

幼少年期の身体活動による実行機能への恩恵に関する研究動向

A brief review on research of physical activity on executive functions in children.

高 井 和 夫 *

Kazuo TAKAI

要旨：子ども期の体力低下と不活発を背景とする心身発達への弊害が懸念される中、身体活動による基本的運動技能への恩恵と介入実践方策について関心が注がれ、そしてなぜ身体活動が認知機能を改善するのかについて実証的な説明が期待される。本研究では上述の鍵概念に関する主要総説を概観するとともに、今後の研究課題を展望した。まず、身体活動と基本的運動技能の関連性については、ボール技能などの対象操作と歩行などの移動能力に一貫した貢献が認められ、神経系と一般型に固有の特徴を現す発達期での調整力への影響も示唆された。次に、身体活動、体力、体育授業による認知機能への影響に対しては正の恩恵が認められたが、低下を報告する研究が少ないゆえ解釈には慎重を期する。さらに、その学業成績への恩恵は算数に認められたが、国語や学習スキル（注意力）などには期待される効果は見い出されなかった。身体活動と認知機能の関連性を説明する機序については依然未解明であり、社会的期待と報告は多いが実証レベルでは議論の余地があるゆえ、今後より統制された介入方法等の改善が求められる。

キーワード：子ども、身体活動、調整力、認知機能、実行機能

1. はじめに

人間固有の特性である直立二足歩行、言語使用、知的活動に象徴されるように、生後から死に至るまで身体活動と認知機能は相互に関わって変化・発達を見せる。例えば、ヒトは他の動物と比して優れた長距離移動能力を有しており、生存に関わる移動能力の獲得が、今日の進化的優位性、そして脳と持久力の同時発達を促した¹³⁾と言われる。動作の発達は生得と獲得、からだと心が相互作用するゆえ、生後1年ほどで出現する直立と歩行は生物学的基盤に支配される系統発生的動作として、また筆記具などの対象操作やボール技能は後天的な学習の役割が大きい個体発生的動作として、定義される。しかし、ヒトの身体活動や基本的な動作が持つ意味はその生存と進化の上で通底しているが、対照的に現代におけるその価値は、乖離し、揺らいでいる。

子どもの体力向上方策^{1-3, 15, 16, 40, 41)}が施される中、その「底打ち」⁶⁾、「向上の兆しの確認」⁴²⁾、

* たかい かずお 文教大学教育学部

「新体力テスト施行後の15年間では、小学校高学年以上の年代で緩やかな向上傾向が続く」⁷⁾、と報じられてきた。しかし、各体力要素については握力や投能力をはじめ、「直近17年間の6歳から19歳の体力・運動能力の年次推移の傾向は、昭和60年頃と比べ、・・・(中略)・・・以外は、依然低い水準」⁴³⁾、また「長期的に見ると、握力及び走、跳、投能力にかかる項目は、・・・(中略)・・・、中学生男子及び高校生男子の50m走を除き、依然低い水準」⁴⁴⁾と分析された。この改善施策として、日体協による一連の調査^{1-3, 52, 53)}に基づく「幼児期運動指針」⁴¹⁾が公表され、幼児期に習得が期待される「基本的な動き」とその実践例が提示された。さらに幼児期から児童期の運動実践策として「体力向上の基礎を培うための幼児期における実践活動」⁴⁰⁾、そして「基本的な動き」の実践方策を示した「子どもの発達段階に応じた体力向上プログラム」、及び一般向けの解説書⁵¹⁾が著され、「身に付けることが期待される動作」の周知と普及が進められている。

分析⁴³⁾では、特に握力と投能力の低下傾向に注目が集まり、日常生活での「握る」「絞る」「投げる」「捕る」「受ける」などの基本的な動きの体験における量や場の不足、また指導する者や相手(仲間)の欠如が言及される。東京圏で体力テストの得点合計値は上がっているにも関わらず、投能力が向上の兆しを見せない⁷⁰⁾。同テストの「年次推移の傾向」によれば⁴⁴⁾、11歳男子のソフトボール投げでは1971年にこれまでの最高値35.4mだったのに対して、直近の平成27(2015)年度は22.5mと「調査開始以降、最も低い値」かつ他項目に無い下げ幅であった。この「最低」傾向は、小学生男子の握力、立ち幅とび、同女子の握力、ソフトボール投げにも認められた。

ところでダーウィンは、二足歩行が上肢を解放したときに人類に独特な投てき能力が可能になったことに注目した。ヒトの投てき能力が肩で弾性エネルギーを保存して投げる解剖学的な根拠が示され、この特徴が約200万年前に出現したと言われる⁵⁹⁾。動作獲得における個体発生と系統発生のメタファーにおいて、投能力は生物学的な基盤に基づきながら個々の学習経験の量の影響が大きい^{60, 61)}。今日の投能力低下とその背景に象徴されるように、就学前・初等教育からの学習、すなわち運動(遊び)や体育の役割は大きいゆえ、身に付けるべき基本的な動作や運動能力を明確にし、それを保障する必要がある。求められる「生きる力」を培う上で、運動能力のデータや順位に拘泥するのではなく、運動能力をはじめとする人間の身体やその働きにおけるヒトが生存し存在する本質についての議論を要する。

