

Title	補完性と階層構造
Sub Title	Complementarities and hierarchical structures
Author	木戸, 一夫(Kido, Kazuo)
Publisher	慶應義塾大学出版会
Publication year	2007
Jtitle	三田商学研究 (Mita business review). Vol.50, No.5 (2007. 12) ,p.31- 44
JaLC DOI	
Abstract	経済や企業活動において、補完性はひとつの重要な特性である。従来、関数のスーパーモジュール性や差分増加性という形でアクティビティ間の相互補完性に関わる研究に焦点が当てられていたが、本論では、同一のアクティビティに係る自己補完性の概念を導入し、これら3種類の補完性の間の関係に着目した理論を考察する。特に、相互補完性から自己補完性が発生したり、自己補完性を有するコア・アクティビティに補助的アクティビティを整合的に追加して強化していく中で相互補完性が発生したり、というような、異なる種類の補完性のからみ合いに関する研究結果を示す。このからみ合いによる補完構造の複雑化は、企業のような組織において、アクティビティという機能面の階層的発達に対応したものと考えられる。本論では、補完性に関する諸定理を紹介するだけでなく、それらを分析ツールとして、企業内の諸アクティビティと補完性との関わり方を考察する。
Notes	商学部創立50周年記念 = Commemorating the fiftieth anniversary of the faculty 50周年記念論文
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00234698-20071200-0031

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

補完性と階層構造

木 戸 一 夫

<要 約>

経済や企業活動において、補完性はひとつの重要な特性である。従来、関数のスーパーモジュール性や差分増加性という形でアクティビティ間の相互補完性に関わる研究に焦点が当てられていたが、本論では、同一のアクティビティに係る自己補完性の概念を導入し、これら3種類の補完性の間の関係に着目した理論を考察する。特に、相互補完性から自己補完性が発生したり、自己補完性を有するコア・アクティビティに補助的アクティビティを整合的に追加して強化していく中で相互補完性が発生したり、というような、異なる種類の補完性のからみ合いに関する研究結果を示す。このからみ合いによる補完構造の複雑化は、企業のような組織において、アクティビティという機能面の階層的発達に対応したものと考えられる。本論では、補完性に関する諸定理を紹介するだけでなく、それらを分析ツールとして、企業内の諸アクティビティと補完性との関わり方を考察する。

<キーワード>

相互補完性、自己補完性、アクティビティ、凸性、差分増加性、スーパーモジュール性、スーパーモジュラー・ゲーム、整合性、互恵性、階層構造

1. はじめに

最近、単調比較静学やスーパーモジュラー・ゲームの理論など、補完性を前提とした研究が数多く行われている。例えば、Topkis [16] においては、企業収益を表す関数

$$\Pi(x, t) = p\mu(x, t) - c(\mu(x, t), x, t) - \kappa(x, t)$$

を研究対象として、補完性に関連した特性を考察している。ここで、 $x \in X \subset R^n$ は企業の決定変数、 $t \in T \subset R^m$ は外生変数である。 p は企業が生産する製品に対する価格、 $\mu(x, t)$ は需要量とし、企業はその量だけ生産し販売するものとする。 $c(z, x, t)$ は製品の生産水準 z に依存したコスト、 $\kappa(x, t)$ は生産水準に依存しないコストとする。Topkis は、 $\mu(x, t)$ が (x, t) に関して増加かつスーパーモジュラー、 $pz - c(z, x, t)$ が各 (x, y) に対して z に関して増加、

$c(z, x, t)$ が各 (x, t) に対してに関して凹, $c(z, x, t)$ が (z, x, t) に関してサブモジューラ, $\kappa(x, t)$ が (x, t) に関してサブモジューラである時, 次の結果を得た。(a) $\prod(x, t)$ は (x, t) に関してスーパーモジューラである。(b) $\pi(t) = \max_{x \in X} \prod(x, t)$ は t に関してスーパーモジューラである。(c) $\operatorname{argmax}_{x \in X} \prod(x, t)$ は (t, X) に関して増加的である。これらの結果は, (a) で述べられている $\prod(x, t)$ のスーパーモジュール性に依存している。 $\prod(x, t)$ のスーパーモジュール性は, それを構成する各関数に対する仮定を統合する形で, 補題 3.1 [14] を用いて示される。合成関数がスーパーモジューラとなるための十分条件を与えるこの補題は, Topkis [17] において補題 2.6.4 として一般化された。ここでは, その補題を本論での展開に適した形に修正した版を次に示す。

定理 1. (補題 2.6.4 [17] の変種 [5]) X は束, $g_i(x)$ は, $i = 1, \dots, m$ に対して, X 上で増加的かつスーパーモジューラであるとする。 Z_i は, $i = 1, \dots, m$ に対して, R^1 の凸部分集合で, $g_i(x)$ の値域を含み, $f(z_1, \dots, z_m, x)$ は $(\times_{i=1}^m Z_i) \times X$ 上で $(z_1, \dots, z_m, x)$ に関してスーパーモジューラで, 各 $i = 1, \dots, m$ に対して, z_i に関して増加的かつ自己差分増加的であるとする。このとき, 合成関数 $f(g_1(x), \dots, g_m(x), x)$ は X 上で x に関してスーパーモジューラである。

木戸 [5] では, 補完性を自己補完性 (例: 凸性, 自己差分増加性など) と相互補完性 (例: (相互) 差分増加性, スーパーモジュール性など) に大きく二分した上で, 合成関数の相互補完性を示した Topkis の補題 2.6.4 に対応させた形で, 合成関数が自己補完性を持つための十分条件に関して次の結果を得た。

定理 2. ([5]) X は R^n に含まれる凸部分束とし, $\ell \in \{1, \dots, n\}$ とする。各 $i = 1, \dots, m$ に対して, $g_i(x)$ は, X 上で増加的で, さらに x_ℓ に関して自己差分増加性を持ち, Z_i は R^1 の凸部分集合で $g_i(x)$ の値域を含むものとする。 $f(z_1, \dots, z_m, x)$ は $(\times_{i=1}^m Z_i) \times X$ 上の実数値関数で, $(z_1, \dots, z_m, x)$ に関して相互差分増加性を持ち, 各 $i = 1, \dots, m$ に対して, z_i に関して増加的かつ自己差分増加性を持ち, かつ, x_ℓ に関して自己差分増加性を持つとする。このとき, 合成関数 $f(g_1(x), \dots, g_m(x), x)$ は, x_ℓ に関して自己差分増加性を持つ。

