

科学の学習過程にみられる「思い違い」

—— 教師教育のための分析と教材化

森川 鐵朗*・榊原 正明**

(平成14年4月25日受付；平成14年6月11日受理)

要 旨

本論文では、自然科学の学習過程にみられた思い違い（誤解）を四種類「身近な現象の理解」「簡単な測定器具の使い方」「教科書の実験の解釈」「法則の証明法における論理」に分けて検討する。そのような思い違いの生まれた教材は、科学教師をめざす学習者のために、積極的に取り上げられるべきである。思い違いは科学の学習過程でしばしばみかけるものであり、科学の理解は誤解を修正しながら深められていくものだからである。教師教育のための実験教材化の形式は次のようにまとめられる。学習者に、まず、実験を示し「何が起こるか」「どうなるか」と結果の予想を求め、次に「これは何を示す実験か」「どうしてこうなったか説明せよ」と根拠を分析説明させ、最後に、実験全体の流れを検討させる。思い違いの例題を分析してみると、科学学習者には、科学的思考法を注意深く教える必要があることがわかる。

KEY WORDS

misunderstanding	思い違い	textbook error	教科書の間違い
an inverted glass	さかさコップ	wetting	ぬれ
a thermometer	温度計	boiling point	沸点
Dalton's law	ドールトンの法則	begging the question	論点先取
scientific thinking	科学的思考	quantitative	定量的
teaching materials	教育資料	teacher education	教師教育

1 はじめに

自然科学の発展と伝承には、多くの「思い違い（誤解、誤謬）」が知られて¹⁻⁵⁾いる。教員養成系の本学の院生（現職の初等中等教育教員）や学部学生に以下の例題（見本）を質問すると、やはり、思い違えている答が返る場面が多い。初等中等教育の現場において、例題のようなテキストブックエラーは再生産されているようだ。

科学に関連して現れた思い違いは、科学現象^{1,3,4)}に直接的に関係するもの、歴史的な記述²⁾に関係するもの、科学そのもの⁵⁾に関係するものなど、様々である。本論文では、この第一のもののみを取り上げる。自然現象の記載の誤謬は、人による見解の相違として片付けられないもので、他の実験や方法により正せるものである。物理化学的現象に直接関連する思い違いの諸例

* 上越教育大学自然系教育講座

** 鳥取大学工学部物質工学科

を、身近な現象の理解、簡単な測定器具の使い方、教科書の実験の解釈、法則の証明法における論理の展開などに分けて検討する。どの例題も詳しい出典のあるものだけを選んである。

思い違いの生まれた教材は、科学学習の場面でもっと積極的に取り上げられてよい。「未知の問題に取り組めば当然⁶⁾」誤りをおかすのは科学者の世界の話であるが、科学の教師も学習する生徒・学生もやはり、思い違いを修正しながら科学の理解を深めていくもの⁷⁾だからである。そのような学習場面は、生徒・学生が間違いやすいところであり、教師が特に注意すべきところでもある。つまり、生徒・学生が間違い学習場面は、かれらが科学の方法や考え方を理解するよい教材に直面しているということであり、誤解があるとの指摘は揚げ足取りのためではないのである。また、思い違いが生まれた教材は、生徒・学生の思考方法を正すよい場面を生み出すだけでなく、科学の成果のみを暗記して前に進もうとする生徒・学生が増えている現況にたいする警告にもなるからである。本論文では、科学学習の場面にみられた思い違いを分析し、初等中等教師教育のための教材化をはかる。

