

①

主論文

脳と発達 1995 ; 27 : 276—281

視覚情報処理機能の発達と P 300 の
加齢変化の過程

柳 原 正 文

岡山大学教育学部特殊教育教室

発行所 株式会社 診断と治療社

= 原 著 論 文 =

視覚情報処理機能の発達と P 300 の加齢変化
の過程

柳 原 正 文

要旨 5~25歳の健常児・者72名を対象に、三種の弁別課題条件下で P 300 潜時の加齢変化の過程を比較した。P 300 潜時は14歳頃までに急速な短縮を示したが、その短縮速度は課題間で異なっていた。5~14歳の年間平均短縮速度は、単語弁別の左右鉤押し反応を求めた場合17ms、go-no go 反応では16msであったのに対し、色弁別の左右選択反応課題では28msであった。潜時がもっとも短縮する年齢を二次回帰式から予測すると、単語課題が26歳(28歳)に対し、色課題では19歳と5年以上の開きが認められた。加齢に伴う潜時の変化は提示課題によって異なることを指摘するとともに、この変化には刺激処理機構の発達が表現されることを考察した。

見出し語 事象関連電位, P 300, 加齢変化, 発達診断

はじめに

P 300 は、外部刺激そのものに対する刺激束縛的(stimulus-bound)な応答ではなく、刺激の認知情報処理の活動を捉えたものとされている。このため、痴呆や分裂病など高次中枢機能障害の診断に際してこの電位を利用した研究も多い。しかし、発達途上の小児を対象として P 300 に診断的意義をもたせるには、加齢による電位変化の標準過程を予め明らかにしておく必要がある。

小児期における P 300 の加齢変化を採った研究^{1)~3)}では、5歳以降加齢に伴い潜時の急速な短縮がみられ¹⁾、思春期を過ぎると成人の水準に達する^{2)~3)}ことが指摘されている。

ところが、報告された諸成績を比較すると、同一年齢であっても P 300 潜時に大きな相違が観察され、これを回帰分析を用いて推定すると年齢によって最大 200 ms の相違になる。この電位成分が特

定の情報処理ステージの活動によって出現するとの前提に立つと、報告者間の成績の違いには、使用された刺激の種類や課題内容等の違いが働いているものと予想される。したがって、P 300 の加齢変化を論ずる場合それが記録条件によってどのように変化するかという点を明らかにしておく必要がある。

本研究の目的は、こうした観点から、記録条件の相違に伴う変動を個人内で観察することを通じて、P 300 潜時の加齢変化を組織的に検討することである。あわせて、この電位活動の発達診断への利用の可能性についても言及することにした。

I 対象および方法

対象 対象は、5~25歳の健康な小児ならびに成人72名である。いずれも学業成績や社会生活上に問題点を認めず、脳波の基礎律動に異常のないことを基準に選択しており、以下に示す課題条件のすべてを実施し得た者である。

実験計画 実験課題は視覚提示される三種の弁別課題から構成されている。単語 a 課題(以下単語 a)は「はる」または「ふゆ」の語をランダム提示し、刺激に対応する左右の鉤押し応答を求めたものである。単語 b 課題(以下単語 b)は、単語 a と同様の刺激を提示するが、特定刺激にのみ鉤押し応答を求め、他の刺激に

は鉤押しを課さない。色課題(以下色)は赤円または白円に対して対応する鉤押しを求めるものである。

これらの課題は共通の処理ステージから構成されている。現前の刺激が何であるかを検出する「刺激判断」と、判断された刺激に対してどのような応答を行うかを選択する「反応決定」のステージである。単語 a と単語 b とは、反応決定ステージにおける負荷の程度が操作されており、後者の課題の反応の方が速いと予想できる。他方、単語 a と色の間では、刺激判断ステージでの処理時間において後者の反応が速くなるはずである。色は比較的簡単な視覚符号変換ですむのに対し、単語の場合には視覚符号から音韻符号(意味符号)への再変換を要するからである。

