

子どもの思考や表現を生かした 科学的なモデルづくりに関する研究 (2)

—小中連携を視野に入れた「大地の変化」の授業実践を中心に—

山崎 敬人 柴 一実 風呂 和志 三田 幸司

1. はじめに

中央教育審議会の「教育課程部会におけるこれまでの審議のまとめ」(2007年11月)によれば、理数教育の充実が次期学習指導要領の改訂で充実すべき6つの重要事項の一つとして位置づけられている¹⁾。その基本的な考え方として、理科については授業時数の増加が示されるとともに、「[「エネルギー」「粒子」「生命」「地球」などの科学の基本的な見方や概念を柱として、小・中・高等学校を通じた理科の内容の構造化を行う]²⁾とされ、「その際、内容の系統性を確保することや小・中・高等学校での学習の円滑な接続を図る観点から必要な指導内容については充実を図る必要がある。」³⁾と指摘されている。

3カ年計画で開始した本研究は、義務教育段階である小学校と中学校における理科教育の「円滑な接続」を視野に入れつつ、「科学の基本的な見方や概念」を育成するための学習指導のあり方を追究しようとしている点で、この「審議のまとめ」の指摘と共通する方向性をもつものであり、それを「科学的なモデルづくり」の視点から検討しようとするものである。

その第一年次にあたる2006年度の研究では、「電気と磁気」、および「大地の変化」に関する子どもたちの見方や考え方の実態について学びの履歴を考慮しながら検討を行った。このうち、「大地の変化」に関しては、後で引用して示すように、中学校理科における単元開発のための学習指導の指針を得ることができた⁴⁾。

ところで、この「大地の変化」は、現行の学習指導要領では中学校第1学年で取り扱われており、これと系統的なつながりをもつ学習は小学校第5学年と第6学年で取り扱われるようになってきている^{5,6)}。しかし、広島大学附属三原小・中学校では、小中一貫の理科カリキュラム開発の研究成果として、小学校第5学年の

「流れる水のはたらき」と第6学年の「大地のつくり」を融合させ、第6学年の新単元として「大地の創造」を開発・実践してきた経緯がある⁷⁾。

一方、単元「大地の変化」は、1998年に現行の学習指導要領へと改訂されるまでは、中学校の第3学年で扱われてきたものである。しかし、現行の学習指導要領では、「内容構成を、直接観察、実験できる事象や直接目に見えない事象を追究し自然の規則性を見つけて考察する学習、さらに、環境、自然災害など総合的なものの見方を育てる学習へと学年進行に応じた内容構成を行」⁸⁾うという考え方のもと、第3学年から第1学年へと移行された経緯がある。

下野(2002)は無限とも言えるような地学事象を探究していく上で求められる基本的な科学概念として、空間的・時間的な見方・考え方や、因果関係や歴史性を踏まえた見方・考え方などを例示している⁹⁾が、「大地の変化」の学習でもっとも重要になるのは、これら2つの見方・考え方であると言える。しかし、これらの見方・考え方を生徒に獲得させていくためには、検討すべき課題が幾つか残されている。なかでも、日本の中学生は自然の事物・現象をその仕組みにかかわる理論的知識に基づいて説明することが困難であるとの指摘¹⁰⁾を考慮すれば、「教育課程部会におけるこれまでの審議のまとめ」においても指摘されているような、科学的な概念を使用して考えたり説明したりする学習活動や理科を学ぶことの有用性を実感できる学習活動の充実¹¹⁾を、「大地の変化」の学習においてどのように実現していくかは、重要な検討課題となってくると考えられる。

以上のような見地から、本研究では、2006年度の研究により導出された単元「大地の変化」に関する学習指導上の方針を踏まえつつ、生徒にとって身近な自然

である「桜山」を対象とした「桜山形成のシナリオづくり」を「科学的なモデルづくり」の指導場面として位置づけ、「大地の変化」の授業を構想・実践し、その成果について検討を行った。

2. 単元「大地の変化」の構想と実践

(1) 単元の指導方針

2006年度の研究では、小中連携を視野に入れた中学校理科の単元「大地の変化」の学習指導の指針を得るために、広島大学附属三原小学校第6学年で単元「大地の創造」の学習を経験した生徒を含む同附属中学校第1学年の生徒を対象として、質問紙調査を実施した¹²⁾。この調査結果をもとに、生徒たちが中学校に入学した時点で、小学校第6学年で学習した桜山の形成についてどのように理解しており、どのような説明のモデルを保持しているのかが検討された。その検討を踏まえて中学校理科における単元「大地の変化」の指導方針として導出されたのは、以下の4点であった¹³⁾。

- ・教材の小中連携を踏まえて、身近な自然を考える例として桜山を扱う。
- ・中学校の学習内容を踏まえ、桜山成因に関する子どもたちのモデルをより因果関係を明らかにしたものに高める。留意する点は、プレート運動によって大地は常に変動していることと、流水による侵食作用の基準が海水面の高さにあることの2点である。大地が削られて深成岩が地表に露出するようになったことの説明ができるように指導していく。
- ・説明モデルの表現方法は因果関係だけでなく、地学的な時間・空間概念が育成されるように時系列に沿った複数のモデル図を描かせる。
- ・自然に対する見方・考え方の形成にモデルを通した話し合いが有効であることから、モデルづくりは小グループで行い、その後、グループで作成したモデルの交流会を実施し、相互評価させる。

「桜山形成のシナリオづくり」を含めた「大地の変化」の授業は、これらの指導方針を踏まえてその単元計画を策定し、実施した。

(2) 授業実践の概要

単元「大地の変化」の授業は、広島大学附属三原中学校第1学年85名を対象とし、2007年1月から3月にかけて全22時間で実施した。単元全体の指導計画は次頁の表1に示した通りである。小中連携を踏まえた科学的なモデルづくりの場面である「桜山形成のシナリオづくり」の授業は、この単元終盤の第20時と第21時の2時間を用いて実践した。

単元計画の策定に先立って、河原(1978)¹⁴⁾の研究

を参照しつつ、これに基づいて桜山近辺の地質調査を行った。その結果を踏まえ、桜山形成のポイントとなる地学事象として、プレートの沈み込みとマグマの発生、火山活動と凝灰岩の堆積、深成岩マグマの貫入と花こう岩形成、隆起・侵食・断層などの大地の変動、侵食・堆積による地形形成の5つを設定した。そして、表1に示したような、単元「大地の変化」の学習内容と学習目標、及び桜山形成にかかわる5つの地学事象の相互の関連づけを踏まえた指導計画を策定し、後述するような、教師が考えた桜山形成の科学的な説明モデルを念頭において学習指導を行った。

