

博士論文

子どもの身体組成および重心動揺における評価指標の開発

令和元年度

溝 畑 潤

目次

関連する論文および学会発表	i
略語について	ii
第1章 序章	1
1. 1 はじめに	1
1. 2 身体組成評価法に関する先行研究	4
1. 3 生体インピーダンス法による子どもの身体組成評価に関する先行研究	5
1. 4 重心動揺に関する先行研究	6
1. 5 子どもの重心動揺に関する先行研究	8
1. 6 研究の目的	9
第2章 身体組成推定法の測定方法および重心動揺の測定方法	10
2. 1 身体組成推定法の測定方法	10
2. 1. 1 水中体重秤量法	10
2. 1. 2 重水希釈法	10
2. 1. 3 二重エネルギーX線吸収法	11
2. 1. 4 両掌間生体インピーダンス法	12
2. 1. 5 重心動揺の測定方法	13

第3章 日本人の子どもの身体組成の推定精度に関する検討・・・・・・・・・・ 15

3.1 緒言・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 15

3.2 方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 16

3.2.1 対象者・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 16

3.2.2 測定手順・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 17

3.2.3 統計処理・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 17

3.3 結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 18

3.4 考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 21

3.5 まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 23

第4章 両掌間生体インピーダンス法による日本の子どもの除脂肪量推定式の開発・・ 24

4.1 緒言・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 24

4.2 方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 26

4.2.1 対象者・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 26

4.2.2 測定手順・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 29

4.2.3 統計処理・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 29

4.3 結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 30

4.4 考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 34

4.5 まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 37

第5章	子どもの重心動揺における評価指標の開発	38
5.1	緒言	38
5.2	方法	40
5.2.1	対象者	40
5.2.2	測定方法	41
5.2.3	統計処理	42
5.3	結果	43
5.3.1	重心動揺値の年齢変化と性差について	43
5.3.2	重心動揺値の評価基準と横断的発達基準曲線の作成	46
5.4	考察	58
5.4.1	重心動揺値の年齢変化と性差について	59
5.4.2	重心動揺値の評価基準と横断的発達基準曲線の作成	60
5.5	まとめ	63
第6章	重心動揺図を用いた重心動揺パターンの評価について—小学生—	65
	の重心動揺パターンと重心動揺値および体カテストの関係から—	
6.1	緒言	65
6.2	方法	67
6.2.1	対象者	67
6.2.2	重心動揺の測定	69

6. 2. 3	体力テストの測定	69
6. 2. 4	重心動揺パターンの定義	70
6. 2. 5	統計処理	71
6. 3	結果	71
6. 3. 1	性別および学年別にみた重心動揺パターンの割合について	71
6. 3. 2	重心動揺パターンと重心動揺値（単位面積軌跡長）の関係について	74
6. 3. 3	重心動揺パターンと体力テストの関係について	76
6. 4	考察	80
6. 4. 1	性別および学年別にみた重心動揺パターンの割合について	80
6. 4. 2	重心動揺パターンと重心動揺値（単位面積軌跡長）の関係について	81
6. 4. 3	重心動揺パターンと体力テストの関係について	82
6. 5	まとめ	85
第7章 総括		86
参考文献		89
謝辞		102

関連する論文および学会発表

本研究は、以下の論文、未発表論文および学会発表に基づいて作成された。

【学術論文】

- 1) 溝畑潤・中塘二三生・大河原一憲・金憲経・田中喜代次・田路秀樹（2017）日本人の子どもの身体組成の推定精度に関する研究—水中体重秤量法，重水希釈法及びDXAにより求めた除脂肪量から—。教育医学，62：411-417。（主に第3章を構成）
- 2) 溝畑潤・中塘二三生・大河原一憲・金憲経・田中喜代次・田路秀樹（2018）両掌間生体インピーダンス（HHBI）法による日本の子どもの除脂肪量（FFM）推定式の開発。健康支援，20：9-16。（主に第4章を構成）
- 3) 溝畑潤・田路秀樹（2020）子どもの重心動揺における評価基準と横断的発達基準曲線の開発。教育医学，65：171-184。（主に第5章を構成）
- 4) 溝畑潤・田路秀樹（2019）重心動揺図を用いた重心動揺パターンの評価について—小学生の重心動揺パターンと重心動揺値および体力テストの関係から—。大阪体育学研究，58：40-50。（論文受理、掲載予定。なお電子ジャーナルでは公開されていない）（主に第6章を構成）

【学会発表】

- 1) 溝畑潤・田路秀樹（2016）小学校低学年の児童における重心動揺と運動能力の関係について。日本体育学会第67回。

- 2) 溝畑潤・田路秀樹 (2017) 小学生における重心動揺の試行間および日間信頼性の検討
—小学校中学年を対象として—日本体育学会第 68 回大会.
- 3) 溝畑潤・田路秀樹 (2019) 子どもの重心動揺値の評価基準の作成. 日本体育学会第 70 回大会
- 4) 溝畑潤・田路秀樹 (2019) 子どもの重心動揺値の横断的発達基準曲線の作成. 第 74 回日本体力医学会

略語について

本研究の略語は以下の通りである。

- ・ 生体インピーダンス法 (Bioelectrical Impedance : 以下 BI とする)
- ・ 二重エネルギー X 線吸収法 (Dual energy X-ray Absorptiometry : 以下 DXA とする)
- ・ 水中体重秤量法 (Underwater Weighing : 以下 UWW とする)
- ・ 重水希釈 (Deuterium Dilution Technique : 以下 DDT とする)
- ・ 体密度 (Body Density : 以下 BD とする)
- ・ 体水分量 (Total Body Water : 以下 TBW とする)
- ・ 除脂肪量 (Fat Free Mass : 以下 FFM とする)
- ・ 脂肪量 (Fat Mass : 以下 FM とする)
- ・ 体脂肪率 (Percent body fat : 以下 %BF とする)

- 両掌間生体インピーダンス法 (Hand-to-Hand Bioelectrical Impedance : 以下 HHBI とする)
- 推定式作成群 (以下 Validation 群とする)
- 交差妥当性群 (以下 Cross-validation 群とする)
- 姿勢制御 (以下直立能力とする)
- 足圧中心動揺 (Center of Pressure : 以下 COP とする)

なお、これらの略語は各章で説明する。

第1章 序章

1.1 はじめに

近年、我が国における子どもの生活環境は、心身の健康やQOL（生活の質の向上）といった視点から決して良好な状況にあるとは言えない。様々な環境要因（都市化による遊び場の減少、少子化、塾や習い事による生活時間の変化、携帯電話やコンピューターの普及、コンビニエンスストアなど）が、子どもの身体的発育発達にも影響を及ぼしている（明石，2019；前橋，2006；杉原，1999；山縣と秋山，2019）。特に幼児期、児童生徒期の子どもの身体活動量の減少や偏食、睡眠不足は、肥満や痩せを引き起こし身体組成の発育に影響するとともに、身体の歪みや姿勢保持能力の低下による身体バランス能力（平衡機能）の発達にも影響を及ぼすと考えられる（赤松，2019；富樫，2011；丹羽，1995）。こうした環境要因による子どもの身体的発育発達への影響は、成人期の生活習慣病への移行に大きく関与する（萬ら，2006）。一方、子どもの身体的発育発達の客観的な評価基準は、身長と体重による横断的発育基準曲線や体力・運動能力テストにおける各年齢の全国平均値とその評価指標が用いられている程度で、身体組成については体格指数である BMI（Body Mass Index）が代用され、身体バランス能力に至っては評価指標が見当たらない（高齢者のみ片足立ちテストが実施されている）。

一方、スポーツ科学・健康科学分野では、身体組成を評価する方法として、近年、生体インピーダンス法（Bioelectrical Impedance：以下 BI とする）を利用することが主流となっている（小宮と中尾，1986；田中ら，2012）。BI は体内に微弱な交流電流を通電させ、得られた抵抗値（以下インピーダンスとする）から除脂肪量（Fat Free Mass：以下

FFM とする) と脂肪量 (Fat Mass : 以下 FM とする) を算出することで身体組成を評価する。すなわち水分を含む FFM は電気伝導性に優れ、水分を含まない FM は絶縁体に近い為、FFM が多ければインピーダンスは低く、逆に FM が多ければインピーダンスが高くなることを利用して身体組成を推定している (田中ら, 2012)。BI は安全かつ簡便に測定可能な反面、水中体重秤量法 (Underwater Weighing : 以下 UWW とする)、重水希釈 (Deuterium Dilution Technique : 以下 DDT とする)、二重エネルギー X 線吸収法 (Dual energy X-ray Absorptiometry : 以下 DXA とする) といった身体組成推定法を妥当基準として測定する必要がある。従って、BI による子どもの身体組成を評価する先行研究においても、これらの身体組成推定法 (UWW、DDT、DXA) を妥当基準として FFM、FM および体脂肪率 (Percent body fat : 以下 %BF とする) の推定式が作成されている (金ら, 1993 ; 渡辺ら, 1993 ; 緑川ら, 2010)。これらの先行研究は子どもの身体組成を BI から評価を可能としたが、測定方法が簡便ではない (仰臥位姿勢、身体に器具を装着する際にジェルやパッドを使用する) 為、多人数を様々な場所で短時間に測定できない (田中ら, 2000)。さらに、近年、市販されている BI 計は、妥当基準となる身体組成推定法 (UWW、DDT、DXA) が子どもを測定する場合に様々な課題 (水中での最大呼息、重水の経口投与と排尿、高額な装置と医療従事者による測定) を要することにより、十分な被験者を確保できず 10 歳未満には適応されないとなっている (酒井と藤井, 2014)。

また、子どもの身体バランス能力については、久保ら (2014) が幼児を対象にして開眼片足立ちと体力・運動能力との関係について検討し、開眼片足立ち時間は、25m 走、立ち幅跳び、両足跳び越し、体支持時間との間に有意な相関関係がみられたと報告しているが、

片足立ちテストは子どもの体力テストでは実施されていない為、片足立ちテストの評価基準値は確立されていない。他方、立位姿勢における姿勢制御（以下直立能力とする）を足圧中心動揺（Center of Pressure：以下 COP とする）から客観的に評価する重心動揺を利用して、子どもの静的バランス能力を評価した研究が古くから取り組まれている。これまでに男女とも 6 歳から 11 歳までに重心動揺（総軌跡長、矩形面積）が発達すること、10 歳以下では男子の方が女子よりも重心動揺値（総軌跡長、矩形面積）が大きかったことが報告されている（臼井と平沢，1991；大和ら，2001）。さらに、重心動揺と体力・運動能力の関係では、開閉眼の重心動揺が優れていた子どもの体力テストの総合得点が高かったことが報告されている（新宅ら，2004；Shintaku et al., 2007）。しかし、これらの先行研究では各年齢の評価基準値や基準チャートの作成がなされていないだけでなく、重心動揺の記録図（以下重心動揺図とする）を用いた評価もなされていない。

以上のことから、我が国の将来を担う子ども達が健全な成長を成し遂げられる環境作りは我々大人の使命であり、その対策の一つとして身体的発育発達の評価に身体組成や身体バランス能力は必要不可欠であると考えられる。本研究はこれらの課題を解決する為、子どもの身体組成および身体バランス能力を客観的に評価可能な指標の開発を目的として、身体組成の間接法のうち短時間で簡便に評価可能な両掌間生体インピーダンス法（Hand-to-Hand Bioelectrical Impedance：以下 HHBI とする）に着目し、まず HHBI の妥当基準となる身体組成推定法の UWW、DDT および DXA の関係について検討する。そして、3 つの身体組成推定法の中から妥当基準を選択し、HHBI による子どもの FFM 推定式の作成について検討する。さらに、立位姿勢における静的バランス能力を身体バランス能力

と捉え、子どもの静的バランス能力すなわち重心動揺値および重心動揺図における評価指標および評価基準曲線の作成について検討する。

1. 2 身体組成評価法に関する先行研究

身体組成研究は、解剖学分野からの直接法による基礎研究をもとにして、人体の構成要素を全身レベル、組織 - 器官レベル（細胞、血液、骨、骨格筋など）、細胞レベル（細胞液、細胞質など）、分子レベル（タンパク質、脂質、水分など）および原子レベル（水素、炭素、酸素など）の4つに分類している（深代, 2014 ; 小宮と中尾, 2002 ; 山田, 2014）。一方、スポーツ科学や健康科学の分野における身体組成研究では、体重を構成する身体組成を FM と FFM に二分する2成分モデルが一般的である（深代, 2014 ; 小宮と中尾, 2002 ; 山田, 2014）。その身体組成推定法には UWW による体密度（Body Density : 以下 BD とする）の測定と DDT による体水分量（Total Body Water : 以下 TBW とする）の測定がある（Forbes, 1987 ; Roche et.al., 1996 ; 田中ら, 2013）。また、近年開発された DXA は身体組成を骨組織、体脂肪組織及び除脂肪組織とする3成分モデルで、精度の高い身体組成推定法として多くの研究者から評価されている（金ら, 1999 ; 宮本, 1996 ; 真田, 2014）。大河原ら（2004）は一般成人女性 45 名を対象にして UWW および DXA から求められる %BF の測定値間の一致度について検討し、UWW と DXA との間に有意な相関関係がみられたと報告している。しかし、UWW は水中に潜れない被験者、水中で最大呼息できない被験者は測定できないこと、DXA は医療従事者による専門家でなければ測定できないことや高額な費用がかかる課題がある。中塘ら（2001）は3歳から94歳

までの男女 1002 名を対象にして DDT と UWW から算出した%BF の関係について検討し、男女ともにいずれの年齢間（10 歳未満、10 歳から 18 歳未満、18 歳から 64 歳未満、65 歳以上）にも有意な相関関係がみられたと報告している。しかし、DDT の測定は被験者に採尿と長時間の拘束が必要となる。他方、BI は微弱な交流電流を身体に通電させることで得られる抵抗値（以下インピーダンスとする）を用いる身体組成評価法であり、安全かつ短時間で簡便に測定することが可能である（Lukaski et al., 1986 ; 中塘, 1991）。その BI を原理とした BI 計が健康器具として市場に出回っているが、その器具には様々な部位のインピーダンスを組み合わせて%BF を算出している。奥野ら（2000）は、異なった BI 計（両掌間、仰臥位片手—片脚間、立位—両足間）における%BF の精度を比較検討し、いずれの測定器具も顕著な差異を生じることなく%BF が推定できたと報告している。その BI 計の中でも手と手の誘導法による HHBI は着衣のまま立位姿勢で靴や靴下を脱ぐ煩わしさもなく、両掌で電極部位を握るだけで測定が可能である。吉村ら（1997）は、成人男女を対象に HHBI の有用性について検討し、その結果、他の BI の測定法と比較しても同等の信頼性、妥当性および再現性が得られたことを報告している。しかし、吉村ら（1997）の研究は成人のみを対象にした報告であり、子どもを対象にして検討されていない。

1. 3 生体インピーダンス法による子どもの身体組成評価に関する先行研究

BI による子どもの身体組成評価の研究は、1890 年代に Houtkooper et al. (1989) が 10 歳から 14 歳の男女 94 名を対象に UWW を妥当基準として BI による FFM および%BF 推定式を報告している。我が国では、金ら（1993）が 9 歳から 14 歳の男女 204 名を

対象に UWW を妥当基準として、BI と皮下脂肪厚による日本の子どもの BD 推定式を報告している。近年では Nightingale et al. (2013) が、英国ロンドン在住の様々な人種の子どもの対象にして、それぞれの人種に適した BI による FFM、FM および %BF の推定式を報告している。我が国では、緑川ら (2010) が小学生男女を対象に DXA から求めた %BF を妥当基準として、Bモード超音波法と BI を用いた子どもの全身及び部位別 FM の推定式を報告している。これらの研究は子どもの身体組成を BI によって評価する貴重な報告であるが、BI の測定時の姿勢 (仰臥位) や方法 (吸着電極や電極ゲルを使用) が簡便ではない為、多人数を短時間で測定することは困難である。さらに、原ら (1995) は 9 歳から 17 歳までの男女を対象にして BI による日本人の子どもの %BF 基準値の作成について検討し、その結果、%BF には明らかな年齢差、性差が認められ、BI で測定した %BF による肥満度の判定には年齢や性差を考慮する必要があると報告している。また、酒井ら (2014) は幼児の BI に関する研究課題として「現在汎用されている BI 計では幼児に適した器具はなく、そのため幼児に対して使用する場合は参考資料のような扱いになってしまう」と指摘している。

1. 4 重心動揺に関する先行研究

ヒトの立位姿勢は高い重心位置を狭い足底面で支えている為、力学的には比較的不安定な姿勢である (北城, 1999)。この立位姿勢を保持させるために必要な能力は、前庭、視覚器、筋紡錘などの受容器と筋肉、骨格などの効果器とをつなぐ中枢神経および末梢神経など、器官の諸機能の総合としての能力であり、ヒトのからだの生理的メカニズムを知る

上で重要な意味を持つ（平沢ら，1993）。その直立能力を静的バランス能力と捉え、その能力を客観的に評価する方法の一つに重心動揺がある。重心動揺は、めまいや平衡機能障害を診断する手法として臨床的に検討されてきた。その為、重心動揺研究の多くは医療・理学療法分野において報告がなされてきた（石川，2016）。時田（1990）は重心動揺図から重心動揺の「拡がり」を臨床的に評価し、その結果、一側迷路障害では左右型、両側迷路障害には前後型の特徴がみられたと報告している。また、初鹿（1987）は、重心動揺検査の意義と有効な指標を明らかにする為、6歳から83歳までの正常者106名とめまいの症例がある56名を対象にして重心動揺を比較検討し、正常者の重心動揺値の再現性では1回目よりも2回目と3回目に差がみられなかったこと、正常者の日間変動は開眼に比べて閉眼が大きかったこと、典型的なめまい症状がある4名と正常者では開閉眼ともに差がみられたと報告している。さらに今岡ら（1997）は3歳から94歳までの正常者2201名を対象にして5歳ごとに総軌跡長、各動揺面積、単位面積軌跡長、XおよびY方向の動揺平均中心変位、ロンベルグ率（開閉眼比）の平均値と標準偏差を算出している。山本（1983）も重心動揺パターンの定量化をウィルクスのラムダ検定による統計的手法を用いて、「中心一定型」、「中心不定型」、「中心多数型」の3つに分類している。一方、健康・体育・スポーツ分野では平沢と青木（1979）が、加齢に伴う重心動揺面積の経年変化を三期に分類し、6歳から20歳までを発達期、20歳から50歳までを充実期、50歳以降を衰退期と報告している。また、成人の重心動揺と体力・運動能力の関係について牛山ら（2008）は、大学生男女126名の開閉眼の重心動揺値を様々な変数（総軌跡長、棄却円面積、左右前後動揺、平均周波数など）から検討し、男女間に有意差がみられたこと、男子において重心

動揺値と筋量との間に負の相関関係がみられたと報告している。さらにスポーツ選手の重心動揺と競技力、コンディショニングの関係について Imoo et al. (2013) は、大学生ラグビー選手の頭部外傷（脳震盪）などの怪我の受傷後の治療と重心動揺の関係について検討し、怪我の回復の経過の判断に重心動揺が有用であることを示唆している。

1. 5 子どもの重心動揺に関する先行研究

子どもの重心動揺に関する研究では、Odenrick and Sandstedt (1984) が3歳から17歳までの男女を対象にして開眼の重心動揺の年齢変化について検討し、男子は年齢と逆相関の直線関係がみられたが、女子は年齢差が生じなかったことを報告している。我が国では Usui et al. (1995) が3歳から11歳までの男女を対象にして開眼の重心動揺について検討し、男女ともに加齢に伴う重心動揺値（総軌跡長と矩形面積）の低下が認められ、特に3歳から5歳までの変化が著しかったと報告している。また、臼井と平沢 (1991) は6歳から11歳までの男女の開眼の重心動揺値（総軌跡長、矩形面積）から、10歳以下では男子の方が女子よりも重心動揺値（総軌跡長、矩形面積）が大きかったと報告している。

中林 (1997) は4歳から15歳までの男女を対象に検討し、開眼の総軌跡長と矩形面積がほぼ10歳以降、閉眼の矩形面積が11歳、総軌跡長が12歳になると成人との間に有意な差がみられなくなると報告している。津山ら (2004) は小学1年生から5年生までの重心動揺値の1年間の変化を横断的かつ縦断的に検討し、1年生から2年生に移行時の開眼の男女の総軌跡長が男子で6.7%、女子で8.6%有意に減少したことを報告している。さらに、子どもの重心動揺の発達と運動能力の関係では、臼井と平沢 (1988) は「はだし教育」を

実施している小学校に在籍する児童生徒の開眼の重心動揺において、低学年の中でも特に1年生の重心動揺に安定性がみられたことを報告している。また、新宅ら（2004）は4歳児、Shintaku et al.（2007）は5歳児の重心動揺と体力・運動能力との関係に着目し、体力・運動能力テスト7種目（25m走、ボール投げ、片足連続跳び、立ち幅跳び、腕立て支持、反復横跳び、開眼片足立ち）の総合得点の高かった幼児は、開閉眼の重心動揺値がいずれも優れていたと報告している。

1. 6 研究の目的

本研究の主たる目的は、子どもの身体組成と身体バランス能力の評価基準に着目し、まず、BIの妥当基準となるUWW、DDTおよびDXAの身体組成推定法から、それぞれ算出されたFFMの関係について検討する。次に、これらの身体組成推定法のうちDDTによるTBWから算出したFFMを妥当基準として、BIの中でも最も簡便で安全に測定可能なHHBIによる子どものFFM推定式の作成について検討することである。さらに立位姿勢における静的バランス能力を重心動揺から評価し、子どもの重心動揺値における評価指標と横断的基準曲線の作成、重心動揺図を用いた評価法について検討することである。

第2章 身体組成推定法の測定方法および重心動揺の測定方法

2.1 身体組成推定法の測定方法

2.1.1 水中体重秤量法

水中体重秤量法 (Underwater Weighing : 以下 UWW とする) は、水に沈めた身体が浮力によって影響され、それは置換した水の重量と等しい重量の低下で表示されるというアルキメデスの原理を利用している (小宮と中尾, 2002 ; 田中ら, 2012) 。まず、UWW によって体密度 (Body Density : 以下 BD とする) を測定する。体内に含まれた空気を考慮する為、ヘリウム希釈法による残気量および腸内ガスを 0.10 と仮定する。BD を次式 (1) から算出する。

$$BD = \text{空気中の体重} / [(\text{空気中の体重} - \text{水中体重}) / \text{水密度} - (\text{残気量} + \text{腸内ガス量})] \quad (1)$$

なお、水密度は水温から求めた。そして、得られた BD から Brozek et al. (1963) の式を用いて体脂肪率 (Percent Body Fat : 以下 %BF とする) を次式 (2) から算出する。

$$\%BF (\%) = (4.570 / BD - 4.142) \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

除脂肪量 (Fat Free Mass : 以下 FFM とする) は体重から脂肪量 (Fat Mass : 以下 FM とする) を減じた値とする。

2.1.2 重水希釈法

重水希釈法 (Deuterium Dilution Technique : 以下 DDT とする) は、重水を対象者に経口投与し、体内総水分量を定量する方法である。まず、対象者に 40ml の蒸留水とともに、10ml の重水 (99.9% D₂O) を経口投与する。その後、対象者の尿を重水の投与前と

2. 1. 4 両掌間生体インピーダンス法

両掌間生体インピーダンス法（Hand-to-Hand Bioelectrical Impedance : 以下 HHBI とする）の測定には、オムロン社製体脂肪計 HBF-300 を使用した。対象者は足を少し開いて自然体で立位姿勢をとる。測定器具のグリップ電極の窪んだ位置に両手の中指を左右それぞれあてて、親指と人差し指で上側、薬指と小指で下側の電極をしっかりと握る。肘を曲げずに真っ直ぐに伸ばし、腕は身体と 90 度になるような角度にする。測定姿勢が安定したら抵抗値（ Ω ）を記録する（図 2-1）。



図 2-1 両掌間 BI 法の測定の様子

（※本人たちの保護者の承諾を得て写真を使用している）

2. 1. 5 重心動揺の測定方法

重心動揺の測定には、アニマ社製ポータブルグラフィコーダーGS-7（JIS規格）を使用した。この重心動揺計は、水平面上の二等辺三角形の頂点に置かれた3個の垂直荷重センサー値から、垂直荷重の足圧中心（Center of Pressure：以下COPとする）を求め、これを水平面での重心位置として計測を行う装置である（図2-2）。つまり重心動揺はCOPが閉足、直立姿勢での姿勢制御時に移動する状態を記録解析している。サンプリング周波数20Hzで、30秒間測定し、重心点の総移動距離である総軌跡長（Total Length：LNG）と軌跡の最外郭の面積である外周面積（Environment Area：Env. Area）を記録した。