両者を見比べてみると, 自己補完性と相互補完性という 2 種類の補完性がからみ合う形で, 合成関数におけるそれぞれの補完性が導かれることがわかる。冒頭に示した例を少々飛躍を伴って一般化することにより, 次のような考えにいたる。今, 組織全体の補完性を証明すること, あるいは確立することが重大事だったとしよう。このとき, 冒頭の例では組織全体の利益が合成関数の形で示されているように, 通常, 組織は何らかの構造を持っているだろう。特に, 階層構造が典型的な構造であると考えられるが, そのような (特に機能的側面から捉えた) 構造と補完性の間に密接な関係が見出せるのではないか? [5] では, この問題に対して, 補完性に係る機能的な (階層) 構造がある条件を満たすならば, 補完性が成立する範囲を上げたり (あるいは補完

性を強化したり), 新たな補完性を発生させることが可能であることを, 合成関数の自己補完性ならびに相互補完性を示す定理の形で考察した。本論では, 第2節において, 諸定義・諸概念の準備をしながら, 応用し易い形の定理に限定して, その命題ならびに解釈を紹介する。

続く第3節では, ある仮想的な企業において, その社内および社外(環境)との関わりにおいて, 補完性と直結した機能がどのようなアクティビティとして表れるのか, また, より一層の補完性の追求と表裏一体である機能上の階層構造がどのようなアクティビティで構成されるのか, 具体的な考察を試みる。

最後に第4節では, 本論の延長線上で可能となる補完性分析の適用範囲に関して簡単に触れて結語とする。

2. 補完性分析の機能的な方法

(1) 補完性に関する諸定義

まず, 本論に必要な範囲で, さまざまな補完性の概念を明確にしておこう。歴史的には, 補完性に関して多くの定義が考察されてきた。例えば, 補完財の定義およびそれらの歴史的経緯に関しては, Samuelson [13] に詳しい。Topkis [15] [16] [17] や Milgrom=Roberts [10] による補完性の定義(具体的には, 差分増加性やスーパーモジュール性の定義)は, 補完財に対する定義とは少し異なり, エッジワース=パレート補完性[4]の延長上にある。その理由としては, 対象として考えているものが, 市場における財というよりも, 主に, 企業内の諸アクティビティであることによる, と考えられる。本論においても, 実行可能なアクティビティ(水準)の組を制約集合とし, そこでのある特定の利得に関する補完性を主たる対象とする。特定の利得の例としては, 純利益, 売上高, ーコスト(コストにマイナス符号を付けたもの)などの評価尺度が典型的である。ただし, より一般に, 社内的な成績評価, あるいは特定のチーム内の成績評価であっても良い。その制約集合は, 物理的なリソースや技術・情報・ノウハウ・ルーティンなどを幅広く含むケイパビリティにより定まると考えるならば, 企業における経営戦略は, ユーザーやライバル企業といった外部環境と自社の既存ケイパビリティを鑑みて, より多くの利得をもたらすであろうケイパビリティに換えていくことを目的に含む。この点を明示する時, 制約集合は, 企業戦略(正確には, 企業戦略水準のベクトル)をパラメータに持つ集合として定式化される。

ここで, 利得関数を R^n 上の実数値関数 f , 制約集合を $S = R^n$ とし, f に関する補完性を考えよう。エッジワース=パレート補完性は任意の相異なる2つのアクティビティ i と j の間の相互の補完性を表す概念で, アクティビティ i を一定水準増加させたときの利得の増加が, アクティビティ j の水準が高いほど大きいことをいう。これをそのまま定式化したものが差分増加性, より明確には相互差分増加性, の定義である(後で, より一般的な枠組みで定義を述べ直す)。具体的な例として, 範囲の経済性は, ーコスト関数が相互差分増加性を持つことの必要条件である(正確には $f(0) \leq 0$ を前提とする)。これに対し, 規模の経済性は, ーコスト関数を評価尺度とする点は同じであるが, ある一つのアクティビティ i のみに関する補完性, より明確には自己補完性,

に関連した概念である。一般的に定式化すると、アクティビティ i を一定水準増加させたときの利得の増加が、増加させる前の水準 x_i が高いほど大きいとき、 f は x_i に関して自己差分増加性を持つという。厳密に定義すると、 R^n 上の実数値関数 f が x_i に関して自己差分増加性を持つとは、任意の $x_i < x'_i$ 、任意の $\varepsilon > 0$ 、任意の x_{-i} に対して、

$$f(x_i + \varepsilon, x_{-i}) - f(x_i, x_{-i}) \leq f(x'_i + \varepsilon, x_{-i}) - f(x'_i, x_{-i}) \quad (1)$$

が成り立つことである。ここで、 x_{-i} は、 $(x_1, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n)$ を表し、 (y_i, x_{-i}) は、 $(x_1, \dots, x_{i-1}, y_i, x_{i+1}, \dots, x_n)$ を表すものとする。また、強い意味で自己差分増加性を持つとは、式 (1) が常に真の不等号で成り立つことをいう。 x_i に関する自己差分増加性は、 f が x_i に関して連続である場合、 x_i に関する凸性と同値である (Lemma 2.6.2 (c) [17] を参照)。

相互補完性は、その定義に加法を必要としないので、通常、より一般的な空間で定義される。また、相互補完性には2種類の概念、すなわち相互差分増加性とスーパーモジュール性が考えられ、両者の間の概念上の開きが深い含意を持たせる得る余地となる。まず、束とそれに関連した概念の定義から始めよう。