本単元には、授業で活用できる映像教材やデジタルコンテンツが多くあり、桜山形成の説明モデルを構成する上で必要となる地学事象について学ぶ場面ではこれらを教科書の図と併用して用いた。教科書の図に適当なものがない場合は、新たに図を作成して用いた。また、本単元での図の提示は、すべてプレゼンテーションソフトを用いてスクリーン上で行った。その上で、桜山形成のシナリオづくりのための2時間分の授業に入った。

(3) 「桜山形成のシナリオづくり」の授業実践

シナリオづくりの授業では、桜山形成の地史を言葉(説明文)によりシナリオとして表現させるとともに、その説明文に示されている地学事象を図で表現させることとした。シナリオの説明文とそれに基づいた図の作成のために用いた時間は、それぞれ1時間であった。この学習では、班(1つの班は4~5人で編成)で相談しながら一人ひとりが自分のシナリオと図を作成するようにした。これら2時間の学習目標は下記の通りであった。また、それぞれの時間の指導過程の概要を表2と表3に示す。

<第21時>

- ・地層や地形に関する知識を身近な自然(桜山)にあてはめるとともに、その形成過程をいくつかの地学事象に分けて考察することができる。
- ・身近な自然に関心を持ち、シナリオづくりやその交流の中で他者の意見を受け入れながら自分の意見を構成することができる。

<第22時>

- ・桜山形成のシナリオの説明文に書かれている地学事象を図で表現することができる。

第21時の実施前の時点では、シナリオ中の地学事象は4~5つあればよいと考えていたが、クラスで意見を出し合っていくうちに5つの地学事象があることで生徒の考えがまとまった。しかし、5つの地学事象の順序まではクラスで話し合わせなかったため、シナリ

オづくりの際に班のメンバーの意見に影響される生徒も多くいた。また、一人ひとりがシナリオを書いたので、予想以上に時間を必要とした。

また、第22時では、2003年度の実践¹⁵⁾で当時の中学校第1学年の生徒が作成した桜山形成のシナリオの説明文とそれを図で表現したものを例示した。これによって、生徒たちはシナリオづくりに対する関心を高め、学習課題をより具体的に把握することができたようであった。本時の学習目標はシナリオを図で表現するというわかりやすいものに設定したが、図で表現する作業に予定以上に時間を費やしてしまい、一部の生徒は地学事象を図で表現する作業を完全にやり遂げる

ことができなかつた。また、描いた図に色をつける作業ができない生徒もいた。学習のまとめで生徒が作成したシナリオを幾つか取り上げて紹介したが、教師が考えた科学的なモデルを基準とした評価は授業の中では行わなかつた。試行錯誤しながら作ったシナリオを単に正解・不正解という安易な基準で評価することは、未知のことがらを探究していこうという生徒たちの意欲を失わせることになると考えたからである。

以上のような授業実践の結果としてある生徒が作成したシナリオの一例を、次頁の図1と図2に示す。これは、5つの地学事象の順番が教師の考えた科学的モデルとほぼ一致している例である。不十分な点は凝灰

表1 「大地の変化」の学習内容と学習目標、および桜山形成にかかわる5つの地学事象との関連

時	学習内容	学習目標	5つの地学事象の説明方法	桜山との関連
1	プレート運動と大地形の形成	地球が生きていることを理解し、大地形の形成をプレート運動によって説明できる。	映像	山はどうやってできたか
2	プレート運動と火山・地震	地球の活動である火山・地震をプレート運動の視点から説明できる。	デジタルコンテンツ	火山とプレート運動
3	火山の特徴とその要因	火山の特徴を決める要因を見出せる。	映像	火山活動 噴出物の色、デイスাইト
4	火山灰中の鉱物	火山灰を調べることで噴出した火山が特定できることを説明できる。	火山灰(鹿沼土)の観察	火成岩の色から火山の形を推測させる。
5	火成岩とそのつくり	火成岩はマグマの冷え方によって大きく2つの種類に分類されること、マグマの冷え方は火成岩の組織に反映されることを説明できる。	火成岩の観察	花崗岩はどこでどんなふうに冷えてできたか。
6	鉱物から火成岩の種類を決める	火成岩は主に6種類の造岩鉱物からできていることとそれらの鉱物の組み合わせはマグマの性質によるものであることを説明できる。		
7	マグマのできる場所、火成岩の鑑定	火成岩は、組織と鉱物の組み合わせで種類が決まっていることを理解する。	図を用いながら説明	中国地方の火山活動 マグマのできる場所 三原市には花崗岩類が露出していること、それらは、白亜紀～古第三紀にできたもの。
8	風化と流水のはたらき	地形を流水のはたらきと関連づけてとらえるとともに、地表は刻一刻と変化し続けていることを説明できる。	写真 PC画像 侵食されるとき基準の図	花崗岩の風化 学校周辺の地形の観察と流水の関連
9	地層をつくるもの	地層の成り立ちを知るとともに、地層は身近な存在で、現在もできつつあることが説明できる。	堆積実験	地層累重の法則 ホルンフェルスの原岩
10	地層ができつつある場所	流水のはたらきに基いて、地層ができつつある場所やその堆積物を予想することができる。	デジタルコンテンツ	三原の地形の様子 扇状地、三角州
11	地層の広がり	地層は広がりを持っていること、火山灰や化石によって同時性が証明されることを説明できる。	デジタルコンテンツ	地層の広がり
12	地質時代とその特徴	おおよその地質時代を知るとともに、その時代に特徴的な生物がいたことを説明できる。	ビデオ映像	花こう岩が形成された地質時代。
13	化石からわかること	化石はたい積した時代とともに当時の環境を示すことが説明できる。		花こう岩が形成された地質時代
14	堆積岩	堆積岩の特徴から、堆積岩の種類や堆積環境を推定できる。	凝灰岩の観察 火山活動との関連を説明	凝灰岩と火山活動
15	震度とマグニチュード	地震のゆれの大きさと地震の規模は異なることを理解し、地震情報を的確に処理できる。		地震災害 断層
16	第15時までの学習の振り返り	第15時までに学習した地学事象を正しく説明できる。		
17	地震のゆれの伝わり方	地震のゆれは2つの異なった波によって生じていることを理解するとともに、その伝わり方の特徴を図や言葉で表現できる。		
18	地震はどこで起こるのか	日本付近のプレートの動きをもとに、プレート境界型の地震の起き方や震源と震央の分布の特徴を説明できる。	練習問題によるプレート境界型の地震の起き方や震源と震央の分布の特徴の説明	南海トラフ ユーラシアプレートとフィリピン海プレートの衝突
19	地層に見られる大地の変動	大地の変動の証拠を、地層の中に見いだすことができる。	シナリオの考え方 積み重なり方 写真を用いて説明	桜山の西隣の山に見られる地層とその地史の紹介 花崗岩の成因について
20	地形に見られる大地の変動	大地の変動の証拠を、地形に見いだすことができる。	PC画像データ 侵食される基準の図	山はなぜ高いか 三原市付近の隆起
21	桜山のシナリオを考えよう	桜山に見られる岩石や地形から5つのできごとを見出すことができる。	写真、図 大地の創造で達した見方考え方の再掲示	
22	桜山のシナリオを絵で表そう	シナリオを正しく絵で表すことができる。	過去のシナリオの例を示す	

