

# 外的資源が科学的な概念の形成に与える効果についての研究

## —イメージ・スキーマを持たせることの効果—

The effect of image schema on the formation of scientific concepts

清水 誠\*  
Makoto SHIMIZU

鶴貝 昌弘\*\*  
Masahiro TSURUGAI

安田 修一\*\*\*  
Syuichi YASUDA

**【要約】**本研究の目的は、外的資源を使用する際に、イメージ・スキーマを持たせることが、科学的な概念の形成にどのような効果を与えるのか明らかにすることである。検証授業は、中学校3年で学習される「月の見え方」で実施した。被験者には、「月の見え方」の学習前にイメージ・スキーマを持たせるため、光の当たり方と雲の見え方の変化についての情報を提示した。この学習の外的資源は、竹串に刺した発泡スチロール球（月モデル）である。授業後に科学的な概念が形成されたかを調べたワークシートの記述結果からは、イメージ・スキーマを与えた実験群が統制群に比べ科学的な概念が形成された生徒が多いことが分かった。問題解決の際に適切な外的資源を提示し、それを被験者が適切に操作した経験があれば、外的資源によって可視化されたイメージ・スキーマは、ターゲット問題の問題解決を促し、科学的な概念の形成に有効に働くことが示唆された。

**【キーワード】** イメージ・スキーマ、外的資源、問題解決、科学的な概念形成

### I. 問題の所在

近年の認知科学研究では、外的資源 (external resource) があることで、思考活動を進める際に頭の中だけで考えるよりも、効率的な学習活動が進められることが期待できると考えられるようになった。それ自体は意味をもたない外的資源であっても、解決者が問題に対してなんらかの解釈や意味をつくりあげ、問題構造、内容に関する表象を構築するとき、外的資源は問題解決を促進すると考えることができる。外的資源の問題を取り上げた Wainer<sup>1)</sup> や Larkin & Simon<sup>2)</sup> は、外的資源としての図の持つ性質が探索、再認、推論のプロセスでどのように働くかを調べる中で、認知主体の計算負荷を軽減することを明らかにしてきた。計算負荷の軽減とは、目的とする情報を得るまでに必要な計算量を減らすことであり、図やグラフなどは主としてこの機能をもっていると考えられている。Wainer<sup>3)</sup> は、19世紀にロンドンでコレラが流行したときに、地図上に死者の位置をプロットしていくことによって汚染源となっていた井戸を特定していった。これは、コレラによる死者の住所一覧を見て分布の中心を見出すよりも、地図上にプロットして作成した分布図を見た方がコレラの中心を特定しやすく、計算負荷を軽減していることを示している。Larkin & Simon<sup>4)</sup> は、外

的資源による計算負荷の軽減とは、情報の顕在性によるものと考え、図では関連情報が局在化しているために情報検索のための注意制御が容易であるが、文章では分散しているため情報の検索が困難なのであるとしている。一方、多様な図的表現の中に具体性 (specificity) よりも抽象性 (abstractness) が存在するものがあるとしている植田<sup>5)</sup> は、抽象的なイメージを従来の図的推論で対象とされてきた具体的な図と区別するために Lakoff<sup>6)</sup> や Johnson<sup>7)</sup> にならって、イメージ・スキーマと呼んでいる。植田は、このイメージ・スキーマの可塑性が類推的問題解決を促進し得ることを見だし、ターゲット問題と視覚的に類似したイメージ・スキーマは、かりにターゲット問題がイメージとしてではなく、文章で表現されている場合でも、ターゲット問題の解を生成する手がかりを付与する場合があるとしている。特定の意味をもたない、あるいはベース問題で別の意味づけがなされたイメージ・スキーマが解決者の頭の中に存在すると考える仮屋園<sup>8)</sup> は、ベース問題解決時に適切な外的資源を提示し、それを被験者が適切に操作した経験があれば、外的資源によって可視化されたイメージ・スキーマは、ターゲット問題に有効に機能し得るとしている。イメージ・スキーマを作成するという作業は、問題解決を促進するための命題の可視化であり、命題の可視化に手がかりを

