

博士学位論文

自発的運動療法の可視化による  
技術継承システム

2014年3月

慶應義塾大学大学院  
システムデザイン・マネジメント研究科

嘉陽 宗弘

## 論文要旨

慢性的な痛みや不定愁訴は、関節を保持する筋肉の不具合やアンバランスに起因することが多い。このような苦痛を和らげ、不具合箇所の歪みを矯正する方法として、操体法あるいは整体法と呼ばれる自然療法（運動療法）が広く行われている。運動療法は、医療全体の視点から代替医療の一部として広く実施されているが、医療の一方法として広く認められているわけではない。その理由として、体系化が不十分であり、とりわけ検査法が整備されていないことが挙げられる。本研究は、システムデザインの視点から検討を加えて、体系化とコンピュータ支援による可視化を行った。本論文の構成は、以下の通りである。

第1章では、本研究の背景と国内・国外における関連研究を調査した結果をまとめ、本研究の自然療法における位置づけ、主たる目的と期待される成果を述べる。

第2章では、著者がカナダ・バンクーバー市において実践してきた自然療法手法の一つである体性バランス回復療法（SBRT : Somatic Balance Restoration Therapy）の成立にいたる経緯、手法特色、治療実績とデータベース化の概要を述べ、セラピストが行う「ダイアグラム操体法」のプロセスを詳述した。この手法の妥当性をシステム工学的の立場から明らかにし、これまでの経験と直感に依存した臨床家のアプローチを再現性のある継承可能な工学的手法にシステム化する必要性を論じる。とくに、巨大複雑系である人体の筋肉骨格系の動作をシステム工学的に解明する必要性を強調した。

第3章においては、SBRT 基本動作における主動作と連動動作の関係を一対比較法および2値行列(Binary Matrix)により表現できることを示した。すなわち連動性の有無を対応する（行、列）要求の”1”(連動性あり)と”0”(連動性なし)とする。これにより基本動作をN二乗行列で表しISM手法を適用し、基本動作に関する可達行列を導く。可達行列から可達集合および先行集合の次元を吟味し、各主動作の能動性・受動性を評価し、その性質を利用して主動作全体のグループ化を行った。

第4章では、人体の筋骨格系を14の関節で統合された15剛体によってモデル化し、各関節を動かす主要な筋肉を識別した。全体をシステムとして関係づけるために、主動作80種と基本動作136種との関係、基本動作と関係運動80種との関係、関節運動と主要筋肉237種との関係を表現する行列3種類を定義した。これらの行列は全て2値行列で定義され、運動関係の有無を”1”または”0”で表し、演算はブール代数を適用した。以上で定義した諸行列の演算により、被験者が意識的に行う主動作と関節運動を表す行列を導いた。

第5章では、動診検査の結果を診断行列に反映し、所定のプロセスに従って計算を行えば、不具合箇所の同定が可能であることを示した。さらに不具合箇所を矯正する主動作を選択するための3つの指標、すなわち、効果指標、距離指標、相関係数に基づく指標を導いた。動診結果を入力とし不具合箇所の識別結果とその矯正動作を出力とするSBRT解析ソフトウェアを開発した。実際の症例についてセラピストによる矯正動作の選択結果と比較し、ほぼ同一の結果を得られることを示した。セラピストの経験とスキルに依存していたSBRTの実施を、コンピュータ支援による可視化によって、経験の浅いインストラクターがガイドする自発的な運動療法に発展しうることを実証した。

第6章では、本論文の総括を行い、今後の研究に残された課題について言及した。

## Summary

Chronic pain and general physical discomfort are common symptoms, yet contain important information on the clinically relevant state of the human body. This is especially true when it relates to disorders or malfunctions found within the human musculoskeletal system. Although clinical pain research is confounded by many complex factors, it must be overcome by promoting a multidisciplinary and holistic approach that integrates both traditional oriental techniques with Western medicine and science. In order to overcome such difficulties, this paper aims to realize a computerized visual-graphic representation of a therapist-guided technique called the *Somatic Balance Restoration Therapy* (SBRT). The thesis is composed of the following chapters:

Chapter 1 describes the current status of related research works on musculoskeletal pain and on various kinds of alternative medicine.

Chapter 2 introduces the SBRT, including motivations, experiences and the accumulated database accumulated during the practice in Vancouver, Canada. This leads to the most essential concepts of the SBRT which gives a totally pain-less method with emphasis on the Fundamental Motion Elements (FMEs) and Motion Tests.

Chapter 3 is devoted to application of the methodologies based on systems engineering, utilizing Interpretive Structural Modeling (ISM) to categorize the FMEs. This has turned out that the active motions and associated motion defined in the SBRT process correspond to reachability and antecedent matrices, respectively.

In Chapter 4 the human musculoskeletal system is modeled by 15 rigid bodies connected by 14 joints with 80 degrees of freedom of motions. Relations between FMEs and joint motions, joint motions and muscles and other relations are derived in matrix formats with binary elements. The matrix representing the relation between Active Motions and Joint Motions is used as diagnosis to identify malfunctioning elements of the human musculoskeletal system.

In Chapter 5, the results of the Motion Tests and the diagnosis matrix are combined to make it possible to identify malfunctions and to select the most effective Active Motions for remedy. Three measures have been derived for this purpose, and the measure based on the correlation coefficient between pain motions and comfortable motions is one of the candidates for computerized visualization of the SBRT process.

Chapter 6 concludes that the visualized SBRT approach is an easy-to-succeed technique to the next generation, which represents a significant step forward in exercise therapy. This technique can be used as an educational tool for the inexperienced practitioner, as well as a management tool for established practitioners.

## 目次

<b>第1章</b>	序論.....	1
1.1	研究の背景.....	1
1.2	研究の目的.....	2
1.3	論文の構成.....	3
<b>第2章</b>	SBRT 成立と経緯と概要.....	6
2.1	SBRT の成立.....	6
2.2	基本動作(主動作と連動動作)について.....	8
2.3	「ダイアグラム操体法」と運動療法記録データベース.....	13
2.3.1	ダイアグラム検査法.....	13
2.3.2	ダイアグラム操法の矯正動作の選択と操法の流れ(順序).....	30
2.3.3	ダイアグラム記録図.....	31
2.3.4	連動フォーミュラ図.....	31
2.4	ダイアグラム操法の特徴.....	34
2.4.1	動診検査の記録.....	34
2.4.2	治療技術の再現性.....	34
2.4.3	遠隔操法の可能性.....	35
2.4.4	臨床データベースの集計(アーカイビング).....	35
2.5	まとめ.....	35
<b>第3章</b>	システムアプローチによる SBRT の分析.....	36
3.1	主動作・連動動作および基本動作.....	36
3.2	基本動作の行列表.....	40
3.3	基本動作の ISM 解析.....	40
3.3.1	基本動作の運動性の行列表.....	40
3.3.2	主動作に関する可達行列.....	54
3.3.3	主動作に関する可達集合と先行集合.....	58
3.4	まとめ.....	63
<b>第4章</b>	基本動作・関節運動・関節筋肉の関係の行列表現.....	64
4.1	主動作と基本動作との関係: Matrix-A.....	64
4.2	基本動作と関節運動との関係: Matrix-B.....	64
4.3	関節運動と関節筋肉との関係: Matrix-C.....	68
4.4	主動作と関節運動との関係: Matrix-D.....	68
4.5	主動作と筋肉との関係: Matrix-E.....	69
4.6	まとめ.....	72
<b>第5章</b>	SBRT における動診結果分析の自動化・可視化.....	73
5.1	不具合箇所の同定.....	75
5.2	SBRT 矯正動作の選定指標.....	77
5.2.1	動診結果を反映した重み行列の生成と有効性指標.....	78

5.2.2	距離指標.....	79
5.2.3	主動作間の相関係数による指標.....	81
5.2.4	主動作間の相関係数による指標.....	84
5.3	まとめ.....	88
<b>第 6 章</b>	<b>結論および将来の課題.....</b>	<b>89</b>
6.1	本研究のまとめ.....	89
6.2	将来の課題.....	90
<b>参考文献</b>	.....	<b>92</b>
<b>付録</b>	.....	<b>96</b>
<b>謝辞</b>		

## List of Figures

Fig. 1.1	代替医療における SBRT の位置づけ.....	4
Fig. 1.2	Visualization Flow of SBRT (Somatic Balance Restoration).....	5
Fig. 2.1	Forty Active Motions of the SBRT.....	8
Fig. 2.2	Turn Neck to Left.....	11
Fig. 2.3	Diagram Format.....	14
Fig. 2.4-1	Pain Motions that are NOT performed by the Subject.....	17
Fig. 2.4-2	Active Motions Used for Exercise Therapy.....	17
Fig. 2.5-1	Turn Neck to (Right/Left) 41/01.....	18
Fig. 2.5-2	Tilt Head towards (Right/Left) 42/02.....	19
Fig. 2.5-3	Extend Arm to (Right/left) 45/05.....	20
Fig. 2.5-4	Swing Right Knee outward (Right/Left) 11/51.....	21
Fig. 2.5-5	Swing Both Legs towards (Right/Left) 53/13.....	22
Fig. 2.5-6	Swing Right Legs (Right/Left) 54/14.....	23
Fig. 2.5-7	Swing Left Legs (Right/Left) 55/15.....	24
Fig. 2.5-8	Elevate Hip upward (Right/Left) 56/16.....	25
Fig. 2.5-9	Raise Knee (Right/Left) 57/17.....	26
Fig. 2.5-10	Stretch Right Heel (Right/Left) 21/61.....	27
Fig. 2.5-11	Twist Hip off Ground (Right/Left) 69/29.....	28
Fig. 2.5-12	Raise Leg off Ground (Right/Left) 80/40.....	29
Fig. 2.6-1	Left Group Associated Motions Formula Diagram.....	32
Fig. 2.6-2	Right Group Associated Motions Formula Diagram.....	33
Fig. 3.1	Examples of Motions Elements.....	38
Fig. 3.2	Body Modeling with 15 Rigid Bodies.....	38
Fig. 3.3	Relations between Fundamental Motion Elements and Muscles.....	39
Fig. 3.4	Data Analysis Flow with the ISM Process.....	41
Fig. 3.5	Overall Structure of N-square Matrix.....	42
Fig. 3.6-1	Sub-matrix of N2 Matrix: A11.....	43
Fig. 3.6-2	Sub-matrix of N2 Matrix: A15.....	44
Fig. 3.6-3	Sub-matrix of N2 Matrix: A22.....	45
Fig. 3.6-4	Sub-matrix of N2 Matrix: A26.....	46
Fig. 3.6-5	Sub-matrix of N2 Matrix: A33.....	47
Fig. 3.6-6	Sub-matrix of N2 Matrix: A35.....	48
Fig. 3.6-7	Sub-matrix of N2 Matrix: A44.....	49
Fig. 3.6-8	Sub-matrix of N2 Matrix: A46.....	50
Fig. 3.6-9	Sub-matrix of N2 Matrix: A55.....	51
Fig. 3.6-10	Sub-matrix of N2 Matrix: A66.....	52
Fig. 3.7	Example of Neutral Active Motion No.31.....	56
Fig. 3.8-1	Example of Highly Passive Active No.21.....	57
Fig. 3.8-2	Example of Highly Active Motion No.10.....	57
Fig. 3.9-1	Number of Reachable Set (R) and Antecedent Set (D) for Active Motions No.1-No.80.....	61

Fig. 3.9-2	Number of Reachable Set (R) and Antecedent Set (D) for Active Motions No.1-No.40.....	61
Fig. 3.9-3	Activeness of Active Motions (R-D) for Active Motions No.1-No.40.....	61
Fig. 3.9-4	Activeness of Active Motions (R/(R+D)) for Active Motions No.1-No.40.....	62
Fig. 3.9-5	Grouping of Active Motions by (R+D) vs. (R-D).....	62
Fig. 4.1	Body Modeling with 15 Rigid Bodies.....	65
Fig. 5.1	Flow Diagram of Computerized SBRT Process.....	73
Fig. 5.2	Schematic Expression of SRBT Matrices.....	74
Fig. 5.3	Effectiveness Measure Example.....	80
Fig. 5.4-1	Distance Measure for Pain Motions (No. 01, No.02, No.14, No.16).....	83
Fig. 5.4-2	Distance Measure for Pain Motions (No. 51, No.57, No.61).....	83
Fig. 5.5-1	Correlation between Easy and Painful Active Motions (Group-1).....	85
Fig. 5.5-2	Correlation between Easy and Painful Active Motions (Group-2).....	85
Fig. 5.6-1	Correlation between Pain Motion No.1 and Active Motions.....	86
Fig. 5.6-2	Correlation between Pain Motion No.2 and Active Motions.....	86
Fig. 5.6-3	Correlation between Pain Motion No.3 and Active Motions.....	86
Fig. 5.6-4	Correlation between Pain Motion No.4 and Active Motions.....	86
Fig. 5.6-5	Correlation between Pain Motion No.5 and Active Motions.....	87
Fig. 5.6-6	Correlation between Pain Motion No.6 and Active Motions.....	87
Fig. 5.6-7	Correlation between Pain Motion No.7 and Active Motions.....	87
Fig. 6.1	本研究と関連研究分野の関係図.....	91

## List of Tables

Table 2.1	SBRT 創成の経緯.....	7
Table 2.2	SBRT と他の方法 (整体・カイロプラスティック等との比較表)	7
Table 2.3-1	List of Active Motions.....	9
Table 2.3-2	List of Associated Motions.....	10
Table 2.4	主動作 No. 01「首の左回し」に連動する動作.....	11
Table 2.5	An Example of SBRT Record (Partially shown).....	17
Table 3.1	Joint Number and Degrees of Freedom (DOF).....	38
Table 3.2	A List of Reachable Set (R) and Antecedent Set (D) .....	60
Table 4.1	Relation between Active Motions and FMEs (Partially Shown): Matrix-A.....	67
Table 4.2	Relation between FMEs and Joint Motions (Partially Shown):Matrix-B.....	67
Table 4.3	Relation between Joint Motions and Muscles (Partially Shown): Matrix-C.....	67
Table 4.4	Relation between Active Motion and Joint Numer.....	70
Table 4.5	Relation between Active Motions and Muscles.....	71
Table 5.1	An Example of SBRT Record (Partially shown).....	77
Table 5.2	Pain Active Motions vs Easy Active Motions.....	80
Table 5.3	Distance Measure Matrix between Joints.....	82
Table 5.4	Distance Measure Matrix (partially shown).....	82



## 第1章 序論

### 1.1 研究の背景

関節を支えている筋肉の不具合やアンバランスは、慢性的な痛みや不定愁訴の原因となることが指摘されている [1], [2]. このような苦痛を和らげ、不具合箇所の歪みを矯正する方法として、操体法 [3], [4] あるいは整体法 [5]と呼ばれる自然療法（運動療法）が広く行われている。運動療法は、医療全体の視点から図 1.1 に示されるように代替医療の一部として広く実施されている。急性および長期の痛みの問題は様々な形や症状で表れる、例えば、コンピュータを扱う人々に見られる、首や手首、肘などのような障害、高齢者の腰、膝または股関節の痛み、軽微な交通事故の後遺症による不定愁訴などである。

痛みに関する学術的研究は、主に米国、カナダ、ドイツ、デンマーク、スウェーデン、フランス、のような欧米諸国を中心に行われている[6]-[14], [19]. しかし、世界的にみると、特に発展途上国では何百万人もの人々が、満足な治療が受けられないまま原因不明の痛みを苦しんでいる[15]. 被害者の多くは、精神障害者、高齢者、貧しい子供、女性、および人種/民族少数民族達である。医学や医療界では、この原因不明の痛みに関する研究が過小評価あるいは無視されており、研究資金は、脳疾患、心臓病、癌治療等の病気治療または予防に回すほうがより有効であるという傾向にある。

世界的に原因不明の痛み治療の格差を減らすためには、国際医療界やその資金提供者、国際医療機関及び組織による協調努力体制を必要とする。この取り組みを実行することにより、伝統的な東洋の技術と西洋医学を統合する学際的かつ包括的なアプローチを促進することにより、疼痛研究及び治療管理の複雑さを克服することが期待されている。

例えば、この統合的アプローチの一例として、韓国のデュアル医療提供システムが挙げられる。韓国では筋肉骨格系の患者が伝統医学を利用することが多く、同時に、補完代替医療（西洋医学）の利用者が多いと報告されている[16]. 中国や日本では、痛みの治療には骨格の歪みを矯正する整体法・操体法が広く普及している。

上記の研究報告のほとんどは、多数のサンプルの統計分析に基づいている。ラースとスベソソンは、筋肉関連痛の臨床所見の全体な調査を実施した[1]. ファイネとルンドは、筋肉骨格系の慢性的な痛み障害を制御する物理療法の有効性を評価した[17]. 慢性腰痛の克服や改善するための運動療法に関する系統的レビューが実施されている[18]. 筋肉骨格系の痛みは多くの要因によって影響を受けるため、定量化および検証することが困難であると認識されている。その原因は医学的側面にとどまらず、認知、感情、そして社会的側面におけるバイアスにも関わる。

一方、機械工学や生体工学の分野においては、筋肉系をモデル化してメカニズムを解明する研究が進められており、さらに、人間工学の立場からの神経系や意識に関する研究を含めた統合的な療法 (Integrated Therapy) に拡張されつつある [20], [21], [22], [24]. これらの学術的な成果は、高度な数学や力学に関する基礎知識を必要とするため、現場の臨床家のニーズに必ずしも適合しないという課題が残されている。また、人体各部を詳細に扱うと同時に総合的に把握することは、複雑かつ大規模なシステムの取り扱いが必要であることも指摘されている [5].

本論文の主題である、体性バランス回復療法 (SBRT: Somatic Balance Restoration Therapy) は、臨床技術のこのような困難を克服するために開発し実践されたものである。すなわち、SBRT は、セラピストの指示により患者が一連の動作を行う動診検査から始める。これらの動作は患者が意思を持って行い、不随意で相互連携する他の動作を誘起することから主動作と名付けられる。SBRT はこれらの動作間の連動性の仕組みを系統的に活用することにより、最終的には筋肉骨格系 (HMS) 内の機能障害を復元するシステムである [25].

## 1.2 研究の目的

本論文は、SBRT の原理を述べた後、著者が系統的に整理したデータベースを利用する手法の妥当性をシステム工学的立場から明らかにし、これまでの経験と直感に依存した臨床家のアプローチを再現性のある継承可能な手法にシステム化することを目的とする [20], [27]. この目的を達成する第一歩として、著者らは、一連の基本動作をシステム工学の立場から分類して相互の関係を階層化して整理し、また、行列表記により可視化することを行った。また、人体を 15 個の剛体から構成される多体システムととらえ、機械工学の手法を適用して連動動作を含めてモデル化した。本論文においては、これらの結果も援用して、SBRT を継承可能な運動療法システムに発展させることを実証する。なお、本論文では、筋肉骨格系の力学的考察に立ち入る前段階として、様々な基本動作間の相互関係を明らかにすることを目的としているため、基本動作と筋肉骨格系の関連状況をマクロな観点で考察することとどめ、本 SBRT 療法の特徴および効果について考察することに主眼を置く。また、SBRT は運動療法として斬新的で理解しやすい手法であるため、この技術は経験の浅い実務家のための教育ツールとして使用され、また確立された実務家には管理ツールとして使用されることを考慮して、実用性にも配慮した理論展開を原則とする。

### 1.3 論文の構成

第2章では、著者がカナダ・バンクーバー市において実践してきた自然療法手法の一つである体性バランス回復療法 (SBRT : *Somatic Balance Restoration Therapy*) の成立にいたる経緯、手法の特色、操法実績とデータベース化の概要を述べ、セラピストが行う「ダイアグラム操体法」のプロセスを詳述し、技術資料にまとめた [25]. この手法の妥当性をシステム工学的立場から明らかにし、これまでの経験と直感に依存した臨床家のアプローチを再現性のある継承可能な手法にシステム化する必要性を論じる [26], [27], [28]. とくに、巨大複雑系である人体の筋肉骨格の動作をシステム工学的に解明する必要性を強調した.

第3章においては、SBRT 基本動作における主動作と連動動作の関係を2値行列(Binary Matrix)により表現できることを示した. すなわち連動性の有無を対応する(行, 列)要素の"1"(連動性あり)と"0"(連動性なし)とする. これにより、基本動作にISM手法を適用し、基本動作に関する可達行列を定義した[30], [31], [32]. 可達行列および先行行列から、各主動作の能動性・受動性を評価し、その性質を利用して主動作全体のグループ化を行った. これらの行列表現は、次章以降において用いられる.

第4章では、人体の筋肉骨格系を14の関節で統合された15剛体によってモデル化し、各関節を動かす主要な筋肉を識別した[25], [33]. これらをシステムとして関係づけるために、行列表記を用いた. すなわち、主動作80種と基本動作136種との関係を行列A、基本動作と関節運動80種との関係を行列B、関節運動と主要筋肉237種との関係を行列Cで示す. これらの行列も全て2値行列で定義され、連動関係の有無を"1"または"0"で表す. 以上で定義した諸行列の演算により、主動作と関節運動を表す行列Dおよび主動作と主要筋肉の関係を表す行列Eが導かれた. 行列Dは、次章において不具合箇所同定の同定と矯正に用いる主動作の選択指針を与えることから、診断行列とすることが示される.

第5章では、前章で導いた診断行列にSBRTの動診結果を反映し、図1.2に示すプロセスに従って行列計算を行えば、不具合箇所同定が可能であることを示した[31]. さらに動診検査に基づいて、不具合箇所を矯正する主動作を選択するための3つの指標、すなわち、

- (1) 効果指標
- (2) 距離指標
- (3) 相関係数 [34]

を指定し、実際の症例についてその特徴を説明した. セラピストによる選択法プロセスは、上記(1)と(2)に近く、コンピュータによる選択には(3)を主として(2)を補助として用いることが適切であることが示された.

第6章では、本論文の総括を行い、運動療法とシステム・デザインおよび機械工学という3分野の関連を将来の研究課題を含めて図1.3に示し、今後の研究課題について言及した.

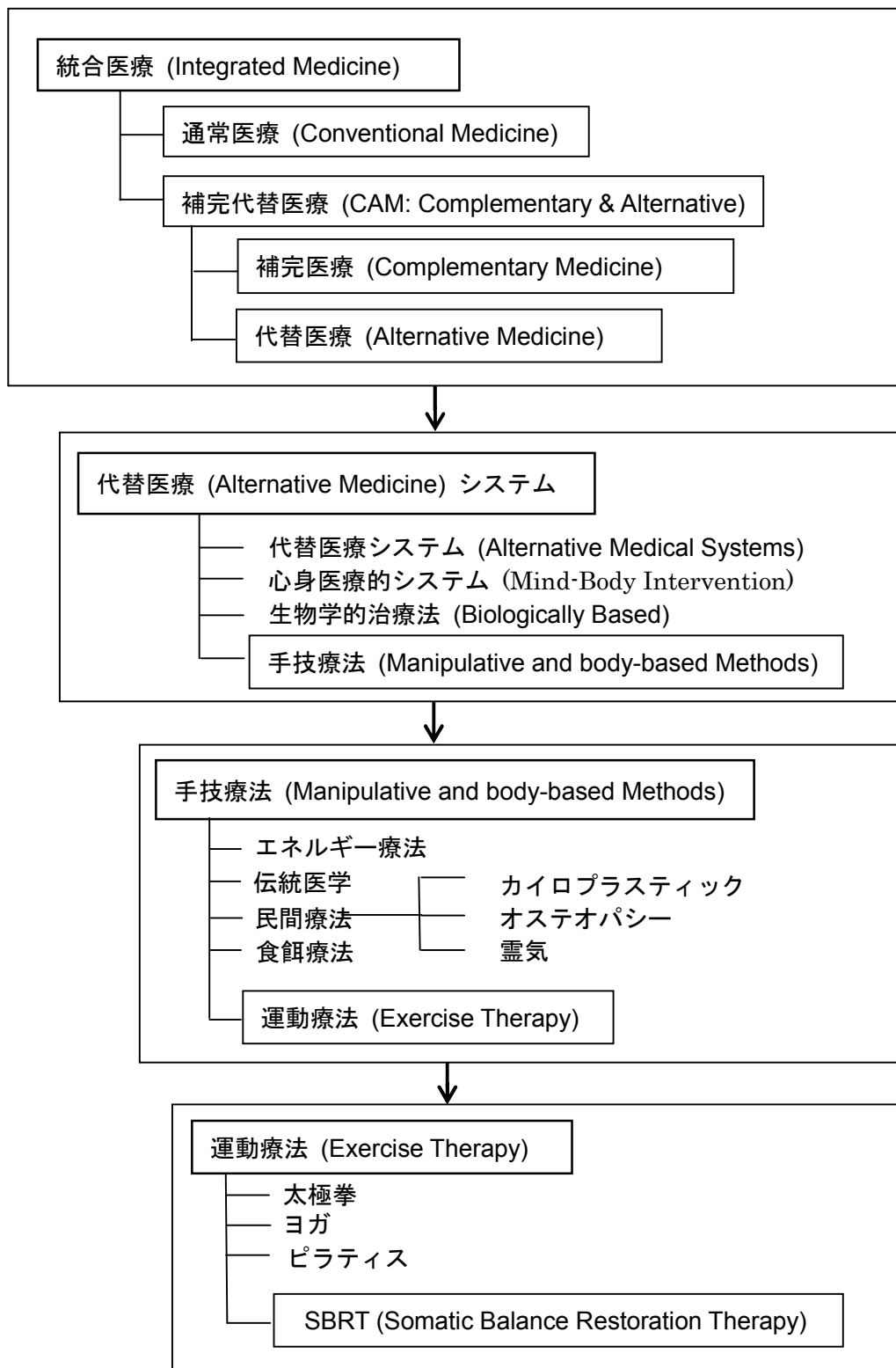


Fig.1.1 代替医療における SBRT の位置づけ

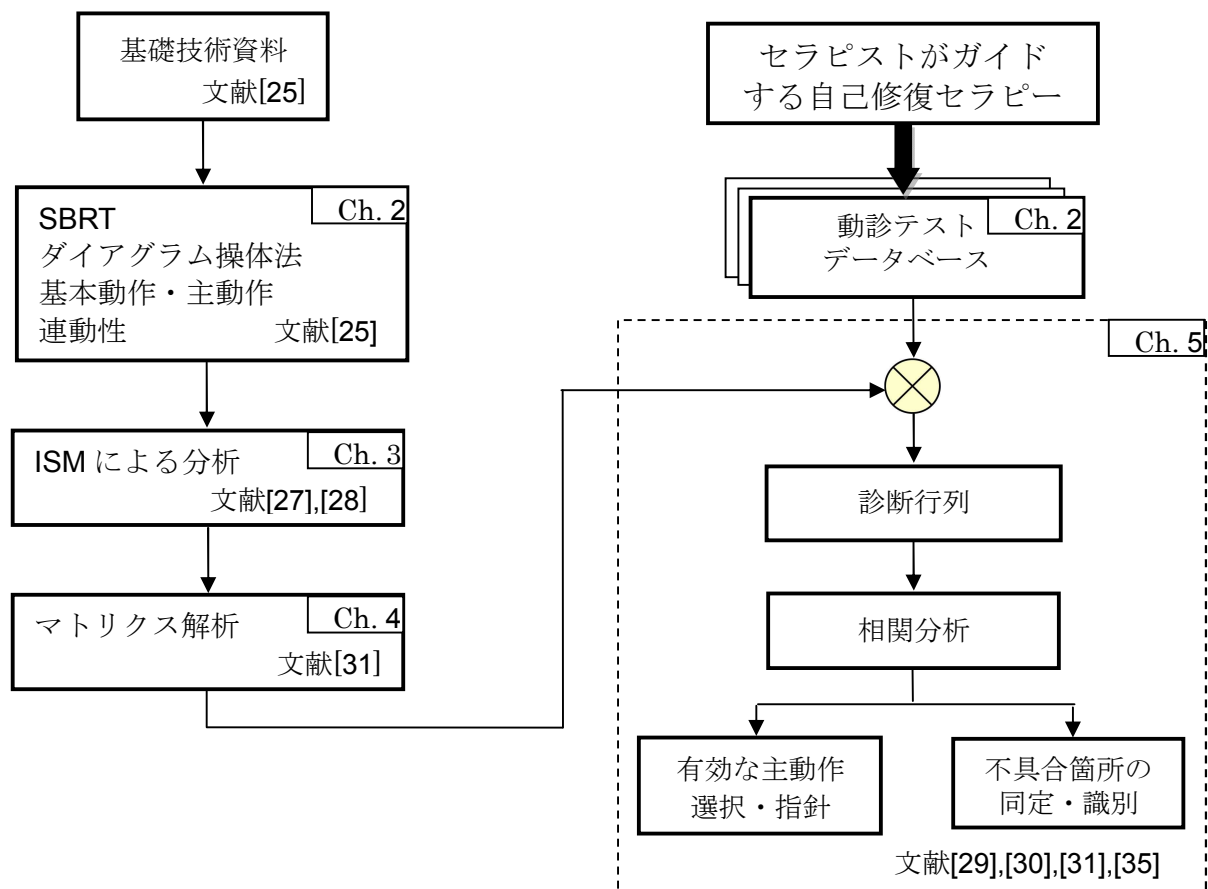


Fig.1.2 Visualization Flow of SBRT (Somatic Balance Restoration)

技術資料	[25]	嘉陽春人, ダイアグラム操体法, エンタプライズ, (2004), pp.81-173.
発表論文	[27]	Kayo M, Ohkami Y:人体筋骨格系不具合に対する運動療法の構造モデリング, 日本機械学会論文集 (C編), No.2012-JCR-0718
	[31]	Kayo M, Ohkami Y:Visualized Self-Exercise Therapy for Musculoskeletal Pain Alleviation, Science Journal of Medicine and Clinical Trials, ISSN:2276-7487
国際会議発表	[35]	Kayo, M., Ohkami, Y., "Multi-Body Modeling of Human Musculoskeletal System for an Exercise Therapy Method and its Verification", Proceedings of the 2013 1st ASME/FDA Frontiers in Medical Devices Conference, FMD2013-16101, September 11-17, Washington, DC, USA (2013)
	[28]	Kayo, M. and Ohkami Y., "Structural Modeling of the Human Musculoskeletal System (HMS) for Clinical Treatment by Applying Joint-Connected Multibody Dynamics and System Approach", The International Mechanical Engineering Conference and Exhibition IMECE2010 November 11-18, Vancouver, Canada, Paper No. IMECE2010-40065 (2010)
	[30]	Kayo, M. and Ohkami, Y., A Method for Analyzing Fundamental Kinesiological Motions of Human Body by Applying Interpretive Structural Modeling (ISM), Presented at INCOSE IS09 in Singapore, (2009)
	[29]	Kayo, Munehiro and Ohkami, Yoshiaki, Application of the Interpretive Structural Modeling (ISM) for Analyzing Associated Kinesiological Motion of Human Body presented at the 2 <sup>nd</sup> Asian Pacific Conference on Systems Engineering Yokohama, (2008)

## 第2章 SBRT 成立と経緯と概要

SBRT は、身体の痛みや不具合を持つ人に対する運動療法の一つである。被験者を仰向けまたはうつ伏せの状態に寝かせ、自分の意思で、ある目的をもって身体の一部または全体を動かす一連の動作（主動作）を行わせて観測し（動診検査）、その動診検査結果を記録し、分析する。主動作に伴って無意的に連鎖誘起される動作（連動動作）の性質を利用することにより痛みを伴わない矯正を実現する療法である。「主動作」とはある目的をもって意識的動かす動作をいう。本章は、SBRTを確立するまでの経緯・実績・療法の特色、システム化の必要性等について述べる。また、これらの一連の動作の結果を系統的にまとめたデータベースについて言及する。

### 2.1 SBRT の成立

著者は古武術を素養として身につけ、手当て療法開発研修を経てインドや中国の東洋医学を独学で学ぶうちに、独自の操法を開発することに成功した。表 2.1 にその経緯を示す。カナダにおいて 1976 年より 2008 年まで述べ 35,000 件以上の操法を実践し、腰痛、首肩こり、頭痛、ホルモンのアンバランスによる不定愁訴、皮膚炎、喘息、脳梗塞や脳溢血の後遺症、神経症、妊婦、不妊症、捻挫、骨折、交通事故による鞭打症状の治療を行ってきた。臨床家として自然療法の経験の中から生まれた、数多くの臨床所例を統一的に記録し、これをデータベースに纏めてきた。治療開始当初は、手当て療法のみでは改善できない症状が多々あり、野口整体法および操体法バランス研究会の講習会に参加し、操法の技術を学びそれらの技術原理も療法に取り入れるなど、改良と工夫を加えてきた。

多種多様な疾患患者の共通点に身体全体の歪みを詳細に観察した一例をあげる。仰臥した状態で身体の検査をすると、ほとんどの人の両足は長さが異なる。その原因は長いほうに重心がかかっていることが明らかなので、足の長さを調整し重心を整復する施術を行った結果、身体全体の歪みが改善され、症状の回復も早いことが判明した。このことから全身の歪みは身体の重心と深く関わっていることに着目した。しかし、身体の重心の調整だけでは解決出来ないことも多く、身体の多数の関節部位を動かす検査診療（動診）を行う必要性に気付いた。動診結果を記録していく内に、これを用いた運動療法を確立することが出来た。これを「ダイアグラム操体法」と名付け、診療実績を重ね、現在のダイアグラムを用いた人体のモデルによる理論体系化を試みた。人体を 15 の剛体からなる関節で繋がる運動連鎖の仕組みの多様モデルと見なすダイアグラムを開発し、その動作間の連動相関性を用いる事で不具合を改善する操法を開発し、技術資料にまとめた[15]。

表 2.2 に、他の運動療法と異なる SBRT の主な特徴をまとめて示す。この中において、診断結果のデータベース化がコンピュータ支援による可視化の前提になっていることを強調したい。

Table 2.1 SBRT 創成の経緯

	記事
1965年	沖縄県小林流空手協会5段師範代免状受領
1977年	沖縄県手当て療法研究会津嘉山支部, 手当て療法開発試験合格
1977年	Vancouver 市 Therapeutic touch techniqueセラピスト認定を取得
1977年	バンクーバにて手当て療法を始める
1995年	Kayo Somathic Balanceology Clinic を Vancouver にて開院
1998年～ 2006年	全国操体法バランス研究会に参加（青森県, 奈良県等参加し, 講演と実演）
2000年	人体科学学会入会
2000年～ 2006年	早稲田大学, 琉球大学等で講義と研究指導
2002年	「 <b>ダイアグラム操体法</b> 」（筆者命名）出版
2003年	ダイアグラム検査法, ダイアグラム図の意匠登録認可 2007-008539
2005年	全国操体法バランス研究会（奈良県）に出席 Keynote-speakerであった宇宙飛行士毛利衛氏と出会い, 狼教授を紹介される
2006年	International Union for Health Promotion and Education 学術会員, バンクーバ大会で論文発表
2008年	慶応大学大学院システムデザイン・マネジメント学科入学
2008年	ASME (American Society of Mechanical Engineering)入会
2008年	JSME（日本機械学会）入会
2009年	INCOSE Singapore大会で論文発表
2009年	UBC (University of British Columbia) CARIS LAB客員研究員
2010年	ASME Vancouver 学会において論文発表
2013年	日本人間工学学会入会
2013年	FDA/ASME Washington, D.C.で論文発表

Table 2.2 SBRT と他の方法（整体・カイロプラスティック等との比較表）

		他の手段	SBRT
1	被験者への接触	あり	無し
2	手法の原理	治療士による押圧等による背骨等の歪み矯正	操法士の口頭ガイドによる被験者の自発的快適運動による自己矯正法
3	被験者	痛みを伴うことがある	苦痛動作は避けるため無痛
4	障害等のリスク	報告例あり	報告無し
5	公式認定	必須	必要なし, ただし倫理規範あり
6	アフタケア	通院	通院又は遠隔ガイド+ 自然療法
7	データベース化	困難	容易
8	技術継承のシステム化開発	未着手	コンピュータ支援の開発中

## 2.2 基本動作（主動作と連動動作）について

ある目的を持って意識的に動かす動作を「主動作」と呼び、その「主動作」によって無意的に誘起される動作を「連動動作」と呼び、これらを総称して基本動作と呼ぶ。基本動作の中には主動作 80 種と主動作によって誘起される連動動作が 56 種あり、基本動作の合計は 136 種となる。表 2.3-1 に主動作 80 種の番号と名称を示し、図 2.1 に SBRT の主動作 40 種を模擬的に示す。主動作 80 種は、運動の左右対称性あるいは、上下の排反性により 40 種ずつの 2 グループに分割されるので、便宜上これらを左グループと右グループと呼ぶ。表 2.3-2 に示す連動動作 56 種は主動作により誘起されるが、それ自体が他を誘起する主動作にはなり得ないので、主動作とは別のグループにした。表 2.3-2 に示す連動動作の番号については、No.81～No.108 までが仰向け時に発生し、No.109～No.136 までがうつ伏せ時に発生する。

主動作と連動動作との関係については、「首の左回し」という主動作を例にとり、以下に説明する。

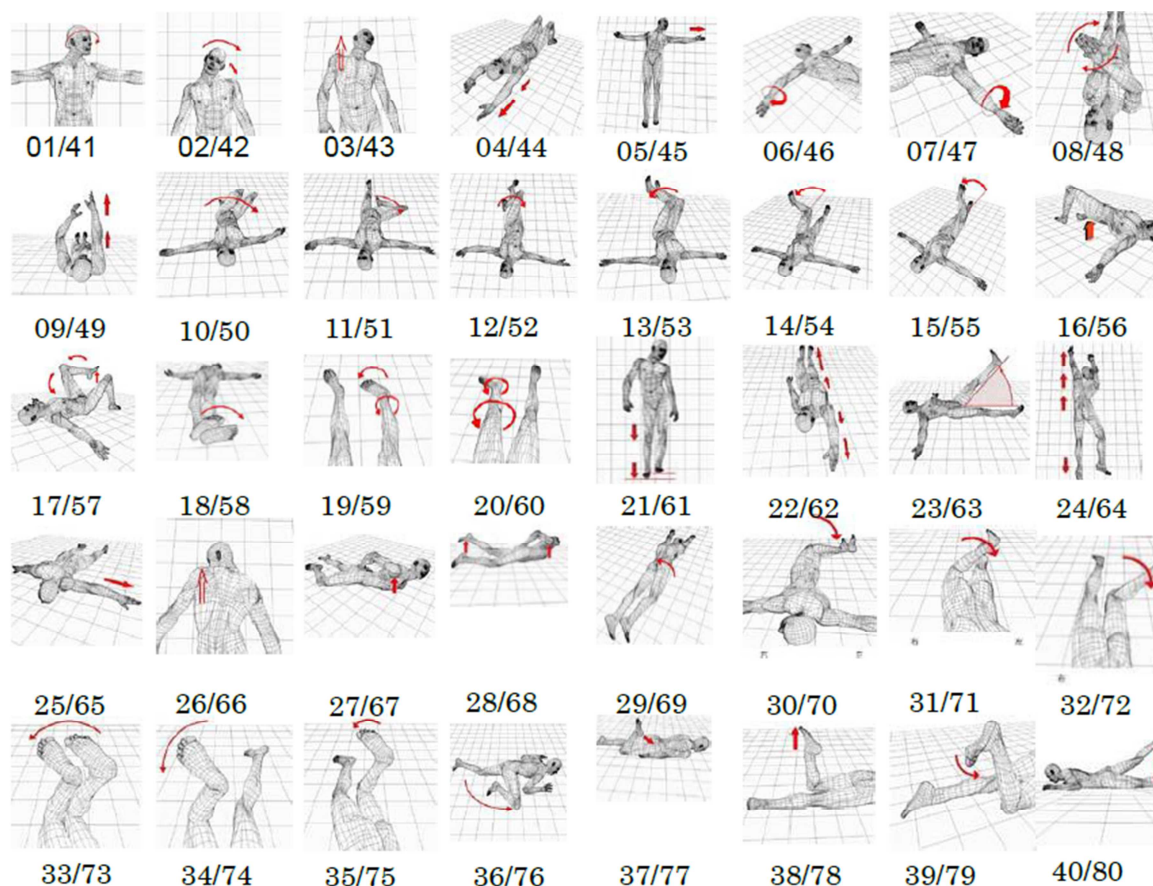


Fig. 2.1 Forty Active Motions of the SBRT



Table 2.3-1 List of Active Motions

Left Group		Right Group	
No	Motion	No	Motion
1	Turn neck to left	41	Turn neck to right
2	Tilt head to left	42	Tilt head to right
3	Elevate right shoulder to head	43	Elevate left shoulder to head
4	Stretch right arm above head	44	Stretch left arm above head
5	Extend arm to left	45	Extend arm to right
6	Rotate right arm downward	46	Rotate left arm downward
7	Rotate left arm upward	47	Rotate right arm upward
8	Twist both arms to left	48	Twist both arms to right
9	Stretch right arm upward	49	Stretch left arm upward
10	Swing both knees to right	50	Swing both knees to left
11	Swing right knee outward	51	Swing left knee outward
12	Swing left knee inward	52	Swing right knee inward
13	Swing both lower legs to left	53	Swing both legs to right
14	Swing right lower leg inward	54	Swing left lower leg inward
15	Swing left lower leg outward	55	Swing right lower leg outward
16	Elevate left hip upward	56	Elevate right hip upward
17	Raise left knee	57	Raise right knee
18	Twist both legs to left	58	Twist both legs to right
19	Rotate right leg inward	59	Rotate left leg inward
20	Rotate left leg outward	60	Rotate right leg outward
21	Stretch right heel	61	Stretch left heel
22	Stretch right arm & heel	62	Stretch left arm & heel
23	Raise left leg off ground	63	Raise right leg off ground
24	Stretch left arm above head	64	Stretch right arm above head
25	Extend left arm to left	65	Extend right arm to right
26	Elevate left shoulder upward	66	Elevate right shoulder upward
27	Twist right shoulder off ground	67	Twist left shoulder off ground
28	Raise right shoulder & left leg	68	Raise left shoulder & right leg
29	Twist right hip off ground	69	Twist left hip off ground
30	Swing both knees to left	70	Swing both knees to right
31	Swing right knee inward	71	Swing left knee inward
32	Swing left knee outward	72	Swing right knee outward
33	Rotate both legs to right	73	Rotate both legs to left
34	Rotate right leg outward	74	Rotate left leg outward
35	Rotate left leg inward	75	Rotate right leg inward
36	Raise right knee to shoulder	76	Raise left knee to shoulder
37	Pull right heel to hip	77	Pull left heel to hip
38	Push left foot upward	78	Push right foot upward
39	Pull right foot downward	79	Pull left foot downward
40	Raise right leg off ground	80	Raise left leg off ground

Note1: Left and Right Directions of Active Motions are assigned by convention

Note 2: Active motions 1–23 and 41–63 are conducted in the Face-Up position

Note3: Active motions 24–40 and 64–80 are conducted in the Face-Down position

Table 2.3-2 Associated Motions

No	Face-up Motion	No	Face-down Motion
81	De-elevate right shoulder from head	109	Turn neck to right
82	Raise right shoulder from ground	110	Turn neck to left
83	Push right shoulder against ground	111	De-elevate right shoulder from head
84	De-elevate left shoulder away from head	112	Push right shoulder against ground
85	Raise left shoulder from ground	113	De-elevate left shoulder from head
86	Push left shoulder against ground	114	Push left shoulder against ground
87	Pull right arm to body	115	Pull right arm to body
88	Pull left arm to body	116	Contract right arm toward foot
89	Contract right hipbone to head	117	Pull left arm to body
90	Elevate right hip bone from ground	118	Contract left arm toward foot
91	Push right hipbone against floor	119	Contract right hipbone toward head
92	Contract left hip bone toward head	120	Push right hipbone against ground
93	Elevate left hipbone from ground	121	Contract left hipbone toward head
94	Push left hipbone against ground	122	Push left hipbone against ground
95	Push right leg outward	123	Push right leg outward(abduction)
96	Close right leg inward	124	Push right leg inwards(adduction)
97	Push left leg outward	125	Push left leg outward(abduction)
98	Close left leg inward	126	Push left leg inwards(adduction)
99	Pull right knee toward head	127	Pull right knee toward head
100	Push right knee against floor	128	Push right knee against floor
101	Bend right knee up from ground	129	Pull left knee toward head
102	Pull left knee toward head	130	Push left knee against floor
103	Push left knee against floor	131	Stretch right heel outward
104	Bend left knee up from ground	132	Contract right heel toward head
105	Contract right heel toward head	133	Raise right heel from ground
106	Raise right heel from ground	134	Stretch left heel outward
107	Contract left heel toward head	135	Contract left heel toward head
108	Raise left heel from ground	136	Raise right heel from ground

