

研究報告書

「脳活動の推定に基づく適応的な環境知能の実現」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成 21 年 11 月～平成 25 年 3 月

研究者: 山岸 典子

1. 研究のねらい

情報通信技術が生活の隅々で利用され、あらゆる人や物が結びつき、いつでも、どこでも、だれでもその恩恵をうけることができる情報環境の研究開発が進められている。このような状況において、どんな人でも必要な情報を自然に受けとることができる環境知能の創出が必要となっている。本研究開発では、脳活動・心理生理指標計測技術およびオンライン推定、情報提示技術を有機的に組み合わせることで、「欲しいところに欲しい情報が、ちょうどよいタイミング」で提供される適応的環境知能(アンビエントインテリジェンス)を構築する基盤技術の開発をする(図1)。なお、過度の支援により自ら考え、行動することをしない人間を生み出すことが危惧されるため、設計にあたっては人間の知力や行動力を最大限に引き出すことを支援するように留意する。本技術は、人間の知的生産活動が情報環境によって支援され、より創造的な活動になることに貢献することが期待される。

人間の意図を認識する環境知能を実現する基盤技術の研究

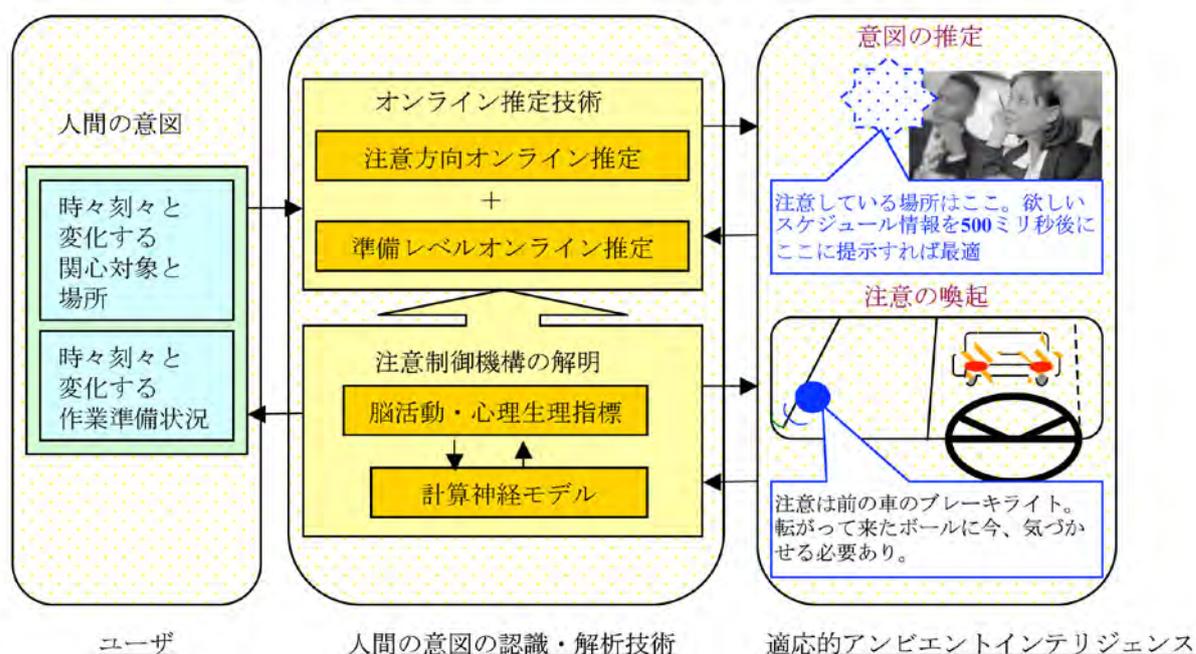


図1 研究構想図

近年、心理学的また脳活動計測技術を使った研究の蓄積により、情報システムの使い易さや、それを使った知的作業のパフォーマンスに影響を与えているものは、機能設計の良し悪しだけでなく、利用するユーザのその時々の中の状況であることが明らかになりつつある。例えば、意識もしくは注意と呼ばれるものが向いていなければ、目に映るものも、耳から入るものも、人は認識することができず、大切な情報を逃してしまうことになる。逆に注意が向いているものについてはその認識にかかる時間も短く、詳細情報までも処理されている。また同じ人物が同じ作業を行う時でも、その人の内的準備が万端であれば、その作業パフォーマンスは良く、逆に準備が不十分な時に作業が開始されればパフォーマンスは悪いものとなる。

