

化学実験の基本操作能力育成上の課題

森 社^{*1}, 五島文韶^{*2}

化学実験のための基本操作能力に関して、気体発生実験を例に、実験器具の選択、試薬調製、実験操作の面から、児童・生徒及び教員養成学部の子系学生の実態を主として観察法によって調査した。その結果を分析し、考察を加えた。

さらに、個別学習の実施を意図し、化学実験の基本操作能力をより効果的に育成する方法を開発するための基礎的研究としてVTRやCAIによる学習の有効性について調査を行い、基本操作能力の育成について考察を加えた。

〈キーワード〉 理科教育、化学実験、基本操作、実態調査、小中学校、VTR、CAI

1. はじめに

理科の授業は、実験を中心として自然の事象に対する考察を深め、科学的な思考力を養成し、基本的な知識・理解・技能を定着させるものでなければならない。特に、小・中学校の理科教育においては、自然との直接の触れ合いを重視し、自然に対する興味・関心を一層高めるような教育が強く求められている。また、理科学習における実験の役割は教科の本質や学習者の学習意欲高揚の面から極めて重大であることは異論のないところである。^{1), 2)}

しかし、各種教育調査によれば、近年、初等・中等学校の学年が高くなるにつれて、児童・生徒の「理科嫌い」が増大する傾向にあることや、知識・理解の達成度は高いものの、思考力や創造力が低いことが明らかになってきた。^{3), 4), 5)} 実験技能についても、知識的側面はかなり高い達成度であるが、実際の操作技能は十分身についていな

いことが指摘されている。⁶⁾

著者らは、このような実状を考慮しながら、実験を中心にした理科の学習指導を進めていくことの重要性を再認識し、児童・生徒及び教員養成学部の子系学生の実験の基礎能力の実態を明らかにするとともに、新しい実験指導の方向について、調査をもとにして検討を加えたので報告する。

2. 気体発生実験における児童・生徒及び学生の基本操作能力

(1) 調査方法

基礎的な化学実験の一つである気体発生実験に関わる操作能力について、小学校6年、中学校1年、2年、3年（以下、小6、中1、中2、中3という）及び将来小中学校教員を希望する教員養成学部の子系学生（以下、学生という）の実態を、主として観察法によって調査した。調査は、1988年6月に、岐阜県内の小中学校及び大学において

*1 岐阜市教育委員会科学館

*2 岐阜大学教育学部物理化学科

て、任意抽出した小・中学生及び学生それぞれ40名±5名を対象に行った。

調査内容は、希塩酸と石灰石による二酸化炭素の発生と捕集実験を行う際に必要な器具を種々の器具の中から任意に選択させて、実際に実験操作を行わせるものである。学生には36%塩酸を水で希釈して12%塩酸を調製する操作も行わせた。被検者1名に観察チェック者1名がついて、実験の基本操作能力の実際を記録し、その結果を分析した。

(2) 調査結果及び考察

① 必要な実験器具の選択について

図1のように装置を組み立てて実験できるように、種々の器具(図に掲げてある器具以外に、ガスバーナーなどの加熱器具やビーカー、丸底フラスコなども準備しておいた。)の中から必要な器具を選択させて組み立てを行わせた。被検者が正しく選択できた器具数をチェックし、その数の必要器具全体数に対する割合を「器具選択率」として求めた。その結果は、表1のようであった。

表1 二酸化炭素発生実験に必要な器具の選択

	器具選択率
小6児童	0.88
中1生徒	0.61
中2生徒	0.62
中3生徒	0.49
大学生	0.65

二酸化炭素の発生や性質に関わる学習指導は、小学校5年(以下、小5という)と中1で行われている。(本調査は、旧学習指導要領(文部省:1977年)による教育課程実施中に行われている。現行学習指導要領(1989年)では、小学校においては二酸化炭素の発生実験は扱わなくてもよいことになっている。中学校においては、旧学習指導要領と同程度に扱うことになっている。)なお、本調査を実施した時点では、中1の生徒は、中学校においては未学習の段階である。

