The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	刺激の分類判断における心的表象の研究
Author(s)	入戸野, 宏
Citation	大阪大学, 1998, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3143715
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

博士学位論文

刺激の分類判断における心的表象の研究

－脳生理心理学的アプローチ－

1998 年（平成 10 年）3 月　学位記番号：第 13601 号

大阪大学大学院人間科学研究科行動学専攻

入戸野　宏

目次

Ⅰ. 理論編

Ⅰ-1 判断とは？
Ⅰ-1-1 判断の定義
Ⅰ-1-2 判断の種類

Ⅰ-2 本研究の出発点
Ⅰ-2-1 分類判断と心的表象
Ⅰ-2-2 心的表象とワーキングメモリ
Ⅰ-2-3 脳生理心理学的アプローチ

Ⅰ-3 事象関連電位（ERP）
Ⅰ-3-1 概要
Ⅰ-3-2 心理学における ERP の利用
Ⅰ-3-3 P300
(a)発見の経緯，(b)測定パラダイム
(c)発生源と類似成分，(d)振幅に影響する要因
(e)潜時に影響する要因，(f)機能的意義
(g)指標としての P300 振幅

Ⅰ-4 分類判断と P300
Ⅰ-4-1 感覚刺激の分類判断課題における P300
Ⅰ-4-2 記号刺激の分類判断課題における P300

Ⅱ. 実験編

Ⅱ-1 実験 1
Ⅱ-2 実験 2
Ⅱ-3 実験 3
Ⅱ-4 実験 4

Ⅲ. 総合論議

Ⅲ-1 実験 1－4 のまとめとその解釈
Ⅲ-1-1 P300 振幅の U 字型変化が生じる条件
Ⅲ-1-2 P300 振幅の変化が生じる仕組み
(a)U 字型変化が生じるとき
(b)U 字型変化が生じないとき
Ⅲ-1-3 分類判断における心的表象の構造と性質
(a)心的表象の構造
(b)心的表象の性質

Ⅲ-2 分類判断における心的表象－今後の展望－
Ⅲ-2-1 心的表象の形成過程と ERP
Ⅲ-2-2 心的表象の研究と脳生理心理学

Ⅲ-3 結論

引用文献

謝辞

Ⅰ．理論編

Ⅰ-1 判断とは？

Ⅰ-1-1 判断の定義

判断（judgment）という語は日常生活でもよく使われる．「判断ミス」「判断材料」「政治的判断」などといった表現があるが，その意味は一定でない．心理学においても，判断という語はさまざまな文脈で使われる．*The Penguin Dictionary of Psychology*（Reber, 1995）では，判断について次のように説明されている．

> 判断　1. 一般的には，利用できる材料に基づいて意見を形成したり結論に達したりする過程．またはそのようにして達した意見や結論．2. そのような判断を実行するために働く仮説的な精神能力．この語義は古い著作でしか見られない．3. 論理学では，記号間の関係について文の形で述べたもの．いまでは命題 proposition という語に取って代わられている．4. ある事物，事象，人についての批判的評価．5. 精神物理学では，信号の有無，あるいは他の刺激とくらべたその信号の強度の評価に関する決定．(p. 395-396)

このように判断は多面的なものであり，それを単一の過程とみなすことは難しい．柿崎（1974）は，その著『知覚判断』の冒頭で，次のように判断を定義した．

> 判断は一般的な認知機能の一つの位相であり，一群の事象（一般に〈刺激〉とよばれる）を相互に関連づけ，そのなかの特定の一つの事象をそのような全体のなかに位置づけるという働きに関与している．そして，その最も基本的な役割は，事象の分類（classification）あるいは範疇化（categorization）ということであると考えられる．（p. 1）

別の箇所では，これをもう少しやさしい言葉で次のように表現している．

> 判断とは“これはなになにである”というふうに所与の事物・事象（慣用に従ってこれを〈刺激〉とよぶことにする）に特定のカテゴリーないしクラス名（これを〈反応〉または〈反応カテゴリー〉とよぶ）をあてはめることである．（p. 28）

このように判断を定義した上で，柿崎（1974）は，〈刺激〉と〈反応カテゴリー〉がどのように対応づけられるのかが心理学の問題になると指摘した．彼によれば，刺激や反応カテゴリーは一つ一つ独立に存在するのではなくて，どちらも「それぞれ特定の文脈あるいは母集団のなかからの一つの見本としてのみ判断に関与」するという（p. 29）．分かりにくい表現だが，これを日常生活の例で考えてみよう．

C さんが洋服を買いに行き，ある服を試着したとする．店員に「サイズはいかがですか」と尋ねられて，C さんは「ちょっと小さいわ」と答えた．この場面で，C さんは“サイズの判断”を行っている．このとき，C さんは試着している服のことだけを考えて“ちょっと小さい”と判断したのだろうか？ 柿崎（1974）はそうではないという．このとき直接の判断対象となっているのは“いま試着しているその服”であるが，その服は一着だけ単独に存在するわけではない．それと類似したたくさんの服のなかの一つのサンプル（見本）として存在している．C さんがサイズの判断をしたときは，いま着ている服だけでなく，まだ着ていないが存在するはずの他の服のことも念頭においていたはずである．また，「ちょっと小さい」という答えも，〈大きいーちょうどいいー小さい〉といったサイズに関するいくつかの答えの選択肢の中から選ばれたものである．色や柄についてきかれたら，まったく別の答え方をしただろう. 柿崎の考えでは, いま試着している服に対する C さんの「ちょっと小さい」という判断の背後には，刺激の母集団（試着している服とそれに類似した服の全体）と反応の母集団（その状況で求められているいくつかの言語的選択肢）があって，それらが全体として一つに関連づけられているというのである．このような刺激－反応関係を，実験者の側からみると，Table 1-1 のような個々の判断（f_{ij}）の分布として表現できると柿崎は述べる．「判断とはこのような刺激－反応関係，いいかえれば刺激の系列と反応の系列とを対応させるような一つの構造が成立することにほかならない」（pp. 29-30）．

本研究では，以上の柿崎（1974）による判断の定義を採用することにしたい．つまり，判断を「刺激－反応関係の成立」――複数の刺激と複数の反応とが互いに関連づけられるようになること――と捉える．

Table 1-1. 刺激ー反応関係としての判断（柿崎, 1974）

反応カテゴリー		J_1	J_2	…	J_i	…	…	J_m	計
	S_1	f_{11}	f_{12}	…	f_{1j}	…	…	f_{1m}	$f_{1\bullet}$
刺	S_2	f_{21}	…	…	:	…	…	:	:
激	:	:			:			:	:
系	S_i	f_{i1}	…	…	f_{ij}	…	…	f_{im}	$f_{i\bullet}$
列	:	:			:			:	:
	S_n	f_{n1}	…	…	f_{nj}	…	…	f_{nm}	$f_{n\bullet}$
	計	$f_{\bullet 1}$	…	…	$f_{\bullet j}$	…	…	$f_{\bullet m}$	$\sum f_{ij}$

n 個の刺激からなる刺激系列について m 個のカテゴリーで判断する.

f_{ij} は刺激 S_i がカテゴリー J_i と判断される度数。$f_{i\bullet}$ は刺激 S_i の出現度数.

$f_{\bullet j}$ は反応（判断）J_i の出現度数（各カテゴリーの使用される度数）.

Ⅰ-1-2 判断の種類

以上のように，刺激－反応関係として判断を捉えると，2 種類の判断を区別することができる．一つは「評定判断 rating」であり，もう一つは「同定判断 identification」である．どちらの判断も，刺激に対して何らかの反応が求められる点では同じである．

評定判断では，刺激に対する客観的な正しい反応，つまり“正解”が存在しない．被験者はそのときの課題状況（利用できる反応選択肢や教示など）を考慮して，それに最もふさわしいと思う反応をするように期待される．いいかえれば，被験者は自分なりの刺激－反応関係を成立させることが求められる．先に述べた洋服のサイズの判断がこの例であるが，一般に，ある対象に対する評価（意見）が求められるときには評定判断が行われる．例えば，「この料理はおいしい？」ときかれて「すごくおいしい」とか「まあまあだ」と答えるときがそうである．

これに対して，同定判断では，それぞれの刺激に対して正しい反応（正解）が決まっている．どの反応が正解になるかは，課題状況によって決まる（実験者が決める）．“これはマルである”とか“これはシカクである”といった判断が同定判断の例である．心理学実験においては，評定判断の方が頻繁に使われるが，日常生活ではむしろ同定判断の方が多い（ふつう，それは“判断”とは意識されないが）．同定判断で用いられる反応のことを，同定反応（identifying response）とよぶ．同定反応は言語的なものに限らない．原稿をワープロで入力するときに，“a”という文字に対してキーボード上の“A”のキーを叩くのも，同定反応の一種である．

同定判断と評定判断の違いは，手続きの違い（客観的な正解の有無）であって，刺激の種類の違いではない．例えば，強度の異なる 10 種類の音に対して，1 から 10 までの数字で（1 が最も弱い 10 が最も強いとして）その強弱を答えるように求めたとき，正解を決めなければ評定判断になるが，正解を決めれば同定判断になる．どちらにするかは実験者が決めて，それを被験者に教示する．そのため，被験者にとっても，評定判断と同定判断は異なった課題として認知される．また，同定判断には正解があるために，被験者の行った反応に対して正誤のフィードバックを与えることが多い．評定判断ではこのような手続きは行わない．

以上のように．判断は，客観的な正解の有無によって，評定判断と同定判断の 2 つに区分することができる．さらに本研究では，同定判断のなかでも，刺激の種類と反応選択肢の数が明示的に限定されている場合を「分類判断」と呼ぶことにしたい．例えば，トランプのカードを一枚ずつ見ながら“これはスペードである”とか“これはハートである”と言うとき，あるいは声に出さなくても，その種類ごとにカードをまとめていくときが，分類判断の例である（トランプの組の数が限定されていることが被験者にとって明らかだから）．あるいは，財布の中から硬貨を一枚ずつ取り出して，金種別に分けていくときも分類判断を行っているといえる．分類判断は同定判断の一種であるが，前述のように，同定判断には，ふつうは判断と意識されないものも含めて，多種多様な行動が含まれる．そのため，刺激の種類と反応選択肢の数が明示的に限定されている同定判断を「分類判断」と呼んで，その適用範囲を絞っておきたい．「分類判断」と「分類判断でない同定判断」との境界はあいまいであるが，刺激の種類と反応選択肢の数を被験者が明示的に把握している場合だけを，分類判断とよぶことにする．ある課題状況で呈示されるすべての刺激と利用できるすべての反応選択肢を知った上で，両者を正しく対応づけることを，分類判断と呼ぶのである．

Ⅰ-2 本研究の出発点

本研究では，分類判断にテーマを絞り，人間がいくつかの刺激に対してそれぞれ異なった反応を行うときに，その刺激と反応とをどのように関連づけているのかについて検討する．そこで，次の 3 つの基本的立場から出発することにした．

Ⅰ-2-1 分類判断と心的表象

柿崎（1974）は，判断について論じるときは，被験者から実験者に伝えられる外的な指標反応としての判断（J とよぶ）と，その外的反応を生じさせる被験者の内的過程としての判断（j とよぶ）とを区別する必要があると述べた．そして，判断を Figure 1-1 のように図式化し，実験で観察可能なのは J だけであるが，心理学的に重要なのは j であると強調している．判断を刺激－反応関係とみた Table 1-1 は，実験者の側から判断の特性を表現したものであるが，これはいいかえれば S－J 関係の表現である．しかし，柿崎にとってもわれわれにとっても問題なのは，S－J 関係ではなくて，その背後にある p－j 関係である．

分類判断において，実験者が直接観察できるのは，物理的刺激 S に対して外的な指標反応 J を行うという被験者の行動である．本研究では，そのような行動を支える構造が被験者の内部にあると仮定する．分類判断では，複数の刺激に対してそれぞれ正しい反応が決まっている．したがって，そのような課題を行う被験者は，どの刺激がどの反応と対応しているかを心的に表象しているはずである．

このような《刺激と反応の組み合わせの表象》は，柿崎（1974）のいう p－j 系と同じではない．柿崎によれば，「p も j も理論的な構成であって，それぞれを直接的に同定することは無意味であ」り，また「p や j が具体的な意味をもつのは動的な相互作用の関係に即してであり，そのような〈関係〉をはなれた固有の構造としての静的･機械的な系としてこれらを定義することも妥当ではないのである」（p.6）．本研究で想定する《刺激と反応の組み合わせの表象》は，あえていうなら，p－j 系という内的過程の“一構成要素”である．

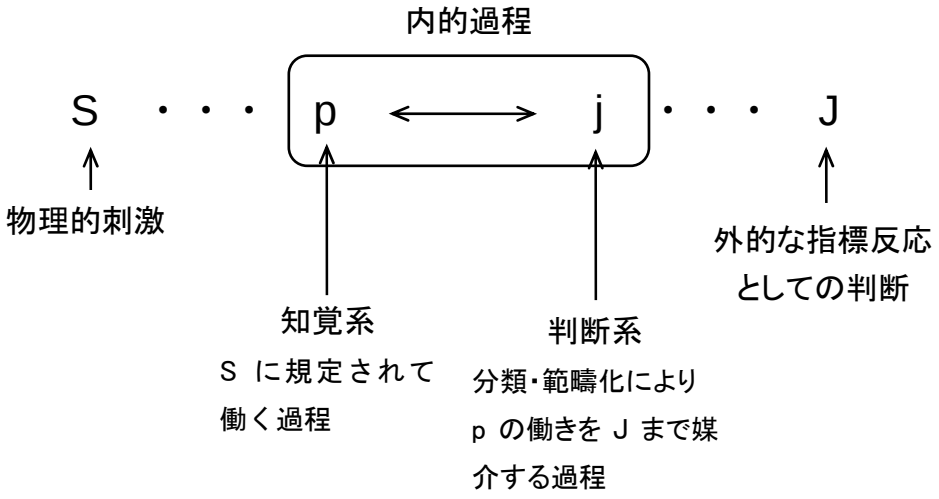

Figure 1-1. 判断の図式(柿崎, 1974, p. 6 より改変).

Ⅰ-2-2 心的表象とワーキングメモリ

前節では，分類判断は《刺激と反応の組み合わせの表象》を利用として行われると仮定した．次に，このような心的表象を保持するシステムについて考えてみたい．

人間は，生存にかかわる多くの情報を，感覚記憶から長期記憶に至る階層的なシステムによって保持していると考えられる．そのなかで，実際に行動を行うときに外界との窓口となって働く記憶システムをワーキングメモリ（working memory）とよんでいる．一見単純に見える課題でも，それを適切に遂行するためには，その場その場で得られる感覚データとすでに持っている知識とを結びつけることが必要になる．そのときに「作業場」として働くのがワーキングメモリである．

ワーキングメモリは研究者によってさまざまに定義される．Richardson（1996）は，これまでに提案されてきた諸々のワーキングメモリ概念を整理して，それらに共通するのは「情報の一時的貯蔵と処理をつかさどる何らかの仕組みがある」「その仕組みが利用できる資源は限られている」という仮定であると述べた（p. 23）．本研究でも，この仮定に基づき，現前の課題の遂行に関連した情報をつかさどる容量に限界のあるシステム（またはその働き）のことをワーキングメモリとよぶことにする．研究者によっては，ワーキングメモリを独立したシステムとみなさず，“長期記憶のなかで活性化された部分”あるいは“現在利用できる記憶情報そのもの”と定義する（たとえば Anderson, 1995）．しかし，本研究では，情報の“内容”とその情報を保持・処理する“働き”あるいは“場”とを一応区別して，特に後者をワーキングメモリとよぶことにしたい．

分類判断においては，与えられた刺激に対して決められた反応をすることが求められる．前節では，このような行動の背後には《刺激と反応の組み合わせの表象》があると仮定したが，そのような心的表象はおそらくワーキングメモリに形成されると考えられる．その概念図を Figure 1-2 に示した．刺激 S1－Sn に対してそれぞれ反応 R1－Rn をするように求められているときには，その組み合わせがワーキングメモリに表象される．ワーキングメモリには容量の限界があるので，無限に多くの刺激と反応の組み合わせを扱うことはできない．本研究では，分類判断を「同定判断のなかで刺激の種類と反応選択肢の数が明示的に限定されているもの」と定義し

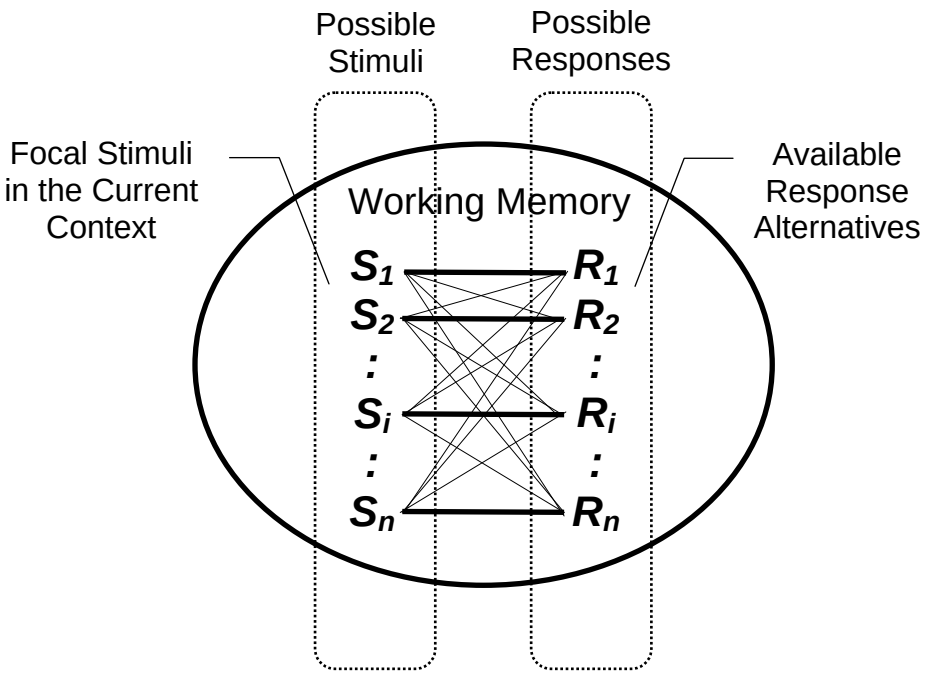

Figure 1-2. 分類判断における心的表象とワーキングメモリの概念図.

たが（Ⅰ-1-2），それは分類判断が容量に限界のあるワーキングメモリで行われることを念頭においてであった．環境や長期記憶には多くの潜在的刺激と潜在的反応が存在する．その中から，現在の文脈で問題となっている一群の刺激（焦点刺激 focal stimuli）と利用できる反応選択肢だけが，いわば「地」から「図」が浮き出してくるように，選択的にワーキングメモリに入ってくると考えられる．

ここで問題となるのは，刺激と反応がどのように関連づけられているかということである．それぞれの刺激は正しい反応と一対一で結びついているだけなのか（図の太い実線），それとも実際には対応しない他の反応とも結びついているのか（図の細い実線）？ 本研究ではこの点について明らかにしていきたい．

Ⅰ-2-3 脳生理心理学的アプローチ

次に，このような分類判断における心的表象を研究するときの方法論について考えてみたい．

前に述べた柿崎（1974）の判断の図式（Figure 1-1）によると，分類判断において実験者が直接観察できるのは物理的刺激 S と外的な指標反応 J だけであるが，心理学で重要なのは内的過程の p と j である．p－j 関係について推測するためのひとつの方法は，呈示する刺激の分布や反応カテゴリーの種類，あるいは教示を系統的に操作して，それに伴う J の変化を観察することである．このような研究方法は，精神物理学的アプローチとよぶことができる．

しかし，内的過程を推測するには別のアプローチも可能である．近年，さまざまな心理過程を脳の神経活動と対応づけて検討しようとする試みが盛んになっている．このような研究分野は，脳生理心理学あるいは認知生理心理学（cognitive psychophysiology）と呼ばれる．内的過程そのものは観察できないが，それが脳の神経活動によって担われているならば，後者を調べることで前者について推測することができるだろう．

本研究では，このような脳生理心理学的アプローチによって分類判断における心的表象のあり方を検討する．精神物理学的アプローチでは，ふつう被験者が意図的に表出した指標反応 J しか利用できないのに対して，脳生理心理学的アプローチで

は，さらに被験者の意図とは直接関係しない生理学的な反応が得られる．この生理学的反応は，分類判断を行っている被験者の心的表象の構造や性質を推測するときの有力な手がかりとなるだろう．

以上が，本研究の出発点となる 3 つの基本的立場である．複数の刺激に対してそれぞれ異なった反応をするように求められた被験者は，その刺激と反応の組み合わせをワーキングメモリに表象すると考えられる．ワーキングメモリの中で刺激と反応がどのように関連づけられているかを検討するために，脳の生理学的反応を手がかりにしようというのが本研究のねらいである．

Ⅰ-3 事象関連電位(ERP)

この章では，脳生理心理学でよく用いられる測度である事象関連電位（event-related brain potential; ERP）について解説する．そのなかでも，本研究に直接関係する P300 と呼ばれる成分については特に詳しく述べる．

Ⅰ-3-1 概要

脳における情報処理は主に神経細胞（ニューロン）によって担われているが，生体を解剖することなく，その活動を調べる方法には 2 つある．一つは，神経細胞自体の電気（磁気）的活動に注目する方法であり，脳波（electroencephalography; EEG）や脳磁図（magnetoencephalography; MEG），それに本研究で測定する ERP などがある．もう一つは，神経細胞の活動に伴う物質的な脳の変化に注目する方法であり，ポジトロン CT（positron emission tomography; PET）やファンクショナル MRI（functional magnetic resonance imaging; f-MRI）などがある．それぞれの方法に，時間的空間的分解能，侵襲性，コストなどの点で一長一短がある．

脳波はふつう頭皮上から記録される．頭皮上脳波は，主として脳の表面にある大脳皮質（厚さ 2－3 mm）の神経活動（シナプス後電位）を反映しているといわれる．大脳皮質と頭皮とは，電気を伝えにくい脳脊髄液，クモ膜，硬膜，頭蓋骨を隔てて 2 cm ほど離れている．そのため，頭皮上で記録される脳波は大脳皮質表面の電位変化にくらべて微弱である．頭皮上脳波を紙の上でペンを動かして記録するためには，およそ 100 万倍に増幅する必要がある．また，ひとつの電極からの記録は，その周囲約 3 cm の領域の神経活動の空間的加算を示すといわれている．

脳波はリズムをもった波として記録される．脳波はその個体が生きているかぎり絶え間なく自発的に出現するが，その周波数は脳の活動レベル（覚醒水準）によって変化する．われわれが通常活動している時には，周波数が 14－30 Hz で振幅が 2－20 μV の β（ベータ）波とよばれる不規則な波があらわれている．また，リラックスして目を閉じているときには，周波数が 8－13 Hz で振幅が 20－60 μV の α（アルファ）波とよばれる規則的な波が出現する．一般に脳の活動レベルが低下する（眠りが深くなる）ほど，周波数は低くなり振幅は大きくなる．

Ⅰ-3 事象関連電位

歴史的には，1929 年に Hans Berger が人間の脳波を初めて測定した．当時，多くの研究者は彼の発見に懐疑的であったが，著名な生理学者であった Adrian と Matthews が 1935 年の英国生理学会大会で自ら実験台となって脳波記録のデモンストレーションを行って以降，その現象が広く認められるようになったという．その後，多くの研究者が脳波と心理過程との関連を調べたが，上述した覚醒水準との対応が明らかになった程度で，高次精神機能との関連は認められなかった．

脳波が自発的かつ持続的な脳の活動であるのに対して，事象関連電位（ERP）は，その名の通り「ある出来事（事象）を脳が処理する過程に関連して出現する電位」である．いいかえれば，ERP は感覚刺激や運動といった特定の事象に随伴して一過性に生じる脳の活動である．頭皮上から記録される ERP は，数 μV から十数 μV 程度の小さな電位であり，α波やβ波といった自発脳波に重畳してあらわれる．そのために脳波記録から直接観察することは難しい．

人間の ERP を最初に測定したのは Davis であるといわれている（1939 年）．彼女は，純音，薬指への電気ショック，フラッシュ光に対して，通常の自発脳波とは異なった脳の電気的反応が出現することを報告した．また，1947 年以降，自発脳波に埋もれた低電位の ERP を観察しやすくするために，同じ刺激を繰り返し被験者に経験させ，各回の脳波波形を刺激開始時点にそろえて重ね描くという方法が Dawson によって開発された．この方法はコンピュータ技術の進歩によって加算平均法へと発展し，それが今日における ERP 測定の標準的方法となった．

加算平均法は，事象（刺激）に対する脳の反応が毎回同じ時間的関係で生じるという仮定に基づいて行われる．まず，被験者の頭皮上に電極を装着して脳波を記録しながら，同じ事象を数十回から数百回繰り返して経験させる．そして，得られた数十本から数百本の脳波データを，事象の開始時点にそろえて加算平均する．こうすると，事象の処理とは無関係に出現する電位変化は相殺されて減衰し，その事象と時間的に関連した電位変化のみが抽出される．このような手続きにより，いくつかの振れをもった ERP 波形が得られる．それぞれの振れは“成分（component）”とよばれる．以上に述べた ERP 測定の概念図を Figure 1-3 に示した．

ここで，ERP 研究で用いられる術語について簡単に説明しておきたい．ある成分

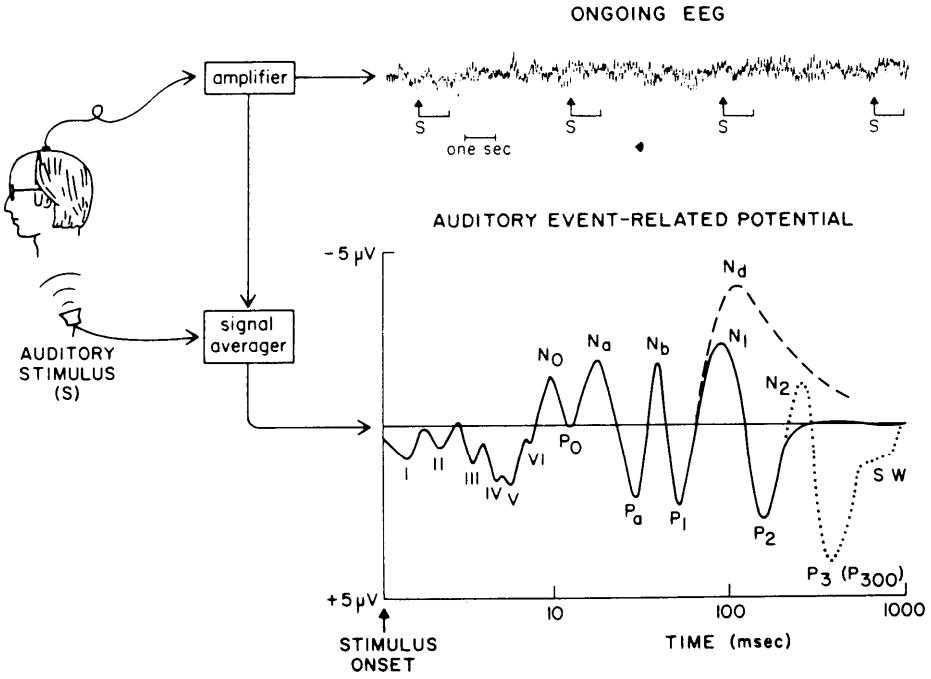

Figure 1-3. ERP 測定の概念図. 同じ音刺激を数十回聞かせて脳波を測定する. 各回の脳波反応を刺激開始時点にそろえて加算平均することで ERP 波形を求める. 聴覚 ERP の理想的波形と各成分の呼称が示してある. 通常の測定時とは異なり, 時間軸が対数であることに注意 (Rugg & Coles, 1995 より引用).

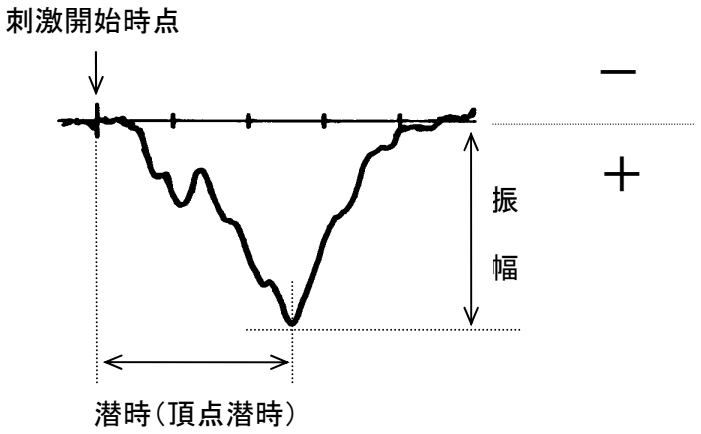

Figure 1-4. ERP 成分の振幅と潜時(P300 成分の例). 図中で下向きの振れが, 基準電極(本研究では両耳朶の平均)とくらべて陽性の電位変化を示す.

の“潜時”（正確には頂点潜時）とは，刺激が呈示されてからその成分が最大の振れ（頂点）に達するまでの時間をさす．また，ある成分の“振幅”とは，ふつうその成分の頂点とベースライン（刺激呈示前の一定期間［例えば 100 ms］の平均電位を用いることが多い）との電位差をさす（Figure 1-4 参照）．さらに，ある成分の“頭皮上分布”とは，その成分の振幅が頭皮上のどこで大きくどこで小さいか（例えば，前頭部で大きく後頭部で小さい）といった関係をさす．

ERP は，刺激開始後およそ 70 ms までに生じる初期成分と 100－200 ms に生じる中期成分，それ以降に生じる後期成分とに大別される．初期成分は，その潜時，振幅，頭皮上分布が，刺激の物理的特性（感覚モダリティや強度）によって決まるという性質をもっているために“外因性（exogenous）”成分とよばれる．これに対して，後期成分は被験者が行っている課題や注意の向け方といった心理的要因に関連して，出現する成分の種類やその潜時，振幅，頭皮上分布が変化するために“内因性（endogenous）”成分とよばれる．なお，中期成分は外因性と内因性の両方の性質をもつといわれている．また“誘発電位（evoked potential; EP）”という語が，初期成分と中期成分をさして使われることもある．

各成分には慣例的に名前がつけられている．まず，その成分が，基準となる電極（耳たぶや鼻の尖端など脳の電気活動の影響を受けにくい場所におかれる）と比較して陽性（positive; P）の電位であるか陰性（negative; N）の電位であるかを区別する．そして，その成分のおよその頂点潜時（ミリ秒）を書き添える．例えば，P300 というのは刺激呈示開始から約 300ms 後に最大振幅を示す陽性の振れをさす．あるいは，P1，N1，P2，N2，P3 というように，潜時の短い方から順に番号を振っていくこともある．このようなはっきり分かる振れとして出現しない電位は，特別な名前でよばれる．たとえば，ミスマッチ陰性電位（mismatch negativity; MMN），随伴性陰性変動（contingent negative variation; CNV）などがある．

他の脳活動測定法と比較したときの ERP の長所として，①非侵襲的である（被験者を傷つけず薬物も使わない），②時間的分解能がよい（ミリ秒単位で測定できる），③同一の個人や条件で安定した結果が得られる（再現性がある），④簡便でコストが低い，などが挙げられる．短所としては，①空間的分解能が悪いので電位の脳内

発生源を特定できない，②ふつう加算平均法によって測定されるので一回かぎりの事象に対しては適用できない，③神経活動以外から発生するノイズ電位（筋電図など）の混入を防ぐために被験者の体の動きを制限しなければならない，などがある．

以上の ERP についての記述は，下河内, 1981; 投石・下河内, 1981; Donchin, 1979; Rugg & Coles, 1995 を参考にした．また，歴史的経緯については，斉藤・豊嶋, 1997; Brazier, 1984 を参照した．

Ⅰ-3-2 心理学における ERP の利用

ERP はもともと生理学の研究対象であったが，現在では心理学実験の測度としても利用されている．ERP はある事象に時間的に関係した脳の電位変化を表しただけのものであり，その波形自体に固有の心理学的意味があるわけではない．心理過程が神経活動によって担われており, その神経活動の一側面を ERP が反映していると仮定したときにはじめて，ERP の各成分がそれぞれどのような心理過程と関連しているかが問題になってくる．

Donchin & Coles（1988a）は，心理過程にはさまざまなレベルがあるが，ERP 成分はその中の最も基本的なレベルに関連していると主張した．彼らは，個々の ERP 成分は，注意や覚醒，記憶といった高次の心理学的概念に関連するのではなく，それらを構成している基礎的な情報処理過程（サブルーチンやモジュール）の一つに関連していると述べた．そして，ERP 成分の潜時は“その情報処理過程が生じる以前の諸過程の持続時間”を反映し, 振幅は“その情報処理過程が利用される程度（強度）”を反映すると仮定した．しかし，Donchin らは，そのような情報処理過程を担う神経活動が ERP 成分を構成しているとは考えていない．ERP は情報処理過程の“副産物”であって，それ自体に意味はないが，その成分が生起することで，ある特定の情報処理過程が生じたどうかは分かるというのである．この関係について，彼らは，コンピュータから時々聞こえる「ヒュー」という音（whirring noise）のアナロジーを用いて説明している．コンピュータを使っていると時々ヒューという音がする．このヒューという音の正体を調べた結果，それはハードディスクのモータが回転する音だと分かった．コンピュータのメモリ内で直ちに利用できないデータ

が必要になると外部記憶装置からデータが転送されるが，そのときにヒューという音がするのである．このヒューという音が ERP 成分である．ヒューという音そのものに特別な意味はないが，ヒューという音（ERP 成分）によってデータの転送（情報処理過程）が行われたことが分かるのである．

さて，心理学研究における ERP 測度の有用性については，すでに多くの研究者が述べている（例えば, 投石・下河内, 1981; 沖田, 1989, 1992a, b; Rugg & Coles, 1995）．ERP の最大の利点は，刺激入力と反応出力との間に介在する脳活動をミリ秒単位で継時的に分析できるということにある．ERP は，脳で行われる情報処理の「過程」に伴って放出される副産物であり，通常の行動のように情報処理の「結果」として出力されるものではない．したがって，ERP 測度を利用することにより，従来の行動測度では接近できなかった内的な情報処理活動について検討できるようになると期待される．

なお，心理学研究で ERP を利用するときには，いままで述べてきたような測度として ERP を利用する視点の他に，ERP 成分そのものの機能的意義（その ERP 成分が反映する情報処理過程の役割）を明らかにしようとする視点もある．2 つの視点は相補的なものであり，どちらも重要であるが，研究の立脚点をどちらかに限定しないと循環論に陥ってしまう．本研究では ERP を純粋に指標として利用し，成分の機能的意義についてはあまり触れないことにする．

Ⅰ-3-3 P300

P300 成分は，刺激開始からおよそ 270－800 ms 後に頂点を持ち，中心－頭頂部位を中心として出現する陽性の電位変化である（Figure 1-5）．この成分は，与えられた刺激を分類して何らかの反応をするように被験者に求めたときに出現する（多くの総説があるが, 例えば, Prichard, 1981; Picton, 1992, 下河内・投石・楊井・小山, 1988; 亀山・平松・斉藤, 1986a, b）．

以下では，この成分の特徴・性質についてかなり詳しく述べるが，本研究で必要になる情報は(b)，(d)，(g)の 3 項目である．それ以外の項目は省略していただいても理解にはさしつかえない．

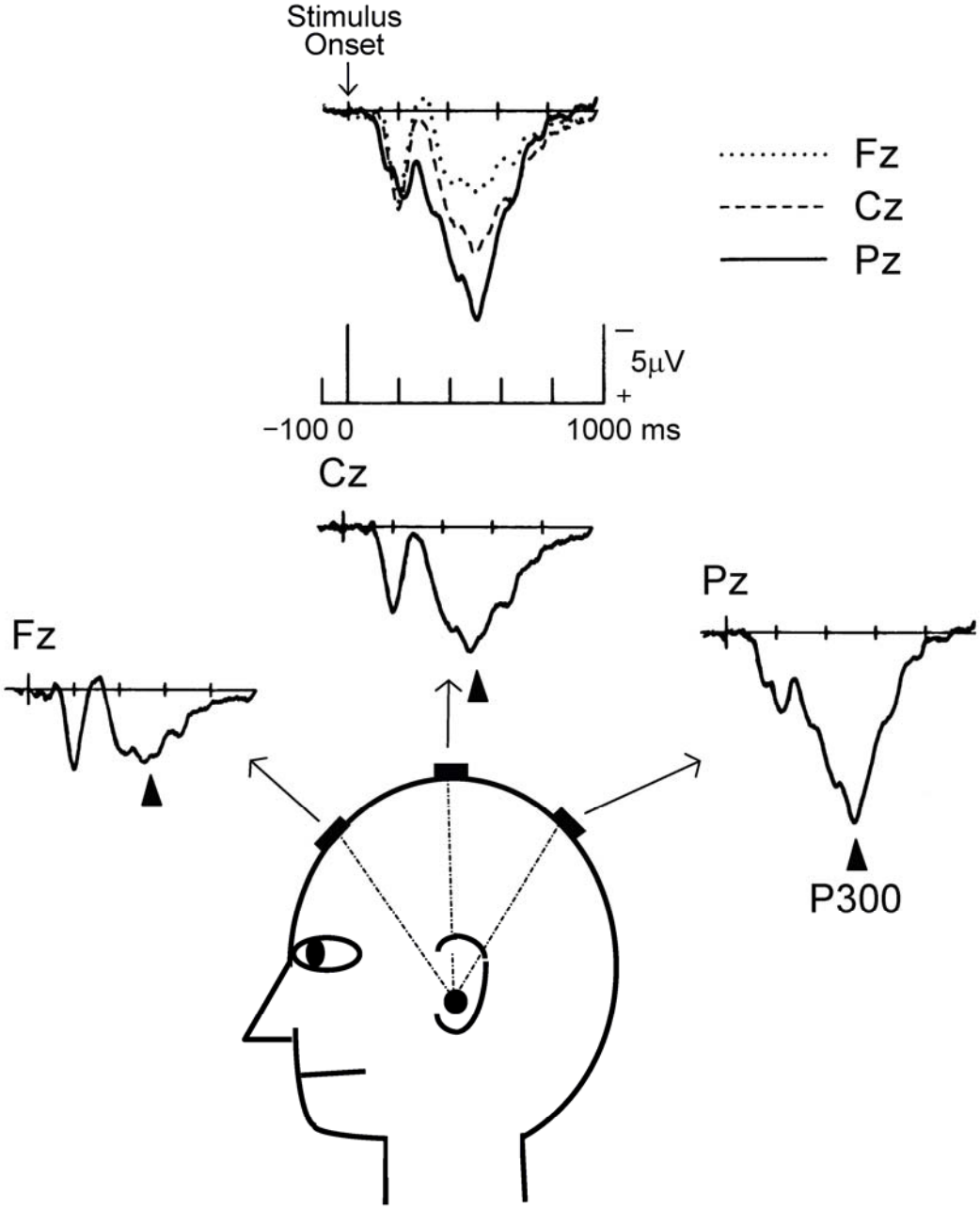

Figure 1-5. ERP の P300 成分.

