

# 子どもの理科学習におけるアナロジーとメタファー

—科学的な概念の形成との関わりに着目して—

Children's Analogies and Metaphors in Learning Science

:A Focus on the Formations of Scientific Concepts

内ノ倉 真 吾

Shingo UCHINOKURA

（平成21年10月6日受理）

## 1. はじめに

これまで理科教育においては、教師が科学的な概念や現象の説明のために導入するアナロジーやメタファー、子どもが自然理解のために自発的に生成・活用するアナロジーやメタファーなどが、注目を集めてきた。前者については、特定の教育内容に対して、どのようなアナロジーやメタファーがよいのか、という教材論的な研究が展開されてきた。例えば、гентナーとгентナー（1983）は、電気回路の性質を教えるときには、いわゆる、水流モデルと群衆モデルでは、どちらの方が効果的な教材となりうるのか、ということ进行调查した<sup>1)</sup>。このような教材論的な研究からの知見は、実践者からのニーズも多い<sup>2)</sup>。

一方、後者については、学習を学習者の能動的な知識構成として捉える、いわゆる、構成主義的な学習観が興隆して以降、子ども自身が科学的な事物や事象を意味付ける典型的な手段の一つとして、子どものアナロジーやメタファーの内容や生成・活用方法が明らかにされてきた。例えば、クリストドウラ（1997）は、オゾン層とオゾン層破壊を事例にして、子ども達がどのようなメタファーによって概念化しているのか、ということを探っている<sup>3)</sup>。そこでは、物体、物質、人間というカテゴリーのメタファーの頻度が高いことが明らかにされている。これ以外にも、多様な内容領域での子どものアナロジーやメタファーの内容とその生成・活用方法、教師が導入した個々のアナロジーやメタファーに対する子どもの反応（理解や誤解）などの性質が解明されてきた。

しかしながら、子どもの理科学習におけるアナロジーやメタファーに関する研究が質的にも量的にも広がりを見せる中で、それらの研究から得られた知見が、横断的にそして、統一的に把握されているとは言い難い。また、近年、科学的な概念形成のためのアナロジーによる教授法として、教師主導によるアナロジーの導入ばかりではなく、子どもによるアナロジーやメタファーの生成が重要視されるようになってきている<sup>4)</sup>。このような研究動向を踏まえて、本研究では、科学的な概念の形成との関わりに着目して<sup>5)</sup>、子どもの理科学習におけるアナロジーやメタファーの内容や生成・活用方法に関する先行研究を横断的に探り、その知見を整理・総括することにしたい。

## 2. 研究の対象と方法

### 1) 分析対象の論文等の範囲

分析の対象とする範囲は、①理科教育研究の代表的な研究ジャーナルであるヨーロッパの“International Journal of Science Education”とアメリカの“Journal of Research in Science Teaching”と“Science Education”などを収録した各種学術論文データベース、および、日本の『理科教育学研究』、『科学教育研究』において検索可能な論文、②科学的な概念形成を主眼とした理科授業において、子ども（初等学校段階から高等教育段階までの理科学習者）が生成する「アナロジー」と「メタファー」に着目した研究、という観点から設定した。なお、上記①・②以外であっても、子どものアナロジーとメタファーをテーマにした研究として重要と思われる文献も、分析の対象とした。ただし、実際の分析対象にした論文等は、「アナロジー(analogy)」、「メタファー(metaphor)」をタイトル検索語として、各種学術論文データベースにおいて抽出可能な論文の全件調査ではない、という点で制限がある。

### 2) 分析対象としてのアナロジーとメタファー

アナロジー(analogy)とメタファー(metaphor)は、近接する概念である。いずれも既知のもの(ベース)を通じて新奇のもの(ターゲット)を知る認知作用ならびにそのような認知を伴う言語表現といえる。本稿では、分析の実用的な側面から、以下のような基準に基づいて両者を区別する。ベースとターゲットが互換的に用いることができ、比喩性がより低く<sup>6)</sup>、類似性に基づいた比較であると判断できるものに限って、アナロジーとする。一方、ベースとターゲットを互換的に用いることができず、比喩性がより高く、類似性もしくは共起性<sup>7)</sup>に基づいた関連付けであると判断できるものを、メタファーとする。なお、ベースとターゲットとを関係的・構造的な類似性に基づいて対応付けるものは、アナロジーであるとも構造的なメタファーともいえるが、統一して、アナロジーとする<sup>8)</sup>。ただし、基本的には、論文の著者の語法に従うことにする。また、両者の区別が特に必要ではないと判断されるときは、「アナロジー・メタファー」と表記することにする。

以下では、子どものアナロジー・メタファーの生成・活用を分析するために、アナロジー・メタファーの内容、生成様式、理科学習上の機能という観点を設定し、その観点に従って、子どものアナロジー・メタファーの生成・活用の特徴を記述していくことにしたい。

## 3. 子どものアナロジー・メタファーの生成とその内容

### 1) アナロジー・メタファー生成におけるベースの領域性

科学的な探究においても、アナロジー・メタファーは、重要な役割を担っていると考えられている。その役割とは、発見(discovery)、発展(development)、評価(evaluation)、解説(exposition)である<sup>9)</sup>。ホリオークとサガード(1994)は、発見に寄与したものとして、ダーウィンの生物の競争と人口増加<sup>10)</sup>、マックスウェルの電磁気力と流体の力学<sup>11)</sup>、ケクレのベンゼン環とヘビとのアナロジーを挙げている<sup>12)</sup>。このような科学史でのアナロジーでは、研究の対象としている事物・事象とは、一見かけ離れているものに着目することによって、当該事物・事象の性質や規則性を明らかにしたことが、その特徴として指摘されるのである。つまり、ア

ナロジーやメタファーにおける、ベースとターゲットの領域のカテゴリーとその距離が、新たな発見や概念変容の一つの指標になるものとして受け入れられてきたことを意味するのである。理科教育においても、このベースの領域性は、子どもの生成するアナロジー・メタファーを特徴付ける観点とされてきた。

例えば、ブージャウアドとタミン（2000）は、中等学校段階での単元「生物の相互作用」を終えた後に、当該単元での学習内容に関連したアナロジー・メタファーを生成する課題を与え、その選択された領域に見られる特徴を探った<sup>13)</sup>。そのときに得られたアナロジー・メタファーのベースを、日常生活領域と科学的領域の二つに大別し、さらに、各領域を構造とプロセスという観点から細分したところ、表1のように分類することができた。これから、日常生活領域のプロセスをベースとして選択しやすく、科学的領域の構造は選択しにくい、という傾向があることが明らかになったのであった。

