

実行機能とメタ認知は数学文章問題の解決を促すのか？

How Do Executive Function And Metacognition Facilitate Problem Solving?

菊野 雄一郎

(保育学科)

キーワード：実行機能、メタ認知、算数・数学、問題解決、問題の複雑度

1. はじめに

分かるために、我々にはどのような要因が必要なのだろうか。本研究では、数学の文章問題の理解に焦点を当て、問題解決における実行機能とメタ認知の役割について検討した。

まず、算数・数学問題解決でのメタ認知の役割に関する研究を概観する。上田 (2009)は、数学の学力が優れた子どもほどメタ認知が豊富であることを報告している。また、岡本 (1992) は問題解決能力の上位群と下位群の間にメタ認知に有意差があり、メタ認知が理解にとって有効であることを示唆している。重松ら(1990)もメタ認知が算数・数学の学習や問題解決に有効であり、初心者よりもベテランの教師ほど授業でメタ知識に関する言動が多いことを示唆している。

メタ認知を活性化することで問題解決も促進されるのであろうか。亀岡・神保(2013)は、小学4年生の算数問題で、子どものメタ認知の内省的記述として「ふきだし法」を用いている。その結果、ふきだし法によって、学習者の思考過程を可視化することができ、学習者だけでなく、教師のメタ認知的気づきを促すことも示唆している。また、吉野・島貫 (2013)は、小学校5年生の算数の問題でメタ認知的支援を含む介入授業を行っている。その結果、介入授業はメタ認知的活動の少ない子どもに促進的な効果があることを示唆している。吉野・島貫 (2015)は「頭の中の先生」としてメタ認知を子どもに理解させ、吹き出しを用いて授業を行った。その結果、介入授業により子どものメタ認知が伸び、問題解決も促進された。さらに、多鹿ほか(2014)は、小学校高学年の児童の算数問題でメタ認知方略として自己説明を用いている。その結果、適切な自己説明を行った子どもの問題解決の得点は高く、自己説明が有効なメタ認知の方略となることを示唆している。

次に、算数・数学問題での実行機能の役割についての研究を概観する。高井(2017)は、身体活動の増大が認知機能を改善し、算数の学業成績を改善したことから、実行機能が算数の問題解決に効果があることを示唆している。また、

室橋(2014)は、手指の操作や空間認識は算数に関連する動作を含み、算数ではこれらの認知的作業や動作を同時に行うことが要求され、実行機能が重要な役割を果たすことを示唆している。中道 (2013)は、小学生の算数問題解決で、ワーキングメモリやプランニング能力が文章題の遂行に有意に関連し、ワーキングメモリが小さい子どもほど問題文の誤読や計算ミスをする傾向が認められた。これらの研究結果は、実行機能の発達、算数数学の問題解決を促進することを示唆している。

本研究では、どのような場面でメタ認知や実行機能を使うのかに焦点を当て、検討する。具体的には、数学の文章問題の複雑さが、実行機能やメタ認知を活性化する変数となるのかを検討した。問題解決場面で、常に実行機能やメタ認知を活性化するのではなく、解決が困難な問題解決場面、例えば問題が複雑な場合に実行機能とメタ認知を機能させるのではないかと仮定される。そこで、本研究では、数学問題の文章の複雑性が実行機能がメタ認知の活性化にどのような効果を持つのかを検討した。なお、文章の複雑度については、数学の問題文を構成する文の数、問題文を構成する命題数、解答に至るステップ数の3つを指標として問題文を選んだ。

2. 方法

1) 調査協力者

調査協力者は大学生 69 名であった。内訳は、男子学生 23 名、女子学生 45 名、性別無記載 1 名であった。平均年齢は、19.55 歳で、年齢範囲は 18 歳～29 歳であった。

2) 研究計画

本研究は、数学問題の問題解決を従属変数、実行機能とメタ認知を独立変数として研究を実施した。研究計画として、数学問題 (3 タイプ) × 実行機能 (Shifting・Updating・Inhibition) × メタ認知 (モニタリング・コントロール・メタ認知的知識) の 3 要因で計画された。これらの要因の内、数学問題は参加者間要因であり、実行機能とメタ認知は参加者内要因であった。

