

中学校 理科

「力と圧力」の学習を通して、科学的な思考力を育てるための
指導法の研究

—4QS を利用したワークシートの活用—

義務教育課 研究員 岩見 浩平

要 旨

本研究は、「力と圧力」の学習を通して、科学的な思考力を育てるため、4QS を利用したワークシートの活用について研究したものである。探究的な学習活動を取り入れた授業構成の工夫、4QS の考え方を取り入れた指導の工夫、プロセス・スキルを利用した評価の工夫をすることで、生徒は自ら設定した仮説から実験を計画し、その実験結果から考察ができるようになり、科学的な思考力を育てることに有効であった。

キーワード：中学校 理科 科学的な思考力 力と圧力 4QS ワークシート

I 主題設定の理由

IEA 国際数学・理科動向調査2007で、日本の中学校2年生の理科の順位は、参加国中第3位に位置し、同じくOECD生徒の学習到達度調査（以下、「PISA」とする）2009でも第5位と、国際的に見ても上位に位置する。しかしながら、日本は論述形式の設問において、他の上位国と比べ無答率が高い傾向にあり、PISA2006から平均点の上昇は見られたものの、統計的な有意差はなく、科学的な思考力に課題があると報告されている。

上記の諸調査の結果を受けて、中学校学習指導要領解説理科編（文部科学省、2008 以下、「学習指導要領解説」とする）の理科改訂の要点の（1）改訂に当たっての基本的な考え方には、「科学的な思考力、表現力の育成を図ること」が挙げられ、「自然の事物・現象に進んでかかわり、その中に問題を見だし、目的意識をもって観察、実験を主体的に行い、課題を解決するなど、科学的に探究する学習活動を一層重視して改善を図る」と示されている。このため、学習指導要領解説に沿った、生徒が主体的に観察・実験に取り組み、課題解決を図るような学習活動を工夫していかなければならないと考える。

また、本県の学習状況調査の結果から、「身近な物理現象」の学習の定着が課題に挙げられている。平成19年度からの過去4年間の調査結果において、各分野・項目の中で唯一「身近な物理現象」だけが設定通過率を上回らず、特に「力と圧力」の学習の定着は十分とはいえない状況にある。

本研究では、今回の学習指導要領の改訂の要点である、「科学的な思考力、表現力の育成を図ること」を踏まえ、本県の学習状況調査において学習の定着が不十分な「力と圧力」の学習を取り上げ、科学的な思考力を育成するためには、段階的な思考の方法を指導することが有効ではないかと考え、本主題を設定した。

II 研究目標

「力と圧力」の学習を通して、科学的な思考力を育てるためには、4QS を利用したワークシートを活用することが有効であることを実践を通して明らかにする。

III 研究仮説

「力と圧力」の学習を通して、科学的な思考力を育てるためには、4QS を利用したワークシートを活用することが有効であろう。

IV 研究の実際とその考察

1 研究における基本的な考え方

本研究における科学的な思考力を定義するため、まず先行研究における科学的な思考力の捉え方を整理した。先行研究において科学的な思考力は、「問題解決過程に即した捉え」と「科学的思考力の要素による捉え」の二つに大別される(表1)。「問題解決過程に即した捉え」とは、問題を発見してから解決するまでの一連の思考の過程を科学的な思考力と捉えているものである。一方、「科学的思考力の要素による捉え」とは、仮説の設定や条件制御などの技能そのものを科学的な思考力として捉えているものである。

学習指導要領解説の理科改訂の要点(1)改訂に当たっての基本的な考え方の「②科学的な思考力、表現力の育成を図ること」には、「観察、実験の結果を分析して解釈する能力や、導き出した自らの考えを表現する能力の育成に重点を置く」とある。これは、観察・実験の技能ばかりではなく、実験結果を踏まえ、自然現象を解釈する思考の過程を通して、科学的な思考力の育成を目指していると考えられる。

また、表2のように、科学的な思考力の構成は大まかに6段階あり、その段階も先行研究者によって多様である。これらの先行研究の多くで共通している段階は「問題の認識」、「仮説設定」、「計画・立案」、「結論・考察」である。

