学位請求論文審査要旨

報告番号　　乙 第　　号
氏名　　時田真美乃君
論文題目　　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

審査担当者
主査　慶應義塾大学文学部教授・社会学研究科委員
博士（教育学）　安藤　寿康
副査　慶應義塾大学文学部教授・社会学研究科委員
博士（学術）　平石　界
副査　信州大学学術研究院(工学系)教授
博士（工学）　香山　瑞恵

学識確認　慶應義塾大学文学部教授・社会学研究科委員
博士（学術）　平石　界

1. 本論文の構成
第 1 章：本論文の目的とその背景
　第 1 節：はじめに
　第 2 節：再帰的推論について
　第 3 節：認知的負荷について
　第 4 節：他者の信念の再帰的な推論についての先行研究
　第 5 節：数学的な再帰的な推論についての先行研究
　第 6 節：本論文の目的
第 2 章：研究 1「他者信念の推論と志向性 1」
　第 1 節：目的
　第 2 節：方法
　第 3 節：結果と解釈
第 3 章：研究 2「他者信念の推論と志向性 2」
　第 1 節：目的
　第 2 節：方法
　第 3 節：結果と解釈
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

第 2 節：方法
第 3 節：結果と解釈
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
第 2 節：方法
第 3 節：結果と解釈
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
第 2 節：方法
第 3 節：結果と解釈
第 7 章：総合考察
第 1 節：本研究のまとめと今後の展望
第 2 節：おわりに
謝辞
参考文献

2. 本論文の概要

「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」ような入れ子構造、いわゆる「再帰」は、ヒトにおいて言語活動、メタ認知、心の理論、数学的アルゴリズム、芸術作品などの人間らしい知的機能のいたるところにさまざまな形であらわれる普遍的な構造である。本論文ではその中でも「再帰的推論」を 「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」と定義し、成人において再帰的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こと[目的 1]、ならびに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と[目的 2]を目的として、特に認知負荷に着目しながら、5 つの実験によって実証的にその解明を試みたものである。

本論文は全 7 章からなる。

第 1 章「本論文の目的とその背景」においては、まず再帰的推論への代表的な学術的アプローチである言語的アプローチ、認知的アプローチ、数学教育アプローチの研究史とその相互関連性、高次元の志向性をもつ再帰的推論にかかるワーキングメモリへの認知的負荷、そして推論の二重過程理論(推論には速くて自動的な処理である「直感型推論」と遅くて努力を必要と「熟考型推論」があるとする理論)に関する概観を行い、本論文で取り上げられる 5 つの実証研究(研究 1,2,3 が目的 1、研究 4,5 が目的 2 に対応)との理論的関連性が考察された。

第 2 章「研究 1　他者信念の推論と志向性 1」 では、他者信念の推論が進化的に領域固

有的なもので、二重過程理論における直感型推論に対応しているが、認知負荷の志向性の次元が増えると、いずれかの次元から熟考型推論に対応するようになると考え、「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」という仮説の検証(目的その 1)と「他者信念の推論は志向性の次元のどこまでが使用されやすいか」の推定(目的その 2)という二つの目的を設定した。これを解明するために、確率的推論における直感によるバイアスの存在を示す古典的な Monty Hall Problem（MHP;確率判断問題において新たな情報による条件付き確率のベイズ更新が適切に行われず、非合理的なバイアスが生じる課題）に、課題に登場する登場人物が互いの意図を読み合うという社会的文脈を導入した新しい課題を作成した。そして、2 人の登場人物（出題者と回答者）が互いの信念を再帰的に推論し合う志向性次元を 2 次から 5 次にまで変化させた実験を行った。加えて「出題者」をコンピュータとすることで、文脈を非社会的なものにした条件を設定し、社会的文脈条件との比較を行った。その結果、「出題者」が人条件の場合とコンピュータ条件の場合との間に有意な回答パターンの差があること、また 4 次以上で異なる他者信念の推論が働くことを示した。

第 3 章「研究 2　他者信念の推論と志向性 2」では、研究 1 で取り上げた他者信念の推論が志向性のどの次元まで使用されやすいか，新たに開発した，回答者が二人いる状況で 2 次から 4 次までの志向性の次元で推論するインディアンポーカーを応用した金額ゲーム課題によって推定した。研究 1 で用いた社会的文脈を持つ MHP 課題には、登場人物の間で情報の非対称性があり，これが高次の他者信念の推論における回答に影響している可能性があった。この問題を解決したインディアンポーカー課題でも、研究 1 と同様に 3 次までの信念状況がもっとも解釈されやすいことを示した。

第 4 章「研究 3　課題における認知的負荷の関連性」では、数学的推論が進化的に領域一般的な推論で，二重過程理論における熟考型推論に対応しており，志向性が高くなるほど認知負荷が増えると考えられることから、数学的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ことを、プログラム言語 BASIC の FOR-TO/NEXT のループを 1 重から 3 重まで用いる課題と、研究 2 で用いた金額ゲーム課題、そしてワーキングメモリスパン課題を用いて検証した。

