

幼児期における運動能力と運動イメージ機能の関連

儀間 裕貴¹⁾、関 耕二²⁾、小林 勝年¹⁾

1) 鳥取大学地域学部附属子どもの発達・学習研究センター、2) 鳥取大学地域学部

<要 旨>

本研究では、幼児期の身体表象機能を評価する方法として提案されたN式幼児運動イメージテストを用い、幼児を対象としてその発達過程を検討すると共に、体力テストを併せて実施して体力・運動機能の要素と運動イメージ機能の関連について検討した。また、養育者を対象とした児の発達全般に関する質問紙調査を実施し、言語や社会性の機能が運動イメージとどのように関連しているかを検討した。運動イメージテストの絵カード選択課題・姿勢変換課題の得点は、児の月齢と有意な正の相関を示し、得点が幼児期における運動イメージ機能の発達（成熟度）を反映していることが示唆された。一方、運動イメージテストの各課題得点と運動機能（体力要素）の間には有意な相関を認めず、運動イメージ機能には他の発達領域の機能が関与していると考えられた。特に姿勢変換課題の得点には、理解言語および対子ども社会性の機能が関与していることが示され、対人的な相互作用の経験が自己の運動イメージの発達に関与している可能性を示唆した。

<キーワード>

幼児、体力、運動イメージ、相互作用

【はじめに・目的】

ヒトの認知、言語、情動機能等の発達や学習能力の礎として、自己の身体を知る身体表象機能の獲得と、それに伴う運動機能の発達が必要となる。近年では、神経発達障害の代表疾患ともいえる自閉スペクトラム症、注意欠如・多動症などに、発達性協調運動症/発達性協調運動障害（developmental coordination disorder）などの運動機能面の問題が高率に合併することも報告されており^{1,2)}、このメカニズムとして運動予測制御機能としての身体表象機能の未熟性や異常性が示唆されている。また、神経発達障害を有する児では、全身の協調性を必要とする粗大運動のスキルや微細な運動制御の困難さを示すこと³⁾、

倒、転落などが多いことも報告されている^{4,5)}。これらは、神経発達障害における視覚や身体認識などの知覚に関する問題、平衡性や巧緻性などの姿勢制御や運動能力に関する問題に起因していると考えられ⁶⁾、中枢神経系の器質的障害による運動イメージの困難さや運動プランニングの問題との関連性も指摘されている⁷⁻⁹⁾。児が有する運動に対する苦手意識は、集団場面での不適応や友人関係の不成立といった二次的な社会性のつまずきの一因になる可能性も考えられるため、運動の不器用さのメカニズムを明らかにし、早期からの積極的に介入することがもとめられている。身体表象機能は、幼児期に顕著な発達を示すと考えられており、近年では身体表象機能を評価す

る手法の一つとして運動イメージ (Motor imagery) の評価が注目されている。運動イメージとは、個別の運動または一連の動作の実行を心的に (思考によって) シミュレートする動的なプロセスとして定義され¹⁰⁾、幼児期から学童期にかけて顕著な発達を示すことが報告されている¹¹⁻¹³⁾。運動イメージには、運動行動における運動感覚だけでなく、記憶情報を認知処理過程に呼び出す必要があり、感覚-記憶-認知に加え、実際の運動に関わる神経機構が関与している。このような運動イメージの機能を評価する方法として、これまでに Sensory Integration and Praxis Test¹⁴⁾、Test of Visual Imagery Control¹⁵⁾、運動イメージの統御可能性テスト¹⁶⁾ (Controllability of Motor Imagery Test、以下; CMI-T)、Virtual Radial Fitts Task¹³⁾などが考案・開発されているが、特に幼児 (6歳以下) を対象とした評価手法には明確なものがなく、開発がもとめられている。本邦においては、幼児を対象とした運動イメージの評価尺度として、CMI-Tを応用したN式幼児運動イメージテスト (以下; N式テスト)¹⁷⁾ が新田らによって開発・提案され、その信頼性・妥当性の検証が進められている¹⁸⁾。著者らの先行研究においても、N式テストが幼児期における運動イメージの発達・成熟を反映することが示唆され、評価方法としての有用性が示された¹⁹⁾。しかしながら、被験者数の点などで十分な検証とは成り得ておらず、また、運動イメージの機能と実際の運動能力との関連性については明らかになっていない。

