

3-2 社会行動を支える脳情報処理の理解と応用 – 社会脳 –

3-2 Brain Mechanisms Underlying Human Social Behavior: The Social Brain

春野 雅彦

HARUNO Masahiko

ICTの飛躍的な発展により、私たちは物理空間の制約を超え巨大で多様化した社会ネットワークの中で生きている。しかしながら、どれだけ技術が進んでもユーザーである人間は生物であり、機械とは異なる人間特有のやり方で意思決定を行い、他者とのインタラクションで様々なストレスを受ける。人間の「社会脳」を詳しく知ること、人間に優しい協力的な社会ネットワークの実現や、ストレスやパーソナリティの予測に基づく人間の能力の拡張などが可能になると期待される。本稿では、このような目標に向かって我々が行っている「社会脳」の研究について紹介する。

Rapid developments of Information and Communication Technology freed us from physical constraints of the society and enabled us to enlarge and diversify the society. However, humans are still a biological creature: we make social decisions in a human-specific manner and social interaction sometimes causes us a stress. In this paper, we will showcase our research effort which aim to elucidate neural information processing underlying human social behavior, and to predict various individual differences in social interactions such as the stress level and attitudes towards others.

1 まえがき

ICTの飛躍的な発展により、ZoomやTwitter、最近ではメタバースなどサイバー空間のコミュニケーションが日常的となり、私たちの社会ネットワークは物理的制約をはるかに超え、ますます巨大なものとなっている。しかし、人間はやはり生きものであり、機械とは異なる人間特有のやり方で社会的な意思決定をし、社会とのやりとりから様々なストレスを受けている。実際、サイバー空間のコミュニケーションにおいて、ユーザーの持つ孤独感や攻撃性の問題も指摘さ

れている。本稿では私たちが行っている「社会脳」のメカニズムを詳しく知り、その知見を人間のパーソナリティやストレスの予測に応用する研究をいくつか紹介する。

社会脳に対する我々のアプローチでは、MRIデータを中心とする社会行動中に計測する脳活動データと共に、オンライン実験で収集する大量の行動・パーソナリティデータ及びSNSやメタバースなどサイバー空間の実社会行動データを収集する(図1)。脳活動データとこれらの行動ビッグデータを一緒に解析することで、現実の社会行動を反映し、信頼性の高い知見が得られることが期待される。以下では、このアプローチの例として、人間同士が協力する際の主要な動機である不平等回避と罪悪感回避の脳内メカニズムに関する研究、不平等に対する脳活動パターンからうつ病傾向を推定する研究、SNSデータからユーザーの様々なパーソナリティや属性を予測する研究について説明する。

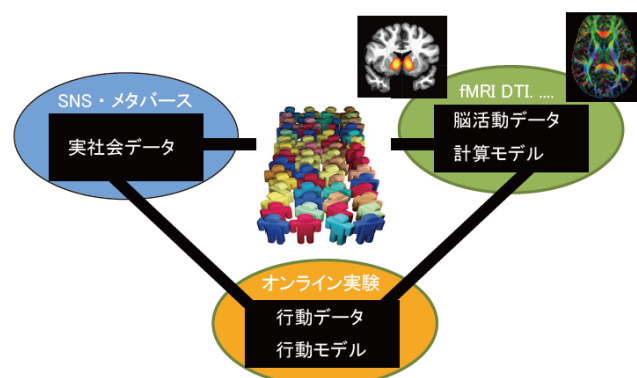


図1 社会脳研究における我々のアプローチ

2 罪悪感回避と不平等回避の脳内メカニズム

人間社会を支える最も重要な基礎として協利行動がある。人間はなぜ協利するのか？ この問いには長年多くの研究者が取り組んできた。しかしこの問題に脳

3 ICTの最適化のための脳情報通信技術

科学が答え始めたのは実は驚くほど最近のことである。当初は、「自分の取り分を増やしたいと活動する古い脳（皮質下）の働きを、理性的な新しい脳（前頭前野）が抑制することで協力が生じる」とする説が支配的であった。実際、前頭前野が協利行動に関わるという報告も数多くある。一方で、私たちは、皮質下の脳構造も大脳皮質とともに協利行動に寄与することを報告してきた[1]。ここでは、“不平等”とともに、その重要性が指摘される“罪悪感”に着目して我々が行ってきた研究を紹介し、社会脳における前頭前野と皮質下領域の機能について考える。