以上のことから、本研究における科学的な思考力を、「問題解決過程に即した捉え」とする考え方に基づき、次のように定義した。

生徒自らが仮説を設定することができ、その仮説に基づき、実験の計画を立て、実験結果から考察できる力

上記の科学的な思考力を育てるために、本研究では以下の手だてで科学的な思考力が育つことを、実践を通して明らかにする。

- 手だて(1)：探究的な学習活動を取り入れた授業構成の工夫
- 手だて(2)：4QS の考え方を取り入れた指導の工夫
- 手だて(3)：プロセス・スキルを利用した評価の工夫

2 研究内容

(1) 探究的な学習活動を取り入れた授業構成の工夫について

学習指導要領解説の改訂の基本的な考え方に、「科学的な思考力・表現力の育成を図る観点から、学年や発達の段階、指導内容に応じて、例えば、観察、実験の結果を整理し考察する学習活動、科学的な概念を利用して考えたり説明したりする学習活動、探究的な学習活動を充実する方向で改善する」とあるように(中央教育審議会、2008)、科学的な思考力を育てるためには「探究的な学習活動」を充実するように示されている。この「探究的な学習活動」に関わっては、昭和44年の中学校指導書理科編において「探究の過程」という言葉が使われており、「問題の発見、予測、観察、実験、測定、記録、分類、グラフ化、推論、モデルの形成、仮説の設定、検証等」と示されている(文部省、1970)。これらの「探究の過程」を通して習得させる技能を、Gangeは、プロセス・スキルとして提唱した。小倉は、このプロセス・スキルを日本の児童生徒の発達の段階を踏まえて整理し、13のスキルに分類した。同じく、理科教育研究会も問題解決の過程として、15のスキルに分類した。

表1 先行研究における科学的な思考力の捉え方

捉え方	先行研究者
問題解決過程に即した捉え	堀(1992)、森一夫(1992)、松森(1992)、中川(1992)、永田(1992)、柏原・山崎(1992)、森崇(2005)、村山(2005)、橋(2005)、藤田・水野(2006)、佐藤(2009)、加藤(2009)、小林(2010)
科学的思考力の要素による捉え	戸北(1984)、小倉(2001)、遠西(2005)、片平(2009)

表2 科学的な思考力の構成

先行研究	科学的な思考力の構成					
	問題の認識	仮説設定	計画・立案	観察・実験	結論・考察	他の問題に適用
堀(1992)					○	
森一夫(1992)					○	
松森(1992)		○	○	○	○	
中川(1992)	○				○	
永田(1992)	○		○	○	○	○
柏原・山崎(1992)	○				○	
森崇(2005)					○	
村山(2005)					○	
橋(2005)			○	○	○	
藤田・水野(2006)	○					
佐藤(2009)	○	○	○	○	○	
加藤(2009)	○	○	○	○	○	
小林(2010)	○	○	○		○	

本研究では、科学的な思考力を「問題解決過程に即した捉え」としたが、研究者により「科学的思考力の要素による捉え」としているものもあり、小倉や理科教育研究会は、科学的な思考力を、この探究的な学習活動を構成するプロセス・スキルと呼ばれる技能そのものだと捉えている。しかしながら、探究的な学習活動において、生徒が自らプロセス・スキルを適用し、科学的な問題を解決していくことは、実際の授業では難しい面がある。そのため、本研究では、探究的な学習活動を構成するプロセス・スキルの習得を目指すのではなく、探究的な学習活動の授業構成を「問題意識→仮説・計画→実験→検証」と統一し、これを「科学的な思考の過程」としてモデル化することとした。本研究における探究的な学習活動と呼ばれるものを、先行研究と比較したものが図1である。本研究における探究的な学習活動と科学的な思考力は、思考の過程では重複する部分が多く、このような授業構成にすることで、科学的な思考力が育つと考えられる。

