

ERP を指標とした外向性研究

梶原 慶・尾形 佳晃・二ノ宮恵美・杉之原正純

(受付 1998年5月20日)

はじめに

外向性-内向性 (extraversion-introversion) はパーソナリティを構成する主要な次元として広く認められており, その個人差に関しては, これまで実験的に測定・検証が可能な様々な測度を用いて客観的記述が試みられてきた (Eysenck & Eysenck, 1985)。

外向者-内向者間の差異は, それがどのような形で記述されたものであれ, Eysenck (1967) の覚醒理論と関連づけて理解されるのが一般的である。彼の理論によれば, 向性の個人差は脳皮質の覚醒-抑制を調節する領域である上行性網様体賦活系 (Ascending Reticular Activating System: ARAS) の神経生理学的機能差に基づいているとされている。この主張に従えば, 内向者は外向者よりも慢性的に皮質の覚醒水準が高いことによって特徴づけられる。また, 覚醒水準によって影響される感覚刺激に対する反応性, 知覚や認知といった心理的過程にも外向者-内向者間で差が生じることが予想される。

感覚・知覚・認知といった心理的過程における向性の個人差に関しては, 個人の精神状態や心的活動を敏感に反映する生理学的指標 (例えば, 脳波, 皮膚電気反応) を用いた, いわゆる精神生理学的な研究がこれまでも多数行われてきた。それまで外向者-内向者間の心理的過程における差異は主に行動測度から推測されたものであったが, 精神生理学のアプローチの適用により, そこに生理学的裏づけを与えることが可能となった。同時に, そこで得られたデータは外向性の生物学的基礎の解明に迫るための貴重な手掛かりとなっている (Stelmack, 1990; Stelmack & Geen, 1992 参照)。

これまで外向性研究に用いられた数多くの精神生理学的指標の中でも、事象関連電位 (event-related potential: ERP) は、被験者の心理的過程に対応する一過性の脳内電位変化を ms 単位という高い時間分解能をもってモニターできると同時に、向性の個人差を敏感に反映することから近年特に注目されている。

ERP を指標とした外向性研究には、対象とする成分の性質の違いにより2つの方向性がある。一方は、視覚・聴覚・体性感覚といった感覚器への物理的な刺激作用により惹起される ERP の初期成分、すなわち誘発電位 (evoked potential: EP) を対象とした研究である。EP の波形は刺激の物理的特徴、例えば感覚モダリティ・刺激強度・刺激の呈示間隔などに依存して変化し、知覚や認知といった心的活動による影響を殆ど受けないため外因性 (exogenous) 成分とも呼ばれる。1960-70年代の研究は、主にこの EP を指標として、各種刺激作用に対する反応性の外向者-内向者間での差異を中枢レベルで検証することが目的とされていた。他方では、狭義の ERP、すなわち内因性 (endogenous) 成分を対象とした研究も行われている。内因性の ERP 波形は何らかの認知課題遂行時に被験者の脳内で進行している情報処理活動に対応して出現するが、これを外向者-内向者間で比較することによって、注意・期待・記憶探索・意志決定といった高次の認知活動における向性の個人差についての検討が可能になると期待されている。1980年代以降、ERP を指標とした外向性研究の対象は EP から内因性成分にシフトしてきている。

本論文の目的は、過去10年間 (1988-97) に発表された ERP を指標とした一連の外向性研究をレビューすることである。各研究の目的、手続き、結果を整理したうえで、そこから導かれる解釈や Eysenck の覚醒理論との関連性について考察し、さらに今後の展望について述べる。第1節では最も体系的な研究がなされている外向性とオドボール課題遂行時の ERP、特に P300 との関係について詳述する。第2節ではオドボール課題以外の実験課題を用いた研究を概観する。また第3節では Eysenck 理論の修正版である

Gray理論の検証にERPを応用した研究を取り上げる。

第1節 外向性とオドボール課題

今日の内因性成分を対象とするERP研究では、ERPを記録するために様々な実験パラダイム（実験課題）が使用されており、各パラダイム毎に認知情報処理系の活動とERP成分との対応関係の特定化が進められている（沖田，1992参照）。その中で外向性研究に最も頻繁に応用されているのはオドボール課題と呼ばれる刺激弁別課題である。

1. オドボール課題とERP

オドボール課題の典型的な手続きでは、高頻度呈示刺激（標準刺激：例えば1000 Hzの純音，呈示確率80%）と低頻度呈示刺激（標的刺激：2000 Hzの純音，20%）が1-2秒の間隔をおいて無作為な順序で呈示される。被験者に求められる課題は、低頻度刺激を標的として検出し反応することである（標的の数を数える，標的に対しボタンを押す）。

オドボール課題遂行時に得られるERP波形は複数の外因性成分と内因性成分によって構成されるが，最も代表的な成分は標的試行において標的を的確に検出した場合に惹起されるP300である。その振幅は標的に対する被験者の関与度（Duncan-Johnson & Donchin, 1977）あるいは課題に対する処理資源の配分量（Donchin, Kramer & Wickens, 1986）を反映して直接的に変化すると推定されている。また，P300潜時は刺激評価時間（入力刺激に関する分析的処理の速度）の測度とされている（Prichard, 1981）。その他の成分としては，N100やP200といった外因性成分，P300に先行するN200（その下位成分であるMMNやN2b）などが含まれる。他方，標準試行で得られるERP波形は主に外因性感覚誘発成分で構成される。過去のERP研究により，各成分に特有の潜時や頭皮上分布などが明らかにされると共に，各々が脳内のどのような情報処理過程に対応して出現する電位であるかが推定されている（沖田，1989；日本脳波・筋電図学会，1985参照：

Table 1. 日本脳波・筋電図学会誘発電位測定指針 (案) (P300)