今回の調査では、表1から明らかなように、実験器具選択率は小6がもっとも高かった。これは、小5での学習経験による記憶が極めて高いことを示している。

しかし、中1ではすでに学習効果がかかなり弱まり、60%程度になっている。これは、学習後の時間経過に伴う忘却が要因と考えられる。中2の生徒は、中1で実験しているにもかかわらず、器具選択率は、中1の生徒とほとんど変わっていない。今回の調査における小6と中2の器具選択率の大きな差異は、小5と中1の学習経験に質的な違いがあるためと考えられる。即ち、中学校より小学校における学習の方が、直接的な実験経験をした割合が高いものと推論される。

学生においては、中学生よりはやや高い結果であるが、小学生よりかなり低い結果しか得られなかった。調査した実験は小学校で扱う基礎的な実

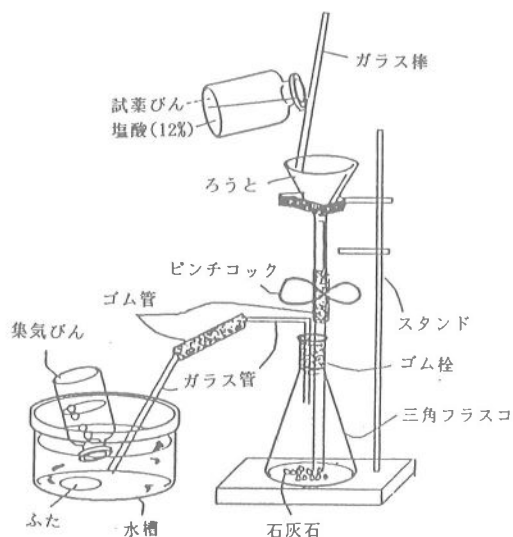


図1 二酸化炭素の発生装置

験であるにもかかわらず、将来教員を目指す学生が、器具の選択すら満足にできない実状であることが明らかになった。もしも今回の調査結果が特異的な事例ではないとすれば、このような学生が将来教員として理科実験の指導をする立場になることは、極めて憂慮すべき問題である。こうした実態では、彼等に教育現場において十分な実験指導を期待することはできず、児童・生徒の基本的な実験技能が一層低下することが予想されるからである。

表1で示した器具選択率と実験経験との関連性について考察するため、各被験者の小・中・高での実験経験の内容とその割合（各内容についての経験の割合を「経験率」とする）に関して調査した結果、次のようなことが明らかになった。

表2から明らかなように、小学校時の経験内容は「自分で実験したことがある」という直接経験

をした者の割合が高く、今回の調査では特に小6の児童が非常に高い数値を示した。直接経験に加えて、学習後の時間経過が短いということが小6児童の器具選択率が高い直接の要因と考えられる。

中学校においては、かなり生徒実験として経験しているが、「班の人がやるのを見ていた」と答えている者の割合が高い。従って、自らは操作をせず、実験の様子を傍観していただけの者が多かったと考えられる。このことが、中2生徒の器具選択率が低い要因となっているものと推論される。さらにまた、気体の発生装置が図1のような装置ではなく、フィルムケースや試験管などを利用した簡易装置によって実験される例が多くなったことも関係しているものと考えられる。

大学生においては、実験経験があるのは小・中学校のときのみで、高校では殆ど経験していないといえる。このため、小・中学校当時は学力上位

表2 二酸化炭素発生実験の経験率

経験の時期		小学校時			中学校時		高校時	経験内容の選択肢
被験者		小6	中2	大学	中2	大学	大学	
経験内容	(a)	0.92	0.49	0.54	0.22	0.18	0.05	(a)自分で実験したことがある。 (班実験で自分がやった。 または、個人でやった。)
	(b)	0.05	0.13	0.14	0.55	0.39	0.07	(b)班の人がやるのを見ていた。
	(c)	0.00	0.14	0.08	0.12	0.13	0.07	(c)先生が演示するのを見た。
	(d)	0.00	0.05	0.02	0.04	0.02	0.63	(d)やったことも見たこともない。
	(e)	0.03	0.19	0.22	0.17	0.28	0.18	(e)記憶がない。

