

理科教育における物質概念の形成について

森 下 浩 史*

(昭和56年10月31日受理)

A Study on the Formation of the Matter Concept in Science Education

Hirofumi MORISHITA

(Received Oct. 31, 1981)

I はじめに

中学校の化学分野では、物質について巨視的な見方から微視的な見方をさせることで、物質の粒子観を形成させ、その粒子観に基づいて我々の周囲で起っている多くの現象を、統一的に見ていかせようとする態度を育成させることが、最も重要な事からである。小学校の段階での学習において、物質の水への溶解や燃焼現象の観察から、物質についての微視的な見方の素地といったものは少しずつ形成される。しかし、その見方は主に巨視的であって、ここではまだ微視的な粒子観が形成されているのではない。物質について定量的な取扱ができるようになって、初めて実体のある粒子観が認識されるようになるのである。このような理由から、中学校の段階でおこなわれる定量実験に、物質についての粒子観を形成させるための大きな役割が掛けられている。

中学校学習指導要領では、第一分野「化学反応」の項目の中で定量実験がなされるようになってきている。そこでは、金属の酸化や金属酸化物の還元を扱って、定比例などの法則を確かめさせ、原子・分子の粒子モデルの導入を第一の狙いとしている。しかしながら、教科書などに記されているこれらの定量実験では、量的関係についてあまり良い結果が得られない場合がある^{1,2)}。金属酸化物の還元反応について、主に定量的にいくつかの実験を教材として利用できるかどうか検討してみたので報告する。

II 理科学習指導要領における物質観について

今回の学習指導要領改定の趣旨は「内容を精選してゆとりあるしかも充実した学校生活を可能とするような教育課程の実現を目指す」ことにあるようだ。理科においても、学習内容の基礎的・基本的な事項へのより一層の精選がなされた結果、その内容量は大幅な減少となった。

その中で、「物質」に関する事項について見てみると、小学校では「観察・実験などを通して、自然を調べる能力と態度を育てると共に、自然の事物・現象についての理解を図り、

*長崎大学教育学部理科教室

自然を愛する豊かな心情を培う」ことに目標を置いている。物質に関しては、水や空気とのかかわりの中で、身近に起っている現象から、物質の一般的属性や基本的法則を見ていかせようとしている。その学習内容の主な事項として、i) 空気には弾性があること(3年)。ii) 物が水に溶けると、物は水の中に広がっていくこと(4年)。iii) 物の溶け方は、水温によって異なること(4年)。iv) 温度によって水の状態が変わること(4年)。v) 物の重さは、てんびんで測れること(4年)。vi) 物が水に溶けても、その重さは変わらないこと(5年)。vii) 植物体などが燃えるときは、酸素が使われ二酸化炭素ができること(5年)。viii) 水溶液には金属を溶かすものがあること(6年)。などである³⁾。

中学校では「観察・実験などを通して、自然を調べる能力と態度を育てるとともに自然の事象・現象についての理解を深め、自然と人間とのかかわりについて認識させる」ことに目標を置いている。物質に関しては、観察や実験に基づいて粒子モデルを認識させることにより、物質についての見方や考え方を養わせようとしている。その学習内容としては、i) 物質と反応 ア) 物質の様子、イ) 加熱と燃焼、ウ) 加熱と分解・化合、エ) 気体を発生する化学変化。ii) 物質と原子 ア) 純物質と混合物、イ) 化学反応、ウ) 原子と分子。iii) 物質とイオン ア) 水溶液、イ) イオン、ウ) 酸・アルカリ・塩、エ) 化学反応と熱。などである⁴⁾。

今回の学習指導要領においては、基本的な科学概念を形成させるために、観察や実験による直接経験を重視している点、前回のそれと同様であるが、物質そのものの性質・性状について学習させることが少なくなっている。つまり、物質を知らせずして物質の探究をおこなわしめる傾向が強くなったと言える。このことは小学校の段階で、金属の教材が取り扱われなくなったことでも示される。元素として身近に数多く存在する金属を、目で見手で触れさせる学習は、物質についての粒子観を育成する上で、最も基礎的なものである⁵⁾と考える。「ゆとりのある教育」を重視するあまりに「物質」そのものについての具体的な知識を得させることなく、「物質」の一般属性から粒子観を形成させる学習の展開については、疑問がある。たとえば、中学校の段階で学習するようになっている「加熱と分解」の教材として、炭酸アンモニウム、炭酸水素ナトリウムや酸化銀を用いて熱分解がなされるようになっている。その場合、それらの「物質」の性質などについての十分な知識がないまま、安易に学習が展開される危ぐが多分にある。「物質」について、探究の過程を大切にしたい学習を重視するのならば、「物質」のもつ多様性、類似性を十分に認識させた上で、学習を展開させることが必要であるのではなからうか。「物質」の知識なくして「物質」の探究はできないと考える。

