

博士論文 2016 年度（平成 28 年度）

科学技術政策における研究動向分析のための
評価手法の開発

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

白川 展之

科学技術政策における研究動向分析のための評価手法の開発

本研究では、科学技術政策で基本方針や資源配分の計画策定の際に示唆を得る政策評価を行うために、世界の科学技術研究と国単位の研究動向との乖離状況を把握する方法を開発した。専門家と利害関係者が課題認識を共有できる情報提供を目標に、科学技術政策の支援対象である自然科学の研究動向を俯瞰できる手法を研究開発した。

公的資金に依存する科学技術研究は、慣性に委ねると資源配分が既得権として固定化される制度的ロックインが起き、多様な知識の創造を目的とする科学技術の発展が阻害される。そこで本研究では、世界の科学技術研究と国単位の研究動向との乖離状況を評価するため、研究領域を俯瞰し置かれた状況を可視化することで異なる立場の者の中で政策課題を共有する政策評価のための手法を開発した。開発手法では、自然科学の科学技術研究の領域の動向変化を捉える指標と、国の研究開発の動向の世界との乖離状況を測定する指標を考案し、2種類の指標により議論を交え解釈を確定させるまでのプロセスを一体の評価手法とした。

工学、化学、先端科学の3研究分野に手法を適用して実証を行った結果、工学分野では、1980年から2008年の35.5万件余の文献から電気電子から情報通信に研究の中心が移行する動向変化が把握でき、日本の研究が世界の趨勢から乖離する現象が確認された。また、化学分野では1982年以降2012年までの5年毎の66万件余の文献から重化学工業に関する研究から生化学や薬理学研究に移行する動向変化と、世界第2位の化学研究大国であった旧ソ連・ロシアのみが世界の傾向と乖離する傾向が把握でき、手法の有用性が検証された。先端科学分野では、研究者への学術雑誌に関するアンケートをもとに1980年以降2013年までの約400誌の学術雑誌に掲載された420万件余の文献から先端科学研究に関する国際比較指標が作成できた。

計量書誌学における単純集計法の改良に位置付けられる開発手法は、自然科学研究全体の俯瞰に適用可能なことが検証できた。また、分析結果は、科学技術政策で活用された。

本研究で開発した手法は、研究活動のアウトプットである論文数をもとに、今後の政策に関する議論の契機をもたらす情報環境を構築したもので、特定の政策 이슈に関して、俯瞰する観点の情報を可視化して提示することにより、関係するアクターの間で政策目標設定の調整を促すきっかけが提供される。この結果、科学技術政策の企画段階において科学技術の専門家と利害関係者が政策の方向性に関する議論を行い、政策上の課題認識を共有することができる。本研究で開発した評価手法には、関係するアクターが部分合理的に行動することで無意識に起きてしまう合成の誤謬や逆機能に基づく無知に関して、メタレベルの俯瞰情報をもたらすことで変化に関する感度を上げ、政策上の課題として気付きを与える機能がある。

キーワード：科学技術、熟議、政策評価、計量書誌学、指標

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科
白川 展之

Developing Evaluation Methods for Research Trends Analysis: Situation Awareness in
Science, Technology and Innovation Policy

Nobuyuki SHIRAKAWA
Keio University,
Graduate School of Media and Governance,

In this research, I developed an analytical technique that can measure whether the direction of scientific research of a country as a whole is diverging from global trends with the objective of conducting policy evaluation to obtain suggestions about basic strategies and resource allocation priority setting plan formulation in science, technology and innovation policy. This study focuses on overviews that can grasp emergent phenomena as a measurement technique for building a policy evaluation information structure that facilitates situation awareness in order to identify the required future policy actions.

This analytical technique developed in the fields of bibliometrics is a modified bibliometric count method based on a data sampling method that increases the recall rate of information retrieval, which enables the analysis of emergent phenomena based on time-series changes to two types of metrics, namely, a disciplinary overview metric and a trend divergence metric. In addition, by exchanging opinions with stakeholders related to the analytical subject in science, technology and innovation policy through deliberation, the designed technique is proposed as a package that integrates methodologies for determining interpretive hypotheses for policy evaluation.

The results of the technique developed in this study, in the application to three disciplines —Engineering, Chemistry and Interdisciplinary Advanced Science —reveal that this technique with its overview of research trends in natural science makes it possible to surpass the bias of the indexer effects of particular databases.

Finally, results obtained using the developed analytical and data-sampling method enabled policy-oriented deliberation information infrastructure for engagement between multi-stakeholders based on the output of research activities. The evaluation methods for research trends analysis developed functions as a tool for situation awareness in science, technology and innovation policy to avoid the pitfalls of rational ignorance and to provide an opportunity for multi-stakeholders to engage in policy deliberation.

Keywords: bibliometrics, evaluation, indicator, deliberation, Science
Technology Innovation policy,

目次

博士論文要旨 平成 28 年度 (2016 年度)	1
Abstract of Doctoral Dissertation: Academic Year 2016	2
目次	3
図一覧	6
表一覧	7
第 1 章 本研究のねらい：研究概要と論文構成	9
1.1 本研究の概要	9
1.1.1 科学技術政策の課題	9
1.1.2 課題：科学技術政策の分析データと評価	10
1.1.3 開発手法の概要	11
1.1.4 実証：開発手法の適用による自然科学の研究動向の俯瞰	12
1.1.5 開発手法の妥当性	16
1.1.6 本研究の学術的貢献	17
1.2 本論文の構成	18
第 2 章 科学技術政策の課題	19
2.1 科学技術の特質	19
2.2 科学技術の公共政策	20
2.2.1 科学技術政策	20
2.2.2 政策課題：科学技術と社会	22
2.2.3 政策対象：科学技術とイノベーションの生態系 (エコシステム)	23
2.3 科学技術と公共選択	26
2.3.1 科学技術とミクロ経済学	26
2.3.2 科学技術とイノベーション論	27
2.3.3 制度的ロックインと資源配分の硬直化	28
2.3.4 科学技術の公共選択論	29
2.4 科学技術の政策評価：俯瞰と構造化	30
2.5 目的：科学技術政策における政策評価のための情報環境整備	31
第 3 章 科学技術の評価	33
3.1 科学技術政策の分析と評価	33
3.1.1 科学技術の社会からの期待と評価	33
3.1.2 社会における科学技術の評価	35
3.1.3 科学技術政策とデータ	37
3.1.4 科学技術政策における根拠に基づく政策	38
【参考】科学技術の評価の矛盾：「アスファルト・パラドックス」	39
3.2 科学技術の評価手法	41
3.3 計量書誌学と科学技術の評価	44
3.3.1 計量書誌学の科学技術政策の評価への利用	44
3.3.2 計量書誌学と科学計量学	45
3.3.3 計量書誌学の方法論	46
3.3.4 計量書誌データの課題	50
3.3.5 計量書誌学における評価指標の発展	51
3.4 本研究：計量書誌学と公共政策を関連させた評価手法開発	52
第 4 章 手法設計：領域俯瞰による動向乖離の分析と評価	53

4.1	手法の開発目標・基本設計	53
4.2	開発手法：「領域俯瞰による動向乖離の分析」	54
4.2.1	用語の定義：「領域俯瞰」と「動向乖離」	54
4.2.2	開発手法の構成：指標化手法と分析・評価法.....	54
4.2.3	開発手法の設計：「領域俯瞰による動向乖離の分析」	55
4.3	開発要素：指標作成と分析・評価のプロセス	56
4.3.1	仕様と手法の要素設計	56
4.3.2	分析・評価プロセス：データ解釈の妥当性担保.....	57
4.4	指標作成法：データ処理の実装	58
4.4.1	領域俯瞰指標.....	58
4.4.2	動向乖離指標.....	61
4.4.3	手順：指標データの作成と可視化.....	64
4.5	分析・評価法：評価結論の導出と妥当性担保のプロセス.....	66
第5章	実証：開発手法の適用による科学技術研究動向の俯瞰.....	69
5.1	分析手法の適用分野と選定理由：自然科学の研究動向の俯瞰	69
5.1.1	目標：分析手法の適用範囲.....	69
5.1.2	実証における適用分野：工学・化学・先端科学.....	70
5.1.3	実証概要：データ処理と分析仮説.....	71
5.2	実証①：工学分野	74
5.2.1	分析対象設定：情報要求に基づく測定対象の社会集団の選択.....	74
5.2.2	情報検索：対象社会集団に関する分析母集団データの網羅的抽出.....	75
5.2.3	分類設定：部分組織に対応させたクラスタリングによる時系列構造化.....	77
5.2.4	可視化：構造化データセットからの指標の記述的分析.....	80
5.2.5	検証：作成指標の説得性の検証.....	88
5.2.6	議論：解釈仮説の導出	92
5.2.7	結論：知見の集約・解釈の確定.....	105
5.3	実証②：化学分野	109
5.3.1	分析対象設定：情報要求に基づく測定対象の社会集団の選択.....	109
5.3.2	情報検索：対象社会集団に関する分析母集団データの網羅的抽出.....	109
5.3.3	分類設定：部分組織に対応させたクラスタリングによる時系列構造化.....	110
5.3.4	可視化：構造化データセットからの指標の記述的分析.....	112
5.3.5	検証：作成指標の説得性の検証.....	118
5.3.6	議論：解釈仮説の導出	120
5.3.7	結論：知見の集約・解釈の確定.....	121
5.4	実証③：先端科学分野.....	122
5.4.1	分析対象設定：情報要求に基づく測定対象の社会集団の選択.....	122
5.4.2	情報検索：対象社会集団に関する分析母集団データの網羅的抽出.....	123
5.4.3	分類設定：部分組織に対応させたクラスタリングによる時系列構造化.....	124
5.4.4	可視化：構造化データセットからの指標の記述的分析.....	130
5.4.5	検証：作成指標の説得性の検証.....	136
5.4.6	議論：解釈仮説の導出	139
5.4.7	結論：知見の集約・解釈の確定.....	140
第6章	開発手法の妥当性	141
6.1	開発手法の検証・評価.....	141
6.1.1	方法.....	141

6.1.2	詳細.....	142
6.1.3	適用結果（工学・化学・先端科学分野）：[要約]	144
6.1.4	科学技術政策における活用実績（工学分野）：審議会等における利用.....	146
6.2	適用可能性：プロセスの検証と適用範囲の評価	148
6.2.1	プロセスの検証.....	148
6.2.2	適用範囲の評価：自然科学研究の俯瞰.....	151
6.3	絶対的な有効性の検証.....	152
6.3.1	方法：影響の強さと効果の性質の評価.....	152
6.3.2	絶対的な有効性：影響の強さの評価	153
6.3.3	絶対的な有効性：効果の性質の評価	154
6.4	相対的な有効性の評価.....	156
6.4.1	方法：他の計量書誌分析手法と指標情報の可視化手法との比較	156
6.4.2	相対的な有効性：他の計量書誌分析手法との比較	156
6.4.3	相対的な有効性：指標情報の可視化方法の比較.....	158
第7章	本研究の学術的貢献.....	161
7.1	本研究の範囲	161
7.2	計量書誌学：単純集計法の改良による指標トレンド分析.....	162
7.2.1	計量書誌学における学術的貢献①：分析方法.....	162
7.2.2	計量書誌学における学術的貢献②：IEEEに関する計量書誌分析結果.....	165
7.3	公共政策の評価論：特定 이슈に関する政策評価手法.....	166
7.3.1	開発成果：多様性の評価指標によるイシューベースの政策評価手法の開発... 166	
7.3.2	評価方法上の貢献：多様性の評価指標による議論を通じた政策評価.....	167
7.3.3	科学技術政策における学術的貢献：メタプロジェクトレベルの評価手法.....	168
7.4	将来の研究課題：データ分析手法の拡張と動作メカニズムの解明	169
7.4.1	データ分析における実現機能	169
7.4.2	科学技術政策・計量書誌分析における実務的展開.....	171
7.4.3	データ分析・処理技術の開発	172
7.4.4	公共政策における用途拡大.....	173
7.4.5	情報とガバナンスの相互作用のメカニズム解明.....	174
	謝辞.....	175
	引用文献.....	179

図一覧

図 1 開発手法：「領域俯瞰による動向乖離の分析」	11
図 2 領域俯瞰指標の推移	14
図 3 国別の動向乖離指標の推移	14
図 4 科学技術の社会への波及・インパクト経路	34
図 5 社会における科学技術の評価	36
図 6 本研究で開発する評価手法	52
図 7 開発手法の構成	54
図 8 開発手法：「領域俯瞰による動向乖離の分析」	55
図 9 概念図：メディア・データと社会・組織データからの領域俯瞰指標の作成	60
図 10 領域俯瞰指標と動向乖離指標による分析・評価	62
図 11 指標データの可視化方法	65
図 12 科学文献数の専門分野別分布と本研究における開発手法の適用範囲	70
図 13 IEEE における世界の領域別文献数の推移（1980～2008 年）	81
図 14 IEEE における日本の領域別文献数の推移（1980～2008 年）	83
図 15 IEEE における世界と日本の領域別文献数推移の構成比（1980～2008 年）	84
図 16 上位 30 国・地域の IEEE 定期刊行物文献数の推移（1980-2008 年）	86
図 17 過去 29 年間の動向乖離指標の推移（2008 年における文献数上位 20 か国）	87
図 18 専門分野別のセクションレベルの文献数推移	89
図 19 INSPEC シソーラス（レベル 1）の分類別文献数推移	90
図 20 INSPEC シソーラス（レベル 2）の分類別文献数推移	91
図 21 上位 6 ヶ国・地域の国際シェアの推移（1980～2008 年）	92
図 22 上位 6 ヶ国・地域の動向乖離指標の推移（1980～2008 年）	94
図 23 米国	95
図 24 中国	96
図 25 台湾	97
図 26 カナダ	98
図 27 韓国	99
図 28 領域別文献数：世界の化学研究の推移（1982 年～2012 年）	113
図 29 日本の化学研究領域別推移（1982 年～2012 年）	115
図 30 化学研究の国別文献数推移（1982 年～2012 年）	116
図 31 各国の動向乖離指標・研究活動構成の推移（1982 年～2012 年）	117
図 32 CA-ロール別文献数推移（1982 年～2012 年）	119
図 33 先端科学領域における領域俯瞰指標の推移（1980～2013 年）	130
図 34 先端科学領域における日本の論文数推移（1980～2013 年）	131
図 35 対象学術雑誌の国別論文数の経年変化（1981-2013 年）	133
図 36 NATURE INDEX 採録誌における日本の研究者の論文掲載構成の推移	135
図 37 本研究の活用の事例	147
図 38 適用可能性の検証・評価②：分析手法の適用範囲の検証	151
図 39 分析結果の可視化結果の他の方法と情報伝達機能の相对比较	157
図 40 動向乖離指標とレーダーチャートによる可視化結果の比較	159

表一覧

表 1	分析手法の段階と手順（プロセス）	12
表 2	分析データと分析仮説.....	13
表 3	本論文の構成	18
表 4	数値例：X市役所における公共サービス供給（1主体・1公共財の生産モデル）	40
表 5	計量書誌学における分析方法論別の特徴と利害得失	49
表 6	仕様と手法の要素設計.....	56
表 7	分析手順.....	57
表 8	動向乖離指標の解釈	63
表 9	分析プロセスの設計（詳細）	67
表 10	分析データと分析仮説	73
表 11	分析データの概要.....	77
表 12	分析・データの公表の経緯.....	108
表 13	アンケート回答者の専門分野	125
表 14	トップ学術雑誌の回答上位 10 位.....	125
表 15	専門分野別トップ学術雑誌(10 位まで)	126
表 16	集計対象の学術雑誌：「トップ階層学術雑誌群」	128
表 17	INCITES の検索結果：引用数の累計（2015 年 3 月検索）	138
表 18	開発手法の適用可能性の検証.....	141
表 19	検証・評価の仕様と試験方法と根拠事例.....	143
表 20	手法適用による発見上の効果.....	145
表 21	適用可能性：①プロセスの検証 [結果]	150
表 22	研究活用の基準：ノットとウィダルフスキーのモデル.....	153
表 23	ウェイスの研究成果の活用類型：「研究活用の 7 つの異なる意味モデル」	154
表 24	本研究で開発した評価手法の計量書誌学的位置付け	164

第1章 本研究のねらい：研究概要と論文構成

1.1 本研究の概要

1.1.1 科学技術政策の課題

1) 科学技術の公共政策

科学技術とは、研究開発により知識の創造を行う活動であり、知識の持つ公共財性と非分割性を根拠(Arrow, 1962a)(Arrow, 1962b)に、科学技術政策における公的関与・支援が正当化されてきた。科学技術政策は、製品・サービスの商用化を図る技術政策と融合するなか、研究者の研究を支える科学研究の振興から、科学技術で経済活性化などを目的としたイノベーションを促す条件整備を図る科学技術イノベーション政策へと進化してきた(小林信一, 2011)(玉村, 高橋, 伊藤, 杉田, & 白川, 2014)。

しかし、公的資金に依存する科学技術研究は、慣性に委ねると資源配分が既得権として固定化される制度的ロックインが起きる(白川, 2014)ので、知識創造を目的とする科学技術の発展が阻害される。

一方、イノベーションは、既存の知識の組み合わせで起きるので、科学技術でイノベーション創出の可能性を高めるには、科学技術に関する知識の多様性を広げる必要がある。ただし、必要な知識範囲は、広過ぎず狭すぎない適度の範囲の多様な知識を持つことがイノベーションに有効に働く(Katila & Ahuja, 2002)。

イノベーションの創出が目標として加わった現在の科学技術政策では、個別の研究活動を振興する投入資源の最大化のみではなく、状況を俯瞰したうえで政策課題を把握し、政策目標を設定し資源配分を調整することが求められる。

2) 研究開発目標：政策上の課題認識が共有できる科学技術研究動向の分析手法

政策評価とは、「次に何をすべきかがわかる (what-to-next)」情報をもたらす評価(Scriven, 1991)である。

量的拡大とともに細分化しながら発展を続ける科学技術研究の評価は、ディシプリン(専門分野)別の体系内で確立された基準では、他の研究領域の価値が捉えきれない。専門分野別の資源配分の決定を行う科学技術政策では、研究動向の予測と俯瞰が政策の企画立案の起点となる。このため、科学技術政策における政策評価では、施策効果や業績の評価や法制上必要な評価手続き以外に、不確実な将来の政策枠組みを立案する過程で今後の方向性に関して情報を得る学習を主目的とした「前向きの評価 (prospective evaluation)」(榊原, 2010)が重視される。

科学技術政策では事前評価の一環で、科学技術研究をめぐる全体状況の「俯瞰」を通じた現状の認識と将来変化の方向性の把握が行われている。例えば、政府機関や研究資金の助成機関では、専門家とともに将来の政策上の方向性を議論するホライズンスキニング、技術予測、ロードマッピングなどの予測活動 (foresight) が行われる(横尾, 2014)。

本研究では、科学技術政策の評価のうち、将来の基本方針の計画策定を行う際に示唆を得る政策評価を行うために、政策上の課題認識が共有できる科学技術研究動向の分析手法を研究開発した。研究開発の資源配分方針検討のための政策評価を行うため、計量書誌学を実証フィールドに、世界の科学技術研究と国単位の研究動向との乖離状況を専門家や政策担当者の議論を交えて分析・評価を行う手法開発を目指した。

1.1.2 課題：科学技術政策の分析データと評価

科学技術政策の評価では、政策上の目的に応じて様々な手法が用いられている。本研究では、科学技術政策の資源配分方針を検討する政策評価を行うために公共政策の評価論と計量書誌学（Bibliometrics）・科学計量学（Scientometrics）を関連させた科学技術の動向変化に関する評価手法の開発を行った。

計量書誌学とは、図書館文献の管理のために確立された図書館情報学の手法が発展した研究領域である(藤垣, 2004)。自生的に蓄積される論文の書誌情報（メタデータ）の関係を計量すると、研究者の研究成果の影響度の評価が可能になる機能が着目され、科学技術政策の評価においても活用されるようになった。科学技術の評価では、研究開発提案（proposal）を評価し研究助成先を決定する専門家による定性評価のピアレビューと並び、計量書誌学は研究開発成果を定量評価する手法として最も普及している(Coryn & Scriven, 2008)。計量書誌学では、共に引用し合う論文の引用関係を可視化する等の研究(Small & Sweeney, 1985)から、研究者個人の研究業績の影響度の評価や、学術雑誌の影響力を評価するインパクトファクターなどの指標が考案されてきた(清水, 2009)。

ただ、科学技術政策では、研究者個人や学術雑誌といった分析の単位を超え、国レベルの科学技術政策上の状況を把握できる評価指標が不足している¹。政策実務の現場では、入手可能な限られたデータを使い回すことで対応している現状がある。定量データに基づく政策議論へと政策検討過程をエビデンスベースものに改善することが政策実務上の課題となっている(岡村, 2013)。

加えて、現実のダイナミックな変化のなかで既に存在するデータから状況認識を行うことは、データ整備が進んでも付きまとう技術課題である。

こうした課題に対応するため、本研究では、計量書誌学を実証フィールドに、研究活動のアウトプットである学術論文に焦点を当て、データを体系的に収集・処理する方法を確立することで立場の異なる者間で政策上の課題認識の伝達・共有を促進する情報が提供できる科学技術政策における研究動向分析のための評価手法を開発した。

¹ 例えば、「第5期 科学技術基本計画」平成28年1月22日閣議決定。(2017年2月8日最終アクセス)
<http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5honbun.pdf>

1.1.3 開発手法の概要

1) 開発手法：「領域俯瞰による動向乖離の分析」

本研究の開発手法の「領域俯瞰による動向乖離の分析」では、世界全体の動向変化を俯瞰し、国（組織）の乖離状況の分析・評価を行う。

世界と分析対象の国（組織）の研究動向を「①俯瞰」し、分析対象の国・組織の「②乖離状況の定量化」を時系列で測定し特徴変化を観測できるようにしたうえで、得られた情報を重ね合わせて示す「③特徴の可視化」を行うプロセスから構成される分析手法を設計した。

開発手法の実装するデータ処理として、特定の学協会等の社会集団を分析対象に設定して世界の研究動向を俯瞰する「領域俯瞰指標」と、世界とある国（組織）との乖離状況を定量化して時系列で観測する「動向乖離指標」に関する指標作成法を設計した。

分析・評価では、2つの指標を併用し世界の研究動向と分析対象の国（組織）の研究動向を並列して可視化することで、利用者の状況認識を促す情報提供が可能になる。これにより、専門家や利害関係者の間で今後の科学技術政策の方向性に関して議論を通じた政策評価が実施できる。

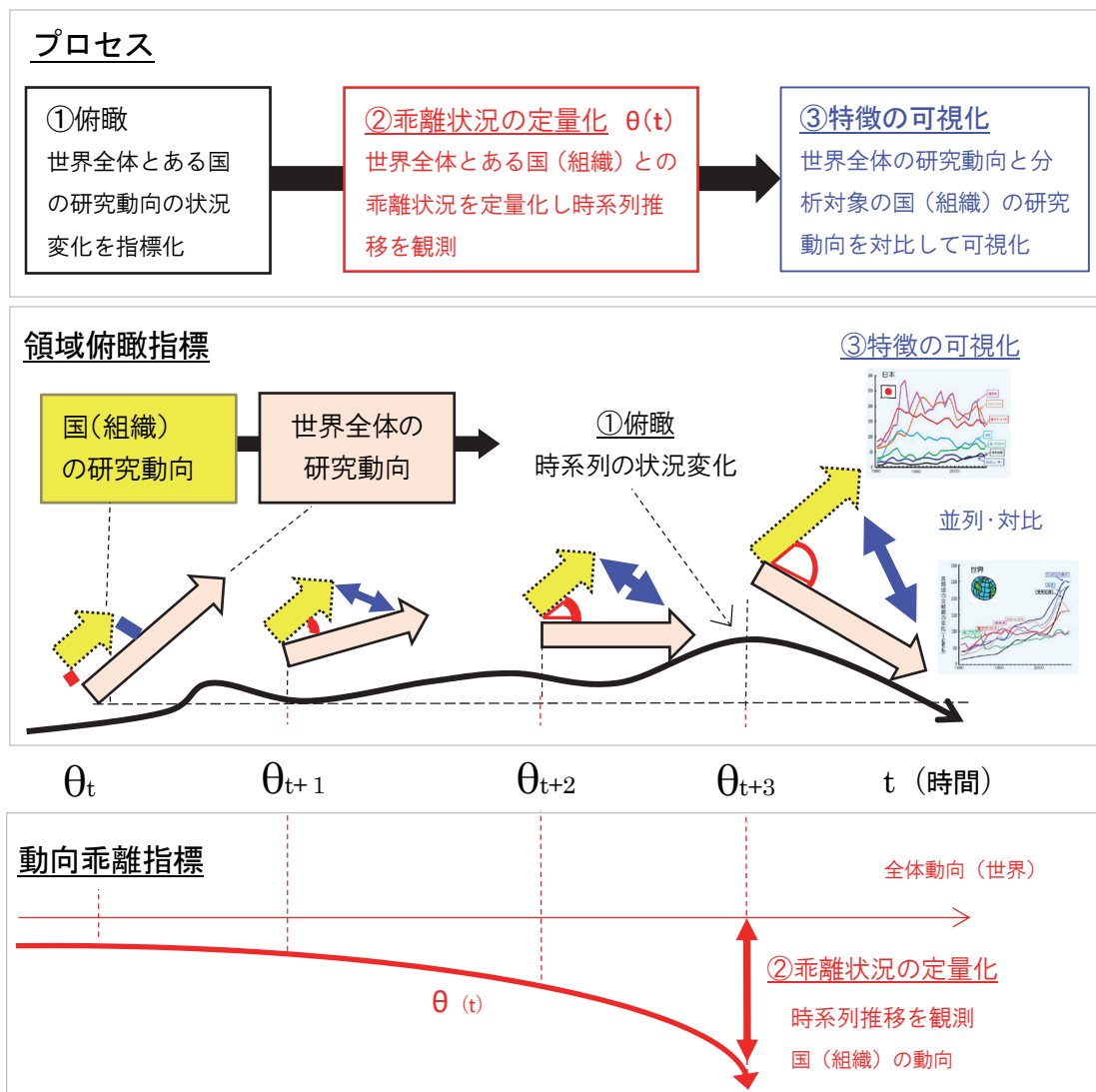


図 1 開発手法：「領域俯瞰による動向乖離の分析」

2) 分析手順

分析手法の運用に関しては、分析対象の設定から、指標の準備、記述的分析の実施、議論に基づく解釈の確定までの指標作成法と分析・評価法からなる2段階7手順の分析実施手順を定めた。

分析手法は、指標作成法と分析・評価法の2段階で構成される。このうち、指標作成法は、1)分析対象設定、2)情報検索、3)分類設定方法の3段階から構成される。

指標作成法では、分析対象とする社会集団単位でデータサンプリングを行い、社会で実在する組織をクラスタリングに利用する指標作成を行う。

一方、分析・評価法では、時系列指標から観察される現象の記述的分析を行う4)可視化、作成指標の説得性の5)検証、解釈仮説の導出を図る6)議論、解釈確定を図る7)結論の4段階で構成される。指標の分析・解釈については、同一事象に関して複数の指標（領域俯瞰指標と動向乖離指標）による特徴発見を行い、解釈の確定に関しては、専門家や有識者等の議論を通じて指標の解釈仮説の選択を行う手順を定めた。

このように、国単位の研究動向が、世界の変化と乖離していないかを測定したうえで、作成指標から解釈を確定させ評価結論を得るまでの評価手法の運用方法を定めた。

表 1 分析手法の段階と手順（プロセス）

段階	手 順	操 作 内 容
指 標 作成法	1) 分析対象設定	情報要求に基づき測定対象の社会集団を選択
	2) 情報検索	対象社会集団に関する分析用の母集団データを網羅的に抽出
	3) 分類設定	分析対象の社会集団の部分組織を分類索引に用いたクラスタリングによりデータを時系列構造化
分析・ 評価法	4) 可視化	指標の可視化結果から起きている現象を記述的分析
	5) 検証	作成指標の説得性の検証
	6) 議論	乖離状況に関して複数の視点から解釈仮説の導出
	7) 結論	集約された解釈をもとに現象の分析・評価結論を最終確定

1.1.4 実証：開発手法の適用による自然科学の研究動向の俯瞰

開発した分析手法を、計量書誌学的分析における工学、化学、先端科学の3専門分野に適用した。

この結果、科学技術政策で公的支援を行う自然科学の科学技術動向の領域俯瞰が可能になった。また、自然科学の研究開発活動に関する俯瞰と日本の研究活動の乖離状況が測定・可視化され分析が可能であった。

これら分析データと分析仮説の概要については、表 2 分析データと分析仮説に示すとおりである。

表 2 分析データと分析仮説

実証	指標作成に用いたデータ源	仕用データベース	書誌情報の範囲と件数	指標化内容	分析内容
専門分野	1) 分析対象設定 2) 情報検索 3) 分類設定	論文誌毎の国別文献数のデータ取得したデータベースの状況	分析母集団となるデータの抽出範囲と書誌データ数	(領域俯瞰指標)	仮説
工学	1) 世界最大の工学系の学会 IEEE (電気電子技術者協会) 2) IEEEXplore : 学会関連の文献データベース 1980 年以降 4,064,659 件 (2016 年 10 月現在) 3) 定期刊行物 201 誌 (トランザクション, マガジン等) の出版責任があるソサエティ (学会の領域別活動の組織) との関係性を雑誌ごとに情報検索	Inspec 物理・電気電子・情報分野の文献に対する索引データベース。IET (英国工学技術学会) が作成。1898 年以降の書誌数 16,406,900 件 (2015 年 12 月現在)	1980 年から 2008 年 述べ 141 地域文献 (ペーパー) 355,891 件を xml ファイルからデータ抽出し分析	世界最大の工学系の学会 IEEE のなかでの研究領域別の組織 (ソサエティ) ごとの論文数推移	日本の工学研究の世界からの乖離の有無
化学	1) 米国化学会 (ACS) 2) 米国化学会 (ACS) の領域別活動の単位テクニカル・ディビジョンに対応した分類を探索 3) Chemical Abstracts の属性分類一覧からセクションを検索条件として選択	Chemical Abstracts CAplus (電子サービス版) 1808 年以降の書誌数 42,308,500 件 (2015 年 12 月現在)	1982 年以降のデータを 5 年ごとに 2012 年まで 2013 年論文数上位 25 か国と旧ソ連について、663,358 件の文献を対象とした検索結果をもとに単純集計分析	米国化学会 (ACS) の定める研究領域 (セクション) 別の論文数推移	日本の化学研究の世界との乖離の有無
先端科学	1) マクミラン社 (現 Springer-Nature) が Nature 誌 (含む関連誌) 執筆経験者 2) Nature 誌 (読者 5 万人と Web-of-science に登録 10 万人の責任著者) を対象。回答者の属性を、研究者 (宇宙・天文, 生物, 地球環境, 工学, 材料, 医学, 物理) と管理者等に区分。過去 2 年以内に論文を出版した現役の研究者 3,901 人から有効回答。「自身の研究において、最高の成果が得られたときに、論文を掲載したい学術誌」を 6-10 誌回答させた結果、述べ 30,000 誌を名寄せ。1,836 誌を特定。 3) アンケート結果をもとに研究者と編集者による専門家パネルでトップ階層学術雑誌群を絞り込み、63 誌に掲載された論文を先端科学分野の論文と設定	Web-of-Science Core Collection 約 54,600,000 件 1900 年以降の書誌数 (2013 年 6 月現在)	3 人以上から有効回答があった約 400 誌を対象に、1980 年から 2013 年にかけて 4,240,092 件のデータを取得。さらに、2013 年上位 25 か国分 (香港, 旧東独, ソ連等継承国家を含む) の文献数を重複カウントで情報検索して論文誌別の国別論文数を論文タイプ (原著, レビュー等) を問わず集計	絞り込まれた 63 誌の国別文献数を算出し、先端科学研究のベンチマーク指標として作成	日本の科学研究力の質的な低下の有無

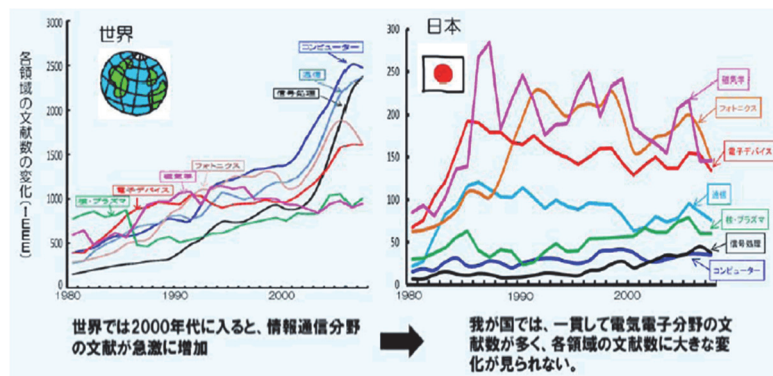
1) 工学

工学分野の実証では、工学で世界最大の学協会である電気電子技術者協会 (IEEE) をベンチマークの社会集団に設定し、定期刊行物を分析した。

IEEE が公刊した約 30 年分の 35.5 万件の学術記事のデータを Inspec データベースから抽出 (筆頭著者の所属機関の国籍, 所属機関, 発行年, 学術誌名など) した。分類設定用データについては, IEEE が作成するデータベース IEEEXplore のデータと理工系と情報系に特化したデータベース Inspec のデータベースを組み合わせ, IEEE 内におけるサブ組織であるソサエティ別の組織構造を反映させて重複カウントを行い指標作成用の構造化データを作成した。

IEEE (国際電気電子技術者協会) の領域別の技術活動の組織単位であるソサエティ別に定期刊行物の論文数を指標化した結果, 世界の研究のアウトプットは, 電気電子から情報通信へ主要な研究領域がシフトする動向変化が観察された。

さらに, 動向乖離指標の時系列推移を観察したところ, 世界で日本だけが, 過去 20 年来世界のトレンドと一貫して乖離を続ける傾向があることが定量的に示され, 「ガラパゴス現象」等と揶揄される直感では広く認識されている現象が定量的な裏付けをもって提示できた。このように領域俯瞰指標と動向乖離指標によって発見された特徴をもとに, 世界と日本の領域俯瞰指標の時系列変化を対比できるようグラフを対照させ可視化して示した結果, 日本の工学研究が乖離する様子が可視化され, 政策上の課題認識の伝達が促進された。



平成 24 年版 科学技術白書 第 1-2-18 図/我が国における研究開発と産業構造の変化のミスマッチより

図 2 領域俯瞰指標の推移

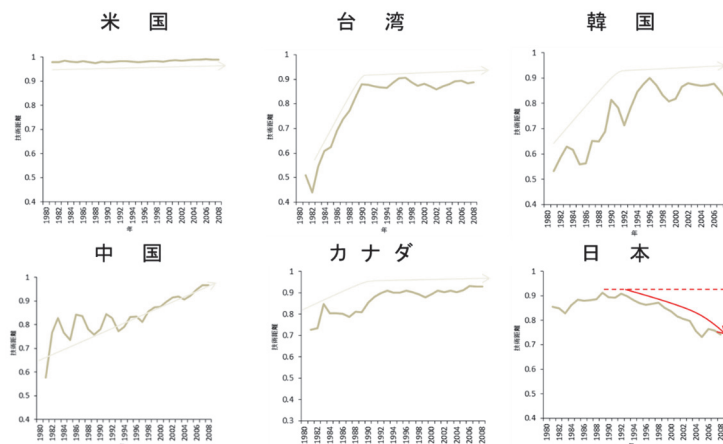


図 3 国別の動向乖離指標の推移

2) 化学

米国化学会（ACS）が世界の化学関連の学協会等と連携して索引を作成するデータベースのケミカルアブストラクツ（Chemical Abstracts）を対象に 1982 年から 2012 年までの 5 年毎 66 万件余の文献に手法を適用して分析を行った。

本研究で示したデータ処理の方法に従い、ACS（米国化学会）の領域別の活動組織に対応する属性「セクション」の分類に沿って指標作成を行った結果、重化学工業関連の研究から薬理研究にシフトがみられ、全体では、無機化学・有機化学から生化学が研究領域の中心として成長したことが観察された。

さらに、有機化学などに強みを持つ日本の化学研究が世界の化学研究の変化に対応できているか、動向乖離指標の時系列変化を観察したところ、値はほぼ一定で推移し、日本の化学研究は、世界の進化の方向性に合わせて変化していた。このため、世界のトレンドをむしろ積極的に牽引してきたものとみられる。

一方、かつて世界第 2 位の化学研究大国であった旧ソ連・ロシアのみが、世界のトレンドから、一貫して乖離を続け、論文数で世界の中で低迷している特徴も観察された。

また、本研究で開発した手法に沿って得た指標と別の属性を集計して作成した指標化結果を比較した結果、本研究の方法に沿って選択した分類の方が研究動向の変化の俯瞰には適していることも検証され、指標化手法の有効性が確認できた。

3) 先端科学

先端科学分野では、研究者に対するアンケート結果と 1980 年以降 2013 年までの約 400 誌の学術雑誌に掲載された 420 万件余の、Web-of-Science Core Collection の文献データを組み合わせることで先端科学研究に関する国際比較指標が作成できた。

先端科学分野については、世界最高峰の学術雑誌の Nature 誌の編集者と研究者の社会集団に着目し、社会調査結果と専門家パネルに基づき集計基準を設定し、全体を一つの領域の指標として各国の研究力のベンチマーク指標を作成した。

分析の結果、トップ階層の学術雑誌群の国別の論文数について 1980 年から 2013 年の推移を観察した結果、日本の論文数は、一貫して上昇を続け、トップ階層の学術誌に掲載される研究成果の数については、減少していなかった。

また、日本の研究者のトップ階層の学術雑誌群への論文投稿は、2000 年以降伸びが鈍化するなかで、日本の投稿パターンは欧州諸国よりもむしろ、米国の構成と同化する傾向を示し、欧米のブランド学術雑誌への掲載を好む傾向がうかがえた。

こうした研究者の学術誌への投稿行動は、選択と集中という重点化、質の高い研究成果を精選して追求する政策誘導の影響と考えられる。

また、アンケート結果と組み合わせて研究評価のための計量書誌指標を作成する方法は、他の分野に適用可能なことも検証され、指標化手法の有効性が確認できた。

1.1.5 開発手法の妥当性

評価手法の妥当性を、分析手法の適用可能性と科学技術政策における政策上の有効性の2点から実証事例に即して検証・評価した。

1) 分析手法の適用可能性

分析手法の適用可能性に関する検証は、手法適用が可能な範囲と共通のプロセスが適用できているか、範囲とプロセスの面から検証した。

(1) 適用範囲

開発手法の適用可能な科学技術分野の範囲に関しては、自然科学の科学技術研究の全般の分野に関して適用できるかどうかを評価した。

本研究で手法を実際に適用した結果を検証した結果、設定した3分野（工学、化学、先端科学）では、指標演算と分析が実施可能で、臨床医学を除いた自然科学の俯瞰が実施できた。また、本研究の実証では除いた臨床医学に関してもアンケート結果とデータベースを組み合わせることで指標作成が可能なことが確認された。

(2) プロセス

手法を適用した工学、化学、先端科学の3事例において、分析対象とデータの前提が異なる条件でも共通のプロセスで手法が適用できているかを検証した。実証を実施した3分野の分析事例では、異なる与件のもとでも共通のプロセスで俯瞰指標の作成が可能であった。

2) 科学技術政策における政策上の有効性

科学技術政策における有効性については、利用実績に基づく絶対的な有効性と日本の科学技術政策において利用されている手法との比較による相対的な有効性を評価した。

(1) 絶対的な有効性

分析が先行した工学に関する分析結果について実際の科学技術政策におけるユースケースを検討することにより評価した。

この結果、本研究の分析結果は、専門家・有識者による政策検討のための(1)専門分野のベンチマークデータ、(2)専門家や特定の立場からの科学技術政策上の問題意識の表明、(3)科学技術政策の政策課題認識の共有の3つの機能で利用され、政策上の課題認識を伝達する機能が達成されていた。

(2) 相対的な有効性

相対的な有効性は、政策実務での利用場面における情報伝達機能を比較することで評価した。

領域俯瞰指標に関しては、サイエンスマップや学術俯瞰システムなど引用分析に基づく日本で用いられている計量書誌学上の方法論と比較した。この結果、本研究の開発手法のうち領域俯瞰指標は、ネットワークを可視化する手法に比べ特徴を保ったまま情報を伝えることが可能なことが確認された。

また、動向乖離指標については、レーダーチャートによる指標のグラフ化・可視化方法を比較評価した結果、可視化する次元が多くなった場合でも簡潔に特徴変化を可視化できることが確認された。

これらの結果、本研究で開発した情報の可視化手法は、科学技術政策における政策実務での利用では相対的な優位性があると評価された。

1.1.6 本研究の学術的貢献

本研究には、実証フィールドとした計量書誌学における学術的貢献と科学技術政策に関連して公共政策の評価論における学術的貢献がある。

1) 計量書誌学

本研究の計量書誌学における学術的貢献は、方法論と分析結果の双方で貢献がある。このうち、方法論の学術的貢献には、指標化方法と分析手法に関する学術的貢献がある。

指標化手法における貢献は、分析対象の社会集団内の分類に基づき指標作成を行う領域俯瞰指標を開発したことにより、状況認識を行いやすいデータ処理と指標作成方法が開発できたことである。この指標化手法は、計量書誌学の単純集計分析法(藤垣, 2004)を改良した方法である。

分析手法における学術的貢献は、指標分析とオーバーレイ・マッピングの方法を組み合わせたことで過去からの変化のなかで特徴変化を読み取る「指標トレンド分析」(Rotolo, Hicks, & Martin, 2015a)の手法が開発できたことである。本研究で開発した動向乖離指標により特徴を発見したうえで領域俯瞰指標を対比させて可視化し情報を伝達する分析手法は、計量書誌学の方法論の類型としては、複数のデータ分析の手法を組み合わせる必要な情報を獲得する混合分析(Rotolo, Hicks, & Martin, 2015b)の手法のひとつである。

一方、本研究の分析結果の貢献は、工学系の学協会 IEEE を対象に工学分野の研究動向の計量書誌学的分析を実施できたことである。計量書誌学において独特な世界がある(Franceschini & Maisano, 2014)なか研究が進展していなかった状況において、他に先駆けて研究成果を(Shirakawa, Furukawa, Nomura, & Okuwada, 2012)を発表した実績がある。

2) 政策評価論

本研究の政策評価論における貢献は、多様性に関する測定評価指標を用いて今後の資源配分方針について議論を通じて政策評価を行う運用方法が確立・実証できたことである。

本研究で開発した手法は、関係するアクターが部分合理的に行動することで無意識に起きてしまう合成の誤謬や逆機能に基づく無知に関して、メタレベルの俯瞰情報をもたらすことで変化に関する感度を上げ、政策上の課題として気付きを与える機能がある。

開発手法を用いた分析結果は、アウトプット構成の多様性に関する尺度の指標を用いて専門家や利害関係者の間の議論を通じて評価結論を導き出すプロセスとして実装し、一部は科学技術政策で実際に利用された実績がある。

政策評価では、特定の政策課題について将来社会で選択すべき技術手段のアウトプット構成の選択の是非に関する評価テーマ²がある。先行研究では、英国の科学技術政策の研究者により、多様性の指標を政策評価指標に用い熟議を通じた政策評価を行う概念枠組み(Yoshizawa, Stirling, & Suzuki, 2009)、多様性の評価の数理的な一般化(Stirling 他, 2007)、エネルギー政策における利用の提案(Stirling, 2010)、ジャーナルランキングの与えるイノベーション研究における多様性の喪失と学際研究の疎外効果を分析(Rafols, Leydesdorff, O'Hare, Nightingale, & Stirling, 2012a)した研究がある。しかし、概念・研究段階にとどまり、科学技術政策における具体的な利用と運用の手法に関しては開発されていない。

² 例えば、電源構成に関する政策選択では、火力、原子力、再生可能エネルギーなどの単一の選択ではなくどのような電源構成割合が望ましいのかバランスに関する政策評価を行う。(Stirling, 2010)。

1.2 本論文の構成

本論文の構成は、表 3 のとおりである。

最初に、第 2 章及び第 3 章では、本研究の背景となる科学技術政策とその評価に関して、その特徴と問題の所在について述べる。

第 2 章では、公共政策の対象としての科学技術の特質をもとに、科学技術の俯瞰と構造化が果たす政策評価における役割を明らかにし、問題の所在と背景を明らかにする。

第 3 章では、科学技術政策における評価手法とデータの関係について述べ、科学技術の政策評価とその手法の方法論について紹介する。このうち、定量評価手法として普及している計量書誌学 (bibliometrics)・科学計量学 (scientometrics) と科学技術政策の政策評価との関係を明らかにすることで、本研究で開発する技術開発課題を明らかにする。

第 4 章では、本研究で開発する科学技術政策における研究動向分析のための評価手法に関する設計を示す。ここでは、測定概念である「領域俯瞰による動向乖離の分析」の考え方とともに、データ処理と分析・評価の手順の設計を示す。

第 5 章では、設計した動向分析の評価手法を日本の科学技術政策で公的支援を行う自然科学の専門分野である工学、化学、先端科学の 3 分野に適用する。ここで、日本の科学技術研究の状況についての俯瞰分析をそれぞれ行うことで、本研究で開発した分析手法の有用性の実証を行う。

第 6 章では、開発した分析手法の妥当性を、手法の適用結果と分析結果の科学技術政策上の利用実績をもとに、手法の適用可能性を検証し、政策上の有効性を評価する。

最終章の第 7 章では、関連する研究領域である計量書誌学、公共政策の評価論における学術的貢献について述べる。最後に、本研究のデータ分析手法の要素を中心に今後の研究課題についてまとめる。

表 3 本論文の構成

第1章 本研究のねらい：研究概要と論文構成
第2章 科学技術政策の課題構造 ・研究目的：科学技術政策における政策評価のための情報環境整備
第3章 科学技術の評価 ・本研究の内容：計量書誌学と公共政策を関連させた評価手法開発
第4章 手法設計：領域俯瞰による動向乖離の分析と評価 ・手法の開発目標：「領域俯瞰による動向乖離の分析」 ・指標作成法（データ処理の実装）と分析・評価法（評価結論の導出と妥当性担保のプロセス）
第5章 実証：開発手法の適用による科学技術研究動向の俯瞰 ・自然科学の研究動向の俯瞰：実証①：工学分野，実証②：化学分野，実証③：先端科学分野
第6章 開発手法の妥当性：開発手法の検証・評価 ・適用可能性：プロセスの検証と適用範囲の評価 ・絶対的な有効性の検証と相対的な有効性の評価
第7章 本研究の学術的貢献 ・計量書誌学：単純集計法の改良による指標トレンド分析 ・公共政策の評価論：特定 이슈に関する政策評価手法 ・評価方法上の貢献：多様性の評価指標による議論を通じた政策評価 ・科学技術政策における学術的貢献：メタプロジェクトレベルの評価手法

第2章 科学技術政策の課題

2.1 科学技術の特質

科学技術は、個人の好奇心や社会の要請に応じて問題解決を目指すことなどの動機に基づき多様性を追求し細分化することで進化している。好奇心に駆動される科学者にとって科学とは、自然界の法則・因果関係の知識となる差異を発見する多様性を追求していく活動である。一方、技術は、機能・目的を達成するための手段として、社会制度のなかで継承されていく知識体系である(白川, 2014)。

科学技術という語は、日本では熟語で用いられることが多いが、欧州などでは伝統的に科学と技術は別概念で分けてみる向きも強い。ただ、現在の科学技術には、経済活性化や社会的課題を解決するイノベーションの創出のため、重点投資対象として膨大な公的資金が投入されている。いわば、ひとつの「公共事業」的な存在として、自体が利益集団を形成するアクターとなっている。米国の「軍産学複合体」のように「陰謀論的」にも語られる(上山隆大, 2013)。19世紀以前の科学は、好事家とそのパトロンによる好奇心駆動型研究推進を図る純粋なアカデミズム科学であったが、20世紀には、大規模な実験設備を伴う使命指向型の産業化科学へと戦時期の科学動員を経て変貌した。すなわち、科学と技術が結合され実用のための研究開発を行い、さらにその技術を用いて科学的発見を積み重ね知識を生産していく社会制度としての科学技術になった。

科学技術は、特定の産業と技術者、科学者が結び付き、さらに官僚組織同様に専門分野間で細分化された縦割り(silo)が存在し、それぞれ内部に評価基準がある。科学技術研究のうち、特に基礎研究の場合は、応用による望ましい社会での目標が事前に定義できるとは限らず、事件が経過してから社会全体を変化させる存在となることもある。科学技術研究には、不確実性が伴い、研究開発によって知識・ノウハウが得られるとは限らない。研究成果は、専門分野や研究領域³によってノウハウ・知識は不均等に発展する(Nelson 後藤訳 2012)ためである。このため、個別のディシプリン(専門分野)別で確立された体系の中での評価をしても、多様な科学技術研究の価値を捉えきることはできず、全体の見通しが立ちにくい。

科学技術は、実用化目標が明確な研究開発を除くと、研究の着手段階では、研究開発の不確実性、曖昧性が高く、社会的影響を見通す予測は困難であることから評価基準も事前には定まらないことが多く、政策科学でいう悪構造問題(Herbert A Simon, 1973)⁴の典型になる。

複雑系(Arthur 有賀訳 2003)を提唱したブライアンアーサーも、技術とイノベーションの関係を論じるなかで、「ハイテク経済における意思決定上の問題が明確に定義されていない。(賢明な諸賢は驚くかもしれないが)問題に対しての最適な解決策もない。このような状況でマネジメントに課されるのは、問題を合理的に解決することではなく、定義されていない状況を理解できるようにする、つまり、状況を認識すること、または状況を対処できる枠の中に収めることであり、同時にまた状況に沿った形で提案を位置づけることである(Arthur 著, 日暮, & 有賀, 訳 2011)」としている。

³ 本研究では、ディシプリン(discipline)単位の大括りの専門での研究分類(field)を「(専門)分野」、その中での研究テーマの細目分類(sub-field)を「(研究)領域」と呼ぶこととする。

⁴ 悪構造問題では、代替案も複数あり、唯一最善の定式化があるのではなく、問題の定式化と問題の解決とは同一であることが多く、問題解決の焦点も、直線的ではなく模索的・反復試行的なもので、満足な構造化と満足な解が得られたときに決定に至り、満足化が政策選択の基準になる(宮川, 1994)。

2.2 科学技術の公共政策

2.2.1 科学技術政策

1) 科学技術政策の対象範囲・視座

科学技術政策の特色は、専門分化を続け発展し続ける専門家集団と公的資金に依存する公的研究機関や大学といった社会組織・制度を直接的な支援対象とし、研究開発によりもたらされる知識という公共財を政策対象としている点にある。科学技術政策は、科学技術が政策推進の基礎を支える知識基盤であると同時に政策の振興対象であるという自己言及的な関係にある⁵。科学技術政策には、自然科学・工学分野を中心に科学の知識を社会の中で技術に体系化して振興する分野別の技術政策と分野間の総合調整を図る政策がある。

現在の科学技術政策では、研究活動を振興する投入資源の最大化のみではなく、変化に対応し科学技術研究の全体の方向とバランスを調整して科学技術を振興していくことが政策課題である。科学技術を用いてイノベーション⁶を起こすことが政策目標に入るようになった科学技術政策では、制度や個人レベルで部分合理的に健全に機能する場合であっても、科学技術関連のシステム・制度間によって全体で不整合が生じている場合には何らかの政策調整が必要になる。

2) 科学技術政策の発展

科学技術政策は、政策目標が研究者の研究を支える科学研究の振興から、新たな製品・サービスの商用化を図る技術政策と融合し、科学技術でイノベーションを起こしやすい条件の整備を図る科学技術イノベーション政策へと政策目標自体も含めて進化してきた。

科学技術政策とは、OECD⁷諸国を中心に多様な用語法があり、時代によって変遷してきた概念である(小林信一, 2011)。科学技術とイノベーションに関わる政策は、科学技術と社会との関係の変化を受けて科学政策、科学技術政策、イノベーション政策の大きく3つの段階がある。

科学技術政策は、専門分野別の研究振興を図る科学政策と、技術を体系的に編成・伝承することで社会価値を創出する技術政策が融合し、新たな社会的な価値をもたらす活動を促す環境条件の整備を図るイノベーション政策へと政策目標が変遷してきた。科学技術に関する政策は、1970年代までは単に科学政策や研究政策 (research policy) と呼ばれていた(Martin, Nightingale, & Yegros-Yegros, 2012)が、1980年代に科学技術政策、さらに1990年代にはイノベーション政策と呼ばれる要素が加わった。この結果、科学技術の振興を通じたイノベーションの実現を目指す政策となり、科学技術・イノベーション政策 (Science, Technology and Innovation (STI) policy) ⁸となった。

科学技術政策は、歴史的には社会の開発・発展のために科学技術を利用する科学政策 (Science-Policy) として、米国において原子爆弾の開発に成功したマンハッタン計画など第二次世界大戦時の産学の科学動員体制が平時に継承される形で誕生⁹した。国家が基礎研究を支援し、研究基盤を構築することが、健康、安全保障、雇用確保などの平時における社会目標の実現につながると公的研究開発投資を正当化した。このリニアモデルのドクトリン¹⁰は成功し、

⁵ 科学技術政策は、例えば宇宙開発を目指す宇宙政策に対して科学技術全般の振興を目指す科学技術政策が存在するといったように、「メタ政策推進システム」を構成している(城山, 2008)。

⁶ 定義等については、2.2.3 参照。

⁷ 経済協力開発機構 (Organisation for Economic Co-operation and Development : OECD)

⁸ なお、本研究では、これらの概念を総称して科学技術政策と呼ぶ。

⁹ 1945年のブッシュによる大統領への報告書「Science: The Endless Frontier」は、冷戦下、軍産学複合体を中核とした米国の科学技術政策の理論的支柱となった。

¹⁰ ドクトリンとは、英国の行政学者ダンサイアによって示された「理論」と「政策」の中間に立つ概念のセットからなる「問題視されない理論」により諸々の行為を誘導するもの(牧原, 2009)である。ドクトリンは、社会

国立科学財団（National Science Foundation: NSF）など基礎科学研究を助成する機関が創設され、豊富な軍事関連の研究開発投資のスピルオーバーからは、インターネットや衛星位置情報システム（Global Positioning System : GPS）など目覚ましい革新を産み出した。冷戦終結後、国威発揚や国防目的による冷戦型の科学研究は大幅な削減を強いられ、知識基盤社会におけるハイテク・知識産業のための産業競争力向上のための知的資源としての科学技術に政策的関心が移った(白川, 2014)。この結果、経済協力開発機構（OECD）諸国を中心に、科学政策、科学技術政策、さらにイノベーション政策へと進化(姜, 2009)(白川 & 白川, 2007)した。

3) 科学技術への社会的期待：グランド・チャレンジ

イノベーション政策における政策目標の考え方の1つとして「グランド・チャレンジ」という言葉がある。グランド・チャレンジとは、人類が到達したことのない領域において、ブレークスルーをもたらす科学技術上の挑戦を指すものである。

グランド・チャレンジとは、長期的な科学、工学、また社会の進歩を目指すものとされ、さらに、目標達成に向け、関係者が協力し、国として取り組む優先事項の指針になる計画とされている。そこでの研究開発目標の設定においては、革新的ブレークスルーをもたらすことが求められるものであり、また、実用化された場合に、どのような社会に変化を起こすか、さらに、どのような社会課題を解決するのか、社会インパクトの追求も求められる。すなわち、単に科学技術の面での画期的な成果を実現するだけではなく、社会課題解決においてもブレークスルーをもたらすことが期待されている。

グランド・チャレンジ¹¹が対象とする社会課題の領域は、健康、エネルギー、環境・持続可能性、教育、経済的機会均等、国家安全保障など多岐の分野にわたる。また、その目標設定は、野心的でありながらも達成可能であること、そして、推進には産学官民の連携・協働が必須とされ、本質的な問題であって、かつチャレンジのしがいのある知的興味・関心を惹き付けることが必要とされている。

こういった概念を掲げる理由は、実現した際には大きな変化をもたらさうるものであり、また、多くの人々や専門家に期待を持たせる課題であるほど、共感が得られ参画が得やすいからである。さらに、公的資金等の社会的資源の投入も正当化されやすい。つまり、結果的に社会からの支援や資源の調達が可能になり、イノベーションの社会実現への後押しが進むことにもなる。

科学の理論とも政策とも異なり、厳密に定義された理論ではなく一見理論の体裁をとる曖昧さを含み状況に応じて受容される目的のレトリックであって、政策のように一定の価値に向け行動を規定するわけでもなく、理論的に真であるかのような体裁で示される事実関係である(牧原, 2008)。

¹¹ この用語が、政策目標設定において用いられたのは、米国政府において、スーパー・コンピュータ研究の領域で、日本による追い上げ・挑戦に対抗するために掲げられたのが最初であると言われている。米国のオバマ政権においても、21世紀におけるグランド・チャレンジが主要政策の1つとして掲げられ、スーパー・コンピュータや情報通信技術といった個別の科学技術テーマの他、国民の健康増進計画など、25程度のチャレンジが設定された。

2.2.2 政策課題：科学技術と社会

社会との関係の緊密化と期待の高まりの半面、新たな科学技術の実現が新たな社会問題を起こすようになった。生命科学・遺伝子工学の発展に伴う遺伝子組換え作物や再生医療におけるクローンの扱いなど、科学技術の発展には便益だけではなく、様々なリスクや新たな社会課題を惹起する不確実性¹²がある。

技術の社会普及に伴い安全性や倫理の問題に関心をもつ社会のアクター¹³の範囲が広がり、ELSIと呼ばれる「倫理的・法的・社会的問題 (Ethical, Legal and Social Implication)」が生じた。かつては科学的な判断は専門家任せで、評価は専門家集団内で相互に評価するピアレビューが伝統であった。

しかし、複雑化する社会では、「科学に問うことはできるが、科学によってのみでは答えることのできない問題(Weinberg, 1972)」である「トランス・サイエンス」の問題(小林傳司, 2007)があるので、科学技術を専門家だけに任せることはできなくなった。

このため、現在では科学技術の責任ある管理運営には将来社会への責任を重視する「責任あるイノベーション (Responsible Innovation)」(Hellström, 2003)が重視されるようになった。ここでは、科学技術をめぐる社会的リスクを評価し、市民参加を通じた社会とのリスク対話を行うテクノロジー・アセスメント (Technology Assessment) などを通じて、科学技術をめぐるガバナンスを構築するが課題とされている(吉澤, 2013) (平川, 2014)。

¹² 科学技術の不確実な要素を表す概念には、リスク (risk)、不確実性 (uncertainty)、曖昧性 (ambiguity)、無智 (ignorance)、不決定性 (indeterminacy) などがある。知識の状態、不確実性の性質、不確実性の原因を包含する概念である。一般に、望ましい目標が明確であれば、問題が構造化でき起こりうる現象が予測できるので、データがあれば「リスク」が確率で算出され、科学的管理が可能になる。こうした目的の科学技術には、規制科学 (レギュラトリ・サイエンス) がある。一方、望ましい目標が不明の場合は、確率は定義できない。しかし、情報があれば、「シナリオ」として不確実性に対処方針が策定できる。こうした場合は、人々の参加によりフォーサイト (foresight: 予測活動 (詳細については 2.4 節参照)) を行い、目標設定が行えばよい。しかし、目標が不定な場合、データが大量にあっても、理解・管理できない曖昧性と無知 (イグノランス) が生じる。曖昧性とは、わからないことがあることは分かっている (known unknown) 場合をいうが、無知とは何がわからないのかもさえない (unknown unknown) の状況をいう。これらの場合、純粋な興味関心ドリブンの研究振興が次善策となり、構造化による理解が解決の第一歩となる。

¹³ 「アクター」とは、ある事柄や物に能動的に働きかける能力 (行為主体性) を持つ主体を指す。主体は個人に限らず、特定の社会集団や組織、国家、また EU など超国家の機関などがある。科学技術社会論では、その行為能力を、生物や無生物にまで拡大し、「アクターネットワーク」として捉える考え方もある (Latour, 川崎, & 高田, 1999)。

2.2.3 政策対象：科学技術とイノベーションの生態系（エコシステム）

1) イノベーション

イノベーションという言葉を経済学上の概念として定義したシュンペーターは、「経済発展の理論（Schumpeter, 1926）（Schumpeter 著，塩野谷，中山，& 東畑訳，1980）」で，経済発展を起動するのは企業家(Unternehmer=Entrepreneur)による「新結合の遂行（Durchsetzung neuer Kombinationen）」による創造的破壊であるとした。シュンペーターによると，生産という行為は，利用可能な様々な生産要素（モノや力）を組み合わせることであり，「新結合の遂行」とはこれまでとは異なる新しい組み合わせで生産することで，それをイノベーションと定義している。

そして，シュンペーターは，新結合の類型として，以下の5つを挙げる。

- ① 新しい財貨，すなわち消費者の間でまだ知られていない財貨，あるいは新しい品質の財貨の生産
- ② 新しい生産方法，すなわち当該産業部門において實際上，未知な生産方法の導入
- ③ 新しい販路の開拓，すなわち当該国の当該産業部門が従来参加していなかった市場の開拓
- ④ 原料あるいは半製品の新しい供給源の獲得
- ⑤ 新しい組織の実現，すなわち独占的地位（たとえばトラスト化による）の形成あるいは独占の打破

シュンペーターがイノベーションを定義したのは20世紀初頭であるが，「イノベーション（innovation）」の語源は，ラテン語の「innovare」に由来するとされ，この言葉は「in（内部へ）+novare（新しくする）」に分解されるもので，内部へ採用され，新機軸をもたらすことも含意されている。新たな生産要素や新結合が採用され（＝イノベーションの普及），新たな価値を生み出し，社会にインパクトをもたらすことも，イノベーションにおいては重要な観点である。

2) ナショナル・イノベーション・システム (NIS)

イノベーション論の古典「イノベーション普及学 (Diffusion of Innovations)」を著したロジャーズによれば、イノベーションとは「個人あるいは他の別の組織単位で新しいと知覚された何らかのアイデア、習慣といったこと、あるいは製品・サービスといった特定のもの」であり、イノベーションの「普及」とは「アイデアの発明や知識創造のプロセスとは別の、社会で受け入れられていくコミュニケーション・プロセス」(Rogers 著 三藤訳, 2007)であるとしている。つまり、新しいと知覚されたアイデア・習慣・製品・サービスなどが、相互のコミュニケーションを通じて、社会システムのアクター間に伝達され、受容されていくコミュニケーションの過程である。

実際のイノベーションプロセスは、単独の主体で考えることは難しく、多くは、多元的な主体によるネットワーク(連鎖)で遂行される。そこでは、複数の企業や組織、制度で構成される社会ネットワークの態様に、イノベーションの源泉を求める。

特に、市場の支持を受け支配的な地位を得た「ドミナントデザイン (dominant design) (J. N. Utterback & Abernathy, 1975)(Abernathy & Utterback, 1978)」が確立した成熟期の産業では、プロセス・イノベーション(新しい生産方法の導入)を通じて生産性の向上は進むが、プロダクト・イノベーション(新しい財貨(新製品)の開発)は生まれにくい傾向(=生産性のジレンマ)となる。企業レベルでは、こうした状況乗り越える、ないしは未然に防ぐため、イノベーションを連続的に生み出していくための組織的・系統的な努力を推進(=イノベーションの制度化)することになる(Utterback, 1994)が、イノベーションを単独の企業の範囲で取り組むには十分な資源を持ち得ない。そこで、企業・政府・大学等の諸制度間で、知識をはじめとする諸資源の相互作用プロセスを形成する。

イノベーションが普及する過程のインタラクションが行われる諸制度のネットワークを、一国における政策レベルで有機的なシステムとしてとらえる考え方が「ナショナル・イノベーション・システム(National Innovation System : NIS) (Richard R. Nelson, 1993)」である。

産学連携や技術移転などを重視するNISの概念は、1980年代の後半にC・フリーマン、ネルソンらによって提唱され、「新しい技術の開発、導入、普及に関連する私的・公的セクターのネットワーク」と定義している(Richard R. Nelson, 1993)(Freeman, 1987)。産学官の組織が連携してイノベーションを行うモデルということができる。また、イノベーションプロセスを、諸要素の集合には還元できない、全体性をもったシステムとして把握しようとする。イノベーションの促進を目的とした科学技術政策は、経済・雇用・教育などの政策との整合性を追求する観点を示唆するなど、科学技術政策のあり方に影響を与えた¹⁴。

¹⁴ 日本でも、産学官の技術移転や産学官連携研究のナショナル・プロジェクトを促進する政策などは、こうした理論の影響を多く受けている。また、イノベーション・ミリューという、地理的近接性とその歴史的な経路依存性に知識・技能と情報の蓄積に地域を重視したイノベーションのモデルもある。この系譜で代表的な理論の1つがポーターのクラスター論である。「クラスターとは、ある特定の分野における、相互に結びついた企業群と関連する諸機関からなる地理的に近接したグループであり、これらの企業群と諸機関は、共通性と補完性によって結ばれている」と定義した(Porter, 竹内, 1999)。特定分野における関連企業、専門性の高い供給業者、サービス提供者、関連業界に属する企業、関連機関(大学や業界団体、自治体など)が地理的に集中し、競争しつつ同時に協力している状態を、ブドウの房(クラスター)のように企業・機関・自治体などが地理的に集積し、ネットワークをつないでイノベーションを創出することを指している。政策実務においては、中小企業政策と科学技術政策が合流したイノベーション政策としての位置づけをもっている。このため、日本でも、産業クラスター政策、知的クラスター政策といった政策がこうした理論の影響を受けて実施されてきた。

3) イノベーション・エコシステム

科学技術と社会の関係性の緊密化により、イノベーションを新技術や製品といった科学技術を中心にみることや、企業家の高い倫理感といった属人性にイノベーションの成功要因を求めることを超え、イノベーションが実現しやすい環境に着目し、社会のダイナミックな生態系(エコシステム: Ecosystem)を重視する考え方¹⁵になった(玉村他, 2014)。こうした視点を示したのが米国競争力委員会(Council on Competitiveness)が2004年に発表した米国の国家のイノベーション戦略を方向付けた報告書「イノベート・アメリカ(Innovate America)」(通称「パルミサーノ・レポート」)である。イノベーションが生み出される仕組みは、経済及び社会の多様な要素の継続的な相互関係で成り立つ生態系である「イノベーション・エコシステム」にあるとした。イノベーションに関わる個別のアクターが、生態系のように時代にあわせて進化しながら、有機的に結びつくモデルを提案した。同報告書では下記のようにイノベーション・エコシステムを捉えている(白川, 2015)。

- ① イノベーションは、経済と社会の様々な要素の多面的かつ継続的な相互関係で成り立つ生態系(エコシステム)である。
- ② イノベーションは総体的なものであり、イノベーションをめぐる生態系の構成要素を別々に扱うのは不適切である。
- ③ イノベーション政策は供給側と需要側の能力を高めるとともに、両社の潜在能力が最大限発揮できるような国のインフラを整備することが中心となる。その際、供給側の需要側、国のインフラストラクチャーの三者が共進化(Co-evolution)することが重要であり、エコシステムの視点での検討、政策立案が重要である。
- ④ 一般に発明や発見、イノベーションには、歴史、社会、経済システム、文化、風土、国民性など経路依存性が強い。これを踏まえたうえで、その国に最適なシステム構築を目指す必要がある。

こうした考え方は、OECDではイノベーション戦略(Organisation for Economic Co-operation and Development, 2010)が策定されるなど世界各国に普及している。欧州でも、バイオテクノロジーや再生エネルギーなど新産業の創出において長期的な視点から国家の関与を重視する「起業家としての国家(Entrepreneurial State)」の考え方が広まっている(Mazzucato 大村訳 2015)。

¹⁵ ここでは政策的関心に基づく概念を中心に紹介しているが、これとは別にイノベーション論や技術史で Pinch & Bijker (1987) を嚆矢として「技術の社会的構成(Social Construction of Technology: SCOT)」に関する議論が蓄積されている。例えば、(宮尾, 2013)のレビューなどを参照。

2.3 科学技術と公共選択

2.3.1 科学技術とミクロ経済学

政府が研究開発政策を行う理由には、第一に長期のリードタイムを要すること、第二に多大のリスクを内在していること、第三に多額の資金を必要とするものの3つが指摘される(大山1994)。

科学技術は、研究開発により知識の創造を行う活動であり、知識には公共財性があることから、科学技術政策における政策支援や公的関与が正当化されてきた。

さらに、知識には、特殊な性質があり公共財的性格のほか、非分割性と不確実性を持つ特殊な財である(Arrow, 1962a) (Arrow, 1962b)。

新たな科学技術知識を生産するために研究開発が行われるが、その経済活動は通常の経済活動と異なり、生産者以外の第三者による消費を排除することが困難な消費の排除不可能性(non-excludability)があり、費用負担をしていない者が知識を利用することで得られる外部効果である漏出効果(spillover)が生じる。すなわち、公共財である知識には、模倣され、知識を生産した主体の利益の専有不可能性(inappropriability)があるため、企業は技術開発活動を行うコストを回収できない場合がある。

技術開発のインセンティブが削がれることにより、経済全体では社会的に望ましいパレート最適な水準に比べ研究開発投資が過小になる。この「専有不可能性(appropriability)」の問題に伴う市場の失敗の存在により、その是正策としてミクロ経済学では公的研究開発投資が正当化¹⁶される。

¹⁶ 科学技術をめぐる産業政策への介入に関する日本語でのミクロ経済学的な説明に関しては、(伊藤, 奥野, 清野, & 鈴木, 1988)がある。また、科学技術イノベーション政策の観点からは(Link & Scott, 2011)、関連研究からのレビューについては、(Martin 他, 2012)を、公的研究開発投資の評価については、ハイブリットコーンの技術開発の費用便益の社会的投資収益率の算出(Griliches, 1958)を嚆矢とする経済的な便益測定に関する包括的なレビューについては、(Salter & Martin, 2001)を参照。

2.3.2 科学技術とイノベーション論

科学技術とイノベーションは、企業組織を扱う経営学からは、公知の科学技術に関する知識の価値を認識し、同化させ (assimilate) たうえで応用する組織能力を意味する吸収能力 (absorptive capacity) と知識の範囲に関するポートフォリオ構成が議論となる。

組織の知識の吸収能力は、組織の成員の能力と組織のコミュニケーションに基づく歴史的・経路依存的 (path-dependent) なもので、特定の専門領域への初期投資が不足すると、その領域の将来の技術的能力の発達を妨げられる。組織の新しい知識を吸収し、深化 (exploitation) させるためには、累積的 (cumulative) に習得される専門知識が事前知識として備わっていると、将来のイノベーションの兆候となる中間的な技術導入をより深く理解し評価できる。ある産業内での技術変化が企業で行う研究開発と往々にして密接に関係し、外部知識を改良して深化させる企業の能力は研究開発の副産物として生じるため、吸収能力への投資をいったん止めると動きの速い専門分野・領域では2度と新しい知識を吸収して利用できなくなるロックアウト (lockout) が生じる (Cohen & Levinthal, 1990)。

したがって、既存の知識を組み合わせるイノベーションを創出する可能性を高めるには、組織は投資を維持しつつ科学技術に関する知識の幅を広げておく必要がある。ただし、その知識の範囲は、全体の多様性の平均と程度まで広くすればよいのではない。狭すぎない適度な範囲で多様な知識を持つことがイノベーションに有効に働く¹⁷。ただ、適度な知識の幅のポートフォリオの多様性を得るには、新たな知識の探索 (exploration) と既存の知識の深化

(exploitation) を組織レベルで両立させる必要があるが、既存の知識の深化に傾倒し新たな知識の探索を疎かにするコンピテンシー・トラップ (competency trap) があり (March, 1991)、成功しているほど強く働く。この問題は、単なるリーダーや幹部の認識の欠如など個人の資質の問題ではなく組織一般の病理であり、その防止策には組織としてルール・制度を設ける (入山, 2012) など対策を行う両利き (ambidexterity) の経営が求められる (Raisch, Birkinshaw, Probst, & Tushman, 2009)。加えて、両利きの経営では、外部環境の変化が伴う場合は、資源ベースの創造・拡大・修正 (Helfat 他, 2010) と定義される組織のダイナミック・ケイパビリティ (dynamic capability) ¹⁸ を発揮することが求められる (Raisch 他, 2009)。

本研究の場合、国レベルの科学技術政策でイノベーションを起こす可能性を高める¹⁹ 評価手法の開発が目標である。この対策には、特定の有力者の直観・意見ではなく、特定の事業領域・活動において組織単位で新たな知識の探索が行えているか知識の幅を定量評価できる多様性が測定可能な指標があればよい。さらに、望ましい多様性の度合いは、必ずしも多様性を無制限に広めるのではなく資源制約の中で環境変化に対応し知識の資源ベースの範囲を組み替えながら、一定の独自のポジションを組織で決定し維持することがイノベーションを創出する可能性を高める状況を創出する戦略につながる。

¹⁷ 例えば、ロボットメーカー124社の特許引用関係により知識の幅を測定した結果から、企業は知識の幅が広がるほど新しい機能を持つ製品を創出すること、すなわちイノベーションを起こしやすくなるが、極端に幅広くなるとかえってマイナスに働くとする実証研究結果がある (Katila & Ahuja, 2002)。

¹⁸ ダイナミック・ケイパビリティ (dynamic capability) とは、「内部・外部のコンピタンスの統合・構築・再配置を実行し急速な環境変化に対処する企業の能力」と定義される (Teece, Pisano, & Shuen, 1997)。ここでは、ある特定の時間(過去, 現在, 未来), ある特定の場所 (国, 市場, 産業) において、顧客の要求に適合している時こそ価値を持つと考え、資源ベースの創造・拡大・修正が行われる (Helfat 他, 2010)。

¹⁹ イノベーション・エコシステム単位で政策の対象とする場合には、国のイノベーション・システムとしてマクロの組織としてみなすことができるので、企業組織レベルの測定方法が敷衍して利用可能だと考えられる。

2.3.3 制度的ロックインと資源配分の硬直化

専門とは知的労働の分業であり、科学技術の発展によって、知識と技能の習得に膨大な労力が要するようになると研究者などが扱える範囲が限定されるので、社会にとって専門職の増加は、複雑・多様化する科学技術を社会で制御するには、効率的かつ不可避な手段である。一方、過度の専門職化に伴う縦割りは、社会にとっては知識の断片化を招き全体像の把握を困難とする問題(伊藤, 2012)があり、特に公的研究開発投資に依存し専門化が徹底された科学技術研究は、専門家集団の持続性と閉鎖性もあいまって、民主的制御を失う危険性が高い。この結果、ある技術の利用に伴うリスクと便益の配分の衡平さなど、公共的な熟議 (deliberration) ²⁰を通じて解決すべきリスク解析の政治的イシューが、科学の客観性や価値中立性のもとで覆い隠され、特定の集団の利害が守られるといった危険が生まれる(平川, 2002)。