\* 埼玉大学教育学部理科教育講座

\*\* 栃木県小山市立小山第二中学校

\*\*\* 科学技術振興機構

与えると考えることができる。しかし、これまでの外的資源の効果を調べた理科教育学研究<sup>9)</sup>には、イメージ・スキーマが問題解決を促進し、科学的な概念形成に有効であるかを調べた研究は見られない。

そこで、本研究では、平成20年の改訂により中学校3年で新しく学習することになった「月の見え方」の学習を事例に、外的資源を使用する際に、イメージ・スキーマ<sup>10)</sup>を持たせることが、科学的な概念の形成にどのような効果を与えるのかを明らかにすることを目的とする。

## II. 研究の方法

### 1. 調査対象及び時期

授業は、埼玉県内の公立中学校の3年生、3クラス102名を対象とした。対象の被験者は、イメージ・スキーマを持たせるための授業を行った群（以下、実験群と呼ぶ）とイメージ・スキーマを持たせるような授業をしなかった群（以下、統制群と呼ぶ）に分けた。実験群の被験者は2クラス70名、統制群の被験者は1クラス32名である。調査は、2010年11月に実施した。

### 2. 授業の概要

検証のための授業は、中学校学習指導要領第2分野(6)イ(イ)の「月の運動と見え方」の内容について実施した。この授業は、月の公転と見え方を関連付けてとらえることがねらいである。そこで、このねらいを生徒が達成できるようにするため、「月の運動と見え方」の授業前に実験群にイメージ・スキーマを持たせる授業（以下、授業1と呼ぶ）を20分間行った。「月の運動と見え方」についての概念が形成できたかを検証するための授業（以下、授業2と呼ぶ）では、外的資源として竹串に刺した発泡スチロール球（月モデル）を使用した。実験群で実施した授業の主な流れは、次のようである。授業は、共同研究者の安田が行った。

#### <授業1の概要>

- ア。「どうして同じ雲の中にも白色や灰色に見える部分があるのだろうか」という課題提示を教師が行った。
- イ。ワークシートに個人の予想を記入させた。
- ウ。図1のようなモデル図を提示し、そのときに見える雲の様子の予想をワークシートに記入させた。
- エ。雲模型を使い、白くなっている部分、灰色になっている部分を確認した。
- オ。ウと同様にモデル図を提示し、ウとは見る位置を変えて、そのときに見える雲の様子をワークシートに記入させた。
- カ。エと同様に雲模型を使い、白くなっている部分、灰色になっている部分を確認した。
- キ。教師が次のようなまとめをした。
- ・光が当たっている部分は白色に、当たっていない部分は灰色になっている。



図1 モデル図

- ・太陽と雲と自分の位置によって、雲の見える様子が変わる

#### <授業2の概要>

- ア。「月はどのように満ち欠けをするのだろうか」と課題提示を教師が行った。
- イ。生徒に予想をさせた後、教師が実習の方法について次のような説明と指示をした。
- ・この発泡スチロールの球を月と見立てます。一億分の一です。これを使って実験をしていきます。なお、電球が太陽となります。
  - ・今回の実習では、3種類の形の月が見えます。どんな形に見えるかやってみてください。
  - ・実際に見えた形を、ワークシートの丸の中に、書いてください。光が当たり、明るくなっている部分を黄色で塗ってください。
- ウ。図2のように一人一人が実習を行い、実習中に見えた月の形をワークシートに記入させた。



図2 月の見え方の実習

エ. 実習の結果をもとに、ワークシートにある太陽、月、地球がどのような位置関係の時に、月はどのような形に見えるかをまとめさせた。

オ. 教師が次のようなまとめをした。

- ・月の満ち欠けは、太陽・月・地球の位置関係によって生じる。
- ・三日月は夕方、南西の空に見える。
- ・半月は夕方、南の空に見える。
- ・満月は夕方、東の空または朝方、西の空に見える。

なお、統制群は、授業1を行っていない。授業2の条件は、全て実験群と同じである。

### 3. 調査

#### (1) 両群の等質性

授業2を実施する1週間前に質問紙を利用して、知識およびイメージ・スキーマの使用の状況を調べた。知識に関する問題は、既習事項である検証授業と同じ領域の図3に示す内容について調査した。

