

重症心身障害児における運動の意図性評価

－脳波基礎律動の事象関連性変動による事例検討－

鈴木 保巳* 林 恵津子**

寺田 信一*** 堅田 明義****

Assessment of intention in movement for children with severe motor and intellectual disabilities

- A case study using event-related change of EEG rhythms -

Yasumi SUZUKI Etsuko HAYASHI Shin-ichi TERADA Akiyoshi KATADA

Summary

This case study was performed to assess objectively intention in movement for a child with severe motor and intellectual disabilities (SMID). We recorded electroencephalogram (EEG) on the scalp when a child with SMID moved his dominant (right) hand to react to a toy presented in front of him instantaneously.

Event-related change (ERC) of EEG rhythms in a frequency band 6-9.5Hz was observed in the central region on the scalp, corresponding to motor area. We recognized movement-related ERC as event-related desynchronization (ERD); that is, the power of the EEG rhythms decreased preceding the onset of movement, and as event-related synchronization (ERS); that is, their power increased following motor execution. Considering the fact that the ERD precedes voluntary movement, we confirmed that the action of reaching for a toy occurred as a result of the child's intention. The ERS was not observed in the record one year later, so it is presumed that he came to execute automatic hand movement gradually over time.

Calculation of the movement-related ERC allows short EEG recordings with fewer repetitions of the same movement. We conclude that the ERC of EEG rhythms accompanying motor execution provides a simple and useful index to assess intention in movement for children with SMID.

Key Words: children with SMID, intention in movement, ERC of EEG rhythms, ERD, ERS

1. はじめに

発達・生活支援の現場では、子どもの発達段階や障害されている機能特性を評価することが指導の出発点となる。そのため、指導の開始に際しては、支援者は綿密な行動観察や客観的尺度による確度の高い評価が求められる。重症心身障害児の療育の現場においても、種々の機能評価法（例えば、遠城寺式乳幼児分析的発達検査や新版K式発達検査、感覚運

*長崎大学教育学部

**共栄学園短期大学社会福祉学科

***高知大学教育学部

****中部学院大学人間福祉学部

動発達アセスメント (MEPA- II) など) が用いられ、子どもの当該時点での発達評価と指導立法案の根拠となっている。しかしながら、障害が重度なために行動表出の乏しい子どもでは、指導に有効な手がかりを得ることが難しい現実がある。著者らは、分かりにくい障害特性の客観的把握に有効な生理心理学的指標を提示しつつ、これらの指標を用いた指導の手がかり判断と指導の事例を紹介しながら、実際の発達・生活支援に結びつけるための要件について検討を重ねてきている^{1) 2)}。

重症心身障害児の行動表出の乏しさは、その多くが重度の運動機能の中枢性麻痺に起因する。運動領域の機能発達が定型発達児の1歳未満にとどまっているケースもまれではなく、観察された行動が新生児において見られる原始反射の残存なのか、刺激に対する驚愕反射なのか、子どもの意図的な随意運動なのか、判然としない場合も多く認められる。

運動が本人の意図に基づいて随意的に表出される際に観測される生理心理学的指標として、運動開始の数秒前から脳の運動野付近の頭皮上部位を中心に認められる運動準備電位が知られる。筆者もこれまで同電位を用いて脳性麻痺者の随意運動の準備特性の解明に取り組んできている^{3) 4)}。しかしながら、運動準備電位を含む運動遂行時に観測される脳電位 (運動関連脳電位) の算出には、急速な同一運動を最低でも50～100回繰り返した際の頭皮上脳波記録が必要となり、長時間にわたり急速運動の繰り返しを被験者に課す必要がある。生来、行動表出の乏しい重症心身障害児において、このような多数回で長時間に及ぶ運動課題を課すことは不可能である。これに対し、少ない試行でも運動に関連した脳活動の変動を捉えることのできる指標として、脳波基礎律動の事象関連性変動 (event-related change: ERC) が知られている。寺田ら⁵⁾ は、呼びかけや図形刺激呈示時の ERC を用いて、重症心身障害児の認知機能評価を実施しており、客観的評価指標としての ERC の有効性を示しつつ、指導手がかりの根拠として有用であることを提起している。随意運動に関連した ERC は Pfurtscheller et al. (例えば 1977⁶⁾, 1992⁷⁾) によって解明されてきている。随意運動の開始直前には、運動開始に向けた情報処理に関与した覚醒や皮質活性を反映して、脳波基礎律動の α 波成分のパワーが減少する事象関連脱同期化 (event-related desynchronization: ERD) が観測され、運動遂行直後には皮質の活性状態から静的状態への回復及び次の運動に向けた皮質のアイドリング状態を反映して α 波成分のパワーが増大する事象関連同期化 (event-related synchronization: ERS) が観測されることが知られる。