<p>P300</p> <p>1. 課題：オドボール課題 容易に弁別できる2種類の刺激をランダムな順に与え、呈示回数の少ない方の刺激の回数を数えさせる計数課題か、ボタン押しさせる弁別反応時間課題を用いる。</p> <p>2. 刺激 低頻度刺激の呈示確立を0.2~0.1、高頻度刺激の呈示確立を0.8~0.9として呈示する。1,000 Hzと2,000 Hzの2種類の純音を用い、その立ち上がり立ち下がり時間を5~20 msec、持続時間を50~100 msec、強度を40~60 dB SLとするのが一般的である。高低両頻度刺激の呈示順序は無作為とし、その呈示間隔 (ISI) は、平均1.5 sec (1.0~2.0 secの間のランダム) くらいがよい。</p> <p>3. 記録部位 Fz, Cz, Pz. 基準電極は両耳朶連結とし、前額部を接地する。眼窩上縁においた電極により、EOGも記録する。</p> <p>4. 増幅器 帯域周波数は低域が少なくとも0.5 Hz (時定数で0.3 sec) は必要であり、高域は50 Hz (-3 dB) を使用してもよい。</p> <p>5. 加算 加算処理は刺激呈示前100 msecから呈示後600 msecまでの期間が最低必要であり、低頻度刺激と高頻度刺激に対する記録を別々に加算して2組の加算波形を求める。この際、大きなEOGが出現した脳波を除いて加算を行うが、低頻度刺激に対する波形は20~50回の加算が必要である。高頻度刺激に対する加算波形算出には2通りあり、全高頻度刺激の脳波を加算してもよいし、低頻度刺激の直前の高頻度刺激の脳波だけを加算して低頻度の加算回数と一致させる方法をとってもよい。</p>	<p>6. ERP成分 高頻度刺激に対する波形にはN100とP200、低頻度刺激に対する波形にはN100とP200に加え、N200、P300、Slow Wave (SW) が認められる (下図)。P300は、刺激後250~500 msec間にその最大陽性頂点をもち、Pz優勢に分布する。P300頂点潜時は加齢に伴い延長するので、注意を要する。</p> <p style="text-align: center;">ERP waveforms in oddball task (age=22)</p> <p style="text-align: center;">オドボール課題で記録された P300 を中心とした事象関連電位。</p>
--	---

Table 1)。

オドボール課題とそこで得られる ERP 諸成分について簡単に述べたが、この中で向性の個人差を最も敏感に反映するとされているのは聴覚刺激を用いたオドボール課題遂行時の P300 振幅である。以下、この外向性と P300 振幅の関係を扱った一連の研究について詳述する¹⁾。また、P300 以外の成分と外向性との関係についても簡単に述べる。

1) P300 潜時に向性の個人差を見出した研究は皆無である。従って、少なくともオドボール課題で要求される程度の単純な認知的情報処理の速度に関しては外向者-内向者間に差はないと結論づけることができる。以後、外向性と P300 潜時との関係には言及しない。

2. 聴覚オドボール課題による検討

(1) 外向性と P300 振幅

外向性と P300 振幅の関係についての最も一般的な見解は「オドボール課題の標的試行において、内向者は外向者に比べてより高振幅の P300 を示す」というものである (Fig. 1)。実際、この見解は複数の実験結果によって支持されている (Wilson & Languis, 1990; Ditraglia & Polich, 1991; Polich & Martin, 1992; Ortiz & Maojo, 1993; Brocke, Tasche & Beauducel, 1996, Study 1)。前述したように、P300 の振幅は被験者が課題に対して配分する処理資源量を反映すると推定されている。この点を踏まえて上記の結果を単純に解釈するならば、「内向者は一連の刺激系列の中から標的を検出するという課題に対して外向者よりも多くの処理資源を配分する／できる」という結論が導かれる。これは、ヴィジランス課題のような長時間に渡る注意維持が要求される単調作業においては一般に内向者の方が高成績を収める

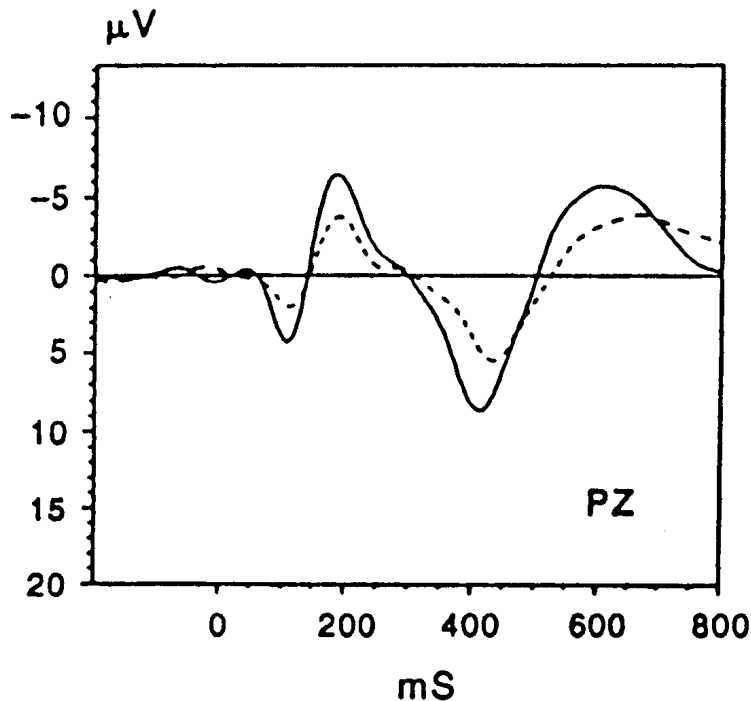


Fig. 1. Grand average ERPs from Pz in the introverted and extroverted subjects (targets only). (Brocke, Tasche & Beauducel, 1996)

(Eysenck & Eysenck, 1985) という知見とも一致する。また Eysenck (1967) の覚醒理論における仮定——内向者は外向者に比べて(1)平常事態での皮質の覚醒水準が高い, (2)一過性の覚醒能力 (arousability) が高い——を間接的に支持する結果だとも言える。