表3 二酸化炭素発生実験の操作技能習得率

		小6	中1	大学生	操作技能の観点
操作技能の観点	(a)	0.86	0.79	0.65	(a)スタンドを利用してろうとの支持はできているか。
	(b)	0.71	0.73	0.53	(b)二酸化炭素発生前に集気瓶に水を入れているか。
	(c)	0.57	0.35	0.18	(c)塩酸を滴下する前にピンチコックは閉じているか。
	(d)	0.48	0.52	0.45	(d)塩酸を少しずつ滴下しているか。
	(e)	0.14	0.06	0.08	(e)はじめに捕集した気体の一部を捨てているか。
	(f)	1.00	0.96	0.88	(f)水中で集気瓶に蓋をしているか。
	(g)	0.71	0.57	0.30	(g)集気瓶に少し水を残しているか。
平均		0.64	0.57	0.44	

群に位置したと予想される彼等ではあるが、かなり学習内容を忘却していることが明らかになった。

② 実験操作について

図1に示した装置による二酸化炭素発生実験について、特に表3に示した7つの観点から実験操作技能の習得率を調査した。その結果、次のようなことが明らかになった。

技能習得率は、小6・中1・大学と学年が上がるにつれて低下している。また、調査した7つの操作技能は、いずれも化学実験の基本操作として難易度が同程度の技能と考えられるにもかかわらず、各観点の技能習得率にはかなりの差異が生じている。その状況は、小6・中1・大学とほぼ同じ傾向を示している。即ち、「スタンドを利用して、ろうとの支持をする」ことや、「水中で集気瓶に蓋をする」ことについては、どの学年も比較的高い習得率であるのに対して、「塩酸の滴下前にピンチコックを閉じておく」こと、「塩酸を少しずつ滴下する」こと、「最初に捕集した気体は捨てる」ことについては、非常に習得率が低い。

前者に関しては、実験の前提条件や気体捕集に不可欠な要素であり、また、日常生活における経験などからも関連して思いついたり、判断したりできることであると考えられる。従って、実験をする際にも、必然性をもって操作できる技能であり、このことが高い技能習得率を示す要因であると考えられる。

それに対し、後者については日常経験との関わりは弱く、化学実験においてのみ要求される技能であるために、低い習得率しか示さないものと考えられる。これら習得率の低い技能は、化学実験における安全面への配慮や実験を見通す力の弱さ、即ち、洞察力の欠如が要因となっているものである。いずれも、化学実験の基本操作能力として重視されなければならないものであり、今後の実験

表4 大学生の塩酸希釈技能

技 能 観 点	習得率
(a) 水と塩酸の容積を正しく測りとり	0.68
(b) 水に塩酸を加える	0.08
(c) ガラス棒を利用して塩酸を加える	0.53
(d) ビーカーの中で混合する	0.35
(e) 混合後かくはんする	0.63
平 均	0.45

指導において、絶えず意識しつつ技能の習得を図っていくことが必要である。

③ 希釈による溶液調製について

教員養成学部の文系学生を対象に、溶液を希釈して目的濃度の溶液を調製する能力について、二酸化炭素の発生実験に使用する塩酸の希釈を例とし、表4に示した5つの観点からその習得率を調査した。

調査結果から、学生の溶液調製技能は、どの観点もかなり低い習得状況であることが明らかになった。特に、溶液を薄める時の基本である水に薬品を加える操作が正しくできた者は、全体の10%未満という結果である。また、メスシリンダーで量りとした水や塩酸をビーカー内で混合せず、メスシリンダーの中で混合するという誤操作も目立った。

これらの結果については、現状の小・中学校及び高校における実験学習の内容を考えると、当然のことであるともいえる。なぜなら、これまでに彼等が行ってきた化学実験では、そのほとんどが、与えられた濃度と量の試薬を用いて実験する経験のみであり、希釈法や溶解法などについては知らないのが一般であるからである。

しかし、彼等の将来の立場を考えると、調査結果が示す実態は極めて重大な問題であるといわなければならない。彼等にとっては、実験が、「学習者として、受け身的な立場で、準備されたもの

をそのまま使って取り組む実験」から、今度は一転して、「指導者として自ら調製・準備して指導する実験」へと、質的に転換することを余儀なくされるのであり、そのために、基礎的な知識や技術を確実に習得していなければならないのである。それゆえ、教員養成学部の子生について、基礎的な化学実験を指導者の立場から再経験させ、実験指導力を高めるような教育・研修体制を確立していくことが強く望まれる。

