

博士論文 令和3年（2021）年度

認知的負荷のある再帰的な推論と
その効果的な学習についての研究

慶應義塾大学大学院社会学研究科

時田 真美乃

目次

第 1 章：本論文の目的とその背景	4
第 1 節：はじめに	5
第 2 節：再帰的推論について	7
第 3 節：認知的負荷について	13
第 4 節：他者の信念の再帰的な推論についての先行研究	20
第 5 節：数学的な再帰的な推論についての先行研究	24
第 6 節：本論文の目的	25
第 2 章：研究 1「他者信念の推論と志向性 1」	31
第 1 節：目的	32
第 2 節：方法	33
第 3 節：結果と解釈	45
第 3 章：研究 2「他者信念の推論と志向性 2」	48
第 1 節：目的	49
第 2 節：方法	50
第 3 節：結果と解釈	57
第 4 章：研究 3「課題における認知的負荷の関連性」	60
第 1 節：目的	61
第 2 節：方法	62
第 3 節：結果と解釈	67
第 5 章：研究 4「認知的負荷の高い課題の効果的な教育」	71
第 1 節：目的	72
第 2 節：方法	74
第 3 節：結果と解釈	81
第 6 章：研究 5「認知的負荷の高い環境での効果的な教育」	85
第 1 節：目的	86
第 2 節：方法	88
第 3 節：結果と解釈	95
第 7 章：総合考察	98
第 1 節：本研究のまとめと今後の展望	99

第2節:おわりに	106
謝辞	109
参考文献	110

第 1 章

本論文の目的とその背景

第1章：本論文の目的とその背景

第1節：はじめに

人間らしい知性とは何か。他の動物とも AI とも異なる性質を持ち、古くから使用され、幅広く利用できる性質を持つものがあるならば、それといえるだろうか。日常生活では、その状況に応じて、様々な推論が行なわれる。推論とは、利用可能な情報から、規則や過去事例、メンタルモデルに基づいて、結論や新しい情報を導く思考過程である（市川, 1996）。その推論の中には、「自分が何を考えているか考える」というようなメタ的な推論も存在する。本研究で取り扱うこのような「再帰的な推論」については、佐伯（1981）によると、「人間の認知方略の最も根元的なものの1つ」という。また、人間の知性に、入れ子構造や再帰的な構造に対応するものが大きな意味を持つことを示唆する研究は多く存在する（Pinker, 1997, 長谷川, 2002）。

本論文のテーマの根源となる「再帰 (recursive)」は、人間の生活において広義に使用されるものである。人間が認識している再帰には、さまざまなものが存在する。あるものがあるものを含有するという最も広義のレベルであれば、地球上に多くのものに存在すると考えられる。例えば原子も素粒子の入れ子の構造があり、また植物の成長プロセスにもある。シジュウカラの歌声などの構造や、生き物の形態や機能にも見られるとされる。また人間が作成したものについては、工芸品には有名なロシアのマトリョーシカという、1つの人形が同じ形の大きな1つの人形に入ることが幾つも重なったものなどがある。芸術作品においても、例えば音楽にも、三分形式やソナタ形式などに見られるように、最初の主題が戻る構造を持つ器楽曲が存在し、演劇にも、劇中劇のような物語の中に物語が存在するものも存在する。またインセプションという映画では、夢の中の夢の中の夢という高次の階層構造のレベルが提示されて話が展開されており、このような志向性を持つ入れ子の構造を使用した作品は、

小説を含めた物語にも多く見られる。日常生活ではどうか。最も一般的な再帰は、ある仕事の完成に向かっていく時に、より簡単な同じ型の仕事を行うことなどもある (Douglas, 1979)。例えばこのような論文を作成しているときも、全体の説明としてその一部である章の説明をしたところで、その細部の章の説明箇所を先に書き始めて、しばらくしてまた戻る行為をする場合がある。また、人間の持つ本質的な機能の「意識」も再帰的である。何かをしている自分を意識し、その意識している自分を意識する、という構造を持つことができる。心理学における「自分の認知活動を客観的に捉える」メタ認知や、「メタ認知をしている自分を観察し、メタ認知のあり方そのものを意識化する」という、いわばメタメタ認知についても、自分自身の認知についての認知という再帰的な志向性のある構造を持つ。また言語においても再帰的な構造があるとされる。このように人の生活環境の様々なレベルにおいて「再帰」的なものが存在し、人が「再帰」的に事象を意識的にも無意識的にも認識していることが多くあるといえる。

このように「再帰」は、日常で身近な存在にあり、多くの人に魅了されるものであり、芸術や学問などでも取り上げられてきた。この論文では、これらの人間の生活に密接な「再帰」的な事象の中においても、特に「再帰的な推論」に関連するものについての述べることにする。「再帰的」であることについての定義は、「あるものが部分的にそれ自身で構成、あるいは定義されている」となる (Wirth, 1986)。この定義をふまえた上で、本論文で取り扱う「再帰的な推論」とは、「あるものがそれ自身で構成されることを認識した上で操作を伴う推論」と定義することにする。一般的に「再帰」の解釈について、構造としての「階層的埋め込み」と、操作としての「ある処理の自己呼び出し」の2種類がある (Martins, 2012)。後者には、冒頭に挙げた事例では、言語やメタ認知が関連する。「再帰的な推論」については、推論一般にいえることであるが、概念の操作を伴うものであり、構造としての存在だけでなく、処理の呼び出しを行うことが対応するため、定義に「操作を伴う」という記述を含めた。次の章ではこの「再帰的推論」に関する先行研究を中心に述べる。

第2節：再帰的推論について

「再帰的推論」についての研究を大別すると、主に3つの学術的アプローチが存在する。1つ目は、言語学的アプローチであり、人間の言語の再帰性に注目し、その特性について説明するものである。2つ目は、認知的アプローチであり、自他の心的状態の関する認知に注目し、その発達について説明するものである。3つ目は、数学教育的アプローチであり、再帰的推論を使用する抽象的な事物を取り扱う数学教科の単元についての、効果的な学習を考案するものである。それぞれについての研究背景を述べる。

2-1：言語学的アプローチ

1つ目の言語学的アプローチについては、例えば伝統的な生成文法に枠組みでは、埋め込み文を生成できることが、言語能力の最も特筆すべき性質であると主張されてきた (Chomsky, 1965)。埋め込み文とは、““太朗の親”の親”の親”や、“私は、“あなたは“太朗は南瓜が好きである”と思っている”と思う”というような、再帰性を持つ文のことである。Hauser et al. (2002) は、人間の言語に特徴的で、他の動物に見られないものとして、再帰的な構造を作れることがあると主張した。志向性については、その規則を再帰的に適用することで、本質的には無限の長さの文を組み立てることが可能で、記憶容量の制約等から長さの制約ができていと論じられている (Chomsky, 1965, 1995)。また再帰性の基になっているのは語と語を組み合わせて、より大きい単位を構成するための、併合 (merge) という繰り返し適用できる操作であるという (Chomsky, 2013)。また、生成文法では、言語について高度に特化した機能を持つモジュール機構を想定しているが、モジュール機構の存在を想定しない認知言語学の枠組みにおいても、埋め込み文の構造の特徴は、逐次的な処理であることが言及されており (Langacker, 2008)、言語における再帰性の研究が存在する (Harder, 2010, 長谷部, 2016, 中村, 2013)。いずれの言語学研究の立場においても、多くの言語で、埋め込み文や副詞節などに再帰的な構造があることに注目している。

また、言語の再帰的な推論について、言語学の範囲を超えた議論を展開する研究も存在する。例えば、Hauser (2002) は、有限の要素から無限の範囲の表現を生成する能力としての再帰的な推論への理解について、進化生物学や、人類学、心理学、神経科学などの研究との結びつきが大事であると述べている。特に言語における再帰的な推論は、言語能力の進化を理解するために重要であると説明され、もともと再帰システムは領域固有的であったが、進化の過程で領域一般的なものへ変化した可能性について論じている。このような議論については、脳機能に関する研究や、脳科学、そして進化シミュレーションの研究などの知見も積み重ねていく必要がある。脳機能に関する研究については、S を主語、V を述語とした時に、埋め込み型文“SSSVVV”は同じ内容を表す展開型文“SVSVSV”より再生が難しいことを示した研究がある (Miller, 1964, 糸井, 1982)。脳科学の研究については、Fitch et.al. (2005) も述べているように、再帰的な推論に関する能力が、標準的な哺乳類の脳の発達と相互作用があるとされる、脳全体に対する新皮質の割合の増加から、自動的に生じる神経伝達のパターンとして見られるかの研究を行う必要があるだろう。進化シミュレーションの研究については、物体操作の再帰的操作が言語の再帰的な推論に関連することを示す研究がある (Toya & Hashimoto, 2015)。言語学的アプローチにも様々な見解があり、再帰的な推論は、最終的に領域一般的なものとして進化しているかについては、現時点では結論づけられてはいないが、このような領域横断的な研究により、再帰的な推論が領域一般的な能力に関連がある可能性が示されていくといえる。

2-2：認知的アプローチ

2 つ目の再帰的な推論の認知的アプローチについては、発達心理学や認知心理学において、自己や他者の心的な表象である信念を認識する際に生じる再帰的な推論について進められてきた。マキャベリの知性 (Byrne & Whiten, 1989) は、人が「知性」と呼んでいる認知能力は、社会生活とそれがもたらす複雑さの諸問題と結びつき、社会的知能としてデザインされてきたことを言及している。そのよう

な社会的知能に、心的表象を推測する能力は関連があるとされ、Premack (1978) の霊長類の心的状態の理解の視点から、心の理論 “Theory of mind” の研究が発展した。心の理論とは、自分や他者の行動に心を帰属することと定義される (Premack & Woodruff, 1978)。この他者の信念の推論には再帰性があり、Dennett (1983) は、意図システムとして、Perner (1988) による信念の表象として構造を定義した。Perner & Wimmer (1983, 1985) は、1次や2次信念が理解できるかを確認する「誤信念課題」を開発し、主に幼児を対象に研究を行った。またこの発達にはワーキングメモリや実行機能が関連しているとされる (Perner & Lang, 1999; Gilbert et al., 2006; 小川・子安, 2008)。ワーキングメモリ (working memory) とは、推論等を実施する中で情報を一時的に保持し、操作するためのシステムである (Baddeley, 1986)。

また、心を読む推論は Fonagy の臨床実験から発展した “メンタライジング” の研究においても行われてきた。メンタライジングは心の理論と比較して、自分自身の心的状況の推論や自己理解も対象範囲に含まれる (Fonagy & Target, 1997)。成人を対象とした研究では、理解度を測定する尺度などが開発され、いずれの立場も、教育や生涯発達の研究 (Dumontheil et al., 2010; Bernstein et al., 2011; 前原, 2014) などに発展している。全体的には、成人の志向性のある推論を対象とした研究はまだ少なく、今後も知見の積み重ねが必要である (Valle, 2015) とされている。

また、心の理論の研究において、社会的知能の視点から、他者の信念を再帰的に推論する機能は領域固有的であるとされてきた (Friedman & Leslie, 2004)。これらは特に、生まれつき対人コミュニケーションに特性を持つ自閉症の場合に、この推論の獲得が困難であり、Baron-Cohen (1985) の、高機能自閉症児でも誤信念課題の通過が遅れることを示す研究などから考察されてきた。また成人を対象として心の理論の動作特性を調査した研究では、エージェントと信念で比較したところ、信念の推論は自動的に推論することを示す研究もある (Apperly et al., 2009)。

認知的なアプローチの再帰的な推論については、本論文の研究対

象としており、この節で紹介した課題の詳しい内容や、その他の本研究と特に関連のある課題や先行研究については、第4節で説明することとする。

2-3：数学教育的アプローチ

3つ目の再帰的推論の数学教育的アプローチについては、主に教育学や教育工学において、数学の教育を効果的に行うための実践的な研究として進められてきた。これらは数学教育の内容に、再帰的な推論を使用するものがあり、その単元をどのように教育するかという視点を持つ。数学的な推論に関しても、再帰は論理的思考の重要な特質の1つである（須賀，1980）とされている。

再帰的な推論を取り扱う単元は、例えば、高校数学の範囲では、漸化式や帰納的関数、証明の数学的帰納法があり、大学の一般教養の範囲では、情報学のプログラミング学習における繰り返し構造の多重ループ、専門課程の範囲では、プログラミング学習における「再帰呼び出し」や、フラクタル幾何学がある。特にプログラミング学習に関連する再帰的推論については、最も多く研究されており、教えるのが最も困難な概念の1つ（Gal Ezer & Harel, 1998）とされ、このような数学的分野における再帰的推論が難解であることが示されている（Anderson, 1988; 谷川，1996）。

数学的な再帰的な推論に関わる研究は多いが、実証的な研究成果を発表しているのは50件に満たず少ない（Renee, 2015）とされる。その中で、プログラミングの「再帰」については、Anderson et al (1988)の研究では、プログラミングの初心者の再帰的推論についての困難な特徴の3つを学習者の観察から明らかにした。その3つは、再帰の物理的な例が少なく直感的に考えにくいこと、操作と結果を返すという2つの意味の存在が理解しにくいこと、再帰呼び出しに様々な形式があることが理解しにくいこと、となる。また Lee & Lehrer (1988)は、初心者と経験者を分類した上で、両方に共通する誤りを特定した。不必要な文の繰り返し、条件式の不適切な使用、論理演算の非効率な使用、不適切な変数の初期化である。これらの研究を受けて、理解力を向上させるための研究が進められた。その方向

の1つは、ゲーム等の魅力的な題材で行う研究（Lee, 2014 ; Tessler et al., 2013）であり、もう1つは、効果的な事例を豊富に提供する研究（Wiedenbeck, 1989, Sanders et al., 2006）である。いずれも成果の見られる実証研究であるが、学習者特性に基づく効果的な教育方法の研究はまだ少ないといえる。

数学的な再帰的な推論については本論文の研究対象としており、本研究と特に関連のあるプログラミングに関連する先行研究については、第5節で説明することとする。

2-4：関連性について

最後に、この節で紹介した3つのアプローチの関連性について述べる。いずれの「再帰的な推論」も、入れ子構造があり、その構造の中に入る表象は、それぞれ、言語、自他の信念、抽象化された記号と異なるが、人間にとっての重要な特性であり、再帰性の次元が高くなると理解が困難になることが言及されていた。また、言語及び信念については、領域固有性についても言及されていたのに対し、数学的アプローチでは、領域一般的な知能であることが前提とした教育方法の実証研究がなされていた。また、言語学的アプローチでは、もともと領域固有であったが領域一般になった可能性について示唆している論文があり、また認知的アプローチでは再帰性による理解に限界があることも言及されていた。

認知的アプローチと数学的アプローチの関連性について考察した研究も存在する。林（2007）は、その著書の「再帰的事象の認識とその発達に関する心理学的研究」の中で、再帰的事象の認識の深化について、社会的知能についての自己埋め込み構造と、抽象化する段階の数学的推論について対応させ、「再帰的事象を認識する能力」それ自体は汎用のもので、領域問わず現れる」と述べている。数学的機能法などに示されるような再帰的な情報処理能力を測定する課題と、言語を用いた再帰的な推論課題について正の相関があることを示す研究もある（糸井, 1982）。

再帰的な推論と、領域固有や領域一般との関連について述べる理由については、多重知能理論との関連がある。Fodor（1983）は、あ

らゆる関連情報を参照した処理を必要とする中央系と、知識の呼び出しを必要としない機能単子系とを明確に区別し、後者の性質をモジュール性と名付けた。この比較的低次の処理のモジュール性についての主張は、多重知能理論（Gardner, 1983）により高次の認知過程に応用された。多重知能理論は、人間の知能を、内省的知能、言語・語学的知能、論理・数学的知能等の8つの知能に分類したものである。再帰的な推論はこの複数の知能に領域横断的に関連するため、この推論がどのように発達したかという問いが生じる。例えば、まず、再帰的な推論として共通のものが領域一般的にあり、それが領域固有的に部分的に使用されて個別の知能となった可能性もある。あるいは、再帰的な推論は、最初は進化的に重要な課題であった、意識や他者の信念の推論として領域固有的に存在し、そこから言語に使用され領域一般的知能と関連を持つようになった、という可能性もある。これらは想像に過ぎないが、再帰的な推論に共通的な基盤あるか、あるいはどのように進化したのかというのは魅力的な科学的問いであり、心理学や脳科学的な研究を積み重ねていく必要がある。本論文においても、他者の信念と数学的な再帰的推論について、ワーキングメモリを軸に関連があるかについて検討する。

第3節：認知的負荷について

本論文では、認知的負荷と再帰的推論の関係を示すことを目的としている。そのためこの節では、まず認知負荷とは何かについて確認し、その内容と関連のある認知負荷理論、二重過程理論、そして教育との関連について述べることにする。

3-1：認知負荷について

再帰的な推論は、志向性が高くなると情報量が増えることから「負荷」も高くなるといえる。もともと「負荷」という言葉は、消費される仕事の量という意味合いがあり、必ずしも否定的な意味があるわけではない。再帰的な推論においても、例えばそれを使用する社会的状況において、理解に必要な適度な負荷は存在するだろう。また、学習においても、一度に処理する負荷の適量はあるはずである。このように脳とその処理や理解に必要な負荷の関連を考え、認知負荷 (cognitive load) という視点が生まれた。

認知負荷の研究は、1970年代から、数学などの問題解決型学習から生まれ、様々な研究で取り扱われてきた。認知負荷の定義については、ワーキングメモリでの情報の貯蔵と処理に発生する負担と定義された (Sweller, 1988)。ワーキングメモリは、前節でも説明した通り、外部から入ってきた情報を加工して処理をする記憶の場である。知識を蓄えておく機能を持つ長期記憶 (long-term memory) から情報を処理するのではなく、新しい情報を処理する際には、容量と持続時間に制限があるという特徴があり、このことが認知負荷に関係するとされている。認知負荷は、認知システムに不必要な要求を課せられた時に増大する。そして認知負荷が高くなりすぎると学習や伝達が妨げられる (Sweller et al., 2019)。

認知負荷の測定については、質問紙による心理測定法や生理的手法として、脳波 (EEG)、瞳孔拡張、瞬きの回数、アイトラッキング等を収集する方法がある。例えば、van Gervan (2004) によると、若年成人では認知負荷と瞳孔拡張は正の相関があることが示されている。ただし、異なるタイプの認知負荷を区別することが難しいこと

から、認知負荷の測定には懐疑的な立場もある (Szulewski et al., 2018)。また、本質的な認知負荷は、情報の複雑さとその情報を処理する人の両方によって決定するので知識を無視した尺度は役に立たないと考えられている (Sweller et al., 2019)。認知負荷の測定は今後知見の積み重ねが必要である。

3-2：認知負荷と認知負荷理論

認知負荷の研究から、認知負荷理論 (cognitive load theory) が提唱された (Sweller et al., 2011, 2019)。認知負荷理論は、認知システムの制約をより良い教材設計に応用することの必要性から生まれたものであり、教育を中心とした学びの「効果・効率・魅力」の向上を目指した手法の総称である教育設計理論に基づくインストラクショナルデザイン (ID) の1つであるとされる。認知負荷理論が生まれた背景に、多くの伝統的な教授方法は、人間の認知構造の限界を考慮していないということがあり、人間の認知システムと教材設計のデザインの知識を統合して問題解決をすることに注目した理論であるといえる。他の教育設計理論はワーキングメモリと長期記憶を中心に設計されているものが多いのに対し、認知負荷理論は、全ての新しい情報は容量と持続時間に制限のある作業記憶で処理されてから長期記憶に行くことを特に注目している (Sweller et al., 2019)。学習課題によって引き起こされる情報処理の負荷が、学習者の新しい情報を処理する能力や、知識を長期記憶に構築する能力にどのように影響するかを説明することを目的としている (Sweller et al., 2019)。

また認知負荷理論は、認知負荷を次の3つに分けて考えている。

- (1) 内在負荷
- (2) 外在負荷
- (3) 学習関連負荷

まず、(1)の内在負荷については、学習素材そのものがそもそも含有する負荷のことである。主にワーキングメモリで同時に処理

される要素の個数によって大きさが決まり、学習者の熟達レベルによって差異があるとされる。研究初期では、熟達のレベルが一定の場合に、このような負荷は本質的であり軽減できないと考えられてきた。しかし近年の考え方では、学習素材の要素の相互作用を操作したり、学習者の知識への介入することで、この内在負荷を管理できることが主張されている。本論文においても、この内在負荷も操作できるという前提を持つこととしている。次に（2）の外在的負荷については、教材をどう教示するか教材デザインに関係する負荷のことである。不適切なデザインであれば、本質と関係のない認知処理が生じる。多くの認知負荷理論の研究において、この教材デザインの負荷を変更することで、認知負荷を軽減させるということをしてきた。外部負荷がうまく軽減されると、学習者は、利用可能な作業記憶資源を、内在的負荷の処理に意識的に割り当てることができるとされる。最後の（3）の学習関連負荷については、学習を進める上で、スキーマを構築したり、自ら生成した新たに使用する知識等による負荷である。これは学習するときのある程度必要な負荷となる。学習と伝達を促進するためには、常に利用可能な認知能力の範囲内で、学習に無関係な認知処理を最小化し、学習に関連する認知処理を最適化するように認知負荷を改善することが最善である（van Merriënboer, 2006）。

また認知負荷理論では、認知負荷に関連する知識について考える際に知識を、1次知識と2次知識に分類し、1次知識は直感型推論に繋がるもので教育が必要ないとし、対象とする知識は、ワーキングメモリが必要で生物学的に優先度が低い2次知識に関連するものとしている（Sweller et al., 2019）。

3-2：認知負荷と二重過程理論

次に、認知負荷と二重過程理論（dual process theory）についての関連を説明する。二重過程理論（Evans & Over, 1996）は、なぜ人は誤った非合理的なバイアスに陥りやすいかを説明するために提唱されたもので、人間の推論を2つの推論に分けている。1つは直感型推論で、速くて自動的な推論である。ファストやシステム1とも名

付けられている。もう1つは熟考型推論で、遅くて努力を必要とする推論である。スローやシステム2とも名付けられている。その切り分けの1つの視点に、認知負荷があるかないか、がある (Evans & Stanovich, 2013)。これらについて表1にまとめる。

表1 二重過程理論の概念図 (Kahneman, 2011を参考に作成)

		直感型推論	熟考型推論
主な特徴		速い 並列処理 自動的 努力を要しない	遅い 逐次処理 管理されている 努力を要する
進化的に		古い	新しい
認知負荷		なし	あり
表象	連想的	○	×
	概念	○	○
	言語	○	○

熟考型推論はワーキングメモリが必要であり、使用に限界があるとされる。この二重過程理論における、直感型推論と熟考型推論の2つの推論の関係性に関する理論も存在する。長く想定されてきたのは、最小限の認知資源で起動する直感型推論から算出された判断や意思決定について、熟考型推論が関わることで、それを合理的な解答に修正していくという内容である。しかし、論理直感モデル (De Neys, 2012) や三段階モデル (Pennycook et al., 2015) などの新しい理論では、熟考型推論は、直感型推論を軌道修正する存在ではなく、直感型推論で生じた複数の直感的な解について調整し、その葛藤を解消するとしている。

本論文では、他者信念に関する再帰的な推論は、心の理論の研究の背景で述べたように、社会的知能として進化した経緯が想定されることから、直感型推論に関係することを前提とする。一方で、再帰的な推論の特性から志向性があり、志向性が高い場合には、熟考型推論が関係すると考えられる。数学的な再帰的な推論については、熟考型の推論であることを前提とする。認知負荷理論の考え方では、認知負荷がある熟考型推論が対象となる。しかし、直感型推論であっても、その推論が作動しない場合や、高次の推論の場合は認知的負荷があり、教育の介入に意味があると考えられる。

なお、本論文のタイトルは「認知負荷」ではなく「認知的負荷」という言葉を使用している。その理由は、認知の負荷には、例えば二重過程理論の、直感型推論と熟考型推論の切り替えで生じる負荷や、直感型推論が誘発されにくい場合に生じる負荷など、認知負荷の定義に当てはまらない負荷もあると考えているためである。

3-4：認知負荷と教育

この節の最後に再帰的推論と教育との関連を述べる。既に、教育設計理論である認知負荷理論を通じた認知負荷軽減と教育の関連性はついでに述べた。ここで、改めて教育とは何かについてこの論文ではどう定義するかを述べる。なぜならば、教育をどう定義するかは、本論文で対象とする認知的負荷の対象が関係するからである。

