

注意を向けた先の音を聴く：ブレインマシンインタフェースを応用した視聴覚統合技術の研究開発 (112103017)

Integration of visual and auditory information by applications of brain machine interface technique.

研究代表者

四本 裕子 東京大学

Yuko Yotsumoto The University of Tokyo

研究分担者

なし

研究期間 平成 23 年度～平成 25 年度

概要

人間の脳活動を測定し、その活動パターンから、人間が何を知覚しているのかを推定する「ブレインマシンインタフェース」の技術を応用した。人間が知覚している対象の物理的特性を特異的に反映する脳波成分を抽出し解析することにより、視覚や聴覚の刺激が脳内でいかに処理、統合されるかを検証した。そして、それら視聴覚情報の相互作用を利用することにより、より現実感を伴う視聴覚情報呈示をめざした。

1. まえがき

本研究開発では、人間の脳活動を測定し、その活動パターンから、人間が何を知覚しているのかを推定する「ブレインマシンインタフェース」の技術を応用し、視聴覚情報統合により臨場感をもたらすシステムを構築することを目的とした。そのために、人間が知覚している対象の物理的特性を特異的に反映する脳波成分を抽出し解析することにより、視覚や聴覚の刺激が脳内でいかに処理、統合されるかを検証し、そして、それら視聴覚情報の相互作用を利用することにより、より現実感を伴う視聴覚情報呈示を実現することをめざした。

平成 23 年度に、視覚刺激に対応する脳部位の同定、視覚的注意の空間位置が脳部位の賦活に及ぼす変化の測定やアルファ波を含む脳波の解析法を確立し、平成 24 年度は、視覚的注意を向ける位置に依存して変化する脳波に含まれる周波数成分を測定し、また、そのデータをもとに脳波成分から視覚的注意が向けられている位置を同定するアルゴリズムを作成した。平成 25 年度は、それまでに得られた知見をもとに、視覚的注意に対応した聴覚刺激提示を行い、視聴覚統合の相互作用を検証した。

2. 研究開発内容及び成果

空間位置に対応する視覚皮質の同定、および視覚皮質の階層的構造のマッピング、注意の効果の検証

機能的MRIによる脳機能測定により、それぞれの空間位置に対応する視覚皮質領域の測定および視覚皮質内の領域特定をおこなった。30名の被験者について、視野表象マップを作成し、これらの領域の大脳皮質内の位置や大きさ、年齢群間の差を検証した。結果、視野表象マップの構造や各領域のサイズの個人差は比較的小さく、統一モデルで扱うことが可能であることを見いだした。一方、被験者の年齢群を比較した結果、視覚野の活動の量は年齢とともに減衰するが、各領域間の相互関係は保たれていることを示す結果が得られた。さらに、視覚的注意に関する複数の課題成績と視野表象マップの関係性を比較し、両者に相関があることを示唆する結果を得た。さらに、測定した視覚野の領域のそれぞれが、対応する視野内の空間位置に注意を向けるか否かでいかに活動量が増えるかを検討した。その結果、視野の一部に注意がむけられた場合、対応部位

の脳の活動量が増加することを示し、さらに、注意が向けられた視野に対応する脳の領域だけでなく、同じ大脳半球の別部位の活動の増加も見られた。

以上の結果は、視野内に提示されている視覚刺激は同一であるにも関わらず、注意の空間的位置の有無が脳の賦活領域を大きく変えていることを示すとともに、左右視野の信号弁別よりも上下視野の信号弁別が困難である可能性を示唆しているが、得られたデータをもとに視覚的注意が向けられた領域を事後推定した結果、左右視野のみならず、上下視野間においても、視覚的注意の位置の推定は可能であることを確認した。機能的MRIを用いた上述の検証では、人間の視覚皮質の構造や機能を高い空間解像度で明らかにした。そこで得られた知見をもとに、それらの視覚皮質に近い頭皮部分から脳波を測定し、そこに含まれる脳波成分の解析をおこなった。この検証により、後の脳波リアルタイム解析に利用できる複数の知見を得た。

