

## 理科学習におけるメタ認知機能を促進する教授要素に関する研究

教育デザインコース 理科領域  
猪口 達也  
東京学芸大学附属小金井中学校  
宮村 連理  
教育学研究科  
和田 一郎

### 1. 問題の所在と研究の目的

平成 27 年度に実施された全国学力・学習状況調査小学校理科において、水の温まり方を考察するために、予想と照らし合わせ、実験結果を基に自分の考えを改善する問いが出題された。この問いでは、問題に対する自分の予想について、実験結果と照らし合わせながら、考えを改善し、より妥当な考えをつくり出すことが求められた。この問いの正答率は、53.8%であり、課題として「予想が一致した場合に得られる結果を見通して実験を構想したり、実験結果を基に自分の考えを改善することに課題がある」と指摘された<sup>1)</sup>。この指摘は、以前より繰り返されているにも関わらず、その改善が進んでいない。その一要因として、自分の考えをより妥当な考えへと改善していくための学習活動の検討が不十分であることが考えられる。

このような課題を解決していくためには、自分の考えと他者の考えの違いを客観的に捉え、多様な視点をもって情報を取り出し、それを基に自分の考えや他者の考えを振り返りながら考察していくことが不可欠である。言い換えれば、子ども自らがこれまでの認知過程を客観的に捉え、学習をコントロールする「メタ認知 (metacognition)」を育成していくことに他ならない。以下、本研究において「メタ認知」と表記するものは、自らの認知過程を俯瞰し客観的に捉えることを意味している。

メタ認知は、知識成分である「メタ認知的知識 (metacognitive knowledge)」と活動成分である「メタ認知的活動 (metacognitive regulation)」に大別される。これまで、理科学習における実際の学習過程で動的に稼働するメタ認知的活動について多くの研究が展開されてきた。例えば、和田ら (2013) はメタ認知的活動を理科教育の立場から捉え直し、メタ認知的活動と科学概念構築の関連について中学校第 1 学年の学習内容を事例に精査している<sup>2)</sup>。また、松浦・角屋 (2001) は、メタ認知技能として目的を把握する力や思考スキルが、観

察実験における思考過程に影響を及ぼすことを明らかにしている<sup>3)</sup>。これらのメタ認知研究では、個人内部の情報処理としてメタ認知的活動の内実を捉えている。

しかしながら、これらの研究では、学習過程においてメタ認知的活動を子ども自身がどのような情報や意思に基づき、稼働させているのか、詳細に分析がなされているとは言い難い。このことから、メタ認知的活動だけでなく、学習過程において、何に基づきメタ認知を機能させるのか、知識成分にあたる「メタ認知的知識」についても精査していく必要があると考えられる。

また、次期学習指導要領では、「何を学ぶか」といった学習内容だけでなく、「何ができるようになるか」といった育成を目指す資質・能力を明確にし、「どのように学ぶか」という子どもの学習過程を精査することで学習の質の向上が目指される<sup>4)</sup>。具体的には、「主体的・対話的で深い学び」といった授業改善の視点が示されている。これらを小学校理科の授業に位置付けて考えていくとき、子どもが、理科の「見方・考え方」を働かせながら、見通しを持ち観察、実験を行い、他者との関わりの中で多様な情報や知識を関連付けていくことや、その学習過程を振り返りながら、妥当性を吟味し、自ら次の学習を進めていくといった視点が重要となる。このことから、子ども自らがどのような理科の「見方・考え方」を働かせて、学習を推進し、その成果として理科における資質・能力を育成するという観点に関しても実践的な検討が必要となる。

理科の「見方・考え方」を働かせることとは、どのような視点で自然事象を捉え、どのような考え方で思考すればよいのか子どもが自覚しながら、自然事象に関わることができることである<sup>5)</sup>。換言すれば、後述するように、メタ認知の機能の促進によって、理科の「見方・考え方」を働かせることが可能となる。したがって、理科学習の中でメタ認知を強化、育成していくための教授要素についてもさらなる検討が必要であると考えられる。

そこで、本研究では、Veenman, M.V.J. ら (2006) が指摘するメタ認知に関する教授要素を基調に、理科学習におけるメタ認知の機能、具体的には知識成分と活動成分の関連について、その実態の解明とその教授要素との関連付けを志向した。

## 2. 理科学習におけるメタ認知の機能

### 2.1 メタ認知的知識

前述した通り、メタ認知は知識成分である「メタ認知的知識」と活動成分である「メタ認知的活動」に大別される。メタ認知的知識に関して、Flavell, J.H. の指摘は、極めて有用である。Flavell, J.H. は、メタ認知的知識を以下の3つに分類している。それらの具体例を表1で示した<sup>6)</sup>。

- ・「人間の認知特性 (person variables) に関する知識」とは、人間の認知的な傾向や特性などに関する知識である。
- ・「課題 (task variables) についての知識」とは、課題の性質が、私たちの認知活動に及ぼす影響に関する知識である。
- ・「方略 (strategy variables) についての知識」とは、目的に応じた効果的な方略の使用についての知識である。

理科学習では、このようなメタ認知的知識を活用することで、どのような情報や方略が有効か、どのような視点で事象を捉えるかを整理し、加えて認知特性も俯瞰することで、主体的な問題解決を可能にする。