これらの知見は、莫大な、そして人間に有用な情報が常にどこにでも提供される情報環境が実現されても、ちょうどよいタイミングで、欲しい場所に、欲しい物が、提供されなければ、人間がその情報環境の恩恵を受けることができないことを示している。逆に、人間の意図や注意の方向、次の知的作業への準備状況などが推定できれば、その状況に応じて必要な情報を必要な場所にちょうどよい時に提供することが可能となり、人間の知的活動は情報環境により支援され、より創造的なものとなる(図1、右上)。また、ある人が緊急にある場所や物に注意を向けなければならない状況時には、情報環境がその人の注意の方向を推定し、その方向が違っていた場合、注意喚起の警告を出し、生活の安全・安心を向上させることができる(図1、右下)。

そこで本研究では、人にとって適応的な情報環境を実現する、適応的環境知能の実現に向けて、具体的に以下の2つの要素技術の開発を行う。

(1) 脳活動、心理生理指標からユーザの注意する方向の推定手法の研究開発

(2) 脳活動、心理生理指標からユーザの知的作業への準備状況の推定技術の研究開発

これらを組み合わせることにより、適応的環境知能の創出を目指す。

2. 研究成果

(1)概要

本研究では、人にとって適応的な情報環境を実現する適応的環境知能の実現に向けて、脳活動からユーザの意図(注意)する方向を推定する手法の研究開発を行った。また、ユーザの知的作業への準備状況の推定技術の開発のために、準備過程の機構を明らかにした。

具体的には、大きく次の4点を実現した。

1. 人の脳活動計測データから、人の内的状況である「注意を向けている方向」の推定に成功。
2. 脳活動計測データから人の内的状況を推定する新手法(デコーディングの新手法)を開発。この手法により従来の手法の問題点が解決されただけでなく、神経科学的に推定結果が解釈できるようになった。
3. オンラインで、人の脳活動計測データから、時々刻々と変化する人の内的状況である「注意を向けている方向」の推定に成功。
4. 人の作業準備が整う機構を心理物理的に、また神経科学的に明らかにした。

これらを実現したことで、脳活動計測データおよびオンライン推定、情報提示技術を有機的に組み合わせることが可能となり、ユーザの内的状況を知り「欲しいところに欲しい情報が、ちょうどよ

「タイミング」で提供される適応的環境知能(アンビエントインテリジェンス)を構築すること(図1)が現実のものとして可能であることが示せた。

研究成果は国内外の学会で発表し、論文はインパクトファクターの高い論文誌に受理された(原著論文、学会発表)。情報、神経科学、生理学、自動車技術の分野から招待講演の依頼を受け、講演を行ったところ、将来的な共同研究の可能性が見出された(招待講演)。

(2) 詳細

各項目について内容を報告する。

1. 人の脳活動計測データから、人の内的状況である「注意を向けている方向」の推定に成功。

fMRI(機能的磁気共鳴装置)ならびに MEG(脳磁場計測装置)を用い、被験者が注意を四半視野(右上、右下、左下、左上)のいずれかに向けている時の脳活動データを複数セッションにわたり計測した。fMRI データを緩やかな制限として MEG データの逆問題を解き、脳表上の神経活動をミリ秒単位、センチメートル単位で推定した。このデータを用い、注意の向きを推定するデコーダーを作成した。テストデータをデコーダーで判別を行った。この結果、目を動かすことなく、注意を動かした時点でなんの視覚刺激がないときでも、脳活動データからユーザがどこに注意を向けているかを優位に推定することに成功した(学会発表[国際]2,3,10)。脳活動計測データのうち、特にアルファー波と呼ばれる帯域の脳活動データを用いることで推定に成功した。このことで注意が視覚野のアルファー波を四半視野ごとに変化させていることが示唆された。

2. 脳活動計測データから人の内的状況を推定する新手法(デコーディングの新手法)を開発。この手法により従来の手法の問題点が解決されただけでなく、神経科学的に推定結果が解釈できるようになった。

近年、デコーディング手法として SLR (Sparse Logistic Regression)が開発され、広く利用されている。しかし、SLR は往々にして結果が Sparse 過ぎることが問題となっていた。そこで我々は神経活動は時空間的に連続であることが多いことを考慮し、デコーディング手法に時空間的 Smoothness を導入した新しい手法を開発した。この手法により、デコーディング率自体が以前の方法に比べて上がったと同時に、重みの結果も神経科学的に理解しやすいものとなった。この優位性はシミュレーションと MEG の実データを用いた解析で示された(原著論文 2, 学会発表[国際]4, 6)。本研究のオンライン推定にも当手法を活用し成果を上げた。