表1. 生徒生成アナロジー・メタファーの領域性

ベースの特徴	日常生活領域		科学的領域	
	構造	プロセス	構造	プロセス
割合	26.5%	37.4%	6.7%	20.1%

このことは、一般的に、生徒に意識的にアナロジー・メタファーを生成させる、という学習活動に取り組ませた場合、ターゲットに近い領域<sup>14)</sup>よりも、遠い領域のほうがベースとして選択されやすいことを示している。

その一方で、子ども達がターゲットに近い領域のベースを選択する傾向を示した研究もある。例えば、拙稿では、教師（調査者）から特段アナロジー・メタファーを用いることを求めなくても、子どもが自発的に生成するアナロジー・メタファーの内容とそのベースの領域性を探った<sup>15)</sup>。そこでは、中学生および高校生を対象にして、加熱によって氷が融解するときの温度変化とその理由を説明する、という課題が与えられた。その課題に対するインタビュー調査では、生徒48名のうち19名（39.6%）が、当該現象の説明過程において、アナロジー・メタファーを生成・活用していることが明らかになった。具体的なアナロジー・メタファーとしては、蒸発とのアナロジー（表2）、反発・遮断のメタファー（図1）などが特定された<sup>16)</sup>。

表2. 蒸発とのアナロジーのプロトコル

0℃になると、温度が上がらないのは、多分、水だったら100℃で、沸点に達すると、液体から気体になるから、その間は常に、状態変化が起きているから、温度も上がり下がりしないで、一定のままだから、氷も同じように、そういう状態変化が起きているから、固体から液体に変わっているのかなと、思っ

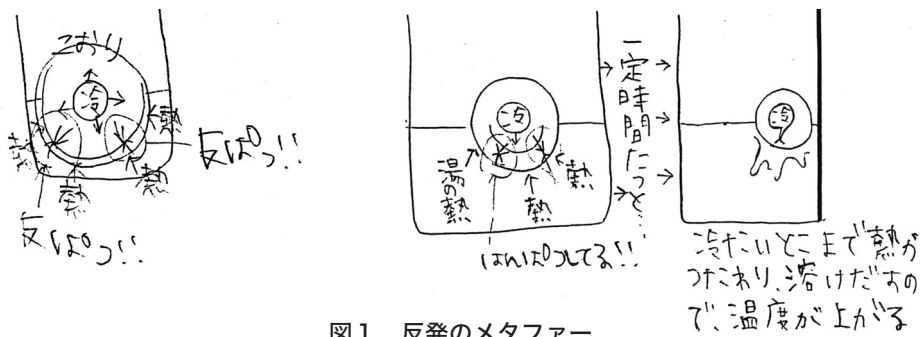


図1. 反発のメタファー

アナロジー・メタファーの領域性という点で見れば、ベース領域は、必ずしもターゲットから離れた領域が選択されているわけではなかった。むしろ、同一領域もしくは近接領域のベースが選択される傾向にあったのである(表3)。

表3. 生徒が選択したベースの領域性

領域の距離	ベース領域の種類	計数	割合
同一領域	状態変化	5	25.0
近接領域	熱力学的な領域*	4	20.0
	力学的な領域	4	20.0
	化学的な領域	2	10.0
遠隔領域	生物学的な領域	1	5.0
	日常生活的な領域	4	20.0
合 計		20	100%

\*ただし、状態変化を除く。

子どもが、学習活動として意識的にアナロジー・メタファーを生成した場合と、自発的に生成した場合を比較すると、両者の間にはベースの領域性の差異が見られるのである。つまり、アナロジー・メタファーを生成する状況(コンテキスト)によって、選択するベースの領域性に変化が見られる。このような傾向は、科学者のアナロジー・メタファー生成にも見られるのである。国際的に活躍している分子生物学の研究室を参与観察したダンバール(1998)によれば、科学者が日常的に使っているアナロジーには、研究対象であるターゲットと近いものがベースとして選択され、しかも、そのアナロジーは、研究の過程で忘れ去られやすい、という<sup>17)</sup>。生理学のエキスパートとノービスが生成するアナロジーを比較したカウフマン(1998)によっても、熟達度が高いほど、ベースとターゲットの距離が近いアナロジーを生成しやすいことが明らかにされている<sup>18)</sup>。このエキスパートとノービスとの差異は、ノービスの方が、説明すべき事物・事象のみならず、それに関連する背景的な知識が少なく、ターゲットから離れたベースという既存の知識を利用せざるを得ないために生じるもの、として考えられている。その一方で、ダンバール(1998)によると、科学者にアナロジーのことを改めて意識的に問うと、ベースとターゲットが異なる領域の事例を挙げる傾向が見られる<sup>19)</sup>。

いずれにせよ、子どもであっても、科学者であっても、アナロジー・メタファーを生成するコンテキストによって、ベースとターゲットの距離は、変化しうるものである。そして、このベースの領域性は、必ずしも熟達度を反映するものとは限らないのである。

## 2) アナロジー・メタファーの生成様式

アナロジー・メタファーのベースの領域性が変化することは、コンテキストによる影響だけではなく、アナロジー・メタファーの生成における、異なる認知プロセスが関わっていることも指摘されている。エキスパートの問題解決過程を思考発話法から探ったクレメント(2008)は、アナロジーの生成における認知プロセスのタイプとして、(a)原理を経ての生成(generation via a principle)、(b)連想を経ての生成(generation via an association)、(c)変形を経ての生成(generation via a transformation)を挙げている<sup>20)</sup>。

(a)原理を経ての生成の場合は、「元々の問題状況Aが、確立された等式もしくは原理の一例である、という第一の認識によって形成される、ということを示唆している。類似した状況Bは、

原理Pの第二の事例として想起もしくは生成されるのである」<sup>21)</sup>。原理を経てアナロジーが生成するという認知プロセスは、鈴木 (1996) が提案した「準抽象化理論」との類似性が見られる(図2)。当該理論によれば、アナロジーの生成・活用の目標や文脈が観点として設定され、「抽象化」(されたもの) が検索されることによって、ベースとターゲットの類似性が認識される<sup>22)</sup>。そして、アナロジーの認知プロセスは、各要素を個々に対応付ける、いわゆる、「写像(mapping)」ではなく、一種の演繹的な推論と見なせるのである<sup>23)</sup>。