また、測定手順は2006年平衡機能検査基準化委員会が定めた方法に従い、以下の手順で実施した（平衡機能検査基準化委員会，2006）。

- ①静かで明るさが均等な部屋において、音や視刺激による身体偏位が生じない環境条件を設定する。
- ②対象者の足底の中心が検査台上の基準点と一致するように直立させ、2メートル前方の目の高さに固定した視点を注視させる。
- ③重心動揺が安定した時点から閉足、自然に直立した姿勢の状態が開閉眼の条件により、それぞれ30秒間で1回測定する。
- ④さらに②および③が遵守できたことを確認する為、測定時の様子をビデオカメラで撮影する（特に子どもの場合は30秒間の測定中に手を動かしたり、足の位置を変えてしまったり、視点を注視できないことがある）。

なお、本研究では測定の繰り返しによる学習効果を懸念し、測定を1回のみとした。



図 2-2 重心動揺の測定の様子

(※本人たちの保護者の承諾を得て写真を使用している)

第3章 日本人の子どもの身体組成の推定精度に関する検討

3.1 緒言

スポーツ科学・健康科学分野における身体組成に関する研究では、身体組成を体脂肪量 (Fat Mass : 以下 FM とする) と除脂肪量 (Fat Free Mass : 以下 FFM とする) の2成分にする考え方に基づいて研究されるケースが多い (深代, 2014 ; 小宮と中尾, 2002) 。その代表的な身体組成の推定法には、水中体重秤量法 (Underwater Weighing : 以下 UWW とする) による体密度 (Body Densitometry : 以下 BD とする) の測定と重水希釈法 (Deuterium Dilution Technique : 以下 DDT とする) による体水分量 (Total Body Water : 以下 TBW とする) の測定がある。また、最近では二重エネルギーX線吸収法 (Dual energy X-ray Absorptiometry : 以下 DXA とする) も利用されている。UWW はアルキメデスの原理を応用し、空気中での体重と水中での体重から体密度を求めることで体脂肪率 (Percent Body Fat : 以下 %BF とする) を推定している。UWW は他の推定法に比べて比較的安価に測定できることから、多くの研究者から頻用されてきた (北川ら, 1993) 。また、DDT は 10ml の重水 (99.9%) を 40ml の蒸留水とともに経口投与し、体内分布が均一になる 2 時間から 3 時間後に尿や呼気中の水分を採集して、重水が投与前と比べてどの程度希釈したかを分析して FFM を算出している。DDT は身体的限界を伴うことなく体内の TBW を測定することが可能である (田中と中塘, 1997) 。さらに DXA は骨組織、脂肪組織および除脂肪組織がそれぞれ異なるエックス線吸収率を持つことから、2 つのエックス線を照射した時の透過減衰したエックス線から各組織を定量化し、FM を算出している。仰臥位で 5 分から 10 分ほどで測定することが可能である (宮本, 1996 ; 真田, 2014) 。

一方、これらの推定法には高額な装置とその装置の専門的知識や測定技術の必要性、さらに測定時における被験者への身体的および精神的負担というデメリットもある(田中ら, 2001 ; 渡辺ら, 1993) 。実際、我が国における子どもを対象として、これらの妥当基準となる推定法を用いた身体組成評価に関する研究はあまり見当たらず、まして3つの推定法により同一対象者を用いて同時に測定した報告は見当たらない。本研究はこうした状況を踏まえ、子どもにとって測定困難とされる UWW、DDT および DXA の推定法による身体組成を評価し、これらの推定法の精度について比較検討することを目的とした。

3. 2 方法

3. 2. 1 対象者

対象者は6歳から15歳までの健康な男女21名(男子8名, 女子13名)である。対象者の身体的特徴は表3-1に示した。

表3-1 対象者の身体特性について

	男子 (n=8)		女子 (n=13)	
	平均値±標準偏差	範囲	平均値±標準偏差	範囲
年齢(歳)	10.6 ± 3.3	7.0 - 15.0	9.2 ± 2.4	6.0 - 15.0
身長(cm)	143.3 ± 22.9	117.5 - 176.5	134.6 ± 4.2	112.8 - 157.8
体重(kg)	34.8 ± 13.9	20.9 - 54.7	29.9 ± 2.4	19.2 - 43.0
BMI(kg/m ²)	23.5 ± 5.7	17.5 - 31.4	21.8 ± 1.2	16.3 - 28.1

BMI: Body mass index

3. 2. 2 測定手順

UWW、DDT および DXA の測定は、対象者が食後 2 時間以上経過した状態で測定を実施した。なお日差および日内変動の影響を捨象する為、測定は同一日に実施した。測定は以下の手順で実施した。測定前に対象者および保護者に測定内容と方法を説明し、潜水や水中で最大呼息が可能であるかを確認した。その後、1 回目の採尿をし、重水の経口投与、身長および体重の計測、DXA の測定、排尿（重水の経口投与 1 時間後）、水中体重秤量法の測定、2 回目の採尿（重水の経口投与 2 時間後）の順で実施した。なお、DXA の測定は医師が行った（Roche et al., 1996）。

3. 2. 3 統計処理

UWW、DDT および DXA から求めた FFM の各群間の平均値の差の検定は、一元配置分散分析を施行した後、有意差の認められた場合はボンフェローニの方法による多重比較検定を行った。FFM の各群間の相関性はピアソンの積率相関係数 (r) により検討し、誤差は標準推定誤差 (Standard Error of Estimate : 以下 SEE とする) を次式 (1) によって算出した。

$$SEE = Y_{SD} \cdot (1 - R^2) \dots \dots \dots (1)$$

さらに Bland & Altman の手法を用いて系統誤差の分析を行った (Bland and Altman, 1986)。なお、統計的有意水準はすべて 5%未満とし、すべての統計処理は統計ソフト SPSS Statistics Version24.0 を用いた。

3. 3 結果

表 3-2 は各推定法（UWW、DDT および DXA）から算出した FFM の平均値±標準偏差を示したものである。男女ともに各群の平均値間に有意差は認められなかった。図 3-1 は各推定法から求めた FFM の相関関係と SEE を示したものである。男女ともに各推定法から求めた FFM 間すべてに有意な相関関係と良好な SEE が得られた（男子： $r=0.988-0.997$ ， $SEE=1.01-1.97\text{kg}$ ，女子： $r=0.977-0.989$ ， $SEE=1.02-1.49\text{kg}$ ）。図 3-2 は各推定法から求めた FFM の一致度を Bland & Altman の手法（Bland and Altman, 1986）を用いて示したものである。男子の UWW と DXA との間に有意な相関係数差が得られた（ $r=-0.887$ ）。

表3-2 男女別にみた各推定法で算出したFFMについて

	男子			女子		
	平均値±標準偏差	範囲		平均値±標準偏差	範囲	
UWW (kg)	28.3±3.9	16.1 - 44.6	n.s	23.2±6.7	14.7 - 33.3	n.s
DDT (kg)	29.4±11.8	17.2 - 46.4	n.s	23.9±6.5	15.8 - 33.5	n.s
DXA (kg)	30.2±13.3	16.1 - 49.6	n.s	23.3±6.5	14.5 - 33.5	n.s

n.s; not significant

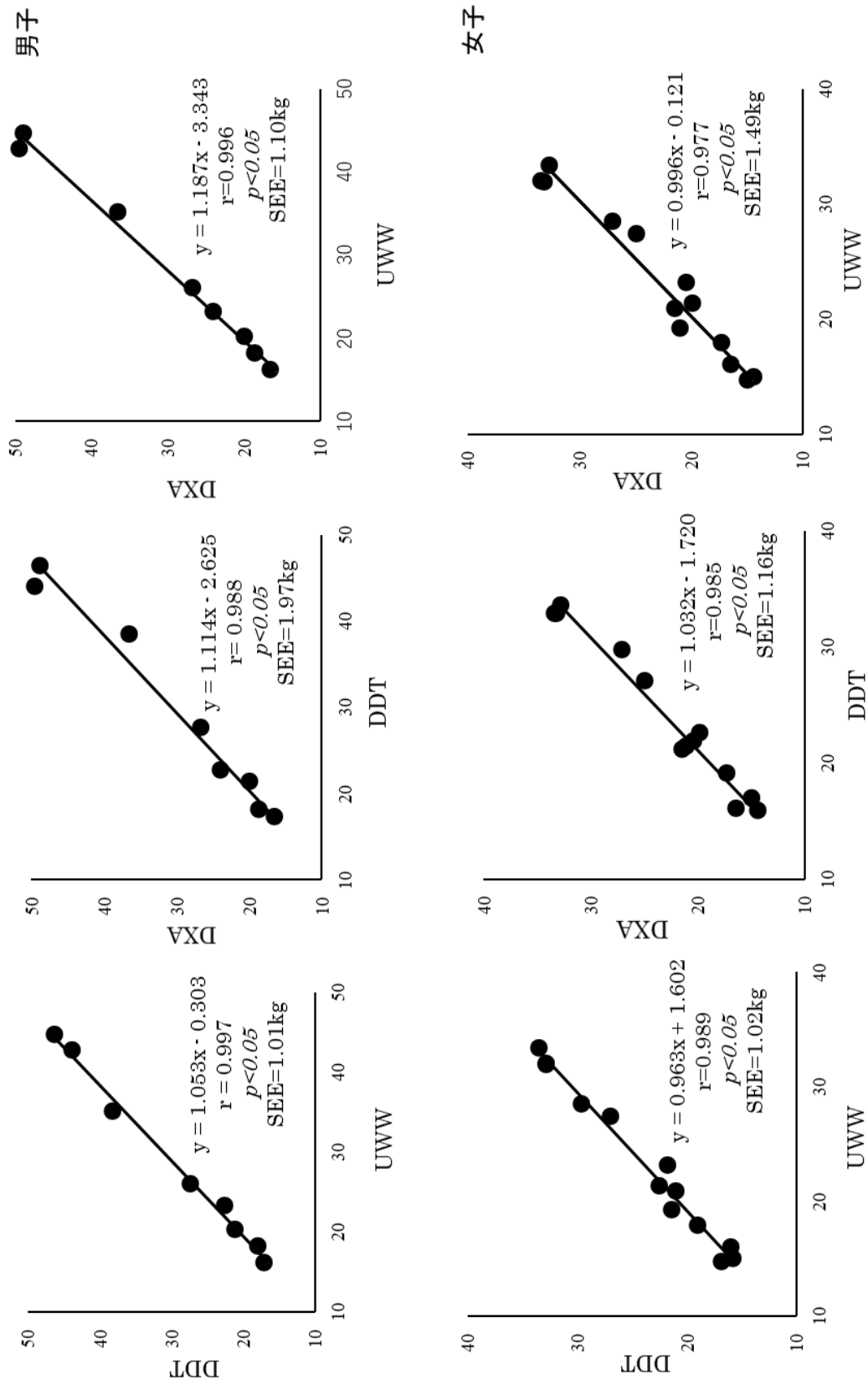
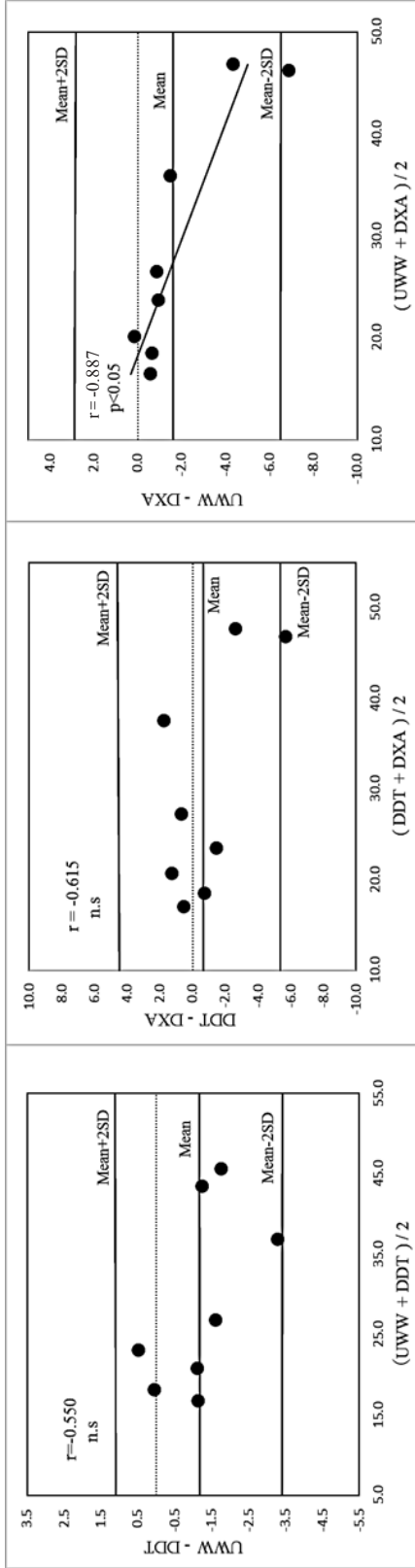


図3-1 各推定法から算出したFFMの相関関係とSEE

男子



女子

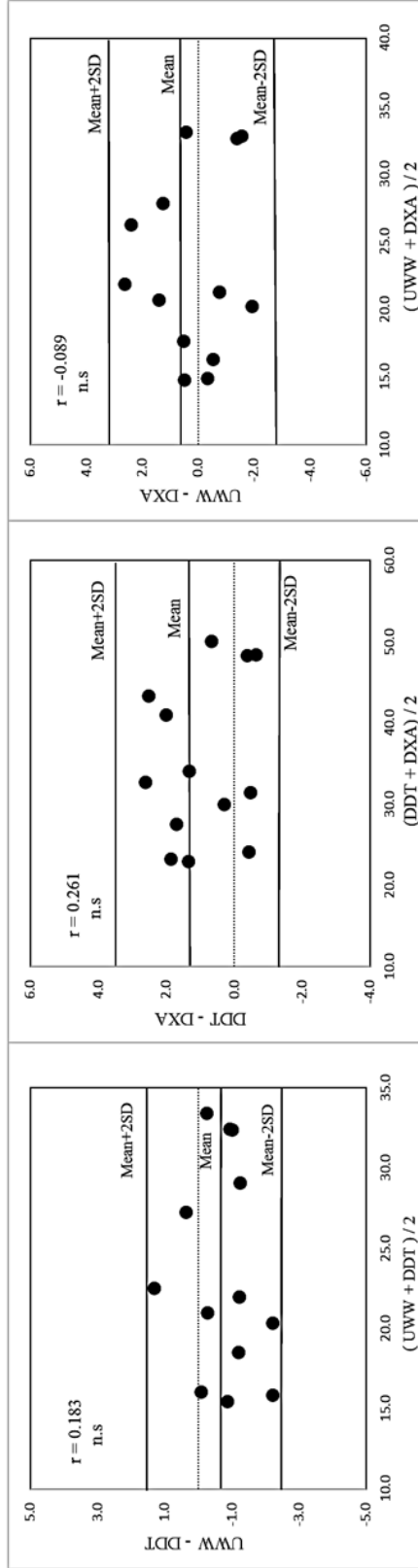


図3-2 Bland-Altman法による各推定式(UWW,DDT,DXA)から算出したFFM (kg) 相関関係

(Mean; 平均値, SD; 標準偏差 n.s ; not significant)

3. 4 考察

身体組成法の簡便法である生体インピーダンス法 (Bioelectrical Impedance : 以下 BI とする) や超音波法などによる身体組成評価の研究では、UWW、DDT および DXA を妥当基準として報告されている。金ら (1993) 、Kim et. al. (1994) および渡辺ら (1993) は子どもを対象とした BI と皮脂厚法を利用した BD 推定式について UWW を妥当基準として報告している。また、緑川ら (2010) は DXA を妥当基準にした超音波 B モード法による子どもの部位別 FM を報告している。いずれの推定法を妥当基準にするかは、研究環境、対象、費用などが関係するが、これらの推定法には FM や FFM を算出するための原理や過程が異なる為、完全に一致した値が得られない。すなわち UWW は FM の密度を $0.9\text{g}/\text{cm}^3$ 、FFM の密度を $1.1\text{g}/\text{cm}^3$ とし、FFM の密度 ($1.1\text{g}/\text{cm}^3$) は骨密度 ($1.25/\text{cm}^3$) と骨格筋などの他の成分の密度 ($1.05\text{g}/\text{cm}^3$) と仮定した上で、骨体積と骨格筋などの他の成分の割合を一定として計算している (深代, 2014)。また DDT は FFM の水分含有量が 73.2% という仮定のもとに、経口投与した重水が投与前後でどの程度希釈されたのかを赤外線分光光度計かガスクロマトグラフで分析している (田中, 1997 ; 中塘ら, 2001) 。そこで本研究は、まず各推定法から求めた FFM の平均値の差異について比較した (表 3-2) 。その結果、男女ともに各推定法における平均値間では有意差は認められなかった。したがって、本研究で得られた子どもの身体組成は、いずれの手法を用いて推定しても妥当であることが示された。次に各推定法から求めた FFM による相関関係について比較した (図 3-1) 。その結果、男女ともに UWW と DDT 間 (男子 : $r=0.997$, 女子 : $r=0.989$) 、DDT と DXA 間 (男子 : $r=0.988$, 女子 : $r=0.985$) 、および UWW と DXA 間 (男子 : $r=0.996$,

女子： $r=0.977$) のいずれにおいても有意で高い相関係数が得られた ($p<0.05$)。このことから、妥当基準として用いられている UWW、DDT および DXA は、日本人の子どもを対象にした場合においても高い相関関係にあり、いずれの測定方法を基準にしても同程度の値が確保されることを再確認した。Bland-Altman 分析法 (Bland and Altman, 1986) による各群間の検討では、男子の UWW と DXA との間に有意な系統誤差が認められた (図 3-2)。この系統誤差は FFM が増大するにつれて DXA による FFM の過大評価または逆に UWW の過小評価となる。よって、男子では DXA と UWW による身体組成の推定は、測定方法による影響を受けるものと考えられる。大河原ら (2004) は一般成人女性を対象に UWW および DXA から求められる体脂肪率の測定値間の一致度について検討し、UWW と DXA との間に高い相関関係が認められたことを報告しているが、ここでは系統誤差については検討されていない。よって、本研究はこれを示した初めての報告となる。ただし、本研究の女子の結果においても大河原ら (2004) の報告と同様の結果が得られた。測定の限界として、本研究において低年齢者の場合、UWW では水中で最大呼息ができなかった者、DDT では重水投与後の排尿ができなかった者がいた。これに対して DXA では台上に仰臥位姿となるだけで短時間に精度の高い身体組成評価が可能であることから、我が国の小児肥満判定法の体脂肪率の基準値も DXA から設定されている (岡田, 2007; 高谷ら, 2014)。しかし、DXA の測定には医師やレントゲン技師といった専門家が必要となることと、測定にかかる費用が高額になるといったデメリットもある (小宮ら, 2002)。本研究はこれらの課題を克服した 21 名の対象者から 3 つの推定法による貴重なデータを得ることができた。

3. 5 まとめ

本研究は UWW、DDT および DXA の推定法による子どもの身体組成の評価の精度について検討する為、各推定法から求められた FFM より比較し、以下の結果が得られた。

1. 各推定法（UWW、DDT および DXA）から求めた FFM の平均値間に有意差は認められなかった。
2. 男女ともに各推定法から求めた FFM との間が、すべてにおいて有意な相関関係と良好な SEE が得られた（男子： $r=0.988-0.997$ ， $SEE=1.01-1.97$ kg，女子： $r=0.977-0.989$ ， $SEE=1.02-1.49$ kg）。ただし、系統誤差では男子の UWW と DXA との間に有意差が認められた（ $r=-0.887$ ）。

以上のことから、子どもの身体組成の評価として UWW、DDT および DXA は高い相関関係にあり、これらの身体組成推定法から一定の FFM 値が確保されることが示唆された。

第4章 両掌間生体インピーダンス (HHBI) 法による日本の子どもの除脂肪量 (FFM)

推定式の開発

4.1 緒言

身体組成評価には間接法として水中体重秤量法 (Underwater Weighing : 以下 UWW とする) による身体密度 (Body Density : 以下 BD とする) の算出、重水希釈法 (Deuterium Dilution Technique : 以下 DDT とする) による体水分量 (Total Body Water : 以下 TBW とする) の測定、二重エネルギー X 線吸収法 (Dual Energy X-ray Absorptiometry : 以下 DXA とする) などがある (Roche et al., 1996 ; 田中ら, 2012) 。しかし、これらの身体組成推定法は高額な装置とその装置の専門的知識や測定技術が必要であり、短時間で簡便に測定できない。一方、身体組成評価法の簡便法の一つである生体電気インピーダンス法 (Bioelectrical Impedance : 以下 BI とする) は、微弱な交流電流を身体に通電させることで得られる抵抗値 (以下インピーダンスとする) を用いる身体組成評価法であり、安全かつ短時間で簡便に測定することが可能である (Baumgartner et al., 1988 ; Jackson et al., 1988 ; Lukaski et al., 1985 ; Nakadomo et al., 1990 ; 中塘, 1991 ; 中塘ら, 1991 ; Segal et al., 1985) 。したがって、BI は学校などの教育現場において多人数を測定する身体組成評価法として国内外で評価されている (Dehghan et al., 2008) 。その BI による子どもの身体組成評価の研究は、1890 年代に Houtkooper et al. (1989) 、我が国では 1900 年代に金ら (1993) 、Kim et al. (1994) および渡辺ら (1993) が、BI による子どもの BD や除脂肪量 (Fat Free Mass : 以下 FFM とする) の推定式を報告している。また、近年では Nightingale et al. (2013) が、英国ロンドン在住の様々な人種の子どもの対象にして、

それぞれの人種に適した BI による FFM、脂肪量 (Fat Mass : 以下 FM とする) および体脂肪率 (Percent Body Fat : 以下 %BF とする) の推定式を報告している。我が国では緑川ら (2010) が小学生男女を対象として、DXA から求めた %BF を妥当基準として、Bモード超音波法と BI を用いた子どもの全身及び部位別体脂肪量の推定式を報告している。これらの研究は子どもの身体組成を BI によって評価する貴重な報告であるが、BI の測定時の姿勢 (仰臥位) や方法 (吸着電極や電極ゲルを使用) が簡便ではない為、多人数を短時間で測定することは困難である。

一方、近年、短時間で安全かつ簡便に測定可能な BI による身体組成計が開発され、なかでも手と手の誘導法による両掌間 BI (Hand-to-Hand Bioelectrical Impedance : 以下 HHBI とする) は着衣のまま立位姿勢で靴や靴下を脱ぐ煩わしさもなく、両掌で電極部位を握るだけで測定が可能である。吉村ら (1997) は、成人男女を対象に HHBI の有用性について検討し、その結果、他の BI の測定法と比較しても同等の信頼性、妥当性および再現性が得られたことを報告している。また、Pribyl et al. (2011) は、アメリカ人大学生を対象として HHBI と空気置換法との %BF の間に有意な相関関係が認められた事を報告している。さらに Rutherford et al. (2011) もアメリカ人の成人男女の HHBI による %BF が、他の BI の測定法や皮下脂肪厚法による %BF と比較しても差異が認められなかったことを報告している。これらのことから HHBI は他の BI の測定法と同等の身体組成評価が可能であると考えられる。しかし、これらの研究は成人を対象としたものであり、子どもを対象として詳細に検討されていない。原ら (1995) は 9 歳から 17 歳までの男女を対象にして BI による日本人の子どもの %BF 基準値の作成について検討し、その結

果、%BFには明らかな年齢差、性差が認められ、BIで測定した%BFによる肥満度の判定には年齢や性差を考慮する必要があると報告している。また、酒井ら(2014)は幼児のBIに関する研究課題として「現在汎用されているBI計では幼児に適応した器具はなく、そのため幼児に対して使用する場合は参考資料のような扱いとなってしまう」と指摘している。そこで本研究は、日本人の幅広い年齢層の子どもの身体組成を安全かつ短時間で簡便に評価する為に、HHBIによる日本人の子どものFFM推定式の作成を試み、そのFFM推定式の交差妥当性について検討することを目的とした。

4.2 方法

4.2.1 対象者

本研究は4歳から15歳までの健康な男子70名、女子75名の計145名を対象とした。HHBIによるFFM推定式を作成する為に、対象者を性と年齢別に層別化し、無作為に推定式作成群(以下Validation群とする)と交差妥当性群(以下Cross-validation群とする)を2:1に近似するように振り分けた。すなわち男子のValidation群は46名、Cross-validation群は24名、女子のValidation群は50名、Cross-validation群は25名とした。表4-1と表4-2にそれぞれ男女別に年齢、身長、体重、体格指数(Body Mass Index:以下BMIとする)、DDTによるTBWから求めたFFM、HHBIのインピーダンス(Z)およびインピーダンス・インデックス(身長(cm)²/インピーダンス(Z))の平均値と標準偏差を示した。

表4-1 対象者の身体的特性について(平均値±標準偏差)

