

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 22 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700137

研究課題名(和文) 関心持続の脳内機構の解明とブレイン・エージェント・インタラクションの開発

研究課題名(英文) Neural mechanisms of sustaining interest and its application to human-agent interaction

研究代表者

野澤 孝之 (NOZAWA, Takayuki)

東北大学・加齢医学研究所・助教

研究者番号：60370110

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円、(間接経費) 600,000円

研究成果の概要(和文)：エージェントやヒトとのインタラクションにおける関心持続の脳内機構を明らかにし、より「飽きのこない」インタラクション・エージェントの設計に活かす知見を得るための一連の脳イメージング研究を行った。(1)脳の自発的活動の変動から状況への注意・関与状態のゆらぎが読み取れることを明らかにした。(2)HAIにおける内発的報酬、探索意図、文脈統制感などの、関心持続に重要な認知・情動的プロセスの神経基盤を解明した。(3)ヒト集団の自然なコミュニケーション/インタラクションへの関与が個人間の脳活動関係性から読み取れることを確立した。

研究成果の概要(英文)：This study, with a series of functional brain imaging experiments, clarified neural substrates of sustaining interest in a human-agent interaction (HAI), and developed techniques for online monitoring of brain functions and designing new framework for sustainable HAI. More specifically, (1) it clarified that cognitive engagement or "readiness" can be decoded from slow spontaneous neural dynamics, (2) it identified neural bases of cognitive and motivational dynamics that are important for sustainable HAI, and (3) it established that the engagement in natural human communication is reflected in inter-individual relationships between neural activities of communicating individuals.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：メディア情報学・データベース

キーワード：脳・神経 HAI 内発的動機付け 注意 知能情報学 fMRI NIRS ブレイン・コンピュータ・インタフェース(BCI)

## 1. 研究開始当初の背景

近年、ヒューマン・エージェント（ロボット）・インタラクション（以下 HAI）は精力的に研究され、エンターテインメント、セラピー、コミュニケーションの媒介やそのほか知的作業の補助など、様々な分野に応用されている。これらの応用が実世界に普及するためには、まずエージェントがユーザの関心や注意をつなぎとめインタラクションさせ続けることが重要である。

明示的・直接的な利益（外的報酬）が必ずしも存在しない HAI において関心の持続を実現するうえで、好奇心、操作動機、達成動機などの「内発的動機づけ」がヒト同士や動物とのインタラクションに果たす役割が重要な示唆を与えると考えられる。とくに、(1) 適応・慣れ・飽きなどを伴う持続的・動的インタラクションのなかで関心・注意の持続に働く神経メカニズムを明らかにし、(2) さらにその脳活動を近赤外光分光法（NIRS）のような日常環境で使用可能な装置で計測し、その情報に応じて適切に振舞いを変えるようなエージェントを実装すれば、「飽きのこない」HAI が実現できるはずである。また、このような神経メカニズムの解明は、インタラクションの自律適応的な側面がヒト同士の持続的コミュニケーションにおいて持つ意義についても洞察を与え、さらに新たなブレイン・コンピュータ・インタフェース(BCI)の開発に繋がると期待できる。

## 2. 研究の目的

次のように研究目的を設定した：

- (1) 持続的な注意・認知的関与を求められる状況で、脳の自発的活動の変動から注意状態のゆらぎが読み取れることの検証。
- (2) 持続的 HAI における関心持続に関わる認知・情動的プロセスの神経基盤の解明。
- (3) ヒト集団が自然なコミュニケーション／インタラクションを行っている際の個人間の脳活動関係性から関与を読み取れることの検証。

## 3. 研究の方法

### (1) 脳活動ゆらぎからの認知的かまえ読取り

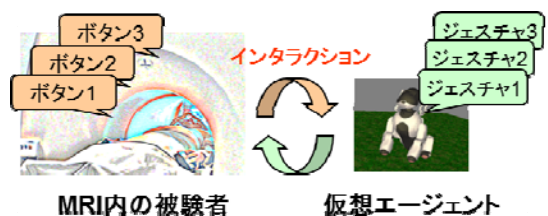
注意・実行機能を要する認知課題を繰り返して行うとき、その都度パフォーマンスが変動することを「認知的かまえ(readiness)」の変動によるものと捉え、これを表現している神経基盤を、その自発的活動が直後に提示される認知課題のパフォーマンスに影響するようなネットワークとして、fMRI および MEG/EEG 実験により全脳で探索した。