不平等は文字通り、自分と相手の取り分の差である。不平等を減らす行動を選ぶことを、不平等回避と呼ぶ。一方、罪悪感、自分の行動が相手をはっきりさせる程度を示す。具体的には、相手の期待と自分の行動から生じる結果の差で定義される。つまり、罪悪感、自分の行動に対する相手や社会の反応を先読みする能力であり、人間に固有の巨大な社会の形成やコミュニケーション能力の進化に大きな意味を持ってきたと考えられている。罪悪感を減らす行動を選ぶことを、罪悪感回避と呼び、2006年に経済学の分野に導入された概念である[2]。

我々は、信頼ゲームと呼ぶ新しい課題を考案し、不平等回避と罪悪感回避の脳内基盤を同定するためのfMRI実験を行った(図2)[3]。信頼ゲームは、2名のプレイヤーA、Bがペアとなって行い、まずプレイヤーAがゲームへの参加・不参加かを決定し、次にプレイヤーBが協利するかしないかを決定する。プレイヤーA、Bは、選択肢に応じて異なるお金を受け取る。なお、参加を選ぶプレイヤーAには、プレイヤーBが協利するかどうかの期待確率を0-100%の間、10%刻みで答えてもらう。つまり、プレイヤーBは、協利する場合としない場合のA、Bの配分額と、Aによる期待確率を知った上で行動を決める(図2)。実験参加者

には期間を置いて、A、B両方の役割を行ってもらった。まずは、参加を希望するプレイヤーAにプレイヤーBに対する協利の期待確率を答えてもらった数日(平均8日)後に、今度は、fMRI装置の中でプレイヤーBとして協利・非協利を選択することを、毎回異なるプレイヤーAを相手に45回行ってもらった。

信頼ゲームでは、Aへの配分額を、Bが協利する時が最も多く、次に、Aが参加しない時、Bが協利しない時の順になるよう設定した。一方、Bへの配分額を、協利しない時が最も多く、次に、協利する時、Aが参加しない時の順になるよう設定した。Aが参加を選択する場合、Bに協利について信頼を寄せることとなり、また、Bは、非協利を選択する時、信頼を裏切り、高い配分を受けるので“罪悪感”を感じる。これらの配分額を試行ごとに適切に設定することで、fMRI実験中にプレイヤーB(つまり実験参加者)が感じる“不平等”と“罪悪感”の程度を別々に操作することが可能となる。

図2に示した試行では、B、すなわち実験参加者が協利した時のAとBの取り分はそれぞれ800円と650円、Bが非協利を選択した時のAとBの取り分はそれぞれ200円と910円である。このとき、Bが感じる“不平等”は、A、Bの取り分の差の絶対値から算出でき、協利する時 $800-650=150$ 円、非協利の時は $910-200=710$ 円である。一方、AがBに対して80%を期待した時、Bの協利時のAが期待する取り分は800円の80%すなわち640円分と200円の20%すなわち40円を足した680円で、したがってBの非協利時にBが感じる“罪悪感”は、Aの期待(680円)から非協利時のAの取り分200円を引いた480円になると考えられる。

図3は、45回の各試行で、自分の報酬、罪悪感、不平等について協利の場合から非協利の場合を引いた値を横軸に、その試行で協利を選んだプレイヤーBの割合を縦軸に示す。この図から不平等と罪悪感が自分の報酬額と同じように協利行動の選択に大きく影響する

