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 ―

Study on the Role of Metacognition in Mathematical Problem Solving (Ⅲ)
― A Case Study of Metacognition and Problem Domain ―

加 藤 久 恵 (兵庫教育大学自然系教育講座)
Hisae KATO (Hyogo University of Teacher Education Department of Natural Science)

本稿の目的は, 以下の2点である。第1は, 数学的問題解決の成功に直接機能するような4 種類のメタ認知的活動に焦点を当て, 問題解決の成功/不成功とメタ認知との関わりを検討することによって, メタ認知が果たす役割を検討することである。第 2 は, 数学的問題解決におけるメタ認知的活動に対して, 問題領域の違いによる影響を調査・分析し, 問題領域を超えた能力としてのメタ認知の特徴を検討することである。

そのために本稿では, 刺激再生法を用いた調査を小学校4年生と6年生に対して行った。その結果, 以下の3点が示唆された。第1は, 6年生は4年生よりもメタ認知的活動を多く行っていたことである。第 2 は, メタ認知的活動の回数と問題解決得点との間には比較的強い正の相関がみられたことである。第3は, 異なる問題におけるメタ認知的活動の回数の間に, 正の相関の傾向がみられ, 共通するメタ認知的活動の事例が確認されたことである。

1. はじめに

近年, 数学教育学においては, 数学的問題解決の研究が活発になされており, 数学的問題解決の成功/不成功に関わる要因として, 知識・技能, ストラテジー, メタ認知などが同定されている(Schoenfeld, 1992)。この中で, 知識・技能やストラテジーについては, その分類や指導可能性, 指導法などが研究され, ある程度の研究成果があがっている(チャールズら, 1983 ; 横山, 1991)。

他方, メタ認知に関する研究は, 心理学の分野で台頭してきた研究領域であり, 記憶をコントロールするメタ記憶の研究をその発端とするものである(Flavell,1976)。それが数学教育学においては, 上記のように数学的問題解決の成功/不成功に関わる要因として注目され, メタ認知の分類などの理論的研究がなされ(Garofalo & Lester,1985 ; 岩合ら,1990 ; 重松,1994), メタ認知が数学的問題解決に及ぼす影響についての調査研究や, メタ認知能力の育成の実践的研究が試みられている(Silver, 1985 ; Schoenfeld, 1987 ; Lester,Garofalo & Kroll,1989)。

しかし, 数学教育学におけるメタ認知の研究には, 今日でもまだ多くの研究すべき課題が残されているといえる。その中でも筆者は特に, 次のような課題の研究が必要であると考え, 取り組んできた。

第 1 に, 数学的問題解決におけるメタ認知の調査・分析方法は, まだ十分に開発されているとは言い難い状況にある。したがって, メタ認知の調査・分析方法のさらなる改善が課題である。

第2に, 数学的問題解決において働くメタ認知の機能については, インタビュー形式での少人数の被験者に対する事例報告が中心であり, その様相や発達的変容についての実証的な調査・分析が十分には行われていない。また, 調査問題が少ない点も課題である。したがって, 数学的問題解決能力とメタ認知との関連を, 多くの学年において, 複数の問題を用いて調査・分析する必要がある。

そのような立場から筆者は, 刺激再生法を用いたメタ認知の調査の枠組みを構築し, 数学的問題解決こおけるメタ認知について調査・分析を行ってきた(加藤, 1998)。その研究に続いて本稿ではまず, これらのメタ認知の中でも特に問題解決の成功に直接機能するような 4 種類のメタ認知に焦点を当てて, 問題解決の成功/不成功とメタ認知との関わりを検討することによって, メタ認知が果たす役割をさらに詳しく検討する。

また, メタ認知能力は認知的活動をモニターしコントロールする力であり, 関数や平面図形といった問題

領域に依存する知識・技能とは違い，問題領域に依存しない部分を有する能力として，教育的期待が大きいといえる。たとえばEversonら(1997)は，大学生120人を対象としてメタ認知的技能が領域固有なものかどうか，調査・分析を行っている。その結果，メタ認知的活動の1つである知識モニタリング能力は，数学と言語の両領域にまたがって一般化していたと報告している(r=.49, p<.01)。しかし他の研究では，問題解決者は熟知した領域においては有効なメタ認知的活動を行うことができても，不慣れな領域においてはこれらのメタ認知的活動を行うことができない，という指摘もされている(Davidson, J. E. & Sternberg, R. J., 1998)。

このような研究状況を鑑み，本研究では，数学的問題解決におけるメタ認知的活動に対して，問題領域の違いによる影響を調査・分析し，問題領域を超えた能力としてのメタ認知の特徴を明らかにすることを目的とする。その結果，メタ認知能力が発達過渡期の子どもに対する，メタ認知能力の指導への示唆を導出することを目指している。それによって，ゆとりのある教育を目指した学習内容の精選という現在の社会の要請に対して，学習内容の枠を超えた能力の存在，その特徴，そして育成に関わる基礎的研究の一端を担おうとするものである。

なお，本研究では，FlavellやGarofalo, Lester，岩合や重松らの立場(岩合ら，1990;重松，1994などを参照)に立ち，メタ認知を，「自分の認知過程やその所産に関する知識と，自分の認知過程の同時並行的な調整と制御」と捉えた。そして，本研究における「数学的問題解決」は，「数学的に仕上げられたノンルーチンな問題を既有の知識・技能，ストラテジー，メタ認知などを活用することによって数学的に解決すること」と捉えた。したがって，本研究で対象とする数学的問題解決には，単なる事実の想起，公式の適用，四則演算の単純な適用による問題解決は含めない。また，現実世界の問題解決や問題設定も，ここでの数学的問題解決には含めないものとする。なお，本稿での調査対象は，メタ認知能力の発達的側面も検討するために，小学校中学年から高学年にかけての児童とした。したがって問題領域は，小学校での学習内容を基礎として「数と計算」，「量と測定」，「図形」，「数量関係」と捉える。

