

7. 新しい理科授業への認知面からの一方略

福岡 敏行

はじめに

今日、「新しい授業」が求められているのはなぜだろうか。直接的には、学習指導要領の改訂と、それにとまなう指導要録の観点別評価の書換え等による種々の変化に、生徒の学習指導を対応させることが要求されているからであろう。この学習指導要領が改訂される背景には、国際化・情報化等の社会の変化、エネルギー問題や自然環境破壊の問題等、生徒を取り巻く環境の急激な変化があり、これらに対して生徒が自らの力で対応でき、適切な判断によって意思決定のできる力の育成が学校教育に要求されるようになったことが考えられる。また、最近の教科教育学への新しい教育学・認知心理学等の導入による学習指導論の見直し、世界各国の教育革新の動き、多様化する個々の生徒に対していかに対応するか等も、「新しい授業」を模索している背景にもなっているであろう。

本稿では、複雑に絡み合っている存在する上記の諸要素の一端に目を向け、「新しい授業」への模索を試みてみたい。格別に新しいものではないが、見方を変えれば上記のいずれにも対応できるものと考え、フレームワークや概念地図法を導入して述べる。次に本稿の章立てを示す。

1. 理科の授業と学習
2. 生徒のオルタナティブフレームワーク
 - (1) 有意味学習のモデル図
 - (2) ノードとリンクによる概念域
 - (3) フレームワークの考え
 - (4) 生徒のオルタナティブフレームワーク
3. 新しい授業への試み
 - (1) フレームワークの同定と活性化
 - (2) フレームワークの強化と拡大
 - (3) 概念地図法の導入
 - (4) 概念変容のための新しい授業への方略

1. 理科の授業と学習

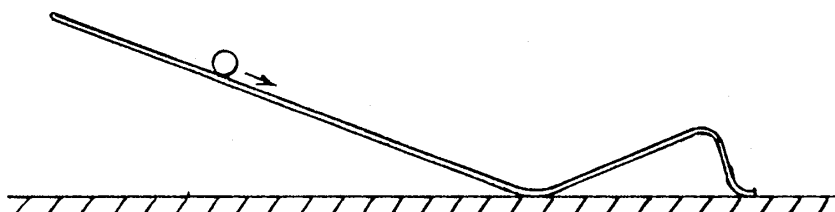
理科学習とは、生徒が自然の事象とかかわり合い、新しく得る情報と既存の概念との相互作用により、生徒自身の力で概念変容することである。換言すれば、生徒独自の力で概念を構築するのである。概念変容の類型として、「生成」「置換」「拡張」「修正」「統合」「固執」「縮小」などに大別できるであろう。表1は、ジェットコースターのモデル実験を演示した際の生徒の概念変容の類型の事例を示す¹⁾。

理科の授業とは、教師の支援の基で、生徒が自然の事象を対象として学習する場である。すなわち、教師の支援の基で生徒が教材をとおして自然の事象と関わり、生徒が概念変容する場であるといっていよう。

表1 概念変容の類型¹⁾

課題： ジェットコースターで、レールからはずれたり、ジャンプしたりしないようにさせたい。球の重さを変えるとどうなるか。実験前の予想と、演示実験後の結果について述べよ。

