

# 長期の理科学習者としての理科系大学生のアナロジーの使用 —「物質の状態変化」の学習の振り返りに基づいて—

内ノ倉真吾\*

(2015年10月27日 受理)

## Using Analogies by Students from Science Course as Long Term Learners: From the Reflection of the Learning of “Changes of Matter”

UCHINOKURA Shingo

### 要約

本稿では、これまでの科学領域の熟達者のアナロジー使用に関する研究では、初心者として位置付けられてきた理工系学部在籍の大学生（以下、理科系大学生と呼ぶ）を、中学生や高校生にから見た場合の長期の理科学習者として位置付けた。そして、中学生や高校生のアナロジー使用と比較することを想定し、理科カリキュラムにおいて各学校段階で学習する「物質の状態変化」を事例として、質問紙調査ならびにインタビュー調査を通じて、理科系大学生のアナロジーの使用を特徴付けた。理科系大学生のアナロジーの使用は、科学的方法としてではなく、科学的な知識の習得をもつための目的とするものであった。また、関連の科学的な知識を活用しながら、学生自身で生成したアナロジーの有効な範囲と限界などを意識化しており、単なるアナロジーの生成や使用に留まらず、それを対象化して評価する認知的な活動も行っているとの認識が見られるのであった。

キーワード：理科学習、理科系大学生、熟達化、アナロジー

### 1. はじめに

「学習科学 (Learning Sciences)」の代表的な研究トピックとして、科学領域の専門家としての学習・経験の違い（いわゆる、熟達度）を考慮した上で、科学的な探究の営みや問題の解決に関わる状況でのアナロジーの使用の特徴を探ろうとする試みである熟達者研究がある。チ

---

\* 鹿児島大学教育学系 准教授

(Chi, M.T.H, 2006)によると、熟達者研究は、基本的な前提や対象者から大きく2つのアプローチに分けられる<sup>1)</sup>。すなわち、個人の生得的な能力や機会から生み出されたような例外的あるいは絶対的な熟達者についての研究と、当該分野にそれほど習熟していない初心者との比較によって捉えられる相対的な熟達者についての研究である。前者の研究としては、科学史に足跡を残した科学者や同時代の傑出した科学者に着目した研究がそれに相当する。後者の研究としては、科学領域の熟達の程度が異なるものを対象にした研究がそれに相当する。

相対的な熟達者研究に含まれる、これまでの科学領域の熟達者のアナロジー使用に関する研究では、熟達者としては、当然のことながら自律的に科学的な探究活動を営んでいる研究者(科学者)が対象にされている。それに対して、初心者としては、理工系学部在籍する大学生や大学院生(以下、理科系大学生と呼ぶことにする)が対象とされる傾向にある。一方、科学者と比較すれば、初心者である理科系大学生は、小学生をはじめ、中学生や高校生から見た場合、長期の理科学習者であり、場合によっては、熟達した理科学習者とも見なせる存在である。理科系を含む大学生のアナロジーの使用については、事象・事例面接を通じた学習者によるアナロジーの生成<sup>2)</sup>やグループでの対話的な活動を通じた学習者によるアナロジーの使用<sup>3)</sup>とそれに伴う概念的な理解の促進や変容が調べられてきた。また、オルタナティブコンセプトとアナロジーとの関係という観点から、理科系大学生のアナロジーの使用を調査したものとしては、中等学校段階で使用されるアナロジーの内容理解の状況を探ったものがある<sup>4)</sup>。しかしながら、長期的な理科学習という視点から、理科系大学生のアナロジーの使用方法を捉えようとした試みはない。

そこで、本稿では、理科カリキュラムにおいて各学校段階で教育内容として含まれる「物質の状態変化」を事例として、質問紙調査ならびにインタビュー調査を通じて、理科系大学生のアナロジーの使用を特徴付けることにしたい。

## 2. 理科系大学生のアナロジー使用に関する調査の対象と方法

### (1) 調査の対象と手順

理科系大学生のアナロジー使用を探るために、「物質の状態変化」を事例として、質問紙調査ならびにインタビュー調査を行った。調査の対象や実施時期等の概要は、表1のとおりである。

表1. 調査の対象と実施時期

学 校 名	地方国立 A 大学
所 在 地	茨城県
専 攻 分 野	物理学・化学・地球科学・生物学
学 年	3・4年生
調 査 時 期	平成11年5月～6月
質 問 紙 調 査	49名
イ ン タ ビ ュ ー 調 査	6名

調査の対象は、理工系学部に在籍する大学生3・4年生とし、中学校・高等学校の教員免許状の取得に関わる理科教育法科目の受講生から調査の協力者を募った。理科系大学生の専攻分野は、物理学、化学、地球科学、生物学の学問領域にまたがるものであった。

一連の質問紙調査ならびにインタビュー調査では、表2のような手順で調査と分析を行った。

表2. 調査と分析の手順

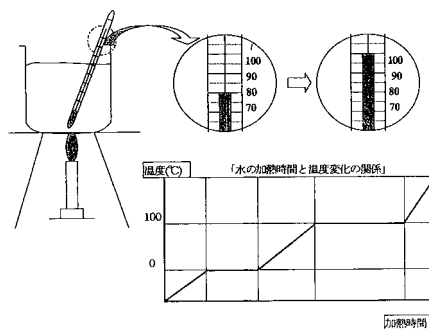
- (1) 水の沸騰における温度変化に関する質問紙調査
- (2) 上記(1)の質問紙調査の回答の類型化
- (3) 質問紙調査の回答類型に基づくインタビュー調査対象者の抽出
- (4) 水の沸騰における温度変化とアナロジーの内容と使用に関するインタビュー調査（アナロジー使用に関する質問紙調査を含む）
- (5) 理科系大学生のアナロジー使用の特性の分析

## (2) 質問紙調査の問題設定

理科系大学生に対しては、水の沸騰における温度変化を事例にして質問紙調査を実施した(表3)。なお、同質問紙調査では、氷の融解における温度変化を事例にした問題以外に、塩化ナトリウム水溶液の通電現象を事例にした問題についても調査を行ったが、本稿で着目する部分と異なるため、ここでの分析からは除外した。

表3. 理科系大学生を対象にした質問紙調査の問題

問 水（液体）を加熱していくと、どんどん温度が上がっていきます。そして、100℃になると「水（液体）」は沸騰して「水蒸気」になってしまいます。沸騰しているときに加熱を続けても、温度は100℃から変化しません。加熱を続けているのに、沸騰していると①温度は100℃からどうして変化しないのか、②加えられた熱はどうなるのか、③液体中の微小レベルでの変化はどうなっているのか、『自分なりの解釈や納得の仕方』を『自分なりの表現（図なども含む）』で説明してください。



理科系大学生は、水の状態変化における温度変化については、およそ科学的に理解できていると思われることから、当該内容に関する学習経験や理解の方法に着目した調査を行った。この調査では、「自分なりの理解や納得の仕方」とは、科学的な意味での定義や定式化といった公的に認められるようなものばかりではなく、必ずしも科学的な妥当性が保障されているとは限らない、自らの既存の知識や経験と関連付けた理解の仕方までも含むこととし、そのことを問題文中にも明記するとともに、口頭でもその趣旨を説明した上で実施した。また、「自分なりの理解や納得の仕方」の一例として、「電流は水の流れのようなもの」といったアナロジーを示した。

