

事前・事後テストの全問題「条件統制」(第4学年に実施)

事前テスト

設問 1

せんざいのせいとう 年組

AのせんざいとBのせんざいはどちらがよこれをよく落とすことができるか、よこれたくつしたをせんたくして比べようとしています。

あなたはどのようにして実験しますか。

実験の仕方

正しい結果を出すために気を付けなくてはならないことは何ですか。



* 設問 1 はいずれかの欄に条件統制に関する記述がみられたものを正答とし

設問 2

よく走る車

ボディの形やはば、タイヤの太さがちがう5種類の車があります。

あきさんは

「ボディの先をどがらせるとよく走るようになるよ。」

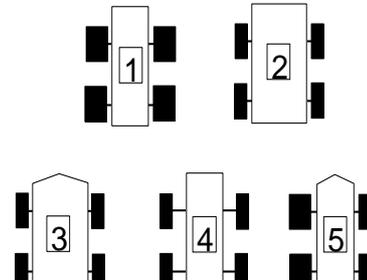
とっています。

ボディの先をどがらせるとほんとによく走るようになるのかな?

あきさんの考えがっているか、たしかめたいのですが、ためしてよいのは2台だけです。あなたは、どの車とどの車をころがしてみますか。

番の車と 番の車

どうしてその2台をためしているのですか



設問 3・4

あきらくんは、

「タイヤを太くするとよく走るようになるよ。」

とっています。

タイヤを太くするとほんとによく走るようになるのかな?

あきらくんの考えがっているか、たしかめたいのですが、ためしてよいのは2台だけです。あなたは、どの車とどの車をためしてみますか。

番の車と 番の車

どうしてその2台をためしているのですか。

あなたは、ボディの形(先がとがっているか、とがっていないか)、ボディのばは、タイヤの太さのうち、よく走るようになるのに関係があるのはどの理由だと思いますか。一番関係あると思う理由を下から一つだけえらんで、番号に丸を付けてください。

- 1 ボディの形(とがらせるまたはとがらせない。)とよく走るようになる。
- 2 ボディのばはをひろくする(またはせまくする)とよく走るようになる。
- 3 タイヤを太くする(または細くする)とよく走るようになる。

どうやってたしかめますか。ためしてよいのは2台だけです。

番の車と 番の車

どうしてその2台をためしているのですか。

事後テスト

設問 1

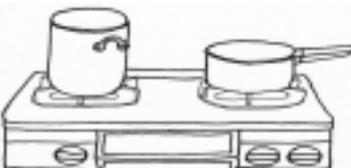
なべのせいとう 年組

AのなべとBのなべはどちらが早くおゆをわかすことができるか調べようとしています。

あなたはどのようにして実験しますか。

実験の仕方

正しい結果を出すために気を付けなくてはならないことは何ですか。



* 設問 1 はいずれかの欄に条件統制に関する記述がみられたものを正答とした。

設問 2

ふえの音の高さ

木や鉄で作られた、長さや太さのちがうふえが5本あります。

あきさんは

「鉄でできたふえの方が、高い音がするよ。」

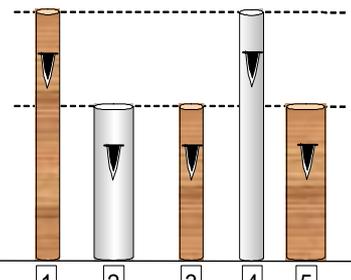
とっています。

ふえを鉄で作ると、ほんとに音が高くなるのかな?

あきさんの考えがっているか、たしかめたいのですが、ためしてよいのは2本だけです。あなたは、どのふえとどのふえをふいてみますか。

番のふえと 番のふえ

どうしてその2本をふいてみるのですか



設問 3・4

あきらくんの考えがっているか、たしかめたいのですが、ためしてよいのは2本だけです。あなたは、どのふえとどのふえをふいてみますか。

番のふえと 番のふえ

どうしてその2本をふいてみるのですか

あなたは、太さと、長さ、材料(木でできているか、鉄でできているか)のうち、ふえの音を高くするのに関係があるのはどの理由だと思いますか。一番関係あると思うのを下から一つだけえらんで、丸を付けてください。

- 1 太くする(または細くする)とふえの音を高くすることができる。
- 2 長くする(または短くする)とふえの音を高くすることができる。
- 3 鉄で作る(または木で作る)とふえの音を高くできる。

それをどうやってたしかめますか。ためしてよいのは2本だけです。

番のふえと 番のふえ

どうしてその2本をふいてみるのですか

事前・事後テストの全問題「分類」(第3学年に実施)

事前テスト

のりものなかま分け

みなさんはいくつなのりものを知っていますね。

下ののりものをいくつかのなかまに分けたいと思います。

どのようになかま分けしますか。

分け方はいくつかあります。



なかまにするのりもの名前を の中に書いてね。

どうしてなかまにしたのか、その理由を の中に書いてね。

同じのりものを何回使ってもいいよ。

Three large empty ovals with cloud-like tails, intended for students to write their classifications and reasons.

次の4つの理由をぜんぶ1つべんに使って、ぜんぶのりものをなかま分けすることはできないでしょうか。

のりものは1回ずつしか使えません。



ここを使って自由に書いてみてね。

A large empty rectangular box for students to use the provided reasons to classify the vehicles.

事後テスト

食べ物のなかま分け

レストランに行くといろんなメニューがありますね。

下の食べ物をいくつかのなかまに分けたいと思います。

どのようになかま分けしますか。

分け方はいくつかあります。



なかまにする食べ物の名前を の中に書いてね。

どうしてなかまにしたのか、その理由を の中に書いてね。

同じ食べ物を何回使ってもいいよ。

Three large empty ovals with cloud-like tails, intended for students to write their classifications and reasons.

次の4つの理由をぜんぶ1つべんに使って、ぜんぶの食べ物をなかま分けすることはできないでしょうか。

食べ物は1回ずつしか使えません。



ここを使って自由に書いてみてね。

A large empty rectangular box for students to use the provided reasons to classify the foods.

第 5 章

CASE とは何か

笠 潤平（京都女子高等学校）

CASE とは何か

京都女子高等学校

笠 潤平

(抄録)

イギリスの CASE (Cognitive Acceleration through Science Education) プロジェクトは、理科の授業を通じて、児童・生徒の認知能力の向上を促進するプログラムの開発プロジェクトである。このプロジェクトは、70 年代にイギリスで Shayer、Adey を中心に行われたピアジェの理論の大規模な検証調査に端を発して生まれ、授業構成については、ヴィゴツキーの理論を利用しながら、80 年代半ばに Shayer、Adey を中心に開発されて以来、多くの現場教員の協力を得て改良を重ねて発展し、イギリスではすでに 20 年近くになる実践を経て、対象年齢においても、5~6 歳や 7~8 歳用の教材の開発、教科においても科学から数学、技術教育、演劇・音楽・美術の教材開発が行われるなど第 2 段階に入る広がりを見せているが、日本ではあまり紹介されていない。ここでは、Shayer、Adey によるいくつかの文献をもとに、その背景となっている理論、授業の実際、そして成果、最近の広がりについて簡単に紹介したい。

1 前史 CSMS 調査

1974 年から 80 年にかけて、Shayer、Adey らは、the British Social Science Research Council の支援を受けて、the Concepts in Secondary Mathematics and Science Programme (CSMS) という大規模な調査を行った。この調査は、子どもの成熟にともなう、より抽象的・形式的な思考操作 (Schema) を行う能力の段階的な獲得というピアジェのモデルに依拠して、イギリスの中等学校生徒の認知能力の発達段階の分布に関する統計的概観を目指すものだった。それはまたピアジェのモデルの妥当性に関する基礎的な検証であり、さらに、Shayer ら自身による理科のトピックの理解に必要な認知能力のレベルの分析と合わせて、現行の中等学校の理科カリキュラムの内容が生徒たちの現実の認知能力レベルとどれだけ合致しているかの検証という意味も持っていた。ピアジェらが子どもの思考操作の発達理論を作り上げる上で、子どもの観察やインタビューの題材として利用した現象や作業は、そのほとんどが小中学校の理科で扱われるトピックと重なるものであるという点から言えば、理科カリキュラムの内容と生徒の現実の認知能力の間の検証を、ピアジェらのモデルに依拠して試みようという問題意識は自然なものだった。しかし、ピアジェらが行った個々の子どもに対する長時間にわたる観察やインタビューに代えて、大勢の子どもたちの発達段階の特定を同時に行うためには、クラス単位で比較的短時間に実施可能な調査の方法を開発しなければならなかった。調査結果をまとめた著作 *“Towards a Science of Science Teaching”* (1981) の中で、Shayer、Adey らは、この調査方法の理論的な基礎づけ、調査自体の妥当性の検討などに続いて、とくに、5 つの異なる課題を用いた調査をすべて受けた男子 370 名・女子 180 名あまりの生徒の調査結果の因子分析などにもとづいて、ピアジェらの主張する、思考操作の発達には段階的な区別があるというモデルは妥当性があるとし、その上で、イギリスの中等学校段階の生徒人口を代表すると考えられる 1 万 2 千名の広範な被験者の調査結果から、ピアジェらとその著作の中で述べている発達段階と年齢の対応関係とは違って、同じ年齢でも驚くほど広範囲にわたる発達段階の差が存在するという結果を発表し、さらに、たとえばナフィールドのような標準的な中等学校理科教科書のトピックで要求されている思考操作がしばしば多くの生徒の発達段階を越えていることを報告した。これらの報告は大きな反響を呼び起こした。¹⁾