しかし、事はそう単純ではない。ほぼ同様の実験手続を用いながらも、そうした関係が認められなかったという報告が複数存在するためである。Polich & Martin (1992) では、外向性と P300 振幅との間の有意な負の相関は男性被験者のみに認められ、女性被験者では有意ではなかった。Prichard (1989) でも外向性と P300 振幅との相関関係は認められていない。投石・松田 (1994), 平野 (1994), 神田 (1995), 塩塚 (1996) では一貫して外向者-内向者間に有意な P300 振幅に差は見られなかった。また, Cahill & Polich (1992), 本吉 (1993) では外向者がより高振幅の P300 を示したという全く逆の結果が報告されている。

こうした相互に矛盾する結果から、外向性と P300 振幅との関係は、単純な相関関係ではなく、実験条件や実験手続の僅かな相違を反映して (つまり P300 振幅に影響を及ぼす「外向性以外の」何らかの潜在変数によって) 変化するものだということが示唆される。どのような条件下で内向者に高振幅の P300 が観察されるのか。逆に外向者の方が P300 振幅が大きくなる、あるいは両群に差が認められないのはそれぞれどのような場合か。以下でこの点について考察する。

(2) 外向性と P300 振幅との関係を変化させる要因

オドボール課題における外向性と P300 振幅との関係に影響を及ぼすことが明らかにされている要因を以下にまとめる。

(a) 課題所要時間 (試行回数)

外向性と P300 振幅の関係は、課題遂行時間あるいは標的試行の回数 (=ERP 加算回数) によっても変化する。すなわち、内向者に高振幅の P300 が認められるのは比較的長時間のオドボール課題で十分な試行回数が行わ

れた場合に限られており (Ortiz & Maojo, 1993; Brocke et al., 1996a), 短時間の課題 (Cahill & Polich, 1992) あるいは課題の前半 (Ditraglia & Polich, 1991) では, 逆に外向者がより高振幅の P300 を示す。こうした時間経過に伴う外向性と P300 振幅の関係の変化は馴化 (habituation) の概念を用いて説明される。

Ditraglia & Polich (1991) は, 1 ブロック100試行 (標的試行20回) のオドボール課題を休憩を挟んで2ブロック実施し, 両ブロック間での P300 振幅の変化を外向者群と内向者群とで比較した。結果, 外向者の P300 は第1ブロックでは内向者よりも高振幅であったが, 第2ブロックでは急激に低下した。これに対し, 内向者は両ブロックを通して一貫した P300 振幅を維持した (Fig. 2)。また, Cahill & Polich (1992) も, 外向者の反応馴化を避けるために標的試行を20回に制限したうえで, 標的の呈示確率を様々に変えて実験を行ったところ, 全ての条件で外向者の P300 の方が高振幅であった。つまり少なくとも標的試行が20回 (全体で100試行) 程度までであれば, 外向者は課題に対してより多くの処理資源を配分しているといえる。しかし, オドボール課題は単調で退屈な作業であるため, それ以上に試行回数が重なると, 外向者の反応は急激に馴化していく。P300 波形は基本的に全試行の結果が加算平均されたものであるため, 長時間の課題が課された場合には—— Ortiz & Maojo (1993) で標的試行80回, 全 420試行; Brocke, et al. (1996) では標的試行80回, 全 400試行×4ブロック²⁾——全体を通して安定した反応を示す内向者の方が結果的に高振幅を示すことになる。

(b) 課題難易度

課題遂行が困難であれば, 被験者はより多くの処理資源を課題に対して配分する必要が生じる。結果的に, 前述した外向者の反応馴化も抑制されて外向者-内向者間の P300 振幅における差異は消失するか, あるいは逆転する (すなわち, 外向者により高振幅の P300 が認められる) と考えられる

2) ここに示した Brocke, et al. (1996) の標的試行数および全試行数は1試行の長さ, 各刺激の呈示確率, 課題所要時間から推定したものである。