3) 調査手続き

本調査では、調査協力者に調査用紙を渡し調査協力を依頼した。調査を依頼する際、実験者から調査協力者に、本研究の目的を説明し、調査協力者には調査を同意・拒否する権利があること、調査データは匿名で処理がなされ、研究者には守秘の義務があること、研究結果を社会にフィードバックのため学会誌等に公表することを説明し、調査参加を依頼した。さらに、調査は匿名であり個人が特定されないこと、成績等に影響しないこと、調査を拒否したい場合は調査用紙を提出する必要がないことなどを説明した。

4) 調査内容と調査尺度

調査項目は、調査内容説明文、フェイスシート、数学問題、実行機能、メタ認知の項目で構成されていた。説明文には、研究者倫理に基づいて、研究題目、研究の目的、研究データの使用される範囲、守秘の義務、社会的フィードバックについて記述した。また、フェイスシートでは、調査協力者の年齢、性別についての質問を行った。

数学問題はSPI練習問題から抽出された3つの問題から構成されていた¹⁾。問題①は濃度問題であった。問題文は、「30%の食塩水 400g から 100g の水を蒸発させると、何%の食塩水になりますか」であった。解答群は、「20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、いずれでもない」の選択肢から答えを選択させた。問題②は、代金清算であった。問題文は、「カバンを 8 回の分割払いで購入した。1 回目と 4 回目の支払いではそれぞれ全体の 1/5 を支払い、それ以外の支払いはすべて均等に支払うことにした。2 回目、3 回目と 5 回目以降の 1 回あたりの支払額は全体のどれだけにあたるか？」であった。解答群は、「1/2、1/3、1/5、1/7、1/9、1/10、1/11、いずれでもない」の選択肢から答を選択させた。問題③は損益算であった。問題文は、「原価に 60%の利益を見込んで、定価をつけた商品があったが、売れ残ってしまったので値引いた。値引き後の値段は、原価の 28%の利益を見込んでつけたとすると、値引きは定価の何%引きになるか。」であった。解答群は、「10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、いずれでもない」の選択肢から答えを選択するようになっていた。表 1 は、各問題の 3 つの複雑さを示したもので、問題①、問題②、問題③の順で複雑性が高くなることを示している。

表 1 各問題の複雑性の指標

	問題①	問題②	問題③
問題文を構成する文の数	1	2	5
問題文を構成する命題数	3	5	9
解答に至るステップの数	3	3	5

実行機能については、関口ら (2009)による実行機能を測定する質問紙を用いた。実行機能の質問紙は、メンタルセットの移行の機能である「Shifting」、情報の更新と監視の機能である「Updating」、優勢な反応の抑制の機能である「Inhibition」の3つの実行機能を測定する質問項目4項目、合計12項目で構成されていた。「Shifting」では、「問題があっても状況や相手に沿って対応できる」「新しい考え方をどんどん取り込んでいける」などの項目が含まれていた。「Updating」では、「複数のことを同時に進めていける」「複数の人からの相談をされても、同時進行で上手に対応できる」などの項目が含まれていた。

「Inhibition」では、「周りに人がいても集中できる」「騒音で注意が集中できないことがある」などの項目が含まれていた。回答は、「全くそうではない」から「全くそうである」の4件法で選択するようになっていた。

メタ認知については、阿部・井田(1977)の作成した成人用メタ認知の測定尺度を用いた。この尺度では、モニタリング、コントロール、メタ認知的知識のそれぞれ7項目の合計21項目で構成されていた。モニタリングでは「課題が終わった時点で、自分の立てた目標の達成度を評価している」や「課題や問題が解決した後、すべての選択肢を考慮したかどうか振り返っている」などの項目が含まれていた。コントロールでは、「理解できないときには、やり方を変えてみる」「自分の理解の助けになるようテキストの構成や目次を利用している」などの項目が含まれていた。メタ認知的知識については、「過去に上手くいったやり方を試みている」「自分は何が得意で何が不得意かをわかっている」などの項目が含まれていた。回答は、「全くそうではない」から「全くそうである」の4件法で答えを選択するようになっていた。

