

個別学習プログラム「原子と分子」の 開発およびその実験学習（I）

竹 友 一 成*

(昭和54年10月31日受理)

Development of Individualized Learning Program “Atom and Molecule” and Experiment with the Program

Kazushige TAKETOMO*

(Received for Publication, October 31, 1979)

1. はじめに

我国のプログラム学習に関する最初の研究会は、1960年の第7回視聴覚教育研究協議会であった。また、CAIの最初の研究は、1965年の前後において、電気試験所で試みられていたCAIの実験とみてよい。他方、斯る革新的研究と時期を同じくして、理科教育の現代化ということがはなばなしく登場した。そして、我国教育界は、米国の新カリキュラム運動(例えばCHEMSやPSSC)の影響下に、あげて教育イノベーションを求めはじめようになった。しかし、こうしたことも、新しくてもう古い歴史的話題となってきた。

我国の新カリキュラム運動の中心は、当然のことながら教育内容の質的改善に向けられたが、新しい教育内容は結果的に内容の質的レベルアップをきたし、その面から多くの批判を甘受しなければならない運命にあった。所謂「おちこぼれ」論もその一つである。理科(化学)を例にとってみても、ハイレベルの基礎理論を重視した帰結として、「物質不在の理科」、「学者養成の理科」という声の日を追って強まった。その一方で、我国の教育は、多くの学校において、教科書と副読本、黒板とチョークの他は貧弱な補助的教材・教具を用いる旧態依然とした一斉授業の方法によっていた。イノベーションが新しいカリキュラムのみで事たりるものでないことは言うまでもない。学習効果を大ならしめる高効率・高能率の教授学習法による実践が伴わなければ、その成熟は期し難い。

教育イノベーションの一つとして教育工学の発生がある。我国では、昭和40年代から組織的に教育工学的手法による教育の質的改善が試みられてきた。長崎大学においても、NIGHTシステムのプロジェクトが組織され、6年間にわたって離島僻地の教育事情の格差解消に関する研究が継続され、昭和51年度に至ってその公的研究を終了している。

NIGHTシステムは広域CMIに関する方法論の実証的研究であった。筆者は、NIGHTシステムの組織的・公的研究が一応完結した後にも、このシステムの存続および継続的稼

*長崎大学教育学部化学教室(長崎市文教町)

Chemical Laboratory, Faculty of Education, Nagasaki Univ. (Bunkyo, Nagasaki, Japan)

動が、仮令、小規模の範囲に留まるとしても、保証され得るであろう方法を思索していた。その結果、離島僻地校の教師が、何らの抵抗もなく採用し得る学習プログラムの開発を意識せざるを得なかった。現時点において、教育現場にスムーズに受入れられる学習プログラムの必要条件は、教育現場に即応した良いプログラムであることは勿論ながら、その他に、正規の一斉授業にトラブルを生じないこと、および使用時間が比較的短時間であること、などを掲げることができる。上記のトラブル、短時間ということは、教育事情の格差解消を目標とする NIGHT システムからすれば奇異な感もする。しかし NIGHT システムが大学サイドからする研究であって、しかも、現実的問題として研究がトライアウトの段階にあることを勘案すれば、斯る条件が自然発生的に現われることも止むを得ないことであろう。そこで、誤解をさける意味で次のことを記しておく。NIGHT 対象全地域の教育現場からは、NIGHT システムに対する積極的な協力の申込みが継続して行なわれてきたし、またポスト NIGHT システム¹⁾においても、同様の協力をいただいている。

筆者は、ポスト NIGHT システムにおいて、「教育現場で使いやすいプログラム」という考えのもとに、上記の条件を踏まえ、昭和51年から、新しい教材としての 中理・個別学習プログラム「原子と分子」の開発に着手した。この教材は文字通りのプログラム学習用マテリアルである。

現在では、個別学習といえば、即 CAI を連想する。CAI による個別学習の実践的研究も多くみられるようになった。CAI 研究のなかには、中理・「原子と分子」のソフトウェア開発や少人数対象ではあるがその実験学習の試行もみられる²⁾。しかし、CAI を日常の授業において多数の生徒を対象に実践教育として行なうためには、経済的困難が大きい。こうした教育施設投資に関する問題の他、CAI は、教師の誰もが、何時、何処でも簡単にその実践を消化し得るというものでもない。むしろ、教師の時間的負担は、はかり知れないほど大きい。

CAI であれ、またプログラム学習であれ、個別学習の実施にあたっては、それぞれの有するメリットを十分に活用し、生徒の学習意欲をくすぐり高めて、学習効果を大ならしめればよいのである。

先に、筆者³⁾は、化学反応の速度論をモデルとして個別学習の最適化に関する理論構成を試みた。筆者は、この個別学習最適化の理論を個別学習プログラム作成の基本原則として重視し、昭和51年から現在までの4年間に4種類の 中理・個別学習プログラム「原子と分子」の開発を行ない、かつそのトライアウトを毎年度継続的に実施してきた。

本稿は、昭和51年度作成の 中理・個別学習プログラム「原子と分子」(以下、昭51プロ)の概要およびその実験学習の試行についての報告である。

2. 個別学習プログラム作成の基本原則

システム工学の発達教育工学の自然的発生を促進したという考え方がある。学習の行動をシステムとして捉え、学習の最適化に対する解を求めることは、重要な課題である。

筆者は、既報^{3),4),5)}の如く、教育反応を生徒と教育情報(学習内容)との衝突により起こる反応として捉え、これに化学反応の速度論をアプライすることによって、学習の最適化のた

めの各種の指標値を明らかにした。これらの指標値は、いうまでもなく、生徒を人間として捉えた場合に当然問題とされなければならない人間内部の精神活動を重視して求めた値ではない。とりわけ、学習に際しての生徒の心理的・生理的葛藤などに基づく生徒の行動形成までを考慮して求められたものではない。したがって、生徒を「学習意欲性を有する人間生体」とみなしなければならないであろう実際の教授学習にあつては、指標値に対する多少の肉づけや、あるいは理論的改善的再構成も必要であろうことは否定できないと考えられる。しかし、生徒を「学習意欲性を有するヒト生体」として捉えた場合、つまり精神活動を特に重視しない場合の教授学習の最適化の指標値を、あらかじめ求めておいて、教育実践の場から得られたデータと比較することにより、真の指標値を試行錯誤的に模索することも、現時点では必要な研究といえるのではなからうか。筆者が試みてきた現在までの多くの実験授業や実験学習の成績^{5),6),7),8)}に、これらの指標値をアプライしてみても、そこに何らの矛盾を生ずることはなかった。教育情報のレベルが高度に過ぎると思惟される一斉授業⁶⁾（高等看護学院・化学）では、学習データから得られた吸収率（有効度指数）が、理論的に求められた指標値としての吸収率⁵⁾をかなり下回り、期待される事後テスト正答率を得ることはできなかった。教育情報のレベルが被験学生に対し高度にすぎる場合には、ステップを限界点近くまで極度にスモール化したうえで、学習過程の各所で思考トレーニングを与えるとともに、「教え・与える」という教授法も必要の如く考えられた。攻撃方向を変えた学習の繰返しも亦必要と考えられた。また、教育情報のレベルが、教育上許容し得る限界点³⁾まで引下げられた一斉授業⁵⁾（中学校・理科）や個別学習⁸⁾（中学校・理科）では、一応、期待する吸収率および期待する事後テスト平均正答率に近い値をそれぞれ得ることができた。特に、個別学習⁸⁾の事例では、生徒の情意反応は予想以上に好ましいものであった。さらに、高等学校数学の一斉授業⁷⁾の例においても、事前テスト平均正答率を無理のない（望ましい）教授学習の事前テスト指標値と平均的教授学習³⁾の事前テスト指標値との中間に設定した場合、被験生徒の事後テストの難易度に対する情意反応は、その過半数（60%）が「ちょうどよかった」となって表われた。また、この授業における吸収率も指標値をやや上回る非常に好ましいものであった。

個別学習プログラムの作成にあたっては、上記の理論的・実証的研究の成績が参考になる。そこで、次の3項目を個別学習プログラム作成の基本原則として重視した。

- (1) 個別学習の狙いを、生徒がその学習能力を最大限に発揮して学習に取り組むことができる、とする。これが個別学習の最適化につながる。
- (2) 教育上許容し得る限界的「やさしさ」を有する教育情報を、生徒が学習能力を最大限に発揮して攻撃するためには、
 - ① 事前テスト正答率が約50%、事後テスト正答率が約68%であること。
 - ② 1回の攻撃で未吸収教育情報（わからないところ）の約37%を吸収する（わかる）ことができるように、生徒に対する教育情報の同質化が行なわれていること。の2つの条件が整えられていることが望ましい。
- (3) 生徒を魅惑的に「ひきつける力」、つまり静的親和力⁹⁾がプログラムに潜在していることが必要である。

ここに示された3項目の他に、学習が個別学習であつてプログラム学習の形態をとるよ

うに計画されたことから、プログラム学習の5原理、つまり自己ペース、スモールステップ、積極的反応、即時確認、学習者検証の各原理を原則として取り入れるよう意図した。

3. 個別学習プログラムの選択

プログラム学習の特色の一つは、学習者の能力にしたがったペース、つまり自己ペースで学習が進められることである。決して、教師のペースで学習を進めてはならないのである。