1. あなたは今、南の方角を向いています。このときあなたの左側の方向はどの方角になりますか、下のア～エから1つ選びなさい。

ア. 東    イ. 南    ウ. 西    エ. 北

2. 図1の左側の大きな円は地球です。×印は北極を表しており、この図は地球を北極の真上から見たものです。右にあるのは、太陽です。地球上にいるA君は、地球が自転するとともに①→②→③→④の場所へと移動します。

図1

(1) 図1のように太陽が地球を照らしているとすれば、日の入り(夕方)を迎えているのはどの位置になりますか。図1の①から④から1つ選び、その番号を書きなさい。

(2) A君が図1の④の位置にいる時、矢印のアの方向は東・西・南・北のどの方角になりますか。東・西・南・北から1つ選び、書きなさい。

図3 知識に関する質問紙

また、イメージ・スキーマを使用して問題解決ができるかどうかについて、図4に示すBeveridge & Parkins<sup>11)</sup>が使用した放射線問題をもとに、ヒントとして仮屋園<sup>12)</sup>が行った消火問題を組み合わせで実施した。

あなたは、胃に悪性のガンがある患者を受け持つ医者です。患者に手術をすることはできません。けれども、何らかの手段でガンを取り除かなくてはそ

の患者は死んでしまいます。その手段の1つとして、放射線治療が考えられます。一度に強い放射線を照射すれば、悪性のガンを死滅させることができますが、同時に周りの健康な細胞も破壊してしまいます。弱い放射線を照射すると、健康な細胞に危険はありませんが悪性のガンには効果がありません。悪性のガンを死滅させ、なおかつ健康な細胞を破壊しないためには、どのような方法で放射線治療を行えばよいでしょうか。

回答は文章と図の両方で書いてください(どちらかしかかけない場合は、どちらか一方でもかまいません)。あなたが、こんなふうにしたら良いと思う方法を自由に書いてください。

<文章>

<図>

※ ヒントをみってから付け加える場合には、赤色のペンで記入をしてください。

#### 《ヒント》

ある日、ビルが火災に見舞われ、大火事となりました。かけつけた消防士は、一度に大量の水を火元へ放水すれば火が消えることを知っていました。実際、現場ではたくさんのポンプが使えたのですが、多くのポンプから出る大量の水を一度に放水できるほど十分に太いホースが現場にはありませんでした。そこで、消防士がとった方法は、細いホースを使って、いろいろなところから水を放水し、火元に水を集結させるという方法でした。


図4 イメージ・スキーマの使用に関する質問紙

#### (2) 科学的な概念の形成

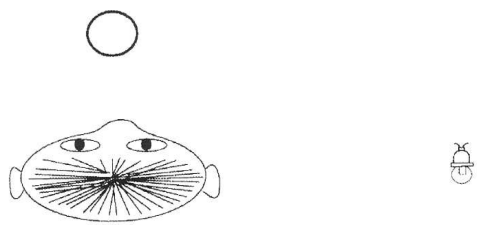
イメージ・スキーマの提示の有無が、科学的な概念の形成に与える効果を探るために、授業2の月の満ち欠けについての授業概要のエで、生徒がワークシートに記述した質問内容を分析した。ワークシートにある質問内容は、図5に示したように質問1から質問3の3つからなり、地球と月と太陽の位置関係からどのような月が見えるかを書かせるものである。なお、ワークシート中の質

問の中にある図は、授業の中で学習した様子を図示化したもので生徒の頭の図が地球、○が月、電球が太陽にあたる。

**質問1**  
太陽、地球、月が下のような位置関係のとき、月はどのように見えますか。



**質問2**  
太陽、地球、月が下のような位置関係のとき、月はどのように見えますか。



**質問3**  
太陽、地球、月が下のような位置関係のとき、月はどのように見えますか。

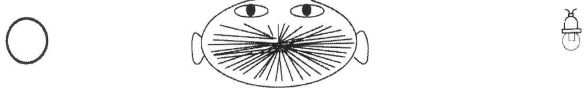


図5 ワークシートに指示された質問

(3) イメージ・スキーマが科学的な概念の形成に及ぼす影響

授業2で生徒が月の見え方を考える際に、授業1で行ったイメージ・スキーマを活用しているかを探るため、授業2の概要ウの実習中に生徒の間で自然発生的に生まれている発話の分析を行った。加えて、授業2の授業後に面接調査を行った。方法は、以下の通りである。