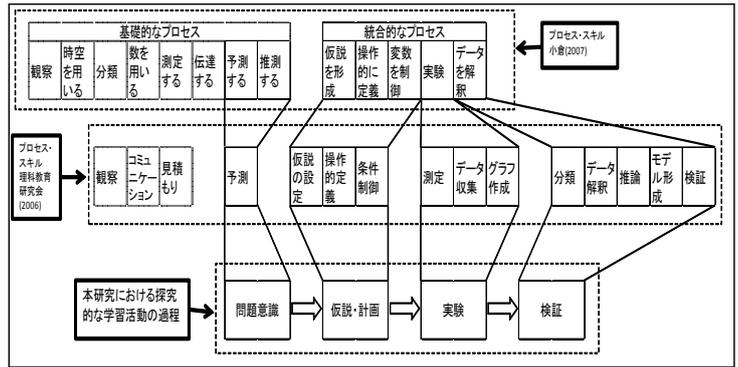


図1 先行研究と本研究の対比

(2) 4QS の考え方を取り入れた指導の工夫について

本研究で設定した「問題意識→仮説・計画→実験→検証」の過程において、「問題意識」から「仮説・計画」の段階がスムーズに進まないことがある。これは、生徒自らが実験を行う際に仮説を設定することがなかつたり、教師による仮説設定の仕方の指導が充分でなかつたりすることが原因だと考えられる。そこで、仮説設定のつまずきを解消し、生徒自らが行う探究的な学習活動をスムーズに進めるために、4QS (フォーカス: Four Question Strategy) の考え方を取り入れた指導をすることとした。4QS とは、上越教育大学の小林辰至氏が提唱したワークシートである。教師があらかじめ設定したSTEP 1～4の空欄に、生徒が討論を通して答えていくことで、科学的な疑問を検証可能な仮説として文章化することができるようになる手法である。

4QS の重要な要素は、STEP 1 の従属変数とSTEP 2 の独立変数である。例えば、浮力の実験では「浮力の大きさ」という従属変数と、「体積」という独立変数が二つの変数となる(図2)。この4QS の二つの変数を意識して仮説を設定する手法を、ワークシートに取り入れた。実験で用いるワークシートに従属変数と独立変数を記入する欄を設け、教師の発問を受け、生徒が記入していくことで「問題意識」→「仮説・計画」の段階を生徒自ら行うことができ、科学的な思考の過程がスムーズに進むのではないかと考えた(図3)。

