

児童期における両側性協調運動の発達と臨床的意義

萱村 俊哉

(武庫川女子大学短期大学部人間関係学科)

Development and Clinical Significance of Bilateral Motor Coordination in Schoolchildren

Toshiya Kayamura

*Department of Psychology and Human Relations,
Mukogawa Women's University Junior College Division, Nishinomiya 663-8558, Japan*

Abstract

In the present study, the normal development and clinical significance of bilateral motor coordination in schoolchildren were considered through a review of previous research. Bilateral motor coordination contains mirrorwise and non-mirrorwise movements between the left and right extremities. As a result of a comparative examination of 3 countries' research of the normal development of bilateral diadochokinesis (rapid pronation and supination of forehands), three concordant findings were revealed: (1) The speed of execution of bilateral diadochokinesis significantly increased with age. (2) The degree of difficulty of execution of non-mirrorwise movement was higher than that of mirrorwise movement. (3) Significant gender differences were not present in non-mirrorwise movement. Bilateral motor coordination tests including bilateral diadochokinesis were so far applied to explain the underlying neurological mechanisms of dyslexia or stuttering on the basis of the developmental interhemispheric disconnection (DID) hypothesis or the interhemispheric interference model (IIM). In the execution of bilateral motor coordination, the cooperation of supplemental motor areas (SMA) on both hemispheres and corpus callosum (CC) wiring them together was assumed to be significant. However, other areas have also been shown to be concerned with the execution of bilateral motor coordination. Therefore, in the future, in addition to the basic research to have more precise age-specific normal values of individual bilateral motor coordination tests, neuro-imaging research making the neural mechanisms of the tests more definite and the accumulation of clinical findings in the tests of the children with neuropsychological problems are required.

目 的

両側性協調運動(bilateral motor coordination)とは上下肢の左右同時の運動のことである。両側性協調運動検査は、発達性協調運動障害(Developmental coordination disorder; 以下, DCD)のほか、児童期における読字障害(dyslexia, 以下, ディスレクシア)や吃音(stuttering)などの障害の査定において試論的に用いられてきた(たとえば, Lewis & Bell, 1970¹⁾; Badian & Wolff, 1977²⁾; Klicpera, Wolff, & Drake, 1981³⁾; Webster, 1990⁴⁾)。両側性協調運動検査は、その難度故、幼児には適さないと考えられるが、その神経機序は一側性協調運動より高次(Tanji, Okano, & Sato, 1987⁵⁾; Andres, Mima, Schulman, Dichgas, Hallett, & Gorloff, 1999⁶⁾)のため、児童期以後の子どもの神経心理検査として、一側性協調運動とは異なる意義を持つことが期待されるからである。

しかしながら、これまでのところ、当該運動の正常発達に関する知見は少なく、その臨床的意義の系統立った検討も行われていない。このような状況をふまえ、本稿では、筆者の発達的研究(萱村・萱村,

2009⁷⁾)を含め両側性協調運動検査に関する文献を概観してその発達特徴を検討するとともに、子どもの臨床における両側性協調運動検査の意義について若干の考察を行う。

両側性協調運動検査の種類

子どもの運動における左右両側の統合を詳しく調べるための検査法はこれまでにいくつか提案されてきたが、それらを大別すると、日常動作における運動能力をみるタイプと神経学的微細徴候(soft neurological signs; 以下、ソフトサイン)の検査を発展させたタイプに分類できる。前者は、たとえばスポーツ動作(投球、捕球など)における両側性の協調運動能力を調べる方法(たとえば、Cardoso & Magalhaes, 2009⁸⁾)であり、後者は、上肢変換運動(以下、diadochokinesis)などのソフトサイン検査(Touwen, 1979⁹⁾)を、一側でなく両側同時に実施させる方法(たとえば、Denckla, 1973¹⁰⁾, 1974¹¹⁾; Duchene, Ramaekers, Njiokiktjien, & Vranken, 1991¹²⁾; 萱村・萱村, 2009⁷⁾)である。

日常動作の検査には、左右両側の調整能力だけでなく、運動のプランニング能力も測定できる利点があるが、その動作の水準に学習が強く関与するため、本来の神経機能そのものを正確に評価する点では劣る。一方、ソフトサイン検査は、動作水準に及ぼす学習の影響が少なく、この点は神経機能の評価法に適するが、運動のプランニング能力の評価には適さない。これら2タイプの検査法には、このように、それぞれ長・短所を含む特徴があるため、臨床では、検査目的に照らし適切な検査法を選択する必要がある。

両側性協調運動検査の意義の検討では本来、これら2タイプの検査法とも対象とすべきだが、両タイプの意義を論じることは、本稿では紙数の制約もあり難しい。そこで、日常動作の検査については今後の課題として別稿に譲り、本稿ではソフトサイン検査に焦点を絞る。

