

## 教科教育学に関する研究（第2報）

自然科学教育における教育材料学の構想と教材分析の方法

高 野 千 石\*

Senseki TAKANO : Studies on the Course Education II.  
A Conceptual Study on Teaching Material and the  
Method of Material Analysis in Science Education.

**Abstract :** The keypoint of this investigation is how to systematize the educational materials as a educational science. The writer of this paper made clear of the definition, classification, construction and the method of study on the educational materials. By introducing the method of science into our material investigations, the writer classified the educational materials in science education into the following four groups ; 1) Observational Materials 2) Hypothetical Materials 3) Experimental Materials and 4) these Complexes, and, the principles of the organization for these materials were also systematically discussed from the wide point of view of the education and natural science. Especially, in construction of material for science education, the writer pointed out the methodological linkage of psicology and logics in the process of learning science.

### I. 教科教育学の一部門としての教材学

われわれは、第1報で教科教育学の構想と視点を、主として自然科学教育の立場から考察し、文化伝達と人間形成という広義の教育学的視座に立って、自然科学教育の意義とあるべき姿を検討してきた<sup>1), 2)</sup>。すでに、第1報<sup>2)</sup>で述べてきたように、教育の課程や方法は、まず教育の目的論が確立されたのち検討されるべき問題であり、われわれの行っている教科教育学研究も、順序として、教育目的論あるいは原理論(1)がまず構成され、つぎに方法論(2)が展開され、これらを総合した教授学(3)が構成されたのちに、教育の重要な素材である教材学(4)が検討されるべきであるが、(1)(2)に関しては、更に精細な検討が必要であり、後報にゆづるとして、現在なお研究方法に関し、必ずしも組織立てられてはいない教育材料に関する一般的な考察も、必要な段階にあるのではないかと考えられたので、本報では、自然科学教育における教材学<sup>3)</sup>をどのように定義し、組織立てたらよいかという一般的な問題を、第1報で述べた教科教育学の

\* 島根大学教育学部化学教育研究室

構造と視点に立って考察検討した。

ここで、われわれの用いる‘教科教育学’という用語は、教科に関する教育学のことで、教科に関する特有な文化内容の伝達と、教科の内容に関する認識や方法が、その学習を通して成立発展してゆく過程で、一般的な人間形成について、学として答え得るような原理と方法を提示する実践的な教科の教育学のことである。そのおもな内容は、理科教育の領域では、一般教育学、教育哲学、教科方法論、教科構造論および教科の一般的陶冶価値論などを基礎学とする教科教育の目的論（あるいは原理論）と、これを実践にうつすための教科教育の方法学と、教育の材料として用いられる文化内容（教材内容）を教科教育学的な視点に立って考究する教育材料学（簡単に教材学という）の3部門から構成されると考える（以上教科教育学の構成）。このように、教科教育学は、教育学のしめす一般原理に立ちながらも、教科に特有な文化内容（構造と方法の体系）をもち、その特質をふまえ、正しい文化の伝達と、伝達を通して期待される人間形成との因果関係を実証的（論理的および事実帰納的）に追究するのを目的とするものであるから、当然、教材として選択される内容（教材内容）については (i) 選択理由、(ii) 内容の論理構造と認識成立の方法関連性、(iii) 特に(ii)と密接に関連づけられる教材そのものもつ陶冶価値の探究とその評価、および(i)(ii)(iii)の視点からみた教材の特質の抽象化と定型化、即ち (iv) 教材の分類、(v) 分類された教材の合目的な教授法（教育法）の確立などが、教材独自の文化構造のなかに明確に位置づけられなければならない。このような意味で、教材学は教科教育学の他の2分野と密接な関係をもつ。即ち、(i)(ii)及び(iii)は、教科教育学の目的論乃至原理論と、(iv)は教科教育学の方法学と直接的に関連する。教育の原理が教育方法の合理的な確立を保証することは当然なことであるが、その原理を確立するものは、文化内容のもつ社会的、あるいは教育的な価値の確立であり、ことに、自然科学教育の場合は、教材独自の認識の方法および、それを通して形成される、すべての、生活に転移可能な事実に基づいた判断や推論の価値であろう。このような意味で、吾々がここに提示しようとする教材学の構想は、従来行われていたような‘理解させるための’教材学をのりこえて、‘人間形成のための教材学’への転換を試みたものである。

## II. 教材学の一般構造と教材の定義、分類

一般的な意味での教育材料学は、教育材料の広義の文化的価値、学問的構造、教育学の性質、分類、教育学の陶冶価値などを系統的、理論的に考究する教科教育学の一分科であると定義し、一つは単元学習や教授に対して適切な教授（学習）プランを作製するための基礎としての教材観を確立することであり、第二は、教授および学習の全体系を有効に組織立てるための資料即ちカリキュラム作製の基礎的なデータを提供しようとするものである。その理由は、すでに、前節で述べたように、教科教育学の全体系が、教科教育の原理と、方法と、材料の3つの要素から成立し、従って、教育目的に応じて選択される教育材料に関する見方や考え方も、

結局は教育の目的や方法に応じて検討されることになるから教育材料学は、教科教育の原理論（目的論）や方法から独立しては考えられないものである（教育材料の不可分性）。このように、教育のアイデアや方法から全く独立した教育材料論があり得ないことは、他の応用科学の例をみても明らかである。例えば、電気工学における電気材料学や、建築学に於ける建築材料学と同様である。これらの学問は、すでに夫々の分野の応用上の目的のために、材料の性質や特性が研究されるのであって、その目的は技術上の重要な資料を提供したり、工学上の新しい方法を提供しようとする。教育学は一種の人間工学または文化工学（工学とは応用学の義）と考えられ、従って、われわれが考究の対象とする教材学は、全く工学における材料学と目的に於て類似する。教育材料学の攻究の対象となる‘教育材料’とはなにかというと、一般的には教育の目的を達成する素材となる有形および無形のすべてが教育材料となり得る。大まかな一般的分類<sup>4)</sup>を試みるならば

- (i) 具体的教育材料—A, 天然物, 人工物(第1類), B, 天然現象, 人工現象(第2類)
- (ii) 抽象的教育料—A, 科学的知識, 事実, 法則, 理論などの文化財(第3類)  
B, 教科書, 単元(第4類)