3. オンラインで、人の脳活動計測データから、時々刻々と変化する人の内的状況である「注意を向けている方向」の推定に成功。

上記1と2の成果をもとに、オンラインで MEG 装置から時々刻々と計測されるデータを用いてユーザの注意を向けている方向を推定した。まず、MEG 装置からミリ秒単位でデータを読み出し、予め作成したデコーダーにより注意方向を判別するシステムを構築した。システムが安定して作動するようになってから、実際に人を対象とした実験を行い、オンラインでユーザの注意方向を推定することに成功した。また、fMRI 計測も行い、MEG データと合わせ、脳表上の神経活動を推定し、どの脳部位が注意の制御にどのように関わっているかを検討した。注意はまず空間的な選択を行い、その後でターゲット文字などの特徴選択を行なっていることが明らかになった。注意方

向のオンライン化の実現で BMI(Brain Machine Interface)への応用の可能性が示せた。オフラインでの解析により注意機構の解明につながる発見があった(学会発表[国際]8)。

4. 人の作業準備が整う機構を心理物理的に、また神経科学的に明らかにした。

心理物理学的手法を用いて、ユーザが作業にとりかかるまでの準備のメカニズムを明らかにした。ユーザに作業準備が十分になった時点を報告してもらった実験を行うと、十分になるまでの時間の分布が Later model で説明できるもので、これはユーザの内的な準備レベルが蓄積されていき、閾値に達すると「準備ができた」と報告するモデルで説明できるものであった。またユーザが「準備ができた」と思っている時は、そうでない時に比べて、視覚感度が優位に上がることが明らかになった(原著論文 1, 学会発表[国際]1)。また、この一連のプロセスが進められている脳部位を fMRI と MEG で明らかにした。これらの知見を使うことで、ユーザの準備レベルを推定し、準備ができた時に作業を提示しユーザのパフォーマンス向上を支援することが可能となる。

3. 今後の展開

本研究の結果により、脳活動計測データおよびオンライン推定、情報提示技術を有機的に組み合わせることで、ユーザの内的状況を知り、「欲しいところに欲しい情報が、ちょうどよいタイミング」で提供される適応的環境知能(アンビエントインテリジェンス)を構築することが現実に可能であることが示せた。当初この大きな目標を達成するには「注意機構の解明」の知見を活かし、「オンライン推定技術」を開発することで可能になる(図 1 中央)と考えていたが、本研究を進めるうちに、この反対方向の矢印が必要であることが判明した。人の状況の推定を脳活動から進めることで、注意機構のさらなる深い解明につながる仮説が生まれた。これを検証し、そこから得られた知見をさらに活かすことでより良い推定技術が開発できる。今後は、この認知機構の基礎的理解と BMI(brain machine interface)的応用のサイクルを回しながら、人類に科学的側面から、そして社会的側面からも貢献していきたい。

4. 自己評価

研究の目的を達成するための基盤研究を、三年という短時間に凝縮して遂行できた。大きな目標を常に意識し、研究総括やアドバイザーの助言を活かし、また所属する研究所の研究者との共同研究も発展させることで、本研究を大きく進められたと思う。適応的環境知能の実現に、人の内的状況の推定が将来、デバイスの超小型化などを踏まえ、現実に利用できる可能性が示せたと考える。

5. 研究総括の見解

人の注意に関する認知メカニズムを脳計測技術を用いて解明し、注意の方向や準備状況を理解し適応する情報環境の実現を目指す野心的な研究である。これが実現されれば、注意の向いた「欲しいところに欲しい情報が、ちょうどよいタイミング」で提示できることになる。注意が向いていれば認識にかかる時間も短く、内的準備が万端であれば作業効率が向上するからである。

本研究の優れた点は、脳活動計測による科学的知見の蓄積を行うと共に、それに留まらず、次世代の情報提示機能を実現することを目標に科学研究の方向付けを行っていることである。本

研究では、まず、脳計測データから「注意を向けている方向」の推定に成功し、次いで、オンラインの脳計測データから、時々刻々と変化する「注意を向けている方向」の推定に成功している。さらに、注意はまず空間的な選択から始まり、その後に、認識対象となる文字などの特徴選択を行なっていることを明らかにしている。加えて、心理物理学的手法を用いて人が作業にとりかかるまでに要する準備のメカニズムを明らかにしている。

こうした研究成果は、インパクトファクターの高い国際論文誌に採択され高く評価されている。今後は、心理学と脳研究の双方に実績がある研究者として、科学的研究に立脚した情報環境のデザインに先鞭をつけることを期待する。

6. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. Yamagishi, N., Anderson, S.J., & Kawato, M. (2010). The observant mind: self-awareness of attentional status. Proceedings of the Royal Society, B, 277. 3421-3426
2. de Brecht, M., Yamagishi, N. (2012). Combining sparseness and smoothness improves classification accuracy and interpretability. NeuroImage, 60, 1550-1561.