科学技術には、科学共同体内における相対的な学術社会集団間の威信・権力関係があり、社会の政治・権力との間にも緊張関係が生じる構造になっている(白川, 2014)。公的資金に依存する現代の科学技術は、慣性に委ねると資源配分が既得権として固定化され制度的ロックインが起き、多様な知識の創造を目的とする科学技術の発展が阻まれる場合がある。科学技術には、科学知識を利用する科学技術と、再現可能性ある経験に基づく技術があり、経路依存性が強い。社会と科学技術の関係に関しては、特定の技術を社会が選択した場合、特定技術が、後の社会の選択を規定するロックイン現象が起こりやすい(城山, 2007)。また、個々の専門分野でのロックイン現象は、自律的な規範を持つ科学者集団の規範や個人の倫理では解決されにくい。特定の技術体系に関与する関係者の利害や、規制や法律で基準が設定され、政治的・制度的に強化される場合も多い。

こうした社会と科学技術の関係構造のなかでは、科学技術政策における資源配分において既得権が温存されロックイン起きると、中立で客観・公正にみえる科学技術も、社会制度や公共政策の一領域であり、予算・制度・機構・組織定員といった公的な資源配分の硬直化が起こる。結果、新たな知識を探索・開拓するはずの科学技術の活動への相対的な資源が減少し、社会における科学技術の発展を阻害するジレンマ的状况が生じる。例えば、社会一般に対しては、科学技術振興一般の必要性をもって、相対的に科学研究としての新規性が低下した研究分野の研究が、実用化や商業化といった新たな題目を主張することで合理化・温存されることなどが起きてしまう。つまり、専門性と複雑性の題目のもとに、科学技術の専門家の利益集団や個人の利益追求のためのレントシーキングが科学技術政策の資源配分²¹で起き、新規の知識開拓という科学の本来持つとされる価値規範²²に反する事態を招く²³要素がある。

²⁰ 討議(deliberation)とも訳される。熟議は、参加者間の議論の場を通じて批判的に再考することで自らの選好自体を変化させるプロセス自体に価値を置く考え方(鈴木, 2013)で、(1)人々の選好が熟議の過程で変容しうること、(2)熟議の過程で人々が合意を形成している点で、単なる個人の選好の集計とは異なること、(3)民主主義的決定の正統性は、熟議の過程を経たという手続的正当性に依拠するものとされる(足立 & 森脇, 2003)。

²¹ 世の中の社会課題には、科学技術で解決に適した問題とそうでない問題がある(Nelson 後藤 2012)。また、研究開発でノウハウが蓄積されている領域とそうでない領域とでは、課題解決の時間軸が異なり、研究の資源投入・配分の再編成では解決できる問題なのかということ自体の解決も、科学技術政策の課題である(R. R. Nelson, 2011)。

²² 科学では、確証された知識の増大という目標達成のために 相応しい独自のエートス(倫理観)があるとされ、科学者は集団としても個人としても「科学者を拘束すると思われる価値と規範の複合体」としての「科学のエートス」を共有する。いわゆるマートン・ノルム(CUDUS)と呼ばれ、知識の公有主義(Communalism)、普遍主義(Universalism)、利害超越(Disinterestedness)、系統的懐疑主義(Skepticism)といったノルム(規範)が科学者集団を律するものとされる(Merton 著, 森, 森, 金沢, & 中島訳, 1961)。

²³ 物理学者でもあるザイマンは、現実の科学研究の置かれた状態をPLACE(所有(Proprietary)、局所的(Local)、権威主義的(Authoritarian)、請負的(Commissioned)、専門的な仕事(Expert work)と表した(Ziman 著 村上訳 1995)。

2.3.4 科学技術の公共選択論

科学技術のアクターに関する公共選択論の理論研究では、科学技術に関する経済的厚生を分析した研究結果、科学技術政策推進側の立場と反する否定的な結論²⁴の研究が多い(白川, 2014)。科学技術を積極的に振興する場合には、関係者で合意のもとで収斂させて政策目標を設定する社会契約を担保する合意形成が科学技術政策の推進では現実的な方策になっている。

技術進歩の官僚組織における受容を分析した(Cantner & Kuhn, 1994)では、官僚機構で官僚が予算最大化行動をとると仮定され、民間セクターでの技術進歩がアウトプットに古典的生産要素(資本・労働)と関係し、さらに官僚の選好の効用関数に入っている場合には、コスト削減もしくは予算の節約による官僚の効用の増加をもたらすので、研究開発の成果は積極的に用いられる。官僚が研究開発そのものを最終目的とする場合には、他の場合と同様に効率的な水準以上の予算を使う。しかし、いずれの場合も非効率な配分の公共財供給となり、技術開発により増加した場合でも、純経済福祉はすべて官僚に配分され、社会は技術進歩の便益²⁵を受けることができない。

ただ、社会全体での科学技術によるイノベーションの価値は、新たな社会的余剰が生じるかがひとつのメルクマールとして規範的に受容することも可能である。イノベーションを促進し、社会全体の厚生を高めるには、発明者や新たな発明等の知識の創出者に知的財産などを制度的保障することでレントシーキングを認めることは政策的に一定程度正当化しうる²⁶。このため、(Abbott & Brady, 1990)は、科学技術のもたらす便益に着目し、社会のレントをゼロサムで獲得する一般的定義によるレントシーキングによるコスト(Tullock Costs)と、レントシーキングにより新たな社会的余剰をもたらす場合のコスト(Tollison Cost)に分けて論じている。一方、規範的分析とは別に、科学技術の公共選択論の研究ではタロックのレントシーキングの概念をもとに、ゲーム理論による研究開発や特許制度と企業間競争を分析する価値中立的な理論的研究²⁷もみられる。

これら科学技術政策に批判的な規範的な議論や価値中立的な理論研究に対し、Witt は、経済発展の問題をイノベーションの必要性和外部性の関係から肯定的に論じようと試みている。一般的にイノベーションの評価を経済的なパレート改善を基準として評価すると、レントシーキングによる資源の無駄使いなど、イノベーションや研究開発を促進するには、悲観的な(反対の)結論しか導かれない身も蓋もない議論になるので、シュンペーター的なイノベーションによる厚生改善は、社会契約的な合意のもと扱われるべきだとしている(Witt, 1996)。

²⁴ 科学技術政策の推進側にとっては、市場の失敗の是正策としての科学技術全般への公的介入・支援は首肯される一方、個々の科学技術への官僚の支援が恣意的なものとして否定されるというジレンマ的な結論になる。

²⁵ 特許や著作権など知的独占を認める公的制度がイノベーションを阻害し、むしろ有害だと主張し(Boldrin, Levine, 山形, & 守岡, 2010)は、(Boldrin & Levine, 2004)の論文では、レントシーキングとイノベーションの関係を分析し、特許や著作権などの制度的保障としての公的なレントシーキングは、私的なレントシーキングの代替になるものの、厚生改善に関しては私的なレントシーキングと変わらないとした。さらに、公的セクターが利己的に振る舞う場合は想定されるうちの最悪の結果をもたらすとする。

²⁶ 薬理物質の探索から臨床試験までの膨大なコストが、競合者間で社会的に埋没費用が多く発生する製薬産業が典型例とされる(Scherer & Scherer, 2010)。

²⁷ 特許制度などを勝者総取り型のトーナメント競争としてプレーヤー数、リスク、費用、利得、レントの源泉など件を変えた公理的分析がなされてきた。ゲーム理論で科学技術を扱う研究には、研究開発競争と特許競争の関係を分析した(Dasgupta & Stiglitz, 1980)、プレーヤーの努力水準とレント獲得の成功確率と利得をモデル化するレントシーキング競争(Nitzan, 1994)、企業数と新製品をもたらすアイデアとコストを確率モデル化するイノベーション・トーナメント(Taylor, 1995)、さらに、これら3つゲームの戦略的同等性が一定条件下で成立することを証明した(Baye & Hoppe, 2003)がある。

2.4 科学技術の政策評価：俯瞰と構造化

政策評価とは、「次に何をすべきかがわかる (what-to-next)」の情報をもたらす評価である (Scriven, 1991) と表現される²⁸が、科学技術政策における政策評価の特徴は、プログラム評価のような過去の施策効果の評価や法制上の評価に加えて、不確実な将来を見通すために政策を企画立案する過程での事前評価が重視される点にある。特に、科学技術政策では、制度的アカウンタビリティのための評価だけではなく、政策の企画立案過程の実務において、次に何をすべきかがわかる政策評価を求める傾向が強い。この傾向は、科学技術政策の企画立案過程においての事前評価は、現状を見通す状況認識を行う意味で「俯瞰」や「構造化」と表現²⁹される。

こうした政策上の情報要求に対応するため、科学技術政策における評価では、資源配分のため予算査定における評価、プログラム評価、技術評価のほか、技術予測などの調査・研究としても行われている。科学技術政策の事前評価では、政府関連機関が今後の政策上の方向を議論するうえで技術予測やロードマッピングなどを実施し、科学技術研究をめぐる全体状況の「俯瞰」を通じた現状の状況認識と将来の変化の方向性の把握が行われてきた。各国の科学技術政策の企画・立案の実務では、体系的、参加型、政策志向で将来展望を行うプロセスである予測 (foresight)³⁰や政府の政策やプログラムに影響を与える国内外の環境変化を特定するホライズンスキニング (Horizon-Scanning) (Miles & Saritas, 2012), ロードマッピング (Kostoff & Schaller, 2001) などと呼ばれる分析手法を用いて、将来像を予測したうえで将来的な政策目標が設定されることが多い (横尾, 2014)。

こうした政策プロセスを通じて、関係者の間での相互交渉を通じて状況認識が共有され、結果として政策的な課題認識の共通理解が形成され、今後の政策の方向性が形成されていく。したがって、科学技術政策において将来の政策に関しての目標設定を行う政策評価を行うには、専門分野の特性を反映した多様な科学技術研究の全体像を俯瞰³¹できる測定系を体系的に構築しておく必要がある。

²⁸ 評価には、過去の政策介入の実績や効果の評価する後ろ向き (retrospective) の評価とこれからの方向性を議論する前向き (prospective) の評価の 2 つ時間軸を向いた評価がある。前向き評価では、実のアクションにつながる情報の獲得が重要であり、結果がネガティブであろうとポジティブであろうと学習につながればよく、特に失敗情報は教訓の宝庫である。しかし、後ろ向き評価を重視する立場からすると、設定された目標が計画どおりに達成されたことを強調したい誘因が働き、評価の情報量が縮減してしまう (榎原, 2010)。

²⁹ 例えば、日本の科学技術政策の推進の中核である総合科学技術イノベーション会議について、「内閣総理大臣のリーダーシップの下、科学技術・イノベーション政策の推進のための司令塔として、わが国全体の科学技術を俯瞰し、総合的かつ基本的な政策の企画立案及び総合調整」を行うもの一段高い立ち位置にあることの用語として俯瞰という言葉が用いられている。

³⁰ 資源配分の基礎となる政策の戦略の優先付けや公的資金によって研究開発を実施すべき領域の優先順位付け (priority setting) を決めるための予測活動 (Cuhls & Georghiou, 2004) は、広義では科学技術政策に関する政策評価に含まれ、事前評価のひとつである。予測活動では、社会調査に関する定量的手法と定性的手法を目的に応じて複数手法を総合して計画立案が行なわれることが通例 (Smith & Saritas, 2011) であり、資源配分方針の策定などの計画立案と目標設定が行われる (Tom & Lidia, 2009)。

³¹ 「俯瞰」とは、高いところから見下ろし眺めるという語義の比喩表現あるが、科学技術政策でいう俯瞰とは、「自分たちの活動している様子を第三者的に眺められるようなワンランク上の抽象度の視点」、「意義・意味をより多くの人に分かりやすい抽象度まで上げること」で得られる状況認識ができる「メタ情報」の獲得を意味する (野村, 2012)。「俯瞰」では、各評価者が自身の経験知識と照らし合わせ、気づき (sensemaking) (Weick 著, 遠田, & 西本, 2001) をもたらす情報獲得が行われる。また、「構造化」とは、情報を効率的かつ効果的に使えるよう情報を編集することである。現実の現象は一意的因果に基づく構造になることは稀 (宮台, 2012a) なので、構造化には理解・認識ができること (等価領域の開示) に機能分析の意義がある (宮台, 2012b)。

2.5 目的：科学技術政策における政策評価のための情報環境整備

不確実な将来を見据えて実施される科学技術政策では、起こりうる事態や影響範囲の構造を特定することで状況がわかることが政策の企画立案の起点になる³²。Scriven によれば、評価領域 (evaluation-fields) には、プログラム、人事、業績、製品、政策、ポートフォリオ、提案の7種類の領域があり、政策評価³³とは、過去に何をしたかではなく、「それでは何をすればよいのか (now-what)」との評価質問で表現される評価である(Scriven, 1991)。科学技術政策では、他の政策に比べて求められる政策情報の要求範囲は広く、将来変化の方向性を予測することも政策評価の範疇³⁴となる。

科学技術政策の政策評価の問題は、エビデンスがないことより、むしろ立場が異なると同じデータを前にした場合でも、問題設定と認識枠組みの違い (フレーミング³⁵) によって、政策をめぐる議論が成り立たず感情的な論争になってしまうことである。専門性が高い科学技術では、科学的知識も特定の文脈において意味を持つ状況依存的な局在的知識 (ローカルナレッジ³⁶) になっているからである。こうした中で、専門家の認識や暗黙知である局在的知識を定量化・可視化し、一般の人々にも理解可能な政策実績に関する計数が提示できたならば、異なる立場の者の間での状況の共有理解と課題認識が進み、政策調整が促進されやすくなるはずである。

そこで本研究では、多様な目的と視点で実施される科学技術の評価のうち、科学技術政策の企画立案の際の課題認識を得るための政策評価手法の開発を行う。ここでは、科学技術動向の「俯瞰」に焦点を当て、科学技術の専門家と利害関係者に政策上の課題認識をもたらし、さらにそれを共有できる政策評価のための情報環境を構築する手法の研究開発を行う。

³² 状況認識と予測とは、関心や注目の漏れから生じる非連続的な兆候や破壊の脅威の無知・見逃し (ignorance) が生じることに対処すること (National Research Council 2009) である。こうした活動が必要な理由は、「見たいものだけを見てしまう」選択的注目など種々のバイアス (Bazerman & Moore, 長瀬訳 2011) を避け認知の歪みを意識的に補正する必要があるためである。本研究の認知バイアスを補正する情報分析の手法開発は、経営学の知識管理論 (ナレッジ・マネジメント) とも関連する (第7章参照)。

³³ 政策評価とは、歴史的にはプログラム評価と同時期に、オペレーションズ・リサーチ、マイクロ経済学、組織論、行政学、社会心理学と公共政策と関係して米国で1960年代から70年代に生まれ、プログラム評価と論理構成や分析方法論の多くが共通しているが、政策評価には、過去に実施された政策・施策の過去遡及的評価だけでなく、今後の政策の方向性を示す情報が求められる点が特徴とされる (Coryn, 2008)。

³⁴ 評価論の類型では、現状を把握しあるべき姿とのギャップを定義することで次に何をしたいかを探るニーズアセスメント (Altschuld & Kumar, 2010) になる。科学技術政策で「予測」が重視されてきた理由は、企画立案で求められる情報に、将来の評価軸を設定するために既存の枠組みの再構成を行う情報が含まれるからである。

³⁵ 本研究では対象とはしないが、科学技術政策におけるフレーミングの違いに関する問題に関しては、日本においても科学技術社会論で研究蓄積がある。フレーミングとは、問題を切り取り、定義する視点や枠組み、それに基づき知識を組織化する仕方、問題の捉え方、語り方、状況の定義の仕方を指す。科学技術をめぐる社会的論争では、単にどちらかの主張が科学的に不正確または間違っているということではなく、問題の捉え方、切り取り方が一致していないことが、論争がなかなか解決されない原因となっている。同じ問題に対する相異なる答えは、実は同じ問題に対する問いの立て方 (フレーミング) の違いによって生じる。例えば、遺伝子組換え作物の「安全性」の問題では、科学者や政策決定者が、科学的・技術的に安全性を考えるのに対し、一般市民は、その安全性を担保する科学者や政策決定者、企業など集団や組織の社会的信頼性や、責任のあり方、リスクと便益の配分の不公正さなど、倫理的・政治的な問題を考える (藤垣, 2005)。

³⁶ 人々が、日常や身のまわりの環境について持つ知識を指す。元々は文化人類学の用語で、知識とは、特定地域や実践の現場の文脈に固有のもので、(1) 文脈を超えた一般性を持たず、(2) 文脈を共有しない外部の者には通常知られていないという二重の意味の局在的 (local) であるとみなす (藤垣, 2005)。科学技術社会論では、客観的な真理を示すと考えられる科学的知識に関しても相対化して局在的知識として扱う。

第3章 科学技術の評価

3.1 科学技術政策の分析と評価

3.1.1 科学技術の社会からの期待と評価

科学技術政策の評価は、将来の研究課題を考えるトピックの認知を図る予測活動から、科学技術が社会に与える影響を捉えるインパクト評価までがある（図 4）。しかし、科学技術政策の議論では、政策推進側は科学技術の振興のための資源動員インプットの多寡、経済分析や予算査定立場からは公的研究開発投資の結果として起きる科学技術がイノベーションに寄与する因果関係と効果が議論になる。このため、エビデンスといっても政策議論のデータと学術的な理論的関心に基づく関心は異なる。また、議論の対象と観察対象とするデータも専門分野の研究手法も異なる。したがって、議論の次元や粒度は分散し、さらに政策推進者側の政策上の関心も変遷するため、フレーミングの違いから議論がすれ違い入手可能なデータを前にしても議論にならない。

この構図³⁷は、科学技術の社会に与える影響を評価するロジックモデル³⁸で議論するとわかりやすい。図 4 に示す科学技術の研究成果の波及のロジックモデルでみると、議論のすれ違いの構図が理解できる。

科学技術の評価は、科学技術と社会にもたらす機能（インプット、アウトプット、アウトカム）に対応した社会データをもとに各段階別に行われている。

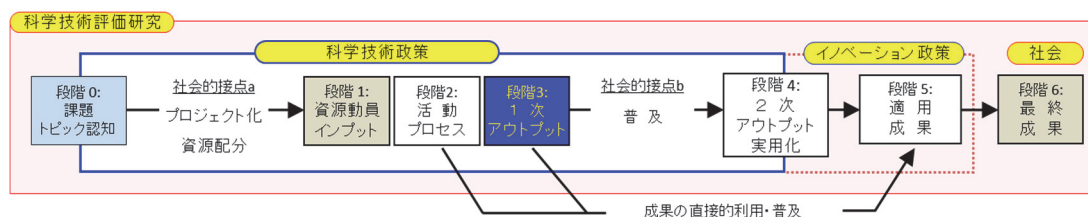
さらに、科学技術の振興を図る科学技術では政策推進者の関心はもっぱらプロジェクト化と資源配分と 2 次アウトプットである実用化に焦点があった。しかし、科学技術政策は、イノベーションを起こすことが政策目標となる科学技術・イノベーション政策へと拡大している。この結果、社会に対し与えた影響（インパクト）を科学技術研究の成果に関して効果の評価（後ろ向きの評価）をすることにとどまらず、目標となる社会の選択を方向付ける評価（前向き評価³⁹）までが、科学技術政策に必要な評価⁴⁰となる。すなわち、科学技術への社会的期待の高

³⁷ 日本の科学技術の評価の構造的課題は、「行政評価法（行政機関が行う政策の評価に関する法律）」（平成十三年六月二十九日法律第八十六号）に基づく「政策評価（又は、行政評価）」と独立行政法人通則法（平成十一年七月十六日法律第三百号）や国立大学法人法（平成十五年法律第一百十二号）等による機関評価と技術評価を規定する「研究開発評価に関する大綱的指針」（最終改訂：平成 28 年 12 月 21 日）内閣総理大臣決定の間で評価に関する対象と目的に関する概念が統一されていないことである。政策評価法と技術評価の関係に法制上の多元性の課題について（伊地知, 2010）（林隆之 & 伊地知, 2010）を参照のこと。また、国立大学法人の機関評価については（西出, 2009）を参照。加えて、行政評価と政策評価の日本の制度課題は（上山, 2002）を参照のこと。

³⁸ 科学技術の社会的なインパクトを評価するモデルは、多段階の科学技術の相互交渉関係を扱う複雑性を考慮に入れたロジックモデルが普及している。このうち世界に普及しているのは、ペイバックモデル（payback model）である（Morton, 2015）。ペイバックモデル（Buxton & Hanney 1996）は、英国の保健福祉事業の評価からはじまり、研究開発の評価には、カナダやスペインなどで利用された（Steve Hanney, 2005）（Wooding, Hanney, Buxton, & Grant, 2005）（S Hanney, Buxton, Green, Coulson, & Raftery, 2007）（Kwan 他, 2007）。カナダ保健研究機構（Canadian Institute of Health Research : CIHR）では、同じデータを評価目的・機関のミッションに合わせて、研究開発プロジェクトのプログラム評価と期間全体の機関評価との間でロジックモデルの組み替えを行い、さらにプログラム評価のデータを再利用することで機関評価に必要な評価情報を得る実務的な評価制度の運用が行われている（CIHS, 2009）。この他、米国評価学会（American Evaluation Association : AEA）研究評価分科会（Research, Technology & Development Topical Interest Group）では、研究評価のロジックモデル研究（Jordan, 2010）（Jordan, 2013）等を踏まえ、科学技術のマクロレベル、メゾレベル、ミクロレベルで評価モデル設定を推奨している（Research Technology & Development Evaluation Topical Interest Group, 2015）。英国の大学評価では、社会・経済・文化への多面的なインパクト経路を考える評価枠組みが利用される（Samuel & Derrick, 2015）。

³⁹ 評価には、過去の政策介入の実績や効果を評価する後ろ向き（retrospective）の評価と今後の方向性を議論する前向き（prospective）の評価の 2 つ時間軸の評価がある。なお、前向き、後ろ向きといった用語は、米国の政策評価概念を紹介する際の議論（南島, 2015）を除くと日本の評価論ではあまりみられないが、開始してから新たに生じる事象を調べる研究を前向き研究（prospective study）、過去の事象を調べる研究を後ろ向き研究

まりによって評価に求められる目的と内容⁴¹に関して対象範囲と幅が拡大したのでそれぞれに対応する必要がある。



玉村他 (2014)より作成。モデルの基本はペイバックモデル(Buxton & Hanney 1996)による。

図 4 科学技術の社会への波及・インパクト経路

(retrospective study) と呼ぶ疫学研究(Rothman 著, 矢野, 橋本, & 大脇, 2013)に倣った表現である。前向き評価では、何を選択し何をすべきでないかのメリット、価値、意義を決定すること、政策的な選択肢の評価、さらには、最善もしくは次善の政策へたどり着くために意思決定が行われる。前向き評価では、次のアクションにつながる情報の獲得が重要であり、結果がネガティブであろうとポジティブであろうと学習につながればよく、特に失敗情報は教訓の宝庫である。しかし、後ろ向き評価を重視する立場からすると、設定された目標が計画どおりに達成されたことを強調したい誘因が働き、評価の情報量が縮減してしまう(榊原, 2010)。

⁴⁰ 本研究の関連研究である「科学技術イノベーション政策のための科学 研究開発プログラム」「科学技術への社会的期待の可視化・定量化手法の開発」の開発手法に関して米国評価学会 (AEA) において関連研究を発表した際における、同学会の研究評価分科会 (Research, Technology, & Development : TIG) で長く座長を務める米国の政府機関や公的研究機関や大学において研究評価を実践と研究の双方で牽引してきた Gretchen B. Jordan 博士からのコメント(玉村他, 2014)による。

⁴¹ 評価論では、評価目的と内容をプログラム等の改善を目指す形成的評価 (formative evaluation) とプログラム実施の効果を実施プロセスとの関係から評価する総括的評価 (summative evaluation) に分けて議論される(Weiss, 著 前川, 池田, & 佐々木訳, 2014)。その他、エンパワーメント評価(Fetterman, & Wandersman 著, 笹尾, 玉井, & 大内訳, 2014)やゴール・フリーの評価など種々の評価が提唱されている(定義については, (Scriven, 1991)を参照)。本研究は、複雑な状況から状況を認知し組織・プログラム等の開発を目指す構築的評価 (developmental-evaluation) (Patton, 2011)の手法開発を行うものである。また、関係者の参加のもとプロセスを設け総合的に評価結果を導く評価プロセス設計を後に示す(第4章)が、これは 理論主導型評価を提唱したことで知られる Chen が、頑健なエビデンスをもたらす評価設計とされるランダム化比較試験による評価が行いにくい対象への評価アプローチとして提唱した「総合的な有効性の評価アプローチ (holistic effectuality evaluation)」(Chen, 2015)の影響を受けた。開発手法は、実用重視の評価(Patton, 2012)と研究方法論(Patton, 2014)と双方の関係で論じるべき開発要素がある(第7章参照)。ただし、科学技術の評価研究は、科学技術政策を研究するグループと公共政策の評価論の研究者グループは国内外でも分離しており、研究成果が掲載される学術雑誌も別であり、用語・概念定義も統一されていない。本論文では、科学技術政策における「研究評価 (research evaluation)」(定義については3.2節参照)の用語法に基づき議論する。

3.1.2 社会における科学技術の評価

社会のなかでの科学技術の評価は、自律したガバナンスを持つ社会制度⁴²のなかでそれぞれ行われている。すなわち、科学技術の評価には、(1) 自生的な秩序による規範・慣習に基づく科学技術の評価と (2) 公共政策の政策過程と法制度に基づく科学技術の評価がある (図 5)。

(1) 自生的な秩序による規範・慣習に基づく科学技術の評価

自生的な秩序による規範・慣習に基づく科学技術の評価には、科学共同体内における科学技術の内在的価値の評価とその受益者にとっての評価である市場からの評価がある。科学技術研究の評価では、科学的な新規性や先取性を評価の対象に同じ分野の研究者による論文査読の過程などを通じて科学共同体内における評価が行われる。一方、イノベーションに関しては科学技術によってもたらされた社会経済に与えたインパクトが経済的便益を中心に市場から評価を受ける。それぞれ自生的な社会システムの秩序のルールに基づき評価行為⁴³が行われている。

(2) 公共政策の政策過程における法制度に基づく科学技術の評価

公共政策の政策過程における法制度に基づく科学技術の評価には、資源配分上の事前評価と科学技術政策のアカウントビリティを果たすための中間・事後の制度上の評価がある。

政策過程における予算査定も法定制度として資源配分上の意思決定であり、事前評価の一つである。一方、法定の評価制度においては、アカウントビリティを果たすために、研究開発の成果や執行プロセスの適正性をもとに、公的研究開発投資の妥当性を事後に示すことが求められる⁴⁴。

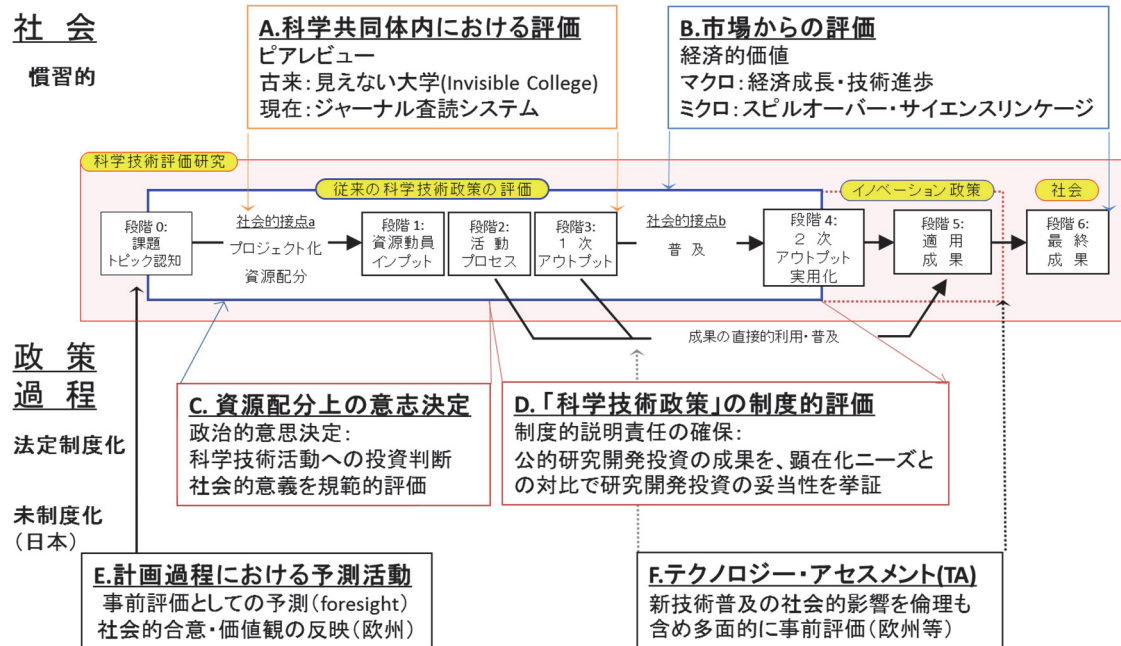
さらに、日本では法制化されているわけではない活動には、事前評価として未来を予測・共有する予測活動 (Foresight)、新技術普及の社会的影響を倫理も含め事前評価を行うテクノロジー・アセスメント (Technology Assessment)(城山, 吉澤, 松尾, & 畑中, 2010)がある⁴⁵。

⁴² 制度とは、制定法、インフォーマルな規範、確立した組織体、契約、人々の思考態度、またはこれらの全ではない一部の組み合わせが考えられるが、制度とは「ゲームのルール」であるとされる(North 他, 2016)。こうしたルールには、立法や公的仕組みによるフォーマル・ルール (立憲的な財産権ルールや契約) および自生的な社会集団が織りなすインフォーマル・ルール (規範や習慣) からなる(青木, 滝沢, & 谷口, 2003)。

⁴³ ここでいう「評価行為」とは、ある社会システムの範囲内に属するか属さないかという境界画定作業のことをいう。例えば、市場においてある商品を購入するか、買わないかという行為が積み重ねられる(Luhmann 著 春日訳 1991)。科学では、学術論文において査読の結果新規性がある研究成果として認められるか認められないかという新規性の判定作業で行われる(Luhmann 著 春日訳 2009)。社会システムにおいて媒介するコミュニケーション・メディアが異なるだけである。前者のメディアが金銭であるのに対し、後者のメディアが学術雑誌という違いである。

⁴⁴ 科学技術の評価の場合、実績や信頼により事前に信託する形で行われる研究プロジェクトの資源配分の事前評価とアカウントビリティのための事後評価が必ずしも整合しない問題がある(山本, 2013)。

⁴⁵ フォーサイトやテクノロジー・アセスメントは、市民も参加して評価を行うことで合意形成を図るガバナンス上の機能があり、「他の交渉対象の主体と他の行動主体の行動を誘導する政策上の技術を示す概念」であるメタガバナンス(Bevir 著 野田訳 2013)のための政策ツールである。専門家以外の様々な利害関係者を評価主体に、1980年代後半にデンマークで始まり、1990年代後半以降世界的に普及にしたのが「参加型テクノロジー・アセスメント」などが代表例である(藤垣, 2005)。この他、コンセンサス会議、シナリオワークショップ、市民陪審、討論型世論調査、など参加を伴う手法が開発され、問題の性質に応じて使い分けられている。



(注)

- 「見えない大学 (invisible college)」とは、トップ研究者は密接なネットワークを形成する(Crane, 1969)こと。
- 「サイエンスリンケージ (science linkage)」とは、特許における科学技術論文の引用の程度のことをいう(Narin, Hamilton, & Olivastro, 1997)が、転じて経済に与える科学技術の影響を議論する際にも用いられる。
- 「資源配分上の意思決定」には、ピアレビュー等を用いた研究開発プロジェクトの提案 (proposal) の評価とともにその遂行の根拠となる予算配分 (appropriation⁴⁶) が含まれる。
- 「科学技術の制度的評価」とは、ここでは技術評価⁴⁷以外の他の行政分野と共通の法定制度に基づき行政上行われる評価関連行為をいうものとし、会計検査・監査及び業績測定・行政評価などを含む。

図 5 社会における科学技術の評価

⁴⁶ 日本の評価の議論では狭く捉えられ除外されがち(佐々木, 2010)であるが、評価結論 (evaluation conclusion) には、等級付け (grading), 順位付け (ranking), 点数付け (scoring), 予算配分 (appropriation) がある(Scriven, 1991)。これらは、評価対象の事象と価値判断を伴う評価との間で対応付けを図ることで結果として情報を圧縮して示す手段になる。なお、情報を圧縮し表現する手段には、一次元に並べる順位付け、二次元に表現するマッピング (mapping), さらに次元を問わず関連するものを提示する情報推薦 (recommendation) があるが、表現する次元を落とすと抜け落ちる情報も多くなる一方、表現される情報の次元が上がると解釈が難しくなる。

⁴⁷ 日本の場合、内閣府の定める「国の研究開発評価に関する大綱的指針」に基づき各省が技術評価指針を定めている。

3.1.3 科学技術政策とデータ

科学技術政策の評価⁴⁸は、異なる評価目的のもと、多種多様な評価方法を用いて政策過程の各局面で個別断行的に行われることが特徴である(Scriven & Coryn, 2008)とされる。

科学技術の評価に用いるデータは、社会調査を実施してのデータ収集、法に基づく公的統計整備⁴⁹、政策分析とは別目的で構築されたデータベース等に自生的に蓄積されたデータを処理することで得られる。例えば、科学技術への投資など科学振興が充実しているかの事業レベルの評価には、インプットである資源動員の予算・財政から評価が行われ、公的研究開発投資、GDPに占める研究開発費割合、大学等研究機関への補助金等、科学技術研究への企業等からの民間資金、育成された人材(博士号取得者数等)といった事項が議論の関心事項になる。この場合のデータ源は、各国で整備されている公的統計や行政実務で蓄積されたデータが中核になる。

これに対して、科学技術の活動である研究開発のアウトプットを分析⁵⁰し、施策レベルのプログラムや研究者個人の単位で成果を評価する場合には、論文データ、特許データ等のデータが国別・機関別・研究者別の単位で集計され評価に用いられる。これらは、本来は科学技術の政策レベルの評価用データとして整備されたわけではない。自生的に蓄積されたデータを転用し、目的に合わせた粒度に処理して利用される。

また、科学技術が社会・経済にもたらす最終アウトカムである政策レベルの成果に関しては、経済データなどの公的統計を中心に、先に示した論文・特許等の自生的データやその他調査を連結することで、因果関係を論証し科学的なエビデンスを得るための調査研究が行われる。具体には、経済成長、社会的厚生水準に関しては公衆衛生や社会開発などの社会・経済データ、その他の社会データが組み合わせてモデル化され、因果関係の論証と理論形成が行われる。

ただし、これらデータやエビデンスを政策にまとめ上げる過程では、政策上の情報要求⁵¹は流動的である。つまり、必要な情報要求が明確なわけでも必要なデータがあらかじめ備わっているわけでもないので、漠然とした情報要求に臨機応変に対処することが実務上の課題である。

⁴⁸ 「評価」の概念の異同については、『文部科学省における研究及び開発に関する評価指針 平成14年6月20日(最終改定 平成26年5月19日)』【参考1:「評価」に関する英語の語句に対応する概念】を参照のこと。

⁴⁹ 科学技術政策に必要な基礎データとなる公的統計整備には、全世界の80ヶ国以上で行われているイノベーション調査がある。日本では、科学技術振興に必要な基礎資料となる結果を提供するために、統計法に基づく基幹統計調査「科学技術研究調査(基幹統計である科学技術研究統計を作成するための調査)」が、実施されている。昭和35年以降、企業、非営利団体・公的機関及び大学等を調査単位として、研究費、研究関係従業者などについて、毎年調査が行われている。また、日本では、全国イノベーション調査が2年に一度科学技術・学術政策研究所によって行われている。科学技術とイノベーションに関する統計整備は、国際比較が可能なよう基本概念の定義、データ収集の指針、及び分類定義を定めるマニュアルが整備・改訂されてきた。OECD(経済協力開発機構)/CSTP(科学技術政策委員会)/NESTI(科学技術指標各国専門家作業部会)では、各国専門家等が参画して、国際比較を可能とするための研究開発・測定指針として『フラスカティ・マニュアル』、イノベーション測定の指針として『オスロ・マニュアル』がまとめられ、客観的根拠に基づく政策策定

(evidence-based policy making)の基礎となっている。2015年版(初版は1962年)のフラスカティ・マニュアル(Organisation for Economic Co-operation & Development, 2015)によると、科学技術における研究開発とは、「研究及び試験的開発(以下「研究開発(R&D)」という)は、知識・人類、文化、及び社会についての知識を含むの蓄積を増大するために、並びに利用可能な知識の新たな応用を考案するために行われる、創造的で体系的な作業から成る」と定義される(伊地知, 2016a)(伊地知, 2016b)。

⁵⁰ 研究活動の分析は、「研究の研究(research on reserach)」と表現される。

⁵¹ 図書館情報学で情報要求とは、直面する問題の解決のために必要な情報を入手したい欲求のことをいう。(1)存在はするが情報要求として意識されるまでにはなっていないもの(情報ニーズ)、(2)情報要求として意識されているもの、(3)具体的に記号化できるもの(検索質問)、(4)検索式の形態のもの、の四つのレベルがある(Ingwersen & Järvelin, 2005)。

3.1.4 科学技術政策における根拠に基づく政策

科学技術政策の議論では、国別の論文数などのベンチマーク指標に基づき政策議論がなされることが多い。しかし、理論枠組みがなくデータ構造が古く現実のダイナミックな変化に対応しないアドホックに集めたデータを基に、一方的な立場から科学技術振興の主義主張を行う従来の政策議論のあり方には批判があった。

米国では大統領の科学顧問だった故マーバーガー氏が、素朴な資源投入の増大を求める経験ベースの科学技術政策への反省から根拠に基づく「科学化」を求め、「科学政策のための科学 (Science for Science Policy)」を提唱し(Marburger, 2005)(Marburger Iii, Iii—deceased, & Marburger Iii, 2011), 米国では科学技術政策においても医療(正木 & 津谷, 2006)や教育(田辺, 2006)のように根拠に基づく政策 (evidence based policy) を行う「科学政策の科学化 (Science for Science Policy)」の取り組みが開始された。

2007年からは全米科学財団(National Science Foundation: NSF)が学際的な SciSIP (Science of Science and Innovation Policy) 研究助成プログラムを開始し、科学技術政策関連の情報の可視化と自由な分析が可能になるリンクされたデータの整備、さらに経済学の理論枠組みを用いた施策効果の検証を中心⁵²に研究が進んだ。しかし、米国における研究助成プログラム SCiSIP に関する関係者アンケート結果では、研究者と政策実務者との成果の認識に違いがみられる。政策実務者は、当該事業で整備されたエビデンスが実際の政策に活用されているとは言い難いとする意見が多く、政策実務者の関与⁵³自体が減っている(CRDS 2015)。

一方、データ整備では、政府研究開発投資のデータを蓄積し、情報を可視化し政治家や有権者への説明責任を果たすことを目指す STARMERICS 事業、研究開発データと公的統計を接合するデータ整備の活動の UMETRICS⁵⁴が行われた。米国の科学研究の投資効果測定を目指して開始された米国政府の STAR METRICS 事業 (“Science and Technology for America’s Reinvestment: Measuring the Effect of Research on Innovation, Competitiveness and Science”) は、連邦政府による科学への投資が雇用、知識創造、保健などにどのような影響・効果 (インパクト) を及ぼしたかを測定するデータ基盤および分析ツール等の整備・構築を図る事業であった。ただ、STAR METRICS 事業では、データ収集・規格化の困難などから、科学投資の社会的なインパクト測定手法を幅広く開発する当初の社会科学の研究を推進する目標から、オープンガバメントなどオバマ政権の基本政策の方向性に即した形で、ファンディングデータを蓄積しオープン化するデータ駆動型の政策の一部に包摂されるものに変遷した。この結果、軍事関係を除く政府研究開発投資の過半を占める程度の予算や成果情報など、必要な政策情報を提供するデータ基盤整備とその情報の可視化に特化した評価システムの整備に事業内容を転換した。(白川, 2013)。

⁵² 採択課題数を分析した結果、経済学の計量経済モデルを用いた研究が多く採択されている(CRDS 2015)。

⁵³ 政策実務の側でも政策過程における評価の関心も、公的研究開発の過去遡求的に効果を論証することよりも、むしろ公的資金配分の合理化と正当化が主な関心事である。この問題は、研究者と実務者の業績評価メカニズムの差異に基づく意識の違いに由来するが、行政官は近視眼的な政策サイクルから自らを客観視することと、研究者は政策の階層性に対する理解といった両者の歩み寄りが必要だとされる(赤池, 2013)。

⁵⁴ 研究用データ蓄積と大学機関の意思決定の支援を行う IR (Intisutinal Research) 用途でのデータ基盤整備は、連邦政府の STAR METRICS からは分離され、CIC 大学連合 (Committee of Institutional Cooperation) を中心とした 2015 年 1 月 ミシガン大学に科学イノベーション研究所 (Institute for Research on Innovation and Science) を中心に、UMETRICS と呼ばれる「コミュニティ起点の取り組み」となり、統計センサスデータとのリンクデータ (linked-data) の整備を図っている(Lane 他 2015)。

【参考】科学技術の評価の矛盾：「アスファルト・パラドックス」

エビデンスベースの政策に向けたデータ整備や研究は重要であるが、現実の政策で「科学的なエビデンス」やデータがあれば、「客観的」で「科学的」な政策が可能になると考えるのは早計である。公共政策の評価論では、こうした公共政策の評価の抱える問題点が凝縮された「アスファルト・パラドックス (asphalt paradox)」が知られている(Epstein, 1982)⁵⁵。

アスファルト・パラドックスとは、市民の優先度の高い公共サービスの提供と財政再建といった複数の政策目標のもとで、現場改善により行政サービス提供の効率性を高める新技術が開発された時に、財政支出がかえって増加するとした数値例である。公共政策の評価の抱えるジレンマ的状况が端的に表現されている。科学技術の特質の効果発現までの時間を捨象し、科学技術の便益を定量的に評価しようとする、1主体1財の公共経済を仮定したモデルの場合で技術進化に伴う公共政策上のジレンマ的状况が生じる状況を簡単な数値例で示したものである。単一の組織と公共サービスの提供という単純なモデルで財政再建（費用最小化）と効率的な公共財の生産が両立しないマイクロ経済学的な直観に反する事態を説明している。

表4には、アスファルト・パラドックスの具体的な数値例を示すが、どのような政策的立場（財政再建や市民満足度の極大化）によるかによって、効率的な公共財生産に対する「エビデンス」の捉え方が正反対になってしまう⁵⁶。さらに、この数値例では、部分合理的な意思決定と政治的な正統性との関係では、財政制約とは無関係に特定の公共サービス供給が膨張しロッキングされる民主主義の抱えるジレンマ的状况も表現されている。

科学技術を積極的に振興する場合には、関係者で合意のもとで収斂させて政策目標を設定する社会契約を担保する合意形成を経るダイナミックな調整を行うことが公共選択論の理論的研究の結果からも不可避であった（第2章）。

こうしたガバナンス上のジレンマを解消⁵⁷するには、利害関係者の間で具体的な目標を再度合意するプロセスによる調整⁵⁸が解決策となりうる。この事例では、どこまで道路が必要なのか利害関係者で状況を可視化して調整することが考えられるが、この調整過程に必要な政策ツールが評価であり、さらに今後の方向性を調整するための情報を得ることが政策評価である。

⁵⁵ 米国住宅都市開発省 Department of Housing and Urban Development, HUD), ニューヨーク市役所を経て、業績測定の公共経営コンサルタントに転じ、1990年代の米国における業績測定の法制化過程に大きく影響を与えた Paul D. Epstein 氏によって示された数値例である。

⁵⁶ 科学技術の評価における成果便益分析の成果の帰属に占有可能性と算定される便益が計算上のもので金銭上実現利益ではないという便益の反実仮定性とも関係する。科学技術の評価に特有の誤謬として「プロジェクトの誤謬」(Georghiou & Larédo, 2006)と呼ばれる個別の成果の帰属を過剰に幅広く見積るバイアスがある。プロジェクト評価の恣意性と客観性への疑念として評価者に対して向けられるこの問題は、評価実施のタイミング・制度の問題に起因するものである。また、科学技術社会論におけるフレーミング問題にも関係し、客観的なエビデンスが共有されたとしても、問題は解消しない。

⁵⁷ こうした調整の次元を、動的な次元で利害関係者の参加を拡大し、新機軸を実験するガバナンスレベルで改善を図ることは、ダイナミック・アカウンタビリティ (dynamic accountability) と呼ばれる。懲罰ベースの事後統制、信頼ベースの事前統制の2つのモデルを止揚し積極的自己統制を図る考え方で、ニューパブリックマネジメント論で想定する本人代理人関係が、もはや急速に変化する状況のなかではもはや機能可能性が低く、熟議プロセスによって実験的構造を持たせることで、こうした業績による事後統制を何とか機能させるために「多様性から学ぶ機構」として提案された概念である(Sable, 2008)。ダイナミック・アカウンタビリティでは、調整次元を、ネットワーク(network)と再帰性(recursivity), 熟議(deliberation), イノベーション(innovation), 包摂(inclusion), 広報公聴(publicity)へ対応した「実験主義者の構造(experimentalist architecture)」を持つ。その基本の考え方は、事前にあらかじめ起きうる問題に対して事前に予測し積極的に対処する「先制的自己批判」を行う積極的自己統制にある。先制的自己批判とは、考えられる批判や問題点を意識的に事前に想定を行い、それぞれの立場や利害得失をもとに、メタ的な認知を促すことであるとされる。先制的自己批判では、対話を促し、特定の立場では見逃しがちな認知バイアスを緩和することが目的となる。

⁵⁸ アカウンタビリティを調整するための技術的手段には、情報技術の利用、評価基準の多元化、相互交渉の促進、枠組み規制、ステークホルダーのプロセスの参加の5つがある(Klijn and Koppenjan, 2014)。

表 4 数値例：X市役所における公共サービス供給（1主体・1公共財の生産モデル）

<p>(ア) 仮定・前提：X市役所における道路舗装事業（公共サービス）</p> <p>① X市役所では、高速道路の舗装という単一の公共財・サービスを、直営で供給している。最低限の人員体制になっており、公務員のレイオフや解雇はできない状況⁵⁹である。</p> <p>② この市役所では、技術者、財政担当、市長と3階層で、技術面、財政面、政治面での意思決定がなされる組織運営⁶⁰がされている。</p> <p>③ 財政再建が市の組織としての喫緊の課題になっている。全庁で現場改善に取り組むことになった。しかし、道路の舗装は、市民の最優先の関心事であり、政治的に最重要事項とされ、その充実は市長公約になっている⁶¹。</p> <p>④ 道路の舗装には、公務員の人件費と材料費のアスファルトの2つの要素の費用⁶²がかかる。人件費に関しては、施工時に支出され、アスファルト代は後払いで請求され、財政年度の末にわかる。</p> <p>(イ) 技術開発による生産性改善の経緯</p> <p>道路の舗装事業実施は、1マイル・車線当たりの単価は、労務費10,000ドル、材料費7,500ドルで、75マイルの舗装を行っていた。</p> <p>そこに土木技術者は、作業方法の改善の技術開発の成果により、単位費用の労務費を1マイル・車線当たり7,500ドル、材料費は一定の材料費7,500ドルになった。すなわち、33.33%ポイントの労働生産性の効率化を果たす技術を開発できたことになる。</p> <p>この技術開発の成果を、技術者は、1マイル・車線当たりの改善効果として単位費用の削減額2,500ドルをかけて、225,000ドルの便益があるとし、改善案を財政課長に予算要求し了承され、市長の決裁を得て、新技術による改善提案が実施されることになった。</p> <p>(ウ) 結果：財政悪化と市民満足の向上と生産性・効率性の向上</p> <p>財政課対技術者</p> <p>こうした中、年度末を迎えた。財政再建至上主義の財政課長にアスファルトの材料費の請求書が集計されて、技術者に対して裏切られたとの怒りの感情を覚えた。というのも、次のような結果になったからである。ちなみに、改善前は次のような総費用であった。</p> <p>【改善前】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○労務費：10,000ドル（マイル当たり）×75マイル（実績）＝750,000ドル ○材料費（アスファルト）：7,500ドル（マイル当たり）×75マイル＝562,000ドル ○総費用：1,312,500ドル <p>【改善後】</p> <p>しかし、「改善」実施後の総費用は下記のようになり、財政支出は結果として187,500ドル（＝1,500,000－1,312,500）増加してしまった。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○労務費：7,500ドル（マイル当たり）×100マイル（実績）＝750,000ドル ○材料費（アスファルト）：7,500ドル（マイル当たり）×100マイル＝750,000ドル ○総費用：1,500,000ドル <p>政策効果（市長公約・住民満足度）</p> <p>一方、市長は、事業の執行量が、75マイルから100マイルに増加し、市民への公約を果たすことができているので満足している。</p> <p>生産性・効率性の改善効果</p> <p>ここでは、技術者から技術の便益として示された250,000ドルの意味は何だったのかということになった。これは、支払回避費用という概念上の便益であり、財政上の便益には直接対応しない。したがって、財政支出の増加額187,500ドルは、財政上にはマイナスで、歳出削減という財政課にとっての「便益」にはならなかった。このため、財政の支出削減という政策目的に照らすと、14.28%ポイント予算額が増加してしまい財政政策の目標には反する結果になった。</p> <p>一方、市民の便益は75マイルから100マイルと33.33%ポイント増加している。</p>
--

⁵⁹ 経済学の表現では、1人、1財のロビンソンクルーソー型の公共財の生産を行う生産経済において、労働量が一定でレオンティエフ型生産技術を仮定した時に技術変化が起きた場合である。

⁶⁰ 最適化問題でいうと、多目的最適化を図る場合である。一方、組織の意思決定では、多段階の独立した意思決定を行う仮定をしている。

⁶¹ 行政改革自体に関して市民の支持を得ている場合には、徹底した情報開示により改革が進む場合が考えられる。例えば、(上山信一 & 紀田, 2015)。

⁶² 費用関数は、固定人件費と事業量に応じ変動費の材料費（アスファルト）の和で計算される。

3.2 科学技術の評価手法

科学技術の評価手法には、特定の概念規定があるわけではなく様々な類型や手法があり、科学技術に関する研究手法及びその関連行為が幅広く「研究評価」と総称されている(Martin 他, 2012)。

1990年代前半に刊行された研究評価のハンドブック(Bozeman & Melkers, 1993)では、研究開発投資収益率の評価、事例分析、計量書誌学、共語分析、ピアレビュー、特許分析、オペレーション・リサーチなどが列挙され、研究開発のインパクト評価への適用可能性が解説されていた。また、ジョージア工科大学の(R. Kostoff, 1997)(R. N. Kostoff, 1995)⁶³は、公的な研究開発プロジェクトの評価について定性的手法と定量的手法さらに過去遡及的手法に分類している。ここでは、2,000件以上の文献を引用しながら、定性的方法論としてのピアレビュー、過去遡及的な方法論として、追跡事例調査を挙げ、1960年代米国国防総省(Department of Defense : DOD)の研究開発プロジェクトのマネジメントを追跡評価するProject Hindsightや米国科学財団(NSF)の科学技術イノベーションの普及のきっかけとなった主要な出来事や活動を追跡評価するTRACEプロジェクト、米国国防総省研究開発計画局(Defense Advanced Research Projects Agency : DARPA)達成調査(DARPA Accomplishments Study)といった大規模プロジェクトの追跡評価を紹介⁶⁴し、さらに定量的な方法論として、計量書誌学、特許分析を挙げている。

研究評価の方法論の開発で圧倒的に先行してきた(Kostoff, 1997)米国では、経済学などの専門分野で確立された分析方法を、研究評価に転用する方向で議論される一方、欧州では、前提となる評価枠組み(フレームワーク)や定性的な調査手法も含め、研究評価の方法論を広範に捉える⁶⁵。

英国のマンチェスター大学のGeorghiou⁶⁶らは、科学技術における評価の方法論の類型を、評価の概念フレームワークを提供する方法論、データ収集法、データ分析法に類型化している(Georghiou & Laredo 2006)。評価の概念枠組み(フレームワーク)は、時系列の事前事後比較、対象群を設定し有意性の検定により因果関係を推定し評価を行うコントロール・グループ・アプローチ、研究開発を実施しなかった場合と現実を比較する反実仮想分析、ロジックモデルを挙げている。データ収集法は、情報保持者へのインタビュー、アンケート調査、エスノグラフィ、公的統計整備を挙げる。データ分析法には、ケーススタディ、経済モデル、消費者余剰分析、科学技術指標、費用便益分析を挙げている(Georghiou & Roessner, 2000)。

欧州委員会の政策研究機関JRC(Joint research Centre)のInstitute for Prospective Technological Studiesが包括的なレビューを行った報告書RTD Evaluation Toolbox - Assessing the Socio-Economic Impact of RTD-Policies - (Gustavo, Wolfgang, Jaime, Alexander, & Klaus, 2002)では、9の方法論を比較し、各方法論から得られる情報の内容と限界を明らかにしている。ここでの手法類型は、定量的手法として、アンケートによるイノベーション調査、対照群を設定するコントロール・グループ・アプローチ、計量モデルに基づく経済学的手法の応用(ミクロ、マクロ、成長会計)、科学技術の内容の側面に踏み込んで分析が可

⁶³ 米国海軍研究所で長く研究開発マネジメントを行い、科学技術政策への技術ロードマップ導入(R. N. Kostoff & Schaller, 2001)など経営学の技術経営論の研究で知られる。

⁶⁴ エネルギー政策を含めた科学技術の包括的な評価手法のレビューについては(木村, 2006)を参照のこと。

⁶⁵ これに対して日本の研究開発の評価では、得られるデータでどのような手法でどこまで評価を行うかという評価可能な範囲を見極める議論よりも、ランダム化比較試験に基づくプログラム評価が行われていないことを問題とする議論や、研究開発が単一プロジェクトの集積で施策体系化されていないことから、研究開発の連携を政策体系のなかで追求する「プログラム化」が長年の課題とされ議論が続いている段階である。

⁶⁶ 科学技術イノベーション政策研究や予測活動に関して欧州で中心の研究者で、OECDにおける科学技術政策担当部局における勤務経験などもある。

能な定量的分析手法として費用便益分析，定性的分析手法として，専門家パネル・ピアレビュー，ケーススタディ，予測・テクノロジー・アセスメント，これらの中間にある半定量的手法として社会ネットワーク分析，ベンチマーキングを挙げ，利害得失⁶⁷を明らかにしている。

米国のシンクタンク RAND⁶⁸が欧州に設置した拠点のレポート”*Performance Audit Handbook*”(Tom & Lidia, 2009)では，評価手法を幅広く捉える。例えば，ロジックモデルから派生した社会的インパクトの評価枠組みであるペイバックフレームワークや，離散選択モデル，社会ネットワーク分析，市場調査に用いられるフォーカスグループインタビュー，繰り返しアンケートにより意見を収れんさせるデルファイ法によるアンケート調査や未来学研究（フォーサイト），さらに質的研究を行うグラウンデッド・セオリー・アプローチ（Grounded Theory Approach : GTA），プロセスマッピングやインパクト調査法，オンライン調査といった方法が列挙されている。

米国においても，「科学政策のための科学」に関する連邦研究ロードマップ(National science and Technology Council, 2008)でも，上記で紹介した方法論で得られるエビデンスの定量性や強さによって，利害得失が分析されている。

一方，2010年以降の研究評価の議論で見られる特徴には，2つの新たな傾向がみられる。第一には，研究評価の枠組みの研究が進展した結果，データ中心の研究評価方法論が独立した類型としてみなされることが顕著になったことである。第二には，研究評価の方法論を列挙して議論するだけでなく，科学技術政策の評価で欠けている開発が必要な手法が議論されるようになったことである。

米国を中心に実務的な公的研究開発プログラムの評価の先駆者が編纂したハンドブック(Link & Vonortas 2012)では，研究評価をデータ中心の方法論と，経済性を評価する方法論と非経済的側面を評価する方法論の3類型に分け，複数の手法を交えるハイブリッドの評価方法論に分類し，公的研究開発プログラムの評価の実務と理論を紹介している。

データ中心の方法論では，論文を対象とした計量書誌分析(D Hicks & Melkers, 2012)と特許分析(Ruegg, Thomas, Ruegg, & Thomas, 2013)と科学技術・イノベーション関連の公的統計整備を挙げている。

経済面の評価では，経済学の範疇の計量経済分析，費用便益分析に加え，経営学や技術経営論に属するポートフォリオ評価を挙げている。ポートフォリオ評価とは，どのような資源配分を行うかを見極める評価であり，個別研究開発プロジェクトの投資判断の手法として，ピアレビューによる評点法，ボストン・コンサルティンググループのプロダクト・ポートフォリオ・マネジメントのための成長率・市場占有率マトリックス，階層化分析法，技術フロンティアを分析する包絡線分析，事業の現在割引価値や内部収益率といった金融理論に基づく個別研究開発プロジェクトの評価，価値創造理論に基づくステージゲート法などを研究開発プロジェクトの評価手法として紹介している(Linton, Walsh, Kirchhoff, Morabito, & Merges, 2000)。

一方，非経済的側面の評価では，ロジックモデル(Jordan, 2013)やピアレビュー(Feller, 2013)と公共政策の評価論の範疇にはないマッピングによる公的研究開発投資の多面的なインパクト

⁶⁷ 日本においても，平澤(2004)は，科学技術政策の評価方法論について構造化して理解しようと試みている。データを収集するデータ収集法，経済学や社会学，もしくは環境などの専門分野別の分析法，評点付けなどの評価行為で行う操作をまとめて評価判断を行う評価法の3段階に分け，それぞれの詳細を分析している(財団法人政策科学研究所, 2006)。

⁶⁸ 米空軍によって第2次大戦後設立された戦略シンクタンクであり，かつてはゲーム理論の合理的選択論の研究の中心であり現在でも安全保障を含めた政策立案に大きな影響力を持つ。米国のRANDは，連邦政府が資金を提供し，研究・運営は大学や民間非営利機関に託されて実施されている連邦政府資金提供研究開発センター(Federally Funded Research and Development Center-FFRDC)のRAND Arroyo Center, RAND National Defense Research Institute (NDRI), と RAND Project AIR FORCE (PAF)を運営している。

の把握・評価を行う手法⁶⁹を紹介している。マッピングでは、市場に顕在化していない科学技術の社会的効果を評価するために、定性的なケース分析を集め、これに評価基準とロジックモデルを設定することで分類し、定性的な研究を数多く集めパターン化した結果を集計した結果をもとに定量的な分析を行う評価手法であるアリゾナ州立大学の Bozeman らの R&D Value Mapping(Bozeman & Kingsley, 2013)(Bozeman & Melkers, 1993)⁷⁰が紹介されている。

さらに、混合的手法では、社会ネットワーク分析、費用便益分析に環境・健康に関する支払い回避費用など社会的費用を便益に算入する手法である共通費用便益分析 (Co-Benefits Risk Assessment : COBRA) を挙げている(O'Connor 他 2013)。さらに、地域も含めた多面的な経済効果を分析手法としてケーススタディによる追跡評価が紹介されている(Gray, 2008)。

こうした手法があるなかで、政策的に必要であるにも関わらず未開発の評価手法は、公的な科学技術の研究開発投資構成の是非を判断するメタプロジェクト評価を行うポートフォリオ評価手法である(Linton 他, 2000)。既存の研究評価におけるポートフォリオ評価とは、企業で用いられる分散投資のポートフォリオ評価を公的研究開発に援用することや、公的機関において個別プロジェクトの審査のために優劣を付け助成 (ファンディング) を行う研究提案 (プロポーザル) を選抜する評価手法が提案されている。しかし、いずれも政策やプログラムレベルの評価手法ではなくプロジェクト単位の評価手法である。

このため、研究開発を行う方向性を議論する政策レベルのポートフォリオに関するメタ評価⁷¹手法の確立は、科学技術政策の政策評価における研究開発課題になっている。

⁶⁹ 科学技術研究の評価と社会インパクトの評価枠組みのレビューについては、カナダ保健研究機構 (CIHR) のレポート Making an Impact: A Preferred Framework and Indicators to Measure Returns on Investment in Health Research (2009) の別冊を参照のこと。社会インパクト測定の評価枠組みとして、CIHR で採用したベイバックフレームワークをはじめ、ウォルト・アンド・ギブソン分析モデル、研究インパクトフレームワーク、研究活用ラダー、レービス意思決定インパクトモデル、ロジックモデル、健康技術アセスメントによる組織評価フレームワーク、社会インパクトフレームワーク、米国企業の研究開発投資の管理で用いられるバランス・スコアカードを比較分析している。

⁷⁰ Bozeman らは、政策のための科学においても他に類例のない「政策のための科学」に関する SciSiP 研究を発展させている。科学技術研究の価値を経済的インパクトに限らず幅広い社会的なインパクトを測定する公益 (Public-Value) に焦点を当てて、公共の失敗と市場の失敗の双方がありうることを評価する Public Value Mapping と呼ぶ評価枠組み・手法を構築している(Bozeman & Sarewitz, 2011)。

⁷¹ メタ評価とは、「評価の評価」であり、その役割は、評価情報を生み出す過程や評価情報の質が適切であるかを点検することである。メタ評価とは、(1) 評価の質的管理 (評価デザイン批評) (Evaluation quality control (Evaluation design critique)), (2) 評価結果の統合 (Evaluation Synthesis), (3) 独立的立場からの評価結果の再検証 (Independent confirmation of evaluative conclusion) の3つの意味で用いられている(佐々木 2011)。ここでは評価の形成的側面に着目し、メタ分析に類似した概念で複数の評価結果をレビューし、実施の良否などを総合して評価結論を下す、複数の評価結果の総合分析である評価結果の統合の意味で用いる。

3.3 計量書誌学と科学技術の評価

3.3.1 計量書誌学の科学技術政策の評価への利用

科学技術の評価手法で普及している評価手法は、定性評価では専門家同士で評価を行うピアレビュー、定量評価では論文等を分析する計量書誌学である(Coryn & Scriven, 2008)。計量書誌学の分析手法は、研究者個人の評価や図書館情報学の文献の管理や分析のために確立された引用分析などの分析法が、科学技術の研究評価で活用されるようになったものである。

計量書誌学を科学研究の評価に用いることを初めて唱えた論文は、英国のサセックス大学 SPRU (Science Policy Reserch Unit) ⁷²の(Martin & Irvine, 1983)である。彼らは、欧州に科学研究の予算制約の強まりの中で、資源配分の優先付けを学術的な生産性を根拠に行うために、出版論文数や引用回数を評価指標とみなして、実際の複数の基礎研究の分野で研究拠点間での学術的生产性の比較評価に用いてみせた。ただ、論文引用には先行研究を尊重する意味での肯定的な引用と新規性を主張するための否定的な引用があることなどから、単純に被引用数の多寡で研究の質を推量できるのか(Goldfinch & Yamamoto, 2012)といった論争を喚起した(藤垣, 2004)。政府機関における公的研究開発の評価への計量書誌学の利用は、米国の科学技術のテクノロジー・アセスメントを専門に行う機関として米議会に設置された専門機関である米国議会技術評価局 (Office of Technology Assessment : OTA) が 1986 年に採用したのが計量書誌学の政策上の利用の端緒とされる(Diana Hicks & Melkers, 2013)。

計量書誌学の研究評価のデータ基盤は、ユージン・ガーフィールドが構想(GARFIELD, 1955)した Institute for Scientific Information (ISI)により 1961 年に作成された科学論文の引用関係を採録したデータベース Science Citation Index のデータ整備に遡る。商業的には、ISI がトムソン・ロイター社⁷³に買収され、引用データベースの Web-of-Science が商用データベースとして拡張され、さらにエルゼビア社も引用文献データベースである Scopus のサービスを開始し、データとシステムが充実し、一般的に利用可能な研究評価手法として普及⁷⁴した。

近年では、大学や研究機関の意思決定を支援する情報分析活動を意味する IR (Insitutional research) における研究戦略の立案のための商用データベースの分析ツールが提供され、研究者以外の研究管理者や事務職員等の研究支援者などが日常的に利用できる評価ツール⁷⁵となった。一方、科学技術の多様な側面の価値を把握する観点からは、ツールや指標の利用で操作概念や測定している内容を越えた数字の一人歩きと誤用を防ぐことが課題とされている。

分子生物学の研究者がインパクトファクターの高い学術雑誌への論文掲載を偏重して評価する風潮に対して公正な研究の発展を目指すことを主張した宣言(「The San Francisco Declaration on Research Assessment」, 2013)や、英国の研究助成機関からも過度の単純化した定量評価の問題を指摘したレポート「評価の洪水」(Higher Education Funding Council for England, 2015)、さらには、計量書誌学の研究者からも研究評価への過度の計量書誌指標の用い方に懸念を表明する「ライデン声明」(Diana Hicks, Wouters, Waltman, de Rijcke, & Rafols, 2015)(小野寺 & 伊神, 2016)などが出されている。

⁷² 英国のサセックス大学の科学技術政策を専門とする研究機関として世界で初めて設置された組織である。

⁷³ トムソン・ロイター (TSX/NYSE: TRI) は、2016年7月11日に知的財産・サイエンス事業をオネックス・コーポレーション (以下、「オネックス」) とベアリング・プライベート・エクイティ・アジア (以下、「ベアリング・アジア」) 傘下のプライベート・エクイティ・ファンドに売却された。

⁷⁴ 無論、計算資源のコモディティ化の影響も大きい。当初の Science Citation Index は、計算機のデータベースではなく紙のカードを用いて作成されていた。

⁷⁵ データベースサービスには、元トムソン・ロイター社の Incites、エルゼビア社の SciVal などがある。

3.3.2 計量書誌学と科学計量学

計量書誌学とは、論文引用関係など自生的な関係のネットワークとインパクトの連鎖の関係について研究されてきた情報学のうち図書館情報学に属する研究領域である。古くからネットワーク(Borgatti & Halgin, 2011)や集中則に関する研究が行われてきた研究領域であり、論文中に使用される語の使用頻度にべき乗則が働くジップの法則、著者数と論文数に逆べき乗則が働くロトカの法則(1926)といった分布が古くから知られてきた。特許や論文などになどに関する書誌情報を扱う、図書館における蔵書・学術雑誌・情報管理のための図書館情報学の研究領域である(藤垣, 2004)。

計量書誌学とは、「書籍や他のコミュニケーション・メディアに、数学・統計を応用」する分析が、拡張・発展したものであるとされる(Pritchard 1969)。計量書誌学(bibliometrics)という語は、Pritchardによって1969年に編み出された造語であり、統計的書誌と呼ばれていたものに命名された研究領域の名称である。

一方、分析の方法論の多くは共通するが、科学技術の動態解明を図る目的に論文を査読し学術雑誌の編集を行う社会集団(ジャーナル共同体)を分析する場合には、「科学計量学(Scientometrics)」(藤垣 2004)と呼ばれる。

科学計量学とは、科学者の研究分野・領域の社会集団の社会集団を形成している共同体である「ジャーナル共同体(藤垣, 2003)」を分析対象とし、科学の動態変化を分析する研究領域とされ、分析手法も計量書誌学に比べて幅広い方法を柔軟な形で用いる。また、科学社会学から発展した科学技術社会論⁷⁶との関連で発展し、情報学の研究の側面が強まり、さらに独自の発展の方向を遂げ独立しつつある研究領域とされている(Martin, 2012)。

学術論文のメタデータを利用した科学計量学の可能性を提唱したのが、(D. J. de S. (Derek J. de S. Price, 1963)(Price 島尾訳 1970)である。

図書館情報学におけるテキスト分析などは、古くから研究が蓄積されてきたが、今日の計量書誌学の発展の基礎は、データ源からみると先述のユージン・ガーフィールドの科学論文の引用関係をデータベースにした Science Citation Index の整備された影響が大きい。このデータを用いて、ピアレビューで威信の高い研究成果と論文引用数との関連を実証し、計量書誌学で代表的な分析手法の引用分析の基礎が Narin 他 (1976)である⁷⁷。このうち、共に引用しあう論文をもとにクラスタリングを行い新興技術領域の特定の方法として用いる共引用分析を提唱したのが Small ら(Small & Sweeney, 1985) (Small, Sweeney, & Greenlee, 1985)である。

⁷⁶ 科学技術社会論 (Science and Technology Studies : STS) とは、科学技術とそれを取り巻く社会にかかわる問題に関する人文・社会科学的な研究の総称である。理論的な起源としては1960-70年代の科学史、科学哲学、科学社会学、実践的な起源では同年代の米英の高等教育における理工系教育の改善運動や環境運動など広範な社会運動影響を受けた。現在は、政治学、法学、経済学、社会学、文化人類学、倫理学、教育学など多方面の分野からなる学際的研究領域である(藤垣, 2005)。

⁷⁷ 世界では、現在先述の英国のサセックス大学以外にも、米国のジョージア工科大学、オランダのライデン大学など有力な計量書誌学の研究グループが存在している。現在の日本では、組織的研究を行う基盤を持つ国立情報学研究所や文部科学省科学技術・学術政策研究所などにおいて調査研究がなされている。ただし、日本の計量書誌学的分析を政策課題の分析に用いた研究の嚆矢は、広島大学の新堀通也らの教育社会学の研究グループである。研究者養成のインブリーディングを強烈に批判するエビデンスとして学術生産性や引用分析などの計量書誌学による分析を利用した(山野井, 2016)。

3.3.3 計量書誌学の方法論

1) 分析方法論の類型

科学計量学を含めた計量書誌学においては、共に引用し合う論文の引用関係を可視化することなどにより事実解明を図る研究成果が多く出されてきた。計量書誌学における分析方法には、論文間の引用関係のメタデータを用い直接引用の関係を分析する直接引用分析、共通の論文を引用する論文の関係を扱う共引用分析、同じ論文を引用している論文間の関係を分析する書誌結合、論文などに共通に出現する語の関係を分析する共語分析といったデータ処理の手法がある(Leydesdorff 他, 2001)。これらの分析結果を示す手法には、単純に論文数をカウントすること、論文引用数をカウントすること、また、2次元に重ね合わせマッピング・可視化するといったデータ処理・技術を組みあわせて分析が行われる(Hicks & Melkers, 2012)。個別の方法の中での相違は多々あるが、計量書誌学の主な分析方法は、次の5類型にまとめられる(Rotolo 他, 2015a)(Rotolo 他, 2015b)。

【分析方法論の類型】

- ① 指標・トレンド分析 (indicators and trend analysis) ,
- ② 直接引用, 共引用及び書誌結合を含めた引用分析 (citation analysis including direct citation and co-citation analysis, and bibliographic coupling) ,
- ③ 共語分析 (co-word analysis) ,
- ④ オーバーレイ・マッピング (overlay mapping) ,
- ⑤ 混合分析 (hybrid approaches that combine two or more of the above)

2) 分析方法論別の特徴と利害得失

以下に、計量書誌学における分析方法論の特徴とその利害得失について述べる(表 5)。

(3) 指標トレンド分析

指標トレンド分析とは、何らかの基準で処理したデータに基づき指標を作成し、指標の時系列変化などのトレンドの変化から起きている現象(例えば、技術動向の変化や新技術)を観察する分析方法である。データ処理で基本の方法には、データベースに付与された分類を用いてクロス集計を行う単純集計分析がある。指標トレンド分析は、情報要求に一致したデータベースが整備されていれば集計が容易である。

一方、課題はデータベースの分類を作成した索引作成者による恣意性である。すなわち、分類の作成が、活動している科学者自身により付与されたものではない(Healey et.al., 1986)ので、索引作成者が付与する索引には論文を執筆した研究者など当事者の意図とは異なるバイアス⁷⁸がある(藤垣 2004)。

⁷⁸ 実務的には、情報要求に則した分類が整備されているわけではないということである。また、用語が表面上一致している場合でも実際の意味が情報要求と異なる場合もある。Leydesdorff 他 (2001)によれば、「インデクサー(索引作成者)効果には3側面がある。すなわち、(1)ある索引ないで事前表示されたにデータベースのパッキングに、ある最初の(ほとんど直感的な)分類法が採用され、そしてそれゆえ、さらにそれ以上のクラスタリングは定義によって「クラスタリングのクラスタリング」となる。(2)活動している科学者自身ではない索引作成者の効果、加えて(3)集約されたドキュメント集合のレベルにおいて、ドキュメントの選択は付加的な効果を生み出す:類似した単語は現象論的に、異なる場合や異なる理論的見方によって異なる意味を持つ場合もあるし、そうでない場合もある(Leydesdorff 2001)。

(4) 引用分析

引用分析とは、論文間の引用・被引用関係に、学術的な影響度や重要性があるものと仮定し、引用関係で定義される論文間のネットワーク関係を研究領域とみなして分析する方法論である。既に記したように、引用分析は、計量書誌学の研究の中心の分析方法である。

引用分析における引用関係の捉え方にはバリエーションがある。被引用関係をカウントするなどして分析を行う直接引用分析、クラスタリングに同じ論文が被引用される論文間の関係を用いる共引用分析(Henry Small, 1973)⁷⁹、同じ論文の引用関係を用いる書誌結合(Kessler, 1963)⁸⁰がある。

引用分析の利点は、新興研究領域を探索する場合には、索引作成者効果のバイアスを受けることなく新領域を定義でき、新興研究領域の分析(Henry Small, 2010)が可能(例えば(Shibata, Kajikawa, Takeda, Sakata, & Matsushima, 2011))⁸¹なことである。引用分析は、前提知識を持つ分析者が、分析を探索的に行う場合は、強力な分析方法である。しかし、情報の伝達に関しては限界がある。研究評価の手法としての引用分析の利用は、「科学研究の地図(altas of science) (Braam, Moed, & van Raan, 1991)」としてマッピングによる可視化結果からの知識発見のための探索的分析と評価指標を導出する形で行われる(H.F. Moed, Burger, Frankfort, & Van Raan, 1985)(Noyons, Moed, & Luwel, 1999)(Henk F. Moed, 2006)。ただ、前者の情報を圧縮してスナップ・ショットで可視化⁸²を行う(Henry Small, 2010)際には、関係性から定義される情報と可視化して示される情報を説明なしに理解することが情報の受け手にとっては難しい⁸³。加えて、科学技術動向をいち早く分析するうえでは、引用という学術出版のコミュニケーション慣行に由来するデータの問題もある。論文引用がデータに現れるまでにはタイムラグがあり、最新動向が反映されていない(古川他, 2014)。また、引用には、自身の研究の価値を主張するために自己引用や他の論文を否定的な意味でなされることがあり、引用を先行研究への謝辞と捉え引用された論文の研究に価値を置く前提にも疑義が出されている。さらに、論文の種類によっても、引用数が異なる⁸⁴。

