

# 認知発達を促す理科授業の実践

野ヶ山 康弘, 谷口 和成

(京都教育大学附属京都小中学校, 京都教育大学理学科)

## Teaching Practice of Cognitive Acceleration through Science Class

Yasuhiro NOGAYAMA, Kazunari TANIGUCHI

2012年11月30日受理

**抄録**：現在，理科学習においては求められている科学的な知識や考え方を活用する力を育む手段として，英国の認知促進 (Cognitive Acceleration: CA) の考え方の日本の理科授業における応用を検討した。CAとは，形式的な思考操作能力に焦点をあて，その異なる段階にいる子どもを対象とした教科教育を通して，その発達を促す考え方である。そこで，このCAの理念に基づく理科授業を開発し，その中で生徒の基本的な思考操作能力の現状について調査したところ，この能力の違いを示す明らかな段階が確認された。教師が個々の生徒のこの段階を事前に把握して，効果的に授業を構成し，展開することの意義が明らかになった。

**キーワード**：認知促進(CASEプロジェクト)，科学的思考力，思考の発達段階，思考操作，理科カリキュラム

## I. はじめに

新学習指導要領では「考える力」がキーワードとなり，これまでよりも習得すべき内容が大幅に増えるとともに「思考力・判断力・表現力等の育成」が重視されることになった。特に，理科学習においては「科学的思考力をどう育てていくか」がこれまで以上に重要な課題となっている。これまでの国内における理科教育では，興味・関心を喚起するため，知識理解を促すための授業・教材の工夫や探究的な学習の開発は盛んに行われてきているものの，「科学的思考を行うための基礎となる手法や考え方そのものをいかにして獲得させるか」という視点における検討はほとんどなされていない。一方，英国にはこの視点に立ち，ピアジェ，ヴィゴツキーらの認知心理学に基づき，変数の制御・除外，分類，蓋然性，モデルの使用などといった形式的な論理思考の基盤となる思考操作のいくつかのパターン（表1）に着目し，それらを科学教育を通して発達させることにより認知的発達を促し，論理的思考力を育成することを目指すプログラムがある。その開発プロジェクトは(CASE: Cognitive Acceleration through Science Education)と呼ばれ，そこで開発された教材のひとつに『Thinking Science』<sup>1)</sup>がある。英国では，このプログラムを受けた子どもの学力の向上が報告されており，このプログラムの基本となる「認知促進 (Cognitive Acceleration: CA)」の概念は，ナショナルカリキュラムに影響を与えるほどの評価を受けている。日本においては，90年代に栗田<sup>2)</sup>，06年に小倉<sup>3)</sup>によって紹介されたものの，日本の子どもに対する効果の実証的検討は，ほとんど行われていない。

本研究では，現在求められている科学的思考力を育てる新しい試みとして，附属京都小中学校の生徒に対して，CASEの教材『Thinking Science』を新教科「サイエンス」の授業に取り入れることにした。2010年から断続的に，この授業プログラムを実践してきた結果，生徒の表現力や思考力における教育的効果が確認されている<sup>4)</sup>。そこで，一般公立学校での実用性を考慮し，特別授業ではなく通常の授業においてもこのような効果を得られるように，この認知促進 (CA) の考え方を組み込んだ理科授業の開発を行っている。

本稿では，その第1歩として行った，通常の理科授業において現在の生徒たちの形式的な思考操作 (『Thinking Science』で扱われる推論パターン) の発達状況を分析し，その結果から現在の理科教育の課題と認知促進 (CA) の考え方を取り入れた授業のあり方についての評価を試みた結果を報告する。

## II. 基本理念

### 1. 認知促進とは

ピアジェの認知発達モデルでは、子どもの思考の発達過程は「感覚的・具体的」なものから「形式的・抽象的」なものへと段階的に発達し、個人差はあるものの、その順序は変わらないとされる。特に、形式的な思考操作には表1に示すようなシエマ（『Thinking Science』では「推論パターン」と呼ばれる）があり、認知発達とはこれらのシエマを個人の中で「同化」と「調節」を繰り返しながら発達させていく過程であるとされる<sup>5)</sup>。これらのシエマは、いずれも義務教育における理科・算数（数学）において扱われる重要な思考操作ばかりであり、この視点に立てば、学習指導要領が目指す「科学的思考力の育成」は、ピアジェのいう「形式的思考操作能力の育成」と捉えることができる。そこで本稿では、以下において「論理的（科学的）思考力」を「形式的な思考操作の能力」と同様の意味として用いることにする。さらに、「具体的操作期」から「形式的操作期」に移行するとされる時期は11～14歳であるため、この時期の教育は科学的思考力を育む上で特に重要であることもわかる。

