

## 観察・実験中心の探究活動を重視した理科教授方法の 効果に関する研究

中山 玄三\*

### Effects of Inquiry-Oriented Instruction on Laboratory Skills, Science Process Skills and Knowledge Understanding in Sixth and Seventh Grade Students

Genzo NAKAYAMA

(Received October 3, 1994)

This study was designed to investigate the effects of a laboratory-centered inquiry program on laboratory skills, science process skills and understanding of science knowledge. The inquiry approach used in the "Foundational Approaches in Science Teaching (FAST)" was compared with a traditional textbook approach in terms of three major evaluative points mentioned above.

A total of 85 sixth grade students consisting of 47 FAST students and 38 non-FAST students and a total of 141 seventh grade students consisting of 83 FAST students and 58 non-FAST students were involved in this investigation in North Carolina (U.S.A.). During the school year, the FAST 1 program was integrated into a regular science curriculum in the FAST group as a treatment at both grades. At the end of school year, post-tests were administered to both FAST and non-FAST groups. Laboratory Skills Test, Performance of Process Skills Test and FIN Test were utilized as post-tests measures.

The results indicated that a textbook-oriented instruction had no significant effects on the learning outcomes in comparison with an inquiry-oriented instruction. A laboratory-centered program can enhance scientific skills as a whole and especially laboratory skills and science process skills.

#### はじめに

科学の過程および結果としての科学的知識の理解において必要とされる観察・実験能力と科学的思考力の育成は、学校段階や学年段階の違いにかかわらず、ひとつの重要な理科教育の目標である。このような観察・実験能力や科学的思考力の育成をめざす際、単なる知識の注入主義的教授方法によるだけでは十分にそれらの能力が育成されうるものではなく、観察・実験を中心とした探究活動を重視した教授方法がより有効であることは、古来論じられ周知のことであるが、それを実証的に研究したものは少ない。

そこで、本研究においては、観察・実験中心の探究活動を重視した理科教授方法の効果を、伝統的な教科書・講義中心の教授方法と比較することにより、

学習者の観察・実験能力、プロセススキル及び知識・理解という観点から分析し、評価することを目的とした。

#### 関連する先行研究の概要

##### 1 知識・理解と理科教授方法

理科の教授方法の効果に焦点を当てた研究の大部分は、学習者の知識・理解という点から評価するものである。カルベロ (Curbelo, 1985) は、問題解決過程を重視した教授方法が学習者の知識・理解により効果的であることを示した。また、探究活動を重視した教授方法の効果を、伝統的な教師中心の講義と比較した研究では、探究的アプローチの方が伝統的アプローチと比べ、学習者の知識・理解により効果的であることが示された (Selim, 1982; Awodi, 1984; Ohanenye, 1986)。

さらに、イビンス (Ivins, 1986) は、中学校第1

\* 教育学部附属教育実践研究指導センター

学年の生徒を対象に、「実験活動」、「教科書教材の使用」、「討議と講義」の教授方法の組合せと順序の違いによる効果を調べた。その結果、実験-教科書-討議の順序による教授方法（帰納的アプローチ）の方が、教科書中心あるいは講義中心の後に検証実験を組み込んだ教授方法（演繹的アプローチ）よりも、学習者の知識・理解及びその後の記憶の保持により効果的であることを示した。

サンダースとシェパードソン (Saunders & Shepardson, 1984) は、第6学年の児童を対象に、「探究-発明-発見」の学習サイクルに基づく直接経験の効果を、言語中心の教授方法と比べ、その結果、直接経験を重視した帰納的教授方法の方が、学習者の知識・理解及び論理的思考力の発達に対してより効果的であることを示した。

## 2 プロセススキルと理科教授方法

プロセススキルの育成と理科教授方法に関する研究は、1960年代初頭に始まり、これまでいくつかの研究の方向性が見られる。それらの中で最も典型的なものは、(1) プロセススキルの教授方法の違いによる効果に関する研究、(2) プロセススキルの育成を目標とした特定の活動あるいはモジュールの効果に関する研究、(3) 特定の理科カリキュラムが学習者のプロセススキルの獲得に及ぼす効果に関する研究である。