3. 結果

本研究のデータを分析するに際して、未回答データを排除して分析した。3名の未回答が見られたため、66名のデータを分析した。

1) 数学問題の正答者数

各問題の正答者数は、問題①で39名(正答率59.09%)、問題②で29名(正答率43.94%)、問題③で12名(正答率18.18%)であり、問題の複雑性を関数として正答数が増加した。これについて F 検定を行ったところ有意であった($F(2,130)=15.19, p<.05$)。Holm法による多重比較を行ったところ、問題③より問題②($p<.05$)、問題②より問題①($p<.05$)で正答数が有意に多いことが認められた。

2) 数学問題と実行機能

(1) 総合点と実行機能

各問題で選択した項目の正答数に基づいて、参加者をScore0群、Score1群、Score2群、Score3群に分類した。Score0群は、正答数が0個の22名が該当した。Score1群とは正答数が1個で、18名が該当した。Score2群は正答数が2個で、20名が該当した。Score3群とは正答数が3個で、6名が該当した。それぞれの得点群ごとの実行機能の平均と標準偏差を、Shifting、Updating、Inhibitionごとに示したのが表2である。

4(数学得点群)×3(実行機能)の分散分析を行った。数学得点群($F<1.00$)と実行機能($F<2.00$)の主効果および交互作用($F<1.00$)は有意でなかった。

表 2 数学問題の得点群と実行機能の平均と標準偏差

実行機能	得点			
	Score0 群	Score1 群	Score2 群	Score3 群
Shifting 機能	10.64	10.17	11.10	10.67
	<i>1.49</i>	<i>1.86</i>	<i>1.79</i>	<i>1.60</i>
Updating 機能	10.27	9.67	10.15	10.33
	<i>1.29</i>	<i>1.49</i>	<i>1.46</i>	<i>0.94</i>
Inhibition 機能	10.18	10.33	11.05	10.17
	<i>1.70</i>	<i>1.67</i>	<i>1.56</i>	<i>1.57</i>

Note. 上段は平均、下段（イタリック）は標準偏差を示す。

(2) 各問題の正答と実行機能

各問題における誤答者・正答者の実行機能の得点の平均値と標準偏差を示したのが表 3 である。問題ごとに 2（正誤）×3（実行機能）の分散分析を行った。

問題①では、実行機能の主効果で有意な傾向が見られた($F(2,128)=2.98$, $p<.10$)。多重比較を行ったところ、Updating 機能よりも Shifting 機能の得点が有意に高いことが明らかになった($p<.05$)。しかし、正誤答の主効果($F<2.0$)及び交互作用($F<1.00$)は有意でなかった。問題②では、その結果、正誤答($F<2.0$)と実行機能($F<1.50$)の主効果および交互作用($F<1.00$)は有意でなかった。問題③では、実行機能の主効果が有意な傾向が見られた($F(2,128)=2.39$, $p<.10$)。多重比較を行ったところ、Updating 機能よりも Shifting 機能の得点が有意に高いことが明らかになった($p<.05$)。しかし、正誤答の主効果($F<1.00$)及び交互作用($F<1.00$)は有意でなかった。

表 3 各問題での正誤者の実行機能の平均と標準偏差

	問題①		問題②		問題③	
	誤答群	正答群	誤答群	正答群	誤答群	正答群
Shifting 機能	10.57	11.00	10.59	10.41	10.41	11.00
	<i>1.73</i>	<i>1.73</i>	<i>1.65</i>	<i>1.62</i>	<i>1.66</i>	<i>1.78</i>
Updating 機能	10.06	10.17	10.86	10.35	10.00	10.19
	<i>1.42</i>	<i>1.28</i>	<i>1.36</i>	<i>1.51</i>	<i>1.41</i>	<i>1.36</i>
Inhibition 機能	10.39	10.92	10.24	10.08	10.38	10.63
	<i>1.67</i>	<i>1.66</i>	<i>1.85</i>	<i>1.65</i>	<i>1.76</i>	<i>1.54</i>