本研究では、N式テストの有用性をより多くの被験者によって再検証すると共に、体力テストを併せて実施することにより、体力・運動機能の要素と運動イメージ機能の関連について検討する。

また、養育者を対象に児の発達全般に関する質問紙調査を実施し、言語や社会性の機能が運動イメージとどのように関連しているかを検討する。ヒトにおける運動イメージの発達過程や諸機能との関連性を具体的に明らかにすることは、運動を苦手とする児へのアプローチを考える上で有用な知見につながる。

【対象と方法】

1. 対象および倫理的配慮

鳥取市内の幼稚園および認定こども園 (計2施設) の協力によって研究参加者を募り、研究協力を同意が得られた80名の幼児およびその養育者を対象とした。本研究は鳥取大学の倫理委員会承認 (29-04) を得て実施し、対象児の養育者に情報の取り扱いについて説明した上で署名による同意が得られたものを研究参加者とした。研究参加幼児の性別の内訳は、男児43名、女児37名であり、平均月齢 (±標準偏差) は67.4±8.0ヵ月 (3歳:1名、4歳:15名、5歳:30名、6歳:34名) であった。

2. 運動イメージの評価

幼児の運動イメージの評価には、N式テストを使用した。N式テストは、1) 口頭指示によるカード選択レベル (以下; 絵カード課題) と2) 口頭指示による姿勢変換レベル (以下; 姿勢変換課題) から構成されている。N式テストの一連の手順を図1に示す。絵カード課題では、まず対象児を椅座位とし、4つの基本姿勢 (立位・四つ這い位・長座位・背臥位) のうち一つを口頭でイメージさせ、その後2段階の姿勢変化を口頭で指示する (表1)。児はこの指示に対して、自身の身体を動かすことなく与えられた姿勢変化をイメージし、提示される絵カードの中から、指示に対応した最