X を半順序 $\leq$ を持った半順序集合とする。 $x' \leq x''$ であるが、 $x' \neq x''$ であるとき、 $x' < x''$ と表す。 X の任意の要素 x' と x'' に対し、 $x' \leq x''$ か $x'' \leq x'$ のいずれかが成り立つ時、 X を鎖という。半順序集合 X に属す2つの要素 x' と x'' が X の中で最小上界を持つとき、それを x' と x'' の合併といい、 $x' \vee x''$ で表す。また、 x' と x'' が X の中で最大下界を持つとき、それを x' と x'' の交わりといい、 $x' \wedge x''$ で表す。半順序集合が、その中の任意の要素の組に対する合併と交わりを共に含んでいる時、それを束という。 X を束としよう。 X' が X の部分集合で、 X' の要素の任意の組に対する (X における) 合併と交わりを含むならば、 X' を、 X の部分束という。

X と T は半順序集合、 $f(x, t)$ は、 $X \times T$ のある部分集合 S 上の実数値関数とする。 $t \in T$ に対し、 S_t で、 S の t における切片 $\{x \in X : (x, t) \in S\}$ を表す。もし、 T に属する全ての $t' < t''$ に対して、 $f(x, t'') - f(x, t')$ が $S_{t'} \cap S_{t''}$ 上で、 x に関して増加的ならば、すなわち、 $S_{t'} \cap S_{t''}$ に属する任意の $x' \leq x''$ に対して、

$$f(x', t'') - f(x', t') \leq f(x'', t'') - f(x'', t')$$

が成り立つならば、 $f(x, t)$ は S 上で (x, t) に関して相互差分増加性を持つという。また、任意の $t' < t''$ と任意の $x' < x''$ に対して、上式が真の不等号で成り立つならば、強い意味で相互差分増加性を持つという。この定義は、 A を集合とし、任意の $\alpha \in A$ に対して X_α は半順序集合、 X は $\times_{\alpha \in A} X_\alpha$ の部分集合とした時、 X 上の実数値関数 $f(x)$ に対してまで自然に拡張される (詳しくは、Topkis [17] を参照せよ)。

次に、もうひとつの相互補完性の概念を定義する。 $f(x)$ は、束 X 上の実数値関数とする。もし、任意の $x' \in X$ と $x'' \in X$ に対して、

$$f(x') + f(x'') \leq f(x' \vee x'') + f(x' \wedge x'')$$

であれば, $f(x)$ は X 上で x に関してスーパーモジュラーであるという。また, X における任意の順序付けられない x' と x'' に対して, 上式が真の不等号で成り立つならば, 強い意味でスーパーモジュラーであるという。

ここで, 今までに定めたいくつかの補完性概念に関する性質を簡単にまとめておこう。まず, 鎖において (従って R^1 において), 任意の実数値関数はスーパーモジュラーである (Example 2.6.2. (a) [17] を参照)。このことから, スーパーモジュール性は同一のアクティビティの間の自己補完性には関与しない概念である, ということがわかる。また, 明らかに, 自己差分増加性の定義には2つのアクティビティ間の関係は入りえないので, 自己差分増加性と相互補完性とは独立な概念である。では, 相互差分増加性とスーパーモジュール性という2種類の相互補完性の間には, どのような関係があるだろうか? 次の関係が良く知られている。

定理 3. (Theorem 3.1 [15]) A は集合, 任意の $\alpha \in A$ に対して X_α は束, X は $\times_{\alpha \in A} X_\alpha$ の部分束とする。この時, $f(x)$ が X 上で x に関してスーパーモジュラーならば, $f(x)$ は X 上で $x = (x_\alpha; \alpha \in A)$ に関して相互差分増加性を持つ。

定理 4. (Theorem 2.6.2 [17]) $X_1, \dots, X_n$ は束, $f(x)$ が $\times_{i=1}^n X_i$ 上で $x = (x_1, \dots, x_n)$ に関して相互差分増加性を持ち, さらに, $f(x)$ が, 各 $i' = 1, \dots, n$ に対して, i' 以外の任意の座標 i において成分 $x_i \in X_i$ を固定して考えた時, $X_{i'}$ 上で $x_{i'}$ に関してスーパーモジュラーであるとする, $f(x)$ は $\times_{i=1}^n X_i$ 上で x に関してスーパーモジュラーである。

系 1. (Theorem 3.2 [15]) $X_1, \dots, X_n$ が鎖で, $f(x)$ が $\times_{i=1}^n X_i$ 上で $x = (x_1, \dots, x_n)$ に関して相互差分増加性を持つならば, $f(x)$ は $\times_{i=1}^n X_i$ 上でスーパーモジュラーである。それゆえに, R^n 上の任意の実数値関数は, n 変数関数として考えた時, 相互差分増加性とスーパーモジュール性が一致する。

両者の関係を, 企業組織と関連させて, もう少し考察してみよう。出発点となるアイデアは, 定理 4 を, 部署内補完性 + 部署間補完性 = 全社的補完性を表す階層定理と解釈することである。すなわち, 企業組織が次のような階層構造を持つものとする。 $X_1, \dots, X_n$ は, それぞれ, 互いに独立に意思決定可能な部署におけるアクティビティ (水準) ベクトルの全体を表し, 各部署のアクティビティ・ベクトルの組 x によって, 企業の利得 $f(x)$ が定まるものとする。このとき, $X = \times_{i=1}^n X_i$ 上での $x = (x_1, \dots, x_n)$ に関する相互差分増加性は, 部署間の相互補完性を意味する。また, X_i 上における x_i に関するスーパーモジュール性は, 部署内の相互補完性を意味する。従って, 定理の主張は, 各部署内の相互補完性と, 各部署間の相互補完性から, 全社的な