加えて、「自分なりの理解や納得の仕方」の顕在化を促進する手立てとして、求められる説明の対象を「わからない子ども」とし、その子どもに教える場面を想定して回答することも提案した。これは、理科の教員免許状を取得する希望をもっている理科系大学生にとって、当該内容を教える場面という文脈を設定することにより、無意識のうちに自分自身の理解を内省することを期待したものであった。

### (3) インタビュー調査の質問項目

質問紙調査の回答に、アナロジーと思われる記述が確認できた理科系大学生を抽出し、インタビュー調査への協力が得られた6名に対して、半構造化インタビュー調査を1人あたり40分程度実施した。インタビュー調査では、理科学習におけるアナロジー使用に関する考え方を探る質問紙調査と口頭でのインタビュー調査を行った。アナロジー使用に関する質問紙調査の問題は、表4のとおりで、口頭でのインタビュー調査の質問項目は、表5のとおりである。

口頭でのインタビュー調査では、理科系大学生の回答状況によっては、質問項目の順序を入れ替えることや、省略することもあった。質問では、「アナロジー」という言葉は、理科系大学生にとって必ずしもなじみ深いものではなく、それについての理解の内容や程度の差異が回答に影響することを考慮して、一般的な理科学習でよく使われる「たとえ」もしくは「比喩的表現」という表現を用いることにした。アナロジーの記述が見られた大学生とのインタビュー調査であったため、調査者が「たとえ」として表現したものが大学生自身の「アナロジー」を示すことは、基本的に了解されていた。

なお、インタビュー調査中の発話は、理科系大学生本人の了承を得た上で録音し、その音声文字化した発話データのすべてを分析の対象とした。

表4. 理科系大学生を対象としたアナロジー使用に関する質問紙調査

- |   |
|---|
| <p>【問1】あなたは日常生活の中で「比喩的表現」を使うことがありますか？<br/>         なお、「比喩的表現」は比喩（たとえ）やアナロジー（類推）を指すこととします。<br/>         (1. よくある    2. ときどきある    3. ほとんどない)</p> <p>【問2】「比喩的表現」を使う場合は、どのような場面が多いと考えられますか？</p> |
|---|

- 【問3】あなたは「科学」にも「比喩的表現」があると思いますか？  
 (1. よくある 2. どちらとも言えない 3. ない)
- 【問4】あなたは「科学概念」を人に説明するときに「比喩的表現」を使うのは有効だと思いますか？(例：価電子を「原子の手」、葉緑体を「化学工場」にたとえる)  
 (1. 有効である 2. どちらとも言えない 3. 有効ではない)
- 【問5】あなたは「比喩的表現」を使って理解することは、科学の本質に迫るものだと思いますか？  
 (1. そう思う 2. どちらとも言えない 3. そう思わない)
- 【問6】あなたは「比喩的表現」は定義どおり(教科書どおり)に学習するのがよいと思いますか？  
 (1. そう思う 2. どちらとも言えない 3. そう思わない)
- 【問7】「比喩的表現」を使っての説明は他のものにたとえるので、誤った理解をする可能性があるか説明には用いない方がよいと思いますか？  
 (1. そう思う 2. 少しそう思う 3. そう思わない)
- 【問8】あなたは「科学史」において「比喩的表現」が見られると思いますか？  
 (1. そう思う 2. どちらとも言えない 3. そう思わない)
- 【問9】あなたが受けた授業(大学を含む)を思い出してください。これまでの授業において「科学概念」の「比喩的表現」を使っての説明を聞いたことがありますか？  
 (1. ある 2. ない 3. わからない)
- 【問10】あなたは授業を行う際に「比喩的表現」を活用しようと思いますか？  
 (1. そう思う 2. 少しそう思う 3. そう思わない)

表5. 理科系大学生を対象としたインタビュー調査の質問項目

- (1) 100℃では、水を加熱しているにもかかわらず、温度が変化しないのはどうしてだと思いますか。質問紙調査の回答を分かりやすく説明して下さい。
- (2) (質問紙調査の回答に見られたアナロジーを指摘して) どうしてそのように考えたのですか。それは、水の沸騰という状態変化とどのように対応していますか。
- (3) (大学生のアナロジーを指摘して) そのたとえは、いつぐらいから考えていたものですか。
- (4) (大学生のアナロジーを指摘して) そのたとえだとうまく説明できていないと感じるところはどこですか。
- (5) (大学生のアナロジーの破綻を指摘して) そのたとえだとうまく説明できないところがありますが、この点はどう考えていますか。
- (6) (他のアナロジーを例示して) 自分自身のたとえと他のたとえを比べて、どう思いますか。自分のたとえに取り入れようと思うことがありますか。
- (7) あなたの理科学習において、自分自身でたとえを考え出して、活用していることがありますか。活用している場合、どのような場面でどのように活用していますか。

### 3. 質問紙調査に見られる理科系大学生のアナロジーの内容

#### (1) 理科系大学生のアナロジーの頻度と領域性

水の沸騰における温度変化を事例にして質問紙調査(表3)を、理科系大学生49名に対して実施したところ、21名(43%)の大学生の回答に図もしくは文章によるアナロジーを確認することができた。領域の種類として、既存の体系として存在する学問領域を参照し、その学問領域の近接性の程度から、ベースとターゲットの領域間の距離を「同一」、「近接」、「遠隔」として、理科系大学生のアナロジーのベースを分類した。具体的には、融解以外の状態変化(沸騰や凝固)は、融解と同一領域とし、状態変化以外の熱の移動に関する熱力学的な領域、物体に働く力や磁石の引き合う力などに関する力学的・電磁気学的な領域、物質の反応などに関する化学的な領域を含めた、物理・化学分野を近接領域とした。それに対して、生物学的な領域と人の日常的な行為や活動に関する領域は、物質の性質とは直接的に結び付けて考えにくいことから、遠隔領域として分類した。特に、日常生活的な領域については、擬人的なものと非擬人的なものを区別した。その結果、理科系大学生が選択したベースの領域性は、表6のとおりとなった。

表6. 大学生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	0	0
近接領域	熱力学的な領域*	0	0
	力学的・電磁気学的な領域	5	22
	化学的な領域	0	0
遠隔領域	生物学的な領域	0	0
	日常生活的な領域(非擬人的)	2	8.6
	日常生活的な領域(擬人的)	16	70
合計		23	100%

\*ただし、状態変化を除く。

同一領域でのアナロジーは見られず、熱の移動や磁石の引き合う力などをベースとした近接領域とのアナロジーが5つ(22%)、それ以外はいずれも遠隔領域とのアナロジーであった。遠隔領域とのアナロジーの中でも、日常生活的な領域(擬人的)とのアナロジーが16個あり、全体の70%を占めており、質問紙調査で見られた理科系大学生のアナロジーとしては、擬人的なものが中心であった。また、複数のアナロジーを使用している大学生も見られたのであった。