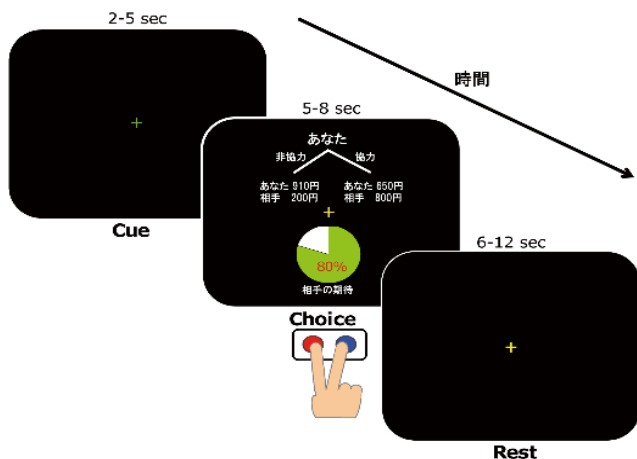


図2 信頼ゲームで実験参加者が見る画面

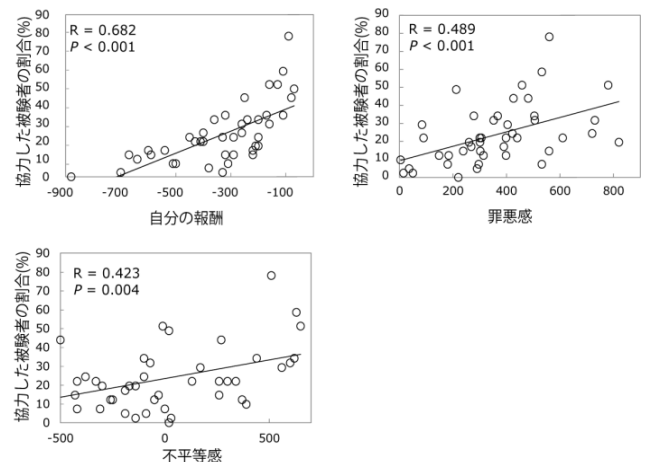


図3 自分の報酬、罪悪感、不平等(横軸)とその条件での協利者の割合(縦軸)

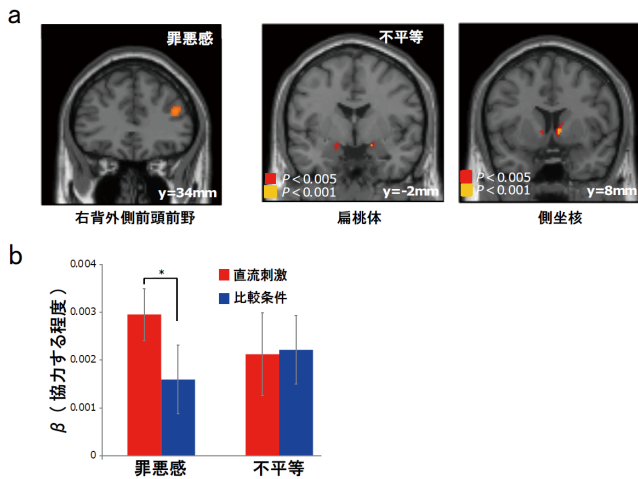


図4 fMRIの結果と経頭蓋直流電流刺激の結果

ことが確認でき、人間の社会的意思決定において不平等と罪悪感が持つ重要性を示唆している。

こうして試行ごとに計算した罪悪感と不平等の値を用い、脳の中で罪悪感と不平等と相関する活動を示す部位を探索した(図4 a)。その結果、右背外側前頭前野が罪悪感と、扁桃体と側坐核が不平等と相関する脳活動を示した。これらの結果は同じ協力行動を生む動機であっても、罪悪感回避と不平等回避では関与する神経ネットワークが異なることを示す。相手の意図とがっかり度を推定する罪悪感回避では、より認知的な前頭前野が強く関与すると解釈できる。