脳活動計測中、各被験者は色・単語の 2 重ストロープ課題を計 100 試行、行なった。試行間の干渉を抑えるため、各試行は 30-50 秒の間隔を挟む疎かつランダムなタイミングで事前手がかり無しに提示された。脳活動データを自発的結合ネットワークに分解し、各試行直前の活動が各試行の応答時間を統計有意に予測するネットワークを、「認知的かまえ」の神経基盤として同定した。

### (2) 持続的 HAI に関わる神経基盤の解明

仮想エージェントとの HAI 時の脳活動を fMRI で計測し、インタラクションとともに動的に変化するヒトの認知・情動（動機づけ）的プロセスの神経基盤を探る実験を行った。

被験者はボタン押しに対してジェスチャを返す仮想エージェント（異なる適応性を持つ 3 種類）と交互インタラクションを行なった。インタラクションの目的は指定せず、自らの興味・関心に応じて自由に行なってもらった。インタラクションのログに基づき①「思い通りの応答をさせた」時に高まる内発的報酬、②「相手にとって予想外となりそうなアクションを選んだ」時に高い探索意図、③「現在のやりとりが平均してどれだけ予想可能か」を表す文脈の統制感、などの被験者の内的状態を情報理論的モデルにより見積り、その時間変化に対応する活動を示す脳領域を探索するモデルベース解析を行った。



### fMRI 課題：仮想エージェントとの HAI

### (3) ヒト集団コミュニケーション脳同調

日常生活で行われるグループディスカッションのような言語的集団コミュニケーションが脳活動に与える影響を調べ、コミュニケーション状態が個人間での脳活動の関係性に反映されることを検証する実験を行った。

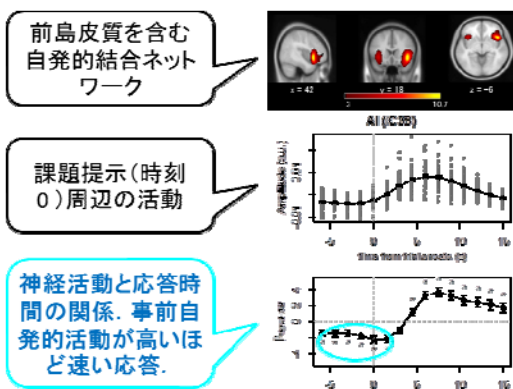
4 人グループの被験者がテーブルを囲んで着座し、一種のしりとり課題を行なった。課題の目的は、グループ内で協力して、なるべく長い言葉のつながりを実現することと指示した。課題セッションは、グループで回答順序自由のしりとり課題を行っているコミュニケーションフェーズと、個別にしりとり課題の続きを頭の中で行う独立フェーズと

に分けられた。社会認知およびコミュニケーションへの関与が示されている前頭前野内側部の活動を各グループのメ参加者に対して超小型 fNIRS で同時記録した。個人間の脳活動関係性の強さを Granger causality 解析および wavelet transform coherence 解析で定量化し、フェーズ間で比較した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 脳活動ゆらぎからの認知的かまえ読取り

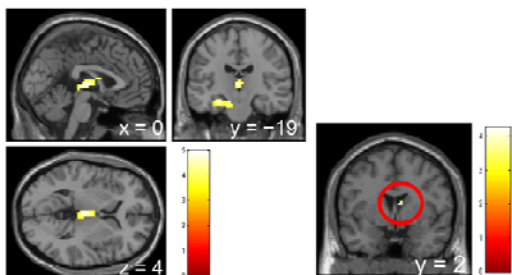
実験の結果、前島皮質、前帯状回などを含むサリエンスネットワークと、前頭前皮質背外側部などを含む前頭頭頂ネットワークは、課題直前の活動が高いほど速やかに応答できるという正の「認知的かまえ」を示した。逆に、前頭前皮質内側部などデフォルト・モード・ネットワークを構成する領域の一部では課題提示時の活動が高いほど応答が遅れるという負の「認知的かまえ」を示した。