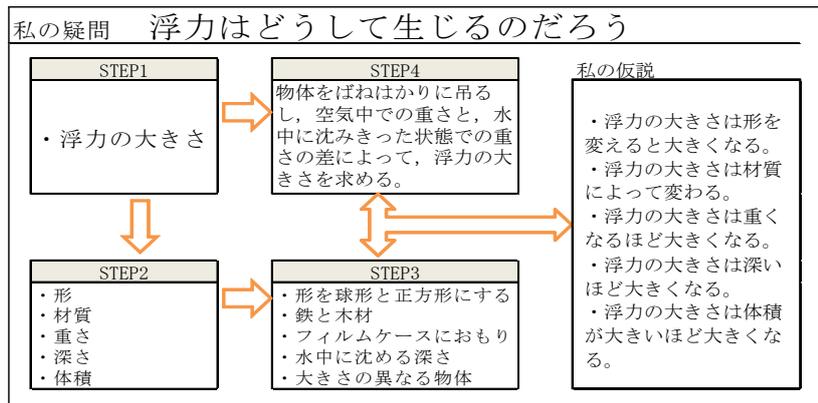


図2 4QS のワークシート

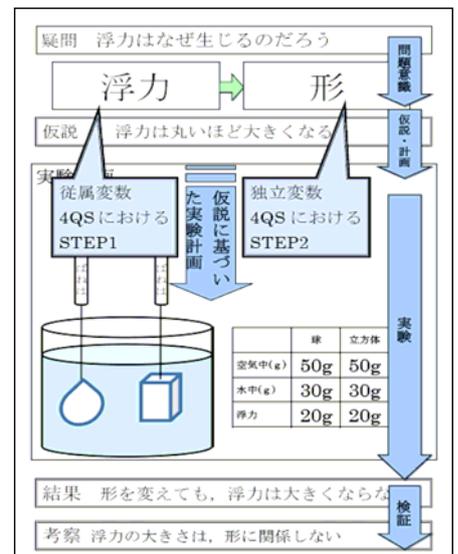


図3 本研究で用いたワークシート例

(3) プロセス・スキルを利用した評価の工夫について

「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領の改善について(答申)」において、思考力・判断力・表現力等を育むためには、図4のように、六つの学習活動が重要であるとしている(中央教育審議会, 2008)。本研究では、中央教育審議会が示す思考力・判断力・表現力等を育むために重要な六つの学習活動を、探究的な学習活動に必要な九つの具体的なプロセス・スキルに分類した。

4QS における仮説を設定するスキルに代表されるように、生徒にこれらの基礎的・基本的なプロセス・

ア 「課題を踏まえて問題を記入することができる」(図5)

ワークシートの疑問欄から「課題を踏まえて問題を記入することができる」について集計を行った。実施1回目では、疑問欄に記入まではできるが(Bの評価), 探究的な学習活動をするための課題を踏まえて記入(Aの評価)している生徒は1名のみであった。実施2回目以降では、疑問欄に課題を意識することができるような記述をする生徒が多くなり、Aの評価の生徒が増加した。

イ 「変数を踏まえて仮説を設定することができる」(図6)

ワークシートの独立変数欄, 従属変数欄, 仮説欄から, 「変数を踏まえて仮説を設定することができる」について集計を行った。実施1回目は, 仮説を記入することができない(Cの評価)生徒が半数以上であったが, 実施2回目, 実施3回目と回数を重ねることで, 仮説を記入することができるようになり(Bの評価), 実施4回目では, 多くの生徒が二つの変数を踏まえて仮説を設定する(Aの評価)ことができるようになった。

ウ 「仮説を踏まえて実験を計画することができる」(図7)

ワークシートの実験計画欄から, 「仮説を踏まえて実験を計画することができる」について集計を行った。実施2回目までは, 実験を計画することができない(Cの評価)生徒, 仮説を踏まえて実験を計画することができない(Bの評価)生徒が多数であったが, 実施3回目では全ての生徒が実験の計画を立てることができ, 実施4回目では大部分の生徒が仮説を踏まえて実験を計画し, 実験することができた。

エ 「仮説を踏まえて考察を記入することができる」(図8)

ワークシートの結果・考察欄から, 「仮説を踏まえて考察を記入することができる」について集計を行った。実施1回目では, 考察を記入することができない生徒(Cの評価)が多数であったが, 実施3回目と実施4回目では, 考察を記入することができる生徒(Bの評価)が増加し, その半数以上が仮説を踏まえて考察を記入する(Aの評価)ことができた。

オ 「思考の過程」の評価(図9, 10)

本研究は, 科学的な思考力を思考の過程と位置付けているため, 個別のスキルだけではなく, 「問題意識→仮説・計画→実験→検証」という一連の思考の過程も評価した。4QSを利用したワークシートの疑問欄, 仮説欄, 実験計画欄, 結果欄, 考察欄の各欄において, 全て記入している生徒を5とし, それ以前の各段階における記入状況により, 4, 3, 2, 1と評価の基準を設定した(図9)。ワークシート全4回分を集計したものが, 図10である。実施1回目では, 評価1の生徒が多い。これは, 生徒は問題意識をもてるが, 仮説・計画の段階までは進んでいないことを

