

平成 22 年 3 月 29 日現在

研究種目：基盤研究 (C)  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19530660  
 研究課題名（和文）体性感覚皮質活動と刺激反応時間の相関解析による注意作用機序の皮質階層性の検討  
 研究課題名（英文）Hierarchical system of attention mechanism in the cortex by calculating correlation coefficients between somatosensory activities and reaction times.

## 研究代表者

濱田泰一 (HAMADA YASUKAZU)  
 岡山県立大学・情報工学部・教授  
 研究者番号：90244722

## 研究成果の概要（和文）：

注意生成に伴い活動する脳の複数部位のどの部位が、反応時間を短くすることに関係するかを調べた。指刺激に対する単純反応課題遂行中の誘発電位を計測し、反応時間と電位の絶対値の相関解析を行い、有意な相関を示す脳活動部位を3次元電流密度分布を推定することで同定した。更なる精査は必要であるが、運動前野が2次体性感覚皮質に先行して活動する傾向から、体性感覚皮質は運動前野活動の作用点である可能性が示唆された。

## 研究成果の概要（英文）：

I investigated which cortical areas shorten reaction times to stimulation among lots of the cortical areas relating attention genesis. Correlation coefficients between reaction times and amplitudes of evoked potential during simple reaction task, and cortical areas were identified by calculating 3-dimensional electric current distribution from the potential with significant correlation. While closer investigation is required, it was suggested that the secondary somatosensory area and the premotor area might involved in shortening reaction times and the premotor activity could affect the secondary somatosensory area considering the activation latencies in these cortical areas.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,000,000	600,000	2,600,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：注意・意識 体性感覚 皮質階層性

## 1. 研究開始当初の背景

膨大な量の感覚情報がたえず脳に入力されているが、脳はこれら全ての情報を同じ処理レベルで扱うことはできない。優先的に処理すべき情報の選択システムとして

「注意」がある。注意をむけた空間や体部位（受容野）から入力される感覚情報の処理は促進され、感覚刺激に対する反応時間の短縮あるいは刺激に対する感覚閾値の低下が多く心理実験的アプローチにより確

かめられている。しかしながら、心理実験的アプローチでは、脳はブラックボックスとして扱われるため、注意生成メカニズムを脳のシステムとして議論することは困難であった。注意に関わる脳活動を計測し、その活動を時間空間的に追跡することで、注意生成のメカニズムを脳に実在するシステムとして理解する必要がある。近年、注意に関わる皮質活動の計測知見が、脳波計、脳磁計、PET および機能的MRI を用いた研究は、注意に関係する脳部位として前部帯状回(anterior cingulate gyrus), 前頭前野背外側部(dorsolateral prefrontal area), 上頭頂皮質(superior parietal cortex), 頭頂間溝(intraparietal sulcus)周辺の下頭頂皮質(inferior parietal area)、視床枕(pulvinar nuclei thalami)、上丘(superior colliculus)及び各感覚モダリティの感覚皮質を報告している Corbetta et al., 1993, Petersen et al., 1994, Heinze et al., 1994, Nobre et al., 1997, Hillyard et al., 1997, Maculso et al., 2000)。また、脳波計や脳磁計による研究は、注意を向けた感覚刺激による誘発皮質活動が増強することを報告している (Desmedt and Tomberg, 1989, Garcia-Larrea et al., 1991, Eimer and Forster, 1991, Mima et al., 1998)。報告者もまた体性感覚における注意の皮質作用として、2 次体性感覚皮質活動の増強現象を報告した(Hamada et al., 2003)。これら脳波計や脳磁計により、脳における感覚情報処理の皮質階層のどの段階で、皮質活動が注意による修飾をうけるかということが明らかにされつつある。体性感覚においては、1 次皮質活動の N20 成分 (潜時 20ms) は注意による影響を全く受けないが、潜時が長くなると皮質活動が増強される傾向があり、刺激後 80-120ms にみられる 2 次体性感覚皮質の活動は明らかに増強する。視野においても、V4 の皮質活動の増強が良く知られている。しかしながら、先行研究の多くは、注意が生成されることを「前提」とした実験条件において、加算平均された皮質活動を解析の対象とし、皮質活動の増強した皮質部位を注意の作用点としているが、各試行における皮質活動の増強レベルと情報処理の促進レベルの「量的関係」を捉え、注意メカニズムの皮質階層性を報告したものは少ない。ない。

