

JOURNAL OF SPORT SCIENCES AND OSTEOPATHIC THERAPY

スポーツ 整復療法学研究

March 2008

平成20年3月

原著論文

青柳 博、奥本 正

女子バレーボール選手の足底分圧とスポーツ障害の関連・・・・・・・・・・・・・・・・・・[155]

服部祐児、村松成司、服部洋児

相撲の体重別試合における身長・筋力差と勝敗および決まり手との関連・・・・・・・・・・[165]

片岡幸雄、氏家康宇

若年者における40%強度の各種運動時間が指尖部および足尖部の末梢循環に及ぼす影響・・・・・・・・[173]

教育講座

堀井仙松

スポーツ・医療科学のための確率統計学講座：最終回 データ間の相関関係（その2）・・・・・・・・[181]

岡本武昌、伏木哲史

超音波画像解析のための基礎講座 -超音波と画像解析の基礎-・・・・・・・・・・[189]

学会通信

第9回日本スポーツ整復療法学学会大会印象記

第10回日本スポーツ整復療法学学会大会ご案内

日本スポーツ整復療法学学会定款（平成19年10月21日一部改訂）

個人会員入会申請用紙・会員登録用紙

スポーツ整復療法学研究寄稿規約・執筆要領

編集後記

日本スポーツ整復療法学学会

The Japanese Society of Sport Sciences and
Osteopathic Therapy (JSSPOT)

女子バレーボール選手の足底分圧とスポーツ障害の関連

青柳 博 奥本 正

東亜大学大学院

Relationship between standing position, plantar pressure, and sports disorders in women volleyball players

Hirosi AOYAGI Tadasi OKUMOTO

Eastern Asia University graduate school

Abstract

The relationship between plantar pressure in the standing position and sports disorders in volleyball players was examined. Eighty-seven women volleyball players served as the subjects and they were divided into three groups: 1) normal (N) group (n=19), 2) disorder (D) group (n=38), and 3) injury (I) group (n=30). Plantar pressure in the standing position was measured using a foot graph and sports disorders were examined with a survey of sports disorders using a questionnaire.

The results of this study are as follows:

- 1) There were no significant differences in physical characteristics and practical years of volleyball playing and contact surface of foot sole among three groups.
- 2) With regard to plantar pressure, group D had significantly higher left heel pressure ($p<0.05$) and lower toe pressure at outside of left toe ($p<0.05$) than group N.
- 3) Players in group D whose plantar pressure center positions shifted backward had a significantly high rate of sports disorder of the upper limb ($p<0.05$).
- 4) We therefore conclude that players having sports disorders tend to exhibit plantar pressure backward shifting in the standing position (floating toe); this might relate to suffering upper body disorders such as shoulder disorders through ball-spiking during long term volleyball playing.

(J. Sport Sci. Osteo. Thera. 9(3):155-163, March, (2008)

Keyword: スポーツ障害 (Sports Disorder), 足底分圧 (Plantar pressure), 接地足底面積 (Contact surface of sole)

緒言

近年、スポーツ環境は整備され、スポーツシューズや用具などは様々な研究がなされ、その機能は大幅に進歩して、スポーツ選手における技術面の向上は急速に進んでいる。しかし日本体育・学校保健センターの調査によると1990年以降年間約0.5%の割合でスポーツ障害は年々増加する傾向にあるとしている¹⁾。このようなスポーツ障害や外傷に関する報告のなかで、特にバレーボールやバスケットボールにおいてはその種目特性から、足関節の捻挫や膝の靱帯損傷、肉離れといった下肢のスポーツ外傷に関するものが中心であり、スポーツ障害に関してもジャンパー膝などの膝障害やアキレス腱炎・シンスプリントといった下肢に関するものが数多く報告されている。しかし、バレーボールのような overhead sports においては野球と同じように肩や体幹といった骨盤より上位でスポーツ障害を発生することも多く、吉松²⁾はすべてのスポーツのなかでも野球・バレーボール・バスケットでは上肢のスポーツ障害の発生率が高い

ことを報告している。

このような上肢のスポーツ障害の発生機序に関しては、これまでストレッチなどの準備運動不足による筋力および筋の柔軟性の低下や運動時の無理なフォームの影響、練習量過多などがその発生要因として考えられており、選手個人だけでなく指導者やスポーツ環境なども問題点として指摘されてきた。

しかし、著者のこれまでの臨床およびトレーナー経験において、上肢部のスポーツ障害の既往歴がある選手は、下肢(足部)に扁平足や浮き趾などの足部形態的变化を有している傾向があることを観察してきた。すなわちスポーツ障害を有する選手は、身体静止立位で足趾は背屈(浮き趾)傾向があり足圧中心位置が後方(踵方向)へ変移した立位姿勢の傾向が多く観察された。このような足圧中心位置の後方変移は足の機能が脆弱化した現代人に多くなってきたといわれているが³⁾、特にスポーツ活動時に

いてこのような不安定な立位姿勢が運動中の動作にも影響を与え、その運動連鎖としてスポーツ障害を起こしやすいのではないかと考えられる。これまでも、足位の変化による運動連鎖としての骨盤位の変位および脊柱の弯曲の影響が肩甲骨位置を変位させて肩や頭部まで影響をおよぼすといった報告⁴⁾や、投球動作時の足位の変化が不完全な体重移動と投球フォームに及ぼす影響と野球肩の発生要因とを関連づける報告がある⁵⁾。しかし、バレーボール選手の足趾の形態的变化や足底分圧の偏りとスポーツ障害発生との関連についての報告はみられない。そこで本研究は、ヒトの運動の基礎となる足部に視点をおき、女子バレーボール選手を対象に足底分圧を定量的に評価し、足底分圧とスポーツ障害との関連について調査研究することを目的とした。

研究方法

1. 対象者

1) 対象者のスクリーニング

対象は、年齢20歳～45歳（平均年齢 37.5 ± 4.4 Mean $\pm$ S.D.）までの女性アマチュアバレーボール選手87名であった。

被験者は予めスポーツ障害と外傷に関するアンケート調査をおこなった200名のうち過去に大きな外傷による影響で足圧に顕著な偏りを有しない者であった。外傷や既往歴によって著しく関節可動域に制限（整形外科学会基準正常関節可動域 $\pm 15^\circ$ ）がある者を除外した。

2) 対象者の分類

87名の被験者をスポーツ障害の有無、過去5年間の外傷の有無、外傷以外での体幹や四肢の疼痛の有無の調査結果から、健常者群（ $n=19$ ）、スポーツ障害群（以下障害群と略 $n=38$ ）、スポーツ外傷群（以下外傷群と略、 $n=30$ ）の3群に分類した。以下にその分類の定義を示した。

- ・健常群：過去5年間にスポーツ外傷やスポーツ障害等による疼痛部位がない者。
- ・障害群：過去5年以内に外傷の既往歴がなく、医療機関においてスポーツ障害と診断を受けたもの、および明らかな外傷の原因がなくスポーツ障害好発部位に疼痛を有する者。
- ・外傷群：過去5年以内にスポーツによる外傷既往歴があり、医療機関において過去の外傷とは関連性のないスポーツ障害と診断を受けた者。

2. 足部形態の測定および関節可動域の測定

1) 足長・足幅の測定

足長は踵部から第Ⅱ趾の先端まで中心線を引き、踵から一番長い足趾の先端までの長さをメジャーにより測定した。足幅は中足骨々頭部の母趾から小趾までの一番幅の広い部

分の長さを、ノギスにて測定した。

2) 関節可動域の測定

足関節と肩関節の可動域は簡易型関節角度計を用い、日本整形外科学会の評価法⁶⁾により測定を行った。

3. 接地足底面積および足底分圧の測定

1) 測定原理

足底分圧は、Fittracks社製の足圧分布4分割体重バランス測定装置（Foot-o-Graph：以下Foot Graph）を用いて測定した。この装置は圧力センサーを内蔵（ $1\text{ cm}^2 \times 1024$ 個）したセンサープレートによって、静止立位時の接地足底面積と足底分圧を1秒毎に測定することができる（図1）。接地足底面積と足底分圧の分析は専用の解析ソフト（Fittracks Professional Ver2.41）によって分析した。

接地足底面積は左右足の前後4分割基準線によって4ブロックに分割されそれぞれの接地面積が表示される。足底分圧は1から9段階の指数と色分けで表示される（図2）。

足底分圧は足底接地面全体にかかる圧力と各センサーにかかる圧力との相対係数が1ビット（加圧センサー1個）単位で表され足圧が高い部分ほど数値は高くなる。この解析方法は足底分圧の評価方法としてこれまで多くの足圧測定機器で取り入れられているもので⁷⁾、足圧分布評価の再現性についても、その有用性は内外で報告され認められている⁸⁾。

Foot Graphから得られた足底分圧画像をプリントアウトしたのちに、平沢方式⁹⁾によって接地足底面を8分割した。平沢方式は元来6ブロック分類であるが本研究では前足部をさらに分割（足趾部：内側・外側）して接地足底面を下記の手順で8ブロックに分けて解析を行った（図3）。

- 1) 足型の内側縁・外側縁に対する接線(A)および(B)を引きその交点をPとする。
- 2) 交点Pと第二指中央部(C)を結ぶ線をHライン（仮ライン）とした。Hラインと第2指前縁(D)および踵後縁(E)の交点であるDE間の長さを足長とした。
- 3) Hライン(DE間)を三等分する線x・yを引き足底面を三等分した。
- 4) 母趾付け根(F)からHラインまでと小趾付け根(G)からHラインまでの足部前縁に対する接線を引き足趾部を2分割した。
- 5) 足底面を踵外側(R1)、踵内側(R2)、中足外側(M1)、中足部内側(M2)、足尖部外側(F1)、足尖部内側(F2)、足趾外側(FF1)、足趾内側(FF2)

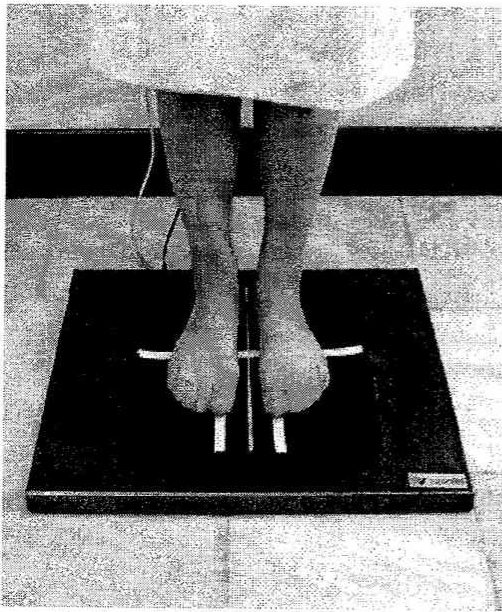


図1 Foot Graph センサープレート
(中央縦横の白い線が4分割基準線)

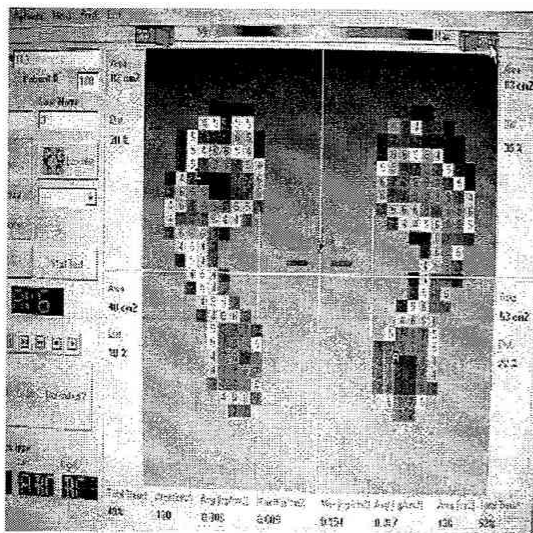


図2 Foot Graph 足底圧測定結果

の計8ブロックに分類した。

2) 測定方法

センサープレート(縦42cm・横52cm)を床に設置し、測定装置が水平であることを確認したのちに被験者をセンサープレート上に両足を揃えて立たせた。立ち位置は足長の2分の1の位置が装置の中心基準線に位置するようにした。視線は2m前方の視標を注視させた。測定時の姿勢は両上肢が体側に軽く接した自然立位姿勢をとらせ、足底分圧および接地足底面積の測定を10秒間行った。

4. 統計解析方法

測定値は平均値および標準偏差で示し各群の統計学的比

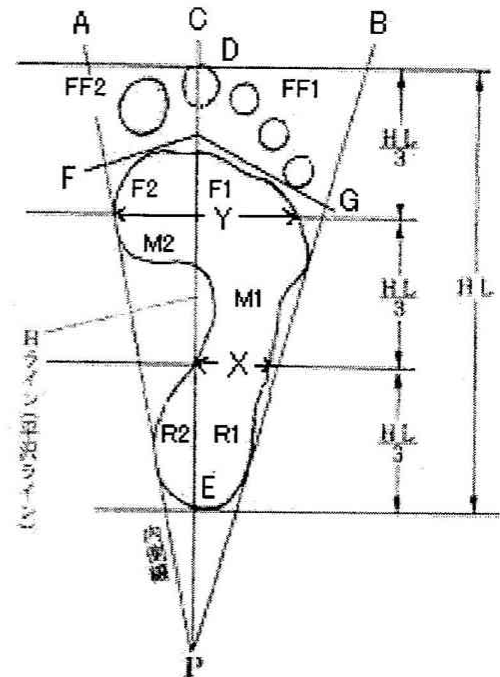


図3. 平沢方式による足底接地面の解析法(8分割)
踵外側(R1)・内側(R2) 中足外側(M1)・内側(M2)
前足外側(F1)・内側(F2) 足趾外側(FF1)・内側(FF2)

較はSPSS(Ver.11)を使い、一元配置分散分析、多重比較分散分析(Bonferroni)および χ^2 二乗検定を用いた。危険率5%未満を有意とした。

VI. 結果

1. 身体特性および関節可動域の比較(表1)

年齢、身長、体重、足長、足幅は健常群に比して障害群、外傷群の群間に有意差は認められなかった。関節可動域は健常群の肩関節の伸展 $49 \pm 2.1^\circ$ (Mean $\pm$ S.D.), 屈曲 $178 \pm 4.2^\circ$, 足関節の背屈 $17.6 \pm 2.0^\circ$, 底屈 $42.8 \pm 2.4^\circ$ であった。これに対し障害群の肩関節の伸展 $48.2 \pm 1.3^\circ$, 屈曲 $177 \pm 3.1^\circ$, 足関節の背屈 $17.0 \pm 1.7^\circ$, 底屈 $42.2 \pm 2.0^\circ$ であった。外傷群では肩関節の伸展が $48.8 \pm 1.5^\circ$, 屈曲が $176 \pm 4.7^\circ$, 足関節の背屈が $17.0 \pm 1.4^\circ$, 底屈が $43.3 \pm 1.4^\circ$ と、それぞれの項目で3群間に有意差は認められなかった。

2. バレーボール経験年数の比較(表1)

経験年数は健常群の 10.6 ± 8.2 年に対し、障害群 13.7 ± 6.0 , 外傷群 13.4 ± 7.7 であった。健常群に比して障害群、外傷群は経験年数が長い傾向にあったが3群間に有意差は認められなかった。

3. 身体部位別スポーツ障害発生率 (表2)

身体部位別障害発生率 (複数回答) は、障害群では上肢が 39.4%と他の部位に比して有意に高値 ($p<0.05$) を示し、外傷群では上肢と下肢が 42.1%と体幹に比して有意に高値 ($p<0.05$) を示した。

4. 接地足底面積 (表3)

接地足底面積 (4 分割) は、健常群では左後足部が 52.3 ± 6.2 Cm^2 、左前足部が 76.1 ± 6.8 Cm^2 、右後足部が 52.7 ± 5.2 Cm^2 、右前足部が 75.6 ± 7.0 Cm^2 に比して障害群・外傷群の 3 群間で有意差は認められなかった。また、それぞれの群で左右差は認められなかった。

5. 足底分圧の比較

1) 左足底分圧各ブロックの比較 (図4 (a1-a6))

左踵内側において、健常群 (103.3 ± 19.3) に比して障害群 (124.7 ± 17.5) が有意 ($p<0.001$) に高値を示した。さらに、

障害群が外傷群 (112.7 ± 18.1) との比して有意 ($p<0.01$) に高値を示した (図4. a1)。

しかし、左足踵外側、左中足部外側、左中足部内側、左前足部外側、左前足部内側では健常群に比して障害群および外傷群では有意差は認められなかった (図4. a2-a6)。

2) 右足底分圧各ブロックの比較 (図5 (b1-b6))

右踵部外側において、障害群 (128.8 ± 22.4) が健常群 (109.1 ± 20.0) に比して、有意に高値 ($p<0.01$) を示した。 (図5. b1)

しかし、右足踵内側、右中足部外側、右中足部内側、右前足部外側、右前足部内側の各ブロックでは健常群に比して障害群および外傷群では有意差は認められなかった。 (図5. b2-b6) また、3 群間の比較において左右差は認められなかった。

表1. 被験者の身体特性および競技歴比較

項目	健常群 (n=19)	障害群 (n=38)		外傷群 (n=30)	
年齢 (year)	38.8 ± 3.4	36.1 ± 5.1	ns *1	38.2 ± 4.0	ns
身長 (cm)	160.6 ± 5.9	162.4 ± 5.8	ns	159.6 ± 5.4	ns
体重 (kg)	54.6 ± 6.6	54.5 ± 4.5	ns	55.4 ± 8.1	ns
左足長 (cm)	23.6 ± 0.9	24.0 ± 0.7	ns	23.6 ± 0.9	ns
左足幅 (cm)	9.9 ± 0.5	9.9 ± 0.5	ns	9.7 ± 0.4	ns
右足長 (cm)	23.6 ± 0.9	24.0 ± 0.7	ns	23.5 ± 0.9	ns
右足幅 (cm)	9.9 ± 0.5	10.0 ± 0.5	ns	9.8 ± 0.4	ns
	NS *2	NS		NS	
競技歴 (年)	10.6 ± 8.2	13.7 ± 6.0	ns	13.4 ± 7.7	ns

Mean $\pm$ S.D. *1 : 健常群と障害群および外傷群の比較 (ns: 有意差なし) *2 : 左右足比較 (NS : 有意差なし)

表2. 身体部位別スポーツ障害発生率比較

障害群 (n=38)			外傷群 (n=30)		
発生部位	件数	発生率(%)	件数	発生率(%)	
上肢 (肩・肘・手関節)	31	39.4 *	16	42.1 *	
下肢 (股関節・膝・下腿・足部)	24	30.3	16	42.1 *	
体幹 (頸部・胸部・腰部)	24	30.3	6	15.8	

* : $p<0.05$

表3. 接地足底面積比較 (4分割)

	健常群 (n=19)	障害群 (n=38)		外傷群 (n=30)	
左後足部	52.3 ± 6.2	53.7 ± 5.9	ns *1	53.6 ± 7.3	ns
左前足部	76.1 ± 6.8	73.9 ± 6.8	ns	73.6 ± 10.0	ns
右後足部	52.7 ± 5.2	54.1 ± 6.2	ns	51.3 ± 4.7	ns
右前足部	75.6 ± 7.0	73.2 ± 6.5	ns	74.0 ± 7.2	ns
	NS *2	NS		NS	

Mean $\pm$ S.D. (Cm 2) *1: 健常群と障害群・外傷群との比較 (ns: 有意差なし) *2: NS: 左右足比較有意差なし

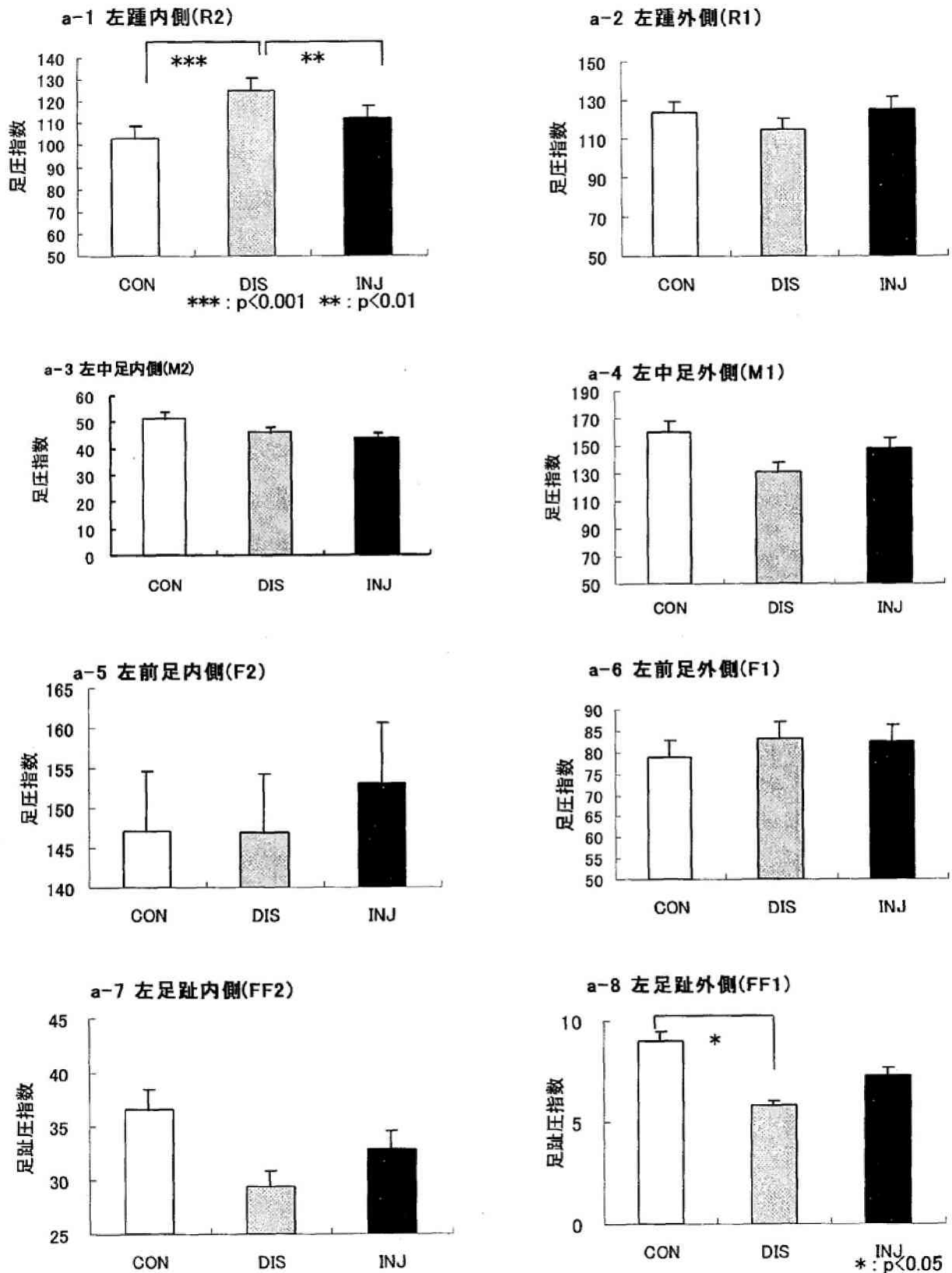


図4 足底面各ブロックの足底分圧比較 (a-1 から a-8)

CON: 健常群($n=19$), DIS: 障害群($n=38$), INJ: 外傷($n=30$)
健常群との群間比較: ($p < 0.05$)