ところで、療育の現場では、子どもの機能評価を迅速に発達支援につなげるために、簡便な客観的評価法の導入が指向されている。幸い、近年、脳電位記録を含む生体電気現象計測機器のコンパクト化と廉価化が進み、臨床現場への導入が容易なポータブル計測システム (例えば Polymate AP1132: デジテックス研究所製や、本研究で使用した 5200 シリーズ: エヌエフ回路設計ブロック製) が開発されてきている。さらに、これらのシステムで計測されるデータは記録時点でデジタル化されており、そのままパーソナルコンピュータに取り込むことが可能である。これにより、支援現場において簡便な計測および解析を実施することができ、解析結果の迅速なフィードバックが可能になってきている。

そこで本研究では、重症心身障害児の療育現場において、ポータブル生体現象計測機器により子どもの手のリーチング行動表出時の頭皮上脳電位活動を記録した。そして、少ない試行でも運動に関連した脳活動の様相を捉えることのできる ERC を客観的指標として、日常的に運動反応の乏しい子どもの機能評価に適用した。これにより、障害の極めて重い

初回測定時：3歳4ヶ月
1年後測定時：4歳4ヶ月
出生時状況：出生時体重 3640g
新生児仮死
新生児痙攣
障害名：四肢体幹機能障害
初回記録時の発達状況（遠城寺式検査）：
移動・・・6ヶ月
手の運動・・・6ヶ月
基本的生活・・・4ヶ月
対人関係・・・10ヶ月
発語・・・6ヶ月
言語理解・・・7ヶ月

表1 対象児のプロフィール

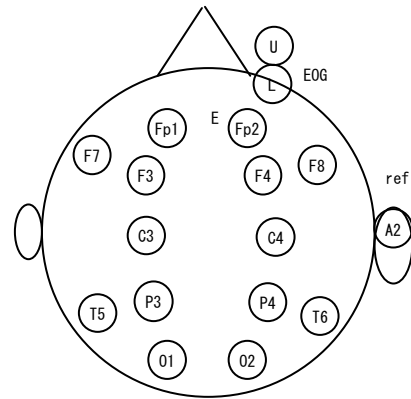


図1 頭皮上脳波記録部位

子どもの運動の意図性と運動の機能発達に関して ERC による検討が有効であるか、について ERC の出現状況と経年変化を基に検討した。

2. 方法

2.1. 脳波測定方法

四肢体幹機能障害を主徴とする重症心身障害児1名を対象とした。初回測定時の年齢は3歳4ヶ月、1年後測定時の年齢は4歳4ヶ月であった。初回測定時の本児のプロフィールを表1に示す。

脳波計測は、児の在籍する福祉園（通所施設）内の和室で実施した。児は、測定補助者に支えられた状態で座位をとり、まず、3分間ずつ開眼、閉眼状態で安静覚醒時の脳波を記録した。その後、表情等の行動表出や安静時脳波との記録状況の比較から児の疲労や覚醒状態を確認しつつ、眼前約1mに呈示した玩具を利き手の右手でリーチングする状況下において脳波記録を実施した（10数試行～20試行程度実施）。測定終了前には、開始時の児の覚醒状態と終了時の状態との差異を確認するため、再度、開眼安静状態の脳波を記録した。