相互補完性が従う、と解釈される。つまり、全社的な補完性を示そうとした時、組織構造をうまく利用すれば、「補完性を証明する」という問題を小さく分解することができる、ということである。ただし、その前提として、 X が $\times_{i=1}^n X_i$ ときれいに分解されるように、組織構造が補完構造と合致したものになっている必要がある。この前提条件は次のことを含意する。一旦制度化した組織構造は、一般的には、環境の変化に対してかなり頑健であることを考えると、この前提が長期間にわたって満たされるためには、組織は、環境の変化に応じて補完性を維持できるという意味では、その構造を柔軟に調整可能であるという一種逆説的な能力を持つことが要求されることになる。ここで、階層構造を持った企業において、スーパーモジュール性と差分増加性の違いを、整理を交えながら、もう少し掘り下げて考察しておこう。差分増加性は、相異なる X_i の間、すなわち、部署間の補完性にのみ着目する概念であり、スーパーモジュール性は、同じ $X = \times_{i=1}^n X_i$ 上で考えた場合でも、部署間はもちろんのこと、各部署内の補完性にも言及する概念なのであった。ただし、その補完性は、企業利得に関する任意の相異なる2つのアクティビティ間の相互補完性までであり、単一のアクティビティに関する自己補完性には及ばない。ここで、各部署は互いに独立に部署内の各アクティビティ水準を操作可能で、各部署 i が操作するアクティビティ・ベクトルを $(x_{i1}, \dots, x_{imi}) \in \times_{j=1}^{mi} X_{ij}$ 、ただし各 X_{ij} は鎖、と表せたとき、 $X = \times_{i=1}^n \times_{j=1}^{mi} X_{ij}$ と、全社の補完性を個別的なアクティビティのレベルまで細かく分解して捉えることもできるはずである。このとき、各 X_{ij} は鎖で、その内部には、もはや相互的な補完性が発生する余地や複雑さはない。従って、今明確化した相互差分増加性とスーパーモジュール性の意味合いから考えても、この細かい分解 $\times_{i,j} X_{ij}$ 上では、両者の概念は一致する。すなわち、 X 上で $x = (x_{11}, \dots, x_{1m_1}, x_{21}, \dots, x_{nm_n})$ に関する相互差分増加性とスーパーモジュール性は同値である。これが系1の意味する所である。それならばなぜ、全ての分析を最小単位のアクティビティのレベルで行わないのか？その間に対しては、次のように述べることができる。人は、複雑なシステムを単純化することにより、理解を深めることができる。似たようなもの、関連したものをひとくくりにして概念化することにより単純化を推し進め、思考の節約をすることによって、もう一段複雑な構造を理解し、操作することができるようになるのである。その結果としての階層構造であるから、その階層構造に根ざした補完性概念が生まれることは、何らの不思議もないのである。むしろそれは、人の思考過程と整合し、補完構造の認識を容易にするであろう。(2)節で紹介する理論は、この発想をさらに推し進め、企業内の機能的な階層構造、あるいはアクティビティもしくはコンピタンスの構造化された配置に基づいて、全社的な補完性を導き出すために創られたものである。

最後に、もう一つ概念を定義しておこう。この概念においても、相互差分増加性とスーパーモジュール性という2種類の相互補完性を使い分けることが自然であることが理解される。さて、これまで議論してきた補完性概念は、人（プレイヤー）を表に出さないものだった。しかしながら、各アクティビティの水準が意思決定の結果であり、意思決定者により利得が必ずしも同一とは限らない場合、誰の意思決定か、ということは重要な要素になる。すなわち、全てのアクティビティ

イ水準を一人の支配者のようなプレイヤーが決定できる場合は今までの枠組みで良い。しかし、複数のプレイヤーが、それぞれ独立して意思決定可能なアクティビティを持ち、全プレイヤーの利得が同一の尺度ではない場合が問題となる。その場合、まず、誰の利得関数に関する補完性であるかを意識する必要がある。次に、アクティビティの集合を、自分が意思決定する変数と、他のプレイヤーが意思決定する外生変数に分割して考えなければならない。すなわち、プレイヤー i の利得関数 f_i に関して、プレイヤー i の決定変数 x_i とプレイヤー j の決定変数 x_j の間に相互補完性（相互差分増加性）があるか、といったことが問題になってくる。このように、主体となるプレイヤーの違いを意識した補完性は、戦略的補完性 [2] と言われている。この場合、自然な発想として、プレイヤー j の利得関数 f_j に関する補完性も気になるであろう。実際、 f_i と f_j の両方が、 x_i と x_j に関する戦略的補完性を持つ状況が重要である。追加の仮定として、 f_i が x_i に関してスーパーモジュラー、 f_j が x_j に関してスーパーモジュラーであることが満たされれば、この状況はスーパーモジュラー・ゲームと言われている。両者が戦略的パートナーとして、互惠性を追求する対話をするのが有益な状況である。

(2) 諸命題とその解釈

次の定理は、アクティビティを階層的に拡大して作られた組織構造に応用することが意図されている。

定理 5. (整合性に基づく補完性拡大定理 [5]) $Z_1, \dots, Z_m$ はそれぞれ R^1 , $X_{m+1}, \dots, X_n$ は束, A は R^p の凸部分束で, $\ell \in \{1, \dots, p\}$ とする。実数値関数 $f(z_1, \dots, z_m, x_{m+1}, \dots, x_n)$ は, $(\times_{i=1}^m Z_i) \times (\times_{i=m+1}^n X_i)$ 上で $(z_1, \dots, z_m, x_{m+1}, \dots, x_n)$ に関してスーパーモジュラーで、任意の $i = 1, \dots, m$ に対して、 z_i に関して増加的かつ自己差分増加性を持つとする。さらに、各 $i = 1, \dots, m$ に対して、 $\mu_i(a)$ は A 上の実数値関数で a に関して増加的かつスーパーモジュラーで、 a_ℓ に関し自己差分増加性を持つとする。

このとき、 $f(\mu_1(a), \dots, \mu_m(a), x_{m+1}, \dots, x_n)$ は、 $A \times (\times_{i=m+1}^n X_i)$ 上で $(a, x_{m+1}, \dots, x_n)$ に関してスーパーモジュラーで、 a_ℓ に関し自己差分増加性を持つ。