特定周波数のリアルタイム抽出アルゴリズムの開発

脳波に含まれるアルファ波成分をリアルタイムで抽出し、脳波電極間にみられるその強度差を計算し、最も強いアルファ波が測定された電極を特定して、刺激呈示用のコンピュータに出力するアルゴリズムを作成した。アルゴリズム作成にあたり、さまざまな周波数成分を足し合わせた疑似脳波波形を作成し、その疑似脳波波形から特定の周波数を持つ成分を抽出する脳波波形制御のモデルを作成した。このモデルは、任意の2電極で抽出されたアルファ波の強度の差を出力し、強度判断を下す閾値を自動的に決定して電極を選択した。この研究により、周波数解析の計算に必要なサンプル時間とその結果生じる遅延の関係を検証し、測定に適したパラメータを決定した。また、さまざまなフィルタの中を用いて、最も安定性の高い結果をもたらしたバターワースフィルタを採用するとともに、脳波測定と解析を行うコンピュータと視覚刺激を呈示するコンピュータ間の通信をテストし、ヒトを被験者として測定を行う環境を整えた。脳波電極間のアルファ波成分の差分を計算とその結果をフィードバックする手法は、運動野の活動を用いた先行研究でも用いられてきたが、本研究で開発したアルゴリズムは視覚と聴覚の情報制御に使用することを目的としているため、従来のものよりも少ないサンプリング数で周波数計算をおこない、結果のフィードバックの遅延を短縮した。また、平成 23 年度に測定した視

覚皮質近傍での脳波データを用いて、視覚皮質近傍で測定された脳波でより精度の高い結果をもたらしたフィルタを採用し、視覚的注意の位置に依存したアルファ波を用いたブレインマシンインタフェースに最適だと考えられるアルゴリズムを構築した。

聴覚誘発脳波の特性および視聴覚刺激同時呈示時の脳波と知覚

聴覚刺激による誘発脳波を、視聴覚同時呈示時の誘発脳波から推定するために、聴覚誘発脳波の検証を行った。聴覚刺激のみを呈示した際の脳波を 32ch の多電極計測により取得し、聴覚刺激の影響の強く出る電極、周波数帯を確認し、聴覚刺激間での差異を調査した。その結果、異なる聴覚刺激による誘発脳波の差異が、脳波の周波数情報、および位相情報に現れていることが示された。呈示聴覚刺激の識別アルゴリズム作成においては、誘発脳波の経時的変化を強調して調べるため wavelet を用いた時間周波数展開を行い、シータ帯域からガンマ帯域を含む 4~90Hz の計測データに対し推定精度を検証し、聴覚刺激に対する誘発脳波の変化は、その位相同期（コネクティビティ）の経時的変化に現れることを示唆する結果を得た。そこでクロススペクトル解析を用い、各電極間での誘発脳波のコネクティビティパターンを調査し、推定アルゴリズムに応用した。脳波の識別推定にはサポートベクターマシン（SVM）を用いた機械学習の手法を利用し、多チャンネル 1 トライアルのデータに適した適応的なデコーダの作成に成功した（図 1）今回作成した呈示聴覚刺激識別のアルゴリズムは、計測条件に対し過剰適用している傾向があり、日をまたいで被験者のコンディションが変化すると推定精度が低下してしまい、今後も改良の必要が有る。一方で聴覚刺激のオンラインでの識別が可能である事が示唆され、視覚誘発脳波、聴覚誘発脳波を分離するための知見を得た。