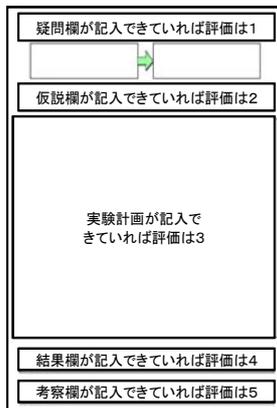


図9 思考の過程の評価

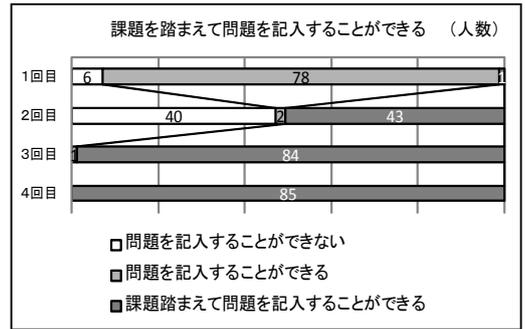


図5 「問題意識」の集計結果

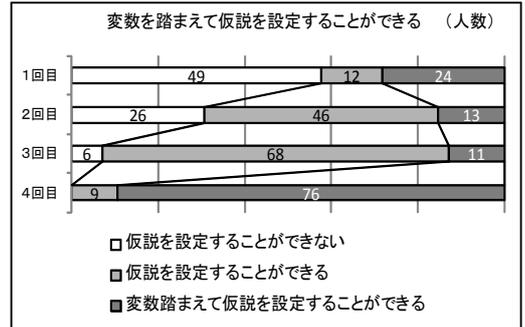


図6 「仮説・計画」の集計結果

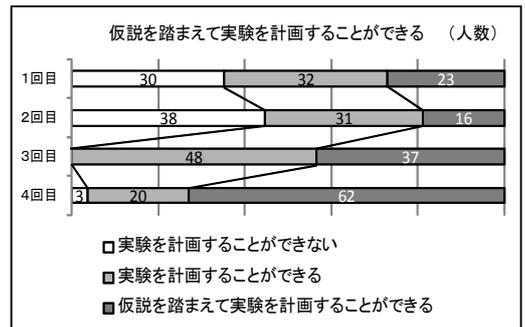


図7 「実験」の集計結果

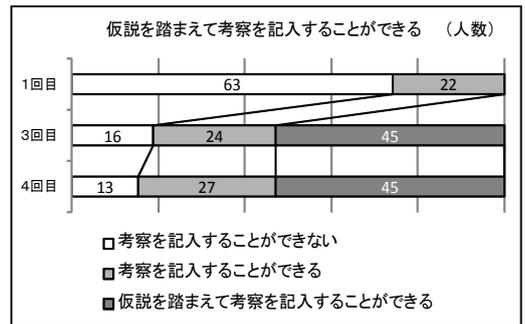


図8 「検証」の集計結果

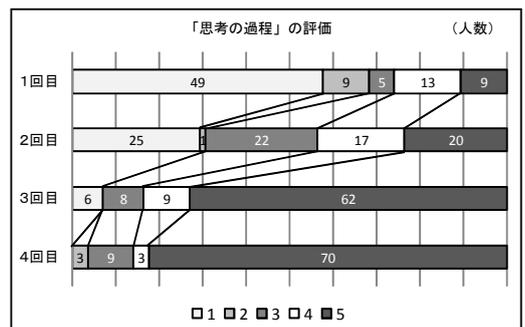


図10 「思考の過程」の集計結果

表していると考えられる。実施2回目からは、2の段階の人数が極端に少なく、3、4、5の段階の生徒が増加している。生徒が仮説設定をする段階で、独立変数と従属変数を意識することによって、思考を進めるための手掛かりになったと考えられる。実施3回目以降からは、5の段階の思考の過程までできている生徒が大多数であり、独立変数と従属変数を踏まえて仮説を設定できた生徒は、「検証」の段階まで思考の過程をスムーズに進めることができたと考えられる。これより、探究的な学習活動を取り入れた授業構成の工夫をすることで、生徒の記述量が増加し、科学的な思考力を育てることに有効であると考えられる。

しかしながら、「課題を踏まえて問題を記入することができる」の実施2回目のように、Cの評価の生徒が増加することもあり、学習課題によっては、疑問を記述することが難しく、4QSの手法が適していない場合もあると考えられる。また、実施2回目のワークシートでは、授業構成の中で考察を取り入れられない場合も生じ、全ての実験において探究的な学習活動の授業構成にすることは難しい。「仮説を踏まえて考察を記入することができる」の段階においても、実施3回目と実施4回目では顕著な増加が見られないため、スキルによっては長期的な指導が必要なものもあると考えられる。