さらに本研究では，メタ認知的活動の中でも特に，問題解決の成功に直接機能するような4種類のメタ認知に焦点を当てて，問題解決の成功／不成功とメタ認知的活動との関わりを検討することによって，メタ認知の機能をさらに詳しく検討してきた。この4種類のメタ認知的活動とは，解決をうまく進めるために，新たな活動を行うことを決定する『工夫』のメタ認知的活動，自分の活動が横道にそれないように監視する『注意』のメタ認知的活動，直前に行った活動を見直したり，検証段階うつることを決定する『確認』のメタ認知的活動，これまでの活動を反省し，その活動を中断して他の活動を考える『修正』のメタ認知的活動である(加藤，1999)。

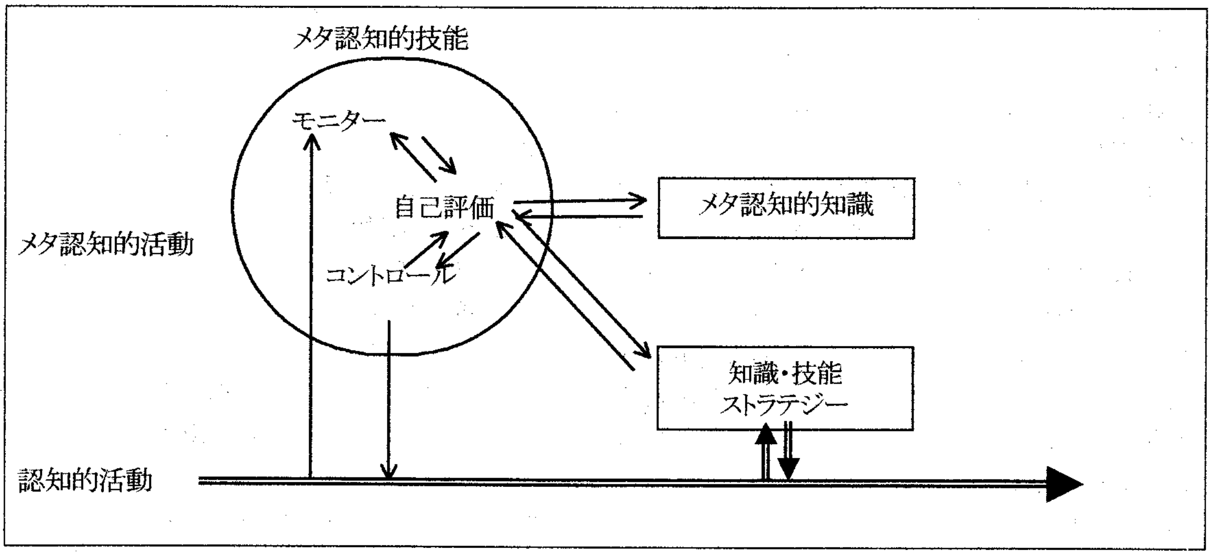


図1 数学的問題解決における認知とメタ認知との関係

2. メタ認知と問題領域

本研究では，重松の研究(1994)を基礎として，数学的問題解決における認知とメタ認知との関係を図1のように捉えている。この図1では，認知的活動を二重線の矢印で表し，メタ認知的活動を楕円とそれに関わる実線の矢印とで表している。そして，認知的活動の過程では知識・技能やストラテジーを参照し，メタ認知的活動の過程では知識・技能やストラテジーとともにメタ認知的知識も参照する。このように図化したのは，重松(1994)において，認知的活動と直接的に関わっているのはメタ認知的技能であり，メタ認知的知識はメタ認知的技能によって認知的活動に活用されることが示唆されていることを考慮して，「既有の知識・技能やストラテジー，メタ認知的知識を活用する能力」としてメタ認知を捉えたからである。

この捉え方に立つと，知識・技能やメタ認知的知識の一部分は領域に依存するものと捉えていることになる。例えば，関数にかかわる知識・技能やメタ認知的知識が豊富だからといって，空間図形にかかわるそれも豊富だということはいえない。その一方で，メタ認知的技能はその認知的活動をモニターし自己評価し制御する能力であるから，その人の基礎的な能力としてどの領域でもある程度は活用可能な側面を有しているといえる。つまり，メタ認知は，問題領域の影響を強く受ける側面と，それをほとんど受けない側面とをあわせもった能力であると捉える立場である。

よって本研究は，数学的問題解決におけるメタ認知的活動に対して，異なる問題領域が与える影響を調査・分析し，問題領域を超えた能力としてのメタ認知の特徴を明らかにすることを目的とする。そのために本稿では，これまで行ってきた「メタ認知の調査の枠組み」(表1)を用いて，小学校4年生と6年生の問題解決過程とそこで働くメタ認知的活動を同定し，そこに問題領域という視点を加えて事例を分析・検討することを目的とする。

3. メタ認知の調査・分析方法

メタ認知の調査においては，数学的問題解決過程で働くメタ認知的活動を正確に把握することが求められる。しかし，メタ認知的活動は児童の内的活動が中心であり，自然な数学的問題解決過程において言語化され，記述される可能性が少ないため，調査に困難な点がある(Garner,1988)。