実施手続 実験は理解の容易さを考慮して色、単語 a、単語 b の順に進めたが、刺激内容と鉤位置との対応関係については被験者間でカウンタバランスをとった。いずれの課題についても10試行前後の練習試行を行って課題内容の理解を促した後、各100試行を実施した。なお、2つの刺激の提示確率はそれぞれ0.3と0.7として、P 300を確認しやすいようにしたが、今回分析対象としたのは低頻度刺激である。

刺激の提示ならびに反応時間(reaction time, RT)の記録はパソコン(NEC製PC-9801RA)で制御した。刺激は被験者の反応が生ずるまで持続提示し、試行間隔は1.5~1.7sとした。反応時間は1msの精度で計測している。

P 300 の記録と分析 誘発電位は、10-20法にしたがい Cz から両耳朶連結を基準電極として、日本電気三栄製 1 A52 を用いて時定数 1.5 s で増幅した。これを一旦データレコーダ(SONY製FE-35A)に磁気記録した後、瞬目反応の混入が明らかな試行を除外して、日本電気三栄製 7 T07 A を介して加算平均を行った。加算回数は原則的に30回とし、分析時間は刺激前128msを含む1,024ms、サンプリング間隔2msとした。

P 300 頂点潜時の同定に際しては、刺激後250~700msの区間の最大陽性点⁴⁾をとることにした。ただし、二峰性頂点を示す場合には、その性状に基づいて二種の計測法を採った。すなわち、2つの頂点が150ms以内の場合にはスロープを外挿する方法⁵⁾をとり、頂点間距離が150msを上回る場合はより急峻な頂点を計測するようにした¹⁰⁾。

II 結 果

1. 課題別にみた反応時間(RT)と誤反応

図1は加齢に伴う RT と誤反応率の変化を課題別に比較したものである。年齢は2歳刻みで集計している。RTは、いずれの課題についても5歳から14歳までに急速な短縮を示し、それ以降20歳前後まで短縮傾向が持続していた。RTをY、月齢をXとした時の回帰式は、単語 a : $Y = 0.0097 X^2 - 4.8789 X + 1014.6718$ 、単語 b : $Y = 0.0103 X^2 - 5.0105 X +$

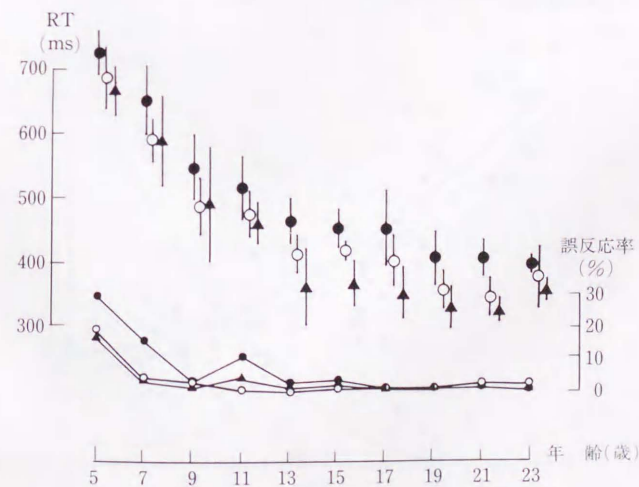


図1 反応時間(RT)および誤反応率の加齢変化

●は単語 a, ○は単語 b, ▲は色の課題を示す。横軸年齢は2歳刻みで表わしており、5~6歳を5歳と表記している。

RTは単語 a、単語 b、色の順に延長するが、加齢に伴い急速に短縮し、15歳頃にはほぼ成人の水準に達する点は共通する。誤反応は単語 a に多く、RTの発達に伴い減少し15歳頃にはほとんど消失する。

岡山大学教育学部特殊教育教室

連絡先 〒700 岡山市津島中3-1-1

岡山大学教育学部特殊教育教室(柳原正文)

(受付日:1994. 12. 15, 受理日:1995. 2. 23)

967.3362, 色: $Y = 0.0135 X^2 - 6.2632 X + 1043.6291$ であった。なお、RTの加齢変化を直線性を前提にして分散分析を行ったところ年齢の主効果が認められた ($F(9,62) = 47.972, p < 0.01$)。