(2) 記述内容の変容について

図11、12は生徒Aの実施1回目と、実施4回目のワークシートである。実施1回目では、独立変数を「巻き数」としたが、仮説や実験計画では独立変数を踏まえた記述はなく、そのため結果欄の内容も「太いほど伸びにくい」という、独立変数と関係のない記述である。また、結果と考察の区別もついていない。実施4回目では、二つの仮説を踏まえた実験の計画を立て、結果・考察まで記入されていて、自ら立てた仮説に対して論理的な考察がされている。

生徒Bは、実施1回目のワークシートでは、実験計画以降が記入できなかったが、実施4回目(図13)では、独立変数に「物の形」と記述しており、仮説にはそれを受けて、「浮力は物体の形によって大きくなったり小さく(小さく)なったりする」と記述しており、実験計画でも「形」という独立変数を変化させ、仮説を検証している。結果は記入されていないが、仮説に対する考察が記述されていて、論理的な思考が見られる。

生徒Cも実施1回目のワークシートでは、生徒Bと同様に実験計画を立てられなかったが、実施4回目(図14)では、独立変数を「重さ」とし、独立変数を用いて仮説を立てることができるようになった。実験計画では「重さ」以外の条件制御もされており、実験結果に具体的な数値の記入はないが、考察欄には仮説に沿った論理的な記述がされている。

生徒Dの実施4回目(図15)では、独立変数を「物の面積」とし、仮説は二つの変数を踏まえて設定しており、実験計画も図や数式を取り入れて分かりやすいように記入されている。実験結果から、自分たちが設定した独立変数である「物の面積」が「体積」であると気付き、考察は「面積」を「体積」と訂正して記入している。

