

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26560467

研究課題名(和文) 頭蓋内電極による想起画像推定方法の開発

研究課題名(英文) Development of decoding method to infer visual imagery using ECoG signals

研究代表者

柳澤 琢史 (Takufumi, Yanagisawa)

大阪大学・医学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：90533802

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は人が想起する画像を脳信号から推定することで、新たな意思伝達手段を開発することを目標として行った。このために、頭蓋内電極から記録した皮質脳波及び脳磁図を用いて、人が見ている画像の意味内容の推定と、想起している画像の意味内容の推定方法の開発を行った。その結果、皮質脳波及び脳磁図を用いて、3つもしくは9つのカテゴリーの画像を脳信号だけから推定することに成功した。更に、被験者が自由に想起した画像についても、その意味内容を推定できることが示された。これらの成果は重度の運動障害がある患者さんの意思伝達を補助する方法などに応用が期待される。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to develop a novel method to infer the semantic contents of the visual perception and visual imagery from the ECoG signals and MEG signals. We recorded both of the ECoG and MEG signals while the subjects were watching the images of 3 or 9 categories. The developed decoding method successfully inferred the categories from the ECoG or MEG signals. Moreover, the same decoding method successfully inferred the semantic contents of the visual imagery which the subject imagined freely. These results are expected to be applied for the severely paralyzed patients to improve their communication ability and the quality of their lives.

研究分野：Brain-Machine Interface

キーワード：Decoding ECoG MEG Visual perception Visual imagery

1. 研究開始当初の背景

脳情報の解読技術が開発されたことで、ヒトが知覚し、想起した画像内容を推定できるようになった[1, 2]。しかし、これらの研究では、画像と脳信号を機械学習で対応付けるため、予め学習に用いた画像しか推定できない制約があった。しかし、人が想起する画像は無数の可能性があり、これらを全て学習させる事は不可能である。

一方で、web上に存在する多数の画像をカテゴリ分類し、脳活動と対応させる事で、被験者に見せた事がない画像でも脳活動との類似性から近い画像を推定出来る事が示唆されている[3]。また、機械学習も研究が進み、Deep learning など、大量データに適した新たな手法が提案され成功している[4]。これらの成果を想起画像の推定に応用できれば、ほぼ任意の想起画像を推定できると期待される。このような技術は、完全閉じ込め症候群や言語障害患者などへの臨床応用により、他に代替治療法がない患者の大きな福音になると期待される。

2. 研究の目的

本研究は頭蓋内電極を用いて、1) 視覚内容を推定する方法を開発し、2) これを用いて想起している画像内容を推定する方法の開発を目的とした。

3. 研究の方法

あらかじめ用意した3つのカテゴリの画像(各3種類)を見た際の皮質脳波を計測し、皮質脳波からカテゴリを推定した。また、カテゴリ数を増やし9種類の画像(顔、体部位、動物、等)を被験者に提示した際の脳活動を脳磁計にて計測し、カテゴリの推定を行った。更に、どちらに対しても、自由に画像を想起する課題を行い、想起時のカテゴリを推定した。

頭蓋内電極を留置した患者6名が、3カテゴリの画像を見た際の皮質脳波を計測し、Support vector machine(SVM)を用いてDecodingを行った。各周波数帯のパワーなど複数の特徴量を用いて画像のカテゴリ推定を行い、その推定精度を比較した。

4. 研究成果

皮質脳波から80Hz以上のHigh-gamma帯域のパワーを抽出し機械学習の特徴量として用いることで、異なる画像のカテゴリを有意に推定できることが示された(図1)。更に、作成した推定器を用いて、画像想起時のカテゴリ推定を行い、有意な推定が可能であることを示した。この成果については現在、英文専門誌への投稿準備中である。

また、脳磁計を用いて同様の課題を行い、推定精度と脳活動との関係を明らかにした。健常若年者を対象として、3種類の体部位の画像を提示し、脳磁図から体部位のカテゴリを推定した。その結果、画像の異なる体部位でも、脳磁図のM190と呼ばれる後頭側頭葉の活動を用いて、有意な推定が可能であった。この結果は、英文専門誌にて報告した[6]。