### 2.2 メタ認知的活動

一方、活動成分であるメタ認知的活動に関して、Nelson, T.O. と Narens, L. は、優れた知見を提起している<sup>7)</sup>。

彼らによれば、メタ認知は、対象レベル (object-level)

とメタレベル (meta-level) の2つのレベルから構成され、2つのレベル間の情報の流れをメタ認知的活動と指定した。具体的には、対象レベルからメタレベルが情報を取得することを「メタ認知的モニタリング」(以下、モニタリング)、メタレベルにおいて、取得した情報を基に認知や行動を調整することを「メタ認知的コントロール」(以下、コントロール)と規定した。これらを模式化したものが図1である。

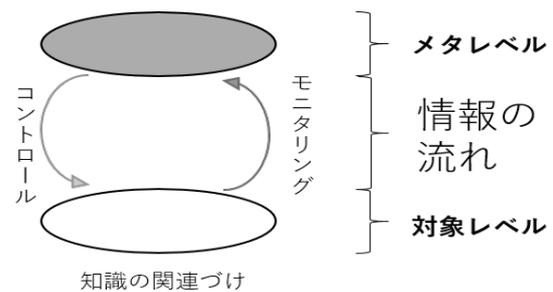


図1 メタ認知的活動の模式化  
(Nelson, T.O. & Narens, L., (1990) を基に作成)

実際の理科授業において、様々な場面でこうしたメタ認知的活動は機能している。例えば、小学校第5学年の人の誕生に関する学習において、「胎児の様子は、母親のお腹にいるためによくわからない」のような、認知状態の評価や気づきは、モニタリングと捉えることができる。その評価を基に「教科書やインターネットで調べてみよう」といった、認知に対する目標設定や計画、修正は、コントロールと捉えられる。さらに、学習したへその緒に対して「思ったより短いな。どうしてだろう」といった具合に再度モニタリングを行い、「長いと赤ちゃんの首にからまってしまうからだ」と、情報を関連付けることも十分に考えられる。このようなメタ認知的活動は、メタ認知的知識に基づき行われる。

表1 メタ認知的知識の分類とその具体例 (Flavell, J.H., (1987) を基に作成)

メタ認知的知識	具体例
人間の認知特性に関する知識	理解には様々な程度や種類がある
課題についての知識	物語は一語一句をそのまま思い出すよりも、主な出来事を思い出す方が容易だ
方略についての知識	多くの情報を保持するためには、重要点をおさえ、自分の言葉で繰り返し捉える

### 3. メタ認知の機能を促進する3つの教授要素

Veenman, M.V.J. ら (2006) によれば、メタ認知的知識は、その知識の適切さを自ら判断することが難しいため、自発的に獲得できないと指摘する。また、継続的にメタ認知を機能できない子どもは、メタ認知的知識や技能を持っていない傾向があることも述べている。すなわち、メタ認知を促進するためには、意図的な教授 (instruction) が必要であることが示唆される。その点に関して、Veenman, M.V.J. らは、メタ認知の機能の促進を図る教授要素として、次のA～Cの3つを挙げている<sup>8)</sup>。

#### A：学習内容 (content) の中でメタ認知の機能を促す

教授要素Aは、各教科 (領域固有) の特性を踏まえ、その教科学習に応じて、メタ認知を働かせるように促す、【機能面】での教授と捉えることができる。

端的に理科学習で捉えれば、理科におけるメタ認知的知識の自覚化を促すために、それらを明示していくことである。問題解決の一つひとつの過程では、課題の性質を捉えたり、効果的な方略を子ども自身で捨選択することになる。しかしながら、Veenman, M.V.J. らの指摘にあるように、メタ認知的知識の不足によって、メタ認知が機能しない場合もある。したがって、教師は学習単元の内容を踏まえ、必要なメタ認知的知識を明らかにしながら、メタ認知の機能を促していく必要がある。

#### B：子どもが自分自身の認知を俯瞰することの有用性を実感し、メタ認知を適応することを促す

教授要素Bは、子どもが自らの判断で学習を進める意味を実感させ、子ども自らメタ認知を適応させていく【適応面】での教授である。

理科学習では、子ども自ら学習内容に応じて、課題の性質を捉えたり、方略を考えたりといったメタ認知的知識を稼働させる中で、それらを適応しながら学習を推進していくことが必要である。そうした学習の推進に関わる認知機能は、メタ認知的活動を意味する。つまり、教授要素Aで示されたメタ認知的知識を繰り返し適応しながらその知識を獲得していくためには、メタ認知的活動の活性化が必須である。

このための教師の教授行動の一つとして、子どもに積極的に自己の考えとその根拠を表出させ、それらを評価・修正することを促すことがあげられる。これは、子ども

が自らの考えを構築していく過程の中で、どのように情報を取捨選択したかを振り返ることが可能になるからである。これによって、教授要素Aで示されたメタ認知的知識をどのように活用したかを自覚させる契機となり得る。そして、評価・修正が促されることで、子どもは次に必要な情報を自覚し、既有的な考えと関連付けていくことで、より科学的で妥当な考えへと変容させていく。