表1 論理的思考の推論パターン

推論パターン	特徴
変数制御・除外	適切に条件を設定して、現象の原因を明らかにしようとする能力
分類	対象から特定の属性を抽出し、その共通点や相違点に着目し、関係づけて把握する能力
比と比例性	伴って変わる2つの量の間の比が一定であるという関係を認識する能力
反比例	伴って変わる2つの量の間の積が一定であるという関係を認識する能力
蓋然性	事象の実現性や知識の確実性の度合い、確かさを判断する能力
相関性	1対1の対応だけの因果関係ではなく、複数のサンプルから得られた結果の全体的な傾向を把握して結論付けようとする能力
モデル化	事象を抽象化して、図に表したり、図を使って考えを進めたりする能力
平衡	4つの独立な変数a, b, c, dの間に、 $a \times b = c \times d$ という関係があるとき、その関係を用いて思考する能力

また、ヴィゴツキーによれば、認知発達は「言語活動を通じた周囲とのかかわりの中で生じる」（認識の社会的構築）とされ、さらに「子どもが自力では到達できないが、他の生徒や教師の助けにより、到達することが可能な領域（ZPD）にある課題に遭遇したときに生じる」（ZPD理論）とされる<sup>6)</sup>。

つまり、これらピアジェとヴィゴツキーの理論に従えば、11～14歳の時期に、形式的操作における思考操作のパターンを必要とするZPD領域にある課題を設定し、それを友人や教師との話し合いを通じて解決していく活動を設けることは、シエマの発達、すなわち認知発達を促し、結果として論理的思考力を育成することになると考えられる。ここで、この考え方は「認知促進（Cognitive Acceleration：CA）」と呼ばれる。この概念は1980年代の英国においてShayerとAdeyを中心に構築され、特に、科学教育を通してCAを目指すプログラムの開発プロジェクトを「CASE：Cognitive Acceleration through Science Education」という。

### 2. 認知促進（CA）の概念に基づく授業構成の特徴

CAに基づく授業の構成は、対象の子どもの思考の発達段階に合わせて、その授業で発達させたい「形式的操作における推論パターン」を選択することからはじまる。その上で、図1に示す5本の柱を軸とした展開の授業

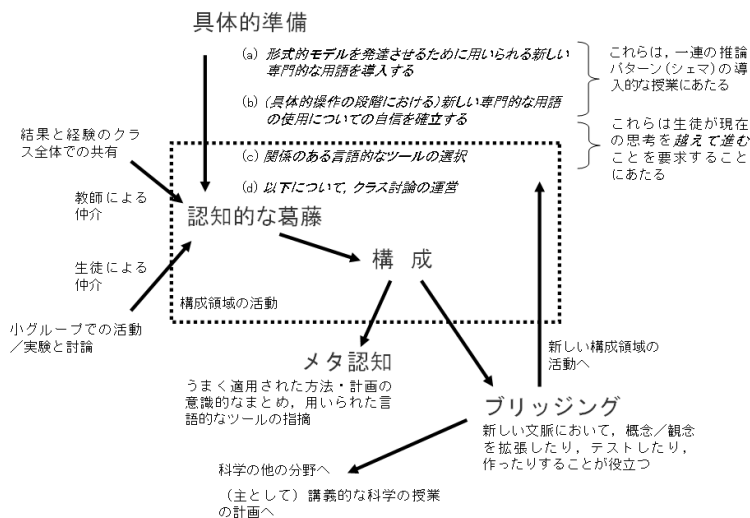


図1 CA授業の構造<sup>7)</sup>

が行われる。導入では、すべての子どもが、そこで設定されている課題に取り組むことができるように準備させる具体的な活動（【具体的準備】と呼ばれる）が十分に与えられる。ここでは特に、課題の中で用いられる新しい用語や技術に十分に慣れさせたり、課題のおかれている状況をよく把握させたりするための活動などが中心である。

展開では、そこで発達させたい推論パターンを必要とする課題に直面させ、【認知的葛藤】を経験させる。ここで、認知的葛藤とは ZPD 領域にある課題に遭遇したときに生じる葛藤のことであり、そのため「子どもが自力では解決できないが、教師や他の子どもたちの助けを得れば、解決することが可能な課題」が設定される。

続いて、生じた認知的葛藤をもとに友人や教員との徹底した討論を通して解決にいたる考えを構成していく（【社会的構成】）ことが目指されるが、たとえその授業内で正しい答えを見いだせなくても、教員により特定の結論を与えたり、結論を知識として覚えさせたりすることはなく、授業で取り扱った考え（推論パターン）について振り返る活動（【メタ認知】）があるのみである。これは、一連の活動を通じた自身の考えの変容を【メタ認知】することが最も重視され、推論パターンを子どもが“自然に”受け入れることができるようになるまで支援することを目指しているためであり、この点において、知識の習得を目的とする通常の授業とはかなり異なる。したがって、CA のプログラムでは、同じ推論パターンを必要とする授業が異なる文脈の下で繰り返し設定されており、その機会が数多く用意されている。その例として、『Thinking Science』の授業構成を表 2 に示す。