Ⅰ-3 事象関連電位

(a) 発見の経緯

P300 は Sutton らによって 1964 年に発見された（Sutton, Braren, Zubin, & John, 1965）．Sutton（1979）は，P300 発見の経緯について次のように回想している．刺激の不確かさによって反応時間がどのような影響を受けるかに関心をもっていた彼の研究グループは，1964 年 5 月 20 日，“予測パラダイム”を用いて ERP を測定する実験を始めた．手がかり刺激（クリック音かフラッシュ光）の 3－5 秒後にテスト刺激（同じく音か光）が呈示されるという設定で，被験者にはテスト刺激が出る前にその種類を予測して答えさせた．手がかり刺激とテスト刺激の組み合わせが常に一定でテスト刺激の種類がいつでも予測できる条件と，組み合わせが一定でなくテスト刺激の種類が予測できない条件とを設けて，それぞれの条件でテスト刺激に対する ERP を測定した．その結果，後者の予測できない条件では，テスト刺激の呈示後およそ 300 ms に頂点をもつ大きな陽性電位が出現した. この電位があまりにも大きく明瞭であったために，彼らはそれまで行っていた他のパラダイムによる実験をすべて中止して，この電位の研究に専念するようになったという．このように，P300 は実験を開始したまさにその日に発見されたのであった．

(b) 測定パラダイム

現在では，P300 を出現させるために“オドボール（oddball）”パラダイムとよばれる方法がよく用いられる. オドボールとは“風変わりなもの”という意味である．

典型的なオドボール課題では, 被験者が容易に弁別できる 2 種類の刺激（例えば, 1000 Hz と 2000 Hz の純音）の一方を高頻度（例えば 80 %），他方を低頻度（例えば 20 %）でランダムな順序で呈示する．そして，被験者には，低頻度刺激（すなわちオドボール）の呈示回数を数えさせるか，あるいはそれに対してキー押しをさせる．このような課題で ERP を測定すると，低頻度刺激に対して大きな P300 が出現する．高頻度刺激に対しては P300 が出現しないこともあれば，小さな P300 が出現することもある．また，刺激に対して何の反応も求めないと，低頻度刺激に対しても高頻度刺激に対しても P300 は出現しない．このように P300 は，被験者に刺激を分類して何らかの反応をするように求めたときにのみ出現する ERP 成分である．

(c) 発生源と類似成分

P300 が脳のどこから生じているかについては，いまだに定説がない．P300 は頭皮上のほとんどの場所で記録されることから，発生に関与する脳部位は，内側側頭葉や海馬，大脳皮質，さらには視床というように広範囲にわたると推測されている（最近の知見については，片山・深谷・坪川, 1997 参照）．また，P300 はひとつの振れのように見えるが，異なった心理学的操作に影響される複数の電位（下位成分とよばれる）が重畳したものだといわれている（Johnson, 1993）．

これまでの研究で，Sutton et al.（1965）が最初に発見した P300 に似ているが，出現する条件や頭皮上分布がやや異なる類似成分がいくつか報告されている．その代表的なものを以下に挙げる．

①P3b（Squires NK, Squires, & Hillyard, 1975）：Sutton et al.（1965）の発見した P300 に相当する．反応を要求された課題関連刺激に対して出現し，頭頂部優位の頭皮上分布を示す．

②P3a（Squires NK, Squires, & Hillyard, 1975）：注意を向けていない予想外の低頻度刺激に対して出現し，前頭-中心部優位の頭皮上分布を示す．

③Novel P3（Courchesne, Hillyard, & Galambos, 1975）：Novelty P3 ともよばれる．注意は向けられているが課題には関連していない新奇な刺激に対して出現し，前頭部優位の頭皮上分布を示す．

④No-Go P300（Simson, Vaughan, & Ritter, 1977）：反応をしないように（抑制するように）求められた刺激に対して出現する．中心部優位の頭皮上分布を示す．

これらの類似成分を，数個の下位成分の組み合わせで説明しようとする試みがなされている．例えば，斉藤・豊嶋（1997）は，前方成分（anterior P300）と後方成分（posterior P300）の 2 つの下位成分を想定して，頭頂部優位の P300（P3b）は主に後方成分から構成され，中心-前頭部優位の P3a，Novel P3，No-Go P300 は主に前方成分から構成されていると提案した．また，Mecklinger & Ullsperger（1995）は，Novel P3 は P300（P3b）に別の成分が重畳したものであると提案した．

後述するように，本研究では分類判断課題で ERP を測定する．この課題では，すべての刺激に反応が求められている．つまり，すべての刺激が課題に関連している．

このような場合に出現するのは，上述の P3b だけである．そのため，以下では，特に断らないかぎり，P3b をさして P300 とよぶことにする．

(d) 振幅に影響する要因

P300 の振幅に影響する変数として，次のようなものが知られている．

①まれにしか起こらない（生起確率の低い）事象に対して大きくなる（例えば，Duncun-Johnson & Donchin, 1977）．

②反応が要求されている刺激に対して大きくなる（例えば，Tueting & Sutton, 1976）．

③刺激の処理に向けられる注意（処理資源）の量が増えれば大きくなる（例えば，Wickens, Kramer, Vanasse, & Donchin, 1983）．

④先行する刺激系列（局所確率）に影響される（例えば，Squires，Wickens，Squires & Donchin, 1976）．

⑤刺激同士の類似性が高くなり弁別が難しくなると小さくなる（例えば，Ruchkin & Sutton, 1978）．

⑥高い確信度で反応しているときには大きくなる（例えば，Squires KC, Squires, & Hillyard, 1975）．

⑦複雑な刺激に対して大きくなる（例えば，Verbaten，Roelofs，Sjouw & Slangen, 1986）．

Johnson（1988）は，P300 振幅に影響する実験変数を 3 つの次元に整理して，それらの関係を次のように定式化した（［］内に上の①－⑦がそれぞれ含まれる次元を示した）．

P300 振幅＝（主観的確率次元［①，④］＋刺激の意味次元［②，⑦］）×情報伝達次元［③，⑤，⑥］

このモデルでは，主観的確率次元と刺激の意味次元とは独立して加法的に P300 振幅に作用し，情報伝達次元は両方の次元に作用して全体の P300 振幅を決めると仮定されている．

以上に述べたのは，P300 振幅に影響する認知的な要因であるが，他に生物学的な要因も振幅に影響する．例えば，P300 振幅は男性にくらべて女性で大きく，空腹時よりも食後の方が大きい（総説として Polich & Kok, 1995）．

(e) 潜時に影響する要因

P300 の頂点潜時は一般に刺激の弁別が難しくなる（例えば，刺激同士の類似性が高くなる，ノイズが加わる）と延長する（McCarthy & Donchin, 1981）．しかし，刺激は変えずに反応だけを難しくする（例えば，「右」という刺激に左手で，「左」という刺激に右手で反応させる）と，RT は延長するが P300 潜時はあまり変化しない（Magliero, Bashore, Coles, & Donchin, 1984）．また，一試行ごとに P300 の潜時を推定する適応型相関フィルタ（Woody, 1967）と呼ばれる分析から，試行によっては反応が終わった後に P300 が出現すること（Kutas, McCarthy, & Donchin, 1977），試行ごとの P300 潜時と反応時間との相関はあまり高くないこと（r = 0.2－0.4 程度，Pfefferbaum, Ford, Johnson, Wenegrat, & Kopell, 1983; 竹内・丹羽, 1997）が分かっている．さらに，P300 は顕在反応を求めない課題（例えば，ターゲット刺激の呈示回数を黙って数えさせる課題）でも出現する．これらの知見から，P300 潜時は反応の選択・実行とは比較的独立した刺激評価（evaluation）過程のタイミングを反映するといわれている（Duncan-Johnson, 1981; ただし異論もある．Ragot & Renault, 1985; Verleger, 1997 参照）．

P300 潜時も生物学的（個人的）要因によって影響される．例えば，P300 潜時は，認知能力や年齢，体温などと相関することが知られている（Polich & Kok, 1995）．

(f) 機能的意義

P300 がどのような役割をもった情報処理過程を反映しているかについては諸説があり，現在でも論争が続いている．

Donchin ら（Donchin, 1981; Donchin & Coles, 1988a, Karis, Fabiani, & Donchin, 1984）は文脈更新仮説（context updating hypothesis）を提唱した．この仮説では，P300 が出現するのは，注意が向けられている場所でめったに起こらない事象が生じたときであると考える．人間は，そのような事象にその場で対処するとともに，頭の中の“環境についてのモデル”に「そのような事象が起りうる」という情報を書きこんで，将来の行動に備えていると推測される．P300 潜時に関する知見から，P300 が反映する情報処理過程は反応の選択・実行とは直接関係しないことが示唆された．したがって，P300 が反映するのは，環境のモデルが新しい事象によって改訂・更新

される過程であると Donchin らは提案した．

これに対して，Verleger（1988a）は文脈終結仮説（context closure hypothesis）を提唱した．この仮説では，P300 が出現するのは，高度に構造化された刺激文脈の中で，待っていた刺激（ターゲット）が呈示されたときであると考える．ターゲットを待つことで生理学的な賦活状態が高まるが，ターゲットが呈示されると，その“待っていた期間”（perceptual epoch あるいは cognitive epoch）が終わり，賦活状態は一時的に解除される．その電位変化が P300 として表出されるのだという．したがって，P300 は，情報処理過程に積極的な意味で関係していないが，刺激に対する評価や決定が終わった後の“後処理”として出現するというのである．これと似た仮説は，Desmedt らによっても提案された（決定後終結仮説 post-decision closure hypothesis，Desmedt & Debecker, 1979a, b; Desmedt, 1980）．

両者の論争には決着がついていないが（Donchin & Coles, 1988b, 1991; Verleger, 1988b, 1991），それらを統合・発展させた仮説も提案されている．丹羽・斉藤らのグループは，人間の認知・行動モデルという大きな枠組みを想定して，その中で P300 を機能的に位置づけている（斉藤・平松・亀山・福田・丹羽・伊藤, 1986; 亀山ら, 1986a, b; 斉藤・豊嶋, 1997; 竹内・丹羽, 1997）．彼らは，人間が課題を遂行するときには，刺激の比較・評価にかかわる刺激処理系と反応の準備・選択・実行にかかわる反応処理系の 2 つが並列的に進行すると考えた．そして，この 2 つの系は，より上位の系（組織制御系）によって制御・統制されると仮定した．組織制御系の機能は，主体が置かれている状況（文脈）を主体の意思や目的との関係で全体的に把握することであり，それに基づいて刺激処理系や反応処理系を制御し，かつそこからのフィードバックによって自らを改変・更新していく．このような刺激処理系・反応処理系・組織制御系からなる認知・行動モデルを想定した上で，彼らは，P300 は“刺激処理系に対する組織制御系の制御プロセス”の反映であると提案した．彼らによると，P300 は，認知文脈の更新に関係したものであるが，（Donchin らが想定するような）組織制御系全体の再編成を反映するというよりも，組織制御系を通じた刺激処理系の再編成（これは Verleger らが考える賦活状態の解除と関連している）を反映するのである．このような仮説は，文脈更新仮説と文脈終結（決定後終結）仮説

とを統合的に発展させたものといえるだろう．

(g) 指標としてのP300 振幅

本研究では，Donchin & Fabiani（1991）にならって，P300 の振幅を“示差性（distinctiveness）”の指標として用いる．示差性とは，ある項目（刺激）が同じ文脈で呈示されるその他の項目（刺激）と何らかの次元で異なっている程度をさす．他の項目にない独自の目立った特徴を多く持った項目ほど，示差性は高くなる．示差性は，刺激そのものの性質ではなく，同じ文脈で呈示される他の刺激との関係で相対的に決まる性質である．物理的・意味的に同じ刺激であっても，異なる文脈で呈示されれば，その示差性は異なる．

示差性は，知覚や学習において重要な説明概念として用いられてきた．たとえば，われわれは毎日たくさんの事象（エピソード）を経験するが，そのすべてが後で思い出せるわけではない．記憶に残りやすい事象と残りにくい事象があるのはなぜかを説明するときに，Jacoby & Craik（1979）は示差性の概念を用いた．彼らは，事象は深く処理されるほど記憶に残りやすくなると提唱した処理水準説を発展させて，ある事象はそれと同じ文脈で呈示される他の項目と異なっているほど（示差性が高いほど）深く処理されて記憶に残りやすくなると考えた．そして，他の項目と物理的・意味的に異なった項目（示差性の高い項目）が，それ以外のふつうの項目にくらべて，後で思い出されやすいことを実証した．

Donchin & Fabiani（1991）は，記憶とP300 成分との関係についてのそれまでの研究を概観して，P300 の振幅は示差性の指標であると提案した．記憶とP300 成分との関係は，たとえば，von Restorffパラダイムを用いて検討されてきた（Karis, Fabiani, & Donchin, 1984; Fabiani, Karis, & Donchin, 1990; Faniani & Donchin, 1995）．このパラダイムでは，リストに含まれる項目（単語）を一つずつ被験者に呈示してそれを記銘させる．リストの中には他の項目と物理的特徴が異なる項目（例えば，活字が明らかに大きい単語など．これを孤立項目とよぶ）がごく少数混ぜられている．リストの呈示後に記憶テストを行うと，孤立項目は他の項目にくらべて再生・再認成績がよいことが知られている．このような課題で，項目の記銘時にERPを測定したところ，孤立項目はふつうの項目よりも大きなP300 を出現させ，その後の記憶成績も

よかった．また，孤立項目の中でも後で再生された単語は，再生されなかった単語にくらべて，記銘時により大きなP300を出現させていた．記憶に残った項目は記銘時に示差性が高かったのだとすると，これらの結果はP300の振幅が項目の示差性の違いを反映していたことを示している[1]．また，被験者に項目を意図的に記銘させない偶発記憶課題を用いた実験でも同様の結果が得られており（Fabiani, Karis, & Donchin, 1986; Paller, Kutas, & Mayes, 1987; Paller, McCarthy, & Wood, 1988），P300振幅が示差性の指標となることを裏づけている．

P300振幅を示差性の指標として用いるのは必ずしも一般的なことではない．しかし，この考え方は，P300振幅に関するこれまでの知見と矛盾しない．P300振幅に影響する変数を3つの次元に整理したモデル（Johnson, 1988）を先に紹介したが（Ⅰ-3-3-d），その中の主観的確率次元と刺激の意味次元については示差性の概念で説明できる．まれにしか生じない事象は“主観的確率”の次元でその他の頻繁に生じる事象と異なっており，被験者にとって重要である事象（例えば，ターゲット刺激の生起）は“刺激の意味”の次元でその他の重要でない事象と異なっているので，それぞれ示差性が高くなるといえる．そして，示差性の高い刺激ほど大きなP300を引き起こすのである[2]．

以上の考察に基づき，本研究ではP300振幅を示差性の指標として利用する．すなわち，同一の文脈で呈示される刺激のなかで，相対的に大きなP300を引き起こ

---

[1] ここで述べたP300振幅と記憶との関係は，被験者が機械的記銘方略を用いたときには認められるが，精緻化方略を用いたときには認められない．これは，精緻化処理がおそらくP300の生起後に行われ，それが（P300に反映される）項目の示差性とは無関係に，その項目の記憶されやすさに影響するからだと解釈されている．

[2] Johnsonのモデルの情報伝達次元は，示差性の概念で半分しか説明できない．情報伝達次元はあいまいさ（equivocation）と注意配分という2つの実験変数から構成されている．前者は，刺激の弁別しやすさにかかわる変数であり，これは示差性と関連している．後者の注意配分は，被験者が課題に向ける注意の量のことであるが，これは示差性とは無関係である．上述したように，示差性は同じ文脈で呈示される刺激の間で相対的に決まる．したがって（向けられる注意の量が異なる）2つの課題で得られたP300の振幅の差を，示差性の点から論じることはできない．

した刺激は，何らかの理由で示差性が高かった（他の刺激と異なる特徴を持っていた）と解釈し，相対的に小さな P300 を引き起こした刺激は，示差性が低かった（他の刺激と異なる特徴をあまり持たなかった）と解釈する．

Ⅰ-4 分類判断と P300

ERP の P300 成分が出現するのは，与えられた刺激を分類して何らかの反応をするように被験者に求めたときである．しかし，P300 は刺激を分類する過程のあらわれではない．刺激の分類過程は，むしろ P300 より前の ERP 成分――例えばミスマッチ陰性電位（MMN）や N2（NA）――に反映されるといわれている（投石, 1995）．P300 は，そのような分類過程の“結果”に基づいてさらに行われる情報処理過程を反映している．

反応選択肢が 2 つのときの分類判断における P300 については，オドボール課題を用いてたくさんの研究が行われている．しかしながら，3 つ以上の反応選択肢を用いた研究はあまり行われていない．以下では，刺激と反応選択肢が 3 つ以上の分類判断課題で ERP を測定した先行研究を紹介する．

Ⅰ-4-1 感覚刺激の分類判断課題における P300

Ullsperger & Gille（1988）は, 長さを 5 段階に変化させた文字列刺激（XXX, XXXXX など）を各種類 50 回ずつ計 250 回ランダムな順序で呈示して，被験者にその長さを判断させて 1 から 5 までのボタンを押して答えさせた（Figure 1-6）．そして，それぞれの文字列に対して ERP を測定した．その結果，P300（図の波形で下向きの大きな谷）の振幅は，中間の長さの文字列で小さくなり，最短と最長の文字列で大きくなった．いいかえると，P300 の振幅は文字列の長さによって“U 字型”の変化を示した．

これと同様の結果は，ピッチの異なる 5 音の分類判断課題でも得られた．Mecklinger & Ullsperger（1993, 実験 1）は, 5 つの純音（1100 Hz, 1400 Hz, 1700 Hz, 2000 Hz, 2300 Hz）を等確率で呈示して，被験者にそのピッチを判断させて親指から小指までの 5 本の指に対応させた 5 つのキーで答えさせた. その結果, 各音に対する P300 振幅はピッチによって U 字型に変化した．つまり，P300 振幅は，最低音と最高音で大きく，中間音で小さくなったのである．

このような結果を説明するために，Ullsperger らは Helson（1964）の順応水準（adaptation-level; AL）説を適用した（Ullsperger & Baldeweg, 1991; Ullsperger &

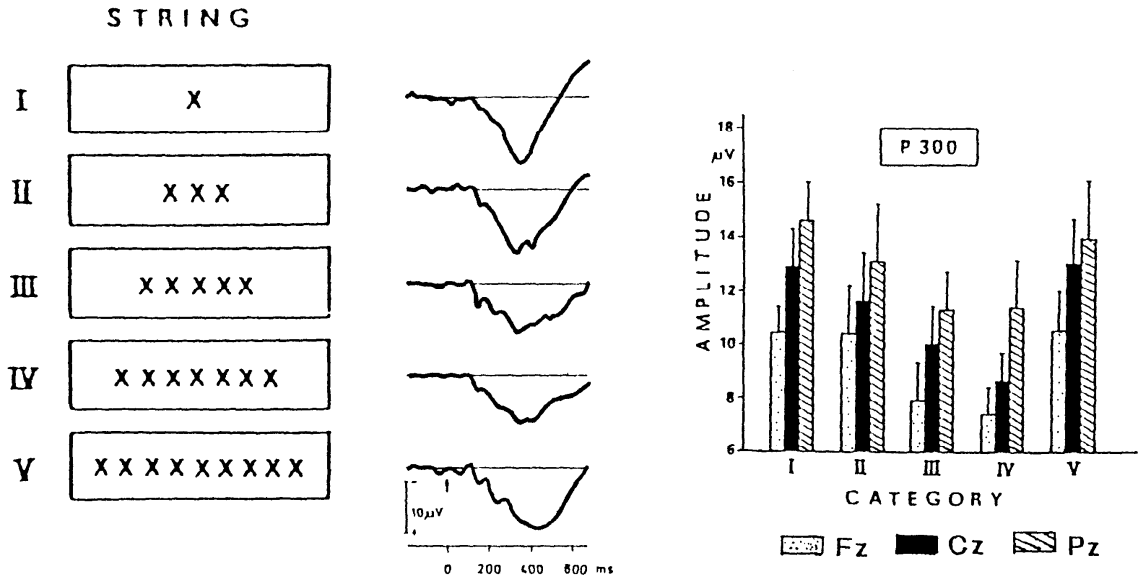

Figure 1-6. 長さの異なる 5 種類の文字列(左)を分類判断させる課題で得られた各文字列に対する ERP 波形(中央)と P300 の振幅(右) (Ullsperger & Gille, 1988).

Mecklinger, 1996）.

刺激が生体に与える効果は，刺激の物理的特性によって一義的に規定されない．物理的には同一の刺激であっても，それが呈示される文脈，生体の過去経験などによって異なった知覚や判断が生じる．このような現象は“基準系”という概念で説明されてきた（中島, 1986）．われわれは一種の心理的座標系（基準系）をもっており，与えられた刺激はその基準系のなかに位置づけられることで心理的特性が決まるというのである．Helson の AL 説は，このような基準系を定量化しようとする試みであり，もともと知覚判断の分野で提唱された（野口, 1964）．AL は「生体に何の反応も引き起こさせないか，中性的な反応を生じさせる刺激値」であり，被験者がそれまでに受けたすべての刺激の加重対数平均値で近似できる．入力刺激の評価は AL との比較によって行われ，AL よりも大きい刺激には“大きい”という正の判断が，それよりも小さい刺激には“小さい”という負の判断が生じると考えられた．また，入力刺激と AL との距離（ずれ）が大きいほど，強い判断（反応）が生じると仮定された．

このような AL 説の概念に基づいて，Ullsperger らは，長さの異なる文字列やピッチの異なる音といった刺激の分類判断が求められるときには，被験者はそれらの刺激の平均（中間の刺激）に認知的に順応すると考えた．そして，入力刺激と AL との距離が大きいほど，強い反応（P300）が生じると仮定した．感覚刺激の分類判断課題で，P300 振幅が最小と最大の刺激で大きく，中間の刺激で小さかったのは，前者が後者にくらべて AL からの距離が大きかったからだと彼らは説明している（Ullsperger & Gille, 1988 他）．

さて，本研究では P300 振幅を示差性の指標として利用するが（Ⅰ-3-3-g），これと Ullsperger らの仮説とはどのように関連するのだろうか？ Helson (1964) は，“刺激と AL との差”（それぞれの対数値の差）が示差性の測度になると述べた (p. 440)．そのように考えると，AL から離れた刺激ほど大きな P300 を引き起こすという Ullsperger らの仮説は，AL から離れた刺激は示差性が高くなり，そのために大きな P300 を引き起こすと解釈し直すことができる．AL 説は，分類判断課題で刺激間に示差性の違いが生じる理由を説明する一つの仮説であるといってもいいだろう．

Ⅰ-4-2 記号刺激の分類判断課題における P300

投石は，Ullsperger らが用いたような感覚刺激ではなく，記号である数字を分類判断させる課題で ERP を測定した（Nageishi, 1996）．

実験 1 では，10 種の数字（1－9，0）を等確率にランダムな順序で呈示して，それぞれに対してボタン押しをさせる選択反応時間（choice reaction-time; CRT）課題を行わせた（Figure 1-7）．数字と反応指の組み合わせを変えた 3 条件を設定した．10CRT 条件では，これら 10 種の数字にそれぞれ左手の小指から右手の小指までの 10 指を順に対応させて，各指でボタンを押して反応させた．5CRT 条件では，これらの数字を，1 と 2，3 と 4，5 と 6，7 と 8，9 と 0 の 5 つの組にして，右手の親指，人差指，中指，薬指，小指でそれぞれ反応させた．2CRT 条件では，偶数と奇数の数字に対して，右手の人差指と中指でそれぞれ反応させた．それぞれの条件で各数字に対する ERP を測定したところ，10CRT 条件と 5CRT 条件では，P300 の振幅は数字の大きさによって U 字型に変化した．すなわち，刺激セットの両端に近い数字（1 や 0）に対する P300 は大きく，中間の数字に対する P300 は小さかった．しかし，2CRT 条件では，P300 振幅にそのような変化は認められなかった．

実験 2 では, 5 種類の数字（3, 4, 5, 6, 7）を分類判断させる課題を行わせた（Figure 1-8）．これらの数字を等確率で呈示して，数字と反応指（右手）の組み合わせを変えた以下の 3 条件を実施した．Compatible 条件では，5 つの数字をその大きさの順序に沿って 5 つの反応指と対応させた．Random 条件では，数字と反応指とをランダムに対応させた．Odd/Even 条件では，偶数（4，6）には人差指で，奇数（3，5，7）には中指でそれぞれ反応させた．各条件で ERP を測定したところ，Compatible 条件では，P300 の振幅は数字によって U 字型に変化した（3 と 7 で大きく 4，5，6 で小さかった）．Random 条件では，ERP を数字ごとに求めたときにも反応指ごとに求めたときにも，P300 振幅に有意な差は得られなかった．Odd/Even 条件では，偶数の方が奇数よりも P300 振幅が大きかった（偶数の方が呈示確率が低かった）．

以上の結果は，数字という記号刺激を分類判断させる課題でも，P300 振幅が U 字型に変化する場合があることを示している．得られた U 字型変化は，感覚刺激の分類判断課題で得られたものとよく似ていた．しかし，P300 振幅が U 字型に変化

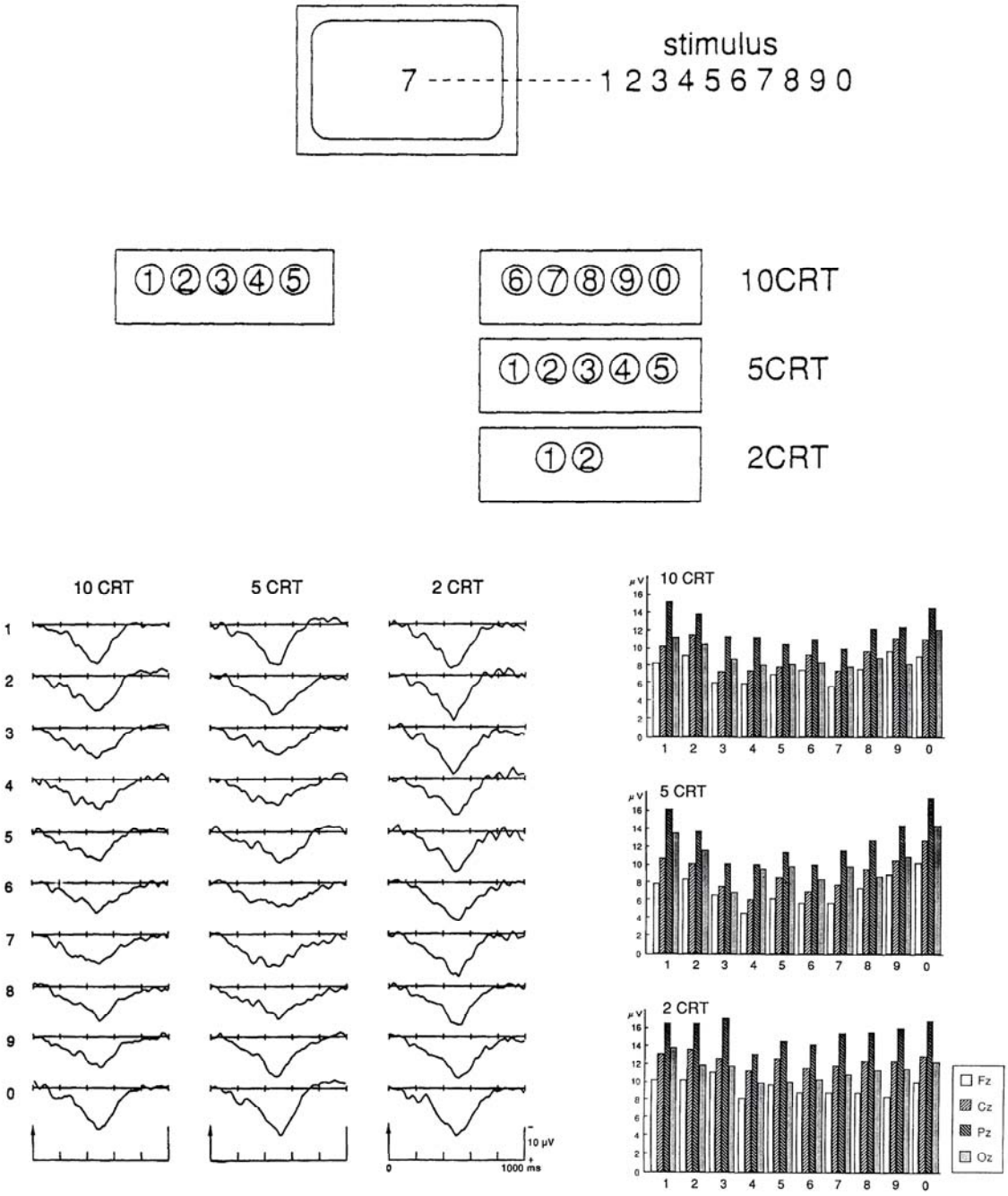

Figure 1-7. 10 種類の数字を分類判断させる課題で得られた各数字に対する ERP 波形と P300 の振幅. 刺激と反応の組み合せを変えた 3 条件を行った（Nageishi, 1996, 実験 1）.