#### (2) 理科系大学生のアナロジーの事例検討

質問紙調査で見られた理科系大学生のアナロジーのうち、近接領域とのアナロジーから2つ、遠隔領域とのアナロジーから3つを事例として取り上げて、その具体的な記述を検討してみたい(表7)。

表7. 事例検討の対象とした理科系大学生のアナロジー

<近接領域> ①コップからあふれる水とのアナロジー ②磁力とのアナロジー	<遠隔領域> ④ハサミとのアナロジー ⑤教室の生徒とのアナロジー ⑥人の活動状態とのアナロジー
--	--

これらのアナロジーのうち、④教室の生徒とのアナロジー、⑤人の活動状態とのアナロジーについては、ほぼ同一もしくは類似のものが2人以上の回答から確認されている。

#### ①コップからあふれる水とのアナロジー

質問紙調査において、大学生 U1は、満杯になったコップから水があふれる現象をベースとして、水が沸騰するときに温度が変化しないことを説明していた（表8）。

表8. コップからあふれる水とのアナロジーの記述（大学生 U1）

<p>水が沸騰して水蒸気になってとんでいくにはエネルギーが必要で、そのエネルギーはガスバーナーの火から熱としてもらっている。</p> <p>水をコップの注ぎつづけるとあふれ出すのと同じように、熱をもらって水の温度が100℃にまで上がって、そのまま熱を与えつづけると100℃でいつづけるのにはいらぬあまった熱が水蒸気として逃げていく。</p>
--

このアナロジーでの対応関係について言えば、コップに注がれる水が加えられる熱に、コップの容量が同じ状態で水が蓄えられうる熱量あるいは水が液体で存在しうる温度に、それぞれ対応しているのである。そして、コップの容量以上に水が注がれると、外部へと漏れ出していくことになる。そこからさらに、液体の水がその質量に応じた蒸発熱を得て、水蒸気へと変化し、加熱系の外へと移動することを、「水蒸気として逃げていく」と表現している。このことから、熱に見立てられた水と物質としての水が同一に扱われ、熱の移動を含意しているものとも考えられる。大学生 U1の記述それ自体に十分に示されているかどうかについては、議論の余地があるものの、その基本的な発想としては、科学史の上で状態変化の理解として重要であった熱と温度の区別があり、それを踏まえて水の沸騰の現象を説明しようとしていた。

大学生 U1が使用したようなアナロジーの発想は、熱と温度の概念的な理解を促進する教授ストラテジーとしても有効であることが報告されている。アーノルド＝ミラー（Arnold, M. & Millar, R., 1996）は、イギリスの12～13歳の生徒を対象に、熱に見立てた水の存在状態を表す物理量（具体的には、質量あるいは体積と高さあるいは深さ）を利用して、熱と温度の概念的な区別を促す実践を報告している<sup>5)</sup>。このようなアナロジーの使用までを考えた場合、大学生 U1のこのアナロジーは、当該現象の概念的な理解の上で、重要な内容を含んでいるものと見させるのであった。他方、物質ではない熱を物質としての水に見立てていると言う点で、レイコフ＝ジョンソン（Lakoff, G., & Johnson, M., 1980）が指摘するところの「存在論的なメタファー」（ontological metaphors）<sup>6)</sup>を通じての概念化がなされているのであった。

### ②磁力とのアナロジー

大学生 U2は、水が沸騰するときに温度が上がらないことを説明するために、まず個々の水分子が集合している状態に言及し、その分子間の結合を切断するはたらきとして、熱の役割を述べている。その記述の過程において、水分子を磁石に、水分子の間にはたらく分子間力を磁力に、それぞれ対応付けるアナロジーを構成しているのであった(表9)。

表9. 磁力とのアナロジーの記述 (大学生 U2)

(前略)  $H_2O$  がお互いに引きつける力をもっているからなのです。磁石を考えてみてください。N極とS極はくっきますね。これとおなじように、 $H_2O$  分子は他の  $H_2O$  分子を引きつけ、くっつけているのです。磁石をはがそうとすると、あなたは どうしますか? 手に入力を入れて、引っ張りますよね。この力が熱なのです。(後略)

加熱するということは、巨視的に見れば、温度を上げることや状態を変化させることであり、微視的に見れば、分子の運動を活性化し、それに伴って分子間の距離を広げることあるいは分子間の結合を切断することである。ここでは、後者の微視的な視点から、加熱と水分子の状態を捉えたアナロジーが考えられている。大学生 U2は、分子間力を捉えるために、ベースとして磁石を考えていたが、別の大学生 U3は、ベースとして鎖を考えていた。同じターゲットであっても、理科系大学生の既存の知識や経験を反映して、多様なベースが見られるのであった。

分子間力以外にも、微視的な視点としては、熱運動を考慮する必要があるが、これについては、大学生 U2は磁石とのアナロジーではなく、水分子を擬人化したアナロジーにて説明している。分子は、いずれの物質の状態であっても熱運動をしており、分子間の結合が切れるとその熱運動が大きくなるのだが、この変化については、例えば、水分子が「元気になる」と繰り返し表現されている。

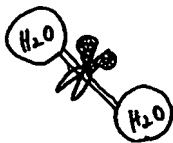
このように、一連の大学生 U2の記述には、科学的な知識水準という点では、高校理科カリキュラム以降で扱われる、分子間力や熱運動などの物質の微視的な挙動を捉える概念が見られた。また、アナロジーの使用という点では、当該現象を説明する上で重要となる科学的な概念がいくつか選択され、それぞれに対応して、複数のアナロジーが活用されていたのであった。

### ③ハサミとのアナロジー

大学生 U4は、「水が沸騰すると、その与えられたエネルギーは分子同士の結合を切るために使われるので、沸騰している間、温度が上がらない」という科学的な説明に加えて、ハサミとのアナロジーを示していた(表10)。

表10. ハサミとのアナロジーの記述 (大学生 U4)

与えられる熱は、結合というテープをハサミで切るような働きをする。





大学生 U2による磁石とのアナロジーでは、分子間力がターゲットとして選択されていた。それに対して、大学生 U4は、熱をターゲットとして、ハサミとのアナロジーを考えていたのであった。大学生 U2と大学生 U4のいずれもが、加熱によって物質に生じる微視的な水準での変化を記述しようとしているのであるが、着目する対象（分子間力あるいは熱）の違いによって、異なるベースが選択されている。

一方、大学生 U5は、水分子を擬人化し、水分子間の結合を、人と人が手をつないでいる状態として表現すると同時に、大学生 U4と同じように、熱をハサミとのアナロジーで捉えていた。そこでも状態が変化するときの熱のはたらきは、つないでいる手を切り離すような作用として位置付けられている。この場合も、当該現象を説明するのに、複数のアナロジーが組み合わせられて使用されていた。

#### ④教室の生徒とのアナロジー

大学生 U6は、水が沸騰するとき温度が変化しないことについて、液体と気体が共存するとき、ある一定の温度で状態が変化すること、そして、気体に変化した後は、加熱し続けると再び温度が上昇し始めることを述べたのに加えて、物質の三態を教室の生徒に対応付けるアナロジーを示していた（表11）。