2 「思い違い」の教材化と考え方について

自然科学の実験教材を授業展開する基本的な流れは、「予想」「分析」「検証」の三段階の繰り返しである。つまり、学習者に実験させて、あるいは、教師が演示して観察させてから、結果を予想させ、科学的な分析（説明）を求め、実験で検証する、と進む。このような教材化の形式⁸⁾は、次のように言い換えられる。学習者にたいして、まず、科学的な内容・実験を中途まで示し「何が起こるか」「どうなるか」と予想を求め、次に、実験を完了してから「なぜか」「これは何を示す実験か」と根拠を説明させる。さらに、かれらの解答（正答あるいは誤答）を議論させ、最後に全体を検討させる。特に「予想」においては、学習者にその根拠を問うことが大切である。学習者の説明に誤解があれば、さらにこれらの三段階を繰り返す。「さかさコップの実験」でこの流れをまず例示してみる。

A. 「さかさコップの実験」(現象をみせること) ガラス製のコップに水道水を満たし、ガラス板でふたをする。手でふたをおさえたまま、コップをさかさにする。(どうなるかと予想すること) ガラス板は落ちないし、水はこぼれない。(根拠を問うこと) なぜか。(解答例) 大気圧がガラス板を押し上げているから。

コップをさかさにした段階で「手をはなしたらどうなるか」と学習者に予想させる。次に、かれらに「なぜか」と根拠を問うてみる。もっともらしい典型的な解答が、この「大気圧が押し上げているから⁹⁾」である。筆者の経験でも、教員養成系の大学生（以下、学生）は多くはそう考え、そう答える。そこで、この解答を否定する実験を次に示す。コップの水を半分ほどにして、さかさコップの実験をする。どうなるかと問いかけてから、やはり水はこぼれないことを示す。このとき、ガラス板をコップの内から押す圧力は、コップ中の空気圧（大気圧にほぼ等しいはず）と水による圧力の和である。一方、ガラス板を外から押し上げ（ていると仮定する）ときの圧力は、大気圧のままである。したがって、大気圧が原因とはいえないだろう、と学生に切り返すのである。ここで、再度、ではなぜかと問いかける。多くの学生はこれ以上は進めない。「表面張力による」と答える学生も少しいる。それを確かめるにはどうしたらよいか、

という教師からの質問には答が返ってこない。

未知のものを発見することは、だれにとっても高度な科学(する)力が要求される。新規の科学知識が、初等中等教育段階の学習者から生まれることはほとんどない。簡単にみえる身近な現象に対しても「学習者自ら発見して」という指導法にはあやうさがひそんでいる。科学学習とは学習者に、熟練科学者(熟練教育者も含む)の発見の(試行錯誤の)プロセスを、発見の疑似体験として(一部)再現することなのである。前段落の否定実験も以下の検証実験も、無数の科学的試行をくり返し、無駄だった実験を捨て整理した結果であった。

科学実験の常道では、実験のどのあたりが影響しているかを、まず押さえる。さかさコップの実験では、水とガラスと大気に関係しているとみて、大気の影響を調べるために、次の検証実験を示す。さかさコップの実験を水中でしてみる。つまり、さかさコップの下部(ふたの付近)が水にひたっているようにすると、ガラス板は下に落ちてしまう。このとき、ガラス板は、大気圧と水圧の両者で下から押し上げられていて、ますます落ちにくいはずなのに。同時に、この実験はガラス板とコップに挟まれた付近の表面張力を消している。Aの実験でふたが落ちないのは、大気圧が押し上げているためではないが、大気中で観察されることがわかる。次に、コップとふたがガラス製であること(材料の性質)がポイントかもしれないと考えてみる。ふたをガラス板より軽いフッ素樹脂(テフロンなど)製に変えてみると、今度は水がこぼれてしまう。ふたをよく洗い乾燥させ、水滴を落とし、材質の違いによる変化を観察する。こうして、さかさコップの実験には表面張力と「ぬれ」がきいている⁹⁾と推定できる。

さかさコップから水がこぼれないわけ⁹⁾は、ガラス板を引き離すとき、表面が生成されエネルギーが必要だから、と考える。または、水の表面張力が水の表面積の増大に逆らう作用をする、と考えてもよい。すなわち、板がガラスのように、水にぬれることが、まず必要である。ぬれない(あるいは、ぬれにくい)板でふたをすれば、水はもれてしまう。ついで、水の表面張力¹⁰⁾が水とガラス板とを支える、と考える。さかさコップの実験を発展¹¹⁾させれば、さらに深く考察できる。