	男子 (n=70)	範囲	女子 (n=75)	範囲	合計 (n=145)	範囲
年齢 (歳)	11.2 ± 3.0	4 - 15	10.5 ± 2.7	4 - 15	10.8 ± 2.9	4 - 15
身長 (cm)	144.8 ± 18.8	97.4 - 176.9	140.8 ± 14.6	1102.2 - 166.6	142.7 ± 16.9	97.4 - 176.9
体重 (kg)	36.5 ± 11.6	14.0 - 58.4	35.7 ± 11.3	16.0 - 62.8	36.1 ± 11.4	14.0 - 62.8
BMI (kg/m ²)	16.9 ± 1.9	14.1 - 23.5	17.5 ± 3.1	12.3 - 27.3	17.2 ± 2.6	12.3 - 27.3
DDTによるFFM (kg)	31.0 ± 10.9	10.0 - 51.7	28.1 ± 8.3	10.4 - 42.6	29.5 ± 9.7	10.0 - 51.7
インピーダンス (Ohm; Z)	789.2 ± 109.9	579.0 - 1072.0	876.0 ± 101.9	593.0 - 1147.0	834.1 ± 114.1	579.0 - 1147.0
インピーダンス・インデックス (身長 ^(cm) ² /インピーダンス(Z))	27.9 ± 8.9	9.7 - 48.4	23.4 ± 6.3	9.7 - 35.7	25.6 ± 7.9	9.7 - 48.4

BMI: Body mass index FFM: 除脂肪量 DDT: 重水希釈法

表4-2 Validation群とCross-validation群の身体特性について(平均値±標準偏差)

	Validation群		Cross-validation群	
	男子 (n=46)	女子 (n=50)	男子 (n=24)	女子 (n=25)
年齢(歳)	11.2 ± 2.9	10.4 ± 2.6	11.1 ± 3.1	10.6 ± 3.0
身長(cm)	144.8 ± 20.0	140.1 ± 15.1	144.9 ± 16.4	142.1 ± 13.9
体重(kg)	35.3 ± 11.4	33.1 ± 9.9	38.9 ± 11.4	40.7 ± 12.4
BMI(kg/m ²)	16.3 ± 1.3	16.5 ± 2.2	18.0 ± 2.2	19.6 ± 3.5
DDTによるFFM(kg)	30.4 ± 10.8	26.6 ± 8.1	32.2 ± 10.9	31.1 ± 8.2
インピーダンス(Ohm;Z)	792.6 ± 107.6	900.9 ± 96.7	782.7 ± 113.8	826.2 ± 95.1
インピーダンス・インデックス (身長(cm) ³ /インピーダンス(Z))	27.7 ± 8.8	22.5 ± 6.1	28.3 ± 9.0	25.2 ± 6.3

BMI: Body mass index FFM: 除脂肪量 DDT: 重水希釈法

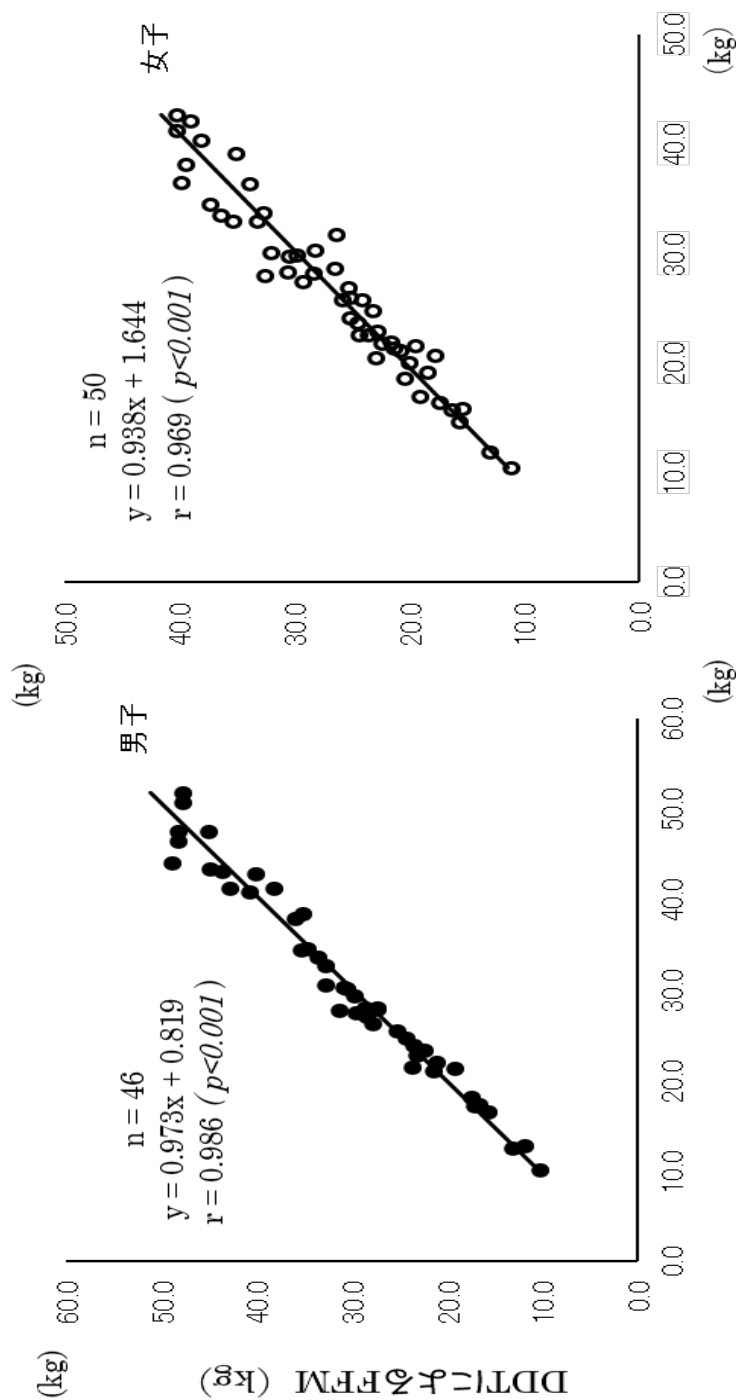
4. 2. 2 測定手順

すべての測定は同一日に実施し、対象者が食後 2 時間以上経過した状態で身長、体重、DDT および HHBI の順で測定を行った。DDT の測定に際し、まず対象者に 40ml の蒸留水とともに、10ml の重水 (99.9% D₂O) を経口投与、その後、対象者の尿を重水の投与前と 2 時間経過後に採集した。なお、重水投与後の 1 時間経過時には必ず排尿することを条件とした。

4. 2. 3 統計処理

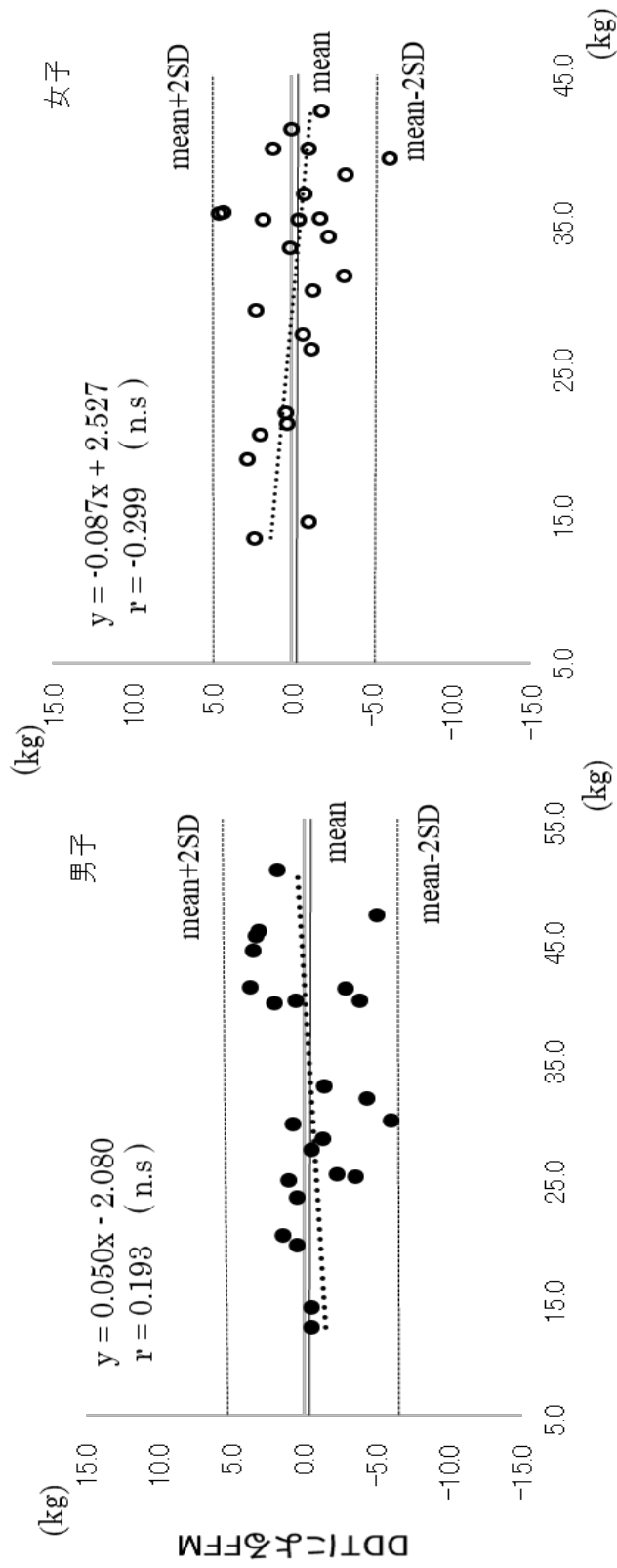
各群間の相関分析にはピアソンの積率相関係数 (r) を用いた。HHBI による FFM 推定式作成は先行研究 (吉村ら, 1997) に基づいて DDT から求めた FFM を従属変数、インピーダンス・インデックス (身長 (cm)²/インピーダンス(Z))、体重、年齢を独立変数とした重回帰分析 (強制投入) によって作成し、その推定式の精度の指標として決定係数及び推定値の標準誤差 (standard error of estimated : 以下 SEE とする) を算出した。さらに Cross-validation 群において DDT から求めた FFM と新たに開発した推定式から求めた FFM との相関分析を行うとともに、Bland-Altman 分析から系統誤差の有無を検討した (Bland and Altman, 1996)。なお、統計的有意水準はすべて 5%未満とし、すべての統計処理は統計ソフト SPSS Statistics Version24.0 を用いた。

ら、すべての対象者のデータを用いて HHBI の FFM 推定式 (final equation) を男女別に再作成したものを表 4-3 に示した。この推定式における決定係数 (R^2) は男女ともに 0.1% 水準で有意に高く (男子 : 0.968, 女子 : 0.942) 、SEE は男女ともに低値 (男子 : 2.05kg, 女子 : 2.12kg) であった (表 4-3) 。



Validation群におけるHHHBIによるFFM 推定式から求めたFFM

図4-1 Validation群におけるHHHBIによるFFM推定式から求めたFFMとDDTから求めたFFMとの相関関係



(DDTによるFFM + HHBIIによるFFM) / 2

図4-2 Bland-Altman法によるCross-validation群におけるHHBIIによるFFMとDDTによるFFMの相関関係

(mean: 平均値 SD: 標準偏差 n.s: not significant)

表4-3 すべての対象者のデータから作成した男女別のHHBIによるFFM推定式

男子

$$Y = 0.395X_1 + 0.641X_2 - 0.057X_3 - 2.770$$

$$R^2 = 0.968 (p < 0.001)$$

$$SEE = 2.05$$

女子

$$Y = 0.520X_1 + 0.346X_2 + 0.416X_3 - 0.860$$

$$R^2 = 0.942 (p < 0.001)$$

$$SEE = 2.12$$

Y : 除脂肪量 (kg) X₁ : インピーダンス・インデックス (身長 (cm)² / インピーダンス (Z))

X₂ : 体重 (kg) X₃ : 年齢 (歳)

R² : 決定係数

SEE : 標準誤差 (kg)

4. 4 考察

BI の特長は複雑な測定機器や高度な技術を必要とせず、安全かつ短時間で身体組成評価
できることである (Baumgartner et al., 1990) 。一方、同法は部分計測法であるため簡便
性を追求する限界として原理モデルの許容範囲を超える対象者において、測定誤差が大き
くなる可能性があることが指摘されている (田中ら, 2001) 。特に発育発達期の子どもは、
身体組成の変化が著しく、乳児期から幼児期にかけては FM が蓄積するが、幼児期から児
童期にかけて FM が減少し、思春期になると男子は FFM が増加、女子は FM が増加する
と言われている (岡田, 2008) 。そこで本研究は BI の様々な測定法の中から HHBI を採
用し、4 歳 (幼児) から 15 歳 (高校生) までのデータを基に FFM 推定式を作成すること
を試みた。近年、吸着電極や電極ゲルを必要としない BI 計が開発され、その測定姿勢に

は仰臥位、座位および立位、さらに電極を配置する部位の組み合わせによって3種類（手と足、足と足、手と手）に大別される（奥野ら，2000）。なかでもHHBIは両手で電極を握るだけで、着衣のまま靴や靴下を脱ぐことなく、一人でも短時間（約7秒）で簡便に測定でき、装置が軽量小型（約500g）であることから携帯性にも優れている（吉村ら，1997）。しかし、同法は上半身のインピーダンスの貢献度が高い為、下半身が著しく太っている者には適切な身体組成評価がなされないことが懸念される。この問題に対してRutherford et al.（2011）および奥野ら（2000）は、様々なBI計（HHBI、仰臥位片手—片脚間、立位—両足間）における%BFの精度を比較検討し、いずれの測定器具も顕著な差異を生じることなく%BFが推定できたと報告している。したがって、HHBIは他のBIの測定法と同等の精度で身体組成評価が可能であると考えられる。本研究は、吉村ら（1997）の報告と同様にValidation群において、DDTから求めたFFMを従属変数、HHBI法によるインピーダンス・インデックス、体重及び年齢を独立変数として重回帰分析を行い、その結果、男女ともに精度の高いFFM推定式（決定係数，男子： $R^2=0.972$ ，女子： $R^2=0.971$ ）が得られた。我が国においても、これまでに子どもの身体組成評価をBIによる身体密度、FM、FFMおよび%BFの推定式が報告されている（金ら，1993；Kim et al., 1994；渡辺ら，1993；緑川ら，2010）。しかし、これらの研究で得られた推定式には年齢は考慮されていない。原ら（1995）はBIで測定した身体組成評価には年齢や性差を考慮する必要があることを指摘している。したがって、本研究は我が国において、子どもの年齢や性差を考慮して推定式を作成した初めての研究であると考えられる。さらに本研究のValidation群で作成した推定式におけるSEEは、男子1.84kg、女子1.83kgであり、吉

村ら（1997）が成人を対象に作成した推定式の SEE（男性 2.10kg、女性 1.90kg）よりも低値を示した。また Pribyl.et al.（2011）のアメリカ人大学生を対象に HHBI から求めた %BF と空気置換法によって求めた %BF との相関関係（ $r=0.950$ ）と比較し、本研究で作成した推定式から求めた FFM と DDT から求めた FFM との相関関係の方が男女ともに優れていた（男子： $r=0.986$ ，女子： $r=0.969$ ，図 4-1）。以上のことから、本研究で作成した HHBI による FFM 推定式の精度の高さが示唆された。本研究は交差妥当性について検討するため、Cross-validation 群から Bland-Altman 分析 (Bland and Altman, 1996) による系統誤差の有無について検討した。この手法は実証的妥当性を検討する手法であり、妥当基準となる DDT から求めた FFM と HHBI による FFM 推定式から得られた FFM の平均値が横軸、DDT から求めた FFM と HHBI による FFM 推定式から得られた FFM の差が縦軸となる（図 4-2）。その結果、男子はすべての対象者が平均値 $\pm 2SD$ 以内に位置し、女子は 1 名だけが平均値 $\pm 2SD$ から逸脱していた。しかし、男女ともに有意な系統誤差は認められず、本研究で作成した FFM 推定式は極めて優れた評価法であることが示唆された。

4. 5 まとめ

本研究は日本人の幅広い年齢層の子どもの身体組成を安全かつ短時間で簡便に評価する為に、HHBI における日本人の子どもの FFM 推定式の作成を試み、その FFM 推定式の交差妥当性についても検討し、以下の結果が得られた。

1. Validation 群から求めた FFM 推定式は、男女ともに精度の高い推定式が得られた（男子 ; $R^2=0.972$, 女子 ; $R^2=0.971$ ($p<0.001$))。
2. FFM 推定式の交差妥当性について、Cross-validation 群から求めた FFM と DDT (妥当基準) による TBW から求めた FFM を Bland-Altman 分析による系統誤差の有無について検討した結果、両者間の FFM に有意な系統誤差は認められなかった。
3. 最終的な FFM 推定式においても、男女ともに精度の高い推定式が得られた（男子 ; $R^2=0.968$, 女子 ; $R^2=0.942$ ($p<0.001$))。

以上のことから、本研究で作成した HHBI による子どもの FFM 推定式は、日本の幅広い年齢層の子どもの身体組成評価法として優れた評価法であると考えられる。

第5章 子どもの重心動揺における評価指標の開発

5.1 緒言

ヒトは誕生してから他の動物よりも長い時間をかけて立位姿勢が保持できるようになり、加齢とともに二足歩行、走行、跳躍といった様々な運動の基本動作を習得する。その基本動作の最初の原点とも言える立位姿勢は、前庭系、視覚系、体性感覚系などの中枢神経から適切な運動指令が生成され、骨格、筋肉などの効果器が機能することによって姿勢制御が行われる。その為、ヒトは立位姿勢時にも微妙な身体動揺を繰り返して姿勢調節を行っている（大築ら，2011）。また、立位姿勢制御機構には自律神経系が関与しているという報告（木村，2011）や立位姿勢保持能力は幼少期に著しい発達がみられることから、スキヤモンの発育発達曲線の神経型に類似していると言われている（平沢と青木，1979）。しかし、現代社会では立位姿勢を保持できない子どもが多く、野井ら（2016）は姿勢保持能力の低下をもたらす要因として、前頭葉機能（集中力の欠如）、自律神経機能（体温調節不良）および睡眠・覚醒機能（睡眠問題）などの低下を示唆している。また、久保ら（2014）は幼児の静的バランス能力と体力、運動能力との関係について検討し、開眼片足立ちと25m走、立ち幅跳び、両足跳び越し、体支持時間との間に有意な相関関係が認められたと報告している。さらに、丹羽（1995）は姿勢と静的バランス能力との関係を検討し、小学生の不良姿勢の児童生徒の閉眼片足立ちが、正常姿勢の児童生徒よりも劣っていたと報告している。これらの結果は、子どもの立位姿勢保持能力が神経系の発達と密接な関係があり、神経系の体力、運動能力の測定の一つとして静的バランス能力の測定の重要性を示唆するものである。しかし、文部科学省の新体力テストにおいて静的バランス能力を客観的に評

価するテストは高齢者の開眼片足立ちが示されているだけで、他の年齢層には示されていない。

静的バランス能力の客観的な評価法のひとつに重心動揺がある（渡辺，1981）。重心動揺は立位姿勢における足圧中心動揺を静的バランス能力と捉え、重心点の総移動距離（総軌跡長）と軌跡の最外郭の面積（外周面積）、実効値を半径とした円の面積（実効値面積）および各軸の最大幅を長方形の面積（矩形面積）などを数値化して評価するものである。重心動揺の測定は検査台の上に閉足、立位姿勢で、開閉眼状態を 30 秒から 1 分間維持するだけで、特別な専門的技術を必要とせず誰でも安全かつ簡便に測定できるメリットがあることから（時田，2008）、重心動揺の研究は数多く報告されてきた（林ら，1983；臼井，1995；鷺見，1988）。これまでに重心動揺測定は再現性が高いことが成人を対象とした報告（Geldhof et al., 2006；徳増ら，1984）、子どもを対象とした報告（初鹿，1987）でなされている。さらに、成人を対象としたものであるが試行間および日間信頼性の高いこと（出村ら，2001；山次ら，2001）、重心動揺が静的バランス能力を評価する指標になること（望月，2008）も報告されている。さらに重心動揺と体力・運動能力の関係について、成人や高齢者を対象とした報告（泉ら，1998；牛山ら，2008）、スポーツ選手を対象とした報告（Imoo et al., 2013；川端ら，2004；溝畑，2010；田中ら，1987）がなされている。また、子どもを対象にした研究では男女共に 9 歳頃までに急速に矩形面積の安定性が高まること（臼井と平沢，1991）、6 歳から 9 歳までは女子が男子よりも矩形面積が小さく、その後、11 歳頃からは男子の方が女子よりも矩形面積が小さくなり、こうした結果は発育発達に伴う体格の違いによることが明らかにされている（平沢と青木，1979；Usui et al.,

1995)。このように、静的バランス能力として重心動揺は、成長過程にある子どもにとって年齢、性差が著しく影響し、今後、子どもの体力、運動能力を検討していくうえで重要な体力測定であると考えられる。

しかし、重心動揺値は体力、運動能力テストのような年齢ごとの評価基準が確立されておらず、3歳から94歳を対象に重心動揺値（外周面積、総軌跡長等）を5歳ごとに分類した評価しかなされていない（今岡ら，1997）。従って、子どもを対象とした重心動揺の研究では、重心動揺値と体力、運動能力との関係の分析に留まっている（Saito et al., 2001；Shintaku et al., 2005；山崎と山内，2011）。そこで本研究は、子どもの静的バランス能力を客観的に評価する為に重心動揺値に着目し、その代表値である外周面積と総軌跡長から子どもの重心動揺値の評価基準を年齢ごとに作成するとともに、子どもの重心動揺値の横断的発達基準曲線を作成することを目的とした。

5. 2 方法

5. 2. 1 対象者

対象者は、大阪府および兵庫県の保育園、幼稚園および小学校に在籍する4歳から11歳（測定時の年齢）までの1678名（男子842名、女子836名）のうち、すべての重心動揺値（開閉眼条件の外周面積および総軌跡長）が得られた1532名（男子769名、女子763名）とした。表5-1に年齢および性別の人数の内訳と身長および体重の平均値と標準偏差を示した。測定期間は2017年7月から2017年12月の間とし、測定は午前中に実施した。

対象者の保護者には、事前に測定における安全性や得られたデータの個人情報保護について説明し、保護者からの同意を得てから測定を実施した。なお本研究は兵庫県立大学倫理委員会の承認を受けた。

表5-1 各年齢の人数構成と身体特性について(平均)

年齢	全体 (人)	性別 (人)	身長 (cm)	体重 (kg)
4歳	143	男子 67	101.6±5.3	15.7±2.1
		女子 76	101.4±5.3	16.1±1.6
5歳	93	男子 46	109.2±5.7	18.3±2.6
		女子 47	113.1±6.0	20.5±2.6
6歳	184	男子 101	117.6±5.9	21.6±3.1
		女子 83	115.4±4.5	20.6±2.6
7歳	241	男子 116	122.9±4.9	24.2±3.9
		女子 125	121.4±4.7	23.4±2.9
8歳	236	男子 130	127.8±4.7	26.0±3.7
		女子 106	126.3±4.9	24.8±3.2
9歳	234	男子 101	131.6±5.2	29.7±6.4
		女子 133	132.8±6.7	29.7±5.8
10歳	189	男子 100	137.8±5.9	32.0±5.9
		女子 89	138.6±6.5	32.6±5.9
11歳	212	男子 108	143.5±7.3	35.8±6.4
		女子 104	145.3±7.0	38.0±7.2

5. 2. 2 測定方法

重心動揺値の測定にはアニマ株式会社製グラビコーダ GS-7 (JIS 規格) を使用した。重心動揺値には総軌跡長 (cm) と外周面積 (cm²) を採用した。なお、総軌跡長および外周面積は他の動揺面積と比較して再現性が高く、また実測値に近い為 (出村ら, 2001; 五島, 1986)、重心動揺値としてこの2変数を選択した。測定手順は2006年平衡機能検査基準

化委員会が定めた測定方法に従った（平衡機能検査基準化委員会，2006）。さらに測定時の様子をビデオカメラで撮影し、対象者が手を動かす、足の位置を変える、視点を注視していないかを測定後確認することにより、開閉眼の直立姿勢の保持ができたか否かを確定した。なお、本研究では測定の繰り返しによる学習効果を懸念し、測定を1回のみとした。

5. 2. 3 統計処理

各年齢の体格（身長および体重）は平均値と標準偏差で示した。各年齢の重心動揺値（総軌跡長および外周面積）の正規性検定にはコルモゴロフ・スミルノフの検定を行い、いずれの年齢（5歳、10歳、11歳の男女の閉眼の総軌跡長を除く）の重心動揺値にも正規性が認められなかった為、パーセンタイル値を利用して中央値と第1四分位と第3四分位で示した。男女別に重心動揺値の年齢差を検討する為、クラスカル・ウォリスのH検定を行い、有意差が認められた場合はボンフェローニの方法に従って多重比較検定（マン・ホイットニーのU検定）を行った。また、男女間の重心動揺値の差の検定はマン・ホイットニーのU検定を行った。さらに性別および各年齢における重心動揺値の各パーセンタイル値による曲線推定には、相関係数および決定係数が最も高かった対数関数によって回帰分析を行った。なお、統計的有意水準はすべて5%未満とし、すべての統計処理は統計ソフトSPSS Statistics Version24.0を用いた。