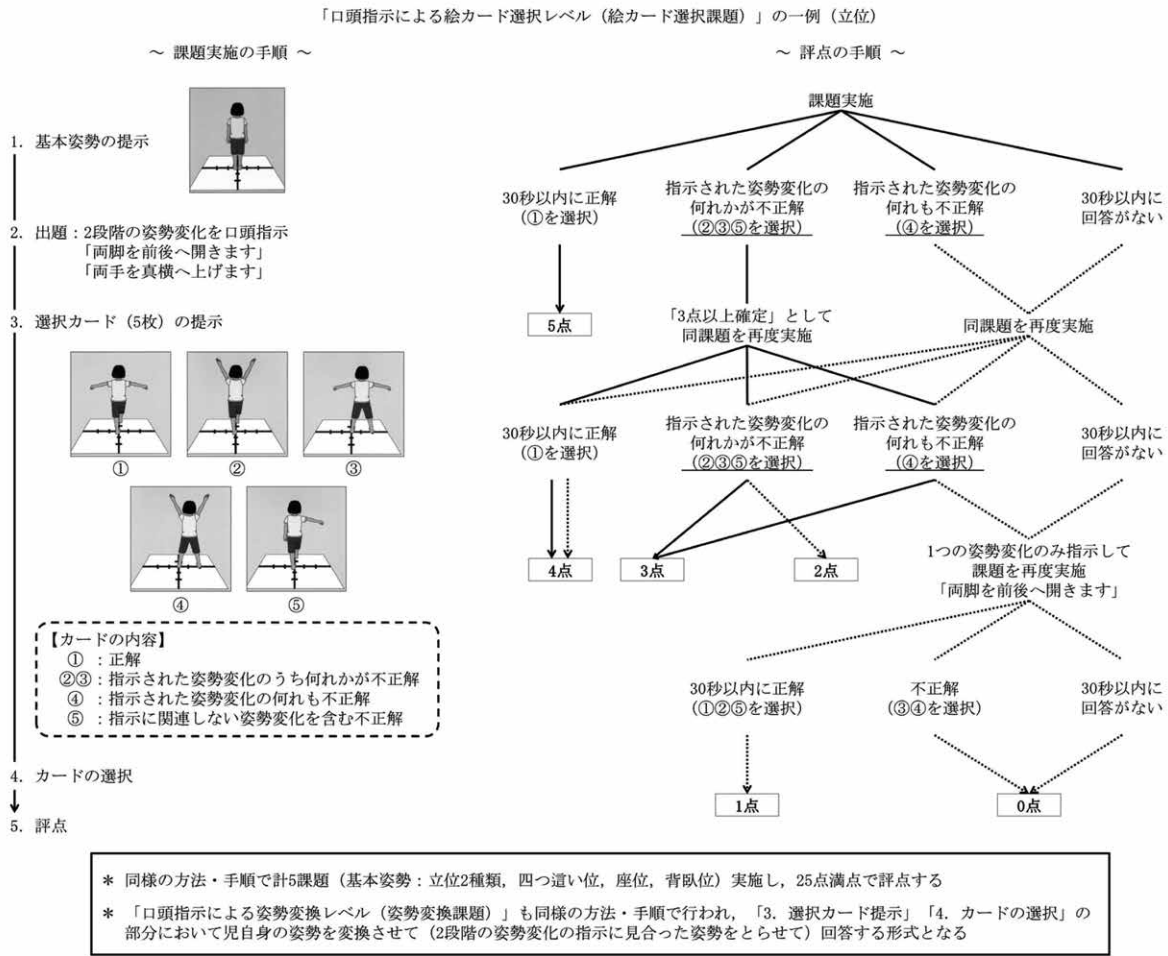


図1 N式幼児運動イメージテストの手順（文献19より引用）

表1 N式幼児運動イメージテストの課題

基本姿勢	課題
No.1：立位	両脚を前後へ開き、両手を真横へ上げる
No.2：立位	体を前へ傾け、両手を前へ伸ばす
No.3：四つ這い位	顔をこちらに向け、片手を前へ伸ばす
No.4：長座位	両膝を曲げて、こちらを向く
No.5：背臥位	頭を上げて、両足を上げる

最終的な姿勢を示していると考えられるものを一つ選択する。提示される絵カードは、①正解、②指示された姿勢変化のうち何れかが不正解（2枚）、③指示された姿勢変化の何れも不正解、④指示に関連しない姿勢変化を含む不正解の計5枚となつ

ており、1回で正答できれば5点が与えられ、正答までに要した援助のレベルによって0～4点が与えられる。この課題は5問設けられており、絵カード課題の得点は25点満点で評価される。姿勢変換課題では、絵カード課題と同様の基本姿勢を実際に児にとらせ、表1に示す2段階の姿勢変化を口頭で指示し、最終的な姿勢をイメージさせる。その後、イメージした姿勢を実際に自身の身体で示すよう指示し、児が示した姿勢に基づいて採点する。絵カード課題と同様に、1回で正答できれば5点、正答までに要した援助のレベルによって0～4点が与えられ、5問実施し25点満点で評価される。

3. 運動能力（体力）の評価

運動能力の評価には、体格要素として身長と体重を計測し、体力要因として春日らによる幼児体力評価の方法²⁰⁾を参考に下記6項目を計測した。

1) 握力：幼児用アナログ握力計（T. K. K. 5825；竹井機器製）を用い、立位にて右手と左手を交互にそれぞれ2回ずつ計測し、その平均値を代表値とした。

2) 体支持持続時間：体支持時間測定器（T. K. K. 5821；竹井機器製）を用いて計測した。事前に計測開始肢位の練習を行った上で計測は1回のみ実施し、秒数を計測した。

3) 長座体前屈：幼児用長座体前屈計（T. K. K. 5826；竹井機器製）を用いて計測した。床に直角の壁に児の背中、後頭部、臀部（仙骨部）をつけて膝伸展位の長座位とし、反動をつけずにゆっくりと前屈計を前方に押すよう指示した。計測は2回行い、高い方の値を代表値とした。

4) 立ち幅跳び：床にビニールテープで踏み切り線を設け、これと垂直においた運動用マットの上に2mのメジャーを固定し、踏み切り線からの両脚での跳躍を計測した。計測点は踏み切り線に近い方の踵の着地点とし、2回計測して高い方の値を代表値とした。

5) ソフトボール投げ：ソフトボール1号球（周囲26.7cm、重さ141g）を用いて計測した。投げ方に関する指示は行わず、自由な投法とした（今回の対象児において、下手投げを選択した児はいなかった）。投てきは2回行い、高い方の値を代表値とした。