B. 「液体温度計で水の沸点を確認する実験」(現象をみせること) 水道水をビーカーに入れ、赤液棒状温度計を差し入れる。バーナーで加熱し、沸騰したところで温度計の示度を得る。(どうなるかの予想) 沸騰しているので、100℃になる。(実験結果) 実際には、なかなか100℃にならないで、上下2-3℃くらいずれることが多い。(問うこと) どうしてか。(解答例) 大気圧の変動による。

大学水準の物理化学の実験書¹²⁾で述べられているように、沸点の測定は上のような簡単な実験ではうまくいかない。実験器具の使い方としての検討¹³⁾もある。学生の答の一は「水道水だから」であり、水道水は純粋でないから、と根拠を述べる。そこで、水の沸点は水道水(程度に物質が溶けていても)では、そんなに大きくずれない、水の沸点上昇定数¹⁴⁾は0.51/(°Ckg/mol)だから、と切り返す。学生の答のその二は解答例である。水の沸点は大気圧720 mmHgでは98.5℃で、大気圧は標高差10 mで1.2 hPa減少する¹⁴⁾という。そこで、次式を得る。

$$(720 \text{ mmHg}/760 \text{ mmHg}) \times 1013 \text{ hPa} = 960 \text{ hPa}$$

$$10 \text{ m} \times (1013 - 960) \text{ hPa}/(1.2 \text{ hPa}) = 442 \text{ m}$$

つまり、海拔約 440 m で 1.5 °C 下ることになる。この大学の教室は、海拔 100 m もないので大気圧のせいではない、と切り返す。

科学学習が暗記しているものを適当に思い出して答える「科学おもしろクイズ」になってしまっていることを、学生の解答過程は端的にみせている。複数の原因が強く弱くとからむ身近かな現象において、原因の定量的な見積りができなければ、主たる原因を特定できないので、結局は結果を暗記するだけが科学学習となってしまうのだろう。科学知識が学生に定着したとは、学生自身で現象の原因を分析でき、それぞれの原因の大きさを比較判定できてこそ、そういえるのではなかろうか。

温度計の液柱が、測定対象の溶液外に出ているときの較正¹²⁾をする。液体温度計の液柱のみかけの膨張率 (1/°C) を約 1/1000 とする。温度計は溶液外の (0 - 100 °C の) 部分が平均して 70 °C とすれば、

$$(100 - 70)/1000 = 3/100$$

となる。この温度計の状況では 97 °C を示す。ふつうの温度計は (少なくとも読まれる) 液柱部が測定対象の媒質中にひたるようにしたとき、正しい示度となるように製作されている。そこで、そのような測定法がとれないときは、わきに温度計をもう一本添えて、補正する。ある水銀温度計が溶液中に 10 °C の目盛までひたっていて、読みが 99 °C とする。この副温度計の読みは 70 °C とする。温度計のガラス管の膨張も考慮して、

$$(99 - 10)(99 - 70)/6000 = 0.43$$

を得る。この水銀温度計では 99.4 °C となる。沸点測定装置とくらべるとわかるが、ピーカーによる実験では 1-2 °C くらいの過熱も容易に起こりうるし、絶対的な温度を測定するには、温度計の定点較正もしなくてはならない。

以上の議論をまとめてみる。中等科学教育の授業では「水の沸点は 100 °C であると確認する実験」としての設定をしない。自然科学の測定は、いろいろと注意をはらってこそ定量的に信頼できるようになる実験の一例として、水の沸点測定を利用する。あるいは、次のように説明する。科学者は(歴史的に)水の沸点を 100 °C に決めたこともあった。現在、沸点は、99.975 °C (付近)にあると測定されている。ふつうの液体温度計は、全体を測定する溶媒中に入れると正しい値を示すようにつくられているので、そのように使うのだけれども、温度計をピーカーに入れただけではそうはならないし、過熱をさける装置を用意しなければならない。気圧の変化や温度計の経時変化もある。温度定点を使って温度計の較正もしなくてはならない。だけれども、だいたいの沸点は測れている、と。なお「水の沸点は 100 °C であることを示そうとして、温度計で測定すること」については、後で議論する「論点先取の虚偽」にも注意すること。