引用分析は、専門領域のなかでの研究の動態解明に関してミクロからメゾレベルでの情報を得るには有力な計量書誌学の分析方法である。ただし、科学技術政策での利用には、情報の可視化は可能な一方、結果の解釈を受け手に理解できるように伝えることが課題⁸⁵となる。

⁷⁹ ある論文①が、3本の他の論文②、③、④を引用しているとき、②、③、④は共引用の関係にある。

⁸⁰ 複数の論文①、②が1本の共通の論文③を引用しているとき、①、②の関係が書誌結合の関係にある。

⁸¹ 引用分析の結果は、同じ領域内の比較であれば指標として信頼してよい。

⁸² 日本では、科学技術・学術政策研究所のサイエンスマップや東京大学の学術俯瞰システムが代表的である。

⁸³ 引用分析の分析結果はブラックボックスとなり、その結果を分析者の分析結果の解釈について説明を受け理解するという一方的な情報の伝達になる。このため、政策的なエビデンスとして用いる場合、定量的でありながらも分析の妥当性は定量的なデータの分析者の主観と解釈に依存する。

⁸⁴ 例えば、レビュー論文と原著論文を比べた場合、レビュー論文が多く引用される傾向が知られている。また、化学などでは、特定の実験の手順等や測定方法が記載された論文は、多く引用される傾向があることも知られ、必ずしも研究価値や新規性とは対応しない。加えて、医学やライフサイエンスのように多くの論文を引用する研究分野もあれば、工学のように引用する習慣が少ない場合もあり、さらに論文を執筆・引用する習慣が少ない数学のような研究分野もある。

⁸⁵ 例えば、高被引用論文数が日本の科学技術政策の議論で用いられているが、ここでは既存の分野分類を集計して用いていることから結局データベースが設定した分類や分野間の枠を超えていない。

(5) 共語分析

共語分析とは、論文内のテキストを単語の並びとテキストの単語の頻度等関係から分析を行う手法である。共語分析は、コンピュータの発達以前からの歴史があり、現在ではテキストマイニングなど情報技術の発展により機械処理が容易になっている。

一方、テキストの文脈に依存するため、キーワード等は同じでも、文書間の概念の結び付きは、明示されていない。このため、同一ワード単位の分析結果が安定する保障はなく、認識されていない潜在的な知識も分析のなかに含まれるが、収集したデータが分析対象にとって妥当かという意味では網羅性は担保されない(古川他 2014)。

科学技術政策の動向分析では、得られる情報に比べて扱うデータ量が大きくなるので、大規模なテキスト分析を行うことはあまりなされてはおらず、論文分析を行う場合はキーワード、アブストラクト単位で示唆を得る分析が実用的である(例えば、(Furukawa, Mori, Arino, Hayashi, & Shirakawa, 2015))。

(6) オーバーレイ・マッピング

オーバーレイ・マッピングとは、複数の手段で得られた情報を重ね合わせて示し、情報を読み取らせる情報可視化の手法である(Rafols, Porter, & Leydesdorff, 2010)。この方法では、どの情報を組み合わせるかは、分析を実施する側に依存し、必ずしも適切なデータが存在する保障はない。しかし、組み合わせる情報の関係により、特に論文以外の外部データと接続された際には、情報の受け手の状況認識を促進できる。

実際、計量書誌学のオーバーレイ・マッピングでは、データの加工の手段としてこれまで紹介してきた指標・トレンド分析、引用分析、共語分析やこれらを組み合わせた分析結果を示す際に用いられる(例えば、(Rotolo, Rafols, Hopkins, & Leydesdorff, 2017))。

(7) 混合分析(例：分野別高被引用文献数の指標化)

混合分析は、上記の分析を組み合わせる分析法を総称するものである。新規性を追求する計量書誌学の研究では、単一の方法のみで研究を行うことよりも、何らかの手法の組み合わせに行われることが多い⁸⁶。

代表的な混合分析の方法は、引用分析と指標トレンド分析を組み合わせた分野別高被引用文献数の指標が慣用法として知られる。科学技術政策の実務では、指標トレンド分析と引用分析を組み合わせた研究分野・領域別に規格化された高被引用論文数の指標が、研究機関や国レベルの評価指標として用いられている。当該指標は、分野別に引用数を規格化し、上位(1%や10%といった単位)で閾値を設定し、該当する論文数を組織・国別といった分析したい単位で集計し指標化を行う。現在ある評価指標のなかで比較的信頼できる指標として、日本の科学技術政策の評価⁸⁷においても普及している。

ただし、この指標化方法には、利用と集計の面で課題もある。問題は、分野間の比較には引用慣行が異なるので解釈に注意を要することである。引用数の上位は分野別の中での順位で決定されるので、分野内の評価指標としては有用であるが、学際的な性格を持つ⁸⁸とされる科学研究の最前線の評価するには限界があることに配慮する必要⁸⁹がある。

⁸⁶ 例えば、方法論として明示はされていないものの、引用分析の結果を論文で論証して示す場合に、オーバーレイ・マッピングの技術を用いて情報を並列しマッピング結果を示すといったことが行われる(Noyons, Moed, & Luwel, 1999)(Noyons, Moed, & Van Raan, 1999)。

⁸⁷ 日本の第5期科学技術基本計画の評価においても、領域別トップ10%論文数は評価指標のひとつとされている。

⁸⁸ 科学技術・学術政策研究所の発行するサイエンスマップ(Igami & Saka, 2009)によれば、新興領域は学際・融合的な研究が多い。また、過度のインパクトファクターやジャーナルランキングの偏重(誤用)による研究

また、分析対象のデータに関する処理上の課題がある。文献データベースが日々更新され常に母集団のデータが変化していることになるので、分析の基礎データが随時時点修正される。ここでは、どの時点のデータでどのようなデータ処理を行った結果なのか、評価を行う際には、前提条件を明確にして利用する必要がある。

表 5 計量書誌学における分析方法論別の特徴と利害得失

手法 類型	①指標トレ ンド分析	②引用分析 (計量書誌学の中心)	③共語分析	④オーバー レイ・マッ ピング	⑤混合分析 (例:①②の組 み合わせ)	
分析 手法 (例)	単純集計分析 法 (クロス集 計)	直接引用分析	共引用分析・ 書誌結合	テキストマイ ニング	情報の重ね合 わせ	【例】分野別高被 引用論文数指標 (日本における 標準的な政策評 価指標のひとつ)
分析 概要	データベース の特定の属性 の分類別に論 文数を集計	論文の引用関 係を分析	論文の引用し 合う関係をも とに関連を仮 定し分析を実 施	テキスト間の 共起語に着目 した分析	複数の可視化 結果を並べて 可視化	分野別に引用数 を規格化し、その 上位(1%や1 0%といった単 位)論文数を指標 化
利 点	データベース が整備されて いれば集計分 析が容易	同じ領域内で あれば信頼で きる指標とし て用いること ができる	既存の分野分 類のバイアス とは無関係に 新興研究領域 の分析可能	テキストの内 容の詳細まで 対象として分 析を実施可能	発見された特 徴の比較し説 明・理解させ る可視化手段 として有用	研究の質が高い と考えられる分 野別のわかりや すい指標として 受容
欠 点	データベース の分類にバイ アスを受け、 成果の質は不 明	論文引用まで のタイムラグ があり、最新 動向が反映さ れていない	論文引用まで のタイムラグ があり、解釈 には分析対象 に関する知識 が必要	対象によって 分析結果が安 定しない	うまく伝達で きる場合もあ るが、提示さ れる情報が複 雑になる	論文引用までの タイムラグがあ り、最新動向が見 えず、結局は分野 別の枠内での評 価を超えられな い

評価圧力は学際的な研究の発展を阻害する(Rafols 他, 2012a)。こうしたなかで日本の科学技術研究は多様性を失いつつある(Igami & Saka, 2016)。

⁸⁹ 例えば、分野別の特性を顧みずにインパクトファクターなどの多寡を画一的に評価指標にするとといった指標の誤用を行わないということである。

3.3.4 計量書誌データの課題

科学技術の評価用データは、データ源の制約、解釈の妥当性の担保、政策実務での利便性の3点で課題がある。さらに、データ源の制約には、整備状況とその供給源にも課題がある。

分析は、利用するデータベースの作成目的や採録範囲など、情報源の特性に左右される。例えば、国際的に流通しているデータベースは、英語文献が中心であり、採録言語の偏り等の問題(根岸 & 山崎, 2001)が知られている⁹⁰。さらに、そのデータの供給源については、寡占的な特定の商用データベースに依存する制約があるので、例えば採録対象となる論文誌等の基準は、サービス提供者の裁量に依存している。

こうした特定のデータベースに依存した分析は、得られた評価結果の公正さの面でも課題がある。なぜなら、得られた情報がデータベースのバイアスに依るものか状況を正しく反映しているか客観的な検証⁹¹が困難だからである。このため、測定目的に応じて、分析のデータ源を使い分けることや、同じ内容を複数の方向から指標化するなど、特定のデータサービス提供者のロックインを避ける意味でも、データソースの多元化や客観性を担保する対策が計量書誌データを用いて評価を実施する場合には必要である。

また、データの分析の解釈の妥当性にも課題がある。計量書誌学の分析における解釈は、分析者の知識と主観に依存している。データ可視化結果からの解釈の妥当性を得られた知識の確からしさの検証は、ユーザーの満足度で行われている。統計的仮説検定のような科学的な方法論として確立された手法がない。

加えて、データ分析における事実発見・解明と、政策実務における実用的な情報提供に関しては、分析者と結果の利用者の情報の発信者と受ける側との間の理解にはギャップがある。分析データを導出し情報の受け手に伝達する方法にも課題⁹²がある。政策実務では、相手に情報を伝える際の利便性も考える必要がある。

こうしたことから、政策上の情報要求に対応して予断を与えないようにデータ処理、分析、可視化と伝達の方法は目的に応じて選ぶ必要がある。したがって、計量書誌データを用いた科学技術政策の評価では、データの制約のなかで利用目的に則したデータの収集から分析・提示の情報処理までを一体の評価手法の方法として設計・開発する必要がある。

⁹⁰ 日本語の雑誌は掲載されていないわけではない。英文要旨があり、継続的に出版され、一定以上の被引用がなされている場合、日本語の和雑誌もインパクトファクターが付いている学術雑誌もある。ただ、分析が困難なのは、旧ソ連などのロシア語の学術文献である。旧ソ連の場合、国威発揚のために一旦ロシア語で学術出版されたものが英文翻訳されるなど書誌の同定が難しい。

⁹¹ 論文引用データに関しては、Web-of-Scienceに加えScopusが登場したので、比較検証が可能になった。日本でも国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)などでは、採録状況等の比較検証が行われている。

⁹² 例えば、論文間の引用関係を2次元マップで可視化された結果を単に示されても、利用者側からは起きている現象の理解が解説なしには難しい。むしろ、時系列指標の方が特徴変化の把握がしやすく情報を伝達しやすい。

3.3.5 計量書誌学における評価指標の発展

計量書誌学における研究評価指標の発展(清水, 2009)をみると, 研究者の研究評価では, 研究の内容や重要性など様々な要素があることから研究の評価は難しいので, わかりやすい客観的な基準として論文数が使用されてきた。ただし, 単純な論文の数だけでは, 論文の質が保証されないので, 論文が他の論文に引用された数(被引用数)を基準にすることが一般的になった。ここで雑誌別の掲載された論文の特定期間における平均引用数を示すインパクトファクター(Impact Factor)⁹³が研究者の評価に利用されるようになった。

しかし, インパクトファクターは学術雑誌の評価指標であるため, その指標を研究者個人や研究機関に当てはめること⁹⁴は誤用⁹⁵とされる(清水, 2009)。そこで, 代替指標として, 発表論文数や被引用数を統計的に算定した評価指標が開発された。例えば, 研究者個人の被引用数を示す *h-index*⁹⁶は発表論文の「量」と「質」を併せ持つ指標である。

しかし現在では, クラウド化の進展によりインターネット上で個別論文のアクセス数, ダウンロード数, 被引用数, さらににはブログやソーシャルメディアでの言及数といった数値を学術情報のサービスプラットフォーム⁹⁷から測定することが容易となってきた(國領他, 2015)。学術雑誌の影響度を示すインパクトファクターや, *h-index* などでは定量化しにくい観点から学術研究を多面的に評価するため, 2010年頃からオルトメトリクス(altmetrics)と呼ばれる評価手法が発生してきた(林, 2013)。

オルトメトリクスとは, データベースからの参照・閲覧回数・ダウンロード回数・ソーシャルメディアやマスコミによる言及など, 論文の社会的な影響度を示す観点を組み入れることにより, 社会に及ぼした影響度を包括的かつ即時的に(引用者の論文の出版を待たずに)可視化(坂東, 2012)するもの⁹⁸である。

データの量的拡大と測定可能なデータの質的範囲の双方が拡大した結果, 問題意識に応じた目的と適切な評価枠組みさえ設定できれば, 評価指標は構築できる可能性が高まっている。

⁹³ インパクトファクター(文献引用影響率)とは, 特定の学術誌に掲載された論文が特定の年または期間内にどれくらい頻りに引用されたかを平均値で示す尺度で, 特定の雑誌におけるその年のインパクトファクターは, その年の総被引用数を直近2年間の掲載論文数で割って算出される(GARFIELD, 1955)。

⁹⁴ 計量書誌学において「(研究の)質の高さを反映した指標」とされる指標は, 論文を引用する行為など何らかの社会的相互関係をもとに抽出され, 別の文脈で新たな意味を持つ評価指標となったものである。学術雑誌のインパクトファクターは, 図書館での購読雑誌の購買範囲を決定するための評価指標であったが, 研究者の業績評価に転用(再目的化)されたものである。

⁹⁵ 採録発行論文数の少ない場合, インパクトファクターが極端に高くなるなどの欠点がある。こうした欠点を克服する学術雑誌の評価指標も考案されている。例えば, アイゲンファクターでは, ワシントン大学のベルグストロム(Carl Bergstrom)准教授らにより, Google社のページランクに倣い「重要な学術雑誌から引用される学術雑誌は重要である」と学術雑誌に重み付けをして引用の影響を算出し, 分野毎の引用傾向を考慮して比較したうえで, 1論文当たりの「論文影響値(Article Influence Score)」を算出する。

⁹⁶ 研究者が公刊した論文のうち, 被引用数が *h* 以上であるものが *h* 以上あることを満たすような最大の数値と定義され, 2005年にアメリカの物理学者である Jorge Hirsch が提案した評価指標である(Hirsch, 2005)。

⁹⁷ 一方で, こうした分析が特定のデータベース事業者の英語を共通言語とするプラットフォームに依存し, データベースの採録範囲など情報源の特性に, 科学研究のあり方と評価までもが大きく左右されかねない状況が生じている(國領 2015)。

⁹⁸ 個別論文レベルの影響力の測定や, 引用数に代わる評価指標が模索され, 商用提供されているサービスもみられる。

3.4 本研究：計量書誌学と公共政策を関連させた評価手法開発

計量書誌学の評価指標には、研究者個人の研究の影響の評価や、学術雑誌への評価のための計量書誌評価指標（例：インパクトファクター、h-index、単純被引用数など）が、多く考案されてきた。一方、科学技術政策では、研究者個人や学術雑誌といった分析の単位を超え、国レベルの科学技術政策上の状況を把握できる評価指標が不足している。政策実務の現場では、入手可能な限られたデータを使い回すことで対応している現状がある。

定量データに基づく政策議論へと政策検討過程をエビデンスベースものに改善することが政策実務上の課題となっている(岡村, 2013)。

しかし、科学技術の多様性を踏まえた体系的な現状把握がなされていない結果、確立された評価指標の達成に引きずられるあまり、科学技術政策が歪められる恐れも高まっている⁹⁹。

科学技術政策において今後の資源配分方針を決定する設政策評価を行うためには、科学技術研究の全体像を俯瞰できる計量書誌学上の評価指標を体系的に構築しておく必要がある。特に、科学技術発展を振興する観点からは、科学技術の専門分野の特性を反映する必要がある。新興・融合領域といった既存の分野分類の中での評価基準では捉えきれない研究についても評価して資源配分を行う必要がある。このため、計量書誌学を用いた科学技術政策の評価において、科学技術政策上のミスリードを防止するには、客観的¹⁰⁰なデータセットや分析手法が構築される必要がある。

本研究では、科学技術政策において、研究開発の1次アウトプットである学術論文に焦点を当て、政策課題を認識・共有できる評価方法を開発する(図6)。科学技術研究の1次アウトプットの段階では最有力のデータ源が論文データであり、当該データを扱う研究領域が計量書誌学¹⁰¹である。このため、本研究では、科学技術政策の資源配分方針を検討する政策評価を行うために公共政策の評価論と計量書誌学・科学計量学を関連させた科学技術の動向変化に関する評価手法の開発を行う。

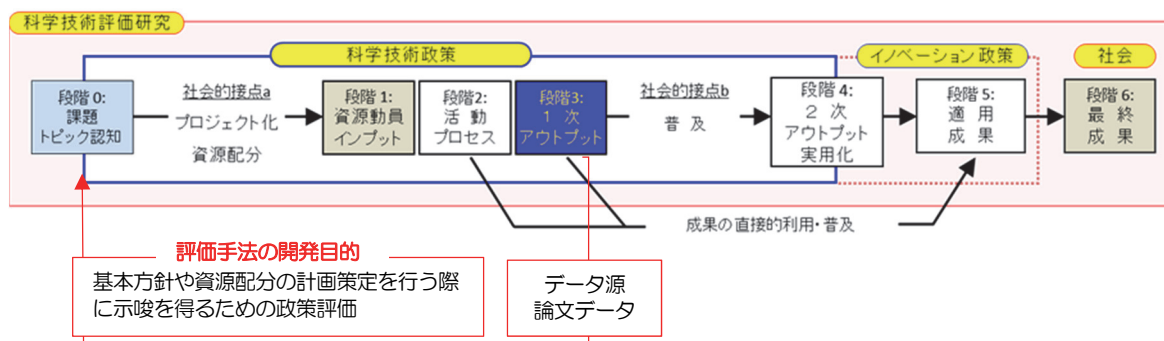


図6 本研究で開発する評価手法

⁹⁹ 例えば、日本の第五期科学技術基本計画では、「どのような変化にも的確に対応していく（柔軟性と多様性）」が政策的目標とされるようになったが、柔軟性と多様性を測定する政策評価指標は設定されていない。それどころか「論文の質そのものの評価は難しいことから、その代替的な評価指標として普及している高被引用度論文に注目し、我が国の総論文数を増やしつつ、我が国の総論文数に占める被引用回数トップ10%論文数の割合が第5期基本計画期間中に10%となることを目指す」としている。こうした指標が独り歩きした場合、例えば新興融合領域の研究の発展が阻害されかねない。

¹⁰⁰ ここでいう「客観的」とは、特定のデータ源から第三者が再現可能という意味にとどまらず、特定のデータ源に影響されずに測定系を多重化し、複数のデータ源から検証可能な状態とすることをいう。

¹⁰¹ 計量書誌学と科学計量学の違いについては、3.3.2節参照。

第4章 手法設計：領域俯瞰による動向乖離の分析と評価

4.1 手法の開発目標・基本設計

本研究の研究開発目標は、科学技術政策において基本方針や資源配分の計画策定を行う際に示唆を得るための政策評価を行うために、世界の科学技術研究と国単位の研究動向との乖離状況を把握する方法を開発することである。科学技術の研究動向を俯瞰することで専門家と利害関係者が国の研究開発状況を理解できる政策評価情報の提供を目的に、研究動向の変化を捉え科学技術政策の課題認識を共有するための政策評価手法を開発する。

開発手法の想定利用者は、審議会等に参加する有識者又は科学技術の専門家などの科学技術政策の関係者と行政官である。

また、分析手法の適用対象は、科学技術政策で支援を行う自然科学である。このため本研究では、計量書誌学で工学や化学といった専門分野 (discipline) 単位で科学技術の研究動向の俯瞰 (以下、領域俯瞰と呼ぶ) を行い、動向変化の分析を可能にする手法開発を行う。

開発では、科学技術政策における資源配分方針という特定の政策 이슈に関して、政策上の課題認識を強化する気付きを与える情報提供が目的となる。開発手法では、専門家にとっては関係する研究領域の研究動向が俯瞰¹⁰²できる実感に沿った時系列指標を提供することで、起きている現象を推論 (inference¹⁰³) できる情報環境の実現を目指す。

具体的には、専門分野における当事者の専門家は、一段高いメタな状況位置から見通す俯瞰により、起きている現象に関して現場レベルの皮膚感覚をもとに洞察が可能になる。一方、直接の当事者ではない利害関係者には、俯瞰が可能になると起きている現象のトレンド変化をマクロで認識できる情報をもたらす。これらにより、双方に気付き (sensemaking) を与え、政策上の課題認識をもたらす知識発見¹⁰⁴を行うことができる。さらに、専門家と利害関係者の双方で同じ情報に基づき現象に関する状況認識¹⁰⁵が可能になるので、今後の政策的な方向性に関する議論が自然発生的に進み、異なる立場の専門家や利害関係者の相互交渉が促進される。

¹⁰² 本研究でいう「俯瞰」とは、専門分野の当事者の認識を当事者と第三者が一段高い位置 (メタレベル) で見通すことができることをいう。

¹⁰³ 研究対象に関する概念や仮説で一般的な結論を導くためにデータを用いる過程のこと (Brady, Collier, 泉川, & 宮下訳, 2014)。

¹⁰⁴ なお、ここでいう知識とは、行為、言明、思考の能力のことであり、気付きとは概念フレームワークの中に異なるものを置くことで、納得、驚きの物語化、意味の構築、あるいはパターン化することにより、相互作用により起きる能動的な知覚作用のことである (Weick 他, 2001)。

¹⁰⁵ 状況認識とは、能動的な意味形成である気付き (sensemaking) によりなされる。ある時間や空間における環境要素が何であるかを①知覚すること、その意味を②解釈すること、それらに関してこのまま続くと近未来はどうなるかを③予期するという3段階で形成される (Endsley, 1995) (Endsley & Jones, 2012)。気付き (sensemaking) とは、手掛かり、関係、フレームの3つの存在によって可能になるとされる (Weick, 2001)。本研究で開発する手法では、この3つの関係を情報利用者 (分析者と結果の利用者) にとって必要な情報環境の設計を科学技術の政策評価のうち計量書誌学を実証フィールドに行うものである。

4.2 開発手法：「領域俯瞰による動向乖離の分析」

4.2.1 用語の定義：「領域俯瞰」と「動向乖離」

評価とは、ものごとの本質 (merit), 値打ち (worth), 意義 (significance) を特定 (identification) することであり (Scriven, 1991), 事実関係の特定と価値判断¹⁰⁶の2段階で評価結論が導出される (佐々木, 2010)。事実関係の特定には, 何らかの手掛かりが必要になるが, 起きている現象を反映したデータが情報の受け手にとって理解可能な形で示される必要がある。また, そのデータは, 何らかの差分 (ギャップ) がわかる形で提示されると意味が理解できる。通常こうしたギャップは, 事前設定した目標に対しての計画との実績の差異といった形で定義される。

本研究では, 評価情報の設計におけるギャップは, ある専門分野における領域別の世界の研究開発の構成バランスとある国 (組織) の研究の構成バランス乖離状況と定義する, (以下, この乖離状況を「動向乖離」と呼ぶ)。また, 「動向乖離」を測定する前段の母集団を作成し, 状況変化を観察することを「領域俯瞰」と呼ぶ。さらに, これら2つの状況を照らし合わせて特徴発見を行う分析について「領域俯瞰による動向乖離の分析」と呼ぶ。

4.2.2 開発手法の構成：指標化手法と分析・評価法

開発手法は, 提示された情報要求の 이슈ーに対し, 大域的な状況変化を俯瞰したうえで特定組織 (国) の乖離状況を時系列で観測するもので, 指標作成法と分析・評価法の2部構成の設計とした。具体的には, 国の研究開発状況の世界との乖離状況の時系列での定量化結果を可視化する指標化手法と, 当事者の意見を交え置かれた状況を評価し解釈仮説を確定する分析・評価法を組み合わせる一体のパッケージの手法とした。

指標作成法では, 科学技術の研究分野 (自然科学) 全体の動向変化を捉え, 国の研究開発動向の世界との乖離状況を測定する指標化手法を設計した。一方, 分析・評価法では, 分析法において最初に指標を用いた分析を行ったうえで, 評価法で異なる価値前提と知識をもつ多様な視点から議論を踏まえて解釈を確定させるプロセスを定めた。

こうした設計を行った理由は, 評価結論の導出は, 価値判断を伴うので同じ乖離状況 (動向乖離) に対する評価も, 世界の変化と同化する方が望ましいのか, また独自の立ち位置を保持するほうが望ましいのかといった点は, 評価者の価値観により受け止め方が異なるからである。

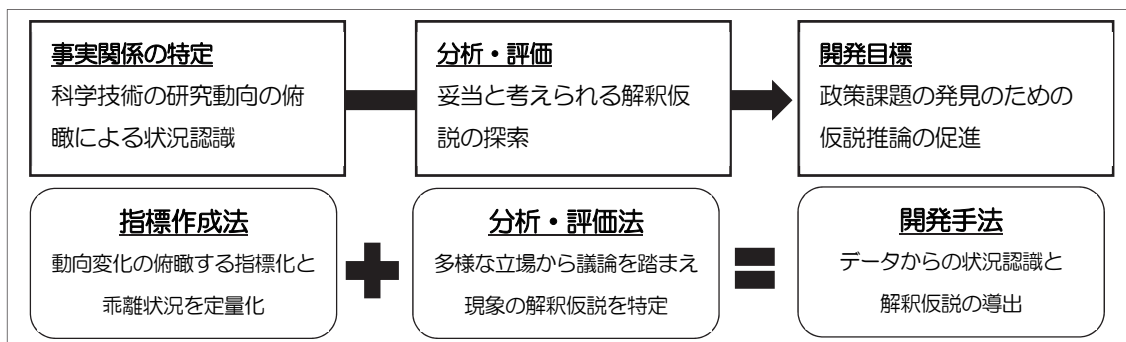


図 7 開発手法の構成

¹⁰⁶ 一般に意思決定には, 事実関係の評価をもとに定義された問題の解決のための意思決定と特定の 이슈ーに関する方向性に関する方針決定を行う場合に分かれる。問題解決のために目標を伴い行動を促す「事実判断」と意思決定につなげる「価値判断」があるが, これらが混じり「評価」という用語が用いられている (Herbert Alexander Simon, 2009)。

4.2.3 開発手法の設計：「領域俯瞰による動向乖離の分析」

本研究の開発手法の「領域俯瞰による動向乖離の分析」では、世界の動向変化を俯瞰し、国（組織）の乖離状況の分析・評価を行う。

世界と分析対象の国（組織）の研究動向を「①俯瞰」し、分析対象の国・組織の「②乖離状況の定量化」を時系列で測定し特徴変化を観測できるようにしたうえで、得られた情報を重ね合わせて示す「③特徴の可視化」を行うプロセスから構成される分析手法を設計した。

実装するデータ処理として、特定の学協会等の社会集団を分析対象に設定して世界の研究動向を俯瞰する「領域俯瞰指標」と、世界とある国（組織）との乖離状況を定量化して時系列で観測する「動向乖離指標」に関する指標作成法を設計した。

分析・評価では、2つの指標を併用し世界の研究動向と分析対象の国（組織）の研究動向を並列して可視化することで、利用者の状況認識を促す情報提供が可能になる。これにより、専門家や利害関係者の間で今後の科学技術政策の方向性に関して議論を通じた政策評価が実施できる。

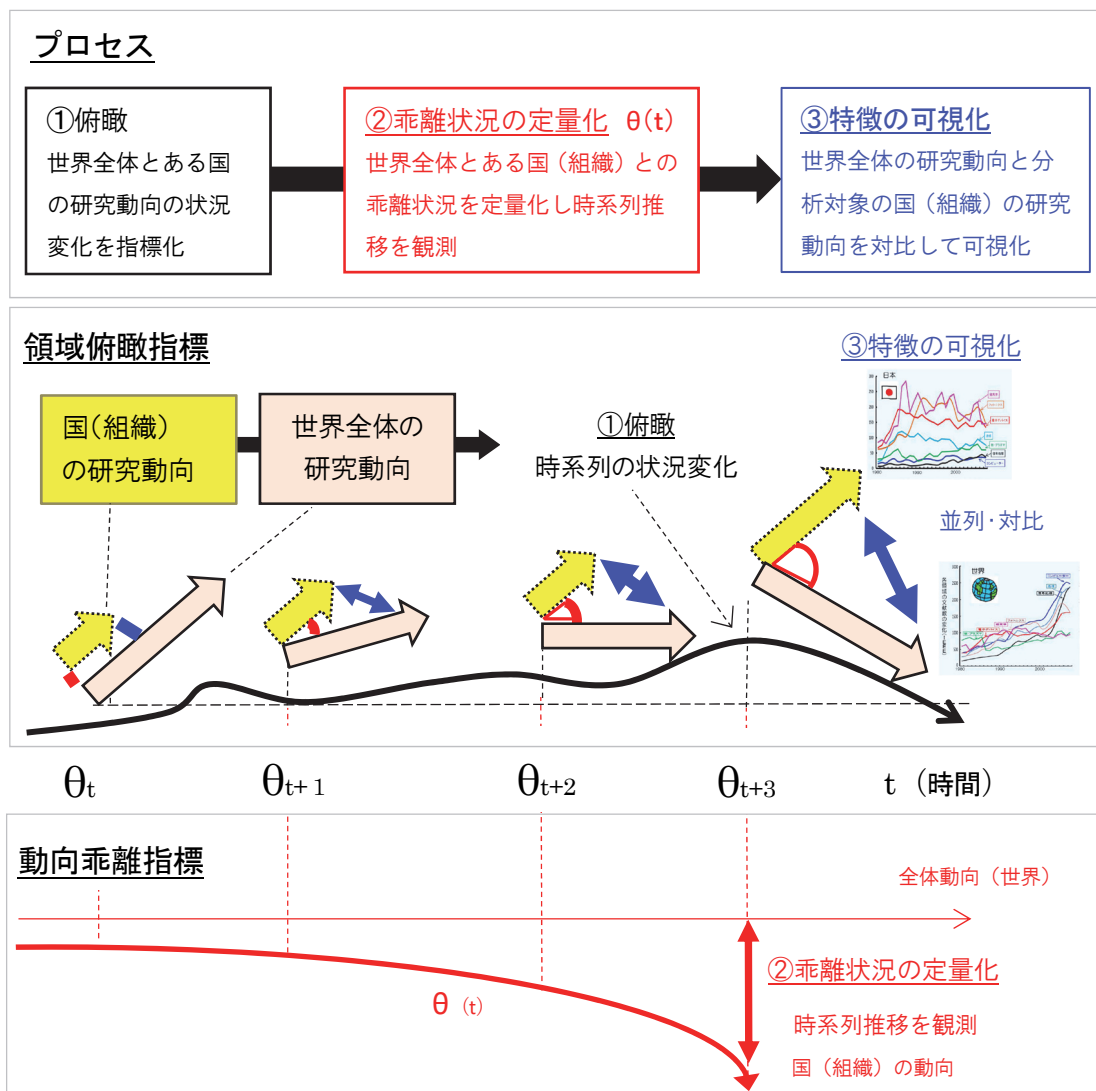


図 8 開発手法：「領域俯瞰による動向乖離の分析」

4.3 開発要素：指標作成と分析・評価のプロセス

4.3.1 仕様と手法の要素設計

分析結果の伝達に関する手法設計では、分析結果の利用者（利害関係者・行政官）にとって、「起きている現象が分析結果の利用者にとってわかりやすい」、「詳細な解釈には有識者の前提知識が必要でもトレンドと特徴の発見が容易で状況理解は可能」になるよう情報の可視化表現の方法を設計した。これに特徴発見が観察しやすくなるように複数の指標により特徴ある変化を対比して可視化する設計とした。

分析実施の手法設計は、時系列分析からの探索的発見が可能であること、データ源に関しては、複数のデータベースを分析対象に応じて組み合わせて利用する仕様にした。

評価情報の設計（評価内容）では、こうしたニーズに対し既存の分野分類のバイアスとは無関係に分析可能（＝索引作成者効果のバイアスを排除する）というデータ処理上の技術的要件を設定した。このため、専門家に認知・信頼された社会集団を分析対象とすることで疑念が出にくい内容の分析の母集団を設定して指標化を行うデータサンプリングの仕様を定めた。

その他、具体的な技術課題と仕様、さらには手法設計と評価の視点の詳細については、表 6 に示すとおりである。

表 6 仕様と手法の要素設計

機能	技術課題	仕様	手法設計	評価の視点
結果の伝達	利用者側の起きている現象の理解のし易さ	動向変化の兆候が判読可能	特徴の発見は容易な観察可能な指標化手法を採用し特徴ある変化を対比し可視化	分析結果の利用者（利害関係者・行政官）
	分析結果の理解に必要な知識の水準	各自の立場から状況の原因の推論ができること	詳細な解釈には有識者の知識と対応付けできるような時系列で特徴変化を可視化	
分析実施	分析手法としての情報探索機能	特徴変化を、自らの経験・知識と時系列で対応付け起きている現象が推論できること	時系列分析からの探索的発見が可能	分析者（専門家・行政官）
	データ源が特定データベースへ依存	特徴的な動向変化を逃さず捉える分析手段を備えること	複数のデータベースを分析対象に応じて組み合わせて利用し必要なデータを作成	
評価内容	既成の分野分類の枠内を超えての評価（索引作成者効果）	動向変化を反映した分析母集団となる構造化データが得られること	既存の分野分類のバイアスとは無関係に分析可能な測定	手法設計者（計量書誌学・評価論研究者）
	計量される研究成果の質と内容の妥当性	データサンプリングの体系的な方法が定められていること	専門家に認知・信頼された社会集団を分析し、疑念が残らない内容を指標化	

4.3.2 分析・評価プロセス：データ解釈の妥当性担保

本研究で開発する評価手法のプロセスを表 7 分析手順に示す。開発手法は、指標作成法と分析・評価法の一連プロセスとしたもので、指標の作成、分析の実施、解釈を確定させるプロセスから構成される。

分析手順は、科学技術の動向変化からの状況認識を行いやすくするデータ処理による指標作成方法と指標データから解釈仮説を導く分析・評価法の 2 段階に分けている。まず計量書誌学上の指標を作成したうえで、専門家など複数の立場の意見を聴取する機会を設定して専門家と利害関係者を交えて評価を行い、分析者が最終分析結果の解釈を確定させる。

第 1 段階の指標化手法のプロセスでは、情報要求に基づき測定対象の社会集団を選択する 1) 分析対象設定、分析対象の社会集団を設定し、網羅的に分析母集団データを抽出する 2) 情報検索、分析対象の社会集団の部分組織を分類索引に用いた（社会のアクターに対応させた）クラスタリングを行い時系列で構造化されたデータを作成する 3) 分類設定を行う。

第 2 段階の分析・評価法のプロセスでは、動向変化や特徴変化を可視化したうえで、専門家の討議を通じ解釈を確定する。これは、指標の可視化結果から起きている現象に関して記述的分析を行う 4) 可視化、作成指標の説得性の検証を行う 5) 検証、動向の乖離状況に関して複数の視点から解釈仮説の導出の行い評価を行う 6) 議論、集約された解釈をもとに現象の解釈を最終確定させる 7) 結論の 4 段階で構成される。

これは、データ分析を行うだけではなく分析の解釈仮説の妥当性を担保するための手段である。このプロセスの結果、科学的・技術的に有効な専門家の知見だけでなく、社会・政治・環境など専門的見地のみによらない幅広い観点からも納得される知識¹⁰⁷を得る効果をもたらす。

表 7 分析手順

段階	手 順	操 作 内 容
指 標 作成法	1) 分析対象設定	情報要求に基づき測定対象の社会集団を選択
	2) 情報検索	対象社会集団を設定し、網羅的に分析母集団データを抽出
分析・ 評価法	3) 分類設定	分析対象の社会集団の部分組織を分類索引に用いた（社会のアクターに対応させた）クラスタリングを行い時系列構造化
	4) 可視化	指標の可視化結果から起きている現象を記述的分析
	5) 検証	作成指標の説得性の検証
	6) 議論	乖離状況に関して複数の視点から解釈仮説を導出
	7) 結論	集約された解釈をもとに現象の解釈を最終確定

¹⁰⁷ 社会の様々なステークホルダーにとって納得される社会的な妥当性がある知識のことを科学技術社会論では、社会的に頑健な知識（Socially robust knowledge）（藤垣, 2005）という。

4.4 指標作成法：データ処理の実装

4.4.1 領域俯瞰指標

1) 分析対象の設定：領域俯瞰指標の定義と作成方法

領域俯瞰指標とは、研究領域の全体状況がわかる指標である。領域俯瞰指標とは、(1) 特定の活動を行う社会集団単位でデータサンプリングを行い分析のベースデータを作成し、(2) 社会的に実在する部分組織をクラスタリングに利用し分類することで得られる指標である。指標作成では、情報要求に対してデータベースの索引に対応させて直接的に分析者が情報検索条件の設定を行うのではなく、観測したい事象に関連する社会集団を選び、関連する時系列のメタデータを網羅的に抽出し、社会集団の自生的な組織構造に基づき分類用のデータを作成する。領域俯瞰指標では、社会集団単位で分析の母集団のデータを設定し、さらに社会集団の内部の組織構造を分類に用いて指標を作成することで、同一事例内分析¹⁰⁸となるデータ環境を実現する。これにより、データ構造が変化するなかでも時系列変化に関して一貫した動向変化を観察できる俯瞰性のある指標が得られる。

2) 情報検索：対象社会集団に関する分析母集団データの網羅的抽出

領域俯瞰指標の作成の前段では、社会集団の単位で網羅的にデータサンプリングを行う方法により、分析母集団となるデータの抽出を行い、データから解釈できる作業仮説¹⁰⁹を設定する。

ここでの仮説設定により、現時点で真であると判明していないことは偽であると仮定することを意味する「閉世界仮説¹¹⁰」による推論が成立する情報環境が実現できる。結果、特定の事例における文脈に沿った分類に基づき時系列定量指標の時系列変化を観察すると、起きている構造変化の記述的推論¹¹¹を行うことができる。

仮に、抽出した情報のなかにデータが不足していると考えられる場合には、他の社会集団のなかにあるということになる。データで表現・記述されない知識は、真偽値が分からないので、閉世界仮説では偽となるが、この場合、測定したい情報に関する活動の特定の社会集団の選択が誤っていたことになるので、再度この選定をやり直せばよいことになる。また、対象手段の中ではデータが不足していると感じる場合には、分析対象の社会集団を必要と考えられる程度まで検討範囲を拡大・変更し、仮説の継続的改善 (iterated refinement of hypothesis) をすればよい。

¹⁰⁸ 同一事例内分析とは、単一事例、複数事例に関する内容の分析をいうが、同一事例内分析には事例の中に特有の因果パターンの証拠を発見する場合と、元来の事例の空間的・時間的な下位単位の変数の全てを集める場合で、事例比較分析とデータセット観察を行う場合がある(Brady, 2014)が、本研究では後者の場合である。また、定性的研究の方法論では、事例内部固有の指標を用いると、統計的制御に代替する効果があるとされる(Brady, 2014)。

¹⁰⁹ さらなる研究を行う基盤とするために暫定的に受け入れ可能な仮説を設定することをいう。

¹¹⁰ 真偽値が分からない命題を偽として扱う方法を、閉世界仮説という。記述されない知識は、真偽値が分からないので、閉世界仮説では偽となる。閉世界仮説では、ある命題が真であることに証明に失敗した場合、その命題は偽とされる(「失敗による否定」)。

¹¹¹ 記述的推論とは、観察されたデータに基づき何が起こったかについての結論に到達するプロセスであり、因果関係を分析する因果推論とは異なる。記述的推論と因果推論の区別については、(King, Keohane, Verba, & 真淵, 2004)による。

3) 分類設定：部分組織に対応させたクラスタリングによる時系列構造化

領域俯瞰指標とは、数理的に処理した結果をボトムアップにクラスタリングを行うのではなく、社会的に既に存在している社会的存在物をクラスタリングの単位に利用して指標作成¹¹²を行う方法のことをいう。社会集団の単位で分析の母集団となるデータの集計範囲を設定し、そのなかで社会集団の内部の部分組織の構造に基づいた分類を設定して指標を作成する。

このように、社会のネットワークやつながりをもとに社会のアクターを単位としてデータを集計するヒューリスティックな処理をすると、情報の受け手にとって理解しやすい¹¹³指標が作成できる。

ここでの集計単位の設定は、サンプリングしたデータのなかでともに変化する部分組織をクラスタリング単位に利用する。これにより、動向変化を安定的に観察することが可能になる。こうした処理を行う理由は、一般に、データ間の意味的な同一性、相異性は静的な関係によって決定されるのではなく、文脈や状況に応じて動的に変化するものであり、その動的な要素を含んで決定しなければ、データ間の関係の曖昧性を排除することはできない(北川, 清木, & 宮原, 1995)からである。

既に社会的に実在する部分組織をクラスタリングに利用し指標化を行う本研究で提案する方法の適用の際には、指標作成の際、分類用のデータと分析の母集団となるデータは何らかの形で関係が対応付けられればよい。したがって、必要なデータは、必ずしも同一のデータベースに格納されている必要はなく、複数のデータベースや社会調査など複数のソースに幅広く求めることができる。

4) 処理手順：概念図

以下では、指標の元データとなるデータ処理方法を図 9 に概念図で示す。

指標作成は、1) 分析対象設定 (情報要求に基づき測定対象の社会集団を選択)、2) 情報検索 (対象社会集団を設定し、網羅的に分析母集団データを抽出)、3) 分類設定 (分析対象の社会集団の部分組織を分類索引に用い社会集団の組織構造に対応させたクラスタリングを行い時系列構造化) という手順で行う。

ここでのデータの取得 (情報検索¹¹⁴) は、A:分析対象に設定した社会集団単位でのデータサンプリングを行い、特定の社会集団に関連するメディア・データを網羅的に抽出し、指標の母集団を作成する。次に、分類設定では、B:部分組織を利用したクラスタリング処理を行うことにより、観察時点 t における社会的相互関係に基づく組織とメディアの関係を集計基準に設定¹¹⁵する。C:時系列での構造化では、特定の社会集団の動向を、観察可能なように時系列で構造化データを作成し、設定した分類に基づき時系列で集計すると業績指標として利用できる元データが得られる。

¹¹² 領域俯瞰指標は、測定された社会関係データにメディア・データを対応させて重み付けを行うことで作成される指標であるとも定義できる。

¹¹³ 定性的研究でいう同一事例内分析における文脈固有の分類を用いて分析を行うことの効果については(King, 2004)を参照のこと。

¹¹⁴ 情報検索 (information retrieval) は、計算と認知的な側面の双方の意味で用いられる場合がある。情報検索の認知的側面に着目した情報検索のことを、図書館情報学では、機械的な情報検索 (information retrieval) と対置させて情報捜索 (information seeking) と分けて呼ばれることがある(Ingwersen & Järvelin, 2005)。本研究では、情報検索の計算と認知的な面を分けて扱う。

¹¹⁵ 対応付けに必要な関係データに関しては、特定のデータベースの制約に関係なく、幅広く求めることができる。クラスタリング用の分類に関して、特定のデータベースに付与された分類にとらわれることなく、観察対象とする事物に照らしてその時々活動を描写するうえで適当と思われるものを選択する処理をヒューリスティックに行えばよい。

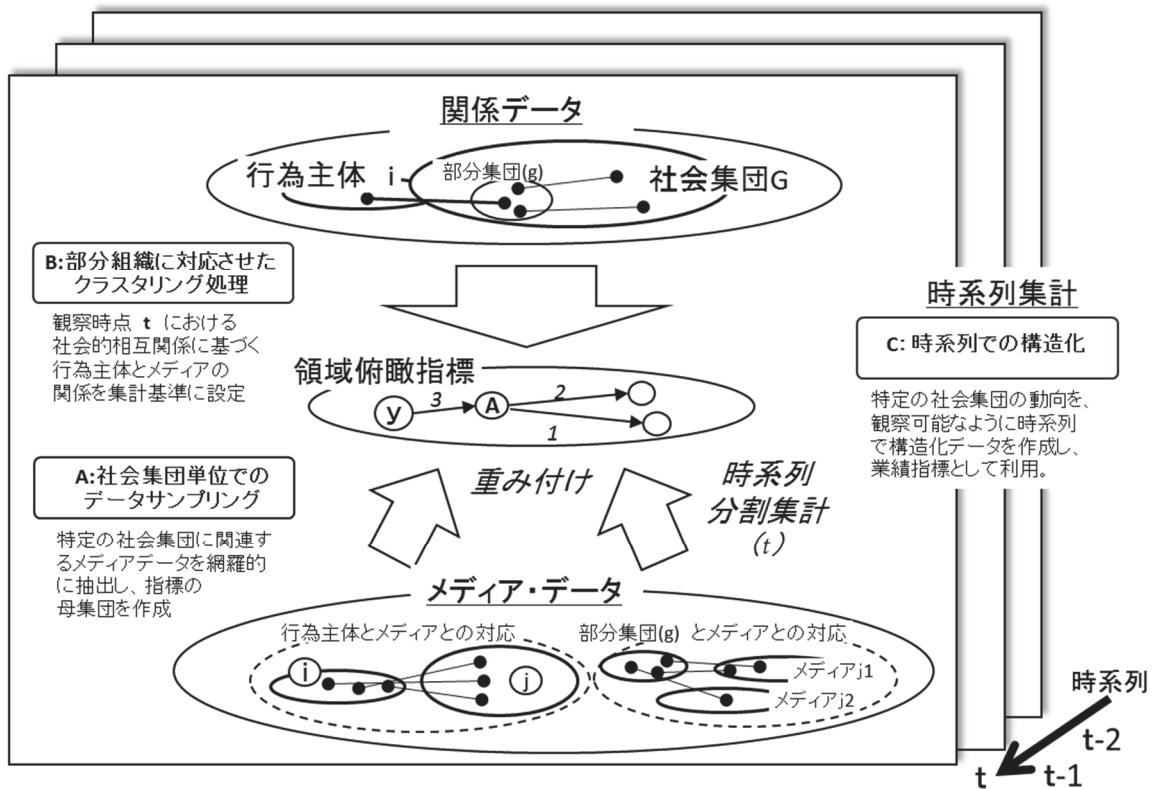


図 9 概念図：メディア・データと社会・組織データからの領域俯瞰指標の作成

5) 定式化

ある学術雑誌に掲載された論文を第 1 著者の所属国に分類する。学術雑誌 j に掲載された t 年における国 k の論文数を $x_{jk}(t)$ とし、これらを要素とする行列を $X(t)$ とおく。部分組織 i と学術雑誌 j の関係を隣接行列 A で表すと、国 k に分類される部分組織 (=分類) i の論文数 $y_{ik}(t)$ を要素とする行列 $Y(t)$ が次式により定義される。

そこで、ある国の論文数が次式で表現される。

$$y_i(t) = AX(t)$$

また、世界全体で n ケ国あるとすると、世界全体の論文数については、次のとおり表現できる。

$$y_w(t) = \sum_{i=1}^n y_i(t)$$

4.4.2 動向乖離指標

1) 指標の定義と作成方法

「動向乖離指標」とは、特定時点のある組織の活動結果の構成と、全体の活動結果の構成との間の類似度と定義され、特定時点の活動結果の構成に関して表現した全体のベクトルとある主体のベクトルとの内積計算で導出される。

この内積を用いた類似度計算は、自然言語処理では多用されている方法で、本研究では、ベンチマークする活動対象のなかで、特定の主体の活動状況の変化への適合状況を観測するため政策評価の業績測定指標に転用した。

開発指標の内積演算は、コサイン類似度¹¹⁶を用いたため、この場合、計算された乖離度は角度換算でき、全体の方向に比べてどれくらいの角度ずれているのかを測定していることとなり、変化への適合状況（＝乖離）を幾何的かつ直感的に解釈できる。

動向乖離指標の時系列推移をグラフで示すと、あるシステムのなかでどのような状況に置かれているのか全体の方向性と乖離がないかが時系列で観察でき、置かれた状況の是非を評価することができる。

指標の用途は2つあり、①政策評価では、アウトプットの構成のバランスを評価し政策的方向性を議論¹¹⁷するために用いる時系列評価指標として用いる。さらに、②分析者が特徴発見のために動向変化を観察するための時系列指標としても用いる。

¹¹⁶ コサイン類似度を政策評価指標として採用した理由は、角度に全体の方向性との乖離という意味を持たすことで政策的な議論につなげることができるからである。さらに、データ処理の際に、データ属性数が増減する動的な変化があるなかでも、過去に存在して直近では存在しない分類のデータに関して成分を0と置く処理を行えば、データの分類は時系列に関して単調増加するだけなので、計算処理が行いやすい。本研究で想定するようなデータからの特徴発見は、通常は、多変量解析のクラスター分析や多次元尺度法が用いられてきた。しかし、多次元尺度法では、固有値演算の結果得られる射影される空間の意味が分かりにくい。また、クラスター分析では、スナップ・ショットでの構造分析には適しているが、時系列で刻々と変化する場合の分析は煩雑である。また、指標の選択に関しては、自然言語の共起にまつわる指標(相澤, 2007)や多様性の評価指標は一般式で表現できる(Stirling 他, 2007)が、距離にまつわる尺度のうち、ユークリッド距離やマンハッタン距離などは、異時点での距離は意味の解釈が困難で、動的に構造が変化しているなかではノイズが多く、特徴発見に不向きであった。同様に、エントロピーなどの確率に基づく指標も不向きであった。なお、本研究の基礎となった先行研究では、市場独占度の評価に用いる集中度 (Herfindahl-Hirschman Index, HHI) を用いていたが、多次元のデータから効率的に特徴発見を行う方法を模索した結果、コサイン類似度を時系列の多属性データからの特徴発見のための分析指標としても用いることにした。

¹¹⁷ 目標管理のための評価を行う場合には、通常は事前に設定した目標設定と実績を対照させて達成状況が評価される。しかし、科学技術政策においては研究開発全体での変化への対応状況を評価する必要があり、事前に設定した目標との対比のみでは評価は不十分である。なぜなら、当初の予想とは別の方向に物事が進むことがあり、当初の目標は意味をなさないことがあるからである。

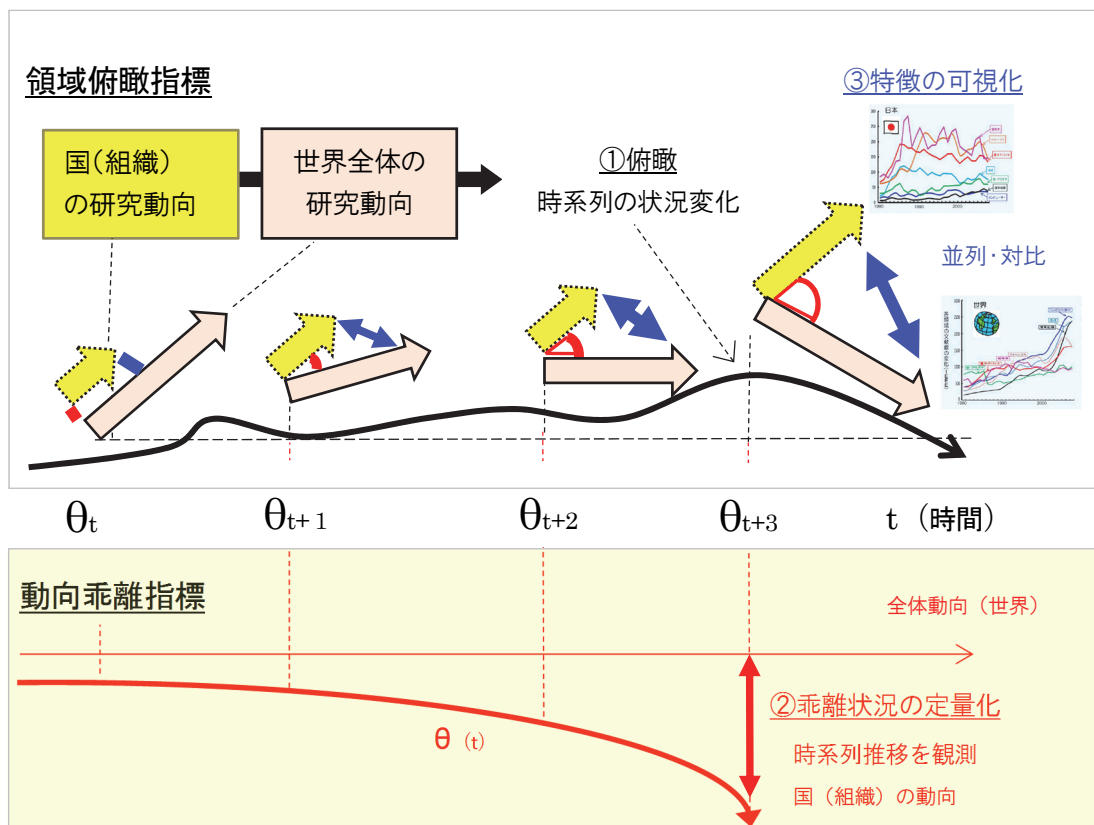


図 10 領域俯瞰指標と動向乖離指標による分析・評価

2) 定式化

世界とある国 i の領域別論文数の構成バランスの類似度の測定する動向乖離指標は、次のとおり定義される。

t 年における世界の領域俯瞰指標 $y_w(t)$ とある国 i の領域俯瞰指標 $y_i(t)$ を用いてコサイン類似度 $P_i(t)$ を動向乖離指標として定義する。

動向乖離指標 (=世界と国 i の領域俯瞰指標の類似度) $P_i(t)$ は、 $y_w(t)$ と $y_i(t)$ 成す角の余弦として次のとおり表現される。

ある国 i の動向乖離指標は、次式で表現される

$$P_i(t) = \frac{\bar{y}_w(t) \cdot \bar{y}_i(t)}{|\bar{y}_w(t)| |\bar{y}_i(t)|}$$

この動向乖離指標 $y = p(t)$ を 2 次元のグラフに可視化し、その時系列変化で特徴ある変化をしている国 i を発見することができる。

3) 動向乖離指標の振る舞いと数値の解釈方法

本研究の前提としては、国レベルの科学技術政策でイノベーションを起こす可能性を高めることを目標に評価手法を開発している。このため、特定の事業領域・活動において組織単位で新たな知識の探索が行えているか知識の幅を定量的に動向乖離指標により評価する。ここでは、状況に応じて、実現可能などのポジションを維持するか戦略変数として議論のうえ評価し設定する。特に、投入資源の制約により全方位的な資源投入ができない場合、どのレンジの数値を時系列で保持するかが、戦略に対する評価指標となる。

ここで注意すべきなのは、望ましい動向乖離指標に示される多様性のトレンドとは、必ずしも世界のトレンドと完全に一致することではないということである。すなわち、1に一致することが最善ではない。環境変化に対応し知識の資源ベースの範囲を組み替えながら、1に近い値で一定の独自のポジションを安定的に維持することがイノベーションを創出する可能性を高める状況を創出する戦略につながると考えられる¹¹⁸。

本研究で定義される動向乖離指標のトレンドの解釈のうち、代表的な数値の時系列の振る舞いに関して、以下に記す。

ある組織が、世の中の変化に沿って多様化する中で適応し、活動のアウトプットの構成を変化させていけば、システム全体の変化に対し適応していることになる。同様に、全体の構成が不可逆的に変化する中で、値が一定であるとする、活動結果の組み替えに成功していることになる。一方、全体が変化しその構成が変化するなかで活動の組み替えに成功していない硬直的な構成で推移した場合は、動向乖離指標は1から徐々に遠ざかる時系列推移が見られることになる(表8)。

表8 動向乖離指標の解釈

指標の振る舞いと解釈(例)

- 類似度が1に近づくほどシステム全体の構成に類似している。
- 時系列変化では、全体のなかでのシェアが高まると1に近づく時系列推移を見せることになる。(ある組織が独占している場合には必ず1となる。反対にシェアがないほど0に近くなる。シェアが0の場合には値は0となる。)
- 組織が特定システムの中で存在感を増す、量的にはシェアの面で成長している場合には、無条件に1に近づくことになる。
- 全体のシェアが低下していても、変化に対応して活動結果の組み替えに成功していれば、指標の値の高低を問わず一定の値を示す。一方、環境変化に気付かずに慣性のままに推移した場合には、徐々に1から曲線的に乖離¹¹⁹していく。

¹¹⁸ 2.3.2 科学技術とイノベーション論参照。

¹¹⁹ 環境変化に関わりなく組織的慣性のままに推移すると、動向乖離指標は1から徐々に乖離し、物理の転向力(コリオリの力)と同様に曲げられたような軌跡を描く。

4.4.3 手順：指標データの作成と可視化

1) 指標データの作成手順

指標データの作成手順については、次のとおりである。

まず、分析対象の社会集団の選定を行い、領域分類を設定する。ここから分析対象とした社会集団を分析し、その中自生的な部分組織を領域分類に設定する。これらの結果を基に関係データの情報検索を行うことで、部分組織と関係する論文誌（メディアデータ）との構造を隣接行列 A で表現する。そして、そのための社会関係データは、データベース（複数）、社会調査等から取得することで得る。

次に、同じデータベースである必要はないが、論文誌毎の国別文献数のデータを別途取得する。ここでは、データベースのデータ全体を利用するのではなく、設定した特定の社会集団（例えば、学協会等）に絞り込み、論文誌別の国別文献数 X_i を情報検索する。そのうえで、領域俯瞰指標（領域文献数）の演算を行う。すると、国 i の文献数は、 $y(t)_i = AX_i(t)$ と表現できるので、領域別の国別論文数をすべての国について演算しすべての国の分の文献数を合計すると、世界の領域俯瞰指標が導出できる。

世界の領域俯瞰指標については、次式で表現される。

$$y_w(t) = \sum_{i=1}^n y_i(t)$$

【作業手順】

(1) 分析対象の社会集団の選定

分析したい情報要求に関連する社会集団を有識者ヒアリング等により探索・選定

(2) 領域分類の設定

分析対象とした社会集団を分析し、その中自生的な部分組織を領域分類に設定

(3) 関係データの情報検索

部分組織と関係する論文誌（メディアデータ）との構造を隣接行列 A で表現し、そのための社会関係データは、データベース（複数）、社会調査等から取得

(4) 論文誌毎の国別文献数のデータ取得

データベースから特定の社会集団に絞り込み、論文誌別の国別文献数 X_i を情報検索

(5) 領域俯瞰指標（領域別文献数）の演算

領域別の国別論文数を演算し、すべての国を合計。世界の領域俯瞰指標を導出

2) 可視化：指標データの4面からの可視化

得られた指標データの元データを分析目的に応じて、世界全体と観察対象の国（組織） i とを比較対照させることで、グラフを時系列で整えたうえで並列して情報を重ね合わせで表示する。具体的には、指標化データについて4つのグラフ表現を時系列で揃えて並列し¹²⁰可視化することで、そこからの特徴発見を行う（図 11）。

可視化するグラフは、グラフ①国別論文数の比較¹²¹、グラフ②動向乖離指標の国別推移の比較、グラフ③世界全体の領域俯瞰指標、グラフ④観察対象国（組織） i の領域俯瞰指標の4種類である。

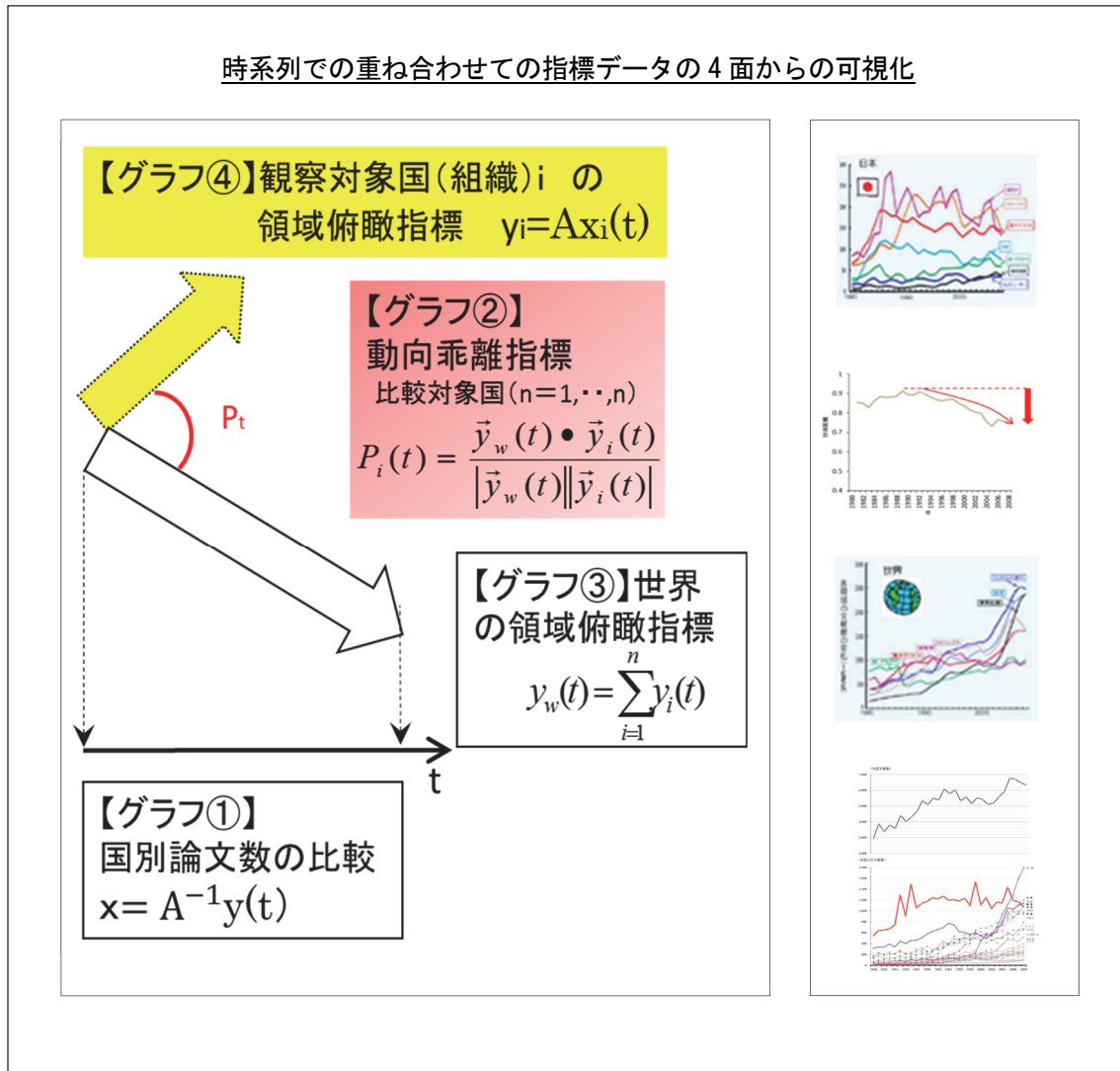


図 11 指標データの可視化方法

¹²⁰ この情報の重ね合わせ方法によると、オーバーレイ・マッピングの要素技術の一部を利用していることになる。

¹²¹ 可視化対象は、分野全体、もしくは観察対象としたい研究領域に限定したものでもよい。分析目的に応じて選択する。

4.5 分析・評価法：評価結論の導出と妥当性担保のプロセス

分析・評価法は、2種類の指標を用いて、動向変化や特徴変化を発見し討議を通じて解釈を確定し、データから評価結論を得るまでのプロセスから構成される。分析の実施と妥当性確保のための手法である。

分析実施の運用方式は、データの整備（得られた指標による記述的分析、作成指標の説得性の検証）と指標の解釈の確定（解釈仮説の導出、解釈確定を図る結論）の2段階の合計4プロセスで構成される。時系列指標から観察される現象の記述的分析、作成指標の説得性の検証、解釈仮説の導出、解釈確定を図る結論の合計4つのプロセスにより、起きている現象の解釈仮説のブラッシュアップと解釈の妥当性担保のための運用方法を定める。

動向乖離分析手法の分析プロセスの設計詳細については、表9 分析プロセスの設計（詳細に示す。

1) 可視化：時系列指標から観察される現象の記述的分析

記述的分析では、評価者の経験的・定性的知識と時系列定量指標データとの関連付けによって起きている現象に関する推論（inference）を行う。分析では、全体が進む方向性のある組織（国）が進む方向性とを時系列で測定した乖離指標の時系列変化を比較対照させることにより、特徴的な動向変化を観測し、その結果に関する記述的推論（descriptive inference）¹²²を行う。

(1) 領域俯瞰指標による全体状況の認識・把握

全体状況の認識・把握では、最初に領域俯瞰指標を時系列でグラフに可視化し、得られた指標でみられた特徴から、起きている状況の推移について事実関係を記述する分析を行う。

(2) 動向乖離指標による特徴発見

特徴発見では、動向乖離指標の時系列変化を観察することにより、特徴ある変化をしている組織（国）を探索する。

(3) 特徴ある組織に関する領域俯瞰指標の作成

特徴ある動向乖離指標の変化を遂げている組織（国）に関する領域俯瞰指標を作成する。ここで得られたデータに関しても（1）で示した手順と同様の記述的分析を行う。

2) 検証：作成指標の説得性の検証

作成した指標が測定したい対象を測定できているか、得られた指標を他の関連指標との比較や特徴的な事実関係を分析 이슈ーに関連する歴史的なイベントと照らして説得性があるか検証を行う。

検証は、類似のテーマで資料が存在している場合にはそれらと比較を行うことで可能になる。しかし、類似の指標が存在しない場合には、時系列データで測定している対象に関して起きている特徴ある歴史的な事象と対照させ、時系列で何らかの兆候が確認できた場合には妥当な結果とみなす。

¹²² 記述的推論とは、観察されたデータに基づき何が起きたかに説明する記述的結論に到達する過程をいう（Brady, 2014）。ここでいう推論とは、研究対象となる概念や仮説に関してより一般的な結論を導くためにデータを用いる過程のことをいう（Brady, 2014）。

3) 議論：解釈仮説の導出

記述的分析の結果に関する解釈仮説を得る手段として、多様な観点と前提知識を持つ第三者（専門家や利害関係者）も入れ、専門家と利害関係者を交えて分析を行う相互交渉のプロセスを設定する。具体的な運用としては、様々な解釈を収集するプロセスとして、ワークショップや委員会・審議会・専門家インタビュー等による議論を経ることが、想定される。

動向乖離指標と領域俯瞰指標を組み合わせ多様な評価者に提示すると、各自の専門知識・経験と照らし合わせた分析が可能となり、説得性の高い状況の説明仮説の創出が促進される。

4) 結論：知見の集約・分析と解釈の確定

関係者の相互交渉プロセスを通じて得られた知見を集約した結果をもとに、解釈を確定させる。ここでは、分析者が意見集約を経て妥当と思われる解釈を選択する。

関係者の討議プロセスを解釈確定の手順として設定することにより、得られた知識の妥当性を担保する手続とする。

結果的に、データの解釈を確定させる過程を通じてデータから読み取る情報の妥当性が担保され、分析者の主観や思い込みを排除した説明仮説の導出が可能になる。

表 9 分析プロセスの設計（詳細）

段階	分析手順 (操作内容)	実施内容	担い手
データ整備	1) 記述的分析 時系列指標から観察される現象の記述的分析	得られた指標でみられた特徴から、起きている状況の推移について事実関係を記述する。	分析者
	2) 検証 作成指標の説得性の検証	得られた指標を他の関連指標との比較や特徴的な事実関係の出来事と照らして作成指標の説得性について検証を行う。	
第三者（専門家・利害関係者）の視点を含めた指標の解釈の確定	3) 議論 解釈仮説の導出 4) 結論 知見の集約・分析と解釈の確定	記述的分析の結果をもとに解釈を議論することを通じて、多様な観点と知識を持つ第三者（専門家と利害関係者）も入れ、何が起きているかを推論する。 専門家と利害関係者の視点からの知見と解釈を総合したうえで、最終的な解釈を確定させる。	分析者を含む 分析結果利用者

第5章 実証：開発手法の適用による科学技術研究動向の俯瞰

5.1 分析手法の適用分野と選定理由：自然科学の研究動向の俯瞰

5.1.1 目標：分析手法の適用範囲

本研究は、科学技術政策のための研究動向分析のための評価手法の開発を目的に、開発する評価手法の適用範囲を、自然科学に設定する。

ただし、科学の範囲をどこまで捉えるかは、議論がある。科学とは何か、技術とは何かといった根本の議論にも関わる。海外で一般的な用語法の STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) から取られた頭文字語にみられるように、科学・技術・工学・数学の研究分野を一括して科学技術政策の範囲とすることが多い。日本では、科学技術政策の振興の範囲について、科学技術基本法（平成七年十一月十五日法律第百三十号）においては、「人文科学を除く」という範囲で概念規定されている。

一方、法的な概念規定とは別にデータから自然科学をみると、トムソン・ロイター社のデータベースの Essential Science Indicator では、自然科学と社会科学を含めた 22 分野にまとめられている。また、日本における従来の科学技術指標の議論では、社会科学の経営学と経済学、さらに複合領域を除いて議論されてきた。

図 12 左側には、科学技術・学術政策研究所が、データベース Essential Science Indicator の研究分野のうち 22 分類を集計・算出した分野別文献数の推移¹²³を示している。科学技術・学術政策研究所作成の分野別文献数の割合の推移には、世界の科学技術研究のうち自然科学・医療に関する文献数の分布割合が示されている。ここでは、臨床医学が最も多く約 1/4 近くを一貫して占めている。さらに、臨床医学と基礎生命科学を足すと、ほぼ過半を占め、ライフサイエンス関連の研究が論文数の過半を占める。

つまり、単純な論文数で評価を行うと、ライフサイエンスや医療に偏重した議論になってしまう。また、新しい科学的発見や科学の進化は学際・融合分野にあることが指摘(Igami & Saka, 2016)(Rafols, Leydesdorff, O'Hare, Nightingale, & Stirling, 2012)されているが、肝心なところが抜け落ちた数値で政策議論が行われていることになる。

本研究で開発する手法では、従来の日本の政策議論では除外されてきた社会科学と融合分野のうち、融合分野を分析対象に含めた自然科学全般を扱う評価手法を開発する。開発手法では、基礎となるデータに関しては、単一のデータベースに依存して分析を行うのではなく、必要に応じてデータ源を組み合わせ、科学技術政策で対象とする研究分野の俯瞰を行い、自然科学の科学技術研究動向を把握可能にする。

¹²³ ESI22 分野は (ESIMasterJournalList) の学術雑誌単位の分類である。科学技術・学術政策研究所では Web of Science(SCIE)収録論文を Essential Science Indicators(ESI)の ESI22 分野分類を用いて再分類している。同研究所の科学技術指標の研究ポートフォリオ 8 分野には社会科学 (経済学・経営学)、複合領域、は含まない。研究ポートフォリオ 8 分野は、化学、材料科学、物理学、宇宙科学、工学については分類をそのまま用いている。また、計算機・数学 (計算機科学、数学)、環境・地球科学 (環境/生態学、地球科学)、臨床医学 (臨床医学、精神医学/心理学)、基礎生命科学 (農業科学、生物学・生化学、免疫学、微生物学、分子生物学・遺伝学、神経科学・行動学、薬理学・毒性学、植物・動物学) にまとめられている。

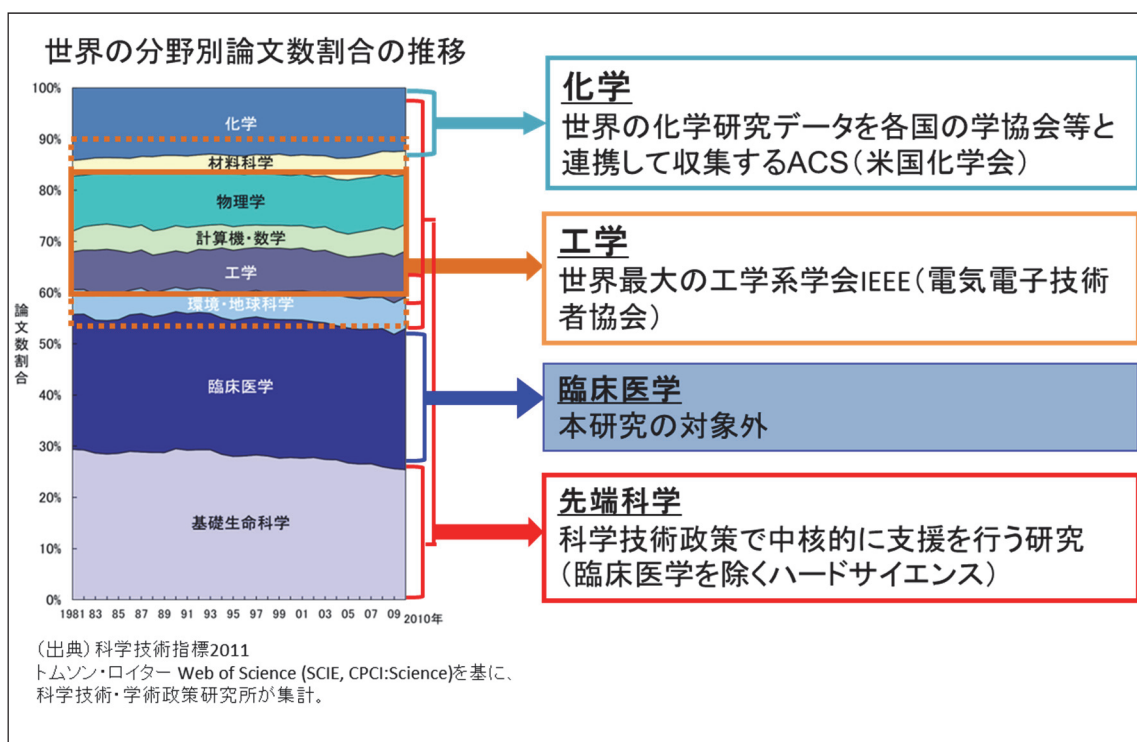


図 12 科学文献数の専門分野別分布と本研究における開発手法の適用範囲

5.1.2 実証における適用分野：工学・化学・先端科学

本章の実証では、開発した評価手法を、領域俯瞰と動向乖離の分析手法を、工学、化学、先端科学の3専門分野に適用する。

工学・化学・先端科学の3分野を設定した理由は、日本の科学技術政策の公的支援対象の動向変化を俯瞰するためである。臨床医学は、症例報告など新規な発見が論文となり、多くの引用数を得ることなど、科学技術の振興とは別の文脈で論文が出されるので、今回の分析対象からあえて除いた。一方、複合領域の先端科学分野を含め分析を行う。

これら3事例における手法適用が可能になると、臨床医学の影響を除いた科学技術の領域俯瞰が可能となる。結果的に、科学技術政策で振興している研究開発活動の俯瞰と日本の研究活動の評価が可能となる。