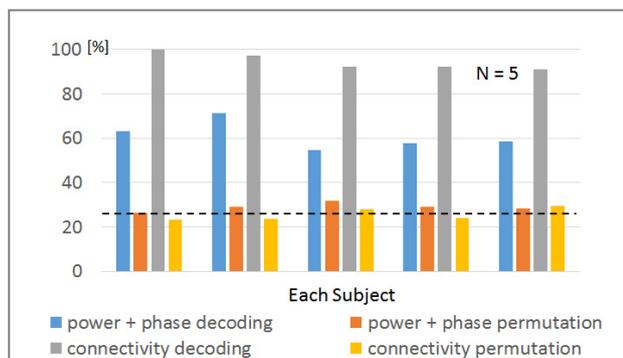


図 1 4 種類の聴覚刺激のデコーディング結果

呈示した 4 種類の聴覚刺激のデコーディング結果。破線はチャンスレベル (25%) を表す。power+phase では、計測脳波を時間周波数展開した強度と位相をデコーディングに利用し、connectivity では、電極間の脳波の同期程度の情報を追加してデコーディングした。また、permutation では、4 種類の聴覚刺激データをランダムに入れ換えることで、デコーディング結果の優位性を検証した。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本研究開発では、視覚刺激を単独で呈示した場合の、視覚的注意の空間位置のデコーディングとリアルタイムのフィードバックをおこなうアルゴリズムを作成した。また、

聴覚刺激を単独で呈示した場合の、聴覚誘発脳波の解析と、脳波成分に影響を与える聴覚成分のデコーディングをおこなうアルゴリズムを作成した。そして視聴覚刺激を同時呈示した際の脳波成分を解析した。

これらの結果をもとに、視聴覚同時呈示した際に測定される脳波成分から、視覚刺激由来のものと聴覚刺激由来のものを分離する方法を確立したい。本研究により、視聴覚同時呈示で誘発される脳波における聴覚由来成分の影響は線形ではないことが明らかになったため、脳波電極位置、時間、空間周波数帯域、電極間の相関など、複数の要因を考慮にいれて、視聴覚由来の脳波を高い精度でデコーディングできるアルゴリズムを開発する。

4. むすび

本研究開発期間は 2014 年 3 月に終了したが、その後、査読付き国際誌への論文 1 報の掲載が決定、さらに 1 報が査読中、3 報の論文を執筆中である。2014 年 7 月には、国際学会で 1 件の受賞があった。これまでの研究をさらに進展させることにより、本研究開発の更なる発展に努めたい。

【誌上发表リスト】

- [1] Chang L., Yotsumoto Y., Salat D., Andersen G., Watanabe T., Sasaki Y. (2014) "Reduction in the retinotopic early visual cortex with normal aging and magnitude of perceptual learning." *Neurobiology of Aging* (2014 年 8 月 27 日)
- [2] Yotsumoto Y., Watanabe T., Chang LH., Sasaki Y., "Consolidated learning can be susceptible to gradually-developing interference in prolonged motor learning." *Frontiers in Computational Neuroscience Vol.7 No.69* (2013 年 5 月 18 日)
- [3] Kuwahara, M., Sato, T. & Yotsumoto, Y. "Wriggling Motion Trajectory Illusion." *Journal of Vision, 12(12):4.* (2012 年 11 月 8 日)

【参加国際標準会議リスト】

- [1] Vision Sciences Society・VSS2014, St Petersburg FL, 2014 年 5 月 15-20
- [2] The Asia-Pacific Conference on Vision, 高松市、開催 2014 年 7 月 19-22
- [3] Society for Neuroscience・SFN annual meeting, Washington DC, 2011 年 11 月 13

【受賞リスト】

- [1] 湯淺健一・四本裕子、Best Presentation Award, "The dilations and compressions of the interval-time perception caused by visual flickers and auditory flutters", 2014 年 7 月 21 日
- [2] 橋本侑樹・四本裕子、バストプレゼンテーション賞, "フリッカ刺激の時間周波数成分が時間知覚延長に及ぼす効果", 2014 年 1 月 24 日
- [3] 四本裕子・栗原芽栄子、基礎心理学会錯視コンテスト, "The Wriggling Motion Trajectory Illusion", 2011 年 12 月 3

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.journalofvision.org/content/12/12/4.full>
1
<http://www.tamagawa.ac.jp/brain/forum/reports/081.html>