表2 桜山形成のシナリオづくりの指導過程 (第21時)

学習事項	生徒の活動	教師の働きかけ
学習課題の把握	・前時までの学習を振り返り、本時の学習課題を確認する。	・桜山やそこに見られる岩石の写真を示しながら、桜山がどうやってできたのか問いかけ、興味を持たせる。
学習課題の追求	・観察できる岩石や地形についてその成因を考える。 ・各班で意見を出し合い、考えられる地学事象を4～5つくらい選び出すとともにその順序を考える。 ・考えた地学事象とその順序を班ごとに発表する。 ・班で桜山形成のシナリオを考える。 ・班の考えをもとに、一人ひとりがシナリオを書く。	・写真をもう一度見せたり、小学校のとき提示された桜山の構造図を見せたりして、岩石や地形を形成した地学事象を考えさせる。 ・地学事象の数は限定しない。 ・プレート運動や侵食作用については図を示して空間的な広がりについて気づかせる。 ・他の班の意見を取り入れ、よりよいシナリオを考えさせる。 ・小学校のときに考えたシナリオを振り返らせる。
まとめ	・シナリオを完成させる。	・地学事象の順序に矛盾がないか振り返らせる。

表3 図による桜山形成のシナリオの表現の指導過程 (第22時)

学習事項	生徒の活動	教師の働きかけ
学習課題の把握	・前時までの学習を振り返り、本時の学習課題を確認する。	・卒業生の桜山形成のシナリオおよびそれを図で表現したものを示し、本時の学習に関心を持たせる。
学習課題の追求	・班で相談しながら、シナリオの説明文にもとづいて地学事象を図で表現する。 ・シナリオを変更したり、図に色をつけたりする。 ・図を完成させる。	・地学事象を図で表すための枠をワークシートにあらかじめ用意しておく。 ・シナリオに書かれている地学事象ごとに図で表すことを指示する。 ・教科書や資料集は参考にさせず、自分のイメージを表現させる。 ・シナリオの変更を認める。 ・図に色を付けさせることで地層や岩石の区別、地形の変化などを表現させる。
まとめ	・学習を振り返る。	・いくつかのシナリオと図を取り上げ、学習を振り返る。ここでは、教師のモデルを説明しない。

岩と花こう岩の層序が説明できない点である。プレートの沈み込みとマグマの発生と深成岩の形成の説明は不十分であり、この事象について生徒が十分理解できていないことがわかる。また、桜山形成を説明した図2はこのシナリオの説明文に基づいて描かれたものである。これを見ると、シナリオを作成した生徒が地学事象に関して形成しているモデル、特に空間認識のようすを把握することができる。例えば、深成岩の表現に注目すると、この生徒は深成岩の広がりを極めて狭い範囲でとらえていることがわかる。シナリオの説明文と図を対比することで一人一人の生徒のモデルを認

1 日本の大陸側のプレートに、太平洋側のプレートが引きずり込まれている。そのいさかいと一緒に、海水もマグマの近くへ流れ込み、そこで深成岩ができる。
2 年月がたち、深成岩がどんどん火山活動のまじりとなり、マグマが上へいこうとするのをあきらめ、火山が噴火できない。
3 風化が進む山は、だんだん深成岩が出てくる。その深成岩はまた角ばっている。→でも隆起はしている。
4 地層が全地し、低い所は海に沈み、山(桜山)はたいぶ高さが目立ってくる。 →今の桜山とほぼ同じ形になる
5 その後、両側の水害により、横に土砂が降り、角ばった山は丸みをかかると。
6 : 現在の地層の置なりと地形が完成。

図1 生徒が作成したシナリオ(説明文)の例

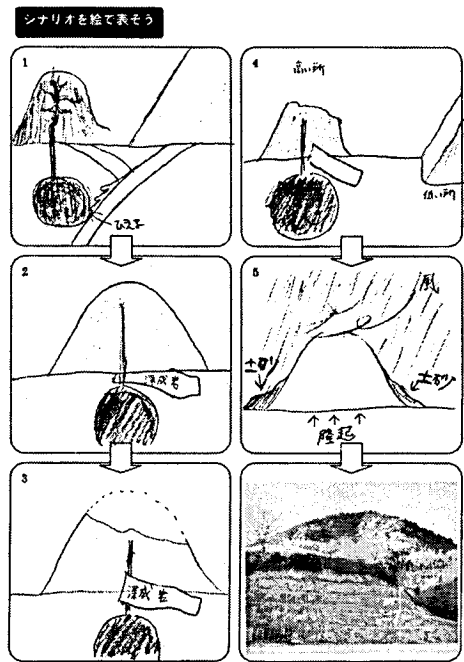


図2 生徒が作成したシナリオ(図)の例

識することができるとともに、これらを踏まえて生徒がより科学的なモデルを作成することができるよう指導を工夫していくこともできると考える。

3. 生徒が考えた説明モデルの評価

(1) 教師の説明モデルと生徒のシナリオの評価の基準

授業実践の概要でも述べたとおり、指導に当たっては、桜山とその周辺の地質調査や文献調査に基づいて、桜山形成のポイントとなる5つの地学事象(プレートの沈み込みとマグマの発生、火山活動と凝灰岩の堆積、深成岩マグマの貫入と花こう岩形成、隆起・侵食・断層などの大地の変動、侵食・堆積による地形形成)を設定した。「桜山形成のシナリオづくり」では、これら5つの地学事象を組み合わせながら、時間的・空間的な観点から科学的に妥当な説明の可能な桜山形成のモデルを考えることが、生徒に求められることになる。