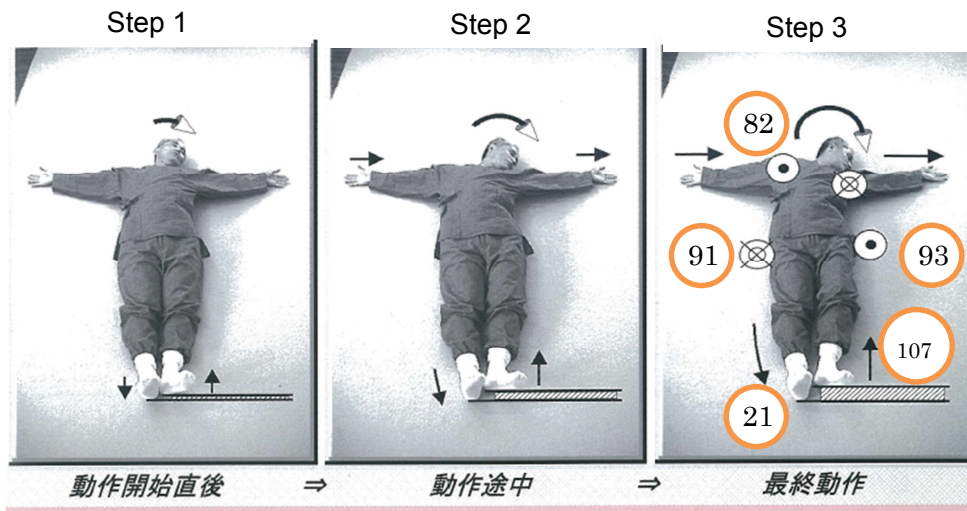


Fig.2.2 Turn Neck to Left

連動動作の一例を以下に説明する．仰向けの姿勢で首を左に回す動作（主動作番号 01）を Fig.2.2 に示す．この動作を Step 1 から始めて Step 2, Step 3 の順で徐々に大きくしていくと，その動作の限界点を超えるあたりで，他の動作，例えば右足が伸びる動作（動作番号 21）および左腰を浮かせる動作（動作番号 93）などの連動の連鎖が自然に誘起されるようになる．これが「No.01 首の左回し」に伴う連動動作の一部である．多くの被験者に対する詳細な観測により，「No.01 首の左回し」を主動作として誘起され連動動作は 13 種あることが判明した．それらは以下の通りである．

Table 2.4 主動作 No. 01 「首の左回し」に連動する動作

動作名	動作番号	動作名	動作番号
1 左腕の横突き伸ばし	No.05	5 右肩の浮き上がり	No.82
2 右つま先の内回り	No.19	6 左肩の引き下がり	No.84
3 左つま先の外回り	No.20	7 左肩の押し付け	No.86
4 右足の踵伸ばし	No.21	8 右腕の引き寄せ	No.87
		9 右骨盤の押し付け	No.91
		10 左骨盤の縮み上がり	No.92
		11 左骨盤の浮き上がり	No.93
		12 左膝の浮き上がり	No.104
		13 左踵の縮み	No.107

上記において，1～4の連動動作4種は，主動作になり得る動作であり，表2.3-1に含まれている．一方，5～13の連動動作9種は，表2.3-2に含まれる連動のみの動作である．なお，「No.01 首の左回し」の対称動作である「No.41 首の右回し」も同じく13種を誘起し，連動動作も対称となる．

言葉を替えれば「No.01首の左回し」は「No.41首の右回し」の対称動作ではあるが、連動動作ではない。同じく「No. 21右足の踵伸ばし」は「No.61左足の踵伸ばし」の対称動作ではあるが、「No.01首の左回し」の連動動作ではない。言いかえれば、「No.21右足の踵伸ばし」は「No.01首の左回し」の連動動作であり左グループに属し、「No.61左足の踵伸ばし」は「No. 41首の右回し」の連動動作で、右グループに属する動作である。

連動運動における動作と動作の間には、一定の相関関係をもつ連動法則があり、その法則のなかにはバイオメカニクスのなにもっとも有効的な組み合わせが含まれている。その組み合わせで動作することにより、身体は一段とスムーズかつ効果的に機能するようになる。

このことをまとめると、動診検査において、左右・前後・上下・左右上下の捻りと、すべての動作方向において左右上下の差がなく、気持ちよく、自由自在に動けるということは、左右の「連動フォーミュラ」両方に重なり合う「ダイアグラム動診検査図」となり、歪みのない身体とみることができる。

また、人間の筋骨格系は、複雑に関連し合っているので、身体全体を統合的に扱う必要性が既に指摘されている。本例においてもこの他に多くの連動動作が発生することが判明している。したがって、80種の主動作に対する136種の基本動作との関係は、80×136次元の行列で表現することが適切であり、この表現法が工学的取扱いの第一歩となる。

## 2.3 「ダイアグラム操体法」と運動療法記録データベース

「ダイアグラム操体法」が他の運動療法と異なる大きな特色は、「ダイアグラム検査法」, 「ダイアグラム記録図」, 「連動フォーミュラ図」を全ての被験者に対して一様に適用することである。これにより, 操法(あるいは療法)の規格化および統一性が実現され, 人体動作の系統的検査および動診結果をデータベース化し, 操法選択の流れの記録が可能となり, 人体筋骨格系の連動システムを解明する手がかりを与える。その結果, 連動性を活用する事により無痛で矯正が可能になり, 操法技術の再現性と安全性を向上させ, 短期間の操法時間と操法効果の再確認が容易となる。以下にこれらを説明する。

### 2.3.1 ダイアグラム検査法 (図2.3参照)

床面にあお向け(仰臥位)またはうつ伏せ(伏臥位)で横たわる被験者に一連の主動作を逐次行うように指示する。セラピストの指示に従って被験者が動作を行うとする時, 以下の3通りの場合が生じる。

(1) 快適動作 (記号 e=easy)

快適に気持ちよく, 自由に動ける場合

(2) 苦痛動作 (記号 p=pain)

苦痛を伴うために, 指示通りに動作ができない場合

(3) 困難動作 (記号 h=hard)

苦痛を伴わないが, 違和感があって快適に気持ちよく動かせない場合

なお, 左右グループ動作が両方共に快適動作である場合は, より気持ちよく動かせる方向を被験者に尋ねて記録にとどめる。

以上の結果を80種の主動作全てについて行うことを動診検査(または動診)と名付ける。その結果を図2.3に示す所定のダイアグラムフォーマットに記録する。検査・矯正の原則として, 臨床家が被験者に接触することはなく, 口頭で動作を指示するのみである。

図2.3の上段図は, 表2.5に示す被験者の動診結果記録データのダイアグラム図である。快適動作のみを矢印(→), 困難は(h=hard), 痛み動作(p=pain)で動診検査結果をこれらの記号で表記する。痛みpは動診順にp1, 2, 3, 4, 5, 6, 7と番号を附記するプロセスを示した。また, 下段の図は, 動診時に動作に伴い発生する身体の痛む部位を具体的にボディ・マップ上にp1, p2=B-2, p3=G-8, p4=G16, G-17, G-18, p5=F-5, p6, p7=F-1のように図示した。例えばp1:首の左回し, p2:首の左倒しに伴い発生する痛みの部位はB-2左首背部下方の痛みであることを示す(Fig.APP-E-1)。また, 動診検査を行う際にセラピストが被験者に指示する姿勢, 体の動かす部位, 動作方向を言葉により誘導する。以上は快適動作のみを矢印(→)でダイアグラム記録図に記録する方法の説明である。

### Kayo Diagram Therapy

Name: _____	Date of Birth _____	Sex	Male	Female
氏名: _____	生年月日: _____	性別	男	女
Address _____	Postal Code _____			
住所: _____	郵便番号: _____			
Tel: _____	Bus: _____	Fax: _____	Cel: _____	

List symptoms, any past history of sickness, injuries, surgeries, car accidents, bruises, sprains, unusual or uncomfortable conditions.  
 (症状、慢性病状、過去の病歴、負傷及び怪我、手術歴、交通事故、打ち身、捻挫、異常感覚、不快感、等を詳しく)

*P: pain*  
 苦痛動作

*e: easy*  
 快適動作

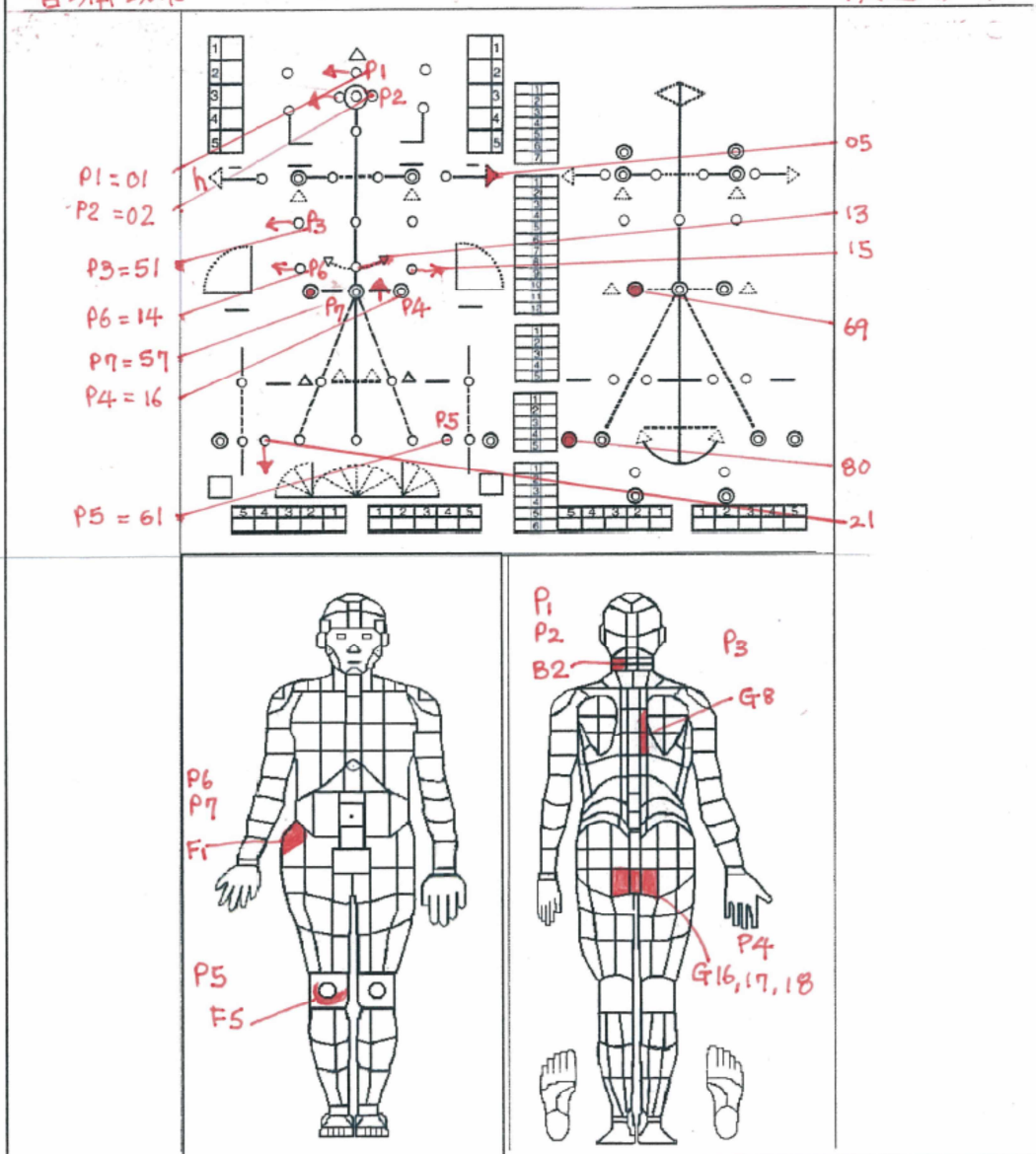


Fig.2.3 Diagram Format

図2.3のダイアグラムフォーマットに記入された動診検査の結果は、動診検査表に上記の記号を用いて転記される。以下において、SBRTの実例に基づいて説明する。2012年12月に成人男性の被験者に対して行なったSBRTの結果を抜粋して表2.5に示す。なお、動診の全記録は、付録Eに示す。

表 2.5 に記されている記号の定義・意味は、次の通りである。

- 1) 第 1 行：被験者番号・氏名のイニシャル\*\*・性別・年齢\*\*， およびシリアル番号
- 2) 第 2 行・第 1 列：動診時の記録。記号の説明
- 3) 第 2 行・第 2 列—痛みの有無・痛む部位 (Fig.2.3 を参照)
- 4) 第 3 行・基本動作番号・名称・及び検査結果・痛みの部位・矯正動作
- 5) 第 5 行以降：検査結果を示す

\*\*注) 個人情報保護のため省略

表 2.5 の症例では、図 2.4-1 に示す 7 種の動作が苦痛動作(p1～p7)として記録される。図 2.4-2 は、セラピストが被験者に指示した 6 種の自己矯正運動 (Exercise Therapy) である。

表 2.5 の検査結果第 1 行の 41/01 首の左右回し e p1/ B-2 を例にとれば、「No.41 首の右回し」が快適動作 (e=easy)であり、「No.01 首の左回し」が苦痛 (p=pain)であったことを示す。ただし、被験者は快適動作を実際に行い苦痛動作は実行しないことに留意したい。検査結果第 3 行の 45/05 両腕の左右突き伸ばし he の場合は、「No.45 右腕の突き飛ばし」が h (h=hard)で苦痛は無いが困難な動作を示し、「No.05 左腕の横突き伸ばし」は e =easy 快適動作である。Therapy の項に記されている 5 は、主動作番号 No.05 : 左腕の横突き伸ばしを自己矯正動作として用いることを示唆する。

さらに、表 2.5 の pain 欄に記される B-2 は、Fig. 2.3 に描かれた部位の B-2 に痛みを感じたことを意味する。痛みの部位 B-2 は p1 と p2 に、G-8 は p3, F-1 は p6, G16, G17, G18 は p4, F-5 は p5 にそれぞれ対応する。診療前には、被験者が様々な部位に痛みを感じており、検査動作を試みる場合にも多く基本動作に対して痛みを感じることを示している。図2.4-1 に示す苦痛動作は p1 から p7 まであり、p1= 「No. 01 首の左回し」、p2= 「No. 02 首の左倒し」、p3= 「No.51 右膝の内倒し」、p4= 「No.16 左殿部の吊上げ」、p5= 「No. 61 左足の踵伸ばし」、p6= 「No.14 右膝下の内回し」、p7= 「No.17 左膝の胸部引き寄せ」である。そして図 2.4-2 は p1～p7 に連動する快適動作で、これらの痛み動作矯正に用いられた動作である。

Therapy 1 : 「No.21 右足の踵伸ばし」、Therapy 2 : 「No.13 両膝下の左回し」、Therapy 3 : 「No.15 左膝下の外回し」、Therapy 4 : 「No.05 左腕の横突き伸ばし」は、左グループの苦痛動作 p1, p2, p4, p6 を矯正する快適動作である。

Therapy 5 : 「No.69 左殿部の捻り上げ」と Therapy 6 : 「No.80 左足上げ」は、右グループの苦痛動作 pain 3 : 「No.51 右膝の内倒し」、pain 7 : 「No.57 右膝の胸部引き寄せ」、pain 7 : 「No.61 左足の踵伸ばし」を矯正する快適動作である。

前述のように、検査および矯正に際しては、被験者に接触することはないが矯正時に被験者が動作を実行しやすくするために、時々四肢の先端に軽度の負荷をかけることがある。

これらの例からも明らかなように、SBRT では、連動動作を故意に発生させるような誘導は決して行わない。また、気持ちよく動かせる動作、すなわち、快適動作のみを用いる安全な療法である。図 2.4-1 および図 2.4-2 に示されている 13 種の主動作について、セラピストの指示により被験者が行うべき基本姿勢・動診・誘導およびダイアグラムフォーマットの記録方法を図 2.5-1 から図 2.5-12 に示す。



Table 2.5 An Example of SBRT Record(Partially shown)

No	A0005_**_0001	Name **	Male	Age:**	Date: 2012/12/16
Note: R/L:Right/Left, U/D:Up/Down, h=hard, e=easy					
B-2, F-1, F-5, G-8 G-16, G-17, G18 =Pain Area on Body Map (See Fig. 2.3)					
	Motions	Check	Pain	Therapy	
41/01	Turn <b>neck</b> to (R/L)	e p1	B-2		
42/02	Tilt head to (R/L)	e p2	B-2		
45/05	Extend <b>arm</b> to (R/L)	he		5	
11/51	Swing <b>right knee</b> to (R/L)	e p3	G-8		
53/13	Swing both <b>lower legs</b> to (R/L)	he		13	
54/14	Swing right <b>lower leg</b> to (R/L)	e p6	F-1		
55/15	Swing left <b>lower leg</b> to (R/L)	he		15	
56/16	Elevate <b>hip</b> up off ground (R/L)	e p4	G16, 17, 18		
57/17	Raise knee (R/L)	p7 e			
21/61	Stretch <b>heel</b> (R/L)	e p5	F5	21	
69/29	Twist <b>hip</b> off ground (L/R)	eh		69	
80/40	Rise <b>leg</b> off ground (L/R)	eh		80	

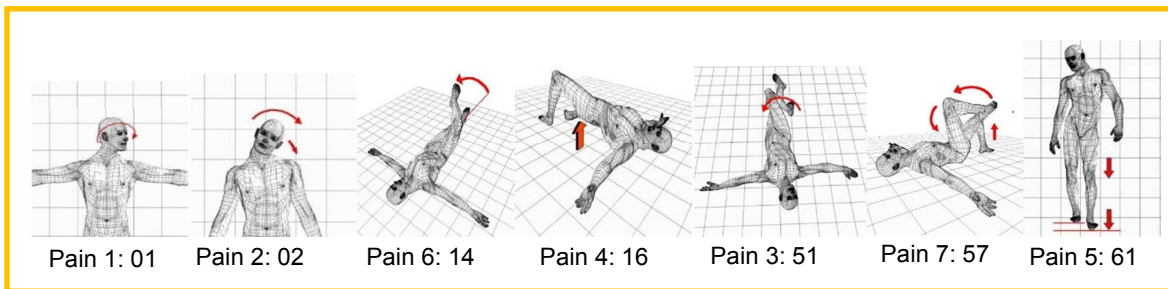


Fig. 2.4-1 Pain Motions that are NOT performed by the Subject

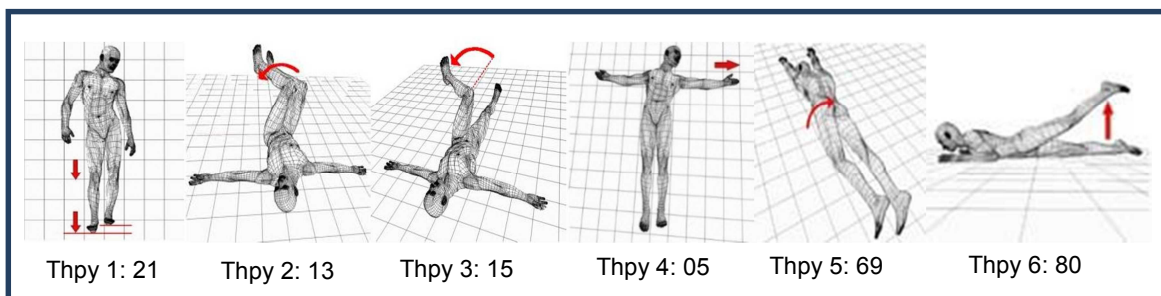
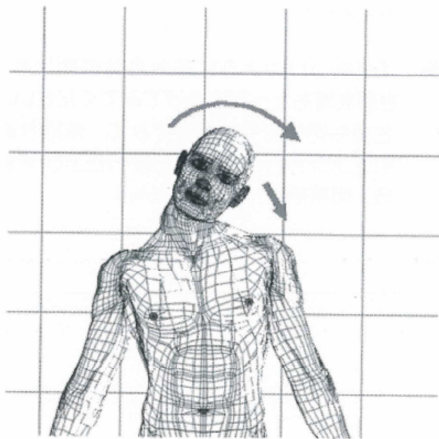


Fig. 2.4-2 Active Motions Used for Exercise Therapy



首の左右倒し（あお向け）

2. 首の左倒し

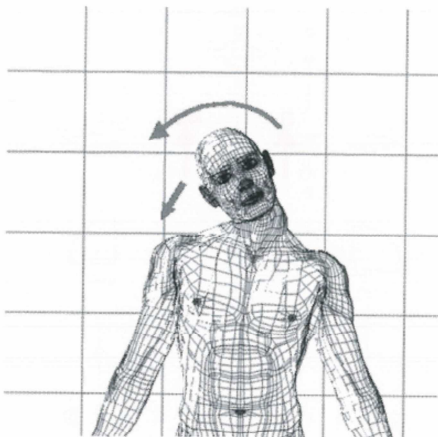


姿勢：基本姿勢

動診：顔を天井に向けたまま首を左右に倒す。

誘導：「天井を向いたまま、左首を肩に近づけるように倒してみてください。右側も同じように行い、倒しやすい方を（気持ちよく倒れる方）を教えてください。」

42. 首の右倒し



記録方法

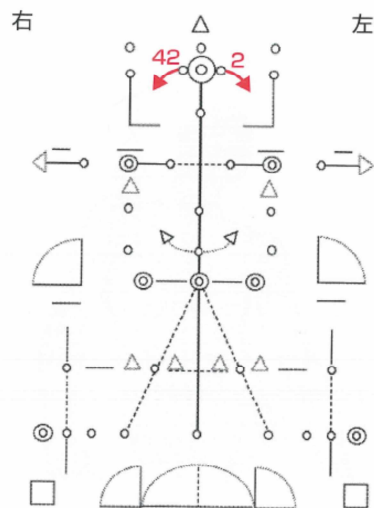
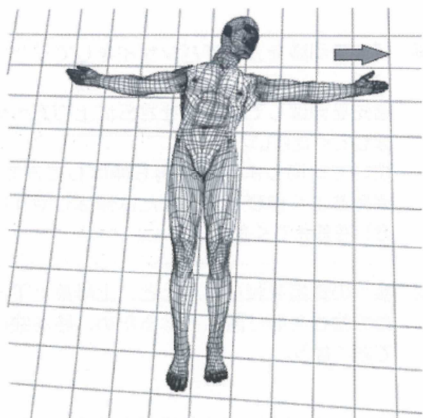


Fig.2.5-2 Tilt Head towards (Right/Left) 42/02

図 2.5-2 の 42/02 は、首の左右倒しを意味し、No. 42 が快適動作 easy として記録される。また、No. 02 が苦痛動作 p2 として記録され、B-2 の部位に痛みがあると記録される。

両腕の左右突き伸ばし (あお向け)

5. 左腕の横突き伸ばし



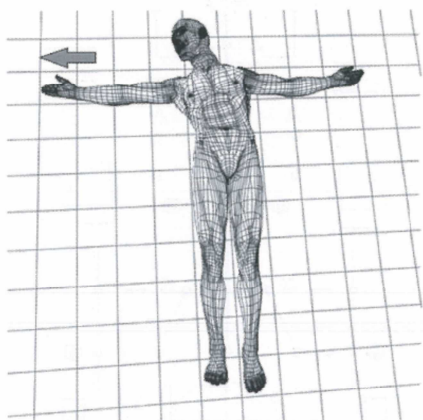
**姿勢:** 両手を十字架のように左右に広げる

**動診:** 左腕, 右腕をそれぞれ横へ突き伸ばす.

**誘導:** 「十字架のように両腕を左右に広げて, 左腕をさらに遠くの方へ伸ばしてください. 続いて, 同じように右腕も伸ばしてみて, 伸ばしやすい方 (または気持ちよいと感じる方) を教えてください。」

**補足:** 「遠くのものを取るように」と誘導すると被験者は動きのイメージがつかみやすい.

45. 右腕の横突き伸ばし



記録方法

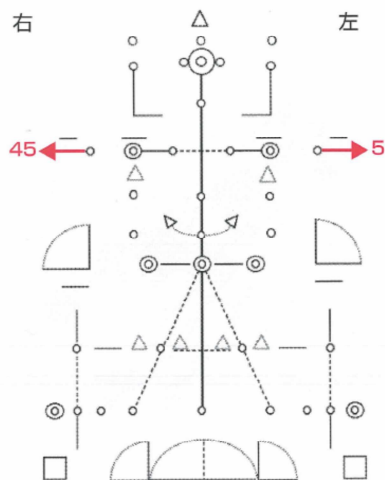
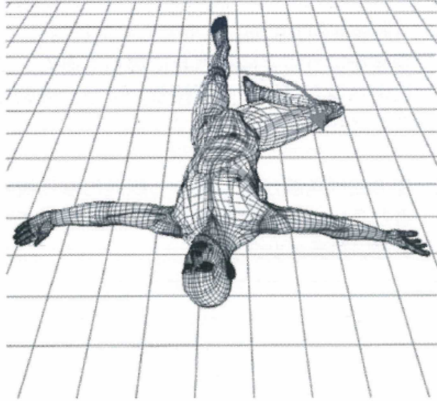


Fig 2.5-3 Extend Arm to (Right/left) 45/05

図 2.5-3 の 45/05 は, 両腕の左右突き伸ばしを意味し, No. 05 が快適動作 easy として記録される. また, No. 45 が困難を伴う動作 h (hard)として記録される.

右膝の外と内倒し（あお向け）

11. 右膝の外倒し（右倒し）

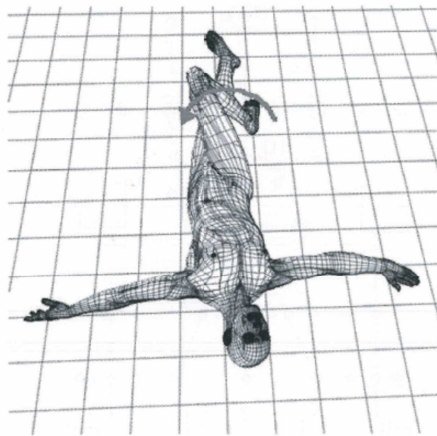


**姿勢:** 右膝を立て約 90° に保つ。  
反対側の左膝は床に伸ばしたまま

**動診:** 立てた右膝を外（右）と内（左）に倒す。

**誘導:** 「右膝を立てて 90° に保ったまま右膝を外側と内側に倒してみても、倒しやすい方（楽に倒れる方）を教えてください。」

51. 右膝の内倒し（左倒し）



記録方法

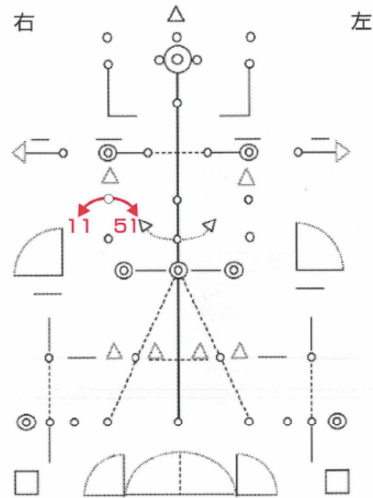


Fig.2.5-4 Swing Right Knee outward (Right/Left) 11/51

図 2.5-4 の 11/51 は、右膝の外（右）、内（左）倒しを意味し、No. 11 が快適動作 easy として記録される。また、No. 51 が苦痛動作 p3 として記録され、G-8 の部位に痛みがあると記録される。

両膝下の左右回し（あお向け）

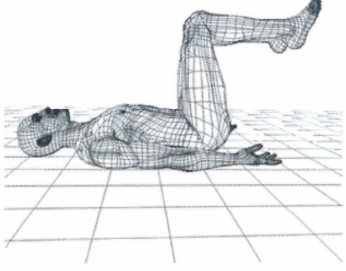
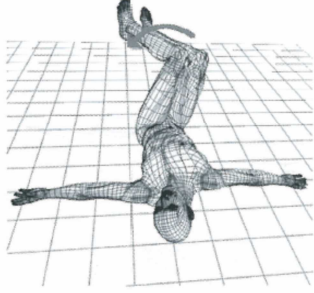
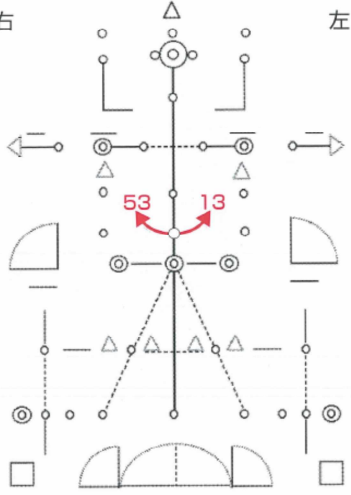
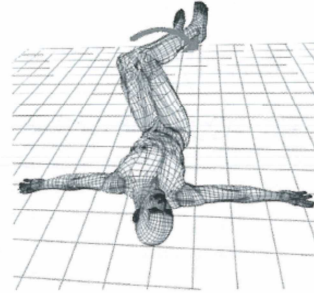
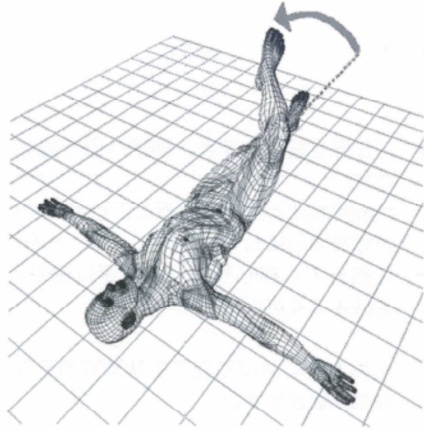
<p><b>基本姿勢</b></p> 	<p><b>姿勢:</b> 膝を 90° に曲げたまま、両膝を胸部へ引き寄せ、大腿部が床と垂直（または膝下が床と水平）になるようにする。</p> <p><b>動診:</b> 膝を外（右）と内（左）に倒す。</p> <p><b>誘導:</b> 「右膝を立てて 90° に保ったまま右膝を外側と内側に倒してみ、倒しやすい方（楽に倒れる方）を教えてください。」</p> <p><b>補足:</b> 膝を時計の中心としてイメージして反時計回り（左回り）と時計回り（右回り）へ回すと比較的動きのコツがつかみやすい</p>
<p><b>13. 両膝下の左回し</b></p> 	<p><b>記録方法</b></p> 
<p><b>53. 両膝下の右回し</b></p> 	

Fig. 2.5-5 Swing Both Legs towards (Right/Left) 53/13

図 2.5-5 の 53/13 は、両膝下の左右回しを意味し、No. 13 が快適動作 easy として記録される。また、No. 53 が困難を伴う動作 h (hard) として記録される。

右膝下の外と内回し（あお向け）

14. 右膝下の内回し（左回し）



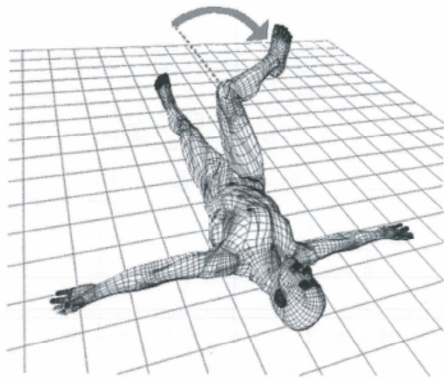
**姿勢：**右膝を 90° に曲げたまま，胸部へ引き寄せ，大腿部が床と垂直（または膝下が床と水平になるようにする。

**動診：**右膝を中心に膝から下を内（左）と外（右）に回す。

**誘導：**「右膝を曲げたまま，胸部へ引き寄せてください，大腿部が床と垂直になるところまで来たら，右膝を中心にして膝下を内（左）と外（右）に回して，回しやすい方向（楽に回れる方）を教えてください。」

**補足：**左膝を軽く曲げて立てた状態で行うと右膝が動きやすい。

54. 右膝下の外回し（右回し）



記録方法

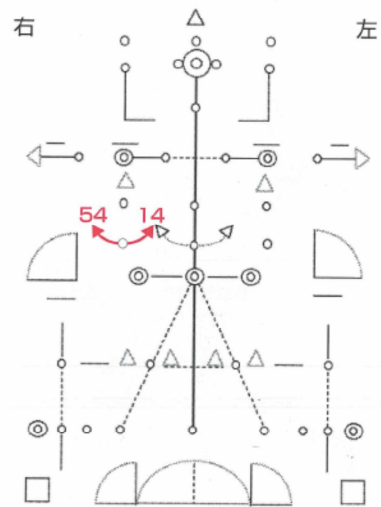
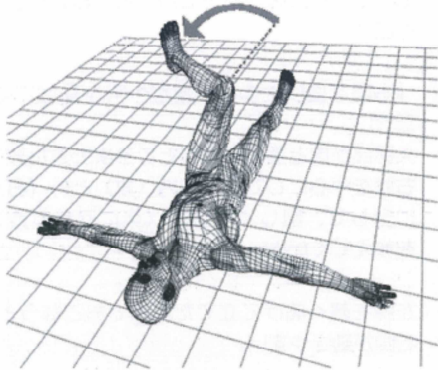


Fig. 2.5-6 Swing Right Legs (Right/Left) 54/14

図 2.5-6 の 54/14 は，右膝下の外と内回しを意味し，No. 54 が快適動作 easy として記録される。また，No. 14 が苦痛動作 p6 として記録され，F-1 の部位に痛みがあると記録される。

左膝下の外と内回し（あお向け）

15. 左膝下の外回し（左回し）



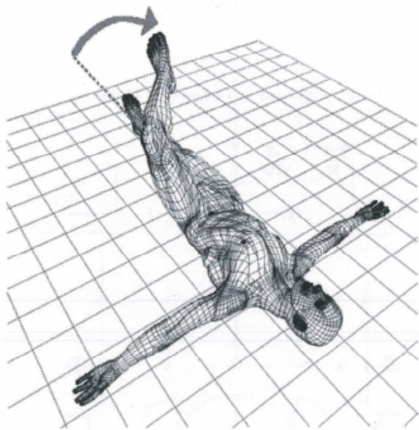
**姿勢：**左膝を 90° に曲げたまま，胸部へ引き寄せ，大腿部が床と垂直（または膝下が床と水平になるようにする）。

**動診：**左膝を中心に膝から下を外（左）と内（右）に回す。

**誘導：**「左膝を曲げたまま，胸部へ引き寄せてください，大腿部が床と垂直になるところまで来たら，左膝を中心に膝下を外（左）と内（右）に回して，回しやすい方（楽に回れる方）を教えてください。」

**補足：**右膝を軽く曲げて立てた状態で行うと左膝が動きやすい。

55. 左膝下の内回し（右回し）



記録方法

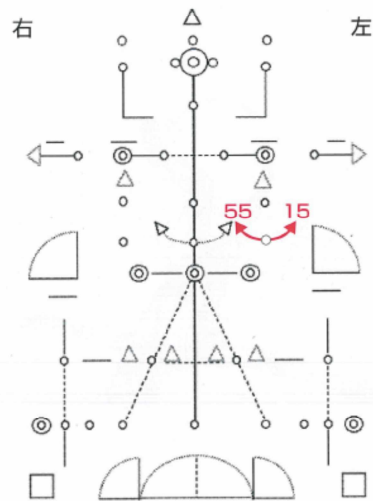


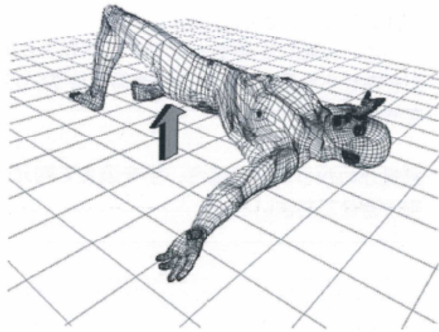
Fig. 2.5-7 Swing Left Legs (Right/Left) 55/15

図 2.5-7 の表中の 55/15 は，左膝下の外と内回しを意味し，1 No. 15 が快適動作 easy として記録される．また，No. 55 が困難を伴う動作 h (hard) として記録される．



殿部の吊り上げ（あお向け）

16. 左殿部の吊上げ



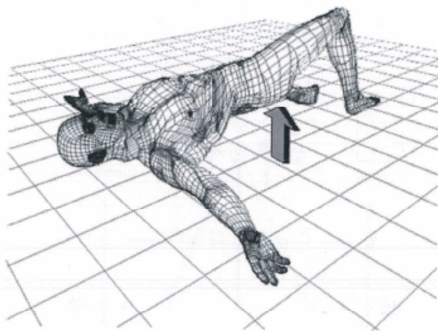
**姿勢：**左膝のみを立て、右膝は曲げた状態で床に倒す。（右も同様に行う）

**動診：**左足を使い、左側の殿部を天井へ向かって垂直方向に吊り上げる。（右も同様に行う）

**誘導：**「まず、左膝を立て、右膝は曲げた状態で床に倒します。立てている左足を使って、左側の殿部を天井に吊り上げるようにして浮かせてください。続いて、反対の右側も同様におこない、上げやすい方を教えてください。」

**補足：**両方の殿部を浮かすのではなく、片側のみを天井へ垂直方向に吊り上げる感じ。

56. 右殿部の吊上げ



記録方法

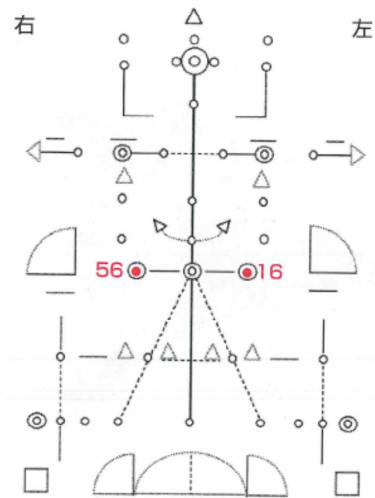


Fig.2.5-8 Elevate Hip upward (Right/Left) 56/16

図 2.5-8 の 56/16 は、殿部の吊り上げを意味し、No. 56 が快適動作 easy として記録される。また、No. 16 が苦痛動作 p4 として記録され、G-16, G-17, G-18 の部位に痛みがあると記録される。

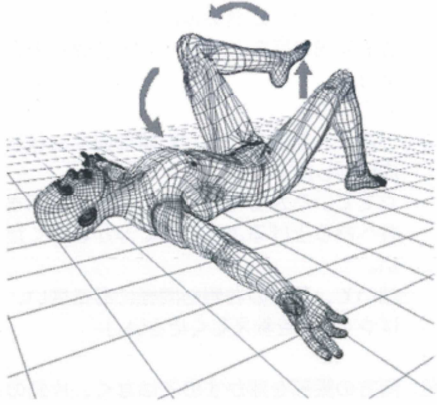
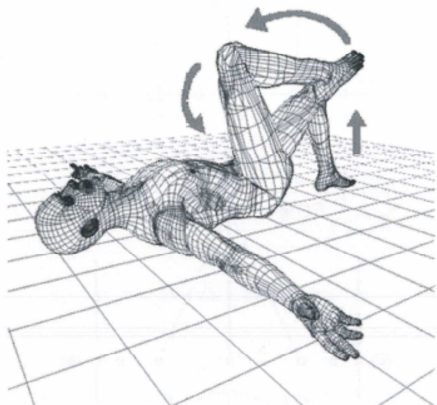
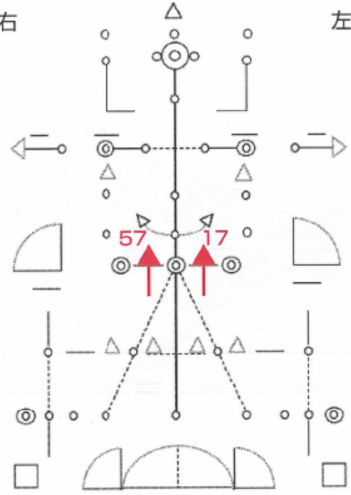
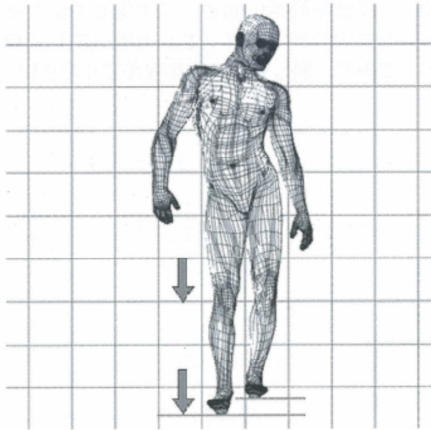
膝の胸部引き寄せ（あお向け）	
<p>17. 左膝の胸部引き寄せ</p> 	<p><b>姿勢：</b>両膝を立てた状態。  <b>動診：</b>片膝ずつ胸部へ引き寄せる。  <b>誘導：</b>「両膝を立てた状態から、まず左膝を胸元へ引き寄せてください。続いて、同様に右膝も行ない、気持ちよく引き寄せられる方（または引き寄せやすい方）を教えてください。」  <b>補足：</b>感覚がわかりづらい場合、手を添えて胸元へ引き寄せてもよい。</p>
<p>57. 右膝の胸部引き寄せ</p> 	<p>記録方法</p> 

Fig. 2.5-9 Raise Knee (Right/Left) 57/17

図 2.5-9 の表中の 57/17 は、膝の胸部引き寄せを意味し、No. 17 が快適動作 easy として記録される。また、NO. 57 が苦痛動作 p7 として記録され、F-1 の部位に痛みがあると記録される。

左右の踵伸ばし（あお向け）

21. 右足の踵伸ばし



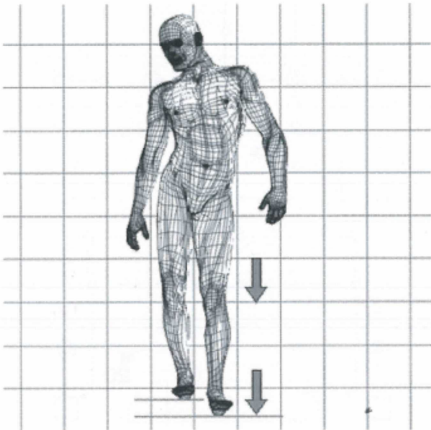
**姿勢：**手は身体の側におき，踵を引く。

**動診：**左右の踵をそれぞれ伸ばす。

**誘導：**「つま先を引いて，右踵をゆっくり踏み込むように伸ばしてください。」

次に左踵も伸ばし，伸ばしやすい方（または気持ちよく伸びる方）の足を教えてください。」

61. 左足の踵伸ばし



記録方法

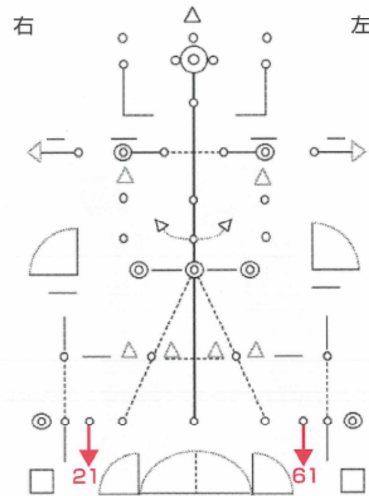
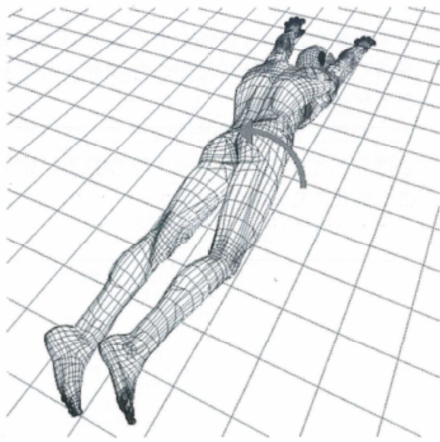


Fig. 2.5-10 Stretch Right Heel (Right/Left) 21/61

図 2.5-10 の 21/61 は，左右の踵伸ばしを意味し，No. 21 が快適動作 easy として記録される。また，No. 61 が苦痛動作 p5 として記録され，F-5 の部位に痛みがあると記録される。

殿部の捻り上げ（あお向け）

29. 右殿部の捻り上げ



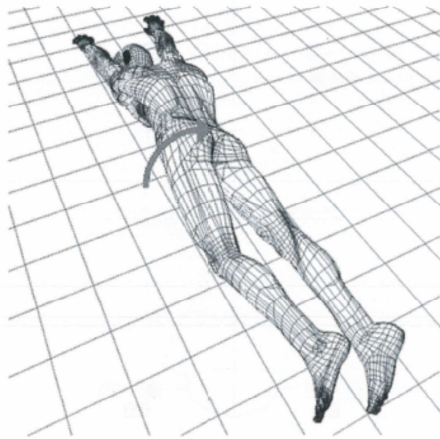
**姿勢：**手はバンザイまたは気をつけの状態

**動診：**殿部を天井に向けて捻り上げる。（床面からの浮上）

**誘導：**「右のお尻を床から浮かせるように天井方向へ捻り上げてください。左側も同様におこない、楽に上げ（または上げやすい方）を教えてください。」

**補足：**バンザイの姿勢でおこなうと、手の補助を無くし、純粹に腰の動きをより確かに感じる事ができる。

69. 左殿部の捻り上げ



記録方法

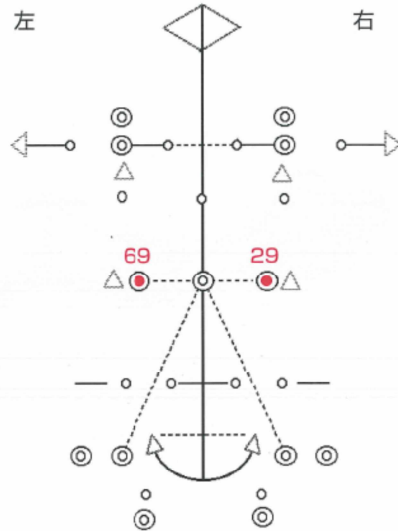
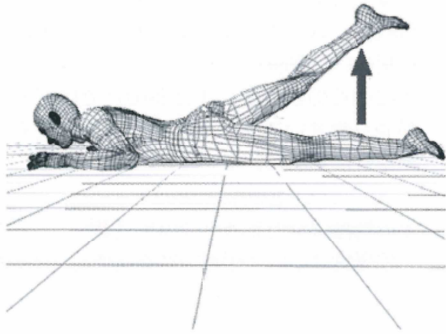


Fig.2.5-11 Twist Hip off Ground (Right/Left) 69/29

図 2.5-11 の 69/29 は、殿部の捻り上げを意味し、No. 69 が快適動作 easy として記録される。また、No. 29 が困難を伴う動作 h (hard) として記録される。