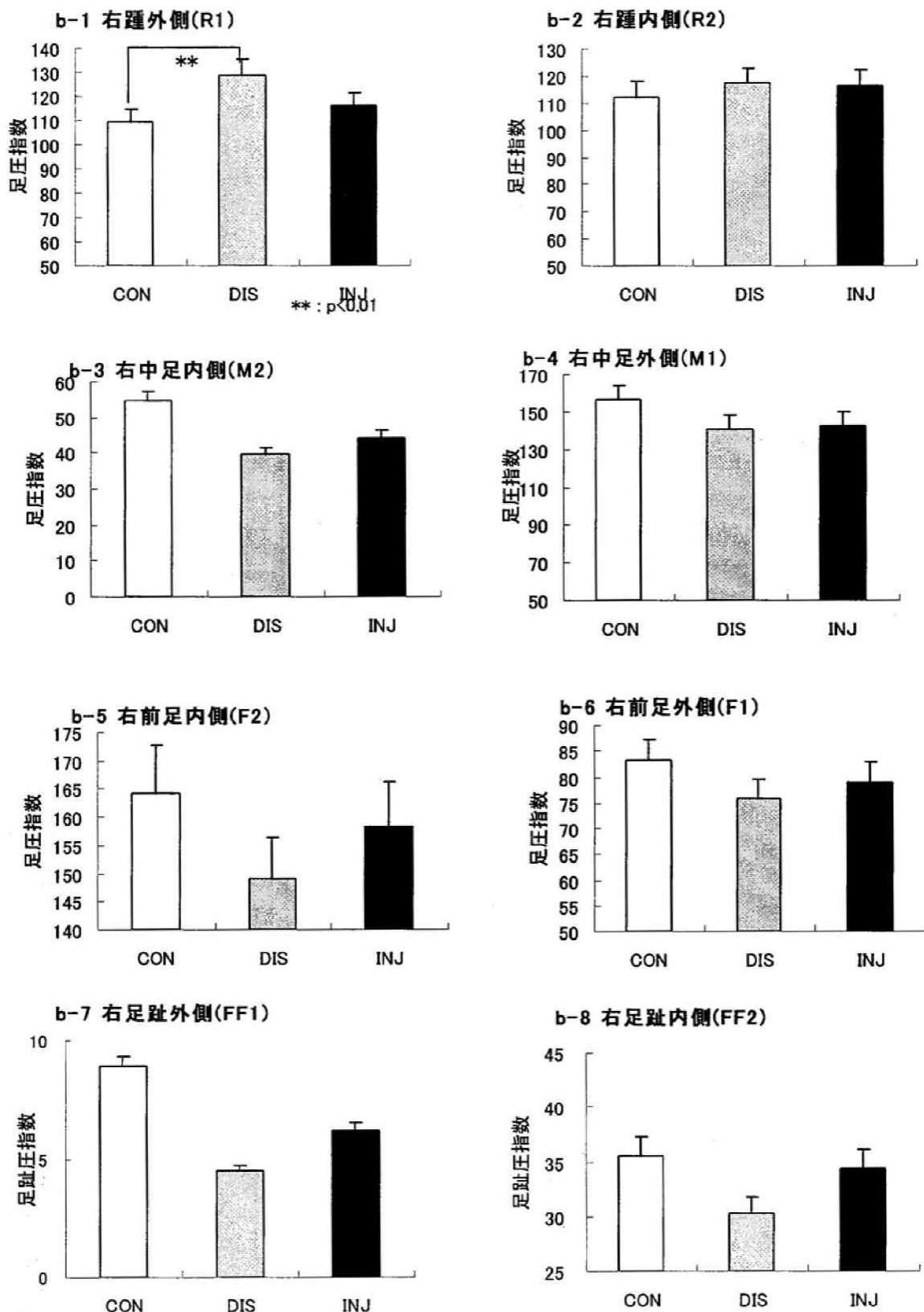


図5. 足底面各ブロックの足底分圧比較(b-1からb-8)

CON:健康群(n=19), DIS:障害群(n=38), INJ:外傷群(n=30)
健康群との群間比較: (p<0.05)

3) 左右足趾圧各ブロックの比較

左足趾外側において、障害群 (5.8 ± 3.2) が健常群 (9.0 ± 4.9) に比して、有意に低値 ($p < 0.05$) であった (図 4. a8)。しかし、その他のブロックにおいては健常群に比して障害群および外傷群ともに有意差は認められなかった。しかし、障害群の右足趾外側 (4.4 ± 2.7)、右足趾内側 (30.2 ± 16.5) および左足趾内側 (29.3 ± 11.4) の足趾圧は健常群に比して全て低値であった。(図 4. a7) (図 5. b7-b8)

6. スポーツ障害発生率の比較 (図 6)

足圧中心位置が後方変移者と前方変移者に分類し部位別スポーツ障害発生率を比較すると、障害群では後方変移者の上肢の障害発生率 (30%) が前方変移者 (7.1%) と比較して有意 ($p < 0.05$) に高かった。また後方変移者の体幹の障害発生率 (24.5%) が前方変移者 (8.5%) と比較して有意 ($p < 0.05$) に高かった。外傷群では後方変移者の上肢障害発生率 (25.5%) が前方変移者 (8.5%) に比較して有意 ($p < 0.05$) に高かった。

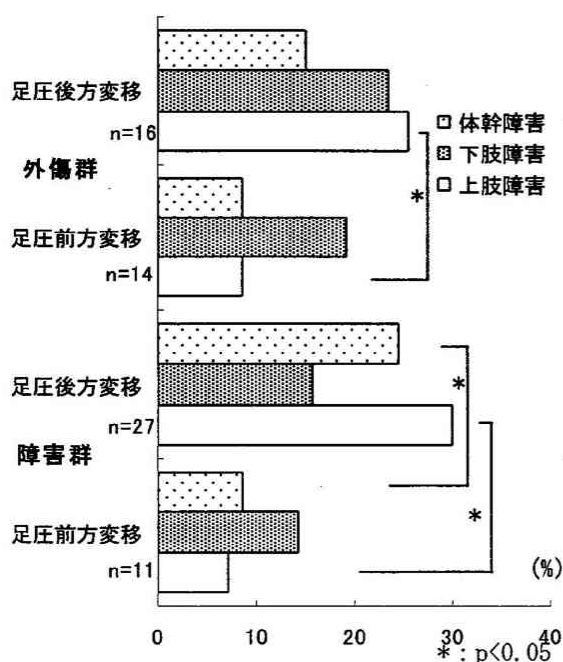


図 6. 足圧変移位置のスポーツ障害発生率比較

VII. 考 察

本研究において障害群や外傷群の運動継続年数、身体特性および接地足底面積は健常群と有意差は認められなかった。しかし障害群の選手の足圧は、前足部が低く、反対に後足部が高かった。すなわちスポーツ障害を持つ選手の立位姿勢は足圧中心位置が後方へ変

移した立位姿勢の傾向にあった。また、足圧中心位置が後方へ変位している選手は上肢と体幹の障害発生率が高いことから、足圧中心位置の変移と上肢および体幹のスポーツ障害発生との間に何らかの関係があることが示唆された。

本研究で外傷は、膝や足関節といった下肢の障害発生率が高値を示した。外傷はその種目特性としてスパイクジャンプの着地の際に足関節捻挫をおこすことが多いが、その他にも運動中の膝の屈伸やジャンプ動作の繰り返しによっておこる膝障害、下肢筋群に過負荷が生じておこる肉離れやアキレス腱断裂など、そのほとんどが overuse によっておこる筋腱組織の変性が主な発生要因となっている。

竹村ら¹⁰⁾は、女性は男性よりも骨盤腔が広いこと、股関節より下位の解剖学的アライメントは男性と比較した場合、内側への傾斜角度が大きいことを指摘し、運動中の膝関節内側や足関節外側に過負荷がかかりやすいとしている。今回の調査でも、外傷群では下肢の障害発生率も高値を示した。これらは overuse によるものだけではなく、膝よりも下位の足関節の外傷による解剖学的な下肢アライメントの変化や足位の変化による膝への過負荷が影響しているとも考えられ、下肢の外傷による足圧の変化などの調査も今後の課題であるとする。

一方、障害群の発生率に関しては肩と腰といった上肢と体幹の障害発生率が高値を示しこの結果は飯田ら¹¹⁾の報告と一致した。彼らはバレーボール選手を対象にしたメディカルチェックにおいて、競技特性としての overuse や準備運動不足による筋の柔軟性の低下を主な発生要因とした肩と腰の障害が多かったと報告している。また山崎¹²⁾はスポーツ選手の腰痛に関して、足圧中心位置が後方へ変移した場合、骨盤位が変位し、体幹 (腰背) の前弯が増加するために腰痛を発生しやすいとしている。しかし、バレーボール選手の場合、跳躍からスパイク動作の時にボールのインパクト位置が肩よりも後方へ変位することによって、体幹 (腰背) の前弯が増加する。このため腰背部筋と体幹への過負荷が生じて腰痛の頻度が高くなることも考えられる。本研究において障害発生部位は上肢と体幹が多い結果であったが、この結果は、バレーボールではその競技特性から下肢の障害が発生しやすいという黒田ら¹³⁾の報告とは異なった結果であった。このことは、調査対象となった被験者の年齢差や性差による違いも考えられる。また、ポジションからみても学生や社会人の 6 人

制（ローテーションポジション）ルールとアマチュアの女子バレーボールの9人制（固定ポジション）ルールとでは競技中のフォーメーションに違いがあり、外傷部位や障害発生部位にも違いがあると考えられる。

このようにスポーツ障害の発生機序に関しては、身体特性・経験年数・練習量・フォーム・運動環境など様々な要因によって生じる可能性があり、その一つ一つを検討していくことが重要であると考えられる。

スポーツ障害をもつバレーボール選手の静止立位時の足底分圧は、障害群、外傷群ともに左右の踵部が有意に高く、対照的に足趾部の足圧は障害群の足趾圧が有意に低い値を示した。恒屋ら¹⁴⁾は、立位姿勢において後足部の足圧が高く前足部の足圧が低い足圧分布は、足趾は浮き趾傾向の足部形態変化を起しやすとしている。本研究においても、足圧中心位置が後方へ変移している選手では浮き趾傾向の足部形態変化が生じている可能性が示唆された。

足圧中心位置が後方変移している選手で上肢のスポーツ障害発生率が有意に高かった原因の一つとして、静止立位時の足圧中心位置の後方変移が、ジャンプ時の方向性を変化させるなど、運動フォームにも影響を及ぼしている可能性が考えられる。

長見ら¹⁵⁾はジャンプ時の踏切動作の中で身体重心位置が後方へ変移するメカニズムについては不明な点が多いと報告している。静止立位時において足圧中心位置が後方に変移していることは、足部が浮き趾になっていることを示し、この浮き趾により跳躍運動時の踏み込み制動性が低下する可能性があり、このことによって内側から外側への荷重移動がスムーズに行われず、前足部から足趾にかけての蹴り出し動作が不完全な状態での踏み切りとなることが考えられる。すなわち足圧中心位置の後方変移により生じた不完全な踏み切り制動は、助走による水平加速エネルギーは鉛直方向への移行が不完全となり、跳躍の方向性は前上方へと変化することが考えられる。その結果、スパイク時のボールインパクト位置が通常の側頭部前方から側頭部後方に変移する場合が多くなると考えられる。このことは、今回のアンケート調査から上肢にスポーツ障害を有する選手は、スパイク時のボールインパクト位置が通常の側頭部前方から側頭部後方へと変移しやすくなる「ブロード型」ジャンプ（指導現場では“かぶった打ち方”と表現する）と回答したことからも示唆される。したがって、スパイク時のボールインパクト位置が後方に変化したことに伴う肩関節挙上（伸展）動作

において、過伸展を引き起こし、その結果肩関節への過負荷が周辺の筋腱軟部組織にスポーツ障害を発生させるような多大な影響を与えることが考えられる。

また、外傷群の下肢部mp障害発生率が高かったが、これは足部の外傷既往歴によって下肢解剖学的アライメントが変化したことも考えられる。

足圧中心位置の変移が実際の運動の遂行にどのように影響を与えているのか、また、外傷による下肢アライメントの変化がどのように足圧中心位置を変移させているのかは明確ではない。今後はスパイク時のバイオメカニクスの検討や利き手・利き足による左右差、障害を持っていない被験者の足圧中心位置の変移状態と障害発生率などをさらに追跡調査することが課題であると考えられる。

VIII. まとめ

女子バレーボール選手87名を対象に足底分圧とスポーツ障害との関連について検討するために、足底分圧計測装置（Foot Graph）を用いて接地足底面積および足底分圧を計測し部位別スポーツ障害発生率との関連について検討した。スポーツ障害および外傷に関するアンケート調査により、健常群（N=19）、障害群（N=38）及び外傷群（N=30）に分類した。

その結果、身体特性や接地足底面積は3群間に有意差は認められなかった。足底分圧は、障害群では健常群に比して左踵圧が有意に高く（ $p<0.05$ ）、また左足趾外側の足趾圧が健常群に比して有意に低かった（ $p<0.05$ ）。障害群の足圧中心位置が後方へ変移している選手では上肢のスポーツ障害発生率が有意に高かった（ $p<0.05$ ）。

以上のことから、障害群の選手は静止立位姿勢時、足趾は背屈し（浮き趾）、足圧の中心位置が後方へ変移している傾向があり、上肢部のスポーツ障害率が多いことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 日本体育・学校保健センター：(2000) 学校管理下のスポーツ的負傷統計調査
- 2) 吉松俊一：(1986) スポーツ整形外科的メディカルチェック予防の観点から、野球、臨床スポーツ医学、3(7)：669-676

- 3) 近藤四郎：(1993) ひ弱になる日本人の足，草思社，p191-196
 - 4) 福永洋美，山村俊一：(2003) 足位の変化が骨盤及び腰椎に及ぼす影響，前屈動作に着目して，理学療法，20(3)：281-288
 - 5) 永井 聡，山口光國：(2003) スポーツ障害における機能予測の試み，投球障害に関して，理学療法，20(2)：244-250
 - 6) 日本整形外科学会：(1974)，関節可動域表示ならびに測定法，日本整形外科学会・日本リハビリテーション医学 11：127-132
 - 7) 東 輝明：(1994)，新しい足圧解析システム F-SCAN，PO ジャーナル，2：167-171
 - 8) 岩田光司，田嶋 健，三橋和子，金井伸仁，稲葉繁：(2003) 頭位および顎位の変化が重心に与える影響，日本顎咬合学 18(3)，187
 - 9) 平沢彌一郎，臼井永男：(1995) Stasiology，日本放送出版協会，p120，p149-158，p239-243
 - 10) 竹村(1988) スポーツ外傷の統計，スポーツ医学 I，金原出版 5-8
 - 11) 飯田哲，岡崎壮之：(1992) バレーボール選手のメディカルチェックの実際，ブックハウス HD，8：47-51
 - 12) 山寄 勉：(2004) 整形外科における理学療法の理論と実技，メジカルビュー社：p172-179
 - 13) 黒田善雄，中嶋寛之：(1988) スポーツ障害と外傷，スポーツ医学 Q&A 1，金原出版，p1-16，p103-104
 - 14) 恒屋尚一，臼井永男，南里有希：(2005) 健康成人における直立時の足趾接地に関する基礎的研究(2)，理学療法，32，545
 - 15) 長見豊，丸山仁司，山本澄子：(2004) スパイクジャンプの踏切時における荷重移動が制動動作に及ぼす影響について，日本臨床バイオメカニクス学会，25，413-417
- (本研究の一部は日本柔道整復接骨医学会の研究助成金によって行われたことを付記する)
- (受理 2008年1月15日)

相撲の体重別試合における身長・筋力差と勝敗および決まり手との関連

服部祐児¹ 村松成司² 服部洋児³¹東海学園大学 ²千葉大学 ³愛知工業大学

Height and muscular strength as determinants of success in sumo wrestling

Yuji HATTORI¹ Shigeji MURAMATU² Yoji HATTORI³¹Tokai Gakuen University ²Chiba University ³Aichi Institute of Technology

Abstract

This study investigated the role of height and muscular strength of sumo wrestlers as potential determinants of performance or winning trick. We examined 139 sumo matches of the West Japan Individual Sumo Tournament (weight category match) of University Students.

The results were as follows:

1) Taller and stronger wrestlers had high win percentages. Winning percentages were 53.6%, 63.8%, and 56.5% for wrestlers with greater height, grip strength or back strength, respectively.

2) A significant difference in winning percentage ($p<0.05$) was observed in cases where differences in back strength were within 1-2 standard deviation bounds; no differences were noted when strength differences were less than 1 standard deviation or greater than 2 standard deviations.

3) The basic technique as winning trick was accounted for 65.5% of total matches. Many kinds of "throw techniques" were found in the light-weight class, and many "special techniques" were found in the middle-weight class.

4) The winning percentages with the basic technique by wrestlers with greater height, grip strength and back strength were higher in the heavy-weight class: 76.5%, 86.2% and 82.6%, respectively.

The results suggested that differences in grip strength and back strength had a greater influence on the performances of sumo weight category matches than did differences in height. However, it was not confirmed that differences in muscular strength were definitive factors for determining performance in sumo. On the other hand, it was indicated that the basic technique as winning trick was greatly influenced by the difference in muscular strength, especially in the heavy-weight wrestlers.

(J. Sport Sci. Osteo. Thera. 9(3):165-172, March, 2008)

Key words: 大学相撲選手 (Sumo Wrestlers of University Students), 体重別試合 (Weight Category Match), 筋力差 (Muscular Strength Difference), 勝敗 (Performance), 決まり手 (Winning Trick)

I. 緒言

相撲というスポーツは、裸体で行われる対人的競技であり、土俵という狭く限られた競技場の上で行われ、瞬時に全力を尽くして勝負を決する競技である。内臓を保護するためにまわしと呼ばれる唯一の用具を身につけるが、それ以外の道具は一切用いない。そのため、心技体の要素の中で、他のスポーツ競技に比べ体力という要素が、最も勝負に影響を与えられとされる。

相撲は元来体重無差別で行われる競技であるが、アマチュア相撲の世界では、より多くの人々に相撲に親しんでもらうため、個人戦では体重別階級制の試合も行われている。国内大会ではごく限られた大会のみであるが、ルールの公平性を重んじる国際大会では、常にこの試合形式が用いられている。体重別階級制では体重差がなくなることから、勝敗は個々の選手の持つ体格、体力的資質に大きく依存すると考えられる。体

重別国際大会では、近年日本人選手が上位を独占することは極めて困難になっている。これは外国人選手の技の向上だけでなく、体格や体力面における問題が影響していると考えられる。

相撲の試合における勝敗の分析研究についてはこれまでも塔尾ら¹⁾松本ら²⁾が報告しているが、これらは体重無差別の試合を対象にしたもののばかりである。

本研究では、体重差のあまり生じない相撲の試合において、勝負結果および決まり手と体力的な条件の関係について、大学生の体重別国内大会の試合から検討した。

II. 研究方法

(調査対象)

調査対象は2007年7月1日、第32回西日本学生相撲個人体重別選手権大会に出場した65kg未満級14名、75kg未満級17名、85kg未満級22名、100kg未満級22名、115kg未満級29名、135kg未満級20名、135kg超級22名の選手によって行われた対戦、計139試合とした。

対象試合数を考慮し、65kg未満級、75kg未満級、85kg未満級を合わせて軽量級、100kg未満級、115kg未満級を合わせて中量級、135kg未満級、135kg超級を合わせて重量級とし、行われた全7階級を3階級区分とした。

各階級区分の出場選手の身長および握力、背筋力の筋力特性を表1に示した。

表1. 出場選手の身長、握力、背筋力

階級	人数 (人)	身長 (cm)	握力 (kg)	背筋力 (kg)
軽量級	51	172.2± 5.64	47.2± 7.46	142.5± 32.92
中量級	51	173.3± 5.69	51.1± 6.72	148.4± 35.37
重量級	42	179.0± 4.55	55.3± 7.26	161.1± 29.92
合計	143	174.5± 6.09	50.8± 7.85	149.9± 33.83

平均値±標準偏差値

(測定方法)

身長、体重については、6月20日締め切りの大会参加申込時の各選手の自己測定結果より抽出した。握力、背筋力については、試合当日の試合開始2時間前に、泰運道具工業社製デジタル握力計グリップDとデジタル背筋力計バックDを用いて測定した。握力は左右交代で測定し、平均値を採用した。背筋力は2回測定し、

平均値を採用した。測定は全員同一検者が測定した。

(調査内容)

本研究における調査内容は以下の通りである。

1. 身長、握力、背筋力と勝敗との関係
2. 身長差と勝敗との関係
3. 握力差と勝敗との関係
4. 背筋力差と勝敗との関係
5. 決まり手
6. 身長差と決まり手との関係
7. 握力差と決まり手との関係
8. 背筋力差と決まり手との関係

統計処理には χ^2 検定を用い、危険率5%以下を有意差ありの基準とした。

III. 結果

1. 身長、握力、背筋力と勝敗との関係

同じ身長同士の対戦14試合、同じ握力同士の対戦9試合、同じ背筋力同士の対戦1試合を除外した、身長差のあった125試合、握力差のあった130試合、背筋力差のあった138試合について、それぞれ勝敗との関係を表2に示した。試合を行った対戦者それぞれの身長値、握力値、背筋力値を比較し、高い選手を上位者、低い選手を下位者とし、上位者の勝った試合を上位者勝ち、下位者の勝った試合を下位者勝ちとした。身長、握力、背筋力の全てにおいて全階級で上位者の勝つ割合が50%を上回った。合計をみると、上位者の勝つ割合

表2. 身長・握力・背筋力と勝敗との関係

身長	階級	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検 定
	軽量級	27(56.3)	21(43.7)	48	N.S.
	中量級	23(51.1)	22(48.9)	45	N.S.
	重量級	17(53.1)	15(46.9)	32	N.S.
	合計	67(53.6)	58(46.4)	125	
握力	階級	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検 定
	軽量級	26(56.5)	20(43.5)	46	N.S.
	中量級	28(60.9)	18(39.1)	46	N.S.
	重量級	29(76.3)	9(23.7)	38	N.S.
	合計	83(63.8)	47(36.2)	130	
背筋力	階級	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検 定
	軽量級	28(56.0)	22(44.0)	50	N.S.
	中量級	27(55.1)	22(44.9)	49	N.S.
	重量級	23(59.0)	16(41.1)	39	N.S.
	合計	78(56.5)	60(43.5)	138	

N.S.: Not Significant

(%)

合は身長 53.6%、握力 63.8%、背筋力 56.5%を示し、握力が身長と背筋力に比べ大きかった。それぞれを階級別にみると、身長では軽量級、握力と背筋力では重量級が3階級中最も上位者の勝つ割合が大きかった。しかし、いずれも他の階級と大きな差はなく、有意差は認められなかった。また、握力では体重が重いほど上位者の勝つ割合が大きかった。

2. 身長差と勝敗との関係

身長差のあった125試合について、身長差を1SD以下、1~2SD、2SD以上の3区分に分けて勝敗との関係を表3に示した。全階級では身長差1~2SD、2SD以上においては上位者の勝つ割合が50%を上回ったが、身長差1SD以下においてはほとんど差がみられなかった。有意差は認められなかった。階級別にみると、軽量級では身長差1~2SD、2SD以上においては上位者の勝ちが合計30試合中18試合(60.0%)と多かったが、身長差1SD以下においては差がみられなかった。中量級では、身長差2SD以上においては下位者の勝ちが62.5%と多かったが、身長差1SD以下においては上

表3. 身長差と勝敗との関係

全階級	身長差 (cm)	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検定
	2SD以上	6(54.5)	5(45.5)	11	N.S.
	1~2SD	26(60.5)	17(39.5)	43	N.S.
	1SD以下	35(49.3)	36(50.7)	71	N.S.
	合計	67(53.6)	58(46.4)	125	
軽量級	身長差 (cm)	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検定
	2SD以上	4(80.0)	1(20.0)	5	N.S.
	1~2SD	14(56.0)	11(44.0)	25	N.S.
	1SD以下	9(50.0)	9(50.0)	18	N.S.
	合計	27(56.3)	21(43.7)	48	
中量級	身長差 (cm)	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検定
	2SD以上	3(37.5)	5(62.5)	8	N.S.
	1~2SD	10(50.0)	10(50.0)	20	N.S.
	1SD以下	10(58.8)	7(41.2)	17	N.S.
	合計	23(51.1)	22(48.9)	45	
重量級	身長差 (cm)	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検定
	2SD以上	2(50.0)	2(50.0)	4	N.S.
	1~2SD	10(58.8)	7(41.2)	17	N.S.
	1SD以下	5(45.5)	6(54.5)	11	N.S.
	合計	17(53.1)	15(46.9)	32	

N.S.: Not Significant

(%)

位者の勝ちが多かった。重量級では身長差1~2SDにおいては上位者の勝ちが多かった。有意差は各階級3区分とも認められなかった。

3. 握力差と勝敗との関係

握力差のあった130試合について、握力差を1SD以下、1~2SD、2SD以上の3区分に分けて勝敗との関係を表4に示した。全階級では3区分とも上位者の勝つ割合が50%を上回り、握力差1SD以下においては72.1%と大きかった。有意差は認められなかった。階級別にみると、軽量級では握力差1SD以下においては上位者の勝ちが70.4%と大きかったが、握力差1~2SD、2SD以上においては下位者の勝ちが多かった。中量級では1SD以下においては上位者の勝ちが70.8%と大きかったが、1~2SD、2SD以上においては上位者と下位者の差はみられなかった。重量級では3区分とも上位者の勝ちが多く、1SD以下においては84.6%、2SD以上においては87.5%と上位者の勝つ割合はともに80%を超えた。重量級全体では上位者の勝つ割合が76.3%を示した。有意差は各階級3区分とも認められ

表4. 握力差と勝敗との関係

全階級	握力差 (kg)	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検定
	2SD以上	10(66.7)	5(33.3)	15	N.S.
	1~2SD	24(51.1)	23(48.9)	47	N.S.
	1SD以下	49(72.1)	19(27.9)	68	N.S.
	合計	83(63.8)	47(36.2)	130	
軽量級	握力差 (kg)	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検定
	2SD以上	3(42.9)	4(57.1)	7	N.S.
	1~2SD	4(33.3)	8(66.7)	12	N.S.
	1SD以下	19(70.4)	8(29.6)	27	N.S.
	合計	26(56.5)	20(43.5)	46	
中量級	握力差 (kg)	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検定
	2SD以上	3(50.0)	3(50.0)	6	N.S.
	1~2SD	8(50.0)	8(50.0)	16	N.S.
	1SD以下	17(70.8)	7(29.2)	24	N.S.
	合計	28(60.9)	18(39.1)	46	
重量級	握力差 (kg)	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検定
	2SD以上	7(87.5)	1(12.5)	8	N.S.
	1~2SD	11(64.7)	6(35.3)	17	N.S.
	1SD以下	11(84.6)	2(15.4)	13	N.S.
	合計	29(76.3)	9(23.7)	38	