定理 5 は、次のように解釈できる。ある企業において、利得がアクティビティ $x_1, \dots, x_n$ の実数値関数で近似されるものとしよう。中でも、アクティビティ $x_1, \dots, x_m$ は特に重要で、各 x_i は、更に補助的アクティビティの集合 $A_i = \{a_{i1}, \dots, a_{iki}\} \subset \{a_1, \dots, a_q\}$ で補強されているとする。 x_i と、それを補強する A_i に属す各アクティビティは整合的で、一つの方向性を持つとする。すなわち、この整合性は、ある社内的な評価尺度 $z_i = \mu_i(x_i, a_{i1}, \dots, a_{iki})$ が存在して、 μ_i は、 $(x_i, a_{i1}, \dots, a_{iki})$ に関してスーパーモジュラーで、コア・アクティビティである x_i に関して自己差分増加的である、と条件付けられるものとする (μ_i に関しては、第 3 節の脚注 1 を参照せよ)。このとき、他のコア・アクティビティ $x_j, j \in \{1, \dots, m\} \setminus \{i\}$ は有意な変数に含まれていないので、条件式 (1) が常に等号で成立しているという意味で x_j に関して自己差分増加

的でもある。さらに、企業の利得関数は、コア・アクティビティの水準 $x_1, \dots, x_m$ を、それらの特徴を適切に捉えた1次元評価尺度 $\mu_1, \dots, \mu_m$ の値 $z_1, \dots, z_m$ に置き換えて、 $f(z_1, \dots, z_m, x_{m+1}, \dots, x_n)$ と表すことが近似的に妥当で、さらに、 $(z_1, \dots, z_m, x_{m+1}, \dots, x_n)$ に関してスーパーモジュラーであるとする。このとき企業利得が、各コア・アクティビティを方向付ける $z_1, \dots, z_m$ に関して、増加的かつ自己差分増加性を持つならば、企業利得は、コア・アクティビティ $x_1, \dots, x_m$ と、それらに対する追加的な補助的アクティビティの集合を表す $\bigcup_{i=1}^m A_i$ の各変数を合わせた $a = (x_i, \dots, x_m, a_1, \dots, a_q)$ 、および当初から考えていた補助的なアクティビティ $(x_{m+1}, \dots, x_n)$ の関数として、スーパーモジュラーである。すなわち、当初のアクティビティと、補強のために導入した追加的な補助的アクティビティの全体は補完的である。また、企業利得は、各コア・アクティビティ x_i に関して依然として自己差分増加性を持つ。最後に、 $a_j \in A_i$ は評価尺度 μ_i に影響を及ぼすことはなく、また、企業利得の定まり方に関し、 $a_1, \dots, a_q$ は $z_1, \dots, z_m$ の値を通して間接的にのみ $x_{m+1}, \dots, x_n$ と係わりを持ち得ることが暗黙に想定されていることに注意しておこう。

定理5は、補助的なアクティビティ $a_1, \dots, a_q$ が重複しないように分割されている必要がなく、一つの補助的アクティビティが複数のコア・アクティビティと相互作用を持つ場合にも適用できる。この点が、重複のない分割を前提とした階層定理（定理4）と大きく異なる点である。

以上で、自己補完性を持ったアクティビティがあれば、それを核として組織が自己補完性を保ちながら階層的に拡大し得ることをみたが、それでは、自己補完性がどのような所に発生し得るのか、定理2に関連した例を考察する。そのためにまず、経営戦略がケイパビリティにプラスの効果を与える状況を、制約集合のパラメータ化として組み込む。ある経営戦略の水準を束 M に属す変数 m で表し、 m に依存して定まる制約集合を S_m とし、 S_m は m に関して増加的と仮定する。すなわち、ある経営戦略を進めることにより、組織内のケイパビリティが増加することによって、アクティビティ水準を増加させる余地が生じるとする。ここで、集合の増加性を正確に定義しておく必要がある。制約集合としては常に非空部分束を考えるが、通常の順序が入った R^p の非空部分束の全体 $L(R^p)$ に、誘導集合順序 $\sqsubseteq$ を入れて考える。すなわち、 $S', S'' \in L(R^p)$ に対し、任意の $s' \in S', s'' \in S''$ に対して、 $s' \wedge s'' \in S', s' \vee s'' \in S''$ であるとき、 $S' \sqsubseteq S''$ とする。この順序は、 R^p における2点間の順序の拡張概念になっている。つまり、 $x' \leq x''$ ならば $\{x'\} \sqsubseteq \{x''\}$ である。以下では、適切な経営戦略により自己補完性を発生させ得ることを示すケースを2つ示す。最初のケースは、相互補完性に基づいて自己補完性が発生するケースである。

定理6. (相互補完的なアクティビティの同時活性化に基づく補完性強化定理 [5]) M は R^n の凸部分束、 S は $M \times R^p$ の部分束で、任意の $m \in M$ に対して、 S の m における切片 S_m は非空であるとする。 $\ell \in \{1, \dots, n\}$ とする。 $f(x_1, \dots, x_p, y)$ は $R^p \times R^q$ 上の実数値関数で、 $(x_1, \dots, x_p, y)$ に関してスーパーモジュラー [resp. 強い意味でスーパーモジュラー]、各 x_i に関し増加的かつアフィンとする。さらに、各 $m \in M$ と各 $y \in R^q$ に対して、 $\operatorname{argmax}_{x \in S_m} f(x, y)$ が

非空で、それからの増加的最適選択 $\bar{x}(m, y)$ で、任意の $i = 1, \dots, p$ に対して、 $\bar{x}_i(m, y)$ が m_ℓ に関し増加かつアフィンであるものが存在するならば、 $\max_{x \in S_m} f(x, y)$ は、 (m, y) に関してスーパーモジュラー [resp. 強い意味でスーパーモジュラー] で、 m_ℓ に関して増加かつ自己差分増加性 [resp. 強い意味で自己差分増加性] を持つ。