Hikosaka らは、心理学的実験により、視覚における空間的注意の勾配を解析し(1993)、報告者もまた、注視点の周辺に形成される視覚的注意の空間勾配が、体性感覚皮質活動に及ぼす影響を脳磁場計測により解析し、その空間特性を描出した。この研究は、数 10 回の加算平均により得られた皮質活動強度を解析の対象としたこと、及び、心理物理量の

計測を並行して行わなかったために、注意の作用レベルの上昇と皮質活動レベルの量的関係を直接的に議論することはできなかった。

## 2. 研究の目的

本研究では、注意を向けた体性感覚刺激に誘発される皮質活動と注意レベルに相関する心理物理量である反応時間を同時に計測し、それぞれの試行における皮質活動強度と反応時間の量的関係を相関解析により描出し、統計学的にその相関が有意である皮質活動部位を 3 次元電流密度推定を行うことにより同定し、注意生成のシステムの理解を目的とする。

## 3. 研究の方法

被験者:被験者は神経病的既往のない日本人右利き男性 (21~23 才) 5 名であり、全員から実験に参加することへの同意書を得た。研究計画は、岡山県立大学研究倫理委員会により是認されている。

実験プロシージャ:実験は、簡易な電磁シールドがなされた暗室ブース内で行われた。被験者は暗室ブース外の室内光を導入した光ファイバーの先端を注視し、両手は光ファイバーが設置されている板の下に手をおいた。このとき、右手の位置は実験ブロックごとに、注視点 (光ファイバーの先端) の真下 (P0)、注視点から右へ 20 (P1)、40 (P2) 及び 60 (P3) cm とした (被験者には自分の手は見えない) (図 1)。

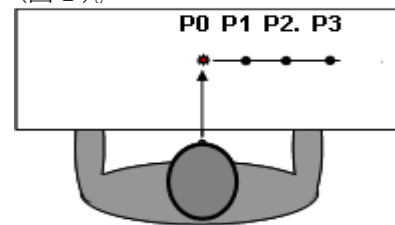


図 1

右示指の掌側の第 1 関節部に刺激電極を装着し、パルス幅 0.2ms で感覚閾値の 2 倍の強度の電流を、電流刺激装置 (日本光電) により与えた。刺激時間間隔は 4-5 秒でランダムな間隔で与え、被験者には刺激を知覚したらできるだけ早くボタンを押してもらった。左手は、注視点の左 30cm の位置においた。各実験ブロック内では手の位置を変えず、40 回の試行を連続して行った。

上記タスク遂行中の体性感覚誘発脳波 (somatosensory evoked potential, SEP) をエヌエフ回路ブロック設計社製の脳波計により計測した。脳波の記録電極は、extensive 10-20 法を基準とする 56 ヶ所であり (C1, C3, C5, T7, FCz, FC1, FC3, FT7, F1, F3, F7, AF3, Fp1, Fpz, Cz, C2, C4, C6, T8, FC2, FC4, FT8, Fz, F2, F4, F8, AF4, Fp2, Oz, O1, P03, Po5,

P07, Pz, P1, P3, P5, P7, CP1, CP3, CP5, TP7, O2, POz, P04, P06, P08, P2, P4, P6, P8, CPz, Cp2, CP4, CP6, TP8)、ニューロスキャン社製の64チャンネル電極キャップを用いて装着した。各電極位置と頭部のランドマークである鼻根部と左右耳介前部の位置を3次元ディタイザ(MicorScribe社)を用いて計測した。脳波計測のサンプリング周波数は、500Hzであり、1.6 Hzの高域通過フィルタと50 Hzの低域通過フィルタを用いて計測した。