2 CASEのねらいと教材

2.1 ピアジェのモデルにもとづく教材の形成

CASE(Cognitive Acceleration through Science Education) プロジェクトは、上述の調査を前提として、1981年から84年を準備段階とし、84年から87年にかけて当時のロンドン大学Chelsea College(現在はKing's Collegeに統合されている)において、Shayer、Adeyらによって実施された。その基本的な前提についてここで簡単に紹介しておこう。ただしここでのピアジェの理論と後述するヴィゴツキーの理論に関する説明は、すべてShayer、Adeyの著作に説明されている限りのものである。²⁾³⁾

Shayer、Adeyは最近編著“*Learning Intelligence*”(2002)のなかで、人間の思考には、一般的なプロセッサー(general processor)が存在し、このプロセッサーの働きは年齢とともに成熟・高度化し、その成熟・高度化の促進・加速には環境からの働きかけが影響するという3点が、認知的加速(Cognitive Acceleration, CA)の試みの一般的な前提であると述べている。より具体的には、CASEを開発するにあたってのかれらの基本的観点は、子どもの成熟とともに、子どもが用いることができるようになる思考操作は、具体的なものから抽象的・形式的なものへ段階的に進展していくという、ピアジェによるモデル(ただしそのもっとも抽象的な部分の手前まで)にほぼもとづいている。

簡単に言うと、CASEというのは、いくつかの形式的な思考操作を選んで、その一つひとつについて数回の授業ごとに、実際の実験・実習と紙上の作業を組み合わせた一連の活動(activity)とグループおよびクラス全体の討論を通じて十分な体験と反省をさせ、そのことを通じて全体としての認知能力の促進・加速を目指すものだが、その思考操作の選択に際しても、かれらは、ピアジェらが人間の形式的思考操作の一般的な型=スキーマ(Schema)として挙げた、変数の制御(control of variables)や分類(classification)、蓋然性の観念(Notions of probability)、相関性の観念(Notions of correlation)、形式的モデルの構築と使用(Construction and use of formal models)などをほぼ踏襲している。

また教材の難易度の分析や配置の決定の際にも、ピアジェらによる、前具体的操作段階(1 pre-concrete operational)、初期具体的操作段階(2A early concrete operational)、後期具体的操作段階(2B late concrete operational)、過渡段階(2B/3A transitional)、初期形式的操作段階(3A early formal operational)、後期形式的操作段階(3B late formal operational)という段階的な特徴づけを用いている。

さらに、かれらは、CSMS調査の結果の分析などをもとに、一連の形式的思考操作は、ピアジェらの主張のように、その獲得・未獲得について一まとまりの一貫性があるとも見ている。ただし、先にも紹介したが、同じくCSMS調査の結果、その発達段階の現実の分布は、ピアジェらの報告している認知能力の発達年齢に比べて、はるかに広く多様で全体としては遅いものであること(逆に言えば、ピアジェらの報告例の年齢別の発達段階は、おおよそ上位10%程度の生徒の発達段階に相当すること)が明らかになったとしている。

Shayer、Adeyらは、人間の認知のしくみ一般について現在多くの研究と仮説があるなかで、ピアジェのモデルについてもさまざまな議論があることを認めており、また理科教育研究に限っても、たとえば構成主義などのような、認知能力よりも生徒の前概念の考慮という内容的側面に焦点を当てる立場など、さまざまな観点があることを認めている。しかし、認知のしくみや教育のダイナミズムについて多くの未解明点があるにも関わらず、CASEプロジェクトのような思考操作に焦点を当てた認知能力の加速の試みは、後に見るように理科=自然科学的思考の能力をはじめ、一般的な認知能力の顕著で持続的向上という点で大きな実践的效果を示していることを現在強調している。

2.2 教材

CASEプロジェクトで開発された教材は“*Thinking Science*”と名付けられて市販されているが、この教材の対象年齢は11歳から14歳(イギリスの義務教育は日本より1年早くスタートするので、イギリスの学年の

第6学年から第9学年)である。ただし4年間をかけるのではなく、そのうちの2年間(たとえば12歳・13歳すなわち第7学年・第8学年)通常の科学の授業と並行的に、2週間に1回の割合で行うことを想定して、全部で30回の授業分の教材が用意されている。(第2版までは1回75分~90分の授業とされていたが、第3版では1回50分~60分とされている。)それぞれの授業は1つ1つ完結しながら、数回で1つの思考操作に関連するさまざまな経験をするようになっていく。そして全体を用意された順序に従って進めると、(ピアジェの段階づけに照らして)より高度な抽象的・形式的な思考操作を要求される課題に徐々に進むようになっていく。表1に第3版の30回の授業の題を示す。題とともにその授業でテーマとなっている思考操作が示されている。⁴⁾⁵⁾

“Thinking Science”の教材には、背景理論などの全体についての説明に続き、全30回の授業のすべてについて、1つ1つの授業ごとに、その狙い、キーワード、準備すべき器具・装置のリスト、詳細な授業プラン、ノートシート(生徒が授業中の活動で書き込むシート)原稿、ワークカード(生徒が授業中に参照するカード)原稿、さらに進む場合の発展的教材、OHPマスター原稿などが用意されている。

1 変わるものは何か?	変数	16 相互作用	変数
2 2つの変数	変数	17 コインを回す	蓋然性
3 どんな関係か?	変数	18 味見	蓋然性
4 「公正な」テスト	変数	19 わらじ虫の行動	相関性
5 転がるボール	変数	20 手当てと効果	相関性
6 グループに分ける	分類	21 サンプリング:池の中の魚	蓋然性
7 進んだ分類	分類	22 サイコロを投げる	蓋然性
8 ギヤと比率	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 溶液を説明する	形式的モデル
10 幹と枝	反比例性	25 化学反応を説明する	形式的モデル
11 つりあいを保つ	反比例性	26 圧力	複合的な変数
12 電流、長さ、厚さ	反比例性	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 つりあいをとりもどす	平衡

表1 “Thinking Science”(第3版)の授業一覧

3 取り上げられている思考操作

つぎにCASEプロジェクトではどのような思考操作の獲得を促進しようとしているのかを、“Thinking Science”第3版をもとに、当該の授業の例をまじえながら簡単に紹介しよう。

3.1 変数の制御と無関係な変数の除外(Control of variables and Exclusion of irrelevant variables)

“Thinking Science”の冒頭(授業1~5)に取り上げられて、全体の準備ともなっているのが、「変わるもの=変数」(variables)とその「値」および「変数同士の関係」および「変数の制御」という観念である。授業では、「科学者は、変わるものとその値に注目し、あるものが変わるとき他のものがどう変わるかという関係を探っているのだ」ということを端的に導入し、ついで「入力変数」と「結果の変数」という観念を導入

し、いくつかの「関係」のパターンをさまざまな簡単な実例で体験させ、ついで、ある変数間の関係を調べようとするとき、注目する以外の変数をどのように扱えばよいかを生徒自身の討論の中で相互から学ばせていく。私見によれば(CASEの本来の趣旨とは離れるのだが)この部分だけでも、日本の理科教育にすぐに取り入れる意義があると思われる。(これについては、後で授業の流れを詳しく紹介する。)

3.2 分類(classification)

分類という作業はさして難しい思考操作を必要としないように思える。たしかに、ピアジェによっても、ある簡単な与えられた特徴に従って分類することには具体的操作しか必要としない。しかしすべての分類は人為的なものであることを理解し、どのような分類が必要かを場合に依じて判断するような作業では、分類を外から眺めることができなければならない。このような場合、形式的思考操作が必要とされる。

授業6「グループに分ける」では、まず簡単な分類を5つ、多様なコンテキストで行っていく。これは後に述べる具体的準備の段階である。課題は次第に難しくなっていく、授業7「進んだ分類」では、二つの基準で複合的に分類する課題、連続的な量について分類する課題、なにかの目的のために自分で分類する基準を決めて分類する課題などに進む。ここで生徒たちに与えられるのは、一つの答えがないような状況である。そして、次が大変重要でかつ面白い段階だが、行なった分類のうち、難しかったものはどれか、やさしかったのはどれかを各班から出し合い、むずかしかった理由とやさしかった理由を述べ合う。班によって意見が違う場合それはなぜかについても議論する。その中ではそれぞれの課題についての「正しい分類の仕方」という答えを結論として出すのでもなければ、分類一般の仕方についての形式的な一般論を生徒に押し付けるのでもない、この授業は、十分に慣れたコンテキストの中で分類を自分で組織的に考える作業を体験させ、そしてその作業について討論の中で問い直させるだけなのである。

3.3 比率(ratio)と比例性(proportionality)

ここでいう比率(ratio)とは、二つの変数の間の固定された比による関係の($y = mx$ で m は一定)のことで、たとえば地図の上での長さを実際の長さの関係がわかるといったことを指すのに対して、比例性(proportionality)は、 a 対 b と c 対 d を比べることを意味している。後者は少なくとも4つの独立な変数の操作を必要とする形式的操作である。

授業9「手押し車」では、手押し車のモデルである一本のてこの途中に吊り下げられたおもりの重さと端で持ち上げるのに必要な力の比を調べていく。グラフのないところで、持ち上げるのに必要な力を求めたり(それには、比の関係の内的な理解が必要となる)、さらに進んだ課題として、二つの異なる比を持つてこを比較する問題もふくまれる。

3.4 反比例性(inverse proportionality)と平衡(equilibrium)

ピアジェらによれば、反比例性の質的な表現は具体的操作だが、その数学的な表現は形式的操作を必要とするとされる。また平衡の概念は、 $a \cdot b = c \cdot d$ という関係の理解を含み、これは少なくとも4つの独立な変数の操作を必要とする形式的操作である。