図 12 科学文献数の専門分野別分布と本研究における開発手法の適用範囲をみると、物理や工学など科学技術政策で支援を行う実験系の分野（以下、ハードサイエンス¹²⁴という）を俯瞰するには、学際的な分野と物理学や計算機科学を応用して実用的な研究を行う工学、さらに、その基盤となる材料・物質を研究する化学を分析できれば、俯瞰可能になることがわかる。

¹²⁴ 本研究でいう「ハードサイエンス」とは、主に実験系の研究分野もしくは大規模設備を用いる研究を行う自然科学のことをいう。化学・材料科学・工学・環境・地球科学(理学)・基礎生命科学・基礎医学などの研究が含まれ、臨床医学を除く語として用いる。

5.1.3 実証概要：データ処理と分析仮説

以下では、実証の対象分野とそのデータ源と分析仮説等の概要について示す（表 10）。工学、化学、先端科学の3分野において手法を適用するうえでのデータ処理・抽出作業では、工学においては、分析手法を確立する実験を行うために、XML形式のデータをもとに手法の開発を行った。処理方法の再現性を確認するために、化学と先端科学においては、必要な同等の情報をもたらすことができるよう、詳細な検索式を設定し情報検索を行った。さらに、これら結果をもとに集計を行うことで、データ費用を高騰させない工夫を行った。そのうえで作成指標の妥当性を確認したうえで分析を実施した。

以下では、データ処理の概要と分析の前段で設定した分析仮説について述べる。

(1) 工学

工学の実証では、世界最大の工学系の学会 IEEE（電気電子技術者協会）を分析対象の社会集団に設定し、領域分類設定用データを1980年以降2016年10月現在で4,064,659件の学書誌情報があるIEEEの文献データベース IEEEXplore から得た。

論文誌毎の国別文献数のデータ取得に関しては、IET（英国工学技術学会）が作成する物理・電気電子・情報分野の文献に対する索引データベースで1898年以降の2015年までで書誌数16,406,900件の書誌データがあるとされる文献抄録データベース Inspec から抽出を行った。ここから領域俯瞰指標を定期刊行物201誌（トランザクション、マガジン等）の出版責任があるソサエティ（学会の領域別活動の組織）との関係を雑誌ごとに指標化した。分析母集団となるデータの抽出範囲と書誌データ数は1980年から2008年にかけての文献（ペーパー）355,891件をXML形式のデータを得た。

これにより、世界最大の工学系の学会 IEEE のなかでの領域別の組織（ソサエティ）ごとの論文数推移から日本の工学研究の世界からの乖離状況の有無について仮説を検証した。

(2) 化学

化学の実証では、分析対象の社会集団については、米国化学会（ACS）が世界の化学研究関連団体と共同で世界の化学文献の索引付けを行う活動であるデータベースの Chemical Abstracts の Chemical Abstracts Service (CAS)のコミュニティに設定した。また、領域分類用データの設定については、米国化学会（ACS）の領域別活動の単位であるテクニカル・ディビジョン（technical-division）に対応した分類を利用することとし、Chemical Abstracts の属性分類一覧から「セクション」を検索条件に選択した。データ源については、2015年12月現在1808年以降の書誌数42,308,500件の論文・特許等の書誌データがある Chemical Abstracts CPlus（電子サービス版）に基づき日本の化学情報協会の行う情報検索サービスを利用して国別文献数のデータを得た。検索したデータは、1982年以降のデータを5年ごとに663,358件の文献を対象に、旧ソ連を含む25か国と旧ソを分析対象国に対象に設定し、情報検索結果をもとに時系列指標を作成した。

これにより、米国化学会（ACS）の定める研究領域（セクション）別の論文数推移をもとに、日本の化学研究の世界との乖離の有無について仮説を検証した。

(3) 先端科学

先端科学の実証では、分析対象の社会集団設定については、境界領域の学術雑誌で Science 誌と並び現在世界最高峰の学術誌のひとつとされる Nature 誌のこれら関連誌に論文を執筆した経験がある責任著者の研究者のコミュニティに着目した。

領域分類用データの設定については、読者 5 万人と Web-of-science に登録 10 万人の責任著者を対象に、融合的な先端科学（臨床医学を除く）の優れた研究成果が掲載される論文誌の集合をアンケート調査の結果と専門家パネルを経て決定した。

この根拠には、マクミラン社（現 Springer-Nature）が Nature-Index 作成のため実施した社会調査（web アンケート調査）を用いた。アンケートでは、回答者の属性を研究者（宇宙・天文、生物、地球環境、工学、材料、医学、物理）と管理者等に区分し、過去 2 年以内に論文を出版した現役の研究者 3,901 人の回答を有効回答とした。ここで「自身の研究において、最高の成果が得られたときに、論文を掲載したい学術誌」を 6-10 誌回答させた結果を集計し、述べ 30,000 誌を名寄せして「論文を掲載したい学術誌」1,836 誌を特定した。アンケート結果をもとに、研究者と編集者による専門家パネルにおいてトップ階層学術雑誌群を絞り込み、63 誌に掲載された論文を先端科学分野の論文数となるベンチマーク指標として定義した。

国別論文数と全体の論文数については、化学と同様の方法で情報検索を行った結果を集計することで指標を作成した。ここでは、トップ階層学術誌の 63 誌の国別論文数を算出し、これを先端科学研究のベンチマーク指標として、日本の科学研究力の質的な低下の有無について検証した。すなわち、「日本の科学技術力の低下は相対的なもので質の高いとみなされる研究成果については必ずしも減少していない」という仮説を検証した。

具体的な学術雑誌毎の国別論文数は、のべ 3 人以上から有効回答があった約 400 誌を分析対象に設定し、2013 年 6 月現在で約 54,600,000 件の書誌データ数があるとされる Web-of-Science Core Collection を利用してデータを取得した。学術雑誌別の国別論文数に関して論文タイプ（原著、レビュー等）を問わず 1980 年から 2013 年にかけて 4,240,092 件のデータに関して、2013 年上位 25 か国分（香港、旧東独、ソ連等継承国家を含む）の論文数を重複カウントにより集計した。

なお、ここでは、ジャーナル・チェンジと呼ばれる誌名変更には対応していない。

表 10 分析データと分析仮説

実証	指標作成に用いたデータ源	仕用データベース	書誌情報の範囲と件数	指標化内容	分析内容
専門分野	1) 分析対象設定 2) 情報検索 3) 分類設定	論文誌毎の国別文献数のデータ 取得したデータベースの状況	分析母集団となるデータの抽出範囲と書誌データ数	(領域俯瞰指標)	仮説
工学	4) 世界最大の工学系の学会 IEEE (電気電子技術者協会) 5) IEEEExplore : 学会関連の文献データベース 1980 年以降 4,064,659 件 (2016 年 10 月現在) 6) 定期刊行物 201 誌 (トランザクション, マガジン等) の出版責任があるソサエティ (学会の領域別活動の組織) との関係性を雑誌ごとに情報検索	Inspec 物理・電気電子・情報分野の文献に対する索引データベース。IET (英国工学技術学会) が作成。1898 年以降の書誌数 16,406,900 件 (2015 年 12 月現在)	1980 年から 2008 年 述べ 141 地域文献 (ペーパー) 355,891 件を xml ファイルからデータ抽出し分析	世界最大の工学系の学会 IEEE のなかでの研究領域別の組織 (ソサエティ) ごとの論文数推移	日本の工学研究の世界からの乖離 状況の有無
化学	4) 米国化学会 (ACS) 5) 米国化学会 (ACS) の領域別活動の単位テクニカル・ディビジョンに対応した分類を探索 6) Chemical Abstracts の属性分類一覧からセクションを検索条件として選択	Chemical Abstracts CAplus (電子サービス版) 1808 年以降の書誌数 42,308,500 件 (2015 年 12 月現在)	1982 年以降のデータを 5 年ごとと 2012 年まで 2013 年論文数上位 25 か国と旧ソ連について、663,358 件の文献を対象とした検索結果をもとに単純集計分析	米国化学会 (ACS) の定める研究領域 (セクション) 別の論文数推移	日本の化学研究の世界との乖離 の有無
先端科学	4) マクミラン社 (現 Springer-Nature) が Nature 誌 (含む関連誌) 執筆経験者 5) Nature 誌 (読者 5 万人と Web-of-science に登録 10 万人の責任著者) を対象。回答者の属性を、研究者 (宇宙・天文, 生物, 地球環境, 工学, 材料, 医学, 物理) と管理者等に区分。過去 2 年以内に論文を出版した現役の研究者 3,901 人から有効回答。「自身の研究において、最高の成果が得られたときに、論文を掲載したい学術誌」を 6-10 誌回答させた結果、述べ 30,000 誌を名寄せ。1,836 誌を特定。 6) アンケート結果をもとに研究者と編集者による専門家パネルでトップ階層学術雑誌群を絞り込み、63 誌に掲載された論文を先端科学分野の論文と設定	Web-of-Science Core Collection 約 54,600,000 件 1900 年以降の書誌数 (2013 年 6 月現在)	3 人以上から有効回答があった約 400 誌を対象に、1980 年から 2013 年にかけて 4,240,092 件のデータを取得。さらに、2013 年上位 25 か国分 (香港, 旧東独, ソ連等継承国家を含む) の文献数を重複カウントで情報検索して論文誌別の国別論文数を論文タイプ (原著, レビュー等) を問わず集計	絞り込まれた 63 誌の国別文献数を算出し、先端科学研究のベンチマーク指標として作成	日本の科学研究力の質的な低下の有無

5.2 実証①：工学分野

5.2.1 分析対象設定：情報要求に基づく測定対象の社会集団の選択

かつては世界で圧倒的な存在感を誇った日本のエレクトロニクス産業の国際競争力が韓国、台湾など東アジアの躍進により低下した。こうした中、日本の科学技術とイノベーションの関係については多様な議論がなされている。例えば、エレクトロニクス産業における日本のエレクトロニクス製品や部材での世界シェアの低下など、日本の製造業の現状とその構造的な問題について個別製品・事例の単位で詳細に分析・議論がなされている(小川, 2015)。また、エレクトロニクス産業全体における国際競争力低下を生産財及び貿易条件のデータを用いた国際貿易論的なアプローチで解明しようとする分析もある(元橋, 2010)。

日本では、科学技術が産業競争力や経済成長に結び付いていない現象が起きている。科学技術インフラにおける日本の国際競争力は、世界 2 位にランクされている(IMD, 2011)。しかし、日本のエレクトロニクス産業のほとんど全ての分野で研究開発投資が企業の営業利益に寄与していない(小川, 2008)。さらに、平成 23 年度の経済財政白書では、日本の研究開発全体で、過去の研究開発費の支出の累積に対する現在の企業部門の付加価値として定義される研究開発効率は低下しており、最近では主要国の中でも特に低い水準にある(内閣府, 2011)とする。

こうした現象は、日本製の高機能高価格の携帯電話等の電子機器に見られる日本の技術やサービスなどが世界標準から掛け離れて独自の「進化」を遂げる日本ならではの状況として、ガラパゴス諸島における生態系の進化になぞらえて「ガラパゴス化」(宮崎, 2008)と形容されることもある。さらに、日本企業の事業展開の方向性の極端な内向き・国内志向を表す「パラダイス鎖国」(海部, 2008)といった言葉も生まれている。こうした日本の現状を打開するため、「技術力で勝る日本が事業で負けるのか」と日本のイノベーション構築能力のあり方について論じている(妹尾, 2009)。

ただ、我々は、エレクトロニクス産業における国際競争力を支える日本の電気電子・情報通信関連分野の科学技術力である工学分野の変化を客観的に認識しているだろうか。日本の電気電子・情報通信関連研究を中心とした工学研究は世界のトレンドから乖離した独自の変化をしているのであろうか。また、そうだとすれば国際比較でどのような状況にあるのであろうか。ここでの目的は、データによって定量的に測定し、ステークホルダーの間で客観的なデータに基づく議論を可能にし、状況認識と課題を共有することである。

ここでの分析上の仮説は、日本は情報通信・エレクトロニクス産業に強いという認識自体が、認知上のバイアスによってゆがめられた結果起きているのではないかということである。ここでの目的は、工学系の研究分野における状況認識が可能になる測定することで日本が世界とかけ離れていることを実証することである。

5.2.2 情報検索：対象社会集団に関する分析母集団データの網羅的抽出

1) 測定目標と社会集団の設定とその根拠の提示

工学部分野の動向分析を行うため、分析対象とする社会集団に電気電子技術者協会 (Institute of Electrical and Electronics Engineering, Inc. : IEEE) を分析対象の社会集団として選んだ。

理由は、工学系では、IEEE という学協会の論文誌は、工学系研究者にはおおむね認知・信頼されている。具体的な根拠は、以下の3点である (白川他 2011)。

(1) 世界最大の学協会としての IEEE

IEEE とは、"The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc." (以下 IEEE という) という電気電子・情報通信に幅広く関連する分野の専門家・技術者のための学協会 (Professional Association) である。IEEE は、1884 年設立のアメリカ電気学会 (The American Institute of Electrical Engineers : AIEE) と 1912 年設立の無線学会 (the Institute of Radio Engineers : IRE) が 1963 年に合併して誕生した学協会であり、125 年以上の歴史を持つ。会員数は、世界各国 160 カ国以上に 375,000 人以上を擁し、世界最大級の学協会といわれている。米国発祥の学協会¹²⁵ではあるが、現在は米国外の会員が 45% を占めている。

IEEE は、学会論文誌等の出版物の発行、国際学会の開催、規格の制定・標準化、技術者教育などの多彩な活動を行っている。年間 1000 近い国際学会の開催・約 150 誌の学術誌の発行・1,300 以上の電気通信関連の国際規格の制定 (2009 年末現在) など、関連する多くの研究領域において世界で主導的な役割を担っている。また、技術者の交流・地位向上のための地域別活動なども行っている。このような大きな学協会は他の研究分野でも存在していない。

(2) 工学系で世界最大の学術出版を行う IEEE

IEEE は、こうした学協会としての技術的活動と地域的活動に付随して会員向けの福利厚生サービスや学術出版など各種事業も行う事業体でもある。事業体としての IEEE を見ると、工学系で世界最大の学術出版を行う側面を持つ。工学系の学術文献の出版は、商業系出版社や大学出版会より学協会の占める割合が高く、特に IEEE の占める割合が大きい (Shibayama, 2001)。IEEE が扱う文献は、工学系学術文献の 1/3 近くを占める¹²⁶とされる。工学関連の領域で質・量ともにカバーする範囲が広いため、理工学系の学術出版における IEEE が占める割合・影響は大きくなりつつある。

¹²⁵ 本部は米国にあり、米国ニューヨーク州政府認可の非営利組織の法人格を持つ。

¹²⁶ IEEE が米国光学会 (Optical Society of America (OSA)) など他学会の学術文献の出版を扱っていることも大きく影響している。例えば、IEEE が運営するオンラインの文献データベース IEEE Xplore では、2009 年から米国物理学会 (American Institute of Physics (AIP)) の出版物も扱うようになっている。

(3) IEEE の文献の産業へのインパクト

文献数の推移は研究成果の指標のひとつであり、研究開発活動全体を示す指標であると断定はできない。しかし、理工学系の学術出版における IEEE が占める影響は、アカデミックな領域にとどまらない。産業への利用・応用という観点からは、IEEE 関連の文献は、米国特許に最も多く引用されている(Breitzman, 2013)。このため、産業動向にも大きな影響を与えるとともに、産業動向をよく反映するデータでもある。さらに、サイエンスリンケージの面からも、IEEE の文献は特許への被引用が多く、科学技術の産業分野における利用・応用を考える際にも有用なデータと言える。

2) 測定概念と対応する作業仮説の設定

本実証では、電気電子・情報通信関連の研究領域を幅広く活動対象とする学協会である IEEE が発行した定期刊行物に掲載された文献を分析対象とし、所属組織が立地する国の研究能力を学術文献の記事別の出版数を、研究力を表す指標とみなし、学術出版という国別のメディア行動を観察する。国別の研究の組織能力を反映した指標として、筆頭著者の所属機関の所在地の国別に単純カウント¹²⁷する。

工学系の研究者に広く認知された IEEE の社会集団を工学全体の代表する社会集団とみなし、さらに IEEE 内部の研究領域別のソサエティというサブ社会集団の構造を研究領域の代理変数とすることで、内部の相対的な動向変化の関係を研究領域の活発さの変遷を観察する。これにより研究を行う当事者たる研究者の納得¹²⁸が得られるデータ群が構築¹²⁹できると考えられる。

¹²⁷ 理由は、データソースの Inspec の設定による。ただし、工学系においては、第一著者が主要な研究上の貢献をしている習慣があるため、その所属組織の所在地のある国の研究能力を反映した指標として解釈を行うことには、問題がないと考えられる。ただし、所属組織の在地位を研究力の指標とすることには、国の研究力に留学生などの影響をどう考えるかは解釈上の論点になる。筆者らは、Furukawa et al. (2012) において、IEEE の文献を用いて、特定領域での中国やインドなど欧米への留学生移動に関して、どれだけ論文生産に影響があるか別途測定している。

¹²⁸ IEEE は米国の学会であるので、米国中心のバイアスがあるが、IEEE においても、米国中心の学会から世界的な学会へと米国の文献数のシェアが低下し国際化している(白川他(2011), Shirakawa et al.(2012))。

¹²⁹ IEEE のみを分析対象としたことに対して専門家から指摘で頻度が高いものには、情報科学を分析する場合には、米国の米国計算機学会 (Association for Computing Machinery : ACM) の文献を含めるべきとの意見と情報科学での研究の最先端の結果を分析するのであれば有力な国際学会のプロシーディングの分析を行うべきだという2点であった。データ抽出に用いた Inspec を用いれば、ACM に関してもほぼ正しいデータが抽出でき、同様の手法が適用可能である。プロシーディングの分析は、データが整備されていないことから、計量書誌学では分析はまだ難しい。現在では、元トムソン・ロイター社からも Web of Science の追加パッケージとして出されているが、まだ十分に分析できる段階にない。こうした状況のもとで筆者らは、白川他(2011), Shirakawa et al. (2012) では、IEEE の国際会議プロシーディングにおける俯瞰的な単純集計分析を行っており、国際会議プロシーディングにおける先駆的な業績がある。IEEE が発行するプロシーディングの文献数では、中国が世界一の文献数となり、米国を圧倒するようになった姿が分析されている。これには、IEEE と銘打たれ、IEEE のデータベースに掲載される国際会議については、工学系の研究者が信頼を置くという信用を利用した学術出版社としての IEEE の出版の戦略を反映したものと考えられた。このため、業績指標として玉石混交であるように感じられたことから、白川他(2011)では、技術的活動を行う組織単位で、発表の採択率も低い傾向にある各ソサエティのフラッグシップカンファレンスに限って、詳細な国別文献数の推移を分析した。

5.2.3 分類設定：部分組織に対応させたクラスタリングによる時系列構造化

1) データサンプリングの方法・手段

本研究では、IEEE が 1980 年以降の 29 年間に発行された定期刊行物に掲載された論文やレビュー等の全文を分析データに用いる。表 11 に、抽出したデータの概要を示す。

1980年から2008年にIEEEにより発行された定期刊行物（トランザクション、ジャーナル、マガジン）201誌に掲載された第一著者の所属国が確定できる35万件余の論文等の文献を対象に、IEEEのソサエティ別の文献数を指標化する。続いて、第一著者の所属組織の国・地域別に分類することで国別の研究開発の動向乖離指標を定量化し、国・地域別の比較分析を行う。

このためのデータを、理工学・コンピューターサイエンスに特化したデータベース Inspec から 1980 年から 2008 年のデータを網羅的に抽出した。この作業手順を採用した理由は、IEEE 会員に学会の文献を提供するための自ら作成するデータベース IEEEExplore¹³⁰ は、索引のメタデータに IET¹³¹（旧 IEE：英国電気学会）が提供する物理学、電子学、電気工学、コンピュータ、制御、情報工学における世界を代表する文献についての索引データベースの Inspec¹³²を使用していると公表しているためである。

表 11 分析データの概要

出版物数(j)	年範囲 (t) (集計)	文献数 (x)	第一著者所 属組織の 国・地域 (n)	研究領域の分類 (i)
定期刊行物 延べ 201 誌 (内訳) トランザクション 114 誌 ジャーナル 18 誌 マガジン 69 誌	29 年間 1980 年 ～ 2008 年 (出版年)	ペーパー 355,891 件	延べ 141 国・地域	IEEE の領域別に 技術活動を行う組織 延べ 44 領域※ (内訳) 37 ソサエティ 7 テクニカルカウンシル (2008 年現在)

※ ただし、新しいソサエティや一部のテクニカルカウンシルは、出版する定期刊行物がない場合があった。

¹³⁰ IEEEExplore の採録データ件数は、IEEE 関連のみの文献でも優に 2011 年当時で 200 万件を超え、現在では、米国物理学会の文献についてもが学会系の学術出版社として世界最大級の IEEE が手掛けるようになったことから、2015 年では 360 万件を超えている。また、Inspec や他のデータベースとのリンクにより、抄録、引用情報（ただし部分的）及びシソーラス等の書誌情報並びに論文フルテキストなど、検索・閲覧が可能である。

¹³¹ IET とは、IEE (The Institution of Electrical Engineers ; 英国電気学会) が、同じく英国の工学系組織である IIE (The Institution of Incorporated Engineers) との合併により 2006 年 4 月 1 日にできた組織である。IEE は 1871 年から続く約 140,000 名の会員を擁する、欧州最大の電気・電子工学系の伝統ある学会であった。学術的な活動の他、物理、電気・電子、通信などの理工学の出版や、二次資料 (Inspec) の提供等の活動を行っていた。一方の IIE は、約 40,000 名の会員を擁する専門技術者のための組織で、技術者のキャリアや技術の向上のための情報提供、技術者の技術評価などの事業を行っていた。

¹³² Inspec は、世界中の 4,200 以上の学術雑誌、2,000 以上の学会予稿集等の学術文献が基本的な採録対象であり、730 万件以上の書誌情報が収録され、毎週更新され続けている。重要な書籍、技術報告書、学位定期刊行物も等しく採録対象となっている (白川他 2010)。インターネット上のデータベースサービスとともに、以下の刊行物により冊子体としても昔から提供されてきた。これらデータベースの構成や内容の詳細については、白川他 (2010) を参照のこと。

2) クラスタリング用のデータの抽出

IEEEにおける学術雑誌の発行や国際学会の開催など技術的活動(Technical Activities)は、ソサエティ(Society)とソサエティに横断するテーマを扱うテクニカルカウンスル(Technical Council)という領域別の組織で行われる。IEEEは、電気電子・情報通信に広く関連した研究領域を対象とする複数の学会を束ねた階層構造の組織である。

本研究では、IEEEのソサエティ別の文献数を指標化し研究領域別の指標として用いる。専門研究領域別のソサエティは、規約に定める一定基準のピアレビュー・システムのもと定期刊行物を、編集のための資金負担(sponsorship)をして発行を行っている。近年は複数のソサエティや米国計算機学会(ACM: Association for Computing Machinery)など他学会と学術雑誌を共同発行(co-sponsorship)することも増えている。

この編集のための資金負担の関係性(スポンサーシップ)に着目して、ソサエティ別の文献数の集計基準を定め、データは、IEEEの文献データベースであるIEEEExploreから、ソサエティと定期刊行物の対応関係を定めるデータを目視で検索し、抽出した¹³³。なお、複数のソサエティが共同発行する場合、各ソサエティの文献として重複¹³⁴カウントした。

¹³³ 抽出結果については、白川他(2011) P92-94 参照のこと。次節の指標化ではスポンサーシップの有無により当該データを基に関係行列Aを作成した。

¹³⁴ 科学計量学の立場からは、この集計基準の設定での指標化は、学術雑誌の査読・発行を行うIEEEのソサエティという学術専門誌の編集・投稿・査読活動を行うコミュニティのことを指す「ジャーナル共同体」(藤垣2003)単位での科学社会集団の活動をクラスタリングし指標化したことになる。

3) 指標作成

工学の学術出版で支配的な地位にある IEEE 特定の社会集団に着目し、1980 年以降の 29 年間に IEEE の定期刊行物に掲載された論文やレビュー等の全文献を対象に、各国別の文献を研究領域別に分類し経年変化を分析する。このため、IEEE という特定の学協会の社会集団の社会的関係を利用し、集計基準となる分類を、ソサエティというサブ社会集団を分析単位に設定し、IEEEExplore から抽出したソサエティ別の文献数データ集合を、Inspec から抽出したデータを掛け合わせることで下記のとおり指標を作成した。

(1) クラスタリング用のデータの定義

ある学術雑誌に掲載された論文を第 1 著者の所属組織の国別に分類する。学術雑誌 j に掲載された t 年における組織 k の論文数を $x_{jk}(t)$ とし、これらを要素とする行列を $X(t)$ とおく。ソサエティ i と学術雑誌 j の関係を行列 A で表すと、組織 k に分類されるソサエティ i の論文数 $y_{ik}(t)$ を要素とする行列 $Y(t)$ が次式により定義される。

$$Y(t) = AX(t)$$

(2) 領域俯瞰指標

ここで、 $Y(t)$ の k 列の各要素 $y_{ik}(t)$, ($i=1,2,\dots,n$) が国 k に分類されるソサエティ別、即ち、研究領域別の t 年の年間論文数を表す。この列ベクトル $y_k(t)$ を国別のポジションとする。 t 年におけるある国 i のポジション $y_i(t)$ の定義から、世界全体のソサエティ別のポジション $y_w(t)$ は、次式のとおり表現できる。

$$y_w(t) = \sum_{i=1}^n y_i(t)$$

(3) 動向乖離指標：研究開発活動の変化への適合

t 年における世界全体の動向乖離指標 $y_w(t)$ とある国 i のポジション $y_i(t)$ をもとに、世界とある国 i との動向乖離指標の類似性を示す指標 $P_i(t)$ を定義する。国 i における研究開発の活動構成についての世界全体との類似度を示す $P_i(t)$ は、 $y_w(t)$ と $y_i(t)$ が成す角の余弦として次のとおり表現される。

$$P_i(t) = \frac{y_w(t) \cdot y_i(t)}{|y_w(t)| |y_i(t)|}$$

5.2.4 可視化：構造化データセットからの指標の記述的分析

1) ソサエティ別文献数推移（領域俯瞰指標）からの記述的分析

(1) 世界全体の研究領域別動向

図 13 は、ソサエティ単位の領域別文献数について、2 年移動平均のグラフで指標の推移を示したものである。単年度では年度毎の個別変動が大きいため 2 年毎の移動平均で示した。この図から IEEE において中心となる研究領域の大きな変遷がわかる。

1980 年代前半の世界の工学研究の中心の領域は核・プラズマ科学であった。冷戦が終結する 1980 年代末の時期から、磁気学や電子デバイス等電気電子関連で文献数が伸びた。次に、1990 年代中盤からは、フォトニクス、コンピュータ、通信、超伝導等の領域の文献が増加した。さらに、2000 年以降は、コンピュータ・通信・信号処理等情報通信関連の領域が他を大きく引き離して増加傾向にある。

IEEE は、1990 年代は電子デバイスなど電気・電子系に、2000 年代は情報・通信系の領域に軸足を置く学協会になっている。文献数が多いソサエティの研究領域別の変遷を観察した結果、IEEE で急激に発展する研究領域は、時代の潮流の変遷に合わせてシフトしてきている様子が明らかになった。

- ① 冷戦時代：1980 年代前半は、核・プラズマ科学ソサエティの文献数が多かった。
- ② エレクトロニクス全盛の時代：冷戦終結後 1980 年代後半から 1990 年代初頭には、磁気学や電子デバイスなど電気電子関連のソサエティの文献数が伸び多くなった。なお、この時期に IEEE における日本のシェアは最大 2 割近くまで伸びた。
- ③ 情報通信革命の始まり：1990 年代中盤から 2000 年前後は、特にクリントン政権誕生前後からフォトニクス、コンピュータ、通信ソサエティ関連の文献数が急成長し始め、多くなった。
- ④ ワイヤレス・ネットワークの時代：2002 年以降、ワイヤレス・ネットワーク関連の研究の発展により、コンピュータ、通信、信号処理のソサエティが急激に文献数を伸ばしている。

こうした変化の一因には、各領域が学際・融合化して発展する傾向がある。新しい融合的な研究領域の定期刊行物は、複数のソサエティが共同発行されることが多いためである。例えば、バイオインフォマティクス関係の定期刊行物は、コンピュータと生体医用工学に関するソサエティが共同でスポンサーとなり刊行される。研究が活発化すると、コンピュータと生体医用工学のソサエティの双方の文献数の増加として現れる。こうした大きい動向変化は、2002 年以降の通信と信号処理の領域の文献数の増加であった。この原因は、ワイヤレス通信に関する定期刊行物が創刊され、文献数が急増したためである。

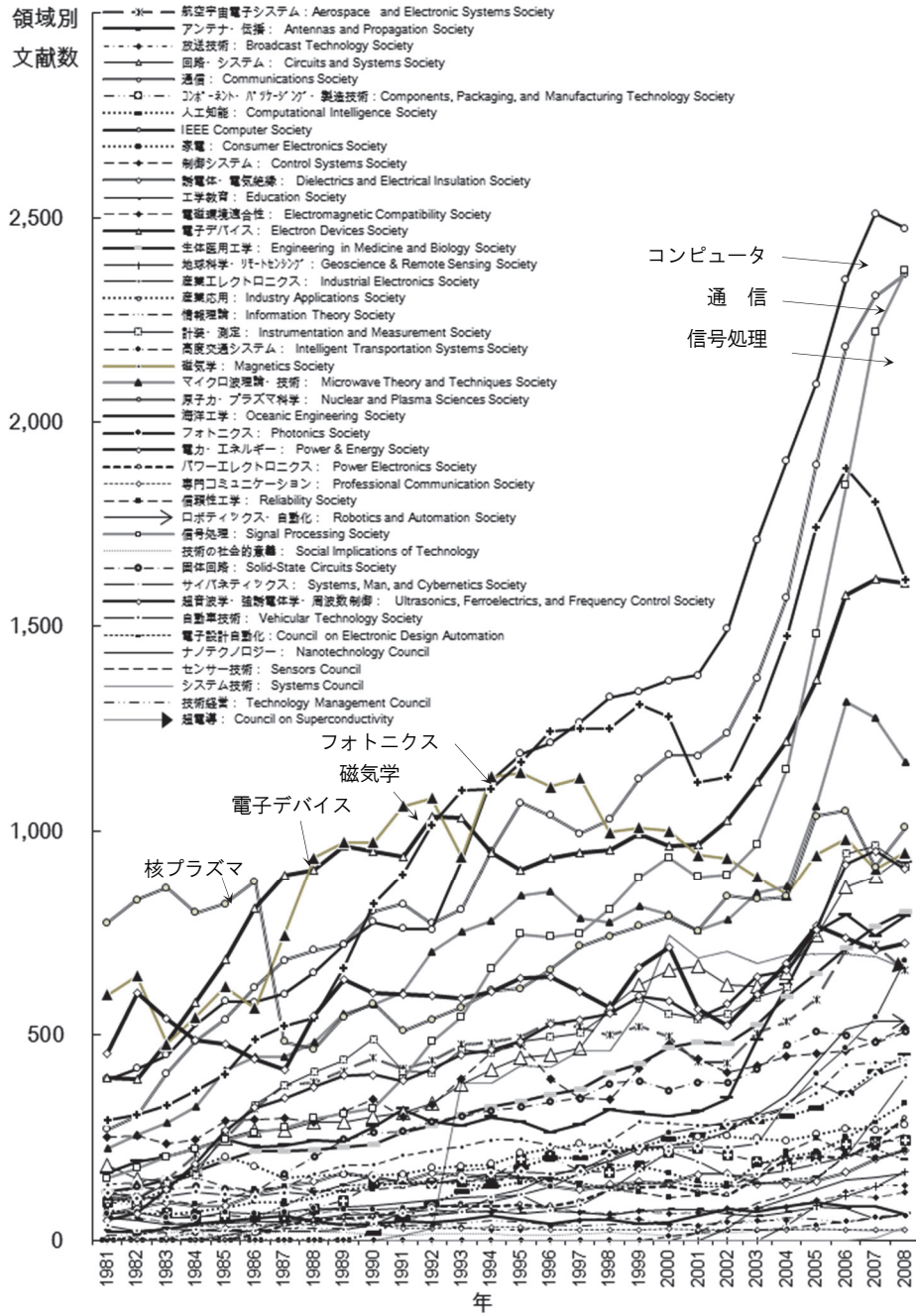


図 13 IEEE における世界の領域別文献数の推移 (1980~2008 年)

(2) 日本の文献数推移とその構造

1980年から2008年にかけての研究領域別文献数推移を図14に示す。ここでも文献数の年次変動が大きいため、2年移動平均を用いる。

日本の研究を文献数ベースで推移をみると、信号処理、ロボティクス、産業電子等の領域が徐々に伸びてきているものの、超伝導を除くと大きく文献数が増加した領域はなく、多くは安定的かつ固定的に推移している。全体の文献数の合計でも、世界のトレンドとは異なり、長年にわたって横ばいである。領域別に見ると、電子デバイス・フォトニクス・磁気学等IEEEで1990年代に中心だった領域の文献数は一定で推移している。しかし、コンピュータ・通信・信号処理等2000年代の世界の成長分野である情報通信系の分野では、増加していない。一方、例外的に超伝導の文献が1990年代から突出して増加したことが目立つ。

日本の研究領域は世界で見られたようなトレンドの変化がなく一定で推移しているところに、超伝導等独自の領域が突出している。結果、電気電子関連が多く、情報通信関連が少ない構造が維持されている。

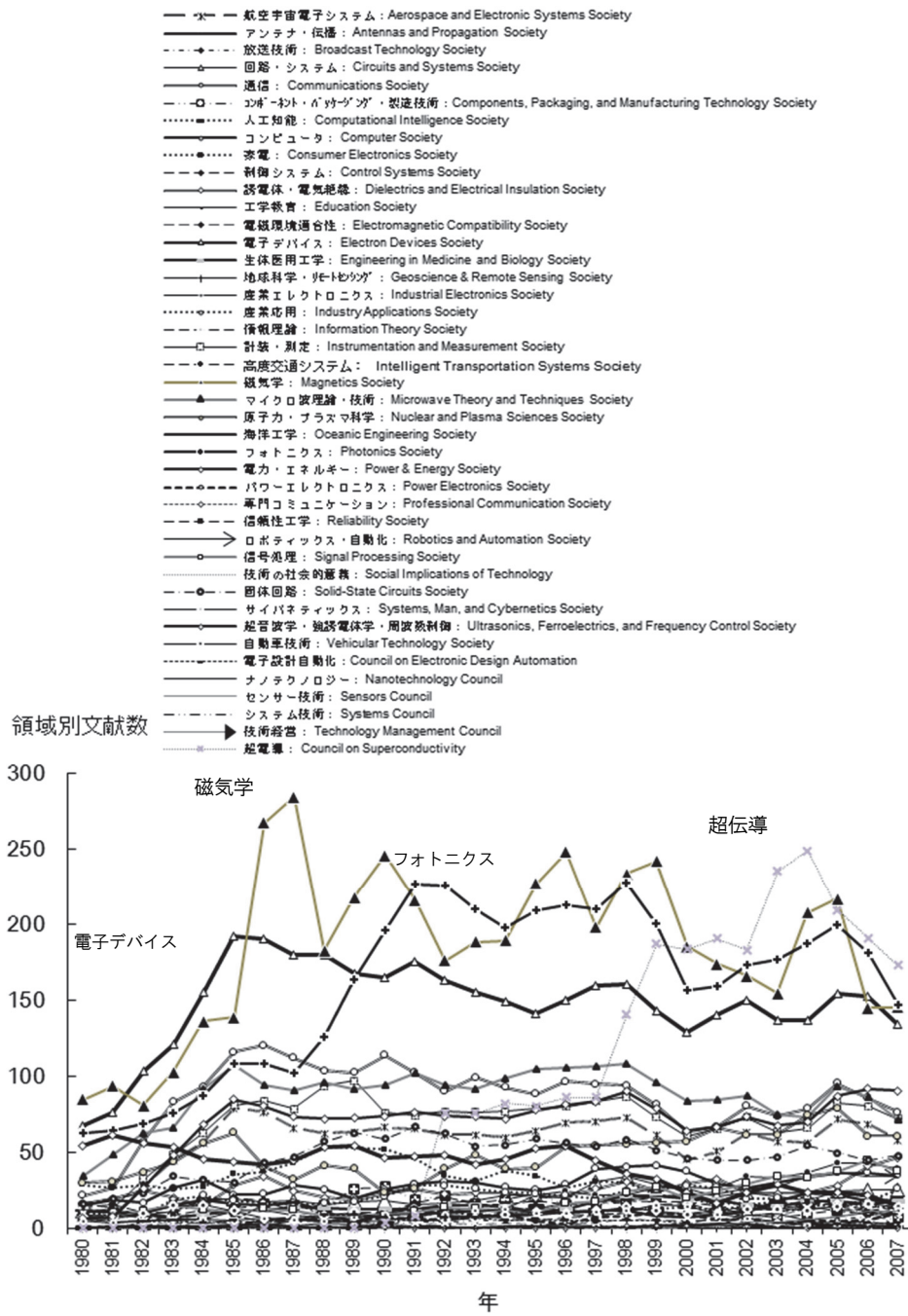
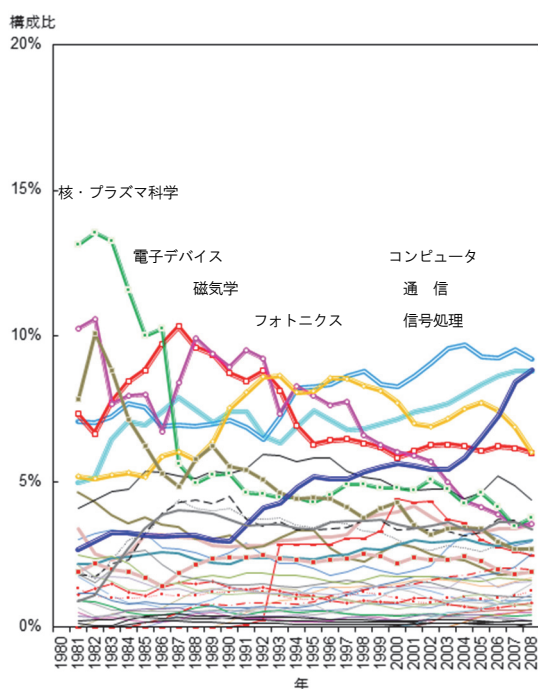
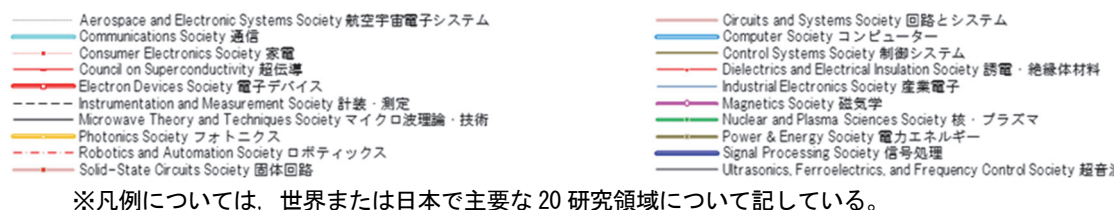
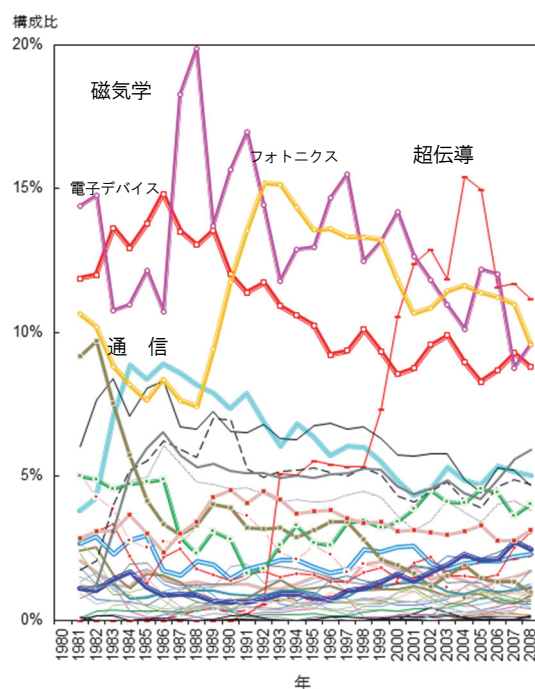


図 14 IEEE における日本の領域別文献数の推移 (1980~2008 年)

世界と日本の違いを示すため、日本と世界の領域別文献数の総和をそれぞれ1として規格化し、2年移動平均にして示した結果が図15(a)(b)である。これら図を見比べると、日本の技術トレンドは、世界のトレンドと異なることが一目瞭然である。



(a) IEEEにおける世界の領域別文献数構成比



(b) IEEEにおける日本の領域別文献数構成比

図15 IEEEにおける世界と日本の領域別文献数推移の構成比(1980~2008年)

(3) 世界の国別文献数推移

図 15 には、2008 年における上位 30 カ国（以下上位国という）の 1980 年から 2008 年にかけての IEEE 定期刊行物に掲載の国別文献数の推移を示す。

上位国では一時的な減少が見られる場合はあるが、ほとんどの国では、基本的に定期刊行物文献数は増加傾向である。特に 1990 年代からは、一貫して増加傾向にあり、特に 2002 年以降の定期刊行物文献数の急速な伸びが目立つ。

上位国のうち米国は常に首位を占め、文献数で一貫して他国を圧倒する存在である。米国に続いて目立つのは、近年、他国にない勢いで文献数が伸びている中国である。中国の文献数は、2002 年以降、ほぼ幾何級数的に伸びており、2006 年には日本を抜き世界 2 位となった。

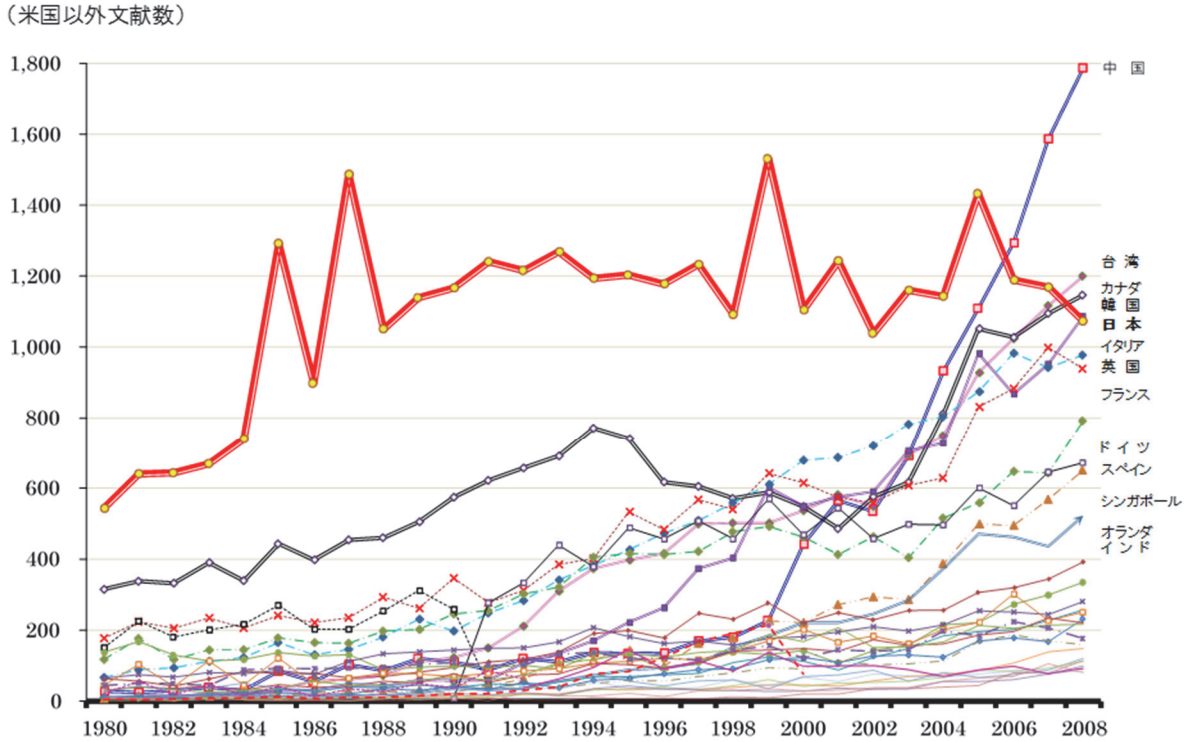
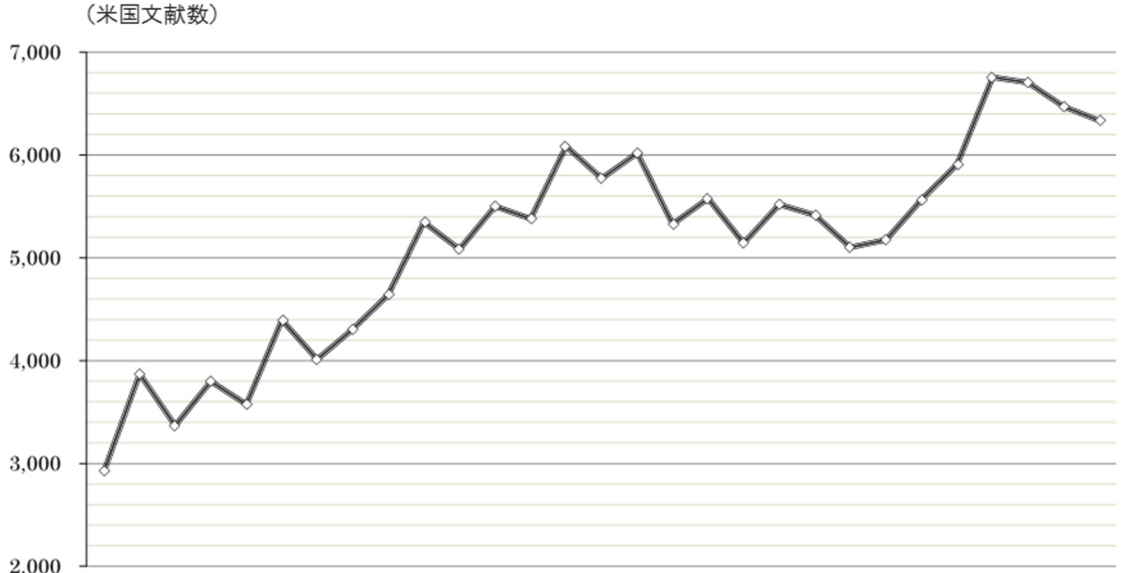
多くの国において 2002 年以降文献数の伸びが急になる傾向があるなか、特に、順位が 4～10 位前後の上位国の伸びが目立つ。特にカナダをはじめ、台湾・英国・韓国・イタリアは、文献数を着実に伸ばしており、世界のなかで 3 位集団を形成しつつある。

3 位集団に続くのが、10 位前後で活躍が目立つ国の集団である。これは、伝統的に文献数を維持してきたフランスやドイツと、2000 年代に伸びたスペインやシンガポールといった国々である。さらに、15 位から 20 位前後の国々とそれ以降の国々の集団がある。前者は、欧州の EU 加盟国やイスラエルなどが中心で、1990 年代後半から文献数を一貫して伸ばしている国々である。後者は、トルコ・イランなど 2000 年代になって文献数が伸び始めた国々であり、急速に存在感を高めつつある。

特に、2008 年文献数 15 位のインドの文献数推移は特徴的である。インドは、2000 年代になって急速に文献数を伸ばしているが、1980 年代から一貫して文献数を出してきた国である。かつてはフランスやドイツなど欧州の大国と遜色ない状況であった。このため、シェアから考えれば、2000 年代のインドの急速の伸びは、かつてのシェアに回復を遂げる過程にあるとも解釈できる。

日本は、2000 年代前半までは米国に次ぎ各国を頭一つ上回る文献数で、長く 2 位を保ってきた。特に 1980 年代には日米の 2 国が競い合う状況であった。しかし、1999 年と 2005 年に一時的には伸びがみられるが、長期的にみれば 1990 年代以降文献数は横ばい傾向である。この傾向は、他国と差異が際立つ。特に日本は 2008 年には、中国の他、台湾、カナダ、韓国に抜かれて 6 位¹³⁵となっている。

¹³⁵ 白川他 (2009)では、大きな 3 位集団のひとつになると予測していたところ、白川他 (2011)において実際に予測したとおりの状況になった。



出典：(白川, 古川, 野村, & 奥和田, 2011)

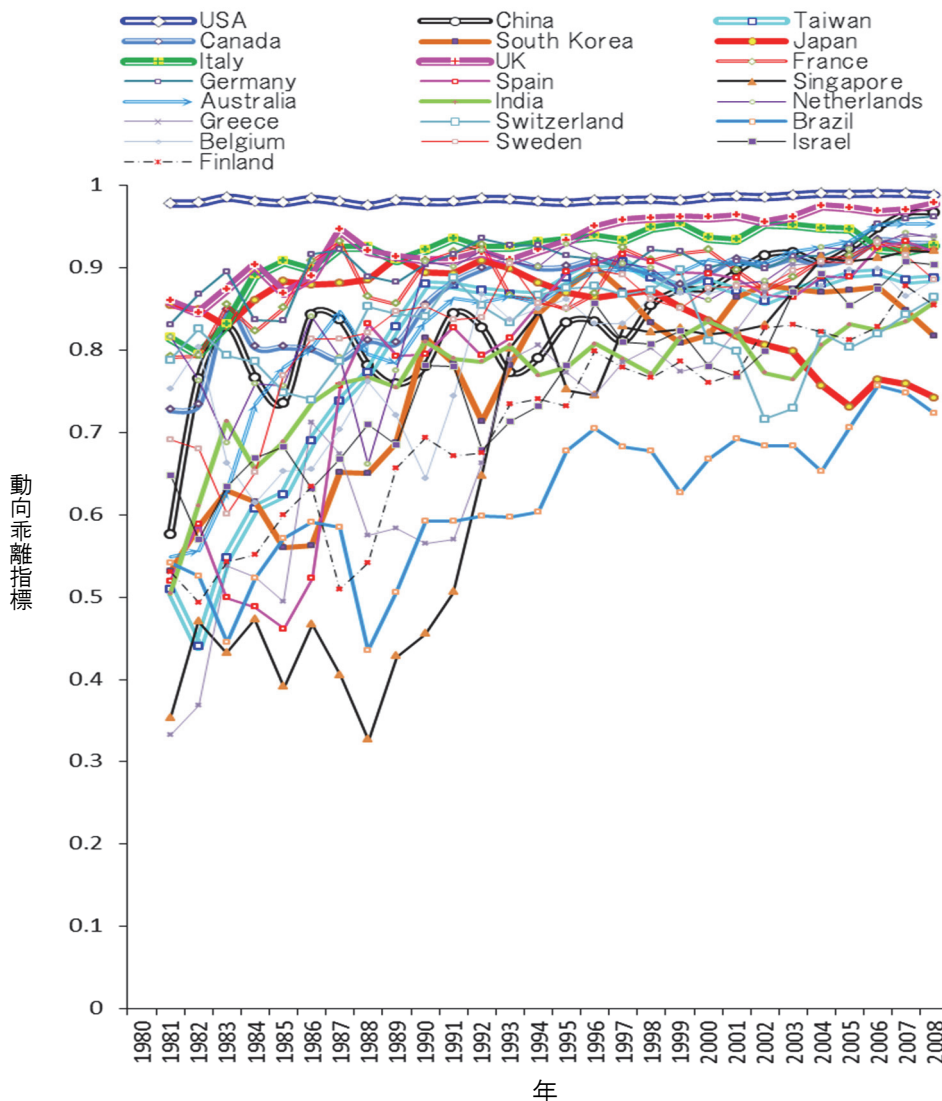
図 16 上位 30 国・地域の IEEE 定期刊行物文献数の推移 (1980-2008 年)

2) 世界各国の動向乖離指標の推移

図17には、2008年における文献数上位20か国の過去29年間の動向乖離指標について示す。

基本のトレンドは、従来研究活動が行われていなかった国において研究が活発化すると、文献数のシェアが増加することで、式の定義から1に近づく傾向がある。また、研究がほとんど行われていない国では、1から遠ざかる値になる。こうした大部分の国については、研究が近年になるほど活発になることで、出発点の値が0に近い値から振幅しながら1に近づくトレンドになっている。しかし、一部の国は特徴的なトレンドがみられる。例えば、一定の値を保っている国（カナダ）や1から継続的に乖離する傾向を示す国（日本）などがあることがわかる。

これら特徴的な国は、従来からIEEEにおける研究活動が一定程度みられシェアが1%以上を占めている国である。一方、シェアが少ない国々は、文献数の増加に伴い、1に急激に漸近する動きのトレンド変化を示す。



出典：(Shirakawa, Furukawa, Hayashi, & Tamamura, 2014)

図 17 過去 29 年間の動向乖離指標の推移（2008 年における文献数上位 20 か国）

5.2.5 検証：作成指標の説得性の検証

工学の学術文献の単純集計は、煩雑な作業が必要な一方、引用分析を行うにしても、論文引用の習慣が基礎生命科学のように多くない¹³⁶。このため、被引用数のトップ1%や10%の論文等を評価指標として用いることには、研究者の実感を反映していないという声があった。

理由は、工学系の研究では様々な専門分野を組み合わせる必要な技術目標の実現を図るため、関連分野が多岐にわたるためであろう。確かに、論文分析に頻繁に用いられる分類であるトムソン・ロイター社の **Essential Science Indicators** の分類では、論文は工学、農学、生物学、生物化学、臨床医学、経済学、ビジネスなど 22 分類のいずれかにしか分類されない。

一方、キーワードやカテゴリに基づく情報検索結果を、指標とする場合は、「客観的」なシソーラス・分類・索引等を用いて得たデータは、必ずしも研究者の研究活動の実態を正確に反映するとは限らない。完全なキーワード等を網羅的に導出することは、分析側に工学に関する完全知識を要求することになるからである。結局のところ、俯瞰的に分析しようとする、クエリ拡張やシソーラス・辞書を構築するアプローチでの解決法は、情報学的な接近では、完全情報の仮定を満たすことを求めることに等しいので、実務上非現実的¹³⁷である。

こうした中で、本研究では、**IEEE** という特定の集団に着目してその内部組織構造に則した分類により、単純集計分析を行った結果、工学における研究動向の変化が比較的容易に観察可能であった。以下では、作成した領域俯瞰指標の技術的有用性を検証する。

1) 検証方策

今回の実証事例では、指標化に際し、サンプリングの対象を工学系の研究者に広く認知された **IEEE** の社会集団を選択し、工学研究者に違和感なく受容できるデータセットを作成した。さらに、そのソサエティという内部のサブ社会集団を指標の分類単位に用いた。一方、通常の計量書誌学における単純集計分析では、シソーラスなどで階層的に整備されている索引を分類に用いることが一般的である。そこで、領域俯瞰指標の指標化手法の検証は、通常の慣行法との比較で、可読性の高いデータが抽出できているかという観点から評価した。このため、データ抽出に用いたデータベースである **Inspec** に備えられ、階層的に整備されているシソーラスに基づく単純集計結果との比較から検証を行った。

ここでの技術的有用性は、今回採用した方法と比べ、分類属性が細かくなりすぎない程度で技術動向の変化がダイナミックに観察できるかが判断基準となる。具体的には、領域間の研究強度の入れ替わりが判然とすることが、解釈を行う側にとって認識利得が高いことになる。この理由は、学術文献には、一般に幾何級数的に増加することが知られている(**Price 島尾訳 1970**)ことから、特段の工夫がないままに単純集計を行うと、順位の相対変化が目立たず、いずれも単調増加になる傾向になるものと見込まれるからである。

¹³⁶ 工学の学術文献のインパクトファクターの絶対値は、基礎生命科学などに比べて全般に低い。コンピュータソサエティで格式が高い画像処理研究の学術雑誌 **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence** は **IEEE** のなかでインパクトファクター値が最も高いが、その値は1桁中盤である。

¹³⁷ 現在では、元トムソン・ロイター社の **Web of Science** では 251 分野分類 (サブジェクトエリア) の索引が整備されているが、全体の論文の文献数のシェア等を議論する場合に、他の分野や複数の分野に分類される論文データの処理などを考える必要があり、単純な指標を得るだけでも手間がかかる。

2) 検証結果

Inspecには、階層構造のシソーラスである Inspec 分類が整備されている。具体的には、Inspec に収録されている主題を階層化し、それぞれの主題に細目コードを割り当て、大分類のセクションに4桁の数字とさらにアルファベットで構成¹³⁸されている。

以下には、図 18 では、専門分野別のセクションレベル、図 20 では、大領域のレベル1、図 20 には、中領域のレベル2の分類でそれぞれ、世界全体の IEEE 文献数を同じデータセットを用いてグラフ化した結果を示す。

専門分野単位でのセクションレベルの図 18 では、文献数が固定的な順位で、単調に増加するトレンドが観察されるだけである。次に、大分類レベルでのレベル1の分類(図 20)では、分野間の入れ替わりなどがみられ、研究領域の入れ替わりが観察することができる。さらに、レベル2の分類のグラフ化結果(図 20)では、ソサエティ別の文献数の推移でみられたような変化が観察できる。つまり、これらから、本研究で提案した指標化の方法は、本来であれば数百の分類を数十の単位で、シソーラスレベルでは、レベル2の属性の桁数で、レベル3の情報表現できていることになる。すなわち、膨大な索引作成作業や分類をまとめる作業なしに、情報を効果的に要約できていた(Shirakawa2014)。

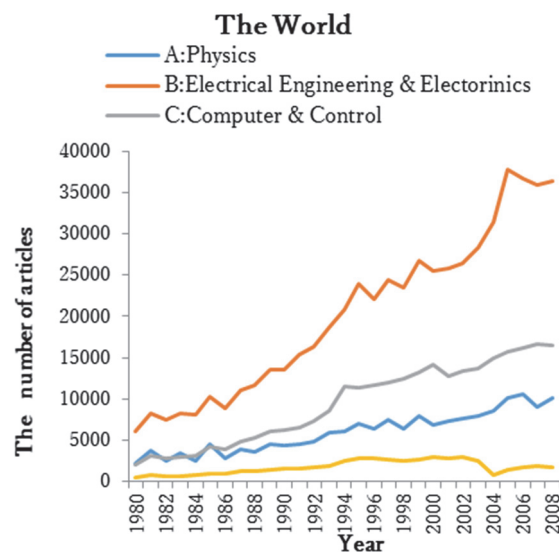


図 18 専門分野別のセクションレベルの文献数推移

¹³⁸ 例えば、A7865K という場合には、A は、専門分野を示すデータベースのセクション(凡例: A・物理学, B・電気/電子工学, C・コンピューティングおよび制御, D・情報技術, E・生産・製造・機械工学)を示す。ここでの「7」は、レベル1の分類であり、2桁目の「8」はレベル2の分類である。「65」とはレベル3の分類であり、これに続くからなるアルファベットのレベル4の分類がある。なお、アルファベットの第4階層の分類は付与されていないこともある。これに従うと、Aは物理学であり、A82は、物理化学となり、A8220となると反応速度論といった具合になる。これら分類は、一つの文献に対して当てはまる場合には複数付与される。

Outline of Inspec classifications

Section A - Physics

- A00 General
- A10 The physics of elementary particles and fields
- A20 Nuclear physics
- A30 Atomic and molecular physics
- A40 Fundamental areas of phenomenology
- A50 Fluids, plasmas and electric discharges
- A60 Condensed matter: structure, thermal and mechanical properties
- A70 Condensed matter: electronic structure, electrical, magnetic, and optical properties
- A80 Cross-disciplinary physics and related areas of science and technology
- A90 Geophysics, astronomy and astrophysics

Section C - Computers and control

- C00 General and management topics
- C10 Systems and control theory
- C30 Control technology
- C40 Numerical analysis and theoretical computer topics
- C50 Computer hardware
- C60 Computer software
- C70 Computer applications

Section B - Electrical engineering and electronics

- B00 General topics, engineering mathematics and materials science
- B10 Circuit theory and circuits
- B20 Components, electron devices and materials
- B30 Magnetic and superconducting materials and devices
- B40 Optical materials and applications, electro-optics and optoelectronics
- B50 Electromagnetic fields
- B60 Communications
- B70 Instrumentation and special applications
- B80 Power systems and applications

Section D - Information technology for business

- D10 General and management aspects
- D20 Applications
- D30 General systems and equipment
- D40 Office automation - communications
- D50 Office automation - computing

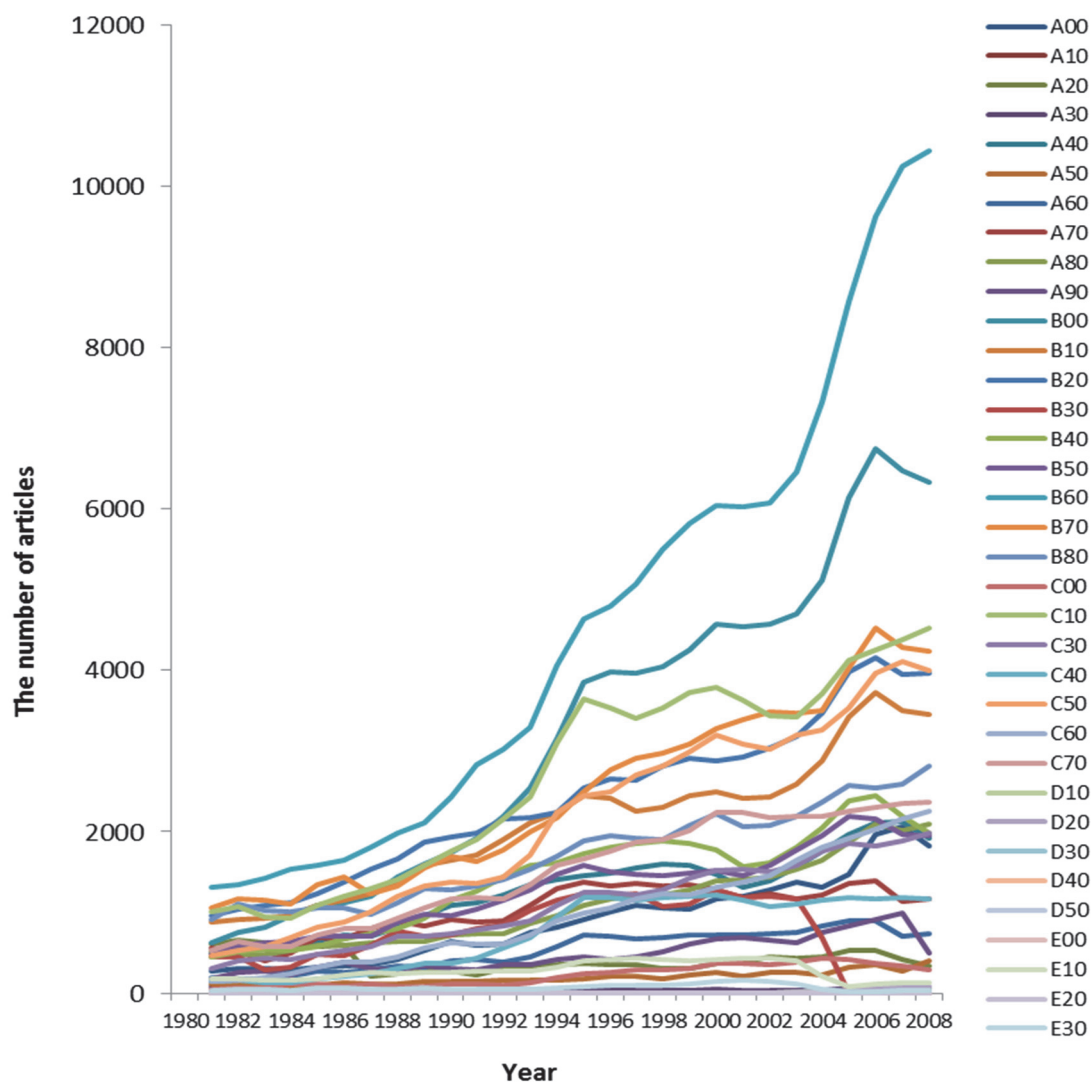
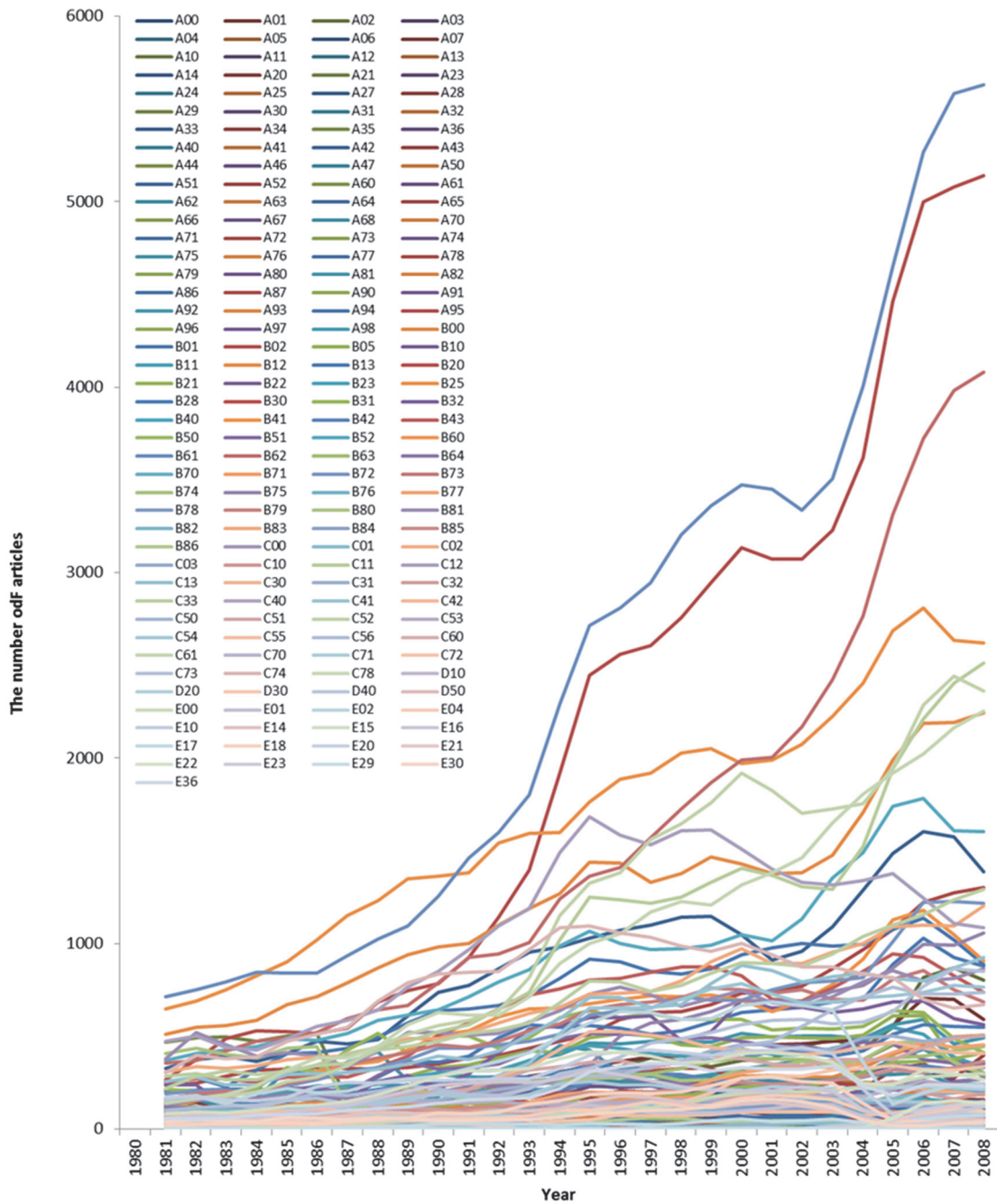


図 19 Inspec シソーラス（レベル 1）の分類別文献数推移



※分類の対応表については省略。Inspec シソーラス 2012 の表を参照のこと。

図 20 Inspec シソーラス（レベル2）の分類別文献数推移

5.2.6 議論：解釈仮説の導出

1) 動向乖離指標と説明仮説

分析では、電気電子・情報通信関連の学術文献に関する国別の研究領域別のポジションの経年変化を比較し、日本の電気電子情報通信関連研究が世界で独自の進化を遂げているという仮説を検証する。

前節では、日本の研究傾向が世界と異なることを明らかにした。ここでは世界全体と各国・地域の各動向乖離指標の類似度の経年推移を定量化する。日本の電気電子・情報通信関連分野の研究が世界でどういう位置にあるかを時系列で評価することにより、世界の研究トレンドが変化する中で、日本の動向乖離指標が世界から乖離しているかが検証できる。

2) 上位6か国のシェア

IEEEで文献数が多く研究の伝統がある国では、それぞれの研究戦略によって、特徴的な変化がみられる。以下では、2008年の文献数上位6か国について内容や国の事情に考慮を入れながら、詳細分析を行う。

図22には、上位6ヶ国・地域の1980年から2008年にかけての29年間における定期刊行物文献数の国際シェアの推移をまとめて示す。

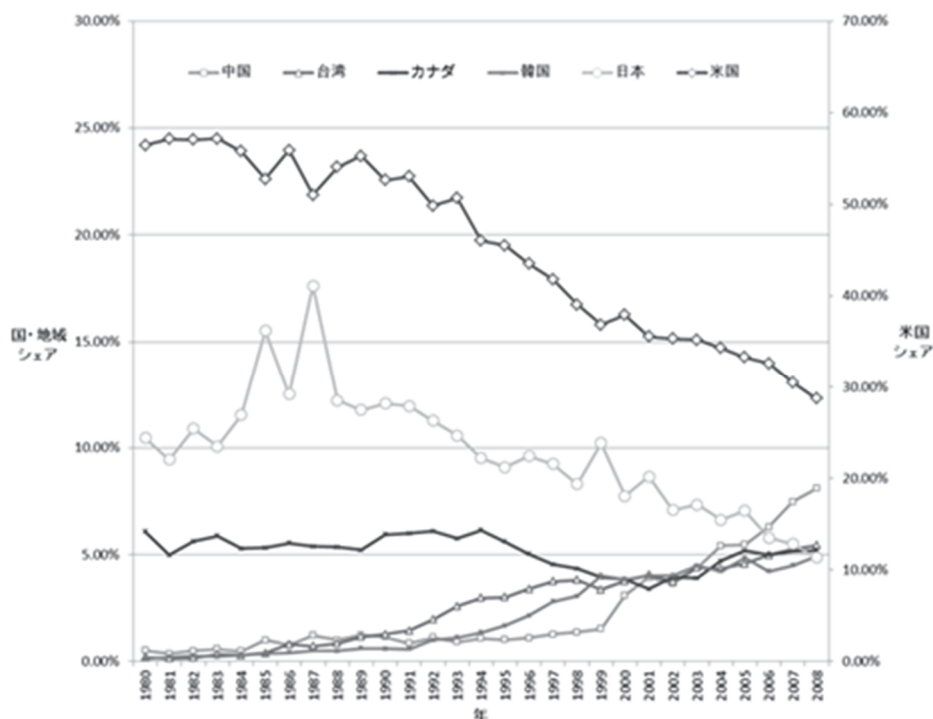


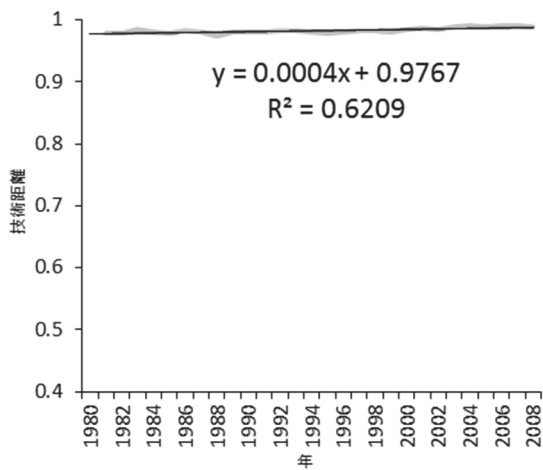
図 21 上位 6 ヶ国・地域の国際シェアの推移（1980～2008 年）

3) 上位6か国の動向乖離指標の推移

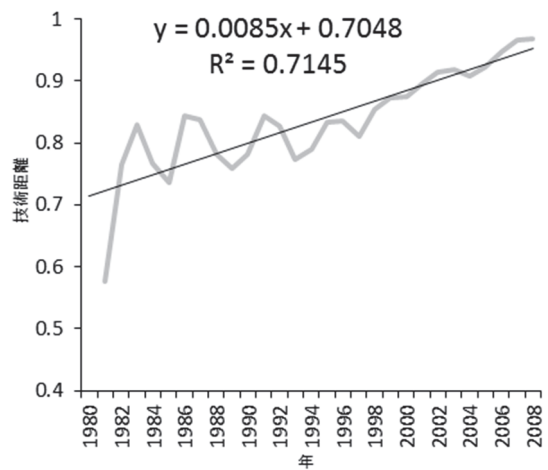
図22は、2008年に日本を超える定期刊行物文献数が見られた米国、中国、台湾、カナダ、韓国の5カ国・地域と日本に関して世界トレンドとの動向乖離指標を、1980年から2008年にかけての推移をみたものである。各年の動向乖離指標を算出後、これも年次変動が大きいため2年移動平均で近似曲線とともに示した。なお、近似曲線は、日本以外の5ヶ国・地域は、線形近似または対数近似で決定係数 R^2 の係数の当てはまりが良い方の近似曲線で示した。日本については、いずれの近似も当てはまりが悪いため、2次の近似曲線を用いた。

米国においては一貫して1に近い値を示しているのに対し、急速に文献数を伸ばした中国は急速に1に漸近する傾向を示している。

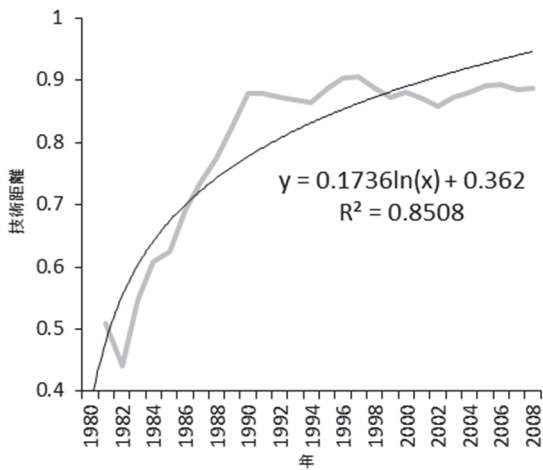
台湾とカナダは、1980年代に世界のトレンドに収斂する方向で動向乖離指標を0.9近くまで縮めた後、1990年代以降一定の動向乖離指標を保っている。韓国は、1990年代後半からカナダと台湾と同様に、一定の動向乖離指標を指向しているようにもみえるが、2000年代になっても動向乖離指標の振幅が他国に比べ大きい。台湾及び韓国の文献数シェアは、一貫して上昇している。カナダは、1990年代後半にシェアを一旦減らし2000年代にシェアを回復する特徴的な推移を見せている。しかし、この間もカナダの動向乖離指標はほぼ一定の値を保っている。こうしたなかで日本のみが徐々に1から遠ざかる曲線的に乖離する時系列推移をみせている。



