

# 理科教育における連想記憶モデルの活用

松原 道男

## The Practical Use of Associative Memory Model in Science Education

Michio MATSUBARA

### I 問題の所在

学習において、知識をどのように保存し、その知識をどう活用して思考するかは、根本的な課題である。理科学習に影響を与えてきた知識や思考の研究について振り返ると、まず、ピアジェ (Piaget, J.) の研究をあげることができる。ピアジェは、内的な構成としてのシエマを想定し、論理的な形式を明示するとともに、論理的思考には発達段階があることを示した<sup>1)</sup>。そして、ピアジェ理論にもとづく研究では、ローソン (Lawson, A.E.) らの研究をあげることができ、自然認識や科学的概念の形成は発達段階に依存することが示された<sup>2,3)</sup>。ピアジェに代表される1970年代までの研究においては、知識や思考は、どのような状況にも当てはまるような抽象化された知識を探っていくものであった。ピアジェ理論にもとづく理科の学習においては、科学的概念とそれに関わる論理的思考の段階にもとづき、学習内容が考えられることになる。これらの知識観は、知識には明確な構造があり、その構造にもとづいた論理形式が思考に用いられるといったものである。

1980年代になると、情報科学の発達を背景にしながら認知科学が発達し、知識や思考の研究が変化してきた。大きくは、日常生活における具体的な知識や思考を対象に研究が行われるようになった。また、情報理論にもとづき知識や思考のモデルがつくられ、シミュレーションによる研究が行われた。そこでは、次のようなことが明らかにされた。

- a. 子どもは、日常生活において子どもなりの論理によって形成した素朴概念をもつ。
  - b. 初心者と専門家とでは、知識構成とその活用に違いがある。
  - c. 脳の働きや情報処理のモデルから、宣言的知識や手続き的知識などの知識の形式が考えられる。
  - d. 論理的な思考は、具体的な状況によって活用のされ方が異なる。
  - e. 知識は、固定した構造というより、状況との相互作用によって構成されることも考えられる。
- これらについてみていくと、まず、クレメント (Clement, J.)<sup>4)</sup>、オズボーン (Osborne, R.)<sup>5)</sup>、ドライヴァー (Driver, R.)<sup>6)</sup>、ホワイト (White, R.T.)<sup>7)</sup>などに代表される子どもの素朴概念の研究では、学習において子どもの誤りや正しい科学概念や考え方が明らかにされた。また、チ (Chi, M.T.H.)<sup>8)</sup>の研究に代表される専門家と素人の問題解決の比較からは、両者の知識構造の違いが明らかにされた。素朴概念を専門家のような科学的概念にどう変容させるかについては、モデルの利用<sup>9)</sup>や概念地図などの表現法の工夫<sup>10)</sup>、学習内容構造の工夫<sup>11)</sup>などが考えられた。素朴概念の研究や初心者と専門家の比較研究は、具体的に人がもつ知識の特徴を明らかにするとともに、その特徴を考慮した学習を考えていくことに寄与したが、どのように知識を変容させるかについての一般的な方法については、十分な示唆を与えなかった。

一方、情報処理理論にもとづく分析において

は、知識のデータの側面としての宣言的知識と、処理の側面としての手続き的知識の観点から、知識構造が分析された<sup>12)13)</sup>。また、問題解決における宣言的知識や手続き的知識の用いられ方や、初心者と専門家の宣言的知識と手続き的知識の違いについて、プロダクションシステムなどの知識モデルから明らかにされた。ラルキン (Larkin, J.H.)<sup>14)</sup>は、熟達者においては、既知の変量から前向きに未知の変量を求めていくとともに、全体的な解答手続きをもっていることを明らかにした。それに対して、素人は、未知の解答から既知の変量へと後向きに解答するとともに、一つ一つの手続きを実行していくことを明らかにした。また、正司<sup>15)</sup>らは、分数の計算や電流回路に関する学習者の知識モデルを作成し、学習者の誤った解答が、誤った手続き的知識や、手続き的知識の欠損によることを明らかにした。さらに、シーグラー (Siegler, R.S.)<sup>16)</sup>は、学習者のもつルールという観点から、手続き的知識を中心に学習者の知識構造を明らかにした。

これらの研究結果は、知識の欠落している部分や構造の違いなどを明らかにし、学習における留意点について示唆を与えた。しかし、これらの研究結果は、実験室のような統制された場でのものであり、学習者の日常生活などの一般的な状況では、モデルで示されるような一定の思考が行われていないといった問題が指摘された<sup>17)</sup>。また、状況を記述すると膨大なデータとその手続きが必要になり、人間の思考や判断とかけ離れてくるといった問題が生じた。そのため、モデルで示されることは一部、あるいはある状況でのことで、学習一般に通じるものではないことが考えられた。具体的な問題解決における研究からも、論理的思考は、具体的内容や状況に依存して活用されたりされなかったりすることが明らかにされ、ピアジェの発達理論に対する否定的な研究が出された<sup>18)19)</sup>。これらのことから、学習においては、個人に保存されていると考えられる知識というより、どう状況を