授業11「つりあいを保つ」では、天秤の一方の腕のある場所にある重さのおもりを固定し、それにつりあうようにもう一方の腕につるすおもりの重さと支点からの距離の関係を調べさせて、反比例性を導入する。後に、授業28「丘を登り、谷を下る」や授業30「つりあいをとりもどす」において、平衡の授業に進むと、天秤のどちらの腕のどこにどんな重さのおもりをつるすとつりあうかを考えさせる。面白いことに、これらの授業を力のモーメントを教える授業として使う誘惑に負けてはならないと釘をさしている。

3.5 蓋然性 (probability) と相関性 (correlation)

確率モデルを理解するためには偶然性と因果性の理解が必要であるとされる。相関のパターンは入力変数と結果の変数の間の連関の強さを表現する。この蓋然性と相関性という2つの観念は、生物学や社会科学あるいは実生活における原因と結果の証拠の評価には不可欠である。

蓋然性についての授業はゆっくりと進み、まず授業 13「豆のサンプリング」では母集団を代表するような標本集団にはどのくらいの標本が必要かを確かめ、標本抽出についての初歩的な観念を持つ。つづいて授業 14「豆を育てる」では、メジアン (中央値) と値の分布範囲などから変数の取る統計的な値を見ることを体験する。また授業 15「選択肢」ではすべての場合の数え上げなどを行い、授業 17「コインを回す」ではコインの表が2回、3回、4回と連続して出る頻度と全体の試行回数との関係などを調べ、確率的現象の振る舞いを知る。そして授業 18「紅茶の味見」においては、ティーカップに紅茶とミルクのどちらを先に入れたか味見で見分けられると称する人がいたとして、5回の味見のうち何回当たればその人の能力を信じることができるかという問題について考える。また授業 19「わらじ虫の行動」では、わらじ虫を実際に実験に用い、暗くて湿ったところ、暗くて乾いたところ、明るくて湿ったところ、明るくて乾いたところの4箇所のどこにもっとも多くわらじ虫が行くかを調べ、得られたデータから何を言えるかについて討論する。

3.6 説明と予測における抽象的理論の利用 (the use of abstract models to explain and predict)

ここで行うのはピアジェらが形式的モデル (formal model) の構築と利用と呼んだものである。それは抽象的な実体を想像上で操作しなければならないワーキングモデルを使う操作である。Shayer、Adey らによれば「科学者はこうしたモデルを用いる仮説をつかうことに長けている。モデルは現象を説明したり予測したりするのに用いられ、ある種の現実を表現しているとも言える。抽象的なモデルを用いるには、『ミクロな世界』に入り、その世界の中のどの部分への作用をも他の部分への影響に結びつけることができなければならない。そこでは動的なシステムについて考える能力が必要とされる。」

授業 23「物質の状態を説明する」では、3態変化の説明を生徒に試みさせる。まず描写と説明の違いを学んでいき、つぎにモデル的な説明を試みるが、この段階では決して粒子的 (原子論的) モデルを教師から導入したり結論づけたりしない。ついで授業 24「溶液」で溶解の説明を生徒が試み、最後に授業 25「化学反応」で粒子的 (原子論的) モデルにもとづいて化学反応を説明することを学び、この3回の授業のモデルをつくる過程自体を振り返る。

3.7 複合的な変数 (compound variables)

複合的な変数というのは、たとえば力/面積により導入される圧力、質量 (重さ) /体積により導入される密度のように、新たに定義されたその変数自体の量的な大小の理解がなんらかの現象を理解する上で必要となる一方で、要素となっている複数の変数の独立の増減の効果も理解できなければならないような変数である。このような変数の理解には形式的操作が必要となる。圧力とならんで、体積と重さを複合的に考えないと物が浮かぶか沈むかを理解することができない (後述する) 認知的葛藤が生じる状況を与える教材も用意されている。

4 授業の組み立てとその背景の理論

4.1 ヴィゴツキー

こうした思考操作を行っていくためのCASEプロジェクトの授業構成の理論も独自で興味深いものなので、つぎにそれを紹介しよう。Shayer、Adey らが効果的な授業プランを構成する上でピアジェの研究と並んで参考にしたと述べているのは、知識の形成や理解は第一義的に社会的な過程であるとする考えや最近接発達領域の概念といったヴィゴツキーの思想である。このヴィゴツキーの思想を踏まえながら、授業実践からのフィー

ドバックされて来た意見などを取り入れた改良の結果、授業構成の上ではつぎの5つの観点が重要であるとされている。

4.2 具体的準備(Concrete preparation)

すべての授業は、具体的でしばしば実際の作業や実験から始まり、またいくつかの授業では、授業のほとんどの活動が、その後の授業展開のための準備となる作業や実験に当てられる。これは具体的準備と呼ばれる。ここで目指されるのは、生徒たちに課題の中で用いられる新しい用語に十分慣れさせること、課題の与えられる状況をよく把握させることである。授業中に生徒たちが用いていくうちにより豊かな意味を持つようなキーワードが明示されながら導入される。ここでは、すべての生徒が課題に取り組むことができるような準備を十分に与えることを目的にしている。

4.3 認知的葛藤(Cognitive conflict)

つぎに生徒たちは適切な難しさの課題に出会う。Shayer、Adeyによれば、これはヴィゴツキーの最近接発達領域 (zone of proximal development) という概念およびピアジェの平衡 (equilibration) という概念にもとづいている。この最近接発達領域というのは、子どもが自力では到達できないが、教師などの大人や他の子どもたちの助けを得れば、到達することが可能な学習上の領域で、生徒たちにはそのような領域の課題が与えられなければならない。

4.4 社会的構成 (Social construction)

このCASEプロジェクトの教材でとくに興味深いのは、班やクラスの討論(それは生徒同士のやりとりでも教師とのやりとりでもよい)を生徒の認知的発達の本質的な手段として重視している点である。Shayer、Adeyらはここでヴィゴツキーの考えを全面的に強調する。かれらによれば、ヴィゴツキーが明らかにしたのは、知識や理解の成立はなによりもまず社会的プロセスであるという点である。理解は、まず第1に学習者が参加している社会的な場で生まれ、その後に個人によって内的なものとなる。新しい考えについて述べること、班での討論を通じてそれを探究すること、説明をもとめたり、根拠付けをもとめたりすることは、すべて個人の知識を打ち立てるための不可欠なプロセスである。そこで、この教材の授業プランでは、かならずしもすべての生徒が実験や作業を終了することを求めない一方(教師用ガイドに、2,3の班が終了したら全体の実験をそこで切り上げてよいなどという指示がある場合もある)、グループ討論やクラス討論はかならず組み込まれている。また、討論の過程を十分体験することが重視される一方、端的に言えば生徒が授業の結論を知識として覚えておこうと思うような動機づけはない。

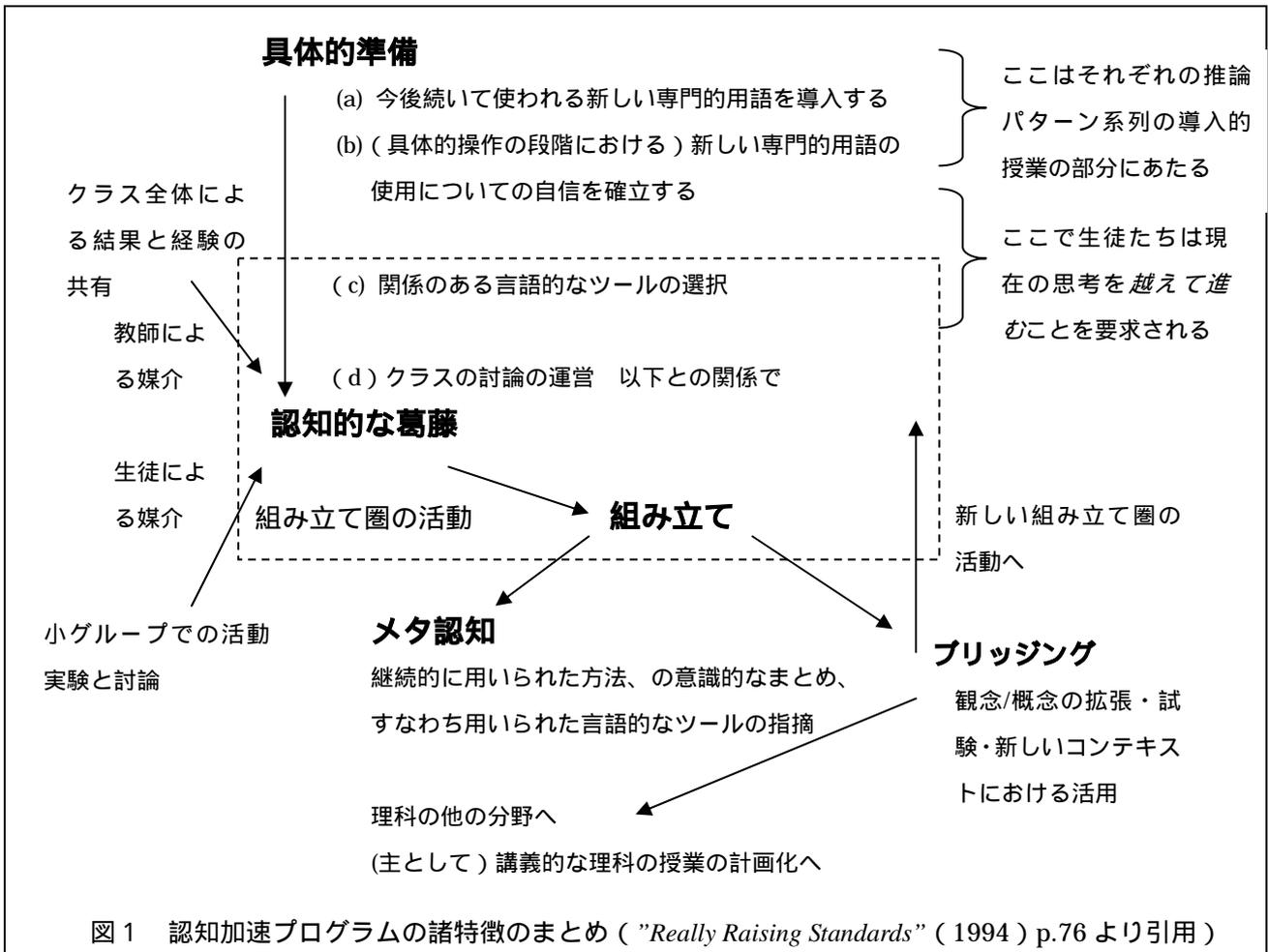
4.5 メタ認知(Metacognition)