○：軽い球 ●：重い球

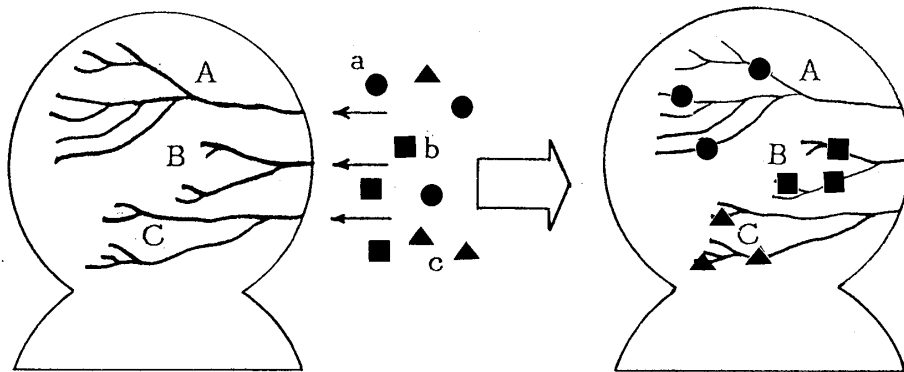


変容 類型	説明	中学生の概念変容の例	
		生徒のプリコンセプション → 概念変容後の新しい考え方	
生成	考え方がはっきりしていなかったが新しい考え方を取り入れる。	よくわからない。	球の重さには関係ないこと → がわかった。
置換	既存の考え方を新しい考え方で置き換える。	きっと、重さに関係する。	本当は重さに関係しなかつ → た。
拡張	既存の考え方をともに、新しい考え方を付け加える。	重さに関係すると思う。	重さの違いによる、球のス → ピードの違いが関係してい る。
修正	既存の考え方を一部修正して、新しい考え方を取り入れる。	重い方が加速がつきやすいので、上の方からころがせばよい。	重い方が加速がつきにくい → ので下の方からころがせば よい。
統合	既存の考え方を、まとめる。	重さによる、スピードと距離に関係している。	結局、重さの違いによって → 球の動きは決まっている。
固執	既存の考え方を保持し、それを使用する。	重い球の方が速いので下からころがせばよい。	やっぱり、球は重い方が速 → いので少し下からころがし た。
縮小	既存の考えをせばめ、縮小する。	重い方が勢いがつくから、下の方からころがせばよい。	どうして、そういう結果に → なったのか、わからなくな った。

2. 生徒のオルタナティブフレームワーク

(1) 有意味学習のモデル図

生徒の概念はどのような過程で変容していくのであろうか。まず生徒の頭の中をモデル化して説明しよう。外部から取り入れた新しい情報は、知識として頭の中に記憶される。その際に、既存の概念の上に無秩序に蓄積されるのではなく、生徒自身にとって意味のあるように関連する概念と連結していく。図1に示すように、Ausubelの有意味学習の説明に使われたモデル図²⁾によれば、外部からの情報が頭の中の、ある枝につながっていく。つなぎ方は生徒自身が決める。どの枝で、どのような方法かは、生徒にとって意味のあるようにつなげていくのである。このモデル図によれば、生徒の意識的な仕組みを示すには少々分かりにくい点があるので、筆者が使用するフレームワークのモデル図を後に紹介する。



有意味学習においては、新しい情報 a, b, c は、それぞれに関連する知識構造(包摂体)A, B, C に結合される。モデル図のAは、BやCと比べてより分化していることを表している。生物的には、より複雑な細胞の集合体になっているのであろう。

図1 有意味学習における新しい情報獲得のモデル²⁾

(2) ノードとリンクによる概念域

外部から取り込んだ新しい情報は、どのようになるのであろうか。最近では、この学習者のもつ概念構造についての研究が盛んに行われている。頭脳の生物学的な構造はここでは考えないで、人の頭の中のシステムを次のようなモデルで考える。すなわち、多数の概念がお互いに関連しあって、網目状になってネットワークを構成している。そのモデルは、ノード(節点)とリンク(結び)とで構成されている。ネットワークが存在する領域を「概念域」とする。既存の概念と新しい概念とが結合して意味ある命題を頭の中に形成したとする。この概念域を図2のようなイガグリモデル³⁾を使っても説明できるが、図3は、このイガグリモデルによって複数の概念がつながったものを示している⁴⁾。

本稿ではノードとリンクによるネットワークに類するものとして、図4のようなモデルを採用する⁵⁾。キーワードまたは概念ラベルをノードとし、それらがつながっている様子を線で結んだものをリンクとしてモデル図とするのである。このようにして頭の中の概念域の様子を示すことはできたが、しかし、このままではまだ生徒の意識的な仕組みを示すことは難しい。