表11. 教室の生徒とのアナロジーの記述（大学生 U6）

水は分子で固体のときは整然と並び、まるで授業中の生徒のようで、液体時は分子間力が弱まるので（束縛）、授業後クラスでがやがやする生徒のようであり（たまに外へでていく生徒がいるが、これは加熱中でも液体↔気体の変化は起きている証拠）。気体時は分子間同士を結びつける力がなくなり、まるで放課後の生徒のようにあちこちに散らばります。
---

そこでは、水分子が学校の生徒に見立てられており、これも擬人化である。そして、固体の状態が授業中の生徒に、液体の状態が休み時間の生徒に、気体の状態が放課後の生徒に、それぞれ対応付けられている。このように捉えることによって、粒子の熱運動や分子間力、体積変化を対応関係に含むようなアナロジーが構成されていた。ただし、この大学生 U6の記述のみからは、物質の状態が変化している間、温度が一定であることまでもが射程にあるのかどうかまでは定かではない。なお、沸点もしくは融点が学校のチャイムが鳴る時間だと考えるならば、チャイムが鳴り始めると教室の状態が変化しはじめ、このチャイムが鳴っている間は、固体と液体の状態が混在しているとも考えることができる。いずれにせよ、物質の三態と教室の生徒とのアナロジーは、熱運動や体積変化の観点から物質の微視的な状態を記述しようとしたものであった。

このようなアナロジーは、大学生 U7の回答にも見られるものであった。これは、理科教科書にも見られる<sup>7)</sup>。また、コール (Coll, R.K., 2008) は、中等学校の理科授業でのアナロジーの使用方法を紹介した著書で、高校化学で運動論の観点から物質の三態とその変化を教えると

きに有効なアナロジーとして、教室の生徒とのアナロジーを挙げている<sup>8)</sup>。これらのことを踏まえると、物質の三態と教室の生徒とのアナロジーは、質問紙調査の対象となった大学生に特殊なものというよりは、より一般的に普及・定着しているようなアナロジーである。

#### ⑤人の活動状態とのアナロジー

理科系大学生を対象にした質問紙調査では、水分子を擬人化するアナロジーが多く見られた。そのときの擬人化では、微視的な観点から、粒子性というだけではなく、その粒子がもつ熱運動をも表現しようと意図されたものが中心であった。具体的には、加熱されたときの水分子の変化は、人の活動状態の変化と対応付けられていたのであった。大学生が記述したアナロジーでは、いずれも人の活動状態とその変化が含まれていたが、分子間の距離（体積変化）、熱のはたらきなどが含まれるかどうかでは、相違が見られるのであった。

後者の要素が含まれている場合、ターゲットである物質の状態変化と温度変化と、ベースである人の活動状態との対応関係は、構造化されている傾向が見られた。大学生U8は、水分子を人に、熱をご飯に対応付けて、固体・液体・気体という三態の違いを粒子の熱運動の違いとして説明し、液体から気体への状態変化の間は温度が変わらないことまで記述している。さらに、それ以外のアナロジーでは言及されていなかった、液体から気体への状態変化のみならず、気体から液体への状態変化である凝縮をも射程に入れて説明している。一連の記述では、人が食事をして運動するという活動状態を中心にストーリーが構成されており、そこに物質の状態変化が対応付けられるような形式がとられている点でも特徴的である。

ベースのストーリー性を中心にして、アナロジーの対応関係が記述されている例は、大学生U8以外にも見られた。大学生U9は、熱をお小遣いに、水分子を特におしゃれ好きな女の子に対応付けて、同様にストーリー性のある記述にて、物質の状態変化を説明していた。なお、擬人化を伴うアナロジー以外には、ベースのストーリー性を中心にして、アナロジーの対応関係が記述されている例は見られなかった。

### 4. 長期の理科学習者としての理科系大学生のアナロジー使用の基本的な認識

#### (1) インタビュー調査の対象者

質問紙調査での回答にアナロジーが認められた理科系大学生のうち、回答の割合の高かった遠隔領域とのアナロジーを答えた大学生6名を対象にして、アナロジー使用に関する質問紙調査（表4）とそれに続くインタビュー調査（表5）を実施した。その調査対象は、表12のとおりであった。6名の大学生は、それぞれ専攻分野が物理学（1名）、化学（1名）、生物学（4名）であり、いずれも3学年次に在籍しており、当該分野の専門課程の学習をはじめていた。また、大学生が質問紙調査で回答したアナロジーは、事例検討した④教室の生徒とのアナロジー（1名）、⑤人の活動状態とのアナロジー（5名）である。

表12. インタビュー調査対象の理科学系大学生

	大学生	学年	専攻分野	アナロジーの種類
1	U7	3年	物理学	④教室の生徒とのアナロジー
2	U8	3年	生物学	⑤人の活動状態とのアナロジー
3	U9	3年	化学	⑤人の活動状態とのアナロジー
4	U10	3年	生物学	⑤人の活動状態とのアナロジー
5	U11	3年	生物学	⑤人の活動状態とのアナロジー
6	U12	3年	生物学	⑤人の活動状態とのアナロジー

(2) 理科学系大学生のアナロジー使用についての基本的な考え方

インタビュー調査対象の理科学系大学生に対しては、インタビュー調査実施に先立って、アナロジーの使用に関する基本的な考え方についての質問紙調査を行った。この質問紙調査の項目は、大別すると、第一に、アナロジー使用の場面や経験に関する問題と、第二に、理科学習におけるアナロジー使用の機能と有効性に関する問題であった。個々の設問（問2を除く）に対する回答は、図1のとおりであり、問2に対する回答は、表13のとおりであった。

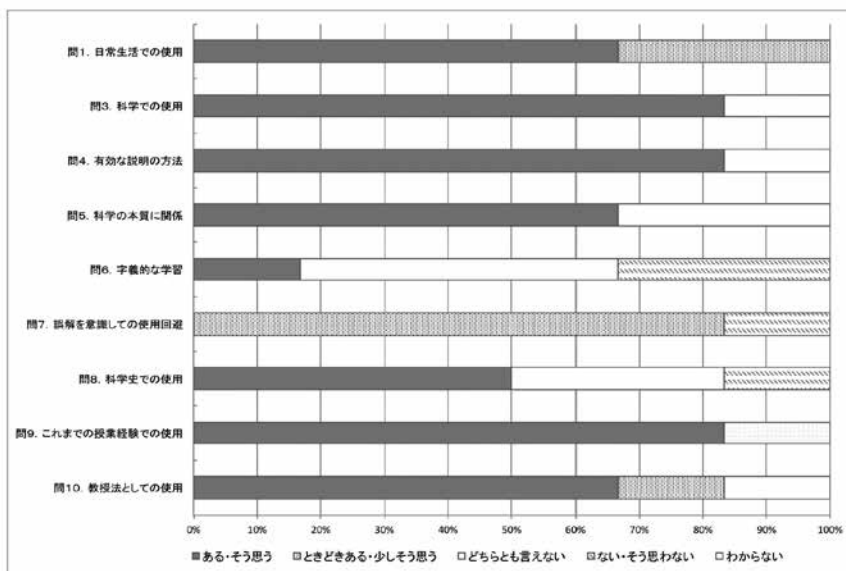


図1. 理科学系大学生のアナロジー使用についての基本的な考え方の調査結果

表13. 理科学系大学生がアナロジーをよく利用するとき

- ・日々。日常茶飯事（大学生 U7）
- ・自分の理解とはかけはなれたことを、少しでも分かりたいと思うときや私の思っていることを誰かに伝えたいとき。（大学生 U8）
- ・自分の考えていることを相手に伝えようとするとき（心情など）（高校生（大学生 U9）
- ・自分の考えを他人に説明するとき（大学生 U10）