視覚認知内容を「顔・物・風景」の3種類から推定

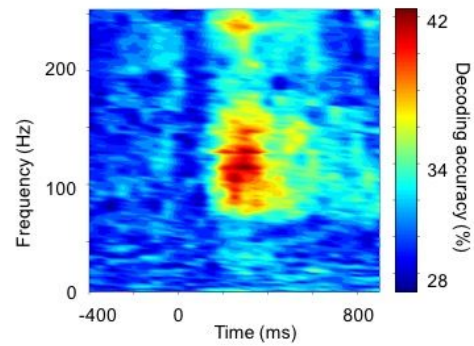


図1：皮質脳波による知覚画像のカテゴリ推定精度

位でも、脳磁図のM190と呼ばれる後頭側頭葉の活動を用いて、有意な推定が可能であった。この結果は、英文専門誌にて報告した[6]。

脳磁計で計測したセンサー信号からVariational Bayesian Multimodal Encephalography (VBMEG)を用いて皮質電位を推定した[5]。これは皮質脳波信号に対応する。3つのカテゴリについて、各脳表上の点についてカテゴリ間の電位変化をone-way ANOVAにて検定し、そのF値を脳表上に重ね書きした(図2)。図1は一人の被験者の結果であるが、体部位認知に重要とされる後頭側頭葉のExtrastriate Body Area(EBA)および側頭葉底面のFusiform Face Area(FFA)にて高いF値が見られる。つまり、同部位の活動が、体部位のカテゴリ弁別に置いて情報を持つことが示された。

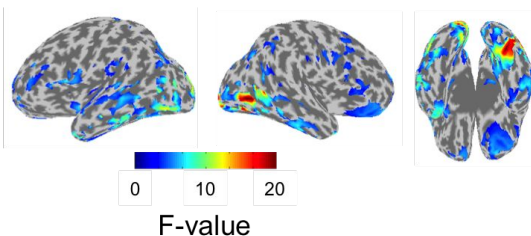


図2：体部位認知時反応のカテゴリ間の電位変動

さらに、これらの皮質電位活動の特徴量としてSVMによるDecodingを行った。その結果、画像提示後200ms前後の活動を用いることで、統計的に有意なカテゴリ推定が可能であることが示された(図3)。

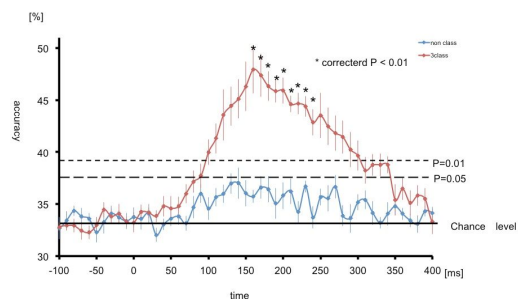


図3：体部位のカテゴリ識別正答率

更に9カテゴリーの画像についても同様に、高次視覚野の活動を用いることで有意な推定が可能であった。また、想起内容についても有意な推定ができた。これらの成果についても、英文専門誌への投稿準備中である。

以上の結果より、皮質電位活動を用いることで、知覚している画像のカテゴリーを識別できること、及び、その識別器を用いて想起内容も推定できることが示唆された。頭蓋内電極を用いた皮質脳波計測の場合、EBA 及び FFA を十分に電極がカバーできていないこともあり、正答率は被験者によってバラつく傾向が見られた。今後、さらに側頭葉の前方部位を中心とした皮質電位より意味内容を推定する技術の開発が必要と考えられる。

引用文献

1. Kamitani, Y. and F. Tong, *Decoding the visual and subjective contents of the human brain*. Nat Neurosci, 2005. **8**(5): p. 679-85.
2. Cerf, M., et al., *On-line, voluntary control of human temporal lobe neurons*. Nature, 2010. **467**(7319): p. 1104-8.
3. Nishimoto, S., et al., *Reconstructing visual experiences from brain activity evoked by natural movies*. Curr Biol, 2011. **21**(19): p. 1641-6.
4. Salakhutdinov, R. and G. Hinton, *An efficient learning procedure for deep Boltzmann machines*. Neural Comput, 2012. **24**(8): p. 1967-2006.
5. Fujiwara, Y., et al., *A hierarchical Bayesian method to resolve an inverse problem of MEG contaminated with eye movement artifacts*. Neuroimage, 2009. **45**(2): p. 393-409.
6. Nakamura, M., et al., *Categorical discrimination of human body parts by magnetoencephalography*. Front Hum Neurosci, 2015. **9**: p. 609.