幼少年期にはめざましい運動発達が遂げられ、主に調整力⁴¹⁾を獲得しながら、「基本的運動技能」(Fundamental Movement Skills: FMS; 基本的な動きと同義)²⁴⁾の習得とともに、その後の専門的な運動発達に向けて、移動系(体を移動させる動き: locomotor skills)、操作系(対象を操作する動き: object control skills)、そして平衡系(体のバランスをとる動き: stability skills)から成る基本的動作の習得が望まれる³⁶⁾。FMSの習得への継続的な取り組みは、体力・運動能力への直接的な発達を促すとともに、各発達期の心理社会的発達にも直接・間接の関連性を及ぼすと示唆される。

Pate⁵⁶⁾は就学前児の身体活動(physical activity)に関する10の重点課題を挙げた。①就学前児の身体活動の健康への恩恵、②適正体重と身体活動量の関係、③学習と身体活動の関係、④不活発さのその後の研究への影響、⑤幼児期の運動指針の普及状況、⑥子どもを取りまく社会的・物的環境整備が活動量増加に与える影響、⑦就学前児の身体活動量はその後の発達期にどうつながるか、また多様な活動パターンが健康に与える影響、⑧就学前の子どもが育つ場で活動促進に最適な実践方策、⑨活動促進のための実施と普及の方策、⑩就学前児の身体活動促進に資する国等の効果的な施策について。

近年子どもを対象とした身体活動と運動 (exercise) に関する心理学研究^{4, 20, 27, 28)} では、体力・運動能力と学業成績 (academic achievement) または認知機能 (cognitive functions) との間に正の相関が、また肥満や不活発と学力または認知機能の間には負の関係を報告した³²⁾。子ども期の身体活動は、当期のみならずその後の発達期の活動量や健康度にも影響を及ぼす¹²⁾ ゆえ強い関心が注がれるが、先と同様に認知機能をはじめとする心理社会的側面については、期待される運動の「恩恵」(アウトカム) に関する十分な証拠の蓄積はない^{34, 54)}。以上より本稿では、幼少年期を中心に身体活動による認知機能への恩恵を検討した研究総説を概観するとともに、「こころ」と体の調整力発達の観点から、今後の研究上の課題について展望する。

2. 本論

1) 身体活動量とFMSへの介入効果の検証：動くこと、よりよく動くことの意味

子どもの体力・運動能力の具体的な指標であるFMSの向上は、身体活動量の増大につながる。学校体育を中心とした介入はFMSの改善にいかなる効果があるのか、またFMSのどの側面に効果が及ぶのかについて関心が集まる。Morganら⁴⁵⁾ はFMSの向上への介入効果について論評し、大きな改善効果が認められた体力要素は粗大運動技能 (gross motor skills: 全身運動と同義) と移動運動技能で、中程度のそれは対象操作の技能であった。Loganらの総説³⁵⁾ では、介入によって対象操作と移動運動への改善効果を認めた。しかし、予想に反して介入時の活動時間の長さは改善量の大きさと関連しなかった。考察において、幼少期の体育の拠点においては、子どもの身体発育に資するよう、「計画された」全身運動に関わるプログラムの実施が必要だと述べられた。ただし、幼児期の運動 (遊び) には後述する構造化され (過ぎ) た活動は、子どもの遊びや発達への自発的な関わり合いを損なう恐れも予想されるゆえ、注意が必要である。

この後HolfelderとSchott²⁹⁾ は、FMSの向上が身体活動量の増大につながるのかどうか、児童と生徒を対象に系統的なレビューを行った。先の研究とは対照的に、FMSと身体活動量の関連性は、個々の研究では正の貢献を示したが、必ずしも確定的な証拠は得られなかった。次に、性差に注目して検討したところ、女兒については正課体育での活動時間がFMSの向上に正の貢献を示したが、男児については課外でのその貢献がより大きかった。さらに体力要素については、先の報告と同様に、対象操作技能と移動運動技能の高さは身体活動量の増大につながっていた。特に、幼児期のFMSの高さは成人期の身体活動量の大きさと関連していた。この身体活動、FMS、正課・課外スポーツ活動、認知機能、及び学業成績、学校適応の相互の関連性については今後の検討を要する⁶⁶⁾。

Barnettら⁹⁾ はその後、3-18歳までの幼児・青少年期の運動能力 (gross motor competence) に関連する要因をレビューした。ここで定義された運動能力は、対象操作、移動運動、平衡性、調整力 (motor coordination)、そして多様なスキル (skill composite) から構成された。全体的に、この運動能力の発達には、加齢、適正体重、男児、社会経済的背景、が一貫した貢献要因であった。各下位運動能力について、男児については対象操作と調整力が貢献しており、以後の発達期での介入実践への留意点となる。また、身体活動量の高さは多様なスキルと調整力の高さに貢献しており、不確定ではあるが、対象操作は移動能力よりも身体活動と体力増進の積極さを予測した。この研究では、各発達期の要因の貢献度の差異については言及されておらず、運動能力の未分化と分化の観点からも、生物学的基盤と年齢効果の影響が反映された結果であろう。