教育を進化的に位置付けて定義をすると、「既に知識や技能を持つ個体が、目の前にその知識や技能を持たない学習者がいるときに特別に行う利他的な行動によってその学習者に学習が生じること」(Caro & Hauer, 1992)とする見方がある。学習には、個体学習、観察学習もあるが、なぜ教育学習があるか、と改めて考えた時に、このような教育を「他者の学習を促す利他行動」とすることで、人間は教育によって生きる動物である(安藤, 2018)という見方ができる。個体学習や観察学習だけでは実施できない、認知負荷の高い学習が存在することも関係があると考えられる。

この定義をふまえた時に、認知負荷について2つの大事な視点が生まれると考える。1つは誰にとっての認知負荷なのかという視点

であり、もう1つは、我々にとって利他行動しやすい環境で教育活動が促進されるという視点である。

1つ目からは教員と学習者という教育実践だけが対象なのではなく、グループワークなどの協調学習についても認知的負荷を考慮する視点が生まれる。協調学習では、学習者同士の中で、教育活動が行われるといえる。協調学習については、先に述べた認知負荷の視点からも「集団的作業記憶効果」があるとされる (Kirschner et al., 2009)。共同学習者は、単一の情報システムのように捉えることができ、グループメンバー全員が全ての知識を持つ必要がなく、また、知識をそれぞれが単独で処理する必要がなく、双方に知識のギャップを埋め合うことが可能である。ただし、協調学習によるコミュニケーションの調整は、個人では発揮する必要のない追加の認知的努力が必要となる。ここから、認知負荷の高い課題からは協調学習の効果が高く、認知負荷の低い課題は個人学習の効率が良いと考えられる。数学教育についてもペアプログラミングが再帰性の理解を促進しているという研究がある (Zingaro & Porter, 2014)。内在負荷とコミュニケーションの負荷を考えた上で、学習方法を選ぶことも必要となる。また、学習者のコミュニケーション力を高めるために、メタ認知的な推論を促進する授業などが検討されている (三宮, 2018, 増田 & 三宮, 2019)。メタ認知は学習に有効な方法であることは確かだが、認知的負荷は生じるため、いつメタ認知を行うのが適切かと、あるいは教員で教示すると良いかなどの視点も必要である。また教員の資源も無限ではないので、教員の認知的負荷も考慮する必要がある。

2つ目からは、人間にとって自然でない教育環境には工夫が必要であるという視点に関係する。対人関係などでは、利用可能なワーキングメモリ領域が減少し、モニタリングなどの認知処理が十分に行えないことが指摘されている (荻阪, 2000)。オンラインや非対面の学習は、我々にとっての「教育」に自然な環境ではない、ということをしきりと意識すべきだというものである。CSCL (Computer Supported Collaborative Learning) の非同期学習環境において、社会的存在感を高めることが、学習者間で学習が起きる上で必要な基本

的要素だとしている（Garrison et al., 2003）．社会的存在感とは，Short et.al（1976）により提唱されたもので，メディアを媒介とした他者の存在感に関する概念のことであり，「他者との相互作用において他者の顕現性の程度，またその結果として起こる対人関係の顕現性の程度」と定義されている．本研究で題材とする他者信念の推論については，少なくとも低次の場合は直感型推論であると前提にするが，例えば，学習時には学習そのものの内在負荷やICTを使用する場合には，その中で，社会的状況が薄ければそれは認知的負荷になると考えられる．このように教育の定義を確認したうえで，認知的負荷を考慮した効果的な教育を論じることとする．

第 4 節：他者の信念の再帰的な推論に関する先行研究

ここでは、他者の信念の再帰的な推論に関する研究のうちで、理解の困難さについて示す研究や第 3 節でも論じた認知的負荷に関連がある先行研究を中心に記載する。

本論文における他者の信念については、第 2 節で述べたように心の理論やメンタライジングの研究を中心にその志向性についての研究が発展してきた。メンタライジングについては、心の理論や共感性、メタ認知等と強く関係していると述べられている (Allen et al., 2008)。教育では、教員に対して、他者の立場に身をおいて他者を理解しようとするメンタライジングは重要であると実践的な研究がされている (Swan & Rile, 2015)。

心の理論については、誤信念課題を中心に発展してきたことは既に述べた。誤信念課題は、サリーとアンの課題 (Wimmer & Perner, 1983) などが考案され、この課題は、自閉症児や幼児を対象とし、心的誤表象の理解をテストしたものである。また、スマーティ課題 (Perner et al., 1989) についても、誤った信念の調査を目的とした課題である。これらのサリーとアンの課題およびスマーティ課題について次に解説する。これらは幼児を対象とした課題であるが、物語や状況を読み、その上で、文脈の登場人物の心的表象を推測するという課題の方法は、本論文で紹介する成人を対象とする研究で使用する課題作成に向けて参考にした先行研究となる。これらの課題を図 1, 図 2 に示す。



図 1 サリーとアンの課題 (Wimmer & Perner, 1983 より)

- 1) スマーティ (チョコレート) の箱を見せて何が入っていると思うか尋ねる
- 2) 実際には鉛筆が入っていることを見せる
- 3) ここに何が入っていると思いましたか？
友達は何が入っていると思うのでしょうか？
と質問をする

図 2 スマーティ課題の概要

サリーとアンの課題については、1) サリー（左）がカゴにボールを隠し、2) サリー（左）がいなくなったあとアン（右）がボールをカゴから箱に移し、3) サリー（左）が戻ってきたとき、カゴと箱のどちらを探すのかという問題である。サリーの立場（視点）に立てば、正解はカゴとなるが、他者（サリー）の立場に立てず、自分の立場（視点）のみから考えてしまうと、ハコを選んでしまう内容となっている。また、スマーティ課題については、海外の有名なお菓子である「スマーティ」を使用した課題で、自分は鉛筆が入っていることを見たけれど、友達は見えていないという立場（視点）の切り分けが必要になる内容となっている。

これらの誤信念課題から発展し、成人用の誤信念課題なども開発され、年齢による正答率等が調査されてきた（Perner & Wimmer, 1985）。また、「私は（あなたが（私が勘違いしている）と思っている）と思っている」といった、メタレベルの志向性を持つ推論については、他者視点や連続性のある物語を使用した、誤信念課題とは異なる課題も使用し、成人に対する研究がされている。これらの一連の研究の中で、成人の志向的な推論の限界については、Naghan & Dunbar (2017) によると、5次であるとされており、ワーキングメモリの研究でも、高次の心を読む課題で活性化する脳領域にワーキングメモリが関連していることが示されている（Gilbert et al., 2006）。また、心の理論課題に取り組む際には、前頭葉皮質のなかでも特に内側前頭前野皮質が活動するとされる。本論文で紹介する研究とは、認知的負荷の側面で、特に志向性が高次になった時の場合が関連すると考えられる。他にも成人の心の理論課題の限界についての研究があり（Epley et al., 2004; Apperly et al., 2009）、複雑な課題には、相当な認知的な関与が必要なために心の理論の妨げになることが言及されている。このような誤解などについては研究が進んでおり、例えば、知識があることが誤った心の読みをしやすい（Birch, 2007）ことや、状況の中に目立つ刺激があると、それを相手の心的状態に帰属して誤った理解につながる（Hawkins, 1990）ことなどが研究されている。

相手の心を読む推論は、進化的に優先されてきた推論であると考

えられるが、志向レベルが高次の場合についての研究事例は少ない。これらの研究は成人を対象にした研究は少なく知見の積み重ねが必要である。

第 5 節：数学的な再帰的な推論に関する先行研究

数学的な再帰的な推論の研究背景は第 2 節で述べた。この節では、数学的な再帰的な推論に関する研究のうち、理解の困難さについて示す研究や第 3 節でも論じた認知的負荷に関連がある先行研究を中心に述べる。

数学的な再帰的な推論に関わる研究のうち、認知負荷に関連する研究としては、短期記憶の使用の限界性に関する研究がある。その限界は年齢と関係があることを示した研究 (Miller et al., 1970) や、情報を保持できないことで再帰的な推論が困難になることを示した研究 (Brayant et al., 1971) がある。

プログラミングについての研究では、Lee & Lehrer (1988) は、BASIC プログラムにおいて、IF 構文ではなく TEST 構文を使用することで、ワーキングメモリの容量を減らし、理解力不足による構文の誤りが減少することを考え、統計的に有意に減少することを示した。また、Miara et al. (1983) の実験では、基本的な制御構造を含むプログラムにおいて、行単位で文字の位置を揃えるインデントされたプログラムと、そうでないプログラムを学生に読ませたところ、前者の方が後者よりプログラムを正しく読むことが確認され、その読み取りにおいて有意な差があることが示されている。インデントの有効性については既にプログラミング教育で基本として取り入れられている。一方で、先行研究においても初学者にとって基本的なプログラムの制御構造多重ループについては理解が難しいとされている (高野, 2011)。著者の授業においても、インデントだけで教示しても、多重の繰り返し構造を持つプログラムの読解においては、理解が難しいことが課題であった (時田, 2021)。これらの結果から、インデントだけの視覚的な教示だけでは、再帰的な多重ループの構造の理解は十分に学習できないことが示唆されている。

数学的な再帰的な推論について、認知負荷を意識した研究事例は少なく、また認知負荷理論に基づいて、数学的な再帰的な推論それぞれにおいて、どのような教育が効果的なのかの研究を深める必要がある。

第 6 節：本論文の目的

第 5 節までに示した「再帰的な推論」と「認知負荷」との関連についての説明ふまえて、本論文の目的について述べる。

まず、他者信念の再帰的な推論については、認知負荷理論から、その志向性が低い場合は、直感型推論であると想定され、基本的には教育の必要がないものであるといえる。一方で、志向性が低くても、推論を誘発する社会的状況が検出されにくい状況であったり、志向性が高く熟考型推論が必要となる場合は、教育やトレーニングが必要となる場合がある可能性があることが考察された。このことから、まず他者信念の推論の志向性のどのレベルまでが直感型推論であるかを確認することにした。

次に、数学的な再帰的な推論については、志向性の高低に関係なく、熟考型推論であり、志向性のレベルが高くなるほど認知負荷が増えたと考えられ、一般的な認知負荷理論の認知負荷軽減が効果的に適用されるはずであることが考察される。その際、再帰的推論の内在負荷の特性をふまえて工夫することが重要であると考察された。

以上により、本研究では、再帰的な推論の特性に関する研究とその教育的な実践についての研究を分け、

(目的 1)

成人において再帰的な推論が使用されやすい状況の特徴と限界を明らかにする

(目的 2)

認知的負荷がある課題や適切に推論が使用されにくい状況で学習者が理解しやすい工夫をし、その効果を明らかにする

これらの目的 1 および目的 2 を本研究の目的とした。目的 1、目的 2 のそれぞれ下位に研究を配置すると下記の関係になる。

(目的 1)

研究 1：他者信念の推論と志向性 1

研究 2：他者信念の推論と志向性 2

研究 3：課題における認知的負荷の関連性

(目的 2)

研究 4：認知的負荷の高い課題の効果的な教育

研究 5：認知的負荷の高い環境での効果的な教育

したがって、本論文で説明する研究は図 3 の構成となる。

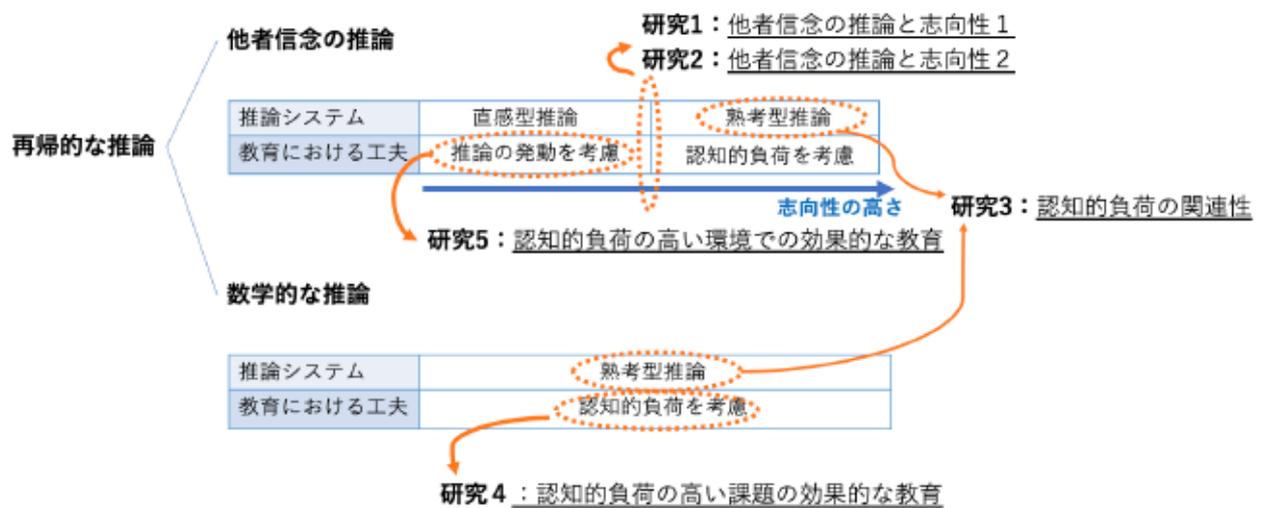


図 3 本論文で使用した研究 1 から 5 までの内容の図説

6-1：研究 1 の目的

研究 1 は、再帰的な推論のうち、他者信念の推論を対象としたものである。研究 1 は、第 3 節及び第 4 節で説明したことから次の 2 点を前提としている。1 つは、他者信念の推論については、基本的には進化的に領域固有的な推論であり、推論を誘発されやすい状況が存在するはずである、というものである。もう 1 つは、他者信念の推論は、基本的には領域固有的な推論なため、二重過程理論における直感型推論に対応しているはずであるが、その志向性が高くなる場合に、認知負荷が増えることから、どこかの志向性のレベルからは、熟考型推論に対応するようになるはずである、というものであ

る。推論を誘発されやすい状況というのは、この推論が発達した生物学的背景を考えると、対人場面である「社会的状況」がこれに対応すると予測した。また志向性のレベルについては、先行研究から5次以内にあると予測した。これらの前提の考察から、研究1の目的は次のようになる。

(研究1—目的1)

社会的状況がある場合に、他者信念の推論が使用されやすいことを示す。

(研究1—目的2)

他者信念の推論は志向性のレベルのどこまでが使用されやすいかを、志向性のレベルに合わせて示す。

これらの研究について、推論の使用されやすさは、それぞれの志向性の回数に応じた課題を用いてその回答率の高さを測定し分析するようにした。回答率が高い場合は、認知負荷のパラつきが存在しないということから、直感型推論に近いと想定されると仮定した。課題については、Monty Hall Problemの課題を基に開発した。課題の内容と方法については第2章に詳しく記載することとする。

6-2：研究2の目的

研究についても、再帰的な推論のうち、他者信念の推論を対象としたものであり、研究1の続きの実験となる。研究2は、志向性のレベルの使用されやすさについて、「相手がどこまで心を読んでいると考えるのが合理的か」という視点も考慮したものである。研究1では調査できなかった、複数の志向性のレベルが解釈可能な他者の信念を推測する課題を開発した実験となる。この調査を追加する理由は、一般的に成人は例えば志向性レベルが5次までの考慮が可能であっても、日常場面で相手が高次まで考えていると想定するのは合理的ではなく、このことが「推論の採用されやすさ」に影響している可能性もあるためである。これらの観点から研究2の目的は次

のようになる。

(研究 2—目的)

他者信念の推論は志向性のレベルのどこまでが使用されやすいかを、複数の志向性のレベル合わさったもので示す。

研究 2 では、志向性のレベルは 2 次と 3 次と 4 次を使用することとした。志向性レベルの合わさった課題については、indian poker のゲーム課題を基に開発した。課題の内容と方法については第 2 章に詳しく記載することとする。

6-3：研究 3 の目的

研究 3 については、再帰的な推論のうち、数学的な推論と他者信念の推論の両方を対象としたものとなる。研究 3 は、第 3 節及び第 5 節で説明したことから次の 2 点を前提としている。1 つは、数学的な推論については、基本的には進化的に領域一般的な推論である、というものである。もう 1 つは、数学的な推論は、領域一般的な推論なため、二重過程理論における熟考型推論に対応しており、志向性が高くほど、認知負荷が増える、というものである。このことをふまえて、研究 1 及び 2 で調べてきた他者信念の推論と数学的な推論の志向性レベルの高さによる回答に共通性があるかを調査することとした。このことを調査する理由は、数学的な推論も他者信念の推論も、いずれも再帰的な推論という共通性があり、ワーキングメモリを介した共通性が存在する可能性があるためである。従って研究 3 の目的は次のようになる。

(研究 3—目的)

数学的な推論と他者信念の推論に、ワーキングメモリを介した共通性があるか。

研究 3 では、他者信念の推論については研究 2 で使用した課題を個別の志向性を問う課題にしたものを使用し、数学的な推論については、最も一般的な多重ループの学習である、FOR 文を使用し

た BASIC プログラミングの課題を使用した。課題の参加者は BASIC プログラムの使用には慣れている大学初年次学生であるため、プログラミングの課題を使用した。課題の内容と方法については第 4 章に詳しく記載することとする。

6-4：研究 4 の目的

研究 4 は、再帰的な推論のうち、数学的な推論を対象としたものである。研究 4 は、第 3 節及び第 5 節で説明したことから、次の 2 点を前提としている。1 つは、二重過程理論における熟考型推論に相当し、認知負荷を考慮した教育の工夫が適切であるという、というものである。もう 1 つは、志向性レベルの高い数学的な推論の認知負荷は、認知負荷理論における内在負荷に対応するというものである。ここで、内在負荷によるものも、ワーキングメモリの工夫で可能であると考えた。モダリティ効果という異なる感覚器を利用することで認知負荷が軽減される効果を使用し、学習理解を促進させるという考えである。従って研究 4 の目的は次のようになる。

(研究 4—目的)

認知負荷の高い数学的な推論としてのプログラミングの多重ループにおいて、聴覚を使用することで効果があるか。

まず初学者のプログラミングの基本制御構造である繰り返し構造の多重ループについて、その学習が困難となる要因に、認知的負荷の内在負荷が関係すると仮定し、可聴化の教材を考案した。これを使用することで、視覚のみにおける認知的負荷が軽減され、初学者のプログラミング制御構造の FOR 文の多重ループの理解が促進することを示すこととした。研究 4 では使用した課題の内容と方法については第 5 章に詳しく記載することとする。

6-5：研究 5 の目的

研究 5 は、再帰的な推論のうち、他者信念の推論を対象としたものである。研究 1 により、社会的状況があると誘発される推論である可

能性との関連から、志向性が高くない場合でも、社会的状況だと認識されにくい状況で、この推論が使用されにくいことを前提とした。またこの研究の前提として、他者の推論は協調学習の中で「調整活動」として表れると想定した。そして、誘発される刺激がない中でどの程度個人が「調整活動」を行うかについては、個人差が影響していることを想定した。第3節で説明したように、認知負荷理論では、認知負荷がないものについても、状況によっては教育の工夫が必要である、としている。推論の誘発を考慮するような工夫が教育で必要であるとする。オンライン環境では対面による実施に比べ、他者の顔が見えない分、他者の考えを理解してもそれを他者に表示することまでは、想像力に負荷がかかり教示がないと実践されにくい場合がある。この、他者の考えについて理解したことを示す行為の教示を積極的にし、グループワークの構造に組み込むことで、各個人のモチベーションやグループの課題の成果につながるかを調査した。尚、この研究5は、現在論文執筆中に実践を行なっている内容であり、本論文では研究の途中成果と今後の研究の方向性について示すこととする。

(研究5—目的)

オンラインのグループワークにおいて、他者信念の推論の使用に個人差があるか、「調整活動」の頻度とパーソナリティの関係を示す。

研究5では、オンラインのグループワーク学習を使用した。また調整活動は、学習ログで確認することとした。また個人差の程度の測定には質問紙を使用することとした。これらの使用した課題の内容と方法については第6章に詳しく記載することとする。

第 2 章

研究 1 「他者信念の推論と志向性 1」

第 2 章：研究 1「他者信念の推論と志向性 1」

第 1 節：目的

本章は，成人において再帰的な推論が使用されやすい状況の特徴と限界を明らかにするという「(目的 1)」に関する研究となる．研究 1 の目的は，第 1 章第 6 節の「本論文の目的」で述べた通り 2 つある．1 つ目は，「社会的状況がある場合に，他者信念の推論が使用されやすいことを示す」であり，2 つ目は，「他者信念の推論は志向性レベルのどこまでが使用されやすいかを，志向性のレベルに合わせて示す」となる．他者信念の推論が利用されやすい状況と，その推論の志向性を高くし，認知負荷を高くした場合に，どのような推論を人が採用するかを確認することが目的である．次に，具体的な使用した課題について説明する．

第 2 節：方法

1-1 実験パラダイム

他者信念の推論の確認に、課題を使用することについては、第 1 章の第 3 節及び第 4 節で紹介した誤信念課題を参考にした。また、この実験では、社会的状況がある場合とない場合を比較するため、他者信念の推論を使用しない回答が存在する課題にする必要があった。そのため、古典的な進化心理学の研究である、ウェイソンの 4 枚カード問題 (Wason, 1968) から展開した研究を参考にした。4 枚カード問題は、カードの表にはアルファベット、裏には数字が書かれているもので、「A」「4」「K」「7」のように 4 枚並んで置かれており、「母音の裏には、数字が書かれている」というルールが守られているのかを確かめるために、どのカードを裏返して確かめれば良いか。というのが問いになる。形式論理学の答えでは、「P ならば Q」の命題に反しているものを見つける必要があるので、「P である」「Q でない」に該当する、「A」「7」の 2 枚のカードを裏返す必要がある。この課題について、この例のような抽象的な課題では、正答率が低いことが示されている (Cosmides et al, 2010; Newstead & Evans, 2013)。それに対し、数字で書かれた内容を、社会的状況がある内容に変更した場合に、社会的推論を使用して正解する傾向があることを示した研究がある (Cosmides & Tooby, 1992; Hiraishi, 2001)。この研究のように論理的な構造が等しい上で、社会的状況がある場合とない場合が比較できる課題を、他者信念の推論を含めた課題として作成することとした。

社会的状況がある推論課題として、3 つのドアの確率判断課題である Monty Hall Problem (以降 MHP とする) を題材とした変形課題を作成し使用することとした。MHP (Gardner, 1959) は、確率推論としての解を持つもので、反直感的な解をもつとされるものである。元は、1960 年代のアメリカのテレビ番組のクイズショーがきっかけで、数学、心理学、物理学、経済学などさまざまな分野で深く研究されている課題であり、議論はいまだに続いている課題である。MHP の課題については図 5 に示す。

この推論課題を基にし、MHPを社会的状況が入る場合と、ない場合があるように変形し、社会的状況がある場合に、確率の論理推論より他者信念の推論が優先されるかを確認することとした。

実験1では、社会的状況のあるMHPでは、確率的推論よりも社会的推論が優先されるという結果が、時田(2006)と同様に示されるかを確認する。実験2では、実験1で使用した社会的状況の志向性レベルを高くした場合に、どのような回答が一般的になるかを確認する。取り入れたMHPで他者の信念を捉える5次の限界(Nathan & Dumbar, 2017)が観察されるかを検討した。