つくるかのほうが重要になることが考えられた<sup>20)</sup>。

そこで、プロダクションシステムのような論理的手続きによる知識モデルでは、状況依存の知識を十分に表現できないことから、コネクショニストモデルが提唱された<sup>21)</sup>。このモデルでは、人間のパターン処理や状況依存の特徴をある程度表現できた。しかし、知識を分散的に表現するため、モデルから、知識の構造的特徴や処理の分析となると難しく、人工知能としての利用はされても、大きく学習に示唆を与えるものではなかったと思われる。

以上のように、知識をとらえることの困難さとともに、とらえることの教育的意義が見出しにくくなってきたといえる。そして、理科教育において、知識や思考の構造や仕組みについての研究は、下火になってきたといえる。

一方、理科学習においては、これまでの学習や経験から知識を想起し、具体的事象の解釈を行い、問題解決することが中心におかれている。問題解決においては、科学的な手続きによる論理的思考が必要となる。これらの処理では、状況によって次々と関連する知識が想起され、それを用いながら処理が行われる。このことは、知識の保存や活用についての分析を要するものである。そして、その知識モデルは、図で示されるような固定的な静的モデルではなく、時間的に変化する動的なものである。この動的な知識の側面を表現しながら、理科学習について再考することが必要であるといえる。そして、そのような動的モデルは、知識の特徴を分析するための仮説として設定できるだけでなく、人工知能的な側面をもつ可能性がある。そのため、理科の学習を支援していける道具にもなり得ると考えられる。

## II 研究の目的

以上のことから、本研究においては、コネクショニストモデルの利点を生かしながら、知識の動的なモデルを作成し、そのモデルを用いて、

理科学習に関する子どもの知識を分析する方法を明らかにすることを目的とした。また、そのモデルの人工知能的な側面を生かして、理科の学習や理科の授業設計に役立てていく方法を明らかにすることを目的とした。とくに、動的なモデルは、知識の想起についての側面に焦点を当てることとし、そのモデルとして、ホップフィールドモデルにもとづく連想記憶モデルをとりあげることとした。

### Ⅲ 研究方法

研究においては、次の観点と手順で研究を行うことにした。①連想記憶モデルの作成、②モデルの妥当性の検証、③モデルの解釈から、学習者の知識構成において設定される仮説とその検証方法の提案、④学習支援や授業支援におけるモデルの活用法の提案。

本研究の対象とする知識は、中学校第2学年の「気象」に関する単元で、教科書に書かれている内容とした。連想記憶モデルについては、これまでの研究<sup>22)</sup>を生かしながら、Visual Basic .NETを用いて作成し、刺激語を入力すると連想結果が出力されるモデルを作成することを考えた。

### Ⅳ 連想記憶モデルの作成と検証

#### 1. モデルの作成概要

モデル作成にあたり、人間の想起過程を想定し、刺激語に対して、まず、関連するキーワードやイメージを想起することを考えた。次に、その想起されたものに関するきまりなどの宣言的な知識で表現できる概念を想起すると考えた。そこで、まず、図1に示したように、刺激語からキーワードなどを想起するモデルとしてホップフィールドモデルを用いることにした。次に、ホップフィールドモデルにより、想起したいく

つかのキーワードから、関連する宣言的知識を想起することを考えた。これについては、宣言的知識を自己組織化マップに配置し、キーワードから宣言的知識をピックアップするように考えた。このように、2つの段階によって、想起するモデルを作成することにした。

#### 2. ホップフィールドモデル

##### (1)宣言的な知識のデータ

最終的に宣言的知識として表示させるデータは、A社の中学校教科書「気象」単元のテキストをデータとした。本文中の文章とともに、図や表において解説した単語や文章もすべてデータとした。一つの文章において用いられている単語どうしに関連があり、想起しやすい単語として考え、後に述べる関連の大きさである単語間の荷重を大きくするように考えた。文章の単位については、教科書の本文であれば句点から句点までを一つの単位とみなした。また、図表においては、単語のみの場合は、一つの図表の複数の単語を一つの単位とみなした。さらに、図表に書かれた説明などを一つの単位とみなした。

##### (2)単語間の荷重

以上のようにしてテキスト化した文章の単位数は、726であった。このすべてについて、形態素解析ソフト「chasen」を用いて、単語の基本形と品詞を抽出した。抽出した単語について、助詞、助動詞、および句読点を排除するとともに、重複した単語を削除した結果、1473の単語が抽出できた。726の文章について、その単語が用いられていれば「1」、用いられていなければ「0」の数値を当てはめたマトリクス(726×1473)を作成した。このマトリクスをもとに、単語*i*と単語*j*が同じく「1」である度数を $p_{ij}(1,1)$ 、単語*i*が「1」で単語*j*が「0」である度数を $p_{ij}(1,0)$ 、