N.S.: Not Significant

(%)

なかった。

4. 背筋力差と勝敗との関係

背筋力差のあった 138 試合について、背筋力差を 1SD 以下、1～2SD、2SD 以上の 3 区分に分けて勝敗との関係を表 5 に示した。全階級では 3 区分とも上位者の勝つ割合が 50% を上回り、背筋力差 2SD 以上においては 66.7% と大きかった。階級別にみると、軽量級と中量級では 1～2SD、2SD 以上においては上位者の勝ちが多かったが、1SD 以下ではほとんど差はみられなかった。重量級では 1SD 以下においては上位者の勝ちが 73.7% と大きかったが、1～2SD においては下位者の勝ちが 69.2% と大きかった。2SD 以上においては上位者の勝ちが多かった。有意差は軽量級と中量級には認められなかったが、重量級の背筋力差 1～2SD の場合に下位者に 5% 水準で認められた。

5. 決まり手

全決まり手の頻度と分類別決まり手の頻度を、表 6 と図 1 に示した。研究対象 139 試合の決まり手は、全部で 18 手であり、寄り切り 39(28.1%)、次いで押し出

表 5. 背筋力差と勝敗との関係

全階級	背筋力差 (kg)	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検定
	2SD 以上	12(66.7)	6(33.3)	18	N.S.
	1～2SD	29(50.9)	28(49.1)	57	N.S.
	1SD 以下	37(58.7)	26(41.3)	63	N.S.
	合計	78(56.5)	60(43.5)	138	
軽量級	背筋力差 (kg)	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検定
	2SD 以上	4(66.7)	2(33.3)	6	N.S.
	1～2SD	13(61.9)	8(38.1)	21	N.S.
	1SD 以下	11(47.8)	12(52.2)	23	N.S.
	合計	28(56.0)	22(44.0)	50	
中量級	背筋力差 (kg)	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検定
	2SD 以上	4(57.1)	3(42.9)	7	N.S.
	1～2SD	14(60.9)	9(39.1)	23	N.S.
	1SD 以下	9(47.4)	10(52.6)	19	N.S.
	合計	27(55.1)	22(44.9)	49	
重量級	背筋力差 (kg)	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検定
	2SD 以上	5(71.4)	2(28.6)	7	N.S.
	1～2SD	4(30.8)	9(69.2)	13	※
	1SD 以下	14(73.7)	5(26.3)	19	N.S.
	合計	23(59.0)	16(41.0)	39	

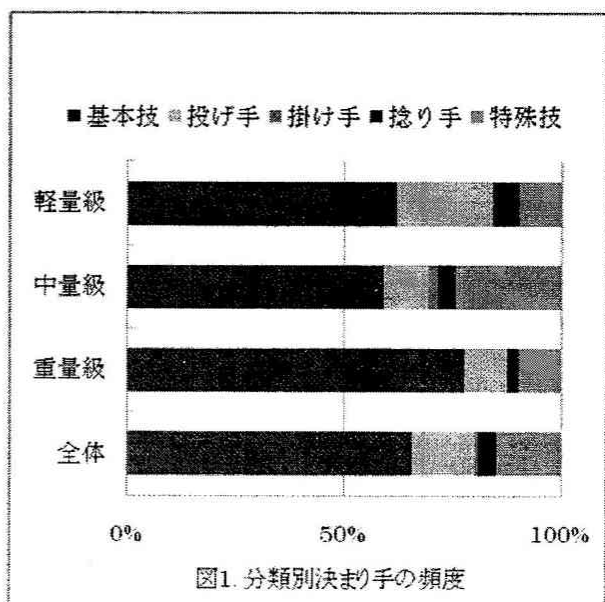
※: $P < 0.05$ N.S.: Not Significant (%)

し 26(18.7%)、寄り倒し 17(12.2%)、上手投げ 12(8.6%) の順に多かった。決まり手の分類では基本技 65.5%、投げ手 14.4%、掛け手 0.7%、捻り手 4.3%、特殊技 15.1% に分かれ、反り手は全くみられなかった。階級別にみると、他の階級に比べて軽量級では投げ手の割合が 22.0% と大きく、中量級では特殊技の割合が 24.5% と大きく、重量級では基本技の割合が 77.5% と大きかった。

表 6. 全決まり手

分類	決まり手	計
基本技	寄り切り	39(28.1)
	寄り倒し	17(12.2)
	押し出し	26(18.7)
	押し倒し	4(2.9)
	突き出し	5(3.6)
投げ手	上手投げ	12(8.6)
	下手投げ	3(2.2)
	すくい投げ	4(2.9)
	上手出し投げ	1(0.7)
掛け手	足取り	1(0.7)
捻り手	突き落とし	3(2.2)
	ずぶねり	1(0.7)
	下手ひねり	2(1.4)
特殊技	引き落とし	8(5.8)
	叩き込み	8(5.8)
	吊り出し	1(0.7)
	うっちゃり	1(0.7)
	送り出し	3(2.2)
	合計	139

(%)



6. 身長差と決まり手との関係

身長差のあった125試合について、決まり手との関係を表7に示した。全階級の合計では、基本技63.2%、投げ手15.2%、掛け手0.8%、捻り手4.0%、特殊技16.8%であった。上位者の勝った決まり手と下位者の勝った決まり手を比較すると、上位者は基本技の割合が大きく、下位者は投げ技や特殊技の割合が大きかった。有意差は認められなかった。階級別にみると、軽量級の合計では、投げ手は22.9%と大きく、上位者と下位者ともに割合が大きかった。また、軽量級では基本技の決まり手に上位者に有意な傾向が認められ、基本技を

表7. 身長差と決まり手との関係

全階級	分類	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検 定
	基本技	46(68.7)	33(48.5)	79(63.2)	N.S.
	投げ手	8(11.9)	11(19.0)	19(15.2)	N.S.
	掛け手	1(1.5)	0(0.0)	1(0.8)	N.S.
	捻り手	3(4.5)	2(3.5)	5(4.0)	N.S.
	特殊技	9(13.4)	12(20.7)	21(16.8)	N.S.
	合計	67	58	125	
軽量級	分類	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検 定
	基本技	19(70.4)	10(47.6)	29(60.4)	N.S.
	投げ手	5(18.5)	6(28.6)	11(22.9)	N.S.
	掛け手	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	N.S.
	捻り手	2(7.4)	1(4.8)	3(6.3)	N.S.
	特殊技	1(3.7)	4(19.0)	5(10.4)	N.S.
	合計	27	21	48	
中量級	分類	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検 定
	基本技	14(60.9)	11(50.0)	25(55.6)	N.S.
	投げ手	1(4.3)	4(18.2)	5(11.1)	N.S.
	掛け手	1(4.3)	0(0.0)	1(2.2)	N.S.
	捻り手	1(4.3)	1(4.5)	2(4.4)	N.S.
	特殊技	6(26.1)	6(27.3)	12(26.7)	N.S.
	合計	23	22	45	
重量級	分類	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検 定
	基本技	13(76.5)	12(80.0)	25(78.1)	N.S.
	投げ手	2(11.8)	1(6.7)	3(9.4)	N.S.
	掛け手	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	N.S.
	捻り手	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	N.S.
	特殊技	2(11.8)	2(13.3)	4(12.5)	N.S.
	合計	17	15	32	

N.S.: Not Significant

(%)

決まり手に多く使っていた。中量級の合計では、基本技は55.6%にとどまった。一方、特殊技は26.7%と大きく、上位者と下位者ともに割合が大きかった。重量級の合計では、基本技は78.1%と大きく、上位者と下位者ともに割合が大きかった。有意差は各階級全決まり手の分類にも認められなかった。

7. 握力差と決まり手との関係

握力差のあった130試合について、決まり手との関係を表8に示した。全階級の合計では、基本技64.6%、投げ手13.8%、掛け手0.8%、捻り手4.6%、特殊技16.2%であった。上位者の勝った決まり手と下位者の勝った

表8. 握力差と決まり手との関係

全階級	分類	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検 定
	基本技	57(68.7)	27(57.4)	84(64.6)	N.S.
	投げ手	12(14.5)	6(12.8)	18(13.8)	N.S.
	掛け手	1(1.2)	0(0.0)	1(0.8)	N.S.
	捻り手	3(3.6)	3(6.4)	6(4.6)	N.S.
	特殊技	10(12.0)	11(23.4)	21(16.2)	N.S.
	合計	83	47	130	
軽量級	分類	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検 定
	基本技	16(61.5)	12(60.0)	28(60.9)	N.S.
	投げ手	6(23.1)	4(20.0)	10(21.7)	N.S.
	掛け手	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	N.S.
	捻り手	2(7.7)	1(5.0)	3(6.5)	N.S.
	特殊技	2(7.7)	3(15.0)	5(10.9)	N.S.
	合計	26	20	46	
中量級	分類	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検 定
	基本技	16(57.1)	10(55.6)	26(56.5)	N.S.
	投げ手	4(14.3)	1(5.6)	5(10.9)	N.S.
	掛け手	1(3.6)	0(0.0)	1(2.2)	N.S.
	捻り手	1(3.6)	1(5.6)	2(4.3)	N.S.
	特殊技	6(21.4)	6(33.3)	12(26.1)	N.S.
	合計	28	18	46	
重量級	分類	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検 定
	基本技	25(86.2)	5(55.6)	30(78.9)	N.S.
	投げ手	2(6.9)	1(11.1)	3(7.9)	N.S.
	掛け手	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	N.S.
	捻り手	0(0.0)	1(11.1)	1(2.6)	N.S.
	特殊技	2(6.9)	2(22.2)	4(10.5)	N.S.
	合計	29	9	38	

N.S.: Not Significant

(%)

決まり手を比較すると、上位者は基本技の割合が大きく、下位者は捻り手や特殊技の割合が大きかった。有意差は認められなかった。階級別にみると、軽量級の合計では、投げ手は 21.7%と大きく、上位者と下位者ともに割合が大きかった。中量級の合計では、特殊技は 26.1%と大きく、下位者は 33.3%と大きかった。重量級の合計では、基本技は 78.9%と大きく、上位者は 86.2%と大きかったが、下位者は 55.6%にとどまった。有意差は各階級全決まり手の分類にも認められなかった。

8.背筋力差と決まり手との関係

背筋力差のあった 138 試合について、決まり手との関係を表 9 に示した。全階級の合計では、基本技 65.2%、投げ手 14.5%、掛け手 0.8%、捻り手 3.6%、特殊技 15.9% であった。上位者の勝った決まり手と下位者の勝った決まり手を比較すると、上位者は基本技と投げ手の割合が大きく、下位者は特殊技の割合が大きかった。有意差は認められなかった。階級別にみると、軽量級の合計では、投げ手は 22.0%と大きく、上位者は 28.6%と大きかった。中量級の合計では、特殊技は 24.5%と大きく、上位者と下位者ともに割合が大きかった。重量級の合計では、基本技は 76.9%と大きく、上位者は 82.6%と大きかった。有意差は各階級全決まり手の分類にも認められなかった。

IV. 考察

1.身長・筋力差と勝敗との関係

服部ら³⁾は、大相撲幕内力士の体格差が勝敗に及ぼす影響として、身長差は勝敗を決定する絶対的な要因ではないが、長身者が有利な結果であると報告している。また、柔道競技においても、松井ら⁴⁾が男子の全日本柔道選手権大会出場者について、竹内ら⁵⁾が女子の全日本柔道選手権大会出場者について、同様の結果が得られたと報告している。これらはいずれも体重無差別の試合であるが、体重差の無い今回の試合においても、身長差が勝敗に及ぼす影響に差はみられなかった。服部ら³⁾の報告では 16cm 以上の身長差がある範囲では 1%水準で長身者に有利な有意差が認められたが、今回の結果では身長差による差はみられず、服部らの報告とは一致しなかった。これは体重別階級制の試合を対象にして調査を実施しているため、体重の要因が身長差による勝敗に影響を及ぼさず、身長以外の筋力特性や合理的な技により、身長差が克服された可能性があること、言い換えれば、体重と身長の両方に差がみられる時に勝敗に影響を及ぼす可能性があることが窺える。また、中量級や重量級にほとんど身長差による勝敗の差がみられず、軽量級に差が大きくみられ

表 9. 背筋力差と決まり手との関係

	分類	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検 定
	基本技	53(67.9)	37(61.7)	90(65.2)	N.S.
全 階 級	投げ手	13(16.7)	7(11.7)	20(14.5)	N.S.
	掛け手	0(0.0)	1(1.7)	1(0.8)	N.S.
	捻り手	3(3.8)	2(3.3)	5(3.6)	N.S.
	特殊技	9(11.5)	13(21.7)	22(15.9)	N.S.
	合計	78	60	138	
軽 量 級	分類	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検 定
	基本技	17(60.7)	14(63.6)	31(62.0)	N.S.
	投げ手	8(28.6)	3(13.6)	11(22.0)	N.S.
	掛け手	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	N.S.
	捻り手	2(7.1)	1(4.5)	3(6.0)	N.S.
	特殊技	1(3.6)	4(18.2)	5(10.0)	N.S.
	合計	28	22	50	
中 量 級	分類	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検 定
	基本技	17(63.0)	12(54.5)	29(59.2)	N.S.
	投げ手	4(14.8)	1(4.5)	5(10.2)	N.S.
	掛け手	0(0.0)	1(4.5)	1(2.0)	N.S.
	捻り手	1(3.7)	1(4.5)	2(4.1)	N.S.
	特殊技	5(18.5)	7(31.8)	12(24.5)	N.S.
	合計	27	22	49	
重 量 級	分類	上位者 勝ち	下位者 勝ち	合計	χ^2 検 定
	基本技	19(82.6)	11(68.8)	30(76.9)	N.S.
	投げ手	1(4.3)	3(18.8)	4(10.3)	N.S.
	掛け手	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	N.S.
	捻り手	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	N.S.
	特殊技	3(13.0)	2(12.5)	5(12.8)	N.S.
	合計	23	16	39	

N.S.: Not Significant

(%)

たことは、体重に対する身長差の割合が大きかったためと推察される。一方、握力差と背筋力差という筋力の差が勝敗に及ぼす影響は、身長差が勝敗に及ぼす影響を上回った。佐藤⁶⁾は相撲競技に必要とされる体力要素として特に筋力と瞬発力が必要であると報告している。相撲競技において、勝敗を左右する最大のポイントは、立合いである。いかに立合いで相手に衝撃を与えて自分有利の展開に持ち込むかが勝敗の分かれ目となる。立合いの衝撃力は、体重と速度の積で求められるが、体重差の無い今回の試合においては、速度を生み出す筋力により、勝敗は大きく左右されと考え

られる。今回の結果は、体重差の無い相撲の試合においては、筋力を高めることが勝つための大きな要因であることを窺わせている。佐藤⁹⁾は、体重階級制のある運動種目の中で、柔道の60~71kg、78~95kg、95kg~の全階級およびレスリングの68~74kg、82kg~99kg、99kg~の階級で筋力が特に必要であり、レスリングの48kg~52kg、57~62kgの階級で筋力が必要であると報告しており、体重差のない今回の相撲の試合においても同様の傾向がみられた。今回の調査で、握力差に比べて背筋力差による勝敗への影響があまりみられなかったことは、握力の相撲への影響が寄り、投げ、捻りなど多くの技や一連の動きに広く直接的に関係しているのに対して、背筋力は吊りや打ちっやり、居ぞりという決まり手や前傾姿勢の維持など、特殊な技や動きに限られることが影響しているためと推察される。

また、今回、有意差が認められたのは背筋力差の重量級1~2SDの区分のみであった。この区分以外、身長差、握力差、背筋力差の全階級、階級別ともに区分により有意差がみられなかったことは、大学生レベルの体重差の無い試合においては、体力の1つである筋力特性の差は他の体力特性や技術面や精神面の向上により、克服可能であることを窺わせている。

2. 体力差と決まり手との関係

三宅⁷⁾による昭和26年から28年までの大相撲の決まり手と、服部⁸⁾による平成9年の大相撲の決まり手の中で、寄り倒しと打ちっやりという決まり手の割合は、それぞれ11.5%、3.2%と3.1%、0.0%だった。今回の決まり手が寄り倒し12.2%、打ちっやり0.7%という結果は、昭和26年から28年までの比較的体重差の少なかった大相撲の決まり手とよく似た割合だった。この結果は、怪我の不安の最大要因である体重差が解消されれば、相撲の醍醐味である土俵際の攻防は多くなる可能性があることを示唆している。また、今回の試合形式はトーナメント形式であり、1度負ければ終わりということが、勝負に対する執着心を高めたことも土俵際の攻防が多くなった要因と考えられる。

技の分類について服部⁸⁾の平成9年の大相撲と今回を比較すると、基本技が50.6%に対し65.5%と多く、他の投げ手が17.3%に対し14.4%、掛け手が1.5%に対し0.7%、捻り手が8.5%に対し4.3%、特殊技が21.9%に対し15.1%と低かった。これらの結果は、今回の研究対象者は大学生であり、大相撲力士に比べて相撲経験が浅く、基本技の習得に日々の練習の大半が費やされているために基本技で勝負が決まることが多いと考えられる。また、軽量級や中量級の選手は普段の体重無差別の試合では自分より大きな選手と試合をするこ

とが多い。そのため、練習では体力差を克服するさまざまな技を工夫研究している。一方、重量級の選手は技術を駆使するよりも自分の体重や体格を活かした基本技の習得にほとんど練習を費やすために、今回特に重量級では基本技の決まり手の割合が多かったと考えられる。

身長差、握力差、背筋力差と決まり手との関係で、上位者はその優位性を基本技に大きく反映させており、上位者と下位者の基本技の割合の差は、身長差では20.2%、握力差では11.3%、背筋力差では6.2%であり、身長差に最も大きく表れた。上位者において、身長差はそのままり一치의差と考えられ基本技の突きや押しに優位に働き、握力差は基本技の寄りに必要なまわしを取るのに優位に働き、背筋力差もまわしを引きつけるのに優位に働いたと考えられる。基本技での分の悪さを克服するため、身長下位者は投げ手や特殊技を、握力下位者は捻り手や特殊技を、背筋力下位者は特殊技を、それぞれ上位者に比べて多用せざるをえなかったと推察される。投げ手、捻り手、特殊技にも身長差、握力差、背筋力差は影響を与えるが、そこには技術要素が大きく左右するため、基本技に比べて影響は少ないと考えられる。3つの体力特性差による決まり手を見ると、握力差と背筋力差の決まり手は全階級ともほぼ同じ割合にあり、身長差の決まり手と違いがみられ、特に重量級では差が大きかった。このため重量級の決まり手では、身長差は決まり手にほとんど影響を及ぼさないといえる。

今回研究対象とした試合数が少なかったため、今後は試合数を増やすとともに、体力を多項目から測定し、より総合的に体力と勝敗、決まり手について検討していきたい。

V. 要約

本研究は2007年7月に行われた西日本学生相撲個人体重別選手権大会の139試合をもとに、その勝負結果と決まり手を身長差、握力差、背筋力差から分析した。

得られた結果は以下の通りである。

- 1) 身長、握力、背筋力とも全階級で上位者の勝率が高かった。全体の割合はそれぞれ53.6%、63.8%、56.5%だった。
- 2) 有意差は、背筋力と勝敗との関係で、重量級の1~2SD差に5%水準で認められたが、それ以外は認められなかった。
- 3) 決まり手は基本技が65.5%を占めた。投げ手が軽量級、特殊技が中量級で多くみられた。
- 4) 重量級の身長、握力、背筋力の上位者が基本技で勝

つ割合は、それぞれ76.5%、86.2%、82.6%だった。

これらの結果から、体重別試合においては、身長差より握力差、背筋力差という筋力差がより大きく影響を与えることが示された。しかし、いずれの筋力差も勝敗を左右する絶対的な要因とは認められなかった。また、筋力差は基本技の決まり手に大きく影響し、特に重量級で顕著に示された。

VI. 参考文献

- 1) 塔尾武夫、笹原六郎、小川光哉、松本 茂 (1974) 相撲の試合における勝敗の分析的研究 (その1)、武道学研究 7(2) : 82-84
- 2) 松本 茂、塔尾武夫、小川光哉、笹原六郎 (1976) 相撲の試合における勝敗の分析的研究 (その2)、武道学研究 8(2) : 84-85
- 3) 服部祐児、村松成司、服部洋児 (2005) 相撲競技

における体格と勝敗および勝負時間との関連、千葉体育学研究 29 : 9-15

- 4) 松井紳一郎、青木豊次、高田十志和 (1991) 体格差が勝敗に及ぼす影響—全日本柔道選手権大会昭和55年から平成元年までの試合結果の分析—、武道学研究 23(2) : 55-61

- 5) 竹内外夫、村松常司、高橋邦郎、三浦修史 (1998) 柔道競技の勝負に関する研究—全日本女子柔道選手権大会昭和61年から平成7年までの試合成績の分析、武道学研究 31(1) : 10-21

- 6) 佐藤 佑 (1989) 種目別にみた必要とされる体力要素、運動生理学、建帛社 : 286

- 7) 三宅 充 (1997) 当節「相撲技」事情—かつてのあの技はどこへ—97年版大相撲観戦ガイド、日本スポーツ出版社 : 104-109

(受理 2008年1月15日)

若年者における40%強度の各種運動時間が指尖部および足尖部の末梢循環に及ぼす影響

片岡幸雄、氏家康宇

千葉大学

Effect of exercise duration on blood pressure and peripheral circulation in young adults measured by accelerated plethysmography

Yukio KATAOKA and Kou UJIE

Chiba University

Abstract

Accelerated Plethysmography (APG) was used to investigate changes in peripheral circulation and blood pressure before and after cycle exercise duration of 10, 20, 30, 40, and 50 minutes at 40% heart rate reserve (HRR). The finger tip and toe apex APG and blood pressures were measured in six healthy male university students every 5 minutes during a 15-minute pre-exercise rest period and for 30 minutes post-exercise.

A significant increase in the APG index of the toe apex after exercise was observed at 30 minutes ($p<0.05$), 40 minutes ($p<0.05$) and 50 minutes ($p<0.01$) of cycling exercise, but a significant increase in the APG index at the finger tip was found only after 10 minutes of cycling exercise ($p<0.05$). The change in the toe apex APG index after 40 minutes of exercise was significantly higher than the APG index measured for the 10 minute, 20 minute, and 30 minute exercise duration. Consequently, we conclude that 40 minutes or more of exercise at an intensity of 40% of HRR improves peripheral circulation of the lower extremity in young adults.