そこで加藤(1999)では，先行研究を手がかりにメタ認知の調査・分析方法を検討し，「メタ認知の調査の枠組み」(表1)を構築した。この枠組みの特徴は，第1に岡本(1998)の研究を基礎にして，刺激再生法を用いた刺激再生質問紙を開発した点である。そして第2に，数学的問題解決に有効に働く4種類のメタ認知的活動(『工夫』『注意』『確認』『修正』)に焦点化した質問項目になっていることである。この「メタ認知の調査の枠組み」(表1)を用いて，メタ認知的活動と問題解決活動の調査・分析を行う。

表1 メタ認知の調査の枠組み

1. 調査方法
(1-1) 自由記述形式のワークシートで問題を解かせる。
(1-2) 刺激再生質問紙に記入させる。
2. 分析方法
(2-1) 数学的問題解決過程を得点化する。
(2-2) 4種類のメタ認知的活動を同定し，カウントする。

調査方法

ワークシートを用いて問題解決を行わせた後，問題解決過程で働かせたメタ認知的活動を質問紙に記入させるものである。ペーパーテスト形式で行い，制限時間は設けなかった。

ワークシートの構成と刺激再生質問紙の質問項目は，図1と図2のとおりである。調査用紙には，自由記述形式で問題を解決するワークシートの部分と，その問題解決過程において働いたメタ認知についての質問紙の部分を設け，ワークシートは左側に，質問紙は右側に配置して，1枚の調査用紙にした。

問題解決の得点化の方法

ワークシートに書かれた児童の解答は，次のような方法で得点化する。本研究では，問題解決の段階をPolya(ポリア,1954)の問題解決の4段階「理解・計画・実行・検討」で捉えている。そして，答えの正誤だけでなく，理解，計画，実行という段階ごとのできを考慮した得点化とし，この問題解決の各段階のできとメタ認知的活動の回数との関連について検討する必要がある。そのためにCharles,Lester & O'Daffer(1987)の得点化の方法を取り入れた。Charlesらは，問題解決行動を「問題の理解，解法の計画，解答」に分け，そのできを3段階で得点化している。この方法は，Charlesらが述べているように，問

題解決の結果だけでなく解決の各段階を考慮に入れており，さらに生徒の作業に点数を与えるものである。

この方法を取り入れて，問題解決の「理解・計画・実行」のそれぞれの段階に3つのレベルを設け，理解段階に0，1，2点，計画段階に0，1，2点，実行段階に0，1，2点を与えて，問題解決の段階に着目した得点化とした。なお，各問題を6点満点とした。

（問題文の提示）
（解答欄）

・やり直しをしたい人は ここにかいてください。
（解答欄）

図2 ワークシートの質問項目

（問題1について次の質問に答えてください）
1. 問いがわかりましたか？（はい，いいえ）
2. 問いを理解するときに工夫したり注意したことを書いてください。
3. やり直しをしましたか？（はい，いいえ）
どうしてはじめの解き方をやめたのですか？
4. 絵や図や表などをかきましたか？（はい，いいえ）
・その絵や図や表などを赤色で囲んでください。
・どうしてその絵や図や表などをかこうと思ったのですか？ 記号に○をつけてください。（いくつでもいいです）
ア 問いを理解するため，イ 解き方を考えるため，ウ 答えをだすため，エ 答えをたしかめるため，オ そのほか （ ）
・その絵や図や表などをかいたときに，工夫したり注意したことを書いてください。
5. 式をかきましたか？（はい，いいえ）
・その式をかいたときに工夫したり注意したことを書いてください。
6. どうしてその方法で解こうと思ったのですか？
解き方で工夫したり注意したことを書いてください。
7. たしかめをしましたか？（はい，いいえ）
・たしかめをした所を青色で囲んでください。
・いつたしかめをしたのですか？ 記号に○をつけてください。（いくつでもいいです）
ア 答えをだす前，イ 答えをだした後，ウ そのほか （ ）
・何をたしかめたのですか？ 記号に○をつけてください。（いくつでもいいです）
ア 問いがわかっているかどうか，イ 解き方が正しいかどうか，ウ 計算が正しいかどうか，エ そのほか （ ）
・たしかめをしたときに，工夫したり注意したことを書いてください。

図3 刺激再生質問紙の質問項目

メタ認知的活動の回数のカウントの方法

メタ認知的活動と判断される活動は，刺激再生質問紙における児童の記述の中で，4種類のメタ認知的活動（『工夫』『注意』『確認』『修正』）にあてはまる活動に関して記述された箇所である。なおメタ認知的活動は，調査用紙の右半分に設定している刺激再生質問紙の反応から判断するが，児童自身の報告のみに頼るのではなく，調査者がワークシートでその記述を確認する。特に，絵や図や表をかいたかどうか，問題解決活動を修正したかどうかなどは，ワークシートと刺激再生質問紙との整合性を確認することとした。

4. 調査の概要

(4-1) 調査目的

本稿では，表1の「メタ認知の調査の枠組み」を用いて，小学校4年生と6年生の問題解決過程とそこで働くメタ認知的活動，そして問題領域の影響を分析することである。特に，次の視点から考察する。

①4年生と6年生では，メタ認知に違いがあるか。

②メタ認知と問題解決の得点との間にどのような関連があるか。特に，メタ認知の種類やメタ認知が働いた問題解決の段階に着目して考察する。

③異なる領域の問題におけるメタ認知的活動に，どのような特徴があるか。

(4-2) 調査時期および対象

調査時期 ： 平成9年9月12日

調査対象 ： 小学校6年生67人，4年生57人

調査対象は，広島県内の公立小学校の児童である。対象とした小学校は新興住宅地の中に位置する。なお本論文は，加藤(1999)で分析したデータのうちの，公立小学校であるB小学校のデータを新たな観点から分析しなおしたものである。