一種類目のみのプログラムを使用する場合、自己ペースで学習が進められるならば、学習終了に要する時間は学習者によってそれぞれ異なる。学習時間に相当の差を生ずる。個別学習は一斉授業との関連において行なわれることが多い。したがって、一斉授業を効果的に展開するためには、この時間差を解消する必要がある。しかし、これは極めて困難な作業である。八田⁹⁾らは、一斉授業ということをあまり意識しないようにして、この時間差解消を応個学習と命名した学習法で克服することを計画している。応個学習では、プログラムの選択は生徒自からが行なう特徴がある。時間差解消としては、その他に、多数のプログラムを用意しておき、生徒個に即応したプログラムを教師が選択して与え、学習の速度をすべての生徒をつうじて大よそ一定に保つことも考えられる。生徒個に即応した個別学習を特に強調するならば、生徒数と同数のプログラムが論理上必要である。これを現在の教育実践の場に要求することは、教育現場の教育事情を知る限り不可能である。そこで、筆者は、教育現場からの要求に応えられるよう、目標は同じであるが、難易度の異なるプログラムを、まず最小限三種類（上・普・下）準備し、それら三種のプログラムを用いた個別学習の実践を計画している。

個別学習は、教育一般通念として、目標への完全致達理想とされている。また、この完全致達は、当然計られてしかるべき、と考えられている。しかし、個別学習の目標を、生徒個の学習能力の最大限発揮というところに求めるならば、完全致達を狙う個別学習では、かなりの浪費的学習時間を必要とする。学習能力を最大限に発揮することのできる教材の難易度は、1回の攻撃で、未吸収教育情報の37%を理解し得る「むつかしさ」である。したがって、目標への完全到達のためには攻撃の方向を変えた何回かの学習を必要とする。目標への完全致達を狙う個別学習は能率的とはいえないのである。時間や定着を考慮したうえでの能率的学習を考えなければならない。

一斉授業に限らず、個別学習にあたっては、学習が能率的であり、吸収された知識等の高い定着が認められるならば、その学習法が最も好ましい、斯る好ましい個別学習法を義務教育である中学校において試みるためには、筆者が既に報告^{3),5),8)}した教授学習のための各指標値を参考にして要約した本稿2の「個別学習プログラム作成の基本原則」を重視してみるのも一つの方法であろう。

上記の基本原則を重視する立場から、三種類（上・普・下）のプログラムを用意した場合、図1で示されるフローチャートにしたがうプログラムの選択が描き出される。ただし、この選択法の基礎には、教育情報への生徒の攻撃は1回であるとする仮定がある。

生徒個に対するプログラムの選択は、前提テストあるいは事前テストの正答率（図1の得点）をベースにする他、個の学習歴を参考にして、教師が適宜これを行なえばよい。他

方，生徒の主体性を重んじ，生徒自身によるプログラムの選択もあってよい。生徒による選択は好ましいことである。しかし，この場合，フレーム数が多数に及ぶ冊子あるいはブック形態のプログラムでは，生徒の選択を適切ならしめるための何らかの資料が必要であろう。次の4項で述べるマップは，この適切な選択を補完する資料となり得る。

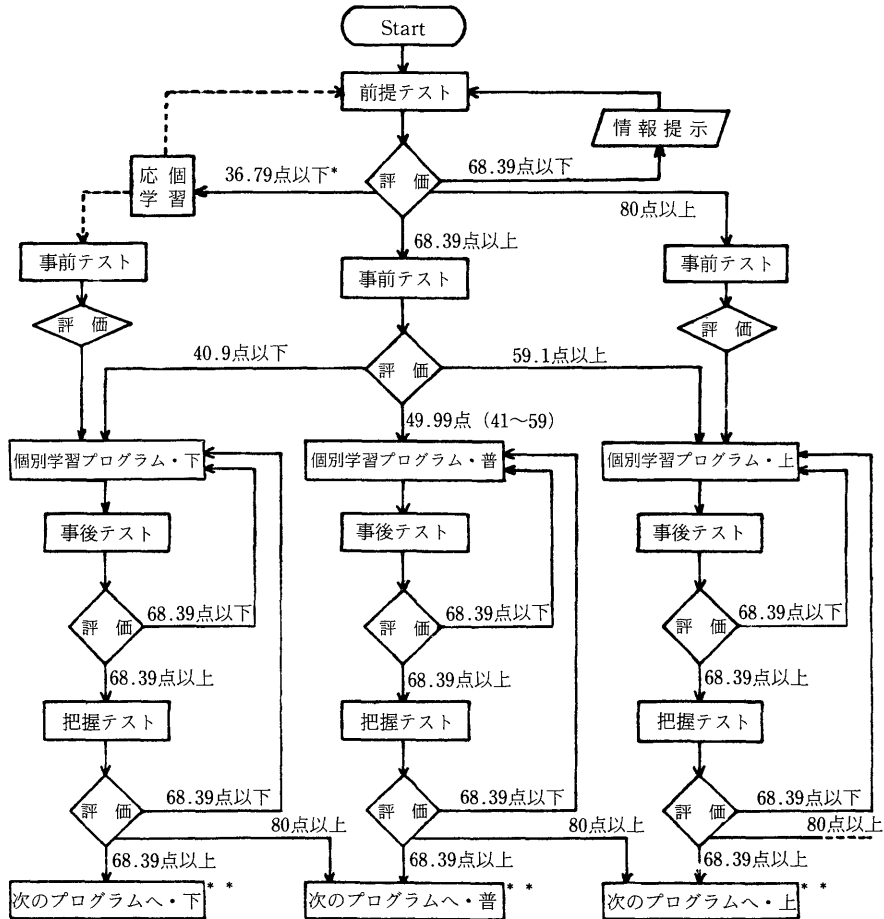


図1 個別学習プログラムの選択

* 数回の情報提示・フィードバックにもかかわらず前提テスト36.79点以下の場合を示す。得点表示は正答率に代えて用いられた。

** 次のプログラムは事前テストを含む。

4. 個別学習プログラム「原子と分子」の作成

中学校理科の学習において，科学概念のうえで，最も変容の大きい単位は「原子と分子」である。既得概念を新しい概念に変容させ，それを確実に定着させることは，やさしい教授作業ではない。概念変容をせまられる単位では，生徒の混乱も大きい。しかし，逆に斯

る単位では、静的親和力の各要素⁹⁾を教授学習過程の随所に取り入れることが可能である。個別学習を成功させるうえで、この可能性は大きなメリットである。また、原子・分子という微視的物質観を正しく定着せしめることは、以降の理科学習を的確に展開するうえで、必要不可欠なことである。

この必要不可欠であるという点、および上記のメリットがあるという点の二つの理由から、個別学習プログラムの単位として「原子と分子」が選定された。

4. 1 作成の基本的立場

(1) 中学校理科(第1分野・化学)においては、1年次の学習は巨視的物質観で、3年次のそれは微視的物質観でそれぞれ進められておる。2年次の中期において、両者の橋わたしとして、原子や分子が、ツブ、粒子、結晶の概念を微視的に発展せしめる形式で取り扱われている。

「原子と分子」の学習内容構造、および「原子と分子」をとりまく周辺単位とのかかわり

00 鉄のかたまりを切つてゆくと、最後はどうなる?	01 鉄粉粒子の大きさは?	02 鉄粉粒子とろ紙のあなたとの比較。	03	04 水素分子を原子(元素)記号で表わしてみよう。	05
10	11 ブドウ糖粒子とデンプン粒子の大きさの比較。	12 ブドウ糖粒子とデンプン粒子の大きさくらべ。	13	14 水分子を原子記号で表わしてみよう。	15
20	21 鉄粉粒子・デンプン粒子・ブドウ糖粒子の大きさくらべ。	22 鉄粉粒子・デンプン粒子・ブドウ糖粒子の大きさについてのまとめ。	23 酸化水銀の分解のようすを粒子モデルで考えよう。	24 二酸化炭素を原子記号で表わしてみよう。	25
30	31	32 鉄粉粒子・デンプン粒子・ブドウ糖粒子のモデル化。	33 マグネシウム+酸素の反応を粒子モデルで。	34	35 水の分解を化学反応式で表わしてみよう。
40	41	42	43 水の合成を原子のモデルで考えよう。	44	45 酸化マグネシウムができるときの化学反応式は?
50	51	52	53 物質内部のエネルギー。	54	55 酸化水銀の分解の化学反応式は?

図2 学習マップ

合いの構造などについては、各教科書の指導書に詳しく掲載されているので省略することとし、ここでは、昭51プロの学習内容を学習フレームの題目の形で、学習マップとして図2に示しておく。マップ中の22は、閑話の意とともに、粒子の大きさの纏めとして、特に設けられたフレームで、具体的行動を要求するものではない。

巨視的物質観から微視的物質観を育てる場合、最初に手がけられなければならないことは、物質の粒子性であろう。図2の学習マップでも、物質の粒子性を取扱う項目が多数みられる。微視的物質観を育てる決め手となると考えられるからである。物質の粒子性を捉えさせる素材としては、溶解、ろ過、拡散、へき開などがある。その教授学習法としては、粒子性を強制的に最初の時期に提示する方法と、溶解、ろ過、へき開などの現象を観察、学習、考察することから、つまり生徒の主体性を尊重しながら探究的、あるいは発見的に物質の粒子性を探ぐりあてる方法とが考えられる。

今回の昭51プロは、ろ過という現象を素材とし、これを教材化して、後者の方法によって学習する立場から作成された。

(2) 教育情報の何%が生徒に吸収されたかを正確に測定することは非常に難しい。授業分析や授業評価を重視する立場からすれば、この測定を欠くことはできないのである。的確な評価を伴わない教育は、教育改善や教育イノベーションにつながらない。

吸収率の正確な測定が困難である大きな原因の一つは、学習により吸収された事項の忘却である。忘却の現象は経時的に強く表われるという。したがって、これを防止するためには事前テストから事後テストまでの時間幅を可能な限り短縮すればよい。