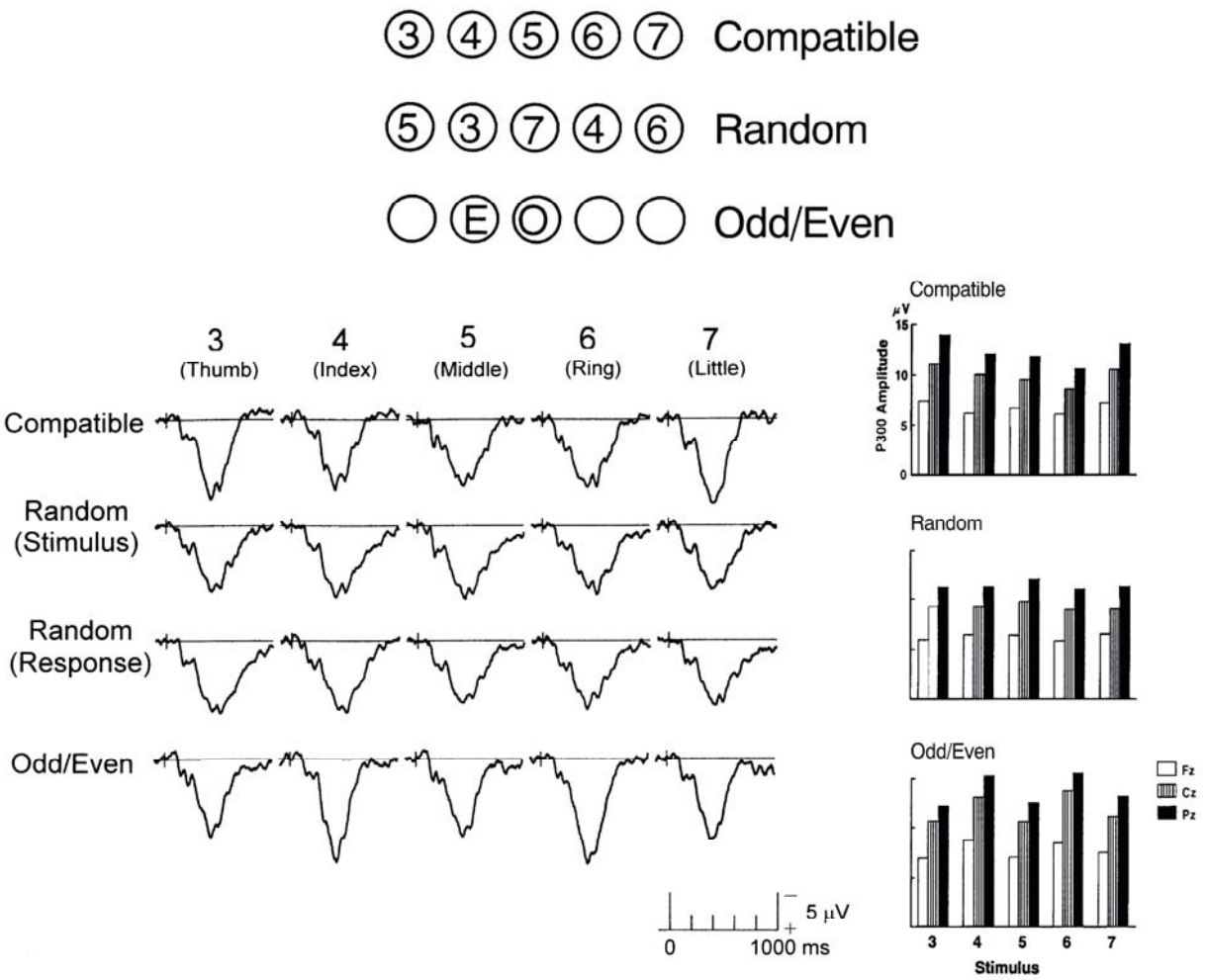

Figure 1-8. 5 種類の数字を分類判断させる課題で得られた各数字(反応指)に対する ERP 波形と P300 の振幅. 刺激と反応の組み合せを変えた 3 条件を行った (Nageishi, 1996, 実験 2).

したのは，それぞれの数字がその大きさの順序に沿って反応指と対応していたときだけだった．

ところが，数字の分類判断課題で，それぞれの数字がその大きさの順序に沿って反応指と対応していても，P300 振幅の U 字型変化が生じなかったという報告もある．Mecklinger & Ullsperger（1993，実験 2）は，数字の 1 から 5 まで（ドイツ語の eins, zwei, drei, vier, fünf）を“音声で”呈示して，それぞれに対して親指から小指の 5 本の指でボタンを押して反応するように被験者に求めた．この場合にも，数字はその大きさの順序に沿って反応指と対応させられていたから，Nageishi（1996）によれば，P300 振幅は数字によって U 字型に変化すると予測される．しかし，実際は，刺激間に P300 振幅の差は認められなかった．

このように記号刺激の分類判断課題における P300 振幅の変化については，現在でも不明な点が多い．そこで，本研究では，記号刺激の分類判断課題で ERP を測定した 4 つの実験を行った．

Ⅱ　実験編

Ullsperger ら（Ullsperger & Gille, 1988 他）は，感覚刺激を分類判断させる課題で ERP を測定して，それぞれの刺激に対する P300 成分の振幅が U 字型に変化することを発見した．P300 振幅を示差性の指標とすると，この U 字型変化は，分類される刺激の間に示差性の違いがあったことを示している．刺激セットの端に近い刺激は，刺激セットの中間にある刺激にくらべて，示差性が高かったのである．

このような刺激間の示差性の違いは，AL 説によって説明することができる．AL 説では，ある刺激の示差性は，その刺激値が刺激の平均値（AL）から離れているほど高くなると想定する．したがって，AL から離れていた刺激セットの端の方の刺激は，AL に近かった中間の刺激よりも示差性が高くなったのである．

しかし，Nageishi（1996）は，数字という記号刺激の分類判断を行わせるときにも，同様の P300 振幅の U 字型変化が生じることを示した．ただし，それは，数字がその大きさの順序に沿って反応指と対応していた場合に限られていた．この結果も，分類される刺激間に示差性の違いがあったことを示している．しかし， AL 説によって Nageishi（1996）の結果を説明することは困難である．AL 説では，示差性は刺激同士の関係によって（反応とは無関係に）決まると想定するので，刺激と反応の組み合わせを変えると示差性の違いがなくなった（P300 振幅の U 字型変化がなくなった）という結果を説明できないのである．記号刺激を分類判断させるときに刺激間に示差性の違いが生じる仕組みを説明するには，AL 説以外の理論が必要になる．また，P300 振幅の U 字型変化が生じる条件についても，意見の一致が得られていない（Mecklinger & Ullsperger, 1993, 実験 2）．

本研究では，まず，記号刺激の分類判断課題で P300 振幅の U 字型変化が生じる条件を明らかにするために，4 つの実験を行った．すべての実験で，5 肢選択反応時間（5CRT）課題を用いた．5 種類の刺激を一つずつランダムな順序で等確率に呈示して，それぞれに対して異なったボタンを押して反応させた．正しく反応できた刺激に対する ERP を測定した．

Ⅱ　実験編

実験 1 では, 数字以外の記号刺激（アルファベット）を用いた分類判断課題で ERP を測定して，刺激のどのような属性が P300 振幅の U 字型変化を生じさせるのかについて考察した．また，刺激の呈示文脈の効果と練習効果についても検討した．実験 2 では，感覚刺激（大きさの異なる円）の分類判断課題と記号刺激（アルファベット）の分類判断課題でそれぞれ ERP を測定して，両者で得られた P300 振幅の U 字型変化の異同について検討した. 実験 3 では, もともと互いに関連のない刺激（幾何学図形）の分類判断を行わせるときに，それらの刺激をあらかじめ相互に関連づけた（人工的な順序を学習させた）場合と無関連のままにしておいた場合とで, P300 振幅の結果に違いがあるかどうかを調べた．実験 4 では，ワーキングメモリの“容量”の個人差と P300 振幅との関連について，数字の分類判断課題を用いて検討した.

以上の 4 つの実験によって，P300 振幅の U 字型変化が生じる条件を明らかにした後で，総合論議へ進む．総合論議の中では，分類判断課題で生じる刺激間の示差性の違いを説明する新しい仮説を提案する（Ⅲ-1-2）．また，《刺激と反応の組み合わせの表象》という観点から，分類される刺激間の示差性の違いを再解釈して，ワーキングメモリの中で刺激と反応がどのように結びついているのかについて推測する（Ⅲ-1-3）.

Ⅱ-1 実験 1

Nageishi（1996）は，数字を分類判断させる課題で P300 振幅の U 字型変化が生じることを示した．しかし，そのような結果は，数字という特殊な記号刺激――記号でありながら感覚刺激と同じように量的属性を持っている刺激――を用いたために起こったむしろ例外的なケースなのかもしれない．そこで，実験 1 では，量的属性は持たないが順序づけられた記号（アルファベット）を分類判断させる課題で ERP を測定した．Nageishi（1996）は，数字がその大きさの順序に沿って反応選択肢と対応していたときに，P300 振幅の U 字型変化が生じることを示した．アルファベット刺激がその順序に沿って反応選択肢と対応しているときにも，同様の振幅変化は生じるのだろうか？

また，実験 1 では，刺激が呈示される文脈の効果についても検討した．5 種類の刺激がランダムな順序で呈示されると，ときどき同じ刺激が 2 回以上連続して呈示されることがある．物理的には同一の刺激であっても，その刺激が直前の試行の刺激と同じだった場合と違っていた場合とでは，異なった処理が行われると考えられる．それぞれの場合について別々に行動測度と ERP 波形を求めて，刺激の呈示文脈が分類判断に及ぼす効果について検討した．

さらに，実験 1 では，同じ分類判断課題を繰り返し行うことにより，パフォーマンスや P300 振幅がどのように変化するかという練習効果についても検討を行った．

方法

被験者

大学生 8 名（男 4 名，女 4 名，19－23 歳）．全員が右手利きで，視力は正常または正常に矯正されていた（自己申告による）．

刺激

アルファベットの連続する 5 つの大文字（Q，R，S，T，U）を使用した．A や B といったアルファベットの最初の方の文字は，それぞれが特別な意味を持つと考えられる（Hovancik, 1985）ので避けて，形態が似ていない連続した 5 文字 Q，R，S，T，U を選んだ．これらの文字を被験者の眼前約 80 cm に設置したコンピュータディスプレイ（NEC PC8853n）の中央に等確率（各 20 %）にランダムな順序で呈示し

た．刺激持続時間は 300 ms，刺激間間隔は 1500 ms であり，各文字の大きさは縦 10 mm×横 8 mm だった．

手続き

電極を装着した後，被験者を電気的にシールドされた部屋に連れていき，コンピュータディスプレイの前に安楽な姿勢で座らせた．コンピュータディスプレイ上にひとつずつ呈示されるアルファベットに対して，右手の 5 指でボタンを押して反応するように被験者に求めた．刺激 Q，R，S，T，U に対して，それぞれ親指，人差指，中指，薬指，小指で反応させた．反応ボタンはそれぞれの指で自然に押せるような形で反応ボックス上に配置されていた（Figure 2-1）．実験を始める前に，60 試行の練習を行わせた．その後，100 試行を 1 ブロックとして 12 ブロック（計 1200 試行）を実施した．ブロック間には短い休憩をとった．反応はできるだけはやく正確に行うように教示した．刺激呈示の制御と反応時間（RT）の計測は，パーソナルコンピュータ（NEC PC9801RX）で行った．

脳波記録

脳波は，銀-塩化銀電極を用いて，正中線上の 3 部位（国際式 10-20 法による Fz［前頭部］，Cz［中心部］，Pz［頭頂部］）から，両耳朶連結を基準として導出した．同時に，左眉上縁に取りつけた電極からも，両耳朶連結を基準として記録を行い，眼球運動および瞬目によるアーチファクトを監視した．接地電極は前額部に装着した．これらの生体電気信号を，脳波計（NEC 三栄 1A52A）を用いて増幅し（時定数 1.5 s，高周波遮断フィルタ 30 Hz），シグナルプロセッサ（NEC 三栄 7T17）で刺激呈示前 100 ms から呈示後 1000 ms までの 1100 ms 間を 5 ms ごとに A/D 変換した．試行ごとのデータはフロッピーディスクに保存した．

データ収集

呈示された刺激が直前の試行の刺激と異なっていた場合を Different 試行，同じだった場合を Same 試行として区別した．本実験では，すべての刺激を等確率で呈示したので，全試行の約 80 %が Different 試行，残りの約 20 %が Same 試行であった．データはすべて被験者ごとに算出した．まず，行動測度として，Different 試行と Same 試行のそれぞれについて，文字ごと（Q，R，S，T，U）に誤反応率と平均 RT を計

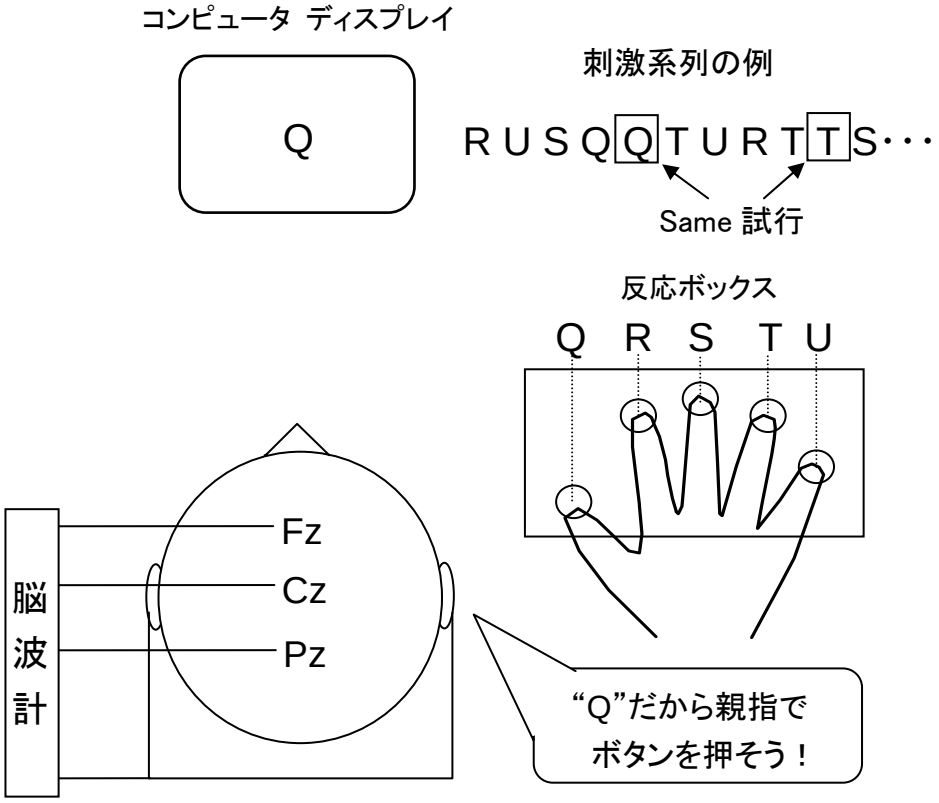

Figure 2-1. 実験場面の模式図.

算した．このとき，RT が 200 ms 未満（尚早反応）または 1200 ms 以上（無反応）であった試行は誤反応試行とみなした．次に，脳波データを，試行タイプ（Different／Same），文字，記録部位別に加算平均して ERP 波形を求めた（2 試行タイプ×5 文字×3 記録部位 = 30 本の波形）．このとき脳波電極あるいは眼球運動・瞬目監視電極の記録に± 80 μV 以上の電位が含まれていた試行は，アーチファクトを含む試行とみなして加算対象から除外した．また，誤反応試行と各ブロックの最初の試行を加算対象から除いた．各加算平均波形のベースラインは，刺激前 100 ms 間の平均電位とした．P300 成分は，それぞれの加算平均波形上で刺激呈示開始後 270－800 ms の区間における最大の陽性の振れとして同定し，その頂点潜時と頂点振幅を計測した．

また，練習効果について検討するために，全 12 ブロックを最初から 3 ブロックずつに区切って，それぞれ Phase 1（1－3 ブロック），Phase 2（4－6 ブロック），Phase 3（7－9 ブロック），Phase 4（10－12 ブロック）とした．そして各 Phase における Different 試行のデータについて，文字ごとに誤反応率と平均 RT を計算し，文字，記録部位別に ERP 波形を求めた．P300 の振幅と潜時は上述の方法で計測した．Same 試行については，ERP の加算回数が不足するために分析しなかった．

統計分析

得られた結果を統計的に確認するために，繰り返し測度の分散分析（ANOVA）を行った．繰り返し測度の ANOVA においては，分散・共分散の非等質性により第一種の過誤を犯す確率が増えることが指摘されている（Vasey & Thayer, 1987）．これを避けるために，Greenhouse-Geisser のεを用いて自由度を調節した後に F 値の有意性を検定した．多重比較には Tukey の HSD 法を用いた．また，P300 振幅の刺激による変化パターンは，傾向分析（多項式対比）によって確認した．U 字型の変化が生じているときには２次の傾向が有意になる．すべての統計検定において有意水準は 5 %に設定した．なお，p 値が 10 %を越えた検定結果については，原則として F 値やε値の報告を省略した．以上の分析は，SPSS（SPSS, Inc.）と Visual Stat（StatSoft, Inc.）を併用して行った．

結果

行動測度

Table 2-1 に，被験者 8 名の平均誤反応率と平均 RT を示した．Same 試行の方が Different 試行よりも誤反応率が低く，RT も約 120 ms 短かった．誤反応率と RT のそれぞれについて, 試行タイプ×文字の繰り返し測度の ANOVA を実施したところ, どちらも試行タイプの主効果が有意であった（誤反応率：$F(1, 7) = 12.19$, $p = .01$, RT：$F(1, 7) = 39.39$, $p < .001$）．文字の主効果および交互作用はどちらの測度にも認められなかった.

Phase 1－4 における Different 試行での誤反応率と平均 RT を Table 2-2 に示した．Phase 1 から Phase 2 へ移行するときに，誤反応率の低下と RT の減少が認められるが，それ以降に大きな変化はない．それぞれの測度について，Phase×文字の繰り返し測度の ANOVA を行ったところ，Phase の主効果は，誤反応率ではほぼ有意だったが（$F(3, 21) = 4.17$, $p = .07$, $\varepsilon = .48$），RT では有意にならなかった（$F(3, 21) = 3.07$, $p = .12$, $\varepsilon = .40$）．文字の主効果および交互作用はなかった.

ERP

Figure 2-2 に，全被験者の総加算平均波形を示した．3 つの記録部位で得られた波形を重ね描きしてある．Different 試行と Same 試行のどちらの波形においても，刺激呈示後 400－500 ms に頂点をもち, Pz 記録で最大振幅を示す陽性（図中で下向き）の振れ，P300 成分が認められる．その振幅は頭頂部（Pz：実線）で最大で，中心部（Cz），前頭部（Fz）と徐々に小さくなっている．Different 試行の P300 は，その振幅が文字によって異なっている．両端の Q，U では大きく，中間の R，S，T では小さい. この P300 振幅の U 字型変化は Pz 記録において最も顕著である. 他方, Same 試行の P300 は，全体的に頂点潜時が短く高振幅であり，文字による振幅差は小さい.

P300 振幅（Figure 2-3）のデータに対して，試行タイプ×文字×部位の繰り返し測度の ANOVA を実施したところ，試行タイプ，文字，部位のすべての主効果が有意になった（それぞれ $F(1, 7) = 5.41$, $p =.05$; $F(4, 28) = 3.70$, $p =.03$, $\varepsilon = .71$; $F(2, 14) = 16.74$, $p = .003$, $\varepsilon = .59$）．交互作用はいずれも有意でなかった．文字の効果について

Table 2-1. Different 試行と Same 試行における文字ごとの誤反応率（%）と平均反応時間（ms）

		Stimulus					
		Q	R	S	T	U	*M*
Error Rate							
Different	*M*	4.64	3.78	5.17	4.41	3.97	4.39
	SD	2.12	2.59	3.26	2.86	3.05	2.11
Same	*M*	1.65	1.85	0.93	1.02	1.60	1.41
	SD	1.57	2.82	1.40	1.10	1.87	0.82
Reaction Time							
Different	*M*	638	633	646	629	640	637
	SD	34	35	62	62	36	34
Same	*M*	506	522	507	506	551	519
	SD	35	34	42	45	47	34

Table 2-2. Phase 1ー4 における Different 試行での文字ごとの誤反応率（%）と平均反応時間（ms）

		Stimulus					
Phase		Q	R	S	T	U	*M*
Error Rate							
1	*M*	8.42	8.12	7.54	4.75	7.05	7.17
	SD	7.57	7.61	5.24	3.92	6.26	4.58
2	*M*	3.10	2.31	4.02	5.44	3.11	3.60
	SD	2.99	2.33	4.90	3.04	2.38	2.28
3	*M*	3.73	2.16	4.40	4.87	3.09	3.65
	SD	2.16	1.91	3.94	6.10	2.94	2.69
4	*M*	3.12	2.09	4.60	2.88	3.02	3.14
	SD	2.18	1.93	2.43	4.01	2.97	2.15
Reaction Time							
1	*M*	664	676	667	665	658	666
	SD	94	62	75	93	63	63
2	*M*	644	640	656	627	630	639
	SD	41	39	63	67	37	35
3	*M*	632	609	635	611	634	624
	SD	30	47	68	60	53	42
4	*M*	616	613	627	618	635	622
	SD	28	36	71	60	36	34

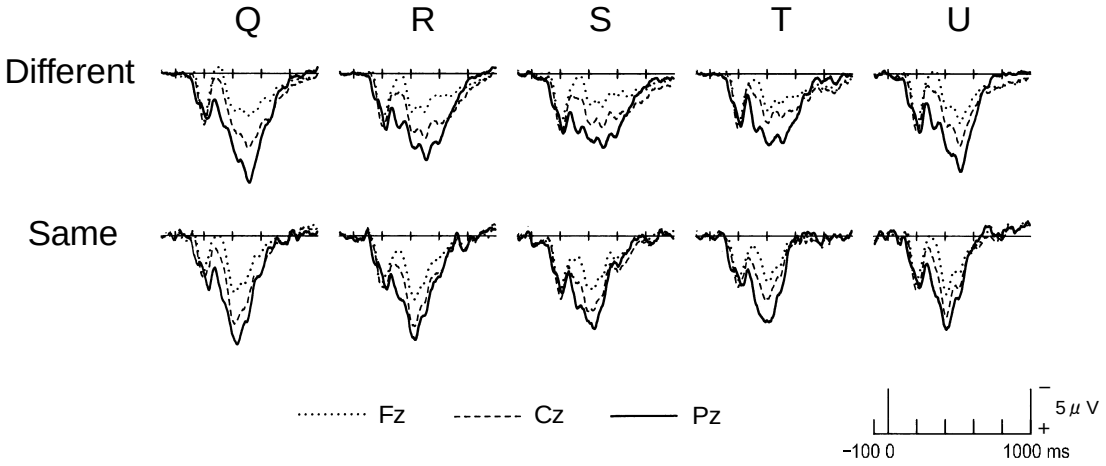

Figure 2-2. Different 試行と Same 試行における各文字に対する ERP 波形.

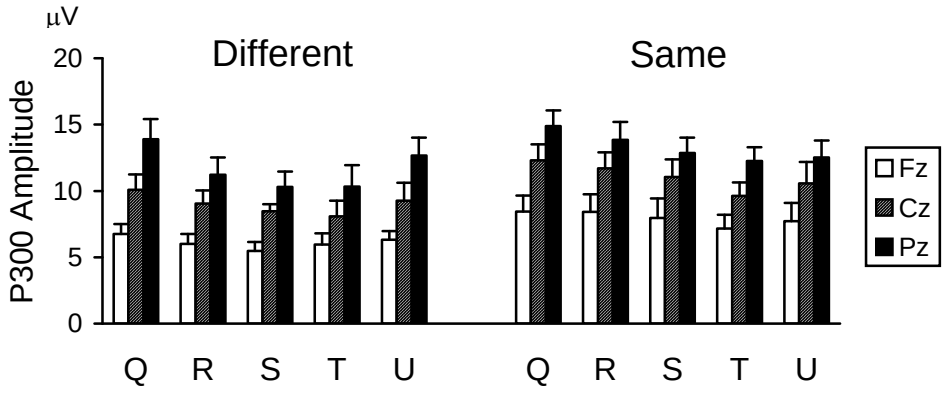

Figure 2-3. Different 試行と Same 試行における文字ごとの P300 振幅.

多重比較したところ，Q に対する P300 振幅が T に対する P300 振幅よりも有意に大きかった．P300 振幅の U 字型変化を確認するために，Different 試行と Same 試行のそれぞれの Pz 記録の値に対して傾向分析を行った．その結果，Different 試行でのみ有意な 2 次の傾向が認められた（$F(1, 7) = 29.55$, $p = .001$; Same 試行では $F < 1$）．

P300 潜時（Table 2-3）についても同様の ANOVA を行った結果，試行タイプの主効果のみが有意になった（$F(1, 7) = 9.95$, $p = .02$）．その他の主効果や交互作用は有意でなかった．文字と部位を平均した P300 潜時は，Different 試行で 485 ms，Same 試行で 455 ms であった．

Phase 1－4 における Different 試行での総加算平均波形を Figure 2-4 に示した．どの Phase でも P300 振幅の U 字型変化が認められるが，Phase 間で大きな違いはない．P300 振幅（Figure 2-5）について，Phase×文字×部位の繰り返し測度の ANOVA を行ったところ，Phase の主効果や Phase を含む交互作用はなかった．P300 潜時についても同様の ANOVA を行ったが，有意な効果は一つも得られなかった（Pz 記録の P300 潜時を Table 2-4 に示した）．

論議

数字以外の記号刺激を分類判断させるときにも，P300 の振幅が刺激によって U 字型に変化することが示された．この結果は，分類判断課題において，数字にかぎらず刺激が何らかの次元で順序づけられており，その順序に沿って反応選択肢と対応していたときには，P300 振幅の U 字型変化が生じることを示している．パフォーマンス（誤反応率や RT）には刺激による差がなかったので，得られた P300 振幅の変化は，反応とは直接関係しない過程で生じたものだと考えられる．

直前の試行と同じ刺激が連続して呈示された Same 試行では，異なる刺激が呈示された Different 試行とくらべて，誤反応が少なく，RT が約 120 ms 短く，P300 潜時が約 30 ms 短く，P300 振幅が大きかった．これらの結果は，Same 試行における刺激の処理が Different 試行における刺激の処理とかなり異なっていたことを示している．Same 試行では被験者は（論理的には）直前の試行と同じ反応をすればよいが，Different 試行では刺激に対する反応を 5 つの選択肢の中から新しく選び出さなくてはならない．このような処理の違いが，いろいろな測度に反映されたのだろう．P300

Table 2-3. Different 試行と Same 試行における文字ごとの P300 潜時（ms）

		Stimulus					
		Q	R	S	T	U	*M*
Different							
Fz	*M*	522	487	491	469	475	489
	SD	112	95	107	99	46	84
Cz	*M*	523	471	493	471	478	487
	SD	102	99	106	105	45	83
Pz	*M*	503	494	469	455	479	480
	SD	46	57	46	41	44	37
Same							
Fz	*M*	474	468	487	481	474	477
	SD	93	83	99	116	112	97
Cz	*M*	439	474	438	469	473	459
	SD	55	67	63	109	103	64
Pz	*M*	429	426	456	423	420	431
	SD	39	38	32	40	28	26

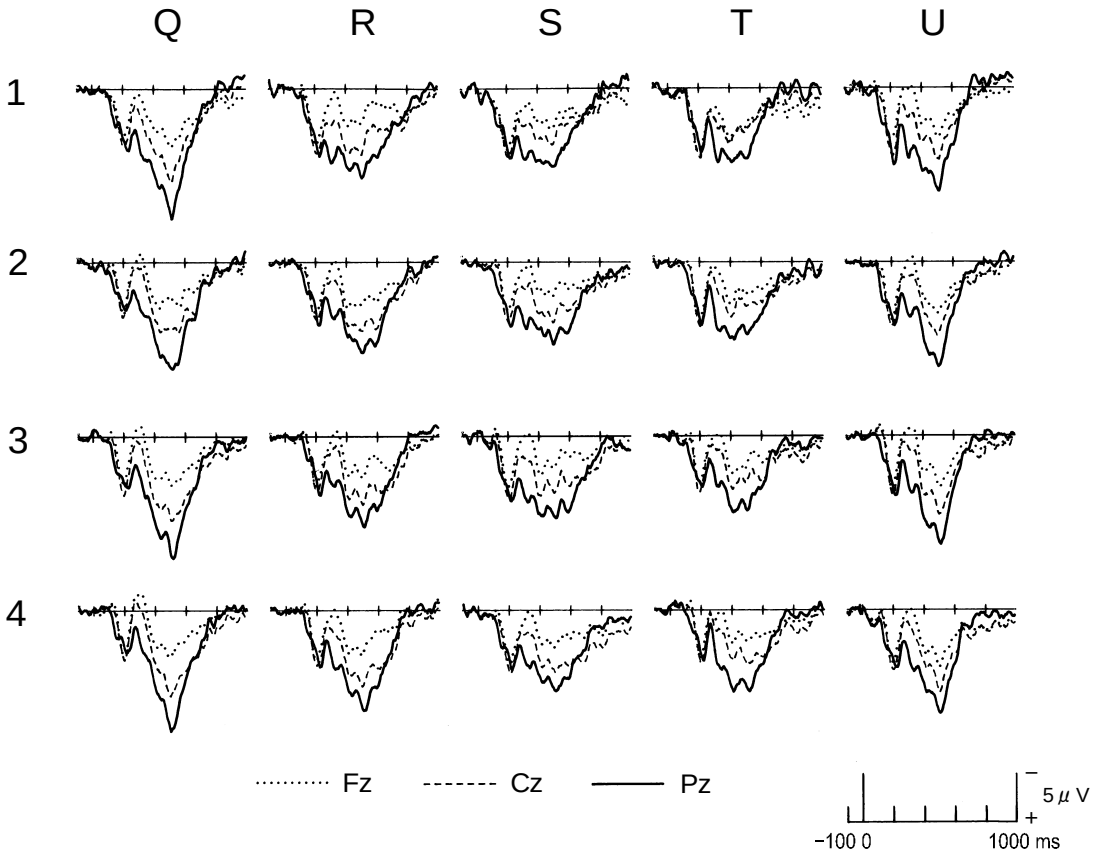

Figure 2-4. Phase 1－4 における Different 試行での各文字に対する ERP 波形.

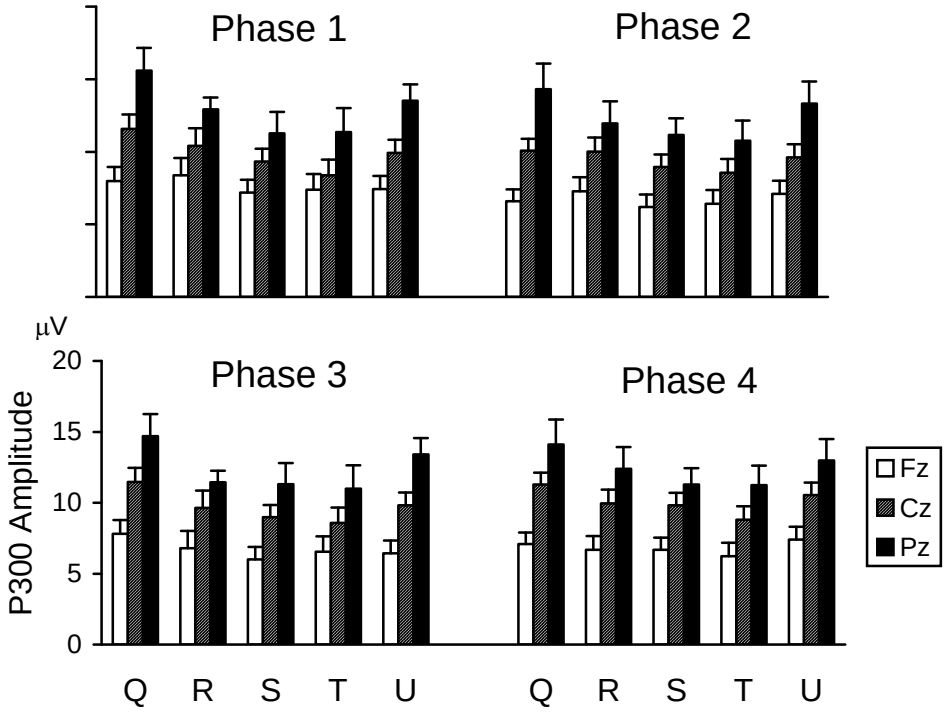

Figure 2-5. Phase 1－4 における Different 試行での文字ごとの P300 振幅.

Table 2-4. Phase 1－4 における Different 試行での文字ごとの P300 潜時（ms, Pz 記録）

Phase		Stimulus					
		Q	R	S	T	U	*M*
1	*M*	483	504	474	453	477	478
	SD	45	78	69	60	42	44
2	*M*	483	488	473	459	485	478
	SD	58	59	81	77	44	51
3	*M*	501	490	450	479	503	485
	SD	46	111	61	68	37	65
4	*M*	508	474	466	451	486	477
	SD	40	44	57	72	39	50

振幅の U 字型変化は Different 試行では顕著であったが，Same 試行では有意でなかった．このことは，P300 振幅の U 字型変化が，複数の反応選択肢の中から新しく反応が選び出される過程と関係していることを示唆している．

Different 試行で認められた P300 振幅の U 字型変化は，練習試行から本試行に移った直後でも，さらに 1000 回以上の分類判断を行った後でも，ほとんど差がなかった．この間にパフォーマンスは（有意ではないが）やや向上したことを考慮すると，P300 振幅の U 字型変化を生じさせている仕組みは，反応の実行とは直接関係せず，また練習によっても容易に変化しない性質をもつと推測できる．

Ⅱ-2 実験 2

実験 1 により，数字にかぎらず記号刺激が何らかの次元で順序づけられており，その順序に沿って反応選択肢と対応していた場合には，P300 振幅の U 字型変化が生じることが示唆された．次に問題になるのは，このような記号刺激による P300 振幅の U 字型変化が，Ullsperger らの報告した感覚刺激の分類判断課題における P300 振幅の U 字型変化（Ⅰ-4-1 参照）と同じ現象として，共通の枠組みで説明できるのかどうかである．そこで，実験 2 では，5 つの感覚刺激（大きさの異なる円）を分類判断させる課題と 5 つの記号刺激（アルファベット）を分類判断させる課題とを同じ被験者に行わせて，それぞれの課題で得られる P300 振幅の U 字型変化を比較した. 2 つの課題でパフォーマンスレベルが極端に異なると P300 振幅に関する比較ができないので，感覚刺激の分類判断課題には弁別困難度の異なる 2 条件を設定した.