このように、教授要素Aに基づき、メタ認知的活動を活性化させ、教授要素Aと教授要素Bを関連付けていくことによって、メタ認知的知識が洗練される。

#### C：継続的な (maintained application) メタ認知の機能の保証

教授要素Cは、子ども自らが学習過程の中で、継続的にメタ認知を適応させること、すなわち、教授要素Aと教授要素Bの往還とその機会を保証する【継続面】の教授を意味する。

上述した教授要素AとBの関連付けを教師が意図して繰り返し行うこと、つまり、教授要素AとBの往還によって、メタ認知の機能は促進される。これは、教授要素Aで示されたメタ認知的知識が、教授要素Bのメタ認知的活動の活性化を通じて、メタ認知的知識が内化され、メタ認知的活動も質的に向上することを意味する。このためには、学習過程を振りかえる機会の保証が不可欠である。

### 4. メタ認知と理科の「見方・考え方」との関連

ここで、前述した今後の理科学習で重要となる理科の「見方・考え方」を働かせることとメタ認知との関連について詳しく整理する。

先に挙げた「人の誕生」を例に述べれば、実験不可能な「人の誕生」の学習は、調べ学習をしたり、観察可能なメダカの誕生と比較するといった具合に、それらの共通点や差異点を見出すことによって、胎児の発生過程を捉えていく。その中で、メタ認知的知識とメタ認知的活動の2成分を関連付け、メタ認知が有効に機能することによって、生命領域における「多様性・共通性」といった見方や、人とメダカの誕生について「比較したり関係付ける」という考え方、いわゆる理科の「見方・考え方」を働かせることができると考えられる。

このようなメタ認知の機能の促進は、対象適応的に「見方・考え方」を働かせ、更なる「見方・考え方」の成長

と科学概念構築を連動して達成させることを可能とする。

## 5. 小学校理科授業による事例的分析

### 5.1 分析方法

上述した Veenman, M.V.J. らが指摘する教授要素 A-C の視点に基づき、子どもがメタ認知を機能させていく実態を捉えた。

その際、教師の授業デザインや発話内容、および子どものワークシートや班の考えをまとめた記述および発話内容から分析した。

### 5.2 実施時期

平成 28 年 11 月～12 月

### 5.3 実施対象

東京都内の小学校第 6 学年 37 名

### 5.4 単元内容

小学校理科第 6 学年「てこの規則性」

### 5.5 授業実践の概要

本授業実践は、単元「てこの規則性」の指導計画（計 10 時間）を表 2 で示す内容で実施した。

表 2 授業展開の概要

次	時	学習内容	授業展開の概要
1	1	てこのつりあい	鉄の棒にまたがった教師を落とさないように支えるためにはどのように力をいれたらよいか、予想し、体感した。
	2, 3		実験用てこを用いて実験し、てこがつりあう条件について考察した。
	4		第 3 時で導いた規則性を表やグラフで解釈し、つりあいの条件と反比例の関係について、個人で考察した。
	5, 6		第 4 時の個人による考察を班、クラスで共有した。考察したことを基に再度、検証実験を行った。
	7		これまでの学習を振り返り、てこのつりあいの学習のまとめを行った。
2	8, 9 (前半)	てこの規則性	一本の棒を用いて、支点・力点・作用点の位置を変えながら、手ごたえを調べる実験を行い、考察した。
3	9 (後半), 10	てこのはたらきを利用した道具	身のまわりのてこのはたらきを利用した道具について、はさみ並びにくぎぬきを例にし、考察した。実際に様々なてこを利用した道具を使って、実験を行った。その学習活動の振り返りを行った。

第 1 次では、てこのつりあいについて学習した。授業者が提示した課題に対して、実験を行った。その実験結果から得られた視点を基に、てこ実験器を用いて再度実験を行った。その実験結果を共有し、てこがつりあうための法則を導いた。また、その法則の意味を表やグラフから捉えた。さらに、てこのつりあいについて、学習のまとめ（振り返り）をした。

第 2 次では、てこの規則性に関して、力点、作用点及び支点の距離を変え、手ごたえを調べる実験を行った。そして、その実験結果と第 1 次で学習したことを根拠に考察した。

第 3 次では、前次までの学習内容を根拠に、はさみとくぎぬきがどのようにてこのはたらきを利用しているかを班ごとに考察した。さらに、他の道具についてもどのようにてこのはたらきを利用されているのか、実験を行い、考察した。また、学習の振り返りを行った。

## 6. 結果および考察

### 6.1 【教授要素 A の視点】

てこのつりあいに関する学習場面（第 1 次）

(1) てこのつりあいを体感する場面

第 1 時では、まず教師が鉄の棒にまたがり、それを子どもが力を加えて落ちないように支える実験を行った。これは、違う重さ（力）でも何らかの工夫をすることでつりあうという、てこのつりあいに関する事象を実際に子どもが体感しながら捉えていく段階である。表 3 はその際のプロトコルの一部である。

表 3 プロトコルの抜粋 (1)

	【C 2 は、教師の位置（作用点）を支点から遠く、力を加える位置（力点）を支点から近い位置にした】
C 1	先生がこっち（支点到近いほう）に乗らなきゃだめなんじゃないの？
C 2	なんで、いいんだよ。
C 3	短くするほうが先生じゃなきゃだめだよ。
T 1	まず、それでやってみなよ。 試してみないとわからないよ。 いろんなパターンで試してください。
	【子どもたちは様々なパターンを試した】
T 2	そうしたら、図に自分でやってみたこと、考えてみたことを書いてみてください。