具体的教育材料は、これを教授者側のとらわれない自由な学問的見解および教育的見解にしたがって教材化される性質のものであるが、(ii)–Bに属する教材即ち第4類の教材はすでにある教育上の見解 および学問上の見解に従って誰かの手によってすでに教材化されたものである。例えば自然現象としての噴水は第2類に属する教材であってそれをどう教材化してゆくかは全く教師の見解に委せられるのであるが、単元教材にでてくる「ふんすい」は第4類の教材でその内容は教科書の作者によってすでに教材化されたものである。われわれの教材学の見地は、すでに教材化された教材の内容を検討するというよりはむしろ素材を教師自らの教育的学問的見解に従って組織化し構造化することに主眼がおかれる。従って第4類の教材を教材学の研究対象として扱う場合にはむしろ単元分析とか教科書分析といった批判的研究の方法をとらざるを得ない。即ち、(i)その単元の内容構成がどのような教育意図のもとに構成されているか、(ii)その原理となったアイデアが教材のもつ特性即ち自然現象としての「ふんすい」の普遍的な内容（構造）に対して妥当であるかどうか。(i)単元構成の方法が、とられた教育目的に対する方法として妥当であるかどうか。というように、結局は教材としての「単元」は単元分析あるいは単元批判といった形をとらざるを得ない。そして、結局はこのような分析や批判を通して最終的には教育的に最も妥当な形の単元の再構造化が意図される結果となる。教科書の場合も全く同様なことがいえる。

このように考えてみれば、われわれがここで提唱している教育材料学は、単に誰かが作製した教授プランにしたがって、教材を上手に教え込むやり方の研究といった研究の仕方とはかなり異なった考え方に立っていることがわかる。われわれの提唱しようとする教材学は、すでに教科教育の原理が十分に確立し、しかも、それに立脚した合理的かつ合目的な教育の方法学が確立したうえで、初めて(i)(ii)に分類されたさまざまな教育材料をその見地の上に立って検討

してゆく学問なのである。つまり、教材学は、対象とする教材に対してある価値尺度が要求されている。再び例を引用しよう。例えば、電気材料学では、雲母の電気的特性にもとづいてその工学的な応用開発が攻究されるが、その場合、応用の原理的な尺度となるものは、まさに価値的に規定された工学上の目的である。教育材料学の尺度は、これと全く同じように、教育学的に設定された教科教育学上の目的論と方法論だということができる。だから(□)－Bに属する教育材料を扱う場合には、結局教材に伏在する教育の意図と方法を察知し、これを次の如き順序で検討してゆく結果になる。

(1) 伏在する教育意図Xを容認する場合

- a) 材料の選択と排列が、Xに即してよく構造化されているかどうか。
- b) 不相当である場合、どう再構成すれば容認する教育意図Xを実現できるか。

(2) 伏在する教育意図Xを容認しない場合

- a) 教育意図Xを他の容認する教育意図Yで批判検討する。
- b) 次にXをYでおきかえてみる。
- c) 新しい教育意図Yで単元を再構成する。
- d) (1)と(2)を比較検討する。

(比較教育材料学の方法)

教科書研究の場合も同様で、検討すべき点はおよそ次の如きものであろう。

- 1) 教科書の編集には、何らかの教育価値観がとり込まれているがそれはなにか。
- 2) その教育価値観が妥当であるかどうか。
- 3) 単元の排列、構成が目的に対し満足すべきものであるかどうか。
- 4) カリキュラムの体系が妥当なものであるかどうか。
- 5) 取り込まれた教材のすべてが合理的に選択されているかどうか。
- 6) 体裁、挿図、組み方など満足すべきものであるかどうか。

などであろうが、この場合も、単元研究と全じように、教科書分析といった形式をとり、教科書の編集に当たった根本的原理となる理科教育の思想や方法を教科書全体の内容や構成から判断して吟味してゆくことになる。

以上われわれは、多少研究方法にまで立ち入って、教材学の研究対象となるべき素材の範囲を検討してきたのであるが、われわれがこれらの材料を大まかに分類したところによると、第1類～第3類に属する教材は、教材そのものの内容が純粹に自然科学上の論理や方法を含むだけで、既製の教育意図が含まれておらず、研究者は自ら容認する教育意図や原理にもとづいて教材の教育学的価値や性質を検討すればよい。これに対して、第4類の教材は、それがすでに何らかの教育意図のもとに構築されているため、前3者とは著るしく異った内容をもっている

点を明らかにした。

### Ⅲ. 教材学研究の一般的方法

ある一つの教材が教育の素材としてとりあげられるためには、その材料のもつ特徴や内容がある教育目的を達成するうえで必要にして十分な条件がそなわっていないなければならない。即ち教育材料の性質ということは、ある定まった教育目標にてらして、その材料がどのような価値があり、どのような構造と内容をもちうるかということ、即ち教材の教育目標に対する適合性と効果性を意味している。例えばオームの法則という教材は第3類に属する抽象的教育材料であるが、この法則の教材学的性質ということになれば、もともと、この法則が (イ)観察によって帰納された定量的法則であり、(ロ)広く電磁気学上の基礎的法則であり (ハ)法則の事実からの帰納が容易で明確な定量的関係を引き出すことができ、(ニ)水流とのアナログによって仮説的にも誘導できること、(ホ)仮説の誘導が粒子論的思考によって容易であり (ヘ)仮説の検証が容易であること（以上この教材の学問的構造）などであり、(イ)(ロ)(ハ)の点より観察教材、即ち事実から法則を帰納させるための教材として適切であり、また(ロ)(ホ)(ヘ)の点から法則を用いて実際の回路の諸量を推論したり、純粹思考によってオームの法則を仮説として誘導しこれを検証するという、実証的思考訓練を行うための教材として適切な優れた教材としての性質をもつと判断される。