全般的に、身体活動によりFMS、特に対象操作と移動運動の技能に一貫した貢献が認められる。調整力についての報告は少ないが、テストの項目得点上の成就として顕在化しなくとも、多様な運動パターンを獲得することにより、子ども個々に内在的な変化を潜在すると解釈される³⁸⁾。言うまでもなく、幼児期から児童期初期にかけては、体力要素、または心身の側面が未分化かつ団塊的ゆえ、適切な活動量を設定し、多様な動きを通じて基本的な動きとその調整力を刺激し培う必要がある。指導や支援においては、表面的な活発さや成就に左右されず、発達の原則に沿って、個々人の運動発達の個性性と潜在力を洞察し、基本的な動きの保障と専門的運動技能への発達を方向づける環境、すなわち足場（発達の最近接領域）を設定する必要がある。

2) 身体活動とFMS、認知機能、及び学力の関連性：運動と認知の密接な関連性のもつ意味

幼少年期における身体活動量とFMSは幼児・児童期及び青年期（3～18歳）にいかなる影響を及ぼすのだろうか。Lubansら³⁶⁾によれば、FMSにおける有能さは8つの心身の側面（自己概念、身体的有能感、全身持久力、筋力、体格、柔軟性、活発な生活習慣）の恩恵をもたらした。従って、幼少年期に「基本的動作」を習得している者ほど、「体力」の充実を助長し、日常生活での行動の活発さが高まり、引いてはその後の肯定的な自己概念の形成につながる、と示唆される。発育発達の独自性と相互作用性の原則から、子どもの心身の発達の解釈には慎重を期す。

CDC¹⁵⁾、及びRasberryら⁵⁸⁾は、正課及び課外での身体活動が学業成績に及ぼす恩恵についてまとめたところ、全体的に身体活動量の高さは、①認知的技能と授業態度、②学習習慣、そして③学業成績と関連性を示す成果と有効性を認めないものがほぼ半数存在し、負の貢献を認めたものが1.6%であった。この結果はStrongら⁶⁵⁾に反して、必ずしも身体活動が学業成績との間の直接的な成果をもたらさないが、身体活動が学業成績を低下させる可能性は少ないこと、を示唆する。またこの見解は後述するACSMの声明とも一致するが、解釈には慎重を期する。

FedewaとAhn²³⁾は子どもの学業成績と認知的恩恵に及ぼす身体活動量と体力の影響について、1947年～2009年までの59の研究を抽出し包括的なレビューを行ったところ、そこに正の関連性があり、とくに有酸素的な運動量による顕著な効果を認めた。具体的には、まず身体活動の特徴としては週3回以上、有酸素運動、より低学年児、身体的・知的により健常児、男女共修、仲間の影響、小集団単位のきめ細やかな指導、であった。その恩恵の側面として、算数の学力、知能テスト得点、読解力（3R's）の向上が認められた。なぜ身体活動が認知的恩恵をもたらすのかについて、活動量の増大が集中力と自己肯定感を高め、疲労や飽きを減らすこと⁶²⁾、身体活動による脳構造と機能の向上可能性²⁶⁾、さらに媒介要因（性差、発達差、社会経済的及び社会文化的差異）の関与、から説明された。ただ、後述する総説⁶⁸⁾では、継続的な運動より短期のそれが実行機能向上に正の恩恵を示すと述べる結果もあり、有酸素運動か否か、または継続期間が短期か長期のいずれが有効かといった用量反応関係にかかわる解釈は速断を避けるべきだろう。

van der Felsら⁶⁷⁾は4～16歳までの子どもを対象に運動技能と認知技能の関連について21の研究を検討したところ、全般的にはその関連性は弱く、実証が不十分であるが、より複雑な運動技能と高次の認知技能の間に弱い関連性を認めたこと、先行研究^{5, 69)}を支持するように5～10歳までは両技能は一体的に発達すること、それ以降は徐々に独立すること、そのため両技能の関連性は思春期前（13歳）から弱まっていくこと、が示唆された。具体的な関連性については、(1)粗大運動技能と結晶性知能、(2)微細運動技能と短期記憶、流動性知能、視覚処理、(3)両側性調整力と流動性知能、(4)動作時間の効率と流動性知能、(5)対象（ボール）操作と流動性知

能、作業記憶、視空間処理、学習技能、の間に認められた。なぜ各FMSの下位技能と各認知機能が関連するのかについては不明だが、各技能がヒトに求める課題要求と、課題に反応するヒトの心理的または身体的資源の要素の間に、なんらかの対応関係が潜む可能性がある。例えば、認知症予防のトレーニングにおいて⁶³⁾、転倒予防に関わる作業記憶と日常的な運動技能（移動系、平衡系、操作系）の活性化のため、動作中に、発問に応じて、さらに他者と協調して、言語的な反応を課すことが実施される。このとき、運動あるいは認知トレーニング単独より複合したアプローチの方が、「脳の活性化が期待でき」、認知機能に対して効果的だと示唆される。子どもの発達期は、こころと体が発育の原則（順序性、連続性、方向性、敏感期、相互性）に沿って伸びゆくが、「成長」「成熟」「発達」におけるヒトの動きと認知機能の関連性に今後説明が求められる。