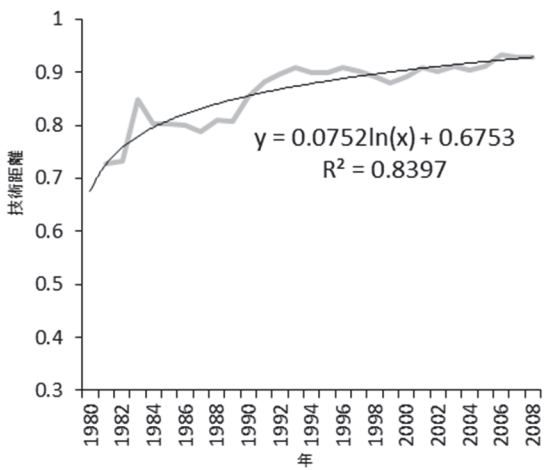
① 米 国



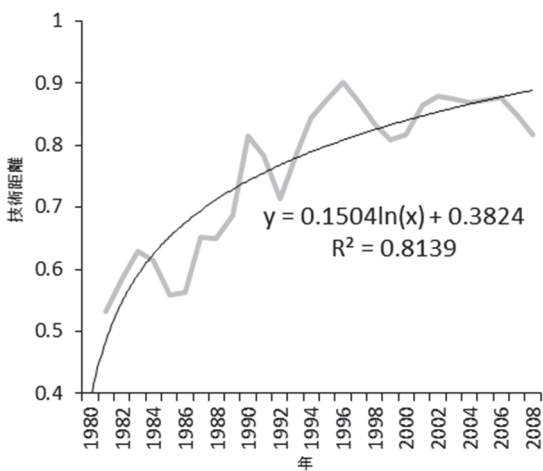
② 中 国



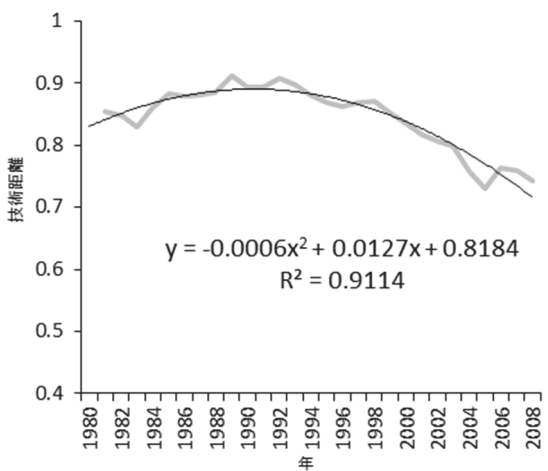
③ 台 湾



④ カ ナ ダ



⑤ 韓 国



⑥ 日 本

図 22 上位 6 ヶ国・地域の動向乖離指標の推移 (1980~2008 年)

4) 詳細分析

以下、国・地域毎に特徴を述べる。

上位6か国の領域別文献数の特徴は、1990年代後半以降、世界のダイナミックな技術トレンドの変化に対応して、一定の動向乖離指標を保ち、戦略性が感じられる点にある。いずれも、電気電子・情報通信関連の産業動態と国際的なプレゼンスを反映した動向変化が観察できた。

(1) 米国

米国は、世界トレンドから一貫して乖離することはない(図22)。すなわち、前節で示したIEEEにおける世界の研究トレンドの変化は、米国の電気電子・情報通信分野におけるトレンドそのものである(図23)。これは、米国が時代の変遷の中で新たな研究の方向性を常に打ち出し、世界の電気電子・情報通信分野を国際的に主導してきたことの証左とも言える。

ただし、文献数の国際シェアは半減している(図21)。

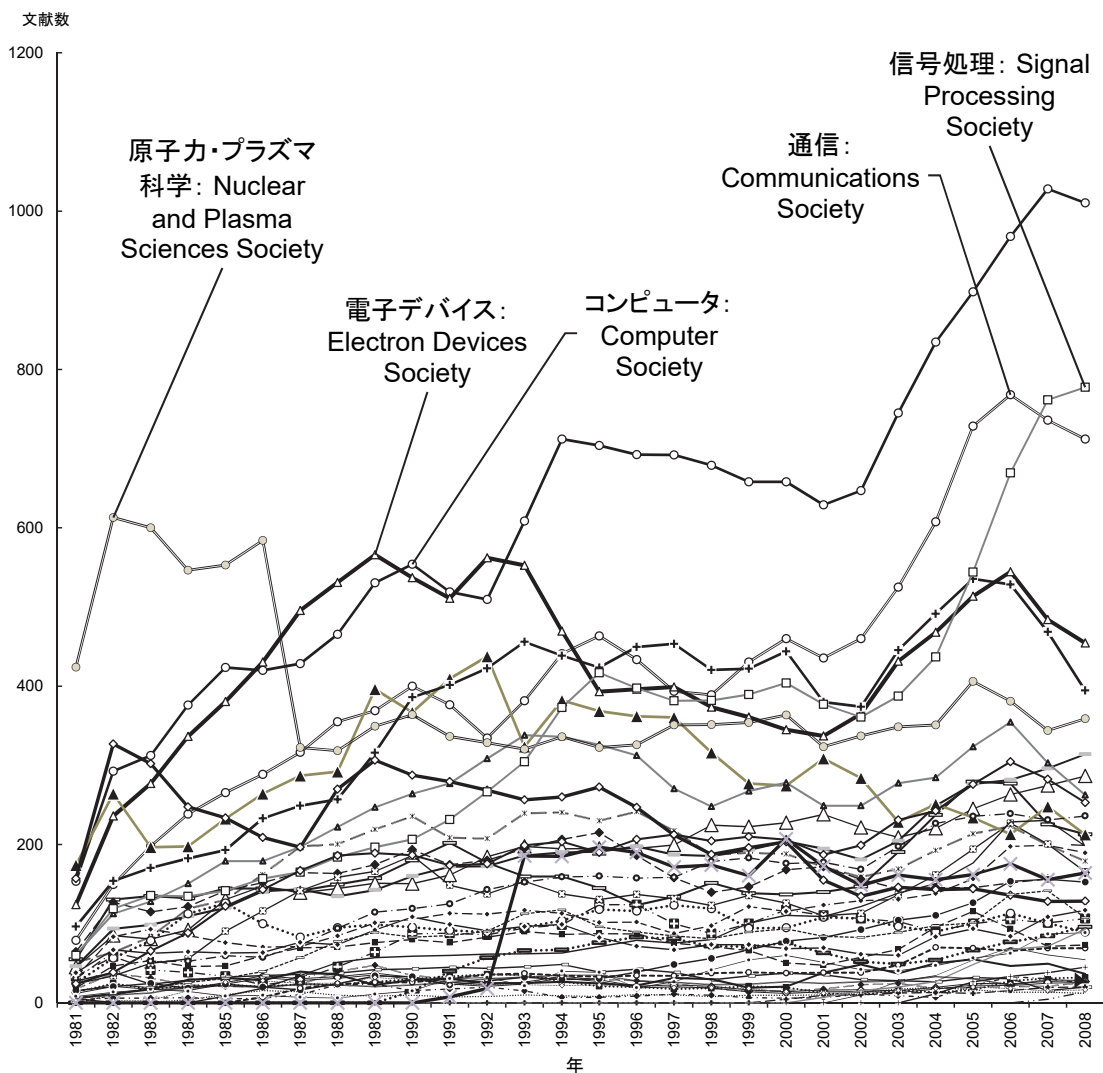


図 23 米国

(2) 中国

中国は、科学技術研究体制の確立に伴い、電気電子・情報通信関連の研究で世界の主導的存在となりつつある。文献数のシェアは2006年に日本を抜き世界2位になっている（図21）。

中国の動向乖離指標は、1980年代から1990年代初頭にかけて世界からはかけ離れ、また年度の振幅も大きかったが、2000年前後から振幅が少なくなり、動向乖離指標は1に向けて収斂しつつある。2000年以降世界トレンドと一致する動向乖離指標に近づいている（図22）。このトレンド推移は、多くの国に共通する傾向である（図17）。

研究トレンドが世界と同じ方向性に収斂する原因は、米国に留学・就業した経験を持つ科学技術人材の影響¹³⁹と考えられる。

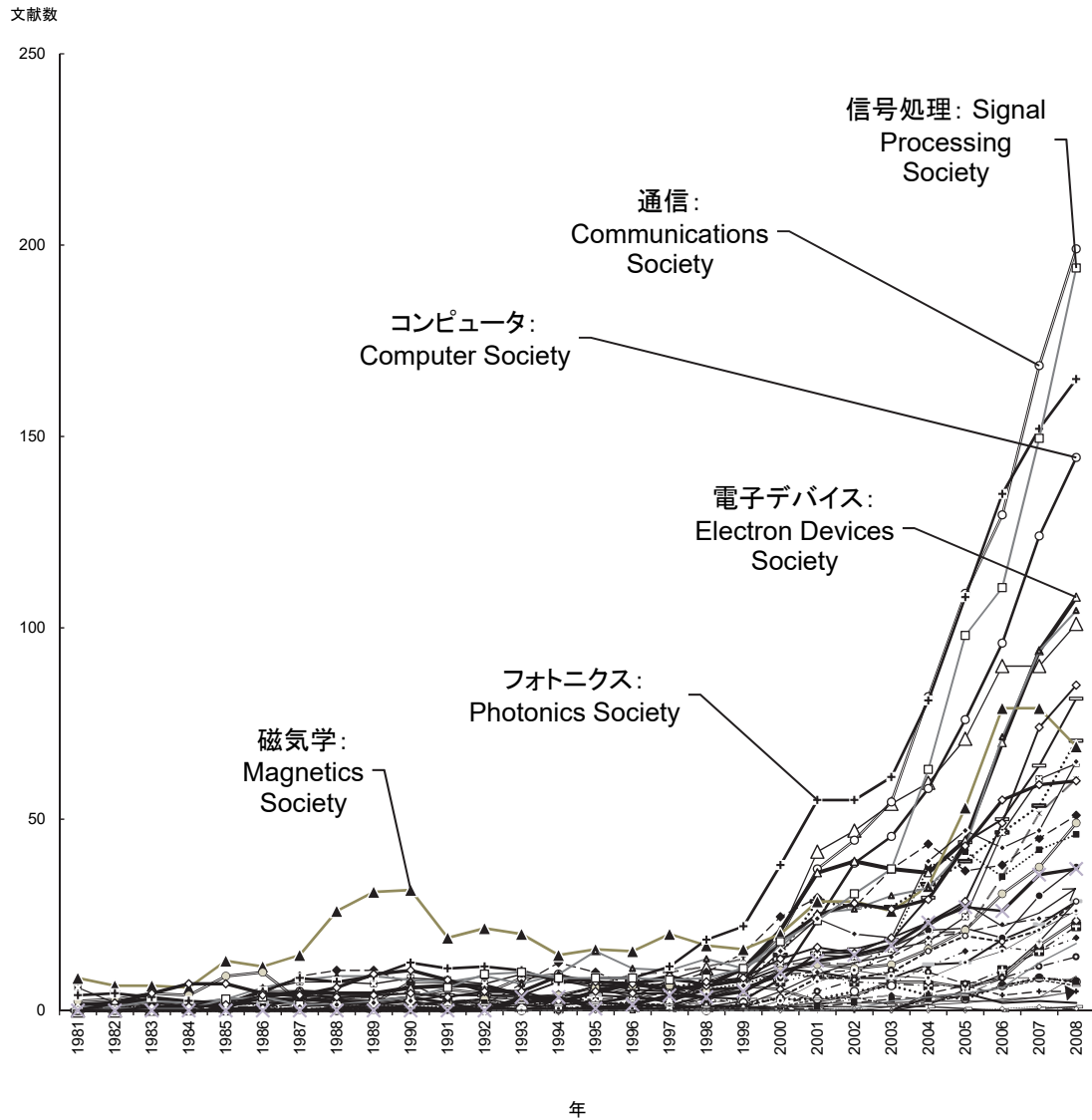


図 24 中国

¹³⁹ IEEE 文献に関する先行研究からも、半導体の HKMG (High-k/Metal Gate) プロセス技術に関する研究の国際的研究ネットワークは、米国で留学・就業した人材が各国に還流することで形成されている (中馬, 2011)。また、コンピュータ、電子デバイス、ロボティクス領域の研究では、米国など出身国外で論文を執筆する著者の数はインドと並び中国の出身者が特に多い (Furukawa & Shirakawa & Okuwada & Sasaki, 2011)。このため、中国は、米国滞在経験を持つ研究者の影響が研究トレンドの変化として特に敏感に反映されているものと考えられる。

(3) 台湾

台湾は、航空・宇宙電子や核・プラズマ科学等いわゆるビックサイエンスの領域の文献数は少ない一方、コンピュータ、通信、信号処理といった2000年代に発展が顕著な情報通信関連と電子デバイス、製造技術、産業応用等の電子関連の領域で文献数を伸ばしている（Shirakawa & Furukawa & Nomura & Okuwada, 2010）。これらは、カナダにおける通信機器、台湾におけるパソコン関連企業、ファウンドリ、EMS（Electronics Manufacturing Service）といった業態の企業の集積・発展に呼応しているように見える。

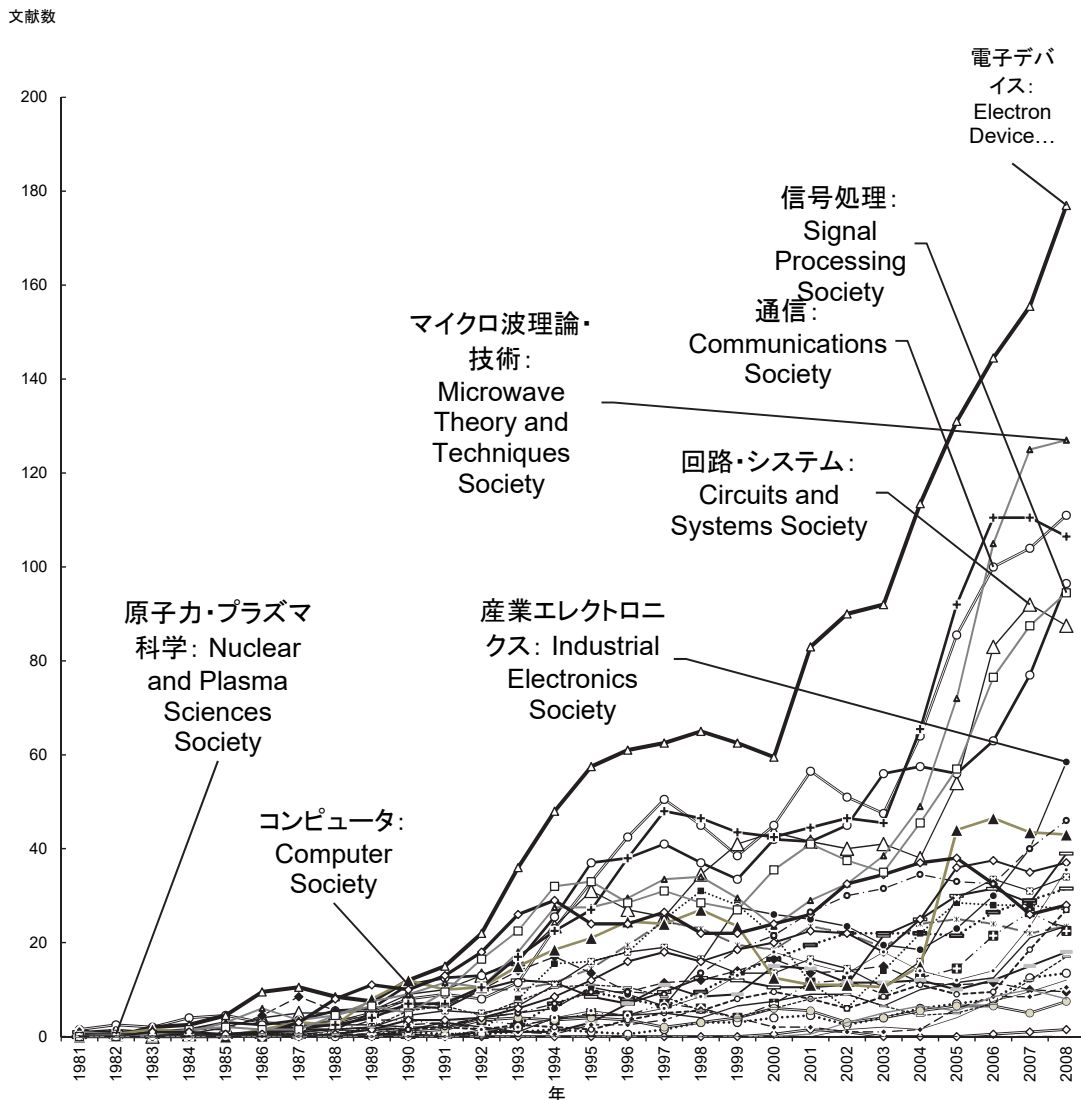


図 25 台湾

(4) カナダ

カナダは、世界の変化に合わせて研究領域の重点を戦略的に変化させてきた（野村・白川・奥和田，2009）。通信や信号処理等2000年代に世界で急速に発展した領域で文献数を増やすことで、国際シェアを回復した（白川・野村・奥和田，2010）。カナダの動向乖離指標と領域俯瞰指標を並べると、政策的に研究領域の組み換えを行う¹⁴⁰戦略的な行動がうかがえる。

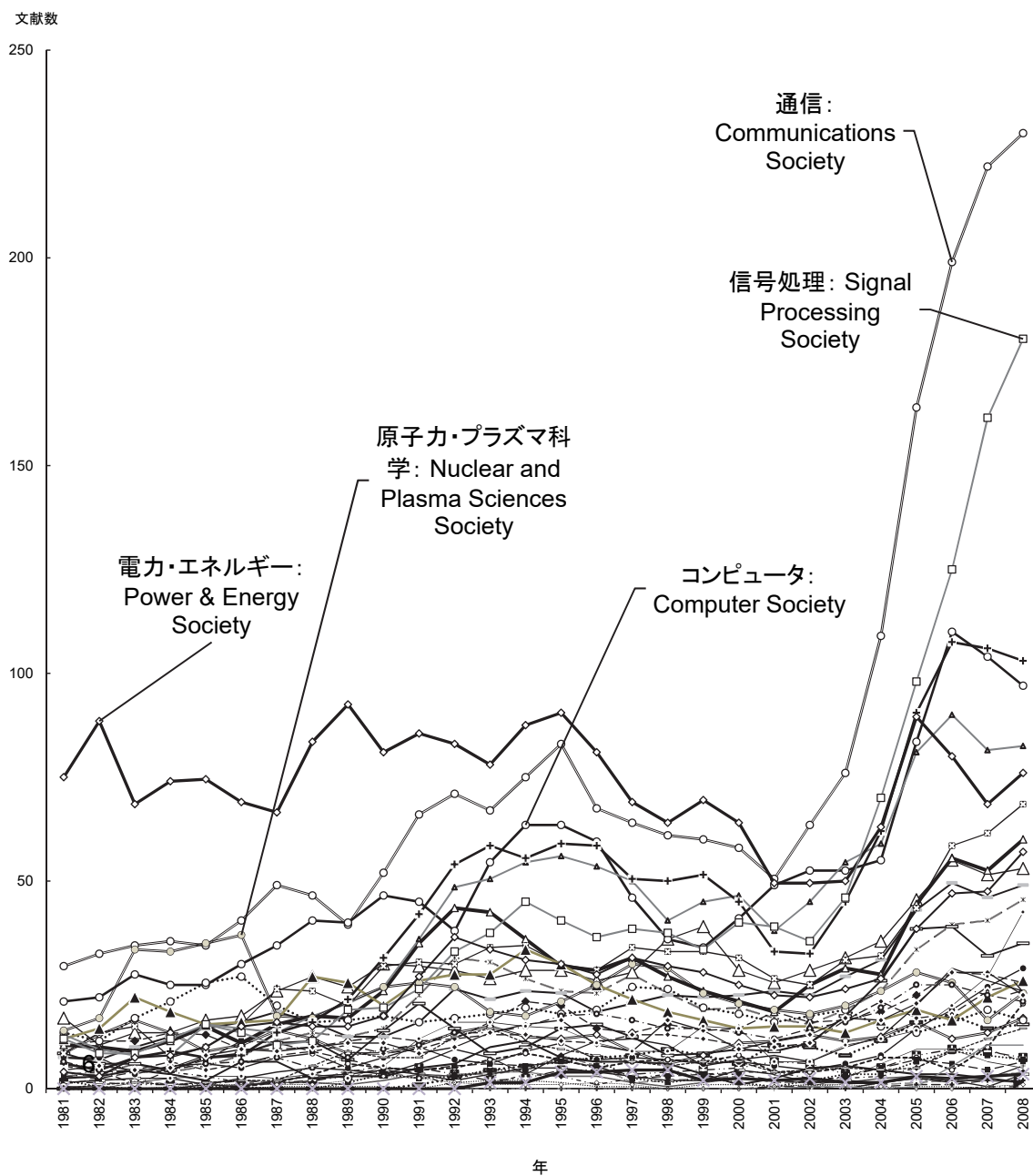


図 26 カナダ

¹⁴⁰ いわゆる「選択と集中」とは、ここでは全方向的に資源投入を増加させて平均化させて動向乖離指標を1に収斂させようとするのではなく、変化に対応して一定の動向乖離指標の値を維持することになる。

(5) 韓国

近年の韓国の領域別文献数を分析すると、家電関連の文献数が世界一で突出して多く、かつての日本と共通の特徴が見られる (Shirakawa & Furukawa & Nomura & Okuwada, 2010) (図 27)。サムソンやLGといったメーカーが世界の家電市場を席巻する近年の韓国は、日本の家電メーカーが世界を席巻した1980年代から1990年代初頭の日本に似ている面がある。

なお、韓国と台湾は、動向乖離指標とシェアの推移を比較すると5年程度のラグがある。これは、関連産業とともに研究が発展し始めた時期の差とみられる。

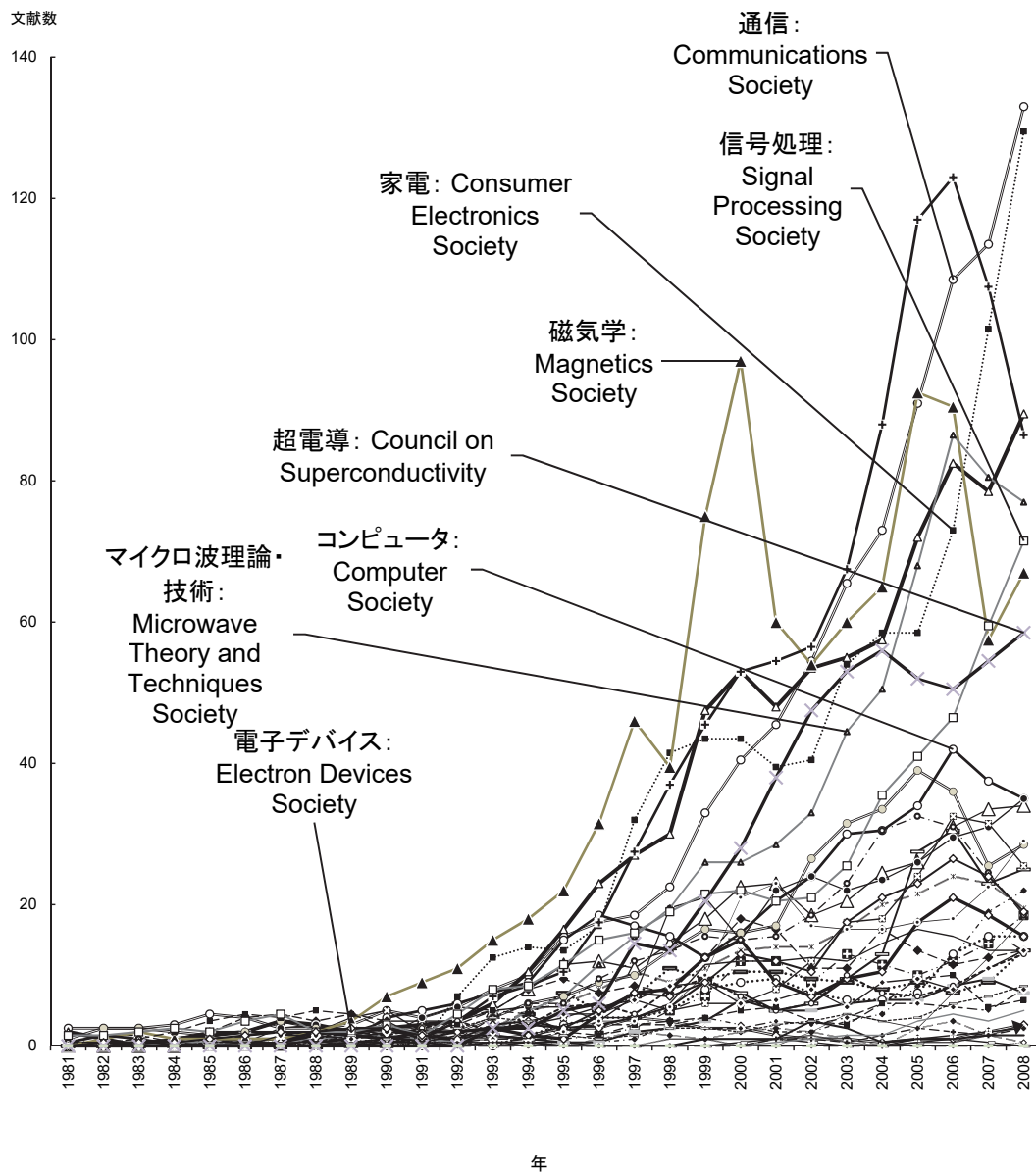


図 27 韓国

(6) 日本

日本は、上記5カ国・地域と異なる動向乖離指標の推移を示す。日本の動向乖離指標は、1990年代以降、15年間以上一貫して世界のトレンドから遠ざかる傾向にある(図22)。日本は、1980年代末にIEEEにおける文献数シェアはピークを迎え、約20%近くまで達した(図21)。その後、シェアは低下傾向であり、2008年には中国、台湾、カナダ、韓国に抜かれている。シェアの減少は1位の米国も同様だが、動向乖離指標が安定して乖離し続ける傾向は、日本特有である。一定の電気電子・情報通信研究の伝統・シェアがある英国、ドイツ、フランス、イタリア等の国は、動向乖離指標の推移は安定的であり、世界トレンドに収斂する傾向がある(図17)。また、文献数が年間100本程度の下位の国は動向乖離指標の年次変動が大きい。日本の動向乖離指標は、他の国・地域にはない変化を遂げている¹⁴¹。

この意味を前節で示した、領域俯瞰指標との関係でみると、米国が競争領域を戦略的に明確にシフトさせるなか、日本は世界的なプレゼンスが高かった時期のポートフォリオ構成を変化させていないことが明確である。つまり、日本の世界との乖離状況を示す動向乖離指標の推移は、工学がイノベーションの創出に直結するものであると考えると、変化に対する硬直性を端的に示す証左¹⁴²であるといえる。

¹⁴¹ 領域俯瞰指標については、前節を参照。

¹⁴² 動向乖離指標が1に一致すること(=世界のトレンドに一致すること)が最適なのではなく、技術変化に対応して一定のポジションを維持することが戦略になる。

5) 規範理論の枠組みを組み合わせた新たな説明仮説の導出

(1) 議論の総括

工学分野では、電気電子から情報通信に研究の中心が移行する動向変化が把握可能となり、日本の研究が世界の趨勢から一貫して乖離する現象が定量的に確認された。ただ、分析対象が米国に本部を置く学協会であり、日本の電気電子・情報通信関連の研究開発の全貌を表すデータとは言いにくい。また、日本の研究開発投資で中心の役割を果たす産業界では、売上が研究開発投資に回るため、文献数は研究開発力より業績の影響を受ける。学協会への関与は、企業により差がある。何より、企業の研究開発によるイノベーション創出モデルが変化している。基礎研究から応用研究・実用化へ向かうリニアモデルは終焉を迎え、1990年代以降クロスファンクショナルチームモデル型に移行し(西, 2007), 自社技術だけでなく他社が持つ技術やアイデアを取り込み製品やビジネスモデルを生み出すオープンイノベーション(Chesbrough 長尾訳 2008)の概念も普及した。

しかし、電子ジャーナル化が進んだ現在でも、研究成果が学術文献として発表・共有される学術情報流通の基本は変化していない。科学技術政策では、産学連携や技術移転などナショナル・イノベーション・システムの整備が各国で進んだ。広範かつ長期間の網羅的データに基づく研究結果からは、日本の科学技術政策に関して、以下のようなマクロの議論が喚起される。

日本の電気電子・情報通信研究は、質・量とも1980年代のような圧倒的な存在感を世界に示していない。また、世界トレンドとの乖離が進むだけではなく、固定化が進み、日本のアカデミアは研究領域の拡大という質の面で世界と比べ多様な発展を育みえていない。少なくとも日本が優れた技術を持っているのにうまく収益化できないというような認識があるとすれば、直ちに修正されるべきである。世界の現実と日本のポジショニングを冷静に受け止め、取りうる戦略的方向性を産学官の利害関係者で合意形成していく必要がある。

生態系における多様性喪失は、将来変化への対応資源の確保という点で衰退の兆候である。議論が必要なのは、世界で成長が著しいにも関わらず日本の国際的存在感がほとんど無い研究領域の扱いである。財政制約が厳しくなることを考えると、日本はロボット工学や超伝導や物質・材料等の優位性を持つ領域で独自のイノベーションを追求する戦略を重視するのか、世界のイノベーションの方向性に合わせ構造転換を図るのか、政策上の方向を明確化する必要がある。さもなければ、大学の工学系学部・学科を中心とした関連研究の公的科学研究投資に対する社会からの信任が揺らぎかねない。

(2) アクターのレベル及び動機に着目した詳細分析

電気電子・情報通信関連分野は、日本が産学官で多く研究費を投入する分野のひとつ(総務省, 2010)であった。また、2001年～2010年の第2期及び第3期の科学技術基本計画では、情報通信は重点分野とされてきた。しかし、本研究のデータを見る限り、次世代産業のシーズとなるべき研究開発力は、1990年以降横ばい状態であり、世界トレンドからも乖離してきている。科学技術研究から産業への技術の吸収効果を考えると、日本のエレクトロニクス産業や情報通信産業における国際競争力の低下と重ね合わされ、白書等で指摘される日本の研究開発の効率性の低下といった懸念とも符合する。

ただし、文献数の順位やシェアで日本が埋没する量的な問題は、大きな問題ではない。大学や公的研究機関の研究に対する当該分野への公的研究開発投資は、増加はしても減少まではしていない。日本国内の関連学会の振興・発展の効果もあると考えられる。産学連携や大学等からの技術移転の実績も蓄積されてきた。日本企業の研究開発投資も、減少傾向にあるとはいえ、国際的には高い水準にある。一連の科学技術システム改革の結果、研究のアウトプットの文献

数は、文献生産の主役が企業から大学へと移ることで産学官の総計としては横ばい状態が維持される構造になっている(白川 & 野村, 2010)ことである。

問題はむしろ、世界トレンドからも科学技術政策で目指した方向からも離れて研究領域が固定化していることである。世界で発展している情報通信系の研究の伸びが少ないところに、従来からの領域の研究が固定的に維持される結果、科学技術政策の意図と異なる方向で選択と集中が進み、ダイナミックに変化する世界と比べ日本の電気電子・情報通信関連の研究が多様な発展を育み得ない構図が生まれていることである。

この構造を分析するために、発見された特徴の原因を解明するために、さらに日本の機関別のデータ整備を行い、アクターのレベル及び動機に着目した詳細分析を行った。

(3) 外部から研究資源を獲得する「官僚」としての科学者・技術者

科学技術政策上、こうした一見不整合に見える現象は、公共選択論の枠組みと組み合わせ、データを分析・解釈すると、新たな説明仮説を導くことが可能になる。

黒川は、(黒川 & 「官僚行動の公共選択分析」編集委員会, 2013)において、官僚制は複雑で多元的であるとするダウンズの行政学における官僚類型と官僚行動モデルと、Dunleavy (1991) を引用しながら公共選択の代表的な官僚モデルとの総合モデルを構築しようと試みている。ここでは、(1)官僚のレベル、すなわち、上級、中級、下級といった官僚のレベルによって選好が異なる(Dunleavy, 1991)、(2)それぞれ利己的動機に支配された行動を採用すると仮定して分析を行う。すなわち、公的セクターとして公的研究開発投資に関する資源配分を競い合うレントシーキングを行い利己的動機に基づき行動する主体とみなしデータの分析・解釈を行う。上記の2つの仮定に基づくと、上級、中級、下級といった官僚のレベルによって以下のような「合理的」な行動が予測される。

省庁レベルの上級官僚は、政策アジェンダ設定することで自らの裁量拡大及び機関の威信の向上を図る。さらに、研究機関や学協会など、利益集団は、中級官僚として自らの予算最大化もしくは専門分野の拡大のための利害調整を行う。下級官僚としての科学者・技術者は、自らの領域の研究活動のための資源の維持・拡大を目的に行動¹⁴³する。

¹⁴³ 藤本 (2005)によると、科学者・技術者の特性には、自らの所属組織よりも自らの専門分野の職能団体に準拠集団を設定する傾向がある。また、研究者は環境を求め、機関間移動を厭わないことも知られている。

6) 詳細分析・新たな説明仮説の論証

ここでは、①上級：霞ヶ関の国の省庁レベル、②中級：大学機関・専門学協会レベル、③下級：研究者・技術者個人レベルとみて、それぞれのアクターがどのような選好動機を持ちうるかを想定し、現実の現象のデータと照らし合わせて分析していくと興味深い整合性のある説明が可能になった。各アクターの個別合理的行動の仮定をもとに、著者の一連の分析データから得られた結果と整合させる仮説推論による分析結果は、以下のようになった。

(1) 上級官僚レベル：科学技術官僚の行動

上級官僚は、予算確保と威信向上が目的となっていた。競争的資金などの改革プログラム予算の獲得と、省庁を超える総合科学技術会議におけるスーパープログラムの構築という自らの威信を向上させる行動をとったとみられる。「選択と集中」というアジェンダ・政策目標も、資源獲得の正統性確保の手段として作用すれば彼らの目的を十分に達成したことになるので、経済活性化などの最終アウトカムの実現には、関心の重きは置かれない。実際の資源配分をみると、国立研究機関の独立行政法人化と国立大学の法人化など制度改革を通じて、基盤的経費は一定率の効率化・予算削減を行う一方、裁量予算である競争的研究資金を大幅に拡大させ、自身の選好に沿って科学技術への予算を総枠で増額させている。

(2) 中級官僚レベル：大学、公的研究機関、学協会等の組織的反応行動

大学や学協会は、中級レベルの官僚的行動をとり、自身の組織にとって必要な資源の維持拡大に努めた。上級官僚が設定した重点化というアジェンダに対し、自身のレントの確保を図った。予算の減少圧力に対応するため、上級官僚に増額されたプログラム予算の資源配分に働きかけを行い、何らかの名目で関連付け、必要に応じて自身の領域への利益誘導を図ったとみられる¹⁴⁴。実際、第2期科学技術基本計画においては、ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料の重点4分野とされた領域は、骨抜きとみられる状況となった。この結果、インクリメンタルな利益集団間の利害調整によって、上級官僚が企図したような科学技術システムの構造変革はもたらされなかった。実際の政策過程の経過では、第3期基本計画のもと総合科学技術会議が策定した「分野別推進戦略」では、研究開発分野を8分野に分け、特に重点を置いて優先的に資源を配分する「重点推進4分野」とエネルギー、ものづくり技術、社会基盤、フロンティアの4分野を「推進4分野」が置かれた。各分野の中での選択と集中を「徹底」し、どこに「集中投資」するのかを明確にするためだとして、数々の専門家も交えた作業の結果として、合計では273もの「重要な」研究開発課題が選定された。

(3) 下級官僚レベル：科学者・技術者の研究者としての個人行動

下級官僚として研究を行う科学者・技術者は、上・中級官僚の設定した枠組みに対して、セクターを超え研究活動の維持拡大に最適な行動をとった。IEEEにおける日本の文献生産数を

¹⁴⁴ こうした上級官僚の行動は、日本の科学技術政策の伝統と表裏一体ものである。日本の政策で「科学技術」という熟語が登場するのは、世界的にも早い。初めて登場したのは、第2次近衛内閣における『科学技術新体制確立要綱』（1941年）とされる（大淀, 1989）（小林信一, 2011）。この「科学技術政策」は、技術系官僚自身の利己的動機の発露でもあり（白川展之, 2014）、日本における科学技術行政の誕生は、技術者の処遇改善と社会的地位向上を求める技術者の運動「技官運動」（大淀, 1989）（大淀, 1997）が関係していた。「科学技術政策」という熟語でのアジェンダセットが、「専門的な知識に基づき自身の分野の仕事を熱狂的に推進する利他的忠誠心と自己利益との双方を追求する専門技術官僚（黒川 2013）」の横断的運動だった。戦後「科学技術行政協議会」（STAC）の設置（1949年）を経て、国家行政組織としては科学技術行政を推進する科学技術庁の創設（1956年）につながったが、国家行政組織内におけるポスト獲得など制度的資源が獲得されると、技術者全体の地位向上という当初の運動目的は忘れ去られた（藤田, 2008）。

分析したと、主体はこの20年間の間で、産業界から大学に文献生産の中心が移っている(白川, 野村, & 奥和田, 2009)にも関わらず、文献数は一定という特徴的な推移を示している。特に、磁気学や電子デバイスなど日本が得意とした研究領域では、研究領域によっては、文献数の数は横ばいであるのに、そのセクター別の文献数シェアのみが企業から大学へと論文生産のシェアが移転しているという着目すべき現象が起きている(白川, 野村, & 奥和田, 2010)。このことは、産学官のセクターを問わない研究を行う科学者・技術者が、自らの研究領域における活動を維持するため、目的合理的に機関間移動を果たした結果といえるだろう。さらに、「選択と集中」を「強み」への特化に対応し、例えば、個人レベルの研究者は、競争的資金の獲得には実績が重視されるので、自身にとって全く新たな研究分野には進出するリスクを回避しつつ、学協会などを通じた働きかけの他に、過去の研究テーマを「(現在政策の重点資源配分対象の) 情報通信に役立つ (既存の得意領域である) デバイスの開発」といった表面的に研究題目を変更して資金を獲得するといった面従腹背の適応行動を採用したものと考えられる(白川他, 2011)。

7) 結論：ロックインと「ガラパゴス化」

公共選択論の規範的な分析視覚と計量書誌的な自生的データを照らし合わせると、個々のアクターの合理的行動からロックインが起き、さらにガラパゴス化現象と呼ばれるような意図せざる不整合が、システム的に起きていることがわかる。それぞれのアクターの行動の結果からは、科学技術への投資拡充と「選択と集中」は、研究蓄積が進んだ研究領域を既得権として維持されることに帰着されたといえよう。さらに、各レベルのアクターの合理的構造に基づく構造的レントシーキングが日本の研究の固定化を強化することになった。つまり、過去の研究蓄積のもとでの「科学技術政策」の充実という自己利益と利他動機に基づく(公的資金によって生活をするという意味での) 上級, 中級, 下級の官僚(政策担当者, 機関, 研究者個人)の集合行為が必然的に招いた世界との乖離が「ガラパゴス化」現象であったと結論付けることができる。科学技術研究において各アクターの自己利益最大化が全体の不整合を招いた結果として、日本の電気電子・情報通信研究の事例をとりあげた。本研究では、既得権益の捕囚としてのロックインが、客観的な知識体系の構築を目指す科学技術研究においても端的にみられることを示すことができた¹⁴⁵。

¹⁴⁵ 更なる議論には、論文と産業の経済的なリンクや人材や研究費といったインプットとアウトプットとの関係の検証が別途必要である。日本の電気電子・情報通信関連分野の論文生産の中心が大学に移る一方、情報通信関連研究を海外研究所で行う企業もでてきた(白川展之 & 野村, 2010)。日本の学協会や大学の組織運営上の課題や日本企業の研究開発の国際展開等、セクターを超えた複合的な要因についても踏み込んだ分析が求められる。

5.2.7 結論：知見の集約・解釈の確定

1) 発見の妥当性

本実証事例は、工学系で世界最大の学会である IEEE に関する計量書誌学上の網羅的データをもとに、科学技術社会論のジャーナル共同体を測定し、さらに情報処理でよく用いられるコサイン類似度を評価指標として利用する学際的研究である。融合的なアプローチにより、定性的に議論されがちな日本のガラパゴス化などと呼ばれる技術経営上の現象に対し、電気電子・情報通信関連分野の研究で日本が諸外国と異なる独自の進化を遂げる様子について定量的な知見を提供した分析上の有用性を示すことができた。

2) 政策的有用性

以下では、さらに分析結果の政策的有用性の妥当性確認を行う。分析結果の政策的有用性は、得られた分析結果の政策議論を喚起するうえでの理解可能性、異なる立場にある者の中での納得性、さらに政策的に用いられた際の影響・効果について主観的側面を含め、総合的に評価した。

(1) 分析実施・解釈確定までのプロセス

データからみえる情報の解釈の妥当性について、一般に妥当性を検証する手段はまだ未確立である。このため本研究における分析プロセスでは、解釈の偏りを手続き的に防止し、観察者の限定された知識を補う次善の策として、専門家や一般のステークホルダーによる、解釈・議論のプロセスを設けることにした。

工学分野では、全数サンプリングによる、記述データの個別の分析解釈を確定させる方法として、客観的なデータを公開し、さらに専門家のフィードバックをワークショップ開催により受け、説明仮説を固めるプロセスを採用した。そのうえで、個人的見解を含む政策分析をまとめた。

具体的な、手順は次のプロセスを経た。

- (1) 分析結果の途中経過の公表
- (2) 検証ワークショップの開催
- (3) 最終レポート及びデータの公開
- (4) 政策利用
- (5) 見解入りの政策分析

解釈を確定させる過程においては、エビデンスとなるデータを共有するプロセスを設定することは、分析の内容の質の向上を担保するだけではない。その場が政策 이슈に関する状況認識の差異と発見を促すコミュニケーションの機会ともなり、副次的効果をもたらすことになった。

(2) ワークショップの詳細

筆者らは、科学技術政策研究所（当時）主催で、世界と日本の工学系の研究開発の状況を明確化するために世界最大の学協会である IEEE（電気電子技術者協会）を対象に各種の分析を行い、得られたデータに基づいて構築的に議論を進めた。本研究では、工学の分析事例について、発見された特異性をもとに、さらに情報を深掘し分析することで、追加的に情報収集を行った結果とともに、一線級のイノベーション論の研究者と工学系の学協会の学会長を務めるなど、俯瞰的に情勢を認識しうる工学研究者を集めたワークショップを開催した。

これにより、分析の妥当性を確認する作業を行って、最終分析結果を確定させた。

第1回ワークショップ（ミニシンポジウム）

2010年10日に第1回のワークショップ（ミニシンポジウム）を開催し、日本の研究開発の領域特異性や国内の人的移動の影響などについての議論を行なった。コメンテーターは、いずれも研究のみならず IEEE の運営にも詳しい、研究者に依頼した。コメンテーターは、いずれも工学系の研究者で、原島文雄¹⁴⁶：首都大学東京学長（当時）、西義雄スタンフォード大学教授¹⁴⁷、小菅一弘東北大学大学院教授¹⁴⁸であった。

第2回ワークショップ（ミニシンポジウム）

第2回のワークショップ（ミニシンポジウム）では、さらに、IEEE に関して至近の変化と研究者の国際流動性の分析結果を加えて、それらの関係性や将来への影響を深く議論した。また、その結果について、主観性を排除するために、直接の分析を行った研究者ではなく、第3者の研究員が客観的に、ワークショップ参加者に追加確認をしながら取りまとめた。

第2回のシンポジウムは、前半後半の2部構成をとり、前半で(1)「IEEE のカンファレンスと定期刊行物の分析から推測される世界と日本の研究開発の状況」と、(2)「3つの研究領域の研究者の国際流動性の比較」についての状況を共有した。その後、前半の発表内容をもとに、参加者全員によるディスカッションが行われた。ディスカッションは、議論の活発化を図るコメントを得るため、工学、経営学（経営戦略論、技術経営論）、経済学（労働経済学）、科学技術政策が専門の研究者からなる4名のコメンテーター¹⁴⁹を設けて進行した。なお、第2回シンポジウムへの参加者は45名であった。

¹⁴⁶ IEEE ライフフェロー、IEEE Third Millennium Medal 等を受賞したロボット研究の先駆者である。

¹⁴⁷ IEEE フェロー等を歴任、IEEE Robert Noyce Medal 等を受賞した半導体研究の有力研究者である。

¹⁴⁸ 日本の学術研究のあり方を議論する公的シンクタンクの(独)日本学術振興会学術システム研究センター主任研究員（当時）で、IEEE Robotics & Automation Society President（当時）でもあった。

¹⁴⁹ コメンテーター役は、工学系研究と大学運営の視点から原島文雄氏（IEEE ライフフェロー、首都大学東京学長：当時）、組織運営と組織の能力の視点から榊原清則氏（法政大学大学院イノベーション・マネジメント研究科教授：当時）、産業の国際競争力との関係性の視点から中馬宏之氏（一橋大学イノベーションセンター教授：当時）、そしてアジアの科学技術イノベーションの今後の発展性の視点から角南篤氏（政策研究大学院大学准教授：当時）である。

(3) 結果

2回のワークショップのなかで、本研究での分析枠組みと議論の範囲、そして解釈を最終的に確定させる論点提示と視点を導くことができた。

① 第1回ワークショップの結果及び論点

第1回ワークショップでは、分析の枠組み設定と分析を深掘することにつながる論点と仮説が得られた。①資源配分、②科学技術イノベーション政策の目標設定、③研究の多様性、④アカデミア（学術）の姿勢、⑤科学技術人材の5つの視点から意見が出された。

具体的には以下のような議論があった(白川 & 野村, 2010)。

- 既存の領域の研究者が自らの研究領域の重要性を主張するあまり、新たな領域の研究者の声が見過ごされがちになっている。
- 政府の音頭でターゲットを定め、重点的な投資・ファンディングを行っても、その領域における研究開発が諸外国や他の領域に比べて必ず活発になるわけではない。例えば、第2期・第3期の科学技術基本計画における情報通信分野への重点化は、十分結果に現れているとはいにくい。
- 法人化や競争的資金への誘導により研究業績への圧力が強まり、研究者は萎縮・保守化し、論文になりやすく成果の出しやすい領域の研究に特化している。
- 企業出身の研究者は、社会のニーズを取り込む意味で大学に採用されてきたはずだが、企業や社会の潮流やニーズとは無関係に、企業に在籍していた当時の研究開発テーマの研究を大学に場所を移して、そのまま続けている可能性がある。
- 大学において、世界のトレンドから離れた従来のままの工学教育によって人材育成を続けた場合、企業や社会の技術ニーズからかけ離れた世代遅れの人材を再生産してしまう恐れがある。

② 第2回ワークショップの結果及び論点

第2回ワークショップでは、分析の骨子につながる説明仮説が得ることができた。

具体的な論点は、企業の研究者が大学に移って以前と同じ研究をしているように見えること、大学の研究は特定領域へ特化しており多様性は見えないこと、などが問題視された。さらに、そこから多様性を確保する仕掛け作りを行うことなどの提案が出された(野村, 2012)。

(4) 解釈の確定

開催結果で得られた論点を、最終的な分析・説明仮説に取り込むことで、最終レポートの原稿を修正し、仕上げを行った。さらにその結論をもって、自らの見解の表明のための論文での分析を執筆し、査読を経て公開させた。

(5) 分析・データの公表

最終分析結果公表までの途中経過に関連して公表したレポート類を、表 12 分析・データの公表の経緯にまとめて示す。最終データについては、調査資料別冊の資料集で集計データを公開¹⁵⁰した。

表 12 分析・データの公表の経緯

プロセス	レポート・論文名	記録・公表媒体等
(1) 分析結果の途中経過の公表	IEEE 定期刊行物における電気電子・情報通信分野の国別概況(白川他, 2009)	文部科学省科学技術政策研究所 調査資料 No.169
	IEEE 定期刊行物における電気電子・情報通信分野の領域別動向—日本と世界のトレンドの差異—(白川他, 2010)	文部科学省科学技術政策研究所調査資料 No.194
(2) 検証ワークショップの開催結果のまとめ (2回)	日本の電気電子・情報通信分野における研究活動の変化(白川 & 野村, 2010)	文部科学省科学技術政策研究所『科学技術動向』No.115, pp.9-19
	シンポジウム「IEEE に見る国際競争激化とグローバル化 —研究人材の国際流動性は研究開発に影響を与えるのか—」開催報告(野村, 2012)	文部科学省科学技術政策研究所『科学技術動向』No.127, pp.36-50
(3) 最終レポート及びデータ公開	IEEE 定期刊行物における電気電子・情報通信分野の領域別動向—日本と世界のトレンドの差異—(白川他, 2011)	文部科学省科学技術政策研究所調査資料 No.194
(4) 政策利用	第 1-2-18 図/我が国における研究開発と産業構造の変化のミスマッチ (文部科学省, 2012)	平成 24 年度 科学技術白書 文部科学省
(5) 見解入りの政策分析	日本の電気電子・情報通信研究の世界トレンドからの乖離に関する計量書誌分析 (2012 年 6 月) (白川, 古川, & 野村, 2012)	日本 MOT 学会査読付論文, 『技術と経済』(544) 50-60
	科学技術・イノベーション政策と公共選択論 (2014 年 9 月)(白川, 2014)	日本公共選択学会『公共選択』(62), 29-49, 2014 木鐸社

※日本語による情報発信を記載。

¹⁵⁰ 工学の分析ではデータの抽出源のデータベース Inspec の使用の際の許諾条件で、データベースから別のデータベースを作成することが禁止されているため、これに抵触しない範囲で配慮した形でデータを公開している。なお、以降の実証（化学と先端科学）においては、こうした問題が生じないような形で検索条件の組み合わせにより指標を作成している。

5.3 実証②：化学分野

5.3.1 分析対象設定：情報要求に基づく測定対象の社会集団の選択

化学とは、物質の構造・性質及び物質相互の反応などのプロセスを扱う自然科学の一部の専門分野であり、近代化学¹⁵¹は 19 世紀に確立された専門分野である。

化学研究では、研究の発展によって、元素から、無機化合物、高分子有機化合物、さらに生体のたんぱく質といったように、徐々に原子量の大きい化学物質を扱うようになってきている。特に、ライフサイエンスの発展に伴い、生化学など分子量が大きい化学物質の研究にシフトしてきたと研究者の間で認識されている。

この中で、日本はこうしたトレンドに十分キャッチアップできていないという指摘・仮説がある。ここでは、日本の化学研究の構造が、世界の変化に追従できているかを仮説検証する。

5.3.2 情報検索：対象社会集団に関する分析母集団データの網羅的抽出

1) 測定目標と社会集団設定とその根拠の提示

科学の実証では、分析対象の社会集団を、米国化学会 (ACS) が世界の化学研究関連団体と共同で世界の化学文献の索引付けを行う活動であるデータベースの Chemical Abstracts の Chemical Abstracts Service (CAS) のコミュニティに設定した。

CAS とは、公表されたすべての化学物質情報を収集・体系化する機関として世界に知られ、Chemical Abstracts は、世界の化学・製薬企業、大学、政府機関、特許発行機関から信頼され利用されているデータベースである¹⁵²。

2) 測定概念と作業仮説の設定

Chemical Abstracts の特徴は、化学の専門分野を共有する世界各国の学協会の連携・協力¹⁵³のもと、索引作成作業が各国の化学関連の学協会・団体によって研究者自身の活動として共同で行われている¹⁵⁴ことである。

したがって、このデータベースに収録されているデータの情報検索を行うと、化学研究の動向変化がその社会集団の内部の組織構造に沿って抽出できるはずである。さらに、日本が世界の化学研究と乖離しているかどうかも特徴が検知できると考えられる。

¹⁵¹ 化学には、数百年の伝統がある。しかし、本研究の主眼は科学技術政策であることから、19 世紀後半からの第二次産業革命で重化学工業が発達し化学工業や電気工業を軍事や産業上の目的に役立てようとする科学技術の考え方が生まれてきた時期以降について、分析対象と捉える。それ以前の化学史に関する事項は扱わない。

¹⁵² Chemical Abstracts では、化学構造、タンパク質・核酸の配列なども検索可能である。企業や政府機関、教育機関の研究者にはオンライン情報検索サービス SciFinder® や STN® などとの組み合わせでデータが提供される。

¹⁵³ 日本では、(公社) 日本化学会の関連団体である化学情報協会 (JAICI) が 1982 年から協力関係を結び、CAS の総代理店となり Chemical Abstracts 関連製品の提供・サポートだけではなく、日本の化学技術情報全般に関してデータベースへのデータ作成・掲載作業を行っている。

¹⁵⁴ 化学研究を行う社会集団の立場に立つと、化学研究とは、このデータベースに採録されたものといっても過言ではない。なぜならば、科学者集団自身による分類作成は、常に流動的に範囲を拡大しながら発展を続けている化学研究の外延を定義する境界画定作業を行っていることに等しいからである。このことは、データ検索・分析に理想的なデータの条件を満たしていることを意味する。おそらく、計量書誌学の初期の研究成果 (例えば、Price 島尾訳 1970) など) が、当該データベースを用いたことと無縁ではないと思われる。

5.3.3 分類設定：部分組織に対応させたクラスタリングによる時系列構造化

1) データサンプリングの方法・手段

1982年から2012年までの5年毎の動向変化を、Chemical Abstractsのデータから国別、領域別の文献数の情報検索結果について単純集計を行うことにした。

データ源については、2015年12月現在1808年以降の書誌数42,308,500件の書誌情報があるChemical Abstracts CPlus（電子サービス版）を利用した。本研究における情報検索は、米国化学会（American Chemical Society）の情報部門であるChemical Abstracts Service（CAS）の提供している科学技術分野のオンライン情報サービスSTN（エスティーエヌ）のデータベース検索機能を用い、化学情報協会が商用で提供する情報検索サービスを利用した。

データ源については、2015年12月現在1808年以降の書誌数42,308,500件の論文・特許等の書誌データがあるChemical Abstracts CPlus（電子サービス版）に基づき日本の化学情報協会の行う情報検索サービスを利用して国別文献数のデータを得た。検索したデータは、1982年以降のデータを5年ごとに663,358件の文献を対象に、旧ソ連を含む25か国と旧ソを分析対象国に設定し、情報検索結果をもとに時系列指標を作成することにした。

2) クラスタリング用のデータの抽出

領域分類用データの設定については、米国化学会（ACS）の領域別活動の単位であるテクニカル・ディビジョン（technical-division）に対応した分類を利用することとし、Chemical Abstractsの属性分類一覧から「セクション（section）」を検索条件¹⁵⁵に選択した。

Chemical Abstractsには、化学及びそれに関連する電気工学等の周辺分野の文献データベースが各国の化学の学協会のアナリストの作業により整備¹⁵⁶されている。文献ごとに書誌番号（Record Number）がユニークに付与され、標題と抄録と補遺語、索引語が一般的な検索フィールドがある。

「セクション」とは、大きく5研究領域（生化学・有機化学・高分子化学・応用化学・物理/無機/分析化学）に分かれた専門分野からさらに合計80に細分されているデータベースの属性フィールドで、化学文献はいずれか一つの「セクション」に分類される。

この分類属性を設定した理由は、米国化学会の学会活動の領域の単位技術分科会（テクニカル・ディビジョン：technical division）と対応¹⁵⁷付けられることが確認できたためである。

¹⁵⁵ 所属機関や、専門分野の中分類を示す分類の「セクション（Section）」、文献中で記載されている物質がどのような社会的機能を持つかを示す分類の「ロール（Role）」、掲載学術誌名などのフィールドなどの属性のメタデータが付与されている（詳細については、5.3.5参照）。

¹⁵⁶ このデータベースを用いて単純集計分析を行う場合、索引作成が化学関連のコミュニティ自身によってされているという意味では、研究者自身が作成した索引ではないことに起因する索引作成者効果のバイアスがある程度緩和されているため動向変化が観察しやすいデータが得られるものと予想される。

¹⁵⁷ ACSには、33の技術分科会（テクニカル・ディビジョン）があるが、この粒度とセクションで定めている大分類とセクションの関係を目視により確認できたので、属性「セクション」を用いることにした。

3) 指標作成

(1) クラスタリング用のデータの定義

あるセクションに化学文献を著者の所属組織の国別に分類する。分類属性「セクション」 j に属する t 年における組織 k の文献数を $y_{jk}(t)$ とし、これらを要素とする行列を $Y(t)$ とおく。

$$Y(t) = AX(t)$$

(2) 領域俯瞰指標

ここで、 $Y(t)$ の k 列の各要素 $y_{ik}(t)$, ($i=1,2,\dots,n$) が国 k に分類される研究領域別の t 年の年間文献数を表す。この列ベクトル $y_i(t)$ を国別のポジションとする。 t 年におけるある国 i のポジション $y_i(t)$ の定義から、世界の研究領域別のポジション $y_w(t)$ は、次式のとおり表現できる。

$$y_w(t) = \sum_{i=1}^n y_i(t)$$

(3) 動向乖離指標：研究開発活動の構成の変化への適合

t 年における世界の化学の研究開発ポジション $y_w(t)$ とある国 i のポジション $y_i(t)$ をもとに、世界とある国 i との化学の研究開発ポジションの類似性を示す指標 $P_i(t)$ を定義する。国 i における研究開発の活動構成の世界との類似度を示す $P_i(t)$ は、 $y_w(t)$ と $y_i(t)$ が成す角の余弦として次のとおり表現される。

$$P_i(t) = \frac{y_w(t) \cdot y_i(t)}{|y_w(t)| |y_i(t)|}$$

5.3.4 可視化：構造化データセットからの指標の記述的分析

1) 領域別文献数推移（領域俯瞰指標）からの記述的分析

(1) 世界の研究領域動向

図 28 には、世界の研究領域別の文献数の推移を 1982 年から 5 年毎に示す。

1982 年と 1987 年には、物理・無機・分析化学のうちの光、電子、質量分光学、その他の関連する性質 (Optical, Electron, and Mass Spectroscopy and Other Related Properties) が最も文献数が多かった。

この文献数をキャッチアップする形で、1992 年には、物理・無機・分析化学の電気的性質 (Electric Phenomena) がこれに迫る勢いで伸びている。ただし、薬理学 (Pharmacology) 及び哺乳類病理生化学 (Mammalian Pathological Biochemistry) が抜き、1992 年、1997 年には、もっとも文献数の多い研究領域になって現在に至っている。

さらに、2012 年には、免疫化学 (Immunochemistry) がこれらを抜き、物理・無機・分析化学の 2 つの研究領域を抜き、3 番目の文献数の研究領域になっている。

1980 年代までの化学は、物理・無機・分析化学が中心であったが、1990 年代になるとエレクトロニクス関連の研究が増加し、電気的性質に関する研究が増加したとみられる。さらに、1990 年代以降の化学研究は、物理・無機・分析化学よりも、創薬を目的とした実用的な研究へと研究の重点が移行した。さらに、2000 年代になると、免疫化学に関する研究が増加するなど、生化学に研究の重心が移動してきたことが俯瞰できる。

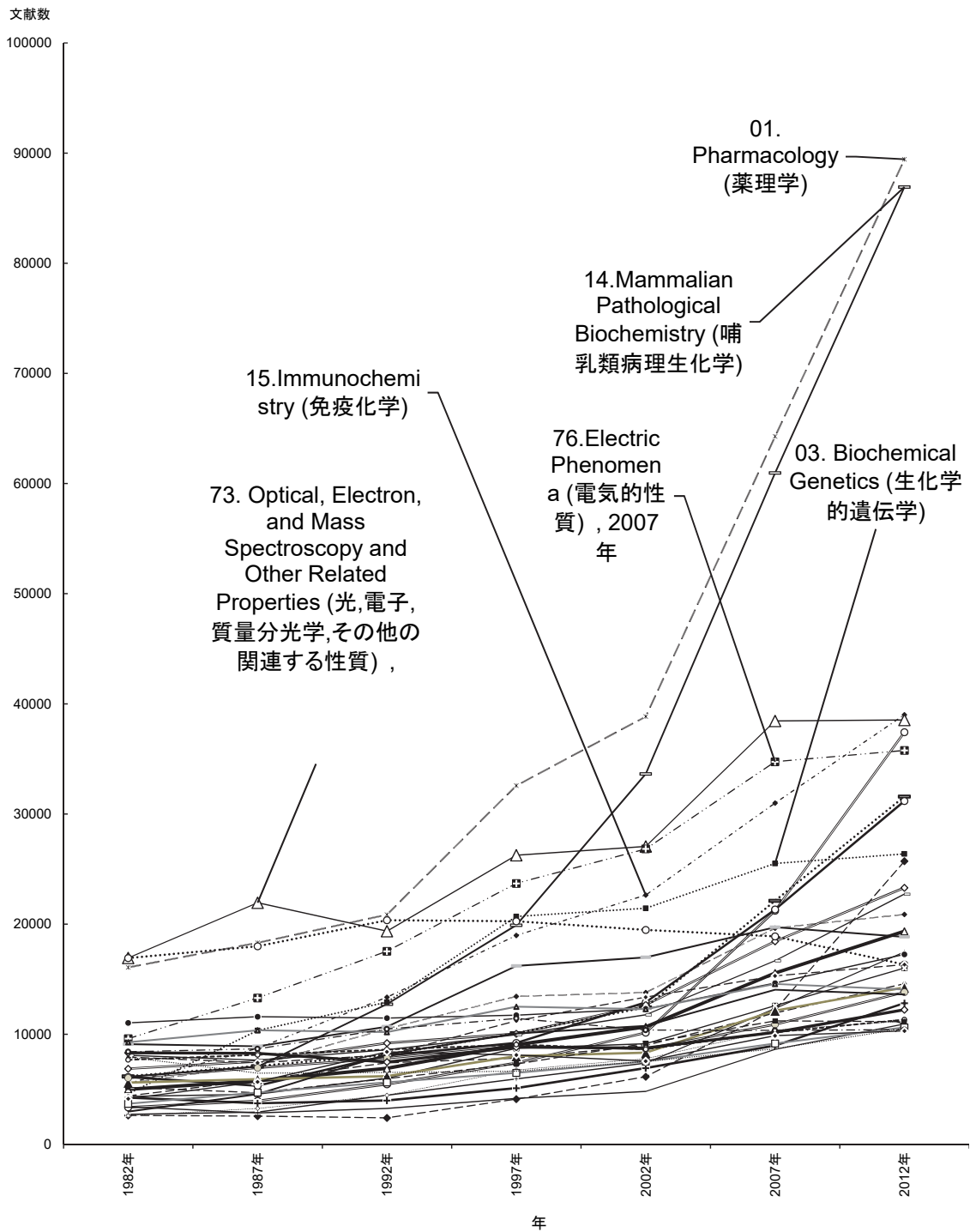


図 28 領域別文献数：世界の化学研究の推移（1982年~2012年）

(2) 日本の文献数推移

図 29 には、日本の領域別の文献数の推移を 1982 年から 5 年毎に示す。

日本は、1982 年と 1987 年から薬理学 (Pharmacology) に関する研究領域の文献数が最も多かった。

1990 年代に生化学の哺乳類病理生化学(Mammalian Pathological Biochemistry)と物理・無機・分析化学のうちの電氣的性質 (Electric Phenomena)に関する文献数が同じ勢いで伸び、2000 年代になると哺乳類病理生化学(Mammalian Pathological Biochemistry)の研究領域が最も文献数が多くなっている。

ただし、1997 年以降、1990 年代まではいずれの領域でも順調に文献数の伸びを見せていた。しかし、2002 年以降は、生化学のなかでも、Mammalian Hormones (ホルモン薬理学)、Biochemical Genetics (生化学的遺伝学) といった研究領域のセクションの文献数が減少傾向に転じたことが特徴となっている。

さらに、2012 年には、物理・無機・分析化学のうちの光、電子、質量分光学、その他の関連する性質 (Optical, Electron, and Mass Spectroscopy and Other Related Properties) と電氣的性質 (Electric Phenomena)に関する文献数がともに急落している。

化学においては、日本は世界のトレンドと乖離するような現象は起きていない。2000 年代になると、免疫化学に関する研究が増加するなど、生化学のなかでも研究の重心が世界のトレンドに合致して変遷してきたことがみてとれる。むしろ、1980 年代までの化学は、物理・無機・分析化学が中心であったが、薬学研究などへ中心がシフトしており、こうした変化は、むしろ世界を先取り¹⁵⁸していた傾向がうかがえ、日本が科学研究の変化を牽引していたとも考えられる¹⁵⁹。

¹⁵⁸ この原因は、日本の大学において、薬学部が独立した存在として置かれてきたことが影響している。良質な化学人材の輩出に薬学部が果たした役割は、工学部の拡充が産業界の人材ニーズに追いつかなかった時代に特に大きな貢献をしたといわれている。

¹⁵⁹ 実際化学分野に関しては世界を牽引するような研究者を多く輩出しているのだから、こうした要因と定量的な結果が示す事実は合致しているといえる。

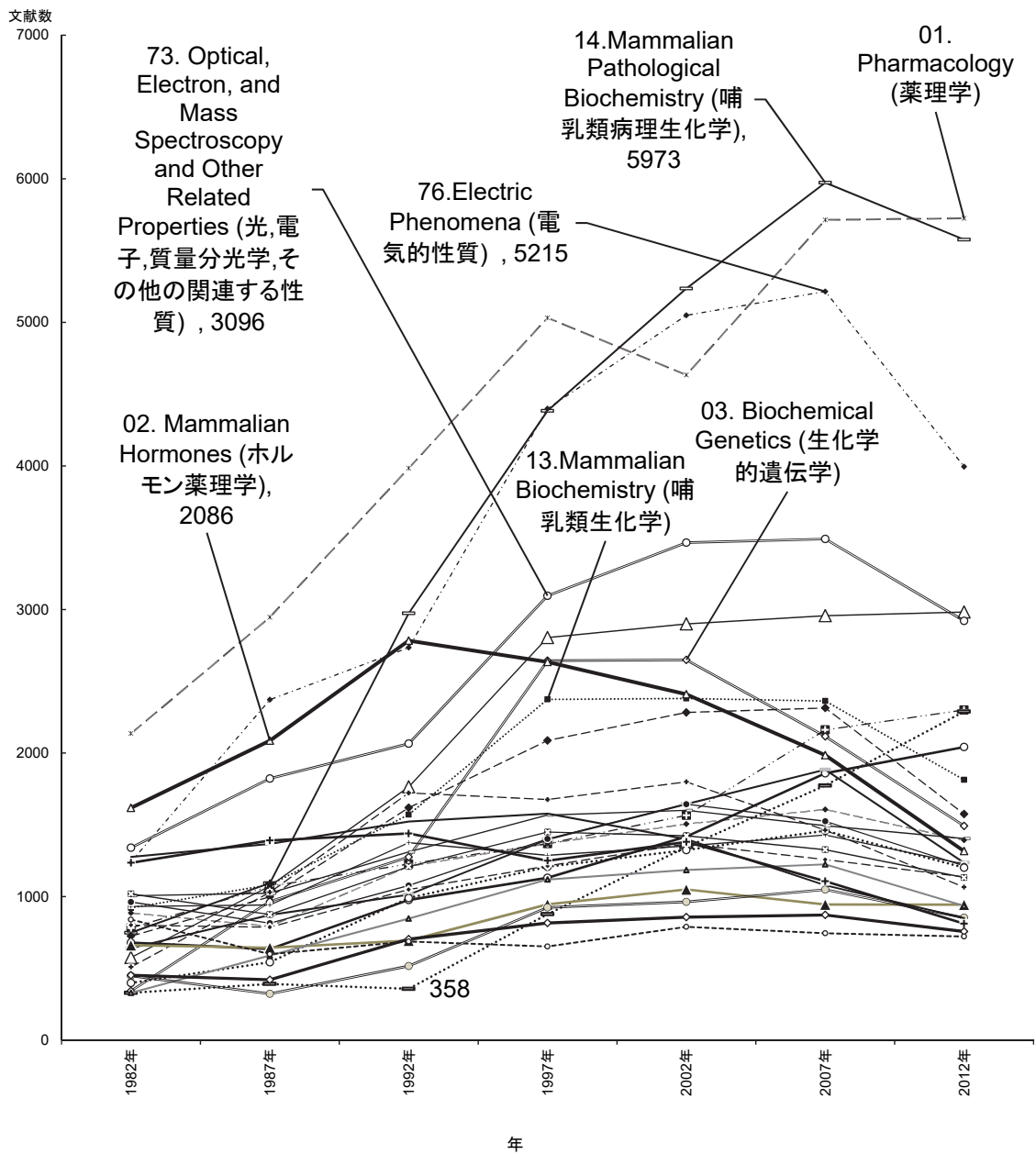


図 29 日本の化学研究領域別推移 (1982年~2012年)

(3) 世界の国別文献数の推移

図 30 には、各国の総文献数の推移を示す。

1980年代には、米国に次いで旧ソ連が世界第2位の文献数を示していたが、旧ソ連邦が解体されると、これに代わって1990年代は、日本が世界第2位の文献数となり、その次に統一後のドイツが続く文献数を出すようになった。また、2000年代になると、中国が日本を抜き、さらに米国の文献数も抜き中国の文献数が圧倒的に世界一になっている。さらに、2012年には、新興国のインドの文献数がドイツを抜き、世界の中で量的な研究アウトプットを出しており、存在感を示すようになっている。

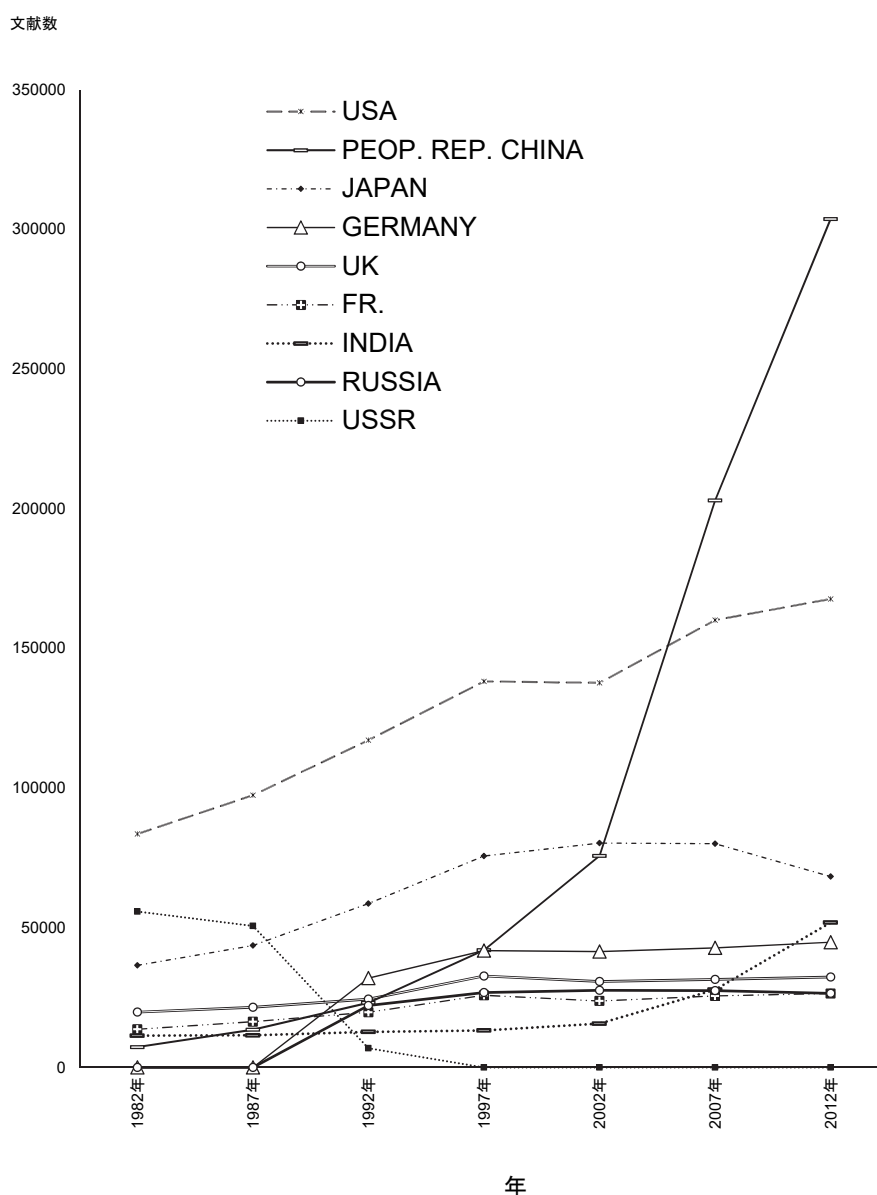


図 30 化学研究の国別文献数推移 (1982年~2012年)

2) 動向乖離指標の推移

図 31 には、世界 20 か国の化学研究に関する動向乖離指標の 1982 年以降の推移について示す。

日本は常に他国と異なり、米国に類似しつつも一定の距離をとり 0.95 の近辺で安定した数値を示している。この結果、適度な戦略的な立ち位置を維持して変化に対応しながら推移してきたことがうかがえる。