ア. 発話の分析

実験群、統制群共に、生徒が学習している理科室の各実験台にICレコーダーを置き、発話を記録し、分析した。発話を記録したグループ数は、実験群が16グループ、統制群が8グループであった。

イ. 面接調査による分析

実験群8名、統制群4名を無作為に抽出し、以下の2つの質問を行い、回答を分析した。

質問1

「今日の授業を考えると、以前に似たような経験をしたことがありますか。」

質問2

「どのようなところが似ていましたか。」

\*この質問は、質問1で「ある」と回答した生徒に対してのみ行った。

Ⅲ. 結果とその分析

1. 両群の等質性

(1) 知識に関する質問の結果

生徒の回答を、質問1については選択肢アを正答とし、それ以外を誤答とした。質問2については、選択肢①を正答とし、それ以外を誤答とした。質問3については、選択肢の「西」を正答とし、それ以外を誤答とした。結果は、表1のようであった。

表1 知識に関する等質性調査の結果

		実験群 (N=70)	統制群 (N=32)
問1	正答	57 (81.4)	26 (81.3)
	誤答	13 (18.6)	6 (18.7)
問2 (1)	正答	41 (58.6)	19 (59.3)
	誤答	29 (41.4)	13 (40.7)
問2 (2)	正答	35 (50.0)	14 (43.8)
	誤答	35 (50.0)	18 (56.2)

注. 単位は人数。( )内の数字は%

両群の正答数と誤答数について直接確率計算  $2 \times 2$  で検定を行ったところ、質問1 (両側検定:  $p = 0.9999$ )、質問2 (1) (両側検定:  $p = 0.9999$ )、質問2 (2) (両側検定:  $p = 0.5277$ ) のいずれにおいても有意な差は見られなかった。

(2) イメージ・スキーマの使用と問題解決に関する質問の結果

イメージ・スキーマを使用して問題解決ができるかどうかを調べる問題では、表2に示す評価基準を作成した。

表2 評価基準

	内容	回答例
A 基準	1. 「弱い」あるいは「何回かに分けて」という内容が含まれている。 2. 「いろいろなところから一点に集める」という、1及び2の内容の両方が含まれている。	・弱い放射線をいろいろな場所から照射させてガンを死滅させる。 ・強い放射線ではなく、弱い放射線で、いろいろな角度で、ガンにあてていく。

B 基 準	上記1, 2のどちらか一方の内容が含まれている。	・何回かに分けて放射線を照射する。
C 基 準	A, B基準以外のもの。	・薬等で散らしてしまうのではなく、少し軽めの薬がポンプに詰まっていたとして、それを吸って軽くした方がよいと思います。

次に、この分析基準をもとに生徒の回答を分類した。その結果が、表3である。

表3 イメージ・スキーマの使用と問題解決に関する等質性調査の結果

	A基準	B基準	C基準
実験群 (N=70)	34 (48.5)	19 (27.1)	17 (24.4)
統制群 (N=32)	15 (46.9)	9 (28.1)	8 (25.0)

注. 単位は人数。( )内の数字は%

2つの群のA, B, C基準の生徒数について、カイ二乗検定を行ったところ、有意な差は見られなかった ( $p=0.3669$ )。

これらの結果から、この問題に関しては、両群等質であると言える。

## 2. 科学的な概念の形成

授業2の実施時のワークシートの中で生徒に質問した内容を分析した結果が表4である。質問1では三日月を正答、質問2では半月を正答、質問3では満月を正答とした。各質問ともそれ以外は、誤答とした。

表4 ワークシートへの記述

		実験群 (N=70)	統制群 (N=32)
問1	正答	62 (88.6)	21 (65.6)
	誤答	8 (11.4)	11 (34.4)
問2	正答	59 (84.3)	23 (71.9)
	誤答	11 (15.7)	9 (28.1)
問3	正答	67 (95.7)	26 (81.3)
	誤答	3 (4.3)	6 (18.8)