授業の最後には、発達させているシエマを他の場面、経験や現象例と関連づける【ブリッジング】が教員により積極的に行われ、活動の意義付けが行われる。

### 3. 認知的な発達段階の評価法

授業において認知促進（CA）を実現するには、具体的操作期にいる子どもに対して、形式的操作における推論パターンを必要とする課題を設定することが重要である。前述のようにピアジェによれば、その時期は 11-14 歳とされるが、発達の個人差を考慮すると、対象の子どもの認知的な発達段階を事前に確認しておくことは重要である。またより積極的な意味においては、授業において教師が討論を効果的に運営する上でも貴重な情報となる。そこで本研究では、その評価にあたり「科学推論課題（Science Reasoning Tasks : SRTs)<sup>8)</sup>」を用いた。

SRTs とは、ピアジェの調査手法に基づきつつ、多人数教育の場で一度に全員の認知段階を評価することができるように開発された記述式の課題であり、表 3 に示すような形式的操作における幾つかのシエマを必要とする 7 種の課題で構成される。ここで、各発達段階は、前操作期 (1)、具体的操作期 (2A, 2A/2B, 2B, 2B\*)、形式操作期 (3A, 3A/3B, 3B) に分類される。ここで、数字が大きいほど、アルファベットは A→B ほど段階が高いことを示している。本実践では、Task VII「棒のしなり（推論パターン：変数制御・補償）」を用いて、生徒たちの発達段階を見積もり、後述の授業における活動班の編成に活用した。

表 2 『Thinking Science』における授業構成

Lesson	単元名	推論パターン	Lesson	単元名	推論パターン
1	変ものは何か?	変数	16	相互作用	変数
2	2つの変数	変数	17	コインをまわす	蓋然性
3	どんな関係か?	変数	18	紅茶の味付き	蓋然性
4	「公正な」テスト	変数	19	ワラジムシの行動	相関性
5	グループに分ける	変数	20	手当てと効果	相関性
6	転がるボール	分類	21	サンプリング	蓋然性
7	進んだ分類	分類	22	サイコロを投げる	蓋然性
8	歯車と比率	比例性/比率	23	物質の状態を説明する	形式的モデル
9	手押し車	比例性	24	溶解を説明する	形式的モデル
10	幹と枝	反比例	25	化学反応を説明する	形式的モデル
11	釣合いを保つ	反比例	26	圧力	複合的な変数
12	電流、長さ、太さ	反比例	27	浮かぶ・沈む	複合的な変数
13	豆のサンプリング	蓋然性	28	丘を登り谷を下る	平衡
14	豆を育てる	蓋然性	29	ダイバー	複合的な変数
15	選択肢	組み合わせ	30	釣合いを取り戻す	平衡

表 3 SRTs 各課題の内容と評価範囲

Task	課題	推論パターン	評価可能な認知段階
I	空間関係	空間概念	1~2B*
II	体積と重さ	保存概念 複合変数	1~3A/3B
III	振り子	変数制御	2B~3B
IV	天びんのつり合い	反比例性	2B~3B
V	傾けた板	補償	2B~3B
VI	薬品の組み合わせ	蓋然性	2B~3B
VII	棒のしなり	補償 変数制御	2B~3B

## III. 授業実践

### 1. 実践の概要

認知促進（CA）の概念を通常の理科授業に応用するにあたり、留意した事柄を以下に述べる。

### 1) 対象の生徒

具体的操作期から形式的操作期への移行期にあると考えられる第7学年の生徒(120名)を対象とした。特に、第7学年(中学1年)は、理科の学習において急激に抽象的(形式的)思考操作を必要とする学習が増えるため、この段階で理科に苦手意識を持つ生徒が増えることが知られている。したがって、この時期の学習にCAの視点を導入することは意義があると考えられる。一方、この学年の生徒(内部進学80名)は、第6学年の頃より『Thinking Science』をLesson1から受けており(本授業を行った7月の時点でLesson20まで)、CAの授業展開には慣れているため、活発な話し合い活動を行うことができるようになっている。

事前にSRTsのTask VIIを用いて、第7学年(120名)の認知段階を評価したところ、図2に示す分布が得られた。この結果より、具体的操作期の生徒が3割程度おり、理科授業にCAの視点を組み込むことによる思考の発達を支援する意義があることがわかる。