課題操作の効果を確認するため課題別のRTを比較したところ、課題の主効果が認められ ($F(2,124) = 92.693, p < 0.01$)、単語a、単語b、色の順にRTの遅延がみられた。課題と年齢との間に交互作用が認められない ($F(18,124) = 1.112, p > 0.05$)ことから、課題間のRTの差はすべての年齢区間にみられる傾向といえる。時間差を平均値でみると、単語aと単語bの差は約50ms、単語aと色との差は約75msであり、課題の操作が予想通りに作用してい

ることが確認された。

一方、誤反応率の低下とRTの短縮とは関連しており、14歳以降の誤反応率はほとんど皆無に近かった。課題別に見て誤反応率がもっとも高かったのは単語aであり、エラーが刺激判断と反応決定のステージの負荷が大きくなると生じやすいことが明らかにされた。

2. 課題別にみたP300潜時とその加齢変化

対象全例にP300が認められた。図2に記録したP300の例を示す。

単語aと単語bについてP300潜時の加齢変化を比較したのが図3である。Akaike Information Criterion (AIC)¹³⁾を適用した結果、P300の年齢へ

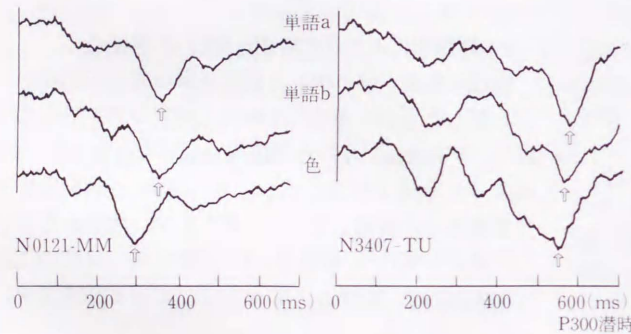


図2 P300の記録例

上から順に単語a、単語b、色課題の記録を示す。左は21歳、右は7歳の事例。21歳例は課題によって頂点潜時が明らかに変化する。導出部位はCz。

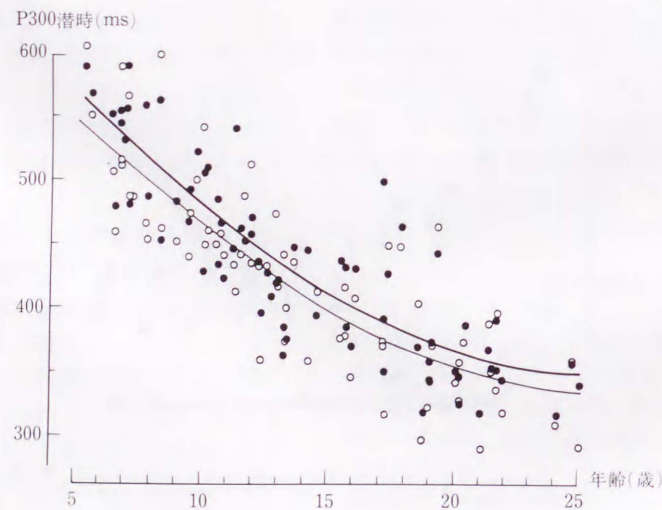


図3 単語課題におけるP300潜時の加齢変化

●は単語a、○は単語b課題を示し、潜時の年齢への回帰をそれぞれ太線、細線で表わしている。回帰式は本文に記載。加齢に伴って潜時は二次関数で短縮するが、成人段階においてもこの短縮傾向は続く。2つの課題の間に短縮傾向の違いはない。潜時と年齢の相関比は単語aが0.863、単語bが0.821。

の回帰はいずれも有意に二次回帰式をとることが確認された。P300をY、月齢をXとした時の回帰式は、単語aの場合 $Y = 0.0034 X^2 - 2.1752 X + 693.5234$ 、単語bは $Y = 0.0029 X^2 - 1.9687 X + 662.0163$ で表現される。