自然科学は「物質」の科学と言われる。理科ではいつでも「物質」とは何かという問いかけをすると同時に、五感によって得られる「物質」の巨視的な物体観を持たせることが必要である。探究の過程を重視した理科の学習形態について、それに対する早計な認識から、探究の過程を重視することに最近多くの疑問が出されているが、探究の過程を通して、正しい物質概念を形成させるためのその課題として、理科として「基本的なもの⁶⁾」は何なのかを早急に整理する必要があると考える。当然周期表とのかかわりも問題となるので^{7),8)}、その方面における教育実践の基礎的データが待たれるところである。

III 物質と粒子観について

我々の周囲には多種多様の物体があり、それらの物体の性質や反応性については、それらを構成する分子や原子の構造や集合状態を抜きにして説明できない。多種の物体の類似性や異差性を統一的に認識できるようになるためには、分子や原子の立場から、物体を微視的に見ていかせる態度を養うことが大切である。そこで、理科では物質についての微視的な見方を養うために、身近に起っている巨視的な現象の観察の中から、物質の粒子観を形成させる一連の過程を重視させなければならない。

物質についての微視的概念は、歴史的には仮説として提唱されたものであって、実験的な事実から実証されることによって得られたものではない。数多くの自然現象の観察の中から生まれ、発展してきた概念である。実際の学習の場でも、このような観察を通して、徐々に物質の微視的な見方を育成する必要があると考える。そこで、この概念を育成する上で取り扱われるべき基本的な内容について、以下検討する。

(1) 物の重さについて

物質について学習していく上で一番基礎となるものは、光や熱といった放射エネルギーには重さがないが、物には重さがあることを理解させることである。物と物でないものとの区別ができるようになるのと同時に、てんびんを用いて一人一人の子供達に実際に操作させることによって、物にはすべて重さがあることを体得させるべきだ。指導要領には、小学4年生で「てんびんを作って、そのはたらきを調べ、物の重さはてんびんで測れることを理解させる。」という内容があげられている。ここでは、日頃身近に使われているてんびんのしくみや取扱への配慮がうたわれていて、この点非常に評価できるものである。てんびんで物自身の重さを知ることと共に、他の物との重さの比較ができるようになって、物にはすべて重さがあり重さがあるものは物であるという、基礎的事項を正しく認識できるようになる。たとえば、感覚的には物として認識し難い気態の物体でも、固態や液態の物体と同じように、てんびんでの測定から、重さを有することがわかる⁹⁾。そして、この操作を通じて、気体も物であるという認識を得させることができるであろう。つまり、物について追求していく場合はいつでも、その物の重さがどのようになっているのかを調べようとする姿勢が重要である。そのためには、一人一人の子供達が物の重さを測るための器具であるてんびんを正しく操作でき得る指導が十分におこなわれなければならない。

(2) 物の体積について

物の一般的な属性としては、重さと体積を有することである。体積については、視覚を通してすぐに体積の有無の判別ができることから、物の共通の性質として容認され易い。透明で体積が無いように見える気体でも、袋に閉じ込めたり、水上置換で捕集したりして、体積の存在を感覚的に把握させることができる。体積があるものは物であるという、巨視的な観点から物を見させ、さらに、物ならばすべて重さを有することをよりどころとして、自然界の多くの現象(状態変化・溶解・燃焼など)を追求させる必要がある。これらの巨視的な観察を通じて微視的な物質概念が育成されるので、子供達の発達段階に応じて、多くの現象の中からより効果的な現象を選び出し、それらを観察させることが大切である。