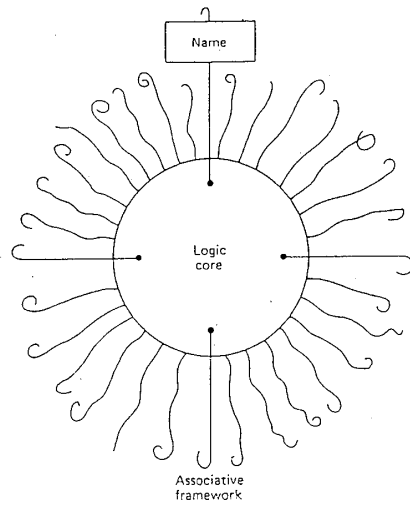


図2 イガグリモデル³⁾

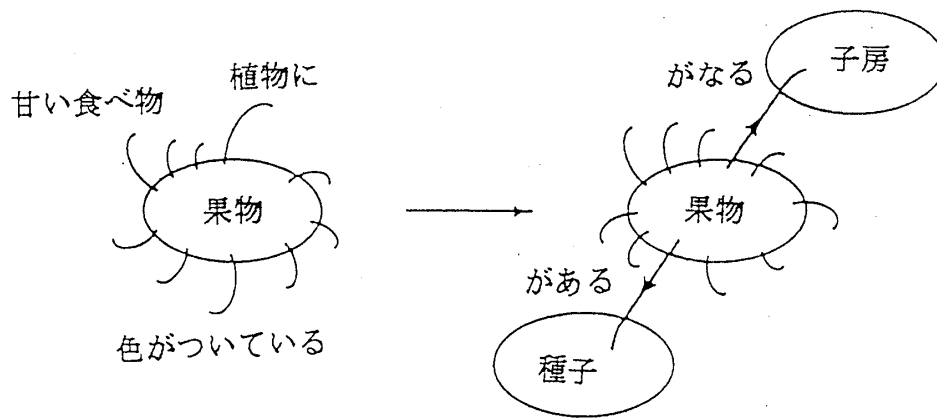


図3 イガグリモデルによる概念の拡張⁴⁾

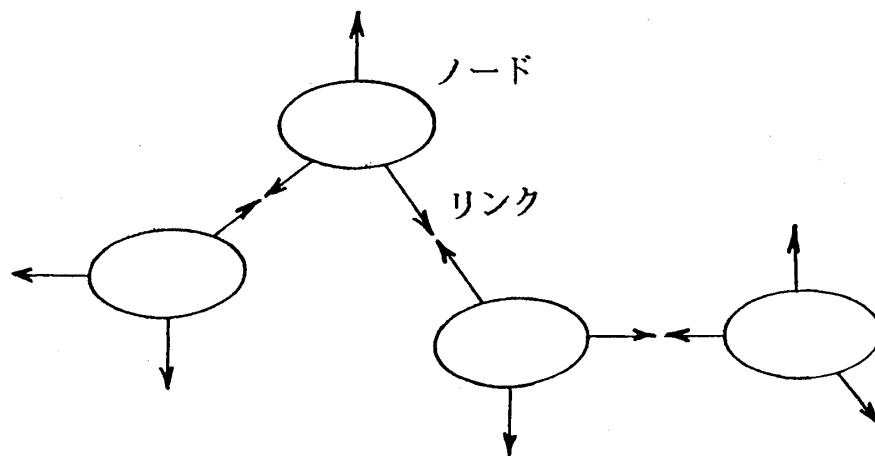
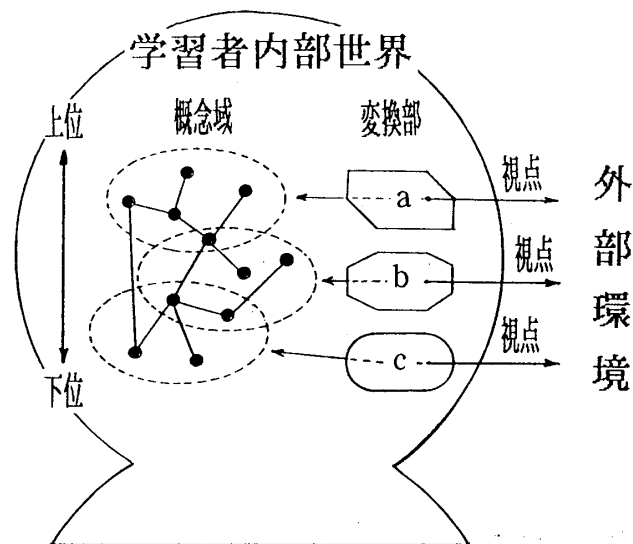


図4 ノードとリンクによるモデル⁵⁾

(3) フレームワークの考え

人が絶え間なく自転車のペダルを踏んでいて、この自転車が道路上を一定の速さで走っている様子を生徒が観察したとき、生徒は「運動するためには一定の力が必要である」と答えたとする。次に、この自転車がコンクリート舗装上で、ペダルを踏まなくてもしばらく一定の速さで走っている様子を同じ生徒が観察したとき、「自転車は、最初に人が加えた力の勢いで、そのまま走っている」と答えたとする。力学的には両者の考えは異なっているが、場面によってそれぞれ説得ができるような理論を持って説明しているのである。われわれは、このようなことによく出会う。このような考えの生徒の頭の中を説明するのに、フレームワークという概念を使用すると便利である。