定理 6 は次のように解釈される。ある企業において、強い意味の自己差分増加性のような、単独で強い補完性を持つアクティビティは存在しないが、相互補完性を持つ複数のアクティビティは存在したとしよう。このとき、強い意味の相互差分増加性を持つ 2 つのアクティビティ x_1 と x_2 があった場合、1 つの企業戦略（その水準を m で表す）として、例えば、モチベーションを高めたり、ルーティンや情報の生成や共有を促進させることによって、それら 2 つのアクティビティを同時に一層活発にさせ得る仕組みを導入できたとする。ただし、 x_1 と x_2 は、強い意味の自己差分増加性は持たないにしても、企業利得は x_1 と x_2 に関する増加的なアフィン関数となっていて、 x_1 および x_2 の自己差分増加性を否定することもないとする。この時、この企業戦略の水準を高めた結果として、 x_1 と x_2 の水準は、今までより高い水準まで取り得るようになる。すなわち、制約集合が拡大される。企業利得を最大化する x_1 と x_2 の最適水準が経営戦略の強さ m に対して線形に増加していくものとする、 x_1 と x_2 が最適選択されることを前提にした企業利得は、定理 6 により、 m に関して強い意味で自己差分増加性を持つようになる。企業は、経営戦略の工夫により、強い補完性を手に入れることができたことになる。

2 番目のケースは、適切な経営戦略により、（ある商品・サービスに係る）顧客との関係をスーパーモジュラー・ゲームの関係に持っていくことができたならば、スーパーモジュラー・ゲームにおける互惠性に基づく自己補完性が発生するというケースである。

定理 7. (互惠性に基づく補完性強化定理 [5]) S_1 は R^p の凸部分束、 S_2 は R^q の部分直方体とし、 $\{\{1, 2\}, \{S_1, S_2\}, \{f_1, f_2\}\}$ をスーパーモジュラー・ゲーム [resp. スーパーモジュラー・ゲーム] で、 f_1 は (x_1, x_2) に関して強い意味の相互差分増加性を持つ] とする。 $\ell \in \{1, \dots, p\}$ で、ベクトル x_1 の任意に固定された座標を表す。 $f_1(x_1, x_2)$ は、任意に固定された x_2 に対して、 $x_{1\ell}$ に関し増加かつアフィンで、かつ、任意に固定された x_1 に対して、 x_2 に関して増加かつアフィンであるとする。 $\mu_2(x_1)$ は、 S_1 上で well-defined な、プレイヤー 1 の戦略 x_1 に対するプレイヤー 2 の最適応答戦略からの増加的選択で、 x_1 に関してアフィンであると仮定する。このとき、 $f_1(x_1, \mu_2(x_1))$ は $x_{1\ell}$ に関して増加かつ自己差分増加性 [resp. 強い意味の自己差分増加性] を持つ。更に、 $f_1(x_1, \mu_2(x_1))$ は x_1 に関してスーパーモジュラーである。

定理 7 は、次のように解釈される。ある商品（あるいはサービス）に関して、企業と顧客の間に互惠的な良好な関係が築かれているとしよう。すなわち、スーパーモジュラー・ゲームになっているとする。このとき、特に顧客満足に影響を及ぼす企業のアクティビティ水準のベクトルを

x_1 , 当該商品に係る顧客のアクティビティ水準のベクトルを y_2 とする。そこから生じる企業の利得を $f_1(x_1, y_2)$ で表し, 顧客の満足度を $f_2(x_1, y_2)$ で表す。今, 当該商品に係る企業の利得を評価尺度とした時, x_1 と y_2 が強い意味で相互差分増加性を持つとする。このとき, 個々のアクティビティ x_{1i} ($i = 1, \dots, p$) や y_{2j} ($j = 1, \dots, q$) の水準が f_1 に与える影響は線形で (すなわち, 強い意味の凸性はなく), 企業の当該商品に係るアクティビティ水準 x_1 に対する顧客の最適反応 $\mu_{2j}(x_1)$ が各 x_1 に対して一意に存在し, x_1 に関して線形である (ここでも同じく, 強い意味の凸性はない) 場合でも, 定理 7 の残りの条件が満たされれば, 顧客の最適反応を前提とし, 当該商品に係る企業利得を評価尺度とした時, 各関連アクティビティ x_{1i} , $i = 1, \dots, p$ は強い意味の自己差分増加性を持ち, また互いに相互補完性を持つ。このことは, 企業にとって, 顧客と互恵的な関係を築くことが, 強い補完性を手に入れることに直結していることを示している。

3. 分析例

本論文の目的は, 例えば企業において, どのようなアクティビティが利益に決定的に貢献しているのか? アクティビティ, あるいはアクティビティ間には, どのような補完性が働いているのか? といったことを分析するための新しい枠組みを提供することである。従って, 以下に応用例を示すが, それは, 第 2 節で紹介した分析ツールのひとつの可能性を例示する試みである。この例は, Milgrom=Roberts [10] でも研究されたような日本式マネジメントを念頭においた一つの企業モデルである。企業 1 は, 自動車の製造会社としよう。環境問題がますます重要問題となってきた現代において, 消費者の自動車に対する嗜好における重要な尺度に,

1. 燃費も含めて, 価格に対して相対的に高い品質を要求する度合い y_1

2. 個性や, 流行や用途に応じた車種の豊富さと, 納期の短さ

などがあることは間違いないであろう。

自動車会社にとって, これらの嗜好に沿った消費者の購買行動は, 重要な環境変数として, 企業の利益に直結している。この環境下で十分な純利益を得ようと思えば, 消費者の要求に適合した製品・サービスを生み出すためのアクティビティを中心に据える必要がある。すなわち, コスト・パフォーマンスの良い自動車に対する要望に応えるための,

1. 燃費も含めた, 品質向上のための研究・開発と製品化をするアクティビティ x_1

2. 数多くの車種を小ロットかつ短納期で生産することを可能にするための, 時間も含めた意味での, 段取り換えを低コスト化するアクティビティ x_2

などは, 最も利益に貢献するアクティビティであると考えられる。

今, モデルを簡略にするため, 消費者のアクティビティは y_1 が支配的に重要だとしよう。それに対し, 企業の主たるアクティビティは $x = (x_1, x_2)$ であるとする。 x の水準が上がったとき, 生産された自動車のコスト・パフォーマンスは向上するわけだが, y_1 の水準が高いほど, つまり, 自動車の選択にあたり, コスト・パフォーマンス重視の度合いが高いほど, 他社との競争において, コスト・パフォーマンス向上は相対的により高く評価され, より大きな利益の増加に結びつ