昭51プロでは、生徒の活動は事前テストにはじまりフレームの学習活動を経て事後テストで終了する。そこで吸収率の正確な測定ということを踏えて、事前テストから事後テストまでの必要学習時間を60～70分とする立場から、学習フームの開発を試みた。

4. 2 本学習プログラムの特徴

プログラムは本稿2の基本原則を重視し、前項の基本的立場にしたがって作成された。本学習プログラム（昭51プロ）の特徴を列挙すれば次のようである。

(1) 生徒の学習能力が最大限に発揮できるよう教育情報の解説レベルが設定されている。つまり、教育情報に対する攻撃が1回であれば、事前テスト正答率50%の場合、事後テスト正答率が約68%となるように設計されている。と同時に、下位生徒に対しては、2回以上の攻撃が可能であるよう、学習進路を多様化せしめている。

(2) 学習マップにより生徒が必要とする学習項目のみを順次に学習することができる。

(3) プログラムの静的親和力を重視し、挑戦性、意外性、スリル感などをたかめるよう配慮した。このため、プログラムの随所に多数の絵画を入れ、フィードバックの情報、ヒント、および正誤答欄などは、紙扉による所謂目隠しを施した。

(4) 個に即応すべく、クラウドの枝分れ方式を採用した。誤答者へのフィードバックは、その情報・ヒントを可及的最少限に留めた。「教え・与える」ことをきらうことで、生徒の思考・判断の学習活動が大きくなるよう計画した。

(5) マークカードを使用することから学習が単なる思考に留まらないように工夫した。躰全体で学習し記憶するマッスルメモリー¹⁾を重視して、学習ノートによる活動性の高い学習も加えた。

(6) プログラムは冊子として製本されておる。したがって、何時・何処でも簡単に使用でき、使用にあたっての煩雑さが無い。

(7) 診断的・形成的・総括的評価が可能であるよう、選択技法による事前・事後テスト

の他、学習フレームにチェックポイントを設けた。選択肢には、的確な診断と評価が可能となるよう、「わからない」の選択肢を設けた。これらによって、昭51プロに対する評価は勿論、生徒の診断・評価、および使用の時期・方法などを踏えて一斉授業の診断・評価も可能である。

また、学習による学力の向上を、生徒みずからが評価することもできる。

(8) プログラムの学習に要する時間は約60～70分間で、中学校の授業単位で2コマあれば、使用前の説明や使用後の生徒に対する手あても含めて充分である。

(9) 生徒は、学習にあたって教師の説明・指導を特に必要とすることなく、この昭51プロに取りくむことができる。

(10) 教室における個別学習は勿論、家庭学習にも、また一斉授業の教材としても充分使用に耐え得る。

(11) 教育情報については、標準的レベルを保った。したがって、無理な使用でない限り、クラスの平均レベルに位置する生徒の場合、事前テスト正答率は約50%前後のところに落ち着くと考えられる。

：

4. 3 本学習プログラムの内容構成

この昭51プロは、学習マップ、手順と注意、カードの使い方、事前テスト、学習フレーム(18フレーム)、および事後テストから構成されている。その他に、付帯品として、学習ノート1枚およびカード3枚が添付されておる。

(1) 学習マップについては、4. 1の図2に示しておいた。マップ内の [] は「原子と分子」とは直接関係のない項目であることを示している。

(2) 手順と注意は、教師の説明がなくても、生徒個のみでも学習を可能ならしめるため、プログラムによる学習法を、やさしく解説したものである。

(3) カードの使い方は、上記項目(2)と同じ目的で、カードへの記入法を例をあげながらやさしく説明したものである。本稿末尾に資料1として示す。

(4) 事前・事後テストは同一問題で構成した。テスト問題を本項末尾に資料2として掲げておく。

(5) チェックのポイントは、各学習フレームごとに1か所あて設定された。チェックは、サブフレームのヒント情報を生徒に与える前の段階で、メインフレームの情報をもって、生徒の何%が具体目標行動を示すことが可能であるかを正確に把握するための他、生徒がチェックに取り組むことで生徒自身クイズを解くような面白さを享受し、学習続行の意欲がたかまるよう、設けられたものである。

(6) フレームは学習の内容を纏めた窓枠である。学習項目はフレームの最初の表題で表わしてある。フレームは、原則として、解説、問題提示、情報、約束、ヒント、チェック、進路(以上メインフレーム)、およびサブフレームから構成した。サブフレームは、チェック問題に対するヒント情報を納めたフレームで、紙扉で目隠されている。生徒はメインフレームの進路指示に従って、それぞれのサブフレームに進む。本稿末尾に、フレーム②、フレーム⑩、およびフレーム⑪を掲載しておく(資料3, 4, 5)。

4. 4 本学習プログラムの使用法

前々項の4.2の(4)で述べたように、この昭51プロは、「教え・与える」ことをきらうことで、生徒の思考・判断の学習活動が大きくなるように計画し、これに基づいて作成された。換言すれば、比較的高い学習障壁を残し、生徒が学習能力を十分に駆使しなければならないように、プログラミングを行っている。したがって、解説の詳細さ、およびキュー（Cueing）の程度は、生徒によっては必ずしも十分なものとなっていない恐れがある。このような作成の姿勢をとった一つの理由は、この昭51プロをNIGHT対象地区、特に離島の中学校において、単元・原子と分子の一斉授業後に個別学習を試行する意図によるものであった。しかし、一方、学習能力の比較的大きい都市の生徒に対して、一斉授業前、あるいは一斉授業進行中の任意の時期に使用し、生徒の微視的物質観を予習的に育てることを狙ったのも確かである。したがって、この昭51プロは、都市校での一斉授業前の使用にも充分耐え得るものと考えられる。

次に使用の形態であるが、前々項4.2の(1)~(11)の特徴からして、

- ① 一斉授業の補助教材あるいはテキスト教材
- ② 学習を伴う楽しいテストとしてのテスト教材
- ③ 放課後の個別学習教材
- ④ 家庭学習教材

などが想定される。このうち、②、③および④としての使用は、現場教師にとって最も受け入れやすく、生徒も楽しく学習することができ、学習遂行の満足感を充分与えることのできる使用形態であろう。

5. プログラム作成の手順と方法

よいプログラムといわれる学習プログラムは試行錯誤と修正を重ねることから生れる。作成の手順としてはオーソドックスな方法もあるが、その方法にしたがえば、よいプログラムが必ず作成されるというわけではない。トライアウト、そして修正が必要である（図3）。

5. 1 作成手順の概要

昭51プロの作成にあたっては、コースアウトライン自動決定法¹⁰⁾により学習のコースを定め、生徒が学習能力を最大限に発揮しながら、自動的にゴール目標行動（以下、G）がとれるよう意図した。まず、Gを「化学変化（酸化水銀の分解）を化学反応式で表わすことができる」と設定した。次いで、特に指導目標シラバスを定め、これを巨視から微視へ

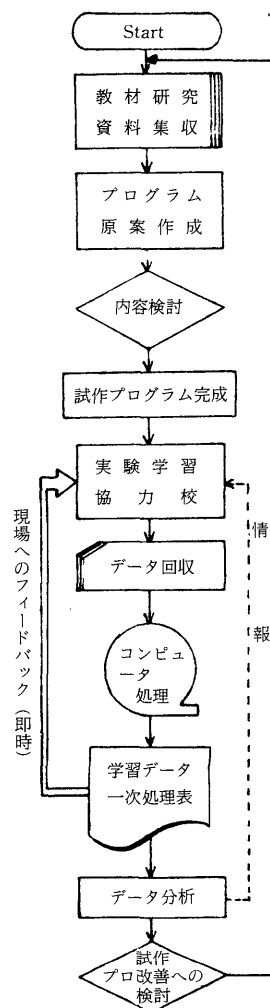


図3 プログラム作成とトライアウト

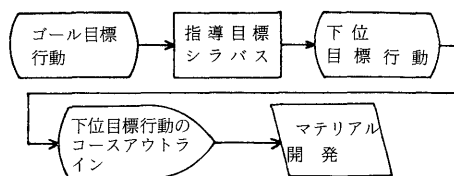


図4 プログラム作成の手順

の物質概念の移行にポイントを置いて書きだし、シラバスに対応する目標行動（Gの下位目標行動）を設定した。この下位目標行動のコースアウトラインを上記自動決定法で定め、続いて、この下位目標行動が生徒の学習能力最大限発揮のもとに実現するよう学習フレーム（マテリアル）の開発を試みた（図4）。

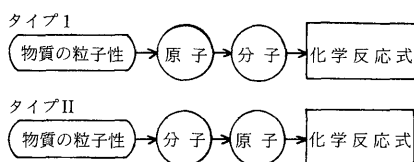


図5 ゴール目標行動へのアプローチ

5.2 ゴール目標行動へのアプローチ

Gに生徒を致達せしめるための方法としては、図5に示される二つのアプローチのしかたが考えられる。

いずれのタイプが効果的学習を可能ならしめるかの実証的研究は未だみられないようである。

筆者は、この比較実証的研究を試みる意図で、両タイプの個別学習プログラムの開発を予定しているが、今回作成の昭51プロでは、まず原子概念を与え、次いでタイプIIで示される学習コースを計画した。

5.3 指導目標シラバスと下位目標行動

本プログラムの作成にあたっては、シラバスの左側に素材を、シラバスの右側に指導目標をそれぞれ併記して、次の下位目標行動の設定とそのコースアウトライン決定に便となるようはかった（図6）。

5.4 下位目標行動のコースアウトライン

次に示す下位目標行動は、Gが形成されるために必要な行動のすべてを含んでいる。そこで、下位目標行動が設定されるならば、この行動を学習の窓枠を意味する学習フレームの目標行動とすることができ、ただちに、学習フレームの開発にとりくむことが可能となる。

