

機関番号：32657

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2010

課題番号：19300152

研究課題名（和文） 認知的脳情報の検出と読み出しに関する研究

研究課題名（英文） DETECTION AND DECODING OF COGNITIVE BRAIN INFORMATION

研究代表者

栗城 眞也（KURIKI SHINYA）

東京電機大学・先端工学研究所・教授

研究者番号：30002108

研究成果の概要（和文）：無侵襲 MEG(脳磁界)計測によりヒトの認知的脳活動を定量的な信号として抽出する実験研究を行った結果、合成複合音や音楽的和音、左右耳で競合するピッチ変化音に対して、音の時間波形や和音進行の終止感に依存する反応やピッチ変化をスムーズな旋律として知覚する錯聴現象を脳の信号として捉えた。また、衝突を模擬した視覚対象と好き嫌いを判断する画像に対しては、アルファ波帯域の自発活動の変調から認知状態を推定した。

研究成果の概要（英文）：During MEG studies to detect neural activities associated with various cognitive states, we observed specific responses elicited by synthesized complex sounds, sequences of musical chords and tone-sequences differing in pitch between the two ears that induce auditory illusion. We also measured modulation of alpha-wave in response to a visual object that mimicked collision and pictures of living objects, from which estimation of subjects' expectation or affection was made.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2008年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
2009年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2010年度	2,200,000	660,000	2,860,000
年度			
総計	13,500,000	4,050,000	17,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用生体工学・生体材料学

キーワード：脳情報、脳磁界、認知機能、情報処理

1. 研究開始当初の背景

近年、脳波（EEG）、脳磁界（MEG）、機能的 MR イメージング(fMRI)、光トポグラフィー（NIRS）などの無痛、無侵襲の脳機能計測法が飛躍的に発展し、ヒトの脳の情報処理機

構の解明に向けて世界的な規模で研究が進展している。一方、脳機能計測を脳の情報を導出する手段として見る事ができる。ヒトの行動や精神状態を制御している中枢は脳であるので、いろいろな脳の情報を抽出でき

れば行動のもととなっている内的状態を観察できる。

これまでヒトの感情や精神的な側面を外部から推定するには、心理量の計測や行動観察が使われてきた。しかし、心理的な手法は、測定環境に左右されたり、内的な状態を反映しない場合があるなどの問題を含んでいる。これに対し、脳機能計測によりヒトの認知的な側面を脳情報として抽出し、客観的なデータとして扱うことで工学的に有用な情報となる。さらに、注意や判断などの内的な脳情報を抽出できれば、感情の表現系などのインタフェース技術として有用である。

脳情報を応用するためには、信号として読み出せる (decode: 書き込み encode に相対する) ことと、短時間検出が要求される。そのためには脳情報を検出し、解析して読み出す計測・処理技術が確立されて、十分な SN 比をもって脳情報の内容が離散的信号として弁別できる必要がある。脳磁界 MEG は空間局在性が高く、脳活動に依存した特異な時空間パターンを示すことから、高い弁別性のポテンシャルを有している。また、短時間検出を実現するためには、高振幅の脳波リズムである自発性脳磁界の活用が考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、認知的脳情報を無侵襲的に取得し、高い弁別性と短時間検出性をもつ定量的信号として抽出することを目的とする。このために MEG 信号を対象とし、外的要因である視覚、聴覚感覚に対して特異な認知特性を示す刺激とその基盤となる脳活動を探索する。さらに、内的要因となる種々の認知的機能 (注意や期待、判断など) を誘起する刺激法を開発する。また、大きな振幅をもつ自発性脳活動 (脳波リズム) に着目し、外的および内的要因により誘起される脳活動リズムの変調を捉えることで短時間検出性や認知機能特異性を追求する。

信号解析では、自発性リズムの変調を周波数領域と時間領域の中で同定する時間一周波数解析、時間と周波数を絞り込んだ信号に

対する振幅・位相解析、認知的活動の内容を反映するパラメータの解析、分類法の検討により、自発性脳磁界から認知的情報を読み出す技術の開発を目指す。

3. 研究の方法

(1)測定系: 脳情報を計測する手段はすべての実験を通して全頭型脳磁計 (脳磁界計測装置) を使用した。また、聴覚刺激にはソフトウェアで発生させた楽音や合成した複合音を適当なトリガ信号とともに PC から発生させ、磁気シールドルーム内でイヤフォンにより音信号に変換したあと、プラスチックチューブ、インサートを介して被験者の片耳ないし両耳に提示した。刺激系の周波数特性は平坦になるようイコライザで補正してある。刺激音の大きさは、音圧(SPL)や被験者の感覚閾値に合わせた感覚レベル(SL)とした。