また、中国や韓国など多くの国は、研究のアウトプットは一定もしくは微増傾向にあり、1990 年代以降一貫して動向乖離指標の値は 1 に向けて値が上昇してきている。

一方、特徴的な推移を見せたのはロシアである。旧ソ連時代から一貫して世界のトレンドの活動構成から乖離する方向性を示している。

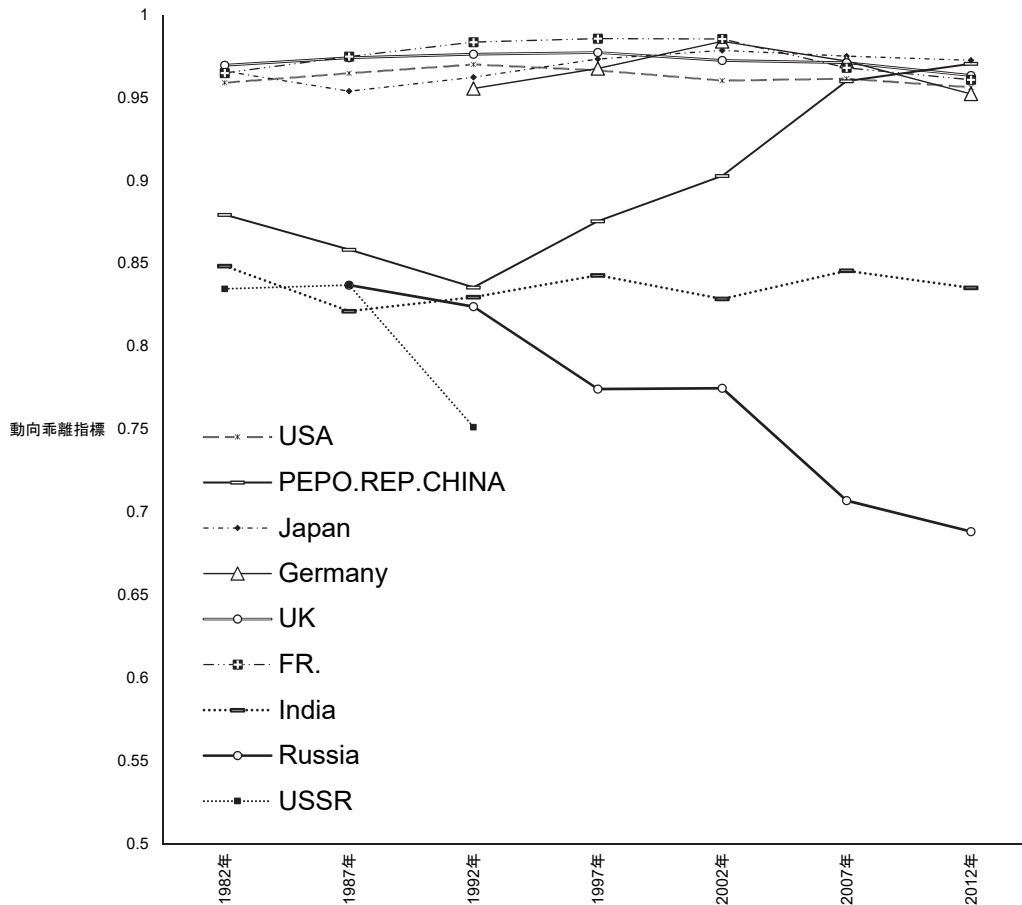


図 31 各国の動向乖離指標・研究活動構成の推移 (1982 年～2012 年)

5.3.5 検証：作成指標の説得性の検証

1) 検証方策

以下では、自生的な社会集団の構造を反映させた指標作成を行う本研究の分析母集団の設定とデータ取得方法に関しての技術的有用性について検証した。

検証方法は、情報検索の方法の妥当性を、集計軸とするデータベースフィールドの違いによる検索結果を比較することで実施した。検証作業は、探索したい主題に近い属性のデータフィールドと、探索したい主題の社会集団単位の時系列変化の動向観察を行うという本研究の定めた方法との間でどちらが観察しやすいかを比較する実験を行った。具体的には、1981年から5年毎に、化学文献のデータベースである Chemical Abstracts において付与されている「セクション (section)¹⁶⁰」と「ロール (role)」の2つのデータ属性別の検索結果を比較した。

なお、比較対象の属性とした「ロール」では、「化粧品」や「反応プロセス」など社会での用途を表し、社会実装・応用に関する用途を直接的に表現した用語が分類として付与されている。

2) 検証結果

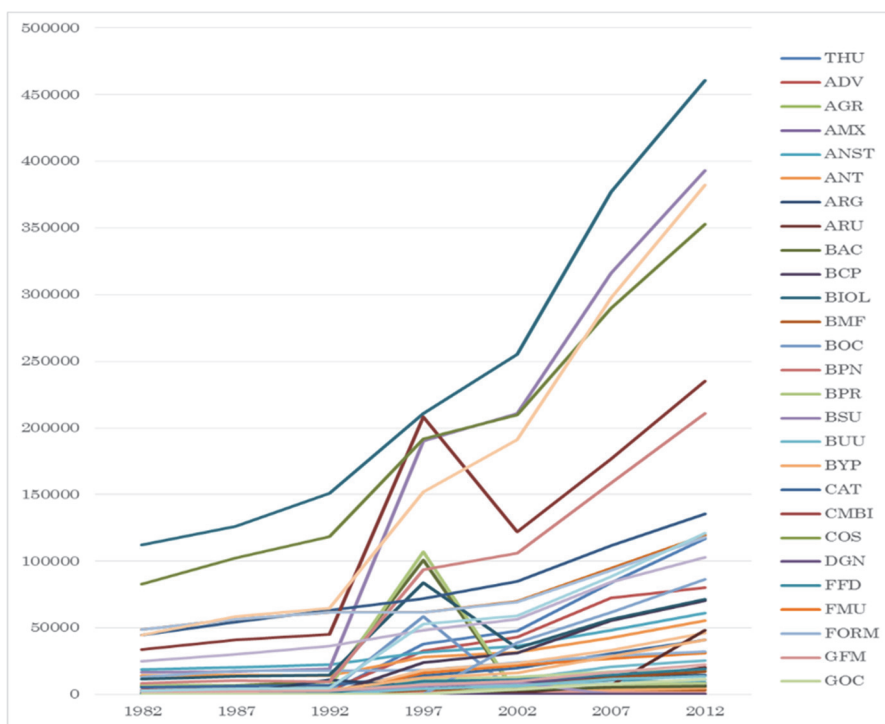
図 32 には、「ロール」別の属性分類による検索結果を示す。図を見ると、1997年にデータ全体が上振れしているショックがみられ、安定した状況には見られない。また、「セクション」別の分類のようなダイナミックな技術動向の変化が観察¹⁶¹しにくい。

「ロール」の索引語は、化学プロセスや化粧品用途など、直接的に分析したい化学研究の情報要求に直接一致するはずである。しかし、この分類で時系列指標を作成すると、索引付けの基準の改訂による索引付けのぶれが大きく、時系列で一貫した動向変化を観察するには不向きであった。一方、前節に示した「セクション」単位の属性分類による指標では、学問分野として化学の進化・発展の方向性について、冷戦時の核関連の物理・化学から生化学や薬理物質に関する研究へと化学研究の中心がシフトした大域的变化が観察できている (図 28)。したがって、観察したい主題に直接的に関連するデータフィールドの単純集計による時系列変化より、関連活動を行う社会集団を組織単位で時系列推移を観察した方が、俯瞰的情報の獲得のための検索方法として優れているといえる。

この結果、本研究で提案している社会集団単位でベンチマークを設定し、その社会集団内部の組織に対応させて指標化を行う本研究の方法は、単一データベースで単純集計分析を行う場合においても、検索条件の設定で有効な指針を提供しており技術的有用性があると結論付けられる。

¹⁶⁰ 一方、本研究で選択した分類のデータベースフィールド「セクション」は、米国化学会の科学者集団の領域別活動の組織単位のテクニカル・ディビジョンと対応付けが確認済みの分類である。

¹⁶¹ 社会における用途に関しては、時々の文脈によって変化するので、安定した技術変化を時系列で観察を行うトレンド分析には向いていない。この理由は、科学知識の正しさ(妥当性)は、それが形成され検証された特定の理想化された実験的条件や、関連する科学者共同体が同意する解釈上の規約などの「成立条件」の文脈に依存しているからである。科学知識のいわゆる「普遍性」とは、条件付きのもので、こうした概念を科学技術社会論では、科学知識の状況依存性 (Contingency of scientific knowledge) と呼ぶ(藤垣, 2005)。科学知識は、実験室など成立条件が成り立つ元の文脈を離れて拡張適用される際に、条件依存性が忘れられ、「いつでも・どこでも」成り立つかのように考えられがちである。例えば、環境問題や公衆衛生リスクの問題など、現実の社会的問題に科学が関わる際に、見受けられる。しかし、社会的問題に解明や解決に科学技術を利用するには、その問題の現場に即したデータや方法論の選択を行う必要がある。今回のような単純集計による情報分析を行う場合でさえも、こうした状況依存性に配慮しなければ必要な情報をうまく得ることができない。



CAS ロール一覧

(2008年2月)

コード*	英語名 (和訳)	付与期間
PREP	Preparation (製造)	1907- **
BMF	Bioindustrial Manufacture (生化学的工業生産)	
BPN	Biosynthetic Preparation (生化学的合成)	1967-
BYP	Byproduct (副生成物)	
CPN	Combinatorial Preparation (コンビナトリアル・ケミストリーによる合成)	2002-
IMF	Industrial Manufacture (化学的工業生産)	
PUR	Purification or Recovery (精製)	1967-
SPN	Synthetic Preparation (化学合成)	
PNU	Preparation, Unclassified (上記以外の製造)	1967-2006
PROC	Process (プロセス)	1967-
BCP	Biochemical Process (生化学的プロセス)	2002-
BPR	Biological Process (生物学的プロセス)	1967-2001
GPR	Geological or Astronomical Process (地質学的, 天文学的プロセス)	
PEP	Physical, Engineering or Chemical Process (物理的, 工学的, または化学的プロセス)	1967-
CPS	Chemical Process (化学的プロセス)	
EPR	Engineering Process (工学的プロセス)	2002-2006
PYP	Physical Process (物理的プロセス)	
REM	Removal or Disposal (除去または処分)	1967-
PRPH	Prophetic Substance (Prophetic 物質)	2008-
RACT	Reactant or Reagent (反応物または試薬)	1967- ***
RCT	Reactant (反応物)	1967-
CRT	Combinatorial Reactant (コンビナトリアル・ケミストリーでの反応物)	
RGT	Reagent (試薬)	2002-
CRG	Combinatorial Reagent (コンビナトリアル・ケミストリーでの試薬)	
USES	Uses (用途)	1967-
AGR	Agricultural Use (農業関連用途)	
ARG	Analytical Reagent Use (分析試薬用途)	1967-
CAT	Catalyst Use (触媒用途)	
COS	Cosmetic Use (化粧品用途)	
CUS	Combinatorial Use (コンビナトリアル・ケミストリーでの用途)	2002-
DGN	Diagnostic Use (診断用途)	
FFD	Food and Feed Use (食品または飼料用途)	
MOA	Modifier or Additive Use (改良剤または添加物用途)	
POF	Polymer in Formulation (ポリマー組成物)	1967-
TEM	Technical or Engineered Material Use (工学・工業材料用途)	
THU	Therapeutic Use (医薬用途)	
DEV	Device Component Use (素子や装置の成分としての用途)	1967-2006
BUU	Biological Use, Unclassified (上記以外の生物学的用途)	
NUU	Nonbiological Use, Unclassified/Other Use, Unclassified (上記以外の用途)	1967-
PRP	Properties (物性)	
MSC	Miscellaneous (その他)	1967-

* 4文字コード (網掛け部分) はスーパーロール, 3文字コードは特定ロール。

** 1907-1966年の期間はCAS登録番号の接尾辞Pに対応して遡及付与された。

*** 登録年は2002年だが下位の特定ロールに対して遡及付与されているため付与期間は1967年以降になっている。

出典: 「ロール」一覧については化学情報協会作成資料より転載。

図 32 CA-ロール別文献数推移 (1982年~2012年)

5.3.6 議論：解釈仮説の導出

世界の化学研究では、先に測定したように、ライフサイエンスの発展に伴い、物理化学から生化学へと研究の中心が移り、現在は、医薬品関係の薬理物質の開発に中心が移っていることがわかった。このなかで日本の領域別文献数の推移の指標化結果からは、化学研究一般の伸びのなかで、日本の生化学研究は2000年代中盤までは増加し、さらにその中でもアウトプットは個別専門分野の間での組み換えが着実に進んできている。化学においては、日本は世界のトレンドに沿って化学研究の活動構成を調整してきたことがうかがえる。

第2期及び第3期の科学技術基本計画では、ライフサイエンスは重点分野¹⁶²とされ、またナノテクノロジー・材料分野は日本が「強み」を持つ領域として重点化されてきた。日本の化学研究の活動構成は、世界の趨勢に沿って推移し世界のトレンドへの変化へ適合している。つまり、化学分野ではライフサイエンスへ重点化するという科学技術政策で設定した目標は達成できている。

ただし、この変化は科学技術政策の成功と結論付けるのは、逆因果となる可能性がある。先に述べたように、日本の化学研究は研究者の層が蓄積されており、世界の変化をむしろ牽引していたと考えることができるからである。このため、解釈としては、政策的な方向性を打ち出した効果ということと併せて研究人材が厚く、世界を積極的に牽引する基盤が蓄積されていたことで変化に対応できたと考えるのが妥当であろう。

¹⁶² ライフサイエンス分野は、「平成26年度科学技術研究調査」では、3.3兆円余と日本の研究開発に占める研究開発費の16.7%に達し、情報通信を抜いて最も研究開発費が投入されている分野となった。

5.3.7 結論：知見の集約・解釈の確定

1) 発見の妥当性

発見内容については、専門家インタビューにより妥当性を確認した。具体的には、化学の学協会に勤務経験を持つ共同研究者に確認することで領域俯瞰指標の解釈の妥当性が確認できた。

一方、動向乖離指標に関しては、歴史的事実と対照させ妥当性を検証した。世界から乖離する特徴ある変化を示したのが、旧ソ連・ロシアであった。これは、国が分割されたことで、絶対的な研究者や資源・施設が減少した結果、アウトプットが減少してシェアが単純に減少したことと、重化学工業の研究が偏重されていたところに、解体後の研究資源投入が構造変化に対応できなかったものと考えられる。近年論文の絶対数では落ち込みから回復しているが、研究内容は世界と乖離を強めている。旧ソ連・ロシアは世界第2位の化学研究大国であったがソ連邦解体により、量的に研究アウトプットが国の分割により減少するだけでなく、研究内容も硬直化したまま推移したものと解釈できる。つまり、動向乖離は、資源配分の制約が強くなり余力がなくなったときに、資源配分の硬直化の影響が大きくなり慣性に任せ乖離が拡大したものと考えられる。

旧ソ連・ロシアは、かつての社会主義体制のもとで資源配分に失敗し、国家の破綻にまで追い込まれた過去があり、情勢変化への柔軟な適応を欠いていた歴史がある。この歴史的事実と対照させると、動向乖離指標の変化への対応状況の解釈は妥当であり、評価指標の設計には妥当性が認められる。したがって、動向乖離指標による特徴発見機能の有効性が実証できた。

2) 政策的有用性

データベース **Chemical Abstracts** を用いた単純集計分析は、既に確立された単純集計法の範囲内での検索結果であり、方法論上の新規性があるわけではない。しかし、化学産業や化学の学協会などを対象とした研究企画や政策立案を行う場合の政策的有用性は認められる。日本の化学産業は現在も比較的国際競争力を維持しているため、こうした指標を公的機関等が科学技術・イノベーション政策の指標として整備しておくことには十分な政策的意義があると考えられる。

5.4 実証③：先端科学分野

5.4.1 分析対象設定：情報要求に基づく測定対象の社会集団の選択

近年日本の科学論文は中国をはじめとする各国の論文数の増加によってシェアの低下が著しいことが科学技術政策で問題とされている¹⁶³。一方、財政当局の立場からはすべての分野を均等に振興することは困難であり、選択と集中は避けられないので、公的資金投入の精選が必要という考え方が示される。

しかし、日本の科学技術政策では、重点分野への選択と集中とともに、研究者の競争を促進する施策が採られ、日本の科学研究のあり方自体を変革させようとしてきた。また、研究者の側からは、新興国の学術論文数の伸びは、学術雑誌自体の増加によるところが大きく、科学者の認める質の高いトップ階層誌の論文掲載数は減っていないのではないかという意見がある。

ただし、現在でも、ピアレビューによる査読を経た学術雑誌は研究成果を公開する主要メディアである(林和弘, 2013)。また、科学研究では、トップ研究者を中心に密接なネットワークが形成¹⁶⁴される(Crane, 1969)ことが知られている。このため、研究論文数が増大している現在でも学術誌のブランドに関する評判(格式: *prestige*)には変化¹⁶⁵は少ない。したがって、研究の質的な側面を考えれば、学術雑誌への評判を研究の質の高さとみて掲載された研究成果の学術雑誌の掲載論文数を分析することには意味があると考えられる。

以下では、日本の科学技術政策の支援対象である臨床医学を除く実験系の自然科学研究(ハードサイエンス)に関する分析を行う。これにより科学研究の先端¹⁶⁶(以下では、先端科学分野と呼ぶ)において、日本の研究力がどのように変化してきているのかを分析する。この分析を実施するため、*Science* 誌と並び世界最高峰の学術雑誌のひとつと認知されている *Nature* 誌に着目し、各国の研究力のベンチマーク指標を作成することにした。*Nature* 誌は、インパクトファクターが高いことで知られ、¹⁶⁷近年¹⁶⁸では *Science* 誌と並び影響力がある学術誌と研究者には認知されている。そこで *Nature* 誌とその関連誌の読者と責任著者のうち、同誌に論文を掲載した経験がある現役の研究者・研究管理者を、先端科学に関与する社会集団として設定した。

これにより、「日本の科学技術力の低下は相対的なもので質の高いとみなされる研究成果については必ずしも減少していない」という仮説を検証することにした。

¹⁶³ ある医療系大学長のつぶやき：鈴鹿医療科学大学学長、前国立大学財務・経営センター理事長、元三重大学学長の「つぶやき」と「ぼやき」の blog (2012年06月27日)

<http://blog.goo.ne.jp/toyodang/e/26f372a069cbd77537e4086b0e56d347>

¹⁶⁴ 科学技術の研究活動にまつわる学術コミュニケーションと学術情報の流通には様々な形態がある(倉田, 2007)が、研究者はその成果を何らかの媒体で発表し、研究者仲間に広く知られて評価され実績となる。科学が成立した16世紀においては、最新の研究成果は、書簡によって流通されていた。17世紀以降、学協会が成立し、出版技術の発展により、学術雑誌が誕生すると、大学、学会や出版社がメディア流通の事業を担ってきた(McNeely, Wolverson, 富永, & 長谷川, 2010)。

¹⁶⁵ トップ科学者への階層性と論文の数量分布がべき乗則となる集中則は、以前から論文執筆は少数の著者に集中するロトカの法則など経験則がある。また、一部の有力な研究者が「見えない大学 (*Invisible-college*)」(D. J. de S. Price & Beaver, 1966)と呼ばれる緊密なネットワークを形成する傾向がある。

¹⁶⁶ 先端科学は、特定の専門分野によらない学際的な性質を持つことが知られている。

¹⁶⁷ *Nature* は1869年創刊の商業誌の総合科学雑誌である。世界で最も引用されている学術誌の1つで、元 Thomson Reuters 社発行の *Journal Citation Report Science Edition* によれば、2011年発表の *Nature* のインパクトファクターは36.101である。

¹⁶⁸ *Nature* 誌は、インパクトファクターが算出されるようになってから常にトップの学術誌であったわけではない。同誌のインパクトファクターは当初は一桁であり、ドイツに本拠を置く化学研究の最高峰の学術雑誌とされている *Angewandte Chemie* 誌の方が倍以上の値があった。

5.4.2 情報検索：対象社会集団に関する分析母集団データの網羅的抽出

1) 測定概念と対応する作業仮説の設定

作成する指標の測定対象は、臨床医学を除くハードサイエンスと呼ばれる主に実験系の自然科学研究である。

科学研究における「研究成果の質が高い」とされる評価指標は、分野別に規格化したうえで引用数の上位から1%、10%といった単位で閾値を設定して集計された高被引用論文数が国の研究力を表す評価指標として用いられているが、融合領域の評価が除かれている(第3章参照)。

しかし、先端科学研究は学際的であることが多く、分野別の評価指標では不十分といえ、特定分野の影響を強く受けずに先端科学研究の状況を俯瞰できる政策上のベンチマーク指標が必要である。

2) 作業仮説

科学者の間では有力な研究成果が掲載される学術雑誌の格 (prestige) に関しては、それぞれの専門分野で研究者の間で相場観があり、学術雑誌が増加してもトップ階層の学術雑誌の学術雑誌は変化が少ないと考えられる。このため、研究者から質が高いと評価されているトップ階層¹⁶⁹の学術雑誌群への論文掲載数を分析すれば、日本の科学研究力の推移について検証できると考えられる(林 & 白川, 2013)。

3) 分析対象の設定の根拠

本研究の開発手法では、研究者の考えるトップ階層の学術雑誌の範囲が根拠をもって特定できれば、領域別の規格化などの煩雑な計算を伴うことなく指標作成ができる。つまり、先端科学研究を測定するための指標作成は、科学者集団のなかで無意識に存在するこのトップの学術雑誌の範囲に関する根拠データがあれば、集計範囲を定めて指標作成が可能になる。

¹⁶⁹ 例えば海外では、テニユア審査の際などの研究者の個人の業績評価では、専門分野の学術雑誌を階層化して業績のカウントが行われる。

5.4.3 分類設定：部分組織に対応させたクラスタリングによる時系列構造化

1) データサンプリングの方法・手段

(1) 分類用基礎データの取得：社会調査（Nature 誌読者アンケート）概要

分類用基礎データには、マクミラン社¹⁷⁰が 2011 年に実施した Nature 誌読者へウェブアンケート¹⁷¹（全世界）の結果を用いた。先端科学における研究者が自身の最高の研究成果を掲載するのにふさわしいと考える学術雑誌に関する評判情報を利用することにより、研究者がトップ階層だと考える先端研究の学術雑誌群の範囲を決めた。

アンケート調査の詳細は、以下のとおりである。

2011 年 9 月にウェブベースでの質問票が、Nature 誌の顧客データベースに登録された 5 万人以上の科学者、トムソン・ロイター社の文献データベース Web-of-Science から 10 万人以上の論文著者のうち連絡先が記載されている責任著者のデータを抽出し、これら全員に web アンケートを送付した。

調査回答に際しては、研究者の質のスクリーニングのために、専門分野を物理学、生物学、化学、工学、医学、地球科学、宇宙、物質・材料科学、人文社会科学を区分する質問を行い、さらに、その他年齢、地域等の研究者としての属性を問う質問を行った。ここから人文・社会科学の研究者や現役の研究者でない者を除外した。現役の活動中の研究者である基準としては、過去 2 年以内に論文を刊行しているか否かを問い、その回答によって、過去 2 年間に論文等を刊行した経験がある者を現役でアクティブな研究者とした。

これら研究者としての基準を満たした回答者から、自由回答で自身のベストの業績を投稿・掲載させたい 6 から 10 学術雑誌を挙げさせ、専門分野別、年齢別、国・地域別の属性情報毎に、自由に集計可能な構造化させたデータセットを作成した。

この結果、現役研究者 3,901 人から有効回答が得られ、2,100 誌程度の学術雑誌群の集合を得た。

さらに、学術雑誌群に関する回答に関して手書き部分の雑誌名及び表記ゆれについて名寄せ作業を行い、1,836 誌の学術雑誌を同定した。

¹⁷⁰ Nature 誌とその関連誌を発行するマクミラン社は、2015 年 1 月に Springer 社に合併され、Springer Nature となった (Van Noorden, 2015)。

¹⁷¹ 当該アンケートは、マクミラン社（当時）が本研究の領域俯瞰指標と同じ発想に基づき、研究者に認知されたトップ学術雑誌の範囲を厳選した計量書誌指標 Nature-Index を作成する基礎情報を得るために実施された。Nature-Index の内容については、5.4.5 検証：作成指標の説得性の検証に詳細を示している。

(2) 結果

① アンケート回答者の専門分野

表 13 には、アンケート回答者のうち現役の研究者であると判定された 3,901 人に関して専門分野別の分布を示す。

表 13 アンケート回答者の専門分野

分野	回答者数
Astronomy and Planetary Science	宇宙、天文 54
Biology	生物 1521
Chemistry	化学 380
Earth and Environmental Science	地球、環境 216
Engineering	工学 169
Materials Science	材料科学 195
Medicine	医学 1065
Physics	物理 301
total	3901

出典：(林 & 白川, 2013)

② トップ学術雑誌の回上位 10 位

表 14 には、表 13 に示した 8 つの専門分野別の上位学術雑誌のランキングの調査結果を示す。

分野共通の特徴は、いずれも、Nature 誌、Science 誌など幅広い研究を掲載する総合誌が上位を占めていることである (表 14)。

表 14 トップ学術雑誌の回答上位 10 位

ジャーナルタイトル	回答数
1 NATURE	2027
2 SCIENCE	2011
3 P NATL ACAD SCI USA	1181
4 NEW ENGL J MED	881
5 CELL	766
6 LANCET	643
7 PLOS BIOL	505
8 JAMA-J AM MED ASSOC	445
9 PHYS REV LETT	400
10 NAT MED	369
のべジャーナル回答数	29393
回答者数	3901
一人あたりの回答数	7.53
特定ジャーナル数	1836

③ 専門分野別トップ学術誌

個別の専門分野別にみると、生物学では全体傾向と同様に、Nature 誌、Science 誌など融合型の総合誌がトップを占め、インパクトファクターが高い学術雑誌のランキングに沿って並んでいる(表 15)。しかし、医学や物理学、化学などの専門分野では、核となる学術雑誌が存在¹⁷²し、ランキングのトップを占めている。

また、ランキングの詳細を専門分野別に詳細に検討すると、材料科学では、Nature 誌本誌よりも、同社の物質関連の雑誌が本誌のランキングを上回る特徴が見られ、物理や化学など他の専門分野に分類される学術雑誌が上位に現れている。

表 15 専門分野別トップ学術雑誌(10 位まで)

Astronomy and Planetary Science		回答数	Biology	回答数	Chemistry	回答数	Earth and Environmental Science	回答数	
1	SCIENCE	44	NATURE	1162	J AM CHEM SOC	264	SCIENCE	149	1
2	ASTROPHYS J	43	SCIENCE	1124	ANGEW CHEM INT EDIT	230	NATURE	146	2
3	ASTRON ASTROPHYS	41	P NATL ACAD SCI USA	868	SCIENCE	221	NAT GEOSCI	125	3
4	NATURE	40	CELL	734	NAT CHEM	215	GEOPHYS RES LETT	87	4
5	ASTRON J	35	PLOS BIOL	497	NATURE	197	EARTH PLANET SC LETT	77	5
6	MON NOT R ASTRON SOC	35	NAT CELL BIOL	331	CHEM COMMUN	148	GEOLOGY	73	6
7	ICARUS	19	EMBO J	319	J ORG CHEM	116	J GEOPHYS RES	67	7
8	J GEOPHYS RES	13	J BIOL CHEM	315	CHEM-EUR J	109	P NATL ACAD SCI USA	61	8
9	GEOPHYS RES LETT	12	NAT MED	309	ORG LETT	107	J CLIMATE	33	9
10	NAT PHYS	10	NAT GENET	264	P NATL ACAD SCI USA	85	GEOCHIM COSMOCHIM AC	31	10
	総回答数	375	総回答数	12075	総回答数	2901	総回答数	1588	
	回答者数	54	回答者数	1521	回答者数	380	回答者数	216	
	回答数/回答者	6.9	回答数/回答者	7.9	回答数/回答者	7.6	回答数/回答者	7.4	
Engineering		回答数	Materials Science	回答数	Medicine	回答数	Physics	回答数	
1	SCIENCE	93	NAT MATER	142	NEW ENGL J MED	719	PHYS REV LETT	257	1
2	NATURE	87	ADV MATER	112	LANCET	638	SCIENCE	201	2
3	PHYS REV LETT	40	NATURE	110	JAMA-J AM MED ASSOC	445	NAT PHYS	201	3
4	P NATL ACAD SCI USA	40	SCIENCE	106	BRIT MED J	299	NATURE	192	4
5	error_2 (複数候補があり特定できず)	38	NANO LETT	83	PLOS MED	256	PHYS REV B	110	5
6	APPL PHYS LETT	36	NAT NANOTECHNOL	74	CIRCULATION	187	APPL PHYS LETT	94	6
7	NAT NANOTECHNOL	31	PHYS REV LETT	62	J CLIN ONCOL	167	P NATL ACAD SCI USA	71	7
8	NANO LETT	31	ADV FUNCT MATER	60	LANCET ONCOL	145	NAT MATER	70	8
9	NAT MATER	30	APPL PHYS LETT	55	ANN INTERN MED	143	NAT PHOTONICS	62	9
10	NAT PHYS	24	J AM CHEM SOC	50	BLOOD	121	NEW J PHYS	60	10
	総回答数	1188	総回答数	1521	PEDIATRICS	121	総回答数	2236	
	回答者数	169	回答者数	195	総回答数	7509	回答者数	301	
	回答数/回答者	7.0	回答数/回答者	7.8	回答者数	1065	回答数/回答者	7.4	
				回答数/回答者	7.1				

出典：(林 & 白川, 2013)

¹⁷² 他分野と異なる特徴的な分布を示した専門分野は、工学と臨床医学である。工学では、Nature 誌、Science 誌といった学術雑誌が上位を占めているが、上位学術雑誌への集中が緩く、ロングテールの分布であり、明らかに他の専門分野とは異なる分布を示した。しかし、ロングテールの部分を細かく集計すると、IEEE の学術雑誌が、Nature 誌、Science 誌など総合誌に迫るブランド力を持っている。また、臨床医学ではトップ学術誌の並びからして全く異なる順位となっていた。学術雑誌数の分散も工学同様に大きかった。実際、臨床医学のトップ学術誌では、New England Journal of Medicine 誌(略称：NEW ENGL J MED)が知られているが、今回のアンケート結果においても、医学系研究者からは、Nature 誌、Science 誌を上回る回答数が得られた。

(3) 論文数の集計方法と指標の元データ作成・抽出

国別論文数と世界の論文数については、化学と同様の方法で情報検索を行った。さらに、妥当性の検証のため集計条件に変えて用途・目的に応じて指標を作成できるようにした。

学術論文誌別の国別論文数の年次推移データについては、**Web-of-Science-Core-Collection**を情報検索して重複カウントされた値を用いた。ここでの国別論文数抽出は、論文 (article) やレビュー (review) といった **Web-of-Science** の文献区分ではなく、学術雑誌に掲載されている書誌数¹⁷³を単純集計して元データを抽出した。

論文誌毎の国別論文数のデータについては、**Web-of-Science Core Collection**¹⁷⁴を分析母集団とし、のべ3人以上から有効回答があった約400誌¹⁷⁵を対象に、1980年から2013年にかけて4,240,092件の書誌データを分析対象とした。

このうち、学術雑誌毎の国別論文数に関しては、2013年の論文数上位25か国分(香港, 旧東独, ソ連等継承国家の過去データを含む)について、論文誌別の国別書誌数を重複カウントした情報結果をもとに取得データから指標作成を行った。

¹⁷³ 集計対象とする学術雑誌については、アンケート調査において、専門分野(物理学, 生物学, 化学, 工学, 医学, 地球科学, 宇宙, 物質・材料科学)においてそれぞれの述べ回答数が概ね90%が累積するよう調整し、該当する420誌の書誌情報を抽出した。この情報を基に作成指標の妥当性を検証するための実験を行った。

¹⁷⁴ トムソン・ロイター社(当時)によると、2013年6月現在で約54,600,000件の書誌数があるとしている。

¹⁷⁵ なお、ここでは、ジャーナル・チェンジと呼ばれる誌名変更には対応していないので、政策的に用いる際にはさらに精査が必要である。当該データはあくまで指標作成のための実験用データであり研究レベルである。

(4) クラスタリング用のデータの抽出

学術論文誌の評判情報に関する社会調査によって得たデータをもとに、現役の研究者・研究管理者・編集者が専門家パネル¹⁷⁶により、学術論文誌群が選定¹⁷⁷された。世界トップクラスの研究成果を掲載するにふさわしいと第一線で活躍している現役研究者が認める、非臨床医学の自然科学系学術雑誌が 68 誌選ばれた。ここでは、実験データを掲載する新しい媒体であるデータジャーナルやレビュー専門誌が含まれている。このため、本実証では、専門家パネルで選定された 68 誌のうち、レター誌（4 誌）と NATURE が創刊したばかりのデータジャーナル 1 誌の 5 誌を除いた 63 誌を非臨床医学のトップ階層自然科学誌の学術雑誌群（以下、「トップ階層学術雑誌群」と呼ぶ）とした。

雑誌名の詳細については、表 16 のとおりである。なお、雑誌名は Web of Science における略称標記を用いた。

表 16 集計対象の学術雑誌：「トップ階層学術雑誌群」

集計対象学術雑誌名	
ADV MATER	J NEUROSCI
AM J HUM GENET	MOL CELL
ANAL CHEM	MON NOT R ASTRON SOC
ANGEW CHEM INT EDIT	NANO LETT
APPL PHYS LETT	NAT BIOTECHNOL
ASTRON ASTROPHYS	NAT CELL BIOL
ASTROPHYS J	NAT CHEM
CANCER CELL	NAT CHEM BIOL
CELL	NAT COMMUN
CELL HOST MICROBE	NAT GENET
CELL METAB	NAT GEOSCI
CELL STEM CELL	NAT IMMUNOL
CHEM COMMUN	NAT MATER
CHEM SCI	NAT MED
CURR BIOL	NAT METHODS
DEV CELL	NAT NANOTECHNOL
EARTH PLANET SC LETT	NAT NEUROSCI
ECOL LETT	NAT PHOTONICS
ECOLOGY	NAT PHYS
EMBO J	NAT STRUCT MOL BIOL
EUR PHYS J C	NATURE
GENE DEV	NEURON
GENOME RES	ORG LETT
GEOLOGY	P NATLACAD SCI USA
IMMUNITY	P ROY SOC B-BIOL SCI
INORG CHEM	PHYS REV A
J AM CERAM SOC	PHYS REV B
J BIOL CHEM	PHYS REV D
J CELL BIOL	PHYS REV LETT
J CLIN INVEST	PLOS BIOL
J GEOPHYS RES	SCIENCE
J HIGH ENERGY PHYS	

※略称は Web of Science での表記による。

¹⁷⁶ Nature とその関連誌を編纂するマクミラン社（当時）の編集者と研究者等を交え専門家パネルが開催された（宮入信子氏からの聞き取りによる）。

¹⁷⁷ ここでの「クラスタリング」とは、全体でひとつの研究領域のための学術雑誌の範囲を決めることである。

2) 指標作成

(1) クラスタリング用のデータの定義

ある学術雑誌に掲載された論文を第1著者の所属組織の国別に分類する。学術雑誌 j に掲載された t 年における組織 k の論文数を $x_{jk}(t)$ とし、これらを要素とする行列を $X(t)$ とおく。先端科学研究分野 i と学術雑誌 j の関係を行列 A で表すと、組織 k に分類される先端科学研究分野 i の論文数 $y_{ik}(t)$ を要素とする行列 $Y(t)$ が次式により定義される。

さらに、先端科学研究 i は、分析者もしくは専門家が、臨床医学を除く先端科学研究分野において、トップ階層の業績を載せるにふさわしいと判断される学術雑誌である場合、その行列の成分の値が1となる。

$$Y(t) = AX(t)$$

(2) 領域俯瞰指標

ここで、 $Y(t)$ の k 列の各要素 $y_{ik}(t)$, ($i=1,2,\dots,n$) が国 k に分類されるトップ階層学術雑誌群の t 年の年間論文数を表す。この列ベクトル $y_k(t)$ を国別のポジションとする。 t 年におけるある国 i のポジション $y_i(t)$ の定義から、世界の先端科学研究分野の研究論文のポジション $y_w(t)$ は、次式のとおり表現できる。

$$y_w(t) = \sum_{i=1}^n y_i(t)$$

(3) 動向乖離指標：先端科学研究の論文投稿先の構成バランスの測定指標

t 年における世界の先端科学研究の論文投稿先のポジション $y_w(t)$ とある国 i のポジション $y_i(t)$ をもとに、世界とある国 i とのポジションの類似性を示す指標 $P_i(t)$ を定義する。国 i における先端科学研究分野における論文投稿先の構成の世界との類似度を示す $P_i(t)$ は、 $y_w(t)$ と $y_i(t)$ が成す角の余弦として次のとおり表現される。

$$P_i(t) = \frac{y_w(t) \cdot y_i(t)}{|y_w(t)| |y_i(t)|}$$

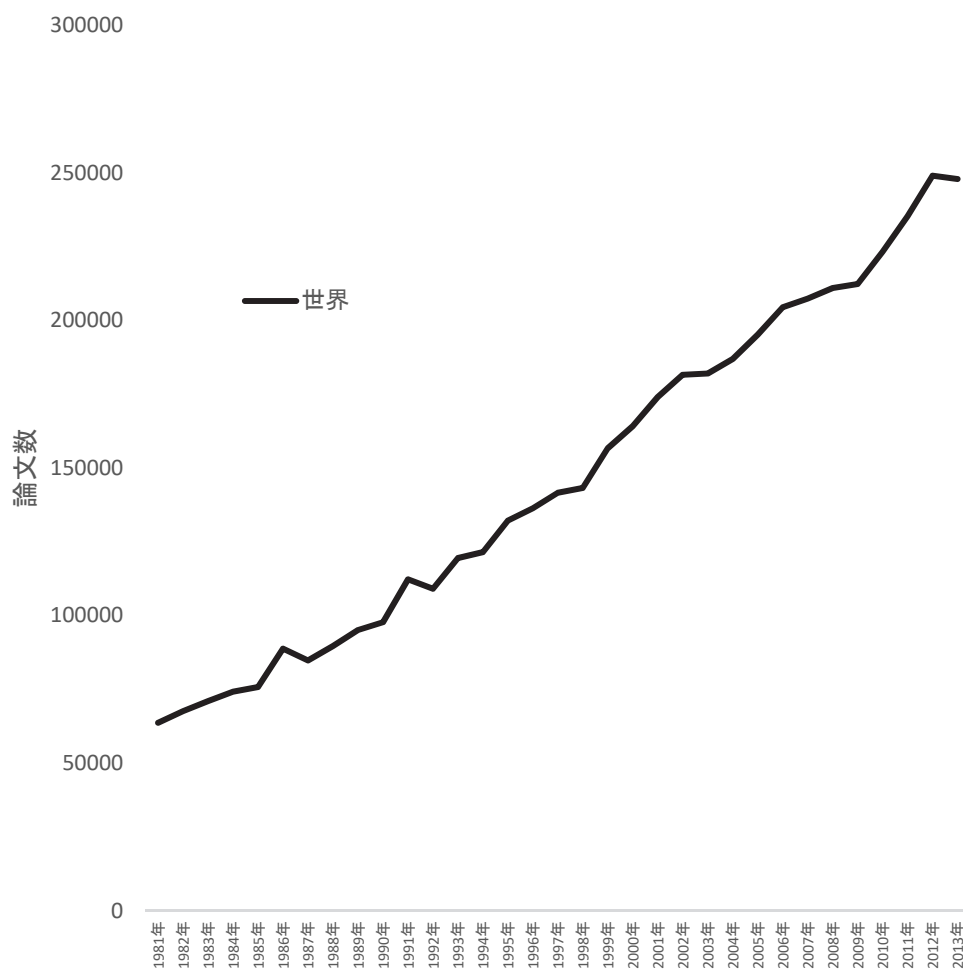
5.4.4 可視化：構造化データセットからの指標の記述的分析

1) トップ階層学術雑誌群の掲載論文数からの記述的分析

(1) 世界の先端科学研究

図 33 には、先端科学分野として本研究で定義した領域俯瞰指標の推移を示す。この指標は、分類設定を全体で 1 領域として扱った。このため、この指標は、専門家パネルで選定された 68 誌のうち、63 誌¹⁷⁸の総論文数を示している。

一般に学術雑誌の数とともに、論文数も増加していることが知られているが、研究者からの評価が高いトップ階層学術雑誌群に限った場合でも、掲載される論文数自体は増加傾向にあることがわかる。1980 年から 2013 年にかけて約 5 倍に増えている。



※ 非臨床医学の自然科学系学術雑誌が 68 誌のうち、レビュー専門誌とデータジャーナルを除いた 63 誌について Web of Science Core Collection より検索・集計した結果。

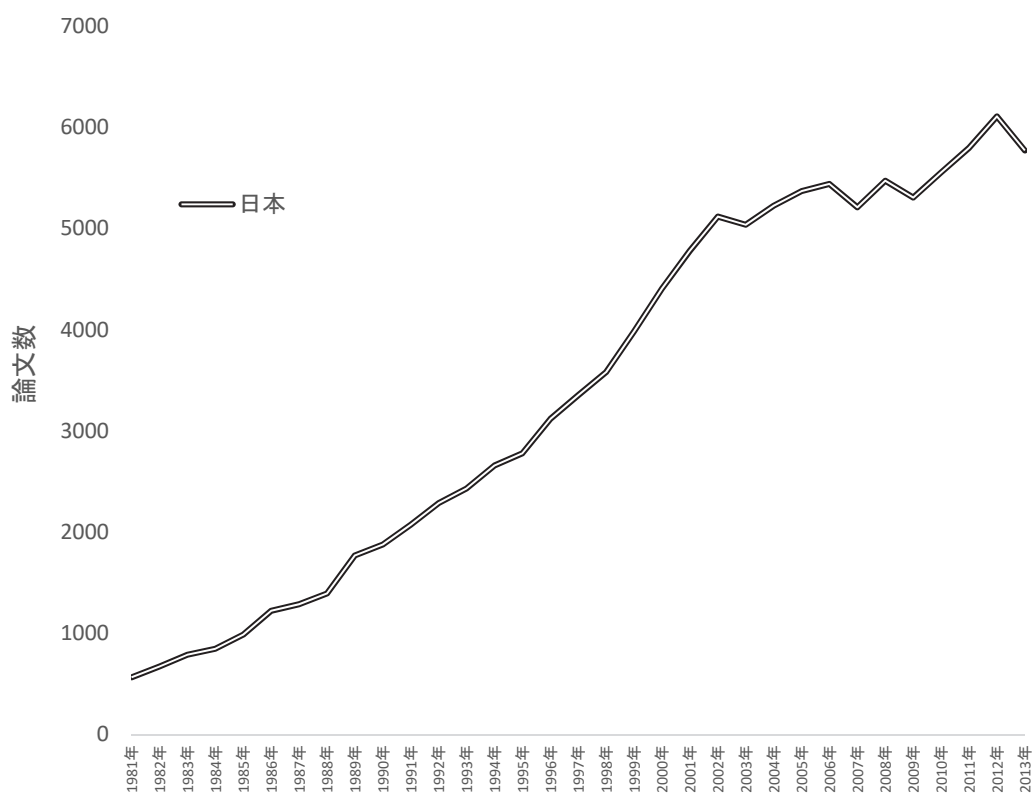
図 33 先端科学領域における領域俯瞰指標の推移（1980~2013 年）

¹⁷⁸ 専門家パネルで選定された 68 誌のうち、分析の元データ作成の関係でレター誌（4 誌）と Nature 関連誌としてマクミラン社（当時）が創刊したばかりのデータジャーナル 1 誌の 5 誌を除いた。

(2) 日本の論文数推移

図 34 には、本研究で先端分野と定義したトップ階層学術雑誌群に対して日本の組織に属する者が論文著者である論文数の 1980 年から 2013 年についての推移を示している。1980 年代以降、日本の論文数は、一貫して上昇傾向にある。領域俯瞰指標の世界シェア（日本/世界）を導出すると、1981 年の 1%未満から 2003 年の 2.8%まで増加した後に、以降減少に転じている。ただし、2000 年にかけては日本の伸びが世界の伸びよりも大きく累積的に増加しているのに対し、2002 年以降の伸びのペースが、急激に緩やかになり屈曲していることが特徴になっている。

つまり、研究者に評価の高いトップ階層学術雑誌群に掲載される日本の論文数は減ってまではない¹⁷⁹。ここで選ばれた学術雑誌のステイタスが研究の質を代理していると仮定すると、トップ階層の雑誌に掲載されるような質の高い研究成果という意味では科学研究力は低下まではしていないことになる。



※ 非臨床医学の自然科学系学術雑誌が 68 誌のうち、レビュー専門誌とデータジャーナルを除いた 63 誌について Web of Science Core Collection より検索・集計した結果。

図 34 先端科学領域における日本の論文数推移（1980~2013 年）

¹⁷⁹ 直近の 2012 年から 2013 年にかけて減少しているがこのトレンドが一次的なものか、どうかは今後の見極めが必要である。ただし、長期的には減少に転じるものと予測される。

(3) 世界の国別論文数推移

図 35 には、トップ階層学術雑誌群の国別論文数の推移を、米国、ドイツ¹⁸⁰、中国、イングランド¹⁸¹、フランス、日本、韓国の上位 7 か国について示す。これは、先程と同様にこの指標は、専門家パネルで選定された 68 誌のうち 63 誌の国別論文数について比較可能な形で示したものである。

米国は、圧倒的に世界一の論文数であり、過去から一貫して増加基調である。

次に、目立つのは世界 2 位を一貫して保つドイツである。

これにイングランドが続く形で 2000 年代まで続いていたが、1999 年以降中国が論文数を急増させ、2012 年には中国がイングランドを抜いている。

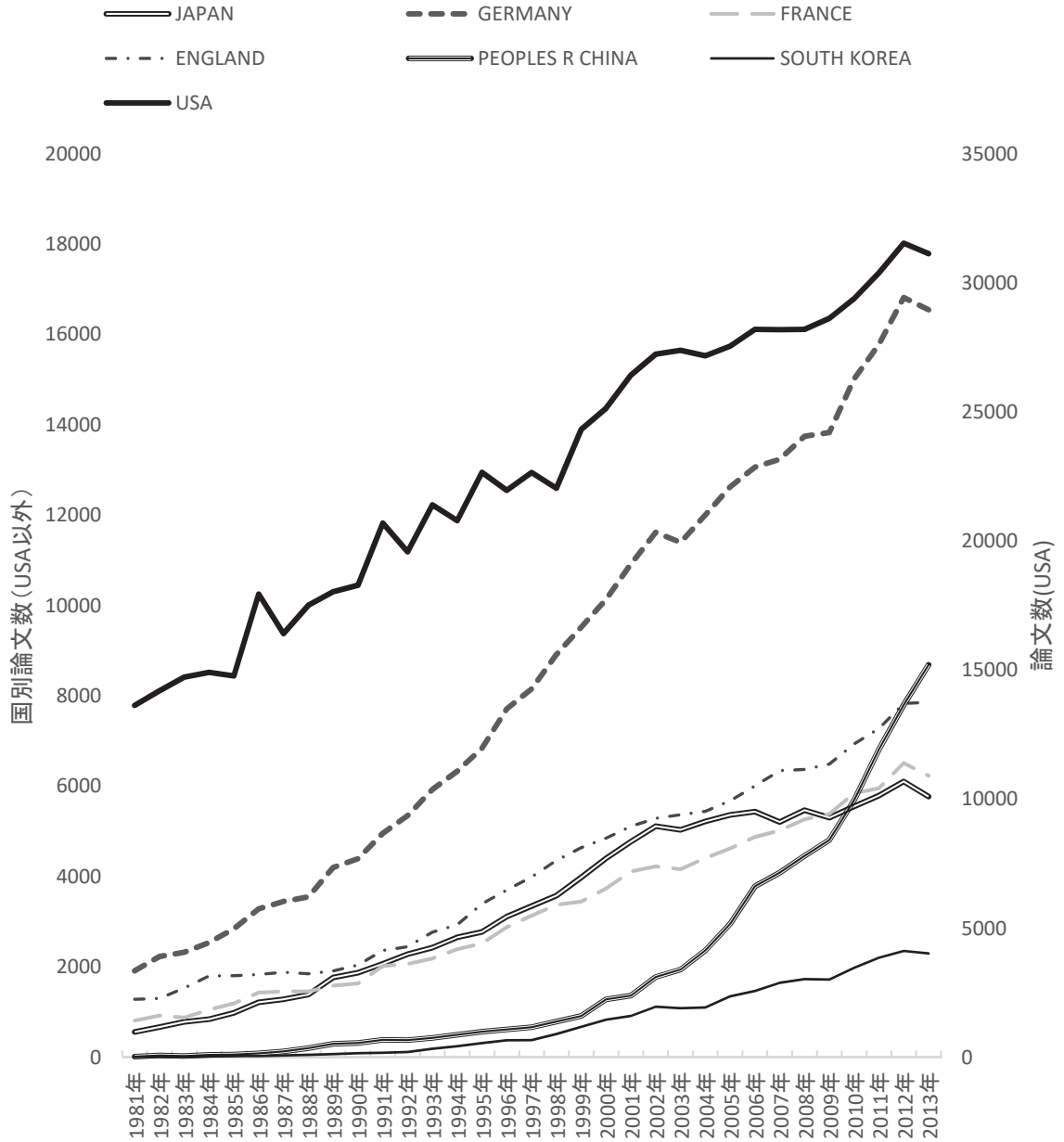
続いて、フランスと日本が、1995 年前後までほぼ同じ論文数で推移していたところ、2000 年にかけて日本の伸びが大きくなり、日本がフランスの論文数を引き離れたが、2001 年以降は伸びが緩やかになり、2009 年にフランスに論文数で抜かれている。

日本の論文数は、直近の 2012 年から 2013 年を除き、微増傾向にある。韓国は、2000 年前後まで中国と同じ論文数でほぼ推移していたが、その後は微増で、中国に引き離される形になっている。

これら上位国について、日本と米国以外の国については、伸びがみられるが、日米 2 か国については、2000 年以降の伸びが他国に比べて緩やかになっている。

¹⁸⁰ データ作成では、東ドイツも含めて作成したが、数が少なく影響がほぼ無視できることから統一前については旧西ドイツのみを集計した。

¹⁸¹ 本実証では、他の実証と異なり英国（連合王国）全体ではなく、スコットランド及びアイルランドを除くイングランドのみを分析対象とした。工学など本研究の他の分野の事例と比較するうえでは注意を要する。



※ 非臨床医学の自然科学系学術雑誌が 68 誌のうち、レビュー専門誌とデータジャーナルを除いた 63 誌について Web of Science Core Collection より検索・集計した結果。

図 35 対象学術雑誌の国別論文数の経年変化 (1981-2013 年)

2) 動向乖離指標の推移

図 36 には、非医学系のトップ学術雑誌への上位 7 か国の動向乖離指標のポジションの推移を示す。

全般的に論文数で圧倒的な首位を占めてきた米国の構成に各国が類似してきている。

個々の国の特徴は、論文数が 2000 年以前は研究が活発ではなかった中国と韓国のトレンドは各年の揺れが大きかったが、近年では指標が 1 に漸近する傾向がみられる。

一方、これらの国に比べて科学研究の伝統があるドイツ、フランス、日本については、イングランド¹⁸²と米国の値の間に一貫して位置し、数値の揺れも少なく、安定した数値で収斂する傾向が見られる。

これは、同じ言語の英語で学術出版を行う米国とイングランドは、1980 年代には、2 つの国の研究者の投稿行動には隔たりがあったが、科学研究のグローバル化によって、トップ階層学術雑誌群が収斂し投稿行動が平準化されてきたと考えられる。つまり、イングランド・フランス・ドイツ・日本といった科学研究の伝統が長い国では、主に英語論文の世界では英国と米国の学術雑誌に対して、両にらみで投稿してきたことがうかがえる。それが 2000 年代に入り、各国の投稿の構成が収斂する方向になってきたとみられる。

加えて、1990 年代から 2000 年代に研究が充実してきた中国や韓国も急速に収斂させる方向になっている。このことは、世界の研究のグローバル化が進み、各国の研究者が研究成果を世界のブランド力の高い学術誌に掲載させたいという、グローバルな平準化現象が起きている。

日本の研究者のトップ階層の学術雑誌群への論文投稿は、2000 年以降伸びが鈍化するなかで、日本の投稿パターンは欧州諸国よりもむしろ、米国の構成と同化する傾向を示し、欧米のブランド学術雑誌への掲載を好む傾向がうかがえた。その傾向は論文数の伸びが緩やかになる中で 2005 年ころから特に強くなってきている¹⁸³。

¹⁸² ここでは、英国（連合王国）ではなく、イングランドに限った検索となっている。

¹⁸³ 工学の事例とは正反対の傾向である。

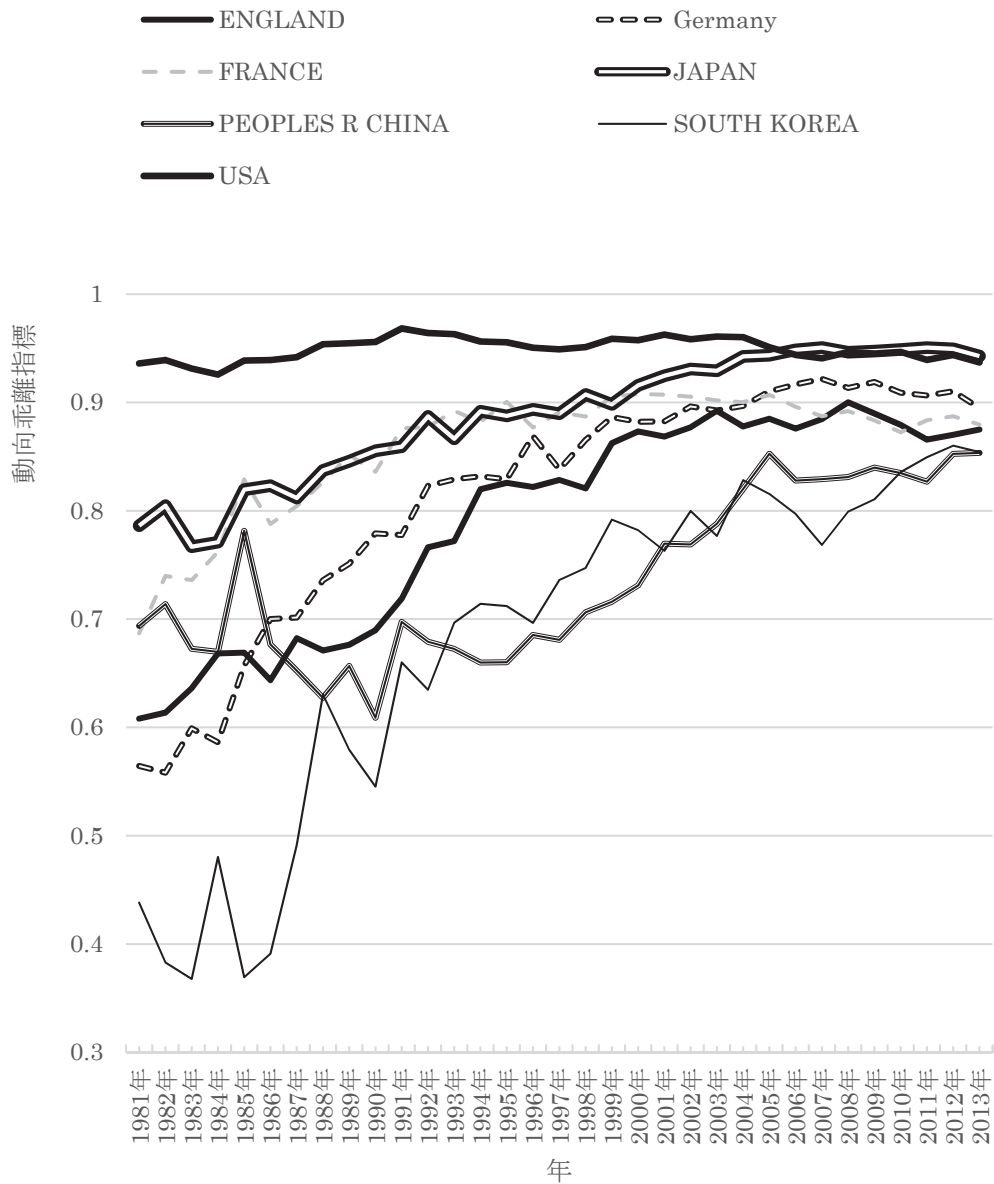


図 36 Nature index 採録誌における日本の研究者の論文掲載構成の推移

5.4.5 検証：作成指標の説得性の検証

1) 検証方法

先端科学分野での手法適用は、集計すべき範囲のデータを得て、さらに論文データのメタデータを論文データベースから抽出した情報と組み合わせ2段階で指標作成を行っている。これは、工学、化学と共通である。しかし、データ源に関しては異なり、文献データベースとアンケート結果を組み合わせた指標作成が行われている。

作成指標の説得性の検証については、この差異をふまえ行う必要がある。このため、まずアンケートで得られたデータや結果が説得的なものであったか、次にアンケートを組み合わせた指標作成に汎用性があるか、さらに得られた指標は信じるに足る説得性があるか、それぞれ検証する必要がある。そこで、以下では(1)アンケート結果の説得性、(2)指標作成の汎用性、(3)作成指標の説得性に関して検証した。

2) 検証結果

(1) アンケート結果の説得性

アンケート結果の説得性に関しては、アンケートの結果発見された事実関係が、経験則として知られている事項と既存のデータベースとどのような関係にあるかを特徴的な事実関係と数値の分布を照らし合わせる¹⁸⁴ことで判断した。

アンケート結果¹⁸⁵の分布は、集中則が働いていることが確認された。分野別にみるとインパクトファクターと回答数には相関性が認められた。延べ4,000人近い回答者のうち3人以上から回答(割合にして述べ93%の順位)があった学術雑誌に関しては、インパクトファクターが付与されている雑誌であった。また、いずれの分野でも回答の学術誌、のべ90%のラインの順位で閾値を設定すると、全分野の合計でも420誌以内に収束した。

また、特徴的な事実関係としては、医学分野でランキングのトップとなったのが、臨床医学で高い威信(評判)を持つトップ学術誌 *New England Journal of Medicine* 誌(略称: *NEW ENGL JMED*)であったことである。医学系研究者への評判は、*Nature* 誌、*Science* 誌をしのぐ評判データを得ており、これは専門家の意見と一致¹⁸⁶するものであった。

これらのアンケートの集中則が働く回答分布と計量書誌学でよく知られた特徴的な事実と数値との対応関係が確認されたことにより、このアンケートは信頼に足るものと判断された。

¹⁸⁴ 計量書誌学における経験則に依存する面があり、文脈的な知識がないと解釈が難しい場合がある。この場合には、データを提示したうえで該当する専門分野の専門家にヒアリングを行い、知識を補うことで対応可能である。

¹⁸⁵ アンケートの結果を分析したところ、データソースとなる学術誌の場合述べ回答数で3票以上あった研究成果が全体の回答の延べ数93%に達した。この値が、インパクトファクターが付く *Web-of-Science* における掲載範囲とほぼ一致した。また、これを各専門分野で90%ののべ回答数に絞ると、領域ごとに工学と医学を50-150誌程度の分布となっている。つまり、かなりの集中則が働いていることがみてとれた。ここで例外であったのが、医学と工学であり、300誌近いロングテールの分布となっている(白川他2014)。

¹⁸⁶ *CNH* と呼ばれる *Cell* 誌、*Nature* 誌、*Science* 誌の論文を偏重する風潮に対し、専門分野別特性を考慮して研究評価を行うべき端的な事例として医学を専門とする研究者から当該学術誌の存在が語られることが多い。

(2) 指標作成の汎用性

指標作成の汎用性に関しては、同じアンケートデータをもとに他の研究分野で説得的な指標を作成可能か追試・実験を行い、その結果を既に流通している分野別指標とトレンドを比較することでその説得性を検証した。専門分野を物理学、生物学、化学、工学、医学、地球科学、宇宙、物質・材料科学、人文社会科学で区分して質問を行っており、これら分野における指標も同様に作成可能なはずである。このうち、化学、物質・材料科学、宇宙についてそれぞれの分野内での国別研究力の指標について作成実験を行った。この結果、比較的对象が狭い研究領域の指標作成には費用対効果の面で有用ではない一方、ディシプリン単位での専門分野での指標作成には有用な指標化簡便に作成可能なことが分かった。実験結果の詳細は、以下のとおりである。

① 化学 (Chemistry)

米国、ドイツ、イギリス、フランス、日本、中国、韓国についての国別論文数を作成した。この結果、科学技術・学術政策研究所の Web-of-Science を利用して作成した全体論文数、トップ 10%論文数、トップ 1%論文数の各国別論文数(分数カウント)の比較推移と比較検討したところ、トップ 1%論文数のトレンドに類似した結果が得られた。化学のように、専門分野の外延が物理や物質・材料化学や生物学のように、関連領域の裾野が広く人間の目視で対応しにくい大きな専門分野・分野では、こうした指標の作成方法が技術的に有用であることが示唆された。

② 物質・材料科学 (Material Science)

化学と同様な方法で指標を作成したが、科学技術・学術政策研究所の Web-of-Science を利用して作成した全体論文数、トップ 10%論文数、トップ 1%論文数の各国別論文数の比較推移と比較検討したところ、日本がかつて世界一であった物質・材料科学におけるトレンドとは、異なるものであった。

この理由を、調べたところ、選択した当該分野のトップ階層学術雑誌群をみると、上位には、総合学術誌が入り、下位になるほど物理や化学の雑誌が多く含まれていた¹⁸⁷。

③ 宇宙・天文学 (Astronomy and Planetary Science)

研究者の回答人数が少なく、さらに挙げられた学術雑誌数も最大 40 誌程度と少なかったため、手法自体は適用可能ではあったが、新たに有用な発見ができる指標は作成できなかった。得られた指標の推移は、キーワード・属性による通常の情報検索で十分対応でき、既存の指標と変わりが無いもので、通常キーワードのクエリで対応可能な範囲にあった。

この理由は、宇宙分野の研究は、ビッグ・サイエンスと呼ばれる研究インフラが充実した国でなければ実施しにくい研究分野であり、発表する媒体も極めて限られているため、索引語によって統制された情報検索で十分であるためと考えられる。このため、Nature 誌や Science 誌といった総合学術誌に専門誌を加えて学術雑誌の集合をサーチャーが考えれば十分であり、アンケートによってそれを定義・作成する手間は必要ないと考えられた¹⁸⁸。

¹⁸⁷ 政策的には、日本が材料科学で優れているという判断に基づき過去の科学技術基本計画において重点化されてきたが、実際の材料科学は、物理と科学を合わせた総合力として、研究力が決まっている可能性を見逃していた可能性がある。つまり、Science Citation Index において材料科学と分類される学術雑誌に関する論文数が他国より多いことをもって日本に強みがあるとしていたということである。このため、「材料科学」に選択と集中するという判断自体が妥当かどうかは、分類上のバイアスがかかった状態で政策判断していた恐れがある。
¹⁸⁸ 方法論としては有効ではあるが、必ずしも費用対効果を考えると有用ではない、言い換えれば手間をかける必要性が低いという意味である。

(3) 作成指標の説得性

作成指標の説得性に関しては、先端科学と追加で作成した指標が既に流通している指標と比べてどのような特徴があるかを、比較することで評価した。具体的な作成指標の検証は、現在流通している他の科学技術指標で知られている経験的事実や関連するデータとトレンドの類似性をみることにより確認した。

作成指標では、ドイツがイングランドを超えて世界第2位の地位を安定して保持していることが特徴である。この結果は、今回合成した指標マクミラン社が2013年度版から発行しているNature-Index¹⁸⁹でも同様にドイツが英国を上回る論文数を出している傾向がみられる。

質が高いと社会的に認知されている学術雑誌に掲載されている論文数から評価すると、ドイツの科学研究はイングランドよりも高く評価されている。

この事実が他のデータと照らし合わせて説得的なものであるかを検証するため、Web-of-Scienceの1980年から2014年までのデータをもとに、単純な被引用数に関して分析用のウェブベースのサービスIncitesを用いて全分野で単純比較した。この結果が表17である。これを見ると、イングランド¹⁹⁰をドイツが上回っている¹⁹¹ことがわかる。

こうした一般に流通している分析ツールから得られる指標と本研究で指標化した内容を臨床医学を除いた自然科学研究の分野特性を考え併せた結果、算出された指標は説得的であり、政策的議論に十分耐えられると判断された。

表 17 Incites の検索結果：引用数の累計（2015年3月検索）

Indicators Results List: Countries-Territories Filter Results By: Countries-Territories Filter Value(s): None Show: Highly Cited					
	Countries-Territories	Web of Science Documents	Cites	Cites/Paper	Highly Cited Papers
1	USA	3,652,510	63,537,290	17	66,863
2	GERMANY (FED REP GER)	950,932	14,573,151	15	15,178
3	ENGLAND	852,945	14,502,634	17	16,855
4	CHINA MAINLAND	1,496,549	11,962,020	8	14,154
5	JAPAN	842,873	9,835,789	12	6,645
6	FRANCE	673,460	9,732,498	14	9,996

¹⁸⁹ Nature-Index では、機関毎、国別の論文数をあらためて人手により、原著論文のデータに関してクリーニングを実施しており、分析可能な組織単位などのデータの精度が、本研究とは異なる。

¹⁹⁰ この原因は、非臨床医学の一流学術雑誌群の分野特性が影響していると考えられる。伝統的に英国の研究では、コンピューターサイエンスや臨床医学が多い。今回集計範囲から外れた領域であるため、作成した指標にはこうした要因を鑑みると、納得が得られるものと考えられる。

¹⁹¹ こうした、質の高い研究成果の中でドイツの存在感が英国を上回る事例には、科学技術・学術政策研究所の作成している科学技術指標の被引用数トップ10%やトップ1%論文のうちの2001-2003年、2011-2013年状況に類似した国別トレンドがみられた。また、得られた指標は、日本、フランスなどの上位国のトレンド推移に関しては、トップ10%論文よりも、むしろトップ1%論文の国別文献数の推移に類似していた。

5.4.6 議論：解釈仮説の導出

トップ階層学術雑誌群の国別の論文数について 1980 年から 2013 年の推移を観察した結果、日本の論文数は、微かながら、一貫して上昇を続け、トップ階層学術誌に掲載される「質の高い」研究成果については、減少していないとの結果が得られた。

通常、日本の科学技術論文数は、2004 年の国立大学法人化以降減少傾向になったことが知られ、日本の科学研究力は、相対的に低下していると科学技術政策上問題視されてきた。しかし、ブランド力のある学術雑誌における日本の学術論文数は減少していないことがわかった。トップクラスの研究成果については、他の科学技術指標で日本の論文数が現象に転じた時期も着実に伸びていることがわかった。

また、日本の研究者のトップ階層学術雑誌群への論文投稿のバランスを、動向乖離指標の時系列変化により定量的に評価したところ、2000 年代以降、日本の投稿パターンは欧州諸国よりもむしろ、米国の構成と類似した傾向を示し、欧米のブランド学術雑誌への掲載を好む傾向が捉えられた。このことは、ハードサイエンスの論文数を見る限り、選択と集中という重点化などの政策誘導は、研究者の論文投稿行動に影響を与えているものとみられる。

これは、国立大学法人化の時期と合致し、グローバル COE など大型プロジェクトが継続・連続的に実施されるようになった時期とも符合する。このため、トップ階層研究者には、研究資金が集中し、安定して業績が出せるようになったとも考えられるので、政策レベルで肯定的に評価することができるかもしれない。日本の論文数が減少する中でも、質の高いとみなされやすい¹⁹²研究成果が増えているとすると、選択と集中という一部の研究者に重点的に資金を投入することに対する政策誘導効果があったと解釈できる。

一方、各国の研究者の投稿構成が類似してきていることに関しては、学術出版の観点からみると、学術出版社の戦略性の影響ともみることができる。例えば、Nature を発行する商業出版社のマクミラン社は、Nature 誌の系列雑誌を 2000 年代に多く創刊し続けてきている。

おそらく、科学技術政策における競争強化と商業出版社の戦略がかみ合って現在の状況が生み出されたものと解釈するのが妥当であろう。

日本の研究者は、Nature 誌・関連誌などブランド学術雑誌に投稿する出版行動の傾向が他国に比べて特に強くなっている¹⁹³ことの意味は、日本の科学技術の発展にとって望ましい¹⁹⁴のか否か複数の解釈が考えられる。

特に、伸びが鈍化するなかで米国と同化する結果が政策上の資源配分の選択と集中によってもたらされたとすると、過去の科学技術政策の行った政策誘導の成功を意味する。同時に、次世代の研究者を再生産していく意味では、既に名声のある実績のある研究者に重点配分された資源によって育成されるはずの若手研究者や別の研究領域に振り向けられる資源の相対的な減少を意味するので、日本の科学研究にとって長期的には悪影響が及ぶと予想¹⁹⁵される。

¹⁹² 当然実際の研究価値とは別問題である。

¹⁹³ アンケート結果では、日本の研究者で、自身の最高の業績を自国の国内学会の学会誌に発表したいと回答した研究者は、一人もいなかった。

¹⁹⁴ 競争的資金等を含めた研究費総額は増加するなかで、2002 年以降非臨床医学の一流学術雑誌群の日本の文献数伸びが鈍化したことは「選択と集中」政策の「合成の誤謬」を議論するうえで極めて示唆的に思われる。

¹⁹⁵ 実際、Nature-Index（次節に詳述）の 2015 年版の指標においては、日本の指標が大幅に低下している。

5.4.7 結論：知見の集約・解釈の確定

1) 分析上の効果と発見の妥当性

本研究で得られたトップ階層学術雑誌群の国別論文数は、分野別の高被引用論文数のランキングよりも、データベース全体の総引用数に応じたランキングになっていた。このため妥当性があると考えられた。

特に、ドイツが、イングランドを超える論文数¹⁹⁶となる指標が得られたことは、製造業を中心とした産業技術力に比例した数字となっているように思われた¹⁹⁷。

このため、臨床医学を除いたハードサイエンスの研究力を測定するという目的を果たしているものと考えられ、得られた指標は国別科学研究力の業績指標として妥当性があると考えられる。

2) 政策的有用性

本研究で示した指標作成手法は、政策実務にとってはデータ処理量が少なく、実用的な評価指標を提供できる有用性がある。実際、この有用性の証左としては、新たな計量書誌指標として世界トップクラスの研究成果を示す指標：Nature Index¹⁹⁸が、本研究で考案した領域俯瞰指標と同じ考え方で作成¹⁹⁹され、2014年から商用サービスとして供用されている実績がある。

本研究の指標の作成法では、従来の引用をもとにした既存のデータベースでは、分母となる対象の学術雑誌が常に拡大を続け、分母の変化の意味の解釈が難しいうえに常に計算し直すことが求められるのに対し、母集団と測定概念が明快である。さらに、その論文数も引用データベースに比べるとはるかに数が少ないので、個別のデータのクリーニング・整備に時間をかけることができ、引用分析に比べて、高いインパクトとがあると信頼に足る論文数が、機関別、分数カウントといった早期に詳細な情報が分析可能な形式の評価情報として引用分析などの結果よりも迅速に提供できる。さらに、他のデータソースからも容易に再検証可能な指標である。

¹⁹⁶ 科学技術・学術政策研究所の科学技術指標などをみると、英国は医学研究やコンピューターサイエンスに強いことなどから国の規模に比べて研究力高く出やすい経験則があるが、これが緩和されているように思われた。

¹⁹⁷ ドイツに関しては、経済統計でもハイテク産業よりも、ミディウムハイテク産業において英国等と比べると圧倒的に高いパフォーマンスを示すことが知られている(永野, 2016)

¹⁹⁸ Nature Index は、世界最大級の学術出版社である Springer-Nature がトップクラスの研究成果を国・機関別にプロファイリングするデータベースである。最新の研究成果を報告する原著論文を対象とした評価指標であり、世界の国々と2万機関以上の論文として組織別の名寄せがなされており、機関別の評価指標として利用可能である。Nature Index では、本研究で用いたアンケート結果の情報をもとに、第一線で活躍している現役研究者が重視する自然科学系学術雑誌68誌に掲載された原著論文を対象に、国や研究機関の論文出版数、論文に対する研究機関の貢献度を示す分数カウント、国際・国内共同研究の比率や、その共同研究実施機関が一覧できる。また、個別の収録論文のページでは、論文の書誌事項に加えて、その論文の社会的インパクトを測る Altmetric も確認でき、研究のトレンドを調べ、個々の研究機関の強みを分析できる。

¹⁹⁹ 研究者に認知されたトップ学術雑誌の範囲を厳選した計量書誌指標 Nature-Index の作成の際の学術雑誌(ジャーナル)の範囲選定は、本研究で用いたアンケート結果と Nature 本誌と関連誌の編集者や研究者のパネルによって決定された。同社では、アンケートと専門家パネルによって選定された学術雑誌の個々の論文の書誌情報に関して、撤回論文を集計範囲から削除するなどデータクリーニングを実施し、より信頼できる形で指標化する作業を行った結果をサービスとして供用している。当該指標と本研究の関係は、筆者が科学技術・学術政策研究所に在勤中に当時マクミラン社に所属していた宮入信子氏と同研究所で同僚の林和弘氏の研究協力により、当該指標のローンチカスタマーとして科学技術・学術政策研究所とマクミラン社(当時)の契約のもとでアンケート結果を共有することで本研究の推進が可能となった。あらためてここに御礼を申し上げる。

第6章 開発手法の妥当性

6.1 開発手法の検証・評価

6.1.1 方法

第5章では、工学、化学、先端科学の3専門分野に手法を適用した結果、適用可能なことが示された。第6章では、評価手法の妥当性確認(validation)²⁰⁰を行う。まず、開発手法が自然科学全般に対する適用可能性があり、さらに分析結果が政策上の効果があるかという面から絶対的な有効性を検証(verification)²⁰¹する。続いて、他の手法との比較で相対的な有効性を評価(review)する。

本研究で開発した評価手法は、特徴変化の可視化により政策課題を共有する開発目標に対し、指標化のデータ処理と得られた指標の分析・評価のプロセスと手順を定めたものである。具体的には、状況認識が行いやすいデータサンプリング方法をもとに社会で実在する組織をクラスターリングに利用する指標作成を行った。得られた指標の分析・解釈は、領域俯瞰指標と動向乖離指標の複数指標を用いて特徴発見を行い、最終的な解釈を専門家や有識者等の議論を通じて妥当と考えられる指標の解釈仮説の選択を行う手順を定めた。

開発手法は、分析手法と評価法が一体の手法であり、さらに分析手法にも指標化の前段のデータ処理方法とデータ作成後の分析手法と複数の要素²⁰²がある。このため、開発した評価手法の検証・評価は、データ分析と情報検索の手法としての適用可能性を検証したうえで、科学技術の政策評価手法としての分析の有効性を評価する必要がある。

ただし、手法設計の際に定めたデータの取得、情報の抽出、結果の伝達の3つの観点うち、個別事例におけるデータ抽出と分析実施により得られる情報の抽出に関する有用性については既に実証されている。そこで本章の手法に関する検証・評価では、手法の適用可能性の検証と、分析結果の政策上の有効性の評価を行う。

表18には、検証・評価の基準を示す。なお、検証・評価結果の詳細については、次節以降に詳述する。

表 18 開発手法の適用可能性の検証

<p>適用可能性</p> <ul style="list-style-type: none">○プロセス：共通のプロセスでの手法適用○範囲：手法の適用範囲 <p>分析結果の政策上の有効性の評価</p> <ul style="list-style-type: none">○絶対的な有効性<ul style="list-style-type: none">● 分析結果の利用効果の強さの検証● 得られる知識の性質の評価○相対的な有効性<ul style="list-style-type: none">● 科学技術政策における情報の伝達機能の比較評価

²⁰⁰ 妥当化とも訳される。妥当性確認(validation)とは、対象の機能や性能が本来意図された用途や目的に適合しているか、実用上の有用性があるか評価することをいう。国際規格(ISO9000 3.8.5)によると妥当性確認とは、「客観的証拠を提示することによって、特定の意図された用途又は適用に関する要求事項が満たされていることを『確認』すること」である。