一側性協調運動検査の方法と意義

以下ではまず、一側性の協調運動検査法とその意義について振り返り、次に、両側性協調運動検査の検討へ移る。

ソフトサインの有無を調べる代表的な協調運動検査としては、手指挙上検査(finger lifting test)、手指連続対立検査(finger sequencing test / finger opposition test)、diadochokinesis、踵-爪先タッピング(heel toe tapping)、片足立ち(standing on one leg / static balance)、片足跳び(hopping / dynamic balance)などが挙げられよう(Denckla, 1973¹⁰⁾, 1974¹¹⁾; Touwen, 1979⁹⁾; 萱村, 1997¹³⁾)。これらはすべて身体の一側の検査である。これらの検査の中から、具体例として、手指連続対立検査、diadochokinesis、踵-爪先タッピングの3検査を抽出し、各検査の方法と意義を示す。

1) 手指連続対立検査: 立位姿勢で片手の拇指と他の指とを順に対立させる。示指から始め、隣り合った指へとできるだけ速く進ませる。20回の対立を行わせる。検査者が課題を実演して見せ、それを模倣させる(Denckla, 1973¹⁰⁾, 1974¹¹⁾; Touwen, 1979⁹⁾)。本検査の観察点は、①運動の速度(20回対立を繰り返す所要時間)(Denckla, 1973¹⁰⁾, 1974¹¹⁾)、②円滑さとリズム、さらに③対側の手にみられる連合運動(随意運動と類似の指の動き)である。左右差の有無も観察点である。②の円滑さとリズムの評価は、「指をとばす」、「同じ指を続けて pointing する」、「一次的に止まる」、「リズムが悪い」の各動作の有無の観察に基づいて実施される(Touwen, 1979⁹⁾; 萱村, 1997¹³⁾, 2012¹⁴⁾)。健常児では6歳以後で本検査が遂行できない子どもはほとんどいないため、①本検査が6歳で遂行できない場合、②12歳以後に運動の速度が遅く緩慢である、③「指をとばす」、「同じ指を続けて pointing する」、「一時的に止まる」、「リズムが悪い」などの所見、もしくは対側の手に連合運動がみられた場合、④極端な左右差が認められる場合をソフトサイン陽性と考える(萱村, 1997¹³⁾, 2012¹⁴⁾)。

2) diadochokinesis: 立位姿勢で一側の上肢を肘で90°屈曲させ、前腕を前方へ突出させる。対側の上肢は弛緩して垂れさせる。この状態で、前腕の回内(pronation)、回外(supination)運動をできるだけ速く

20回繰り返させる。運動開始時に対側の upper limb は脱力して体側に付けさせておく。検査者が課題を実演し、それを模倣させる (Denckla, 1973¹⁰, 1974¹¹; Touwen, 1979⁹)。回内・回外運動の速度(所要時間の測定) (Denckla, 1973¹⁰, 1974¹¹)、円滑さとリズム、同側性連合運動(腋の下が開く上腕の内転外転運動)、および対側の upper limb にみられる対側性連合運動(肘部の屈曲と鏡像運動)が主な観察点である。左右差の有無も観察する。円滑さとリズムの評価は、「腋下が 5cm 以上開く」、「腋下が開くが 5cm 未満である」、「前腕の中心軸がずれる」、「回内・回外運動が正確ではない」、「途中で止まるか、リズムが悪い」のように評価する (Touwen, 1979⁹; 萱村, 1997¹³, 2012¹⁴)。運動の円滑さやリズム、同側性連合運動(上腕の内転外転など)を評定した場合、diadochokinesis の完成年齢は 7, 8 歳である (Touwen, 1979⁹; 萱村, 1997¹³, 2012¹⁴)。したがって、① 8 歳以後に回内・回外運動が不正確、途中で止まる、リズムが悪いなどの所見がみられる、② 8 歳以後の年齢において同側性連合運動(上腕の内転外転運動)、すなわち、腋下が 5cm 以上開いたり、前腕の中心軸がずれるなどの所見が認められる、③ 10 歳以後の年齢で対側性連合運動の中の肘部の屈曲が残存している、④ 下顎の連合運動がみられる場合にソフトサイン陽性と考えられる (萱村, 1997¹³, 2012¹⁴)。