(2) 特許出願

なし。

(2) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

学会発表 [国際学会]

1. Yamagishi, N., Naito, E., Anderson, S.J., Kawato, M. (2010, June) The neural basis of self-monitoring attentional status. Talk at the 14th annual meeting of the Association for the Scientific Study of Consciousness, Toronto, Canada.
2. Yamagishi, N. (2010) From neural synchrony to conscious mind: Introduction. Organizer of the symposium 'From neural synchrony to conscious mind', talk at the 33rd annual meeting of the Japan neuroscience society, Kobe, Japan. [Abstract] *Neuroscience Research*, vol68, Supplement1, Pages e23. (doi:10.1016/j.neurres.2010.07.341)
3. Yamagishi, N., de Brecht, M., Kawato, M. (2011) Decoding of attentional direction. Talk at the 34th annual meeting of the Japan neuroscience society, Yokohama, Japan. [Abstract] *Neuroscience Research*, vol71, Supplement. Pages e49. (doi:10.1016/j.neurres.2011.07.208)
4. de Brecht, M., Yamagishi, N. (2011) Decoding brain activity with smooth sparse regression. Poster presented at the 34th annual meeting of the Japan neuroscience society, Yokohama, Japan. [Abstract] *Neuroscience Research*, vol71, Supplement. Pages e201-202. (doi:10.1016/j.neurres.2011.07.872)
5. Takeda, Y., Yamanaka, K., Yamagishi, N., Sato, M. (2011) Estimating waveforms common across trials from MEG data in various stimulus-response tasks. Poster presented at the

- 34th annual meeting of the Japan neuroscience society, Yokohama, Japan. [Abstract] Neuroscience Research, vol71, Supplement. Pages e209. (doi:10.1016/j.neurres.2011.07.908)
6. de Brecht, M., Yamagishi, N. (2011, November) Smooth sparse classification of recorded brain activity. Poster presented at the Annual meeting of the Society for Neuroscience 2011, Washington D.C., USA.
 7. Takeda, Y., Yamanaka, K., Yamagishi, N., Sato, M. (2012, August) Revealing covert brain activity from MEG measurement. Poster presented at the 18th International Conference on Biomagnetism, Paris, France.
 8. de Brecht, M., Yamagishi, N. (2012, September). Online decoding of attentional states. Poster presented at the 35th Annual meeting of the Japan Neuroscience Society, Nagoya, Japan.
- [Abstract] will be published in Neuroscience Research.
9. Takeda, Y., Yamanaka, K., Yamagishi, N., Sato, M. (2012, September) Revealing covert brain activity from MEG. Poster presented at the 35th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, Nagoya, Japan. [Abstract] will be published in Neuroscience Research.
 10. Yamagishi, N., de Brecht, M., Kawato, M. (2012, December). Decoding of attentional states. Poster presented at the 2012 International Workshop on Perceptual Learning, Nara, Japan.

学会発表 [国内学会]

1. 山岸, Anderson, 川人 (2010年1月). 準備ができた時とは - 内観的注意シフトと視覚感度. 日本視覚学会 2010年冬季大会, 東京, 口頭発表
2. 武田, 山中, 山岸, 佐藤 (2011年9月) EEG/MEGデータからの試行間で共通した波形の推定. 医用診断のための応用統計数理の新展開III. 統計数理研究所, 東京, 口頭発表
3. 武田, 山中, 山岸, 佐藤 (2012年7月) MEGデータからのセンサ間で同期した α 振動の抽出. 神経オシレーション: 共振とディスリズム. 自然科学研究機構岡崎カンファレンスセンター, 愛知, ポスター発表.
4. 山岸典子 (2012年11月8日) こころの時代をデータで支える. 情報学による未来社会のデザイン シンポジウム - 健全でスマートな社会システムに向けて - 第一回大量データにもとづく未来社会のデザイン, (主催(独)科学技術振興機構、日本学術会議)、一橋大学一橋講堂, Tokyo, Japan. ポスター発表.

招待講演

1. [2010, March 11] 情報処理学会創立 50周年記念(第72回)全国大会さきがけシンポジウム (2010.3.9-11) ‘脳活動の推定に基づく適応的な環境知能の実現’
2. [2012, July 12] 電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーショングループ 人間とICTの倫理を考える研究会 (2012.07.11-12) ‘Towards providing useful information to users at the best time and place by predicting internal state from brain activities’



3. [2012, August 20] 公益法人 自動車技術会 第3回ドライバ評価手法検討部門委員会
‘脳活動の推定に基づく人を助けるインタフェースの開発’
4. [2012, October 4] 生理学研究所 生理学会「視知覚の理解へ向けて-生理、心理物理、
計算論による探求-」(2012.10.4-5) ‘視覚注意のデコーディング’