ここで、C1やC3は、ことばのみで事象を説明している。それに対して、教師は、まず、この事象による手ごたえは、自ら体感することでしかわからないことを示している(T1)。すなわち、表中の下線部で示した内容は、「人は、事象について実体験を起点に捉えた方がわかりやすい」といったメタ認知的知識のうち、人間の認知特性についての知識を示していると解釈できる。

この教師の促しを起点に、C1やC3をはじめ子どもたちは、自らの考えた方法を基に実験を行った。

そして、教師は実際に体感したことを図で表現するように促した(T2)。これは、実際に体感した事象、言い換えれば、知覚情報を「図を用いる」といった方略によって、簡潔に表すことを促している。つまり、事象について「図を用いて考える」といった、メタ認知的知識のうち、方略についての知識の教授であると捉えられる。この教授によって、映像レベルでの事象把握が可能となった。その時の子どもの表現の例が次の図2である。これは、大人と子どもの位置を描写した図であるが、実験結果の記述のみで止まった。

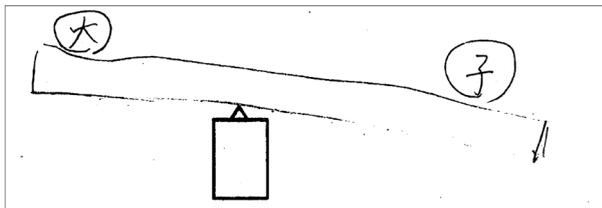


図2 事象に対する子どもの表現例

そこで教師は、問題解決の視点を明確にし、児童に再度、「図」を用いて考えることを促した。具体的には、表4のように発問を行った。

これは、事象を映像的にイメージするだけではなく、自らの図による表現が他者に知識や理解を伝えるためのツールであることを示していると解釈できる。すなわち、これはメタ認知的知識のうち、「図は他者へ知識や理解を伝達やすくする」といった方略に関する知識の教授として、教授要素Aを機能させた場面であると考えられる。

この教授によって、先ほどの子どもの表現は次の図3のように変容した。

図3では、どのような状況で持ち上がるのかということばの説明や支点からの距離に着目した「長・短」という表現が加えられた。これは、T3で示されたメタ認知的知識を自覚していると捉えることができる。

表4 プロトコルの抜粋(2)

T3 次に皆さんに個人でどういう法則で、どうなったらつりあっているんだろうというのを考えてもらいます。その時、必ずコメントをいってください。図だけあっても、書いた人はわかっても、他の人はわからないから、自分でこういう法則があるんじゃないか、こういう風にしたら力が違って、つりあうんじゃないかっていうのを書いてもらいます。

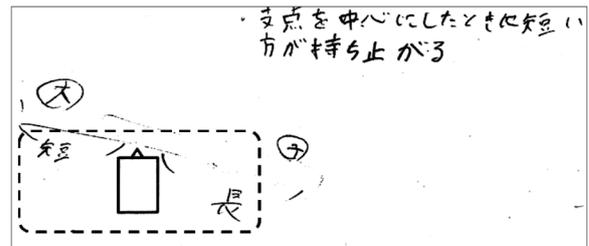


図3 教授要素Aの機能による表現の変容

このように、実体験したことを図やことばで自己の考えを説明し、これらを班や学級全体で共有した。その中で、図中の[ ]の部分に示されるように、法則を導くためには、支点からの距離が関係するかもしれないといった考えを学級全体で構築していった。

## (2) 帰納的にてこがつりあう法則を導く場面

次に、第2時では、第1時を踏まえ、「てこのつりあい」と「支点からの距離」との関係性を調べるために、各班異なる課題について、てこ実験器を用いて実験をし、てこのつりあう条件について考察していった。

具体的には、表5で示すように、授業の初めに教師は、前時の振り返りを行いながら、発問をした(T4)。

ここでは、前時を踏まえ、支点からの距離を「数値」を用いて、つりあいとの関係性を見出していくことを促している。言い換えれば、定量的に実験を行うことの必要性を示している。これは、事象について関係性を捉えていくためには、「数値を用いて定量的に捉える必要がある」といったメタ認知的知識のうち、課題についての知識の教授がなされたと捉えられる。さらに、下線で示した発話は、「問題は、実験によって検証する」といった課題についての知識を示していると解釈できる。

その後、各班異なる課題に対して、実験を行い、第2時の後半では、結果をクラスで共有しながら規則性について考察を深化させていった。

実験後に教師は、考察の視点を明確にするために、前時の状況をてこ実験器で再現し、そのうえで、実験結果

を解釈することを促した(T5)。つまり、前時の活動を今回使用するてこ実験器に対応させることで、問題意識を持って、実験を行うことを促している。これは、事象に対して問題意識を持ち、実験を通じて検証していく、「問題は、実験によって検証する」といった課題についての知識を再度示している。

表5 プロトコルの抜粋(3)