第 5 章「研究 4　認知的負荷の高い課題の効果的な教育」では、研究 3 で用いた認知負荷の高い熟考型推論を要する数学的推論としてのプログラミングの多重ループ課題において，どの階層のループが実行されているかを階層毎に音程の異なるビープ音を発生する装置を用いて聴覚的に支援することで成績が向上することを示し、教育効果を検証した。

第 6 章「研究 5　認知的負荷の高い環境での効果的な教育」では、これまでの研究で示された他者信念の理解に社会的状況が契機となるという知見、ならびに高次の志向性をもった再帰的推論には認知負荷がかかり直感型推論が発動されにくいという知見をもとに、社会的状況の薄いオンラインでのコンピュータ媒介コミュニケーションによる教育環境でなされた非同期分散型の協調学習の教育効果を、高校数学におけるさまざまな課題にグループで取り組んだときの活動成果と他者の信念の理解の個人差との相関を示すことで検証

した。

第 7 章「総合考察」では、目的 1 に対しては再帰的な推論が使用されやすい状況の特徴が「社会的状況」が存在する場合であること，また「社会的状況」が存在しても，他者信念の推論の志向性次元 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、目的 2 に対しては再帰的推論に認知的負荷がある課題においても，ワーキングメモリの負荷低減の工夫や他者信念推論が適切に発動する工夫によって，学習が効果的に行われる可能性が示唆されることを要約し、さらに本論文の限界と今後の展望が論じられている。

3. 本論文の評価

公開審査会を 2022 年 5 月 20 日(月)　9:00 より、審査担当者と 5 人の聴講者のもとでオンラインで開催した。

本論文は再帰的推論、心の理論、数学教育という一見かけ離れたテーマを、認知的負荷理論によって結びつけ、絶妙なひねりをもった実験アイデアを考案することによって、再帰的推論の特質と教育への応用可能性まで実証的に明らかにしており、その独創性を高く評価することができる。

本論文の卓越性は、第一に Monty Hall Problem やインディアンポーカー課題といった、それぞれが独自の研究の蓄積をもった古典的な問題空間に、これも古典的というべき心の理論の誤信念課題の多次元性を導入するという、それぞれの研究領域だけからは思いもよらなかった新たな問題空間を作り出したことである。この課題の考案は、単なる思い付きではなく、認知負荷理論と推論の二重過程理論に立脚しており、ワーキングメモリを測定してその認知的負荷がそれら一見異なる認知プロセスの基盤になっていることを示し、それぞれの理論的枠組みを統合することによって、認知科学内で別々に検討されてきた複数の研究領域を架橋することに成功している。これが第二の卓越性である。さらに第三の卓越性として、これらの成果をふまえて認知的負荷を軽減させる教育的介入によって、再帰的推論の学習を促進できる可能性まで示唆したことにある。

これらの卓越性から、本論文は博士号取得にふさわしいものと判断されるが、いくつかの看過できない問題点が残っていることも指摘しないわけにはいかない。それはまず「再帰」の概念の捉え方のあいまい性である。ワーキングメモリにおける「メタ認知」と推論過程における「再帰」が密接に関連していることは示唆されたが、その理論的記述は依然として不十分であること、また同じ作業を何回行う「繰り返し」と作業した結果できたものに対してさらに同じ作業を終了条件を満たすまで行う「再帰」、あるいは「埋め込み文型」と「展開型文型」は、プログラミングでは異なる概念であるにもかかわらず区別されていないことなどにあらわれている。これらが同じワーキングメモリとして脳の同一プロセスに由来するかは今後の検討課題である。

また「学習」を生じさせる環境があればそれを「教育」ととらえ、あるいは教育的検討をまとめて「学習」と呼ぶなど、素朴な教育観にとどまっており、「学習」と「教育」との

関係性の把握に厳密性を欠いている。学習が教育によって促進されたかどうかは、比較統制実験や把持効果、転移効果の検討によってさらに確かめられねばならない。加えて、近年の学習指導要領の変更によって数学科の内容が整理され、新たな科目として情報科が新設されたことに伴い、プログラミング教育は数学教育の教科内容ではなくなっているにもかかわらずこれを数学教育として位置づけていることは実態に即していない。

さらに本論文が依拠した心の理論やワーキングメモリの理論自体、構成概念の定義、その測定妥当性や結果の再現可能性、一般化可能性において、必ずしも十分な蓄積が保証されているとは未だにいいがたい部分があり、結果の理論的解釈可能性には依然として検討の余地があるだろう。

このように領域架橋的であるがゆえに、工夫された課題とアイデアに基づく萌芽的な段階にあり、ある意味での「危うさ」を感じさせる論文である。しかしその「危うさ」は決して本論文でなされた研究の方法や解釈に問題点があることの「危うさ」ではなく、本論文が示唆する新しい問題空間が秘める可能性のある「危うさ」である。本論文の主張と関連学術分野でこれまで検討され蓄積されてきた知見との整合性や関連性を意識した今後の発展を検討されることが期待される。

以上のことから、本論文が博士(教育学)を取得するにふさわしい論文であると認める。

なお論文の表現や表記に見られる誤記やゆれは、修正表を付加することで補いたい。