このように、教材の性質は、教材に固有な学問的構造（論理的、方法的構造）とそれに対応する教育価値という2つの側面から検討されなければならない。ヘルバルト (T. F. Herbart, 1776-1841) およびチラー (T. Ziller, 1817-1882)<sup>5)</sup> らが、教材単元を、Methodische Einheit として、学問内容と方法との統一体として規定したが、そのことはすでに教材そのもののなかにある客観的な構造性をもつことを示しているのであって、教育材料学は、このような構造性を分析発見する学問であると考えても大した誤りではない。最近よくとりあげられている「教材の構造化」という言葉は、教材のもつ個有の性質を教育的に組織することであって、この場合重要なのは組織するための原理がまず明確にされていなければならないということである。このことは、すでに、広岡亮蔵氏<sup>6)</sup> も認めているように、教材構造とは「教育内容として構造性をもった本質知識」と定義し、教材そのものが本来統一的な構造体であると主張している。このような考え方は教育の素材と教材とを区分し、素材を教育的に組織（すなわち教材化）するために必要な素材の十分な吟味検討こそがわれわれの提唱する教育材料学の視点である。すでに述べたように、われわれも教育構造体としての教材—即ち、第4類に見られる教科書、単元を教材の重要な一部として教材学の研究対象としたが、研究方法論上の立場からすれば、このような「構造体」は他（第1～3類）とは著るしく異なることは既に述べた通りである。それにもかかわらず単元教材の構造化理論が、いろいろと提唱される理由は、むしろ教育材料学という立場よりは教授学的発想から出発しているためであろう。その結果をつきつめてゆけば、

結局、われわれの主張する教材の学問的教育的性質の吟味なしには不可能になる。教育材料学の使命は‘素材を構造化する’即ち教材化するための基礎的性質を教育学的に吟味することに主力がおかれるのであって、すでに「構造化された教材」はむしろ単元分析、教科書分析というような教材学の特殊な領域に属するものと考えられる。

#### IV. 理科教材学と科学の方法

自然科学の知識即ち法則や理論あるいは事実などは自然科学特有の認識の方法、思考の方法によって産み出されてきたものであるから、本来自然科学的教材の構造というものは、理論的には方法的構造に一致すべき筈のものである。例をさきのオームの法則（第3類の教材）にとるならば、この事実法則（経験法則）は電流  $I$  と電圧  $E$  に関する特殊な事実関係から特殊を捨象して普遍的な事実関係を  $I=KE$  として帰納して得られた法則であるから、これらの認識上の手続きのなかに初めてこの法則の真の認識を可能とするものが存在する。このように考えると特に第3類に属する教材においては、それを生み出してきた認識の過程に、特有な論理と方法が存在し、それなくしては到底真に事物、概念を理解し得ない認識的構造をもっている。われわれはこのような認識的構造を‘科学の方法’のなかに求めてそれを理科教授の方法的な原理に据えようと試みているが、それは一言にして云えば、方法なくして認識し得ないという原理にもとづく。ゆえに、すべての素材が理科教育の材料となるためには、それらが認識の対象として、まず初めに自然科学的命題に変換され、これを解決するためには、自然科学の方法に従って構造化されねばならない。ヘルバルトやチャーが、教師が児童に教材を教授する場合に、一定の順序と段階があると主張し、これを児童が科学的認識をかくとくしてゆく順序（チャー）とし、探究心を呼びおこす心理的過程（ヘルバルト）とみたのも、結局は教材そのものの認識的構造をあきらかにせよということに帰着する。教材研究の視点があいまいに取扱われたり、教材の構造化ということが、教材そのもののもつ論理性と方法性を無視して、性急に教授や教育とムード的に結合してそれが教材の構造化だと考えることは正しい意味での人間成長に寄与するものではなく、第1報<sup>2)</sup>で述べた教科教育学の本道からはずれた考えであろう。このような理科教育の本質的なあやまりは、本研究のすべてを通して主張するように、理科教育の正しい方法論的視点が明確にされておらず、教育とは教えることだと安易にきめ込んで、理科の現象や知識をわかりやすく伝授理解させる従来の便宜主義的教授観を捨て切れぬためであろう。広岡亮蔵氏や井上弘氏<sup>5), 6)</sup>らが「教材の構造化論」を提唱する理由は、このような便宜主義的教材観からの脱皮を呼びかけているように思考される。このような考え方に立つならば、教育方法は自ら明らかで、微視的には一つ一つの教材について夫々の論理構造と方法構造（即ち認識構造）を明らかにし、とられた科学方法論と教科教育学の理論がしめす人間教育の一般原理に照合して、教材の実際的な教授過程へのとり込み、その取込みのなかで予見される教育的価値などを明確にすることであり、巨視的にはカリキュラムのような理科教育の全体系

の合理的な構成あるいは構成に対する批判と再構成を可能とする。次節では教材構造が認識方法によって生ずるという見解から理科教育材料の方法論的分類を試みその特徴を明らかにしたい。

## V. 科学方法論による教材類型

自然認識の基本的なパターンを、われわれは方法単位 (Methodological Unit) と対応する思考操作 (Thinking Operation) と仮定する。F. Bacon および A. Comt'e らの科学方法論<sup>7)</sup> に立脚すれば、自然科学における方法単位は、観察、仮説の設定および検証であり、更に応用までを含めれば技術的単位操作が含まる。これらの方法単位には、必ず特有な思考の操作と実践的技術的思考操作が伴う。方法単位に相当する思考操作の型式は(1)観察によって多様な事実を統一し 普遍的な事実を選択抽出する思考操作 (O<sub>A</sub> 操作), (2)更にこれを一般化して法則化 (経験法則) する思考操作 (O<sub>B</sub> 操作), (3)経験法則や事実がおこる理由を考察し, 合論理的な思考の体系即ち仮説をつくり出すための思考操作(H操作), (4)仮説の真偽を事実と対決して検証するための思考操作(E操作), (5)工学的技術的目的のために 普遍的事実や法則 (O<sub>B</sub> 操作によって求められた経験法則と H, E 操作によって確認された理論法則を含む) を応用して技術的工夫を創造するための思考操作 (T操作) などがあり, これらの思考操作がそれぞれ方法単位の観察(O), 仮説(H), 検証(実験)(E)及び応用(T)に対応する。従って, すべての自然科学教材は認識構成のうえから見れば, 上の5つの方法単位によって分類することができ, またそれらの方法単位の認識成立過程上の組み合わせからなると考えることができる。対応する思考操作によって教材類型を分類するとおよそ次のようになろう。

### A. 単位思考操作による教材類型

#### 1) 観察教材 (O教材)

- O<sub>A</sub> 型...観察によって確かな事実をみつけ出す教材
- O<sub>B</sub> 型...観察によって経験法則をみつけ出す教材
- O<sub>C</sub> 型...観察の技術的な方法や工夫を扱う教材