これらの回帰式を比較すると、単語aの潜時が単語bよりも20ms程度遅延しているが、回帰の標準推定誤差(単語a、bそれぞれ37ms、44ms)を考慮すると、2つの回帰には差はないとみた方がよい。P300の短縮の著しい5~14歳の区間について、1年当りの短縮率を推定すると単語a 17ms、単語b 16msと同程度であった。また、この短縮傾向が消失し潜時がもっとも短縮する年齢(最短縮年齢)は、回帰式の導関数からそれぞれ26歳、28歳と予測できた。

なお、P300潜時とRTとの相関係数は、単語aの場合0.867、単語bで0.826と有意な相関関係を認め ($p < 0.001$)、P300が反応に先行して出現するという時間関係を示した(P300をY、RTをXとした時、単語aは $Y = 0.629 X + 113.986$ 、単語bは $Y = 0.625 X + 133.004$)。

色におけるP300潜時の加齢変化を示したものが図4である。単語でみたのと同様に回帰は二次式で表現されるが、この課題では加齢に伴う短縮傾向が著しい。課題別に得られた回帰について共分散分析

を行った結果、色の短縮率が有意に大きいことが確認された ($F(2,212) = 18.417, p < 0.01$)。色の回帰式は $Y = 0.0094 X^2 - 4.4006 X + 828.3180$ で表現され、この場合、5~14歳までの年間当りの短縮時間は28ms、最短縮年齢は19歳であった。これはP300短縮率が単語の2倍近いことを示すとともに、最短縮年齢についても単語より5年以上早いことを表わす。P300潜時とRTとの相関係数は0.844であり、RTに先行してP300が出現するという時間関係は単語の場合と同様である ($Y = 0.749 X + 71.680$)。

III 考 察

P300潜時の加齢変化の機序を明らかにする目的で三種の課題を設定した。課題が共通に含まれる処理ステージを刺激弁別→反応決定に大別し、P300がいずれのステージの処理に関わっているかをみるためにRTを記録した。

RTは刺激から応答までの所要時間を表わすものであり、この変化を通じて情報処理系機能の診断が可能である¹⁴⁾。単語aと単語bは刺激が共通で応答の形式が異なっている。このため、両課題の間にRTの差が認められるとすれば、その時間差は反応決定ステージにおける消費時間の違いに起因したものと見える。また、単語aと色は刺激が異なり反応

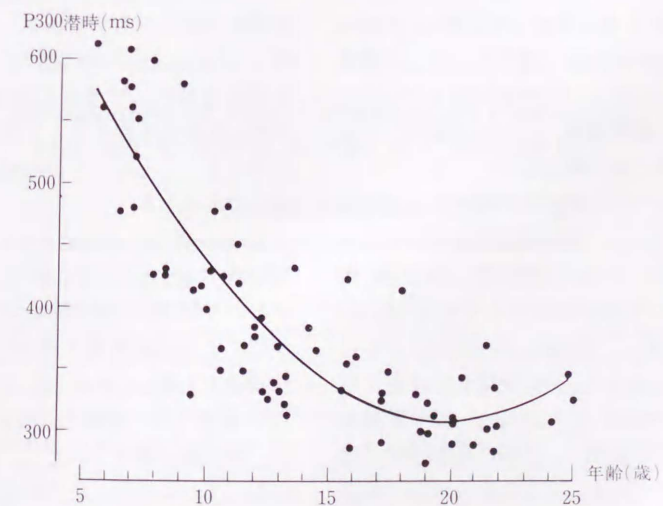


図4 色課題におけるP300潜時の加齢変化

P300潜時は15歳まで年間28msの速度で短縮し、19歳でもっとも短縮する。図3の単語課題に比較して短縮速度が大きいこと、青年期には安定することが特徴である。潜時と年齢の相関比は0.865。