人の頭の中のシステムを次のようなモデルで考える。人間の内部概念構造は、幾重にも及ぶ階層構造を有している概念域と、それを観察事象と結びつける変換部とに分けられるという考えを基盤としている。この観察事象に呼応する概念域と、その際の橋渡しを行う変換部との組合せをフレームワークと定義する⁶⁾。概念域は、多数の概念がお互いに関連しあって、網目状になっている。これがネットワークと呼ばれており、そのモデルは、ノード（節点）とリンク（結び）とで構成されているとする。図5は、フレームワークを説明するためのモデル図である⁷⁾。頭の中には概念域と変換部とがあり、ペダルを踏み続けている自転車を見たときには、変換部 a を含むフレームワークで考え、慣性で走っている自転車の場合には、変換部 b を含むフレームワークで考えているのである。それぞれのフレームワークの概念域では、共通の概念が存在する場合もあるが、両者の構成は異なっているであろう。生徒一人一人の考え方をとらえる方法として、このフレームワークのモデル図は有力なツールになるであろう。

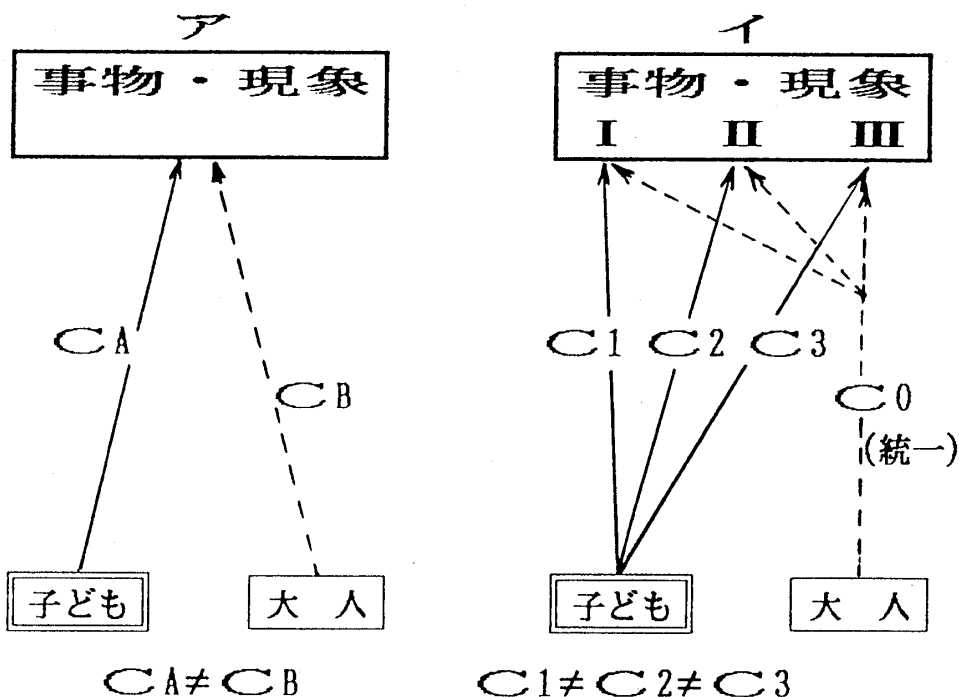


- a. 1組の「概念域+変換部」を、フレームワークとする。
- b. 図中の()は、全体として1つの役割を持つ、近接する概念どうしを囲んだものであり、したがって、その中の●印は概念ラベル、またはある特定概念を示すものである。

図5 フレームワークのモデル図⁷⁾

(4) 生徒のオルタナティブフレームワーク

前記において、走っている自転車を見ての生徒の考えを説明したが、再度この話をここで使ってみよう。「走っている自転車は、道路との間の摩擦力によって減速するので、自転車を一定の速さで走らせるために、人がペダルを踏むのである。」と、走っている自転車についての一つの事象に対して、教師は説明したとする。しかし、生徒は「一定の力が働いているから、自転車が一定の速さで走っている。」と、摩擦力の存在を全く考えないで、独自の考えで説明する場合がある。このように両者は必ずしも一致することはない（図6-ア）。また、道路上を走る自転車も、コンクリート舗装上での自転車についても、教師は異なる複数の場面の自転車の運動をニュートン力学でうまく統一して説明することができる。それに対して、生徒はこのように異なる場面に出会ったとき、それぞれに都合のよいように、生徒独自の考えで、別々に異なる理論で説明してしまうことがよくある（図6-イ）。このような生徒独自の考えをオルタナティブフレームワークと称している。