3) 踵-爪先タッピング：椅子に座った姿勢で片足の踵と爪先の交互タッピングを繰り返させる。タッピングはできるだけ速く 20 回繰り返させる。検査者が実演して見せ、それを模倣させる (Denckla, 1973¹⁰, 1974¹¹; 萱村, 1997¹³, 2012¹⁴)。タッピングの速度(所要時間) (Denckla, 1973¹⁰, 1974¹¹)と円滑さが主な観察点である。円滑さの内容は、「同じ部分(踵あるいは爪先)をタッピングする」、「途中で止まる」、「リズムが悪い」、「タッピングの位置がずれる」点である。さらに、対側下肢の連合運動、および両 upper limb にみられる連合運動の出現の有無やその強さも観察する。左右差の有無も観察する (萱村, 1997¹³, 2012¹⁴)。健常児では、速度、円滑さともに 5, 6 歳で発達し、8～11 歳で顕著に発達する。左右差はみられない (萱村, 1997¹³, 2012¹⁴)。速度に性差はないが、円滑さ、リズム、連合運動など運動の質的側面では、女子優位の性差がみられる (Denckla, 1974¹¹; 萱村, 1997¹³; Wolff, Gunnoe, & Cohen, 1983¹⁵; 萱村, 2012¹⁴)。本検査では、① 顕著な左右差がみられる場合、② 11 歳以後の年齢で運動速度の緩慢さや、上記の観察点に挙げた円滑さに関する所見が認められる場合にソフトサイン陽性とみられる (萱村, 1997¹³, 2012¹⁴)。

両側性協調運動の種類、検査法、評価法

両側性協調運動は、運動学的に、両側を互いに鏡に映った像、すなわち鏡映像的 (mirrorwise) に動かす運動と、そうではない非鏡映像的 (non-mirrorwise) な運動に分けることができる (Duchene et al., 1991¹²; 萱村・萱村, 2009⁷)。

左右同時に異なった動きを要求する非鏡映像的運動は、左右の同じように動かす鏡映像的運動に比べ、大脳半球間連絡の成熟度をより鋭敏に表すので診断に有効と考えられている (Njiokiktjien, Driessen, & Habraken, 1986¹⁶)。この点に関連して虫明 (2007)¹⁷ は、「両手を運動させるときには、左右の手を正中に鏡を置いたときのように左右対称的な運動をすることは、一般的に簡単である。この場合両手動作は自己中心的な座標で示される。これに対して、左右非対称の運動を両手で行うときや、外部座標上で並行するような方向性の両手運動では、注意を要することが多い。また、動作のスピードを要求すると、しばしば、非対称の連続運動は、対照的な動作に移行してしまうことがある」と述べている。

つまり、虫明によると、非鏡映像的運動は鏡映像的運動より難度が高く、注意力などに持続性がなければ、非鏡映像的運動を遂行しているうちに鏡映像的運動に移行してしまうということである。虫明は、鏡映像的運動と非鏡映像的運動は、それぞれ安定した 2 つの状態をアトラクター (attractor) としてもつ力学系の問題と捉えており、このような力学系に対応する状態が脳の中の関連する部位内での相互作用の結果として作り出されている (虫明, 2007)¹⁷ と考えているのである。

注意力不足などのため、非鏡映像的運動が鏡映像的運動に移行するということは、双方の運動を相対的にみた場合、鏡映像的運動の遂行は比較的自動的な水準に位置し、非鏡映像的運動の遂行は比較的意

図的な水準に位置しているとみることができる。つまり、双方の運動におけるアトラクターおよびその実現に関わる脳部位(さらにそれらの相互作用)の関係性には、ヒエラルキーや部分対全体といった構造が想定されるのである。簡単にいえば、双方の運動の遂行には、それに関係する脳部位に重複があり、脳部位間に生起する相互作用にも重なりがあるが、鏡映像的運動より非鏡映像的運動のほうがその遂行に関与する脳部位数が多く、それらの間の相互作用もより複雑だということである。

上に指摘したように、鏡映像的運動より非鏡映像的運動のほうが、大脳半球間連絡の成熟度を鋭敏に表していると考えられている(Njiokiktjien et al., 1986¹⁶⁾)。非鏡映像的運動のほうが鏡映像的運動に比べ左右大脳半球間の情報連絡の機序がより複雑でダイナミックであるとする、この考え方も首肯できるだろう。

上に例示した3種の一側性協調運動検査を両側性で行う場合の、鏡映像的運動と非鏡映像的運動の実施法を以下に示す。

1) 手指連続対立検査：①鏡映像的運動：両手ともに拇指と示指の対立から開始させ、順に隣の指へと順に進ませる。②非鏡映像的運動：片方の手は拇指と示指の対立から、対側の手は拇指と小指との対立からそれぞれ開始させ、隣接した指へ順に進ませる。両条件とも20回の対立を行わせる。

2) diadochokinesis: ①鏡映像的運動：両側の上肢を肘部で直角に屈曲させ、前腕を前方に突き出させ、その状態で前腕の回内、回外を左右同時に連続的に行わせる。②非鏡映像的運動：鏡映像的運動と同じ姿勢で左右同時に交互に回内、回外を行わせる。つまり片方の腕が回内の状態のとき、対側の腕は回外の状態になっている。両条件ともに回内、回外を20回繰り返させる。