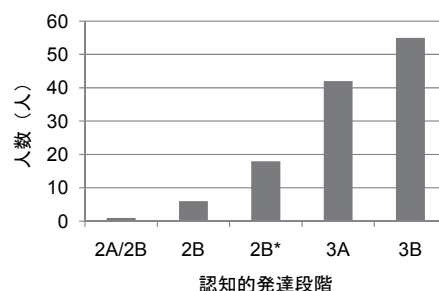


図2 SRTsによる認知段階の評価結果。  
第7学年120名

### 2) 活動班の編制

授業において認知促進(CA)を図る際の成否は、授業で扱う思考操作のパターンに対する【認知的葛藤】をいかに生じさせ、その推論パターンに対する認識を【社会的構築】および【メタ認知】により、いかに発達させることができるかがポイントとなる。これは、活動班内で頻繁に行う生徒間の討論の質が重要であることを意味する。そこで、そこでの葛藤を強め、推論パターンの社会的構築が活発に行われるようにするために、認知段階が同じ程度の生徒3~4人の班編制を行い、活動の基本単位とした。ここで、認知段階の目安としてSRTsによる評価結果を用いた。これは、SRTsの課題の性格上、その評価は推論パターンの発達状況を示しているため、その評価が同程度であるということは思考の傾向が似ていることが考えられる。つまり、そのような子どもで班を編制すると、思考の正誤に関係なく互いの意見や考えを共有・共感しやすくなることから、その分【認知的葛藤】を高め、全体討論における【社会的構築】や【メタ認知】の効果が高める効果が期待できる。

## 2. 認知発達を促す授業の展開—中学校理科第2分野「植物のからだのつくりとはたらき」

### 1) 課題の設定の背景および評価方法

本単元は、生徒にとって知識を覚えるだけの学習になりがちな分野であり、他の単元に比べて科学的に思考する機会を設けることが難しい分野でもある。そこで、単元のまとめの時間に、これまでの学習(知識的、実験的)内容を活用しつつも、論理的思考の推論パターンを複数個適用しなければ解決できないような「推論実験課題」を作成し、それを班ごとの討論を中心として解決する過程を経験していく中で、学習内容の定着とそれらの思考操作能力の自然な発達を目指す認知促進(CA)授業を考案した。(表3)

また、評価として、生徒がこの課題を解決するために、どの推論パターンに着目し、それ(それら)をどのように使って解決しようとしているのか、生徒が作成したワークシートの記述内容と授業中における生徒間の討論を記録し、分析した。

### 2) 授業の展開

本授業までにおいて、教科書にあるような一般的な授業

表3 授業展開とCAの柱

導入	前時の蒸散の実験方法と結果を復習する。	【具体的準備】
展開	図3の課題を個人に配布し、気孔が葉の裏に多いことを確かめる方法を話し合うように指示する。 どの葉を使って調べるのか。ただし、3種類までとし、葉の数は減らせないことを伝える。 それらの葉の組み合わせを選んだ根拠(理由)が明確になるように、班で話し合いを促す。	【認知的葛藤】 【社会的構築】
	② 班での意見をまとめさせ、発表により、クラス全体で討論させる。	【社会的構築】 【メタ認知】
まとめ	本時の授業で難しかったことについて、理由をつけて考えて書かせる。	【メタ認知】

表4 必要な思考操作の型(推論パターン)

① 変数制御	: 同じ種類の植物に着目すること
② 比と比例性	: 1枚あたりの蒸散量で考えること、 または 最小公倍数で枚数を同じにすること
③ 命題論理	: すべての条件がそろってなくても、 命題的に推論すること

を展開し、その中で生徒たちは蒸散についてのアジサイを使った実験を通して「葉の裏に気孔が多く存在し、そこで蒸散が行われる」ことを学ぶとともに、対照実験の方法や蒸散のはたらきや仕組み等の知識は十分に得ている。

そのうえで導入では、CAの視点【具体的準備】として、前時までの内容について復習を行うとともに、これから考える実験の変数は何かということについて考えさせ、その変数同士の関係性に意識が向くようにはたらきかける。その上で、本時のねらいとして「気孔が葉の裏に多いことを確かめる実験を計画しよう」を伝える。

展開では、図3に示す2種類の植物について、ワセリンを塗った葉（表・裏）とそのままの葉、かつそれぞれの葉の枚数が異なる計6種類の葉の絵が描かれたプリントを一人ひとりに配布し、どの葉を使って、どのように調べたらよいか、個人で考えた後、班で話し合いさせる。ただし、条件として、実験に使える植物はA～Fのうちから3つまでとし、葉の数は減らせないこと、茎からの蒸散は考えないことを伝え、どうしてその植物を選んだのか、根拠（理由）を明確にして、班で話し合いをするように促す。ここで、この条件設定は重要であり、これにより表4の3つの思考操作のうち、①と②もしくは①と③が必須となる。したがって、これらの思考操作能力の発達状況に応じて、生徒に各思考操作に対する【認知的葛藤】を生じ、【社会的構成】が行われるような展開になるように配慮した。

まとめでは、本課題を検討する上で、難しかった点を考えさせることで、自分の考えの変遷を振り返り、課題解決において用いた推論パターンを再認識（【メタ認知】）させる。

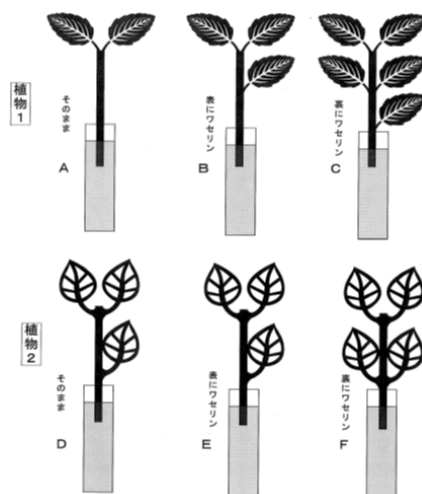


図3 推論実験課題「気孔が葉の裏に多いことを確かめる実験を計画しよう」。2種類の植物について、ワセリンを塗った葉（表・裏）とそのままの葉、及びそれぞれ葉の枚数が異なる計6種類の絵がある。