### (1) プロセススキルの教授方法の違いによる効果に関する研究

ワグナー (Wagner, 1984) は、小学校第4・5学年の児童を対象に、学習者のプロセススキルの獲得および知識・理解に及ぼす探究中心の教授方法の効果を朗読・暗誦中心の教授方法と比べ、有意な差があることを報告した。マッケンジー (McKenzie, 1984) は、データのグラフ化に関するプロセススキルを教授する際の異なる3つの教授方法の効果を調べ、直接経験を重視した実験活動による教授方法がプロセススキルの獲得に有意な効果を及ぼすことを報告した。

### (2) プロセススキルの育成を目標とした特定の活動あるいはモジュールの効果に関する研究

最近では、フリードラーとタミアール (Friedler & Tamir, 1986) が、高等学校の生徒を対象に「問題発見」、「仮説の設定」、「実験計画」などの探究能力の育成を目的とする学習モジュールの効果を調べたところ、このモジュールによって学習した者の方がそうでない者とは比べ、探究能力の獲得という点で有

意な差が認められたことを報告した。

パディラ、オキィ、ガランド (Padilla, Okey, & Garrand, 1984) は、第6学年と第8学年の児童・生徒を対象に、「実験計画」に関するプロセススキルを教授する際の異なる3つの教授方法とその量の効果を調べている。それらは、プロセススキルの2週間の導入単元の後に各週1授業時間のプロセススキルの活動を14週間行うもの(教授方法1)、プロセススキルの2週間の導入単元のみを行うもの(教授方法2)、プロセススキルを直接教授するというよりは、内容の教授に重きを置くもの(教授方法3)であった。結果として、教授方法1が教授方法3に比べ、学習者のプロセススキルの獲得という点で有意な差が認められたことを報告した。

### (3) 特定の理科カリキュラムが学習者のプロセススキルの獲得に及ぼす効果に関する研究

初等教育段階では、それぞれのプロセススキルの育成に対して、SCISが有意な効果を及ぼすことを示した研究事例がこれまで報告されている (Weber & Renner, 1972; Allen, 1973; Boyer & Linn, 1978)。中等教育段階では、あまり報告されていない。

## 3 観察・実験能力と理科教授方法

学習者の観察・実験能力の獲得という観点から、理科教授方法の効果を吟味する研究事例の報告はこれまで比較的少ないようである。その中で、例えば、ピーターソン (Peterson, 1978) は、具体的活動による探究、言語だけによる探究、探究活動のない教授方法の効果を比べ、その結果、探究活動を組み込んだ教授方法の方がそうでないものと比べ、学習者の観察・実験能力の獲得という点で有意な効果があることを報告した。

以上に概観したとおり、理科における知識・理解、プロセススキルおよび観察・実験能力の育成のためには、探究活動を重視した教授方法が有効であるように思われる。しかし、これまでの研究では、知識・理解、科学的思考力(プロセススキル)および観察・実験能力という観点から、理科教授方法の効果を総合的に分析し、評価する研究は少ない。

## 本研究の方法

### 1 探究活動を重視した理科プログラム

本研究においては、観察・実験中心の探究活動を重視した理科プログラムとして、ハワイ大学で開発されたFAST (Foundational Approaches in Sci-

ence Teaching)を取り上げた。FASTは、ハワイ大学のカリキュラム研究開発グループにより開発されたもので、小学校高学年児童及び中学校生徒を対象とした観察・実験を主体とする探究プログラムである。その教授方法は、具体的活動による帰納的な学習サイクルがその特徴である (Young, 1982; Pottenger & Young, 1983)。