メタ認知は、自分自身の思考について思考することを意味している。思考スキルのあらゆるプログラムの成功例はこうしたメタ認知の重要性を証拠だてていると Shayer、Adeyらは主張する。そこで、この教材の授業プランでは、ほぼ毎回の授業でその日の作業や討論全体の意味を振り返るクラス全体の討論が組み込まれ、実験・作業・討論の中で自分たちや他の班が行った思考について振り返ることが重視される。たとえば、先に紹介した7「進んだ分類」の授業での終わりの討論はその典型である。

4.6 ブリッジング(Bridging)

ブリッジングはこれらの授業で発展させられた思考のスキルを他の場面でも使うように橋渡しをすることである。これも多くの授業の終盤において教師が意識的に行うようにその都度明確に指示されている。

図3に、以上の観点を組み込んだ授業構成の概念図を、かれらの前著“*Really Raising Standards*”（1994）から引用して示す。



5 授業の実例

つぎに著者が勤務校で行った“*Thinking Science*”の授業例をもとに授業の実際の様子について報告しよう。

2002年度に著者が勤める京都女子中学校・高等学校では、中学校において土曜講座という新しい形態の授業を導入した。これは金曜までの正規の授業カリキュラムとは別に、教員の発意によって、より発展的な内容を含む授業を行うものである。著者は、同僚の教師3名（理科2名・数学1名）とともに、中学2年、3年を対象に「理数特論」と名付けた理科と数学の内容にまたがる通年の授業を担当した。受講者は両学年とも約60名程度で、30名のクラスを2クラスずつ設けた。この中で、“*Thinking Science*”の教材を一部用いたのである。ただし授業は第2版にもとづいている。

5.1 授業1「変わるものは何か」

授業1「変わるものは何か」から授業5まではすべて、変数の意味とその制御についてさまざまな課題を行っていく。とくにこの授業1は、“*Thinking Science*”全体の導入という意味を持つ。その意味でCASEの授業の雰囲気を理解する上でよい例となるだろう。そこで、この授業1についてはほぼ授業の流れ通り紹介しよう。

授業をたとえばまず、「科学者は何をしているか」という問



図2 さまざまな本

いかけから始める。すると「実験」とか「難しい計算」とか「ロケットを飛ばす」とかの意見が出てくるだろうが、そこで、科学者は「ことなるもの同士のつながり」あるいは「変わるもの」や「変わるもの」同士の「関係」に注目するという話をしていく。たとえば、「ヒイラギの実が多ければ、寒い冬である」、「黒い車は黄色い車よりも事故が多い」というとき、わたしたちはこうした説がどのくらい正しいかをヒイラギの実の数と冬の寒さの間に関係があるかどうかを見ることによって研究することができる、と述べ、板書などしながら「...しかし、わたしたちはまず何に注目するかをはっきりさせなければならない。変わるもの、あるいは違うものは何か？わたしたちは変化するものを表すために『変わるもの』(=『変数』)という言葉を使う。この場合の変数は、『ヒイラギの実の数』と『冬の寒さ』あるいは『事故の数』と『車の色』で、その値は『多い/少ない』、『寒い/おだやか』、『多い/少ない』、『黒い/黄色』などである。...」と話をしていく。

つづいて、生徒全員がよく見える場所に数札の本を広げ、お互いどのように違っているかを自由に挙げさせ(たとえば「大きさ」「色」「表紙のタイプ」その他出てきたものは何でも)、それらを黒板などにリストアップし、この「変わるもの=変数」それぞれに、どんな「値」を取れるか、その例を述べさせる。(たとえば「大きさ」なら大・中・小、「色」なら赤・青・黄色といったものかもしれない。)これは「変わるもの」とその「値」という観念になれるための作業である。(図2参照)

つぎに、大・中・小3つの青い3角形と3つの赤い正方形を黒板などに貼り付け、「変わるもの=変数」とその値を述べさせる。そして簡単なことだが、色と形は関係していることを確認する。そして、もし次に取り出す図形が3角形だと言え、みなはそれが赤だろうと予測できること、つまり変数の間の関係はつぎに何が起きるかの予測を可能にすることを確認する。つぎに、やはり用意した青と赤の3角形と正方形を使いながら、色と大きさが関係するような例を示し直す。(図3参照)

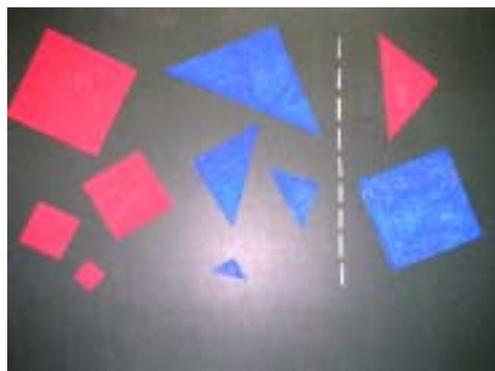


図3 3角形と正方形

次に、生徒たちは、4つのピーカーを見せられる。ピーカーには番号が打たれ、また青か赤の色が付けられていて、青2つは大きく、赤2つは小さい。生徒からはピーカーの中は見えないようになっていて、その重さは見当がつかない。生徒に「変わるもの=変数」とその「値」と「関係」を述べさせる。重さも「変数」となることを示唆する。そして、つぎに生徒に手伝わせるなどして、各ピーカーの重さを測り、ワークシートの表を完成させるが、下の表のように準備してあるため、重さと大きさとの間の関係は、「驚くべきことに」何もない。大きさから重さを予想することはできないし逆もできない。すなわち、生徒たちは、変数の同士の間に(予想に反して)関係がない場合を経験する。このような経験は、関係を探するという方法を「外から」眺める上で重要であるとされる。(図4参照)

番号	色	大きさ	重さ
1	青	大	(150g)
2	青	大	(250g)
3	赤	小	(150g)
4	赤	小	(250g)

表2 4つのピーカー



図4 4つのピーカー

最後に「変わるもの=変数」とその「値」と「変数同士の関係」を考える、簡単でオープンエンドな課題が与えられる。

以上が第1回の授業の全体である。イギリスの教師にとってはおそらくこれほど詳細にシナリオが設定された授業はあまり経験がないと思われるが、それは授業の目的と方法自体が、通常の理科の授業とまったく異なるからであろう。見てわかるように、生徒がさまざまな活動を通じて非常にゆっくりと新しい概念と思考操作に慣れていくことを保障している。まず「変わるもの=変数」(variables 必ずしも数値を取るものだけのことではないので、授業では最初「変わるもの」という言い方をした)と「値」(values その変数の取る値という意味での)と「関係」という言葉が導入される。ただはじめは、「こちらが増加したとき、あちらも増加する」・「こちらが増加したとき、あちらは減少する」・「(お互い)関係がない」という程度である。この授業の活動は、「おおよそすべて具体的準備」である。

5.2 授業2「2つの変数」・授業3「どんな関係か？」

続いて、授業2「2つの変数」では、サーカス形式(実験室内に設置されたいくつかの実験装置を生徒が順番に回りながら実験を行なう形式)で準備されている4つの実験(課題)によって、変数についての具体的な準備がさらに行われる。今回は、「入力」(“input”)変数と「結果」(“outcome”)の変数という言葉が導入され、また変数間の関係を考えるという観点の強化が目指される。ここでの作業も、おおよそすべて具体的準備である。実験2は省いても全体の実験後の討論は省略しないようにという注意がされている。(付属参考資料「教師用ガイド」「ワークカード」を参照のこと。)

実験1～第1の実験台には、ワークカードAの図のような(資料参照)滑車とおもりとばねばかりとからなる装置が組み立てられてある。これを見て生徒は、ワークカードの指示にしたがって実験を行い、ワークシートに答える。実験の結果は、比例的である：入力変数の値が増大すると結果の変数の値が増大する。

実験2～第2の実験台には、ワークカードBの図のような(資料参照)大きささまざまな容器が置かれ、水の入った容器1の水を他の容器に入れて、その水位を測るという簡単な測定実験が用意されている。これなど反比例することは自明に思われるかも知れないが、中2・中3の生徒も結構楽しみながら作業した。「直径が大きくなるとともに高さが低くなるというパターンを見るために、直径の大きさの順番に結果を書いて見ること示唆してやるべきかも知れない」という示唆が教師用ガイドにある。

実験3～第3の実験台には、ワークカードCの図のように(資料参照)1週間ほど前に同じ樹木から取られた4枚の葉が置かれている。ただし採取した時点で、その1枚には表裏に、1枚には表だけに、1枚には裏だけに、ワセリンが塗られていて、もう1枚にはワセリンが塗られていない。課題は、ワセリンの塗り方による葉の状態の違いについて、入力変数と結果の変数とそれらの値を挙げて、その関係を述べることである。面白いことに、入力変数は「ワセリンを塗った面」でその値は数量化できない、結果の変数は「乾燥し具合」である。しかしその関係は一つの科学的な発見である。

