

## 理科学習での指導効果の解析 : 概念地図の階層的有向グラフ化によって

著者	前田 健悟, 島 章人, 佐藤 毅彦
雑誌名	熊本大学教育学部紀要 自然科学
巻	52
ページ	113-119
発行年	2003-11-28
その他の言語のタイトル	Analysis of the Teaching Effect in Science Instruction : Using the Hierarchical Digraphs Derived from the Concept Maps
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2298/2435">http://hdl.handle.net/2298/2435</a>

# 理科学習での指導効果の解析

— 概念地図の階層的有向グラフ化によって —

前田健悟・島 章人\*・佐藤毅彦

## Analysis of the Teaching Effect in Science Instruction

— Using the Hierarchical Digraphs Derived from the Concept Maps —

Kengo MAEDA, Akihito SHIMA\* and Takehiko SATOH

(Received October 1, 2003)

Concept mapping is a useful tool to probe changes in each student's understanding of science concepts, but it is weak in grasping visually changes in their understanding as group or class. To compensate for its weak point, we devised a way of deriving hierarchical digraphs, using the ISM method, from concept maps constructed by learners in science instruction. From the digraphs obtained before and after instruction in three units, it was found that our way could provide teachers with valuable information in day-to-day science instruction.

**Key words :** science education, concept map, ISM, hierarchical digraph

### 1. はじめに

児童・生徒の学力評価では、今日目標に準拠した評価、即ち絶対評価が求められており<sup>1)</sup>、学習指導での指導と評価の一体化<sup>2)</sup> やオーセンティック・アセスメント<sup>3)</sup> が必要とされている。このような状況にあって、Novak によって開発された概念地図法<sup>4)</sup> は、理科学習の指導・評価で極めて有益なツールであり<sup>5)</sup>、山口等はこれまでの概念地図の研究やこれからの意義を総括している<sup>6)</sup>。

ところで、本研究の目的である理科学習での指導効果の解析に関しては、概念地図で最も簡便な方法として、概念ラベルのリンク数の変化を求めることが上げられる。ただこの方法は、概念地図の特徴である概念間の繋がりを明確にはできない。このようなことから、森田等は、概念ラベルのリンクパターンに着目し、各学習者が作成したマップ間の距離を用いクラスター分析することで、学習者の理解の変容を解析することを試みている<sup>7)</sup>。また彼等はその翌年にも、概念地図にみられる統合性<sup>8)</sup> の観点から学習者の理解の変容を解析しており<sup>9)</sup>、何れの方法も数学的な理論体系が確立され、その有効性も実践的にも確かめられている。し

かしながら、それらの方法は、専門家でもない小・中学校の理科教師が日常的な実践で使用することには困難を伴うと考えられる。

視覚的に概念の理解状況を把握する方法としては、佐藤が考案したISM教材構造化法もある<sup>10)</sup>。この方法では、使用されたすべての概念ラベルが階層化され、さらにC-S配置法を用いてレイアウトされるので<sup>11)</sup>、主要な学習系列が中央に配置された階層的有向グラフを得ることができる。このため、ISM教材構造化法で得られる概念構造チャートは、非常にわかり易いという特徴を持つ。また加藤等は、階層的有向グラフの構造の解析法を考案し、その方法で学習者が描いた学習内容の概念構造チャートを分析して、学習者の理解状況を測定している<sup>12)</sup>。

上記のようなことから、本研究では、概念地図を階層的有向グラフに変換し、視覚的にクラス全体に対する指導効果を把握することを試みている。授業実践の結果からは、今回の方法が有効であり、日常的な授業でも十分に活用できることもわかった。なお授業では、概念地図を作成するために与えた概念ラベル以外にも自由に概念ラベルを追加しても良いことにしたので、本研究では教師マップとの比較はしていない。

\* 熊本県玉名市立玉名町小学校

表1 概念地図から得られるリンクマトリックス

$i \setminus j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0
9	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
12	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
13	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

表2 ISM法の隣接マトリックス (表1のデータより)

$i \setminus j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
12	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
17	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

2. 概念地図の階層的有向グラフ化

2-1. リンクマトリックスと隣接マトリックス

概念地図上での概念間の関係について、リンクしていれば「1」、リンクしていなければ「0」で表すと、表1に示すようなリンクマトリックスを得ることができる。またISM法の計算の都合上、対角成分は0としてあり、リンクマトリックスは対称行列を示すことになる。

