博士論文

問題解決過程におけるメタ認知の役割と その基礎科学問題解法への応用に関する研究

平成 26 年 9 月

太田幸雄

岡山大学大学院 自然科学研究科

目 次

第1章 序論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 メタ認知とその応用に関するこれまでの研究	2
1.3 本研究の目的	4
1.4 本論文の構成	5
1.5 参考文献	7
第2章 メタ認知とは	11
2.1 メタ認知の定義	11
2.2 メタ認知のモデル―メタ認知と「わかる」の関係―	11
2.2.1 問題解決の4段階モデル	11
2.2.2 結果予測・理解・プラン・実行・確信度評価モデル	13
2.3 メタ認知の教育分野への応用	15
2.4 参考文献	18
第3章 順列・組合せ問題の解答プロセスにおけるメタ認知	20
3.1 順列・組合せ問題解法におけるメタ認知の役割	20
3.2 実験方法	22
3.2.1 被験者	22
3.2.2 確認テスト	22
3.2.3 順列・組合せ問題とワークシート	23
3.2.4 実験手順	24
3.2.5 ワークシートの得点化手順	25
3.3 実験結果	26
3.3.1 得点上位群と下位群の分類	26
3.3.2 得点上位群と下位群での確認テストの得点	26
3.3.3 得点上位群と下位群での解答過程の得点	27
3.4 考察	31
3.4.1 確認テスト	31
3.4.2 順列・組合せ問題の解答過程—問題理解・プラン・実行—	31
3.4.3 順列・組合せ問題の解答過程―結果の予測・解答に対する確信度―	33
3.5 まとめ	34
3.6 参考文献	35
第4章 電気基礎回路問題の解答プロセスにおけるメタ認知	36
4.1 基礎電気回路問題におけるメタ認知の役割	36
4.2 実験方法	37

4.2.2	2 確認テスト	37
4.2.3	3 基礎電気回路問題とワークシート	38
4.2.4	実験手順	42
4.2.5	i ワークシートの得点化手順	42
4.3	実験結果	42
4.3.1	得点上位群と下位群の分類	42
4.3.2	2 得点上位群と下位群での解答過程の得点	42
4.4	考察	52
4.4.1	確認テスト	52
4.4.2	2 基礎電気回路問題の解答過程—問題理解・プラン・実行—	52
4.4.3	3 基礎電気回路問題の解答過程―結果の予測・解答に対する確信度―	52
4.5	まとめ	52
4.6	参考文献	54
第 5	章 電気基礎回路問題の解答プロセスにおけるメタ認知	
	―非専門課程と専門課程の学生の比較―	55
5.1	メタ認知への結果の予測・解答に対する確信度の関与に関する実験仮説	55
5.2	実験方法	57
5.2.1	被験者	57
5.2.2	2 確認テスト	57
5.2.3	3 基礎電気回路問題とワークシート	60
5.2.4	1 実験手順	63
5.2.5	5 ワークシートの得点化手順	63
5.3	実験結果	64
5.3.1	非専門課程得点上位群・非専門課程下位群・専門課程群の問題理解・プラン・実行過	
	程	64
5.3.2	2 非専門課程得点上位群・非専門課程下位群・専門課程群の結果の予測・解答に対する	
	確信度	68
5.4	考察—メタ認知における結果の予測能力・解答に対する確信度の重要性	69
5.5	まとめ	71
5.6	参考文献	72
第 6	章 結論	73
6.1	本研究で得られた成果	73
6.2	本研究の効率的な学習法への応用	75
謝辞	\$	88

37

4.2.1 被験者

第1章 序論

1.1 研究の背景

現代社会は時代の流れや変化が急激で、科学技術は年々高度化・複雑化している。特にコンピュータの進歩とともに、情報システムを含むデータ処理があらゆる分野に応用されている。さらにネットワークシステムの発展に伴い多くのデータが行き交い、データの分析・分類・処理などの技術が高度化している。また、自動化された機器類の制御にもコンピュータが使われていて、これには高度なソフトウエアがインストールされ、その操作も複雑になっている。その結果、きわめて進歩の激しい時代を迎え、「覚えること」「理解して」「正しく実行」しなければならないことが年々増大している。また、新しいことを覚えても、次の新しい技術進歩で今までに覚えた内容が陳腐化する。このような時代背景から、効率的に学習をさせる方法の開発が要求される。

例えば、Lakoff ら ¹⁻¹⁾ は極限、微積分などの数学応用問題の解法においては、解答過程を認知科学的に分析し、いかにこの結果を理解度向上につなげていくことが重要であるかを示した。しかし、Lakoff ら ¹⁻¹⁾ は、学習者、解答者のメタ認知過程 ¹⁻²⁾⁻¹⁻⁴⁾ には注目していない。また、次の 1.2 で述べるように、これまでのメタ認知およびその教育への応用に関する研究は、幼児の発達過程、小学生の作文、算数などに限定されており、これらの基礎の上に成り立っている数学の問題や工学的基礎問題に対するメタ認知過程について言及した研究は非常に少ない。そこで、本研究では、順列・組合せ、電気回路基礎の解答過程を取り上げた。

例えば、電気回路の学習では、導入として抵抗、電流と電圧などの概念と関係を学び、その後、オームの法則やキルヒホッフの法則等を学習させ、電圧と抵抗、電流の関係から電位差などの概念を教える。これらの事項は、教科書を利用して、講義によって教えていくのが一般的である。例えば、電位差や、回路網の中の等しい電圧間では、接続してもしなくても回路電流の値や抵抗値が変化しない。しかし、初学者にとっては、これらのことが実際のものとしてイメージできないため理解が難しくなる。最初の導入の段階で電気回路をイメージとして把握することに失敗すると、直流回路からその後の交流回路へと進むことにより、コンデンサやコイル、周波数、位相差などの考え方が加わり、ますます理解が難しくなる。導入部において、実際の電気回路をイメージして把握することに失敗した学習者は単位を取ることにだけ励み、そして、数式を覚えたり、計算の方法を覚えたりするだけの勉強となってしまう。その結果、電気回路を考えて応用していくだけの基礎力を獲得することができない。

本研究では、従来からある講義形式の授業に対して、学生がイメージできるような、すなわち、メタ認知を刺激するように工学教育を行う手法を確立するための基礎研究を実施した。本研究では、学習の効率化を図る手段の一つであるとされるメタ認知に焦点をあてて、メタ認知の活性化による工学分野での基礎問題に対する学習効果、遂行レベルを高めることの可能性を検討した。

1.2 メタ認知とその応用に関するこれまでの研究

Flavell^{1-2), 1-3)}, Brown¹⁻⁴⁾ によって、メタ認知とは、人の認知活動に関する知識を表し、認知活動を統制する過程であると定義され、メタ認知の概念が初めて提案されて以来、メタ認知の拡張概念、メタ認知の評価モデル、幼児のメタ認知の発達過程、算数教育、作文法等の初等教育へのメタ認知の応用が、主として認知心理学、教育心理学等の分野で盛んに研究されるようになった ¹⁻⁵⁾⁻¹⁻³⁰⁾。

アルベルト ¹⁻³⁰⁾ は、脳科学者の立場から一般向けに自己の学ぶ能力を高めるためには「人間がどのように考えているか(認知情報処理の過程)を理解することは、状況の認識力アップにつながり、これが学習効果や理解度を高めるという」メタ認知的アプローチが重要であることを示したが、実際にこのような学習法が有効であるということは検証されていない。Dunloskyら ¹⁻³¹⁾ は、認知科学の観点からメタ認知の重要性を議論しているが、効果的な学習法へといかに応用していくべきかについては全く議論されていない。Kaplanら ¹⁻³²⁾ は、メタ認知の考え方を利用して、メタ認知的教示を試験問題にいかに取り入れて教育効果を測定していくべきか、初等生物学、工学実践、文書作成法などの効果的な学習はどうあるべきかを論じているが、これらの提案の有効性を実験によって検証していない。

メタ記憶に関する研究として、Kreutzer ¹⁻³³⁾は子供の成長とともに記憶に関するメタ認知の知識、すなわちメタ記憶が獲得され、小学校 5 年生頃になるとメタ記憶が習得され、これによって記憶された知識が有効に活用できるようになることを示唆した。Beuhring ら ¹⁻³⁴⁾ は、メタ記憶知識と対連合学習における作業成績の関係を実験で調査し、小学校 5 年までにメタ記憶と対連合学習の記憶成績の関連性が認められるようになり、メタ記憶能力が高い児童のほうが作業成績が高く、効率的に学習することが可能となることが示唆された。Belmont ¹⁻³⁵⁾、Brown ら ¹⁻³⁶⁾ は、メタ記憶知識が不十分な児童に対して、リハーサルの仕方(精緻化リハーサル)を教えると、記憶成績が向上することを示した。すなわち、小学生の段階で(小学校高学年くらいまでに)、メタ認知的能力が発達し、記憶方法の適切な教示がメタ記憶能力を向上させ、効率的な

学習のためにはメタ認知、特にメタ記憶が必要不可欠になることを示した。

メタ認知においては、メタ記憶のみではなく、記憶のプランとモニタリングの適切さも学習 効果に大きな影響を及ぼすとみられている。Flavell 1-37) らは、幼児や小学生に単語からなる刺 激リストを提示して,自身が記憶可能な項目数を回答させる実験を実施した。この実験では, コントロール群として大学生の被験者群も使用した。自身が記憶可能な項目数の予測は、大学 生からなるコントロール群のほうがかなり正確で、この結果から大学生は作業におけるプラニ ングとモニタリング能力が高いことが推察された。Paige ら 1-38) は、文章題の理解の過程では、 単文理解の変換段階に加えて問題全体の把握・関係付けの統合段階が存在することを指摘し、 ここにもメタ認知的なモニタリング、コントロール機能が重要な役割を果たすことを示唆した。 文章作成過程におけるメタ認知の役割を検討した研究として, Flowers ら ¹⁻³⁹, Hayes ら ¹⁻⁴⁰ は、文章作成においては、起承転結を含む文章全体の構成、文章の流れ等に関するプランの他 に、作文の過程をモニタリングし、不適切な文に対する適切な制御によって、文を正しい方向 に修正していく能力の重要性を提起し、これを検証するための実験を実施した。この検証実験 では、小学生の被験者群に対するコントロール群として大学生を取り上げ、大学生は、小学生 よりも効果的な作文が可能であったことから、大学生にはプランの機能のみではなく、作文過 程のモニタリングとコントロール機能が優れている、すなわちメタ認知の機能が習得されてい ることを実証した。

メタ認知が算数・数学の文章題解決において重要な働きをすることが示唆されている ¹⁻⁴¹⁾⁻¹⁻⁴⁹。 岡本 ¹⁻⁴¹, 岡本 ¹⁻⁴², 岡本 ¹⁻⁴³, Okamoto ¹⁻⁴⁴⁾は,小学生を対象として,教科書に掲載される水準の算数文章題(難関中学受験で出題される算数文章題とは異なり,教科書に掲載されている,ごく基本的な問題)の解法過程におけるメタ認知の役割を総合的に検討し,メタ認知の中でもモニタリングとコントロール,すなわち問題解法における自身の脳内の情報処理機能を理解できる自己の能力を高めることが重要であり,これを実践できるような学習法を児童自身が学べるような教育技術が重要であることを示した。

丸野は、一連の研究 ¹⁻⁵⁰⁾⁻¹⁻⁵²⁾ において、メタ認知の特性の一つであるプランニング、モニタリングの機能が、小学校入学以前の子供においても見られることを指摘した。これらの研究では、大きさの違うカップを入れ子構造にする作業 ¹⁻⁵⁰⁾ からプランニングの機能の証拠、さらには解決時間をモニタリングする機能 ¹⁻⁵¹⁾ ,¹⁻⁵²⁾ の証拠が、小学校入学以前の子供において発見された。Ceci ¹⁻⁵³⁾ も、10 歳児までに解決時間をモニター・コントロールしながら、問題を解くことが可能になるケースがある点を明らかにした。園田 ¹⁻⁵⁴⁾ も、長さの違う棒を長さの順に並べ

る簡単な作業において、6歳児程度から課題遂行のモニタリング機能が発揮されることを指摘した。また、Klahar¹⁻⁵⁵⁾ は人工知能やプログラミングの教科書でよく見かけるハノイの塔問題の解法において、小学校入学以前の6歳児でさえ、これを解ける子供では、メタ認知を活用しているのではないかという傾向(特に、解法におけるプランニングの優位性)が見られることを見出した。

従来、幼児や小学生を研究対象としてメタ認知研究はされてきていたが、数少ない工学教育への応用研究としてLawantoの研究¹⁻⁵⁶⁾をあげることができる。Lawanto¹⁻⁵⁶⁾では、大人数の学生を対象とした講義、すなわち学生にとっては、レクチャーを聞いたり、ノートをとったりするという行動では、「学生が積極的に勉強に取り組むための刺激にはならない」として、メタ認知刺激を促すことにより、学生の講義や学習の場での取り組み姿勢を改善できると期待される"Enhanced Guided Notes"(EGN)という指導マニュアルを作成してその効果を評価した。その結果、メタ認知刺激を促したときと、通常の講義形式での学習のときとを比較して、メタ認知刺激を行った場合には、その効果があったとしている。また、従来の教育システムと、提案したEGNによる教育システムの効果を比較し、提案法の有効性を示した。Lawanto ¹⁻⁵⁶⁾は、提案法は、学生が自身のメタ認知過程を確認しながら学習が可能なため、従来のシステムよりも効果的であったと推察した。しかし、問題の難易度と自分の能力を比較し、問題のタイプを考え、うまく解けるよう方略、道筋を立て、これを実行し、これらの解決がうまくいっているかをモニター、コントロールするメタ認知能力を、実際のデータに基づいて検証していない。

以上のように、幼児や小学生に対する結果が、より高度な知識の適用を必要とする理工系、 技術系の問題に当てはまるかどうかは定かではない。そこで、効率的な学習のために、メタ認 知のアプローチを理工系、技術系の問題に取り入れていくことが可能かどうかを、実証するこ とが必要であり、これが本研究のねらいである。

1.3 本研究の目的

本研究では、これまでの幼児、小学生を対象とした文章読解・作文の例などが多いところ、「1.1 研究の背景」で述べたように、進歩の激しい工学分野の教育でこそ、メタ認知研究を発展させるべきであると考え、その基礎として、基礎電気回路問題、順列・組合せ問題の問題解決過程におけるメタ認知の役割を実証し、その成果を効率的な工学教育に、いかに応用していくべきかに関する基盤を構築することを目的とした。

メタ認知過程の評価方法には,多くの場合,インタビューや質問紙,発話思考,行動観察な

どによる方法が用いられているが、インタビュー形式では、時間と共に記憶が薄れてしまう。 ここで使用した計算問題と図による表現では、インタビュー方式では、的確な回答を得ること は、表現力の差異(これもまたメタ認知ではあるが)が結果に入ってしまうため、査定が困難 となる。また、発話思考もインタビュー方式と同様な困難さが伴う。行動観察は、低年齢の子 どもの場合には、思考が身体の動作として表に出やすいため有効であるが、大学生の場合には、 そのような観察は困難であると思われる。このため、的確な査定を得やすいよう、設問ごとに 質問紙に記入させる方法で行なった。また、メタ認知の過程を質問紙法によって評価する際に、 独自の評価モデルを提案することも目的とした。

以上のように、質問紙法によるメタ認知過程の評価法を考案し、これを用いた実験によって、まず、科学的な基礎問題(本論文では、順列・組合せ問題と基礎電気回路問題)解決過程におけるメタ認知の役割を明らかにするために、まず順列・組合せ問題に対しては工学系の学生の成績上位群と下位群の比較、基礎電気回路問題に対しては非専門課程の成績上位群、下位群の比較を行った。さらには、基礎電気回路問題に対して、専門性の高い電気工学科の学生と非専門課程の学生の比較を行い、成績の相違、専門性の相違(非専門課程と専門課程)がメタ認知にいかに影響を及ぼすかを明らかにすることを目的とした。そして、これらの一連の実験結果から、効率的な学習・理解に必要なメタ認知の過程、要因を明らかにし、これに基づく有効な学習法、教示方法を提案していくための基盤を構築することを目的とした。

1.4 本論文の構成

本論文は次の内容で構成されている。

第2章では、まずメタ認知の定義を行った。メタ認知の4段階モデル、結果予測・理解・プラン・実行・確信度評価モデルを述べ、これらのモデルが問題解決過程における「わかりやすさ」を考える上で、いかに貢献するかを議論した。これに基づいて、メタ認知の教育分野への応用の基礎を構築するためには、いかにメタ認知の役割を明らかにしていくべきかについて論じた。

第3章では、第2章で述べた結果予測・理解・プラン・実行・確信度評価モデルを用いて、順列・組合せ問題の解答プロセスにおけるメタ認知の役割について検討した。工学部の学生を対象にして、メタ認知過程を分析するためのワークシートによって、成績上位群と下位群の各解答プロセスの得点を比較・分析し、成績上位群と下位群の相違を同定した。この結果から高得点を目指す(すなわち、「理解度」「わかる」)を高めるためには、メタ認知のどの側面が重

要になるかを考察し、課題・問題点を明らかにした。

第4章では、第3章と同様のモデルによって、全く専門知識を有さない経済系の学生に対して、基礎電気回路問題の解答過程におけるメタ認知の役割を検討した。この実験では、講義を実施し、高校物理で学習したオームの法則、直列接続、並列接続等の基礎知識を復習させた後に、確認テストを行い、これに基づいて理解度の高い成績上位群と下位群に分類し、第2章で示した結果予測・理解・プラン・実行・確信度評価モデルに則ったワークシートを用いて、基礎電気回路問題の解答過程のメタ認知特性を分析した。これらの結果に基づいて、非専門群の学生が基礎電気回路に対して効率的に成績を高めるためには、メタ認知過程のどの側面を重視すべきかを指摘した。また、第3章の順列・組合せ問題に対して専門性を有する工学部学生の順列・組合せ問題に対する解答プロセスと、本章の専門性を有さない経済系の学生に対する基礎電気回路問題に対する解答プロセスの共通点について整理した。

第5章では、第4章の結果を受けて、第4章で得られなかった成績上位群と下位群での「結果の予測」「解答に対する自信」の有意な得点差の原因を、成績上位群と下位群の能力差が不十分であったためと推測し、解答能力の差を上位群、下位群の2段階ではなく、専門課程群、非専門課程群成績上位、非専門課程群成績下位に分けることが可能な実験状況を設定した。具体的には、電気工学の専門課程の学生、経済系の学生を対象として、基礎電気回路問題の解答プロセスにおけるメタ認知の役割を第3章・第4章と同様の結果予測・理解・プラン・実行・確信度評価モデルによって検討し、基礎電気回路問題の能力差が大きい場合に、「結果の予測」「解答に対する自信」の得点に有意な差が認められるかを調査した。すなわち、電気工学専門課程群の学生と経済系の非専門課程群の学生の間で基礎電気回路問題の解答過程のメタ認知分析において「結果の予測」「解答に対する自信」の得点に有意差が認められるかどうかを検討し、メタ認知における「結果の予測」「解答に対する自信」項目の役割を明確にした。

第6章では、まず本論文第3章と第4章の共通点として得られた成果、これらの章をさらに発展させた第5章の結果から得られた成果を結論としてまとめた。そして、工学分野での基礎問題(順列・組合せ、基礎電気回路)解法過程におけるメタ認知の有効性の検証結果に基づき、これをいかに有効で効率的な指導法・学習法へ応用すべきかについて議論した。最後に、今後の課題として、学習者の立場から、いかにメタ認知能力を活性化させるように学習すべきか、教える側の立場から、メタ認知能力を活性化しやすい学習テキストの記述法の研究などを実施することの必要性について言及した。

1.5 参考文献

- 1-1) Lakoff, G and Nuñez, R., (2001). Where mathematics come from: How the embodied mind brings mathematics into being. Basic Books.
- 1-2) Flavell, J.H. (1976). *Metacognitive aspects of problem solving*. In Resnick, L. (Ed.), *The nature of intelligence* (pp.231-235). Hillsdate, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- 1-3) Flavell,L.J.(1979). *Metacognition and cognitive monitorion,A new area of cognitive-developmental inquiry*.(Vol.34, pp.906-911). American Psychologist.
- 1-4) Brown, A.L. (1987). *Metacognition, executive control, self regulation, and other more mysterious mechanisms, motivation, and understanding* (pp.65-116). LEA.
- 1-5) Wyble, S. (2009). Metacognition and other stories and poems of science, Faith and the supernatural. Lulu.com,.
- 1-6) Quirk, M. (2006). Intuition and metacognition in medical education: Keys to developing expertise. Springer.
- 1-7) Kleitman, S. (2008). Metacognition in the Rationality Debate: Self-confidence and its Calibration. VDM Verlag.
- 1-8) Landerman, P.W. (2011). Metacognition (Personal essays). CreateSpace Independent Publishing Platform.
- 1-9) Handyside, M.B. (2012). *Metacognition matters: insights and concepts that promote reading comprehension*. AV Akademikerverlag.
- 1-10) Akthar, A., Zafar, F. and Afzal, J. (2011). *Metacognition affects in enhancing student's learning:*Metacognition and learning. VDM Verlag.
- 1-11) Perfect, T.J., Schwartz, B.L.(2002). Applied Metacognition. Cambridge University Press.
- 1-12) Metcalfe, J., Shimamura, A.P. (1996). Metacognition: Knowing about knowing. A Bradford Book.
- 1-13) Hartman, H.J.(2010). *Metacognition in learning and instruction: Theory, research and practice* (Neuropsychology and Cognition). Kruwer Academic Publishers.
- 1-14) Vandergrift, L., Goh, C.C.M. (2011). *Teaching and learning second language listening: Metacognition in action*. Routledge.
- 1-15) Israel, S.E., Block, C.C., Bauserman, K.L. and K.Kinnucan-Welsch (Eds.). (2005). *Metacognition in literacy learning: Theory, assessment, instruction, and professional development.* Routledge.
- 1-16) Hacker, D.J., Dunlosky, J. and Greesser, A.G. (1998). *Metacognition in educational theory and practice*. Routledge.