脚全体上げ（あお向け）

40. 右脚上げ

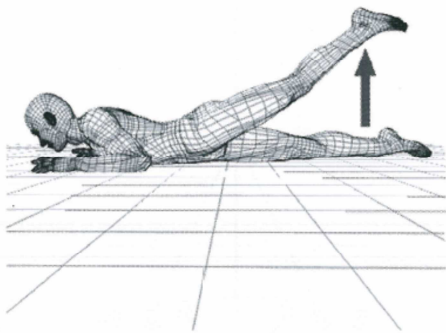


姿勢：基本姿勢

動診：膝を曲げずに左右交互に足全体を床から浮かせるように上げる。

誘導：「膝を曲げずに右足を床から浮かせるように上げてみてください。続いて左足も同じようにおこない、上げやすい方（気持ちよく上がる方）を教えてください。」

80. 左脚上げ



記録方法

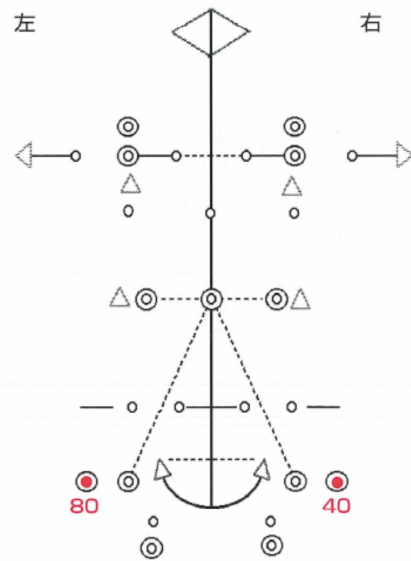


Fig. 2.5-12 Raise Leg off Ground (Right/Left) 80/40

図 2.5-12 の 80/40 は、両膝の左右倒しを意味し、No. 80 が快適動作 easy として記録される。また、No. 40 が困難を伴う動作 h (hard) として記録される。

### 2.3.2 ダイアグラム操法の矯正動作の選択

主動作に伴って無意的に連鎖誘起される連動動作の性質を利用する事により痛みを伴わずに矯正を行うために矯正動作の選択と操法の流れを述べる。

表 2.5 に示す動診検査を評価した結果から判明した 7 種の苦痛動作の一つである「首の左回し」を例にとって、矯正するダイアグラム操法における矯正動作を選択する過程を説明する。

「No.01 首の左回し」を主動作として行う時にその主動作によって誘起される連動動作は表 2.4 に示すように 13 動作ある。一方、表 2.5 に示す被験者の動診結果の評価から、「No.01 首の左回し」に連動する被験者が苦痛なく心地よく行える快適動作は「No.05 左手の横突き伸ばし」「No.13 両膝下の左回し」「No.15 左膝の外回し」「No.21 右足の踵伸ばし」「No.69 左殿部の捻り上げ」「No.80 左足上げ」である。これらの中から、まず痛む左首の部位より、より遠い関節部位の「No.21 右足の踵伸ばし」を選択する。右の踵をゆっくりと心地よく伸ばすこの動作を 3 回行う。その後「No.01 首の左回し」の再検査を行い、痛みが解消されなければ「No.01 首の左回し」に連動動作する「No. 05・左腕の横突き伸ばし」動作をおこなう。再度「首の左回し」の動作の検査を行う。痛みがそれでも痛みが残れば、快適動作の順次を選択して同様に行い、苦痛が解消するまで行う。

「No.01 首の左回し」に連動する動作で被験者が快適に行える動作を利用しても痛みが消えない場合は、動診検査時に痛みを訴えた他の苦痛動作である Pain2 「No.02 首の左倒し」 Pain6 「No.14 右膝下の内回し」 Pain4 「No.16 左殿部の吊上げ」 Pain7 「No.17 右膝の胸部引き上げ」 Pain5 「No.61 左足の踵伸ばし」に対して矯正を行う。一つの矯正動作は 3 回を標準とし、6 回以内とする。無理をして筋肉痛を起こさない様にする。例えば「No.57 右膝の胸部引き寄せ」を選択した場合「No.01 首の左回し」の方法と同様に苦痛を感じる「No.57 右膝の胸部引き寄せ」に心地よく快適に出来る連動動作を選択して痛みが解消するまで行う。なお、痛みが消えなければ他の動作を次々に選択し同じ方法で痛みが無くなるまで自発的矯正運動行う。この全ての矯正動作が適用された時点でこの臨床記録では苦痛動作は解消されることが普通である。

筆者がカナダにおいて実施した SBRT の症例の内、交通事故の後遺症に関連する症例に限定し、さらに、運動療法結果の成否について報告された 180 例を選んで、本研究の検証に活用した。

### 2.3.3 ダイアグラム記録図

ダイアグラム記録図は、既に図2.3に示したように人体を15剛体に分類し人体をデフォルメしたイメージ図に被験者の80動作の検査結果を記号で記録する図であり、被験者の年齢過去の病歴、事故、現在の問題点、不定愁訴、痛み、動作の不具合、身体の歪具合などの情報、動診検査結果、矯正後の再検査で不具合が改善された箇所を矢印や記号で記録する。

このダイアグラム記録図を被験者のデータファイルとして保管することによって、初診と再検査結果の比較と改善状態の確認が容易に可能となる。臨床家が交替しても被験者の過去の検査結果、分析、評価、治療方針の設定、治療技法の適用と順序、治療過程、改善などコミュニケーションの情報が照会できることが本手法の特色である。さらに、これらの検査結果は矢印や単純な記号にて記されているために、言語によるコミュニケーション障害が無いため国内外を問わず検査結果の記録とその利用が可能である。記号化されたコンピュータ・システムへの入力が可能のために、臨床データベースを構築でき、これを利用して症例別の共通因子の抽出などの分析が可能となる。

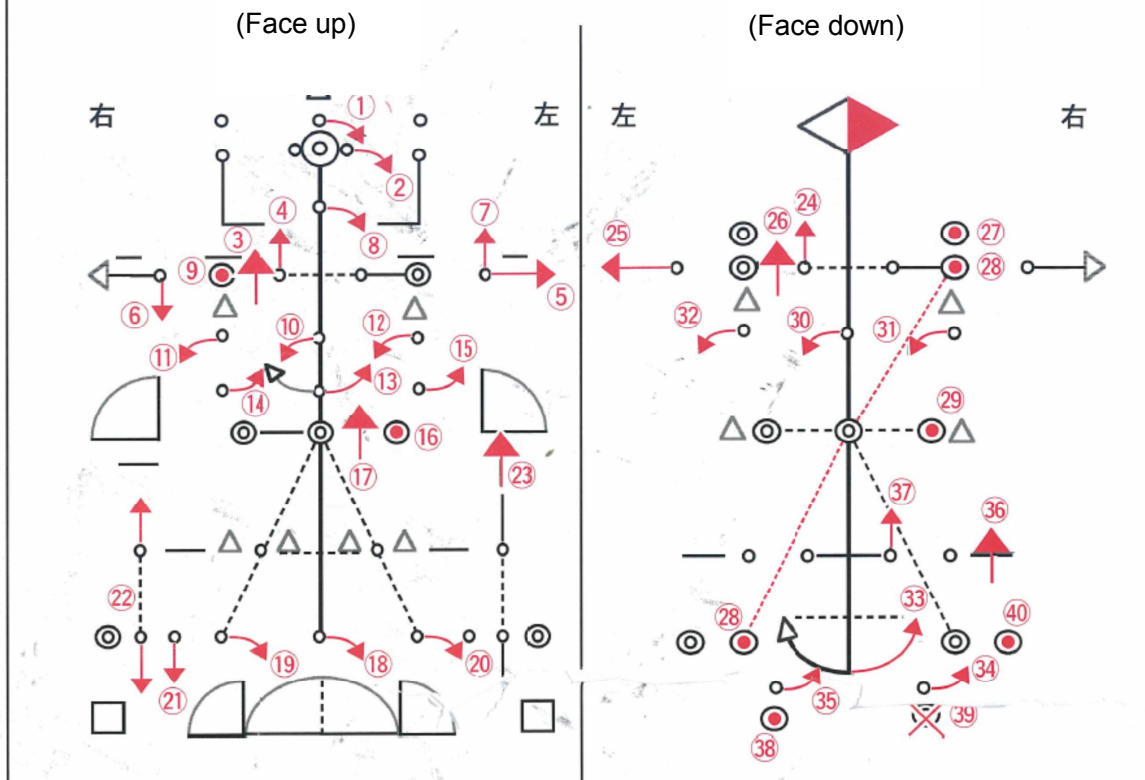
### 2.3.4 連動フォーミュラ図

セラピストは、ダイアグラム記録図による動診検査結果を左グループと右グループに分割し、図2.6-1および図2.6-2に示すような連動フォーミュラ図に転写して、すべての動診結果を統合する。動診結果すべてをこの図の透明版に重ね書きすれば、苦痛動作に連動対応する快適動作が明らかになる。この結果を、不具合箇所の識別と矯正動作の選定に用いる。

以上のように、「ダイアグラム操体法 (SBRT)」について、データの取得・記録・分析評価のプロセスが確立されたが、依然としてセラピストの経験に依存する部分も残され、そのため、操法の継承が困難であった。

本研究の第3章以降において、上述のように整備されたデータベースを入力として、高度の解析を行い、セラピストの手法を可視化するプロセスに進む。

### 左グループの運動フォーミュラ



#### 【あお向けの動作と番号】

- 1 首の左回し
- 2 首の左倒し
- 3 右肩の引上げ
- 4 右腕の頭上伸ばし
- 5 左腕の横突き伸ばし
- 6 右腕の内回し
- 7 左腕の外回し
- 8 両腕の左捻り
- 9 右腕の突き上げ
- 10 両膝の右倒し
- 11 右膝の外倒し
- 12 左膝の内倒し
- 13 両膝下の左回し
- 14 右膝下の内回し
- 15 左膝下の外回し
- 16 左殿部の吊上げ (膝曲げ)
- 17 左膝の胸部引寄せ
- 18 両つま先の左倒し
- 19 右つま先の内倒し
- 20 左つま先の外倒し
- 21 右足の踵伸ばし
- 22 右腕と右踵の伸び
- 23 左脚上げ

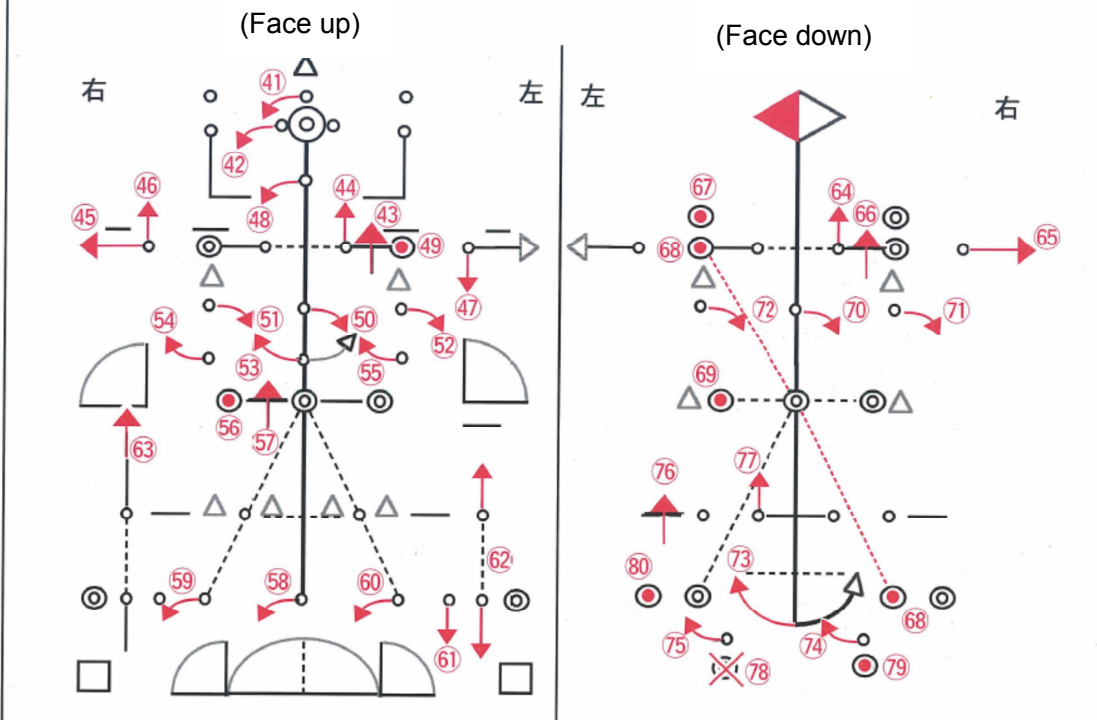
#### 【うつ伏せの動作と番号】

- 24 左腕の頭上伸ばし
- 25 左腕の横突き伸ばし
- 26 左肩の引上げ
- 27 右肩の捻り上げ
- 28 右肩と左脚の同時浮き上げ
- 29 右殿部の捻り上げ
- 30 両膝の左倒し
- 31 右膝の内倒し
- 32 左膝の外倒し
- 33 両つま先の右回し
- 34 右つま先の外回し
- 35 左つま先の内回し
- 36 右膝の脇方向引上げ (カエル足)
- 37 右踵の引寄せ
- 38 左足つま先上げ
- 39 右足つま先下げ
- 40 右脚上げ

Fig.2.6-1 Left Group Associated Motions Formula Diagram



### 右グループの連動フォーミュラ



#### 【あお向けの動作と番号】

- 41 首の右回し
- 42 首の右倒し
- 43 左肩の引上げ
- 44 左腕の頭上伸ばし
- 45 右腕の横突き伸ばし
- 46 右腕の外回し
- 47 左腕の内回し
- 48 両腕の右捻り
- 49 左腕の突き上げ
- 50 両膝の左倒し
- 51 右膝の内倒し
- 52 左膝の外倒し
- 53 両膝下の右回し
- 54 右膝下の外回し
- 55 左膝下の内回し
- 56 右殿部の吊上げ (膝曲げ)
- 57 右膝の胸部引寄せ
- 58 両つま先の右倒し
- 59 右つま先の外倒し
- 60 左つま先の内倒し
- 61 左足の踵伸ばし
- 62 左腕と左踵の伸び
- 63 右脚上げ

#### 【うつ伏せの動作と番号】

- 64 右腕の頭上伸ばし
- 65 右腕の横突き伸ばし
- 66 右肩の引上げ
- 67 左肩の捻り上げ
- 68 左肩と右脚の同時浮き上げ
- 69 左殿部の捻り上げ
- 70 両膝の右倒し
- 71 右膝の外倒し
- 72 左膝の内倒し
- 73 両つま先の左回し
- 74 右つま先の内まわし
- 75 左つま先の外回し
- 76 左膝の脇方向引上げ (カエル足)
- 77 左踵の引寄せ
- 78 左足つま先下げ
- 79 右足つま先上げ
- 80 左脚上げ

Fig.2.6-2 Right Group Associated Motions Formula Diagram

## 2.4 ダイアグラム操体法の特徴

### 2.4.1 動診検査の記録

本手法の第一の特徴は、筋骨格系全体の動きを系統的に検査し、その結果を所定の形式で記録しデータベース化したことである。被験者に対面した時にセラピストが先ず行うことは、被験者の首の傾斜、胸の高さ、足の開き、足の長さ、膝の高さなど、身体の静止状態の形態を観察し記録することである。その次に、前節で述べた動診検査を実施し、その結果をダイアグラムに記録していく。

理想的には、筋骨格系には左右の対称性があり、構造的には左右差はないはずであるが、実際には動診検査の結果に左右差がでるのが普通である。何かの理由で身体の運動系に歪みが発生すると、それが原因となり動きが制限されてさまざまな運動障害が起こり、何の苦もなくおこなえるはずの動きが困難になる。その障害の原因となっている運動系の機能不全（歪み）を検出し、歪みを矯正するためには動作分析の基準を決めておく必要がある。そのために、身体の部位とその部位の動作方向をあらかじめ決め、各々の動作が「連動システム」のなかで、どのように体幹・四肢に連結し、補助し合いながら協調運動が生じているのかを観察し続けた。そこで判明した連動の動きをダイアグラムに記録・整理して、身体の筋骨格系とそれを動かしている運動系の働きを科学的・工学的分析する基盤を整えた。

本操法で重要な位置を占める「ダイアグラム動診検査図」は、人体の部位の動きおよびその動作感覚を記録することのできる図式であり、40種80方向の動作診断による歪みの全体像を視覚で捉える検査法である。この動診検査の結果と、本研究で開発した連動の規準となる「連動フォーミュラ」を組み合わせることにより、運動系の機能不全（歪み）を容易に見つけることが可能となる。以上のように、一定の手順に従った動診検査を実施し、所定の形式で記録し、その記録を蓄積することが本手法の特色である。

### 2.4.2 治療技術の再現性

「ダイアグラム動診検査図」には患者のデータが単純な共通記号で記録してあるため、前回のデータを見るとその検査と分析・評価、治療方針の設定、治療技法の適用と順序、治療経過とその改善の結果などの情報が一目で俯瞰でき、再評価が容易にできる。複数のセラピスト間で情報を共有し、ダイアグラム上の共通記号の記録を用いることによって治療技術の再現・継承が可能であることから、セラピストが交替しても患者を不安にさせることはない。

患者の動診検査の結果，データの分析，治療方針の設定，治療経過と治癒転機までの過程は，すべて万国共通の記号にて記録されるので，言語による障害もなく，国内外の他のセラピスト間との情報の共有および治療技術の再現性がかなり高いものになる。

#### 2.4.3 遠隔操作の可能性

「ダイアグラム動診検査図」は，各種の IT ツールによって容易に伝達でき，評価が可能であるから，緊急処置としての治療法やその症状に合ったその患者のための自発的矯正動作をより効果的に指示する遠隔操作が可能である。

#### 2.4.4 臨床データベースの集計（アーカイビング）

記号による記録のファイル化が可能のため，臨床データベースからデータ集計と，そのデータベースを利用して症例別のダイアグラム・パターンの共通因子や，逆にダイアグラムの連動関連性パターンから症例の共通因子の抽出が可能である。

医療が経験科学の側面をもつ以上，このような臨床現場におけるデータベースの確立は大切な作業であると著者は確信している。またこの共通因子の集計は，運動系における動作間の連動関連性のもっと詳しい解明にも大変重要である。

### 2.5 まとめ

著者がカナダ・バンクーバー市において実践してきた自然療法手法の一つである体性バランス回復療法（SBRT : *Somatic Balance Restoration Therapy*）の成立にいたる経緯，手法の特色，治療実績とデータベース化の概要を述べ，セラピストが行う「ダイアグラム操体法」のプロセスを詳述した。SBRTの特色である「ダイアグラム検査法」，「ダイアグラム記録図」，「ダイアグラム連動フォーミュラ図」について説明した。身体全体の筋肉骨格系を自発的矯正によって，系統的に検査する方法の意義を明らかにし，従来の手技療法の弱点を克服し，多くの矯正実績によりその有効性を実証し得たことを記述した。この手法の妥当性をシステム工学的の立場から明らかにし，これまでの経験と直感に依存した臨床家のアプローチを再現性のある継承可能な工学的手法に関しては，次章以降に記述する。とくに，巨大複雑系である人体の筋肉骨格の動作をシステム工学的に解明する視点からの考察と分析に重点を置いて記述する。

## 第3章 システムアプローチによる SBRT の分析

### 3.1 主動作・連動動作および基本動作

前章で述べたように、基本動作の中には主動作 80 種の他に主動作によって誘起される連動動作が 56 種ある。基本動作(Fundamental Motion Element)の合計は 136 種となる。表 2.3-2 に示す連動動作の番号については、No.81 から No.108 までが仰向け時に発生し、No.109 から No.136 までがうつ伏せ時に発生する。基本動作の 6 例を図 3.1 に示す。仰向けの姿勢で首を左に回す動作（主動作 No.1）を次第に大きくしていくと、他の動作、例えば右足の踵伸ばし動作（主動作 No.21）および左腕の横突き伸ばしの動作（主動作 No.5）などが自然に連鎖誘起されるようになる。これが首の左回しに伴う連動動作の一つである。この状況と逆に、左腰を浮かせる動作（主動作 No.16）は、首の左回しを誘起する。人間の筋肉骨格系は、複雑に関連し合っているため、身体全体を統合的に扱う必要性が既に指摘されている[4]。本例においてもこの他に多くの連動動作が発生することが判明している。図 3.3 には、被験者の意図とする主動作が筋肉を誘起して連動動作が伝達する様子をスキーマティックに示している。

表 2.3-1 に列挙したすべての主動作を行い、詳細な観測（目視）によって連動動作を識別し、記録した結果を図 3.6-1～図 3.6-10 に示す。136 種の基本動作は各々相互に関係し合う複雑なシステムを構成して、この連動関係が SBRT の基礎を形成する。

このような動作を表現するために、図 3.2 に示すような 14 の関節により接続された 15 剛体モデルを用いる(Zatsiorskey モデル[22]を援用 図 4.1 参照)。15 剛体モデルの各々の剛体は、隣接した関節点および床面との接触点において力と回転トルクを受ける。通常のシステムの記述と同様に、座標系を各関節において定義し、XYZ 各軸まわりの回転可能な数に対して、自由度 (Degree-of-Freedom:DOF) という一般用語を用いる。また、床面に固定した座標系と人体の主ボディ中心との間に 3 次元 6 自由度の仮想的なジョイントを設ける。

既に筋肉骨格系のモデル化とシミュレーションについては、Delp [24] らにより理論面からも研究成果が挙げられており、SIMM などの実用的なコンピュータプログラムも開発されているが、これらは動的な運動シミュレーションを目的としている。ここで扱う基本動作は、床面との接触点が多く、動作も準静的であることから、人体全体に対する力・トルクの平衡状態を考察することが重要となる。従って、既開発のシミュレーション手法と異なるアプローチが必要となる。

本論文では、準静的平衡方程式による筋肉骨格系各部の詳細に立ち入る前段階として、様々な基本動作間の相互関係を明らかにすることを目的としているので、基本動作とその連動性が筋肉システムと関連する状況は、図 3.3 に示すようなマクロな観点にとどめ、本 SBRT 療法の効果について考察することに主眼を置く。

このようなシステムの構造を明らかにするためには、線形代数学における行列理論を援用すること一般的である。ここでは、基本動作に対して、136 次元の  $N^2$  (N-square matrix : N 二乗行列)  $A$  を定義し、これに対角行列を加えた行列に対して ISM(Interpretive Structural Modeling)による構造化を試みる。なお、この場合に対象となる上述の行列は、設計構造行列(DSM: Design Structure Matrix)と類似の行列である。

Interpretive Structural Modeling (ISM) は、複雑なシステムの分析・可視化のツールであり、システムを構成する 2 つの要素間の関係を一対比較により系統的に整理し、階層構造化を視覚的に表現する手法であり、Warfield により提案された[32]。その結果は、要素数を次元とする 2 値正方行列(Binary Square Matrix)により表わされる。

1) 行列の各要素は、“0” または“1”であり、“1”となるのは次のような場合である：

- 要素iが要素jの原因（必要条件）であるとき
- 要素iが要素jを含むとき
- 要素iが要素jを誘起するとき

2) 行列要素の積と和の演算にはブール演算を適用する

ISM は、基本動作とりわけ主動作間の連動関係を分析するための有用なツールとなる。

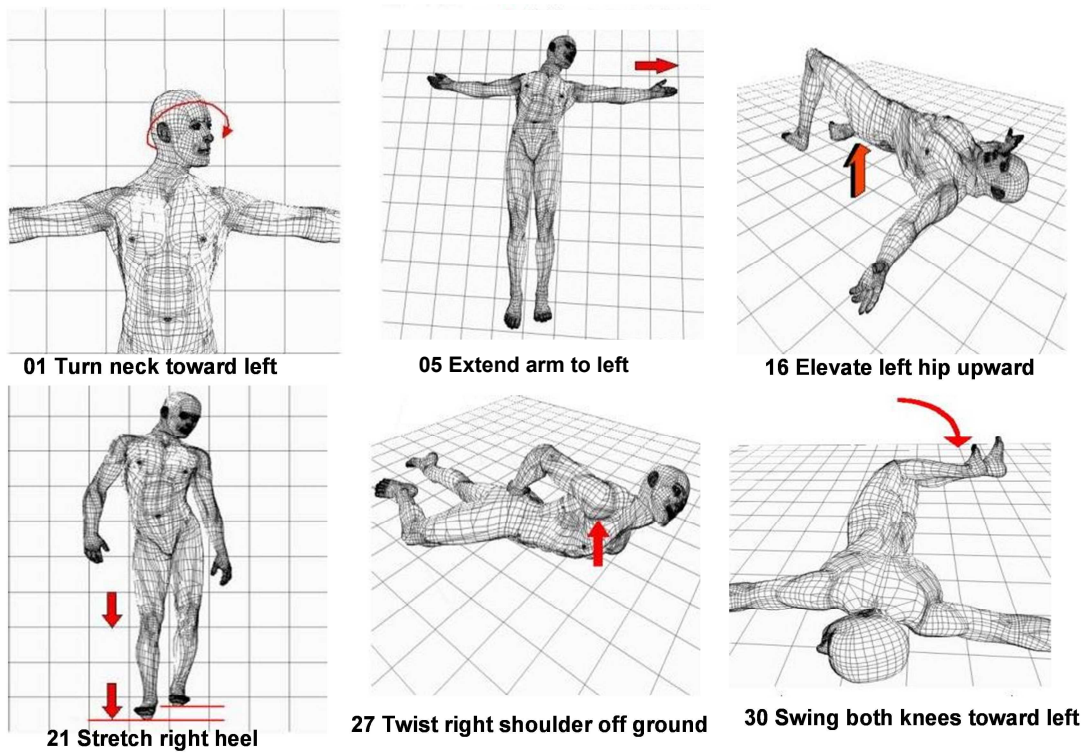


Fig.3.1 Examples of Motions Elements

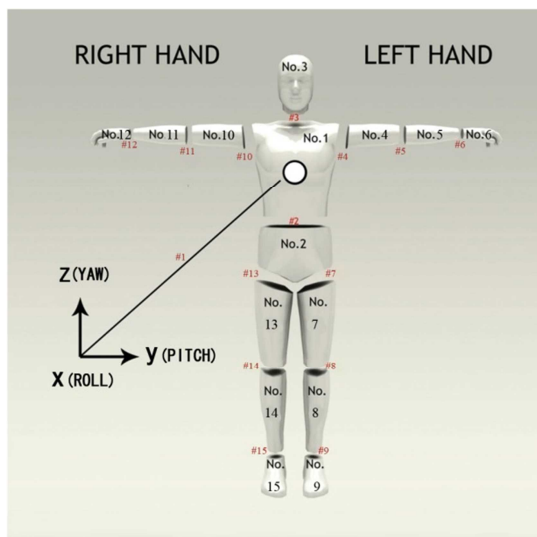


Fig.3.2 Body Modeling with 15 Rigid Bodies

Table 3.1 Joint Number and Degrees of Freedom (DOF))

Hinge No.	DOF motions	Connected bodies		DOF
		Up	Down	
1	Free to move/rotate	World	1	12
2	3 rotations	1	2	6
3	3 rotations	1	3	6
4	3 rotations, 3 translations	1	4	12
5	2 rotations (pitch)	4	5	4
6	2 rotations	5	6	4
7	3 rotations	1	7	6
8	2 rotations (pitch)	7	8	4
9	2 rotations	8	9	4
10	3 rotations, 3 translations	2	10	12
11	2 rotations (pitch)	10	11	4
12	2 rotations	11	12	4
13	3 rotations	2	13	6
14	2 rotations (pitch)	13	14	4
15	2 rotations	14	15	4

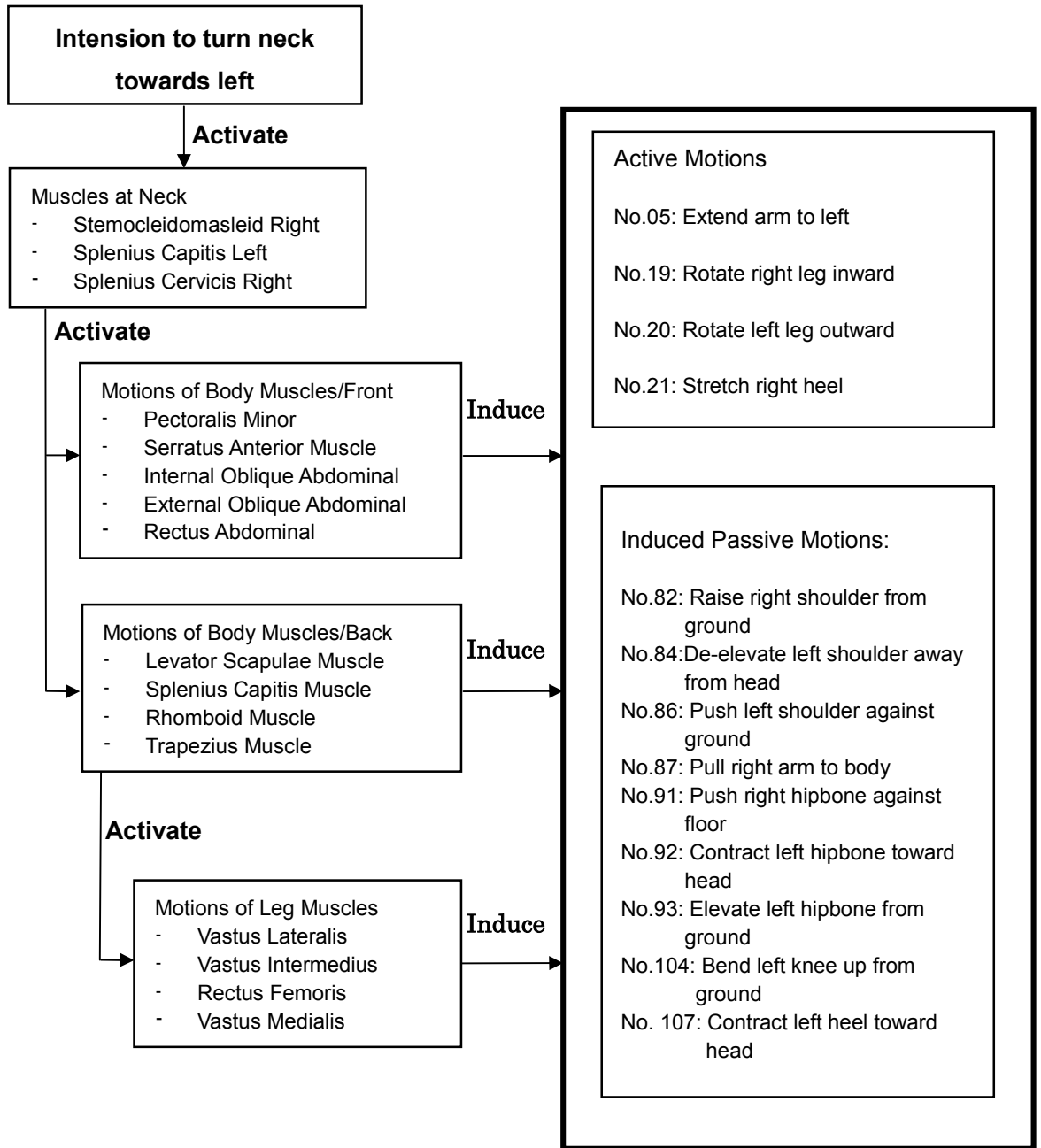


Fig.3.3 Relations between Fundamental Motion Elements and Muscles

## 3.2 基本動作の行列表現

$N^2$  行列  $A$  は 2 値行列 (Binary Matrix) とすれば, その要素  $A(i, j)$  は“0 (zero)”または“1 (one)”であり, 要素  $A(i, j)$  が 1 ならば, 第  $i$  番目の基本動作が第  $j$  番目の連動動作を誘起することを意味する. すなわち,

$$A(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{if Active Motion } i \text{ induces FME } j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (i = 1, \dots, 80; j = 1, \dots, 136) \quad (3.1)$$

SBRT においては, 連動動作がさらに別の動作を誘起することがありうる. この 2 次的連動は行列の積

$$B_1 = A \cdot A \quad (3.2)$$

で表される. この乗算は, 次式で表わされるブール代数にしたがうので,  $B_1$  の各要素もまた 2 値(binary) となる.

$$x_i \cdot x_j = \begin{cases} 1 & \text{if } x_i = 1, x_j = 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.3)$$

## 3.3 基本動作の ISM 解析

図3.4は, 80種の主動作および56種の連動動作の合計136種の基本動作データベースから ISMによる構造モデリングに至るまでの解析の流れを示す. 第1段階は, 表2.3-1および表2.3-2の連動関係を表す入力データを作成し, 行列解析の準備を行う. 第2段階は, このデータを136次元の $N^2$ 行列に転写して, 動作の誘起に着目し因果関係を行・列各要素を(0,1)で置換する. 第3段階は, ブール代数を用いてISM解析を行い, 可達集合(Reachability Set)および先行集合(Antecedent Set)を計算する. 最後にこれらの結果から, グループ化された構造モデルを行列形式で表現する.

### 3.3.1 基本動作の運動性の行列表現

表2.3-1および表2.3-2に示される全ての基本動作について, 連動動作を抽出して一対比較による因果関係を確認し, マトリクス形式にまとめたものを図3.5および図3.6-1から図3.6-10に示す. 図3.5に示すように, 全行列は136次元の正方行列となるので, 記述の便宜上, 部分行列の形態で示した.

$A_{11}$  は, あお向けの左グループ動作に関与する主動作23次元の正方行列を表す. 図3.6-1において, 数値“1”は, 行に示された主動作が列に示される連動動作を誘起することを意味する. 連動が生じない場合は, 対応する要素には数値“0”が入る. 図3.6-1などでは, 見易



さのために0の替わりにスペースを入れてある.

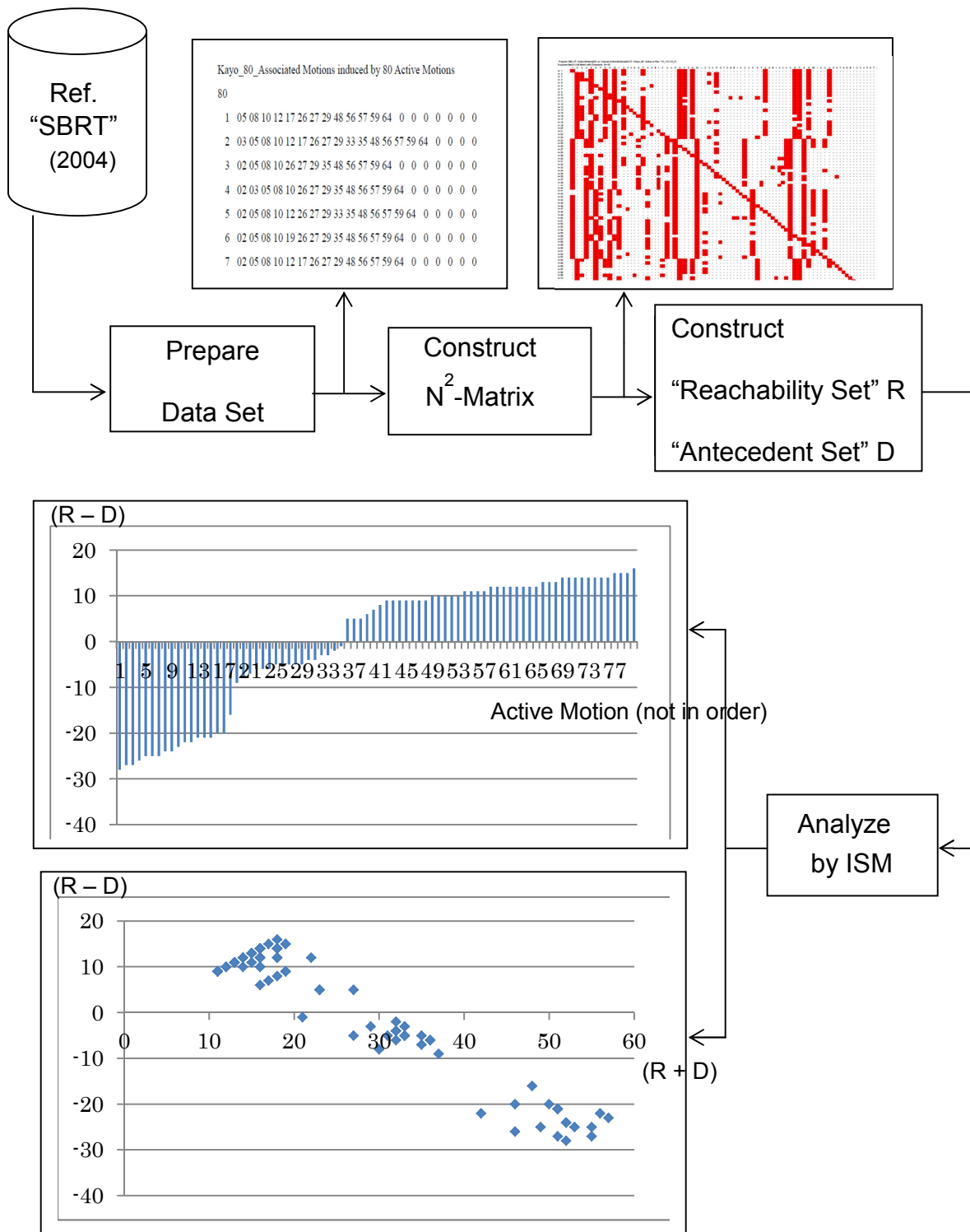
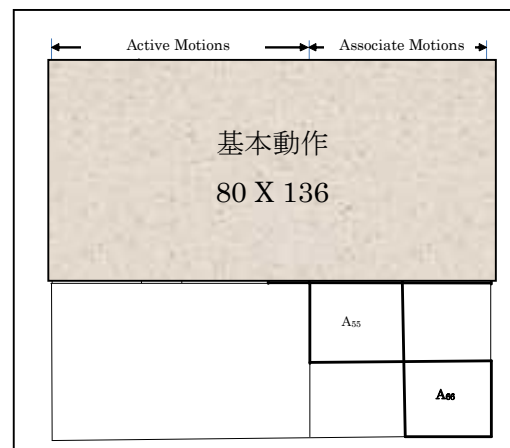
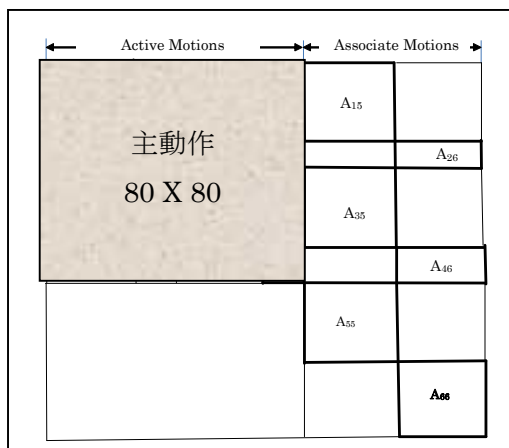
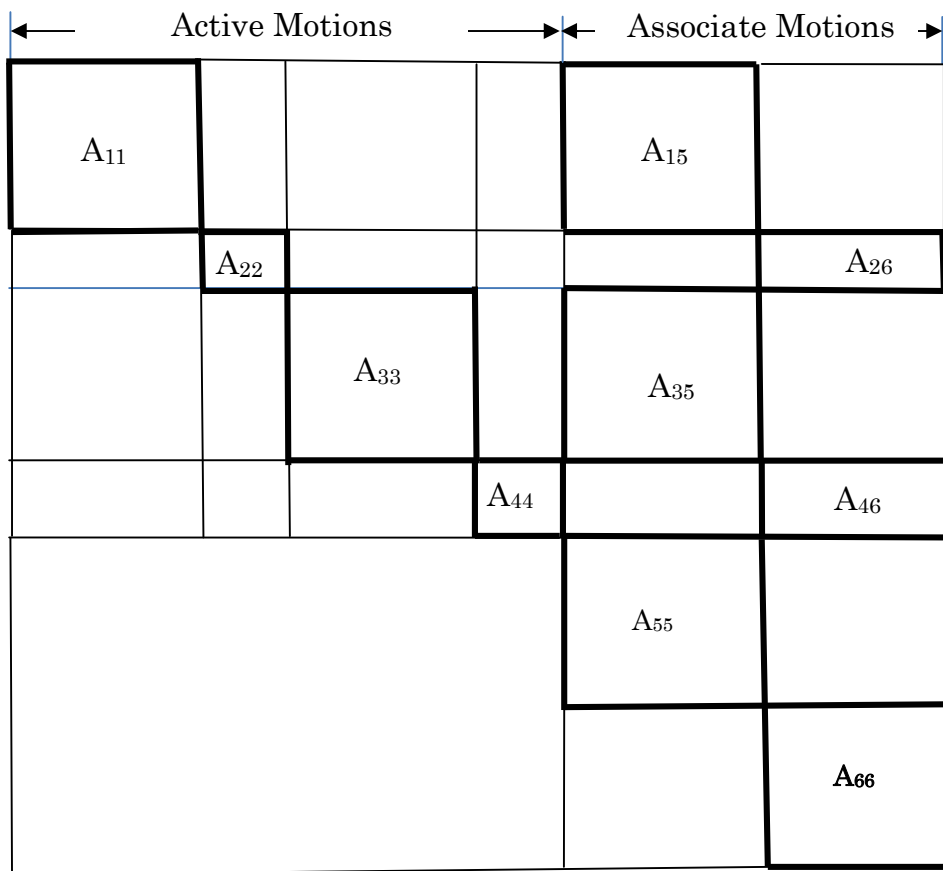


Fig.3.4 Data Analysis Flow with the ISM Process



Note:

- (1)  $A_{11}$  and  $A_{33}$  are square matrices of dimension 23.
- (2)  $A_{22}$  and  $A_{44}$  are square matrices of dimension 17.
- (3)  $A_{55}$  and  $A_{66}$  are denotes a diagonal matrices of dimension 28.
- (4)  $A_{15}$  and  $A_{35}$  are rectangular matrices of dimension of 23x28.
- (5)  $A_{26}$  and  $A_{46}$  are rectangular matrices of dimension 17x28.