Donnellyら²⁰⁾は米国スポーツ医学会（ACSM）の声明（Position Stand）として子どもの身体活動、体力、認知機能、及び学力の関連性について系統的なレビューを公表した。5-13歳までを対象とした1990年～2014年までの64（認知機能）と73（学力）の研究について、第1の目的として身体活動と体力が認知、学習、脳の構造と機能に及ぼす影響を、また第2の目的として身体活動、体育、その他課外活動等が学力テストや学習スキル（集中力や注意力）に及ぼす影響を、それぞれ検証した。その結果、前述の第1の目的については、大半の研究において体力、体育授業、課外活動等は認知機能に正の恩恵を及ぼす、または低下させてはいなかった。以上の見解はエビデンス分類（レベル）C（準実験研究／非実験的記述研究）と位置づけられた。同じく第2の目的については、身体活動と体育授業は学力には正負不明の関連であった。ある研究では身体活動と算数/数学の学力と正の相関が認められたが、国語（読解と記述）のそれには認められない、またはその逆もあった。身体活動の正の貢献を女兒にのみ認めた研究もあり、なぜ性差が部分的に生じたのかは不明であった。身体活動による注意力の向上は（学力と学習スキルとの関連から）期待されるところだが、明らかな向上は認められなかった。体育授業での活動量を増加させることで、目的とする認知機能を向上させる試みは不成功であった。しかし、実験室での短期の身体活動量の増加は学力の向上と一貫した関連性を示した。以上の見解は先と同様のエビデンス分類Cに位置づけられた。

Howie と Pate³⁰⁾ は、子どもの身体活動と学力に関する研究の変遷について検討し、2007年以降このテーマの研究が急増していること、研究間での結果の不一致、身体活動と認知機能、特に実行機能との正の関連に関する報告が多いこと、（政策・施策と反する）身体活動による学力低下の報告が皆無で、報告バイアスが働く恐れがあること、を指摘した。またこの論文ではレビューにあたって要因間の図式化を施しており、身体活動（体力、身体活動量、運動参加）、認知機能（実行機能、注意、記憶、知能指数）、そして学力（校内学力、学力テスト、学習態度）に分けて関係性を探った。

Kantomaa ら³³⁾ は、フィンランド・1986年出生の約8000名を対象にした前向きコホート調査により、子どもの頃（8歳）のFMS、身体活動量、体力、及び肥満の因子が、思春期（16歳）での肥満度、身体活動量、学業成績への影響を及ぼすかどうか検討した。FMSは、移動能力、捕球、スケート、筆記具操作、靴ひも結びの5つに対して保護者評定でおこなわれた。その結果、8歳時点での活動量と肥満度は、16歳時点での学業成績の低さと関連していたこと、さらに8歳時点での低い運動技能は、16歳時点での不活発さを介した学業成績の低さに、また有酸素性の体力を介してはいないが肥満度に影響していた。これらの結果から、子ども期の運動技能と思春期の学業成績の間に何らかの関連性があり、その間を身体活動量と肥満度が媒介していることを示

唆する。また、子ども期の運動技能の低さによって、その後の不活発さや肥満度が学業成績の低さに影響を与える。いずれの運動技能が阻害要因となるかは言及されていないが、変数間の相関においては学業成績の低さはスケート、筆記具操作、靴ひも結びの低い成就と関連していた。この研究では8歳での学業不振度と母親の学歴が測られているが、その時点での運動技能の低さや、16歳時点での肥満度、身体活動量の少なさ、学業成績の低さとも関連しており、今後は交絡変数の統制に留意が必要である。

身体活動と認知機能の関連性を説明する機序は未解決だが、こころと身体、認知と運動の相互的な関連性を仮定した上で、各発達期の適時に適量な身体活動や運動技能は何か、それがヒトの自律性や社会性、引いては生存にいかなる貢献をするか、今後の理論的な発展が待たれる。1つの仮説として、認知技能と運動技能の連鎖（motor-cognitive link）の存在が示唆され^{19, 25)}、実行機能（Executive Function: EF）が鍵概念となる。EFとは、「複雑な課題の遂行に際し、抑制（inhibition）、認知的柔軟性（shifting）、または情報の更新（updating）などを行うことで、思考や行動を制御する認知システム、あるいはそれら認知制御機能の総称であり、特に新しい行動パターンの促進や、非慣習的な状況における行動の最適化に重要な役割を果たし、人間の目標志向的な行動を支える」と定義される^{18, 19, 37, 46, 47)}。

幼少期の学習活動には心身両面において体験的かつ具体的な操作を伴う要素が多く含まれるゆえ、運動技能（微細及び粗大）の巧みさは、授業内容の理解や学習習慣の良好さの前提条件となる^{14, 17, 25)}。また学校生活及び集団生活への適応という点で、運動技能と認知技能の相互の良好さは適性要因となろう。この反証として、発達障害傾向など学校生活に個別の配慮を要する児童における学校及び集団生活への不適応、手先の不器用さ、授業全般への取り組みや理解の困難、が挙げられる^{14, 18, 25)}。

従って、実行機能といった合目的的な行動に関わる認知については、形式的・定型的な社会生活における振る舞いと共通性も高いゆえ、例えば筆記具操作等の微細運動技能と実行機能が関連し、またそうした狭義の学習スキルや学習習慣が、学校集団生活における「適応力」「社会性」と関連性をもつ、とも推察される。ゆえに、比較的短時間の、条件と反応が明確な場で、他者との相互作用の中で「自律性」、「模倣」、「共感性」、「協同性」などの向社会性が求められる状況で、上述の認知技能と運動技能の連鎖が誘発される可能性がある。今日、「模倣」（imitation）をはじめとして運動と認知の技能間の連関に関わる研究が日進月歩で、その期待に対する慎重な見解もあるが³¹⁾、認知技能と運動技能の連鎖、引いては運動技能と学業成績及び社会性という未解明課題の説明について、今後の実証の蓄積が待たれる。