6) 反復横跳び：左右ジャンプ測定器（T. K. K. 5823；竹井機器製）を用いて計測した。両足を揃えた状態で、測定器の中央にあるラインを跳び越すように左右に繰返し跳躍し、5秒間の

跳躍回数を計測した。計測は2回行い、高い方の値を代表値とした。

4. 発達全般の評価

幼児の発達全般に対する評価は、乳幼児発達スケール（kinder infant development scale : KIDS）²¹⁾のType C（3歳0ヶ月～6歳11ヶ月児用）を使用し、養育者への質問紙調査にて行った。KIDSは乳幼児の心身発達、特に精神機能に関わる領域の発達に焦点をあてて開発された質問紙検査法であり、各設問項目に対する回答（○＝明らかにできるもの、過去においてできたもの、やったことはないがやらせればできるもの、×＝明らかにできないもの、やったことないのでわからないもの）から、発達年齢、発達指数、領域別の得点を算出することができる。本研究では、主たる養育者に直接記入による回答を依頼・実施し、Type Cで設けられている8つの領域別得点（①運動：16点、②操作：16点、③理解言語：16点、④表出言語：16点、⑤概念：16点、⑥対子ども社会性：16点、⑦対成人社会性：16点、⑧しつけ：21点）を算出した。記入漏れなどの欠損データがある場合には無効とし、集計・分析から除外した。

5. 統計解析

運動イメージの幼児期における発達変化を検討するため、N式テストにおける絵カード課題・姿勢変換課題の得点と児の月齢の相関について、Spearmanの順位率相関係数を算出した。また、N式テスト得点と体力テスト値の関連性の検討においても、Spearmanの順位率相関係数を算出した。N式テスト得点の課題間の差について、Wilcoxonの符号付き順位検定を用いた比較により検討した。N式テスト（絵カード課題・姿勢変換課題）の得点をそれぞれ従属変数とし、月齢およびKIDSの各領域得点を独立変数とした重回帰分析（強制

投入法)によって、その関連性を検討した。統計処理にはSPSS (ver24.0; IBM社製)を使用した。

【結果】

1. 運動能力 (体力テスト)

年齢、性別毎における体力テストの結果を表2に示す。出村らによって大規模なデータに基づいて報告されている評価基準値²²⁾と比較して、本研究の対象の各測定項目における平均値が「非常に劣る」の範囲に該当するものはなく、概ね「標準的」～「やや優れる」の範囲に該当していた。

2. N式テスト

N式テストの絵カード課題得点 ($\rho = 0.40$, $p < 0.01$) と姿勢変換課題得点 ($\rho = 0.30$, $p < 0.01$) は、それぞれ月齢と有意な正の相関を認めた。また、絵カード課題得点と姿勢変換課題得点の中央値には有意な差は認めなかった ($p = 0.80$)。

3. N式テストと体力テスト

N式テストにおける絵カード課題・姿勢変換課題得点と体力テスト各項目値の相関を表3に示す。何れの間においても、有意な差は認めなかった。

4. N式テストとKIDS

N式テストの絵カード課題および姿勢変換課題の得点をそれぞれ従属変数とし、月齢数とKIDSの各領域得点を独立変数とした重回帰分析(強制投入法)の結果を、表4・5に示す。絵カード課題得点を従属変数とした分析(分散分析: $p = 0.01$ 、調整済み $R^2 = 0.20$)では、有意な独立変数として月齢 ($\beta = 0.31$, $p < 0.05$) が採択された。また、姿勢変換課題得点を従属変数とした分析(分散分析: $p < 0.01$ 、調整済み $R^2 = 0.25$)では、有意な独立変数として理解言語 ($\beta = 0.38$, $p < 0.05$) と対子ども社会性 ($\beta = 0.32$, $p < 0.05$) が採択された。

表2 身長・体重および体力テストの計測値 (平均±標準偏差)