#### 体性感覚誘発脳波の解析

A 反応時間と体性感覚誘発電位の相関解析  
まず、各電流刺激の前200ms間(100データ点)の各チャンネルの脳波電位を平均しベースライン電位を求め、体性感覚誘発電位から差し引くことによりゼロレベル補正を行った。各試行における反応時間と体性感覚誘発電位の絶対値の相関係数を40試行の計測値から各電極ごとに計算した(ただし、脳波計へのトリガがうまく作動せず、結果的に反応時間と脳波データの対応を確認できない試行を除外した場合も有り、40試行に満たないものも解析の対象とした)。相関係数は、各チャンネルごとの時間変化として2次元図として表示した。

#### B. 脳活動部位の推定

各被験者の各実験条件において計測された体性感覚誘発電位の加算平均電位に対して、sLORETA法を用いて3次元脳内電流密度分布の推定を行った。計算結果は、Montreal Neurological Instituteで開発された標準脳モデル座標(NMI coordinate)上に表示された。各被験者と標準モデルの位置の対応は、被験者から計測されたナジオン、イニオン及び両側耳介前部の位置データを用いるが、本研究ではイニオンの位置データとして電極Ozの座標データを用いた。

#### 4. 研究成果

図2は、各被験者の平均反応時間を示す。図2上は、右手の各位置(P0, P1, P2, P3)における被験者間の相異を示し、図2下は各被験者において右手の位置による反応時間を示す。被験者A, B及びCにおいては、右手が注視点の位置(P)にある場合に反応時間が短くなる傾向があり、被験者B及びCでは統計学的有意な差がえられた。においては、右手が注視点の位置(P)にある場合に反応時間が短くなる傾向があり、B及びCでは統計学的有意な差がえられた。被験者BとCにおいては右手が注視点の位置から離れるにつれて反応時間が長くなる傾向があるように思われる。図中のブリッジ(\*)は、統計学的有意( $p < 0.05$ )な差があることを示す。右手の位置による反応時間に相異の傾向がみられる3名の被験者の反応時間は他の2名に比べ長いこ

とが関係するかもしれない。

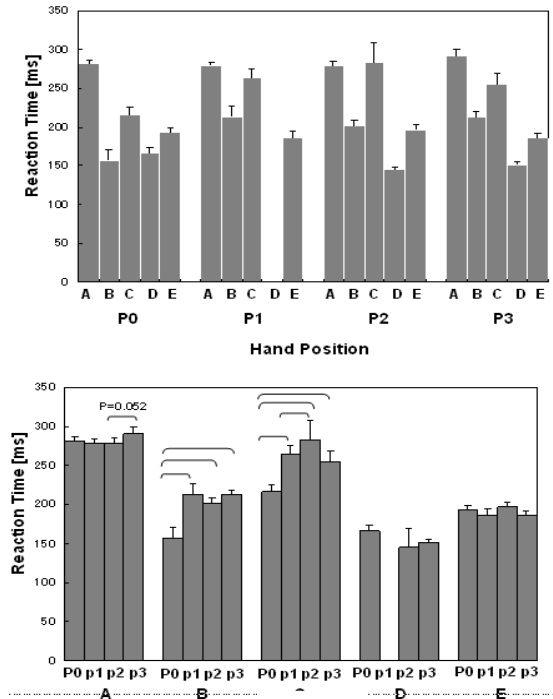


図2

#### 反応時間と体性感覚誘発電位の相関

図3～6に各被験者における反応時間と体性感覚誘発電位の絶対値の相関係数の時間変化を示す。縦軸は、56個の脳波記録電極であり、横軸は電流刺激後200ミリ秒までの経過時間である。脳波計測のサンプリング周波数が500Hzであるため、相関係数は2ミリ秒刻みで計算されている。図中青は負の相関を示し、電位の絶対値が大きいとき、反応時間が短くなることを示す。図3のP0では、刺激後20-30ミリ秒、80ミリ秒及び150ミリ秒周辺に負の相関が見られる。P1においては、20-30ミリ秒、80ミリ秒周辺、120ミリ秒周辺そして150ミリ秒前後に負の相関がみえる。