(4-3) 調査問題

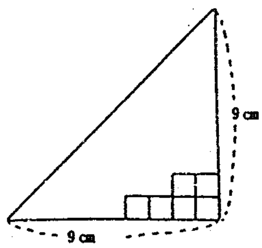
本稿での調査問題には，メタ認知的活動が多く生起することが推測される問題で，問題領域は「数と計算」と「図形」に関わる問題を各1問，さらに「数量関係」の問題2問の計4問とした。具体的には，図4のとおりである。

特に，問題1と問題2について，問題領域の違いとメタ認知的活動の特徴について検討する。なぜならば，この2つの問題には，次のような特徴があるからである。2つの問題の相違点は，問題領域の違いであり，問題1が群数列の和を求める問題，問題2が平面図形の敷き詰めに関する問題，ということである。一方，類似点として，両問題に図式[注1]を取り入れた。つまり，問題1の群数列をピラミッド型に図式化することによって，問題2の平面図形の問題で利用

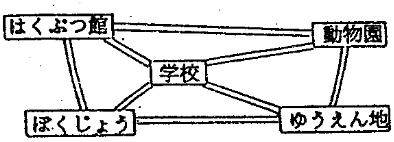
することが予測される図式の活用にかかわるメタ認知的活動と類似したメタ認知的活用が，問題 1 でも働くことが予測される。さらに，解決に用いられると考えられる計算も，類似したものにした。このように本調査問題は，異なる問題領域である2つの問題における，共通したメタ認知的活動の同定と分析を行うことを意図している。

問題1
右のように，1だん目は 1，2，1，2だん目は1,2,3,2,1というふうにならんでいる数が あります。10 だん目にならんでいる数をすべてたすと いくらになりますか。
1だん目　　　1，2，1
2だん目　　1，2，3，2，1
3だん目　1，2，3，4，3，2，1
4だん目 1，2，3，4，5，4，3，2，1
・・・・・　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

問題2
直角の りょうがわの へんの 長さが
9cm と9cm の直角三角形があります。
この直角三角形の中に，1 辺が 1cm の 正方形を 入れます。図のように，重ねたり 切ったり おったり はみだしたりしないで，できるだけたくさん 入れたいと 思います。何こ入りますか。



問題3 6年生用
学校で，遠足に行く けいかくを 立てています。見に行くところは，ぼくじょう，ゆうえん地，はくぶつ館，動物園で，地図は右の図のようになっています。まだ，まわり方が 決まっていません。学校から 出発して，4 つの場所の すべてに 1 回ずつ行って，と中には学校に一度もよらずに さいごに 学校へ帰ることにしました。4 つの場所を 見る まわり方は いろいろあります。まわり方を すべて 書いてください。



問題3 4年生用(略)

問題4 6年生用
1，2，3，4 のカードが，1まいずつあります。 この4まいの カードを ならべて，4 けたの数をつくりました。その数を見つけるヒントは 次の4つです。
『ヒント1』 その数の千の位のカードは 1 ではありません
『ヒント2　 その数の百の位のカードは 2 ではありません
『ヒント3』 その数の十の位のカードは 3 です
『ヒント4』 その数の一の位のカードは 4 ではありません
この4つのヒント すべてに あてはまる数は，いくつかあります。その 数を すべて 書いてください。

問題4 4年生用(略)

図 4 調査問題

5. 調査結果

(a) メタ認知，問題解決得点

(a-1) 小学校4年生と6年生において，メタ認知的活動の回数の平均値を算出し平均値の差の検定を行った結果，メタ認知的活動の回数において有意差がみられた。また，問題解決得点の平均値を算出し平均値の差の検定を行った結果，問題解決得点に関しても有意差がみられた。さらに，メタ認知的活動の回数と問題解決得点との間で，ピアソンの積率相関係数を算出した結果，正の相関がみられた(表2)。

表 2 調査結果の概略(学年)

		合計	問1	問2	問3	問4
6年	得点	15.0	4.1	3.3	4.0	3.6
	メタ	14.1	4.9	4.1	2.5	2.6
	相関	0.471	0.431	0.473	0.171	0.379
4年	得点	10.7	2.2	3.2	2.4	2.9
	メタ	8.5	2.6	2.9	1.6	1.3
	相関	0.474	0.666	0.244	0.364	0.390

得点…問題解決得点(点)
メタ…メタ認知的活動の回数(回)
相関…ピアソンの積率相関係数

(a-2) 学年ごとに，合計得点によって上位 25%を上位群，下位 25%を下位群とし，それ以外を中位群とした。各群において，メタ認知的活動の回数の平均値を算出し平均値の差の検定を行った結果，メタ認知的活動の回数において有意差がみられた。また，問題解決得点の平均値を算出し平均値の差の検定を行った結果，問題解決得点に関しても有意差がみられた。(表3)

表 3 調査結果の概略(群)

群	6年生				4年生			
	範囲	人数	得点 **	メタ *	範囲	人数	得点 **	メタ **
上	24－19	16／67	21.3	15.4	24－15	17／57	18.2	11.2
中	18－12	36／67	15.0	12.8	14－7	24／57	9.6	6.2
下	11－0	15／67	8.5	9.5	6－0	16／57	4.3	4.4

＊＊ $p<0.01$　　＊ $p<0.05$
範囲…群化を行った際の問題解決得点の範囲
得点…問題解決得点の平均値(点)
メタ…メタ認知的活動の回数の平均値(回)

(b) メタ認知と問題解決段階

(b-1) 小学校4年生と6年生の間で，問題解決段階

におけるメタ認知的活動の回数の平均値を算出し，平均値の差の検定を行った結果，表 4 に示した箇所で有意差がみられた。

表 4 問題解決段階ごとの平均値(学年)