		身長 (cm)	体重 (kg)	握力 (kg)	体支持持続時間 (秒)	長座体前屈 (cm)	立ち幅跳び (cm)	ボール投げ (m)	反復横跳び (回)
3歳	女兒 (n=1)	103.8	15.8	5.3	2	34.0	69.0	3.6	5
4歳	男兒 (n=9)	107.3±4.6	18.1±2.5	7.8±1.8	30.6±16.7	31.8±6.7	83.0±24.8	3.8±0.9	7.9±2.1
	女兒 (n=6)	102.0±2.5	15.2±1.1	6.8±1.2	22.3±14.0	25.3±7.6	79.7±17.2	3.0±1.2	8.2±1.9
5歳	男兒 (n=17)	108.7±3.5	18.2±1.8	9.1±2.1	25.2±21.8	29.6±7.5	95.1±20.7	4.8±1.9	9.2±1.9
	女兒 (n=13)	109.4±5.8	18.6±2.6	8.0±1.5	23.2±15.2	31.2±9.6	92.3±10.1	3.3±1.0	9.7±1.8
6歳	男兒 (n=17)	115.3±4.3	21.0±4.0	9.7±2.5	48.6±37.5	27.1±6.8	106.2±24.9	6.4±1.9	11.3±2.9
	女兒 (n=17)	114.7±4.1	20.3±2.4	10.0±2.3	39.9±18.7	30.0±6.7	103.0±20.5	5.1±1.6	11.5±2.8

表3 N式幼児運動イメージテスト得点と体力テスト値の相関 (Spearmanの順位相関係数)

		握力	体支持持続時間	長座体前屈	立ち幅跳び	ボール投げ	反復横跳び
絵カード選択課題	ρ	0.06	0.11	-0.10	0.18	0.12	0.22
	p	0.60	0.34	0.36	0.12	0.29	0.05
姿勢変換課題	ρ	-0.01	0.19	-0.14	0.02	0.03	0.16
	p	0.93	0.09	0.23	0.85	0.80	0.15

表4 N式幼児運動イメージテスト絵カード選択課題得点を従属変数とした重回帰分析

独立変数	偏回帰係数B (95%信頼区間)	標準化偏回帰係数β	p 値	VIF
定数	9.06 (0.98 ~ 17.15)		0.029	
月齢	0.12 (0.00 ~ 0.23)	0.31	0.047	1.94
運動	0.23 (-0.14 ~ 0.61)	0.21	0.22	2.29
操作	-0.22 (-0.79 ~ 0.35)	-0.13	0.45	2.46
理解言語	0.13 (-0.52 ~ 0.77)	0.08	0.70	3.06
表出言語	0.25 (-0.20 ~ 0.71)	0.20	0.27	2.65
概念	-0.11 (-0.54 ~ 0.32)	-0.08	0.62	2.09
対子ども社会性	-0.30 (-0.78 ~ 0.19)	-0.20	0.22	2.10
対成人社会性	-0.06 (-0.40 ~ 0.29)	-0.06	0.74	2.39
しつけ	0.24 (-0.17 ~ 0.64)	0.20	0.25	2.33

重相関係数 R=0.55, 決定係数 R²=0.31, 調整済み R²=0.20, 分散分析 p=0.01

VIF: variance inflation factor

表5 N式幼児運動イメージテスト姿勢変換課題得点を従属変数とした重回帰分析

独立変数	偏回帰係数B (95%信頼区間)	標準化偏回帰係数β	p 値	VIF
定数	-9.04 (-20.67 ~ 2.59)		0.13	
月齢	-0.03 (-0.20 ~ 0.13)	-0.06	0.69	1.94
運動	0.08 (-0.46 ~ 0.62)	0.05	0.76	2.29
操作	0.51 (-0.31 ~ 1.33)	0.21	0.22	2.46
理解言語	0.94 (0.01 ~ 1.87)	0.38	<0.05	3.06
表出言語	-0.05 (-0.70 ~ 0.60)	-0.03	0.88	2.65
概念	0.27 (-0.35 ~ 0.89)	0.14	0.39	2.09
対子ども社会性	0.70 (0.01 ~ 1.39)	0.32	<0.05	2.10
対成人社会性	-0.45 (-0.95 ~ 0.05)	-0.30	0.08	2.39
しつけ	0.12 (-0.46 ~ 0.70)	0.07	0.69	2.33

重相関係数 R=0.60, 決定係数 R²=0.36, 調整済み R²=0.25, 分散分析 p<0.01

VIF: variance inflation factor

【考察】

N式テストの絵カード課題および姿勢変換課題の得点は、それぞれ月齢と有意な正の相関を示し、N式テスト得点が幼児期における運動イメージ機能の発達（成熟度）を反映していることが示唆された。一方、N式テストの各課題得点と運動機能（体力要素）の間には有意な相関を認めなかった。