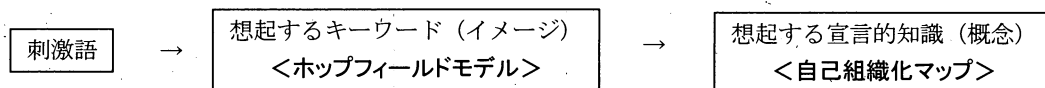


図1 連想記憶モデルにおける2つの処理段階

単語  $i$  が「0」で単語  $j$  が「1」である度数を  $p_{ij}(0,1)$  とした。そして、単語  $i$  と単語  $j$  間の荷重  $W_{ij}$  を次の式1により求めた。

$$W_{ij} = \log \frac{40 \cdot p_{ij}(11)+1}{p_{ij}(10)+p_{ij}(01)} \quad \dots \text{式1}$$

この荷重は、ラムハート(Rumelhart, D.E.)ら<sup>23)</sup>の研究を参考にした。単語  $i$  と単語  $j$  がほとんど同時に用いられる場合は、単語  $i$  が想起されると必ず単語  $j$  が想起されるようにした結果である。

また、単語  $i$  の「1」の度数を  $N_i(1)$ 、「0」の度数を  $N_i(0)$ として、しきい値  $\theta_i$  を次の式2により求めた。

$$\theta_i = -\log \frac{N_i(0)}{N_i(1)} \quad \dots \text{式2}$$

なお、単語の任意の品詞の削除、重複単語の削除、マトリクスの作成、荷重としきい値を求めるための一連の処理は、図2に示したようなExcelのマクロを用いて作成し、各シートにおいて単語の処理や荷重マトリクスの表示を自動化して行うものを作成した。

(3)想起単語の抽出

刺激語となる気象に関するキーワードや文章を入力すると、それに関連する単語を想起するようにホップフィールドモデルを作成した。モデルは、これまでの研究<sup>24)</sup>をもとに、Visual Basic .NETにより作成した。刺激語を入力する最初のフォームは、図3に示したものである。

単語の想起については、まず、各単語に対応したユニットを考える。ユニットどうしはすべて相互に連結し、各連結にはそれぞれ異なった荷重 ( $w$ ) がかかる。各ユニットからの出力値 ( $u$ ) は0か1の値をとり、それにこの荷重がかかる。処理においては、一度に一つのユニットの更新手続きが行われる。その更新は、まず、一つのユニットをランダムに選択し、そのユニット ( $j$ ) への入力値 ( $S_j$ ) を式3により求める。

$$S_j = \sum u_i W_{ij} + \theta_j + (\text{レンジの値} \times 0.5) \quad \dots \text{式3}$$