(3) 物質の状態変化について

物はすべて固態・液態・気態の三態のうちのいずれかの状態をとっている。その状態の識別は、微視的な粒子の集合状態によって正しくはなされるものであるが、物に対する感覚的な印象からその状態の識別がなされても、低学年の子供達にとってあまり問題とはならない。自然界に存在する純物質が、三態のいずれの状態をとっているかを巨視的に観察させ、おのおのの状態における共通点や相違点を認識させることが大切である。ここではいろいろな金属を観察させたい。そして特に、金属では唯一の液体である水銀の観察は是非させたいものだ。

新学習指導要領では、水の状態変化（小学校4年生の学習内容）以外の物の状態変化について削除されているが、他の物質についての状態変化も観察させる必要があると考える。物質についての巨視的な見方と微視的な見方との間をつなぐ教材として、この状態変化の学習を欠くことはできない。物質の状態変化では、条件によって相の変化が起る。巨視的には質の変化があるように見えるが、その物質の重さに変化はないし、三つの状態は互いに遷り変り得て、質的にはまったく変化はない。状態変化のこのような共通性と同時に、それぞれの物質によって、状態変化を起す条件が異なっている個別性の認識とから、物質にたいする認識が一層深められる。物質の中では特異な性質をもつ水の状態変化だけでなく、他の物質についても加熱したり冷却したりしながら、状態変化を観察させ、そして、重さをよりどころとして（重さに変化がなければ質の変化もない）探究していく態度を養うことが大切である。

(4) 物質の溶解について

日常生活で砂糖や塩を水に溶かす機会が多いので、子供達にとって巨視的な溶解現象については理解し易いものとする。小学校の低学年から溶解の教材が取り入れられているのはこの理由からである。溶解の学習では、可溶・不溶のいろいろな物質を水などの溶媒にとり、実際に溶けるかどうかおこなわせてみるのが大切である。そして、多くの溶解現象の観察の中から、物質の共通性と個別性を見ださせ、物質についての認識を深めさせねばならない。

溶解現象の巨視的な特徴としては、溶質が溶媒に溶けた場合、その溶液が透明になることである。視覚からはその溶質の確認ができなくなって、物質の行えが問題となるところに、この教材のもつ大きな意義がある。また、視覚や味覚などによっても、溶液の均一性を知ることができる。透明でしかも均一になった溶液の観察から、物質のなりたちを微視的な立場で見ているとする態度が生み出されるにちがいない。さらに、溶媒を取り除いた後の、溶質自体の重さに変化がないことを確かめさせることによって、溶質に質的な変化のないことが明らかにされる。また、溶解する溶質の増加量に応じて、溶液の容量が増す変化を観察させることによって、一層、物質のなりたちについての微視的な見方に具体性を与えるであろう。

(5) 物質の反応について

状態変化や溶解現象では、見かけ上物質が変化しているように見えるが、質的な変化は認められない。物質の質的な変化を示す現象としては、身近な例として、燃焼現象をあげ

ることができる。小学校では、燃焼について「空気と燃焼」「酸素と二酸化炭素」の単位の中で学習するようになってきている。その具体的な内容としては、「物体が燃えると、酸素が消費され二酸化炭素が生成する」ことである。しかし、そこでは植物体などの有機物の燃焼を取り扱うだけにすぎない。燃焼現象全体の把握のために、その他硫黄や金属などの物質でも、その現象を観察させることが必要である。それぞれ物質には可燃・難燃の性質があり、また燃えてできる生成物も多様である。他の化学反応を起す現象についても、巨視的な観察を通して、物質の共通性や個別性についての認識を深めなければならない。

燃焼現象に限らず、質的な変化がある現象においては、熱の吸収・放出があり、そして初めの物質と生成した物質とでは、その重さに変化がある。物質の重さの変化をてんびんを用いて測定し、この操作を通して物質の質的な変化を追求できる態勢づくりが、巨視的物質概念と微視的物質概念を直接結ぶことにつながる。閉鎖系における定量実験^{10,11)}から、質量保存の法則や定比例の法則などが確かめられる。また、ここでは酸化銅や酸化水銀の還元の実験を観察させたい。金属の化合物の中から、感覚的に解り易い金属を取り出して、物質の保存性を理解させることにより、微視的な見方にさらに実体感を持たせることができるであろう。