(J. Sport Sci. Osteo. Thera. 9(3):173-180, March, 2008)

Key Words: 末梢循環 (Peripheral Circulation)、40%運動強度 (40%HRR)、運動時間 (Exercise Duration)、加速度脈波 (Accelerated Plethysmography: APG)、若年者 (Young Adults)

目的

近年、低体力者や運動不足症などの生活習慣病の予防や治療に対して40%程度の低強度の運動でも有効である事が明らかになってきた(1、2)。このことは体力的弱者や高齢者に対する健康づくりのためのプログラムとして、今後、リスクが低くかつ監視の要らない低強度・長時間運動が食事のコントロールなどと併用して運動処方キーワードになっていくことが予想される。

一方において、低強度の運動様式として歩行運動があるが、歩行による指尖部からみた末梢循環の変化をみると、若年者では中高齢者に比して明確な向

上を示されないとの報告もある(3)、しかしながらこのことは若年者にとって50%強度未満の歩行運動程度では末梢循環の向上に有効でないことを意味するものではなく、むしろ下肢運動を指尖部のみで評価したことに問題があることを意味していると考えられる。すなわち下肢の運動様式に相応した下肢部位の末梢循環動態を評価することが必要であることを示している。末梢循環動態指標としての加速度脈波は一般に指尖部では足尖部に比して高値であるものの逆転しているケースも散見される。これらの現象は恐らく運動を含めた個人のLifestyleの違いによる影響、とくに歩行などの下肢運動の実施状況などの影響や逆に肩こり等

の上肢障害などに影響される可能性があると考えられる。これらのことは運動処方をするうえで重要な課題であり筋肉量の多い下肢筋群を中心とした運動形態における末梢循環の評価が必要であることを示している。

以上の趣旨から、本研究では若年者を対象として、運動強度を一定(40%)とし、10分から50分間の5種類の自転車エルゴメーター運動時間が上肢(指尖部)と下肢(足尖部)の末梢循環動態に及ぼす影響について調べ、併せて若年者の運動処方条件について検討した。

研究方法

1.被検者

被検者は、20歳～23歳(平均21.2歳)の健常者6名(男子6名)で積極的に実験に参加したものである。実験に先立ち研究責任者が被検者に実験内容を十分に説明し参加の了解を得た。被検者の体格及び身体特性は、身長は平均 174.5 ± 7.86 、体重は平均 64.7 ± 4.72 、安静脈は平均 64.7 ± 5.47 、収縮期血圧は平均 111.2 ± 8.17 、拡張期血圧は平均 46.8 ± 4.89 であった。

2.運動強度および運動時間

運動は、キャットアイ社製の自転車エルゴメーター(MODEL EC-1600)を用いて回転数50～59回/分の範囲で実施した。

運動強度は、下記の Karvonen 氏法(%HRR)を用いて最大心拍数の40%強度に相当する心拍数を設定した。

目標心拍数=(推定 HR max - HR rest) $\times$ 0.4 + HR rest
ただし、推定 HRmax は(220-年齢)の公式から求めた。

安静時心拍数は、運動前の安静中に5分間隔で3回(5、10、15分目)の測定値の平均値を用いた。

運動時間は、5種類(10分間、20分間、30分間、40分間、50分間)であった。最初の3分間で負荷を徐々に増加させ、それぞれの規定の心拍数に達するように調整した。規定の心拍数に到達後、5種類それぞれの運動時間中規定の心拍数を維持するように負荷を随時調節した。5種類の運動負荷は3日以上の間隔をあけ日を変えて実施した。

3.測定項目

(1) 心拍数および血圧

心拍数は、運動前と運動中および運動後に血圧と同時に同様の時間間隔で行った。運動中の心拍数は40%時の心拍数水準を設定しそれを維持するように随時調節した。運動中の測定を除きすべての測定は仰臥位で行い、すべての心拍数は加速度脈波計(フューチャーウェーブ社製 BC チェッカー)によって測定された値を用いた。

運動中の心拍数は、自転車エルゴメーター(キャットアイ社製:Model:EC1600)付属のイヤースенサーを用いて左耳から導出した。

血圧は、運動前および運動後はすべて仰臥位で、運動中はサドル上で測定した。血圧は右上腕部で、水銀血圧計を用いて聴診法で測定し、収縮期血圧はスワンの第1点を、拡張期血圧は第5点を採用した。

運動前の15分間の休息中に5分間隔3回(5分目、10分目および15分目)。運動中は3分間の W-UP 後から、5分毎に、運動後は回復5分目、10分目、15分目、20分目、25分目、30分目に測定した。

(2)加速度脈波

加速度脈波は、フューチャーウェーブ社製の加速度脈波計(BC チェッカー)を用いて運動前と運動後ともに血圧と同時に同様の時間間隔で行った。すべての測定は仰臥位で行い、測定部位は左手の第2指、左足の第1指あるいは拇指足底部で行い、手、足それぞれの測定において同一の装置を用いて測定した。加速度脈波は指尖容積脈波を2回連続微分したものであり、末梢循環の評価法として報告されている(4、5)。本研究では総合的指標として下記の公式によって算出されている加速度脈波係数(APG index)を用いた。

$$\text{APG index} = (-b + c + d) / a \times 100$$

4)統計

すべてのデータは平均値と標準誤差で示し、分散分析ならびに対応のある2群間の平均値検定は paired t-test を用いた。危険率5%未満を有意とした。

結果

1. 心拍数の変化(図1)

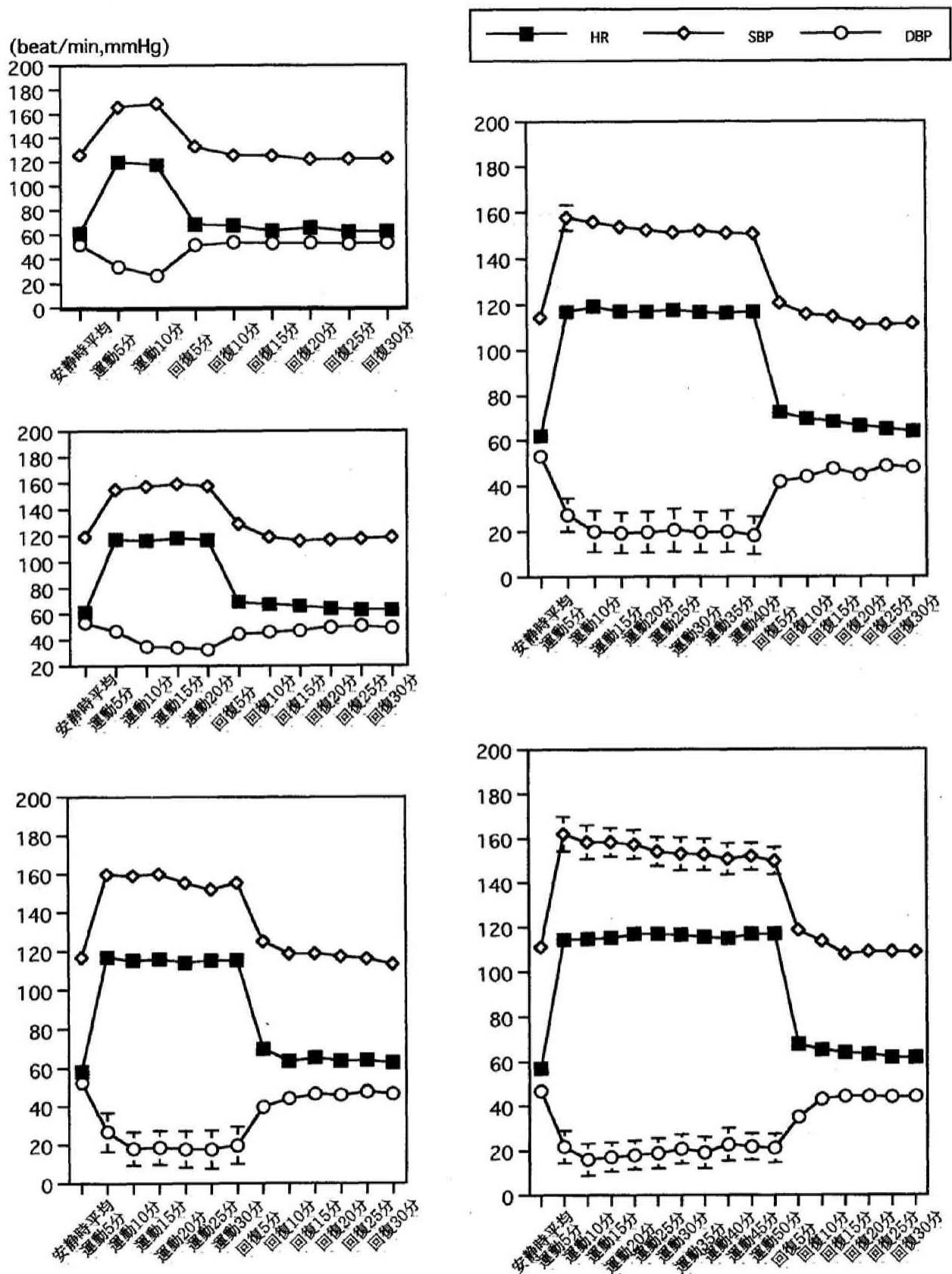


図1 10～50分間運動時における心拍数、血圧の変化

運動中の心拍数は、5種類の運動時間において安静時からそれぞれ58拍/分、56.3拍/分、56.8拍/分、55.5拍/分、59拍/分の増加であり、いずれも安静時に比して有意な増加を示した($p<0.001$)。しかし、群間差は見られなかった。

回復期では、10分間運動時では、運動前に比して回復5分～30分目で($p<0.05$ 及び $p<0.01$)。20分間運動時では、回復5分～15分目で($p<0.05$)。30分間運動時では、回復5分、15分、25分目で($p<0.05$ 及び $p<0.01$)。40分間運動時では、回復5～15分目で($p<0.05$ 及び $p<0.01$)。50分間運動時では、10分、15分および25分目でそれぞれ未だ有意に高値を示した($p<0.05$)。しかし、各群間における有意な差は認められなかった。

2、血圧の変化(図1)

運動中の収縮期血圧の増加量(Δ SBP)は、安静時に比して、10分間運動時では平均41.7mmHg、20分間運動時では平均38mmHg、30分間運動時では平均40.6mmHg、40分間運動時では平均40.2mmHg、50分間運動時では平均41.2mmHgの上昇でそれぞれ有意な増加を示した($p<0.001$)。回復期ではいずれも運動後5分以内に安静値に回復した。各群間における有意差は認められなかった。

運動中の拡張期血圧の増減量(Δ DBP)は、安静時に比して、10分間運動時では平均-21.7mmHg($p<0.05$)、20分間運動時では一平均16mmHg、30分間運動時では平均-31.7mmHg($p<0.05$)、40分間運動時では平均-31.8mmHg($p<0.05$)、50分間運動時では一平均27.2mmHg($p<0.05$)と20分値を除きそれぞれの安静時平均に比して有意な下降を示した。また運動中において10分間運動時では6名中2名、20分間運動時では6名中1名、30分、40分、50分間運動時では6名中3名においてコロコフ音が0mmHgまで可聴された。回復期では10分、20分間運動時で回復5分までに安静値水準に回復した。30分間運動時では回復15分まで、40分、50分間運動時では回復5分まで有意に低値であった($p<0.05$)。また各群間における有意差は認められなかった。

3、運動後の加速度脈波の変化(図2～3)

安静時に比して、10分間運動時では、指尖部

APGindex は回復5分および10分目に有意に増加を示した($p<0.05$ 及び $p<0.01$)。足部APGindexは回復10～20分までは平均7～10点の範囲で増加を示したが有意でなかった。

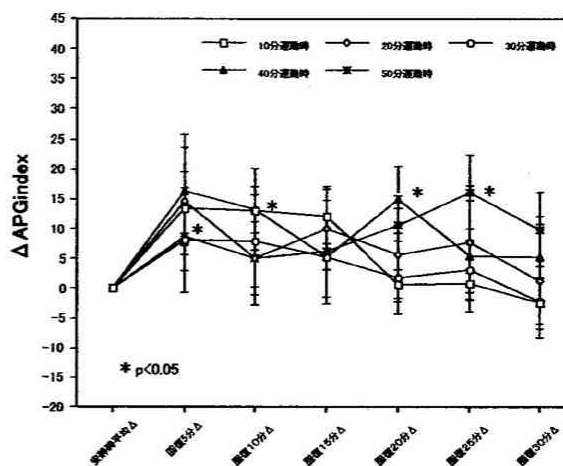


図2 各運動時間における指尖部のAPGindexの増減量

20分間運動時では、指尖部APGindexは回復5分で平均15点の増加を示したが有意でなかった。足部APGindexは回復5分～20分までは平均5点以上増加を示したが有意な増加はみられなかった。

30分間運動時では、指尖部APGindexは平均5点～8点以上の増加を示したが有意でなかった。足部APGindexは回復5～20分まで有意に増加を示した($p<0.05$)。回復25分および30分でも平均10点～15点と大きな増加を示した。

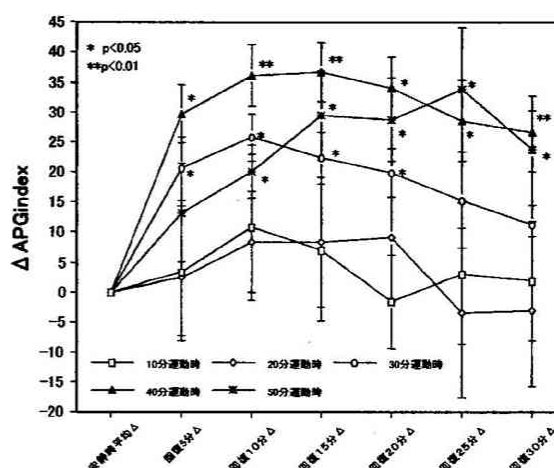


図3 各運動時間における足部のAPGindexの増減量

40分間運動時では、指尖部APGindexは回復20分まで有意に増加を示した($p<0.05$)。足部APGindexは回復5分～30分まで有意に増加を示した($p<0.01$)。

～0.05)。

50分間運動時では、指尖部 APGindex は回復5～30分まで有意な増加を示した($p<0.01\sim0.05$)。足尖部 APGindex は回復10分～30分まで有意に増加を示した($p<0.05$)。

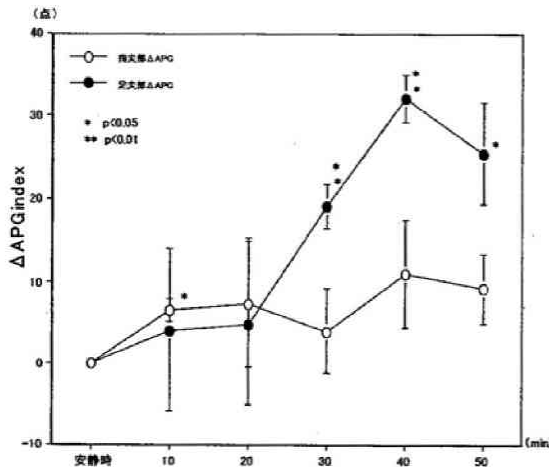


図4 運動時間とΔAPGindexの関係

運動前値に対する運動後30分間の平均増減量(ΔAPG)の変化は(図4)、指尖部では、10分間運動時では平均6.5点の有意な増加($p<0.05$)を除いて、20分間から50分間運動時では平均3.9点から平均10.9点の増加を示したが有意ではなかった。各群間による有意差は認められなかった。

足尖部では、10分間運動時と20分間運動時では平均4.1点から平均4.9点の増加を示したが有意ではなかった。30分間運動時では平均19.1点の増加($p<0.01$)、40分間運動時では平均32.1点の増加($p<0.01$)、50分間運動時では平均25.4点の増加($p<0.05$)が認められた。

また足尖部の10分間運動時と40分間運動間、20分間運動時と40分間運動間、30分間運動時と40分間運動間においてそれぞれで群間差が認められいずとも40分間運動時が有意に高値を示した($p<0.05$)。

考 察

1. 指尖部と足尖部加速度脈波の同時評価の重要性

本研究において用いた末梢循環動態の指標としての加速度脈波は容積脈波を2回連続微分したものでこれまで様々な領域で報告がされている。これまで、加齢(4, 5)、運動(6, 7)、疾患(4, 5)、磁気刺激(8)、喫煙(9)、左右差(10)、鍼刺激(11)、テーピング(12)などに関する報告があり、末梢循環動態の新しい評価

法としてその有効性が注目されている。これまでは多くが指尖部からの導出による報告であったが、近年ではセンサーの開発により指尖部以外の部位でも簡便に測定が可能となった(13)。この評価法が、将来的にはACSM(1)が未だ運動の効果を認めていない糖尿病合併症としての末梢循環障害改善に対する継続的運動の効果を解決する糸口になる可能性もあり一層の研究が期待される。なぜならば運動の効果を証明できない要因の一つに測定法の問題があるものと考えられるからである。簡便で非観血的末梢循環動態の評価が必要である背景があるものと考えられる。

著者らは60分間の普通歩および速歩時の指尖部加速度脈波は中高年齢者では大きな増加を示すが、若年者では有意な増加を示さなかったことを報告した(3)。このことは元来末梢循環が良好である若年者では歩行運動などの低強度運動の変化を指尖部では明確に評価されないことを示しており併せて足尖部の評価の必要性を示している。これまで足尖部の加速度脈波に関する報告は多くはないが、一般に指尖部に比して足尖部は低値を示すが、著者らの経験ではバレーボールなどの種目や中高年齢者などでは指の障害や肩こりなど上肢障害を有する者では指尖部の評価が低値であり、逆に歩行量の多い者では足尖部が高値を示すなど個人差による差異が生じる。このことは、運動処方視点から指尖部の評価に加えて下肢部の末梢循環の評価することの重要性を示していると考えられる。年齢分布を考慮した評価基準などに未だ不十分な面もあるものの同一個人の変化を捉える点では問題はない。

2. 運動強度について

ACSMによればVO2maxの増加の運動強度の条件として40/50～85%強度の条件が必要であると報告している。このように血圧や肥満症の改善などから運動時間との関連で40%程度の強度でも有効であると(1)の見解は、中高年齢者や病後者等の運動によるリスクの減少や監視の是非という観点から運動処方をすすめる上で重要な問題である。さらに運動処方の観点からリスクの少ない低強度運動と末梢循環の向上効果をあげる意味で各種の刺激(温熱、針刺激、遠赤外線、磁気、テーピングなど)との併用効果についても今後

有用な研究課題となる(12、14、15)。

本研究では指尖部の加速度脈波は有意な増加が認められなかったが、足尖部のそれは運動時間が長くなるにしたがって有意な増加が認められた。この結果は本研究の運動形態が自転車エルゴメーターによる脚部の運動であったこと、また足尖部加速度脈波の初期値が指尖部に比して低値であったこと等が運動刺激によく反応を示したものと考えられる。このことは末梢循環の良好な若年者でさえ40%程度の運動でも運動時間を考慮すれば末梢循環の増加に有効な運動刺激となりうるものであることを示している。すなわち下肢運動では足尖部の末梢循環を評価することが運動処方をするうえで重要であると考えられる。

大学生を対象とした20%、40%および60%強度の自転車運動では、高い運動強度ほど Δ APGindexが増加を示すが、血圧反応は40%強度では、とくに運動に伴う拡張期血圧の減少の傾向が60%強度のそれに近いという報告がある(6)。また同様に自転車運動で60%強度運動時の指尖部および足尖部 Δ APGindexは安静時に比して有意な増加を示すが、30%強度の運動においても足尖部 Δ APGindexは有意ではないが60%強度運動の指尖部のそれに匹敵する増加量を示した(7)。このことは40%強度の運動でも運動時間との関連で末梢循環の改善に有効な運動強度となりうる可能性を示している。近年のACSMのガイドラインは「健康増進に関連した運動の質と量」という観点からこの40%台の運動強度が、中高年者における健康増進や、ある種の慢性的な退行性疾患の改善、生活習慣病の予防や治療のために有効であるという見解を示している。したがってこの水準の運動強度は中高年層に対しては推薦できる強度であるといえる。

本研究の結果は、足尖部末梢循環からみると若年者が低強度運動であっても時間軸を調節することにより十分な運動効果が期待できることを示したが、運動処方の現場において、疾病者、健康に問題のある者、体力的弱者、高齢者等に対してリスクと最も関連する運動強度に視点において、低強度の略40%強度が今後食事のコントロールとの併用において幅広い人を対象とした処方強度として期待される。

3) 運動時間について

ACSM(1)は1回当たりの運動時間については20～60分の範囲で強い強度では短く、低強度では長い運動時間を推奨し、最近では一律30分程度の時間を示している。本研究では10～20分間運動時の末梢循環の変化は個人差が大きかった。この原因については定かではないが、運動開始から規定水準に到達する初動時間の差、被検者の前日の運動状況ならびに鍛錬度等が関係している可能性がある。それに対して、30～50分間運動時の Δ APGindexの増加量は安定したかつ有意な増加を示した。このことは末梢循環が高い水準にある若年者であっても40%の低強度を30分以上継続することにより末梢循環の向上に有効であると言える。

また本研究において運動中において10分間運動時で6名中2名(33%)、20分間運動時で6名中1名(17%)、さらに30分、40分および50分間運動時では6名中3名(50%)と半数の者においてコロコフ音が0mmHgまで可聴された。このことは、青年、長距離ランナーほど、また運動強度が高いほど(16、17、)、またトレーニングに伴って(18、19)、などの際に0mmHgまで可聴される割合が増加することが報告されていることから30分以上の運動継続によって末梢循環が良好な状態を維持したものと考えられる。また穏やかな長時間ランニング時を実施した高血圧者では下肢筋群の収縮弛緩による筋ポンプの影響によって20～30分以降では血圧、特に拡張期血圧の著明な降下現象が確認されている(20)。これらのことは40%強度、30分以上の運動継続によって末梢抵抗の減少による末梢循環の向上が一過性に惹起されていることを示しているものと考えられる。

ACSMの指摘の如く30分以上の運動を継続することが末梢循環の変化を示し始める時間ではないかと推察される。

今後、中高年者を対象とした基礎研究が必要であると同時に加齢に伴い増加する高血糖症や糖尿病などからくる末梢循環障害の早期診断や精度の高い運動処方のために指尖部と足尖部末梢循環の同時評価が必要であると考えられる。

総括

指尖部と足尖部の APGindex と運動時間との関係を検討するために、健康な男子6名を対象に自転車エルゴメーターによる40%強度で10分～50分間までの5種類の運動を行った。結果は以下のようにまとめられる。

- 1) 指尖部の Δ APGindex は、10分間運動時を除き安静時に比して有意な増加を示さなかった。
- 2) 足尖部 Δ APGindex は、30分運動時、40分間運動時並びに50分間運動条件で安静時に比しそれぞれ有意な増加を示した。40分間運動時では10分間、20分間、30分間運動時に比しそれぞれ有意に高値であった
- 3) Δ APGindex は指尖部および足尖部共に40分間運動時で最も高値を示した。
- 4) 以上の結果から、若年者において40%運動強度での40分以上の自転車運動は足部の末梢循環を増加させる条件となる。

参考文献

- 1) American College of Sports Medicine (2000) ASCM's guidelines for exercise testing and prescription 6th edition
- 2) Beanhop, D.P., P.A.Cleary, S.F.schaal, E.L.fox and R.L.Bartels(1983): Physiological adjustments to higher-lower intensity exercise in elders, Med. Sci. Sports Exer. 15: 496-502
- 3) 片岡幸雄、武田直子、佐野裕司 (2001): 若年者および中高年者における60分間の普通歩および速歩が血圧及び末梢循環に及ぼす影響 千葉大学教育学部研究紀要、第49巻, 75～83
- 4) 佐野裕司、片岡幸雄、生山 匡、和田光明、今野廣隆、川村協平、渡辺 剛、西田明子、小山内博 (1985): 加速度脈波による血液循環の評価とその応用(第1報)労働科学 61(3):129～143
- 5) 佐野裕司、片岡幸雄、生山 匡、今野廣隆、川村協平、渡辺 剛、西田明子、小山内博(1988): 加速度脈波による血液循環の評価とその応用(第2報)一波形の定量化の試み-体力研究 63 17～25
- 6) 片岡幸雄、鹿島容子(1999): 20%、40%および60%強度の運動負荷が血圧および加速度脈波に及ぼす影響 千葉大学教育学部研究紀要、第47巻:111～120
- 7) 片岡幸雄、河村美恵子(2002): 指尖部および足尖部の末梢循環の比較ならびに30%および60%運動負荷の影響 千葉大学教育学部研究紀要、第50巻 517～523
- 8) 渋谷権司、片岡幸雄、渡邊英一、奥水正子、杉山英雄、田上トキ子、佐野裕司(2002): 前腕部に対する5分間および15分間の磁気刺激が血圧および加速度脈波に及ぼす影響、スポーツ整復療法学研究 4(1)25～33
- 9) 片岡幸雄、畔上章子(2002): 喫煙時の血圧、心拍数、皮膚温および末梢循環におよぼす運動負荷の影響 日本スポーツ整復療法学研究 4(2)137
- 10) 新井紀子、片岡幸雄、佐野裕司(2000): 自覚症状、僧帽筋および斜角筋の圧痛並びに末梢循環からみた肩こり症状の評価、日本スポーツ整復療法学研究 2(2)116
- 11) 藍原智子、渋谷権司、渡邊英一、杉山英雄、今井裕之、奥水正子、片岡幸雄(2003): 血圧、皮膚温および加速度脈波に及ぼす足三里穴への鍼刺激の影響、日本スポーツ整復療法学研究 5(2)108
- 12) 市丸晶子、小畑史子、片岡幸雄(2004): キネシオテーピングと低強度運動の併用が血圧および加速度脈波に及ぼす影響 日本スポーツ整復療法学研究 6(1、2)63
- 13) 佐野裕司、片岡幸雄、長谷部騰(1999)近赤外線光拡散式の新センサーによる頭部と指尖部の加速度脈波の比較、日本スポーツ整復療法学研究 1(1)46
- 14) 小畑史子、市丸晶子、片岡幸雄(2004)磁気刺激と低強度運動の併用が血圧および加速度脈波に及ぼす影響 日本スポーツ整復療法学研究 6(1、2)62
- 15) 渋谷権司、藍原智子、片岡幸雄(2004)鍼刺激後の低強度運動が血圧、皮膚温および加速度脈波に及ぼす影響日本スポーツ整復療法学研究 6(1、2)61
- 16) 生山 匡、荒尾 孝、今野廣隆、片岡幸雄、和田