#### IV. 実践結果および考察

授業では、第7学年のどのクラスにおいても、班ごとの考え方の相違による活発な討論が展開され、盛り上がりを見せた。前述のように、本実践における生徒の活動班は認知段階ごとに編制しているため、班ごとの考え方、認知段階の違いによる生徒の思考操作能力の発達の相違による可能性が考えられる。そこで、認知段階による考え方の相違に着目して、全クラス（全31班）の生徒のワークシートを分析した。

##### 1. 「変数制御」について

表5は、各班が選択した「葉の組み合わせとその理由」および「説明において用いた推論パターン」と「説明の妥当性」を示している。選択した葉の組み合わせに着目すると、ほとんどの班が葉の種類をそろえた（正しい）組み合わせ（ABCまたはDEF）を選択しているが、中に葉の種類を無視して葉の枚数が同じ（誤った）組み合わせ（BDE）を選択している班（6班、28班）がある。後者を選んだ班は、その理由として「同じ種類で枚数が同じであるDとEは簡単に選んだが、それ以外は枚数がそろったものがないので、異なる種類だが枚数が同じ葉（B）を選んだ」と述べている。これは、ワセリンを塗った面と蒸散量の関係を調べるためには、その他の変数は固定しなければならないという考えはあるが、残りの変数（葉の種類と枚数）のうち、比較するためにどちらがより本質的な変数（条件）であるか見いだせなかった可能性、つまり、対照実験について表面的にしか理解できていないことを示唆している（なお、話し合いの際に、他の班から「それでは比較できない」と指摘を受け、説明を聞いて後、納得するに至った）。

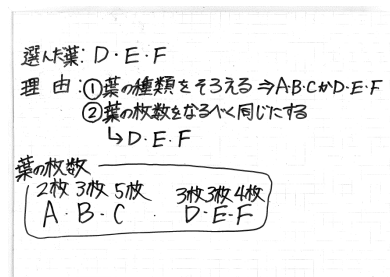


図4 「条件制御」を試みた班（2B\*段階）の考え。これ以上の考えには発展しなかった。

また、図4のように、正しい組み合わせを選んだ班でも、その理由を聞く限り、「(同じく) DとEを選び、枚数をそろえたいが、種類を変えたら比較できなくなるのでFを選んだ」や「比較するためには同じ種類でないといけないのでABCとDEFで迷ったが、同じ枚数のものがあるDEFを選んだ」など、積極的ではなく(課題を解決する方略があるわけではないが)、消去法的に正しい選択になった班もあった。これらのことは、両者(組み合わせの正誤によらず)に、変数制御の思考操作に対する認知的葛藤が生じていることを示唆している。