Fig. 3.5 Overall Structure of N-square Matrix

横軸：主動作に誘起される連動動作

縦軸 主動作		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
	Associated Motion	Turn neck toward left	Tilt head toward left	Elevate right shoulder toward head	Stretch right arm above head	Extend arm to left	Downward rotation of right arm	Upward rotation of left arm	Twist both arms toward left	Stretch right arm upward	Swing both knees toward right	Swing right knee outward	Swing left knee inward	Swing both legs toward left	Swing right lower leg inward	Swing left lower leg outward	Elevate left hip upward	Raise left knee	Twist both legs to left	Rotate right leg inward	Rotate left leg outward	Stretch right heel	Stretch right arm and heel	Raise left leg off ground	
	Active Motion	1				1														1	1	1			
	1	Turn neck toward left	1				1														1	1	1		
	2	Tilt head toward left		1	1		1														1	1	1		
	3	Elevate right shoulder toward head	1		1																1	1	1		
	4	Stretch right arm above head	1		1	1															1	1	1		
	5	Extend arm to left	1				1														1	1	1		
	6	Downward rotation of right arm	1					1	1												1	1	1		
	7	Upward rotation of left arm	1				1	1													1	1	1		
	8	Twist both arms toward left	1						1												1	1	1		
	9	Stretch right arm upward	1							1											1	1	1		
	10	Swing both knees toward right	1	1		1					1	1	1								1	1	1		
	11	Swing right knee outward	1				1					1									1	1			
	12	Swing left knee inward	1				1						1								1	1	1		
	13	Swing both legs toward left	1	1		1								1							1	1			
	14	Swing right lower leg inward	1	1		1									1						1	1			
	15	Swing left lower leg outward	1	1		1										1					1	1	1		
	16	Elevate left hip upward	1	1		1											1					1			
	17	Raise left knee	1	1		1												1			1	1	1		
	18	Twist both legs to left	1			1													1				1		
	19	Rotate right leg inward	1			1															1	1	1		
	20	Rotate left leg outward	1			1															1	1	1		
	21	Stretch right heel	1	1																	1	1	1		
22	Stretch right arm and heel	1	1			1	1													1	1		1		
23	Raise left leg off ground	1	1		1															1	1	1		1	

A<sub>11</sub>: あお向け左グループ

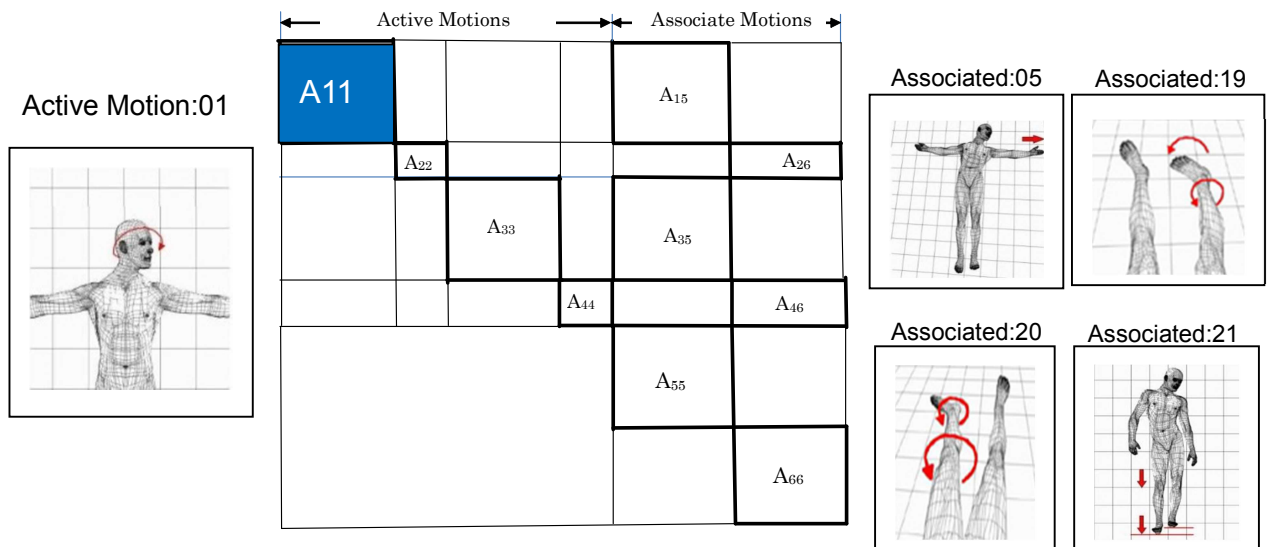


Fig.3.6-1 Sub-matrix of N2 Matrix: A<sub>11</sub>

横軸：主動作に誘起される連動動作

縦軸 主動作	Motion		81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108		
	Associated Motion	Active Motion	De-elevate away right shoulder from head	Raise up right shoulder off ground	Push down right shoulder against	De-elevate away left shoulder from head	Raise up left shoulder off ground	Push left shoulder against floor	Pull right arm toward body	Pull left arm toward body	Shrink right hip bone toward head	Elevate up right hip bone off ground	Push down right hip bone against floor	Shrink up left hip bone towards head	Elevate up left hip bone off ground	Push down left hip bone against ground	Push right leg outward	Close right leg outward	Push left leg outward	Close left leg outward	Pull up right knee toward head	Push down right knee against floor	Bend up right knee off ground	Pull up left knee toward head	Push down left knee against floor	Bend up left knee off ground	Shrink right heel up head	Raise up right heel off ground	Shrink up left heel toward head	Raise up left heel off ground		
1	Turn neck toward left		1		1		1	1					1	1	1														1		1	
2	Tilt head toward left		1		1		1	1					1	1	1				1	1							1			1		
3	Elevate right shoulder toward head		1		1		1						1	1	1					1							1			1		
4	Stretch right arm above head		1		1		1						1	1	1					1							1			1		
5	Extend arm to left		1		1		1	1					1	1	1				1	1							1			1		
6	Downward rotation of right arm		1		1		1						1	1	1					1							1			1		
7	Upward rotation of left arm		1		1		1	1					1	1	1												1			1		
8	Twist both arms toward left		1		1		1						1	1	1					1							1			1		
9	Stretch right arm upward				1		1						1	1	1													1			1	
10	Swing both knees toward right			1	1		1		1				1		1											1	1					
11	Swing right knee outward		1		1		1	1					1	1	1												1				1	
12	Swing left knee inward		1		1		1	1					1		1																	
13	Swing both legs toward left		1		1		1	1					1	1	1																	
14	Swing right lower leg inward		1		1		1	1					1	1	1					1							1				1	
15	Swing left lower leg outward		1		1		1	1					1	1	1																	
16	Elevate left hip upward			1	1		1						1	1																		
17	Raise left knee			1	1		1		1				1	1	1																	
18	Twist both legs to left		1		1		1	1					1	1	1				1	1							1				1	
19	Rotate right leg inward		1		1		1	1					1	1	1												1				1	
20	Rotate left leg outward		1		1		1	1					1	1	1												1				1	
21	Stretch right heel		1		1		1						1	1	1					1							1				1	
22	Stretch right arm and heel		1		1		1						1	1	1					1							1				1	
23	Raise left leg off ground		1		1		1	1					1	1	1				1							1						

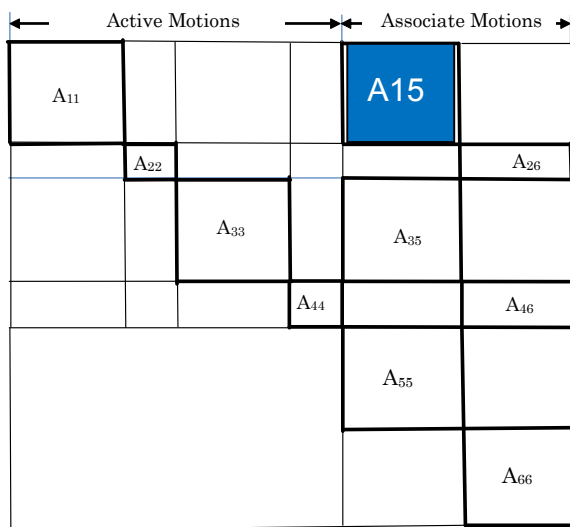


Fig.3.6-2 Sub-matrix of N2 Matrix: A15

横軸：主動作に誘起される連動動作

縦軸 主動作	No	Motion	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
			Associated Motion Active Motion	Stretch left arm above head	Extend left arm to left	Elevate left shoulder upward	Twist right shoulder off ground	Raise right shoulder and left leg	Twist right hip off ground	Swing both knees toward left	Swing right knee inward	Swing left knee outward	Rotate both legs to right	Rotate right leg outward	Rotate left leg inward	Raise right knee toward shoulder	Pull right heel toward hip	Push left foot upward	Pull right foot downward	Raise right leg off ground
	24	Stretch left arm above head	1		1	1		1						1	1					
	25	Extend left arm to left		1		1		1						1	1					
	26	Elevate left shoulder upward			1	1		1						1	1					
	27	Twist right shoulder off ground				1		1						1	1					
	28	Raise right shoulder and left leg					1	1						1	1					
	29	Twist right hip off ground	1		1	1		1						1	1					
	30	Swing both knees toward left		1		1		1	1	1	1			1	1					
	31	Swing right knee inward		1		1		1		1				1	1					
	32	Swing left knee outward		1		1		1			1			1	1					
	33	Rotate both legs to right	1		1	1		1	1	1	1	1	1	1	1					
	34	Rotate right leg outward	1		1	1		1		1				1	1					
	35	Rotate left leg inward	1		1	1		1			1			1	1					
	36	Raise right knee toward shoulder				1		1						1	1	1				
	37	Pull right heel toward hip	1		1			1						1	1		1			
	38	Push left foot upward	1		1	1		1			1							1		
	39	Pull right foot downward	1		1	1		1		1				1	1				1	
	40	Raise right leg off ground	1		1	1		1						1	1					1

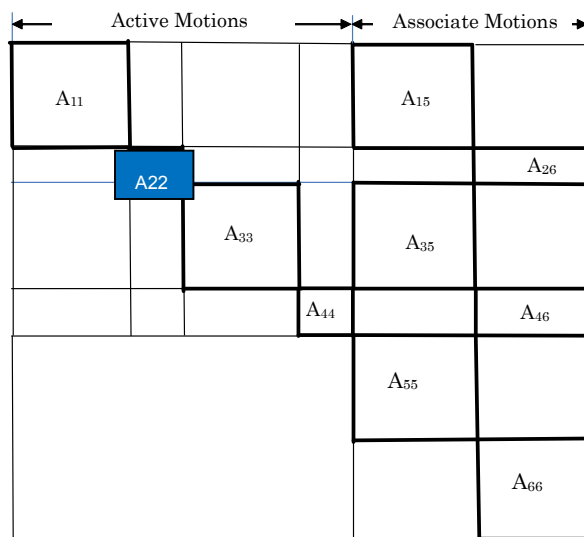


Fig.3.6-3 Sub-matrix of N2 Matrix: A22

横軸：主動作に誘起される運動動作

縦軸 主動作	No	Motion	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136
		Associated Motion	Turn neck towards right	Turn neck towards left	De-elevate right shoulder from head	Push right shoulder against ground	De-elevate left shoulder from head	Push left shoulder against ground	Pull right arm toward body	Shrink down right arm toward foot	Pull left arm toward body	Shrink down left arm towards foot	Shrink up right hipbone towards head	Push down right hipbone against floor	Shrink up left hip bone towards head	Push down left hipbone against floor	Push right leg outwards (abduction)	Push right leg inwards (adduction)	Push left leg outwards (abduction)	Push left leg inwards (adduction)	Pull up right knee toward head	Push down right knee against floor	Pull up left knee toward head	Push down left knee against floor	Stretch right heel outward	Shrink up right heel towards head	Raise up right heel off ground	Stretch left heel outward	Shrink up left heel towards head	Raise up left heel off ground
24	Stretch left arm above head	1	1			1		1				1			1						1					1	1			
25	Extend left arm to left	1	1			1	1					1			1			1		1	1					1	1			
26	Elevate left shoulder upward	1	1			1			1				1		1						1					1	1			
27	Twist right shoulder off ground	1				1			1				1		1			1		1	1									
28	Raise right shoulder and left leg	1				1			1				1		1			1		1	1									
29	Twist right hip off ground	1	1			1			1						1						1									
30	Swing both knees toward left	1				1	1								1						1									
31	Swing right knee inward	1				1	1								1			1		1	1									
32	Swing left knee outward	1				1	1								1						1									
33	Rotate both legs to right	1	1			1			1			1			1						1									
34	Rotate right leg outward	1	1			1			1			1			1						1							1		
35	Rotate left leg inward	1	1			1			1			1			1						1									
36	Raise right knee toward shoulder	1				1									1			1		1	1									1
37	Pull right heel toward hip	1	1						1						1															
38	Push left foot upward	1	1			1			1			1			1						1		1							
39	Pull right foot downward	1	1			1			1			1			1						1		1							
40	Raise right leg off ground	1	1			1			1			1			1															

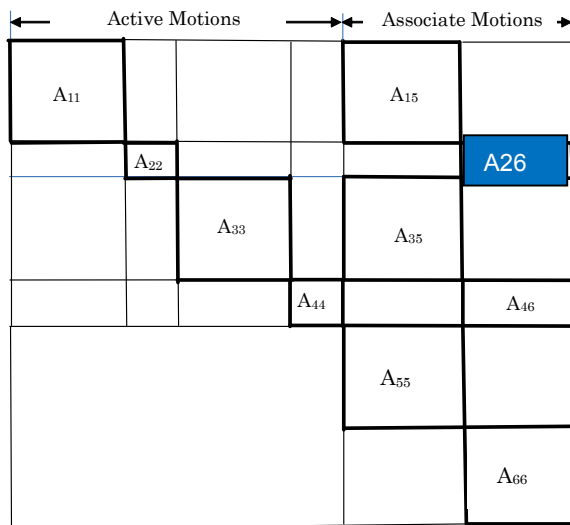


Fig.3.6-4 Sub-matrix of N2 Matrix: A26

横軸：主動作に誘起される連動動作

縦軸  
主動作

No	Motion	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
	Associated Motion																							
	Active Motion	Turn neck toward right	Tilt head toward right	Elevate left shoulder toward head	Stretch left arm above head	Extend arm to right	Upward rotation of right arm	Downward rotation of left arm	Twist both arms toward right	Stretch left arm upward	Swing both knees toward left	Swing right knee inward	Swing left knee outward	Swing both legs toward right	Swing right lower leg outward	Swing left lower leg inward	Elevate right hip upward	Raise right knee	Twist both legs to right	Rotate right leg outward	Rotate left leg inward	Stretch left heel	Stretch left arm and heel	Raise right leg off ground
41	Turn neck toward right	1				1														1	1	1		
42	Tilt head toward right		1	1		1														1	1	1		
43	Elevate left shoulder toward head	1		1																1	1	1		
44	Stretch left arm above head	1		1	1															1	1	1		
45	Extend arm to right	1				1														1	1	1		
46	Upward rotation of right arm	1					1	1												1	1	1		
47	Downward rotation of left arm	1				1		1												1	1	1		
48	Twist both arms toward right	1							1											1	1	1		
49	Stretch left arm upward	1								1										1	1	1		
50	Swing both knees toward left	1	1			1					1	1	1							1	1	1		
51	Swing right knee inward	1				1						1								1	1			
52	Swing left knee outward	1				1							1							1	1	1		
53	Swing both legs toward right	1	1			1								1						1	1			
54	Swing right lower leg outward	1	1			1									1					1	1			
55	Swing left lower leg inward	1	1			1										1				1	1	1		
56	Elevate right hip upward	1	1			1											1				1			
57	Raise right knee	1	1			1												1		1	1	1		
58	Twist both legs to right	1				1													1		1	1		
59	Rotate right leg outward	1				1														1	1	1		
60	Rotate left leg inward	1				1														1	1	1		
61	Stretch left heel	1	1																	1	1	1		
62	Stretch left arm and heel	1	1				1	1												1	1		1	
63	Raise right leg off ground	1	1			1														1	1	1		1

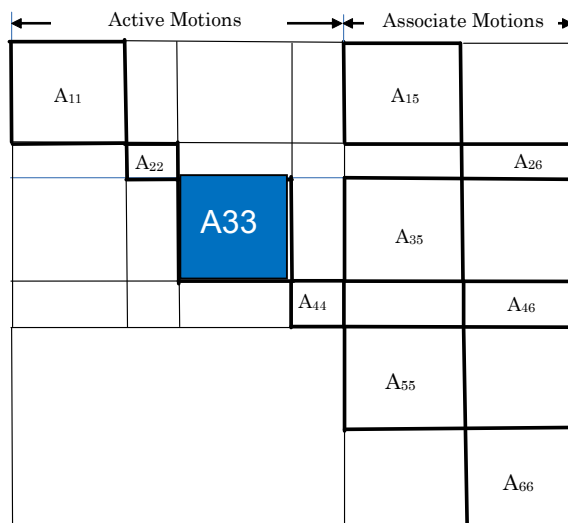


Fig.3.6-6 Sub-matrix of N2 Matrix: A33

横軸：主動作に誘起される連動動作

縦軸  
主動作

No	Motion	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
	Associated Motion	De-elevate away right shoulder from head	Raise up right shoulder off ground	Push down right shoulder against	De-elevate away left shoulder from head	Raise up left shoulder off ground	Push left shoulder against floor	Pull right arm toward body	Pull left arm toward body	Shrink right hip bone toward head	Elevate up right hip bone off ground	Push down right hip bone against floor	Shrink up left hip bone towards head	Elevate up left hip bone off ground	Push down left hip bone against ground	Push right leg outward	Close right leg outward	Push left leg outward	Close left leg outward	Pull up right knee toward head	Push down right knee against floor	Bend up right knee off ground	Pull up left knee toward head	Push down left knee against floor	Bend up left knee off ground	Shrink right heel up head	Raise up right heel off ground	Shrink up left heel toward head	Raise up left heel off ground
	Active Motion																												
41	Turn neck toward right	1		1		1			1	1	1				1							1							
42	Tilt head toward right	1		1		1			1	1	1				1	1			1			1				1			
43	Elevate left shoulder toward head	1		1		1				1	1				1	1					1					1			
44	Stretch left arm above head	1		1		1				1	1				1	1						1				1			
45	Extend arm to right	1		1		1			1	1	1				1	1			1			1				1			
46	Upward rotation of right arm	1		1		1				1	1				1	1						1				1			
47	Downward rotation of left arm	1		1		1			1	1	1				1	1						1				1			
48	Twist both arms toward right	1		1		1				1	1				1	1						1				1			
49	Stretch left arm upward	1		1						1	1				1							1				1			
50	Swing both knees toward left	1	1				1		1		1				1					1		1							
51	Swing right knee inward	1		1		1			1	1	1				1							1					1		
52	Swing left knee outward	1		1		1			1		1				1														
53	Swing both legs toward right	1		1		1			1	1	1				1														
54	Swing right lower leg outward	1		1		1			1	1	1				1	1						1				1			
55	Swing left lower leg inward	1		1		1			1	1	1				1														
56	Elevate right hip upward	1	1				1			1					1														
57	Raise right knee	1	1				1		1	1	1				1														
58	Twist both legs to right	1		1		1			1	1	1				1	1			1			1				1			
59	Rotate right leg outward	1		1		1			1	1	1				1							1				1			
60	Rotate left leg inward	1		1		1			1	1	1				1							1				1			
61	Stretch left heel	1		1		1				1	1				1	1						1				1			
62	Stretch left arm and heel	1		1		1				1	1				1	1						1				1			
63	Raise right leg off ground	1		1		1			1	1	1				1				1	1									

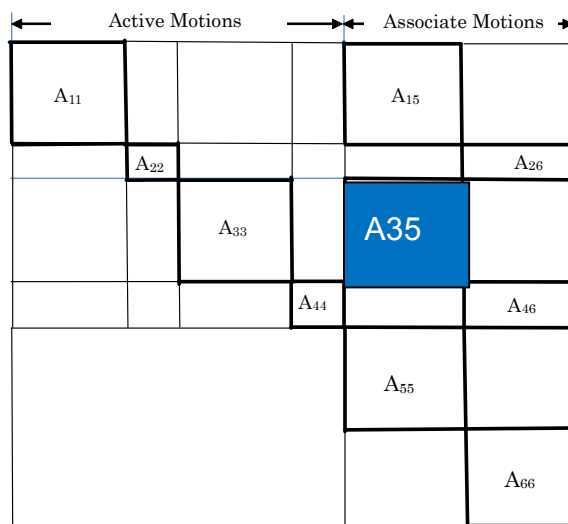


Fig.3.6-6 Sub-matrix of N2 Matrix: A35



横軸：主動作に誘起される連動動作

縦軸 主動作	No	Motion	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	
		Associated Motion	Stretch right arm above head	Extend right arm to right	Elevate right shoulder upward	Twist right shoulder off ground	Raise left shoulder and right leg	Twist left hip off ground	Swing both knees toward right	Swing right knee inward	Swing right knee outward	Rotate both legs to left	Rotate right leg inward	Rotate left leg outward	Raise left knee toward shoulder	Pull left heel toward hip	Push left foot downward	Pull right foot upward	Raise left leg off ground	
	64	Stretch right arm above head	1		1	1		1						1	1					
	65	Extend right arm to right		1		1		1						1	1					
	66	Elevate right shoulder upward			1	1		1						1	1					
	67	Twist left shoulder off ground				1		1						1	1					
	68	Raise left shoulder and right leg					1	1						1	1					
	69	Twist left hip off ground	1		1	1		1						1	1					
	70	Swing both knees toward right		1		1		1	1	1	1			1	1					
	71	Swing right knee outward		1		1		1		1				1	1					
	72	Swing left knee inward		1		1		1			1			1	1					
	73	Rotate both legs to left	1		1	1		1	1	1	1	1	1	1	1					
	74	Rotate right leg inward	1		1	1		1			1			1	1					
	75	Rotate left leg outward	1		1	1		1		1				1	1					
	76	Raise left knee toward shoulder				1		1						1	1	1				
	77	Pull left heel toward hip	1		1			1						1	1		1			
	78	Push left foot downward	1		1	1		1		1								1		
	79	Pull right foot upward	1		1	1		1			1			1	1				1	
	80	Raise left leg off ground	1		1	1		1						1	1					1

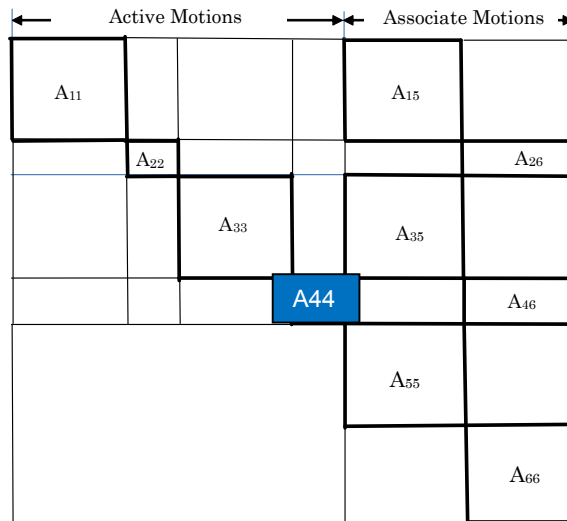


Fig.3.6-7 Sub-matrix of N2 Matrix: A44

横軸：主動作に誘起される運動動作

縦軸  
主動作

No	Motion	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136
	Associated Motion																												
	Active Motion	Turn neck towards right	Turn neck towards left	De-elevate right shoulder from head	Push right shoulder against ground	De-elevate left shoulder from head	Push left shoulder against ground	Pull right arm toward body	Shrink down right arm toward foot	Pull left arm toward body	Shrink down left arm towards foot	Shrink up right hipbone towards head	Push down right hipbone against floor	Shrink up left hip bone towards head	Push down left hipbone against floor	Push right leg outwards (abduction)	Push right leg inwards (adduction)	Push left leg outwards (abduction)	Push left leg inwards (adduction)	Pull up right knee toward head	Push down right knee against floor	Pull up left knee toward head	Push down left knee against floor	Stretch right heel outward	Shrink up right heel towards head	Raise up right heel off ground	Stretch left heel outward	Shrink up left heel towards head	Raise up left heel off ground
64	Stretch right arm above head	1		1	1						1		1	1										1	1				1
65	Extend right arm to right		1		1	1				1			1	1		1								1	1				1
66	Elevate right shoulder upward		1		1	1					1		1	1										1	1				1
67	Twist left shoulder off ground		1		1								1	1		1								1					
68	Raise left shoulder and right leg		1		1								1	1		1								1					
69	Twist left hip off ground		1		1	1					1		1											1					
70	Swing both knees toward right		1		1						1		1											1					
71	Swing right knee outward		1		1						1		1			1								1					
72	Swing left knee inward		1		1						1		1											1					
73	Rotate both legs to left		1		1	1					1		1	1										1					
74	Rotate right leg inward		1		1	1					1		1	1										1	1				
75	Rotate left leg outward		1		1	1					1		1											1					
76	Raise left knee toward shoulder		1		1								1			1								1		1			
77	Pull left heel toward hip		1		1						1		1											1					
78	Push left foot downward		1		1	1					1		1	1								1		1					
79	Pull right foot upward		1		1	1					1		1	1								1		1					
80	Raise left leg off ground		1		1	1					1		1	1															

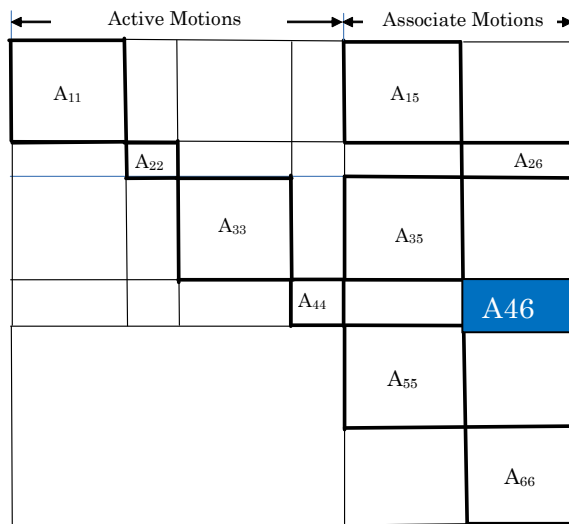


Fig.3.6-8 Sub-matrix of N2 Matrix: A46

横軸：主動作に誘起される連動動作

No.	Motion	Associated Motion																												
		81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	
		De-elevate away right shoulder from head	Raise up right shoulder off ground	Push down right shoulder against	De-elevate away left shoulder from head	Raise up left shoulder off ground	Push left shoulder against floor	Pull right arm toward body	Pull left arm toward body	Shrink right hip bone toward head	Elevate up right hip bone off ground	Push down right hip bone against floor	Shrink up left hip bone towards head	Elevate up left hip bone off ground	Push down left hip bone against ground	Push right leg outward	Close right leg outward	Push left leg outward	Close left leg outward	Pull up right knee toward head	Push down right knee against floor	Bend up right knee off ground	Pull up left knee toward head	Push down left knee against floor	Bend up left knee off ground	Shrink right heel up head	Raise up right heel off ground	Shrink up left heel toward head	Raise up left heel off ground	
81	Right shoulder, de-elevate away from head	1																												
82	Right shoulder, raise up off ground		1																											
83	Right shoulder, push down against ground			1																										
84	Left shoulder, de-elevate away from head				1																									
85	Left shoulder, raise up off ground					1																								
86	Left shoulder, push against floor						1																							
87	Right arm, pull toward body							1																						
88	Left arm, pull toward body								1																					
89	Right hip bone, shrink toward head									1																				
90	Right hip bone, elevate up off ground										1																			
91	Right hip bone, push down against floor											1																		
92	Left hip bone, shrink up towards head												1																	
93	Left hip bone, elevate up off ground													1																
94	Left hip bone, push down against ground														1															
95	Right leg, push outward															1														
96	Right leg, close inward																1													
97	Left leg, push outward																	1												
98	Left leg, close inward																		1											
99	Right knee, pull up toward head																			1										
100	Right knee, push down against floor																				1									
101	Right knee, bend up off ground																					1								
102	Left knee, pull up toward head																						1							
103	Left knee, push down against floor																							1						
104	Left knee, bend up off ground																								1					
105	Right heel, shrink up toward head																									1				
106	Right heel, raise up off ground																										1			
107	Left heel, shrink up toward head																											1		
108	Left heel, raise up off ground																												1	

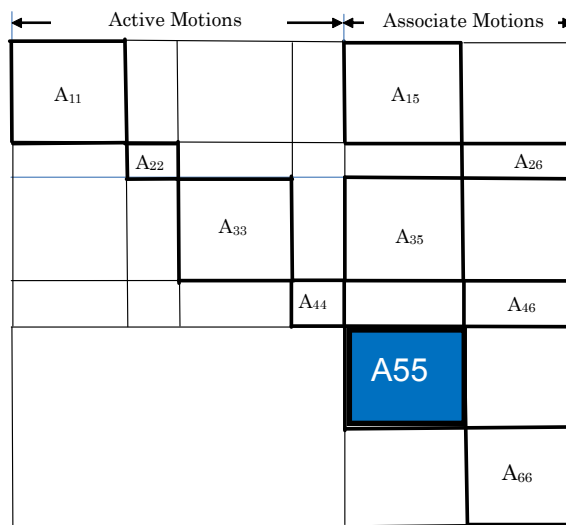


Fig.3.6-9 Sub-matrix of N2 Matrix: A55

横軸：主動作に誘起される連動動作

縦軸 主動作	No.	Motion	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	
		Associated Motion	Turn neck towards right	Turn neck towards left	De-elevate right shoulder from head	Push right shoulder against ground	De-elevate left shoulder from head	Push left shoulder against ground	Pull right arm toward body	Shrink down right arm toward foot	Pull left arm toward body	Shrink down left arm towards foot	Shrink up right hipbone towards head	Push down right hipbone against floor	Shrink up left hip bone towards head	Push down left hipbone against floor	Push right leg outwards (abduction)	Push right leg inwards (adduction)	Push left leg outwards (abduction)	Push left leg inwards (adduction)	Pull up right knee toward head	Push down right knee against floor	Pull up left knee toward head	Push down left knee against floor	Stretch right heel outward	Shrink up right heel towards head	Raise up right heel off ground	Stretch left heel outward	Shrink up left heel towards head	Raise up left heel off ground	
	109	Turn neck towards right	1																												
	110	Turn neck towards left		1																											
	111	Right shoulder, de-elevate away			1																										
	112	Right shoulder, push against ground				1																									
	113	Left shoulder, de-elevate away					1																								
	114	Left shoulder, push against ground						1																							
	115	Right arm, pull toward body							1																						
	116	Right arm, shrink down toward foot								1																					
	117	Left arm, pull toward body									1																				
	118	Left arm, shrink down towards foot										1																			
	119	Right hip bone, shrink up to head											1																		
	120	Right hip bone, push down against												1																	
	121	Left hip bone, shrink up towards													1																
	122	Left hip bone, push down against														1															
	123	Right leg, push outwards															1														
	124	Right leg, push inwards (adduction)																1													
	125	Left leg, push outwards (abduction)																	1												
	126	Push left leg inwards (adduction)																		1											
	127	Right knee, pull up toward head																			1										
	128	Right knee, push down against																				1									
	129	Left knee, pull up toward head																					1								
	130	Left knee, push down against floor																						1							
	131	Right heel, stretch outward																								1					
	132	Right heel, shrink up towards head																									1				
	133	Right heel, raise up off ground																										1			
	134	Left heel, stretch outward																											1		
	135	Left heel, shrink up towards head																												1	
	136	Left heel, raise up off ground																													1

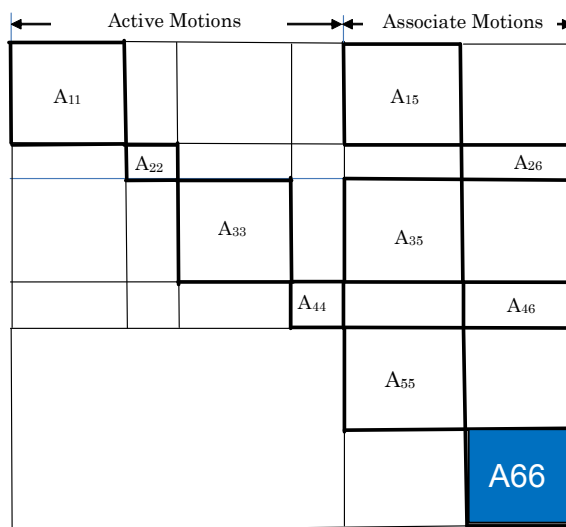


Fig.3.6-10 Sub-matrix of N2 Matrix: A66

図3.6-1の $A_{11}$ は、あお向けの左動作に関する23次元の正方行列

図3.6-2の $A_{22}$ は、うつ伏せの左動作に関する17次元の正方行列

図3.6-3の $A_{33}$ は、あお向けの右動作に関する23次元の正方行列

図3.6-4の $A_{44}$ は、うつ伏せの右動作に関する17次元の正方行列

図3.6-5の $A_{15}$ は、あお向けの左動作が生成する連動動作

図3.6-6の $A_{26}$ は、うつ伏せの左動作が生成する連動動作

図3.6-7の $A_{35}$ は、あお向けの右動作が生成する連動動作

図3.6-8の $A_{46}$ は、うつ伏せの右動作が生成する連動動作

なお、図3.5の他の部分行列（例 $A_{12}$ ,  $A_{21}$ など）は全て“0”である。

このようにして生成した136次元の正方行列を基本動作の $N^2$ 行列と呼ぶ。さらに対角要素に1を入れることによって、ある動作がそれ自身を誘起することを表現する。この結果生成された正方行列が、ISM解析に用いられ、ここでは基本動作F-行列と呼ぶ。

#### 80 種動作と基本動作 136

「首の左回し」を主動作として行う時にその主動作によって誘起される連動動作は13動作ある。それは、「No.82 右肩の浮き上がり」、「No.84 左肩の引き下がり」、「No.86 左肩の押し付け」、「No.87 右腕の引き寄せ」、「No.05 左腕の横伸び」、「No.91 右骨盤の押し付け」、「No.92 左骨盤の縮み上がり」、「No.93 左骨盤の浮き上がり」、「No.104 左膝の浮き上がり」、「No.20 左つま先の外回り」、「No.19 右つま先の内回り」、「No.21 踵の伸び」、「No.107 左踵の縮み」である。

これらの連動動作の中にその連動動作が主動作となって別の連動動作を誘起する4種の動作がある。それらは、「No.05 左腕の突き伸ばし」、「No.19 右つま先の内回り」、「No.20 左つま先の外回り」、「No.21 右踵の伸びであり」、図3.6-1  $N^2$ のサブ行列 :A11 に属する。

他の9動作は主動作として他の動作を誘起せず、図3.6-2  $N^2$ のサブ行列:A15に属する。基本動作のISM解析において80の主動作によって誘起される基本動作には主動作80動作と連動動作56種の合計136種のデータベースからスタートしたが、解析の対象は主動作80種に限定した。

### 3.3.2 主動作に関する可達行列

F-行列を数回乗算すれば，乗算の前後でのマトリクスが不変となることが知られており，ISM解析の標準プロセスにおいては，これを可達行列(Reachability Matrix) と呼ぶ．このプロセスは，ある主動作によって誘起された連動動作が，主動作となって別の連動動作を誘起し，この連鎖が一定回数まで継続することを意味する．本解析では，136次元のF-行列が一定値に達するまでに4回の乗算を要した．しかし，物理的な意味を考慮すると，連動関係は回を重ねる毎に弱くなると考えられるので，ここでは乗算回数を1回で打ち切り，この結果生成される行列を1次の可達行列と定義して，引き続きISM解析に用いる．以上において定義された可達行列の行は主動作に対応し，列は連動動作に対応する．

次に，基本動作の F-行列から  $A_{11}$ ,  $A_{22}$ ,  $A_{33}$ ,  $A_{44}$  のみを取り出して生成される 80 次元の正方行列を主動作の F-行列とし，これを主動作の可達行列とする．主動作は中立的 (neutral), 受動的 (passive), および能動的 (active) の 3 グループに大別される．

(1) 中立的 (neutral) な例として，「No.31 右膝の内倒し」を図 3.7 に示す．図 3.7 の上部は，F-行列の主動作番号 No.31 に連動する連動動作を表わしている．言い換えれば，動作 No.31 右膝の内倒しは5種の動作を誘起する．図 3.7 の下部はF-行列の主動作番号 No.31 の列を抜き出したもので，主動作番号 No.31 を誘起する動作を「-1」で表わし，それらは4種である．

図 3.7 の中の矢印は，連動動作を“誘起する”ことを意味する．すなわち，

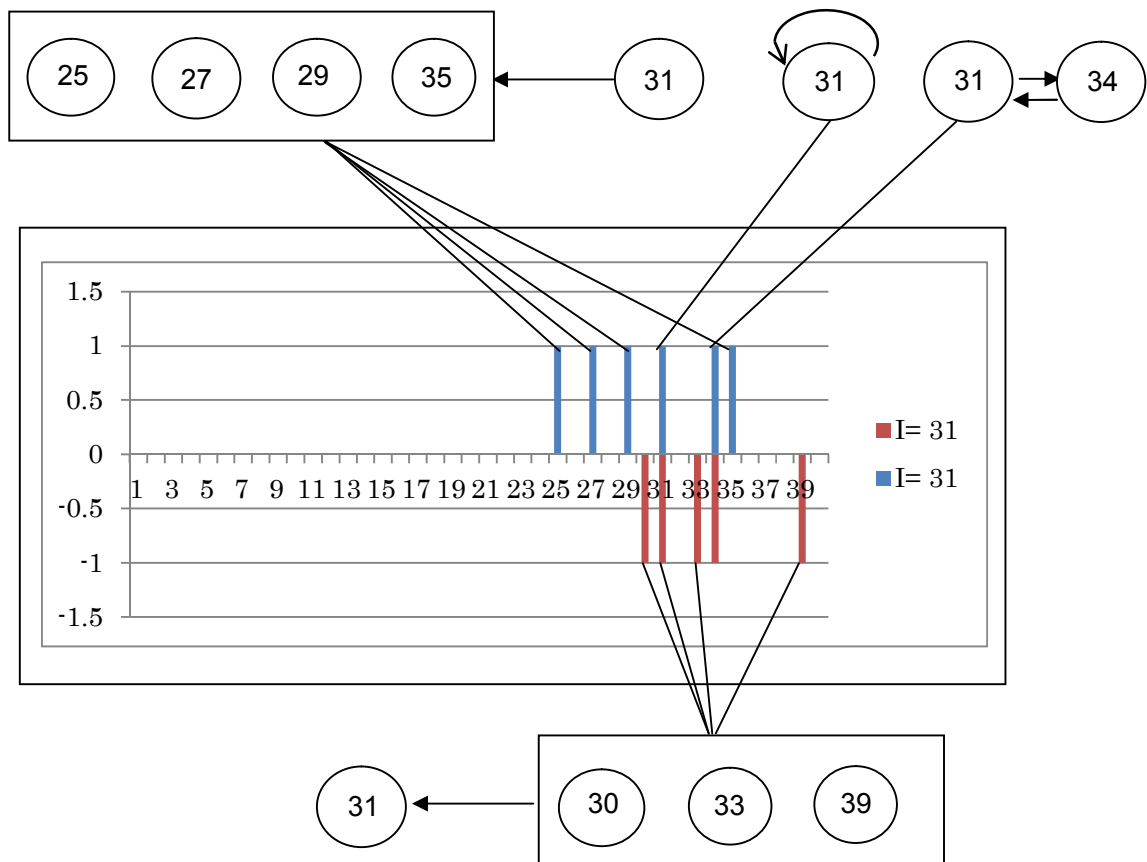
- 主動作「No.31 右膝の内倒し」は主動作「No.25 左腕の横突き伸ばし」，「No.27 右肩の捻り上げ」，「No.29 右臀部の捻り上げ」，「No.35 左つま先の内倒し」および「No.34 右つま先の外回し」を誘起する．「No.31 右膝の内倒し」と「No.34 右つま先の外回し」は相互に誘起もするが誘起もされる一対関係にある．
- 図 3.7 の下部は，主動作「右膝の内倒し No.31」を誘起する他の主動作を特定する．すなわち，主動作「No.30 両膝の左倒し」，「No.33 両つま先の右回し」，「No.34 右つま先の外回し」および「No.39 右足のつま先下げ」は，主動作「No.31 右膝の内倒し」を誘起する．そして誘起された「No.31 右膝の内倒し」は主動作「No.25 左腕の横突き伸ばし」，「No.27 右肩の捻り上げ」，「No.29 右臀部の捻り上げ」，「No.35 左つま先の内倒し」及び「No.34 右つま先の外回し」を誘起するが，この連鎖は一定回数まで継続し，ある段階で停止する事は前述した．
- 主動作「No.31 右膝の内倒し」は，それ自身を誘起する

(2) 受動的 (passive) な例として図 3.8-1 に主動作「No.21 右足の踵伸ばし」に対する連動動作を示す.

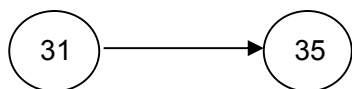
- 主動作「No.21 右足の踵伸ばし」は主動作「No.01 首の左回し」, 「No.03 右肩の引き上げ」, 「No.19 右つま先の内倒し」, 「No.20 左つま先の外倒し」を誘起するが「No.21 足の踵伸ばし」もこの全ての動作から誘起される一対関係にある.
- 主動作「No.02 首の左倒し」「No.03 右肩の引き上げ」「No.04 右腕の頭上伸ばし」「No.05 左腕の横つき伸ばし」「No.06 右腕の内回し」「No.07 左腕の外回し」「No.08 両腕の左捻り」「No.09 右腕の突上げ」「No.10 両膝の右倒し」「No.12 左膝の内倒し」「No.15 左膝下の外回し」「No.17 左膝の胸部引き寄せ」「No.18 両つま先の左倒し」「No.19 右つま先の内倒し」「No.20 左つま先の外倒し」「No.23 左足上げ」は主動作「No.21 足の踵伸ばし」を誘起する.
- 主動作「No.21 足の踵伸ばし」はそれ自身を誘起する

(3) 能動的 (active) な例として図 3.8-2 に主動作「No.10 両膝の右倒し」に対する連動関係を示す.

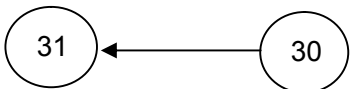
- 主動作「No.10 両膝の右倒し」は主動作「No.01 首の右回し」「No.03 右肩の引き上げ」「No.05 左腕の横突き伸ばし」「No.11 右膝の外倒し」「No.12 左膝の打ち倒し」「No.19 右つま先の打ち倒し」「No.20 左つま先の外倒し」を誘起する
- 主動作「No.10 両膝の右倒し」はそれ自身を誘起するが, 他の動作からは誘起されない能動動作である.



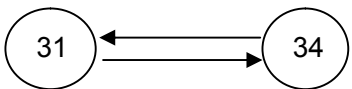
Legend: On Active Motions



No.31 induces No.35



No.31 is induced by No.30



No.31 induces and is induced by No.34

Fig.3.7 Example of Neutral Active Motion No.31



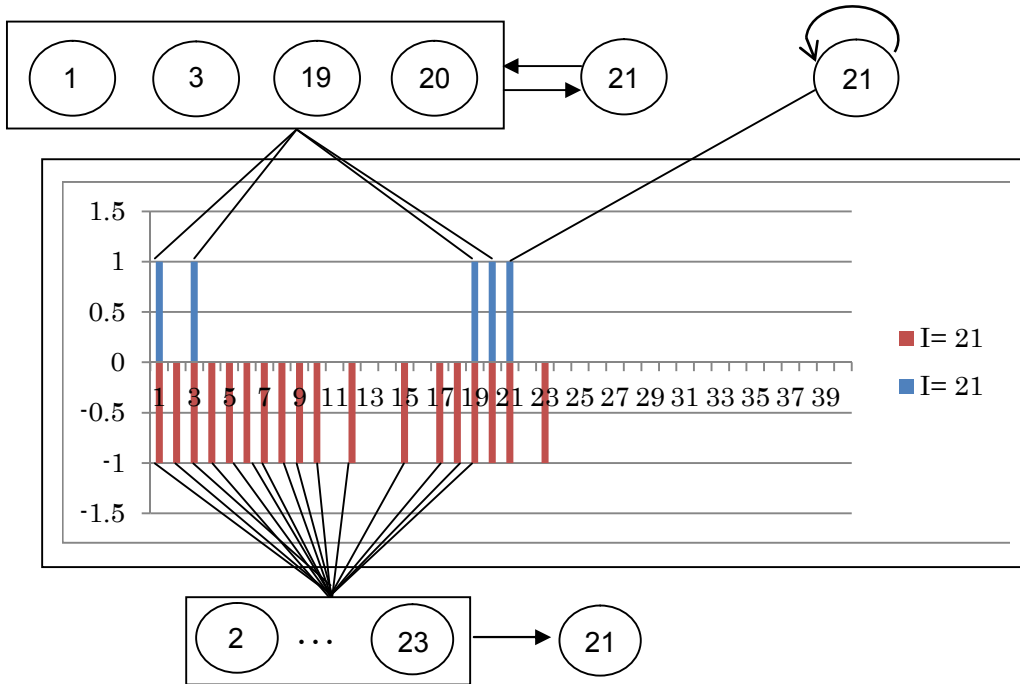


Fig. 3.8-1 Example of Highly Passive Active Motion No.21

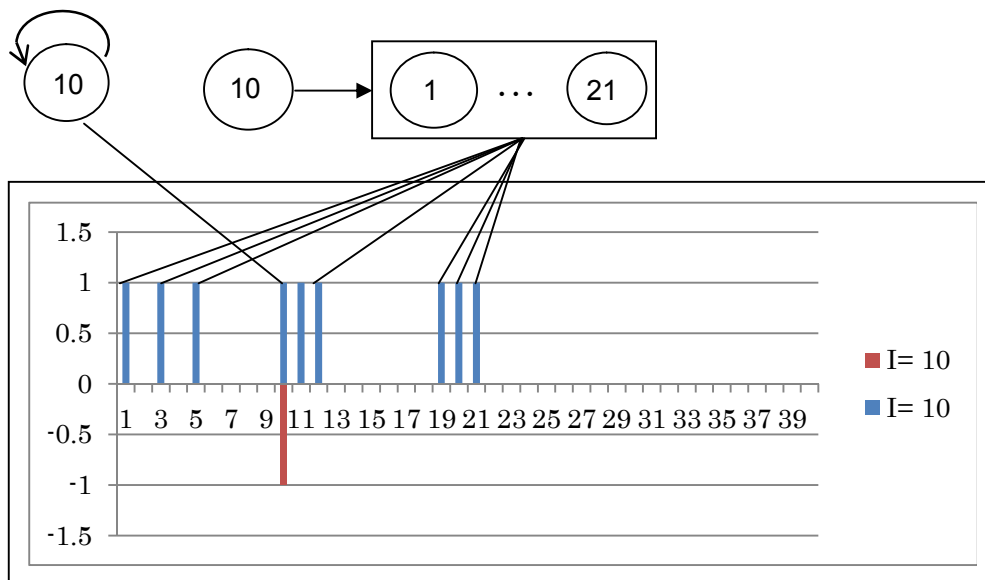


Fig. 3.8-2 Example of Highly Active Motion No.10

### 3.3.3 主動作に関する可達集合と先行集合

図 3.8-1 および図 3.8-2 に例示した能動的主動作と受動的主動作との関係を把握するために、可達集合  $\{R(i)\}$  および先行集合  $\{D(i)\}$  を算出した。主動作番号  $i=1,2,\dots,n$  について

$$R(i) : \text{可達行列の第 } i \text{ 行の"1"の個数} = \{R(i)\} \text{ の次数} \quad (3.4)$$

$$D(i) : \text{可達行列の第 } i \text{ 行の"1"の個数} = \{D(i)\} \text{ の次数} \quad (3.5)$$

表3.2に、 $R(i)$ ,  $D(i)$  および  $R(i)+D(i)$ ,  $R(i)-D(i)$  をまとめ示す。和  $R(i)+D(i)$  は他の動作との干渉の度合いを示し、差  $R(i)-D(i)$  は、動作の能動性を表している。

図3.9-1は、各主動作に対する  $R$  と  $D$  の次数を示す。この図において、左右の対称性から No.01~No.40 (左グループ) と No.41~No.80 (右グループ) が相似である。従って、図3.9-2 および図3.9-3は、No.01~No.40の主動作のみを抽出して示してある。

図3.9-2は、可達集合の次数  $R$  を正 (+) に、先行行列の次数を負 (-) に定めて、No.01~No.40の主動作に対して示したものである。正負を含む縦棒の長さが他の干渉の度合いを示す。

図3.9-3は、 $(R-D)$  を主動作No.01~No.40に対して示す。正の値が大きいほど、能動的な動作である。

図3.9-4は、可達行列の次数  $R$  と  $(R+D)$  の比を主動作No.01~No.40に対してプロットしたもので、この図も各主動作の能動性を表している。すなわち、完全に能動であれば、 $R/(R+D) = 1$  ( $D=0$ を意味する) となり、完全に受動であれば、 $R/(R+D) = 0$  となる。図3.9-5を参照にして、以下の目安を与える。

$$\begin{array}{lll} R/(R+D) > 0.6 \text{ ならば} & \text{能動的} \\ 0.6 > R/(R+D) > 0.3 \text{ ならば} & \text{中立的} \\ 0.3 > R & \text{ならば} & \text{受動的} \end{array}$$

図3.9-5は、可達行列と先行行列の次数の和  $R(i)+D(i)$  を横軸にし、それらの差  $R(i)-D(i)$  を縦軸にプロットしたものである。図3.9-5から、基本動作は以下の3グループに分けることができる。