## 2 実験群と統制群

本研究では、アメリカのノースカロライナ州における小学校第6学年児童85名、中学校第1学年生徒141名を対象に、FASTによる探究中心のアプローチ (実験群) と教科書中心のアプローチ (統制群) を比較し、事前・事後調査により教授方法の効果を評価する実験計画法を採用した。

小学校第6学年集団では、47名からなる実験群と38名からなる統制群を設定し、2名のFAST教師と2名の非FAST教師による授業が行われた。中学校第1学年集団では、83名からなる実験群と58名からなる統制群を設定し、2名のFAST教師と5名の非FAST教師による授業が行われた。

実施期間は、1987-1988年度の1年間であり、両学年のそれぞれの実験群において、FAST1がFAST教師によって、通常の理科授業の中で州指定の教科書と併用しながら実施された。各学年で、約30%のFAST1の内容が教授された。その教授方法は、教師用指導書 (Pottenger, Young & Kyselka, 1980; Pottenger & Young, 1983) に基づき、意図された教授手順と内容の順序に従って実施された。

一方、統制群では、非FAST教師によって、実験群で用いられた同一の州指定教科書による教授のみが行われた。統制群は、実験群と比べ、観察・実験中心の探究活動を重視した教授が相対的に少なく、伝統的な教師中心の講義形式の教授が行われた。

## 3 教師

本研究に協力したFAST教師は、2週間のFAST1の教員研修を修了し、FAST1の教師の資格を有する者であり、少なくとも1年以上のFAST1の教育経験を有する者であった。それに対して、非FAST教師は、これらの経験を一切有しない者であった。

## 4 教科書

小学校第6学年の実験・統制両群で共通に用いられた州指定教科書は、“Holt Science”(Holt, Rine-

hart & Winston, 1984) であった。中学校第1学年の実験・統制両群で共通に用いられた州指定教科書は、“Principles of Science: Book One” (Merrill Publishing Company, 1983) であった。これらの州指定教科書の特徴は、ノースカロライナ州教育局 (NC Department of Public Instruction, 1985) によれば、ともに、具体的活動が教科書の通読の後に内容の確認を目的として組み込まれていることである。

なお、FAST1の内容として含まれている「密度」に関して、小学校第6学年の教科書では扱われておらず、中学校第1学年の教科書では扱われていた。

## 5 事前・事後調査

事前調査では、前年度のCAT (California Achievement Test) の全教科の総合得点を指標として、それぞれの学年で、実験・統制両群の間で有意な差が認められず、両者の等質性を保証した。

事後調査では、実験・統制両群の児童・生徒を対象に、観察・実験能力を評価するテストとしてLST, プロセススキルを評価するテストとしてPOPS, 知識・理解を評価するテストとしてFINを用いて、それぞれの能力を評価した。

POPSテストは、ポッテンジャー、マサイエス、ジョーンズ、中山 (Pottenger, Mattheis, Jones, & Nakayama, 1987; Nakayama & Mattheis, 1988) によって開発されたもので、実験課題の同定、仮説の設定、変数の同定、実験計画、データのグラフ化、データの解釈の6つのプロセススキルを評価するための21項目からなるテストである。項目の内容は、一般的な文脈におけるもので、特定のカリキュラムに依存するものではない。

FINテストは、福岡、ポッテンジャー、石川、中山 (Fukuoka, Pottenger, Ishikawa, & Nakayama, 1987) によって開発されたもので、知識・理解を評価するための6項目からなるテストである。項目の内容は、FAST1の内容を発展させた応用的なもので、浮力、重さの保存、重力の方向、物の浮き沈み、水圧、密度に関する内容である。

LSTテストは、ハワイ大学のカリキュラム開発研究グループによって開発されたもので、FAST1に関連した観察・実験能力、プロセススキル、知識・理解を評価するための16項目からなる3部構成のテストである。第1部 (6項目) は、物体の高さ、面積、質量、体積の測定と密度の計算に関する実験能力の評価項目からなる。第2部 (6項目) は、データのグラフ化と解釈に関するプロセススキルの評