設定された下位目標行動は次のようである。

- (1) 水の電気分解について正しい化学反応式を選ぶことができる。
- (2) マグネシウムが酸素と化合したときの正しい化学反応式を選ぶことができる。
- (3) 二酸化炭素の正しい化学式を指摘することができる。
- (4) 水分子の化学式を指摘することができる。
- (5) 2個の水素分子を原子（元素）記号を用いて表わすことができる。
- (6) 水の合成反応で、物質内部のエネルギーの大小を正しく指摘することができる。
- (7) 水の合成を原子のモデルで書くことができる。
- (8) マグネシウムと酸素との反応を粒子モデルで書くことができる。
- (9) 酸化水銀の分解を粒子モデルで説明した選択肢について、正しい選択肢を選ぶことができる。

教 材	Syllabus Flow-Chart	指 導 目 標
	S T A R T	事 前 テ ス ト
鉄	物質の粒子性 (1)	鉄を無限に小さく切った場合の問題を通じて、物質は粒子でできていることを教える。
鉄	物質の粒子性 (2)	ろ過の学習を通じて鉄粉粒子は、ろ紙のあなより大きいことに気づかせる。
デンプン・ブドウ糖	物質の粒子性 (3)	透析の学習を通じてデンプン粒子とブドウ糖粒子の大小関係を把握させる。
鉄粉粒子	粒子モデル (1)	ろ紙のあなと鉄粉粒子との関係を粒子モデルで説明させる。
鉄粉粒子・デンプン粒子・ブドウ糖粒子	粒子モデル (2)	鉄粉粒子、デンプン粒子、ブドウ糖粒子の大小関係を指摘させる。
鉄粉粒子・デンプン粒子・ブドウ糖粒子 (学習ノート)	粒子モデル (3)	鉄粉粒子、デンプン粒子、ブドウ糖粒子の大小関係を具体的なモデルで書き表わさせる。
酸化水銀	粒子モデルの適用	酸化水銀の分解のようすを粒子モデルで考えさせる。
マグネシウム	粒子モデルの適用	マグネシウムと酸素の反応を粒子モデルで考えさせる。
水	分子原子の定義	これまでの粒子を物質の性質をもつ粒子として分子を定義し、さらに水の合成でその限界を知らせ、最小単位としての原子を定義する。
水	物質内部のエネルギー	水の合成の学習で、特にエネルギーに着目させ、エネルギーの学習との関連性をねらう。
酸素原子・水素原子・酸素分子・水素分子 2 個	原子 (元素) 記号	酸素原子、水素原子、酸素分子の学習をもとに水素分子 2 個の表わし方を理解させる。
二酸化炭素	化学式	水分子や二酸化炭素もやはり原子 (元素) 記号で表わされることを学習させ、化学反応式の学習の布石とする。
水・マグネシウム・酸化水銀	化学反応式	水の分解、マグネシウムの酸化、酸化水銀の分解を化学反応式で表わすことを学習させる。
	E N D	事 後 テ ス ト

図 6 指導目標シラバスと教材

(15) 鉄粉粒子の大きさについて、ろ過の結果から、ろ紙のアナより大きいことを指摘することができる。

(16) 鉄のかたまりをどんどん切ると、非常に小さい鉄の粒子のところまで切ることができることを指摘することができる。

次に、Gに対する下位目標行動(1)~(16)の形成関係を検討した。Gが形成されるためには、(1)~(16)の目標行動のうち、最も直接的な下位目標行動となり得るものは(1)と(2)である。同様に(2)に対するものは(8)である。このようにして得られた形成関係図を図7に示す。またコースアウトライン決定のためのマトリックスを図8に示す。

(3)と(6)は、実際には下位目標行動となっておらない(図7)から、関連するフレームの近傍で学習させればよい。マテリアルの精選を重視すれば、とり除いてよい目標行動である。しかし、筆者は、(3)と(6)を篩にかけることはしなかった。(3)は重要な化学式の反復学習に、(6)は既習のエネルギー概念をより確かなものとするために、また化学反応とエネルギーとの関連を把握するために繰返し学習するだけの価値ある学習項目と理解しているからである。このように、コースアウトラインが決定されれば、各目標行動の実現のため、マテリアルとしての学習フレームの開発を行うこととなる。開発されたフレームの若干数が、事前・事後テスト問題とともに本稿末尾に掲載されている。

6. 実験個別学習の試行

中理・個別学習プログラム「原子と分子」は、NIGHT および ポスト NIGHT システムを意識して作成されたプログラムである。このため、実験個別学習は都市校および離島校で実施したが、教育現場とのデータ交信を郵送のみに留めず、「データのオンライン交信」という目的もかねて、テレックスによるデータの交信を行なった。離島N校と本学部附属教育工学センターとをオンラインで結び、本学習プログラムによる個別学習データをテレックスにのせたところ、約10分間をもって交信を終えることができた。

まず、上記の如きハードウェアの側面を報告しておき、以下、個別学習試行の結果について論述する。

6. 1 実験協力校

表1 実験個別学習校

学校名	学級名	生徒数	地域	実施時期
P*	5	226	都市	一斉授業後
S	5	197	都市	一斉授業前
E	2	81	都市	一斉授業前
U	2**	76	離島	一斉授業後
N	1	33	離島	一斉授業後

* 特殊校

** この2学級のうち1学級の個別学習実施条件不詳

中学校2年生を対象として、5校(15学級, 613名)にて実施した(表1)。このうちP校は家庭学習(宿題)として行ない、S, E, U, N各校は、学習を伴う楽しいテストとして教室にて実施した。ただし、U校の1学級については、実験学習の条件が詳らかでない。したがって、以下の分析については、U校の1学級(生徒数39名)を除き、5校、14学級、574名を対象とした。

6. 2 事前・チェック・事後テストの正答率、および吸収率

分析は学級単位で行なった。その結果を表2に示す。

表2 学級別平均正答率および平均吸収率

学校名	学級名	生徒数	事前テスト 正答率%	チェック 正答率%	事後テスト 正答率%	伸び*	吸収率**
P	1	45	75.4	89.0	87.5	12.1	49.2
P	2	46	66.2	86.3	85.4	19.2	56.8
P	3	44	69.8	83.6	86.8	17.0	56.3
P	4	45	67.5	83.2	86.7	19.2	59.1
P	5	46	70.5	86.9	87.7	17.2	58.3
S	1	39	46.4	71.6	71.1	24.7	46.1
S	2	40	47.9	65.8	58.4	10.5	20.2
S	3	39	50.0	73.8	66.7	16.7	33.4
S	4	39	45.2	72.5	60.6	15.4	28.1
S	5	40	48.2	71.2	63.9	15.7	30.3
E	1	41	52.3	74.6	63.6	11.3	23.7
E	2	40	49.8	74.0	63.4	13.6	27.1
U	1	37	50.2	79.2	65.4	15.2	30.5
N	1	33	52.0	63.2	59.8	7.8	16.3

* 伸び=事後テスト正答率-事前テスト正答率

** 吸収率= $\frac{\text{事後テスト正答率}-\text{事前テスト正答率}}{100-\text{事前テスト正答率}} \times 100$

一斉授業後に実施した都市のP校(特殊校)の学級平均の成績は、伸び12.1~19.2、吸収率49.2~59.1で吸収率が他校に比較して著しく高い特徴が認められた。事前テスト正答率が学級平均で66.2~75.4の範囲にあり、P校生徒にとっては、与えられたプログラムが易すぎたことを示している。P校が都市の特殊校であり、個別学習の時期が一斉授業後であったことを勘案すれば、これらの学習データを理解することができる。

昭51プロは、都市校で一斉授業前、離島校で一斉授業後の個別学習をそれぞれ目的として作成されておる(4.4)。そこで、使用条件をみたしている都市校のS, E, および離島校のU, Nの計4校(9学級)についてデータを検討すれば、事前テスト正答率45.2~52.3%(平均49.1%)、事後テスト正答率58.4~71.1%(平均63.7%)、吸収率16.3~46.1%(平均28.4%)であった。これらの平均値は、昭51プロの作成にあたって、作成の基本原則として重視した指標値、つまり事前テスト正答率約50%、事後テスト正答率約68%、吸収率

約37%，という値に比較的類似している。特に事前テスト正答率に関しては，実験値と指標値とは殆んど一致した。

以上の成績から，都市S，E，離島U，Nの各校生徒に対する昭51プロの学習内容のレベルは適当であったと推定することができた。また，吸収率から推定して，離島のNを除き，生徒達は学習能力を十分に発揮しながら学習にとりくんだものと考えられた。N校の吸収率が16.3%であることについては次のように解釈すればこれを理解し得る。N校は離島中心地から比較的はなれた位置にある小規模校で教育事情に恵まれておらない。この教育事情から総合的学力が，「教え・与える」ことをきらった昭51プロのキュー（Cueing）に充分応じきれなかったものと推定される*。N校生徒に対しては，今少し，キューのきめ細かい設定が必要と思われた。

教育現場の教師からの連絡によれば，昭51プロによる個別学習の必要時間は，学習速度の速い生徒で40分，遅い生徒で70分であった（SおよびE校）。したがって，得られた吸収率の信頼性はかなりたかいものと推定される。

6. 2 事前・事後テスト相関

先に，筆者⁵⁾は，望ましい（無理のない）教授学習の回帰直線（教授学習分析直線）として， $y=0.632x+36.8$ を提案した。ここに， y は事後テスト正答率， x は事前テスト正答率である。今，学級ごとの教授学習分析直線を示せば表3のようであった。これを相関図として示せば図9のようであった。