実験4～第4の実験台にはワークカードD(資料参照)だけが置かれていて、そのワークカードには、さまざまな身長と体重の6人の子どもの絵が描かれている。そして課題は、2つの変数の間に関係は何かを結論づけることである。しかし実際にはこどもたちの身長と体重には関係が存在しない。また、身長と体重のどちらを、入力変数と取ってもよい例ともなっている。こうした例を知ることが、さまざまな関係の認識を「外から」見るのに役立つ。

つぎに授業3「どんな関係か？」では、ばねにつるすおもりの重さとばねの伸びの関係についての実験と、油の温度と油が漏斗を流れ落ちる速さの関係についての実験から、比例関係と入力変数の増加とともに結果の変数が減少する関係についての作業を行う。

5.3 授業4「『公正な』テスト」

さらに、授業4「『公正な』テスト」では、材質(ガラス/プラスチック)、長さ(長い、中ぐらい、短い)

幅(広い、中ぐらい、狭い)の違うさまざまな管が用意されていて、これらの3つの「入力変数」の音の高さ(「結果の変数」)への影響を調べるための実験方法を考えることが要求される。ただしルールとして管を調べるときは1回に2本を選び、その2本の音の高さを比べることができるとして、4組の試験例を考えさせる。生徒が実験に取り組んでいる間、生徒の間を回り、どういうテストがよいのかについて尋ねる。そのあと、全体で生徒たちが選んだ試験例が公正なテストになっているかどうかを議論し、一度に一つの変数に注目することなどを結論づける。また理科授業の他の実験やトピックなどに関連づける。そしてやさしく適度にオープンエンドな問題が定着のために与えられる。ただし、面白いことに、「公正なテスト」ということは強調されるが、「変数のコントロール」という方法を特に教師から「与える」べきではないとされる。この授業によって始めて「認知的葛藤」が本格的に与えられる。

5.4 授業5「転がるボール」

変数の制御(コントロール)の授業の最後は、授業5「転がるボール」である。図5のような装置を用意し、鉄、鉛、ガラスなどの材質の大きささまざまで色も変えてあるような球を用意して、下の「目標球」を上

の「転がり球」で動かせる距離を調べる。教師用ガイドの言葉を借りれば、「依然として『変数の制御(コントロール)』についてとくに触れずに、生徒たちに、多変数の課題を行なわせる。その課題は、意味のある結果が生まれるためには変数の制御(コントロール)が不可欠であるようなものとなっている。装置が紹介

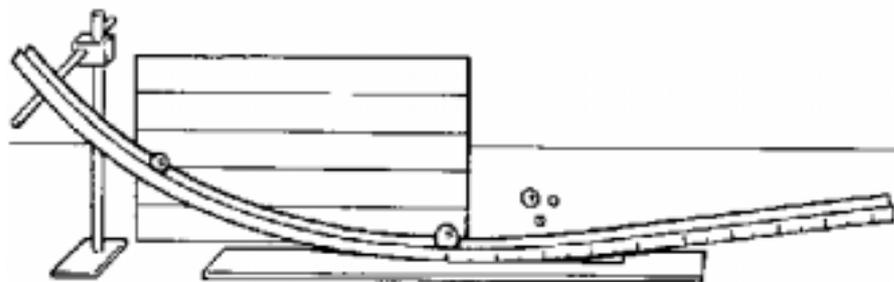


図5 転がるボールの実験器具(“Thinking Science”第2版より)

され、クラスで実験を計画する。」すべての球を並べて見せ、変数を明確にする。『転がり球』『目標球』の大きさ、重さ、色、材質、『転がり球』を離す高さ、あるいは『転がり球』の離す位置から『目標球』までの距離。『目標球』が到達する高さ/距離など、あるいは「これ以外でも生徒が挙げた変数すべて」でよい。つぎに、変数を制御しない例や、およそ無関係な変数を調べて見せる例を選んで『実験』を演示して見せる。生徒がコンテキストを理解した上で、計画ワークシートを配布し、ワークシートに取り組む時間を与える。「この作業は、生徒たちに非常に多くの認知的葛藤を与える。生徒たちは、そこに書かれている実験例の多くがうまく計画されていないことを認識しなければならないからである。」教室を回って質問し、生徒が選んだ理由づけを探る。前回の授業の実験のまとめの討論にふれてもよい。クラス全体の討論で『転がり球』を離す高さとして『目標球』が進む距離の関係を調べる実験を計画するようにもとめる。満足の行く案に合意ができれば、生徒に手伝ってもらってその実験を行なう。最後に「変数同士の関係」についてのいくつかの問題をやることによって「変数」に関するこれまでのすべての学習内容の理解を確実なものにする。

しばらくおいて、授業16「相互作用」の授業でふたたび「変数」が取り上げられるが、一歩進んだ面白い教材になっている。酵母菌が紹介され、そして酵母菌は生きていること(ドライイーストの状態ではいわば「休眠していること」)、活動のためには水が必要であること、さらに呼吸のためには糖分と温度が必要であることが導入される。そして糖分と温度の影響を見る実験を行う。そして糖分と温度の条件がどちらも満たされることによって、もっとも呼吸が盛んになることが観察される。次に鉄さびの形成の実験が行われ、水分と酸素とが揃ったときにさびがもっとも出来ることが観察される。こうして、二つの「入力変数」が合わさって「結果の変数」が大きくなるような現象を見て、それについて考えることになる。

6 成果

6.1 第7・8学年におけるCASEの実践と5年後のGCSE成績の相関

イギリス内外で、このCASEプロジェクトが注目を浴びている大きな理由は、その実際的な成果、とりわけCASEの実施とGCSE(中等教育一般修了試験、義務教育の終わりにあたって通常16歳時に受験する修了試験)の通常の科目の成績の上昇との相関にある。図6は、ShayerとAdeyの編集になる最近著“*Learning Intelligence*”(2002)から引用したものだ(以下図7・8も同様)。ここでは、第7・8学年すなわち11歳・12歳時にCASEの授業を実施した学校の5年後のGCSE試験の科学の成績の平均を縦軸にとって、コントロール集団としてとられた学校のGCSE成績と比較したものである。(GCSEの評価はABCDEという段階づけで与えられているが、かりに各段階の差を「等間隔」としてプロットしてある。)横軸には、第7学年入学時に行った認知能力の発達段階の同定テストにおける当該学校の平均点が、そのテストの全国結果の百分位数中のどこに位置するかを取ってある。すなわち、当該学校の平均点が、全国結果の百分位数中の下から30パーセントの位置にあれば、そこにプロットしてある。このように整理して、CASEを用いた実験校とコントロール校とを比較すると、CASEなしで期待できる5年後の成績とCASEの効果とを見て取れるわけである。ご覧のとおり結果は驚くべきものになっている。第1にコントロール校の集団内においても、第7学年の入学時の認知能力の発達段階分布についての調査の結果と5年後の科学の成績はあきらかに相関している。これは、認知能力に関する調査の結果の、GCSEのような通常の学力試験結果に対する予言性が高いことを表している。その上で、CASEを実施した学校の集団のGCSE成績は、コントロール校の集団の成績に比べて明らかに高くなっている。その平均的な上昇は、1.05段階(標準偏差0.5)と計算されている。

さらに注目されているのは、他教科の成績との相関である。図7は縦軸に当該校の(5年後の)GCSEの数学の成績の平均を取ってある。(横軸は図6と同じ)ここでもCASEの実施校の相対的な成績上昇は明らかで、その平均的上昇は0.95段階(標準偏差0.5)である。また図8は縦軸にGCSEの英語の成績を取ったもの(横軸は同じ)で、驚くべきことにここでも、平均的上昇0.90段階(標準偏差0.57)のCASE実施校の相対的な成績の上昇が見られる。これらの結果をもとにShayerとAdeyは、心理学でいう一般的な学習転移(transfer)が起きていると言えるのではないかとしている。

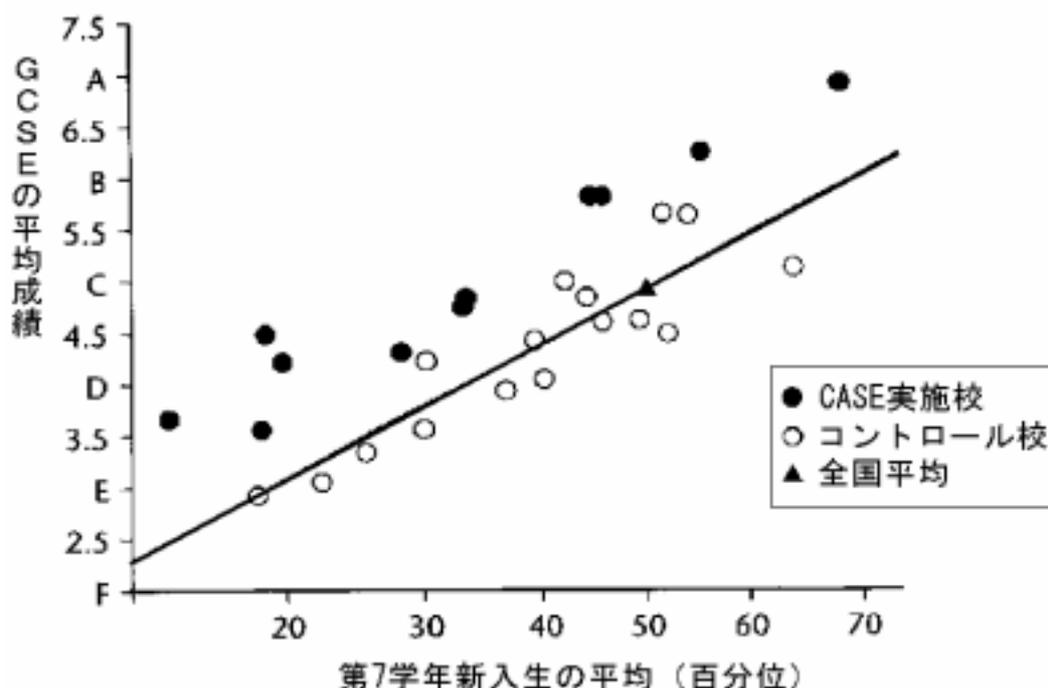


図6 GCSE1999年の「科学」の成績の向上((*Learning Intelligence*”(2002) p.10より)