ISM法の階層的有向グラフを得るための隣接マトリックスは、二つの直接関係する要素間の上下関係を用いて作られる。例えば、表2に示してある隣接マトリックスの成分(1, 3)の1というデータは、3列目の要素の直ぐ下に1行目の要素が位置することを示している。このことからわかるように、隣接マトリックスでは、列が上位要素、行が下位要素を表すので、対称行列とはならず、リンクマトリックスとそのデータの意味が異なっている。

2-2. 変換アルゴリズム

表2の隣接マトリックスは、今回考案した変換アルゴリズムを用いて、表1に示したリンクマトリックスから得られたものである。以下にその変換アルゴリズムについて述べるが、概念ラベル①~⑱を、表の行と列の番号1~19に対応させて用いることにする。

ISM法では、隣接マトリックスの性質からわかるように、上下関係をたどれば最上位の要素(レベル1)が自動的に決定されるが、リンクマトリックスではどの概念ラベルが最上位に位置しているかを容易にたどることはできない。このために、最上位に位置する概念を授業目標に照らして、意図的に決定することとし

た。従って最終的に得られる階層的有向グラフは、教師の指導観にも多少依存することになる。図1には、作成したソフトウェア<sup>13)</sup>で最上位概念を指定している様子を示している。

また図1に示す画面には、頻度レベル、即ち隣接マトリックスの作成に用いる概念ラベルについての最低使用人数を入力するためのテキストボックスが配置してある。このことから推測できるように、ソフトウェアでのリンクマトリックスは、各生徒の概念地図でのリンクを探索し、リンクの出現頻度を求めて作られる。従って、次に述べる下位レベルの概念を探るルーチンに入る前に、指定した頻度レベル未満の値を0にする必要がある。

上位概念がわかれば、その直ぐ下にリンクする概念を探索することになる。例えば表1において、列8の概念⑧をレベル1(最上位)とすると、その下のレベ



図1 最上位概念の設定画面

ル2の概念として、④、⑤、⑫、⑮、⑯、⑰、⑱を容易に見出すことができる。同様にしてレベル3の概念は、それらの概念の番号に対応する列において1で示される行から決定でき、最終的に下位レベルの概念が存在しなくなるまで、順次下位レベルの概念を決定して行くことになる。この上位レベルからその直ぐ下の下位レベルの概念を探索して行く手順は、どのレベルでも同一であり、レベルの深さが固定されていないので、プログラムは自分自身を呼び出す再帰プログラムの手法を用いる必要がある。

ところで、行4を見ると、⑧以外に③、⑤、⑩、⑫、⑬とリンクを示す1がみられる。隣接マトリクスでは前述したように、行における1の値は直ぐ上に要素が位置することを意味するので、「⑧←④」以外の不適切な上下関係の状態が出現することになる。従って、下位概念が見出された場合に、行における不要な1を0に置換する必要がある。ただこの置換において、ループ状のリンクの取り扱いが問題となる。例えば、⑧、④、⑤の3つのリンクを見ると、それらは一つのループを形成している。そこで、ループが双方向であると仮定し、⑧が上位概念であることを考慮すれば、ラベルの上下関係は、次のような4パターンが得られる。



後者の2つの関係は、ISM法で④と⑤が強連結の状態にあることを示している。このようなことから、強連結の状態を許可する場合は、対称成分である  $(i, j)$  と  $(j, i)$  にもともに1が存在するかをチェックし、両方に存在する場合には0に置換しないようにする必要がある。表2には、(4, 5) と (5, 4) の成分に1が入っていることから、強連結の状態を許可するとして得られた隣接マトリクスであることがわかる。ソフトウェアでは、強連結の状態の許可と不許可を選択できるようにになっている。

図2には、表2の隣接マトリクスのデータから、自作のISM教材構造化のソフトウェア<sup>13)</sup>によって得られた階層的有向グラフを示してある。要素間を繋ぐ

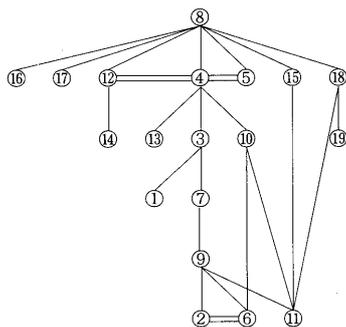


図2 階層的有向グラフ (表2のデータより)