C. 「噴水の実験」(現象の提示)丸底フラスコ (500 mL 程度) に水を 4 分目くらい入れる。ゴム栓にガラス管を通す。このガラス管つきゴム栓をフラスコにはめる。このとき、フラスコ内のガラス管の先は、フラスコの底近くまで水中を通っている。フラスコの外に出ているガラス管の先端は細くしばっておく。(予想) このフラスコに熱湯をそそぐと、どうなるか。(実験結

果) 天井にとどくほど水が噴き上り、長く持続する。フラスコ内の水がほとんどなくなり止むほどである。(問うこと) この現象を説明せよ。(解答例) フラスコ内の空気が温められて膨脹し、水を押出すから。

現象の解釈を誤った例である。この実験は、空気は膨脹して量(かさ)を増す、を示すものとして、小学校4年理科の教科書で長く使われていた。つまり、解答例が、この現象を説明するものとして教科書で教えられてきたのである。現在の学生も、以下のような各法則を知ってはいるけれども全滅で、同様な誤答をする。この解答が誤りであるとの指摘と検討¹⁵⁾は、教訓に満ちている。だれでも、空気はみえないけれどもまず気にする(解答例はそれなりに筋が通っているようにみえる)が、みえない変化(水の気化)は見のがしやすい。科学的状況の正確な把握は、だれにとっても確かに難しい。自然は、人間にその失敗を教えてくれないし、人間のしたとおりに答を出すだけである。この実験は、みえない変化に配慮させる教材として使える。

フラスコ内の水面上に油を入れ、さらにフラスコの内壁に水滴がつかないように乾燥しておいて、実験すると噴水とならない¹⁵⁾ことがわかる。水の噴き上がりはわずかで、しかも短時間で止まる。この例題にも、現象の定量的な検討が有効である。仮に、フラスコ中の空気が 30 °C から 90 °C まで上昇したとすれば、

$$(273 + 90)\text{K}/(273 + 30)\text{K} = 1.2$$

で約2割の体積増となる。これでは噴水とならない。液体の水 18 g ほぼ 18 mL (0 °C, 1 気圧) が全て 80 °C の気体になるときの体積増を計算する。

$$(22.4 \text{ L}/18 \text{ mL})(273 + 80)\text{K}/(273 \text{ K}) = 1609$$

体積は約 1600 倍になる。この「噴水の実験」は空気の膨脹の観察ではなくて、液体の水が気化するときの体積の激増を示す実験であったのである。この実験の教訓は、容器内に液体と気体が共存するときの膨脹実験にもあてはまる。

D. 「分圧の法則を証明する実験」次の例はよくみかける。(現象を提示すること) 全圧 P 、体積 V 、温度 T の、例えば、酸素と窒素の混合気体がある。この混合気体から(ピログロールなどを用いて)酸素を完全に除去したとする。残る窒素ガスの圧力を測定し、 T 、 V に換算して、 $p(\text{N}_2)$ を得る。さらに酸素ガスを定量して $p(\text{O}_2)$ を得る。(結果の予想) $p(\text{N}_2) + p(\text{O}_2) = P$ となる。(何を示す実験か) 分圧の法則を証明している。(質問) この実験で、ほんとうに証明できているか。(解答例) 完璧に正しい。

