

知的障害児の実行機能と事象関連電位：

聴覚オドボール・パラダイムの受動条件と能動条件における P3 の比較

惠羅 修吉

(上越教育大学附属障害児教育実践センター)

要 旨: 知的障害児の実行機能と事象関連電位 P3 における課題関連性変動との関係について検討した。知的障害養護学校高等部の生徒を対象として、実行機能を反映する指標として語想起課題を施行した。その遂行成績の高低により 2 群を抽出し、聴覚オドボール・パラダイムの受動条件と能動条件における P3 測定を実施した。受動条件では、高遂行群と低遂行群で P3 振幅・潜時ともに同等であった。このことより、実行機能の優劣は、刺激の主観的な受容に影響を及ぼさないことが示された。一方、能動条件では、高遂行群における P3 振幅が前頭優位に減衰する傾向がみられたが、このことは P3 前後に出現した陰性シフトによると考えられた。以上のことから、知的障害児における実行機能の優劣は、P3 の課題関連性変動に影響を及ぼさないが、P3 に重畳する陰性シフトとして出現する可能性が推察された。

Key Words : 知的障害、作動記憶、事象関連電位、P3、処理陰性電位

I. はじめに

知的障害を有する人々は、課題を実行する際に、適切な方略を自発的使用しないこと、あるいは課題にとって不適切な刺激を抑制することができずそれにより課題遂行が妨害され易いことが指摘されている (e.g., Bebko & Luhaorg, 1998; 松村, 1989)。課題を適切かつ効率的に遂行するためには、課題の要請すなわち外的に導入された行為基準に従い、自らの行動系を調節することが必須となる。それと同時に、課題とは関連しない刺激や反応を抑制し、自らの遂行結果が課題の要請に適合しているか否かをモニターすることが必要となる。これらの心的機能(群)は、最近の認知科学とりわけ作動記憶理論において中央実行系あるいは実行機能という概念で総称されており (Miyake & Shah, 1999; Rabbitt, 1997), 認知神経科学の領域においては前頭前野が強く関与していることが指摘されている (e.g., Swick & Knight, 1998)。

事象関連電位 (ERP) の P3 (P300) 成分は、典型的には、出現頻度の異なる二種類の刺激により構成された刺激系列の呈示下において、弁

別課題の標的とされた低頻度刺激に対し頂点潜時約 300 ms で出現する陽性成分である (加我・古賀・大澤・平松, 1995; Picton, 1992)。これまでの研究より、P3 成分は、注意および記憶機能と密接に関連しており、作動記憶における情報の維持と更新を反映していると考えられている (e.g., Polich, 1998, 2000)。P3 成分に影響する主要な要因の一つに、刺激の課題関連性がある。最近の研究より、低頻度刺激に対し標的として弁別反応を要求しない受動条件においても、P3 成分が出現することが認められている。惠羅ら (惠羅・宮島, 2000; 宮島・惠羅, 1999) は、同一の刺激呈示事態において受動条件ならびに能動条件の ERP を測定し、両条件でもともに明瞭かつ類似した P3 波形が出現することを認めた。ただし、受動条件の P3 は、能動条件に比べて低振幅であった。これらの結果は、受動条件と能動条件における P3 振幅の差が、課題関連性の要因を強く反映していることを示唆するものである。このことより、受動条件と能動条件の P3 を比較することで、課題の導入により駆動される実行系の働きを評価することが可能であると考えられる。

本研究では、知的障害児の実行機能と P3 の

課題関連性変動との関係について検討することを目的とした。知的障害養護学校高等部に在籍する生徒を対象として、実行機能を反映する指標として語想起課題を実施した。語想起課題とは、ある属性を共有する単語を限られた時間内で可能な限り多く再生するという単語検索課題である。効率的な検索方略の使用が遂行成績の優劣を左右することから実行機能を反映し、神経心理学的には前頭葉機能を反映する課題として知られている (e.g., 恵羅, 1992; Spreen & Strauss, 1998)。遂行成績の高低により2つの群を抽出し、受動条件と能動条件で惹起された P3 について群間比較を行った。受動条件の P3 については、高遂行者と低遂行者で同等の P3 が惹起されることが期待された。一方、課題が付加された能動条件の P3 では、低遂行者に比べて高遂行者で P3 が高振幅とすることが期待された。

