

# データロガーを用いた研修が日米の理科教員に与える効果

## — 探究的指導法に関する意識に着目して —

### Impact of a Professional Development Program Using Data-Loggers on US and Japanese Science Teachers

#### — Focusing on Attitudes towards Inquiry-Based Teaching —

土 佐 幸 子

#### 1. はじめに

昨今、学校教育の現場において情報通信技術（ICT）を活用することの重要性が叫ばれている<sup>1)</sup>が、ICT機器を使った理科の学びは、従来の機器を用いた場合とどのように異なり、どのような利点をもつのだろうか。他方、我が国の小中学校理科において、平成20年改定の新学習指導要領では、自然の事物・現象を追究したり、科学的に探究したりする能力の育成が目標として明記され、重要な柱となっている<sup>2)</sup>。探究的な学習活動を重視する方向はもとも1960年代に米国から日本に紹介されたものであり<sup>3)</sup>、探究的指導法の全体像を捉える上で、海外に目を向けて比較的に問題点を探ることは大きな意味がある。本研究では、探究的指導法とICT機器活用の接点を国際比較の場に持ち出し、データロガーを用いた教員研修プログラムが、探究的指導法に関して理科教員にどのような効果を与えるのか、その過程について米国と日本で調査・検討した。

#### 2. 米国における探究的理科指導の問題点

米国では1996年に発行された全米科学教育スタンダード<sup>4)</sup>において、初等中等教育における探究を通しての理科学習の重要性が強調され、「科学的探究は理科教育の真髄である」と述べられている。理科学習において、探究的指導法が効果的であることは様々な研究者によって示唆されており<sup>5,6,7,8)</sup>、子ど

もは探究的活動を通してより深く科学的概念を理解することができると、理科教育界では一般に捉えられている<sup>9)</sup>。

米国教育界で10年以上にわたって探究が重視されてきているが、現場では探究的指導法があまり実践されていないことが報告されている<sup>10,11,12)</sup>。国際数学・理科教育調査（TIMSS）の1999年理科授業ビデオ研究<sup>13)</sup>によると、収録された米国の8年生（日本の中学2年生に相当）の88理科授業のうち、66%の授業において事実や定義・例題の解答方法の獲得で内容が展開されており、探究的に展開されている授業は17%しかなかった。米国中学校理科の教員の多くが、スタンダードに記述されているような探究的指導法を、実際の教室において実践していないと言える。

探究的指導法があまり実践されていない原因の一つとして、教員自身が過去の経験の中で、探究活動をあまりしたことがないことが挙げられる<sup>14)</sup>。学部で物理・化学・生物・地学の理科を教科として学んだとしても、オープンエンドな探究に取り組む機会はほとんどない。理学部の修士課程を卒業した学生ならば、独自の探究的活動を行った経験をもっているだろうが、米国の大学において、教育学部を卒業した学生が科学的探究活動を経験することは稀である。つまり、多くの米国の理科教員は、自分なりの視点をもったオーセンティックな探究活動の経験をもっていないのである。

そこで、米国では現職教員および、教員養成課程の学生に自分なりの視点をもった探究的活動を経験させようと、様々な研修プログラムが開発された

<sup>15,16)</sup>。これらの研修プログラムの多くは、実験や野外活動、または実際に大学等の研究室で活動に参加することによって、教員に科学的探究についての意味と活動を理解させようというものである。最近では、ICT機器を用いて教員の探究に関する能力を高めようとする動きが活発になってきた。センサーのついたデータロガーやシミュレーション、インターネット上のツールなどのICT機器の活用が、理科教員の探究的活動を支援する役割を果たすことが示唆されている<sup>17)</sup>。それぞれのICT機器に長所・短所があるが、本研究では教師教育におけるデータロガーの効果に焦点を当てて議論を進める。

データロガーとは、センサーやインターフェイス、ソフトウェアをコンピュータや卓上計算機と併せて用い、リアルタイムでデータを収集・表示・分析できるような機器を指す。データロガーを用いた教育的活動は「マイクロコンピュータを用いた実験活動 (MBL)」とも呼ばれており<sup>18)</sup>、センサーを用いて自然現象における物理量を測定・収集し、そのデータを即座に表やグラフに表すことができる<sup>17,19)</sup>。データロガーの使用が、子どもの探究的学習を深める効果があることは多くの研究者が示唆している<sup>20,21,22,23,24)</sup>。データロガーを使うと長い時間でも、非常に短い時間間隔でもデータ集めが可能になる。また、従来の計測器を用いた実験よりもスピーディにデータを処理し、分析・表示できる。このような利点は、子どもが変数について考えたり、仮説を検証したり、関係を考察したりする時間を多くもつことにつながるだろう。さらに、データロガーの使用は、データを共有したり、意味を話し合ったりすることによって、子ども同士が関わる機会を増やすことが示唆されている<sup>24)</sup>。

データロガーの活用が子どもの探究的学習に有効であることが示唆されいながら、データロガーを教師の探究的指導法に用いる研究はほとんどなされていない。教師教育分野におけるデータロガーの研究は、ICT機器に対する教員の関心や意欲を調べることに留まっているものが多い<sup>25,26)</sup>。データロガーが、探究的指導法を広めることに有効かどうかを調査する研究として、エスピノザ (2007年) は高校の教員研修でデータロガーを用い、教員が探究活動を行う際に、データロガーの使用は教員が結果を予想しやすくする効果があることを明らかにした<sup>27)</sup>。マーティンとグリーンウッド (2007年) は、データロガーが初任教員の探究に対する考えにどのように影響を与えるかを調べ、データロガーを使って疑問

をもってデータを集め、その説明を考えるという経験を通して、科学が教科書に書かれていることだけでなく、もっとたくさんの複雑な要素を含むことに気づかせることにつながると示唆した<sup>28)</sup>。これらの先行研究の結果を踏まえ、本研究ではデータロガーを使って教員がどのように探究活動の方法と意味を理解していくか、という過程に焦点を当てることが重要だと考える。すなわち、データロガーを活用した教員研修プログラムに含まれるどのような要素が、どのように教員の学びに影響を与えるかを探る。さらに、先に触れたように、データロガーは学習者同士の関わり合いに影響するところから、教員同士、あるいは教員と指導者の関わり合いについて調べることも本研究の大事な目的の一部である。

本研究を遂行するにあたり、探究的指導法について理解と興味を深めるような、データロガーを活用した研修プログラム「理科教員のためのデータロガーを用いた研修プログラム (略称: データロガーラボ)」が開発された。本稿では、まずデータロガーラボの研修プログラムが、先行研究に基づいてどのように開発されたのかを述べる。そして、その研修プログラムが、どのように参加教員の探究について学ぶ過程に影響したかを調べた結果を明らかにする。さらに、探究的指導法に関する態度にどのように影響したかに触れる。

本研究において検討された研究課題は以下の通りである。

- 1) データロガーラボの研修プログラムにおいて、参加教員はデータロガーを用いた探究活動をどのように行うか。
- 2) データロガーラボは参加教員の探究活動の過程をどのように促すか。
- 3) データロガーを用いた探究活動の過程で、人同士の関わり合いはどのような役割を果たすか。
- 4) データロガーラボにおける探究活動の経験は、参加教員が現場で探究的指導法を実践したいと思う度合いにどのように影響するか。
- 5) データロガーラボは参加教員の探究的指導法に関する態度にどのような効果をもたらすか。