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13件)

以下の発表論文は全て査読有り

1. Fukuma R, Yanagisawa T*, Saitoh Y, Hosomi K, Kishima H, Shimizu T, Sugata H, Yokoi H, Hirata M, Kamitani Y, Yoshimine T, Real-Time Control of a Neuroprosthetic Hand by Magnetoencephalographic Signals from Paralyzed Patients, Scientific Reports, 2016 Feb 24;6:21781. *Corresponding to this work, DOI: 10.1038/srep21781
2. Kishima H, Yanagisawa T, Goto Y, Oshino S,

Maruo T, Tani N, Khoo HM, Hosomi K, Hirata M, Yoshimine T., Respiratory Function Under Intrathecal Baclofen Therapy in Patients With Spastic Tetraplegia., Neuromodulation. 2016 Feb 2. DOI: 10.1111/ner.12394.

3. Tani N, Kishima H, Khoo HM, Yanagisawa T, Oshino S, Maruo T, Hosomi K, Hirata M, Kazui H, Nomura KT, Aly MM, Kato A, Yoshimine T., Electrical stimulation of the parahippocampal gyrus for prediction of posthippocampectomy verbal memory decline., J Neurosurg., 15:1-8, 2016
4. Nakamura M, Yanagisawa T*, Okamura Y, Fukuma R, Hirata M, Araki T, Kamitani Y, Yorifuji S, Categorical discrimination of human body parts by magnetoencephalography, Front. Hum. Neurosci., 04 Nov 2015 9:609., doi: 10.3389/fnhum.
5. Khoo HM, Kishima H, Tani N, Oshino S, Maruo T, Hosomi K, Yanagisawa T, Kazui H, Watanabe Y, Shimokawa T, Aso T, Kawaguchi A, Yamashita F, Saitoh Y, Yoshimine T., Default mode network connectivity in patients with idiopathic normal pressure hydrocephalus., J Neurosurg., 21:1-9, 2015, doi: 10.3171/2015.1.JNS141633
6. Fukuma R, Yanagisawa T*, Yorifuji S, Kato R, Yokoi H, Saitoh Y, Kishima H, Hirata M, Kamitani Y, Yoshimine T, Closed-Loop Control of a Neuroprosthetic Hand by Magnetoencephalographic Signals, PLoS One, 2015 Jul 2;10(7):e0131547., doi: 10.1371/journal.pone.0131547.
7. Anthony Ritaccio, Riki Matsumoto, Martha Morrel, Kyousuke Kamada, Mohamad Koubeissi, David Poeppel, Jean-Philippe Lachaux, Takufumi Yanagisawa, Masayuki Hirata, Chirstoph Guger, Gerwin Schalk, Proceedings of the Seventh International Workshop on Advances in Electroencephalography, Epilepsy and Behavior 51 (2015) 312-320
8. Morris S, Hirata M, Sugata H, Goto T, Matsushita K, Yanagisawa T, Saitoh Y, Kishima H, Yoshimine T., Patient Specific Cortical Electrodes for Sulcal and Gyral Implantation., IEEE Trans Biomed Eng. Vol.62, No.4, April, 1034-1041 2015
9. Shinshi M, Yanagisawa T*, Hirata M, Goto T, Sugata H, Araki T, Okamura Y, Hasegawa Y, S. Ihara A, Yorifuji S, Temporospatial Identification of Language-Related Cortical Function by a Combination of Transcranial Magnetic Stimulation and Magnetoencephalography, Brain and behavior, 2015 Mar;5(3):e00317.,

- doi: 10.1002/brb3.317 *Corresponding to this work
10. Kageyama Y, Hirata M, Yanagisawa T, Shimokawa T, Sawada J, Morris S, Mizushima N, Kishima H, Sakura O, Yoshimine T., Severely affected ALS patients have broad and high expectations for brain-machine interfaces., *Amyotroph Lateral Scler Frontotemporal Degener.* 2014 Sep 10:1-7., doi: 10.3109/21678421.2014.951943
 11. Sugata H, Hirata M, Yanagisawa T, Shayne M, Matsushita K, Goto T, Yorifuji S, Yoshimine T., Alpha band functional connectivity correlates with the performance of brain-machine interfaces to decode real and imagined movements., *Front Hum Neurosci.* 2014 Aug 8;8:620., doi: 10.3389/fnhum.2014.00620
 12. Nakanishi Y*, Yanagisawa T*, Shin D, Chen C, Kambara H, Yoshimura N, Fukuma R, Kishima H, Hirata M, Koike Y., Decoding fingertip trajectory from electrocorticographic signals in humans., *Neurosci Res.* 2014 Aug;85:20-7., doi: 10.1016/j.neures.2014.05.005 *Contributed equally to this work
 13. Araki T, Hirata M, Sugata H, Yanagisawa T, Onishi M, Watanabe Y, Omura K, Honda C, Hayakawa K, Yorifuji S., Genetic and environmental influences on motor function: a magnetoencephalographic study of twins., *Front Hum Neurosci.* 2014 Jun 19;8:455., doi: 10.3389/fnhum.2014.00455