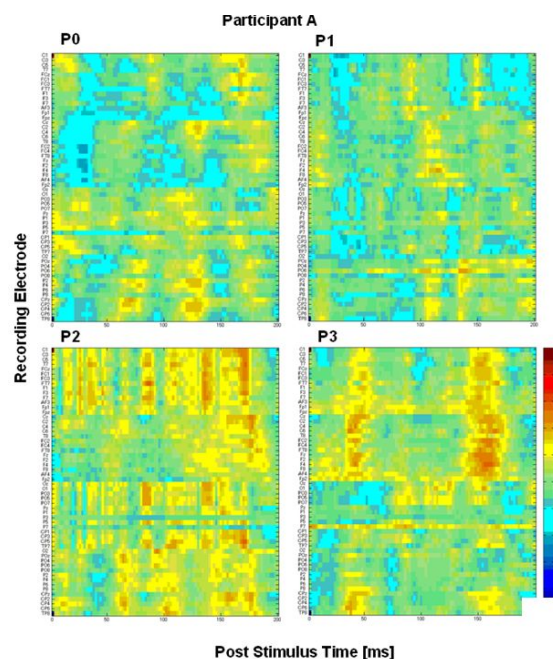


図3

P2 では 40 ミリ秒周辺、そして P3 では、20m ミリ秒、75 ミリ秒のそれぞれの周辺に負の相関がみえる。

図 4 P1 では 75-100 ミリ秒周辺にみられ、P2 及び P3 では弱い負の相関が広い時間範囲にわたって見られる。

図 5 P0 では負の相関が広く分布し、P1 では 140-150 ミリ秒に負の相関がみられる。この被験者では弱い負の相関が刺激後の広い時間にわたって見られるが、相関の有意性に関する解析は後に示す。