3) 踵-爪先タッピング：①鏡映像的運動：椅子に座った姿勢で、踵と爪先のタッピングを両足同時に連続的に行わせる。②非鏡映像的運動：鏡映像的運動と同様の姿勢で、左右交互の踵、爪先タッピングを同時に連続的に行わせる。すなわち、片方の足の爪先が着地しているとき、対側の足は踵が着地することになる。両条件ともに20回のタッピングを繰り返させる。

なお、両側性協調運動の評価法は、一側性検査と同様、①20回の運動が達成される所要時間(秒)を測定する方法(Denckla, 1973¹⁰⁾, 1974¹¹⁾)と、②運動の正確さやリズムなどを観察し、それをスコアリングする方法(Touwen, 1979⁹⁾)がある。正確さとリズムの評定基準は一側性協調運動検査のそれとほぼ同じである。

両側性協調運動の正常発達：diadochokinesis を中心に

運動系のソフトサイン検査としてもっとも一般的なのが diadochokinesis であろう。その diadochokinesis を両側性で行った場合の正常発達の基礎データが、オランダ(アムステルダム)とベルギー(ルーベン)(Duchene et al., 1980¹²⁾)、そして本邦(萱村・萱村, 2009⁷⁾)において報告されている。そこで以下では、これらのデータの比較により、両側性 diadochokinesis の正常発達を子細に検討する。

オランダ・データは4-12歳の計305名(男子157名, 女子148名)を、ベルギー・データは5-12歳の計513名(男子327名, 女子186名)を対象としている(Duchene et al., 1980¹²⁾)。一方、本邦のデータは、右手利きと判定された5-12歳の計213名(男子105名, 女子108名)を対象としている(萱村・萱村, 2009⁷⁾)。何れのデータも、年齢を4群に分けており、I群は5歳(オランダデータは4歳)-6歳、II群は7-8歳、III群は9-10歳、IV群は11-12歳であった。

Table 1に3カ国の両側性 diadochokinesis の正常発達データを比較提示した。これらの研究で採用された協調運動の評価法は時間評定法(Denckla, 1973¹⁰⁾, 1974¹¹⁾)であり、20回の運動が達成されるまでの所要時間(秒)を測定したものである。なお、Table 1のオランダとベルギーのデータは性別の呈示になっていない。これは、参照した文献(Duchene et al., 1980¹²⁾)において、オランダ・データは男女こみの表記であったためであり、一方、ベルギー・データは、性別表記と男女こみの表記の両方がみられたが、性別表記のほうには標準偏差の記載がなかったので、Table 1には、標準偏差の記載のあった男女こみ表記のみを提示せざるを得なかったという理由による。

さて、オランダ・データでは、鏡映像的運動はI群からIV群まで有意($F(3,288) = 34.71, p < .0001$)な発達を示している。年齢群間比較では、III群とIV群の間以外のすべての年齢群間で有意差($p < .05$)が見られている。非鏡映像的運動は、鏡映像的運動よりも遂行時間は長くなるが、鏡映像的運動と同様、I群からIV群にかけて有意($F(3,288) = 43.09, p < .0001$)な発達を示し、III群とIV群間以外の年齢群間で有意差($p < .05$)が認められている。さらに、非鏡映像的運動では、5.6%の子ども(全員I群)が運動を実行できず、両条件ともに有意な性差は見られないという所見が得られている(Duchene et al., 1980¹²)

一方、ベルギー・データでは、両条件とも有意な年齢的变化が見られている(鏡映像的運動 $F(3,513) = 129.77, p < .0001$; 非鏡映像的運動 $F(3,513) = 120.94, p < .0001$)。さらに、両条件ともにすべての年齢群間に有意差($p < .05$)が認められている。性差に関して、鏡映像的運動において女子より男子のほうが若干速い(時間が短い)という有意($F(1,513) = 4.19, p < .05$)な所見がみられ、非鏡映像的運動ではそのような性差は見られなかったとのことである(Duchene et al., 1980¹²)。

Table 1 Mean times and (SD) in seconds for bimanual motor coordination (diadochokinesis) in four age groups