視覚系の刺激においては、合成した図形やデータベースから入手した画像をプロジェクタの掃引に時間同期したトリガに合わせて呈示した。プロジェクタは磁気シールドルームの外に置き、入り口や開口部からルーム内に導き、スクリーンに投射した。刺激に対する判断などの回答を要求する実験では、非磁性の光スイッチを用いて、被験者の指運動により Yes, No などの反応を計測した。

(2)被験者: 被験者はすべて健常者であり、原則として公募によりリクルートし、謝金を支払った。性別、年齢などの分布を考慮したほか、紙面テストにより利き手を確認している。実験あたり 10 名前後の被験者が参加した。

(3)データ解析: 計測した MEG データは適当な low-pass, high-pass フィルタを通して帯域制限 (通常 1-40 Hz) し、誘発反応では約 100 回の加算平均を行った。自発性のリズム信号では FFT や Wavelet 変換により周波数特性や特定周波数のパワー (振幅)、位相特性を抽出した。位相同期性 (コヒーレンス) を調べるときには、Wavelet 変換や FFT した信号を規格化したのち、実数部と虚数部のエポック平均を求め、それらの二乗和を指標とした。

完全同期で1, 非同期で0の値をもつ. AM変調音による定常応答(SSR)を計測する実験では, Wavelet変換により信号の変調周波数成分を取り出し, その振幅値によりSSR強度を求めた.

4. 研究成果

(1) 外的な刺激の特性により生じる特異な知覚や認知にともなう神経活動を検出し, 読み出すことを目的とした. 音の特性には周波数スペクトルと時間波形があるが, 時間波形を制御した複合音を刺激音に用いた. さらに, ピッチが異なる時間変化をする音列を左右の耳に競合的に与えた時に起きる錯聴現象を取り上げ, 錯聴的知覚の基盤となる神経活動の検出を試みた.

①複合音知覚 (論文報告④)

ヒトの音知覚には周波数, 強度, 時間特性(音色など)などがあるが, 時間特性に関する聴覚野の活動はほとんど調べられていない. そこで, 時間波形を制御した複合音を合成し, 長潜時誘発MEG反応(100~200ms)の刺激音波形依存性を調べた. 具体的には, 周波数特性をほとんど変えずに時間波形を調節し, 周期的な振幅変化をもつ波形(AM周期音), 振幅は一定だが周期的な位相変調を持つ波形(FM周期音), 振幅も位相も周期性を持たない波形(非周期音)を合成して, それぞれを異なるセッションで被験者に与えた.

その結果, N1m反応の振幅は周期性に依存し, 非周期音はAM, FM周期音より低下した. また, P2m反応の振幅は, 刺激音の反復による減衰(順応)においてAM周期音が他の刺激音より大きかった.

以上の結果から, N1m反応が周波数だけではなく時間軸上の周期性にも敏感であること, またP2m反応は振幅-時間特性よりは位相-時間特性に選択性があることが分かり, N1mとP2mは音の時間特性において異なる属性(振幅と位相)の解析に関わっている可能性が示唆された.

②音階錯聴に関わる脳活動 (学会発表②, ③)

左右の耳に異なる輪郭(ピッチ-時間特性)の音階を与えたとき, 刺激音とはちがってスムーズな輪郭のメロディーが左右から聞こえる音階錯聴(Scale Illusion)が知られている. 音階錯聴の刺激音(図1左)は, 片耳の下降音階と反対の耳の上昇音階を基にし, 交互に左右の音符を入れ替えることで作成される. ほとんどの被験者は刺激音通りに聞くことはなく, 左右の耳で音列が高音/低音に分かれるスムーズな旋律の錯聴が聞こえる(図1右).

左右刺激の反応を識別するため8音列の音階を左右音に対して35.8と43.8Hzで振幅変調し, 誘起されるMEG定常応答(SSR)を計測した. SSRの各変調周波数成分をWavelet変換で求め, さらにその振幅-時間特性から, 多重回帰分析により被験者ごとの錯聴音列と刺激音列成分の強度を計算した. その結果, 錯聴知覚に一致する特性(図2上段)と刺激知覚に一致する特性(下段)が得られ, 知覚に対応した神経活動を読み出すことができた.

被験者総平均のSSR錯聴音列と刺激音列特性は, 被験者の報告に基づいて弁別された2グループ(錯聴音型と刺激音型)の知覚と一致した特性が得られた.