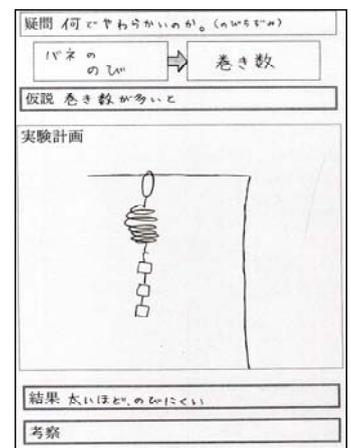


図11 生徒Aの実施1回目

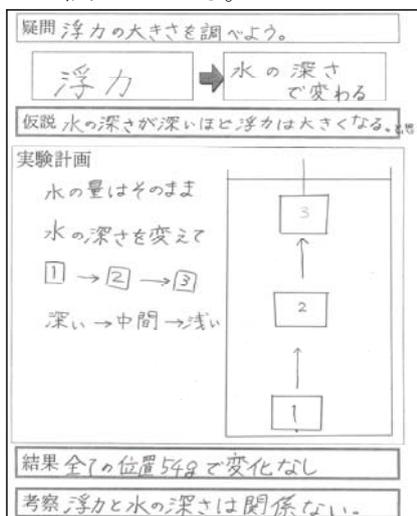


図12 生徒Aの実施4回目

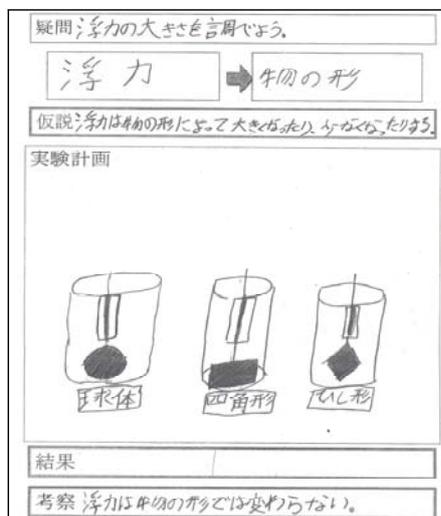


図13 生徒Bの実施4回目

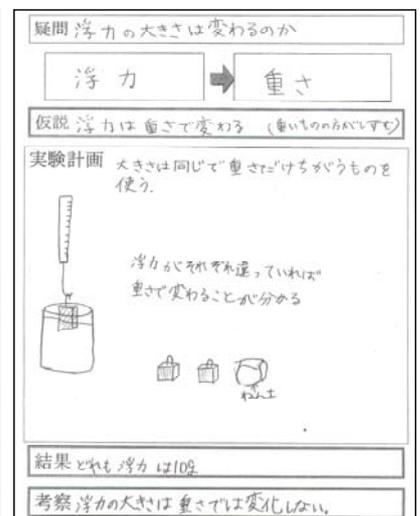


図14 生徒Cの実施4回目

今回の4QS を利用したワークシートでは、生徒が自ら立てた仮説を探究的な学習活動によって確かめていく授業構成となっている。そのため、仮説設定段階において、科学的に誤った仮説を設定することもあり、実際上記の生徒A～Cは、浮力が「深さ」、「形」、「重さ」によって変化すると設定し、実験計画を立てている。平成23年に文部科学省が発表した『言語活動の充実に関する指導事例集～思考力、判断力、表現力等の育成に向けて～【中学校版】』において、「問題を見だし観察、実験を計画する場面では、事実や根拠に基づいて結果を予想したり、検証方法を検討したりしながら考えを深め合うよう留意する」とあるように（文部科学省，2011），自ら立てた仮説をもとに発表や討論を通して考えを深め合うことが、思考力を育てるために重要であるとしている。4QS を利用したワークシートを用いて実験を行うことで、生徒は自らの仮説を検証するために見通しをもって学習を進めるので、科学的な思考力を育てることに有効であると考えられる。

(3) プロセス・スキルの評価について

本研究において設定した九つのスキル（図4）のうち、結果をデータ化、グラフ化するスキル、データを分析・解釈するスキル、観察・実験の結果を筋道を立てて推論するスキル、概念化・規則化・モデル化するスキルは、検証授業では一度しか指導できなかった。表4の集計からも、これらのスキルについては、多くの生徒に定着していないと考えられる。生徒によっては、具体的なスキルを実験計画に取り入れているものも見られたが（図16），これらのスキルは、長期的な期間を通じて指導していかなければ定着を図ることが難しいと考えられる。今回の検証授業のような短期間で全てのプロセス・スキルの定着を図るのは難しいが、検証授業での実験発表シートの記述からは、班内の討論において、これらのスキルを用いて考察が練られていることを見取ることができる（図17，18，19）。教師側がプロセス・スキルを意図的に指導することで、生徒は自分たちの実験結果や考察を、他の班と比較したり、クラスで共有・討論したりするときに、意識的にプロセス・スキルを用いるようになり、その結果、ワークシートの記述に質的な変化が見られるようになってきたことから、長期的には科学的な思考力を育てることに有効であると考えられる。

疑問 浮力は変わるのだろうか？

浮力 → 物の面積

仮説 浮力は物の面積によって変わる。

実験計画

(小) 47.7g 面積(小)
(大) 50g 面積(大)

(大) 空中 水中 浮力
50g - 32g = 18g

(小) 空中 水中 浮力
50g - 44g = 6g

結果 面積が小さい方の浮力が6g、大きい方が18gと判明

考察 浮力の大きさは体積で変化する。

図15 生徒Dの実施4回目

疑問 水による圧力はあるのか？

水圧 → 変わる

仮説 水圧は

実験計画

横 たて

両方同じくらいに目盛が合う

下がずれて目盛がずれる

結果 深くなるにつれて目盛がはまらなくなりました

考察

図16 モデル化のスキルを用いた例

実験計画

168g 22g 68g

(大) (小) (中)