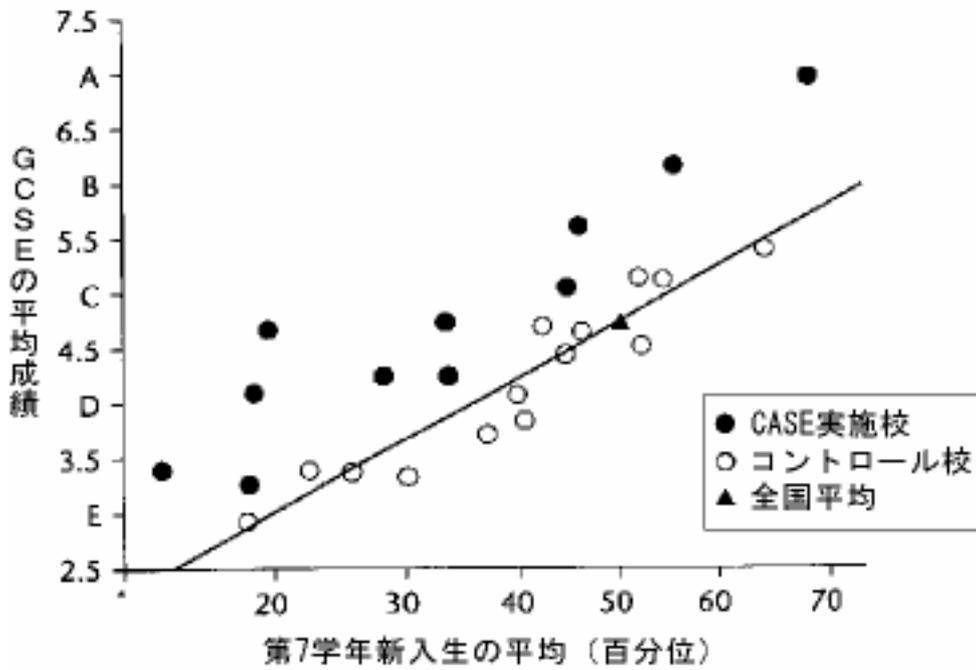


図7 GCSE1999年の「数学」の成績の向上((*Learnig Intelligence*”(2002) p.10 より)

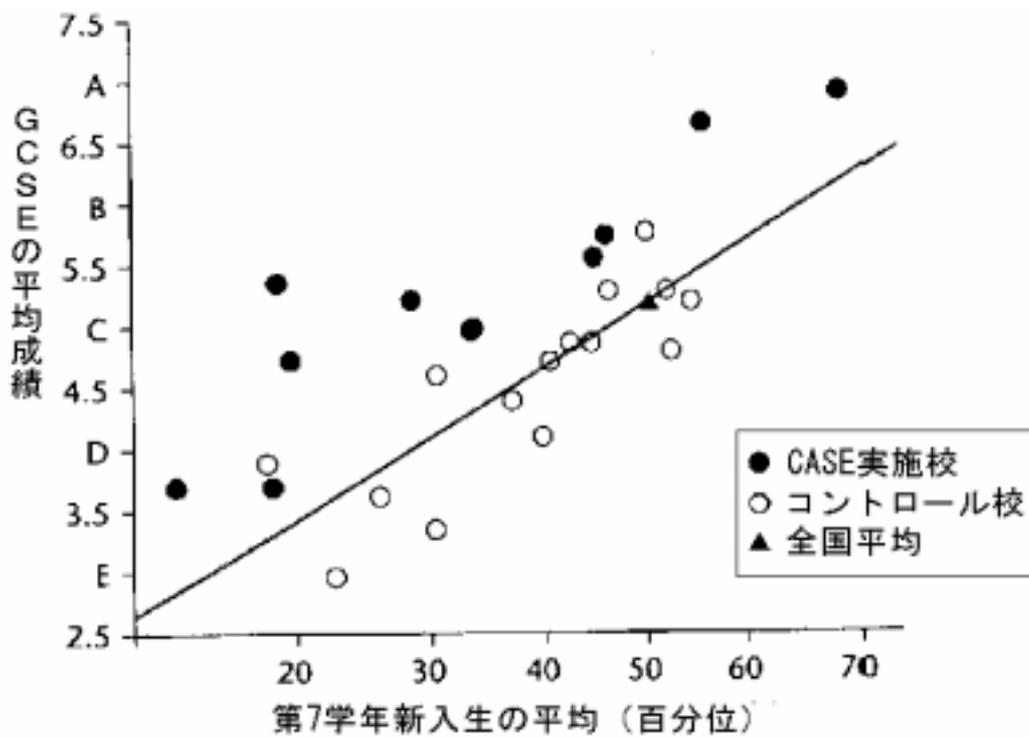


図8 GCSE1999年の「英語」の成績の向上((*Learnig Intelligence*”(2002) p.10 より)

7 最近の発展

つぎにこの Shayer と Adey を中心とする Cognitive Acceleration (CA) の実践と研究の最近の発展について簡単に述べておこう。上に述べたように、CASE プログラムはめざましい成果を挙げつつある。イギリスでは現在ナショナル・カリキュラムのもとで、各学校が義務教育の各段階での全国統一テストの成績を公表されるという圧力のもとにあるなど、「学力」向上熱は高い。その中で、このプログラムは一般的学力を顕著に上昇させる授業として注目されている。しかしそれを別にしても、このプログラムの潜在的な可能性はイギリス内外の理科教師、教育関係者、研究者の注目を大きく集めている。現在は、イギリスでは、他の年齢・学年の教材の開発 CASE@KS 1 (5 歳~6 歳)、CASE@KS 2 (7 歳~8 歳) などが開発されつつあり、また GAME (数学 12 歳~14 歳)、CATE (技術教育)、GAME Primary (数学 9 歳~11 歳) などをはじめ、演劇、音楽、美術などの教科領域において認知能力の発達を目指す教材の開発も行われている。たとえば CASE@KS 1 (5 歳~6 歳) では、ある基準に従った並べ替え、簡単な分類、因果性、視点の移動、さまざまな保存の概念といった(ここでもピアジェに基本的に依拠しながら)具体的思考操作の発達を目指す教材が開発されている。また、イギリスの教師にとっても、通常の授業とは大きく異なる目的と方法を持った授業であるため、CASE を教えるための教師教育のプログラムが開発され、それを通じた CASE の普及が進んでいる。また、国際的な注目もあびていて、少なくともフィンランド、ドイツ、オランダ、マラウィ、韓国、米国などで追試ないし実際の利用が行われ始めている。

8 終わりに

最後に、CASE が日本の理科教育にとって持つ意味について、主として中高教員の立場からいくつか私見を述べておきたい。

8.1 本格的検討が必要である

まず、何よりも、CASE 本来の趣旨を丁寧に受け止め、その理論と成果を十分に検討し、日本の理科教育に取り入れる可能性を本格的に検討することが必要である。CASE プロジェクトは一方で先に述べたように大きな成果を挙げ、また背景の理論も実際の教材も内容的に非常に興味深いものだが、他方で、通常の理科授業とはその目的と方法が根本的に異なり、とりわけこれまでの日本の理科教育の流れとは根本的に異質である。日本の理科教育は、多くの現場の教員・理科教育関係者が自負しているように、長年にわたる非常に豊富な経験の蓄積をもち、また仮説実験授業をはじめ世界に誇るに足る授業形態も生んできた。しかし、学ぶべき知識・内容の規定が事実上中心となっていた学習指導要領の制約のもとに長年置かれてきたため、この CASE のように、科学の知識内容を教えるのでなく、かと言って実験や作業の実際上のスキルを教えるのでなく、さらには通常言われる「科学の方法」を教えること自体を目的とするのでなく、より一般的な思考操作の能力を長期間をかけて育てようとする授業プログラムが、日本の教育現場の中から生まれることはおろか、現場の教員に自然に理解が広まることもみようみまねで普及することもなかなか難しいだろうと思われる。本格的な検討のための意識的な努力がぜひとも必要である。

8.2 思考操作に焦点を当てることの魅力

上記の点を踏まえた上でのことだが、われわれにとって、思考操作に焦点を当てる教材に触れるのは新鮮な体験である。先に紹介した「科学者は、『変わるもの』とその『関係』に注目しているのだ」ということや「変数の制御」の実験における重要性を教えることが大事だということは誰でも同意するだろうが、日本ではそのこと自体を正面から強調する教材はあまりない。この教材ではそのこと自体に焦点をあて、それを子どもたちにゆっくりと体験させ意識させる。筆者が実際に行った授業では、勤務している女子中学校の中2・中3の生