本研究の対象となった80名の体力テスト値は、先行研究で示された評価基準値と比較しても標準的な値に近く、一般的な運動能力を有する群であると示唆される。運動イメージには、運動行動における運動感覚だけでなく、実際の運動に関わる神経機構が関与しており、運動プランニング、フィードフォワード制御、特に視覚情報がない場

合の空間における方向付け、運動スキル学習の促進などにおいて重要な機能である²³⁻²⁵)。また、適応的な運動学習を可能とする脳内システムである内部(予測子)モデルにおいても重要な役割を担っている²⁶⁻²⁹)。このような関係性から、本研究では運動イメージの機能と実際の運動能力における正の相関を仮説としたが、そのような結果とはならなかった。この要因の一つとして、本研究で運動能力の評価に用いた体力テストの項目が基本的な粗大運動によって遂行されるものとなっており、運動の遂行にあたって運動のプランニングやフィードフォワード制御、過去の運動感覚のイメージを必要とする要素が少なかった可能性が考えられた。また、この結果は、運動イメージ機能には他の発達領域の機能がより密接に関与している可能性を示唆した。

N式テストの絵カード課題得点を従属変数、月齢およびKIDS各領域得点を独立変数とした重回帰分析では、月齢のみが有意な独立変数として採択された。一方、姿勢変換課題得点を従属変数とした重回帰分析では、KIDSの理解言語および対子ども社会性の領域得点が有意な独立変数として採択され、これらの得点が高いほど運動イメージ機能の成熟度が高くなることが示唆された。本研究で運動イメージの評価法として用いたN式テストは、西田らによって提案されたCMI-T¹⁶⁾が応用されている。CMI-Tは、「描かれた運動パターンのイメージを、指示に従って付加変換、再構成する能力」と定義された運動イメージの統御可能性を評価する手法であり、この統御可能性は、運動の視覚的な要素のみならず、運動に伴って生じる筋感覚的な要素や自己の主体的な表象も含むとしている。また、記憶の保持、変換の正確性と関連し、心的回転(mental rotation)などとも密接

に関連することが示唆されている¹⁶⁾。CMI-Tによる評価には、大別して再認法³⁰⁾(閉眼で指示された身体部位をイメージ中、これをある方向に運動させることが指示され、自らがイメージしたものを写真から選択させる)と再生法³¹⁾(指示を受けて被験者自身がイメージした運動を、本人の身体で再現させる)がある。再認法は、運動イメージ中においては自己身体を中心とした筋感覚的運動イメージを用いていても、写真を選択する際にはそのイメージを視覚的イメージに変換する必要があるため、この過程で誤差が生じる可能性が含まれるのに対し、再生法では、身体的位置関係のイメージを保持しながら心的な運動によって付加されるイメージに更新されていく順序を再生するものとなり、再認法と比べてより筋感覚的運動イメージを表出させる評価となる³²⁾。今回使用したN式テストにおいては、絵カード選択課題が再認法、姿勢変換課題が再生法に該当し、筋感覚的運動イメージをより鋭敏に捉える姿勢変換課題において他の発達領域との関連性が明らかとなったと考えられた。また、このことは幼児を対象とした運動イメージの評価には再生法の方が適している可能性を示唆した。

本研究において、N式テスト姿勢変換課題得点とKIDS各領域得点の関連から、言語理解の能力だけでなく、対人的社会性の発達領域と運動イメージ機能の関連性が示唆されたことは大変興味深い。課題提示が全て口頭指示によって与えられるN式テストの特性を考慮すると、その得点に理解言語の機能が関連することは妥当な結果と考えられたが、一見すると運動イメージと直接的な関係性が希薄そうな対人的社会性の関与は何を意味しているのだろうか。心的な運動のシミュレートである運動イメージの神経メカニズムと

