

幼児の運動技能と姿勢制御系の発達について

—運動遊びの志向が及ぼす影響に着目して—

Developments of movement skills ability and
postural control systems in children
— the effects of physical play activity preference on motor
and postural developments —

藤 永 博
Hiroshi FUJINAGA

Abstract

The present paper reported the data of motor performance tests and stabilometry conducted for 5-year-old children. The data were analyzed to shed light on the relationships (1) between the performance of fundamental motor tasks and the center of foot pressure fluctuation during quiet upright standing and (2) between motor development, postural development, and activeness in daily physical play activities in young children. The results suggest that (1) the mechanisms controlling spontaneous postural sway during quiet upright standing should influence motor development and (2) children's participating in variety of physical play activities, especially challenging motor tasks, should be important for motor and postural developments.

第1章. 研究の背景・目的

1. 1. 幼児の運動能力の低下とその弊害

幼児を取り巻く最近の社会・家庭環境は、日常の運動遊びの量と質を低下させる方向に変化し続けている。過去20年から30年の間の運動能力検査の結果（杉原ほか，2007；杉原ほか，2004）は、幼児の基礎的な運動能力の低下傾向を示しているが、幼児の運動経験の不足や偏りがその原因のひとつと考えられる。とりわけ、ボールを使った運動、逆上がり、前転などの成就率の低下が著しい（穂丸，2003）。これらは身体のいろいろな部位の協応的な動きを必要とする運動（協応的運動）で、神経系の発達にともない遂行可能となる。神経系は2、

3歳頃から急速に発達し、小学校高学年ではほぼ成人レベルにまで達する(植屋, 2005)。この時期までに基礎的な運動能力を身につけておくことが重要で、成人になってからでは遅いという指摘がある(宮下, 2005)。基礎的な運動能力が未発達な状態は、「できないからやらない、やらないからできない」という悪循環を生みだし、運動・スポーツ嫌いを増加させ、学童期以降の運動能力の発達(運動発達)や新しい運動技能の獲得に悪い影響を及ぼすと考えられている。運動・スポーツ嫌いは生涯スポーツやレクリエーション性の高い健康増進運動の実践を妨げ、老化による身体活動機能の低下を助長しかねない。神経系が急速に発達する幼児期に運動遊びをとおして基礎的な運動能力を高めておくことは、生涯をとおして質の高い自立した生活をおくるための必要条件のひとつといえる。

1.2. 運動能力と運動技能

運動能力は身体の諸機能を複合的に用いて身体運動を遂行する能力で、フィールドテストにより測定評価される文字どおりの運動能力から、実験室において測定評価される生理的機能までを含む能力領域と考えられている(村瀬, 2005)。本研究においても運動能力を運動技能や体力などを包括する概念とみなす。運動技能は上肢、下肢、体幹などの各体節の動きが系統的に統合された一定の運動を遂行・成就する能力で、練習や運動遊びをとおして獲得される。「立つ、歩く、走る、跳ぶ、投げる、蹴る」などの、発育発達段階に応じて遂行可能となる運動技能を基礎運動技能と呼ぶ(村瀬, 2005)。幼児期は基礎運動技能が発達する時期(基礎的運動段階)である。基礎運動技能は段階的に発達するが、そのためには各発達段階において、より複雑で高度な運動技能の基礎となる基礎運動要素(次節参照)を獲得する必要がある。次節では、基礎運動技能や基礎運動要素の概念を明確にするために、運動能力の構造を概説する。

1.3. 運動能力の構造

運動能力の構造については、これまで半世紀にわたって研究が進められてきた。特に1970年代は因子モデルに関する議論が盛んで、階層的因子モデルや多因子モデルなどが提案された(青柳, 2006)。階層的因子モデルでは、一般運動能力(一般因子)と呼ばれるすべてのスポーツに共通する運動能力の存在が仮定された。一方、多因子モデルはそのような能力を仮定せず、並列的な種目固有の運動技能あるいは体力要素の集合体として運動能力を捉えた。しかし、両モデルとも運動発達については「分化」と「統合」という概念から説明している。発達とは未分化なものが分化し、統合されていく過程である。成人の運動能力を構成している多様な要因は、幼児では未分化な状態にあると考えられる(市村, 1969)。階層的因子モデルは、発達にともない一般運動能力の中から多くのより特殊な能力が生じると仮定する。一般運動能力のいくつかの構成要素から種目固有の特殊能力が生まれる過程は統合であり、複

数の特殊能力に分かれる過程は分化と見ることができる。多因子モデルにおけるいくつかの並列的な能力から種目固有の特殊能力が生じる過程は統合であり、運動能力がより多くの、より細かい特殊能力の集合体によっていく過程は分化と考えられる。

一般運動能力は基礎運動能力とも呼ばれ、「すべての運動の成就に、程度の違いこそあれ、基礎的な能力として関与する運動能力の一領域」と定義されている（中村ほか，1979；松浦ほか，1977）。その内容はLarsonの「運動能力の構造に関する仮説」（村瀬，2005；Larson et al., 1951）で示されている基礎運動技能、基礎運動要素、体格及び身体機能領域の3階層を包括した領域と考えられる。基礎運動技能はLarsonの仮説的運動能力構造の第2レベルで、走、跳、投などで代表される。特に幼児期に発達が期待されるのは、この基礎運動技能である。これよりも下位の第3レベルに位置づけられている基礎運動要素には平衡性、柔軟性、敏捷性、筋力、持久力などが含まれる。体格及び身体機能領域はOrganic Function and Structureの訳で、個々の器官や系の機能・構造に焦点があてられる。Larsonの運動能力構造モデルでは、これらの3階層（レベル）の上位にスポーツ技能が位置づけられ、運動能力は4つの階層に分けられている。このモデルでは、上位の階層ほど練習や学習の影響を受けやすく、下位の階層は上位の階層の基礎となると考えられている。また、下位の階層を強化すれば上位の階層も強化され、上位の階層を強化すれば下位の階層も強化されるという相互関係があると仮定されている（青柳，2006）。

Gallahueら（2006）は、運動技能を移動性、操作性、安定性の技能に分類している。これらの運動技能には身体的要因（physical factors）と物理的要因（mechanical factors）が関与する。身体的要因は動作要因（motor fitness factors）と体力要因（physical fitness factors）に分けられる。動作要因はバランス能力（balance）や調整力（coordination）からなる運動制御要因（movement control factors）と、スピード、敏捷性、パワーからなる筋収縮速度要因（force production factors）に分けられる。体力要因には筋力、持久力、柔軟性などが含まれる。身体的要因は身体個々の器官や系の機能に依存する。物理的要因は、身体安定性に関わる要因（stability factors）、筋出力に影響を及ぼす外的要因（giving force factors）、外力の影響に関わる内的要因（receiving force factors）に分類されている。先行研究で提案されたこれらの運動能力あるいは運動技能の構造モデルを整理・統合したものを図1-1に示す。

運動発達は関連する要因や要素の分化・統合の過程である。構造モデル（図1-1）に見られる運動技能の階層は、発達過程で獲得が期待される運動技能の特徴と獲得時期（年齢）、すなわち生後から学童期にかけての運動発達の可能性を示している。運動発達の段階性および適時性（臨界期）の問題は1.6節で取り上げる。

幼児の運動技能と姿勢制御系の発達について—運動遊びの志向が及ぼす影響に着目して—

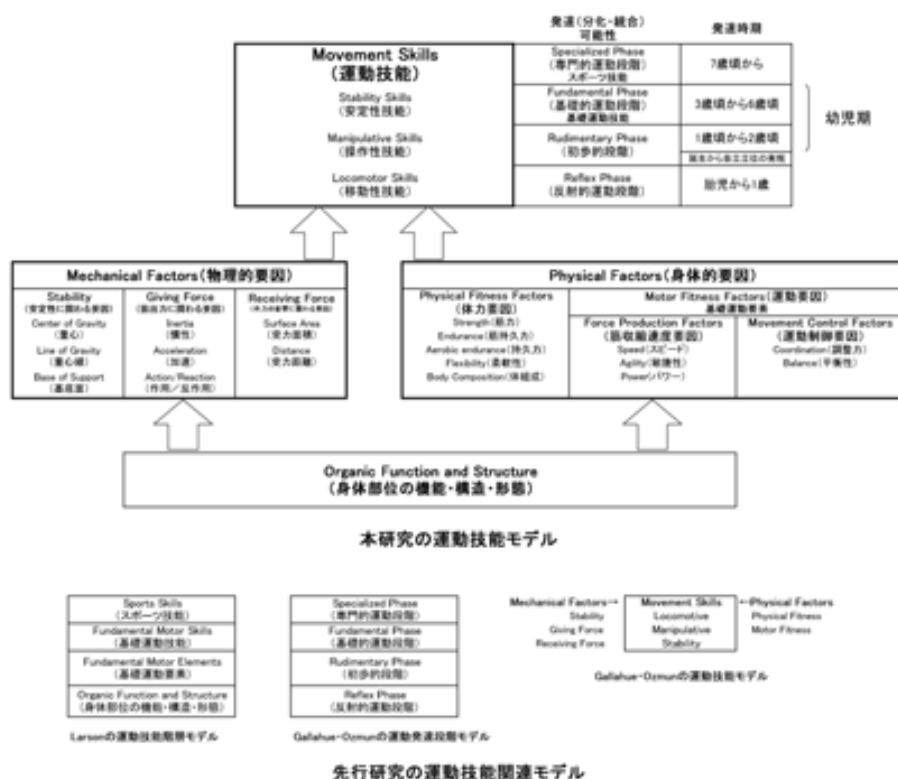


図 1 - 1

1. 4. 幼児の運動技能の測定評価

運動技能は構成概念であるため、直接測定評価することはできない。実際は、主に運動技能に依存して発現する現象（運動パフォーマンス）を総合して推測することになる。運動パフォーマンスにもとづく幼児の運動技能の評価には多くの問題がある。例えば、信頼性、妥当性の問題である（青柳, 2006）。運動パフォーマンスの測定評価は幼児が全力を発揮することを前提としているが、幼児に全力を発揮させること、あるいは幼児の全力を確認することは容易ではない。また、幼児が全力で運動をした場合は安全性の問題が生じる。幼児の運動技能を適切に測定評価するためには、運動遊びのパターンを素材にしたパフォーマンステスト、生理学的機能評価のためのラボラトリー（実験室）テスト、特定の動作や運動が巧みに遂行できるかを主観的に評価する方法、行動観察などが有効とされている。

幼児期の運動発達（基礎運動技能の発達）には次のような特徴がある（松浦, 2003）。

- 1) それまでできなかった新しい動き（動作）を獲得し、多様な運動の遂行が可能になること。
- 2) 筋—神経系の発達により調整力あるいは身体各部位の動きの協応性が向上すること。
- 3) 筋や呼吸循環系などのエネルギー生成機能に依存するものではないこと。

松浦（2003）はこれらを考慮し、幼児の運動能力を測定評価する際の主要な観点として、どれほど多くの運動様式が成就可能か、いかに上手に、安定した状態で、安全に成就できるかをあげている。この時期は「うまくできるようになる」ことが大切で、どれだけ速く、力強く、遠くなどの観点は、学童期以降の子どもに対する運動能力評価の観点であると指摘されている。