	The Netherlands (Duchene et al., 1991 ¹²)		Belgium (Duchene et al., 1991 ¹²)		Japan (萱村・萱村 2009 ⁷)			
	Mirror	Non-mirror	Mirror	Non-mirror	Mirror		Non-mirror	
					Male	Female	Male	Female
I	8.2 (2.0)	16.6 (8.3)	14.1 (2.7)	32.8 (15.9)	12.3 (3.0)	12.8 (3.6)	19.3 (4.4)	18.5 (5.0)
II	7.5 (1.6)	11.6 (5.7)	12.9 (2.2)	19.2 (7.5)	11.0 (3.0)	12.7 (2.4)	16.1 (3.5)	16.7 (3.0)
III	6.3 (1.2)	8.3 (3.0)	10.8 (2.0)	14.8 (4.6)	10.1 (1.9)	9.7 (1.9)	13.1 (2.8)	13.6 (3.6)
IV	5.9 (0.9)	7.2 (1.6)	9.2 (1.5)	12.1 (3.0)	8.9 (2.4)	9.4 (1.6)	12.4 (2.8)	12.6 (4.5)

オランダ、ベルギーと同様、本邦における両側性 diadochokinesis の正常発達所見(萱村・萱村, 2009⁷)でも、鏡映像的、非鏡映像的運動ともに有意な年齢変化(鏡映像的運動 $F(3,202) = 18.84, p < .001$, 非鏡映像的運動 $F(3,174) = 24.19, p < .001$)がみられた。双方の運動ともに有意な性差はみられなかった。年齢間の多重比較において隣接年齢群間で有意差のみられた箇所は、鏡映像的運動ではII群とIII群の間、非鏡映像的運動ではI群とII群、及びII群とIII群の間であったとの結果であった。鏡映よりも非鏡映像的運動のほうの所要時間が有意($t=15.99, df=179, p < .001$)に長く、鏡映より非鏡映像的運動のほうに難しいことを示している。I群では非鏡映像的運動が実行できたのは男子17名(68.0%)、女子13名(54.2%)であり、II群になっても、非鏡映像的運動が実行できた者の割合は男女とも80%を超えたが、まだ実行できないものもみられた(萱村・萱村, 2009⁷)。

時間測定法により検討された両側性 diadochokinesis の正常発達に関して、3カ国間で一致した所見は、①鏡映像的運動、非鏡映像的運動ともに5-12歳の年齢域で発達する、②鏡映像的運動より非鏡映像的運動のほうに難しい(所要時間が長い)、③非鏡映像的運動では性差は認められない、の3点であった。これら3つの所見が3カ国共通にみられたことは、これらの所見が文化・社会的、あるいは民族的な違いによる影響を受けにくいことを意味している。

なお、性差に関しては、鏡映像的運動においても、ベルギー・データで女子より男子のほうが若干速い所見がみられたものの、オランダと本邦のデータでは性差はみられなかったことから、傾向としては、両側性 diadochokinesis の鏡映像的運動でも著しい性差はないと考えられる。一側性 diadochokinesis でも性差がみられないことが報告されており(Denckla, 1973¹⁰, 1974¹¹); Wolff et al., 1983¹⁵; 萱村, 1997¹³)、一側性、両側性の何れにおいても diadochokinesis は性差が生じにくい検査と考えられる。

臨床的意義

筆者は、DCDの判定における両側性協調運動検査の意義は実は、それ程大きくないと考えている。何故なら、DCDと診断されるほどの身体的不器用さ(clumsiness)を持っている子どもであれば、幼児期の運動発達の milestone の遅れの所見や児童期における一般的な(運動であれば一側性の)ソフトサイン検査などの所見から判定できる(岡, 2008¹⁸)からである。子どもを対象とした両側性協調運動に関する

研究のほとんどは高次神経機能障害、具体的にはディスレクシアや吃音をテーマにしたものであり、子どもの両側性協調運動検査では、DCD 検査としての意義よりも、言語機能をはじめ高次神経機能障害における神経学的根拠の検索や、それに基づき支援(療育)法を考案する場合の意義に着目することになる。以下では、ディスレクシアと吃音の検査としての両側性協調運動検査の意義について考える。

1) ディスレクシアの検査としての意義

ディスレクシアとは読み能力の障害である。このような読みの障害は、脳梁(corpus callosum; CC)の機能障害のために左右の大脳半球間の情報連絡がうまくいかないために発生するという考え方(たとえば, Gazzaniga, 1973¹⁹⁾)がある。つまり、右半球で処理される視覚的情報(文字や文字列)が、左半球で処理される音声や意味分析結果と適切に統合されないため、読めない(あるいは読みづらい)といった症状が現れると考えるのである。

Njiokiktjien, Valk, & Ramaekers (1988)²⁰⁾は、この考えをさらに発展させ、学習障害(LD)やディスレクシアの症状の発生メカニズムの説明として、Developmental interhemispheric disconnection (以下、DID)という仮説を提示した。これは、脳梁の解剖学的・機能的不全さにより、丁度、成人の脳梁を切断された分離脳(split-brain)患者と同じような症状が出現するという考え方である。後述するように、成人分離脳患者では新奇の両側性運動の遂行不能と同時に、失書と左側の観念運動失行、右手の模写障害など、子どものLDやディスレクシアと類似の症状が観察される(Zaidel & Sperry, 1977²¹⁾)のである。

