

# 神経情報表現に基づく高速物体画像認識アルゴリズムの研究開発 (141203025)

Study on fast object image recognition algorithm based on neural information representation

## 研究代表者

宮脇陽一 電気通信大学

Yoichi Miyawaki The University of Electro-Communications

研究期間 平成 26 年度～平成 28 年度

## 概要

高速・高精度なヒトの物体認識は、最先端のコンピュータやロボットをしても実現が困難な、優れた機能の代表である。本研究では、ヒトが物体画像を観察している際の脳活動の高時空間分解能解析を実現することにより、物体画像の特徴がヒト脳内でどのような時空間ダイナミクスで表現されているのかを解明し、その原理を高速画像認識技術へと応用展開することを目指した。

## 1. まえがき

超高齢化社会を迎える我が国においては、ICT による生活支援技術が必要不可欠となる。ICT システムをヒトと協生可能にするには、ヒトと同等あるいはそれ以上の環境認識能力、とりわけ画像情報に基づいた高度な環境把握機能の実現が重要になってくる。

高齢化が進めば、医療機関に訪れる患者数の増加に対応した診断の迅速化も求められる。なかでも CT や MRI あるいは病理組織片などに基づく医用画像診断には専門医が必要であるが、その人手は十分ではなく、ICT を活用した迅速画像診断の補助が急務とされている。

これらの現状を解決するうえでキーとなるのが、画像による高速な物体認識技術の開発である。この技術的課題を解決するため、本研究ではヒトの高速な物体認識メカニズムに着目した。ヒトはわずか 20 ms の画像観察でも 100% に近い画像認識正答率を達成することができる (Thorpe et al., Nature, 1996)。このように優れたヒトの視覚的な物体認識のメカニズムには、実世界の視覚的構造に埋め込まれた特徴的性質を効率よく抽出するための普遍原理が隠されている可能性が高い。

そこで本研究では、ヒトの視覚的な物体認識に関わる情報処理原理を、特に時間的特性の観点から解明し、得られた技術要素ならびに基礎的知見を応用し、物体画像処理の高速化・効率化への道筋をつけることを目的とし、研究に取り組んだ。

## 2. 研究開発内容及び成果

こうした目的のもとで得られた代表的研究成果について以下で概説する。

まず、ヒト脳内に「いつ」物体カテゴリの情報が表現されるのかの時間特性を明らかにするため、物体カテゴリ画像を観察した際のヒトの脳活動データを脳磁場計測装置で非侵襲的かつ高時間分解能 (ミリ秒オーダー) で計測した。さらに計測した脳磁場信号に対応する皮質上神経電流源を推定し、神経活動が生じている脳部位を限定したうえで、その脳部位における物体画像表現のダイナミクスの解析に取り組んだ。

限られた実験時間で多数の物体カテゴリ画像を効率よく被験者に提示するため、物体カテゴリがヒトの階層的な概念表現方法に対応するようにデザインされた ImageNet (Deng et al., CVPR, 2009) データベースを活用した実験デザインを採用した。この実験設計により、上位のカテゴリに対応する脳活動を直接的に計測することが不要になり、大規模な物体カテゴリ空間を効率よく探索

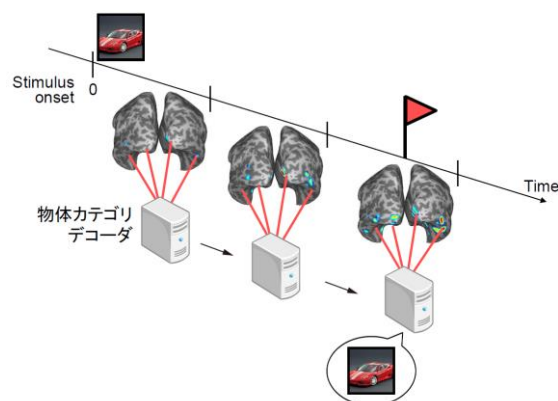


図1: 皮質上神経電流分布からの物体カテゴリの時間分解予測

可能になった。

この実験デザインのもと、脳磁場計測実験ならびに皮質上神経電流分布推定を実施した。脳磁場計測には ATR-Promotions 脳活動イメージングセンタ設置の 400 チャンネル全頭型脳磁場計測装置を用いた。