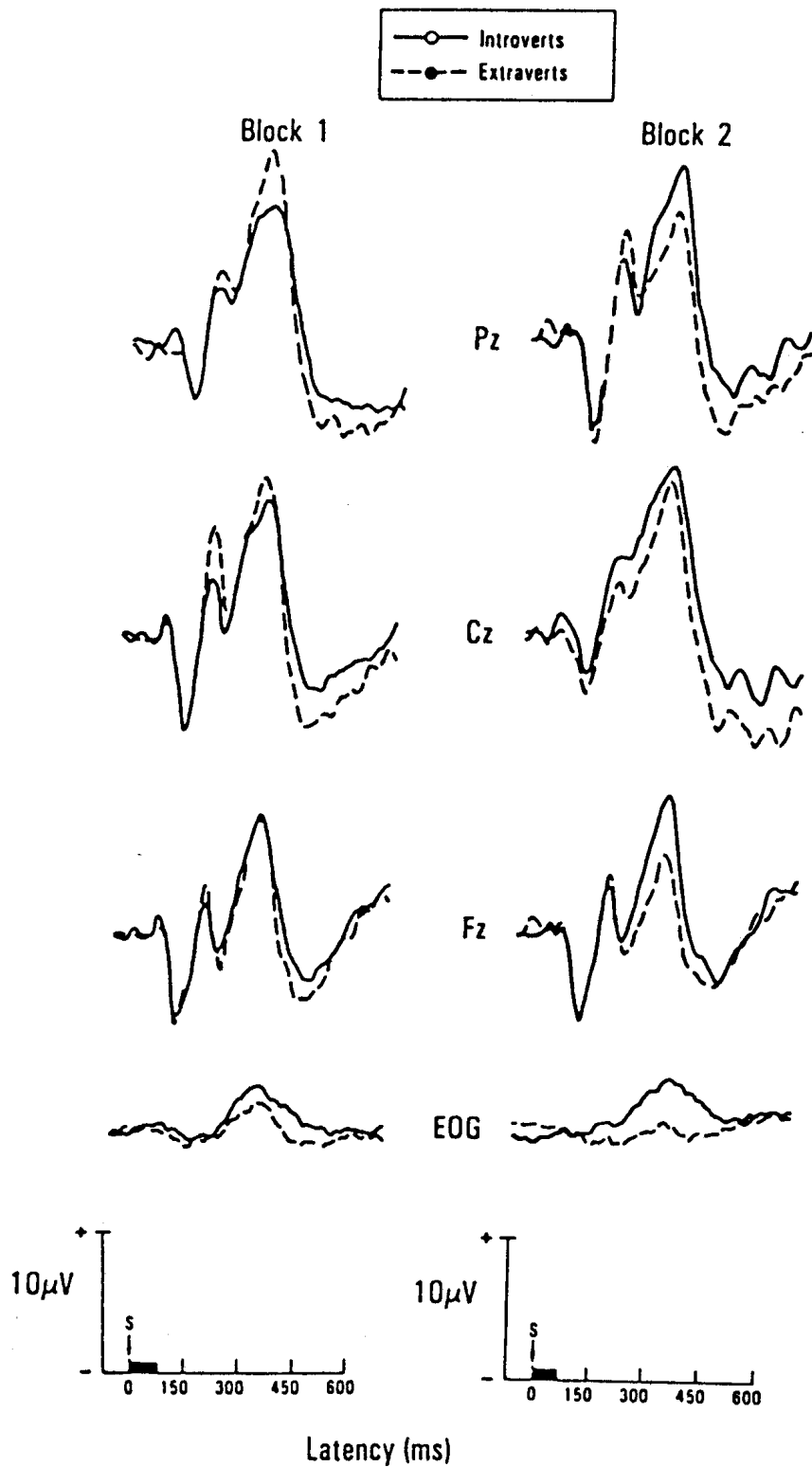


Fig. 2. Auditory event related potential (P300) waveform processing of target tones. Differences between introverted and extroverted subjects. (Ditraglia & Polich, 1991)

(Stenberg, 1994)。

オドボール課題に関しては、その難易度を左右する要因として①標準刺激と標的刺激の類似度、②刺激間隔、③反応様式などが考えられる。投石・松田 (1994)、平野 (1994)、神田 (1995)、塩塚 (1996) は一般に使用されるものより困難度を高く設定した課題を使った実験を行っている——①標準刺激 750 Hz-標的刺激 1000 Hz (標準 1000 Hz-標的 2000 Hz)、② 1.0 s (1.0~2.0 s)、③ Go/Go 反応 (Go/No Go 反応)；括弧内は通常用いられる課題条件——。結果は、一貫して P300 振幅に向性の個人差を認めていない。ただし、本吉 (1993) では同様の手続をとったにも関わらず、外向者により高振幅の P300 が認められている。

(c) 標的刺激の呈示確率

P300 振幅は標的刺激の呈示確率と反比例し、呈示確率が低いほど振幅は大きくなる (Polich & Martin, 1992)。これは、呈示確率が高いほど課題遂行により多くの処理資源を必要とするためだと考えられる。この標的の呈示確率も外向性と P300 振幅の関係に影響する。Cahill & Polich (1991) は、標的の呈示確率の増加に伴う P300 振幅の低下が外向者においてより顕著に認められることを報告している。

(d) ERP 導出部位

P300 の振幅の大きさは、ERP を導出記録する電極位置によっても異なる。通常 ERP は前頭部 (Fz)、中心部 (Cz)、頭頂部 (Pz) の 3 部位から記録されるが、一般的には Pz 優勢 ($Pz > Cz > Fz$) の P300 波形が得られる (e.g., Ditraglia & Polich, 1991; Cahill & Polich, 1992)。

また、外向者-内向者間の差が認められる部位と認められない部位とがある。Wilson & Languis (1990) は、被験者に対し、国際 10-20 電極法に基づく 21 部位に電極を設置した状態でオドボール課題の遂行を求め、各部位から導出された P300 の引算波形 (標的試行-標準試行) を外向者-内向者間で比較した。このトポグラフィ分析の結果、C・P・O の 9 部位で、内向者により高振幅の P300 が認められた。その他の部位でも内向者の P300 振幅は見

かけ上は外向者よりも大きかったが有意差は認められなかった (Fig. 3)。

(e) 被験者性別

P300 振幅にはかなり一貫して性差が認められることが報告されている。具体的には、女性被験者は男性被験者に比べてより高振幅のP300を示す (Ditraglia & Polich, 1991; Cahill & Polich, 1992; Polich & Martin, 1992)。従っ