線は、本来は上向きの矢印で示されるが、図では単に線で示してある。また、④と⑤を繋いでいる2重線は、二つの要素が強連結であることを示している。

### 3. 授業実践の内容と概念地図作成

授業実践は、第6学年の「水溶液の性質」という単元において、玉名市立玉名町小学校で1クラス30名を対象に行った。この研究授業の詳細は島の報告書<sup>14)</sup>を見ていただきたいが、指導の成果に関しては、概念地図の外に、アンケートによる理解度調査やSD法によるイメージ調査など、多様な評価法を用いて検討を試みている。本報告では、階層的有向グラフの有用性を裏付けるものとして、理解度の調査結果の一部を示す。

単元の系統性という観点からは、「水溶液の性質」という単元は、第4学年の「ものの温度とかさ」、第5学年の「もののとけ方」という学習の流れの線上にある。このようなことから、それらの学習での生徒の概念変容も把握するために、各学年1クラスの生徒を対象に、単元の学習の前後に概念地図を描いてもらった。

概念地図の作成では、コンピュータの利用制限や生徒のコンピュータ操作技能の習得度などの問題があったので、用紙と概念ラベルを準備し、作図してもらった。また概念ラベルの数は制限せずに、自由にラベルを追加してもよいことにした。手書きの概念地図からリンクマトリクスデータを得るには、自作の概念地図作成ソフトウェアを用い、概念地図をコンピュータ上に再現した。

図3には、コンピュータ上で再現した概念地図の一例を示してある。ただこの作業では、その目的がリンクマトリクスのデータを得ることであるので、ラベル間を繋ぐ言葉の書き込みはしていない。図3を見ると、概念ラベル数が増えると結線が非常に複雑に交差