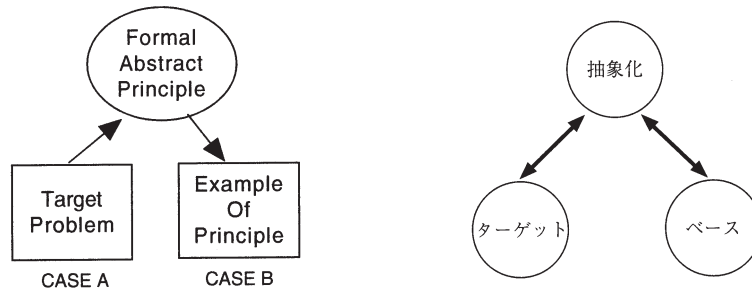


図2. 「原理を経ての生成」と「準抽象化による類推」との比較

一方、クレメントの観察によると、アナロジー生成の主要な認知様式は、(b)連想を経ての生成と、(c)変形を経ての生成であった。(b)連想を経ての生成の場合は、「記憶の中にあるアナログ事例Bを思い出すのである。そのようなアナログ事例は、多くの意味で、元々の問題とは異なっているかもしれないが、元々の状況と共通する重要な特徴だけはもっているのである」(図3)<sup>24)</sup>。また、クレメントによれば、ベースがターゲットとは異なっているという事実は、確立されたBが、長期記憶の中で連想的(associative)に活性化されている、ということを示唆しているのである。したがって、連想的なアナロジーは、Aとはほとんど共有する特徴のないという意味で、後述の変形によって生成されたものに比べて、もともとの状況とは概念的に「離れて」いる傾向にある<sup>25)</sup>。

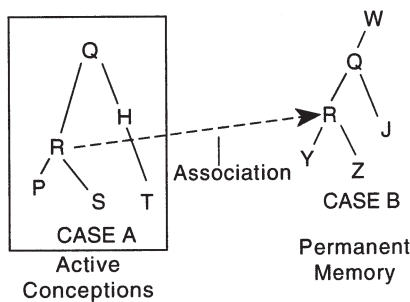


図3. 連想を経てのアナロジーの生成

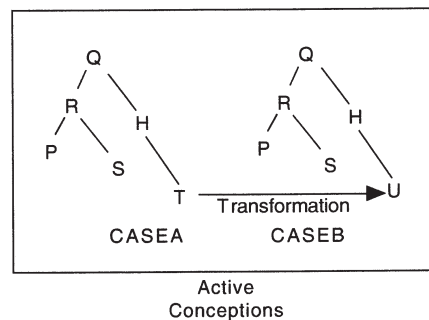


図4. 変形を経てのアナロジーの生成

それに対して、(c)変形を経ての生成の場合では、「元々の状況Aを修正し、それによって、以前は固定されていると仮定された、いくつかの特徴を変化させることによって、アナログ状況Bを作り出す」のである(図4)<sup>26)</sup>。したがって、変形によってアナロジーを生成した場合は、ターゲットに近いものがベースとして構成もしくは選択されることになる。(b)連想を経ての生成と(c)変形を経ての生成は、必ずしもエキスパートに特有な認知プロセスではなく、熟達度の低いノービスにも共通するような認知プロセスである<sup>27)</sup>。例えば、高校生が水の状態変化を説明するとき考えた、コップの中の水と氷とのアナロジー(表4)<sup>28)</sup>は、ターゲットの変形を

経て生成されたものと見なせる。

表4. 冷却とのアナロジーのプロトコル

例えば、飲み物とかになまるい液体、飲み物入れたとして、氷を入れると、その氷のお陰で飲み物が冷たくなる。でしょ。そしたら、中に入っている液体っていうのは、自分がはじめもっててコップに入れる前の液体より温度が冷えているってことだから、つまり、その氷が水を冷やしているってことだから、もとあった温度よりも冷たくなる。

このアナロジーでは、ガスバーナーでピーカーの中の氷と水が加熱されている状況から、加熱源としてのガスバーナーが除かれて、コップの中にある氷が水を冷却している状況へと変形されていることが分かる。つまり、ターゲットを単純化するなどの変形によって、ベースが検索されているのである。もちろん、このアナロジーでは、ターゲットの変形の過程で、熱の移動する方向などが見失われてしまったために、水の温度が融点で一定であることを説明できないだけではなく、融点までの温度上昇との潜在的な矛盾（氷が冷やすのであれば、そもそも温度は上がらない）などを引き起こしているのである。このように、生成したアナロジーの質の問題は別にしても、変形を経たアナロジーを生成する、という認知プロセスは、子どもにも共通するものと考えられるのである。

### 3) 存在論的なメタファーと擬人化

認知言語学という新規の研究領域の開拓に大きな影響を及ぼした、レイコフとジョンソン(1980)は、「言語活動のみならず、思考や行動にいたるまで、日常の営みのあらゆるところにメタファーが浸透している。普段ものを考えたり、行動したりする際に基づいている概念体系の本質は、根本的にメタファーにより成り立っている」と、人間の思考と行動がレトリック性を帯びていることを指摘した<sup>29)</sup>。そして、身体経験を基盤にして構成され、思考や行動を枠付けるメタファーとして、「構造的メタファー (structural metaphors)」、「方向付けのメタファー (orientational metaphors)」、「存在論的メタファー (ontological metaphors)」などを提案したのであった。ちなみに、構造的メタファーとは、ある概念が、他の概念に基づいたメタファーによって構造を与えられているものである<sup>30)</sup>。方向付けのメタファーとは、ある概念が他の概念に基づいて構造を与えられているのではなく、概念同士が互に関係し合って、一つの全体的な概念体系を構成しているものである<sup>31)</sup>。存在論的なメタファーとは、出来事や活動、感情や考えを存在物や内容物として捉えるものである<sup>32)</sup>。なお、これらのメタファーでは、一般的に、ベースの領域はターゲットから離れている。