ここまでの結果は罪悪感回避/不平等回避と脳活動の相関関係を示すが、必ずしも右背外側前頭前野が罪悪感回避を生むことは意味しない。そこで、経頭蓋直流電流刺激とよばれる大脳皮質に乾電池程度の直流電流を流す手法を用いて右背外側前頭前野の脳活動を修飾する実験を行った(図4 b)。その結果、直流電流刺激を行った条件では、電極を頭皮に装着しただけの比較条件と比べ、罪悪感回避が有意に上昇した。一方で、不平等回避は変化しなかった。この結果は右背外側前頭前野が罪悪感回避にのみ因果的に関与することを示す。

現在の社会ではジェンダーに係る課題が顕在化していて、社会脳の働きや行動選択に影響している可能性がある。実際の社会を分析する上でそのようなジェンダー差の定量化が役立つであろう。実際、多くの先行研究が不平等回避にジェンダー差があることを報告している[4]。多くの文化において、平均的には女性の方が男性より不平等回避の傾向が強いというのである。それでは、不平等回避に見られ女性優位は協力行動全般に成り立つのだろうか、それとも不平等回避に特有なのだろうか。このような問いに答えるには大量の行動データを収集できるオンライン行動実験が適して

いる。

我々は、信頼ゲームを用いて不平等回避と罪悪感回避のジェンダー差を調べた。最初に52名の実験参加者(男性26名、女性26名)によるfMRI実験を、次に4043名の実験参加者によるオンライン行動実験を実施した[5]。その結果、不平等回避については、fMRI実験とオンライン行動実験の両方で、平均的には女性の方が男性より高く、先行研究を支持する結果であった。一方、罪悪感回避では平均的に男性の方が女性より高かった。これらの結果は、女性が男性より一概に協力傾向が高いわけではなく、ジェンダー差はそれぞれの動機に応じて異なる可能性を示唆する。加えて、韓国、英国といった文化や社会構造が異なる国々から実験参加者を募り、同様に信頼ゲームを用いたオンライン行動実験を行った。日本と同様の結果を得たが、詳細は原著論文を参照されたい[5][6]。そのほかにも、ジェンダー差がどのようなパーソナリティの違いから生じるのか等を明らかにすることができるオンライン実験の有効性は高まっており、今後ますます活用が進むであろう。

3 扁桃体の不平等に対する活動パターンから将来のうつ病傾向を予測

いくつかのコホート研究(人々の質問票や行動を追跡調査する研究)で、経済的な不平等とうつ病症状の相関関係が示されてきた。この知見から、我々は不平等に対する扁桃体の脳活動パターンから現在と将来のうつ病傾向を予測できないかと考え、実験を行った[7]。

実験課題(最終提案ゲーム)では、最初に提案者がお金の分配を提案し(例えば提案者自身に269円、返答者に232円)(図5 a)、次に返答者がその提案を受入れるか拒否するか決定する。返答者が受け入れればお金は提案通りに分配され、拒否すればどちらの取り分も0円となる。もし自分の取り分をできるだけ多くすることを考えるなら、どんな提案でも受入れる方が有利であるが、実験参加者は取り分が20%より少ない不平等な条件では拒否することが多くなる。提案が示される段階での不平等に対する脳活動を調べたところ、先行研究と同様に扁桃体の活動が見られた(図5 b)。実験参加者にはこのfMRI実験の同時期と1年後の2回、Beck Depression Inventory II (BDI)といううつ病傾向テストを受けてもらった。

取得したfMRIデータの扁桃体と海馬のデータに不平等に対する脳活動パターンからうつ病傾向を予測する機械学習手法を適用した。その結果、現在と1年後のうつ病傾向を予測できることを見いだした(図5 c)。不平等とうつ病傾向をつなぐこの知見は、不平等が人