- 1-17) Magiera, M.T. (2011). *Metacognition in solving complex problems: A case study of situations and circumstances that prompt metacognitive behaviors.* ProQuest.
- 1-18) Zohar, A., Dori, Y.J.(2012). Metacognition in science education: Trends in current research. Springer.
- 1-19) Hacker, D.J., Dunlosky, J. and Graesser, A.C. (2009). *Handbook of metacognition in education*. Routledge.
- 1-20) Larson, C.B. (Ed.) (2009). Metacognition new research developments. Nova Science Publishers.
- 1-21) Yzerbyt, V.Y., Lories, G. and Dardenne, B. (1998). *Metacognition: Cognitive and social dimensions*. SAGE Publications Ltd.
- 1-22) Tarricone, P. (2011). The taxonomy of metacognition. Psychology Press.
- 1-23) Papaleontiou-Louca, E. (2008). Metacognition and theory of mind. Cambridge Scholars Publishing.
- 1-24) Beran, M.J., Brandl, J.L., Perner, J. and Proust, J. (2012). *Foundations of metacognition*. Oxford University Press.
- 1-25) Water, H.S., Schneider, W. (2009). *Metacognition, strategy use, and instruction*. The Guilford Press.
- 1-26) Briñol, P., DeMarree, K.G. (2011). Social metacognition (Frontiers of social psychology). Psychology Press.
- 1-27)村田厚生, 認知科学一心の働きをさぐる一, 朝倉書店, 1997.
- 1-28) 清水寛之、メタ記憶-記憶のモニタリングとコントロール、北大路書房、2009.
- 1-29)三宮智子, メタ認知ー学習力を支える高次認知機能, 北大路書房, 2008.
- 1-30)アルベルト・アリベリオ, メタ認知的アプローチによる学ぶ技術, 創元社, 2005.
- 1-31) Dunlosky, J., Metcalfe, J. (2009). Metacognition. SAGE Publications, Inc..
- 1-32) Kaplan, M., Silver, N., Lavaque-Manty, D. and Meizlish, D. *Using reflection and metacognition to improve student learning Across the desciplines, across the academu*. Stylus.
- 1-33) Kreutzer, M.A., Leonard, S.C. and Flavell, J.H.. (2013). An interview study of children's knowledge about memory, Monographs of the society for research in child development, Vol.40, 1975. Publishing LLC.
- 1-34) Beuhring, T., Kee, D.W. (1987). *Developmental relationships among metamemory, elaborative strategy use, and associative memory.* Journal of Experimental Child Psychology, (Vol.25, pp.116-128).
- 1-35) Belmont, J.M., Butterfield, E.C. (1971). *Learning strategies as determinants of memory deficiencies*, Cognitive Psychology. (Vol.2,pp. 411-420).
- 1-36) Brown, A.L., Campione, J.C., Bray, N.W. and Wilcox, B.L. (1973). *Keeping track of changing variables:*Effects of rehearsal training and rehearsal prevention in normal and retarded adolescents. Journal of

- Experimental Psychology. (Vol.101, pp.123-131).
- 1-37) Flavell, J.H., Friedrichs, A.G. and Hoyt, J.D. (1970) *Developmental changes in memorization process*. Cognitive Psychology. (Vol.1, pp.324-340).
- 1-38) Paige, J.M., Simon, H.A. (1966). *Cognitive process in solving algebra word problem*. In Kleinmunts, B. (Ed.), *Problem solving: research, methods, and theory* (pp.51-119). NY, John Wiley & Sons.
- 1-39) Flower, L.S., Hayes, J.R. (1980). *The dynamics of composing: Making plants and juggling constraints*. In Gregg, L.W., Steinberg, E.R. (Eds.) *Cognitive process in writing*. (pp.31-59). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- 1-40) Hayes, J.R., Flowers, L.S. (1986). Writing research and the writer. American psychologist. (Vol. 41, pp. 1106-1113).
- 1-41)岡本真彦, 算数文章題の解決におけるメタ認知の研究, 風間書房, 1999.
- 1-42) 岡本真彦, 算数文章題の解決におけるメタ認知の検討, 教育心理学研究, Vol.40,No.1, pp.81-88,1992.
- 1-43) 岡本真彦, 発達的要因としての知能及びメタ認知的知識が算数文章題の解決に及ぼす影響, 発達心理学研究, Vol. 2, No.2, pp.78-87, 1991.
- 1-44)Okamoto, M. (1992). The role of metacognitive knowledge and aptitude in arithmetic problem solving. Psychologia. (Vol.35, No.3, pp.354-376).
- 1-45)多鹿 秀継, 子どもの算数問題解決におけるメタ認知の役割, 神戸親和女子大学研究論叢, Vol.41, pp127-136, 2008.
- 1-46)岡田猛, 児童の算数課題解決に及ぼす過剰情報の効果, 日本教育心理学会第 27 回大会発表論文集, pp.380-381, 1985.
- 1-47)岡田猛, 問題解決過程の評価に関する発達的研究, 教育心理学研究, pp.49-56, 1987.
- 1-48) Garofalo, J., Lester, F.K. (1985). *Metacognition, cognitive monitoring, and mathematical performance,* Journal of Research in Mathematical Education. (Vol.16, pp.163-176).
- 1-49) Rosenthal, D.J.A., Resnick, L.B. (1974). *Children's solution processes in arithmetic word problems*. Journal of Educational Psychology. (Vol.66, pp.817-825).
- 1-50)丸野俊一, プラニングシステムの発達モデル, 九州大学教育学部紀要 (教育心理学部門), Vol.30, pp.31-54, 1985.
- 1-51) 丸野俊一, 古城和子, 小窪輝吉, メタ・コミュニケーション能力と伝達方略の関係, 九州大学教育学部紀要(教育心理学部門), Vol.26, pp.159-168, 1981.

- 1-52) 丸野俊一, タイムモニタリングに伴う自己修正活動の発達, 九州大学教育学部紀要 (教育心理学部門), Vol.33, pp.1-25, 1988.
- 1-53) Ceci, S.J. Bronfenbrenner, U. (1985). Don't forget to take the cupcakes out the oven.: Prospective memory, strategic time-monitoring, and context. Child development. (Vol.56, pp.152-164).
- 1-54)園田直子, 系列化構成過程におけるモニタリングの発達, 九州大学教育学部紀要(教育心理学部門), Vol.31, pp.47-55, 1986.
- 1-55) Klahar, M.A., Robinson, M. (1981). Formal assessment of problem-solving and planning process in preschool children. Cognitive Psychology. (Vol.13, pp.113-148).
- 1-56) Lawanto,O. (2012). The use of enhanced guided notes in an electronic circuit class: An explora-trory study. IEEE Trans. on Education. (Vol.55, No.1, pp.16-21).

第2章 メタ認知とは

2.1 メタ認知の定義

メタ認知の概念・考え方は、Flavell.²⁻¹⁾⁻²⁻²⁾ によって発表された。メタ認知を定義すると「認知についての認知を意味する言葉」であるが、このことを平易に言えば、例えば、ある課題を解くとき、(1)まず、自分の能力と課題の困難さとを比較し、行うべき課題を解決するための方法・筋道を考える。(2)次に、課題を解決している最中には、この解法でよいのかを監視する。(3)また、課題を解決した後は、その解でよいのかを確認するという、通常の認知よりも高次な認知活動を行っている。このように自身の高次の認知活動に対する認知のことをメタ認知という。

この考え方を適用すると、人間はそれと意識することなく、認知についての知識も持っている。例えば、「難しい話を聞き手に理解させたい時、一度に多くの話をしても、理解されない」とか「具体例を挙げて話すと理解してもらいやすくなる」など、また、「ある考えがあるとき、それを文章にすると論理の展開について検証がしやすい」など、人間の認知に関する事実を経験から知っている。これらのことも、高次の認知について認知することであり、メタ認知ととらえることが可能である。

また、「間違いなく知人の名前を知っているのにその名前を思い出せない」など、特に高年齢になるほど、喉まで出かかっているのに出てこない状態(TOT: Tip-of-the-Tongue)と呼ばれる現象が起こることはよくあることである。このとき、自分自身では、「その人の名前は、記憶の中にある」、「確かにその人の名前を知っている」と認識する。このように、自分自身の記憶について認識することもメタ認知のうちの「メタ記憶」として定義されている。このようにメタ認知は単一の概念ではなく、多面的な概念である。

2.2 メタ認知のモデル―メタ認知と「わかる」の関係―

2.2.1 問題解決の4段階モデル

応用領域でのメタ認知の研究では、子どもを対象とした「情報伝達」や「読みの理解・作文」などの研究がされてきた。中でも「読みの理解と作文」の研究を対象としたものが多い。その後、算数問題解決におけるメタ認知の研究が試みられるようになったが、何れも低年齢の子ども達を研究の対象としていた。

例えば、Swanson.²⁻³⁾が、学習障害児でもメタ認知の訓練を行うと、問題解決の成績の向

上が、知能の低さを補うなどの効果を持つことが示唆されていると報告している。

算数文章題の解決に関する多くの研究では、その解決過程を 4 段階からなるモデルを仮定して、実験データの分析が行なわれている。Hinsley ら $^{2-4)}$ 、Paige ら $^{2-5)}$ の研究によれば、一般に、算数文章題の解決過程は、内容を読んで理解する過程、実際に計算を行なって問題を解決する過程の 2 つに分けている。しかし、その後の研究では、Kintsch $^{2-6)}$: Mayer $^{2-7)}$: 鈴木 $^{2-8)}$ らの分け方に代表されるように、問題解決過程をさらに細かく、4 段階に分けた方法が用いられるようになった。

この 4 段階説を採用した算数文章題の解決過程では、①変換、②統合、③計画、④実行の 4 つの段階に区別するとしている。

①の変換段階では、問題文の単文レベルでの意味を理解する過程である。ここでは、主として、言語的な知識を利用して単文レベルにした問題文を心的表現に変換し、単文での意味的な理解を行なう。また、算数などの文章題の場合、数的な概念が文章中に含まれるため、数量関係を表す単位に関する知識を獲得していなければ、その理解を十分に行なうことはできない。

②の統合段階では、変換段階で理解した単文の意味を統合して、問題文の全体的な理解を行なう段階である。この段階で、どのような解を要求されているのか、解を求めるための情報が揃っているかの問題理解が行なわれることにより、問題の理解が行なわれる。ここでは、どの情報が問題解決に必要であり、どれが必要でないのかのモニタリングができることが必要である。なお、当然に、ここでは、問題文を読めること、内容の理解ができるだけのスキーマ知識が要求される。

③の計画段階では、統合段階での問題理解に基づいて、解に至るための方略を決定する。この方略を選択することができるようになるためには、方略に関する適用条件の知識が必要となる。適用条件の知識とは、その方略が、「いつ、どのような場面で有効であるか」に関する知識と考えられる。方略を適用していくためには、その方略を使いこなせるだけのスキルを獲得していることが必要である。スキルが不十分な場合、有効な方略を用いて解決に臨んだとしても、解決の成功には至らない可能性があり、逆に、その方略の有効性の認知を低めてしまう可能性もある。

④の実行段階では、計算手続きを実行して解を導く。この段階でのメタ認知は、自分の行っている計算手続きが解決に向かってうまくいっているかのモニタリングが必要である。 当然のこととして、問題の差異により、これらの手続きで利用する知識や方略は異なる。 以上に示した解答過程の4段階モデルを図2-1に整理する。

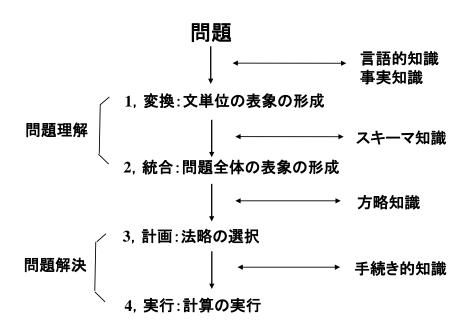


図 2-1 問題解決過程の 4 段階モデル

2.2.2 結果予測・理解・プラン・実行・確信度評価モデル

岡本の研究²⁻⁹⁾⁻²⁻¹²⁾ によれば、実行段階でのメタ認知の得点は、問題理解段階や計画段階でのメタ認知の得点と相関がみられず、計算の実行に関わるようなメタ認知と問題統合や計画段階でのメタ認知とは関連性が高くはないと考えられるようになった。すなわち、人間の問題解決過程における活動の活発化、問題解決における「わかる」状態の誘発しやすさを評価し、メタ認知過程を分析・解明するためには、図 2-1 に示す 4 段階モデルでは、不十分である。また、実際の問題解決過程においては、4 段階モデルにおける①変換過程、②統合過程を分離して、評価することは、質問紙法、インタビュー法のいずれを用いるにしても、非常に難しい。

また、Glasser ²⁻¹³⁾ によって、問題解決に必要不可欠な知識を十分に学習・理解し問題解決に熟達した者は、適切に自身の既存知識を問題と照合しながら問題解決過程をモニターし、問題解決の結果を正しく予想できることが示されている。岡田 ²⁻¹⁴⁾ は、成績上位になるほど自身が問題を正しく解けたかどうかの評価が正確になる点を明らかにし、自身の解答プロセスをモニター、コントロールし、自身の問題解決過程を自覚することは、問題解

決能力の習得に必要不可欠であり、これは「自身の解答に対する確信の高さ」の形として 反映され、メタ認知の高さと深い関わりがあることを指摘した。そこで、正しく問題を解 けたかどうかの確信度評価もメタ認知能力に関わりが深いと考えた。以上のように、メタ 認知を評価する上では、「問題解決の結果を正確に予測できる能力」「自身の解答に対して 十分な確信を持てること」は問題解決の過程と同等に重要であると考えた。

岡本らの研究 ²⁻⁹⁾⁻²⁻¹²⁾ では、メタ認知を質問紙によってメタ認知的知識を、解答後のインタビューによってメタ認知におけるモニタリング・コントロールの機能を評価できると考えた。しかし、質問紙とインタビューによる内容が重複している部分もあり、かなり煩雑な手続きが必要になる。そこで、本研究では、メタ認知過程を質問紙(メタ認知過程の結果予測・理解・プラン・実行・確信度評価モデルと呼ぶ)のみで分析することを試みた。図 2-2 に結果予測・理解・プラン・実行・確信度評価モデルの例を示す(このモデルは、第3章の図 3-1 でも用いられている)。

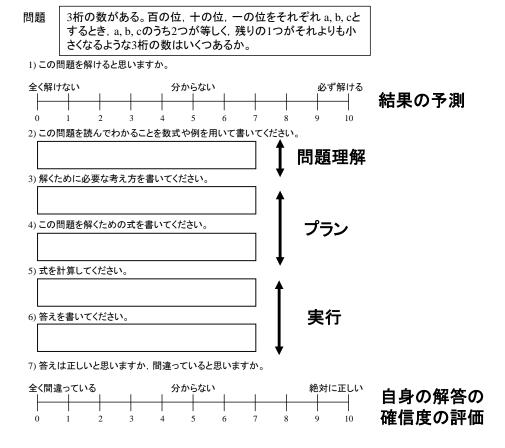


図 2-2 問題解決過程の「結果予測」・「理解」・「プラン」・「実行」・「確信度評価」モデル

図 2-2 に示されているように、問題解決過程を「理解」「プラン」「実行」の3つに分け、さらに「問題解決の結果を正確に予測できる能力」と「自身の解答に対して十分な確信を持てること」の2項目の質問を設定することで、総合的に、自身の認知のプロセスに対する認知、さらには認知プロセスのモニタリングとコントロールの機能を測定することを試みた。「理解」「プラン」「実行」の過程が十分に機能していれば、問題解決は十分に効率的に実施され、さらには解決過程のモニタリング・コントロールも十分に行われると仮定した。また、問題解決能力がさらに高まった場合には、解決過程のモニタリング・コントロールが十分で、解決過程に対する意識的な認知が強まるため、「問題解決の結果を正確に予測できる能力」と「自身の解答に対して十分な確信を持てること」の項目に対する解答者の評価が高くなると判断した。

以上のように、本研究では、メタ認知過程において、解答者が解決方法(解法)を「わかる」という状態は、いかなる状態を表すかを簡易に測定するために、図 2-2 の結果予測・理解・プラン・実行・確信度評価モデルを使用した。本研究では、「わかる」状態(自身の解答過程における認知の過程が「わかる」状態)は、提示された問題に対する「理解」、解法の「プラン」と「実行」が適切に行われている状態、さらには正解できるかどうかを正確に予測できるか、解答が合っているかどうかに対する確信度の高さによって、測定可能と考えて、第3章、第4章、第5章に示すような、順列・組合せ、基礎電気回路問題解法におけるメタ認知の問題を分析・検討した。

2.3 メタ認知の教育分野への応用

メタ認知の教育への応用研究については、第 1 章の「1.2 メタ認知とその応用に関するこれまでの研究」でも述べたが、ここでも補足的に、メタ認知の教育への応用研究について整理しておきたい。

Flavell ^{2-1), 2-2)} によってメタ認知の考え方が提唱された後、続いて Brown ²⁻¹⁵⁾ が、子どものメタ認知の発達についての研究からメタ認知の考え方を用いるようになった。いずれも子供の認知の発達に興味をいだき、子どもの思考過程の発達に関する研究に基づいて、独自にメタ認知の考え方を発展させた。Flavell ²⁻¹⁾ は、子どものメタ認知がどのように発達していくのかの過程に注目する一方で、Brown ²⁻¹⁵⁾ はメタ認知的活動に重点を置き、子どものメタ認知活動を促すには、どのような働きかけ・工夫が有効かという問題に関心を持った。

Flavell 2-1) の分類では、メタ認知は、認知過程についての知識であるメタ認知知識、及び、

認知過程の監視を行うモニタリングからなると定義した。ここで、メタ認知知識とは、能力や課題、方略などの要因がどのような時に認知過程に影響するのかについての知識である。また、モニタリングとは、自分の認知過程が予想の通りに進んでいるか否かを監視する過程である。また、モニタリングは、メタ認知知識、メタ認知経験、課題の目標、自身が持っている方略の相互作用によって行われるとしている。すなわち、Flavell²⁻¹⁾は、メタ認知知識とモニタリングの両者のうち、メタ認知知識をより重要な要因であるとしている。

Brown ²⁻¹⁵⁾ も、メタ認知には、認知についての知識と認知の制御の二つの側面があるとした。認知についての知識であるメタ認知知識は、自分自身や他人の認知過程に関する知識である。これは、どのような認知過程に、いつ、どのような方略が影響するのかについての知識である。また、認知の制御とは、認知過程を監視して、統制する過程である。それらには、どのように認知過程を遂行するかを立案するプランニング、認知過程が予想の通りに進んでいるか否かの監視と制御を行うモニタリング、また、結果が予定の通りであるか否かを評価するコントロールが含まれている。これらの中で、Brown ²⁻¹⁵⁾ は、認知のコントロールがより重要であるとしている。

これら Flavell ²⁻¹⁾ と Brown ²⁻¹⁵⁾ の定義によれば、メタ認知には、メタ認知知識と認知の制御の二つの側面があるという点では一致しているが、必ずしも一つの確定・確立したものがあるわけではない。あくまでもメタ認知は、子供の発達過程を説明するための一つのモデルとして提案され、その後、多くの研究が効果的な問題解決や教育等を実践するために、メタ認知の考え方を適用するようになった。

このメタ認知の概念を、教育の基盤である読み、書き、算数に対して応用を試みたのが、Winne ら ²⁻¹⁶⁾ の研究である。これらの領域は学生の基礎教育にとって重要であることから、メタ認知の最初の研究のいくつかが、読み、書きの領域で行われた。Markman ²⁻¹⁷⁾ は、この研究分野に強い影響を与えた。この研究の成果として、理解度のモニタリングという「教示やテキストの矛盾や誤りを調べる方法」を発表した。この研究は多くの研究者に利用されて、なぜ人はテキストの理解をモニターするのに度々困難を感じるのかについて、多くの洞察を与えてきた。さらに、Winne ら ²⁻¹⁸⁾ は、学生の自己調整学習、すなわち、新しい教材を学習するときに、例えば「単位を取れればよい」と考えるか、「これは将来必要なので時間をかけて勉強する」などの調整を行うことが多いとして、自己調整機能には、4つの段階、すなわち、①課題の明確化、②目標の設定と計画立案、③実行、④改変、が含まれるということを提案した。

また、メタ認知を高めることにより、学習力が高まるとして、Williams ら ^{2-19),2-20)} は、中学生、約 500 人に対して、学校に必要な実践的知能(practical intelligence for school: PIFS)を高めるための教育介入について報告した。ここで取り上げた PIFS は、文章を読む・書く、宿題をする、テストを受けるということを適切に行う能力を指している。この PIFS プログラムの評価は、このプログラムを受けた生徒と、受けなかった生徒に対して、プレ・ポストデザインを用いた評価を行った結果、さまざまなタイプの学校に通う、さまざまな社会経済階層の子どもたちの各ターゲットスキル(文章を読むスキル、文章を書くスキル、宿題をするスキル、テストを受けるスキル)において、「実践的側面および学業的側面の両方がこのプログラムによって向上したことが明らかになった」と報告されている。