3) 身体活動と実行機能の関係性：ヒトの動作における認知的機能の意味とは

Etnierら²²⁾は、身体活動によるEFへの影響の現況についてまとめ、その有意な正の貢献を認めたが、その後の研究でも、既存の高齢者を対象とした運動継続による改善効果に関する研究手法を、他の発達年代の、別の認知機能に拡大して健常者に援用する情勢を戒めた。また、子ども期は身体活動が有益な上に、体力レベルと実行機能の両面での向上が強く関連するゆえ、高い信頼性のまたは複数の測度を用いることで、実証に資する説明が必要だと指摘した。

DavisとLambourne¹⁷⁾は身体活動によるEFをはじめとする認知機能への影響について実証をおこない（MCG研究）、一定量の身体活動の増大が座位中心の生活習慣の改善、肥満改善、さらにEFと学業成績（算数）の改善をもたらすことを示した。興味深いことに、20分間の活発な運

動の効果よりも、40分間のそれが大きく、学業達成と身体活動量の密接な関係が示唆され、それを促すカリキュラムや指導者の質などの重要性が提起された。

HillmanとKramer²⁷⁾の総説では、有酸素運動によるEFをはじめとする認知機能への有効性について概観し、子ども・青少年（4-18歳）から高齢者の各発達期、そしてヒト及び動物研究に関する実証成果をまとめた。身体活動の認知機能への効果は、全ての発達期と機能で認められ、特に子どもでは4-7歳と11-13歳の年代への効果がその他の年代（8-10歳と14-18歳）と比して大きかった。中でも体力と認知機能の両面での向上現象、とりわけ有酸素運動による実行機能の顕著な向上効果に焦点を当てた。その機序は不明だが、脳内作用の生物学的基盤による説明（分子神経生物、小脳、行動の各レベル）、運動量と認知機能の改善量（用量反応）の関係性、運動効果の感受期、生活関連因子との相互作用、などの今後の課題を提起した。

Best¹⁰⁾は有酸素運動によるEFへの貢献について総説し、特に有酸素的な身体活動が、必ずしも記憶や連合学習を促さぬが、高次の脳機能活動を動員し、活動への適応のための思考を働かせていること、こうした作用が健康関連指標にも有用であること、運動が知的な作業から遠いようだが、意外にもその恩恵が知的な側面に及んでいること、こうした事実が運動の効果を軽視しがちな大人への有力な説得となること、に言及した。

BiddleとAsare¹¹⁾は運動と認知機能に関する18の総説を概観し、定期的な運動が認知と学業成績の改善に有効であるが、その効果は若干で、研究間でも不一致であること、に言及した。教室内での適応的な行動についても検討したが、期待される一貫した結果は認められず、前述のような方法論的な課題の解決が必要のようだ。

Hillmanら²⁸⁾は、7-9歳の児童を対象に、有酸素運動によるEFへの影響をRCTにより検証したところ、その有効性を確認し、さらに画像解析による脳の構造と機能に基づく説明を進めた。

有酸素運動の効果を支持する研究と対照的に、Verburghら⁶⁸⁾は、身体活動のEFへの影響について6-12歳の児童を対象にメタ分析を行った。その結果、短期間の運動（acute exercise：10～40分）では、実行機能のうちの抑制／干渉への制御に弱い正の貢献を示した。また身体活動の恩恵は、他の認知機能と比して実行機能へは一貫してより高かったが、なぜこの違いを生じるかの説明は不足している。しかし、より長期間なそれ（chronic exercise：6～30週間）での有効性は確認できなかったが、異なる運動時間でのEFへの効果への今後の検証が必要であること、が言及された。

Barkerら⁸⁾は、幼児が非構造化された活動（less-structured activity）に主体的に関わる時間が長いほど、自発的な実行機能（self-directed EF）をより発達させることを示唆した。この機能は例えばいくつかのカテゴリの中から解答を探索し選択するような課題で測られた。大人が何かを決め、受身で、断片的な活動をする幼児と比べ、「子どもらしい」時間を過ごした者ほど、満足を遅延させ、注意を切り替え、場面に柔軟に対応するため、より環境に対して相互的かつ主体的に関わるため、自発性が反映される実行機能がより活性化される、と説明された。

Westendorpら⁶⁹⁾は学習障害をもつ91名の子ども（7～11歳）を対象に16週にわたってボール技能訓練を行い、実行機能（問題解決と認知的柔軟性）への影響を検討した。介入群の訓練では、認知的に静的・動的な負荷がかかる課題を、1回40分、週2回おこなった。その結果、介入群は統制群と比して有意にボール技能が向上したが認知機能への効果は認められなかったが、ボール技能の変化量が大きい者ほど実行機能の問題解決の変化量が大きい傾向が見られた。この説明として、ボール技能の向上により、認知的負荷のより高い課題（ゲーム）の向上につなが