表3 各学級の教授学習分析直線

学 学 校 校	教授学習分析直線 $y=ax+b$ r^*		学 学 校 校	教授学習分析直線 $y=ax+b$ r		学 学 校 校	教授学習分析直線 $y=ax+b$ r	
P 1	$y=0.28x+66.0$	0.29	S 1	$y=0.81x+33.8$	0.71	E 1	$y=0.42x+41.5$	0.38
P 2	$y=0.27x+67.8$	0.34	S 2	$y=0.76x+21.7$	0.50	E 2	$y=0.44x+41.5$	0.46
P 3	$y=0.23x+70.5$	0.23	S 3	$y=0.36x+48.6$	0.29	U 1	$y=0.60x+35.1$	0.62
P 4	$y=0.37x+61.9$	0.42	S 4	$y=0.005x+60.4$	0.01	N 1	$y=0.34x+42.0$	0.30
P 5	$y=0.51x+51.9$	0.65	S 5	$y=0.58x+35.3$	0.40			

* r 項の大数字は相関が有意（0.05）であることを示す。

一斉授業では， a 値が小さく b 値が大きい場合，一般に効果的な授業が展開されたものと判断してよい⁷⁾。表3および図9において， a 値小， b 値大の学校はP校である。ところで，学級P5は学級P1～P4に比し a 値大， b 値小となっておる。同時に相関係数 r も大きい。P5のようなタイプは，筆者の経験からすれば，これを一斉授業の学習効果といえそうである。同様のことは学級S1にもいえる。他方，学級P1～P4の如く， a 値小， b 値大， r 小のタイプの場合には個別学習の学習効果があったとしてよいように考えられる。この場合には，事前テスト成績下位の生徒が自己に即応した個別学習に取りくむことにより事後テスト正答率が高くなり，この結果 a 値小， b 値大， r 小となる傾向が表われるので

*チェック正答率が低いことから，このことは妥当であると考えられた。

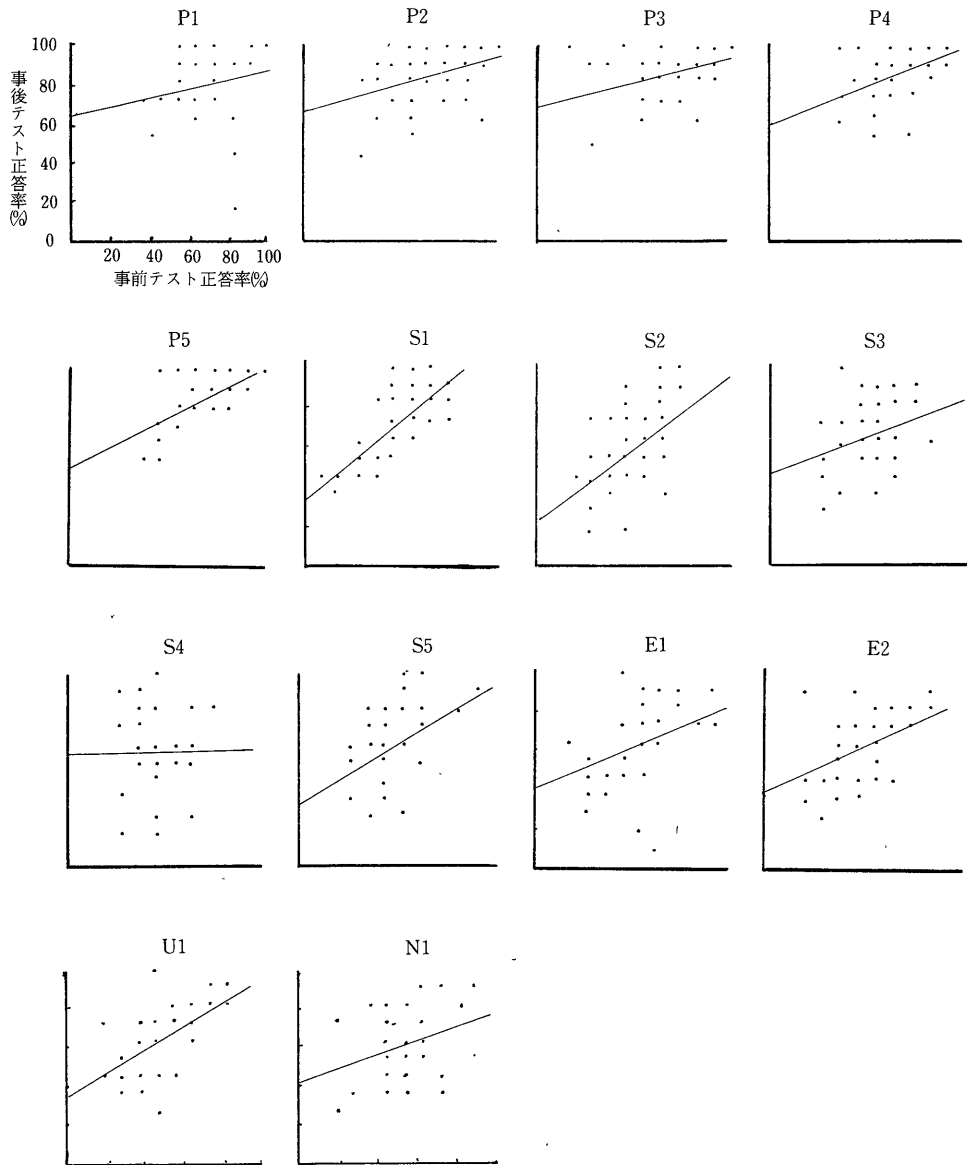


図9 事前・事後テスト正答率相関図

(図中の一箇の点が必ずしも一人の生徒を示すとは限らない)

あろう。学級P3がこの例の典型である。

個別学習で事前・事後テスト正答率の相関が高いことは決して好ましいことではない。かつて筆者が試みた一斉授業⁵⁾の相関係数は、離島9学級の平均で0.594、都市5学級の平均で0.608の値であった。今回の個別学習でこの値に近似する学級は、P5(0.65)、S1(0.71)、S2(0.50)、U1(0.62)の学級で、他の10学級は0.46以下であった。つまり、この10学級の学習の良し悪しはさておき、その学習が個別学習的であったといつてよいのではなからうか。

教授学習分析直線および相関係数で著しく他の学級と異なった様相を示す学級はS4である。学級S4は、 $y=0.005x+60.4$ $r=0.01$ であって、事前・事後テスト正答率において相関は認められない。これは、他学級で相関が低く表れているケースとは異質的であった。学級S4の場合、男子生徒でマイナス相関、女子生徒でプラス相関となっており、両生徒の混成により無相関となったものである。学級S4が無相関である本質的原因は不明であるが、事前テストより事後テストの正答率が低くなっている生徒が数名認められることに注目しておく必要があるのではなからうか。同種のことは学級N1*およびP1についてもいえるようである。

6. 3 事前・事後テスト正答率の累積度数曲線

H. Fujita *et al.*¹¹⁾はS-P表のSラインは正答率の累積度数曲線に相当すると報告している。Sラインの特性については多くの研究がある。いずれも診断・評価に有益である。昭51プロによる個別学習の試行で得られた事前・事後テスト正答率に関し累積度数を累

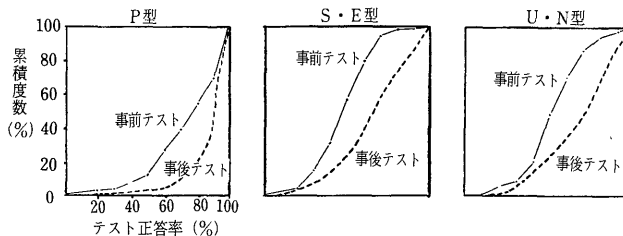


図10 事前・事後テスト正答率の累積度数曲線

積度数曲線に表わし、図10の成績を得た。

P校の各学級は平均的には図10のP型で、S校およびE校の各学級も同じくS・E型で、またU校およびN校の各学級においても同様にU・N型で、それぞれ統一的に示すことができた。

P校は、実施条件が「都市・授業後」であるため、事前テストのカーブがすでにS字形をくずし、事後テストのカーブはJ字形になっておる。

S校およびE校は、実施条件が「都市・授業前」であるため、事前テストのカーブはS字形で、事後テストのカーブはS字形とJ字形の中間的形であった。

U校およびN校は、実施条件が「離島・授業後」であるが、累積度数曲線はS校やE

*学級N1の吸収率が16%と小さいのは、この数名の事前・事後テストの逆転が原因となっている。

校のそれと類似していた。

以上の成績は、中学2年(14才)において離島・都市校間に授業一回分に相当する教育事情の格差が生じていることを意味する。事前・事後テスト正答率の単なる平均値(表1)からもこのことを指摘し得るようである。

6. 4 チェック正答率と事後テスト正答率の関連性についての疑問

今回の昭51プロのチェック項目と事後テスト項目とが、直接的関係にあるものは、チェック(00)と事後テスト(00), チェック(02)と事後テスト(05), チェック(10)と事後テスト(09), チェック(13)と事後テスト(07)の計4個である。他は間接的関係にとどまる。

チェックと直接的関係を有する事後テスト項目はその正答率が高く、逆の場合はその正答率が低い。そこで、正答率の低かった事後テスト(06)を特にとりあげ、これと間接的関係にあるチェック(11)の正答率などを検討してみよう。

まず、テスト(06)とチェック(11)とを比較するため問題内容を示した図11を特にあげておく。

S校の1～4組(生徒数157名)について検討するに、事前テスト(06)を正答し得なかった生徒は132名であった。この132名を比較検討の分析対象者とした(図12)。分析対象者132名中94名がチェック(11)を正答したが、このうち24名のみが事後テスト(06)を正答するに留まった。一方、分析対象者132名中38名がチェック(11)を正答し得なかったが、このうち9名が事後テスト(06)を正答で通過していた。