表1 P 300 潜時の加齢変化に関する文献成績

報告者	対象	刺激	課題	部位	潜時*1	最短縮*2	短縮率*3
Martinら(1988)	6~23歳 59名	音刺激	計数	Cz	370 ms	17歳	21 ms
Goodinら(1978)	6~25歳 18名	音刺激	計数	Cz	352 ms	18歳	15 ms
佐藤ら(1986)	6~14歳 19名	音刺激	計数	Cz	344 ms	14歳	17 ms
榎(1990)	5~21歳 111名	音刺激	計数	Cz	360 ms	16歳	10 ms
Finleyら(1985)	5~17歳 39名	音刺激	計数	Pz	313 ms	-*4	8 ms
Fuchigamiら(1993)	4~21歳 175名	音刺激	釘押し	?	378 ms	20歳	9 ms
Johnson(1989)	7~20歳 39名	音刺激	釘押し	Pz	467 ms	17歳	41 ms
Johnson(1989)	7~20歳 39名	図形刺激	釘押し	Pz	487 ms	17歳	24 ms
Mullisら(1985)	8~25歳 56名	単語刺激	釘押し	Pz	518 ms	26歳	9 ms

*1 10歳時の予測値, *2 最短縮年齢, *3 5~14歳の区間についての平均年間短縮速度, *4 推定不能

形式は共通であるため、両者のRTの比較を通じて刺激判断ステージにおける消費時間の違いを知ることができる。

単語aと単語bの間にみられた時間差は平均50msであった。これは、特定刺激にのみ反応を起こすgo-no go反応よりも左右の釘押し反応の方が困難であったことを示す。一方、単語aと色との差は75msであり、色刺激に比較して単語刺激の方が刺激判断ステージの所要時間が延長したことを意味する。

P 300 頂点潜時はこのRTと高い相関関係を示すだけでなく、時間的に釘押し応答に先行することも明らかになった。単語aと単語bの潜時の間には20ms程度の差が認められたが、回帰の推定誤差の範囲内にすぎなかった。これに対して、単語aと色との間には明らかな差が認められ、特に10歳以降では潜時の差は50~80msに達した。以上の事実から、P 300 潜時には主として刺激判断ステージに対応した処理操作(符号変換、方法の項参照)の情報が表現されていると考えることができる。

こうした観点にたつて、潜時の加齢変化を課題間で比較することにしたい。潜時の加齢変化がもっとも顕著だったのは色である。5歳時点でのP 300 潜時の予測値は、2つの単語課題がいずれも560ms前後であったのに対し、色課題は約600msともっとも延長していた。しかし、10歳時点では逆に単語(470ms前後)の方が色(430ms)よりも潜時が延長していた。この逆転は、潜時の短縮速度の違いに基づいて起こっている。すなわち、単語の短縮速度は年間16ms、17msであったのに対し、色課題では28msと2倍近い短縮速度を示していた。これは、刺激が色の場合の弁別は、単語と比較して、

加齢に伴う潜時の発達が急速なことを示すものである。この結果、色課題における潜時の最短縮年齢は19歳と推定され、色弁別に必要な視覚処理技能の発達はこの時期までに完成されるものと考えられる。これに対して、単語の最短縮年齢は26歳と28歳であり、単語処理の場合には成人段階に達しても引き続き発達が継続することが示唆されている。

刺激内容によってP 300 潜時の加齢変化の過程に違いが生ずる事実については、図形と音刺激を比較したJohnsonの報告⁹⁾があるのみである。しかし、彼はこれを感じ覚系に起因するものとみて、認知過程との関連は論じていない。今回は、同じ視覚刺激として提示した単語と色の間で加齢変化の違いが観察されており、感覚系の問題では説明がつかない。

表1は、P 300 潜時の加齢変化を扱った諸研究の成績を比較したものである。潜時に関する数値は、榎¹⁾、Fuchigamiら²⁾を除いて、掲載データから二次回帰式を算出して予測値を求めた。10歳の時点でP 300 潜時を推定すると、313msから518msまで分布するとともに、その短縮速度や最短縮年齢にもばらつきがある。

これらのうち音刺激を用いた研究は、10歳の推定潜時が400ms以内であり、最短縮年齢も20歳までという共通点が認められる。色課題に比較的性質が似ている図形刺激の場合³⁾も最短縮年齢に関しては同様である。これに対して、単語を用いたMullisら⁴⁾の研究では、潜時も100ms以上遅延するとともに、最短縮年齢が26歳と、今回の成績と酷似している。これは単語と色課題の間にみられた潜時の加齢変化の違いが、刺激判断の処理の違いに基づくというモデルを支持するものである。