5. 3 結果

5. 3. 1 重心動揺値の年齢変化と性差について

表 5-2 に開閉眼の重心動揺値の中央値（第 1 四分位数－第 3 四分位数）および年齢を要因とした分散分析の結果を性別および年齢別に示した。年齢差については男子の外周面積（開閉眼）、総軌跡長（開閉眼）いずれも分散分析の結果、有意差がみられた ($p < 0.05$)。多重比較検定の結果、外周面積の開閉眼共に同一年齢間に有意差がみられ、4 歳は 6 歳以降の年齢間、5 歳は 7 歳以降の年齢間、6 歳・7 歳・8 歳は 9 歳以降の年齢間に有意差がみられた。総軌跡長においても開閉眼共ほぼ同一年齢間に有意差がみられ、4 歳・5 歳は 6 歳以降の年齢間、6 歳・7 歳は 9 歳以降の年齢間（開眼の 6 歳は 8 歳以降の年齢間）、8 歳は 11 歳に有意差がみられた。なお、外周面積、総軌跡長の開閉眼いずれも 9 歳、10 歳、11 歳間に有意な差はみられなかった。女子についても外周面積（開閉眼）、総軌跡長（開閉眼）いずれも分散分析の結果、有意差がみられた ($p < 0.05$)。多重比較検定の結果、外周面積の開閉眼共にほぼ同一年齢間に有意差がみられ、4 歳・5 歳は 6 歳以降の年齢間、6 歳は 9 歳以降の年齢間（閉眼の 6 歳は 8 歳以降の年齢間）、7 歳は 10 歳、閉眼の 8 歳、9 歳は 10 歳に有意差がみられた。総軌跡長においても開閉眼共にほぼ同一年齢間に有意差がみられ、4 歳・5 歳は 6 歳以降の同一年齢間、6 歳・7 歳は 10 歳以降の年齢間（開眼の 6 歳は 9 歳以降の年齢間）に有意差がみられた。なお、閉眼の外周面積の 8 歳、9 歳と 10 歳との間を除き外周面積、総軌跡長の開閉眼いずれも 8 歳、9 歳、10 歳、11 歳間に有意な差がみられなかった。性差について、開閉眼の外周面積と開眼の総軌跡長は女子が男子よりも有意に低かった（5 歳、11 歳は性差なし）。閉眼の総軌跡長は 7 歳、8 歳、10 歳

の女子が男子よりも有意に低かった（他の年齢は性差なし）。

表5-2 年齢別および性別にみた重心動揺値(中央値と第1四分位数-第3四分位数)の結果

	性別		男子		女子		男女間					
	年齢(歳)	重心動揺値	χ^2 (df=7)	多重比較	重心動揺値	χ^2 (df=7)	多重比較	U	z	p		
開眼	外周面積 (cm ²)	4	4.55 (3.56-6.37)		3.80 (2.96-5.15)		1893.5	-2.640	0.008	男子>女子		
		5	3.80 (2.68-6.17)		3.17 (2.25-6.32)		993.5	-0.672	0.501	n.s.		
		6	3.44 (2.02-5.11)		2.49 (1.57-3.87)		3089.5	-3.065	0.002	男子>女子		
	総軌跡長 (cm)	7	2.45 (1.75-3.85)	193.66*	4歳>6-11歳 5歳>7-11歳 6-8歳>9-11歳	1.98 (1.41-2.77)	168.14*	4歳.5歳>6-11歳 6歳>9-11歳 7歳>10歳	5158.5	-3.688	<0.001	男子>女子
		8	2.68 (1.79-3.62)			1.95 (1.34-2.66)		4816.0	-3.976	<0.001	男子>女子	
		9	1.89 (1.45-2.94)			1.74 (1.24-2.52)		5622.5	-2.133	0.033	男子>女子	
		10	2.11 (1.35-2.80)			1.57 (1.18-2.02)		3276.5	-3.126	0.002	男子>女子	
		11	1.77 (1.25-2.25)			1.76 (1.13-2.31)		5528.0	-0.197	0.844	n.s.	
	閉眼	外周面積 (cm ²)	4	65.81 (53.81-82.08)		55.92 (48.25-70.61)		1894.0	-2.638	0.008	男子>女子	
			5	61.10 (51.76-69.61)		58.58 (48.25-70.08)		981.0	-0.768	0.442	n.s.	
			6	49.20 (39.75-63.26)		41.94 (37.51-50.25)		2996.0	-3.325	0.001	男子>女子	
総軌跡長 (cm)		7	46.15 (38.53-54.14)	229.39*	4歳.5歳>6-11歳 6歳.7歳>9-11歳 7歳>11歳	39.55 (33.05-46.58)	222.20*	4歳.5歳>6-11歳 6歳>9-11歳 7歳>10歳.11歳	4870.0	-4.401	<0.001	男子>女子
		8	42.47 (34.61-53.13)			39.27 (31.64-45.40)		5515.5	-2.635	0.008	男子>女子	
		9	39.85 (33.50-47.78)			36.79 (30.66-44.18)		5510.0	-2.352	0.019	男子>女子	
		10	37.77 (31.39-46.40)			35.28 (29.44-39.45)		3481.5	-2.580	0.010	男子>女子	
		11	36.82 (30.53-41.88)			34.52 (29.56-41.64)		5085.5	-1.188	0.235	n.s.	
閉眼		外周面積 (cm ²)	4	6.79 (5.25-10.08)		5.70 (3.85-8.10)		1894.0	-2.638	0.008	男子>女子	
			5	5.57 (3.76-7.50)		5.23 (4.13-7.89)		1052.0	-0.223	0.824	n.s.	
			6	4.65 (2.87-5.80)		3.49 (2.21-5.03)		3320.5	-2.423	0.015	男子>女子	
	総軌跡長 (cm)	7	3.83 (2.87-5.10)	201.58*	4歳>6-11歳 5歳>7-11歳 6-8歳>9-11歳	2.70 (1.90-4.43)	213.25*	4歳.5歳>6-11歳 6歳>8-11歳 8-10歳>10歳	4962.0	-4.231	<0.001	男子>女子
		8	3.95 (2.32-5.39)			2.47 (1.61-3.77)		4287.5	-4.989	<0.001	男子>女子	
		9	2.86 (2.06-4.15)			2.66 (1.72-3.43)		5493.0	-2.386	0.017	男子>女子	
		10	2.92 (1.97-4.13)			1.90 (1.36-2.60)		2657.5	-4.775	<0.001	男子>女子	
		11	2.51 (1.78-3.29)			2.41 (1.65-3.13)		5106.5	-1.141	0.254	n.s.	
	総軌跡長 (cm)	4	92.09 (76.62-110.78)			82.91 (68.78-110.13)		2130.0	-1.683	0.092	n.s.	
		5	82.03 (69.13-100.82)			86.11 (67.92-97.86)		1030.5	-0.388	0.698	n.s.	
		6	62.99 (51.62-82.96)			58.36 (46.34-75.24)		3513.5	-1.886	0.059	n.s.	
7		62.91 (50.83-75.31)	204.28*	4歳.5歳>6-11歳 6歳.7歳>9-11歳 8歳>11歳	55.47 (44.99-67.88)	204.09*	4歳.5歳>6-11歳 6歳.7歳>10歳.11歳	5432.5	-3.361	0.001	男子>女子	
8		58.22 (46.93-69.35)			50.32 (42.10-66.07)		5536.0	-2.595	0.009	男子>女子		
9		53.24 (45.85-65.63)			51.62 (41.50-63.30)		6001.0	-1.395	0.163	n.s.		
10		53.94 (41.80-65.22)			46.49 (38.54-53.84)		3140.0	-3.490	<0.001	男子>女子		
11		50.28 (40.24-60.68)			49.25 (39.15-58.38)		5275.0	-0.764	0.445	n.s.		

*p<0.05(両側検定)

5. 3. 2 重心動揺値の評価基準と横断的発達基準曲線の作成

表 5-3 に男女の重心動揺値における年齢別パーセンタイル値の結果を示した。この表を基に 25 パーセンタイル未満を「優れている」、25 パーセンタイル以上 75 パーセンタイル未満を「普通」、75 パーセンタイル以上を「劣る」として男女の重心動揺値の 3 段階評価基準を表 5-4 のとおり作成した。さらに重心動揺値のパーセンタイル値（表 5-3）を従属変数、年齢を独立変数として対数関数による回帰分析を行った結果を男女別に表 5-5 に示した。男子の外周面積は開眼の相関係数（以降 r とする） $=0.894-0.977$ 、決定係数（以降 r^2 とする） $=0.800-0.955$ 、閉眼の $r=0.886-0.954$ 、 $r^2=0.785-0.911$ となり、いずれも有意な相関関係がみられた（ $p<0.05$ ）。また、総軌跡長は開眼の $r=0.894-0.968$ 、 $r^2=0.799-0.938$ 、閉眼の $r=0.880-0.944$ 、 $r^2=0.774-0.874$ となり、有意な相関関係がみられた（ $p<0.05$ ）。また、女子の外周面積は開眼の $r=0.878-0.929$ 、 $r^2=0.770-0.864$ 、閉眼の $r=0.827-0.950$ 、 $r^2=0.631-0.902$ となり、いずれも有意な相関関係がみられた（ $p<0.05$ ）。総軌跡長は開眼の $r=0.872-0.935$ 、 $r^2=0.761-0.874$ 、閉眼の $r=0.885-0.934$ 、 $r^2=0.783-0.873$ となり、有意な相関関係がみられた（ $p<0.05$ ）。これらの回帰分析から得られた近似式を基に図 5-1-1 から図 5-1-4 に男子、図 5-2-1 から図 5-2-4 に女子の開閉眼の重心動揺値（外周面積、総軌跡長）の発達基準曲線を示した。

表 5-3 男女の開閉眼の重心動揺値における年齢別パーセントイル値

性別	開眼																
	開眼						閉眼										
	外周面積 (cm ²)			総軌跡長 (cm)			外周面積 (cm ²)			総軌跡長 (cm)							
年齢 (歳)	パーセントイル値		パーセントイル値		パーセントイル値		パーセントイル値		パーセントイル値		パーセントイル値						
	10	25	50	75	90	10	25	50	75	90	10	25	50	75	90		
男子	4	2.97	3.56	4.55	6.37	7.79	46.46	53.63	65.81	82.08	91.53	3.78	5.25	6.79	10.08	12.89	
	5	1.79	2.68	3.80	6.17	7.96	43.68	51.76	61.10	69.61	97.33	3.01	3.76	5.57	7.50	10.20	
	6	1.36	2.02	3.44	5.11	7.30	31.44	39.75	49.20	63.26	80.88	1.65	2.87	4.65	5.80	8.12	
	7	1.45	1.75	2.45	3.85	5.33	30.95	38.53	46.15	54.14	64.74	2.09	2.87	3.83	5.10	6.82	
	8	1.26	1.79	2.68	3.62	4.99	30.44	34.61	42.47	53.13	61.90	1.82	2.32	3.95	5.39	7.98	
	9	1.05	1.45	1.89	2.94	4.04	29.28	33.50	39.85	47.78	55.35	1.48	2.06	2.86	4.15	5.40	
	10	0.93	1.35	2.11	2.80	4.30	27.08	31.39	37.77	46.40	52.11	1.50	1.97	2.92	4.13	5.19	
	11	1.01	1.25	1.77	2.25	2.97	24.02	30.53	36.82	41.88	46.57	1.27	1.78	2.51	3.29	4.46	
	女子	4	1.87	2.96	3.80	5.15	8.14	43.17	48.25	55.92	70.61	90.41	2.64	3.85	5.70	8.10	10.04
		5	2.06	2.25	3.17	6.32	7.55	43.21	48.25	58.58	70.08	91.93	3.43	4.13	5.23	7.89	10.47
		6	1.12	1.57	2.49	3.87	6.06	28.68	37.51	41.94	50.25	62.00	1.57	2.21	3.49	5.03	7.29
7		1.09	1.41	1.98	2.77	3.73	28.16	33.05	39.55	46.58	53.06	1.33	1.90	2.70	4.43	5.40	
8		0.94	1.34	1.95	2.66	4.35	26.89	31.64	39.27	45.40	54.17	1.25	1.61	2.47	3.77	5.12	
9		0.93	1.24	1.74	2.52	3.18	25.58	30.66	36.79	44.18	49.87	1.10	1.72	2.66	3.43	4.30	
10		0.96	1.18	1.57	2.02	3.01	26.37	29.44	35.28	39.45	44.90	1.08	1.36	1.90	2.60	3.79	
11		0.83	1.13	1.76	2.31	3.42	25.54	29.56	34.52	41.64	48.67	1.24	1.65	2.41	3.13	3.77	

表5-4 男女の開閉眼の重心動揺値の3段階評価基準

		男子				女子			
		開眼・外周面積		閉眼・総軌跡長		開眼・外周面積		閉眼・総軌跡長	
評価年齢	優れている	普通	劣っている	優れている	普通	劣っている	優れている	普通	劣っている
4	～ 3.55	3.56	6.36	6.37	～ 53.62	53.63	～ 82.07	82.08	～
5	～ 2.67	2.68	6.16	6.17	～ 51.75	51.76	～ 69.60	69.61	～
6	～ 2.01	2.02	5.10	5.11	～ 39.74	39.75	～ 63.25	63.26	～
7	～ 1.74	1.75	3.84	3.85	～ 38.52	38.53	～ 54.13	54.14	～
8	～ 1.78	1.79	3.61	3.62	～ 34.60	34.61	～ 53.12	53.13	～
9～11	～ 1.44	1.45	2.93	2.94	～ 33.49	33.50	～ 47.77	47.78	～
		閉眼・外周面積				閉眼・総軌跡長			
評価年齢	優れている	普通	劣っている	優れている	普通	劣っている	優れている	普通	劣っている
4	～ 5.24	5.25	10.07	10.08	～ 76.61	76.62	～ 110.77	110.78	～
5	～ 3.75	3.76	7.49	7.50	～ 69.12	69.13	～ 100.81	100.82	～
6	～ 2.86	2.87	5.79	5.80	～ 51.61	51.62	～ 82.95	82.96	～
7	～ 2.86	2.87	5.09	5.10	～ 50.82	50.83	～ 75.30	75.31	～
8	～ 2.31	2.32	5.38	5.39	～ 46.92	46.93	～ 69.34	69.35	～
9～11	～ 2.05	2.06	4.14	4.15	～ 45.84	45.85	～ 65.62	65.63	～
		開眼・外周面積				開眼・総軌跡長			
評価年齢	優れている	普通	劣っている	優れている	普通	劣っている	優れている	普通	劣っている
4	～ 2.96	2.97	5.15	5.16	～ 48.25	48.26	～ 70.61	70.62	～
5	～ 2.25	2.26	6.32	6.33	～ 48.25	48.26	～ 70.08	70.09	～
6	～ 1.57	1.58	3.87	3.88	～ 37.51	37.52	～ 50.25	50.26	～
7	～ 1.41	1.42	2.77	2.78	～ 33.05	33.06	～ 46.58	46.59	～
8～11	～ 1.34	1.35	2.66	2.67	～ 31.64	31.65	～ 45.40	45.41	～
		閉眼・外周面積				閉眼・総軌跡長			
評価年齢	優れている	普通	劣っている	優れている	普通	劣っている	優れている	普通	劣っている
4	～ 5.24	5.25	8.09	8.10	～ 68.78	68.79	～ 110.13	110.14	～
5	～ 3.75	3.76	7.88	7.89	～ 67.92	67.93	～ 97.86	97.87	～
6	～ 2.86	2.87	5.02	5.03	～ 46.34	46.35	～ 75.24	75.25	～
7	～ 2.86	2.87	4.42	4.43	～ 44.99	45.00	～ 67.88	67.89	～
8～11	～ 2.31	2.32	3.76	3.77	～ 42.10	42.11	～ 66.07	66.08	～

表 5-5 男女の開閉眼の重心動揺値における各パラメータ値から算出された近似式

性別	開閉眼 条件	パラメ ータ 値	外周面積 (cm ²)				総軌跡長 (cm)					
			数式	相関係数 (r)	決定係数 (r ²)	標準誤差	p値	数式	相関係数 (r)	決定係数 (r ²)	標準誤差	p値
男子	開眼	10	y=-0.898ln(x)+2.669	0.894	0.800	0.423	0.003	y=-10.760ln(x)+47.183	0.894	0.799	4.050	0.003
		25	y=-1.097ln(x)+3.434	0.921	0.848	0.408	0.001	y=-12.290ln(x)+55.507	0.940	0.864	3.562	0.001
		50	y=-1.380ln(x)+4.664	0.949	0.901	0.423	<0.001	y=-15.140ln(x)+67.459	0.950	0.903	4.088	<0.001
		75	y=-2.147ln(x)+6.984	0.977	0.955	0.397	<0.001	y=-19.110ln(x)+82.618	0.959	0.907	4.933	<0.001
		90	y=-2.450ln(x)+8.831	0.974	0.949	0.600	<0.001	y=-24.970ln(x)+101.910	0.968	0.938	5.571	<0.001
	閉眼	10	y=-2.606ln(x)+7.550	0.886	0.785	0.519	0.003	y=-31.410ln(x)+10.844	0.880	0.774	5.651	0.004
		25	y=-3.628ln(x)+10.482	0.931	0.844	0.559	0.001	y=-41.080ln(x)+139.200	0.920	0.846	5.995	0.001
		50	y=-4.765ln(x)+14.145	0.954	0.911	0.566	<0.001	y=-46.640ln(x)+162.450	0.917	0.841	7.185	0.001
		75	y=-6.872ln(x)+20.116	0.925	0.855	1.067	0.001	y=-58.180ln(x)+201.090	0.944	0.874	7.221	<0.001
		90	y=-8.953ln(x)+26.443	0.937	0.878	1.242	0.001	y=-74.850ln(x)+250.780	0.931	0.867	11.589	0.001
女子	開眼	10	y=-1.350ln(x)+4.060	0.878	0.770	0.257	0.004	y=-22.090ln(x)+77.372	0.872	0.761	4.228	0.005
		25	y=-1.953ln(x)+5.736	0.926	0.857	0.266	0.001	y=-24.560ln(x)+87.645	0.935	0.874	3.062	0.001
		50	y=-2.471ln(x)+7.501	0.926	0.858	0.355	0.001	y=-27.950ln(x)+101.460	0.904	0.818	4.267	0.002
		75	y=-4.480ln(x)+12.865	0.891	0.793	0.751	0.003	y=-37.491ln(x)+129.800	0.915	0.837	6.357	0.001
		90	y=-6.326ln(x)+18.220	0.929	0.864	0.924	0.001	y=-56.281ln(x)+180.13	0.909	0.827	9.053	0.002
	閉眼	10	y=-2.312ln(x)+6.563	0.827	0.631	0.518	0.011	y=-28.150ln(x)+97.948	0.934	0.873	3.727	0.001
		25	y=-3.118ln(x)+8.855	0.887	0.786	0.548	0.003	y=-37.300ln(x)+127.040	0.913	0.834	5.660	0.002
		50	y=-4.260ln(x)+12.270	0.926	0.857	0.565	0.001	y=-45.950ln(x)+156.620	0.885	0.783	7.888	0.003
		75	y=-6.605ln(x)+18.672	0.950	0.902	0.679	<0.001	y=-61.970ln(x)+204.290	0.932	0.868	7.709	0.001
		90	y=-8.494ln(x)+24.120	0.939	0.881	0.982	0.001	y=-77.530ln(x)+250.510	0.920	0.846	10.519	0.001