価項目からなる。第3部(4項目)は、密度概念に関する知識・理解の評価項目からなる。

事後調査の実施時期は、1988年4月に小学校第6学年児童を対象に実施し、1988年6月に中学校第1学年生徒を対象に実施した。

## 6 データ解析

本研究におけるデータ解析に当たっては、ハワイ大学コンピューターセンターのSPSSX統計プログラムを用いて、多変量解析を行った。

## 結 果

### 1 FASTの全体的効果

FASTによる探究中心の教授方法の全体としての効果を吟味するために、SPSSX統計プログラムの多変量分散分析(MANOVA: Multivariate Analysis of Variance) サブコマンドを用いて、学年別に、多変量共分散分析(MANCOVA: Multivariate Analysis of Covariance)を行った。事前調査によるCAT総合得点を共変量(Covariate)とし、事後調査によるPOPS, FIN, LSTの3つのテストのそれぞれの総合得点を従属変数(Dependent Variables)としたとき、FASTによ

る教授方法の全体的効果は、小学校第6学年集団で $F(3,80)=6.8$ 、中学校第1学年集団で $F(3,136)=13.3$ であり、ともに有意な効果が認められた。

さらに、LSTを観察・実験能力、プロセススキル、知識・理解の3部に分け、POPS, FIN, LST第1部, LST第2部, LST第3部の5つのテストのそれぞれの総合得点を従属変数として同様の分析を行ったところ、FASTによる教授方法の全体的効果は、小学校第6学年集団で $F(5,78)=5.5$ 、中学校第1学年集団で $F(5,134)=11.1$ であり、ともに有意な効果が認められた。

これらの結果は、ともに、FASTによる教授方法が、観察・実験能力、プロセススキル、知識・理解の育成全体に対して、有意な効果を及ぼしたことを示している。

### 2 FASTの部分的効果

次に、FASTによる探究中心の教授方法がそれぞれの能力の育成に対して及ぼす効果を吟味するために、SPSSX統計プログラムの多変量分散分析サブコマンドを用いて、それぞれの学年別に、一変量共分散分析(Univariate One-way ANCOVA: Analysis of Covariance)を行った。CAT得点に

表1 CAT総合得点による事後テストの調整平均及びCATを共変量としたときの事後テストの共分散分析(ANCOVA)の結果

テスト	最高得点	第6学年 教授方法		F値 (df=1,82)	第7学年 教授方法		F値 (df=1,138)
		FASTによる 探究中心 (N=47)	教科書による 講義中心 (N=38)		FASTによる 探究中心 (N=83)	教科書による 講義中心 (N=58)	
従属変数(事後調査):							
POPS 総合得点	21	8.88	8.11	1.64 (NS)	9.22	10.32	3.69 (NS)
FIN 総合得点	6	1.19	0.99	1.24 (NS)	0.95	1.21	2.83 (NS)
LST 総合得点	16	2.51	0.82	19.45 ***	3.79	1.83	28.74 ***
LST パート1	6	0.71	0.12	19.05 ***	1.49	0.30	43.29 ***
LST パート2	6	1.37	0.48	8.44 **	1.86	1.21	7.40 **
LST パート3	4	0.43	0.23	4.58 *	0.44	0.32	1.89 (NS)
共変量(事前調査):							
CAT 総合得点 (観測平均)	100	50.28	45.92		50.23	51.91	

\*\*\*  $p > 0.001$

\*\*  $p > 0.01$

\*  $p > 0.05$

NS: not significant

よるPOPS, FIN, LSTのそれぞれの調整平均 (Adjusted Mean) に基づき, CAT総合得点を共変量とし, POPS, FIN, LSTのそれぞれの得点を従属変数としたときの共分散分析の結果を表1に示す。

