

# 自己組織化マップと連想記憶モデルによる 生徒の大気圧に関する知識構造の分析

松原 道男, 兵地 梓

**An Analysis of Students' Knowledge Structure Related to Atmospheric  
Pressure Using Self-Organizing Maps and Associative Memory Model**

Michio MATSUBARA, Azusa HYOCHI

金沢大学人間社会学域学校教育学類紀要, 第6号別刷, 2014年

Reprint

from

*Bulletin of the School of Teacher Education,*

*College of Human and Social Sciences,*

*Kanazawa University*

No.6

February 2014

# 自己組織化マップと連想記憶モデルによる 生徒の大気圧に関する知識構造の分析

松原 道男 兵地 梓\*

## An Analysis of Students' Knowledge Structure Related to Atmospheric Pressure Using Self-Organizing Maps and Associative Memory Model

Michio MATSUBARA, Azusa HYOCHI

### I はじめに

現行の学習指導要領においては、基本的な知識・技能の習得とともに、思考力、判断力、表現力の育成が求められている。思考力、判断力、表現力は、学習者のもつ知識構造によって影響を受け、とくに日常生活において獲得した学習者独自の知識構造は、理科教育においては素朴概念として研究が進められてきた<sup>1)</sup>。

これまでの研究においては、学習者の自然に対する知識構造を自己組織化マップにより分析し、学習者の科学的思考の特徴について明らかにしてきた。ここでの知識構造とは、コネクショニズムの考え方にもとづくものである。それは、常に一定の構造が存在するのではなく、状況との相互作用により、知識が構造的に表出するスキーマとしてとらえる<sup>2)</sup>。そして、自己組織化マップを分析に用いてきた理由は、次の通りである。

問題に対する学習者全員の解答を自己組織化マップで表現した場合、その結果はその課題で示された状況に対して、学習者が問題解決を行うために一般的に用いられる知識と考えることができる。そして、学習者の思考については、この具体的な知識構造にもとづいた論理的形式によって行われると考えられる。そこで、自己組織化マップにおける知識構造から、それによって導かれる学習者の思考の特徴をとらえることができると考えた。

これまでには、とくに国際的な学力調査である TIMSS2003 および TIMSS2007 の推論に関する記述問題の解答を対象に分析を行い、次の点を明らかにした<sup>3-6)</sup>。

- ・子どもに構成されている知識は、比較的科学的に妥当であるものが多い。ただし、問題に関する日常経験が豊かであると、実際には問題とは関係ない日常生活で得た知識を活用してしまい、不適切な推論になる場合がみられた。たとえば、生態系に関する同じ形式の問題において、「ネコ」よりも「ヤギ」の問題のほうが適切な推論を行っており、「ネコ」については、問題の意味とは異なる自分の経験などで解答する場合がみられた。
- ・すでに学習した内容で、日本における一般的な問題の文脈と TIMSS の問題の文脈とが異なる場合、日本の問題の文脈で答えて誤る場合がみられた。たとえば、日本では実験の意味より実験の結果について問われることが多いため、実験の意味について問われているにもかかわらず、実験結果についての知識を用いて推論し、解答を誤る場合がみられた。
- ・構成された知識は正しく、推論もある程度適切と思われるが、知識の一部だけを用いて説明不足になる場合がみられた。
- ・科学的な根拠について、「から」と「ので」の助詞を用いていると、適切に記述されている場合が多いことが明らかになった。また、「か

ら」に比べて「ので」のほうが、より具体的で妥当な知識構成がみられた。

以上の結果から、指導上の留意点として次の点が指摘できた。

- ・ いろいろな状況の中で知識を活用することによって、その知識の適用範囲について考えさせていく必要がある。また、たとえば実験結果だけでなく、実験の意味などを考えさせるような学習展開や文脈を考える必要がある。
- ・ 説明を省くことなく、順序良く論理を組み立てて説明するように指導する必要がある。
- ・ 科学的な推論や説明において、たとえば「から」や「ので」の語句を用いた表現形式を意識して指導することも必要である。

これらの学習者の知識や推論の特徴は、自己組織化マップによる知識の関連についての分析結果をもとに考察したものである。そこで、他の知識モデルからも分析することによって、これらの結論の妥当性は増すと思われる。とくに、自己組織化マップの知識モデルは空間に配置された静的なモデルであり、想起などの動的な知識モデルでの検証が求められる。

## II 本研究の目的

以上のことから、本研究においては、具体的な理科の教材を対象に、動的な知識モデルの分析法を開発し、自己組織化マップによる分析と比較することによって、モデルの妥当性を明らかにするとともに、それらの知識モデルから明らかになった学習者の知識構造から、理科の指導法について検討することを目的とした。とくに、動的に知識を関連づけるモデルとして、ホップフィールドモデルにもとづく連想記憶モデルの開発と分析を行うことにした。

## III 方法

### 1. 調査問題

学習者の知識を抽出するために、質問紙調査を行った。調査問題は、次の大気圧に関する自由記述の問題である。

「白山の山頂で、空のペットボトルにふたをして、ふもとまで持ってくると、ペットボトルはどうなるか。また、そうなった理由を『大気圧』という語句を用いて簡単に説明しなさい。」

この問題では、山頂の大気圧は、ふもとの大気圧よりも低いため、山頂でのペットボトルの中の気圧はふもとの気圧よりも低くなり、ペットボトルはへこむという解答が求められる。

### 2. 調査対象

金沢大学附属中学校第1学年4クラスを対象にした。調査データが得られたのは、159人である。なお、生徒は大気に関する学習を終えている。

### 3. 調査時期

調査は、単元テストの中の問題として組み込み、2012年1月に実施した。

### 4. ホップフィールドモデルの開発方法

ホップフィールドモデルは、これまでに Excel のマクロでシミュレーションを行ってきたものを応用し、Visual Basic .NET によって作成した。

### 5. 分析方法

問題の解答から、まず、これまでの研究で用いてきた自己組織化マップによって、知識の関連から知識構造の特徴を明らかにする。次に、ホップフィールドモデルによって作成した連想記憶モデルによって、想起される知識から知識構造の特徴を明らかにする。そして、両モデルの分析結果の一致について、比較検討を行う。両モデルの一致からモデルの妥当性が認められた場合、モデルより明らかになった知識構造の特徴から、理科の指導法について検討する。

## IV 連想記憶モデルの開発

### 1. モデルの理論

ホップフィールドモデルに基づく連想記憶モ

デルは、すでに、これまでの研究<sup>8)</sup>において述べているが、図1に示したように、神経細胞にたとえられるユニット(図の○の部分)がすべて相互に連結した構造をもつ。各連結はそれぞれ異なった荷重( $w$ )がかかる。ユニット $i$ からユニット $j$ の荷重を $w_{ij}$ と示す。各ユニットからの出力値( $u$ )は0か1の値を取り、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、一つずつユニットをランダムに選択し、あるユニット $j$ への入力値( $S_j$ )を「式1」によって求める。 $\theta$ はしきい値である。次に、このようにして求めた $S_j$ 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。

$$S_j = \sum_i u_i w_{ij} + \theta_i \quad \cdots \text{式1}$$

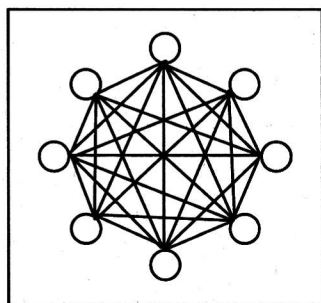


図1 相互連結型のモデル

## 2. 荷重としきい値

モデルにおける荷重は、次のように設定した。生徒の記述内容を形態素解析し、抽出された単語と品詞の中から、句読点や助詞を除き、さらに重複している単語を一つにして、全解答に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、各学習者の解答でその単語が用いられている単語には「1」、用いられていない単語には「0」の数値を付与する。たとえば、「語句データ」が300あれば、各学習者の解答は、(0,1,0,0,1,0,...)といった300の数値データとなる。この解答から得られたデー

タから、単語 $i$ と単語 $j$ が同時に「1」である度数を $x_{ij}(1,1)$ のように示し、単語 $i$ と単語 $j$ 間の荷重を次式によって求めた。この式はラメハートの研究<sup>9)</sup>およびこれまでの研究を参考に、いくつかのモデルを試作しながら変形し、決定した。

$$w_{ij} = \log \frac{10 \cdot x_{ij}(1,1) + \log(x_{ij}(0,0) + 1.3)}{x_{ij}(1,0) + x_{ij}(0,1)}$$

ただし、式を成り立たせるため、 $x_{ij}(1,0)=0$ のときは $x_{ij}(1,0)=1$ 、 $x_{ij}(0,1)=0$ のときは $x_{ij}(0,1)=1$ とした。この荷重は、お互いの単語が同時に用いられていると、値が大きくなり、どちらか片方の単語のみが用いられていると値が小さくなるように設定したものである。

また、全解答データから、単語 $i$ が「1」の度数を $y_i(1)$ で示す。そして、ユニット $i$ のしきい値 $\theta_i$ を次式によって求めた。

$$\theta_i = -\log(y_i(0)/(10 \cdot y_i(1)))$$

これらの荷重としきい値については、まず、テキスト化された学習者の記述内容について、形態素解析ソフト chasen を用いて、単語の基本形と品詞を求める。そして、そのデータをもとに、Excel のマクロを用いて、自動的に求めるソフトを開発し、本研究において使用した。

## 3. 連想記憶モデルの作成

連想記憶モデルは、Visual Basic .NET により作成し、図2に示したフォームによって構成した。既に求めた荷重やしきい値、語句データをこの中にデータとして組み込んだ。

まず、図2のAの枠に、想起のための刺激語を入力し、「決定」のボタンをクリックする。Bの枠には、入力した刺激語が形態素解析され、刺激語の単語の基本形が表示される。Cの枠には、連想される単語の基本形が表示される。Dの枠は、全体的な想起のレンジを設定するもので、設定しない場合は「0」になっている。想起される単語が多い場合は、マイナスのより小さい値を選択すると、想起される単語が少なくなる場合がある。一方、連想される単語が少ない場合





—「山頂」の単語の対は、やや遠くに配置しており関連が弱い。「大きい」—「小さい」、「外」—「中」、「低い」—「高い」、「強い」—「弱い」など対になる単語が近くにあり、お互いが関連づけられている。さらに、「★」で示した「ふくらむ」といった単語が、「B」の枠で示した単語と関連づけられ、「山に登るとふくらむ」といった知識構造が認められる。このことは、山に登るとお菓子などの袋が膨らむ、といった教科書の内容に起因するものと思われる。その事象についての知識は正しいが、問題では、その逆に頂上からふもとへ行ったときのこと問われている。本問題に関連する知識として想起されて、誤って適用されているといえる。

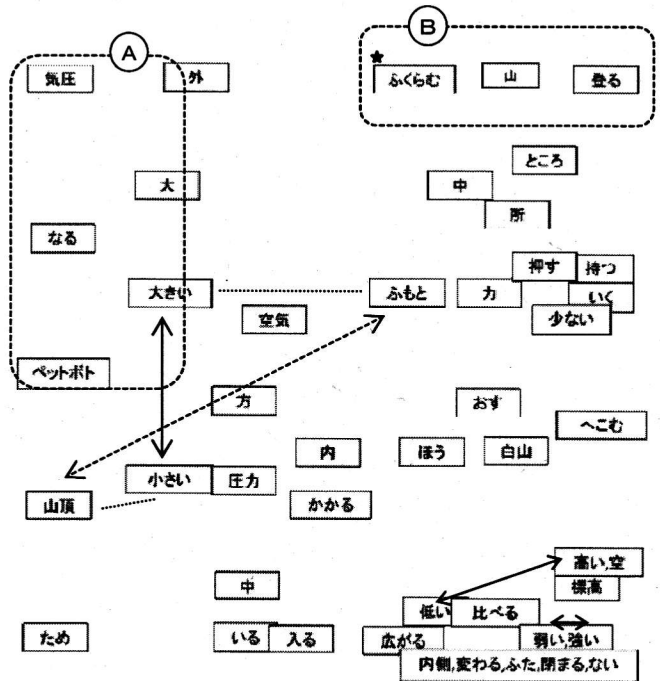


図6 誤答の自己組織化マップ(簡易図)

### 3. 連想記憶モデルによる分析結果

連想記憶モデルは、正答、部分正答、誤答の解答から、それぞれのモデルを作成した。3つのモデルについて、次のS1からS4の4つの文章を刺激語として与え、想起する単語を求めることにした。

この刺激語は、問題に即した内容で、山頂やふもとの大気圧、さらに、ペットボトルの中の気圧に関するものである。

S1: 白山の山頂の大気圧

S2: ふもとの大気圧

S3: 白山の山頂でのペットボトルの中の気圧

S4: ふもとでのペットボトルの中の気圧

正答のモデルにおいてS1を刺激語とすると、たとえば、「ふもと、ペットボトル、なる、小さい、押す、内、低い、高い、持つ」といった単語が想起される。シミュレーションについては、極小値も存在するため、想起される単語は常に一定ではなく、いくつかのパターンが生じる。各モデルにおいて、4つの刺激語とも10回のシミュレ

ーションを行い、想起される単語の度数を求めた。その結果をグラフに示したのが、図7～図9である。なお、シミュレーションにおいては、図2のDで示した全体のレンジは、「0」とした。

図7に示した正答のモデルの結果より、度数が15以上の単語を見ると、「低い」—「高い」、「外」—「内」、「大きい」—「小さい」の対となる単語が想起されている。また、正答に関わる「へこむ」・「つぶれる」といった単語の度数が大きい。さらに、「押す」・「おす」といった力に関する単語の度数が大きい。

これに対して、図8の部分正答の結果をみると、「大きい」—「小さい」の対は同じように度数が大きい、それに対して、「外」—「内」の単語の対は、「外」が「内」の度数の半分程度で、「外」と「中」の度数が同じくらいである。ペットボトルに関わる「ふくらむ」・「膨らむ」という単語の度数は大きい。一方、「おす」といった力に関する単語の度数は小さい。

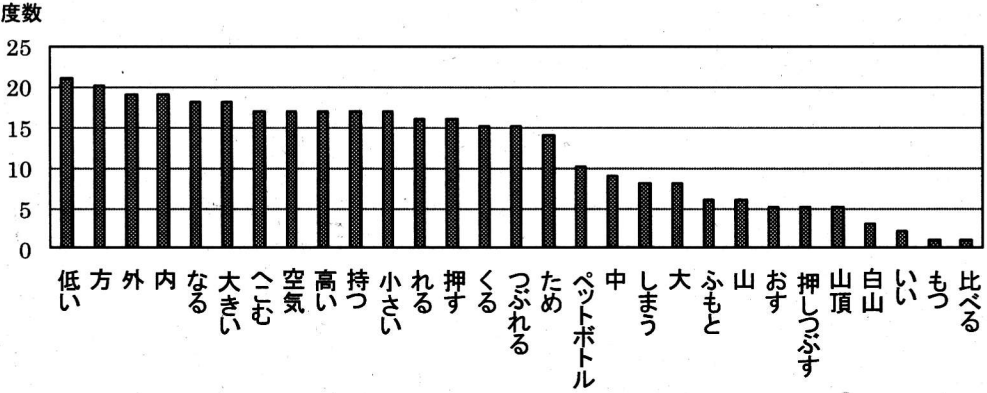


図7 全問正答のモデルで想起される単語の度数

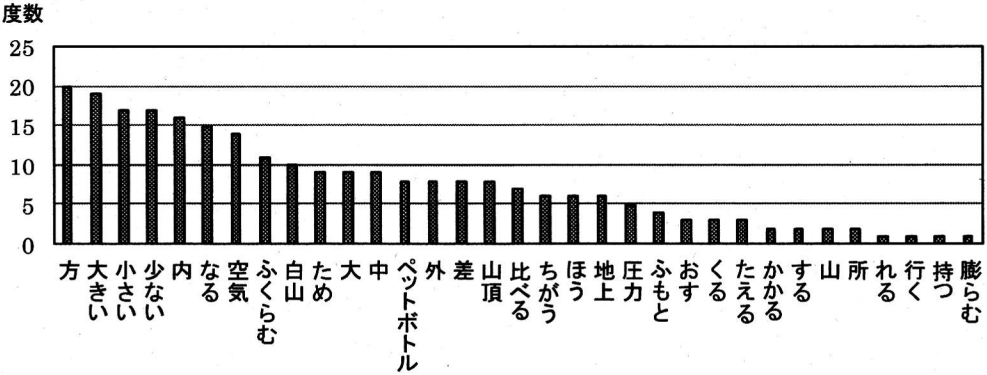


図8 部分正答のモデルで想起される単語の度数

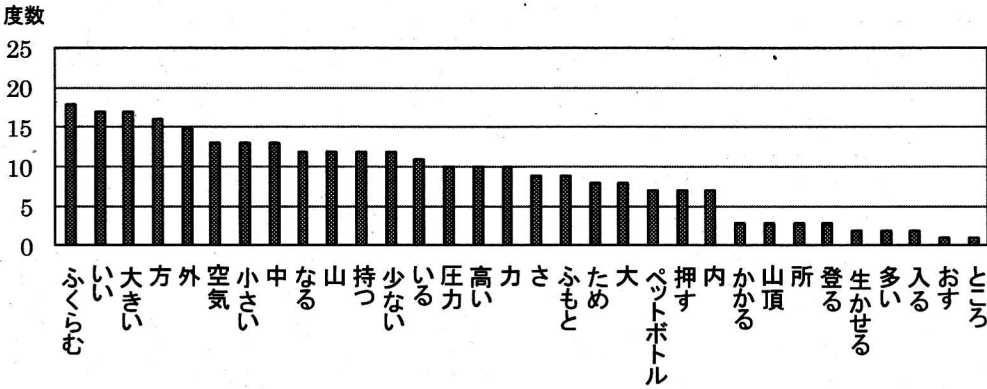


図9 誤答のモデルで想起される単語の度数

図9の結果から、誤答のモデルにおいては、「大きい」－「小さい」の単語の対は、他のモデルと同じように度数が大きい。そして、「外」－「中」の度数も大きい、それに関連した「内」の度数は半分程度である。また、「高い」は度数が大きい、それと対となる「低い」は想起されていない。ペットボトルに関する「ふくらむ」という単語の度数は大きい。一方、「押す」・「おす」といった力に関する単語の度数は小さい。

自己組織化マップと連想記憶モデルの両結果から、正答においては、「大きい」－「小さい」といった量に関する単語が対の関係になっている。また、「外」－「内」といった空間に関する単語が対になっている。ただし、自己組織化マップで、関連の強い「外」－「中」といった空間に対する単語は、それよりも関連が弱くなっている。さらに、両モデルとも、「高い」－「低い」といった量および空間に関する単語が対になっている。そして、両モデルとも、「へこむ」といった現象についての関連や想起がみられる。さらに、連想記憶モデルからは、これらが「押す」といった「力」に関する単語と関連して想起されている。

部分正答においては、両モデルとも、「大きい」－「小さい」の単語が対になっている。そして、これらに「ふくらむ」といった現象についての関連や想起がみられる。「外」－「内」の対については、連想記憶モデルでは関連した想起はやや弱い。また、自己組織化マップでは、「低い」－「高い」の関連が見られるが、連想記憶モデルでは、関連した想起は見られない。さらに、「おす」といった力に関する想起も弱い。

誤答においては、両モデルとも「大きい」－「小さい」や「外」－「中」の単語が対になっている。また、自己組織化マップでは、「低い」－「高い」、「強い」－「弱い」の関連が見られるが、連想記憶モデルでは、関連した想起は見られない。さらに、「押す」・「おす」といった力に関する想起も弱い。

## VI 考察

自己組織化マップと連想記憶モデルの分析結果から、両モデルの単語の関連について、共通した結果が多く得られた。さらに自己組織化マップにおいては、連想記憶モデルでは想起されない、単語の関連についても認められる場合があった。これは、関連していても、連想記憶モデルでは想起されるレベルに至っていないためと思われる。そのため、自己組織化マップにおいて関連のある単語どうしにおいて、片方のみが連想記憶モデルにおいて想起され、もう片方が想起されないケースはみられなかった。両方とも想起されるか、両方とも想起されないかである。このことから、両モデルの妥当性は高いものと判断した。

自己組織化マップにおいては、たとえば正答において、「ふもと」－「山頂」の空間における「大きい」－「小さい」といった量的な関係をみることができる。このように、全体の知識の関連をみるのに長けているといえる。一方、連想記憶モデルは、自己組織化マップなどによって示された知識の関連について、実際に想起されて用いられやすい知識をシミュレーションしていくのに長けているといえる。

以上のモデルの特徴および分析結果から、次のような教育的示唆を得ることができる。

- ・正答の知識構造では、「山頂」－「ふもと」といった空間に関わる知識と「大きい」－「小さい」といった量に関する知識の関連が認められる。同じく「外」－「中」といった空間に関わる知識と「強い」－「弱い」といった量に関する知識の関連が認められる。誤答においても、類似した構造が一部認められる。したがって、事象の提示や問題解決において、たとえば圧力が大きくなる場合の事象だけでなく、圧力が小さくなる場合の事象も対比しながら学習するというように、相対する事象を比較しながら学習するのが有効であると思われる。

- ・正答においては、「押す」などの力に関する知識が関連づけられ、想起されやすくなっている。今回のように力に関する学習においては、力を加えるときの動作に関する体験や表現が有効であると思われる。
- ・誤答においては、日常生活などの知識にもとづき、その知識の適用範囲を誤って用いていることが明らかになった。日常生活などの経験にもとづく知識については、その知識が結論として先にあるのではなく、その知識の適用範囲を明確にして学習する必要がある。

今後、他の教材についても両モデルを用いて分析を行い、モデルの妥当性についてさらに検証するとともに、学習者の知識構造の特徴を明らかにしていくことが考えられる。

#### 参考文献

- 1) R. ドライヴァー他：「子ども達の自然理解と理科授業」，東洋館出版社，1993
- 2) 麻生英樹：「ニューラルネットワーク情報処理－コネクショニズム入門，あるいは柔らかな記号に向けて－」，産業図書，94-99，1988
- 3) 松原道男：「理科における子どもの記述内容の分析 (1)－TIMSS2003 の生物に関する問題の解答を例にして－」，日本教科教育学会全国大会論文集，151-154，2008
- 4) 松原道男：「理科における子どもの記述内容の分析 (2)：TIMSS2007 の物理・化学領域における推論問題を例にして－」，日本科学教育学会年会論文集 33，429-430，2009
- 5) 松原道男：「理科における子どもの記述内容の分析 (3)－TIMSS2007 の地学領域における推論問題を例にして－」，日本科学教育学会年会論文集 34，429-430，2010
- 6) 松原道男：「理科における子どもの記述内容の分析 (4)：TIMSS2007 の理由や根拠に関わる語句の活用から－」，日本科学教育学会年会論文集 35，307-308，2011
- 7) 松原道男：「ホップフィールドモデルによる『大地の変化』に関する学習評価」，金沢大学教育学部紀要教育科学編，50，21-27，2001
- 8) 7) と同書
- 9) ラメハート D.E. 他，甘利俊一（監訳）：「PDP モデル」，産業図書，367-419，1988