注. 単位は人数。( )内の数字は%。

2つの群の正答数と誤答数について直接確率計算  $2 \times 2$  で検定を行ったところ、質問1 (両側検定:  $p=0.0120$ ) 及び質問3 (両側検定:  $p=0.0255$ ) は5%水準で有意な差が見られ、質問2 (両側検定:  $p=0.183$ ) は有意傾向が見られた。実験群の方が科学的な概念の形成がなされていると言える。

## 3. イメージ・スキーマが科学的な概念の形成に与える効果

### (1) 発話の分析

授業2の概要ウで実習中の生徒の発話プロトコルを分析した。実験群第2班を例に、発話プロトコルを見ると図4のようである。

3 a : 太陽が右にあるでしょ。  
 4 b : うん。  
 5 a : 右にあるでしょ。  
 6 a : こうだよ。  
 7 b : これが?  
 8 c : どうすればいいの? あ, こうか。  
 9 d : できてるよね。  
 10 b : うん。  
 11 d : 普通に, ここでしょ?  
 12 c : え, どこ?  
 13 d : ここ。  
 14 d : 太陽が西に見えてて。  
 15 c : あー。  
 16 d : あ, そこだね。  
 17 c : これは, 三日月だね。  
 18 d : そうみたいだ。  
 19 c : こんな形。  
 20 d : そうだね。  
 21 c : これってこの間の雲と同じってことでしょ?  
 22 d : うん。  
 23 c : 細くて。  
 24 a : どんな感じ?  
 25 c : 細くて, こんな感じ。  
 26 a : あーそういう感じね。

図4 実験群第2班の発話プロトコル

生徒dは、9dで「できてるよね」と発言している。このことから、月モデルを用いて満ち欠けを再現する中で、どのような月が見えているのか気付いた様子が分かる。また、生徒bも10bで「うん」と生徒dに同調しており、どのような月が見えているのか気づいたことが分かる。このことは、14dや16dで生徒cに説明している様子からもうかがえる。一方で、生徒cは12cで「え? どこ?」と聞き返していることから、どこに見えているのかが分かっていない様子がうかがえる。しかし、その後の、生徒dとのやりとりを通し、17cの「これは三日月だね」や19cの「こんな形」と発言をしていることから、三日月であることを確認したことが分かる。また、生徒cは21cで「これってこの間の雲と同じってことでしょ?」と発言していることから、事前に生成したイメージ・スキーマを想起している様子が伺える。こうした様子は、実験群のすべての班で見ることができた。

(2) 面接内容の分析

質問1及び質問2に対する両群の12名の回答をまとめたところ、表5のようになった。

表5 面接内容

	生徒	質問1の回答	質問2の回答
統制群	A	いいえ	美術の時間に、描いていたバレーボールに太陽の光が当たり、後ろに影ができたこと。
	B	いいえ	
	C	いいえ	
	D	はい	
実験群	E	はい	理科の授業で、太陽に当たっている部分は、月でも雲でも白くなったこと。
	F	はい	理科の授業で、光の当たり方によって、見え方が変わったこと。
	G	いいえ	理科の授業で、雲と同じように光が当たっている部分は明るく、当たっていない部分は影になっていたこと。
	H	はい	
	I	はい	理科の授業で、光の当たり方によって見え方が変わったこと。
	J	はい	理科の授業でみた、雲に対する光の当たり方。
	K	はい	理科の授業で、太陽の光の当たり方によって、明るくなるところと暗くなるところが変わったこと。
	L	はい	理科の授業で、光があたった部分は明るく、当たっていない部分は影になったこと。

統制群では、質問1に対し、生徒Dのみが「はい」と回答し、生徒Dは質問2に対し「バレーボールに太陽の光が当たり、後ろに影ができたことが似ていた」と回答している。一方、実験群では、質問1に対し、8名中7名が「はい」と回答している。質問2に対し、「はい」と回答した回答者は、「イメージ・スキーマ生成をねらった雲の授業」を挙げ、「光の当たり方によって、見え方が変わる」とや「光が当たっている部分は明るく、当たっ

ていない部分は影になっていること」等の回答をしている。実験群の生徒は、授業前に獲得したイメージ・スキーマを使用して月の見え方について考えていたと考えることができる。