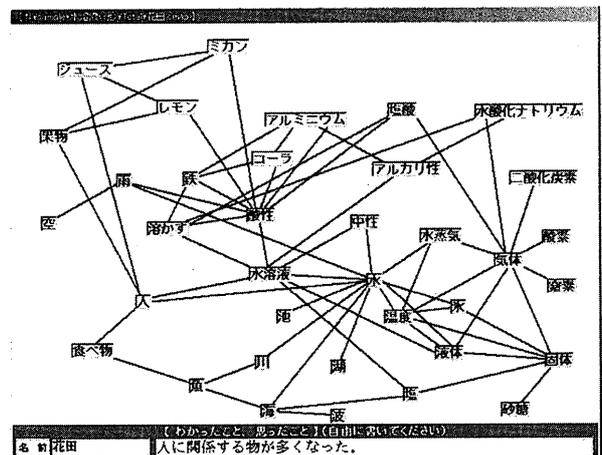


図3 ソフトウェアでの概念地図作成

表3 「水溶液」という課題での概念地図で用いられた概念ラベル

指導前	指導後
アイス, 相手, 味, 温かい, 温まる, 熱い, 甘い, あまり溶けない, 雨, 荒瀬, アルカリ性, 泡, いくらでも溶ける, 一酸化炭素, 色, インク, 植える, 海, 液体, お茶, 重い, オレンジ, 温泉, 温暖化, 温度	青, 赤, 味, 熱い, 甘い, 雨, 洗う, アルカリ性, アルカリ電池, アルミニウム, 泡, アンモニア, アンモニア水, 家, 池, インク, 海, 梅干し, 液体, 塩酸, おいしい, おしっこ, 温泉, お茶, オレンジ, 温度
蚊, ガス, かむ, 辛い, 体, 川, かむかす, 環境, 気体, きれい, 空気, 果物, 車, 黒砂糖, 氷, 呼吸, 固体, コーラ, ゴール	蚊, 害のないもの, 硬い, 家庭, 体, 川, 危険, 気体, 気持ちいい, 金属, 空気, クエン酸, 臭い, 果物, 黒砂糖, 車, 氷, 固体, コーヒー, コーラ
サイダー, 材料, 魚, サッカー, 砂糖, サトウキビ, 砂糖水, 錆, 寒い, 皿, 酸性, 酸性雨, 酸素, 塩, 自然, 実験, 自分, シャボン玉, ジュース, 蒸発, 食塩, 植物, 白い, 人生, 水蒸気, 水溶液, 水溶液の性質, 透き通る, スケート, スポンジ, 生長, 洗剤, 洗濯, 洗濯機, 洗濯物	サイダー, 坂口, 魚, 砂糖, 砂糖水, 寒い, 皿, 酸性, 酸性雨, 酸素, 死, 塩, 塩水, 刺激する, 島先生, 弱酸性, シャボン玉, ジュース, 蒸発, 白い, 酢, 水酸化ナトリウム, 水酸化ナトリウム水溶液, 水蒸気, 水溶液, 透き通る, 透けている, 酸っぱい, 石灰水, 石鹸, 洗剤, 洗濯, 洗濯機, 空
種, 食べ物, 食べる, 玉名, 炭酸, 炭素, 血, 地球, 窒素, 茶色, 中性, 調味料, チョコレート, 冷たい, つり, 鉄, 電池, 透明, 糖分, 溶かす, 溶けない, 溶ける, どろどろ	玉名, 炭酸, 炭酸飲料, 炭酸水, 食べ物, 食べられない, 血, 窒素, 茶色, 中性, 調味料, チョコレート, 冷たい, 鉄, 鉄棒, 鉄腕アトム, 電池, 透明, 溶かしたものを, 溶かす, 毒, 溶けない, 溶ける, ドロドロ
夏, 二酸化炭素, 日光, 熱, 飲み物, 飲む,	夏, 波, 二酸化炭素, 飲み物, 飲む
花, ハンドボール, 火, 人, 冷やす, 服, 冬, ペットボトル, ペン, ホウ酸, 骨が溶ける, ボール	歯, バスピカ, 蜂, 人, 人の皮, 膨らむ, 冬, 風呂, へこむ, ペットボトル, ホウ酸, ホウ酸水, ボディシャンプー, 骨
芽が出る, 水	膜, マジックリン, ミカン, ミカンの薄皮, 水, 湖, みりん, ムラサキキャベツ
野菜, 湯, 有害, 雪, 湯気	薬品, 湯, 遊具, 雪, 汚れ, 汚れ落とし, 汚れを取る
理科	理科, リトマスゴケ, リトマス紙, 料理, レモン

・斜体のラベルは供与したものであり, 下線付きのラベルは学習内容に基づくものである。

し, 概念地図といえども理解状況を把握し難い図となっていることがわかる。このような場合, 個人の概念地図でも階層的有向グラフ化を試みることは意義深い<sup>15)</sup>。

4. 結果と考察

4-1. 単元：水溶液の性質

本単元での概念地図は, 水溶液というテーマで作成させた。表3には, 概念地図の作成に用いられた概念ラベルをすべて示してあるが, 予め供与したラベルについては斜体で示してある。概念地図の作成に当たっては, ラベル名として形容詞や動詞を使用しないように事前に指導していたが, 表3にみられるように, 徹底していなかったようである。またその指導で用いたサッカーなどのラベルも多少認められる。

まず表3からわかることは, ラベル数が指導前で128個, 指導後で143個あり, 自由にラベルを追加し

てもよいことにすると, クラス全体としては膨大な数のラベルが用いられるようになることである。従って, 個々の生徒の概念地図がかなり異なり, 生徒間の比較が困難になることが予想される。次に学習指導後の欄には, 指導前になかったラベルを見出すことができる。特に指導効果に関連するものと推測できるラベルには下線を付してある。それらを学習内容の順番に示すと, 「気体の溶解：アンモニア, アンモニア水, 塩酸, 石灰水」, 「水溶液の性質：酸っぱい, 石鹸, ムラサキキャベツ, 薬品, リトマス紙, レモン」, 「金属の溶