運動のうまさや安定性は調整力と平衡性（バランス能力）に依存するといえる。調整力の概念、構成要素、あるいは測定評価方法については、これまで多くの研究者により検討が続けられてきた（青柳，2006）。例えば、小林（1990）は調整力を「やや複雑な動作を上手にコントロールしながら敏捷に動作することができる能力」と簡潔に定義している。ここで、「やや複雑な動作のコントロール」とはいくつかの要素が組み合わされた動作中の姿勢、すなわち定位とバランスの制御を意味し、「敏捷に動作することができる」では方向転換系動作（切りかえし動作）の巧みに視点が向けられる。調整力は筋力やパワーより筋－神経系あるいは感覚－運動系（次節参照）を基盤とする身体のバランス能力（大築，2003）との結びつきが大きいといえる。バランス能力の基盤となるのは姿勢制御能力である。姿勢制御では、不随意的な反射運動や随意的な運動に関わる諸々の機能・構造が最も基本的な部分で相互に影響を及ぼしあっている。

1. 5. 姿勢制御系の発達（姿勢発達）の指標としての安静直立時足圧中心動揺

身体は多くの体節と関節と筋をもつ多回転軸系である。そのため、重力の影響下で立位姿勢を維持する際、外乱のない安静状態であっても常に間欠的で微小な動揺が生じる（山下，2007）。この自発性動揺（ふらつき）には筋緊張や姿勢緊張などの要因が関与すると考えられている（Shumway-Cook et. al., 2006）。筋緊張は、筋が伸張に抵抗する力である。筋緊張のメカニズムには神経系が関与するもの（伸張反射）と関与しないものがある。姿勢緊張は抗重力筋の活動の変化による。抗重力筋の活動は視覚系、前庭系（半規管、耳石器）、体性感覚系（固有受容器、皮膚受容器、関節受容器）の入力の影響を受ける。立位姿勢の安定性は、身体の質量中心の垂直投影点（重心）を基底面周辺の安定性限界と呼ばれる範囲内に保持する能力と定義される（Shumway-Cook et. al., 2006）。質量中心は身体的全質量の中心位置と定義され、各体節質量の重みつき平均により決定される。基底面とは足底と支持面が接している範囲であり、安定性限界は基底面を変えずに身体の位置を保持できる境界面と定義される。安定性限界は固定的な境界ではなく、個々の生体力学的状態、運動課題、環境によって変化する。身体は重心が安定性限界の範囲内に保たれているとき安定とみなされる。

基底面に作用する鉛直方向の力の中心位置を足圧中心と呼ぶ。二足立位時においては、各足の足圧中心はそれぞれの足底面に分かれている。したがって実際の足圧中心は両足の間にあり、それぞれの足底面に作用する力により決定される。足圧中心と重心の動きは相互に影響

響を及ぼしあっている (Coribeu et al., 2004, 2000 ; Winter, 1991) が、足圧中心と重心の動揺軌跡は一致しない。足圧中心は重心が安定性限界の範囲内に留まるように、絶えず重心の周辺を動き回っている (Benda et al., 1994 ; Winter, 1991)。そのため、足圧中心は重心よりも動揺周期が短く、振幅が大きい。身体平衡の維持に関与する系 (姿勢制御系)、すなわち視覚系、前庭系、体性感覚系、運動系 (筋—骨格筋系) およびこれらの系の働きを調節・統合する中枢神経系は、自発性動揺、外乱あるいは運動課題にともなう姿勢の変化に対して体幹や四肢などの筋を収縮させ、足底面の圧力分布あるいは足関節トルクを変化させることによって質量中心 (重心) の位置を制御している。

重心動揺検査は安静直立時の自発性動揺を重心の動揺として捉え、それを記録・分析することによって姿勢制御系の機能を評価しようとするものである。重心動揺検査には安静直立姿勢での自発性動揺に関するものと、人為的に姿勢反射を誘発した際の動揺に関するものがある。検査の簡便性や安全性などの理由から、前者のほうが臨床あるいは健康・スポーツ科学の領域でより広く用いられている。通常、重心動揺検査で記録・分析されるのは重心ではなく足圧中心の動揺である。足圧中心はフォースプレート等を利用して容易に測定することができる。重心動揺からは「ふらつき」に関する情報が、足圧中心動揺からは姿勢制御系に関する情報が得られる。

安静直立時に見られる足圧中心動揺のパターンには平衡機能障害に特有のものがあることが知られており、これらは平衡機能障害などの診断に利用されている (時田, 2002)。一方、足圧中心動揺変数を用いて健常者のバランス能力を評価しようとする試みも数多く見られる (出村ほか, 2005 ; 出村ほか, 2004 ; 出村ほか, 2001 ; 北林ほか, 2002 ; 中田ほか, 2001 ; 山次ほか, 2001)。健常者のバランス能力は、姿勢保持が困難になるような一時的な外乱刺激や運動課題を与えたときの姿勢の保持時間や姿勢の立て直し時間などによって測定・評価される (朝岡正雄, 2003)。安静直立姿勢の維持は健常者にとっては比較的容易な課題であり、重心動揺検査だけで健常者のバランス能力を評価することは困難である。出村ら (2004) は、健常者の足圧中心の動揺パターンにも個人の特性が存在すると主張し、個人の動揺パターン特性を評価するために4つの動揺因子、すなわち単位時間動揺 (動揺速度)、前後方向の動揺 (縦揺れ)、左右方向の動揺 (横揺れ)、高周波数帯域のパワーに関する因子を用いた簡便な方法を提案した。足圧中心動揺には様々な運動—感覚情報が関与しているため、動揺パターンだけでは姿勢制御系の機能特性を評価することはできないが、個人の動揺パターンの特性を把握し、それが疲労やストレスなどによってどのように変化するかを知ることができれば、動揺因子 (観測変数) の健康指標としての活用が期待できる。

幼児期は年齢とともに安静直立時の足圧中心動揺速度と面積が減少することが知られている (Figura, 1991 ; Hayes et al., 1985 ; Kirshenbaum et al., 2001 ; Lebedowska et al., 2000 ; Odenrick et al., 1984 ; Riach et al., 1994 ; Riach et al., 1987 ; Rival et al., 2005 ; Shumway-Cook et al., 1985 ;

Uzu et al., 1995; Williams et al., 1983)。この減少は幼児期における姿勢制御系の発達（姿勢発達）を反映していると考えられる。運動-感覚系が未発達な幼児は、主にオープンループ制御によって立位姿勢を維持している。オープンループ制御では、足圧中心は速く、大きく変動する。安静直立時の自発性動揺に対して、幼児は成人よりも足圧中心を速く、大きく移動させて姿勢を制御している。姿勢制御に関与する感覚は3歳頃までは視覚が優位であるが、4歳頃から6歳頃にかけては体性感覚が優位となり (Foudriat et al., 1993)、感覚フィードバックによるクローズドループ制御が発達する。また、この時期は感覚系の統合および運動-感覚系の発達が進み、さらに筋の協同収縮を可能にする筋-神経系が徐々に発達する。幼児期後半に上位中枢が関与する反射抑制系がほぼ完成すると、反射性運動や不必要な運動（筋活動）が抑制され、巧みな随意運動が可能になる。このような反射抑制系（フィードフォワード系）、運動-感覚系（フィードバック系）、および筋-神経系（協同収縮系）の発達にともない、幼児の安静直立時の足圧中心動揺は低速・微細化し、動揺面積は小さくなる傾向がある。個々の幼児に見られる足圧中心動揺の変化は姿勢制御系の生理的機能変化の基礎的な指標となりうる (Riach et al., 1994)。高齢者に見られる足圧中心動揺のパターン変化も、老化による姿勢制御系の生理的機能変化を反映すると推察される。

1. 6. 幼児期における運動能力の発達（運動発達）の段階性および適時性

Gallahueら（2006）は運動能力（運動技能）の発達段階とおよその年齢区分を示している。彼らは、生後4ヶ月までを反射的運動の段階、4ヶ月から1歳までは初歩的運動の段階、2歳から7歳までを基本的運動の段階、7歳以上を専門的運動の段階と呼んでいる（図1-1）。乳幼児期は、生涯にわたって必要とされる基本的な動作が獲得される時期である（佐々木, 2003）。姿勢・運動制御は頭部から足部へ進行する。自立座位が可能になった乳児は、頭部と体幹の自発性動揺を制御することができるようになる。二つの身体分節を関連づける運動-感覚情報を協調させることを学習し、頭部制御の感覚と運動のマッピング（規則）を体幹に拡張していくと考えられる。自立立位に移行する時期には、外乱や運動経験によって協同収縮系に筋が徐々に加わり、協同収縮系が発達する。立位での足部あるいは下肢全体の筋の協同収縮系の感覚へのマッピングは、運動経験と関連組織の構造的・機能的発達をとおしてもたらされ、成人期をとおして永続する (Shumway-Cook et al., 2006)。乳幼児期には神経系の発達にともない、反射の出現、消失、そして新たな反射の形成が見られる。それと同時に随意運動の発達が見られるようになる。反射は、試運転の意味での随意運動の学習の基礎と考えられる（松浦, 2003）。

幼児期の運動発達過程（佐々木, 2003）を追ってみる。およそ1歳を過ぎる頃から二足歩行が可能になり、2歳後半から3歳になる頃には走ることに加えて、動きを意識的（意図的）に徐々にコントロールできるようになる。3歳頃には跳躍運動ができるようになり、4歳に

かけては全身運動が多様化し、5歳頃にはより巧みな運動ができるようになる。この頃になるとリズムに合わせた運動も可能になる。6歳頃には自分の動きを思ったとおりにコントロールできるようになってくる。神経系だけではなく筋—神経系（協同収縮系）が発達し、筋力も増大するこの時期になると、環境との相互作用により様々な動きを習得するようになる。このような子どもの段階的運動発達を支援するためには、身体運動を誘発する適切な環境を準備する必要がある。佐々木（2003）は幼児期の運動発達には適時性があると指摘している。つまり、適切な時期に適切な運動経験をさせないと、その後では習得に困難さが増す可能性があるというのである。例えば、歩行は幼児にとって生活上必要で毎日繰り返すが、他の運動は機会がなければ行わない。そのような基礎的な運動を5歳ごろまでにしっかり経験しないと、発育にともなう運動発達に障壁ができ、潜在的には獲得可能なはずの運動技能が身につけにくくなるといわれている（宮下，2005）。

運動発達と姿勢発達には関連性がある。矢部（1997）は、運動発達の各段階における平衡反応が成熟した後には次の運動が発達すると述べている。平衡反応とは、運動中、身体のバランスが崩れたときに出現する反応を意味する。最初は伏臥位で、次に仰臥位で、さらに座位、四つ這位、最後に立位で平衡反応は出現する。前段階の機能が成熟しなければ、より高度な運動発達の段階には進めない。走るためには歩くための機能が、歩くためには立位姿勢を保持するための機能が必要となる。姿勢に関与する反射や反応は運動発達に影響を及ぼす。姿勢と運動は別々に制御されるわけではなく、緊密に統合された動的に安定な状態として発現する。姿勢と運動を制御する系はそれぞれ独立したものであっても、運動課題や環境に応じてそれらは協調的に機能する（Alexander et al., 1993）。姿勢発達は、移動性技能や操作性技能の獲得に欠くことのできない過程である。未熟な姿勢制御系は、バランス能力や運動技能の獲得の制限因子あるいは制約になりかねない（Shumway-Cook et al., 2006）。しかし、姿勢発達の指標としての足圧中心動揺と運動発達の指標としての運動パフォーマンスの関連は明らかにされていない。