〔学会発表〕(計 23 件)

皮質脳波 BMI によるロボット制御と重症麻痺患者への適用、柳澤琢史、システム視覚科学研究センターシンポジウム「脳科学の応用展開」、立命館大学びわこ・くさつキャンパスローム記念館(草津)、2016/3/8

難治性疼痛に対する BMI 治療、柳澤琢史、齋藤洋一、細見晃一、福間良平、清水豪士、貴島晴彦、平田雅之、横井浩史、神谷之康、吉峰俊樹、第 55 回日本定位・機能神経外科学会、江陽グランドホテル(仙台)、2016/1/22、

脳磁図によるてんかんネットワークの可視化、柳澤琢史、貴島晴彦、福間良平、小林真紀、枝川光太郎、押野悟、平田雅之、細見晃一、清水豪士、吉峰俊樹、第 39 回てんかん外科学会、江陽グランドホテル(仙台)、2016/1/21

Decoded neurofeedback による幻肢痛の病態解明と新たな治療法開発、柳澤琢史、福間良平、Ben Seymour、細見晃一、清水豪士、貴島晴彦、平田雅之、吉峰俊樹、神谷之康、齋

藤洋一、BMI 懇話会、東京大学鉄門記念講堂(東京)、2015/11/14

ECOG BMI for paralyzed patients, Takufumi Yanagisawa, Melbourne Symposium On Brain Computer Interfaces and Rehabilitation, Melbourne (Australia), 2015/10/21

神経外傷に伴う中枢性疼痛に対する新たな BMI 治療、柳澤琢史、齋藤洋一、細見晃一、福間良平、清水豪士、貴島晴彦、平田雅之、横井浩史、神谷之康、吉峰俊樹、日本脳神経外科学会学術総会、ロイトン札幌(札幌)、2015/10/26

Modulation of phantom limb pain using neuroprosthetic hand based on real-time magnetoencephalography, Yanagisawa T, Fukuma R, Saitoh Y, Hosomi K, Shimizu T, Yokoi H, Kato R, Kishima H, Hirata M, Kamitani Y, Yoshimine T, 第 38 回日本神経科学会、神戸国際会議場(神戸)、2015/7/28

脳磁図によるてんかんネットワークの可視化、柳澤琢史、貴島晴彦、枝川光太郎、福間良平、小林真紀、押野悟、平田雅之、細見晃一、清水豪士、吉峰俊樹、人脳機能マッピング学会、毎日新聞オーバルホール(大阪)、2015/6/3

Decoded Neurofeedbackによる幻肢痛メカニズムの解明、柳澤琢史、福間良平、細見晃一、清水豪士、貴島晴彦、神谷之康、吉峰俊樹、齋藤洋一、第 37 回日本疼痛学会、熊本市市民会館(熊本)、2015/6/4

Real-time MEGを用いたDecoded Neurofeedbackによる幻肢痛の病態解明、柳澤琢史、福間良平、齋藤洋一、細見晃一、清水豪士、貴島晴彦、平田雅之、神谷之康、吉峰俊樹、第30回生体磁気学会、旭川大雪クリスタルホール(旭川)、2015/6/6

Development and application of ECOG-BMI for clinical use, Takufumi Yanagisawa, MEI summer school 2015, 大阪大学(大阪), 2015/8/4

Neuromodulation for phantom limb pain using MEG-based BMI, Yanagisawa T., SNR2015, 国立障害者リハビリテーションセンター(東京)、2015/3/12

Decoded Neurofeedbackによる幻肢痛に対する新たなニューロモジュレーション、柳澤琢史、福間良平、清水豪士、細見晃一、貴島晴彦、押野悟、平田雅之、神谷之康、吉峰俊樹、齋藤洋一、第54回日本定位・機能神経外科学会、都市センターホテル(東京)、2015/1/17

安静時脳磁図によるてんかんネットワーク

の評価、柳澤琢史、貴島晴彦、枝川光太郎、小林真紀、押野悟、井上洋、菅田陽怜、平田雅之、細見晃一、清水豪士、吉峰俊樹、てんかん外科学会、都市センターホテル(東京)、2015/1/15

Neuromodulation of deafferentation pain using real-time MEG, T. Yanagisawa, R. Fukuma, T. Shimizu, K. Hosomi, Y. Kamitani, H. Yokoi, M. Hirata, T. Yoshimine, Youichi Saitoh, The First CiNet Conference New directions in pain Neuroscience,大阪大学(大阪), 2014/12/4