脳波は、エレクトロキャップ（Electro-Cap 社製）を用いて、頭皮上の14部位（Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T5, T6）から右耳朶を基準として単極導出した（図1）。同時に、眼球運動の脳波記録への影響を確認するために眼電図（垂直導出）を、運動の開始時点と同定するために、上腕三頭筋の表面筋電図（筋腹を挟んで双極導出）を記録した。測定はデジタル計測システム（エヌエフ回路設計ブロック製5200シリーズ）にて行い、サンプリング周波数200Hzでパーソナルコンピュータに取り込み記録した。

2.2. 分析方法

脳波基礎律動の分析に先立ち、原記録の視察によって眼球運動等のアーチファクトの混入の有無を確認し、脳波記録が安定している区間を分析箇所を設定した。

各導出部位の脳波は、FFT解析により周波数スペクトルに変換した。初回測定時の分析区間長は5.12秒、及び2.56秒、1年経過後測定時の分析区間長は2.56秒に設定した（図

2参照)。運動遂行時の脳波は、試行ごとに表面筋電図より同定した筋放電開始前の2区間、ベースライン(運動開始前10.24秒～5.12秒(初回測定時)、運動開始前5.12秒～2.56秒(初回測定時及び1年経過後測定時))、運動開始直前(5.12秒間(初回測定時)、2.56秒間(初回測定時及び1年経過後測定時))と、運動開始後(5.12秒間(初回測定時)、2.56秒間(初回測定時及び1年経過後測定時))の1区間の計3区間とし、各区間ごとに10試行分の周波数スペクトルを加算平均処理した。さらに、後述する周波数帯域の成分パワーの総和を各導出部位において算出後、マッピング処理し成分の頭皮上分布を等高線図化した。

3. 結果

課題遂行時の児の状態は、玩具が呈示されるとまず全身緊張が生じ、その後利き手である右手によるリーチング行動に移行し、玩具への接近が起こる。このような運動遂行時の脳波基礎律動の変化の様子を図2に示す。

3.1. 脳波基礎律動の周波数スペクトルの特徴と運動遂行に伴う変化

図2の最上段Aは、初回測定時の脳波基礎律動の周波数スペクトルであり、リーチング行動が生じた右手と反対側の運動野にあたる左中心部C3について示した。ベースラインの運動開始前10.24秒～5.12秒、運動開始直前5.12秒、運動開始後5.12秒の区間でともに約3Hz未満の周波数帯域の成分パワーが大きい。運動遂行の時間経過に伴いスペクトルのパワーの変動が見られたのは5.86～9.57Hzの周波数帯域の成分である。この周波数帯域の成分パワーが、ベースライン時に比し運動開始直前に減少し、運動開始後には逆に増加している。

3.2. 分析時間による脳波基礎律動の成分変動の差異

運動遂行の時間経過に伴ってパワー変動の認められた上記周波数成分について、当該周波数帯域の成分パワーの総和を脳波の導出部位ごとに算出してマッピング処理し、成分の頭皮上分布として等高線図化した。初回測定時の記録を分析区間長を変えて解析した結果を図2の中段のBに示す。分析区間を5.12秒に設定した場合(B-1)、リーチング行動が生じた右手と反対側中心部のC3付近で、ベースラインの運動開始前10.24秒～5.12秒に比し運動開始直前5.12秒間で成分パワーが減少する事象関連脱同期化(ERD)が認められ、運動開始後には同部位の成分パワーが増大し事象関連同期化(ERS)が生起している。一方、分析区間を2.56秒と短く設定した場合(B-2)、ベースラインの運動開始前5.12秒～2.56秒と運動開始直前2.56秒間で成分パワーの頭皮上分布に著明な差異は認められないが、運動開始後には左右中心部(C3, C4)付近の成分パワーが顕著に増加しておりERSの生起が確認できる。

3.3. 脳波基礎律動成分の変動の経年変化

運動遂行時の成分パワーの頭皮上分布の経年変化を図2の下段Cに示す。初回測定時に認められた運動開始後の中心部付近のパワーの顕著な増加すなわちERSは、1年経過後の測定時には認められず、ベースライン、運動開始直前、運動開始後を通して当該周波数帯域の成分パワーの頭皮上分布に変動は見られない。