1.7. 運動遊びが運動発達に及ぼす影響

近年の社会・家庭環境の変化にともない、幼児は友達と屋外で全身運動をともなう遊び（運動遊び）をするより、家の中で過ごすことが多くなった（宗高，2005）。家の中で過ごす時間が多くなった背景には、安全かつ自由に遊べる公園や空き地の減少、テレビやゲーム機の普及など、様々な要因がある。運動遊びの減少による運動経験あるいは運動量の不足は、幼児の心身の発達に深刻な影響を及ぼしかねない。これらの事象の因果関係を客観的なデータをもとに示すことは幼児教育にとって有益であるが、個々の因子が複雑に絡んでいるため因果モデルの検証が困難である。因子を適切に限定した上での因果モデルの構築とその活用が現実的なアプローチといえる。本研究では、基礎運動技能の基盤となる運動制御要因（調整力

やバランス能力）と幼児の運動遊びの志向に焦点をあてる。

屋外で運動遊びをする機会が少なくなった主な理由が、遊び場の減少という生活環境要因であるとする、幼稚園や保育園が幼児にとって最も重要な遊び場のひとつになったといえる。これまで以上に園の遊び環境の整備に力を入れる必要がある。現場ではハード面、ソフト面において様々な取り組みが展開されている（山田ほか，2005；宗高，2005）。しかし、これらの取り組みを検証するための基礎的なデータが不足している。遊びへの介入が幼児にどのような変化をもたらしたかを適切に評価しなければならないが、標準的な運動能力検査は介入効果を反映しない可能性がある。遊びへの介入の方法とその効果を測定評価する方法をあわせて検討することが重要である。

幼児の運動遊びの志向が、運動発達と深い関わりがあることは広く知られている（鈴木ほか，2005）。幼児はさまざまな遊びをとおして、基礎運動技能の基盤となる運動制御要因を発達させていく。そのため、幼児期は運動量より、経験する運動の多様性のほうが重要と考えられている（酒井，2007；佐々木，2003）。幼児は、多様な動きを自ら試み、試行錯誤を繰り返すことによって次々と新しい動きを身につけていく。遊び場は、身体の様々な機能を試すことができる豊かな環境でなくてはならない。

幼児期の運動遊びの減少は、足の構造と機能の発達およびそれらに付随するバランス能力の発達に大きな影響を及ぼす（生田，2005）。全身運動の経験不足は、姿勢制御の基盤となる体幹や下肢などの筋、あるいはそれらの協同収縮系の発達を遅らせることにもなる。幼児の運動発達には大きな個人差がみられるが、バランス能力などの身体動作要因は、就学前の2年から3年の間の比較的短期間に発達するという報告がある（伊藤ほか，1987；伊藤ほか，1986；天野ほか，1985）。遊び場への介入は、固定遊具、運動用具、体育カリキュラムなど様々なレベルで可能だが、幼児の発達段階に応じたものでなければならない。特定の技能に偏らない、全身の運動制御要因（調整力やバランス能力）を高めることに主眼をおいた介入が望ましい。

幼児の遊びは、本来、指示や命令などによって強制されない自由で自発的な活動である。幼児の心身の発達にとって自発的な遊びの機会は重要である。幼児は運動遊びをとおして多様な運動技能を身につける過程で、自分が有能で、環境に働きかけることができるという自己概念を形成するといわれている（松永，1988）。運動遊びを強制されるかたちで展開すると、自己概念の確立の機会を幼児から奪うことになりかねない。しかし、残念ながら現在は、子どもは何もいわなくても活発に遊び、運動能力や社会性を自然と身につけていくという状況ではない。幼児の自発的な運動遊びを促進する遊び環境の整備と、幼児の自発性・自主性を育む教師の働きかけ（介入）が必要ではないか。教師が適切な介入を行うためには、幼児期の姿勢・運動発達に関する正しい理解と個々の幼児の発達状況に関する適切な情報が不可欠である。

1. 8. まとめ—本研究の目的—

幼児期、特に3歳頃から就学期頃までの運動能力検査では、調整力やバランス能力に焦点をあてるべきである。これらの能力領域については、運動パフォーマンスだけでは適切に評価することはできない。そのため、運動の質的な側面、つまり、どのくらい巧く、安定して運動することができたかを主観的に評価する方法の併用が検討されている（村瀬，2005；松浦，2003）。このような方法に加えて、実験室での生理学的機能評価も重要である。調整力やバランス能力の発達の背景には、運動—感覚系（フィードバック系）あるいは筋—神経系（協同収縮系）の発達がある。重心動揺計の普及により測定が容易になった安静直立時の足圧中心動揺パターンの変化は、これらの系が関与する姿勢制御系の発達（生理的機能変化）の指標として注目に値する。

本研究の運動技能モデル（図1-1）は、生涯をとおして身につけていく運動技能とそれらに関連する身体機能の総体として運動能力を捉え、安静直立時の自発性動揺制御を最も基本的な運動技能（身体機能）のひとつとして位置づけている。また、筋—神経系や運動—感覚系の機能あるいは姿勢制御能力は「身体機能・構造・形態領域」に含まれる。調整力とバランス能力は、各レベルの運動技能に影響をおよぼす「運動制御要因」として位置づけられる。本研究では、図1-1の運動技能モデルにもとづき、安静直立時足圧中心動揺と運動制御要因（調整力やバランス能力）あるいは基礎運動技能との関連を明らかにし、安静直立時足圧中心動揺を姿勢・運動発達の指標のひとつとして活用することの妥当性を検証する。さらに足圧中心動揺を含め、運動技能モデルによって関係づけられた各構成要素が、幼児の運動遊びの志向によってどのような影響を受けるかを調べる。

以下、本稿では、実質的な検査が可能となる5歳児を対象に実施された運動能力検査、重心動揺検査、子どもアクティビティ尺度（鈴木ほか，2005）を用いた身体活動性調査の結果を分析することによって、次の点について考察する。

- 1) 運動能力検査におけるパフォーマンスと安静直立時足圧重心動揺の間にどのような関係があるか。（第2章）
- 2) 運動能力検査におけるパフォーマンスおよび安静直立時足圧重心動揺と日常的な運動遊びの志向（量、強度、内容）の間にどのような関係があるか。（第3章）

最後に、幼児期の特徴である筋反射の抑制・統合による機能的姿勢反射の発達を評価するための指標のひとつとして注目されている安静直立時の姿勢動揺制御におけるフィードバック遅れ時間について触れ、今後の研究の展望を述べる。（第4章）

参考文献

Alexander, R., Hohme, R., Cupps, B. (1993) Normal Development of Functional Motor Skills, Communication Skill Builders, Inc.

- 天野博江, 桑原信治, 伊藤功子, 市島憲郎 (1985) 幼児の運動能力の発達に関する縦断的研究 (第一報). 東海女子短期大学紀要 11 : 79-87.
- 青柳 領 (2006) 子どもの発育発達と健康 ナカニシヤ出版.
- 朝岡正雄 (2003) バランスのトレーニング. 体育の科学 53 : 253-257.
- 穂丸武臣 (2003) 幼児の体格・運動能力の30年間の推移とその問題. 子どもと発育発達 1 : 128-132.
- Benda, B. J., Riley, P. O., Krebs, D. E. (1994) Biomechanical relationship between center of gravity and center of pressure during standing. IEEE Transactions on Rehabilitation and Engineering, 2 : 3-10.
- Coribeaue, H., Hèbert, R., Raîche, M., Dubois, M F., and Prince, F. (2004) Postural stability in the elderly: empirical confirmation of a theoretical model.. Archives of gerontology and geriatrics, 39: 163-177.
- Coribeaue, H., Hèbert, R., Prince, F., and Raîche, M. (2000) Postural control in the elderly : an analysis of test-retest and interrater reliability of the COP-COM variable. Archives of physical medicine and rehabilitation, 82 : 80-85.
- 出村慎一, 北林 保, 野田政弘, 山田孝禎, 今岡 薫 (2005) 足圧中心動揺因子を利用した個人動揺パターンの事例的研究. Equilibrium Research, 64 : 143-150.
- 出村慎一, 北林 保, 野田政弘, 山田孝禎, 今岡 薫 (2004) 足圧中心動揺の簡便な評価方法の提案. Equilibrium Research 63 : 215-223.
- 出村慎一, 山次俊介, 野田政弘, 北林 保, 長澤吉則 (2001) 静的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.
- Figura, F., Cama, G., Capranica, L., Guidetti, L., and Pulejo, C. (1991) Assessment of static balance in children. Journal of Sports Medicine and Physical fitness 31 : 235-242.
- Foudriat, B. A., Di Fabio, R. P., Anderson, J. H. (1993) Sensory organization of balance responses in children 3 - 6 years of age : a normative study with diagnostic implications. International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology 27 : 255-271.
- Gallahue, D. L., and Ozmun, J. C. (2006) Understanding Motor Development : Infants, Children, Adolescents, Adults. Sixth Edition. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Hayes, K. C., Spencer, J. D., Riach, C. L., Lucy, S. D. and Kirshen, A. J. (1985) Age-related changes in postural sway. In: D. Winter, K. Hayes, A. Patla (Eds.), Biomechanics IX-A. Human Kinetics Publishers, Champaign, pp. 383-387.
- 生田香明 (2005) 姿勢をつくる 山路啓司 編著 子どものこころとからだを強くする II 部1章 市村出版.