現在、両側性協調運動とディスレクシアとの関連は、このDIDという仮説を拠り所に説明されることが多い。たとえば、健常とディスレクシアの男子を比較し、一側性のrhythmic tappingの成績では両者間に差はないが、両側性の交互のrhythmic tappingは健常児に比べ読字障害児で著しく劣ることを明らかにしたBadian & Wolff (1977)²⁾は、この所見を、大脳半球間の協調(interhemispheric cooperation)の発達遅滞により生じたものと解釈している。さらに、Wennekes & Njiokiktjien (1991)²²⁾も、ディスレクシアの子どもたちは両側性のdiadochokinesisの遂行所要時間が長い(すなわち遂行能力が低い)ことを明らかにし、その原因に関し同様の解釈を行っている。

2) 吃音の検査としての意義

吃音(stuttering)とは構音の問題であり、話し始めに同じ音を繰り返したり、特定の音を引き延ばすなどの症状のことである。Webster (1990)⁴⁾は、吃音者の左半球の補足運動野(supplementary motor area: 以下、SMA)の機能的脆弱性を指摘し、この左半球SMAに右半球の活動が脳梁を介して干渉することにより吃音が生じることを提唱した。SMAとは、運動野の前方に位置し、運動のプログラミングや連続的な運動配列を実現する部位と考えられている(Duchene et al., 1991¹²⁾)。Webster (1990)⁴⁾のこの仮説は、Interhemispheric interference model (以下、IIM)と呼ばれている。IIMによると、吃音者は非吃音者に比べ、非優位半球(多くは右半球)からの干渉を多く受けやすい状態と仮定され、また、左半球SMAが担っている連続的運動配列とそのタイミングの新規体制化が求められる場面で吃音が発生しやすいと考えられる。

IIMは元来、成人を対象に議論されてきており、子どもの吃音でどの程度説明力を持つかわかっていない。したがって、その検証は今後の課題だが、これまでのところ、吃音児と非吃音児との両手手指協調運動検査の間に差を認めない研究(村瀬, 2010)²³⁾もあり、子どもにおけるIIMの妥当性には疑問も寄せられている。ただ、吃音と音韻障害を併せ持った子どもでは、健常児や音韻障害のない吃音児に比べ、反対側からの干渉の入った両側性協調運動が阻害されやすいことを明らかにした研究(小林・早坂, 2000)²⁴⁾もみられ、吃音だけでなく音韻障害を合併している場合のIIMの妥当性が示されている。

このように、両側性協調運動検査は従来、DID仮説やIIMに基づき、ディスレクシアや吃音といった言語機能の検査としての意義が想定されてきたのであり、今後もその方向で両側性協調運動検査の有効性や妥当性に関する検証が進められていくと思われる。しかし、言語機能以外の認知行動特性と両側性協調運動検査の間連を解明する方向性も今後は出てくるだろう。一例として、非行傾向のある青年は

そうでない同年齢の青年に比べ、両側性協調運動の遂行能力が低いことを明らかにし、青年の非行傾向と両側性協調運動に関係があることを指摘した研究などが先行的にみられている(Fanching, Snyder, Zobel-Lachiusa, & Loeffler, 1990²⁵⁾).

全体的考察

1) 両側性協調運動の神経機序

子どもではなく成人の症例だが、左右の大脳半球を結んでいる脳梁を切断された分離脳(split-brain)患者では、手術前にすでに獲得した日常動作は、術後、速やかに元の水準まで回復するが、新奇な両側性の運動は術後、何年経過してもうまく遂行できないことが観察されている(Zaidel & Sperry, 1977²¹⁾). また、それらに加え、著明な失書と左側の観念運動失行、右手の中等度の模写障害が術後10年以上続いたとされている(Zaidel & Sperry, 1977²¹⁾). Zaidel & Sperry (1977)²¹⁾はこの所見を、左右の大脳半球間連絡の問題と考え、とくに、運動野と前運動野の半球間連絡をつかさどっている脳梁前部と中央部の障害と仮定した。さらに Preilowski (1972)²⁶⁾は、脳梁の前方2/3の切断手術を受けた分離脳患者において、両側性協調運動の正確さと速さが改善しないことを指摘し、脳梁の前方が、半球内の下位運動システムの調整に関与していると述べている。