本研究で用いられたデータロガーは、ハンディ・クリケットと呼ばれる 5 cm 四方の小さな物 (図 1 参照) で、リアルタイムでのデータ表示機能はなく、必要なときは LED の表示板を取り付ける。また、データロガーラボで用いられた指導方針は、決まった実験手順に沿って行われるような通常の教員研修のもの<sup>19,22)</sup>とは異なることに注意しておく。

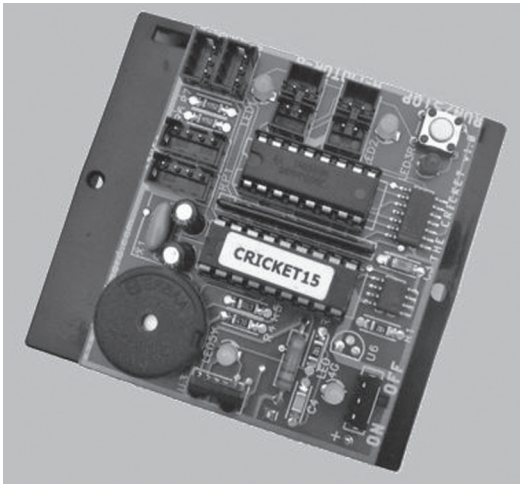


図1 本研究で用いられたデータロガー

本研究の重要性は、データロガーを用いた教師教育プログラムが、どのように教員の探究的指導法を深める働きをするかを明らかにするところにある。教員が探究のプロセスをどのように経るかを詳細に調べることにより、教師教育プログラムの中のどのような要素が重要かが明らかになることが期待される。さらに、本研究では探究の経験を授業案に反映させ、教員がどのような経験をしたときに、自らの探究活動を土台にして実践しようと思うかを探る。これらの結果から得られた知見は、教育関係者が教員研修プログラムを開発・実践する際に有用であろう。

### 3. 理論的枠組み

本研究において、教員研修プログラムの目標は理科教員が探究活動をもっと取り入れるように意識に変革をもたらすところにある。教員自身が探究活動を好意的に捉えるような経験をすれば、探究的指導法がより多く実践されることにつながると期待される。本研究では2つの理論に基礎を置く。まず、構成主義に基づくアプローチ<sup>29,30)</sup>を取り、知識は単に伝達されて獲得されるものではなく、学習者自身が葛藤や混乱を経た後、人との関わりに助けられながら妥当な解釈として能動的に構築するものであると考える。また、パパート（1991年）によるコンストラクショニズムのアプローチ<sup>31)</sup>を取り、学習者は具体物を作る主体的な活動を通して知識を構築すると考える。よって、本研究で開発した研修プログラムには次の4点が含まれる：(a) 具体物を用いた能動的

な探究活動、(b) 参加者の主体性、(c) 知識の構築を支援したり、構築に協同参加したりする指導者、そして(d) 参加者同士の話し合い、である。研修プログラムの主目的はICT機器活用による探究活動の過程を深めることにあるが、意味ある探究活動を実現するためには、探究の内容自体にも十分な注意を払う必要がある。探究活動の成果として構築される知識は、社会的に認められた科学的知識と整合性を持たなければならないことは言うまでもない<sup>32)</sup>。特に、本研究では探究活動の成果を、カリキュラムにある科学的知識とつなげるように留意した。これは、参加教員が自分たちの探究経験を現場に持ち帰り、教室で実践する上でも重要な点である<sup>5)</sup>。

本研究の研修プログラムでは支援的探究のアプローチを取る。支援的探究（Guided inquiry）とは、探究活動を行うにあたり、指導者が学習者にある程度の手助けを提供する実践方法を意味する<sup>16,33)</sup>。探究活動において、指導者がどの程度学習者の活動に指示を与えるかは、学習者の探究能力による。自ら探究活動を行う能力がまだ備っていない学習者には、丁寧に手順を指示して、意味ある探究活動が行われるように導く必要があり、これを構造化された探究（Structured inquiry）と呼ぶ。他方、自分から探究活動を行う能力を獲得している学習者に対しては、自主性を尊重し、指示を控えることができる。これを自由な探究（Open inquiry）と呼ぶ。参加教員の自主性を尊重しつつ、意味ある探究活動に携わらせることを目指す本研修プログラムでは、指示を細かく与えるのでも、ほとんど与えないのでもない中間の支援的探究のアプローチがふさわしいと言える。指導者は導入場面において、探究の課題を設定し、必要なときに必要な手助けをする。指導者側が課題を選ぶにあたって留意しなければならない点は、課題がデータロガーとセンサーを使って調べる探究活動に適していることである。また、課題が参加者にとって適度に難易度の高いチャレンジ性を含む問題であることも大事である、さらに、学校現場に持ち帰って実践できる程度の簡易性をもつものが好ましい。

教員が探究活動を経験するだけでは、探究的指導法を用いた授業案作りに必ずしも結びつかないことが指摘されている<sup>34)</sup>。そこで、本研究で実践された研修プログラムでは、参加教員の探究活動の経験を、実際の教室で実践に移す準備まで含めて活動計画が組まれた。参加教員自身が探究活動を通して学んだ科学的概念を教えることとし、その授業案を考

えるにあたって、効果的な指導方略を議論することに多くの時間を割くことにした。指導方法を具体的に話し合うことにより、探究活動を教室に持ち込む際に想定される様々な要素に対する視点や、より現実に応じた見方が形成されることが期待される。

## 4. 方法

### 4.1 研究方法

本研究では質的研究方法を主として調査を行った。フィールドノート、ビデオ録画、参加者のノート、指導案、参加教員がセンサーを用いて集めた実験データとグラフをデータとして、探究活動の過程がどのように進められたかを質的研究方法を用いて調査した。様々なデータを総合的に分析・統合することにより、研修プログラムの文脈に沿って情報を得ることが可能になる。その中で、参加者、指導者、および教材の3者間相互の関わり合いが明らかになる。理科教育における探究的指導法に対する教員の態度は、質問紙調査によって調べられた。研修プログラムの始めと最後に実施された事前・事後調査により、参加教員の意識がどのように変化したかを見た。質問紙調査による定量的データは、質的分析結果を補助するための資料として用いられた。

### 4.2 対象

研究参加者として対象になったのは、米国と日本で計3回行われたデータロガーラボの研修プログラム講習会に参加した理科あるいは技術科の教員である。米国教員10名と日本の教員18名を含む。1回目の研修プログラム(US 1)は米国東部の都市で

2007年6月に開かれ、近隣の中学校から6人の理科教員が3日間の研修に参加した。2回目の研修プログラム(JP)は日本の中部の都市で2007年12月に開かれた。小中高大の各学校レベルから合計18名の理科および技術科の教員が参加した。参加者はICT機器の教育的活用を進めるために集まったサークルのメンバーである。3回目の研修プログラム(US 2)は米国東部の都市で2008年8月に開かれ、4人の中学校理科教員が参加した。JPとUS 2はどちらも1日だけ、2時間半の研修であった。