幼児の運動技能と姿勢制御系の発達について—運動遊びの志向が及ぼす影響に着目して—

- 市村操一, 鴨下礼二郎, 越智三王 (1969) 園児の体力構造の研究. 体育学研究 13 : 235.
- 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集計. *Equilibrium Research Supplement* 12 : 1-84.
- 伊藤功子, 天野博江, 桑原信治, 市島憲郎 (1987) 幼児の運動能力の発達に関する縦断的研究 (第三報). 東海女子短期大学紀要 13 : 67-75.
- 伊藤功子, 天野博江, 桑原信治, 市島憲郎 (1986) 幼児の運動能力の発達に関する縦断的研究 (第二報). 東海女子短期大学紀要 12 : 93-99.
- Kirshenbaum, N., Riach, C. L., and Starkes, J. L. (2001) Non-linear development of postural control and strategy use in young children: a longitudinal study. *Experimental Brain Research* 140 : 420-431.
- 北林 保, 出村慎一, 山次俊介, 中田征克, 野田政弘, 今岡 薫 (2002) 静的立位姿勢における足圧中心動揺変数の性差と体格の関係. *Equilibrium Research* 61 : 16-27.
- 小林寛道 (1990) 幼児の発達運動学 ミネルヴァ書房.
- Larson, L. A. and Yocom, R. D. (1951) *Measurement and Evaluation Physical, Health and Recreation Education*. C. V. Mosby Company.
- Lebiedowska, M. K., and Syczewska, M. (2000) Invariant sway properties in children. *Gait and Posture* 12 : 200-204.
- 松永恵子 (1988) 幼児の運動遊びと運動量について. 日本保育学会大会発表論文抄録 41 : 434-435.
- 松坂仁美 (2004) 幼児期の運動遊びに関する一考察 —運動意欲の低い幼児を対象とした運動遊びの実践をとおして—. 日本保育学会大会発表論文抄録 57 : 712-713.
- 松浦義行 (2003) 子どもの運動発達. 子どもと発育発達 1 : 104-107.
- 松浦義行, 中村栄太郎 (1977) 基礎運動能力の発達に関する研究—4～8歳の男子について—. 体育学研究 21 : 293-303.
- 宮下充正 (2005) 子どもの身体活動能力と教育. 子どもと発育発達 4 : 45-51.
- 宗高弘子 (2005) 幼児の体力づくり 山路啓司 編著 子どものころとからだを強くする II 部 6 章 市村出版.
- 村瀬智彦 (2005) 出村慎一 監修 幼児の体力・運動能力の科学—その測定評価の理論と実際 有限会社 NAP.
- 中村栄太郎, 松浦義行 (1979) 4～8歳の幼児・児童の基礎運動能力の発達に関する研究. 体育学研究 24 : 127-135.
- 中田征克, 出村慎一, 山次俊介, 野口雄慶, 北林 保, 長澤吉則 (2001) 足圧中心変位の中心位置と体調との関係. 体育測定評価研究 1 : 15-20.
- Odenrick, P., and Standstedt, P. (1984) Development of postural sway in the normal child. *Human*

- Neurobiology 3 : 241-244.
- 大築立志（2003）バランスを司る神経支配. 体育の科学53 : 236-240.
- Riach, C. L., and Hayes, K. C. (1987) Maturation of postural sway in young children. *Developmental Medicine and Child Neurology* 29 : 650-658.
- Riach, C. L., and Starkes, J. L. (1994) Velocity of center of pressure movements as an indicator of postural control systems in children. *Gait and Posture* 2 : 167-172.
- Rival, C., and Ceyte, H., and Olivier, I. (2005) Developmental changes of static standing balance in children. *Neuroscience Letters* 376 : 133-136.
- 酒井俊郎（2007）幼児期の体力づくり. 体育の科学57 : 417-422.
- 佐々木玲子（2003）乳幼児の発達段階と運動遊び. 子どもと発育発達1 : 50-52.
- Shumway-Cook, A. and Woollacott, M. H. (2006) モーターコントロール 運動制御の理論と臨床応用 第2版, 医歯薬出版株式会社.
- Shumway-Cook, A., and Woollacott, M. H. (1985) The growth of stability : Postural control from a developmental perspective. *Journal of Motor Behavior* 17 : 131-147.
- 杉原 隆, 近藤充夫, 吉田伊津美, 森 司朗（2007）1960年代から2000年代に至る幼児の運動能力発達の時代変化. 体育の科学57 : 69-73.
- 杉原 隆, 森 司朗, 吉田伊津美, 近藤充夫（2004）2002年の全国調査からみた幼児の運動能力. 体育の科学54 : 161-170.
- 鈴木裕子, 鈴木英樹, 上地広昭（2005）幼児の身体活動評価尺度の開発—子どもアクティビティ尺度. 体育学研究50 : 557-568.
- 時田 喬（2002）重心動揺検査—その実際と解釈—. アニマ株式会社.
- 植屋清見（2005）動きを取り戻す 山地啓司 編著 子どものころとからだを強くする II 部4章 市村出版.
- Usui, N., Maekawa, K., and Hirasawa, Y. (1995) Development of the upright postural sway of children, *Developmental Medicine and Child Neurology* 37 : 985-996.
- Williams, H. G., Fisher, J. M., and Tritschler, K. A. (1983) Descriptive analysis of static postural control in 4, 6, 8 year old normal and motorically awkward children. *American Journal of Physical Medicine* 62 : 12-26.
- Winter, W. A. (1990) *Biomechanics and motor control of human movement*, second edition. Wiley & Sons, Inc.
- 矢部京之助（1997）運動発達理論 宮本省三・沖田一彦（選）セラピストのための基礎研究 論文集（1）運動制御と運動学習 協同医書出版社.
- 山下謙智, 伊東太郎, 東 隆史, 徳原康彦（2007）多関節運動学入門 有限会社NAP.
- 山田 洋, 長堂益丈, 鎌田雄二, 陸川 章, 塩崎知美, 木塚朝博, 加藤達郎（2005）幼児期

幼児の運動技能と姿勢制御系の発達について—運動遊びの志向が及ぼす影響に着目して—

の運動機能向上のための「運動遊びプログラム」の提案. 東海大学スポーツ医科学雑誌17: 72-77.

山田 洋・加藤達郎・知念嘉史ほか (2007) 幼児期の運動機能向上のための「運動遊びプログラム」の提案 (第2報) 介入幼稚園におけるコントロール測定の結果について. 東海大学スポーツ医科学雑誌19: 33-37.

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: 217 - 226.

第2章 5歳児の安静直立時足圧中心動揺と運動パフォーマンスの関係

2.1. はじめに

姿勢に関与する反射や反応は運動発達に影響を及ぼすという指摘がある (矢部, 1997)。姿勢と運動は別々に制御されるわけではなく、緊密に統合された動的に安定な状態として発現する。したがって、幼児の姿勢発達の指標である足圧中心動揺と基礎的運動技能の間に何らかの関連があることは容易に推測できるが、実際にはそれらについては明らかにされていない。そこで、本研究では実質的な検査が可能となる5歳児を対象に実施された運動能力検査と重心動揺検査の結果を分析し、足圧中心動揺の速度、面積、単位面積軌跡長が小さい幼児と大きい幼児の運動パフォーマンスを比較した。

2.2 方法

本研究では、某大学附属幼稚園で平成5年度から平成18年度の間に実施された運動能力検査および重心動揺検査の結果のうち、欠損値のない、のべ1100名の5歳児 (男子515名、女子585名) のデータを分析した。運動能力検査では、身長、体重、25メートル走 (25m走)、立ち幅跳び (立幅跳)、軟式テニスボール投げ (ボール投)、片足立ち (片足立)、両足反復横跳び (反復横跳)、片足連続跳び (片足跳)、体支持持続時間 (体支持) の測定が行われた。測定は、一般的に用いられている検査方法 (出村・村瀬, 2005) に従い、幼稚園の教諭が行った。ただし、反復横跳では、両足をそろえて一本の直線を左右方向に跳び越えた回数を測定した。測定時間は10秒間とした。片足跳では、グラウンドに描かれた一辺5メートルの正方形の上を片足けんけん跳びで左回りに前進させた。立ち止まるなどして連続した片足けんけん跳びが途切れるまでに進んだ距離を測定した。

重心動揺検査では安静直立姿勢における足圧中心動揺が測定された。足圧重心動揺の測定にはポータブル重心動揺計 (アニマ社製 **CS-10A**) を用いた。この測定器は水平面上の2等辺三角形の各頂点に置かれた垂直荷重センサーの値から、これらの作用中心である足圧中心を算出するものである。サンプリング周波数は20Hzに設定された。被験者は測定中、重心

動揺計の上の決められた位置に、両踵をつけ、足先を30度程度開いた状態で立ち、両腕を体側につけたまま前方2メートルに設置した視標を注視した状態で安静を保つように指示された。測定は静止状態を確認した後、30秒間行われた。

安静直立姿勢における足圧中心動揺を評価する変数は数多く提案されているが(出村ほか, 2005; 出村ほか, 2004; 出村ほか, 2001; 北林ほか, 2003; 北林ほか, 2002)、今回の分析では、幼児期に年齢とともに減少することが知られている単位時間軌跡長 (**LT**) と外周面積 (**EA**)、さらに姿勢制御の微細さの指標と考えられている単位面積軌跡長 (**LA**) (大川ほか, 1996) を取り上げた。**LT**は足圧中心の総移動距離(総軌跡長)を測定時間で割ったもので、足圧中心動揺の平均速度とみなすことができる。**EA**は、**X-Y**座標上に投射された足圧中心動揺の外周(包絡線)で囲まれた部分の面積である。**LA**は足圧中心の総軌跡長を外周面積で割ったものである。

足圧中心動揺と運動パフォーマンスの関連について調べるため、検査項目間の相関係数を計算した。また、動揺速度の小さい幼児と大きい幼児の運動パフォーマンスを比較するために、幼児を**LT**が平均値よりも小さいグループと大きいグループに分け、1要因分散分析を行った。**EA**と**LA**についても同様の分析を行った。統計解析にはSPSS11.0 Jを用いた。本研究における統計的有意水準は5%とした。

2.3. 結果

検査項目の男女別および全体の平均値を表2-1に示した。身長と体重の平均値はともに男児の方がわずかに大きく、運動検査項目では25m走、ボール投、立幅跳において男児の平均値が上回り、逆に反復横跳と片足立では女児の平均値が高かった。片足跳と体支持については平均値の間に有意な男女差は認められなかった。**LT**と**EA**の平均値は、ともに女児の方が有意に小さかった。**LA**には有意な男女差はなかった。

表2-1 運動能力検査および重心動揺検査の結果—平均値(標準偏差)

検査項目	身長 (cm)	体重 (kg)	25m走 (秒)	ボール投 (m)	立幅跳 (cm)	片足跳 (m)	反復横跳 (回)	体支持 (秒)	片足立 (秒)	LT (cm/s)	EA (cm)	LA (cm/cm)
男子(515名)	113.3 (4.70)	19.9 (2.90)	6.3 (0.51)	9.0 (3.0)	112.1 (15.61)	41.2 (22.78)	19.2 (5.37)	61.0 (46.98)	73.4 (40.39)	2.2 (0.82)	4.9 (3.36)	17.6 (7.67)
女子(585名)	112.6 (4.80)	19.4 (2.90)	6.5 (0.58)	6.1 (2.0)	103.4 (14.23)	40.5 (19.56)	20.0 (4.75)	63.1 (47.84)	94.4 (36.21)	1.9 (0.64)	3.9 (2.62)	17.4 (7.15)
全体(1100名)	112.9 (4.76)	19.7 (2.91)	7.4 (0.55)	6.1 (2.0)	107.5 (15.5)	40.8 (21.12)	19.6 (5.06)	62.1 (47.43)	84.8 (39.58)	2.1 (0.74)	4.4 (3.03)	17.5 (7.39)
男女差 有意確率	p<0.05	p<0.01	p<0.01	p<0.01	p<0.01	NS	p<0.05	NS	p<0.01	p<0.01	p<0.01	NS

表2-2に検査項目の相関係数マトリックスを、表2-3に分散分析の結果を示した。運動能力検査項目と重心動揺検査項目の間の相関係数はすべて0.2以下で、項目間に強い相関関係は認められなかった(表2-2)。しかし、**LT**が平均値(2.1cm/s)より小さいグループ