ドールトンの分圧の法則は通常、混合気体の圧力は各成分気体が独立に(単独に)占める場合の圧力の総和に等しい、のようにいわれる。この証明実験は明らかに、証明を必要とする命題を前提としてしまう、論点先取の虚偽^{16,17)} fallacy of assuming the point in debate をしている。この計算では分離操作に対して、分圧に変化がないことを前提としている。この前提こそ、分圧の法則なのであるから。ドールトンの法則の証明法における論点先取は論理的な誤謬の典

型例で、多くの文献にみられる。Nash の説明¹⁸⁾では以下のものである。「二つのシリンダー A と B (体積 1 L と 2 L) にそれぞれ気体が入っていて、その圧力をいずれも P とする。コックを開いてシリンダーをつなげる。ボイルの法則により、気体 A の圧力は $P/3$ 、B の圧力は $2P/3$ となる。ドールトンの予測によれば、全圧 $= P/3 + 2P/3 = P$ となるという。これで分圧の法則を証明した」としている。しかし、これもやはり、論点の先取である。

誤解を慎重にさけた言い直し¹⁹⁾もある。「混合気体の全圧 P 、気体成分 A のモル分率 x_A として、 $x_A \times P = p_A$ を A の分圧という。したがって、全圧 P は各成分の分圧の和に等しい。以上は、気体が理想的であるかどうかに関係である。」この分圧の定義では「成分気体が独立に占める云々」としないで、モル分率(これなら測定できる)を使う。このときの p_A は、実在気体の圧力とは異なる点に注意する。いま、理想気体として、 $PV = nRT$ に $P = p_A/x_A$ を代入すれば、

$$p_A V = x_A nRT = n_A RT$$

を得る。すなわち「成分気体が独立に占める云々」といえる。理想気体とはそういうものなのであった。

3 おわりに

初等中等科学教育段階では、身近な現象の巨視的(熱力学的)性質を微視的(原子・分子的)に説明するとき、思い違いがよく現れる。例えば、液体の混合による体積の減少例として、水とエタノールが取り上げられる。このとき、それぞれを 50 mL 取り混合しても 100 ml とならないのは、互いに隙間に入るからと説明されるが、これは誤り²⁰⁾である。混合液体の体積の減少は隙間に入るからと、砂と米、小豆と米などが例示としてよく使われている。その他、ボルタ電池²¹⁾などの電気化学の問題、化学実験上^{22,23)}の問題などもある。

科学教育資料にみられる思い違い(誤解)の指摘や訂正の提案は、実に様々である。前述までの思い違いの 4 例題が示すように、結果を知らなくて分析し正しく答えることは、科学教師も学生も極めて難しい。正解のわからない(暗記していない)問題に直面して、いろいろと検討する(できる)力こそが真の科学する力なのであろう。教員養成系の学生にとって、科学する力の涵養のために、教師との科学対話は欠かせない。

註 と 文 献

- 1) 科学史上の大きな「思い違い」は、青木国夫他『思い違いの科学史』(朝日新聞社、1978)で議論されている。本書の「あとがき」には、「われわれの持っている科学知識はいわば結果だけをうのみにしてしまっている」「科学の発達してきた過程も、日常的な感覚による思い違いから出発している」とある。
- 2) 教科書にみられる化学史に関する誤解の例は、日本化学会編『化学史・常識を見直す — 教科書の誤りはなぜ生まれたか』(講談社、1988)で議論されている。
- 3) 学校現場で出会う事例については、嶋田 治・林良重編著『小学校・中学校 誤りやすい