168g ↓ 浮力 108g
108g ↓ 浮力 60g

22g ↓ 浮力 8g

68g ↓ 浮力 10g

図17 図4スキル f を用いている例 1

	空中	水中	浮力
球体	22g	6g	16g
立方体	22g	6g	16g
円錐形	22g	6g	16g

考察 浮力は物の形では変わらない。

図18 図4スキル f を用いている例 2

【結果】
軽い金属の浮力と、重い金属の浮力とねん土の浮力は全部同じで10gでした。

【考察】
浮力の大きさは重さでは変化する

図19 図4スキル g を用いている例

V 研究のまとめ

検証授業によって明らかになったことは、次のとおりである。

- 探究的な学習活動を取り入れた授業構成の工夫をすることにより、生徒の思考過程の中で、「探究的な学習活動」における「問題意識→仮説・計画→実験→検証」という思考のモデル化が図られ、ワークシートの仮説、計画、考察の記述量が増加した。
- 4QS の考え方を取り入れた指導の工夫をすることにより、生徒は実験における独立変数と従属変数を意

識することができ、そこから仮説を設定する場面や実験を計画する場面において、見通しをもって学習を進めることができるようになった。

- ・プロセス・スキルを利用した評価の工夫をすることにより、教師が具体的なプロセス・スキルを意図的に指導することができた。一方、生徒にとっては、科学的な思考力を伸ばすための明確な指針となり、記述や発表に質的な変化が見られた。

VI 本研究における課題

研究仮説の中で三つの手だてを設定し、検証授業で実施した結果、幾つかの課題も認められた。

- ・「探究的な学習活動を取り入れた授業構成の工夫」では、全ての授業において、「問題意識→仮説・計画→実験→検証」という授業構成することが難しかった。長期的な指導計画を開発し、年間を通して、計画的に「探究的な学習活動」を実施する必要がある。
- ・「4QS の考え方を取り入れた指導の工夫」では、今回の検証授業が、4QS を利用したワークシートを初めて活用した学習であったため、記入に時間がかかったり、記入することができなかつたりする生徒も見られた。また、4QS のワークシートが探究的な学習活動に適さない学習課題もあった。継続して使用することで効果が得られると考えられるので、本単元以外でも活用場面の設定が必要である。
- ・「プロセス・スキルを利用した評価の工夫」では、今回の検証単元では、グラフ化、分析・解釈、推論のスキルを一度しか評価する場面がなく、その変化を捉えにくかった。これらのスキルは、繰り返し指導することで長期的に発達するものと考えられるため、プロセス・スキルを意識した、中学校3年間を見通した指導計画の作成が必要である。

<引用文献>

- 文部科学省 2008 『中学校学習指導要領解説理科編（平成20年9月）』，p. 7
文部省 1970 『中学校指導書 理科編』，p. 10

<引用URL>

- 中央教育審議会 2008 「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領の改善について（答申）」，p. 25, p. 88
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/_icsFiles/afiedfile/2009/05/12/1216828_1.pdf (2011. 12. 2)
- 文部科学省 2011 「言語活動の充実に関する指導事例集～思考力、判断力、表現力等の育成に向けて【中学校版】」，p. 17
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afiedfile/2011/05/30/1306108.pdf (2011. 12. 2)

<参考文献>

- 小倉康 2007 『理科好きの裾野を拓げ、トップを伸ばす科学カリキュラムとは』 国立教育政策研究所
日本教材文化研究財団 2009 『児童・生徒の思考力・表現力を育成する理科学習指導方法と評価システムの開発』 日本教材文化研究財団
日本理科教育学会 1998 『キーワードから探るこれからの理科教育』 東洋館出版
理科教育研究会 2009 『新学習指導要領に定める理科教育』 東洋館出版

<参考URL>

- 青森県教育委員会 2009 「学習状況調査実施報告書」
http://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/kyoiku/e-gakyo/files/gakushu09_h22.pdf (2012. 1. 11)
- 国立教育政策研究所 2008 「TIMSS 2007国際比較結果の概要」
<http://172.20.1.10:1812/html/interruptMsg.htm> (2011. 1. 11)
- 国立教育政策研究所 2010 「PISA2009年調査国際結果の要約」
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/detail/_icsFiles/afiedfile/2010/12/07/1284443_01.pdf (2011. 1. 11)