Note. 上段は平均、下段（イタリック）は標準偏差を示す。

(3) 問題の正答と実行機能との相関

表 4 は、各問題の正答数と実行機能との相関係数を示したものである。相関係数の有意性を調べたところ、有意な相関係数は認められなかった。

表 4 問題の正答と実行機能との相関係数

	問題①	問題②	問題③	全問題
Shifting 機能	0.169	-0.069	0.093	0.086
Updating 機能	0.064	-0.083	0.031	0.002
Inhibition 機能	0.076	0.095	0.119	0.132

Note. + $p < .10$ * $p < .05$ ** $p < .01$

3) 数学問題とメタ認知

(1) 総合点とメタ認知

数学問題の正答数に基づいて分類した Score0 群、Score1 群、Score2 群、Score3 群の Shifting、Updating、Inhibition の平均と標準偏差を、示したのが表 5 である。

これについて、4 (得点群) × 3 (メタ認知) の分散分析を行った。その結果、メタ認知の主効果が有意であった ($F(2,124)=65.96, p < .01$)。Holm 法による多重比較を行ったところ、モニタリングよりもコントロールの得点が有意に高かったことが認められた ($p < .05$)。また、モニタリングよりもメタ認知的知識の得点が有意に高かったことが認められた ($p < .05$)。

表 5 数学問題の得点群におけるメタ認知の平均と標準偏差

メタ認知	得点			
	Score0 群	Score1 群	Score2 群	Score3 群
モニタリング	17.55 <i>2.68</i>	16.44 <i>2.71</i>	16.50 <i>2.73</i>	19.50 <i>2.75</i>
コントロール	19.91 <i>2.21</i>	20.17 <i>1.89</i>	20.90 <i>1.79</i>	21.50 <i>2.14</i>
メタ認知的知識	21.09 <i>2.43</i>	21.11 <i>2.42</i>	21.15 <i>2.54</i>	21.50 <i>2.63</i>

Note. 上段は平均、下段 (イタリック) は標準偏差を示す。

また、数学得点群 × メタ認知の交互作用も有意であった ($F(6,124)=2.19, p < .05$)。数学問題の得点とメタ認知について、多重比較を行ったところ、Score0

群では、モニタリングよりもコントロール($p<.05$)、コントロールよりもメタ認知知識($p<.05$)の得点が有意に高かった。Score1群では、モニタリングよりもコントロール($p<.05$)とメタ認知的知識($p<.05$)の得点が有意に高かったが、コントロールとメタ認知的知識の得点間に有意な差は認められなかった。Score2群では、モニタリングよりもコントロール($p<.05$)とメタ認知的知識($p<.05$)の得点が有意に高かったが、コントロールとメタ認知的知識の得点間に有意な差は認められなかった。Score3群では、モニタリング・コントロール・メタ認知知識の間で有意な差は認められなかった。その他、数学得点の主効果は有意でなかった($F<2.0$)。

(2) 各問題の正誤とメタ認知との関連

各問題における誤答者・正答者の実行機能の得点の平均値と標準偏差を示したのが表6である。問題ごとに2(正誤答)×3(メタ認知)の分散分析を行った。

表6 各問題での正誤者のメタ認知の平均と標準偏差

	問題①		問題②		問題③	
	誤答群	正答群	誤答群	正答群	誤答群	正答群
モニタリング	18.23	20.81	17.76	16.59	16.78	18.58
	<i>2.83</i>	<i>2.39</i>	<i>2.47</i>	<i>3.03</i>	<i>2.87</i>	<i>2.29</i>
コントロール	18.28	21.04	20.17	20.62	20.19	21.5
	<i>3.4</i>	<i>2.52</i>	<i>2.24</i>	<i>1.89</i>	<i>1.92</i>	<i>2.36</i>
メタ認知的知識	19.13	21.22	21.59	20.81	20.83	22.58
	<i>2.76</i>	<i>2.28</i>	<i>2.59</i>	<i>2.33</i>	<i>2.29</i>	<i>2.78</i>