### 4.3 教員研修プログラム

教員研修プログラムのデザインとして、学習サイクルの形式を採用した<sup>35,36)</sup>。この形式は探索、概念の導入、および概念の応用という3つの場面から構成されている。図2に本研究で用いられた学習サイクルの模式図を示す。

データロガーラボの研修プログラムにおいて1番目の探索の場面では、参加者はデータロガーとセンサーの使い方を習い、センサーがどんな物理量を測定しているのかを、実験を含めた話し合いで解決する活動を行う。参加者はLED表示板にリアルタイムで示された数値を読んで、センサーが測定している物理量の特性を探り、そこから物理量を判別していく。データロガーラボでは、温度、光、および赤外線を用いる近距離探知センサーの3種類を用いた。例えば、温度センサーであれば、握ることにより、表示板の数値に変動が見られる。しかし握るだけでは、光を遮られたことや、圧力を加えられたことも数値の変動する理由として考えられる。暖かい息を吹きかけたり、冷たい水に浸けたりして、他の

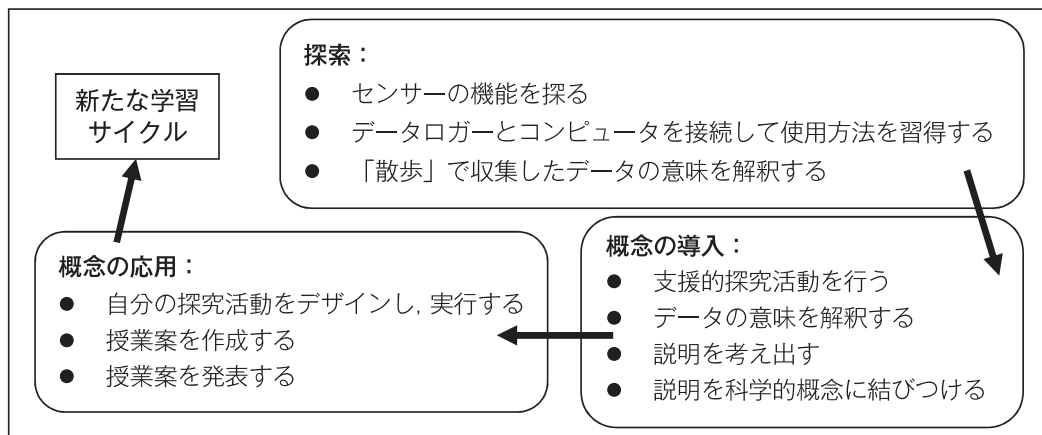


図2 本研究で用いられた教員研修プログラムの学習サイクル



理由を消去することが求められる。参加者はこの場面において、データロガーをどのようにコンピュータと接続して用いるかの説明を受ける。1つまたは2つのセンサーを用いてデータを収集し、グラフ化するコンピュータ操作の手順を学ぶ。

最初のデータ収集活動として、温度センサーと光センサーを取り付けたデータロガーを持って、建物の周りを回ってくる10分間の散歩に出かける。予想しない明暗の差や寒暖の差がデータ上に表れるように、散歩のルートは指導者によってあらかじめ定められた。例えば、窓のある踊り場を通して階段を数階上がれば、踊り場を通過するたびに光センサーの値に変化が見られ、なぜだろうと考える機会となる。散歩終了後、参加者はデータをコンピュータにアップロードし、グラフ化する。参加者自身がグラフを見ながら、自分の行った場所の感覚とグラフの変動を結びつけながら、解釈を考えることになる。

次の「概念の導入」場面において、参加者は酢と重曹を混ぜるなど、いくつかの実験の中から希望するものを選び、2人1組で実施する。ここでは、課題と実験材料は与えられるが、参加者の主体性を尊重する立場から、実験の詳細は参加者に任されている。例えば、酢と重曹を混ぜるという簡単な実験においても、酢と重曹の量や、酢に重曹を入れるのか、あるいは重曹に酢を加えるのかという順番などは参加者が考えなければならず、自ら探究活動に取り組むための準備練習となっている。データロガーを起動させて実験を行った後、データをコンピュータにアップロードしてグラフ化を行う。参加者はグラフを見ながら、説明を考え、さらにその説明を科学的な知識に結び付けていくわけである。参加者は時間の許す限り、何度でも実験を繰り返すことができるようにした。

3番目の応用の場面では、参加者はセンサーを使う独自の実験を考え出し、実験してみる活動に従事した。各自が自宅で試すことができるような実験を考えて実施し、その経験を基に授業案の構想を練った。US 1の研修プログラムでは、1人ひとり授業案の発表まで行うことができた。US 2とJPのプログラムは1日だけであったので、授業案を作るところまでは進めることができなかったが、場面2の活動の後に、探究活動を学級で実践する場合を想定してディスカッションを行った。

#### 4.4 データ収集と分析

研究者2人がデータ収集にあたった。研究者は講

習会の指導者でもあった。US 1の講習会ではカメラを設定しておくだけの状態で、ビデオを収録した。JPとUS 2の講習会では、研究者でない者がビデオ操作をした。フィールドノートは研究者の1人によって、ビデオを参照しながら、それぞれの講習会後に作成された。探究活動に関連する参加者の会話は、ビデオから起こされフィールドノートに加えられた。参加者が探究活動中に書いたものは研究者によって集められた。US 1の講習会では、その日の振り返りを日ごとに記入してもらい、指導案と一緒にデータとして集めた。US 1とJPの講習会では、会の始めと最後に質問紙調査を実施して、事前・事後のデータ集めを行った。US 2の講習会では会の後にのみ質問紙調査を行った。探究活動で作成された実験データとそのグラフは、インターネットのサイト上に保存され、講習会の後で回収された。そのサイトはデータロガーを用いたデータ収集活動を円滑に行うために、研究者によって立ち上げられたものである。

これらの様々なデータは、講習会において、参加者、指導者、および内容の3者がどのように相互作用したかをつなげることを可能にする。フィールドノート、参加者の振り返り、そして質問紙調査の自由記述は、質的研究に用いるソフトウェアを使ってコード化され、分析された。分析方法としては、データに現れた行動や題材を並べ挙げ、コード化する指標として用いた。1つの形態のデータのコード化を一通り終え、コード化に矛盾がないかどうかについて再度検討を加え、必要とあれば指標を分離したり統合したりした。この分析作業は繰り返行われ、すべての形態のデータのコード化が矛盾なくできるまで続けられた。データ中に指標が表れる頻度について分析がなされた。質問紙調査の結果は統計的に分析された。

## 5. 結果

それぞれの講習会において観察された指標とその回数(頻度)を表1に示す。表に示されたように、結果的に3つの講習会のデータから17の指標が抽出された。それぞれの講習会の指標別回数と頻度のパターンは、講習会における形態、参加者、または内容の相違を反映している。例えば他の講習会に比べてUS 1の指標の回数が全体的に多いのは(総計211回)、3日間の講習会であったことによる。また、US 1の講習会では3日間の講習を通して、参加者