図 6 P1 では 20 ミリ秒、80 ミリ秒、130 ミリ秒及び 170 ミリ秒周辺に負の相関が見られる。この被験者の平均反応時間は短く、150 ミリ

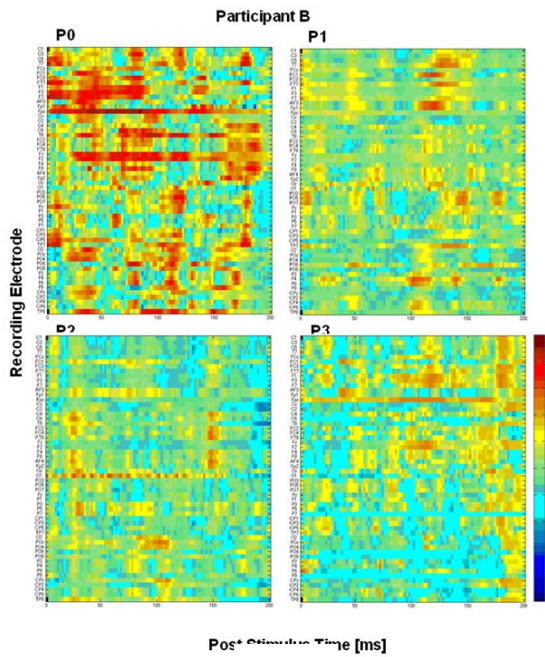


図 4

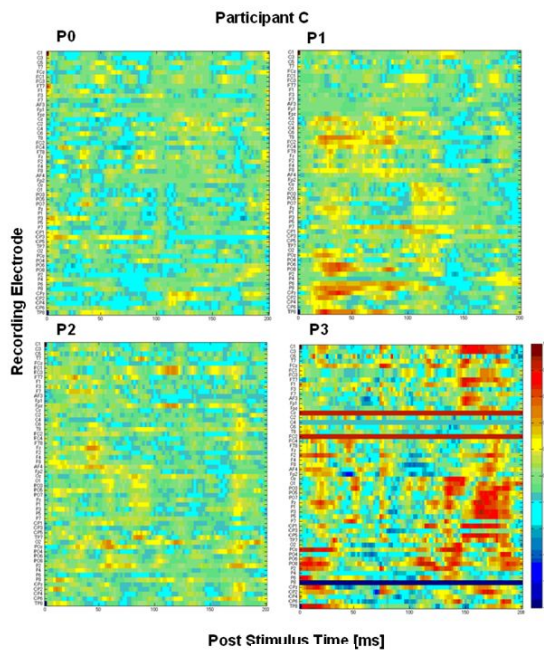


図 5

秒以後の強い負の相関は、ボタンを押す指の運動に関わる脳活動であると思われ、頭表左半分の電極で計測され電位との相関が特に顕著である。P2 では 50 ミリ秒及び 130 ミリ秒周辺、そして P3 では 50 ミリ秒及び 100 ミリ秒のそれぞれの周辺に負の相関が見られる。

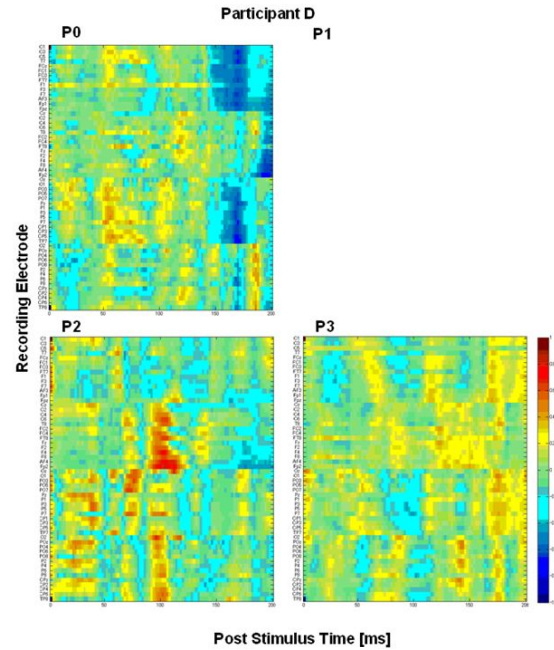


図 6

相関係数の統計学的検定

図 3 に示した被験者における脳活動強度と反応時間の相関の有無を paired T-test により検定し (有意水準  $p=0.05$ )、各記録電極ごとに時間に対して描出した。

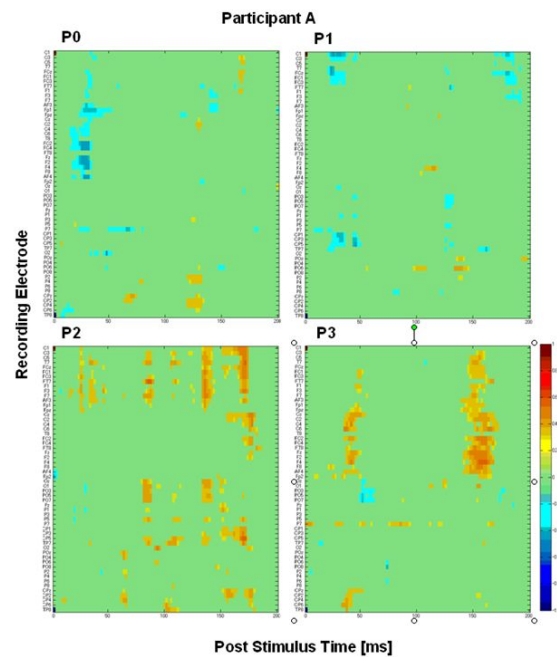


図 7

図7 P0、P1 及び P3 において有意水準  $p=0.05$  で統計学的に有意な相関を示した活動がみられた (図中矢印で示す)。図4～6に示した相関係数に対しても同様に統計学的検定を行い反応時間に有意な相関を示す皮質活動のタイミングを検出した。

