

対人的文脈が意思決定に与える影響の計算論的研究

学位論文内容の要旨

近年、インターネットや携帯電話などの新たなコミュニケーション媒体の登場により、コミュニケーションの様式が多様になってきている。これらの新しいコミュニケーションの媒体は、素早く他者に情報を伝達することが可能であるなど非常に利便性が高い反面、コミュニケーションにおける他者との直接的な対人的インタラクションが減ってしまうことが、社会性の発達に何らかの問題を与えるのではないかと危惧されている。しかしこれまでの研究では、対人的か非対人的かといった対人的文脈に応じて脳の情報処理がどのように変化するのか、科学的な観点から厳密には考慮されてこなかった。そこで本研究では、**matching pennies game** という単純なゼロサムゲームにおける意思決定を、実験的手法と理論的手法を組み合わせることで、計算論的に分析することで、対人的文脈に応じて被験者の意思決定、そしてその背後にある情報処理がどのように変化するのかのモデルを構築した。

第一章では、コミュニケーションについてこれまで様々な分野で行われてきた研究を概観した上で、これまでに行われてきた研究の問題点について指摘する。具体的な問題点としては、これまでの多くの実験研究はコミュニケーション能力を「心の理論」などといった独立した情報処理として扱う傾向が強く、他の認知実行機能、例えば運動や意思決定、知覚や認識などとの連続性については議論されることが少なかった。しかし実際には我々の日常においては対人的文脈というもの目まぐるしく変化していき、そのたびに情報処理のコンポーネントを対人・非対人と切り替えるのは不効率であり、むしろ意思決定に用いる情報処理の性質を対人的文脈に応じて調節する、というメカニズムが必要であるという仮説を提案する。

第二章では、文脈が意思決定のような高次な情報処理にも大きな影響を持つと想定し、人間の意思決定モデルとして、環境の変化を検出し、意思決定にともなう方略を切り替えるモデルを設定した。具体的には対人的文脈に応じて環境変化への敏感さが構えとして調整されるとした。隠れ状態が多く、それらが動的に変化する対人的文脈においては環境変化への敏感さを高くするのが適切であるが、静的な非対人的文脈においては、無駄な方略の切り替えを防ぐために環境変化への敏感さを低く抑えることが必要である。この仮説を検討するため、単純に、表面的な行動や脳活動を計測するだけでなく、行動の解析法を工夫する必要があることを論じた。

第三章では、今回の研究に用いたゼロサムの対戦ゲームである **matching pennies game** について説明する。そして **matching pennies game** における被験者の行動を、エントロピーを用いて解析する行動解析法を提案した。そして途中で行動選択ルールを切り替えてくる対戦相手に対して、被験者の行動がどのように変化するのかを本手法を用いて解析し、提案した解析法の有用性を示した。

第四章では、被験者の対戦相手は常に同一のコンピュータに固定し、被験者が認識する対人的文脈を実験条件間で変化させた。その結果、実際には被験者は常に同じ対戦相手とゲームを行っているのにも関わらず、行動のエントロピーが対人条件では大きくなり、対コンピュータ条件では小さく

なった。またコミュニケーション能力に問題があると考えられている自閉症の被験者で同様の検討を行ったところ、その傾向は表れなかった。この実験結果から、我々の脳内には対人的文脈に応じて意思決定を調整するメカニズムが存在し、さらにコミュニケーションに困難を抱えている自閉症の被験者ではこのようなメカニズムの働きが弱いことを示した。

第五章では、第四章で得られた実験的知見にもとづいて計算モデルを構築した。まず環境の変化への敏感さを閾値というパラメータで定義し、環境の性質に応じてどのような閾値が適切であるかを検討した。その結果、隠れ変数が存在し、それが変化する動的環境においては高い閾値が有効であるが、あまりにも高い閾値はノイズの影響を受けてしまい逆にパフォーマンスが低下してしまうこと、逆に隠れ変数が存在しない環境においては閾値を小さくした方がパフォーマンスが安定することを示した。そして対人条件では閾値を大きく、対コンピュータ条件では閾値を小さくすることで、行動実験と同様の結果を再現できることをシミュレーションにより示した。

第六章では、神経生理学的観点から第五章で述べたモデルの脳での実在について議論した。具体的には **Feed Back Negativity(FBN)** という **Conflict** に対応して生じる事象関連電位成分と **P300** というフィードバックへの注意量の高低を反映すると考えられてる事象関連電位成分が、**matching pennies game** における対戦相手のルール学習に応じてどのように変化するかを調べた。その結果、**FBN** の振幅はルール学習によらず常に一定であったが、**P300** の振幅はルール学習に応じて動的に変化することを示した。そして、これらの知見と、前述の計算モデルとの対応について考察した。

