

学 位 論 文 題 名

事象関連電位に基づく視覚的群化の
脳内プロセスに関する研究

学位論文内容の要旨

近年、ヒトの視覚プロセスを工学的にモデル化し画像処理を行う研究が進んでいる。複雑な自然のイメージに対して、ヒトはイメージを統合または分離し簡単に見分けることが出来る能力を持っている。脳内におけるそのプロセスの解明は、新たな画像処理機器の設計あるいはコンピュータビジョン研究に役立てることができると期待されている。本研究では、全頭にわたる脳波の多チャンネル同時計測に基づき、ヒトを対象に視覚的群化に関わる脳内プロセスを非侵襲的に調べることを目的としている。具体的には類同性の要因により小さいパターン(マイクロパターン)が集まって視覚的に領域分離を引き起こすテクスチャー分離現象に基づき、群化により分離される領域をターゲット(標的)として、そのターゲットが認知されるまでの脳内プロセスを反応時間、事象関連電位、脳波リズムの計測により調べた。本論文は全体として7章から構成されている。

第1章では、脳波を用いた視覚的群化研究の意義、および研究目的について述べた。

第2章では、視覚的群化の基礎となる生理学的知見、視覚的群化に関する従来の研究の概略、さらに脳波に基づく脳機能研究の概略について述べた。

第3章では、脳波計測の実験装置、計測方法、実験課題について述べた。実験には直交する2つの線分からなる[v]と[>]のマイクロパターンで構成された円形の刺激を使用した。この刺激において[v]により形成される四分円がターゲットであり、その位置は円を45°と135°の対角線で分けた4つの視野領域(上下左右の四分円1~4)の中から試行毎にランダムに決定した。実験では、被験者がボタンを押すと2秒後に刺激が呈示され、被験者はターゲットの四分円の位置が分かったら直ちにボタンを押す。それにより、モニター上の刺激が消えて固視点だけ表示され、さらに2秒後に回答用の円形パターンが呈示され、被験者はその中の一つの四分円をマウスで

選択する。ここで、刺激呈示から被験者がボタン押しを行うまでの時間を反応時間と定義した。

第4章では、脳波データの処理に用いた加算平均法、トポグラフィ法、スプライン・ラプラシアン法などの解析方法について述べた。

第5章では、課題遂行時における反応時間、事象関連電位、8~13Hz 帯域の脳波リズムの計測結果を述べた。まず反応時間に関して、ターゲット呈示位置により反応時間には有意な差があり、四分円1と2に対する反応時間は四分円3と4に対する反応時間に比べ有意に短いことが分かった。一方、四分円1と四分円2並びに四分円3と四分円4との間には有意な差が見られなかったため、四分円1と2及び四分円3と4に対する結果を一緒に扱うことにした(以下、四分円1/2と3/4と呼ぶ)。

次に事象関連電位に関して、四分円1/2と3/4に共通して約90msをピーク潜時とする陽性成分(成分I)と約150msをピーク潜時とする陰性成分(成分II)が後頭部に見られた。さらに、約320msをピーク潜時とする陰性成分(成分III)が中心中央部位に見られた。最後に陽性の成分(成分IV)が頭頂部近傍に見られ、そのピーク潜時は四分円1/2が485msであるのに対し四分円3/4では545msと60msの差があった。スプライン・ラプラシアン分布から各成分の信号源のおおよその位置を知ることができ、四分円1/2と3/4に対する各成分の信号源はいずれも一致している事が分かった。成分Iの信号源は、後頭葉の左右両半球の対称的、局所的な電流であった。また、成分IIの信号源も後頭葉の左右両半球の局所的電流であった。成分III及びIVの信号源は、前頭葉、頭頂葉、後頭葉の左右両半球の対称的な部位に合計6つあると推定された。スプライン・ラプラシアン分布の継時変化を調べた結果、四分円1/2と四分円3/4との間で前頭葉の活動の持続時間に差が見られ、その活動の開始潜時は両者ともほぼ同じ260msであるのに対し、終了潜時は四分円3/4の方が1/2に比べ110ms長いことが分かった。最後に8~13Hz帯域の脳波リズムに関して、四分円1/2と3/4共に減衰、回復の過程が見られ、減衰は成分IIIのピーク潜時である約320msで最大となり、部位としては後頭の減衰が大きいことが分かった。一方、回復は成分IVのピーク潜時以降に前頭葉を中心として見られた。

第6章では、第5章で述べた結果を考察した。特に4つの事象関連電位成分と脳内プロセスとの関連に関して、スプライン・ラプラシアンによる結果と8~13Hz帯域の脳波リズムとの関連も含めて検討を行った。スプライン・ラプラシアン解析の結果は事象関連電位の各成分が左右両半球の後頭、頭頂、前頭葉の活動の相互関係により生じていることを示しており、反応時間の差を考慮すると潜時約270ms以降の前頭葉の活動がターゲット認知に関わる活動を反映していると推察された。