次に、このようにして求めた  $S_j$

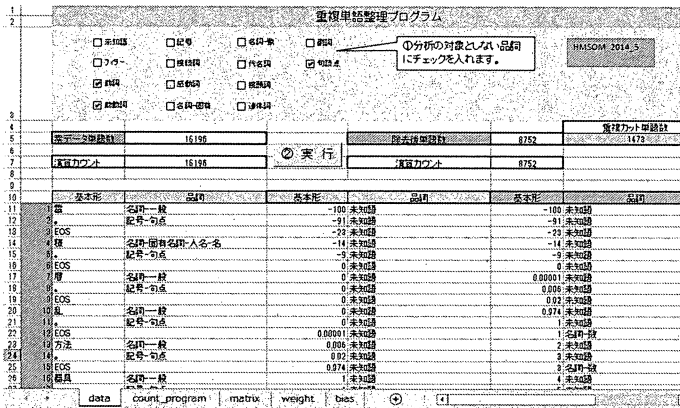


図2 ホップフィールドモデルの荷重を求めるためのExcelシート

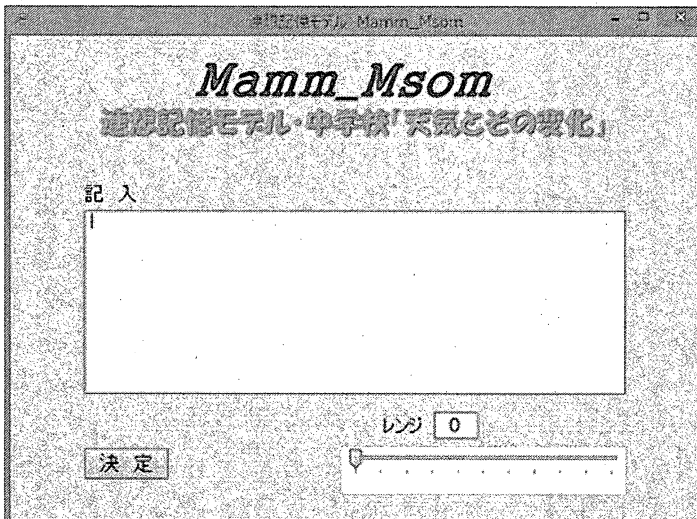


図3 連想記憶モデルの刺激語の入力フォーム

について、 $S_j > 0$  なら  $u_j = 1$ 、 $S_j \leq 0$  なら  $u_j = 0$  に更新する。この更新は、各ユニットの「0」あるいは「1」の出力値 ( $u$ ) が、変わらなくなるまで続ける。最終的に「1」となったユニットに対応した単語を想起する単語として、出力する。

図3の「レンジ」のレバーは、想起する際の想起しやすさを設定するものである。初期状態は「0」になっている。レンジは10段階になっており、レンジを0.5倍した値が、式3に示したようにユニットの入力値に加算される。値を大きくすると通常は想起される単語が多くなる。人間が、想起する場合にも、その時によって想起しやすい場合もあれば想起しにくい場合がある。このように、一定していないことを表現したものと見える。

以上のようにして、作成したモデルにおいて、たとえば、「露点」という単語を刺激語にすると、想起語として、「露点」「℃」「1」「関係」「図」「ふくむ」「量」「湿度」「中」「温度」「水蒸気」「空気」「その」「なる」「れる」の単語が出力される。これらの単語は、システムの中で自動的にテキストファイルとして保存され、次の自己組織化マップの入力データとなる。

### 3. 自己組織化マップ

ホップフィールドモデルによって想起した単語は、ばらばらでありそのままでは文章になっておらずイメージに近いものである。つまり、宣言的な知識としての表現になっていない。そこで、宣言的な知識としての文章を予め配置しておき、それと想起された単語を対応させ、もっとも一致する文書を想起する宣言的知識と考えた。その際、類似した文章が空間的に近くに配置されていれば、想起

する宣言的知識もいくつか候補をあげられ、モデルの妥当性を高めることができると考えた。そこで、教科書より抽出した「気象」に関わる文章を、すべて自己組織化マップに配置し、類似した文章が近くに配置されるようにした。自己組織化マップは、コホネン (Kohonen, T.)<sup>25)</sup>の理論にもとづき、これまでに開発したソフト<sup>26)27)</sup>をもとに、Visual Basic .NET を用いて作成した。自己組織化マップは、図4に示したように縦横に配置したセルによって表現し、各文章をそのセルに配置する形式をとった。本ソフトでは、文章数によって自己組織化マップのセルの数を決定した。マップは、各セルに付与された荷重や、各文章が配置されるセルの位置データをもとに表示される。荷重や文章の位置データなどは、自動で求めるソフトをこれまでの研究<sup>28)</sup>をもとに作成した。作成したソフトのメニュー画面を図5に示した。このソフトによる各データの求め方は次の通りである。まず、宣言的知識である文章を chasen によりすべて形態素解析する。形態素解析によって抽出した単語と品詞の中から、句読点や助詞、助動詞を取り除き、さらに重複している単語を一つにし、用いられた単語と品詞を語句データとする。この語句データをもとに、各文章で用いられてい