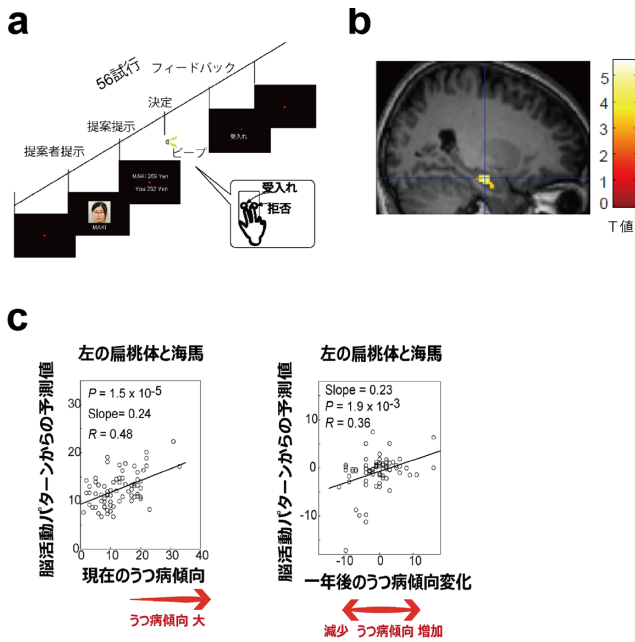


図5 不平等に対する扁桃体の脳活動パターンから現在と将来のうつ病傾向を予測 a 実験参加者と提案者のお金の分け方に関する提案を受入れるか拒否するかを決める最終提案ゲーム b 最終提案ゲーム中の不公平に対する扁桃体/海馬の活動パターン c 各実験参加者(1つの○)の不公平に対する左扁桃体/海馬の活動パターンから現在(左)と1年後(右)のうつ病傾向を予測した結果、実測値(横軸)と予測値(縦軸)の間に正の相関が見られ予測が可能であることを示す。

間の心の状態に大きな影響を及ぼすこと及び扁桃体がその過程に関与することを示唆している。

4 SNS データからのパーソナリティや属性の予測

SNSは現代社会に欠かせないコミュニケーションのツールであり、その使い方には個人による差がある。実際、先行研究ではこの違いに着目し、FacebookやTwitterユーザーが入力したテキスト情報からそのユーザーのパーソナリティ特性であるBig5を推定できると報告している。Big5とは、人間のパーソナリティを大きく5つのタイプに分類した研究成果に基づく基本的な性格分類である。しかし、推定可能なパーソナリティの範囲、推定に有効な情報の詳細はよく分かっていない。このような状況のもと、我々が収集したTwitterデータと様々なパーソナリティ(と属性)のデータ(図1)を用いて、SNSのどのような情報から、どんな種類のパーソナリティが、どの程度の精度で推定できるのかを調べる研究を行った(図6)[8]。

239名(男性156名、女性83名、平均年齢22.4歳)