表 2－2 相関係数マトリックス

	身長	体重	25m走	ボール投	立幅跳	片足跳	反復横跳	体支持	片足立	LT	EA	LA
身長	1.000	0.731 **	-0.265 **	0.184 **	0.254 **	0.122 **	0.093 **	-0.038	0.056	-0.022	0.047	0.026
体重		1.000	-0.139 **	0.139 **	0.117 **	-0.006	0.078 **	-0.117 **	-0.001	-0.025	0.054	0.015
25m走			1.000	-0.353 **	-0.521 **	-0.403 **	-0.283 **	-0.224 **	-0.217 **	0.033	0.024	0.024
ボール投				1.000	0.456 **	0.258 **	0.193 **	0.140 **	0.036	0.047	0.041	-0.024
立幅跳					1.000 **	0.445 **	0.367 **	0.293 **	0.218 **	-0.028	-0.055	0.059 *
片足跳						1.000	0.408 **	0.404 **	0.307 **	-0.085 **	-0.106 **	0.021
反復横跳							1.000	0.307 **	0.309 **	-0.115 **	-0.143 **	0.004
体支持								1.000	0.298 **	-0.102 **	-0.138 **	0.038
片足立									1.000	-0.151 **	-0.189 **	0.013
LT										1.000	0.815 **	0.059
EA											1.000	0.046
LA												1.000

* p<0.05 ** p<0.01

表 2－3 分散分析の結果

		LT (cm/s)	EA (cm)	LA (cm/cm)	身長 (cm)	体重 (kg)	25m走 (秒)	ボール投 (m)	立幅跳 (cm)	片足跳 (m)	反復横跳 (回)	体支持 (秒)	片足立 (秒)
LTの小さい幼児 (676名)	Mean (SD)	1.63 (0.270)	3.01 (1.438)	17.36 (7.214)	113.1 (4.72)	19.6 (2.94)	6.4 (0.55)	7.2 (2.66)	107.5 (15.35)	41.8 (21.33)	19.9 (5.16)	65.5 (49.17)	89.3 (38.84)
	Mean (SD)	2.76 (0.725)	6.57 (3.403)	17.64 (7.677)	112.7 (4.81)	19.8 (2.86)	6.4 (0.56)	7.8 (3.26)	107.4 (15.79)	39.4 (20.74)	19.0 (4.87)	56.7 (44.05)	77.4 (39.69)
	F 値	1362.62	531.96	0.38	1.69	3.11	0.09	10.13	0.59	3.18	8.58	8.85	24.08
	有意確率	p<0.01	p<0.01	NS	NS	NS	NS	p<0.05	NS	NS	p<0.05	p<0.05	p<0.01
EAの小さい幼児 (694名)	Mean (SD)	1.72 (0.391)	2.73 (0.938)	17.59 (7.316)	112.7 (4.71)	19.6 (2.94)	6.4 (0.55)	7.3 (2.85)	107.5 (15.53)	41.9 (20.58)	20.0 (5.12)	67.1 (50.07)	90.4 (37.87)
	Mean (SD)	2.66 (0.823)	7.21 (3.283)	17.27 (7.529)	113.2 (4.82)	19.8 (2.86)	6.4 (0.56)	7.7 (3.01)	107.4 (15.50)	38.9 (21.93)	18.8 (4.87)	53.5 (41.22)	75.1 (40.61)
	F 値	661.06	1135.47	0.49	2.58	0.51	0.25	3.73	0.03	5.07	15.02	21.31	39.44
	有意確率	p<0.01	p<0.01	NS	NS	NS	NS	NS	NS	p<0.05	p<0.01	p<0.01	p<0.01
LAの小さい幼児 (654名)	Mean (SD)	2.05 (0.689)	4.36 (2.756)	12.78 (2.848)	112.9 (4.59)	19.6 (2.75)	6.4 (0.56)	7.5 (2.97)	107.1 (15.89)	39.7 (21.62)	19.4 (5.06)	62.5 (47.20)	84.3 (39.51)
	Mean (SD)	2.09 (0.818)	4.43(3.405)	24.35 (6.574)	113.0 (5.00)	19.7 (3.13)	6.4 (0.54)	7.3 (2.83)	108.1 (14.94)	42.4 (20.30)	19.8 (5.06)	61.5 (47.82)	85.4 (39.71)
	F 値	0.54	0.14	1591.35	0.03	0.14	0.49	1.13	1.10	4.20	1.52	0.10	0.17
	有意確率	NS	NS	p<0.01	NS	NS	NS	NS	NS	p<0.05	NS	NS	NS

注) LTの小さい幼児は、LTの値が全体の平均値2.1cm/sよりも小さい幼児を意味し、LTの大きい幼児は、LTの値がそれよりも大きい幼児を意味する。EAの小さい (大きい) 幼児、LAの小さい (大きい) 幼児も同様の意味である。EAとLAの全体の平均値は、それぞれ4.1cm、17.5cm/cmである。NSはp≧0.05を意味する。

は、大きいグループより反復横跳、体支持、片足立、ボール投げの平均値が有意に高かった。また、EAが平均値（4.4 cm²）より小さいグループは、片足跳、反復横跳、体支持、片足立の平均値が高かった。さらに、LAが平均値（17.5 cm²）より大きいグループは、片足跳の平均値のみLAが平均値より小さいグループより高かった。検査項目間の相関分析やグループ間の比較では、男女ともほぼ同じような結果が得られた。今回は全データについて行った分析の結果を報告した。

2.4. 考察

今回の分析では、反復横跳や片足立では女児の方がすぐれ、25m走、ボール投、立幅跳では男児の方がすぐれ、LTとEAは男児より女児の方が小さい傾向があるという結果が示された。これらの運動パフォーマンスの男女差はこれまでも報告されている（今岡ほか，1996；北林ほか，2002；小林，1990；杉原ほか，2004）。青柳（2006）は、これを男児が女児に比べてより広いスペースを使って遊ぶためと推測している。表2-1に示したとおり、身長と体重の男女差はわずかである。今回の分析で示された男女差は、発育要因によるものではなく、運動経験あるいは日常の遊びのスタイルの違いがもたらすものと推察される。

分析したデータは過去14年間にわたって蓄積されたものである。この間、幼児を取り巻く社会環境は大きく変化し、幼児の発育発達に大きな影響を及ぼしたと考えられるが、今回は男女合わせて、のべ1100名分のデータをまとめて分析した。本研究は、幼児期における足圧中心動揺と運動能力の関連について調べることを目的としている。足圧中心動揺変数や基本的な運動のパフォーマンスは、育ってきた環境、運動経験、日常の遊びのスタイルなどの影響を受けるが、これらの要因の関連性自体は普遍的なものと仮定している。様々な環境で育った多くの幼児のデータを分析することによって、姿勢・運動発達の状況が大きく異なる5歳児の比較が実現できたであろうし、幼児期の検査では特に考慮しなければならない様々な剰余変数の影響を小さくすることもできたと考えられる。

運動能力検査と重心動揺検査の項目の間には強い相関は認められなかった（表2-2）。これは安静立位姿勢における足圧中心動揺の速度、面積、微細さが、運動パフォーマンスの決定要因とはなっていないことを示している。ところが動揺速度（LT）あるいは動揺面積（EA）が大きいグループと小さいグループを比較すると、小さいグループの方が運動パフォーマンスの平均値が高い傾向にあった。特に調整力を構成すると考えられる基礎運動要素（出村・村瀬，2005；Larson・Yocom, 1951）に関連する項目、すなわち片足跳、反復横跳、体支持、片足立で高いパフォーマンスを示した。一般に反復横跳は敏捷性、片足立と片足跳は主にバランス能力（静的あるいは動的平衡性）、体支持は筋持久力の指標と考えられている。走、跳、投などの基礎的運動技能（出村・村瀬，2005；Larson・Yocom, 1951）については、LTが小さいグループのボール投の平均値が若干高かった以外は、2つのグループの間に有意な差は認

— 幼児の運動技能と姿勢制御系の発達について—運動遊びの志向が及ぼす影響に着目して—

められなかった。

足圧中心動揺が微細なグループ、すなわち **LA** が大きいグループは、**LA** が小さいグループより片足跳の平均値が高かった (表 2-3)。この結果は、安静立位時の微細な姿勢制御を担う機構が、動的なバランス課題の遂行にも関与することを示唆している。微細な姿勢制御は脊髄固有反射の働きとされている (時田 2002, 大川 1995)。伸張反射などによる固有受容性姿勢制御が安静立位時の微細な姿勢動揺制御にどの程度関与しているかは明らかではないが、感覚系の統合、感覚フィードバックの発達、上位中枢による反射抑制あるいは筋緊張や姿勢緊張の調節などを背景とする脊髄固有反射系の成熟が、微細な足圧中心動揺とすぐれた動的バランスの関連を説明すると考えられる。

幼児の運動発達を評価するためには、その基盤となる機能・構造、特に筋-神経系や運動-感覚系の発達状況を評価する簡便な方法を工夫することが重要であろう。直立姿勢における足圧中心動揺は、幼児の姿勢制御戦略の変化を反映すると考えられ (Riach・Starkes, 1994)、幼児の調整力の基礎となる機能の指標となりうる。本研究の分析により、安静直立姿勢における足圧中心動揺と基礎運動要素の関連が示された。立位姿勢での自発性姿勢動揺の制御には多くの要因が関与すると考えられるが、それらの成熟が基礎運動要素や基礎運動技能の発達の前段階となっている可能性がある。

重心動揺検査は幼児期の運動能力検査を補完する簡便で有意義な検査のひとつになりうる。幼児を対象とする足圧中心動揺の測定については多くの課題がある。動揺変数の信頼性、妥当性、評価基準などについて検討を行い、幼児教育の現場で利用可能な測定評価の方法を確立しなければならない。本研究では 3 つの足圧中心動揺変数のみを取り上げたが、それ以外の動揺変数と運動パフォーマンスの関連についても今後明らかにする必要がある。

2.5. まとめ

本研究では幼児の足圧中心動揺と運動パフォーマンスの関係について明らかにするために、実質的な検査が可能となる 5 歳児を対象に実施された運動能力検査と重心動揺検査の結果を分析した。その結果、

- (1) 安静立位姿勢における足圧中心動揺の速度あるいは面積が小さい幼児の方が、調整力を構成する基礎運動要素に関連する項目、すなわち片足跳、反復横跳、体支持時間、片足立で高いパフォーマンスを示した。
- (2) 足圧中心動揺が微細な幼児は、片足跳で高いパフォーマンスを示した。

これらの結果は、安静直立姿勢における自発性動揺の制御と運動発達の関係を示唆している。

参考文献

- 青柳 領（2006）子どもの発育発達と健康 ナカニシヤ出版.
- 出村慎一・村瀬智彦（2005）幼児の体力・運動能力の科学 その測定評価の理論と実際 有限会社NAP.
- 出村慎一・北林 保・野田政弘・山田孝禎・今岡 薫（2005）足圧中心動揺因子を利用した個人動揺パターンの事例的研究. *Equilibrium Research*, 64（3）：143-150.
- 出村慎一・北林 保・野田政弘・山田孝禎・今岡 薫（2004）足圧中心動揺の簡便な評価方法の提案. *Equilibrium Research*, 63（3）：215-223.
- 出村慎一・山次俊介・野田政弘・北林 保・長澤吉則（2001）静的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（1）：44-55.
- 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集計 *Equilibrium Research Supplement* 12：1-84.
- 北林 保・出村慎一・野田政弘・今岡 薫（2003）静的立位姿勢における足圧中心動揺変数相互の関係の検討.
- 領域別及び性差の観点から—. *Equilibrium Research*, 62（1）：34-42.
- 北林 保・出村慎一・山次俊介・中田征克・野田政弘・今岡 薫（2002）静的立位姿勢における足圧中心動揺変数の性差と体格の関係. *Equilibrium Research*, 61（1）：16-27.
- 小林寛道（1990）幼児の発達運動学 ミネルヴァ書房.
- Larson, L. A.・Yocom, R. D.（1951）*Measurement and Evaluation Physical, Health and Recreation Education*. C. V. Mosby Company.
- 大川 剛・時田 喬・柴田康成・小川徹也・宮田英雄（1996）重心動揺検査—単位面積軌跡長の意義—臨床例における検討. *Equilibrium Research*, 55（3）：283-293.
- Riach, C. L., and Starks, J. L.（1994）Velocity of center of pressure excursions as an indicator of postural control systems in children. *Gait and Posture* 2：167-172.
- Shumway-Cook, A., and Woollacott, M. H.（2006）モーターコントロール 運動制御の理論と臨床応用 第2版 医歯薬出版株式会社.
- 杉原 隆・森 司朗・吉田伊津美・近藤充夫（2004）2002年の全国調査からみた幼児の運動能力 体育の科学54（2）：161-170.
- 時田 喬（2002）重心動揺検査 その実際と解釈 アニマ株式会社.
- 矢部京之助（1997）運動発達理論 宮本省三・沖田一彦（選）セラピストのための基礎研究 論文集（1） 運動制御と運動学習 協同医書出版社.