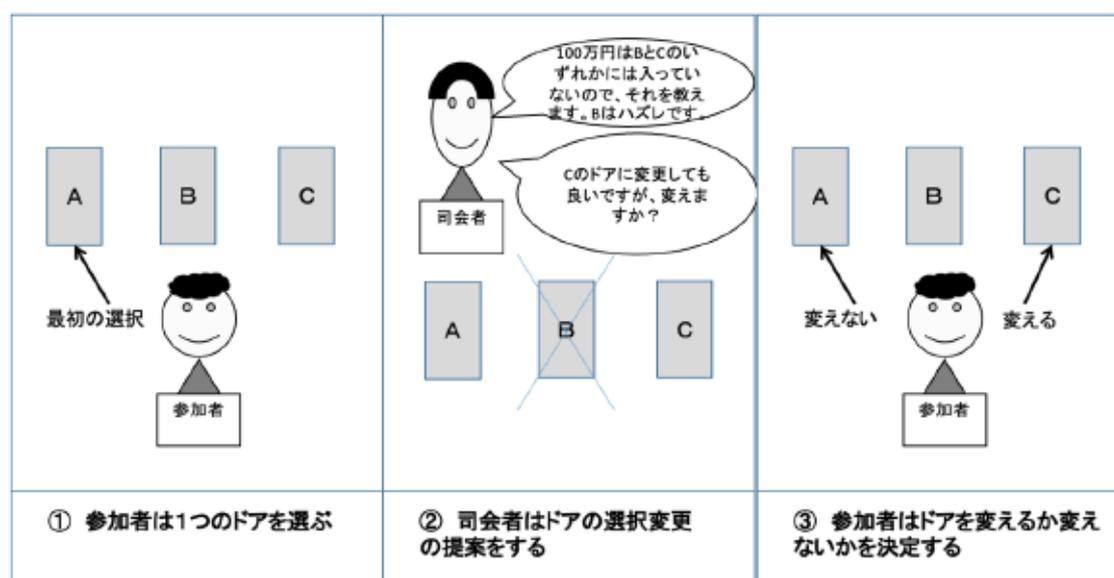


図4: Monty Hall問題の図説

先に図4に示した基の課題であるMHPの課題の内容を述べる。まず、司会者は3枚のドアのうち1枚が当たりであることを知った上で、参加者にドアを1枚選択させる。その後、司会者は残りの2枚のドアのうちハズレのドアを提示に、さらに参加者へ残されたドアへの選択変更の提案をする。そして参加者は最後にドアの選択を変更するかを決定する。確率論による最適解は「ドアを変更する」というものであり、選択変更した場合のドアの当たる確率は $2/3$ であるのに対し、最初のドアの選択を維持した場合の当たる確率は $1/3$ となる。にもかかわらず最初の選択から変更するのは非常に少

ないとされる。例えば Granberg & Brown (1995) による研究では、13%、17%であるとされ、その後も追試や発展による研究に応じて、調査がなされてきた。筆者が行った過去の研究（時田, 2006）においても、10%であるという結果が示された。

なぜ多くの人にはドアの選択を変更するという合理的な判断をしないのかについては、過去の研究で多く議論されてきた。例えば、「最初の直感を信じたい、もし変えて外れたら嫌だ」という反事実思考（Granberg & Brown, 1995）などが関連していると示す研究が存在する。時田（2006）においては相手の意図を読み取ろうとすることが問題の回答に影響を及ぼすことを示した。この MHP の選択については現在の筆者の見解は1つの原因ではなく、いくつかの要因が合わさっていると考えられる。最新の研究（Morone, 2021）では、この複数の原因について、課題を変形して分離することで、ベイズ更新、制御の錯覚、現場維持バイアスの3つのバイアスの大きさと影響を定量化することを試みている。このように MHP そのものの探究についても、その直感に反する解の存在から魅力的な研究課題であるが、本論文の目的はそれと異なり、時田（2006）で実施した結果から、この課題を変形した「他者の信念を推論する課題」としての機能に注目し、利用することとした。

この課題における司会者と参加者の社会的文脈が存在することが関係し、相手の意図を読み取ろうとすることがこの問題に関係していると考えた。相手の意図を読み取ろうとすることを誘発させる刺激を変化されることで、問題の回答が変化することを確認することとした。

1-2：実験1 課題

人条件課題（2次信念課題）とコンピュータ条件課題

実験1では、文脈の司会者が提案をする場合としない場合があるという状況を利用し、「参加者は「出題者がこう思っている」と思う」という他者の2次信念の使用が可能な推論課題を作成した。この課題を人条件課題とする。比較課題として、論理的に同じ構造で司会

者をコンピュータにする条件（コンピュータ条件課題）で回答率を比較した。実験1で使用した課題について図5に示す。

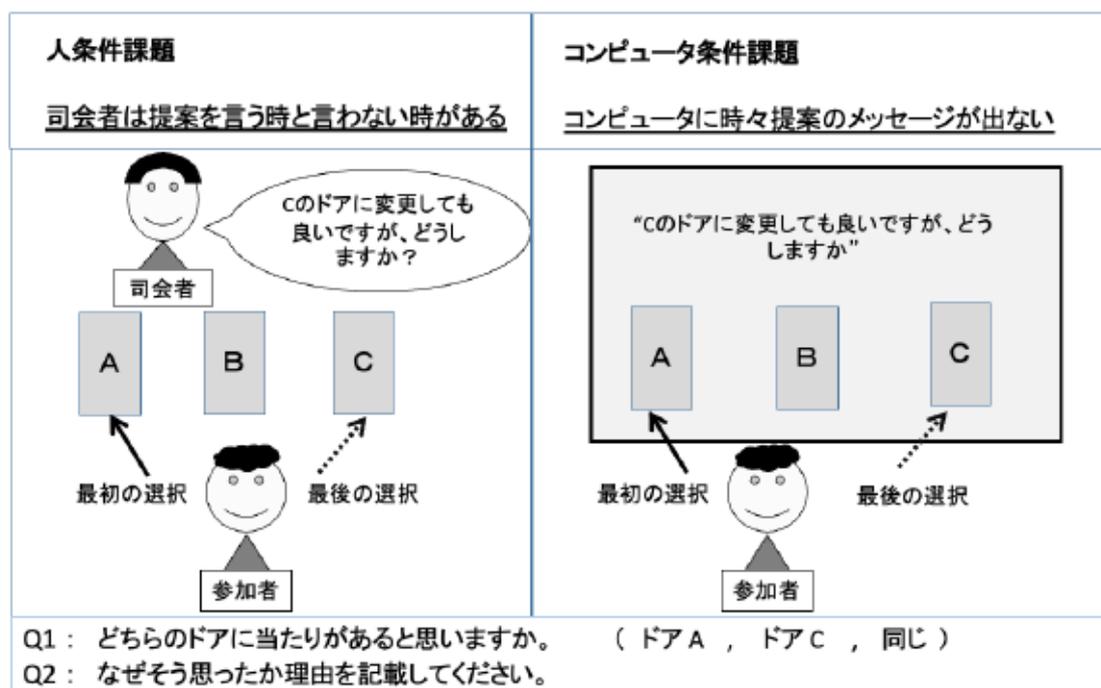


図5 人条件課題とコンピュータ条件課題の比較

いずれの条件においても、2つの質問を行い、質問1では、AとCのどちらのドアが勝つ確率が高いか、あるいは同じか。質問2では、なぜそう思うのかを記載する内容とした。人条件課題では、司会者は参加者が最初の選択を変更できることを意図的に伝えたり、伝えなかったりして参加者を騙すことが可能であることが暗黙に示される内容である。もし参加者が2次信念を使用するならば、実験参加者は、「司会者は、参加者が最初あたりのドアを選んだ時だけ選択変更の提案を行うと思う」と思う」と推論する事になる。このように人条件課題では、ドアAが勝つ確率が高いと答える。一方で、コンピュータ条件課題では参加者はコンピュータ相手に他者の信念についての推論は働かせることとはなく、標準的なMHPの回答率（10数%程度）になると予測できる。実験1では、この2つの課題の回答の比較を正答率の比較で行うこととした。次に実験2の問題について説明する。

1-3：実験 2 課題

3 次信念課題

実験 2 では他者信念の推論が 3 次，4 次，5 次と高次になることに
対応する課題が必要であり，それぞれの内容を説明する．まず 3 次
信念課題について図 6 に示す．

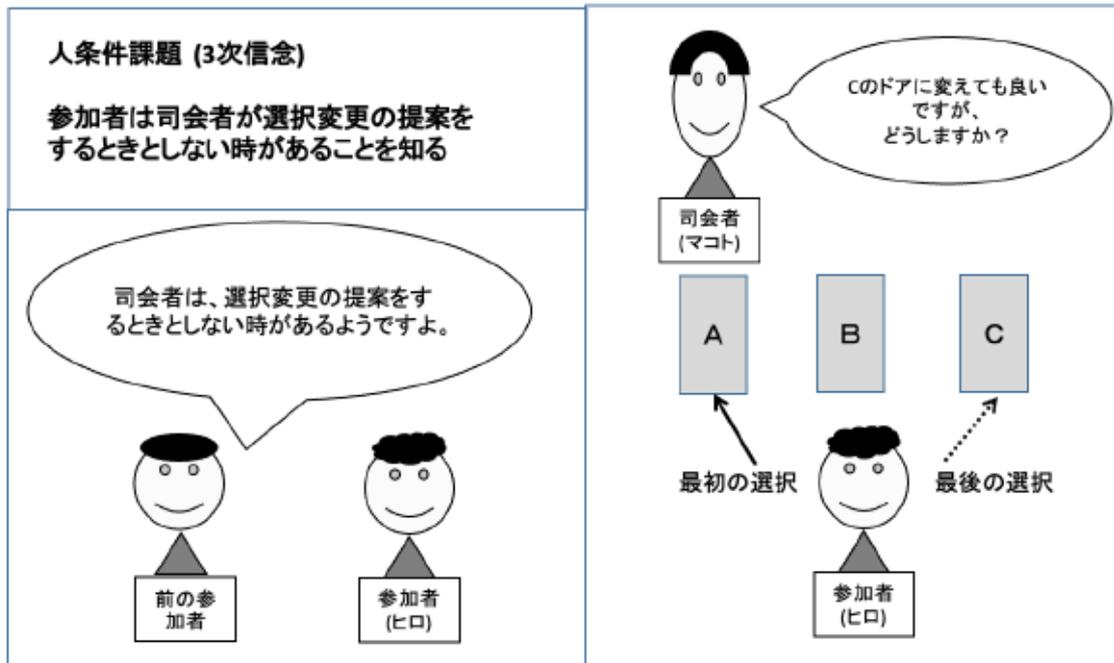


図 6：3 次信念課題の説明図

3 次の信念を必要とする課題の説明となる．この課題において実験
参加者は，文脈の参加者の信念を推測する場合に 3 次信念を使用す
る必要がある．この課題において，3 次信念の使用する場合は，実
験参加者は，“「参加者は「司会者が選択変更の提案を行うのは，参
加者が最初あたりのドアを選んだ時だけだ」と思うと思う”とい
う 3 次の入れ子構造が生じることに対応する．次に 4 次の信念の理
解を必要とする課題の説明を行う．

4 次信念課題

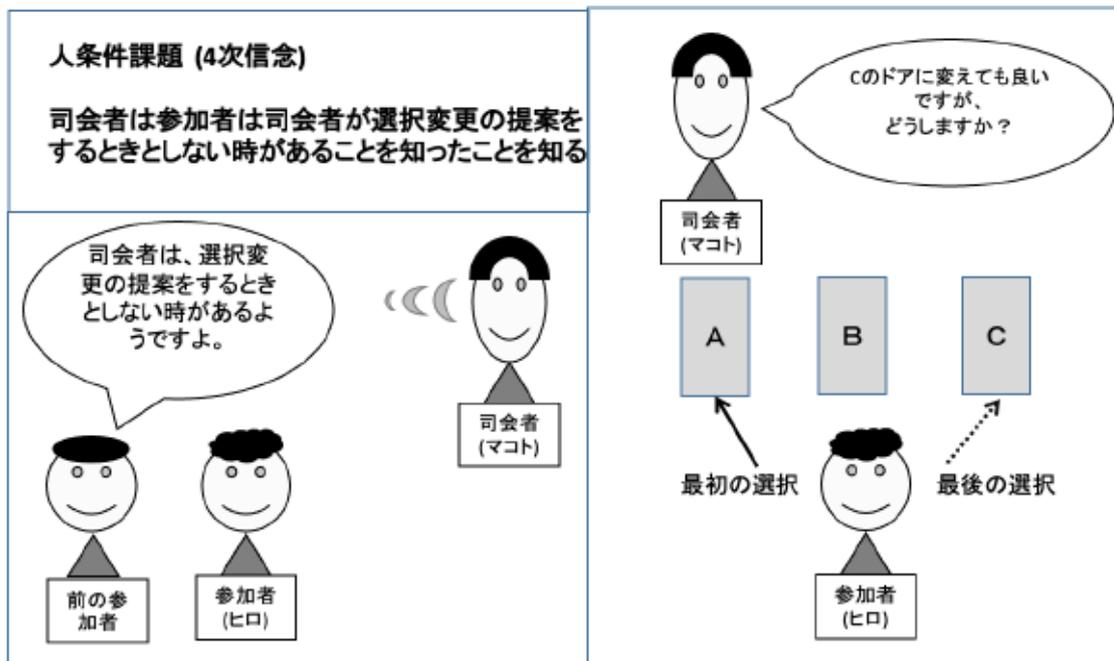


図 7：4 次信念課題の説明図

4 次の信念を必要とする課題の説明となる (図 7)。この課題において実験参加者は、文脈の参加者の信念を推測する場合に 4 次信念を使用する必要がある。

この課題における 4 次信念の理解の構造は、実験参加者は、“「司会者は、「参加者は「司会者が選択変更の提案を行うのは、参加者が最初あたりのドアを選んだ時だけだ」と思う」と思う」と思う」という推論となる。次に 5 次の信念の理解を必要とする課題の説明を行う。

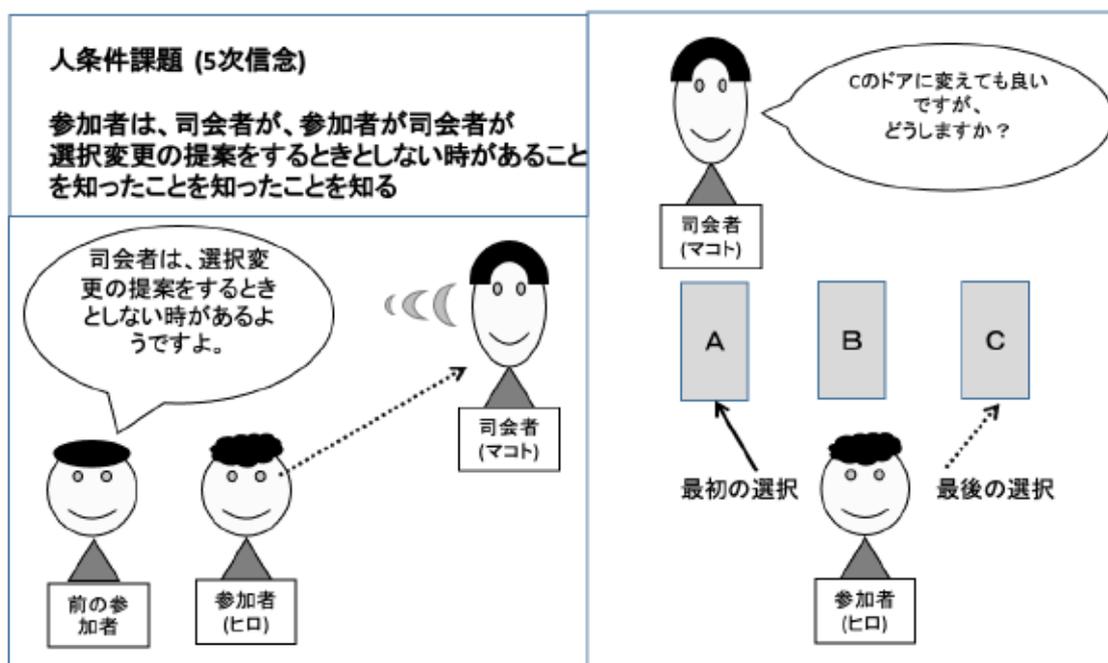


図 8 : 5 次信念課題の説明図

5 次の信念を必要とする課題の説明となる (図 8)。この課題において実験参加者は、文脈の参加者の信念を推測する場合に 5 次信念を使用する必要がある。この課題における 5 次の理解の構造は、「参加者は、「司会者は、「参加者は「司会者が選択変更の提案を行うのは、参加者が最初あたりのドアを選んだ時だけだ」と思う」と思う」と思う」という 5 次の入れ子構造が生じることに対応する。

次にこれらの課題を用いた上で、文脈の参加者がの最終的な選択が推論に影響する可能性があるため、文脈の参加者が最初のドアを選択にしたままの場合と、ドアの選択を変更する場合の 2 条件で実施する内容とした。前者を「C 変更」条件、後者を「A 維持」条件とした。各課題におけるこの条件を含めた概要を図 9 に示す。

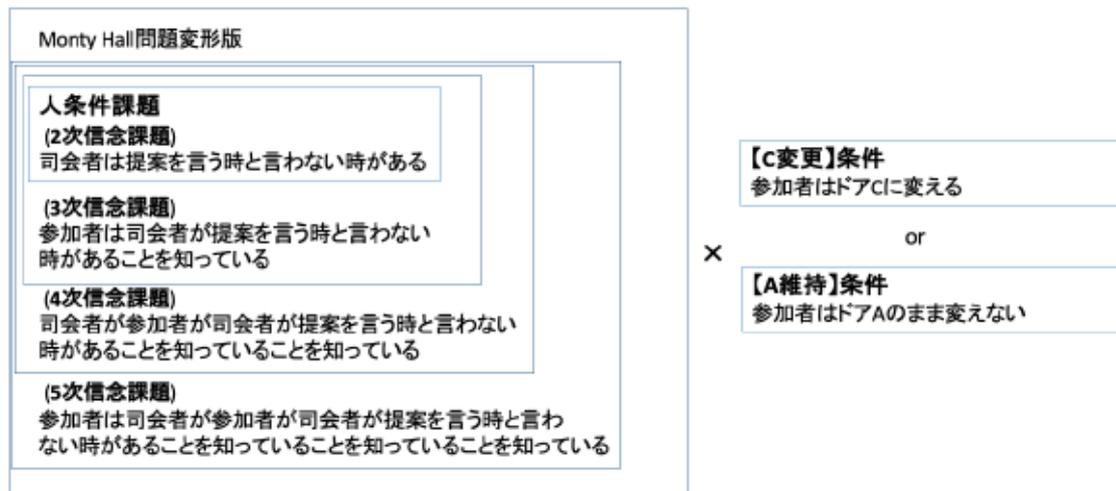


図 9 MHP 変形版問題の概要

また実験 2 では、それぞれの課題でどの推論を利用したかについての関係性を整理する必要があるその内容について次の表に示す。

表 2：課題の回答と使用推論の関係性

条件	回答パターン			情報優位者
	ドアA	ドアC	同じ	
標準課題	-	-	簡易確率	-
2次信念課題	他者信念	-		司会者
3次信念課題		-		参加者
4次信念課題	-	他者信念		司会者
5次信念課題	-			参加者

この関係性において、全ての条件においてベイズ的な確率解は「ドア C」の回答となる。またこの実験 2 における 2 次信念課題とは、実験 1 の人条件課題のことであり、比較に使用することとする。表に示すように、2 次信念課題と 3 次信念課題については「ドア A」を選択することがそれぞれの次元の他者信念の使用に対応する。一方で、4 次信念課題と 5 次信念課題については、「ドア C」を選択することが対応する（表 2）。

1-4：実験参加者

実験 1 の参加者は、全体で 180 名であった。そのうち、標準課題の参加者は 44 名（男性 28 名，女性 16 名）であり，平均年齢は 18.3 歳 ($SD=0.49$) となる。また，人条件課題の参加者は，75 名（男性 56 名，女性 19 名）であり，平均年齢は 18.4 歳 ($SD=0.59$) となる。そして，コンピュータ条件課題の参加者は，61 名（男性 46 名，女性 15 名）であり，平均年齢は 18.6 歳 ($SD=0.62$) となる。

実験 2 の参加者は，実験 1 とは別の群で行い，全体で 364 名であった。そのうち，3 次信念課題の C 変更条件の参加者は 66 名（男性 49 名，女性 17 名）で平均年齢は 18.2 歳 ($SD=0.43$)，A 維持条件の参加者は 48 名（男性 33 名，女性 15 名）で，平均年齢は 18.6 歳 ($SD=0.53$) あった。4 次信念課題の C 変更条件の参加者は 55 名（男性 39 名，女性 16 名）で平均年齢は 18.5 歳 ($SD=0.50$)，A 維持条件の参加者は 62 名（男性 48 名，女性 14 名）平均年齢は 18.4 歳 ($SD=0.64$) であった。5 次信念課題の C 変更条件の参加者は 59 名（男性 42 名，女性 17 名）で，平均年齢は 18.6 歳 ($SD=0.56$) で，A 維持条件の参加者は 74 名（男性 61 名，女性 13 名）平均年齢は 18.7 歳 ($SD=0.52$) であった。なお，実験 1 及び実験 2 は，それぞれ授業で行ったが，研究の実施と公表を行う同意を得た上で，参加は自由とした。

1-5：手続き

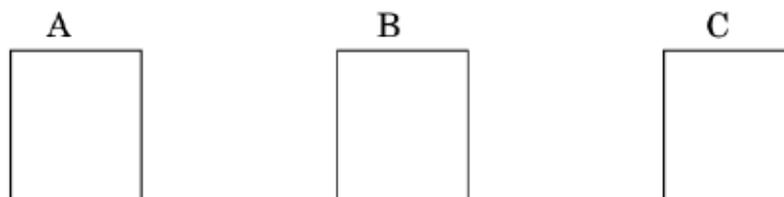
実験 1，実験 2 いずれにおいても，参加者に口頭で説明後，1 人 1 台 PC を使用し，その場で WEB による一斉回答を実施した。参加者は課題を読んだ後，問 1，問 2，問 3 について解答した。時間はそれぞれ 10 分程度とした。実際に WEB に記載した課題について，図に示す。

<実験 1> 人条件課題 (2次信念課題)

クイズゲームをしています。ゲームは2人で行い、出題者と回答者に分かれます。AとBとCの3つのドアがあり、どれか1つが当たりで、開けると現金100万円があります。今回はヒロさんが回答者で、マコトさんが出題者です。

ヒロさん(回答者)は100万円の隠されているドアを当てると、100万円をもらうことができます。マコトさん(出題者)は当たりのドアを最初から知っていて、ヒロさんが外すと、マコトさんが100万円をもらうことができます。このゲームで、出題者(マコトさん)が言うべき台詞はルールで決まっています。しかし、マコトさんは、「ドアを変えてもいいですが、どうしますか?」という台詞を言ったり、言わなかったりしていることがわかりました。

ヒロさんはこのことを知りません。

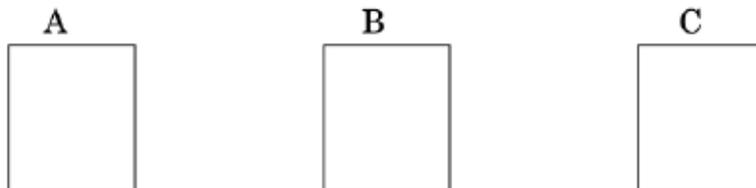


- ・マコトさんがヒロさんに、「どれかを選んでください。」と言い、ヒロさんはAを選びました。
- ・次に、マコトさんが「残されたB、Cのうち、ハズレは必ず1つはあるのでそれを教えます」「Bはハズレです」と言い、空のBのドアをあけました。
- ・次に、マコトさんが、「ドアを変えてもいいですが、どうしますか?」と言いました。
- ・ヒロさんは、Cのドアに変えることにしました。**【C変更】条件**

<実験1> コンピュータ条件課題

クイズゲームをしています。ゲームはコンピュータに向かって、回答者が行います。AとBとCの3つのドアが画面に表示され、どれか1つが当たりで、当たると現金100万円があります。今回はヒロさんが回答者になります。

ヒロさん（回答者）は100万円の隠されているドアを当てると、100万円をもらうことができます。コンピュータには当たりのドアを最初からプログラムされています。このゲームで、コンピュータに表示される文言はルールで決まっています。しかし、コンピュータのプログラムに障害があり、「ドアを変えてもいいですが、どうしますか?」という文言が表示されたり、されなかったりしていることがわかりました。ヒロさんはこのことを知りません。



- ・コンピュータに、「どれかを選んでください。」と表示され、ヒロさんはAを選びました。
- ・次に、コンピュータに「残されたB、Cのうち、ハズレは必ず1つはあるのでそれを教えます」「Bはハズレです」と表示され、空のBのドアも表示されました。
- ・次に、「ドアを変えてもいいですが、どうしますか?」と表示され、ヒロさんは、Cのドアに変えることにしました。**【C変更】条件**