T 4	(前回まとめた図を指しながら) 支点からの距離がいい加減だと思って、支点からの距離が大事ならしいということになったので、これをもう少しこまかくつめたいです。距離というの、「遠い」「近い」ではなくて、こういう実験器(てこ実験器)があるんですけど、支点から何個目みたいな形できっちりつめたい。実験1.2.3をやってもらいますが、なんと、班ごとに違います。実験1.2.3に関しては、こっちが指定したものをやってください。法則を考えて、実験4で自分たちで試す。やることわかったかな？
T 5	<p style="text-align: center;">【各班、実験を行う】</p> 今回、何をみんなでやりたかったかというS先生とそうじゃない児童、お互い乗ってつりあった。こっち(子ども)のほうが軽いのに。でも、距離が関係あるらしい。これを再現したわけです。皆さんがやったもの、いくつもあります。実際に集めたデータで法則を考えてみます。

また、班で異なる課題を与えることで、てこの規則性のように帰納的推論によって導く法則には、「多くのデータを集めて考察する」必要があるという課題についての知識を示す、教授要素Aを機能させたと解釈できる。

示されたメタ認知的知識に基づき、子どもは実験結果を解釈し、考察したことを学級全体で共有した。そして、その考察から帰納的に推論し、てこがつりあう法則として「(左のおもりの数) × (左の支点からの距離) = (右のおもりの数) × (右の支点からの距離)」を導いた。

このように、課題についての知識を自覚していくことは、「支点からの距離」という量と、「左右のおもりの重さ」という量の関係付けを、数値化することによって捉えることを可能にしたと考えられる。

### (3) 導いた法則を表やグラフで捉える場面

第4時から第6時では、帰納的推論によって導いた法則を、表やグラフを用いて再度解釈し、てこのつりあいに関して量的にイメージしていく学習活動が展開された。

まず、第3時に導いた法則の意味を、表を用いて解

釈することを促した。具体的には、図4のようにワークシートに表を示し、表を完成させ、その解釈を促した。

左のうで		右のうで	
おもり	きより	おもり	きより
1	6	1	
		2	
		3	
		6	

図4 表を用いた考察でのワークシート(1)

これは、法則を記号としてことばのみで記憶するのではなく、その意味、つまり数値間の関係について解釈することを促している。その際に、実験データは「表を用いて考える」ことができるといった、メタ認知的知識のうち、方略についての知識を示している。

この学習活動を通して、おもさと距離には「反比例」の関係があることを見出した。さらに教師は、そこで見出した反比例とてこのつりあいの関係について「グラフを用いて」見出すことを新たな問いとした。具体的には、図5で示す表のうち、右のうでのおもりが3つのとき、距離はいくつになるのか、そして、「おもさ×距離」という法則の意味は、グラフ上ではどのように表現されているのか捉える学習活動が展開された。

左のうで		右のうで	
おもり	きより	おもり	きより
1	4	1	4
		2	2
		3	
		4	1

図5 表を用いた考察でのワークシート(2)

ここでは、表から見出した数値間の関係を、「グラフを用いて視覚的に捉えていく」といったメタ認知的知識のうち、方略についての知識を示した教授要素Aを機能させたと考えられる。子どもは、表の数値をグラフ上にプロットしたが、その意味を捉えるまでには至っていなかった。そこで、教師は「縦軸が距離、横軸がおもさになっていますね。ということは、きより×おもさは言い換えるとどうなりますかね」という発問を行った。その発問

によって、多くの子どもが、グラフの1マス、つまり「縦×横」で示させる面積が、きより×おもさに対応していることを見出した。その上で、それぞれの班で考えをまとめ、学級全体で共有した。図6は、その際のある班での表現の例である。

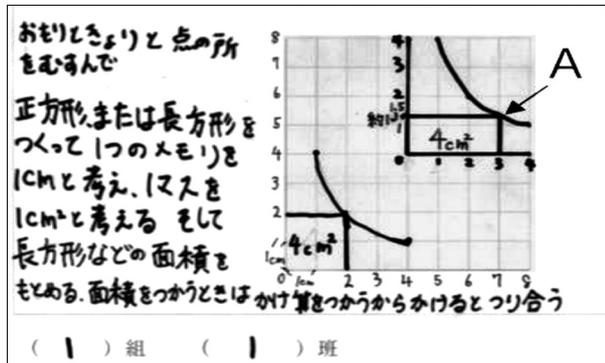


図6 グラフより量的に捉えた子どもの表現

ここまでの学習過程で、てこがつりあうのは、面積がすべて等しい(今回の場合はすべて4になる)時であること、そして、同じ面積の四角形をつくったときの角(図6中のA)がグラフの曲線上にあることを見出した。そして、曲線上の任意の値(今回の場合は約1.3)を、てこ実験器を用いて、検証した。検証実験後、各班の発表を基に教師は、次の図7のように学習のまとめを行った。