ここで問題となることは、

- ① チェック(11)で正答した94名のうち70名(正→誤者, $70 \times 100 / 94 = 74.5\%$)が事後テスト(06)で正答できなかったこと。
- ② チェック(11)で正答し得なかった38名のうち29名(誤→誤者, $29 \times 100 / 38 = 76.3\%$)が事後テスト(06)を正答できなかったが、この誤→誤者(76.3%)と、①の正→誤者(74.5%)とが大よそ同率であること。

の二つをあげ得る。

チェック(11)と事後テスト(06)とは同一問題ではないが、チェック(11)が正答であれば事後テスト(06)は正答で通過しなければならない構造関係となっている。上記の①項と②項が問題提起の対象となるのは当然であろう。チェック(11)の学習から、事後

<ul style="list-style-type: none"> ・チェック(11) 水素分子が2個あるとき、どのように表わすとよいか。 1) H_2H_2 2) H_2 3) $2H_2$ 4) わからない ・テスト問題(06) 水素分子は何原子が何個結びついてできているか。 1) 水素原子1個と酸素原子1個が結びついてできている。 2) 水素原子2個と酸素原子1個が結びついてできている。 3) 水素原子2個が結びついてできている。 4) 酸素原子2個が結びついてできている。 5) わからない。
--

図11 間接的関連性のチェック(11)・テスト問題(06)

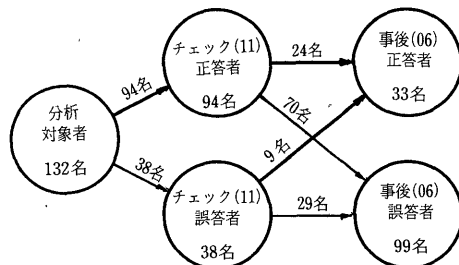


図12 チェック(11)と事後テスト(06)との関連性
(分析対象者は事前テスト(06)を誤答した生徒)

テスト（06）の問題に至るまでの時間は恐らく30分間を必要としない。とすれば、前記成績の原因は？。やはり忘却であろうか？。定着の不確かさであろうか？。

チェック（11）の正答者は分析対象者132名のなかの94名（71.2%）である。チェックの選択肢は、「わからない」を含めて、4つの選択肢である。だから、選択者が全くデタラメに選択したことではないのは確かである。チェック（11）はフレーム（13）のなかにあり、このフレームの目標は「水素分子を元素記号で表わす」ことにある。フレーム（13）では水素分子の学習が行なわれ、「水素分子は水素の原子が2個かたく結びついている」という記述は勿論のこと水素分子に関連する事項が、約1ページ半にわたって、面白く学習することができるよう配列されているのである。

今回の昭51プロでは、「教え・与える」ことをきらい、生徒の思考・判断の学習活動を大切にしよう計画された（4. 2(4)）が、フレーム（13）では、「教え・与える」ことが多きに過ぎたのであろうか。またチェック（11）に至る学習過程は、チェック（11）を攻撃するとき、正答選択肢を選ばざるを得ないような構造の学習過程になっていたのではなかろうか。チェック（11）で正答しておきながら事後テスト（06）で誤答の選択肢2）を選択する生徒が多いのである。これは、水素分子と水分子の違いに対する認識が充分でないことを意味している。

「水素と水」！

なんだか間違えることが理解できそうでもある。

チェックとは何だろう？。フレームにおける学習効果とは？。懐疑の念も生じかねない。

ここで、確かなことは、「正答即理解」とすることの誤りである。学習が成立するためには、何故間違いか、何故正しいか、これを充分認識する必要がある。次のプログラムでは、この「間違いの認識」と「正しさの認識」を、サブフレームで充分活用し、上記のチェック（11）・事後テスト（06）の関連性を再検討することができるよう計画したい。

6. 5 情意反応

アンケートなどによる特別の調査を行なったわけではないが、学習ノートの裏面に、「感想があったら、何んでもよいから書いてみよう」との一文を入れておいたところ、生徒達から、多くの応答があった。この応答を集計した結果を簡単に記す。

上記の筆者の一文に対し、生徒の反応が特に多かったのはS校である。S校について、学級別に、昭51プロに対する感想を集計するに、図13で示される結果が得られた。

「教育とは勉強したり覚えたりしたものが消えた後に何が残るかの問題です」この言葉は、現英国首相であるマーガレット・サッチャー氏が、かつて教育について質問を受けたときの答えである。

ここでは、昭和51プロによる実験学習を終えたS校生徒の声から、サッチャー氏の何が残るかについて簡単に触れてみよう。

既に述べたようにこのプログラムは、プログラムの静的親和力を生かし、生徒に面白さ、驚き、斬新感……などを与え、そこから学習への挑戦意欲をかきたてることを狙っているのであるが、この狙いが、みごとに生徒をして喜こんで学習にとりくませたようである。

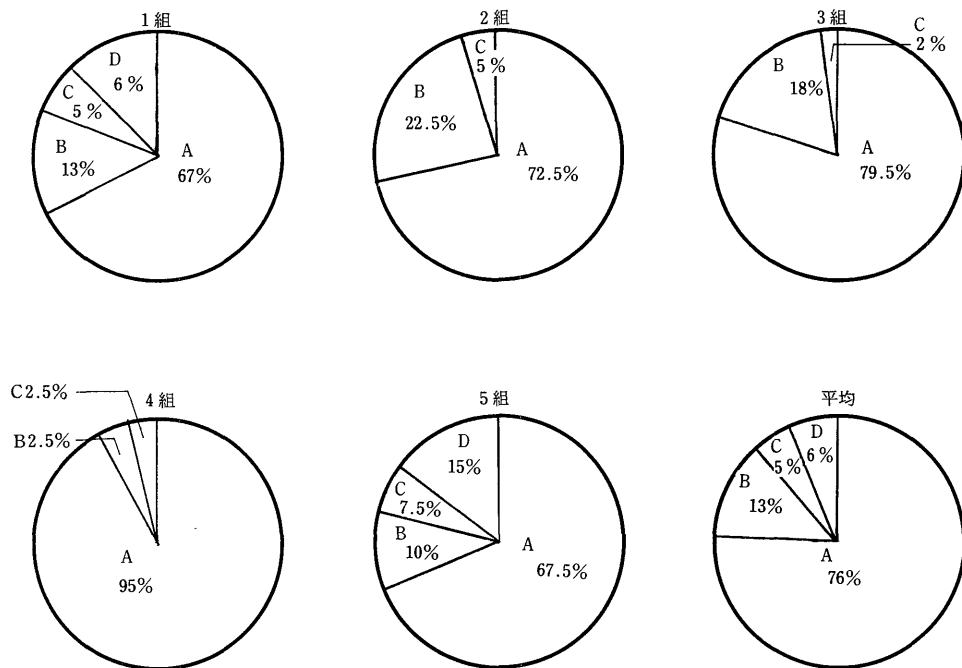


図13 個別学習プログラム「原子と分子」に対する被験生徒の情意反応(都市部S校)
(A:絶賛的肯定, B:肯定, C:肯定的批判, D:無記述)

都市部S校生徒の昭51プロに対する感想では、図13の如く、絶賛的受けとり方が圧倒的に多くみられた。しかもその内容が、

- (1) 市販されておればよいのに！
 - ★お店に売ってないかしら
 - ★こんな問題集が売ってあればなあ
- (2) 理科が好きになれそう
 - ★理科はとくいでないけれど好きになれるかも
 - ★理科はきらいだったが好きになれそう
- (3) 授業に取り入れてほしい
 - ★プログラムが教科書だったら理科は楽しい
 - ★テストがこんなのであったらなあと思った
 - ★普通の授業に使ってほしい
- (4) 他教科にも使ってほしい
 - ★原子・分子だけでなく他の学習もしてみたい
 - ★どの教科にも取り入れてほしい
- (5) もっとやってみたい
 - ★もう一回、プログラムをやってみたい
 - ★ナイトシステムを授業やテストに用いたら……

(6) もっと問題をふやしてほしい

- ★とてもよかった。問題をふやして
- ★もっと、たくさん問題ををつくってもよいと思う

とか、また

(7) 学校に来なくても、OK!