²⁰¹ 検証(verification)とは、対象が仕様・設計・計画などの要求事項を満たしているかに関する確認をいう。マネジメントに関する国際規格(ISO9000 3.8.5)の定義では、「検証(verification)とは、客観的証拠を提示することによって、規定要求事項が満たされていることを確認すること」である。なお、客観的証拠(objective evidence)とは、「あるものの存在又は真実を裏付けるデータ」のことをいい、「観察、測定、試験、又はその他の手段によって得られることがある」とされる。

²⁰² ソフトウェアの評価試験は、検証と妥当性確認(V&V: verification and validation)に分けて行われる。

6.1.2 詳細

1) 分析手法の適用可能性

分析手法の適用可能性については、手法適用が可能な範囲に関する検証と共通のプロセスが適用できているかを検証した。手法適用が可能な範囲の検証は、開発目標に置いた自然科学の科学技術研究の全般の分野に関して適用でき、結果として俯瞰が実施可能かを評価した。手法適用のプロセスの検証は、手法を適用した工学，化学，先端科学における実証結果をもとに、分析対象と前提が異なるなかで共通のプロセスで手法が適用できているかを検証した。

2) 科学技術政策における政策上の有効性

開発手法の科学技術政策における政策上の有効性の検証は、分析結果の実際の政策過程における利用実績から絶対的な有効性を評価するとともに、日本で用いられている計量書誌学の分析手法と比較することで相対的な有効性を評価した。

絶対的な有効性の評価は、工学に関する分析の利用実績から、実際の政策利用事例に基づき行った。分析結果の利用の影響を検証したうえで、分析・可視化の結果もたらされる政策情報の性質を評価した。また、相対的な有効性の評価は、日本で用いられている他の分析方法論との比較により、情報伝達機能のわかりやすさを相対評価した。

3) 基準

表 19 には、検証・評価の詳細と基準について示す。

最初に、分析母集団の設定とデータ取得の方法に関しての適用可能性について、手法開発・設計の観点から工学，化学，先端科学における適用結果をもとに、解釈をする側にとって状況認識が行いやすいデータ処理となっているか、さらに状況認識が行いやすいデータサンプリング方法の汎用性があるかを検証する。

次に、情報分析と情報可視化の手法の有用性について、分析者の立場から、工学，化学，先端科学における分析の試行結果をもとに、その使い勝手について議論を通じた妥当な指標の解釈仮説の選択ができているか、さらに特徴発見ができる情報処理はできているかを検証する。

最後に、政策評価の手法として、分析結果の利用者の立場から、実際の政策過程における活用実績と影響範囲の検証を通じて仕様が実現されているか、実際の政策局面での分析結果の利用効果について事例検証を行った。

表 19 検証・評価の仕様と試験方法と根拠事例

基準	目的	仕様	評価試験方法 (記載箇所)	評価の 視点	根拠 事例
適用 範囲	分析母集団 設定	動向変化を反映した分 析母集団となる構造化 データが得られること	計量書誌学における適用 においてもたらされた効果 の検証(第5章で実施済)	手法設計者 (開発者)	工学 化学 先端科学 の3事例における 手法の適用結果
	データ取得	データサンプリングの体 系的な方法が定められ ていること	計量書誌学における手法 適用範囲の評価 (6.2.2)		
適用 プロ セス	情報分析	特徴変化を, 自らの経 験・知識と時系列で対応 付け起きている現象が推 論できること	設計者が分析を試行した 結果共通のプロセスで前 提が異なるなかでも適用 できているかを検証 (6.2.1)	分析者 (専門家・行政 官)	
	情報可視化	特徴的な動向変化を捉 える分析手段を備えるこ と	設計者が分析を試行, 動 向変化の観察の可否を主 観的に判定(第5章で実 施済)		
利 用 効 果	政策評価	各自の立場で起きている 状況の原因が推論でき ること	分析結果の効果を事例 (工学の分析事例)に基づ き絶対的な有効性を評価 (6.3.1)	分析結果の利用 者 (利害関係者・ 行政官)	工学の分析の利 用事例の政策的 利用実績
		動向変化の兆候が判読 可能なこと(=状況が可 視化され伝達できること)	分析結果として提示される 情報の利用者にとっての わかりやすさを他の分析 手法と相対的な有効性を 評価 (6.3.2)		日本の科学技術 政策で用いられ ている他の分析 手法の比較(サイ エンスマップ, 学 術俯瞰システム 等)

6.1.3 適用結果（工学・化学・先端科学分野）：[要約]

1) 工学

工学分野の実証では、工学で世界最大の学協会である電気電子技術者協会（IEEE）をベンチマークの社会集団に設定し、定期刊行物を分析した。

IEEE が公刊した約 30 年分の 35.5 万件の学術記事のデータを Inspec データベースから抽出（筆頭著者の所属機関の国籍、所属機関、発行年、学術誌名など）した。分類設定用データについては、IEEE が作成するデータベース IEEEExplore のデータと理工系と情報系に特化したデータベース Inspec のデータベースを組み合わせ、IEEE 内におけるサブ組織であるソサエティ別の組織構造を反映させて重複カウントを行い指標作成用の構造化データを作成した。

IEEE（国際電気電子技術者協会）の領域別の技術的活動の組織単位であるソサエティ別に定期刊行物の論文数を指標化した結果、世界の研究のアウトプットは、電気電子から情報通信へ主要な研究領域がシフトする動向変化が観察された。

さらに、動向乖離指標の時系列推移を観察したところ、世界で日本だけが、過去 20 年来世界のトレンドと一貫して乖離を続ける傾向があることが定量的に示され、「ガラパゴス現象」と揶揄される直感的には広く認識されている現象が定量的な裏付けをもって効果的に提示できた。このように領域俯瞰指標と動向乖離指標によって発見された特徴をもとに、世界と日本の領域俯瞰指標の時系列変化を対比できるようグラフを対照させ可視化して示した結果、日本の工学研究が乖離する様子が可視化され、政策上の課題認識の伝達が促進された。

2) 化学

米国化学会（ACS）が世界の化学関連の学協会等と連携して索引を作成するデータベースのケミカルアブストラクト（Chemical Abstracts）を対象に 1982 年から 2012 年までの 5 年毎 66 万件余の文献に手法を適用して分析を行った。

本研究で示したデータ処理の方法に従い、ACS（米国化学会）の領域別の活動組織に対応する属性「セクション」の分類に沿って指標作成を行った結果、重化学工業関連の研究から薬理研究に大きな量的中心のシフトがみられ、全体では、無機化学・有機化学から生化学が研究領域の中心として成長したことが観察された。

さらに、有機化学などに強みを持つ日本の化学研究が世界の化学研究の変化に対応できているか、動向乖離指標の時系列変化を観察したところ、値はほぼ一定で推移し、日本の化学研究は、世界の進化の方向性に合わせて変化していた。このため、世界のトレンドをむしろ積極的に牽引してきたものとみられる。

一方、かつて世界第 2 位の化学研究大国であった旧ソ連・ロシアのみが、世界のトレンドから、一貫して乖離を続け、論文数で世界の中で低迷している特徴も観察された。

また、本研究で開発した手法に沿って得た指標と別の属性を集計して作成した指標化結果を比較した結果、本研究の方法に沿って選択した分類の方が研究動向の変化の俯瞰には適していることも検証された。

3) 先端科学

先端科学分野では、研究者に対するアンケート結果と 1980 年以降 2013 年までの約 400 誌の学術雑誌に掲載された 420 万件余の、Web-of-Science Core Collection の文献データを組み合わせることで先端的な科学研究に関する国際比較指標が作成できた。

先端科学分野については、世界最高峰の学術雑誌の Nature 誌の編集者と研究者の社会集団に着目し、社会調査結果と専門家パネルに基づき集計基準を設定し、全体を一つの領域の指標として各国の研究力のベンチマーク指標を作成した。

分析の結果、非臨床医学のトップ階層の学術雑誌群の国別の論文数について 1980 年から 2013 年の推移を観察した結果、日本の論文数は、微かながら、一貫して上昇を続け、トップ階層の学術誌に掲載される研究成果の数については、減少していなかった。

また、日本の研究者のトップ階層の学術雑誌群への論文投稿は、2000 年以降の伸びが鈍化したなかで、日本の投稿パターンは欧州諸国よりもむしろ、米国の構成と同化する傾向を示し、欧米のブランド学術雑誌への掲載を好む傾向がうかがえた。

こうした研究者の学術誌への投稿行動は、選択と集中という重点化、質の高い研究成果を精選して追求する政策誘導の影響と考えられる。

表 20 手法適用による発見上の効果

適用領域	工学	化学	先端科学	結果
対象社会 集団	工学で世界最大の学協会であるとともに世界最大級の工学系の学術出版事業を行う電気電子技術者協会 (IEEE)	世界の化学関連の学協会等と連携してデータベース作成を行う米国化学会 (ACS)	世界最高峰の学術雑誌の Nature 誌の編集者と研究者の集団	認知された社会集団は専門家にヒアリングすることにより容易に選定可能
データ源	IEEE が作成するデータベース IEEEExplore のデータと理工系に特化したデータベース Inspec	Chemical Abstracts	Nature-Index 作成のために実施された社会調査 (アンケート) と Web-of-Science	特定のデータベースに依存しない形で集計軸が作成可能
領域俯瞰 指標の分類 単位	IEEE の領域の活動組織のソサエティ	学会の活動区分に対応した「セクション」単位	臨床医学を除いたトップ階層学術誌 (1 分類)	専門家の納得性が高く、専門家以外には違和感がない
結果・発見 (領域俯瞰 指標)	電気電子から情報通信へ主要な研究領域がシフトする動向変化	重化学工業関連の研究から薬理研究に大きなシフト。無機化学・有機化学から生化学へと中心が変化。	臨床医学の影響を除いた日本の科学技術政策で中核的に支援を行う先端科学研究領域の国別の業績指標が作成可能	社会的なつながりをもとに情報を要約した指標は、動向変化の状況認識が容易
結果・発見 (動向乖離 指標)	世界で日本だけが、過去 20 年来世界のトレンドと一貫して乖離を続ける傾向	かつて世界第二位の研究大国であった旧ソ連・ロシアが世界の変化から乖離	日本の投稿パターンは欧州諸国よりもむしろ、米国の構成と同化する傾向	動向乖離指標と領域俯瞰指標を併用することで、時系列変化を観察すると、特徴変化の発見を補助
日本の研究 状況の 評価	「ガラパゴス現象」等と揶揄される直感的には広く認識されている現象が定量的な裏付けをもって効果的に提示	日本の化学研究は、化学研究の進化の方向性に合わせて変化	選択と集中による政策誘導の影響。自らの評価をよく見せようとする研究者の論文出版行動の反映	日本の研究動向の世界との乖離状況を定量化することで、日本の研究動向の評価可能。有用性を確認

6.1.4 科学技術政策における活用実績（工学分野）：審議会等における利用

先行して分析した工学分野の結果は、国の審議会等において科学技術政策の検討に用いられた実績がある。本研究の分析結果は、3種類のユースケースがみられる。すなわち、専門家・有識者による政策検討のための（1）専門分野のベンチマークデータ、（2）専門家や特定の立場からの科学技術政策上の問題意識の表明、（3）科学技術政策の政策課題認識の共有の3つの機能をもって利用がなされている。

（1）専門分野のベンチマークデータ

科学技術政策の専門分野別の政策課題検討の局面において、国の審議会等の専門分野別の分科会やワーキンググループ等の専門的な検討のレベルにおいて参考資料として用いられた。具体的には、総合科学技術会議 基本政策推進専門調査会 分野別推進戦略総合PT²⁰³、総合科学技術会議科学技術イノベーション政策推進専門調査会 ICT 共通基盤技術検討ワーキンググループ²⁰⁴において、分析結果がそのまま関係する専門領域の審議会等において参考資料として利用された。専門分野別の検討の場では、関連分野の科学技術動向の定量的なエビデンスとして専門家用のベンチマークデータとして用いられている²⁰⁵。

（2）専門家や特定の立場からの科学技術政策の問題意識の表明

工学の分析事例では、専門家や科学技術振興を行う立場、さらには科学技術予算のあり方について財政再建の側に立つ省庁から同じ問題意識を表明するために用いられ、結果的に状況認識を共有する形で利用されている。

特に、顕著な利用事例には、文部科学省により「世界では、社会や産業構造の変化に対応した研究開発が行われているのに対して、我が国の研究開発は、必ずしもこの変化に対応できていないのではないか」として、日本の科学技術政策のあり方に問題を投げかけ政策議論を喚起した。この主張を裏付ける根拠として、本研究の分析結果である図 13 IEEE における世界の領域別文献数の推移（1980～2008年）及び図 14 IEEE における日本の領域別文献数の推移（1980～2008年）は、「平成 24 年度科学技術白書」に引用された。さらに、この資料は第 1 回国家戦略会議文部科学省提出資料となり、日本の科学技術研究が世界の産業構造に追いついていない現状を示すデータとして、財務省主計局の「平成 24 年度文教・科学技術関係資料」にも引用された。

科学技術振興と財政再建と政策上の組織ミッションが異なる立場にある省の担当者によって採用され、政策上の課題認識が共有され、結果的に客観的なエビデンス²⁰⁶となった。

こうして採用されたデータは、問題喚起や主張の裏付けを行うデータとして政策課題の問題意識に基づき利用され、行政ニーズに応えた科学技術政策に関する情報が提供できたといえる。

²⁰³ 総合科学技術会議 基本政策推進専門調査会 分野別推進戦略総合 PT 第 10 回（2010 年 6 月 30 日開催）資料 1-2 pp.162 <http://www8.cao.go.jp/cstp/project/bunyabetu2006/jyoho/12kai/siryoy9-2.pdf>

²⁰⁴ 総合科学技術会議科学技術イノベーション政策推進専門調査会 ICT 共通基盤技術検討ワーキンググループ 第 1 回（2012 年 5 月 21 日開催）資料 6-14 <http://www8.cao.go.jp/cstp/project/bunyabetu2006/haihu10/siryoy1-2-12.pdf>

²⁰⁵ こうした利用は、日本の科学技術政策においては公的なシンクタンクがまとめる調査資料の研究成果活用已成功した標準的な事例であるといえる。

²⁰⁶ このような分析結果は、因果関係が科学的方法論で確立された手続きに沿って証明されたという意味での科学的なエビデンスではない。記述的推論に基づく構築的な知識の獲得のプロセスである。

(3) 科学技術政策の政策課題認識の共有

分析結果は、第三者の間での科学技術政策に関する議論の場面においても利用され、政策立案者、研究者の議論のきっかけを創出する事例がみられた。

本研究の図 13 IEEE における世界の領域別文献数の推移（1980～2008 年）及び図 14 IEEE における日本の領域別文献数の推移（1980～2008 年）が、岩波書店刊の「対話の向こうの大学像」（廣田, 2014）のなかで「大学を強くするための処方箋」という対談の中で転載され利用されている。図 37 本研究の活用の事例は、本研究の典型的な分析結果の利用例である。

いずれも工学を専門としない財務省の元文部科学担当主計官であった神田真人氏、広田照幸氏（教育社会学）や上山隆大氏（経済史・科学技術政策）や小林傳司氏（科学技術社会論）などの大学研究者らが大学の人材育成のあり方と研究の硬直化に関する問題をめぐり議論しながら、各自の政策課題認識を深める様子が見られる。

図 37 本研究の活用の事例

人材育成と研究の問題点◆「研究領域の硬直化」

岩波書店「対話の向こうの大学像」、【座談会】「大学を強くするための処方箋」より引用
(一部省略)

(中略)

小林傳司氏（科学技術社会論）：各国の文献数の変化を分野別に見ているわけですが、日本は「研究開発が社会や産業構造の変化に対応できていない」との指摘があります。常々考えていることで、間感です。磁気学、核・プラズマといった日本の「伝統芸」のような分野は生き残るのですが、他方、研究情勢の変化に対応した成長をしていかない。「いまは流行していないし、すぐに自に見える成果はないかもしれないが、これを温存していることによって、もしかしたら将来金の卵として復活するかもしれない」という主張が繰り返されるのですが、それにもほどがあるだろうと思います。

広田照幸氏（教育社会学）：図の電子デバイスやフォトニクス（光の科学と応用）についてみると日本は初期段階では、世界全体より山が速いですよね。日本は新しいものを潰す風土と批判されたけれど、本当にそうなのかな、と私は思います。日本もそれなりに最先端の知を切り拓いているけれど、研究者の裾野が広くないから、その後の展開に結びついていないということではないですか。

神田真人氏（財務省元文部科学担当主計官）研究領域の硬直化が進んでいるのは、最近のことです。これにはいろいろな理由があって、一つには行動成長期には人口も税収も増えて、新しい講座をつくっていたこともありますし、でもいまは経済が成熟し、人口は減少に入っており、拡大均衡はできない。もう一つ、学者を含めた高齢化の影響があるかもしれません。

小林傳司氏：60-70年代は新たな研究領域を新規に付加していくことができたけれども、いまはできない。スクラップ&ビルドが必要なのに、できない状況がある。

広田氏：ほかの国は大学の研究者が多いですね。日本は民間が多い。そういう意味で、大学の研究開発の足腰があまり強くないのではないかと、思いました。

小林氏：すべての分野で研究者を持っている国はそう多くないので、これで足踏が弱いと一括りにしてはいけません。

広田照幸氏：そうですね。

神田真人氏：分散してしまっているのですよ。(中略)。とにかく研究コミュニティとしてのクリティカルマスのないところで研究者を続けようとしても不利ですし、ある意味社会にとっても御本人にとっても不幸なところがあると思います。(以下略)

6.2 適用可能性：プロセスの検証と適用範囲の評価

6.2.1 プロセスの検証

表 21 に示すとおり、工学・科学・先端科学の実証事例において共通の方法がプロセスの各ステップで適用できた。以下では、7 段階のプロセス毎に検証結果を詳述する。

(1) 分析対象設定：情報要求に基づき測定対象の社会集団を選択

分析対象設定方法は、測定対象の社会集団単位で設定する方法が共通に適用できていた。

例えば、工学では、世界最大の工学系の学協会である IEEE がベンチマーク対象の社会集団が得られた。化学では、米国化学会を中心とした世界の化学研究の社会集団をベンチマーク対象とした。さらに、先端科学では世界最高峰とされる学術雑誌 Nature 誌とその関連誌における論文執筆経験者の研究者コミュニティをベンチマークの対象とした。

工学系であれば IEEE、化学であれば米国化学会、先端科学であれば Nature 誌の読者である現役の研究者コミュニティと、ベンチマークを行う対象集団が設定できた。工学、化学、先端科学と測定対象に即した社会集団が、いずれも有識者ヒアリングにより分析者が設定できた。

(2) 情報検索：対象社会集団を設定し、網羅的に分析母集団データを抽出

データの情報検索処理では、必要に応じて複数のデータ源を用い、最初にデータの検索範囲を探索し、その結果をもとに他のデータベースから必要な分析用の母集団データを得る 2 段階のデータ処理により整備できた。

工学分野では、分析対象の IEEE のデータベースの IEEEExplore を用い、検索対象の学術雑誌の範囲を確認し、IEEE が文献のメタデータ・索引に用いているデータベースである英国工学会 (IET) が作成する文献抄録のデータベース Inspec のデータから、IEEE が出版した学術文献を網羅的に抽出した。化学分野では、世界の化学に関する学協会が協力して索引整備がなされている米国化学会 (ACS) のデータベース (Chemical Abstracts) のデータが利用可能であった。先端科学では、社会調査と専門家パネル (研究者・編集者) により集計対象を決定したうえで、選択された学術雑誌のメタデータに関しては、データベース (Web-of-Science) を組み合わせて用いて分析の母集団となるデータを作成した。

(3) 分類設定：部分組織に対応させたクラスタリングによる時系列構造化

工学、化学、先端科学の 3 分野における手法の適用結果では、共通のデータサンプリングと分類用データの獲得の方法が共通して適用でき、専門分野の特性に即した領域俯瞰の指標作成がそれぞれ可能であった。

特定の集団の中の部分集団をクラスタリングに用いて指標化した結果は、関係者には実感に合った自然な解釈ができる情報となるので、分析者と分析結果の利用者にも違和感なく受け入れられた。計量書誌学における手法適用では、単一データベースの検索、複数データベースの検索、社会調査とデータベース検索の併用による場合でも、集計基準自体を、体系立てて探索し、分析の母集団となるデータを抽出する 2 段階の方法が適用可能であった。

(4) 可視化：指標の可視化結果からの現象の記述的分析

作成指標群を、特定の組織に関する連続的な時系列データ群としてグラフ等により可視化して利用者に提示すると、工学分野、科学分野、先端科学分野のいずれの適用事例においても、分析結果利用者は、自身の持つ知識と関連付けてトレンドから意味や特徴を見出す記述的推論を行うことができた。

また、特徴変化の探索は、動向乖離指標と領域俯瞰指標を併用すると、特徴変化の兆候を把握するうえで有用であった。結果的に、時系列の多属性データを複数の断面から可視化すること、頻繁なクロス集計の試行錯誤の繰り返しなしに特徴ある現象の発見が促された。

(5) 検証：作成指標の説得力の検証

工学分野、科学分野、先端科学分野のいずれの適用事例で得られた指標を、他の関連指標と比較して説得力があるか検証を行ったところ、作成指標には説得力があることが検証された。

工学の適用事例では、Inspecのシソーラスの分類による単純集計法、すなわちデータベースの索引を用いる単純集計分析法により作成された指標と動向変化の判読の容易さ（判読性）を比較することで、指標化手法の有効性を検証²⁰⁷した。

化学における適用事例では、Chemical Abstractsでは、分析の軸として選択した分類属性の比較により、得られる指標の判読性の善し悪しに差が出ることを検証²⁰⁸した。

先端科学における適用事例では、作成した指標が単一領域のものであったので、同じ指標作成法を用いて他の研究領域の指標を作成することで再現性を検証し妥当性を確認した。これにより、得られた指標がどのような要因が影響して有効に機能しているのかを確認した。

(6) 議論：複数の視点からの解釈仮説の導出

特定の社会集団を対象にその内部の組織構造に基づき指標を作成した結果は、専門家にとっては初見の情報であっても自身の経験や感覚に照らしての納得性が高く、それぞれ関係者からフィードバックを得られた。工学分野では、専門家を交えたワークショップを複数回開催し、知見を集約する過程を経た。化学分野では、日本化学会で学術出版を実施していた共同研究者の意見・フィードバックを得た。先端科学分野では、計量書誌学の専門家（学術出版社の専門家）からの意見・フィードバックを得た。

この結果、分析仮説のブラッシュアップを反復的に行うことができ、解釈仮説の妥当性を段階的に高めていくことがいずれも可能であった。さらに副次的な効果として、開発手法により提示される指標には政策的な議論が促進される熟議のきっかけをもたらす基礎資料となることが確認された。

(7) 結論：集約された解釈をもとに現象の解釈を最終確定

工学、化学、先端科学ともに、最初の記述的分析を客観的事実に基づき行った結果に関して複数者の解釈を得たうえで、最終的にこれらを総合して最終的な分析結論となる解釈が導出されている。分析者の最終的な解釈の確定は、専門家からのフィードバックをもとに妥当と考えられる解釈を選択し、分析をとりまとめる手続きが共通に適用されていた²⁰⁹。

²⁰⁷ シソーラスの詳細分類では、粒度が細くなりすぎ、分析がしにくい一方、大分類では全ての指標が単調増加となり、領域間の研究強度の相対関係の観察が困難であり、本研究で採用した方法の方がよりダイナミックな変化を状況認識するうえで有効であることがわかった。

²⁰⁸ 具体的には、米国化学会の研究領域別の部分組織に対応している属性分類と、個別の文献が学術的に貢献している製品や機能といった分類属性で指標を作成し比較した。この結果、直接的な化学的な製品や機能に着目するよりも学会内部で自律的な活動に対応している分類の方が、安定して時系列変化をダイナミックな変化が観察できることがわかった。この理由は、時代に応じて、求められる製品や機能に関しては、分類の付与の仕方を変更せざるを得ないことから、分類作成者の分類作業に大きく影響を受けるためであると考えられた。

²⁰⁹ なお、実際の分析結果は、工学に関しては、自身としての解釈をとりまとめた分析結果については、分析レポートや論文として発表することで、政策的な実務において供用している。本論文執筆時点では、化学と先端科学に関しては、国内学会発表を行っている。

表 21 適用可能性：①プロセスの検証 [結果]

手順	操作内容	工学	化学	先端科学
1) 分析対象設定	情報要求に基づき測定対象の社会集団を選択	世界最大の工学系の学会 IEEE とその技術的活動を行う部分組織のソサエティ	米国化学会が世界の学協会と共同で作成するデータベース	最高峰の商業学術雑誌とされる Nature 誌及び関連誌の読者である現役研究者
2) 情報検索	対象社会集団を設定し、網羅的に分析母集団データを抽出	複数データベースによるデータ抽出（集計基準を IEEEExplore, 文献データを Inspec）	単一データベースの検索（Chemical Abstracts）	社会調査の結果に基づき、集計範囲を専門家パネル（研究者・編集者）決定後、データ検索（Web-of -Science）
3) 分類設定	部分組織に対応させたクラスタリングによる時系列構造化	研究領域別の技術的活動を行う組織であるソサエティ別の論文数推移	活動単位となっている研究領域（セクション）別の論文数推移	評判の高い学術雑誌（トップ階層誌）に掲載される臨床医学を除く自然科学全般を先端分野として設定
4) 可視化	指標の可視化結果から起きている現象を記述的分析	電気電子から情報通信へ主要な研究領域がシフトする動向変化。日本のみが特異な変化。	無機化学・有機化学から生化学へと中心が変化。旧ソ連・ロシアのみが世界的変化から乖離。	ドイツ（被引用数の多い国）がランキングの上位となる指標が得られた。
5) 検証	作成指標の説得性の検証	Inspec のソーラスの分類による詳細検索結果と比較した結果、有効性を検証。	Chemical Abstracts の他の属性分類と比較し、検索方法の有用性を検証。	既存指標と比較。国別の被引用数と、アンケート結果をもとに化学物質科学などの領域で指標を試行的に作成。
6) 議論	乖離状況に関して複数の視点から解釈仮説の導出	専門家を交えたワークショップを複数回開催し、知見を集約して解釈を最終的に確定。	日本化学会で学術出版を実施していた共同研究者の意見を反映させ解釈。	計量書誌学の専門家（学術出版社の専門家）からの意見を反映させ解釈。
7) 結論	集約された解釈をもとに現象の解釈を最終確定	日本の研究開発が電気電子中心のままで情報通信が少なく、世界トレンドと乖離。	日本の研究開発は、世界的変化に対応。	日本の質の高いとされる論文誌に掲載される研究成果は微増傾向。研究者の投稿行動は、米国に極似する傾向。ブランド誌を好む傾向が強まる。

6.2.2 適用範囲の評価：自然科学研究の俯瞰

指標化手法の適用可能範囲の検証は、開発目標とした自然科学研究の俯瞰が可能かどうかを基準に、実際に獲得したデータと実証結果から、手法の適用可能な範囲を評価した。

(1) 適用実績

前節に示したように開発した評価手法を、計量書誌分析における領域俯瞰と動向乖離状況の分析のために、工学、化学、先端科学の3専門分野に適用した結果、分析実施可能な指標が演算でき、分析が実施可能であった。3分野における手法適用の結果、科学技術政策の対象である自然科学の研究領域のうち臨床医学を除くハードサイエンスと呼ばれる実験系の科学技術動向の俯瞰が実施できた。

(2) 適用可能な範囲

しかし、自然科学全体を分析するという開発目標に照らすと、自然科学の論文のうち25%近くを占める臨床医学についても分析可能にする必要がある。

本研究で得られたデータ（先端科学における研究者アンケート結果）では、医学に関するデータも収集済である。さらに、既に存在している医学文献のデータベース（PubMed²¹⁰）が知られており、これを利用すれば、実証の範囲外とした臨床医学の指標も作成かのかうと考えられる。また、仮にPubMedが、データ構造やデータの名寄せ・規格化の技術上の問題で国別文献数の集計に向かない場合でも、複数のデータベースを組み合わせによりデータは得られる。

したがって、本研究で開発した手法は、アンケート結果とデータベース検索を組み合わせることで臨床医学に関しても適用可能である。自然科学研究分野の全体が俯瞰可能な適用可能性が高い科学技術指標の作成手法が構築され、開発目標は達成できた（図38）。

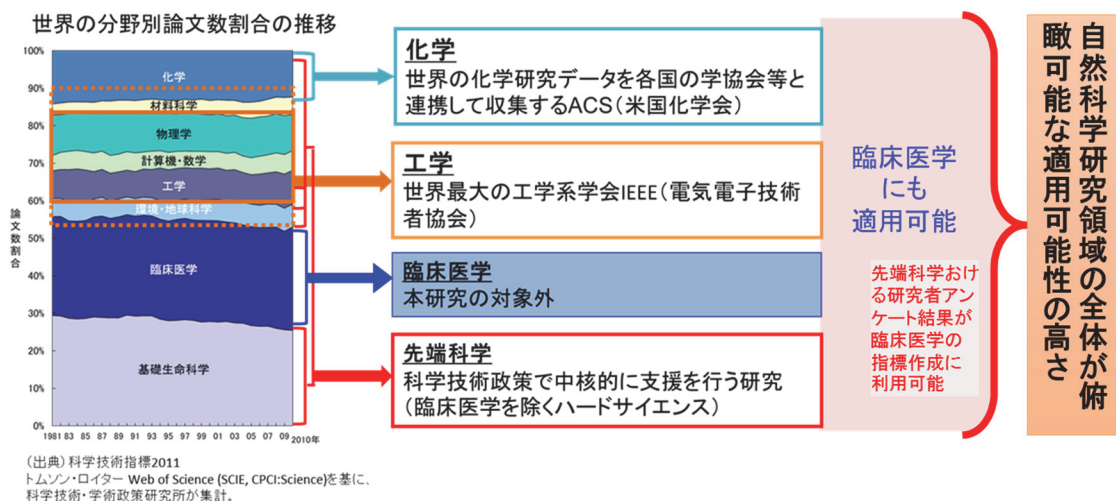


図 38 適用可能性の検証・評価②：分析手法の適用範囲の検証

²¹⁰ NLM (米国国立医学図書館：National Library of Medicine) 内の、NCBI (国立生物・科学情報センター：National Center for Biotechnology Information) が作成する医学関連文献のデータベースで、医学研究者の用いる事実上の標準的なデータベースである。根拠に基づく医療 (evidence-based medicine：EBM) でメタ分析を行う際の文献検索の基礎ともなっている。なお、NCBIは、米国の医療研究の中核でファンディングとともに研究所を運営する機関 NIH (国立衛生研究所：National Institute of Health) の中に置かれている。

6.3 絶対的な有効性の検証

6.3.1 方法：影響の強さと効果の性質の評価

開発手法の有効性の評価は、分析結果の利用実績に関して、分析結果が政策過程で利用され科学技術政策上の政策課題の認識を関係者にもたらしたかを検証する。分析結果の利用効果は、分析が先行して政策利用が進んだ工学に関する分析の利用実績から影響の強さと効果の性質の評価を行う。

(1) 論証

絶対的な有効性の検証は、分析結果の実際の科学技術政策における利用効果をもとに分析手法の有効性²¹¹を検証する。ここでは、手法を適用した分析結果が役に立たないという命題が否定できればよく、政策現場で活用され役に立つものがあつた反例が示されればよい。したがって、実際の科学技術政策において分析結果が採用され、事例検討や政策課題の認識に影響を与えた実績と効果を実例に基づき検証できれば十分²¹²である。

(2) 基準

具体的な効果の検証基準は、分析結果が実際の政策局面においてもたらした影響の強さとその性質に関して事例に基づき評価する。具体的には、工学分野の分析結果がどのような受け止めになったかについて、活用実績をもとに、(1) 分析結果の活用の結果どこまで政策に影響を与えたかをみる政策上の影響の強さ、さらに(2) 開発手法によって提示された分析結果が政策上のエビデンス（もしくはデータ）としてどのような機能を果たすか性質を評価する。

²¹¹ ここでいう有効性とは、分析が実施できた場合に科学技術政策における分析結果が活用され政策課題の認識を伝達できることをいう。

²¹² 論理上は、本研究で行った分析結果が実際の政策局面で活用されたときに役に立っていないこと、もしくは、実際の分析結果が政策現場で活用されたものがないときに、分析が実施できた分析事例なかったことを示せばよい。後者の論証に関しては、学術的なレビューにより可能であるが、この点に関しては本研究以前に十分な先行研究となる分析が存在しなかったことを別途第7章の学術的含意を示す際に述べる。

6.3.2 絶対的な有効性：影響の強さの評価

以下では、分析結果がどこまでの政策的影響を与えているか工学の事例をもとに活用実績に関する影響の強さを評価する。

研究活用を評価する基準でもっとも知られているとされる²¹³ノットとウィダルフスキーの評価モデル(Knott & Wildavsky, 1980)によると、政策研究の評価基準には、①政策担当者個人への受理、②読まれて理解された認識、③解釈の枠組みと考え方に変化をもたらす参照、④次の採用につなげた成功不成功を問わないアクションを意味する努力、⑤政策プロセスそのものではなく政策に直接影響を与える採用、⑥政策発展のために利用される実施、さらに⑦目に見える市民の利益がもたらされるインパクトの7段階があるとしている。

本研究で開発した手法によって得られた工学に関する分析結果は、科学技術政策において、審議会等における資料として提供されたほか、科学技術白書に掲載されるという段階まで到達している。

段階基準に照らすと、最初に政策情報として政策担当者個人にレポート等が受理され、さらに担当官に読まれて「認識」され、科学技術政策上の課題認識をもたらすものとして「参照」され、審議会等で活用される実績になった。さらに、課題認識を政策上の問題提起を行うために白書の編集過程において省内でのコンセンサス形成の「努力」がなされたうえで、科学技術白書に掲載という「採用」に至り政策プロセスそのものではなく政策に直接影響を与えることにつながった。

一方、この分析結果がエビデンスとなり論証された事実関係を基に特定の施策が採られた事実は確認されておらず「実施」の段階には至っていない。したがって、目に見える市民の利益がもたらされる「インパクト」の段階にも至っていない。

政策上の問題意識の共有という開発手法で意図した情報設計が実現されることにより、本研究の成果の活用の段階は、「受理」、「認識」、「参照」といったデータ利用の結果、政策的な課題認識の共有のために「努力」がなされ、5段階目の「採用」段階に達したと評価できる。

表 22 研究活用の基準：ノットとウィダルフスキーのモデル

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">① 政策担当者個人への受理,② 読まれて理解された認識,③ 解釈の枠組みと考え方に変化をもたらす参照,④ 次の採用につなげた成功不成功を問わないアクションを意味する努力,⑤ 政策プロセスそのものでもなく政策に直接影響を与える採用,⑥ 政策発展のために利用される実施,⑦ 目に見える市民の利益がもたらされるインパクト |
|---|

²¹³ (Nutley, Walter, & Davies, 2007)による。

6.3.3 絶対的な有効性：効果の性質の評価

絶対的な有効性の効果の性質の評価は、書籍化された大学研究者と財政当局の元担当者との政策対話の代表事例（図 37 本研究の活用の事例）をもとに、分析結果の活用の性質に関して評価する。

分析結果の利用効果についてデータを媒介とした異なる立場の主体のコミュニケーションを促進する設計当初の意図を満たした利用がなされているか、実際の科学技術政策における政策過程での利用局面での利用効果の性質に関する評価を事例検証により行った。

工学分野の分析結果の活用では、数値を示すことでさまざまな議論を喚起していく相互作用のなかで分析と解釈を深化させたうえで、政策的なエビデンスとして利用が図られていた。結果的に、政策立案者、研究者、政治のプロセスにおいて相互交渉と熟議を促進する機能と効果が確認された。詳細は以下に示すとおりである。

(1) 研究成果の活用類型と意味

ウェイスによれば、政策研究の活用目的には、①知識発展、②問題解決、③相互作用の促進、④政治的利用、⑤正当化のための戦術的利用、⑥普及啓発、⑦知的好奇心に基づく研究といった7つの目的の類型があるとされる(Weiss, 1979)。ここでは、活用目的と提示した研究成果がどのような形態で活用されているかを評価した。

表 23 ウェイスの研究成果の活用類型：「研究活用の7つの異なる意味モデル」

<p>① 知識主導モデル： 専門コミュニティで新たな知識をもたらすことで、発展する。</p> <p>② 問題解決モデル： 政策立案者が問題解決を見出すのに役立つ。</p> <p>③ 相互作用モデル： 自身の経験を踏まえながら政策立案者が、業務に役立つ知識を積極的に探求し、政策立案者、研究者、政治のプロセスにおける相互協議を踏まえ、漸進的に進歩する。</p> <p>④ 政治的モデル： 特定の立場を支持したり、反対の立場を揺るがしたりするために用いる。</p> <p>⑤ 戦術的モデル 研究成果を用いることはなく、既存の政策の正当化のために専門家が動員される。</p> <p>⑥ 啓発モデル： 長い時間をかけて研究成果がマスコミ報道などにより累積・浸透することで影響を与える。</p> <p>⑦ 社会の知的活動の一部としての研究モデル： ある特定の政策課題に対して政策担当者が資金を提供し、研究者も関心を抱き、研究と政治が社会的文脈において組み込まれる。</p>
--

(2) 仕様の実現：異なる政策的立場の者の間での政策上の課題認識の共有

例えば、図 37 の事例では、日本の研究開発の状況の硬直化という問題意識が共有される材料となっている。当該利用事例では、財政再建を図る財務省の立場と大学を守る立場の教育学の研究者の間で前提知識と見解が異なる双方の立場からも違和感なく利用され構築的な政策対

話が成立している。最初に当事者の認識を一段高い位置から領域全体をメタレベルで見通すことで共通の状況認識を促し、積極的な政策上の意見交換が促される様子が確認できる。

このように異なる政策信念の立場の討論者が自らの知識と結びつけ、能動的にコミュニケーションに参加できることで、科学技術政策の非専門家に対して対話を通じて意見が交わされる様子が確認できる。さらに、議論の内容は、現状問題を踏まえて「次に何をすべきか」という政策の方向性を考えるきっかけになっている。したがって、データを媒介に政策課題認識の共有という開発仕様・目的が実現されている。

(3) 研究成果の活用

本研究でもたらされた分析結果の効果の性質をウェイスの研究成果の活用類型「研究活用の7つの異なる意味モデル」により類型評価した。

本研究でもたらず情報は、特定の専門分野を超えたコミュニケーションを可能にする俯瞰的な情報を提供しており、専門コミュニティで新たな知識をもたらすことで、発展する「①知識主導モデル」の研究成果の利用には当たらない。また、立案者が問題解決方法を見出すのに役立つわけでもないで、「②問題解決モデル」の情報をもたらしているわけでもない。

一方、米国の科学政策の「政策のための科学」の推進の必要性が論じられるなかで批判されたような既存の政策の正当化のために専門家が動員されアドホックにデータを利用するスタイルの「⑤戦術的モデル」にも当たらない。また、特定の立場を支持したり反対の立場を揺るがしたりする「④政治的モデル」での情報の利用がなされているわけでもない。

また、日本の「科学技術イノベーション政策のための『政策のための科学』」で理想像として目指すようなある特定の政策課題に対して政策担当者が資金を提供し、研究者も関心を抱き、研究と政治が社会的文脈において組み込まれる「⑦社会の知的活動の一部としての研究モデル」の段階にまでは到達していない。

こうした分析結果利用のパターンは、異なる政策的立場の主体の間で政策上の課題認識の共有を促進する情報を提供しているので、それぞれの認識枠組みや価値観を前提・尊重しながら、改革の必要性について最低限合意する政策的な対話の相互作用をもたらす「③相互作用モデル」に分類される情報を提供している。すなわち、長い時間をかけて研究成果がマスコミ報道などにより累積・浸透することで影響を与える⑥啓発モデルとしての活用に加え、さらに一步踏み込んで自身の経験を踏まえながら政策立案者が、業務に役立つ知識を積極的に探求し、政策立案者、研究者、政治的プロセスにおける相互協議を踏まえ、漸進的に進歩するよう研究成果が利用されていると評価できる。

このように、本研究で開発した手法は、分析が実施できた場合に機能することが論証された。ただし、論証結果からは、今後の分析が必ず実施可能であることは論理的には保証されない。また、あらゆる状況に適用可能なデータ分析・評価手法も存在しない。

そこで、開発手法の有効性を示すため、目標とする機能が他の手法と比べて相対的に優れているかベンチマークを設定して検証²¹⁴を行うことにする。

²¹⁴ 情報系の研究やソフトウェア関連の研究では、妥当性確認の手段として一般的に行われる論証である。

6.4 相対的な有効性の評価

6.4.1 方法：他の計量書誌分析手法と指標情報の可視化手法との比較

相対的な有効性の評価は、計量書誌学で用いられている方法論の相対比較により行う。

日本の科学技術政策で用いられている計量書誌学の分析・可視化手法と比較する。次に、指標の可視化表現を比較する。具体的には、領域俯瞰指標を並列して特徴情報を伝達する情報可視化の方法論を論文間の引用ネットワークの関係を可視化する手法と比較評価する。次に、動向乖離指標に関して指標の属性別の構成割合の違いを可視化するグラフ化の手法と比較する。

評価基準は、可視化された情報の受け手にとってのわかりやすさ、すなわち伝達機能の良否である。

6.4.2 相対的な有効性：他の計量書誌分析手法との比較

計量書誌データに着目した日本の科学技術政策で用いられている手法のうち可視化に重点がある分析手法には、科学技術・学術政策研究所の①サイエンスマップ(Igami & Saka, 2009)²¹⁵、東京大学の②学術俯瞰システム(Shibata, Kajikawa, Takeda, & Matsushima, 2008)(Shibata 他, 2011)²¹⁶が知られる。また、指標では、商用データベースの分野分類を集計して用いる科学技術・学術政策研究所の高被引用論文数といった指標がある。これらはいずれも論文間の引用関係に着目した方法である。

指標と情報の可視化を重視したマッピングを行う方法との比較では、可視化結果はマッピングよりも指標の方が、分析者の解説に関わりなく情報の受け手にとって起きている現象が解釈しやすい。また、既存データベースの分野分類を用いた指標化手法と開発手法の比較では、分析結果の利用者にとっての指標の使い勝手は同等である。

一方、開発手法では、乖離状況が一目瞭然にわかるように指標の可視化結果が並列・対比して表示することを定めている。

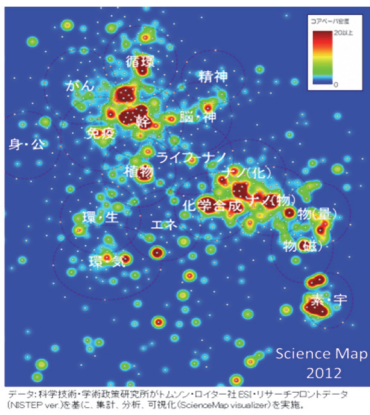
したがって、手法の機能と可視化の方法により、本研究で開発した手法は、科学技術政策における政策実務で状況を伝達する情報伝達機能に関して、相対的な優位性があるといえる。

²¹⁵ サイエンスマップウェブサイト

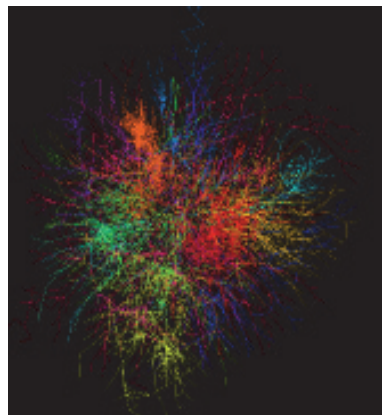
<http://www.nistep.go.jp/research/science-and-technology-indicators-and-scientometrics/sciencemap>

²¹⁶ 学術俯瞰ウェブサイト <http://academic-landscape.com/page/about?next=/>

可視化
慣用法



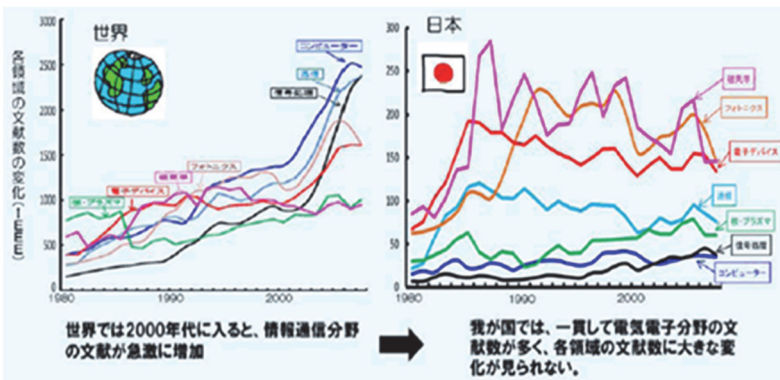
①サイエンスマップ



②学術俯瞰システム

起きている現象に関する解釈が詳細に必要

指標
本研究



③本研究 (領域俯瞰指標の対比)

データ属性と測定の内容の説明さえあれば状況認識が容易

図 39 分析結果の可視化結果の他の方法と情報伝達機能の相対比較

6.4.3 相対的な有効性：指標情報の可視化方法の比較

本研究で開発した手法の情報の可視化表現方法では、領域俯瞰指標のグラフを並列して重ね合わせて可視化することに加え、さらに動向乖離指標を時系列に対応付けて重ね合わせて表示する。こうした複数の情報を重ねるオーバーレイ・マッピングの要素技術を採用した情報デザインにより、構成要素の割合（ポートフォリオ）の違いを可視化して伝える設計となっている。

従来では、こうした複数の属性を持つデータの構成の主体間のポートフォリオを表現する可視化手段にはこれまで、レーダーチャート、クモの巣チャートと呼ばれるデータの可視化方法が用いられてきた。データ処理上は容易であり、表計算ソフトにも実装されている。また、科学技術政策では科学技術指標の可視化表現には、国や機関の属性別のデータ構成についてはニーズの高い情報なので、レーダーチャートが用いられてきた²¹⁷。

図 40 動向乖離指標とレーダーチャートによる可視化結果の比較には、工学の分析事例におけるデータを利用して本研究で開発した手法（動向乖離指標）とレーダーチャートにより分析結果を可視化した結果を比較して示したものである。

図の上段の動向乖離指標の推移は、レーダーチャートで表現できる分類属性の軸は、軸とする分類軸が多すぎると特徴の形状が複雑になるので違いの判読が難しくなる。さらに、表示する軸の数（比較対象とする属性数）については、分析者の恣意と主観性が介在してしまい、客観的なデータの可視化にならない。加えて表現されるグラフの数が増えると同じ軸の上に重なり変化が読み取りにくい問題²¹⁸がある。

これに対して動向乖離指標のグラフは構成バランスの変化を示す時系列の 1 変量のグラフである。さらに、測定している内容も、科学技術政策という利用目的では、世界の動向から乖離するという情報は政策担当者にとって関心を引きやすいテーマである。したがって、時系列トレンドの推移からは起きている現象から情報を読み取ることがレーダーチャートよりも容易である。

例えば、比較する主体数に関しても、レーダーチャートの場合には、比較対象の数だけ複数のレーダーチャートが別のグラフとして並べる必要があり、明らかに煩雑である。加えて、属性の次元数がいくら増加しようと動向乖離指標は機械的に演算可能なので時系列変化を可視化できる。

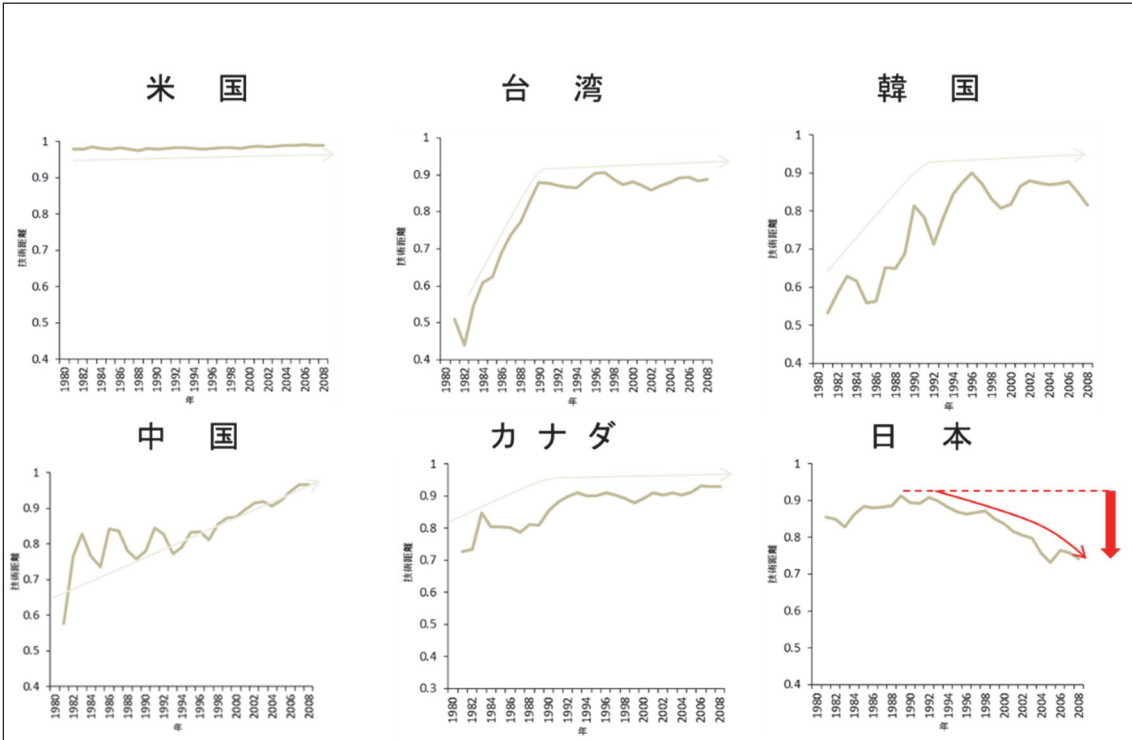
さらに、副次的効果として、特徴ある変化を示す主体を発見したうえで領域俯瞰指標を詳細に分析するという反対の流れの特徴発見も可能である。

こうした情報伝達機能における相対的な有効性と分析上の利便性も総合すると、本研究の可視化の設計は、ビジネスや研究で分析仮説の発見段階で行われる多次元データの処理・分析の実務にとっても既存の手法に比べて有効性²¹⁹がある。

²¹⁷ 例えば、科学技術・学術政策研究所の科学技術指標を参照。

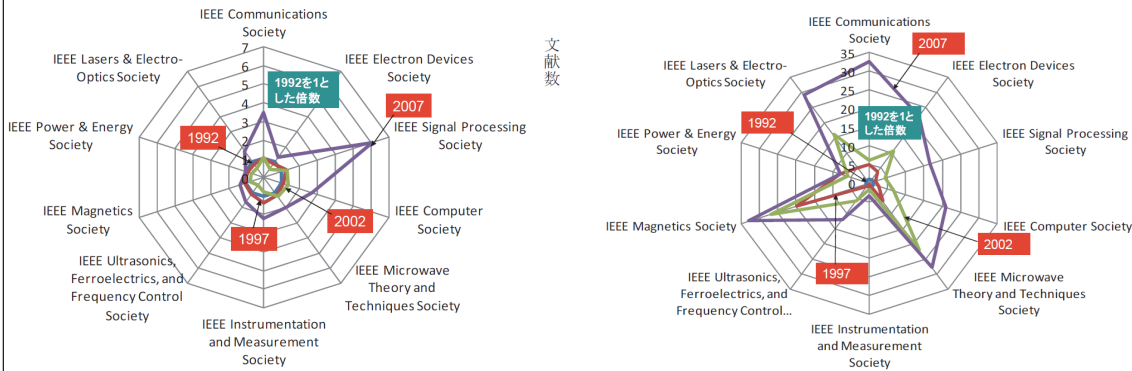
²¹⁸ 情報処理が容易な反面、効果的にデータを通じて情報伝達を行う手段としては、経営コンサルティングでは有効なグラフとして推奨されていない（Zelazny, 2001）。同書（邦訳：マッキンゼー式図解の技術）では、円、横棒、縦棒、折れ線、散布図の 5 種類のグラフを基本に使い分けを求め、情報の可視化では伝達したい情報に応じて対照させるデータの要素をコンポーネント比較法、アイテム比較法、時系列比較法、頻度分布比較法、相関比較法の 5 つの基本比較法から 1 つを選んで対比させて表現することを求める。

²¹⁹ データ分析手法としての可能性や今後の研究課題については、最終章において述べる。



(上段) 動向乖離指標 (縦軸)

上段出典: 図 4 の再掲



カナダのソサエティ別文献数構成の変化
(1992, 1997, 2002, 2007 年)

カナダのソサエティ別文献数構成の変化
(1992, 1997, 2002, 2007 年)

(下段) レーダーチャート

下段部出典: 「IEEE において特徴的な推移を示す国々の分析」(野村, 白川, & 奥和田, 2009)

図 40 動向乖離指標とレーダーチャートによる可視化結果の比較

第7章 本研究の学術的貢献

7.1 本研究の範囲

本研究では、科学技術政策の政策評価に利用する用途で計量書誌学におけるデータ分析の方法を改良し、科学技術政策上の情報要求に応える評価手法が開発できた。

開発手法は指標化手法と分析・評価法の2部構成の手法であり、指標化手法では、計量書誌学を実証フィールドに、科学技術動向の「俯瞰」に必要な条件を、具体的な分析対象の設定、データサンプリング方法、分類設定方法を示すことで、多属性データから俯瞰的な情報を構築するデータ処理の方法が開発できた。分析・評価手法では、指標からの解釈を複数の関係者の議論を通じてデータ分析の結果に関して文脈に即した妥当性確認を行う方法を科学技術政策の政策評価に実装した。

開発した分析・評価手法は、定量指標に基づきアクターの合理的行動を仮定して文脈に即してデータを解釈するデータ分析の方法である。公理的な分析による規範的な結論や、データ単純な増減の相関をモデル化し統計的な仮説検定をするスタイルでは見逃されてしまう、測定している事象の文脈に即して仮説推論を促す機能がある。こうしたデータ分析の方法は、情報学からは情報の可視化を基礎にボトムアップの分析を積み重ねる工学的なアプローチと、演繹的な社会科学を組み合わせた中間的アプローチのデータ分析手法である。

本研究で開発した分析手法には、実証フィールドとした計量書誌学における学術的貢献と分析用途の科学技術政策に関連して公共政策の評価論における学術的貢献がある。さらに、今回の研究開発の直接の対象ではないが、データ処理と分析方法の要素技術には、今後拡張できる技術開発成果もある。

最終章の第7章では、関連する研究領域である計量書誌学、公共政策の評価論における学術的貢献について述べる。最後に、本研究のデータ分析手法の要素を中心に今後の研究課題についてまとめる。

7.2 計量書誌学：単純集計法の改良による指標トレンド分析

7.2.1 計量書誌学における学術的貢献①：分析方法

本研究の計量書誌学における学術的貢献は、分析方法論と結果の双方で学術的貢献がある。

1) 方法論上の貢献

本研究の方法論の学術的貢献には、開発要素の指標化方法と分析手法の双方に学術的貢献がある。

(1) 指標化手法：単純集計法の改良

指標化手法における貢献は、分析対象の社会集団内の分類に基づき指標作成を行う領域俯瞰指標を開発したことにより、状況認識を行いやすいデータ処理と指標作成方法が開発できたことである。この指標化手法は、計量書誌学の基礎的な分析方法である単純集計法(藤垣, 2004)を改良した方法(modified bibliometric count)である。

(2) 分析手法：指標トレンド分析

分析手法における学術的貢献は、指標分析とオーバーレイ・マッピングの方法の組み合わせにより過去からの変化のなかで特徴変化を読み取る「指標トレンド分析」(Rotolo 他, 2015a)の手法が開発できたことである。本研究で開発した動向乖離指標により特徴を発見したうえで領域俯瞰指標を対比させて可視化し情報を伝達する分析手法は、計量書誌学の方法論としては、複数のデータ分析の手法を組み合わせる必要な情報を獲得する混合分析(Rotolo 他, 2015b)の手法を開発できたことになる。

2) 他の分析方法論との比較

本研究で開発した計量書誌学上の方法論上の貢献について、他の計量書誌学における方法論との比較結果をもとに述べる。比較対象とする分析方法論は、データベースに付与された分類に基づきクロス集計を行う単純集計分析法、引用分析²²⁰や高被引用度論文数²²¹に加え、共語分析、オーバーレイ・マッピングとする。

(1) 結果の伝達

引用分析や共語分析、オーバーレイ・マッピングでは、何が起きているか理解させるためには解説・説明が必要であり、その説明内容の範囲を超えた情報は伝わらない。

一方、本研究で開発した手法は、分類を設定する方法を改良したものであるので、他の指標化手法と同等であり起きている現象が判読しやすい。指標の形で情報が示された場合、情報の受け手は現象がなぜ起きたかは不明でも、起きている現象自体は可視化結果を通じて伝達可能である。つまり、起きている現象に関する状況認識の共有は可能である。この結果、分析実施者よりも動向変化に詳しい専門家に示すと、事前の分析で得られなかった情報が得られる可能性が高まる。

²²⁰ 直接引用分析、共引用分析・書誌結合を含む。

²²¹ 論文の引用状況を分野・領域別に規格化し、その上位(1%や10%といった単位)で閾値を設定したうえで文献数を集計し論文数を指標化するもの。

したがって、指標によって分析結果を伝達する本研究の開発手法は、既存の計量書誌学的手法と比べて結果の伝達に関して優位性がある。

(2) 分析実施

本研究で開発した手法は、特定の専門分野の内部のメカニズムを反映した指標を分類設定の工夫により集計基準を調整でき、探索的な分析と時系列の分析が実施できる。また、データ取得に関しては、分析対象とする専門分野の特性に応じ、複数のデータベースを使い分けておりデータベースのロックインが起きない。

これに対して、引用分析は、既存の分野分類のバイアスとは無関係に探索的分析が可能な分析手法であるが、特定のデータベースを依存しての分析になる。共語分析では、特定のデータベースに依存しないで得られたデータを集めた分析が可能であるが、第3章のレビューで示したように科学技術政策における用途での利用には向かない。さらに、オーバーレイ・マッピングは、本研究で開発した手法の情報の提示方法は、特徴変化を表すグラフを重ね合わせて可視化するので、当該手法の要素技術の一部採用しているため、優劣を相対比較する関係にはない。

したがって、分析実施上の利便性を総合評価すると、本研究の開発手法は、既存の手法のメリットを共有しながらも特定のデータベースの影響も受けないので相対的な優位性がある。

(3) 指標で測定している内容の妥当性（評価内容）

引用分析では、索引のバイアスを受けずに安定した分析結果が得られるが、学術文献が公表されてから、他の学術文献に引用されるまでにタイムラグがある。共語分析は、学術文献が公表された段階で、即時に分析に用いるテキストデータが得られるが、収集したデータの網羅性は担保されない。これらに対して、データサンプリングとクラスタリングの方法を改良した本研究の単純集計法では、学術文献が公表された段階から集計可能で、タイムラグがない。時間が経過しないと判明しない引用分析に基づく指標に比べ、集計の手間も簡単であり、共語分析と同時のタイミングで指標が作成可能である。したがって、指標の作成の迅速性では、他の手法と比べて優位性があるといつてよい。

しかし、評価内容の妥当性については、分析手法よりも分析仮説と分析データの設定方法との関係に依存するので、一概にどの手法が優れているとは言えない。ただ、専門家に認知・信頼された社会集団を分析し、疑念が残らない内容を指標化分析目的に照らして状況認識が行いやすい指標作成を技術的に可能とすることで、結果的に計量される研究成果の質と内容の妥当性も併せて担保できる手法が開発できている。本研究で開発した手法は、他の手法と比べて明らかに劣る点はない。むしろ、本研究の領域俯瞰指標におけるデータセット構築方法は、ノイズの少ない分析の母集団の設定方法を手法化したものなので、比較した分析手法とは補完的な関係にある。

表 24 本研究で開発した評価手法の計量書誌学的位置付け

手法類型	指標トレンド分析	引用分析 (計量書誌学の研究の中心)	共語分析	オーバーレイ・マッピング	混合分析(例)	本研究	
分析手法(例)	単純集計分析法(クロス集計)	直接引用分析	共引用分析・書誌結合	テキストマイニング	情報の重ね合わせ	高被引用論文数の指標化	単純集計法の改良
分析の概要	データベースの特定の属性の分類別に論文数を集計	論文の引用関係を分析	論文の引用し合う関係をもとに関連を仮定し分析を実施	テキスト間の共起語に着目した分析	複数の可視化結果を並べて可視化	分野別に引用数を規格化し、その上位(1%や10%といった単位)論文数を指標化	特定の集団内のデータを網羅的に検索し、内部構造に即した分類を用いて指標化
結果の伝達	利用者側の起きている現象の理解のし易さ	○:起きている現象がわかりやすい △:解釈には、知識が必要。	×:何が起きているかは一見するだけでは判然としない		○:起きている現象がわかりやすい	○:起きている現象がわかりやすい	
	分析結果の理解に必要な知識の水準	○:詳細な解釈は前提知識が必要だがトレンドは理解可能	×:解説が必要		○:詳細な解釈は前提知識が必要だがトレンドは理解可能	○:詳細な解釈は前提知識が必要だがトレンドは理解可能	
分析実施	分析手法としての情報探索機能	△:時系列分析が可能		○:探索的分析・発見が可能		△:時系列分析が可能	○:探索的発見と時系列分析の双方が可能
	データ源が特定データベースへ依存	×:特定の論文データベースを利用		○:複数のデータ源を利用可能		×:特定の論文データベースを利用	○:複数のデータベースを分析対象に応じて組み合わせて利用
評価内容	既成の分野分類の枠内を超えての評価	×:データベース作成者の分類に依存	△:分野を超えた比較には意味がないことに留意が必要	○:既存の分野分類のバイアスとは無関係に分析可能	△:分析では既存分類と対応付けると解釈しやすい	×:分野別の規格化の際にデータベース分類に依存	○:既存の分野分類のバイアスとは無関係に分析可能
	計量される研究成果の質	×:研究成果の質の如何は保証されない	△:研究の性格や分野によって引用習慣が異なる	○:分野の枠を超えた新興研究領域が可視化可能	△:分析対象とする情報源に依存するので一概にいえない	○:政策上信頼できる評価指標として利用されている	○:専門家に認知・信頼された社会集団を分析し、疑念が残らない

7.2.2 計量書誌学における学術的貢献②：IEEE に関する計量書誌分析結果

1) 実績

本研究の分析結果の貢献は、工学系の学協会 IEEE を対象に工学分野の研究動向の計量書誌学的分析を実施できたことである。計量書誌学において独特な世界がある(Franceschini & Maisano, 2014)なか研究が進展していなかった状況において、他に先駆けて研究成果を(Shirakawa 他, 2012)発表した実績がある。

2) 関連研究との比較

関連研究では、Canavero らの一連の研究がある(Canavero, Franceschini, Maisano, & Mastrogiacomo, 2014)。彼らは、IEEE の学術雑誌のうちトランザクションの分析を行い、細分化された領域に応じて、雑誌毎に異なる研究者の引用状況を解明している。そこでは研究分野別の引用数を正規化する複雑性を指摘し、正規化の基準には、IEEE のソサエティを利用して領域単位で正規化する方法が引用傾向の正確な推定に有効だとした。彼らの研究では、レビューやレター、トランザクションといった IEEE の学術雑誌別の引用傾向の点で有意差を実証的に示している。さらに、学術雑誌の平均引用数を算出することで、細分化された細かな領域別のジャーナルランクの導出方法を提案し、学術雑誌の影響と論文著者の学術的評判の2つの異なる視点から IEEE の学術雑誌を評価する計量書誌指標を定義した。ただ、論文当たりの平均引用数が多いほど、研究の価値が高いと仮定を置き、論文著者と投稿先の選択の関係を分析した結果、提案の評価指標は、直近の5年間を除き適用可能である、つまり直近の5年分は適用できなかった²²²としている。続く研究で彼らは、IEEE のソサエティ単位で論文数での引用数をもとに領域単位(ソサエティ)での規格化を行い、レビュー誌、レターといった文献種別によって分け学術雑誌別の研究者の業績評価用の個別指標を作成した(Franceschini & Maisano, 2014)。

Yamashita & Yoshinaga (2014)では、IEEE で最もインパクトファクターが高い学術雑誌に対して、著者の国際移動の有無が被引用数に影響するか国別に分析を行い、中国やインドから米国への国際的な移動を果たした研究者の論文引用数が多いことを示した。

これに対して筆者らの研究では、IEEE の全体の動向を工学系で重視されるプロシーディングまで含めた過去30年近い期間に IEEE が公刊した学術文献に関する単純集計分析を行っている。IEEE に関係する計量書誌学上の関連研究との比較では、本研究は単純集計法で、関連研究は引用分析であり計量書誌学では信頼されている分析方法である。しかし、単純集計の方が、同じデータ量であれば、引用分析に比べて広範囲の情報を提供することが可能なので、俯瞰性は高いといえる。

また、本研究の研究成果は、関連論文よりも研究発表時期が先行していることから、計量書誌学上の事実発見に関しても先駆的な成果を得ている。

²²² 5年インパクトファクターが用いることができないということは、工学領域のインパクトファクターを用いた掲載誌による業績評価や引用分析を利用した分析に向かないことの裏付けになっている。インパクトファクターの重要な直近の5年分の分析結果については、分析が有効にならないという問題の発見とソサエティ別の規格化が妥当だとする結論(Franceschini & Maisano 2014)は、(Shirakawa 他 2012)がソサエティを単位として単純集計分析を採用したことの妥当性の傍証になっている。

7.3 公共政策の評価論：特定 이슈に関する政策評価手法

7.3.1 開発成果：多様性の評価指標による 이슈ベースの政策評価手法の開発

政策上の意思決定には、政策上定義された問題に対処するための意思決定とイシューをもとに今後の方針を決定する2つの方向性があるが、本研究で開発した評価手法は、問題解決を起点とする評価ではなくイシューベースの評価手法である。本研究の政策評価論における学術的貢献は、多様性に関する測定評価指標を用いて今後の資源配分方針の議論を通じた政策評価の運用方法が確立・実証できたことである。

開発手法を用いた分析結果は、アウトプットの構成の多様性に関する尺度の指標を用いて専門家や利害関係者の間の議論を通じて評価結論を導き出すプロセスとして実装し、一部は科学技術政策で実際に利用された実績もある。

本研究で開発した手法は、関係するアクターが部分合理的に行動することで無意識に起きてしまう合成の誤謬や逆機能に基づく無知に関して、メタレベルの俯瞰情報をもたらすことで変化に関する感度を上げ、政策上の課題として気付きを与える機能がある。本研究の公共政策の評価論における意義は、特定の政策的なイシューに関して特徴変化のデータを対比・可視化することで、今後何をすべきかを検討するうえで俯瞰と政策課題の認識・共有可能な情報提供を行い、結果的に熟議のきっかけをもたらす効果がある。

科学技術研究で起きている大域的な現象を俯瞰し状況認識を行うことで、個々の研究者や利害関係者の選好に政策課題に関するデータの可視化結果を用いて訴えかける情報設計を行い、政策実施過程で部分合理的に行動した結果からは見逃される現象に関して、政策の企画立案に課題意識として反映させる情報分析サイクルを整備することができた。

本研究には、「課題認識を強化するためのツールの整備」(Bazerman & Watkins, 奥村訳 2011)を行った結果、専門的な合理性のもとでは構造的に見逃される「合理的無知(Downs & Corporation, 1967)(Downs, 渡辺訳, 1975)」を防止するための評価手法開発という意義がある。

7.3.2 評価方法上の貢献：多様性の評価指標による議論を通じた政策評価

政策評価では、特定の政策課題について将来社会で選択すべき技術的手段のアウトプット構成の選択の是非に関する評価テーマがある。電源構成に関する政策評価では、例えば、火力、原子力、再生可能エネルギーなど電源構成のバランスが政策選択の論点²²³になる。

こうした政策選択のバランスをめぐる政策評価での課題は、数理的にはどのような多様性を持つことが望ましいのかという多様性測定の問題に帰着できる。英国の科学技術政策・科学技術社会論の研究者であるスターリングは、こうした共起に伴う類似性尺度は一般式で表現できる(Stirling 他, 2007)とし、これらは多様性に関してヒューリスティック²²⁴な評価を行うための指標であるとした。多様性の指標を政策評価指標に用いて、具体的には電源選択の政策選択に関して熟議を通じた政策評価を行うことなどが提案されていた(Stirling, 2010)。

先行研究では、多様性の指標を政策評価指標に用い熟議を通じた政策評価を行う概念枠組み(Yoshizawa 他, 2009)、多様性の評価の数理的な一般化(Stirling 他, 2007)、エネルギー政策における利用の提案(Stirling, 2010)、ジャーナルランキングの与えるイノベーション研究における多様性の喪失と学際研究の疎外効果を分析(Rafols 他, 2012a)研究がある。しかし、概念・研究段階にとどまり、実際の科学技術政策における具体的な利用と運用の手法に関しては開発されていなかった。

本研究で開発した動向乖離指標で用いたベクトルの内積のうちコサイン類似度は、数理的には、自然言語処理では共起²²⁵に伴う類似性尺度²²⁶のひとつである(相澤, 2007)。本研究で開発した動向乖離分析では、アウトプットの構成の多様性に関する尺度の指標を用いた議論を経て評価結論を導き出すプロセスを設計・実装し、一部は既に科学技術政策で実際に利用された。

本研究の評価論における学術的貢献は、多様性に関する測定評価指標を用いて今後の資源配分方針の議論を行うための政策評価の運用方法が確立できたことにある。

²²³ こうした指標を用いてヒューリスティックに評価を行うことが必要な理由は、技術的選択のオプションがオプションのなかでもさらに細分するからである。例えば、火力や原子力や再生可能エネルギーのなかで一体どのような電源構成バランスが政策的に望ましいのか、さらに火力の中でも、石炭火力、さらには高効率石炭火力といった新技術によるアウトプットが細分していくことが望ましいのか、それとも再生可能エネルギーの方が望ましいのか、さらに再生可能エネルギーでも、風力や太陽光が望ましいのかといった、大分類とさらに細目分類が増えるなかで全体の構成バランスが政策的議論を行う(Stirling, 2010)。

²²⁴ ヒューリスティックとは、厳密な論理で一步一步答えに迫るのではなく、簡略化されたプロセスを経て直感で素早く解に到達する方法である。ヒューリスティクスに対し、論理的プロセスを経て問題解決に至る一連の手順がアルゴリズムである。

²²⁵ ある単語があるテキスト中に出たとき、そのテキスト中に別の限られた単語が頻繁に出現すること。

²²⁶ 共起に関する類似性尺度には、頻度、ダイス係数、ジャガード指数、シン普森係数、エントロピーなどが知られ、要素が特徴ベクトルで表現できる場合には、ジャガード係数や相関係数といった共起要素に着目する尺度、コサイン類似度やユークリッド距離などの特徴ベクトル間の距離を定義する尺度、シャノンエントロピーなどの確率モデルによる尺度がある(相澤, 2007)。

7.3.3 科学技術政策における学術的貢献：メタプロジェクトレベルの評価手法

本研究の公共政策の科学技術政策の評価における評価論上の貢献は、今後の研究開発の方向性について政策レベルの資源配分の方向性を議論できる評価手法をパッケージで提示できたことである。本研究の学術的貢献は、同じデータに基づき分析者の概念枠組み設定と主観によって解釈が行われている計量書誌学的分析の解釈の妥当性確認の手法を開発したことである。開発した妥当性確認の手法は、評価の結果が客観的証拠・データに基づいて論理的な結論が導出されているかを検証するメタ評価²²⁷手法を開発した意義がある。

本研究により実現したメタ評価手法の科学技術政策における意義は、個別の研究提案などの評価手法はある一方、メタプロジェクトレベルの評価手法²²⁸がないとされていたなか、科学技術政策上の政策課題の認識と共有を促す前向きの政策評価手法の一部が開発できたことである。このことは、アクターが事実判断を行う評価行為の連鎖²²⁹によって形成されていく科学技術政策において、政策の方向性に関して議論を通じて価値判断の再調整を促すメタ評価機能を備えた政策評価手法を開発したものといえる。

また、本研究で開発した手法の公共政策上の意義は、科学技術政策における政策課題を発見する政策の企画立案段階で、専門家と利害関係者が同じ視点で議論できることである。この開発手法の評価情報の提供機能には、科学技術政策の実務上では、専門性が高く一般人には敷居の高い科学技術政策において、利害関係者の「上流からの参加²³⁰」を促進する意義がある。

何より、組織には、アクターが部分合理的に行動することで無意識に起きてしまう合成の誤謬や逆機能が生じることがある。組織的な無知（イグノランス）は、選択的注目などの種々の認知バイアスによって起きる(Bazerman & Watkins, 奥村訳 2011)。こうした組織の病理に対して、開発手法は、メタレベルの俯瞰情報もたらすことで変化に関する感度を上げる機能をもたらす。このため、本研究では、科学技術政策における科学技術動向の分析・評価²³¹という用途で「課題認識を強化するためのツールの整備」(Bazerman & Watkins, 奥村訳 2011)ができた意義がある。

²²⁷ メタ評価とは、一般には「評価の質的管理（評価デザイン批評）(Evaluation quality control (Evaluation design critique))と「評価結果の統合 (Evaluation Synthesis)」と理解される。しかし、スクリヴェンは、評価の結果が客観的証拠（いわゆる Evidence）に基づき、論理的な結論が導出されているかを検証することも含めて「メタ評価」を捉えられるとしている。本研究のメタ評価とは、後者のスクリヴェンの解釈による。なお、評価統合の実施の方法には、定量的な手法と適正的手法がある。定量的手法には、メタ分析と類似した方法である平均効果量 (Average effect size) を計算する、統合有意検定 (Combined Significance Test) を実施がある。定量的手法では、(1) シングル・ケーススタディ (Single case studies), (2) 非定量的な集合研究

(Nonquantitative aggregate studies), (3) 定量的研究における非定量的な情報分析 (Nonquantitative information in quantitative studies), (4) 専門家判断 (Expert judgment), (5) 口述的レビュー (Narrative review of collections of research studies) の 5 種類がある (佐々木, 2011)。

²²⁸ 前向きの評価では、次のアクションにつながる情報の獲得が重要であり、結果がネガティブであろうとポジティブであろうと学習につながればよい (榎原, 2010)。

²²⁹ 科学技術の評価は、研究の実施時点で研究者が事実発見と理論的含意についてデータの評価を行い、その結果を取りまとめた論文を執筆する。さらに、論文は、査読によりピアレビューによる評価を受け、さらにその結果新規性があると判定された研究成果が学術雑誌に掲載される。学術雑誌に掲載された論文のメタデータにより、科学技術政策の成果であるアウトプットの政策評価が行われている。つまり、科学技術政策の評価は、メタ的・再帰的な形で事実判断に基づく評価行為の連鎖によってなされている。