- 光明、佐野裕司、小山内博(1979):中高年者、青年長距離走鍛錬者および一般青年の運動中の血圧変動 体力研究、42:34~46
- 17) 片岡幸雄、今野廣隆、佐野裕司(1985):自転車エルゴメーターによる最大下ならびに最大運動時の血圧変動、千葉大学教養部研究紀要、B-18, 151-161
- 18) 倉敷千稔(1969)身体運動により聴取可能になる動脈音の意義および発現の本態に関する研究 (1)三重医学 13:111~116
- 19) 倉敷千稔(1969)身体運動により聴取可能になる動脈音の意義および発現の本態に関する研究 (2)三重医学 13:225~228
- 20) 片岡幸雄、生山 匡、和田光明、佐野裕司、今野廣隆、川村協平、渡辺 剛、西田明子、小山内博(198):中高年高血圧者の長時間ランニングに伴う血圧変動:体力研究、60:13~24
- (受理 2008年1月15日)

スポーツ・医療科学のための確率統計学講座



最終回 データ間の相関関係 その2

工学博士 堀井仙松 (Email: kilopine@keb.biglobe.ne.jp)

今回は前回に引き続き、多変数の場合の変数間の相関関係について少し詳しく調べて行きます。変数が多くなると一挙に式が長く、さらに式の数が多くなり厄介ですが、基本的な考え方は変わらないので、何をしているかだけは、フォローしていただくことを願っています。ここで述べている内容は、特にスポーツ・医療関係においてデータの統計処理によく用いられていますので、面倒ですが省略せずに話をすすめます。ところで、この講座も今回で確率統計の基礎的な話が一通り終了しました。必ずしも十分な内容ではなかったと思いますが、今回を最終回として一段落し、次回から、実際に利用することの多い推計や検定の話「続・スポーツ・医療科学のための確率統計学講座」として再開する予定です。

1. 多変数の場合の回帰関数と回帰係数

前回では、確率変数が2変数 X と Y であるときの、式(8-13)を満足する、すなわち最小2乗法により得られた $g(x)$ が、式(8-14)のような条件付期待値と一致することを述べ、回帰関数と称することをいいましたが、これをもう少し吟味してみましょう。

簡単のため、回帰関数が直線の場合を考えます。上述のように最小2乗法で得られた回帰直線の方程式

$$\hat{y} = \hat{g}(x) = \hat{a}x + \hat{b}$$

は、任意の x を与えたときの y の条件付期待値として、最良な推定値を求める直線の方程式となっています。すなわち、点 $(\hat{y}, x)$ の集合は直線(回帰直線)を表しているわけです。

これを多変数 $X_1, X_2, \dots, X_m$ の場合に拡張して考えてみましょう。

いま、式(8-14)の Y に相当する変数を X_1 とすると、式(8-14)に相当する条件付期待値は、

$$E(X_1 | x_2, x_3, \dots, x_m) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} f(x_1, x_2, \dots, x_m) dx_1}{\int_{-\infty}^{\infty} f(x_1, x_2, \dots, x_m) dx_1} \quad (9-1)$$

となり、上式の条件付期待値を $\hat{x}_1$ とおけば、 $g(x)$ に相当するのは、 $g(x_2, x_3, \dots, x_m)$ になるので、

$$\hat{x}_1 = \hat{g}(x_2, x_3, \dots, x_m) \quad (9-2)$$

と書けます。これは、多変数の場合の回帰関数を表しており、点 $(\hat{x}_1, \hat{g})$ の集合は、曲面を表しており、回帰曲面といわれています。特に、式(9-2)が一次関数の場合は、曲面でなく平面となりますので、上述の集合は回帰平面といえます。この場合、

$$E\{[X_1 - g(x_2, x_3, \dots, x_m)]^2\} \quad (9-3)$$

を最小にする $\hat{g}(x_2, x_3, \dots, x_m)$ は

$$\hat{x}_1 = \hat{g}(x_2, x_3, \dots, x_m)$$

$$= \hat{\alpha}_{10} + \hat{\alpha}_{12}x_2 + \hat{\alpha}_{13}x_3 + \dots + \hat{\alpha}_{1m}x_m \quad (9-4)$$

で表されます。いま、 n 組のデータ(測定値)

$$x_{1i}, x_{2i}, x_{3i}, \dots, x_{mi} \quad (i=1, 2, 3, \dots, n)$$

が与えられると、

$$J = \sum_{i=1}^n \{x_{1i} - \hat{\alpha}_{10} - \hat{\alpha}_{12}x_{2i} - \dots - \hat{\alpha}_{1m}x_{mi}\}^2 \quad (9-5)$$

を最小にする $\hat{\alpha}_{10}$ と $\hat{\alpha}_{1i}$ ($i=2, 3, \dots, m$)を求めるために、

$$\frac{\partial J}{\partial \hat{\alpha}_{10}} = 0 \quad (9-6)$$

$$\frac{\partial J}{\partial \hat{\alpha}_{1i}} = 0 \quad i=2, 3, \dots, m \quad (9-7)$$

を計算し、次の m 個の連立方程式

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n (x_{1i} - \hat{\alpha}_{10} - \hat{\alpha}_{12}x_{2i} - \hat{\alpha}_{13}x_{3i} - \dots - \hat{\alpha}_{1m}x_{mi}) &= 0 \\ \sum_{i=1}^n (x_{1i}x_{2i} - \hat{\alpha}_{10}x_{2i} - \hat{\alpha}_{12}x_{2i}x_{2i} - \dots - \hat{\alpha}_{1m}x_{mi}x_{2i}) &= 0 \\ \sum_{i=1}^n (x_{1i}x_{3i} - \hat{\alpha}_{10}x_{3i} - \hat{\alpha}_{12}x_{2i}x_{3i} - \dots - \hat{\alpha}_{1m}x_{mi}x_{3i}) &= 0 \\ &\dots\dots\dots \\ \sum_{i=1}^n (x_{1i}x_{mi} - \hat{\alpha}_{10}x_{mi} - \hat{\alpha}_{12}x_{2i}x_{mi} - \dots - \hat{\alpha}_{1m}x_{mi}x_{mi}) &= 0 \end{aligned} \quad (9-8)$$

を解くことが、回帰平面を求めることになります。ここで、

$$\mu_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ji}, \quad j=2, 3, \dots, m$$

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ji}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ji}^2 - \mu_j^2 + \mu_j^2 = \sigma_j^2 + \mu_j^2$$

さらに、

$$\begin{aligned} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ji}x_{ki} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ji}x_{ki} - \mu_j\mu_k + \mu_j\mu_k \\ &= \sigma_{jk} + \mu_j\mu_k \end{aligned}$$

と表されるので、これを式(9-8)代入して整理すると、

$$\begin{aligned}\sigma_{22}\hat{a}_{12} + \sigma_{23}\hat{a}_{13} + \cdots + \sigma_{2m}\hat{a}_{1m} &= \sigma_{21} \\ \sigma_{32}\hat{a}_{12} + \sigma_{33}\hat{a}_{13} + \cdots + \sigma_{3m}\hat{a}_{1m} &= \sigma_{31} \\ &\vdots \\ \sigma_{m2}\hat{a}_{12} + \sigma_{m3}\hat{a}_{13} + \cdots + \sigma_{mm}\hat{a}_{1m} &= \sigma_{m1}\end{aligned}\quad (9-9)$$

および、

$$\hat{a}_{10} = \mu_1 - \hat{a}_{12}\mu_2 - \hat{a}_{13}\mu_3 - \cdots - \hat{a}_{1m}\mu_m \quad (9-10)$$

が得られ、式(9-8)の連立方程式は、式(9-9)と式(9-10)に書き換えられます。

さて、式(9-9)を解くにあたって、もはやベクトルと行列(Matrix)および行列式(Determinant)の計算法から逃れることができないようです。付録1に基礎的な演算の要点を示しておきますが、必要があれば線形代数などの入門書を参照して下さい。

式(9-9)は行列を用いると次のように表せます。

$$\begin{pmatrix} \sigma_{22} & \sigma_{23} & \cdots & \sigma_{2m} \\ \sigma_{32} & \sigma_{33} & \cdots & \sigma_{3m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \sigma_{m2} & \sigma_{m3} & \cdots & \sigma_{mm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{a}_{12} \\ \hat{a}_{13} \\ \vdots \\ \hat{a}_{1m} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma_{21} \\ \sigma_{31} \\ \vdots \\ \sigma_{m1} \end{pmatrix} \quad (9-11)$$

したがって、

$$\begin{pmatrix} \hat{a}_{12} \\ \hat{a}_{13} \\ \vdots \\ \hat{a}_{1m} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma_{22} & \sigma_{23} & \cdots & \sigma_{2m} \\ \sigma_{32} & \sigma_{33} & \cdots & \sigma_{3m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \sigma_{m2} & \sigma_{m3} & \cdots & \sigma_{mm} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \sigma_{21} \\ \sigma_{31} \\ \vdots \\ \sigma_{m1} \end{pmatrix} \quad (9-12)$$

として、 $\hat{a}_{1j}$ ($j=2, 3, \dots, m$) が得られますが、これを**偏回帰係数**と呼ぶことがあります。また、 $\hat{a}_{10}$ はこれらを式(9-10)に代入して求めます。このようにして得られた係数を用いて式(9-4)、すなわち、

$$\hat{x}_1 = \hat{a}_{10} + \hat{a}_{12}x_2 + \hat{a}_{13}x_3 + \cdots + \hat{a}_{1m}x_m$$

で求めた $\hat{x}_1$ は、 $x_2, x_3, \dots, x_m$ から得られる x_1 の**最良線形推定値**といいます。

ところで、式(9-12)から得られる偏回帰係数 $\hat{a}_{1j}$ ($j=2, 3, \dots, m$) は、逆行列あるいはクラメルの定理からえられる計算結果から、第8回で述べた共分散行列や相関行列(式(8-7)および(8-8))を用いて表すことができます。

そこで、いま、式(9-11)を

$$\mathbf{S}\hat{\mathbf{a}} = \mathbf{c} \quad (9-13)$$

とおくと、クラメルの定理(付録2参照)から

$$\begin{aligned}\hat{a}_{1j} &= \frac{1}{|\mathbf{S}|} \begin{vmatrix} \sigma_{22} & \cdots & \sigma_{2,j-1} & \sigma_{21} & \sigma_{2,j+1} & \cdots & \sigma_{2m} \\ \sigma_{32} & \cdots & \sigma_{3,j-1} & \sigma_{31} & \sigma_{3,j+1} & \cdots & \sigma_{3m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \sigma_{m2} & \cdots & \sigma_{m,j-1} & \sigma_{m1} & \sigma_{m,j+1} & \cdots & \sigma_{mm} \end{vmatrix} \\ &\equiv \frac{1}{|\mathbf{S}|} \Delta_j\end{aligned}\quad (9-14)$$

となりますが(≡は定義するの意味に使っています)、

$$|\mathbf{S}| = \begin{vmatrix} \sigma_{22} & \sigma_{23} & \cdots & \sigma_{2m} \\ \sigma_{32} & \sigma_{33} & \cdots & \sigma_{3m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \sigma_{m2} & \sigma_{m3} & \cdots & \sigma_{mm} \end{vmatrix} \quad (9-15)$$

なので、上式は、共分散行列の行列式、

$$|\Lambda| = \Lambda = \begin{vmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} & \cdots & \sigma_{1m} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} & \cdots & \sigma_{2m} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} & \cdots & \sigma_{3m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \sigma_{m1} & \sigma_{m2} & \sigma_{m3} & \cdots & \sigma_{mm} \end{vmatrix} \quad (9-16)$$

の1行1列を取り除いたものであることがわかります。すなわち、

$$|\mathbf{S}| = \Lambda_{11} \quad (9-17)$$

となります。さらに、共分散行列 Λ の行列式において1行 j 列を取り除いた、

$$\begin{vmatrix} \sigma_{21} & \sigma_{22} & \cdots & \sigma_{2,j-1} & \sigma_{2,j+1} & \cdots & \sigma_{2m} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \cdots & \sigma_{3,j-1} & \sigma_{3,j+1} & \cdots & \sigma_{3m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \sigma_{m1} & \sigma_{m2} & \cdots & \sigma_{m,j-1} & \sigma_{m,j+1} & \cdots & \sigma_{mm} \end{vmatrix}$$

において、第1列を第2列と交換(1回目)、次に第2列と第3列と交換(2回目)と続けて、最後に $j-2$ 列と $j-1$ 列とを交換($(j-2)$ 回目)すると式(9-14)の $|\mathbf{S}|$ 中の行列式($=\Delta_j$)と同じになります。すなわち、付録2の行列式の性質④から列を交換するたびに符号だけが変わるので、余因子の符号を含む全体としては、

$$\begin{aligned}\Lambda_{1j} &= (-1)^{1+j} \Delta_j = (-1)^{1+j} (-1)^{j-2} \Delta_j \\ &= (-1)^{2j-1} \Delta_j = (-1)^{-1} \cdot (-1)^{2j} = -\Delta_j\end{aligned}$$

2j は偶数なので常に正

であるから、

$$\Delta_j = -\Lambda_{1j} \quad (9-18)$$

となり、式 (9-17) と (9-18) を式 (9-14) に代入すると、

$$\hat{a}_{1j} = -\frac{\Lambda_{1j}}{\Lambda_{11}} \quad (j=2,3,\dots,m) \quad (9-19)$$

が得られます。上式はまた、

$$r_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\sqrt{\sigma_{ii}\sigma_{jj}}} \quad (j=1,2,3,\dots,m) \quad (9-20)$$

であることを考慮すると、

$$\hat{a}_{1j} = -\frac{\Lambda_{1j}}{\Lambda_{11}} = -\frac{\sqrt{\sigma_{11}}R_{1j}}{\sqrt{\sigma_{jj}}R_{11}} \quad (j=2,3,\dots,m) \quad (9-21)$$

が得られます。ただし、 R_{1j} , R_{11} は、それぞれ、前回の式 (8-8) で表した相関行列の行列式 R における r_{1j} , r_{11} の余因子です。これは、式 (9-19) に式 (9-20) を適用し、付録2の行列式の性質⑥を利用すると容易に求められます。ここでは簡単のため、式 (9-4) で示したように、変数 X_1 に注目して回帰平面およびその偏回帰係数を求めてきましたが、任意の X_i ($i=1,2,\dots,n$) に対しても同様に求めることができます。

ところで、 x_1 と線形最良推定値 $\hat{x}_1$ の差を**残差**と呼び確率変数として

$$\begin{aligned} \Psi_{1\cdot 23\dots m} &= X_1 - \hat{X}_1 \\ &= X_1 - \hat{\alpha}_{10} - \hat{\alpha}_{12}X_2 - \dots - \hat{\alpha}_{1m}X_m \end{aligned} \quad (9-22)$$

と表すことがあります。当然のことながら、式 (9-10) から、

$$\begin{aligned} E(\Psi_{1\cdot 23\dots m}) &= E(X_1) - \hat{\alpha}_{10} - \hat{\alpha}_{12}E(X_2) - \dots - \hat{\alpha}_{1m}E(X_m) \\ &= \mu_1 - \hat{\alpha}_{12}\mu_2 - \dots - \hat{\alpha}_{1m}\mu_m - \hat{\alpha}_{10} = 0 \end{aligned} \quad (9-23)$$

となり、残差の期待値は0です。

さて、前回の最後のところで2変数 (X , Y) の場合の回帰直線のまわりの分散を求めましたが、多変数となったこの場合に対してはどうなるのでしょうか。回帰直線が回帰平面になるので直感的に把握しにくいかもしれませんが、式 (9-3) あるいは式 (9-5) の最小値を求めて、これを「回帰平面のまわりの X_1 の分散」と定義します。

このことは、丁度式 (9-22) の2乗の期待値を求めることに相当します。すなわち、

$$V(\Psi_{1\cdot 23\dots m}) = E(\Psi_{1\cdot 23\dots m}^2) = \sigma_{1\cdot 23\dots m}^2$$

を求めます。

$$E(\Psi_{1\cdot 23\dots m}^2) = E\{(X_1 - \hat{X}_1)\Psi_{1\cdot 23\dots m}\}$$

$$= E\{(X_1 - \mu_1 + \mu_1 - \hat{X}_1)\Psi_{1\cdot 23\dots m}\}$$

$$= E\{(X_1 - \mu_1)\Psi_{1\cdot 23\dots m}\} - E\{(\hat{X}_1 - \mu_1)\Psi_{1\cdot 23\dots m}\}$$

ここで、第2項は、

$$\begin{aligned} &E\{(\hat{X}_1 - \mu_1)\Psi_{1\cdot 23\dots m}\} \\ &= E\{(\alpha_{10} + \alpha_{12}X_2 + \dots + \alpha_{1m}X_m - \mu_1)\Psi_{1\cdot 23\dots m}\} \\ &= E\{(\alpha_{10} - \mu_1)\Psi_{1\cdot 23\dots m}\} + E(\alpha_{12}X_2 + \dots + \alpha_{1m}X_m)\Psi_{1\cdot 23\dots m} \\ &= (\alpha_{10} - \mu_1)E(\Psi_{1\cdot 23\dots m}) + E\left\{\left(\sum_{i=2}^m \alpha_{1i}X_i\right)\Psi_{1\cdot 23\dots m}\right\} \end{aligned}$$

式(9-23) より0となる

$$= E\left\{\left(\sum_{i=2}^m \alpha_{1i}X_i\right)\Psi_{1\cdot 23\dots m}\right\} = \sum_{i=2}^m \alpha_{1i}E(X_i\Psi_{1\cdot 23\dots m})$$

となります。さらに上式は、

$$\begin{aligned} E(X_i\Psi_{1\cdot 23\dots m}) &= E\{(X_i - \mu_i)[(X_1 - \mu_1) \\ &\quad - \sum_{k=2}^m \alpha_{1k}(X_k - \mu_k)]\} \\ &= \sigma_{1i} - \sum_{k=2}^m \alpha_{1k}\sigma_{ik} = 0 \end{aligned}$$

となつて、

式 (9-9)参照

$$E(\Psi_{1\cdot 23\dots m}^2) = E\{(X_1 - \mu_1)\Psi_{1\cdot 23\dots m}\} \quad (9-24)$$

となります。上式はさらに、

$$\begin{aligned} E(\Psi_{1\cdot 23\dots m}^2) &= E\{(X_1 - \mu_1)[(X_1 - \mu_1) \\ &\quad - \sum_{k=2}^m \alpha_{1k}(X_k - \mu_k)]\} \\ &= \sigma_{11} - \sum_{k=2}^m \alpha_{1k}\sigma_{1k} = \left(\frac{\Lambda_{11}}{\Lambda_{11}}\right)\sigma_{11} + \sum_{k=2}^m \left(\frac{\Lambda_{1k}}{\Lambda_{11}}\right)\sigma_{1k} \\ &= \frac{1}{\Lambda_{11}} \sum_{k=1}^m \Lambda_{1k}\sigma_{1k} = \frac{\Lambda}{\Lambda_{11}} = \sigma_{11} \frac{R}{R_{11}} \end{aligned}$$

となります。すなわち、

$$\sigma_{1\cdot 23\dots m}^2 = \frac{\Lambda}{\Lambda_{11}} = \sigma_{11} \frac{R}{R_{11}} \quad (9-25)$$

が「回帰平面のまわりの X_1 の分散」であることがわかりました。ずいぶん厄介な計算になってしまいましたが、 $m=2$ のときをみますと、

$$r_{ij} = r_{ji} = \frac{\sigma_{ij}}{\sqrt{\sigma_{ii}\sigma_{jj}}} \quad i, j=1,2$$

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} \\ r_{21} & r_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} \\ r_{12} & 1 \end{pmatrix}$$

であることに注意して、

$$\sigma_{1,2}^2 = \sigma_{11}(1-r_{12}^2) \quad (9-26)$$

が得られます。これは、式(8-26)で示した前回の回帰直線のまわりのYの分散に相当しており、次元 ($\sigma_{11} \rightarrow \sigma_y^2$) と変数 ($X_1, X_2 \rightarrow Y, X$) の違いに気が付けば全く同じであることがわかります。

2. 偏相関関数と重相関関数

さて、多変数の確率変数 $X_1, X_2, \dots, X_m$ の場合、任意の2つの変数 X_i と X_j の相関関係だけを表す相関関数を偏相関係数といいます。これは変数 X_i と X_j 以外の変数の影響を取り除いた X_i と X_j だけの間の相関関数ですから注意深く求める必要があります。ここでは、簡単のため任意の2変数を X_1 と X_2 にします。

これまで考えてきた共分散や相関係数の定義から、この偏相関係数は、次のように定義するのが合理的です。まず、n組みのデータ (測定値)

$$x_{1i}, x_{2i}, x_{3i}, \dots, x_{mi} \quad (i=1, 2, 3, \dots, n)$$

が得られているとします。ここでは、

$$E\{[X_1 - g_1(x_3, x_4, \dots, x_m)]^2\} \quad (9-27)$$

$$E\{[X_2 - g_2(x_3, x_4, \dots, x_m)]^2\} \quad (9-28)$$

を最小にする $\hat{g}_1(x_3, x_4, \dots, x_m)$, $\hat{g}_2(x_3, x_4, \dots, x_m)$ を、

$$\begin{aligned} \hat{x}_1 &= \hat{g}_1(x_3, x_4, \dots, x_m) \\ &= \hat{a}_{10} + \hat{a}_{13}x_3 + \hat{a}_{14}x_4 + \dots + \hat{a}_{1m}x_m \end{aligned} \quad (9-29)$$

$$\begin{aligned} \hat{x}_2 &= \hat{g}_2(x_3, x_4, \dots, x_m) \\ &= \hat{a}_{20} + \hat{a}_{23}x_3 + \hat{a}_{24}x_4 + \dots + \hat{a}_{2m}x_m \end{aligned} \quad (9-30)$$

で表し、次の2つの2乗誤差、

$$J_1 = \sum_{i=1}^n \{(x_{1i} - \hat{a}_{10} - \hat{a}_{13}x_{3i} - \dots - \hat{a}_{1m}x_{mi})^2\}$$

$$J_2 = \sum_{i=1}^n \{(x_{2i} - \hat{a}_{20} - \hat{a}_{23}x_{3i} - \dots - \hat{a}_{2m}x_{mi})^2\}$$

を最小にする $\hat{a}_{10}$ と $\hat{a}_{1i}$ ($i=3, 4, \dots, m$) および $\hat{a}_{20}$ と $\hat{a}_{2i}$ ($i=3, 4, \dots, m$) を、前節と全く同様にして求めると、残差は、それぞれ、

$$\Psi_{1 \cdot 34 \dots m} = X_1 - \hat{X}_1 = X_1 - \sum_{k=3}^m \hat{a}_{1k} X_k \quad (9-31)$$

$$\Psi_{2 \cdot 34 \dots m} = X_2 - \hat{X}_2 = X_2 - \sum_{k=3}^m \hat{a}_{2k} X_k \quad (9-32)$$

と書けます。

また、式 (9-23) と同様に、

$$E(\Psi_{1 \cdot 34 \dots m}) = 0, \quad i=1, 2. \quad (9-33)$$

であることと、 $\Psi_{1 \cdot 34 \dots m}$ と $\Psi_{2 \cdot 34 \dots m}$ が、 $X_3, X_4, \dots, X_m$ の線形関数 (線形結合) として、それぞれ X_1 と X_2 の最良推定値を引いた残り (残差) を表していることから、 $X_3, X_4, \dots, X_m$ の影響を除いた X_1 と X_2 の関係にあるとみなせ、

$$r_{12 \cdot 34 \dots m} = \frac{E(\Psi_{1 \cdot 34 \dots m} \cdot \Psi_{2 \cdot 34 \dots m})}{\sqrt{E(\Psi_{1 \cdot 34 \dots m}^2) \cdot E(\Psi_{2 \cdot 34 \dots m}^2)}} \quad (9-34)$$

を偏相関係数として定義します。

上式の期待値は、前節と同様に求めると、

$$E(\Psi_{1 \cdot 34 \dots m}^2) = \frac{\Lambda_{22}}{\Lambda_{22 \cdot 11}} = \frac{\Lambda_{22}}{\Lambda_{11 \cdot 22}} \quad (9-35)$$

$$E(\Psi_{2 \cdot 34 \dots m}^2) = \frac{\Lambda_{11}}{\Lambda_{11 \cdot 22}} \quad (9-36)$$

$$\begin{aligned} E(\Psi_{1 \cdot 34 \dots m} \Psi_{2 \cdot 34 \dots m}) &= -\frac{1}{\Lambda_{11 \cdot 22}} \sum_{k=2}^m \sigma_{1k} \Lambda_{11 \cdot 2k} \\ &= -\frac{\Lambda_{12}}{\Lambda_{11 \cdot 22}} \end{aligned} \quad (9-37)$$

となります。ただし、 $\Lambda_{ii \cdot jk}$ は、 Λ_{ii} における σ_{jk} の余因子を表しています。式 (9-35) ~ (9-37) を式 (9-34) に代入すると、最終的に、

$$r_{12 \cdot 34 \dots m} = -\frac{\Lambda_{12}}{\sqrt{\Lambda_{11} \cdot \Lambda_{22}}} = -\frac{R_{12}}{\sqrt{R_{11} \cdot R_{22}}} \quad (9-38)$$