徒を対象としたので、認知能力の発達段階としては、先に紹介した授業を理解困難と感じる生徒は少数で(難しいという感想の生徒もいないわけではなかったが)、多数の生徒は比較的たやすく理解したように思われる。そのような生徒たちは、すでに必要な思考操作が可能な段階にまで達していたが、ただ、そのような観点を明確に指摘されたことがなかったので知らなかったのにすぎないのではないかとも思われた。それでも生徒たちは、これらの授業の目的と方法を非常に新鮮に受け止め、この授業を経ると、通常の理科の実験でも、その実験での「変数」は何かということに注目するのが重要であるということが自然に受け入れられるようになる。面白いことに、その意味で言えば、大学生もまた同様である。大学の理科教育法の授業の中で、この教材を用いた例においても、その次の授業から、実験の計画とレポートが格段に改善される学生が現れるとのことである。(逆に言えば、現実には、高校・大学においても、変数の制御などに無頓着な実験や実験報告をする者が多く、また他人が「公正」でない実験をしたり報告をしたりした時におかしいと言うことはできるのに、自分の報告では自覚的に定式化・言語化はできない場合も多いのである。)

あるいはまた、統計学の理解は、自然科学・社会科学を通じて重要である一方、込み入った思考操作、意味や次元の異なるいくつかの因子や変数を複合的に理解することを必要とするが、日本の高校では学ぶ機会が事実上存在しない。先に紹介したように、この教材のように、初歩的であれ、それをゆっくりと学ばせていくこと自体が注目すべき取り組みだろう。

言い換えると、科学に必要な思考操作を育てる、あるいは科学で必要な観点に自覚的に立てるようにするという目標を、日本の教育関係者は、理科教育の自覚的な目標の一つとしてもっと意識すべきである。たとえば、新しい理科カリキュラムを巡る論議がいま行われつつあるが、新しいカリキュラムを作るのであれば、教科内容の配列だけでなく、どのような思考操作を育てるかを自覚的に設定し、そのためにどの年齢でどのような教材を置き、どのような授業形態を取るかも併せて準備すべきであると思われるが、そのような指摘は今のところほとんどない。もしそのような検討を行うとすれば、この教材はとてもよい参考になるだろう。

8.3 CASE 本来の狙い

しかしそれでも、CASE 教材の趣旨としては、各思考操作を各作業を通じて、その都度直接に(逆に言えば互いに独立に)習得させることを目的にしているのではないことに注意する必要がある。すなわち、変数の制御を学んだ、だから変数の制御はもうできる(不確かな人はその意味と手順は覚えておこう)とか、統計学に必要なさまざまな思考操作や手順をしっかりと見につけたということが、それぞれの授業の到達点として問題になるのではない。

あるいは、たとえば中学理科の第1分野や高校の化学を教えた経験がある人ならば誰でも同意するだろうが、化学を教える上でのもっとも大きな難点の一つは、目の前で起きている現象そのものとその原子レベルや化学反応式による説明との対応を生徒に理解させることである。そして、ピアジェらの立場に立てば、これは、たんに教師側の説明のしかたの問題ではなく、直接目に見えない抽象的なワーキングモデルで現象を動的に理解することができるかどうかという思考の形式的操作能力の発達段階に関わることからである。そしてこのCASE教材では、先に述べたように、この形式的モデルの構築と利用に焦点を当てた授業が含まれている。しかし端的に言えば、それらの授業の目的は、授業を受けたら粒子的(原子論的)説明ができるようになること、言い換えると形式的モデルを使う能力だけをその時間に直接伸ばすということではない。むしろ、“*Thinking Science*”全体の2年間の授業を通じて、形式的操作一般の能力の発達を加速・促進させるのが本来の狙いで、そのために、どの教材も、そのために用意されている、さまざまな形式的思考操作を多様に体験させる教材の一つなのである。(Shayer、Adey は、形式操作は、獲得・未獲得がある程度一まとまりとして起きる、すなわち段階として進むというピアジェの立場に基本的に依拠している。)その点に照らせば、CASE教材の部分的な利用は、時として魅力的であるにしても、CASE本来の長所を生かすことにはならないのである。

8.4 授業方法の決定的な違い

こうした背景の理論と狙いを持つために、この CASE の授業とふつうの理科の授業の間には決定的な違いがある。この授業では、現実のコンテキストの中で当該の思考操作が必要な状況で思考する体験を持つこと、それについてのメタ認知やブリッジングや社会的構成の体験をさせることが目的となっていて、そのために教師は、授業の中で生徒が具体的なコンテキストと体験の中で、自分自身で問題の意味を十分理解し考えるようにとくに気を配り、積極的に生徒と対話し、生徒同士の討議も促して、思考の発展を媒介しようとする。その一方、その授業ごとのまとめを押し付けること、結論を覚えさせることなどは必要とされていない。それが、後々の一般的な学力試験の成績の向上につながるような長期的な効果をもつとしたら、それは、日本の現在の教育と対比において瞠目すべきことではないだろうか。

8.5 カリキュラムを作る上での客観的裏づけ

最後に理科カリキュラムの検討に対する、CSMS 調査とその分析の意義についても述べておきたい。日本で現在行われているカリキュラム論議の中では、小学校から高校に至るまでを見通したカリキュラムをどのように作るべきかということが焦点の一つになっている。しかし、具体的に、どのトピックをどこに置き、どの程度までを到達目標とするかという問題になると、その議論はもっぱらわれわれの経験的な判断に基礎を置くものとなりがちである。ところが、生徒の非常に多様な能力や発達段階にどのように対応するか、という全体の問題に対するコンセンサスを作ろうとすれば、非常に複雑な現象についての総合的な検討とバランスの取れた丁寧な議論が必要となるだろう。そしてその議論の際には、さまざまな生徒たちにとって各学習内容の程度が適切であるかどうかの議論を、より客観的な俎上に載せて行うことが必要になるだろう。その点では、この CASE 開発の基礎となった CSMS 調査とその分析という Shayer、Adey のもう一つの仕事が参考となるだろう。前著 *“Really Raising Standards”* (1994) の中でかれらは、イギリスのナショナル・カリキュラムについてたとえば次のように論じている。

「到達目標 3 レベル 7 (f) 化学反応の速度に影響するファクターを理解すること

1992 年 キー・ステージ 3 SAT5-8、試験 3 パート 1 g (パラフィンの分解のための実験装置の図が与えられている。) 問い 1 この装置は分解反応を速めるために作られたものである。その方法を二つ述べよ。 問い 2 分子を用いて、なぜその二つの方法が分解を速めることになるのか説明せよ。

分析: 第 1 問目は、単に、学習ずみの具体的な原因-結果というシェーマによって答えることができる。: 反応は温度と触媒とによって促進される。しかし第 2 問目は、熱と触媒の働きによって分子の活性化が起きるという観点からの理解を必要とする。このためには、適切な説明を与えるような抽象的 (形式的) モデルを必要とする。レベル 7 は 16 歳の平均的生徒によって到達可能であるものと想定されている。しかし第 2 問に答えるために必要な思考の型を用いることができるのは、その年齢の生徒の 32 パーセント以下に過ぎない。

(*“Really Raising Standards”* (1994) P.36)

われわれはこのような観点についてよく考えてみなければならない。

(おわり)

付記 この文章はもともと CASE について日本の中学・高校の理科の先生方に紹介することを念頭に書き始めたもので、今回、国立教育政策研究所の小倉康氏のお誘いで Adey 先生をお迎えしたフォーラムで短い報告をするにあたっての資料として、予稿集に載せていただくことになり急いでまとめました。今後、さまざまな方々のご意見などを聞いて改稿し、何らかの形であらためて発表したいと考えています。

参考文献

- 1) Shayer,M. and Adey,P. 1981: *Towards a Science of Science Teaching*, Oxford, Heinemann Educational
- 2) Adey,P. and Shayer,M. 1994: *Really Raising Standards* Cognitive Intervention and Academic Achievement, London, Routledge
- 3) Shayer,M. and Adey,P. ed. 2002: *Learning Intelligence* Cognitive Acceleration Across the Curriculum from 5 to 15 years, Buckingham, Open University Press
- 4) Shayer,M., Adey,P. and Yates,M.1995: *Thinking Science* 2nd edition, Nelson, Walton-on-Thames
- 5) Shayer,M., Adey,P. and Yates,M. 2001 : *Thinking Science* 3rd edition, Nelson, Walton-on-Thames

参考資料 1 “Thinking Science”(第2版)教師用ガイドの内容例 授業2 「2つの変数」

第3版では、各授業がレッスン1~30と呼ばれ、その中の各実験・作業がアクティビティと呼ばれているが、第2版では各授業がアクティビティ1~30と呼ばれていて、各実験・作業には統一した呼び名がない。ここに掲載しているのは、勤務校での授業の試行のために著者が試した教師用ガイドで、第2版にもとづいている。

アクティビティ 2 2つの変数

変数

イントロダクション

このアクティビティでは、いくつかの実験をサーカス形式(訳注 実験室内に設置されたいくつかの実験装置を生徒が順番に回りながら実験を行なう形式)で行なう。どの実験にも二つの変数が関係する。このアクティビティの目的は、

- (a) 「入力」(“input”)変数と「結果」(“outcome”)の変数という言葉を導入する(「独立」変数・「従属」変数という聞きなれてはいるが間違いやすい言葉の代わりに、こうした言葉を用いることを薦めたい)
- (b) 変数と関係についての認識を強化する、

という2点である。

このアクティビティも、おおそすべて(ピアジェの説で言う)具体的準備(concrete preparation)である。ただし葉っぱについての実験は、一つの認知的な葛藤(cognitive conflict)を引き起こし、生物学的な話題への「ブリッジング」(bridging)の機会を与えるだろう。