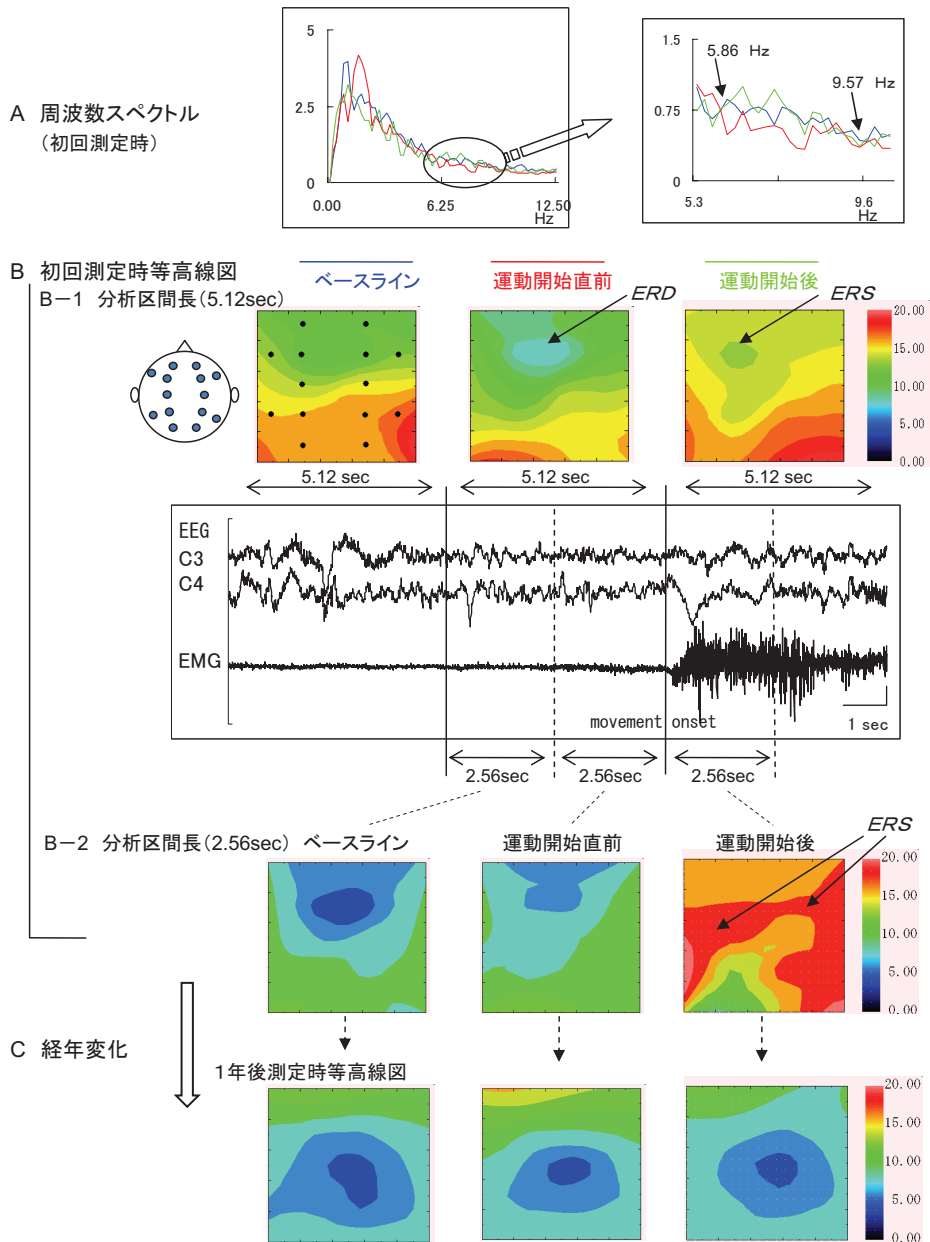


図2 運動遂行時の脳波基礎律動の変化

4. 考察

脳波基礎律動の優勢成分が存在する周波数帯域と記録される頭皮上の部位から脳機能の発達水準を推測できることが指摘されている^{5) 8)}。本児の頭皮上脳波の優勢成分は約3Hz未満という δ 波帯域であった。定型発達児における δ 波帯域の成分優勢期が1歳半までであることと照合すると、初回測定時(CA. 3歳4ヶ月)の本児の発達水準が対人関係の領域を除き約6ヶ月水準にとどまっていることと一致し、測定時点での脳機能状態を反映したものといえる。しかしながら、運動遂行時の事象関連性変動(ERC)は、成分パワーの小さい周波数帯域において認められ、頭皮上脳波の優勢成分ではない周波数帯域成分の出現様相も特定の脳機能を反映して変動することが示唆された。運動に関連したERCについては、これまで主として健常成人の α 波や β 波成分を中心とした報告がなされてきている。本児で運動に関連したERCが認められた周波数帯域は、約6～9.5Hzといった θ 波及びslow α 波成分に相当する帯域であり、健常成人のERCと同一の脳機能原理により生じている現象であるかは検討を要するが、児の行動表出に伴って観測される現象であることから、脳の運動遂行機能を反映したものといえる。加えて児のERCは、運動に関連した中心部付近において明確に認められた。これは、運動野付近の皮質が児の運動遂行に参与して中心的に活動していることを示すものである。

ERCの中でも、運動開始に先行して観測される事象関連脱同期化(ERD)は、随意運動の準備時に観測されてきている(例えば文献⁹⁾)。本研究で観測されたERDも、児が全身緊張の後、玩具へのリーチングする直前に認められた現象であり、児の運動が意図の下で随意的に生起していることを示すものと考えられる。ところで、本児の運動遂行前におけるERDは運動発現前の長い時間経過の中で観測された。