ところで、5つの事象とその桜山形成に対する影響の大きさを考慮すると、表4に示したような、第1段階から第5段階までの5つの段階で構成される説明モデルを科学的なモデルとして考えることができる。

表4 桜山形成に関する教師の説明モデル

地学事象	第1段階	第2段階	第3段階	第4段階	第5段階
プレートの沈み込みとマグマの発生	◎	○	○	○	○
火山活動と凝灰岩の堆積		◎	○		
深成岩マグマの貫入と花崗岩形成			◎		
大地の変動(隆起・侵食・断層)	○	○	○	◎	○
流水による侵食・堆積	○	○	○	○	◎

(注) ◎は特に桜山形成に影響を与えたと考えられる事象を、○は影響が小さいが起きていたと考えられる事象を示す。

そこで、生徒のシナリオがこの科学的な説明モデルとどの程度一致しているかどうかの評価は、次のような基準を設定して行った。

まず、生徒が作ったシナリオ中の地学事象の説明文については、教科書の記述をもとにA(事象を正しく理解し、桜山形成と関連させながら十分な説明ができています)、B(桜山形成と関連させているが、事象について十分な説明ができていない)、C(まったく当該の事象に触れていない)の3段階で評価した。

次に、シナリオの説明文に基づいて桜山形成の段階を描画した図についても、説明文と同様に3段階で評価した。

最後に、生徒が作成したシナリオ(地学事象の時系列)と科学的な説明モデルとの一致については、表4に示した説明モデルにおいて「特に桜山形成に影響を与えたと考えられる事象」(表4の◎印の事象)に関する記述が生徒のシナリオの説明文に認められた場合に5点、「影響は小さいが起きていたと考えられる事象」(表4の○印の事象)に関する記述が認められた場合には1点、その他を0点として、表5の得点表を作成し、これに基づいて生徒一人ずつのシナリオを分析し得点化した。表5からわかるように、各段階の満点は、第1段階が7点、第2段階が8点、第3段階が9点、第4段階が7点、第5段階が7点となり、シナリオ全体としての満点は38点となる。評価の基準については、後に表11で分析結果とともに示すように、満点の38点のうち70%(27点)以上の得点をA、50%(19点)以上70%(27点)未満をB、30%(12点)以上50%(19点)未満をC、30%(12点)未満をD、シ

ナリオを作成できていない場合をEとした。

表5 シナリオの得点表

地学事象	第1段階	第2段階	第3段階	第4段階	第5段階
プレートの沈み込みとマグマの発生	5	1	1	1	1
火山活動と凝灰岩の堆積	0	5	1	0	0
深成岩マグマの貫入と花崗岩形成	0	0	5	0	0
大地の変動(隆起・侵食・断層)	1	1	1	5	1
流水による侵食・堆積	1	1	1	1	5

(2) 地学事象ごとの分析と考察

分析の対象としたのは、シナリオづくりの授業を欠席した4人を除く81人の生徒が作成したシナリオ(説明文と図)である。これら81人のシナリオを5つの地学事象ごとに、上記の基準に従って評価し、その結果をクロス集計して分析と考察を行った。

1) プレートの沈み込みとマグマの発生について

生徒が作成した説明文と図の中の「プレートの沈み込みとマグマの発生」についてそれぞれ評価し、クロス集計した結果を表6に示す。

表6 プレートの沈み込みとマグマの発生に関する評価

		図の評価			
		A	B	C	計
説明文の 評価	A	17	1	1	19
	B	0	0	1	1
	C	0	2	59	61
	計	17	3	61	81

生徒のシナリオの説明文には、プレートの沈み込みとマグマの発生に関する記述のないものが多く見られた。また、プレートの沈み込みとマグマの発生を示した図が認められたものは少数であった。シナリオづくりに至るまでの授業では、プレート運動とそれに伴う地学事象について、映像やデジタルコンテンツ、教科書の図を用いながら学習指導を進めてきたが、この結果から、身近な自然に地球規模のプレート運動や実際に見ることができないプレート境界でのマグマ形成という知識をあてはめながら、身近な大地の形成のモデルを考えることは、生徒にとってかなり困難であることがわかった。

しかし、シナリオの説明文として正しく記述できている生徒も19人おり、彼らのうち17人は正しい図を描いていた。これら17人の生徒では、言葉によるイメージと図によるイメージが相互に関連しあったモデルが形成されていたのではないと思われる。

以上のことから、桜山形成のシナリオにプレートの沈み込みとマグマの発生という事象を組み込み、それを言葉や図で説明することは、生徒にとって困難な課題であり、指導上の工夫・改善が必要であると言える。

2) 火山活動と凝灰岩の堆積について

生徒が作成した説明文と図の中の「火山活動と凝灰岩の堆積」についてそれぞれ評価し、クロス集計した結果を表7に示す。

表7 火山活動と凝灰岩の堆積に関する評価

		図の評価			
		A	B	C	計
説明文の 評価	A	55	12	7	74
	B	3	0	0	3
	C	0	0	4	4
	計	58	12	11	81

説明文についてみると、火山活動と凝灰岩の形成について正しく理解し、説明も十分にできている生徒が74人認められた。この結果から、多くの生徒が桜山に分布する凝灰岩の存在から桜山の形成が火山活動と関連していることを見出すことができたと考えられる。小学校での単元「大地の創造」を通して生徒が考えた「桜山は火山活動で形成された」という説明モデルが、この実践を通して「凝灰岩の存在は火山活動を示唆する」という、より科学的な説明モデルへと変化したと考えられる。

一方、図についてみると、十分に表現できている生徒は説明文の評価に比べてやや少なくなっていた。また、説明文としては正しく記述できている、図を描くことができている生徒が7人認められた。

以上のことから、凝灰岩から火山活動を推測することは容易であるが、それを図で表現することは説明文として表現することに比べて難しいものであったと言える。火山活動と凝灰岩の堆積については指導の成果が表れているものの、図で表現する場を十分に与えていなかったため、図による表現が説明文に比べてやや評価が低くなったと考えられる。