IV. 考察

授業2の授業後に科学的な概念が形成されたかを調べたワークシートの記述結果からは、イメージ・スキーマを与えた実験群が統制群に比べ科学的な概念が形成された生徒が多いことが分かった。両群においてイメージ・スキーマを生成させる授業を行ったか否かという条件以外は同一の内容であるため、差が生じた要因として、イメージ・スキーマが影響を与えたと考えることができる。このことは、発話プロトコルの分析から、イメージ・スキーマを想起している発話や、授業直後の面接調査において、「似たような経験をしたことがありますか」という質問に対し、実験群8人中7人がイメージ・スキーマに関する事柄を挙げていたことから伺うことができる。授業2の学習前に具体的に可視化された雲模型から、光を発する物体と光が当たる対象の位置関係により、明るく見える部分が変化するという抽象的なイメージ・スキーマを生成することが、問題解決を促進したと考えることができる。授業2の授業前に提示されたイメージ・スキーマは、ターゲット問題（本研究においてはワークシートの問題）の解を生成する手がかりとなっていたと考えられる。

以上のことから、理科における問題解決においても、仮屋園<sup>13)</sup>が述べるようにベース問題解決時に適切な外的資源を提示し、それを被験者が適切に操作した経験があれば、外的資源によって可視化されたイメージ・スキーマは、ターゲット問題の問題解決を促し、科学的な概念の形成に有効に機能すると考えることができる。

V. 研究のまとめ

本研究からは、イメージ・スキーマを持たせた上で外的資源を使用することは、外的資源に対する見方や考え方を所持させることにつながり、結果として科学的な概念の形成に有効に働くことが示唆された。検証授業の範囲内という限定付きではあるが、授業で身につけさせたい科学的な概念と共通するイメージ・スキーマを持たせることは、理科学習において科学的な概念の形成に有効に働くことが示唆された。

付記

本研究の一部は、平成23-26年度科学研究費補助金・基盤研究(C)（課題番号：23531159、研究代表：清水誠）の助成を受けて実施した。

註・引用文献

- 1) Wainer, H.: 「Understanding graphs and tables」, *Educational Researcher* 21(1), 14-23, 1992.
- 2) Larkin, J.H. & Simon, H.A.: Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science*, 11, 65-99, 1987.
- 3) 前掲書 1)
- 4) 前掲書 2)
- 5) 植田一博: 「イメージ・スキーマによる問題解決とその支援の可能性」, *認知科学*, 2(4), 76-92, 1995.
- 6) Lakoff, G.: *Women, Fire, and Dangerous Things*, University of Chicago Press (池上嘉彦 監訳: 「認知意味論 言語からみた人間の心」, 紀伊國屋書店, 1993), 1987.
- 7) Johnson, M.: *The Body in the Mind, The bodily basis of meaning, reason and imagination*, University of Chicago Press (菅野盾樹監訳: 「心の中の身体 想像力へのパラダイム転換」, 紀伊國屋書店, 1991), 1987.
- 8) 仮屋園昭彦: 「問題構造を表す外的資源が問題解決を促進する条件」, *鹿児島大学教育学部研究紀要人文・社会科学編*, 51, 131-149, 2000.
- 9) 理科教育学研究の中で外的資源に触れた研究には, 清水・牧野が外的資源の持つ顕在性が科学的な概念の形成に有効に働いていることを明らかにした研究や清水・肥田による外的資源の持つ操作可能性が科学的な概念の形成に有効に働いていることを明らかにした研究を見ることができる。しかし, これらの研究ではイメージ・スキーマに触れていない。  
清水誠, 牧野正: 「外的資源が科学的な概念の形成に与える効果についての研究—慣性の法則の学習を事例に—」, *理科教育学研究*, 51(1), 75-81, 2010。  
清水誠・肥田幸則・紺野雅弘: 「外的資源の持つ操作可能性が科学的な概念の形成に与える効果—台風の進路の学習を事例に—」, *理科教育学研究*, 51(3), 209-215, 2011.
- 10) イメージ・スキーマとは, Johnson (1987) によれば, 「人間が身体的, 知覚的に, 経験を通じて, 構造化された抽象的な枠組み」と定義されている。本研究においても, この定義を採用している。
- 11) Beveridge, M & Parkins, E: *Visual representation in analogical problem solving*, *Memory & Cognition*, 15(3), 230-237, 1987.
- 12) 前掲書 8)
- 13) 前掲書 8)