これらの研究によれば、高次の認知活動を活性化し、自身の認知活動に対する気づき(認知)を高めることができれば、人の知的能力を向上させ、効率的な学習が達成可能になると結論されている。以上より、メタ認知の考え方は、小児の発達過程、小学校の教育のみではなく、大学生等の基礎科学教育に対しても学習の効率性向上を図れるのではないかという考え方に基づいて、順列・組合せ、基礎電気回路などの基礎科学問題の解法過程の分析・検討を 2.2.2 の結果予測・理解・プラン・実行・確信度評価モデルに基づいて実施した。

2.4 参考文献

- 2-1) Flavell, J.H.(1976). *Metacognitive aspects of problem solving*. In Resnick, L. (Ed.). *The nature of intelligence*. Hillsdate, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.(pp.231-235).
- 2-2) Flavell, L.J. (1979). Metacognition and cognitive monitorion, A new area of cognitive-developmental inquiry. American Psychologist. (Vol.34, pp.906-911).
- 1-3) Swanson, H.L. (1990). *Influence of metacognitive knowledge and aptitude on problem solving*. Journal of Educational Psychology (Vol.82, pp.306-314).
- 2-4) Hinsley, D.A., Simon, J.R. and Simon, H.A. (1977). From words to equations meaning and representation in algebra word problems. In Just, M.A., Carpenter, P.A. (Eds.). Cognitive Process in Comprehension. Hillsdale, NJ:Lawrence Erlbaum Associates. (pp.89-106).
- 2-5) Page, J.M., Simon, H.A. (1966). *Cognitive process in solving algebra word problem*. In Kleinmunts, B. (Ed.). *Problem solving: research, methods, and theory*. NewYork, John Wiley & Sons. (pp.51-119).
- 2-6) Kintsch, W.(1986). Learning from text. Cognition and Instruction. (Vol.3, pp.87-108).
- 2-7) Mayer, R.E. (1985). *Mathematical ability*. In Sternberg, R.J. (Ed.). *Human abilities*. W.H.Freeman Company: NewYork, (pp.127-150).
- 2-8)鈴木宏昭, 算数・数学の理解, 新曜社, pp.49-98, 1989.
- 2-9)岡本真彦, 算数文章題の解決におけるメタ認知の研究, 風間書房, 1999.
- 2-10) 岡本真彦, 算数文章題の解決におけるメタ認知の検討, 教育心理学研究, Vol. 40, No. 1, pp. 81-88, 1992.
- 2-11) 岡本真彦, 発達的要因としての知能及びメタ認知的知識が算数文章題の解決に及ぼす影響, 発達心理学研究,Vol.2,No.2, pp.78-87, 1991.
- 2-12) Okamoto, M, (1992). The role of metacognitive knowledge and aptitude in arithmetic problem solving. Psychologia.(Vol.35, No.3, pp.354-376).
- 2-13) Glasser, R. (1988). *Cognitive science and education*. International Social Science Journal. (Vol.40, pp.21-44).
- 2-14) 岡田猛, 問題解決過程の評価に関する発達的研究, 教育心理学研究, Vol.35,pp.49-56 1987.
- 2-15) Brown, A. L. (1987). *Metacognition, executive control, self regulation, and other more mysterious mechanisms, motivation, and understanding.* LEA. (pp.65-116).
- 2-16) Winne, P.H., Hadwin, A.F. (1998). *Studying as self-regulated learning*. In Hacker, D.J., Dunlosky, J. and Crasser, A.C. (Eds.). *Metacognition in educational theory and practice*. Mahwah, NJ: Lawrence

Erlbaum Associates, (pp.277-304).

- 2-17) Markman, E.M. (1977). *Realizing that you don't understand: A preliminary investigation*. Child Development. (Vol.48, pp.986-992).
- 2-18) Winne, P.H. (2001). Self-regulated learning viewed from models of information processing. In Zimmerman, B., Schunk, D.H. (Eds.). Self-regulated learning and academic achievement: Theory perspectives. In Hacker, D.J., Dunlosky, J. and Crasser, A.C. (Eds.). Metacognition in educational theory and practice. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. (pp.152-189).
- 2-19) Williams, W., Blythe, T., White, N., Li, J., Sternberg, R.J. and Gardner, H. (1996). *Practical intelligence for school*.
- 2-20) Williams, W., Blythe, T., White, N., Li, J., Gardner, H., and Sternberg, R.J. (2002). *Practical intelligence for school: Developing metacognitive source of achievement in adolescence*. Developmental Review. (Vol.22, pp.162-210).

第3章 順列・組合せ問題の解答プロセスにおけるメタ認知

3.1 順列・組合せ問題解法におけるメタ認知の役割

高等学校学習指導要領 ³⁻¹⁾ において、高等学校数学の目標は「数学における基本的な概念や原理・法則の理解を深め、事象を数学的に考察し処理する能力を高め、数学的活動を通して創造性の基礎を培うとともに、数学的な見方や考え方のよさを認識し、それらを積極的に活用する態度を育てる」と述べられている。しかし、近年の数学教育では、受験問題の解法のテクニックのみを教えることに特化した「受験にのみ役立つ数学」が盛んになっている。また、受験にのみ役立つ数学は、公式を暗記してそれに数値を当てはめて問題を解くという誤解を広め、多くの数学嫌いの生徒を生み出しており ³⁻²⁾、本来の高等学校数学の目標からかけ離れてしまっている。本来、数学は問題を自ら考え自らの力で解くための創造力を育成するのに最適な教育科目の1つであり、学習過程で学ぶ楽しみをもっと重視すべきである ³⁻²⁾ 。以上のことから、学習者自身が試行錯誤しながら自分の力で問題を解決し、解けた時の楽しさを味わうことが、数学学習では必要不可欠であり、これがなければ数学の能力向上がはかれない。

また、一定の知識や公式、解法は身に付けているにもかかわらず、応用問題にほとんど 太刀打ちできない学習者が存在することは確かである。学習した知識などを問題解決に十 分に活用できない原因として、知識や方略をいつ、どのように使うのかというメタ認知の 欠如を指摘出来る。Flavell ³⁻³⁾ は、問題解決においてメタ認知の役割が重要であることを 指摘している。このことからメタ認知能力の向上が問題解決能力の向上につながると考え た。

近年,算数の文章題におけるメタ認知の研究が行われてきた ^{3-4),3-5)}。多鹿の研究 ³⁻⁶⁾ では,子どもが算数問題を解決するとき、メタ認知を活性化させることによって算数問題の解決に与える役割を検証し、子どもに算数問題を解かせるとき、メタ認知方略を訓練することによって、メタ認知方略が算数問題解決に促進的な役割を担うことを明らかにした。また、岡本の研究 ³⁻⁴⁾ でも、小学 5 年生を対象とした研究で、問題の解決能力にはメタ認知が影響することを示している。長水の研究 ³⁻⁷⁾ では、高専生を対象として、学生のもつメタ認知を調査するためのアンケートを作成し、その調査結果を分析することで今後の授業に活かしていこうというものであった。しかし、実際の問題解決能力とメタ認知の関係については、検証されていない。メタ認知に関する実験的研究 ^{3-4),3-5)} は、小学生を対象としてお

り、高校生や大学生を対象として、数学の問題解決とメタ認知の関係を実験的に検証した研究はほとんど行われていない。高校や大学で習得すべき数学は、上記の研究 ^{3-4).3-5)} で行われているようなただ一つの基本原理や公式を単純に適用する小学生の算数文章題以上に複雑な認知情報処理を要し、メタ認知が解答に及ぼす影響はさらに大きいものと考えられる。

一般に高校数学では、教科書に書いてある基礎的な問題は理解できるようになるものの、 これの上に構築された応用問題の解答能力を養成するのは難しいと考えられている。この ような問題解決は、岡本 3-4) が実施した算数の問題以上に複雑で、メタ認知すなわち学習 した知識などを問題解決に十分に活用するための自身の問題解決プロセス(主として、理 解、プラン、実行)の適切な監視(モニター)と制御(コントロール)が必要不可欠であ ると考えられる。すなわち、基礎的な問題は理解できるようになるものの、これの上に構 築された応用問題が解答できない原因は、メタ認知能力に帰着できるのではないかと考え られる。岡本の研究 3-4) では、小学生を対象に教科書レベルの算数の文章題(中学入試問 題で出題されるような高水準の問題ではない)を解かせて,解答結果を得点上位群と下位 群に分け、両群での問題理解、プラン、実行の解法過程の得点等の違いから、この違いに はメタ認知能力が反映されているのではないかと考えた。しかし、この実験では、対象と なる被験者を実験で提示された問題の解答における得点に応じて分類しており、文章題解 答のために必要な算数の基礎知識をチェックし、これに差がないという前提の下で行われ た実験ではないため,実験の問題解法プロセスにおける得点の差は,メタ認知能力の差に よるものなのか、それとも習得した基礎知識の差によるものかを明らかにすることはでき ない。

本章では、工学系の大学生・大学院生を対象とし、高校数学の順列・組合せ問題解決の各段階におけるメタ認知の役割の検証を目的とした。まず、確認テストにより基礎的な順列・組合せ問題解決能力を測定した。上述した岡本の研究³⁻⁴⁾の問題点に対処し、基礎的な知識が同等な被験者を対象にして、数学の基礎的問題は理解できるが応用問題になれば全く対処できないという点を、メタ認知の能力の違いによって説明するモデル構築のための必要不可欠な手順として確認テストを組み入れた。次に順列・組合せの応用問題の解決過程をワークシートに設定した問題理解・プラン・実行のプロセスに分けて分析し、得点上位群・下位群の間でこれらのプロセスを比較した。また、ワークシートに結果の予想の評点、自身の解答に対する確信度の評点の項目を設けることでも、問題解決におけるメタ

認知の役割(自身の解答プロセスのモニタリング・コントロール機能)を検証した。

3.2 実験方法

3.2.1 被験者

被験者は14名(21~24歳)で、全員工学系の大学生もしくは大学院生であった。被験者には、実験の内容を十分に説明し、実験参加へのインフォームド・コンセントを得た。 実験は平成23年5月29日に実施した。

3.2.2 確認テスト

10 問の確認テストを以下に示す。採点(1点×10=10点満点)では、答えの正解・不正解だけに注目し、正解の場合は1点、不正解の場合は0点とした。

- (1)12 人の委員の中から、議長、副議長、書記を各 1 人ずつ選ぶ方法は何通りか。ただし、 兼任は認めないものとする。
- (2)0,1,2,3,4の5個の数字を使ってできる4桁の数は何通りか。
- (3)母音 a, i, u, e, o と子音 k, s, t の 8 個を 1 列に並べるとき, すべての母音が続いて並ぶような並べ方は何通りか。
- (4)男子5人と女子2人を横1列に並べるとき、列の両端が男子で、かつ女子の両隣りが男子である並べ方は何通りか。
- (5)大人2人と子供4人が円形の6人席のテーブルに座るとき、大人2人が隣り合わないような並び方は何通りか。
- (6)1 組のトランプのハートのカード 13 枚から 5 枚を選ぶとき, 絵札がちょうど 2 枚含まれる選び方は何通りか。
- (7)"BANANA"の6文字をすべて使って文字列を作るとき、何通りの文字列ができるか。
- (8)男子 6人,女子 4人の中から 3人を選ぶとき,女子が 1人以上含まれているような選び 方は何通りか。
- (9)"Internet"の8文字すべてを用いてできる順列のうち、どのtも、どのeより左側にあるのは何通りか。
- (10) 15 人の人を 6 人, 6 人, 3 人のグループに分ける方法は何通りか。

3.2.3 順列・組合せ問題とワークシート

以下のような高校数学Aの順列・組合せに関する応用問題 5 問を作成した。応用問題では、問題理解、解法のプランの良し悪しが正解にたどり着けるかを大きく作用するため、確認テストの基礎的な問題よりもメタ認知が解答プロセスに及ぼす影響が大きいと考え、実験者側で予め解答を行い、20 問の中からレベルができる限り同じになるように以下の応用問題を選定した。

問題 1:単語 mathematics から任意に 4 文字取って作られる順列の数を求めよ。

問題2:15段の階段を2段または3段ずつ上がる方法は何通りか。

問題3:白,赤,黒のカードがそれぞれ5枚,2枚,1枚ある.同じ色のカードは区別できないものとして,この8枚のカードを左から1列に並べるとき,両端のカードの色が異なる並べ方は何通りか。

問題 4:3 桁の数がある. 百の位, 十の位, 一の位をそれぞれ a, b, c とするとき, a, b, c のうち 2 つが等しく, 残りの 1 つがそれよりも小さくなるような 3 桁の数はいく つあるか。

問題 5: 大小 2 つの円卓がある。大きい円卓には 4 つの席が、小さい円卓には 3 つの席が それぞれ等間隔に並んでいる。A, B, C, D, E, F の 6 人が席に着くとき、A, B が同じ円卓につく座り方は何通りか。

解答過程を観察するため図 3-1 (問題 4) に示すようなワークシートを作成した。ワークシートの解答過程には「問題理解」,「プラン」,「実行」の段階を設定した。図 3-1 において設問 2)は「問題理解」,設問 3)と 4)は「プラン」,設問 5)と 6)は「実行」に相当する。

ワークシートに「結果の予測」「自身の解答に対する確信度」の評価の項目を設け、これらの項目に対する評価からも、解答過程のモニタリング・コントロールができているかを調査した。自己の能力と問題の難易度を比較し、解けるかどうかを把握する能力もメタ認知であり³⁻⁸⁾、これを調べるために「結果の予測」の質問項目を設定した。解き終わった後に解けているかどうかを把握する自身の解答に対する確信度、すなわち学習結果や解法過程の正確な評価能力も、解法プロセスをモニター・コントロールするメタ認知能力が高い方が、高くなる³⁻⁸⁾と判断し、「自身の解答に対する確信度」の評価の項目を設けた。

問題4 3桁の数がある。百の位, 十の位, 一の位をそれぞれ a, b, cと するとき, a, b, cのうち2つが等しく, 残りの1つがそれよりも小 さくなるような3桁の数はいくつあるか。 1)この問題を解けると思いますか。 全く解けない 必ず解ける 結果の予測 2) この問題を読んでわかることを数式や例を用いて書いてください。 問題理解 3) 解くために必要な考え方を書いてください。 4) この問題を解くための式を書いてください。 5) 式を計算してください。 6) 答えを書いてください。 実行 7) 答えは正しいと思いますか、間違っていると思いますか。 全く間違っている 絶対に正しい 自身の解答の

図 3-1 問題 4 に対するワークシート

確信度の評価

3.2.4 実験手順

教室において、被験者 14 人で一斉に実験を行った。まず、確認テストを行った。制限時間は 40 分とした。確認テスト終了後、5 分間の休憩を与えた。

次に、順列・組合せについての講義を 45 分間行った。講義の目的は、高校時代の知識(順列・組合せの公式を活用する応用問題の解法)を思い出させること、ワークシートの設問の解答方法を理解させることである。講義では、順列・組合せの公式と応用問題を載せたプリントを配布し、説明を行った。また、例を用いてワークシートの解答方法を説明した。ワークシートを解答する際に、「設問(1)から順番に解いていってください。設問にはなるべく詳しく解答してください。自分が考えた過程が設問の問いに合わない場合は、ワーク

シート右側の余白スペースに記入してもかまいません」という注意事項を被験者に伝えた。 その後、ワークシートを配布し、解答に着手させた。制限時間は設けなかった。ほとん どの被験者が1時間程度で終了した。最長の解答時間は2時間であった。

3.2.5 ワークシートの得点化手順

1)結果の予想, 2) の問題理解, 3)と4)のプラン, 5)と6)の実行, 7)自身の解答に対する確信度の評価をそれぞれ0点から5点で得点化した。

問題理解、プラン、実行段階では、それぞれの段階に対応する設問の解答(実験者が正解(模範解答)を用意し、大学で確率・統計学を教えている専門家の検証を受けて、各問題の正解(模範解答)として問題がないことを確認した)から得点化を行った。設問に対する答が何も書かれていない場合や完全な誤答の場合は0点、設問に全て正しく解答できていれば5点を与えた(なお、本章では、解答プロセスの正確さに重きを置いているため、答えを導く式まで正しく導かれているが、最後に計算ミス、転記ミス等の理解力不足等以外でミスが生じた場合には、正しく解答を導けているとみなして満点を与えた)。部分的に出来ている場合は、解決部分点1~4点を与えた。大学で確率・統計学を教えている専門家の検証を受けて、採点結果に問題がないことを確認した。

結果の予想の段階では、問題を精読した段階での結果の予想(解けるかどうか)と実際に行った解答の正誤が一致しているか、また結果の予測の確信度(0:全く解けない-10:必ず解ける)に基づいて以下のように得点化を行った。結果の予想と実際の解答の正誤が不一致の場合は0点を与え、一致している場合には2点を与えた。結果の予想と実際の解答の正誤が一致していて確信度が高い場合(評点が8と9の場合)にはさらに2点を付加し、確信度の評点が10の場合3点を付加した。すなわち、解けないと予測し(0-4にマークし)実際に解けなかった場合と、解けると予測し(6-10にマークし)実際に正解に至った場合には2点を与え、その他のケースでは0点とした。また、解けると予測し(6-10にマークし)実際に正解に至った場合には、確信度の評点が8と9では2点を付加し、合計で3点を与え、確信度の評点が10では3点を付加し、合計で5点を与えた。

自身の解答に対する確信度の評価の段階では、自身の解答に対する評価と実際に行った 解答の正誤が一致しているか、また自身の解答の確信度に基づいて以下のように得点化を 行った。自身の解答に対する評価と実際の解決の正誤が不一致の場合は0点を与え、一致 している場合には2点を与えた。自身の解答に対する評価と実際に行った解法の正誤が一 致していて確信度の評点が高い場合(評点が $8 \ge 9$ の場合)にはさらに 2 点を与え、一致していて確信度の評点が 10 の場合 3 点を与えた。すなわち,解けていないと評価し(0-4にマークし)実際に解けなかった場合と解けていると予測し(6-10にマークし)実際に正解だった場合には 1 点を与え,その他のケースでは 0 点とした。また,解けていると評価し(6-10にマークし)実際に正解だった場合には,確信度の評点が $8 \ge 9$ では 2 点を付加し,合計で 3 点を与え,確信度の評点が 10 では 3 点を付加し,合計で 5 点を与えた。

3.3 実験結果

3.3.1 得点上位群と下位群の分類

ワークシートに設定した問題理解,プラン,実行の段階の得点の総和を求めた(各段階の得点 5 点×3 段階=15 点満点)。問題 1-5 の合計得点は 15 点×5 問=75 点満点である。合計得点の平均は 46.1 点(S.D.=14.62)であった。得点上位群(n=5:平均 62.80点(S.D.=8.16))は文章題の合計の得点が 50点以上の得点者で,得点下位群(n=9:平均 36.89点(S.D.=7.48))は 50点以下の得点者とした。

3.3.2 得点上位群と下位群での確認テストの得点

全被験者の確認テストの平均点は 5.14 点で,ワークシートの得点上位群(n=5)の平均点 5.6 点 (S.D.=3.21),得点下位群(n=9)の平均点は 4.8 点 (S.D.=2.20) であった(図 3-2参照)。確認テストの結果について得点上位群と下位群の間で平均値の差の検定(t 検定)を行った結果,両者で有意な差はなかった.