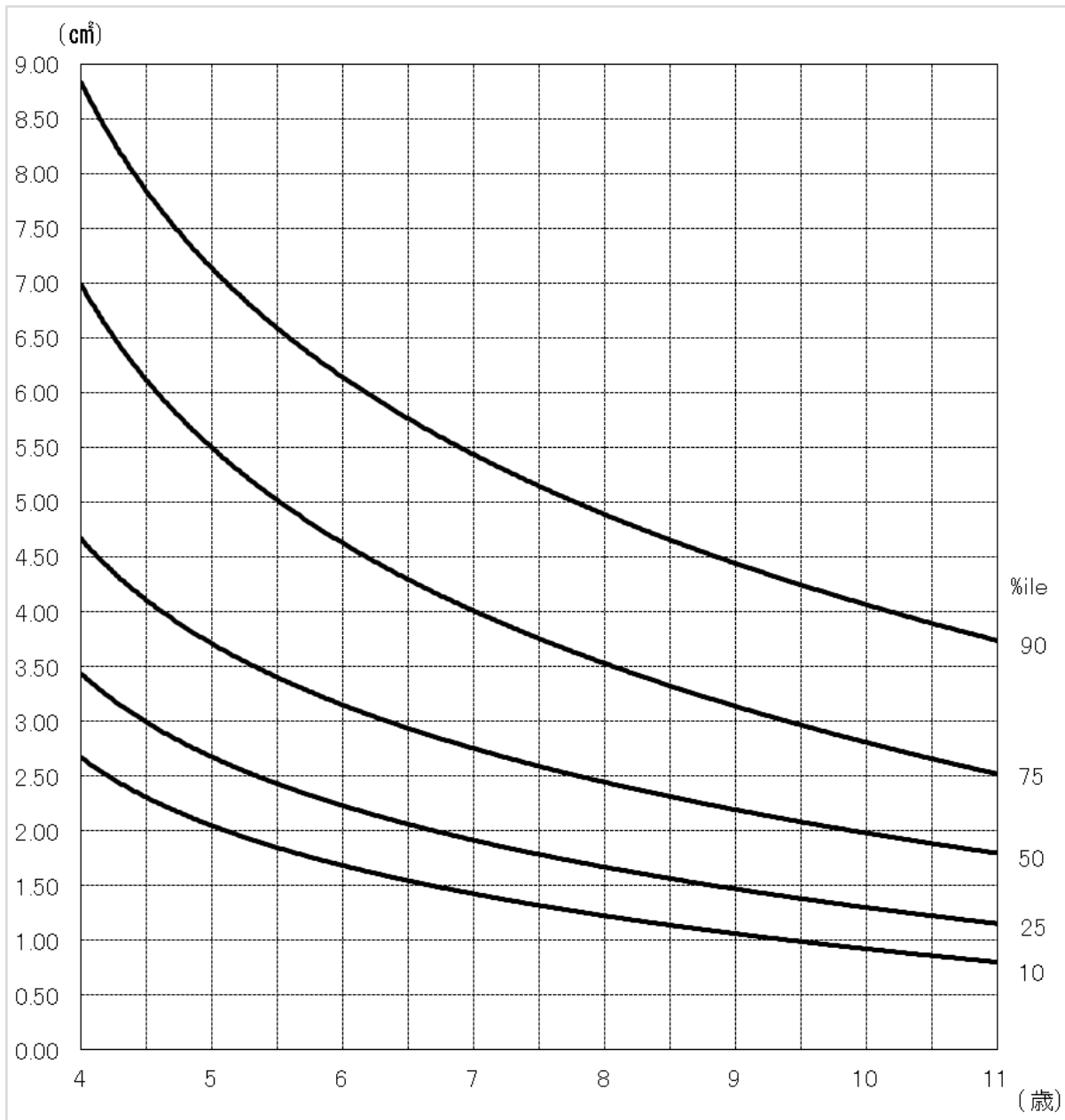


図 5-1-1 男子の開眼・外周面積の横断的基準曲線

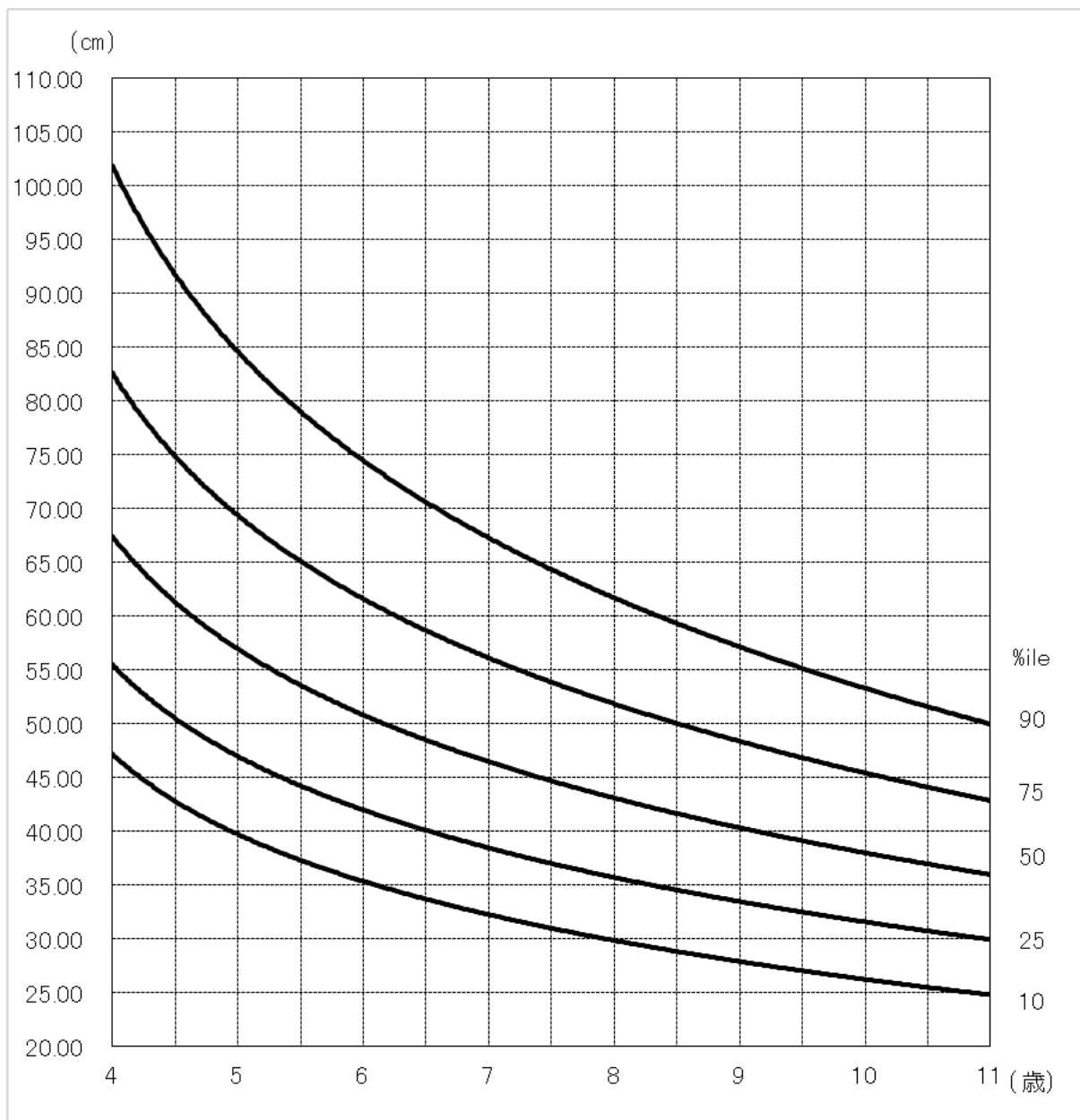


図 5-1-2 男子の開眼・総軌跡長の横断的基準曲線

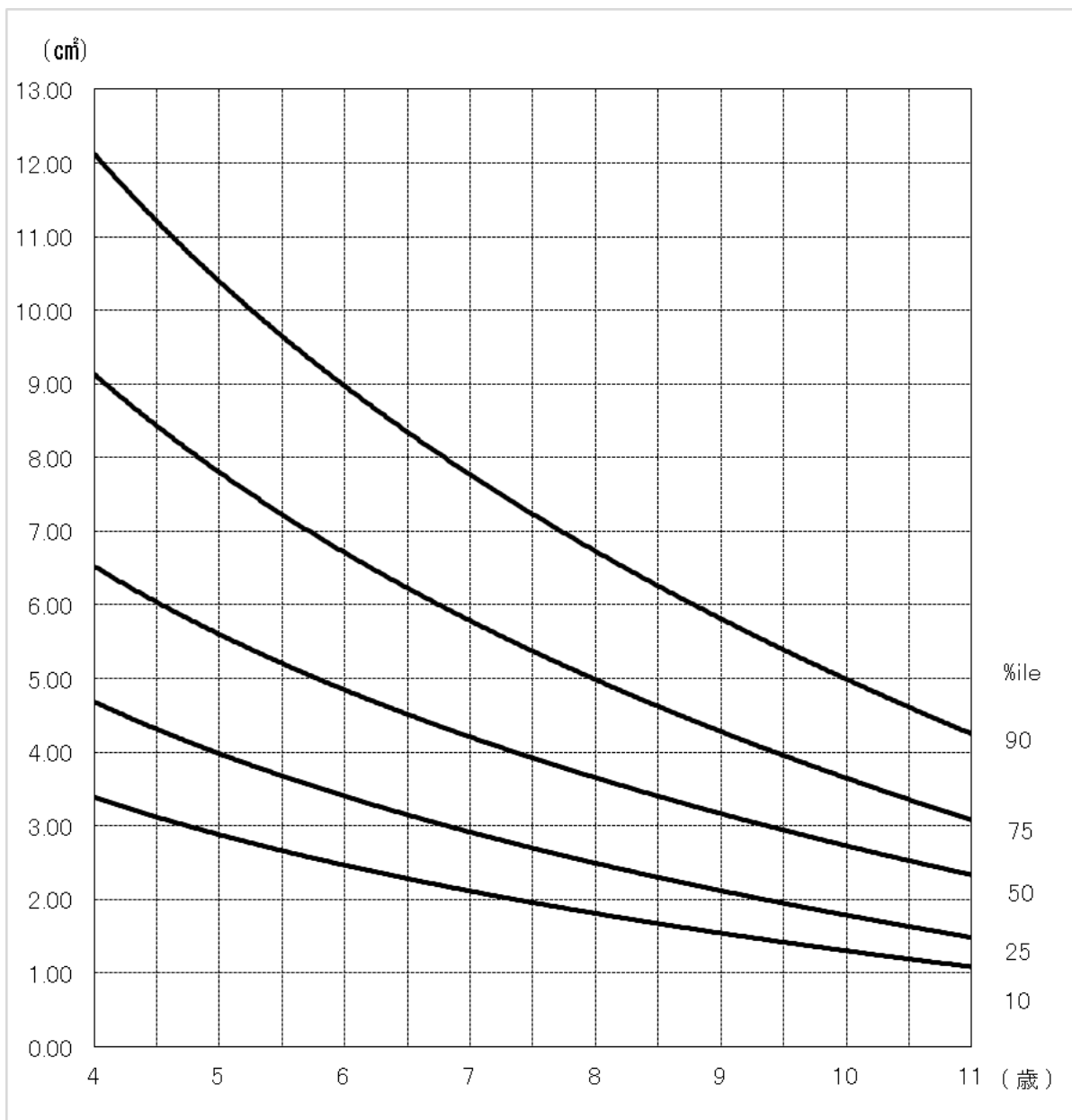


図 5-1-3 男子の閉眼・外周面積の横断的基準曲線

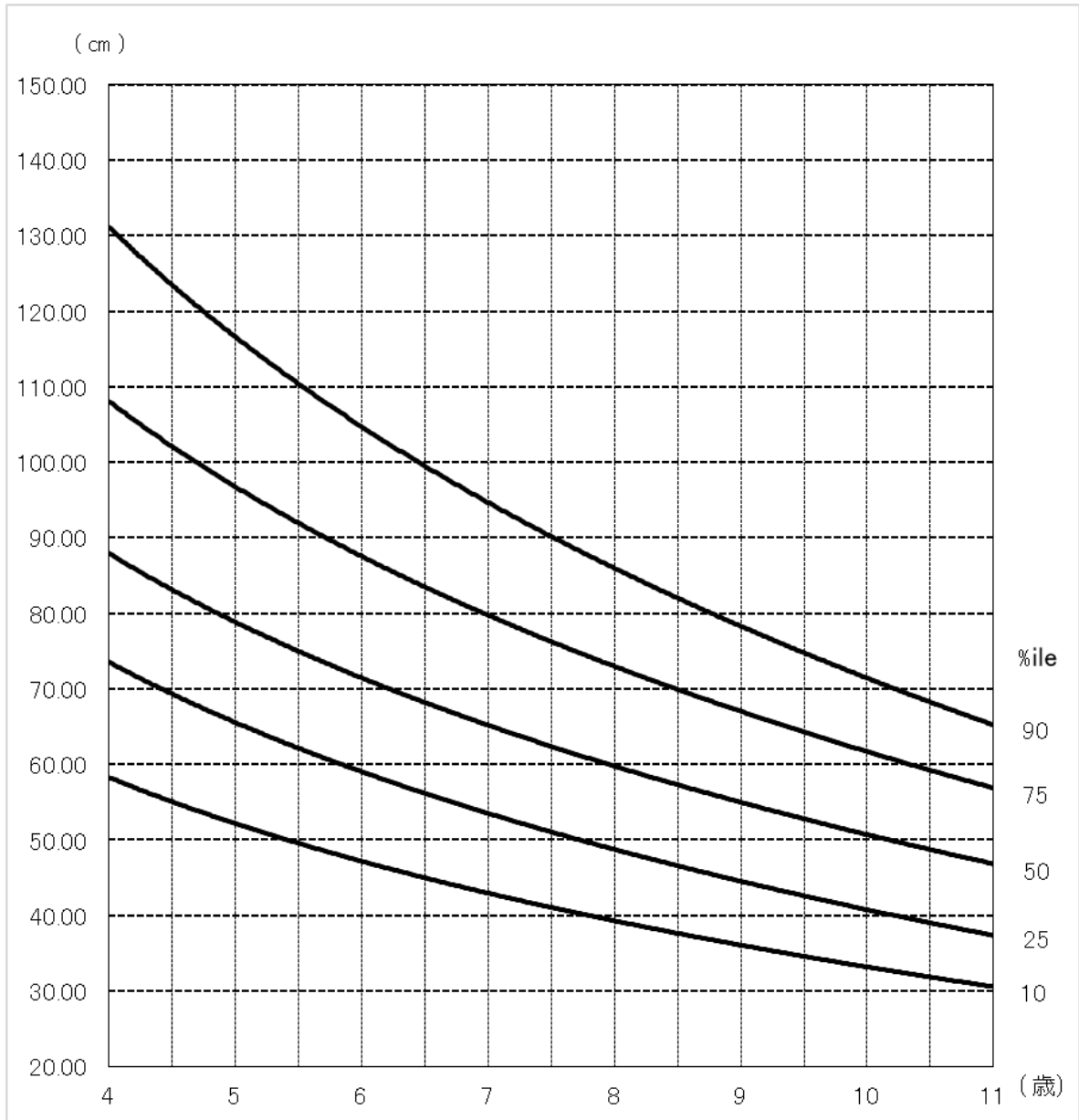


図 5-1-4 男子の閉眼・総軌跡長の横断的基準曲線

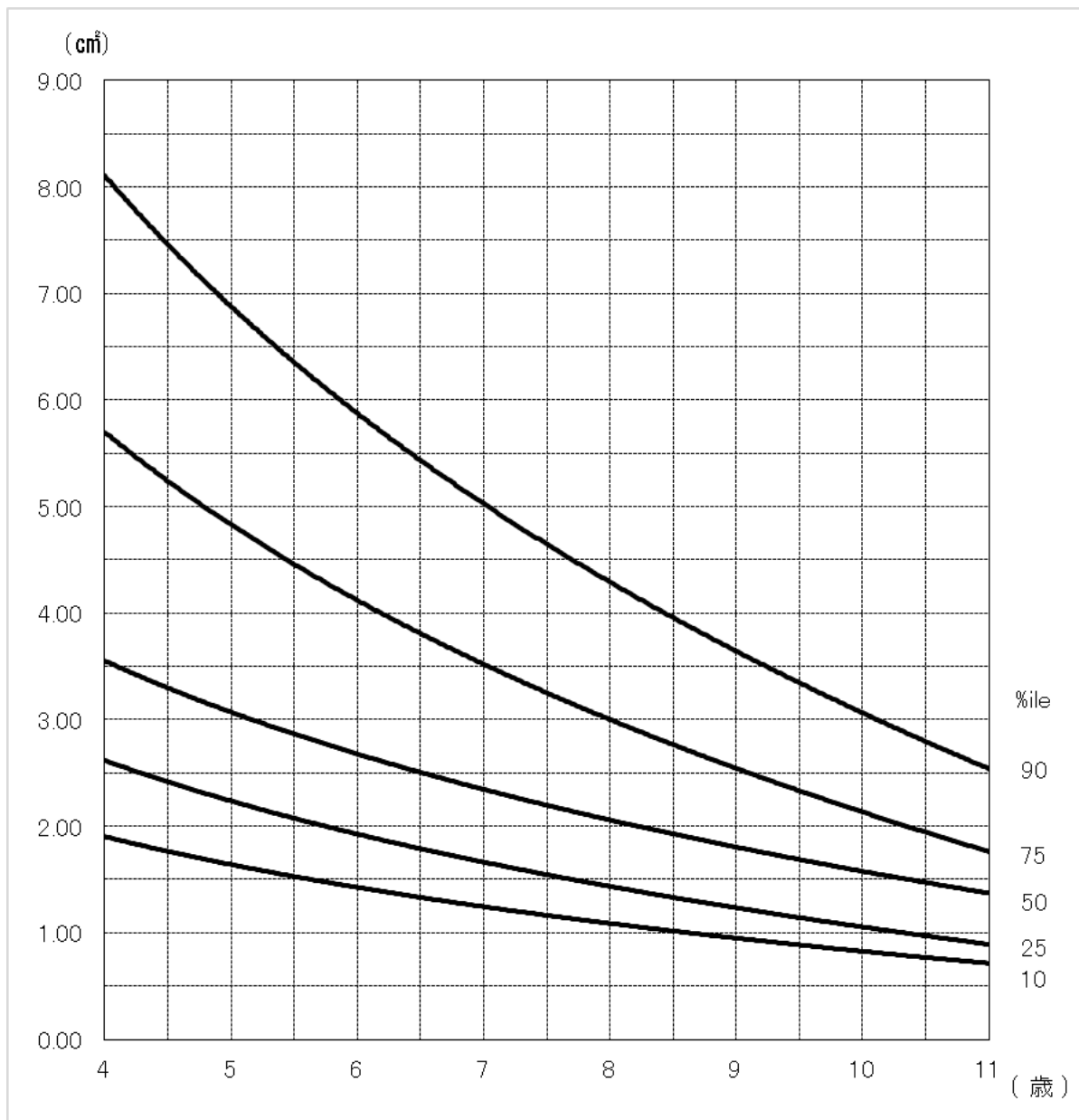


図 5-2-1 女子の開眼・外周面積の横断的基準曲線

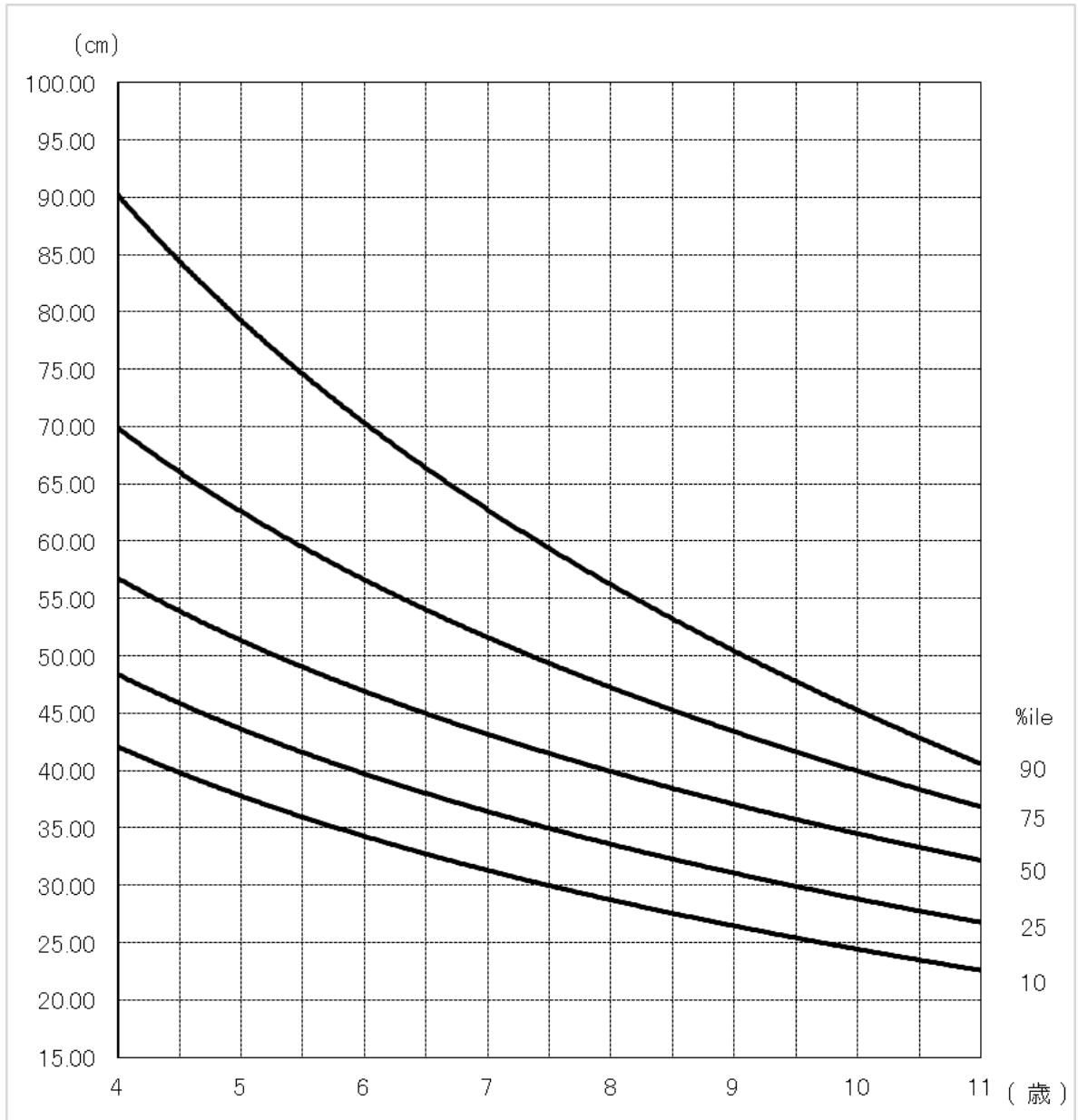


図 5-2-2 女子の開眼・総軌跡長の横断的基準曲線

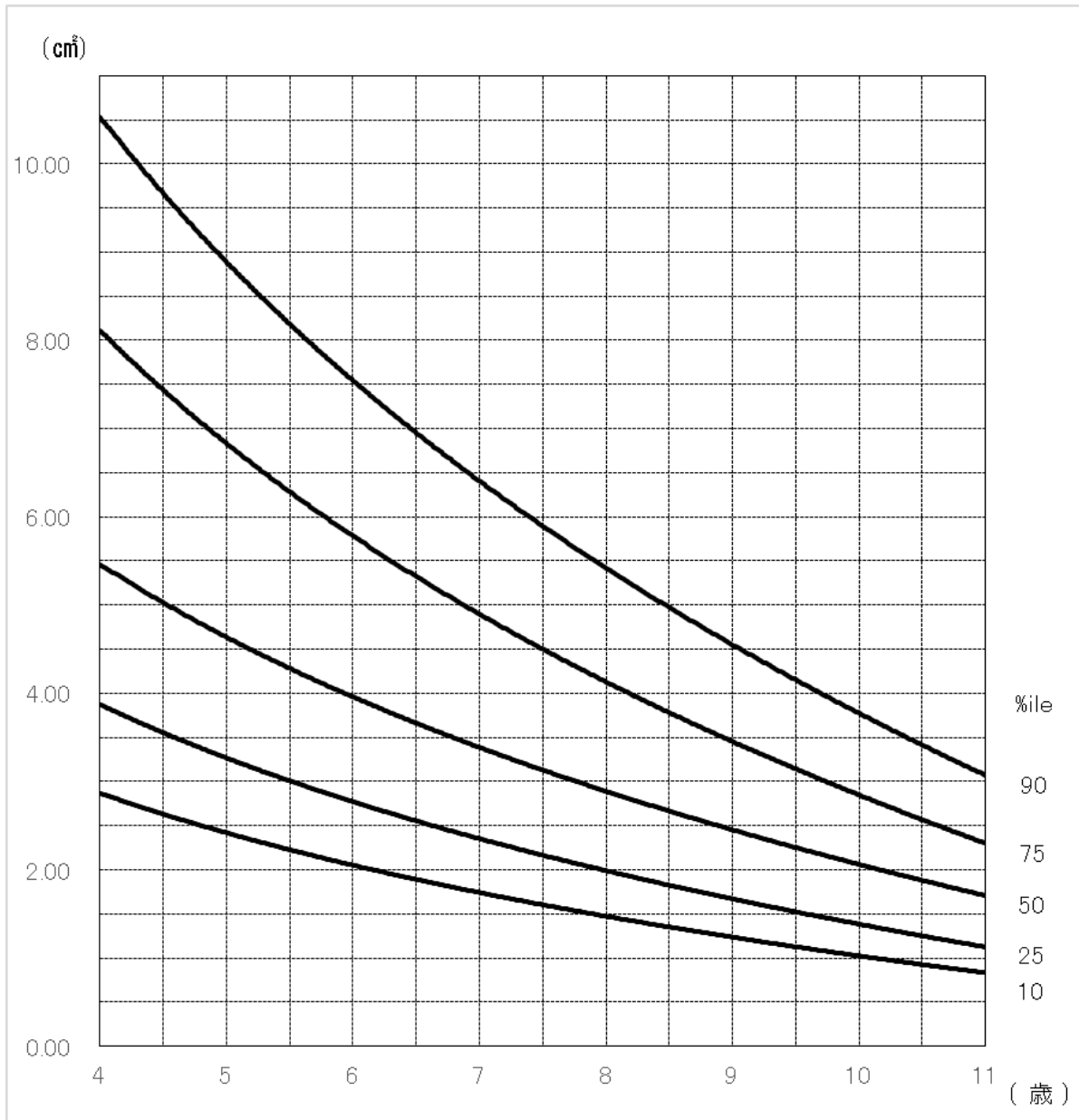


図 5-2-3 女子の閉眼・外周面積の横断的基準曲線

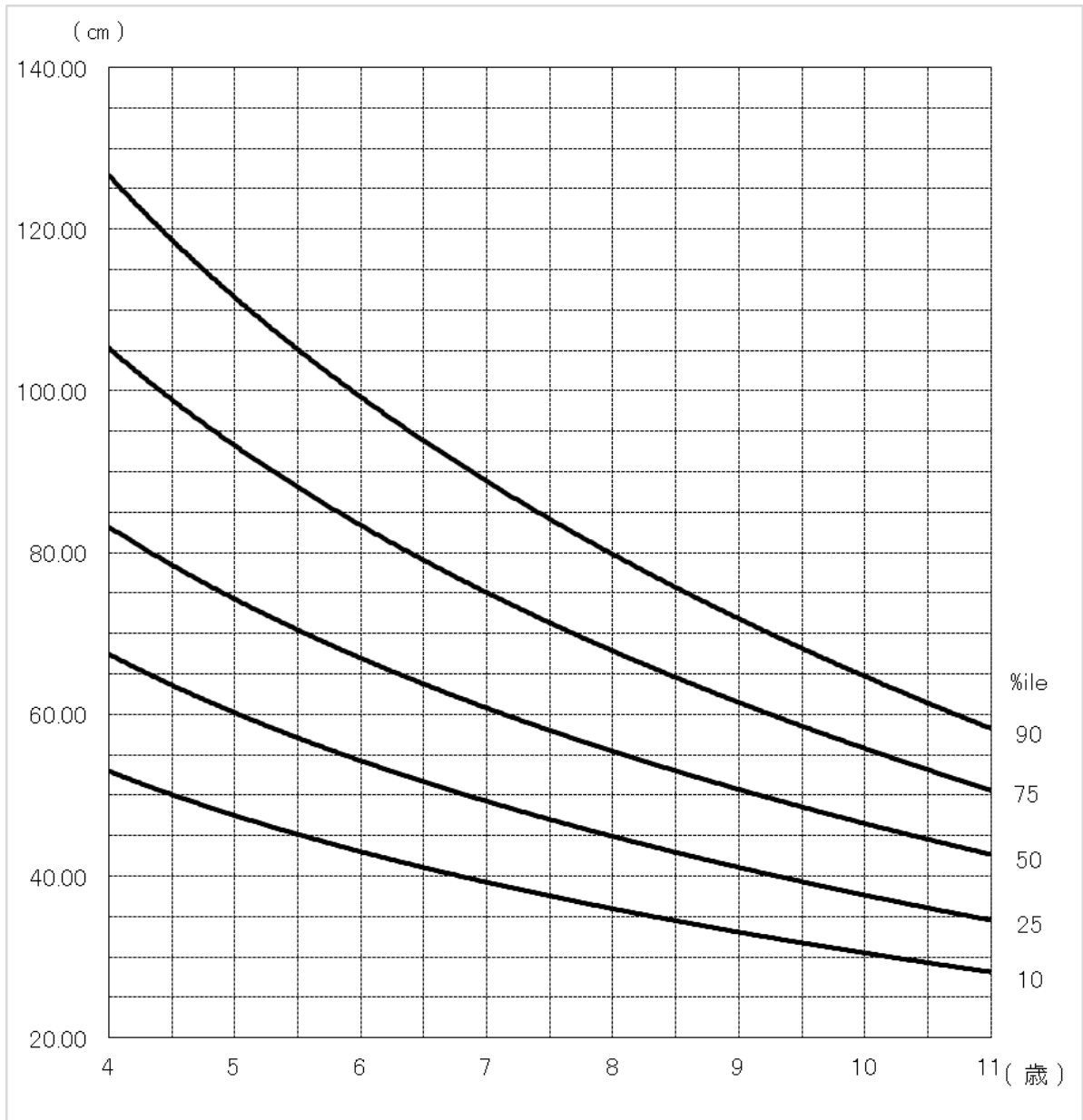


図 5-2-4 女子の閉眼・総軌跡長の横断的基準曲線

5. 4 考察

本研究を分析するにあたり、方法に示したように大阪府および兵庫県の保育園、幼稚園および小学校に在籍する4歳から11歳（測定時の年齢）までの1678名（男子842名、女子836名）を対象とした。計測に際しては平衡機能検査基準化委員会（平衡機能検査基準化委員会，2006）により答申された測定法に遵守して実施したものである。その上で、評価基準を作成する為、開眼による測定のみ姿勢維持ができなかった対象者39名（約2.3%）、閉眼による測定のみ姿勢維持ができなかった対象者66名（約3.9%）、開閉眼ともに姿勢維持ができなかった対象者41名（約2.4%）の計146名（約8.7%）を除外した。開眼による測定のみおよび閉眼による測定のみ姿勢維持ができなかった対象者を削除しない選択肢も考えられたが、年齢変化、性差を検討する上で同一条件（開閉眼ともに姿勢維持ができた者）の者を対象とすることが望ましいと考え、上記146名を除外した。これまでの子どもを対象として重心動揺を測定した先行研究において、真家（2014）は140名中4名（2.9%）、岩見ら（2009）は64名中5名（7.8%）が開眼での重心動揺測定で姿勢保持ができなかった理由により対象から除外している。本研究においては、開眼のみならず閉眼の測定も実施した上で、開閉眼の測定において共に姿勢保持ができた者を対象としたが、その除外率は高いものではなかったと考えられる。しかし、姿勢保持ができなかった対象者に対しては姿勢保持が可能であった時間から評価する方法も検討する必要があると思われるため、この後の課題として検討することとし、本研究では開閉眼でともに姿勢維持が可能であった子ども達の評価基準を作成することとした。従って、本研究では全体の約10%に当たる子どもの重心動揺値を除外した形にはなるが、これまでの先行研究と比較