第3章 運動遊びの志向と姿勢・運動発達の関係

3.1. はじめに

幼児の運動遊びの傾向が運動発達と深い関わりがあることは広く知られている（佐々木, 2003）。幼児はさまざまな遊びや運動を豊富に経験することによって、生涯にわたって必要となる基礎的な運動能力を身につける。幼児期の運動発達段階では運動量を増やすより、多くの種類の運動を経験させるほうが重要と考えられている（酒井, 2007）。本研究では、幼児期における姿勢発達と運動発達およびこれらに影響を及ぼすと考えられる運動遊びの傾向の相互関連について理解を深めるため、実質的な検査が可能となる5歳児を対象に実施された運動能力検査、重心動揺検査（時田, 2002）、子どもアクティビティ尺度（鈴木ほか, 2005）を用いた身体活動性調査の結果を分析し、関係する因子あるいは変数の関連について考察する。

3.2. 方法

本研究では、某大学附属幼稚園で平成18年度に実施された運動能力検査、重心動揺検査、子どもアクティビティ尺度を用いた身体活動性調査の結果のうち、5歳児67名（男子36名、女子31名）のデータを分析した。

運動能力検査と重心動揺検査の方法は第2章で述べたとおりである。子どもアクティビティ尺度を用いた身体活動性の調査は、幼稚園の教諭が担任のクラスの幼児を対象に行った。教諭には、表3-1に示した質問項目が個々の幼児にどの程度当てはまるか、1（まったくあてはまらない）から5（とてもよくあてはまる）のスケールを用いて回答するよう求めた。スケールの3は1と5の中間の当てはまり度を表すものとした。使用した質問紙では、質問項目は表3-1の順に並べられた。

子どもアクティビティ尺度は

表3-1 子どもアクティビティ尺度

Q1	座って遊ぶよりも立って遊ぶことが多い。
Q2	洋服などが汚れることを気にしないで遊ぶ。
Q3	課題を克服する遊び（竹馬、のぼり棒、うんてい、マット、鉄棒など）に意欲的に挑戦する。
Q4	汗をたくさんかいて遊ぶ。
Q5	遊びのなかで友達をリードすることが多い。
Q6	ルールのある集団遊びや競い合う遊び（ドッジボール、サッカー、鬼ごっこ、かんけり、リレーなど）に積極的に参加する。
Q7	身体を思いっきりよく大胆に動かして遊ぶ。
Q8	遊びのなかでいろいろな決断をまかされている。
Q9	友達に関わって一緒に遊ぶ。
Q10	身体を活発に動かして遊ぶことを好む。
Q11	遊びのなかで自分の考えやアイデアを試したり提案したりする。
Q12	自分から遊びに加わっていきける。
Q13	遊具から遊具へ移動して遊ぶ。
Q14	いろいろな運動・遊びに進んで取り組む。
Q15	周囲の子をよく見ていて真似して遊ぶ。

幼児の身体活動性を評価するために開発されたもので、15の質問項目からなる（表3-1）。身体活動性を評価するためには、身体活動場面における“からだところ”の相互作用の諸相に目を向ける必要がある（鈴木ほか, 2005）。子どもアクティビティ尺度では心理的あるいは社会的要因を考慮に入れ、「プレイ」、「リーダー」、「ソーシャル」、「チャレンジ」の4因子に分類される質問項目が設定されている。第1因子である「プレイ」は、運動遊びの状況を表す。「プレイ」は、幼児の運動遊びの志向（Q2, Q10）、量および強度（Q1, Q4, Q7）、遊び空間の広さ（Q13）を評価する6項目からなる。第2因子の「リーダー」は3項目（Q5, Q8, Q11）で構成され、運動遊びの場面でのリーダーシップを表す。第3因子の「チャレンジ」は運動遊びの内容・多様性を表す。この因子は3項目（Q3, Q6, Q14）からなり、運動遊びの場面で、課題やいろいろな活動に挑戦する意欲や積極性を評価する。第4因子の「ソーシャル」は運動遊びの場面での協調性や社会性を表す3項目（Q9, Q12, Q15）が構成成分である。

運動パフォーマンス、足圧中心動揺、運動遊びの傾向の関連について調べるため、検査項目間の相関係数を計算した。運動能力検査と身体活動性検査の結果については、主因子法による因子抽出およびプロマックス法による回転を用いて因子分析を行い、因子の関連性を示す成分相関係数を計算した。統計解析にはSPSS11.0 Jを用いた。本研究における統計的有意水準は5%とした。

3.3. 結果

3.3.1. 測定項目の記述統計および男女差

運動能力検査と身体活動性検査の各項目の男女別および全体の平均値を表3-2に示す。身長と体重の平均値には有意な男女差はなかった。運動能力検査項目ではボール投において男児の平均値が高く、逆に片足立では女児の平均値が高かった。その他の運動能力検査項目については有意な男女差は認められなかった。EAとLAの平均値は女児のほうが有意に低かった。LTには有意な男女差はなかった。

本研究の目的は、幼児の姿勢・運動発達と身体活動性、特に運動遊びの傾向の関連について調べることである。そこで、今回は子どもアクティビティ尺度の「プレイ」と「チャレンジ」の項目の分析結果のみを報告する。ただし、質問項目Q4とQ13（表3-1）については、どちらともいえないという回答が複数あったため分析から外した。また、本研究では、幼児期の姿勢・運動発達は幼児の運動経験や日常の身体活動の影響を受けるが、これらの影響は性別に関係なく普遍的なものと仮定している。身体活動性については男女差が存在する可能性があるが、本研究の対象となった5歳児では、運動遊びの傾向には男女差は認められなかった（表3-2）。そこで、今回は性差については触れず、67名全員のデータの分析結果をもとに次節で考察を行う。

幼児の運動技能と姿勢制御系の発達について一運動遊びの志向が及ぼす影響に着目して一

表 3-2 検査項目の平均値（標準偏差）および男女差

<体格および運動能力検査項目>

検査項目	身長 (cm)	体重 (kg)	25m走 (秒)	ボール投 (m)	立幅跳 (cm)	片足跳 (m)	体支持 (秒)	片足立 (秒)
男子(36名)	114.4 (4.96)	19.8 (3.15)	6.4 (0.57)	9.8 (3.14)	112.4 (17.02)	36.3 (18.22)	40.1 (30.27)	53.6 (35.49)
女子(31名)	113.7 (4.86)	18.9 (2.61)	6.4 (0.46)	7.6 (2.43)	106.5 (14.62)	38.5 (14.95)	52.1 (35.78)	97.9 (31.60)
全体(67名)	114.1 (4.89)	19.4 (2.92)	6.4 (0.52)	8.8 (3.04)	109.7 (16.12)	37.3 (16.70)	45.6 (33.23)	74.1 (40.23)
男女差 有意確率	NS	NS	NS	p < 0.05	NS	NS	NS	p < 0.01

<子どもアクティビティ尺度項目>

検査項目	Q1	Q2	Q3	Q6	Q7	Q10
男子(36名)	3.86 (1.15)	3.42(1.42)	2.72 (1.26)	3.33 (1.20)	3.92 (1.20)	4.00 (1.10)
女子(31名)	3.58 (1.15)	2.97(1.30)	3.13 (1.26)	3.06 (1.06)	3.48 (1.21)	3.55 (1.15)
全体(67名)	3.73 (1.15)	3.21 (1.38)	2.91 (1.35)	3.21 (1.14)	3.72 (1.22)	3.79 (1.14)
男女差 有意確率	NS	NS	NS	NS	NS	NS

<足圧中心動揺変数>

検査項目	LT (cm/s)	EA (cm)	LA (cm/cm)
男子(36名)	2.1 (0.51)	5.3 (1.85)	12.6 (3.57)
女子(31名)	1.9 (0.44)	3.9 (2.36)	18.1 (6.98)
全体(67名)	2.0 (0.48)	4.7 (2.20)	15.2 (6.04)
男女差 有意確率	NS	p < 0.05	p < 0.01

3. 3. 2. 因子分析

運動能力検査の項目からは固有値が1以上の因子が2つ抽出された。第1因子の成分（回転後の因子負荷量）は、ボール投（0.834）、25m走（-0.799）、立幅跳（0.744）、片足跳（0.629）、第2因子の成分（回転後の因子負荷量）は、片足立（0.794）、反復横跳（0.787）、体支持（0.747）で、固有値はそれぞれ2.883（41.2%）と1.342（19.2%）であった。第1因子は基礎運動技能、第2因子は基礎運動要素と解釈し、これらをそのまま因子の名称とした。基礎運動技能と基礎運動要素の成分相関係数は0.355であった。

子どもアクティビティ尺度の項目については、Q4とQ13を除く「プレイ」と「チャレンジ」の7項目の因子分析を行った。2つの因子が抽出されたが、Q14は両因子の負荷量とともに大きかったので除外し、再度分析を行った。その結果、2つの因子が抽出された。第1因子の成分（回転後の因子負荷量）はQ2（1.030）、Q7（0.818）、Q10（0.813）、Q1（0.789）、第2因子の成分（回転後の因子負荷量）はQ3（1.033）、Q6（0.707）で、固有値はそれぞれ4.019（70.0%）と1.089（18.1%）であった。第1因子は「プレイ」、第2因子は「チャレンジ」に相当するが、本研究では第1因子を運動遊びの量／強度（運動量／強度）、第2因子を運動遊びの多様性（運動多様性）と解釈した。量／強度と多様性の成分相関係数は0.521であった。

3.3.3. 相関分析

検査項目の相関係数マトリックスを表3-3に、各因子（因子得点）とLT、EA、LAの相関係数を表3-4に示す。基礎運動要素とEAおよびLAの間と、基礎運動技能と運動量／強度および運動多様性の間に比較的強い相関が認められた。また基礎運動要素と運動多様性、EA、LAの間にも比較的強い相関が認められた。これらの関係を図3-1に示す。抽出された因子および変数の関連について次節で考察する。