運動準備電位の成分出現様相から、著者らは、脳性麻痺者で中枢における随意運動の準備が健常者と比較してより早くから開始されていることを明らかにする^{3) 4)}とともに、このような長い時間経過の中で脳波基礎律動の成分変動が生じ、運動開始に向けた皮質覚醒が進行することを示してきている^{10) 11)}。中枢性の重い運動機能障害のある本児においても、手を動かそうと企図してから実際の行動出力までに、すなわち運動の準備段階で、長い時間の皮質覚醒を要していることを反映したERDが生じたものと推測される。

運動遂行後のERSは、皮質の活性状態から静的状態への回復及び次の運動に向けた皮質のアイドリング状態を反映する⁷⁾。初回測定時に顕著なERSが認められたことから、本児の運動遂行に際し皮質にかかった過大な負荷を回復させる脳内メカニズムが機能したものととらえることができる。しかし、一年経過後の測定時にはこのERSが不明瞭となっており、本児の発達に伴い、運動が自動化し、皮質の活性状態から静的状態への回復に係る負荷が減少したことを示すものと推測される。

以上のように、本研究では、行動表出の少ないとされる重症心身障害児においても、表出される運動が本人の随意的意図によることを反映して運動遂行の時間経過に即した脳波基礎律動のERCを観測することができ、さらにERC出現様相の経年変化から、運動機能の発達を示唆する知見を得た。本研究は事例検討のため、直ちに一般化することはできないが、重い脳機能障害のために日常的に行動表出が乏しい子どもたちの運動に対する意図性を客観的に評価する指標としてERCが有効であると考えられる。また、生体電気現象のポータブル計測機器の導入により、支援現場における短時間の測定と解析結果の指導員や親へ

の迅速なフィードバックが可能となり、電気生理学的指標に基づいて当該時点での子どもの中枢運動機能を客観的に評価することで、これを基盤として、子どもの自発運動の発達を促進する発達支援の方途を見出す端緒となると信ずる。

5. 要約

自発的な行動表出の乏しい重症心身障害児の脳波記録において、運動が子どもの意図によって生起していることを示すと考えられる現象を確認するとともに、1年後の記録で運動の自動化を示すと思われる変化を認めた。