問1：どのドアに100万円がある可能性が高いと思いますか
次の中から選んでください。

Aのドア Cのドア 同じ(AのドアもCのドアも同じ)

問2：なぜそう判断しましたか? (理由を書いてください)

<実験2>

3次信念課題（追加部分）

しかし、ゲームの前にヒロさんは、マコトさんが「ドアを変えてもいいですが、どうしますか?」という台詞を、言ったり言わなかったりしているという事実を、前の参加者から聞いて知りました。

→最後の文：Cのドアに変えることにしました。：【C変更】条件

→最後の文：Aのドアのままとしました。：【A維持】条件

問1，問2について2次信念課題と同様

4次信念課題（追加部分）

しかし、ゲームの前にヒロさんは、マコトさんが「ドアを変えてもいいですが、どうしますか?」という台詞を、言ったり言わなかったりしているという事実を、前の参加者から聞いて知りました。しかしその会話がマコトさんに聞こえていました。マコトさんに聞こえたことをヒロさんは知りません。

→最後の文：Cのドアに変えることにしました。：【C変更】条件

→最後の文：Aのドアのままとしました。：【A維持】条件

問1，問2について2次信念課題と同様

5次信念課題（追加部分）

しかし、ゲームの前にヒロさんは、マコトさんが「ドアを変えてもいいですが、どうしますか?」という台詞を、言ったり言わなかったりしているという事実を、前の回答者から聞いて知りました。しかしその会話がマコトさんに聞こえていました。ヒロさんだけは、この会話がマコトさんに聞こえていたことも分かりました。

→最後の文：Cのドアに変えることにしました。：【C変更】条件

→最後の文：Aのドアのままとしました。：【A維持】条件

問1，問2について2次信念課題と同様

第3節：結果と解釈

まず、実験1についての結果を示す。

表3：実験1における回答率

課題	回答率(%)			χ^2	P	χ^2_{diff}	P
	ドアA	ドアC	同じ				
1. 標準課題	40.9	15.9	43.2	13.76	0.001		
2. 人条件	70.7	8.0	21.3	65.49	<0.001		
3. 標準課題と人条件課題の違い						18.00	<0.001
4. コンピュータ条件	16.4	23.0	60.7	34.24	<0.001		
5. 人条件とコンピュータ条件の違い						60.04	<0.001

表3において、太字のフォントは他者信念の推論をした場合の正解の回答を示している。「ドアA」の回答が他者の信念の推論の利用に対応し、「ドアのC」の回答がベイズ的な確率解に対応する。また、「同じ」の回答は簡易的な確率推論の回答に対応する。

結果は、まず、標準課題では、「同じ」の回答率が最も高かった。これに対して、人条件課題では「ドアA」が70.7%と最も多く、標準課題群との間に統計的に有意な差が確認された。一方、コンピュータ条件課題では、「同じ」が60.7%と最も多く、人条件課題との統計的有意差が確認された。次に実験2の結果を示す。

表4 実験2の回答率と統計量

課題	最終選択	回答率(%)			χ^2	P	χ^2_{diff}	P
		ドアA	ドアC	同じ				
1. 3次信念課題	C変更	69.2	18.5	12.3	58.47	<0.001		
	A維持	52.1	33.0	14.6	21.16	<0.001		
2. 2次信念課題(人条件課題)と3次信念課題の差異								
3. 4次信念課題	C変更	36.4	40.0	23.6	4.46	0.11		
	A維持	25.8	56.5	17.7	25.14	<0.001		
4. 2次信念課題(人条件課題)と4次信念課題の差異								
5. 5次信念課題	C変更	18.6	52.5	28.8	18.17	<0.001		
	A維持	45.9	16.2	37.8	14.16	<0.001		
6. 2次信念課題(人条件課題)と5次信念課題の差異								
							64.25	<0.001

表4においても、太字のフォントは他者信念の推論をした場合の正解の回答を示している。具体的には、3次信念課題の条件ではドアA、4次信念課題と5次信念課題の条件ではドアCがそれに対

応する。また、最終選択について、Cに変更する場合は「C変更」そしてAのままで維持する場合は「A維持」と明記した。下線部については、課題内の文脈の参加者が最終的に選択したドアを示している。具体的には、「A維持」条件の場合はドアA、「C変更」条件の場合はドアCとなる。

実験2の結果からは、まず3次信念課題について、他者の信念の推論を利用した回答である「ドアA」を選択する回答が、いずれの条件でも最も多い回答(69.2%, 52.1%)であり、他の回答パターンと有意差が確認された。続いて、4次信念課題についても、他者の信念の推論を利用した回答である「ドアC」を選択する回答が、いずれの条件でも最も多い回答(40.0%, 56.5%)であり、他の回答パターンと有意差が確認された。その上で、「C変更」条件において、「A維持」条件と比較すると有意差はないものの、回答率が少し低くなる傾向が見られた。最後に、5次信念課題については、まず「同じ」の回答率が他の条件と比べて30%前後と最も多い結果であった。また、「C変更」条件と「A維持」条件において、回答率の差が確認された。「C変更」条件については、他者の信念の推論を利用した回答が52.5%と多かったのに対し、「A維持」条件においては16.2%と少ない結果であった。この結果は、5次信念課題については、他者の信念を利用するかどうかの推論に、文脈の回答者の最終選択の結果が影響したことを示している。5次信念課題については、文脈の参加者の最終選択に合わせた回答になっていると解釈することもできる。つまり、5次信念を理解しているということではなく、5次信念の課題は、司会者の方が知っている情報が多いという参加者が司会者より情報優位になっているため、その参加者が選択したドアが当たる可能性が高い、という推論である。情報優位な方が勝つという推論であり、この推論は“参加者(ヒロさん)の方が多く知っているから”等の自由記述でも確認された。

これらの結果から、度数が高くなる他者の信念についての実験について、いずれの条件でも回答率が半数以上であるのは3次の信念課題であり、4次信念以降の課題においては、課題内の文脈の参加者の行動が推論に影響するなど、純粹な他者の信念の理解の焦点を

当てた推論以外の要素が入ることが考察される。

実験 1 と実験 2 の結果から「他者を騙すことが可能な社会的状況」では、他者信念の推論が優先されやすいことが示唆された。実験 2 の志向性の高い課題においても、実験 1 で使用した 2 次の信念課題とどの課題も有意差がある上で、それぞれの課題で回数が高くなるほど、「C 変更」条件と「A 維持」条件の回答に差が出るという結果が確認された。4 次信念課題と 5 次信念課題を比較したときに、その 2 条件の独自の傾向を見ることは出来なかったが、参加者の「行動」に推論が影響される可能性が確認された。

推論課題における社会的状況の情報が他者の信念の推論に影響を与えていることが示唆された。また他者の信念を利用する高次の推論では、推論の誤りや、他のメタ認知的な推論を利用した簡易な推論が多くなることがわかった。

他人の心を読む推論は、「他者を欺くことが可能な社会的状況」において使用されやすいが、再帰的に高次の推論については、大きな情報処理能力を必要とし、その推論は限定的になることが考えられた。本研究のみの結果から、3 次信念の推論と 4 次信念の推論に明確な区分をつけることは出来ないが、他者の意図に気づき、騙されないようにすることは、進化的に重要な推論であるが、4 次以降になると、3 次よりは他の推論に影響される可能性があり、必ずしも他者信念の推論が優先されるわけではない可能性が考察される。

第 3 章

研究 2 「他者信念の推論と志向性 2」

第 3 章：研究 2「他者の信念の推論と志向性 2」

第 1 節：目的

本章は、成人において再帰的な推論が使用されやすい状況の特徴と限界を明らかにする「(目的 1)」に関する研究となる。研究 2 の目的は、第 1 章第 6 節の「本論文の目的」で述べた通り、「他者信念の推論の志向性のレベルのどこまでが使用されやすいかを、複数の志向性のレベルが合わさった内容で示す」となる。

研究 1 でも解説したように、他者の信念についての理解の成人の限界があり、それはワーキングメモリが関連している可能性があることが示されている (Gilbert et.al, 2006)。また研究 1 の結果から、4 次信念課題などの高次の課題になるにつれて、2 次や 3 次の信念課題のように、他者信念の推論に基づいた回答だけでないパターンの出現が増えることが確認された。これらの結果から、心的状態のメタレベルの志向性の認知は、対人場面でどこまで想定するのが合理的なのか、という視点も持つ必要があると考える。5 次の志向性まで考えることが可能であるからとはいえ、日常場面で相手が 5 次まで考えていると想定するのが必ずしも合理的ではないだろう。研究 2 では、対人場面の社会的状況を含む推論課題において、どこまでの志向性があると捉えて人が推論するのかを確認することを目的とした。

この再帰的な推論の合理性からの限界を考えるにあたり、MHP の変形課題とは別の課題を作成した。MHP の変形課題には登場する 2 者間の情報の非対称性が生じていた。司会者と参加者という社会的状況があり、この 2 者間で情報優位性の差異が存在し、一方が一方に「騙されないようにする」という根本的な状況が存在する上での課題となっていた。研究 2 で使用する課題では、文脈における参加者が 2 名で、社会的状況が発生しながらも、参加者同士に情報優位性のない対人関係での課題設定にすることを試みた。

第 2 節：方法

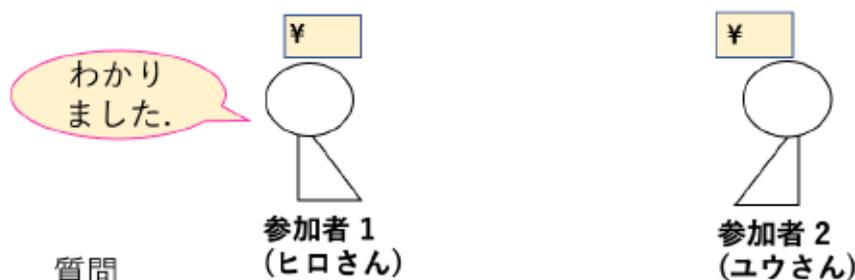
2-1：課題

本研究では，社会的状況を含むシンプルな金額当てゲーム（以降金額当てゲーム課題とする）を作成した（Tokita & Hiraishi, 2016）．この課題について他者の信念の理解に必要な志向性について，複数の次元が使用できる課題を作成した．まずは研究 1 で 3 次と 4 次に回答パターンに違いが見られたことから，3 次 4 次いずれでも使用できる課題を作成し，どちらの推論を使用して回答することが多いかを確認する．「金額当てゲーム課題（多重）」とした．

この課題については，数字を使用した推論ゲームであるインディアンポーカーを参考にした．このゲームの内容は，次の通りである．まず，強さの定まった数字のカードを何枚か使用し，対戦する 2 人が向かい合う．対戦する 2 人は，ゲームが始まると，先手と後手に分かれ，カードを 1 枚ずつ開示していく．その際に，相手の数字だけを見て，「賭ける」か「降りる」かの選択をし，最後にカードを多く所有した方が勝つという内容である．このゲームの，「自分の数字は分からず，相手の数字は分かる」という状況は，数学的な現状把握を完全に出来ない不完全情報ゲームとなっている．不完全情報ゲームの場合に，心理的な分析が入るとされる．この古典的なゲームを基に，シンプルな社会的な状況を設定し，相手の心を推測することが含まれた数当てゲームの推論課題を作成した．

- ・ 5000円札が1枚, 1000円札が2枚あります.
- ・ 2人の参加者(ヒロさん、ユウさん)に, 1枚ずつ配られます.
- ・ 2人は向かい合っていて, それぞれ自分の金額は分からず,
- ・ 相手の金額が見えるようになっています.
- ・ 自分の金額を当てると, その金額がもらえ, ハズレた場合は, 自分の金額を相手がもらえることになります.
- ・ ゲームは一度きりです.

- ・ スタートから1分間どちらも言葉を発しませんでした.
- ・ 1分後, ヒロさんが, 「わかりました」と言いました.



質問

- 問1: どちらの参加者が, 金額をもらった可能性が高いか.
(ヒロさん, ユウさん, 同じ)
- 問2: それぞれ何円が配られていたと思うか.
(ヒロさん()円, ユウさん()円)
- 問3: なぜそう考えたのか. ※理由を記載してください.
()

図 10: 金額当てゲーム課題 (多重)

図 10 は「金額当てゲーム課題 (多重)」となる. この金額当てゲーム (多重) については, 研究 1 で取り上げた MHP 変形問題と比べて, 課題に登場する 2 者である, 参加者 1 (ヒロさん), 参加者 2 (ユウさん) に情報の非対称性が生じず, 情報優位性のない対人関係での課題設定となっている. 本課題においては, 参加者 1 (ヒロさん), 参加者 2 (ユウさん) の心的状態の推測を 3 次 4 次いずれも使用可能で, その使用した水準で異なる推論を想定できる内容になっている. 本課題の中の「スタートから 1 分間どちらも言葉を発しない」という条件から 3 次信念を使用した解が存在するようになる. まず, 3 次の信念を利用した推論の場合の図を示す.

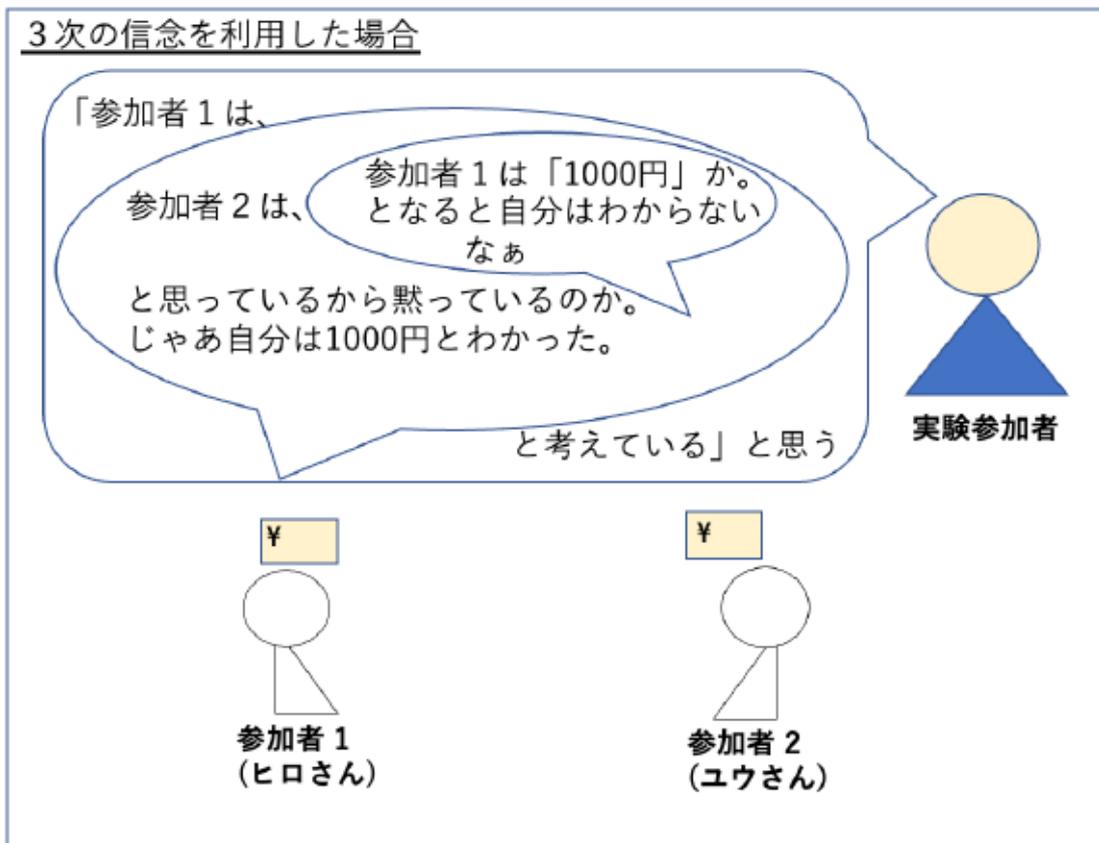


図 11：3 次信念を使用した場合の理解

図 11 に示すように，“実験参加者は、「参加者 1（ヒロさん）は、参加者 2（ユウさん）は、“相手は 1000 円か．では、自分の金額は分からないな”と
思っている」と思う」と思う．”，という内容である．この推論をした場合の回答パターンは、問 1 が“参加者 1”，問 2 が“参加者 1（ヒロさん）1000 円・参加者 2（ユウさん）1000 円”となる．次に、4 次の信念を利用した推論の場合の図を示す．

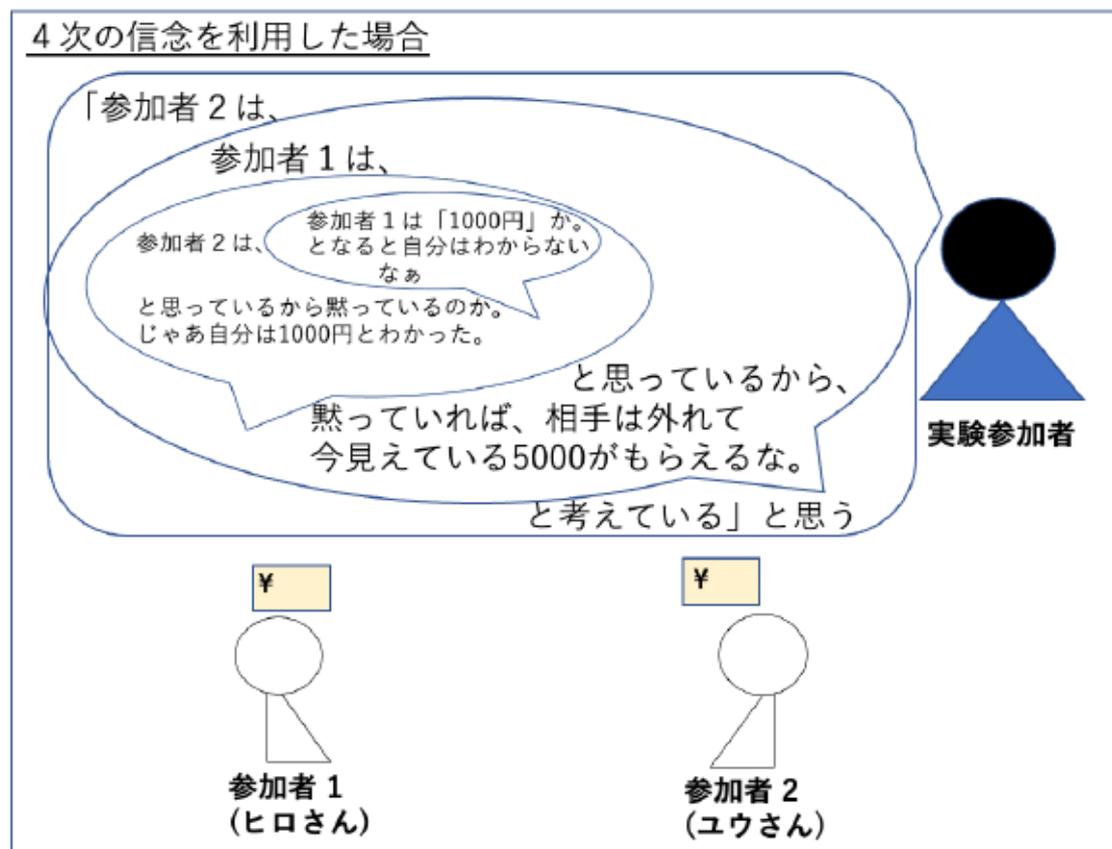


図 12 4 次信念を利用した場合の実験参加者の理解

図 12 に示すように，“実験参加者は、「参加者 2 (ユウさん) は、「参加者 1 (ヒロさん) は、「参加者 2 (ユウさん) は、「参加者 1 (ヒロさん) は、「相手は 1000 円か. では, 自分の金額は分からないな」と思っている」と思う」から黙っているのか. では, 自分は 1000 円と分かった」と思っているから, 黙っていれば相手は外れて今見えている 5000 円が貰えるなど考えている」と思う”, という内容である. この推論をした場合の回答パターンは, 問 1 が“参加者 2 (ユウさん)”で, 問 2 が“参加者 1 (ヒロさん) 5000 円・参加者 2 (ユウさん) 1000 円”となる. この場合, 参加者 2 (ユウさん) は, 実は自分が最初から 1000 円であると分かっているが, 相手間違っって答えて外れる様にした方が 5000 円の金額を手にする状況だと想定できる.

また, この課題は, 3 次, 4 次いずれでもない推論として, 「スター

トから 1 分間どちらも言葉を発しない」という情報を使用せず、2 次の信念を使用した回答をする場合、“実験参加者は、「参加者 1 (ヒロさん) は、「相手は 5000 円か. では、自分は 1000 円だと分かった」と考えている」と思う”も考えられる。また、「スタートから 1 分間どちらも言葉を発しない」の情報も、他者の信念も使用しない確率的な判断を使用した回答として、“1000 円か 5000 円なのは、5 分 5 分である”“1000 円の方が多いので、1000 円である確率が高い等も考えられる。そのため、問 3 の自由記述も参考にし、確率推論（確率推論のみを使用）、2 次信念（参加者 1 の 1 次信念が記載してある）、3 次信念（参加者 1 の 2 次信念が記載してある）、4 次信念（参加者 2 の 3 次信念が記載してある）、その他（前述のどれでもない）に分類することとした。

実験参加者への問いは図にも示した通り、次の 3 点となる。（問 1）どちらの参加者が金額をもらえた可能性が高いか。（問 2）それぞれ何円が配られていたと思うか。（問 3）なぜそう考えたのか。である。また、他者の信念を使用した場合の回答パターンについて表 5 にまとめる。

表 5 質問と他者信念の理解の対応

	質問 1	質問 2
	どちらの参加者が金額がもらえた可能性が高いか	それぞれ何円が配られていたと思うか
2 次信念回答	参加者 1 「わかりました」 ヒロさん	参加者 1 : 1000円 参加者 2 : 5000円
3 次信念回答	参加者 1 「わかりました」 ヒロさん	参加者 1 : 1000円 参加者 2 : 1000円
4 次信念回答	参加者 2 ユウさん	参加者 1 : 5000円 参加者 2 : 1000円

表 5 に示すように、信念に応じて、質問 1 は 2,3 次いずれもが参加者 1 (ヒロさん)、4 次は参加者 2 (ユウさん) の回答と対応する。

2-2：実験参加者

続いて実験手続きについて解説する。実験参加者は、103名（男性78名，女性25名）であり，平均年齢は18.3歳（ $SD=0.49$ ）となる。なお，本実験は，授業で行ったが，研究の実施と公表を行う同意を得た上で，参加は自由とした。

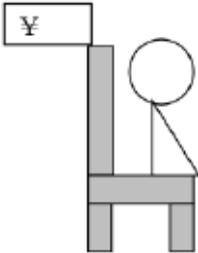
2-3：手続き

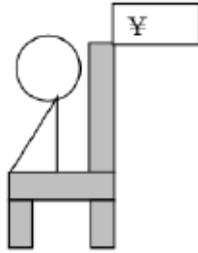
参加者に用紙を一斉に配布して実施した。参加者は課題を読んだ後，問1，問2，問3について解答した。時間は10分程度とした。実際に配布した課題を記載した用紙について，図に示す。

金額当てゲームをしています。 回答者2人で行います。「1000円札が2枚と、5000円札が1枚」であることが伝えられ、それぞれにいずれか1枚が配られます。

回答者は向かい合っていて、それぞれの金額はわからず、相手の金額が見えるようになっています。自分に与えられた金額を当てるゲームです。当たった場合はその金額をもらえます。金額がハズレた場合は、対戦相手が、ハズレた回答者の実際のコличествоがもらえます。ゲームは一度きりです。回答者はヒロさんと、ユウさんです。

さて、ゲームが始まりました。





- ・ 出題者から2人に金額を配られて、それぞれ自分の金額は分からず、相手の金額は見る事ができました。
- ・ 出題者が2人に「それでは、自分の金額がわかった時点で言ってください」といいました。
- ・ 1分ほど時間が経過しましたが、ヒロさん、ユウさん、いずれも言葉を発しません。
- ・ その後、最初にヒロさんが「わかりました」といい、予想した値を言いました。

問1：ヒロさんとユウさんのどちらが金額をもらえる可能性が高いと思いますか？
※丸で囲んで教えてください。

(ユウさん ・ ハルさん ・ 同じ)

問2：ヒロさん、ユウさん、それぞれの金額はいくらであったと考えられますか？
ヒロさん (円) ユウさん (円)