図1

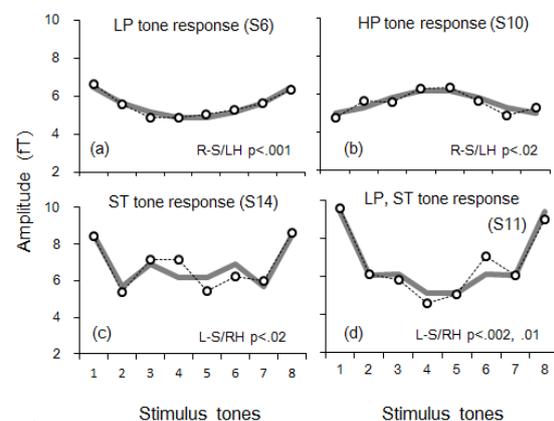


図2

(2)内的な要因により生じる脳活動を捉え、信号として読み出すことを目的に、注意や期待を誘起する音楽的な刺激と、事象の予測・予期、好悪判断を生じさせる視覚対象刺激を選択した。音楽的刺激では高い同期性が期待されるので誘発反応を計測し、視覚対象については誘起活動として自発リズムの変調に着目した。

③注意と期待 (論文報告③)

連続する和音列 (和音進行) は、進行に伴い展開する感じや次音への期待、最終音による終止感などを聴取者に誘起する文脈効果をもつ。この研究では音楽的に進行する和音を聴覚刺激として用い、能動的注意や期待による脳活動を捉えるため、4音、5音からなる和音列において、完全に終止する進行、進行が係留し完全に終止しない進行 (半終止)、あいまいな和音で終止する進行 (偽終止) の3種類をランダムな順で提示し、和音列による脳活動をMEGにより調べた。

その結果、半終止や偽終止の場合、和音列が終わったあとの無音区間において、有意な振幅を有する活動が生じることを見出した (図3)。この活動は聴覚野に由来し、N1mやP2mなどの聴覚誘発反応と類似なもの、さらに潜時の遅いものがある。和音の文脈効果により、高い時間同期性を持つ内因性の脳活動 (次音への注意・期待など) がMEG信号として検出されたと考えられる。

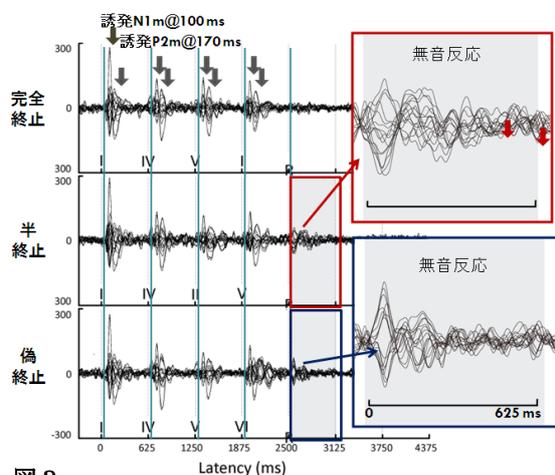


図3

④負の事象の予測 (論文報告②)

多くの動物は、急速に接近する物体に対しては衝突の回避行動をとる。衝突に対する反応には、学習や慣れといった効果が少ない。衝突刺激に対する脳内処理は生命を維持するために通常の視覚刺激の認知に比べて特殊であり、無意識的な危険の予測が生じていると考えられる。そこで、衝突を模擬した視覚刺激による脳の反応を捉え、危険の予知状態を読み取る可能性について調べた。

不定形の黒い形が急速に拡大する視覚刺激を用いて衝突を模擬した。対照刺激には単純に輝度が減衰する刺激や、不定形がランダムに大きさを変える刺激とした。刺激の種類を知らせる合図(cue)のあとに2s間の予測区間 (背景のみの刺激) を設け、その後衝突模擬刺激や対照刺激を与えた。MEGにより α 波帯域の自発性脳リズムを抽出し解析した。

全ての刺激において α 波の振幅は予測区間において減衰し、刺激呈示後にディップを示したあとに急激に回復した (図4)。刺激前の α 波の振幅は、衝突刺激において他の対照刺激に比べ有意に減衰しており、衝突の予測が自発性活動を低下させることが分かった。

これより、危険に関わるような負の事象の予測により α 波帯の脳活動が変調することが示された。さらに予測区間の α 波の振幅から衝突刺激の提示予測を試行ごとに判別したところ、最大79%の確率で判別可能であった。