具体的には、呈示した玩具へのリーチングの直前に、頭皮上の中心部付近で約6～9.5Hzの脳波基礎律動成分のパワが减弱し、リーチングの生起後に増大していた。健常成人では、急速な随意運動の遂行に伴う皮質の覚醒状態の変化を反映して脳波基礎律動成分の事象関連性変動（ERC）が認められ、運動開始直前に α 波成分等が脱同期化してパワが減少し（ERD）、運動開始後に成分のパワが増大する（ERS）ことが報告されている。運動の形態や変動する脳波成分の周波数が異なることから、当該児で見られた脳波変動が健常成人のERCと同一であるか否かについては検討を要するが、リーチング動作に伴って生じている現象であることから、当該児の運動に対する随意性、すなわち意図を反映している可能性が大きいものと考えられた。また1年経過後の記録では、運動生起後のERSが認められなくなっており、発達に伴う運動の自動化を反映するものと考えられた。これらの現象を運動機能の定量的評価指標として、療育現場や家庭にフィードバックすることで、当該児の自発運動を誘発する療育の促進が期待される。

付記：本論文は、平成19年度長崎大学学長裁量経費（新任教員研究支援プログラム）、及び平成20年度科学研究補助金（萌芽研究）「発達障害児の運動機能支援効果に関する生理心理学的研究」（代表者：鈴木保巳，課題番号：20653077）の補助を受けて行われた研究成果の一部である。

謝辞：本研究の遂行にあたり、脳波測定にご協力いただいた子どもたち、及び協力をご快諾下さいましたご父兄の皆様方に心より謝意を表します。さらに、研究の場をご提供下さいました児童福祉施設の職員の方々に深謝申し上げます。

文献

- 1) 堅田明義，寺田信一，林恵津子（企画）：障害児発達の生理機構とその援助3－「個に応じた教育」実現のための客観的評価として－，日本特殊教育学会第40回大会自主シンポジウム39，2002
- 2) 堅田明義，寺田信一，鈴木保巳，林恵津子（企画）：障害児発達の生理機構とその援助4－「個に応じた教育」実現のための客観的評価として－，日本特殊教育学会第41回大会自主シンポジウム19，2003
- 3) 鮫島宗弘，鈴木保巳：脳性麻痺者における随意運動の準備状態－運動準備電位の成分検討－，東京学芸大学紀要第1部門第39集，131-140，1988

- 4) 鈴木保巳, 渡邊貴子, 松本秀彦, 鮫島宗弘: 脳性麻痺者の中枢性運動準備に関する情報処理論的検討. 東京学芸大学紀要第1部門第45集, 301-310, 1994
- 5) 寺田信一, 林恵津子, 中川貴美子, 堅田明義: 重い障害の子の指導・療育のための認知評価. 福井大学教育地域科学部総合自然教育センター年報 Vol.4, 225-235, 2001
- 6) Pfurtscheller G and Aranibar A: Event-related cortical desynchronization detected by power measurements of scalp EEG. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* 42, 817-826, 1977
- 7) Pfurtscheller G: Event-related synchronization(ERS):an electrophysiological correlate of cortical areas at rest. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* 83, 62-69, 1992
- 8) 堅田明義:第20章 精神遅滞の生理心理学 1節 脳波の発達. 柿木・山崎・藤沢(編)「新生理心理学 2巻 生理心理学の応用分野」, 226-231, 北大路書房, 1997
- 9) Pfurtscheller G and Aranibar A: Evolution of event-related desynchronization(ERD) preceding and following voluntary self-paced movements. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* 46, 138-146, 1979
- 10) 鈴木保巳, 長野裕明, 鮫島宗弘: 脳性マヒ者における随意運動準備に伴う脳波基礎律動(α 波)の変化. 東京学芸大学紀要第1部門第41集, 11-19, 1990
- 11) 鈴木保巳, 鮫島宗弘: 脳性マヒ者における随意運動準備時の脳波基礎律動(α 波). 東京学芸大学紀要第1部門第43集, 169-180, 1992