問3：理由

*上の2つの問いをなぜそう判断したのか理由を書いてください

第3節：結果と解釈

研究2における結果について述べる。まずは質問1についての回答率であるが表6の結果となった。

表5 質問1の回答率

質問1	回答率 (%)
参加者1 (「わかりました」) ヒロさん	57.3
参加者2 ハルさん	12.6
同じ	30.1

まず、質問1に対する結果は、「わかりました」と話す「参加者1 (ヒロさん)」であると回答する内容が57.3%と最も多い結果であった。続いては「同じ」と回答する割合が30.1%であり、「参加者2 (ハルさん)」であると回答する場合は12.6%であるという結果であった。回答率について、カイ二乗検定を行った結果、統計的有意差が確認された。 $(\chi^2 = 30.44, p < 0.001)$

続いて、質問2に対する結果を示す(表7)。

表7 質問2の回答率

質問2	回答率 (%)
参加者1 (ヒロさん) : 1000円 参加者2 (ハルさん) : 1000円	48.5
参加者1 (ヒロさん) : 1000円 参加者2 (ハルさん) : 5000円	40.8
参加者1 (ヒロさん) : 5000円 参加者2 (ハルさん) : 1000円	10.7

質問 2 に対する結果は、参加者 1、参加者 2 が 1000 円 1000 円であることを想定する回答が 48.5%と最も多く、続いて参加者 1 が 1000 円、参加者 2 が 5000 円であることを想定する回答が 40.8%と多い結果であった。参加者 1 が 5000 円、参加者 2 が 1000 円であることを想定する回答は 10.7%と最も低い結果であった。回答率について、カイ二乗検定を行った結果、統計的有意差が確認された。 $(\chi^2=23.94, p<0.001)$

続いて、質問 3 に対する結果を示す（表 8）。

表 8 質問 3 の回答率

質問3	回答率 (%)
確率推論の使用	10.7
2次信念の使用	25.2
3次信念の使用	38.8
4次信念の使用	13.6
その他	11.7

質問 3 は自由記述であり、記述内容を読み、確率推論（確率推論のみを使用）、2次信念（参加者 1 の 1次信念が記載してある）、3次信念（参加者 1 の 2次信念が記載してある）、4次信念（参加者 2 の 3次信念が記載してある）、その他（前述のどれでもない）に分類した。結果は 3 次の信念の使用が 38.8%と最も多く、続いて 2 次信念の使用が 25.2%と多かった。あとは、4 次信念の使用が 13.6%、その他が 11.7%、確率推論の使用は 10.7%という結果であった。回答率について、カイ二乗検定を行った結果、統計的有意差が確認された。

$(\chi^2=28.84, p<0.001)$

これらの結果から、複数のメタレベルの解釈が可能な推論課題において、3 次の信念の使用が最も多く、次が 2 次の信念という結果であった。

研究 2 の結果からは、研究の結果から、複数のメタレベルの解釈

が可能な推論課題において、3 次の信念の使用が最も多いということがわかった。この結果は、単に3 次の信念であれば多くの人に解釈が可能であるということだけでなく、3 次の信念を含む状況がもっともあり得そうだと解釈している可能性がある。一方で、先行研究から、心的状況の高次の志向性レベルにはワーキングメモリの使用が関連することが示されているため、4 次の志向レベルは負荷が高いから、採用されにくかったとも解釈できる。あるいは、その思考をする場合には、二重過程理論 (Tversky & Kahneman, 1974) における熟考型推論において、4 次の信念の推測そのものに使用される部分と、2 次や3 次の信念の推測と比較してどの物語を選定するか決定に使用される部分との、両方から負荷がかかり採用されにくいとも考えられる。どこまで意識的に、あるいは無意識的に行われているかは本研究からは明らかにできない。また、本研究で使った課題の限界として、直感と一致しやすい解とそうでない解が存在してしまうことが影響した可能性はある。“わかりました”という方が、直感型推論で採用されやすいだろう。Do Ney (2012) は、直感型推論と、熟考型推論が同時に推論で使用されたとき、それらが相反する場合は、直感型推論が誤っていると判別するのは負荷が高いと言及している。今後は、直感型推論による認知負荷も考慮し、課題を設計して調査をする必要がある。

第 4 章

研究 3 「課題における認知的負荷の関連性」

第 4 章：研究 3「課題における認知的負荷の関連性」

第 1 節：目的

本章は、成人において再帰的な推論が使用されやすい状況の特徴と限界を明らかにする「(目的 1)」に関する研究となる。研究 3 の目的は、第 1 章第 6 節の「本論文の目的」で述べた通り、「数学的な推論と他者信念の推論に、ワーキングメモリを介した共通性があるか」となる。

前章までの研究で、他者信念の推論の志向性について確認をした。その結果、明確な線引きは出来ないが、4 次以降の高次の他者信念の推論については、3 次信念までと比べて認知的負荷が高い可能性があること、また、他者信念の推論の発動には「社会的状況」の契機が必要であることが考察された。この章では、再帰的な推論のうち数学的な推論についても調査し、この推論と他者信念の推論が関連するかについて確認する。再帰的な推論のうち数学的な推論については、第 1 章第 2 節及び第 4 節で述べたように、学習者の認知負荷が高いことがすでに研究されていた。本研究は、多重知能理論などから、再帰的推論に共通性があるかを探るという大きな目的の中で、本研究で取り扱ってきた他者信念の推論を調査する課題と数学的な推論を使用する課題を解く場合のワーキングメモリの関連を調べる。

数学的な推論を使用する課題としては、情報学の授業の中の、プログラミング言語の基本的な制御構造の反復処理である FOR 文の多重ループに相当する課題を選んだ。この課題を選定した理由は、この学習は大学の一般教養過程の情報学の範囲にあり、実験参加者が大学初年次学生であるためである。習得する内容であるからである。他者の信念の課題と比較し、数学的な推論を使用する反復処理課題において高次の再帰的推論の正答率が高い人は、他者の信念心の高次の再帰的推論についても正答率が高い傾向があることを確認する。

第 2 節：方法

2-1：課題

ここでは、数学的な推論を使用する課題と、他者信念の推論を使用する課題それぞれを説明する。

数学的推論の課題

本課題においては BASIC プログラミングの課題を用意した。

<for1重>	<for2重>	<for3重>
次のBASICプログラムを実行後、「a=」に対して、「5」と入力した場合に表示される結果を書いてください。	次のBASICプログラムを実行後、「a=」に対して、「3」と入力した場合に表示される結果を書いてください。	次のBASICプログラムを実行後、「a=」に対して、「3」と入力した場合に表示される結果を書いてください。
10 input "a=",a 20 for i=1 to a 30 print i 40 next 50 end	10 input "a=",a 20 for j=1 to a 30 for i=1 to a 40 print j,i 50 next 60 print 70 next 80 end	10 input "a=",a 20 for k=1 to a 30 for j=1 to a 40 for i=1 to a 50 print k,j,i 60 next 70 print 80 next 90 next 100 end

図 13 プログラミングを使用する課題（FOR 文課題）

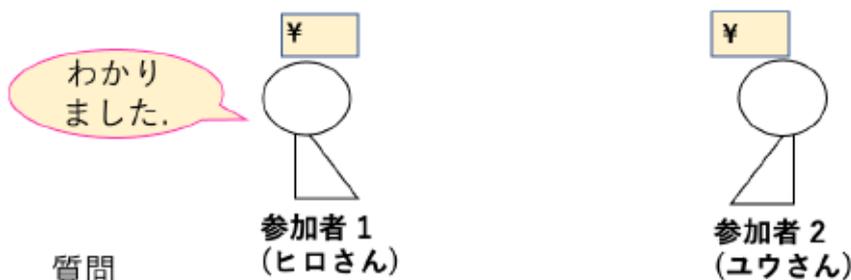
図 13 は、プログラミングを使用する FOR 文の多重ループの課題となる。授業で BASIC プログラミング学習を始めた学生に対して実施したもので、いずれの課題も 1 つの FOR と NEXT からなる構造のサイクルが終わり、その外側に変化がある上で、内側のループが回るといふ、再帰的な推論が必要な課題である。

他者信念の推論の課題

次に、他者信念の推論の課題について説明する。この課題は研究 2 で使用した金額ゲーム課題を使用した。ただし、研究 2 については、1 つの課題で複数の他者信念の回答がある課題であり、本研究はそれと区別するために、変更してある。

- ・ 5000円札が1枚, 1000円札が2枚あります.
- ・ 2人の参加者 (ヒロさん、ユウさん) に, 1枚ずつ配られます.
- ・ 2人は向かい合っていて, それぞれ自分の金額は分からず,
- ・ 相手の金額が見えるようになっています.
- ・ 自分の金額を当てると, その金額がもらえます.
- ・ ゲームは一度きりです.

- ・ スタートから1分間どちらも言葉を発しませんでした.
- ・ 1分後, ヒロさんが, 「わかりました」と言いました.



質問

- 問1 : どちらの参加者が, 金額をもらえた可能性が高いか.
(ヒロさん, ユウさん, 同じ)
- 問2 : それぞれ何円が配られていたと思うか.
(ヒロさん()円, ユウさん()円)
- 問3 : なぜそう考えたのか. ※理由を記載してください.
()

図 14 金額当てゲーム課題 (3次)

金額当てゲーム課題 (3次) は, 図 14 に示すように研究 2 で紹介した金額当てゲームから, ハズレた場合は, 自分の金額を, 相手もらえることになる. という条件をなくしたものである.

- ・ 5000円札が1枚, 1000円札が2枚あります.
- ・ 2人の参加者(テルさん、ナオさん)に, 1枚ずつ配られます.
- ・ 配布時に, 残った金額がナオさんに見えてしまいました.
- ・ 2人は向かい合っていて, それぞれ自分の金額は分からず,
- ・ 相手の金額が見えるようになっています.
- ・ 自分の金額を当てると, その金額がもらえ, ハズレた場合は, 自分の金額を相手がもらえることになります.
- ・ ゲームは一度きりです.

・ スタートから1分間どちらも言葉を発しませんでした.

・ 1分後, ナオさんが, 「わかりました」と言いました.

質問

問1: どちらの参加者が, 金額をもらった可能性が高いか.
(テルさん, ナオさん, 同じ)

問2: それぞれ何円が配られていたと思うか.
(テルさん()円, ナオさん()円)

問3: なぜそう考えたのか. ※理由を記載してください.
()

図 15 金額当てゲーム課題 (4次)

金額当てゲーム課題 (4次) は, 図 15 に示すように研究 2 で紹介した金額当てゲームに, 「出題者が金額を配る際に, 残った金額が参加者 2 に見えてしまいました」という条件を追加したものとなる. この条件が入ることで, 参加者 2 は自分の金額を知っている上で, 黙っていたことが確実になる.

2-2：実験参加者

実験参加者は、38名（男性28名、女性10名）であり、平均年齢18.4歳（ $SD=0.68$ ）となる。授業で行ったが、研究の実施と公表を行う同意を得た上で、参加は自由とした。

2-3：手続き

参加者に、口頭で説明後、1人1台PCを使用し、その場でWEBによる一斉回答で実施した。実験2については、実験参加者は大学初年次学生38名（全てのテストを実施した有効数）で実施した。金額当てゲーム課題1と2を行い、プログラミング課題を行い、またワーキングメモリの測定は演算スパンテスト（井関, 2010）を使用した。いずれも別日に実施した。金額ゲーム課題、プログラミング課題、ワーキングメモリ測定についてはいずれも別日に実施した。

ワーキングメモリを測定した演算スパンテストについては、ワーキングメモリ測定は、個人のワーキングメモリ容量（working memory capacity:WMC）の違いによって回答率に違いが現れるかを確認するために行った。測定に使用した演算スパンテスト（operation span test; OST）はWMCの尺度の中でも代表的なものである（小林・大久保, 2014）。

この測定については、まず図16に示す画面が表示される。

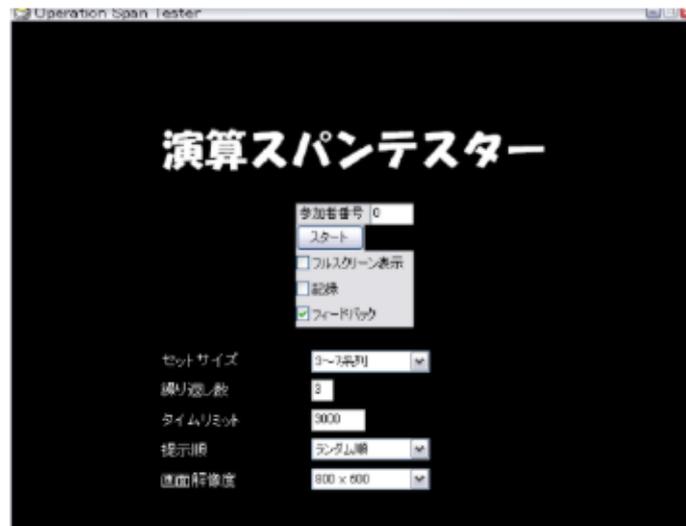


図 16 演算スパンテスト

次の画面から、計算課題と記憶課題を繰り返し行う内容となる。最終的には単語の再生成績によって WMC を測定することとなる。計算課題は画面の表示される二項演算の計算式が正しいか否かを判断するものであり、マウスで計算式が正しい場合は左クリック、誤っている場合は右クリックを押す手順とした。またその計算式の判断の後、記憶課題はアルファベットが 1 文字提示される画面で交互に繰り返した。最後にアルファベットを提示順通りに全て再生する画面が表示され実行することになる内容である。操作方法を確認するために、練習として 3 試行し、その後本試行を行った。また、この演算スパンテストにおいて、繰り返しの回数などを設定できるが、セットサイズは 3-7 系列、繰り返し数は回、タイムリミットは 3 秒とした。

第 3 節：結果と解釈

まず,金額ゲーム (3 次),金額ゲーム (4 次) における回答は表 9 および表 10 の通りとなった.

表 9：金額ゲーム 1 と 2 の質問 1 の回答率

質問 1	回答率(%)	
	金額ゲーム 1	金額ゲーム 2
参加者 1 (「わかりました」) ヒロ/テル	55.3	13.2
参加者 2 ハル/ナオ	10.5	76.3
同じ	34.2	10.5

表 10：金額ゲーム 1 と 2 の質問 2 の回答率

質問 1	回答率(%)	
	金額ゲーム (3 次)	金額ゲーム 2 (4 次)
参加者 1 (ヒロ/テル) : 1000円 参加者 2 (ハル/ナオ) : 1000円	71.1	21.1
参加者 1 (ヒロ/テル) : 1000円 参加者 2 (ハル/ナオ) : 5000円	13.1	5.2
参加者 1 (ヒロ/テル) : 5000円 参加者 2 (ハル/ナオ) : 1000円	13.8	73.7

表 9 について,いずれの課題も課題内で統計的有意差が確認された ($\chi^2=30.14, p<0.001$) ($\chi^2=83.19, p<0.001$). また課題間についても表 10 の結果と合わせて,心の状態についての再帰的な推論としての正解に対応する回答が最も多い結果であった.

($\chi^2=67.83, p<0.001$) ($\chi^2=77.12, p<0.001$)

次に、WMC の測定結果の統計量についての結果を表 11 に示す。

表 11：WMC の測定結果

	<i>M</i>	<i>SD</i>
全体	56.7	7.8
WMC高群	61.9	4.5
WMC低群	47.8	4.2

WMC の測定は、提示されたアルファベットを正しい位置で再生された場合の加算した数値であり、最大が 75 である。高群、低群については、高群を 57 点以上、低群を 56 点以下として分けた。人数は高群が 24 人、低群が 14 人となり、群間で有意差があることを確認した ($t=8.888$, $p<0.001$)。その他の統計量について表 11 に示す。

この WMC における、金額ゲーム課題との相関及び正答率は次の通りであった。表 12 に相関、表 13 に正答率を示す。

表 12：WMC と金額ゲーム課題の相関

	質問 1	質問 2	
	金額ゲーム 1 (3 次正答)	金額ゲーム 1 (3 次正答)	金額ゲーム 2 (4 次正答)
WMC(全体)	-0.168	0.013	0.231
WMC(高群)	-0.238	-0.171	0.609
WMC(低群)	0.140	0.560	0.239

表 13：WMC と金額ゲーム課題の正答率の関係

	質問 1	質問 2	
	金額ゲーム 1 (3 次正答)	金額ゲーム 1 (3 次正答)	金額ゲーム 2 (4 次正答)
WMC(全体)	55.2	68.4	69.2
WMC(高群)	50.0	63.6	73.9
WMC(低群)	66.7	66.7	73.3

WMC 高群と WMC 低群に分けて分析した理由は、研究 1 および研究 2 において、他者信念の推論の志向性を高くした場合に、3 次以前と 4 次以降で回答パターンの変化が見られたため、4 次の方が、熟考型推論に対応し、ワーキングメモリと相関が高くなり、WMC 高群の正答率が高くなることはいえる可能性があるためである。

全体で、金額ゲーム課題 2 (4 次) について、WMC と弱い相関が確認された。金額ゲーム課題 1 (3 次) については低群と相関があり、金額ゲーム課題 2 (4 次) については高群とそれぞれやや相関があった。正答率については、いずれの問題も高群、低群に差がなかった。

また、WMC における、プログラミング課題との相関及び正答率は次の通りであった。表 14 に相関、表 15 に正答率を示す。

表 14 WMC とプログラミング課題の相関

	for文1重	for文2重	for文3重
WMC(全体)	0.0037	0.113	0.231
WMC(高群)	-0.183	0.314	0.293
WMC(低群)	-0.064	0.076	0.06

表 15:WMC とプログラミング課題の正答率

	for文1重	for文2重	for文3重
WMC(全体)	92.3	59.0	56.4
WMC(高群)	95.4	59.1	63.6
WMC(低群)	88.2	58.8	47.1

この結果から、相関については、プログラミング課題において次数の高い 2 次、3 次に WMC と弱い相関が見られた。また、正答率については次数が高くなるについて低くなる傾向があり、3 次について、WMC の高群と低群で差があることが確認された。

これらの結果から、プログラミング課題については、次数が高くなるほどワーキングメモリと関連性があることが示唆された。他者信念を測る課題は、次数の高い4次の課題であると全体で関連が見られたが、高群と低群で比較をすると、3次では低群が、ワーキングメモリと関連が見られ、4次では高群がワーキングメモリと関連が見られる、という結果であった。この研究に付随する研究として、時間の調査を以前行った際に（時田, 2017）、3次とそれより高次で問題を解く時間の長さが逆転していたことを考えると、3次の推論はワーキングメモリを使用しない直感型推論を用いる場合も多く、一方で4次については、正しい推論をするには、熟考型推論を使用するワーキングメモリの容量に関与することが考えられる。ただし、本研究は実験参加者38名であり、WMCの群間比較をする場合に、信頼性を得るには人数が少ないため、追加の実験も必要である。

今回の実験した範囲からは、数学的な再帰的な推論と、他者信念の再帰的な推論との関連について、本研究でワーキングメモリ測定を実施することで、他者信念の推論は数学的なプログラミング課題とは違いワーキングメモリを使用しない直感型推論に関連する可能性が示唆された。

これらの研究から高次の再帰的な推論については、それを行うのは人にとってかなり特殊な状況であると考えられる。ただし数学的な課題についてはその課題解決の環境に入りさえすれば、ワーキングメモリの負荷を軽減される工夫をすることによって、その推論の困難を克服できる可能性がある。また他者の信念については、人は自然に推論が働くのは3次までであり、それ以降は推論の誤りに気づくためのメタ認知を強化することなども関連する可能性がある。また、研究1の実験1の結果から、社会的状況という契機がなければ、そもそも他者の信念の再帰推論は発動しにくいことも考えられる。次の章からは、研究1から研究3で得た知見を生かした教育実践の場における研究事例を示すこととする。

第 5 章

研究 4「認知的負荷の高い課題の効果的な教育」

第5章：研究4「認知的負荷の高い課題の効果的な教育」

第1節：目的

本章は、認知的負荷がある課題や適切に推論が使用されにくい状況で学習者が理解しやすい工夫をし、その効果を明らかにするという「(目的2)」に関する研究となる。研究4の目的は、第1章第6節の「本論文の目的」で述べた通り、「認知負荷の高い数学的な推論としてのプログラミングの多重ループにおいて、聴覚を使用することで効果があるか」となる。

第4章までの研究結果から、数学的な再帰的推論の1つであるプログラミング学習については、ワーキングメモリに依存する可能性が示唆された。ワーキングメモリの強化については、例えば、認知トレーニングによってワーキングメモリ容量を増やすことなども可能である(Klingberg, 2010)。しかし、教育現場で授業前にそのようなトレーニングを実施する時間を持つことは実用的ではない。そのため他の方法でのワーキングメモリの負荷を考慮した工夫が、再帰的な推論を学習する際に有効であると考えられる。また、数学的な再帰的推論の負荷は、学習内容そのものに含有される負荷であり、認知的負荷理論の内在負荷に相当する。

記憶におけるワーキングメモリについてはBaddeleyのモデルによると、視覚系の記憶領域である視覚・空間的スケッチパッドと、聴覚系の記憶領域である音韻ループの2つの領域に分かれるとされている。図17はこれらの主な機能に、そのほかの関連機能の記載も含めた最新のワーキングメモリのモデルである。

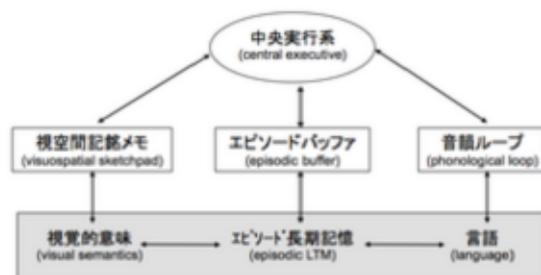


図17 ワーキングメモリの2つの系とその関連 (Baddeley, 2000)

このワーキングメモリの知見を基に、先行研究では視覚系と聴覚系を合わせて使用する方法など、ワーキングメモリ理論を用いて、まだ記憶領域小さい低年齢の学習者や、発達障がいのある学習者に対して学習支援する事例がある（湯澤，2014）。これらに工夫の概要について、次の表16に示す。

表16：ワーキングメモリ理論による学習支援の工夫の例

情報の整理	情報の構造化，多重符号化
情報の最適化	スモールステップ，情報の統合，時間のコントロール
記憶のサポート	記憶方略の活用，長期記憶の活用，補助教材の活用
注意のコントロール	選択的注意，自己制御

この研究に対しては対象者が限定されているが、例えば再帰的な要素のある課題のように、多くの初学者に認知的負荷が高い課題であれば、一般的な成人についても同様の工夫が効果的ではないかと考察した。第1章第3節で述べた認知負荷理論を述べたが、その実践方法の1つであるモダリティ効果（Jeung et al., 1997）がある。これは、主に外在負荷に対して、例えば教材の学習に、図に音声ガイドをつけるなど、視聴覚に情報を提示することで認知負荷を分散し、学習負荷を軽減させるという効果である（Sweller et al., 2011）。この効果は内在負荷にも適用できると考え、実践することとした。まず初学者のプログラミングの基本制御構造である繰り返し構造の多重ループについて、その学習が困難となる要因に、内在負荷認知的負荷が関係すると仮定し、可聴化の教材を考案した。これを使用することで、視覚のみにおける認知的負荷が軽減され、初学者のプログラミング制御構造のFOR文の多重ループの理解が促進することを示すこととした。

第 2 節：方法

2-1：提案した学習教材

研究 4 では，数学的な再帰的な推論であるプログラミングにおける FOR 文を使用した多重ループの学習に焦点を当てて行った．その学習で使用する機材や考案カリキュラムについて述べる．

まずプログラミングの学習に使用した機材について説明する．本研究では BASIC プログラムを使用し，多重ループの解説について聴覚的な教示を行った．その際使用した機材を図 18 に示す．



図 18 実践で使用した学習機材 (IchigoJam)

この学習教材 (Ichigo Jam) は，学習者 1 人 1 人に配布される小型のコンピュータであり，コンピュータ基盤に，電源・キーボード・TV モニタを接続すると，BASIC 言語を実行できるという内容である．図 21 は，コンピュータ基盤である緑色の IchigoJam 本体に，キーボードと小型モニタが接続されている写真である．この学習教材においては，プログラミング言語の開始にあたる複雑な環境設定は不必要であり，電源に接続すればすぐに，キーボードからプログラムを打つことが出来，それが小型モニタに映し出され，BASIC プログラムの実行が可能となっている．また，圧電サウンドを搭載し，BEEP・PLAY 命令で簡単に音を出力することが可能で，可聴化を伴うカリキュラムの実行も容易に行うことができる．