Note. 上段は平均、下段(イタリック)は標準偏差を示す。

問題①では、正誤答の主効果が有意で、メタ認知得点が誤答群よりも正答群で有意に高いことが認められた($F(1,64)=26.13, p<.01$)。しかし、メタ認知の主効果($F<1.50$)及び交互作用($F<1.00$)は有意でなかった。

問題②では、メタ認知の主効果が有意であった($F(1,64)=26.13, p<.01$)。多重比較を行ったところ、モニタリングよりもコントロールのメタ認知得点が有意に高く($p<.05$)、コントロールよりもメタ認知的知識の得点が有意に高い($p<.05$)ことが認められた。また、正誤答×メタ認知の交互作用も有意であった($F(2,128)=3.76, p<.05$)。多重比較を行ったところ、誤答群ではモニタリングとコントロールの間($p<.05$)、モニタリングとメタ認知的知識との間($p<.05$)、コントロールとメタ認知的知識の間($p<.05$)の差が有意であったが、正答群では、モニタリングとコントロールの間($p<.05$)、モニタリングとメタ認知的知識

識との間($p<.05$)が有意であったが、コントロールとメタ認知的知識の間の差は有意でなかった。なお、正誤答の主効果は有意でなかった($F<1.00$)。

問題③では、正誤答の主効果が有意で、誤答群よりも正答群のメタ認知得点が有意に高かったことが認められた($F(1,64)=6.77, p<.05$)。また、メタ認知の主効果も有意であった。多重比較を行ったところ、モニタリングとコントロールの間($p<.05$)、モニタリングとメタ認知的知識との間($p<.05$)、コントロールとメタ認知的知識の間($p<.05$)の差が有意であった。なお、正誤答×メタ認知の交互作用は有意でなかった($F<1.00$)。

(3) 数学問題の正答数とメタ認知との相関

表 7 は、数学問題の正答数とメタ認知との相関係数を示したものである。モニタリングについては、問題②($p<.10$)と問題③($p<.10$)で有意な傾向が認められた。コントロールについては、問題③($p<.10$)と全問題($p<.10$)との間の相関係数で有意な傾向が認められた。メタ認知的知識については、問題③の間で有意な相関係数が認められた。

表 7 問題の正答とメタ認知との相関係数

	問題①	問題②	問題③	全問題
モニタリング	0.067	-0.214+	0.249+	0.023
コントロール	0.196	0.104	0.246+	0.246+
メタ認知的知識	0.003	-0.160	0.274*	0.028

Note. + $p<.10$ * $p<.05$ ** $p<.01$

4) 実行機能とメタ認知

表 8 は、実行機能とメタ認知の相関係数を示したものである。Shifting 機能については、モニタリング($p<.01$)、コントロール($p<.01$)、メタ認知的知識($p<.01$)、総メタ認知($p<.01$)との間の相関係数は有意であった。Updating 機能については、モニタリング($p<.05$)、メタ認知的知識($p<.05$)、総メタ認知($p<.05$)との間の相関係数が有意であった。Inhibition 機能については、コントロール($p<.01$)、総メタ認知($p<.01$)との間の相関係数は有意であった。Inhibition 機能とメタ認知的知識の間の相関係数は有意な傾向が認められた($p<.01$)。総実行機能については、モニタリング($p<.01$)、コントロール($p<.01$)、メタ認知的知識($p<.01$)、総メタ認知($p<.01$)との間の相関係数は有意であった。

表 8 実行機能とメタ認知との相関係数

	モニタリング	コントロール	メタ認知的知識	総メタ認知
Shifting 機能	0.355**	0.353**	0.495**	0.489**
Updating 機能	0.255*	0.173	0.290*	0.297*
Inhibition 機能	0.178	0.415**	0.241+	0.323**
総実行機能	0.382**	0.465**	0.501**	0.542**