第七章では、実験結果を説明可能な提案モデル以外の解釈についての議論、我々のモデルと脳との対応についての議論、そして対人的文脈に応じて脳の情報処理を調整するシステムが子供の発達に応じてどのように出来上がっていくのかの議論を行なった。そして本研究の成果を、コミュニケーションの基礎となる対人インタラクションの計算モデルを実験的な裏づけにもとづいて提案したこととし、このようなモデルが今後、どのような社会貢献につながるかについての展望を行った。

そして第八章で論文をまとめる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 栗 原 正 仁
副 査 教 授 大 内 東
副 査 教 授 和 田 充 雄
副 査 准教授 山 内 康 一 郎
副 査 教 授 大 森 隆 司 (玉川大学脳科学研究所)

学位論文題名

対人的文脈が意思決定に与える影響の計算論的研究

対人コミュニケーションは多くの情報機器やロボット等で求められる基本技術である。これまで多くの機器設計場面では、機器の操作やインターフェースは技術者の経験則に基づいて設計されてきたが、これからは人間の対物・対人コミュニケーションの内部過程の理解のもとでの設計が望ましく、そのための人間のコミュニケーションの理解が必要とされている。本研究は、そのような人間のコミュニケーションのうちの非言語の対人インタラクション場面に注目し、その場面における人間の行動決定に影響を与える要因としての対人認識の効果を、行動実験と計算モデルの構築により明らかにすることを目的としている。

本研究は対人インタラクションを、対人的か非対人的かといった対人的文脈に応じた脳の情報処理過程の変化として、計算論的な視点から従来の方法よりも精密に定式化している。そのため本研究では、単純なゼロ和ゲームとなっているコイン当てゲームを使用し、そのゲーム場面における被験者の意思決定過程について、実験的方法とモデル的方法を組み合わせ、対人的文脈に応じた被験者の意思決定の背後にある情報処理の計算モデルを構築している。

第一章は序論であり、研究の動機及び情報理論におけるコミュニケーションの定義を述べた後、対人コミュニケーションに関する様々な分野の先行研究の手法が内在する問題点を指摘している。それに対して本論文は、意思決定に用いる情報処理の性質を対人的文脈に応じて調節するメカニズムとして捉えることを提唱している。

第二章では、文脈は意思決定のような高次情報処理に影響力があると仮定し、人間が環境の変化を検出して意思決定の方略あるいはその特性を切り替えるモデルを考案している。対人的文脈と非対人文脈では必要とされる環境変化への敏感さが異なるとし、動的な変化が必要とされる対人的文脈では、環境変化への敏感な対応が適切だが、静的で変化の少ない非対人的文脈では、環境雑音に依存する無駄な方略切り替えを防ぐために環境変化への敏感さを抑えるモデルとしている。

第三章では、行動実験に用いたコイン当てゲームについて説明し、そのゲームにおける被験者行動をエントロピーにより解析する手法を提案している。そして、途中で行動選択ルールを動的に切り替える対戦相手に対する被験者の行動変化をその手法を用いて解析し、その有用性を示している。

第四章では、同一のコンピュータプログラムで被験者に対戦させながらインストラクションで被験者の対人的文脈の認識を変える実験について説明している。被験者は常にランダムに手を打ってくる同じ対戦プログラムと対戦しているにも関わらず、行動のエントロピーは対人条件では大きく、対コンピュータ条件では小さい。コミュニケーション能力に問題があるとされる自閉症の被験者では、この傾向は表れない。その結果から申請者は、人間の脳内には対人的文脈に依存して意思決定の特性を変化させるメカニズムがあり、さらに自閉症の被験者ではその働きが弱いことを示している。

第五章では、ここまでの知見に基づき行動決定に関する計算モデルを構築している。そのモデルでは、環境変化への敏感さを閾値と課題パフォーマンスの差として表現し、環境の文脈的特性に対応した閾値の値について議論している。また、実験により、相手に戦略のような隠れ変数がある動的環境ではある程度高い閾値が有効だが、高すぎる閾値はかえって効果が低下すること、隠れ変数がないと想定される静的環境では低い閾値で安定した効果が得られることを示している。

第六章では、脳科学、特に神経生理学的立場から、前章で提案したモデルの脳での実在性について論じている。感覚入力の矛盾に対応するとされる **Feed Back Negativity(FBN)** と、フィードバックへの注意量の高低に対応するとされる **P300** という二つの事象関連電位成分が、コイン当てゲームにおいて対戦相手の用いるルールの学習に応じてどのように変化するか調べ、その結果、**P300** の振幅は学習に応じて動的に変化するが、**FBN** の振幅はルール学習に関わらず一定であることを示している。

第七章では、この論文で述べた実験結果について可能な他の解釈、脳における提案モデルの実在、及び子供の発達過程に伴う対人的文脈での脳処理調整システムの変化について論じている。そして第八章で論文をまとめている。

これを要するに、著者は、対人的文脈が人間の意思決定に与える影響とその計算論的解釈についての新知見を得たものであり、人間のコミュニケーション過程の計算モデル化に関して、知能情報学に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(情報科学)の学位を授与される資格あるものと認める。