学年	得点 **	メタ認知的活動の回数				
		合計 **	理解 **	計画 **	実行 **	検討
6	15.0	14.1	2.2	4.6	4.8	2.5
4	10.7	8.5	0.7	2.7	3.1	1.9

＊＊ p＜0.01　　＊ p＜0.05

(b-2) 小学校 4 年生と 6 年生において，(a-2)と同様に問題解決得点によって群化を行った。各群の間で，問題解決段階におけるメタ認知的活動の回数の平均値を算出し平均値の差の検定を行った結果，表 5 に示した箇所で有意差がみられた。

表 5 問題解決段階ごとの平均値(群)

群	6年生				4年生			
	理解	計画 **	実行	検討	理解	計画 **	実行 **	検討
上	2.8	5.4	5.7	3.1	1.1	4.2	5.1	2.1
中	2.1	5.0	4.6	2.4	0.5	2.5	2.7	1.8
下	1.7	2.8	4.3	2.2	0.6	1.4	1.8	1.9

＊＊ p＜0.01　　＊ p＜0.05

(c) メタ認知的活動の種類

(c-1) 小学校4年生と6年生において，メタ認知的活動の種類ごとで平均値を算出し，平均値の差の検定を行った(表 6)。その結果，『確認』のメタ認知的活動以外のメタ認知的活動に関して，小学校 4 年生と 6 年生の間で有意差がみられた。

表 6 メタ認知的活動の種類ごとの平均値(学年)

学年	得点 **	メタ認知 **	工夫 **	注意 **	確認	修正 **
6	15.0	14.1	7.5	1.6	2.2	2.8
4	10.7	8.5	4.4	0.7	1.7	1.7

＊＊ p＜0.01　　＊ p＜0.05

(c-2) 小学校 4 年生と 6 年生において，(a-2)と同様に問題解決得点によって群化を行った。各群で，メタ認知的活動の種類ごとの平均値を算出し平均値の差の検定を行った結果，『工夫』と『修正』のメタ認知的活動において有意差がみられた。(表 7)

表 7 メタ認知的活動の種類ごとの平均値(群)

群	6 年生				4 年生			
	工夫 *	注意	確認	修正 **	工夫 **	注意	確認	修正 *
上	9.1	1.6	2.3	4.1	6.8	0.9	1.9	2.8
中	7.6	1.7	2.3	2.6	4.0	0.4	1.5	1.5
下	5.8	1.4	1.8	1.9	2.4	0.9	1.6	0.9

＊＊ p＜0.01　　＊ p＜0.05

6. 考察

(6-1) メタ認知と学年

小学校4年生と6年生におけるメタ認知的活動の違いについて検討する。

まず，**(a-1)**で示したように(表 2)，小学校 4 年生と 6 年生における 4 問のメタ認知的活動の合計回数に関して，有意差が認められた($t = 5.2365$, df＝122, $p < 0.01$)。また，問題解決の合計得点に関しても有意差がみられた($t = 4.4578$, df＝108.2, $p < 0.01$)。これらのことから，小学校 6 年生は小学校 4 年生に比べて，メタ認知的活動を多く行い，問題解決得点も高いことが示唆される。次に，**(b-1)** で示したように(表 4)，小学校 4 年生と 6 年生における，理解・計画・実行段階でのメタ認知的活動の回数に関して，有意差がみられた。このことから，小学校 6 年生は 4 年生に比べて，理解・計画・実行段階において，多くのメタ認知的活動を行っていることが示唆される。さらに，**(c-1)** で示したように(表 6)，小学校 4 年生と 6 年生における，『工夫』『注意』『修正』のメタ認知的活動に関して，有意差がみられた。このことから，小学校 6 年生は 4 年生に比べて，『工夫』『注意』『修正』のメタ認知的活動を多く行っていることが示唆される。

以上のことから，小学校 6 年生は 4 年生に比べて，メタ認知的活動を多く行い問題解決得点も高いこと，そして特に，理解・計画・実行段階での，『工夫』『注意』『修正』のメタ認知的活動を多く行っていることが示唆された。他方，検討段階でのメタ認知的活動や，『確認』のメタ認知的活動については 4 年生と 6 年生で有意差が見られなかった。このことから，これらのメタ認知的活動は，小学校 4 年生から 6 年生にかけて十分には発達していないということが示唆される。本研究では『確認』のメタ認知を，「直前に行った活動を見直したり，検討段階へうつること」と捉えている。この活動を行うことによって，自分の解決過程の間違いに気づく可能性があるので，成功的な問題解決を行うためには重要な活動である。よって，検討段階でのメタ認知的活動や，『確認』のメタ認知的活動を

育成する方法についても，研究が必要であるといえる。

(6-2) メタ認知と問題解決得点

メタ認知的活動の回数と問題解決得点との関連について検討する。まず，前小節の分析(a-1) において(表 2)，メタ認知的活動の回数と問題解決得点との間で，ピアソンの積率相関係数を算出した。その結果，問題によっては問題解決得点とメタ認知的活動の回数との間の相関が高い問題や低い問題などがあったが，4 問を合計した問題解決得点とメタ認知的活動の回数との間には比較的強い正の相関がみられた。このことから，メタ認知的活動の回数と問題解決得点との間には，正の相関があることが示された。

上記の関連をさらに詳しく考察するために，問題解決得点によって上位群・中位群・下位群に分け分析を行った，**(a-2)**, **(b-2)**, **(c-2)** にもとづいて考察する。

