

氏名（本籍）	新國 彰彦（福島県）
学位の種類	博士（保健医療科学）
学位記番号	博甲第8号
学位授与年月日	平成27年3月19日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	保健医療科学研究科
学位論文題目	知覚における確信度の計算メカニズム

学位審査委員

主査	茨城県立医療大学教授	博士（保健学）	富田 和秀
	茨城県立医療大学教授	博士（医学）	大橋 ゆかり
	茨城県立医療大学准教授	博士（保健学）	浅川 育世
	東北大学教授	博士（医学）	森 悦朗

論文の内容の要旨

【背景】私たちの視覚経験は、状況によって変化する。たとえ、物理的に同一のものを見ていても、主観的に感じる確からしさは、毎回、一様ではない。近年、そのような確からしさ（確信度）のゆらぎに着目することで、従来、本人にしか分からないとされてきた主観経験に対して実験的アプローチができる可能性がでてきた。しかし、その確信度の神経基盤・計算メカニズムの詳細は不明であった。

【目的】本研究では、まず、動物実験において、視知覚における確信度を行動学的に推定し、その神経基盤を探る。次に、ヒトに同様の行動課題を課して、主観的報告から得られる確信度を定量評価する。そして、両者の結果を、数理モデルを用いて比較することで、霊長類に共通する確信度の計算メカニズムを検証する（実験1）。さらに、確信度を表出するまでの過程を、新たにメタ認知の観点から検討することで、ヒトの視知覚系が有する客観-主観機能の関係性を、明らかにする（実験2）。

【方法】実験1では、サルの知覚判断に対する確信度を推定するために、判別回避課題を導入した。この課題では、刺激属性を問う二択の判別か、判別回避かという、三者択一の判断を課し、判別に正解した場合と、回避行動を選択した場合の報酬量に差をつけることで、個体の確信度を推定した。その上で、課題遂行中のサルの視床枕という領域から神経活動を記録した。また、ヒトの知覚心理実験を行い、観察者が下した6段階の確信度評定から、主観的確からしさを直接的に測定した。実験2では、同一の健常観察者に対し、二種の視覚課題、刺激の存在を問う検出課題と刺激の属性を問う弁別課題を行い、各課題で、判別成績に利用された情報ソースと確信度評定に利用された情報ソースの差（相対的メタ認知感受性）を定量することで、二つの課題から視知覚系のメタ認知過程を評価した。

【結果及び考察】実験 1 の判別回避課題では、サルは刺激が曖昧になるにつれて回避行動を頻繁に選択した。この課題中の神経活動を解析したところ、視床枕応答が弱い場合にはサルは回避行動を選択し、応答が強い場合には判別行動を選択することわかった。刺激変数を横軸とする関数として捉えると、サルの視床枕の神経応答パターンと、ヒトの主観報告パターンに相同性がみられた。信号検出理論を用いると、双方の結果は、知覚判別における確信度の揺らぎを反映する単一のモデルで再現できた。このことは、サルとヒトで共通した確信度の計算過程を経ていることを示唆する。これら実験 1 で示した確信度は、メタ認知の結果であるが、その計算過程までは明らかではない。そこで、実験 2 では、確信度を表出する際に、自己が下した知覚判断の正誤についてどれだけ自覚的であったかを、相対的メタ認知感受性として算出した。その結果、検出課題では最適値を示す相対的メタ認知感受性が、弁別課題において、特異的に低下することが判明した。このことは、検出系においては、判別成績を正確に把握し確信度を表出しているのに対し、弁別系では、判別成績に利用した情報に比べて減衰した情報が確信度評定へ利用されていることを意味する。過去の研究において、知覚の意識・無意識の境界域で、検出・弁別成績が乖離する状況が度々指摘されてきたが、本知見は、そのメカニズムに、両課題におけるメタ認知過程の相違が関与していることを示唆する。今後、視覚系検出-弁別間でメタ認知感受性が異なるという点も踏まえて、確信度を支える脳内機構の全貌を明らかにする必要がある。

【結語】本研究では、知覚の確からしさを計算する神経基盤の一端を発見し、サル・ヒトの実験結果から、霊長類に共通する確信度の計算メカニズムを示した。また、ヒトの視覚検出・弁別系の行動成績と確信度の関係性を比較することで、メタ認知処理において、課題特異的な過程が存在することが明らかになった。これは、同様の視覚刺激でも、状況によって異なるメタ認知過程を経て、異なる主観知覚を形成する可能性を示唆する。確信度という観点から主観知覚の計算原理に踏み込んだ本成果は、外界の情報が“何であり、確かにそこにある”という知覚意識の成立メカニズムとその病態解明へ大いに資すると考える。

審査の結果の要旨

本論文の審査では、平成 27 年 2 月 5 日に公開の場での研究発表と質疑応答を行った後に、上記の審査員 4 名による協議が行われた。論文審査は、本研究科の指針に従い、1) 創造性・新規性、2) 論理性、3) 信頼性・妥当性、4) 専門領域との関連性、5) 論文の表現力、6) 倫理的配慮、の観点から行われた。以下に、各観点に関する協議内容の要旨を述べる。

1) 創造性・新規性：従来、主観的現象とされてきた、「確信度」を客観的に捉えようとした試みは高く評価できる。メタ認知課題を霊長類とヒトにおいて検討した点は新規な試みであり、そこから得られた知見にも価値があり、十分な独自性・新規性が認められる。

2) 論理性：本論文は、実験 1 で知覚の確からしさを計算する神経基盤の一端を発見し、実験 2 で、ヒトのメタ認知処理において、課題特異的な過程が存在することを論理的に構成されていると評価される。霊長類とヒトに対する課題には相同性の点で差異があり、両者を直接結びつけて論じることは困難だが、その点は注意深く考察している。ただし、2つの

実験の関連性や研究背景について、序文で丁寧な説明が不足していた。また、実験1では、霊長類とヒトの確信度に関与するメカニズムが似通っていることから、ヒトでも視床枕が確信度の認知に関わっている可能性があるとする論理を成立させるべきだが、その点についてはあまり強調されていない。

3) 信頼性・妥当性：実験1では、動物実験を用いた神経生理学実験、さらにヒトを対象として同様の課題を行うことで、知覚の確信度を数理モデルから検証している。実験2では、主観的な確信度として変換するまでの過程を、メタ認知の観点から、ヒトの視知覚系が有する客観・主観機能の関連性を実験心理学および計算科学的手法から検証している。両実験ともに、信頼性と妥当性の担保された方法で行われていた。ただし、ヒトの実験結果の統計学的手法について一部不備が指摘されたが、解析方法を修正しても結果に変化は生じないと考えられる。

4) 専門領域との関連性：脳疾患、脳損傷にしばしば認められるメタ認知の障害-病識に対して関連している可能性がある。そのため、リハビリテーション効果に対するメタ認知の関与等という新たな視点を与えるものであり、保健医療科学の基盤固めに寄与する研究であると認められる。但し、臨床応用への示唆はこれからの課題でもある。

5) 論文の表現力：結果の詳細な記述や図表の位置、構成が読み手には若干不親切な部分が見られるが、文章表現の適切性も含めて、博士論文として適切な表現力を備えた研究であると認められる。

6) 倫理的配慮：本研究は、本学ならびに産業技術総合研究所の倫理委員会の承認を得て、倫理的に適切な方法で行われた研究であり、問題は指摘されなかった。

以上の論文審査結果を総括して、審査員全員の合意のもとに、本論文が博士論文として適切であることを認めた。