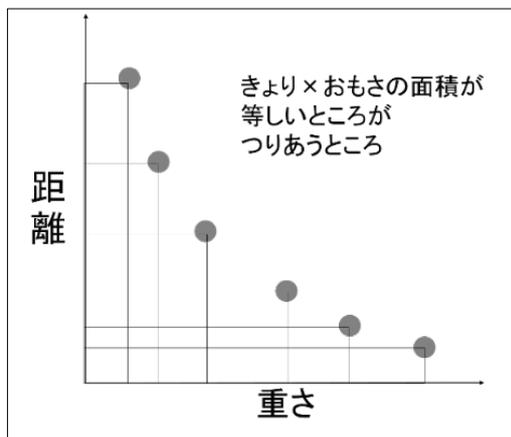


図7 子どもの表現を基にしたまとめ

このように、てこのつりあいに関して、記号でのみ法則の意味を捉えるのではなく、表やグラフで実験データを整理し、その解釈を促すことで、量的なイメージを伴って法則の意味を捉えることが可能になった。つまり、メタ認知的知識の自覚化によって、主に数値やことばといった記号で「量的・関係的」に捉えていた見方が、グ

ラフや表を用いて多面的に意味を捉えることができ、量的なイメージを伴った「量的・関係的」見方へ拡充が図られた。

第1次を概観すると、教師は意図的に具体から抽象に往還するように授業をデザインしていたと捉えられる。具体的には、実際に体感したこと(具体)を、数値化(抽象)して定量的に捉えたり、実験によって検証するといった「課題についての知識」と、ことば(抽象)のみならず、図や表、グラフといった視覚的な表現方法(半具象)を示す「方略についての知識」を示し、子どもが繰り返しそれらを自覚しながら学習を推進していった。

これは、事象を捉えていく際、活動を起点にし、映像的なイメージを媒介しながら、ことば(概念)としてまとめていくことの重要性を示すといった、人間の認知特性についての知識の教授を意図して、授業デザインを行ったと考えられる。これらのことから、人間の認知特性に関する知識は、課題についての知識や方略についての知識を支えるために機能することが示唆される。

以上、第1次で示されたメタ認知的知識について、表6で整理する。

表6 てこのつりあいに関するメタ認知的知識

人間の認知特性に関する知識	1	人は、事象について実体験を起点に捉えた方がわかりやすい
	2	具体と抽象を往還して思考することは重要である
課題についての知識	3	数値を用いて定量的に捉える
	4	問題は、実験によって検証する
	5	法則を見つけるときは、多くのデータを集めて考察する
方略についての知識	6	図を用いて考えたり、他者へ理解を伝える
	7	表を用いて考える
	8	グラフを用いて視覚的に捉える

## 6.2 【教授要素Bの視点】

てこの規則性に関する学習場面(第2次)

第2次では、1本の棒と5kgのおもりを使い、力点、作用点、支点の位置を変えながら、手ごたえを調べ、考察を行った。具体的には、実験を通して、「各点の位置」と「手ごたえ」の関係を見出し、班ごとに手ごたえが変

化する根拠について、学級全体で発表する学習活動が展開された。発表場面のプロトコルの抜粋と、発話から子どもが機能させたと解釈できるメタ認知的知識について表6で示した番号を附し、表7で示した。

表7 プロトコルの抜粋(4)

7班	支点から作用点の距離までが長く、支点から力点までの距離が短いと重く感じる。支点から作用点の距離までが短く、支点から力点までの距離が長くと軽く感じる。発表を終わります。	
T 6	こういう時に一番重く感じるなどか、こういう時に一番軽く感じるなどかは、これまでの班の発表でだいたい合ってるんだけど、 <u>なんでそういう風に感じるかっていうのを説明したいんですね。だって、おもりはずっと同じなわけでしょ。これ(おもり)が軽くなったり重くなったりするんじゃないくて、これまで調べてきた手ごたえってこういう感じ方が変わるのなんで?じゃあ、次いきますか。</u>	
5班	最も重く感じるということは、力点は支点からの距離が短く、作用点が高いときだと考えた。その理由は、合計は同じでも、距離が短いと力を加えなければいけない。あの、 <u>面積のグラフ・・・</u>	8
T 7	グラフで説明したい?(図7を掲示する)	
5班	<u>それ(グラフ)で例えると、(おもり(作用点)の)距離が長ければ、その分合計が大きくなる。その時、(支点と力点の)距離が短くなるため、(四角形が)横長になり、その分力が必要となる。一方で、(支点からおもりの距離が)近くなるとここからの合計で出た数が小さくなり、支点から力点の距離が長くなり、(四角形が)縦長になると、その分小さい力ですむ。</u>	8

これまでの班の発表は、表中の7班のように、実験結果のみを捉えた発表にとどまっていた。そこで教師はT6のように発問をした。具体的には、手ごたえが変わるという事象を説明する上で、根拠を加えることを求めた。これは、これまでの既習内容に基づき、教授要素Aで示したメタ認知的知識を適応し、実験結果を解釈するメタ認知的活動を行うことを促したと捉えることができる。

そうして次の5班の発表へ移行した。5班は、実験結果に加え、既習のてこのつりあいとグラフの関係をを用いて説明した。ここでは、「グラフを用いて視覚的に捉える」といった教授要素Aで示されたメタ認知的知識に基づき、事象について「グラフを用いると説明が可能である」

といった、モニタリングを行った場面だと捉えられる。そして、図7に示したまとめのグラフを用いて、「手ごたえの変化を図形的に捉える」といったコントロールを機能させたと解釈できる。こうして5班の子どもは、おもりの位置、すなわち作用点の位置の距離で合計が決まること、力点の位置をグラフと対応させたとき、横長のときには「大きな力」、縦長のときには「小さい力」になることを根拠とすることが可能になった。