上述の認知言語学研究の知見は、理科教育における子どもの自然認識研究にも影響を及ぼすものであった<sup>33)</sup>。子どもの自然理解で見られる特徴として、構造的メタファーや方向付けのメタファーに比べて、存在論的なメタファーの実態が、多様な内容領域で盛んに調査されてきた<sup>34)</sup>。例えば、中山(1998)は、小学生を対象にして、日光によってもものが温まる現象について<sup>35)</sup>、中山・宮川(1999)は、小学生と中学生を対象にして、2つの磁石間に働く力について<sup>36)</sup>、子ども達の自然理解を支える存在論的なメタファーを実証的に明らかにした。

子ども達が生成するアナロジー・メタファーでは、人間をベースとして選択するもの、つまり、擬人化が多く見られる。「擬人化 (personification)」とは、最も明白な存在論的なメタファーといえるのである<sup>37)</sup>。幼児期の子どもの生物・無生物の認識には、アニミズム的な傾向が

あることはよく知られているが<sup>38)</sup>、松田・中山（1998）は、青少年期にある中学生であっても、生物・無生物のいずれも擬人化することを通じて、両者を分類することを明らかにした<sup>39)</sup>。子どもの擬人化傾向は、生物領域に限ったものではなく、化学領域などでも共通するものである。例えば、ターバーとワッツ（1996）は、中等学校後期段階の生徒らが、化学結合について語る際に、擬人化が数多く見られることを報告した（表5）<sup>40)</sup>。そして、同じ擬人化であっても、原子や電子などに人間的な特性を意識的に付与することになるメタファーと、そうではない形式的なメタファーの2つに区別できると指摘している。前者は、創造的な生きたメタファーであり、後者は、いわゆる、「死んだメタファー」<sup>41)</sup>に相当するものと考えてよいであろう。なお、ここで挙げられたメタファーは、統語論的な観点から、「連語的隠喩」に分類できるものである<sup>42)</sup>。

表5. 化学結合の擬人的メタファー

<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2つの正電荷は常に、互いを排斥する。なぜなら、それらは異なる電荷であり、互いに好きではないからだ。</li> <li>・ ナトリウム原子は、塩素原子に自分の電子を一つ貸している。</li> <li>・ 加熱もしくは沸騰させるとき、アルゴン原子は望めば自由に移動できる。</li> <li>・ 炭素原子と窒素原子は、電子のように互いのそれ（軌道）に引きたいと思ひ、安定であるように<u>なりたいたいと思ひ</u>。それに対して、ネオンは、<u>必要なことは既に満たしてきた</u>。</li> <li>・ 原子は、より低いエネルギー水準になりたいたい。</li> <li>・ 電子（異なって遮蔽される）は、異なる原子の<u>ものである</u>。</li> </ul>
---

化学結合をはじめとする、原子・分子の擬人化は、コールとトリガースト（2001）でも報告されている<sup>43)</sup>。大学生を調査した場合であっても、擬人化が見られる<sup>44)</sup>。このことからして、擬人化は、子どもの発達段階にのみに依存する傾向とは一概に言えない。科学史を参照すれば、古代ギリシア的自然観のような自然の擬人主義は、近代科学が成立していく過程で、徐々に排斥されてきた、という思想史的な背景も指摘できるであろう<sup>45)</sup>。また、人間を自然の一部として捉える日本の自然観の影響も排除できないかもしれない。加えて、広い視野から捉えれば、メタファーは、社会文化的な要因にも影響される、ということも示唆される<sup>46)</sup>。もちろん、子どものメタファーの意味するものを捉える上では、認知的な側面だけではなく、情意的な側面での影響も無視することはできないであろう<sup>47)</sup>。いずれにせよ、擬人的なメタファーは、複合的な要因に影響を受けていると考えられつつも、幅広い学校段階での子どもにとって、一般的なものであることは間違いない。

一方、教師自身も、子どもが科学的な事物・事象を擬人化する傾向を経験的に捉えているようであり、擬人的なアナロジーやメタファーが有効である、という認識をもっている<sup>48)</sup>。擬人的なメタファーの活用は、物理や化学に苦手意識もつ女子に対しての理科学習を促進するという観点からも、その有効性が指摘されている。ワッツとベントリー（1994）は、科学のもつ機械論的な性質が女子の理科学習を阻んでいる要因でもあることを白日のものにした科学論研究の知見から、理科での説明にアニミズム的・擬人的な説明（メタファーも含む）を増やすことによって、女子の理科学習が促進できると理論付けている<sup>49)</sup>。ちなみに、ピットマン（1999）によると、女子が生成するアナロジーのベースの選択内容や言語表現には、男子との差異が見られることが指摘されており、アナロジー・メタファー生成においても性差があることが示唆される<sup>50)</sup>。

#### 4. 子どものアナロジー・メタファーの活用とその性質

##### 1) 自己説明としてのアナロジー・メタファーの活用

これまで問題解決の過程において、学習者が、自分自身を対象にして説明する活動である「自己説明 (Self-Explanation)」<sup>51)</sup>という、学習ストラテジーの有効性が明らかにされてきた。説明という言葉行為の対象、すなわち、オーディエンス (audience) を自分自身に設定すれば、「自己説明」であり、自分以外の他者に設定すれば、「他者説明」、つまり、一般的な説明である。

理科学習における自己説明研究の先駆けとなったちら (1989) によれば、物理学の問題事例を学ぶときに、考えていることを言語化した場合、行為の条件の洗練・拡張、その行為の順序付け、一連の行為の目標設定、量的な表現の意味付けなどを、数多く説明した学習者ほど、その後の問題解決に成功しているのであった<sup>52)</sup>。クレメント (1989) は、学習者が、問題解決の過程を言語化する際に、自発的にアナロジー・メタファーを生成していることを明らかにした<sup>53)</sup>。さらに、筆者は、生徒の説明の構成過程を検討することを通じて、自発的に生成したアナロジー・メタファーには、結果の一般化や既存の知識の精緻化などの機能があることを指摘した<sup>54)</sup>。しかも、この生徒が生成したアナロジー・メタファーは、問題解決過程や説明の構成過程という限られた時間的な範囲でのみ機能しているのではなく、科学的な事物や事象についての概念的な理解の一部を形成する働きを担っていた<sup>55)</sup>。そこでは、理科系大学生を対象にした、自分自身の理科学習とアナロジー・メタファーの活用をリフレクションするインタビュー調査から、自己説明としてのアナロジー・メタファーには、多様な活用と機能があることが浮かび上がってきたのであった<sup>56)</sup>。例えば、大学生Aは、電気分解での通電現象の理解状態をメタ認知して、電子を擬人化することで、当該現象を理解していた (表6)。