グループ1: それ自身は他の動作を誘起しない受動的グループ

グループ2: 能動的であると同時に受動的であるグループ

グループ3: 多くの連動動作を誘起するが、それ自身は殆ど誘起されない能動的グループ

ISMの簡易なグルーピングにより、分類は可能になったが各グループに含まれる基本動作に関する情報は次の章において明らかになる。

なお、図3.5 におけるサブ行列 $A_{55}$  (28次元の正方行列)および $A_{66}$  (28次元の正方行列)は、自ら動作を起こすことはないので、 $(R-D)$  は常に負値をとる。すなわち、

$$R(i) - D(i) \leq 0 \quad (i = 81, \dots, 136)$$

従って、このグループは完全に受動的なグループに分類される。

Table 3.2 A List of Reachable Set(R) and Antecedent Set(D)

	Left					Right				Left-Right		
	R	D	R+D	R-D		R	D	R+D	R-D	R: L-R	D: L-R	
I= 1	5	22	27	-17		I= 41	5	22	27	-17	0	0
I= 2	6	1	7	5		I= 42	6	1	7	5	0	0
I= 3	5	12	17	-7		I= 43	5	12	17	-7	0	0
I= 4	6	1	7	5		I= 44	6	1	7	5	0	0
I= 5	5	16	21	-11		I= 45	5	16	21	-11	0	0
I= 6	6	2	8	4		I= 46	6	2	8	4	0	0
I= 7	6	3	9	3		I= 47	6	3	9	3	0	0
I= 8	5	1	6	4		I= 48	5	1	6	4	0	0
I= 9	5	1	6	4		I= 49	5	1	6	4	0	0
I= 10	9	1	10	8		I= 50	9	1	10	8	0	0
I= 11	5	2	7	3		I= 51	5	2	7	3	0	0
I= 12	6	2	8	4		I= 52	6	2	8	4	0	0
I= 13	6	1	7	5		I= 53	6	1	7	5	0	0
I= 14	6	1	7	5		I= 54	6	1	7	5	0	0
I= 15	7	1	8	6		I= 55	7	1	8	6	0	0
I= 16	5	1	6	4		I= 56	5	1	6	4	0	0
I= 17	7	1	8	6		I= 57	7	1	8	6	0	0
I= 18	4	1	5	3		I= 58	4	1	5	3	0	0
I= 19	5	21	26	-16		I= 59	5	21	26	-16	0	0
I= 20	5	22	27	-17		I= 60	5	22	27	-17	0	0
I= 21	5	18	23	-13		I= 61	5	18	23	-13	0	0
I= 22	7	1	8	6		I= 62	7	1	8	6	0	0
I= 23	7	1	8	6		I= 63	7	1	8	6	0	0
I= 24	6	9	15	-3		I= 64	6	9	15	-3	0	0
I= 25	5	4	9	1		I= 65	5	4	9	1	0	0
I= 26	5	10	15	-5		I= 66	5	10	15	-5	0	0
I= 27	4	15	19	-11		I= 67	4	15	19	-11	0	0
I= 28	4	1	5	3		I= 68	4	1	5	3	0	0
I= 29	6	17	23	-11		I= 69	6	17	23	-11	0	0
I= 30	8	2	10	6		I= 70	8	2	10	6	0	0
I= 31	6	5	11	1		I= 71	6	5	11	1	0	0
I= 32	6	5	11	1		I= 72	6	5	11	1	0	0
I= 33	10	1	11	9		I= 73	10	1	11	9	0	0
I= 34	7	16	23	-9		I= 74	7	16	23	-9	0	0
I= 35	7	16	23	-9		I= 75	7	16	23	-9	0	0
I= 36	5	1	6	4		I= 76	5	1	6	4	0	0
I= 37	6	1	7	5		I= 77	6	1	7	5	0	0
I= 38	6	1	7	5		I= 78	6	1	7	5	0	0
I= 39	8	1	9	7		I= 79	8	1	9	7	0	0
I= 40	7	1	8	6		I= 80	7	1	8	6	0	0

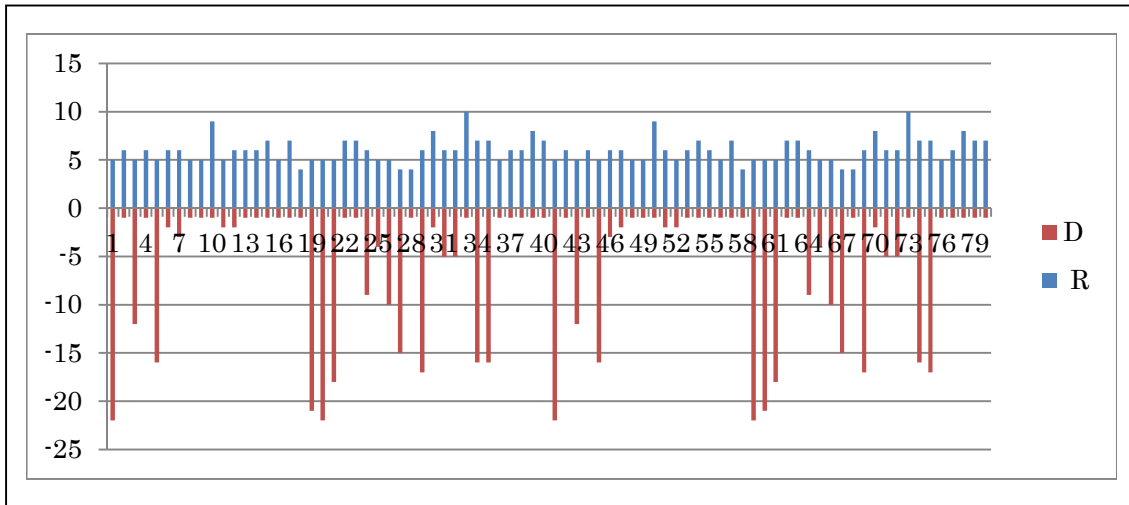


Fig. 3.9-1 Number of Reachable Set (R) and Antecedent Set (D) for Active Motions No.1-No.80

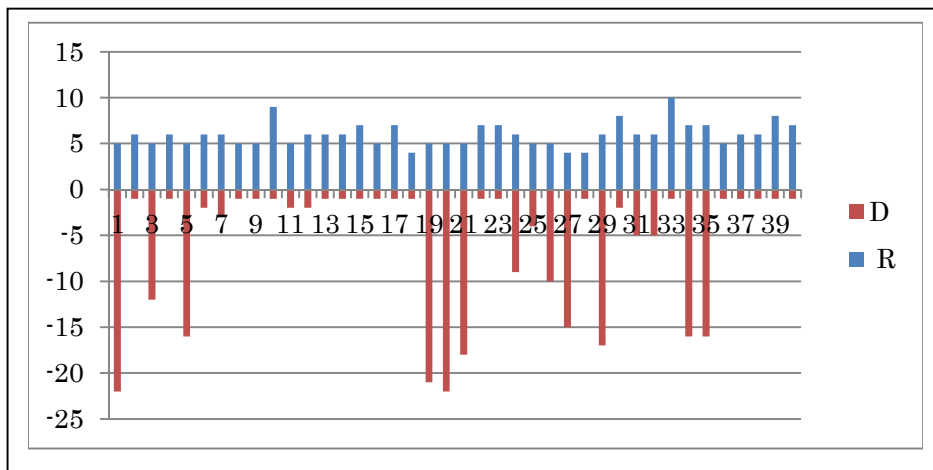


Fig. 3.9-2 Number of Reachable Set (R) and Antecedent Set (D) for Active Motions No.1-No.40

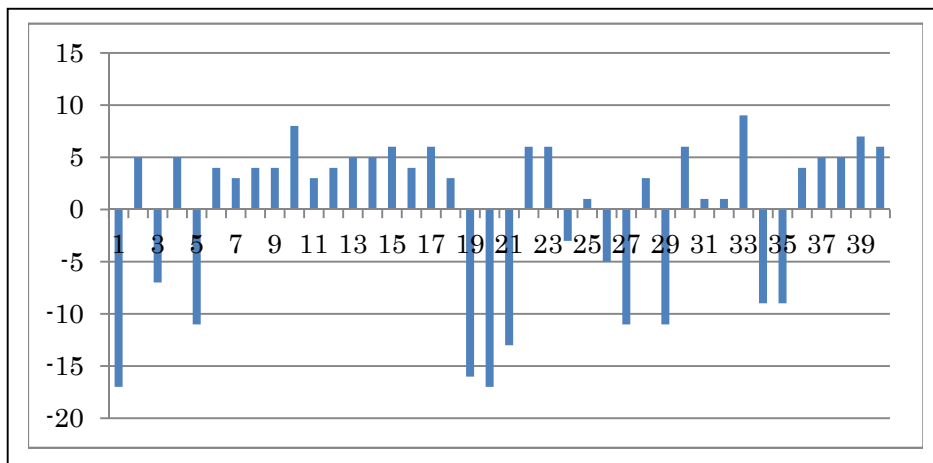


Fig. 3.9-3 Activeness of Active Motions (R-D) for Active Motions No.1-No.40

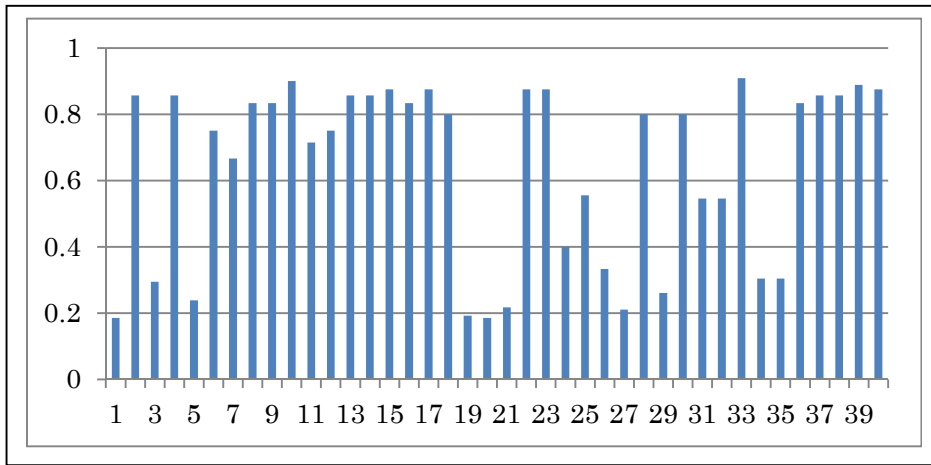


Fig. 3.9-4 Activeness of Active Motions (R/(R+D)) for Active Motions No.1-No.40

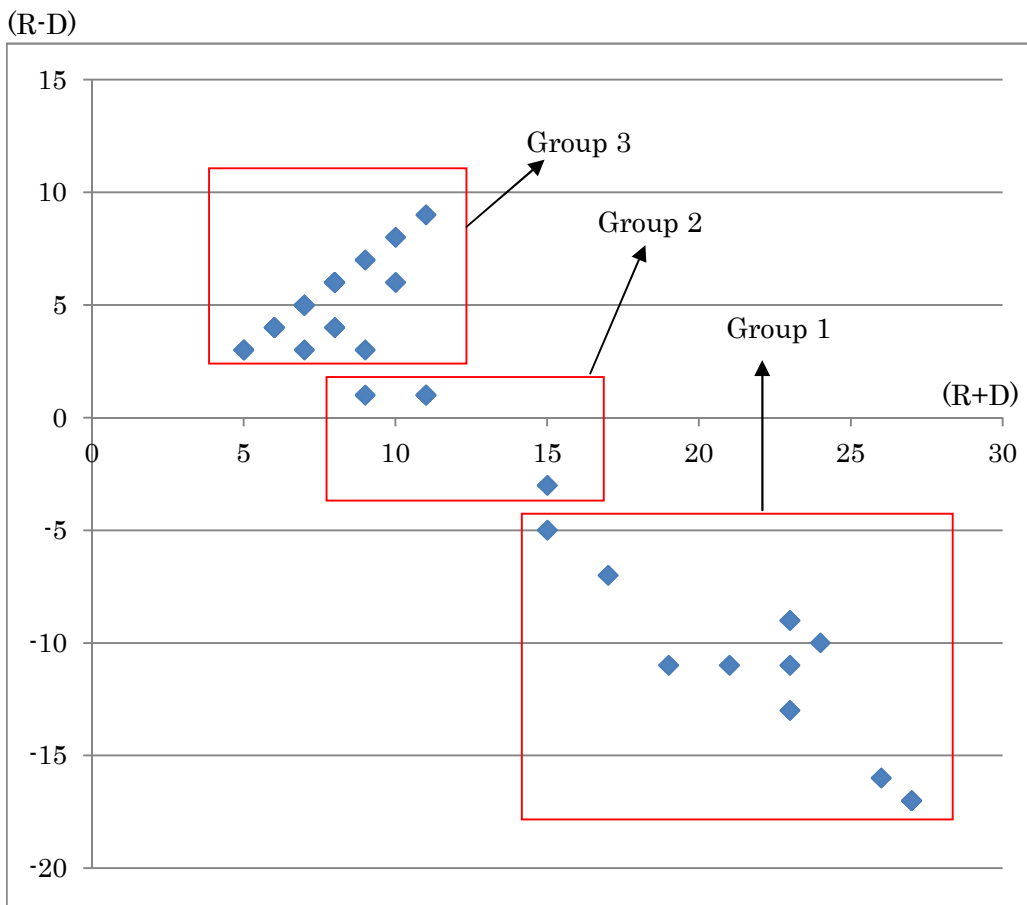


Fig. 3.9-5 Grouping of Active Motions by (R+D) vs. (R-D)

### 3.4 まとめ

本章においては、基本動作における連動性をマクロな観点、すなわち、人体を 14 の関節により接続された 15 剛体によってモデル化し、システム工学の手法を適用して検討した。

具体的には、SBRT 基本動作における主動作と連動動作を一対比較と有向矢印により関係付け、2 値行列(Binary Matrix)で表現した。その結果得られる 136 次元の N 二乗行列 (N-square matrix) を主動作のみを抽出して 80 次元に縮小し、ISM 手法 (Interpretive Structural Modeling)を適用した。すなわち連動性の有無を、N 二乗行列の行・列要素で表わし、連動関係があれば対応する要素が”1”、連動性が無ければ”0”とし、行列要素の積と和の演算にブール代数を適用した。このように生成された N 二乗行列から、主動作に関する可達行列を誘導した。さらに、可達行列から可達集合 (Reachability Set) と先行集合 (Antecedent Set) の次数を算定して ISM の標準的な手法を適用し、主動作を干渉の度合いと能動性の 2 面に応じて 3 グループに分類した。その結果、主動作の性質として重要な能動性・受動性に対応して、中立的 (neutral), 受動的 (passive), および能動的 (active)の 3 グループに大別されることを示した。本性の結果は、次章以降において用いられる。

## 第4章 基本動作・関節運動・関節筋肉の関係の行列表現

基本動作の各々は、複数の関節運動と関係し、さらに関節運動は多くの筋肉運動と関係する。これらの関係を系統的に表現するために行列を用いる。すなわち、主動作から基本動作への関連を行列 A (Table 4.1 Matrix-A) で、基本動作から関節運動への関連を行列 B (Table 4.2 Matrix-B) で、関節運動から筋肉運動への関連を行列 C (Table 4.3 Matrix-C) で表現する。その結果を利用して、SBRT の診断プロセスで主要な役割を演じる主動作から関節動作の関係導く。

### 4.1 主動作と基本動作との関係 : Matrix-A

Matrix-A は、前章図 3.5 に示したように、主動作を行とし基本動作を列とする 80x136 次元の行列であり、次式で定義される。なお、表 4.1 は、その一部を示すにとどめ、Matrix-A 全体は付録 B-1 に示した。

$$A = [a(i, j)] \quad : \text{Active Motions vs. FMEs}$$

ただし、

$$a(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{if Active Motion } i \text{ induces FME } j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (i=1, \dots, 80; j=1, \dots, 136) \quad (4.1)$$

表 4.1 から、一つの主動作が複数の連動主動作を誘起することが示される。

### 4.2 基本動作と関節運動との関係: Matrix-B

基本動作、すなわち主動作およびこれにより発生する連動動作は、関節の回転運動を惹き起す。基本動作を表現するために、図 4.1 に示すような 15 の関節により接続された 15 剛体モデルを用いる(Zatsiorskey モデル[22]を援用)。通常の機械システムの記述と同様に、XYZ 各軸まわりの回転可能な数を自由度 (Degree-of-Freedom: DOF) (表 3.1 参照) とし、ロール・ピッチ・ヨーという一般用語を用いる。また、JIS 規格で規定されているロボット関節の回転を表現する記号を援用する。筋肉骨格系で用いられる用語との関係を付録 A-2 に示す。15 剛体モデルの各々の剛体は、隣接した関節点および床面との接触点において力と回転トルクを受ける。関節運動はすべて回転運動であるが、肩関節においては、並進運動も考慮する必要がある。基本動作 136 種に対する関節運動 80 種を表現する行列 B の要素を  $b(j, k)$  とすれば、

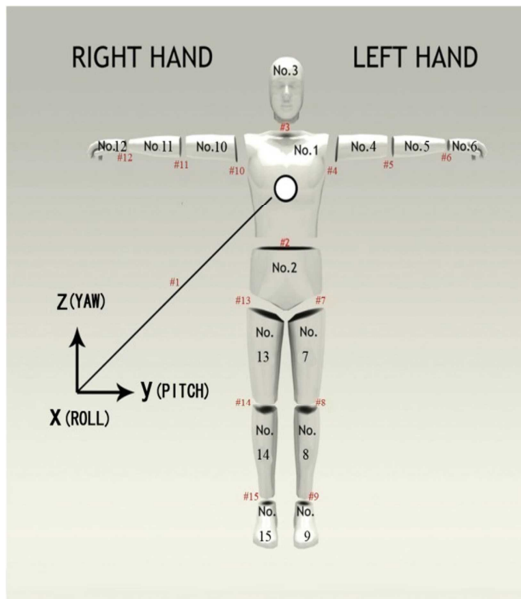
$$B = [b(j, k)] \quad : \text{FMEs vs. Joint Motions}$$

ただし、

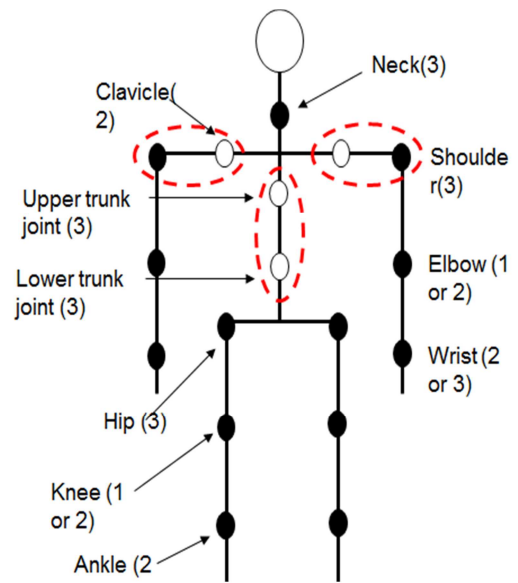


$$b(j, k) = \begin{cases} 1 & \text{if FME } j \text{ is related to joint } k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (k = 1, \dots, 80) \quad (4.2)$$

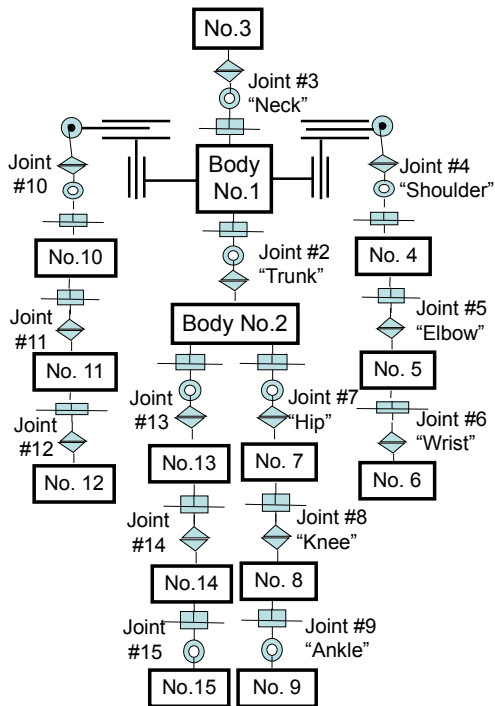
表 4.1 は主動作と FME との関係の一部を示すものである。表 4.2 は、136 種の基本動作と 80 種の関節回転運動との対応関係の一部を示すものである。この対応関係は、本来 136×80 次元の行列で表わされるが（付録 B-2）、紙面の都合上、基本動作 No. 01 から No.40 の左グループの動作からランダムに選び、右半身の関節を省略した。一つの基本動作には、一般的に複数の関節が関与する。例えば、左腕を伸ばす動作（表 4.1, 4.2 の動作番号 No.5）を行うと、肩関節 2 種とひじ関節および手首関節が各 1 種ずつ関与することを示している。



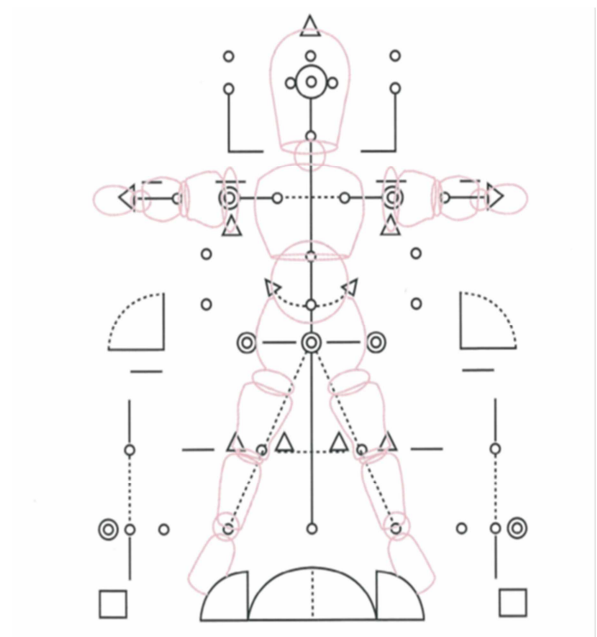
SBRT モデル



Zatsiorskey モデル (文献 [22])



JIS 規格・ロボットモデル



ダイアグラム表記モデル

Fig.4.1 Body Modeling with 15 Rigid Bodies



### 4.3 関節運動と関節筋肉との関係：Matrix-C

基本動作に関わる関節の回転運動と筋肉との関係を表 4.3 に示す。ここでも、紙面の都合上、行列は転置して関節および関連筋肉の一部の転置行列を示すにとどめる。237×80 次元の行列形式で全容は付録 B-3-1 から B-3-4 に示す。なお、本論文では、当該関節に直接付随するのみを対象とし、2 関節筋肉や最長筋の作用に関する考察を省略した。

$$C = [c(k,l)] \quad : \text{Joint Motions vs. Muscles}$$

ただし、

$$c(l,k) = \begin{cases} 1 & \text{if motion } k \text{ is related to muscle } l \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (l=1, \dots, 237) \quad (4.3)$$

表 4.3 から、例えば腰を前に折りまげると、正のピッチ運動が発生し、#2 Trunk の第一列 P に対応して、筋肉番号 No.10 および No.13 がこれに関与する。

### 4.4 主動作と関節運動との関係：Matrix-D

SBRT の目的は、不具合の根本原因となる部位を同定し、その部位を無痛で動かす主動作を選定することである。そのために、関節に注目して、不具合部位の識別・矯正のターゲットとし、主動作と関節運動の関係を表す 80 x 80 行列を定義する。行列 D は、前節で定義した行列 A, B を用いて次式で定義される

$$D = A \cdot B \\ = [d(i,k)] \quad : \text{Active Motion vs. Joint Motions}$$

ただし、

$$d(i,k) = \sum_{j=1}^{136} a(i,j) \cdot b(j,k) \quad (i=1, \dots, 80; j=1, \dots, 80) \quad (4.4)$$

なお、式(4.3)の演算はブール代数ではなく、通常の整数演算に従うものと仮定する。これによって、主動作と関節の関係の程度が定量的に示される。

表 4.4 に主動作 40 種と関節運動との関係を示す。ただし、両者とも左グループに限定し、右グループは省略してある。また、主動作 No.13 を例にとって、この動作に関連する 5 つの関節運動をとり出し、関節運動を図示した。

これより、以下の対応関係が確認できる。

- 1) 腰のプラスロール：                      腰の左側方向回旋

- 2) 腰のマイナスヨー： 腰の右水平回旋
- 3) 股関節のマイナスピッチ： 股関節の屈曲
- 4) 股関節のプラスヨー： 股関節の外旋
- 5) 膝関節のマイナスヨー： 膝の外旋

なお、主動作番号 41~80 の右グループについては、左グループとほぼ対称である。

#### 4.5 主動作と筋肉との関係：Matrix-E

不具合の部位を固定するもう一つのアプローチは、主動作と関節を動かす筋肉の関係に注目することである。この関係を行列 E で表すと

$$E = [e(i, l)] \quad : \text{Active Motions vs. Muscle}$$

ただし、

$$e(i, l) = \sum_{k=1}^{80} d(i, k) \cdot c(k, l) \quad (i = 1, \dots, 80; l = 1, \dots, 237) \quad (4.5)$$

表 4.5 に、主動作と筋肉との関係行列 E を示す。式 (4.5) から明らかになるように、行列 E は、行列 A, B, C から誘導されるが、表 4.5 に示す関係は、苦痛動作に関連する不具合筋肉に関与し得る主動作（とくに快適動作）を識別するのに用いられる。



Table 4.5 Relation between Active Motions and Muscles

No	Motion	63	64	65	66	59	60	61	62	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	7	8	9		
		#12 Wrist-R				#11 Elbow-R				#10 Shoulder-R												#3				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3		
		y	Y	r	R	p	P	Y	y	p	P	r	R	y	Y	Z	z	R	r	y	Y	P	p	R		
301	Splenius muscles: Right																							1	1	
302	Splenius muscles: Left																								1	1
303	Splenius muscles: Right																								1	1
304	Splenius muscles: Left																								1	1
305	Sternocleidomastoid muscle: Right																								1	1
306	Sternocleidomastoid muscle: Left																								1	1
401	Deltoid muscle: Whole																									
402	Deltoid muscle: Anterior																									
403	Deltoid muscle: Posterior																									
404	Coracobrachialis muscle																									
405	Supraspinatus muscle																									
406	Infraspinatus muscle																									
407	Teres minor muscle																									
408	Subscapularis muscle																									
409	Teres major muscle																									
410	Latissimus dorsi muscle																									
411	Pectoralis major muscle																									
412	Trapezius muscle: Upper																									
413	Trapezius muscle: Middle																									
414	Trapezius muscle: Lower																									
415	Levator Scapulae muscle																									
416	Rhomboid muscles																									
417	Serratus anterior muscle																									
418	Pectoralis minor muscle																									
501	Biceps brachii muscle																									
502	Brachialis muscle																									
503	Brachioradialis muscle																									
504	Triceps brachii muscle																									
505	Anconeus muscle																									
506	Supinator muscle																									
507	Pronator teres muscle																									
508	Pronator quadratus muscle																									
509	Flexor carpi radialis muscle																									
510	Extensor carpi radialis brevis muscle																									
511	Extensor carpi radialis longus muscle																									
512	Flexor digitorum superficialis muscle																									
513	Extensor digitorum muscle																									
601	Flexor carpi radialis muscle																									
602	Palmaris longus muscle																									
603	Flexor carpi ulnaris muscle																									
604	Extensor carpi ulnaris muscle																									
605	Extensor carpi radialis brevis muscle																									
606	Extensor carpi radialis longus muscle																									
607	Flexor digitorum superficialis muscle																									
608	Flexor digitorum profundus muscle																									
609	Flexor pollicis longus muscle																									
610	Extensor digitorum muscle																									
611	Extensor indicis muscle																									
612	Extensor digiti minimi muscle																									
613	Extensor pollicis longus muscle																									
614	Extensor pollicis brevis muscle																									
615	Abductor pollicis longus muscle																									
201	Rectus abdominal muscle: Whole																									
202	Rectus abdominal muscle: Right																									
203	Rectus abdominal muscle: Left																									
204	External oblique Abdominal																									
205	External oblique Abdominal																									
206	External oblique Abdominal																									
207	Internal oblique abdominal muscle:W																									
208	Internal oblique abdominal muscle:R																									
209	Internal oblique abdominal muscle:L																									
210	Transverse abdominal muscle																									
211	Elector spinae muscle: Whole																									
212	Elector spinae muscle: Right																									
213	Elector spinae muscle: Left																									
214	Quadratus lumborum muscle-Right																									

## 4.6 まとめ

人体の筋肉骨格系を 14 関節で統合された 15 剛体によってモデル化し、各関節を動かす主要な筋肉を識別した。これらをシステムとして統一的に関係づけるために、行列表記を適用した。すなわち、主動作 80 種と基本動作 136 種との関係を表現する行列 A、基本動作 136 種と関節運動 80 種との関係を表現する行列 B、関節運動 80 種と主要筋肉 237 種との関係を表現する行列 C を定義した。これらの行列は全て 2 値行列で定義され、関係性の有無を“1”または“0”で表すことにより、簡潔で統一的な連動関係を明示した。

以上で定義した諸行列の演算により、主動作と関節運動を表す行列 D および主動作と筋肉の関係を表す行列 E が導かれた。行列 D は、次章において不具合箇所の同定と矯正に用いる主動作の選択指針を与える。行列 E に関しては、関節運動との関係を明示することに止め、詳細な解析は将来課題とする。



## 第 5 章 SBRT における動診結果分析の自動化・可視化

前節において、人体の 15 剛体でモデルを念頭に置いて、主動作から連動動作を含む基本動作へ、基本動作から関節運動へ、関節運動から筋肉の関与へ、という 3 段階で構成される SBRT アプローチについて、略述した。図 5.1 は、そのプロセスの流れを図示したものである。以下において、基本動作-関節運動 - 筋肉作用を表現する行列を構築するプロセスとこの行列から不具合箇所の同定、矯正動作の選定を行うフレームワークを説明する。図 5.2 は、図 5.1 における SBRT Fixed Data の中において、Matrix-A, -B, -C の関連を示している。

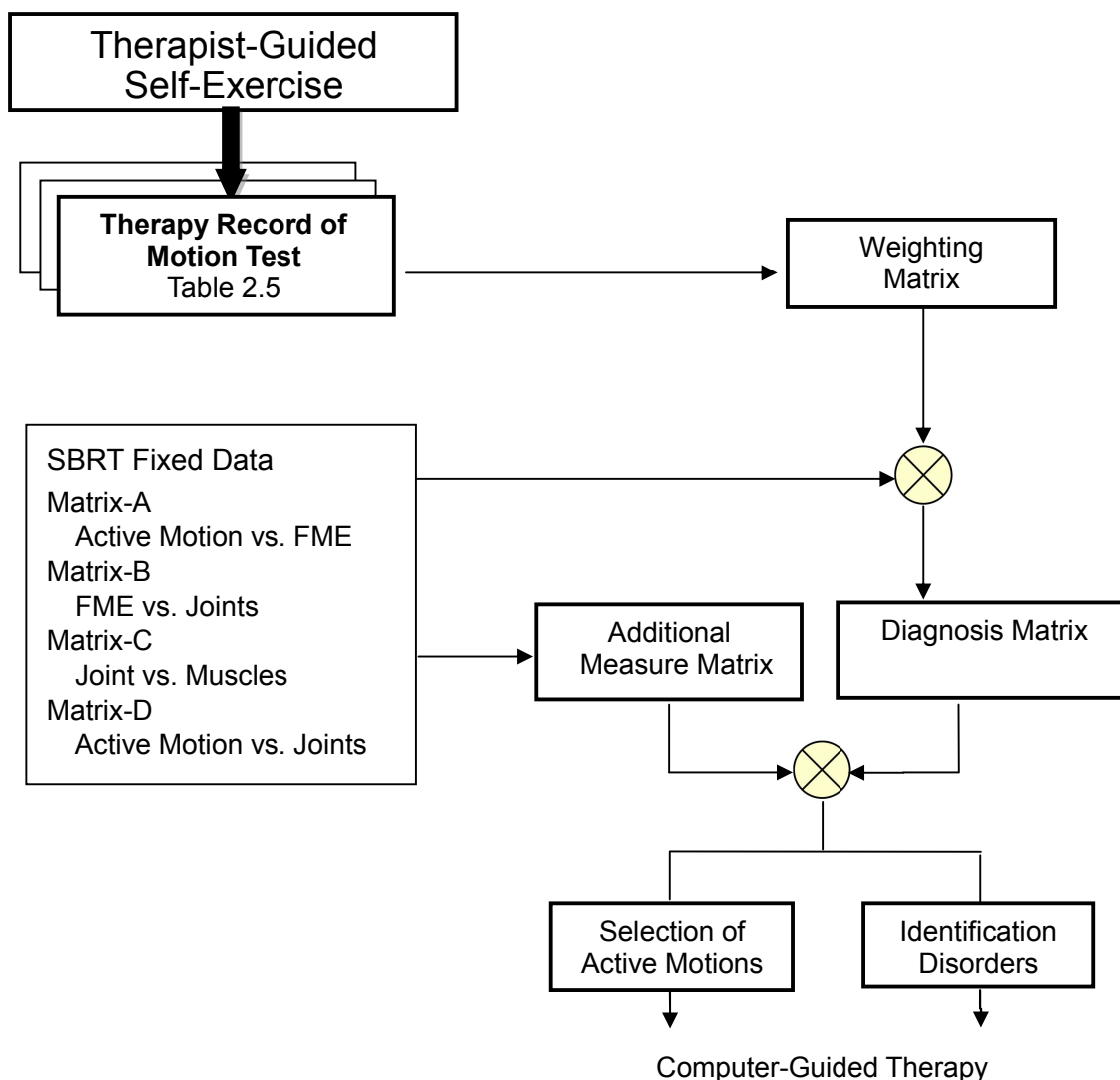


Fig. 5.1 Flow Diagram of Computerized SBRT Process



## 5.1 不具合箇所の同定

不具合箇所の同定は、以下のプロセスで行う：

SBRT において実際に用いられる手法を従来手法と比較するために、第 4 章において導入した行列 **Matrix-A**, **Matrix-B**, **Matrix-C** を参照する。**Matrix-A** は、左右対称 80 動作の主動作とその主動作を含む基本動作 136 動作を表す  $80 \times 136$  行列である(付録 B-1)。なお、**Matrix-A** は第 3 章の図 3.5 から  $A_{55}$ ,  $A_{66}$  を除いたものであり、図 3.6-1~図 3.6-8 と一致する。**Matrix-B** は、基本動作 136 種と関節の回転運動方向をあらわす  $136 \times 80$  行列である(付録 B-2)。**Matrix-C** は、80 種の関節運動とその運動方向に関わる筋肉を対応させる  $80 \times 237$  行列である(付録 B-3)。**Matrix-D** は、主動作と関節自由度との関係の一部を表し、各関節の回転方向を明示している。

SRBT の動作検査（以下、動診という）をする前に、問診により被験者の主訴を詳しく記録し、参考データとする。被験者は、この主訴が消滅することを希望するが、以下に記述する動診による苦痛を伴う動作と必ずしも一致しない場合があることに留意する必要がある。

- 1) 40 基本動作の動診検査を左右対称、上下そして前後方向へ合計 80 動作を行う：この 80 動作を行う順序は任意であるが、「No.01 首の左回し」と「No.41 首の右回し」を基準動作として最初に行うことが望ましい。以後、動診を継続し、40 動作について左右のグループに分ける。
- 2) その動診検査の結果をダイアグラム動診検査表に記入し、全ての動作に対して、「快適動作」と「苦痛動作」に分類する。「快適動作」とは、被験者が心地よく行える動作であり、「苦痛動作」とは、被験者にとって苦痛を伴う動作である。なお、苦痛を伴わないまでも、抵抗感や違和感を伴う動作は、「困難動作」に分類する。
- 3) 主動作の中から、苦痛動作を抽出し、その苦痛動作に連動する動作を抜き出して、**Matrix-B** および **Matrix-C** に転写する。これにより、「苦痛（主）動作」と関節の対応を表す行列が、**Matrix-B** および **Matrix-C** の部分行列として生成され、「苦痛動作」に関係する関節の同定、その回転方向、および関連する筋肉の対応関係が得られる。
- 4) 前項で得られた行列から、関節と回転方向の動診により参照された不具合が発生する回数合計が得られる。その合計回数を図示することによって、不具合箇所である関節と筋肉と動作を同定・識別することが出来る。

図 5.2 に基づいて、以上の流れを具体的に説明する。すなわち、検査の結果、「首の左回し（主動作 No. 1）」が苦痛動作であったと仮定する。ただし、簡略化のための仮想的な例であって実際の症例ではない。なお、**Matrix-B** において用いられる関節運動方向を表す番号とロール、ピッチ、ヨーの番号は、筋肉骨格系に用いられる用語で表すことが出来る。その対応は付録 B-2 参照。

Matrix-A の主動作番号「No.01 首の左回し」に連動する連動動作は 13 種あるが、図 5.2 では簡略化した行列の中から 2 つの連動動作「No. 21 右足の踵伸ばし」と「No. 91 右骨盤の押し付け」のみに注目する。なお、「首の左回し」が動作自身に連動しているを見なして、これらの連動動作と関節運動との対応を Matrix-A に加える。

- 1) これらの動作には、腰関節および首関節が関与する（これらの他の関節も回転するが省略する）。Matrix B の連動動作番号と関節番号の行列から次のことが判明する。
  - ・ 動作番号 01「首の左回し」は関節番号 #3 首の関節運動番号 6 で頸椎部位の「左回旋」（マイナス/ヨー）運動である。
  - ・ 動作番号 21「右足の踵伸ばし」は関節番号 #2 腰椎の関節運動番号 3 で骨盤の「左側方向回旋」（プラス・ロール）運動である。
  - ・ 動作番号 91「右骨盤の押し付け」は関節番号 #2 腰椎の関節運動番号 6 で骨盤の「右水平回旋」（マイナス・ヨー）運動である。
- 2) この結果、苦痛動作である「首の左回し」に対して、図 5.2 (Matrix-C) に示される 7 種の筋肉（筋肉番号：3, 6, 8, 9, 33, 36, 38）が関与する

Matrix-C においてこれらの 3 つの関節運動に関わる主動筋を抽出すると；

動作番号 1「首の左回し」に関連する 7 筋肉のうち 3 筋肉を表示：

頸板状筋左側 (Splenius Cervicis-Left)：筋肉番号 33

頭板状筋左側 (Splenius Capitis-Left)：筋肉番号 36

胸鎖乳突筋右側 (Stenocleidomastoid-Right)：筋肉番号 38

動作番号 21「右足の踵伸ばし」に関連する 9 筋肉のうち 3 筋肉を表示：

腹直筋左側 (Rectus Abdominal –Left)：筋肉番号 3

外腹斜筋左側 (External Oblique Abdominal-Left)：筋肉番号 6

内腹斜筋左側 (Internal Oblique Abdominal-Left)：筋肉番号 9

動作番号 91「右骨盤の押し付け」に関連する 5 筋肉のうち 2 筋肉を表示：

外腹斜筋左側 (External Oblique Abdominal-Left)：筋肉番号 6

内腹斜筋右側 (Internal Oblique Abdominal-Right)：筋肉番号 8

全ての苦痛動作について集積し、関与する関節の筋肉について頻度分布を求める。その結果から、不具合が疑われる関節と筋肉の候補数例が抽出される。

以上を要約すれば、80 種の基本動作全てを実施することにより、「苦痛動作」およびそれに連動する基本動作を系統的に調べることでより機能的に不具合が発生している関節・筋肉が特定可能となる。

## 5.2 SBRT 矯正動作の選定指標

動診検査により同定された不具合箇所（関節・筋肉）を痛みを伴わない快適動作によって矯正することが SBRT の主目的である。本節では動診結果から明らかにされた快適動作の中から、矯正動作として最適な主動作を選定するプロセスについて述べる。

その目的のために、動診結果を反映する重み行列を導入し、関節診断行列 Q と筋肉診断行列 S を定義する。これに基づいて

- (1) 主動作の有効性指標
- (2) 快適動作・苦痛動作間の距離指標
- (3) 快適動作・苦痛動作の相関係数指標

という 3 種の指標を導入する。

本節においては、表 5.1 に示す具体例について記述する。本例の詳細については、付録 E 参照。

Table 5.1 An Example of SBRT Record (Partially shown)

No	A0005_**_0001	Name **	Male	Age:**	Date: 2012/12/16
Note: R/L:Right/Left, U/D:Up/Down, h=hard, e=easy					
B-2, F-1, F-5, G-8 G-16, G-17, G18 =Pain Area on Body Map (See Fig. 2.3)					
	Motions	Check	Pain	Therapy	
41/01	Turn <b>neck</b> to (R/L)	e p1	B-2		
42/02	Tilt head to (R/L)	e p2	B-2		
45/05	Extend <b>arm</b> to (R/L)	he			5
11/51	Swing <b>right knee</b> to (R/L)	e p3	G-8		
53/13	Swing both <b>lower legs</b> to (R/L)	he			13
54/14	Swing right <b>lower leg</b> to (R/L)	e p6	F-1		
55/15	Swing left <b>lower leg</b> to (R/L)	he			15
56/16	Elevate <b>hip</b> up off ground (R/L)	e p4	G16, 17, 18		
57/17	Raise knee (R/L)	p7 e			
21/61	Stretch <b>heel</b> (R/L)	e p5	F5		21
69/29	Twist <b>hip</b> off ground (L/R)	eh			69
80/40	Rise <b>leg</b> off ground (L/R)	eh			80

### 5.2.1 動診結果を反映した重み行列および診断行列の生成

第  $i$  番目の主動作による結果を数値  $w_i$  で表せ、 $w_i$  は  $e, h, p$  によって異なる値をあてはめることが出来る。この数値の取り方には任意性があるが、ここでは一例として以下を仮定する。

$$w_i = \left\{ \begin{array}{ll} +10 & \text{for } e(\text{easy}) \\ +2 & \text{for } h(\text{hard}) \\ -10 & \text{for } p(\text{pain}) \end{array} \right. \quad (i = 1, \dots, 80) \quad (5.1)$$

この仮定の下では、快適動作が多いほど行列  $D$  の要素の数値が大きくなり、苦痛動作に対しては小さな値（負値）となる。式(5.1)で定義された  $w_i (i = 1, \dots, 80)$  を要素とする対角行列を  $W$  とすると、

$$W = \text{diag}[w_1, w_2, \dots, w_N], \quad N = 80 \quad (5.2)$$

動診結果を表す行列  $W$  を用いて、次の診断行列(Diagnosis Matrix)を定義する。

(1) 関節運動に関する診断行列： $Q$

$$Q = W \cdot D \quad (5.3)$$

ただし、

$$D = [d(i, k)] \quad : \text{Active Motion vs. Joint Motions}$$

$$d(i, k) = \sum_{j=1}^{136} a(i, j) \cdot b(j, k) \quad (i = 1, \dots, 80; j = 1, \dots, 80)$$

(2) 筋肉に関する診断行列： $S$

$$S = W \cdot E \quad (5.4)$$

ただし、

$$E = [e(i, l)] \quad : \text{Active Motions vs. Muscle}$$

$$e(i, l) = \sum_{k=1}^{80} d(i, k) \cdot c(k, l) \quad (i = 1, \dots, 80; l = 1, \dots, 237)$$

以上から明らかになるように、診断行列  $Q$  は動診検査前に準備された固定した行列  $D$  と動診検査の結果  $W$  から構成される。通常の SBRT 診断は、行列  $Q$  による診断、すなわち、主動作 80 種と関節運動 80 種の関係から導かれる不具合箇所の同定と矯正動作の選定で十

分満足すべき成果が得られる。さらに進んで、診断行列  $S$  を利用すれば、不具合の原因となる筋肉を同定することが可能となる。この結果を用いて SBRT のみならず、ほかの自然療法を実施する際の参照情報として役立てることも可能である。

### 5.2.2 有効性指標

効果指標は、苦痛動作とそれを連動動作とする快適動作が、関節運動の自由度を共有する数として定義される。

表 5.1 に示す動診結果を分析した結果を表 5.2 に示す。表 5.2 の各行は、表 5.1 の p1, p2 など記述された苦痛動作を番号として記し、列方向は、快適動作に対応する。表 5.2 中の数値は、関節運動からみた苦痛主動作と快適動作の関係の大きさを示す指標である。この結果を図 5.3 に示す。表 5.2 および図 5.3 から明らかなように、苦痛動作は 2 つのグループに分けられる。すなわち、

- (1) 苦痛動作グループ : No. 01, No. 02, No.14, No.16 は、左グループの主動作である。
- (2) 苦痛動作グループ : No. 51, No. 57, No.61 は、右グループの主動作である。

各苦痛動作グループに対して施すべき矯正動作は、図 5.3 の効果指標が大きいものから選定するのが妥当である。具体的には、図 5.3 および表 5.2 から以下の快適動作が候補となる。

- ・左グループの苦痛動作に対して有効な主動作 : No. 05, No.13, No.15, No.21 など
- ・右グループの苦痛動作に対して有効な主動作 : No.46, No.56, No.63 など

Easy \ Pain	5	10	11	12	13	15	17	21	24	25	27	28	30	34	36	37	38	41	42	43
No. 01	40	40	37	34	40	43	35	33	7	13	6	7	18	9	7	6	10	5	5	2
No. 02	41	40	36	33	40	43	35	34	7	14	7	8	18	9	8	6	10	5	5	2
No. 14	43	46	42	37	49	47	38	37	9	16	9	10	23	12	10	8	13	5	5	2
No. 16	23	33	25	24	27	28	24	18	11	16	10	11	25	14	12	8	12	7	7	5
No. 51	6	12	7	7	7	6	8	3	17	20	12	12	17	17	12	9	11	32	31	25
No. 57	7	9	8	8	7	7	7	4	24	25	14	14	18	22	15	13	15	33	33	27
No. 61	2	8	3	3	2	2	4	1	28	27	16	16	17	25	16	13	17	31	32	31