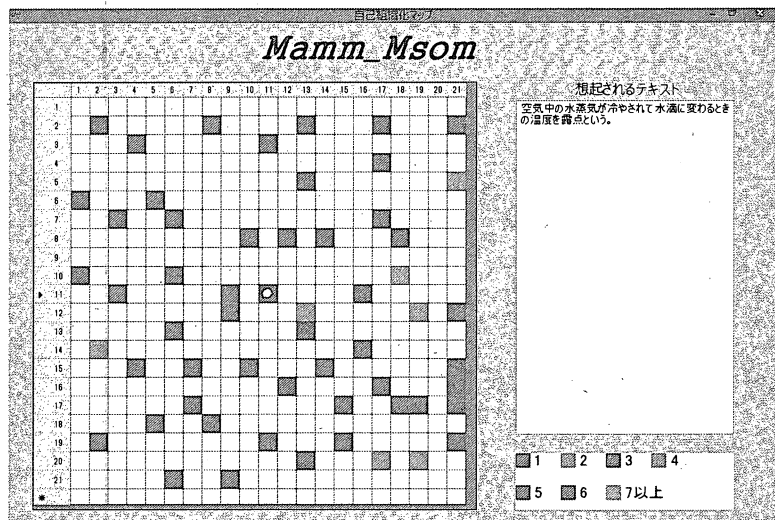


図4 自己組織化マップによる想起する宣言的知識の表示

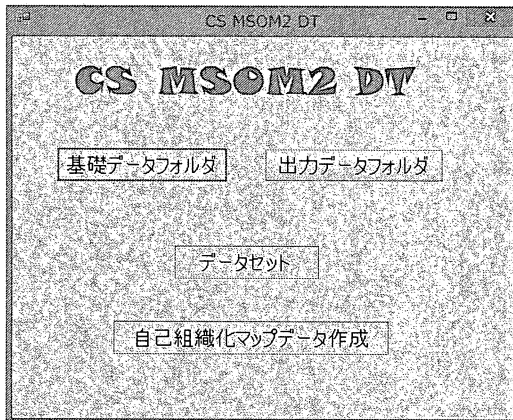


図5 自己組織化マップのデータ作成ソフト

る単語の度数を数値化する。たとえば、単語数が1000であれば、各文章のデータは、(0,1,0,0,2,0...)といった1000の数値データとなる。自己組織化マップの一つ一つのセルには、初期データとして単語の数だけ荷重データをランダムに付与してある。ある一つの文章データを選び、各セルの荷重と比較し、もっとも一致しているセルを一つ選ぶ。そのセルにその文章を位置づけるとともに、周辺のセルの荷重をその配置した文章の数値データに近づけるように変化させる。次に他の文章を一つ選び、同様に各セルの荷重と比較し、もっとも一致するセルを選び、そこに文章を位置付ける。そして、その周辺のセルの荷重をその文章の数値データに近づけるように変化させる。これを繰り返すたびに、荷重を変化させる周辺のセルを、近くのものだけに狭めていく。以上のことを繰り返すことにより、

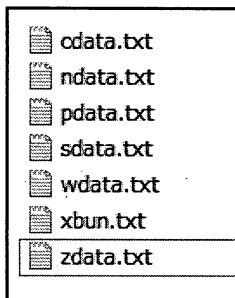


図6 自己組織化マップのデータファイル

同じような文章が、近くに配置されるようになる。最終的に決定したセルの荷重を荷重データとし、そこに位置づけられた文章を文章の位置データとする。また、用いられているす

べての単語や単語数などをデータとする。これらのデータは、図5に示したシステムの「出力データフォルダ」をクリックすると見ることができ、図6に示したようにすべてテキストファイルとして保存されている。

#### 4. 連想記憶モデル

連想記憶モデルは、図3に示したフォームに刺激語を入力するとホップフィールドモデルによって、関連する単語が想起され、想起された単語はテキストファイルとして保存される。次に、この保存された単語は、自己組織化マップの入力データとなり、自己組織化マップの文書データと同じように、単語に対応した数値データが求められる。このデータと自己組織化マップの各セルの荷重とを照合し、もっとも一致している荷重をもつセルが、自己組織化マップにおいて「●」で表示される。このセルに対応した文章が、想起する宣言的知識とみなされる。

図3に示した自己組織化マップは、「露点」を刺激語にして、想起した単語から自己組織化マップを表示したものである。色のついたセルに文書が配置されており、そこをクリックすると右の枠にその文書が表示される。図3では「●」の左のセルをクリックして表示した文章が示されており、「空気中の水蒸気が冷やされて水滴に変わるときの温度を露点という」という内容が表示されている。セルによっては、類似した文章が同じセルの中に複数個入る場合があり、図3の右下に示したようにその個数によってセルの色分けをしている。複数の文章の区切りは「/」の記号で示している。「●」の位置に文書が位置していない場合は、近隣の色のついたセルが想起される文章と判断する。また、「●」の位置に文書が位置していても周辺のセルをクリックすることによって、内容を広く確認することができる。図7は、図3の「●」とその周辺のセルをクリックした場合に表示される内容を示しものである。「水蒸気」や「水滴」の内容が多いことがわかる。