次に，この学習機材を用いたカリキュラムの教育内容について説

明する。図 19 のように、PLAY コマンドを付けたプログラムを提示した。その上で、RUN の実行コマンドを実施し、音の出力を聴き、FOR 文の処理の流れを理解するという内容である。外側のループが実行される時に、約 1 秒で「ド」の音が鳴り、内側のループが実行される時に「ソ」の音が鳴るように PLAY コマンドを組み込む教材を開発した。尚、「ソ」の音は「ド」の長さより短くした。音階の他に音の長さも区別した理由は、内外のループ実行タイミングの区別をするためである。音の出力タイミングで出力文字の確認もできるようになっている。

```
10 FOR j=1 to 9 : PLAY"C" : WAIT30↵
20   FOR i=1 to 9↵
30     PRINT i*j," ";; PLAY "G16" :WAIT30↵
40     WAIT30↵
50   NEXT↵
60   PRINT↵
70 NEXT↵
80 WAIT 30↵
90 END↵
```

図 19 可聴化を行った 2 重ループの教材

[送信側プログラム]

```

10 W=60
20 OUT1,0
25 FOR V=0 TO 4 :PLAY "<C"
30 INPUT "CHR(0-255);",[V]
34 OUT1,1
36 WAIT W
40 FOR A=0 TO 7
45 PLAY"G"
50 IF [V]&(1<<A)=0 THEN
    OUT1,0:PRINT A,0 ELSE
    OUT1,1:PRINT A,1
60 WAIT W
70 NEXT
80 OUT 1,0
85 NEXT
90 END

```

高い
ドの音

ソの音

問題3-1 メッセージ送信側・受信側
～次のことを記載してください～
・何の音がどういう順で何回鳴る
・表示されるものが何かと音の関係

[受信側プログラム]

```

10 W=60
15 FOR V=0 TO 4:PLAY "E"
20 C=0
30 IF IN(1)=0 THEN GOTO 30
40 WAIT W/2+W :LEDO
50 FOR A=0 TO 7
55 PLAY "C"
60 B=IN(1)
70 C=C + (B<<A):PRINT A,B,C
80 WAIT W
90 NEXT
100 PRINT "RECEIVE: "; C
110[V]=C
115 NEXT
120 FOR V=0 TO 4
130 PRINT CHR$([V]);
135 NEXT
140 END

```

ミの音

ドの音

図 20 総合学習で行った 2 重ループ教材

また、この教材は、初回学習時の他に、授業の後半で、情報学の他の単元の復習も兼ねて行う、総合学習でも繰り返し学習を行っており、総合学習で実施した教材は図 20 の内容となる。総合学習においては、ペア学習を実施しており、2つの Ichigo Jam を繋いで、プログラムの送信受信に分かれて行った。プログラミングを実行した時の機材の様子を図 21 に示す。

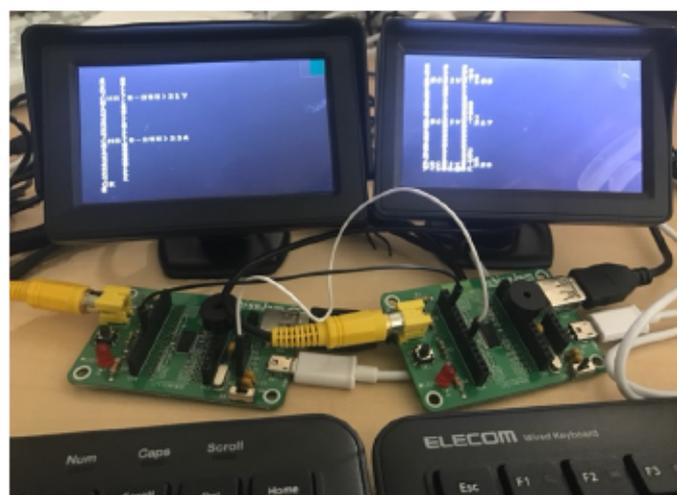


図 21 総合学習における学習機材の使用の様子

2-2：プログラミングテスト

次に，課題として容易した理解度を確認するテストの内容を説明する．それぞれの FOR 文の処理を確認できる問題として下記を用意し，これをテスト内容とした．テストは問 1 から問 5 の 5 種類存在する（図 22-図 26）

【問 1】

次の BASIC プログラムを実行後，「a=」の表示に対して，「5」と入力した場合に表示される結果を書いてください．（問 2 以降，入力が「3」で他は文章同様）

```
10 INPUT "a=", a
20 FOR i=1 TO a
30 PRINT i
40 NEXT
50 END
```

図 22 FOR 文 1 重課題

【問 2】

```
10 INPUT "a=", a
20 FOR j=1 TO a
30 FOR i=1 TO a
40 PRINT j,i
50 NEXT
60 PRINT
70 NEXT
80 END
```

図 23 FOR 文 2 重課題

【問3】

```
10 INPUT "a=", a
20  FOR k=1 to a
30    FOR j=1 to a
40      FOR i=1 to a
50        print k,j,i
60      NEXT
70    PRINT
80  NEXT
90 NEXT
100 END
```

図 24 FOR 文 3 重課題

【問4】

```
10 INPUT "a=", a
20  FOR j=1 TO a
30    FOR i=1 TO j
40      PRINT j,i
50    NEXT
60  PRINT
70  NEXT
80  END
```

図 25 FOR 文 2 重課題 (TO 変数)

【問 5】

```
10 INPUT "a=", a
20  FOR k=1 TO a
30    FOR j=1 TO k
40      FOR i=1 TO j
50        PRINT k,j,i
60      NEXT
70    PRINT
80  NEXT
90 NEXT
100 END
```

図 26 FOR 文 3 重課題 (TO 変数)

2-3：実験参加者

参加者は、授業履修者 51 名（男性 38 名，女性 13 名）であり，平均年齢は 18.3 歳（ $SD=0.59$ ）であった．なお，年齢は初回テスト確認時のものとなる．なお，本実験は，授業で行ったが，研究の実施と公表を行う同意を得た上で，参加は自由とした．

2-4：手続き

また本実験は「情報学入門」の授業の一環の中で行った．実験の手続きについては次に示す内容で行った(表 17)．

表 17：教示を行ったタイミング

教示内容		テスト内容
教示1	<可視化> FOR文1-3重(TO定数)のインデントによる可視化の解説	【初回テスト】 プログラミングテスト 問1-問5
教示2	<可視化+可聴化+ループ予測> FOR文1-3重(TO定数)の可聴化の解説 (IchigoJamのPLAYコマンドを使用し，制御構造の流れを、予測も含めて体験)	【可聴化後テスト】 プログラミングテスト 問1-問5
教示3	<可視化+可聴化+ループ予測> FOR文1-3重(TO定数)の可聴化を総合学習で解説(IchigoJamのPLAYコマンドを使用し，制御構造の流れを予測も含めて体験) FOR文2-3重(TO変数)の可聴化も解説	【可聴化後テスト2】 プログラミングテスト 問1-問5

なお，多重ループにおいて，FOR文で変化する変数の最終値が固定値何か変数値なのかの違いを区別した．表に示す教示内容に記載した「TO定数」は前者を表し，後者を「TO変数」とした．同じ次数であっても，定数なのか変数なのかで理解度の差がある可能性があり，教示においては「TO定数」を教材としたが，テストはどちらも用意した．

第3節：結果と解釈

これらの教示とテストを行った結果を次に示す。

表 18: 初回テスト, 可聴化後テスト, 可聴化後テスト 2 における正答率 (%)

	初回テスト	可聴化後 テスト	可聴化後 テスト2
問1: FOR文一重(TO定数)	92.2	100.0	92.2
問2: FOR文二重(TO定数)	58.8	84.3	88.2
問3: FOR文三重(TO定数)	56.9	74.5	90.2
問4: FOR文二重(TO変数)	51.0	78.4	76.5
問5: FOR文三重(TO変数)	39.2	56.9	72.5

テスト結果は表 18 となる。問 1 の FOR 文 1 重については可聴化前の初回の自転ですでに 92.2%であることから、1 重の理解については視覚的な説明のみで理解に問題がないことが確認された。そのことと比較して、問 2, 3 の FOR 文 2 重及び 3 重については、初回の回答率は 58.8%, 56.9%となり、1 重の課題と比較して正答率が低いことが確認された。

この結果は予想通りであり、認知的負荷の高い FOR 文 2 重、3 重課題について可聴化後テストに回答率が上がっているかについて確認する。結果は、問 2 の可聴化後テストについては 84.3%であり、正答率が 20%も上昇していることが確認された。また、McNemar 検定を Bonferoni の補正で行った結果、統計的有意差が確認された。この全ての課題間で実施した McNemar 検定の全体について表 23 に示す。

表 19 McNemar Test の結果

		問2	問3	問4	問5
初回テスト/ 可聴化後テスト	χ^2	8.4706	3.7647	5.8182	5.8182
	<i>df</i>	1	1	1	1
	<i>p</i>	0.003609	0.05235	0.01586	0.01586
初回テスト/ 可聴化後テスト2	χ^2	10.316	6.75	6.75	12.19
	<i>df</i>	1	1	1	1
	<i>p</i>	0.001319	0.009375	0.009375	0.0004803
可聴化テスト/ 可聴化後テスト2	χ^2	0.5	3.0625	0.75	3.0625
	<i>df</i>	1	1	1	1
	<i>p</i>	0.4795	0.08012	0.3865	0.08012

注) 有意水準は Bonferoni の補正により $p < 0.004166$

また、これらの結果について、次数の高い問3の3重の課題についても、初回と可聴化後で、正答率が56.9%から74.5%に上昇していた。

これらの結果から、初学者について可聴化を行うことで、可視化だけの提示時よりも、繰り返しの制御構造の理解に効果があることが示された。

また、総合学習における学生の感想について抜粋したものを感想の記述例として図27に記載する。

<音が鳴る予測についての記述 (例) >

数が表示されるたびに短いソが鳴る。
十の位が変化するたびに少し短いミが鳴る。
百の位が変化するたびにドが鳴る。

「ド」の音が1回鳴った後、最初1の倍数から答えが順番に表示されながら短い「ソ」の音が同じタイミングで鳴る。これが9の倍数まで同様に行われる。

<音による教示の教材についての感想 (例) >

前回までは、音を出さず、数字を送受信していて、頭の中でどのようなことが行われているか考えてやっていたが、音を鳴らして行ったことによってどのタイミングでどのような処理が行われているか頭の中だけでなく耳を使って理解することが出来た。

自分で実際にプログラムした内容なので理解することができたのだと思う。二重のfor文も音が鳴ることで体感することができ、とても良かったと思う。

図 27 音が鳴る予測についての感想と記述例

ここで示したような聴覚に基づいた記述をした参加者は76%であり、また教材やテスト成果への肯定的な感想が述べてあったのは97%であった。予測する行動についての調査はこのアンケート記述のみであり、予測する行為が正答率の向上に働きかけた可能性については今後の調査が必要である。

本研究により提案した可聴化によるFOR文の多重ループ学習のカリキュラムはその理解を即すものとして一定の効果があることが示唆された。ワーキングメモリの負荷と本当に研究があるか、可聴化により記憶の負荷が軽減されたのか、特に視覚的な記憶の負荷が軽減され分散されたのか、については本研究からは言及できない。今後の課題としては、個人差を含めた追跡調査を行う必要がある。聴覚的な把握が苦手な人がいた場合には、この方法は有効でない可能性がある。聴覚を使用した方法は認知負荷理論の内在負荷について

の操作に関連する。モダリティ効果として関連があるが、熟達者の場合に有効であること、また聴覚が有効でない場合の方法などについては今後研究が必要である。

第 6 章

研究 5 「認知的負荷の高い課題の効果的な教育」

第 6 章：研究 5 認知的負荷の高い環境での効果的な教育

第 1 節：目的

本章も第 5 章に続き，認知的負荷がある課題や適切に推論が使用されにくい状況で学習者が理解しやすい工夫し，その効果を明らかにするという「(目的 2)」に関する研究となる．研究 5 の目的は，第 1 章第 6 節の「本論文の目的」で述べた通り，「オンラインのグループワークにおいて，他者信念の使用に個人差があるか，「調整活動」の頻度とパーソナリティの関係を示す」となる．

他者信念の推論については，第 1 章第 3 節で説明したように，基本的には直感型推論であり認知負荷は関連がないが，志向性が高い場合には，熟考型推論であり認知負荷との関連があるとされる．また，研究 1 の結果から，「社会的状況」が他者信念の推論の契機となること，そして先行研究及び研究 1 及び 2 の結果から，2 次または 3 次の推論までは直感型推論である可能性があると考えられた．

本論文では「認知的負荷」の定義を，Sweller et al. (2019) による認知負荷の定義より拡張し，直感型推論であっても，契機が存在しないもしくは薄い場合等で，その推論が発動しにくい状況であれば，発動させるのに「認知的負荷がかかる」としたことについては既に述べた．研究 5 では，他者信念の推論の契機になる社会的状況が薄い状況を，「認知的負荷の高い状況」と位置付け，その状況で，どのように他者信念の推論を誘発し協調的な学習を進めるようにするかを目的とするものとした．

社会的状況が薄い状況として，オンラインの非同期分散型の学習環境を対象とした．非同期分散とは，コンピュータを用いた協調学習である CSCL において，コンピュータ媒介コミュニケーションである CMC (Computer-Mediated Communication) で行われる教育環境で，参加者が物理的にも離れた環境で，自由な時間にグループ学習に参加する形態である．このような非同期分散の環境は，お互いに協調して作業を行う必要があるにも関わらず，顔や声など外見的な手がかりがないために，直感的に社会的状況と認識しづらい場となる．

このような非同期分散環境における協調学習では、実際の対面の状況のように、一緒に空間にいることに近似した状態が良いとする考えがある。グループメンバーの投稿タイミングや閲覧タイミング、メンバーへのコメントの頻度や返信の間隔といったパーソナルテンポなどが近いことがグループワークの課題成績に関係することを示した研究がある（時田，2022）。また社会的存在感を高めることが大事であるとする研究は既に紹介した。

一般に、協調学習では、お互いの学習にコメントすることなどの重要性をいう研究が多く存在する。例えば、協調学習については「調整活動」が重要であることを指摘する研究がある（Qi, 2019）。調整活動とは、グループの参加メンバーについて、他者の考えに理解を示したり、課題の進行に気を配るなど、学習成果に関係するという活動のことである。この「調整活動」は、教育心理学理論では「主体的な学び合い」に関係し、社会的に共有された学習の調整（Socially Shared Regulation of Learning; SSRL）と関連があるとされる。SSRLは、メンバーとのやりとりを通りして、メタ認知的なモニタリングやコントロールなどの調整機能がグループ全体として共有されている状態を表す。チームとして、同じ目標に向かって動機付けられており、また、メンバーの中で学習方略が共有されており、一体となり活動がなされる状態を表す。SSRLは、協働による主体的な学びあいについて心理学の見地から説明を試みる有望な理論といえるだろう。

「調整活動」は、社会的状況で、他者の視点や他者の考えを推測する能力が関係すると考える。そこで、効果的な非同期分散型の学習について、まず他者の信念の理解に関係する「調整活動」が成果に重要かをまず確認し、その上で、グループの「調整活動」の頻度と「他者の信念についての推論」についての理解の個人差が関係するかを確認することを目的とした。

なお、本研究は現在進行中のため、工夫を実践するまでの研究成果は今後の課題となるが、現時点までの研究結果を示す。

第 2 節：方法

2-1：グループ課題

本研究は入学前教育の一環で，高校生を対象に行なった内容となる．この入学前教育では，高校の学習範囲で解くことが可能な数学教育を，個人学習と協調学習の両方で行い（Hirai & Tokita et al., 2022），本研究で実践した内容は，そのうちの協調学習に対応している．

協調学習では，高校数学に関連する 3 つの課題を実施した．それぞれグループワーク課題 1，グループワーク課題 2，グループワーク課題 3 を図 28，図 29，図 30 に示す．

15人の中に1人だけ「犯人」がいます。



あなたのグループは、この人達に「犯人はどこですか？」と質問をして、犯人探しをしなければいけません。

ある1人を選びこの質問をした時、以下の3通りの答えのうち、どれか1つが正しく返ってくるとします。

①犯人は私です ②犯人は私より左にいます ③犯人は私より右にいます

Q:この時、3回の質問を行うだけで15人の中から確実に犯人を探すことができます。どのように質問するとよいでしょうか。

図 28：グループワーク課題 1 の内容

グループワーク課題 1 については，数式使用しない問題で相手に伝わる文章で論理的に述べることも目的とした．またこの課題はグループで初回に行う課題となるため，難易度は他の課題に比べて高くなく，グループワークに慣れることも目的としている．題材は「指数」や「漸化式」に関連するものとなる．

4つのドアがある。1つは当たりで、3つは外れ(はずれ) ※当りは景品がもらえる、とします



最初に、挑戦者は4つのドアから、ドアAを選んだ。

次に、当たりのドアを知っている司会者が、「残りの3つのドアのうち、少なくとも2つは外れなのでそれを教えます。」と挑戦者に伝え、残りのドアDに変えるかどうか尋ねた。その後、挑戦者は、最初に選んだAのドアのままか、残りのDのドアに変えるかを最終決定する。

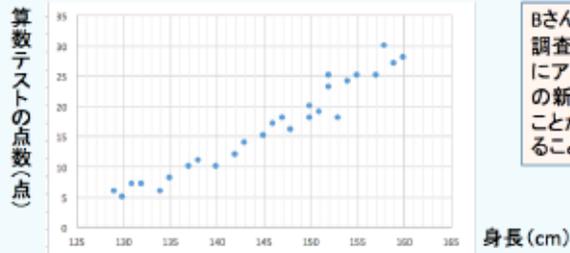
Q:この問題について、挑戦者が最初に選んだAのドアのままにした場合と、残りのDのドアに変えた場合で、どちらが当たる可能性が高いか。数学的な根拠(数式や図)を用いて説明してください。

図 29 グループワーク課題 2 の内容

グループ課題 2 については、関心の持ちやすい題材で「確率」の学習の課題となっている。本論文でも研究 1 で確認した MHP のドアを 4 枚にした場合の課題であり、MHP の拡張版の課題となっている。研究 1 で説明したが、MHP は直感に反する内容であるため、協同学習において他者の意見を取り入れることが有益になる場合があると判断して使用した。

Aさんは、算数テストの点数と身長について、Bさんは留学と就職の関係について、調査を実施しました。次の(1)および(2)にその結果が書かれています。これを読んで、Q1～3に答えてください。

(1) Aさんの調査したある小学生30人の
算数テストの点数と身長の関係



※算数テストは同じ問題です。

(2) Bさんの調査した留学と就職の関係についての結果

Bさんは「留学することは就職に有利であるか」について調査するため、外資系の広告代理店に務める新入社員にアンケートで聞き込み調査を実施した。その結果多数の新入社員から意見を聴取することができ、「留学することが就職するのに有利である」という意見が多数であることが分かった。

Q1: Aさんはこの結果から、「身長の高い人は、算数の点数が高い」という結論を導きました。この結論について、正しいと思うか否かと、その理由について述べてください。

Q2: Bさんはこの結果から、「留学することは、就職するのに有利である」という結論を導きました。この結論について、正しいと思うか否かと、その理由について述べてください。

Q3: (1)(2)の調査方法に共通する問題がある場合、それはどのようなことだと思うか述べてください。

図 30 グループワーク課題 3 の内容

グループワーク課題 3 については、高校までの「統計」の学習で解くことが可能で、「擬似相関」についての問題となる。データサイエンスに関連する内容であるが、「相関係数」等の言葉を知らなくても、論理的に考えることで解答することが可能な問題であり、「サンプルの偏り」「第 3 変数」の知識は課題後に伝えた。

2-2：実験参加者

本研究の参加者は、入学前教育の参加者 28 名（男性 21 名，女性 7 名）であり，アンケート有効回答者は 17 名（男性 14 名，女性 3 名）となる．入学前教育は推薦入試合格者の高等教育 3 年次が対象となるため，年齢は 17 歳及び 18 歳が含まれる．なお，研究の実施と公表を行う同意を得て，本教育及びアンケートの参加については任意とした上で行なった．

2-3：手続き

参加者は WEB 上でグループ毎の協調学習に参加し，3 課題について WEB 上で回答に向けて議論をし，3 課題終了後，最後にアンケートを回答する内容とした．

2-4：学習環境

学習環境には，大学で使用している Moodle（以下，eALPS）を利用した．参加者がハンドルネームを定めた上で，1 月から 3 月までの約 3 ヶ月間，毎月 1 題ずつグループ課題を課し，1 グループ参加者 3-4 名で課題解決するようにした．なお，グループ分けについては，本研究とは別に実施された数学教科の得意不得意に関するアンケート結果を参考にし，均等性を考慮した．初めにグループ内で自己紹介してから，最初の課題に取り組む実践を開始した．課題に取り組むタイミングについての概要を図 31 と図 32 に示す．

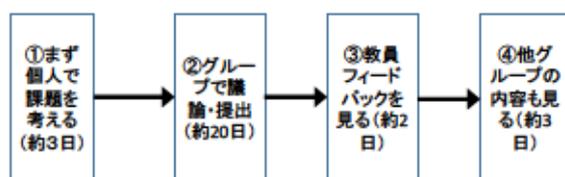


図 31 グループワーク学習のフロー

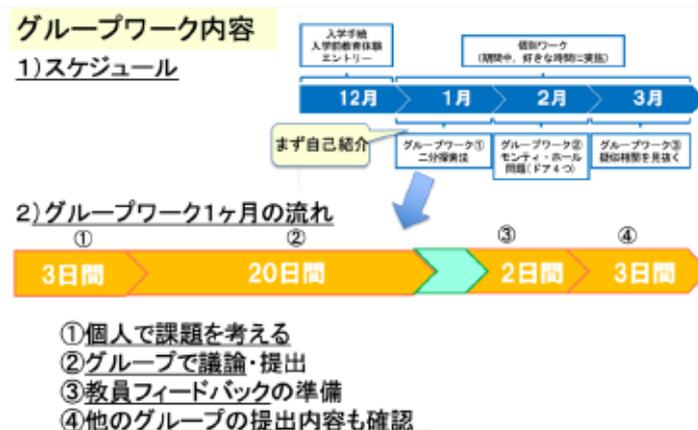


図 32 グループワークの進め方

これらの課題を実施するタイミングや流れについて次に示す。グループワーク課題 1 から 3 は、ひと月に 1 課題ずつ行うようにした (表 26)。

表 26 グループワーク課題 1-3 の内容と実質月

	実施内容	実施月
自己紹介	①名前, ②学科, ③出身, ④大学の楽しみ を話す	1月
課題1	二分探索法で該当者を見つける課題	1月
課題2	モンティ・ホール問題を参考にした, 確率を求める課題	2月
課題3	疑似相関を見抜く課題	3月

2-5 : 評価方法

次にグループワークの成果についての評価方法について示す。グループ課題点については 0 から 3 点の 4 段階評価とした。3 課題実施したので、9 点満点となる。尚グループ課題の採点基準は下記の内容とした。

- 1) 課題が提出されたか否か 1 点 / 0 点
- 2) 回答が模範回答の内容ほぼ含んでいる 2 点

回答に模範回答の内容が一部含まれている 1点
回答に模範回答の内容が含まれていない 0点

2-6：調整コメントの計測

参加者のグループワーク課題参加時のコメントは学習ログとして残り、コメントを分析した。コメントのうち、他者の考えに理解を示すコメントと、課題の進行についてのコメントについて「調整コメント」として計測した。それぞれのコメント例を示すと、前者は“Aさんの説明は図がありとても分かりやすいと思います。”等の内容であり、後者は“明日、Aさんの案とBさんの案を組み合わせ、グループの解答案を提出して皆さん良いですか。”等の内容である。