が自分自身で考えたり（17.5%）、実験方法をデザインしたり（10.4%）することに多くの時間をかけることができた。また、JPの講習会の参加者の多くはICT機器に詳しい教員だったので、データロガーの使用に関して指導者から支援を受ける必要がほとんどなかった。JPの講習会で「センサー」の項目の頻度が高いのは、参加者がデータロガーラボの活動の中でも、3種類のセンサーを比較して実験することに興味を示したためである。対照的に、US2の講習会では、カップの中で重曹と酢を混ぜる活動に焦点が当てられ、4人の参加者全員が同じ実験に取り組んだことで、他の講習会の場合より、変数や結果について話し合うことに多くの時間を使った。

このように3つの講習会には様々な相違があるが、参加教員が探究的に学習していく過程には共通した特徴が見られた。本研究では明らかになった特徴を3つの主張として述べることにする。以下では、主張を1つずつ提示した後、エピソードやデータからの引用を挙げ、その主張を具体的に裏付ける。

**主張1：支援的探究活動の枠内で参加者が自主的に探索すること、指導者の支援、データロガーの使用、および参加者同士の話し合いという4つの異なる要素が関連し合い、参加者の意欲を高め、探究活動を深める働きをした。**

この主張は参加者が講習会で探究活動に従事する際に、効果的に働いた要素を要約したものである。表1に示されたように、総計において、「参加者自身の考え」は2番目、「指導者の支援」は3番目と5番目に高い頻度で挙げられている。また、「グラフ」は4番目、「話し合い」は9番目である。これらの結果から、要素一つ一つが重要な役割を果たしたと言える。さらに、要素同士の関連が、講習会に探究する雰囲気をもたらしたと考えられる。この点について以下で説明を加える。

前にも触れたように、本研究で実践された研修プログラムでは参加者の自主性を尊重する方針を採り、活動するに当たって細かい指示は与えられなかった。当然、参加者は提示された課題を遂行するために、自分でステップを考えなければならない。

表1 それぞれの講習会において観察された指標とその回数（頻度）

指標	データ中に現れた回数（カッコ内は%）			
	3つの講習会の 総計	US1 (N=6)	JW (N=18)	US2 (N=4)
1. 指導の手立て	43 (12.8)	24 (11.4)	13 (17.3)	6 (12.2)
2. 参加者自身の考え	42 (12.5)	37 (17.5)	1 (1.3)	4 (8.2)
3. 探究活動に関する指導者の支援	31 (9.3)	14 (6.6)	11 (14.7)	6 (12.2)
4. グラフ	29 (8.7)	17 (8.1)	5 (6.7)	7 (14.3)
5. ICT機器の使用に関する指導者の支援	26 (7.8)	19 (9.0)	1 (1.3)	6 (12.2)
6. 実験方法のデザイン	26 (7.8)	22 (10.4)	2 (2.7)	2 (4.1)
7. 実験結果の説明	23 (6.9)	14 (6.6)	7 (9.3)	2 (4.1)
8. 動機付け	20 (6.0)	12 (5.7)	7 (9.3)	1 (2.0)
9. 話し合い	19 (5.7)	11 (5.2)	3 (4.0)	5 (10.2)
10. センサー	18 (5.4)	8 (3.8)	9 (12.0)	1 (2.0)
11. 安心感	17 (5.1)	14 (6.6)	0 (0.0)	3 (6.1)
12. 感覚的な経験との繋がり	11 (3.3)	5 (2.4)	6 (8.0)	0 (0.0)
13. ICT機器の問題点	8 (2.4)	5 (2.4)	3 (4.0)	0 (0.0)
14. ICT機器の有効性	8 (2.4)	2 (0.9)	5 (6.7)	1 (2.0)
15. 躊躇	7 (2.1)	3 (1.4)	0 (0.0)	4 (8.2)
16. 仮説または予想	5 (1.5)	2 (0.9)	2 (2.7)	1 (2.0)
17. 新しい視点	2 (0.6)	2 (0.9)	0 (0.0)	0 (0.0)
総数	335	211	75	49

与えられたセンサーがどんな物理量を測定しているのかを探る1番目の活動にしても、どのように探るかは参加者の判断に委ねられている。JP講習会のフィールドノートから引用した次の記述は、参加者の日本の教員が、どのように赤外線センサーと取り組んだかを表している。

1人の参加者が赤外線センサーを調べ始めた。

まず、センサーを上向きにしたり、下向きにしたりしたが、あまり違いは生じなかった。次にセンサーをテーブルの下に持っていった。表示板の数値は上がったたり下がったりした。パターンを見つけない。すると、隣の席の参加者が、センサーを缶の中に入れてみることを勧めた。缶に入れてみると、数値は小さくなった。(JP講習会フィールドノートより)

上のエピソードが示すように、何かわからないことがあって探っているとき、参加者同士の話し合いが自然に起こる。話し合いを通して、参加者は新しい考えを組み立て、それに基づく仮説を試してみることがよくある。実験方法の弱点に気づくこともある。次に挙げる例はUS2の講習会で観察されたことである。4人の参加者それぞれが異なる量の重曹と酢を用いて、温度を測定する実験を行った。重曹の入ったカップに注ぐ酢の入れ方についても、1回に全部入れてしまうのか、何回かに分けて入れるのかといったように異なる方法をとった。スクリーン上の1つの座標に4本の折れ線グラフが現れたとき、参加者は初めて4人の実験方法が異なっていたことに気づいた。

参加者A：「重曹が多い方がいいのかしら、それとも酢が多い方がいいのかしら。」

指導者1：「この4つのグラフからそれを判断できますか。」

参加者A：「わからないわ。データがたくさんあって、ごちゃごちゃしているんですもの。」

指導者1：「考えなければならぬ条件がもっとありますか。」

参加者A：「そう、あるわ。」

参加者B：「みんな同じ量の重曹から始めて、酢の量だけを変えるべきだったのよ。」

参加者C：「その通り。」

参加者B：「あるいは、同じ量の酢を使って、重曹の量を変えてもいいわ。私たち、それぞれ重

曹の量も酢の量もてんでばらばらだったから、グラフに表しても比較するのが難しくなっちゃったのよ。」

参加者A：「何回も酢を加えたりもしたから、グラフがさらに悲鳴を上げたって訳ね。」

指導者1：「1回目の実験はお試しと考えてもいいでしょう。どんな条件を考慮する必要があるのかを見分けるのです。」

指導者2：「全く同感。実験方法を考えるのは、なかなか大変なことですね。」(US2フィールドノートより)

この会話の後、US2の参加者は、重曹の量を一定にし、酢の量だけを変えて再実験を行った。このエピソードは知識の協同構築の1例である。参加者は指導者の支援の下で、意味のある説明を集団で考え出すことができた。話し合うことの利点に関して、US1の受講者が次のようにまとめている。「話し合いはアイデアを思いつくとともに大事だし、結果の意味を考えると、そしてデータロガーを1つの道具として使うときにも重要だ。」(質問紙の自由記述回答より)

「指導者の支援」には、2つの場合があることに注意しておきたい。指導者は探究活動を支援すると同時に、データロガーの使用というICT活用に関する支援も担う。ICT機器の使用に関して、指導者がタイミングよく助けることができれば、参加者はコンピュータを用いた活動を困難なく遂行することができる。そうすると、データロガーの使用に関して不安感を持っていた参加者も、安心して参加できるようになる。探究活動を行うことに対する不安感も、参加者によって様々である。例えば、US1の受講生の1人は、当初、講習会のペースが早すぎることに不安を感じていた。だが、随所で参加者の活動を助ける働きかけがなされたことから、参加者の不安は次第に薄らぎ、1日目の終わりには「既成の実験を試してみることを楽しみました。その理由は、私が活動の要素をまだ完全によくわかっていなかったからです。支援してもらえてよかったと思います。」(US1講習会1日目の振り返りより)