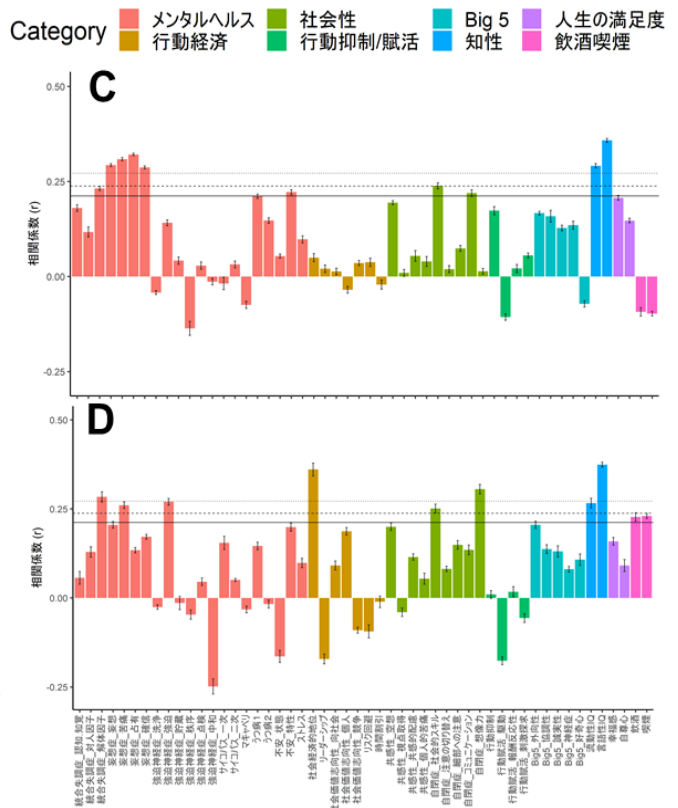
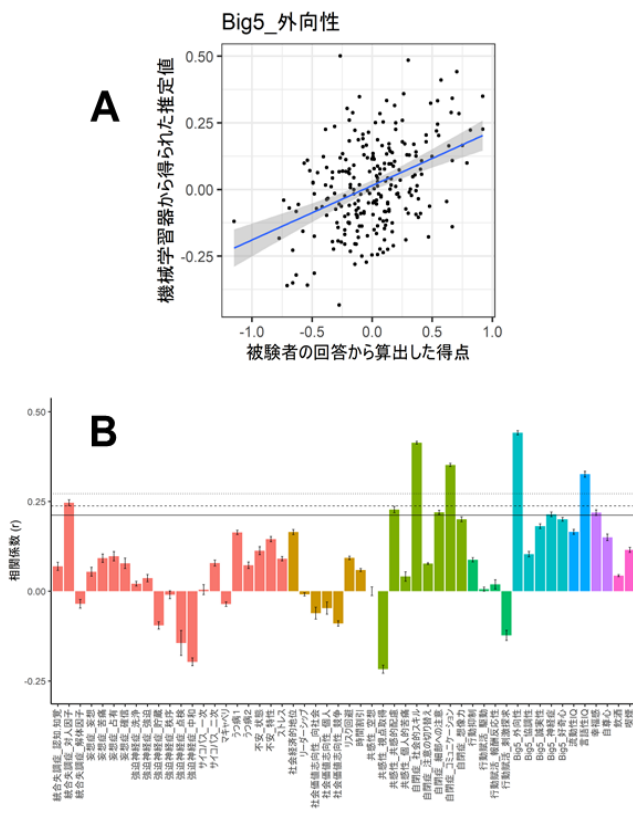


図6 Twitter情報から幅広いパーソナリティを推定
A: 実験参加者のBig5外向性に関する実際の得点と推定値、B: ネットワーク情報からの推定結果、
C: 言語統計情報からの推定結果、D: 使用単語情報からの推定結果
横軸はパーソナリティ(と属性)の種類、縦軸の推定精度の評価は実際のスコアと推定値の相関係数で行い、
図中の実線、破線、点線はそれぞれ $p = .05/2$, $p = .01/2$, and $p = .001/2$ の基準を示す

の Twitter ユーザーに実験に参加してもらい、24 種類 (下位区分 52 種類) のパーソナリティテストに答えてもらった。このデータを同じ実験参加者の Twitter データから推定することを試みた。より具体的には、Twitter 中の、ネットワーク情報、言語統計情報、使用単語情報、Tweet の時間情報を用いて推定を行った。

その結果、52 種類の下位区分のうち 23 種類のパーソナリティが推定可能であった。図 6 A は Big5 の外向性の推定結果を示し、個々の実験参加者に対し、横軸に示す実測値と縦軸に示す推定値の相関係数は 0.44 と、正の相関が見られる。