II. 方 法

対象者

知的障害養護学校の高等部に在籍する生徒 77 名に対して、語想起課題と ERP 測定を個別に実施した。語想起課題では、音韻手がかりとして「か」と「ぬ」、意味手がかりとして「魚」と「国」、以上合わせて 4 試行を実施した。1 試行あたりの遂行時間は、1 分間とした。手がかりは口頭による聴覚呈示とし、可能な限り多くの単語を報告するよう強調して教示した。対象者の反応は、口頭再生とした。手がかりの呈示順序は、音韻手がかりから意味手がかりへの固定順とした。

語想起課題と脳波測定の両方がともに実施可能であった 58 名のなかから、語想起課題における誤反応を除く再生単語数の 4 試行合計を指標として、その高低により 2 つの群を構成

した。合計再生数が 27 項目以上の対象者を高遂行群 (以下、High 群とする)、20 項目以下の対象者を低遂行群 (Low 群) とした。なお、High 群と Low 群の知能レベルを同等にするため、群間で IQ 値のマッチングを行った。両群の語想起課題の成績と IQ 値は、Table 1 に示した通りである。

記録条件

ERP 測定には銀-塩化銀皿電極を用いた。国際式 10-20 法に基づき、正中線上の Fz/Cz/Pz を記録電極位置とし、両乳様突起部の電極連結を基準電極とした。Fpz に接地電極を設置した。電極間抵抗は、いずれも 5kΩ 以下とした。遮蔽周波数は、0.5-30 Hz (-3 dB, 12 dB octave/slope) に設定した。瞬目ならびに眼球運動によるアーティファクトを検出するため、右眼の外眼角外側および眼窩上側に電極を設置し、眼球電図を双極誘導した。脳波ならびに眼球電図は磁気テープに記録した。

手続き

検査に先立ち、対象者に対して検査内容について説明し、同意を得た。

検査は、養護学校内の比較的静かな教室で実施した。対象者は、教室内に設置した机に面し、椅子に着席した。音刺激が呈示されている間は、机上に設置された凝視点にできるだけ視線を固定するように教示した。

実験は、聴覚オドボール・パラダイムで実施した。低頻度刺激 (偏倚刺激) の出現確率は 10%、高頻度刺激 (標準刺激) は 90% とし、呈示順序はランダムとした。ただし、刺激呈示開始直後の 10 刺激については、標準刺激が呈示された。刺激は、70 dB nHL の音圧で、1.5 s に 1 回の割合でヘッドホーンにより両耳呈示された。偏倚刺激として 3000 Hz、標準刺激として 500 Hz のバースト音 (いずれも 10 ms rise/fall, 50 ms duration) を使用した。

課題条件として、いずれの刺激音に対しても反応を要求しない受動条件と、偏倚刺激に対して反応を要求する能動条件を設定した。受動条件では、対象者に対して、呈示される音刺激系列については聞き流し、凝視点からできるだけ目を離さないことに注意するよう教示した。受動条件の終了後、親指でボタン押しをするスイッチを対象者の利き手に持たせた。能動条件で

Table 1 語想起課題における高遂行群 (High 群) と低遂行群 (Low 群) の概要

| | High 群 | Low 群 |
|------------|------------|--------------------------|
| 人数 (女/男) | 12(2/10) | 11(4/7) |
| IQ (SD) | 52.7(14.7) | 46.5(10.6) ¹⁾ |
| 語想起課題 | | |
| 平均再生数 (SD) | 32.2(3.7) | 14.1(5.2) ²⁾ |
| 範囲 | 27-38 | 6-20 |

1) $t(21)=1.14$, n.s.