Easy \ Pain	44	46	47	48	49	54	56	58	59	60	62	63	66	69	71	72	73	75	79	80
No. 01	4	6	3	2	5	5	6	5	5	5	5	6	27	16	17	18	29	24	15	16
No. 02	4	6	3	2	5	5	6	5	5	5	5	6	27	17	16	17	30	25	16	17
No. 14	4	6	3	2	5	5	8	5	5	5	5	5	29	20	20	19	37	27	18	20
No. 16	7	8	7	5	8	8	4	7	7	7	9	7	13	11	8	9	17	14	11	12
No. 51	25	34	28	26	25	37	22	30	32	32	28	34	8	10	19	18	22	13	13	13
No. 57	28	34	27	28	26	37	22	31	33	33	29	36	7	9	16	16	15	11	12	11
No. 61	32	32	32	32	29	35	16	30	31	31	34	32	4	5	8	9	11	7	8	7

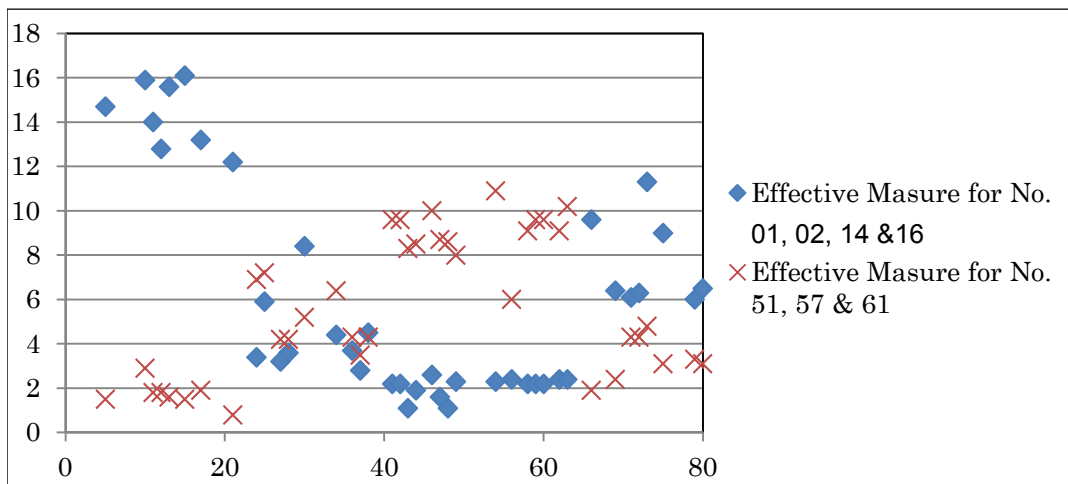


Fig. 5.3 Effectiveness Measure Example



### 5.2.3 距離指標

各主動作に対して、その動作で主要な役割をになう関節（主関節と呼ぶ）が1つ存在する。ただし、例外として2つの関節が関わることもある。SBRTにおいては、矯正のための主動作が関わる関節と苦痛動作に関わる関節が距離的に離れている方が効果が大きい。したがって両者間の距離を指標の1つにすることが妥当である。表5.3は、異なる2つの関節の間に存在する関節の数をまとめたものである。同一の関節間距離（数）を1と仮定する。表5.3から算出される主動作の距離指標を表5.4に示す。

表5.4に基づいて、表5.1に示した動診検査7例について、距離指標を算出した結果を図5.4-1および図5.4-2に示す。図5.4-1は、前節で定義した左グループ（苦痛動作No.01, No.02, No.14, No.16）に対する主動作80種の距離指標であり、図5.4-2は、右グループ（苦痛動作, No.51, No.57, No.61）に対する主動作80種の距離指標である。

距離指標が3以上の快適動作を矯正動作の候補とする。なお、この値は大きい方が望ましい。

**Table 5.3 Distance Measure Matrix between Joints**

		Joint Number of Easy Motions														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Joint Number of Pain Motions	1	1	2	2	2	3	4	3	4	5	2	3	4	3	4	5
	2	2	1	2	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
	3	2	2	1	2	3	4	3	4	5	2	3	4	3	4	5
	4	2	2	2	1	2	3	3	4	5	2	3	4	3	4	5
	5	3	3	3	2	1	2	4	5	6	3	4	5	4	5	6
	6	4	4	4	3	2	1	5	6	7	4	5	6	5	6	7
	7	3	2	3	3	4	5	1	2	3	3	4	5	2	3	4
	8	4	3	4	4	5	6	2	1	2	4	5	6	3	4	5
	9	5	4	5	5	6	7	3	2	1	5	6	7	4	5	6
	10	2	2	2	2	3	4	3	4	5	1	2	3	3	4	5
	11	3	3	3	3	4	5	4	5	6	2	1	2	4	5	6
	12	4	4	4	4	5	6	5	6	7	3	2	1	5	6	7
	13	3	2	3	3	4	5	2	3	4	3	4	5	1	2	3
	14	4	3	4	4	5	6	3	4	5	4	5	6	2	1	2
	15	5	4	5	5	6	7	4	5	6	5	6	7	3	2	1

**Table 5.4 Distance Measure Matrix (partially shown)**

		Active Motion Number Referred in Easy Motions																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Active Motion Number in Pain Motions	1	1	1	2	3	4	4	4	4	4	2	3	3	2	3	3	2	3	4	4	4
	2	1	1	2	3	4	4	4	4	4	2	3	3	2	3	3	2	3	4	4	4
	3	2	2	1	2	4	3	4	4	3	2	3	3	2	3	3	2	3	4	4	4
	4	3	3	2	1	5	2	5	5	2	3	4	4	3	4	4	3	4	5	5	5
	5	4	4	4	5	1	6	1	1	6	4	5	5	4	5	5	4	5	6	6	6
	6	4	4	3	2	6	1	6	6	1	4	5	5	4	5	5	4	5	6	6	6
	7	4	4	4	5	1	6	1	1	6	4	5	5	4	5	5	4	5	6	6	6
	8	4	4	4	5	1	6	1	1	6	4	5	5	4	5	5	4	5	6	6	6
	9	4	4	3	2	6	1	6	6	1	4	5	5	4	5	5	4	5	6	6	6
	10	2	2	2	3	4	4	4	4	4	1	2	2	1	2	2	1	2	3	3	3
	11	3	3	3	4	5	5	5	5	5	2	1	2	2	1	2	2	2	3	2	3
	12	3	3	3	4	5	5	5	5	5	2	2	1	2	2	1	2	1	2	3	2
	13	2	2	2	3	4	4	4	4	4	1	2	2	1	2	2	1	2	3	3	3
	14	3	3	3	4	5	5	5	5	5	2	1	2	2	1	2	2	2	3	2	3
	15	3	3	3	4	5	5	5	5	5	2	2	1	2	2	1	2	1	2	3	2
	16	2	2	2	3	4	4	4	4	4	1	2	2	1	2	2	1	2	3	3	3
	17	3	3	3	4	5	5	5	5	5	2	2	1	2	2	1	2	1	2	3	2
	18	4	4	4	5	6	6	6	6	6	3	3	2	3	3	2	3	2	1	4	1
	19	4	4	4	5	6	6	6	6	6	3	2	3	3	2	3	3	3	4	1	4
	20	4	4	4	5	6	6	6	6	6	3	3	2	3	3	2	3	2	1	4	1

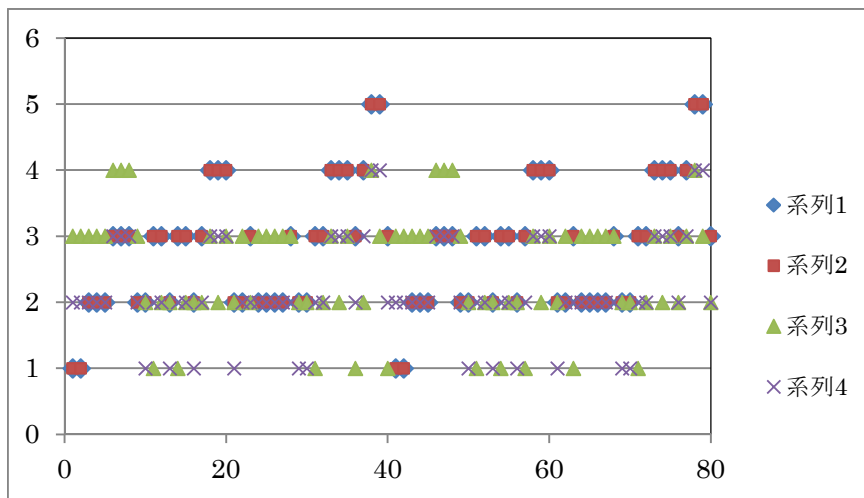


Fig.5.4-1 Distance Measure for Pain Motions  
(No. 01, No.02, No.14, No.16)

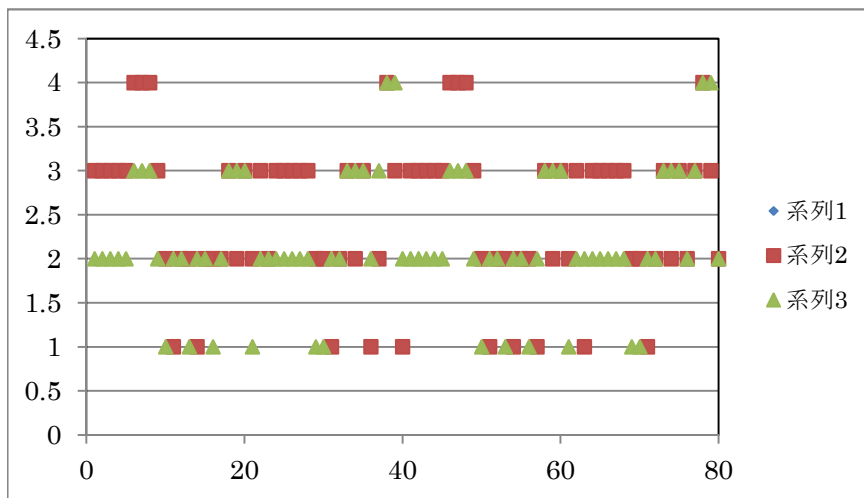


Fig.5.4-2 Distance Measure for Pain Motions  
(No. 51, No.57, No.61)

## 5.2.4 主動作間の相関係数による指標

2つの主動作, すなわち苦痛主動作と快主動作が関与する関節自由度を主動作番号の関数として  $q(i,j)$  と表す. この定義により, 2つの主動作間の相関係数を以下のように算出することが出来る.

$$\begin{aligned} Q &= [q_i(k)] \\ &= [w_i d(i,k)] \quad (i=1, \dots, 80; k=1, \dots, 80) \end{aligned} \quad (5.5)$$

ただし,

$$d(i,k) = \sum_{j=1}^{136} a(i,j) \cdot b(j,k) \quad (i=1, \dots, 80; j=1, \dots, 80) \quad (5.6)$$

$$w_i = \begin{cases} +10 & \text{for } e(\text{easy}) \\ +2 & \text{for } h(\text{hard}) \\ -10 & \text{for } p(\text{pain}) \end{cases} \quad (i=1, \dots, 80). \quad (5.7)$$

これらの諸量を用いて, 相関係数  $corr(i,k)$  は以下のとなる.

$$corr(i,k) = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j^i - \bar{x}^i)(y_j^k - \bar{y}^k)}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (x_j^i - \bar{x}^i)^2} \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_j^k - \bar{y}^k)^2}}, \quad (5.8)$$

ただし,

$$x_j^i = \text{pain part of } [q(i,j)], \quad (5.9a)$$

$$y_j^i = \text{easy part of } [q(i,j)]. \quad (5.9b)$$

表 5.3 に示されるケースについて, 相関係数を算出した結果を図 5.5-1 および図 5.5-2 に示す. このケースの場合, 苦痛動作の発生場所 (あるいは原因となる部位) が, 苦痛動作番号 1, 2, 4, 6 の左グループと苦痛動作番号 3, 5, 7 の右グループに大別されるからである.

図 5.5-1 ~ 図 5.5-2 に, 苦痛動作各々について, 快適動作との相関係数を示す. 相関係数に基づいて選択される快適動作には, セラピストが左グループの苦痛動作の矯正に選択した主動作番号 No.05, No.13, No.15, No.21 を含むことから, この指標は矯正動作を選択する指標として適切である. また, 図 5.5-2 から, 特定の苦痛動作あるいは不具合箇所を集中的に矯正する場合の選択指標となる.

Correlation with pain-1,-2, -4 or -6

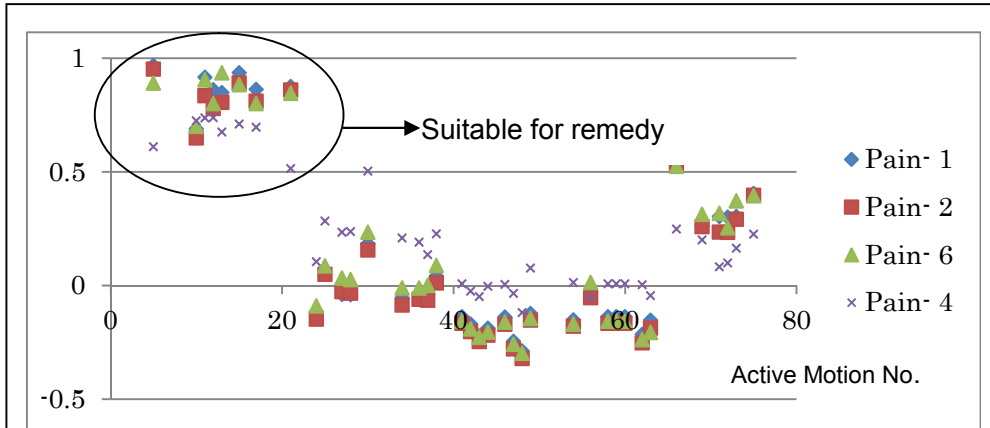


Fig.5.5-1 Correlation between Easy and Painful Active Motions (Left Group)

Correlation with pain-3,-5 or -7

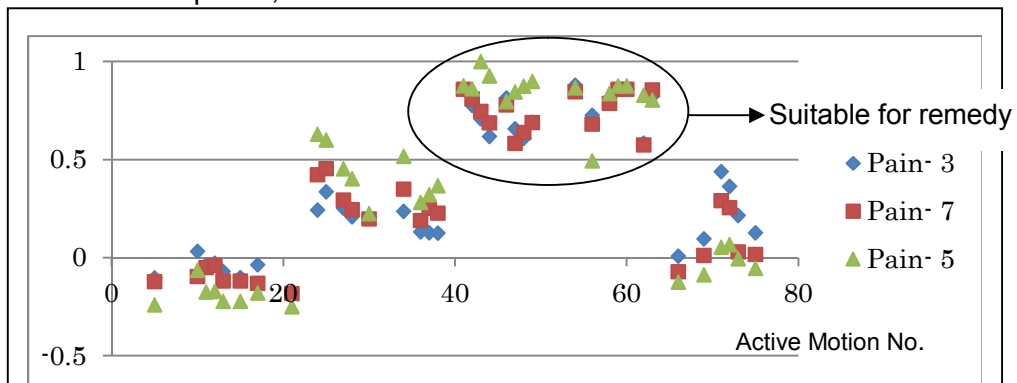


Fig.5.5-2 Correlation between Easy and Painful Active Motions (Right Group)

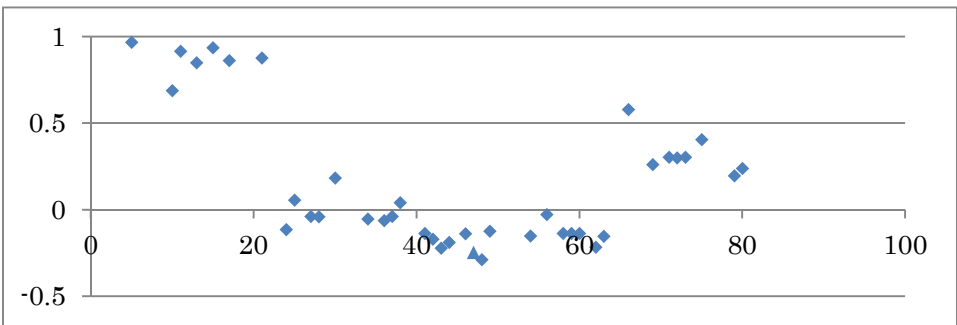


Fig.5.6-1 Correlation between Pain Motion No.1 and Active Motions

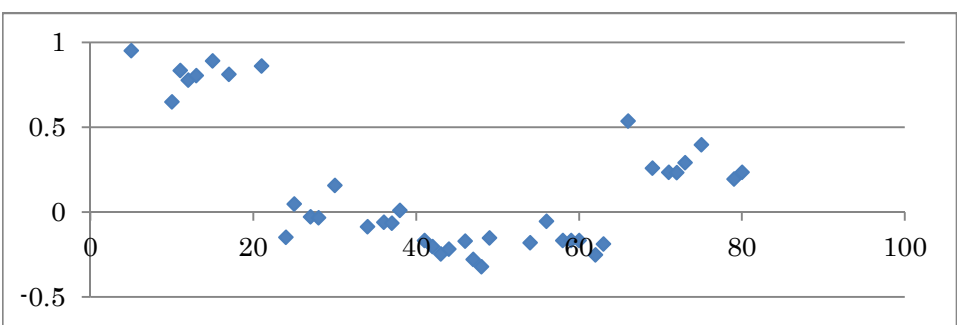


Fig.5.6-2 Correlation between Pain Motion No.2 and Active Motions

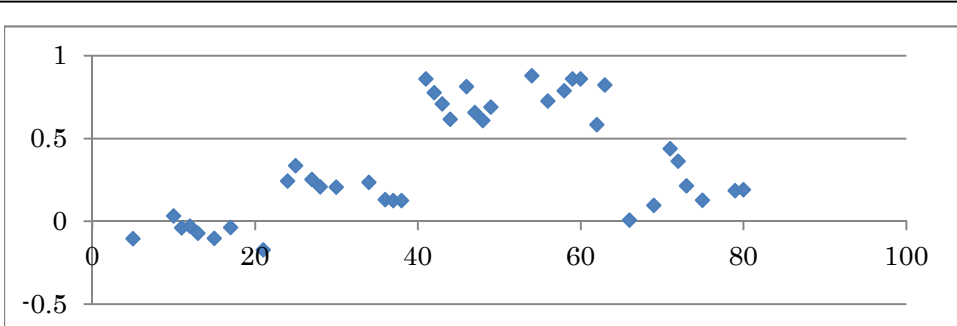


Fig.5.6-3 Correlation between Pain Motion No.3 and Active Motions

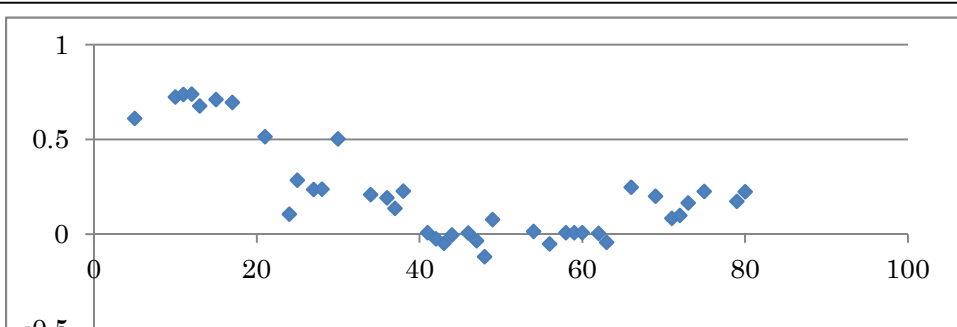
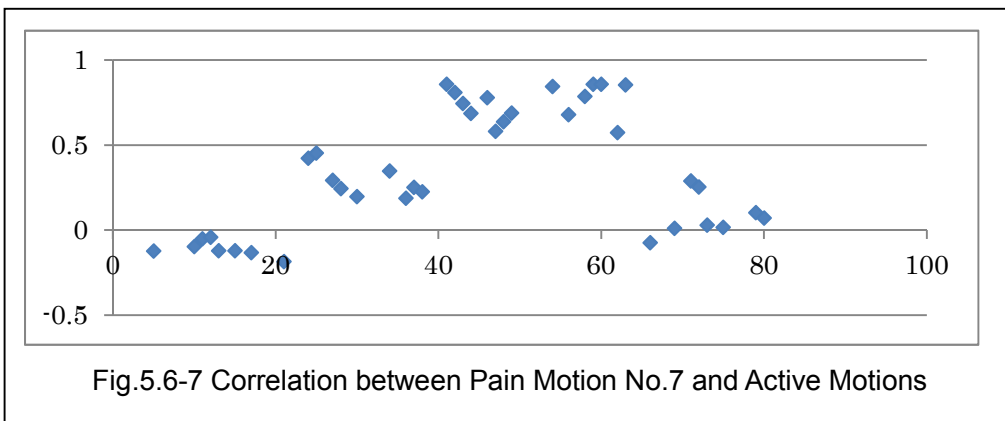
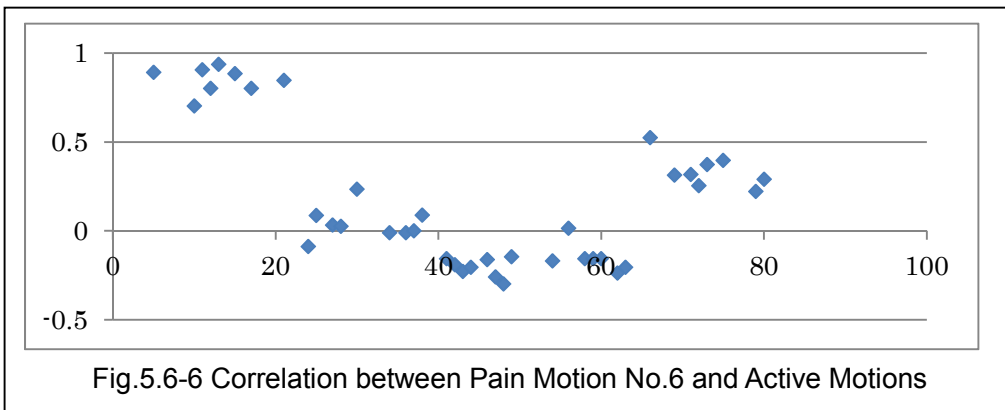
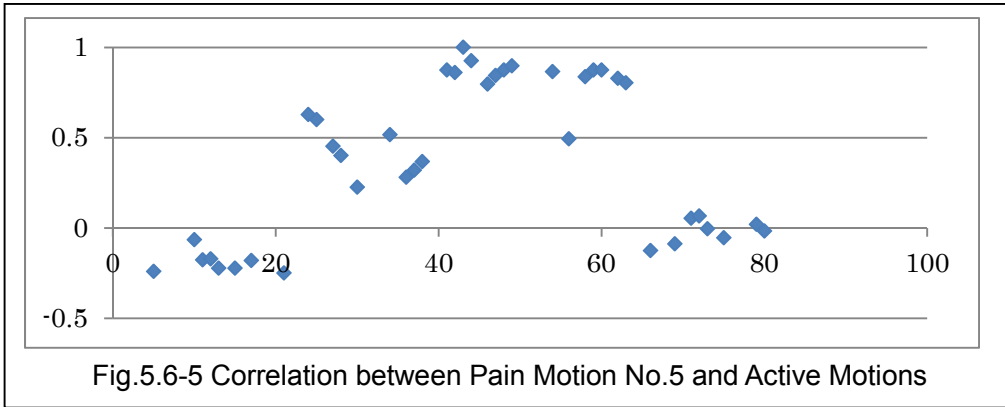


Fig.5.6-4 Correlation between Pain Motion No.4 and Active Motions



### 5.3 まとめ

SBRTの動診結果を診断行列に反映し、図5.1に示すプロセスに従って行列計算を行えば、不具合箇所の同定が可能であることを示した。

さらに動診検査に基づいて、不具合箇所を矯正する主動作を選択するための3つの指標、すなわち、

- (1) 効果指標：快適動作と苦痛動作が共通に関与する関節運動
- (2) 距離指標：快適動作と苦痛動作が関与する関節の間に関与する関節数
- (3) 相関係数：快適動作に関する関節運動と苦痛動作に関する関節運動との相関係数

を導入し、実際の症例についてその特徴を説明した。セラピストによる選択法プロセスは、上記(1)と(2)に近く、コンピュータによる選択には(3)を主として(2)を補助として用いることが適切であることが示された。以上から、コンピュータ支援によるSBRTの可視化の結果は、セラピストの経験に基づく施術結果と相関性が高いことが実証された。

本章において、セラピストの経験とスキルに依存していたSBRTの実施を、コンピュータ支援による可視化によって、経験の浅いインストラクタがガイドする自発的な運動療法に発展しうることを実証した。すなわち、SBRTの主動作40種を実施するよう被験者に指示し、気持ちよく動かせる「快適動作」のみを実施させ“e”と記録する。動かそうとすると苦痛を伴うため動かさない主動作を「苦痛動作」とし“p”と記録する。動かせるが快適ではなく違和感を伴う場合は「困難動作」として“h”と記録する。このような記録例を表2.5に示したが、全リストは付録Eに示し、コンピュータへの入力フォーマットも記載した。この入力フォーマットは、記入が極めて簡単であり、セラピストの両手を自由に使用したい場合には、音声入力も可能である。このデータを本研究で開発したSBRT解析ソフトウェアに入力すれば、瞬時に計算結果が示され動診結果に応じた矯正動作を出力される。上記の選択指標のうち、相関係数に基づく指標が、理論的な裏付けが明確なことから、可視化のための選択基準として推奨される。



## 第6章 結論および将来の課題

### 6.1 本研究のまとめ

第1章序論において、欧米ならびにアジア諸国における運動療法に関する研究論文やレビュー論文を調査した後、本研究の代替医療における位置づけを明らかにし、目的および論文の構成について述べた。

第2章において著者がカナダ・バンクーバー市において実践してきた自然療法手法の一つである体性バランス回復療法 (SBRT: *Somatic Balance Restoration Therapy*) の成立過程、特色および操法実績データベースの概要を述べ、セラピストが行う「ダイアグラム操体法」のプロセスを詳述した。この手法の妥当性をシステム工学的立場から明らかにし、これまでの経験と直感に依存した臨床家のアプローチを再現性のある継承可能な工学的手法にシステム化する必要性を論じた。とくに、巨大複雑系である人体の筋肉骨格の動作をシステム工学的に解明する意義について強調した。

第3章においては、SBRT の136種の基本動作における主動作と連動動作の関係を2値行列(Binary Matrix)により表現できることを示した。すなわち連動性の有無を対応する行列要素の“1”(連動性あり)と“0”(連動性なし)とする。これに基づいて、基本動作にISM手法を適用し、基本動作に関する可達行列を定義した。可達行列および先行行列から、各主動作の能動性・受動性を評価し、その性質を利用して主動作全体のグループ化を行った。これらの行列表現は、次章以降において用いられる。

第4章においては、人体の筋肉骨格系を14の関節で統合された15剛体によってモデル化し、各関節を動かす主要な筋肉を識別した。これらをシステムとして関係づけられるために、前章で誘導した行列表記を用いた。すなわち、主動作80種と基本動作136種との関係を行列A、基本動作と関係運動80種との関係を行列B、関節運動と主要筋肉237種との関係を行列Cで示す。これらの行列は全て2値行列で定義され運動関係の有無を“1”または“0”で表す。以上で定義した諸行列の演算により、主動作と関節運動を表す行列Dおよび主動作と筋肉の関係を表す行列Eが導かれた。行列Dは、次章において不具合箇所の同定と矯正に用いる主動作の選択指針を与える。

第5章では、SBRTの動診結果を診断行列に反映して、診断結果を重み行列で表現して、図5.1に示すプロセスに従って行列計算を行えば、不具合箇所の同定が可能であることを示した。さらに動診検査に基づいて、不具合箇所を矯正する主動作を選択するための3つの指標、すなわち、主動作と苦痛動作に対する効果指標、距離指標、相関係数指標を定義し、実際の症例についてその特徴を説明した。セラピストによる選択プロセスは、効果指標と

距離指標に近いアプローチに近く、コンピュータによる選択には相関係数指標を主として距離指標を補助として用いることが適切であることを明らかにした。

以上により、従来は高度に訓練されたセラピストのレベルに到達することが困難であった運動療法を、コンピュータ支援による可視化されたシステムに移植することが可能であること実証した。

## 6.2 将来の課題

本論文は、運動療法の一つである体性バランス回復療法 (SBRT) をシステム工学の一手法を用いて可視化することを主題にしたが、本論文は目標に向っての第一歩である。図 6.1 に示すように、筋肉骨格系の詳細なメカニズムの解明には、機械工学とくに多剛体力学やロボティクスの手法を適用する必要がある。また、力トルク測定用のプレートシステムあるいはセンサマットによる系統的データ取得、シミュレーションツールへの入力と検証なども課題である。これらの分野の専門家の参加を期待したい。

SBRT の手法そのものに関しても、本研究では、セラピストが被験者に一切接触しないという厳しい条件下での操法に限定した。しかし、被験者の運動方向に軽い抵抗を与えることによって、著しく効果が高められることも経験的に知られている。このような形態に対する力学的解明は一段と高度の解析が必要となる。筋肉骨格系の詳細なモデリングに加えて、全システムに最適化手法を適用して、測定可能な物理量（たとえば床からの反力）から関節における力・トルクを推定する逆問題を扱う必要がある。

運動療法の主題ともいべき関連痛に関しては、筋肉の不具合と支配する神経系統の考察に進む必要があるが、そのためには医学関係の専門家との協力作業が必要となる。

可視化を目指したモチベーションに立ち返れば、SBRT 操法の継承が大きな課題である。現在では、自在に利用可能な IT ツールを活用することによって、コンピュータ支援による可視化が容易である。さらに、音声認識によるハンドフリーでの記録など新たな展開が可能となる。このようなツールを自在に使いこなすには、IT 分野の専門家の参加が望まれる。

本 SBRT 手法は、高価な医療機器を全て必要とせず、比較的簡易なコンピュータツールで段階的に修得出来る。この特長を生かせば、医療サービスが不満足な地域においてもサービスが可能であり、一定の研修を完了したインストラクタを滞在、あるいは派遣することにより、多くの人々の苦痛を和らげることが可能である。更にダイアグラム動診検査結果を SBRT の熟練者とリモートで共有でき、助言・指示をリアルタイムで共有することができる。図 6.1 に示すマネジメント領域では、このようなフレームワークの実現を目指すことを意図している。

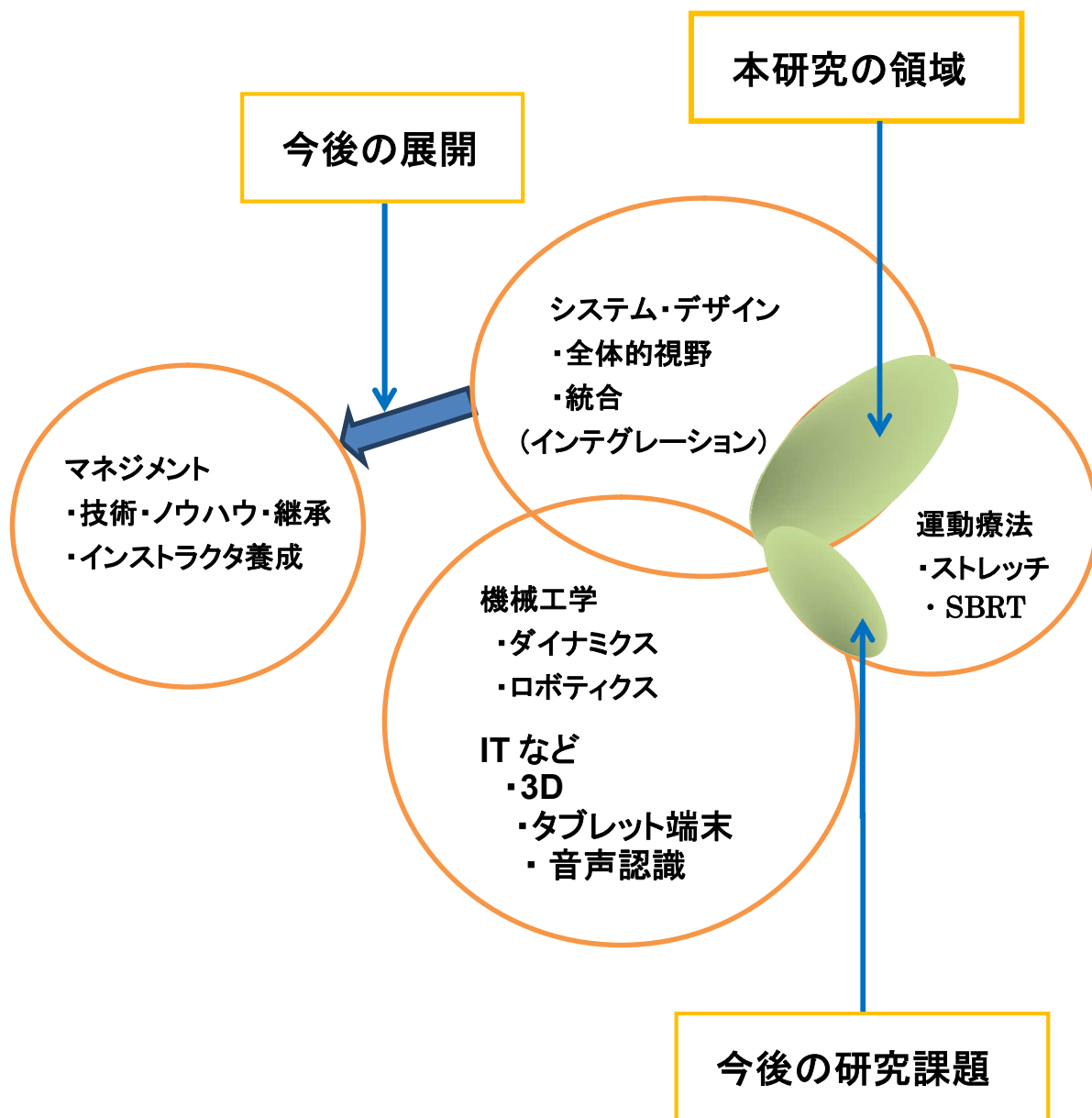


Fig.6.1 本研究と関連研究分野の関係図

## References

- 1 Lars, A-N, Svensson.P: **Referred muscle pain: basic and clinical findings.** *Clin J Pain* 2001,**17**(1):11-19.
- 2 Guimberteau, JC, et al.: **Die Gleitfähigkeitssubkutaner Strukturen beim Menschen–eine Einführung.** *Osteopathische Medizin, Zeitschrift für ganzheitliche Heilverfahren* 2008, **9**(1):4-16.
- 3 Hashimoto, K: **Sotai Natural Exercise.** Study Series. George Ohsawa Macrobiotic Foundation 1981:26-34.
- 4 橋本敬三, “生体の歪みを正す”, 創元社, (1987)
- 5 野口晴哉, “体運動の構造”, II”, 全生社, (1974)
- 6 Bromley Milton M, Börsbo B, Rovner G, Lundgren-Nilsson Å, Stibrant-Sunnerhagen K, et al.: **Is Pain Intensity Really That Important to Assess in Chronic Pain Patients? A Study Based on the Swedish Quality Registry for Pain Rehabilitation (SQR).** *PLoS ONE* 2013, **8**(6): e65483. Doi:10.1371/journal.pone.0065483
- 7 Andersen JH, Fallentin N, Thomsen JF, Mikkelsen S : **Risk Factors for Neck and Upper Extremity Disorders among Computers Users and the Effect of Interventions: An Overview of Systematic Reviews.** *PloS ONE* 2011, **6**(5): e19691. Doi:10.1371/journal.pone.0019691.
- 8 Thiem U, Lamsfuß R, Günther S, Schumacher J, Bäker C, et al.: **Prevalence of Self-Reported Pain, Joint Complaints and Knee or Hip Complaints in Adults Aged ≥ 40 Years: A Cross-Sectional Survey in Herne, Germany.** *PloS ONE* 2013, **8**(4): e60753. Doi:10.1371/journal.pone.0060753.
- 9 Laursen TM, Munk-Olsen T, Gasse C: **Chronic Somatic Comorbidity and Excess Mortality Due to Natural Causes in Persons with Schizophrenia or Bipolar Affective Disorder.** *PloS ONE* 2011, **6**(9): e24597. Doi:10.1371/journal.pone.0024597.
- 10 Palazzo C, Ravaud J-F, Trinquart L, Dalichampt M, Ravaud P, et al: **Respective Contribution of Chronic Conditions to Disability in France: Results from the National Disability-Health Survey.** *PloS ONE* 2012, **7**(9):e44994. Doi:10.1371/journal.pone.0044994.
- 11 Andersen LL, Clausen T, Burr H, Holtermann A: **Threshold of Musculoskeletal Pain Intensity for Increased Risk of Long-Term Sickness Absence among**

- Female Healthcare Workers in Eldercare.** *PLoS ONE* 2012, 7(7):e41287. Doi:10.1371/journal.pone.0041287.
- 12 [King P](#), [Huddleston W](#), [Darragh AR](#): **Work-Related Musculoskeletal Disorders and Injuries: Differences Among Older and Younger Occupational and Physical Therapists.** *J Occup Rehabil* 2009, [19\(3\):274-283](#). DOI: 10.1007/s10926-009-9184-1.
- 13 [Pincus T](#), [Woodcock W](#), [Vogel S](#): **Returning Back Pain Patients to Work: How Private Musculoskeletal Practitioners Outside the National Health Service Perceive Their Role (an Interview Study),** *J Occup Rehabil* 2010, [20\(3\):322-330](#). DOI 10.1007/s10926-009-9217-9.
- 14 Salik Y, Özcan A: **Work-related musculoskeletal disorders: A survey of physical therapists in Izmir-Turkey,** *BMC Musculoskeletal Disord* 2004, **5(27)**: doi:10.1186/1471-2474-5-27.
- 15 King NB, Fraser V: **Untreated Pain, Narcotics Regulation, and Global Health Ideologies..** *PLoS Med* 2013, **10(4)**:e1001411. Doi:10.1371/journal.pmed.1001411.
- 16 Wang B-R, Choi IY, Kim K-J, Kwon YD: **Use of Traditional Korean Medicine by Patients with Musculoskeletal Disorders.** *PLoS ONE* 2013, **8(5)**:e63209. Doi:10.1371/journal.pone.0063209.
- 17 Feine, J S, Lund, JP: **An assessment of the efficacy of physical therapy and physical modalities for the control of chronic musculoskeletal pain** *Pain* 1997, **71(1)**:5-23.
- 18 Hayden, JA, Van Tulder, MW, Tomlinson, G: **Systematic review: strategies for using exercise therapy to improve outcomes in chronic low back pain.** *Ann Intern Med* 2005, **142(9)**:776-785.
- 19 Buchbinder R, Staples MP, Shanahan EM, Roos JF: **General Practitioner Management of Shoulder Pain in Comparison with Rheumatologist Expectation of Care and Best Evidence: An Australian National Survey.** *PLoS ONE* 2013, **8(4)**:e61243. Doi:10.1371/journal.pone.0061243.
- 20 Floyd RT, et al.: *Manual of Structural Kinesiology.* McGraw-Hill Higher Education; 1998:27-226.
- 21 Herzog, W. (Ed.): *Skeletal Muscle Mechanics from Mechanisms to Function.* Wiley, 2000:[80-186](#)
- 22 Zatsiorsky, VM. **Kinetics of human motion.** *Hum Kinet* 2002, :79-110.
- 23 日本機械学会編, “機械工学便覧 β8, 生体工学”, 日本機械学会(2002), pp.86-96  
The Japan Society of Mechanical, Engineering, “*Mechanical Engineering Handbook β8 Engineering, , Bioengineering*”, pp.94-95, (in Japanese), (2002)

- 24 Delp, S.L., Loan, J.P., "A Software System to Develop and Analyze Models of Musculoskeletal Structures," *Computers in Biology and Medicine*, Vol. 25, No. 1, Jan. 1995, pp. 21–34.
- 25 嘉陽 春人, ダイアグラム操体法, エンタプライズ, (2004), pp.81-173.
- 26 Kayo, M. and Ohkami Y., "Mechanical Engineering Approach to Restore Distortions and Imbalances in the Musculoskeletal System", *The 19<sup>th</sup> IUHPE World Conference on Health Promotion & Education, Vancouver, (2007)*.
- 27 嘉陽 宗弘, 狼 嘉彰, 「人体筋骨格系不具合に対する運動療法の構造モデリング」, 日本機械学会論文集 C 編, No.2012-JCR-0718 (2013)
- 28 Kayo, M. and Ohkami Y., "Structural Modeling of the Human Musculoskeletal System (HMS) for Clinical Treatment by Applying Joint-Connected Multibody Dynamics and System Approach", *The International Mechanical Engineering Conference and Exhibition IMECE2010 November 11-18, Vancouver, Canada, Paper No. IMECE2010-40065 (2010)*
- 29 Kayo, Munehiro and Ohkami, Yoshiaki, Application of the Interpretive Structural Modeling (ISM) for Analyzing Associated Kinesiological Motion of Human Body, presented at the 2<sup>nd</sup> Asian Pacific Conference on Systems Engineering, Yokohama, (2008)
- 30 Kayo, M. and Ohkami, Y., A Method for Analyzing Fundamental Kinesiological Motions of Human Body by Applying Interpretive Structural Modeling (ISM), Presented at INCOSE IS09 in Singapore, (2009)
- 31 Kayo M, Ohkami Y: Visualized Self-Exercise Therapy for Musculoskeletal Pain Alleviation, *Science Journal of Medicine and Clinical Trials*, ISSN:2276-7487
- 32 Warfield, J.N., " Binary Matrices in System Modeling ", *IEEE Trans., Sys., Man and Cybernetics*, SMC 3-5, (1973). Pp.44-48.
- 33 Singh, M.D., Shankar, Ravi, Narain, Rakesh and Agarwal, Ashish "An interpretive structural modeling of knowledge management in engineering industries", *Journal of Advances in Management Research*, Vol. 1, Iss: 1, (2003), pp.28 – 40
- 34 Kayo, Munehiro, Ohkami Yoshiaki and Urago Masataka, Analysis of Interrelated Motions of Human Musculoskeletal Systems by Applying Multi-body Dynamics and SQP Optimization Techniques, Paper # 825 presented at the 21<sup>st</sup> JSME/CMD Symposium November 1-5, (2008)
- 35 浦郷正隆, 嘉陽 宗弘, 狼 嘉彰, 池田充寿, 「人体と床の接触解析」, 日本機械学会・第 22 回計算力学講演会(2009)
- 36 嘉陽 宗弘, 狼 嘉彰, 「ヒトの筋骨格系システムの連動動作に対するマルチボディダイナミック解析」, 日本機械学会・第 21 回計算力学講演会, No. 825(2008)

- 37 Kayo, M. and Ohkami Y., “Application of Force/Torque Propagation through Musculoskeletal Systems of Somatic Balance Restoring Therapy”, JSME D&D2012, September (2012)
- 38 JIS Association, 1980, JIS B 0138-1980.
- 39 Maddala, GS, Kaja, L: *Introduction to econometrics*, 1992:147-152.
- 40 嘉陽 宗弘, 意匠登録第 1309350 号 (D1309350), 2007 年
- 41 Singh, S., Ernst, E.: Trick or Treatment? Science & History Collection, Cornville & Walsh, (2008), 青木 薫訳, 代替医療, 新潮社 (2013)

## APPENDIX

Appendix A	Terminology		
A-1	Glossary (English to Japanese).....		97
A-2	Joint Numbers, Names and Motions .....		98
Appendix B	Matrix Representation		
B-1	Matrix A: Active Motions vs Fundamental Motions.....		99
B-2	Matrix B: Fundamental Motions vs Joint Motions.....		100
B-3-1	Matrix C: Joint Motion vs. Muscles-Neck.....		101
B-3-2	Matrix C: Joint Motions vs Muscles-Shoulder & Elbow & Wrist.....		102
B-3-3	Matrix C: Joint Motion vs. Muscles-Trunk.....		103
B-3-4	Matrix C: Joint Motions vs Muscles-Hip & Knee & Ankle.....		104
Appendix C	運動動作の観察記録とダイアグラム		
C-1	Turn Neck to Left.....		105
C-2	Tilt Head to Left.....		106
C-3	Extend Arm to Left.....		107
C-4	Swing Right Knee outward.....		108
C-5	Swing Both Lower Legs to Left.....		109
C-6	Swing Right Lower Legs inward.....		110
C-7	Swing Left Lower Leg outward.....		111
C-8	Elevate Left Hip upward.....		112
C-9	Raise Left Knee.....		113
C-10	Stretch Right Heel.....		114
C-11	Twist Right Hip off Ground.....		115
C-12	Raise Left Leg off Ground.....		116
Appendix D	ダイアグラム操体法[25]の動作番号と本論文の動作番号の対応表		
D-1	連動番号と連動動作番号の対応表.....		117
D-2	主動作から見た連動動作一覧表 [25].....		119
D-3	連動動作から見た主動作一覧表 [25]. .....		120
Appendix E	Examples		
E-1	Example of Computer Input of SBRT Motion Test Result.....		121
E-2	Example of the SBRT Record (1).....		122
E-3	Example of the SBRT Record (2).....		123
E-4	Body Map.....		124



## Appendix-A Terminology

Table APP- A-1: Glossary (English to Japanese)