#### 2) 仮説教材 (H教材)

普遍的な事実や経験法則から仮説を導く教材

#### 3) 検証 (実験) 教材 (E教材)

仮説の真偽を検証する教材

#### 4) 技術的教材 (T教材)

法則や理論を技術的に応用したり, どのように応用されているかを吟味する教材

これらの単位思考操作は実際の '探究の過程' ではいろいろに組み合わさって実際の教材内

容が構成される，すなわち

#### B. 単位思考操作の組み合わせ類型

- 1) 観察仮説教材 (OH 教材)
- 2) 仮説検証教材 (HE 教材)
- 3) 観察仮説検証教材 (OHE 教材)
- 4) 観察的技術教材 (OT 教材)
- 5) 仮説的技術教材 (HT 教材)
- 6) 検証的技術教材 (ET 教材)
- 7) 観察仮説検証的技術教材 (OHET 教材)

OH 教材は観察によって普遍的事実や経験法則を導き，さらにその理由を合理的に説明できる論理体系を考え出させる型の教材で，観察の思考操作によって更に  $O_AH$  型と  $O_BH$  型にわかれる。また A の単位思考操作による単純教材 (O, H, E, T) においてもその複合型 B (複合教材という) においても，すべて定性的か(1)，定量的か(2)に分類されるから  $O_{A1}H_1$  とか  $O_{B2} \cdot H_2$  のように 1), 2) の記号を付して教材の思考操作類型を表示する。例えば， $O_{B2} \cdot H_2E_2T_2$  は定量的観察によって定量的関係を記述する経験法則を導き，その理由を考察して定量的仮説を設定させ，その仮説の検証が正確に定量的に行われて仮説を理論にまでたかめ，更にこの理論を応用して定量的な技術的成果をあげるという類型で，自然科学のもっとも普通な方法論的操作のすべてを含むものである。

このように分類された教材類型は夫々の科学方法論の構造をもつと同時に，具体的な論理構造をもち，分類された同一の型については，方法的構造や思考操作は共通である。ゆえに教師がこれらの型の教材を展開する場合には，難易，程度の差はあっても，すべて同様な方法論的手法によって展開させてゆくことができる。また具体的な個々の教材については，児童生徒の認識思考の発達段階に応じて，また現代科学の発達段階で当然しかあるべき最も合理的な構造が存在する筈であるが，これをそのまま伝達した方がよいか，またわれわれが主張する科学的認識の方法にもとづいて児童生徒自らが，たとい不完全な認識であっても，自らの思考と体験を以て彼ら自身の論理体系に到達させた方がよいかは教育上の見解によって異なるであろうけれども，確実な知識の伝達と，自主的な認識構成とは決して無関係ではなく，教材の種類によってその点の判断を行うべきは当然のことであろう。この事柄はむしろ教授学に関する部分であろうが，すでに第1報にも述べた如く，また，この研究の続報で詳細な検討を行うように，教育作用の本質には文化伝達と〈それを通しての〉人間形成という二面があり，何れに偏してもいけないものであるが，要は方法を無視しては，教材のもつ客観的な論理構造〈あるいは認識〉を真に応用可能な知識として，あるいは人生の知恵として児童生徒に価値づけてゆくことは不可能であろう。要するに教科教育の本質は，発達にしる，伝達にしる，教材を児童生徒のなかに価値づけてゆくことの一言に尽きると思われる。ブルナー (J. S. Bruner) の

提唱する発見学習の立場<sup>8)</sup>や、予想、討議、実験（検証）という授業構造をとる仮説実験授業<sup>9)</sup>も、伝達と生成（発達）とを教材学習のなかに統一したものと考えられる。このような授業や学習の形態では、児童や生徒が、問題（あるいは教材）へのとりくみ即ち対決のなかで、教材の論理が、主観から客観への方角に向って弁証法的に発展・止揚されるものと見、従って方法のみが教授乃至学習の重要な部分となる。われわれが‘科学の方法論’を自然科学教育の重要な要素と見たのもこのような理由からであり、教材分類の方法に、科学方法論を採用した理由もこのような考え方によったからである。

## VI. おもな類型構造と単元分析

### VI-1. 観察教材（O教材）

自然科学における観察教材は、検定教科書の分析を通して得た小学校教育における出現頻度は低学年より高学年に至るほど少く、領域別では生物、地学、化学、物理（天気象を含む）の順に減少している。この配列は自然科学全般の学問発展の階続性と児童の認識発展のしくみに対応しているわけであるが、方法論的立場からみれば科学的認識の成立が、まず事実、法則の認知（観察）より仮説・検証による理論化へ向って進展するという認識発展の序列と一致している。O教材の内容は自然科学的認識の段階に応じて、更に次のように細分化されるであろうが、その根拠は科学方法論的検討の結果から、事実の正確な認知と、事実からの推論を可能とする条件と方法の相違にもとづく。V節における分類のうちO<sub>A</sub>群は単純な比較あるいは同弁異別による認知であるが、O<sub>B</sub>群は関係の認知というO<sub>A</sub>群では見られない帰納的思考を含んでいる。しかしO<sub>A</sub>、O<sub>B</sub>ともに観察が比較、対比というRationalな思考を根底とすることは、たとえそれが定性的であっても、また定量的であっても変りはない。またO<sub>A</sub>、O<sub>B</sub>とも若干の予想推論を観察の過程に含むことは当然であるが、O教材の特徴は、その目的があくまで事実の確認、経験法則としての事実関係の認知（経験法則の帰納）だけを主目的とする教材で、IV-2で述べるような仮説的な推論を主とするものは含まれない。O教材は観察的思考の発展段階に応じて次のように細分化される。

#### 1. O<sub>A</sub>群に属する観察教材の細分類

- i) 質だけの比較を目的とする教材 (O<sub>A1</sub>)
- ii) 量だけの比較を目的とする教材 (O<sub>A2</sub>)
- iii) 質を量に変換して比較する教材 (O<sub>A3</sub>)
- iv) 変化する質を比較する教材 (O<sub>A4</sub>)
- v) 変化する量を比較する教材 (O<sub>A5</sub>)
- vi) 変化する質を量に変換して比較する教材 (O<sub>A6</sub>)

2.  $O_B$  群に属する教材

- i) 観察によって定性的な一般法則(又は事実)帰納することを主目的とする教材 ( $O_{B1}$ )
- ii) 量的な一般法則を帰納する教材 ( $O_{B2}$ )
- iii) 事実や経験法則から未知の事実あるいは事実関係を予見させる教材 ( $O_{B3}$ )

3.  $O_C$  群に属する教材

- i) 観察機器の使用法に関する教材 ( $O_{C1}$ )
- ii) 観察の方法を特に工夫させる教材 ( $O_{C2}$ )