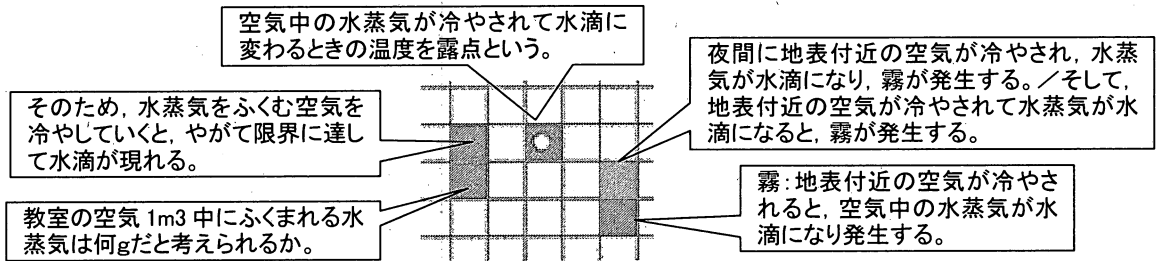


図7 「露点」を刺激語とした場合の想起内容

5. モデルの検証

作成したシステムの妥当性については、次のように考えた。自己組織化マップの宣言的知識を刺激語として入力した場合に、自己組織化マップによって表示される宣言的知識の内容が、刺激語と同じ内容であるかどうかから検証することにした。自己組織化マップに表示される内容に、たとえば、「海水など地表の水の一部は、太陽の光によってあたためられて蒸発し、空気中の水蒸気になる。」がある。これを刺激語として入力した結果、自己組織化マップの表示（抽出された付近）は図8のようになった。「●」のセルの内容は、刺激語と同じ内容である。このように、自己組織化マップに配置されているある内容を刺激語として検証を行った結果、ほとんどにおいて、同内容が「●」に位置するか、近くに位置する結果であった。以上のことから、システムの妥当性は高いと判断した。

V モデルによる仮説とモデルの活用

1. 知識分析のための仮説

知識モデル作成の目的の一つとして、知識の特徴を解明するための仮説を設定することにある。

仮説については、まず、モデルの動的な側面として、「刺激語」→「想起するキーワード（イメージ）」→「想起する宣言的知識（概念）」と

いったプロセスを仮説として立てた。その際、想起におけるレンジを考えた。人間の想起について、このようなプロセスや仕組みがあるかどうかを、このモデルをたたき台にしながら、解明していくことを考える。詳しくは、次のことを明らかにして仮説を検証することが考えられる。

①刺激語によって想起するのは、イメージと宣言的知識の両方があるかどうか、そしてその順序性はあるかどうか。

これについては、刺激語によって想起する

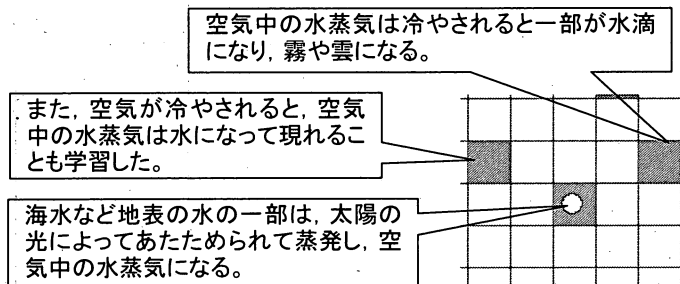


図8 モデルの検証(刺激語と同じ内容を想起)

キーワードやイメージを調べるとともに、それに関する宣言的知識を調査する。その際、キーワードやイメージと宣言的知識に一貫性があるかどうか、あるいはどちらか一方のほうが多く想起されるかどうかなどから、明らかにすることが考えられる。

②宣言的知識は、類似したものが想起されやすいように記憶されているかどうか。

これについては、いくつかの宣言的知識を想起させた場合に、その類似性があるかどうか

表1 状況の違いによる想起語の違いについてのシミュレーション結果

刺激語	想起内容
低気圧, 高気圧, 等圧線, 天気, 雨, 晴れ	・日本付近の天気は, 前線をともなった温帯低気圧や高気圧が移動することによって変化することが多い。
低気圧, 高気圧, 等圧線, 風, 風向	・等圧線の間隔と風の強さには, 何か関係があるのか。/そのため, 天気図で等圧線の間隔がせまい所ほど気圧の差は大きく, 風が強くなる。

表2 学習者が事象の確認に用いる場合の活用例

刺激語	レンジ	想起内容
水蒸気, 露点	0	・温度が露点より下がると水蒸気の一部が小さな水滴になる。 ・飽和水蒸気量は空気の温度が低くなるにしたがって小さくなる。
	5	・そのため, 上昇する空気の温度は下がり, やがて露点よりも低くなると, 空気中の水蒸気の一部が小さな水滴や氷の結晶になる。 ・温度が露点より下がると水蒸気の一部が小さな水滴になる。
気圧配置	0	・気圧配置: 気圧の分布のようす。 ・各地の気圧と気圧配置。
	5	・気圧配置: 気圧の分布のようす。 ・各地の気圧と気圧配置。

ら明らかにすることが考えられる。

③レンジの変化によるような想起内容の変化がみられるかどうか。

これについては, いくつかの刺激語でキーワードを想起させる。その中に同じ刺激語をいれておき, 同じ刺激語の場合に, 常に想起されるものとそうでないものがあるかどうかから, 明らかにすることが考えられる。

④状況の違いによって, 想起するキーワードや宣言的知識の違いがあるかどうか。

これについては, 刺激語の違いによって状況を表現し, 想起する知識の違いをシミュレーションし, その結果と実際の想起結果に共通性がみられるかどうかから明らかにすることが考えられる。たとえば, 表1に示したのは, 同じような刺激語ではあるが, 一つは, 気圧と天気, 一つは気圧と風といった状況の違いがある。その結果, 想起においても, 気圧と天気に関するものと気圧と風に関するものが, それぞれ想起されている。このようなシミュレーション結果と, 実際の想起結果とを比較することが考え