安心感に関連する例は、US1の講習会で特に多く見られた(表1の「安心感」の項目において、US1では14例)。

指導者が探究的活動に関して参加者に提供する支援は、探究に適した課題を与えるだけではなく、話し合いが暗礁に乗り上げたとき、指導者は発問によって参加者に働きかけ、科学的に意味ある方

向に向えるように後押しをする役割を果たした。指導者が知識の協同構築者として話し合いに加わり、参加者と指導者が一緒に説明を考え出すこともあった。実験方法を考え出す際にも、指導者の支援を多く必要とした。というのも、探究活動を遂行するために実験方法をデザインするには、その活動のねらいとなる科学的な概念について、ある程度の知識を持っている必要があり、科学的概念をまったく知らない状態では、科学的に意味のある活動を考え出すことが難しいからである。例えば、光センサーを使って振り子の往復時間を計ろうとした参加者は、振り子の周期が一定しないという問題に遭遇したが、これはおもしろが軽すぎることの原因があった。指導者からの適切な支援は、独創性を持った探究活動を行う上で、不可欠な要素であった。

探究活動においてデータロガーを使用することの有効性は、本研究の研修プログラムで屋台骨の役割を果たした。データロガーを使うことにより、従来の器具では測定できないようなデータの収集が可能になった。次のUS 2の講習会における会話は、参加者が話し合いを通してデータロガーの有効性を認識していく過程を表している。

参加者A：「普通の温度計とストップウォッチを使って同じ実験ができるかしら。」

参加者B：「そうしたら、生徒が自分でグラフをかかないといけないわよ。」

指導者1：「手で1秒ごとに温度を測るのはちょっと大変ですよ。」

参加者C：「5秒おきではどうかしら。」

参加者B：「でも、化学反応は瞬時に進むわ。」

(全員、うなずく。)

指導者2：「いずれにしても、子どもはグラフを見るのが好きですよ。」

参加者A：「それは、はっきりしているわ。」

(US 2講習会フィールドノートより)

この会話で触れられたように、測定の時間間隔に関する有効性の他に、データを即座にグラフ化できることがデータロガー使用の大きな利点である。グラフ化によって、学習者は実験の結果をすぐに視覚化できる。視覚に訴えることは、学習者の探究的活動に対する意欲を高めることができると考えられる。さらに、グラフによって、参加者が現象の意味を理解する助けとなる例が多く観察された。ここで第2の主張を提示する。

主張2：参加者の自分の感覚と、グラフで表現されたデータを繋げることにより、現象の新しい理解が生み出されることがある。

次のエピソードはJP講習会の参加者が、自分の集めたデータが即座にグラフ化されたのを見て驚いた様子を表している。

参加者：「これはすごい。これはおもしろい。おお。」

指導者：「グラフの意味を説明していただけますか。」

参加者：「ここが屋内で、ここから外に出たとかですか。」

指導者：「はい、グラフはどのようなことを意味するか、ご説明願えますか。」

参加者：「はい、説明ですね。説明できます。」

指導者：「ここは温度が一定ですが、光が変化しています。何が起こったのでしょうか。」

参加者：「日かげに入ったに違いない。」(JP講習会フィールドノートより)

図3にこのエピソードで話されたグラフを示す。グラフを用いることにより、参加者は「日かげに入った」というデータの解釈を容易に導き出すことができた。そのとき、参加者は自分の経験とグラフを繋げることができ、強い興味を示した。他の講習会でも、感覚とグラフを結びつけて現象の意味を解釈する例が見られた(表1の「感覚的な経験との繋がり」11例)。探究活動の過程において、感覚とグラフを結びつける重要性は、先行研究では指摘されなかった点である。

JP講習会に参加した日本の理科・技術科の教員にとって、センサーを身の回りの現象を捉えることに使うというのは新しいことであった。参加者の1

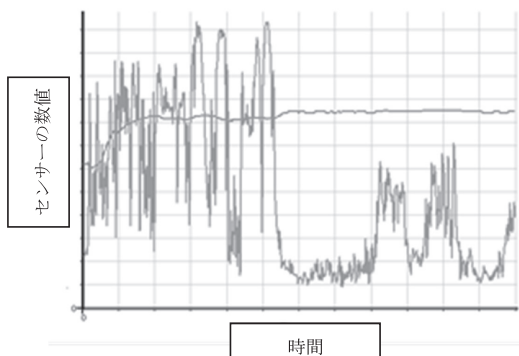


図3 参加者が作成した温度と光データのグラフ



人は質問紙調査に次のように書いている。「身の回りの現象のデータをグラフ化したり、数値に表したりすることによって、もっと深く認識できたのはおもしろかった。(質問紙調査の回答)」同じような回答をした参加者が、他に2人いた。1人はさらに「データロガーは我々が感覚や知覚で捉えられないようなデータを提供する。データロガーによる測定と人間の感覚の違いを認識した。現実のデータは連続的でアナログだということにも気づいた。(質問紙調査の回答)」と述べている。これらの参加者は、感覚的な経験を抽象的なデータに変換し、その2つを比較することによって、科学的な測定についての本質に関して新たな視点を得たものと考えられる。

さらに、参加者の感覚的な経験とグラフ表現との結びつきが重要な役割を果たし、参加者に自然現象についての新しい理解をもたらした例がUS 1 講習会で複数見られた。その1つは、参加者がミント味の飴を割ったときに見られる発光を、データロガーを用いて調べようとしたときに起きた。参加者1と参加者2は、データロガーと飴を箱に入れ、飴を外からたたいたときに、発光が観測されるかどうかを調べた。設定条件を変え、実験を3回行ったが、センサーが発光を捉えたことを表すシグナルはグラフから検出されなかった。この時、2名の参加者が何をしたら、フィールドノートの記述から見てみよう。

2人は真っ暗な収納庫に入り、飴を割ったときに発光が見られるかどうかを自分の目で確かめながら実験を行った。その結果、目では発光が見られたが、データロガーでは発光の痕跡は見つけ出せなかった。参加者2は飴が割れるときの発光について、すぐさまインターネットで情報を検索し始めた。(US 1 講習会フィールドノート2日目)

このエピソードから、参加者自らの感覚が果たす役割が大きいがわかる。収納庫で実験をするまで、参加者は、実験方法に不備があって発光が検出できないと思っていた。自分の目による観察結果から、センサーの性能そのものに問題があることを突き止めた。それを発見した興奮は、参加者2が即座にコンピュータに向かい、インターネットで発光に関する情報を検索した行動に現れている。参加者2は自分の発見を、「飴の実験で、データロガーの性能を試す機会が得られたと同時に、自分の感覚を通してのデータとデータロガーを使って得られたデー