このうち  $O_{B3}$  は‘事実からの推論’を含むが、次にのべる仮説教材とは仮説の根本的要素である‘若し〜だと仮定したら’という仮言命題を推論の過程に含まない点と、単に‘事実あるいは経験法則からの推論’という点で  $O$  教材に含めた。 $O_C$  群は、 $T$  教材として取扱っても差し支えないものであるが、比較や法則化という観察に特有な技術的思考内容をもっているため、一般的な  $T$  教材から分離した。このような  $O$  教材の細分化は、かえって教材分類を複雑化するようであるが、後節でのべる教材の方法論的分析を行う場合には、どうしてもこの程度の細分化は必要であろう。尚このような記号表示は単元内容の構造を図式化できるので次に述べる単元分析には便利である。次にその1例を示す。

## 例1. はなやはのしる (小一教材)

- 1) はなやみを水でしぼりだしてみよう。どんなしるがとれますか ( $O_{C2}$ )  
(観察方法の工夫)
- 2) とれたしるをみつめて、いろをくらべてみよう ( $O_{A1}$ ) (質だけの比較)
- 3) あかい花からどんなしるがとれましたか ( $O_{B1}$ ) (一般的事実の帰納)
- 4) むらさきいろの花からどんないろのしるがとれましたか ( $O_{B1}$ ) (一般的事実の帰納)
- 5) これはしそというくさのほです。どんないろのしるがとれるでしょうか ( $O_{B3}$ )
- 6) しそのはからとれたしるに、すをいれてみよう ( $O_{A4}$ ) (変化する質の比較)
- 7) はなやはのしるをかみにつけてあぶってみよう ( $O_{A4}$ ) (同上)

この教材は、花のしるや葉のしるを主として色を中心に観察し、その性質を事実として認知させたり、事実をもとにした簡単な予見 ( $O_{B3}$ ) を扱う教材とみられ、記号表示を用いると

$$O\{C_2-A_1-B_1-B_3-A_4-A_4\}$$

という形式をとるものと判断できる。

## 例2.

- 1) 電流のだす熱の量を温度計でしらべたい。どうすれば正しくしらべることができるか ( $O_{C2}$ ) (観察方法の工夫)
- 2) おなじ強さの電流を〈ニクロム線に〉ながく流しているのと、みじかく流したのでは

どちらがたくさん水の温度をあげることができるでしょうか。いろいろ時間をかえてしらべてみよう (O<sub>A5</sub>) (変化する量の比較)

3) 電流をながす時間をおなじにして、電流の強さをいろいろかえてしらべてみよう。  
(O<sub>A5</sub>) (同上)

4) と3)からどんなことがいえるでしょうか。(O<sub>B2</sub>) (定量的法則の帰納)

この例では  $\{C_2 - A_5 - A_5 - B_2\}$  または  $O\{C_2 \begin{matrix} \langle A_5 \\ A_5 \rangle \end{matrix} B_2\}$  となって、かなり明瞭な定量的経験法則の帰納をねらっている。これらの例でもわかるように、教材の内容構成が方法的に組織立てられ、内容の論理が一貫して編成されている場合は、上の例のような単元分析は比較的容易であるが、そうでない場合には分析が困難で、教材としては好ましい形態ではない。

## VI-2. 仮説教材

実際には、単に仮説だけをつくらせる目的の教材は自然科学の領域では少ない。H教材は多くの場合 OH または HE の型式の複合教材の型式をとるのが普通で、HE 教材を中核とした理科教授の方式が仮説実験授業である。この教材は観察によって得られた普遍的事実や経験法則に対し「それは何故か」という問いかけを設定し、事実や法則が成立する理由を科学的に正しい論理性をもった仮説を考え出させそれを検証させるための教材で、事実に基づいた合論理的、抽象的思考を練磨し自主的な創造的思考力を涵養するのがねらいで実証哲学<sup>7)</sup>の示す合論理性の教育は、検証教材と結合することによって更に実証性が与えられる。一般に仮説を設定させるためには、かなりの基礎的な知識を必要とするので科学教育の初歩的段階では観察を通しての知識を、しかも非常に基盤的な知識を必要とし、漸次発達段階に応じて仮説を含む教材を選択する必要がある。実際に仮説的思考を教育的に組織する場合には「なぜ～の事実や法則がおこるのかそのわけを考えてみよう」というような問題提示のあとで、仮説を考え出させるに必要な知識要素を与えるか、或いは想起させ、時にはモデルを提示してヒントを与えることも必要であろう。例えば中学校教材で、「気体の圧力はなぜ体積を $\frac{1}{2}$ 倍にすると2倍に増加するか」という問いに対して、「気体の圧力は気体分子がはげしくカベに衝突するからだ」という粒子論的仮説(モデル)を提示してやると「カベのおなじ面積に衝突する粒の数が多いほど圧力は強くなるだろう」という仮説的推論が可能となろうし、「体積を $\frac{1}{2}$ にすると1ccに含まれる粒の数は2倍になる」「だから圧力は2倍になる筈だ」という合論理的な思考の体系即ち仮説ができる。以上の例から明らかなように、われわれは教材内容が次の条件を備えているときこれを仮説教材と定義する。

- (i) 「～となるのはなぜか」という命題があること。
  - (ii) 推論のなかに「若し～だとすれば～となるはずだ」という仮定的命題が含まれること。
  - (iii) (ii)を用いて(i)を解決する論理体系の設定を必要とすること。
- (iv)の推論のなかにはモデル思考も含まれるから仮説教材はおよそ次のように細分化される。

1.  $H_P$  群, いくつかの事実や経験法則とある仮定的推論をむすびつけて仮説をつくる。
  - i) 仮説の内容が定性的な論理の体系で記述されるもの ( $H_{P1}$ )
  - ii) 仮説の内容が定量的な論理の体系であらわされているもの ( $H_{P2}$ )
2.  $H_M$  群, 推論の過程にモデル思考を導入して解決できるもの。
  - i) モデル思考が定性的な記述にとどまるもの ( $H_{M1}$ )
  - ii) 思考が定量的なもの ( $H_{M2}$ )