以上のことから、P 300 潜時には刺激判断に関わ

る認知活動が表現されること、したがって刺激内容のいかんによって加齢による潜時変化の過程が異なることが明らかにされた。ただし、単語における潜時発達が成人期以降まで継続する事実については、これが言語処理機能の発達の特異性によるのか否かは今後の検討に待たねばならない。しかし、5~6歳の低年齢では潜時に課題間の差がみられない事実は、単語も色も同じ視覚符号として扱っていることを示唆しており、言語処理機能がこうした加齢変化に参与している可能性は高い。この点を確認するには、複雑図形を用いて潜時延長をもたらす課題の中で、単語の場合と同じ加齢変化が観察できるかどうかを検討する必要がある。

本論文は岡山大学医学部第一生理学教室の堀 泰雄教授にご校閲を賜った。記して謝意を表す。

要旨は第36回日本小児神経学会(1994年、東京)において発表した。

文 献

- 榎 日出夫. 事象関連電位P 300の発達および加齢に伴う変動に関する研究. 脳波と筋電図 1990; 18: 60-7.
- Goodin D, Squires K, Henderson B, Starr A. Age-related variations in evoked potentials to auditory stimuli in normal human subjects. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1978; 44: 447-58.
- Johnson Jr R. Developmental evidence for modality-dependent P300 generators: a normative study. *Psychophysiology* 1989; 26: 651-67.
- Martin L, Barajas J, Fernández R. Auditory P3 development in childhood. *Scand Audiol Suppl* 1988; 30: 105-9.
- Mullis R, Holcomb P, Diner B, Dykman R. The effects of aging on the P3 component of the visual event-related potential. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1985; 62: 141-9.
- 佐藤隆美, 澤 立子, 宮尾益知, 清水夏絵, 二瓶一夫, 鴨下重彦. 小児におけるP₃₀₀の検討. 脳と発達 1986; 18: 373-9.
- Courchesne E. Neurophysiological correlates of cognitive development: changes in long-latency event-related potentials from childhood to adulthood. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1978; 45: 468-82.
- Fuchigami T, Okubo O, Fujita Y, Okuni M, Noguchi Y, Yamada T. Auditory event-related potentials and reaction time in children: evaluation of cognitive development. *Dev Med Child Neurol* 1993; 35: 230-7.
- Finley W, Faux S, Hutcheson J, Amstutz L. Long-latency event-related potentials in the evaluation of cognitive function in children. *Neurology* 1985; 35: 323-7.
- 柳原正文, 日笠親績, 西川清方, 高橋和郎. 因子分析を用いた誘発電位成分の同定. 岡山大学教育学部研究集録 1987; 74: 99-105.
- 北川敏男, 編. 情報量統計学. 情報科学講座A-5-4. 東京: 共立出版, 1983.
- Eysenck H.J. *The structure and measurement of intelligence*. New York: Springer, 1980.

Development of Visual Information Processing and Age-Related Changes in P 300 Latency

Masafumi Yanagihara

Faculty of Education, Okayama University, Okayama

P 300 event-related potentials were recorded in 72 normal subjects ranging from 5 to 25 years of age for three visual discrimination tasks. A progressive decrease of P300 latency with curvilinear function was found in all the tasks. However, the age/P300 latency slope from 5 to 14 years was different for two word discrimination tasks and a color discrimination task, -17 ms/y (-16 ms/y) and -28 ms/y respectively. The curvilinear regression equation predicted the shortest latency of P300 to be observed at 26 years (28 years) in word discrimination tasks in contrast to 19 years in a color discrimination task. These results indicated the P300 latency varies depending upon the task type; different tasks require different modes of cognitive information processing. This fact should be taken into account when P300 latency is used for evaluating children's cognitive development.

No To Hattatsu 1995; 27: 276-81