表6. 大学生Aのインタビュープロトコル

まず電気って何かあって考えて、イオンが動いたりするんだ、あ電子が移動することに電気が起こるんだって思って。でそれから、じゃあどうやってその電子は動いたんだろうってことになって、なにかその電子をこう、電子のなんかこう私の中で、概念的にまだちゃん定かではないから、もっと私のわかりやすい形に置き換えられないかなあと思ったときに、電子は子どもかなって。あはは、ふって思って。

また、大学生Bは、物質の三態での原子・分子の状態を、教室の生徒の見立てることで理解している一方で、そのメタファーでは、理解できない部分 (例えば、沸点での温度変化など) は、別のメタファーを活用していた (表7)。

表7. 大学生Bのインタビュープロトコル

先生がなんか、固体の時の教室での生徒というのは、教室の生徒はこう席順が決まっているじゃないですか？で、先生がいるから、その状態ではちょっとでしか、ちょっとしか動けない。そういう束縛が働いている。で、液体って休み時間で、休み時間は学校のなかぐらいいか走りえない。でも、固体よりはずっと動きまわられる。で、えー、放課後になるともうどこに行っているのかわからないって状況って言えて。(中略)

(調査者から、教室のメタファーの問題点を指摘されて)  
ああ、これだこの間の説明にならないんですね。この部分の説明にならないなと思います。だから、ここの部分は、他の概念で補っていますかね。だから、ここの熱の部分っていうのは、今度はやかん。ここはやかんで。



これらの事例からも示唆されるように、自己説明としてのアナロジー・メタファーは、日常的に生成され、しかも柔軟で機能的に活用できれば、科学的な事物・事象の理解を促進する上で、効果的な学習ストラテジーである、と考えられるのである。

## 2) コミュニケーション活動におけるアナロジー・メタファーの活用

これまで述べてきたように、子どもが、科学的な事物や事象についての理解を深めるために、アナロジーやメタファーを自発的に生成することがある。その時のアナロジーやメタファーによる説明は、個人内での説明に留まるだけではなく、教師やクラス全体へと投げかけられることがある。このような言語活動は、自分自身の考えの正当性を説明することだけではなく、広くコミュニケーション活動を促進することになる。

例えば、コスグローブ（1995）は、中等学校段階の電気単元において、偶発的に生徒自身が生成したアナロジーによって、電気回路の探究活動やコミュニケーション活動が促進・活性化されたことを報告している<sup>57)</sup>。そこでは、電池と豆電球からなる回路での、電流の測定を終えて、その結果を解釈する過程で、偶然ながらも、一人の生徒が、電流をトラックに、エネルギーを石炭に見立てた、石炭トラックとのアナロジー（表8）を思いついたのであった。これは、電気回路での典型的なミスコンセプションである「消耗モデル」（電球で電流が消費される）を克服するためのアナロジーとして、よく知られたものに類似している<sup>58)</sup>。

表8. 石炭トラックのアナロジーの対応関係

ベース	ターゲット
トラック	電 流
石 炭	エネルギー
荷下ろし場	電 球
道 路	導 線

その生徒から提案されたアナロジーに基づいて、いかに実験結果や電気回路の性質が説明できるのか、ということに授業の関心が向けられるようになった。例えば、電球が2つある場合は、それぞれの電球のところで、半分ずつ石炭（エネルギー）がトラック（電流）から降ろされる、という意見や、電池のところからトラックが発射するのであれば、スイッチを入れると瞬時に電球が点灯することが説明できないのではないか、という新たな疑問が提出されたのであった。そして、当該アナロジーについての議論の過程では、「抵抗」や「エネルギー」の考えの萌芽が見られるようになり、当初のアナロジーの限界を克服するために、別のアナロジー（電荷をもった粒子モデルや水流モデルなど）が考え出された。このような学習過程を経て、子ども達の概念的な理解が深まっただけではなく、学習への主体性や自尊心が高まったことが確認された。

アナロジー・メタファーは、対象とする事物・事象とは同一ではないために、それ自体の質の良し悪し如何に関わらず、本質的に限界がある。このために、いかにアナロジー・メタファーに基づいた理解をモニタリング、コントロールするのか、というメタ認知的な活動が重要となる。上述のように、アナロジーやメタファーに基づいたコミュニケーション活動では、他者の存在が、メタ認知的な機能を持ち、アナロジーやメタファーの生成、評価、修正などを促進する役割を担っているのである。メイ（2006）によれば、このような社会的な相互作用による、メタ認知的な機能は、初等学校段階の児童のコミュニケーション活動にも見られ、アナロジー・

メタファーの意味内容の精緻化を促進するのであった<sup>59)</sup>。その一方で、イエリックら (2003) は、大学生であっても、グループでの議論が、メタ認知的な機能として働かずに、アナロジーの意味内容を過度に一般化するなどの問題点も指摘している<sup>60)</sup>。これらのことからして、子どもの発達段階に限らず、グループでの議論とアナロジー・メタファーに基づいたコミュニケーション活動には、収束的な思考と拡散的な思考の双方を促進する二面性がある、といえよう。

### 3) 学習ストラテジーとしてのアナロジーの生成

子どもによるアナロジー生成活動を学習ストラテジーとして位置付け、その学習効果が実証的に明らかにされてきた。ウォン (1993) は、教職課程の大学生を対象にして、ノズルを覆った状態のシリンジの押子を押したり、引いたりすることで生じる現象 (加圧、減圧、平衡) を課題 (図5) にして、アナロジーの生成を伴った自己説明による概念的な理解の促進効果を探った<sup>61)</sup>。そこでは、①科学的な現象の説明、②その説明の評価と不適切箇所の指摘、③当該現象を説明するアナロジーの生成 (例えば、大学生のプロトコルは、表9を参照)、④そのアナロジーの評価 (「いかにXがYに似ているのか」、「いかにXがYとは異なっているのか」)、⑤アナロジーの修正もしくは新規生成、という手順が設定された。