計測された脳磁場信号から皮質上神経電流分布を求めるには、不良設定性の強い逆問題を解く必要があり、適切な拘束条件が必要となる。本研究では、空間分解能が高い機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) を用いて同実験条件での脳活動を計測し、それを皮質上神経電流分布の事前分布とした階層ベイズ法 (VBMEG; Sato et al., NeuroImage, 2004) を用いて、皮質上神経電流分布を推定した。fMRI 計測には、同じく ATR-Promotions 脳活動イメージングセンタ設置の装置を用いた。

こうして推定された皮質上神経電流分布を統計的機械学習で解析し、ヒトが見ている物体カテゴリの情報が脳活動に表現される時刻を、脳活動からの物体カテゴリの予測成績を求めることで定量化した (図 1)。この結果を元にして、本研究期間では特に、物体カテゴリが脳活動に表現される時刻と物体カテゴリの抽象度の関係性を詳しく調べた。少数の物体カテゴリのみを用いた先行研究では、脳活動に表現される時刻が早いのは抽象度が高いものであるというもの (Sugase et al., Nature, 1999)、具象的なレベルであるというもの (Carlson et al., J Vis, 2013)、中間的なレベルであるというもの (Rosch et al., Cogn Psychol, 1976) と様々で、いずれの研究もあるレベルを起点とした直列的な処理モデルを提案している。これに対して本研究の結果は、物体カテゴリの情報が高次視覚野に表現され

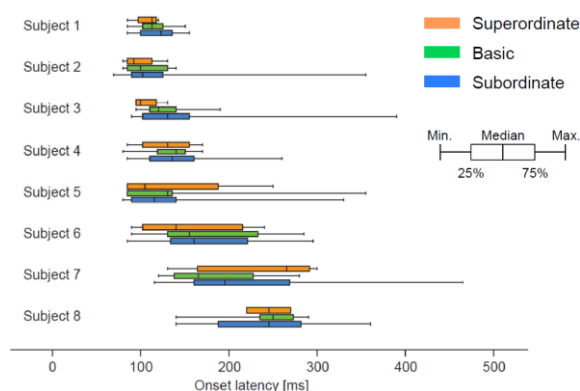


図2: 物体カテゴリ表現時刻のカテゴリ抽象度間での比較

るまでの時間が、物体カテゴリの抽象度によらず同時並列的であるという新しいモデルを示唆する結果となった(図2)。先行研究に比べて多数の物体カテゴリを用いた不偏かつ恣意性の少ない実験設定を実現していること、皮質上神経電流源の高精度な推定に基づく解析を行っていることなどの観点から、従来研究に対する手法上のアドバンテージが強く、本仮説の信頼性は十分高いと考えている。

以上の解析においては、脳磁場信号からの皮質上神経電流分布の推定精度を保証することが非常に重要になる。そこで、実験データの解析と並行して、真値が分かっている状況下での人工データを用いたシミュレーション解析を実施した。その結果、神経電流源は皮質上の正しい位置に強い振幅で高精度に推定されることがわかったが、その一方、推定された皮質上神経電流源を多変量パターンとみなして統計的機械学習の方法と組み合わせた解析を行うと、人工的に信号源を置いた脳部位に加えて、他の脳部位からも、信号源にのみ符号化したはずの情報が読み取れてしまう現象が起きることが新たに分かった。この現象は、本研究が初めて明らかにしたものであり、ある特定脳部位に符号化されている情報があたかも拡散しているかのようにみえるので、「情報拡散」と新たに名付けた。情報拡散がおきると、本来実験条件に関連のない脳部位が実験条件に関連があるというような偽陽性的結果をもたらしてしまう可能性がある重大な問題であり、関連分野に対する大きな問題提起となった。