まず 4 年生については，**(a-2)**で示したように(表 3)，4 年生の各群における 4 問のメタ認知的活動の合計回数に関して，有意差が認められた($F(2, 54) = 6.29$, $p < 0.01$)。また**(b-2)**で示したように(表 5)，計画・実行段階でのメタ認知的活動の回数に関して，有意差がみられたことである(計画段階は，$F(2, 54) = 7.32$, $p < 0.01$，実行段階は，$F(2, 54) = 11.35$, $p < 0.01$)。さらに**(c-2)**で示したように(表 7)，『工夫』『修正』のメタ認知的活動に関して，有意差がみられたことである(『工夫』は，$F(2, 54) = 6.76$, $p < 0.01$，『修正』は，$F(2, 54) = 4.59$, $p < 0.05$)。

これらのことから，小学校 4 年生において，問題解決得点の高い児童は，計画・実行段階での，『工夫』『修正』のメタ認知的活動を多く行っていることが示唆される。

次に，6 年生について考察する。**(a-2)**で示したように(表 3)，6 年生の各群における，4 問のメタ認知的活動の合計回数に関して，有意差が認められた($F(2, 64) = 5.498$, $p < 0.01$)。また**(b-2)**で示したように(表 5)，計画段階で有意差がみられた($F(2, 64) = 6.150$, $p < 0.01$)。さらに**(c-2)**で示したように(表 7)，『工夫』のメタ認知的活動に関して，有意差がみられ($F(2, 64) = 3.532$, $p < 0.05$)，『修正』のメタ認知的活動に関しても，有意差がみられた($F(2, 64) = 5.239$, $p < 0.01$)。

これらのことから，小学校 6 年生においても，問題解決得点の高い児童は，計画・実行段階での，『工夫』『修正』のメタ認知的活動を多く行っていることが示唆される。

以上の分析結果から，問題解決の成功／不成功と，計画・実行段階での『工夫』『修正』のメタ認知的活動の回数には関連があるといえる。したがって，問題解決に行き詰まった際のメタ認知的支援として，計画・実行段階での『工夫』や『修正』のメタ認知的活動を促すことが有効であると考えられる。

(6-3) メタ認知と問題領域

さらに，問題ごとにメタ認知的活動の回数の間でピアソンの積率相関係数を算出し，同様に，問題解決得点の間で，ピアソンの積率相関係数を算出した(表 8, 9, 10, 11)。

表 8 6 年生，問題解決得点ごとの相関係数

	問 1	問 2	問 3	問 4
問 1	1.000			
問 2	0.173	1.000		
問 3	0.415**	0.281*	1.000	
問 4	0.199	0.034	-0.077	1.000

表 9 6 年生，メタ認知的活動の回数ごとの相関係数

	問 1	問 2	問 3	問 4
問 1	1.000			
問 2	0.418**	1.000		
問 3	0.432**	0.362**	1.000	
問 4	0.292*	0.352**	0.482**	1.000

表 10 4 年生，問題解決得点ごとの相関係数

	問 1	問 2	問 3	問 4
問 1	1.000			
問 2	0.221	1.000		
問 3	0.391**	0.179	1.000	
問 4	0.349**	0.146	0.459**	1.000

表 11 4 年生，メタ認知的活動の回数ごとの相関係数

	問 1	問 2	問 3	問 4
問 1	1.000			
問 2	0.548**	1.000		
問 3	0.512**	0.530**	1.000	
問 4	0.439**	0.350**	0.561**	1.000

＊＊ p＜0.01

これらの表で示したように，この小学校では，問題解決得点の間に相関はほとんどみられなかったが，メタ認知的活動の回数の間に正の相関がみられた。このことから，問題解決においてメタ認知的活動の回数に一定の傾向がみられるが，問題解決得点には一定の傾向はみられないということが示唆される。

したがって，メタ認知的活動を多く行う児童は他の問題でも多く行う傾向があり，メタ認知的活動をあまり多く行わない児童はどの問題でもあまり多く行わないと解釈できる。この意味で，メタ認知能力が安定しているのではないかといえる。ここでいう「安定」とは，メタ認知を多く働かせる児童はどの問題でも多く働かせる傾向があること，そして，メタ認知をあまり働かせていない児童はどの問題でもあまり多く働かせていない傾向があることを意味する。

(6-4) 理解段階でのメタ認知と問題領域

(6-3)での結果のうち，問題解決の理解段階で働いたメタ認知的活動の特徴を考察する。まず，理解段階におけるメタ認知的活動の回数の平均値と問題解決得点の平均値を算出した(表 12)。表 12 から，4 年生は理解段階でほとんどメタ認知的活動を行っておらず，6 年生においても平均回数が 1 回を下回っていることがわかる。

表 12 理解段階における平均値

		問題 1	問題 2
6年生	問題解決得点(点)	1.7	1.9
	メタ認知回数(回)	0.7	0.6
4年生	問題解決得点(点)	1.2	1.8
	メタ認知回数(回)	0.2	0.2

注 理解段階の問題解決得点は，2 点満点とした。

次に，理解段階でのメタ認知的活動と同定した児童の記述を，以下の 4 つのカテゴリーに分類し，当てはまる記述をカウントした(表 13)。

(ア) 問題をよむ際の，『工夫』や『注意』
(イ) 図式の活用
(ウ) 図式活用の際の，『工夫』や『注意』
(エ) 理解の『確認』

(ア)から(エ)の各カテゴリーについて，児童の記述を分析する。

表 13 理解段階におけるメタ認知的活動の分類 (回)

	4年生		6年生	
	問題 1	問題 2	問題 1	問題 2
(ア)	2	2	4	8
(イ)	10	7	34	29
(ウ)	2	3	5	4
(エ)	0	0	4	2