タを比較することができた。(US 1 講習会2日目の振り返り)」と記述している。参加者1も自身の経験を振り返って、次のように書いている。

飴の実験は大変おもしろいものでした。光センサーが暗闇で働くように実験方法をデザインし、可能性を網羅して考えるのは楽しいことでした。発光を検出することはできませんでしたが、突き詰めて考えること自体が教育的でした。(US 1 講習会2日目の振り返り)

これらの記述から、参加者は活動を通して、現象について新たな視点で理解しただけでなく、科学的探究活動の本質についても「突き詰めて考える」という新しい学びがあったことがわかる。

自らの感覚による経験とグラフ表現の結びつきが重要な役割を果たした例を、US 1 講習会からもう1つ挙げる。参加者3と参加者4はペットボトルの中に霧を発生させたとき、温度がどのように変化するかを実験した。実験ではボトルに消毒用アルコールを少量入れ、ゴム栓でふたをし、空気ポンプを使ってゴム栓の穴から空気を入れる。ゴム栓を急にはずすと、ボトル内に霧が発生するというものである。フィールドノートから引用した次の記述は、参加者がどのようなこの探究活動を行ったかを表している。

グラフは、空気を入れている間、温度が上がり、ゴム栓をはずしたときに下がったことを示していた。指導者が霧がなぜできるかを説明してくださいと言った。参加者2名は圧力が変化するとき、温度がどのように変化するかは理解していた。しかし、ボトルの中で霧が発生することと、温度が下がることの繋がりをつけることができなかった。指導者は繋がりをつけることを助けるために、いくつかの質問をした。参加者3が、霧は液体の粒からできていることに気づいた。ここから、圧力が急に変化したとき、なぜボトル内で霧ができるかを論理的にステップを踏みながら理解し始めた(ボトル内の圧力が急に下がる→温度が急に下がる→気体が液化する→霧ができる)。なぜ水ではなくて、アルコールを用いたかが疑問に挙がった。水を用いて同様の実験をした。霧は発生しなかったが、グラフはアルコールの場合と同じパターンの温度変化を示した。参加者はインターネットで情報を検索し始めた。参加者4がプ

ロパノールの沸点は水よりも低いことを見つけた。(US 1 講習会 2 日目フィールドノート)

このエピソードにおいて、水で実験を行うまで、参加者は温度が下がるとなぜ霧ができるのかを、十分に理解できていなかったと思われる。例えば、温度が高い風呂場で湯気が見えることなどから、温度変化と温度の高低を混同し、温度が下がることによって霧が発生するということが感覚的につかめなかったのかもしれない。水の実験によって、霧は発生しなかったが、同じ温度変化が見られたことから、霧の発生と温度変化を切り離して考えることができるようになったと考えられる。温度変化が同じなので、霧の発生の有無が異なるのは、水とアルコールの性質の違いに起因することになる。このエピソードにおいても、参加者は自分たちの頭の中にできつつある説明を裏付けるために、科学的情報を集めようとした。このことは特筆に価する。参加者にとって情報を確かめることは、科学的探究の目標として、ごく自然の行動だったと考えられる。何を知りたいかがはっきりした時点で、参加者は情報収集に走ったのである。

主張3：探究に関する参加者自身のポジティブな経験と、教室で実践したいと思う指導の手立ての間には強い繋がりがある。

表1に示されたように、「指導の手立て」は3つの講習会すべてにおいて頻繁に取り上げられた。講習会の冒頭から、参加教員は、自分たちが講習会で学ぶことをどのように実践に活かせばよいのかを気にしていた。次の引用は、参加者が教師の視点に立って、自らの探究活動の過程を捉えていたことを表している。

始めにデータロガーとはどのようなものかを探り、次に自分たちの生のデータを集め、そして理科実験らしい活動にデータロガーを使うというように、活動が段階を追っていてよかった。私がデータロガーをどのように使えばよいのかを生徒に説明するとき、どうすればよいかがよくわかった。段階を追ったアプローチは、理解を積み上げるのに効果的だ。(US 1 講習会 1 日目の振り返り)

JP講習会に参加した多くの日本の教員も、データロガーと子どもの学びとの関連についてのコメントを質問紙に記入した。4人がデータロガーの使用は子どもの理科学習の動機付けになると書いた。こ

れらの例から、講習会に参加した教員の多くは、自分で探究活動をしている間でも、子どもに教えることとの繋がりを意識していたことがわかる。

US 1 講習会の参加者は、最後の活動として、自分が講習会で経験した探究活動を用いた授業案について発表を行った。それぞれの参加者が、異なるところに焦点を当てていたが、参加者2はミント味の飴を割る実験を生徒に教える授業案について述べた。参加者2はこの授業を「迷信を切る」と名づけ、不思議と思われていること(石を割ると光る)が、実は科学的に正しく説明できることであることを理解する授業として設定した。参加者5と参加者6も、自分たちの探究活動の経験を用いて、文脈に沿った授業案を組み立てた。2人の参加者は振り子の糸の長さとおもりの重さが、振り子の周期とどのように関係するかを生徒に調べさせるため、自分たちの探究活動に沿った形で授業を考えた。2人はこの授業に「ターザンとジェーンを早く家に戻すには？」というタイトルをつけ、文脈の中に問題を設定した。参加者5はこの構想について、次のように書いている。「振り子の実験をしました。変える条件をテストしたり、誤差を小さくする実験方法を考えるのは、とても楽しいことでした。この実験を、現実の中の問題に移して考えたいと思いました。(US 1 講習会 2 日目振り返り)」自分のポジティブな経験が授業案を考えるアイデアに繋がったことがわかる。

対照的に、ペットボトルで霧を発生させる実験は、参加者3と参加者4の授業案に結びつかなかった。2人とも、授業案のトピックには、講習会の中で取り組んだ他の実験を用いた。たぶん、霧の実験に含まれていた変数や論理のつながりは複雑すぎて、授業案として教室で実践することを躊躇したのであろう。

表2に3回の講習会で得られた質問紙調査の結果をまとめて示す。探究的指導法を実践することに関して、参加者がどれほど実現できると思うかの度合いを5から1までの段階で答えた(5=非常にそう思う, 4=そう思う, 3=どちらでもない, 2=そう思わない, 1=全くそう思わない)。表2には事前・事後調査の平均と標準偏差をそれぞれ示す。サンプル数(N=17)は、3つの講習会で事前・事後の両方の調査に協力した参加者数を表す。

表2からわかるように、研修プログラムを受けた後の方が、受ける前よりも探究的指導法を実現できると思う度合いが高まった。その変化は統計的に有

表2 探究的指導法が実現できると思う度合い

	事前調査 (N=17)	事後調査 (N=17)	統計的 有意差
平均	4.29	4.76	0.266
標準偏差	0.59	0.44	

意な差ではなかった ( $p > 0.05$ ) が、今まで述べてきたように、質的な分析結果からも、参加者の探究に対する意識は、講習会が進展するにつれ深まったと考えられる。この場合、サンプル数が少ないので、統計的な扱いには十分注意を払う必要がある。本研究で用いられた研修プログラムが効果的であったかどうかの統計的な判断は、得ることができなかったと考えるのが妥当である。