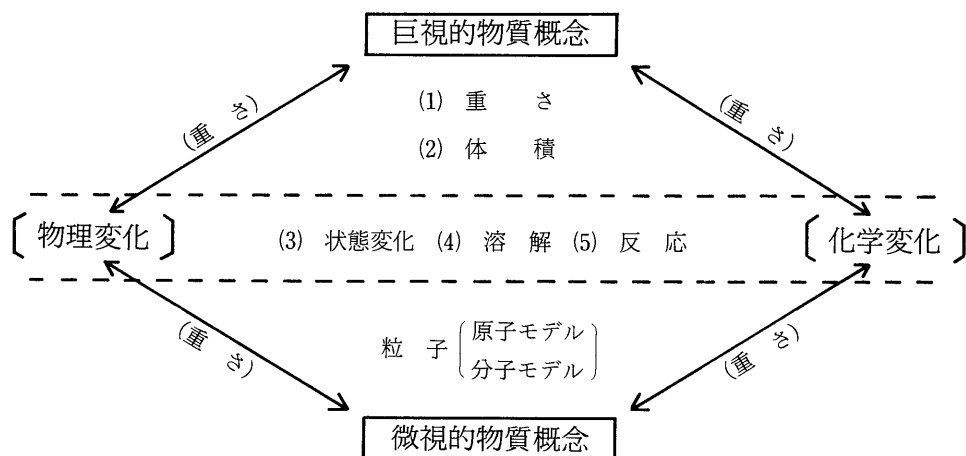


図1 物質概念形成の関連性

物質の巨視的概念と微視的概念の関連について、図1にまとめてみた。巨視的物質概念と微視的物質概念との形成は表裏の関係にあり、「重さ」をよりどころとして互いに作用を及ぼし合いながら、物質についての認識が深められる。つまり、重さと粒子の数の関係、体積と粒子の数および粒子の運動との関係、化学変化と粒子の組替えの関係を考察することから、粒子モデルが徐々に形成されるのである。

IV 「金属酸化物の還元」の教材について

物質の粒子観を確かなものとするためには、物質の定性的な観察と共に定量的な取扱をする必要がある。また、定量的に正しい量的関係を示す教材を、子供達に与えることも必要なことである。そこで、金属酸化物の還元反応について、主にその量的関係を検討してみた。

(1) 炭素による酸化銅の還元

酸化銅は市販の銅粉末を蒸発皿で十分に加熱して酸化したものを使用した。炭素は懐炉用の楠灰を、デシケーター中で十分に乾燥させて使用した。秤量は油式自動上皿天秤（島津製）を用いた。図2に実験装置を示した。直径18mm、長さ180mmの試験管に、0.20gの炭素粉末と一定量の酸化銅粉末の混合物をとる。試験管の外部よりガスバーナーでその混合物を5分間強熱する。その後、15分間冷却して生成した銅の質量を測定した。

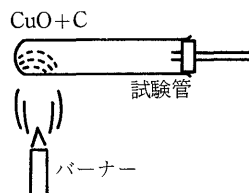


図2 実験装置

表1 炭素による酸化銅の還元

CuO	(g)	1.58	1.64	1.68	1.68	1.74	1.76	1.78	1.80	1.82	1.86
Cu	(g)	1.38	1.40	1.52	1.48	1.60	1.60	1.54	1.54	1.54	1.66
CuO-Cu	(g)	0.20	0.24	0.16	0.20	0.16	0.16	0.24	0.26	0.28	0.20

反応式は $2\text{CuO} + \text{C} \rightarrow 2\text{Cu} + \text{CO}_2$ である。その結果を表1および図3に示した。図3には酸化銅と銅との量的関係における理論値を直線で併せて示している。実験方法や反応式は簡単で、子供達にとって解り易い実験であるが、結果からも解るように、定量的に再現性がないという欠点がある。この方法では、得られる銅の質量の値にバラツキがあり、定量的な取扱はできない。

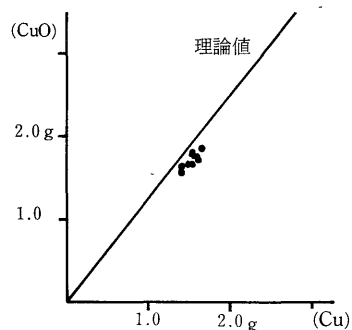


図3 CuO-Cuの質量関係

(2) メタノールによる酸化銅の還元

実験装置を図4に示した。直径15mm、長さ500mmの反応管の中央に一定量の銅を入れる。50ml用丸底フラスコに約10mlのメタノールをとり、それを約95°Cの水浴で熱して、メタノールを反応管中に流し入れる。同時に、系内への空気の混入を防ぐために、乾燥した窒素ガスを流す。反応管の外部より酸化銅を5分間加熱して、メタノールによる還元をおこなった。その後、15分間冷却して生成した銅の質量を測定した。