仮説の設定という思考作業は、専ら生徒児童あるいはそれを誘導する教師の学習あるいは教育活動に委されるため教材として表現されることが少なく見逃がされ易いものである。従って、多くの理科教科書の内容が観察教材で大部分を占め、仮説設定という理科教育の最も重要な部分が単に‘設問’とか‘考えてみよう’といった僅か2, 3行の部分の占めていることは教科書編集に当って一考を要する問題であると同時に、‘理科は観察実験（この実験という言葉は全く観察と同じような意味で使われていて方法論上の実験ではないことが多い）が中心だ’といった誤った理科教育観をいつまでも是正できない現状である。‘考えない理科教育’‘仮説を抜きにした理科教育’からどうして検証（これを正しい科学方法論では実験という）という、正しい実験の意味が理解できようか。観察と実験が同義に使われているような、理科教育は全く科学を骨抜きにした教科教育観である。このような理由で、よほど透徹した理科教育観をもたぬ限り、この教材は仮説教材として最も適当であるという教師の判断はできないことになる。次に示す例は小学校六年で‘ものがとけるのはなぜか’という教師の問題提示に対して、粒子論的思考から仮説を考え出させた仮説実験授業における仮説設定の部分の1例である。

例. 氷さとうを水のなかに入れると、かくはんしないのにとけてしまった(O), それはなぜだろうか考えてみましょう(H)。

この教材単元は‘溶解’であるが、この児童たちはすでに三態変化、物の重さなどの学習を通して粒子概念を学んでいる。教師の意図は‘とける’という現象の本質を粒子概念で考え、筋の通った考え（仮説）を導き、さらにこの溶解仮説を用いて、とけ方と温度との関係を推論させ（仮説からの推論）これを検証（実験）して確かめさせようとする教材の一部である。

T<sub>1</sub> 氷さとうはどうなったの。

P<sub>1</sub> 全部とけてしまいました。

T<sub>2</sub> それでは氷さとうはどうして見えなくなってしまったのですか。

この問いに対する児童Pの反応は活潑で、従来学習してきた粒子モデルをさかんに使って検討しあいおよそ次の3通りの仮説を作製した。

P<sub>1</sub> 水の分子は運動している。ときどき氷さとうの分子のかたまりに当たって氷さとうの分

子がとび散って水の分子とまじってしまう (70%,  $H_{M1}$ )<sup>\*</sup>

$P_2$  水さとうが水を吸い込んで水さとうの中え入ってとかす (15%,  $H_{P1}$ )

$P_3$  水さとうの分子が水の分子より小さいので、さとうの分子が水の方に入ってゆく  
(15%,  $H_{P1}$ )

\*%は応答したPの%をしめす。

一般に仮説設定の学習形態は集団討議の方法がとられるが、この場合与えられた問題提示に対して、いくつかの異なる仮説が提起されるのが普通である。即ち問題提示を記号Pで表わせば

$$O \rightarrow P \cdots \rightarrow H \left\{ \begin{array}{c} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_n \end{array} \right\}$$

の型式をとるが、更に討議して価値ある仮説のみ採択して、その何れが真であるかを検証する。

$$O \cdots P \rightarrow H \left\{ \begin{array}{c} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_n \end{array} \right\} \rightarrow H' \left\{ \begin{array}{c} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \end{array} \right\} \cdots E \left\{ \begin{array}{c} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{array} \right\} \cdots \rightarrow$$

一般に仮説実験授業はこのような形態をとる。

## VI-2. 検証教材と仮説実験授業

科学方法論上、検証(実験)とは仮説の真偽を事実と対決してたしかめる操作で、この操作によって論理的思考の内容は一層真実性が附与される。観察は事実や関係を認知するだけの、科学としては極く初歩的な段階であるが、仮説や検証は更に事実や経験法則の段階をのりこえて、普遍的な事象の認識の段階であり、科学における洞察に相当する。それゆえ、仮説と実験とは不可分のもので仮説のない実験はあり得ない。多くの検定教科書を調べてみると、観察、仮設、検証の方法論的な語義が明確でなく、自然のままに観察することを観察としたり、条件を統制した観察を実験と称したりしているが、これは全く形式的な見方で方法論的には無意味に近く、科学教育をかえって混乱させるだけである。

教材の段階で仮説の真偽をたしかめる目的の教材が検証教材である。科学の方法論では仮説と検証を接続させた OH 教材が普通であるが、教育的には真偽をたしかめるという心意は極めて大切で、仮説をいく通るか与えておいて、この仮説の正しいことを立証するには、仮説のなかの論理体系のどの部分を立証すればよいか等を考えさせたり、反証を工夫させたり、また仮説が実験の結果と異なる場合、第2の仮説を設定させたりするのは有効な教材と考えられる。科学を学習する過程のなかで、仮説検証の組みあわせは、ことに思考の弁証法的発展を学習自体のなかに組織することができる。純粋な型の検証教材はだまかな分類を試みるならば

1.  $E_S$  型 与えられた科学上の命題をすべて仮説と見做し（真偽がわからぬものと仮定し）実際にやってみて、命題の真偽をたしかめさせる型式
2.  $E_P$  型 仮説の論理体系を分析させ、論理的に検証の方法を工夫させる型

$E_S$  及び  $E_P$  型は、さらに定性的か定量的かに従って  $E_{S1}$ ,  $E_{S2}$ ,  $E_{P1}$ ,  $E_{P2}$  等に細分が可能である。 $E_S$  型はごく単純な検証で、教科書に書いてあることが本当かどうかを確かめることで、この場合児童生徒は教科書の記述を仮説—やってみて確かめてみない以上その真偽はわからぬという心意に立つ必要がある。 $E_P$  型は稍複雑な検証を扱うもので仮説内容を分析し、仮説が構成されたいくつかの命題（前提）をチェックしかなり分析的な検証方法を工夫させる型である。