英語名	略号・記号	日本語名
Active Motions		主動作
Alternative Medicine		代替医療
Antecedent Set		先行集合
Antecedent Set	D(i)	先行集合
Associated Motions		連動動作
Binary Matrix		2 値行列
Correlation Coefficient		相関係数
Degree-Of-Freedom	DOF	(運動の) 自由度
Diagnosis		診断行列
Diagram Therapy		ダイアグラム操法
Distance Measure		距離指標
Easy Motion		快適動作
Effectiveness Measure		効果指標
Exercise Therapy		運動療法
Fundamental Motion (Element)	FME	基本動作 (要素)
Hard Motion		困難動作
Integrated Medicine		統合医療
Interpretive Structural Modeling	ISM	説明的構造モデリング
Manipulative and Body-based Medicine		手技療法
Musculoskeletal System		筋肉骨格系
N-square Matrix		N 二乗行列
Pain Motion		苦痛動作
Pair-wise Comparison		1 対比較
Reachability Matrix		可達行列
Reachability Set		可達集合
Reachable Set	R(i)	可達集合
Somatic Balance Restoring Therapy	SBRT	体位バランス回復療法
Subject		被験者
Therapist		セラピスト
Therapy		療法・操法
Tiered Structure		階層化された構造

Table APP- A-2: Joint Numbers, Names and Motions

No & Joint Name (Left)	Motion Name (English)	Motion Name (日本語)	Engineering Name	Symbol
Joint #2 “Trunk”	Flexion	屈曲	Pitch (+)	P
	Extension	伸展	pitch(-)	p
	Leftward rotation	左側方回旋	Roll(+)	R
	Rightward rotation	右側方回旋	roll(-)	r
	Left horizontal rotation	左水平回旋	Yaw(+)	Y
	Right horizontal rotation	右水平回旋	yaw(-)	y
Joint #3 “Neck”	Flexion	屈曲	Pitch (+)	P
	Extension	伸展	pitch(-)	p
	Right flexion	右屈曲	Roll(+)	R
	Left flexion	左屈曲	roll(-)	r
	Right rotation	右回旋	Yaw(+)	y
	Left rotation	左回旋	yaw(-)	Y
Joint #4 “Shoulder”	Flexion	屈曲	pitch(-)	p
	Extension	伸展	Pitch (+)	P
	Adduction	内転	roll(+)	R
	Abduction	外転	Roll(-)	r
	Internal rotation	内旋	Yaw(+)	Y
	External rotation	外旋	yaw(-)	y
	Horizontal adduction	水平屈曲	Trans.(+X)	+X
	Horizontal abduction	水平伸展	Trans. (-x)	-x
	Elevation	拳上・上方回旋	Trans. (+Z)	+Z
	Depression	引下げ・下方回旋	Trans. (-z)	-z
	Protraction	前進・外転	Trans. (+W)	+W
	Retraction	後進・内転	Trans. (-w)	-w
Joint #5 “Elbow”	Flexion	屈曲	pitch(-)	p
	Extension	伸展	Pitch (+)	P
	Pronation	橈尺関節・回内	yaw(-)	y
	Supination	橈尺関節・回外	Yaw(+)	Y
Joint #6 “Wrist”	Flexion	屈曲	yaw(-)	y
	Extension	伸展	Yaw(+)	Y
	Abduction	外転	roll(-)	r
	Adduction	内転	Roll(+)	R
Joint #7 “Hip”	Flexion	屈曲	pitch(-)	p
	Extension	伸展	Pitch (+)	P
	Adduction	内転	roll(-)	r
	Abduction	外転	Roll(+)	R
	Internal rotation	内旋	Yaw(+)	Y
	External rotation	外旋	yaw(-)	y
Joint #8 “Knee”	Flexion	屈曲	pitch(-)	p
	Extension	伸展	Pitch (+)	P
	External rotation	外旋	Yaw(+)	Y
	Internal rotation	内旋	yaw(-)	y
Joint #9 “Ankle”	Dorsi flexion	背屈	pitch(-)	p
	Plantar flexion	底屈	Pitch (+)	P
	Transverse tarsal & subtalar eversion	外反	Roll(+)	R
	Transverse tarsal & subtalar inversion	内反	roll(-)	r





Table APP-B-3-1 Matrix C: Joint Motion vs. Muscles-Neck

Joint DOF & Muscle Elements #3Neck (Left)		#3 Neck					
No.	Motion	7	8	9	10	11	12
		1	2	3	4	5	6
		P	p	R	r	y	Y
		屈曲	伸展	右屈曲	左屈曲	右回旋	左回旋
301	頸板状筋(全体)		1				
302	頸板状筋(右)			1		1	
303	頸板状筋(左)				1		1
304	頭板状筋(全体)		1				
305	頭板状筋(右)			1		1	
306	頭板状筋(左)				1		1
307	胸鎖乳突筋(全体)	1					
308	胸鎖乳突筋(右)		1	1			1
309	胸鎖乳突筋(左)		1		1	1	
310	頸最長筋(全体)		1				
311	頸最長筋(右)			1		1	
312	頸最長筋(左)				1		1
313	胸最長筋(全体)		1				
314	胸最長筋(右側)			1			1
315	胸最長筋(左側)				1	1	
316	前斜角筋(全体)	1					
317	前斜角筋(右)			1			
318	前斜角筋(左)				1		
319	中斜角筋(全体)	1					
320	中斜角筋(右)			1			
321	中斜角筋(左)				1		
322	後斜角筋(全体)	1					
323	後斜角筋(右)			1			
324	後斜角筋(左)				1		
325	僧帽筋(上部)		1	1		1	
326	僧帽筋(下部)		1		1		1
327	頸半棘筋(全体)		1				
328	頸半棘筋(右)			1			1
329	頸半棘筋(左)				1		1

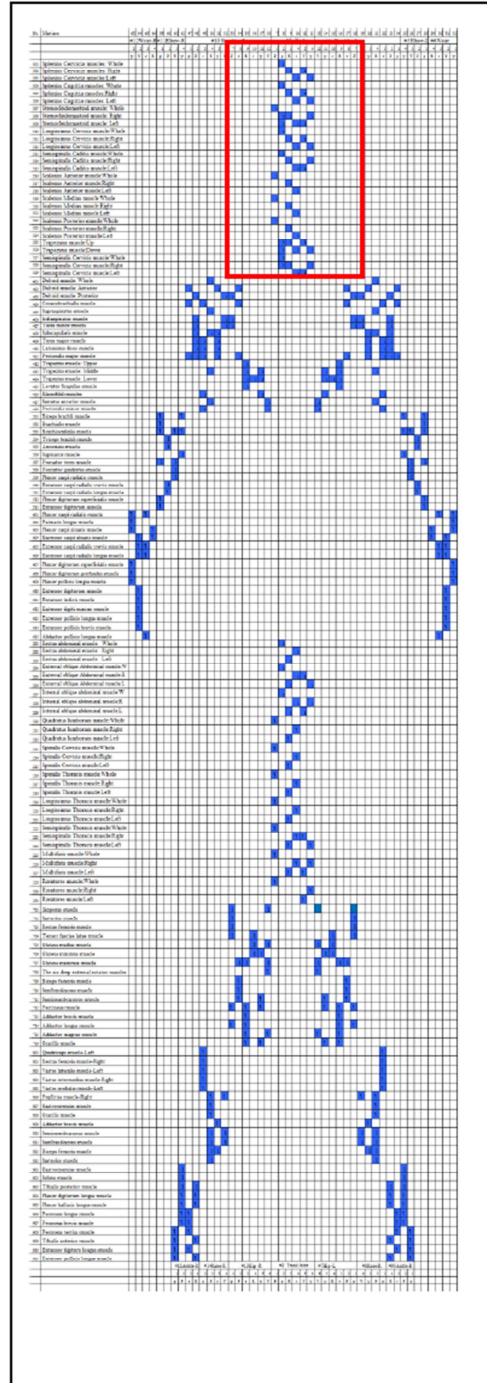




Table APP-B-3-3 Matrix C: Joint Motion vs. Muscles-Trunk

Joint DOF & Muscle Elements #2Trunk &							
No.	Motion	1	2	3	4	5	6
		#2 Trunk Joint					
		1	2	3	4	5	6
		P	p	R	r	Y	y
		前傾	後傾	左側方回	右側方回	左水平回	右水平回
		傾	傾	旋	旋	旋	旋
201	腹直筋(全体)		1				
202	腹直筋(右)				1		
203	腹直筋(左)			1			
204	外腹斜筋(全体)		1				
205	外腹斜筋(右)				1	1	
206	外腹斜筋(左)			1			1
207	内腹斜筋(全体)		1				
208	内腹斜筋(右)				1		1
209	内腹斜筋(左)			1		1	
210	腰方形筋(全体)	1					
211	腰方形筋(右)				1		
212	腰方形筋(左)			1			
213	頸棘筋(全体)	1					
214	頸棘筋(右)				1		
215	頸棘筋(左)			1			
216	胸棘筋(全体)	1					
217	胸棘筋(右)				1		
218	胸棘筋(左)			1			
219	胸最長筋(全体)	1					
220	胸最長筋(右)				1		
221	胸最長筋(左)			1			
222	胸半棘筋(全体)	1					
223	胸半棘筋(右)				1	1	
224	胸半棘筋(左)			1			1
225	多裂筋(全体)	1					
226	多裂筋(右)				1		1
227	多裂筋(左)			1		1	
228	回旋筋(全体)	1					
229	回旋筋(右)						1
230	回旋筋(左)					1	

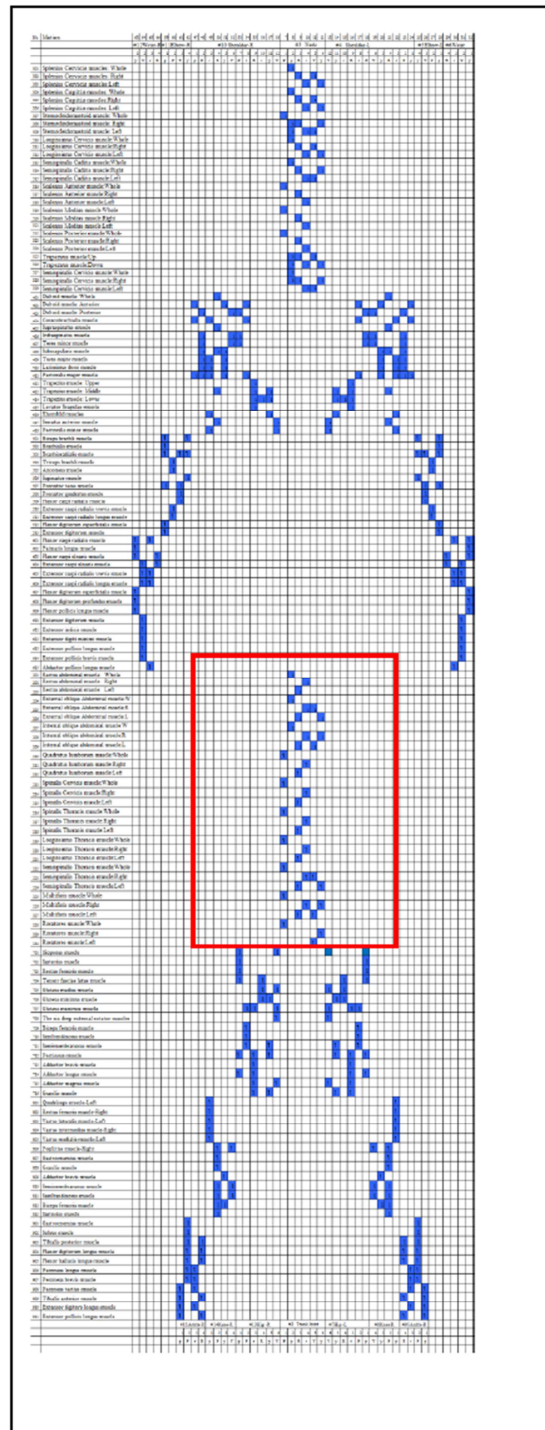
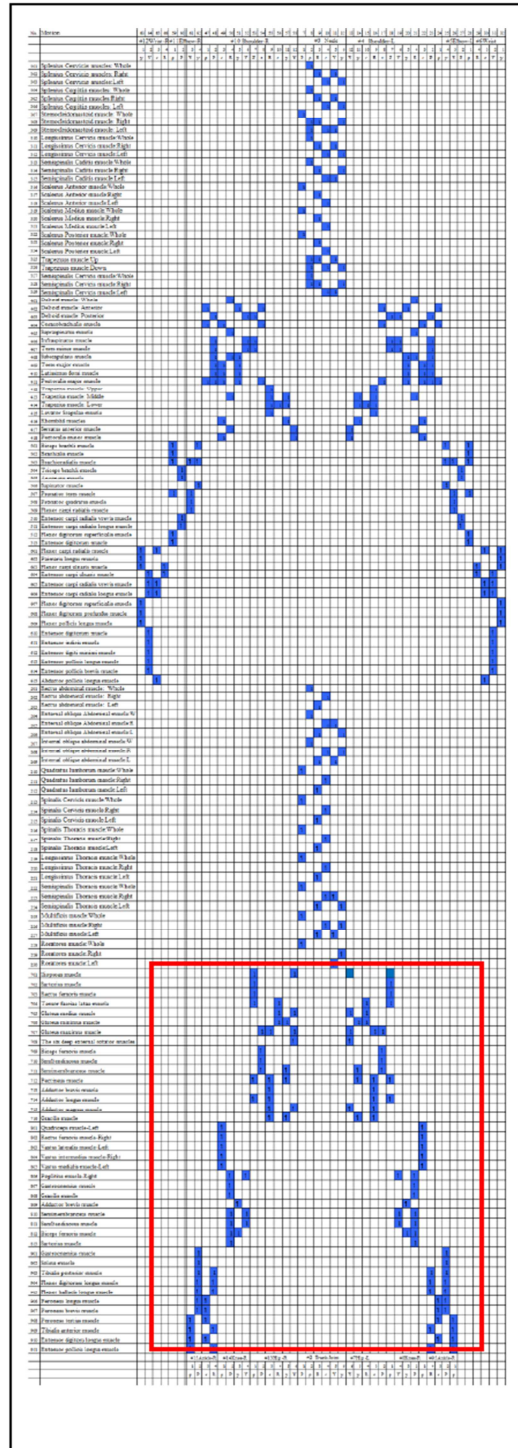


Table APP-B-3-4 Matrix C: Joint Motions vs Muscles-Hip & Knee & Ankle

Joint DOF & Muscle Elements_ #7Hip & #8Knee & #9Ankle (Left)															
No.	Motion	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
		#7Hip-L						#8Knee-L				#9Ankle-L			
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	1	2	3	4
		p	P	r	R	y	Y	P	p	y	Y	p	P	r	R
		屈	伸	内	外	内	外	伸	屈	外	内	背	底	内	外
701	腸腰筋	1					1								
702	縫工筋	1								1					
703	大腿直筋	1								1					
704	大腿筋膜張筋	1													
705	中殿筋				1					1					
706	中殿筋 前部				1					1					
707	中殿筋 後部				1	1									
708	小殿筋				1	1									
709	大殿筋		1	1						1					
710	梨状筋									1					
711	上双子筋									1					
712	下双子筋									1					
713	内閉鎖筋									1					
714	外閉鎖筋									1					
715	大腿方形筋									1					
716	大腿二頭筋		1							1	1				
717	半腱様筋		1							1		1			
718	半膜様筋		1	1						1		1			
719	恥骨筋		1	1		1									
720	短内転筋				1						1				
721	長内転筋		1	1											
722	大内転筋				1					1					
723	大内転筋 前部		1							1					
724	大内転筋 後部		1							1					
725	薄筋			1		1				1					
726	外側広筋		1							1					
727	中間広筋		1							1					
728	内側広筋		1							1		1			
729	大腰筋		1												
730	小腰筋		1												
731	腸骨筋		1							1					
801	大腿四頭筋									1					
802	膝窩筋									1					
803	腓膜筋													1	
804	大腿筋膜張筋									1					
901	ヒラメ筋													1	
902	後脛骨筋													1	1
903	長趾屈筋													1	1
904	長母屈筋													1	1
905	長腓骨筋													1	1
906	短腓骨筋													1	1
907	第3腓骨筋													1	1
908	前脛骨筋													1	1
909	長趾伸筋													1	1
910	長母指伸筋													1	1
911	足底筋													1	





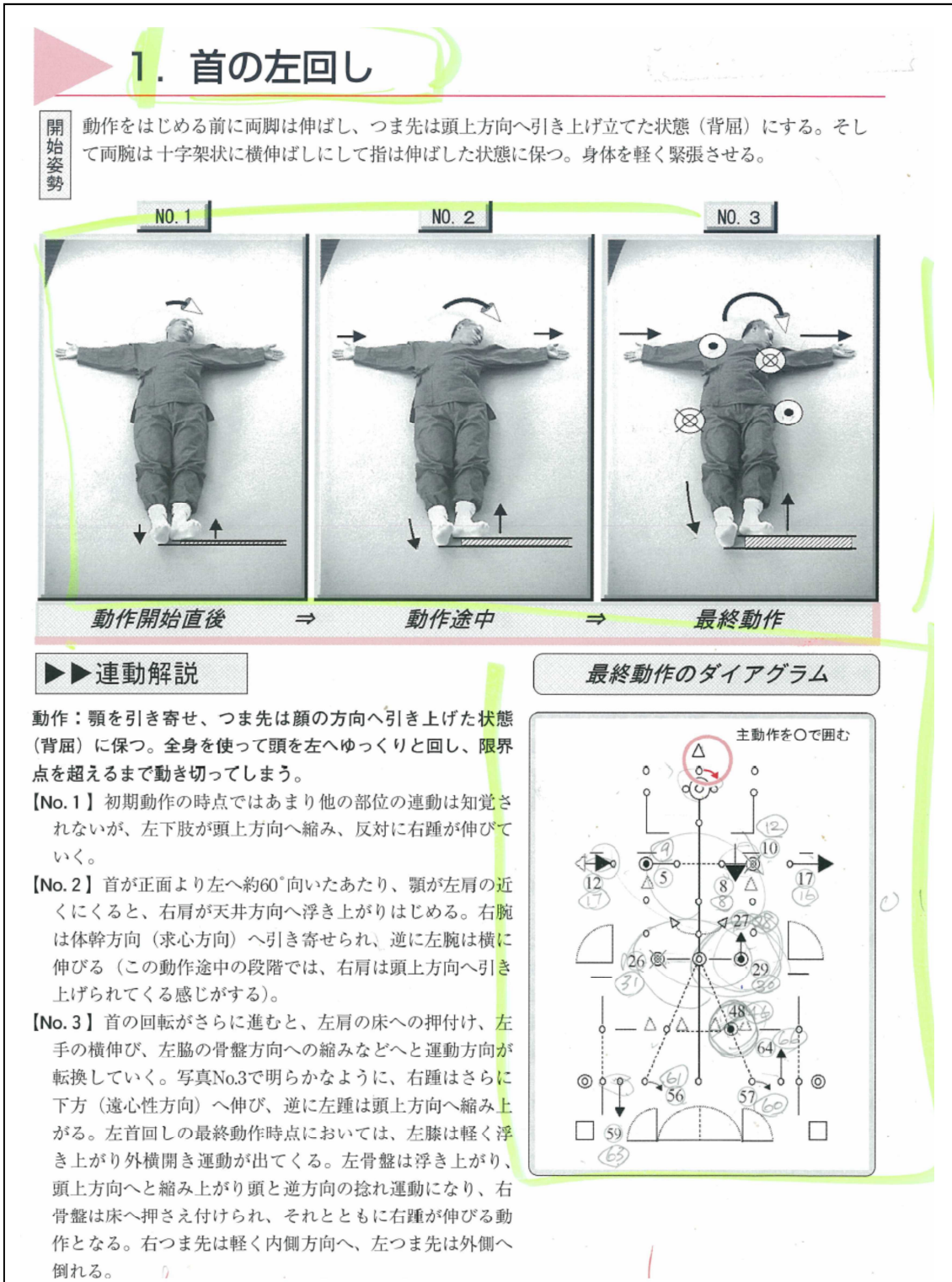
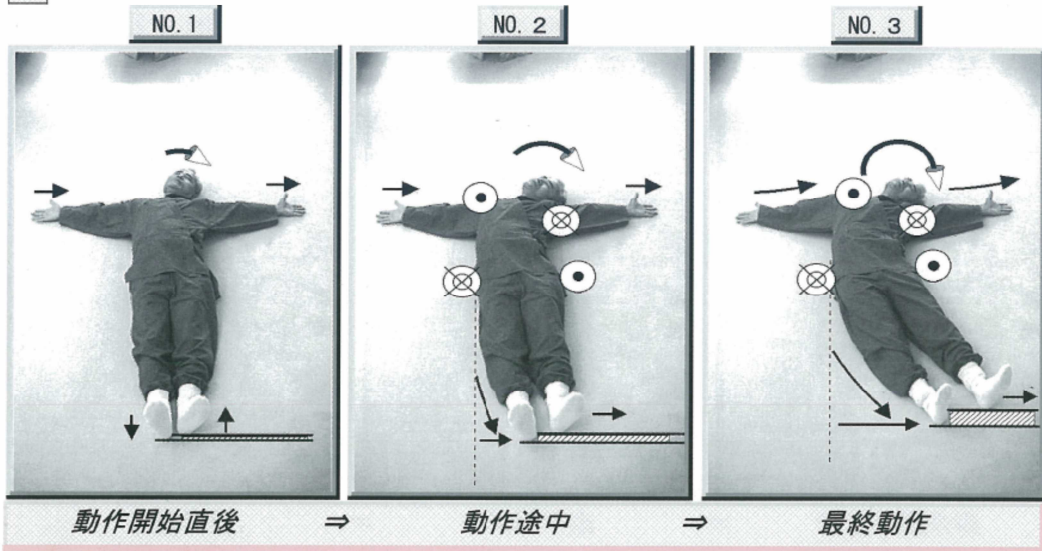


Fig.APP-C-1 Turn Neck to Left

## 2. 首の左倒し

開始姿勢

あお向けになって、動作をはじめる前に両脚は伸ばし、つま先は頭上方向へ引き上げ立てた状態にする。そして両腕は十字架状に横伸ばしにして、指は伸ばした状態に保つ。身体を軽く緊張させる。



### ▶▶連動解説

動作：頸を引き寄せ、顔は天井方向へ向けたまま、ゆっくり頭を左肩へ向けて横倒しにしていく。首が回転をしないように真横に倒す。つま先は顔の方向へ引き上げた状態を保つ。限界点を超えるまで動き切ってしまう。動作は吐く息でおこなう。

【No. 1】 初期動作の段階から、右踵は伸び、左踵が縮み上がってくる。右腕は体幹方向へ引き寄せられ、左腕の横伸び運動が起きる。

【No. 2】 動作を進めていくと、左骨盤の頭上方向への縮み上がり、右骨盤の床への押付け動作が起きる。右踵はさらに伸び、右下肢の内閉じ（左方向）への軽い運動が起ころはじめる。左踵はさらに縮み上がり、左脚の外開き（左方向）運動が起ころはじめる。右肩の天井方向への浮き上がり、左肩の床方向への押付けが起ころはじめる。

【No. 3】 左骨盤はさらに頭上方向へ縮み上がり、最終的には天井方向へ捻り上がっていく動作になる。左踵はさらに頭上方向へ縮み、膝は天井方向へ浮き上がっていく。右踵がさらに伸びていく動作は、右骨盤の床への強い押付け運動をつくる。右脚の内閉じ（左方向）と左脚の外開き（左方向）運動はかなり大きな連動運動に変わっていく。右つま先は内側へ、左つま先は外側への回転運動が出てくる。

### 最終動作のダイアグラム

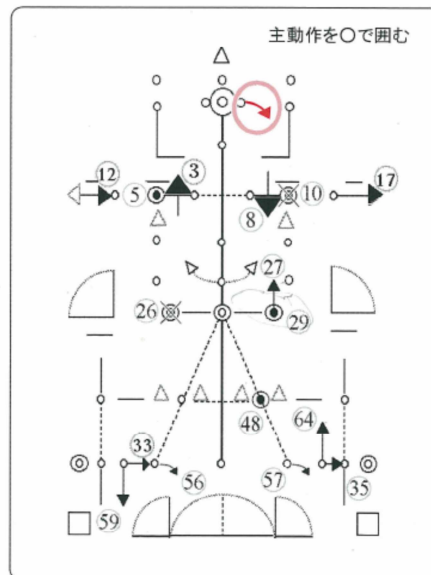
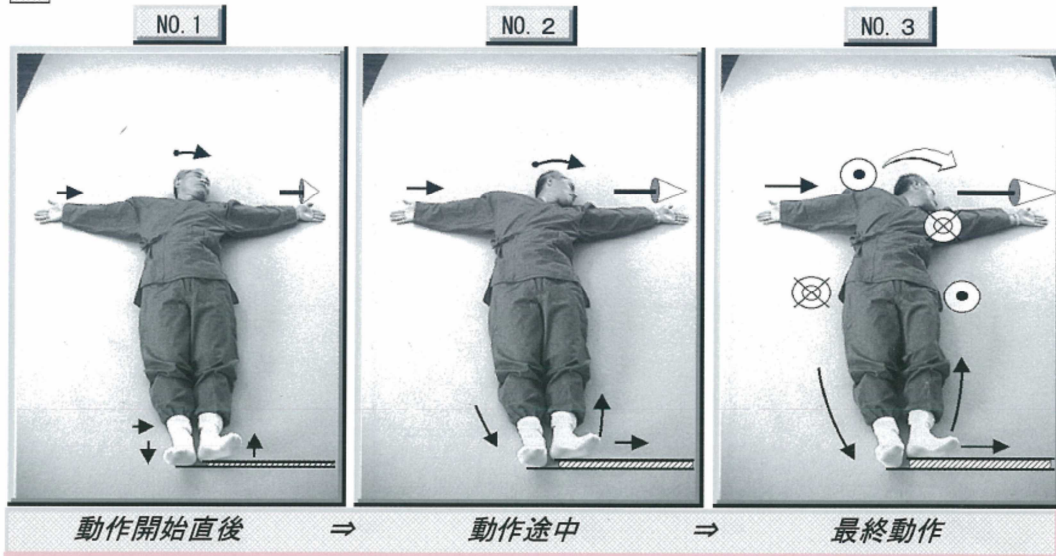


Fig.APP-C-2 Tilt Head to Left

## 5. 左腕の横突き伸ばし

開始姿勢

動作をはじめる前に両脚は伸ばし、つま先は頭上方向へ引き上げ立てた状態にする。そして両腕は十字架状に横伸ばしにして、指は伸ばした状態に保つ。身体を軽く緊張させる。



### ▶▶ 連動解説

動作：左腕を思い切り伸ばし、遠方にある物を取ろうとする動き。限界点を超えるまで動き切ってしまう。全身で左腕を横伸ばししていくイメージで、動作は吐く息でおこなうようにする。

【No. 1】左手の横突き伸ばしをしていく初期動作において、左手に沿って首が左側の方に回っていく。右手は体幹の方へ引き寄せられ、右肩は床から浮き上がり、左肩は床へ押し付けられる。左下肢は外（左方向）の方へ開いていき、右下肢は内閉じ（左方向）へ動く。

【No. 2】左腕伸びの限界点の近くになると、右踵が伸びはじめ、左踵が頭上方向へ縮み上がってくる。左右の踵の動きの違いがわかる。

【No. 3】最終動作時点になると、左骨盤は浮き上がり、頭上方向へと縮み上がって頭と逆方向の捻れ運動になり、左膝も少し浮き上がる。右踵は伸び切り、右骨盤は床方面へ押し付けられていく。右踵は伸びながら床へ押し付けられていく動作が発生する。そして右殿部は硬くなっていく。

### 最終動作のダイアグラム

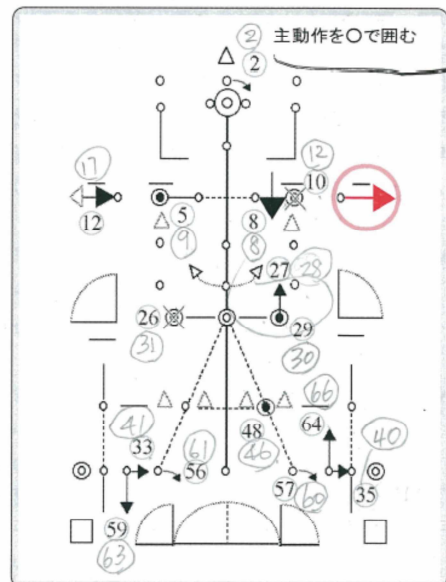
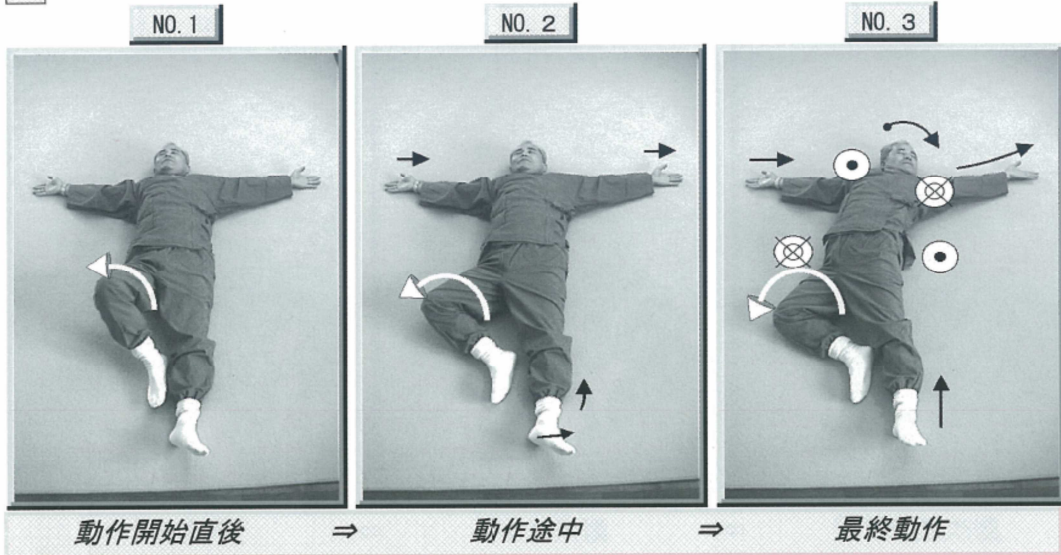


Fig.APP-C-3 Extend Arm to Left

## 11. 右膝の外倒し

開始姿勢

両腕は十字架状に横伸ばしにして、指は伸ばした状態に保つ。右膝は立てて90°に保ち、つま先は頭上方向へ引き上げ立てた状態にする。身体を軽く緊張させる。



### 連動解説

動作：右膝をゆっくり右へ倒していく。バタンと倒すのではなく自分の力でゆっくり倒していき、限界点まで動き切ってしまう。動作は吐く息でおこなうようにする。

【No. 1】初期運動においては、ほぼ連動が感じられない。

【No. 2】膝が床を押さえはじめる時点で、右殿部が緊張し、右肩は床へ押し付けられて身体を支える支点となる。逆に左骨盤が天井方向へ浮き上がり、それを支えるために左踵は床に押し付けられる。右肩と左踵が体重を支える2つの支点となって捻れ運動が生ずる。さらに右膝を倒す動作を続けていくと、首から上は左方向への捻り、首から下は右方向への捻りとして身体が動いていく。

【No. 3】最終動作になると、左肩は左骨盤といっしょに浮き上がっていくかのように感じられるが、左肩の実際の力の方向は首の左回りと同じく床に押し付けていく動作となる。そして左腕は伸びていく。頭上方向へ引きつけている左下肢のつま先は外倒しに動き、左踵は頭上方向へ縮み上がっていく動作となる。この時点では首を反転軸とした捻れは背中の中位あたりの捻れとなり、反転軸の位置移動が起こる。

### 最終動作のダイアグラム

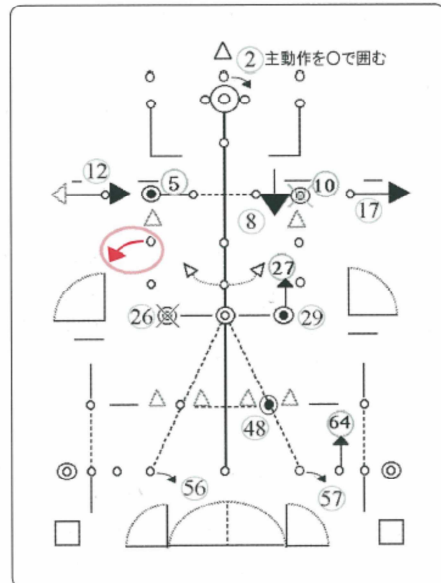
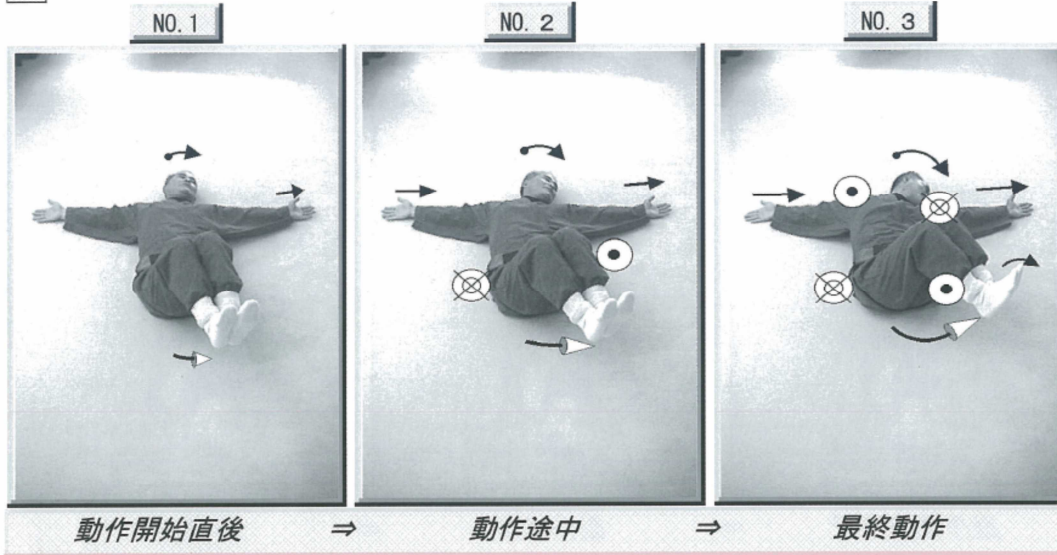


Fig.APP-C-4 Swing Right Knee outward

## 13. 両膝下の左回し

開始姿勢

あお向けになって、両手は十字架状に横伸ばしにし、指は伸ばした状態に保つ。両膝を90°に曲げて、両膝を合わせたまま、胸部へ引き寄せる、大腿部が床面に90°になるまで引き寄せる。足首とつま先はそろえ、両つま先は頭上方向へ引き上げ立てた状態にする。身体を軽く緊張させる。



### ▶▶ 連動解説

### 最終動作のダイアグラム

動作：両膝を90°に曲げて、両膝を合わせたまま、胸部へ引き寄せる。大腿部が床面に90°になるまで引き寄せる。足首とつま先はそろえ、つま先は頭上方向へ引き上げ立てる。膝を中心に円を描くようなイメージで、両膝下を左方向へゆっくりと回す。限界点を超えるまで動き切ってしまう。動作は吐く息でおこなう。

【No. 1】膝を中心に円を描くようなイメージで、両膝下を左方向へゆっくりと回す動きの初期動作の段階から、首の左方向への回転、左腕の横伸びがはじまる。

【No. 2】さらに動きを進めていくと、左骨盤は左肩方向へ縮み上がり、左肩は逆に骨盤方向へ引き下がっていく。軽い左骨盤の浮き上がり、右骨盤の床への押付けがはじまる。首は左へ回る。

【No. 3】動き切って最終動作になると、左肩は床へ押し付けられ、左腕の横伸び運動が起こるが大きな動きではない。右肩は床から浮き上がり、右腕は体幹の方向へ引き寄せられる。首は左回転の限界点までくる。左骨盤はさらに縮み上がりながら、床から浮き上がる運動になる。右骨盤は押付け運動となる。右つま先は内側へ、左つま先は外側への回転運動が生じる。

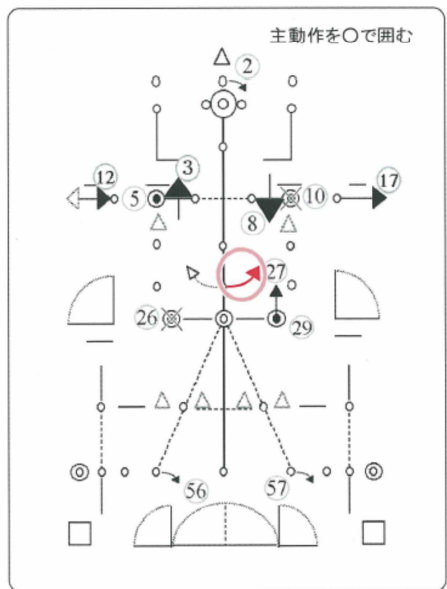
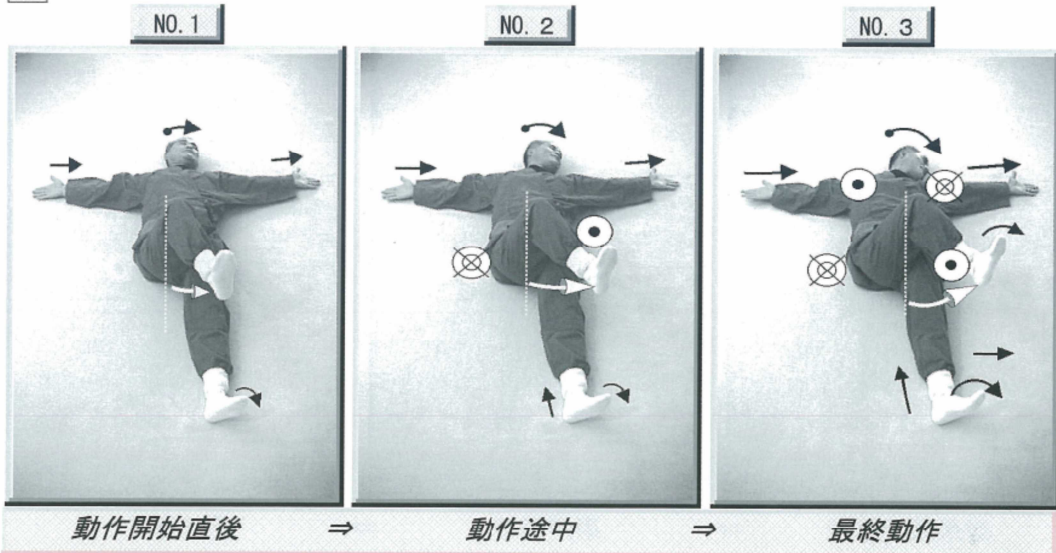


Fig.APP-C-5 Swing Both Lower Legs to Left

## 14. 右膝下の内回し

開始姿勢

あお向けになって、両手は十字架状に横伸ばしにし、指は伸ばした状態に保つ。右膝を90°に曲げて、大腿部が床面に90°になるまで胸部へ引き寄せ。つま先は頭上方向へ引き上げ立てた状態にする。左下肢は伸ばし、つま先は頭上方向へ引き上げ立てた状態に保つ。身体を軽く緊張させる。



### ▶▶ 連動解説

動作：右膝を90°に曲げて、胸部へ引き寄せ、大腿部が床面に90°になるまで引き寄せる。つま先は頭上方向へ引き上げ立てた状態を保つ。右膝を中心に円を描くように、右膝下を左方向内側へ回す。左下肢は伸ばし、つま先は頭上方向へ引き上げ立てたままの状態、限界点を越えるまで動き切ってしまう。動作は吐く息でおこなう。

【No. 1】右膝を中心に円を描くようなイメージで、右膝下を内側（左方向）へゆっくりと回す動きの初期動作の段階では、大きな連動は感じられないが、軽い首の左方向への回転、軽い右腕の引き寄せと左腕の横伸びがはじまる。立てた左つま先の外回りが起こる。

【No. 2】さらに動きを進めていくと、左踵は頭上方向へ縮み上がり、左膝は天井方向へ浮きはじめる。左骨盤は左肩方向へ縮み上がり、逆に左肩は骨盤方向へ引き下がっていく。軽い左骨盤の浮き上がり、右骨盤の床への押付けがはじまる。

【No. 3】最終動作に入ると、左肩は床へ押し付けられ、左腕の横伸び運動が起こるが大きな動きではない。右肩は床から浮き上がり、右腕は体幹の方向へ引き寄せられる。首は左回転の限界点までくる。左骨盤はさらに縮み上がりながら床から天井方向へ浮き上がる運動に変化し、右骨盤は床への押付け運動となる。右つま先は内側へ、左つま先は外側への運動が生じる。伸ばした左下肢の踵は頭上方向へ縮み上がりながら外開き（左方向）運動になる。

### 最終動作のダイアグラム

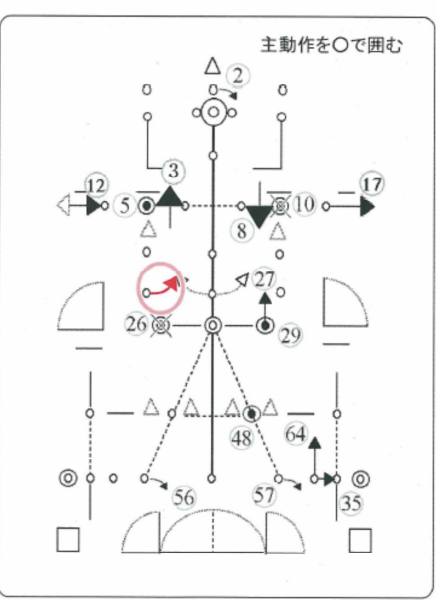
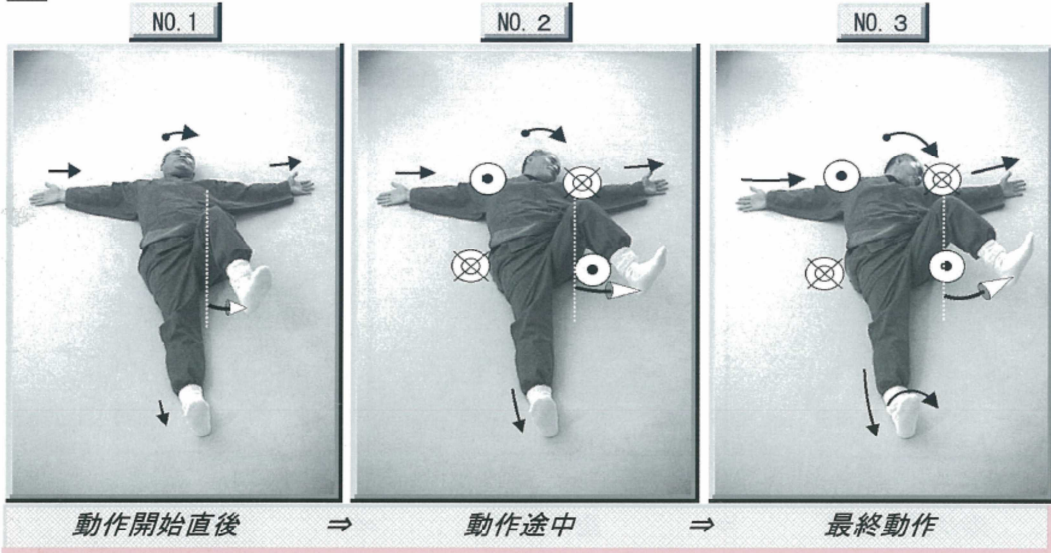


Fig.APP-C-6 Swing Right Lower Legs inward

## 15. 左膝下の外回し

開始姿勢

あお向けになって、両手は十字架状に横伸ばしにし、指は伸ばした状態に保つ。左膝を90°に曲げて、大腿部が床面に90°になるまで胸部へ引き寄せ。つま先は頭上方向へ引き上げ立てた状態にする。右下肢は伸ばし、つま先は頭上方向へ引き上げ立てた状態に保つ。身体を軽く緊張させる。



### ▶▶ 連動解説

動作：左膝を90°に曲げて、胸部へ引き寄せ、大腿部が床面に90°になるまで引き寄せる。つま先は頭上方向へ引き上げ立て、左膝を中心に円を描くように、左膝下を左方向（外側）へ回す。右下肢は伸ばし、つま先は頭上方向へ引き上げ立てた状態に保つ。限界点を越えるまで動き切ってしまう。動作は吐く息でおこなう。

【No. 1】左膝を中心に円を描くようなイメージで、左膝下を左方向（外側）へゆっくりと回す。初期動作の段階では、大きな運動は感じられないが、軽い首の左方向への回転、右腕の引き寄せ、左腕の横伸び、右踵の伸びがはじまる。

【No. 2】さらに動きを進めていくと、左骨盤は左肩方向へ縮み上がり、逆に左肩は骨盤方向へ引き下がっていく。軽い左骨盤の浮き上がり、右骨盤の床への押付けがはじまる。右肩は床から浮き上がりはじめる、左肩は床へ押し付ける動作になる。首はさらに左方向へ回転をする。

【No. 3】最終動作に入ると、左肩はさらに強く床へ押し付けられ、右肩は床から浮き上がり、右腕は体幹の方向へ引き寄せられる。左腕の横伸び運動が起こるが大きな動きではない。首は左回転の限界点までくる。左骨盤はさらに頭上方向へ縮み上がりながら床から天井方向へ浮き上がる運動へと変化していく。逆に右骨盤は押付け運動となる。左つま先は外側へ回る。伸ばした右下肢の踵は伸びながら、右つま先は内回りをする。