しても対象にした年齢幅の幅は広く、また十分な人数は確保できていると考えられ、基準値を作成する上で妥当であると考えられる。

5. 4. 1 重心動揺値の年齢変化と性差について

年齢を要因とした分散分析の結果、男子の重心動揺値（外周面積、総軌跡長）は9歳以降の年齢間に有意差がみられなくなり、9歳以降に安定した。女子の重心動揺値（外周面積、総軌跡長）は閉眼の外周面積の8歳と10歳間、9歳と10歳間を除き8歳以降の年齢間に有意差がみられなくなり、8歳以降に安定した。中林（1997）は開閉眼の重心動揺値（矩形面積、総軌跡長）は男女共に4歳から9歳にかけて著しい発達がみられ、それ以降10歳から12歳において成人と差がみられなくなると報告している。また、大和ら（2001）は小学生の重心動揺値（外周面積、総軌跡長）について検討し、開閉眼の総軌跡長が男女ともに1年生（6歳）から3年生（8歳）になるまで一定の勾配で減少し、その後6年生（11歳）までほぼ横這いの傾向がみられたと報告している。さらに重心動揺面積（矩形面積）が5歳以降減少し、6歳頃までには安定し立位姿勢制御が完成する報告もなされている（Hayes et al., 1985 ; Lebedowska et al., 2000）。また、今岡ら（1997）は小学生と20.0歳から24.9歳の成人の平均値と比較すると、男子では11歳頃、女子では10歳頃に成人値と同程度になると報告している。このように、本研究および先行研究を考え併せると重心動揺値の安定する年齢は6歳から10歳であると考えられる。Scammon（1930）による発育発達曲線では2歳から3歳の間に急激に神経系が発達し、10歳前後で成人の95%レベルに達することが報告されている。従って、神経系に関わる平衡機能として重心動揺

値はスキヤモンの発育発達曲線に準じて早期に安定し成人値に達することが示唆された。

性差について、後藤ら（2001）は3歳から5歳までの男女の重心動揺値（総軌跡長、外周面積）は、いずれの年齢においても男女間に有意差がみられなかったと報告し、岩見ら（2009）も5歳児の重心動揺値（総軌跡長、外周面積、矩形面積）は男児よりも女児の方が低値であったが、男女間に有意差がみられなかったと報告している。また、平沢ら（1979）は6歳から9歳までは女子が男子よりも開眼の矩形面積が有意に小さく、逆に11歳から14歳では男子の方が女子よりも矩形面積が有意に小さかったと報告している。臼井と平沢（1991）も小学1年生から6年生（6歳から11歳）男女を対象に接地足底面積、重心位置および開眼の重心動揺から直立能力について検討し、小学生低学年（6歳から8歳）では女子の方が男子に比べて重心動揺値（総軌跡長、矩形面積）が低値であったと報告している。本研究においては、4歳から10歳まで女子が男子よりも重心動揺値（総軌跡長、外周面積）が有意に低値を示し（5歳には性差なし）、先行研究を支持する結果となった。こうした小学生低学年と高学年における性差の要因は、身長および体重の発育スパートにみられる性差（女子は男子よりもおよそ2年早く始まる）に類似しており（Malina et al., 2004）、重心動揺値の発達と身体的発育発達との関係が考えられた。以上のことから、重心動揺値は幼児期には性差がみられないが、小学生低学年から性差（男性>女子）がみられることが示唆された。

5. 4. 2 重心動揺値の評価基準と横断的発達基準曲線の作成

本研究は4歳から11歳までの発育発達期の子どもを対象として、重心動揺値から各年

年齢の重心動揺値における評価基準の作成を試みた。崎田ら（2011）は4歳から9歳男女364名と成人男女40名を対象として重心動揺値（総軌跡長、外周面積および矩形面積）の実測値と分数値、平方根値、対数値、平方値などの変換変数値を比較し、変換変数値や正規化値が発達変化の検出に妥当であるかを検討した。その結果、重心動揺値（総軌跡長、外周面積および矩形面積）において自然対数値、平方根値および正規化値は正規性が保たれた変数であることを示唆している。本研究においても重心動揺値の対数変換による正規化を試みたが、分布に大きな偏りがみられた為、正規化よりもパーセンタイル値で評価する方が妥当であると判断した。さらに本研究はパーセンタイル値による評価基準を3段階としたが、評価基準を5段階で評価すると、それぞれの評価基準値の範囲が狭くなり過ぎてしまうことから「優れている」、「普通」、「劣っている」の3段階の評価で十分と判断した。また、今岡ら（1997）は重心動揺検査における日本人基礎データの作成を目的として、男女約2000人（3歳から94歳）を対象に年齢を5歳ごとに区分し、重心動揺値（外周面積、総軌跡長等）の基準値を作成した。本研究は4歳から11歳の各年齢の評価基準の為、単純に比較することはできないが、今岡ら（1997）の基準値で本研究と関連性の年齢区分をみてみると、0歳から4.9歳、5歳から9.9歳、10歳から14.9歳が関係する。しかし、本研究の結果で年齢別にみた重心動揺値（外周面積、総軌跡長）の分散分析の結果、男子では9歳以下、女子では8歳以下に年齢間に差がみられることから（表5-2）、少なくとも4歳から8歳までは年齢ごとの基準値が必要と考えられる。従って、本研究において重心動揺の評価基準を男子は4歳、5歳、6歳、7歳、8歳、9歳から11歳、女子は4歳、5歳、6歳、7歳、8歳から11歳として作成した（表5-4）。

次に発達基準曲線を作成する為、重心動揺値のパーセンタイル値を従属変数、年齢を独立変数とした曲線推定から最も近似した対数関数より近似式を求めた。これまで重心動揺値における基準曲線について、今岡ら（1997）が3歳から94歳までを対象にし、2次回帰曲線による近似曲線を示した。算出した近似曲線の決定係数は、男子の外周面積（開眼： $r^2=0.03-0.73$ 、閉眼： $r^2=0.52-0.68$ ）、総軌跡長（開眼： $r^2=0.26-0.85$ 、閉眼： $r^2=0.28-0.76$ ）、女子の外周面積（開眼： $r^2=0.36-0.83$ 、閉眼： $r^2=0.63-0.75$ ）および総軌跡長（開眼： $r^2=0.51-0.94$ 、閉眼： $r^2=0.65-0.82$ ）であった。本研究で作成した対数関数による近似曲線と比較すると、本研究結果の方が高かったが、これは測定した年齢幅が異なることが要因と考えられる。得られた近似式から男女の横断的な重心動揺発達基準曲線を作成した。これまで横断的な発育発達基準曲線は身長、体重などの形態（村田，2016；佐竹ら，2011）や体力、運動能力（村瀬ら，2011；田中ら，2013）については報告がなされているが、重心動揺値については作成されていない。先述したように重心動揺値においても身長、体重の発育と同様に性差がみられる為、身長、体重の成長曲線と本研究の重心動揺発達基準曲線を利用することで、男女それぞれの発育スパートと重心動揺値の経年変化との新たな知見が得られる可能性が考えられる。また、本研究においても村瀬ら（2011）が作成した幼児の運動能力評価基準値と同様に、熟練した検者が同一の測定器具によって測定したことにより、測定値の精度を高められた。村瀬ら（2011）が作成した幼児の運動能力評価基準値（3.5歳から6.5歳）と本研究の重心動揺発達基準曲線から幼児の重心動揺値と運動能力との関係も明らかにできる可能性が考えられる。従って、本研究の横断的発達基準曲線を利用して、子どもの重心動揺値の経年変化を把握することにより、静的バラ

ンス能力をより詳細に評価することが可能と考えられる。

今後の課題として、これまで縦断的に重心動揺を評価した研究はほとんど見当たらず、津山ら（2004）が小学生を対象にして1年間の重心動揺の変化を検討しているが、同一対象者の重心動揺の経年変化については報告されていない。縦断的な評価には非常に長い年月を要するが、子どもの発育発達を考えた場合、重心動揺値における縦断的発達基準曲線の作成が必要である。

5. 5 まとめ

本研究は子どもの重心動揺値の評価基準値の確立と横断的発達基準曲線の作成を検討する為、4歳から11歳までの子ども1532名（男子769名、女子763名）を対象として、開閉眼条件で重心動揺値（外周面積、総軌跡長）を計測し、以下の結果が得られた。

1. 男子の外周面積は開閉眼共に同一年齢間に有意差がみられ、4歳は6歳以降の年齢間、5歳は7歳以降の年齢間、6歳・7歳・8歳は9歳以降の年齢間に有意差がみられた。
2. 男子の総軌跡長は、開閉眼ともにほぼ同一年齢間に有意差がみられ、4歳・5歳は6歳以降の年齢間、6歳・7歳は9歳以降の年齢間（開眼の総軌跡長の6歳は8歳以降の年齢間）、8歳は11歳に有意差がみられた。
3. 男子の外周面積、総軌跡長とも9歳以降は年齢間に有意差はみられなかった。
4. 女子の外周面積は、開閉眼ともにほぼ同一年齢間に有意差がみられ、4歳・5歳は6歳以降の年齢間、6歳は9歳以降の年齢間（閉眼の6歳は8歳以降の年齢間）、7歳は10歳、閉眼の8歳、9歳は10歳に有意差がみられた。

5. 女子の総軌跡長は、開閉眼ともにほぼ同一年齢間に有意差がみられ、4歳・5歳は6歳以降の同一年齢間、6歳・7歳は10歳以降の年齢間（開眼の6歳は9歳以降の年齢間）に有意差がみられた。
6. 女子の閉眼の外周面積、総軌跡長ともに開眼の外周面積の8歳、9歳と10歳との間を除き8歳以降は年齢間に有意差はみられなかった。
7. 各年齢間の重心動揺値（外周面積、総軌跡長）の性差は幼児期にはみられないが、小学生低学年から性差（男性>女子）がみられた。
8. 男女の重心動揺値（外周面積、総軌跡長）の年齢別パーセンタイル値の結果から、開閉眼の重心動揺値の3段階評価基準を作成した。
9. 重心動揺値のパーセンタイル値を従属変数、年齢を独立変数とした対数関数から男女別横断的発達基準曲線を作成した。

以上のことから、本研究で示した子どもの開閉眼の重心動揺値の男女別3段階評価基準および男女別横断的発達基準曲線は、個人の評価だけでなく学校教育現場やスポーツクラブに所属する集団を横断的により詳細に評価できるものと考えられる。

第6章 重心動揺図を用いた重心動揺パターンの評価について—小学生の重心動揺パターンと重心動揺値および体力テストの関係から—

6.1 緒言

直立姿勢における姿勢制御（以下直立能力と略す）を足圧中心動揺（Center of Pressure：以下 COP とする）から客観的に評価する方法に重心動揺がある（時田，2008）。重心動揺は重心点の総移動距離（総軌跡長）、軌跡の最外郭の面積（外周面積）、実効値を半径とした円の面積（実効値面積）、各軸の最大幅における長方形の面積（矩形面積）、開閉眼比（ロンベルグ率）、周波数（パワースペクトル）などの重心動揺値により評価している。平沢と青木（1979）は直立能力の経年変化について6歳から20歳までを発達期、20歳から50歳までを充実期、50歳以降を衰退期の三期に分類し、加齢に伴う重心動揺面積（矩形面積）の変化を検討した結果、直立能力の発育期の曲線がスキヤモン(Scammon, 1930)の発達曲線の神経型に類似する事から、直立能力の発達には神経系の発育発達が重要な因子となっていることを示唆している。また、子どもを対象に重心動揺の経年変化を検討した研究では、開閉眼の重心動揺値（矩形面積、総軌跡長）が男女ともにおよそ4歳から9歳にかけて著しく発達するが、それ以降は成人と差がみられなくなると報告されている（中林，1997；津山ら，2004；Usui et al., 1995；臼井と平沢，1991；大和ら，2001）。これらの先行研究から、重心動揺は幼少期から評価することが重要であると考えられる。

我が国の重心動揺に関する研究（以下重心動揺研究とする）は、1960年代から医療・理学療法分野において、めまい・平衡障害などの臨床的な症例について報告がなされてきた（石川，2016）。その後、1970年代に入ってからには重心動揺計のデジタル化に伴い特別な

専門的技術を必要とせず、誰でも安全かつ簡便に測定が可能になり、1980年代には健康・体育・スポーツ分野においても幅広い年齢層を対象として重心動揺研究が数多く取り組まれてきた（臼井ら，1996）。先行研究では子どもの重心動揺と静的および動的バランス能力の評価（後藤ら，2001；岩見ら，2009；Saito et al., 2001）、子どもの重心動揺と体力・運動能力の関係（真家，2014；Shintaku et al., 2007；山崎と山内，2011）、成人や高齢者の重心動揺と体力・運動能力の関係（泉ら，1998；牛山ら，2008）、スポーツ選手の重心動揺と競技力、コンディショニングの関係（Imoo et al., 2013；川端ら，2004；溝畑，2010；田中ら，1987）などが報告されている。

一方、重心動揺の評価方法には前述した重心動揺値（総軌跡長、外周面積、実効値面積、矩形面積など）から評価する方法以外に、重心動揺計に記録された XY 座標による記録図（以下重心動揺図とする）から前後左右動揺を視覚的に捉えて評価する方法がある。医療・理学療法分野では重心動揺値による評価と併せて、重心動揺図による評価をめまいや平衡機能障害の評価として採用している。時田（1990）は平衡障害の患者の重心動揺図から、一側迷路障害では左右動揺、両側迷路障害では前後動揺、パーキンソン病では微細な動揺または大きいびまん型動揺がみられたと報告するとともに、重心動揺値は重心動揺の性質の一部であり、重心動揺図の揺れを観察する事は極めて重要であると報告している。健康・体育・スポーツ分野においても重心動揺図から重心動揺値とは異なった重心動揺の特徴を見出せる可能性が考えられるが、これまでに重心動揺図による評価方法を用いた研究はほとんど見当たらない（Imoo et al., 2013；溝畑，2010）。そこで本研究は、小学生は重心動揺の発達期にあり（平沢と青木，1979）、中学年から高学年の重心動揺が成人とほぼ同様

の安定性がみられる（中林, 1997）ことから、小学生の重心動揺に焦点を当て、重心動揺図による評価を4つのパターンに分類し、その重心動揺パターンの評価における経年変化の特徴や重心動揺値との関係、さらに体力テストの測定結果との関係を明らかにすることにより、重心動揺パターンの評価が小学生の静的バランス能力を評価しうる指標となるか検討した。

6. 2 方法

6. 2. 1 対象者

対象者は兵庫県下のA小学校に在籍する1年生から6年生の児童生徒178名（男子86名、女子92名）を対象とした。性別および学年別にみた開閉眼の重心動揺値（外周面積、総軌跡長）において、男女ともに学年間（1年生と2年生、3年生と4年生、5年生と6年生）に有意差がみられなかった（女子の1年生と2年生の閉眼の総軌跡長、5年生と6年生の開眼の総軌跡長を除く）為、1年生と2年生を低学年、3年生と4年生を中学年、5年生と6年生を高学年に分類することとした（表6-1）。

対象者の保護者には事前に測定における安全性や得られたデータの個人情報保護について説明し、同意を得てから測定を実施した。なお本研究は兵庫県立大学研究倫理委員会の承認を受けた。

表 6-1 各学年における体格および重心動揺値の平均値および標準偏差

性別	学年	人数	身長(cm)	p値	体重(kg)	p値	開眼・重心動揺値			閉眼・重心動揺値		
							外周面積(cm ²)	p値	総軌跡長(cm)	p値	外周面積(cm ²)	p値
男子	1年生	16	118.6±7.6		21.2±2.2	3.7±1.4	52.0±13.2	5.0±2.0	69.2±19.2		69.2±19.2	
	2年生	14	121.1±5.4	<i>p</i> =0.305	23.4±3.1	3.3±2.0	49.8±12.4	5.1±2.3	75.2±23.7	<i>p</i> =0.917	75.2±23.7	<i>p</i> =0.451
	3年生	10	125.1±4.8	<i>p</i> =0.002**	25.1±5.3	3.8±2.5	49.1±19.2	4.9±3.5	65.5±20.6	<i>p</i> =0.329	65.5±20.6	<i>p</i> =0.424
	4年生	14	133.0±5.8		30.5±4.5	2.6±1.2	42.3±11.3	3.7±1.5	59.8±13.7	<i>p</i> =0.605	59.8±13.7	<i>p</i> =0.783
	5年生	16	138.5±5.9	<i>p</i> =0.147	32.8±5.9	1.9±1.1	34.7±6.7	3.1±2.0	52.3±15.8		52.3±15.8	
	6年生	16	142.0±7.0		36.6±11.5	1.8±1.0	37.5±14.4	2.8±0.8	50.8±16.3	<i>p</i> =0.263	50.8±16.3	<i>p</i> =0.04*
女子	1年生	15	117.2±5.1	<i>p</i> =0.107	21.8±3.8	3.8±3.7	51.0±16.9	4.7±2.8	73.6±17.3		73.6±17.3	
	2年生	16	120.5±5.7		23.6±3.2	2.5±1.5	45.7±13.6	3.6±2.4	60.2±17.3	<i>p</i> =0.97	60.2±17.3	<i>p</i> =0.684
	3年生	14	124.6±5.7	<i>p</i> <0.001***	25.3±4.8	2.1±1.6	37.7±11.9	3.0±1.9	54.1±15.8		54.1±15.8	
	4年生	16	133.9±6.8		29.9±5.4	1.9±0.8	36.5±8.3	3.0±1.2	51.7±16.2	<i>p</i> =0.027*	51.7±16.2	<i>p</i> =0.212
	5年生	15	141.5±8.0	<i>p</i> =0.003**	34.1±7.8	2.0±1.3	39.6±10.7	2.3±1.1	48.9±12.9		48.9±12.9	
	6年生	16	149.9±6.3		40.8±7.1	1.6±0.6	31.9± 7.6	2.3±1.2	43.4±11.2		43.4±11.2	

(両側検定) * *p*<0.05 ** *p*<0.01 *** *p*<0.001

6. 2. 2 重心動揺の測定

重心動揺の測定にはアニマ株式会社製グラビコーダ GS-7 (JIS 規格) を使用した。測定手順は 2006 年平衡機能検査基準化委員会 (平衡機能検査基準化委員会, 2006) の定めに従い、開眼および閉眼の条件 (以下開閉眼とする) をそれぞれ 30 秒間、1 試行によって総軌跡長 (cm) と外周面積 (cm²) を測定するとともに、単位面積軌跡長 (総軌跡長を外周面積で除した値) を算出した。なお、身長において学年間に有意差がみられた為、臼井ら (1996) が作成した重心動揺値の身長補正の算出式 (1) を用いて補正値を算出した上で分析に用いた。

$$\text{補正値} = \text{実測値} \times 130 \div \text{身長} \dots \dots \dots (1)$$

6. 2. 3 体力テストの測定

スポーツ庁の体力テスト (スポーツ庁, 2018) に準拠した 8 種目 (握力、反復横跳び、20m シャトルラン、50m 走、長座位前屈、上体起こし、ソフトボール投げ、立ち幅跳び) の測定を行った。また、測定結果は平成 29 年度体力・運動能力調査報告書 (スポーツ庁, 2018) の各年齢 (6 - 11 歳) の全国平均値を基に握力、反復横跳び、20m シャトルラン、長座位前屈、上体起こし、ソフトボール投げおよび立ち幅跳びの T スコアを次式 (2) 、50m 走の T スコアを次式 (3) により換算した。

$$T \text{ スコア} = 50 + 10 \times (\text{個人の記録} - \text{全国平均値}) / \text{全国平均の標準偏差} \dots \dots (2)$$

$$T \text{ スコア} = 50 + 10 \times (\text{全国平均値} - \text{個人の記録}) / \text{全国平均の標準偏差} \dots \dots (3)$$

6. 2. 4 重心動揺パターンの定義

時田（1990）の臨床的な重心動揺パターンを参考にして、重心動揺図を図 6-1 のように XY 軸の交点（中心点）よりそれぞれ 1cm ごとに線で区切り、中心点から XY 軸方向に $\pm 2\text{cm}$ 以内に集中している場合は中心型、中心点から X 軸方向に $\pm 2\text{cm}$ 以内、Y 軸方向に $\pm 2\text{cm}$ 以上広がっている場合は前後型、中心点から Y 軸方向に $\pm 2\text{cm}$ 以内、X 軸方向に $\pm 2\text{cm}$ 以上に広がっている場合は左右型、中心点から XY 軸方向に $\pm 2\text{cm}$ 以上に広がっている場合は乱型と定義し、4 つに分類した。