が得られます。

この偏相関係数の意味については、一般論で話をしているかぎり、なかなかピンとこないものです。そこで、少し具体的に考えてみましょう。

たとえば、中高年齢者を対象として、「腕立て伏せ」の回数などで「体力」を測定し (X_1)、これと問診などによりQOL (Quality Of Life) の度合い (X_2) を調べて、両者の関係を検討する場合、年齢 (X_3) という要因が、この両者に大きな影響をおよぼしていると考えられます。純粋に体力とQOLの関係を明らかにするためには、年齢の影響を取り除いた偏相関係数を求める必要があります。

この場合の偏相関係数は、丁度、式(9-38)で $m=3$ の場合に相当しますので、

$$R = |\mathbf{R}| = \begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{vmatrix}$$

であることと、

$$r_{ij} = r_{ji}, \quad r_{ii} = 1, \quad (i, j = 1, 2, 3)$$

に注意すれば、

$$\begin{aligned} r_{12 \cdot 3} &= \frac{R_{12}}{\sqrt{R_{11} \cdot R_{22}}} = \frac{\begin{vmatrix} r_{21} & r_{23} \\ r_{31} & r_{33} \end{vmatrix}}{\sqrt{\begin{vmatrix} r_{22} & r_{23} \\ r_{32} & r_{33} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} r_{11} & r_{13} \\ r_{31} & r_{33} \end{vmatrix}}} \\ &= \frac{r_{12} - r_{13} \cdot r_{23}}{\sqrt{(1 - r_{13}^2)(1 - r_{23}^2)}} \end{aligned} \quad (9-39)$$

が求める偏相関係数となります。

さて、少し話しをもどして、式 (9-4)、

$$\hat{x}_1 = \hat{\alpha}_{10} + \hat{\alpha}_{12}x_2 + \hat{\alpha}_{13}x_3 + \cdots + \hat{\alpha}_{1m}x_m$$

が x_1 の最良推定値であるとき、 X_1 と $\hat{X}_1$ は、最も高い相関を持つと考えるのが自然です。この場合の相関係数は、偏回帰係数を介して、 X_1 と $(X_2, \dots, X_m)$ との間の全体的な相関の度合いを表す尺度と考えることができますので、**重相関係数**といい、 $r_{1(23 \dots m)}$ で表します。以下では、この重相関係数を求めてみます。

ここでは簡単のため、

$$E(X_i) = \mu_i = 0, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

とします。すると、式 (9-10) より、 $\alpha_{10} = 0$ となりますので、

$$\hat{X}_1 = \hat{\alpha}_{12}X_2 + \hat{\alpha}_{13}X_3 + \cdots + \hat{\alpha}_{1m}X_m$$

と書けます。したがってこの場合、重相関係数は、

$$r_{1(23 \dots m)} = \frac{E(X_1 \hat{X}_1)}{\sqrt{E(X_1^2) \cdot E(\hat{X}_1^2)}} \quad (9-40)$$

と定義できます。上式における、それぞれの期待値は、少々厄介ですが、式 (9-25) や式 (9-38) を求めたときと同じような計算をすると、

$$E(X_1 \hat{X}_1) = \sigma_{11} - \frac{\Lambda}{\Lambda_{11}}$$

$$E(X_1^2) = \sigma_{11}, \quad E(\hat{X}_1^2) = \sigma_{11} - \frac{\Lambda}{\Lambda_{11}}$$

となりますので、

$$\begin{aligned} r_{1(23 \dots m)} &= \frac{\sigma_{11} - \frac{\Lambda}{\Lambda_{11}}}{\sqrt{\sigma_{11}(\sigma_{11} - \frac{\Lambda}{\Lambda_{11}})}} \\ &= \frac{(1 - \frac{\Lambda}{\sigma_{11}\Lambda_{11}})\sigma_{11}}{\sqrt{(1 - \frac{\Lambda}{\sigma_{11}\Lambda_{11}})\sigma_{11}^2}} = \sqrt{1 - \frac{\Lambda}{\sigma_{11}\Lambda_{11}}} \end{aligned}$$

よって、

$$r_{1(23 \dots m)} = \sqrt{1 - \frac{\Lambda}{\sigma_{11}\Lambda_{11}}} = \sqrt{1 - \frac{R}{R_{11}}} \quad (9-41)$$

が得られます。

3. おわりに

この講座も第9回目で一段落しました。本格的に統計的手法を活用するためには十分とはいえませんが、確率統計の基礎知識としての学習は、今回で一応終わることにします。あまりなれない数学や数式的記述に多少悩まされたことと思いますが、なぜそうなるのかを知れば、後は結果を適確に利用あるいは適用することができます。次回からあらためて、『続・スポーツ医療科学のための確率統計学講座』として、これまでの基礎知識を、いろいろな立場から利用する“推計学”の勉強に入ります。心機一転して、推定や検定の手法を通して、実践的な統計処理や統計的判定の真髄（までは行かないかも知れませんが）を掴み取っていただければ幸いです。

参考文献

- 1) 出村慎一：健康・スポーツ科学のための統計学入門，不味堂出版
- 6) 宮沢光一：近代数理統計学痛論，共立全書84
- 7) 三上 操：応用推計学，内田老鶴圃

付録 1 行列演算の基礎

n 個の変数 $x_1, x_2, \dots, x_n$ をまとめて表した

$$\mathbf{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \quad \mathbf{x}^T = (x_1 \quad x_2 \quad \cdots \quad x_n) \quad (\text{A1-1})$$

の $\mathbf{x}$ を n 次元ベクトルといいます。これはまマトリクスの特例な場合なので、 n 行 1 列 ($n \times 1$) のマトリクスあるいは列行列ということもあります。 $\mathbf{x}^T$ は、 $\mathbf{x}$ の行と列を入れ替えたもので、これを転置といい上添え字 T を用います。

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1j} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2j} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & a_{ij} & \cdots & a_{in} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mj} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad (\text{A1-2})$$

を m 行 n 列 ($m \times n$) のマトリクスといいます。特に $n = m$ のとき正方形行列といいます。たくさんの要素 a_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$) をかくのは大変なので、たとえば式 (A1-2) の場合であれば、 $m \times n$ の (a_{ij}) と略記することがあります。

もう一つのマトリクス**B**を、

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1j} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2j} & \cdots & b_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ b_{i1} & b_{i2} & \cdots & b_{ij} & \cdots & b_{in} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \cdots & b_{mj} & \cdots & b_{mn} \end{pmatrix} \quad (\text{A1-3})$$

とすると、和と差や積が次のように定義されます。

(1) 和と差

$$\begin{aligned} \mathbf{A} \pm \mathbf{B} &= \mathbf{C} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \cdots & c_{mn} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} a_{11} \pm b_{11} & a_{12} \pm b_{12} & \cdots & a_{1n} \pm b_{1n} \\ a_{21} \pm b_{21} & a_{22} \pm b_{22} & \cdots & a_{2n} \pm b_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{m1} \pm b_{m1} & a_{m2} \pm b_{m2} & \cdots & a_{mn} \pm b_{mn} \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (\text{A1-4})$$

すなわち、

$$c_{ij} = a_{ij} \pm b_{ij} \quad (\text{A1-5})$$

です。**A**、**B**、**C**ともに $m \times n$ であることが必要です。

(2) 定数との積

$$k \cdot \mathbf{A} = k(a_{ij}) = (k \cdot a_{ij}) \quad (\text{A1-6})$$

この意味は

$$k\mathbf{A} = \begin{pmatrix} ka_{11} & ka_{12} & \cdots & ka_{1n} \\ ka_{21} & ka_{22} & \cdots & ka_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ ka_{m1} & ka_{m2} & \cdots & ka_{mn} \end{pmatrix} \quad (\text{A1-7})$$

のように、全ての要素をk倍することです。

これらは、式 (A1-1) のベクトルの定義からもわかるようにベクトルの場合でも、

$$\mathbf{x} + \mathbf{y} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \pm \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \pm y_1 \\ x_2 \pm y_2 \\ \vdots \\ x_n \pm y_n \end{pmatrix} \quad (\text{A1-8})$$

$$k\mathbf{x} = k \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} kx_1 \\ kx_2 \\ \vdots \\ kx_n \end{pmatrix} \quad (\text{A1-9})$$

という演算です。

(3) 行列の積

Aが $n \times m$ 、**B**が $m \times p$ とすると、**A**と**B**の積は、

$$\mathbf{AB} = \mathbf{C} \quad (\text{A1-10})$$

と表し、**C**は $n \times p$ の行列となり、その要素は、

$$c_{ij} = \sum_{k=1}^m a_{ik} b_{kj} \quad (\text{A1-11})$$

となります。

たとえば

$$\begin{aligned} \text{例(1)} \quad \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \\ 5 & 6 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} 1 \cdot 1 + 2 \cdot 4 & 1 \cdot 2 + 2 \cdot 5 & 1 \cdot 3 + 2 \cdot 6 \\ 3 \cdot 1 + 4 \cdot 4 & 3 \cdot 2 + 4 \cdot 5 & 3 \cdot 3 + 4 \cdot 6 \\ 5 \cdot 1 + 6 \cdot 4 & 5 \cdot 2 + 6 \cdot 5 & 5 \cdot 3 + 6 \cdot 6 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 9 & 12 & 15 \\ 19 & 26 & 33 \\ 29 & 40 & 51 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$$\text{例(2)} \quad \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 \end{pmatrix}$$

例(3)

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 3 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix} = (1 \cdot 3 + 2 \cdot 2 + 3 \cdot 1) = 3 + 4 + 3 = 10$$

例(3)のように、1行1列 (1 x 1) のときは、これを**スカラー**といい、ベクトルと区別したい方々をします。このような積を特に**内積**と呼ぶことがあります。

(4) 連立一次方程式と逆行列

連立一次方程式

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n &= c_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n &= c_2 \\ \cdots & \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \cdots + a_{nn}x_n &= c_n \end{aligned} \quad (\text{A1-12})$$

はベクトルとマトリクスを用いて、

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix} \quad (\text{A1-13})$$

と表せます。これを、

$$\mathbf{Ax} = \mathbf{c} \quad (\text{A1-14})$$

と書きます。

一般にベクトルは、縦ベクトル、小文字の太文字で表し、横ベクトルがほしいときは転置記号、上添え字Tを付加して表します。また、マトリクスは大文字の太文字で表します。これは世界共通の約束です。

ところで、ベクトルやマトリクスには加減乗は演算として存在しますが、除すなわち割り算は存在しません。ただマトリクスの場合は、正方行列の場合にかぎり逆行列が定義されます。

すなわち、

$$\mathbf{GA}=\mathbf{I}, \quad \mathbf{I}=\begin{pmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \ddots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{A1-15})$$

であるとき、 $\mathbf{G}$ を $\mathbf{A}^{-1}$ とかき、これをマトリクス(行列) $\mathbf{A}$ の逆行列といいます。上式の $\mathbf{I}$ は単位行列と呼びます。

$\mathbf{A}=(a_{ij})$ の逆行列を $\mathbf{G}=(g_{ij})$ とすると、

$$g_{ij}=\frac{A_{ji}}{\det \mathbf{A}}=\frac{(-1)^{j+i} \Delta_{ji}}{|\mathbf{A}|} \quad (\text{A1-16})$$

ただし、

$\det \mathbf{A}=|\mathbf{A}|$ は $\mathbf{A}$ の行列式、 A_{ji} は $\mathbf{A}$ の行列式の余因子、 Δ_{ji} は $\mathbf{A}$ の行列式から j 行 i 列を抜き取った小行列式

により求められます(証明は省略します。気になる方は線形代数のテキストを参照して下さい)。行列式については付録2を参照して下さい。

逆行列を用いると式(A1-14)を $\mathbf{x}$ について解くことは、

$$\mathbf{x}=\mathbf{A}^{-1}\mathbf{c} \quad (\text{A1-17})$$

の計算をすればよいことになります。

実際に簡単な連立方程式を解く、いくつかの例を示しておきますので、昔勉強したことを思い出すなり、理解を深めるなりしていただければ幸いです。

例(1)

$$\begin{aligned} x_1 + 2x_2 + x_3 &= 8 \\ 2x_1 + 3x_3 &= 11 \\ 3x_1 - 2x_2 + x_3 &= 4 \end{aligned}$$

を解いてみます。

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 0 & 3 \\ 3 & -1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8 \\ 11 \\ 4 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 0 & 3 \\ 3 & -1 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 8 \\ 11 \\ 4 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 0 & 3 \\ 3 & -1 & 1 \end{pmatrix}^{-1} = \frac{1}{\begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 0 & 3 \\ 3 & -1 & 1 \end{vmatrix}} \begin{pmatrix} 3 & -3 & -6 \\ 7 & -2 & -1 \\ -2 & 7 & -4 \end{pmatrix}$$

$$= \frac{1}{15} \begin{pmatrix} 3 & -3 & 6 \\ 7 & -2 & -1 \\ -2 & 7 & -4 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \frac{1}{15} \begin{pmatrix} 3 & -3 & 6 \\ 7 & -2 & -1 \\ -2 & 7 & -4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 8 \\ 11 \\ 4 \end{pmatrix} \\ = \frac{1}{15} \begin{pmatrix} 15 \\ 30 \\ 45 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix}$$

例(2)

第8回の本文中の式(8-19), (8-20)を、この方法で解いてみます。まず、式(8-19), (8-20)を行列(マトリクス)で表現すると、

$$\begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{a} \\ \hat{b} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ \sum_{i=1}^n y_i \end{pmatrix}$$

となり、両辺を n で割って、第8回の付録4における、式(A4-1)~(A4-4)を用いると、

$$\begin{pmatrix} \sigma_x^2 + \mu_x^2 & \mu_x \\ \mu_x & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{a} \\ \hat{b} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma_{xy} + \mu_x \mu_y \\ \mu_y \end{pmatrix}$$

となるので、

$$\begin{pmatrix} \hat{a} \\ \hat{b} \end{pmatrix} = \frac{1}{\det \begin{pmatrix} \sigma_x^2 + \mu_x^2 & \mu_x \\ \mu_x & 1 \end{pmatrix}} \begin{pmatrix} \sigma_x^2 + \mu_x^2 & \mu_x \\ \mu_x & 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \sigma_{xy} + \mu_x \mu_y \\ \mu_y \end{pmatrix} \\ = \frac{1}{\sigma_x^2} \begin{pmatrix} 1 & -\mu_x \\ -\mu_x & \sigma_x^2 + \mu_x^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_{xy} + \mu_x \mu_y \\ \mu_y \end{pmatrix} \\ = \frac{1}{\sigma_x^2} \begin{pmatrix} \sigma_{xy} \\ \sigma_x^2 \mu_y - \sigma_{xy} \mu_x \end{pmatrix}$$

が得られ、これより、

$$\hat{a} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x^2} = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \cdot \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} = r_{xy} \frac{\sigma_y}{\sigma_x}$$

および

$$\hat{b} = \mu_y - r_{xy} \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \mu_x$$

が求められます。

付録 2 行列式の計算

行列式(Determinant)は正方行列に対応した一つの数値です。すなわち、行列と行列式には

行列: 要素(数値)の配列

行列式: 要素の値から算出した数値

という違いがあります。正方行列 $\mathbf{A}=(a_{ij})$ の行列式は次のように書きます。

$\det \mathbf{A}$ あるいは $|\mathbf{A}|$

n 行 n 列の正方行列 $\mathbf{A}$ が、

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1j} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2j} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & a_{ij} & \cdots & a_{in} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nj} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (\text{A2-1})$$

であるとき、 i 行と j 列を抜き取った $(n-1)$ 行 $(n-1)$ 列の行列の行列式を $\det \mathbf{A}$ の**小行列式**(Minor Determinant)といい Δ_{ij} で表します。さらに、

$$A_{ij} = (-1)^{i+j} \Delta_{ij} \quad (\text{A2-2})$$

を余因子(cofactor)と呼びます。

ここで、行列式 $\det \mathbf{A}$ を次のように定義します。

$$\det \mathbf{A} = |\mathbf{A}| = a_{11}A_{11} + a_{12}A_{12} + \cdots + a_{1n}A_{1n} \quad (\text{A2-3})$$

$$= a_{1j}A_{1j} + a_{2j}A_{2j} + \cdots + a_{nj}A_{nj} \quad (\text{A2-4})$$

ただし、

$$i, j = 1, 2, 3, \dots, n$$

で、どのような i, j に対してでも成り立ちます。

例(1)

$$\det \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} \\ = a_{11}A_{11} + a_{12}A_{12} \quad (\text{A2-5})$$

$$= a_{11}(-1)^{1+1}\Delta_{11} + a_{12}(-1)^{1+2}\Delta_{12} \\ = a_{11} \cdot a_{22} - a_{12} \cdot a_{21}$$

あるいは、

$$\det \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} = a_{11}A_{11} + a_{21}A_{21} \quad (\text{A2-6})$$

$$= a_{11}(-1)^{1+1}\Delta_{11} + a_{21}(-1)^{2+1}\Delta_{21} \\ = a_{11} \cdot a_{22} - a_{12} \cdot a_{21}$$

となります。

式(A2-5)を1行での展開といい、式(A2-6)を1列での展開といいます。もちろん、2行で展開しようが2列で展開しようが全く同じ結果です。

一般式では、式(A2-3)は i 行での展開、式(A2-4)は j 列での展開と呼びます。

行列式には次のような性質があります。

① $|\mathbf{A}^T| = |\mathbf{A}|$ である。

② 1つの行(or 列)がすべて0であれば、その行列式の値は0である。

③ 2つの行(or 列)が等しいときはその行列式は0である。

④ 2つの行(or 列)を交換すると符号だけが変わる。

⑤ 1つの行(or 列)を定数倍して他の行(or 列)に加えても行列式の値は変わらない。

⑥ 1つの行(or 列)を k (定数)倍すると行列式も k 倍される。

次に行列式を用いて連立方程式の解を得る方法を考えてみます。式(A1-12)のような連立方程式の解は行列を用いた場合、式(A1-17)で与えられましたが、式(A1-15)から、

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{c} = \mathbf{G}\mathbf{c} \quad (\text{A2-7})$$

であり、求めるベクトル $\mathbf{x}$ の任意の1つの x_j を取り出し、式(A1-16)を適用すると

$$x_j = g_{j1}c_1 + g_{j2}c_2 + \cdots + g_{jn}c_n \\ = \frac{1}{|\mathbf{A}|}(A_{1j}c_1 + A_{2j}c_2 + \cdots + A_{nj}c_n) \quad (\text{A2-8})$$

となり、丁度上式は、式(A2-4)を参照すれば、 j 列での展開に相当するので、 $a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj}$ の変わりに $c_1, c_2, \dots, c_n$ となったことに注目すると、式(A2-8)は、

行列 $\mathbf{A}$ の j 列の要素を取り除き、代わりに $c_1, c_2, \dots, c_n$ を入れることになる。

$$x_j = \frac{1}{|\mathbf{A}|} \begin{vmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1,j-1} & c_1 & a_{1,j+1} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & \cdots & a_{2,j-1} & c_2 & a_{2,j+1} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{n,j-1} & c_n & a_{n,j+1} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix} \quad (\text{A2-9}) \\ j = 1, 2, \dots, n$$

となります。 $|\mathbf{A}| \neq 0$ であれば式(A2-9)により、式(A1-12)の連立方程式の解が求められます。このようにして、行列式を用いる連立方程式の解法は、**クラメル(Cramer)の定理**として知られています。

例(2)

付録1の例(1)の方程式の解のうち x_2 をCramerの公式を用いて求めてみましょう。

$$x_2 = \frac{1}{\begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 0 & 3 \\ 3 & -1 & 1 \end{vmatrix}} \begin{vmatrix} 1 & 8 & 1 \\ 2 & 11 & 3 \\ 3 & 4 & 1 \end{vmatrix} \\ = \frac{1}{15} \{1 \cdot (11 \cdot 1 - 3 \cdot 4) - 2 \cdot (8 \cdot 1 - 1 \cdot 4) + 3(8 \cdot 3 - 1 \cdot 11)\} \\ = \frac{1}{15}(-1 - 8 + 39) = \frac{30}{15} = 2$$

のように正解が得られます。

超音波画像解析のための基礎講座

—超音波と画像解析の基礎—

岡本武昌、伏木哲史

(明治鍼灸大学 臨床柔道整復学 II 教室)

Keywords: 超音波、画像診断、電磁波、医療機器安全

【超音波骨観察器開発に至る経緯】

生体へ物理的エネルギーを加える際、生体の安全性を最優先に考えなければならない。X線(レントゲン線)の照射が生体破壊を引き起こすことは周知の事実である。40年以上前、当時の柔道整復師は筆者を含めて骨折などの診断に違法ながらX線を使用していた。しかしながら、X線の使用は違法であり、患者や撮影者に放射線障害を与えることは言うまでもない事実であった。また、X線撮影が即生体障害を引き起こすことに繋がることに気づかないこともあって、便利で安価なX線装置は当時の柔道整復師にとって必要な道具であった。

昭和40年頃大学の電気工学科に在籍していた筆者岡本武昌(すでに柔道整復師免許取得)は卒業研究のテーマとして超音波による骨の診断について検討を始めた。その結果、骨の超音波診断は可能であるものの、当時X線装置が約30万円程度で購入可能であったのに比べ、超音波装置の試作は極めて高価で推定約100万円を上回ると概算された(当時、大学新卒の初任給は2万円程度)。また超音波画像の鮮明度については全く不明といった状況であった。しかも周波数1MHz~10MHz($10^6 \sim 10^7$ Hz)の超音波に対してX線は $10^{18} \sim 10^{20}$ Hzであり、理論的にも解像度の点で超音波画像が劣ることは明白であった。

当時、多くの柔道整復師はX線講習会などを受講すればレントゲン撮影の許可が下りるのではないだろうかという幻想を有していた。(業界団体はそれなりに努力はしたものの認可には至らなかった)昭和50年に入り当時の厚生省は柔道整復師業界にX線使用の禁止通達を出した。当時の違法取り扱いが発覚した柔道整復師は業務停止が通達された。この通達によって、(社)日本柔道整復師会は柔道整復師が今後骨折などの施術ができなくなるのではという危機感をもち、骨観察法委員会(志保井先生、筑波大学名誉教授藤田先生および筆者ら)を立ち上げた。この研究会では超音波による骨

診断の可能性を精力的に検討し、試作品などを作って現在の超音波画像研究会に引き継がれている。骨観察法委員会は超音波による骨観察以外に近赤外線やMRI以外の磁気を用いた観察機器なども検討した。さらに超音波でも透過方式法では、反射方式法より遙かに精度の良い撮影が得られたが、費用の面(当時約3000万円)と装置が大掛かりとなるために断念せざるを得なかった。

【超音波とは】

X線は電磁波であり、超音波は音で力学的エネルギーであるため本質的な性質が全く異なる。電磁波はおおむね次のように分類できる。

低周波: $0 \sim 1000$ Hz、低周波治療器・刺激治療

高周波: $70 \sim 110$ MHz、FM放送、TV放送

: 2450 MHz、マイクロ治療器、電子レンジ(温熱)

光: 赤、橙、黄、緑、青、藍、紫(虹色種類)

$10^{14} \sim 10^{16}$ Hz

このうち、赤外線および紫外線はつぎのように分類できる、

赤: 赤外線(遠、近赤外線)、治療器、分析器

紫: 紫外線(遠、近紫外線)、殺菌作用

また放射線(X線、宇宙線)は $10^{18} \sim 10^{20}$ Hzであり非常に周波数は高くこのX線は診断装置や治療に用いられている。

電磁波に比して超音波は音波であり、通常可聴周波数は $5 \sim 20000$ Hzであるため、鼓膜を振動させる力学的エネルギーである(図1)

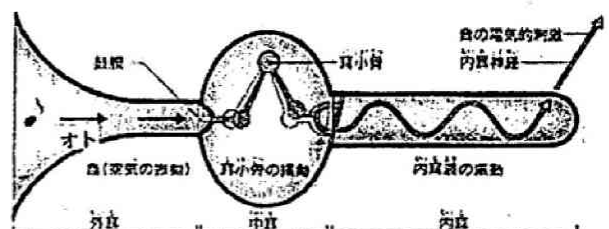


図1. 音を聞く生体図¹⁾

しかし、周波数が高くなり 20000Hz を超えるとヒトの鼓膜では刺激を認識できず、音として聞くことができない(コウモリやイルカなどは聞ける)。一般にこの音を超音波(ultrasonic)と呼び、「超音波とは聞くことを目的としない音」と定義されている²⁾。

【超音波の安全性】

X 線で問題になるヒトへの影響は超音波ではほとんどない。この前提の基に超音波観察機器が開発され生体へ適用されている。放射線のエネルギーは X 線で可視光線の 10^3 から 10^5 倍(1000~100000 倍)である³⁾。超音波の生体への作用は 1)熱作用、2)キャビテーションである。熱作用に対する安全基準は $100\text{mW}/\text{cm}^2$ であり、伝播媒体である生体組織の熱は循環系などにより運び去られ、非可逆的(元の状態に戻らない状態)な変化を受けることはない。 $1\text{W}/\text{cm}^2$ 程度になると機械力により組織に真空の泡が発生し、陰圧により組織損傷を引き起こす。⁴⁾ したがって超音波が生体に対して絶対的な安全を有するエネルギーでないことも認識する必要がある。