##### 正の「認知的かまえ」ネットワークの例

これら神経ネットワークの活動から、注意や「認知的かまえ」の変動をオンラインでモニタすることが可能になる。これはヒトの知的活動の効率促進や安全性向上への応用に加えて、HAI やヒト同士のインタラクションへの関与の持続を評価/支援するうえでも重要な情報を与えると期待できる。

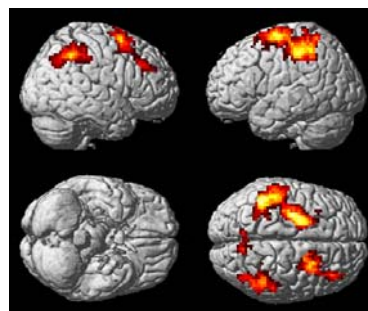
##### (2) 持続的 HAI に関わる神経基盤の解明



##### HAI 内発的報酬と活動が正に相関する領域

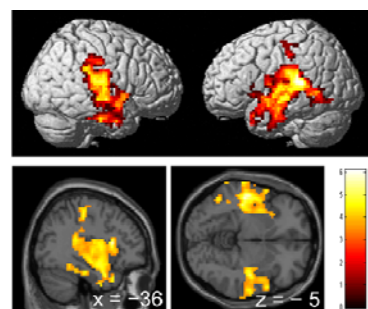
自らのアクション選択によって「狙いどおり」の応答をエージェントから得たときに高

い値をとる「内発的報酬」に対して正に相関する活動を示す領域として、視床、海馬、尾状核の活動も内発的報酬と正に相関することを見出した。これらは、相手を狙いどおりに操作することが、HAI における内発的動機付けとして機能するという我々の仮説を支持するものである。社会的相互作用での報酬系の賦活を示すこれまでの研究はあくまで外的報酬に駆動するインタラクションを扱っており、エージェントとの動的なインタラクションのあり方だけから報酬を感受していることを示すこの結果は独自なものである。



##### HAI 探索意図と活動が正に相関する領域

エージェントの予期を裏切ると予想される探索・逸脱的なアクションを選択するとき高い値をとる「探索意図」に対して正に相関する活動を示す領域として、背側注意ネットワークを構成する頭頂間溝および前頭眼野、楔前部を同定した。頭頂間溝は、とくに新しい可能性の探索を選ぶ意思決定への関与が報告されている。相手を驚かすような逸脱的・探索的なアクションを選択する際には、未来のインタラクションに活かすため相手のリアクション・フィードバックによりフォーカスするよう注意が働くというプロセスを本結果は捉えていると解釈される。



##### HAI 文脈統制性と活動が負に相関する領域

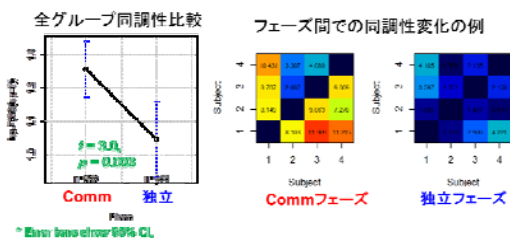
より長い時間スケールの文脈的統制性と負に相関する活動を示す領域、すなわち相手との関係が自分の制御から離れており予測・制御がうまく働かない時ほど強い活動を示す領域として、上側頭回、側頭頭頂接合部および島皮質を同定した。上側頭回から側頭頭頂接合部は社会認知への関与領域として広く支持されている。また、意思決定の文脈で、必要な努力と期待される報酬が釣り合わないストレスフルな状況で両側島皮質が賦活

することが示されている。これらより、本結果は相手との関係性が制御できない状況で相手の意図を探ろうとする努力やストレスなど、持続的 HAI において挑戦的に（時にネガティブに）作用しうる認知プロセスを反映していると解釈できる。