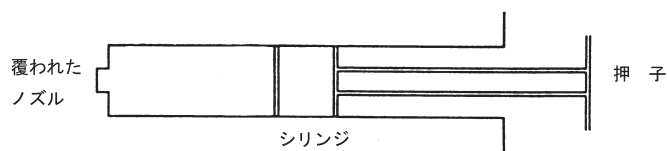


図5. アナロジー生成の課題：シリンジ内の気体

表9. アナロジー生成活動中の大学生のプロトコル

そうだ、アナロジーを思いついた。それは部屋の中にいる込み入っている人のようなものである。言え、シリンジの中に100人がいました。今私がこのプランジャーを押しているが、ドアを閉めています。壁の一方が中へ動いています。そう、100人全員は一緒に近づかなければならなくなっています。しかし、私が壁を動かし始める前は、パーティーのときのように彼らは全て混ざり合っていました。壁が動き始めた。彼らは今お互いに消灯する状態にあるなぜなら、彼らにとって混ざり合っているための空間が少なくなっている。そう、彼らはまたこの壁に向かって衝突し始める。壁より近づいて来ているとき、彼らはもっと頻繁に壁に衝突し続けている。押している性質がそれを戻す。

アナロジー生成活動という学習ストラテジーは、アナロジーを生成しただけで終わるものではなく、むしろ、アナロジーの生成・評価・修正という動的なサイクルを繰り返すことで、新しい説明の構築、自分なりの疑問の発見など、概念的な理解が促進されることが明らかになった。仮に、学習者がターゲットやそれに関連する背景的な知識を十分にもっていなかったとしても、アナロジーの生成による自己説明ができるのである<sup>62)</sup>。

一方、スピアーダンスら (2005) は、化学専攻の大学生を対象にして、アナロジー生成活動とグループやクラスでのコミュニケーション活動を取り入れた授業実践を行った<sup>63)</sup>。そこでは、①科学的な知識 (ハロゲンの性質) の学習、②アナロジーの性質や生成方法の理解・習得、③学生自身によるアナロジーの生成、④各自の考えたアナロジーをグループで議論、④各自の考えたアナロジーをクラス全体で議論、⑥対象とする科学的な事物・事象にとって妥当なアナロジーの決定、という手続きが設定された。

このような学生によるアナロジー生成活動とコミュニケーション活動を取り入れたクラスと、同じ教師が科学的な知識を教授し、教師が考えたアナロジーを導入し、それについて学生と議論したクラスとを比較したところ、前者のクラスの学生の方が概念的な理解が優れていることが明らかとなった。特に、学力の低い学生に顕著な効果が見られた。

## 5. おわりに

これまで多様な内容領域、校種段階において、子ども達のアナロジー・メタファーの性質が明らかにされてきた。本稿では、先行研究の結果を分析・検討することを通じて、科学的な概念の形成との関わりという観点から、子どもによるアナロジー・メタファーの生成とその内容、そして、活用方法の特質を探った。その結果として、次のような特質を抽出することができた。

第一に、ベース（見立てるもの）とターゲット（見立てられるもの）との距離は、アナロジー・メタファーの生成が求められるコンテキストや、その生成の認知プロセスによって変化する状況性や可変性という性質をもつことが明らかとなった。このような性質は、必ずしも熟達度に依存するものではなく、質的・量的な差異があるものの、学習途上の子どもでも同様の認知的スキルを身に付けうることを示唆される。

第二に、ベースとターゲットとの距離が離れているアナロジー・メタファーとして、各内容領域や校種段階に関係なく、多種多様な擬人化が見られることが確認された。同じ擬人化に分類できるものであっても、新奇性や創造性が感じられない比喩性の低いメタファーなどもあるため、この擬人化の多用傾向は、単純に発達段階の観点から説明されるものではなく、自然認識の発展史や社会文化的な背景、言語環境などの複合的な要因に規定されているもの、と考えられる。

第三に、子どもが自分自身を対象として、アナロジー・メタファーを伴った説明を考えているとき、科学的な知識が精緻化されるなどの概念的な理解が深まることが明らかとなった。また、アナロジー・メタファーによる自己説明は、問題解決場面や説明の構成過程という短期的な範囲だけではなく、場合によっては、連続的もしくは不連続的な形での展開を遂げながら、長期的に活用されうるのであった。

第四に、子どもに意識的にアナロジー・メタファーを生成させることは、概念的な理解の促進や新たな疑問の創出など、効果的な教授ストラテジー（子どもにとっては、学習ストラテジー）の一つとして位置付けられることが分かった。その際、グループでの議論などの社会的な相互作用が、アナロジー・メタファーの意味内容の精緻化や新しいアナロジー・メタファーの生成など、思考の収束的な側面と拡散的な側面の双方を刺激しうることを確認された。

以上のように、子どものアナロジー・メタファーの生成・活用的一端が明らかにされてきた。しかしながら、子どものアナロジー・メタファーの生成・活用を規定するコンテキスト的要因（例えば、理科授業の流れ、理科教育観・科学観、社会・文化的環境など）や、認知的な要因（例えば、アナロジー・メタファーの生成・活用の認知スキルの具体的な内容とその育成方法など）など、まだまだ検討すべきことは多く、これらは今後の課題と言えよう。