2) $t(21)=9.63$, $p < .001$

は、ときどき出現する低い音（偏倚刺激）に対してボタンを正確に押すように教示した。

課題条件の実施順序は、能動条件における刺激評価が受動条件に影響を及ぼすことを避けるため、受動条件の後に能動条件を実施する固定順とした。課題条件間で、数分間の休憩期間を設けた。各課題条件内では、設定した加算回数（25回）に到達するまで連続して刺激呈示を行った。各課題の実施時間は、7-10分間であった。

分析

データは、全てオンラインで処理した。脳波ならびに眼球電図の分析時間は、刺激呈示前200msから刺激開始後800msまでとし、サンプリング間隔2msでA/D変換を行った。脳波上あるいは眼球電図上で $\pm 100\mu\text{V}$ 以上の電位変動を認めた試行については、自動的に分析から除外した。課題条件ごとに偏倚刺激と標準刺激それぞれについて25回加算を行い、刺激呈示前200msから刺激点までの平均電位を基線として、刺激開始後250-450ms区間に認められた最大陽性頂点をP3とした。対象者ごとにP3の頂点潜時と振幅値を計測した。被験者内要因配置による分散分析における第1種の過誤を統制するために、Greenhouse-Geisserの ϵ による自由度の修正を適用した。

Ⅲ. 結 果

全ての対象者は、能動条件においてスイッチ押し反応を正確に実行した。

各課題条件、各刺激、各電極位置における群別の総加算平均波形をFig. 1に示す。課題の有無にかかわらず、High群とLow群ともに偏倚刺激に対してP3が頭頂部優位に惹起された。High群とLow群の波形は、全体的には、類似しているといえる。しかしながら、High群における能動条件の偏倚刺激に対する波形が、他の波形と比較して、刺激呈示後の100msから500msの時間帯で陰性方向にシフトするという特徴がみられた。標準刺激により惹起された波形については、いずれの条件および電極位置においても目立った群間差はみられなかった。

P3 振幅

偏倚刺激によって惹起されたP3の平均頂点

振幅をFig. 2に示す。能動条件のFzとCzにおいてLow群の振幅値がHigh群よりも高かった。P3頂点振幅値について、群（High群/Low群）×課題（受動条件/能動条件）×電極位置（Fz/Cz/Pz）の3要因分散分析を行った。群のみが被験者間要因である。分析の結果、電極位置の主効果ならびに課題と電極位置の交互作用が有意であった（ $F(2,42)=10.78, e=.723, p<.001; F(2,42)=3.97, e=.724, p=.041$ ）。課題と電極位置の交互作用に有意差が認められたので、各振幅値に対してベクトル変換による標準化（McCarthy & Wood, 1985）を行い、上記と同じ3要因分散分析を実施した。その結果、課題と電極位置の交互作用は有意であった（ $F(2,42)=5.17, p=.010$ ）。

P3 潜時

偏倚刺激によって惹起されたP3の平均頂点潜時をFig. 2に示す。P3頂点潜時について、振幅と同様の3要因分散分析を行った結果、いずれの主効果および交互作用も有意差を認めなかった（ $ps>.10$ ）。

課題による差波形

結果の冒頭で述べたように、High群では、能動条件における偏倚刺激に対するERP波形が受動条件の波形に比べて陰性方向へシフトしていた（Fig. 1）。一方Low群では、課題条件間の差はほとんどみられない。またFig. 2で明らかのように、High群における陰性シフトは、Fz部位で顕著であった。そこで、偏倚刺激に対するERPを対象として、Fz部位における能動条件から受動条件を引いた差波形を群ごとに算出し、課題効果の群間差について検討することにした。

各群のFz部位における差波形をFig. 3に示した。差波形上、High群では刺激呈示後240msで緩やかな頂点を形成する陰性成分がみられた。この潜時は、High群の能動条件におけるN2頂点潜時（228ms）にほぼ該当するものである。一方Low群では、刺激呈示後148msを頂点とする陽性成分がみられた。両波形のデータポイントごとの振幅値についてt検定を実施した結果、潜時90-114msと170-196msの2つの時間帯において10%水準で有意傾向が認められた。