#### 脳活動部位の推定

相関係数の統計学的検定により有意な負の相関を示した時間の周辺における電流密度分布を sLORETA を用いて描出した結果を以下に示す。

図8は図7に示した有意な相関をもつ皮質活動のタイミングにおける電流分布密度を示す。P0で刺激後24ミリ秒の時点で左の2次体性感覚皮質から側頭葉上面にかけて電流の分布が推定された。36ミリ秒の時点で、左のブロードマン6野 (BA6) に活動がみられた。このとき、左の体性感覚野にも活動がみられているが、右指刺激に誘発された皮質活動である。70ミリ秒で左の弁蓋部に活動がみられるが、2次体性感覚皮質の活動であると思われる。P1では刺激後24ミリ秒に右のBA21野、MTG (middle temporal gyrus) に活動がみられた。48ミリ秒では右の頭頂葉 (BA5) に活動がみられたが、電流は前頭領域に及んだ。P2では、56及び70ミリ秒で左の2次体性感覚皮質の活動と思われる電流分布が推定された。P3では、52ミリ秒に右の運動前野 (BA6) に電流の分布がみられた。84ミリ秒で、左の弁蓋部から側頭葉にかけて電流分布が推定された。他の被験者 B、C 及び D においても運動前野 (premotor area) に反応時間に相関する活動がみられた。また、被験者 C 及び D においては、2次体性感覚皮質の活動をみる事ができた。

#### 考察

##### 右手の位置と反応時間

5名の被験者のうち、3名において右手の位置により反応時間が短くなった。右手はP0、つまり注視点の直ぐ下の位置にある場合に短くなる傾向がみられた。報告者は、自らの先行研究で注視点を中心とする視覚的注意と体性感覚における注意の相互作用を脳磁計により計測される2次体性感覚皮質活動の増強現象を指標にしてその空間特性を示した (未発表)。手が体の正面にありかつ視線の方向に近いときに注意作用レベルが高くなり、反応時間が短くなったと考えられる。しかしながら、5名の平均反応時間に対する統計学的検定の結果は有意な差をしめさなかった。また、被験者間の返納時間の差は大きく、手の位置によって反応時間に差がみられた被験者の反応時間は差がみられなかった他の2名より平均反応時間は短かった。平

均反応時間の長い被験者では、注意レベルにバラツキがあり、注意レベルが低いときに反応時間が長くなる頻度が高かったと推論できる。同一被験者で100ミリ秒程度の差が見られるが、この時間は感覚情報処理の促進に時間の短縮としての説明は難しいように思われる。感覚皮質の神経細胞の活動電位生成タイミングは EPSP の立ち上がりの程度が関係するが、100ミリ秒という長さを説明できるとは考えられない。注意により反応時間