Use of MEG-based neuroprosthetic arm increased the deafferentation pain due to brachial plexus root Avulsion, T. YANAGISAWA, R. FUKUMA, T. SHIMIZU, R. KATO, T. SEKI, Y. KAMITANI, H. YOKOI, M. HIRATA, T. YOSHIMINE, Y. SAITOH, Society for neuroscience, Washington DC (USA), 2014/11/16

ECoG of Paralyzed Patients, Yanagisawa T., 7th International Workshop on Advances in Electroencephalography, Washington DC (USA), 2014/11/13

Magnetoencephalographic evaluation of the epileptic network for the cortical lesions, T. Yanagisawa, H. Kishima, K. Edagawa, S. Oshino, Y. Inoue, M. Hirata, H. Sugata, K. Hosomi, T. Shimizu, T. Yoshimine, AESC2014, 都市センターホテル(東京), 2014/10/5

皮質脳波 BMI による義手制御、柳澤琢史、齋藤洋一、貴島晴彦、平田雅之、福間良平、加藤龍、關達也、横井浩史、神谷之康、吉峰俊樹、BMI 懇話会、大阪大学(大阪)、2014/10/18

脳磁図によるてんかんのネットワーク診断、柳澤琢史、貴島晴彦、枝川光太郎、押野悟、谷直樹、井上洋、菅田陽怜、平田雅之、細見晃一、清水豪士、吉峰俊樹、第73回脳神経外科学会総会、グランドプリンス新高輪(東京)、2014/10/10

Imagery coherenceを用いた脳磁図によるてんかんのネットワーク診断、柳澤琢史、貴島晴彦、枝川光太郎、谷直樹、押野悟、平田雅之、井上洋、菅田陽怜、細見晃一、清水豪士、吉峰俊樹、第48回日本てんかん学会、京王プラザホテル(東京)、2014/10/2

Motor reconstruction by MEG-based neuroprosthetic arm aggravates deafferentation pain due to brachial plexus root avulsion, T. Yanagisawa, R. Fukuma, T. Shimizu, R. Kato, T. Seki, M. Hirata, H. Yokoi, Y. Kamitani, T. Yoshimine,

Y. Saitoh, 第37回日本神経科学会、パシフィコ横浜(横浜)、2014/9/13

リアルタイム MEG を用いた中枢性疼痛の病態解明と新たなニューロモジュレーション、柳澤琢史、福間良平、清水豪士、加藤龍、關達也、平田雅之、横井浩史、神谷之康、吉峰俊樹、齋藤洋一、第29回日本生体磁気学会大会、大阪大学(大阪)、2014/5/29

〔図書〕(計3件)

1. 皮質脳波(ECoG)BMIの人への応用、柳澤琢史、Clinical Neuroscience, Vol.34 no.2, 205-208, 2016、中外医学社
2. DecNef と rTMS による疼痛治療、齋藤洋一、柳澤琢史、Clinical Neuroscience, Vol.34 no.2, 176-178, 2016、中外医学社
3. 脳信号で機械を操作するためのブレイクマシンインターフェイス、柳澤琢史、細胞工学、2015年7月号、pp669-674, Vol.34 No.7 2015、学研メディカル秀潤社

〔産業財産権〕

出願状況(計2件)

名称: Decoded Mirror Neurofeedback
発明者: 柳澤琢史、福間良平、齋藤洋一、吉峰俊樹、神谷之康
権利者: 国立大学法人大阪大学、株式会社国際電気通信基礎技術研究所
種類: 特許
番号: 特願 2016-009279
出願年月日: 平成 28 年 1 月 20 日
国内外の別: 国内

名称: Cross-frequency coupling によるてんかん発作検出
発明者: 貴島晴彦、吉峰俊樹、柳澤琢史、枝川光太郎、福間良平
権利者: 国立大学法人大阪大学
種類: 特許
番号: 特願 2016-8301
出願年月日: 平成 28 年 1 月 19 日
国内外の別: 国内

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.nsurg.med.osaka-u.ac.jp/school/research/function/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

柳澤 琢史 (YANAGISAWA, Takufumi)
大阪大学大学院・医学系研究科・助教
研究者番号: 90533802

(2)研究分担者

貴島 晴彦 (KISHIMA, Haruhiko)
大阪大学大学院・医学系研究科・講師
研究者番号：10332743

(3) 連携研究者

神谷 之康 (KAMITANI, Yukiyasu)
株式会社国際電気通信基礎技術研究所・脳
情報研究所・室長
研究者番号：50418513