## 6. ディスカッション

本研究では、データロガーを用いた教員研修プログラムが、探究的指導法に関する参加者の意識にどのように効果を与えるかを日米で調査した。研修プログラムは支援的探究活動を基本とし、学習者の自主性、指導者の支援、そして授業案を組み立てる過程での話し合いを重要な要素として取り入れた。研修プログラムが目標としたのは、参加者が独自の科学的探究活動について学ぶことであり、その活動を通して探究的指導法について指導の手立てを考え出すことであった。結果から明らかになったのは、研修プログラムに含まれたそれぞれの要素がポジティブに作用し、参加者の探究活動を助ける相乗効果を発揮したということである。探究活動の経験は、科学的探究とは一体どのようなものなのかということに関して、参加者に新しい見方や理解を提供した。さらに、新しい見方や理解は、教室で探究的指導法を実践するにあたり、指導の手立てを考えることを促した。図3に本研究で用いられ、明らかになった研修プログラムの概念モデルを示す。

日米で3回の講習会を開催することにより、データロガーを用いた教員研修プログラムがもたらすものには、文化の違いを越えた特徴があることが明らかになった。図3に示されたように、研修プログラムに含まれる要素は、互いに関連している。1つの要素が単独で作用するのではなく、繋がりをもって作用して、学習者の探究活動を支援する。例えば、重曹と酢を混ぜる実験では、参加者は、重曹と酢の分量を議論しなければならなかった。それぞれが異なる分量で実験したところ、結果に違いが生じ、それがコンピュータで処理され、グラフ上の違いとし

て視覚化された。活発な話し合いが展開し、探究を促すような雰囲気創られたのである。指導者の助言により、参加者は話し合いを通して、変える条件と変えない条件の重要性にも気づくことができた。本研究では、支援的探究活動、学習者の自主性、指導者の支援、そしてデータロガーの使用という4つの要素が結びついて、参加者に充実した探究活動を経験する機会を提供できたと考えられる。

自分の感覚による経験と、データロガーで集めたデータが一致したときに、参加者のより深い納得が得られるということが明らかになったが、これは興味深い知見である。データロガーを用いて表現される数値やグラフは抽象的である。本研究では、抽象的なデータの意味は、感覚的な情報と関連付けられたときにより理解されやすいという事例をたくさん見出したのである。しかし、データの抽象性と感覚の関連という問題は、データロガーを使ったときに限られた話ではない。おそらく電子機器を使った場合の方が、関連が明白になるだろうが、普通の温度計とストップウォッチを使って温度変化を測定したとしても、数値とグラフ化に関する抽象性は変わらない。したがって、この知見は従来の機器を使用する場合にも当てはまる。温度計で数値を測るだけでなく、可能ならば実際に触ってみて、熱いとか冷たいとか、感覚的な観察も含め、数値やグラフと結びつけた方が、学習者の現象理解を促せると言えるだろう。

研修プログラムの最終目標は、参加した教員に探究的指導法を実践してもらうことである。指導の手立てに関する話し合いは、参加者にポジティブに受け止められた。参加教員は互いに話し合うという活動を通して、自らの探究活動の経験を外在化し、教えるという形に変換することを容易にしたものと考えられる。自然現象の探究において、探究の本質に関して新しい視点や理解が得られたとき、参加者は文脈を含めた独創的な授業案を考えるなど、より積極的に指導の手立てを考えることがわかった。しかし、特定の探究活動を指導内容に含むかどうかは、参加者がその活動に関してどれだけ深い理解を得たかということに依存し、それには動機、過程、科学的概念という3つの要素が関連する。つまり、特定の探究活動に教員自身が興味を持ち、使うことに不安がなければ含めようと思う(動機)。また、自分たちが経験したように活動を展開すれば、やり方がわかっているので取り入れやすい(過程)。さらに、活動に含まれる科学的概念を理解していれば、取り

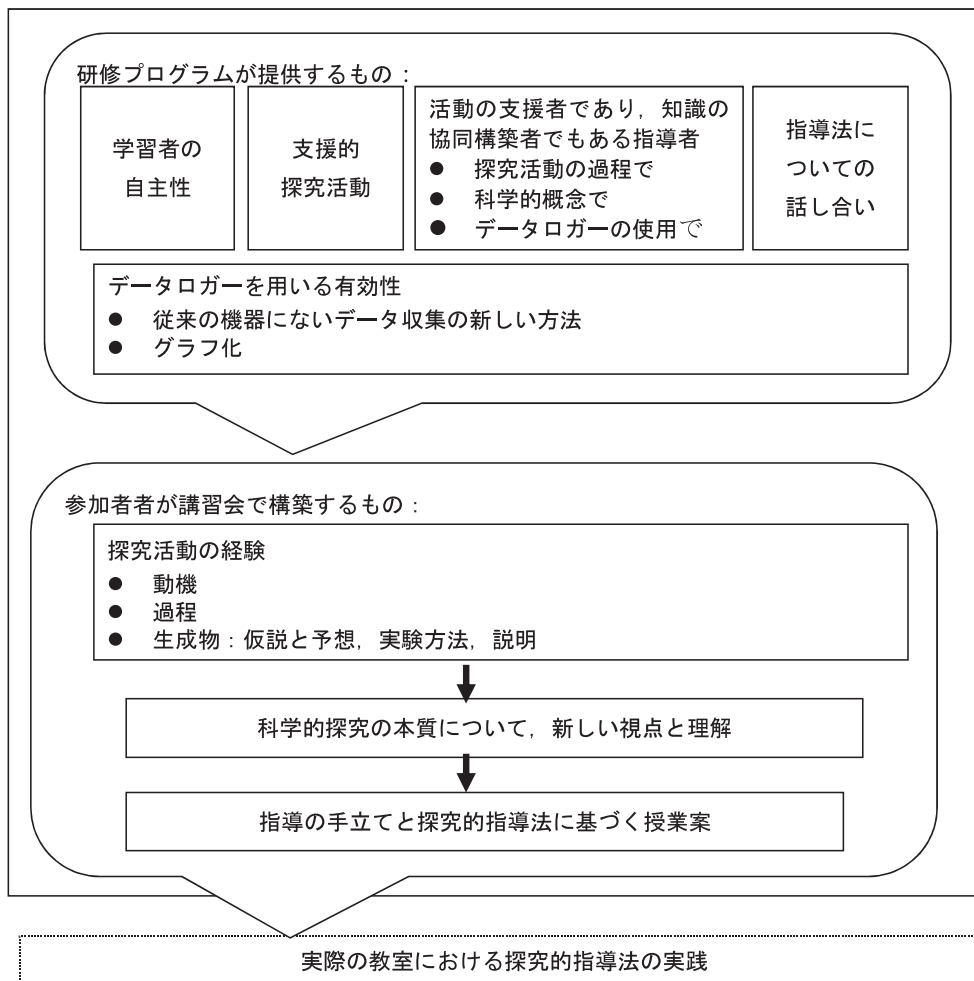


図4 本研究で用いられた教員研修プログラムのロジックモデル

入れようと思う（科学的概念）。したがって、探究的指導法の実践を広めるためには、教員研修プログラムにおいて、3つすべての視点に関して、参加者が安心できるような状況を作り出すことが重要となる。本研究で用いられた研修プログラム自体も、この知見を考慮して改善策を検討する必要があるだろう。