#### Participant A

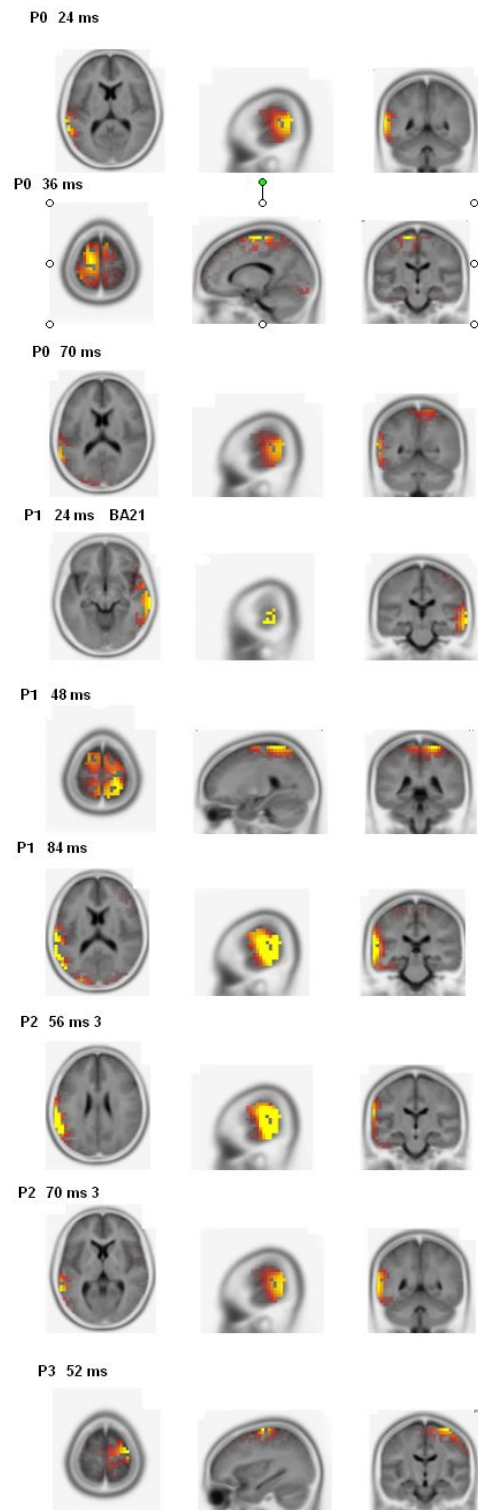


図8

が短くなるのは、それぞれの感覚皮質での処理速度の上昇だけではなく、感覚のモダリティを超えた時間的注意がより深く関与すると思われる。刺激に対する予期的注意あるいは準備的注意とでもいいうべき注意であり、脳の広いネットワーク全体を賦活させているのかもしれない。

注意レベルに活動強度が相関する脳部位

56 電極で計測された頭表面電位の絶対値と反応時間の相関解析を行い、有意な相関を示したタイミング（刺激後経過時間）での、3次元電流密度分布を sLORETA 法を用いて推定したところ、脳のさまざまな部位の活動が同定された。それらの部位は、1次及び2次体性感覚皮質、運動前野、運動眼野及び後頭頂葉であり、注意のネットワークを構成する部位として従来知られている部位である。しかしながら、これらの部位を報告した先行研究では、各試行における脳活動と反応時間などの心理物理量の相関を確認しているのではなく、注意が生成されているとした状況で有意な活動を示した脳部位として報告されている。

本研究の結果では、反応時間と相関した皮質活動強度を示す脳部位として、2次体性感覚皮質と運動前野が高い頻度で同定された。運動前野が注意生成あるいは注意を向けるという機能に関係することは多くの先行研究におよび報告されている。また、2次体性感覚皮質の活動が注意の作用を受け、その活動レベルが増強することも知られていることである。本研究では、反応時間に相関する運動前野は刺激後40～60ミリ秒に活動し、2次体性感覚皮質の活動は70～100ミリ秒みられる傾向があった。計測例が少ないので、これら2つの脳部位の時間関係を統計学的に解析することはできなかったが、運動前野の活動が2次体性感覚野の活動に20～30ミリ秒先行して出現する可能性を示唆する結果を得られた。

また、2次体性感覚皮質の活動のほとんどは、左半球にみられ、右指刺激の対側である左半球が優位半球であることに符合する。2次体性感覚皮質は刺激に対して両側性に反応するが、本計測においては同側2次体性感覚皮質に活動が推定された例は少なかった（被験者Aの手の位置がP1のとき刺激後24ミリ秒に2次体性感覚皮質より下方に活動が推定された例もある）。運動前野の活動が注意を向ける空間方向に対してラテラリティを示すという報告もあるが、本研究の結果においては、運動前野の活動に明確なラテラリティをみることはなかった。機能的MRIあるいは脳磁計による計測では、活動部位推定の空間分解能が脳波計測よりも優れているので、皮質活動の左右差を議論できるが、

前頭部の左右間距離が小さい領域においては、脳波データを基に左右差を検討するのは困難であるかもしれない。

## 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計0件）

〔学会発表〕（計0件）

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

○取得状況（計0件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

濱田泰一 (HAMADA YASUKAZU)

岡山県立大学・情報工学部・教授

研究者番号：90244722

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：