第7章では、本論文で得られた結果を総括した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 栗 城 眞 也
副 査 教 授 伊 福 部 達
副 査 教 授 山 本 克 之
副 査 助 教 授 小 林 哲 生

学 位 論 文 題 名

事象関連電位に基づく視覚的群化の 脳内プロセスに関する研究

ヒトの視覚プロセスを工学的にモデル化し画像処理を行う研究が進んでいる。複雑な自然のイメージに対して、ヒトはイメージを統合または分離し簡単に見分けることが出来る能力を有している。そのプロセスの解明は、新たな画像処理機器の設計あるいはコンピュータビジョン研究に役立てることができると期待されている。

本研究は、視覚的群化現象に基づき分離される領域をターゲット (標的) として、そのターゲットが認知されるまでの脳内プロセスを調べることを目的としている。具体的には、テクスチャー分離課題遂行時の反応時間、事象関連電位並びに脳波リズムの変動の計測と解析により脳の神経活動を検討している。実験には直交する2つの線分からなる[v]と[>]のマイクロパターンで構成された円形の刺激を使用した。この刺激において[v]により形成される四分円がターゲットであり、その位置は円を45°と135°の対角線で分けた4つの視野領域(上下左右の四分円1~4)の中から試行毎にランダムに決定した。本研究の主な成果は以下の点に要約される。

(1) 刺激呈示から被験者がボタン押しを行うまでの時間を反応時間と定義しターゲット呈示位置により反応時間を計測している。その結果、ターゲット呈示位置により反応時間には有意な差があり、四分円1と2に対する反応時間は四分円3と4に対する反応時間に比べ有意に短いことを見出した。一方、四分円1と四分円2並びに四分円3と四分円4との間には有意な差が見られなかったため、四分円1と2及び四分円3と4に対する結果を一緒に扱うことにした(以

下、四分円 1/2 と 3/4 と呼ぶ)。

(2) 反応時間と同時に脳波を測定し、テクスチャー分離課題に伴う事象関連電位を調べた。その結果、四分円 1/2 と 3/4 共に 4 つの成分が見られた。四分円 1/2 と 3/4 に共通して約 90 ms をピーク潜時とする陽性成分 (成分 I) と約 150 ms をピーク潜時とする陰性成分 (成分 II) が後頭部に見られた。さらに、約 320 ms をピーク潜時とする陰性成分 (成分 III) が中心中央部位に見られた。最後に陽性の成分 (成分 IV) が頭頂部近傍に見られ、そのピーク潜時は四分円 1/2 が 485 ms であるのに対し四分円 3/4 では 545 ms と 60 ms の差があることを見出した。

(3) スプライン・ラプラシアン分布から各成分の信号源のおおよその位置を推定することができ、四分円 1/2 と 3/4 に対する各成分の信号源はいずれも一致している事が分かった。成分 I の信号源は、後頭葉の左右両半球の対称的、局所的な電流であった。また、成分 II の信号源も後頭葉の左右両半球の局所的電流であった。成分 III 及び IV の信号源は、前頭葉、頭頂葉、後頭葉の左右両半球の対称的な部位に合計 6 つあると推定された。スプライン・ラプラシアン分布の経時変化を調べた結果、四分円 1/2 と四分円 3/4 との間で前頭葉の活動の持続時間に差が見られ、その活動の開始潜時は両者ともほぼ同じ 260 ms であるのに対し、終了潜時は四分円 3/4 の方が 1/2 に比べ 110 ms 長いことを見出した。

(4) 8~13 Hz 帯域の脳波リズムに関して、四分円 1/2 と 3/4 共に減衰、回復の過程が見られ、減衰は成分 III のピーク潜時である約 320 ms で最大となり、部位としては後頭の減衰が大きいことが分かった。一方、回復は成分 IV のピーク潜時以降に前頭葉を中心として見られた。

(5) スプライン・ラプラシアン解析の結果は事象関連電位の各成分が左右両半球の後頭、頭頂、前頭葉の活動の相互関係により生じていることを示しており、反応時間の差を考慮すると潜時約 270 ms 以降の前頭葉の活動がターゲット認知に関わる活動を反映していると推察された。

以上を要するに、著者は、高分解能の脳波計測と生体信号処理を通して視覚的群化に伴う大脳神経活動を非侵襲的に検討し、ヒトの視覚情報処理についての新知見を得たものであり、生体工学並びに認知脳科学に対して貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。