3) 深成岩マグマの貫入と花こう岩形成について

生徒が作成した説明文と図の中の「深成岩マグマの貫入と花こう岩形成」についてそれぞれ評価し、クロス集計した結果を表8に示す。

まず、説明文については44人が正しい説明を行うことができていたことを読み取ることができる。しかし、この点については、実際の指導場面に関する説明を補足しておく必要がある。つまり、桜山形成のシナリオづくりに入る直前の第19時において、桜山とは異なる

表8 深成岩マグマの貫入と花こう岩形成に関する評価

		図の評価			
		A	B	C	計
説明文の 評価	A	28	11	5	44
	B	9	7	5	21
	C	0	4	12	16
	計	37	22	22	81

別の身近な大地の形成に関する学習を行ったが、そこで用いたワークシートの記述から、生徒が花こう岩の形成について十分に理解できていないことがわかった。第19時の学習で花こう岩の形成について説明していた生徒は81人中42人で、しかも正しく説明できていた生徒は25人しかいなかった。間違った記述には、「花こう岩が堆積してできた」や「花こう岩が流れ出した」というものがあった。そこで、第20時において「花こう岩はマグマが地下深いところで冷えた深成岩である」ことを、プレゼンテーションを用いて改めて説明した。

このような説明を行った上で、第21時で桜山形成のシナリオを作成させた結果が、先の44人であった。この人数を見ると、説明文の評価が第19時と比べてかなり改善していると言える。しかし、この地学事象に関する説明が不十分であったり間違ったりしている生徒と全く触れていない生徒を合わせると、37人となった。間違った記述の中では、火山活動と花こう岩を結びつけているものが最も多かった。これは、両者を結びつけることは誤った考えであることを第20時で指摘しておいたにもかかわらず、自分の考え（説明モデル）に固執してそれを修正する必要感を持たなかった生徒が多数いたためではないかと推察される。

図の評価の結果は、説明文の評価に比べて低くなっている。特にC評価の人数が多くなっている。深成岩ができる場所についての説明図は教科書に大きく掲載されおり、第5時・第6時ではその図を用いながら説明を行い、火山岩との比較も行った。しかし、それらは大きな効果を及ぼすには至らなかったことになる。

以上のことから、生徒たちにとって地学事象を図で表すことは難しく、深成岩に関する説明モデルを獲得させるためには本実践で行った指導では不十分であると考えられる。

4) 大地の変動（隆起・侵食・断層）について

生徒が作成した説明文と図の中の「大地の変動」についてそれぞれ評価し、クロス集計した結果を表9に示す。

説明文を評価した結果、身近な地形を大地の変動から説明することができた生徒は68人であった。第20時

表9 大地の変動（隆起・侵食・断層）に関する評価

		図の評価			
		A	B	C	計
説明文の 評価	A	43	8	17	68
	B	6	1	2	9
	C	1	0	3	4
	計	50	9	22	81

の授業で、三原市を含む中国地方は180万年～現在にかけて土地が400m隆起したことを説明したが、この説明によって、山のように土地が高くなるのは土地の隆起が原因であるという考え方が多くの生徒に獲得されたと考えられる。しかし、1)の結果からもわかるように、正しい記述をした生徒全員が大地の変動の原因がプレート運動によるものにとらえてはいないと考えられる。また、3)の結果からは、正しい記述をした生徒全員が、深成岩が地表に露出しているという事実から土地の隆起を導き出したとは考えられない。この地学事象に対して多くの生徒が正しい記述ができたことには、三原市付近の土地が400mも隆起したことを学んだことが大きな影響を与えていたと考えられる。

図の評価は、説明文の評価より低くなっており、特にC評価の人数が多くなっている。大地の変動を図で表現するには、変動前の位置が基準にならなければならない。図で変動を表すために矢印を書いたり、言葉で補足説明を加えたりしている生徒が多数認められた。教科書においても、2つの図を用いてプレートの歪みが元に戻ることで土地が隆起することが示されている。

以上のことから、生徒たちにとって大地の変動の様子を図で表すことは難しく、その改善のためには、生徒が図を描く際に海水面かそれに変わる基準を意識できるように指導の工夫が必要であると考えられる。

5) 流水による侵食・堆積について

生徒が作成した説明文と図の中の「流水による侵食・堆積」についてそれぞれ評価し、クロス集計した結果を表10に示す。

表10 流水による侵食・堆積に関する評価

		図の評価			
		A	B	C	計
説明文の 評価	A	29	19	10	58
	B	4	2	6	12
	C	0	4	7	11
	計	33	25	23	81

海水面よりも高いところは流水によって削られているという概念は、地形の形成を考える上で重要である。

説明文を評価した結果、これについて正しく理解している生徒は58人であった。流水による侵食という事象は、小学校での「大地の創造」の学習で生徒たちが考えた桜山形成の説明モデルの中に含まれていたものであった。この点を考えると、今回のシナリオづくりで十分な説明をしている生徒の数はやや少ないと思われる。不十分な説明の大部分は、単に「雨で削られてできた」といったものであった。流水のはたらきによる地形の形成の説明では、侵食される原因やその場所、削られたものの行方などを明確にしなければならない。単に「削られてできた」という説明に満足せず、なぜそこが削られたのかを明確にさせなければならない。

また図の評価の結果、流水による侵食・堆積についてA評価の生徒は33人とどまった。言葉では十分説明できていた生徒にとっても正しい図を描くことは難しかったと考えられる。

以上のことから、この地学事象についても大地の変動と同様に、侵食・堆積の前の地形や基準面を意識できるような指導の工夫が必要であると考えられる。

6) 生徒が作成した説明文と図に関する考察

説明文と図の評価を比較すると、いずれの地学事象についても図の評価結果の方が説明文よりも低くなっていた。生徒にとって認識していることがらを言葉や説明文ではなく図として表現することは、教師が考えていた以上に困難であることがわかった。特に、目ではとらえられない地下に空間的な広がりを持つプレートや花こう岩体、及びそれらの変化のようすを表現することが難しかったと指摘できる。地学的なスケールが大きくなればなるほど、図として表現することが困難になっていた。これには、この単元でシナリオづくりに入るまでの授業において、広がりのあるプレートの図や地形を生徒に描かせる経験をさせていなかったことも影響したのではないかと考えられる。

しかしながら、逆に、図で正しく表現することができていたA評価の生徒に注目してみると、これらの生徒のうち説明文がC評価だった者は、5つの事象すべてを通してわずか1人であった。このことは、図を用いてモデルを表現することができるかどうかは、生徒がどの程度確固としたモデルを形成できているかどうかを判断する手がかりとなりうることを示唆しているのではないだろうか。