くであろう。すなわち、企業の利益 f_1 は、 (x, y_1) に関し（強い意味の）相互差分増加性を持つ。また、 x と y_1 に関する増加性も満たされると考えてよからう。さらに、 x_1 と x_2 は、企業利益に対する効果として独立だとすると、 f_1 は x に関して、常に等号で成立するという意味で、スーパーモジュール性を持つ。

次に、消費者の満足度 f_2 を考えてみる。自動車を製造・販売しているライバル企業たちは、環境変数で表されるが、それは任意のレベルに固定して考えることになるので、関数には明示しない。企業1がアクティビティを変化させて相対的品質を上昇させた時、消費者は相対的な品質の高さを第一義と考えているので、その相対的品質重視の度合いを上げた方が、満足度の増加の仕方が大きい、と考えても良いだろう（特に、企業1がライバル企業と比較して相対的品質が高い場合、その品質水準の更なる向上と消費者満足度の増加との感応度は高いと考えて良い）。従って、 f_2 も (x, y_1) に関して相互差分増加性を持つと考えてよいので、企業1と消費者の間の、この小さな関係は、スーパーモジュラー・ゲームの構造になっている、と言える。また、最適応答 μ_2 に関しても、企業1が製造する自動車の相対的品質の上昇に合わせて、自動車選択における相対的品質重視の度合いを上げていくことが、消費者の満足度を最大化させるので、 μ_2 は単調増加性を持つ。従って、 $f_1(x, y_1)$ が、 x を任意に固定した時、 y_1 に関してアフィン、 y_1 を任意に固定した時、 x に関してアフィン、 $\mu_2(x) = \mu_2(x_1, x_2)$ が x に関してアフィン関数である、と考えてよい状況では、定理7より、 $f_1(x, \mu_2(x))$ は、 x_1 および x_2 に関して増加的、かつ（強い意味で）自己差分増加性を持ち、 x に関してスーパーモジュラーである（厳密には、定理7を適用するためには、制約集合に関する条件も満たされなければならない。ここでは、その条件は満たされると仮定して考えるが、制約集合が部分束であるという条件は、場合によっては、 f_1 は企業の売上高を表すという制約になる場合もあろう）。

さて、以上の議論より、企業1が、消費者の応答を μ_2 と想定した時の利益 $f(x) = f_1(x, \mu_2(x))$ は、 x に関してスーパーモジュラーで、 x_1 と x_2 に関して増加的かつ自己差分増加的であることがわかった。すなわち、企業1は、強い補完性を実装していると言える。

次に、（ライバル企業との比較においても優位である）コア・アクティビティと言える x_1 と x_2 を補強することを考える。 x_1 および x_2 は、品質向上アクティビティ（・ベクトル）、および生産性改善アクティビティ（・ベクトル）と一般化することができ、 x_1 および x_2 は、それぞれ、その中の主要なファクターであると考えられる。このとき、

1. 品質向上の度合いを示す一次元の評価尺度 g_1
2. 生産性改善の度合いを示す一次元の評価尺度 g_2

を企業内の目標設定のために確立できたとしよう¹⁾（ただし、社内的指標であるが、製品の特性を通して、消費者も認知し得るとする）。この尺度がうまく設計されていれば、企業の利益を概算する際、今までの議論における x_1, x_2 の値の代わりに、それらを一般化して作った尺度である g_1, g_2 の値を用いても同じ議論が成り立つと考えても良いだろう。すなわち、 $f(x_1, x_2)$ の代わりに、こ

1) ここでの、 x_1 に対して g_1 を、 x_2 に対して g_2 を対応付ける発想は、数学における duality mapping の概念に相当するものである。Cf. Beurling=Livingston [3]。

れからは $f(g_1(a), g_2(a))$ で議論を進める。ここで、品質向上あるいは生産性改善に関わる主要なアクティビティを全て合わせて、一つのアクティビティ・ベクトル a で表している。 a に含まれるアクティビティは、例えば次のようなものである。まず、コア・アクティビティはそのまま入れるべきなので、 $a_1 = x_1, a_2 = x_2$ とする。この他に、補助的アクティビティとして、

- 不良品の発生率を低下させるアクティビティ a_3
- より効率的で低コストな生産方式を考案し、実装するアクティビティ a_4
- ラインがストップした時の復旧速度を向上させるためのアクティビティ a_5

を考えよう。すると、典型的には、 g_1 に有意な影響を与える変数は a_1 と a_3 で、 g_2 に有意な影響を与える変数は a_2, a_3, a_4, a_5 であろう。それらのアクティビティの関数として、 g_1 と g_2 は、増加的かつスーパーモジュラーであると考えて良からう。また g_1 は a_1 の、 g_2 は a_2 のアクティビティのレベルを評価尺度として一般化したものなので、 g_1 は a_1 に関して、 g_2 は a_2 に関して線形で、従って（等号での成立であるが）、自己差分増加性を持つ。以上より、定理5から、 $f(g_1(a), g_2(a))$ は、 $a = (a_1, \dots, a_5)$ に関してスーパーモジュラーで、 a_1 と a_2 に関しては自己差分増加性を持つ、ということがわかる（このプロセスは、更に様々な補助的アクティビティを追加しながら続けられ、企業内の補完構造が階層化していく。補完性を維持するために重要な補助的アクティビティとしては、プロセス中にボトルネックを発生させないように管理するというアクティビティも入るであろう）。

さて、ベクトル a にリストアップされたアクティビティの水準を上げるためには、それらアクティビティ水準を実現可能な、一連のケイパビリティが求められる。そのあり様は、様々な種類があり得ようが、例えば、フレキシブル生産の場合は、次のようなケイパビリティが前提となる。 y_1 を始めとする消費者の嗜好に応えるためのアクティビティを顕在化させるためのケイパビリティとして、

1. 製造装置の持つ高いフレキシビリティを表すケイパビリティ c_1
2. 製造装置の高い精度を表すケイパビリティ c_2
3. 工場労働者の高い柔軟性を表すケイパビリティ c_3
4. 工場労働者の高い協調性を表すケイパビリティ c_4
5. 工場労働者の現場での高い問題解決能力を表すケイパビリティ c_5