(ア) 問題をよむ際の，『工夫』や『注意』

問題を理解するために必要不可欠な「問題文をよむ」という認知的活動を行う際に，どのようなメタ認知的活動を行ったかを分析する。

表 13 から分かるように，このカテゴリーに属する活動が，4 年生では問題 1 で 2 箇所，問題 2 で 2 箇所，6 年生では問題 1 で 4 箇所，問題 2 で 8 箇所みられた。その中でも，同じ児童が両方の問題において問題を読む際の『工夫』や『注意』を行った事例は，4 年生 1 人と 6 年生 2 人だけであった。その児童の記述は以下である。

質問項目 2
　問いを理解するときに工夫したり注意したことを書いてください。
4 年　児童 128 注2
　　問題 1　もんだいをよんで，やる。
　　問題 2　できるだけもんだいおよむ。
6 年　児童 44
　　問題 1　よくよむこと。
　　問題 2　よくよむこと。
6 年　児童 48
　　問題 1　問いと表をよくみて，どういう決まりがあるか，確かめた。
　　問題 2　[問題文の]大切なところにせんをひく。
　　注 [ ] 内は，筆者による注釈である。

このことから，6 年の児童は，4 年の児童に比べて問題をよむ際に『工夫』や『注意』のメタ認知的活動を多く行っている傾向があるが，ほとんどの児童が 2 つの問題で同様な『工夫』や『注意』のメタ認知的活動を行わなかったといえる。しかし，6 年の児童 48 は，両方の問題でメタ認知的活動を行っており，他の児童が行わなかったメタ認知的活動も行っていることから，メタ認知能力の高い事例と考えられる。

(イ) 図式の活用

このカテゴリーに属する記述は，問題の理解に図式を活用したことを示す。

表 13 から分かるように，このカテゴリーに属する活動が，4 年生では問題 1 で 10 箇所，問題 2 で 7 箇所，6 年生では問題 1 で 34 箇所，問題 2 で 29 箇所みられた。このことから，6 年の児童は 4 年の児童に比べて図式を活用する傾向があることが示唆される。

では，各児童は問題 1 と問題 2 の両方で図式を活用しているのであろうか，それとも，どちらかで活用しているのであろうか。それをまとめたものが表 14 である。表 14 から，6 年の児童の約 32%が両方の問題

で図式を活用して理解しようとしたことが分かる。

表 14 図式の活用

	4年生 %	6年生 %
両方で活用していない	75.4(43)	38.8(26)
Q1のみで図式を活用	12.3(7)	17.9(12)
Q2のみで図式を活用	7.0(4)	10.4(7)
両方で図式を活用	5.3(3)	32.8(22)

(ウ) 図式活用の際の,『工夫』や『注意』

さらに,「図式を活用する」という認知的活動を行う際に,どのようなメタ認知的活動を行ったかを分析する。

表13から分かるように,このカテゴリーに属する活動が,4年生では問題1で2箇所,問題2で3箇所,6年生では問題1で5箇所,問題2で4箇所みられた。その中でも,同じ児童が両方の問題において図の活用における『工夫』や『注意』を行った事例は,4年生1人だけであった。この4年の児童153は,両方の問題で数字に関わるメタ認知的活動を行っており,数字に対するメタ認知能力の高い事例と考えることもできる。

(エ) 理解の『確認』

自分が問題を理解できているかどうかを確認しようとする活動も,理解段階に関わるメタ認知的活動である。これは,刺激再生質問紙の質問項目 7 から同定した。

表13から分かるように,このカテゴリーに属する活動が,4年生では問題1と問題2のどちらにもみられず,6年生では問題1で4箇所,問題2で2箇所みられただけである。その中でも,同じ児童が両方の問題において理解の『確認』を行った事例は,6年生1人だけであった。

以上のことから,理解段階におけるメタ認知的活動として,4 つのカテゴリーが同定され,それぞれの活動における特徴が示唆された。

まず,問題文をよむことに関わるメタ認知的活動について,6 年の児童は,4 年の児童に比べて問題をよむ際に『工夫』や『注意』のメタ認知的活動を多く行っている傾向があるが,ほとんどの児童が 2 つの問題をとおして『工夫』や『注意』のメタ認知的活動を行わなかった。

次に,図の活用とその際の『工夫』や『注意』に関するメタ認知的活動についてである。本調査問題のように問題文に図式が提示されている場合,6 年では約 32%の児童が両方の問題で図式を活用して問題理解を深めようとしたが,図式の活用においてさらに『工夫』や『注意』のメタ認知的活動を,両方の問題を通じて行った児童は1人しかいなかった。

また,自分が問題を理解できているかについては,4年生は全く『確認』のメタ認知を働かせず,6年生でも数名しか働かせることはできなかった。

7. おわりに

本稿では,問題解決の成功に大きな影響を与えると考えられる4種類のメタ認知に注目して,問題解決の成功/不成功とメタ認知との関わりを,小学4年生と 6 年生の児童について検討した。その結果,次のことが指摘できた。

第1に,4年生から6年生にかけては,メタ認知能力は量的に増加しており,問題解決過程への働きに着目した分類に基づいた『工夫』『注意』『修正』のいずれのメタ認知的活動も増加していた。

第 2 に,問題によっては,メタ認知と問題解決得点との間の相関が高い問題や低い問題などがあったが,4 つの問題を合計するとメタ認知的活動の回数と問題解決得点との間には比較的強い正の相関がみられた。特に,4 年生で問題解決の得点が高い児童たちは『工夫』と『修正』のメタ認知的活動を多く行い,計画・実行段階でメタ認知的活動を行っていた。そして6年生で問題解決の得点が高い児童たちは,4年生ほど顕著な特徴が見られなかったが,4年生と同様に『工夫』『修正』のメタ認知的活動を多く行い,計画や実行の段階で多くのメタ認知を働かせていた。このような分析結果から,問題解決に行き詰まった際のメタ認知的支援として,計画・実行段階での『工夫』や『修正』のメタ認知的活動を促進するものが有効であると考えられる。今後は,このような支援の影響とメタ認知的支援によるメタ認知能力の育成を考える必要がある。