り、複雑な課題に以前よりも大きな割合で取り組めるようになったことで、問題解決の認知機能が高まった、と解釈された。

Pesceら⁵⁷⁾は、健常児460名（5～10歳）を対象に6ヶ月にわたり、調整力向上に焦点を当てた体育授業を行い、実行機能への影響を検討した。この介入では次の二点が両要因間の関連性を説明するため操作された。一つは活動内容であり、いわゆる「めあて学習」（*deliberate practice*：原義は意味づけられた練習）で練習に対して主体的に関わるよう設計された。もう一つは調整力が認知機能への影響を媒介するかどうかで、外遊び習慣や肥満度を統制して分析された。その結果、介入群は統制群と比してより調整力（手指の器用さ、ボール技能、静的/動的平衡性）が向上し、ボール技能の高さは自発的な外遊びと適正体重と関連した。実行機能への影響については、抑制についてのみ認められ、介入群が取り組んだ「めあて学習」が抑制の向上を媒介したと示唆された。以上の結果から、体育授業に児童の主体性をもたせ、やりがいを実感させるなど工夫することは、子どもと課題との相互的な関わりの中で調整力を培い、それが認知機能の向上につながるのではないかと、引いてはその後の発達期の活動習慣に波及するかもしれない、と考察された。外遊びの経験は、身体活動内容が子どもの心に寄り添うよう設計されれば、発達のための本質的な足場となりうる。

ところで、いわゆる「脳トレ」なる携帯型ゲーム機による認知機能改善の有無については「向上しない」という見解が示されている⁵⁵⁾。18～60歳までの約1万人が実験に参加し、一日最低10分間、週3回、計6週間オンラインで「脳トレ」課題に取り組ませたところ、それぞれの課題の成績は上がったが、記憶、論理的思考、学習といった認知的能力の成績は向上せず、「脳トレ」から一般的な認知機能への転移効果は全く見られなかった。著者自身は幼児や高齢者に「脳トレ」を行うことは必ずしも無駄ではないが、その効果を説明する証拠はない、と語っている。

以上、身体活動の認知機能への影響について概観したが、その社会的な期待に反して、一貫した見解は得られぬ現状があり、これは定義や方法論における共通認識の不一致²²⁾という初歩的な問題の整理されていないことに由来する。また、身体活動が正の貢献を示すと注目される実行機能について、身体活動やFMSそのものが、計画、自制、焦点化、認知的柔軟性、注意の切り替えなどの要素を含むゆえ、身体活動による運動技能の訓練効果は説明可能だが、その転移効果については慎重な解釈が必要だろう。議論の本質に立ち返ると、幼少年期における身体活動の固有性と独自性を鑑み、その心身発達の鍵となる活動、すなわち「遊び」に直接的に、全身で、主体的に取り組むこと、「遊び」により全人的な発達が期待されること、そして「遊び」への課題指向的な取り組みを重視し支援すること、が必要である。

ところで、Moffittら³⁹⁾による「Dunedin Study」では、ニュージーランド・1972年出生から成人期までの40年間にわたり、約1000名のコホート集団に対して、約2年おきに追跡調査を実施した。中でもその後の問題行動や不健康の防御因子としての自制心の役割について焦点が当てられた。その結果、幼児期の自制心（*self-control*）はその後の発達期における自制心とも密接に関連し、健康関連指標や社会・経済的指標の良好さに寄与していた。自制心は、3～11歳までに2年ごとに、衝動性、攻撃性、注意欠陥/多動性、満足遅延、耐性欠如、などが測定され、幼少年期における自制心を培う家庭・学校・社会における教育環境の重要性が示唆された。子ども期の身体活動、FMS、そして心理社会的恩恵の関連性を理解するとき、定型的な認知的増強の議論に陥ることなく、子どもの育ちを取りまく多層の環境の中で、各発達期における背景要因や特に身体活動・スポーツの果たす役割について、複眼的な視点から接近する必要がある。

身体活動や運動においては、「自由と規律」が内包され、外的環境や他者の動き、そして自己の身体と相互に適応しながら、動きや技能を習得する。その外的・内的環境との関わり合いと適応化の不断の継続の中で、自制や協調といった社会性の要素を活動それ自体の中で体得する。身体活動の「量」や処方へののみ目を奪われることなく、その一見見えざる「質」や「過程」についても慎重に対象を観察し現象を理解することで説明理論を構築する中で、「文武両道」、または「健全な身体に、健全な精神が宿る」という格言への、古くて新しい謎の解明につながる事が期待される。

3. 総括

欧米を中心とした身体活動によるFMS、あるいは認知機能への恩恵については、統制された介入研究によって因果関係を実証する方向性にあり、肥満や不活発等の生活習慣関連の懸念を解消する有効な健康関連因子として身体活動量の増強施策には期待が寄せられ、引いては学業成績への貢献へとさらに期待は膨らむ。そのとき、活動量が多いとアウトカムも大きくなるという線型の関係性や、実証研究カテゴリーのより高い水準での実験計画の適用、子どもの運動（遊び）を運動処方のごとく扱い、活動量の用量反応関係の解明と、この種の研究領域の定石へと向かいがちだ。しかし、非構造的な活動への取り組みが自発的な実行機能の働きに寄与する報告が示すように、発達過渡期にある子どもの目線に立ち、活動量、遊び、個人差等の多様性を許容しながら、身体活動や運動が持つ本来の価値を見失わないこと、また子どもが主体的に外的環境や身体と相互に作用しながら適応し、その過程で自己の内外に起こる変化、を見据える必要がある。宮丸³⁸⁾は子どもの動きに独自の価値と固有の道筋を解釈する中で、「たかが子どもの動き、されど子どもの動き」と述べ、幼少期発達の箴言を残している。ゆえに、子どもの「動き」とそれに伴う「認知」とは、子どもが全身・全人格で内外の環境と相互に関わり合うための一つの手段であり、適応と進化に向けてのコンピタンスの象徴であろう。先行研究^{4, 20, 22, 34, 56)}の指摘を踏まえながら、今後取り組むべき課題について整理する。