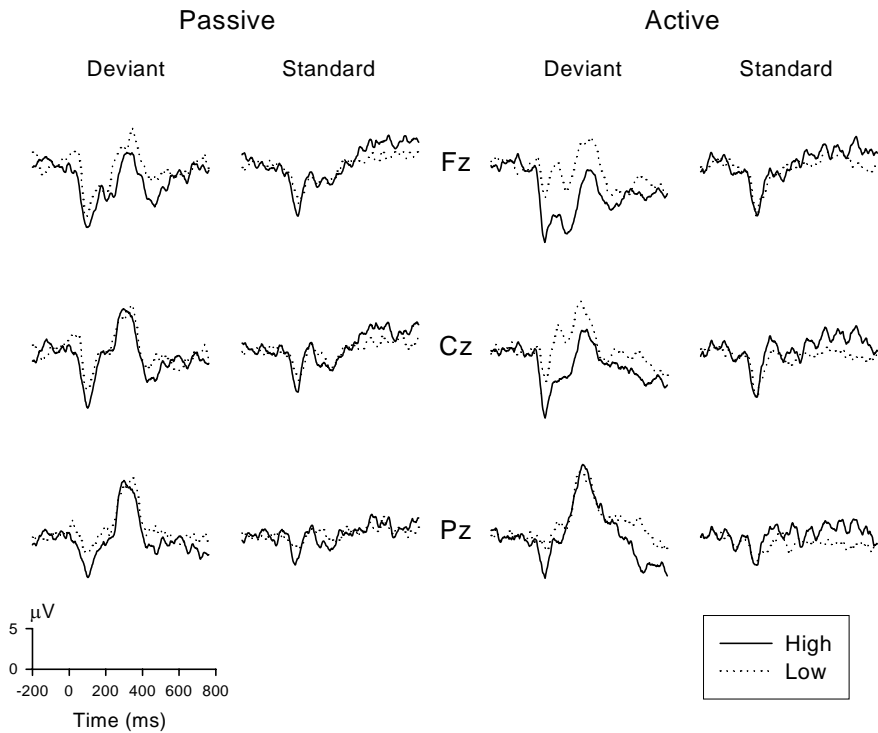


Fig. 1 語想起課題の高遂行群(High)と低遂行群(Low)における偏倚刺激(Deviant)と標準刺激(Standard)に対する受動条件(Passive)ならびに能動条件(Active)のERP波形

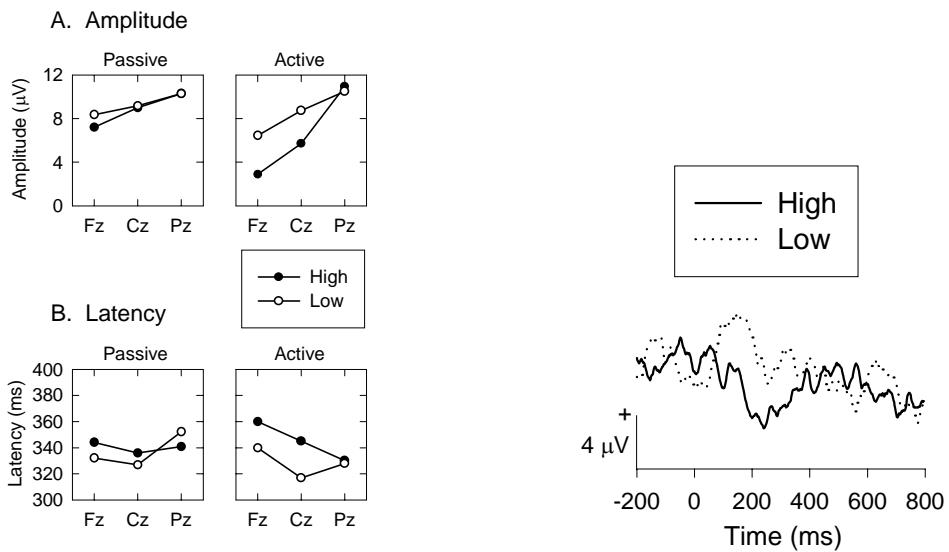


Fig. 2 語想起課題の高遂行群(High)と低遂行群(Low)における受動条件(Passive)ならびに能動条件(Active)のP3振幅(Amplitude)と潜時(Latency)