主な反応式は $3\text{CuO} + \text{CH}_3\text{OH} \rightarrow 3\text{Cu} + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ である。その結果を表2および図5に示した。図5から解るように、酸化銅と銅との量的関係は理論的な関係を示している。この実験方法では、方法が簡単であり、しかもその量的関係について短時間で満足な結果を得ることができる。

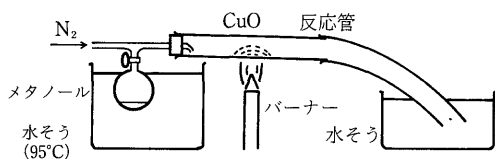


図4 実験装置

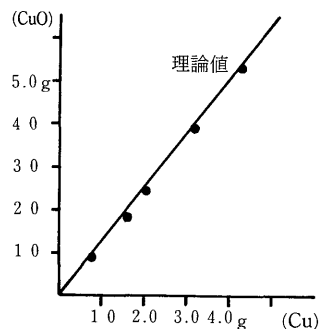


図5 CuO-Cuの質量関係

しかし、メタノール分子の還元によるホルムアルデヒドの生成 ($\text{CuO} + \text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{Cu} + \text{HCHO} + \text{H}_2\text{O}$) が認められること

や、メタノールの代わりにリグロインを用いた場合、酸化銅の還元長時間を要するなど、その還元反応のしくみが複雑で、唯一つの反応式で示すことができない短所がある。

表2 メタノールによる酸化銅の還元

CuO (g)	0.90	1.86	2.49	3.92	5.32
Cu (g)	0.73	1.58	2.01	3.15	4.28

(3) 酸化水銀の熱分解

i) 試験管を用いた実験 実験装置を図6に示した。18×180mmの試験管の底部に一定量の酸化水銀(赤色)をとり、それを外部からガスバーナーで加熱して分解させる。生成した水銀は試験管口部に付着する。発生した酸素は導管を通じてメスシリンダー中に水上捕集される。試験管底部の固体の酸化水銀が見えなくなるまで約5分間加熱し、その後、15分間冷却して生成した水銀と酸素の量をそれぞれ測定した。

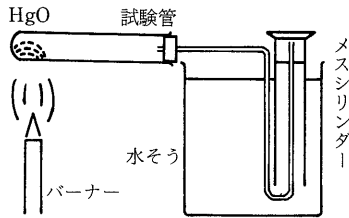


図6 実験装置

表3 量的関係 (室温15°C)

HgO (g)	0.98	1.72	2.83	3.90	4.85
Hg (g)	0.91 (0.91)	1.60 (1.59)	2.62 (2.62)	3.63 (3.61)	4.50 (4.49)
HgO-Hg (g)	0.07	0.12	0.21	0.27	0.35
O ₂ (ml)	51	89	155	193	241
O ₂ (g)	0.07	0.12	0.20	0.25	0.32

反応式は $2\text{HgO} \rightarrow 2\text{Hg} + \text{O}_2$ である。その結果を表3に示した。なお、表3中で二重カッコ中の値は理論値を示す。また、表中一番下の項目の O₂(g)の値は、発生した酸素の体積に見合う量だけ、小型の酸素入りスプレーカンから酸素を放出した時の、スプレーカンの減質量を示している。

表4 量的関係 (室温15°C)

HgO (g)	0.90	1.85	3.18	4.07	4.96
Hg (g)	0.84 (0.83)	1.73 (1.71)	2.98 (2.94)	3.81 (3.77)	4.64 (4.59)
HgO-Hg (g)	0.06	0.12	0.20	0.26	0.32
O ₂ (ml)	47	95	158	200	246
O ₂ (g)	0.06	0.12	0.21	0.26	0.32

生成した水銀の質量は予想される理論値にそれぞれ良い一致を示した。他方、発生した酸素の質量は (HgO-Hg) で求められるが、その値とスプレーカンの減質量で表わされる酸素の質量とでは、反応物の量が多くなるほど離れた値を示す傾向が見られる。