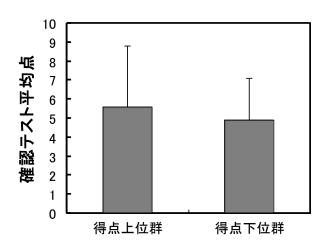


図 3-2 得点上位群と下位群での確認テストの点数の比較

3.3.3 得点上位群と下位群での解答過程の得点

問題1から問題5に対する結果を以下に示す。

問題 1: 得点下位群の平均点は 2.89 点 (S.D.=0.314), 得点上位群の平均点は 6.0 点 (S.D.=5.367) であった。得点上位群と下位群の各解答過程での得点を比較した結果を図 3-3 に示す。ワークシートの項目 (結果の予測, 問題理解, プラン, 実行, 自身の解答の確信度の 5 水準) と得点の上位・下位を要因とする 2 元配置の分散分析を得点に対して実施した結果, ワークシートの項目の主効果のみ有意であった (F(4,48)=11.168, p<0.01)。 Fisher の多重比較の結果, 次の組合せで有意差が認められた: 予測と理解, 予測とプラン, 理解とプラン, 理解と実行, 理解と評価, プランと実行。

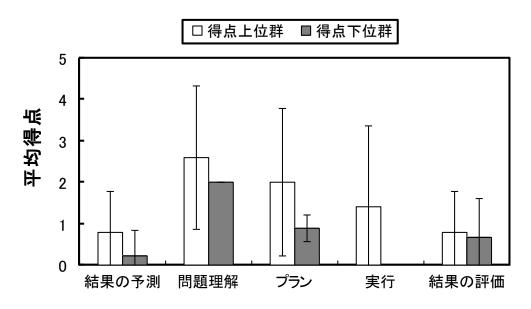


図 3-3 各段階での得点の上位群と下位群での比較(問題 1)

問題 2: 得点下位群の平均点は 10.9 点(S.D.=5.195),得点上位群の平均点は 15.0 点(S.D.=0)であった。得点上位群と下位群の各解答過程の得点を図 3-4 に示す。同様の 2元配置の分散分析を実施した結果,得点の上位・下位(F(1,12)=5.024, p<0.05)とワークシートの項目(F(4,48)=11.168, p<0.01)の主効果が有意であった。Fisher の多重比較の結果,次の組合せで有意差(p<0.01)が認められた:予測と理解,予測とプラン,予測と実行,予測と評価,理解と実行,理解と評価,プランと評価,実行と評価。

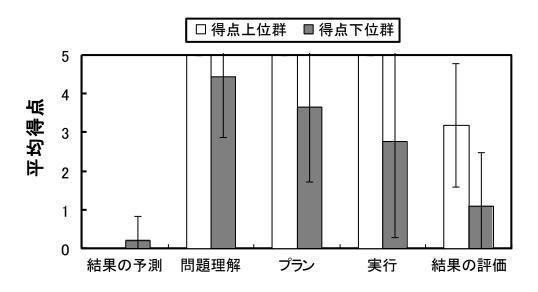


図 3-4 各段階での得点の上位群と下位群での比較(問題 2)

問題 3: 得点下位群の平均点は 11.4 点(S.D.=4.374),上位群の平均点は 12.4(S.D.=4.716)点であった。得点上位群と下位群の各解答過程の得点を図 3-5 に示す。同様の 2 元配置の分散分析を実施した結果,ワークシートの項目の主効果のみ有意であった(F(4,48)=21.846,p<0.01)。Fisher の多重比較の結果,次の組合せで有意差(p<0.01)が認められた:予測と理解,予測とプラン,予測と実行,予測と評価,理解と評価,プランと評価,実行と評価。

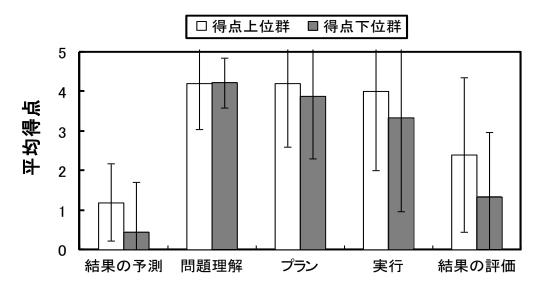


図 3-5 各段階での得点の上位群と下位群での比較(問題 3)

問題 4: 得点下位群の平均点は 7.2 点 (S.D.=3.705),上位群の平均点は 14.6 点 (S.D.=0.490) であった。得点上位群と下位群の各解答過程の得点を図 3-6 に示す。同様の 2 元配置の分散分析を実施した結果,得点の上位・下位 (F(1,12)=4.772,p<0.05) とワークシートの項目の主効果 (F(4,48)=11.168,p<0.01)。得点の上位・下位とワークシートの項目の交互作用も有意であった (F(4,48) =14.695,p<0.01)。Fisher の多重比較の結果,次の組合せで有意差 (p<0.01) が認められた:予測と理解,予測とプラン,予測と実行,理解とプラン,理解と実行,理解と評価,プランと評価,実行と評価。

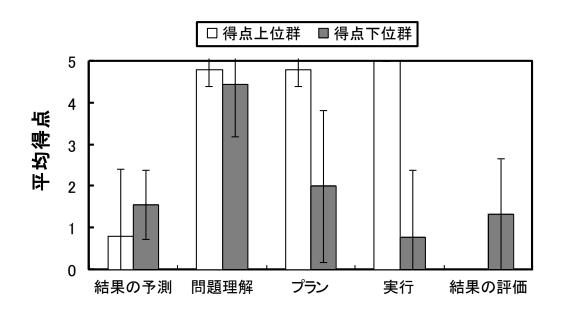


図 3-6 各段階での得点の上位群と下位群での比較(問題 4)

問題 5:得点下位群の平均点は 4.4 点(S.D.=1.832), 得点上位群の平均点は 14.8 点(S.D.=0.4) であった。得点上位群と下位群の各解決過程の得点を図 3-7 に示す。同様の 2 元配置の分散分析を実施した結果,得点の上位・下位(F(1,12)=64.398, p<0.05)とワークシートの項目の主効果(F(4,48)=31.527, p<0.01). 得点の上位・下位とワークシートの項目の交互作用も有意であった(F(4,48)=19.701, p<0.01)。 Fisher の多重比較の結果,予測と評価以外の組合せで有意差が検出された。

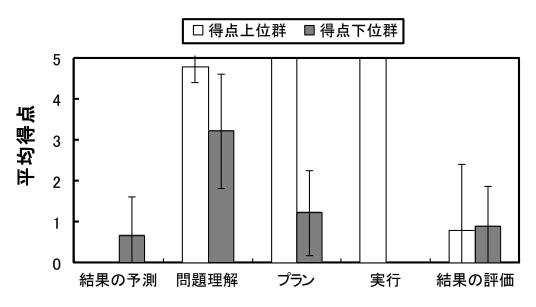


図 3-7 各段階での得点の上位群と下位群での比較(問題 5)

問題 1 から 5 の全体での問題解決過程を比較する。得点下位群の平均点は 7.4 点 (S.D.=4.918),得点上位群は 12.6 点 (S.D.=4.344) であった。得点上位群と下位群の解答 過程の得点を図 3-8 に示す。同様の 2 元配置の分散分析を実施した結果,得点の上位・下位 $(F(1,12)=21.352,\ p<0.01)$ とワークシートの項目の主効果 $(F(4,48)=83.133,\ p<0.01)$ 。 得点の上位・下位とワークシートの項目の交互作用も有意であった $(F(4,48=13.840,\ p<0.01)$ 。 Fisher の多重比較の結果,予測と評価以外の組合せで有意差が検出された。

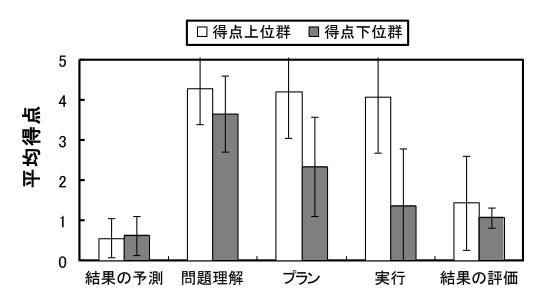


図 3-8 各段階での得点の上位群と下位群での比較(問題 1 から 5)

また、ワークシートの各段階の得点の相関係数を、得点上位群、下位群についてそれぞれ、表 3-1(a)と(b)に示す。

表 3-1 : 各段階の得点の相関行列 (a)得点上位群 (b)得点下位群 (a)得点上位群

	予測	理解	プラン	実行	結果の評価
予測					
理解	0.6				
プラン	0.172	0.941**			
実行	0.138	0.918**	0.984**		
結果の評価	0.161	0.231	0.233	0.199	

(b)得点下位群

	予測	理解	プラン	実行	結果の評価
予測					
理解	-0.01				
プラン	-0.083	0.556**		_	
実行	-0.045	0.449**	0.868**		_
結果の評価	0.169	0.3	0.354	0.477**	

**: p<0.01

3.4 考察

3.4.1 確認テスト

順列・組合せ問題における基礎的な能力を評価するための確認テストでは、得点上位群と下位群の間で有意差はなかった(図 3-2 参照)。本章での被験者は順列・組合せ問題の基礎に関しては、差がないことが確認されたが、応用問題(問題 1 から 5)では得点差が認められた(図 3-3 から図 3-7 参照)。

これは、基礎的知識である公式や方略をどのように使うかというメタ認知が順列・組み合わせの応用問題を解く上で重要となることを示唆している。そこで、「結果の予測」、「問題理解」、「プラン」、「実行」、「自身の解答に対する確信度」に対する評価に基づいて、問題1-5の得点上位群と下位群で解答過程の得点能力(対応能力)の違いを解答過程のモニタリングとコントロールの能力であるメタ認知の考え方に基づいて以下で考察する。

3.4.2 順列・組合せ問題の解答過程-問題理解・プラン・実行-

問題1と3に関しては、解法プロセスの各段階において差が認められ、理解、プラン、

実行で得点上位群のほうが下位群よりも得点が高い傾向が認められた。問題2に関してもほぼ同様の傾向が認められ、得点上位群のほうが下位群よりも有意に高い得点を示した。問題4に関しては、この傾向が顕著になり、プランと実行段階で得点上位群のほうが下位群よりも有意に高い得点を示した。問題5に関してもこれとほぼ同様の傾向で、理解とプラン段階で得点上位群のほうが下位群よりも有意に高い得点を示した。問題ごとに多少の違いはあるものの、各プロセスにおいて上位群の得点が下位群の得点よりも有意に高く、得点上位群の理解→プラン→実行といった解答過程をモニターしコントロールするメタ認知能力が高いことが共通の傾向として確認できる。

問題1から5を通じて、結果の予測と評価の段階で得点上位群と下位群で差は認められなかった。理解、プランなどの機能とは異なり、得点上位群と下位群で顕著な差はなかった。結果の予測と評価には、解答過程のモニタリングをしてコントロールを行うメタ認知の機能の違いが反映されにくかった、問題1から5の得点を集計した結果に基づいて、以上のことをさらに確認する。

図 3-8 に示すように、全般的には、各プロセスにおいて上位群の得点が下位群の得点よりも有意に高く、得点上位群の理解 \rightarrow プラン \rightarrow 実行といった解答過程におけるモニタリング・コントロールを行うメタ認知能力の高さが裏付けられる。問題理解の段階では得点上位群と下位群の間で有意な差はみられなかった。プランの段階では、得点上位群と下位群の間に有意な差(p<0.01)が認められた。

得点群(上位・下位)と問題解決の段階の有意な交互作用は、図 3-8 に示すように、得点上位群では理解、プラン、実行での得点にほとんど差がないが、得点下位群では理解、プラン、実行と進むにつれて得点が減少していることが原因である。これより、得点上位群は、理解→プラン→実行におけるモニタリング・コントロールを行うメタ認知のプロセスがスムーズに行われていると判断できる。一方、下位群では、理解の過程で習得した情報がプラン、実行の過程でうまく利用されておらず、解答過程のモニタリング・コントロールを行うメタ認知の機能が十分に発揮されていないと推察される。

各段階の得点間の相関を求めた結果(表 3-1)から,得点上位群,下位群ともに,理解 段階とプラン段階の得点,理解段階と実行段階の得点に有意な相関が認められた。また, プラン段階と実行段階の得点に有意な高い相関が認められた。さらに,得点下位群では実 行と結果の評価の得点に有意な相関が認められた。得点上位群,下位群に対するプランと実 行段階の得点の高い相関は、プランが適切であれば、解答を適切に実行できることを示し ている。このことから、問題解決過程では、プランの役割が重要であることが示唆される。

得点上位群と下位群では、表1に示されているように、相関係数の高さが異なり、得点上位群のほうが理解とプラン、理解と実行、プランと実行の得点間の相関係数は顕著に高く、理解→プラン→実行の一連のプロセスにおいて各段階同士のつながりが強いことがうかがわれる。すなわち、得点上位群は、下位群に比べて理解→プラン→実行のプロセスがスムーズに行われているのではないかと推察され、この違いが得点上位群の解答プロセスをモニター・コントロールするメタ認知能力の高さを表しているのではないかと考えられる。

3.4.3 順列・組合せ問題の解答過程 - 結果の予想・解答に対する確信度 -

結果の予測と結果(解答)に対する確信度の評価の段階は、問題の得点には直接関係の ない項目であるが、2. で述べたようにメタ認知の能力を評価するため設定した。メタ認知 には、自己の能力と問題の難易度を比較し、解けるかどうかを予測する能力 ³⁻⁸⁾ や解き終 わった後に解けているかどうかを正しく評価する能力 ³⁻⁸⁾ が含まれている。この点から, うまく解ける人(得点上位群)とうまく解けない人(得点下位群)で,この2つの段階で差が現 れるという仮説を立てた。しかし、得点上位群と下位群の間で結果の予測能力、結果の評 価能力に有意な差はなかった(図 3-8 参照)。高校数学の応用問題では,特に熟達している 者を除くと、初めて見るような問題や難解な問題では問題を読んだ段階で自信を持てず、 解答が終わった後でも,自分の解答に対し自信をもつことが難しいのではないかと推察さ れる。このため、得点上位群であっても、下位群と結果の予測、結果の評価では差がなか ったものと考えられる。また、上位群と下位群の理解力の差はごくわずかであり、これは メタ認知能力の差もごくわずかではないかと推測される。理解力やメタ認知能力の差が大 きな被験者を対象とすることによって、岡田 3-8) が言うような「結果の予測」や Glasser 3-9) に述べられている「自身の解答に対する確信度」の得点の差がメタ認知能力の違いとして 生じる可能性がある。本章の範囲では,メタ認知能力の差が小さいため,「問題理解」「プ ラン」「実行」のみに差が現れたが、メタ認知能力の差(より具体的に言えば問題1-5の 得点差)がさらに大きくなれば「結果の予測」「自身の解答に対する確信度」にも差が現れ るのではないかと考える。

本章では、基礎テスト問題の平均点が10点満点で、3.1.2に示した工学系の学生を被験

者(順列・組み合わせ問題の基礎力がほぼ同等な被験者)として用い、応用問題解法に関する講義の後、講義に対する理解度(問題1から5の解答における得点能力の違い(上位群と下位群)を「結果の予測」「問題理解」「プラン」「実行」「自身の解答に対する確信度」の得点の違いから、メタ認知能力の違いによって説明(モデル化)することを試みた.理解度が高い群では、プラン、実行過程において問題解決のための適切な処置が行われていると判断し、これが 岡本³⁻⁴で述べられているメタ認知能力の高さではないかと判断した。

3.5 まとめ

順列・組み合わせ問題解答の各段階におけるメタ認知の役割を検証した結果、以下の点が明らかになった。

(1)応用問題の総得点で分けた得点上位群と下位群の間で、基礎的な問題での得点に有意な差はみられなかった。すなわち、基礎知識を同様に習得した場合でも、応用問題に対処できる被験者とそうでない被験者が認められた。

(2)得点上位群と下位群で、解決過程のプランと実行の段階で有意な差がみられ、得点上位 群のほうが理解とプラン、理解と実行、プランと実行の得点間の相関係数は顕著に高かっ たことから、上位群の理解→プラン→実行の一連のプロセスにおいては、プランが適切に モニター、コントロールされ、高い得点につながるメタ認知の能力の高さによって、上位 群と下位群の得点能力の違いを説明できる可能性が示唆された。

順列・組み合わせに対して高い理解力(得点力),例えば基礎テスト,問題1-5いずれも短時間で満点を獲得できるような能力を有する被験者と本章の被験者の「結果の予測」,「問題理解」,「プラン」,「実行」,「自身の解答に対する確信度」の得点を比較することによって,「問題理解」「プラン」「実行」のみではなく,「結果の予測」「自身の解答に対する確信度」に差が認められる可能性がある。この点に関しては,今後の課題としたい。

本章では、順列・組合せ問題を題材としたが、極限、微分・積分問題など違うタイプの問題おいてもメタ認知の役割を検証することが必要である。順列・組合せ問題では、プランの段階での得点が解決に影響することから、問題理解→プランにおけるモニタリングとコントロールを行うメタ認知を適切に行わせることによって得点を向上させる学習法の提案が必要である。

3.6 参考文献

- 3-1) 文部科学省: 高等学校学習指導要領 第 2 章 第 4 節 数学 (http://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/99 0301/03122603.htm).
- 3-2) 日本学術会議数学研究連絡委員会附置・数学教育小委員会:『算数』・『数学』はなぜ学校教育に必要なのか,中央教育審議会初等中等教育分科会教育課程部会算数・数学専門部会(第2回)2004年5月31日配付資料,2004.
- 3-3) Flavell, J.H. (1976). *Metacognitive aspects of problem solving*. In Resnick, L. (Ed.) *The nature of intelli- gence*. Hillsdate, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. (pp.231-235).
- 3-4) 岡本真彦:算数文章題の解決におけるメタ認知の研究, 風間書房, 1999.
- 3-5)加藤久恵: 数学的問題解決におけるメタ認知の役割に関する研究(Ⅲ) -メタ認知と問題領域に関する事例分析を中心として-, 兵庫教育大学教科教育学会紀要, Vol.14, pp 29-38, 2001.
- 3-6) 多鹿秀継:子どもの算数問題解決におけるメタ認知の役割, 神戸親和女子大学研究論 叢, Vol.41, pp.127-136, 2008.
- 3-7)長水壽寛: 高専生を対象としたアンケートによるメタ認知の調査研究, 第 33 回数学教育論文発表会論文集, pp, 403-408, 2000.
- 3-8) 岡田猛:問題解決過程の評価に関する発達的研究,教育心理学研究, Vol.35,pp.49-56,1987.
- 3-9) Glasser, R. (1988). *Cognitive science and education*. International Social Science Journal. (Vol.40, pp.21-44).

第4章 電気基礎回路問題の解答プロセスにおけるメタ認知

4.1 基礎電気回路問題におけるメタ認知の役割

メタ認知 (metacognition) とは、人の認知活動に関する知識を表わし、認知活動を統制する過程であり、岡本 ⁴⁻¹、Flavell ⁴⁻²、Brown ⁴⁻³ によってメタ認知には「メタ認知知識」と「認知の制御」の 2 つの側面を含んでいると定義されている。ここで、メタ認知知識とは、認知活動にどのような要因や方略が影響するのか、また、それらを、いつ、どのように適用すればよいのかについての知識である。一方、認知の制御は、認知活動のプランニングや認知活動が上手くいっているかどうかの監視(モニタリング)と制御(コントロール)を行うものである。これら 2 つの側面は相互に関連し合いながら機能する。

問題解決におけるメタ認知とは、問題の難易度と自分の能力を比較し、問題のタイプを考え(問題理解)、うまく解けるように方略を考え、解決までの道筋を立て(プラン)、これを実行することであり、また、これらの解決行動がうまくいっているかを監視(モニター)し、制御(コントロール)することと考えることができる。

文章題の問題理解には、問題文を内的な表象へと変換し、これらの表象を統合する過程が含まれているとする説 Mayer ⁴⁻⁴⁾ もあるが、変換と統合の特徴を分離することは難しいため、本章では、岡本 ⁴⁻¹⁾ に従って、文章題の解決過程に「問題理解」「プラン」「実行」の3つの基本プロセスを想定した。また、岡田 ⁴⁻⁵⁾、Glasser ⁴⁻⁶⁾ によってメタ認知における解法プロセスに影響すると指摘されている「自身の解答に対する確信度の評価」「結果の予測」の項目を設け、図 4-2 に示すように、「結果の予測」、「問題理解」、「プラン」、「実行」、「自身の解答に対する確信度」の 5 項目からメタ認知能力を評価する実験を実施し、解答能力の差をメタ認知の考え方によってモデル化・説明することを試みた。

問題理解の過程では、問題解決のための目標を明確にし、そのための情報選択や情報相互の関連付けを実施していくためには、これらが正しく行われていることをモニターし、コントロールできることが必要不可欠であり、メタ認知能力が問題理解に大きな影響を及ぼすと考えられる。また、プランの過程でも、問題理解の過程で明らかになった情報選択や情報相互の関連付けがうまくいったかどうかを適切にモニターし、コントロールできなければならない。策定したプランの実行の過程でも、正解にたどり着くためには、策定したプランが適切であるかどうかをモニターしつつコントロールしていく必要がある。

岡田⁴⁻⁵⁾ は、成績上位になるほど正しく解けたかどうかの評価が正確になる点を明らかに

した。すなわち、メタ認知による自身の解答プロセスのモニター、コントロールを自覚することは、問題解決能力の習得に必要不可欠である。そこで、自身の解答に対する確信度(正しく問題を解けたかどうか)の評価もメタ認知能力に関わりが深いと考えた。Glasser⁴⁻⁶によって、問題解決に熟達した者は、自身の既存知識と照合しながら問題解決プロセスをモニターし、自身の問題解決の結果を正しく予測できることが示されている。結果の予測に関しては、解答プロセスを予測し、これに基づいて解答プロセスをモニターして、コントロールするメタ認知に関わりがある。

算数の文章題を解答するときにメタ認知がいかなる働きをするかに関して検討されている ^{47).4-8)}。多鹿の研究 ⁴⁻⁸⁾ では、小学生が算数文章問題を解決するとき、メタ認知方略が算数文章問題解決に促進的な役割を担うことを明らかにしたが、高校生や大学生を対象とした問題解決とメタ認知の関係を検証した研究はほとんど行われていない。

高校や大学で習得すべき基礎電気回路は、特に文系の学生にとってはとっつきにくく、 上記の研究^{4-7),4-8)}のような、一つの基本原理や公式を単純に適用する小学生の算数文章問題 以上に複雑な認知情報処理を要し、メタ認知が解答過程に及ぼす影響は大きいものと考え られる。

本章では、電気回路に関する知識をほとんど有さない経済系の短期大学生を対象とし、 苦手な人に対しても基礎電気回路問題を効率的に学習させる基礎データを得るために、基 礎電気回路問題解決の各段階におけるメタ認知の重要性を検証した。

4.2 実験方法

4.2.1 被験者

被験者は 10 名 (19~20 歳) であり、全員経済学科の短期大学生であった。被験者には、 実験の内容を十分に説明し、実験参加へのインフォームド・コンセントを得た。

実験は平成23年10月1日に実施した。

4.2.2 確認テスト

非専門課程である経済系短期大学生であるところから,基礎知識は同程度であると考え, 実施しなかった。

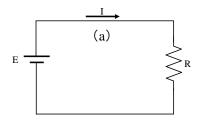
4.2.3 基礎電気回路問題とワークシート

実験で用いた基礎電気回路に関する問題 1 から問題 10 を図 4-1(a)~(j)示す。ワークシートの問題解決過程には「問題理解」「プラン」「実行」の段階,また,「結果の予想」の評価 $(0-100 \, \text{点})$,「自身の解答に対する確信度」の評価 $(0-100 \, \text{点})$ の項目を設けた。このワークシートを図 4-2 に示す。