また，実験 2 ではこれまでに観察されてきた P300 振幅の U 字型変化が，P300 振幅そのものの変化であるかどうかについても検討した．通常，ERP は刺激に対する数十回分の脳波反応をその刺激の開始時点にそろえて加算平均することで求める（Ⅰ-3-1 参照）．この方法は，毎回の脳波反応が同じ時間的関係で生起しているという前提で行われるが，しばしばその前提が成り立たなくなることがある．P300 成分についていえば，刺激の弁別が難しかったり，他の課題を同時に遂行していたりすると，試行ごとに頂点潜時が一定せず，ばらついてしまう．このような場合に通常の加算平均法を用いると, P300 の波形は鈍くゆるやかな（基線への復帰が遅い）丘状となり，振幅は見かけ上減少する．これまで報告されてきた分類判断課題の ERP 波形はすべて通常の加算平均法で算出されたものだから，得られた P300 振幅の U 字型変化には, このような潜時のばらつきによる見かけ上の振幅低下が含まれていたかもしれない．すべての刺激に等振幅の P300 が出現していたとしても，試行間の P300 潜時のばらつきが，端に近い刺激で小さく，中間の刺激できわめて大きければ, 加算平均することで見かけ上の U 字型の振幅変化が生じることもありうる．このような P300 潜時の試行ごとのばらつきを調整して P300 振幅をより正確に測定するために，適応型相関フィルタ（adaptive correlating filter）とよばれる分析方

法が提案されている（Woody, 1967; 投石, 1990）．この方法は，一試行ごとに P300 の潜時を推定して，その潜時に揃えて各試行の脳波データの加算平均を行うというものである．実験 2 では，通常の刺激同期加算平均波形に加えて，このような潜時調整加算平均波形も求めた．両者を比較することにより，P300 振幅の U 字型変化が，P300 振幅そのものの変化によるものなのか，それとも試行ごとの潜時のばらつきによる見かけ上の変化なのかについて明らかにすることができる．

なお，実験 1 で，直前の試行と同じ刺激が続けて呈示されたとき（Same 試行）には，異なる刺激が呈示されたとき（Different 試行）とくらべて，刺激の処理が明らかに異なっていることが示された．すでに述べたように，ERP の加算平均波形を求めるときには，同じ処理が行われていると考えられる試行の脳波データを加算平均するのが原則である．行われている処理が明らかに異なる Same 試行と Different 試行とを一緒にして加算平均することは，この原則に外れる．そこで，実験 2 以降では，Same 試行（全試行の約 20 %）を分析対象から除外することにした．

方法

被験者

大学生・大学院生 14 名（男 6 名，女 8 名，21－23 歳）．全員，視力は正常または正常に矯正されており，男性 1 名を除く残りの 13 名が右手利きであった（自己申告による）．

刺激

弁別容易な円条件（以下，Easy 条件）では，直径 3，6，13，27，54 mm の 5 種類の円，弁別困難な円条件（Difficult 条件）では，直径 6，9，13，20，27 mm の 5 種類の円を用いた．アルファベット条件（Alphabet 条件）では，実験 1 と同じ Q，R，S，T，U（それぞれ縦 11 mm×横 8 mm）を使用した．それぞれの条件で使用した刺激を Figure 2-6 に示した．以下では，各条件の刺激を便宜的に刺激 1，2，3，4，5 と呼ぶことにする．Easy 条件と Difficult 条件では小さい円から順に番号をつけ，Alphabet 条件では Q からアルファベット順に番号をつけた．それぞれの条件で，5 種類の刺激をランダムな順序で等確率（各 20 %）にコンピュータディスプレイ（NEC N5913L）上に呈示した．その他の点はすべて実験 1 と同じであった．

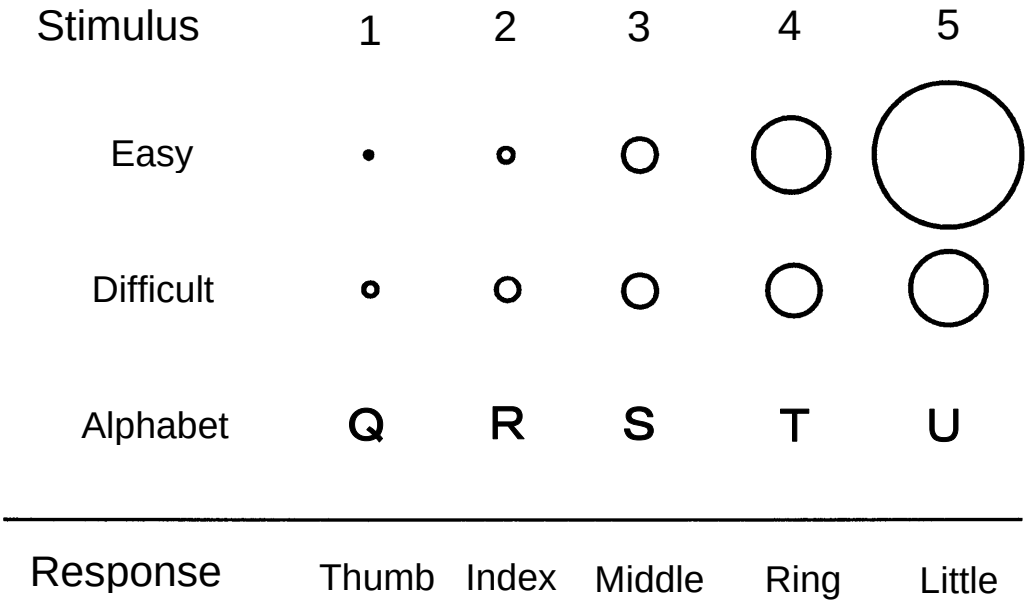

Figure 2-6. Easy, Difficult, Alphabet 条件で使用した刺激.

手続き

すべての被験者が 3 つの実験条件に参加した．条件の順序は被験者間でカウンターバランスした．被験者には，各条件で呈示される 5 種類の刺激 1，2，3，4，5 に対して，それぞれ親指，人差指，中指，薬指，小指でボタンを押して反応するように求めた．反応はできるだけはやく正確に行うように教示した．各条件を始める前に，それぞれ 100 試行の練習を行わせた．ただし，Easy 条件と Difficult 条件では，練習を行う前に，その条件で呈示される全種類の円をランダムな順序で 50 回（各刺激約 10 回）呈示して，5 種類の大きさがあることを被験者に確認させた．このとき反応は求めなかった. 120 試行を 1 ブロックとして, 各条件につき 3 ブロック（360 試行）ずつ実施した.

脳波記録

脳波記録には, 実験 1 とは異なる機器を用いた. 生体電気信号は, 生体アンプ（NEC 三栄 6R12）を用いて増幅し（低域遮断フィルタ 0.05 Hz，高域遮断フィルタ 30 Hz，どちらも-3 dB，12 dB/octave ロールオフ），A/D 変換および加算平均処理はシグナルプロセッサ（NEC 三栄 DP1200）で行った．機器が変わっても，記録条件が実験 1 と大きく変わらないように配慮した．その他の点は，実験 1 と同じであった.

データ収集

先に述べたように，以下の分析は，直前の試行と同じ刺激が続けて呈示された試行をすべて除いて行った．まず，行動測度として，それぞれの条件について刺激ごとに誤反応率と平均 RT を求めた．このとき，RT が 200 ms 未満（尚早反応）または 1400 ms 以上（無反応）であった試行は誤反応試行とみなした．次に，脳波データを，条件，刺激，部位別に加算平均して ERP 波形を求めた（3 条件×5 刺激×3 部位＝45 本の波形）．加算平均の手続き（除外する試行の基準やベースライン）は実験 1 と同じであった. それぞれの加算平均波形について, 実験 1 と同じ方法で P300 を同定し，その振幅と潜時を計測した.

潜時調整 ERP 波形

上述したように，試行ごとの P300 潜時のばらつきが大きい場合には，刺激呈示開始時点に揃えて加算平均すると，P300 の振幅が見かけ上小さくなってしまう．そ

こで, 適応型相関フィルタを用いて, P300 振幅をより正確に測定することを試みた. その手順を以下に述べる.

①通常の加算平均を行うときと同様に，刺激呈示前 100 ms から呈示開始後 1000 ms までの 1100 ms 間の波形データを 1 試行ごとに切り出した（Pz 記録のみ）．このとき誤反応試行やアーチファクトを含んだ試行は除いた.

②5 ms 毎に 1 ポイントの割合でサンプリングされている元のデータ（220 ポイント）を，一つおきに抜きだして，10 ms 毎に 1 ポイントのサンプリング率に変換した（110 ポイント）.

③ノイズであるα波（10 Hz）のパワーを低減させるために，各試行の波形データに対して 100 ms 幅の移動平均を行った.

④P300 を推定するための 1 次テンプレートとして, 2 Hz の sin 波の谷の部分（260 ms, 26 ポイント）を用いた.

⑤各試行の波形データ上で，テンプレートの中央を刺激呈示開始後 280 ms から 800 ms まで 10 ms ごとにスライドさせながら，テンプレートのデータと各試行の波形データとの積率相関係数を求めた（26 ポイントのデータで 1 つの相関係数を求め，これを 53 回［280－800 ms］行った）.

⑥⑤で最大の相関係数が得られた点を求めて，刺激呈示開始からその時のテンプレートの中央までの時間をその試行の P300 の推定頂点潜時とした．このとき最大相関係数が 0.5 に満たない試行は, P300 潜時の推定が不可能な試行として除外した.

⑦⑥で得られた各試行の P300 の推定頂点潜時に基づき，その 280 ms 前から 200 ms 後までの計 480 ms 間の波形データを加算平均した.

⑧⑦で得られた潜時調整加算平均波形の頂点の前後 130 ms，計 260 ms を切り出して，新しいテンプレートとした.

⑨新しいテンプレートを用いて，⑤からの手順を繰り返した.

⑩各試行の最大相関係数の平均が，前回とくらべて 0.005 未満の改善であれば，その直前の潜時推定値とそれに基づく加算平均波形を採用して，分析を終わった.

⑪全試行の平均潜時推定値を計算して，⑩で得られた潜時調整加算平均波形の頂点

がそれと一致するように描画した.

⑫以上の手続きを，各条件の 5 種類の刺激それぞれについて実施した.

統計分析

実験 1 と同様であった.

結果

行動測度

Table 2-5 に, 被験者 14 名の平均誤反応率と平均 RT を示した. Easy 条件は Difficult 条件よりも誤反応が少なく，Alphabet 条件は両者の中間であった．また，Easy 条件と Difficult 条件では両端の刺激は中央の刺激に比べて誤反応が少なかった．誤反応率について，条件×刺激の繰り返し測度の ANOVA を行ったところ，条件と刺激の主効果が得られたが（それぞれ $F(2, 26) = 5.12$, $p = .02$, $\varepsilon = .75$; $F(4, 52) = 4.79$, $p = .009$, $\varepsilon = .66$），両者の交互作用は有意でなかった．多重比較の結果，Difficult 条件は Easy 条件よりも有意に誤反応が多かった．また，刺激 3 は刺激 1，5 に比べて，刺激 4 は刺激 5 に比べて，それぞれ誤反応が多かった.

RT についても，誤反応率と同傾向の結果が得られた．Easy 条件は Difficult 条件よりも RT が短く，Alphabet 条件はその中間であった．また，Easy 条件と Difficult 条件では，両端の刺激は中央の刺激に比べて RT が短かった．しかし，Alphabet 条件ではそのような系統的な差はみられなかった．RT について誤反応率と同様の ANOVA を行ったところ, 条件と刺激の主効果が認められた（それぞれ $F(2, 26) = 9.00$, $p = .004$, $\varepsilon = .72$; $F(4, 52) = 16.69$, $p < .001$, $\varepsilon = .61$）．多重比較の結果，Easy 条件は Difficult 条件よりも有意に RT が短かった．条件×刺激の交互作用も得られたので（$F(8, 104) = 22.53$, $p < .001$, $\varepsilon = .43$），条件ごとに別々に繰り返し測度の 1 要因 ANOVA を行い，刺激の効果を調べたところ，Easy 条件と Difficult 条件では有意だったが（それぞれ $F(4, 52) = 43.67$, $p < .001$, $\varepsilon = .78$; $F(4, 52) = 29.05$, $p < .001$, $\varepsilon = .64$），Alphabet 条件では有意でなかった．多重比較の結果，Easy 条件，Difficult 条件ともに刺激 1，5 に対する RT が刺激 2，3，4 に対する RT よりも短かった．さらに，Easy 条件では刺激 5 に対する RT は刺激 1 に対する RT よりも有意に短かった.

Table 2-5. Easy, Difficult, Alphabet 条件における刺激ごとの誤反応率(%)と平均反応時間 (ms)

		Stimulus					
		1	2	3	4	5	*M*
Error Rate							
Easy	*M*	2.37	3.25	4.78	3.15	1.08	2.92
	SD	2.09	3.01	3.20	2.66	1.79	1.72
Difficult	*M*	5.01	6.69	7.96	10.13	4.91	6.94
	SD	5.18	5.96	7.02	5.46	3.27	3.27
Alphabet	*M*	4.59	4.42	6.61	5.25	4.49	5.07
	SD	5.27	6.17	9.27	6.41	3.94	5.47
Reaction Time							
Easy	*M*	572	649	657	622	508	602
	SD	79	91	112	100	74	87
Difficult	*M*	620	731	707	733	619	682
	SD	82	116	97	94	90	89
Alphabet	*M*	640	639	634	625	680	644
	SD	109	130	121	138	107	113

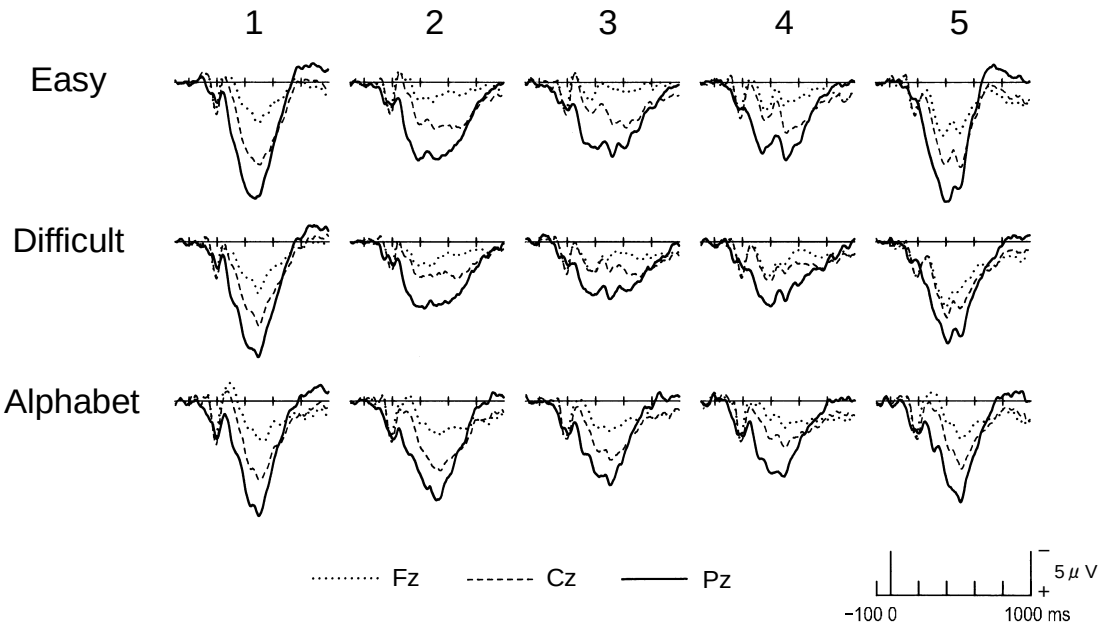

Figure 2-7. Easy, Difficult, Alphabet 条件における各刺激に対する ERP 波形.

ERP

被験者 14 名の総加算平均波形（刺激同期 ERP 波形）を Figure 2-7 に示した．すべての波形において, 刺激開始後 400－500ms に頂点をもつ陽性の大きな振れ, P300 成分が認められる. どの条件においても P300 の振幅は系統的に変化していた（Figure 2-8）．Easy 条件と Difficult 条件では，P300 振幅はほぼ左右対称な U 字型に変化した．すなわち，中央の刺激 3 で最小となり，両端の刺激 1，5 で最大となった．他方，Alphabet 条件では，刺激 1（Q）に対する振幅が刺激 5（U）に対する振幅よりも大きい歪んだ U 字型の変化が得られた.

P300 振幅について, 条件×刺激×部位の繰り返し測度の ANOVA を行った結果, 刺激と部位の主効果があった（それぞれ $F(4, 52) = 23.12, p < .001, \varepsilon = .49$; $F(2, 26) = 31.64, p < .001, \varepsilon = .71$）．条件の主効果は有意でなかった．2 次の交互作用はすべて有意であったが（条件×刺激 $F(8, 104) = 6.77, p <.001, \varepsilon = .53$; 条件×部位 $F(4, 52) = 7.89, p < .001, \varepsilon = .72$; 刺激×部位 $F(8, 104) = 7.71, p < .001, \varepsilon = .43$），3 次の交互作用は有意でなかった．条件ごとに別々に刺激×部位の繰り返し測度の ANOVA を実施したところ，Easy 条件では，刺激と部位の主効果が有意であったが（それぞれ $F(4, 52) = 18.99, p < .001, \varepsilon = .68$; $F(2, 26) = 41.26, p < .001, \varepsilon = .71$），両者の交互作用はなかった．Difficult 条件では，刺激と部位の主効果および両者の交互作用が得られた（それぞれ $F(4, 52) = 15.31, p < .001, \varepsilon = .58$; $F(2, 26) = 18.64, p < .001$; $F(8, 104) = 8.14, p < .001, \varepsilon = .51$）．Alphabet 条件でも刺激と部位の主効果および両者の交互作用が得られた（それぞれ $F(4, 52) = 5.34, p = .005, \varepsilon = .64$; $F(2, 26) = 29.18, p < .001, \varepsilon = .85$; $F(8, 104) = 3.86, p = .007, \varepsilon = 52$）．P300 振幅が最大となる Pz 記録のデータで刺激の効果の多重比較を行ったところ，Easy 条件と Difficult 条件では刺激 1，5＞刺激 2，3，4 であったが, Alphabet 条件では刺激 1＞刺激 2，3，4，刺激 2＞刺激 3 であった．傾向分析の結果，Easy 条件，Difficult 条件では 2 次の傾向のみが有意であり（それぞれ $F(1, 13) = 35.59, p < .001$; $F(1, 13) = 53.30, p < .001$），Alphabet 条件では 1 次の傾向と 2 次の傾向がともに有意だった（それぞれ $F(1, 13) = 20.86, p = .001$; $F(1, 13) = 21.65, p < .001$）．

P300 潜時（Table 2-6）について，条件×刺激×部位の繰り返し測度の ANOVA を

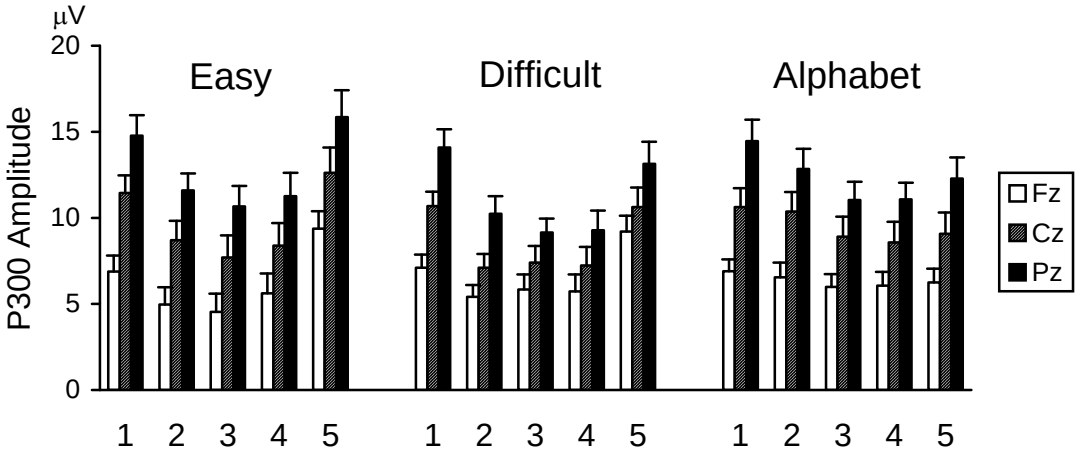

Figure 2-8. Easy, Difficult, Alphabet 条件における刺激ごとの P300 振幅.

Table 2-6. Easy, Difficult, Alphabet 条件における刺激ごとの P300 潜時（ms）

			Stimulus					
			1	2	3	4	5	*M*
Easy								
	Fz	*M*	530	549	504	488	456	506
		SD	117	175	176	140	89	127
	Cz	*M*	537	554	559	540	454	529
		SD	86	144	115	132	70	90
	Pz	*M*	483	515	513	490	445	489
		SD	72	138	139	91	69	85
Difficult								
	Fz	*M*	486	507	510	500	441	489
		SD	93	151	167	184	114	119
	Cz	*M*	510	527	534	556	469	519
		SD	85	165	144	183	139	115
	Pz	*M*	467	488	518	514	436	485
		SD	42	160	131	174	72	90
Alphabet								
	Fz	*M*	538	565	524	521	543	538
		SD	123	132	113	114	109	103
	Cz	*M*	521	538	498	524	516	519
		SD	87	113	94	112	48	72
	Pz	*M*	505	518	455	484	493	491
		SD	34	84	92	94	43	61

実施したところ，部位の主効果と条件×部位の交互作用が有意になった（それぞれ $F(2, 26) = 8.25, p = .009, \varepsilon = .59; F(4, 52) = 3.22, p = .04, \varepsilon = .63$）．刺激を平均した値で条件ごとに別々に繰り返し測度の 1 要因 ANOVA を行った結果，すべての条件で部位の効果が有意になった（Easy 条件 $F(2, 26) = 4.30, p = .04, \varepsilon = .67$; Difficult 条件 $F(2, 26) = 5.86, p = .01, \varepsilon = .77$; Alphabet 条件 $F(2, 26) = 6.68, p = .02, \varepsilon = .57$）．多重比較を実施したところ，どの条件でも P300 潜時は Pz で最も短かったが，Easy 条件と Difficult 条件では Cz で最も長く，Alphabet 条件では Fz で最も長かった．P300 潜時についての 3 要因 ANOVA では，刺激の主効果と条件×刺激の交互作用も有意傾向にあったが（それぞれ $F(4, 52) = 2.65, p = .07, \varepsilon = .64; F(8, 104) = 2.26, p = .09, \varepsilon = .43$），その他の主効果や交互作用は認められなかった．

潜時調整 ERP 波形

適応型相関フィルタを用いて算出した加算平均波形（潜時調整 ERP 波形）を Figure 2-9 に示した．潜時調整 ERP 波形における P300 は，すでに見た通常の刺激同期 ERP 波形における P300 よりも尖っており，振幅も大きい．しかしながら，P300 振幅（Figure 2-10）の刺激による変化は，刺激同期 ERP 波形の時と類似している．振幅データに条件×刺激の繰り返し測度の ANOVA を実施したところ，刺激の主効果と条件×刺激の交互作用が有意であった（それぞれ $F(4, 52) = 29.92, p < .001, \varepsilon = .50; F(8, 104) = 4.32, p < .001, \varepsilon = .76$）．条件の主効果は有意でなかった（$F(2, 26) = 3.19, p = .08, \varepsilon = .74$）．条件ごとに別々に繰り返し測度の 1 要因 ANOVA を行った結果，すべての条件で刺激の効果が有意になった（Easy 条件 $F(4, 52) = 11.84, p < .001, \varepsilon = .54$; Difficult 条件 $F(4, 52) = 20.21, p < .001, \varepsilon = .80$; Alphabet 条件 $F(4, 52) = 19.04, p < .001, \varepsilon = .79$）．多重比較を行ったところ，Easy 条件と Difficult 条件では，どちらも両端の刺激 1，5 と中間の刺激 2，3，4 との間に有意差があった．他方，Alphabet 条件では. 刺激 1 に対する P300 振幅が他のすべての刺激に対する P300 振幅よりも大きく，また刺激 2 に対する P300 振幅が刺激 3，4 に対する P300 振幅よりも大きかった．これは，すでに述べた通常の刺激同期 ERP 波形の結果とほぼ一致している．さらに傾向分析の結果も，刺激同期 ERP 波形の時と同様に，Easy 条件と Difficult 条件では 2 次の傾向のみが有意であり（それぞれ $F(1, 13) = 23.60, p < .001; F(1, 13) =$

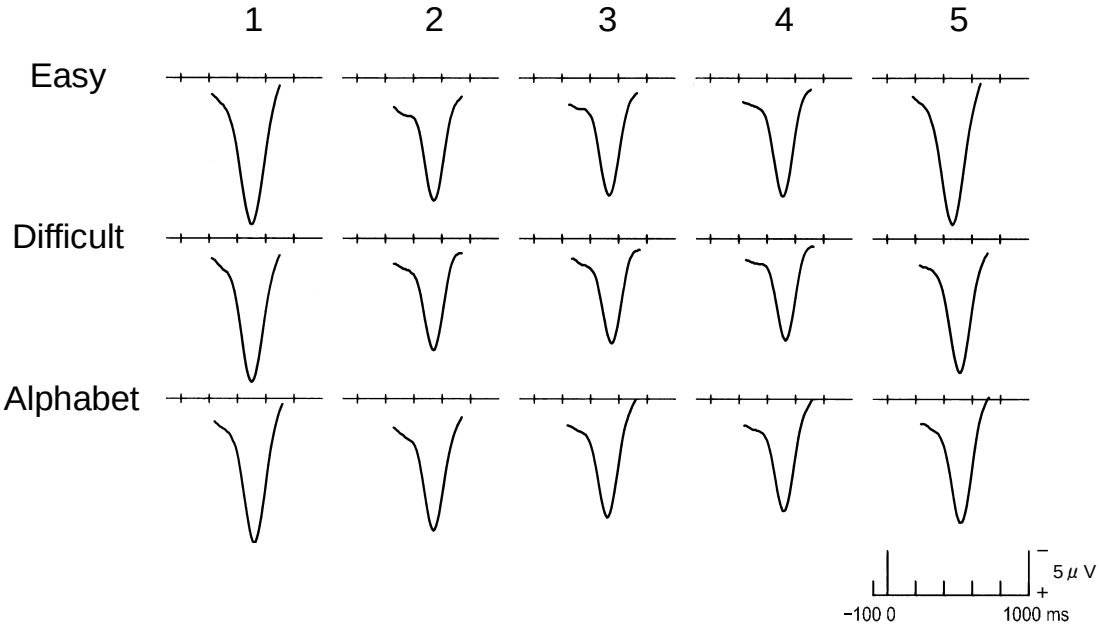

Figure 2-9. Easy, Difficult, Alphabet 条件で刺激ごとに求めた潜時調整 ERP 波形.

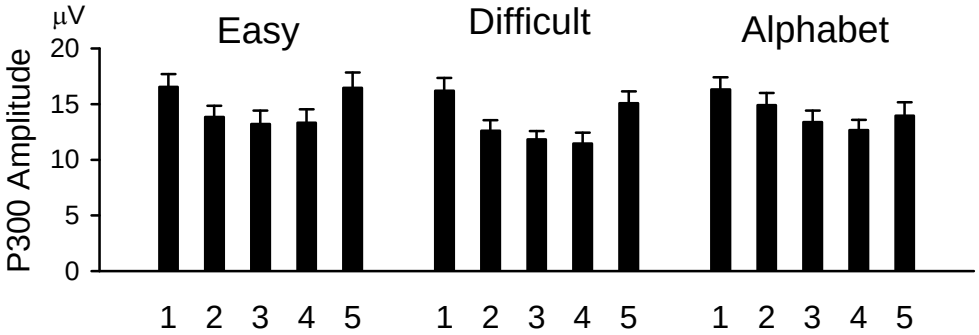

Figure 2-10. Easy, Difficult, Alphabet 条件における潜時調整後の刺激ごとの P300 振幅.

Table 2-7. Easy, Difficult, Alphabet 条件で刺激ごとに算出した P300 の平均潜時推定値(ms)

		Stimulus					
		1	2	3	4	5	*M*
Easy							
	M	498	539	532	510	461	508
	SD	34	37	31	31	35	29
Difficult							
	M	497	545	550	526	505	524
	SD	29	40	33	34	35	26
Alphabet							
	M	520	536	520	519	515	522
	SD	45	45	49	53	32	39

56.43, $p < .001$），Alphabet 条件では 1 次と 2 次の傾向がともに有意であった（それぞれ $F(1, 13) = 50.80, p < .001$; $F(1, 13) = 16.78, p = .001$）．以上のことから，通常の刺激同期 ERP 波形上で観察された P300 振幅の U 字型変化は，試行ごとの潜時のばらつきによる見かけ上の変化ではなく，振幅そのものの変化であることが明らかになった．

一試行ごとに推定した P300 潜時の平均値を Table 2-7 に示した．刺激同期 ERP 波形における P300 潜時と同様に，Easy 条件と Difficult 条件では中間の刺激に対する P300 潜時が長いが，Alphabet 条件では刺激間に差が認められない．条件×刺激の繰り返し測度の ANOVA を行ったところ，刺激の主効果と条件×刺激の交互作用が有意になった（それぞれ $F(4, 52) = 23.52, p < .001, \varepsilon = .67$; $F(8, 104) = 7.06, p < .001, \varepsilon = .66$）．条件の主効果は有意には至らなかった（$F(2, 26) = 3.44, p = .07, \varepsilon = .64$）．条件ごとに別々の繰り返し測度の 1 要因 ANOVA を行って刺激の効果を調べたところ，Easy 条件と Difficult 条件ではともに有意であったが（それぞれ $F(4, 52) = 39.04, p < .001, \varepsilon = .66$; $F(4, 52) = 12.99, p < .001, \varepsilon = .65$），Alphabet 条件では有意でなかった．多重比較の結果，Easy 条件では，P300 潜時は刺激 5 で最も短く，刺激 2 と 3 で最も長く，刺激 1 と 4 でその中間であった．Difficult 条件では，刺激 1 に対する潜時が刺激 2，3，4 に対する潜時よりも短く，刺激 5 に対する潜時が刺激 2，3 に対する潜時よりも短かった．

論議

感覚刺激（大きさの異なる円）と記号刺激（アルファベット）のどちらにおいても，P300 振幅は刺激によって U 字型に変化した．このような変化は，試行ごとの P300 潜時のばらつきを調整して求めた ERP 波形上でも認められた．したがって，P300 振幅の U 字型変化は，加算平均に伴う見かけ上の変化ではなくて，振幅そのものが刺激によって異なっていたために生じた変化だといえる．

大きさの異なる円を分類判断させる課題では，弁別困難度を変えても P300 の振幅やその U 字型変化にほとんど差が認められなかった．P300 振幅は刺激の物理的な大きさとは無関係であった．Easy 条件の刺激 2 と Difficult 条件の刺激 1，Easy 条件の刺激 4 と Difficult 条件の刺激 5 はそれぞれ同じ大きさの円であったが，前者よ

りも後者の方が大きな P300 を出現させた．つまり，P300 振幅は誘発刺激そのものの物理的属性ではなくて，誘発刺激と他の刺激との相対的な関係によって決まっていた．5 つの刺激の両端にある刺激は，中央にある刺激にくらべて大きな P300 を出現させた．

円を用いた課題では，両端の円よりも中間の円で誤反応が多く，RT も長かった．さらに，一試行ごとに推定した P300 潜時も，両端の円にくらべて中間の円で長かった．P300 の潜時は反応の選択・実行とは比較的独立した刺激評価のタイミングを反映するといわれている（Ⅰ-3-3-e 参照）．これらの結果は，中間の円は両端の円にくらべて知覚レベルで弁別しにくかったことを示している．これに対して，アルファベットを用いた課題では，誤反応率や RT，P300 潜時に，刺激による差は認められなかった．これは，アルファベットの文字間に知覚レベルでの弁別しやすさの差がなかったことを示している．

すべての条件で P300 振幅は刺激によって U 字型に変化したが，そのパターンは円を用いた課題とアルファベットを用いた課題とで異なっていた．Easy，Difficult の両条件では，ほぼ左右対称な U 字型が得られたが，Alphabet 条件では，刺激 1（Q）に対する P300 振幅が刺激 5（U）に対する P300 振幅よりも大きい非対称な U 字型が得られた．P300 振幅を示差性の指標とすると，この結果は，分類判断を求められる 5 刺激の各々の示差性が，円とアルファベットで異なっていたことを示している．

Murdock（1960）は，示差性を「ある刺激と他のすべての刺激との心理量の差の総和」として定量化し，それによって知覚判断や学習におけるパフォーマンスを説明しようとした．その測度 D%（percentage distinctiveness）は，次のような手順で計算する．

①まず，Weber-Fechner の法則に従い，すべての刺激の物理量の対数値をとって心理量とする．このとき，刺激が順序連続体上に並んでいるときは各刺激の序数を対数値に変換する．

②次に，各刺激について，その刺激とその他すべての刺激との心理量の差の総和を計算する（これを，その刺激の total distinctiveness; TD とよぶ）．

③最後に，各刺激の TD をすべて合計した総和で，それぞれの刺激の TD を割って

100 を掛ける．これを D%とよんで，示差性の測度とする．

この手順にしたがって，Easy，Difficult，Alphabet 条件における各刺激の D%を計算したものを Table 2-8 と Figure 2-11 に示した．D%は，Easy，Difficult 条件では左右対称の U 字型のパターンを示し，Alphabet 条件では左端で大きい非対称なパターンを示した．このパターンの違いは，各条件で得られた P300 振幅の変化パターンとほぼ一致している．

このように，Murdock（1960）の方法で示差性を計算すると，感覚刺激と記号刺激で得られた P300 振幅の変化パターンの違いを近似的に説明することができた．これは，分類判断における P300 振幅の U 字型変化が，分類される刺激の種類（感覚的／記号的）によらず，示差性という概念で統一的に説明できることを示している．しかし，Bower（1971）が指摘するように，Murdock の示差性の測度は単にデータを近似的に予測・説明するための方法であり，そのような示差性の違いが生じる仕組みについては別に考える必要がある．この点については，総合論議で再び取り上げる．

Table 2-8. Murdock（1960）の方法による示差性の計算

	Stimulus					
	1	2	3	4	5	Sum
Easy						
刺激値 (mm)	3	6	13	27	54	
log 値	0.48	0.78	1.11	1.43	1.73	
TD	3.15	2.24	1.91	2.23	3.13	12.66
D%	24.87	17.73	15.08	17.59	24.73	
Difficult						
刺激値 (mm)	6	9	13	20	27	
log 値	0.78	0.95	1.11	1.30	1.43	
TD	1.69	1.16	1.00	1.19	1.58	6.61
D%	25.53	17.54	15.12	17.95	23.86	
Alphabet						
刺激値*	1	2	3	4	5	
log 値	0.00	0.30	0.48	0.60	0.70	
TD	2.08	1.18	1.00	1.12	1.42	6.80
D%	30.59	17.31	14.71	16.55	20.83	

*アルファベットの順序（序数）がそのまま刺激値となる.