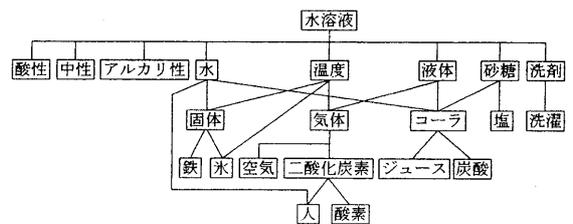


図4 水溶液の性質の指導前

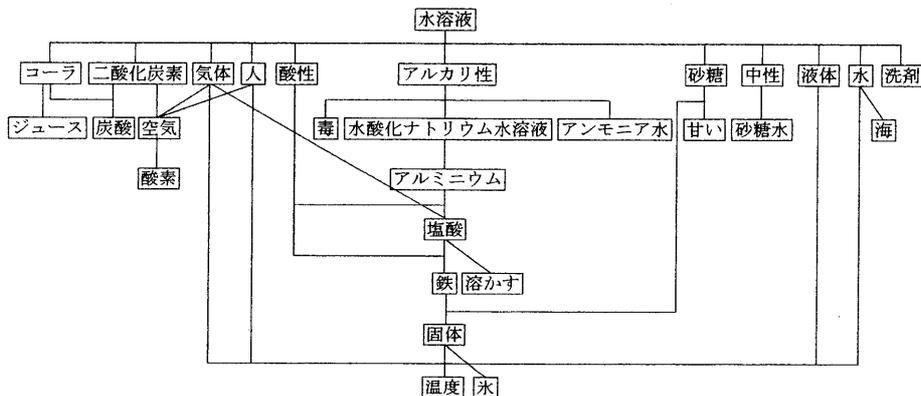


図5 水溶液の性質の指導後

解：アルミニウム，塩酸，水酸化ナトリウム]，「生活での水溶液：バスピカ，マジックリン，汚れ，汚れ落とし，汚れを取る]，「ミカンの薄皮むき：塩酸，水酸化ナトリウム水溶液，ミカン，ミカンの薄皮」に分けることができる。このことから，学習内容が概念地図の作成に活かされていると言え，指導の効果を認めることができる。

図4と図5には，レベル1の最上位概念として「水溶液」を設定し，頻度レベルを5以上として得た階層的有向グラフを示してある。また強連結の線は，酸性，中性，アルカリ性などがあるレベル2での結線が複雑となることから，図中に書き込まれていない。このレベル2の強連結の状態については，図6を用いて後述する。

図4において指導前の概念の結びつきを見てみると，中央に位置する主系列が，第4学年の「ものの温度とかさ」の学習での気体の膨張から構成され，その左側の系列は，固体の温度とかさの学習を示していることがわかる。また主系列の右側が「もののとけ方」の学習内容から構成されていることもわかる。本単元の水溶液の性質に関する酸性，中性，アルカリ性という概念は，主系列から単独に遠く離れ，ラベルとして供与されたから用いたという程度の取り扱いとなっている。

指導後の図5では，主系列が明らかに金属の溶解に関する学習内容から構成されていることがわかる。また主系列の左側にある酸性の系列は，酸性の水溶液による金属の溶解も生徒が理解していることを示している。これらのことから，本単元の理解状況はかなりよいことが窺える。ただ気体の溶解に関する学習では，二酸化炭素，炭酸，コーラが酸性の下位概念として理解されておらず，気体の溶解の学習と水溶液の性質の学習とのつながりが必ずしも適切ではなかったのではないかと思われる。アンモニアの溶解については，アルカリ性の下にアンモニア水があり，両学習のつながりはうまくいっていると判断できる。このように，階層的有向グラフからは，学習指導のつながりの不具合も知る事が可能である。

図6には，指導後の階層的有向グラフにおけるレベル2の強連結の状態を示してある。この図を見るとき

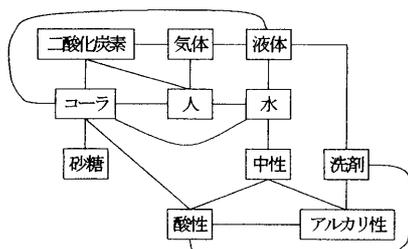


図6 図5のレベル2における強連結状態

表4 水溶液についての質問の正答率

質問項目	指導前	指導後	有意水準
① 水に砂糖を少しずつとかすといくらでもとける。	86	82	
② 一度とけた砂糖はもう取り出せない。	82	86	
③ 二酸化炭素を水にとかすと二酸化炭素の水溶液になる。	11	86	<0.01
④ 水溶液は無色で透明である。	29	54	<0.05
⑤ どの水溶液でも，蒸発させるととけていたものが必ず残る。	25	89	<0.01
⑥ 鉄をとかしてしまう水溶液もある。	25	100	<0.01