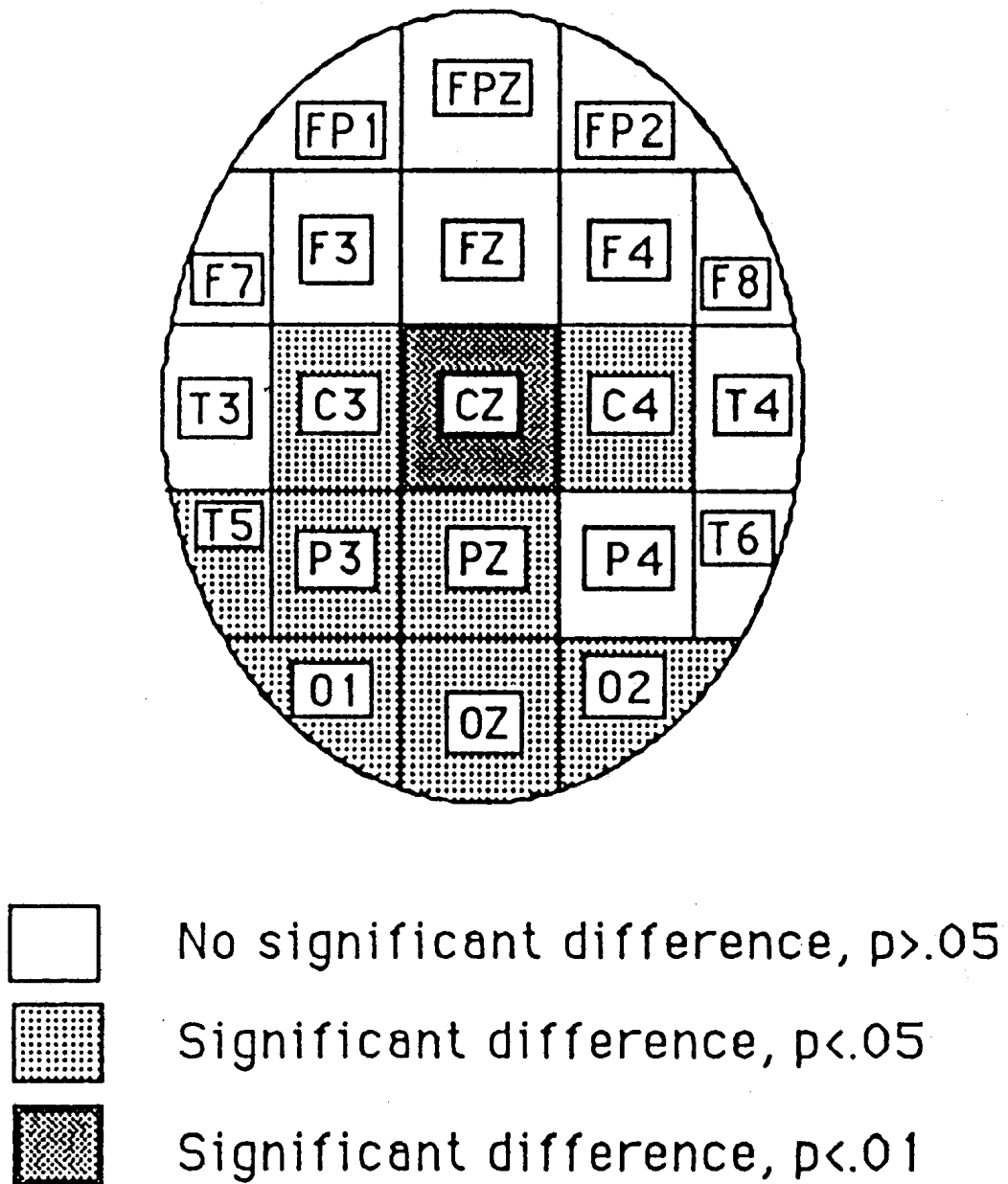


Fig. 3. Grand average ERPs from each recording site in the introverted and extraverted subjects for trial Blocks 1 and 2, each of which was composed of 20 target trials. (Wilson & Languis, 1990)

て、外向性とP300振幅の関係を扱う場合には、この点についても考慮して女性と男性とは分けて分析する必要がある。

(f) 実験時刻

一般に、P300は午前よりも午後で振幅が大きいとされている (Geisler & Polich, 1991)。この実験時刻の効果も外向性とP300振幅の関係に影響を及ぼす可能性があるため、統制すべき要因として考慮する必要がある。

(g) 被験者の選択方法

外向性とP300振幅の関係に影響する実験手続上の問題として、被験者の選択方法が挙げられる。向性の個人差がP300に及ぼす影響は基本的に弱いので (Polich & Martin, 1992)、その効果を高めるための手続きとして、より大きなサンプルの中から極端な内向者および外向者を被験者として抽出することが必要となる。この手続がなされない場合、外向性とP300振幅の間に有意な相関は認められない (e.g., Prichard, 1989)。

以上のように、聴覚オドボール課題における外向性とP300振幅の関係は単純なものではなく、様々な潜在変数あるいは実験手続上の相違の影響を受けて変化する。またその影響の仕方も交互作用という形をとる場合が多いため結果の一般化は困難である。

(3) 外向性とその他のERP成分

聴覚オドボール課題による実験で、P300に先行して出現するERP成分に向性の個人差を認めた研究もある。分析対象とされているのは、N100・P200・N200 (その下位成分であるMMN, N2b) などである。

投石・松田 (1994) は、従来のオドボール条件に加えて、課題に対する被験者の注意レベルを操作するために、マンガを読むことにより音刺激を無視するREAD条件を設け、実験を行っている。男性被験者のみを対象としたこの実験では、オドボール条件の引算波形 (標的-標準) においてN2b振幅が外向者の方で大であった。N2bはそれを惹起した刺激が課題に関連し、しかも低頻度で呈示された場合に大きく出現する電位であることから、

外向者の方が弁別すべき刺激に対してより積極的に対応していることを示す結果として解釈されている。また、内向者の方により高振幅の P200 が認められている。同様の差は Ditraglia & Polich (1991) にも見られるが、この成分の振幅差が何を意味するのか明らかでないため、その解釈は保留されている。ただし、本吉 (1993) や平野 (1994) による追試研究では上記の差異は認められていない。また、MMN についても分析されているが群間差は見いだされなかった。

神田 (1995) や塩塚 (1996) は、同様の実験を女性被験者を対象として実施し、共に無視条件の N100 振幅は内向群の方が大きいという結果を得ている。N100 に関する他の結果としては、Cahill & Polich (1992) が標的試行の振幅データに外向性×呈示確率の交互作用を認めている。すなわち、外向者は呈示確率の増加に伴って振幅増加を示すのに対して内向者では逆に減少している。また、標的試行、標準試行のいずれにおいても内向者の方が短潜時であるとの報告もある (Ditraglia & Polich, 1991; Cahill & Polich, 1992)。外因性成分である N100 に向性の個人差を認めたこれらの結果は、個人の主体的な認知活動が関与しない情報処理の初期過程において、内向者と外向者の差異が既に存在することを示唆している。

3. 視覚オドボール課題による検討

ERP を測定する課題に視覚オドボール課題を用いて向性の個人差を検討した研究としては Brocke, et al. (1996, Study 2), Brocke, et al. (1997) の 2 例が報告されている。課題はモニター画面にランダム表示される 2 種類の視覚刺激 (暗刺激 95%; 明刺激 5%) のうち明刺激を標的として検出することであった。課題遂行時間は 32 分間と長く、全体を 3 ブロックに分けブロック毎のパフォーマンス³⁾ および P300 振幅の推移が分析された。彼ら