## 付記

本研究の一部は、科学研究費（課題番号21730691）の助成により行われたものである。

## 引用文献および註

- 1) Gentner, D., Gentner, D. R., “Mental Models of Electricity”, in Gentner & Stevens (eds.), *Mental Models*, pp. 111-119, 1983, Lawrence Erlbaum Associates (邦訳書、淵一博 (監修)、『メンタル・モデルと知識表現』、53-61頁、1986、共立出版)。
- 2) 中等教育段階での理科授業で利用可能なアナロジーが、以下で紹介されている。Harrison, A., Coll, R. K., *Using Analogies in Middle & Secondary Science Classrooms: The Far Guide-an Interesting Way to Teach with Analogies*, 2007, Corwin Press.
- 3) Christidou, V., Koulaidis, V., Christidis, T., “Children’s Use of Metaphors in Relation to their Mental Models: The Case of the Ozone Layer and its Depletion”, *Research in Science Education*, 27(4), pp. 541-552, 1997.
- 4) 例えば、オリバラ (2007) は、理科授業でのアナロジーの活用形態として、教師主導によるアナロジーの提示から、生徒自身によるアナロジーの生成などを通じて、教師と生徒との相互作用によるアナロジーの生成へ、と展開していくモデルを提案している。Oliva, J. M. et al., “Teaching Models in the Use of Analogies as a Resource in the Science Classroom”, *International Journal of Science Education*, 29(15), pp. 60-62, 2007.
- 5) 子どもが生成するアナロジー・メタファーは、科学的な概念に関わるものばかりではなく、理科学習や理科教師、科学に関わるものなどの多岐にわたる。例えば、子どもの理科学習観をメタファーとして探ったものとして、以下のものがある。Thomas, G. P., McRobbie, C. J., “Using Metaphor to Probe Students’ Conceptions of Chemistry Learning”, *International Journal of Science Education*, 21(6), pp. 667-685, 1999.
- 6) 一般的に、ターゲットとベースの領域が相互に離れるほど、アナロジーの比喩性は、高くなる傾向にある。Holyoak, K. J., Thagard, P., *Mental Leaps: Analogy in Creative Thought*, p. 220, 1995, The MIT Press (邦訳書、鈴木宏昭、河原哲雄:監訳、『アナロジーの力ー認知科学の新しい探究ー』、364頁、1998、新曜社)。
- 7) 谷口 (2006) によると、メタファーのベースとターゲットの対応付け (写像) は、二つの領域の類似性だけではなく、共起性 (近接性) に基づくこともある。谷口一美、『認知言語学』、79-81頁、2006、ひつじ書房。
- 8) 瀬戸賢一、『メタファー思考』、187頁、1995、講談社。
- 9) Holyoak, K. J., Thagard, P., *Mental Leaps: Analogy in Creative Thought*, p. 189, 1994 The MIT Press (邦訳、鈴木宏昭、他訳、『アナロジーの力ー 認知科学の新しい探求』、315頁、1998、新曜社)。
- 10) ダーウィンのメタファーについては、例えば、以下のような研究がある。Pramling, N., “The Role of Metaphor in Darwin and the Implications for Teaching Evolution”, *Science Education*, 93(3), pp. 535-547, 2009.
- 11) マックスウェルのアナロジーについては、例えば、以下のような研究がある。Silva, C. C., “The Role of Models and Analogies in the Electromagnetic Theory: A Historical Case Study”, *Science and Education*, 16, pp. 835-848, 2007.
- 12) これらのアナロジーが、科学的な発見に直接的に寄与したのか、という点には、科学史家から疑義が出されている。例えば、松永 (2009) は、ダーウィン進化論には、マルサスの

人口論の影響があったという理解は、科学史研究の知見を離れた、世界的に流布している神話にすぎないと指摘している。松永俊男、「日本におけるダーウィン理解の誤り」、『現代思想』、37(5)、48-49頁、2009、青土社。

- 13) BouJaoude, S., Tamin, R., “Analogies Generated by Middle-School Science Students—Types and Usefulness”, *School Science Review*, 82(299), pp. 57-63, 2000.
- 14) 植田 (2000) によれば、ターゲットとベースの距離とは、個人の目的などに依存してしまうため、単純に領域間の距離の関係を議論できない、という。植田一博、「科学者の類推による発見」、『人工知能学会誌』、15(4)、608-617頁、2000。このような見解も考慮に入れた上で、本稿では、二つの領域間の距離とは、個人の心理的なアクセスの問題とは区別して、一般的な意味で、知識の体系性という学問領域間の関係性を表すものとして扱うことにしたい。他の先行研究も同様の観点に立っていると考えると差し支えない。
- 15) 拙稿、「生徒の科学的現象の説明におけるアナロジー・メタファーの生成—その内容選択と機能に着目して—」、『日本教科教育学会誌』、32(2)、1-10頁、2009。
- 16) 拙稿、「高校生のアナロジー・メタファーによる科学的現象の説明とその視点—物質の状態変化の説明を事例にして—」、『日本科学教育学会研究会研究報告』、21(5)、105-110頁、2007。
- 17) ダンバー (著)、山崎治 (訳)、「科学者の思考法」、岡田 猛 (他、編著)、『科学を考える—人工知能からカルチュラル・スタディーズまで14の視点』、39-40頁、1999、北大路書房。
- 18) Kaufman, D.R. et al. , “The Explanatory Role of Spontaneously Generated Analogies in Reasoning about Physiological Concepts”, *International Journal of Science Education*, 18(3), pp. 369-386, 1996.
- 19) ダンバー (1999)、前掲書17)、53頁。
- 20) Clement, J., *Creative Model Construction in Scientists and Students*, pp. 37-40, 2008, Springer.
- 21) Clement(2008), *ibid.*, p. 37.
- 22) 鈴木宏昭、『類似と思考』、84-88頁、1996、共立出版。
- 23) 鈴木 (1996)、同上書、90頁。
- 24) Clement(2008), *op. cit.* 20), p. 39.
- 25) Clement(2008), *op. cit.* 20), pp. 39-40.
- 26) Clement(2008), *op. cit.* 20), p. 38.
- 27) Clement(2008), *op. cit.* 20), p. 136.
- 28) 拙稿、前掲論文15)。
- 29) Lakoff, G., Johnson, M., *Metaphors We Live By*, p. 3, 1980, University of Chicago Press (邦訳書、渡辺昇一、他訳、『レトリックと人生』、3頁、1986、大修館書店)。
- 30) Lakoff & Johnson(1980), *ibid.*, p. 14 (邦訳書、18頁)。レイコフらによると、その一例として、「時間を浪費している」などのより具体的なメタファー群から構成される「時は金なり」という構造的なメタファーが挙げられる。
- 31) Lakoff & Johnson(1980), *op. cit.* 29), pp. 14-14 (邦訳書、18-19頁)。レイコフらによると、「楽しいは上、悲しいは下」という方向性を示すものとして、「気分が上々だ」という例が挙げられる。