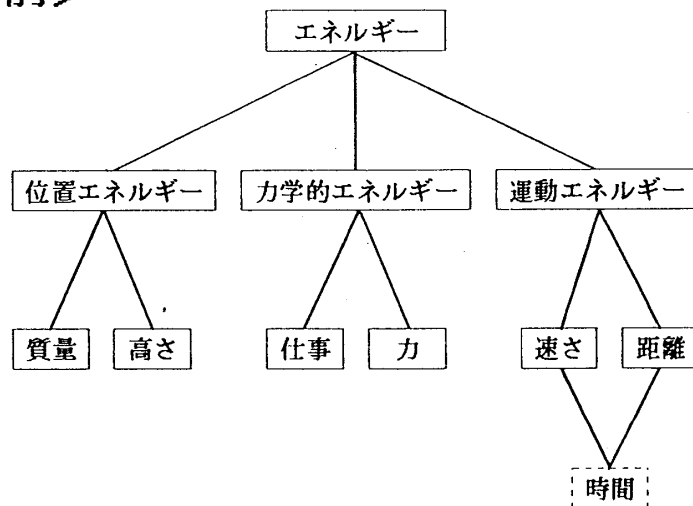


- ア：同一の自然の事物・現象に対して、生徒の考えと大人の考えと異なる場合がある。
- イ：複数の自然の事物・現象に対して、大人はそれらを統一して考えることができる場合がある。それに対して、生徒は、それぞれの事物・現象に対して、統一した考えは存在しないでそれぞれ異なる生徒独自の考えで説明する場合がある。

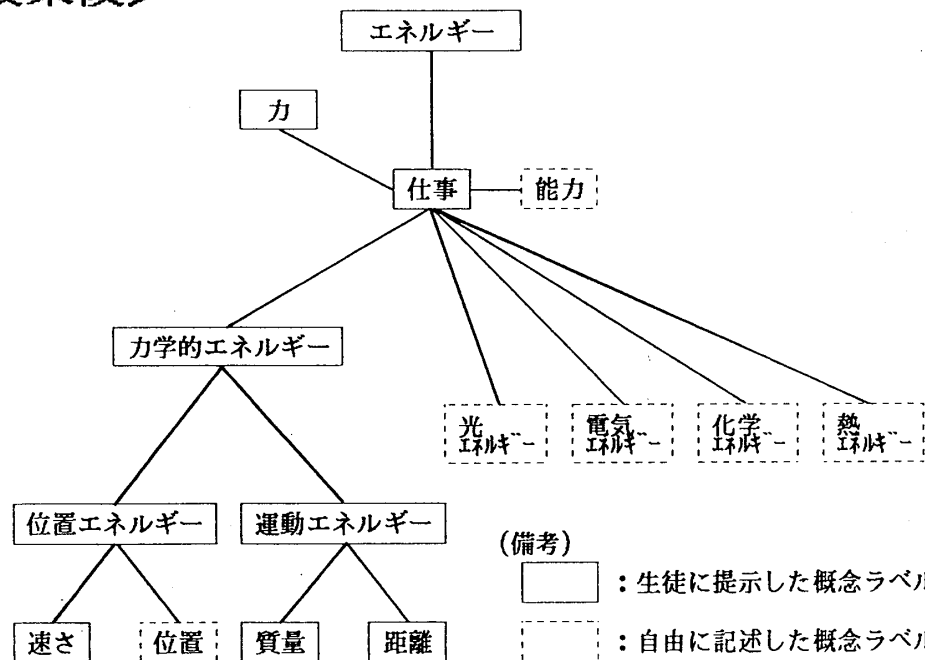
図6 生徒の考えと大人の考えの異なる場合

このように生徒がどのように概念をとらえているかを知るために、生徒が作成した概念地図を評価ツールとして使うこともできる。図8は、「エネルギー」の授業の前後において生徒が作成した概念地図である。授業前の概念地図から生徒の様子を把握することができ、それによって授業の構成を考えることができる。また、授業の前後の概念地図から、授業の内容と生徒の変容との関係を考察し、次回の授業構成の参考とすることができるだろう。