超音波の生体に及ぼす影響は、その強さと、作用させる時間とによって異なる。しかし、総エネルギー量、すなわち単位時間あたりの超音波エネルギー量(超音波強度)×作用時間は、生物学的有効さを推定する際の指標とはならない。超音波の酸化作用が強く現れるのは、比較的弱い超音波を照射する場合であり、逆に超音波が強すぎる時は、機械的作用は強いが酸化作用はかえって減衰することが知られている。機械的作用は強いが、酸化作用は逆に減衰する。また加熱作用は機械的作用の増大に伴い強くなる。このことは、超音波はその強度によって質的に異なった理化学的作用を及ぼすものであり、超音波強度の増大に伴い、超音波が持っている諸作用の全効果が一樣に増大していくものでないことを示している。以上のことから、超音波を生体組織に照射することによる組織検査や組織治療では、エネルギー限界を超えない限り安全な機器であるといえる。

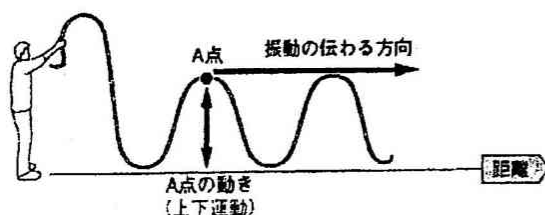


図2. 長いロープの端をつかんで上下に振ると波がつたわる

【超音波の物理的性質】⁵⁾

超音波は音波であり波である。音波には横波と縦波があり、横波は図2に示すように波の伝わる方向と振動の(揺れ)の方向が直角である。これに対して縦波は図3に示すように、波の伝わる方向と振動(揺れ)が同じである。どちらの場合も、波を伝える媒質(物質)自体が移動していくのではなく、その場で振動している。

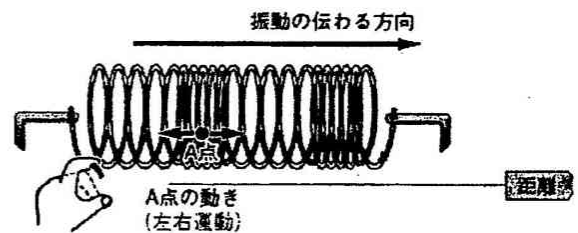


図3. コイルバネの両端を固定し、端をはじくとバネの間隔が疎になる部分と密になる部分が伝わっていく

(甲子乃人著超音波の基礎と装置より複写)

振動している部分が次々に波として伝わっていく。この速度を伝播速度と呼び、音波の伝わり方は縦波である。一般に波は周期を有し、図4に示す波長と周波数の関係がある。したがって周波数 1000Hz は 1 秒間に 1000 回の周期があることを示している。超音波診断でよく用いられる 5MHz は 1 秒間に 5,000,000 回の波の振動があることを示している。しかしながら、周波数の大小によって音速に変化があるわけではなく、媒体(物質)により変化する。一般に音波は空気中では 330m/秒、水中では 1500m/秒であり、

$$\text{音速} = \text{波長} \times \text{周波数}$$

の関係から、周波数が高くなるほど波長は短くなる。波の種類は連続波、パルス波、変調波および周波数変調があるが、超音波診断においてはパルス波を用いる。

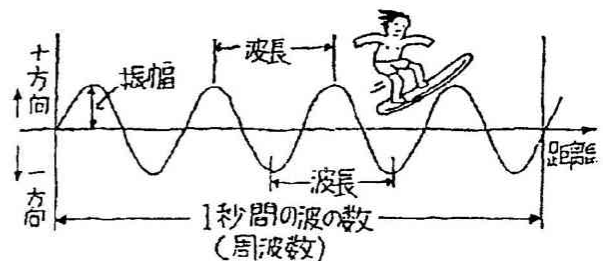


図4. 波の周期と長さとの関係

図5に連続波およびパルス波の特徴を示す。超音波は媒質(物質)の境界面で 1)反射、2)透過、3)屈折が起こり、反射角、臨界角、屈折角の法則が成立する。超音波のこの性質と鋭い指向性を用いて超音波画像診断が行

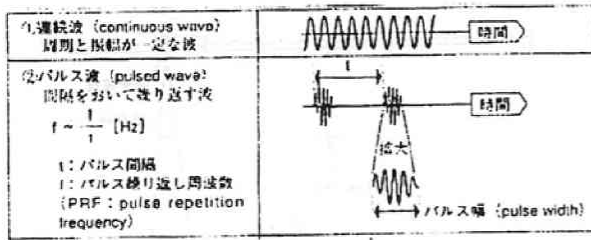


図5. 連続波およびパルス波の特徴

(甲子乃人著超音波の基礎と装置より複写)

われている。

反射:山などで大声を出すと対面の山などから自分の声がこだま(エコー)として返ってくることを経験する。生体組織などに超音波を照射すると同様の現象がおこる。ただ生体組織の反射は空気中のように単純ではない。これは音波が媒質の音響インピーダンスの異なる境界で一部が反射、一部は透過する性質を有する。画像診断の場合、境界は皮膚上と生体内あるいは軟部組織と骨と考えると理解が容易となる。したがって、生体組織は皮膚・脂肪・血管・神経・骨などが媒体であり境界である。

図6は境界面に対して直角に音波が入った場合に対する反射・透過の様子を示している。

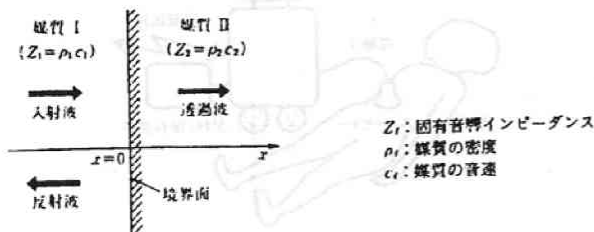


図6. 超音波が直角に媒体に入力した場合

(超音波診断装置:伊東正安、望月剛より転写)

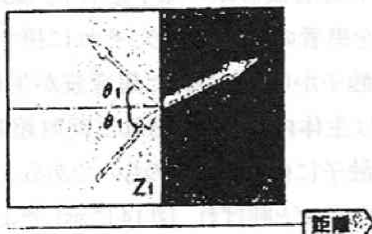


図7. 超音波が角度を有し媒体に入力した場合

図7は境界面に対して音波が斜めに入った場合に対する反射・透過の様子を示している。音速の異なる媒質の境界に入射した音波は屈折する。屈折の様子を図8に示す。そして媒体中を伝播する超音波は次第に減衰する。減衰とは吸収、散乱、反射などにより、音波の強さ

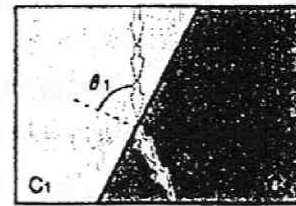


図8. 超音波の屈折

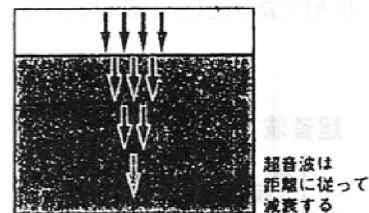


図9. 超音波の減衰

(図7から図9は甲子乃人著超音波の基礎と装置より複写)

が減少することをいう。生体組織は複雑であり媒体としては多種多様であるため、減衰も多様化している。また超音波診断で用いられる周波数において、減衰は距離と周波数に依存する。減衰は

減衰係数×距離×周波数

の関係が成り立つ。この値が大きいほど減衰しやすく、発射した超音波が組織の中で減衰され超音波信号の測定が困難となる。表1に示す通り、減衰係数は頭蓋骨、次いで空気が高い値である。逆に水は減衰しにくい。ため超音波診断器を用いる場合、皮膚表面に水もしくはゲル(水より減衰が小さい)などを用いている。また組織の深部であればさらに減衰が大きく、用いる超音波の周波数が大きくなるほど、減衰が大きい。したがって、診断で用いる超音波は周波数が低いほど減衰が小さい。しかし解像度(映像を正確に判断する力)はX線で理解されているように、高い周波数の超音波を用いた方がより鮮明な画像が得られる。このように減衰と解像度は周波数に対して相反する性質を有するため、生体の組織により周波数の高低が異なる。また軟部組織に比して骨は

表1. 媒質の伝播速度と減衰係数³⁾

媒質	伝播速度 m/s	1MHzでの減衰係数 db/cm
空気(0℃、1気圧)	331	12
血液	1570	0.18
脂肪	1450	0.63
筋肉	1585	1.3(繊維方向)
頭蓋骨	4080	13
水	1480	0.0022

10 倍以上も減衰が大きいことが軟部組織に比して骨画像は難しいといわれる理由の一つである。

上述した超音波の性質から生体組織に超音波を照射した場合の模式図を図 10 に示すことができる。しかし実際は組織の境界で屈折するので、さらに複雑な反射、吸収、屈折が起こる。しかし、Sonar(ソナー)や海底探査などは水中での探査であり、また金属の探傷器などは単純な直進、反射であり比較的簡単な測定、解析ができる。

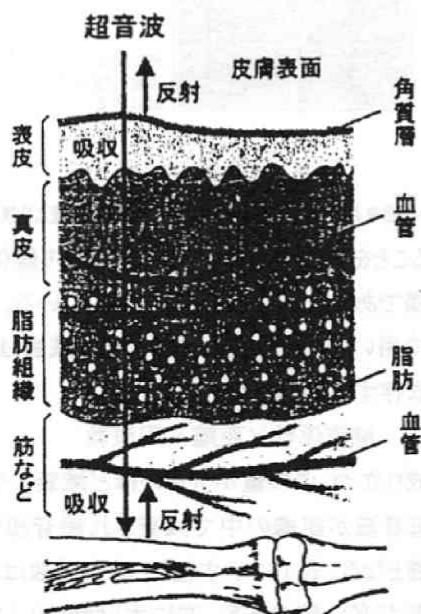


図 10. 超音波照射に対する生体内の超音波の動き

図 11 は海底測深や魚群探査を示すが、超音波の反射時間が t 秒とすると、深さや魚の深度は超音波の到達時間と反射時間を含むため 2 倍の時間を要する。超音波の水中速度を 1500m/秒とすると、実際の深度 $t \times 1500/2$ メートルとなる。深度測定は単純に反射波のみを測定すればよいが、魚群探査は魚の数や魚群の深さを測定しなければならず、超音波を広範囲な測定が必要となる。さらに生体では屈折・吸収などのためさらに複雑な解析が必要となる。また超音波では上述の性質以外に解像度を示す指標に分解能があり、周波数が高いほど分解能はよく、より鮮明な画像を得ることができる。

音源からの音は、図 12 のように拡散性質を有するので、音を一方向に集束してより遠方に細いビーム特性を得る必要がある。拡散した超音波の反射波の測定を行うのは非常に困難である。

【超音波診断装置の構成】⁶⁾

超音波診断装置は使用用途に応じていろいろな機種が

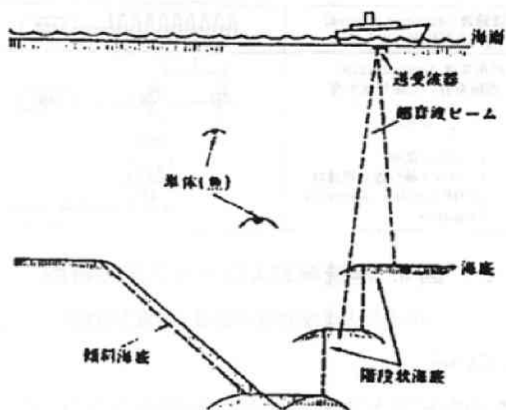


図 11. 海底測深と魚群探査

(超音波医学:日本超音波医学会編より複写)

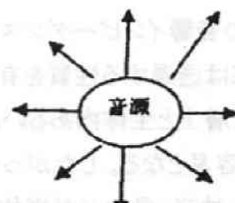


図 12. 音の拡散



図 13. 超音波診断の様子

(超音波診断装置:伊東正安、望月剛より転写)

ある。図 13 に超音波診断の様子を示す。探触子は通常、エコーゼリーを患者の体表に塗り、それに接するように置かれる。探触子から発射された超音波が生体に伝搬され、ゼリーは生体内から反射された反射超音波信号を効率よく探触子に伝えるためのものである。この探触子は一般にプローブと呼ばれ、図 14 に示したように様々な種類がある。図で明らかなように、プローブを体内に挿入する体腔内走行と体の外から皮膚を通じて超音波を送受信する体腔外走査の二種類に大別される。体腔外走査は一般的に行われる方法で経皮的走査とも呼ばれ、非常に幅広く用いられている。図 13 に基づいた超音波診断装置は図 15 に示す画像構成となる。図からも明らかなように、プローブで受診した超音波信号が直接画像

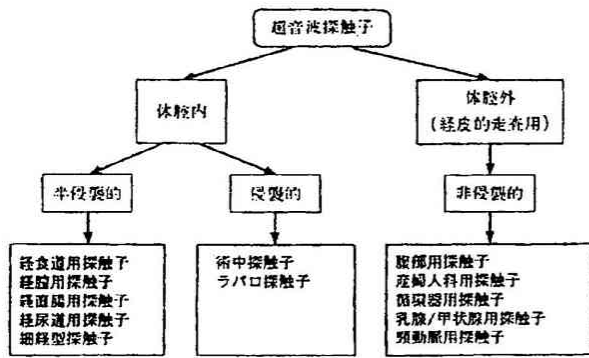


図14. 超音波プローブの種類

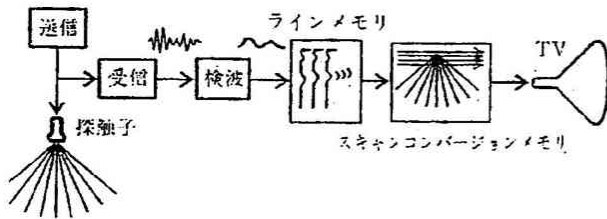


図15. 画像構成

(図14, 15 共超音波診断装置:伊東正安、望月剛より転写)

とはならず、種々なる画像作成のために加工される。プローブで受診した信号は、Aモード表示(Amplitude mode)、Bモード表示(Brightness mode)と心臓などの検査で多用されるMモード表示(Motion)で、エコーの振幅を表示する方法である。一般的には反射エコーの強さの変化を明るさ(輝度)の変化に変換(輝度変調)し画面に表示する。このとき、反射エコーが得られた位置(深さ)にのみ、輝点が表示される。1回の送受信で輝点が表示される場所の線を輝線(走査線:ラスタ)と呼ぶ。この送受信の繰り返し、エコー源となる元の位置や形を画像として得ることができる。このようにプローブによる超音波画像は1度の送受信で画像は得ることができない。超音波ビームの走行方式には以下の3つの方式がある。

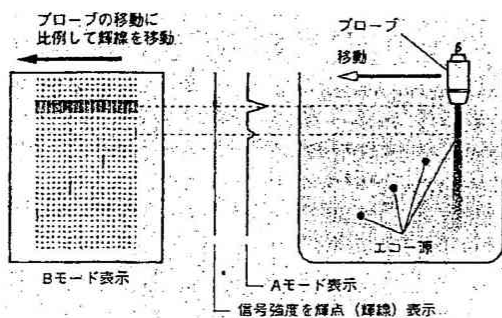


図16. Bモード表示

(甲子乃人著超音波の基礎と装置より複写)

電子走行方式
機械走行方式
手動走行方式

現在は電子走行方式が多く用いられる。反射エコー波形はa受信信号であり強度が数mV以下であるため、増幅してbの増幅信号にする。さらに正負信号は取り扱いが容易でないため、cの整流信号とし、包絡線としてdの検波信号に変換した後、アナログ信号をAD変換しeデジタル信号にする。デジタル信号を画面上に表示するため、f輝度信号として円の大きさで表示を行う。通常超音波診断装置ではTV信号で画面上に表示されるが、現在のTV画面の走査線は525本であるが、ハイビジョン画面では1050本となり、さらにフルハイビジョンでは約1800本であり鮮明な画像が得られるものと思われる。

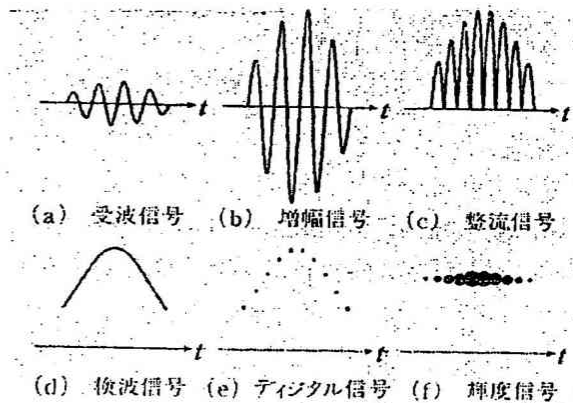


図17. 信号処理と画像表示

(岡田正彦著生体計測の機器とシステムより複写)

【超音波影像法】⁷⁾

超音波計測には種々の手法があるが、主に反射法と透過法が主たる分類である。

1)反射法:反射法は一つの振動子(プローブ内に有する)を送波子(超音波発信)と受波子(超音波受信)として用い、一つの振動子で発射した超音波より得られる情報を可視化する。振動子から反射物体までの距離が測定でき、物質の像が映像化できる。

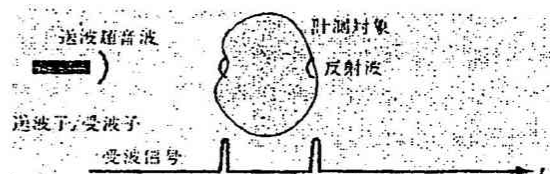


図18. 反射法 図18は反射法の計測対象の受信信号を示す。

2)透過法:送波子と受波子を間隔を置いて並べ、その間を透過した超音波より得られる情報を可視化する。プ

ローブに送波系と受波系内に持たず分離できるが、距離分解能を持たないため計測対象の映像化が困難である。X線法は送波子をX線、受波子をフィルムと考えることができるが、X線法はX線による計測対象の影の映像である。図19に透過法の計測概略を示す。

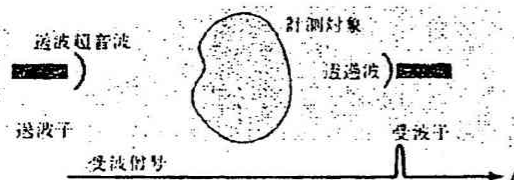


図19. 透過法

3)超音波イメージングシステム超音波による反射、透過のいずれもの方法でも画像は医療計測として十分ではない。現在、超音波画像は図20に示す超音波イメージングシステムでパルスエコーが用いられている。

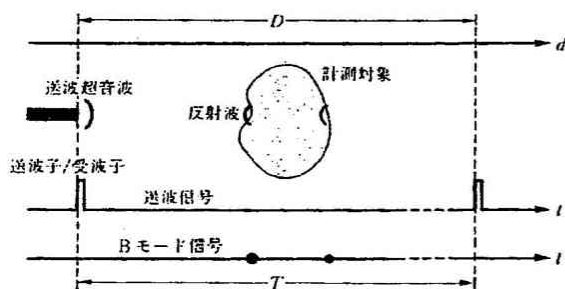


図20. 超音波イメージングシステム

手順は次の方法による。パルス発生器で振動数 100～1000V のパルス電圧を発生し、振動子で電気信号から機械振動に変換しビーム状の超音波を送波する。次いで計測対象の反射波を機械振動から電気信号に変換し超音波信号として受信し増幅などの信号処理をした後、ディスプレイ(画面)上に画像を表示する。超音波振動子は圧電体であり両面で振動するため(a,b)、一方向はゴムなどのパッキング材を付着させて送受信させないようにする(c)。超音波ビームは超音波振動子を一元的に配置した超音波プローブから送信される。ビーム走査は図22に示すような方法が用いられる。ビーム走査は

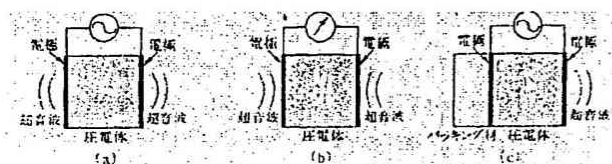


図21. 超音波振動子

長軸方向に遅延回路^注を用いて電子的に行われる。反射波を受信し、図17の信号処理後画像表示を行う。

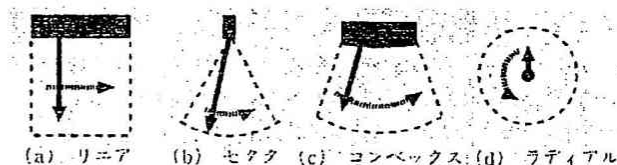


図22. 走査方式

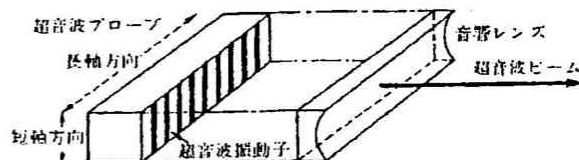


図23. 超音波プローブ

注)遅延回路とは超音波プローブが超音波振動子が順々に超音波を送信するため、少しずつずらし送信するための回路を意味する。

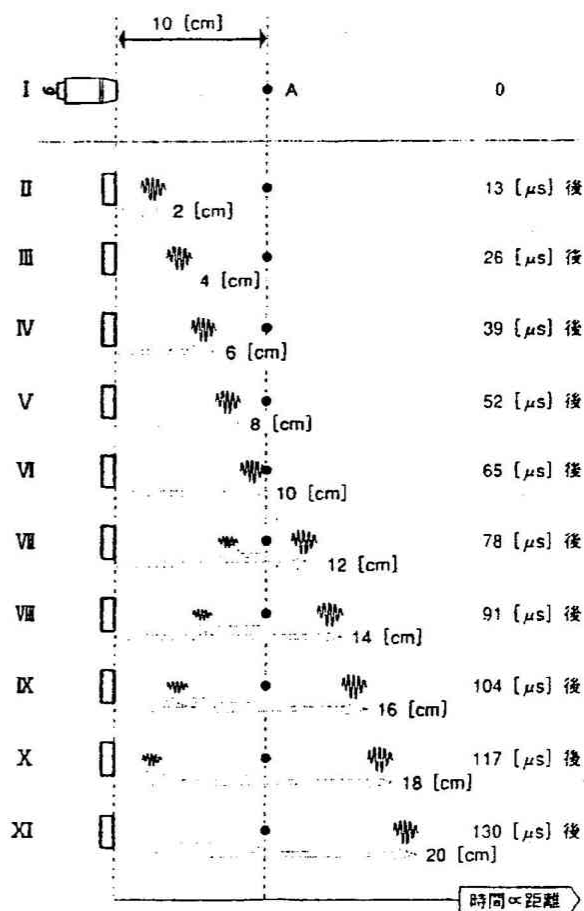


図24. パルス反射法の基本原理

【パルス反射法の原理】⁵⁾

超音波生体診断の際のパルス反射法の基本原理は図24に示したとおりである。

①生体中の音速を 1530m/秒で生体組織が一定とすると、音が 1cm 進むに要する時間は下記のとおりである。

$$1\text{cm}/1530\text{m/秒} = 6.5\ \mu\text{秒} = 6.5 \times 10^{-6}\ \text{秒}$$

=0.0000065 秒

- ②反射体 A までの距離を 10cm とすると音速が A に到達するに要する時間は

$$10 \times 6.5 \mu\text{秒} = 65 \mu\text{秒} = 0.000065 \text{ 秒}$$

となる。反射体 A から反射エコーが振動子まで返ってくるのは倍の距離であるから、

$$65 \mu\text{秒} \times 2 = 130 \mu\text{秒} = 0.00013 \text{ 秒}$$

かかる。

- ③20cm の深さまでエコーを検出したい時には、音を出してから反射エコーが返ってくるまでに

$$20 \times 6.5 \mu\text{秒} \times 2 = 260 \mu\text{秒} = 0.00026 \text{ 秒}$$

かかるので、音を出してから 260 μ 秒待つ必要がある。

- ④生体中に音を発射し、その直後から受信を始め、様々な深さからの反射エコーを受信しながら、260 μ 秒の間受信を続けると、超音波ビーム方向に 20cm の深さまで反射エコー信号を受信することができ、エコー信号が受信するまでの時間を測定すれば、どの位の深さからの反射信号かを知ることができる。

- ⑤この場合、最大 260 μ 秒ごとに超音波を送信できるので、一秒間の超音波送信回数は、

$$1 \text{ 秒} / 260 \mu\text{秒} = 1 \text{ 秒} / 0.00026 \text{ 秒} = 3800$$

から 3800 回となる。

- ⑥一般的な超音波診断装置は、およそ 20~25cm の生体深度までの診断が可能のように作られているので、上記したように一秒間に 3000~4000 回の超音波の送受信を行っている。