3. VTR提示やCAI学習による基本操作能力の育成

(1) 調査に当たって

これまで明らかにしてきたように、二酸化炭素発生実験や塩酸の希釈実験を例にとっても、それぞれ学年や内容によって技能の習得率に差異はあるが、十分に実験の基本操作能力が育成されているとはいいい難い実状である。

こうした実状を改善するための手だてとして、特に、個別学習の実施を図り、より効率的に実験の基本的操作能力を育成する方法を開発するための基礎的調査研究に目を向けた。

近年、教育機器を駆使した学習指導が種々試みられ、多くの成果をあげている。そこで、基本的操作技能を重視した実験指導のためのVTR提示やCAI学習が、化学実験の基本操作能力の育成にどのような効果があるかについて比較検討することにした。

(2) 調査方法

調査は、小5、小6、中1、教員養成学部の子生を対象として、前述の2(1)と同様に行った。今回は、気体発生実験の例として、二酸化マンガンによる過酸化水素水の分解反応を利用した

酸素発生実験のVTR画面を提示し、その直後に塩酸と石灰石による二酸化炭素捕集実験を実際に行わせ、器具選択率や基本操作技能習得率について調査した。この方法で調査した対象者を「VTR視聴群」とする。そして、二酸化炭素捕集実験を直接行わせた被検者群（この方法で調査した対象者を「直接実験群」とする）との差異を比較分析した。なお、VTR画面は、操作手順の説明や諸注意を加えた演示形式の内容で構成して自作したものである。

VTR画面の内容を意図的に酸素発生にしたのは、視聴者がVTR内容をどの程度実際の実験に移転できるかを、学習能力として調査したいと考えたからである。また、未学習の段階である小5を調査対象として位置付けたのも、VTR提示のみの学習で、どの程度器具選択や実験操作が可能なのかを調べるためである。

大学生については、宮西・下島⁷⁾らの開発した酸素の発生に関するCAIソフトを利用して、CAI学習させた後に実験させる被検者群（この方法で調査した対象者を「CAI学習群」とする）を設定し、直接実験群やVTR視聴群との差異について、実験器具選択、基本操作、溶液調製の面から比較分析した。なお、CAIソフトの学習内容はVTR画面の内容構成とほぼ同じものである。

また、各群の被検者は、互いに独立群である。

(3) 調査結果及び考察

① 必要な実験器具の選択について

各学年、各群についての器具選択率の調査結果は、表5のようであった。

表5から明らかなように、小5のVTR視聴群では、未学習にもかかわらず非常に高い器具選択率を示した。これはVTR視聴によって実験の概略を知ることができ、その模倣をすることで、実

表5 器具選択率の比較

	直接実験群	VTR視聴群	CAI学習群
小5	——	0.83	——
小6	0.88	0.96	——
中1	0.61	0.81	——
大学	0.65	0.83	0.90

験器具の選択や組み立てが可能になったためであると考えられる。即ち、視聴覚に訴えるVTRは、こうした模倣的学習において転移が可能で、高い学習効果を得ることができる。

小6、中1、大学生においても、直接実験群よりVTR視聴群が10～20%ほど選択率が高くなっており、視聴効果が認められる。視聴効果は、被検者の視聴能力との関連があるものの、VTR提示によってどの学年もほぼ同じレベルまで高めることができるようである。

CAI学習群は、VTR視聴群よりさらにやや高い選択率を示し、学習効果が高いといえる。即ち、器具選択のような知的技能面が強い能力の育成に対しては、反復練習できるCAI学習が一層有効であると考えられる。しかしまた、VTRによる学習においても反復視聴が可能であり、これによる学習効果も十分期待できる。

② 実験操作について

各群について、表3と同様の視点で実験の操作技能習得率を調査した。その結果は、表6のようであった。

直接実験群とVTR視聴群の技能習得率の比較から、VTR視聴による学習効果がどの学年においても認められる。中でも、大学生においてその効果が著しい。この結果から、映像によって既習内容が確実に理解されて技能の獲得まで高まっているものと考えられる。化学実験の基本操作能力育成に対して、VTR映像を活用することの有効性を追認することができた。