3) Brocke, et al. (1996,97) でヴィジランス・パフォーマンスの行動指標とされたのは反応時間, フォールスアラーム, 信号検出率 (β , d') である。また, 覚醒水準の指標として自発背景脳波も測定された。

がこの課題を選択した理由は、外向性とヴィジランス・パフォーマンスとの関係についての研究をレビューしたHockey (1986)の論文において、その課題が「外向性-内向者間でのヴィジランス・パフォーマンス低下パタンの相違」を最も明確に反映すると評価されていることに拠っている。

Brocke, et al. (1996)では、内向者により高振幅のP300が認められたものの、「内向者は課題全体を通してほぼ一定のP300振幅が維持されるが、外向者は時間経過に伴って急激な振幅低下を示す」という仮説は支持されなかった。Brocke, et al. (1997)では、課題遂行中にホワイトノイズ (0 dB, 40 dB, 60 dBの3条件⁴⁾)を呈示することによって被験者の覚醒水準を操作し、同様の検討がなされたが、ここでも上記の仮説を支持する結果は得られなかった。しかし、P300振幅に外向性×ノイズ条件の交互作用が認められた。外向者がノイズ・レベルの上昇に伴って一貫した振幅増加を示したのに対して、内向者の振幅増加は0 dB-40 dBの条件間だけで、60 dB条件では振幅が低下し外向者の方がより高振幅となった。また、内向者と外向者とでは最大振幅が認められるノイズ条件が異なっていた (内向者は40 dB, 外向者は60 dB)。この結果から、外向性-P300振幅の関係が背景刺激の強度によっても影響されること、外向者も内向者も自分にとって最適なノイズ・レベルにおいて最大振幅のP300を示すことが示唆された。

4. ま と め

聴覚オドボール課題を用いた検討によって、外向性とP300振幅との関係についての比較的体系的な理解が得られた。複数の実験結果によって支持されていた「内向者は外向者に比べてより高振幅のP300を示す」という結果は、外向者の反応が時間経過に伴って急激に馴化していくこと (すなわち、注意や動機づけの顕著な低下)を反映するものであると説明された。ま

4) ノイズの強度は予備調査に基づいて決定された。ヴィジランス課題を遂行するうえで最適の背景ノイズレベルを調べた結果、内向者は40 dBを、外向者は60 dBをそれぞれ好むことが明らかにされ、実験条件として採用された。

た、そうした結果を得るためにはいくつかの前提条件がつくことも明らかにされた(例えば、課題が容易で単調な場合、課題遂行が長時間に及ぶ場合)。従って「内向者は課題に対してより多くの処理資源を配分できる」という従来の解釈は、「課題が単調なものであっても長時間に渡って一定量の処理資源を配分し続けることができる」と修正され得る。これは課題遂行時の認知的態度が時間経過に伴って変化していくパターンが外向者-内向者間では異なることを示すものである。ただし、視覚オドボール課題を用いた研究からはこの見解を支持する結果は得られていない。また、Stenberg (1994) は、外向性とオドボール課題遂行時の P300 との関係に関する一連の研究では「馴化パターン」の差異と「P300 振幅そのもの」の差異とが混同されていることを指摘している。馴化が生じる以前の P300 振幅にも向性の個人差は既に生じており(外向者により高振幅の P300 が認められる)、これこそが外向者と内向者の情報処理過程における純粋な差異であるというのが彼の主張である。従来の研究では確かにこの点に関する考察が欠けていた。しかし、この差を説明する為には P300 と認知活動の単なる対応関係ではなくその因果関係についての理解が必要であり、今後の ERP 研究の発展を待たねばならない。P300 以外の成分についても同様のことが言える。

第2節 外向性とオドボール以外の実験課題

オドボール課題以外の実験課題で測定される ERP を対象として向性の個人差を検討した研究は非常に少なく、実施されたとしても単発に終わっているのが現状である。

Stelmack, Houlihan & McGarry-Roberts (1993) は、女性被験者に対して6種類の認知課題の遂行を求め、課題遂行中の ERP を記録した。課題は、①単純反応時間課題、②刺激-反応適合性課題、③ Sternberg 数字再認課題、④単語の物理的類似性判断課題、⑤単語の意味的類似性判断課題、⑥カテゴリー・マッチング課題である。EPQ で評定された全被験者の外向性得点と各課題毎に得られた P300 振幅・P300 潜時・CNV 振幅との相関が求めら

れたが有意な相関は認められていない。

Stenberg (1994) は、オドボール課題による一連の外向性研究では一貫して外向者-内向者間の「注意減退（馴化）パタンの差異」と「P300そのものの差異」とが混同されていることを批判した。そして、より複雑な（有意性の高い）刺激あるいはより高次の認知的情報処理が要求される課題を用いることで被験者の注意や動機づけを高めれば、馴化は抑制されP300には認知的情報処理過程における外向者-内向者の純粋な差異のみが反映されると主張した。彼はこの考えに基づき、視覚的識別課題を用いた研究を行っている。刺激はモニター画面に黒／白いずれかで表示される絵（動物／非動物）である。被験者に求められる課題は、①色の識別、②意味カテゴリーの識別、③色＋意味の識別である。①では白色表示される絵を標的として識別しマウス・クリックで反応する。②では動物、③では白色表示される動物がそれぞれ標的であった。ERPは国際10-20電極法に基づきFp1・Fp2を除く19部位から記録された。結果、一貫して外向者により高振幅のP300が認められている。彼は、P300は脳皮質の抑制作用（尖頂樹状突起の過分極により生じる興奮性の減少）を反映するとの観点に立ち（Birbaumer, et al., 1990）、このデータを「外向者は内向者に比して皮質の抑制過程が優勢である」というEysenck (1957)の初期の理論を支持する結果として解釈している。