- ★よくわかって授業よりおもしろい
- ★学校にこなくても勉強できると思った

(8) 自分1人で学習できる

- ★自分だけで、できるのでいいと思った
- ★自分で学習がすすめられて、たのしかった

(9) わかりやすい・やりやすい・おもしろい

- ★絵があり、ユーモアがあり、考えるところがあり、とても楽しく勉強できた
- ★最初ドキッとしたが、あとになると楽しく、わかりやすかった

(10) 事前・事後テストがあるので自己評価できる

- ★事前ではっきりしなかったことが事後ではっきりしてきた
- ★事前でわからなかったところがフレームで少しづつわかった

などなど……プログラマーが聞けば飛びあがって喜ぶような賛辞であった。文学少女かと思われるような文章表現があれば、他方、ただ一言「よかった」と記してあるものもあった。生徒達がこの昭51プロの学習内容をどこまで理解し、記憶したかは別として、それらの理解・記憶が、仮令、表面的に消えさることがあったとしても、「未来に先がける新しい学習法」——これは生徒の言葉である——で、スリルを覚えながら楽しく勉強した、その日のあったことを、彼等は決して忘れることはないであろう。

7. おわりに

個別学習の最適化を実現するために必要と考えられる学習能力の最大限発揮ということが、今回の実験学習において生徒ひとり一人にあったかどうか、これを実証するデータはない。しかし、特殊校であるP校を除いた他のS校、E校、U校およびN校では、事前テスト正答率が約50%前後であったし、また事後テスト正答率もN校を除き、ほぼ期待する正答率に接近していたことから、平均的には、学習能力を、最大限とはいえないまでも十分に発揮してプログラムに取りくんだものと推定された。

学習項目によっては、チェック(11)と事後テスト(06)との関連検討でみられたように、表面的には少なくとも理解し難いとせざるを得ない現象もみられた。しかし、斯る現象は、一応、正しさの認識を、あるいは間違いの認識をそれぞれ深化せしめること等で学習の成立をはかり、解決してゆきたい。

前項(6.5)のような、生徒の形容しがたい喜びの声を聞くとき、学習能力を充分に発揮しながら、学習にとりくむ生徒達の姿が髣髴として脳裡にあらわれてくる。生徒達がすばらしいマテリアルの出現を待ち望んでいるのは確かである。

このたびの貴重な経験を、今後のプログラムの開発および修正に活用してゆきたい。

撰筆に臨み、実験個別学習の試行に多大のご協力を賜りました実験協力校の先生方に深甚の謝意を表します。プログラム作成にあたっては、本学部附属中学校・池内一三教諭・本田真一教諭・舛谷達夫教諭、および長崎県立東高等学校・山田晴輝講師のご協力をいただいた。また、長崎市立江平中学校・岩見栄吉教頭、長崎市立桜馬場中学校・池永清英教諭、および宇久町立宇久中学校・久野正明教諭からは、それぞれ貴重なご助言を寄せていただいた。学習データの処理は本学部附属教育工学センター・西岡幸一教官のご協力に負うところ大であった。各先生方に厚く感謝の意を表します。

本稿の要旨は、昭和52年度九州地区化学教育研究協議会（於九州工業大学、52年11月17日・18日）において講演発表した。

本研究の一部は、文部省科学研究費特定研究科学教育（教育工学を含む）によってまかなわれた。謹んで謝意を表します。

文 献

- 1) 竹友一成, 教育工学ニュース, 1 [1], 17, 長崎大学教育工学センター (1977)
- 2) 東京 CAI 研究会, CAI の探究, p.59, 明治図書出版, 東京 (1977)
- 3) 竹友一成, 長崎大学教育学部教育科学研究報告 (第2分冊), 第26号, p.33 (1979)
- 4) 竹友一成, 長崎大学教育学部教育科学研究報告, 第24号, p.211 (1977)
- 5) 竹友一成, 同上報告, 第24号, p.251 (1977)
- 6) 竹友一成, 長崎大学教育学部教育科学研究報告 (第2分冊), 第25号, p.65 (1978)
- 7) 山田憲一郎, 竹友一成, 同上報告, 第26号, p.215 (1979)
- 8) 竹友一成, 同上報告, 第26号, p.17 (1979)
- 9) 八田昭平, 西岡幸一, 長崎大学教育学部教育科学研究報告, 第24号, p.55 (1977)
- 10) 中村次郎他, ティーチングマシンと学習プログラム, 初版, p.60, 学習研究社, 東京 (1974)
- 11) H. Fujita *et al.*, Educ. Technol. Res., 1, 21 (1977)
- 12) H. Kay *et al.* (渡辺茂訳), プログラム教育とティーチング・マシン, 第1版, p.131, 講談社, 東京 (1969)

資料2

事前・事後テスト問題

注意：このテストの問題を解くときは、学校でテストを受けるつもりで、このノートの関係のあるところや参考書など、何も見ないで解いて下さい。

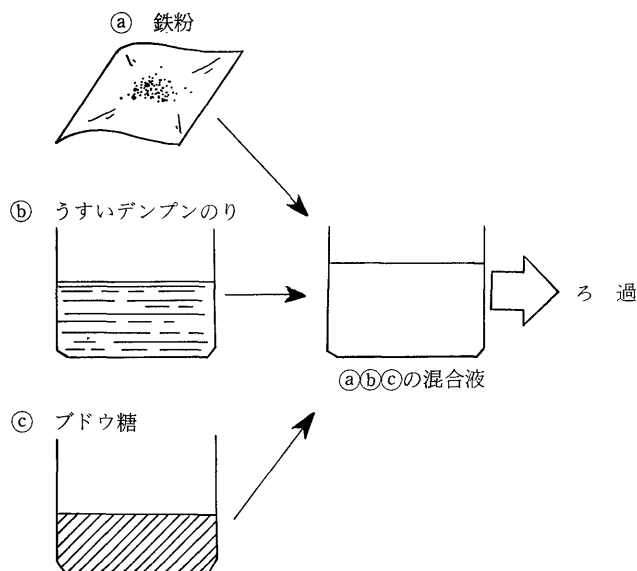
- 問題 (00) 銅を小さく、さらに小さく切っていくと最後にはどのようになるだろうか。
- 1) 最後は何もなくなる
 - 2) 何か粒子 (ツブ) があるが、それはもう銅の性質をもつ粒子ではない
 - 3) 目に見えないが、とても小さい銅の粒子がある
 - 4) わからない
- 問題 (01) ブドウ糖の非常に小さい粒子 (分子) の大きさについて正しいものはどれか。ただし、セロハンのあなはろ紙のあなより小さい。
- 1) セロハンのあなより大きいがろ紙のあなより小さい
 - 2) セロハンのあなより小さいがろ紙のあなより大きい
 - 3) セロハンのあなやろ紙のあなより大きい
 - 4) セロハンのあなやろ紙のあなより小さい
 - 5) わからない
- 問題 (02) ブドウ糖の分子をさらに小さく切った場合、正しいものはどれか。
- 1) やはりブドウ糖である
 - 2) もうブドウ糖ではない
 - 3) わからない
- 問題 (03) 一般に原子と分子はどちらが大きいか。
- 1) 原子の方が大きい
 - 2) 分子の方が大きい
 - 3) どちらも同じ
 - 4) わからない
- 問題 (04) 水銀と水素の原子 (元素) 記号で正しいものはどれか。
- 1) 水銀Hg, 水素H
 - 2) 水銀H, 水素Hg
 - 3) 水銀Cu, 水素N
 - 4) 水銀N, 水素Cu
 - 5) わからない
- 問題 (05) ブドウ糖の分子とデンプンの分子はどちらが大きいか。
- 1) ブドウ糖の分子の方が大きい
 - 2) デンプンの分子の方が大きい
 - 3) どちらも同じ
 - 4) わからない
- 問題 (06) 水素の分子は何原子が何個結びついてできているか。
- 1) 水素原子1個と酸素原子1個が結びついてできている。
 - 2) 水素原子2個と酸素1個が結びついてできている。
 - 3) 水素原子2個が結びついてできている。
 - 4) 酸素原子2個が結びついてできている。
 - 5) わからない
- 問題 (07) 二酸化炭素をあらわす化学式として正しいものはどれか。
- 1) CO
 - 2) C2O
 - 3) C₂O
 - 4) CO₂
 - 5) わからない
- 問題 (08) 水素2ℓと酸素1ℓとを反応させて水 (水蒸気) をつくった。できた水蒸気の体積は何ℓか。
- 1) 1ℓ
 - 2) 2ℓ
 - 3) 3ℓ
 - 4) 6ℓ
 - 5) わからない
- 問題 (09) 上の問題 (08) の反応では、水蒸気ができるとき熱が発生した。次の文で正しいものはどれか。
- 1) 水素のエネルギーと酸素のエネルギーの和は水蒸気のエネルギーより大きい
 - 2) 水素のエネルギーと酸素のエネルギーの和は水蒸気のエネルギーより小さい
 - 3) 水素のエネルギーと酸素のエネルギーの和は水蒸気のエネルギーと同じ
 - 4) わからない
- 問題 (10) マグネシウムと酸素が反応して酸化マグネシウムができるときの正しい反応式はどれか。
- 1) $Mg+O \longrightarrow MgO$
 - 2) $Mg_2+O_2 \longrightarrow 2MgO$
 - 3) $2Mg+O \longrightarrow Mg_2O$
 - 4) $2Mg+O_2 \longrightarrow 2MgO$
 - 5) わからない

資料3の1

フレーム ② [鉄粉粒子の大きさは?]

①鉄粉・②うすいデンプンのり・③ブドウ糖の混合液を分離するには、ろ紙やセロハンを使う方法があるね。

さて、X氏がろ紙を使ってろ過した時に、ろ紙には鉄粉が残っていました。この事から、鉄粉の大きさについてどんな事がわかるだろうか。



チェック

(01)

★上の実験から、鉄粉粒子の大きさについて何が言えるのだろうか？

- 1) 鉄粉の粒子は、ろ紙の穴よりも大きい。
- 2) 鉄粉の粒子は、ろ紙の穴よりも小さい。
- 3) わからない。

進路

⇒

- 1) を選んだ人は2-1に進みなさい。
- 2) を選んだ人は2-2に進みなさい。
- 3) を選んだ人は2-3に進みなさい。

資料3の2

2-1

正解!少しやさしすぎたかな?復習の意味で、次の問題に答えてもらおう。フレーム②の混合液のろ液を少量とって、ヨウ素液を加えると、青紫色に変化した。このことから、ろ液には少くとも何があると言えるのだろうか?(チェックではないよ。)