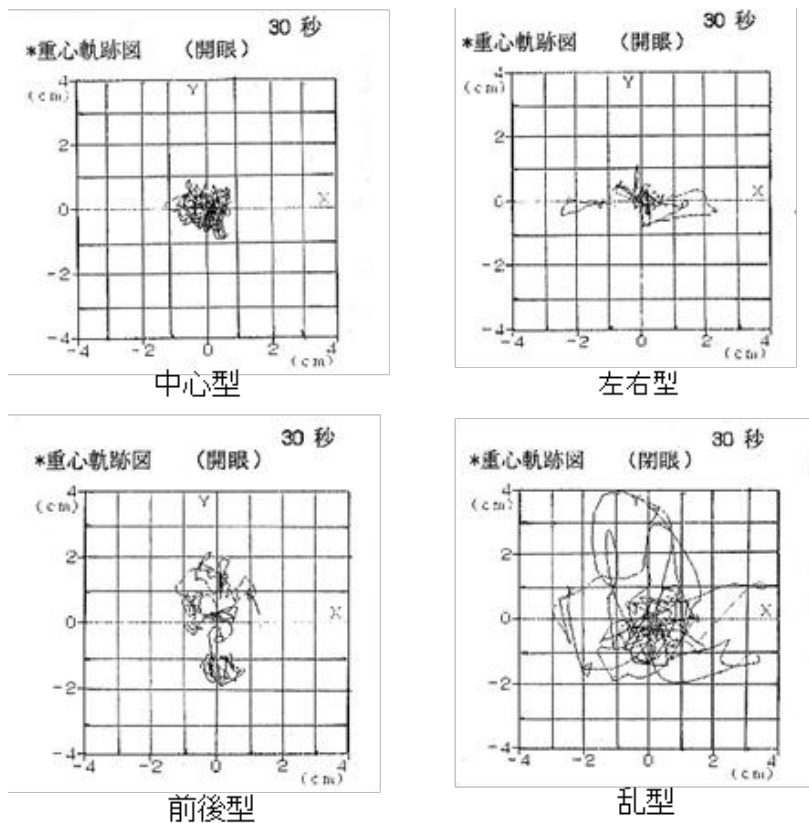


図 6-1 重心動揺パターン

6. 2. 5 統計処理

身体特性（身長、体重）、重心動揺値および体力テストの T スコアは平均値および標準偏差で示した。身体特性（身長、体重）、重心動揺値における学年間（1 年生と 2 年生、3 年生と 4 年生、5 年生と 6 年生）の平均値の差の検定は、対応の無い平均値の差の検定（t 検定）を行った。また、各学年の開閉眼の重心動揺パターンの割合および重心動揺パターンと体力テストの関係は、ピアソンのカイ二乗検定を行い、有意差がみられた場合はボンフェローニの方法に従って多重比較検定と残差分析を行った。さらに開閉眼の各重心動揺パターンと単位面積軌跡長および各体力テスト（T スコア）の平均値の差の検定は、一要因分散分析を行い、有意差がみられた場合はテューキーの方法に従って多重比較検定を行った。なお、統計的有意水準はすべて 5%未満とし、すべての統計処理は統計ソフト SPSS Statistics Version24.0 を用いた。

6. 3 結果

6. 3. 1 性別および学年別にみた重心動揺パターンの割合について

表 6-2 に性別および学年別にみた開閉眼での重心動揺パターンの割合を示した。男女ともに開閉眼の重心動揺パターンにおいて学年間で有意差がみられた（ $p=0.010$ — $p=0.032$ ）為、多重比較検定を行った結果、重心動揺パターンは開眼において男子は高学年と低学年（ $p=0.002$ ）および中学年（ $p=0.019$ ）との間、女子は高学年と低学年（ $p=0.015$ ）との間に有意差がみられた。また、閉眼では男女ともに高学年と低学年（男子； $p<0.001$ ，女子； $p=0.008$ ）との間に有意差がみられた。さらに残差分析の結果、男子の高学年が開眼

の中心型と閉眼の前後型の割合が他の学年よりも有意 ($p < 0.05$) に高く、女子の低学年が開閉眼の乱型の割合が他の学年よりも有意 ($p < 0.05$) に高かった。

表6-2 性別および学年別にみた重心動揺パターンの割合

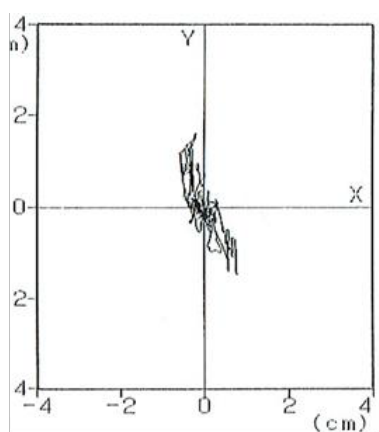
性別	学年	人数	中心型(相対値)	前後型(相対値)	左右型(相対値)	乱型(相対値)	$\chi^2(df)$	p値	多重比較検定: 学年間 (p値)	
男子	低学年	30	10 (33.3%)	3 (10.0%)	3 (10.0%)	14 (46.7%)	16.854 (6)	$p=0.01^{**}$	高学年×低学年 ($p=0.002^{**}$) 高学年×中学年 ($p=0.019^*$)	
	中学年	24	10 (41.7%)	2 (8.3%)	1 (4.1%)	11 (45.8%)				
	高学年	32	25 (78.1%)	3 (9.4%)	0 (0.0%)	4 (12.5%)				
	女子	低学年	31	17 (54.8%)	2 (6.5%)	0 (0.0%)	12 (38.7%)	13.824 (6)	$p=0.032^{**}$	高学年×低学年 ($p=0.015^*$)
		中学年	30	20 (66.7%)	5 (16.7%)	1 (3.3%)	4 (13.3%)			
		高学年	31	24 (77.4%)	3 (9.7%)	2 (6.5%)	2 (6.5%)			
男子	低学年	30	3 (10.0%)	2 (6.7%)	4 (13.3%)	21 (70.0%)	24.063 (6)	$p=0.01^{**}$	高学年×低学年 ($p<0.001^{***}$)	
	中学年	24	7 (29.2%)	3 (12.5%)	1 (4.1%)	13 (54.2%)				
	高学年	32	13 (40.6%)	11 (34.4%)	0 (0.0%)	8 (25.0%)				
	女子	低学年	31	12 (38.6%)	3 (9.7%)	0 (0.0%)	16 (51.6%)	16.357 (6)	$p=0.012^*$	高学年×低学年 ($p=0.008^{**}$)
		中学年	30	11 (36.7%)	8 (26.7%)	2 (6.7%)	9 (30.0%)			
		高学年	31	21 (67.7%)	4 (12.9%)	2 (6.5%)	4 (12.9%)			

(両側検定) * $p<0.05$ ** $p<0.01$ *** $p<0.001$

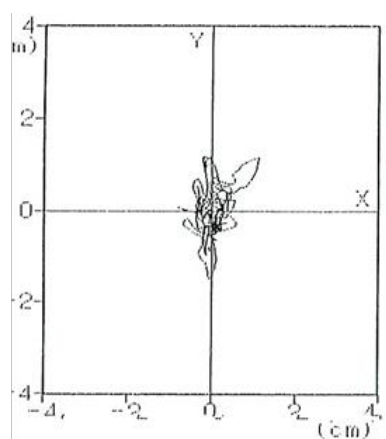
6. 3. 2 重心動揺パターンと重心動揺値（単位面積軌跡長）の関係について

表 6-3 に開閉眼を重心動揺パターン別に単位面積軌跡長（単位面積あたりの軌跡長）の平均値と標準偏差を性別に示した。男女ともに開閉眼の単位面積軌跡長に有意な重心動揺パターン差がみられた（ $p < 0.001$ ）。多重比較検定を行った結果、男子は開閉眼共に中心型と前後型（開眼； $p = 0.014$ 、閉眼； $p = 0.009$ ）および乱型（開閉眼； $p < 0.001$ ）との間に有意差がみられた。女子は開眼の中心型と前後型（ $p = 0.01$ ）および乱型（ $p < 0.001$ ）との間、閉眼の中心型と左右型（ $p = 0.007$ ）および乱型（ $p < 0.001$ ）との間に有意差がみられた。

図 6-2 に単位面積軌跡長は高かったが、重心動揺パターンの評価が中心型ではなかった 2 名の重心動揺図を示した。3 年生男子 A は閉眼の前後型、5 年生女子 B は開眼の前後型であった。



3年生男子A 閉眼(前後型)
総軌跡長 37.21 (cm)
外周面積 1.30 (cm²)
単位面積軌跡長 28.58 (cm/cm²)



5年生女子B 開眼(前後型)
総軌跡長 38.47 (cm)
外周面積 1.71 (cm²)
単位面積軌跡長 22.56 (cm/cm²)

図 6-2 3 年生男子 A および 5 年生女子 B の重心動揺パターンの評価

表6-3 重心動揺パターン別にみた単位面積軌跡長の分散分析の結果

性別	開閉眼	重心動揺 パターン	単位面積軌跡長 (cm/m ²) (平均値±標準偏差)	F値	分散分析 p値	多重比較検定: 重心動揺パターン間 (p値)
男子	開眼	中心型 (n=45)	23.8±8.0	13.11	p<0.001***	中心型×前後型 (p=0.014*) 中心型×乱型 (p<0.001***)
		前後型 (n=8)	15.7±6.0			
		左右型 (n=4)	15.8±4.2			
		乱型 (n=29)	14.2±4.9			
	閉眼	中心型 (n=23)	23.4±10.0	8.39	p<0.001***	中心型×前後型 (p=0.009**) 中心型×乱型 (p<0.001***)
		前後型 (n=16)	16.6±5.2			
		左右型 (n=5)	20.8±4.9			
		乱型 (n=42)	15.3±4.1			
女子	開眼	中心型 (n=61)	24.5±7.1	18.99	p<0.001***	中心型×前後型 (p=0.01**) 中心型×乱型 (p<0.001***)
		前後型 (n=10)	16.0±2.4			
		左右型 (n=3)	15.7±4.2			
		乱型 (n=18)	13.5±3.0			
	閉眼	中心型 (n=23)	25.6±7.3	12.28	p<0.001***	中心型×左右型 (p=0.007**) 中心型×乱型 (p<0.001***)
		前後型 (n=16)	22.3±10.5			
		左右型 (n=5)	12.8±1.2			
		乱型 (n=42)	15.7±5.8			

(両側検定) * p<0.05 ** p<0.01 *** p<0.001

6. 3. 3 重心動揺パターンと体力テストの関係について

表 6-4 に男女併せた体力テストの測定結果 (T スコア) を重心動揺パターン別に平均値および標準偏差を示した。反復横跳びにおいて、開眼の中心型と乱型との間に有意差 ($p < 0.001$) がみられたが、その他の測定項目には有意差はみられなかった。表 6-5 に体力テスト 8 項目の T スコアの合計平均が 50 点以上の児童生徒群と 50 点未満の児童生徒群に分類し、開閉眼の重心動揺パターンを示した。その結果、体力テストの T スコアの合計平均において、開閉眼ともに両群間に有意差はみられなかった。表 6-6 に 8 項目の T スコアの合計平均 $\pm 2SD$ である上位 3 名 (A~C) と下位 5 名 (D~H) の児童生徒の体力テストの測定結果と開閉眼の重心動揺パターンを示した。体力テストの測定結果の上位 3 名はすべて中学年の男子であった。開閉眼の重心動揺パターンは 2 名が開閉眼ともに中心型、1 名が開閉眼ともに乱型であった。また、体力テストの測定結果の下位 5 名の学年は低学年 1 名、中学年 3 名、高学年 1 名、性別は男子 2 名、女 3 名であった。開閉眼の重心動揺パターンは 3 名が開閉眼ともに乱型、1 名が開閉眼ともに中心型、1 名が開閉眼ともに前後型であった。

表6-4 重心動揺パターン別にみた体力テストのスコアの平均値および標準偏差

開閉眼	重心動揺 パターン	握力・平均 (kg)	上体起こし (回)	長座体前屈 (cm)	反復横跳び (回)	20mシャトル (回)	50m走 (秒)	立ち幅跳び (cm)	ソフトボール投げ (m)
閉眼	中心型 (n=67)	46.2±10.5	44.7±10.7	46.9±9.0	47.1±9.7	48.0±7.4	50.2±7.5	48.4±9.4	47.3±8.8
	前後型 (n=31)	40.6±7.3	42.2±10.5	43.7±11.2	42.3±11.5 ^{***}	46.0±7.2	50.8±7.4	47.0±11.1	45.6±6.8
	左右型 (n=9)	44.4±7.6	44.5±9.4	51.2±13.9	48.9±5.2	48.5±9.1	46.2±10.4	48.5±6.8	47.5±9.2
	乱型 (n=71)	44.3±9.5	42.8±10.1	43.1±9.1	39.0±13.3	46.0±9.5	47.8±10.9	48.5±11.2	45.2±10.4
閉眼	中心型 (n=67)	46.9±10.5	45.0±11.0	47.0±9.4	48.9±8.7	48.7±7.4	50.3±6.9	49.3±9.5	48.1±9.3
	前後型 (n=31)	42.7±9.6	40.6±12.6	44.4±10.6	45.8±9.3	46.2±5.6	50.6±9.0	47.1±10.3	46.7±7.3
	左右型 (n=9)	43.9±12.8	46.3±12.6	49.0±10.6	46.2±10.1	51.6±6.7	45.6±8.8	47.5±11.2	44.9±9.0
	乱型 (n=71)	44.5±10.0	44.1±9.7	44.8±9.3	39.8±12.8	45.9±9.3	48.7±9.9	48.0±10.1	45.3±9.5

(両側検定) *** p<0.001

表6-5 体カテスト(8種目)のTスコアの平均値と重心動揺パターンの割合

開閉眼 条件	重心動揺 パターン	体カテスト(8種目)のTスコアの平均値		χ^2 (df)	p値
		50点以上 (n=49)	50点未満 (n=129)		
開眼	中心型	33 (67.3%)	73 (56.6%)	4.347 (3)	$p=0.226$
	前後型	2 (4.1%)	16 (12.4%)		
	左右型	3 (6.1%)	4 (3.1%)		
	乱型	11 (22.4%)	36 (27.9%)		
閉眼	中心型	22 (44.9%)	45 (34.9%)	3.505 (3)	$p=0.32$
	前後型	7 (14.2%)	24 (18.6%)		
	左右型	4 (8.2%)	5 (3.9%)		
	乱型	16(32.7%)	55 (42.6%)		

表6-6 体力テストのTスコアの平均値±SDの児童生徒の測定結果と開閉眼の重心動揺パターン

氏名	体力テスト 順位	学年	性別	開眼 重心動揺パターン	閉眼 重心動揺パターン	握力・平均 (kg)	上体起こし (回)	長座体前屈 (cm)	反復横跳び (回)	20mシャトルラン (回)	50m走 (秒)	立ち幅跳び (cm)	ソフトボール 投げ(m)	Tスコア 合計	Tスコア 平均
A	1	中学年	男	中心型	中心型	76.6	58.0	48.4	49.6	52.7	58.7	68.9	70.3	483.1	60.4
B	2	中学年	男	中心型	中心型	63.4	54.4	49.7	52.3	56.2	56.0	73.7	71.8	477.6	59.7
C	3	中学年	男	乱型	乱型	56.9	65.1	48.4	55.1	65.2	58.7	56.6	60.1	466.1	58.3
D	174	中学年	男	乱型	乱型	27.4	43.7	45.7	22.4	33.2	22.7	50.8	34.0	279.8	35.0
E	175	中学年	女	前後型	前後型	26.5	23.4	22.0	37.0	45.0	59.7	25.6	39.5	278.6	34.8
F	176	高学年	男	中心型	中心型	34.4	35.2	43.0	33.6	31.4	35.6	28.8	30.1	272.1	34.0
G	177	低学年	女	乱型	乱型	31.8	41.4	30.9	22.2	39.4	42.5	35.5	25.6	269.3	33.7
H	178	中学年	女	乱型	乱型	33.2	24.9	30.7	23.5	33.3	7.1	50.3	40.7	243.7	30.5

6. 4 考察

6. 4. 1 性別および学年別にみた重心動揺パターンの割合について

本研究は小学生の重心動揺について、重心動揺図の前後左右動揺を視覚的に捉えて4パターンに分類して評価したものである。子どもを対象にした重心動揺研究では、柳田(1986)が4歳から15歳までを対象に重心動揺の経年変化について検討し、男女ともに開閉眼の単位軌跡長および外周面積が小学生中学年を境に減少が緩やかになったと報告している。また、中林(1997)は4歳から15歳の男女と22歳から44歳までの成人男女の重心動揺を比較検討し、開閉眼の動揺面積(矩形面積)と総軌跡長が男女ともに4歳から9歳にかけて著しい発達がみられ、その後10歳から12歳かけて成人との差がみられなくなったと報告している。さらに、大和ら(2001)は小学1年生から6年生の重心動揺について検討し、開閉眼の総軌跡長と外周面積が男女ともに1年生から3年生にかけて漸次減少し、4年生から6年生まではほぼ同様の値を示したと報告している。これらの先行研究から、重心動揺は男女ともに小学生中学年から高学年にかけて安定性が高まると考えられる。本研究においては開眼の重心動揺パターンが男子は高学年と低学年および中学年との間に、女子は高学年と低学年との間に有意差がみられ、閉眼の重心動揺パターンは男女ともに高学年と低学年の間に有意差がみられた(表6-2)。従って、本研究の重心動揺パターンの評価においても間接的に先行研究と同様に重心動揺の発達の経年変化を示しているといえる。

一方、本研究の重心動揺パターンの評価も先行研究と同様に横断的評価である為、今後は個人の重心動揺パターンを縦断的に評価することによって、より詳細な重心動揺の発達の経年変化について検討する必要がある。

6. 4. 2 重心動揺パターンと重心動揺値（単位面積軌跡長）の関係について

重心動揺パターンと単位面積軌跡長の関係について検討した結果、男女ともに開閉眼の中心型の単位面積軌跡長が他の重心動揺パターンよりも有意に高く、男子は開閉眼の中心型と前後型および乱型との間、女子は開閉眼の中心型と乱型、開眼の中心型と前後型、閉眼の中心型と左右型との間に有意差がみられた（表 6-3）。

単位面積軌跡長は単位面積当たりの軌跡長の値で、重心動揺における姿勢制御の微細さを示し、深部感覚系制御機能の関与が大きく影響しているといわれている（大川ら, 1995）。単位面積軌跡長が大きいという事は、狭い動揺面積に対して微細に姿勢制御を繰り返すことで立位姿勢の安定性を高めようとすることを意味し、重心動揺パターンの評価では中心型がそれに該当する。逆に単位面積軌跡長が小さいという事は、広い動揺面積に対してゆったりとした姿勢制御が行われることを意味し、重心動揺パターンの評価では前後型、左右型および乱型がそれに該当する。すなわち本研究の重心動揺パターンの評価は総軌跡長と外周面積から算出される単位面積軌跡長の評価を反映するものと考えられる。一方、図 6-2 に示したように単位面積軌跡長が優れていても重心動揺パターンが中心型以外の評価になるケースもみられた。単位面積軌跡長は外周面積に対する総軌跡長の割合を表す指標であるが、重心動揺の「拡がり」までは把握することはできない。従って、本研究の重心動揺パターンの評価は、重心動揺値では判明できない重心動揺の詳細を評価できると考えられる。

6. 4. 3 重心動揺パターンと体力テストの関係について

体力テストの測定結果を標準化して男女併せて重心動揺パターン別に検討した結果、反復横跳びにのみ開眼の中心型と乱型との間に有意差がみられた（表 6-4）。反復横跳びは敏捷性の指標として体力テストに採用され、男子では 14 歳、女子では 13 歳頃までに急激な向上を示す（スポーツ庁，2018）。敏捷性は動作の素早さと正確さの両要素に関与する能力として動きの切り替え、バランス、スピードおよび加速が評価される（田中ら，2013）ことから、反復横跳びは神経系の発達を評価する指標であるといえる。真家（2014）は小学生低学年の開眼の重心動揺値（単位時間軌跡長、外周面積、単位面積軌跡長）と体力テスト 5 種目（反復横跳び、20m シャトルラン、50m 走、立ち幅跳び、ソフトボール投げ）の関係について検討した結果、全ての学年の男女の単位時間軌跡長と外周面積は反復横跳びと有意な負の相関関係を示したと報告し、敏捷性が重心動揺の発達に関与していることを示唆している。このことは反復横跳びの優れていた児童の重心動揺は、軌跡長が狭い範囲で動揺を繰り返していたことを意味し、本研究の重心動揺パターンの中心型に該当すると考えられる。真家（2014）の対象は低学年のみであったが、本研究は男女の低、中および高学年の体力を全て併せた結果であり、従って学年に関係なく開眼の中心型の反復横跳びが乱型よりも優れており、敏捷性が重心動揺の発達に関与する可能性が示唆された。他方、直立能力と自律神経の関係について、木村（2011）は若年者（21 歳から 39 歳）と高齢者（64 歳から 82 歳）男女の心拍変動と重心動揺との関係について比較検討し、高齢者群に比べて若年者群の心拍変動が有意に大きく、さらに重心動揺が安定していたと報告し、重心動揺の安定性に神経的な要因（自律神経）が関与する可能性を示唆している。木村

(2011)の研究は子どもを対象にしていないうえ、現時点では子どもの重心動揺と自律神経との関係については明らかにできないが、本研究においても反復横跳びと重心動揺パターンに有意差がみられたことから、直立能力の発達には神経系の発達が重要な因子であると考えられ、今後の検討課題としたい。

次に開閉眼の重心動揺パターンと体力テスト（8種目）のTスコアの平均値が50点以上と50点未満の2群に分けてその特徴を検討した。その結果、開閉眼の重心動揺パターンともに両群間に有意な差はみられなかった（表6-5）。重心動揺値と体力テストの関係についてShintaku et al. (2007)は、5歳児の開眼の総軌跡長と体力テスト（開眼片足立ち、片脚連続跳び、反復横跳び、25m走および立ち幅跳び）の関係について検討し、総軌跡長の短かったグループの開眼片足立ち、片脚連続跳びおよび反復横跳びが総軌跡長の長かったグループよりも優れていたことから、体力テストの優劣が重心動揺の安定性に影響していることを示唆している。また、杉林ら(2011)は男子中学生の開眼の重心動揺値（外周面積、単位面積軌跡長）と50m走および立ち幅跳びの測定結果との間に有意な相関関係がみられたと報告している。これらの先行研究は、体力テストの測定結果が重心動揺の評価に関係することを示唆しているが、本研究は異なる結果を示した。さらに体力テストのTスコアの平均値±2SDである児童生徒の開閉眼の重心動揺パターンについても検討した。その結果、上位3名（+2SD）中1名が開閉眼ともに乱型、下位5名（-2SD）中2名が開閉眼ともに中心型または前後型であった（表6-6）。体力テスト順位が上位（3位）で開閉眼ともに乱型だったCは、筋力、筋持久力および全身持久力を評価する上体起こし、20mシャトルランおよびソフトボール投げのTスコアが60点を上回り、さらに体力テス

トの順位が下位（176位）で開閉眼ともに中心型だったFの立ち幅跳びは30点を下回っていた。直立能力に関与する感覚系（視覚、前庭感覚および体性感覚）のうち体性感覚系は、固有感覚である筋紡錘とゴルジ腱器官、関節受容器、皮膚感覚を司り、支持面に対する身体の位置と動き、それに身体各セグメントの関係を検知する役割を担っている。そして、体性感覚から得られた情報をもとに中枢神経が目的に見合った運動指令により筋活動を調整することで姿勢制御が達成される（大築ら、2011）。その為、直立能力には筋力、筋持久力および全身持久力のようなダイナミックなパワーやスタミナを必要としないと考えられる。また、宮下ら（1991）は年齢と体力、運動能力の発達について、小学校高学年までは神経系の発達により敏捷性が向上し、小学校高学年から中学校までは筋肥大および呼吸循環機能の発達により筋持久力および全身持久力を向上し、高校生段階では力強さとねばり強さが完成に近づく為、筋力が向上すると報告している。以上のことから、小学生の開眼の重心動揺は敏捷性と関与するが、開閉眼の重心動揺は筋力、筋持久力および全身持久力に影響を及ぼさないことが示唆された。

6. 5 まとめ

本研究は重心動揺図を4つのパターンに分類(中心型、前後型、左右型および乱型)し、小学生の重心動揺パターンの学年別の特徴、重心動揺値および体力テストの関係について検討し、以下の結果が得られた。

1. 学年別の開閉眼の重心動揺パターンの割合は、開眼において男子は高学年と低学年および中学年との間、女子は高学年と低学年との間に有意差がみられ、閉眼では男女ともに高学年と低学年との間に有意差がみられた。
2. 開閉眼の重心動揺パターン別の単位面積軌跡長は、男女ともに有意な重心動揺パターン差がみられた。
3. 単位面積軌跡長が優れていても重心動揺パターンが中心型以外の評価になるケースもみられた。
4. 重心動揺パターン別の体力テスト(Tスコア)において、反復横跳びのみ開眼の中心型と乱型との間に有意差がみられた。
5. 体力テストの評価と重心動揺パターンの関係について検討した結果、重心動揺パターンの評価と筋力、筋持久力および全身持久力に有意な関係性はみられなかった。

以上の事から本研究の重心動揺パターンは、重心動揺の発達を重心動揺図によって評価できること、および小学生の重心動揺は敏捷性が関与するが、筋力、筋持久力および全身持久力には影響を及ぼさないことが示唆された。

第7章 総括

本研究は、我が国の将来を担う子ども達が健全な成長を成し遂げられる為の環境作りの対策の一つとして、子どもの身体組成および身体バランス能力を客観的に評価可能な指標を開発することを目的とした。そのために、身体組成の間接法のうち短時間で簡便に評価可能な両掌間生体インピーダンス法 (Hand-to-Hand Bioelectrical Impedance: 以下 HHBI とする) と開閉眼の立位姿勢を 30 秒ずつ測定するだけで静的バランス能力を評価可能な重心動揺に着目し、以下の研究によって検討した。

研究1として、HHBIの妥当基準となる身体組成推定法のUWW、DDTおよびDXAの関係について検討した。その結果、各身体組成推定法(UWW、DDTおよびDXA)から求めたFFMの平均値間に有意差は認められなかったこと、子どもの身体組成の評価としてUWW、DDTおよびDXAには高い相関関係が認められ、これらの身体組成推定法をHHBIの妥当基準にして利用できることを示唆した。