小学校第6学年集団及び中学校第1学年集団の両集団において, 2つの教授方法の違いによるLSTの総合得点に有意差が認められた。しかしながら, 両集団において, POPS及びFINの総合得点には, 2つの教授方法の違いによる有意差は認められなかった。

さらに, 有意差が認められたLSTを観察・実験能力(第1部), プロセススキル(第2部), 知識・理解(第3部)の3つに分けたとき, LST第1部と第2部の各々の得点には, 小学校第6学年集団及び中学校第1学年集団の両集団において, 2つの教授方法の違いによる有意差が認められた。LST第3部の得点には, 小学校第6学年集団において, 2つの教授方法の違いによる有意差が認められたが, 中学校第1学年集団においては有意差は認められなかった。

これらの結果は, FASTによる教授方法が, 特に, 観察・実験能力(LST第1部)とデータのグラフ化と解釈に関するプロセススキル(LST第2部)の育成に対して, 有意な効果を及ぼしたことを示している。一方, 一般的な知識・理解(FIN)やプロセススキル一般(POPS)の育成に対する効果については, 本事例研究においては明らかな結果が得られなかった。

## おわりに

本研究においては, 観察・実験中心の探究過程を重視した理科教授方法の効果を, 伝統的な教科書・講義中心の教授方法と実験的アプローチによって比較することによって, 学習者の観察・実験能力, プロセススキル及び, 知識・理解という観点から分析し, 評価することを目的とした。

自然を探究する具体的な活動と問題解決の場を学習者に提供することによって, 学習者は, その過程において必要とされる観察・実験能力やプロセススキルを自ら獲得し, その結果として科学的な知識を理解し, 新たな概念を形成してゆくことがより可能となるものであると考えられる。したがって, もし, 観察・実験中心の探究過程を重視した理科プログラムを従来の教科書中心の理科授業へ導入するならば, そこでは, 学習者はより多くの具体的経験を得ることができ, その結果として, 観察・実験能力とプロセススキルの獲得及び, 知識・理解という点において, 伝統的な教科書・講義中心の教授方法と比べ, より優れた学習成果を生むであろうという仮説が設定された。

本事例研究によって得られた結果をまとめたものが表2である。この表が示すとおり, 教科書・講義中心の教授方法は, 学習者の観察・実験能力, プロセススキル, 知識・理解の育成に対して, 有意な効果があるとは言えないことが明らかになった。

なお, 本事例研究によって得られた結果には, 児童・生徒の特性, 教師の特性, 教授方法, 教授内容, 教材, 教育環境などの無意図的, あるいは, 偶発的

表2 本事例研究における結果のまとめ

	観察・実験能力 の育成 (LSTパート1)	プロセススキル の育成		知識・理解 の育成		総合的能力 の育成 (LST, POPS, FIN)
		特殊的文脈 (LSTパート2)	一般的文脈 (POPS)	特殊的文脈 (LSTパート3)	一般的文脈 (FIN)	
FASTによる 探究中心の教授方法 に有意な効果がある	○	○		第6学年で 有意差あり		○
教科書による 講義中心の教授方法 に有意な効果がある						
有意差なし			○	第7学年で 有意差なし	○	

○は, 第6学年と第7学年で共通する結果を示す。

要因が関わっていることは疑いないことである。このような意味において、より厳密な条件統一のもので実験研究の必要性があるように思われる。とりわけ、スタート時点での等質性の保証、プロセスにおける実験条件の統一、結果としての学習成果の公正な評価等において、なお一層の配慮を必要とする。

### 謝 辞

本稿は、著者が客員研究員(No. P-I-3483)としてアメリカ・イーストカロライナ大学に滞在した期間中に収集・分析したデータを基に作成したものである。マサイエス博士(イーストカロライナ大学)ならびにポッテンジャー博士(ハワイ大学)に心から感謝する次第である。