表5 推論実験課題に対する各班の思考実験の結果。ここで、各班が説明に用いた推論パターンおよび論理(説明)の妥当性を右側の列に○で示している。

班	段階	選択	理由	条件制御	比・比例性	命題論理	論理の妥当性
1	2B*	ABC	AとBの葉の数をたして、Cの葉と同じ数にする。	○			
2		DEF	Dの蒸散量からEの蒸散量をひいて、Fから3枚ひいて1枚分を出して、それを3倍して比べる。	○			
3		DEF	EよりFの方が蒸散した量が少ないから。葉の数はFの方が多いから気孔の数が多いから。	○			
4		DEF	ABCはすべて枚数が違うが、DEFは条件がそろっているものがあるから比べやすい。 D-EとFを比べて、Fの方が少なければよい。	○			
5		ABC	一枚あたりの蒸散量を求める。	○	○		○
6		BDE	葉の枚数が同じだから。				
7		DEF	一枚あたりの蒸散量を求める。	○	○		○
8	3A	DEF	同じ植物でDEの葉の枚数が同じで、Fだけ計算すればよく、ABCより間違いが少なくなるから。	○	○		
9		DEF	ABCはすべて枚数が違うが、DEFは条件がそろっているものがあるから比べやすい。	○			
10		DEF	ABCはすべて枚数が違うが、DEFは条件がそろっているものがあるから比べやすい。 D-EとFを比べて、Fの方が少なければよい。	○			
11		DEF	ABCはすべて枚数が違うが、DEFは条件がそろっているものがあるから比べやすい。	○			
12		DEF	ABCはすべて枚数が違うが、DEFは条件がそろっているものがあるから比べやすい。	○	○		○
13		ABC	一枚あたりの蒸散量を求める。蒸散した水の量÷葉の枚数=1枚の蒸散量	○	○		○
14		DEF	ABCはすべて枚数が違うが、DEFは条件がそろっているものがあるから比べやすい。 一枚あたりの蒸散量を求める。	○	○		○
15		DEF	Fの1枚の両面にワセリンをぬる。	○			
16		DEF	ABCはすべて枚数が違うが、DEFは条件がそろっているものがあるから比べやすい。	○			
17		DEF	ABCはすべて枚数が違うが、DEFは条件がそろっているものがあるから比べやすい。 一枚あたりの蒸散量を求める。	○	○		○
18		DEF	ABCはすべて枚数が違うが、DEFは条件がそろっているものがあるから比べやすい。 Fを3/4倍して比べる。	○	○		○
19	3B	DEF	ABCはすべて枚数が違うが、DEFは条件がそろっているものがあるから比べやすい。 Fを3/4倍して比べる。	○	○		○
20		DE	(D-E)×2とDを比べる。2(D-E)×Dであることを確認する。	○	○	○	○
21		DEF	ABCはすべて枚数が違うが、DEFは条件がそろっているものがあるから比べやすい。 最小公倍数で比べやすい。	○	○		○
22		DEF	ABCはすべて枚数が違うが、DEFは条件がそろっているものがあるから誤差が少ない。	○			○
23		DE(F)	Eの蒸散量の2倍とDを比べ、2E>Dであることを確認する。	○	○	○	○
24		DEF	ABCはすべて枚数が違うが、DEFは条件がそろっているものがあるから比べやすい。	○			
25		DEF	ABCはすべて枚数が違うが、DEFは条件がそろっているものがあるから比べやすい。 最小公倍数で比べやすい。	○	○		○
26		(B)DE	Eの蒸散量がDの半分以上になっていることを確認する。	○	○	○	○
27		DEF	ABCはすべて枚数が違うが、DEFは条件がそろっているものがあるから比べやすい。 Fを3/4倍して比べる。	○	○		○
28		BDE	葉の枚数が同じだから。				
29		DEF	ABCはすべて枚数が違うが、DEFは条件がそろっているものがあるから比べやすい。 D-F=(表3枚の蒸散量)	○		○	
30		BDE	葉の枚数が同じだから。				
31	(B)DE	一枚あたりの蒸散量を求める。	○	○		○	

## 2. 「比・比例性」「命題論理」について

そこで、変数制御の視点で選択した班が、この葛藤を解決するためにとった方略について認知段階ごとに分析した。その結果、移行期(2B\*)の班のほとんどは、葉の種類をそろえる必要性はできたものの、「枚数の違い」をどうするか、班での話し合いでかなり悩んでいた。実際、表5に示す1~4班の考え(理由)をみると、枚数を同じにするために条件が異なる葉の和をとったり、「そうなるはずだ」という思い込みを根拠にしたりするなど、いずれも論理が成立していない説明や思考が停止しているようすがわかる。一方、形式的操作期の班になると、そのような班は減り、代わって「比・比例性」を使用する班が増えてくる。生徒が考えた具体的な方略は、表または裏に塗られた2つの植物について「最小の枚数にそろえて蒸散量を比べる：図5下(たとえばDEFの場合、Fの蒸散量を3/4倍して3枚分の蒸散量を求めてEと比べる)」(18, 19, 27班)や「葉の枚数の最小公倍数に合わせる(たとえば、Eの蒸散量を3倍、Fを2倍して最小公倍数の6枚に合わせて比べる)」(21, 25班)、「1枚あたりの蒸散量を求めて比べる：図5上(5, 7, 13, 14,

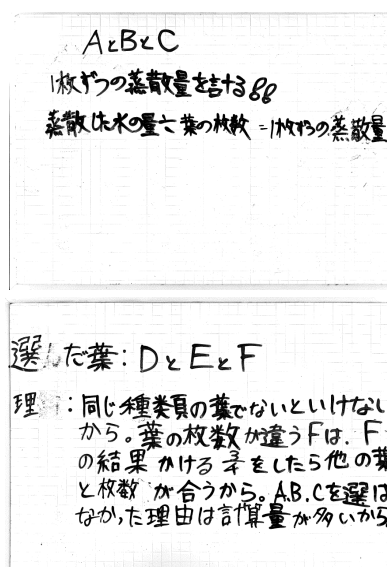


図5 「比・比例性」を用いた班(3A段階)の記述例。

17, 31 班)」の3つの考え方に分かれた。ここで、「3枚にそろえる」や「最小公倍数にあわせる」という考え方は対象に応じた具体的な操作であるが、「1枚あたり」の考え方は対象に依らない普遍性が高い形式的な操作である。ここでは、後者を用いる班が「比・比例性」を用いた班の半数以上を占め、さらに、割合は異なるもののすべての段階において見られることから、本実践対象の生徒たちにとって、「比・比例性」の思考操作は、文脈に依らず、問題解決で活用できる程度に発達（定着）していることがわかる。