表6 操作技能習得率の比較

被検者	小5	小6	中1	大	学			
調査群	VTR	直接	VTR	直接	VTR	直接	VTR	CAI
操	(a)	0.60	0.86	1.00	0.79	0.92	0.65	0.83
作	(b)	0.76	0.71	0.81	0.73	0.85	0.53	0.83
技	(c)	0.33	0.57	0.63	0.35	0.43	0.18	0.30
能	(d)	0.38	0.48	0.71	0.52	0.69	0.45	0.67
の	(e)	0.12	0.14	0.29	0.06	0.38	0.08	0.57
観	(f)	0.82	1.00	1.00	0.96	1.00	0.88	1.00
点	(g)	0.42	0.71	0.83	0.57	0.65	0.30	0.92
平均		0.49	0.64	0.75	0.57	0.70	0.44	0.73

操作技能の観点

- (a) スタンドを利用してろうとの支持はできているか。
- (b) 二酸化炭素発生前に集気瓶に水を入れているか。
- (c) 塩酸を滴下する前にピンチコックは閉じているか。
- (d) 塩酸を少しずつ滴下しているか。
- (e) はじめに捕集した気体の一部を捨てているか。
- (f) 水中で集気瓶に蓋をしているか。
- (g) 集気瓶に少し水を残しているか。

特に、技能習得率が、直接実験群では極めて低い(d)や(e)の観点においてかなり高くなっており、視覚的な映像が、実験に対する洞察力の育成に有効であることを伺い知ることができる。

また、学習経験のない小5でも、表5で明らかになった知的技能面の器具選択率ほど高い結果は得られなかったものの、VTR視聴によって50%程度の技能習得率を示したことから、VTR映像が実験の操作技能の獲得に有効であることが明らかになった。

大学生のCAI学習群の技能習得率は、直接実験群のそれと殆ど違いがなく、今回の調査では、実験操作技能の獲得に対してCAI学習は有効に作用しなかったと考えられる。操作技能の獲得には、やはり、VTR画面のような直接的映像提示がより有効であると考えられる。ただ、CAI学習の実験技能面への有効性については、コンピュータによる高度なマルチメディアソフトの開発が可能となった今日、様々な種類の情報を提供できるCAIソフト開発など、ソフト開発面の課題も多く残されており、今後さらに検討していく必

要がある。

③ 溶液調製能力について

大学生を対象に、表4と同じ観点で各群について塩酸希釈技能の習得率を調査した結果は、表7のようであった。

表7から明らかなように、各群の平均技能習得率は、表6の操作技能習得率と同様の傾向を示している。即ち、学習効果は全体としてVTR視聴群がCAI視聴群より高い。しかし、各観点ごとの技能習得率を見ると、観点(a)についてはCAI学習群が、観点(b)についてはVTR視聴群が、それぞれ非常に高い習得率を示し、学習効果をあげている。

観点(a)は、希釈する際の塩酸と水の割合が計算できなければ操作できない技能である。調査結果は、このような知的理解を伴う技能の習得に対しては、考え方や計算法を繰り返しトレーニングできるCAI学習が極めて有効であることを示している。これは、表5の器具選択率と同じ傾向である。

一方、観点(b)については、直接実験群もCAI学習群も殆どできない操作技能であるが、VTR視聴によって正しい操作法を視覚的に獲得できたことを示している。このような操作技能の習得に対しては、実際の操作法を視覚的にとらえることができるVTR視聴が有効である。

表7 大学生の塩酸希釈技能習得率

技 能 観 点	直接群	VTR 群	CAI 群
(a) 水と塩酸の容積を正しく測りとる	0.68	0.75	1.00
(b) 水に塩酸を加える	0.08	0.67	0.12
(c) ガラス棒を利用して塩酸を加える	0.53	0.51	0.48
(d) ビーカーの中で混合する	0.35	0.57	0.41
(e) 混合後かくはんする	0.63	0.72	0.66
平 均	0.45	0.66	0.53

CAI学習を通してこうした実験操作技能の獲得を図るためには、実際の操作法を視覚的にとらえさせるための画面構成の工夫をしていくことが今後の重要な課題である。

4. まとめ

化学実験のための基本操作能力に関して、気体発生実験からとらえた、児童・生徒及び将来児童生徒を指導する立場にある学生の実態の分析及び考察などから、次の点が明らかになった。