して、ミラーニューロンシステムやワーキングメモリが重要な役割を担っていると考えられている³²⁾。ミラーニューロンシステムは、他者の行為を観察している際に、自己がその行為を遂行する場合と類似した神経活動が生じる活動であり、他者の行為の再認・予測（意図の予測）に関与している。また、ワーキングメモリは言語理解、学習、推論といった認知課題の解決のために必要な情報（外部から与えられたもの、あるいは記憶から呼び出したもの）を必要な時間だけアクティブに保持し、それに基づいて情報の操作をする機構として機能している。今回検討した幼児期の運動イメージにおいても、言語と社会性の領域得点の一部に関連性が認められたことは、これらの神経メカニズムが、幼児期の運動イメージにとっても重要な役割を担っている可能性を示すものと考えられた。適応的な運動学習を可能にする脳内システムとしての内部モデルは、児と外部環境との相互作用に基づいて絶えず更新されることから、運動イメージの発達も児と外部環境の相互作用、感覚運動経験、運動機能の成熟などに関連し、また、自己の運動の視覚的イメージ化には他者との相互作用経験、つまり自己と他者の運動の比較照合過程が関与する^{33・34)}。児の運動機能や運動イメージ機能の発達を伸ばしていくためには、運動の反復的な練習だけでなく、対人的な相互作用を含めた自他の身体の比較照合経験等も考慮して関わる重要性が示唆された。

【まとめ】

本研究では、80名の幼児とその養育者を対象に、運動機能と運動イメージ機能の関連性について検討した。N式テストにおける姿勢変換課題の得点には、言語の機能に加えて対人的な社会性の機

能が関与していることが示され、発達・成長の過程におけるジェスチャーなどの身体を通じた対人的な相互作用の経験が、自己の運動イメージの発達に関与している可能性を示唆した。

【謝辞】

本研究の実施にあたり、テータ計測にご協力をいただきました鳥取大学附属幼稚園および認定こども園ひかりこども園の教諭の皆さま、研究にご参加いただきました対象者の皆さまに深謝致します。

【参考文献】

- 1) Goulardins JB, Rigoli D, Licari M, Piek JP, Hasue RH, Oosterlaan J, Oliveria JA. Attention deficit hyperactivity disorder and developmental coordination disorder: two separate disorders or do they share a common etiology. Behav Brain Res. 2015; 292: 484-492.
- 2) Sumner E, Leonard HC, Hill EL. Overlapping phenotypes in autism spectrum disorder and developmental coordination disorder: a cross-syndrome comparison of motor and social skills. J Autism Dev Disord. 2016; 46(8): 2609-2620.
- 3) Higashionna T, Iwanaga R, Tokunaga A, Nakai A, Tanaka K, Nakane H, Tanaka G. Relationship between motor coordination, cognitive abilities, and academic achievement in Japanese children with neurodevelopmental disorders. Hong Kong J Occup Ther. 2017; 30(1): 49-55.
- 4) 島谷康司・田中美吏・金井秀作・大塚彰・沖貞明・関矢寛史. くぐり動作における身体接触の