- ① 幼少期に習得が期待される、多様な運動（遊び）に焦点を当てた、より日常生活の流れに沿った活動パターンを含む身体活動量やFMSを把握する方法の開発。
- ② 幼少期の身体活動量によるFMSと認知機能への恩恵を検証する研究手法の確立。
- ③ 幼少期における身体活動、FMS、及び認知機能の果たす役割と意味の量的・質的評価。
- ④ その後の発達期への影響を踏まえ、幼少期に活動量における適量性と適時性の評価。
- ⑤ 身体活動、FMS、及び認知機能の関連性に対する機序についての実証的説明

（付記）本研究は平成27～29年度文部科学省科学研究費補助金（課題番号：24500708）の配分を受けて行われた。

引用文献

- 1) 阿江通良, 他: 幼少年期に身につけておくべき基本運動(基礎的動き)に関する研究(第1報). 平成17年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 I: pp.1-76, 2006
- 2) 阿江通良, 他: 幼少年期に身につけておくべき基本運動(基礎的動き)に関する研究(第2報). 平成18年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 I: pp.1-71, 2007
- 3) 阿江通良, 他: 幼少年期に身につけておくべき基本運動(基礎的動き)に関する研究(第3報). 平成19年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 I: pp.5-53, 2008
- 4) Álvarez-Bueno C et al: Association of physical activity with cognition, metacognition and academic performance in children and adolescents: a protocol for systematic review and meta-analysis. *BMJ open*, 6: e011065, 2016
- 5) Anderson VA et al: Development of executive functions through late childhood and adolescence in an Australian sample. *Develop Neuropsychol* 20: 385-406, 2001
- 6) 朝日新聞: 子どもの体力低下, 底打った? (10/12), 2009
- 7) 朝日新聞: 日本人の体力は (10/8), 2012
- 8) Barker JE et al: Less-structured time in children's daily lives predicts self-directed executive functioning. *Front in Psychol* 5: 1-16, 2014
- 9) Barnett LM et al: Correlates of gross motor competence in children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. *Sport Med* 46: 1663-1688, 2016
- 10) Best JR: Effects of physical activity on children's executive function. *Dev Rev* 30: 331-551, 2010
- 11) Biddle SJ et al: Physical activity and mental health in children and adolescents. *Br J Sports Med* 45: 886-95, 2011
- 12) Blair SN et al: Exercise and fitness in childhood. In Gisolfi CV & Lamb DR (Eds) . *Perspectives in exercise science and sports medicine (Vol.2)* . IND: Benchmark: pp. 401-430, 1989
- 13) Bramble DM & Lieberman DE: Endurance running and the evolution of Homo. *Nature* 432: 345-352, 2004
- 14) Cameron CE et al: Fine motor skills and executive function both contribute to kindergarten achievement. *Child Develop* 83: 1229-1244, 2012
- 15) CDC: *The Association Between School-Based Physical Activity*. Atlanta, GA: USDHHS, 2010
- 16) 中教審答申: 子どもの体力向上のための総合的な方策について, 2002
- 17) Davis CL et al: *Exercise and cognition in children, Exercise and Cognitive Function*. Wiley & Son, NJ: 249-267, 2009
- 18) Diamond A et al: Preschool program improves cognitive control. *Science* 318: 1387-1388, 2007
- 19) Diamond A & Lee K: Interventions and programs demonstrated to aid executive function development in children 4-12 years of age. *Science* 333: 959-64, 2011
- 20) Donnelly JE et al: Physical Activity, Fitness, Cognitive Function, and Academic Achievement in Children: A Systematic Review. *Med Sci Sports Exerc* 48: 1197-1222, 2016
- 21) Ekeland E et al: Can exercise improve self-esteem in children and young people? A systematic review of randomized controlled trials. *Br J Sports Med* 39: 792-798, 2005
- 22) Etnier JL & Chang Y: The effect of physical activity on executive function: a brief commentary on definitions, measurement issues, and the current state of the literature. *J Sport and Exerc Psychol* 31: 469-483, 2009
- 23) Fedewa AL & Ahn S: The effects of physical activity and physical fitness on children's achievement and cognitive outcomes: A meta-analysis. *Res Q for Exerc and Sport* 82: 521-535, 2011
- 24) Gallahue DL & Ozmun JC: *Understanding Motor Development*. McGraw-Hill, pp.77-93, 208-264, 1998
- 25) Grissmer D et al: Fine motor skills and early comprehension of the world. *Dev Psychol* 46: 1008-1017, 2010
- 26) Hillman CH et al: Physical activity, aging, and executive control. *Med Sci Sport Exer* 36: 274-274, 2004
- 27) Hillman CH et al: Be smart, exercise your heart. *Nat Rev Neurosci* 9: 58-65, 2008
- 28) Hillman CH et al: Effects of the FITKids randomized controlled trial on executive control and brain function. *Pediatrics* 134: e1063-1071, 2014