2-7：質問紙

他者の信念を読むことについての個人差を図る尺度としては、多次元共感性尺度（鈴木・木野，2008）の中から「視点取得」の内容と、メンタライゼーション尺度（山口，2011）の中から対他的メンタライゼーションの内容の計 16 項目を使用した。内容については、図 33 に示す。この 16 項目について、5 件法（1、全くあてはまらない-5、とてもよくあてはまる）にし、WEB 上で参加者に回答を求めた。

視点取得尺度 (5項目) 【多次元共感性尺度より】

- ・自分と違う考え方の人と話している時、その人がどうしてそのように考えているのかをわかろうとする。
- ・人と対立しても、相手の立場に立つ努力をする
- ・人の話を聞くときは、その人が何を言いたいのかを考えながら聞く
- ・常に人の立場に立って、相手を理解するようにしている
- ・相手を批判するときは、相手の立場を考えることができない

対他的メンタライゼーション尺度 (11項目) 【メンタライゼーション尺度より】

- ・相手の表情を見るだけでどんな感情を抱いているのかわかる
- ・他人がどのように感じているかを、直感的に共感することができる
- ・相手の表情を見るだけで、相手が悲しんでいるのがわかる
- ・相手の態度をみるだけで、何を考えているのか分かるほうだ
- ・言葉で言われなくても、相手がなぜ怒っているのかわかる
- ・言葉で言われなくても、相手がなぜ喜んでいるのかわかる
- ・何か適切でないことを言ってしまったとき、相手の目を見てそのことを見分けることができる
- ・たとえ人から言われなくても、自分が人のじゃまをしているかどうかはわかる
- ・相手が話したいことについて、すぐに理解することができる
- ・他人の立場に立って物事を考えることができる
- ・自分の話に相手が興味を持っているかどうかはすぐにわかる

図 33 視点取得尺度及び対他的メンタライゼーション尺度の合計
16 項目

第3節：結果と解釈

結果については、まず9つのグループ（A-I）についての、グループ課題点と調整コメントの頻度について、表21の通りとなった。調整コメントの頻度とは、全体コメント数のうちの調整コメントの割合が示されている。

表21：グループ課題点と調整コメントの頻度

グループ	A	B	C	D	E	F	G	H	I
課題点	3	7	7	8	3	7	7	8	7
調整コメント数の頻度	0.50	0.47	0.55	0.70	0.27	0.63	0.57	0.86	0.62

課題点の平均値は6.2 ($SD=1.92$) であり、調整コメント数の頻度の平均値は0.57 ($SD=0.16$) であった。また課題点と調整コメントの頻度について、 $r=0.75$ と統計的に有意な相関があった。

次に、多次元共感性尺度とメンタライゼーション尺度の16項目の質問紙の結果を確認した。確認は16項目を合わせた合計で行った。質問紙の尺度について、平均値は57.2 ($SD=7.45$) であった。また、尺度とコメント数との関係を表26に示す。

表22：コメント総数、調整コメント数及び調整コメント数の頻度と質問紙の尺度における相関係数

	r
コメント総数	-0.039
調整コメント数	0.265
調整コメント数の頻度	0.589

この調整コメント数の頻度と尺度についての相関を確認すると、 $r=0.59$ であり、やや相関があることが確認された。一方、コメント総数や調整コメント数については、いずれも相関はなく、調整コメント数の頻度においてのみ相関が確認された。

これらの結果から、調整コメント数の頻度と、他者の信念の理解に関連する尺度に相関が見られ、グループ課題の成果と調整コメント数の頻度に関連があることが示唆された。このことから、個人差を踏まえたグループ構成員の配置や、調整活動の教示についての必要性が示唆される。例えば、事前に調整コメントが行われやすいメンバを把握し、グループに1人は配置することや、どのようなメンバであっても調整活動が促進されるように、グループ議論について調整コメントを行うこと役割、あるいは構成員のルールを教示することなどである。

本研究では、調整コメントを内容によってさらに踏み込んだ区別まではしていない。本研究の一部を学会発表（時田他，2021）した際、調整発話についても考察する機会を得た。調整発話については、浅い調整発話（確認やこれらか取り組むことに関する5W1Hについて確認するような会話、メンバーの発話に対するイエス、ノーの単純な応答）と、深い調整発話（メンバーの発話について、深い振り返りを即す、問題定期、妥当性の評価、アイデアの発展）がある。深い調整発話の方が思考の次元で見ると、パフォーマンスに重要と考えられるが、浅い調整発話も、思考の土台を形成したり、動機付け調整という面で重要な働きをしている可能性がある。また、他者の信念の推論には、このどちらが関連あるかなども調査する必要がある。今後、調整発話の機能同士の関係についてさらなる検証することや、また個人差やどのようにすればどのグループでもこれらの発話をうまく取り入れられるかの研究が深められると良い。

非同期分散型のグループワークについては、直接対面でないが、対面している社会的状況により近い方が良いとする研究として、社会的存在感の研究があることは既に述べた。社会的存在感を高めることで、他者信念の推論が不得意な参加者も、「調整活動」ができるようになる可能性がある。実際の対面に近い状況がグループ活動を活発にするという観点では、パーソナルテンポを近似させると良いとする研究もある。時田他（2022）は、協調学習の際に、グループのメンバの、投稿や閲覧のタイミング、グループのメンバーへのコメントの頻度や返信の間隔といったパーソナルテンポが近いことが

グループワークの課題成績に関係する可能性を示した。協調学習ではその課題の内容や教示方法に焦点が当てられることが多く、それらは重要な要素であるが、まず学習のプラットフォームとして、実際の「社会的状況」に近似させることも必要であると考えられる。

非同期分散型学習の良いところとして、通常対話のように、発話しながら相手や自分のモニタリングをするような認知的に忙しい状況にはなりにくいというのがある。WEB操作など機器やシステムの取り扱いが複雑でさえなければ、十分に時間的なゆとりを持って、認知的に忙しい状況を避けて、相手の記載した文面から相手の理解を推測し、またそれに応じて意識的に調整活動を行うことが可能になる。オンライングループワークは、対面のグループワーク以上に、お互いの考えの指摘に注力した、適切な認知負荷で学習できる場になる可能性がある。目の前に相手が見えなくても調整活動をするような工夫が必要であると考察される。

第 7 章
総合考察

第 7 章：総合考察

第 7 章では、まず研究 1 から 5 における実験及び教育実践の目的に対する結果についてまとめて述べる。そしてその結果から、今後の展望について述べる。

第 1 節：本研究のまとめと今後の展望

1-1：本研究のまとめ

本論文は、「再帰的な推論」と「認知負荷」の関連を研究するもので、大きな 2 つの目的を持っていた。そのうちの、1 つ目の目的である、「(目的 1) 成人において再帰的な推論が使用されやすい状況の特徴と限界を明らかにする」については、研究 1 から研究 3 に結果が対応していた。まず、(目的 1) に対応する 3 つの研究の結果をまとめる。

まず、研究 1 「他者信念の推論と志向性 1」の目的の 1 つは、「社会的状況がある場合に、他者信念の推論が使用されやすいことを示す」であった。この目的のもと、論理的な構造が同じでありながら、社会的状況がある条件とない条件がある課題を、MHP の変形課題で作成し、回答率を比較する実験を行った。その結果、社会的状況がある場合のみに、他者信念の推論が使用されるということが確認された。このことから、「社会的状況」が他者信念の推論の契機になる可能性が示された。研究 1 の目的の 2 つ目は、「他者信念の推論は志向性のレベルのどこまでが使用されやすいかを、志向性のレベルに合わせて示す」であった。この目的のもと、「社会的状況」が存在する場合について、他者信念の推論の志向性のレベルを 2 次、3 次、4 次、5 次と高次にした場合に対応する課題を作成し、回答率の違いを確認する実験を行った。その結果、3 次までは半数以上が他者信念の推論を使用した場合の正答であったが、4 次になると、他者信念の推論の使用が最も多いものの減少し、5 次になると、課題における文脈の参加者の最終選択に影響を受けていることが示唆される回答傾向がみられた。研究 1 の 2 つの実験の結果から、他者信念の

推論の使用されやすさは、まず、「社会的状況」が景気として必要で、さらに志向性のレベルは3次や4次までが関係していることが確認された。

次に、研究2についてのまとめを述べる。研究2「他者信念の推論と志向性2」の目的は、「他者信念の推論は志向性のレベルのどこまでが使用されやすいかを、志向性のレベルに合わせて示す」であった。研究1で、使用されやすい他者信念の推論の志向性レベルは、3次か4次にあることが示されていた。そのため、研究2では、3次と4次の志向性レベルのいずれも使用な課題を、indian poker を変形して作成し、回答率の違いを確認する実験を行った。その結果、3次の信念の推論が最も使用が多いことが確認された。先行研究や研究1からは、4次の信念の推論が困難なわけではないことが示されていることと比較すると、どちらも解釈可能であっても、3次の信念の推論を行うことの方が人にとって自然である可能性が示唆された。また、この研究1と研究2の結果から、認知的負荷と二重過程理論の関係について示唆されたことは、3次の信念の推論までについては「社会的状況」の契機があれば直感型推論の可能性が高いということである。したがって、4次以降の信念は、数学的な再帰的な推論と同様に、認知負荷がかかる熟考型推論であるということが示唆された。

次に、研究3についてのまとめを述べる。研究3「課題における認知的負荷の関連性」の目的は、「数学的な推論と他者信念の推論に、ワーキングメモリを介した共通性があるか」であった。研究2までの結果から、再帰的な推論における他者信念の推論の4次以降と、数学的な推論については、熟考型の推論に相当し、その認知的負荷の存在からワーキングメモリを介した関連性がある可能性があることが示唆されていた。そのため、研究3では、数学的な推論を使用するBASICプログラムの多重ループの課題と、他者信念の推論を使用する課題を使用し、その回答率と、ワーキングメモリ容量の関連性を確認する実験を行った。その結果、数学的な推論課題は回数が高くなるほどワーキングメモリと関連性があることが示唆され、他者信念の課題は、4次の志向性ではワーキングメモリとの関連が見

られたが、3 次の志向性では、一貫した関連は見られなかった。その全体の傾向が確認された上で、ワーキングメモリ容量の高群は、4 次の志向性でより相関があり、ワーキングメモリ容量の低群は、3 次の志向性でより相関が強いという結果もみられた。この結果は、4 次の他者の信念の推論は、直感型推論ではなく、熟考型推論なので、ワーキングメモリを介した認知的負荷がかかり、そのためにワーキングメモリ容量が大きい人ほど認知的負荷が少なく、正答したと考察される。また、3 次の志向性ではワーキングメモリ容量が小さい方の相関があったことについては、3 次の他者の信念の推論は直感型推論であり、認知的負荷の関連がないため、ワーキングメモリ容量と関連がないという結果であったと解釈できる。研究3については、実験参加者数が少ないことから、追加検証は必要とするが、数学的な推論と、他者信念の推論の4次以降の推論との間にワーキングメモリを介した関連が見られたため、これらが二重過程理論の熟考型推論であることが示唆された。

これらの研究1から3の結果から、(目的1)に対して、再帰的な推論が使用されやすい状況の特徴は、「社会的状況」が存在する場合であること、また限界としては、「社会的状況」が存在しても、他者信念の推論の志向レベル4次以降の場合は、必ずしも使用されやすいわけではないことが明らかになった。

続いて、本論文の、大きな2つ目の目的に関連する研究の結果を述べる。2つ目の目的である、「(目的2) 認知的負荷がある課題や適切に推論がされにくい状況で、学習者が理解しやすい工夫をし、その効果を明らかにする」については、研究4および研究5に結果が対応していた。この2つの研究の結果をまとめる。

研究4「認知的負荷の高い課題の効果的な教育」の目的は、「認知負荷の高い数学的な推論としてのプログラミング多重ループにおいて、聴覚を使用することで効果があるか」であった。研究3までの研究で、数学的な再帰的な推論は、ワーキングメモリと相関があり、熟考型の推論であることが示されていた。数学的な推論の認知負荷を認知負荷理論の内在負荷と考え、ワーキングメモリ内の使用が分散するような教材を作成した。プログラミング多重ループを視覚と

聴覚で学習する教材で実験した結果、可聴化を伴う教材で実施した場合に、テストの正答率が高くなることが示された。研究4の結果から、数学的な再帰的な推論である多重ループ学習にモダリティ効果が効果的であることが示された。

次に、研究5についてのまとめを述べる。研究5「認知的負荷の高い環境での効果的な教育」の目的は、「オンラインのグループワークにおいて、他者信念の推論の使用に個人差があるか、「調整活動」の頻度とパーソナリティの関係を示す」であった。本論文では、認知的負荷に、直感型推論の契機が存在しない場合の認知も含めていた。目的1に関する研究の結果から、他者信念についての再帰的な推論は、その志向性レベルが3次以内の場合は、直感型推論に対応する可能性が高いが、「社会的状況」の契機が必要であることが考察されていた。非同期分散型の協調学習は、「社会的状況」の契機が低いと考え、他者信念の推論が発動しにくい認知的負荷が高い環境であると仮定した。このような状況は、多くの人々が直感型推論を使用するような一般的な傾向は見られず、個人差が関係すると捉え、研究5では、他者信念の推論の使用に個人差があるかを確認した。協調学習では、他者信念の推論の使用は「調整活動」に見られることから、「調整活動の頻度」と「他者信念の推論」を測定する尺度として、多次元共感性尺度とメンタライゼーション尺度を確認したところ、相関があることが確認された。研究5の結果から、協調学習の成果に関連するとされる「調整活動の頻度」は他者信念の推論の発動に支えられている可能性があり、非同期分散環境では、その必要性の教示をすることなどが考察された。

これらの研究4と5の結果から、(目的2)に対して、認知的負荷がある課題においては、再帰的な推論の内在負荷であっても、モダリティ効果が得られることが明らかになり、また、非同期分散の協調学習において、他者信念の推論が適切に発動する工夫をすれば「調整活動」が増え、学習が効果的に行われる可能性が示唆された。本論文に関連する結果をまとめると以上になる。

1-2：今後の展望

本論文では、再帰的な推論の中で、他者の信念に関する推論と、数学的な推論を取り扱った。心理的な実験と教育実践の両方を行い、それぞれ、認知負荷理論や二重過程理論の既存の認知心理学の知見との接点が考察された。ここでは本論文の発展や限界について述べる。

本論文の目的1における、他者信念の再帰的な推論についての特徴の結果は、直感型推論と熟考型推論の両方の領域に関連する推論の知見であり、1つの推論システムが、二重過程理論の2つの推論に跨って存在したという知見は、新しい考察を生み、理論の発展につながる研究であると考えられる。また、目的2における、教育実践の結果は、認知負荷は内在負荷であっても効果的に減らすことができることや、認知負荷がないとされる推論も状況でも工夫が必要な場合があるという知見であり、認知負荷理論の認知負荷の種類やその効果的な学習への位置付けについて新しい考察を生み、理論の発展につながる研究であると考えられる。

一方で、本論文で示した研究には限界もある。主に3つ考えられ、1つ目は、課題を用いる研究の限界であり、2つ目は心理学的研究の限界であり、3つ目は心理学的知見を教育実践で行う限界である。1つ目については、目的1で使用した課題についてである。誤信念課題とは別の新たな課題で実験を行ったが、果たして課題が適切かどうかのように示すかということについて今後考える必要がある。例えば、研究1で使用した課題は、文脈の登場人物の情報優位性が関連する可能性があった。そして研究2では、5000円と1000円という設定があるが、その金額の大きさが推論に影響する可能性もある。また、いずれの研究においても、直感と一致しやすい解とそうでない解が存在してしまうことも影響した可能性がある。金額当てゲームの場合には「わかりました」という方が正解する」「情報を多く知っている方が正解する」というのが、直感型推論で採用されやすいと考えられる。心理学的実験で使用する課題は、確認したいことだけが測定可能な、本質だけのシンプルな課題に洗練させることが必要である。一番シンプルにする場合は数学的な抽象課題になるが、他者

信念の推論には日常的な対人場面を想定する必要がある，このことが最適な課題の作成を難しくしている。

2 つ目は，心理学的な研究そのものの限界についてである．この問題についても，再帰的推論の研究に限られないが，その推論がどのように進化的な歴史の中で作られ，また領域一般や領域固有の関係はどうかを知るには，他の学問である脳科学や哲学，社会学の知見と重ねて考える必要があるというものである．脳科学について考えると，例えば，他者信念の推論の低次と比較して，他者信念の推論の高次と数学的な推論では脳領域の同じ部分が活性化している等の知見と合わせることができれば，再帰的な推論の特性をさらに明らかにすることができる．

3 つ目は心理学的知見を数学教育の実践教育で確認することに関する限界である．教育工学の研究一般にいえることであるが，授業において実験心理学のように完全に統制の取れた実験をするのは難しい場合がある．効果的であると思われる教授法とそうでない方を比較するという手法が考えられるが，効果的である可能性の低い教材を授業で実施することは出来ないからである．ただし，研究4で実施したように，同一のクラスで学習の効果を測る方法もあり，教育実践でどのように測るかの考案も含めて研究を進めることが必要である．このように研究を進める上でいくつか留意すべき点がある．

今後の展望としては，再帰的推論に関連する理論の発展と，その教育への展開が考えられるが，本論文の（目的1）（目的2）に関連していることでまだ確認していないことを進めることも考えられる．例えば他者信念の推論の高次のものについての効果的な方法なども考えられる．高齢者の心の理論に関する傾向としては，記憶の抑制機能が衰える傾向がある（Cavallini et al., 2013）ことや，頻度が高く熟知した行動は自動化される傾向が強い（Park & Gutches, 2000）や，心の理論の認知的な側面の他者の状況の理解は衰えるが感情的な側面である他者のその状況における感情を理解できる（Bottiroli et al., 2016）等がいわれている．これらの特徴から，社会的状況がある場合にも，認知的負荷を考慮した他者信念の推論についての研究も進めることも必要である．また，本研究は，教育の質の格差をなくす

ことにも有用な知見が得られると考える。今は、インターネットの普及により、その環境さえあれば、誰もが教育に接することができるようで、そこに問題も生じている。誰もが情報を作成し、共有することができるということは、学生は認知負荷を考慮して設計されていない低品質の学習教材に直面する可能性も高くなっている (Sweller et al., 2019)。アクセスが大事であれば、教育が第一の目的ではない、認知的負荷の高い品質の低い教材が用意される可能性もあり、学生には、このような認知負荷の自己管理が求められるようになると考えられる。学習と関係ない認知負荷の低い魅力的なことに集中し、適切な学習関連負荷を得られないことがないように、認知負荷の知見そのものを、認知負荷の高い教材を通して学習することも、メタ認知の教育に取り入れることは今後の展望としてあると考える。

最後に、他者信念の推論、数学的な推論の両方の再帰的な推論の特性についての知見が積み重ねられれば、AIに応用することも考えられる。AIは他者のメタレベルの信念の解釈は難しいと思われるが、志向意識水準のレベルの解釈についてだけであれば、人間とは別の方法でいつか取り入れることができるかもしれない。しかし、5次まで解釈できたとしても対人場面では状況に応じて3次を利用するなどの選定については、人間の合理性が関係し、AIに取り入れることは難しい可能性もある。再帰的な推論の人工知能への応用についても今後の課題である。

第2節：おわりに

今まで、再帰的な推論の認知的な負荷に着目した研究をまとめてきた。論文を書き終えてまず思うことは、このような論文を作成するのは、大変に認知的負荷が高い活動であったということである。複数の個別の論文を、1つ次元を上げて構造化する活動は、再帰的な推論を駆使する活動であった。しかし、その中で感じたことは、文献を確認し、過去や現役の多くの研究者の知識や知見の結晶が、それぞれの再帰的な推論によって支えられていること、そしてそれを受け取り、また自分も再帰的な推論で構造化された知見を生み出すという、再帰的な推論を通じた、大きなつながりの中に自分の存在があるという感覚である。反芻し、結晶化した知見を、時間を超えて相互にやりとりする感覚をここまで肌で感じたことは今までなかった。

最近では、マインドフルネス (Baer, 2003)、「いまここ」の大切さを述べる内容が、一般書でも多くなった。マインドフルネスとは、現在に生じている経験に注意を向ける心理的な過程であり、その瞑想では、何かに注意が向いてしまったり、自分についてのメタ推論が発動すればすぐにそれを流すことを繰り返す訓練も含まれる。本研究で取り扱ってきたような認知的な負荷の高い再帰的な推論というのは、このマインドフルネスで目指す精神状態である認知的な状況と、相反するものであると思う。アマゾン支流の1つのマイシ川沿いに住むピダハン族は、幸福感が最も高い民族であることが確認されている (Everett, 2008)。このピダハン族についての特徴は、言語に再帰的な構造がない、というものがある (Everett, 2008)。副詞節がないため、多くを伝える場合は、発話される文は途切れてつながる形式になる。また未来や過去概念もないとされている。もともと本論文で述べてきたように、「再帰的な推論」は言語だけではなく、また言語から領域一般的に広がったとは限らないため、他者信念の推論については、その再帰的な推論が言語化されていないだけで、存在する可能性はあると思う。また、第1章で言語の再帰的な構造についても述べたが、どの範囲を再帰と見做すかの定義の問題

もあり、その内容をここで議論はしないが、一般的な再帰的な推論を、少なくとも言語においては持たない民族の幸福感が高いというのは印象的な研究事例であった。再帰的な推論は、「今ここ」の精神状態と比較して、脳に認知的負荷がかかるが、その個人の幸福感と直結していない場合もあり、これが再帰的な推論のデメリットであると考えられるか。

しかしこのように考えたとき、再帰的な推論を多用しないという、人にとっての良い方略の存在もあることを知った上で、ではなぜ多くが再帰的な推論が必要になったのかということが改めて考えさせられる。人が他者と生きていくために深い思考、反芻思考も必要であるということが予想されるが、それが生活の中の多くを示すようになる、幸せと遠ざかる面があることもあるかもしれない。多くの人が社会生活や人間関係に疲弊した時にマインドフルネスの内容や効能に惹かれるのであれば、そのことが現れているように思う。

「再帰的な推論」は本当に人間の根源的な知性なのであろうか。マインドフルネスで「今ここ」の状態を作ること、自分らしく幸福に生きることができるのであれば、人間の根源はむしろ「再帰的な推論」でなく、「今ここ」の心身の状態を維持することにあるのであろうか。

しかし、私はそれでもやはり「再帰的な推論」は非常に人間らしい知性であると考え。なぜならば、「再帰的な推論」か「今ここ」の状態にするかを判断する認識そのものが、メタ認知についてのメタ認知を示しているからである。さらに今このようにそのことについて推論をしていること自体がメタメタ認知の仕組みをなしていることに気づくからである。メタ的な認知こそが「再帰的な推論」であり、そのため再帰的な推論なくしてマインドフルネスも取り入れられないと思うからである。冒頭で事例として挙げた、人間の歴史の中の芸術的あるいは学術的な多くの作品を作り上げる知性、そしてそれを鑑賞する知性は、この人間らしい知性から生まれたものだと改めて考える。

進化的な歴史を見ても、人間は長い間、新しい環境に適応することを連続して行ってきた。その適応には様々なタイプがあったが、

その中でも、他者とうまくコミュニケーションをするための他者の信念に関する世界や、また IT を使用した人間とは異なる思考についての世界との適応は、生活の中で特に重要となった。その変化に「再帰的な推論」は役立つ仕組みとなっていたのだろう。そしてその世界の中で「今ここ」も大切にするようになったものも、これも新しく生まれた現代的な環境であるといえる。コロナ禍となり、直接対面しないコミュニケーションが増え、そこで工夫が必要になったことも新しい環境である。この環境下でマインドフルネスの必要性が生じたことは確かであるが、それを再帰的な推論の存在によって有効活用を目指すことが可能になり、その状況を乗り越えることができる。再帰的な推論の存在によって、人は、「今ここ」の状態と、深い推論の世界どちらも行き来することができるのである。その選択の自由は、まさに人間の知性から生み出されたものだといえるだろう。再帰的な推論を領域一般的に使用する世界に足を踏み入れたならば、幸せに生きるために、その再帰的な推論を活用することは必要不可欠なものだと思うのである。またそのような推論が進化の過程で生じたこと、その人間の活動や研究の歴史に感謝の念を持つ。

この先も“認知的負荷のある再帰的な推論”，を使用して、その研究を発展させていきたい。

謝辞

本論文を進めるにあたり，研究内容について丁寧に助言をいただいた，安藤寿泰教授に感謝の意を表します．慶應義塾大学大学院の修士課程を修了してから，一度一般企業に就職し，その後，大学で職を得た中で研究を続けた成果について，再び母校で審査いただけることは大変名誉なことであり，引き受けてくださったことに深く感謝いたします．また研究について，共著者としても多くアドバイスをしてくださった，平石界教授のご指導と激励にも感謝の意を表します．また，教育の実践研究について，学会発表の時も含めてご指導いただいた，香山瑞恵教授に，深く感謝いたします．そして，本論文で紹介した研究に関わり，授業を積極的に受講してくれた，学生の皆さんにも，深く感謝いたします．

最後に，論文完成に向けていつも応援し支えてくれた両親と妹，そして夫 江平と，息子 祥太郎に感謝します．

参考文献

- Allen, J.G., Fonagy, P., & Bateman, A.W. (2008). Mentalizing in clinical practice. 狩野力八郎監訳(2014). 『メンタライジングに理論と臨床—精神分析・愛着理論・発達精神病理学の統合』北大路書房
- Anderson, J.R., Pirolli, P., & Farrell, R. (1988). Learning to program recursive functions. In M.T.H. Chi, R. Glaser, & M.J. Farr (Eds.), *The nature of expertise*. Hillsdale, NJ: *Laurence Erlbaum Associates*. 153-183.
- Apperly, I.A., Samson, D., & Humphreys, G.W. (2009). Studies of adults can inform accounts of theory of mind development. *Developmental Psychology*, 45(1), 190-201. <https://doi.org/10.1037/a0014098>
- Arslan, B., Verbrugge, R., Taatgen, N., & Hollebrandse, B. (2018). Accelerating the Development of Second-Order False Belief Reasoning: A Training Study With Different Feedback Methods, *Child development.*, 1-44. <http://doi.org/10.1111/cdev.13186>
- 安藤 寿康 (2018). なぜヒトは学ぶのか 教育を生物学的に考える , 講談社現代新書
- Baddeley, A. (1986). *Working memory*. Clarendon Press. Oxford University Press.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 11, 417-423. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2)
- Baer, R.A. (2003). Mindfulness training as a clinical intervention: A conceptual and empirical review. *Clinical Psychology: Science and Practice*, 10(2), 125-143. <https://doi.org/10.1093/clipsy.bpg015>
- Bernstein, D. M., Thornton, W. L., & Sommerville, J. A. (2011). Theory of mind through the ages: Older and middle-aged adults exhibit more errors than do younger adults on a continuous false belief task. *Experimental Aging Research*, 37(5), 481-502. <http://doi.org/10.1080/0361073X.2011.619466>
- Baron-Cohen, S., Leslie, A. M., & Frith, U. (1985). Does the autistic child have a "theory of mind"? *Cognition*, 21(1), 37-46.