- 理科 100題 物化編】(東洋館出版社, 1972) で解説されている。その 75「水の電解における水素と酸素の体積比」(pp.160-161)では、水酸化ナトリウム水溶液をニッケル電極で電解したとき、2対1とならない主原因は、析出気体が電解液に溶解するから、とある。
- 4) 英語圏の化学教育専門雑誌にみられる誤解は、F. M. Van Meter and W. H. Eberhardt, "Textbook Errors Index," *Journal of Chemical Education*, 44(6), 356-361 (1967); W. H. Eberhardt, "Textbook Errors Index," *ibid.*, 57(2), 129-133 (1980)などを参照のこと。
 - 5) 化学そのものに対する誤解は、山崎 昶「化学に関するさまざまな誤解」(『化学教育』32(4), 322-325, 1984)で紹介されている。
 - 6) 前掲書、青木 (1978) の p. 121 (板倉聖宣) からの引用。
 - 7) 物理化学の教科書で世界的に知られているアトキンスも間違えたようだ。P. W. Atkins, *The Second Law* (Scientific American Books, New York, 1984), Chap. 5, p. 92, では「可逆的スターリングサイクルの効率は、可逆的カルノーサイクルのそれに等しい」という。これは誤解である。熱効率は、可逆的カルノーサイクルが最大で、その他の可逆的サイクルや不可逆的サイクルはより小さい。この指摘は、K. Seidman and T. R. Michalik, "The Efficiency of Reversible Heat Engines - The Possible Misinterpretation of a Corolly to Carnot's Theorem," *Journal of Chemical Education*, 68(3), 208-210 (1991)による。
 - 8) 本原稿では教材化の考え方として、UNESCO, *Unesco Source Book for Science Teaching* (Unesco, Amsterdam, 1956)を参考にした。第7章の pp. 73-75 では、さかさコップの実験を「大気圧による」と説明している。この実験のふたはガラス製ではなくて、厚紙である。本書の新版 *New Unesco Source Book for Science Teaching* (Unesco, 1973)の翻訳、小林 実訳『ユネスコ 実験のくふう 605 例』(大日本図書, 1976)では、p. 138 でも「空気がコップの水を支える」とある。
 - 9) 文献は、佐々木恒孝「ぬれる」(『化学教育』24(1), 22-32, 1976)で、詳しい説明は、文献11にもある。大気圧を原因とする「さかさコップの実験」の説明は、さらに古くは、文献8にみられる。縫針をチリ紙にのせ水面に浮かべる。すると、紙は沈み、針は浮く。水よりも密度の大きい針が浮くのは、水の表面張力によると説明される。では、なぜ、同じ水の表面張力で、ガラス針は浮かないのか。水にぬれない鉄の縫針は浮き、ぬれるガラス針は沈む。表面張力の作用は、ぬれの有無で異なってくる。中等科学教育では表面張力の問題をあつかうとき、ぬれが欠落しがちである。ある中学校の教室でみられた説明「木製の箸を汁がたい落ちるのは、表面張力が原因である」はまず、ぬれを教えなくてはならない。佐々木恒孝「コロイド・界面化学の Textbook Error」(『化学と教育』37(2), 190-193, 1989)も参照のこと。
 - 10) 井本稔『表面張力の理解のために』(高分子刊行会, 1992)第1章では、表面張力の定義「液体の表面積を 1 cm^2 増加させるに必要な仕事量」は誤っているとして、表面張力は表面積 1 cm^2 に存在するギブス自由エネルギーであるとして、単位は erg/cm^2 を採用している。同著者による「なぜ油と水は混ざらないか—表面張力から考える」(『化学と教育』36(4), 394-397, 1988)も参照のこと。なお、 $\text{erg/cm}^2 = 10^{-3}\text{ J/m}^2 = \text{mJ/m}^2 = 100\text{ nJ/cm}^2$ である。
 - 11) 佐々木恒孝「さかさコップとさかさ瓶の実験」(『化学と教育』35(5), 464-465, 1987)による。コップに金網、約 4 mm 目、を張り、上から水をそそぐ。次に、コップをさかさに