I. 気体発生実験について「自分で実験したことがある」という直接経験率は、小6児童に高い割合を示し、それが、実験器具が正しく選択できる重要な因子となっている。中学生は、自らは実験操作をせずに傍観している者が多い。このことが、正しい実験器具を選択する能力を低下させる要因となっている。また、大学生は、実験経験が小・中学校時のみという者が多く、実験操作能力はかなり低下している。同時に、溶液調製能力もかなり低いという実態である。このような学生が、将来教員として理科指導にあたることは、極めて憂慮すべき問題である。なぜなら、彼等に十分な理科指導は期待できず、児童・生徒の実験技能が一層低下していくことが予想されるからである。

II. 実験をする際、日常生活における経験などから関連して思いついたり判断可能な技能は、操作に必然性があるために高い習得率を示している。一方、日常経験との関わりも弱く、化学実験において特有な安全面への配慮や実験を見通す力、即ち、洞察力が要求される技能は、習得率が低くなっている。後者は、教育現場における化学実験の基本的操作能力育成の面で、特に重視されなければならない。実験操作技能習得率の全体的な傾向は、小6、中1、大学と学年が高くなるにつれ

て低下している。この調査結果は、教育現場の理科指導の在り方について極めて重大な問題を提起するものであり、実験を中心とした理科学習を一層推進し、基礎的な実験操作技能の習得を図っていくことが重要である。

Ⅲ. 化学実験の指導に当たって、未学習者に対してVTRを視聴させることは、必要な器具の選択や操作技能に対して比較的高い学習効果をあらわす。また、既習実験に対しても、既習内容が映像によって再現されることにより、技能の獲得に効果があるものと考えられる。また、VTRの視聴は、特に、実験に対する洞察力の育成に効果的であり、化学実験の基本操作能力の育成にVTR提示は有効である。化学実験における溶液希釈の考え方や計算法などのように、知的理解を伴う操作内容の習得に当たっては、繰り返しトレーニングできるCAI学習が極めて有効である。

以上のことから、児童・生徒及び将来教員となる学生に対し、化学実験のための基本操作能力の向上を意図した具体的な指導を、より一層推進していくことが重要である。

そのために、個別学習の実施をも意図し、より効果的に基本操作能力の育成を図る方策として、CAI学習やVTR視聴学習それぞれの機能・特性を補充しあうような学習ソフトを開発し、その有効性について検討していくことが今後の課題である。特に、CAIとVTRによる学習を組み合わせた、より効果的な新しい実験指導や教材構成方法の開発とその検証を具体的に進めていく必要がある。とりわけ、コンピュータによる高度なマルチメディアソフトの開発が可能となった今日、シミュレーション画面や実際の映像画面による情報、さらに文字情報や音声情報など様々な情報を提供できるマルチメディア学習ソフトの開発とその有用性などについて、今後の研究実践が期待さ

れる。この際、本研究において明らかになったことから、CAIとVTRを組み合わせた学習ソフトは、知識的内容と技術的内容がオーバーラップするような実験や教材の指導において特に有効に作用すると考えられるので、この立場で指導内容を十分に吟味・検討しながら開発研究を推進していくことが重要である。

本研究に当たって、有益なる御助言をいただきました岐阜大学カリキュラム開発研究センター・後藤忠彦教授、並びに御協力をいただきました岐阜市科学館・福富敬雄氏、岐阜市立京町小学校・石樽陽一教諭、各務原市立桜丘中学校・宮西祐治教諭に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 文部省：“幼稚園、小学校、中学校及び高等学校の教育課程の改善について”（1987）
- 2) 五島文韶，後藤忠彦：“教員養成における化学実験の課題”日本科学教育学会年会 11, 311（1987）
- 3) 今坂一郎：“理科の学習に関する調査結果と分析について”化学教育 29（6）426（1981）
- 4) 稲森潤，平山勝美：“理科の好き・嫌いについて”日本科学教育学会年会 8, 258（1984）
- 5) 国立教育研究所：“第2回国際理科教育調査の中間報告”（1988）
- 6) 五島文韶，八神武夫，福富敬雄，青木茂，本田正司：“化学実験による事故と教師教育”岐阜大学カリキュラム開発研究センター研究報告 3（1）22（1983）
- 7) 宮西祐治，下島美紀子：“小・中学校化学実験のためのCAIソフトの開発”岐阜大学教育学部化学教室，卒業論文（1988）