説明したことを図で表現することは、獲得した知識の表現でもあり、その相互評価や教師による評価によって情報の再結合や修正が可能となる。もちろん、その図で表現する内容の難易度（ここでは空間のとらえ方の難易度、水平方向か上下方向かなど）によっても到達度が変わってくると思われる。しかし、言葉だけ

でなく図で表現することも重視して指導していくことによって、より確かな説明モデルの形成を促すことが可能となると考えられる。

(3) 生徒が作成したシナリオ（地学事象の時系列）の分析と考察

表5に示したシナリオの得点表に基づいて生徒のシナリオ（地学事象の時系列）を評価したところ、表11のような結果となった。

表11 生徒のシナリオの評定分布

評定（得点の割合）	人数
A(70%以上)	4
B(50%以上, 70%未満)	15
C(30%以上, 50%未満)	23
D(30%未満)	34
E(作成できていない)	5
合計	81

教師が考えた科学的な説明モデルとおおむね一致していると評価できるAとBの合計が19人に対して、あまり一致していないと考えられるC、Dの評価は57人であった。また、シナリオを作成できていない生徒は5人であった。(2)で述べたようにプレートの沈み込みとマグマの発生以外の個々の地学事象については比較的満足できる評価の生徒が多かったにもかかわらず、この表11の結果から、桜山形成の時系列に関して科学的なモデルをほぼ構成できていたと評価できる生徒の割合は低いことがわかった。

単元の指導を振り返ってみると、教師は「火山活動が原因で凝灰岩が堆積した」というように2つの地学事象を原因と結果で結びつけた説明を行っていた。教師の説明モデルも2つの地学事象を原因と結果で結び付けて1つの段階とし、そうした段階を5つ組み合わせ構成していた。シナリオの評価結果から判断すれば、生徒にとって2つの地学事象を結び付けて桜山形成の1つの段階を説明することは比較的容易であるが、複数の段階を時系列に沿って並べて説明モデルを作っていくことは、難易度の高い課題であったと考えられる。

また、シナリオづくりでは指導のねらいを、「地層や地形に関する知識を身近な自然（桜山）にあてはめるとともに、その形成過程をいくつかの地学事象に分けて考察することができる」とことと「他者の意見を受け入れながら自分の意見を構成することができる」とこととした。つまり、教師の説明モデルと一致したものを作らせることは授業目標とせず、地学事象の時系列よりも現象面の説明ができることを目標とした。そのため、見出した地学事象を時系列に沿って並べることは学級全体では取り組まず、班活動の課題とした。こ

のことも、桜山形成の時系列の点で適切な説明モデルを構成することができた生徒が少数にとどまった要因となっていると考えられる。

4. 「桜山形成のシナリオづくり」に関する指導の改善

以上の分析と考察から、単元「大地の変化」において「桜山形成のシナリオづくり」を通した科学的な説明モデルづくりを実現するためには、次の2つの点で指導を改善していく必要がある。

1点目は、桜山の形成に大きな影響を与えたと考えられる5つの地学事象についての指導に関することである。今回の実践では、シナリオづくりに入るまでの授業において5つの地学事象について意図的に図や写真、映像などを用いて指導していったが、指導結果に対する形成的評価を行っていなかった。図や写真は科学的なモデルの説明には有効であるものの、教師がそれらの図や写真で説明できると考えているモデルがそのまま生徒に理解されるわけではなく、言語で認識したのち生徒の中で再構成されているのではないかと考えられる。これは、地学事象を説明文で表現させたものの評価が図で表現させたものの評価よりも常に高くなっていることから推察される。

したがって、生徒の地学事象に対する説明モデルを形成的に評価し、教師の説明モデルとのずれを修正するための指導が必要になる。そうした指導のために、教師の説明モデルと今回の実践から得られたデータをもとにして、5つの地学事象の説明文と図に関する評価基準を表12と表13のように作成した。

2点目は、シナリオづくりに関する指導の改善についてである。今回の実践結果からシナリオづくりは、特に複数の地学事象を時系列に沿って並べるという点で、生徒にとって困難であることが明らかになった。これは、前述したように形成的評価が欠けていたことも原因であろう。それに加えて、地史に関する学習内容として取り扱ったのが地層の積み重なりに関することだけであったことも、その一因となっていたのではないかと考えられる。

今回の実践ではシナリオを作成できなかった生徒が5人いたが、こうした生徒をなくすという意味も含めて、学級全体で意見を交流し、教師が助言を与えながら簡単なシナリオ（地学事象の時系列）をいくつか作らせておくことが考えられる。このようにして大まかな地史のシナリオを作成させた上で、学習したことがらをそれに任意に付け加えさせ、説明を深めさせていけばよいのではないかと考える。