- ・自分の中で消化しきれない時。人（家庭教師先の子など）にまずダイジェスト版で理解させる時（大学生 U11）
- ・友人に相談をされて、哲学的な事や人生観のような内容を説明する必要があるとき。（ばく然とした概念を説明するとき、とも言える）（大学生 U12）

この調査の結果に基づく限りにおいては、理科系大学生のアナロジー使用に関する基本的な考えには、以下のような傾向があると考えられるのであった。

第一に、アナロジー使用の場面や経験について、日常生活（問1）やこれまでの授業（問9）でのアナロジー使用の経験があり、科学という領域では、アナロジーが使われており（問3、問8）、それは科学の本質に関わるものである（問5）と考えている傾向が見られた。

第二に、理科学習におけるアナロジー使用の機能と有効性について、自分自身の理解の促進と他者への説明として、アナロジーをよく使用しており（問2）、科学概念の説明として（問4）、より幅広く理科授業の教授ストラテジーとしてアナロジー使用が有効である（問10）と考えている傾向が認められた。その一方で、アナロジーを使用することで、誤解を生じうる可能性も意識しており（問7）、アナロジーを使用しないような説明（字義的な説明）を中心とする学習についても考慮するような傾向（問6）も見られるのであった。

## 5. 長期の理科学習者としての理科系大学生のアナロジー使用の特性

### (1) 自己説明としてのアナロジーの活用

水の沸騰における温度変化を事例にしたインタビュー調査であったという調査状況の制約もあったが、インタビューした理科系大学生は、基本的には、既知の現象や既存の知識を説明するために、アナロジーを使用するものと考えていた。インタビュー調査前の質問紙調査では、科学にもアナロジーが見られることには同意する傾向が見られたわけであるが、もっぱらそれは、できあがった理論や概念に比喩的な側面がありうることに着目したものであった。インタビューで、広くアナロジー使用について質問した場合であっても、未知の現象を予測・分析するような探究的な方法としてアナロジーを使用していることに言及した大学生は、見られなかった。あくまでも既存の知識の習得という学習者としての観点から、アナロジー使用を捉えていたのである。このような意味で、ここでの理科系大学生のインタビューには、長期の理科学習者としての考え方が反映されていると言える。

例えば、大学生 U8は、問題となっている現象を理解するときに、科学的な説明よりも、まず自分自身でアナロジーを生成していくことで、実感的な理解が得られたことを述べている（表14）。

表14. 自己説明としてのアナロジーに関する発話（大学生 U8）

- R：じゃあ、わかったって感じがしたのは、この状態変化のこの科学的な説明というよりは、自分で考えたこの擬人化したほうがああ、わかった、ああなるほど。
- U8：そうです。そうですね。うん。
- R：じゃあ、擬人化のほうがやっぱりなるほどなあとか、という思いはあった？

U8：じっくりくるっていうか。なんか、ホントにああでもな、ただの水の分子とかいわれても、なんでくっついとんのかとかわからんけど、なんか、うん、熱与えられてもよくうー、なんていうですか？あれってエネルギーもらうんですよね。なんか、回転とかそういうのが激しくなって、動きまわるようになるんですけど？でもなんかそういうのって、なんかちょっとじっくりこないっていうか、うん、えなんでだろうって。やっぱ疑問がうん、あるからそれをなんか私のまわりのことに置き代えたほうが、まわりのことはホントにそうなのかどうかはわからないけど、一応ごはんを食べて走りまわることもできるっていうなんか、そういうことから。そういう、うんと。

(U8：大学生 U8, R：調査者)

水分子を人に、熱をご飯に対応付けて、水の状態変化を説明することは、一般的な理科授業であるように教師に求められて、教師にあるいはクラス全体に向けて説明することではなく、大学生 U8 自身に向けての説明であるという意味で、「自己説明 (Self-Explanation)」<sup>9)</sup> としてのアナロジーである。これまで、ウォン (Wong, E.D., 1993) が教職課程の大学生を対象にして、科学的な現象の説明として生成するアナロジーが、概念的な理解の促進で有効であると報告している<sup>10)</sup>。そこでは、考えるべき現象を提示し、大学生自身にアナロジーを生成することが求められていた。一方、大学生 U8 にとって、質問紙調査で示したアナロジーは、一連の調査で求められて答えたものであるが、少なくとも教師あるいは調査者から課題として課せられて生成したものではなく、むしろ自分自身の理解促進のために、自発的に生成し、活用していたものであった。大学生 U8 の自分自身の学習を振り返っての認識、つまり、メタ認知の内容に基づく限りでは、単純には理解しがたい内容の学習に直面したことで、自発的にアナロジーを生成していたのである。そして、この自己説明としてのアナロジーは、当該の学習の初期段階での実感的な理解を生み出す契機となっていたのである。

一方、大学生 U7 は、状態変化の現象に関するアナロジーを自発的に考えた大学生 U8 などとは異なり、教師から与えられたと記憶しているアナロジーを答えていた (表15)。大学生 U7 の記憶に基づくと、物質の三態と教師の生徒とのアナロジーは、小学生の時に教師から教えられたものであった。そして、ただ教えられたアナロジーを記憶していただだけではなく、高校段階で、物質の状態と温度との関係に加えて、物質の状態と気圧との関係を学習したときに、そのアナロジーに新しい要素を追加して考えていたというのである。大学生 U7 は、教授ストラテジーとして使われたアナロジーを受容して以降保持しており、新しい内容を学習する段階において、これまで含まれていなかった要素を追加するなどして、今度は自己説明としてのアナロジーとして活用していたのである。

表15. 教室の生徒とのアナロジーに関する発話 (大学生 U7)

R：教室での生徒と休み時間の生徒、放課後と考えたのはどうしてですか？  
 U7：これ小学校の時に教えてもらったんですよ。  
 R：小学校の時っていうと。  
 U7：ええ。  
 R：小学校の時の理科の授業ということですか？

U7: 理科の授業で、あの固体の時、液体の時、気体の時っていう話し。あれこれって小学校の時なかったでしたけ。この線は（状態変化における加熱時間と温度の関係を示したグラフを指して）。たぶん、この加熱と温度の関係たぶん、出てきたと思うんですけど。

(中略)

U7: はいそうですね。で、気体の場合は、なんていうんだらうな圧力の話が出てじゃないですか。圧力によって蒸発の温度が違うっていう、なんかあそこら辺もなんかあ。放課後、放課後っていうふうにしてたんですよ。

(U7: 大学生 U7, R: 調査者)