- しても水はこぼれない。なぜか。細口瓶の孔径 1.77 cm までは水がこぼれないが、1.7 cm くらいまでならばいったん水中にさかさにたててから、ゆっくり引き上げるとうまくいく。四角目の網では、0.4 cm では水はこぼれないが、0.5 cm ではこぼれたり、こぼれなかったりする、という。なお、T. Sasaki, "Parameters Affecting Whether Water Will Flow Out from an Inverted Open Bottle," *Journal of Chemical Education*, 66(12), 1005-1006 (1989) も参照のこと。
- 12) 例えば、鮫島實三郎『物理化学実験法』（裳華房、第 34 版 1965, 初版 1927）第 3 章、特に第 14 節に詳しい。副温度計を使う較正法と計算式など。その他、千原秀昭編『物理化学実験法』（東京化学同人、第 2 版 1979）の付録 A 9 など。液体のみかけの膨張率の値は、この後者の文献 (p. 331) による。温度計メーカーによれば、赤液棒状温度計 (-5~105℃) ではアルコール温度計と称していても、オイルレッドで色付した灯油 kerosene が使われているとのこと。
 - 13) 板倉聖宣『科学的とはどういうことか』（仮説社、1977）の p. 41 以下に詳しい。
 - 14) 沸点上昇定数は、D. R. Lide, Editor, *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (CRC Press, Boca Raton, 1995) による。気圧変化データは『理化学辞典』（岩波書店、第 3 版 1978）の「気圧」p. 286, 「水」pp. 1317-1318, mb を hPa に変換、による。
 - 15) この説明が誤りであるとの指摘は、藤島一満「空気熱膨張実験の解釈について」（『物理教育』32(3), 151-155, 1984, 武庫川女子大学文学部教育学科の卒業論文）にある。毎日新聞、1987 年 1 月 16 日付 でも取り上げられた。試験管温度計の改良 (p. 151) では、水と空気または水と空気と油を使っている。なお、同氏「空気膨張の衝撃的実験」（『物理教育』32(1), 5-9, 1984) も参照のこと。
 - 16) ドールトンの分圧則の証明におけるこの論点先取の虚偽の指摘は、前掲書、文献 2 の第 3 章（井山弘幸）にある。この法則は、ドールトンの「発見」したものではない、という。
 - 17) 論点先取の虚偽の例として「質量の加法性を教えるために計器（秤）を仮定する」もよくみかける。質量の加法性の指導で例えば、秤上で 100 g の水に 10 g の塩を溶かすと、110 g になると示す。「人間の感覚から導きだされた計器を、事前に (a priori) 仮定するという点で、根本的に論点先取の誤り (beg the question, petitio principii) つまり、結論として導かれるはずのものを仮定するという誤りを犯している。」この項は、銀林 浩『量の世界—構造主義的分析』（むぎ書房、1975）第 1 章 p. 14 による。結果をみて原因をさがす（結論から遡行する）方法は科学ではよく使われるが、論点先取とは違う。
 - 18) L. K. Nash, 慶伊富長・大倉一郎訳『化学量論』（東京化学同人、1970）第 2 章による。
 - 19) この慎重な言い回しは、玉虫伶太『活量とは何か』（共立出版、1983）第 1 章第 3 節の脚注 p. 7 による。なお、分圧に関連して教科書にみられる「空気が水蒸気を含む」にたいして、「水蒸気を含むのは空間であって空気ではない」という指摘は、谷山 稔・森 征洋「水蒸気の飽和概念の理解について—誤概念と指導法」（『地学教育』54(1), 1-9, 2001）に詳しい。
 - 20) 鐸木啓三「化学の教科書に現れる 2, 3 の誤りとその訂正」（『理学専攻科雑誌（東京理科大学）』3(2), 34-37, 1982）には「水は水素結合で引掛って大きい体積をもっているのに、その水素結合を減らす役割をするものがはいると、体積がぐんと減る」とある。水は身近な物質であるが、物理化学的にみると、極めて特異な液体であることに注意が必要である。
 - 21) ボルタ電池の問題点と誤解の指摘は、横山隆充・延与三知夫「高校理科教科における電池

の説明について」(『化学教育』28(3), 298-300, 1980)にある。渡辺 正「教科書の記述を考える：電気分解：虚像と実像—電気化学(その2)」(『化学と教育』44(10), 656-659, 1996)や、坪村 宏「教科書の記述を考える：ボルタ電池はもうやめよう—問題の多い電気化学分野の記述」(『化学と教育』46(10), 632-635, 1998)など。