表4は15×500mmの試験管を用いて、同一の実験をおこなった場合の結果である。加熱による水銀の逸散を防ぐ目的として、長い試験管を用いた。すべての得られた値は予想される理論的關係に近い値を示した。

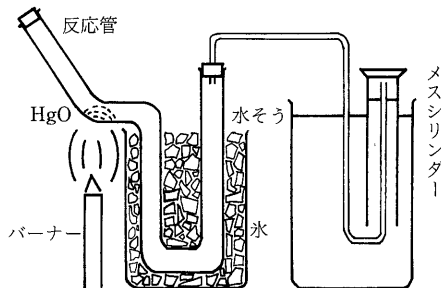


図7 実験装置

ii) 曲った反応管を用いた実験 実験装置

を図7に示した。真径15mm、長さ500mmのパイレックス製ガラス管を、図7に示したように曲げて反応管とした。図で示した筒所に酸化水銀をとり、それを5分間加熱して分解させた。生成する水銀を逸散させることなく捕集するために、反応管のU字部を外部から水で冷却した。その結果を表5に示した。得られた値のそれぞれの量的関係は、すべて理論的關係にあることが解った。

表5 量的関係 (室温15°C)

HgO (g)	0.95	1.95	2.98	3.97	4.51
Hg (g)	0.89 (0.88)	1.82 (1.81)	2.78 (2.76)	3.71 (3.68)	4.21 (4.18)
HgO-Hg(g)	0.06	0.13	0.20	0.26	0.30
O ₂ (ml)	50	105	156	203	228
O ₂ (g)	0.07	0.14	0.21	0.26	0.30

表6は、図7の左上方の反応管口より窒素を流し入れながら、同一の実験をおこなった場合の結果を示している。なお、この実験では、発生する酸素の量は測定しなかった。逆反応 ($2\text{Hg} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{HgO}$) により酸化水銀が生成するが、理論的な量的関係を示す結果を得るためには、その逆反応の進行をできるだけ防ぐ必要がある。そこで、窒素雰囲気下での実験を試みたものである。その結果、酸化水銀と生成した水銀の量的関係は定量的に満足できるものが得られた。

表6 酸化水銀と水銀の量的関係

HgO (g)	0.97	1.99	2.90	3.88	4.91
Hg (g)	0.90 (0.88)	1.85 (1.84)	2.69 (2.69)	3.61 (3.59)	4.55 (4.55)

金属酸化物の還元法については、普通、水素や炭素を用いる方法^{12,13,14)}がとられる。しかし、水素を用いる方法では、水素による爆発の危険性を伴う。炭素を用いる方法では、(1)の実験において述べたように、定量的に満足のいく量的関係を得るのが難しい。また、還元して生成した金属を確認させるのに、視覚的にあまり適していない。最近、都市ガスやメタノールなどの有機化合物を用いる方法^{15,16,17)}が報告されているが、複雑な還元反応をするという欠点をもつ。酸化水銀の熱分解の方法^{17,18,19)}は、その反応が非常に解り易いこと、視覚的にも赤色(黄色)固体の酸化水銀から金属光沢をもつ液体の水銀が生成し、子供達の興味をひかせ易いこと、簡単に実験ができ、質量保存の法則を確認させながらその量的関係について、満足のいく結果を得ることができる。以上の理由により、金属酸化物の還元の実験教材として、「酸化水銀の熱分解」は最適な教材であると考えられる。

V おわりに

化学教育においては、物質についての認識不足が現在問題となっている。同じく、筆者も「基本的なもの」の認識が非常に大切であると考えている。そこで、物質の認識についての基礎資料として、本学部小学校教員養成課程3年生45名について、アンケート調査表(表7)による調査をおこなった。酸・アルカリ・金属の代表的な物質の性質・性状について、どの程度の認識を得ているのかを知るためである。表7には併せて、カッコ中に正答例および正答率を示した。また、二重カッコ中には、特に目だった誤答例と誤答率を示している。このアンケート調査の詳細については省くが、全体的に見ると、HClとHgを除いて、化学式とその名前および三態の項目についての正答率は高い値を示した。他方、

性質・性状の項目では、表中の殆どどの物質についてその正答率は低い値を示している。正答率が低い値を示した項目についてのその原因には、いろいろ考えられるが、さらに、この種のアンケート調査を広くおこなうことによって、教育学部生の物質の認識の度合について把握したいと考えている。また、小・中学校でも、子供達の物質にたいする認識がどれ程であるか、早急に調査する必要がある。そして、子供達の物質にたいする認識の度合に応じた物質の学習を展開することによって、物質にたいする正しい認識が一層深められるのではなかろうか。