²³⁰ 科学技術政策における「上流」とは、科学技術をめぐる論争が、当該科学技術が実用化後や、実用化直前の段階（下流）で実施され発生してきたのに対し、研究開発の初期段階（上流）から、専門家や政策決定者以外の多様なアクターとのコミュニケーションと、それに基づく科学技術の評価 (assessment) を行い、その結果を随時、研究開発や政策決定の場に還元し、漸進的に科学技術の研究開発と社会的適応を図ることをいう（上流からの関与 (upstream engagement)）。既に多くの技術的要件が決定され、多大な投資を行った後の「下流段階」では、評価結果の反映が困難な場合が多く、感情的な論争になってしまうことも多い (藤垣, 2005)。

²³¹ 本研究は、経営学の技術経営論における技術情報に関する知識管理 (ナレッジ・マネジメント) の方法論でもある。実際、研究の遂行過程において技術経営の国際学会において発表を行った際には、技術経営論のうちの知識管理論 (ナレッジマネジメント) のセッションにおける口頭発表に割り当てられた。

7.4 将来の研究課題：データ分析手法の拡張と動作メカニズムの解明

7.4.1 データ分析における実現機能

1) 開発手法：定量的研究における非定量的な情報分析

領域俯瞰指標と動向乖離指標の2種類の指標を用い特徴発見を行いその解釈について議論を通じて確定させる本研究の開発手法の一義的な貢献は、科学技術政策における情報要求に照らして必要な科学技術動向の分析手法・測定系（metric）を構築できたことである。この分析方法は、定量データに基づいているが分析者が自身の知識と照らし合わせて記述的推論により解釈を導くデータ分析は、定量的研究における非定量的な情報分析（Nonquantitative information in quantitative studies）である。

しかし、本研究で開発した将来社会の技術選択に関して多様性の評価指標を用いながら議論を通じ政策評価を行う方法論は、今後の科学技術政策において国単位での計量書誌データの分析に限らない科学技術政策における活用の可能性がある。特に、特定の社会集団の中での文脈に則した指標化を行うことで状況認識が行いやすい情報環境を実現した本研究の指標化までのデータ処理は、計量書誌データの分析以外のデータ処理にも活用できる可能性がある。

(1) 機能：同一事例内分析となるデータ制御による閉世界仮説による推論環境の実現

本研究で開発したデータ分析手法の学術的貢献は、同一事例内分析となるようにデータサンプリングでデータを制御することで母集団に存在していないものについては存在しないものとみなす閉世界仮説による推論環境の実現する技術を開発できたことである。

このデータ処理の手法は、特定の社会集団に絞り込み、その内部の組織構造を反映した指標に基づき分析を行うと、定性的研究という同一事例内分析となる。定性的研究においては、同一事例内分析には、分析対象のデータが体系的に制御された状態になる統計的な変数制御に代替する機能があるので、情報検索で再現率の高いデータセットの構築が可能となる。

(2) 方法：索引作成者効果（バイアス）を回避する分類設定

開発した指標化手法では、分析するデータセットの範囲を特定の社会集団内に限定し、内部の社会構造に即した分類を指標作成に用いるヒューリスティックな計算処理を行う。特定の社会集団における部分組織を分類用のクラスタリングに利用することにより、索引作成者が介入する余地がなくなる。さらに、データ処理の手間でも、ボトムアップに分類付与作業を行うことに比べて名寄せ作業が軽減できる。これらの結果、情報を解釈上のノイズを低減させ状況認識が行いやすいデータセットを構築できる。

この方法を情報検索性能の視点から評価すると、ノイズの原因となるデータをデータサンプリングの段階で省きながらデータの網羅性（再現率²³²）を上げたうえで内部の組織構造に則した指標化を行う結果、分析時に解釈がしやすいノイズが少ないデータを得る技術といえる。

一方、計算量の観点から性能を評価すると、データ集計作業では、ネットワークの関係を情報の圧縮に利用する²³³ので、計算量を幾何級数的に増加させることなく²³⁴、動向変化に関する情報抽出が可能なデータセットが構築できるメリットがある。

²³² 分析データの適合率（precision:精度とも呼ばれる情報検索結果の正確性に関する指標）では、特定の社会集団に絞る効果として、再現率（recall）を高めていることになる。結果的に、開発方法には、検索したい概念に対応させ再現率の高いデータ抽出が簡易な検索条件のクエリで実施できる有用性がある。

²³³ この意味で、本研究はデータとして蓄積された「情報の静的側面」から関係性からもたらされる「情報の動的側面（今井 & 金子, 1988）」を抽出する方法という意味付けも可能であろう。

²³⁴ 特徴発見のために用いる動向乖離指標は、ベクトルの内積であり、計算量は複雑なネットワークを計算することに比べてはるかに少なく済むメリットがあり、簡便である。

2) 論理上の限界：得られた発見の妥当性

ただし、本研究で開発した手法には、データセットの構築方法では優れている一方、分析に関しては、論理的な限界もある。

開発手法で行う分析の推論形式²³⁵が、仮説推論（アブダクション²³⁶）であるためである。

分析手法では、新たな説明仮説の妥当性の検証・確認を、共通のエビデンスに基づき、指標から読み取れる現象の記述的分析と主観を交えた解釈仮説の導出プロセスを明確に分けて設定し分析者の主観的な解釈を排除している。さらに、解釈の最終判断もプロセスを明確に分離し、第三者の意見を踏まえ解釈仮説の妥当性を見極める手続きを設定している。

しかし、得られた知識の妥当性についてはプロセスを通じた確認²³⁷にとどまり、妥当性に関しては論理的には正しいと断定することはできない。分析過程では、関係者の意見聴取による妥当性を担保するプロセスは設けたものの、得られる情報の妥当性は、推論形式がアブダクションである以上、前提とする事実と合致するにしても論理的には結論が正しいとはいえない。

したがって、データを起点に表現された情報を読み取って得られた推論結果の妥当性確認の方法の確立は、今後の研究課題である。

²³⁵ 経営学・組織論における推論形式に関する議論については、(Mantere & Ketokivi, 2013)を参照。

²³⁶ 総合的で連想的で創造的な仮説推論は、アメリカの哲学者パースによって定式化された科学的探究の一段階としての演繹および帰納に先立つ、観察された現象を説明する仮説を発想し、形成する手続きを指す仮説的推論を意味する。アブダクションは、必ずしも論理的に正しいとは言えない場合がある。

²³⁷ 「データが語る」可視化結果から得た知識は、統計的仮説検定のような妥当性の担保方法は未確立である。図書館情報学では、手法の評価は利用者の満足度により判定され、個別の知識の妥当性は担保しない。図書館情報学での評価では、情報提供システムとしての機能検証の他に、利用者志向で利用者の情報行動に照らして利用者の満足度を問うことで妥当性確認を行う2つの考え方があり（例えば、(Case & Given, 2016), (Ingwersen & Järvelin, 2005), (Fisher, Erdelez, & McKechnie, 2005)などを参照）。

7.4.2 科学技術政策・計量書誌分析における実務的展開

本研究では著者が属する国をその国の論文数の代理指標として用いて分析を行ったが、大学や組織別の分析、同じ大学でも国公私といったセクター別の単位での計量書誌指標の導出が可能である。

(1) 分析の組織単位の拡大：セクター・個別組織（大学・企業等）レベルの分析

計量書誌学における分析の単位には、政策に対応した国、産学官といったセクター、大学や研究拠点など研究の組織、さらに個人と複数の社会的次元があるが、論文に関する計量書誌データでは、研究者個人、個別大学や研究機関といった単位での組織別のメタデータも整備が進んでいる²³⁸。このため、本研究で開発した手法の適用範囲は、国単位での科学技術政策動向にとどまらずセクターや組織単位での分析にも適用可能²³⁹である。

したがって、大学の研究機関の意思決定を支援する情報分析活動を意味する IR (Insitutional research) における研究戦略の立案活動にも適用可能と考えられ、幅広い関係者と組織単位でも活用が期待できる。

ここでは、関連する知識を持つ政策関係者であれば、大学人事の硬直化や教員の高齢化などに起因するロックイン現象が分析可能になると考えられる。また、同じ基準で集計基準を設定した指標を異なるデータベースから客観的に検証可能な形で複数作成²⁴⁰することも可能であり、指標の妥当性をより議論して深めていくことにもつながると考えられる。

(2) 分析対象の拡大：人文・社会科学への手法適用

本研究で開発した手法では、特定のデータベースに依存せずに分析目的に応じて適切と考えられる社会集団とメディア・データを選定して分析するのでメディアの制約が少ない。このため、評価手法の手順を適用すれば、複数のメディア・データと評価基準を組み合わせることで、人文・社会科学の評価に関しても指標の作成を行うことが可能であると考えられる。

(3) 分析の高度化：科学技術政策上の動向変化の兆候発見

科学技術動向の分析において新たな分野や兆しの発見のために分析を組み合わせから新たな情報を得る方法論を他の手法などとの組み合わせで体系化することも考えられる。

本研究では引用情報に基づくデータベース (Web-of-Science 等) 以外の専門領域別のデータベース (Inspec 等) を分析対象としていた。こうした異なるデータベースで国別動向を分析するなかでは、新興国の科学技術研究の発展状況に関しては、領域別に発展段階があり中国などは化学や材料分野といった領域から世界的な存在感を見せていた。また、一般の国々では、コンピューターサイエンスといった研究施設が不要な領域から発展し始め、時間が経過するにつれてトップレベルの学術雑誌に掲載される業績が出るようになることもわかった。

このため、今後の潜在的な科学研究力の評価や伸びの可能性を予測するうえでは、複数のデータベースを分析し、トレンド変化の時間の差を考慮しながら今後の新興国の研究発展などの動静を予測するなどの情報分析も可能になる。

²³⁸ NISTEP 大学・公的機関名辞書(ver.2016.1)

http://www.nistep.go.jp/wp/wp-content/uploads/manual_organization_dictionary_ver2016.1_161031.pdf

大学・公的機関名英語表記ゆれテーブル(Scopus 版)(ver.2013.1)

http://www.nistep.go.jp/wp/wp-content/uploads/guide_name_variations_scopus_ver.2013.1.pdf

²³⁹ 研究者個人の評価に関しては、本研究で開発した手法以前に引用に基づく指標が多数考案されており、研究の対象とはしていない。

²⁴⁰ 例えば、データベースによってドキュメントタイプ、例えば、原著論文、レター、レビュー等の論文タイプの扱いに差がみられることから、今後この差分の計量が実務的な課題になると考えられる。

7.4.3 データ分析・処理技術の開発

本研究の開発手法では、分析対象の社会集団を絞り込み、内部構造に則した指標を作成する2段階のデータサンプリングと処理を経てデータ分析を行う。特定の社会集団と組織の内部構造に即して関係行列を定め分類を設定して情報分析を行う技術は、ノイズの少ない状態で閉世界仮説による推論が可能な情報環境を創出する方法論なので、本研究で実施した計量書誌学の分析範囲にとどまらないデータ処理にも活用が見込まれる。

(1) ダイナミック化：リアルタイムのデータ分析への適用

本研究での分析では、論文データを分析対象としたため、年単位のタイムスケールでの分析を行っていた。しかし、本研究の開発手法は計算量を増大させずにノイズの少ない情報を抽出するためのデータ処理技術なので、今後は分析のタイムスケールをより短縮し、リアルタイムの大量データ分析にも本研究のデータ処理を適用することが期待される。つまり、本研究で開発したデータ処理手法をダイナミックなデータ分析・処理に拡張して利用することが将来の研究課題である。

(2) アクティブデータベースの整備：政策情報の分析サイクルの確立

本研究で開発した手法は分析を実施する側が分析したい政策上の情報要求をもって分析データベースを操作して探索的分析を行う情報要求が先立つ情報処理・分析サイクルであった。

ただし、今後は積極的な情報を自動的に知らせることで科学技術政策のインテリジェンス機能を担う情報システムの構築も想定される。例えば、特徴量を満たした兆し (signal) がある場合には、積極的に政策担当者や研究者など利用者に変化の兆しを自動的に知らせるアクティブデータベース²⁴¹の構築も将来的な構想の視野に入ってくると考えられる。

²⁴¹ データベースの扱う様々な内容変化 (イベント) を検知し、それに対応した処理を自動的にトリガー・起動させ利用者に知らせる機能を持つデータベースシステムのこと (Paton & Díaz, 1999)。

7.4.4 公共政策における用途拡大

本研究で開発した評価手法は、科学技術政策における今後の資源配分を検討する際に示唆を得るための前向きな政策評価を用途とした実用的な研究開発であった。本研究で開発した評価手法は、関係するアクターが部分合理的に行動することで無意識に起きてしまう合成の誤謬や逆機能に基づく無知に関して、メタレベルの俯瞰情報もたらすことで変化に関する感度を上げる機能がある。

今後は、公共政策においては科学技術政策やエネルギー政策において将来予測が不確実な中での技術的手段の選択や構成割合など政策の政策選択の方向性の評価を計量書誌学的分析以外のデータにおいても開発手法を適用することが期待できる。

また、本研究で開発した指標の解釈に関しては、関係者を交えた議論により解釈の妥当性を担保する方法を用いたが、討論型世論調査などミニ・パブリックス (mini-publics) と呼ばれる討議を用いて人々の選好を探るための手法(曾根, 柳瀬, & 上木原, 2013)による社会調査等における討議(熟議)プロセスと親和性が高いと考えられる。本研究で得られたデータを討論型世論調査などにおける討議用資料として活用すると、議論を有効にファシリテーションできる資料の一つとなると考えられる。

7.4.5 情報とガバナンスの相互作用のメカニズム解明

本研究の開発手法の機能には、政策立案者、研究者などの政策関係者の間に能動的な認知を促すことで政策的な方向性に関する熟議を起こすきっかけを創出する公共政策上の副次効果があった。開発手法を適用して得られる情報からは、利用者は解釈を通じて様々な思考をめぐらす、熟考的な認知 (reflective cognition²⁴²) が促される。この結果、それぞれの立場は尊重されつつも、次に何が必要かに議論が向かうような政策情報が提供されていた。結果的に、異なる政策的立場にある者同士の「不協和をうまく組織化すること (organizing dissonance²⁴³)」の契機になっていた。実際、研究開発の過程における分析・評価の実施においては、データを媒介として専門家や科学技術政策の関係者を巻き込む形でダイナミックに調整が進むプロセスが観察された。

本研究は、こうしたプロセスの理論的解明ではなく、むしろそのプロセスを利用する形でノイズが少ないわかりやすい情報が抽出できるデータ分析技術として科学技術政策の政策評価に用いる評価手法を確立した。しかし、こうしたプロセスのメカニズムがなぜ起きるのかについては理論的なメカニズムの解明には至っていない。本研究で開発した政策調整が促進される評価手法の有効性を論理的に論証するうえでは、理論的な研究課題が残されている。

しかし、こうした情報構造とダイナミックな場の形成に関する情報の作用メカニズムの理論的解明は、公共政策におけるガバナンスとアカウンタビリティ、さらに組織の意思決定とナレッジマネジメントの関係など課題が多く残されているので、今後の研究課題としたい。

²⁴² 確立された概念分類やヒエラルキーに基づく認知の仕方には限界があり、特定のものごとに焦点を当てるあまり認知の盲点が生じる。この対策手段として、認知の過程で様々な思考をめぐらせることをいう(Stark, 中野, & 中野, 2011)。

²⁴³ 様々な多義的な解釈を許容することで多様性のある価値観が交錯することで「創造的な不協和 dissonance」が起きると、イノベーションを積極的に喚起する状況が生まれる。なお、不協和は、価値観が対立する程度に異なる場合に起き、結果的に多様性が変化に対する対応能力を高めることにつながる。こうした一つの評価原理にとらわれず組織に異質な価値基準を並立させるガバナンスのことをヘテラルキー (heterarchy) と呼ぶ(Stark, 2011)。

謝辞

本研究は、著者が慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科後期博士課程在学中に、同大学総合政策学部玉村雅敏教授の指導のもとに行ったものです。

また、同教授が代表研究者を務められた国立研究開発法人科学技術振興機構社会技術研究開発センター（JST-RISTEX）「科学技術イノベーション政策のための科学 研究開発プログラム」「科学技術への社会的期待の可視化・定量化手法の開発」研究開発プロジェクト（研究開発期間 平成 23 年 11 月～平成 26 年 10 月）[プログラム総括：森田 朗（国立社会保障・人口問題研究所 所長）]における研究成果とも関係しています。さらに、本研究は科研費（26330375, 25518017, 25285236, 22500875）の助成を受けた成果が含まれます。

本研究で開発した手法は、変化に着目しダイナミックな環境変化をいかに測定しわかりやすくみせるかという評価のための手法でした。変化に着目した分析は、ものごとを違う立場から明らかにする点にあるとされますが、見方に慣れると、見えてくるほとんどのものはよく知られた普通のものに感じられてしまいます²⁴⁴。主査を引き受けていただいた玉村教授には、職人芸的な情報処理をいかに手法として体系立てて定義するか、研究の前提となる範囲と舞台をいかに設定するか、ディテールに迷走しがちなところを、導いていただきました。再帰的な関係のもとで自己言及的な説明になってしまう科学技術政策という領域において、糸を解きほぐし研究としての体系を構築することに多大なご指導をいただきました。科学技術・イノベーション政策のための研究者の層の拡充が日本においても目指されています。ただし、研究としては個々の領域での新規性が主張され、学術的評価を得る研究が多いのが現状といえます。こうしたなか、正面から科学技術政策にとっての政策情報の在り方に関する手法として、実務的な運用を含めた博士研究として、定量的測定のための情報処理の方法論とともに、熟議民主主義論などに通じるプロセスに分解して研究開発を行うことができました。この結果、実用的でありながら学術的水準を両立した博士論文の取りまとめが完結できたのも、玉村教授と政策・メディアをひとつの研究科として一体に扱う SFC の伝統のおかげです。こうして論文を書き終えることができた現在では、政策・メディア研究科と冠する大学院を抱く SFC らしい政策研究の成果のひとつとなったものと自負しています。

また、副査の総合政策学部上山信一教授には、私が広島県庁在勤中より、プロフェッショナルとして自立する公務人材のあり方について折に触れて貴重なアドバイスや新しいチャンスを提供していただき、15 年以上にわたり頂いてきました。

また、政策・メディア研究科長の清木康教授には、私のデータ処理の経験を高く評価いただき、研究を進めることの後押しをいただきました。この結果、新たに地域の課題解決と情報技術を結び付けるシビックテクノロジーと呼ばれるデータサイエンスと総合政策を中心とした新たな分野での実践の後押しと、さらに思い切って関連付けデータを中心とした研究の世界に研究者として打って出る後押しをいただきました。

さらに、日本における政策科学の理論と実践の双方で尽力されている総合政策学部鈴木寛教授は、本研究の政策的な推進のドライバーとなった、『科学技術イノベーション政策における「政策のための科学」』の推進の立役者であり「鈴木文政²⁴⁵」とも称される大きな掌のなかで、当該研究を進めることができたのだと大きな潮流の中にあつた自分を振り返っています。

また、本研究の骨格となったデータ及び調査は、著者が文部科学省科学技術・学術政策研究所に在勤中に行った調査が基礎となっています。この中で、引用分析が全盛の世の中で、単純

²⁴⁴ 「経済変動の進合理論」(Richard R. Nelson, Winter, 後藤, 角南, & 田中, 2007)巻末による。

²⁴⁵ 文部科学省合田 哲雄氏による表現(広島大学高等教育研究開発センター, 2015)。

集計分析で計量書誌学の査読論文となるよう、私を行政職員から研究者に轉身するきっかけをくださったのは、同研究所奥和田久美首席フェローでした。また、研究者としてのペースメーカーとなり、研究の進捗を進めていくのに最初にご指導・ご助力いただいたのが、元日本電気の技術者を経て、同研究所の客員研究官を長年務められた野村稔氏でした。

実際の研究推進では、データの集計や計算機処理において学術的に特に大きな協力・示唆を得たのが、共同研究者で、研究者からベンチャー企業の経営者に転じた後に、再び研究教育の道に戻られた古川貴雄共立女子大学家政学部教授でした。私が英語の査読論文を書く習慣もままならないなか、情報系の研究者が社会科学系の英文トップ学術雑誌に果敢に挑戦していく古川氏の姿には、汎用的なスキルを持つ者としての博士号という意味について身をもって教わりました。本研究とその関連研究と一緒に進められたことを感謝してもしきれません。

本研究において、データをめぐる科学研究のあり方のパラダイム自体が「データ中心科学」などと呼ばれ徐々に変化するなかで統計的仮説推論ではない、「データが語る」というデータからの記述的推論の妥当性を示すことが、学術的に困難なことでした。この方法の妥当性の検証には、同研究所技術参与の森薫氏に、トピックモデリングとの比較により本研究で提案している計算方法の妥当性を関連研究²⁴⁶で実証いただきました。また、同研究所元技術参与の有野和真氏には、マイクロソフト社での大規模な疎行列の処理の経験をもとに、XMLデータの正規化処理と内積計算を簡便に計算できるアプリを作成いただきました。

化学分野の分析には、(公社)日本化学会在勤中電子出版化の実務経験を持ち、知見が豊富な、現同研究所林和弘上席研究官に、必要なデータの形式と経済的なデータの入手に関して、化学情報協会や分析結果の関係者からのフィードバックなどに関する調整に貢献いただきました。

また、トムソン・ロイター・プロフェッショナル株式会社と Nature を発行しているマクミラン社のアジア法人を経て、Orcidのアジア代表として現在はオープンサイエンスの最前線で世界的に活躍しておられる宮入信子氏には、アンケートデータの処理及び最先端の計量書誌学における世界的なネットワークへのアクセスをいただきました。あらためて御礼申し上げます。

多属性データを実用的に簡便に処理するというデータ処理に関して、本研究は、行政実務での経験を抜きには開発は不可能でした。本研究における疎な多属性データの効率的な処理への発想は、リレーショナルデータベース形式では処理できない広島県庁在勤中の予算業務での経験が基になっています。ここで多属性データの扱いに苦労したことが、研究の場に転じた時に、普通の研究者では複雑すぎて分析をあきらめることになるのですが、政策的な情報要求とその簡便な処理という具体的な政策ニーズに基づき、結果として簡単で単純でありながら独自性のあるエレガントな研究成果につなげることができました。

このため、ここではすべての方の名前を挙げることはできませんが、広島県庁や文部科学省などの行政現場でお世話になった皆さまのおかげです。

加えて、「必要な測定系は自ら創るもの²⁴⁷」という本研究遂行の数理的思考の基礎は、数理と定量的手法を重視する東京理科大学経営学部において、オペレーションズ・リサーチから会計学、アルゴリズムまで幅広く学んだ学部教育のおかげもあり、30代なかばで研究の世界に踏み込むことができたのもそのためです。特に、デルファイ法による科学技術予測に従事した際には、過去のデータをみると直接教えを受けた既に鬼籍に入られた先生方の過去の貢献の上に仕事をしていることに、感銘を受けたことを覚えています。ゼミの指導教官で数理経済学・数理計画法が専門でディシプリンの何たるかを教えていただいた廣田正義東京理科大学名誉教授をはじめ、東京理科大学の関係者の皆さまに感謝します。

²⁴⁶ 本研究の関連研究(Furukawa 他, 2015)における貢献である。

²⁴⁷ 「数理情報科学事典」(大矢, 今井, 小嶋, 中村, & 廣田, 2005)筆頭編者序文。

また、実務の問題意識を研究に昇華させるという発想は、社会人として県庁に奉職した広島で地域の産学公民の多くの仲間と夜間の社会人大学院で学んだことが研究推進の心の礎となりました。研究者の最新の理論とビジネスや公的機関に従事する職業人の持つ現実とが、激しく交錯する「場」として設立されて教員と学生がともに学び合った広島大学大学院社会科学研究所マネジメント専攻²⁴⁸の仲間にはいつも勇気付けられました。ともに学んだ様々な年齢の社会人学生の皆様に研究推進に限らないパッションをいただいたことに感謝します。また、指導教官であった元広島大学教授の高原一隆北海学園大学名誉教授や川崎信文広島大学大学院社会科学研究所教授をはじめとする先生にあらためて御礼申し上げます。

最後に、こうした私の挑戦を暖かく寄り添い応援してくれた妻の志保、自らの経験から社会人で博士号を取得することに様々な助言をくれた父の晋吾をはじめ、家族全員に感謝の気持ちを述べて謝辞としたいと思います。特に妻の志保には論文の草稿とも言えない段階から最終段階に至るまで論文執筆過程に寄り添い修文に尽力してくれました。彼女がいなければ私の研究者としてのスタートとともに本論文は確実に完成できなかったといっても過言ではありません。

みなさま、どうもありがとうございました。

平成 29 (2017) 年 2 月

白川 展之

²⁴⁸ 「行政人材革命」(上山信一 & 梅村, 2003)参照。

引用文献

- Abbott, A. F., & Brady, G. L. (1990). Tollison costs and technological innovation: The case of environmental regulation. *Public Choice*, 65(2), 157–165.
- Abernathy, W. J., & Utterback, J. M. (1978). Patterns of Industrial Innovation. *Technology Review*, (June/July), 41–47. <http://doi.org/10.1146/annurev.es.12.110181.001011>
- Altschuld, J. W., & Kumar, D. D. (2010). *Needs Assessment: An Overview*. SAGE Publications.
- Arrow, K. (1962a). Economic welfare and the allocation of resources for invention. *National Bureau of Economical research: The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors (Vol. D)*. National Bureau of Economic Research, Inc. <http://www.nber.org/chapters/c2144.pdf>
- Arrow, K. (1962b). The Economic Implications of Learning by Doing. *The Review of Economic Studies*, 29(3), 155–173.
- Arthur, W. B. 著, 日暮雅通, & 有賀裕二 訳. (2011). *テクノロジーとイノベーション: 進化/生成の理論*. みすず書房.
- Arthur, W. B. 著, 有賀裕二 訳. (2003). *収益逦増と経路依存: 複雑系の経済学*. 多賀出版.
- Baye, M. R., & Hoppe, H. C. (2003). The Strategic Equivalence of Rent-Seeking, Innovation, and Patent-Race Games. *Games and Economic Behavior*, 44, 217–226.
- Bazerman, M. H., Moore, D. A. 著, 長瀬勝彦 訳. (2011). *行動意思決定論: バイアスの罠*. 白桃書房.
- Bazerman, M. H., & Watkins, M. 著, 奥村哲史 訳. (2011). *予測できた危機をなぜ防げなかったのか?: 組織・リーダーが克服すべき3つの障壁*. 東洋経済新報社.
- Bevir, M. 著, 野田牧人 訳. (2013). *ガバナンスとは何か*. NTT 出版.
- Boldrin, M., & Levine, D. K. (2004). Rent-seeking and innovation. *Journal of Monetary Economics*, 51(1), 127–160. <http://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2003.07.006>
- Boldrin, M., Levine, D. K. 著, 山形浩生, & 守岡桜 訳. (2010). 「反」知的独占: 特許と著作権の経済学. NTT 出版.
- Borgatti, S. P., & Halgin, D. S. (2011). On Network Theory. *Organization Science*, 22(5), 1168–1181. <http://doi.org/10.1287/orsc.1100.0641>

- Bozeman, B., & Kingsley, G. (2013). Research value mapping and evaluation: theory and application. *Handbook on the Theory and Practice of Program Evaluation* (pp. 166–189). Edward Elgar Publishing.
- Bozeman, B., & Melkers, J. (1993). *Evaluating R&D impacts: Methods and practice*. (B. Bozeman & J. Melkers, eds.). Boston, MA: Kluwer Academic.
- Bozeman, B., & Sarewitz, D. (2011). Public Value Mapping and Science Policy Evaluation. *Minerva*, 49(1), 1–23. <http://doi.org/10.1007/s11024-011-9161-7>
- Braam, R. R., Moed, H. F., & van Raan, A. F. J. (1991). Mapping of science by combined co-citation and word analysis. II: Dynamical aspects. *Journal of the American Society for Information Science*, 42(4), 252–266. [http://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4571\(199105\)42:4<252::AID-ASI2>3.0.CO;2-G](http://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4571(199105)42:4<252::AID-ASI2>3.0.CO;2-G)
- Brady, H. E., & Collier, D. 著, 泉川泰博, & 宮下明聡 訳. (2014). *社会科学の方法論争: 多様な分析道具と共通の基準*. 勁草書房.
- Breizman, A. (2013). Analysis of Patent Referencing to IEEE Papers, Conferences, and Standards 1997-2012. IEEE ANALYSIS. http://www.ieee.org/publications_standards/publications/subscriptions/IEEE_Impact_on_Patents_2013.pdf
- Canavero, F., Franceschini, F., Maisano, D., & Mastrogiacomo, L. (2014). Impact of Journals and Academic Reputations of Authors: A Structured Bibliometric Survey of the IEEE Publication Galaxy. *IEEE Transactions on Professional Communication*, 57(1), 17–40. <http://doi.org/10.1109/TPC.2013.2255935>
- Cantner, U., & Kuhn, T. (1994). Technical progress in bureaucracies. *Public Choice*, 78(3–4), 389–399. <http://doi.org/10.1007/BF01047766>
- Case, D. O., & Given, L. M. (2016). *Looking for information: a survey of research on information seeking, needs, and behavior* (4th ed.). Bingley UK: Emerald.
- Chen, H.-T. (2015). *Practical program evaluation: theory-driven evaluation and the integrated evaluation perspective* (2nd ed). Los Angeles: SAGE.
- Chesbrough, H. 著, 長尾高弘 訳. (2008). *オープンイノベーション: 組織を越えたネットワークが成長を加速する*. 英治出版.
- CIHS, C. A. of H. S. (2009). *Making an Impact: A Preferred Framework and Indicators to Measure Returns on Investment in Health Research*. Ottawa, Ontario, Canada: Canadian Academy of Health Sciences. <http://cahs-acss.ca/making-an-impact/>
- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 128. <http://doi.org/10.2307/2393553>

- Committee on Forecasting Future Disruptive Technologies; Air Force Studies Board; Division on Engineering and Physical Sciences; National Research Council. (2009). Reducing Forecasting Ignorance and Bias. Persistent Forecasting of Disruptive Technologies (pp. 48–56). Washington, D.C.: National Academies Press. <http://doi.org/10.17226/12557>
- Coryn, C. L. S. (2008). Models for evaluating scientific research : a comparative analysis of national systems. Stuttgart: VDM Verlag Dr. Müller.
- Coryn, C. L. S., & Scriven, M. (2008). Reforming the evaluation of research. Vancouver, Canada: Jossey-Bass and American Evaluation Association.
- Crane, D. (1969). Social Structure in a Group of Scientists: A Test of the 'Invisible College' Hypothesis. *American Sociological Review*, 34(3), 335. <http://doi.org/10.2307/2092499>
- Cuhls, K., & Georghiou, L. (2004). Evaluating a participative foresight process: 'Futur — the German research dialogue'. *Research Evaluation*, 13(3), 143–153.
- Dasgupta, P., & Stiglitz, J. (1980). Uncertainty, Industrial Structure, and the Speed of R&D. *Bell Journal of Economics*, 11(1), 1–28.
- Downs, A., & Corporation, R. (1967). Inside bureaucracy.
- Downs, A., 著 渡辺保男訳. (1975). 官僚制の解剖：官僚と官僚機構の行動様式. サイマル出版会.
- Dunleavy, P. (1991). Democracy, bureaucracy and public choice : economic explanations in political science.
- Endsley, M. R., & Jones, D. G. (2012). Designing for situation awareness : an approach to user-centered design (2nd ed). Boca Raton, FL: CRC Press. <http://ci.nii.ac.jp/ncid/BB08615520>
- Epstein, P. D. (1982). The Value of Measuring and Improving Performance. *Public Productivity Review*, 6(3), 157. <http://doi.org/10.2307/3379911>
- Feller, I. (2013). Peer review and expert panels as techniques for evaluating the quality of academic research. A. N. Link & N. S. Vonortas (編), *Handbook on the Theory and Practice of Program Evaluation* (pp. 115-142). Cheltenham, MA: Edward Elgar Publishing.
- Fetterman, D. M., Wandersman, A., 著 笹尾敏明, 玉井航太, & 大内潤子訳. (2014). エンパワメント評価の原則と実践：教育、福祉、医療、企業、コミュニティ介入プログラムの改善と活性化に向けて. 風間書房.

- Fisher, K. E., Erdelez, S., & McKechnie, L. (2005). *Theories of Information Behavior* (Asist Monograph). Medford, NJ: Information Today Inc. published for American Society for Information Science and Technology by Information Today.
<http://doi.org/citeulike-article-id:314802>
- Franceschini, F., & Maisano, D. (2014). Sub-field normalization of the IEEE scientific journals based on their connection with Technical Societies. *Journal of Informetrics*, 8(3), 508–533.
- Freeman, C. (1987). *Technology policy and economic performance : lessons from Japan*. Technology policy and economic performance : lessons from Japan: Science Policy Research Unit, University of Sussex, Pinter Publishers.
- Furukawa, T., Mori, K., Arino, K., Hayashi, K., & Shirakawa, N. (2015). Identifying the evolutionary process of emerging technologies: A chronological network analysis of World Wide Web conference sessions. *Technological Forecasting and Social Change*, 91, 280–294. <http://doi.org/10.1016/j.techfore.2014.03.013>
- Garfield, E. (1955). Citation indexes for science; a new dimension in documentation through association of ideas. *Science* (New York, N.Y.), 122(3159), 108–11. <http://doi.org/10.1126/science.122.3159.108>
- Georghiou, L., & Larédo, P. (2006). Evaluation of publicly funded research: recent trends and perspectives. OECD DSTI/STP (ed.), *OECD Science, Technology and Industry Outlook* (pp. 177–199). Paris: OECD.
- Georghiou, L., & Roessner, D. (2000). Evaluating technology programs: tools and methods. *Research Policy*, 29(4), 657–678. [http://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00094-3](http://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00094-3)
- Goldfinch, S., & Yamamoto, K. (2012). *Prometheus assessed? : research measurement, peer review, and citation analysis*. New Delhi: Chandos Publishing.
- Gray, D. O. (2008). Making team science better: Applying improvement-oriented evaluation principles to evaluation of cooperative research centers. *New Directions for Evaluation*, 2008(118), 73–87. <http://doi.org/10.1002/ev.262>
- Griliches, Z. (1958). Research Costs and Social Returns: Hybrid Corn and Related Innovations. *Journal of Political Economy*, 66(5), 419–431. <http://doi.org/10.1086/258077>
- Gustavo, F., Wolfgang, P., Jaime, R., Alexander, T., & Klaus, Z. (2002). *RTD Evaluation Toolbox - Assessing the Socio-Economic Impact of RTD-Policies - Strata Project HPV 1 CT 1999 - 00005*. https://ec.europa.eu/research/evaluations/pdf/archive/other_reports_studies_and_documents/assessing_the_socio_economic_impact_of_rtd_policies_2002.pdf

- Hanney, S. (2005). Developing and Applying a Framework for Assessing the Payback from Medical Research. *Developing and Applying a Framework for Assessing the Payback from Medical Research. Background: An increasing demand for payback to be shown.* <https://www.ifw-kiel.de/konfer/esf-ifw/newtech05/payback.pdf>
- Hanney, S., Buxton, M., Green, C., Coulson, D., & Raftery, J. (2007). An assessment of the impact of the NHS Health Technology Assessment Programme. *Health technology assessment (Winchester, England)*, 11(53), iii–iv, ix–xi, 1–180. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18031652>
- Helfat, C. E., Finkelstein, S., Mitchell, W., Peteraf, M. A., Singh, H., Teece, D. J., 著 川西章弘訳. (2010). *ダイナミック・ケイパビリティ：組織の戦略変化*. 勁草書房.
- Hellström, T. (2003). Systemic innovation and risk: technology assessment and the challenge of responsible innovation. *Technology in Society*, 25(3), 369–384. [http://doi.org/10.1016/S0160-791X\(03\)00041-1](http://doi.org/10.1016/S0160-791X(03)00041-1)
- Hicks, D., & Melkers, J. (2012). Bibliometrics as a tool for research evaluation. A. Vornatas & N. Link (ed.), *Handbook on the Theory and Practice of Program Evaluation* (pp. 323–349). Nothampton, MA: Edward Elgar.
- Hicks, D., & Melkers, J. (2013). Bibliometrics as a tool for research evaluation. *Chapters*, 323–349.
- Hicks, D., Wouters, P., Waltman, L., de Rijcke, S., & Rafols, I. (2015). Bibliometrics: The Leiden Manifesto for research metrics. *Nature*, 520(7548), 429–431. <http://doi.org/10.1038/520429a>
- Higher Education Funding Council for England. (2015). *Policy - Higher Education Funding Council for England.* http://www.hefce.ac.uk/media/HEFCE,2014/Content/Pubs/Independentresearch/2015/The,Metric,Tide/2015_metric_tide.pdf
- Hirsch, J. E. (2005). An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(46), 16569–16572. <http://doi.org/10.1073/pnas.0507655102>
- Igami, M., & Saka, A. (2009). Observation of the evolution of science via the Science Map: Methodology and application. *Journal of Information Processing and Management*, 52(5), 255–266. <http://doi.org/10.1241/johokanri.52.255>
- Igami, M., & Saka, A. (2016). Decreasing diversity in Japanese science, evidence from in-depth analyses of science maps. *Scientometrics*, 106(1), 383–403. <http://doi.org/10.1007/s11192-015-1648-9>
- IMD. (2011). WCC - H <http://www.imd.org/wcc/>

- Ingwersen, P., & Järvelin, K. (2005). *The turn : integration of information seeking and retrieval in context*. Springer.
- Jordan, G. B. (2010). A theory-based logic model for innovation policy and evaluation. *Research Evaluation*, 19(4), 263–273.
<http://doi.org/10.3152/095820210X12827366906445>
- Jordan, G. B. (2013). Logic modeling: a tool for designing program evaluations. *Handbook on the Theory and Practice of Program Evaluation* (pp. 143–165). Nothampton, MA: Edward Elgar Publishing.
- Katila, R., & Ahuja, G. (2002). Something old, something new: A longitudinal study of search behavior and new product introduction. *Academy of Management Journal*, 45(6), 1183–1194. <http://doi.org/10.2307/3069433>
- Kessler, M. M. (1963). Bibliographic coupling between scientific papers. *American Documentation*, 14(1), 10–25. <http://doi.org/10.1002/asi.5090140103>
- King, G., Keohane & Robert O., Verba, S. 著, 真淵勝訳. (2004). *社会科学のリサーチ・デザイン: 定性的研究における科学的推論*. 勁草書房.
- Knott, J., & Wildavsky, A. (1980). If Dissemination Is the Solution, What Is the Problem? *Science Communication*, 1(4), 537–578. <http://doi.org/10.1177/107554708000100404>
- Kostoff, R. (1997). *The Handbook of Research Impact Assessment*. Edition 7. Summer 1997. <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA296021>
- Kostoff, R. N. (1995). Federal research impact assessment: Axioms, approaches, applications. *Scientometrics*, 34(2), 163–206. <http://doi.org/10.1007/BF02020420>
- Kostoff, R. N., & Schaller, R. R. (2001). Science and technology roadmaps. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 48(2), 132–143.
<http://doi.org/10.1109/17.922473>
- Kwan, P., Johnston, J., Fung, A. Y. K., Chong, D. S. Y., Collins, R. A., & Lo, S. V. (2007). A systematic evaluation of payback of publicly funded health and health services research in Hong Kong. *BMC health services research*, 7, 121.
<http://doi.org/10.1186/1472-6963-7-121>
- Laredo, G. (2006). Evaluation of Publicly Funded Research: Recent Trends and Perspectives. OECD (編), *OECD Science, Technology and Industry Outlook Science, Technology and Industry Outlook* (pp. 177–199). Paris: OECD.
<https://www.escholar.manchester.ac.uk/uk-ac-man-scw:23935>
- Latour, B., 川崎勝, & 高田紀代志. (1999). *科学が作られているとき: 人類学的考察*. 産業図書.

- Leydesdorff, L. A., 藤垣裕子, 林隆之, 富沢宏之, 平川秀幸, 調麻佐志, & 牧野淳一郎. (2001). 科学計量学の挑戦: コミュニケーションの自己組織化. 玉川大学出版部.
- Link, A. N., & Scott, J. T. (2011). *Public goods, public gains: calculating the social benefits of public R&D*. London: Oxford University Press.
- Link, A. N., & Vonortas, N. S. (2013). *Handbook on the theory and practice of program evaluation*. Northampton, MA: Edward Elgar Publishing.
- Linton, J. D., Walsh, S. T., Kirchhoff, B. A., Morabito, J., & Merges, M. (2000). Selection of R&D projects in a portfolio. *Proceedings of the 2000 IEEE Engineering Management Society*. EMS - 2000 (Cat. No.00CH37139) (pp. 506–511). IEEE.
<http://doi.org/10.1109/EMS.2000.872554>
- Luhmann, N. 1927-1998., Tokuyasu, A. 1956., & 徳安彰 1956. (2009). *社会の科学*. 法政大学出版社.
- Luhmann, N.,著 春日淳一訳. (1991). *社会の経済*. 文眞堂.
- Mantere, S., & Ketokivi, M. (2013). Reasoning in Organization Science. *Academy of Management Review*, 38(1), 70–89. <http://doi.org/10.5465/amr.2011.0188>
- Marburger, J. H. (2005). Wanted: better benchmarks. *Science* (New York, N.Y.), 308(5725), 1087. <http://doi.org/10.1126/science.1114801>
- Marburger Iii, J. H., Iii—deceased, J. H. M., & Marburger Iii, J. H. (2011). Science, technology and innovation in a 21st century context. *Policy Sci*, 44, 209–213.
<http://doi.org/10.1007/s11077-011-9137-3>
- March, J. G. J. (1991). Exploration and exploitation in organizational learning. *Organization science*, 2(1), 71–87. <http://doi.org/10.1287/orsc.2.1.71>
- Martin, B. R. (2012). The evolution of science policy and innovation studies. *Research Policy*, 41(7), 1219–1239. <http://doi.org/10.1016/j.respol.2012.03.012>
- Martin, B. R., & Irvine, J. (1983). Assessing basic research: Some partial indicators of scientific progress in radio astronomy. *Research Policy*, 12(2), 61–90.
[http://doi.org/10.1016/0048-7333\(83\)90005-7](http://doi.org/10.1016/0048-7333(83)90005-7)
- Martin, B. R., Nightingale, P., & Yegros-Yegros, A. (2012). Science and technology studies: Exploring the knowledge base. *Research Policy*, 41(7), 1182–1204.
<http://doi.org/10.1016/j.respol.2012.03.010>
- Mazzucato, M.,著 大村昭人訳. (2015). *企業家としての国家: イノベーション力で官は民に劣るといふ神話*. 薬事日報社.

- McNeely, I. F., Wolverton, L., 富永星, & 長谷川一. (2010). 知はいかにして「再発明」されたか: アレクサンドリア図書館からインターネットまで. 日経 BP 社.
- Merton, R. K., 森東吾, 森好夫, 金沢実, & 中島竜太郎. (1961). 社会理論と社会構造. みすず書房.
- Miles, I., & Saritas, O. (2012). The depth of the horizon: searching, scanning and widening horizons. *Foresight*, 14(6), 530–545. <http://doi.org/10.1108/14636681211284953>
- Moed, H. F. (2006). *Citation Analysis in Research Evaluation*.
<https://books.google.com/books?hl=ja&lr=&id=D9SaJ6awy4gC&pgis=1>
- Moed, H. F., Burger, W. J. M., Frankfort, J. G., & Van Raan, A. F. J. (1985). The use of bibliometric data for the measurement of university research performance. *Research Policy*, 14(3), 131–149. [http://doi.org/10.1016/0048-7333\(85\)90012-5](http://doi.org/10.1016/0048-7333(85)90012-5)
- Morton, S. (2015). Progressing research impact assessment: A ‘contributions’ approach. *Research Evaluation*, 24(4), 405–419. <http://doi.org/10.1093/reseval/rvv016>
- Narin, F., Hamilton, K. S., & Olivastro, D. (1997). The increasing linkage between U.S. technology and public science. *Research Policy*, 26(3), 317–330.
[http://doi.org/10.1016/S0048-7333\(97\)00013-9](http://doi.org/10.1016/S0048-7333(97)00013-9)
- Narin, F., Pinski, G., & Gee, H. (1986). Prepared by the copyright committee British computer society. *Computer Law & Security Review*, 2(4), 6–8.
[http://doi.org/10.1016/0267-3649\(86\)90077-4](http://doi.org/10.1016/0267-3649(86)90077-4)
- National science and Technology Council. (2008). The science of science policy: a federal research roadmap.
- Nelson, R. R. (1993). *National innovation systems : a comparative analysis*. London: Oxford University Press.
- Nelson, R. R. (2011). The Moon and the Ghetto revisited. *Science and Public Policy*, 38(9), 681–690. <http://doi.org/10.1093/scipol/38.9.681>
- Nelson, R. R., Winter, S. G., 後藤晃, 角南篤, & 田中辰雄. (2007). 経済変動の進化理論. 慶應義塾大学出版会.
- Nelson, R. R. 著, 後藤晃 訳. (2012). 月とゲッター: 科学技術と公共政策. 慶應義塾大学出版会.
- Nitzan, S. (1994). Modelling rent-seeking contests. *European Journal of Political Economy*, 10(1), 41–60. [http://doi.org/10.1016/0176-2680\(94\)90061-2](http://doi.org/10.1016/0176-2680(94)90061-2)
- North, D. C. 著, 水野孝之, 川嶋稔哉, 高槻泰郎, 結城武延, 滝沢弘和, & 中林真幸 訳. (2016). *ダグラス・ノース制度原論*. 東洋経済新報社.

- Noyons, E. C. M., Moed, H. F., & Luwel, M. (1999). Combining mapping and citation analysis for evaluative bibliometric purposes: A bibliometric study. *Journal of the American Society for Information Science*, 50(2), 115–131.
[http://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4571\(1999\)50:2<115::AID-ASI3>3.0.CO;2-J](http://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4571(1999)50:2<115::AID-ASI3>3.0.CO;2-J)
- Noyons, E. C. M., Moed, H. F., & Van Raan, A. F. J. (1999). Integrating research performance analysis and science mapping. *Scientometrics*, 46(3), 591–604.
<http://doi.org/10.1007/BF02459614>
- Nutley, S., Walter, I., & Davies, H. T. O. (2007). *Using evidence: how research can inform public services*. Bristol: Policy Press.
- O'Connor, A. C., Gallaher, M. P., Loomis, R. J., & Casey, S. E. (2013). Estimating avoided environmental emissions and environmental health benefits. *Chapters*, 247–290.
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2010). *The OECD innovation strategy: getting a head start on tomorrow*. Paris: OECD.
- Organisation for Economic Co-operation, & Development. (2015). *Frascati manual 2015: guidelines for collecting and reporting data on research and experimental development*. Paris: OECD.
- Paton, N. W., & Díaz, O. (1999). Active database systems. *ACM Computing Surveys*, 31(1), 63–103. <http://doi.org/10.1145/311531.311623>
- Patton, M. Q. (2011). *Developmental evaluation: applying complexity concepts to enhance innovation and use*. Guilford Press.
- Patton, M. Q. (2012). *Essentials of utilization-focused evaluation*. Los Angeles: Sage.
- Patton, M. Q. (2014). *Qualitative Research & Evaluation Methods: Integrating Theory and Practice*. Los Angeles: SAGE Publications, Inc.
<https://books.google.com/books?id=-CM9BQAAQBAJ&pgis=1>
- Porter, M. E., & Takeuchi, H. 著, 竹内弘高訳. (1999). *競争戦略論 II*. ダイヤモンド社.
- Price, D. J. de S. (Derek J. de S. (1963). *Little science, big science*. New York: Columbia University Press.
- Price, D. J. de S. 著, 島尾永康訳. (1970). *リトル・サイエンス ビッグ・サイエンス*. 創元社.
- Price, D. J. de S., & Beaver, D. de B. (1966). Collaboration in an Invisible College. *American Psychologist*, 21(11), 1011–1018. <http://doi.org/10.1037/h0024051>
- Rafols, I., Leydesdorff, L., O'Hare, A., Nightingale, P., & Stirling, A. (2012a). How journal rankings can suppress interdisciplinary research: A comparison between Innovation

- Studies and Business & Management. *Research Policy*, 41(7), 1262–1282.
<http://doi.org/10.1016/j.respol.2012.03.015>
- Rafols, I., Leydesdorff, L., O'Hare, A., Nightingale, P., & Stirling, A. (2012b). How journal rankings can suppress interdisciplinary research: A comparison between *Innovation Studies and Business & Management*. *Research Policy*, 41(7), 1262–1282.
<http://doi.org/10.1016/j.respol.2012.03.015>
- Rafols, I., Porter, A. L., & Leydesdorff, L. (2010). Science overlay maps: A new tool for research policy and library management. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 61(9), 1871–1887.
<http://doi.org/10.1002/asi.21368>
- Raisch, S., Birkinshaw, J., Probst, G., & Tushman, M. L. (2009). Organizational Ambidexterity: Balancing Exploitation and Exploration for Sustained Performance. *Organization Science*, 20(4), 685–695. <http://doi.org/10.1287/orsc.1090.0428>
- Research Technology & Development Evaluation Topical Interest Group. (2015). Evaluating Outcomes of Publicly Funded Research, Technology and Development Programs: Recommendations for Improving Current Practice.
<http://www.aihealthsolutions.ca/media/RTD-TIG-Evaluating-Outcomes-of-Publicly-Funded-RTD-Programs-2015.pdf>
- Rogers, E. M. 著, 三藤利雄訳. (2007). *イノベーションの普及*. 翔泳社.
- Rothman, K. J., 矢野栄二, 橋本英樹, & 大脇和浩. (2013). *ロスマンの疫学: 科学的思考への誘い*. 篠原出版新社.
- Rotolo, D., Hicks, D., & Martin, B. (2015a). What is an Emerging Technology? SSRN Electronic Journal. www.sussex.ac.uk/spru/research/swps
- Rotolo, D., Hicks, D., & Martin, B. R. (2015b). What is an emerging technology? *Research Policy*, 44(10), 1827–1843. <http://doi.org/10.1016/j.respol.2015.06.006>
- Rotolo, D., Rafols, I., Hopkins, M. M., & Leydesdorff, L. (2017). Strategic intelligence on emerging technologies: Scientometric overlay mapping. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 68(1), 214–233.
<http://doi.org/10.1002/asi.23631>
- Ruegg, R., Thomas, P., Ruegg, R., & Thomas, P. (2013). Patent analysis. A. N. Link & N. S. Vonortas (編), *Handbook on the Theory and Practice of Program Evaluation* (pp. 350–365). Nothampton, MA: Edward Elgar Publishing.
- Sable, C. F. (2008). Learning from Difference: The New Architecture of Experimentalist Governance in the European Union. *European Law Journal*, 14(3), 271–327.
http://edoc.vifapol.de/opus/volltexte/2011/2466/pdf/egp_connex_C_07_02.pdf

- Salter, A. J., & Martin, B. R. (2001). The economic benefits of publicly funded basic research: A critical review. *Research Policy*, 30(3), 509–532. [http://doi.org/10.1016/S0048-7333\(00\)00091-3](http://doi.org/10.1016/S0048-7333(00)00091-3)
- Samuel, G. N., & Derrick, G. E. (2015). Societal impact evaluation: Exploring evaluator perceptions of the characterization of impact under the REF2014. *Research Evaluation*, 24(3), 229–241. <http://doi.org/10.1093/reseval/rvv007>
- Scherer, F. M., & Scherer, F. M. (2010). *Pharmaceutical Innovation. Handbook of the Economics of Innovation* (Vol. 1, pp. 539–574). Elsevier.
- Schumpeter, J. A. 著, 塩野谷祐一, 中山伊知郎, & 東畑精一 訳. (1980). *経済発展の理論: 企業者利潤・資本・信用・利子および景気の回転に関する一研究*. 岩波書店.
- Scriven, M. (1991). *Evaluation thesaurus* (4th ed). Newbury park, CA: Sage Publications.
- Scriven, M., & Coryn, C. L. S. (2008). The logic of research evaluation. *New Directions for Evaluation*, 2008(118), 89–105. <http://doi.org/10.1002/ev.263>
- Shibata, N., Kajikawa, Y., Takeda, Y., & Matsushima, K. (2008). Detecting emerging research fronts based on topological measures in citation networks of scientific publications. *Technovation*, 28(11), 758–775. <http://doi.org/10.1016/j.technovation.2008.03.009>
- Shibata, N., Kajikawa, Y., Takeda, Y., Sakata, I., & Matsushima, K. (2011). Detecting emerging research fronts in regenerative medicine by the citation network analysis of scientific publications. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(2), 274–282. <http://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.07.006>
- Shibayama, M. (2001). Analysis of International Research Trend on the Fields of Humanities and Social Sciences through Scientific Journals. *NII Journal*, (2).
- Shirakawa, N., Furukawa, T., Hayashi, K., & Tamamura, M. (2014). Double-loop benchmarking methods in the era of data deluge: An empirical scientometric study and assessment of Japan's Galapagos syndrome in scientific research activities. *Proceedings of PICMET 2014 Conference: Portland International Center for Management of Engineering and Technology; Infrastructure and Service Integration*. IEEE.
- Shirakawa, N., Furukawa, T., Nomura, M., & Okuwada, K. (2012). Global competition and technological transition in electrical, electronic, information and communication engineering: quantitative analysis of periodicals and conference proceedings of the IEEE. *Scientometrics*, 91(3), 895–910. <http://doi.org/10.1007/s11192-011-0566-8>
- Simon, H. A. (1973). The structure of ill structured problems. *Artificial Intelligence*, 4(3–4), 181–201. [http://doi.org/10.1016/0004-3702\(73\)90011-8](http://doi.org/10.1016/0004-3702(73)90011-8)

- Simon, H. A. 著, 二村敏子, 桑田耕太郎, 高尾義明, 西脇暢子, & 高柳美香訳. (2009). 経営行動 : 経営組織における意思決定過程の研究. ダイヤモンド社.
- Small, H. (1973). Co-citation in the scientific literature: A new measure of the relationship between two documents. *Journal of the American Society for Information Science*, 24(4), 265–269. <http://doi.org/10.1002/asi.4630240406>
- Small, H. (2010). Maps of science as interdisciplinary discourse: co-citation contexts and the role of analogy. *Scientometrics*, 83(3), 835–849. <http://doi.org/10.1007/s11192-009-0121-z>
- Small, H., & Sweeney, E. (1985). Clustering the science citation index ® using co-citations. *Scientometrics*, 7(3–6), 391–409. <http://doi.org/10.1007/BF02017157>
- Small, H., Sweeney, E., & Greenlee, E. (1985). Clustering the science citation index using co-citations. II. Mapping science. *Scientometrics*, 8(5–6), 321–340. <http://doi.org/10.1007/BF02018057>
- Smith, J. E., & Saritas, O. (2011). Science and technology foresight baker's dozen: a pocket primer of comparative and combined foresight methods. *Foresight*, 13(2), 79–96. <http://doi.org/10.1108/14636681111126265>
- Stark, D. 著, 中野勉, & 中野真澄訳. (2011). 多様性とイノベーション: 価値体系のマネジメントと組織のネットワーク・ダイナミズム. 日本経済新聞出版社
- Stirling, A. (2010). Multicriteria diversity analysis: A novel heuristic framework for appraising energy portfolios. *Energy Policy*, 38(4), 1622–1634. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.02.023>
- Stirling, A., Aoki, M., Arthur, W. B., Atkinson, A., Awerbuch, S., Stirling, A., ... Wynne, A. (2007). A general framework for analysing diversity in science, technology and society. *Journal of the Royal Society, Interface / the Royal Society*, 4(15), 707–19. <http://doi.org/10.1098/rsif.2007.0213>
- Taylor, C. R. (1995). Digging for Golden Carrots: An Analysis of Research Tournaments. *American Economic Review*, 85(4), 872–90.
- Teece, D., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic management journal*, 18(7), 509–533. [http://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199708\)18:7<509::AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z](http://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199708)18:7<509::AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z)
- The San Francisco Declaration on Research Assessment Ross Cagan, Editor-in-Chief. (2013). *Disease Models & Mechanisms*, 6, 869–870. <http://doi.org/10.1242/dmm.012955>

- Tom, L., & Lidia, V. van D. (2009). *Performance Audit Handbook Routes to effective evaluation*. Cambridg.
http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/technical_reports/2010/RAND_TR788.pdf
- Utterback, J. (1994). *Mastering the dynamics of innovation: how companies can seize opportunities in the face of technological change*. University of Illinois at Urbana-Champaign's Academy for Entrepreneurial Leadership Historical Research Reference in Entrepreneurship. [http://doi.org/10.1016/S0024-6301\(97\)82840-3](http://doi.org/10.1016/S0024-6301(97)82840-3)
- Utterback, J. N., & Abernathy, W. J. (1975). A Dynamic Model of Process and Product Innovation. *Omega*, 3(6), 639–656. <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Van Noorden, R. (2015). Nature owner merges with publishing giant. *Nature*.
<http://doi.org/10.1038/nature.2015.16731>
- Weick, K. E., 遠田雄志, & 西本直人. (2001). *センスメイキングインオーガニゼーションズ*. 文眞堂.
- Weinberg, A. M. (1972). Science and Trans-Science. *Science*, 177(4045).
- Weiss, C. H. (1979). The Many Meanings of Research Utilization. *Public Administration Review*, 39(5), 426. <http://doi.org/10.2307/3109916>
- Weiss, C. H.著, 前川美湖, 池田満, & 佐々木亮訳. (2014). *入門評価学：政策・プログラム研究の方法*. 日本評論社. <http://ci.nii.ac.jp/ncid/BB15257985>
- Witt, U. (1996). Innovations, externalities and the problem of economic progress. *Public Choice*, 89(1–2), 113–130. <http://doi.org/10.1007/BF00114282>
- Wooding, S., Hanney, S., Buxton, M., & Grant, J. (2005). Payback arising from research funding: evaluation of the Arthritis Research Campaign. *Rheumatology (Oxford, England)*, 44(9), 1145–56. <http://doi.org/10.1093/rheumatology/keh708>
- Yamashita, Y., & Yoshinaga, D. (2014). Influence of researchers' international mobilities on publication: a comparison of highly cited and uncited papers. *Scientometrics*, 101(2), 1475–1489. <http://doi.org/10.1007/s11192-014-1384-6>
- Yoshizawa, G., Stirling, A., & Suzuki, T. (2009). *Electricity System Diversity in the UK and Japan – a Multicriteria Diversity Analysis* SPRU Electronic Working Paper Series Electricity System Diversity in the UK and Japan -A Multicriteria Diversity Analysis. <http://www.sussex.ac.uk/spru/>
- Ziman, J.著, 村上陽一郎訳. (1995). *縛られたプロメテウス：動的定常状態における科学*. シュプリンガー・フェアラーク東京.

- 相澤彰子. (2007). 共起に基づく類似性尺度(自然言語とコンピュータ). オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, 52(11), 706-712.
- 青木昌彦, 滝沢弘和, & 谷口和弘. (2003). 比較制度分析に向けて. NTT 出版.
- 赤池伸一. (2013). 政策形成と政策研究のギャップを乗り越えるためには: 相互理解と信頼のためのネクスト・ステップ(<特集>科学技術イノベーション政策の科学). 研究技術計画, 28(1), 81-88.
- 足立幸男, & 森脇俊雅. (2003). 公共政策学. ミネルヴァ書房.
- 伊地知寛博. (2010). 我が国の公共セクターにおける研究とイノベーションのための評価システムとマネジメントの現状と課題(我が国の公共セクターにおける研究・イノベーションの評価システムとマネジメント). 研究技術計画, 24(3), 214-230.
- 伊地知寛博. (2016a). 科学技術・イノベーションの推進に資する 研究開発に関するデータのより良い活用に向けて: OECD「Frascati Manual 2015 (フラスカティ・マニュアル 2015)」の概要と示唆(後編). STI Horizon, 2(4), 42-47.
<http://doi.org/http://doi.org/10.15108/stih.00048>
- 伊地知寛博. (2016b). 科学技術・イノベーションの推進に資する研究開発に関するデータのより良い活用に向けて: OECD「Frascati Manual 2015(フラスカティ・マニュアル 2015)」の概要と示唆(前編). STI horizon, 2(3), 64-68.
- 伊藤憲二. (2012). 専門化. 大沢真幸, 吉見俊哉, 鷲田清一, & 見田宗介 (編), 現代社会学事典 = Encyclopedia of contemporary sociology (p. 810). 弘文堂.
- 伊藤元重, 奥野正寛, 清野一治, & 鈴木興太郎. (1988). 産業政策の経済分析. 東京大学出版会.
- 今井賢一, & 金子郁容. (1988). ネットワーク組織論. 岩波書店.
- 入山章栄. (2012). 世界の経営学者はいま何を考えているのか: 知られざるビジネスの知のフロンティア. 英治出版.
- 上山信一. (2002). 日本の行政評価: 総括と展望. 第一法規出版.
- 上山信一, & 紀田馨. (2015). 検証 大阪維新改革 橋下改革の軌跡. ぎょうせい.
- 上山信一, & 梅村雅司. (2003). 行政人材革命: 「プロ」を育てる研修・大学院の戦略. ぎょうせい.
- 上山隆大. (2013). 同時代史研究という視座と科学技術政策(<特集>科学技術イノベーション政策の科学). 研究技術計画, 28(1), 59-73.
- 大矢雅則, 今井秀樹, 小嶋泉, 中村八束, & 廣田正義. (2005). 数理情報科学事典. 朝倉書店.

- 大山耕輔. (1994). 国の研究評価システムと会計検査. 会計検査研究, 10(51), 45-60.
<http://www.jbaudit.go.jp/koryu/study/mag/10-4.html>
- 大淀昇一. (1989). 宮本武之輔と科学技術行政. 東海大学出版会.
- 大淀昇一. (1997). 技術官僚の政治参画：日本の科学技術行政の幕開き. 中央公論社.
- 岡村麻子. (2013). 「科学技術イノベーション政策の科学」の構築に向けて(<特集>科学技術イノベーション政策の科学). 研究技術計画, 27(3), 144-155.
- 小川紘一. (2008). 我が国エレクトロニクス産業に見るモジュラー化の進化メカニズム. 赤門マネジメント・レビュー, 7(2), 83-127.
- 小川紘一. (2015). オープン&クローズ戦略：日本企業再興の条件. 翔泳社.
- 小野寺夏生, & 伊神正貫. (2016). 研究計量に関するライデン声明について. STI Horizon, 2(4), 35-39. <http://doi.org/http://doi.org/10.15108/stih.00050>
- 海部美知. (2008). パラダイス鎖国：忘れられた大国・日本. アスキー.
- 北川高嗣, 清木康, & 宮原隆行. (1995). 意味の数学モデルとメタデータベースシステムへの応用(数値計算アルゴリズムの現状と展望 II). 数理解析研究所講究録, 915, 75-86.
- 木村幸. (2006). 技術開発政策の実効性に関する既往研究のレビュー -エネルギー技術分野を中心に- (研究報告書 (電力中央研究所報告) No. Y05029).
<http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/detail/Y05029.html>
- 倉田敬子. (2007). 学術情報流通とオープンアクセス. 勁草書房.
- 黒川和美, & 「官僚行動の公共選択分析」編集委員会. (2013). 官僚行動の公共選択分析. 勁草書房.
- 姜娟. (2009). 「イノベーション政策」の概念変化に関する考察：OECD の政策議論を中心とする. 研究技術計画, 23(3), 267-287.
- 国立研究開発法人科学技術振興機構研究開発戦略センター (CRDS) . (2015). 米国「科学イノベーション政策のための科学」の動向と分析.
<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2015/RR/CRDS-FY2015-RR-04.pdf>
- 國領二郎, 生貝直人, 市古みどり, 小野塚亮, 倉田敬子, 小松正, & 林和弘. (2015). 孤立する日本の研究プラットフォーム：放置すれば日本の科学そのものが衰退する. 東京.
<http://www.nira.or.jp/pdf/1502report.pdf>
- 小林信一. (2011). 1 科学技術政策とは何か. 国立国会図書館調査及び立法考査局 (編), (pp. 7-34). 国立国会図書館.
http://www.ndl.go.jp/jp/diet/publication/document/2011/201003_02.pdf
- 小林傳司. (2007). トランス・サイエンスの時代：科学技術と社会をつなぐ. NTT 出版.

- 財団法人政策科学研究所. (2006). 研究開発のアウトカム・インパクト評価体系.
<http://scfdb.tokyo.jst.go.jp/pdf/20051270/2005/200512702005rr.pdf>
- 榊原清則. (2010). 国の研究開発評価の評価：身近な事例の分析(<特集>我が国の公共セクターにおける研究・イノベーションの評価システムとマネジメント). 研究技術計画, 24(3), 259-264.
- 佐々木亮. (2010). 評価論理：評価学の基礎. 多賀出版.
- 佐々木亮. (2011). アメリカにおけるメタ評価の現状. 総務省行政評価局 (編), 諸外国における政策評価のチェックシステムに関する調査研究報告書 (pp. 27-54). 総務省行政評価局.
http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/hyouka/seisaku_n/chousakenkyu/houkoku_2103_00.pdf
- 清水毅志. (2009). 研究活動に対する客観的かつ定量的な評価指標. 情報管理, 52(8), 464-474.
- 白川志保, & 白川展之. (2007). 国立大学の産学連携・地域社会貢献とアカデミックプロフェッションのための組織マネジメント：民間プロフェッショナル組織との比較と New Public Management の視点から (山野井敦徳教授退職記念). 大学論集, 38, 221-237.
- 白川展之. (2013). 科学研究の投資効果測定を目指す米国の STAR METRICS 事業の現状と今後の見通し. 科学技術動向, (136), 11-16.
- 白川展之. (2014). 科学技術・イノベーション政策と公共選択論 (特集 科学技術への社会的期待と公共選択). 公共選択 = Public choice studies, (62), 29-49.
- 白川展之. (2015). 社会イノベーションと科学・技術普及：社会イノベーションの4象限モデル (小田清教授, 高原一隆教授退職記念号). 北海学園大学経済論集, 62(4), 81-99.
- 白川展之, 古川貴雄, & 野村稔. (2012). 日本 MOT 学会による査読論文(2012-2) 日本の電気電子・情報通信研究の世界トレンドからの乖離に関する計量書誌分析. 技術と経済, (544), 50-60.
- 白川展之, 古川貴雄, 野村稔, & 奥和田久美. (2011). IEEE のカンファレンスと刊行物に関する総合的分析—成長・激変する世界の電気電子・情報通信研究と日本—.
- 白川展之, & 野村稔. (2010). 日本の電気電子・情報通信分野における研究活動の変化. 科学技術動向, (115), 21-29.
- 白川展之, 野村稔, & 奥和田久美. (2009). IEEE 定期刊行物における電気電子・情報通信分野の国別概況. 調査資料 (Vol. 169).
- 白川展之, 野村稔, & 奥和田久美. (2010). IEEE 定期刊行物における電気電子・情報通信分野の領域別動向 — 日本と世界のトレンドの差異 —.
- 城山英明. (2007). 科学技術ガバナンス. 東信堂.

- 城山英明. (2008). 科学技術と政治. 城山英明 (編), 科学技術のポリティクス (pp. 1-9). 東京: 東京大学出版会.
- 城山英明, 吉澤剛, 松尾真紀子, & 畑中綾子. (2010). 制度化なき活動 日本における TA(テクノロジー-アセスメント)及び TA 的活動の限界と教訓. 社会技術研究論文集, 7, 199-210.
<http://doi.org/10.3392/sociotechnica.7.199>
- 鈴木寛. (2013). 熟議のススメ. 講談社.
- 妹尾堅一郎. (2009). 技術力で勝る日本が、なぜ事業で負けるのか：画期的な新製品が惨敗する理由. ダイヤモンド社.
- 曾根泰教, 柳瀬昇, & 上木原弘修. (2013). 「学ぶ、考える、話しあう」討論型世論調査：議論の新しい仕組み. 木楽舎.
- 田辺智子. (2006). エビデンスに基づく教育. 日本評価研究, 6(1), 31-41.
<http://doi.org/10.11278/JJOES2001.6.31>
- 玉村雅敏, 高橋武俊, 伊藤健, 杉田一真, & 白川展之. (2014). 社会イノベーションの科学：政策マーケティング・SROI・討論型世論調査. 勁草書房.
- 内閣府. (2011). 平成 23 年度 年次経済財政報告 (経済財政政策担当大臣報告) —日本経済の本質的な力を高める—. <http://www5.cao.go.jp/j-j/wp/wp-je11/11p00000.html>
- 永野博. (2016). ドイツに学ぶ科学技術政策. 近代科学社.
- 南島和久. (2015). 政策評価の概念とそのアポリア：分析・評価・測定をめぐる混乱. 評価クォーターリー, (33), 2-18.
- 西義雄. (2007). イノベーションのダイナミクス. 水野博之, 榊原清則, R. K. Lester, 内藤耕, 西義雄, 河尻耕太郎, & 小笠原敦 (編), イノベーション創出の方法論：革新を促す土壌とマネジメント (pp. 140-172). 工業調査会.
- 西出順郎. (2009). 国立大学法人評価制度の理論的考察:制度設計上の合目的性と機能可能性. 日本評価研究, 9(3), 3_95-3_108.
- 根岸正光, & 山崎茂明. (2001). 研究評価—研究者・研究機関・大学におけるガイドライン—. 丸善.
- 野村稔. (2012). 科学技術動向研究 シンポジウム「IEEE に見る国際競争激化とグローバル化：研究人材の国際流動性は研究開発に影響を与えるのか」開催報告. 科学技術動向, 127, 36-50.
- 野村稔, 白川展之, & 奥和田久美. (2009). IEEE において特徴的な推移を示す国々の分析. 研究・技術計画学会第 24 回年次学術大会講演要旨集 (pp. 595-598).
<https://dspace.jaist.ac.jp/dspace/bitstream/10119/8702/1/2D12.pdf>

- 林隆之, & 伊地知寛博. (2010). 特集 我が国の公共セクターにおける研究・イノベーションの評価システムとマネジメント. 研究技術計画, 24(3), 212-213.
- 林和弘. (2013). 科学技術動向研究 研究論文の影響度を測定する新しい動き: 論文単位で即時かつ多面的な測定を可能とする Altmetrics. 科学技術動向, (134), 20-29.
- 林和弘, & 白川展之. (2013). 自然科学・生命科学系研究者がトップジャーナルと認める学術雑誌に関する調査. 研究・技術計画学会第 28 回年次学術大会講演要旨集 (pp. 1059-1062). https://dspace.jaist.ac.jp/dspace/bitstream/10119/11889/1/kouen28_1059.pdf
- 坂東慶太. (2012). Altmetrics の可能性 ソーシャルメディアを活用した研究評価指標. 情報管理, 55(9), 638-646.
- 平川秀幸. (2002). リスクの政治学—遺伝子組み換え作物のフレーミング問題. 小林傳司 (編), 公共のための科学技術 (pp. 109-138). 玉川大学出版部.
- 平川秀幸. (2014). 科学的助言のパラダイム・シフト 責任あるイノベーション, ポスト・ノーマルサイエンス, エコシステム. 科学, 84(2), 195-201.
- 平澤令. (2004). 我が国の公共部門における研究開発評価の課題(公的資金による研究開発の評価). 研究技術計画, 17(3), 128-141.
- 広島大学高等教育研究開発センター (2015). 高等教育研究の未来を考える: RIHE への期待と今後のあり方: 第 40 回(2012 年度)研究員集会の記録. *Reviews in higher education*. <http://doi.org/10.15027/36498>
- 廣田照幸. (2014). 対話の向こうの大学像. 岩波書店.
- 藤垣裕子. (2003). 専門知と公共性: 科学技術社会論の構築へ向けて. 東京大学出版会.
- 藤垣裕子. (2004). 研究評価・科学論のための科学計量学入門. 丸善.
- 藤垣裕子. (2005). 科学技術社会論の技法. 東京大学出版会.
- 藤田由紀子. (2008). 公務員制度と専門性: 技術系行政官の日英比較. 専修大学出版局.
- 藤本昌代. (2005). 専門職の転職構造: 組織準拠性と移動. 文眞堂.
- 古川貴雄, 森薫, 有野和真, 林和弘, 白川展之, & 野村稔. (2014). 国際学会に注目した萌芽的研究の発展過程分析 - World-Wide Web Conference の事例分析 -. DISCUSSION PAPER.
- 牧原出. (2008). 「ドクトリン」としての「ガバナンス」. 社会学年報, 37, 47-48. <http://doi.org/http://doi.org/10.11271/tss.37.47>
- 牧原出. (2009). 行政改革と調整のシステム. 東京大学出版会.

- 正木朋也, & 津谷喜一郎. (2006). エビデンスに基づく医療 (EBM) の系譜と方向性: 保健医療評価に果たすコクラン共同計画の役割と未来. 日本評価研究, 6(1), 3-20.
<http://doi.org/10.11278/JJOES2001.6.3>
- 宮尾学. (2013). 技術の社会的構成. 組織学会 (編), 組織論レビュー・外部環境と経営組織 (pp. 89-136). 白桃書房.
- 宮川公男. (1994). 政策科学の基礎. 東洋経済新報社.
- 宮台真司. (2012a). 機能主義. 大沢真幸, 吉見俊哉, 鷺田清一, & 見田宗介 (編), 現代社会学事典 = Encyclopedia of contemporary sociology (p. 255). 弘文堂.
- 宮台真司. (2012b). 機能的等価物. 大沢真幸, 吉見俊哉, 鷺田清一, & 見田宗介 (編), 現代社会学事典 = Encyclopedia of contemporary sociology (p. 256). 弘文堂.
- 宮崎智彦. (2008). ガラパゴス化する日本の製造業: 産業構造を破壊するアジア企業の脅威. 東洋経済新報社.
- 元橋一之. (2010). 東アジアエレクトロニクスデータベースの構築と 日本企業の国際競争力の分析 (No. RIETI Discussion Paper Series 10-J-028). 東京.
<http://www.rieti.go.jp/jp/publications/dp/10j028.pdf>
- 文部科学省. (2012). 平成 24 年版 科学技術白書 強くたくましい社会の構築に向けて: 東日本大震災の教訓を踏まえて. 文部科学省.
- 山野井敦徳. (2016). 新堀通也研究: シンボリズムの形成と展開. 大学論集, (48), 31-48.
<http://doi.org/10.15027/39946>
- 山本清. (2013). アカウンタビリティを考える: どうして「説明責任」になったのか. NTT 出版.
- 横尾淑子. (2014). 世界における予測活動の最近の動向. 科学技術動向, 144, 4-9.
<http://www.nistep.go.jp/wp/wp-content/uploads/NISTEP-STT144J-4.pdf>
- 吉澤剛. (2013). 責任ある研究・イノベーション: ELSI を越えて(科学技術イノベーション政策の科学). 研究技術計画, 28(1), 106-122.