## 7. おわりに

本研究ではデータロガーを用いた研修プログラムが、日米の教員に与える効果を明らかにした。データロガーのようなICT機器の使用は、単に従来の機器に置き換わって便利になるというだけではない。探究活動の本質に関して、新たな視点や深い理解が

得られるということが、本研究で明らかになった。日本ではICT機器の使用が、「便利なもの」という理解が根強いようである。本稿がそのような風潮に一石を投じ、データロガーを用いて探究的指導法を広める助けになれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 文部科学省 (2008) 「学力向上ICT活用指導ハンドブック」
- 2) 文部科学省 (2008) 「小学校学習指導要領」, 「中学校学習指導要領」
- 3) 石井恭子 (2011) 「理科における探究的な授業を実現するにはどうしたらよいのか?」 福井大学教師教育研究, Vol.14, pp. 243-257
- 4) National Research Council. (1996). *National*



- science education standards*. Washington, DC: National Academic Press.
- 5) Anderson, R. D. (2002). Reforming science teaching: What research says about inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, 13(1), 1-12.
  - 6) Krajcik, J., Blumenfeld, P., Marx, R., & Soloway, E. (2000). Instructional, curricular, and technological supports for inquiry in science classrooms. In J. Minstrell & E. H. van Zee (Eds.), *Inquiring into inquiry learning and teaching in science* (pp. 283-315). Washington, DC: American Association for the Advancement of Science.
  - 7) Shymansky, J. A., Kyle, W. C. Jr., & Alport, J. M. (1983). The effects of new science curricula on student performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(5), 387-404.
  - 8) Von Secker, C. (2002). Effects of inquiry-based teacher practices on science excellence and equity. *The Journal of Educational Research*, 95(3), 151-160.
  - 9) Bybee, R. (2000). Teaching science as inquiry. In J. Minstrell & E. H. van Zee (Eds.), *Inquiring into inquiry learning and teaching in science* (pp. 21-46). Washington, DC: American Association for the Advancement of Science.
  - 10) Lotter, C. (2004). Preservice science teachers' concerns through classroom observations and student teaching: Special focus on inquiry teaching. *Science Educator*, 13(1), 29-38.
  - 11) Reiff, R. (2002, January). *If inquiry is so great, why isn't everyone doing it?* Paper presented at the Annual International Conference of the Association for the Education of Teachers in Science, Charlotte, NC.
  - 12) Simmons, P. E., Emory, A., Carter, T., Coker, T., Finnegan, B., Crockett, D., et al. (1999). Beginning teachers: Beliefs and classroom actions. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(8), 930-954.
  - 13) National Center for Education Statistics. (2006). *Teaching science in five countries: Results from the TIMSS 1999 video study* (NCES Publication No. 2006-011). Washington, DC: U. S. Government Printing Office.
  - 14) McDermott, L. C. & DeWater, L. S. (2000). The need for special science courses for teachers: Two perspectives. In J. Minstrell & E. H. van Zee (Eds.), *Inquiring into inquiry learning and teaching in science* (pp. 241-257). Washington, DC: American Association for the Advancement of Science.
  - 15) Crawford, B. A., Zembal-Saul, C., Munford, D., & Friedrichsen, P. (2004). Confronting prospective teachers' ideas of evolution and scientific inquiry using technology and inquiry-based tasks. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(6), 613-637.
  - 16) National Research Council. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academic Press.
  - 17) Friedrichsen, P. M., Dana, T. M., Zembal-Saul, C., Munford, D., & Tsur, C. (2001). Learning to teach with technology model: Implementation in secondary science teacher education. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 20(4), 377-394.
  - 18) Concord Consortium. (2009). *Probeware: Developing new tools for data collection and analysis*. Retrieved on May 27, 2009 from <http://www.concord.org/work/themes/probeware.html>
  - 19) Nakhleh, M. B. (1994). A review of microcomputer-based labs: How have they affected science learning? *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 13(4), 368-381.
  - 20) Krajcik, J. S., & Starr, M. (2001). Learning science content in a project-based environment. In R. F. Tinker & J. S. Krajcik (Eds.), *Portable technologies: Science learning in context* (103-119). Netherlands: Kluwer.
  - 21) Metcalf, S. J., & Tinker, R. F. (2004). Probeware and handhelds in elementary and middle school science. *Journal of Science Education and Teaching*, 13(1), 43-49.
  - 22) Nicolaou, C. T., Nicolaidou, I. A., Zacharia, Z. C., & Constantinou, C. P. (2007). Enhancing fourth graders' ability to interpret graphical representations through the use of microcomputer-based labs implemented within an inquiry-based activity sequence. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 26(1), 75-99.

- 23) Novak, A. M. & Krajick, J. S. (2004). Using technology to support inquiry in middle school science. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds), *Scientific inquiry and nature of science: implications for teaching, learning, and teacher education*, pp. 1-14. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic.
  - 24) Russell, D. W., Lucas, K. B., & McRobbie, C. J. (2004). Role of the microcomputer-based laboratory display in supporting the construction of new understandings in thermal physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 41 (2), 165-185.
  - 25) Gado, I., Ferguson, R., & van 't Hooft, M. (2006). Using handheld-computers and probeware in a science methods course: Preservice teachers' attitudes and self-efficacy. *Journal of Technology and Teacher Education*, 14 (3), 501-529.
  - 26) Lyublinskaya, I. & Zhou, G. (2008). Integrating graphing calculators and probeware into science methods courses: Impacts on preservice elementary teachers' confidence and perspectives on technology for learning and teaching. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 27 (2), 163-182.
  - 27) Espinoza, F. (2007). The use of graphical analysis with microcomputer-based laboratories to implement inquiry as the primary mode of learning science. *Journal of Educational Technology Systems*, 36 (3), 315-335.
  - 28) Martin, F. G. & Greenwood, A. (2007, January). *Developing teachers' understanding of the nature of scientific inquiry with embedded data collection materials*. Paper presented in the annual meeting of the Association for Science Teacher Education, Clearwater, FL.
  - 29) von Glasersfeld, E. (1995). *Radical constructivism: A way of knowing and learning*. New York: RoutledgeFalmer.
  - 30) Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
  - 31) Papert, S. (1991). In S. Papert & I. Harel (Eds), *Constructionism*. New York: Ablex.
  - 32) Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23 (7), 5-12.
  - 33) Martin-Hansen, L. (2002). Defining inquiry. *The Science Teacher*, 69 (2), 34-37.
  - 34) Crawford, B. A. (1999). Is it realistic to expect a preservice teacher to create an inquiry-based classroom? *Journal of Science Teacher Education*, 10 (3), 175-194.
  - 35) Atkins, J.M. & R. Karplus. (1962). Discovery or invention? *The Science Teacher*, 29 (5), 45-51.
  - 36) Lawson, A. E., Abraham, M. R., & Renner, J. W. (1989). *A Theory of Instruction: Using the Learning Cycle to Teach Science Concepts and Thinking Skills*. Manhattan, KS: National Association for Research in Science Teaching.
- 付記) 本稿はTosa, S. & Martin, F. G. (2010). Impact of a professional development program using data-loggers on science teachers' attitudes towards inquiry-based teaching. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 29 (3), 303-325を日本の読者のために全面的に書き直したものである。