また、シナリオに関する評価に関しては、今回の実践のために作成した得点表（表5）では教師が考えた

表12 桜山の形成にかかわる5つの地学事象の説明文に関する評価基準

地学事象	具体的な評価規準	評価基準				
		A	B	C	D	E
プレートの沈み込みとマグマの発生	世界のプレートの様子や日本列島におおむね沿った形で火山が分布していることから、海洋プレートが大陸の下にもぐりこんでいることとそれによってマグマが発生していることを説明できる。	次の3つのことの内容が正しく記述されているとともにその順番が正しく示されている。 ①海洋プレートが大陸プレートの下に沈み込む。 ②地下のプレート境界の上に岩石の一部が溶けてマグマになる。 ③マグマの一部は大地の隆起を伴って火山活動の原因となる。	次の2つのことの内容が正しく記述されているとともにその順番が正しく示されている。 ①海洋プレートが大陸プレートの下に沈み込む。 ②地下のプレート境界の上に岩石の一部が溶けてマグマになる。	次の2つのことの内容が正しく記述されているが、内容が正しくない。または、記述の順番が正しくない。 ①海洋プレートが大陸プレートの下に沈み込む。 ②地下のプレート境界の上に岩石の一部が溶けてマグマになる。	次の2つのことの内容が正しく記述されているが、内容が正しくなくかつ記述の順番が正しくない。 ①海洋プレートが大陸プレートの下に沈み込む。 ②地下のプレート境界の上に岩石の一部が溶けてマグマになる。	プレートの沈み込みとマグマの発生に関して説明できない。
火山活動と凝灰岩の堆積	凝灰岩の地層が堆積する過程を火山活動から説明するとともに、火山岩や凝灰岩の色から火山活動の様子を説明できる。	次の3つのことの内容が正しく記述されているとともにその順番が正しく示されている。 ①マグマがマグマだまりごとくわえられる。 ②激しい噴火が起き、火山灰が多量に噴出する。 ③その火山灰が堆積して凝灰岩ができる。	次の2つのことの内容が正しく記述されているとともにその順番が正しく示されている。 ①火山が噴火し、火山灰が多量に噴出する。 ②その火山灰が堆積して凝灰岩ができる。	火山活動の記述はあるが、凝灰岩の形成を正しく説明できていない。	火山活動と凝灰岩の堆積に関して説明できない。	
花こう岩マグマの貫入と花こう岩の形成	花こう岩のマグマが地下から貫入したことから、花こう岩が地下深き場所できつくり冷えたことを説明できる。	次の3つのことの内容が正しく記述されているとともにその順番が正しく示されている。 ①地下深くから既存の地層の下に花こう岩マグマが貫入してくる。 ②周囲の地層が接触交代作用を及ぼす。 ③花こう岩マグマが地下深くできつくり冷え、花こう岩が形成される。	次の2つのことの内容が正しく記述されているとともにその順番が正しく示されている。 ①地下深くから既存の地層の下に花こう岩マグマが貫入してくる。 ②花こう岩マグマは地下深くできつくり冷え、花こう岩が形成される。	花こう岩マグマがゆっくり冷えて固まるという記述はあるが、その他のことについては書かれていない。	花こう岩について説明しているが、火山活動と関連させた記述がなかったり、地層の形成にできなかったりしている。	
大地の変動	地下深きところでできた花こう岩が地層から見られる現象をプレートの運動による大地の変動から説明できる。	次の3つのことの内容が正しく記述されているとともにその順番が正しく示されている。 ①海洋プレートが大陸プレートの下に沈み込む。 ②大地も大きな力がはたらき、大地が変形したり、破壊されたりする。 ③土地が隆起し、海面より高くなる。その結果、花こう岩などが現れるようになる。	次の2つのことの内容が正しく記述されているとともにその順番が正しく示されている。 ①海洋プレートが大陸プレートの下に沈み込む。 ②土地が隆起し、海面より高くなる。その結果、花こう岩などが現れるようになる。	土地が隆起するという記述はあるが、その他のことについては書かれていない。	土地の変動に関する記述はあっても、火山活動の結果隆起したという内容の記述がなかったりしている。	
流水による侵食・堆積	山が隆起によって高くなった土地が流水のほたらきによって削られてきた地形であることを説明できる。	次の3つのことの内容が正しく記述されているとともにその順番が正しく示されている。 ①大地の変動により土地が隆起する。 ②高くなった土地に雨水や流水が作用する。 ③弱くなった部分が侵食され、硬い部分が残り現在の地形が形成される。	次の2つのことの内容が正しく記述されているとともにその順番が正しく示されている。 ①高くなった土地に雨水や流水が作用する。 ②弱くなった部分が侵食され、硬い部分が残り現在の地形が形成される。	土地が流水によって侵食されるという記述はあるが、その他のことについては書かれていない。	流水による侵食に関して説明できない。	

表13 桜山の形成にかかわる5つの地学事象を図で表現することに関する評価基準

地学事象	具体的な評価規準	評価基準				
		A	B	C	D	E
プレートの沈み込みとマグマの発生	世界のプレートの様子や日本列島におおむね沿った形で火山が分布していることから、海洋プレートが大陸の下にもぐりこんでいることとそれによってマグマが発生していることを表現できる。	次の5つのことが空想的に正しく表現できている。 ・海洋プレートと大陸プレートの2つのプレート境界の形と海溝、マグマとその発生 ・マグマの上昇しているようす ・地表の火山	次の4つのことが空想的に正しく表現できている。 ・海洋プレートと大陸プレートの2つのプレート ・マグマとその発生 ・マグマの上昇しているようす ・地表の火山	次の2つのことが空想的に正しく表現できている。 ・海洋プレートと大陸プレートの2つのプレート ・マグマとその発生	マグマとその発生について表現できているが、海洋プレートと大陸プレートの2つのプレートの位置関係が正しく表現できていない。	プレートの沈み込みとマグマの発生を図で表現できない。
火山活動と凝灰岩の堆積	凝灰岩の地層が堆積する過程を火山活動から説明するとともに、火山岩や凝灰岩の色から火山活動の様子を表現できる。	次の4つのことが空想的に正しく表現できている。また、火山活動と花こう岩を関連させた表現をしていない。 ・火山 ・火山の下にマグマだまり ・噴火と火山灰 ・火山灰の降下と火山灰層(凝灰岩層)	次の3つのことが空想的に正しく表現できている。また、火山活動と花こう岩を関連させた表現をしていない。 ・火山 ・噴火と火山灰 ・火山灰の降下と火山灰層(凝灰岩層)	次の2つのことが空想的に正しく表現できている。 ・火山 ・噴火と火山灰	火山活動のことについて表現できているが、その中に火山活動と花こう岩を関連させた表現がなかったりしている。	火山活動と凝灰岩の堆積に関する表現ができていない。
花こう岩マグマの貫入と花こう岩の形成	花こう岩のマグマが地下から貫入したことから、花こう岩が地下深き場所できつくり冷えたことを表現できる。	次の3つのことが空想的に正しく表現できている。また、火山活動と花こう岩を関連させた表現をしていない。 ・既存の地層と花こう岩の層序 ・地下深くから侵入とまわりの岩石への影響 ・花こう岩の広がり	次の2つのことが空想的に正しく表現できている。また、火山活動と花こう岩を関連させた表現をしていない。 ・既存の地層と花こう岩の層序 ・地下深くから侵入とまわりの岩石への影響	次のことが空想的に正しく表現できている。 ・凝灰岩と花こう岩の層序	花こう岩に関する表現はできているが、火山活動と関連させたり、地層の形成にできなかったりしている表現をしている。	花こう岩マグマの貫入や花こう岩の形成に関して表現ができていない。
大地の変動	地下深きところでできた花こう岩が地層から見られる現象をプレートの運動による大地の変動から表現できる。	次の3つのことが空想的に正しく表現できている。また、火山活動と土地の隆起を関連させた表現をしていない。 ・海洋プレートと大陸プレートの2つのプレート ・プレートの運動方向や大地の隆起 ・海面より高くなる高さ	次の2つのことが空想的に正しく表現できている。また、火山活動と土地の隆起を関連させた表現をしていない。 ・海洋プレートと大陸プレートの2つのプレート ・プレートの運動方向や大地の隆起	次のことが空想的に正しく表現できている。 ・大地が隆起	大地の変動に関する表現はできているが、火山活動と関連させた表現をしていない。	大地の変動に関して表現ができていない。
流水による侵食・堆積	山が隆起によって高くなった土地が流水のほたらきによって削られてきた地形であることを表現できる。	次の4つのことが空想的に正しく表現できている。 ・海面より高くなる土地の高さ ・雨水や流水 ・侵食のようす ・現在の地形・地層	次の3つのことが空想的に正しく表現できている。 ・雨水や流水 ・侵食のようす ・現在の地形・地層	次の2つのことが空想的に正しく表現できている。 ・侵食のようす ・現在の地形・地層	侵食に関する表現はできているが、その原因について表現ができていない。	流水による侵食・堆積に関して表現ができていない。