第 3 に,異なる問題におけるメタ認知的活動の回数の比較を行った結果,問題解決得点の間に相関はほとんどみられなかったが,メタ認知的活動の回数の間に正の相関がみられた。このことから,異なる問題の解決におけるメタ認知的活動の回数に一定の傾向がみられることが示唆される。つまり,メタ認知的活動を多く行う児童は他の問題でも多く行う傾向があり,メタ認知的活動をあまり多く行わない児童

はどの問題でもあまり多く行わないと解釈できる。この意味で，メタ認知能力が安定しているのではないかといえる。さらに，問題1と問題2の理解段階におけるメタ認知的活動のうち，異なる領域の問題であるにもかかわらず，両問題に共通するメタ認知的活動が確認できた。

もちろんこの調査での結果を，すぐに一般化することはできないが，小学生の有するメタ認知の特徴の一側面を指摘できると考えている。この結果を受けて，さらに異なる問題についての調査・分析を行うことが課題である。

謝 辞

調査に協力していただいた児童のみなさんや，ご助言をいただいた小学校の先生方に深く感謝いたします。なお本研究は，平成12年度科学研究費(奨励研究(A)，課題番号 12780151)補助金を受けて行っている「数学的問題解決におけるメタ認知に対する問題領域の影響に関する研究」の研究成果の一部分である。

注

1. 広辞苑 第四版(1994)によると，図式とは，「①図取の型。基本となる見取図。「物事は一通りには行かない。②ものの関係を説明するために考案された図。」と述べられている。本稿では，②の意味で図式という用語を用いている。
2. 便宜的に筆者が付けた児童の番号である。

- 本稿における数値は，ある位で切り捨てられている。
- 本稿での分析には，統計パッケージ『SAS 6.12』を使用した。

引用・参考文献

岩合一男，石田忠男他(1990)，『数学教育におけるメタ認知にかかわる認識過程の総合的研究』，平成元年度科学研究費補助金(一般研究C，課題番号 63580233)研究成果報告書.

岡本真彦(1998)，『算数文章題の解決におけるメタ認知の影響と機能』，広島大学学位論文.

加藤久恵(1998)，「数学的問題解決におけるメタ認知の役割に関する研究(Ⅱ)――小学4年生と6年生のメタ認知に関する実態調査を中心として――」，全国数学教育学会，『数学教育学研究』，第4巻，pp.105-113.

加藤久恵，(1999)，『数学的問題解決におけるメタ認知の機能とその育成に関する研究』，広島大学学位論文.

ポリア，G. 著，柿内賢信 訳(1954)，『いかにして問題をとくか』，丸善.

重松敬一(1994)，『児童・生徒の数学的問題解決に影響する「メタ認知」を測定するアンケートの開発研究』，平成4,5年度科学研究費補助金(一般研究C，課題番号 04680311)研究報告書.

チャールズ，R.，レスター，F. 著，中島健三 訳(1983)，『算数の問題解決の指導』，金子書房.

横山正夫(1991)，「算数科における問題解決ストラテジーの指導に関する研究」，日本数学教育学会，『数学教育学論究』，第56巻，pp.3-22.

Charles, R., Lester, F., & O'Daffer, P.(1987), *How to Evaluate Progress in Problem Solving*, NCTM.

Davidson, J. E. & Sternberg, R. J.(1998), Smart Problem Solving : How Metacognition Helps, Hacker,D.J., Dunlosky,J. & Graesser,A.C., *Metacognition in Educational Theory and Practice*, pp.47-68, Lawrence Erlbaum.

Everson,H.T., Tobias,S & Laitusis,V.(1997), *Do Metacognitive Skills and Learning Strategies Transfer Across Domain ?*. Paper presented at a symposium on *Assessing Metacognitive Knowledge Monitoring* held at the annual convention of the American Educational Research Association, Chicago, March 1997.

Flavell, J. H.(1976), Metacognitive Aspects of Problem Solving. In Resnick, L. B.(Ed.), *The Nature of Intelligence* , pp.231-235, Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum.

Garner, R.(1988), Verbal-Report Data on Cognitive and Metacognitive Strategies. In Weinstein, C. E., Goetz, E. T., & Alexander, P. A.(Eds.), *Learning and Study Strategies : Issues in Assessment, Instruction, and Evaluation*, pp.63-74, New York, NY : Academic Press.

Garofalo, J. & Lester, F. K., Jr.(1985), Metacognition, Cognitive Monitoring, and Mathematical Performance. *Journal for Research in Mathematics Education, vol.16, no.3*, pp.163-176.

Lester, F. K., Garofalo, J. & Kroll, D. L.(1989), *The Role of Metacognition in Mathematical Problem Solving: A Study of Two Grade Seven Classes*. Final Report to the National Science Foundation of NFS Project MDR85-50346.

Schoenfeld,A.H. (1987), What's All the Fuss about Metacognition ? In Schoenfeld, A. H.(Ed.), *Cognitive Science and Mathematics Education*, pp.189-215, Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum.

Schoenfeld, A. H. (1992), Learning to Think Mathematically :Problem Solving, Metacognition, and Sense Making in Mathematics, (in) Grouws, D. A. (ed.), *Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning*, Macmillian Publishing Company, pp. 334-370.

Silver,E.A.(1985), Research on Teaching Mathematical Problem Solving: Some Under-Represented Themes and Needed Directions. In Silver,E.A.(Ed.), *Teaching and Learning Mathematical Problem Solving :Multiple Research Perspective*, pp.247-266, Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum.