

科学的記述内容の評価システムの開発

松原 道男

Development of Assessment System for Scientific Description

Michio MATSUBARA

I 問題の所在

TIMSS などの国際的な学力調査においては、日本の子どもの科学的な記述能力の問題点が指摘されている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。そのような指摘の中で、新学習指導要領においては、言語に関わる活動の重要性が指摘され、科学的な表現力の育成が求められることとなった⁵⁾。子どもの科学的な記述能力を高めるためには、その記述内容の正誤を含めた回答カテゴリーを明確に判断し、評価することが必要である。ところが、子どもの自由記述などの評価は、客観的な評価が難しかったり、時間がかかったりするといった問題点があげられる。そこで、自由記述を自動で評価するシステムがあれば、子どもの科学的な記述能力を高めるのに役立つことができると考えられる。

これまでの研究においては、自己組織化マップ⁶⁾を用いて、記述内容や発話などのテキストデータを集約するシステムの開発を行ってきた。このシステムは、テキストマイニングの一つの方法としてとらえることができ、子どもの記述内容の傾向を明らかにしたり、教師の授業中の発話を分析したり、さらに、教科書内容の分析に用いたりしてきた⁷⁾⁸⁾⁹⁾。開発したシステム（システム名称 msom）は、Excel のマクロを用いたもので、語句の関連の強さを距離で表し、語句の頻度を色分けして示すことにより、大量のテキストデータを集約し、テキスト全体の内容を把握するものである。このシステムを応用し、従来のようにテキストデータから単語を自己組織化マップに配置するのではなく、各回答のほうを自己組織化マップに配置することにより、自由記述の評価に用いることが考えられる。

そこで、本研究においては、これまでに開発してき

たシステムをもとに、自由記述された内容を評価するシステムの開発を行うことを考えた¹⁰⁾。とくに本報においては、すでに記述されたデータをもとに、新たに自由記述される内容を自己組織化マップに配置することを考え、そのデータやシステムの構成について明らかにすることを目的とした。

II 研究方法

本研究においては、次の観点からシステムの開発を行うことにした。

- 既得の自由記述の回答データから自己組織化マップを作成し、評価したい自由記述の回答を自己組織化マップに位置づけることにより評価を行う。
- 自己組織化マップの作成にあたっては、これまでに開発してきた msom を改良して作成する。
- システムの開発にあたって対象となる既得の回答は、TIMSS2007 の回答を用いる。当回答は、各問題とも数百人の回答があり、回答の評価は正誤だけでなく、正答の種類と誤答の種類がコード化され分類されている。小学生用、中学生用の課題それぞれ 12 問を対象とする。問題例を図 1 に示す。

	温度	塩の溶解量	水の体積	密度
真水	25° C	0 g	100 cm ³	1.0 g/cm ³
塩水	25° C	19 g	100 cm ³	?

上の未完成の表は、真水と塩水に関するデータを比較したものです。塩水の密度はいくらですか。

(1) 答えの番号を書いてください。

① 1.0g/cm³
 ② 1.0g/cm³ より小さい
 ③ 1.0g/cm³ より大きい

(2) 答えの理由を説明してください。

図 1 TIMSS2007 の自由記述の課題例

・本研究の次の段階の研究になるが、システム全体の制御は VB.NET を用いて行う予定である。これは、これまでに開発した「msom」は Excel の Visual Basic を用いているため、互換性を考慮したからである。その制御では、評価したい自由記述を自己組織化マップに位置づけるとともに、システム全体の制御を行う。

以上のようなシステム全体の構成を考慮して、今回の開発を行うことにした。

III 自由記述の自動評価システム

1. システム開発の概要

以上の開発の観点から、本研究では、これまでに開発した自己組織化マップ作成ソフト「msom」をもとに、「msom_plus」を開発することにした。テキストデータからのデータセットは、これまでの「msom」を用いた。また、自己組織化マップについては、「msom」における単語の配置を、各回答の配置に変えることを考えた。これは、「msom」でセットされたデータの行と列を逆に処理することで、これまでの方法を用いることができると考えた。

開発した「msom_plus」は、7つのシートからなり、各シートにおいてデータが処理され、次のシートに移っていくという方法をとる。7つのシートは、「code」、「data」、「count_program」、「kohonen」、「map」、「color」、「weight」である。「msom_plus」においては、従来の「msom」に、「code」、「color」、「weight」の3つのシートが付け加えられている。

2. 各シートにおける処理

開発したシステムの動作の確認のために実際に使用したデータは TIMSS2007 における記述内容のデータである。一つの課題について、600程度の回答がある。

①「code」シート

このシートには、課題に対する回答をデータとしてセットしておく。図2には、図1に示した問題の回答を用いたものを例に示した。回答データの順番は、任意でよいが、最も左のセルに示された数字がその回答の番号になる。自己組織化マップには、この番号が配

置される。次の開発段階で予定しているシステムにおいて、自己組織化マップに配置された回答番号をクリックすると、その番号の回答が示されるように考えており、そのために回答番号を付与している。「回答コード」の列に示された数字には、回答パターンを示す。この数字は正答のほうが小さい値になるようにしておく。たとえば、正答は「1」、準正答は「2」、部分正答は「3」、誤答パターン1は「4」、誤答パターン2は「5」などのように示しておく。単純に正答「1」、誤答「2」でもよい。パターン数は最大7までで、1～7までの数字を用いるようにする。

	A	B	C	D
1				
2				回答コード入力シート
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10		回答コード		
11	1	1	塩分が入っているから。	
12	2	1	塩の溶解量がおおいから。	
13	3	1	塩水の方が塩が多いから密度も大きくなる。	
14	4	1	塩の溶解量が真水が0gで塩水が10gだからその分大きくなる。	
15	5	1	塩水には塩が入っている分、真水より密度が大きくなるから。	
16	6	1	塩が入った分、質量が変わるから密度が上がる。	
17	7	1	塩が入っているから	

図2「code」シート(一部)

②「data」シート

本シートの例を図3に示す。本シートにおける分析の前に、フリーソフトである形態素解析ソフト「chasen」を用いて、「code」に貼り付けているすべての回答のテキストデータを対象に、「基本形」と「品詞」を求めておく。その結果を、本シートの最も左の「基本形」、「品詞」のセルに貼り付ける。次に、貼り付けた単語について、分析の対象としない品詞があれば、シートの上段に示された品詞のチェックボックスにチェックをいれる。そして、貼り付けた単語数を「素データ単語数」に記入し(例では6,568)、「実行」をクリックする。そうすると、自動的に重複単語がカットされ、用いられている単語とその度数が示され、「count_program」シートに移る。

③「count_program」シート

本シートの例を図4に示す。このシートでは、「data」シートにおいて抽出された単語と品詞が、出現度数の大きい順に並び替えられて、左のセルにセットされる。

図の例では、311の単語が抽出されている。この処理では、一人の回答者がどの単語を何回用いているかといったデータを各列に作成する。つまり、列は、回答数だけデータが作成されることになる。「最大」のところには、任意の数字を入れる。通常「3」にしてある。これは、一つの回答において、同じ単語の出現が3より多い場合でも、「3」として処理することを示している。つまり、一人の回答者がある単語を1回用いれば「1」、同じ単語を2回用いれば「2」、3回用いれば「3」、そして4回以上同じ単語を用いても「3」と

いうデータになる。

本シートの実行は、「最大」に任意の数を入力し、「実行」をクリックする。そうすると、以上に述べたデータセットが自動的に作られ、次の「kohonen」シートに移る。

④「kohonen」シート

本シートの例を図5に示す。このシートにおいては、「count_program」シートで作成されたデータセットがそのまま貼り付けられている。このデータセットをもとに、自己組織化マップが作成されるが、次のことを

<input type="checkbox"/> 未知語 <input type="checkbox"/> 記号 <input type="checkbox"/> 名詞-数 <input type="checkbox"/> 動詞 <input type="checkbox"/> フワー <input type="checkbox"/> 接尾詞 <input type="checkbox"/> 代名詞 <input checked="" type="checkbox"/> 助詞 <input type="checkbox"/> 感嘆詞 <input type="checkbox"/> 接頭詞 <input checked="" type="checkbox"/> 助動詞 <input type="checkbox"/> 名詞-係名 <input type="checkbox"/> 連体詞				
抽出単語数	6568	実行	重複カット単語数	811
演算カウント	6568		演算カウント	3873
基本形	品詞	基本形	品詞	度数
塩分	名詞-一般	0	名詞-数	11
が	助詞-格助詞-一般	0	名詞-数	7
入る	動詞-自立	0	名詞-数	1
て	助詞-接続助詞	0	名詞-数	1
いる	動詞-非自立	0	名詞-数	2
カフ	名詞-一般	0	名詞-数	40
。	記号-句点	1	名詞-数	3
EOS	名詞-一般	0	名詞-数	1
塩	名詞-一般	0	名詞-数	2
の	助詞-連体化	3	名詞-数	67
溶解	名詞-サ変接続	6	名詞-数	1
量	名詞-接尾-一般	9	名詞-数	1
	名詞-接尾-一般	0.1	名詞-数	88

図3「data」シート(一部)

単語数	311	最大	3	実行												
データ数	6568															
演算カウント	6568	カウント														
列カウント	584	584														
番	単語	品詞	度数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	塩	名詞-一般	359	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	。	記号-句点	283	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1
3	いる	動詞-非自立	178	1	0	0	0	1	0	1	2	1	0	0	1	0
4	、	記号-読点	151	0	0	0	0	1	1	0	2	1	0	0	0	2
5	溶解	名詞-サ変接続	136	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1
6	塩水	名詞-一般	135	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1
7	密度	名詞-一般	132	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
8	g	名詞-接尾-助数詞	121	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
9	量	名詞-接尾-一般	117	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1
10	真水	名詞-一般	111	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1
11	大きい	形容詞-自立	92	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1
12	なる	動詞-自立	91	0	0	1	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0
13	水	名詞-一般	87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

図4「count_program」シート(一部)

の回答パターンの色になっている。また、正答と誤答の両方が同じセルに位置した場合には、「kohonen」シートで設定した色と異なる色（ページ）で表示される。さらに、同じセルにいくつかの誤答のパターンが位置した場合にも、異なる色（グレー）で表示される。

自己組織化マップのサイズは、回答数によって変化するようにになっている。例に示した回答では、584の回答で、54セル×54セルの大きさになっている。

⑥「color」シート

本シートの例を図7に示す。このシートは、「kohonen」シートで作成された自己組織化マップの各セルの色を数値化したものである。色のないものは「0」、その他の数値は、「kohonen」シートで設定した色と同じである。このデータは、次の段階の開発で、自己組織化マップに新たに記述した内容を位置づけるときに用いる。

⑦「weight」シート

本シートの例を図8に示す。このシートでは、自己組織化マップにおいて各セルに設定された荷重が示されている。荷重は、一つのセルにおいて、抽出した単語の数だけ設定されている。例にあげた自己組織化マップでは、54×54のセルの一つ一つに、抽出した単語の数である311の荷重が割り当てら

れており、54×54×311の荷重が示されている。図8の表の一行目は左から「1」「1」で、自己組織化マップの座標(1,1)のセルを示している。その右の数値からが荷重であり、311の荷重が続く。

3. 自己組織化マップの作成方法とその利用の意義

「msom_plus」においては、以上のように各シートの処理を経て自己組織化マップの作成とそれに関するデータが作成される。とくに、自己組織化マップの作成にあたっては、「kohonen」シートを中心に次のような数値処理を行っている。まず、回答数によって自己組織化マップのサイズが決定される。次に「map」シートに示される自己組織化マップを構成する各セルには、初期状態において、1以下の値が単語の数(例

図7「color」シート(一部)

1	1	0.015130	0.908697	0.303027	0.908886	0.000000	0.303030	0.590927	0.909091	0.014932	0.000000
1	2	0.047451	0.908669	0.303009	0.908824	0.000000	0.302891	0.558449	0.909091	0.047226	0.000000
1	3	0.053753	0.905108	0.299423	0.898081	0.000000	0.302856	0.548525	0.909091	0.049958	0.000000
1	4	0.073410	0.885968	0.280081	0.840195	0.000000	0.302946	0.509617	0.909091	0.050448	0.000000
1	5	0.121878	0.830016	0.224605	0.673802	0.000000	0.302706	0.405433	0.909091	0.043752	0.000000
1	6	0.216450	0.732635	0.128829	0.386479	0.000000	0.301903	0.214283	0.909091	0.043360	0.000000
1	7	0.275368	0.678726	0.075399	0.226183	0.000000	0.301665	0.101695	0.909091	0.049081	0.000000
1	8	0.291646	0.641902	0.041265	0.123776	0.000000	0.300319	0.049939	0.909091	0.032554	0.000000
1	9	0.290918	0.601229	0.013290	0.039693	0.000000	0.293973	0.016345	0.909091	0.009884	0.000000
1	10	0.289089	0.580082	0.002489	0.006616	0.000000	0.288817	0.002217	0.909091	0.001078	0.000000
1	11	0.278888	0.557026	0.000896	0.001836	0.000000	0.278135	0.000144	0.909091	0.000016	0.000000
1	12	0.276490	0.552098	0.000914	0.001833	0.000000	0.275585	0.000010	0.909086	0.000001	0.000000
1	13	0.270913	0.540778	0.001054	0.002109	0.000000	0.269860	0.000001	0.909089	0.000000	0.000000
1	14	0.258758	0.524669	0.000971	0.001942	0.000000	0.257787	0.000000	0.906380	0.000000	0.000000
1	15	0.223284	0.539884	0.000380	0.000761	0.000000	0.222903	0.000000	0.877860	0.000000	0.000000
1	16	0.121523	0.650455	0.000345	0.000690	0.000000	0.121178	0.000000	0.773174	0.000000	0.000000
1	17	0.027878	0.734786	0.000351	0.000702	0.000000	0.027411	0.000116	0.682474	0.000000	0.000000
1	18	0.014619	0.815250	0.000220	0.000440	0.000000	0.014244	0.000155	0.646803	0.000000	0.000000
1	19	0.014333	0.857901	0.000216	0.000431	0.000000	0.013965	0.000152	0.632401	0.000000	0.000000
1	20	0.005354	0.862522	0.000272	0.000544	0.000000	0.004890	0.000192	0.624802	0.000000	0.000000
1	21	0.001470	0.862694	0.000333	0.000667	0.000000	0.000736	0.000401	0.626230	0.000000	0.000000

図8「weight」シート(一部)

では311)だけランダムに配置される。

次に、回答(例では584)の中から一つを任意にとりあげる。そのデータは、「kohonen」シートに対応する1列のデータ、584の中の一つである。そのデータは単語数(例では311)だけデータがあるが、そのほとんどが「0」である。しかし、その中である単語が1回用いられると、そのセルには「1」が付される。ここでは、一つの回答に同じ単語の使用数の最大を3にしているため、荷重としては1/3、2回用いられていると2/3、3回以上は1の値が割り当てられる。そのデータセットと自己組織化マップの各セルに割り当てられた値とを照合し、その回答のデータセットに最も近い自己組織化マップのセルが一つ抽出され、そのセルがその回答の位置となる。そして、そのセルやその周辺のセルの荷重を、その回答データと誤差が少なくなるように変化させる。このことにより、周辺のセルの荷重がその回答データに類似した値になる。次に、583の回答の中から他の回答の一つを選び、そのデータと自己組織化マップの各セルに付された荷重とを照合し、最も近いセルの一つを選び、同様の処理を行う。これを「訓練回数」で設定した回数だけ繰り返す。そして、訓練回数が進むにつれて、変化させる周辺のセルの範囲を小さくしていく。このことにより、同じような単語を用いた回答どうしが、近くのセルに配置されるように変化する。

本システムで自己組織化マップを用いる理由は次の通りである。自由記述の内容は、一人一人異なるといえる。そのため、これから記入される未知のものとこれまで記入されたデータを照合しても一致するものがあるとは限らない。どちらかという一致しない場合のほうが多いといえる。したがって、正確に一致させるというより、だいたい一致させるほうがシステムとしては有効にはたらくといえる。コンピュータは、もともと一定の手続きで正確に計算するために作られたものであるため、このだいたいといったことが苦手であるが、それを表現する方法の一つとして、自己組織化マップをあげることができる。このことから、本システムにおいては自己組織化マップを用いることを考えた。

IV まとめおよび今後の課題

本システムである「msom_plus」を用いて、小学生用の自由記述の問題12問、中学生用の自由記述の問題12問の記述データの処理を行った。その結果、各シートにおける処理は適切に行われ、最終的に荷重を求めることができた。今後、これらの自己組織化マップおよびそれに関連するデータをもとに、新たに記述される回答を位置づける処理を行うための入力フォームと、自己組織化マップを用いた出力フォームを作成することが考えられる。

そこで、今後、システム全体については、次の設計を行う予定である。

- ・課題に対する未知の回答の入力→形態素解析→自己組織化マップの荷重との照合→未知の回答の自己組織化マップへの位置づけ→自己組織化マップによる未知の回答の評価と周辺の回答の参照
- ・システムは、教師が子どもの記述内容を入力し、できた結果を評価の参考にする場合と、子どもが直接入力して子どもが評価を参考にするといった両方に対応したものとする。
- ・このシステムは、VB.NETを用いる。

以上のようにして開発したシステムについては、実際に児童・生徒に利用してもらい改善を図ることを考える。さらに、最終的にはweb版を作成することにより、教師や児童・生徒が自由に活用できるようにしたいと考えている。

参考文献および注

- 1) 中山迅・猿田祐嗣：「学習方法からの新教育課程への提言－TIMSSの論述形式課題に対する日本の児童・生徒の回答分析から－」, 日本科学教育学会年会論文集, 26, 49-50, 2002.
- 2) 猿田祐嗣：「科学的論述力と指導法との関連について－国際数学・理科教育動向調査(TIMSS)の国際比較データから－」, 日本科学教育学会年会論文集, 28, 537-538, 2004.
- 3) 中山迅・大場裕子・猿田祐嗣：「TIMSS理科の論述形式課題に対する回答に見る日本の児童・生徒の特徴(7)：9個の課題の分析結果に見られる傾向」, 日本科学教育学会年会論文集, 29, 467-468, 2005.
- 4) 猿田祐嗣：「TIMSS理科の論述形式問題に対する解

- 答に見る日本の児童・生徒の特徴(12): 正答率や無答率の分析による論述形式問題への取り組みの推移」, 日本科学教育学会年会論文集 33, 437-438, 2009。
- 5) 文部科学省: 「小学校学習指導要領解説理科編」, 大日本図書, 1-6, 2008。
- 6) 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。
- 7) 松原道男: 「自己組織化マップを用いた理科授業分析法の開発」, 金沢大学人間社会学域学校教育学類紀要, 2, 37-43, 2010。
- 8) 松原道男: 「平成 19~21 年度科学研究費補助金基盤研究(C)「子どもの科学的表現力の育成を図る評価法と授業分析法の開発」研究成果報告書 (研究代表: 松原道男), 2010。
- 9) 松原道男: 「自己組織化マップを用いた理科教科書内容の分析」, 金沢大学教育学部紀要教育科学編, 57, 11-16, 2008。
- 10) これまでのシステムの開発の経緯については, 次のサイトに解説してある。
<http://www.ed.kanazawa-u.ac.jp/~msom/>