一方、この課題を解決することができるもうひとつの操作である「命題論理」は、図6に示すように、あきらかに発達段階に依存する傾向がみられる。特に、この思考操作の使用を試みた（気づいた）のは3B段階の4つの班のみであるが、そのうち1つの班はかなり悩んだものの、論理的な結論にたどり着くことができなかった。一方、論理的な説明ができた班の説明は、いずれも次に示すようなDEを用いた命題をつかって同じ思考をしていた。それは、「もし、気孔が表面と裏面に同数あるとしたら（Eの蒸散は裏面からのみなので）、Eの蒸散量は（両面から蒸散する）Dの1/2になるはずである。したがって、Dの蒸散量の半分とEの蒸散量を比較してEの方が多ければ、裏に気孔が多いことになる。」という論理である（同様の考えの班の記述を図7に示す）。実際のところ、著者らはこの論理が使用できる班（生徒）がいるとは想定しておらず、これらの生徒の論理的な思考力の高さに驚かされた。それとともに、この考えは、典型的な形式的思考操作であるため、移行期（2B\*）や早期形式的操作期（3A）の生徒にとって【認知的葛藤】となることが容易に予想される。そこで、あえてこの考えを取り上げ、その他の生徒が話し合いを通して、この「命題論理」の思考操作を構成する機会（【社会的構成】）を設けたところ、すぐに理解し深く納得する班から、説明を聞いてもなかなか理解できない班までさまざまな反響があり、活発な話し合いが生じた。ここでもやはり、この理解度の違いには、認知的な発達段階による差が見受けられたが、残念ながら、本実践では思考操作の変容に関する具体的な評価は行っておらず、その定着度は確認できていない。しかしながら、話し合いにおけるこの思考操作に対する本質的な討論のようすから鑑みるに、少なくとも、すべての生徒にとってこの思考操作を意識する契機にはなったと思われる。

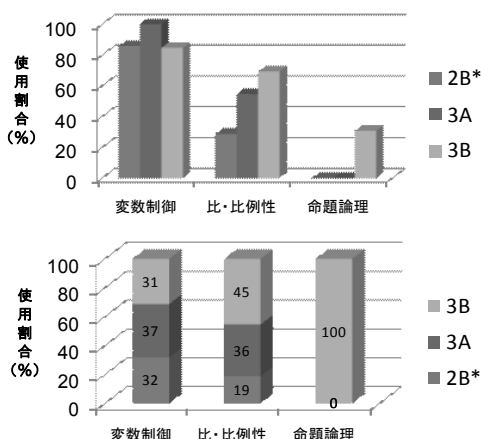


図6 推論パターンの使用割合（上：各認知段階における割合、下：全体に対する割合）

D と E と F  
 ABCは葉の枚数が異なる。  
 Dは、どこもワケロソを始めている。→ど  
 Eは、表だけ 始めている。→裏  
 ↓  
 表と裏に半分ずつ気孔があれば、Dの方が  
 2倍Eより水位が下がる。葉の裏の方が  
 気孔が多ければ、DはEの2倍以下の水位  
 が下がる。逆に、葉の表の方が気孔が多  
 ければ、DはEの2倍以上の水位が下がる。

図7 「命題論理」を用いた班（3B段階）の記述例。すべての可能性を記述している。

### 3. 振り返りについて

認知促進（CA）の授業では、その手段において推論パターンに対する【認知的葛藤】が本質的な手段となる。そこで、本実践を通して課題を考えるために、生徒に「どのような認知的葛藤が「どのような場面で起こったか」を調べるために、授業のまとめの際に「活動のどんなところで難しさを感じたか」また「それはなぜか」という視点で活動を振り返る機会を設けた。この活動は、本実践で対象とした推論パターン（変数制御、比・比例性、命題論理）に対する振り返り（【メタ認知】）として位置付けた。

生徒の記述を分析した結果、難しさを感じたことは「葉の選び方」と「理由を説明すること」の大きく2つに分かれた。その典型的な記述を表6に示す。前者はまさに「推論パターンを構成する」難しさであるのに対して、後者はその推論パターンの「妥当性を説明する」難しさであることがわかる。さらに、発達段階別にこれら进行分析すると、図8に示すように、移行期の生徒ほど「葉の選び方」に難しさを感じている

表6 難しさを感じたことの例

認知的発達段階	難しかったこと	理由
2B*	どの条件で調べるか	葉の枚数がばらばらだし、全てそろえても違う種類の葉になってしまうから。
3B	なぜABCを選んだのか説明すること	他の人に納得してもらうように説明しなければいけないから。