問題1 図の電気回路において,直流電源の電圧が10[V]のとき2[A]の電流が流れた.この回路に流れる電流が1[A]のとき直流電源の電圧はいくらになるか。

ヒント: 単一の抵抗を含む直流回路において、電源 電圧と電流は比例関係にある。

図 4-1(a) 問題 1



問題2 図に示す回路において、端子a-b 間を流れる電流を0(零)にするためのRxの値を求めよ。ただし、抵抗 R_1 =4[Ω]、 R_2 =5[Ω]、 R_3 =8[Ω]、 R_3 =12[Ω]とし、電源電圧Eは未知とする。ヒント 直列回路を構成する複数の抵抗にかかる電圧は、抵抗値に比例した割合で分配される。

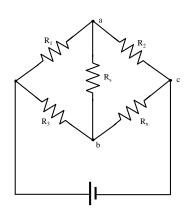


図 4-1(b) 問題 2

問題3 図の回路で.抵抗R= $2[\Omega]$ に電流I=5 [A]が流れている。このとき、並列接続した抵抗 R_1 および R_2 に流れる電流が1: 2に流れるようにしたい。 R_1 および R_2 の値を求めよ。

ヒント 1)直列回路を構成する複数の抵抗にかかる電圧は、抵抗値に比例した割合で分配される。2)並列回路を構成する複数の抵抗に流れる電流は、抵抗値に反比例した割合で分配される。

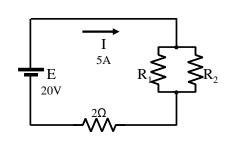


図 4-1(c) 問題 3

問題4 図の回路において、抵抗 R_1 =52 [Ω]. R_2 =120[Ω], R_3 =80[Ω],電源電圧E=120 [V]であるとき,回路を流れる電流 I_1 , I_2 , I_3 , を求めよ。

ヒント

- 1)直列回路の抵抗は,直列回路の合成式により一つにまとめることができる。
- 2)並列回路の抵抗は、並列回路の合成式により一つにまとめることができる。

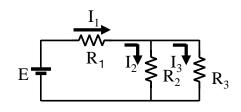


図 4-1(d) 問題 4

問題5 図に示す回路の抵抗 R_1 =9[Ω], R_2 =6 [Ω],電源電圧 E_1 =10[V], E_2 =7[V]としたとき,図の回路に流れる電流I[A]を求めよ。

ヒント 1) 直列に接続された電源電圧は,回路 に沿った向きに応じて加減して一つにまとめ ることができる。

2)直列回路の抵抗は,直列抵抗の合成式により一つにまとめることができる。

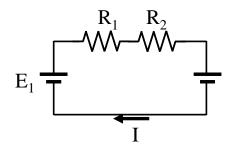


図 4-1(e) 問題 5

問題6 ある電球にV=100[V]の電圧を加えたとき,I=0.3[A]の電流が流れた。この電球の電力はいくらか。また、10分間電流を流し続けたときの電力量は何 Wh か。

ヒント

- 1)抵抗が消費する電力は、抵抗にかかる電圧と抵抗に流れる電流の積で表される。
- 2)抵抗が消費する電力量は、抵抗が消費する電力と時間の積で表される。

図 4-1(f) 問題 6

問題7 図に示す湯沸かし器が20[V]の直流電源に接続されているとする。この湯沸かし器の抵抗が5[Ω]であるとき、湯沸かし器に流れる電流I[A]、電力P[W]を求めよ。さらに、この湯沸かし器を30分間使用したときの電力量W[Wh]を求めよ。熱が湯沸かし器以外に放散する損失はないものとする。ヒント

- 1)抵抗が消費する電力は、抵抗にかかる電圧と抵抗に流れる電流の積で表される。
- 2)抵抗が消費する電力量は、抵抗が消費する電力と時間の積で表される。



図 4-1(g) 問題 7

問題8 測定範囲が $0\sim150[V]$ の電圧計がある。図に示すようにこの電圧計に抵抗Rmを直列に接続して、電圧600[V]まで測定したい。抵抗 Rmの値を求めよ。ただし、電圧計の内部抵抗 $Ri=12000[\Omega]$ とする。

ヒント

1)直列回路を構成する複数の抵抗にかかる電圧は,抵抗値に比例した割合で分配される。

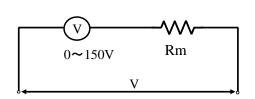


図 4-1(h) 問題 8

問題9 図に示すように、抵抗値の等しい抵抗R $[\Omega]$ を三角形に接続し、内部抵抗 $r[\Omega]$ ・起電力E(V)の電池の電圧を加えたところ、電流I[A]が流れた。このときの抵抗Rの値を求めよ。

ヒント

- 1)直列回路の抵抗は,直列回路の合成式により一つにまとめることができる。
- 2)並列回路の抵抗は、並列回路の合成式により一つにまとめることができる。

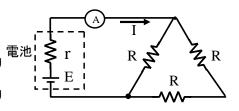


図 4-1(i) 問題 9

問題10 図に示す回路の合成抵抗を求めよ。 ただし抵抗は全てR=10[Ω]とする。

ヒント

- 1)回路の接続点は同じ線上であれば移動しても差し支えない。
- 2)並列回路の抵抗は、並列回路の合成式により一つにまとめることができる。
- 3)直列回路の抵抗は、直列回路の合成式により一つにまとめることができる。

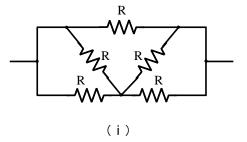


図 4-1(j) 問題 10

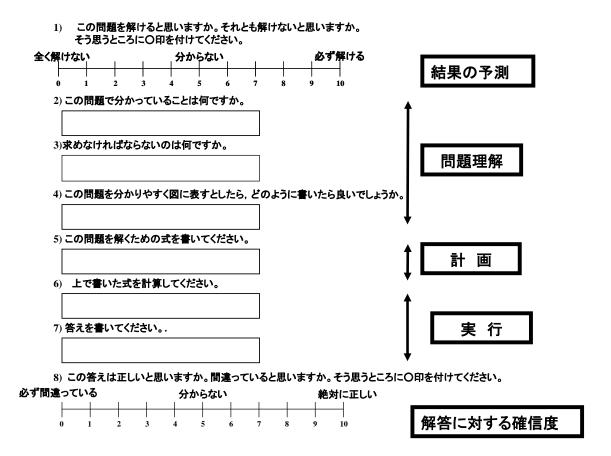


図 4-2 実験で用いたワークシート

4.2.4 実験手順

まず、高校時代の知識を思い出させ、ワークシートの設問の解答方法を理解させるために、問題を解くために必要となる基礎電気回路についての講義を 60 分間行った。講義では、オームの法則、抵抗や電源などの直列、並列など、電気回路の基礎的な公式と考え方、また、基本的な問題を説明した。

講義終了後に 10 分間の休憩を設け、休憩後に図 4-1(a)~(j)に示す基礎電気回路の問題を各 15 分ずつ解答させた。テストに先立ち、ワークシートを解答する際には、「上から順番に設問に答えてください」、「設問にはなるべく詳しく解答してください」、「自分が考えた解答過程が設問の問いに合わない場合は、ワークシート右側の余白スペースに記入してもかまいません」という注意事項を被験者に伝えた。

4.2.5 ワークシートの得点化手順

問題理解、プラン、実行段階では、0 (間違い) から 4 (正しい) 点までの 1 点刻みで得点化した。結果の予測では、実行と結果の予想の評点を比較し、両者が完全に一致している場合を 4 点、完全に不一致の場合を 0 点とし、状況に応じて 1 点刻みで中間点を与えた。結果の評価では、実行と自身の解答に対する確信度の評点を比較し、両者が完全に一致している場合を 4 点、完全に不一致の場合を 0 点とし、状況に応じて 1 点刻みで中間点を与えた。以上の 5 項目の合計は 20 点満点となる。

4.3 実験結果

4.3.1 得点上位群と下位群の分類

電気回路基礎問題の成績により,2問以上正解した成績上位群(4人)と1問以下の成績 下位群(6人)に分類した。

4.3.2 得点上位群と下位群での解答過程の得点

ワークシートの文章題の合計得点(問題 1 と問題 2 の合計得点)の平均点は,成績下位群の平均点は 8.75 点(S.D.=2.268),成績上位群は 10 点(S.D.=0.935)であった。成績上位群と下位群の解決過程での得点を図 4-3 に示す。得点に対して解答の段階と成績の上位・下位を要因とする 2 元配置の分散分析を実施した結果,解答の段階での要因のみ有意差が認められた(F(4,32)=3.774,p<0.05)。また,解答の各段階の得点間の相関係数を求めた結果,成

績上位群では、プランと実行の間にのみ有意な相関(相関係数=0.927)が、下位群でもプランと実行の間にのみに有意な相関(相関係数=0.750)が検出された。成績上位群と下位群の両方の得点に対して、同様の相関分析を実施した結果、プランと実行の間にのみ有意な相関(相関係数=0.821)が認められた。

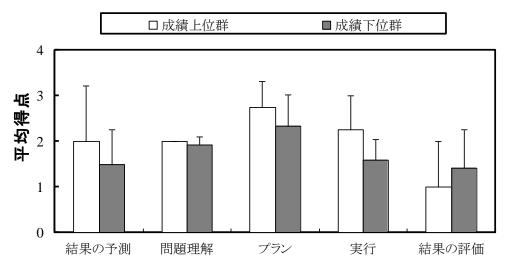


図 4-3 成績上位群と下位群の各段階での比較

次に、問題 1 から問題 10 の解答過程の得点を図 4-4(a)~(j)に示す。

問題 1 は,最も基礎的な回路であり,容易に正解できると考えられる問題である。その結果は,問題理解の段階までは全員が解答できている。解答のための媒介変数は,抵抗 R の値を求めてから解く場合には 1 個で,この方法で解いているのが 6 人,比例計算で解く場合は,媒介変数は 0 個であり,この方法で解いているのが 4 人であった。

図 4-4(a)によれば、結果の予想では成績上位群では正しく予想しているものが成績下位群よりも 2 倍以上で正しく予想できている。問題理解では、成績上位群、下位群共に有意な差はないが、その後のプラン (計画)、実行、評価では成績上位群が下位群を上回っている。これは、問題が基本的なものであったことから、メタ認知を活性化させても差異が生じる部分が少なく解答しやすかったものと考える。また、結果の評価では、成績上位群、下位群共に有意な差異はなかった。これは、成績上位郡では問題を解く前には、「解ける」と判断して、問題を解いた後には、「解けた」との意識から結果の評価が行われ、成績下位群で

は、問題を解く前に「解けない」と判断して、実際には「解けた」が、自信がないために 結果の評価を誤ったものであると考える。この結果、成績上位群と下位群とで有意な差が なかったものと推測する。

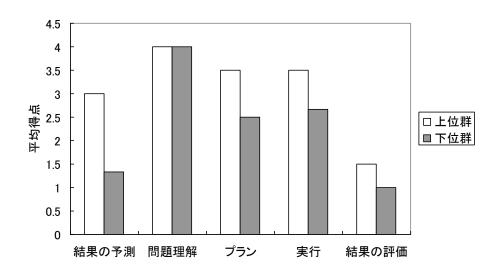


図 4-4(a)問題 1 の各段階における平均点

問題 2 は、予備知識として、ある程度の基礎知識がないと解答が困難であると考えられる問題であるが、理論は別として計算方法を覚えていれば(メタ知識)簡単に解ける問題である。媒介変数は 0 個であるが、解答するために必要のない余分な情報が 2 個あり、メタ認知を活性化させるときに混乱を生じる可能性があるものである。10人中4人が正解で、

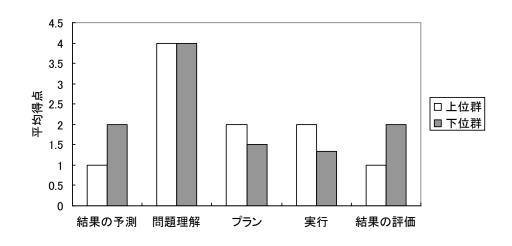


図 4-4(b) 問題 2 の各段階における平均点

覚えていた公式を思い起こして解いたと考える。無記入が 4 人, 式が誤っているもの 2 人であった。

この問題では、成績上位群では、結果の予測で失敗している。この問題の前にあった問1 が簡単であったため、「今回も解ける」と考えたためであろう。問題理解では、成績上位群 と下位群とで差はなく、プランと実行では、成績上位群の方が下位群よりも正しく解いて いるが、その差は少ない。結果の評価では、成績上位群よりも下位群の方が正しく予測し ているが、これは、問題を解く前の段階で「解けない」と予測し、問題を解いた後に「解 けなかった」と認識したためであると考える。

問題 3 は基礎電気回路の基礎知識がないと解けないと考えられる問題である。媒介変数は 2 個で、問題理解は 9 人までは、問題の半分程度までは理解したと考えられるが、結果は全員が不正解であった。予備知識が身についていないと解答は難しかったものと考える。

この問題の解答は図 4-4(c)に示すように、プランまではできていても実行段階で誤っている。問題の解答は、最初に電圧配分を考え、次いで、 R_1 、 R_2 の合成抵抗値を求め、更に、電流が 1:2 となるように抵抗値を求める必要があり、実行段階でこの手順を誤ったものである。前に解いた問 2 が難しかったところから、問題を見た段階で「解けない」と判断していて、その結果やはり「解けなかった」ということから、結果の評価では、成績上位群、下位群ともに差が生じなかったものと考える。

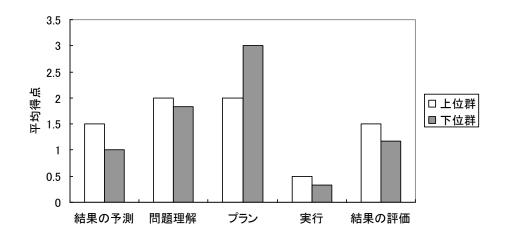


図 4-4(c) 問題 3 の各段階における平均点

問題 4 は、抵抗の直列と並列、オームの法則の適用で解ける問題であるが、基本的な知識がないと難しかった問題であったと考える。媒介変数は 3 個で、問題理解までは全員が何らかの記入をしているが、プランの段階で抵抗の合成と媒介変数 2 個の導出までは記入できていて、他の 1 人は合成抵抗の値までは導き出せて、ここまでは正しく計算することができている。しかし、その後の計算誤り、すなわち、実行段階で失敗している。この結果を図 4-4(d)に示す。

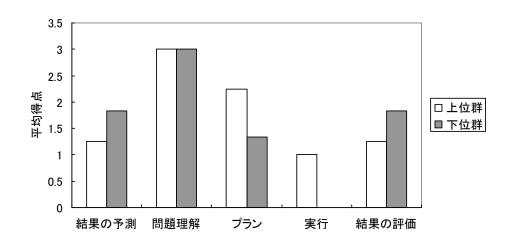


図 4-4(d) 問題 4 の各段階における平均点

問題 5 は、やや難しい問題ではあると考えるが、電池の接続とその電圧を理解していれば簡単に解ける筈の問題である。媒介変数は2個である。図 4-4(e)に示すように、プラン・

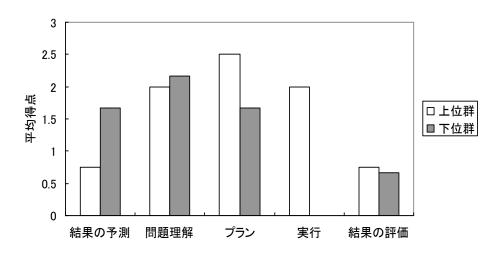


図 4-4(e) 問題 5 の各段階における平均点

実行まで正解している者がいる一方、成績下位群では実行段階で全員が失敗している。 このことから、基礎電気回路よりも、さらに基本的な知識である計算能力の差が基礎電気 回路問題の解答に影響していると推測する。

問題 6 は、説明図はないが簡単に解ける問題であると考えられる問題である。しかし、電力量の単位 1 時間当たりの電力消費であることを覚えていないためと考えられる不正解が多かった。単位と組み立て単位についての知識があれば、電力量 [Wh] の意味が判り、1 時間の消費電力量であることを理解できる筈であるが、非専門課程の学生にとっては難しかったものと考える。図 4-4(f)に示すように、プランの段階までは、成績下位群が上位群よりもできているが、単位の組み立てとその表記についての基礎知識がないためか(メタ知識の不足)実行の段階で失敗している。

このことから、メタ認知能力を活性化させてその能力を引き出すためには、実行に関わる専門分野だけでなく、メタ知識である数学の基礎知識と共に単位の組み立てとその表記方法についての知識を持っていることが必須であることが解る。専門分野の教育においては、それ以前の基礎的な知識を十分に教育し、習熟させることが必要であると考える。

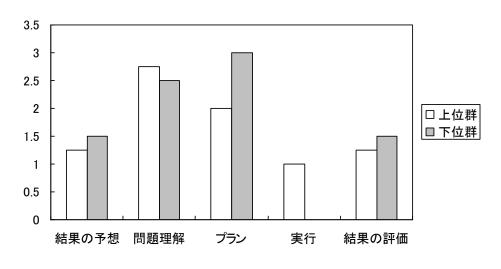


図 4-4(f) 問題 6 の各段階における平均点

問題7は、問題6とほぼ同じである。このことに気付いたと思われる者が1人であった。 媒介変数は計算方法により0または1個である。全員がこの媒介変数を求める必要性は理 解していた。 結果として,前の問題 6 で不足していたメタ知識である電力と電力量に関する単位に関する知識の不足が原因で解けていないと考える。

問題を見て成績下位群では、「解けそうもない」と判断して、問題を解いた結果「解けなかった」と判断したため、得点が高くなっているものと考える。また、成績上位群では、「解けそうだ」と考えて「解けなかった」ことが得点の低い理由であると推測する。

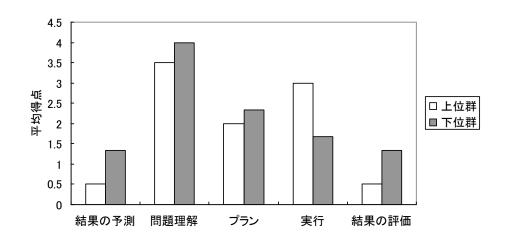


図 4-4(g) 問題7の各段階における平均点

問題8は、電流と電圧、抵抗の比例関係で解答ができる問題である。

比例計算で解答を求めていたが、「問題理解」までの得点は成績下位群の方が高い。しかし、「プラン」では成績下位群では得点が低くなり、「実行」では、成績下位群では得点は0であった。「結果の予想」「結果評価」ともに成績下位群の得点が高い。この差は大きくはないが、「成績下位群」では、「解けない」と予想して「解けなかった」と答える方が簡単であることから得点が高くなっているものと考える。

解答は、媒介変数は 2 個であるが、全員が比例計算で解答を求めていた。問題理解までは 7 人、プランは完全であるのが 2 人、問題の半分程度までできいているのが 5 人であった。この結果を図 4-4(h)に示す。

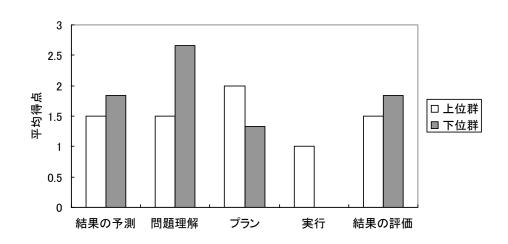


図 4-4(h) 問題 8 の各段階における平均点

問題 9 は、数値がなく文字だけによる計算が必要であり、解答も文字で表現した式となる。ところが、他の問題は全て数値がある計算であったところから、「プラン」を立てるのが難しかったものと考える。問題は一見、難しそうであるが、抵抗の直列と並列が判れば解答は難しくはないものである。しかし、数値の計算に慣れているところ、文字だけの問題であったためか、メタ認知が働かなかったものと考える。結果、実行では全員が失敗している。

また、「結果の予測」と「結果の評価」では、成績上位群、下位群ともに「解けない」と 予想し「解けなかった」ため得点が高くなっている。結果として、この問題は、非専門課

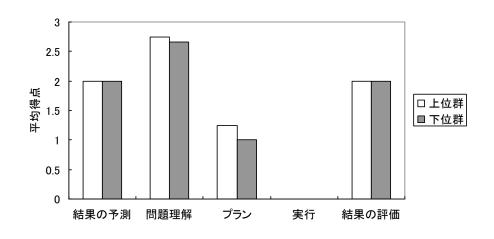


図 4-4(i) 問題 9 の各段階における平均点

程の学生には難解に過ぎて、メタ認知による問題解答過程の検証実験の問題としては、それ以前の知識が必要であって、問題としては適していなかったものと考える。なお、媒介変数は1個である。この結果を図 4-4(i)に示す。

問題 10 は、前間に続き、文字による問題で、解答も文字による表現であり、文字式を解いてその結果に数値を代入すれば解答を得ることができる。問題は難しそうであるが、ヒントとして、「同じ線上であれば移動して差し支えない」とあり、よく見れば、抵抗の直列と並列であるので、簡単に解答に至ると考えられるものである。

しかし、「結果の予測」と「結果の評価」では成績下位群の方が上位群よりも得点が高い。 この理由は、得点下位群では、前の問題が解けなかったところから、予測として「解けない」と予測し、問題を解いた後の結果の評価でも「解けていない」と簡単に答えられると ころからこのような結果になったものと推測する。

「問題理解」は得点上位群と下位群とで差はない。「プラン」では得点下位群では、得点が低く、「実行」では得点上位群だけが得点している。このことからも、抵抗の直列と並列