- 22) 重松栄一「現在の学校での化学実験に誤りはないか」(『化学教育』25(2), 139-140, 1977)では、高校教科書の実験例を取り上げ、観察結果の解釈の行き過ぎに警鐘を鳴らしている。圧力変化による二酸化窒素と四酸化二窒素間で平衡移動をみる実験では、ピストンの軸方向からみるように指示しているが、この方法は繰り返し検討されている。例えば、西川友成「化学平衡の移動を示す新しい教師実験」(『化学教育』13(1), 91-94, 1965)や、下田善夫・高江州瑩・富岡康夫「注射筒中の二酸化窒素の挙動—二酸化窒素の圧力による平衡移動の実験によせて」(『化学と教育』36(6), 618-621, 1988)や、栗岡誠司「二酸化窒素と四酸化二窒素の圧力による平衡移動の観察道具の提案」(『化学と教育』47(8), 574, 1999)など。化学反応の誤解については、池田芳次「化学反応式についての一考察」(『化学教育』14(2), 239-242, 1966)など。その他、森川鉄朗・林 譲「化学教育における平衡をめぐる理解と誤解について」(『上越教育大学研究紀要 (ISSN 0915-8162)』19(2), 461-471, 2000)など。
- 23) 津田 栄『私の歩んできた理科教育の道』(編者、中村寿子・林 良重・有川 寛, 大日本図書, 1982)の pp. 154-156「ウソとゴマカシの化学教育(初出, 1950)」では、ウソの化学授業例を掲げている。「亜鉛に希硫酸を注ぐと水素が発生する(純粋な亜鉛に純粋な希硫酸を加えても、水素は実際にはほとんど発生しない)」「教室で発生する水素をガラス管で導いて点火すると、黄色い炎をあげて燃える。このように水素の炎は光が弱い(この炎の色は水素のものではなくて、ガラスの成分による)」「ロウソクの炎は外炎, 内炎, 炎心の三部分から成る(実際は、下方に青色部分が観察される)」「水(硫酸を少し加えて白金を電極として)の電気分解で発生する水素と酸素は体積で2:1となる(実際には2:1とまらない)」。なお、亜鉛と希硫酸(あるいは塩酸)で水素を発生させる実験法は、例えば、中西啓二・加藤俊二『化学実験の事故をなくすために—100%安全な生徒実験』(化学同人, 1984)の第2章にある。ロウソクの炎の青色部については例えば、平野敏右「燃焼とはなにか」(『化学と教育』35(3), 201-203, 1987)には、化学種 CH や C₂ などの発光によると説明されている。水の電気分解では、鈴木智恵子・居林尚子「水の電気分解における電極と電解質の関係についての再検討」(『化学と教育』41(6), 396-399, 1993)とその引用文献を参照する。

Misunderstandings in the Science Learning Process — Analysis and Materialization for Teacher Education

Tetsuo MORIKAWA* and Masaaki SAKAKIBARA**

ABSTRACT

This note deals with four types of misunderstanding in the science learning process; comprehension of phenomena in everyday life, how to use simple instruments for measurement, interpretation of experiments in textbooks, and the logic of verification of natural laws. Such teaching materials should be positively introduced to students who aim at science teaching, because not only do misunderstandings often appear in the learning process, but also the students learn natural science over their misunderstanding. The format of materialization for teacher education is as follows. The science teachers have to ask the students, firstly “What happens?” after the experimental demonstration. Secondly, “What does this show?” or “Can you explain why this happened?” Lastly, “Re-examine the experimental procedure globally!” Analysis of the misunderstandings suggests that each science learner needs to be carefully taught scientific thinking.

* Department of Chemistry, Joetsu University of Education, Joetsu 943-8512, Japan

** Faculty of Engineering, Tottori University, Tottori 680-8552, Japan