表14 桜山形成のシナリオに関する具体的な評価基準

シナリオに関する 具体的な評価基準	評価基準				
	A	B	C	D	E
桜山の形成にかかわる5つの地学事象をすべて正しいシナリオを作ることができる。そのシナリオの中で、単元「大地の変化」で学習した知識を用いて、桜山に現在見られる岩石とその層序関係、および地形の形成について説明することができる。	次の2つのことがらを満たすシナリオを作ることができる。 ・5つの地学事象のうち4つ以上の事象が正しく並んでいる。 ・シナリオの中で5つの地学事象のうち、4つ以上の事象について説明文における評価基準B以上の説明ができてい	次の2つのことがらを満たすシナリオを作ることができる。 ・5つの地学事象のうち、3つの事象が正しく並んでいる。 ・シナリオの中で5つの地学事象のうち、3つの事象について説明文における評価基準B以上の説明ができてい	次の2つのことがらを満たすシナリオを作ることができる。 ・5つの地学事象のうち、2つの事象が正しく並んでいる。 ・シナリオの中で5つの地学事象のうち、2つの事象について説明文における評価基準B以上の説明ができてい	次の2つのことがらを満たすシナリオを作ることができる。 ・5つの地学事象のうち、1つの事象が正しく並んでいない。 ・シナリオの中で5つの地学事象のうち、1つの事象について説明文における評価基準B以上の説明ができてい	シナリオを作ることができない。あるいは、シナリオの中で5つの地学事象のうち、1つの事象について説明文における評価基準B以上の説明ができていない。

(注) 地学事象の説明文に関する記述の評価を優先する。

科学的な説明モデルとの一致が強調されすぎており、部分的に正しいシナリオを評価できないという問題点があった。そうした問題点の改善のために、5つの地学事象の説明文の内容の正しさと事象の時系列との整合性を規準として、表14に示したようなシナリオに関する評価基準を作成した。これは、先に示した2つの評価基準とともに、桜山形成のモデルづくりの実践の改善に資するものとなると考える。

5. おわりに

生徒にとって身近な自然である桜山を対象とした、大地の形成に関する「科学的なモデルづくり」の実践は、科学的な概念を使用して考えたり説明したりする学習活動や理科を学ぶことの有用性を実感できる学習活動の充実に寄与するものと期待される。しかし、同時に、それは、実際の大地の形成を対象とするが故に、生徒にとってより複雑で多様な自然の事象を対象としたモデルづくりへのチャレンジの場となる。見方を変えれば、それは「本物の学び」が実現されるチャンスとも言える。

今回の実践を踏まえて作成した評価基準をもとに単元「大地の変化」を実践し、その効果を検討していくことなど、検討や改善を要する課題は残されている。引き続き研究を進めていきたい。

<注および文献>

- 1) 中央教育審議会初等中等教育分科会教育課程部会(2007)「教育課程部会におけるこれまでの審議のまとめ」, p.52
- 2) 同上書, p.56
- 3) 同上書, p.56
- 4) 山崎敬人, 柴一実, 三田幸司, 風呂和志(2007)「子どもの思考や表現を生かした科学的なモデルづくりに関する研究(1)―小中連携を視野に入れた実態調査を中心に―」, 広島大学学部・附属共同研究紀要, 第34号, pp. 397-406
- 5) 文部省(1998)「小学校学習指導要領」
- 6) 文部省(1998)「中学校学習指導要領」
- 7) 山崎敬人, 柴一実, 神山貴弥, 吉原健太郎, 三田幸司, 風呂和志, 山下由紀(2006)「問題解決に生きてはたらく力を育成する理科学習の創造(3)―小学校理科単元「大地の創造」の開発―」, 広島大学学部・附属共同研究紀要, 第33号, pp. 333-342
- 8) 文部省(1999)「中学校学習指導要領解説―理科編―」, 大日本図書, p. 6
- 9) 下野洋(2002)「これから期待される地学内容の構成の視点」, 日本理科教育学会(編)「これからの理科授業実践への提案」, 東洋館出版社, pp. 196-199
- 10) 中山迅, 大場裕子, 猿田祐嗣(2004)「科学理論と現象を関係づける力を育てる教育課程の必要性―酸化・燃焼に関するTIMSS理科の論述形式問題に対する回答分析から―」, 科学教育研究, 28(1), pp. 25-33
- 11) 前掲書1), pp. 87-88
- 12) 2006年6月と7月に実施されたこの調査の対象となったのは、中学校第1学年の生徒84人であった。このうち、2005年度に同附属三原小学校第6学年で「大地の創造」の学習を経験した者は、同小学校から入学した76人であった。なお、この調査実施後、生徒の転入があったため、本研究で取り上げた単元実施時の中学校第1学年の生徒数は85人であった。
- 13) 前掲書4), p. 406
- 14) 河原富夫(1978)「広島県三原市東部地域の“高田流紋岩類”」, 地質学雑誌, 第84巻, 第8号, pp. 425-432
- 15) 山崎敬人, 柴一実, 神山貴弥, 風呂和志, 三田幸司, 吉原健太郎, 矢野佳吉子, 山下由紀(2004)「問題解決に生きてはたらく力を育成する理科学習の創造」, 広島大学学部・附属共同研究紀要, 第32号, pp. 213-216