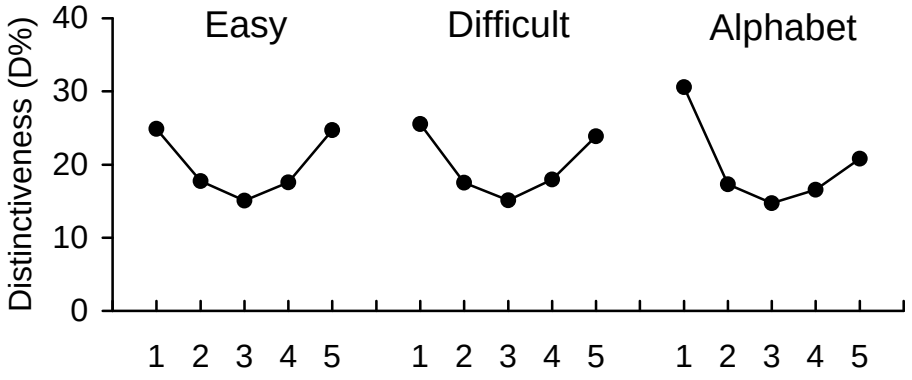

Figure 2-11. Easy, Difficult, Alphabet 条件における各刺激の示差性.

Ⅱ-3 実験 3

実験 1，2 により，感覚刺激であっても記号刺激であっても，それが何らかの次元で順序づけられており，その順序に沿って反応選択肢と対応している場合には，P300 振幅の U 字型変化が生じることが示唆された．実験 3 では，これをさらに拡張させて，もともと互いに関連のない刺激（幾何学図形）に人工的な順序を学習させた後で，その学習させた順序に沿って反応選択肢を対応させたときでも，これまでと同様の P300 振幅の U 字型変化が生じるかどうかについて検討した．コントロール群の被験者には，同じ幾何学図形に順序を学習させずに，それぞれに独立に反応選択肢を対応させて，分類判断課題を行わせた．つまり，実験群とコントロール群は外面的にはまったく同じ刺激と反応の組み合わせを用いて分類判断課題を行うが，刺激同士の関係（順序性）を認知していた否かが異なるのである．さらに，コントロール群の被験者には，実験の途中で，実験群の被験者と同じ図形の順序を学習させた．このように刺激の順序を事後的に学習することで，P300 振幅の結果が変わるかどうかについても検討した．

方法

被験者

大学生・大学院生 28 名（男 8 名，女 20 名，21－24 歳）．全員，視力は正常または正常に矯正されており，男性 1 名を除く残りの 27 名が右手利きであった（自己申告による）．28 名のうち 4 名が 1 年ほど前に実験 2 に参加した．

刺激

5 種類の幾何学図形○，△，□，☆，＋を刺激として用いた（それぞれ 16 mm 四方）．これらの刺激をひとつずつ等確率にランダムな順序でコンピュータディスプレイ上に呈示した．刺激呈示の条件は実験 1，2 と同じであった．

手続き

最初に，被験者を，図形の順序を学習させる群（以下，Order 群）と学習させない群（No order 群）に無作為に分けた（各 14 名）．Order 群と No order 群には，異なった方法で図形と反応指の対応を学習させた．それぞれの群に対する実験の手順を Figure 2-12 に図示した．

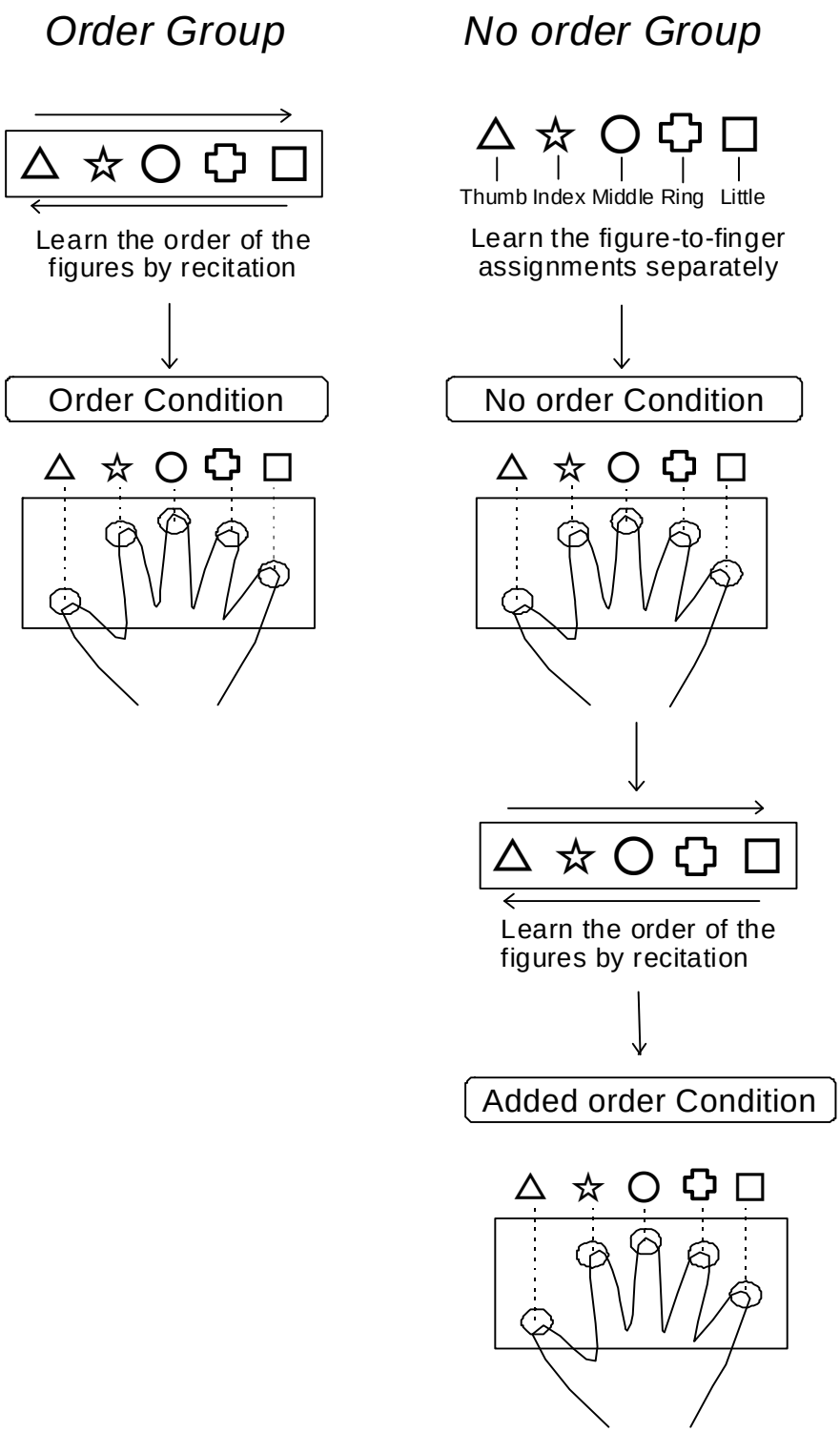

Figure 2-12. 実験 3 の手順.

Ⅱ-3 実験 3

Order 群の被験者には, まず 5 つの図形を一列に並べて描いたカード（Figure 2-13）を呈示して，その順序を左から右へ，右から左への両方から暗唱させた．例えば,「△☆○＋□」というカードを見せて「サンカクーホシーマルージュウジーシカク，シカクージュウジーマルーホシーサンカク」と暗唱させた．これを 3 往復間違えずになめらかに暗唱できるという基準に達するまで練習させた．その後，5CRT 課題を行うことを被験者に告げ，図形と反応指の対応はいま覚えた順序と同じであると教示した．つまり，左端の図形から順に，親指，人差指，中指，薬指，小指に対応していると教えた.

No order 群の被験者には，図形と反応指の対応を一対一で学習させた．具体的には，被験者が自分で図形－反応指の対応を発見していくフィードバック型課題を行わせた．コンピュータディスプレイ上に 5 種類の図形をランダムな順序で呈示し，被験者にそれぞれの図形に対応するボタン（反応指）を推測するように求めた．呈示されている図形に正しく対応したボタンを押すと，その図形は画面から消えて，次の図形が 300 ms 後に呈示された. 間違ったボタンを押したときには図形は消えず, 正しいボタンを押すまで呈示されつづけた．このようなフィードバックを受けながら，被験者は試行錯誤的に図形と反応指の対応を学習した．このフィードバック型課題を，120 試行を 1 ブロックとして 3 ブロック行わせた．また，Order 群の被験者に対しても，図形と反応指の対応を教示した後，課題を理解していることを確かめるために，このフィードバック型課題を 1 ブロック実施した.

図形と反応指の対応を学習させた後に，Order 群，No order 群の被験者の両方に同じ 5CRT 課題を行わせた．刺激として図形を用いたこと以外は実験 1，2 と同じ課題であった．一つずつ呈示される 5 種類の図形に対して，それぞれ割り当てられたボタンを右手の 5 本の指でできるだけはやく正確に押して反応するように求めた. 120 試行を 1 ブロックとして 3 ブロック実施した. このとき, Order 群の被験者には, 1 ブロック終わるごとに図形の順序の暗唱（3 往復）を課して，そのつど，その順序を忘れないようにと教示した.

Order 群の被験者は 3 ブロックで実験を終了した．他方，No order 群の被験者には，続けて，Order 群が最初に行ったのと同様の方法で図形の順序を学習させた.

Ⅱ-3 実験 3

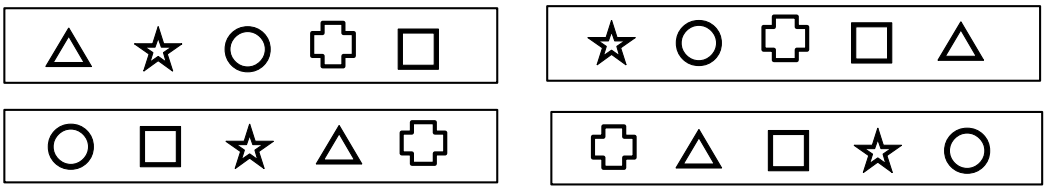

Figure 2-13. 実験 3 で用いた図形カードの例.

Table 2-9. Order, No order, Added order 条件における刺激ごとの誤反応率(%)と平均反応時間 (ms)

		Stimulus					
		1	2	3	4	5	*M*
Error Rate							
Order	*M*	5.13	4.56	3.63	5.44	4.81	4.71
	SD	4.39	3.50	3.07	3.45	3.32	2.09
No order	*M*	7.09	5.44	3.48	4.30	9.17	5.90
	SD	4.74	5.54	3.32	4.25	7.31	3.50
Added order	*M*	4.19	3.74	3.55	3.87	4.28	3.93
	SD	3.42	3.95	2.78	3.21	3.16	1.95
Reaction Time							
Order	*M*	632	641	599	672	679	645
	SD	82	90	82	108	111	84
No order	*M*	647	598	579	609	655	618
	SD	100	79	102	79	93	80
Added order	*M*	670	632	613	653	680	650
	SD	128	122	122	103	127	108

すでに行っていた 5CRT 課題で親指，人差指，中指，薬指，小指にそれぞれ対応していた図形を一列に並べて描いたカードを呈示して，その順序を左右から暗唱させた. 3 往復間違えずに切れ目なく暗唱できるという基準に達するまで練習させた後，再び 5CRT 課題を 3 ブロック行わせた．このとき，1 ブロック終わるごとに図形の順序の暗唱（3 往復）を課して，そのつど，その順序を忘れないようにと教示した.

図形と反応指の対応は，被験者間でカウンターバランスした．以下では，便宜的に，親指，人差指，中指，薬指，小指に対応した図形をそれぞれ刺激 1，2，3，4，5 と呼ぶ. また, Order 群が参加した条件を Order 条件, No order 群の前半を No order 条件，No order 群の後半（順序学習後）を Added order 条件と呼ぶことにする.

脳波記録およびデータ収集

脳波は実験 2 と同じ機器，条件で記録した．Order，No order，Added order 条件のそれぞれについて，行動測度と ERP 波形を求めた．誤反応率と平均 RT は刺激（反応指）別に，ERP 波形は刺激，部位別に求めた（5 刺激×3 部位＝15 本の波形）. 加算平均の手続きや P300 の振幅と潜時の測定方法は，実験 2 と同じであった.

統計分析

統計分析は，次の 2 つのステップで行った．まず，順序学習の効果を被験者間で検討するために，Order 条件と No order 条件のデータを混合要因計画の ANOVA を用いて比較した．次に，被験者内における順序学習の効果を検討するために，No order 条件と Added order 条件のデータに繰り返し測度の ANOVA を実施した.

結果

行動測度

各条件の誤反応率と平均 RT を Table 2-9 に示した．Order 条件では刺激による誤反応率の差はあまり認められないが，No order 条件では端に近い刺激で誤反応が多かった．しかし，後者は順序学習後（Added order 条件）には誤反応が減り，刺激による差は認められなくなった.

これらの結果は統計的に確認された. 誤反応率のデータに, 順序学習の有無（Order 条件，No order 条件）×刺激の混合要因計画の ANOVA を実施したところ，刺激の主効果が有意だった（$F(4, 104) = 3.30$, $p = .02$, $\varepsilon = .84$）．多重比較の結果，刺激 5 に

対する誤反応率が刺激 3 に対する誤反応率よりも高かった．順序学習の有無の主効果は有意でなかったが, 順序学習の有無×刺激の交互作用が有意傾向にあった（$F(4, 104) = 2.16$, $p = .09$, $\varepsilon = .84$）．次に，被験者内での順序学習の効果を調べるために，順序学習の前後（No order 条件, Added order 条件）×刺激の繰り返し測度の ANOVA を実施したところ，交互作用が有意になった（$F(4, 52) = .3.46$, $p = .02$, $\varepsilon = .82$）．学習前後の主効果と刺激の主効果はともに傾向差だった（それぞれ $F(1, 13) = 4.46$, $p = .06$; $F(4, 52) = 2.35$, $p = .08$, $\varepsilon = .79$）．No order 条件と Added order 条件について，別々に繰り返し測度の 1 要因 ANOVA を行ったところ，No order 条件でのみ有意な刺激の効果が得られた（$F(4, 52) = 3.91$, $p = .01$, $\varepsilon = .81$; Added order 条件では $F < 1$）．多重比較の結果，刺激 5 の誤反応率が刺激 3，4 の誤反応率よりも高かった．

RT は，全体としては中間の刺激で短く，端に近い刺激で長かった．この傾向は No order 条件，Added order 条件で顕著であった．また，No order 条件よりも Added order 条件の方が RT が約 30 ms 長かった．

これらの結果は統計的に確認された．まず順序学習の有無×刺激の混合要因計画の ANOVA を実施したところ, 刺激の主効果が有意だった（$F(4, 104) = 9.67$, $p < .001$, $\varepsilon = .81$）．多重比較の結果，刺激 3 に対する RT は刺激 1，4，5 に対する RT よりも有意に短く, また刺激 2 に対する RT は刺激 5 に対する RT よりも有意に短かった．順序学習の有無の主効果は有意でなかったが，順序学習の有無×刺激の交互作用が有意傾向にあった（$F(4, 104) = 2.48$, $p = .06$, $\varepsilon = .81$）．次に，順序学習前後×刺激の繰り返し測度の ANOVA を実施したところ，順序学習前後の主効果と刺激の主効果がともに有意になった（それぞれ $F(1, 13) = 7.03$, $p = .02$; $F(4, 52) = 4.52$, $p = .008$, $\varepsilon = .76$）．交互作用は有意でなかった．多重比較の結果，刺激 3 に対する RT が刺激 1，5 に対する RT よりも有意に短かった．

ERP

刺激（反応指）ごとに求めた総加算平均波形を Figure 2-14 に示した．実験 1，2 同様，すべての波形において，刺激開始後 400－500ms に頂点をもつ陽性の大きな振れ，P300 成分が認められる．P300 の振幅（Figure 2-15）は，Order 条件では刺激によって U 字型に変化しているが，No order 条件，Added order 条件では系統的な変

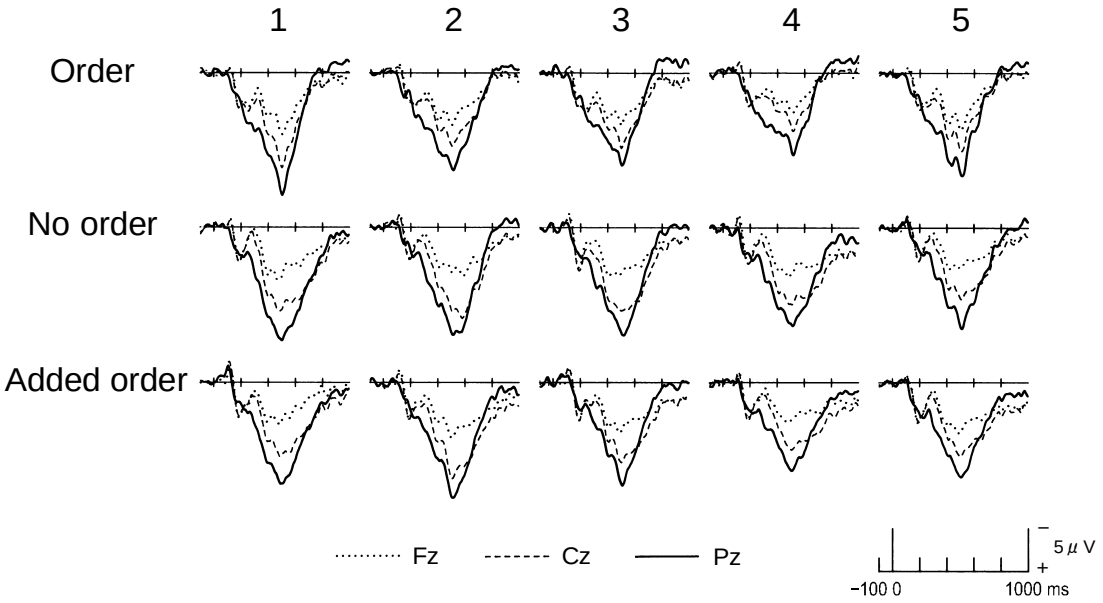

Figure 2-14. Order, No order, Added order 条件における各刺激に対する ERP 波形.

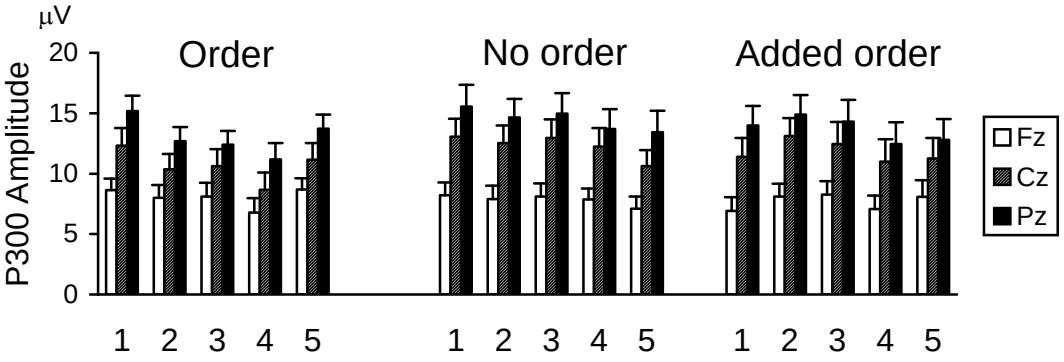

Figure 2-15. Order, No order, Added order 条件における刺激ごとの P300 振幅.

化が認められない. P300 振幅データに対して, 順序学習の有無（Order 条件, No order 条件）×刺激×部位の混合要因計画の ANOVA を実施したところ，順序学習の有無×刺激の交互作用が有意になった（$F(4, 104) = 2.92$, $p = .03$, $\varepsilon = .86$）．刺激と部位の主効果および両者の交互作用も得られた（それぞれ $F(4, 104) = 4.24$, $p = .005$, $\varepsilon = .86$; $F(2, 52) = 50.14$, $p < .001$, $\varepsilon = .79$; $F(8, 208) = 2.76$, $p = .03$, $\varepsilon = .48$）．順序学習の有無の主効果やその他の交互作用は有意でなかった．Order 条件と No order 条件について別々に刺激×部位の繰り返し測度の ANOVA を行った．Order 条件では，刺激と部位の主効果および両者の交互作用が有意だった（それぞれ $F(4, 52) = 6.21$, $p = .001$, $\varepsilon = .78$; $F(2, 26) = 33.19$, $p < .001$, $\varepsilon = .92$; $F(8, 104) = 2.81$, $p = .04$, $\varepsilon = .47$）．Fz，Cz，Pz の 3 記録部位について別々に繰り返し測度の 1 要因 ANOVA を行ったところ，すべての部位で刺激の効果が有意であった（それぞれ $F(4, 52) = 2.74$, $p = .05$, $\varepsilon = .84$; $F(4, 52) = 6.34$, $p < .001$, $\varepsilon = .82$; $F(4, 52) = 6.58$, $p = .002$, $\varepsilon = .64$）．Pz 記録の P300 振幅データについて多重比較を行ったところ，刺激 1 に対する振幅が刺激 2，3，4 に対する振幅よりも大きく, 刺激 5 に対する振幅が刺激 4 に対する振幅よりも大きかった. さらに，傾向分析では 1 次と 2 次の傾向がともに有意であった（それぞれ $F(1, 13) = 8.59$, $p = .01$; $F(1, 13) = 10.78$, $p = .006$）．他方，No order 条件では，部位の主効果のみが有意であり（$F(2, 26) = 23.03$, $p < .001$, $\varepsilon = .68$），刺激の主効果や交互作用は有意でなかった.

No order 条件と Added order 条件の P300 振幅データについて，順序学習前後×刺激×部位の繰り返し測度の ANOVA を実施したところ，部位の主効果と刺激×部位の交互作用が得られた（それぞれ $F(2, 26) = 22.08$, $p < .001$, $\varepsilon = .70$; $F(8, 104) = 2.95$, $p = .04$, $\varepsilon = .44$）．順序学習前後の主効果や刺激の主効果，その他の交互作用はなかった．刺激×部位の交互作用が有意だったので，学習前後を平均した値を用いて部位ごとに別々の繰り返し測度の 1 要因 ANOVA を行ったが，どの部位でも有意な刺激の効果は得られなかった.

P300 潜時（Table 2-10）についても振幅と同様の ANOVA を実施した．Order 条件と No order 条件の比較では, 刺激の主効果が有意であったが（$F(4, 104) = 2.81$, $p = .04$, $\varepsilon = .75$），多重比較をしたところ，どの刺激間にも有意差はなかった．その他の主

Table 2-10. Order, No order, Added order 条件における刺激ごとの P300 潜時(ms)

			Stimulus					
			1	2	3	4	5	*M*
Order								
	Fz	*M*	503	504	493	521	477	500
		SD	58	95	83	86	73	62
	Cz	*M*	504	534	496	521	474	506
		SD	56	87	82	87	67	60
	Pz	*M*	503	516	484	493	479	495
		SD	38	68	59	74	52	45
No order								
	Fz	*M*	565	522	482	529	512	522
		SD	120	92	76	131	109	81
	Cz	*M*	550	522	498	557	536	533
		SD	110	74	103	130	99	88
	Pz	*M*	533	519	486	527	523	518
		SD	73	74	90	112	66	62
Added order								
	Fz	*M*	531	504	495	538	514	516
		SD	127	83	88	119	110	86
	Cz	*M*	550	500	499	524	546	524
		SD	114	86	88	113	98	86
	Pz	*M*	526	505	498	504	516	510
		SD	48	66	62	103	68	52

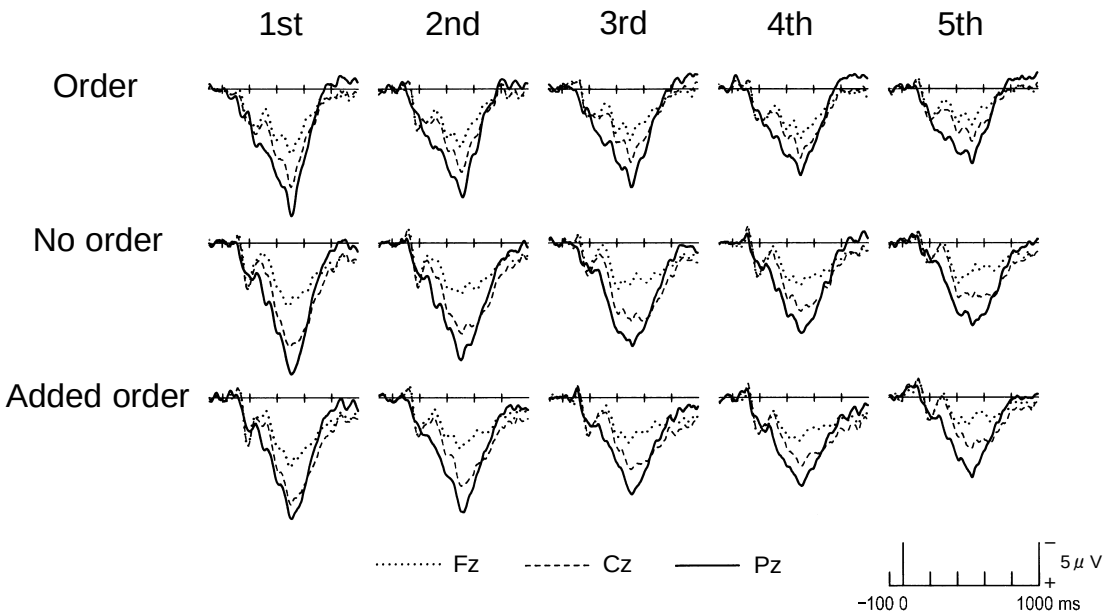

Figure 2-16. Order, No order, Added order 条件で，被験者ごとに各刺激に対する ERP 波形を P300 振幅(Pz 記録)の大きい順に並べ換えたときの，順位ごとの総加算平均波形.

効果や交互作用は有意でなかった. No order 条件と Added order 条件の比較では有意な主効果や交互作用は全く得られなかった.

P300 振幅の大きい順に並び換えた分析

P300 振幅のU字型変化は, Order群（Order条件）では生じたが, No order群（No order条件とAdded order条件）では生じなかった[3]．刺激間にP300 振幅の有意差がなかったという後者の結果については，2 つの可能性が考えられる．一つは，被験者一人ひとりが 5 刺激に対して等振幅のP300 を出現させていたという可能性である. もう一つは, 各被験者は 5 刺激に対してそれぞれ違った振幅のP300 を出現させていたが, 被験者ごとに大きなP300 を引き起こす刺激が異なっていたために, 全被験者を平均すると刺激間にP300 振幅の差がなくなってしまったという可能性である．この 2 つの可能性のどちらが正しいかを検討するために，3 つの条件について，各被験者の 5 刺激に対するERP波形をP300 振幅（Pz記録）の大きい順に並び換えた．もし，No order条件やAdded order条件で得られた“刺激間にP300 振幅の差がない”という結果が，各被験者のレベルで生じているならば，このように被験者ごとに振幅の大きい順に刺激を並び換えた場合でも，P300 振幅の差（最大のP300 と最小のP300 の差）はOrder条件にくらべて小さくなると予測できる.

このような方法で求めた総加算平均波形を Figure 2-16 に, P300 振幅を Figure 2-17 に示した．どの条件も非常によく類似しており，最小の P300 は最大の P300 のおよそ 3 分の 2 の大きさであった．P300 振幅について，群（Order 条件，No order 条件）×順位（1，2，3，4，5）×部位の混合要因計画の ANOVA を行ったところ，順位と部位の主効果および両者の交互作用は有意であったが（それぞれ$F(4, 104) = 56.52$, $p < .001$, $\varepsilon = .69$; $F(2, 52) = 50.14$, $p < .001$, $\varepsilon = .79$; $F(8, 208) = 12.44$, $p < .001$, $\varepsilon = .59$），群の主効果，群を含む交互作用は有意でなかった．条件による P300 振幅の絶対値の差をなくすために, Pz 記録のデータで各条件の最大の振幅を 100 としたときの順位ごとの相対振幅値を Figure 2-18 に示した. 3 条件の勾配はほとんど一致している.

[3] 順序学習の前後で P300 振幅に変化がなかったので，以下では，Order 条件と No order 条件のデータで群間比較のみを行った.

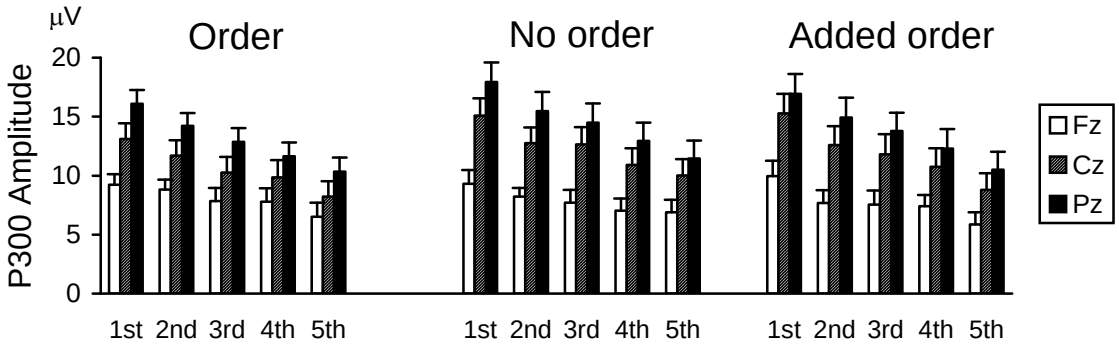

Figure 2-17. Order, No order, Added order 条件で，被験者ごとに各刺激に対する ERP 波形を P300 振幅の大きい順に並べ換えたときの，順位ごとの P300 振幅.

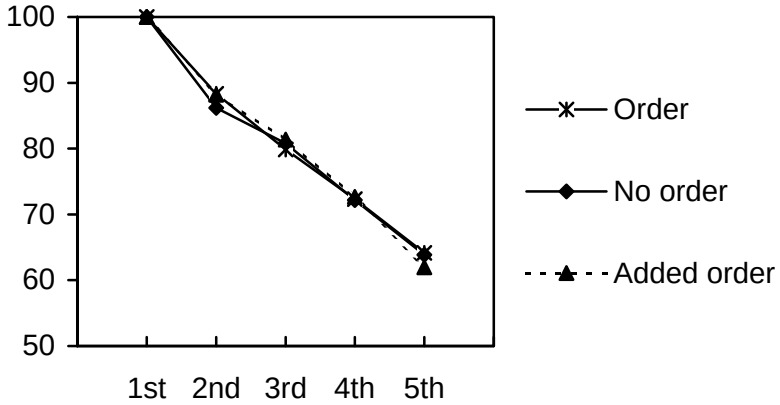

Figure 2-18. Order, No order, Added order 条件における順位ごとの P300 振幅の相対値（Pz 記録）.

以上の分析結果は，Order 群でも No order 群でも，被験者一人ひとりについていえば, 刺激間に P300 振幅の差があったということを示している. そうだとすると, Order 群で P300 振幅の U 字型変化が得られたのは，大きな P300 を引き起こす刺激が被験者間で一致していた（つまり多くの被験者が端に近い刺激で大きな P300 を出現させた）からであり，No order 群で刺激による有意な振幅差が得られなかったのは，大きな P300 を引き起こす刺激が被験者間で一致していなかったからだと考えられる．この仮説は Kendall の一致係数 W を用いて統計的に確認された（Table 2-11，市原，1990 参照）．まず，Pz 記録における P300 振幅の大きさに基づいて，刺激 1，2，3，4，5 にそれぞれ順位を与えた．例えば，P300 振幅の大きさが刺激 1＞刺激 5＞刺激 4＞刺激 2＞刺激 3 であれば，刺激 1，2，3，4，5 にそれぞれ 1，4，5，3，2 と順位を与えた．そして，各刺激ごとに順位の総和（順位和 Ri）を計算した．次に，Ri の偏差平方和 S を求め，さらに公式 $W = 12S／n^2(k^3-k)$を用いて一致係数 W を算出した．W の最小値は 0 であり，被験者間で順位が一致するほど W は大きくなり, 完全に順位が一致したときに W = 1 となる. Order 群では W = .21 となり, No Order 群では No order 条件で W = .09，Added order 条件で W = .07 となった．W の有意性を検定したところ（統計量 $\chi^2_r = n(k-1)W$ が近似的に自由度 k-1 の χ^2 分布するとみなして判定する； n は被験者数［14］，k は刺激数［5］），Order 群では有意な順序の一致が認められたが（$\chi^2_r = 11.76$, df = 4, $p < .05$），No order 群では認められなかった（No order 条件，Added order 条件でそれぞれ $\chi^2_r = 5.04$，$\chi^2_r = 3.92$, df = 4）.