〈授業前〉



〈授業後〉



(備考)
 □ : 生徒に提示した概念ラベル
 □ : 自由に記述した概念ラベル
 リンクワード (または命題) は省略

図8 エネルギーの授業の前と後で生徒が作成した概念地図の例

また、概念地図を作る過程において、生徒自身に何が分かっていて、何が分からないのかを知ることができ、さらに、概念地図を作っていく過程そのものが概念を構築していくことにもつながるので、学習ツールとしても概念地図作りが使える。すなわち、授業の中へ、概念地図法を取り込むことが考えられるのである。観察・実験に概念地図作りを導入することの試みは、福岡・笠井によって紹介されており⁹⁾、概念地図の学習ツールとしての有効性については、福岡・笠井・植田らによって実証されている^{10) 11) 12)}。

学習ツールとして、授業の中に概念地図を導入するには、以下のような方法がある。どの方法を採用するかは、観察・実験の内容や授業展開の仕方によって、決めなければならないだろう。

- ① 観察・実験をおこなう前に、方法や結果などを予想して概念地図に記録する。
- ② 観察・実験をおこなう過程で、考えていること、発見したこと、気付いたことなどを概念地図に記録していく。観察・実験と概念地図作りを並行しておこなう。
- ③ 観察・実験をおこなった後、経過や結果などについて少人数によりグループ討議をしながら、概念地図を作成していく。
- ④ 観察・実験をおこなった後、その結果の考察やまとめを概念地図で表す。

学習者が、「今、自分はどのような学習をしているのか、何がわかり、何がわからないのか」など、自分自身の学習のプロセスを知りながら学習することを、メタ学習という。すなわち、学習の仕方の学習をいうのである。今日、このようなメタ認知的な方略が、学習に有効であるということがいわれている。概念地図法を導入した学習は、視覚化された自分自身の概念構造を見ながら概念を構築していくので、これもメタ学習の一つであるといえる。

生徒が概念地図作りを行う場合、最初に概念地図の作り方を生徒に説明する必要がある。そのために、いくつかの「言葉カード（概念ラベル）」を使って生徒と共に概念地図を作りながら、概念地図作りのきまりを説明しておく。説明後、本稿の末尾に掲載している資料¹³⁾で示すような印刷物を配布して確認しておくといよい。

(4) 概念変容のための新しい授業への方略

理科授業では、科学概念の獲得のみならず、概念変容の過程での体験を重視することもある。生徒の主体的な概念変容の学習が、生きてはたらく知識へと通じるからである。理科授業における概念変容の方略の一例として次のものが考えられる。

① 自分の考えの意識化

教材を提示した際に、「思っていたことと違っているな」「あれ、どうしてだろう」「おもしろいな」といった意外性を感じたり、認知的葛藤を引き起こしたり、興味・関心を深めたりするような環境のもとで、教材に対する自分の考えを意識化させる。提示した教材に対する問題点に関して、結果を予想させることも一つの方略であろう。このような環境が整わないところでは、単なる思いつきや一時的な感想で終わってしまいがちである。

② 新しい状況の提示によるメタ認知的活動

反例事象を提示するのも一つの方法であるが、意識化した自分の考えを新しい状況において用いられるかどうかを、生徒自身が検証する場を提供する。そうすれば、新しい状況

に対して、「ここがわからない」「こうすれば、わかるはずだ」「わかりたい」といった内省的活動、またはメタ認知的活動の可能性が生徒自身の中に生まれるだろう。

③ 集団の相互作用による再構成

集団の中で個人を高めることは、学校教育の重要な役割である。その方法として、自己の考えをもって小集団での話し合いや共同作業などによる諸活動に参加し、自己と他者の考えを比較・検討しながら練り上げる。(3)の③で述べた、少人数によりグループ討議をしながら概念地図を作成していく方法も、ここで述べるケースに相当する一例であろう。

小集団での諸活動の後に、自己の考えを再構成する時間や場を教師は保証する必要がある。(3)の④で述べた、各自の考えのまとめを概念地図で表す方法も一例であろう。

④ 新しい考えの適用や応用

再構成された自己の新しい考えが、より自分のものであることを自覚するためにも、実験結果のまとめを説明したり、まったく新しい状況の説明をしたりするような、自分の考えの適用や応用する機会を保証してやるのが大切である。また、新しい事象での説明の際に、生徒自身が新たな疑問を持ったり、発見したりすることも期待される。このことが自分の考えの意識化の基盤となるものである。