研究2として、両掌間生体インピーダンス法 (Hand-to-Hand Bioelectrical Impedance : 以下 HHBI とする) の除脂肪量 (Fat Free Mass : 以下 FFM とする) の推定式の作成を検討した。HHBIの妥当基準には、研究1から男女ともに系統誤差が認められなかった重水希釈法 (Deuterium Dilution Technique : 以下 DDT とする) を採用した。HHBIのFFM推定式の作成に当たり、Validation群とCross-validation群を男女ともに無作為に分類した。その結果、Validation群から求めたFFM推定式は男女ともに精度が高かった。また、Cross-validation群から求めたHHBIのFFMとDDT(妥当基準)から求めたFFMをBland-Altman分析による交差妥当性では、両者間のFFMに有意な系統誤差は認められ

なかった。これらの結果から、すべての対象者による HHBI による FFM 推定式を作成し、男女ともに精度の高い推定式が得られた。

研究3として、重心動揺値（総軌跡長、外周面積）の評価基準と横断的基準曲線の作成を検討した。その結果、各年齢間の重心動揺値（外周面積、総軌跡長）の男女の重心動揺値（外周面積、総軌跡長）の年齢別パーセンタイル値の結果から、開閉眼の重心動揺値の男女別・年齢別3段階評価基準を作成した。さらに、重心動揺値のパーセンタイル値を従属変数、年齢を独立変数とした対数関数から男女別横断的発達基準曲線を作成した。

研究4として、重心動揺図を用いて重心動揺値を4つのパターン（中心型、前後型、左右型および乱型）に分類し、体力・運動能力との関係について検討した。その結果、学年別における開閉眼の重心動揺パターンの割合は、開眼において男子は高学年と低学年および中学年との間、女子は高学年と低学年との間に有意差がみられ、閉眼では男女ともに高学年と低学年との間に有意差がみられた。また、開閉眼の重心動揺パターン別の単位面積軌跡長は、男女ともに有意な重心動揺パターン差がみられたとともに、重心動揺値パターンの評価では単位面積軌跡長では判明できない重心動揺の拡がりによる詳細な評価が可能であることが示唆された。さらに重心動揺パターン別の体力テスト（Tスコア）の結果では、反復横跳びのみ開眼の中心型と乱型との間に有意差がみられたが、重心動揺パターンの評価と筋力、筋持久力および全身持久力に有意な関係性はみられなかった。

以上の研究結果から、子どもの身体組成の評価において先行研究では得られなかった幼児から青年までの幅広い年齢の子どもの身体組成の評価を可能とした、我が国初の HHBI による FFM 推定式を作成した。また、子どもの身体バランス能力を重心動揺値（総

軌跡長、外周面積) から評価する為、男子は4歳から9歳とそれ以降、女子は4歳から8歳とそれ以降の3段階評価基準を作成するとともに、横断的発達曲線も併せて作成した。さらに学校などの教育現場やスポーツクラブ等で視覚的に重心動揺を簡便に評価が可能となる重心動揺パターンを開発した。これらの重心動揺の評価基準は子どもの重心動揺による先行研究にはみられず、よって我が国の子どもの重心動揺の評価基準値となり得ることを示唆した。

今後の課題として、これらの評価基準を利用し、幅広い年齢層の男女の子どもの身体組成および重心動揺の評価と体力・運動能力の様々な測定方法による評価との関係について検討するとともに、運動効果による身体組成および重心動揺の変化についても検討したい。

参考文献

- 明石要一 (2019) 子どもの生活リズムが子どもの力を育てる. 子どもと発育発達, 杏林書
院: 東京, pp. 5-8.
- 赤松理恵 (2019) 食環境の変遷と子どもの体格・食生活. 子どもと発育発達, 杏林書院:
東京, pp. 9-13.
- Baumgartner RN, Chumlea WC and Roche AF (1989) Estimation of body composition
from bioelectric impedance of body segment. *Am J Clin Nutr*, 50: 221-226.
- Baumgartner RN, Chumlea WM and Roche AF (1990) Bioelectrical impedance for body
composition. *Exercise Sport Sci Rev*, 18: 193-224.
- Bland JM and Altman DG (1996) Statistical methods for assessing agreement between
two methods of clinical measurement. *Lancet* 1: 307-310.
- Brozek J, Grande F, Anderson JT and Keys A (1963) Densitometric analysis of body
composition revision of some quantitative assumptions. *Ann NY Acad Sci*, 110: 113-
140.
- Dehghan M and Merchant AT (2008) Is bioelectrical impedance accurate for use in large
epidemiological studies? *Nutr J*, 26: 2-7.
- 出村慎一・山次俊介・野田政弘・北林保・長澤吉則 (2001) 静止立位姿勢における足圧中
心動揺の評価変数の検討—試行間信頼性と変数相互の関係の観点から—.
Equilibrium Research, 60 : 44-55.

Forbes GB (1987) Human body composition, Growth, aging, nutrition and activity.

Springer-Verlag, New York, pp.169-195.

深代千之 (2014) 身体組成測定の難しさ. 体育の科学, 64 : 146-148.

Geldhof E, Cardon G, Bourdeaudhuij ID, Danneels L, Coorevis P and Clercq DD (2006)

Static and dynamic standing balance: test-retest reliability and reference values in 9 to 10 years old children. Eur J Pediatr, 167: 779-786.

五島桂子 (1986) 重心動揺検査の検討—コンピューター分析における検査項目と正常域—.

Equilibrium Research, 60 : 44-55.

後藤洋子・早川ひろみ・脇田裕久 (2001) 幼児の静的バランス能力. 三重大学教育学部

研究紀要, 52 : 53-63.

原光彦・岩田富士彦・岡田知雄・原田研介・大国真彦・山崎公恵・村田光範・徳田正邦・

小西和孝・小國龍也・中塘二三生・山内邦昭 (1995) 生体インピーダンスを用いた小児体脂肪率の基準値に関する検討. 日本小児科学雑誌, 99 : 721-722.

初鹿信一 (1987) 重心動揺値による身体動揺に関する研究—基礎的検討と臨床意義—. 日

本耳鼻咽喉科学会会報, 90 : 598-612.

林文代・松井清夫・滝川寛・渡辺瑞代・坂本弘 (1983) 身体動揺と関連する生体側要因に

ついての予備検討. 三重医学, 27 : 172-177.

Hayes KC, Spencer JD, Riach CL, Lucy SD and Kirshen AJ (1985) Age-related change

in postural sway. Biomechanics IX-A, Human Kinetics: Champaign, pp. 383-387.

平衡機能検査基準化委員会 (2006) 平衡機能検査法診断基準化のための資料. *Equilibrium Research*, 65 : 468-503.

平沢弥一郎・青木賢一 (1979) 日本人の直立能力について. *人類誌*, 87 : 81-92.

平沢弥一郎 (1993) 幼児の直立能力と足の裏. *体育の科学*, 33 : 121-125.

Houtkooper LB, Lohman TG, Going SB and Hall MC (1989) Validity of bioelectrical impedance for body composition assessment in children. *J Appl Physiol*, 66: 814-821.

今岡薫・村瀬仁・福原美穂 (1997) 重心動揺検査における健常者データの収集. *Equilibrium Research Supplement*, 12 : 1-84.

Imoo Y, Takemura M, Furukawa T, Shimasaki T, Ogaki R and Miyakawa S (2013) Standing balance ability of Japanese collegiate rugby union players with past cervical injuries. *Football sci Jpn*, 10: 1-9.

石川和夫 (2016) 姿勢研究の黎明から重心動揺計出現と臨床応用までの歴史. *Equilibrium Research*, 75 : 127-134.

岩見文博・阿部千春・加藤英世・万年宏美・石野晶子・大久保良彦・片桐朝美・林幹泰 (2009) 幼児における重心動揺量に関する基礎的検討. *杏林医会誌*, 40 : 16-23.

泉キヨ子・平松和子・山上和美 (1998) 高齢者の転倒予防に関する研究—重心動揺と歩行分析を通して—. *金大医保紀要*, 22 : 139-145.

Jackson AS, Pollock ML, Graves JE and Mahar MT (1988) Reliability and validity of bioelectrical impedance in determining body composition. *J Appl Physiol*, 64: 529-534.

川端悠・鈴木省三・佐藤佑 (2004) スポーツ種目別にみたバランス能力特性. 仙台大学大学院スポーツ科学研究科研究論文集, 5 : 103-110.

金憲経・松浦義行・田中喜代次・中塘二三生 (1993) 児童・生徒の身体組成評価における生体電気抵抗法と皮下脂肪厚法の妥当性の検討. *体育学研究*, 38 : 13-24.

Kim HK, Tanaka K, Nakadomo F and Watanabe K (1994) Fat-free mass in Japanese boys prediction from bioelectrical impedance and anthropometric variables. *Eur J Clin Nutr*, 48: 482-489.

金憲経・田中喜代次・天貝均・鈴木隆雄 (1999) 身体組成の加齢に伴う推移 : DXA 法による検討. *体育学研究*, 44 : 500-509.

木村哲也 (2011) 立位バランス制御機構に対する自律神経系の関与—加齢に伴う自律神経活動低下の影響—. 第 26 回健康医科学研究助成論文集 : 41-48.

北川薫・桜井佳世・田原靖昭・佐藤光毅 (1993) 密度法による日本人成人男女の身体組成. *体力科学*, 42 : 209-218.

北城圭一 (1999) 子どもの姿勢. *体育の科学*, 49 : 94-95.

小宮秀一・千綿俊機 (1986) 体組成の変化量を推定するための皮脂厚法と体水分法の比較. *体力科学*, 35 : 39-46.

小宮秀一・中尾武平 (2002) 身体組成学. 技報堂出版 : 東京, pp. 1-51.

久保温子・村田伸・平尾文・小渕可奈子 (2014) 幼児期における開眼片足立ち測定の妥当性の検討. ヘルスプロモーション理学療法研究, 4 : 77-81.

Lebiedowska MK and Syczewska M (2000) Invariant sway properties in children. *Gain and Posture*,12: 200-204.

Lukaski HC, Johnson PE, Bolonchuck WW and Lykken G (1985) Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of human body. *Am J Clin Nutr*, 41: 810-817.

Lukaski HC, Bolonchuck WW, Hall CB and William AS (1986) Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. *J Appl Physiol*, 60: 1327-1332.

前橋明 (2006) いま、子どもの心とからだに危ないー子どもの未来づくり作戦ー. 大学教育出版 : 岡山, pp. 8-53.

真家英俊 (2014) 小学校低学年児童における静止立位姿勢保持能力と運動能力との関係. 東京未来大学研究紀要, 7 : 157-164.

Malina RM, Bouchard C and Or OB (2004) Growth, maturation, and physical activity, 2nd Eds., *Human Kinetics: Champaign*, pp. 41-81.

萬美奈子, 木浪智佳子, 三国久美, 山本美佐子 (2006) わが国における小児肥満予防と生活習慣に関する研究の動向. 北海道医療大学看護福祉学部紀要, 13 : 51-58.

緑川泰史・太田めぐみ・引原有輝 (2010) 発育期にある子どもの全身および部位別体脂肪量をとらえる推定式の作成. 第 25 回健康医科学研究助成論文集 : 91-101.

宮本章次 (1996) 二重エネルギー吸収法からみた青年男女の身体組成. 秀巧社印刷:福岡,
pp. 9-34.

宮下充正・小林寛伊・武藤芳照 (1991) 子どものスポーツ医学. 南江堂:東京, pp.12-13.

溝畑潤 (2010) 高校生ラグビー選手の重心動揺について. 大阪体育学研究, 48:139-145.

溝畑潤・中塘二三生・大河原一憲・金憲経・田中喜代次・田路秀樹 (2017) 日本人の子ども
の身体組成の推定精度に関する研究—水中体重秤量法, 重水希釈法及び DXA によ
り求めた除脂肪量から—. 教育医学, 62:411-417.

溝畑潤・中塘二三生・大河原一憲・金憲経・田中喜代次・田路秀樹 (2018) 両掌間生体イ
ンピーダンス (HHBI) 法による日本の子どもの除脂肪量 (FFM) 推定式の開発. 健
康支援, 20:9-16.

望月久 (2008) バランス能力測定法としての直立検査. 理学療法—臨床・研究・教育, 15:
2-8.

村瀬智彦・春日晃章・中野貴博 (2011) 幼児の運動能力評価のための基準値〈SMAC2010〉
—測定値の分布と外れ値に注意した基準値の作成と提案—. 教育医学, 57:176-187.

村田光範 (2016) パーセントイル身長・体重成長曲線. 小児保健研究, 75:673-678.

中林稔堯 (1997) 児童の平衡機能の発達について—重心動揺検査を通して—. 神戸大学発
達科学部研究紀要, 4:1-21.

Nightingale CM, Rudnicka AR, Owen CG, Donin AS, Newton SL, Furness CA, Howard EL, Gillings RD, Wells JC and Cook DG (2013) Are ethnic and gender specific equations needed to derive fat free mass from bioelectrical impedance in children of South Asian, Black African-Caribbean and White European origin? Result of the assessment of body composition in children study. PLOS ONE, 8 : 1-11.

Nakadomo F, Tanaka K, Hazama T and Maeda K (1990) Validation of body composition assessed by bioelectrical impedance analysis. Jpn J Appl Physiol, 20: 321-330.

中塘二三生 (1991) Bioelectrical Impedance 法による身体組成評価. 大阪府立看護短大紀要, 13 : 129-144.

中塘二三生・金憲経・田中喜代次 (2001) 重水希釈法による身体組成の評価. 教育医学, 47 : 122-123.

中塘二三生・田中喜代次・羽間鋭雄・金炫秀・前田如矢 (1991) インピーダンス法による本邦成人の体組成評価の妥当性に関する研究. デサントスポーツ科学, 7 : 290-296.

丹羽昇 (1995) 小学生の姿勢の現状と課題, 発育発達研究, 23 : 1-7.

Odenrick P and Sandstedt P (1984) Development of postural sway in the normal child. Human Neurobiology, 3: 241-244.

野井真吾・阿部茂明・鹿野晶子・野田耕・中島綾子・下里彩香・松本稜子・張巧鳳・斉建国・唐東輝 (2016) 子どもの“からだのおかしさ”に関する保育・教育現場の実感：「子どものからだの調査2015」の結果を基に. 日本体育大学紀要, 46 : 1-19.

岡田知雄 (2008) よくわかる子どもの肥満. 永井書店：大阪, pp. 3-16.

奥野淳・中塘二三生・大藏倫博・田中喜代次（2000）簡便法による体脂肪率の推定制度に関する検討. 体育学研究, 45 : 252-261.

大河原一憲・田中喜代次・吉武信二・大久保寛之・中塘二三生（2004）DEXA, 水中体重秤量法, BI 法, 皮下脂肪厚法を用いた身体組成の推定精度に関する研究. ボディコンポジションと代謝, 10 : 39-44.

大川剛・時田喬・柴田康成・小川徹也・宮田英雄（1995）重心動揺検査—単位面積軌跡長の意義—健常者における検討. Equilibrium Research, 54 : 296-306.

大築立志・鈴木三央・柳原大（2011）姿勢の脳・神経科学 —その基礎から臨床まで—. 市村出版：東京, pp. 51-69.

Pace N and Rathbun EN (1945) Studies on body composition III. The body water and chemically combined nitrogen content in relation to fat content. J Bio Chem, 158: 685-691.

Pribyl MI, Smith JD and Grims GR (2011) Accuracy of the Omron HBF-500 body composition monitor in male and female college students. Int J Exercise Sci, 4: issue 2.

Roche AF, Heymsfield SB and Lohman TG (1996) Human body composition. Human Kinetics: Champaign, pp. 63-78.

Rutherford WJ (2011) Comparison of bioelectrical impedance and skinfolds with hydrodensitometry in the assessment of body composition in healthy young adults. ICHPER・SD journal of research, 6: 56-60.

酒井俊郎・藤井勝紀 (2014) 幼児期の BIA (Bioelectrical Impedance Analysis) 法による

身体組成研究へのアプローチ. 教育医学, 59 : 177-192.

崎田正博・石井禎基・上阪雄介・土手愛美・中村泰章・齊藤貴文・熊谷秋三 (2011) 児童

の性差と年齢における静的立位足圧中心動揺変数の発達変化. ヘルスプロモーション

理学療法研究, 1 : 39-50.

Saito M, Hirayama M and Takaishi M (2001) Evaluation of equilibrium function on

primary school children. Japanese J School Health, 42: 167-169.

真田樹義 (2014) 身体組成の測定原理と応用—DXA を利用したサルコペニアの評価—.

体育の科学, 64 : 172-176.

佐竹隆・廣原紀恵・服部恒明 (2011) 子どもの発育研究と身体比例チャート. 発育発達学

研究, 51 : 77-80.

Scammon RE (1930) The measurement of the body in children. In: Harris JA, Jackson

CM, Paterson DG, et al. Eds., The Measurement of Man, The university of

Minnesota press, pp. 173-193.

Segal KR, Gutin B, Presta E, Wang J and Van Itallie TB (1985) Estimation of human

body composition by electrical impedance method. a comparative study. J Appl

Physiol, 58 : 1565-1571.

Sheng HP and Hugging RA (1979) A review of body composition studies with emphasis

on total body water and fat. Am J Clin Nutr, 32: 630-647.

新宅幸憲・溝畑潤・臼井永男・赤塚勲（2004）4歳児の運動能力・重心動揺および足底面の安定性の低下－5年間の推移から－. びわこ成蹊スポーツ大学研究紀要－2004年創刊－, 1 : 99-103.

Shintaku Y, Ohkuwa T and Yabe K (2005) Effect of physical fitness level on postural sway in young children. *Anthropol Sci*, 113: 237-244.

Shintaku Y, Fujinaga H and Yabe K (2007) Performance of dynamic motor tasks in 5 years old children with different of static standing balance. *Int J Fitness*, 3: 61-67.

スポーツ庁（2018）平成29年度体力・運動能力調査報告書：東京, pp. 53-236.

杉林孝法・大森重宜・清水都（2011）男子中学生における基礎的運動能力と重心動揺の関係. 金沢星稜大学, 4 : 59-62.

杉原一昭（1999）何が子どもを変えたか. 体育の科学, 49 : 4-8.

高谷竜三・南由佳子・玉井浩（2014）小児肥満症ガイドライン2014<概要> II. 小児肥満判定法, 2.体脂肪率・体脂肪分布, 肥満研究, 20 : 3-5.

田中喜代次・木塚朝博・大藏倫博（2012）健康づくり・介護予防のための体力測定評価法（第2版）. 金芳堂：京都, pp. 1-87.

田中喜代次・金憲経・渡辺完児・中塘二三生（2000）生体電気インピーダンス（BI）法－測定原理とフィールドへの応用－Q&Aによる解説－. 筑波大学体育科学系紀要, 23 : 13-19.

田中喜代次・稲垣敦・松浦義行・中塘二三生・羽間鋭雄・前田如矢（1990）身体組成におけるインピーダンス法の妥当性と客観性の検討. 臨床スポーツ医学, 7 : 939-945.

- 田中喜代次・中塘二三生（1997）体水分と体脂肪を簡便に求める測定法とその原理. 臨床検査, 41 : 707-709.
- 田中喜代次・中塘二三生・大河原一憲・増尾善久（2001）生体電気インピーダンス（BI）法の有用性と利用限界. バイオメカニクス研究, 5 : 91-101.
- 田中光・藤井勝紀・三村寛一・加賀勝（2013）平均一最小二乗法による幼児の運動能力発達評価の妥当性. 教育医学, 58 : 372-381.
- 田中秀幸・上口孝文・飯田穎男・高木長之助・松浦義行・吉岡剛・武内政幸・西島尚彦（1987）大学柔道選手の直立姿勢保持能力について. 武道学研究, 20 : 145-146.
- 富樫健二（2011）子どもの身体組成. 体育の科学, 61 : 185-190.
- 時田喬（1990）直立検査とその基礎—直立制御機構の解析—. *Equilibrium Research*, 49 : 367-377.
- 時田喬（2008）重心動揺検査. アニマ株式会社 : 東京, pp. 1-127.
- 徳増厚二・米田敏・池上彰博・斉藤彰・西端慎一（1984）直立時重心動揺の再現性について. *Equilibrium Research*, 43 : 24-31.
- 津山薫・大和眞・榎本静香・角清一・清田寛（2004）小学生の重心動揺に関する研究—総軌跡長, 外周面積を指標として—. 日本体育大学紀要, 1 : 37-45.
- 牛山潤・政二慶・松村憲・奥山静代・村山光義・佐々木玲子（2008）様々な重心動揺指標を用いた本塾塾生の平衡機能の評価. 体育研究所紀要 慶應義塾大学体育研究所, 47 : 13-24.
- 臼井永男（1995）重心動揺の発達的变化. 理学療法科学, 10 : 167-173.

臼井永男・平沢弥一郎(1988) 重心及び接地足底からみた児童の直立能力の発達について.

放送大学研究年報, 6 : 135-147.

臼井永男・平沢弥一郎(1991) 小学校児童の直立時安定保持能力の発達について. 放送大

学研究年報, 9 : 41-49.

Usui N, Maekawa K and Hirasawa Y (1995) Development of the upright postural sway of children. *Development medicine and child neurology*, 37: 985-996.

臼井永男・渡邊功・竹内宏一(1996) 1980年代、本邦における姿勢研究の動向について.

放送大学研究年報, 14 : 1-18.

鷺見勝博・渡辺丈真・小林彰雄・竹島伸生・鈴木雅裕・村松常司・前田清・加藤孝之(1988)

重心動揺値の年齢ともなう変化について. *日本老年医学会雑誌*, 25 : 296-300.

渡辺完児・中塘二三生・田中喜代次・三宅眞理・前田如矢(1993) *Bioelectrical Impedance*

Method における中学生の身体組成評価. *体力科学*, 42 : 350-359.

渡辺悟(1981) 重心動揺値からみた姿勢調節. *Equilibrium Research*, 40 : 286-294.

山田陽介(2014) 身体組成研究の新たな展開—組織・器官・細胞レベルのアプローチ, 脂

肪から骨格筋へ—. *体育の科学*, 64 : 149-155.

山縣然太郎・秋山有佳(2019) 健やか親子 21・健康日本 21 からみた子どもの生活習慣と

生活環境. 子どもと発育発達, 杏林書院: 東京, pp. 31-41.

山本昌彦(1983) 重心動揺の解析—重心動揺パターンの定量化について—. *耳鼻臨床*, 76 :

183-196.

山次俊介・出村慎一・野田政弘・長澤吉則・中田征克・北林保（2001）足圧中心動揺による評価変数の日間信頼性の検討. *Equilibrium Research*, 60 : 44-55.

大和眞・武田基一・谷浩充・菅田真理・池田綾・津山薫・高田良平・千葉裕美子・酒井健児・清田寛（2001）児童の平衡機能に関する基礎研究—重心動揺の経年変化について—. *日本体育大学体育研究所雑誌*, 1 : 47-53.

山崎省一・山内武巳（2011）児童・生徒の運動嫌いが重心動揺に及ぼす影響. *石巻専修大学研究紀要*, 22 : 7-12.

柳田三洋子（1985）小児のめまい平衡障害に関する研究—第二編 健康小児の重心動揺—. *Equilibrium Research*, 45 : 332-344.

吉村学・石岡正子・田中喜代次・金憲経・重松良祐・大蔵倫博・中塘二三生・福永哲夫・田中史子・梅川常和・坂根直樹・吉田俊秀（1997）両掌間誘導 BI (bioelectrical impedance) 法による体脂肪測定器の開発. *肥満研究*, 3 : 125-133.

謝辞

本研究を遂行するに当たり、終始懇切丁寧に御指導を賜りました兵庫県立大学環境人間学研究科教授 田路秀樹先生に心より深く御礼を申し上げます。

学位論文の審査の労をお執りいただきました関西大学人間健康学部 弘原海剛教授には、審査会において非常に有益な助言をいただきました。また、副査をお引き受けいただきました兵庫県立大学環境人間学部教授 内田勇人先生、兵庫県立大学環境人間学部教授 尾崎公子先生には、本論文の作成に当たり有益な助言と御指導を賜りました。ここに深く感謝申し上げます。

元関西学院大学教授 中塘二三生教授、元びわこ成蹊スポーツ大学 新宅幸憲教授には、研究の遂行に際し、御指導を賜りました。ここに深く謝意を表します。

また、電気通信大学准教授 大河原一憲先生には非常に有益な助言をいただきました。心から感謝申し上げます。

最後に測定にご協力いただきました大阪府および兵庫県の保育園、幼稚園、子ども園、小学校、中学校、高等学校、スポーツクラブの関係者の皆様、関西学院大学人間福祉学部人間科学科溝畑ゼミの卒業生および在学生、測定や撮影に参加してくれた多くの子ども達に感謝を表します。