は，図6のラベルが平面に並べられ，それらの上に水溶液のラベルがあつてループを形成している形を想像して欲しい。また連結をする線は，図2に示すように通常二重線を用いるが，ここでは単線で示してある。

図6を見ると，複雑なループが構成されていることがわかるが，水に着目すると，水を中間の媒体として人の活動と水溶液の性質に関連する概念が統合されていることを窺える。このことは，概念の理解が進めば，図6で示される複雑な強連結の状態は次第に解消されてくることを暗示している。また水を最上位概念として階層的有向グラフを作成してみたが，そこで見られる主系列が，図5のものと大きく変わるようなことはなかった。

表4には，アンケート形式（通常のテストとして行っていない）で水溶液についての理解度を調査した結果の一部を示してある。表4において，質問の①，②，④，⑤は第5学年の学習内容であるが，指導前の結果からは，質問④と⑤の学習内容は定着していなかったことがわかる。本単元の学習内容の質問③と⑥に関しては，指導の前後で正答率に1%以下の有意水準で差が認められ，明らかに理解度が向上したことがわかる。このことは，図5において見られる主系列や二酸化炭素の系列とよく対応しており，階層的有向グラフの有用性を裏付けていると考える。なお前学年の学習で定着していなかった質問④と⑤の学習内容については，本単元の学習がそれらの理解を高めていると言える。

#### 4-2. 単元：ものの温度とかさ，もののとけ方

第4学年では「ものの温度とかさ」の学習の前後に温度をテーマとして概念地図を作成させた。図7には，頻度レベルを5とし，それらの地図から得られたクラスの階層的有向グラフを示してある。なお地図作成における温度というテーマの設定に関しては，本来この学習では単元名からもわかるように，もののかさをテーマに概念地図が書かれるべきであるが，学習前の生徒がものの温度とかさを関連付けることができないと考えたためである。

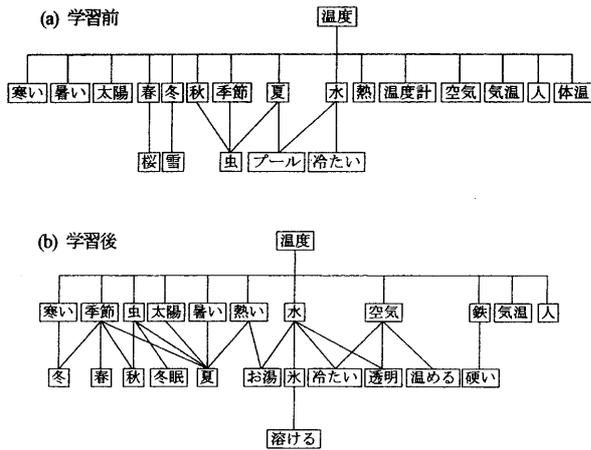


図7 ものの温度とかさでの階層的有向グラフ

図7 (a) の学習前のグラフをみると、そのグラフは、ものの温度とかさの関係に関連する概念はまったく見られず、季節や人に関する日常経験に由来する概念で構成されていることがわかる。一方、学習後の図7 (b) のグラフは、空気や水に対してそれらの温度変化に関連する概念が下位概念として位置付けられており、学習の成果が認められる。ただ概念地図の作成に当たって、学習の中核目標であるもののかさに関連した概念を使用した生徒は3名ほどしかいず、グラフには表れていない。この原因としては、温度をテーマとし作成させたことが一因となっているかもしれない。また金属の膨張などの学習に関連する概念には鉄という言葉しか見られず、その学習が必ずしも定着したとは言い難いと考えられる。

図8には、第5学年の「もののとけ方」の学習の前後の概念地図から、頻度レベル5を用いて得られた階層的有向グラフを示してある。概念地図は、水溶液の性質と同様に、水溶液をテーマとして作成させた。図8の (a) と (b) の比較からわかるよう、学習前後におけるグラフの顕著な相違としては、学習後のグラフに実験で用いたホウ酸などの材料の名称が増えたに過ぎない。つまり学習後にあるべき、もののとけ方の特