図形の種類ごとの分析

本実験では，図形と反応指の対応を被験者間でカウンターバランスしたことから, これまでは図形の種類を無視して反応指ごとに ERP 波形を求めて分析を行ってきた．しかし，図形の形状そのものが P300 振幅に影響している可能性がある．この点について検討するために, 反応指を無視して図形の種類ごとに ERP 波形を求めた. その総加算平均波形を Figure 2-19 に示した．P300 振幅（Figure 2-20）は＋に対して特に大きかった．また，それは No order 群で顕著であった．P300 振幅のデータについて，群（Order 条件，No order 条件）×図形×部位の混合要因計画の ANOVA を

Table 2-11. Order, No order, Added order 条件において，被験者ごとに各刺激に対する ERP 波形を P300 振幅の大きい順に並べ換えたときの順位と Kendall の一致係数 W

	Order						No order						Added order				
Subject	1	2	3	4	5	Subject	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
No.1	2	3	4	5	1	No.15	4	3	2	1	5		2	3	1	4	5
No.2	1	4	3	5	2	No.16	3	5	4	1	2		4	5	3	2	1
No.3	5	3	4	1	2	No.17	1	2	3	5	4		3	2	1	5	4
No.4	1	2	4	5	3	No.18	1	3	5	2	4		1	4	5	2	3
No.5	3	4	1	2	5	No.19	5	3	1	2	4		1	2	3	5	4
No.6	1	4	2	5	3	No.20	5	2	1	3	4		3	1	4	2	5
No.7	3	2	4	5	1	No.21	2	1	3	5	4		4	1	2	5	3
No.8	1	5	4	2	3	No.22	3	5	1	4	2		4	2	1	3	5
No.9	1	4	2	3	5	No.23	3	1	4	5	2		5	2	4	3	1
No.10	1	4	3	5	2	No.24	1	2	5	3	4		1	4	5	3	2
No.11	4	2	5	3	1	No.25	2	4	1	3	5		3	4	1	5	2
No.12	1	3	4	5	2	No.26	1	3	4	5	2		1	2	5	4	3
No.13	4	3	1	5	2	No.27	2	3	1	4	5		5	2	1	4	3
No.14	1	2	3	5	4	No.28	4	1	2	3	5		4	2	1	3	5
順位和 (Ri)	29	45	44	56	36		37	38	37	46	52		41	36	37	50	46
Ri の偏差平方和 $S = \Sigma(Ri - \overline{R})^2$				414						182						142	
一致係数 W $W = 12S / n^2(k^3 - k)$ n:被験者数(14) k:刺激数(5)				0.21						0.09						0.07	

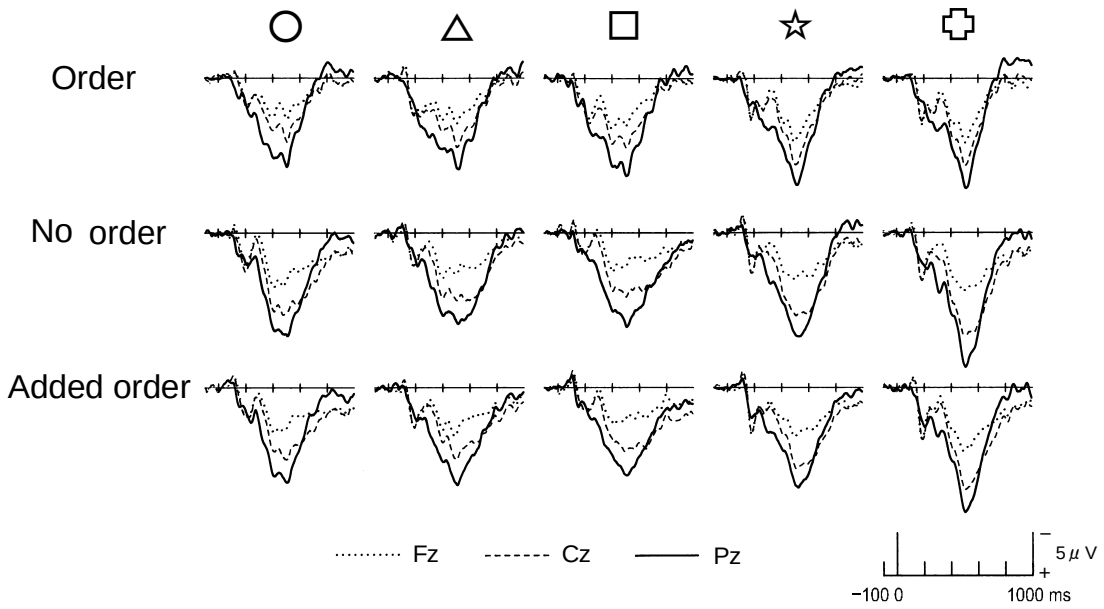

Figure 2-19. Order, No order, Added order 条件において図形の種類ごとに求めた ERP 波形.

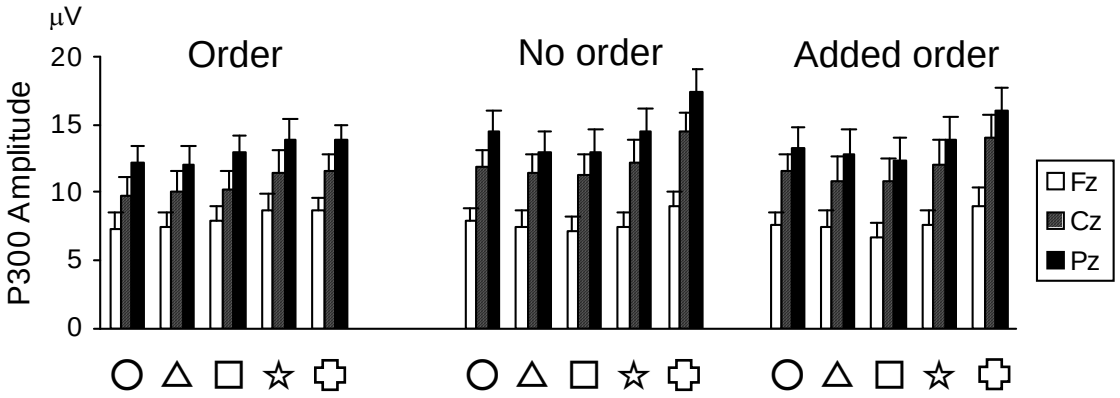

Figure 2-20. Order, No order, Added order 条件における図形の種類ごとの P300 振幅.

実施したところ，刺激と部位の主効果と両者の交互作用が有意になった（それぞれ $F(4, 104) = 6.69, p < .001, \varepsilon = .84$; $F(2, 52) = 50.21, p < .001, \varepsilon = 785$, $F(8, 208) = 2.73, p = .02, \varepsilon = 60$）. 群の主効果と群を含む交互作用は有意でなかった. 群を無視して Fz, Cz，Pz の部位ごとに別々に繰り返し測度の 1 要因 ANOVA を行ったところ，どの部位でも刺激の効果が有意であった（それぞれ $F(4, 108) = 2.68, p = .05, \varepsilon = .82$; $F(4, 108) = 5.87, p = .001, \varepsilon = .84$; $F(4, 108) = 7.13, p < .001, \varepsilon = .91$）．Pz 記録のデータに対して，多重比較を行った結果，＋に対する P300 振幅が○，△，□に対する P300 振幅よりも大きかった．Order 条件と No order 条件のデータについて，それぞれ別々に図形×部位の繰り返し測度の ANOVA を実施したところ，Order 条件では図形の主効果や図形と部位の交互作用は有意でなく, 部位の主効果のみが有意だった（$F(2, 26) = 33.19, p < .001, \varepsilon = .92$）．他方，No order 条件では刺激と部位の主効果およびそれらの交互作用が有意だった（それぞれ $F(4, 52) = 6.86, p = .002, \varepsilon = .60$; $F(2, 26) = 23.08, p < .001, \varepsilon = .68$; $F(8, 104) = 3.76, p = .008, \varepsilon = .53$）.

結果の整理

実験 3 で得られた結果は，次のようにまとめられる.

①分類判断課題を行う前に，刺激となる図形の順序を学習した群では，刺激（反応指）によって P300 振幅が U 字型に変化した．このとき，誤反応率や RT に刺激による差はほとんどなかった.

②分類判断課題を行う前に図形の順序を学習しなかった群では，P300 振幅の U 字型変化が生じず，刺激による有意な振幅差は得られなかった．このとき，誤反応率や RT は刺激によって変化した（端に近い刺激にくらべて中間の刺激で誤反応が少なく反応がはやかった）．実験の途中で図形の順序を学習させても，P300 振幅の結果は変わらなかった．しかし，誤反応率は低下し，RT は逆に延長した.

③P300 振幅の U 字型変化が得られなかったときでも，被験者ごとにみると，刺激によって P300 の振幅は異なっていた．P300 振幅の U 字型変化が得られたのは，多くの被験者が端に近い刺激で大きな P300 を出現させたからであり，U 字型変化が得られなかったのは，大きな P300 を引き起こす刺激が被験者間で一致しなかったからであった.

④刺激となる図形の順序をあらかじめ学習した群では，図形の種類によって P300 振幅は変わらなかった．他方，図形の順序を学習しなかった群では，図形の種類によって P300 振幅に差があった（＋で大きかった）．

論議

もともと相互に関連のない図形刺激でも，あらかじめ人工的な順序を学習させてから，その順序に沿って反応選択肢と対応させて分類判断させたときには，P300 振幅の U 字型変化が生じた．他方，これらの図形刺激を，順序を学習させずに分類判断させたときには，U 字型変化は生じなかった．実験 1，2 により，分類される刺激が感覚的あるいは記号的な次元で順序づけられており，その順序に沿って反応選択肢と対応しているときに，P300 振幅の U 字型変化が生じることが示された．実験 3 の結果は，この仮説が，実験室で人工的に学習された順序についても拡張できることを示している．

あらかじめ図形の順序を学習しなかった群では，P300 振幅の U 字型変化が生じなかったが，被験者ごとにみると，刺激によって P300 の振幅は異なっていた．また，図形の種類ごとに ERP 波形を求めると，P300 振幅に有意差があった．これに対して，あらかじめ順序を学習した群では P300 振幅の U 字型変化が得られたが，図形の種類による P300 振幅の差は有意でなかった．これらの結果は，分類される刺激の示差性が決まる仕組みを考える上で重要な手がかりとなるが，詳しくは総合論議で考察する．

さらに，本実験では次のような知見も得られた．もともと相互に関連のない図形刺激を順序づけずに一度分類判断させてしまうと，それらの図形にあとで順序を学習させても，それぞれの刺激に対する P300 振幅は変化しなかった．このことは，P300 振幅の U 字型変化は“刺激間に順序がある”という単なる知識によって生じるのではなく，分類判断を始めるときに被験者がその課題の構造をどのように認知していたかに関係して生じることを示唆している．相互に関連のない刺激を分類判断するという“構え”が一度形成されてしまうと，あとで刺激同士の関係を実験者に教示されても，それによって構え（そしてその基礎にある心的表象）が変化することはなかったのかもしれない．

Ⅱ-3 実験 3

実験 1，2 と同様，本研究においても P300 振幅の変化とパフォーマンスとに直接の関係は認められなかった．あらかじめ順序を学習させた群では，P300 振幅は刺激によって U 字型に変化したが，誤反応率や RT には刺激による差がほとんどなかった．反対に，順序を学習させなかった群では，刺激による有意な振幅差が得られなかったが，誤反応率や RT は刺激によって有意に変化した．さらに，順序を学習させなかった群に途中で順序を学習させると，誤反応率や RT は変化したが，P300 振幅は変化しなかった．これらの結果は，P300 が行動とは直接関係しない処理過程のあらわれであるとする説を支持するものである．

Ⅱ−4 実験 4

実験 1，2，3 では，分類判断課題で P300 振幅の U 字型変化が生じる条件について，刺激の種類や教示を操作することで検討してきた．実験 4 ではやや視点を変えて，被験者側の変数に注目する．

複数の刺激に対してそれぞれ異なった反応をするように求められる課題では，被験者はワーキングメモリにそれらの刺激と反応の組み合わせを表象すると仮定した（Ⅰ-2-2 参照）．ワーキングメモリは容量に限界のあるシステムであるが，近年，その“容量”は人によって異なり，それがさまざまな認知課題におけるパフォーマンスの個人差を生み出す一因になっているといわれている（Engle, 1996）．個人のワーキングメモリ容量を測定するために，多くの課題が考案されてきた（Kyllonen & Christal, 1990; Salthouse & Babcock, 1991; Turner & Engle, 1989）．なかでも，Daneman & Carpenter（1980）によって開発されたリーディングスパンテストはもっともよく使われる測度の一つである．このテストは一種の 2 重課題であり，被験者は，短い文を次々と音読しながら，各文に含まれるターゲット語を記銘していくように求められる．文を読むという処理を行いながら，それと同時にどれだけ多くのターゲット語を保持できるかをワーキングメモリ容量の指標とするのである．被験者は間断なく文を読み続けるように強いられるので，このテストの得点は，言語的リハーサルを行わないで保持できる情報量を反映すると考えられている．リーディングスパンテストの成績は，言語理解（Daneman & Carpenter, 1980; Just & Carpenter, 1992）や語彙学習（Daneman & Green, 1986），学業成績（Jurden, 1995）などと正の相関があることが示されている．

ワーキングメモリの容量に個人差があるとすれば，容量が大きい人と小さい人とでは，同じ分類判断課題を行わせたときでも，刺激と反応の組み合わせを異なった形で表象するかもしれない．そこで，実験 4 では，リーディングスパンテストの得点によってワーキングメモリ容量の大きい被験者と小さい被験者を選抜し，それぞれの被験者に数字を分類判断させる 5CRT 課題（Nageishi, 1996，実験 2 の compatible 条件と同じもの）を行わせた．

方法

被験者

大学生・大学院生 31 名（男 13 名，女 18 名，20－25 歳）．全員，視力は正常または正常に矯正されており，全員が右手利きであった（自己申告による）．過去に ERP の実験に参加したものはいなかった．

刺激

5CRT 課題の刺激には，連続する 5 つの数字（3，4，5，6，7）を用いた．それぞれの数字は縦 11 mm×横 8 mm であり，呈示に関する条件はこれまでの実験と同様であった．

リーディングスパンテストには，高等学校の教科書から選択された日本語の短文 70 文（苧阪, 1992）のなかから 60 文を選んで用いた．すべての文が漢字仮名交じり文であり，文の長さは 20 文字から 28 文字であった．これらの文を一つずつ被験者の眼前約 80 cm に設置したコンピュータディスプレイ上に呈示した．各文には記銘すべき単語（ターゲット語）が 1 単語ずつ含まれており，その下には赤線が引かれていた．ターゲット語の出現位置は文ごとに異なっていた．60 文を 15 のセット（2 文セット，3 文セット，4 文セット，5 文セット，6 文セットをそれぞれ 3 セットずつ）に分けた．各セット内の短文は，できるだけ相互に意味的な関連をもたないように配慮した．

手続き

最初に，被験者に個別にリーディングスパンテスト（Figure 2-21）を実施した．コンピュータディスプレイ上に呈示される短文を自然なペースではっきりと声に出して読みながら，同時に文中で赤い下線が引いてあるターゲット語を覚えるように教示した．被験者が文を読み終えると，その直後に同じ位置に次の文を呈示して，すぐに読みはじめるように求めた．このようにして被験者が各セットに含まれる文をすべて読み終えると，ディスプレイ上に再生を促す合図を呈示し，ターゲット語を呈示された順序どおりに解答用紙に記入させた．再生時間に制限はなかった．すべてのターゲット語が正しい順序で再生できた試行のみを正解とみなした．テストは，まず 2 文セットを 3 試行おこない，その後 3 文セットを 3 試行，4 文セットを

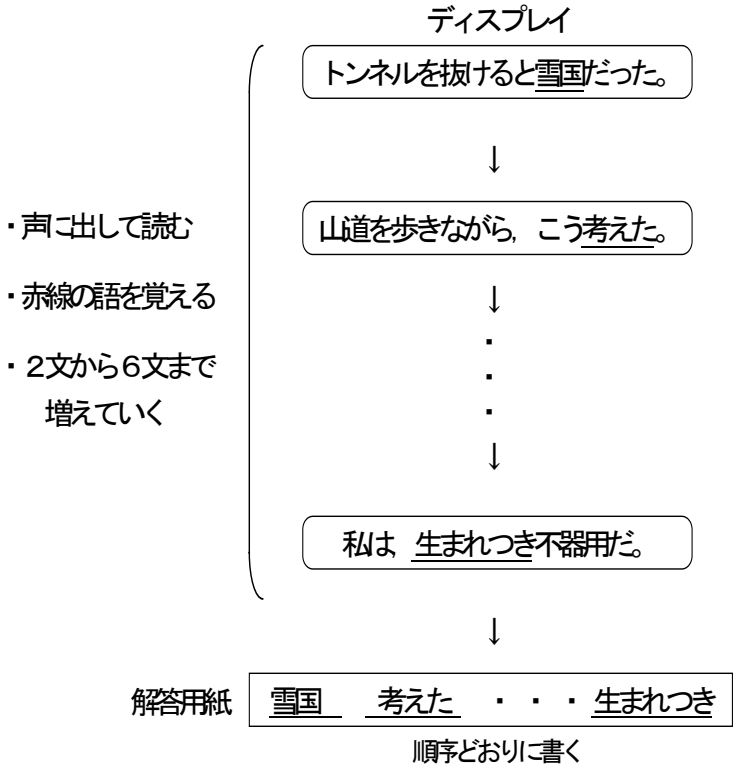

Figure 2-21. リーディングスパンテストの例.

3 試行というように，セットの大きさを一文ずつ増やしていった．被験者が 3 試行中 1 つも正解できなかったときは，その時点でテストを終えた．各被験者のリーディングスパンは，3 試行中 2 試行以上正解した最大のセットサイズとした．それ以上のセットサイズで 1 試行以上正解した場合にはそのスパンに 0.5 を加えた．例えば，2 文セットで 3 試行，3 文セットで 2 試行，4 文セットで 1 試行，5 文セットで 1 試行正解した被験者のリーディングスパンは 3.5 と評定した．

リーディングスパンテストを行ったのと同じ日か 1 週間以内の別の日に，5CRT 課題を実施した．これまでの実験と同様に，等確率にランダムな順序で呈示される数字 3，4，5，6，7 に対して，それぞれ右手の親指，人差指，中指，薬指，小指でボタンを押して反応するように求めた．

脳波記録およびデータ収集

脳波は実験 2，3 と同じ機器，条件で記録した．リーディングスパンテストの得点が高かった被験者（High span 群）と低かった被験者（Low span 群）についてそれぞれ行動測度と ERP 波形を求めた．誤反応率と平均 RT は数字別に，ERP 波形は数字，部位別に求めた（5 数字×3 部位＝15 本の波形）．加算平均の手続きや P300 の振幅と潜時の測定方法は，実験 2，3 と同じだった．

統計分析

誤反応率, RT, P300 振幅, P300 潜時のそれぞれについて, High span 群と Low span 群を比較するために，混合要因計画の ANOVA を実施した．スパンの主効果あるいはスパンを含む交互作用が得られたときには，群ごとに分けて，別々に繰り返し測度の ANOVA を行った．

結果

リーディングスパンテスト

リーディングスパンの最低値は 2.0, 最高値は 6.0 だった．平均は 3.45（SD = 1.17）で中央値は 3.5 だった．これらの値は先行研究の結果（平均 3.45，SD = 0.97; 苧阪, 1992 による）とほぼ一致した．リーディングスパンが中央値より大きい（4.0 以上）の被験者を High span 群，中央値より小さい（3.0 以下）の被験者を Low span 群とした．High span 群は 11 名（男 5 名，女 6 名）で平均スパンは 4.68（SD = 0.91），

Low span 群は 13 名（男 5 名，女 8 名）で平均スパンは 2.38（SD = 0.40）であった．

行動測度

High span 群と Low span 群における誤反応率と平均 RT を Table 2-12 に示した. 誤反応率のデータに，スパン（High，Low）×数字の混合要因計画の ANOVA を実施したところ，どちらの主効果も得られなかったが，両者の交互作用が得られた（$F(4, 88) = 2.92$, $p = .04$, $\varepsilon = .80$）．これはスパンの高低による誤反応率の差が数字 6 で特に大きかったことを反映している．しかし，各群について別々に繰り返し測度の 1 要因 ANOVA を行った結果，どちらの群にも有意な数字の効果は得られなかった．RT のデータについても, 誤反応率と同様の混合 2 要因計画の ANOVA を実施した．RT は High span 群の方が Low span 群よりも平均して 70 ms ほど短かった（$F(1, 22) = 4.48$, $p = .05$）．数字の主効果も群×数字の交互作用も有意であった（それぞれ $F(4, 88) = 4.93$, $p = .007$, $\varepsilon = .62$; $F(4, 88) = 3.89$, $p = .02$, $\varepsilon = .62$）．High span 群と Low span 群について別々に繰り返し測度の 1 要因 ANOVA を行った結果, 数字の効果は High span 群では有意でなかったが, Low span 群では有意であった（$F(4, 48) = 8.24$, $p = .001$, $\varepsilon = .54$）．後者について多重比較を行ったところ，数字 6（薬指で反応）に対する RT が他の数字に対する RT にくらべて有意に長かった．

ERP

High span 群と Low span 群の総加算平均波形を Figure 2-22 に示した．これまでの実験同様，どの波形においても刺激開始後 400－500ms に頂点をもつ陽性の大きな振れ，P300 成分が認められる．P300 の振幅（Figure 2-23）は Low span 群にくらべて High span 群で全体的に大きい．また，High span 群では P300 振幅が数字によって U 字型に変化しているのに対して，Low span 群ではその変化の程度が小さい．P300 振幅について，スパン×数字×部位の混合要因計画の ANOVA を行ったところ，スパンの主効果が有意であった（$F(1, 22) = 5.94$, $p = .02$）．しかし，スパンを含む交互作用はどれも有意でなかった．数字と部位の主効果，両者の交互作用が有意であった（それぞれ $F(4, 88) =6.62$, $p < .001$, $\varepsilon = .77$; $F(2, 44) = 31.65$, $p < .001$, $\varepsilon = .70$; $F(18, 176) = 6.37$, $p < .001$, $\varepsilon = .53$）．

High span 群と Low span 群の P300 振幅データについて, 別々に数字×部位の繰り

Table 2-12. Low span 群と High span 群における数字ごとの誤反応率(%)と平均反応時間(ms)

		Stimulus					
		3	4	5	6	7	*M*
Error Rate							
Low span	*M*	6.49	4.71	5.27	7.75	3.95	5.64
	SD	4.20	4.06	4.93	8.51	3.55	3.88
High span	*M*	4.15	4.78	4.19	3.34	6.56	4.60
	SD	3.70	4.94	4.13	3.24	6.57	3.66
Reaction Time							
Low span	*M*	678	666	670	735	636	677
	SD	127	102	101	98	86	95
High span	*M*	595	593	585	614	616	601
	SD	76	84	94	102	82	79

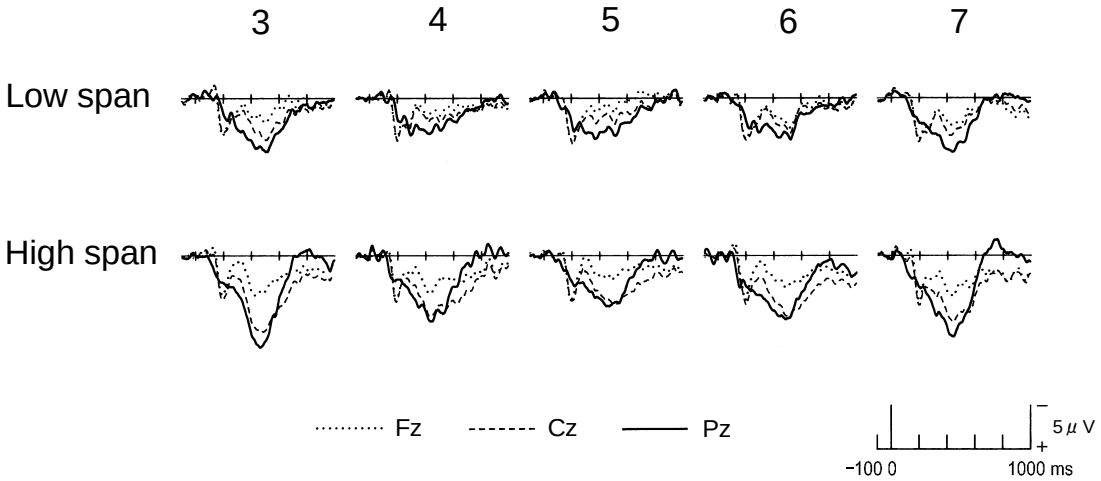

Figure 2-22. Low span 群と High span 群における各数字に対する ERP 波形.

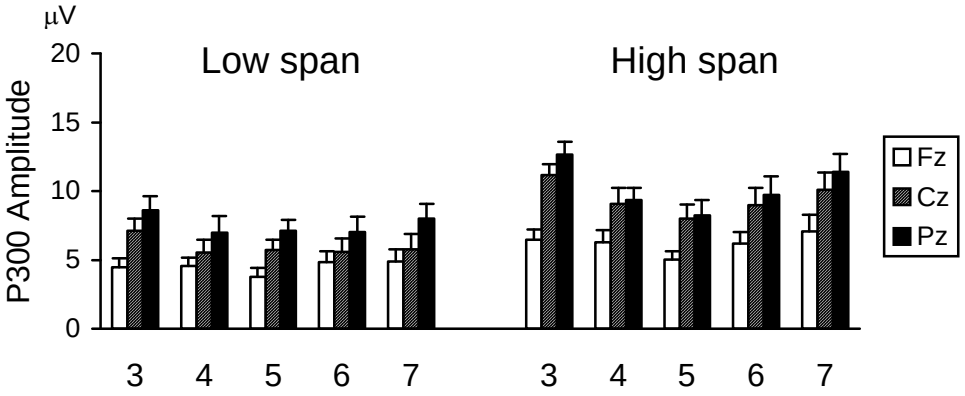

Figure 2-23. Low span 群と High span 群における数字ごとの P300 振幅.

返し測度の ANOVA を行った．High span 群では，有意な数字の主効果が得られた（$F(4, 40) = 7.59, p = .003, \varepsilon = .54$）．部位の主効果と数字×部位の交互作用も有意だった（それぞれ $F(2, 20) = 16.55, p = .001, \varepsilon = .60$; $F(8, 80) = 4.78, p = .005, \varepsilon = .42$）．部位ごとの数字の効果を調べるために，Fz，Cz，Pz 記録のデータについて別々に繰り返し測度の 1 要因 ANOVA を実施したところ，Cz と Pz で有意になった（それぞれ $F(4, 40) = 5.46, p = .01, \varepsilon = .52$; $F(4, 40) = 12.86, p < .001, \varepsilon = .80$）．Pz 記録のデータに対して，多重比較を行ったところ，数字 3 に対する P300 振幅が数字 4，5，6 に対する振幅よりも有意に大きく，数字 7 に対する振幅が数字 4，5 に対する振幅よりも大きかった．傾向分析の結果，2 次の傾向が有意であった（$F(1, 10) = 52.77, p < .001$）．これに対して，Low span 群では有意な数字の主効果が得られなかった．部位の主効果は有意であり（$F(2, 24) = 15.45, p < .001, \varepsilon = .77$），数字×部位の交互作用は有意傾向にあった（$F(8, 96) = 2.64, p = .06, \varepsilon = .42$）．

P300 潜時（Table 2-13）について，振幅と同様にスパン×数字×部位の混合要因計画の ANOVA を行ったところ，部位の主効果のみが有意であった（$F(2, 44) = 8.67, p = .004, \varepsilon = .65$）．多重比較を行った結果，P300 潜時は Fz や Cz にくらべて Pz で短かった．

P300 振幅の大きい順に並び換えた分析

High span 群では P300 振幅の U 字型変化が得られたのに対して, Low span 群では数字による差が認められなかった．後者の結果については，実験 3 と同様，2 つの可能性が考えられる．(a)被験者一人ひとりが 5 刺激に対して等振幅の P300 を生起させていたのか，(b)各被験者は 5 刺激に対してそれぞれ違った振幅の P300 を生起させていたが, 被験者ごとに大きな P300 を引き起こす刺激が異なっていたために, 全被験者を平均すると刺激間に P300 振幅の差がなくなってしまったか，のどちらかである．この 2 つの可能性のどちらが正しいかを検討するために，実験 3 と同様に，各被験者の 5 刺激に対する ERP 波形を P300 振幅（Pz 記録）の大きい順に並び換えた分析を行った．

各群についてこの方法で求めた総加算平均波形を Figure 2-24 に，P300 振幅を Figure 2-25 に示した．High span 群と Low span 群に振幅の絶対値の差はあるが，そ

Table 2-13. Low span 群と High span 群における数字ごとの P300 潜時（ms）

		Stimulus					
		3	4	5	6	7	*M*
Low span							
Fz	*M*	475	491	450	498	475	478
	SD	107	121	131	95	77	86
Cz	*M*	475	488	474	487	477	480
	SD	115	131	140	107	80	98
Pz	*M*	462	456	450	463	450	456
	SD	113	117	112	94	64	86
High span							
Fz	*M*	508	504	495	483	509	500
	SD	98	124	95	106	130	95
Cz	*M*	498	510	489	486	487	494
	SD	81	129	89	113	90	81
Pz	*M*	477	431	453	449	445	451
	SD	91	67	91	85	71	74

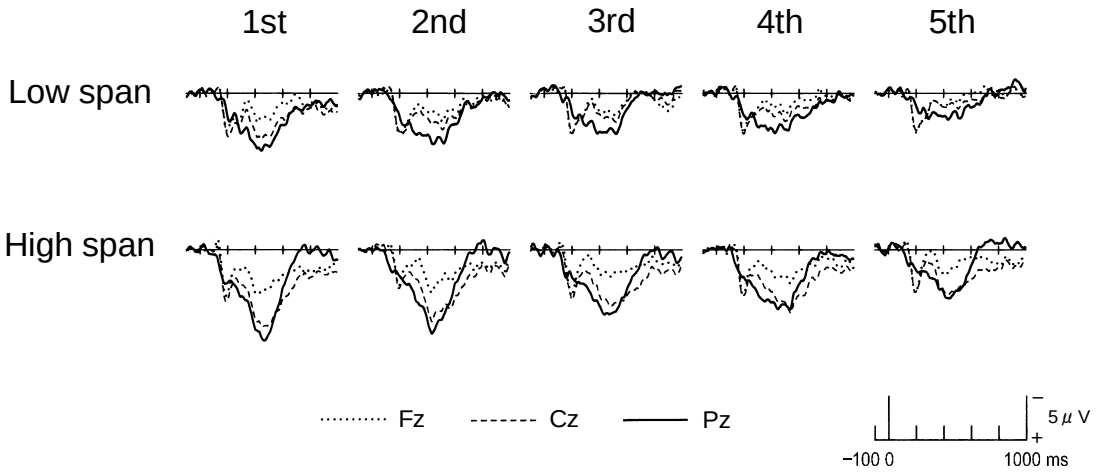

Figure 2-24. Low span 群と High span 群で，被験者ごとに各数字に対する ERP 波形を P300 振幅（Pz 記録）の大きい順に並べ換えたときの，順位ごとの総加算平均波形.

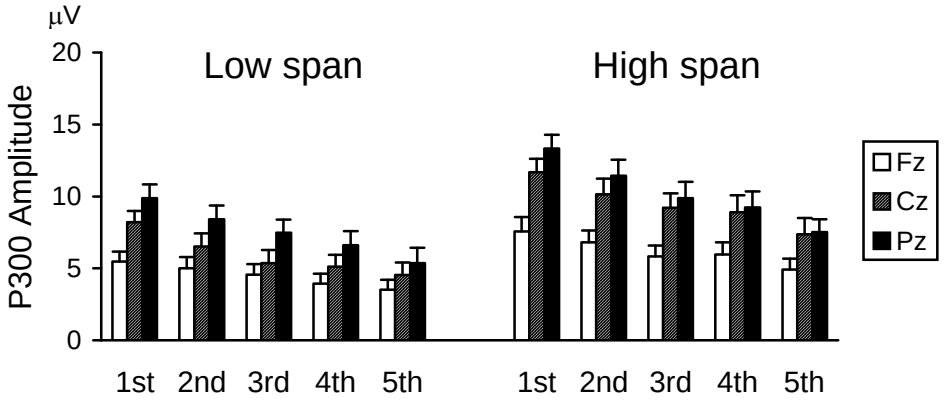

Figure 2-25. Low span 群と High span 群で，被験者ごとに各数字に対する ERP 波形を P300 振幅の大きい順に並べ換えたときの，順位ごとの P300 振幅.

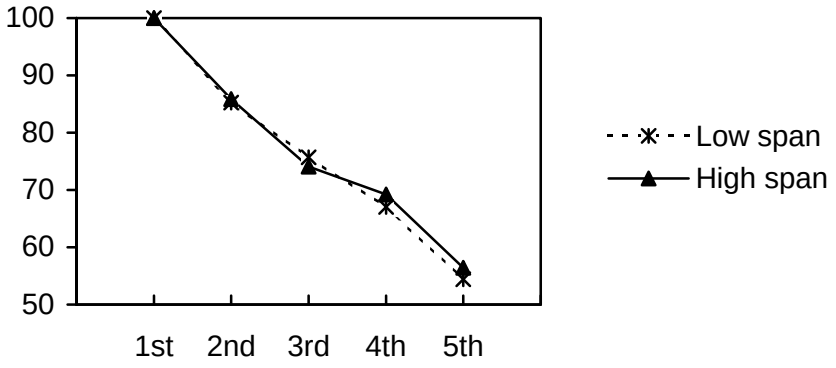

Figure 2-26. Low span 群と High span 群における順位ごとの P300 振幅の相対値（Pz 記録）.

の勾配は類似している. 最小の P300 は最大の P300 の約半分の大きさであった. P300 振幅について，スパン×順位（1，2，3，4，5）×部位の混合要因計画の ANOVA を行ったところ，順位と部位の主効果および両者の交互作用は有意であったが（それぞれ $F(4, 88) = 49.35, p < .001, \varepsilon = .85; F(2, 44) = 31.65, p < .001, \varepsilon = .70; F(8, 176) = 6.82, p < .001, \varepsilon = .55$），群の主効果，群を含む交互作用は有意でなかった．さらに，群による振幅の絶対値の差をなくすために, Pz 記録のデータで各群の最大の振幅を 100 としたときの順位ごとの相対振幅値を Figure 2-26 に示した. High span 群と Low span 群の勾配はほぼ一致している. この分析結果から, スパンの高低にかかわらず, 被験者一人ひとりについていえば，刺激によって P300 振幅に差があったことが示された.

次に，実験 3 と同様に，High span 群と Low span 群のそれぞれについて Kendall の一致係数 W を計算した（Table 2-14）．W の有意性の検定をしたところ，前者では有意だったが（$\chi^2_r = 22.88, df = 4, p < .001$），後者では有意でなかった（$\chi^2_r = 7.80, df = 4$）.

以上の分析から，High span 群で P300 振幅の U 字型変化が得られたのは，大きな P300 を引き起こす数字が被験者間で一致していた（つまり，多くの被験者が端に近い数字で大きな P300 を出現させた）からであり，他方，Low span 群で数字による有意な振幅差が得られなかったのは，大きな P300 を引き起こす数字が被験者間で一致していなかった（つまり，大きな P300 を出現させる数字が被験者によって異なっていた）からであることが明らかになった.

結果の整理

実験 4 で得られた結果は，次のようにまとめられる.

①誤反応率にはスパンの高低による差が認められなかった．RT は High span 群の方が Low span 群よりも短かった．また，High span 群では数字による RT の差はなかったが，Low span 群では数字 6（薬指で反応）に対する RT が他の数字に対する RT にくらべて長かった.

②High span 群は Low span 群にくらべて全体的に P300 振幅が大きかった.