が挙げられる。例えば、 c_3, c_4, c_5 のようなケイパビリティが十分にある時、適切な教育や取り決めで方向付けることにより（必要ならば、しかるべきケイパビリティを生み出すことにより）、 a_5 のようなアクティビティの水準を高めることが可能となる。また、「カイゼン」活動として、現場レベルの知識や製造技術の知識を組み合わせ、新たなケイパビリティを生み出すことにより、 a_3 や a_4 のアクティビティにつながる治具の開発も可能となる。

経営戦略の一環として、このようなケイパビリティを高めるための方策を採るならば、相互補完的な複数のアクティビティの水準を同時に高めることも可能となり、定理6により、企業内の最適行動を前提として、企業利益は、そのような方策に関して自己差分増加性を持つことになる。日本式マネジメントに見られる（あるいは、見られた）方策は、そのようなものとして理解する

ことができる。例えば、終身雇用制度を始めとする長期契約や年功序列制度は、自発的学習、協調、や情報共有のモチベーションを上昇させ、 c_3 , c_4 , c_5 のケイパビリティを増加させる。また、「カイゼン」を視覚化させる（具体的には、改善の結果である、自分たちで開発した全ての治具を、予め定めた特定の統一色に彩色する例が多い）ことにより、自分たちの成果を皆に認識させ、誇りを持たせ、また、企業として、それらの改善活動を称えていることを自覚させる。これが、 c_3 , c_4 , c_5 のケイパビリティをますます増加させるモチベーションとなる。

以上の考察のまとめとして、企業組織におけるアクティビティの補完性分析の一つの方法として、次のような分析の手順が提案される。

1. 企業利益に大きな影響を与えるコア・アクティビティ、特に、自己差分増加性を持つアクティビティを同定し、その補完性の源泉を明確にする。
2. コア・アクティビティと整合的（コヒーレント）で、それを補強するような補助的アクティビティ、特に、相互差分増加性を持つアクティビティを同定し、依存するケイパビリティなど、その補完性の源泉を明確にする。
3. 相互補完的関係にある複数のアクティビティの実現可能範囲を広げるような、あるいは、そのための源泉としてのケイパビリティの水準を上げたり、新たな必要なケイパビリティを獲得することにつながるような企業戦略を同定する。
4. 組織内に確認された自己補完性や相互補完性に対し、それらをさらに補強する補助的アクティビティや企業戦略（企業内のケイパビリティに関わる戦略や、顧客との補完性に関わる戦略）の同定を、階層的に拡大していく。

4. 結語

組織の重要な機能特性であるアクティビティの階層構造をうまく利用できれば、補完性の確認は容易になることがわかった。また、組織における補完性の構造は、組織の機能的構造と表裏一体であることも理解された。成功している組織は、たとえ明確に意識されたものではないにしても、長期間の試行錯誤の結果形成された事後的な補完性を有すると考えられる。そのような組織の補完構造の分析事例が増えれば、新規の組織において、事前に補完性を有するように組織を設計し、構築するための指針がより多く得られることになる。また、補完性分析の適用は、新規に組織化するときに限るものではない。困難に直面し、現行組織を一旦状況化し、新しい環境に適合した組織を補完性の観点から再構築する際にも、本論で展開した補完性分析の方法は助けになる。

参 考 文 献

- [1] Aoki, M. (2001): *Towards a Comparative Institutional Analysis*. Massachusetts: MIT Press. 瀧澤弘和, 谷口和弘訳『比較制度分析に向けて』, NTT出版 2001.

- [2] Bulow, J. I., J. D. Geanakoplos and P. D. Klemperer (1985): "Multimarket oligopoly: Strategic substitutes and complements," *Journal of Political Economy*, 93, 488-511.
- [3] Beurling, A. and A. E. Livingston (1962): "A theorem on duality mappings in Banach spaces," *Arkiv för Matematik*, 4, 405-411.
- [4] Edgeworth, F. Y. (1925/1993): "The pure theory of monopoly," in Volume 1 of *Papers relating to political economy*, edited by F. Y. Edgeworth. Bristol: Thoemmes Press.
- [5] Kido, K. (in preparation): "A Functional Approach to Prove Complementarities."
- [6] 木戸一夫, 谷口和弘, 渡部直樹「現代企業のスーパーモジュラー分析序説 (I)」『三田商学研究』第47巻4号 (2004年10月), pp.61-79。
- [7] 木戸一夫, 谷口和弘, 渡部直樹「現代企業のスーパーモジュラー分析序説 (II)」『三田商学研究』第47巻5号 (2004年12月), pp.113-128。
- [8] Langlois R. N. and P. L. Robertson (1995): *Firms, Markets and Economic Change*, Routledge. 谷口和弘訳『企業制度の理論』NTT 出版 2004.
- [9] Milgrom, P. and J. Roberts (1992): *Economics, Organization & Management*, Prentice Hall. 奥野正寛他訳『組織の経済学』NTT 出版 1997.
- [10] Milgrom, P. and J. Roberts (1994): "Complementarities, momentum, and the evolution of modern manufacturing," *Estudios Económicos*, 9, 3-42.
- [11] Roberts D. J. (2004): *The Modern Firm: Organizational Design for Performance and Growth*, Oxford University Press. 谷口和弘訳『現代企業の組織デザイン: 戦略経営の経済学』NTT 出版 2005.
- [12] Rockafellar, R. T. (1970): *Convex Analysis*. Princeton University Press.
- [13] Samuelson, P. A. (1974): "Complementarity," *Journal of Economic Literature*, 12, 1255-1289.
- [14] 谷口和弘『企業の境界と組織アーキテクチャ: 企業制度論序説』NTT 出版, 2006年。
- [15] Topkis, D. M. (1978): "Minimizing a submodular function on a lattice," *Operations Research*, 26, 305-321.
- [16] Topkis, D. M. (1995): "Comparative Statics of the Firm," *Journal of Economic Theory*, 67, 370-401.
- [17] Topkis, D. M. (1998): *Supermodularity and Complementarity*. Princeton: Princeton University Press.