水銀について、上記アンケートの結果によると、約 1/4 の者がその相は固体であると誤答している。これは水銀の観察を直接経験していない者が

居ることを示しているのではないだろうか。その性質・性状について、半数近くの者が「人体に有害である」と答えている。これは水俣の水銀公害にたいする、社会的な影響力の大きさを示した結果であろう。水銀および水銀化合物の多くは毒性が強いので、直接身体で触れるのはもちろん、その蒸気を吸ってもいけない。本報告で述べた酸化水銀の熱分解の方法を教材として用いる場合は、長い試験管や冷却部を設けた実験装置を用いて、水銀の蒸気を系外部に逃がさないように注意しなければならない。しかし、水銀およびその化合物は、多くの優れた性質をもっているので、我々の身の回りの多くの箇所でも利用されている(水銀電池、蛍光灯、赤色顔料、消毒薬など)。特に、水銀は金属で唯一の液体であり、しかも大きな比重をもっていることから、物質そのものについての認識を深めさせる教材としては、非常に有用な物質である。そこで、その毒性のためにそれを教材としてはまったく排除してしまうのではなく、その取扱にはもちろん十分な注意を払いながら、積極的に利用すべきだと考える。

表7 物質アンケート (数字は%を示す)

下表中の、それぞれの化学式の名前(よみかた)、三態(固体、液体、気体)およびおもな性質・性状を例にならって述べよ。			
化学式	名前	三態	性質・性状
例 H ₂ O	水	液体	無色無臭の液体。 天然には海水、地下水、雨水などとして存在する。
H ₂ SO ₄	(硫酸, 96)	(液体, 100)	(強酸, 60) (刺激臭, 45)
HCl	(塩化水素, 18) (塩酸, 82)	(気体, 13) (液体, 87)	(強酸, 59)
NH ₃	(アンモニア, 100)	(気体, 96) (液体, 4)	(弱アルカリ, 44)
NaOH	(水酸化ナトリウム, 100)	(固体, 96) (液体, 4)	(強アルカリ, 50)
Fe	(鉄, 100)	(固体, 100)	(金属, 10)
Hg	(水銀, 100)	(液体, 76) (固体, 24)	(金属, 23) (人体に有害, 44)

参 考 文 献

- 1) 藤川忠允, 岩崎幸敏, 科学の実験, Vol. 27, No 3, p. 23, 1976
- 2) 森下浩史, 日本理科教育学会研究紀要, Vol. 22, No 1, p. 9, 1981
- 3) 文部省, 小学校学習指導要領理科編
- 4) 文部省, 中学校学習指導要領理科編
- 5) 東京教育大学附属小学校初等教育研究会編, 理科基礎能力と授業構造, p. 21, 1971
- 6) 森下浩史, 長崎大学教育学部自然科学研究報告, 第28号, p. 73, 1977

- 7) 板倉聖宣, 科学と仮説, p. 97, 1975, 季節社
- 8) 石井進, 理科教室, Vol. 20, No 9, p. 101, 1977
- 9) 日本教職員組合編, 理科教育, p. 96, 1974, 一ツ橋書房
- 10) 大野正雄, 化学教育, Vol. 15, No 4, p. 522, 1969
- 11) 石戸励, 湯上一郎, 化学教育, Vol. 24, No5, p. 425, 1976
- 12) 辻退一, 科学の実験, 通巻第266号, p. 198, 1970
- 13) 林重良, 科学の実験, Vol. 25, No 5, p. 15, 1974
- 14) 全国理科教育センター研究協議会編, 理科実験の安全な指導 中学校・高等学校, p. 88, 1978, 東洋館
- 15) 野副洋二, 長崎県教育センター所報, 第43号, p. 4, 1976
- 16) 大石博, 白崎三千年, 化学教育, Vol. 29, No 2, p. 82, 1981
- 17) 玉田泰太郎編, 理科わたしならこうする6年, p. 110, p. 201, 1975, 国土社
- 18) 石橋照子, 理科教室, Vol. 22, No 4, 1979
- 19) 松井吉之助, 理科教室, Vol. 24, No 9, p. 56, 1981