られる。

## 2. モデルの教育的活用

知識モデル作成のもう一つの目的として, 人工知能的な活用があげられる。それについては, 次のことが考えられる。

### ①学習者の知識の確認や学習における活用

学習者において, 確認したい事象に関するキーワードや文章を入力する, あるいは, よくわからない自然事象の用語について入力する。その結果, それに関する宣言的な知識が出力され, その事象や用語について確認することができる。たとえば, 表2は, 「水蒸気, 露点」と「気圧配置」を刺激語とした場合の結果を示したものである。レンジを変えずに「0」の場合, 「水蒸気, 露点」においては, 「温度」や「水滴」, 「飽和水蒸気量」などから, 事象を説明した知識が想起されている。また, 「気圧配置」については, その定義や関連する知識が想起されている。このように, その事象の確認や関連する内容の学習を行うことができる。



表3 教師が授業設計において補助として用いる場合の活用例

刺激語	レンジ	想起内容
前線	0	・気団と前線。／閉塞前線の断面。／前線をともなわない。／夏の後にも梅雨前線に似た秋雨前線ができる。／これが秋雨で、この時期の停滞前線は秋雨前線とよばれる。
	5	・寒気、寒冷前線、暖気、温暖前線／前線面：寒気団と暖気団が接する所のできる境界面。／なお、図は、寒冷前線側の寒気が温暖前線側の寒気より気温が低い場合のモデル図になる。／前線と天気変化：寒冷前線が通過するときには、強い雨が短時間せまい範囲で降り、通過後は気温が下がる。
	10	・2つの気団の強さが同じぐらいのとき、前線はあまり動かず、ほとんど同じ場所に停滞する停滞前線ができる。
飽和水蒸気量をグラフから理解する	0	・また、その理由を、「気温」、「飽和水蒸気量」、「水滴」という言葉を使って説明しよう。 ・飽和水蒸気量：空気 1m <sup>3</sup> 中にふくむことのできる水蒸気の最大量 [g/m <sup>3</sup> ]. ・表から、温度と飽和水蒸気量の関係を表すグラフをかき、その関係を文で説明してみよう。
	5	・また、空気が冷やされると、空気中の水蒸気は水になって現れることも学習した。 ・教室の空気 1m <sup>3</sup> 中にふくまれる水蒸気は何gだと考えられるか。
	10	・空気 1m <sup>3</sup> 中にふくまれる水蒸気量が、その温度での飽和水蒸気量に対してどれぐらいの割合になるかを百分率(パーセント)で示したものを湿度といい、次の式で表すことができる。

そして、レンジを変えると、「水蒸気、露点」のように想起される内容が変化することがある。ここでは、空気の上昇による温度変化などの関連も想起されており、レンジを変えることにより、知識の関連を広げながら、確認したり学習したりすることができる。

#### ②教師の授業設計における活用

授業設計において、学習内容のキーワードを入力すると、それについての内容や関連する内容が想起される。表3にその例を示した。「前線」について、レンジを変えながら想起する内容をみていく。レンジ0では、「〇〇前線」といった前線の種類、レンジ5では、前線の定義や構造、レンジ10では、特定の前線の詳細な内容について想起されている。これらの想起される内容から、事象の定義やそれに関する学習内容、さらにそれに続く学習内容などの確認ができ、授業

設計に役立てることができると考えられる。

また、表3に示したように「飽和水蒸気量をグラフから理解する」といった文章を入力しても、同様にそれに関する学習内容が想起される。レンジをかえることにより、予め学習しておく内容（「飽和水蒸気量：空気 1m<sup>3</sup> 中にふくむことのできる水蒸気の最大量 [g/m<sup>3</sup>].」）、その学習で押さえておくべき内容（「教室の空気 1m<sup>3</sup> 中にふくまれる水蒸気は何gだと考えられるか。」）、さらに関連して学習しておくべき内容（「空気 1m<sup>3</sup> 中にふくまれる水蒸気量が、その温度での飽和水蒸気量に対してどれぐらいの割合になるかを百分率(パーセント)で示したものを湿度といい、次の式で表すことができる。」）などが想起され、授業設計に役立てることができると考えられる。