1. 鉄の粒子がある。
2. ブドウ糖がある。
3. デンプンがある。

答え

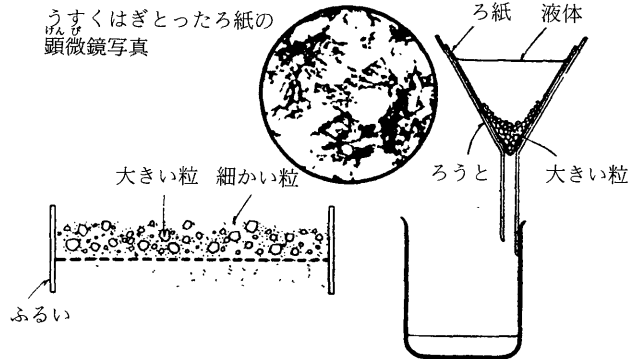
デンプンに、ヨウ素液を加えると青紫色になることは、小学校で学習したね。 答え3

★答えのとびらを開いて確認したら、フレーム③に進もう。

2-2

下のふるい分けと、ろ過の図を見なさい。

ふるい穴を通りぬけるのは、ふるいの穴よりも細かい粒だ。小石や大きい粒は、ふるいの穴を通りぬけないので、ふるいに残るね。



★さて、このような考えを参考にして、問題を考えなおしてみよう。フレーム②にもどって考えなおしてみよう。

2-3

「玉入れ競走」やったことあるかな。カゴよりも玉が大きいと玉ははいらないし、カゴの底に玉よりも大きい穴があいていたら、せっかく入れた玉も、カゴから落ちることになる。

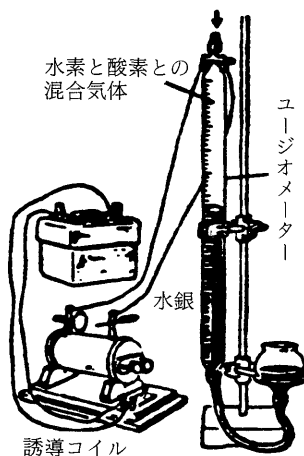
★上の2-2に進んで、それから考えなおしなさい。

資料4の1

フレーム ⑪ [水の合成を原子のモデルで考えてみよう]

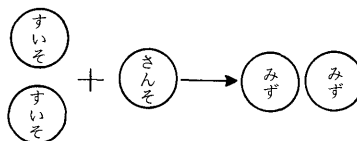
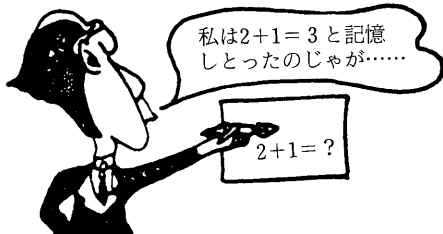
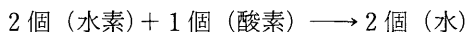
右の実験の図を見ながら、X氏の疑問とその解決に至るまでを、考えてみよう。

再び研究熱心なX氏は、研究しているうちに、水素2体積と酸素1体積を混ぜたものを、ユージオメーターに入れて点火すると、全部が反応して水蒸気2体積ができることに気がついた。



X氏の疑問

1体積中に、1個の粒子があると考えると、この反応では次の計算が成り立つ。



X氏の解法

X氏は、数日の間このおかしい計算のことを考えていた。その結果、今までの粒子の考えには、限界があるということだった。そして、調べてみると、X氏の考えは正しくて、学者によって次のことがわかっていた。

今まで考えた粒子は、実は分子と呼ばれているその物質の性質を持つもので、分子は、さらにそれ以上分けることのできない原子というものから、できている。そして、この原子は一般にその物質の性質を持っていない。という内容のものであった。

資料4の2

★ 原子の考え方で、水の合成を説明してみよう。

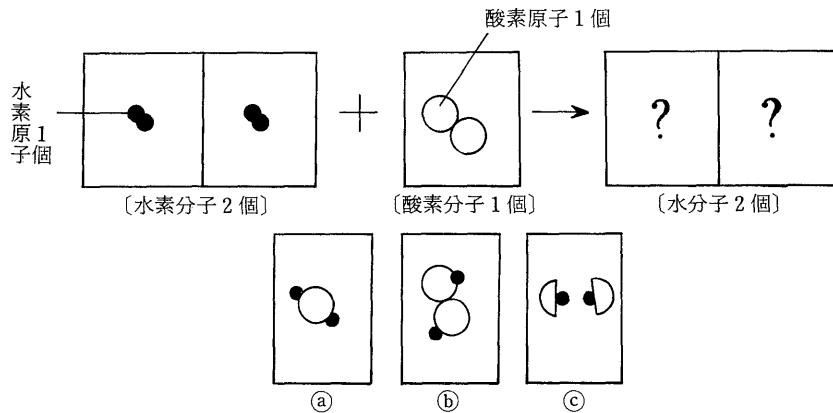
情報

1. 水素の分子は、水素の原子2個、酸素の分子は、酸素の原子2個からできている。

水素原子をモデル●で表わすと、水素分子は●●で表わすことができる。

2. 水の分子1個は、水素の原子2個と、酸素の原子1個からできている。

★ そこでX氏は、水の合成を下のように考えた。さて[?]の中はどうか？



チェック (09)

上の[?]は(a), (b), (c)のどれと考えればよいか。

- 1) (a)が正しいと思う。
- 2) (b)が正しいと思う。
- 3) (c)が正しいと思う。
- 4) わからない。

- 進路⇒
- 1) を選んだ人は、11-1に進みなさい。
 - 2) を選んだ人は、11-2に進みなさい。
 - 3) を選んだ人は、11-2に進みなさい。
 - 4) を選んだ人は、11-3に進みなさい。

資料4の3

11-1

正解！原子・分子の考え方を理解できたかな。

情報

1. 酸化水銀を加熱すると、水銀と酸素に分かれる。このように、1つの物質から2つ以上の物質ができるような変化を分解という。
2. 水素と酸素から水ができる。このように、全く別の物質が合成される変化を化合という。
3. 化合や分解の時、まわりとの間に熱の出入りがある。この熱のことを反応熱という。

★フレーム⑫に進んでみよう。

11-2

フレーム⑪にもどって、もう一度考えなおしてみよう。
特に情報のところを、よく読みなさい。

11-3

フレーム⑪にもどって考えなおしなさい。
Y氏の解法と、情報のところを、よく読んで答えなさい。

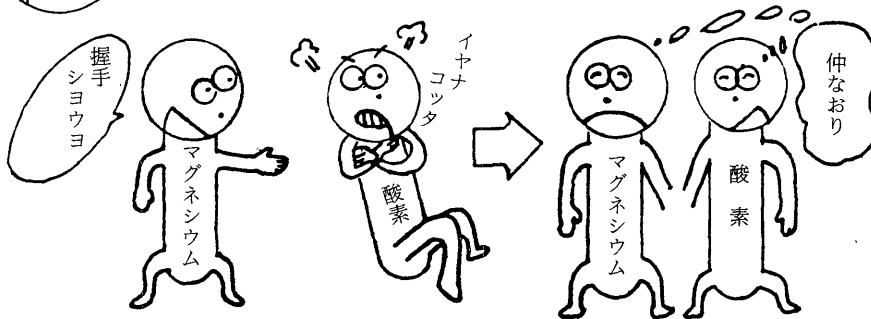
資料5の1

フレーム ⑰ [マグネシウムが酸素と化合する時の化学反応式は？]

マグネシウムが酸素と化合して、酸化マグネシウムができる時の化学反応式は、一体どのように表わしたら良いのだろうか？

情報

1. 調べてみると、マグネシウムは、Mg という原子記号で表わして、酸化マグネシウムは、MgO で表わすそうだ。
2. 原子の数が、反応の前後で、変化してはいけないね。



チェック

(15)

★マグネシウムが酸素と化合して、酸化マグネシウムになる時の化学反応式はどのようになるのだろうか。

- 1) $\text{Mg} + \text{O} \rightarrow \text{MgO}$
- 2) $2\text{MgO} + \text{O} \rightarrow 2\text{MgO}$
- 3) $\text{Mg} + \text{O}_2 \rightarrow \text{MgO}$
- 4) $2\text{Mg} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MgO}$
- 5) わからない。

進路

□

- 1) を選んだ人は、17-1に進みなさい。
- 2) を選んだ人は、17-2に進みなさい。
- 3) を選んだ人は、17-3に進みなさい。
- 4) を選んだ人は、17-4に進みなさい。
- 5) を選んだ人は、17-5に進みなさい。

資料5の2

17-1

もう、ひと頑張りだ！ 確かに原子の数は合っているのだけれど酸素原子は、ポツンと1個で存在できないヨ。（フレームの⑩で学習したね。）★もう一度、フレーム⑪にもどって考えなおそう。

17-2

まず、反応の前後で原子の数が一致するかを、確かめてみよう。 $2\text{Mg} + \text{O}$ は、Mgが2個でOが1個。 2MgO はMgOが2個あるということで、Mgが2個でOが2個。原子の数が合わないね。
それに、酸素原子は、ポツンと1個では存在できないし。
★フレーム⑩にもどって学習したら、またフレーム⑪にもどってもう一度考えなおしてみよう。

17-3

反応の前後で、原子の数は一致するだろうか。 $\text{Mg} + \text{O}_2$ はMgが1個で、Oが2個。MgOはMgが1個、Oが1個、原子の数が合わない！★フレーム⑪にもどって考えなおそう。

17-4

正解！おめでとう。これで、まず安心だ。ところで、この際に今までの学習が身についたかどうか、次のフレームでは自力で書いてもらおう。分解を化学反応式で書いてもらうよ。フレーム⑬に！

17-5

まず情報あつめをしてみよう。

1. マグネシウムはMg, 酸素はO, 酸化マグネシウムはMgOと表わす。
2. 酸素原子などは1個では不安定なので、2個あつまって分子になる傾向がある。
3. とすると、 $\text{Mg} + \text{O}_2 \rightarrow \text{MgO}$ となる。
4. 反応の前後で、原子の数が一致しないので、工夫してみよう。

★フレーム⑪にもどって考えなおしてみよう。