- [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(85\)90022-8](https://doi.org/10.1016/0010-0277(85)90022-8)
- Birch, S.A.J., & Bloom, P. (2007). The curse of knowledge in reasoning about false beliefs. *Psychological Science*, 18, 382-386.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.019>
- Bottiroli, S., Cavallini, E., Ceccato, I., Vecchi, T., & Lecce, S., (2016). Theory of Mind in aging: Comparing cognitive and affective components in the faux pas test. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 62, 152-162.
<https://doi.org/10.1016/j.archger.2015.09.009>
- Braynt, P. E. & Trabasso, T. (1971). Transitive inferences and memory in young children. *Nature*, 232, 456-458.
<https://doi.org/10.1038/232456a0>.
- Byrne, R., Whiten, A. (1989). Machiavelian intelligence: Social Expertise and the Evolution of Intellect in Monkeys, Apes, and Humans. *Oxford University Press, Oxford*: 藤田和生・山下博志・友永雅己 (訳) (2004) マキャベリの知性と心の理論の進化論—ヒトはなぜ賢くなったか. ナカニシヤ出版
- Caro, T., & Hauser, M. (1992). Is there teaching in nonhuman animals? *The quarterly review of biology*, 67, 2, 151-179
<https://doi.org/10.1086/417553>
- Cavallini, E., Lecce, S., Bottiroli, S., Palladino, P., & Pagnin, A. (2013). Beyond false belief: theory of mind in young, young-old, and old-old adults. *International journal of aging and human development*, 76(3), 181-98. <https://doi.org/10.2190/AG.76.3.a>.
- Chomsky, N. (1965). *Aspects of the Theory of Syntax*. Cambridge, MA: *MIT Press*.
- Chomsky, N. (1995). *The Minimalist Program*. Cambridge, MA: *MIT Press*.
- Chomsky, N. (2013). Problems of projection. *Lingua*, 130, 33-49.
<https://doi.org/10.1016/j.lingua.2012.12.003>
- Cosmides, L., & Tooby, J. (1992). Cognitive adaptations for social exchange. In J.H. Barkow, L. Cosmides, & J. Tooby (Eds.), *The adapted mind: Evolutionary psychology and the generation of*

- culture , *New York & Oxford: Oxford University Press*, 163-228
- Cosmides, L., Barrett, H.C, & Tooby, J. (2010). “Adaptive specializations, social exchange, and the evolution of human intelligence”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 9007-9014. <https://doi.org/10.1073/pnas.0914623107>
- De Neys W. (2012). Bias, conflict, and fast logic: Towards a hybrid dual process future? In De Neys W (Ed.), *Dual Process Theory 2.0. New York: Routledge*. 47-65. <https://psycnet.apa.org/record/2018-00897-009>
- Dennett,D.C. (1983). Intentional systems in cognitive ethology: The “Panglossian paradigm” defended. *The Behavioral and Brain Science*, 6, 343-390. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00016393>
- Douglas.H. (1979). an Eternal Golden Braid Godel, Escher, Bach : 野崎昭弘・はやしはじめ・柳瀬尚紀（訳）(1985)ゲーデル, エッシャー, バッハ あるいは不思議の環 白揚社
- Dumontheil, I., Apperly, I. A., & Blakemore, S.-J. (2010). Online usage of theory of mind continues to develop in late adolescence. *Developmental Science*, 13(2), 331-338. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2009.00888.x>
- Everett, D. (2008). Don't sleep, there are snakes, 屋代通子（訳）, ピダハン「言語本能」を超える文化と世界観, みすず書房
- Epley,N.,Morewedge, C.K., &Keysar,B. (2004). Perspective taking in children and adults: Equivalent egocentrism but differential correction. *Journal of Experimental Social Psychology*, 40, 760-768. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2004.02.002>
- Evans, J. S. B. T., & Over, D. E. (1996). Rationality and reasoning. *Psychology Press*
- Evans,J.S.B.T.,& Stanovich,K.E. (2013). Dual-process theories of higher cognition advancing the debate. *Perspectives on Psychological Science*, 8, 223-241. <https://doi.org/10.1177/1745691612460685>
- Fitch.W.T., Hauser.M.D.,& Chomsky.N. (2005). The evolution of the

- language faculty: Clarifications and implications, *Cognition*, 97, 179-210, <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2005.02.005>
- Fodor, J. A. (1983). *The modularity of mind*. Cambridge, MA: *The MIT Press*.
- Fonagy, P. (1989). On tolerating mental states: Theory of mind in borderline personality. *The Anna Freud Centre*, 12(2), 90-115. <https://www.pepweb.org/document.php?id=bafc.012.0091a>
- Fonagy, P., & Target, M. (1997). Attachment and Reflective function: Their role in self-organization. *Development and Psychopathology*, 9, 679-700. <https://doi.org/10.1017/s0954579497001399>.
- Friedman, O. & Leslie, A. (2004). Mechanisms of Belief-Desire Reasoning: Inhibition and Bias. 15(8), *Psychological Science*, 547-552. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00717.x>
- Gal-Ezer, J., & Harel, D. (1998). What (else) should cs educators know? *Communications of the ACM*, 41, 77-84. <https://doi.org/10.1145/285070.285085>
- Gardner, H. (1983). *Frames of mind: The theory of multiple intelligence*. New York: *Basic Books*.
- Gardner, M. (1959). Problems Involving Questions of Probability and Ambiguity. *Scientific American*, 201, 174-182. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican1059-174>
- Garrison, D. R. & Anderson, T. (2003). *E-Learning in the 21st century: A framework for research and practice*. London, UK: *Routledge Falmer*
- Gilbert, S. J., Spengler, S., Simons, J. S. S., Steele, J. D., Lawrie, S. M., Frith, C. D., & Burgess, P. W. (2006). Functional specialization within rostral prefrontal cortex (area 10) : a meta-analysis. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18, 932-948. <https://doi.org/10.1162/jocn.2006.18.6.9>
- Granberg, D. & Brown, T. A. (1995). The Monty Hall dilemma. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 21, 711-723. <https://doi.org/10.1177/0146167295217006>
- Hauser, M. D., Chomsky, N., & Fitch, W. T. (2002). The faculty of

- language : what is it, who has it, and how did it evolve? *Science*, 298, 1569-1579. <https://doi.org/10.1126/science.298.5598.1569>
- Harder, P. (2010). “Over the top: Recursion as a functional option”, *Recursion and Human Language*. Berlin: *Mouton de Gruyter*, 233-244. <https://doi.org/10.1515/9783110219258.233>
- 長谷川 眞理子 (2002). ヒトという不思議な生物 (編) ヒト, この不思議な生き物はどこから来たのか ウェッジ, 第1部, 9-71
- 長谷部 陽一郎 (2016). 「言語における再帰と自他認識の構造—認知文法の観点から—」, 『ラネカーの (間) 主観性とその展開』, 東京: 開拓社, 269-304.
- 林 創 (2007). 再帰的事象の認識とその発達に関する心理学的研究, 風間書房
- Hawkins,S.A., & Hastie,R. (1990). Hindsight: Biased judgment of past events after the outcomes are known. *Psychological Bulletin*,107,311-327. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.107.3.311>
- 井 関 龍太 (2010). 演算スパンテスター <http://riseki.php-xdomain.jp/index.php?演算スパンテスター> (2021,12.25 アクセス)
- 市川 伸一編 (1996). 思考 (認知心理学4) 東京大学出版会
- 糸井 尚子 (1982). 推論と再帰的な情報処理能力—パラドクスの理解について—, 教育心理学研究, 30, 37-45. https://doi.org/10.5926/jjep1953.30.1_37
- Jeung,H, Chandler.P.,& Sweller.J, (1997), The Role of Visual Indicators in Dual Sensory Mode Instruction, *An International Journal of Experimental Educational Psychology*, 17, 329-345 <https://doi.org/10.1080/0144341970170307>
- Kahneman,D. (2011). Thinking,fast and slow. *New York: Farrar, Straus and Giroux*.
- Klingberg, T. (2010). Training and plasticity of working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 317–324. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.05.002>
- 小林 晃洋・大久保 街亜 (2014). 日本語オペレーションスパンテストによるワーキングメモリの測定. 『心理学研究』,85,60-68
- Hirai,Y., Tokita,M., Takano.K., Koyama,S., Katsuki.A., Niimura.M., & &

- Matsumura.N. (2022). University-level Mathematics Pre-enrollment Education Combining Individual and Group Works in a Perfectly Distributed Asynchronous Environment, *Journal of Information Processing*, 30 (accepted)
- Hiraishi.K, Hasegawa.T. (2001). Sharing-Rule and Detection of Free-Riders in Cooperative Groups, *Thinking & Reasoning*, 7(3), 255-294
<https://doi.org/10.1080/13546780143000026>
- Kirschner, F., Paas, F. and Kirschner, P.A. (2009). “A cognitive load approach to collaborative learning: United brains for complex tasks”, *Educational Psychology Review*, 21(1), 31-42
<https://doi.org10.1007/s10648-008-9095-2>
- Langacker, R. W. (2008). Cognitive Grammar: A Basic Introduction. *Oxford: Oxford University Press.*
- Lee, O., & Lehrer, R. (1988). Conjectures concerning the origins of misconceptions in logo. *Journal of Educational Computing Research*, 4, 87–105. <https://doi.org/10.2190/G5YH-3JJE-NYN8-PQMX>
- Lee, E., Shan, V., Beth, B., & Lin, C. (2014). A structured approach to teaching recursion using cargo-bot. *In Proceedings of the tenth annual international ACM conference on international computing education research*, 14, 59–66.
<https://doi.org/10.1145/2632320.2632356>
- 前原 由喜夫 (2014). 心を読みすぎる：心の理論を支えるワーキングメモリの心理学 京都大学学術出版会
- 増田 優子・三宮 真知子 (2019). メンタライジング研究の教育への応用可能性 大阪大学大学院人間科学研究科紀要, 45, 95-109.
- MartinsM,D., (2012). “Distinctive signatures of recursion”, *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 367, 1598, 2055-2064. <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0097>
- Miara,R.J.,Musselman.J.A.,Navarro,J.A.,Shneiderman,B.(1983),“Programming indentation and comprehension”, *Communications of the ACM*, 26, 11, 861-867. <https://doi.org/10.1145/182.358437>
- Miller,G,A. & Isard,S. (1964). Free recall of self-embedded English sentences. *Information and Control*, 7, 292-303.

- [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(64\)90310-9](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(64)90310-9)
- Miller, P.A., Kessel, F.S. & Flavell, J.H. (1970). Thinking about people thinking about people thinking about. . . : a study of social cognitive development. *Child Development*, 41, 613-623.
<https://doi.org/10.2307/1127211>
- Morone, A., Caferra, R., Casamassima, A., Cascavilla, A., & Tiranzoni, P. (2021). Three doors anomaly, “should I stay, or should I go”: an artefactual field experiment, *Theory and Decision*, 91, 357–376
<https://doi.org/10.1007/s11238-021-09809-0>
- 中村 芳久 (2013). 認知モード・言語類型・言語進化 再帰性 (recursion) との関連から, *Kanazawa English Studies*, 28, 1-16.
- Nathan, O. & Dunbar, M. (2017). The emergence of recursion in human language: Mentalising predicts recursive syntax task performance. *Journal of Neurolinguistics*, 43, 95-106
<https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2016.09.008>
- Newstead, S., & Evans, J.S.B. (2013). “Perspectives on thinking and reasoning: Essays in Honour of Peter Wason”, *Psychology Press*
- 小川 綾子・子安 増生 (2008). 幼児における「心の理論」と実行機能の関連性—ワーキングメモリと葛藤抑制を中心に— 発達心理学研究, 19, 171-182
<https://doi.org/10.11201/jjdp.19.171>
- 苧阪 直行・苧阪満里子(2000). 『脳とワーキングメモリ』編著 京都大学学術出版会
- Park, D. C., & Gutchess, A. H. (2000). Cognitive aging and everyday life. In D. C. Park & N. Schwarz (Eds.), *Cognitive aging, A primer*, *Psychology Press*, 217–232
- Pennycook G, Fugelsang J. A., & Koehler D. J. (2015). What makes us think? A three-stage dual-process model of analytic engagement. *Cognitive Psychology*, 80, 3
<https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2015.05.0014-72>.
- Perner, J., & Wimmer, H., (1985). “John thinks that Mary thinks that...”: Attribution of second-order belief by 5-to 10-year-old children”. *Journal of Experimental Child Psychology*, 39, 437-471.

- [https://doi.org/10.1016/0022-0965\(85\)90051-7](https://doi.org/10.1016/0022-0965(85)90051-7)
- Perner, J. (1988). Higher-order beliefs and intentions in children's understanding of social interactions. In J. W. Astington, P. L. Harris, & D. R. Olson (Eds.), *Developing theories of mind*, Cambridge, UK: Cambridge University Press. 271-294.
- Perner, J., Frith, U., Leslie, A., & Leekam, S. (1989). Exploration of the autistic child's theory of mind : Knowledge, belief, and communication. *Child Development*, 60, 689-700
<https://doi.org/10.2307/1130734>
- Perner, J., & Lang, B., (1999). Development of theory of mind and self control: More than a common problem of inhibitions. *Child Development*, 73, 752-767.
<https://doi.org/10.1111/1467-8624.00436>
- Premack, D., & Woodruff, G. (1978). Does the chimpanzee have a Theory of mind? *Behavioral and Brain Sciences*, 4, 515-526.
<https://psycnet.apa.org/record/1980-27250-001>
- Pinker, S. (1997). *How the mind works*. New York: William Morrow. 椋田直子・山下篤子 (訳) (2003). *心の仕組み—人間関係にどう関わるか* NHK ブックス
- Qi, C. (2019). Social Media Usage of Students, Role of Tie Strength, and Perceived Task Performance, *Journal of Educational Computing Research*, 57(6). <https://doi.org/10.1177/0735633117751604>
- Renée, M., Scott, G., Sue F., & Laurie, M. (2015). Teaching and learning recursive programming: a review of the research literature, *Computer Science Education*, 25(1)
<https://doi.org/10.1080/08993408.2015.1033205>
- 三宮 真知子 (2018) 『メタ認知で〈学ぶ力〉を高める—認知心理学が解き明かす効果的学習法』, 北大路書房
- Sanders, I., Galpin, V., & Götschi, T. (2006). Mental models of recursion revisited. In *Proceedings of the 11th Annual SIGCSE Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education*, 138-142.
<https://doi.org/10.1145/1140124.1140162>

- 佐伯 胖 (1981). 「第 1 章情報処理モデルで考える」安西祐一郎・佐伯胖・無藤隆著『LISP で学ぶ認知心理学 1 学習』 東京大学出版会
- Short,J.,Williams,E. & Christie,B. (1976) The social psychology of telecommunications. *London: John Wiley & Sons*
- 鈴木有美・木野和代 (2008). 多次元共感性尺度 (MES) の作成—自己指向・他者指向の弁別に焦点を当てて—, 教育心理学研究,56, 487-497.
- Swan,P., & Riley,P. (2015). Social connection: empathy and mentalization for teachers. *An International Journal of Personal, social and Emotional Development*, 33, 220-233.
<https://doi.org/10.1080/02643944.2015.1094120>
- Sweller, J. (1988) "Cognitive load during problem solving: Effects on learning", *Cognitive Science*, 12(2), 257-285.
[https://doi.org/10.1016/0364-0213\(88\)90023-7](https://doi.org/10.1016/0364-0213(88)90023-7)
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). Cognitive load theory. *New York: Springer*.
- Sweller, J., van Merriënboer, J., & Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review*, 31, 261–292.
- Sweller,J., (2020). Cognitive load theory and educational technology, *Education. Tech Research* ,68,1–16
<https://doi.org/10.1007/s11423-019-09701-3>
- Szulewski,A.,Gegenfurtner,A.,Howes,D.W.,Sivilotti,M.L.A., & van Merrienboer,J.J.G. (2018). Measuring physician cognitive load: validity evidence for a physiologic and a psychometric tool. *Advances in Health Sciences Education*, 22,951-968.
<https://doi.org/10.1007/s10459-016-9725-2>
- 須賀 哲夫 (1980). 「知覚と論理—生まれつきとは何か」東京大学出版会
- 高野 辰之, 宮川 治, 小濱 隆司“プログラミング入門教育におけるインシデントと実装能力の関係”, 情報処理学会論文誌, 52, 11, 3065-3078.

- 谷川 真樹・市川伸一 (1996). プラグマティックな教示による再帰概念の理解 認知科学, 3, 83-95.
- Tessler, J., Beth, B., & Lin, C. (2013). Using Cargo-Bot to provide contextualized learning of recursion. *In Proceedings of the 9th International Computing Education Research conference* ,13, 161-168. <https://doi.org/10.1145/2493394.2493411>
- 時田 真美乃 (2006). 確率判断課題における「心の理論」の優先性：モンティ・ホール問題の変形問題を用いて 認知科学, 13, 125-128. <https://doi.org/10.11225/jcss.13.125>
- Tokita.M & Hiraishi.K (2016), Theory of mind and its relation to information superiority in reasoning : Investigation with the Amount guessing game , *International Journal of psychology*, 51, 579. (abstract)
- 時田 真美乃・平石 界 (2017). 心の状態及び数学的課題における再帰的推論の処理時間の関連性, 日本人間行動進化学会第 10 回大会プログラム集, 33. (abstract)
- 時田 真美乃・不破 泰 (2021). 初学者向けプログラミング基礎教育における可聴化を用いた多重ループの効果的な学習方法, 教育システム情報学会誌, 38, 1, 49-54. <https://doi.org/10.14926/jsise.38.49>
- 時田真美乃・平井佑樹・高野嘉寿彦 (2021). 非同期分散型グループワーク学習における調整活動の頻度と個人差との関連 日本教育心理学会第 63 回総会.
- 時田真美乃・平井佑樹・高野嘉寿彦・小山茂喜・勝木明夫・新村正明・松村宣顕・鈴木彦文 (2022). 非同期分散学習における効果的なグループワークの特徴分析, 教育システム情報学会誌,39(2). (accepted)
- Toya,G., Hashimoto.T(2015). Computational study evolution and adaptability of recursive operations, *Proceedings of the 20th International Symposium on Artificial Life and Robotics*. 68-73.
- Tversky,A., Kahneman,D.(1974). Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases. *Science*, 185, 1124-1131 <https://doi.org/10.1126/science.185.4157.1124>

- 山口 正寛(2011).「メンタライゼーションの測定に関する予備的研究(1)—メンタライゼーション尺度作成の試み—」, 日本発達心理学会第22回大会論文集, 417
- 湯澤 正通・湯澤 美紀 (著, 編集) (2014) .ワーキングメモリと教育 北大路書房
- Valle, A., Davide, N., Massaroa, D., Castella, I., & Marchettia, A.(2015). Theory of Mind Development in Adolescence and Early Adulthood: The Growing Complexity of Recursive Thinking Ability. *Europe's Journal of Psychology*, 11(1), 112–124. <https://doi.org/10.5964/ejop.v11i1.829>
- Van Gerven,P.W.M.,Paas,F.,van Merriënboer,J.J.G., Schmidt,H.G.(2004). Memory load and the cognitive pupillary response in aging. *Psychophysiology*,41,167-17 <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2003.00148.x> 4.
- Van Merriënboer,J.J.G.,Kester,L.,& Paas,F. (2006). Teaching complex rather than simple tasks: balancing intrinsic and germane load to enhance transfer of learning. *Applied Cognitive Psychology*, 20, 343-352. <https://doi.org/10.1002/ACP.1250>
- Wason, P. C. (1968) “Reasoning about a rule”, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 20(3), 273-281. <https://doi.org/10.1080/14640746808400161>
- Wiedenbeck, S. (1989). Learning iteration and recursion from examples. *International Journal of Man-Machine Studies*, 30(1), 1–22. [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(89\)80018-5](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(89)80018-5)
- Wimmer, H., & Perner, J., (1983). Beliefs about beliefs: Representation and constraining function of wrong beliefs in young children's understanding of deception. *Cognition*, 13, 103-128. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(83\)90004-5](https://doi.org/10.1016/0010-0277(83)90004-5)
- Wirth, N.(1986). AlgorithmasTuidatastructures. Prentice－Hall, Inc. 浦昭二・国府方久史 (訳), 『アルゴリズムとデータ構造』, 近代科学社, 1990年.

Zingaro, D., & Porter, L. (2014). Peer instruction in computing: The value of instructor intervention. *Computers & Education*, 71, 87–96. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.09.015>

慶應義塾大学大学院 社会学研究科 2021年度博士論文訂正 正誤表

論文:「認知的負荷のある再帰的な推論とその効果的な学習についての研究」

氏名:時田真美乃

学位論文の文中の一部に誤りがございましたので、お詫びして正誤表の通り訂正いたします。

訂正箇所		訂正内容	
頁	行・図表	誤	正
14	18	新しい情報は容量と持続時間に制限のある作業記憶で処理されてから	新しい情報は容量と持続時間に制限のあるワーキングメモリで処理されてから
18	7	kirschner	Kirschner
19	9	確認したうえで	確認した上で
22	6	ハコ	箱
28	7	方法については第2章	方法については第3章
56	図	問1 (ユウさん・ハルさん・同じ)	問1 (ヒロさん・ユウさん・同じ)
57	6,7	ハルさん	ユウさん
57	表5,6	ハルさん	ユウさん
61	24	一般教養過程	一般教養課程
66	12	繰り返し数は回	繰り返し数は3回
67	表9,10	ハル	ユウ
73	1	先行研究で、は視覚系	先行研究では、視覚系
88	図28	犯人	先生
100	1	景気	契機
109	4	安藤寿泰教授に感謝の意を示します。	安藤寿康教授に感謝の意を示します。