例. 糸でんわの学習をしたのち次の学習に入る。

$T_1$  糸でんわで遠くから音がきこえるのはなぜですか（問題提示）

$P_1$  糸が音をつたえるからです（仮説）

$T_2$  糸が音をつたえるということをどうしてたしかめますか（検証の問題提示）

$P_2$  糸をたらきこえなくなるかどうかしらべてみる（検証方法の思考）

$P_3$  糸のとちうをしっかりとつまんで音が伝わらないようにする（同上）

$P_1$  もし音が糸を伝わるなら、糸をいろいろかえて伝わりかたをしらべてみると、糸によって伝わり方がちがってくるはずだ（同上）

$T_3$  どのやり方がいちばんよいと思いますか（検証方法の比較）

$P_5$   $S_2$  さんのがよい、そのものズバリだ。

$P_6$   $S_2$  さんのがよいと思うけど  $S_3$  さんのも、 $S_4$  さんのもみなわけがあるから、みなやってみた方がよい。

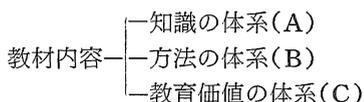
$T_4$  では班別でたしかめてみましょう。

この例は  $E_{P1}$  型の低学年教材である。この例では教師の思考誘導によって自ら検証の方法を工夫し分析的態度で自ら与えられた仮説の検証を試みてゆく。このように、検証教材の特徴は、単なる受動的試行ではなく児童自らが明白な探究の目的をもって仮説の真偽を確かめてゆく教材であるのを特徴とする。

仮説検証教材（OH 教材）は VI-2 と VI-3 の教材を結合させたものでその類型は VI-2 と VI-3 の組み合わせで自明で、探究の論理過程を重視する複合教材ですでにその特徴は説明した。一般に系統的な探究の過程を方法論にふませる場合には OHE 型をとるのであるが学習の便宜上は、O と HE にわけて取扱った方が便利であろう。次節で扱うように、教科書の教材で O と HE の出現頻度は理科教育の内容を分析察知するために重要である。

## VII. 教材分析論

ここで検討しようとする教材分析とは、おもに第4類の教材である。そのうち単元教材についてはすでにV及びVIで取扱ってきたので、ここでは一般的に教材分析という概念と方法に関して記述したい。すでにIIIでもふれたように、第4類の教材は、そのなかに既製の教育意図を含み、それを達成する目的のもとに素材が構造化されたものである。従って、教材分析はその妥当性と合理化が中心の課題となる。第4類の教材は大きく見れば、



のように3つの体系をもち、さらに、これらはすべて教育の目的に集約される。A, B, Cが互に深く相関することは当然であり、AとBとの相関が主として学問探究の過程であり、BとCとの相関が人間形成に関連する。即ち、A+Bが文化伝達、B+Cが形成に関与する。このような連関において教育の目的を達成するための材料が広い意味の教材であり、第4類の教材は、すでにそのような目的のために構造化された‘教育的体系’である。教材分析とは、それゆえ、与えられた教材、単元をこのような教育目的に対して‘必要にして充分な条件が合目的に効果的に組織されているかどうかを検討する’ことである。分析要素は、大きくは巨視的分析と、すでに単元分析として述べたような単元構造の細部の検討、すなわち微視的分析に分類できるが、実際に授業を通して実証的に分析する方法も考えられる。われわれはこのような実証的な分析を動的分析と呼んで上に述べた静的な構造分析と区別する。分析のおもな内容は次の如きものであろう。

### 1. 巨視的構造分析

- i) 教材や単元がカリキュラムの全体構造に対して合理的、合目的に位置づけられているかどうか。
- ii) その位置づけは<sup>は</sup>学問体系の論理と方法とに対して妥当かどうか。
- iii) その位置づけは認識の発達の諸段階の心理法則に適ったものであるかどうか。

### 2. 微視的構造分析

- i) 単元の論理構造が妥当かどうか。
- ii) 論理構造に対する方法構造が妥当なものであるかどうか。
- iii) 論理構造と方法構造が修正されるとすればどのように修正したらよいか。
- iv) 認識の段階で能力的に無理がないか。
- v) 論理構造に対する方法の種類が「思考の法則」にかなっているか。

### 3. 教育論的構造分析

教材内容の教育的価値体系の分析

## 4. 動的分析

## 授業, 学習を通しての分析

このうち教材学の領域は1, 2及び3の範囲で4は教授学に入れられるべき領域であろう。1の巨視的構造は教科カリキュラム論の主題をなす重要な問題を扱うことになる。カリキュラム構成の要素は (i)現代教科の文化体系, 理科では, 自然科学全般にわたる現代科学の認識体系 (ii)方法 (iii)発達の3者とみてよく, (i)の体系と(ii)の方法はともに自然に対する現代的認識を構成するものとして, 教育の大きな面即ち文化伝達としての意義があり, またその方法(即ち(ii)) そのものは広く現代および未来社会に適応する実証的合理的人間の底辺を形成するものとして大きな教育的意義をもつ。(iii)は教育が現実的行為であることから児童生徒の発達という現実的認識に立たねばならぬことは勿論であるが, この発達と(i)及び(ii)をどう結つけてゆくかがカリキュラム構成の中心的課題となる。理科カリキュラムにおいては, 物理学, 化学, 生物学, 地学など現代科学の文化構造のなかで, 即ち現在の科学文化の水準のなかで, 更に未来の学問発達の予見をも含めて, 最も中核となる **Key Concept** をどう設定するかである。この鍵概念という言葉は, 決してその内容が児童生徒に理解できないような代物ではない。例えば, 現代物質観の **Key Concept** とはなにかと云えば, 物質の構造, 変革, エネルギーといったものであろうし, 構造については粒子論および波動力学的概念が, 変革には結合論がエネルギー論とともに鍵概念となるであろう。これらの鍵概念は, 児童生徒の発達に応じて教育的に配列構造化される。これが巨視的にみたカリキュラム構造である。即ち鍵概念に対する基底概念は化学の領域では

構造論の基底概念  $\left\{ \begin{array}{l} \text{形式的—粒子とその集合の幾何学} \\ \text{内容的—粒子を引きつける力, エネルギー} \end{array} \right.$

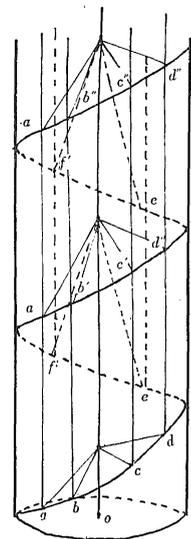
反応論の基底概念  $\left\{ \begin{array}{l} \text{形式的—化学変化の型式法則} \\ \text{内容的—エネルギー変化, 速さ, 平衡} \end{array} \right.$

エネルギー論の基底概念—仕事と熱

の如きものであろうと考えられる。

以上は巨視的な教材構造を分析する場合の, 一つの例を少々形式的な面から考察したのであるが, すでに分析要素としてあげた I, i)~iii)の各項目に相当する。特に iii)の要素をとり入れるとヘリックス型カリキュラムの型式をとるであろうが(第1図),  $a \rightarrow a' \rightarrow a''$  と基底概念が発達するステップを如何に分析して妥当なカリキュラム構造を設定するかは教育仮説としての試案を作製し, 実証的な試行に俟って最終的には決定しなければならない。実験学校<sup>10)</sup>の存在はこのような課題の解決にも必要なものであろう。