中等学校の生徒、大学生、大学院生を対象として、金属結合のアナロジーやオルタナティブコンセプトを調査したコール＝トリガースト (Coll, R.K. & Treagust, D.F., 2001) では、オーストラリアの教科書や授業でよく取り上げられるアナロジーを、調査対象になったいずれの学校段階の生徒・学生も記憶しており、調査での中心的な回答になったことを報告している<sup>11)</sup>。ただし、アナロジーに関する記述では、大学生や大学院生に比べて、中等学校の生徒の方が詳細であり、直近に学習したことが影響したものと考えられている。このことは、一般的に考えて、教えられたアナロジーは、時間が経過するに伴って記憶から薄れていく傾向にあるとも推測できる。

大学生 U7 のように、既存のアナロジーに新しい内容を追加して、修正・変容したアナロジーを活用することは、コール＝トリガースト (2001) に見られた傾向と比較すると、自己説明としてのアナロジーの自発的で特徴的な活用であると考えられる。もちろん、大学生や大学院生が、以前に教えられたアナロジーを忘却していくことそれ自体は、科学的な理解の促進という点では、それほど影響あるとは思われない。一方、スピロら (Spiro et al., 1989) の指摘にあったように、以前に教えられたアナロジーが保持されており、それが新規の学習を阻害するという危険性を考えた場合<sup>12)</sup>、既存のアナロジーが別の状況で適応可能であるかを評価する段階があって、必要に応じて新しい要素を追加し、活用していくことは、科学的な理解の促進という点で重要であろう。

まとめて言えば、インタビュー調査の対象となった理科系大学生は、教師から与えられたアナロジーを保持している場合も含めて、基本的には、科学的な理解を促進するために、自発的にアナロジーを生成し、活用しているのであった。

## (2) 個別のアナロジーのメタ認知的知識としての関連の科学的な知識の活用

教師から与えられたアナロジー、あるいは、学習者が自分で考えたアナロジーのいずれであれ、本質的に、アナロジーでのベースとターゲットとの対応関係には限界がある。理科学習でのアナロジー使用の有効性を認めた上で、それにより生じる誤解を軽減・回避するためには、アナロジーの限界を把握しておくことが重要とされてきた。例えば、グリッ (Glynn, S. M., 1991) が、「アナロジーによる教授モデル (Teaching-With-Analogies; TWA model)」の適用

方法を説明するところで示しているのは、個別のアナロジーの限界と一般的な意味でのアナロジーの性質であった<sup>13)</sup>。このアナロジーの限界や性質とは、アナロジーに関する認識論的な知識であり、三宮(2008)によるメタ認知の分類に基づくと、アナロジーという方略に関するメタ認知的知識である<sup>14)</sup>。

質問紙調査では、いずれの大学生であっても、自分が記述した個別のアナロジーに関する限界への言及は見られなかった。一方、インタビュー調査では、例えば、大学生U8は、自分が考えたアナロジーの対応関係を説明する中で、当該アナロジーの限界に言及し始めたのであった(表16)。

表16. アナロジーの限界に関する発話(大学生U8)

<p>U8：急に熱をもらっ、私の中で急に熱をもらって、すぐにふっという感じじゃなくて、物質にたまる。たまるっていうか、たまって、それからなにか他の状態にびよって、変わる。でも、実際違いますよね。なんか、行ったり来たりしているからでした、あれなんだっけ、それ違います？あれ？</p> <p>R：それは、平衡ですよ。あの普通の状態での蒸発ですよ。沸点ではないときの。</p> <p>U8：あれなんで温度変わらないんだろ…。あっこれって温度変わらないのって、熱がえつと、水分子の運動エネルギーに変わるからですか？</p> <p>R：運動エネルギーに変わるから、変わらないんですか？</p> <p>U8：結合が切れるのに使われるんでしたっけ？なんだっけ？</p> <p>R：そうですね、全部熱エネルギーっていうのが、その水分子の運動エネルギーに変わって、それがどんどん激しくなって、100℃になったときのエネルギーで結合が切れる。それが一気に切れるんじゃないかって、あるところプチって切れて、次がプチって切れてるっていう、っていうのが原理的なものだと思うんですけど。じゃあ今でいくと、この考え方でいくとまあ当然説明できないところもできますよね。</p> <p>U8：はい、できてます。</p>
--

(U8：大学生U8, R：調査者)

そのアナロジーの限界への言及は、大学生U8の独白として語られたものではなく、むしろ、調査者との対話として構成されたものであったが、そこには、大学生U8が、気液平衡、分子の熱運動、蒸発熱などの科学的な知識との関連で、自身のアナロジーの限界を把握していることが表れている。ここでは、気液平衡や熱運動などの科学的な知識は、水の状態変化についての内容知識であると同時に、当該現象を理解するために使用している個別のアナロジーの範囲を確定するメタ認知的知識として活用されているのであった。

また、大学生U9は、自分が以前考えていたアナロジーを使って、中学生に教えたという経験に触れたのちに、水分子の会合状態と物質の三態に関する科学的な知識を念頭に置いて、当該アナロジーの限界に言及していた(表17)。

表17. アナロジーの限界に関する発話(大学生U9)

<p>U9：だってこれ、手をつないで動き回ってるんだったら、細かくこう全部こう液体っていうじゃなくて、ぶつぶつぶつしているはずじゃないですか。</p> <p>R：ぶつぶつしている？</p>
--

U9：粒々がこういっぱいあって、まあそれは目に見えないだよって言っちゃえば、まあそれで終わりなんでしょうけど。だからなんか、ねー、バラバラっていても完全にバラバラになるわけでもないし。

(U9：大学生 U9, R：調査者)

このようなアナロジーの限界を指摘することは、ヘッセ (Hesse, M.B., 1966) と関連付けて言えば、類似が認められる肯定的アナロジー関係に加えて、類似が認められない否定的アナロジー関係を特定することである<sup>15)</sup>。もちろん、否定的アナロジー関係の特定にあたっては、科学的な探究活動に見られるように、観察・実験を通じた実証的な検証を行った上で確定したわけではない。着目している現象を説明する既存の構築された理論を参照しながら、アナロジーに含まれる要素のうち、否定的アナロジー関係を抽出するという概念的な世界での認知的な操作を行っていたのである。その対象となったアナロジーは、いずれも大学生自身が自己説明として活用していたものであり、その個別のアナロジーの限界についても、所与のものではなく、自分自身で考えたものである。この認知的な過程においては、大学生の個人的な経験や知識に加えて、これまでに習得した科学的な知識が認知的なリソースとして活用されていた。

理科系大学生の質問紙調査での回答には、アナロジー以外の科学的な内容の記述もあり、科学者から見て十分とは言えないまでも、高校理科カリキュラムの水準では、適切に理解されていた。つまり、一定水準以上の科学的な知識が習得され、構造化されているという条件が整っていたと考えられる。そして、理科系大学生は、個別のアナロジーの内容構成とその範囲を確定する上でのメタ認知的知識として、関連の科学的な知識を活用することができていた。なお、自己説明としてのアナロジーの性質からして、どのような科学的な知識がメタ認知的知識として位置付けられるのかは、個別のアナロジーが使用される目的や文脈、その内容構成に応じて定まるものであり、状況依存的であり、個別的な性格をもつものと言える。