Note. + $p < .10$ * $p < .05$ ** $p < .01$

4. 考察

1) 問題の複雑さと実行機能とメタ認知

算数問題の複雑さが、実行機能やメタ認知を活性化するのだろうか。本研究では、メタ認知については、問題の複雑性が高くなるほど、正答群と誤答群のメタ認知の得点差が大きくなった。しかし、実行機能では、問題の複雑性が高くなった場合でも、正答群と誤答群の実行機能の得点差は大きくなることはなかった。したがって、本研究では、問題の複雑性がメタ認知の活性化を促すとの仮説は支持されたが、実行機能の活性化を促す仮説については支持されなかった。

それでは、メタ認知のどの機能が、数学問題の解決に影響しているのだろうか。算数問題の正答のなかった **Score0** 群では、メタ認知的知識よりもモニタリングよりもコントロールの得点は有意に低かった。**Score1** 群や **Score2** 群では、メタ認知的知識とコントロール得点が有意に高いが、モニタリング得点は有意に低かった。**Score3** 群では、メタ認知的知識、モニタリング、コントロールとも高い得点であった。これらの結果は、複雑性の低い数学問題の場合、メタ認知の中のコントロールの要因が問題解決に大きく影響することを示唆している。しかし、より複雑な問題を解決するためには、さらにモニタリング要因が影響することを示唆している。

2) 数学問題におけるメタ認知と実行機能

算数問題と実行機能との間で分散分析を行ったところ、有意な関係は認められなかった。また、算数問題の正答と実行機能の間の相関係数も有意でなかった。実行機能は数学問題の解決には全く影響を及ぼさないのだろうか。しかし、実行機能とメタ認知の相関係数を見ると、実行機能とメタ認知との相関係数は有意であった。また、実行機能とメタ認知の下位機能間で多くの有意な相関が認められた。これらのことから、実行機能は数学問題の解決に直接的に影響しないが、数学問題の解決に影響するメタ認知に作用し、間接的に影響していることが考えられる。

【注】

- 1) 問題は「SPI 練習問題非言語集中講座 ☆数学徹底解説☆2018」からの引用である。<http://spi練習問題.com/> (2019年1月10日)

【引用文献】

- 阿部真美子・井田政則(2010) 成人用メタ認知尺度の作成の試み
Metacognitive Awareness Inventory を用いて, 立正大学心理学研究年報,
1, 23-34
- 亀岡正睦・神保勇児(2013) 算数科におけるメタ認知形成方略としての「ふきだし法」に関する研究(1): プロセスレコードによるメタ認知形成過程の考察, 臨床心理学部研究報告, 5, 25-35
- 室橋春光(2014) 発達障害におけるワーキングメモリー特性を活かした学習支援, LD 研究, 23
- 中道圭人(2013) 児童における算数問題解決, ワーキングメモリー, およびプランニング能力の関連, 教科開発学論集, 1, 91-101
- 岡本真彦(1992) 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, 40, 81-88
- 関口理久子・紺田広明・中山皓平(2009) 実行機能質問紙(Executive Functions Questionnaire)作成の試み, 日本認知心理学会発表論文集, 141-141
- 重松敬一・勝美芳雄・上田喜彦 (1990) 数学教育におけるメタ認知の発達の研究: 「内なる教師」の発達の変容調査, 奈良教育大学紀要, 39, 41-57
- 多鹿秀継・中津檜男・加藤久恵・藤谷智子・堀田千絵・野崎浩成(2014) 児童の算数問題解決とメタ認知方略の評価, 神戸親和女子大学研究論叢, 47, 35-45
- 高井和夫(2017) 幼少年期の身体活動による実行機能への恩恵に関する研究動向, 生活科学研究, 39, 193-204
- 上田喜彦(2009) 数学教育におけるメタ認知研究: メタ認知に関する調査問題の開発(1), 天理大学学報, 60 47-68
- 吉野巖・島貫静(2013) 算数文章題解決におけるメタ認知的活動の測定とその促進, 認知心理学会発表論文集, 107
- 吉野巖・島貫静(2015) メタ認知能力を育成する試み(4): 小学校算数授業における「頭の中の先生」の意識づけと訓練の効果, 教育心理学会発表論文集, 158