- ⑦上記の操作により超音波画像を作成している。

【おわりに】

前述したように超音波による生体測定は、超音波強度を注意すれば生体の安全性は確保できる。その安全性と引き換えに、生体画像の解像度は十分とは云えず、骨折診断としては不十分である。しかしながら軟部組織診断を行うには超音波の軟部組織における透過性や減衰性などから、適切な生体計測機器であるといえる。整形外科領域における超音波診断はまだ成熟しておらず、今後画像処理能力の向上などにより発展向上すると思われる。

以後、超音波診断の実際については嶋木敏輝氏⁸⁾に引き継がれます。

参考文献

- 1) 病気の地図帳: 講談社、p30、1992
- 2) 超音波医学: 日本超音波医学会編: 医学書院、P3、1979
- 3) 生体物性/医用機械工学: 池田研二、嶋津秀昭、秀潤社、p100、2000
- 4) 医用超音波機器ハンドブック: 日本電子機械工業会編、p88-91、コロナ社、昭和 60
- 5) 超音波の基礎と装置: 甲子乃人、ベクトル・コア、P3-11、1994
- 6) 超音波診断装置: 伊東正安、望月剛、コロナ社、2002
- 7) 生体計測の機器とシステム: 岡田正彦、コロナ社、2000
- 8) Jyusei ultrasonography 入門: 嶋木敏輝、JSSPOT、9(1)、2007

第9回日本スポーツ整復療法学会印象記

明官秀隆（国立久留米高等工業専門学校）

第9回日本スポーツ整復療法学会大会が千葉大学（写真）で開催されました。



JR 西千葉駅を下車するとすぐ千葉大学西千葉キャンパスの南門になっており、そこから広い構内を5～6分ほど歩いて行くと学会会場である法経学部校舎があります。会場周辺は体育施設や学生会館も近く便利で静かな環境の会場でした。学会の開催にあたっては、佐野裕司委員長をはじめ実行委員の皆様方のおかげで和やかな雰囲気の中、スムーズな運営がなされて大変感謝いたしております。

大会は、シンポジウムが3件、キーノートレクチャー2件、特別講演が1件、研究発表39件でほぼ昨年と同じ規模でした。

初日のスポーツ療法科学専門分科会シンポジウムが行われました。演題は1)「テーピング療法の現状」というテーマで片岡理事長の司会で進行された。講師は岡根知樹先生（キネシオテーピング協会）による「臨床領域におけるテーピングの実情」、蛭間栄介先生（帝京大学）による「スポーツ分野におけるテーピングの効果と役割」についての講演があり、片岡幸雄理事長から「末梢循環に及ぼすキネシオテーピングの効果」についての研究状況が報告された。また今後の展望として、現在文部科学省で中学・

高校のカリキュラムに導入する方向にあるが、現場の中・高等学校の教員に指導するカリキュラムや指導者が必要であること、またテーピングの効果についての科学的根拠や実証が十分なされていないことが問題として挙げられ、本学会のとりくむべき重要な臨床・研究課題である旨の説明がされました。

続いて、スポーツポディアトリー分科会による「足底板製作の理論と実際」では部会長の入澤 正先生の司会で足底板製作の実技が行われた。講師は渡邊英一先生（用田接骨院、神奈川県）と渋谷権司（渋谷接骨院、東京都）であり、実際に学生をモデルにして足の計測・分析に基づくラインの引き方から石膏による型どり、本物の樹脂による足底板作製・研磨・調整過程を壇上で実演され、オーストラリアポディアトリー仕込みの理論と豊富な経験に裏打ちされたノウハウを短時間の内に披露していただきました。間近でこの実演を拝見できる機会は滅多にないので、会員は実習の壇上の近くに寄って食い入るように両先生の手さばきを観察していたのが印象的であった。足底板治療によせられる関心の高さがうかがえました。

二日目は、9時から Keynote レクチャーが増原副会長の司会で2演題行われた。まず嶋木敏輝先生（嶋木接骨院、千葉県）の「運動器の超音波検査」では先生の豊富な臨床経験から軟部組織の超音波診断の基礎と実際のテクニックが披露された。講演時間が30分と短かったので、臨床家にとってはさらにこのような機会があればとの声も聞こえた。続いて片岡繁雄会長による「柔道整復学における社会調査法」と題するレクチャーでは会長の最も得意とする研究手段であり、これから研究を始めようとする研

究者には非常に有益なレクチャーであった。社会調査法はそのやり方によっては全く奇妙な



結果を惹起する可能性があり注意深い検討が必要であると述べられた。続いての特別講演は千葉大学教授（教育学部養護教諭課程）で小児科医でもある杉田克生先生が「治療家やスポーツ指導者に知ってもらいたい小児科の病気」というテーマで約1時間に渡って講演された。その中では特に臨床医としての経験と立場から柔道整復師やスポーツ指導者に知っておいてもらいたい感染症や神経系からくる運動障害などについてお話しされた。その後、会場からは発育・発達障害と外傷的傷害との関係などについて活発な意見や質問が約20分位なされ、貴重な情報が得られました。

午後には「加齢に伴って増加する三大症状（肩痛症、腰痛症、膝痛症）にどのように対応すべきか？」と題する特別企画シンポが岡本武昌副会長の司会で一般公開としておこなわれた（写真）。一般県民にも役立つシンポ内容であったため約80名の一般参加があった。一番手



は本学会の片岡繁雄会長であり「接骨院における全国患者調査の結果から」では10年以上にわたる調査結果から肩痛症、腰痛症、膝痛症が国民の最も多い疾患であることが報告された。続いて、整形外科医の立場から清水泰雄氏、柔道整復師の立場から原 和正氏、テーピング療法の立場から加瀬建造氏、スポーツ科学の立場から片岡幸雄氏からそれぞれの立場から問題点、対処法などが主張された。

一般研究発表については、初日の午前および午後に集中的に105および106講義室の2ヶ所で同時に行われました。今回の発表では千葉大学・東京海洋大学・明治鍼灸大学などの若手研究者の発表が2桁もあり、本学会における若い力の台頭を感じました。

また、インフォームドコンセントやライフスタイルなどに関する継続的研究、骨折・腰痛・足関節などの臨床研究が多数発表され熱心な質疑応答がなされていました。その中で、著者が印象に残ったことは、増原光彦副会長から「商業ベースでのネーミングを安易に使うのではなく科学的定義に基づく正しい名称を使用すべきではないか」という問いかけがなされたことであった。また片岡繁雄会長からは「アンケート調査にあたっては回答を誘導するような設問にならないよう十分に配慮すべきではないか」との助言があった。これらのことは、個別の研究発表だけに関わる問題ではなく、研究や調査にあたって本学会員全員が共通認識として持つべき根本的課題であると痛切に考えさせられました。このような重要な問題提起ないしは示唆が両氏からなされていたのが今回最も印象に残りました。

最後に、本学会の開催ならびに運営にご尽力されました千葉大学関係者ならびに実行委員の諸先生に心から感謝申し上げます。来年は本学会設立10周年であり、第1回大会が行われた東京商船大学（現東京海洋大学）で開催されるとのことであり多くに会員の参加を希望しております。

第10回日本スポーツ整復療法学会大会のご案内(第1報)

1. 会期:平成20年10月25日(土)・26日(日)
2. 会場:東京海洋大学 〒108-8477 東京都港区港南4-5-7
3. 交通:JR「品川」駅より徒歩10分
4. 日程:
 - 1) 10月24日(金)
 - 16:00～17:00:役員会
 - 17:00～18:00:理事会
 - 2) 10月25日(土)
 - 9:00:大会実行委員会
 - 9:30～11:30 研究発表, 活動報告
 - 11:30～12:00 評議員会
 - 昼食
 - 13:00～18:00 研究発表、活動報告、専門分科会シンポジウム
 - 18:30～20:30:懇親会
 - 3) 10月26日(日)
 - 9:00～10:30:研究発表、活動報告
 - 10:30～12:00:特別講演、
 - 12:00～12:30:総会
 - 昼食
 - 13:30～16:30:研究発表、活動報告、全体シンポジウム
 - 17:00:大会実行委員会
5. 大会内容
 - 1) 特別講演
 - 2) 全体シンポジウム、専門分科会シンポジウム
 - 3) 一般研究発表・活動報告
6. 会議等
 - 1) 役員会
 - 2) 理事会
 - 3) 評議員会
 - 4) 総会
 - 5) 懇親会
 - 6) 大会実行委員会

* 日程表及びプログラムの内容は、変更する場合がありますのでご了承下さい。

お詫びとご案内

日本スポーツ整復療法学会会員の皆様にはご健勝にご活躍のことと心よりお喜び申し上げます。

さて、日本スポーツ整復療法学研究第9巻1号におきまして、堀井仙松先生ご執筆の教育講座9、“スポーツ・医療科学のための確率統計講座”におきまして、編集の不手際で文字、記号が不鮮明となりましたことに、編集の責任者として心よりお詫び申し上げます。特に執筆頂いた堀井仙松先生には苦渋のご心配とご迷惑をおかけし、また会員の皆様にも大変貴重な教育講座を無に帰してしまい、大変ご迷惑をおかけしたことに、心よりお詫び申し上げます。

つきましては、通しのページはそのまま、日本スポーツ整復療法学研究第9巻3号に改めて掲載させて頂き、第1号の分を削除することにいたしたいと思っております。

この度の不手際に重ねてお詫び申し上げ、今後とも日本スポーツ整復療法学会によりしくご指導、ご協力頂きますように心よりお願い申し上げます。

平成20年3月12日

日本スポーツ整復療法学研究
編集委員長 増原光彦

日本スポーツ整復療法学会定款

平成11年5月1日施行

平成12年10月30日改訂

平成15年10月18日改訂

平成19年10月21日改訂

第1章 総則

第1条 本会は日本スポーツ整復療法学会という。英文名を The Japanese Society of Sport Sciences and Osteopathic Therapy (略称 JSSPOT) とする。

第2条 本会は事務局を理事長の所在地に置く。

第3条 本会は評議員会の審議を経て理事会および総会の議決により支部を置く。

第2章 目的および事業

第4条 本会はスポーツ医科学、柔道整復学および関連諸科学に関する学際的研究とそれらの情報交換を行い、スポーツ整復療法学の構築ならびにその発展を図ることを目的とする。

第5条 本会は目的を達成するために次の事業を行う。

- 1) 研究発表会ならびに学術講演会等の開催
- 2) 学会誌ならびに学術図書等の刊行
- 3) 内外の関連学会との交流
- 4) その他目的を達成するための必要な事業

第3章 会員

第6条 本会の会員は次のとおりとする。

- 1) 正会員 社会人であってスポーツ整復療法に学問的関心を持つ個人
- 2) 学生会員 学生であってスポーツ整復療法に学問的関心を持つ個人
- 3) 賛助会員 本会の事業に賛助する法人
- 4) 講読会員 スポーツ整復療法学研究の講読のみを希望する個人および法人

第7条 本会に入会しようとする者は正会員1名の推薦を得て会長宛に入会申込書を提出し理事会の承認を得ることとする。

第8条 会員は以下に定めた入会金および年会費の支払いを義務とする。

入会金	1) 正会員	2000 円
	2) 学生会員	0 円
	3) 賛助会員	2000 円
	4) 講読会員	0 円
年会費	1) 正会員	8000 円
	2) 学生会員	5000 円
	3) 賛助会員	一口 8000 円 (何口でも可)
	4) 講読会員	8000 円

第9条 会員が退会しようとするときは、退会届を会長宛に提出しなければならない。

第10条 会員が次の各項に該当するときは会長は理事会の議決を経て除名することができる。

- 1) 本会の名誉を著しく傷つけ本会の目的に違反する行為があったとき
- 2) 本会の会員としての義務を怠ったとき

第4章 役員、評議員、顧問および相談役

「役員」

第11条 本会に次の役員を置く。

- 1) 会長1名、副会長2名、理事長1名および理事を含め20名以内
- 2) 監事2名
- 3) 上記の役員の他、会長は若干の役員を指名することができる。

第12条 役員の選出および承認は下記のとおりとする。

- 1) 役員は立候補により正会員の中から選出する。
- 2) 会長、副会長および理事長は理事の中から互選し総会で承認されなければならない。
- 3) 選出細則は別に定める。

第13条 役員の業務は下記のとおりとする。

- 1) 会長は本会の業務を総理し本会を代表する。
- 2) 副会長は会長を補佐し会長が欠けたときその職務を代行する。
- 3) 理事長は理事会を代表する。
- 4) 理事は理事会を組織し、本会の定款に定められた事項等を議決し執行する。
- 5) 監事は本会の業務および財産管理の業務の監査を行う。

第14条 役員の任期は3年とし再選を妨げない。役員の退任に伴う後任役員の任期は現任者の残任期間とする第15条役員が下記の項目に該当するとき、理事会の4分の3以上の議決により第

15条 これを解任することができる。

- 1) 心身の故障のため職務の執行に耐えられないと認められるとき
- 2) 役員としてふさわしくないと認められるとき

第16条 役員は無給とする。

「評議員」

第17条 本会に評議員50名以内を置く。

第18条 評議員は北海道地区、東北地区、関東地区、北信越地区、東海地区、関西地区、中国・四国地区および九州地区から比例配分数を投票により選出し総会で承認する。なお選出細則は別に定める。

第19条 評議員は評議員会を組織し、本会の定款に定める事項の他、理事会の諮問に応じ審議し助言する。

第20条 評議員は第14条、第15条および第16条を準用する。

「顧問および相談役」

第21条 本会に顧問および相談役を置くことができる。理事会の議決を経て会長が委嘱する。

第5章 会議

「理事会」

第22条 理事会は毎年2回会長が召集する。但し理事の3分の1以上から開催を請求されたとき、または理事長が必要と認めたときはこの限りでない。理事会の議長は理事長とする。

2) 理事会は定数の3分の2以上の出席がなければ開催し議決することはできない。ただし委任状をもって出席とみなす。

3) 議決は出席者の過半数とし、可否同数のときは議長が決定する。

第23条 理事会は各種委員会を設置することができる。

「評議員会」

第24条 評議員会は毎年1回会長が召集する。但し会長が必要と認めたときはこの限りでない。評議員会の議長は評議員の互選とする。

2) 評議員会は定数の2分の1以上の出席がなければ開催し議決することはできない。但し委任状をもって出席とみなす。

3) 議決は出席者の過半数とし、可否同数のときは議長が決定する。

「総会」

第25条 総会は正会員で構成し、毎年1回会長が召集する。但し正会員の3分の1以上から開催を請求されたときまたは会長が必要と認めたときはこの限りでない。総会の議長は正会員の互選とする。

2) 総会は定数の10分の1以上の出席がなければ開催し議決することはできない。但し委任状をもって出席とみなす。

3) 議決は出席者の過半数とし、可否同数のときは議長が決定する。

第26条 総会は次の事項を議決する。

- 1) 事業計画および収支予算
- 2) 事業報告および収支決算
- 3) 財産目録および貸借対照表
- 4) その他必要事項

第6章 資産および会計

第27条 本会の資産は次のとおりとする。

- 1) 入会金および年会費
- 2) 寄付金
- 3) その他の収入

第28条 本会の会計年度は毎年4月1日から翌年3月31日までとする。

第7章 定款の変更

第29条 本会の定款の変更は評議員会の審議を経て、理事会および総会のそれぞれ4分の3以上の議決を経なければならない。

第8章 補足

第30条 本会の定款の施行細則は評議員会の審議を経て理事会および総会の議決を経なければならない。

付 則

第4章の規定にかかわらず、本会の設立当初の役員および評議員の任期は平成13年3月31日までとする。本会の定款は平成11年5月1日より施行する。

「日本スポーツ整復療法学会」個人会員入会申請用紙

・申込はこの用紙をコピーして必要事項を記入の上、事務局へ FAX で転送して下さい

申請年月日	(西暦) 年 月 日	事務局 FAX:043-290-3773	
会員資格	正会員 ・ 学生会員	都道府県名	
ふりがな 氏 名	印	郵便物送付先に○を付ける 自宅 勤務先	
生年月日	(西暦) 年 月 日生		
勤務先名			
勤務先住所	〒		
	電 話		FAX
	E-mail		
自宅住所	〒		
	電 話		FAX
	E-mail		
職業分野・免許 ○印を付ける	柔道整復師 鍼師 灸師 マッサージ師 理学療法士 カイロプラクター 大学教師 専門学校教師 医師 大学院生 学部生 専門学校生 その他()		
所属職能団体 ○印を付ける	日整 JB NSK 全国柔整師会 医師会 JATAC 大学 学生 専門学校生 研究所 その他()		
所属学会			
学 歴	高 校: 大学: 専門学校等:		
推薦者会員名	印	都道府県名	

※(正会員・学生会員の入会ともに、申請時は推薦者として正会員1名の推薦が必要)

正会員：入会金 2,000 円、年会費 8,000 円 学生会員：入会金 0 円、年会費 5,000 円

下記にお振込下さい。

郵便振替番号:00110-4-98475

口座名義：日本スポーツ整復療法学会

「スポーツ整復療法学研究」寄稿規約

1. スポーツ整復療法学研究は、日本スポーツ整復療学会の機関誌で、「総説」「原著論文」「症例研究」「研究資料」「活動報告」「教育講座」「学会通信」「会員動向」等を掲載する。
2. 本誌への寄稿は原則として、共著者を含めて日本スポーツ整復療学会正会員に限る。内容はスポーツ整復療法の研究領域における「総説」「原著論文」「症例研究」「研究資料」および「活動報告」で、未発表で完結したものに限る。
3. 論文等を寄稿する際は「執筆要領」に従って作成する。
4. 「総説」「原著論文」「症例研究」「研究資料」および「活動報告」の掲載に際し、その採否、修正の要求、掲載順位の指定および校正(初校は著者)などは編集委員会が行い、編集委員長名で著者に連絡する。
5. 投稿原稿は書留便で、封筒の表に「スポーツ整復療法学研究投稿原稿」と朱書きし、オリジナル1部とコピー3部(図表を含む)を学会事務局宛に送る。掲載が決定した後に、最終原稿を入力したフロッピーディスク(3.5 インチもしくは CD を用い、TXT 形式で保存)を提出する。提出原稿等は原則として返却しない。
6. 寄稿に際し、「総説」「原著論文」および「症例研究」は1万円、「活動報告」および「研究資料」は5千円を審査料として学会事務局の郵便振込口座に振り込み、振込用紙のコピーを同封する。振込用紙には必ず内訳を記入する。
7. 別刷は30部までを無料とし、それ以上は著者の負担とする。

「執筆要領」

A 「総説」「原著論文」「症例研究」および「研究資料」

1. 「総説」「原著論文」「症例研究」および「研究資料」は図表を含めて刷り上がり8ページ以内を原則とする。超過したページについては著者負担とする(料金は別に定める)。
2. 原稿は必ずワードプロセッサを用いて、新かな使い、常用漢字を用いて、A4版用紙に横書き印刷する。
3. 外国語言語は欧文フォントを使用する。ただし、日本語化した語はカタカナ標記(全角)を使用してもよい。数字は算用数字、単位符号は原則としてCGS単位を用い、mm, sec, cm, ml, μ gなどとする。圧の単位はmmHgを用いてもよい。
4. 図(写真)表は必要最低限にとどめ、A4版用紙に各1枚に収載し、番号(例:Table.1, Fig.1、または表1、図1)とタイトルを付け、且つ英文併記が望ましい。図(写真)表の挿入場所を本文原稿の余白に朱書きする。なお、製版が不適当と認められる図表は書き変えることがある。その際の実費は著者負担とする。
5. 和文論文原稿の形式は以下の順に従う。
 - a) 原稿の第1ページに「表題」「著者名」「所属名」「キーワード5個以内」「原稿の種類」「別刷請求部数」「連絡先:住所、氏名、電話 FAX 番号、E-mail」等を記載する。
 - b) 本文は目的(緒言)、方法、結果、考察、結論、引用文献および図表(写真)の順とし、印刷は「10ポイント、23文字 X38行の2段組み、総文字数1748字」程度で行う。改行は冒頭1字を下げる。
6. 和文原稿には英文のタイトル、著者名、所属名、キーワードを必ずつける。また、英文抄録(400語以内)をつけることが望ましい。英文は専門家のチェックを必ず受けること。
7. 英文原稿には原則として、上記に準じ、和文抄録をつける。
8. 引用文献は主要なものに限り30編以内とする(総説の場合は制限なし)。文献は本文の引用順に引用番号を付し(半角片カッコ内に半角数字で記入する。例:片岡ら1)によれば・)、引用番号順に記載する。

a) 雑誌の場合は、全著者名、年号、表題、雑誌名、巻数、頁一頁の順に記す。

1) 佐野裕司、白石聖、片岡幸雄(1998)背側筋群の強化を目的とした体幹筋運動が腰筋の圧痛に及ぼす効果、柔道整復・接骨医学7(1):3-12

2) Kataoka, K., Sano, Y., Imano, H., Tokioka, J. and Akutsu, K. (1993) Changes in blood pressure during walking in the elderly persons with hypertension, Chiba Journal of Physical Education. 17:33-38

b) 単行本は全著者名、発行年、標題、書名、編集者名、版数、発行所、発行地、引用頁の順に記す。

1) 熊谷秋三:誤った運動法(1993)健康と運動の科学、九州大学編、初版、大修館書店、東京:209-211

2) Expert Committee of Health Statistics (1995) Report of the Second Session, WHO Technical Report Series, 25

B 「活動報告」

図表写真を含め2ページ(400字原稿用紙8枚)以内を原則とし、上記の執筆要領に準じて作成する。

編集後記

今回のスポーツ整復療法学研究の発刊にあたって、まずお詫び申し上げねばならないことは、第9巻1号における教育講座:“スポーツ・医療科学のための確率統計講座”で大きな印刷ミスがあったことです。印刷段階でのチェックが不十分であったことを深くお詫び申し上げる次第です。今回はその再掲載となり、“続・医療科学のための確率統計講座”は第10巻1号からになりましたことのご了承をお願い申し上げます。

ところで、最近地球温暖化の問題が、環境科学をはじめとするいろいろな分野で話題となり、テレビ放送などで特集が組まれることが多くなってきております。このような環境の変化は当然人間や動植物の健康な生活に大きな影響を及ぼすことは言うまでもありません。地球温暖化を防ぐ努力も大切ですが、環境の変化やそれに伴う生活習慣に適応した健康管理に対する対策も必要な時代を迎えているように思われます。特に日本だけでなく世界的にも高齢化社会を迎えている今日では、将来を見据えたこのような健康管理に関する研究の必要性も無視することは出来なくなっていると言えます。われわれの研究活動がこのような時代の健康管理に少しでも役立つことが出来ればと思う今日この頃です。

さて、本学会誌9巻3号では、原著論文3編、教育講座2題および第10回「日本スポーツ整復療学会大会」の案内が主要な内容となりましたが、本学会の会員数を考慮すると、今回にかぎらずやや発表論文の少ないことが気になります。本学会における研究分野の広がりとともにその成果が期待されている今日、スポーツ医療・福祉の研究に関連して、最近では整復療法の研究が見直されてきております。本学会会員の皆様の研究活動とその成果を数多く公表していただき、健康管理・治療技術の分野に対して大きな貢献の出来ることを限りなく願っております。

(編集委員 堀井仙松)

編集委員会

増原光彦 (委員長)

岩本芳照 堀井仙松 嶋木敏輝 村松成司

Journal of Sport Sciences and Osteopathic Therapy
Vol.9 No.3 March 2008

禁無断転載

スポーツ整復療法学研究 第9巻・第3号)

非売品

2008年3月24日発行

発行者 日本スポーツ整復療学会

会長 片岡繁雄

発行所 日本スポーツ整復療学会 (<http://www.jsspot.org>)

〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33

千葉大学教育学部スポーツ科学課程 片岡幸雄

TEL & FAX : 043-290-3773

E-mail : ykataoka@faculty.chiba-u.jp

郵便振替 : 00110-4-98475

印刷所 三京印刷株式会社

〒112-0005 東京都文京区水道 1-8-8

TEL:03-3813-5441 FAX:03-3818-5623

JOURNAL OF SPORT SCIENCES AND OSTEOPATHIC THERAPY

CONTENTS

Originals

Hiroshi Aoyagi, Tadashi OKUMOTO

Relationship between standing position, plantar pressure, and sports disorders in women volleyball player • • [155]

Yuji HATTORI, Shigeji MURAMATSU, Yoji HATTORI

Height and muscular strength as determinants of success in sumo wrestling • • • • • [165]

Yukio KATAOKA, Kou UJIIE

Effect of exercise duration on blood pressure and peripheral circulation in young adults measured
by accelerated plethysmography • • • • • [173]

Lectures

Senmatsu HORII

Lectures of probability statistics for sports and medical sciences • • • • • [181]

Takemasa OKAMOTO, Satoshi HUSHIKI

Fundamentals of Ultrasonic Image Diagnosis • • • • • [189]

News