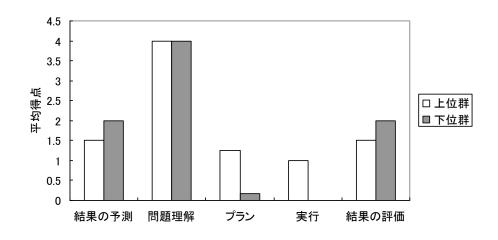


図 4-4(j) 問題 10 の各段階の平均点

の問題では得点上位群ではメタ認知を活性化させていると考えることができる。

なお、この問題では、回路図の変形に失敗したとき、正解を求めるのは困難である。因 みに媒介変数は1個である。この結果を図4-4(j)に示す。 以上のことから,

適度にメタ認知を活性化させることができないような問題では検証実験として不適当で あることが確認された。このため、次回の実験に使用するテスト問題については、

- ・問題を更に基本的なものとし、媒介変数の個数は1個程度に止める。
- ・文字式だけの問題は、基礎知識のない、非専門課程の学生等を被験者とする場合には不 適当である。
- ・難解で、予備知識の範囲を超えてしまうような問題は不適当である。

また,

メタ認知を活性化させるための講義については,

- ・電気回路の基本法則の理解に止める。
- ・抵抗の直列と並列の意味と計算。
- ・電力と電力量などの単位と単位の組み立てと表記方法などの基本的知識について理解させる。
- ・電池の接続とその考え方。

などについて、メタ認知を活性化させるような教え方の工夫が必要である。

なお、問題 1 から問題 10 までの成績上位群と下位群の各段階の平均を図 4-5 に再掲して示す。

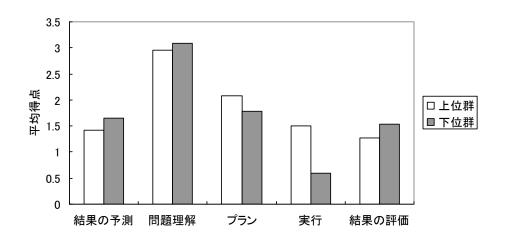


図 4-5 問題 1 から問題 10 までの各段階の平均点

4.4 考察

4.4.1 確認テスト

確認テストは、非専門課程であるところから、同程度と考えて実施しなかった。

4.4.2 基礎電気回路問題の解答過程—問題理解・プラン・実行—

問題理解の段階では成績上位群と下位群の間でほとんど得点差はみられなかったが、プランと実行の段階では、成績上位群と下位群の間に差が認められた(図 4-3 参照)。また、成績上位群、下位群ともにプランと実行段階の得点のみに有意な相関が認められた。これはプランが適切であれば、解答を適切に実行でき、メタ認知の中でもプランの役割が重要であることを示唆している。

成績上位群では、下位群よりもプランと実行段階の得点の相関が高い値を示した。成績 上位群は、下位群に比べてプランから実行へのプロセスがスムーズに行われており、この違 いが成績上位群のメタ認知能力の高さを表しているのではないかと考えられる。

4.4.3 基礎電気回路問題の解答過程―結果の予測・解答に対する確信度-

結果の予測と結果の評価の段階は、問題の得点には直接には関係のない項目であるが、メタ認知には自己の能力と問題の難易度を比較し、解き終わった後に解けているのか確かめるといった結果の予測能力が含まれている。この点から、うまく解ける人(成績上位群)とうまく解けない人(成績下位群)で、この 2 つの段階の得点に差が現れると考えたが、成績上位群と成績下位群の間に有意な得点差はなかった(図 4-5 参照)。文系所属の短期大学生にとっての電気回路問題は、苦手意識のせいか、問題を読んだ段階で自信を持てず、解答が終わった後でも、自分の解答に対し自信をもつことが難しいのではないかと推察される。このため、結果の予測で「できない」と評価し、問題を解いた後にも「できなかった」と評価するのは簡単であるところから、成績下位群の方が、僅かではあるが正しい評価をしている結果となっているものと推測する。この評価は、メタ認知能力の大きく異なる被験者であれば、有意な差が生じると考える。

4.5 まとめ

成績上位群と下位群で、問題理解、プラン、実行の段階での得点を比較し、基礎電気回路問題解答におけるメタ認知の役割を検証した。成績上位群と下位群で、プランと実行の

段階で有意な得点差がみられた。また、このプランと実行には有意に高い相関関係があり、 成績上位群の方が相関係数は高く、メタ認知の中でもプランが問題解決に影響することが 明らかになった。

第3章の順列・組合せ問題の解答過程と、本章の基礎電気回路問題の各段階でのメタ認知 の役割を比較検証した結果、以下の点が明らかになった。

- (1)「結果の予測」では、「順列・組合せ問題」と「基礎電気回路問題」の成績上位群と下位群での間では有意な差はなかった。
- (2)プランと実行では、「順列・組合せ問題」と「基礎電気回路問題」の成績上位群と下位群は同じ傾向であるが、「順列・組合せ問題」の場合にはその差が顕著にあった。
- (3)「実行」では、成績上位群と下位群の間では共に有意な差を示している。
- (4)「解答に対する確信度」では、共に顕著な差はなかった。

これらの結果から、工学部専門課程の被験者による「順列・組合せ問題」の解答過程と 非専門過程の被験者による「基礎電気回路問題」の解答過程におけるメタ認知の働きは、 同じと考えることができ、異なる問題の解決過程においても、その問題解決能力は「プラ ン」が顕著に影響することが示された。

なお、これらの解決過程において、プランまではできても、実行過程で必要な基本的な能力、例えば、計算能力と共に単位系の表示の意味を理解していないと実行過程で失敗をしてしまう。したがって、専門分野の教育では、その分野で使用する基本的な事項を十分に理解させることが重要であることも示されている。

なお、力学問題など違うタイプの問題おいてもメタ認知の役割についての検証が必要である。基礎電気回路問題では、プランの段階での得点が問題解決に影響することから、プランを適切に行うことが可能になるための基礎電気回路の効率的な学習法を提案していきたい。

4.6 参考文献

- 4-1) 岡本真彦:算数文章題の解決におけるメタ認知の研究, 風間書房, 1999.
- 4-2) Flavell, L.J. (1979). *Metacognition and cognitive monitorion, A new area of cognitive-developmental inquiry*. American Psychologist. (Vol.34, pp.906-911).
- 4-3) Brown, A.L. (1987). *Metacognition, executive control, self regulation, and other more mysterious mechanisms, motivation, and understanding.* LEA. (pp. 65-116).
- 4-4) Mayer, R.E. (1989). *Mathematical problem solving*. In Mayer, R.E. (Ed.). *Thinking, problem solving, cognition (Second edition)*. New York: W.H. Freeman. (pp.455-489).
- 4-5) 岡田猛: 問題解決過程の評価に関する発達的研究,教育心理学研究,Vol.35,pp.49-56,1987.
- 4-6) Glasser, R. (1988). *Cognitive science and education*. International Social Science Journal. (Vol.40, pp. 21-44).
- 4-7)岡本真彦:算数文章題の解決におけるメタ認知の研究,風間書房,1999.
- 4-8)多鹿秀継:子どもの算数問題解決におけるメタ認知の役割,神戸親和女子大学研究論叢, Vol.41, pp.127-136, 2008.

第5章 電気基礎回路問題の解答プロセスにおけるメタ認知 一非専門課程と専門課程の学生の比較一

5.1 メタ認知への結果の予測・解答に対する確信度の関与に関する実験仮説

メタ認知 ⁵⁻¹⁾⁻⁵⁻³⁾ が算数・数学の文章題解決において重要な働きをすることが示唆されている ⁵⁻⁴⁾⁻⁵⁻⁸⁾. Flavell⁵⁻¹⁾⁻⁵⁻²⁾, Brown⁵⁻³⁾らによって、メタ認知とは、人の認知活動に関する知識を表し、認知活動を統制する過程であると定義され、また、メタ認知は「メタ認的知識」と「認知の制御」の 2 つの側面を含んでいると考えられている。ここで、メタ認知的知識とは、認知活動にどのような要因や方略が影響するのか、また、それらを、いつ、どのように適用すればよいのかについての知識である。一方、認知の制御は、認知活動が上手くいっているかどうかの監視(モニタリング)と制御(コントロール)を行うものである。これら 2 つの側面は相互に関連し合いながら機能する。問題解決におけるメタ認知とは、問題の難易度と自分の能力を比較し、問題のタイプを考え(問題理解)、うまく解けるよう方略を考え、解決までの道筋を立て(プラン)、これを実行することであり、また、これらの解決行動がうまくいっているかを監視(モニター)し、制御(コントロール)する機能と考えることができる。

岡本 5-4), 多鹿 5-5) は、小学生を対象とした研究で、問題の解決におけるメタ認知の重要性を指摘している。これらの研究 5-4)-5-8) では小学生の算数文章題を対象としており、高校生や大学生を対象としたメタ認知の役割を検証した研究はほとんど行われていない。高校や大学で習得すべき基礎電気回路は、特に文系の学生にとってはとっつきにくく、上記の研究 5-4)-5-5) で行われているようなただ一つの基本原理や公式を単純に適用する小学生の算数文章題以上に複雑な認知情報処理を要する。Lawanto 5-9) は、電気回路の初級コースの学生を対象に EGN (enhanced guided notes) と呼ばれるシステムを開発し、従来の教育システムと、提案した EGN による教育システムの効果を比較して提案した方法の有効性を示した。Lawanto 5-9)の提案した方法は、学生が自身のメタ認知過程を確認しながら学習が可能なため、従来のシステムよりも効果的であったと推察した。しかし、問題の難易度と自分の能力を比較し、問題のタイプを考え、うまく解けるよう方略、道筋を立て、これを実行し、これらの解決がうまくいっているかをモニター、コントロールするメタ認知能力を、実際のデータに基づいて検証していない。

そこで、太田らの研究⁵⁻¹⁰⁾ではメタ認知能力が解答過程に及ぼす影響は大きいものと考

え、電気回路基礎に関する知識をほとんど有さない経済系の短期大学生を対象とし、基礎 電気回路問題解決の各過程におけるメタ認知の役割の検証をした。電気回路基礎の解決過 程をワークシートに設定した問題理解,プラン,実行の段階から測定し,成績上位群と下 位群でこれらの過程での違いを検討した。プランと実行には有意に高い相関関係があり、 成績上位群のほうが相関係数は高く、メタ認知の中でもプランが問題解決に影響すること が明らかにになった。岡田 ⁵⁻¹¹⁾ は,成績上位になるほど正しく解けたかどうかの評価が正 確になる点を明らかにした。すなわち,自身の解答プロセスのモニター,コントロールを 自覚すること(メタ認知の一部と考えられている)は、問題解決能力の習得に必要不可欠 である。そこで、自身の解答に対する確信度(正しく問題を解けたかどうか)の評価もメ タ認知能力に関わりが深いと考えた。Glasser 5-12) によって、問題解決に熟達した者は、自 身の既存知識を照合しながら問題解決プロセスを仮想的にモニターし、自身の問題解決の 結果を正しく予想できることが示されている。結果の予想に関しても,解答プロセスを予 想し、これに基づいて解答プロセスをモニター、コントロールするメタ認知に関わりがあ ると考えられる。しかし、太田ら⁵⁻¹⁰⁾の研究では、メタ認知の特徴として取り上げた「結 果の予想」「回答に対する確信度の評価」の2項目に関しては,成績上位群と下位群でほと んど差が認められなかった。

この理由として、メタ認知能力の差が小さいため、「問題理解」「プラン」「実行」のみに 差が現れたが、「結果の予想」「自身の解答に対する確信度」へ差が現れなかったのではな いかと考えた。したがって、さらに高い得点能力を有する被験者と本章の被験者の「結果 の予想」「問題理解」「プラン」「実行」「自身の解答に対する確信度」の得点を比較することによって、「問題理解」「プラン」「実行」のみではなく、「結果の予想」「自身の解答に対 する確信度」に差が認められる可能性がある。

本章では、この点を検証するために、非専門課程と専門課程の学生を対象に、電気回路 基礎問題の解答過程を詳細に検討し、非専門課程の学生に比べて電気工学を専門とする専 門課程の学生は、「問題理解」「プラン」「実行」の得点が有意に高く、さらには太田らの研 究 ⁵⁻¹⁰⁾ で観察されなかった「結果の予想」「自身の解答に対する確信度」において、非専 門課程と専門課程の学生で差が認められるかどうかを明らかにした。その結果、「プラン」 「実行」の得点において、また、「結果の予想」「自身の解答に対する確信度」の得点にお いて、専門課程群と非専門過程群で有意な差が認められた。この結果から、メタ認知にお ける「プラン」「結果の予想」「自身の解答に対する確信度」の役割が重要になることが示 された。また、以上の実験結果から、電気回路基礎問題の解答過程におけるメタ認知の役割について考察を加えた。

5.2 実験方法

5.2.1 被験者

被験者は29名(19~20歳)であり、経済学科の短期大学生22名(非専門課程の学生)と工学部電気工学科の学生(2年生)7名(専門課程の学生)であった。被験者には、実験の内容を十分に説明し、実験参加へのインフォームドコンセントを得た。これら29名の被験者を、非専門課程の学生群22名と専門課程の学生群7名に分類した。

なお、非専門課程の実験は平成 24 年 5 月 19 日に、専門課程の実験は平成 24 年 6 月 20 日に実施した。

5.2.2 確認テスト

実験に先立ち、被験者のレベルが同程度であることを確認するため、7間の確認テストを行った。この確認テストの採点は、

①正答の場合 2 点 ②単位が抜けているが式までは正しい(文字式,数値代入)が,答えが誤っている場合を 1 点 ③式も数値代入も誤っている場合には 0 点を与えた。

確認テストの内容は次の通りである。

問題 1 図 5-1(a)に示す抵抗 R_1 , R_2 の合成抵抗(端子 a-b 間)の値はいくらか。



図 5-1(a) 問題 1

問題 2 図 5-1(b)に示す抵抗 R_1 , R_2 の合成抵抗 (端子 a-b 間) の値はいくらか。

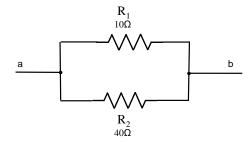


図 5-1(b) 問題 2

問題 3 図 5-1(c)に示す回路の抵抗 R_1 =5 $[\Omega]$, 抵抗 R_2 =10 $[\Omega]$, 電源電圧 E=30 [V] の とき, 回路に流れる電流はいくらか。

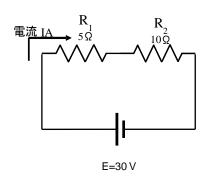


図 5-1(c) 問題 3

問題 4 図 5-1(d)に示す回路の電源電圧 E=24 [V], R_1 =2 [Ω], R_2 =8 [Ω] のとき,回路を流れる電流 I はいくらか。

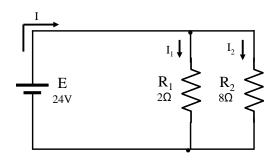


図 5-1(d) 問題 4

問題 5 図 5-1(e)に示す回路の抵抗 R=10 $[\Omega]$, 回路を流れる電流 I=5 [A] のとき、電源の電圧 E はいくらか。

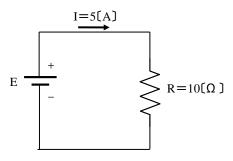


図 5-1(e) 問題 5

問題 6 図 5-1(f)に示す回路の電源 E_1 =15 [V], E_2 =5 [V] である。 E_1 と E_2 の極性は図に示すとおりである。この回路において抵抗Rに流れる電流Iはいくらか。

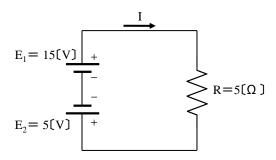


図 5-1(f) 問題 6

問題 7 図 5-1(g)に示す回路において、抵抗 R_1 =10 $[\Omega]$ であり、この抵抗 R_1 には電流 I_1 =2 [A] が流れている。また、抵抗 R_2 =5 $[\Omega]$ である。このとき、電源Eから 流れる電流 I はいくらか。

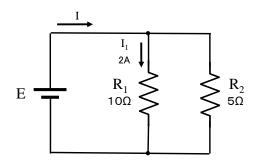


図 5-1(g) 問題 7

5.2.3 基礎電気回路問題とワークシート

基礎電気回路に関する問題を5題作成した。この問題を図5-2(a)~(e)に示す。

問題 1 図 5-2(a)に示す回路において、電源からは I=5 [A] の電流が流れている。また、この抵抗 R_1 は 6 $[\Omega]$ で、 $I_1=2$ [A] の電流が流れている。このとき R_2 の値はいくらか。

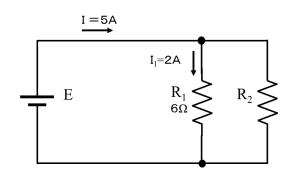
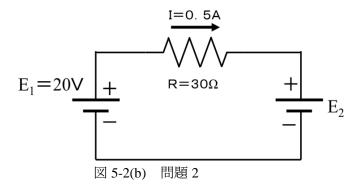


図 5-2(a) 問題 1

問題 2 図 5-2(b)に示す回路において、電源 E_1 =20[V] である。また抵抗 R は 30[Ω]で抵抗には、図の向きに I=0.5[A]の電流が流れている。このとき、電源 E_2 の電圧はいくらか。なお、電池の向きは図の+方向を正方向とする。



問題 3 図 5-2(c)に示す回路において、電源の電圧 E=24[V]、抵抗 R_1 が $2[\Omega]$ 、この抵抗 R_1 に流れる電流 I が 6[A]である。抵抗 $R_3=3$ $[\Omega]$ のとき、抵抗 R_2 に流れる電流 I_1 はいくらか。

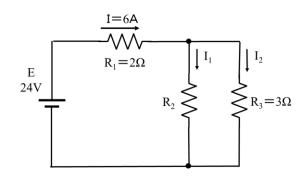


図 5-2(c) 問題 3

問題 4 図 5-2(d)に示す回路で、電源電圧 E と電流 I は比例関係にある。E=10 [V]のとき、I=2[A] であった。E=5[V]にすると I はいくらになるか。

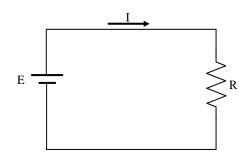
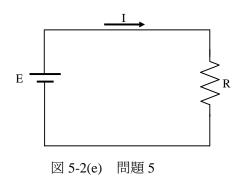


図 5-2(d) 問題 4

問題 5 図 5-2(e)に示す回路には電流 I=2 [A] が流れており、抵抗 R=5 $[\Omega]$ である。 この回路に流れる電流を I を 3[A]にするためには、電源電圧をどれだけ増やせばよいか。



ワークシートの問題解決過程には「問題理解」「プラン」「実行」の段階を設定し、また、

「結果の予想」「自身の解答に対する確信度」の項目を設けた。問題 1-5 のワークシートには、以下の項目が記入されている。

1)この問題を解けるかどうかの予想を,0(全く解けない)から10(必ず解ける)までの数値(整数)で評価してください。

- 2) この問題で分かっていることは何ですか。
- 3) 求めなければならないのは何ですか。
- 4) この問題を分かりやすく図に表すとしたら、どのように書いたら良いでしょうか。
- 5) この問題を解くための式を書いてください。
- 6) 上で書いた式を計算してください。
- 7) 答えを書いてください。
- 8) 自身の解答に対する確信度を 0 (必ず間違っている) から 10 (絶対に正しい) までの数値(整数)で評価してください。

実験で用いたワークシートを図5-3に示す。

1) この問題を解けると思いますか。それとも解けないと思いますか。

そう思うところに〇印を付けてください。 必ず解ける 全く解けない 分からない 結果の予測 2) この問題の文章から分かることを式で表してください。 3) この問題の回路図からわかることを式で表してください。 問題理解 4) この問題を解くための手順を書いてください。 計 画 5) 4)で書いた手順に従って計算してください。 6) 答えを書いてください。. 実 行 7) あなたの答えは正しいと思いますか。自信の程度に〇印を付けてください。 必ず間違っている 分からない 絶対に正しい

図 5-3 実験で用いたワークシート

解答に対する確信度

5.2.4 実験手順

まず,非専門課程の学生群 22 名に対しては,問題を解くために必要となる電気回路基礎についての講義を 30 分間行った。講義の目的は,理科,物理等の授業で学習した基礎知識を思い出させることにある。講義では,オームの法則,直列,並列などの電気回路の基礎的な公式と基本的な問題を載せたプリントを配布し,説明を行った。専門課程の学生群に対しては,これらの手続きを省略した。非専門課程の学生群に対しては,講義終了後に 10 分間の休憩を設け,休憩後に以下の実験を実施した。

非専門課程の学生 22 名と専門課程の学生 7 名に対して, 例を用いてワークシートの解答方法の説明を行った。次に, 図 5-2(a)~(e)に示した電気回路基礎の問題に制限時間 15 分以内で解答させた。ワークシートを解答する際に, 「設問 (1) から順番に解いていってください。設問にはなるべく詳しく解答してください。自分が考えた解答過程が設問の問いに合わない場合は, ワークシート右側の余白スペースに記入してもかまいません」という注意事項を被験者に伝えた。

5.2.5 ワークシートの得点化手順

ワークシートの項目 1)~8)に対する採点基準は、以下の通りであった。

- 1)では、 $7\sim10$ を選択した場合は 1 点、 $0\sim6$ を選択した場合は 0 点とした。
- 2)では、完全に正しい記入があれば 2 点、正しく書いてあれば 1 点(若干の不足のある場合)、書いてなければ 0 点とした。
- 3)では、完全に正しい記入があれば 2 点、正しく書いてあれば 1 点(若干の不足のある場合)、書いてなければ 0 点とした。
- 4)では、何も書いてなければ0点、何か書いてあれば1点、正答または正答に近い場合を2点とした。
- 5)では、「できている」か「いない」かにより点数をつけた。正解のために必要な式が書いてあれば2点、何れも書いてない場合は0点とした。
- 6)では、正しく書けていれば2点、書けていなければ0点とした。
- 7)は答えであり、誤りは0点、単位なしは1点、正答の場は2点とした。
- 8)では、1)と同様に、 $7\sim10$ を選択した場合は 1 点、 $0\sim6$ を選択した場合は 0 点とした。以上の採点結果を次のように処理した。
- ① 1)と 5)を比較することによって、問題の解答前の自信の程と実際に解くための式の正