同様に、根拠を示して発表した場面のプロトコルの抜粋とその際に機能させたメタ認知的知識を表8で示す。

3班は、おもりのおもさ5kgと自ら設定した距離の数値を用いて、既知であるつりあいの法則を基に計算をした。そして、その計算結果を比較することで、手ごたえの変化を説明した。これは、「数値を用いて定量的に捉える必要がある」といったメタ認知的知識に基づき、「実験結果と既習事項のてこ実験器で数値を用いた学習内容」をモニタリングすることによって、「数値化し比較する」といったコントロールを行うメタ認知的活動がなされた場面だと捉えられる。ここで教師は、下線で示すように、数値化し比較するといった、メタ認知の適応を価値づけた(T8)。

また、1班では、前次につりあう法則を用いて問題演習した際、正答が複数あったことに着目した。表中の下線部で示すように、これは、1つのパターンだけで考えるのではなく、複数のデータを基に考えている、つまり、「多くのデータを集めて考察する」といったメタ認知的知識に基づき、「事象と問題演習でのおもりの数の違い」をモニタリングし、「おもりの数と手ごたえを対応させる」コントロールが機能した場面だと捉えられる。教師は、おもりの数と対応させ、複数のパターンで考えたことを評価した(T9)。

上述した3つの班では、事象を説明する際、教授要素Aで示されたメタ認知的知識を子ども自ら取捨選択し、適応しながらメタ認知的活動を行い、メタ認知の機能を促進していった。そうして、てこの規則性について、力を加える位置や手ごたえを量的に捉えるといった見方や、グラフと「関係付けたり」、数値化して「比較する」といった考え方を働かせて学習を遂行していた。その際、教師は、子どもの表現から、どのようなメタ認知的知識に基づきメタ認知を機能させたのか見取り、評価することでそのメタ認知的知識の有用性を示し、次の学習場面のメタ認知の適応を促していたと考えられる。

表8 プロトコルの抜粋(5)

3班	支点から力点の距離が近く、作用点がいと重く感じる。なぜなら、あてこ実験器つかったときに、ここは(支点から力点)1で、この長さ(支点から作用点)は9なので、 $9 \times 5$ で45kgとなり、こっちは1なので、 $45 \div 1$ となり、力点に必要なおもさは45kgとなる。逆に、もっとも軽く感じるときは、支点から力点までが遠く、作用点から支点が近いときで、つりあうためには、 $5 \times 1$ で5kgで、ここまで(支点から力点までの距離)が9なので、 $5 \div 9$ で、 $5/9$ kgしか必要ない。	3
T 8	今の話のポイントわかりましたか。おもさが5キロってわかっているので、支点からの距離を決めると、押す方の力を計算してみると、重いときと軽いときで数字を見ると大変さが違うってことですね。(中略)	
1班	何パターンか考えたんですけど。練習問題があったじゃないですか。その間1だと、(左うでが「(距離が) $4 \times$ (おもさが) $2$ で8」のとき)右うでが「 $1 \times 8$ 」でも「 $2 \times 4$ 」でも「 $8 \times 1$ 」でもよくて、支点からの距離が遠くなるほどおもりの数が減るので、それを手ごたえに置き換えると小さい力で済むと考えました。	5
T 9	実際のおもりの数で何通りか考えたんですね。素晴らしい。	

6.3【教授要素Cの視点】

1. てこのつりあいに関するまとめの場面(第1次)

次に示す図8は、第7時に個人で行った、てこのつりあいに関する学習のまとめの記述例である。

C4児は、これまでの学習6時間分の学習内容を順序良く、それぞれを関連付けながら説明した。具体的には、C4児は、授業で扱った数値ではなく、「重さ×距離が6になるとき」と、自ら状況を設定し、まず、てこ実験器で行った実験を、図と計算式で簡潔に表した。これは、表6に示したメタ認知的知識のうち、6「図を用いて考えたり、他者へ理解を伝える」、3「数値化して、定量的に捉える」といったメタ認知的知識に基づき、てこがつりあうための法則について、ことばでまとめたものであると考えられる。

さらに、それらをグラフで捉え、曲線上の別の数値で、もう一度計算し直し、量的なイメージを加えた。ここでは、8「グラフを用いて視覚的に捉える」、3「数値化

して、定量的に捉える」といったメタ認知的知識を稼働させ、既習内容を一貫した論理で説明したと捉えられる。

このように、教授要素AとBの往還を振り返ること、つまり教授要素Cによって、子ども自ら、一連の問題解決過程を俯瞰することを可能にすると考えられる。

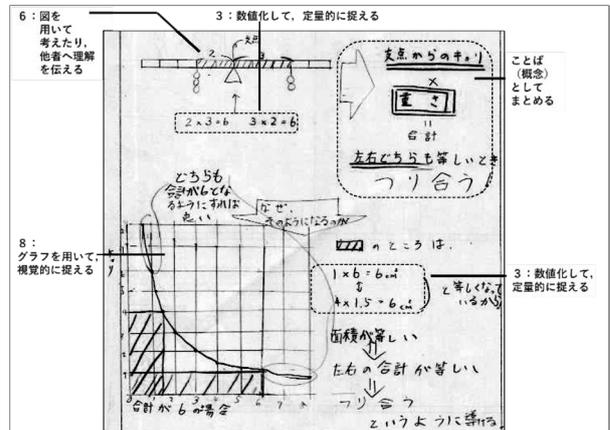


図8 C4児の学習のまとめ

II. てこを利用した道具に関する学習場面(第3次)

第3次では、てこのはたらきを利用した道具について、はさみ及びくぎぬきを例に、どのようにてこの規則性が働いているのかを実際に試し、考察した。そして、考察したことを班で共有し、学級全体で発表した。その際、班で構築した表現の例を図9に示す。