結果をより詳細に分析すると、ネットワーク情報が、Big5 の外向性、共感性、自閉傾向など社会性に関するパーソナリティをよく推定し (図 6 B)、言語統計情報と使用単語に関する言語情報が、不安傾向、うつ傾向、統合失調傾向などメンタルヘルスや社会経済的地位、喫煙／飲酒に係るパーソナリティを推定した (図 6 C と図 6 D)。一方で、時間情報による推定は他の情報に比べると難しく、IQ は 4 種類の情報全てから推定できた。

この研究により、SNS の情報から幅広いパーソナリティが推定可能であること、SNS の情報に応じて推定可能なパーソナリティが異なることを明らかにした。一方で、推定可能なパーソナリティにおける実測値と推定値の相関係数は 0.25 程度であった。この相関係数の値は、個人のパーソナリティを正確に特定するには不十分であるが、ある程度の人数の集団に適用し、集団の統計的な性質を議論するには有効なレベルであると考えられる。

5 今後の展望

本稿では、社会課題を実施中の脳活動データ中心に、大量の行動・パーソナリティデータと SNS などサイバー空間の実社会行動データを収集し、総合的に解析する社会脳の研究を紹介した。このアプローチは、脳活動データと行動ビッグデータを総合的に解析することで、実験で得られた知見が現実社会で果たす役割を検証することを可能にする。

今後はこのアプローチを様々な社会問題に適用するとともに、1 対 1 を基本とする社会関係だけでなく、集団内に存在する支配階層など実社会が持つより複雑な構造が社会行動に及ぼす影響をモデル化する必要がある。また、今後の仮想空間においては、1 人のヒトが多重の役割を担うことが増加する。このような多重世界を脳がどう作り、どう処理するのか、また多重世界の処理で脳がどう変わるのか、これらの問いに答えることも今後の社会脳研究に課せられた重要な課題であろう。

謝辞

様々なご支援を頂いた多田聡さん、服部美智子さんに感謝します。またオンラインでのデータ取得をご支援頂いた情報システム部の皆様に感謝します。

【参考文献】

- 1 M. Haruno, C. Frith, "Activity in the amygdala elicited by unfair divisions predicts social value orientation," *Nature Neuroscience*, vol.13, no.2, pp.160–161, 2010.
- 2 R. Croson and U. Gneezy, "Gender differences in preferences," *Journal of Economic Literature*, vol.47, no.2, pp.448–474, 2009.
- 3 T. Nihonsugi, A. Ihara, and M. Haruno, "Selective increase of intention-based economic decisions by noninvasive brain stimulation to the dorsolateral prefrontal cortex," *Journal of Neuroscience*, vol.35, no.8, pp.3412–3419, 2015.
- 4 G. Chartrand and M. Dufwenberg, "Promises and partnership," *Econometrica*, vol.74, Issue 6, pp.1579–1601, 2006.
- 5 T. Nihonsugi, T. Tanaka, and M. Haruno, "Functional connectivity basis and underlying cognitive mechanisms for gender differences in guilt aversion," *eNeuro*, vol.8, no.6, 2021.
- 6 T. Nihonsugi, T. Tanaka, and M. Haruno, "Gender differences in guilt aversion in Korea and the United Kingdom," *Scientific Reports*, vol.12, pp.1–10, 2022.
- 7 T. Tanaka, T. Yamamoto, and M. Haruno, "Brain response patterns to economic inequity predict present and future depression indices," *Nature Human Behaviour*, vol.1, no.10, pp.748–756, 2017.
- 8 K. Mori and M. Haruno, "Differential ability of network and natural language information on social media to predict interpersonal and mental health traits," *Journal of personality*, vol.89, no.2, pp.228–243, 2021.

春野 雅彦 (はるの まさひこ)

未来 ICT 研究所
脳情報通信融合研究センター
脳情報工学研究室
室長
博士 (工学)
計算論的神経科学、社会脳科学、意思決定理論