情報拡散が起きている状況下でも、実験条件に関する情報を相対的に強く持っている関心領域がどこかを同定することは重要である。本研究では、線形判別器の識別関数への貢献度を比較することで、実験条件に関する情報を相対的に強く持っている関心領域を同定する手法を提案することにも成功した。その結果、本研究で用いた階層ベイズ法を用いた皮質上神経電流分布推定の場合が、被験者間でのばらつきを少なく抑えつつ、実験条件に応じた神経活動の差を真に符号化している脳部位を同定する上で望ましい性質を持っていることが分かった。

また脳活動の解析に加えて、ヒトがどのような物体カテゴリを優先して見ているのかを明らかにするため、自然な物体画像を提示した際の眼球運動を測定し、その時間特性を解析した。その結果、従来視線の移動に重要であると考えられていた低次画像特徴量は視線移動の時間特性に対する説明力は低く、むしろ物体カテゴリに対する依存性が強いという新しい知見を得ることに成功した。

### 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

これまで公開した成果に加えて、脳活動解析、画像解析、行動解析の3つの観点から得られた知見を統合したかた

ちでの新しい解析に対しても展開を行い、現在研究を進めている。また本研究の成果の重要な応用のひとつとして、本研究で確立した解析技術の医用画像処理分野への応用を開始しており、二光子顕微鏡で撮像されたグリア細胞の病態を高精度で判別することが可能になりつつある。この応用展開は、ICTを活用した医療の高度化技術や診断手段の高度化技術の開発に貢献するものであり、本研究事業における戦略のひとつであるライフイノベーションの推進につながる大きな波及効果が期待できる。

### 4. むすび

本研究では、ヒトが物体画像を観察している際の脳活動の高時空間分解能解析により、物体画像がヒト脳内でどのような時間特性によって表現されているのかを解明し、その原理を応用することを目指した。その結果、物体カテゴリの抽象度と脳内表現時刻の関係の記述、脳活動源推定時に生じる情報拡散現象の発見、画像特徴量と視線誘導効果の関係などについての新たな知見を得ることができた。また開発した技術を迅速医用画像診断へ応用展開する道筋を見出すこともできた。脳活動解析、画像特徴量解析、行動解析をさらに有機的に統合し、高速画像認識が必要とされる諸分野へのさらなる応用展開を進めていきたい。

#### 【誌上发表リスト】

- [1] Masashi Sato, Yoichi Miyawaki, "Spatial spreading of representational geometry through source estimation of magnetoencephalography signals," The 7th International Workshop on Pattern Recognition in Neuroimaging, The University of Toronto, Toronto, Canada, June 21 – 23, 2017.
- [2] Yoichi Miyawaki, "Multivariate analysis of magnetic resonance imaging signals of the human brain," Current Topics in Medicinal Chemistry, vol.16, pp.2685 - 2693 (2016).
- [3] Masashi Sato, Okito Yamashita, Masa-aki Sato, Yoichi Miyawaki, "Information spreading through magnetoencephalography source localization and its effect on pattern classification analysis," The 22nd Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, Palexpo Exhibition and Congress Center, Geneva, Switzerland, June 26 – 30, 2016.

#### 【受賞リスト】

- [1] 佐藤匡 (宮脇研究室博士後期課程)、宮脇陽一、平成26年度日本神経回路学会優秀研究賞、「ヒト視覚野における物体カテゴリ表現と物体カテゴリ抽象度の時間的關係」、2015年9月4日
- [2] 佐藤匡 (宮脇研究室博士前期課程)、IEEE Computational Intelligence Society Japan Chapter Young Researcher Award、「ヒト視覚野における物体カテゴリ表現と物体カテゴリ抽象度の時間的關係」、2015年3月16日

#### 【報道掲載リスト】

- [1] 「電気通信大学・読売講座 詳報 - 脳活動から視覚解く」、読売新聞 2016年10月15日多摩版 27面
- [2] 「電気通信大学・読売講座 - 脳とこころ情報科学で解明」、読売新聞 2016年10月7日多摩版
- [3] 「「脳情報」 - ヒトの脳から直接情報を読み出す研究」、TV Bros. わらしべマッドサイエンティスト、2015年3月18日

#### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.cns.mi.uoc.ac.jp>