誤を比較した。1)が高くて 5)が誤っている場合を 0 点,1)が低くて 5)が正しい場合を 0 点,1)が低くて 5)が誤っている場合を 1 点,1)が高くて,5)が正しい場合を 2 点とした。

- ② 1)と 7)を比較することによって、問題に取り掛かる前における自信の程と、実際に解いた結果の正誤を比較した。1)が高くて 7)が誤っている場合を 0 点、1)が低くて 7)が正しい場合を 0 点、1)が低くて 7)が誤っている場合を 1 点、1)が高くて 7)が正しい場合を 2 点とした。
- ③ 8)と 5)を比較することによって、問題を解いた後の自信の程と実際に解いた結果の正誤を比較した。8)が 1 点(7~10)で 5)が 0 点(誤っている)の場合を 0 点、8)が 1 点(7~10)で 5)が 2 点(正しい)の場合を 2 点、8)が 0 点(0~6)で 5)が 0 点(誤っている)の場合を 1 点、8)が 0 点(0~6)で 5)が 2 点(正しい)の場合を 0 点とした。
- ④ 8)と 7)を比較することによって、問題を解いた後の自信の程と実際に解いた結果の正 誤を比較した。8)が 1 点($7\sim10$)で 7)が 0 点(誤っている)の場合を 0 点,8)が 1 点($7\sim10$)で 7)が 2 点(正しい)の場合を 2 点,8)が 0 点($9\sim6$)で 7)が 9 点(誤っている)の場合を 9 点($9\sim6$)で 9 が $9\sim6$ の $9\sim$

結果の予想 =①+②, 問題理解=2)+3), プラン=4)+5), 実行=6)+7), 結果の評価 = ③+④として、解決の各段階での得点を求めた。上記の項目 1)~8)の満点は 2 点であり、その内容は、結果の予想=①+②=2 点+2 点(4 点満点)、問題理解=2)+3)=2 点+2 点(4 点満点)、計画=4)+5)=2 点+2 点(4 点満点)、実行=6)+7)=2 点+2 点(4 点満点)、結果の評価=③+④=2 点+2 点(4 点満点)であり、合計は 20 点となる。

5.3 実験結果

問題 1~5 の合計得点(20 点満点×5=100 点満点)により,非専門課程の学生を成績上位群と成績下位群に分類した。成績上位群は問題の合計の得点が50点以上の得点者で,成績下位群は50点未満の得点者とした。グループ化により成績上位群10人,成績下位群12人に分類した。

5.3.1 非専門課程得点上位群・非専門課程下位群・専門課程群の問題理解・プラン・実行 過程

図 5-2(a)~(j)に示したうちの問題 1 では、図 5-4(a)に示すように「問題理解」の過程では、非専門課程上位群・下位群・専門課程群との間でほとんど得点差はみられなかった。これ

は、図 5-4(b)から図 5-4(e)に示す各解答過程の得点を専門性で比較した結果に示すように、問題 $2\sim5$ の結果でも有意な得点の差はなく、図 5-5 各解答過程の得点を専門性で比較した結果の平均(問題 1 から 5)に示すように有意な得点差はみられなかった。

「プラン (計画)」と「実行」の過程では、問題 4 を除く 4 間では、非専門課程・下位群・上位群・専門課程群の順に得点が高くなっている。なお、プランの過程で、問題 4 の非専門課程群の得点上位群と下位群との間で、得点が他とは逆になっているがその差は小さい。これは、問題文に「比例関係がある」との記述があり、非課程群では単純に比例に焦点がいったためであると考える。専門課程群では、それまでの知識から、別の要素がないかを探したものと推察する。

図 5-5 各解答過程の得点を専門性で比較した結果 (問題 1 から 5 の平均) に示すように、 非専門課程上位群・下位群・専門課程群の間の各問題の解答過程の平均では、プランと実 行の過程では、非専門課程群得点下位群・上位群・専門課程群の順に、得点の差が認めら れた。

非専門課程の学生のワークシートの合計得点(問題 1~問題 5 の合計得点(20 点×5=100 点満点)の平均点は,成績下位群の平均点は41.583点(S.D.=7.856),成績上位群は59.889点(S.D.=12.036)であった。専門課程群の合計得点の平均点は,82.143(S.D.=4.488)であった。

得点に対して解答の過程(「結果の予想」「問題理解」「プラン」「実行」「自身の解答に対する確信度」の5水準)と専門性(非専門課程上位群、非専門課程下位群、専門課程群の3水準)を要因とする2元配置の分散分析を問題1-5の平均値に対して実施した結果は以下の通りであった。解答の過程(F(4,104)=6.539, p<0.01)、専門性(F(2,26)=29.147, p<0.01)の両要因において有意差が認められた。また、解答の過程と専門性の交互作用が有意であった(F(8,104)=4.449、p<0.01)。FisherのPLSD(Protected Least Square Difference)による多重比較の結果、「結果の予想」と「問題理解」、「問題理解」と「実行」、「問題理解」と「結果の評価」の間で得点に有意差が検出された。同様の多重比較の結果、「結果の予想」に関しては、専門課程群と非専門課程上位群の間で得点に有意差が認められた。「結果の評価」に関しても、専門課程群と非専門課程下位群、専門課程群と非専門課程

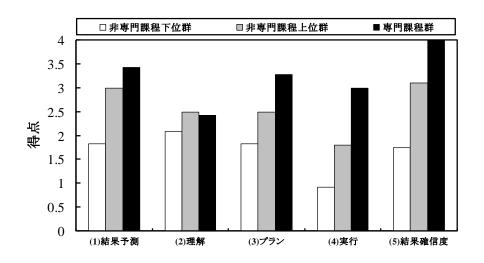


図 5-4(a) 問題 1 の各解答過程の得点を専門性で比較した結果

図 5-2(a)~(e)に示す問題 1 から問題 5 に対しても、ほぼこれと同様の結果が得られた。問題 1-5 の各解答過程の平均得点を専門性(非専門課程上位群、非専門課程下位群、専門課程群)で比較した結果を図 5-4(a)~(e)に示す。また、この平均を図 5-5 に示す。

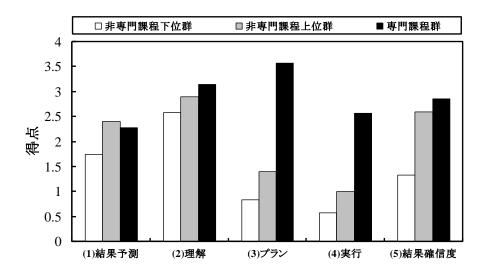


図 5-4(b) 問題 2 の各解答過程の得点を専門性で比較した結果

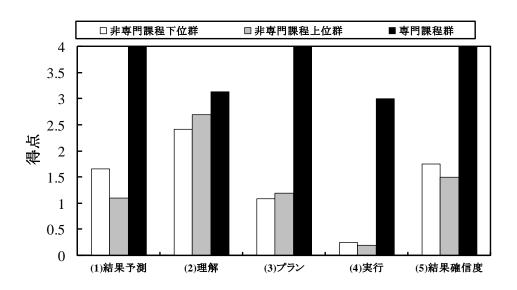


図 5-4(c) 問題 3 の各解答過程の得点を専門性で比較した結果

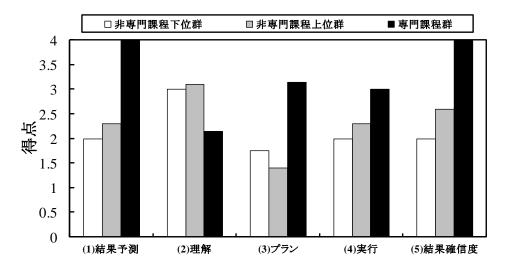


図 5-4(d) 問題 4 の各解答過程の得点を専門性で比較した結果

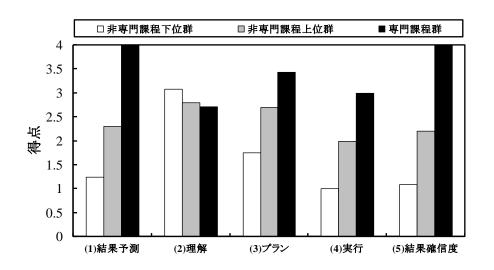


図 5-4(e) 問題 5 の各解答過程の得点を専門性で比較した結果

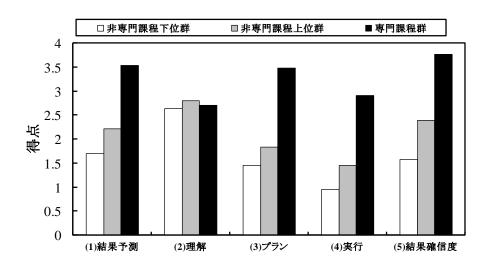


図 5-5 問題 1 から 5 の各解答過程の得点を専門性で比較した結果の平均

5.3.2 非専門課程得点上位群・非専門課程下位群・専門課程群の結果の予測・解答に対す る確信度

実験結果から「結果の予測」と「解答に対する確信度」をみると、非専門課程群と専門 課程群との間には大きな差がある。この項目は、問題の得点には直接には関係しない項目 であるが、メタ認知には、自身の能力と問題の難易度を比較し、解答の後に、自身の解答 が合っているのか否かを確認する「結果の予測能力」も含まれている。

第4章の結果からは、非専門課程群では、問題を読んだ段階で自信を持てず、問題を解いた後にも「自信」を持つことが難しかったと推察した。

本章では、この推察の適否を確認するため、メタ認知能力が高いと考えられる専門課程の学生を被験者として検証したもので、図 5-3 に示すように、プラン→実行とスムースに行われていて、結果の予想と結果の評価も有意に高い値を示している。この結果から、第4章での仮定が適切であったと考えることができる。

すなわち、プランと実行の間には有意に高い相関関係があり、これは、結果の予測能力、 結果に対する確信度にも現れている。

5.4 考察 ―メタ認知における結果の予想能力・解答に対する確信度の重要性―

図 5-5 に示すように、問題理解の過程では非専門課程上位群・下位群・専門課程群の間でほとんど得点差はみられなかった。本実験の範囲では、問題文の意味を理解する過程では、非専門課程の学生群、専門課程の学生群で差が現れにくいことが示された。プランと実行の段階では、非専門課程上位群・下位群・専門課程群の間に差が認められた。

解答の過程と専門性の有意な交互作用は、問題理解以外の4つの解答過程(結果の予想、プラン、実行、解答の確信度)では、非専門課程上位群・下位群・専門課程群で得点差が認められたが、理解の過程で非専門課程上位群・下位群・専門課程群で得点差が認められなかったためであると推察される。

表 5-1 に問題 $1\sim5$ の平均得点に対する各問題解決過程での得点間の相関係数を示す。プランと実行,実行と自身の解答の確信度,実行と結果の予想の得点の間に有意に高い相関が認められた。また,「プラン」と「結果の予想」,「プラン」と「自身の回答の確信度」の間にも高い相関係数があった。太田ら $^{5-10)}$ の結果と同様に,「プラン」と「実行」の間に有意な高い相関が認められ,「プラン」が適切であれば高得点につながることが再検証された。

基礎電気回路問題に対する解答能力の差は,直接的な解答過程においては,計画と実行の過程において現れやすいことが明らかになった。また,太田ら 5-10)の文系学生のみを対象とした実験とは異なり,解答能力の差は,図 5-3 と図 5-4 に示すように,間接的にしか解答過程に関わらない「結果の予想」,「自身の解答の確信度」の得点においても現れた。

問題解決は、問題の難易度と自分の能力を比較し、問題を理解し、うまく解けるよう方

略を考え、解決までの道筋を立て、これを実行することであり、また、これらの解決行動がうまくいっているかをモニターし、コントロールすることがメタ認知と考えることができる。うまく解けるよう方略を考え、解決までの道筋を立て、これを実行するための過程をモニター、コントロールすることがメタ認知の機能と考えることが可能で、図 5-4、図 5-5 に示されているように、非専門課程下位群→非専門課程上位群→専門課程群で特にプランと実行の得点が有意に増加したことから、専門課程群の学生の基礎電気回路問題に対するメタ認知能力、特にプラン過程からその実行過程をモニター、コントロールする能力が高いことが推察される。

Glasser ⁵⁻¹²⁾ によって、専門知識を有し問題解決に熟達した者は、適切に自身の既存知識を問題と照合しながら問題解決過程をモニターし、問題解決の結果を正しく予想できることが示されている。岡田 ⁵⁻¹¹⁾ は、成績上位になるほど正しく解けたかどうかの評価が正確になる点を明らかにし、自身の解答プロセスをモニター、コントロールし、自身の問題解決過程を自覚することは、問題解決能力の習得に必要不可欠であり、メタ認知の高さと深い関わりがあることを指摘した。そこで、正しく問題を解けたかどうかの確信度評価もメタ認知能力に関わりが深いと考えた。

太田ら ⁵⁻¹⁰⁾ の研究では、非専門課程の学生を得点上位群と下位群に分類できたものの、メタ認知能力の差が小さいため、「プラン」「実行」のみにしか差が現れず、「結果の予想」「自身の解答に対する確信度」の得点には差が現れなかったのではないかと考えた。そこで、本章では、非専門課程の学生群に加えて電気工学を専攻する専門課程の学生群を加えて、これらの点を検証した。

「結果の予想」「問題理解」「プラン」「実行」「自身の解答に対する確信度」の得点を比較することによって、図 5-4 と図 5-5 から、専門課程群の学生群と非専門課程の学生群との間には、「プラン」「実行」のみではなく、「結果の予想」「自身の解答に対する確信度」に統計的な有意差が認められた。また表 5-1 の「プラン」と「結果の予想」、「プラン」と「自身の解答に対する確信度」、「実行」と「結果の予想」、「実行」と「自身の解答に対する確信度」、「実行」と「結果の予想」、「実行」と「自身の解答に対する確信度」は、「プラン」「実行」の適切さを表す有効な項目であると考えられる。すなわち本章の結果から、メタ認知能力の差が大きくなり、得点能力に差があればあるほど、「プラン」「実行」のみではなく、「結果の予想」「自身の解答に対する確信度」に顕著な差が出現することが検証された。メタ認知とは、自身の認知活動に関する知識とも考えられており、「結果の予想」「自身の解

答に対する確信度」はまさに自身の認知活動に関する知識を表しており、メタ認知能力を評価する上で、「結果の予想」「自身の解答に対する確信度」は重要な評価項目となることが明らかになった。

(1)予測 (2)理解 (3)プラン (5)結果の評価 (4)実行 0.778** 0.237 0.687** 0.745** (1)予測 0.209 0.211 (2)理解 0.096 0.811** 0.676** (3)プラン 0.830** (4)実行 (5)結果の評価

表 5-1 各段階での得点の相関行列

**:*p*<0.01

5.5 まとめ

本章では、基礎電気回路問題解決の各過程におけるメタ認知の役割、特にメタ認知能力の高さと「結果の予想」「自身の解答に対する確信度」の得点の高さの関係を検証した。問題1から5の解決過程をワークシートに設定した「結果の予想」「問題理解」「プラン」「実行」「自身の解答に対する確信度」の得点に基づいて非専門課程成績上位群、非専門課程成績下位群、専門課程群の得点を比較した。その結果、非専門課程成績上位群、非専門課程成績下位群、専門課程群で、問題解決過程の「プラン」と「実行」の過程で得点差がみられ、メタ認知の中でもプランが問題解決に影響することが示された。さらには、仮定したとおり問題解決能力が高くなるにつれて、「結果の予想」「自身の解答に対する確信度」の得点が有意に高くなることが検証され、メタ認知の機能として、「結果の予想」「自身の解答に対する確信度」の

微分・積分問題,数列・極限問題等をいかに解くかが認知科学の側面から提案されているが ⁵⁻¹³⁾,ここではこのような数学問題解法におけるメタ認知の役割については全く検討されていない。今後の課題としてこれらのタイプの問題おけるメタ認知の役割についても検証しながら、メタ認知の考え方を取り入れた数学、物理(含む、基礎電気回路)などの科学の問題の効率的な学習法を提案していく必要がある。

5.6 参考文献

- 5-1) Flavell, J.H. (1976). *Metacognitive aspects of problem solving*. In Resnick, L. (Ed.). *The nature of intelligence*. Hillsdate, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. (pp.231-235).
- 5-2) Flavell, L.J. (1979). *Metacognition and cognitive monitorion, A new area of cognitive-developmental inquiry.* American Psychologist. (Vol.34, pp.906-911).
- 5-3) Brown, A. L. (1987). *Metacognition, executive control, self regulation, and other more mysterious mechanisms, motivation, and understanding.* LEA. (pp.65-116).
- 5-4)岡本真彦:算数文章題の解決におけるメタ認知の研究,風間書房,1999.
- 5-5)多鹿秀継:子どもの算数問題解決におけるメタ認知の役割,神戸親和女子大学研究論叢, Vol.41,pp.127-136,2008.
- 5-6) Garofalo, J., Lester, F. K. (1985). *Metacognition, cognitive monitoring, and mathematical performance*. Journal of Research in Mathematical Education. (Vol.16, pp.163-176).
- 5-7) Paige, J.M., Simon, H.A. (1966). *Cognitive process in solving algebra word problem*. In Kleinmunts, B. (ed.). *Problem solving: research, methods, and theory*. NY: John Wiley & Sons. (pp.51-119).
- 5-8) Rosenthal, D.J.A., Resnick, L.B. (1974). *Children's solution processes in arithmetic word problems*. Journal of Educational Psychology. (Vol.66, pp.817-825).
- 5-9) Lawanto, O. (2012). The use of enhanced guided notes in an electronic circuit class: An explora-trory study. IEEE Trans. on Education. (Vol.55, No.1, pp.16-21).
- 5-10)太田幸雄,早見武人,村田厚生:電気回路基礎問題の解答プロセスにおけるメタ認知の重要性,電気学会論文誌 A, Vol.132,No.12, pp.1-2, 2011.
- 5-11)岡田猛:問題解決過程の評価に関する発達的研究,教育心理学研究,Vol.35, pp.49-56, 1987.
- 5-12) Glasser, R. (1988). *Cognitive science and education*. International Social Science Journal. (Vol.40, pp.21-44).
- 5-13) Lakoff, G., Nuñez, R. (2001). Where mathematics come from: How the embodied mind brings mathematics into bein. Basic Books.