Fig. 3 語想起課題の高遂行群(High)と低遂行群(Low)のFzにおける差波形

IV. 考 察

本研究では、知的障害児における実行機能の優劣と P3 の課題関連性変動との関係について注目した。受動条件と能動条件で惹起された P3 について、語想起課題における遂行成績の高低により構成された 2 群の群間比較を行った。

受動条件の P3 については、事前の予想と一致して、語想起課題の High 群と Low 群で P3 振幅・潜時ともに有意差を認めなかった。このことは、課題が付されていない状況における外的刺激の主観的な受容については、実行機能の優劣は影響を及ぼさないことを示唆するものである。

課題が導入された能動条件の P3 では、Low 群に比べて High 群の P3 が高振幅であることが期待された。結果はこれに反し、振幅・潜時ともに群間に有意差を認めなかった。Fig. 1 ならびに Fig. 2 にみられるように、能動条件における偏倚刺激に対する P3 振幅は、頭頂部位では両群ともほぼ同等であるが、前頭部位では High 群の振幅値がより減衰するという予想とは逆の傾向がみられた。しかしながら、このような傾向は、P3 そのものの振る舞いによるものではなく、High 群において P3 頂点前後の幅広い時間帯において出現した陰性シフトによるものと考えられる。

そこで、課題による差波形について群間比較を行った結果、High 群では 240 ms で頂点を形成する陰性シフトが、Low 群では 148 ms を頂点とする陽性シフトが認められた。統計的には 10% の有意水準であったが、N1 から P3 の時間帯でみられた差異より、偏倚刺激に対する課題効果が群間で異なる可能性が認められた。このことより、偏倚刺激への反応が導入される課題場面において、実行系の駆動のあり方が群間で異なることが推察されるが、確かな証拠を示すには更なる研究が必要である。

従来の研究より、P3 に対して時間的に先行あるいは重畳して幾つかの陰性成分が出現することが知られている (投石, 1995)。なかでも processing negativity の前頭部成分は、時間的には P3 とほぼ同時間帯で出現するといわれている (Hansen & Hillyard, 1980)。Pelosi, Holly, Slade, Hayward, Barrett, and Blumhardt (1992) は、健常成人を対象にして IQ 値の高低による 2 群を構成し、Sternberg 課題による P3 測定を実施した。その結果、IQ

値が高い群でより陰性方向にシフトした波形が惹起された。Pelosi らは、この陰性シフトについて、Nd (Hansen & Hillyard, 1980) や processing negativity といった選択的注意に関わる陰性成分との類似性を指摘し、知的に高いの方が課題に関わる聴覚刺激に対して注意をより強く集中させることができると推察した。本研究における陰性シフトについても、これに類似した解釈が可能である。実行機能の優れた者の方が、課題に関連した刺激に対してより注意を集中していた、言い換えれば、より多くの資源を配分していた可能性が考えられる。ただし、Pelosi らとは異なり、本研究における 2 群の IQ 値の差は、統計的に有意ではない。それゆえ、本研究における群間差は、Pelosi らが指摘するような IQ 値の差を反映するものではない。知能検査における下位検査の多くは、その課題遂行において本来に実行機能が強く関与するものであることから、知能と実行機能の関係は相互排他的ではないという点に留意しなくてはならない。それゆえ、Pelosi らの研究における IQ の差は、実行機能の差を反映していた可能性が考えられる。