両側性協調運動の実行には、このように脳梁や上述のSMAのはたらきが重要である。ただし、両側性協調運動(とくに非鏡映像的運動)の実行では、脳梁やSMA以外にも、前頭前野、運動前野、帯状皮質運動野(とくに前方)、小脳の関与が不可欠であることが指摘されており(Sadato, Yonekura, Waki, Yamada, & Ishii, 1997²⁷⁾; Aramaki, Honda, Okada, & Sadato, 2006²⁸⁾)、多様な脳部位が両側性協調運動の成立に関与していることを忘れてはならない。したがって、両側性協調運動検査の所見の解釈は、一側性協調運動検査など他の神経心理検査結果との比較により行われることが大切だろう。

2) 両側性協調運動検査に関する留意点

両側性 diadochokinesis の正常発達の所見からわかるように、両側性協調運動では、鏡映像的運動、非鏡映像的運動ともに児童期に顕著な発達を遂げるので、両側性協調運動検査を子どもの神経心理検査として用いるには、鏡映像的運動、非鏡映像的運動別に、年齢ごとのきめ細かい(正確な)正常成績(基準)を作成する必要があるといえる。同種の検査であっても、鏡映像的か非鏡映像的かという条件の違いによって難度が異なり、その実行に関わる脳部位も同じでない事実は、臨床において知悉されなければならない。

ところで、本邦の研究(萱村・萱村, 2009⁷⁾)では、両側性 diadochokinesis の評定を、時間測定法だけでなく、正確さとリズムを調べるスコアリング法でも実施している。その結果をみると、5-12歳間で鏡映像的運動の発達は有意ではなかった。このことは、鏡映像的に行った両側性 diadochokinesis の正確さとリズムは、5-12歳の年齢域では緩やかに発達しており、その発達のピークはもっと後年になることを示唆している。このように、時間測定とスコアリングによる評定結果が必ずしも一致しないということは、diadochokinesis のみならず他の検査でもみられる事象である(萱村・萱村, 2009)。したがって、運動評価では、検査目的によって評価の方法を選択する必要もあろう。

今回は、両側性協調運動の正常発達を検討するために、一例として diadochokinesis を取り上げ、①鏡映像的運動、非鏡映像的運動ともに5-12歳の年齢域で発達する、②鏡映像的運動より非鏡映像的運動のほうが難しい、③非鏡映像的運動では性差は認められないという特性が認められた。しかし、これらの特性は飽くまで diadochokinesis のものであって、他の検査でも全く同じ特性が得られるとは限らないことに注意が必要である。①と②に関しては、おそらく他の検査の多くでも共通にみられる特性と思われるが、③に関しては、検査のよる違いがみられる可能性があることを申し添えておきたい。実際、筆者の研究(萱村・萱村, 2009⁷⁾)では、手指連続対立検査と踵-爪先タッピングにおいて女子優位の性差が認められているのである。

以上の事柄をふまえ、最後に、両側性協調運動検査を子どもの神経心理学的検査として今後、有意義

なものにしていくための課題を3つ提示したい。

第一は、検査の種類、条件(鏡映像的か非鏡映像的か)、さらに評価法(時間測定法かスコアリングによる方法か)ごとの年齢(性別)ごとに示された正常発達の基準値を確立することである。

第二は、近年発展してきた脳のイメージング技術により、それぞれの検査の実行に関与している脳部位とそのネットワークを解明することである。上述のように、両側性協調運動ではさまざまな脳部位がはたらいっている。両側性協調運動の実行に関わる脳部位とその相互作用は、検査の違いによって異なることが予測される。個々の両側性協調運動検査が、脳のどの部位のはたらき(あるいはどのようなネットワーク)によって実行されているか、ある程度解明されていると、それは、療育を視野に入れたアセスメントにおいて、検査法の選択や検査結果の解釈において有効な判断材料になるだろう。

第三は、ディスレクシアや吃音をはじめ種々の神経心理学的障害を持つ子どもたちの両側性協調運動に関する所見を蓄積することである。DIDやIIM仮説に基づいた臨床的研究のように、神経心理学的障害と両側性協調運動の所見の間に何らかの法則性をみつける努力が今後も求められる。