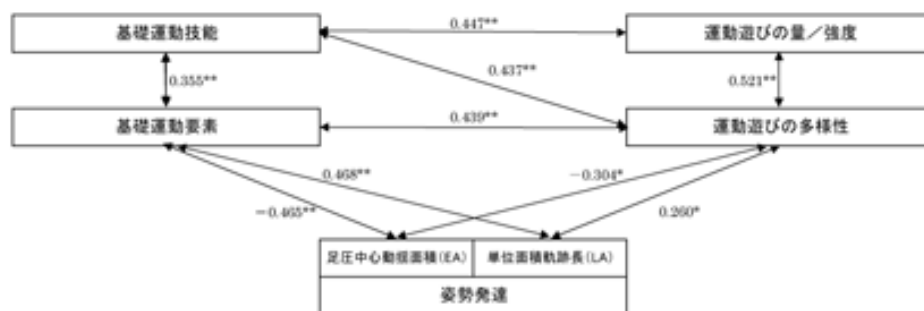


図3-1 因子・変数間相関関係

3.4. 考察

3.4.1. 幼児期の運動発達

Larsonの運動能力の構造モデル（出村・村瀬，2005）では、運動能力は4つの階層、すなわち、スポーツ技能、基礎運動技能、基礎運動要素、体格および身体機能により構成される。基礎運動技能には走、跳、投、捕などが、基礎運動要素には平衡性、柔軟性、敏捷性、筋力などが含まれる。体格および身体機能は最も基礎的な階層である。本研究で分析した運動能力検査項目からは2つの因子、基礎運動技能と基礎運動要素が抽出された。前者はLarsonの基礎運動技能と同義で、25m走、立幅跳、ボール投、片足跳のパフォーマンスに影響を及ぼしている。後者は片足立と体支持のパフォーマンスに影響を与えており、Larsonの基礎運動要素と同義である。両因子の間には有意な相関が認められた（図3-1）。5歳児の運動発達は基礎的な段階である。基礎運動技能を構成する項目間の相関は比較的高く、明らかに未分化の状態である。幼児期後期から学童期にかけての運動発達段階で、基礎運動要素と基礎運動技能がどのように分化・統合されていくかは明らかではない。幼児期は運動遊びをとおして基礎運動要素が急速に発達し、それらが統合されて基礎運動技能が身についていくと考えられる。この過程に姿勢発達の要因が関与しているというのが本研究の仮説である。

3.4.2. 幼児期の姿勢発達と足圧中心動揺

足圧中心の動揺速度と動揺面積は、幼児期から学童期にかけて年齢とともに減少する

表 3－3 相関係数マトリックス

	25m走	ボール投	立幅跳	片足跳	反復横跳	体支持	片足立	LT	EA	LA	Q1	Q2	Q3	Q6	Q7	Q10
25m走	1.000	－ 0.409 **	－ 0.472 **	－ 0.542 **	－ 0.150	－ 0.217	－ 0.253 *	0.056	0.024	0.007	－ 0.342 **	－ 0.221	－ 0.382 **	－ 0.409 **	－ 0.385 **	－ 0.409 **
ボール投		1.000	0.538 **	0.219	0.034	0.172	0.063	－ 0.019	－ 0.102	－ 0.033	0.520 **	0.191	0.484 **	0.535 **	0.391 **	0.535 **
立幅跳			1.000 **	0.448 **	0.271 *	0.434 **	0.270 *	－ 0.176	－ 0.316	0.188	0.314 **	0.186	0.286 *	0.266 *	0.277 *	0.341 **
片足跳				1.000	0.250 *	0.175	0.273 *	－ 0.043	－ 0.067	0.029	0.127	－ 0.014	0.256 *	0.216	0.212	0.229
反復横跳					1.000	0.391 **	0.475 **	0.205 **	－ 0.234 **	0.204	0.122	0.107	0.489 **	0.224	0.153	0.112
体支持						1.000	0.475 **	－ 0.151	－ 0.375 **	0.404 **	0.223	0.154	0.424 **	0.134	0.196	0.208
片足立							1.000	－ 0.228	－ 0.491 **	0.516 **	0.180	－ 0.084	0.457 **	0.254 *	0.104	0.089
LT								1.000	0.659 **	－ 0.261 *	－ 0.094	0.044	－ 0.254 *	－ 0.093	－ 0.055	－ 0.087
EA									1.000	－ 0.807 **	－ 0.208	－ 0.118	－ 0.366 *	－ 0.251 **	－ 0.145	－ 0.125
LA										1.000	0.213	0.071	0.294 *	0.172 *	0.137 *	0.126
Q1											1.000	0.592 **	0.435 **	0.671 **	0.877 **	0.862 **
Q2												1.000	0.035	0.340 **	0.597 **	0.571 **
Q3													1.000	0.637 **	0.419 **	0.394 **
Q6														1.000	0.680 **	0.669 **
Q7															1.000	0.922 **
Q10																1.000

表 3－4 因子・変数間相関関係

	基礎運動技能	基礎運動要素	運動量／強度	運動多様性	LT	EA	LA
基礎運動技能	1.000	0.355 **	0.447 **	0.437 **	－ 0.091	－ 0.167	0.081
基礎運動要素		1.000	0.108	0.439 **	－ 0.253 *	－ 0.465 **	0.468 **
運動量／強度			1.000	0.521 **	－ 0.032	－ 0.148	0.134
運動多様性				1.000	－ 0.209	－ 0.304 *	0.260 *

(Figura et al., 1991 ; Kirshenbaum et al., 2001 ; Riach and Hayes, 1987 ; Riach and Starkes, 1994 ; Rival et al., 2005 ; Usui et al., 1995)。これは、この時期の姿勢発達を反映していると考えられる。感覚－運動系が未発達な幼児は、主にオープンループ制御によって立位姿勢を維持している。オープンループ制御では、足圧中心は速く、大きく変動する。安静立位時の自発性姿勢動揺に対して、幼児は成人よりも足圧中心をバリストックに移動させて姿勢を制御する。姿勢制御に関与する感覚は3歳頃までは視覚が優位であるが、4歳頃から6歳頃にかけては体性感覚が優位となり (Foudriat et al., 1993)、感覚フィードバックによるクローズドループ制御が発達する。また、この時期は感覚系の統合が進み、さらに筋の協同収縮を可能にする筋－神経系が徐々に発達する。上位中枢による反射抑制機構も幼児期後半にはほぼ完成すると考えられる。そのため、制御不能な反射性運動や不必要な筋活動が抑制され、熟練した随意運動の発達が加速する。幼児期におけるこのような機能の発達と足圧中心動揺の変化には密接な関係があると推察される。本研究で取り上げたLTは動揺速度の、EAは動揺面積の指標である。これらは幼児期の姿勢制御戦略の変化の主要な指標となると考えられている (Riach and Starkes, 1994)。動揺の微細さを表すLAについては、EAとの間に比較的強い負の相関が、LTとの間に弱い負の相関があることが示された (表3－3)。幼児期のLAの変化を捉えることによって、不規則でバリストックなオープンループ制御の抑制が、他の要因との関係の中でどのように進行していくかが明らかになると期待される。

3.4.3. 姿勢発達と運動発達の関連

姿勢発達と運動発達の密接な関係は、姿勢制御系が未熟な状態にあると、無秩序な姿勢動揺が新しい運動や行動の出現の制限因子あるいは拘束因子になる可能性があることを示唆する (Shumway-Cook and Woollacott, 2006)。つまり、幼児期の早い段階で安静立位時の自発性姿勢動揺が十分制御できるようになっていないと、そのことが運動発達の妨げになりうる。本研究では、足圧中心動揺変数LT、EA、LAを幼児期の姿勢発達の指標として取り上げた。EAとLAについては、基礎運動要素との間に比較的強い相関が認められた (図3－1)。一方、足圧中心動揺変数と基礎運動技能の間には有意な相関はなかった。これは、自発性姿勢動揺を制御する能力が基礎運動技能の決定要因とはなっていないことを示している。しかし、基礎運動要素と基礎運動技能の間には有意な相関があり (図3－1)、この相互関係は運動発達の過程でさらに強くなると推察される (青柳, 2006)。また、運動技能の分化・統合が進めば、個々の特殊運動能力と基礎運動要素や足圧中心動揺変数の関係が強くなることも考えられる。これらの考察から、安静立位時の自発性姿勢動揺の制御が幼児期の運動発達の過程に影響を及ぼしている可能性は高いといえる。この点を明らかにするためには、縦断的な調査が必要である。

足圧中心動揺変数と運動能力検査項目の関係 (表3－3) をみると、LTとEAの間には比

— 幼児の運動技能と姿勢制御系の発達について—運動遊びの志向が及ぼす影響に着目して—

較的強い相関があるにも関わらず、LTは基礎運動要素との関連が弱い。動揺速度よりも動揺方向の不安定さが基礎運動要素に影響を及ぼすと考えられる。姿勢発達と運動発達の間関係を見るうえで、動揺の微細さと基礎運動要素の関連も興味深い。微細な姿勢制御は脊髄固有反射の働きとされている（時田2002、大川1995）。幼児期後半は感覚系の統合、感覚フィードバックの発達、上位中枢による反射抑制、あるいは筋緊張や姿勢緊張の調節などを背景に脊髄固有反射系が成熟する時期である。伸張反射などによる固有受容性姿勢制御が動的なバランス課題において重要な役割を果たすことは明らかである。今回の分析で示された、基礎運動技能と基礎運動要素の関連およびLA、片足立、体支持の間の比較的強い相関は、自発性姿勢動揺の微細化に関係する系が、脊髄固有反射系の成熟に関与している可能性を示唆している。安静立位時の姿勢制御能力と動的バランス課題を遂行する能力の関連を明らかにすることも今後の重要な課題である。

本研究の分析により、安静立位姿勢における足圧中心動揺と調整力に影響を及ぼす基礎運動要素の関連が示された。安静立位姿勢での自発性姿勢動揺の制御には多くの要因が関与すると考えられるが、それらの成熟が基礎運動要素や基礎運動技能の発達の前段階となっている可能性がある。幼児期の運動能力検査では、パフォーマンスにもとづく基礎運動技能の評価よりも、その基盤となる調整力、すなわち筋—神経系あるいは感覚—運動系の発達を背景とするバランス能力の質的評価が重要な意味をもつと考えられる。

3.4.4. 運動遊びの志向と姿勢・運動発達の間関係

今回の分析では、運動遊びの多様性と基礎運動要素および基礎運動技能の相関が認められた。また運動量／強度と基礎運動技能の間関係も確認された。5歳児の投・走・跳能力をパフォーマンスのみで評価するのは不適切かもしれないが、本研究の結果は、これらの能力の発達が活動経験に依存する（宮下、2005）という指摘を支持するものと考えられる。ルールや競争のある運動遊びに積極的に関わる幼児は、ボール投や全力疾走の機会が多いと推測される。運動遊びの多様性および量／強度が基礎運動技能の発達に重要な役割を果たすことは明らかであろう。特に指摘したいのは、幼児期後半における多様な運動経験の重要性である。運動多様性は姿勢発達や基礎運動要素との関連も強い（図3-1）。基礎運動要素と姿勢発達が学童期のさらなる運動発達の基盤になるとするならば、幼児教育においては運動遊びの多様性が重視されるべきであろう。運動多様性は運動量／強度との相関も比較的高く、多様性の拡大が運動量の増大につながっていく可能性は高い。