### (3) 複数のアナロジーの活用と認知的な葛藤状況の回避

理科系大学生は、個別のアナロジーの内容構成や限界を捉えている場合、必要に応じて複数のアナロジーを使用していることもあった。例えば、大学生 U7に対して、水が沸騰しているときに温度が上昇しないことは、教室とのアナロジーでは十分に説明できないのではないかと質問したところ、別のやかんとのアナロジーを使用して補完していると答えた (表18)。そのアナロジーとは、先の①コップからあふれる水とのアナロジーに類似したものであった。

表18. 複数のアナロジー使用に関する発話 (大学生 U7)

U7：ああ、これだと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、ここの熱の部分というのは、今度はやかん。ここはやかんで。

(U7：大学生 U7)

複数のアナロジー使用には、単一のアナロジー使用で生じる課題を補完する効果が指摘され



ている。例えば、スピロら（1989）は、複数のアナロジーを相補的に用いることにより、誤解を軽減できるだけでなく、後の高度な知識の獲得においても有効であると主張する<sup>16)</sup>。理科系大学生のアナロジー使用では、概念的な理解を補完するような形での複数のアナロジーの使用が認められたのであった。

その一方で、複数のアナロジー使用では、認知的な葛藤状況を回避するような活用事例も見られた。その一つが、調査者の質問に対する大学生 U7の一連の反応であった。そもそも、内在的な限界をもつ個別のアナロジーと説明すべき現象との間には、本質的には常に差異が存在するのであるが、そこを自覚したり、指摘されることで、認知的な葛藤状況が生まれやすくなる。大学生 U7は、表18の発話後にも、個別のアナロジーの限界を指摘すると、別のアナロジーを挙げるなどを繰り返していた。大学生 U7が述べたアナロジーのすべてではないものの、そのいくつかは、認知的な葛藤状況の回避として使用されたものと見なせるものであった。

他方、別のアナロジーを提示するという形式とは異なる方法で、認知的な葛藤状況の回避につながる複数のアナロジー使用の事例が見られた。例えば、大学生 U11は、水が沸騰しているときに温度が変化しない現象、特に、加熱時間と温度変化の関係を示すグラフの形状について、人のものごとの上達に見られるプラトー現象と地震のエネルギー蓄積とのアナロジーを挙げて、関連の事例がいずれも類似したものであることを述べていた（表19）。いくつかの事例が挙げて、それらが互いに類似していると主張することは、枚挙的な帰納の一つであり、類似した事例が生起することのもっともらしさは示しているが、ターゲットとなる水の沸騰での温度変化を説明するような因果的な関係までは含まない。大学生 U11にとって、いずれの事例もこれまでの経験に深く根ざしたもので実感を伴っていたのであるが、問われている問題に対して説明の内容が対応するものではなく、意識的あるいは無意識的であれ、複数のアナロジー使用は、結果的に、認知的な葛藤状況の回避として機能していたのである。

表19. 複数のアナロジー使用に関する発話（大学生 U11）

<p>U11：けど、この平らなところの説明は私は、やっぱスランプかあと地震とかじゃないですか。地殻の下でエネルギーが貯まって、ある程度になったらあーんってでるっていう。それですね。わかんなかったのはここ（グラフの平らな部分）なんで。</p> <p>R：その地震っていう考え方もできると。</p> <p>U11：地震ですね。地震は受験時代に聞いたんですけど、あの夏。これじゃないですけど、夏時代はそんなに成績が上がらないかもしれないけども、勉強していれば地震のように一気にエネルギーが空きに噴出すると。私は先生に聞いたんで。</p>
---

(U11：大学生 U11, R：調査者)

#### (4) アナロジーによる理解を経ての科学的な理解への移行という学習過程の認識

インタビューした理科系大学生については、一連の調査結果と検討を踏まえると、自己説明としてアナロジーを自発的に活用していること、水を含めて物質の状態変化に関する科学的な知識を一定程度習得していること、という2点がそれぞれ認められる。ただし、アナロジーを自発的に活用して理解していることと科学的に理解していることとの関係は、今回の調査からは直

接的に捉えることはできない。しかしながら、この両者の関係について、インタビュー調査では、大学生が自分の学習過程に言及する場面が見られた。例えば、大学生 U9は、調査者からアナロジーによる学習への否定的な考えがあることを指摘されたことに対して、自分の学習経験への振り返りに基づいて、アナロジーを活用した理科学習の過程に言及したのであった(表20)。

表20. アナロジーによる学習過程の認識に関する発話(大学生 U9)

R: もうそういうなんか喩え使っちゃうと、喩えみたいなの説明使っちゃうと違うところ、さっきいわれたように違うところがでてくると。それが他の次の新しいやつ習ったら、さらに説明できなくなってくると。それが嫌で、もう科学的な言葉で通したいっていう人もいましたね。いろいろいますけど、どうですか?そこら辺に関しては。

U9: ああ、どうなのでしょう。でもなんか、今化学を勉強しているから、全然普段あんまりこういうこと考えてないですけど。でも、やっぱり今でも新しくなんか難しいこと習うと、なんかしら身の回りものに置き換えて、今まで習ったもっと簡単なことに落としてみたりとか。うーん、なんかなんか、翻訳するっていったらおかしいけど、ちょっと簡単なふうに言い換えられないかなあと思って。そうやってたぶんどんどん飲み込んで、いくんだと思うんですけど。うーん。なんか矛盾がでてきたら、なんかまた新たな説を作って、ああなるほどって思って、次からそのうちいつか使えるようになっていくから。だから、どう、そんなふうにして、勉強しているような気がするんですけど。

(U9: 大学生 U9, R: 調査者)

そこでは、大学生 U9のアナロジーによる理科学習過程とは、認知的な負荷の高い学習課題に遭遇したときに、自発的にアナロジーを生成し、それを評価・修正していくことで、科学的な知識を習得・活用していく過程として捉えられている。アナロジーの生成・評価・修正という過程では、複数のアナロジーを使用することがありうるが含まれている。実際に、大学生がアナロジーを生成・評価・修正していく過程を通じて、概念的な理解の変化を探ったウォン(Wong, E.D., 1993)の調査では、アナロジーを生成・評価・修正していく過程に伴って、複数のアナロジーが使用されており、それが重要であると指摘されている<sup>17)</sup>。

同様に、大学生 U8もアナロジーによる学習過程に言及していた(表21)。そこでは、やはりアナロジーの生成・評価・修正という過程が含まれており、ベースとターゲットの双方から対応関係を考えることが述べられていた。

表21. アナロジーによる学習過程の認識に関する発話(大学生 U8)

U8: たぶん、結局最終的には科学的なそういう説明、がすっきりしとって、なんていうかわかやすい、わかりやすくないかなあ。すっきりしているから、そこをそれを理解するためにやってることがこれだ…。私は、そっか何かこういうのをやるときは、まずなんか答え見て、答えを見て、答えの大幅な方向を見てから。後はなんかそれが正しいとか正しくないとかを関係なしに身の回りあることに置き換えてみて、で少しずつ少しずつ、なんか納得していった。でそれと同時になんか科学的なそういうなんていうか、うーん…。手をつないでいるってことは結合しているってこととか、そういう感じでどんどん科学的な言葉に置き換えていった。で最終的にはこっちの考えをなんかもう、捨てるんじゃないけどもう使わないで科学的な説明、科学の説明で全部言えるように、しようとするのかなあ。