引用文献

- 1) Lewis, F.D., & Bell, D.B., Relationship of motor proficiency and reading retardation. *Percept & Mot Skills*, 31, 395-401. (1970)
- 2) Badian, N.A., & Wolff, P.H., Manual asymmetries of motor sequencing in boys with reading disability. *Cortex*, 13, 343-349. (1977)
- 3) Klicpera, C., Wolff, P.H., & Drake, C., Bimanual co-ordination in adolescent boys with reading retardation. *Develop. Med. & Child Neurol.*, 23, 617-625. (1981)
- 4) Webster, W.G., Evidence in bimanual finger-tapping of an attentional component to stuttering. *Behav. Brain Res.*, 37, 93-100. (1990)
- 5) Tanji, J., Okano, K., & Sato, K., Relation of neurons in the nonprimary motor cortex to bilateral hand movement. *Nature*, 327, 618-620. (1987)
- 6) Andres, F.G., Mima, T., Schulman, A.E., Dichgans, J., Hallett, M., & Gerloff, C., Function coupling of human cortical sensorimotor areas during bimanual skill acquisition. *Brain*, 122, 855-870. (1999)
- 7) 萱村俊哉・萱村朋子, 健常児(5～12歳)における両側性協調運動の発達. 平成19～20年度文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(C))研究成果報告書「アスペルガー症候群の不器用さに関する発達神経心理学的研究」(研究代表者 萱村俊哉). pp.31-41. (2009)
- 8) Cardoso, A.A., & Magalhães, L.C., Bilateral coordination and motor sequencing in Brazilian children: preliminary construct validity and reliability analysis. *Occupational therapy international*, 16, 107-121. (2009)
- 9) Touwen, B.C.L., *Examination of the child with minor neurological dysfunction (2nd ed)*, Clin. in Develop Med No71. London: Heinemann. (1979)
- 10) Denckla, M.B., Development of speed in repetitive and successive finger-movements in normal children. *Develop. Med. & Child Neurol.*, 15, 635-645. (1973)
- 11) Denckla, M.B., Development of motor co-ordination in normal children. *Develop. Med. & Child Neurol.*, 16, 729-741. (1974)
- 12) Duchene R., Ramaekers G., Njiokiktjien C., & Vranken, M., Sensory-motor development III. Motor aspects of bimanual motor coordination. In *Pediatric behavioural neurology*, ed by Ramaekers G., & Njiokiktjien C, Vol 3, *The child's corpus callosum*, Suyi, Amsterdam, 129-162. (1991)
- 13) 萱村俊哉, 発達の神経心理学的評価, 多賀出版, 東京(1997)
- 14) 萱村俊哉, 教室における「気になる子どもたち」の理解と支援のために, ナカニシヤ出版, 京都(2012)
- 15) Wolff, P.H., Gunnoe, C.E., & Cohen, C., Associated movements as a measure of developmental age. *Develop. Med. & Child Neurol.*, 25, 417-429. (1983)

- 16) Njiokiktjien, C., Driessen, M., & Habraken, L., Development of supination-pronation movements in normal children. *Human Neurobiol.*, 5:199-203. (1986)
- 17) 虫明 元, 器用さの学習のメカニズム. 久保田競(編). 学習と脳 器用さを獲得する脳, サイエンス社, 東京, pp.65-105. (2007)
- 18) 岡 明, 発達性協調運動障害, 小児科臨床, 61, 218-222. (2008)
- 19) Gazzaniga, M., Brain theory and minimal brain dysfunction. *Annals of NY Academy of Science*, 205, 89-92. (1973)
- 20) Njiokiktjien, C, Valk, J., & Ramaekers, G., Malformation or damage of the corpus callosum? A clinical and MRI study. *Brain Develop.*, 10, 92-99. (1988)
- 21) Zaidel, D., & Sperry, R. W., Some long-term motor effects of cerebral commissurotomy in man. *Neuropsychologia*, 15, 193-204. (1977)
- 22) Wennekes, M. J., & Njiokiktjien, C., Developmental interhemispheric disconnection and dyslexia. In Pediatric behavioural neurology, ed by Ramaekers G., & Njiokiktjien C, Vol 3, *The child's corpus callosum*, Suyi, Amsterdam, 219-234. (1991)
- 23) 村瀬 忍, 吃音幼児の両手手指協調運動のタイミングコントロール, 音声言語医学, 51, 93. (2010)
- 24) 小林宏明・早坂菊子, 音韻障害を併せ持つ吃音児の協調運動発達—反対側からの干渉動作を含む運動課題を用いた検討—, 音声言語医学, 41, 229-236. (2000)
- 25) Fanchang, S., Snyder, C., Zobel-Lachiusa, J., & Loeffler, B. B., Sensory integrative processing in delinquent-prone and non-delinquent-prone adolescents. *American Journal of Occupational Therapy*, 44, 630-639. (1990)
- 26) Preilowski, B. F. B., Possible contribution of the anterior forebrain commissures to bilateral motor coordination. *Neuropsychologia*, 10, 267-277. (1972)
- 27) Sadato N., Yonekura Y., Waki A., Yamada, H., & Ishii, Y., Role of the supplementary motor area and the right premotor cortex in the coordination of bimanual finger movements. *J. Neuroscience*, 17, 9667-9674. (1997)
- 28) Aramaki Y., Honda M., Okada T., & Sadato, N., Neural correlates of the spontaneous phase transition during bimanual coordination. *Cerebral Cortex*. 16, 1338-1348. (2006)

受稿日 2014年9月12日 受理日 2014年10月16日