第1図  
方法単元のカリキュラム



$a, a' \dots b, b' \dots$ などは夫々単元の止揚形態をしめす、すべての学習は科学の方法の軸に統一される

次に、教材分析のも一つの領域は教科書内容の教材類型の出現頻度の統計学的分析である。第1表は分野別出現頻度を小学校全学年について分析したものであるが、このような結果を歴史的に比較したり、地域的（各国について）に比較したりするとその時代の、また地域的な理科教育の動向をある程度察知することができる。またこのような分析手法に第IV節の類型別分析を応用すると、各種検定教科書全体の内容および方法的構造を知ることができ、またこの類型別分析を、歴史的に比較検討すれば大まかではあるがその時代時代の理科教育の目標と方向を比較検討できそうに思える<sup>11)</sup>。おそらくこのような教材分析を有効に活用するならば、比較教材学というような新しい教材学の分野が開発できるかも知れない。第2表は科学方法論にもとづく類型別分析を低学年教科書に試みた結果である。

第1表 分野別単元構成 (小学校用  
A教科書)

学 年	物 理	化 学	生 物	地 学	天文気象	第1分野	第2分野
I	27.4	9.0	54.6	9.0	0.0	36.4	63.6
II	35.5	7.1	43.2	0.0	14.2	56.8	43.2
III	33.6	6.6	40.0	6.6	13.2	53.4	46.6
IV	44.5	5.5	33.5	5.5	11.0	61.0	39.0
V	31.2	12.5	31.1	6.3	18.9	62.6	37.4
VI	25.0	18.8	31.2	12.5	12.8	46.3	43.7

数字はすべて出現頻度(%)で表わした。

第2表 方法的単元分布 (小学校用  
A教科書)

学 年	O教材	H教材	E教材	OH教材	OHE教材	HE教材	T教材
I	77.65	6.38	1.06	0.00	0.00	0.00	13.84
II	74.69	3.56	0.00	0.00	0.00	0.00	21.41
III	74.98	4.83	0.80	7.25	1.61	1.61	9.66

数字はすべて出現頻度を%で表わした。

## VIII. 結 言

以上、かなり詳細に互って教科教育学の重要な一部門と考えられる教材学につき、その学的構成をめざして教材学の教科教育学における位置づけ、研究の対象、方法及びその応用という多分に教授学にも至るかなり広範な領域をも考慮しつつ教材学の構成についての試案を提示した。このなかで、われわれは研究の対象となる教材そのものの定義をかなり厳重に考察したが、その結果、教育の原材料即ち素材と教材とを明確に区分して、教材学の中心的課題が、

1) 素材を教育的に組織し構造化する部分即ち素材の教材化と、2) すでに構造化された教材そのものに対する研究の方法は如何にあるべきかを明示した。このような考察の過程で、われわれが特に力点をおいた考察の方法は方法論的な教材類型の設定である。このような方法によって‘教えられる’型の教育材料が‘探究する’型の教材へと変換され、あたらしい理念にもとづく教育体系の創造が可能で、かつ、このような方法類型の設定によって徹視的な教材分析および教科書分析、カリキュラム分析のような巨視的な教材分析の方法が可能であることを明らかにした。

尚このような教材学設定の試みの根底には、教科教育学自然の教育原理論、教育方法学などの領域に属する理論的な部分が明確にされていなければならぬが、それらの諸問題に関しては逐次この紀要に続報として公けにする予定である。

#### 参 考 文 献

- 1). 高野千石, 教科教育学の構造と視点 (試論), 国土社, 教育, 第239巻 (1969) pp. 67~75
- 2). 高野千石, 教科教育学に関する研究第1報, 島根大学教育学部紀要 vol. 6(1972), 教育科学編 pp. 51~67.
- 3). 高野千石, 教材学の構成と視点, 日本教育大学 第2部会研究集会, 同講演要旨集 (1972) pp. 35~36.
- 4). 教材の巨視的分類については, 井上弘氏, 教材と授業過程, 明治図書 (1963) にその研究が発表されているがこの著書のなかで使われている教材という言葉は単元という意味に解される点が多い。授業過程という教育の体系のなかに, 教育素材をどうとり込んでゆくかという視点に立って教材の性質が吟味される。同じような立場から教材の構造化論を提唱するものに井上弘氏著, 「教材の構造化論」教育学全集, (小学館) 第4巻 (1967) pp. 286~の論文がある。
- 5). 井上弘氏によれば, 教材単元とは, 論理的統一性をもった学問的知識の教材および技能的統一性をもった技能の教材を云い, 教材単元と経験単元とにわけている。単元という思想が確立したのはヘルバルト派のテラー (T. Ziller, 1817~1882) で方法的単元即ち教授・学習を完結する教材の複合的統一体をさしている。ibid. 4. および T. Ziller; Einleitung in die allgemeine Pädagogik, 1856.
- 6). 広岡亮蔵; 授業の構造, 授業研究 vol. 21, 22, 及び23(1965).
- 7). わかりやすい解説書として沢潟久敬氏著, 医学概論, 第1部「科学について」(誠信書房) がある。
- 8). J. S. Bruner; the process of Education, Harvard Univ. Press (1961). および J. S. Bruner, On knowing (1964) がよい参考になる。
- 9). 板倉聖宜氏らを中心として提唱されている授業の方式で科学教育の中心を仮説と検証におき授業の構造化をはかろうと主張する。同氏著, 仮説実験授業入門 (明治図書) がある。
- 10). 実際には附属学校がこの任務を帯びるものであろう。しかし大方は単なる教育実習校程度の役割しか果していない現状である。その理由は i) 学部へ未だ本格的な教科教育学の組織的な研究体制を欠くこと ii) 制度的に思い切った教育実験を行うことが不可能の状態であること iii) 附属学校の人事構成に問題があることなどを指てきしておきたい。思い切った改革を行うのなら実習校と実験学校を制度上分離することも考えられる。
- 11). 高野千石, 理科教材学研究第1報, 教材分析とその方法, 日本理科教育学会講演要旨集(1972)
- 12). 高野千石, 教科教育学の成立, (1973), 広大出版研。