Stenberg, Rosen & Rinsberg (1988, 1990) は、光強度に対する誘発電位反応の個人差（増加／減少のパラダイム）と外向性の関係について一連の研究を行っている。光の強度増加に伴って誘発電位振幅も増加し続ける増大者（augmenter）と、ある刺激強度の段階で飽和点に達しその後の振幅増加が抑制される減少者（reducer）のパターンの差異は、神経系の反応性の個人差が原因であると考えられ、外向性との関係が意識された。Stenberg, Rosen & Rinsberg (1988)の他、いくらかの研究において増大者が減少者に比べ外向性の得点が高いことなどが示されたが、反対の傾向も報告されたりと研究の結果が安定しているとは言い難かった。この結果の

不一致に関して注意の側面に注目した Stenberg, Rosen & Rinsberg (1990) の研究では、光刺激の回数を数える注意条件と聴覚刺激に注意する無視条件を設け、内向者・外向者間の誘発電位を比較している。仮説に沿った結果（外向者の方が振幅が大きい）は無視条件の頭頂 N120, P200 の成分においてしか見られなかったが、興味深いのは注意条件では全く反対の傾向が見られたことである。このことから、誘発電位は、注意の影響を強く受けていることが明らかとなった。彼らは無視条件で内向者の反応が下がったのは音に注意が向いていたためであるとし、内向者の注意の焦点が外向者に比べて狭いと考え、外向者-内向者間に見られる誘発電位の反応の違いは、注意の焦点の個人差によるものであると結論づけている。

第3節 Gray 理論の検証

Gray (1970, 1981) は Eysenck の外向性、神経症傾向の軸がちょうど 45° 回転した不安と衝動性の軸を重視し、外向性で神経症傾向が高い者は衝動性が高く、内向性で神経症傾向が高い者は不安傾向が高いと考えた。彼はまた、この2軸が罰や報酬の感受性と深い関わりを持つことを述べており、罰に対する感受性は不安次元と、報酬に対する感受性は衝動性次元と、それぞれ関係しているという。この理論は結果的に、内向者は罰刺激に、外向者は報酬刺激に影響を受けやすいことを仄めかしており、そのことを検証するための試みも多く、ERPを指標とした研究も行われている。Bartussekらは、情動的に正または負の刺激に対して反応すると考えられている N1, P2 や、刺激の主観的意味を反映しているといわれる P3 複合といった要素の罰や報酬に対する反応に、外向者-内向者間で差異が見られると考え、研究を行っている。ギャンブル状況を使った実験 (Bartussek, Diedrich, Naumann & Collet, 1993) で P2, また N2, P3e の一部で勝ったときに外向者の振幅が大きく、負けたときに内向者の振幅が大きいことが確認され、その結果は Gray の理論を支持するものとなった。しかし、外向者と内向者の情動スライドに対する ERP 反応を比較した研究 (Bartussek, Becker, Diedrich,

Naumann & Maier, 1996) では、仮説通りの結果は一部の指標でしか見られず、外向者と内向者間の相違は報酬や罰に対する単純な反応の違いで説明できるものではないことも明らかにされている。

おわりに

ここまでERPを指標とした外向性研究のうち1988-97年の間に発表されたものを概観してきたが、最後に、今後この種の研究を進めていく上で考慮すべき点をいくつか挙げる。

第1に、できる限り多くの被験者からデータを収集しなければならない。これは全ての研究に当てはまることであるが、特にERPのような微弱な電位変動を指標とし、さらにはその個人差を検討するという場合には、結果を一般化するために相応の被験者数が求められる。

第2に、より体系的な研究が求められる。オドボール課題の例を見ても分かる通り、ほぼ同一の実験パラダイムを用いた場合でも種々の潜在変数により結果は変化し得る。いかなる実験パラダイムを用いる場合であっても、被験者の反応（あるいはパフォーマンス）に関与する潜在変数を可能な限り同定し、それらが外向性とERPとの関係に及ぼす影響を1つ1つ確認していく必要がある。また、被験者サンプル内での外向性得点の偏りにも注意しなければならない。

最後は、Eysenck (1967) の覚醒理論に関する問題である。ERPに限らず、生理学的反応を指標とした外向性研究の大部分は、得られたデータによって覚醒理論を検証するという形で、その究極的な目標である「外向性の生物学的基礎」の解明に迫ろうとしている。しかし、この理論は生理や認知、行動といったあらゆるレベルで認められる外向者-内向者間の差異を説明するには余りに単純であり (Stelmack, 1990), その応用可能性に限界があることは明らかである。Eysenck が理論を提唱してから30年余りが経過し、その間に脳の構造や機能に関する理解は急速に進んできた。彼が外向性の個人差に重要な決定因とした「皮質の覚醒」に関してもより洗練され

た知識が蓄積されている (e.g., Robbins, 1997)。従って、今後は神経科学等の新しい知見をとりいれて覚醒理論を洗練化する努力がなされるべきではないだろうか。また別の方向性として、向性の個人差を生む神経学的メカニズムについての因果的説明は将来の研究に委ね、対象とする個人差 (例えば、P300 振幅における個人差) をより構造的に説明できる別の理論を作ることにも有効だと思われる (e.g., Brocke, et al, 1996,1997)。