## VI まとめおよび今後の課題

本研究においては、知識の想起についての動的なモデルから、知識の特徴を分析する方法と、モデルの教育的な利用法について明らかにすることを目的とした。知識モデルは、ホップフィールドモデルと、自己組織化マップを融合したものを作成した。作成したモデルより、刺激語と想起語の対応から、モデルの妥当性は高いものと確認することができた。そこで、モデルによって表現した想起のプロセスや仕組みが、実際の学習者の想起と対応するかどうか、今後の調査分析法について提案を行った。また、モデルの教育的利用について、学習者においては知識の確認に利用でき、教師においては授業設計に利用できることが明らかになった。今後、モデルをたたき台にして、モデルに示されている、想起に関するプロセスや仕組みが、学習者にみられるかどうかを検証していく必要がある。

### 引用・参考文献

- 1) Piaget, J., Inhelder, B., 滝沢武久・銀林浩訳：「量の発達心理学」, 国土社, 1965
- 2) Lawson, A.E. & Renner, J.W., Relationships of science subject matter and developmental levels of learners, *Journal of Research in Science Teaching*, Vol.12, No.4, 347-358, 1975
- 3) Lawson, A.E. & Karplus, R., Should theoretical concepts be taught before formal operations?, *Science Education*, Vol.61, No.1, 123-125, 1977
- 4) Clement, J., Students' preconceptions in introductory mechanics, *American Journal of Physics*, Vol.50, No.1, 66-71, 1982
- 5) Osborne, R. & Freyberg, P., 森本信也他訳：「子ども達はいかに科学理論を構成するかー理科の学習論ー」, 東洋館出版社, 1988
- 6) Driver, R., 貫井正納他訳：「子ども達の自然理解と理科授業」, 東洋館出版社, 1993
- 7) White, R.T., 堀哲夫・森本信也他訳：「子ども達は理科をいかに学習し教師はいかに教えるか」, 東洋館, 1990
- 8) Chi, M.T.H., Knowledge development and memory performance, In Friedman, M.P., Das, J.P. & O'Connor, N. (Eds.), *Intelligence and Learning*, Plenum Press, 221-229, 1981
- 9) Gentner, D. & Gentner, D.R., Flowing waters or teeming crowds: Mental models of electricity, In Gentner, D. & Stevens, A.L. (Eds.), *Mental Models*, Lawrence Erlbaum Associates, 99-129, 1982
- 10) White, R. & Gunstone, R., 中山迅他訳：「子どもの学びを探る：知の多様な表現を基底にした教室をめざして」, 東洋館出版社, 1995
- 11) Eylon, B. & Reif, F., Effects of knowledge organization on task performance, *Cognition and Instruction*, Vol.1, No.1, 5-44, 1984
- 12) Reif, F., Interpretation of Scientific or mathematical concepts: Cognitive issues and instructional implications, *Cognitive Science*, Vol.11, No.4, 395-416, 1987
- 13) Reif, F. & Heller, J.I., Knowledge structure and problem solving in physics, *Educational Psychologist*, Vol.17, No.2, 102-127, 1982
- 14) Larkin, J.H., Enriching formal knowledge: A model for learning to solve textbook physics problems, In Anderson, J.R. (Ed.), *Cognitive Skills and Their Acquisition*, Lawrence Erlbaum Associates, 311-334, 1981
- 15) 正司和彦：「誤答の定性的分析」, 教育情報科学研究会, 講座教育情報科学1. 教育とシステム, 第一法規, 221-245, 1988
- 16) Siegler, R.S., The origins of scientific reasoning, In Siegler, R.S. (Ed.), *Children's Thinking: What Develops?*, Lawrence Erlbaum Associates, 109-149, 1978
- 17) 市川伸一編：「認知心理学 4 思考」, 東京大学出版会, 125-136, 1996
- 18) 森一夫：「自然認識の発達と形成に関する教科教育学的研究」, 風間書房, 97-108, 1986
- 19) 佐伯胖：「学力と思考」, 第一法規, 76-81, 1982
- 20) 上野直樹：「仕事の中での学習」, 東京大学出版会, 1999
- 21) 守一雄：「やさしいPDPモデルの話」, 新曜社, 1996
- 22) 松原道男：「自己組織化マップと連想記憶モデルに

- よる生徒の大气圧に関する知識構造の分析」, 金沢大学人間社会学域学校教育学類紀要, 6, 9-17, 2014
- 23)Rumelhart,D.E.他, 甘利俊一(監訳):「PDPモデル」, 産業図書, 367-419, 1988
- 24)22)と同書
- 25)T.Kohonen:「自己組織化マップ」, シュプリンガー・フェアラーク東京, 102-171, 1996
- 26)松原道男:「科学的記述内容の評価システムの開発」, 金沢大学人間社会学域学校教育学類紀要, 4, 43-49, 2012
- 27)松原道男:「科学的記述内容の評価システムの開発(2)」, 金沢大学人間社会学域学校教育学類紀要, 5, 65-71, 2013
- 28)松原道男:「自己組織化マップによる自由記述交流システムの開発」, 金沢大学人間社会学域学校教育学類紀要, 6, 1-8, 2014