おわりに

今日多くの中学校理科教育研究会などで、学習指導要領改訂にともない、新しい授業と称して色々な学習指導展開例を発表している。本稿ではそれらとは違い、フレームワークや概念地図法を紹介しながら、認知的な視点から論じてみた。そのためか具体例に欠けて理屈っぽく、しかも断片的になったかも知れない。本稿の内容がより一般化されるためにも、多くの理科授業に見られる生徒の実態把握が必要である。今後は本稿の内容をより具体化するためにも、授業実践者との共同研究が要求される場所である。

【参考文献・引用文献】

- 1) 福岡敏行・鈴木克彦、1994、「反例事象提示における生徒の概念の変容～ジェットコースターを事例とした力学概念に関して～」、日本理科教育学会研究紀要、Vol. 35、No. 2、pp. 21-32.
- 2) 次の文献中の図を一部改図した。
Joseph D. Novak, 1977, 「Theory of Education」, p.75, Cornell Univ. Press.
- 3) Gerhard Schaefer, 1979, 「Concept Formation in Biology : The Concept 'Growth」」, EUR. J. SCI. EDUC, Vol.1, No.1, p.89.
- 4) Clive R. Sutton, 1980, 「The Learner's Prior Knowledge : a Critical Review of Techniques for Probing its Organization」, EUR. J. SCI. EDUC., Vol.2, No.2, p.112.
- 5) P. H. Lindsay & D. A. Norman, 1977, 「Human Information Processing ~ An Introduction to Psychology ~ 2nd Edition」, Academic Press Inc. (中溝幸夫・箱田祐司・近藤倫明共訳、1984、「情報処理心理学入門Ⅱ第2版～注意と記憶～」, pp. 137-179, サイエンス社)。
- 6) 大槻説乎、1988、「対話と知識の獲得、学習」、大須賀節雄・佐伯胖編、知識の獲得と学習、

pp.73-95、オーム社

7) 次の文献中の図を一部改図した。

福岡敏行・増田 衛、1993、「運動要因に対する子どもの視点と力概念のフレームワークの発達に関する研究～人の関与に関わる事例を提示した方略による～」、日本理科教育学会研究紀要、Vol. 33、No. 3、pp. 1-9.

8) Joseph D. Novak and D. B. Gowin, 1984, 「 Learning how to learn 」, Cambridge Univ. Press (福岡敏行・弓野憲一監訳、1992、「子どもが学ぶ新しい学習法」、東洋館)。

9) 福岡敏行・笠井 恵、1992、「観察・実験に導入する概念地図作り (CONCEPT MAPPING) に関する一考察～『水溶液』概念に関する課題において～」、日本理科教育学会研究紀要、Vol. 32、No. 3.

10) 福岡敏行・笠井 恵、1991、「理科学習における概念地図作り (CONCEPT MAPPING) の有効性に関する一考察～6 学年児童の『水溶液の性質』概念の形成において～」、日本理科教育学会研究紀要、Vol. 32、No. 1.

11) 福岡敏行・笠井 恵、1992、「学習ツールとしての概念地図作り (CONCEPT MAPPING) の有効性に関する研究～5 学年児童の『水溶液と濃さ』概念の形成において～」、横浜国立大学教育学部教育実践研究指導センター、No. 8.

12) 福岡敏行・植田千賀子、1992、「概念地図作り (CONCEPT MAPPING) の学習効果に関する一考察～ペーパーテスト法による有効性の確認～」、日本理科教育学会研究紀要、Vol. 33、No. 2.

13) 上掲書 9)

ことばつなぎ

[せつめい]

- 1) 下には、ことばが5こならんでいます。かんけいのあることばと、ことばを、うまくつないで、下にあるような図をつくります。
- 2) つないだせんよこには、そのことばどうしにどんなかんけいがあるかを、かんたんな文をを書いてあらわします。
- 3) つけくわえたいことばがあれば、じゆうにかきくわえてもよいです。
- 4) ぜんぶのことばを、つかわなくてもよいです。

[ことば]

ダイコン ニンジン ミカン やさい くだもの



[ことばつなぎ]