- 29) Holfelder B & Schott N: Relationship of fundamental movement skills and physical activity in children and adolescents. *Psychol in Sport and Exerc* 15: 382-391, 2014
- 30) Howie EK & Pate RR: Physical activity and academic achievement in children: A historical perspective. *J Sport and Health Sci* 1:160-169, 2012
- 31) Jacob P & Jeannerod M: The motor theory of social cognition. *Trends Cogn Sci* 9: 21-25, 2005
- 32) 紙上敬太：子どもの体力と認知機能 体育の科学 66: 487-492, 2016
- 33) Kantomaa MT et al: Physical activity and obesity mediate the association between childhood motor function and adolescents' academic achievement. *PNAS* 110: 1917-1922, 2013
- 34) 國土将平: 幼児における身体活動の効果に関するエビデンス 体育の科学 65: 258-265, 2015
- 35) Logan SW et al: Getting the fundamentals of movement. *Child: care, hlth and dev* 38: 305-315, 2012
- 36) Lubans DR et al: Fundamental movement skills in children and adolescents. *Sport Med* 40: 1019-1055, 2010
- 37) Miyake A & Shah P (Eds) : *Models of Working Memory*. NY: Cambridge University Press, 1999
- 38) 宮丸凱史：たかが子どもの動き、されど子どもの動き. 幼児の教育 108: 8-13, 2009
- 39) Moffitt TE et al: A gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety. *PNAS* 108: 2693-98, 2011
- 40) 文科省：体力向上の基礎を培うための幼児期における実践活動の在り方に関する調査研究, 2011
- 41) 文科省：幼児期運動指針, 2012
- 42) 文科省：平成22年度体力・運動能力調査報告書, 2011
- 43) 文科省：平成26年度体力・運動能力調査報告書, 2015
- 44) 文科省：平成27年度体力・運動能力調査報告書, 2016
- 45) Morgan, JP et al: Fundamental movement skill interventions in youth. *Pediatrics* 132: e1361-1383, 2013
- 46) 森口佑介：就学前期における実行機能の発達. 心理学評論 51: 447-459, 2008
- 47) 森口佑介：わたしを律するわたし: 子どもの抑制機能の発達. 京都大学学術出版会, 2012
- 48) 日本学術振興会：「子どもを元気にするための運動・スポーツ推進体制の整備」(提言), 2008
- 49) 日本学術振興会：「我が国の子どもの成育環境の改善に向けて」(提言), 2008
- 50) 日本学術会議：子どもを元気にする 運動・スポーツの適正実施のための基本指針, 2011
- 51) 日本発育発達学会(編)：幼児期運動指針実践ガイド 杏林書院
- 52) 日本体育協会：日本体育協会スポーツ医・科学研究報告(2008巻4号)：3-161, 2008
- 53) 日本体育協会：日本体育協会スポーツ医・科学研究報告(2009巻3号)：3-173, 2009
- 54) 大澤清二：幼児期運動指針策定の目的と意義 体育の科学 65: 236-240, 2015
- 55) Owen AM et al: Putting brain training to the test. *Nature* 465: 775-778, 2010
- 56) Pate RR et al: Top 10 research questions related to physical activity in preschool children. *Res Q for Exerc and Sport* 84: 448-455, 2013
- 57) Pesce C et al: Deliberate play and preparation jointly benefit motor and cognitive development. *Front Psychol* 7: Article 349, 2016
- 58) Rasberry CN et al: The association between school-based physical activity, including physical education, and academic performance. *Prev Med* 52: S10-20, 2011
- 59) Roach NT et al: Elastic energy storage in the shoulder and the evolution of high-speed throwing in Homo. *Nature* 498: 483-486, 2013
- 60) 桜井伸二：幼児の投球能力および投球動作における練習効果, 平成7-8年度科研費研究成果報告書, 1997
- 61) 桜井伸二：児童の投球能力および投球動作における練習の効果, 平成10-12年度科研費研究成果報告書, 2001
- 62) Shephard RJ: Habitual physical activity and academic performance. *Nutr Rev* 54: S32-S36, 1996
- 63) 島田裕之：コグニサイズと認知機能アンチエイジング. アンチエイジング医学 12: 315-320, 2016
- 64) Singh AE et al: Physical activity and performance at school. *Arch Pediatr Adolesc Med* 166: 49-55, 2012
- 65) Strong WB et al: Evidence based physical activity for school-age youth. *J Pediatrics* 146:732-737, 2005
- 66) Tomporowski PD et al: Physical activity interventions and children's mental function *Prev Med* 52: S3-S9, 2011
- 67) van der Fels I M et al: The relationship between motor skills and cognitive skills in 4-16 year old typically developing children: A systematic review. *J Sci and Med in Sport* 18: 697-703, 2015

- 68) Verburgh L et al: Physical exercise and executive functions in preadolescent children, adolescents and young adults. *Br J Sports Med* 48: 973-979, 2014
- 69) Westendorp M et al: Effect of a ball skill intervention on children's ball skills and cognitive functions. *Med Sci Sports Exerc* 46: 414-422, 2014
- 70) 読売新聞：「手投げ」になる都会の子（5.21）, 2015