以上を総合し、本実験では HAI に伴う 3 つの認知的・動機的ダイナミクスの神経基盤にフォーカスした。被験者の内部状態の推移をインタラクションログからモデルに基づき推定し、それらと脳活動との相関を見ることで、各プロセスがいつ、脳のどこで働くかを明らかにした。得られた結果は、脳活動計測を通じて、より楽しく持続する気になる HAI をデザインするのに役立てることができる。また、人同士の社会的コミュニケーションの動的な変化についても定量的、モデル的な観点から新たなアプローチの可能性を提供するものである。

### (3) ヒト集団コミュニケーション脳同調

実験の結果、コミュニケーションフェーズでは独立フェーズと比較して、個人間の脳活動同調的関係性強度が有意に高まるということが明らかにされた。さらに解析手法の工夫により、信号の同調性が外的なアーティファクトに依るものではなく確かに脳活動に由来するものであること、非定常な脳活動同調性の変化がコミュニケーションのあり方と関連することも確立できた。



### コミュニケーションによる脳活動同調促進

この結果は、脳活動からコミュニケーションの質や共感といったインタラクションで生じる創発的な特性にアクセスできる可能性を示しており、エージェントを介したヒト同士のインタラクションといった工学応用を考えるうえでも有効な評価/支援手法になると期待される。

以上、目的(1), (2), (3)についての本研究の成果は持続的 HAI の実現に向けて本質的な関心・関与のダイナミックな変動の神経基盤を明らかにし、また日常環境でのコミュニケーション/インタラクションに伴うこれらプロセスの読み取り技術を確立したものと言える。これらを受けて、エージェントをは

じめとする実環境で使用される情報システム・人工物への持続的関与を促進するための応用研究開発を続けている。

### 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 1 件)

- ① Nozawa T, Sugiura M, Yokoyama R, Ihara M, Kotozaki Y, Miyauchi CM, Kanno A, Kawashima R "Ongoing activity in temporally coherent networks predicts intra-subject fluctuation of response time to sporadic executive control demands" PLoS ONE, 査読有, (2014) in press doi: 10.1371/journal.pone.0099166

[学会発表] (計 5 件)

- ① 野澤孝之, 川島隆太, 『超小型 NIRS を用いた集団コミュニケーション時の脳活動同調の計測』, 第 14 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2013), 2013 年 12 月 20 日, 神戸
- ② Nozawa T, Kawashima R, "Collective brain synchrony in real-life social situations: measured using ultra-compact fNIRS", Tenth International Conference on Flow Dynamics (ICFD2013), 2013 年 11 月 26 日, 仙台
- ③ Nozawa T, Sugiura M, Ihara M, Kotozaki Y, Miyauchi C M, Yokoyama R, Kanno A, Sakuma A, Kanoh S, Kawashima R, "Neural basis of cognitive and motivational dynamics relevant to sustainable human-agent interaction: an fMRI study", Society for Neuroscience 43rd Annual Meeting, 2013 年 11 月 10 日, アメリカ・サンディエゴ.
- ④ Nozawa T, Sugiura M, Ihara M,

Kotozaki Y, Miyauchi C M, Yokoyama R, Kanno A, Sakuma A, Kanoh S, Kawashima R, “Slow fluctuations of BOLD signals in task-positive and default mode networks predict intra-subject variance of cognitive performance”, Society for Neuroscience 41th Annual Meeting, 2011年11月12日, アメリカ・ワシントンD.C.

- ⑤ 野澤孝之,『脳活動のゆらぎとその認知的効果：個人のパフォーマンス変動から脳間コミュニケーションへ』, 計測自動制御学会 共創システムシンポジウム2011, 2011年10月12日, 東京

[その他]

東北大学加齢医学研究所応用脳科学研究分野ホームページ

[http://www.idac.tohoku.ac.jp/ja/activities/research/smart\\_aging\\_brain/index.html](http://www.idac.tohoku.ac.jp/ja/activities/research/smart_aging_brain/index.html)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

野澤 孝之 (NOZAWA, TAKAYUKI)  
東北大学・加齢医学研究所・助教  
研究者番号：60370110