### 主要引用参考文献

- Allen, L. (1973). An Examination of the Ability of Third-Grade Children from the Science Curriculum Improvement Study to Identify Experimental Variables and to Recognize Change. *Science Education*, 57, 135-151.
- Awodi, S. (1984). A Comparative Study of Teaching Science (Biology) as Inquiry Versus Traditional Didactic Approach in Nigerian Secondary Schools. *Dissertation Abstracts International*, 45 (6), 1707-A.
- Boyer, J. & M. Linn (1978). Effectiveness of the Science Curriculum Improvement Study in Teaching Scientific Literacy. *Journal of Research in Science Teaching*, 15, 209-219.
- Curbelo, J. (1985). Effects of Problem-Solving Instruction on Science and Mathematics Student Achievement: A Meta-Analysis of Findings. *Dissertation Abstracts International*, 46 (1), 23-A.
- Friedler, Y. & P. Tamir (1986). Teaching Basic Concepts of Scientific Research to High School Students. *Journal of Biological Education*, 20, 263-269.
- Fukuoka, T., F. M. Pottenger, S. Ishikawa, & G. Nakayama (1987). *FIN Test*.
- Ivins, J. E. (1986). A Comparison of the Effects of Two Instructional Sequences Involving Science Laboratory Activities. *Dissertation Abstracts International*, 26 (8), 2254-A.
- McKenzie, D. (1984). Effects of Laboratory Activities and Simulations on the Engagement and Acquisition of Graphing Skills by Eighth Grade Students with Varying Levels of Spatial Scanning Ability and Cognitive Development. *Dissertation Abstracts International*, 44 (8), 2430-A.
- Nakayama, G. & F. Mattheis (1989). Development of the Performance of Process Skills (POPS) Test for Middle Grades Students. Paper Presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, San Francisco, CA.
- North Carolina Department of Public Instruction (1985). *Annotations: State-Adopted Basic Textbooks for Science, Grades 1-12*. Division of Science.
- Ohanenye, N. (1986). Comparison of the Effects of Traditional and Individualized Instructional Teaching Techniques on the Level of Academic Achievement in Science of Eleventh Grade Students in Secondary Schools in Imo State of Nigeria. *Dissertation Abstracts International*, 46 (10), 2987-A.
- Padilla, M. J., J. R. Okey, & K. Garrard (1984). The Effects of Instruction on Integrated Science Process Skill Achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 21 (3), 277-287.
- Peterson, K. (1978). Scientific Inquiry Training for High School Students: Experimental Evaluation of a Model Program. *Journal of Research in Science Teaching*, 15, 153-159.
- Pottenger, F. M., D. B. Young, & W. Kyselka (1980). *FAST 1: The Local Environment Teacher Guide*. University of Hawaii, Curriculum Research and Development Group.
- Pottenger, F. M., F. E. Mattheis, M. L. Jones, & G. Nakayama (1987). *Performance of Process Skills Test*.
- Pottenger, F. M., & D. B. Young (1983). *FAST Instructional Guide*. University of Hawaii, Curriculum Research and Development Group.
- Pottenger, F. M., & D. B. Young (1987). *Laboratory Skills Test*. University of Hawaii, Curriculum Research and Development Group.
- Saunders, W. L. & D. Shepardson (1984). A Comparison of Concrete and Formal Science Instruction upon Science Achievement and Reasoning Ability of Sixth Grade Students. Paper Presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, New Orleans, LA. ED 244 797.
- Selim, M. A. M. (1982). The Effect of Discovery and Expository Teaching on Science Achievement and Science Attitude of Male and Female Fifth Grade Student in Egypt. *Dissertation Abstracts International*, 42, 3001-A.
- SPSSX *User's Guide, Edition 2* (1986). New York: McGraw Hill Book Co.
- Wagner, A. M. (1984). A Study of Elementary Science Achievement Related to Teacher Questioning Styles and Method of Instruction. *Dissertation Abstracts International*, 45 (5), 1291-A.
- Weber, M. & J. Renner (1972). How Effective is the SCIS Program? *School Science and Mathematics*, 72, 729-734.