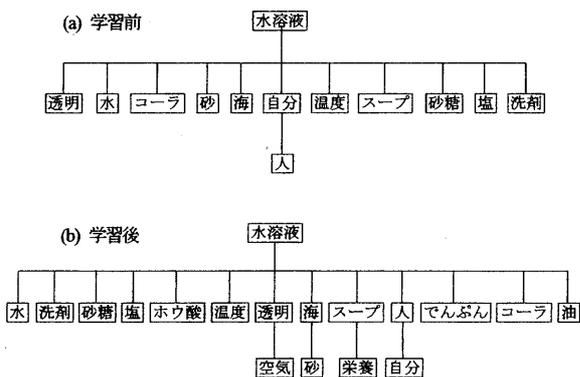


図8 もののとけ方(第5学年)での階層的有向グラフ

徴を示す概念の関連付けが表に出てきていない。このことは、表4で示した質問④と⑤の正答率において、指導前の生徒の正答率がかなり低いことにも相通じていると想像される。なお質問④では指導後でも54%と正答率は低いが、これは無色という言葉に左右された結果と考えられる。

また第4, 5学年で得られた階層的有向グラフはすべて浅い階層しか示していないが、概念は学習者の中で深く階層化されるにつれて<sup>16)</sup>、学習者に確実に理解されていくと考えられる。特にレベル2は複雑な強連結状態を示しており、その状態が少しでも改善されれば、より確かな理解が達せられるはずである。従って、日常の学習において概念の対応関係を考えるような指導も必要であり、そのような指導により、概念地図から得られる階層的有向グラフの有用性はより高くなると考える。

5. おわりに

以上述べてきたように、概念地図から得られる階層的有向グラフは、クラス全体の理解の状況を、知識構造も含めて視覚的に把握するのに有益である。特に知識構造に関する情報は、指導効果の評価や指導方略の改善に有用である。またフリーウェアとして提供しているソフトウェア<sup>13)</sup>を使用すれば、容易に階層的有向グラフを得ることができるので、日常的な授業においても十分に活用できると考える。

参考文献

- 1) 文部省 (1998). 教育課程審議会答申「幼稚園, 小学校, 中学校, 高等学校, 盲学校, 聾学校及び養護学校の教育課程の改善について」.
- 2) 文部省 (2000). 教育課程審議会答申「児童生徒の学習と教育課程の実施状況の評価の在り方について」.
- 3) 熊野善介 (2001). 理科学習におけるオーセンティック (真正) アセスメントの役割, 理科の教育, 50, 804.
- 4) Novak, J. D. (1990). Concept mapping: a useful tool for science education, *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 937.
- 5) 福岡敏行, 岩井徳二 (2002). 概念地図法による学びの評価とその実践, 日本理科教育学会編, 理科ハンドブック I 「これからの理科授業実践への提案」, 東洋館出版社, 154-157.
- 6) 山口悦司, 稲垣成哲, 福井真由美, 舟生日出男 (2002). コンセプトマップ: 理科教育における研究動向とその現代的意義, 日本理科教育学会紀要, 43 (1), 29.
- 7) 森田裕介, 中山実, 清水康敬 (1999). コンセプトマップを用いた学習者変容の分析方法に関する一検討, 科学教育研究, 23, 98.

- 8) 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—, 日本理科教育学会紀要, **33** (2), 1.
- 9) 森田裕介, 中山 実, 清水康敬 (2000). コンセプトマップの統合性を用いた学習者変容の評価に関する一考察, 科学教育研究, **24**, 114.
- 10) 佐藤隆博 (1992). 授業設計と評価のデータ処理法—ISM教材構造化と S-P 表の活用法—, 明治図書, 40.
- 11) 千村浩靖, 佐藤隆博 (1980). ISM 教材構造化法における教材要素の配列アルゴリズム, 電子通信学会教育技術研究会技法, **ET80-9**, 5.
- 12) 加藤浩, 倉田政彦, 佐藤隆博, 小沢慎治 (1988). 学習者が描いた学習内容の階層的有向グラフによる構造的状態の測定と分析, 電子情報通信学会論文誌, **J71-A**, 1955.
- 13) <http://rika.educ.kumamoto-u.ac.jp/~mkengo/>
- 14) 島 章人 (2002). 子どもの価値観を育てる理科学習, 平成 14 年度科学教育国内留学生研修成果報告書.
- 15) 前田健悟 (2001). 理科教育とコンピュータ, 葦書房, 66-76.
- 16) 佐藤隆博 (1987). ISM 構造学習法, 明治図書, 74