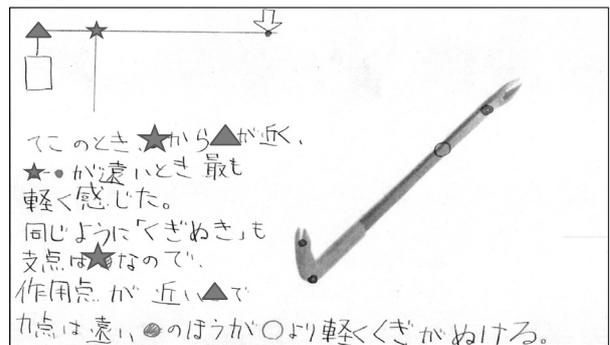


図9 班で構築した表現の例 (★と▲は、筆者が加筆)

図9中の「支点に作用点が近くて、力点がいと軽く感じる」といった表現のように、全班が道具の使用法を、前次の学習を根拠に説明することができた。これは、第2次における「既知の知識を根拠に事象を説明する」といったメタ認知の適応の有用性を実感し、それに基づきメタ認知を機能させた結果であると捉えられる。

さらに図9に示した表現では、前次の実験の様子を捉え、図を用いて説明した。また、力点の位置を2つ示し、より支点から遠い方が軽くぬけるといったように、事象を比較しながら捉えていた。これは教授要素Aで示された複数のメタ認知的知識を複合的に適応していたと考えられる。

このように、学習の進行に伴い、継続的にメタ認知を働かせることを促すことで、子どもは既習内容に基づき、メタ認知的知識を適応し、より学習内容を深化させると考えられる。

## 7. 本研究のまとめ

Veenman, M.V.J. らの指摘する教授要素A～Cの視点に基づき、知識成分と活動成分の関連について、「てこの規則性」を事例に分析を行った。具体的には、各要素で以下の諸点が明らかとなった。

- ・教授要素Aでは、「てこの規則性」に関するメタ認知的知識を表6に示すように8つの要素で整理した。方略に関する知識は、事象を半具象で映像的に捉えていくといった、具体と抽象を往還するための媒介として機能した。また、課題に関する知識は、量的におもりの量と支点からの距離という量を関係付けることに機能した。これらの知識を支えるメタ認知的知識として、人間の認知特性に関する知識が機能することが示唆された。
- ・教授要素Bでは、知識成分と活動成分を関連付けていくこと、すなわち教授要素Aで示されたメタ認知的知識の適応を促すことで、メタ認知的活動の活性化が図られた。具体的にはメタ認知の教授要素AとBを関連付けるために、既習内容に基づき、事象に対する根拠を示しながら説明することを促すことが重要であった。この中で、メタ認知の機能が促進されることによって、理科の「見方・考え方」として「量的・関係的」な見方や「比較したり、関係付ける」といった考え方を働かせて、科学概念を構築していった。
- ・教授要素Cでは、継続的なメタ認知の機能の促しによって、教授要素AとBの関連付けが図られ、学習内容を

深化させた。また、一連の問題解決過程を俯瞰する機会の保証として、学習の振り返りは有効であった。

以上より、知識成分と活動成分を関連付けるメタ認知の機能の促進が科学概念構築に寄与することが明らかになった。

## 引用・参考文献

- 1) 国立教育政策研究所：「平成27年度全国学力・学習状況調査 報告書 小学校理科」, 2015
- 2) 和田一郎, 熊谷あすか, 森本信也：「理科学習におけるメタ認知と表象機能との関連についての研究」, 理科教育学研究, Vol.53, No. 3, pp.523 - 534, 2013
- 3) 松浦拓也, 角屋重樹：「観察・実験における思考活動に及ぼす要因構造の検討」, 日本教科教育学会誌, 第24号, 第2号, pp.31 - 36, 2001
- 4) 文部科学省：中央教育審議会「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方略について（答申）」, 2016
- 5) 文部科学省：「小学校学習指導要領解説 理科編」, 2017
- 6) Flavell, J.H. : 「Speculations about the nature and development of metacognition」, *Metacognition, Motivation and Understanding*, Hillside, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates., pp. 21-29, 1987
- 7) Thomas O. Nelson & Louis Narens : 「METAMEMORY: A THEORETICAL FRAMEWORK AND NEW FINDINGS」, *THE PSYCHOLOGY OF LEARNING AND MOTIVATION*, VOL. 26, pp.125-173, 1990
- 8) Marcel V. J. Veenman, Bernadette H. A. M. Van Hout-Wolters & Peter Afflerbach, 「Metacognition and learning: conceptual and methodological considerations」, *Metacognition Learning*, Vol.1, pp.3-14, 2006