③High span 群では数字による P300 振幅の U 字型変化が認められたが, Low span 群

Table 2-14. Low span 群と High span 群で，被験者ごとに各数字に対する ERP 波形を P300 振幅の大きい順に並べ換えたときの順位と Kendall の一致係数 W

	Low span						High span				
Subject	3	4	5	6	7	Subject	3	4	5	6	7
No.1	3	5	4	2	1	No.21	1	4	5	3	2
No.2	3	1	2	5	4	No.22	1	4	5	3	2
No.3	1	5	3	4	2	No.23	2	4	5	3	1
No.4	1	5	2	4	3	No.24	1	5	3	4	2
No.5	1	4	5	3	2	No.25	1	3	4	5	2
No.6	2	1	5	4	3	No.26	2	1	5	3	4
No.7	2	3	5	4	1	No.27	2	5	4	1	3
No.8	4	1	5	3	2	No.28	3	2	5	4	1
No.9	2	3	1	4	5	No.29	1	4	5	3	2
No.10	2	5	4	1	3	No.30	2	3	5	4	1
No.11	1	4	5	3	2	No.31	1	2	4	3	5
No.12	4	5	1	2	3						
No.13	3	2	4	5	1						
順位和 (*Ri*)	29	44	46	44	32		17	37	50	36	25
Ri の偏差平方和					338						242
一致係数 *W*					0.15						0.52

では認められなかった．しかし，被験者ごとにみると，どちらの群でも P300 振幅は数字ごとに異なっていた．High span 群では大きな P300 を引き起こす数字が被験者間で一致していた（つまり，多くの被験者が端に近い数字で大きな P300 を出現させた）のに対して，Low span 群では一致していなかった（つまり，大きな P300 を引き起こす数字が被験者によって異なっていた）．

論議

Low span 群の P300 が High span 群の P300 とくらべて全体的に小さかったことについては，いくつかの説明が可能である．

まず，パフォーマンス（正答率）が低下すると P300 振幅も減少することが知られている（Ruchkin, Sutton, Kietzman, & Silver, 1980）．しかし，本実験では誤反応率にスパンの高低による有意差は認められなかったので, Low span 群の低振幅の P300 をパフォーマンスの低下に帰することはできない.

次に, High span 群と Low span 群で試行ごとの P300 潜時のばらつきの程度が異なっていたことが考えられる．実験 2 で述べたように，試行ごとに P300 の潜時が変動している場合には，刺激開始時点に同期させた通常の加算平均法を行うと，P300 の波形は鈍くゆるやかな（基線への復帰が遅い）丘状となり，振幅は見かけ上減少する．しかしながら，本実験の結果（Figure 2-22）をみると，High span 群にくらべて Low span 群で P300 の波形が広がっているわけでも基線へ戻る時点が遅くなっているわけでもない．したがって，試行ごとの潜時のばらつきの程度の違いが，スパンの高低による P300 振幅差の主な原因であるとはいえない.

第 3 の可能性として，Low span 群の ERP では P300 成分に重複して別の陰性成分が出現していたことが考えられる．Figure 2-22 や Figure 2-23 をみると，Low span 群と High span 群の ERP の違いが最も顕著なのは Cz であり，P300 成分が最大振幅を示す Pz ではないことが分かる．もし，Low span 群と High span 群の ERP の差が P300 成分のみの差であるならば, 両群の差は Pz で大きくなるはずである. しかし, 実際はそうならなかった．このことは，Low span 群では P300 に重複して Cz 優位の陰性成分が出現していたことを示唆している．そのような陰性成分は，記憶探索課題（memory search task）を用いた研究で報告されてきた．記憶探索課題では，被験

者にいくつかの項目を記憶させて，その後に呈示するプローブ刺激が先に記憶した項目の中に含まれていたかどうかを判断させる．そのような課題でプローブ刺激に対する ERP を測定すると，“探索陰性電位（search-related negativity）”と呼ばれる Cz 優位の成分が P300 に重複して生じる（Mecklinger, Kramer, & Strayer, 1992; Okita, Wijers, Mulder, & Mulder, 1985; Wijers et al., 1993）．この探索陰性電位は，記憶項目の数（記憶負荷）が増えるほど，その振幅が大きくなるといわれている．本実験で用いた分類判断課題と記憶探索課題とは，課題を遂行するためにある量の情報を保持する必要があり，刺激に対して適切な反応を選択することが求められるという点で似ている．したがって，記憶探索課題で出現する探索陰性電位が，分類判断課題でも生じることは想像できる. 本実験で被験者は 5 つの刺激と反応の組み合わせ（刺激－反応対）を保持する必要があったが，その“主観的な”記憶負荷は被験者のワーキングメモリ容量の大小によって変わるかもしれない．もし，Low span 群の被験者が, High span 群の被験者にくらべて, より大きな記憶負荷を受けていたとすれば, Low span 群ではより大きな探索陰性電位が出現し，そのために P300 振幅が減少したように見えた可能性もある.

次に，P300 振幅の U 字型変化について考察する．High span 群で数字の大きさによる P300 振幅の U 字型変化が得られたことは，Nageishi（1996）の結果を追試したとともに，実験 1，2，3 の結果とも整合する．問題は，なぜ Low span 群で数字による P300 振幅の差がなかったかである.

Low span 群でも，被験者一人ひとりをみると，P300 振幅は数字によって異なっていた．これは，実験 3 で図形の順序を学習しなかった群の結果と似ている．実験 3 で P300 振幅の U 字型変化が生じなかったのは，被験者が刺激同士の関係を認知せずに分類判断を行ったためであると考えられる．しかし，実験 4 の刺激は数字であり, その順序関係はどの被験者にとっても明らかだったはずである. したがって, このような課題で P300 振幅の U 字型変化が生じなかったのは，被験者のワーキングメモリ容量に原因があると考えられる．この点については，総合論議で再び取り上げて考察する.

Ⅲ 総合論議

Ⅲ-1 実験 1－4 のまとめとその解釈

Ⅲ-1-1 P300 振幅の U 字型変化が生じる条件

実験 1－4 の結果から，分類判断課題で P300 振幅の U 字型変化が生じるのは，以下の 3 つの条件が満たされているときであるといえる．

①刺激が何らかの次元で順序づけられていること．

その順序は感覚的順序（実験 2）でも記号的順序（実験 1，2，4）でも実験室で人工的に学習させた順序（実験 3）でもよいが，課題を遂行する前に被験者がその順序を認知している必要がある．

②刺激の順序にそって，反応選択肢が割り当てられていること．

これは Nageishi（1996）からの推測であり，本研究では直接検証しなかった．

③被験者のワーキングメモリ容量が大きいこと．

これは数字の分類判断課題（実験 4）で示された．

Ⅲ-1-2 P300 振幅の変化が生じる仕組み

(a) U 字型変化が生じるとき

P300 振幅を示差性の指標とすると，P300 振幅の U 字型変化が生じたことは，刺激セットの端に近い刺激が，中間の刺激にくらべて，示差性が高かったことを示している．このような示差性の違いがなぜ生じるのかを明らかにすれば，P300 振幅の変化が生じる仕組みを説明したことになるだろう．ここで，念のため，示差性の概念について確認しておく．示差性とは，ある項目がそれと同じ文脈で呈示される他の項目と何らかの次元で異なっている程度のことである．あの項目が他の項目にはない独自の特徴・性質を持っているほど，その項目の示差性は高くなる（Ⅰ-3-3-g）．

いくつかの刺激がある次元で順序づけられているときに，順序のなかでの相対的な位置によって刺激の処理が変わることは，系列位置効果（serial position effect）と呼ばれている．もっともよく知られた系列位置効果は，系列学習（serial learning）や系列再生（serial recall）で得られるものである．互いに無関連な項目を一つずつ順番に被験者に呈示し，その順序を学習する（あるいは呈示された順序どおりに再

生する）ように求めると，最初の方と最後の方で呈示された項目の学習・再生成績がよくなる．前者を初頭効果，後者を新近性効果とよぶことがある．時間的順序を横軸にとって，学習・再生成績の測度を縦軸にとると，弓状の系列位置曲線が描かれる（Figure 3-1）．このような系列位置曲線の形は，記銘材料の有意味性や熟知性，呈示率，試行間間隔，学習スピードの個人差といった変数には影響されないために，項目そのものの学習とは独立しているといわれている（Murdock, 1960）．

系列位置効果は，系列学習や系列再生にかぎらず，対連合学習（paired-association learning）でも生じる．ある次元で順序づけられたいくつかの刺激項目を選び，それらに対して，互いに無関連な反応項目（例えば，無意味音節）を対連合学習[4]させると，順序の端に近い刺激項目は，中間の刺激項目にくらべて，反応項目との連合が容易に学習される．例えば，Ebenholtz（1963）は，10 の空間的位置（縦に並んだ 10 個のセルのなかの赤い点）と 10 個の無意味音節とを対連合学習させた．その結果，最も上のセルと最も下のセルに結びつけられた無意味音節が最も早く学習され（間違いが少なく），中央付近のセルに結びつけられた無意味音節が最後まで学習されなかった（間違いが多かった）．他の感覚刺激（長さの異なる線分や明るさの異なる灰色）と無意味音節の対連合学習でも，同様の結果が得られた（Ebenholtz, 1965）．

また，感覚刺激の代わりに記号刺激（数字）を用いたときにも，同じような現象が認められた．Ebenholtz（1966a）は 1 から 10 までの数字に対して 10 つの名詞で反応させる対連合学習課題（実験 1）と 1 から 8 までの数字に対して 8 つの無意味音節で反応させる対連合学習課題（実験 2）を行った．どちらの実験でも，大きい

---

[4] 対連合学習はふつう予言法（anticipation method）で行われる．この方法では，被験者に一つずつ刺激を呈示して，その数秒後に正しい反応を呈示するという手続きを繰り返す．被験者の課題は，それぞれの刺激に対する反応を覚えて，正解が呈示される前にそれを答えることである．全種類の刺激とそれに対する正しい反応とをランダムな順序で一通り呈示すると 1 試行が終わり，また最初から繰り返す．この手続きを，被験者のパフォーマンスが一定の基準に達する（例えば，全刺激に完全に正解する）か，規定の試行数に達するまで続ける．学習が完成するまでの試行数や刺激の種類ごとの誤答数を測度とする．

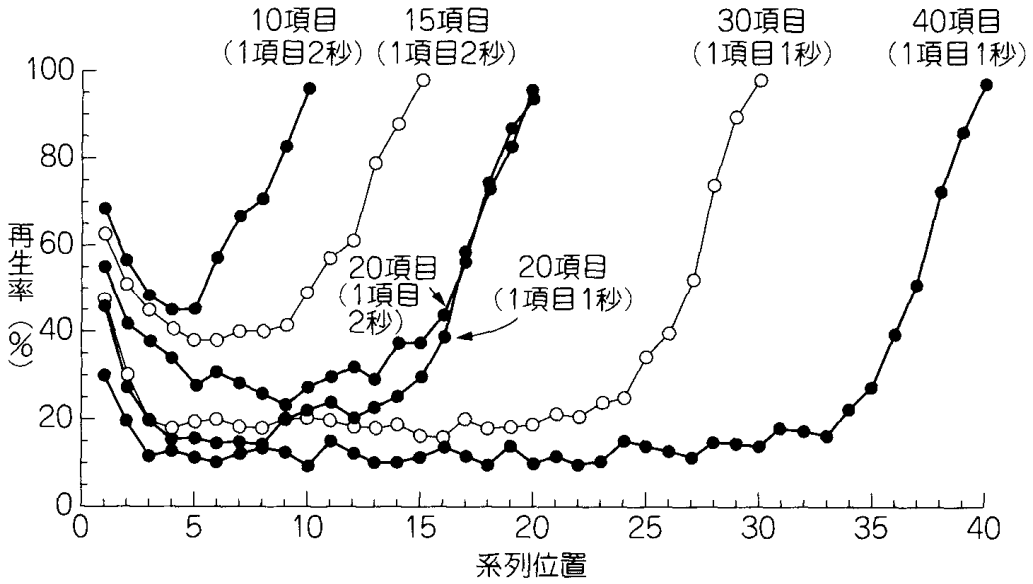

Figure 3-1. 系列位置曲線の例. 被験者に単語リストをひとつずつ読み上げて，その直後に筆記で自由再生させたときの系列位置ごとの再生率を示す. リストの項目数(10, 15, 20, 30, 40 単語)と呈示率(1 項目につき 1 秒または 2 秒)が異なる 6 群を設定した(Murdock, 1962).

数字と小さい数字に結びついた項目は早く学習され，中間の数字に結びついた項目では間違いが多かった．

さらに，このような系列位置効果は，実験室で人工的に学習させた順序を用いたときにも得られた．Ebenholtz（1966a, 実験 3, 5; 1966b）は，あらかじめ系列学習によって順序を学習させておいた 10 個の無意味音節（刺激項目）に，別の 10 個の無意味音節（反応項目）を対連合学習させた．その結果，すでに述べた他の実験と同様に，順序の端に近い刺激項目と結びついた反応項目は，順序の中間の刺激項目と結びついた反応項目よりも，容易に学習された．

Ebenholtz（1972）は，こうした系列位置効果が生じる仕組みについて，次のように説明した．彼によると，刺激項目がある次元に順序づけられていることを被験者が認知すると，それぞれの項目はその順序の端との関係で体制化されるという（次元的体制化 dimensional organization）．この体制化により，各項目には位置情報（例えば，“はじめ”，“終わり”，“中間”といった標識札 tag）が付与される．この位置情報（標識札）は 2 つ以上の項目に共通してつけられることもあるが，同じ標識札がつけられる項目の数は順序の端に近いほど少ないと仮定される．そのため，位置情報（標識札）は順序の端に近いほど“手がかり”として有効になる．系列学習や対連合学習では，個々の項目の特徴の他に，このような位置情報（標識札）が手がかりとして利用されるので，順序の端に近い項目は中間の項目にくらべて学習が容易になるのだという．これと似た仮説は，Bower（1971）によっても提案された．

以上の考え方を，本研究に適用してみよう．分類判断においても，刺激がある次元で順序づけられていると被験者が認知したときには，それぞれの刺激はその順序の端との関係で体制化され，各刺激には位置情報（標識札）が付与される．この位置情報（標識札）は順序の端に近いほど“手がかり”として有効になる．順序の端に近い刺激は，そのような有効な位置手がかりを獲得することによって，順序の中間にある刺激にくらべて示差性が高くなる．それが P300 振幅に反映されて刺激による U 字型変化が生じると考えるのである．

系列位置効果は，学習だけでなく検索においても生じる．検索における系列位置

効果は，主に心的比較判断課題（mental comparison task）を用いて研究されてきた（総説として Banks, 1977; 吉川, 1982）．心的比較判断課題とは，典型的には，被験者に一連の項目の順序（例えば，A > B > C > D > E > F）を学習させた後に，その中の２つの項目の関係（C > E？）を判断させるという課題である．このような課題では，順序の端に近い項目を含む判断が，中間の項目同士の判断よりも，正確にすばやく行われることが知られている．上記の例では，A－B や F－D といった項目対の比較は，C－D，E－B といった項目対の比較よりも容易にできる．Holyoak らは，このような系列位置効果が生じるのは，順序づけられた項目はその端に近いほど弁別しやすくなるからだと提案した（Woocher, Glass, & Holyoak, 1978; Holyoak & Patterson, 1981）．

これまで述べてきたように，刺激（項目）が何らかの次元で順序づけられている場合，順序の端に近い刺激（項目）は，中間の刺激（項目）にくらべて，学習時にも検索時にも有利に処理される．これは，系列位置効果としてすでに確立された現象である．分類判断における P300 振幅の U 字型変化も，このような系列位置効果の一種として考えられるだろう．

ここで，本研究で提案した“系列位置仮説”と AL 説（Ⅰ-4-1 参照）との異同について述べておきたい．どちらも，分類判断課題において刺激間に示差性の違いが生じる仕組みを説明するための仮説である．AL 説では，ある刺激の示差性は，その刺激と AL（全刺激の平均値）との距離によって決まると仮定する．これに対して，系列位置仮説では，ある刺激の示差性は順序づけられた刺激全体の中でのその刺激の相対的位置によって決まると仮定する．

これまでの研究で得られた分類判断課題における P300 振幅の変化を説明するときに，系列位置仮説は，次の 3 つの点で AL 説よりも優れている．

第 1 に，ALを刺激の平均値として定義するAL説では，平均を計算できない記号刺激間に示差性の違いが生じたことを説明できない[5]．他方，系列位置仮説では，刺激が順序づけられてさえいれば，示差性の違いが生じることを説明できる．

---

[5] AL 説の基本概念を意味的・概念的次元まで拡張する試みもあり（Helson, 1964; Apply, 1971），その拡張 AL 説ではこの点は説明できる．

第 2 に，AL 説では示差性は刺激同士の関係によって（反応とは無関係に）決まると仮定するので，刺激と反応の組み合わせを変えると示差性の違いがなくなった（P300 振幅の U 字型変化がなくなった）という結果（Nageishi, 1996）を説明できない．他方，系列位置仮説では，刺激が順序づけられていることを被験者が認知していなければ（そしてその順序が課題に利用できなければ），示差性の違いは生じないと仮定するので，刺激と反応の組み合わせの効果を説明できる．

第 3 に，AL説と系列位置仮説は，実験 2 で大きさの異なる円を分類判断させた 2 つの条件（Easy条件とDifficult条件）の結果についての予測が異なる．AL説では，刺激値とALとの距離（対数値の差）が大きいほど示差性が高くなると定義する．Easy条件とDifficult条件についてそれぞれALを計算すると，どちらも中央の大きさの円にほぼ等しくなる．刺激値とALとの距離を示差性の測度とすると，Easy条件の最小円と最大円は，Difficult条件の最小円と最大円よりもいっそう示差性が高くなり，P300 振幅も大きくなると予測される．他方，系列位置仮説では，ある刺激の示差性は順序づけられた刺激全体の中でのその刺激の相対的位置によって決まると考える．そのため，最小円と最大円の示差性はどちらの条件でも変わらず，P300 振幅も等しくなると予測される．実験 2 の結果は，系列位置仮説を支持するものであった[6]．

以上のように，P300 振幅の U 字型変化が生じる仕組みは，系列位置仮説によってうまく説明できる．

最後に，円とアルファベットで P300 振幅の変化パターンが異なっていたという結果（実験 2）について考えてみたい．系列位置仮説によると，これは，順序内での位置情報の利用可能性が，円とアルファベットで異なっていたことを示している．アルファベットの順序がどのように心的に貯蔵されているかについては，これまでに数多くの研究がなされているが（Lovelace & Snodgrass, 1971; Klahr, Chase, &

[6] AL 説の予測が外れたのは，刺激の変域（刺激の最大値／最小値）を考慮しなかったからである．この点について AL 説を修正・発展させる試みも行われている（柿崎, 1974, pp. 61-71）．

Lovelace, 1983; Hovancik, 1985），それらに共通した見解は，アルファベットの順序はＡからＺへという方向でしか検索できないということである．ＺからＡへという逆の順序は日常的に学習されていないので利用できない．他方，大きさの異なる円の場合には，小さい方から大きい方へという順序と大きい方から小さい方へという順序の両方が，同程度に利用できると考えられる．このような順序の性質の差が，位置情報の利用可能性に影響して，P300 振幅の変化パターンの違いに反映されたのであろう．

(b) U 字型変化が生じないとき

本研究の実験 3（あらかじめ図形の順序を学習しなかった群）と実験 4（ワーキングメモリ容量が小さかった群）では，P300 振幅の U 字型変化が得られなかった．しかし，被験者ごとにみると，P300 振幅は刺激によって異なっていた．これは，被験者一人ひとりについていえば，刺激間に示差性の違いがあったことを示している．P300 振幅に U 字型変化が生じなかったのは，刺激の位置情報が利用できなかったからだと考えられるが，その場合にも，刺激によって示差性が異なっていたのはなぜだろうか？

一つの可能性として，それぞれの被験者が順序以外の刺激の特徴に注目する方略を用いて課題を遂行していたことが考えられる．例えば，実験 3 であらかじめ図形の順序を学習しなかった群では，図形の種類によって P300 振幅に差があった．＋が他の図形にくらべて有意に大きな P300 を出現させたが，これは＋の示差性が“被験者間で一致して”高かったことを意味している．他方，あらかじめ図形の順序を学習させた群では，図形の種類による P300 振幅の差はなかった．これらの結果は，次のように解釈することができる．被験者があらかじめ図形の順序を学習したときには，その順序（図形同士の関係）に注目する方略をとったために，順序に基づく示差性の違いが生じた．他方，順序を学習しなかった被験者は，個々の図形の特徴に注目する方略をとったために，図形の種類に基づく示差性の違いが生じた．全図形のなかで＋は最も画数が多く複雑であったので，特に被験者の注意を引いたのかもしれない．

また，実験 4 のワーキングメモリ容量の小さい被験者でP300 振幅のU字型変化が

生じなかったのは，刺激の位置情報をうまく利用できなかったからだと推測できる．刺激の順序的性質を課題に利用するためには，すべての刺激と反応の組み合わせがワーキングメモリの中で同時に活性化されている必要がある．刺激と反応の組み合わせを一度に一部分しか処理できないとしたら，その時点で全体としての“順序”という性質は失われてしまうからである．ワーキングメモリ容量の大きい被験者は全体を一度に処理できたので，刺激の位置情報を利用する方略がとれたが，容量の小さい被験者は刺激と反応の組み合わせをいくつかの部分に分割・分節化して処理していたので，位置情報がうまく利用できなかったのかもしれない[7]．しかし，各被験者は，それに代わる方略として，順序以外の何らかの刺激の特徴に注目して課題を遂行したので，そのために刺激間に示差性の違いが生じたのかもしれない．

以上考察してきた P300 振幅の変化が生じる仕組みは, 次のようにまとめられる．

①P300 振幅の U 字型変化は系列位置仮説で説明できる．

分類される刺激がある次元で順序づけられており，かつその順序が課題に利用できるときには，それぞれの刺激はその順序の端との関係で体制化され，各刺激には位置情報が付与される．この位置情報は順序の端に近いほど“手がかり”として有効になる．順序の端に近い刺激は，そのような有効な位置手がかりを獲得することによって，順序の中間にある刺激にくらべて示差性が高くなる．それが P300 振幅に反映されることで，刺激による U 字型変化が生じる．

---

[7] ワーキングメモリ容量の小さい被験者は, 刺激間に RT の有意差があった（数字 6［薬指］で遅かった）．これは，容量の小さい被験者が，刺激と反応の組み合わせを全体として均一に処理できなかったことを示唆している. ワーキングメモリ容量の大きい被験者では，そのような RT の差は認められなかった．また，これと関連して，感覚刺激の分類判断課題ならば，ワーキングメモリ容量とは関係なく，P300 振幅の U 字型変化が生じるかもしれない．記号刺激とは異なり，物理的次元で連続している感覚刺激は，知覚の段階からその順序的性質が明らかであり，位置情報が利用しやすいと考えられる．Ullsperger らの実験に参加した被験者はごく普通の人々であり，ワーキングメモリ容量が特に大きかったわけではないが（Ullsperger 私信による，1997 年 11 月 10 日），感覚刺激の分類判断課題を行わせたときには明瞭な P300 振幅の U 字型変化が生じた．

②P300 振幅に刺激による有意差がないときにも，刺激間に示差性の違いはある．

刺激の位置情報が利用されない（できない）ときは，P300 振幅は U 字型に変化しない．しかし，そのときにもそれぞれの被験者は，順序以外の何らかの刺激の特徴に注目して課題を遂行しており，それによって刺激間に示差性の違いが生じる．

Ⅲ-1-3 分類判断における心的表象の構造と性質

本研究の目的は，分類判断において刺激と反応とがどのように関連づけられてワーキングメモリに表象されているのかを明らかにすることであった．Ⅰ-2-2 で分類判断における心的表象とワーキングメモリの概念図（Figure 1-2）を呈示したときに，それぞれの刺激は正しい反応選択肢と一対一で結びついているだけなのか，それとも個々の刺激は実際には対応しない他の反応選択肢とも結びついているのかを問題にした．2 つの可能性は，原理的にはどちらもありうる．もしコンピュータで同様の分類判断行動を再現させるとすれば，表現すべきルールの情報量が少ない前者の方法を使うだろう．後者には冗長度が含まれている．果たして人間はどちらの方法をとっているのだろうか？ これまで見てきた本研究の結果から，この点について考察してみたい．

(a) 心的表象の構造

本研究で行った 4 つの実験では，被験者ごとにみると，すべての条件で刺激によって P300 振幅が異なっていた．これは，いずれの条件でも，被験者一人ひとりについていえば，刺激によって示差性が違っていたことを意味する．もし，各々の刺激とそれに対する正しい反応の組み合わせ（刺激－反応対）が互いに完全に独立して表象されていたとしたら，このような示差性の違いは生じないはずである．なぜなら，すべての刺激－反応対が独立しているならば，その定義上，各刺激－反応対はその他の刺激－反応対とそれぞれ同程度に異なることになり，示差性は等しくなるはずだからである．刺激によって示差性に差があったことは，刺激－反応対が互いに関連づけられて表象されていたことの裏返しであるといえる．

さて，感覚刺激の分類判断であれば，個々の刺激を同定するときに，他の刺激と

の比較が必要になるので，刺激－反応対が互いに関連づけられて表象されていたとしても不思議はない．しかし，刺激も反応も非連続的である記号刺激の分類判断課題で，どうして刺激－反応対が互いに関連づけられて表象されるのだろうか？

いま刺激 S1，S2，S3，S4，S5 と反応 R1，R2，R3，R4，R5 があったとしよう．そして，S1 に対しては R1，S2 に対しては R2，S3 に対しては R3，というふうに刺激と反応との組み合わせを決めたとする．

このような組み合わせが，被験者にとって“自然な”ときと“不自然な”ときがある（刺激－反応の適合性 S-R compatibility）．自然な組み合わせとは，それぞれの刺激がその正解反応と強く結びついている場合である．完全に自動化されるまで学習された組み合わせ――例えば，視覚刺激 3，4，5，6，7 に対して，それぞれ音声で「さん」「し」「ご」「ろく」「なな」と反応する場合――がこれにあたる．他方，不自然な組み合わせとは，それぞれの刺激がその正解反応と“恣意的に”結びつけられている場合である．初めて学習する組み合わせ――例えば，上と同じ視覚刺激 3，4，5，6，7 に対して，それぞれ親指，人差指，中指，薬指，小指でボタンを押して反応するような場合――がこれにあたる．

さて，本研究で行った分類判断課題では，刺激と反応の組み合わせは自然なものではなく，実験室で初めて学習するものであった．このような刺激と反応の組み合わせを使って分類判断を行う場合，被験者は，S1＝R1，S2＝R2，S3＝R3，... といった正の結合ルールだけではなく，S1≠R2，S1≠R3，S1≠R4，S2≠R1，... といった抑制すべき負の結合ルールもワーキングメモリに表象しなければならない．S1 に対して R1－R5 の間で反応競合が生じるからである．このような負の結合ルールがあるために，それぞれの刺激－反応対は互いに関連づけて表象されることになる．このときの心的表象のあり方は，Figure 3-2 のように表現できるだろう．この図から見て取れるように，ワーキングメモリ容量の多くは負の結合ルールを保持するために使われている．分類判断課題での刺激の示差性の違いは，このような正の結合ルールと負の結合ルールのバランスに基づいて生じると考えられる．

これに対して，刺激と反応の組み合わせが“自然な”場合，つまり，刺激と反応がもともと強く結びついている場合には，反応競合が起こらないので，負の結合ル

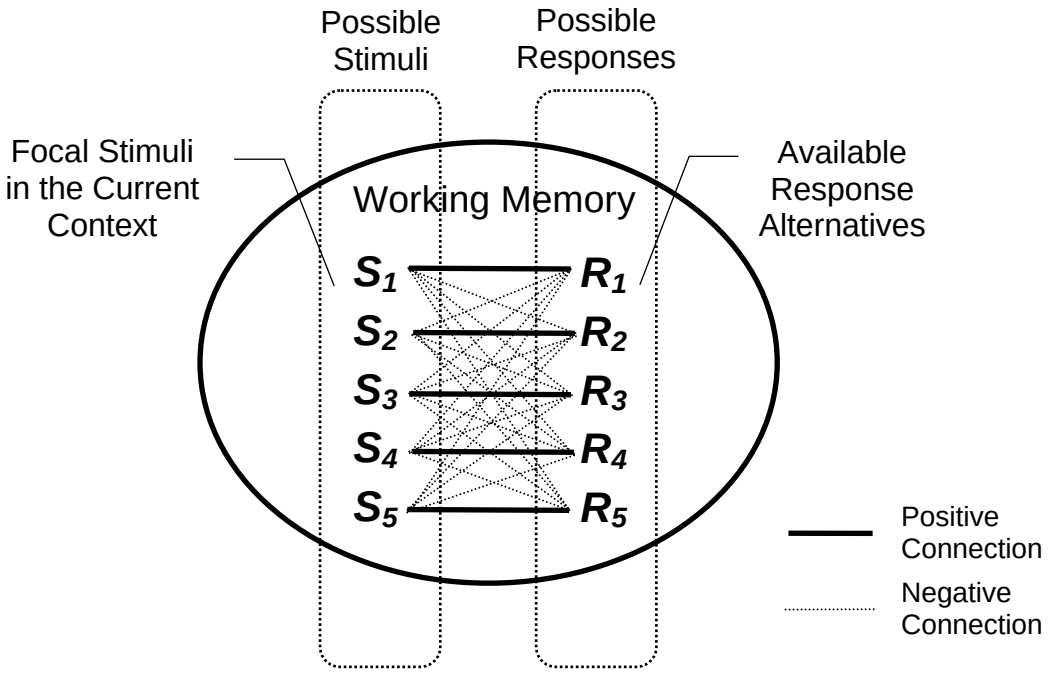

Figure 3-2. 刺激と反応の組み合わせが“不自然な”ときの心的表象とワーキングメモリ.

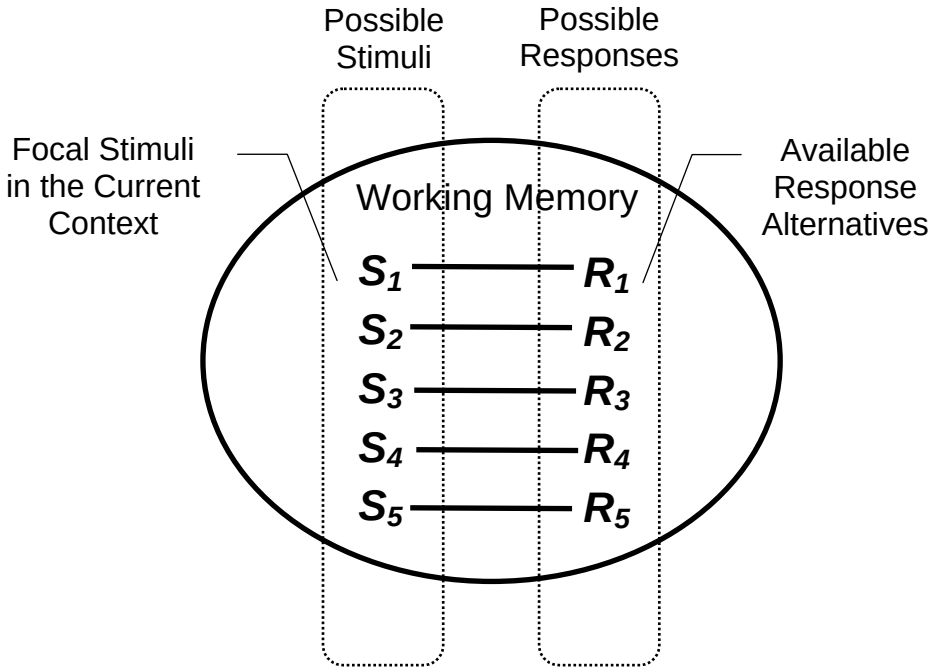

Figure 3-3. 刺激と反応の組み合わせが“自然な”ときの心的表象とワーキングメモリ.