各実験へ割り振る時間は10分ずつ程度でよい。授業時間が50分しかない場合には、実験2を省いてもよいが、実験後の討論は省略しないこと。

装置の要約

注意 実験3については、前もって準備をしておくことが必要である。

実験室に、(4つの実験について)各実験2セットずつ合計8セットの実験装置を準備して、各実験のワークカードとともに配置しておく。

実験1 滑車、力測定器(ばねばかり)、おもり、ワークカードA

実験2 直径がいろいろな円筒形の容器、ワークカードB

実験3 4枚の葉っぱ、表にワセリンを塗ったもの、裏にワセリンを塗ったもの、両方に塗ったもの、どちらにも塗っていないもの、ワークカードC

実験4 ワークカードD

生徒一人ずつに

ワークシート

手順の要約

- 1 変数間の関係について再度要点を確認する 今度は「入力」変数の値が変わるとともに、変化が起きる、そこで「結果」の変数に何が起きるかを見る
- 2 4つの実験を順番に見ていこう
 - 1 滑車:「入力」変数を大きくしていくと「結果」の変数も大きくなっていく例
 - 2 液体の高さ: 直径が大きくなるとともに液体の高さが低くなるというパターンを発見するように促

す

- 3 葉っぱ：生徒たちは水がワセリンを通して漏れることができないということを仮定して、そこからふつうは葉っぱのどちらの面から水が漏れているのかを導き出す
 - 4 身長と体重： 関係がなり例（どちらを「入力」変数としても「結果」の変数としてもよい）
- 3 結果の討論 理科の授業の中での他の実験・実習の例と関連づける
-

手順の詳細

- 1 (10-15分) 前回の授業で導入した変数（訳注 われわれは「変わるもの」という言い方で導入した）と変数同士の関係について、生徒たちに思い出させる。二つの例についてOHP原稿が用意されている。通常の理科の授業の中から、該当する例をいくつか示すとよい。

今回の授業では、生徒たちは、変数についてさらに探求を深め、一つの変数が変わる実験をいくつか行ない、そのとき他の変数に何が起きるかを見る。実験者(生徒または教師)が変化させる変数は「入力」変数と呼ばれる。入力変数はわれわれがある程度制御できる変数である。たとえば重さを増やすときには、重さが入力変数である。というのは変化させるかどうかをわれわれが決定できるからである。

もう一方の変数、すなわちわれわれが何かを行なった結果として変わる変数の方は、「結果」の変数である。もしばねに吊るすおもりの重さを大きくするなら、ばねの伸びの長さが結果の変数である。
- 2 (30-35分) 生徒を数人ずつの班に分け、4つの実験を示し、それぞれ「順繰りに」何をしていくかを説明する。役に立つ内容上の知識が副産物として得られることもありうるが、それぞれの実験における変数とその変数間の関係が重要であることを強調する。
 - (A)「滑車」の実験は、直接的である：入力変数の値が増大すると結果の変数の値が増大する。
 - (B)「液体の高さ」の実験では、直径が大きくなるとともに高さが低くなるというパターンを見るために、直径の大きさの順番に結果を書いて見ることを示唆してやるべきかも知れない。
 - (C)「葉っぱ」の実験はもっともむずかしい実験である。入力変数は「ワセリンを塗った面」で、結果は「乾燥し具合」である。
 - (D)「こどもたちの身長と体重」の実験は関係が存在しない場合の例である。また、どちらを、入力変数と結果の変数と取ってもよい例ともなっている。
- 3 (10分) 全員が実験を終了したらそれぞれの実験の結果について討論する。なるべく多くの生徒に自分たちの答えとそこにいたる考えとを、クラスに対して発表させる。他の理科の実験・実習の例を思い出させて、「入力」変数が何で「結果」の変数が何かを尋ねる。これは「ブリッジング」(bridging)である。

訳注 variable、input variable、outcome variable の訳について

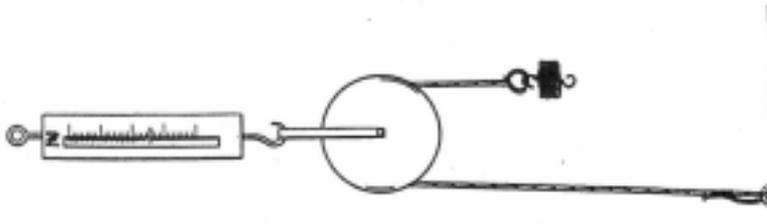
このThinking Science教材でのvariablesは、数であるとは限らないので、アクティビティ1では、「変わるもの」とやさしく訳したが、アクティビティ2では、input variableを「入力変数」、outcome variableを「結果の変数」というように訳した。「変わるもの」というままでは用語になりにくいからである。また、outcome variableを、input variableに対応させて「出力変数」と訳すかどうか迷うところだが、原語が“output”ではないし、出力と言う言葉もこの実験の文脈では生徒に分かりにくいと思うのでここでは「結果の変数」とした。

アクティビティ 2
2つの変数

ワークカードA

変数

1 滑車の実験



ばねばかりと滑車とを使用して、下図のよう
におもりを持ち上げなさい。

ばねばかりの目盛りの読みは、おもりを持ち
上げるのに、あなたがどれだけ力を使っ
ているかを示している。

3個または4個の異なる質量のおもりでやり
なさい。各々の質量に対して、それを持ち上
げるのに必要な力を見つけてなさい。

ワークシート(1の部分)の表に記入して、
質問に答えなさい。

つぎのように、1個の質量は

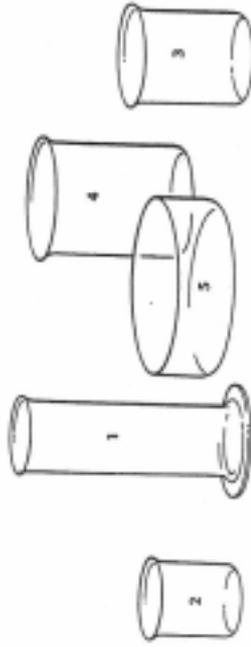


アクティビティ 2
2つの変数

変数

2 液体の高さ

いくつかの容器がある。それぞれ、高さや幅が異なっている。

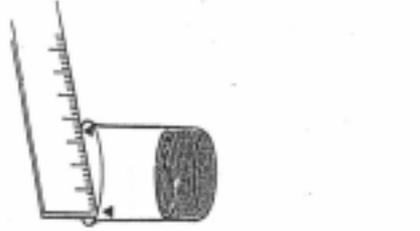


最も小さいのは、 100 cm^3 のピーカーである。

100 cm^3 のピーカーのふちまで、水をいれなさい。
よく注意して、その水を他の容器に注ぎなさい。

その容器の中の水の直径(容器の内側の幅)を
測定しなさい。ワークシート(2の部分)の表
にその直径を記入しなさい。

水の深さを測定しなさい。



その結果をワークシート(2の部分)の表に記入しなさい。

その水を他の容器に注いで、その中の水の直径と深さを測定しなさい。

すべての容器に対して、同じことを行って、測定結果を表に記入しなさい。
ワークシート(2の部分)の質問に答えなさい。

アクティビティ 2 ワークカードC
2つの変数

変数

3 木の葉

新鮮な木の葉は水を含んでいる。木の葉が水を失うとき、それは乾燥して縮む。

木の葉はその表面から、または裏面から、または両面から水を失うであろう。この実験は、木の葉のどの面から水が失われるかを見つけるための実験である。

2日前に木の葉の面にワセリンを塗った。ワセリンが塗られた面からは水は逃げ出すことができない。

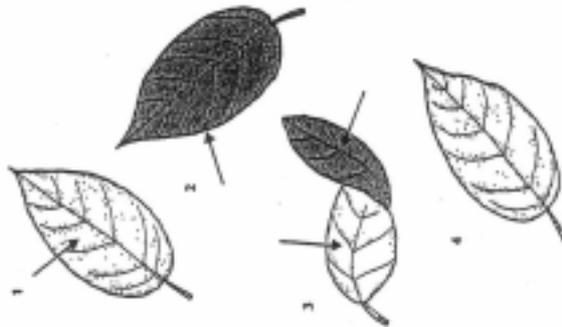
吊るしてある4枚の木の葉を見なさい。

木の葉1は、表面にワセリンが塗られている。

木の葉2は、裏面にワセリンが塗られている。

木の葉3は、両面にワセリンが塗られている。

木の葉4は、両面共ワセリンが塗られていない。



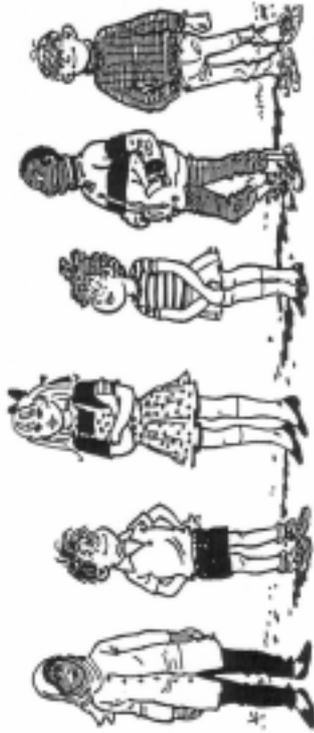
ワークシート(3の部分)の表に記入して、質問に答えなさい。

アクティビティ 2 ワークカードD
2つの変数

変数

4 身長と体重

ここには6人の子供の絵がある。



名前	ベーナ	クラータ	シヤロン	スーザン	ロバート	リー
身長 cm:	148	146	151	142	149	144
体重 kg:	43	31	38	35	34	42

各人の身長(センチメートル単位)と体重(キログラム単位)が、おれらの絵の下に書かれている。

ワークシート(4の部分)の表を完成させなさい。各人を身長順に並べて、最も背が高い人を最初に、最も高い人を最後に記入しなさい。

表が完成したら、質問に答えなさい。