傾向があることがわかった。ここで、葉の選び方に難しさを感じた生徒（53名）の理由をさらに細かくみると、「条件制御ができずに混乱している」「条件制御はできるが、過去に経験がない」「条件制御はできるが、どの組み合わせが最も正確でわかりやすいかわからない」の大きく3つに分かれた。そこで、これらの視点で認知段階ごとに分布をとると、図9のようになった。この結果から、具体的操作期（移行期を含む）の生徒はおもに「変数制御」の思考操作ができない難しさ、形式的操作期の生徒は「比・比例性」や「命題論理」の思考操作が適切かどうかかわからない難しさと捉えることができる。つまり、この活動で生徒が感じる困難さは、生徒個人の思考操作能力に起因し、その認知段階により原因となる思考操作が異なることが明らかになった。

一方で、前述のように、これらの思考操作は十分に活用できるが、他人への説明に困難を覚える生徒もいる。このように、ひとつの課題に対して、多様な思考操作能力の段階の生徒の存在が明らかになった。このことは、特定の形式的な思考操作（推論パターン）に対する認知的葛藤を経験し、より高い思考の段階にいる友人や教師との討論を通して、その推論パターンの構成を促すというCAの手法から考えると、まさに、この異なる操作段階の生徒の間での話し合いの活動を設けることが本質的であり、その意味において、本実践のように、教師が事前に生徒の認知段階（操作能力）を把握し、授業展開において積極的に活用していくことは有効であることがわかる。

## V. おわりに

通常の理科学習において、認知促進（CA）の視点を取り入れた理科授業を展開することが十分に可能であり、生徒の論理的思考の深まりを促す手段として取り入れる価値のあるものであることが示された。また、CAの視点を取り入れた理科授業を構成する上で必要となる形式的思考における思考操作（推論パターン）のうち、基本的な操作の発達状況を明らかにすることができた。これらのことから、教師が生徒の認知段階を把握することにより、授業で扱う課題に必要な思考操作に対する生徒の認知的葛藤を明確化させ、解決のための話し合いの活性化やその後のメタ認知が有効になり、思考操作能力の発達を支援することにつなげていくことができると考えられる。これによって、論理的思考の深まりを生み、それが結果として科学的思考力の育成につながっていくことが期待される。

しかしながら、理科授業においてCAの視点を取り入れることは、理科の教科としての目的と評価に必ずしも一致するわけではなく、目標と評価が二本立てとなったり、教科とCAの目標と評価が相反する内容になったりすることもある。また、どの推論パターンにおいて認知的葛藤を生じさせるのかという点において、授業における課題設定がとても重要となってくる。このため、すべての単元において、CAの視点を取り入れていくための教材研究と開発がこれから必要となってくると考えられる。

## V. 参考文献

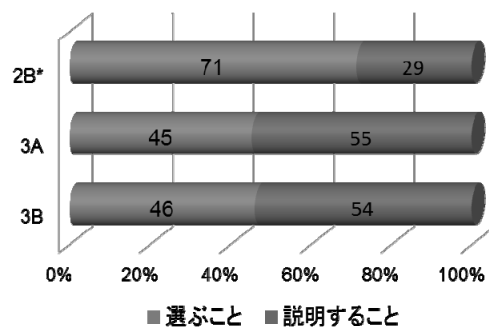


図8 授業の中で難しさを感じたこと

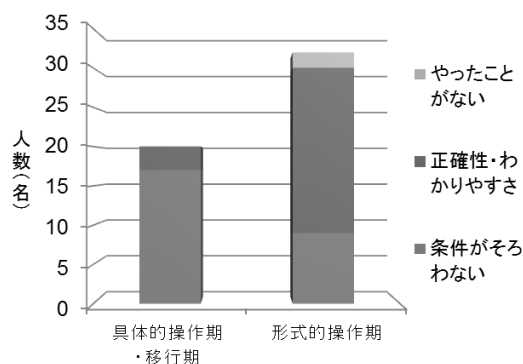


図9 「葉の選び方」に難しさを感じた理由



- 1) M. Shayer, P. Adey and M. Yates, (2001) : *Thinking Science* 3rd edition, Nelson, Walton-on-Thames.
- 2) 栗田一良 (1990) 「認知能力の促進を図る CASE プロジェクトのカリキュラム」日本理科教育学会全国大会要項 No. 40, p. 22.
- 3) 小倉 康, 編(2004) 『英国における科学的探究能力育成のカリキュラムに関する調査』 p.155.
- 4) 野ヶ山康弘, 谷口和成 (2012) 『認知発達を促す理科授業の実践Ⅲ～英国 CASE プログラムの教育的効果』～日本理科教育学会近畿支部大会発表論文集 p.56
- 5) Jean Piaget (著), 中垣 啓(翻訳)(2007) 『ピアジェに学ぶ認知発達の科学』, 北大路書房
- 6) Lev Semenovich Vygotsky (著), 柴田 義松 (翻訳)(2001) 『思考と言語』, 新読書社
- 7) P. Adey and M. Shayer, 1994: *Really Raising Standards Cognitive Intervention and Academic Achievement*, London, Routledge.
- 8) Shayer, *et al.* (1978) *Science Reasoning Tasks*. Slough: NFER.