ールを表象する必要がない．そのようなときは，それぞれの刺激－反応対は互いに関連づけられることなしに独立に表象されると考えられる．このときの心的表象のあり方は，Figure 3-3 のように表現できるだろう．この図から見て取れるように，負の結合ルールを学習しなくてよいときにはワーキングメモリ容量はあまり必要とされない．また，刺激間に示差性の違いも生じないと推測される．音声数字 1－5 に対して親指，人差指，中指，薬指，小指でボタンを押して反応させた課題（Mecklinger & Ullsperger, 1993, 実験 2）は，このような“自然な”組み合わせの例と考えられる．親指が“1”に対応し，人差指が“2”に対応し，... というのは，日常生活で指で数をかぞえるときにふつうに利用しているルールである．“いち”という音声に対して親指でボタンを押し，“に”という音声に対して人差指でボタンを押すことは，ほとんど自動的に遂行できる．そのために刺激による示差性の違いがなくなり，P300 振幅にも差が生じなかったのだろう．

このように，ワーキングメモリで刺激と反応がどのように関連づけられているかを考えるときには，それぞれの刺激とそれに対する正しい反応がどのように結びついているかだけでなく，それぞれの刺激と“正しくない反応”との結びつきがどのように抑制されているかについても考慮する必要がある．これは，ワーキングメモリの本質を情報の活性化ではなく不必要な情報の抑制と捉える最近の理論的動向（例えば，Engle, 1996）とも一致する．

(b) 心的表象の性質

本研究の実験 1 と実験 3 では，練習あるいは新しい教示によって P300 振幅が変化するかどうかを検討した．実験 1 では，アルファベットの分類判断課題における P300 振幅の U 字型変化が，実験試行の最初でも，それから 1000 回以上の判断を繰り返した後でもほとんど変化しないことが示された．また，実験 3 では，刺激となる図形の順序を最初に学習しなかった被験者に，後から順序を学習させても，P300 振幅の結果は変化しないことが示された．これらの結果は，分類判断における心的表象は，ひとたび課題を遂行しはじめた後には容易に変化しない安定したものであることを示唆している．

Ⅲ-2 分類判断における心的表象－今後の展望－

本研究では，分類判断における心的表象のあり方について，5CRT 課題という限られた実験パラダイムを用いて検討してきた．当然のことながら，それで分類判断における心的表象のすべてが解明されたわけではない．この章では，本研究の成果を今後どのように発展させることができるかについて，2 つの側面から述べてみたい．まず，心的表象の形成過程，つまり，刺激と反応の組み合わせが分類判断課題の初期にどのようにワーキングメモリに取り込まれていくのかを調べるための ERP 研究を提案する．次に，分類判断を考えるときに“心的表象”といった概念は果たして必要なのかという問題について脳生理心理学と関連させて論じる．

Ⅲ-2-1 心的表象の形成過程と ERP

実験室場面にかぎらず，ある課題状況で分類判断を行うように求められた被験者は，まず，刺激にはどのようなものがあるのか，利用できる反応選択肢には何があるのかに注目する．そして，それらの組み合わせをワーキングメモリに表象していくと考えられる．そのような過程を，パフォーマンスのレベルで追いかけようとしたのが，対連合学習の研究である．対連合学習の研究によって，刺激－反応対がどのような順序で学習されていくのかが明らかにされた（Ⅲ-1-2-a）．

このような心的表象の形成過程を，パフォーマンスではなく，ERP を指標として探ることはできないだろうか？ この点に関して，Friedman らの一連の研究が参考になる（Cycowicz, Friedman, & Rothstein, 1996; Fabiani & Friedman, 1995; Kazmerski & Friedman, 1995）．彼らは，新奇オドボール課題（novelty oddball task）とよばれる実験パラダイムで ERP を測定した．このパラダイムでは，高頻度で呈示される非ターゲット音（純音）の中に，ときどきターゲット音（別の純音）か新奇音（被験者が予期しない音．動物の鳴き声など）が呈示される（各 12 %）．被験者はターゲット音に対してボタンを押すことだけを教示され，新奇音の存在については知らされない．このような課題で ERP を測定すると，ターゲット音と新奇音に対して P3

成分[8]が出現する．Friedmanらは，ターゲット音と新奇音に対するP3成分の頭皮上分布が，実験の時間的経過に伴って変化することを報告した．得られた知見をまとめると，次のようになる．

①新奇音に対しては，はじめ前頭－中心部優位のP3が出現する．しかし，その新奇音が何回か繰り返し呈示されるうちに，頭頂部優位のP3が出現するようになる．

②ターゲット音に対しても，ごく初期には前頭－中心部優位のP3が出現する．しかし，すぐに頭頂部優位のP3が出現しはじめる．

③以上の2つの現象は若者では認められるが，老人では認められない．老人では，ターゲット音に対しても新奇音に対しても前頭－中心部優位のP3が出現し，それは時間的経過によって変化しない．

これらの結果について，Friedmanらは，まだ分類されていない新奇刺激（precategorized stimuli）に対しては前頭－中心部優位のP3が，分類された刺激（categorized stimuli）に対しては頭頂部優位のP3が出現すると提案した（Cycowicz, et al., 1996他）．新奇な刺激は最初は分類できないが，それが何度か呈示されるうちに，その刺激についての記憶テンプレートがワーキングメモリに形成され，分類できるようになっていく. P3の頭皮上分布が前頭－中心部優位から頭頂部優位へと移動するのは, このような刺激の状態変化を反映していると Friedman らは解釈した. また，老人でいつまでも前頭－中心部優位のP3が出現するのは，このような記憶テンプレートを形成・維持する能力が低下しているからだと推測した．

本研究で指標としたのは，P300（P3b）というERP成分であった．この成分は，反応を要求された課題関連刺激（ターゲット刺激）に対して出現する頭頂部優位の成分であり，Friedmanら（Cycowicz, et al., 1996他）の説によると，分類された刺激に対して出現するP3成分である．本研究の目的は，分類判断が実際に行われているときの心的表象について調べることだったので，このようなP300（P3b）に注目したのは妥当であった．今後，心的表象の形成過程についてERPを用いて研究して

[8] P300という語はP3bを指して使われることが多いので，他の類似成分も含めて以下ではP3と呼ぶ（Ⅰ-3-3-c参照）．

いくときには，Friedman らが示したような P3 の頭皮上分布の変化に注目することが有望であろう．

Ⅲ-2-2 心的表象の研究と脳生理心理学

人間は複数の刺激を区別して，それぞれに異なった反応を行うことができる．これは観察可能な事実である．ところが，その行動をどのように説明するか（あるいは何をもって説明したとみなすか）はひとつに限定されない．研究者の立場によっていろいろなアプローチが考えられる．

Ⅰ-2-1 で述べたように，本研究では，このような行動が可能になるためには，被験者の側にその行動を支える構造（心的表象）があると仮定して話を進めてきた．人間は環境や課題についての心的表象をもっているというアイデアは，これまでも多くの心理学者によって提案されてきた．心的表象は，例えば，図式，スキーマ，メンタルモデル（Johnson-Laird），神経モデル（Sokolov）といった言葉で表現されることもあり，また，知覚心理学における構えや基準系といった概念とも関係している．この立場の研究者は，人間は環境や課題状況についてのある種の“モデル”をもち，知覚や行動はそのモデルに基づいて行われると仮定している．そして，そのようなモデルと環境との相互作用という視点から，人間の行動や心理過程について説明しようと試みている．

他方，このような心的表象に関心をもたない心理学者もいる．Watson の行動主義や Skinner の徹底的行動主義を標榜する研究者たちである（佐藤, 1976 参照）．彼らは，刺激と反応（とそれに随伴する強化）との関数関係を法則化することをめざしており，心的表象の存在について否定はしないが，研究対象とはしないという態度をとった．

さらに，“心的表象は知覚や行動に必要でない”という立場をとる心理学者もいる．Gibson（1979）は，事象の意味は事象そのもの（それに伴う包囲光［光学的構造］）の中にあり，われわれはそれを直接知覚していると主張した（アフォーダン

ス理論）．また，Gibson の影響も受けた状況認知派と総称される研究者たちは，行動や認知というのは，つねに目前の環境と相互作用しながらそれと同調してなされるものであり，それを表象やプランという形で一般化して取り出して研究するのは誤りであるという立場をとっている（上野，1991 参照）．

複数の刺激に対してそれぞれ異なった反応を行うという行動をどう説明するかという最初の問いに戻ろう．これは心的表象を仮定しなくても説明はできる．いま 2 つの刺激 S1，S2 に対して，それぞれ反応 R1，R2 を行うように，被験者に求めたとしよう．具体的には「右」といわれたら右手をあげ，「左」といわれたら左手をあげるという場面を想像してほしい. このような行動に対する Skinner 流の説明は，次のようになる．「右」といわれて右手をあげたら“正しい”といわれた（強化された）．次に「左」といわれて左手をあげたら強化された．さらに今度は「右」といわれて左手をあげたら“違う”といわれた（強化されなかった）．また「左」といわれて右手をあげても“違う”といわれた．このような経験を繰り返していくうちに，「右」「左」という刺激に対して，それぞれ〈右手をあげる〉〈左手をあげる〉という反応を正しく行うことができるようになる．Skinner は，人間は実際にはこのような試行錯誤をせず，言葉の働きによってルールを学習すると考えたが，実際に強化を経験するにせよ，言葉によるにせよ，分類判断を単なるルールの学習・実行とみなせば，あえて心的表象を考える必要はない.

他方，同じ分類判断の状況を，Gibson ならば次のように説明するだろう．「右」という言葉にはもともと潜在的に〈右手をあげる〉という反応を導出することができるような情報が含まれている．また，「左」という言葉にも〈左手をあげる〉という反応を導出できる情報が潜在的に含まれている．最初，被験者はそれらの潜在情報をうまく抽出できないが，そのうち抽出方法を学習して，分類判断を行うことができるようになる．情報はもともと刺激の側にあるのだから，心的表象など不要だというのである.

このように，心的表象は，分類判断を説明するために必要不可欠な概念ではない．しかし，筆者はあえて心的表象を想定する立場をとりたい．それは，筆者が，心理現象の物質的基盤には脳過程があるという「唯物論的」な立場をとるからである.

これは，こころが脳で生み出されている（こころは脳活動の産物にすぎない）という機械論的な立場とは異なっている．こころは単に生理学的過程の産物なのではなくて，自然・社会・文化的環境を反映して発展的に形成されていくものである．したがって，こころを脳における生理学的過程に還元してしまうことはできない．しかし，こころの“物質的”基盤はやはり脳であり，脳における過程を伴わない心理現象はないと考えるのである．このような唯物論的な心理学は旧ソビエトにおける心理学の伝統的な立場であった（スミルノフ, 1962; レヴィチン, 1984）．

もし，すべての心理現象の基盤として脳過程があるのだとすれば，分類判断を行うときにも脳が働いているはずである．そして，その脳過程は環境のある側面を反映しているはずである．旧ソビエトの生理学者 Sokolov（1963, 1969）は，ある刺激が感覚系に何度も繰り返し与えられると，神経系はその刺激の特性についての情報を保持するモデルを作ると想定して，それを“神経モデル（neuronal model）”と呼んだ．これと同じように，本研究で心的表象と呼んだのは，何らかの脳過程に裏づけられた“実在”であって，単なる説明概念ではない．そのような“環境（課題状況）のある側面を反映した脳過程”を心理学の立場から心的表象と名づけて，その性質について検討していくことは有効であろう．そのような心的表象は，状況即応的かつ状況特異的に変化するものであって，そのものを実体として取り出すことはできない．しかし，脳生理心理学的なアプローチを用いれば，その働きや構造について実験的に調べることができる．

Ⅲ-3 結論

本研究では，柿崎（1974）にならって，判断を“複数の刺激と複数の反応が互いに関連づけられること”と捉えた．その中でも，刺激に対する正しい反応が決まっていて，刺激と反応の種類が明示的に限定されている場合を「分類判断」と呼んだ．そして，分類判断を行うときには，刺激と反応の組み合わせがワーキングメモリに表象されると仮定し，その心的表象の構造や性質について，ERP という生理学的反応を手がかりとして検討してきたのだった．

互いに弁別容易な記号刺激に対してそれぞれ異なった反応をさせる分類判断課題を遂行するためには，原理的にはそれぞれの刺激が正しい反応と一対一で結びついて表象されていればいい．このような分類判断課題では，刺激間に反応時間や誤反応率の差はなかった．しかし，ERP の P300 成分の振幅に注目することによって，刺激によってその示差性が異なっていることが明らかになった．刺激によって示差性に違いがあったことは，それぞれの刺激が正しい反応と一対一で結びついて表象されていると仮定した時には説明できない．そこで，それぞれの刺激は正しい反応と正の結合をしているだけではなく，正しくない反応とも抑制的な負の結合をしていると仮定した．記号刺激の分類判断を担っている心的表象は，このような正の結合と負の結合のネットワークによって，刺激全体と反応全体とが一つの構造として関連づけられたものとして概念化できる．これは結局，冒頭に述べた柿崎（1974）による判断のイメージに戻ったわけである．

このような分類判断における心的表象の研究が，ERP 測度を用いることではじめて可能になったことに注目したい．外から観察できる行動に差がないときでも，刺激の心理的な意味づけや内的過程が異なっていると主張できるのは，ERP をはじめとする脳生理心理学的な測度の長所である．今後，心理学のさまざまな分野で脳生理心理学的な測度が利用されることによって，これまで気づかれていなかった人間の内的過程の諸側面が発見されていくだろう．

論文内容の要旨

博士論文題名　刺激の分類判断における心的表象の研究

学位申請者　入戸野　宏　　印

判断とは，所与の事物・事象（刺激）にカテゴリー（反応）を対応づけることである（柿崎，1974）．本研究では，刺激の種類と反応選択肢の数が限られており，それぞれの刺激に対してあらかじめ決められた反応を対応づける場合を「分類判断」と呼ぶことにした．

分類判断を行うためには，刺激と反応との正しい組み合わせを覚えていなければならない．そのような情報は，ワーキングメモリで保持されると考えられる．環境や長期記憶には，さまざまな潜在的刺激と潜在的反応が含まれている．その中から現在の分類判断に関連した刺激や反応の情報が選択的にワーキングメモリに取り込まれ，両者はワーキングメモリの中で対応づけられて表象されるようになると仮定した．

本研究では，分類判断を行っている被験者が，ワーキングメモリの中で刺激と反応をどのように対応づけて表象しているかを明らかにしようと試みた．そのための手段として，通常の行動測度の他に，脳の神経活動のあらわれである事象関連電位（event-related potential; ERP）を測定した．ERP は，ある出来事（事象）を脳が処理する過程に関連して出現する電位である．

Nageishi（1996）は，5 つの数字 3，4，5，6，7 を等確率にランダムな順序で呈示して，それぞれに対して右手の 5 本の指で異なったボタンを押して反応させた．それぞれの数字に対して ERP を求めたところ, 刺激呈示後およそ 300－800 ms に頂点をもつ P300 と呼ばれる成分の振幅が，系統的な変化を示した．5 つの数字がその大きさの順序に沿って反応ボタンと対応づけられていたときには, P300 振幅は端に近い数字（3, 7）で大きく，中間の数字（4，5，6）で小さくなった．

P300 の振幅は，刺激の“示差性（distinctiveness）”の指標といわれている．示差性の高い刺激（＝他の刺激にはない特徴を含んだ刺激）ほど大きな P300 を出現させる．この考え方によると，Nageishi（1996）の実験結果は，分類される数字の間に示差性の違いがあったことを示している．

本研究では，Nageishi（1996）の研究を発展させて，4 つの実験を行った．どの実験でも，5 種類の刺激を等確率に呈示して，それぞれに対して異なったボタン押し反応を行わせた．アルファベット（実験 1，2）や大きさの異なる円（実験 2），幾何学図形（実験 3），数字（実験 4）を分類判断させる課題で ERP を測定したところ，どのような刺激を用いても，被験者ごとにみると，P300 振幅は刺激間で異なることが示された．また，このような P300 振幅の差は行動測度に差がないときにも認められた．

分類される刺激間に示差性の違いがあったという結果は，被験者がそれぞれの刺激を他の刺激と比較・関連させて認知していたことを暗示している．このような示差性の違いが生じるためには，刺激と“正しい反応”との結合が表象されているだけでなく，刺激と“正しくない反応”との結合も負の（抑制的な）形で表象されていなければならない．

本研究の冒頭で，分類判断を行っている被験者のワーキングメモリには，刺激と反応の組み合わせが表象されると仮定した．それがどのようなものかを明らかにすることが目的であったが，結論として，分類判断における刺激と反応の組み合わせの表象は，個々の刺激－反応対がばらばらな形で表象されたものではなくて，その課題に関連するすべての刺激とすべての反応が（正の結合と負の結合からなるネットワークの形で）一つの構造として関連づけられたものであると推測された．

ERP 測度を用いることにより，外から観察できる行動に差がないときでも，心的表象の構造について推測することができた．本研究で用いたような脳生理心理学的アプローチが，心理学のさまざまな分野で今後利用されるようになれば，これまで隠されていた人間の心理過程の諸側面が見えてくるであろう．

引用文献

Anderson, J. R. (1995). *Learning and memory: An integrated approach.* New York: Wiley.

Apply, M. H. (Ed.). (1971). *Adaptation-level theory.* New York: Academic Press.

Banks, W. P. (1977). Encoding and processing of symbolic information in comparative judgments. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 11, pp. 101-159). New York: Academic Press.

Bower, G. H. (1971). Adaptation-level coding of stimuli and serial position effects. In M. H. Apply (Ed.), *Adaptation-level theory* (pp. 175-201). New York: Academic Press.

Brazier, M. A. B. (1984). Pioneers in the discovery of evoked potentials. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 59,* 2-8.

Courchesne, E., Hillyard, S. A., & Galambos, R. (1975). Stimulus novelty, task relevance and the visual evoked potential in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 39,* 131-143.

Cycowicz, Y. M., Friedman, D., & Rothstein, M. (1996). An ERP developmental study of repetition priming by auditory novel stimuli. *Psychophysiology, 33,* 680-690.

Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 19,* 450-466.

Daneman, M., & Green, I. (1986). Individual differences in comprehending and producing words in context. *Journal of Memory and Language, 25,* 1-18.

Desmedt, J. E. & Debecker, J. (1979a). Waveform and neural mechanism of the decision P350 elicited without pre-stimulus CNV or readiness potential in random sequences of near-threshold auditory clicks and finger stimuli. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 47,* 648-670.

Desmedt, J. E. & Debecker, J. (1979b). Slow potential shifts and decision P350 interactions in tasks with random sequences of near-threshold clicks and finger stimuli delivered at regular intervals. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 47,* 671-679.

Desmedt, J. E. (1980). P300 in serial tasks: An essential post-decision closure mechanism. In H. H. Kornhuber & L. Deecke (Eds.). *Motivation, Motor, and Sensory Processes of the Brain* (pp. 682-686). North-Holland: Elsevier

Donchin, E. (1979). Event-related brain potentials: A tool in the study of human information processing. In H. Begleiter(Ed.), *Evoked potentials and behavior* (pp. 13-88). New York: Plenum Press.

Donchin, E. (1981). Surprise!...Surprise? *Psychophysiology, 18,* 493-513.

Donchin, E., & Coles, M. G. H. (1988a). Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behavioral and Brain Sciences, 11,* 357-374.

Donchin, E., & Coles, M. G. H. (1988b). On the conceptual foundations of cognitive psychophysiology. *Behavioral and Brain Sciences, 11,* 408-419.

Donchin, E., & Coles, M. G. H. (1991). Behavior, cognition and event-related brain potentials. *Behavioral and Brain Sciences, 14,* 735-738.

Donchin, E., & Fabiani, M. (1991). The use of event-related brain potentials in the study of memory: Is P300 a measure of event distinctiveness? In J. R. Jennings & M. G. H. Coles (Eds.),

Handbook of cognitive psychophysiology: Central and autonomic nervous system approaches (pp. 471-498). Chichester, England: Wiley.

Duncan-Johnson, C.C. (1981). P300 latency: A new metric of information processing. *Psychophysiology, 18,* 207-215.

Duncan-Johnson, C.C., & Donchin, E. (1977). On quantifying surprise: The variation in event-related potentials with subjective probability. *Psychophysiology, 14,* 456-467.

Ebenholtz, S. M. (1963). Position mediated transfer between serial learning and a spatial discrimination task. *Journal of Experimental Psychology, 65,* 603-608.

Ebenholtz, S. M. (1965). Positional cues as mediators in discrimination learning. *Journal of Experimental Psychology, 70,* 176-181.

Ebenholtz, S. M. (1966a). Serial-position effect of ordered stimulus dimensions in paired-associate learning. *Journal of Experimental Psychology, 71,* 132-137.

Ebenholtz, S. M. (1966b). Serial-list items as stimuli in paired-associate learning. *Journal of Experimental Psychology, 72,* 154-155.

Ebenholtz, S. M. (1972). Serial learning and dimensional organization. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 5, pp. 267-314). New York: Academic Press.

Engle, R. W. (1996). Working memory and retrieval: An inhibition-resource approach. In J. T. E. Richardson, et al. (Eds.), *Working memory and human cognition* (pp. 89-119). New York: Oxford University Press.

Fabiani, M., & Donchin, E. (1995). Encoding processes and memory organization: A model of the von Restorff effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 21,* 224-240.

Fabiani, M., & Friedman, D. (1995). Changes in brain activity patterns in aging: The novelty oddball. *Psychophysiology, 32,* 579-594.

Fabiani, M., Karis, D., & Donchin, E. (1986). P300 and recall in an incidental memory paradigm. *Psychophysiology, 23,* 298-308.

Fabiani, M., Karis, D., & Donchin, E. (1990). Effects of mnemonic strategy manipulation in a von Restorff paradigm. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 75,* 22-35.

Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception.* Boston: Houghton Mifflin.［古崎敬・古崎愛子・辻敬一郎・村瀬旻（訳）1985 生態学的視覚論 サイエンス社］

Helson, H. (1964). *Adaptation-level theory. An experimental and systematic approach to behavior.* New York: Harper and Law.

Holyoak, K. J., & Patterson, K. K. (1981). A positional discriminability model of linear-order judgments. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 7,* 1283-1302.

Hovancik, J. R. (1985). Chronometric analysis of the storage of alphabetic information in human memory. American Journal of Psychology, 98, 535-547.

市原清志（1990）バイオサイエンスの統計学　南江堂

Jacoby, L. L., & Craik, F. I. M. (1979). Effects of elaboration of processing at encoding and retrieval: Trace distinctiveness and recovery of initial context. In L. S. Cermak & F. I. M. Craik (Eds.), *Levels of processing in human memory* (pp. 1-21). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Johnson, R., Jr. (1988). The amplitude of the P300 component of the event-related potential: Review and synthesis. In P. K. Ackles, J. R. Jennings, & M. G. H. Coles (Eds.), *Advances in Psychophysiology* (Vol.Ⅲ, pp. 69-138). Greenwich, CT: JAI Press.

Johnson, R., Jr. (1993). On the neural generators of the P300 component of the event-related potential. *Psychophysiology, 30,* 90-97.

Jurden, F. H. (1995). Individual differences in working memory and complex cognition. *Journal of Educational Psychology, 87,* 93-102.

Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1992). A capacity theory of comprehension: Individual differences in working memory. *Psychological Review, 99,* 122-149.

柿崎祐一（1974）知覚判断　培風館.

亀山知道・平松謙一・斉藤治（1986a）認知機能に関連する事象関連電位（とくに P300）と精神科領域におけるその測定の価値－第 1 回－　精神医学, 28, 364-378.

亀山知道・平松謙一・斉藤治（1986b）認知機能に関連する事象関連電位（とくに P300）と精神科領域におけるその測定の価値－第 2 回－　精神医学, 28, 598-611.

Karis, D., Fabiani, M., & Donchin, E. (1984). “P300” and memory: Individual differences in the von Restorff effect. *Cognitive Psychology, 16,* 177-216.

片山容一・深谷親・坪川孝志（1997）P300 に伴う脳内電位とその発生機構　丹羽真一・鶴紀子（編著）事象関連電位 : 事象関連電位と神経情報科学の発展　新興医学出版社　Pp. 175-185.

Kazmerski, V. A., & Friedman, D. (1995). Repetition of novel stimuli in an ERP oddball paradigm: Aging effects. *Journal of Psychophysiology, 9,* 298-311.

Klahr, D., Chase, W. G., & Lovelace, E. A. (1983). Structure and process in alphabetic retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 9,* 462-477.

Kutas, M., McCarthy, G., & Donchin, E. (1977). Augmenting mental chronometry: The P300 as a measure of stimulus evaluation time. *Science, 197,* 792-795.

Kyllonen, P. C., & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity?! *Intelligence, 14,* 389-433.

レヴィチン, K. 柴田義松（監訳）（1984）ヴィゴツキー学派－ソビエト心理学の成立と発展　ナウカ

Lovelace, E. A., & Snodgrass, R. D. (1971). Decision times for alphabetic order of letter pairs. *Journal of Experimental Psychology, 88,* 258-264.

Magliero, A., Bashore, T. R., Coles, M. G. H., & Donchin, E. (1984). On the dependence of P300 latency on stimulus evaluation processes. *Psychophysiology, 21,* 171-186.

McCarthy, G., & Donchin, E. (1981). A metric for thought: A comparison of P300 latency and reaction time. *Science, 211,* 77-79.

Mecklinger, A., Kramer, A. F., & Strayer, D. L. (1992). Event-related potentials and EEG components in a semantic memory search task. *Psychophysiology, 29,* 104-119.

Mecklinger, A., & Ullsperger, P. (1993). P3 varies with stimulus categorization rather than probability. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 86,* 395-407.

Mecklinger, A., & Ullsperger, P. (1995). The P300 to novel and target events: A spatio-temporal dipole model analysis. *NeuroReport*, 7, 241-245.

Murdock, B. B., Jr. (1960). The distinctiveness of stimuli. *Psychological Review, 67*, 16-31.

Murdock, B. B., Jr. (1962). The serial position effect of free recall. *Journal of Experimental Psychology, 64*, 482-488.

投石保広（1990）事象関連電位（ERP）の成分分析　佐藤謙助・平井富雄・山岡淳（監修）誘発電位の基礎と臨床　創造出版　Pp. 223-234.

投石保広（1995）N2－MMN，N2b，NA－　加我君孝・古賀良彦・大澤美貴雄・平松謙一（編）事象関連電位（ERP）マニュアル　篠原出版　Pp. 287-297.

Nageishi, Y. (1996). P300: context updating and working memory. In C. Ogura, Y. Koga, & M. Shimokochi (Eds.), *Recent advances in event-related brain potential research* (pp. 52-59). North-Holland: Elsevier.

投石保広・下河内稔（1981）脳の事象関連電位（Event-related potentials）とヒトの情報処理過程　大阪大学人間科学部紀要, 7, 142-172.

中島義明（1986）知覚変数としての「基準系」　大阪大学人間科学部紀要，12，27-43.

野口薫（1964）Adaptation-Level に関する研究の概観　心理学研究, 35, 96-108.

沖田庸嵩（1989）事象関連電位と認知情報処理 －選択的注意の問題を中心として－　心理学研究, 60, 320-335.

沖田庸嵩（1992a）ERP 研究に役立つ心理実験パラダイム（Ⅰ）　臨床脳波, 34, 269-275.

沖田庸嵩（1992b）ERP 研究に役立つ心理実験パラダイム（Ⅱ）　臨床脳波, 34, 334-339.

Okita, T., Wijers, A. A., Mulder, G., & Mulder, L. J. M. (1985). Memory search and visual spatial attention: An event-related brain potential analysis. *Acta Psychologica, 60*, 263-292.

苧阪満里子（1992）日本語版，英語版リーディングスパンテストとワーキングメモリ　大阪外語大学コミュニケーション研究Ⅱ, 41-56.

Paller, K. A., Kutas, M., & Mayes, A. R. (1987). Neural correlates of encoding in an incidental learning paradigm. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 67*, 360-371.

Paller, K. A., McCarthy, G., & Wood, C. C. (1988). ERPs predictive of subsequent recall and recognition performance. *Biological Psychology, 26*, 269-276.

Picton, T. W. (1992). The P300 wave of the human event-related potential. *Journal of Clinical Neurophysiology, 9*, 456-479.

Pfefferbaum, A., Ford, J. M., Johnson, R., Jr., Wenegrat, B. G., & Kopell, B. S. (1983). Manipulation of P3 latency: Speed vs. accuracy instructions. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 55*, 188-197.

Polich, J., & Kok, A. (1995). Cognitive and biological determinants of P300: An integrative review. *Biological Psychology, 41*, 103-146.

Pritchard, W. S. (1981). Psychophysiology of P300. *Psychological Bulletin, 89*, 506-540.

Ragot, R., & Renault, B. (1985). P300 and S-R compatibility: A reply to Magliero et al. *Psychophysiology, 22*, 349-352.

Reber, A. S. (1995). *The Penguin Dictionary of Psychology* (2nd ed.). London: Penguin Books.

Richardson, J. T. E. (1996). Evolving concepts of working memory. In J. T. E. Richardson, et al. (Eds.), *Working memory and human cognition* (pp. 3-30). New York: Oxford University Press.

Ruchkin, D. S., & Sutton, S. (1978). Equivocation and P300 amplitude. In D. Otto(Ed.), *Multidiciplinary perspective in event-related potential research* (pp.175-177). Washington, DC: U.S.Government Printing Office.

Ruchkin, D. S., Sutton, S., Kietzman, M. L., & Silver, K. (1980). Slow wave and P300 in signal detection. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 50*, 35-47.

Rugg, M. D., & Coles, M. G. H. (Eds.). (1995). *Electrophysiology of mind: Event-related brain potentials and cognition.* New York: Oxford University Press.

斉藤治・平松謙一・亀山知道・福田正人・丹羽真一・伊藤憲治（1986）注意と事象関連電位　神経進歩, 30, 827-840.

斉藤治・豊嶋良一（1997）事象関連電位：歴史と概論　丹羽真一・鶴紀子（編著）事象関連電位：事象関連電位と神経情報科学の発展　新興医学出版社　Pp. 3-21.

Salthouse, T. A., & Babcock, R. L. (1991). Decomposing adult age differences in working memory. *Developmental Psychology, 27*, 763-776.

佐藤方哉（1976）行動理論への招待　大修館書店

下河内稔（1981）事象関連電位（Ｉ）　臨床脳波, 23, 683-690.

下河内稔・投石保広・楊井一彦・小山幸子（1988）P300 の基礎　神経進歩, 32, 149-162.

Simson, R., Vaughan, H. G. Jr., & Ritter, W. (1977). The scalp topography of potentials in auditory and visual go/nogo tasks. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 43*, 864-875.

スミルノフ, A. A. 柴田義松・島至・牧山啓（訳）（1965）ソビエトの教科書 心理学（新版）上　明治図書（原書 1962 年）

Sokolov, E. N. (1963). *Perception and the conditioned reflex*. Oxford: Pergamon Press.［ソコーロフ, E. N. 金子隆芳・鈴木宏哉（訳）1965 知覚と条件反射　世界書院］

Sokolov, E. N. (1969). The modeling properties of the nervous system. In I. Maltzman & M. Cole (Eds.)., *A handbook of contemporary soviet psychology* (pp. 671-704). New York: Basic Books.

Squires, K. C., Squires, N. K., & Hillyard, S. A. (1975). Decision-related cortical potentials during an auditory signal detection task with cued observation intervals. *Journal of Experimental Psychology: Human, Perception, and Performance, 1*, 268-279.

Squires, K. C., Wickens, C., Squires, N. K., & Donchin, E. (1976). The effect of stimulus sequence on the waveform of the cortical event-related potential. *Science, 193*, 1143-1146.

Squires, N. K., Squires, K. C., Hillyard, S. A. (1975). Two varieties of long-latency positive waves evoked by unpredictable auditory stimuli in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 38*, 387-401.

Sutton, S. (1979). P300―Thirteen years later. In H. Begleiter (Ed.), *Evoked potentials and behavior* (pp.107-126). New York: Plenum Press.

Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., & John, E. R. (1965). Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. *Science, 150*, 1187-1188.

竹内賢・丹羽真一（1997）課題遂行と事象関連電位－反応時間を含めて－　丹羽真一・鶴紀子（編著）事象関連電位：事象関連電位と神経情報科学の発展　新興医学出版社　Pp. 65-75.

Tueting, P., & Sutton, S. (1976). Auditory evoked potential and lift/no-lift reaction time in relation to uncertainty. In W. C. McCallum & J. R. Knott (Eds.), *The responsive brain* (pp.71-75). Bristol: John Write and Sons.

Turner, M. L., & Engle, R. W. (1989). Is working memory capacity task dependent? *Journal of Memory and Language, 28,* 127-154.

上野直樹（1991）状況的認知　児童心理学の進歩 1991 年版　金子書房　Pp. 283-315.

Ullsperger, P., & Baldeweg, T. (1991). Interpreting P300 amplitude changes with adaptation level theory. *Behavioral and Brain Sciences, 14,* 733-734.

Ullsperger, P., & Gille, H. -G. (1988). The late positive component of the ERP and adaptation-level theory. *Biological Psychology, 26,* 299-306.

Ullsperger, P., & Mecklinger, A. (1996). P300 as index of cognitive adaptation. In C. Ogura, Y. Koga, & M. Shimokochi (Eds.), *Recent advances in event-related brain potential research* (pp. 47-51). North-Holland: Elsevier.

Vasey, M. W., & Thayer, J. F. (1987). The continuing problem of false positives in repeated measures ANOVA in Psychophysiology: A multivariate solution. *Psychophysiology, 24,* 479-486.

Verbaten, M. N., Roelofs, J. W., Sjouw, W., & Slangen, J. L. (1986). Different effects of uncertainty and complexity on single trial visual ERPs and the SCR-OR in non-signal conditions. *Psychophysiology, 23,* 254-262.

Verleger, R. (1988a). Event-related potentials and cognition: A critique of the context updating hypothesis and an alternative interpretation of P3. *Behavioral and Brain Sciences, 11,* 343-356.

Verleger, R. (1988b). From epistemology to P3-ology. *Behavioral and Brain Sciences, 11,* 399-408.

Verleger, R. (1991). Event-related potentials and cognition: On unexpected events and on the utility of event-related potentials. *Behavioral and Brain Sciences, 14,* 734-735.

Verleger, R. (1997). On the utility of P3 latency as an index of mental chronometry. *Psychophysiology, 34,* 131-156.

Wickens, C. D, Kramer, A. F., Vanasse, L., & Donchin, E. (1983). Performance of concurrent tasks: A psychophysiological analysis of the reciprocity of information-processing resources. *Science, 221,* 1080-1082.

Wijers, A. A., Mulder, G., van Hooff, H., Lange, J., Peters, M. J., & Dunajski, Z. (1993). Topography and source analysis of brain activity associated with selective spatial attention and memory search. *Brain Topography, 5,* 383-388.

Woocher, F. D., Glass, A. L., & Holyoak, K. J. (1978). Positional discriminability in linear orderings. *Memory and Cognition, 6,* 165-173.

Woody, C. D. (1967). Characterization of an adaptive filter for the analysis of variable latency neuroelectric signals. *Medical and Biological Engineering, 5,* 539-553.

吉川左紀子（1982）比較判断の心理過程 京都大学教育学部紀要, 28, 202-214.

謝　辞

この論文を書き終えるまでに，たくさんの方々に御教示と励ましをいただいた．

大阪大学人間科学部の中島義明先生，赤井誠生先生，山本隆先生，三浦利章先生には，学部生のときからいろいろなことを学ばせていただいた．また，投石保広先生（現・朝日大学教職課程センター）には，事象関連電位の手ほどきをしていただいた．

Peter Ullsperger 先生（Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Berlin）は，私が事象関連電位に興味をもつきっかけとなった論文（『ERP の後期陽性成分と順応水準説』 Ullsperger & Gille, 1988）の著者であり，研究をはじめた当初からのあこがれの人であった．その先生の研究室に短期留学（1997 年 6 月から 2 ヶ月間）することができたのは，非常な好運であった．研究と教育に並ならぬ情熱をもちながら，それでいて控えめで誠実な先生の人柄に直接に触れることができたのは，生涯忘れ得ぬ思い出となるだろう．また，ドイツ語をまったく知らない日本人留学生をあたたかく迎え入れてくれた研究室のスタッフの方々，奨学金を与えてくれたドイツ学術交流会（DAAD）に感謝する．

私が研究者の道にすすんだのは，父・入戸野修（東京工業大学工学部）の影響を抜きにしては考えられない．留学や投稿論文のことで貴重な助言をいただいた．また，母・雅子には情緒的な面で大いに支えられた．

専門分野以外の友人たちとの交流についても忘れることができない．特に，橋本朋広くんと藤井千夏さんには多くの示唆と励ましを受けた．ここに記して感謝する．

ひとつの論文が完成するまでに，これほど多くの人々との出会いがあったという事実にあらためて驚くとともに，感謝の気持ちで一杯である．なお，本研究の一部（実験 4）は，平成 8 年度日本科学財団笹川科学研究助成金を受けて行った．

1997 年 クリスマス

入戸野　宏

履　歴

2009 年 12 月 4 日　電子ファイル作成

印刷版との相違点
・脚注番号を通し番号に直した。
・実験２で用いた刺激の白十字を，本文中では “＋”に置き換えた。