### 最終動作のダイアグラム

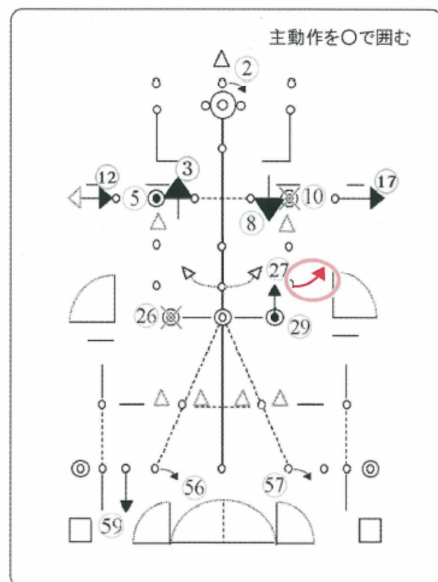
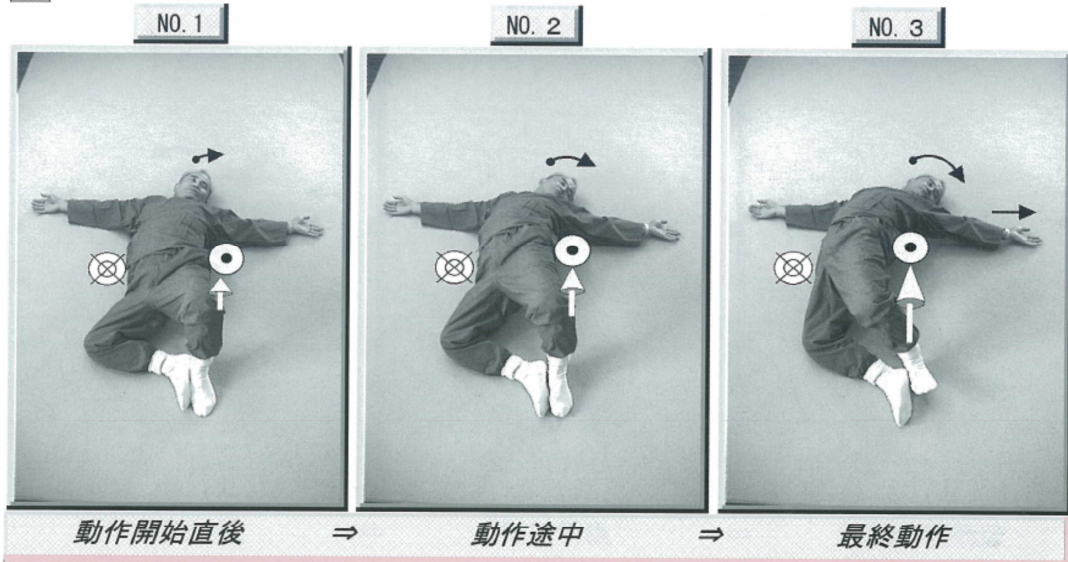


Fig.APP-C-7 Swing Left Lower Leg outward

## 16. 左殿部の吊上げ（膝曲げ）

開始姿勢

両腕は十字架状に横伸ばしにして、指は伸ばした状態に保つ。左膝は立てて90°に保ち、左つま先は頭上方向へ引き上げ立てた状態にする。右膝は曲げ、足の裏は左脚に添える。身体は軽く緊張させる。



### ▶▶ 連動解説

動作：左膝を立てて90°に保ち、左つま先は頭上方向へ引き上げ立て、左骨盤を天井方向へゆっくり吊り上げていく。限界点を超えるまで動き切ってしまう。動作は吐く息でおこなうようにする。

【No. 1】初期動作の段階で左骨盤と左殿部が床から浮き上がった時点から、首を境として首の左回転がはじまる。首は左へ、体幹は右方向への捻り運動が発生する。

【No. 2】右骨盤は床へ押し付けられ、左骨盤は天井方向へ浮き上がり、右肩は床へ押し付けられて体重の重心と運動の支点となる。左肩は天井方向へ多少浮き上がりはじめる。右肩は床へ押し付けられて左踵とともに左骨盤を吊り上げていく2つの支点となる。

【No. 3】この動作を右脚を伸ばした状態でおこなうと、右肩にかかる重力はほぼ垂直下方向へかかっていくが、右膝を約90°に曲げ、右足裏を左脚と添え合わせた場合は右肩にかかる床への垂直方向の重力は頭上方向へ逃げていく。左腕の横伸ばし運動は、首を捻れの反転軸としてバランスをとるために生じる。

### 最終動作のダイアグラム

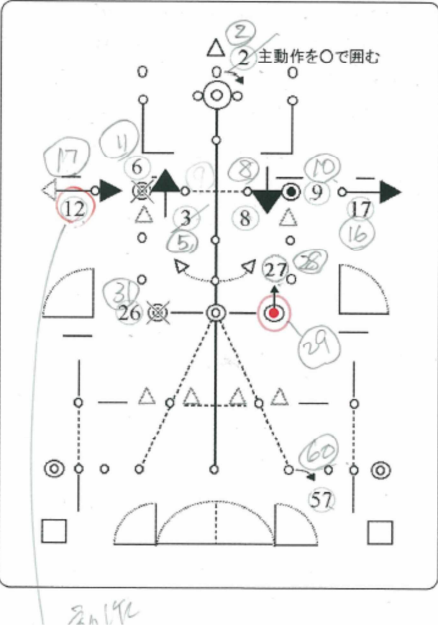


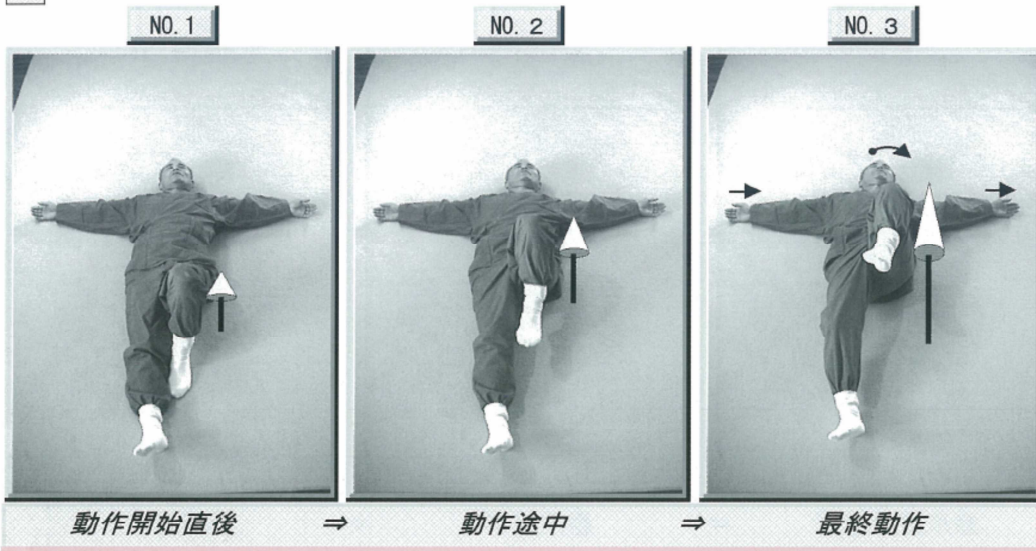
Fig.APP-C-8 Elevate Left Hip upward



## 17. 左膝の胸部引寄せ

開始姿勢

両腕は十字架状に横伸ばしにして、指は伸ばした状態に保つ。左膝は立てて90°に保つ。右膝は伸ばして右つま先は立てておく。身体を軽く緊張させる。



### ▶▶ 連動解説

動作：左膝を立てて90°に保つ。左膝を頭上方向へゆっくり引き上げていく。限界点を超えるまで動き切ってしまう。動作は吐く息でおこなうようにする。

【No. 1】初期動作で感じられる連動は、左骨盤の天井方向への浮き上がり、右骨盤の床への軽い押付けである。

【No. 2】左膝の胸部への引寄せ動作を最終限界状態まで続けていくと、首の左回転がはじまり、左肩の床面からの浮き上がり、右肩の床方向への押付けの動作が発生する。

【No. 3】さらにその動作を続けていくと、左膝の内側倒しのような捻れ動作へと変わっていく。

### 最終動作のダイアグラム

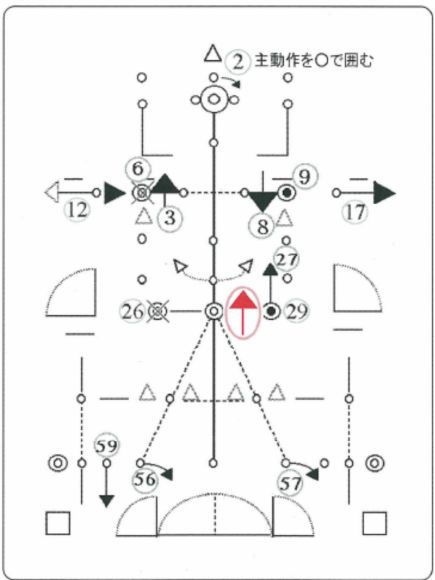
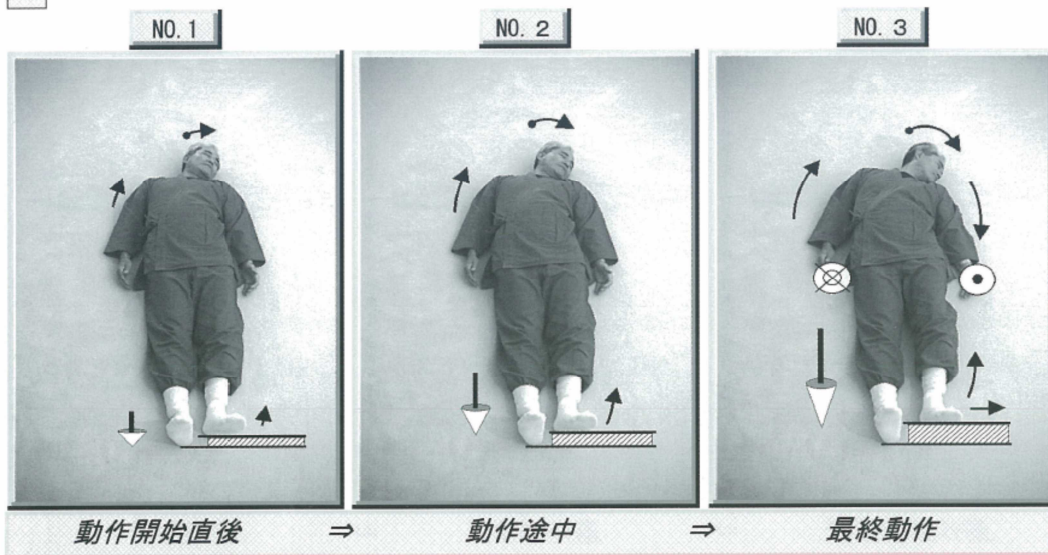


Fig.APP-C-9 Raise Left Knee

## 21. 右足の踵伸ばし

開始姿勢

動作をはじめる前に、両腕は身体側に添えて気をつけの姿勢をする。両脚は伸ばし、つま先は顔の方向へ引き上げ立てた状態にする。身体を軽く緊張させる。



### ▶▶ 連動解説

動作：つま先を顔の方向へ引き寄せたまま、右踵を下方へ踏み込んでいくようにゆっくり押し伸ばしていく動作。限界点を超えるまで動き切ってしまう。全身を使って軟らかいゴムが伸びていくイメージで動く。動作は吐く息でおこなうようにする。

【No. 1】 右脚の踵伸ばしの初期動作において、まず逆の左踵が縮み上がり、左膝が少し床から浮き上がり、首は左方向へ回りはじめる。

【No. 2】 さらに右踵伸びの動作が進んでいくと、左下腿は開脚運動をはじめ、左肩は床へ押し付けられて、左骨盤方向へ引き下がり、左骨盤は上へ縮みあがり天井方向へ捻り上がっていく。右肩は頭上方向へ引き上げられ、右骨盤は床に強く押し付けられ、右踵は伸び切る。

【No. 3】 踵伸ばしの最終段階において、左膝はかなり床から浮き上がり、伸ばした右つま先は少し内側へ倒れ、左つま先は外側へ倒れる。

### 最終動作のダイアグラム

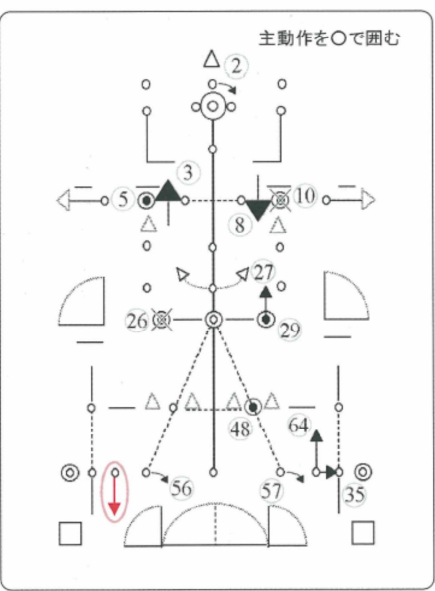
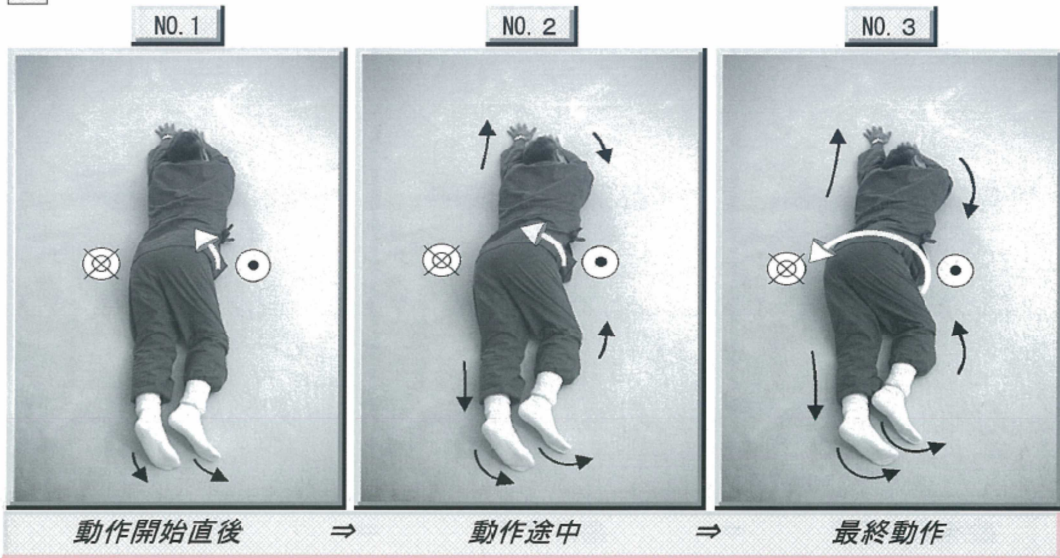


Fig.APP-C-10 Stretch Right Heel

## 29. 右殿部の捻り上げ

開始姿勢

うつ伏せになり顎は床に立て、両手はバンザイ状態で頭上方向へ伸ばしたままで、両下肢も伸ばした状態に保つ。身体を軽く緊張させる。



### ▶▶ 連動解説

動作：両手は頭上方向へ伸ばした状態から、右腰・右骨盤を天井方向へ捻り上げていく動作。限界点を超えるまで動き切ってしまう。動作は吐く息でおこなうようにする。全身を使って右のお尻を上げていくイメージで動く。

【No. 1】右腰を天井方向に捻り上げていく初期動作とともに、右下肢は頭上方向へ引き上がっていく。右膝は軽く曲がり脇腹方向へ引き上げ運動が出てくる。

【No. 2】さらに動作を続けていくと、左骨盤は床へ押し付けられて、体重を支える支点となり、左下肢は下へ伸びていき、左膝は床へ押し付けられる。

【No. 3】右肩は骨盤方向へ縮んでいき、そして床から浮かび上がっていく。左肩が頭上方向へ引き上げられて、左手の頭上方向への突き伸ばし運動になる。右腕・右肩が骨盤方向へ縮むことによって右腰は限界点まで上がっていく。首は右へ、右つま先は外へ、左つま先は内へそれぞれ回っていく。

### 最終動作のダイアグラム

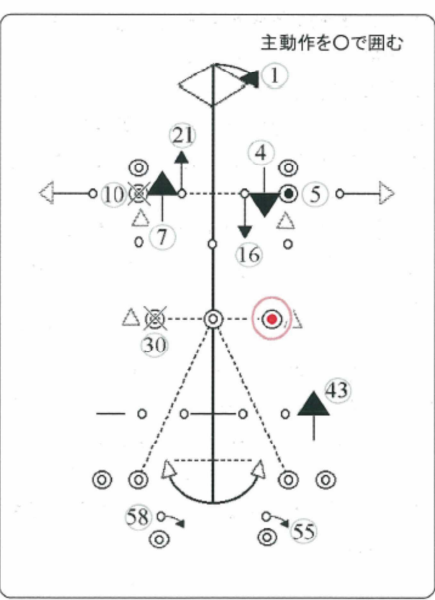
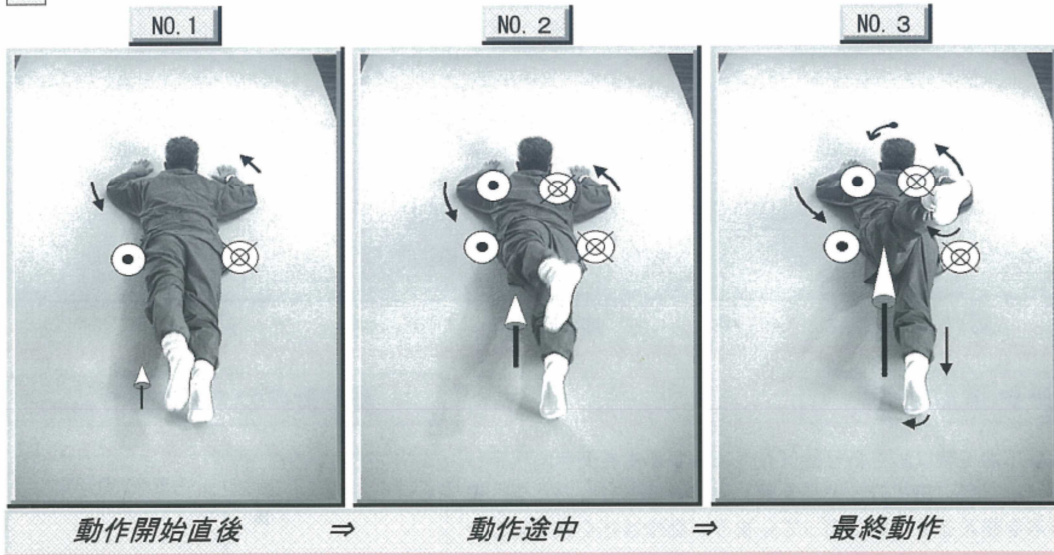


Fig.APP-C-11 Twist Right Hip off Ground

## 80. 左脚上げ

開始姿勢

うつ伏せになり顎を立て、両手を頭上方向へ上げ軽くバンザイ姿勢を保つ。両下肢は伸ばした状態に保ち、両つま先は頭上方向へ引き寄せ立てた状態を保つ。身体は軽く緊張させる。



### ▶▶ 連動解説

動作：顎を立てた状態から、左脚を膝を曲げずにまっすぐ天井方向へゆっくり上げていく。動作は吐く息でおこない、膝が曲がらない程度まで上げ切っていく。

【No. 1】うつ伏せになって、左脚を膝を曲げずにまっすぐ伸ばし天井方向へ上げていく動作において、初期動作の段階ではそんなに大きな連動はないが、右骨盤の床方向への押付け運動が起こる。

【No. 2】さらに続けていくと、右肩の床方向への押付けがはじまり、右腕は頭上方向へ伸びていく。左肩は床から浮かび上がりながら、骨盤方向へ引き下がり、同時に左腕も下肢方向へ引き下がってくる。

【No. 3】左脚上げの最終動作になると、右腕は左脚のバランスをとるようにさらに頭上方向へ伸びる。右脚はさらに下方へ伸び、強い右骨盤の床への押付けを起こす。右つま先は内回り、左つま先は外回り運動を起こす。そして首は左方向へ回る。

### 最終動作のダイアグラム

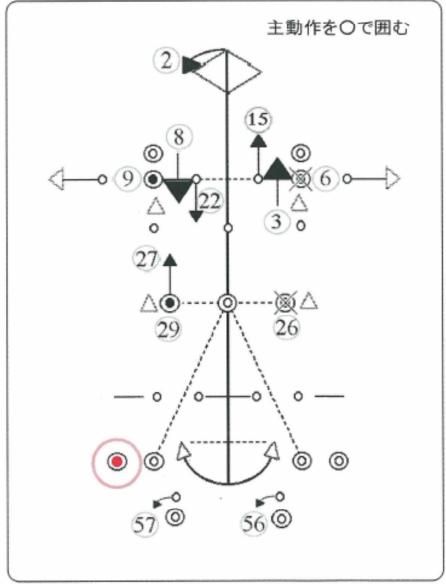


Fig.APP-C-12 Raise Left Leg off Ground

## Appendix D : 「ダイアグラム操体法」の動作番号と本論文の動作番号の対称表

- **注 1 :** 本論文における連動動作番号は、データ入力を簡素し主動作と連動動作の重複を省くため、「ダイアグラム操体法」(参考文献[25])の66動作から56動作に集約した。連動動作番号は対称表を必要とするが動作名の変更はない。
- **注 2 :** 連動番号と連動動作番号の対応関係
  - (1) Table APP-D-1 は、連動番号(「ダイアグラム操体法」pp.170-173に記載)と、本論文で参照する連動動作番号の対応表である。連動動作番号は、主動作番号に対応するものを除いて、81番以降となる。
  - (2) Table APP-D-2-1 から APP-D-2-12 (「ダイアグラム操体法」pp.290-301 参照) は、主動作から見た連動動作=可達行列に対応し、主動作により誘起される連動動作の検索に用いる
  - (3) Table APP-D-3-1 から APP-D-3-12 (「ダイアグラム操体法」pp.302-313 参照) は、連動動作から見た主動作=先行行列に対応し、連動動作を誘起する主動作群の検索に用いる

Table APP-D-1 連動番号と連動動作番号の対応表

連動番号	動作名	仰向け		うつ伏せ	
		主	連動動作番号	主	連動動作番号
1	首の右回り	41	41		109
2	首の左回り	1	1		110
3	右肩の引き上がり(頭上方向)	3	3	66	66
4	右肩の引き下がり(踵方向)		81		111
5	右肩の浮き上がり(天井方向)		82:前へ	27	27:後へ
6	右肩の押し付け(床方向)		83:後へ		112:前へ
7	左肩の引き上がり(頭上方向)	43	43	26	26
8	左肩の引き下がり(踵方向)		84		113
9	左肩の浮き上がり(天井方向)		85:前へ	67	67:後へ
10	左肩の押し付け(床方向)		86:後へ		114:前へ
11	右腕の横伸び	45	45	65	65
12	右腕の引き寄せ(体幹方向)		87		115
13	右腕の外回り	46	46		
14	右腕の内回り	6	6		
15	右腕の伸び(頭上方向)			64	64
16	右腕の縮み(踵方向)				116
17	左腕の横伸び	5	5	25	25
18	左腕の引き寄せ(体幹方向)		88		117
19	左腕の外回り	7	7		

20	左腕の内回り	47	47		
21	左腕の伸び (頭上方向)			24	24
22	左腕の縮み (体幹方向)				118
23	右骨盤の縮み上がり (頭上方向)		89		119
25	右骨盤の浮き上がり (天井方向)		90：前へ	29	29：後へ
26	右骨盤の押し付け (床方向)		91：後へ		120：前へ
27	左骨盤の縮み上がり (頭上方向)		92		121
29	左骨盤の浮き上がり (天井方向)		93：前へ	69	69：後へ
30	左骨盤の押し付け (床方向)		94：後へ		122：前へ
32	右脚の外開き		95		123
33	右脚の内閉じ		96		124
35	左脚の外開き		97		125
36	左脚の内閉じ		98		126
39	右膝の外倒し	11	11		
40	右膝の内倒し	51	51		
41	左膝の外倒し	52	52		
42	左膝の内倒し	12	12		
43	右膝の引き上がり		99		127
44	右膝の押しつけ		100		128
45	右膝の浮き上がり		101		
46	左膝の引き上がり		102		129
47	左膝の押しつけ		103		130
48	左膝の浮き上がり		104		
49	両下腿の右倒し			70	70
50	両下腿の左倒し			30	30
51	右下腿の外倒し			71	71
52	右下腿の内倒し			31	31
53	左下腿の外倒し			32	32
54	左下腿の内倒し			72	72
55	右つま先の外回り	59	59	34	34
56	右つま先の内回り	19	19	74	74
57	左つま先の外回り	20	20	75	75
58	左つま先の内回り	60	60	35	35
59	右踵の伸び	21	21		131
60	右踵の縮み		105		132
62	右踵の浮き上がり		106		133
63	左踵の伸び	61	61		134
64	左踵の縮み		107		135
66	左踵の浮き上がり		108		136



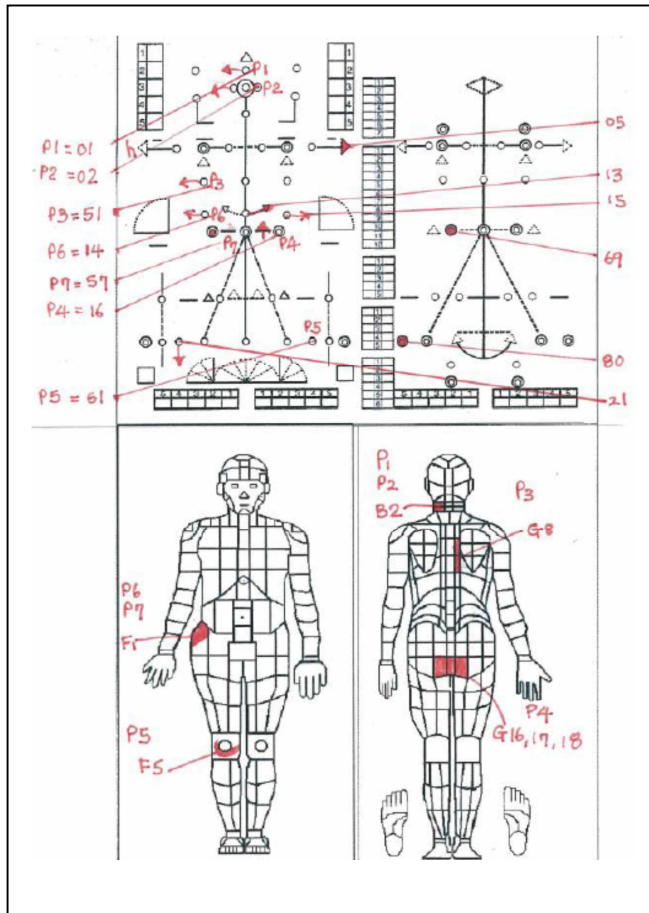
Table APP-D-2-2-2 連動動作から見た主動作一覧表

姿勢	連動NO	連動動作	主動作	NO. 技番	姿勢	連動NO	連動動作	主動作	NO. 技番						
あお向け	3	右肩の引き上がり (頭上方向)	右腕の引上げ	3	あお向け	5	右肩の浮き上がり (天井方向)	両つま先の左倒し	18						
			右腕の頭上伸ばし	4				右つま先の内倒し	19						
			左腕の横突き伸ばし	5				左つま先の外倒し	20						
			右腕の内倒し	6				右足の踵伸ばし	21						
			左腕の外倒し	7				右腕と右踵の伸び	22						
			両腕の左捻り	8				左脚上げ	23						
			右腕の突き上げ (膝曲げ)	9 A				左腕の突き上げ (膝曲げ)	9 A						
			左腕の突き上げ (膝曲げ)	10				両膝の右倒し	10						
			両膝の右倒し	11				左股部の吊上げ (膝曲げ)	16						
			左膝の内倒し	12				左膝の胸部引寄せ	17						
			両膝下の左回し	13				首の左回し	1						
			右膝下の内回し	14				首の左倒し	2						
			左膝下の外回し	15				右肩の引上げ	3						
			左股部の吊上げ (膝曲げ)	16				右腕の頭上伸ばし	4						
			左膝の胸部引寄せ	17				左腕の横突き伸ばし	5						
両つま先の左倒し	18	右腕の内倒し	6												
右つま先の内倒し	19	左腕の外倒し	7												
左つま先の外倒し	20	両腕の左捻り	8												
右足の踵伸ばし	21	右腕の突き上げ (膝曲げ)	9												
右腕と右踵の伸び	22	左腕の突き上げ (膝曲げ)	9 A												
左脚上げ	23	両膝の右倒し	10												
あお向け	8	左肩の引き下がり (腹方向)	首の左倒し	2	あお向け	8	左肩の引き下がり (腹方向)	両膝の右倒し	10						
			右腕の頭上伸ばし	4				左膝の内倒し	11						
			左腕の突き上げ (膝曲げ)	9 A				右膝下の内回し	12						
			両膝の右倒し	10				両膝下の外回し	13						
			両膝下の左回し	13				左股部の吊上げ (膝曲げ)	16						
			右膝下の内回し	14				左膝の胸部引寄せ	17						
			左膝下の外回し	15				両つま先の左倒し	18						
			左股部の吊上げ (膝曲げ)	16				右つま先の内倒し	19						
			左膝の胸部引寄せ	17				左つま先の外倒し	20						
			右足の踵伸ばし	21				右足の踵伸ばし	21						
			右腕と右踵の伸び	22				右腕と右踵の伸び	22						
			左脚上げ	23				左脚上げ	23						
			あお向け	9				左肩の浮き上がり (天井方向)	首の左倒し	2	あお向け	9	左肩の浮き上がり (天井方向)	両膝の右倒し	10
									右腕の頭上伸ばし	4				左膝の内倒し	11
									左腕の突き上げ (膝曲げ)	9 A				右膝下の内回し	12
両膝の右倒し	10	両膝下の外回し			13										
両膝下の左回し	13	左股部の吊上げ (膝曲げ)			16										
右膝下の内回し	14	左膝の胸部引寄せ			17										
左膝下の外回し	15	両つま先の左倒し			18										
左股部の吊上げ (膝曲げ)	16	右つま先の内倒し			19										
左膝の胸部引寄せ	17	左つま先の外倒し			20										
右足の踵伸ばし	21	右足の踵伸ばし			21										
右腕と右踵の伸び	22	右腕と右踵の伸び			22										
左脚上げ	23	左脚上げ			23										
あお向け	10	右肩の浮き上がり (天井方向)			首の左倒し	2	あお向け		10	右肩の浮き上がり (天井方向)				両膝の右倒し	10
					右腕の頭上伸ばし	4								左膝の内倒し	11
					左腕の突き上げ (膝曲げ)	9 A								右膝下の内回し	12
			両膝の右倒し	10	両膝下の外回し	13									
			両膝下の左回し	13	左股部の吊上げ (膝曲げ)	16									
			右膝下の内回し	14	左膝の胸部引寄せ	17									
			左膝下の外回し	15	両つま先の左倒し	18									
			左股部の吊上げ (膝曲げ)	16	右つま先の内倒し	19									
			左膝の胸部引寄せ	17	左つま先の外倒し	20									
			右足の踵伸ばし	21	右足の踵伸ばし	21									
			右腕と右踵の伸び	22	右腕と右踵の伸び	22									
			左脚上げ	23	左脚上げ	23									



## Appendix E: Examples

Table APP-E-1 Example of Computer Input of SBRT Motion Test Result



TN\_01\_2013\_0103: ID and Date

w\_e= 10 : Weight for 'easy'  
w\_h= 1 : Weight for 'hard'  
w\_p= -10 : Weight for 'pain'  
diag= 1 : Weight for diagonal

1	p	41	e
2	p	42	e
3	h	43	e
4	h	44	e
5	e	45	h
6	h	46	e
7	h	47	e
8	h	48	e
9	h	49	e
10	e	50	h
11	e	51	p
12	e	52	h
13	e	53	h
14	e	54	p
15	e	55	h
16	p	56	e
17	e	57	p
18	h	58	e
19	h	59	e
20	h	60	e
21	p	61	e
22	h	62	e
23	h	63	e
24	e	64	h
25	e	65	h
26	e	66	h
27	e	67	h
28	e	68	h
29	h	69	e
30	e	70	h
31	h	71	e
32	h	72	e
33	h	73	e
34	e	74	h
35	h	75	e
36	e	76	h
37	e	77	h
38	e	78	h
39	h	79	e
40	h	80	e

Table APP-E-2 Example of the SBRT Record (1)

	Test 1			Test 2		
	Check	Pain	Therapy	Check	Pain	Therapy
41/01 Turn neck to (R/L)	e p1	B-2		eh		
42/02 Tilt head to (R/L)	e p2	B-2		p1p2	B-2	
48/08 Twist both arms to (R/L)	eh			eh		
45/05 Extend arm to (R/L)	he		5	eh		
46/06 Rotate right arm (U/D)	eh			eh		6
09/49 Stretch (R/L) arm upward	he			he		
03/43 Elevate (R/L) shoulder to head	he			eh		
04/44 Stretch (R/L) right arm above head	he			he		
07/47 Rotate left arm (U/D)	he			he		
11/51 Swing right knee (O/I)	e p3	G-8		eh		
10/50 Swing both knees to (R/L)	eh			he		50
12/52 Swing left knee (O/I)	eh			he		
53/13 Swing both legs to (R/L)	he		13	eh		
54/14 Swing right lower leg (O/I)	e p6	F-1		he		
55/15 Swing left lower leg (I/O)	he		15	he		15
56/16 Elevate (R/L) hip upward	e p4	G-16,17,18		eh		56
57/17 Raise (R/L) knee	p7 e			ee		
63/23 Raise (R/L) leg off ground	eh			eh		23
22/62 Stretch (R/L) arm & heel	he			ee		22
21/61 Stretch (R/L) heel	e p5	F-5	21	eh		
59/19 Rotate right leg inward (O/I)	eh			eh		
58/18 Twist both legs to R/L)	eh			eh		58
20/60 Rotate left leg (O/I)	he			hh		
25/65 Extend left arm to (L/R)	eh			eh		
67/27 Twist (L/R) shoulder off ground	he			he		
68/28 Raise (L/R) shoulder & left leg	he			he		
26/66 Elevate (L/R) shoulder upward	he			he		
24/64 Stretch (L/R) arm above head	eh			he		
32/72 Swing (L/R) knee outward	he			eh		
30/70 Swing both knees to (L/R)	eh			p3 e	F-1	70
31/71 Swing right knee (O/I)	he			p4 e	G-8	
69/29 Twist (L/R) hip off ground	eh		69	he		29
76/36 Raise (L/R) knee to shoulder	he			eh		
77/37 Pull (L/R) heel to hip	he			he		37
80/40 Raise (L/R) leg off ground	eh		80	eh		
73/33 Rotate both legs to (L/R)	eh			eh		73
75/35 Rotate left leg (O/I)	eh			he		
74/34 Rotate right leg (I/O)	he			eh		
78/38 Push left foot (D/U)	he			he		
39/79 Pull right foot (D/U)	he			he		

Test-1: Date 2012/12/16: Pain-1. Back left of neck, Back inner edge of left shoulder blade and Left knee; front outer edge of knee cap; Pain-2: Back inner edge of left shoulder blade; Pain-3: Left knee; front outer edge of knee cap.

Test-2: Date 2013/03/10, Lower back of neck; No pain but stiffness with minor pain; No pain in left knee; but some pain when playing active sports.

Note: R/L: Right/Left, U/D: Up/Down, I/O: Inward/Outward, h=hard, e=easy; B-2, G-8, F-1 etc

Table APP-E -3 Example of the SBRT Record (2)

No. A0002 Name: *	Sex: F Age: **	Ser. No.: A0002-1	Ser. No.: A0002-3	Ser. No.: A0002-3						
Remarks: Pain caused by car accident. Arthritis, Sciatica and Mild Back Pain		Date: 2003 07 23	Date: 2003 07 28	Date: 2003 07 30						
		Remarks: Pain=g14, g15, g54, g55, g56, g12, g13	Remarks: No pain recorded	Remarks: No pain recorded						
Motions		Test	Pain	Tpy	Test	Pain	Tpy	Test	Pain	Tpy
41/01 Rotate <b>neck</b> to (R/L)		he		41	he		1	he		41
42/02 Bend <b>neck</b> to (R/L)		na			na			na		
48/08 Twisting <b>both arms</b> to (R/L)		he			he		8	eh		
45/05 Stretch <b>arm sideway</b> to (R/L)		he			he		5	eh		
46/06 The <b>right arm</b> rotating (U/D)		ep1	g11		he		46	eh		6
09/49 Stretching <b>arm Vertical</b> (R/L)		p2e	g10		he			he		49
03/43 Raise (R/L) <b>shoulder</b>		eh			eh			eh		
04/44 Stretch <b>arm</b> above the head (R/L)		p3e	g10		he			he		
07/47 The <b>left arm</b> Rotating (U/D)		he			he		7	eh		7
11/51 Flip <b>right knee</b> to (R/L)		eh			eh			eh		51
10/50 Flip <b>both knees</b> to (R/L)		ep4	g12		eh		10	he		
12/52 Flip <b>left knee</b> to (R/L)		he			he		12	eh		52
53/13 Swing <b>both lower leg</b> to (R/L)		eh			eh			eh		
54/14 Swing <b>right lower leg</b> to (R/L)		he			he		54	eh		
55/15 Swing <b>left lower leg</b> to (R/L)		eh			he			eh		
56/16 <b>Hip</b> lifting up ((R/L)		p5p6	g12/g10 /c2		eh			eh		
57/17 Raise <b>knee</b> up towards head (R/L)		he			eh			eh		
63/23 Rise <b>the leg</b> up (R/L)		eh			he			eh		
22/62 Stretch <b>arm &amp; heel</b> out (R/L)		eh			eh		22	eh		
21/61 Stretch <b>leg heel</b> out ((R/L)		eh		21	eh		21	eh		21/61
59/19 Twist <b>right ankle</b> joint to (R/L)		eh		19	eh			eh		
58/18 Twist <b>both ankle</b> joints to R/L)		he			he		18	he		58
20/60 Twist <b>left ankle</b> joint to (L/R)		eh		20	eh		20	eh		20
25/65 Stretch arm sideway ((L/R)		he			eh			eh		
67/27 Flip the <b>shoulder</b> up(L/R)		p2e	g12		he			he		
68/28 Flip the <b>shoulder &amp; Leg</b> up(L/R)		he		28	he		28	he		
26/66 Pull the <b>shoulder</b> upwards (L/R)		eh			he			eh		
24/64 Stretch <b>arm</b> up towards head (L/R)		eh			he			eh		
32/72 Flip <b>left</b> lower legs to (L/R)		he			he			he		
30/70 Flip <b>both lower legs</b> to (L/R)		eh		30/70	eh		70	eh		
31/71 Flip <b>right</b> lower legs to (L/R)		eh		71	eh			eh		
69/29 Twist the <b>hip</b> up (L/R)		p4e	g12		he			ee		
76/36 Frog swimming leg (L/R)		he		36	he			he		
77/37 Pull <b>heel</b> in (L/R)		he		37	he			he		
80/40 Rise <b>entire leg</b> upwards (L/R)		p2p1	g12/g12		he			eh		
73/33 Rotate <b>both feet</b> to L/R)		he		33	eh			eh		
75/35 Rotate <b>left foot</b> to (L/R)		eh			eh			eh		
74/34 Rotate <b>right foot</b> to (L/R)		he		34	he			he		
78/38 Push <b>left foot</b> (Down/Up)		he		38	he			he		
39/79 Push <b>right foot</b> (Down/ Up)		he			he			he		
6R/46R Pull Right F/Arm In/Push Out		na			na			na		
7L/47L Pull Left F/Arm In/Push Out		na			na			na		

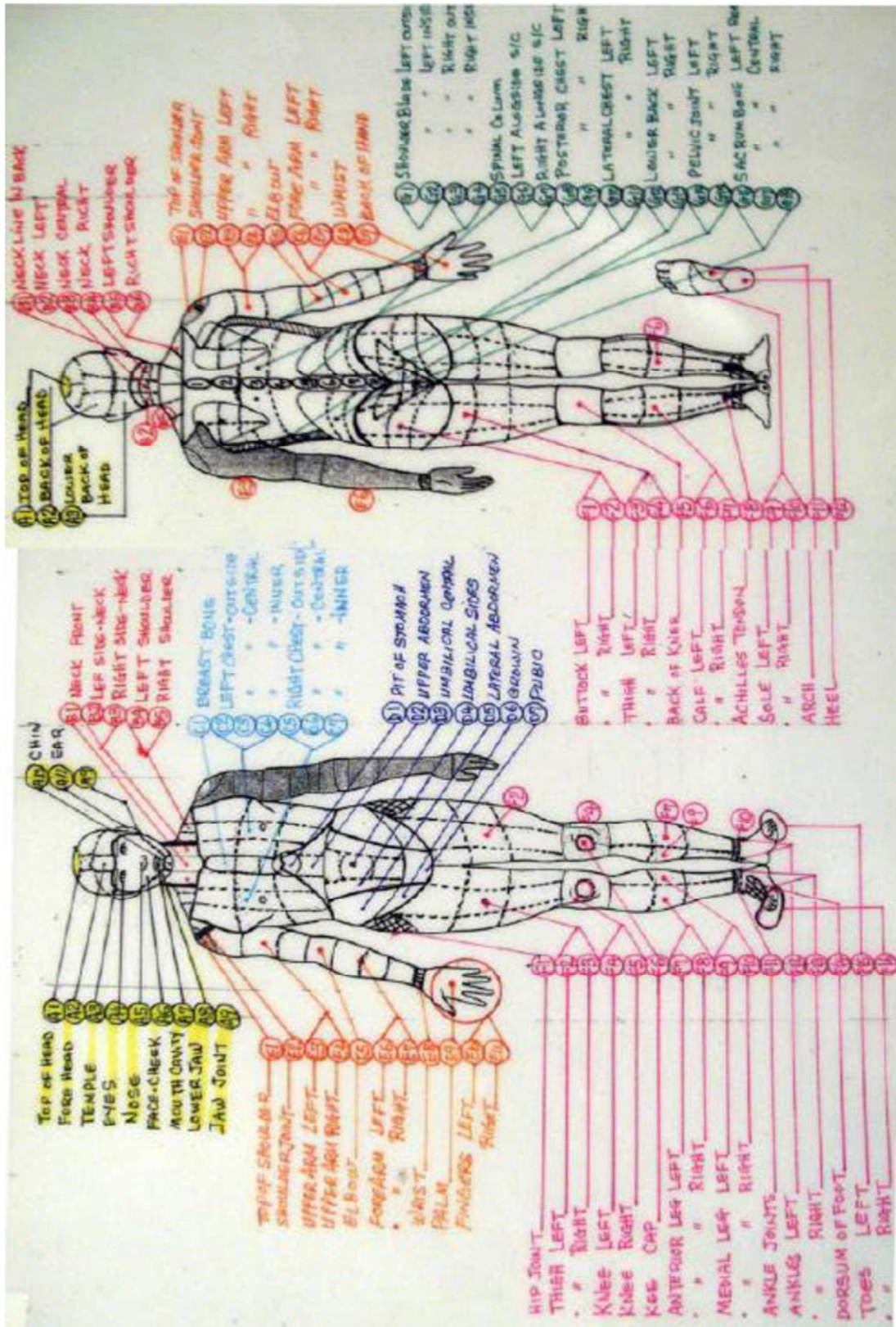


Fig.APP-E-4 Body Map

## 謝辞

本研究は、著者が慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科後期博士課程在学中に、同研究科高野研一教授の指導の下に行われたものです。本研究の実施に当たり方向を見失わないように常にガイドラインを示していただき、ご鞭撻をいただきました高野研一教授に心より感謝いたします。また、同研究科の小木哲朗教授には、可視化に関する数々の貴重なアドバイスをいただきました。さらに、芝浦工業大学システム理工学部生命科学科・米田隆志教授には、人体システム全般にわたるアドバイスと床応力の先進的な測定方法をご示唆いただきました。お二人のアドバイスに深く感謝いたします。SDM研究科の前研究科委員長で現在はSDM研究所顧問の狼嘉彰先生には入学当初から退職なさるまで指導教官として指導を賜りました。本研究の基礎研究及びシステム工学そして機械工学的な本論文の基礎となる論文誌投稿の作成や国際会議での論文発表に当たり、丁寧なご指導をいただきました。深く感謝申し上げます。また、討論を通して有益なアドバイスをいただいたSDM研究科戦略システムデザインラボの皆さまに厚くお礼を申し上げます。

カナダバンクーバーに在住しながらの研究生活ゆえ、日常的基礎研究及び実験はブリティッシュコロンビア州立大学のCARIS研究所にて客員研究員として歓迎していただき、実験設備の提供及び論文の細かい指導や提案までしていただいた同研究所長・機械工学部長 Dr. Elizabeth Croft 教授に深く感謝いたします。また同研究室の実験運用を共にし、実験の被験者にボランティア参加した研究室の全てのメンバーに感謝いたします。

本研究における最も重要な作業であった膨大な資料の整理や、そのデータの入力、検証などを受け持っていたいただいた狼暁子さん、データ整理や論文編集作業に参加し全体のまとめを引き受けてくれた家内の由梨花なしでは本研究の達成はあり得ませんでした、改めて感謝を申し上げます。また、複雑な人体図やフィッシュネットおよび動画を制作した増田宏明さん、翻訳作業を手伝ってくれた増田高明さん、また、英文のネイティブチェックをタイムリーに実行してくれた嘉陽宗丈 (Munetake Kayo)、そして家族の全員の献身的な支えに、心から感謝いたします。

最後に、日本科学未来館館長・宇宙飛行士の毛利衛博士に心からお礼を申し上げます。工学には無縁であった筆者に対して、システムズエンジニアリングの手法に精通した狼教授の指導を受けるように示唆していただくことが無ければ、本研究は実現しませんでした。本当にありがとうございました。

2014年3月

嘉陽宗弘