- 32) Lakoff & Johnson(1980), op. cit. 29), pp. 25-26 (邦訳書、38-39頁) . レイコフらによると、「インフレは一つの存在物である」という存在論的なカテゴリーの転換を示すものとして、「インフレが我々の生活水準を低下させている」という例が挙げられる。
- 33) レイコフらの影響を受けた理科教育研究として、例えば、中山迅、「子どもの科学概念の比喩的な構成」、『科学教育研究』、22(1)、12-21頁、1998が挙げられる。
- 34) 拙稿では、高校生の化学電池の理解に、方向付けのメタファーが見られることを指摘した。拙稿、「教師のメタファー活用による高校生のダニエル電池の誤解の発生- 電極間での電子の移動の学習に着目して- 」、『理科教育学研究』、49(1)、23-33頁、2008。
- 35) 中山迅、「日光によるものあたたまりについて小学生が比喩的に構成する概念」、『科学教育研究』、22(2)、61-68頁、1998。
- 36) 中山迅、宮川雄司、「小・中学生の力概念の基底としての存在メタファ」、『科学教育研究』、23(2)、81-89頁、1999。
- 37) Lakoff & Johnson(1980), op. cit. 29), pp. 33-34 (邦訳書、50-52頁) .
- 38) S. ケアリー (著)、小島康次、小林好和 (訳)、『子どもは小さな科学者か-J. ピアジェ理論の再考-』、93-136頁、1994、ミネルヴァ書房。
- 39) 松田健一、中山迅、「擬人化的メタファによる中学生の生物概念」、『日本科学教育学会研究会研究報告』、13(3)、19-24頁、1998。
- 40) Taber, K. S., Watts, M. , “The Secret Life of the Chemical bond: Students’ Anthropomorphic and Animistic References to Bonding”, *International Journal of Science Education*, 18(5), pp. 557-568, 1996.
- 41) 一般的に言って、死んだメタファーとは、かつては生きたメタファーであったものが、通時的に見て、言語的な知識の中に沈殿し、広く流通していく過程で、新奇性・創造性などを含んだ比喩性自体が、ほとんど感じられなくなったものである。
- 42) 山中 (1994) によれば、すべての隠喩 (メタファー) が二項関係 (ベースとターゲット) を基盤にして成立し、「連語的隠喩」と「等式的隠喩」に分類できる。前者は、言語表現したときに、二項関係の一方に共義的な (syncategorematic) 要素をもつ隠喩であり (例、熱をもっている)、後者は、二項とも自義的な (categoremata) 的な要素をもつ隠喩である (例、熱は、物質である)。山中桂一、「意味の修辞学」、池上嘉彦、山中桂一、唐須教光、『文化記号論- ことばのコードと文化のコード』、151-152頁、講談社、1994。
- 43) Coll, R. K., Treagust, D. F., “Learner’ s Use of Analogy and Alternative Conceptions for Chemical Bonding: A Cross - Age Study”, *Australian Science Teachers’ Journal*, 48(1), pp. 24-32, 2001.
- 44) 里岡亜紀、中山迅、「大学生の熱概念に関する研究- 複数の比喩を用いた調査を通した- 」、『宮崎大学教育学部教育実践研究指導センター研究紀要』、4、1-11頁、1997。
- 45) 伊藤俊太郎、広重徹、村上陽一郎、『改訂新版 思想史のなかの科学』、117-121頁、2002、平凡社。
- 46) ヒューソン (著)、「コンセプションの起源における知的環境の役割:探索的研究」、ウエスト、パインズ (編)、進藤公夫 (監訳)、『認知構造と概念転換』、196-201頁、1994、東洋館出版。
- 47) 森本信也、尾崎幸哉、「子どもの自然認識におけるメタファー表現の意味するもの」、『日本

- 理科教育学会研究紀要』、35(3)、1-9頁、1995。
- 48) 拙稿、「理科授業における教師のメタファー活用の特徴-メタファーの機能についての認識に着目して-」、『筑波教育学研究』、5、1-19頁、2007。
- 49) Watts, M., Bentley D., “Humanizing and Feminizing School Science: Reviving Anthropomorphic and Animistic Thinking in Constructivist Science Education”, *International Journal of Science Education*, 16(1), pp.83-97, 1994.
- 50) Pittman, K.M., “Student-Generated Analogies: Another Way of Knowing?”, *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), pp.1-22, 1999. なお、女子の理科学習促進に関する研究動向については、下記に詳しい。稲田結美、「女子の科学学習促進を目指した「介入プログラム」の特質」、『理科教育学研究』、49(1)、9-21頁、2008。
- 51) Lombrozo, T., “The Structure and Function of Explanations”, *TRENDS in Cognitive Sciences*, 10(10), pp.467-468, 2006.
- 52) Chi, M. et al., “Self-Explanations: How Students Study and Use Examples in Learning to Solve Problems”, *Cognitive Science*, 13, p.175, 1989.
- 53) Clement, J., “Generation of Spontaneous Analogies by Students Solving Science Problems”, in Donald et al. (eds.), *Thinking Across Cultures*, pp.303-308, 1989, Erlbaum Associates.
- 54) 拙稿、前掲論文15)。
- 55) 拙稿、「理科学習におけるメタファーの活用に関する基礎的研究」、『筑波大学大学院教育研究科修士論文抄録集』、307-309頁、2000。
- 56) 拙稿、「理科学習におけるメタファーの活用に関する基礎的研究」、『筑波大学大学院教育研究科修士論文』、2000(未刊行)。
- 57) Cosgrove, M., “A Study of Science-in-the-making as Students Generate an Analogy for Electricity”, *International Journal of Science Education*, 17(3), pp.295-310, 1995.
- 58) Dupin, J.J., Johsua, S., “Analogies and “Modeling Analogies” in Teaching: Some Examples in Basic Electricity”, *Science Education*, 73(2), pp.211-216, 1989.
- 59) May, D. B. et al., “Children’s Analogical Reasoning in a Third-Grade Science Discussion”, *Science Education*, 90(2), pp.316-330, 2006.
- 60) Yerrick, R. K. et al., “Social Interaction and the Use of Analogy: An Analysis of Preservice Teachers’ Talk during Physics Inquiry Lessons”, *International Journal of Science Education*, 40(5), pp.443-463, 2003.
- 61) Wong, E. D., “Self-Generated Analogies as a Tool for Constructing and Evaluating Explanations of Scientific Phenomena”, *Journal of Research in Science Teaching*, 30(4), pp.367-380, 1993.
- 62) この調査に参加した大学生は、理科系を専攻している学生ばかりではなく、調査前に当該現象を十分に科学的に理解しているのではなかった。Wong, E. D., “Understanding the Generative Capacity of Analogies as a Tool for Explanation,” *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), pp.1259-1272, 1993.
- 63) Spier-Dance, L. et al., “The Role of Student-Generated Analogies in Promoting Conceptual Understanding for Undergraduate Chemistry Students”, *Research in Science*

*and Technological Education*, 23(2), pp. 163-178, 2005.