第6章 結論

6.1 本研究で得られた成果

本研究では、これまで、幼児や小学生などの低年齢の子どもを対象として研究されていた問題解決過程のメタ認知の研究に対して、大学生等の基礎科学教育にも適用すれば学習の効率性向上を図れるとの考えを導入し、メタ認知過程の「結果予測」・「理解」・「プラン」・「実行」・「確信度評価」モデルを提案し、これにより、順列・組合せ、及び、電気回路基礎問題の解法過程の分析を行った。

本研究で提案し、メタ認知過程の分析に使用した評価モデルを図 6-1 に示す。

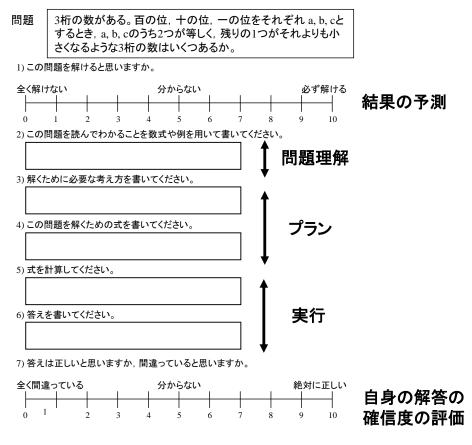


図 6-1 提案した評価モデル

この評価モデルによって、問題解決過程の分析を行った結果、得られた成果を整理すると次の通りである。

(1) 第3章で示した、順列・組合せ問題におけるメタ認知の解決プロセスの分析では、基礎的な問題による確認テストでの総得点を、応用問題の総得点で分けた得点上位群と下位群とを使って比較したとき、得点に有意な差はなかった。すなわち、被験者によっては基礎知識を同じように習得したとしても、応用問題に対処できるか否かは、メタ認知能力の違いによるものと推認された。

また、解決過程の各段階を比較したとき、得点上位群と下位群との間では、解決過程の「プラン」→「実行」の段階で有意な差が認められた。また、得点上位群では、「理解」と「プラン」、「理解」と「実行」、「プラン」と「実行」の相関係数は顕著に高かった。これは、得点上位群では、「理解」から「プラン」、「実行」への一連のプロセスにおいて、メタ認知能力の高さによりプランを適切にモニターすることができ、その結果として適切にプランをコントロールできるためであり、メタ認知能力の高さによって得点能力の違いを説明できる可能性があるとの示唆を得られた。

「結果の予測」と「自身の解答に対する確信度」では、得点上位群と下位群との間に差はなかったが、本研究での被験者と、それよりも更に高い理解力を有する被験者との間で比較すれば、メタ認知能力の差異によって、「問題の理解」・「プラン」・「実行」の各段階だけでなく、「結果の予測」と「自身の解答に対する確信度」の間に有意な差が認められる可能性があると推認することができた。

(2) 第4章で示した、電気回路基礎問題の解答プロセスにおけるメタ認知の分析では、電気回路に関する基礎知識をほとんど有さない学生を対象として、問題解決のための各段階におけるメタ認知の重要性を検証した。その結果、電気回路基礎が苦手な人に対しても効率的に学習させるための基礎データを得た。

電気回路基礎問題の各解答段階を検証すると、「問題理解」の段階での得点差は、得点上位群と下位群との間での差はみられなかったが、「プラン」と「実行」の段階では、差が認められた。また、得点上位群と下位群ともに「プラン」と「実行」の段階の得点に有意な相関が認められた。この結果は、第3章に述べた「順列・組合せ問題におけるメタ認知」においても同様の結果が得られている。

これらの結果から得られた知見として、問題の解答には適切なプランが必須であり、メタ認知の中でもプランがより重要な役割を担っていることが示唆されている。さらに、得点上位群と下位群とを比較したとき、得点上位群ではプランと実行段階の得点の相関が高い値を示していて、これが、得点上位群のメタ認知能力の高さを示しているものと推認で

きた。

電気回路基礎問題の内容と直接には関係しない項目である「結果の予測」と「自身の解答に対する確信度」については、得点上位群と下位群との間で有意な差は認められなかった。メタ認知には結果を予測する能力も含まれているところから、得点の差があると考えられるが、原因として、初めて見るような問題では、読んだ段階では自信を持つことができず、解答を終えた後でも、自分の解答に自信を持てないためであろうと推測し、回収したワークシートを点検したところ、実際に解答できていなくて、予測を低く見ているもの、または、解答できているにも関わらず、予測を低くみているものが多く、自身の解答に対して自信を持てないためであると推認できた。この結論は「第3章の順列・組合せ問題の解答プロセスにおけるメタ認知」でも同じ傾向が見られている。これは、メタ認知能力の大きな差がある被験者を対象として実験をすれば、大きな差として現れるものと考えた。

(3) 第5章で示した、電気回路基礎問題の解答プロセスにおけるメタ認知では、非専門課程と専門課程の学生のメタ認知過程の比較を行い、各段階でのメタ認知について、特に、メタ認知能力の高さと、「結果の予測」と「自身の解答の確信度」の得点の高さの関係を検証した。この検証実験では、ほとんど知識を有さない経済系の短期大学生と電気回路基礎の知識を有する大学・工学部電気工学科の学生を被験者として、問題解答における「結果の予測」、「問題理解」、「プラン」、「実行」、「自身の解答に対する確信度」の得点に基づいて非専門課程上位群、非専門課程下位群、専門課程群の得点を比較した。

その結果、上記の(1)(2)で予測した通り、問題解決能力が高くなるにつれて「結果の予測」、「自身の得点に対する確信度」の得点が有意に高くなることが確かめられた。これらの結果から、メタ認知の機能として、「結果の予測」、「自身の解答に対する確信度」が重要な働きをしているとの仮説が正しいことが確認できた。

6.2 本研究の効率的な学習法への応用

本研究で得られた知見として、問題理解から解答のためのプランを行うとき、プランに対して適切にモニタリングして解答過程をコントロールすることにより、得点が向上することが判明した。さらに、問題の解答を行う前の「結果の予測」、解き終わった後の「自身の解答に対する確信度」がメタ認知能力の高さに影響を受けることから、適切なプランを立てられることと共に、モニタリングとコントロールに関わるメタ認知を活性化するための学習が重要であることが判明した。すなわち、例えば、「理解でつまずいた時」には、「最

初へ戻る」、その結果「理解ができた」となる。次いで「プランを立てる」がそのとき、適切なプランが立てられないときには、問題の理解が不十分であることになるので、再度、理解に戻る。このように各段階を確実に理解できるようになるまで繰り返すことにより、実行し、解答に至るための手順(プラン)を考えることができるようになる。このように、理解ができるまで、繰り返すことにより、メタ認知機能が活性化され、その結果として問題解決能力が高まる。図 6-2 にメタ認知を活性化するための学習手順を示す。

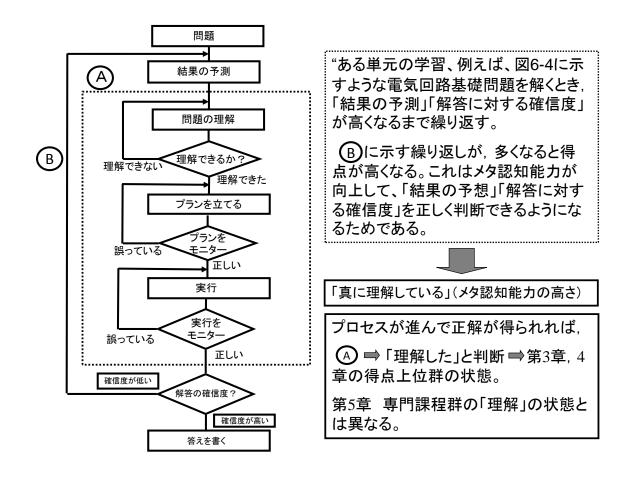


図 6-2 メタ認知を活性化するための学習手順

ここで、従来の教育法では、教師が説明して、その結果、「判ったか?」となり、その結果、「はい判りました」で終わらせてしまっていることが多い。さらに、その結果は点数だけで「理解力」を評価している。しかし、「問題を解ける」ためには、解けるか否かの「予測」と、問題が正しく解けているとの「確信度」が高くなる程、正しく問題を解けている

可能性が高いことになる。

このように、問題を解くとき、「結果の予測」と「解答の確信度」が高くなったとき、そのとき、初めて「真に理解している」と判断すべきである。すなわち、「解答できるか」の「予測」と、「解答できたか」の「評価」が正しくできることが重要であり、これがメタ認知能力の高さでもある。

このように、「予測」と「評価」を正しくできるようになることが、「メタ認知能力」が 向上しているということであり、このようにメタ認知能力を向上させることは、他の単元 の学習にも生きてくると考える。以上のことを図 6-3 に示す。

次の図 6-3 は、図 6-2 に示した (A) の枠組みと (E) の枠組みと比較したものである。

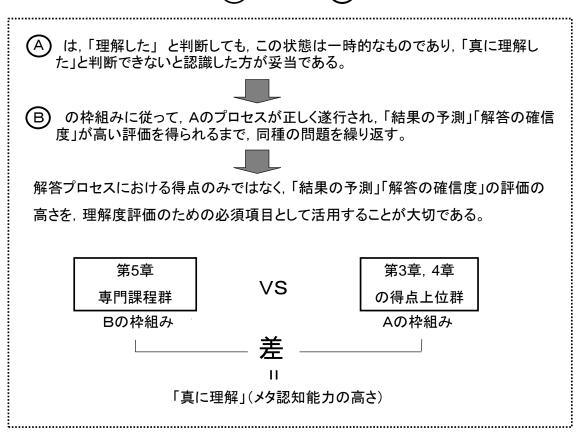


図 6-3 真の理解とは

この図 6-3 に示すように、B の枠組みでの理解が、「真に理解した」と判断できるものである。

なお、メタ認知を活性化させるためには、問題の求めるべきものを明確に示すことが重

要である。教育の場においては、一通りの説明ではなく、問題解答のための手本を示し、 解答のためのプロセスを自分のものにできるように、繰り返し練習させることが効果的で ある。そして、理解したと考えても、それが本当に理解できたかを省察し、その理解がも し誤っていれば修正することが大切である。

なお、教師が直接に教える他に、学習者が相互に教えあう相互教授は「教えるためには理解しなくてはならない」との心的効果があり、教える側のメタ認知が活性化するため、本人の理解にとって有効である。このような手法を教育に取り入れることは、理解を確実なものとするためにも有効である。

このように、理解するための様々なプロセスを経た結果、問題の解答にあたって、学習者が「解けそうだ」という感覚を持てるようになる。そして、解答後には「解けた可能性が高い」と思うようになる。メタ認知を活性化する学習法とは、自身の認知活動に関する知識を表していて、メタ認知能力が高いということは、このように「解けた可能性が高い」と思えるようになることである。そのためには、理解できるまで元に戻って繰り返すことであり、その結果として、「問題を解ける」との予測と、「問題を解けた」との確信度が向上する。そして、そのとき初めて「真に理解した」と言えるのである。

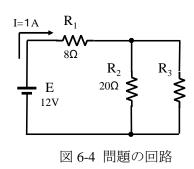
次にメタ認知に留意した具体的な学習法の一例を挙げる。

まず、問題理解のためには、メタ認知を活性化しやすくするため、求めるべきものを最初に示す。これにより、理解とモニタリングが働きやすくなり、問題の理解に続いて、解答のためのプランを立てやすくなる。これは、問題文を読んで、何が求めるべきものであるかを内的な表象へと変換してメタ認知を働きやすくするために重要である。

この方法による設問の一例を示す。

設問の例として図 6-4 に示すような電気回路基礎問題を考える。

問題 図 6-4 に示す回路において,抵抗 R_3 を求めよ。ただし、電源電圧 E=12 [V],抵抗 R_1 (=8 [Ω]) に流れている電流 I=1 [A] とする。



このときメタ認知をより活性化するためには、問題解決のための目標を明確に、かつ、判りやすくすることが重要である。

このような考えに基づき、例えば、図 6-4 に示した回路図を図 6-5 に示すように縦に書き替えるとプランを立てやすくなる。このようにすると、回路の電圧配分が、人間の持つ感覚、これもメタ認知であるが、「上が高い」、「下が低い」と一致し、電圧配分を考えやすくなることを学ばせる。

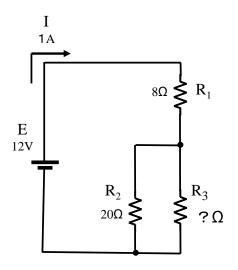


図 6-5 縦に書きなおした問題の図

次にプランを立てるためにはオームの法則の適用が必要であるが、このときもモニタリングが必要である。すなわち、問題文の中から必要な情報を選択し、これを関係付けて式を立てるという一連の問題解決のためのプランがうまくいっているか否かをモニターし、これをコントロールするというメタ認知機能を働かせることが必要である。このため、も

し判らないときには、抵抗と電流、電圧の関係であるからオームの法則で解けることを思い起こさせるために、何が判らないのかを理解させる。次に、メタ認知を生起するために、電圧配分を求める式を思い起こすことを学ばせる。このとき、この考えかたで良いか、誤っていないかをモニターしていくことも重要であることを学ばせる。実行では、これらの式の計算が正しいか否かをモニターして、計算させることが重要である。

このような順序で考えると、電気回路基礎問題では「電圧の配分」を考えれば解答に至ることを学べ、問題の解決が単純化されることを学習させれば良いことになる。

解答にあたっての電圧配分の例を図 6-6 に示す。

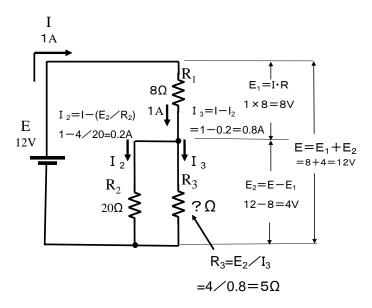


図 6-6 電圧配分の例

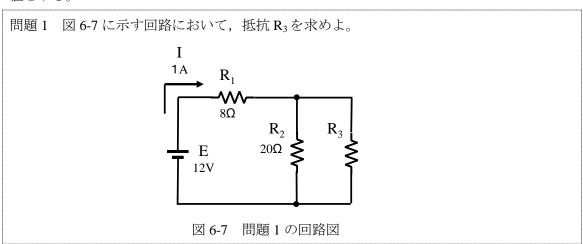
電気回路基礎問題では、基礎知識としてオームの法則を覚えさせることが基本である。これは、最も基本的な基礎知識であるから、水の流れ等の例を示して体感的に確実に理解させることが重要である。また、メタ認知を活性化するための知識として、電源電圧の正極「+」が上側に来て、負極「ー」、すなわち、多くの場合、0 [V] が下側にくるように書くことを覚えさせる。次にプランとして電圧配分を考え、これを求めるために、オームの法則をいかに適用していくかを考えさせる。ここで「判らない」ときには、再度、オームの法則と抵抗回路について理解させる必要がある。また、この回路にオームの法則を適用するとき、適用の誤りがないか、これで良いのかを適宜モニターすることを学習させる。このためには、電圧配分の図からモニタリングして、矛盾点がないかを考えさせて、正し

いと確信することができるまで理解を深めさせる必要がある。

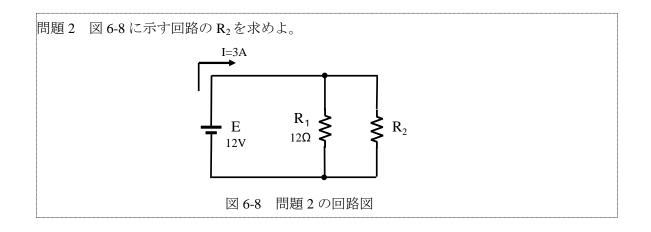
ここで「判らない」ときには、再度、「どこが判らない」か考えながら学習をさせる。また、類似の問題から理解をさせることも必要である。このように、判らないことがあったときには、判るまで繰り返し、「完全に理解できた」と思えるようになるまで繰り返すことにより真に理解をさせることができる。

以上に述べたように、電気回路基礎問題を例に、「理解できた」と認識できるように教育 するための方法を実際の問題を例に説明する。なお、ここでは、一つの問題を示している が、類似問題を解かせることにより、さらに理解が深まる。

なお,以下の問題 1~問題 4 では,回路の電圧,電流,抵抗の値は回路図に書かれている値とする。

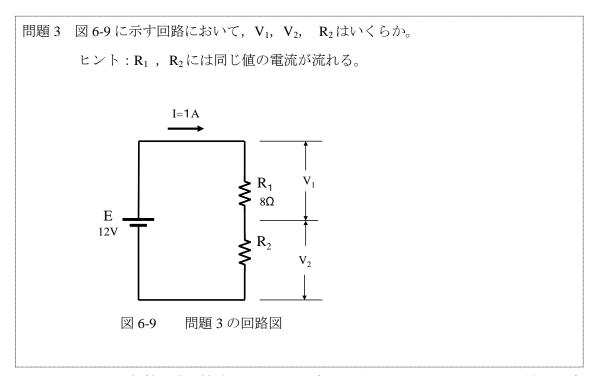


この問題 1 を解くことが難しいと「予測」した場合でも、一通りは解いてみる。その結果、「解答の確信度」が低く、答も誤っていたとする。このときは、次の図 6-8 に示すような、一つ前の易しい問題に戻る。



この問題 2 では、問題 1 にあった直列抵抗 R_1 がないため、この回路の並列抵抗 R_1 、 R_2 は電圧降下が等しく、電源電圧がそのまま加わっている。したがって、回路の全電流 I=3A から、 R_1 の電流を差し引けば R_2 の電流が求まる。すなわち、回路の全電流 I=3A が R_1 、 R_2 に分流することが判るはずである。

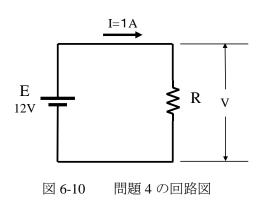
これを解くことができるかの「予測」と「解答の確信度」が低く、答えが誤っている場合には、より基本的な問題である問題3に戻る。



この問題 3 は、抵抗の直列接続による分圧を求めるだけであり、 V_1 はオームの法則の適用でそのまま求まる。したがって、電源電圧 E=12V から V_1 を差し引くと V_2 が求まり、電流は回路図に書かれているので、抵抗 R_2 はオームの法則から単純に求められる。

この問題を解くことができるかの「予測」と「解答の確信度」が低く、答えが誤っている場合には、次に示すようにさらに基本的な問題である問題4に戻る。

問題 4 図 6-10 に示す回路において、抵抗 R の値はいくらか。また、抵抗 R の両端の電 E V はいくらか。



問題 4 は、電源 E と電流 I が判っていて、抵抗 R を求めるだけであり、単純にオームの 法則を適用すればよい問題である。

この問題を解くことができるかの「予測」と「解答の確信度」が低く、答えが誤っている場合には、オームの法則に戻り、電圧と電流、抵抗の関係を最初から学びなおすことが必要である。

以上に示したように、難しい問題を解くためには、易しい問題に戻り、そこでの理解を確実にして解けそうだと「予測」することができ、また、解けたとの「確信度」が高くなることが必要であり、このとき初めて「真に理解した」ということができるのである。

次に、メタ認知を引き出して活用させ、学習を効率的にするための教科書としての記述 例を示す。 問題 図 6-11 に示す回路において、抵抗 R_3 を求めよ。ただし、電源電圧 E=12 [V]、抵抗 R_1 (=8 $[\Omega])$ に流れている電流 I=1 [A] とする。

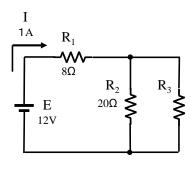


図 6-11 問題の回路

解答にあたっては、理解を確実にさせるために、順序に従って、以下に示すような小設 間の解答を解かせていく。

この例を以下に示す。但し、途中で判らなくなったときは、必ず前に戻って、理解を確実にしてから、次へ進むことが必須である。

1, 問題文と回路図を見て,自身の持っているスキルと照らし合わせ「解けそうか」,「解けそうにないか」を考える。(結果の予測)

(なお、解けそうもない場合には、一つ前の易しい問題に戻り、これを理解してから この問題に取り掛かる)

2, 問題文, 回路図から, 判っているものは何か? 判らないものは何かを書く。(問題理解)

回路の電圧 E=	単位
回路の全電流 I=	
抵抗 R ₁ =	単位
抵抗 R ₂ =	単位
抵抗 R ₃ =	単位

2, この問題を解くためにはどのような式が必要か。(プラン)

公式等の名称 公式 (文字式) を示せ

3, 回路の各抵抗に流れる電流はいくらか。問題文の図を判りやすく書き直すとどうなる

	か。(プラン)
	図を書き直すとどうなるか。書き直した図を下に示せ。
4	図の抵抗力) z トス彦に放工は、ノ と よ、 ((()
4,	図の抵抗 R1 による電圧降下はいくらか。(実行)
	抵抗 R1 に流れる電流 I はいくらか= 単位
	抵抗 R ₁ の値はいくらか= 単位
	これらの値を公式に当てはめると
	公式(名称)を適用する。
	その結果, R_1 による電圧降下 E_1 は,
	E ₁ = (文字式) = (数値代入) =
	と, 求まる。
5,	前記の結果から、 R_2 、 R_3 に加わる電圧はいくらか。(実行)
	電源電圧が 12 $[V]$ であり、抵抗 R_1 の電圧降下 E_1 がであるから、
	抵抗 R_3 に加わる電圧 E_2 は,
	E ₂ = (文字式) = (数値代入) = 単位
	と求まる。
	上記 3, で書いた回路図に、計算した電圧、電流を記入せよ。
6,	R_2 に流れる電流は、前記 5 、の結果と、 R_2 の抵抗値がであることから、計
	算できる。(実行)
	\mathbf{R}_2 に流れる電流 \mathbf{I}_2 =(文字式) = (数値代入) = 単位 単位
7,	この結果から、R ₃ に流れる電流 I ₃ は、回路の全電流 I から I ₂ を値になること

が判る。(実行)

計算式 I₃= (文字式) = (数値代入) = 水めた値・単位

8, この結果と,抵抗 R_3 に加わっている電圧が 5,で判かったので,抵抗 R_3 の値は計算できる。(実行)

抵抗 R₃= (文字式) = (数値代入) = , 単位 となる。

- 9、上記 5、で書いた回路図の電圧、電流、抵抗の値から、例えば、 R_2 の電流、 R_3 の電流を加えたとき、全電流 I と等しくなるか、また、 R_2 と R_3 の並列回路の電圧降下と、 R_1 の電圧降下を加えると電源電圧になるかを計算する。(実行のモニタ)
- 10,以上から,自分の解答に対して自信を持てるかを考える。これで,「解けている」との確信があれば,その解答は「解けた」と評価してよいことになる。このように思えない場合には,「問題理解」・「プラン」・「実行」の各段階での考えかた,計算の誤りなどがないかを点検する必要がある。この結果「解けた」と思えるようになったとき,正しい解答が得られているはずである。(自身の解答の確信度の評価)

なお、これらの計算を行うとき、回路図に計算した電流、電圧、抵抗の値を記入して、 その値に矛盾がないかをモニターすることにより、プランや計算の誤りがないかを確認で きることを学習させる。

以上に述べた問題の解答をするとき、単位の扱いや計算の順序などの基本的なスキル、 すなわち「メタ記憶」も大切な要素である。基本的なスキルのないままに、解答に臨むと、 かえって解答が難しくなり、誤ってしまう。また、解答のための方略の有効性の認知を低 めてしまうこともある。

(真に理解力を高める) 指導書,教科書,e-learning システムの具体化が必要であり、この作成についてはさらなる研究・開発を継続していきたい。

謝辞

本研究は、岡山大学大学院自然科学研究科村田厚生教授からの多大なるご指導ご鞭撻を賜ったことにより成し遂げられたもので、深い敬意と感謝を表します。本研究の遂行時、時として挫けそうになり「諦めようか」とも思ったことも多々ありましたが、村田厚生教授の研究にかける熱意と、多大なるご指導、ご助言、また励ましがあり、そして、辛抱強くここまで導いて下さった賜物として学位論文を完成させることができました。村田厚生教授には研究者の鑑として深く尊敬し重ねて深く感謝をいたします。

また、学位審査にあたっては、岡山大学大学院自然科学研究科有薗育生教授、岡山大学 宮崎茂次名誉教授には多大なるご指導とご鞭撻を賜りましたことを深く感謝いたします。