個別の質問項目を見てみると、Q3（課題を克服する遊びに意欲的に挑戦する）はすべての運動能力検査項目と有意な相関があることがわかる（表3-3）。幼児は、新しい運動様式に挑戦し、失敗を繰り返すことによって、筋—神経系の協調機能を高め、新しい運動様式の成就を経験する。失敗の繰り返しのなかで獲得した筋—神経系の協調性は、次の段階の運動様

式の学習に役立つ。失敗の繰り返しを経験しないことが運動発達を阻害する（松浦，2003）。課題を克服する遊びに意欲的に挑戦する幼児は、失敗の繰り返しのなかで基礎運動要素および基礎運動技能を身につけていると考えられる。

3.5. まとめ

本論文では、67名の5歳児を対象に実施された運動能力検査、重心動揺検査および身体活動性調査の結果を分析し、幼児の姿勢発達と運動発達と日常生活における身体活動性の関係について考察した。分析の結果は以下の可能性を示唆した。1）安静立位時の自発性姿勢動揺を制御する系の発達は幼児の運動発達に影響を及ぼす。2）日常の運動遊びの多様性、量、強度に影響を及ぼす因子が、投・走・跳などの基礎運動技能の発達に影響を及ぼす。3）多様な運動遊び、特にルールのある集団遊びや競い合う遊び、課題を克服する遊びが姿勢・運動発達を促進する。

参考文献

- 青柳 領（2006）子どもの発育発達と健康，ナカニシヤ出版。
- 出村慎一，村瀬智彦（2005）幼児の体力・運動能力の科学 その測定評価の理論と実際 有限会社NAP。
- 出村慎一，北林 保，野田政弘，山田孝禎，今岡 薫（2004）足圧中心動揺の簡便な評価方法の提案，*Equilibrium Research*, 63（3）：215-223。
- Figura, F., Cama, G., Capranica, L., Guidetti, L., and Pulejo, C. (1991) Assessment of static balance in children, *Journal of Sports Medicine and Physical fitness*, 31（2）, 235-242.
- Foudriat, B. A, Di Fabio, R. P., Anderson, J. H. (1993) Sensory organization of balance responses in children 3 - 6 years of age : a normative study with diagnostic implications, *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 27, 255-271.
- Kirshenbaum, N., Riach, C. L., and Starkes, J. L. (2001) Non-linear development of postural control and strategy use in young children : a longitudinal study, *Experimental Brain Research*, 140, 420-431.
- 松浦義行（2003）子どもの運動発達. 子どもと発育発達 1（2）：104-107.
- 宮下充正（2005）子どもの身体活動能力と教育. 子どもと発育発達 4（1）：45-51.
- 大川 剛，時田 喬，柴田康成，小川徹也，宮田英雄（1996）重心動揺検査—単位面積軌跡長の意義—臨床例における検討. *Equilibrium Research*, 55（3）：283-293.
- Riach, C. L., and Hayes, K. C. (1987) Maturation of postural sway in young children. *Developmental Medicine and Child Neurology* 29 : 650-658.
- Riach, C. L., and Starkes, J. L. (1994) Velocity of center of pressure excursions as an indicator of

幼児の運動技能と姿勢制御系の発達について—運動遊びの志向が及ぼす影響に着目して—

postural control systems in children., *Gait and Posture* 2 : 167-172.

Rival, C., and Ceyte, H., and Olivier, I. (2005) Developmental changes of static standing balance in children, *Neuroscience Letters* 376 : 133-136.

酒井俊郎 (2007) 幼児期の体力づくり, 体育の科学 57 (6), 417-422.

佐々木玲子 (2003) 乳幼児の発達段階と運動遊び, 子どもと発育発達, 1 (1), 50-52.

Shumway-Cook, A., and Woollacott, M. H. (2006) モーターコントロール 運動制御の理論と臨床応用 第2版, 医歯薬出版株式会社.

鈴木裕子・鈴木英樹・上地広昭 (2005) 幼児の身体活動評価尺度の開発: 子どもアクティビティ尺度, 体育学研究 50 (5) : 557-568.

時田 喬 (2002) 重心動揺検査 その実際と解釈, アニマ株式会社.

Usui, N, Maekawa, K and Hirasawa, Y. (1995) Development of the upright postural sway of children, *Developmental Medicine and Child Neurology* 37 : 985-996.

矢部京之助 (1997) 運動発達理論 宮本省三・沖田一彦 (選) セラピストのための基礎研究 論文集 (1) 運動制御と運動学習 協同医書出版社.

山下謙智, 伊東太郎, 東 隆史・徳原康彦 (2007) 多関節運動学入門 有限会社 NAP.

第4章 姿勢動揺制御におけるフィードバック遅れ時間

幼児期の姿勢・運動発達の背景には、筋反射の抑制・統合による機能的姿勢反射の発達、筋—神経系（協同収縮系）や感覚—運動系（フィードバック系・フィードフォワード系）の発達がある。これらの系の発達によって、幼児の安静立位時の姿勢動揺（ふらつき）は効果的に制御されるようになり、調整力やバランス能力の発達の基盤ができると考えられる。本研究では、足圧中心動揺を主に総軌跡長（平均動揺速度）と動揺面積から評価した。これらは足圧中心動揺の最も基本的な指標であるが、今後さらに変動の時間変化や変動の動的パターンに関する分析が必要である。また、幼児期の特徴である筋反射の抑制・統合による機能的姿勢反射の発達を評価することも重要である。以下に述べる遅れ時間分析は、そのような指標を検討するうえで興味深い。

Collins and DeLuca (1993) は、*stabilogram diffusion plot*法と呼ばれる手法を用い、左右 (x) 方向（あるいは前後 (y) 方向）の足圧中心移動二乗平均 $\langle \Delta x^2 \rangle$ とサンプリング時間間隔 Δt の関係を調べた。図4-1はその関係を示したものである。彼らは、 $\langle \Delta x^2 \rangle$ と Δt の関係は傾きが異なる2本の直線で特徴づけられると主張した。個々の直線の傾きは拡散係数に相当する。2本の直線の交点は **critical point (CP)** と呼ばれる。サンプリング時間間隔は **CP** が発現する Δt_{CP} によってふたつの領域に区分される。つまり、計算された拡散係数（直線の傾き）の大きさから、(1) Δt が Δt_{CP} より小さい領域では足圧中心の動きはランダムな傾向が

強く、(2) Δt が Δt_{CP} より大きい領域では足圧中心の動きは負のフィードバック制御の影響を強く受けると考えられている。 Δt_{CP} はフィードバックの遅れ時間、すなわち姿勢制御に關与する冗長な情報を統合するための時間と解釈されている。フィードバックの遅れ時間は、必ずしも制御系の欠陥を意味するものではない。むしろ、オープンループ制御系の機能性の高さ、あるいは立位姿勢制御系の生理的なゆらぎを許容する「機能的遊び」を反映している可能性がある。

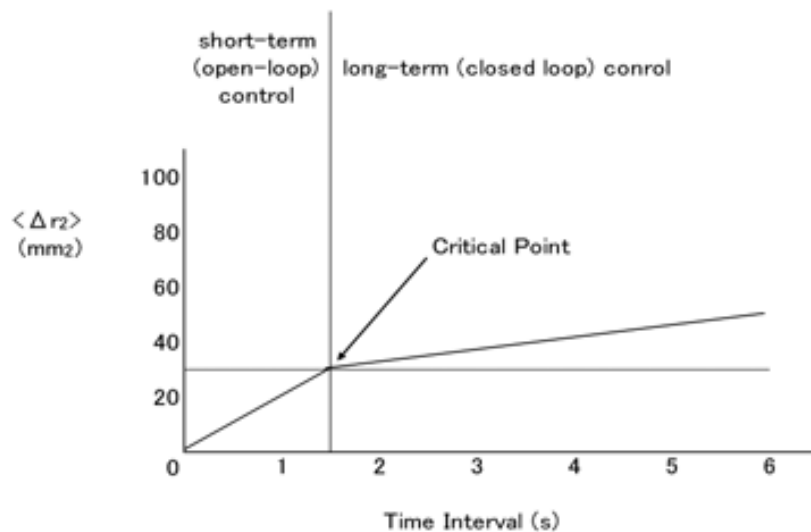


図4-1 Stabilogram Diffusion Plots

Collins and DeLuca (1993) の報告では、 Δt_{CP} は平均約1秒である。これは一般に知られている姿勢反応の遅れ時間300ms～700ms (Ohira and Yamane, 1995) と比較すると幾分大きい傾向にある。2本の回帰直線の交点からCPを推定していることがその理由のひとつと考えられる。今後の研究では、回帰直線を用いた計算方法の改良、log-logプロットや非線形回帰などを用いた新たな Δt_{CP} の計算方法を試みる。さらに、これらの方法で算出された Δt_{CP} と、Ohira and Yamane (1995) の「システム遅れ時間」を比較し、一般的に利用されている時間・周波数分析や非線形解析の結果（フラクタル次元や近似エントロピー）を参考にしながら、最も妥当な計算方法について検討する。理論的にはこれらはすべてフィードバックの遅れ時間と解釈することができ、立位姿勢制御系の機能特性に関する定量的な評価に資すると考えられる。しかし、計算方法の違いにより、妥当性や信頼性が問題となる場合や、実用性・有効性に差が生じる可能性がある。

フィードバックの遅れ時間は、標準的な重心動揺検査項目である足圧中心の移動速度や移動面積などでは評価できない立位姿勢制御系の機能特性の指標として注目を集めており、視覚情報 (Collins and De Luca, 1995)、年齢 (Collins et al., 1995)、一時的な身体運動 (Moore

幼児の運動技能と姿勢制御系の発達について—運動遊びの志向が及ぼす影響に着目して—

et al., 2005) などがその値に及ぼす影響について報告されている。今後、様々な静的バランス課題を遂行しているときのフィードバックの遅れ時間や、継続的な身体トレーニングなどの影響を調べる研究が望まれる。今後の研究では、フィードバックの遅れ時間の適切な計算方法を確立し、その生理的・機能的な意味について運動制御理論、統計力学、非線形力学などの視点から考察する。また、その考察を裏づけるための実験研究を実施し、さらに、それらを介入研究（トレーニング研究）や中・長期間にわたる縦断的研究につなげ、姿勢発達と運動発達の関連について理解を深めていきたい。

参考文献

- Collins and De Luca (1993), Open-loop and closed-loop control of posture: A random-walk analysis of center-of-pressure trajectories, *Experimental Brain Research* 95 : 308-318.
- Ohira and Yamane (1995), Delayed random walks, *Physical Review E* 52 : 3277-3280.
- Collins and De Luca (1995), The effects of visual input on open-loop and closed-loop postural control mechanisms. *Experimental Brain Research* 103 : 151-163.
- Collins, De Luca, Burrows, and Lipsitz (1995). Age-related changes in open-loop and closed-loop postural control mechanisms. *Experimental Brain Research* 104 : 480-492.
- Moore, Korff, and Kinzey (2005). Acute effects of a single bout of resistance exercise on postural control in elderly persons. *Perceptual and Motor Skills* 100 : 725-733.