REFERENCES

- Bartussek, D., Becker, G., Diedrich, O. Neumann, E., & Maier, S. (1996) Extraversion, neuroticism, and event-related potentials in response to emotional stimuli. *Personality & Individual Differences*, 20, 301-312.
- Bartussek, D., Diedrich, O, Neumann, E., & Collet, W. (1993) Introversiion-extraversion and event-related potential (ERP): A test of J. A. Gray's theory. *Personality & Individual Differences*, 14, 565-574.
- Birbaumer, N., Elbert, T., Canavan, A. G. M., & Rockstroh, B. (1990) Slow potential of the cerebral cortex and behaviour. *Physiological Reviews*, 70, 1-41.
- Brocke, B., Tasche, K. G., & Beauducel, A. (1996) Biopsychological foundations of extraversion: Differential effort reactivity and the P300 effect. *Personality & Individual Differences*, 21, 727-738.
- Brocke, B., Tasche, K. G., & Beauducel, A. (1997) Biopsychological foundations of extraversion: Differential effort reactivity and state control. *Personality & Individual Differences*, 22, 447-458.
- Cahill, J. M. & Polich, J. (1992) P300, probability, and introverted/extraverted personality types. *Biological Psychology*, 33, 23-35.
- Ditraglia, G. M. & Polich, J. (1991) P300 and introverted/extaverted personality types. *Psychophysiology*, 28, 177-184.
- Donchin, E., Kramer, A. F., & Wickens, C. D. (1986) Applications of event-related brain potentials to problems in engineering psychology. In M. G. H. Coles, E. Donchin, E. & S. W. Porges (Eds), *Psychophysiology: Systems, processing and applications* (pp. 702-718). New York: Guilford Press.
- Duncan-Johnson, C. C. & Donchin, E. (1977) On quantifying surprise: The variation of event-related potentials with subjective probability. *Psychophysiology*, 14, 456-467.
- Eysenck, H. J. (1957) *The dynamics of anxiety and hysteria*. London: Routledge and

Kegan Paul.

- Eysenck, H. J. (1967) *The biological bases of personality*. London: Thomas.
- Eysenck, H. J. & Eysenck, M. W. (1985) *Personality and Individual Differences*. New York: Plenum Press.
- Geisler, M. W. & Polich, J. (1991) P300 and time-of-day circadian rhythm, food intake and body temperature. *Biological Psychiatry*, 37, 467–472.
- Gray, J. A. (1970) The psychophysiological basis of introversion-extraversion. *Behavior Research and Therapy*, 8, 249–266.
- Gray, J. A. (1981) A critique of Eysenck's theory of personality. In Eysenck, H. J. (Ed), *A model for personality* (pp. 246–276). Berlin: Springer.
- 平野由香 (1994) 性格特性についての ERP を指標とした研究——内向性と外向性の比較. 広島修道大学卒業論文
- 神田美由紀 (1995) 性格特性と ERP に関する研究——内向性と外向性の比較. 広島修道大学卒業論文
- Koelega, H. S. (1992) Extraversion and vigilance performance: 30 years of inconsistencies. *Psychological Bulletin*, 112, 239–258.
- 本吉裕樹 (1993) 内向性・外向性と ERP. 広島修道大学卒業論文.
- 投石保広・松田 俊 (1994) 性格と ERP——内向性と外向性の比較. *臨床脳波*, 36, 706–710.
- 日本脳波・筋電図学会誘発電位測定指針 (案). (1985) *脳波と筋電図*, 13, 97–104.
- 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 (1992) ERP 研究に役立つ心理実験パラダイム (I). *臨床脳波*, 34, 269–275.
- Ortiz, T. & Maojo, V. (1993) Comparison of the P300 wave in introverts and extraverts. *Personality & Individual Differences*, 15, 109–112.
- Pritchard, W. S. (1981) Psychophysiology of P300. *Psychological Bulletin*, 89, 506–540.
- Pritchard, W. S. (1989) P300 and EPQ/STPI personality traits. *Personality & Individual Differences*, 10, 15–24.
- Polich, J & Martin, S. (1992) P300 cognitive capability, and personality: A correlational study of university undergraduates. *Personality & Individual Differences*, 13, 533–543.
- Robbins, T. W. (1997) Arousal system and attentional processes. *Biological Psychology*, 45, 57–71.
- 塩塚 愛 (1996) MPI を用いた性格特性と ERP. 広島修道大学卒業論文.

- Stelmack, R. M. (1990) Biological bases of extraversion: Psychophysiological evidence. *Journal of Personality*, 58, 293–311.
- Stelmack, R. M., Houlihan, M. & McGarry-Roberts, A. (1993) Personality, reaction time, and event-related potentials. *Journal of Personality & Social Psychology*, 65, 399–409.
- Stelmack, R. M. & Geen, R. G. (1992) The psychophysiology of extraversion. In A. Gale & M. W. Eysenck (Eds), *Handbook of individual differences: Biological perspectives* (pp. 227–254). New York: Wiley.
- Stenberg, G., Rosen, I., & Risberg, J. (1988) Personality and augmenting/reducing in visual and auditory evoked potentials. *Personality & Individual Differences*, 9, 571–579.
- Stenberg, G., Rosen, I., & Risberg, J. (1990) Attention and personality in augmenting/reducing of visual evoked potentials. *Personality & Individual Differences*, 11, 1243–1254.
- Stenberg, G. (1994) Extraversion and the P300 in a visual classification task. *Personality & Individual Differences*, 16, 543–560.
- Wilson, M. A. & Languis, M. L. (1990) A topographic study of differences in the P300 between introverts and extraverts. *Brain Topography*, 2, 269–274.

Summary

Extraversion and ERP

Kei Kajihara, Yoshiaki Ogata, Megumi Ninomiya
and Masazumi Suginozawa

The purpose of this article is to review a series of extraversion studies published in the last decade, using event-related potentials (ERPs) as indices, and to comment on their implications.

In Chapter 1, the relationship between the trait of extraversion and ERPs (especially P300) which were recorded during the oddball task is described. It is commonly suggested that introverts tend to produce larger P300 amplitudes than extraverts, for responses of extraverts reflect on their rapid habituation or gradual decay of attentional resources devoted to the task as the experimental progress. However, in the early part of recording session, or under conditions where habituation is minimized, extraverts tend to produce larger P300. Thus it is more required to understand difference between extraverts and introverts in habituation. Chapter 2 summarizes studies relating the trait of extraversion to ERPs elicited during some experimental tasks except oddball task. Chapter 3 deals with studies to which ERP is applied to examine Gray's theory.

The relationship between extraversion and ERP still remains some points that should be considered. Therefore, it is necessary to study more systematically, and to re-examine Eysenck's theory.