まとめると、知的障害児における実行機能の優劣は、能動条件の P3 に影響を及ぼさないが、その前後の幅広い時間帯における陰性シフトとして出現する可能性が推察された。このような差異は、課題の導入により実行系が駆動される条件下で出現するが、課題を伴わない状況では出現しないことが明らかになった。ただし、個人差が大きく、統計的に明確な有意差を得られなかったことから、対象者数や実行機能課題の選択をさらに考慮した検討が必要であると考える。実行機能は、単一のものではなく、分離可能な幾つかの機能からなる複合機能系であるといわれている (e.g., Lehto, 1996)。それゆえ、本研究では実行機能課題として語想起課題を使用した。語想起課題の結果のみから P3 が実行機能の差を反映しないと結論づけることはできない。語想起課題は実行機能課題のなかで例外的に P3 との関連性が低い課題であるという可能性も考えられる。この点に関しては、複数の実行機能課題による比較研究が必要である。

文献

- 1) Bebko, J. M., & Luhaorg, H. (1998) The development of strategy use and

- metacognitive processing in mental retardation: Some sources of difficulty. In J. A. Burack, R. M. Hodapp & E. Zigler (Eds.), *Handbook of mental retardation and development*. Cambridge: Cambridge University Press; pp.382-407.
- 2) 惠羅修吉 (1992) 語想起課題における記憶検索過程：神経心理学的，精神薬理学的，および精神生理学的研究からの示唆. 北海道大学教育学部紀要, 59, 69-84.
 - 3) 惠羅修吉・宮島ひろみ (2000) 受動的な聴覚オドボール・パラダイムにおける P3：低頻度刺激の出現確率 10%における検討. 生理心理学と精神生理学, 18, 257-263.
 - 4) Hansen, J. C., & Hillyard, S. A. (1980) Endogenous brain potentials associated with selective auditory attention. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 49, 277-290.
 - 5) 加我君孝・古賀良彦・大澤美貴雄・平松謙一 (1995) 事象関連電位(ERP)マニュアル：P300を中心に. 篠原出版.
 - 6) Lehto, J. (1996) Are executive function tests dependent on working memory capacity? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A, 51-79.
 - 7) McCarthy, G., & Wood, C. C. (1985) Scalp distribution of event-related potentials: An ambiguity associated with analysis of variance models. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 62, 203-208.
 - 8) 松村多美恵 (1989) 精神発達遅滞児・者における記憶. 特殊教育学研究, 27(2), 83-96.
 - 9) 宮島ひろみ・惠羅修吉 (1999) 受動的な聴覚オドボール・パラダイムにおける P3 の出現要因：質的に異なる2種類の音を用いた検討. 生理心理学と精神生理学, 17, 1-8.
 - 10) Miyake, A., & Shah, P. (Eds.) (1999) *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge: Cambridge University Press.
 - 11) Näätänen, R., & Alho, K. (1995) Event-related potentials in human selective attention research. In F. Boller & J. Grafman (Eds.), *Handbook of Neuropsychology*, Vol. 10. Elsevier Science B.V.: Amsterdam; pp.75-104.
 - 12) 投石保広 (1995) N2: MMN, N2b, NA. In 加我君孝・古賀良彦・大澤美貴雄・平松謙一 (1995) 事象関連電位(ERP)マニュアル：P300を中心に. 篠原出版; pp.287-297
 - 13) Pelosi, L., Holly, M., Slade, T., Hayward, M., Barrett, G., & Blumhardt, L. D. (1992) Event-related potential (ERP) correlates of performance of intelligence tests. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 84, 515-520.
 - 14) Picton, T. W. (1992) The P300 wave of the human event-related potential. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 9, 456-479.
 - 15) Polich, J. (1998) P300 clinical utility and control of variability. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 15, 14-33.
 - 16) Polich, J. (2000) P300 as a clinical assay: Rationale, evaluation, and findings. *International Journal of Psychophysiology*, 38, 3-19.
 - 17) Rabbitt, P. Ed. (1997) *Methodology of frontal lobe and executive function*. Psychology Press: East Sussex.
 - 18) Spreen, O., & Strauss, E. (1998) *A compendium of neuro-psychological tests: Administration, norms, and commentary*. 2nd ed. New York: Oxford University Press.
 - 19) Swick, D., & Knight, R. T. (1998) Cortical lesions and attention. In R. Parasuraman (Ed.), *The attentive brain*. Cambridge, MA: The MIT Press; pp.143-162.