(U8: 大学生 U8)

大学生 U8は、水の状態変化を人の活動状態と関連付けて文脈化・構造化したアナロジーを

保持していた。そのような特徴的なアナロジーを保持している一方で、自分自身のアナロジーによる学習過程は、アナロジーによる理解から科学的な理解へと重点が移行しているものとして、認識されていたのである。このような認識は、自分自身のアナロジー使用という学習方略や過程に関するメタ認知的知識のうち、宣言的知識に相当するものであり、それが実際に行われていたとすれば、アナロジーによる理科学習の手続き的な知識や条件的知識<sup>18)</sup>も習得・活用されていると考えられる。

アナロジーによる理解から科学的な理解への移行の道筋の捉え方としては、大学生 U9の発言にあるように、アナロジーの生成・評価・修正の繰り返しを含む往還的な過程という認識と、大学生 U10の「1回ポーンと理解、こう1回こう筋の通った理解ができれば、それは自分なりですけれどもそのステップは省けるようになるんで」という発言にあるような、直線的で不可逆的な過程という認識が見られた。いずれの場合でも、調査対象の理科系大学生は、自己説明としてアナロジーを自発的に生成、活用していくことで、科学的な理解へと移行できているとして、自分の理科学習過程を特徴付けていたのである。

## 6. おわりに

本稿では、理科カリキュラムにおいて各学校段階で教育内容として含まれる「物質の状態変化」を事例として、質問紙調査ならびにインタビュー調査を通じて、理科系大学生のアナロジーの使用の特性を探った。アナロジーの目的・機能、アナロジーの生成、アナロジーの評価、アナロジーの内容領域、アナロジー使用とその環境の5つの観点から、理科系大学生のアナロジーの使用は、表22のように特徴付けられるものであった。

表22. 理科系大学生のアナロジーの使用の特性

観 点	特 性
科学領域での熟達	<ul style="list-style-type: none"> <li>・専門課程での入門・途中段階にある。</li> <li>・中学生・高校生と比べて長期の理科学習者である。</li> <li>・科学的な知識も豊富になり、体系化が図られてきている。</li> </ul>
アナロジーの目的・機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・科学的な知識の習得方法（意味付ける方法）として使用している。</li> <li>・自己の認知状態の表現や説明の方法として使用している。</li> <li>・学習過程での認知的な葛藤を回避する手段にもなっている。</li> </ul>
アナロジーの生成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・認知的な課題に直面した場面で自発的に生成することがある。</li> </ul>
アナロジーの評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自己の生成したアナロジーの限界を認識している。</li> <li>・個別のアナロジーの評価では、関連の科学的な知識をメタ認知的な知識として活用している。</li> </ul>
アナロジーの内容領域	<ul style="list-style-type: none"> <li>・生命現象に限定されず、自然を擬人化したアナロジーが見られることが多い。</li> </ul>
アナロジー使用とその環境	<ul style="list-style-type: none"> <li>・中学生・高校生の段階から、自発的にアナロジーを使用している。</li> <li>・アナロジーの生成・評価・修正の過程を通じて、科学的な理解へと移行するという基本的な認識をもっている。</li> </ul>

## 引用文献および註

- 1) Chi, M.T.H., "Two Approaches to the Study of Experts' Characteristics", in Ericsson, K., Charness, N., Feltovich, P.J., Hoffman, R.R. (eds.), *The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance*, pp.21-30, 2006, Cambridge University Press.
- 2) 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.
- 3) Spier-Dance, L., Mayer-Smith, J. Dance, N., Khan, S., "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.
- 4) Coll, R.K. Treagust, D.F., "Learners' Use of Analogy and Alternative Conceptions for Chemical Bonding: A Cross-Age Study", *Australian Science Teachers' Journal*, 48(1), pp.24-32, 2001.
- 5) Arnold, M., Millar, R., "Learning the Scientific "Story" : A Case Study in the Teaching and Learning of Elementary Thermodynamics", *Science Education*, 80(3), pp.249-281, 1996.
- 6) Lakoff, G., Johnson, M., *Metaphors We Live By*, p.25, 1980, The University Chicago Press (邦訳書: 渡辺昇一, 楠瀬淳三, 下谷和幸 (訳), 『レトリックと人生』, 38頁, 1986, 大修館書店).
- 7) 有馬朗人, 他57名, 『理科の世界 1年』, 101頁, 2013, 大日本図書。
- 8) Coll, R.K., "Effective Chemistry Analogies", in Harrison, G.A., Coll, R.K.(eds.), *Using Analogies in Middle and Secondary Science Classrooms; The FAR Guide-An Interesting Way to Teach With Analogies*, pp.170-174, 2008, Corwin Press.
- 9) Chi, M.T.H., Lewis, M.W., Reimann, P., Glaser, R., "Self-Explanations: How Students Study and Use Examples in Learning to Solve Problems", *Cognitive Science*, 13, p.175, 1989. ちら (Chi, M.T.H., 1989) は, 大学生を対象にした物理学の問題解決に関する調査から, 与えられた問題の行為の条件の洗練・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ことを報告している。
- 10) Wong, E.D. (1993), *op.cit.*2).
- 11) Coll, R.K. Treagust, D.F. (1993), *op.cit.*4). ちなみに, そのアナロジーとは, 金属の原子核を島, 電子を海水とし, 島を海水が取り囲んでいる状態を金属結合の状態として捉えるものであり, 「電子の海」と呼ばれている。それ以外のアナロジーとしては, 擬人化が見られたことが報告されている。
- 12) Spiro, R.J., Feltovich, P.J., Coulson, R.L., Anderson, D.K., "Multiple Analogies for Complex Concepts: Antidotes for Analogy-induced Misconception in Advanced Knowledge Acquisition", in Vosniadou, S. & Ortony, A.(eds.), *Similarity and Analogical Reasoning*,

- pp.498-510, 1989, Cambridge University Press.
- 13) Glynn, S. M., "Explaining Science Concepts: A Teaching-With-Analogies Model", in Glynn et al.(eds.), *The Psychology of Learning Science*, pp.236-237, 1991, Lawrence Erlbaum Associates (邦訳書：稲垣成哲, 「科学概念の説明：アナロジーによる教授モデル」, 武村重和 (監訳), 『理科学習の心理学』, 260-261頁, 1993, 東洋館出版).
  - 14) 三宮真智子, 「メタ認知研究の背景と意義」, 三宮真智子 (編著), 『メタ認知－学習を支える高次認知機能－』, 7-11頁, 2008, 北大路書房。
  - 15) Hesse, M.B., *Models and Analogies in Science*, pp.7-11,1966, University of Notre Dame Press (邦訳書：高田紀代志 (訳), 『科学・モデル・アナロジー』, 8-11頁, 1986, 培風館).
  - 16) Spiro, R.J., et al., (1989), *op.cit.*12), pp.514-515.
  - 17) 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.
  - 18) 三宮真智子 (2008), 前掲書14), 7-11頁。