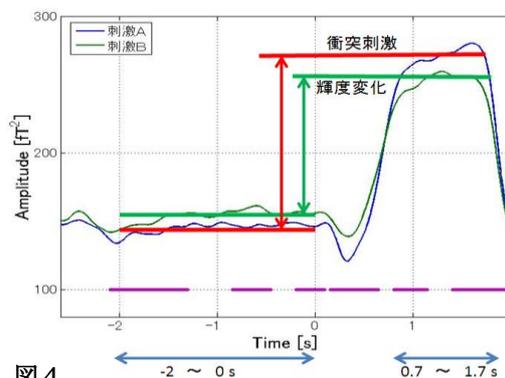


図4

⑤好悪判断 (論文報告①)

視覚対象を見たときに、それを好きあるいは

は逆に嫌い（快・不快）と判断したかを脳の自発性リズムから推測することを目的に MEG で α 波を計測した。

好悪画像間で一定となるような視覚的情報の差異をなくし、被験者個人の主観的な判断で好悪を決定する画像を用いた。多数の生物画像（昆虫や動物、ペットなど）の中から、被験者ごとにアンケート回答の結果に基づきプラス、マイナス得点の大きな画像をそれぞれ好き、嫌い刺激として 15 枚ずつを選別し、被験者にランダムに提示した。

データ解析では外因性の誘発反応を除去するために画像呈示開始から 1-3 s 間の MEG 自発性リズム(10 Hz)を抽出し、エポック間での位相コヒーレンスを算出した。その結果、10 Hz リズムの観測された 9 名のなかで 8 名において好悪画像間で有意なコヒーレンス値の差異が認められ（表 1, Good(好き), Bad(嫌い)の下線を引いた数値), うち 7 名ではコヒーレンス値は嫌い>好き画像の関係であった。以上から、 α 波の位相同期性に主観的な好悪認知が反映されていることが分かった。

表 1

Subject	f_0 (Hz)	Power (fT/cm^2) ²	Good	Bad	P-level
1	9.0	1000	0.0835	<u>0.148</u>	0.0438*
2	9.0	210	0.0590	<u>0.093</u>	0.0485*
3	9.0	100	0.0891	<u>0.123</u>	0.0289*
4	10.5	200	0.0832	<u>0.129</u>	0.0319*
5	10.5	50	0.0851	<u>0.130</u>	0.00587*
6	11.0	90	0.0566	<u>0.122</u>	0.0168*
7	10.0	50	0.0982	0.0800	0.447
8	11.0	130	<u>0.136</u>	0.0645	0.0105*
9	10.0	50	0.0598	<u>0.0996</u>	0.0335*

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 18 件)

- ①宮村昂宏, 栗城眞也, 田中慶太, 内川義則, 好悪画像呈示時における MEG の位相解析,

日本磁気学会論文誌, 査読有, 35:319-324, 2011

- ②青山岳人, 横澤宏一, 栗城眞也, 高橋誠, 衝突の予測に伴う脳磁界 α 帯域の振幅変調, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, NC2009-148: 357-362, 2010
- ③A. Otsuka, Y. Tamaki, S. Kuriki, Neuromagnetic responses in silence after musical chord sequences, NeuroReport, 査読有, 19: 50-55, 2008
- ④鷺尾大輔, 栗城眞也, 複合音の時間特性による聴覚誘発 MEG 応答の変化, 生体医工学, 査読有, 46: 103-108, 2008

[学会発表] (計 42 件)

- ①菊澤大地, 脳磁計による衝突及びその予測に伴う脳活動の計測, 第50回日本生体医工学会大会, 2011/05/01, 東京都
- ②栗城眞也, 音楽幻聴の神経基盤, 日本生体磁気学会大会, 2010/07/29, 柏市
- ③K. Ouch, Auditory illusion explored with MEG, 17th International Conference on Biomagnetism, 2010/03/29, Dubrovnik, (Croatia)
- ④田中 光, 聴覚性選択的注意による脳の自発リズムの変調, 第 48 回日本生体医工学会大会, 2009/04/25, 東京都
- ⑤河本隆史, 異なる色相の視覚画像による自発脳リズムの変調, 生体医工学シンポジウム 2008, 2008/09/20, 吹田市
- ⑥A. Otsuka, Attentional modulation of auditory neuromagnetic responses to musical chord sequences: an MEG study, 16th International Conference on Biomagnetism, 2008/08/26, Sapporo

6. 研究組織

(1) 研究代表者

栗城 眞也 (KURIKI SHINYA)
東京電機大学・先端工学研究所・教授
研究者番号: 30002108

(2) 研究分担者

横澤 宏一 (YOKOSAWA KOICHI)
北海道大学・大学院保健科学研究院・教授
研究者番号: 20416978

竹内 文也 (TAKEUCHI FUMIYA)
北海道大学・大学院保健科学研究院・准教授
研究者番号: 30281835