- 実証的研究—発達障害児は物にぶつかることが多い—。理学療法科学。2008 ; 23(6) : 721-725.
- 5) 伊藤秀志：遊びの相手や内容が幼児の体力・運動能力に及ぼす影響について—子どもの体力・運動能力の変化，発育・発達の特性等からの考察—。(財)静岡総合研究機構情報誌。2008; 92: 51-62.
- 6) Gomez A, Sirigu A.: Developmental coordination disorder: core sensori-motor deficits, neurobiology and etiology. *Neuropsychologia*. 2015; 79: 272-287.
- 7) McInnes K, Friesen C, Boe S. Specific brain lesions impair explicit motor imagery ability : a systematic review of the evidence. *Arch Phys Med Rehabil*. 2016; 97(3): 478-489.
- 8) Oostra KM, Van Bladel A, Vanhoonacker AC, Vingerhoets G. Damage to fronto-parietal networks impairs motor imagery ability after stroke: a voxel-based lesion symptom mapping study. *Front Behav Neurosci*. 2016; 10(5): doi: 10.3389/fnbeh.2016.00005.
- 9) 浅野大喜. 運動障害をもつ子どもに対するリハビリテーション：システムアプローチとしてのニューロリハビリテーションへ向けて. *ベビーサイエンス*. 2016 ; 16 : 36-47.
- 10) Crammond DJ. Motor imagery: never in your wildest dreams. *Trends Neurosci*. 1997; 20(2): 54-57.
- 11) Kosslyn SM, Margolis JA, Barrett AM, Goldknopf EJ, Daly PF. Age differences in imagery abilities. *Child Dev*. 1990; 61(4): 995-1010.
- 12) Estes D. Young children's awareness of their mental activity: the case of mental rotation. *Child Dev*. 1998; 69(5): 1345-1360.
- 13) Caeyenberghs K, Wilson PH, van Roon D, Swinnen SP, Smits-Engelsman BC. Increasing convergence between imagined and executed movement across development: evidence for the emergence of movement representations. *Dev Sci*. 2009; 12(3): 474-83.
- 14) Ayres AJ, Mailloux ZK, Wendler C. Developmental dyspraxia: is it a unitary function? *Occupational Therapy Journal of Research*. 1989; 29: 29-53.
- 15) Richardson A. The meaning and measurement of memory imagery. *Br J Psychol*. 1977; 68: 29-43.
- 16) 西田保・勝部篤美・猪俣公宏・岡沢祥訓・伊藤政展・小山哲・鶴原清志・吉沢洋二. 運動イメージの統御可能性テスト作成の試み. *体育学研究*. 1987 ; 31 (1) : 13-22.
- 17) 新田収. 発達障害の運動療法. 三輪書店, 東京, 2015, pp. 123-129.
- 18) 松田雅弘・新田収・古谷慎子・池田由美・楠本泰士. 幼児版運動イメージ評価尺度の開発—信頼性・妥当性の検討—. *理学療法学*. 2017 ; 44(3) : 213-218.
- 19) 儀間裕貴・儀間実保子・浅野大喜. N式幼児運動イメージテストと乳幼児発達スケール(KIDS)の関連. *理学療法学*. 2020 ; doi : 10.15063/rigaku.11697
- 20) 春日晃章. 幼児期における体力差の縦断的推移：3年間の追跡データに基づいて. *発育発達研究*. 2009 ; 41 : 17-27.
- 21) 三宅和夫(監). KIDS(キッズ)乳幼児発達スケール<手引き>第5版.(公財)発達科学研究教育センター, 東京, 1991.

- 22) 出村慎一 (監), 村瀬智彦・春日晃章・酒井俊郎 (編). 幼児のからだを測る・知る－測定の留意点と正しい評価法. 杏林書院, 東京, 2011, pp. 44-63.
- 23) Wilson PH. Practitioner review: approaches to assessment and treatment of children with DCD: an evaluative review. *J Child Psychol Psychiatry*. 2005; 46(8): 806-23.
- 24) Zimmermann-Schlatter A, Schuster C, Puhan MA, Siekierka E, Steurer J. Efficacy of motor imagery in post-stroke rehabilitation: a systematic review. *J Neuroeng Rehabil*. 2008; 5(8): doi: 10.1186/1743-0003-5-8.
- 25) Krautner SN, MacKenzie LA, Westwood DA, Boe SG. Characterizing skill acquisition through motor imagery with no prior physical practice. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*. 2016; 42(2): 257-265.
- 26) Jordan M, Rumelhart DE. Forward models: supervised learning with a distal teacher. *Cognit Sci*. 1992; 16: 307-354.
- 27) Wolpert DM, Miall RC. Forward Models for Physiological Motor Control. *Neural Netw*. 1996; 9(8): 1265-1279.
- 28) Kawato M. Internal models for motor control and trajectory planning. *Curr Opin Neurobiol*. 1999; 9(6): 718-727.
- 29) Blakemore SJ, Wolpert D, Frith C. Why can't you tickle yourself? *Neuroreport*. 2000; 11(11): R11-16.
- 30) 西田保・勝部篤美・猪俣公宏・小山哲・岡沢祥訓・伊藤政展. 運動イメージの明瞭性に関する因子分析的研究. *体育学研究*. 1981; 26(3): 189-205.
- 31) Naito E. Controllability of motor imagery and transformation of visual imagery. *Percept Mot Skills*. 1994; 78(2): 479-487.
- 32) 森岡周・松尾篤 (編). イメージの科学－リハビリテーションの応用へ向けて. 三輪書店, 東京, 2012, pp. 101-206.
- 33) 浅野大喜. リハビリテーションのための発達科学入門－身体をもった心の発達. 協同医書出版社, 東京, 2012, pp. 43-97.
- 34) 儀間裕貴・浅野大喜. 子供の運動感覚と個人差－運動感覚と身体表象の発達－, 感覚入力で挑む－感覚・運動機能回復のための理学療法アプローチ. 斉藤秀之・加藤浩・金子文成 (編), 文光堂, 東京, 2016, pp. 232-244.