

<実践報告>

科学者の問いの連鎖を体験するデジタル教材の開発

東原義訓 信州大学教育学部附属教育実践総合センター
 中村浩志 信州大学教育学部理数科学教育講座
 赤羽貞幸 信州大学教育学部理数科学教育講座
 漆戸邦夫 信州大学教育学部理数科学教育講座

The Development of the Science Digital Materials which Enable Children to Experience the Chain of Scientists' Questions

HIGASHIBARA Yoshinori: CERT, Faculty of Education, Shinshu University
 NAKAMURA Hiroshi: Natural Sciences, Faculty of Education, Shinshu University
 AKAHANE Sadayuki: Natural Sciences, Faculty of Education, Shinshu University
 URUSHIDO Kunio: Natural Sciences, Faculty of Education, Shinshu University

研究の目的	教員養成系の大学に所属する科学の専門家と教育工学の専門家および学生の共同により、科学者の研究成果を初等中等教育の理科教育に役立つデジタル教材として開発し提供する仕組みを構築し、実際にWeb教材を開発し、授業において活用することを目的とした。
キーワード	理科 科学者 問いの連鎖 デジタル教材 Web教材
実践の内容	開発したWeb教材を活用して理科の授業を実施した。
実践者名	授業：中島研一，長畦明人 教材制作：山本知穂，高垣文緒，山本一郎，谷口智香
対象者	長野県内小学校，信州大学教育学部学生
実践期間	2004年1月～2004年2月
実践研究の方法と経過	1 Web教材開発モデルの構築 2 科学者へのインタビュー，科学者からの資料の提供による教材設計 3 Web教材の開発 4 教材の試行（実践）と評価
実践から得られた知見・提言	本研究では、科学者の「問いの連鎖」を体験できるWeb教材を開発するために、人的な開発システムのあり方を提言し、科学者の目のつけどころ、疑問に思ったことなどに注目して、模倣型、目のつけどころ疑似体験型、解説・データベース型、科学者の語り型の4つのタイプの教材を作成し、その教材によって、「もっとくわしく調べてみたい」など児童・生徒の意欲や関心の向上への効果が期待できることを明らかにした。

1. はじめに

本研究は、広く研究者たちの英知を結集して研究を推進すべき「新世紀型理数科系教育の展開研究」の一環として、教員養成系の大学に所属する科学の専門家と教育工学の専門家および学生が共同して、科学者の成果を初等中等教育の理科教育に役立つデジタル教材として開発し、実際の授業で活用することを目的とした。

2. 開発すべき教材

科学者の「問いの連鎖」を追体験できる教材とするために、本研究では、模倣型、目のつけどころ疑似体験型、解説・データベース型、科学者の語り型の教材モデルを考案し、実際にそれぞれのモデルに基づいた教材を開発した。

(1) 模倣型

科学者がモデルを示し、それを児童・生徒が真似する方法で学習する教材である。この模倣型に適した内容としては、基礎的・基本的なものであること、活動が記述活動であることとした。具体的には、自然科学の基礎である事物・現象を観察・記録する活動を対象とした。科学者の観察記録には、その科学者がいっている「問い」が反映し、科学者の「目のつけどころ」が端的に現れているところに特徴がある。科学者の網膜に像を結んでも、記述されていないことがら、図と言葉の両方で詳しく記述されていることがらなど、自然の事物・現象のスケッチには、その科学者の見方が反映している。児童・生徒は、自分のスケッチと比較して、その違いに注目し、さらに手本として模倣することにより、科学者の観察を追体験する。

(2) 目のつけどころ疑似体験型

科学者が野外観察でどこに目をつけたかを、写真上で推測しながら、観察と実験の疑似体験をする教材である。まず、導入部分で最低限必要となる基本知識を学ぶ。次に、科学者が撮影した豊富な写真やビデオが児童・生徒に示される。児童・生徒は、ある科学者が目をつけたと推測される部分を写真上でポインターにより選択する。もし、その科学者と同じところに注目した場合には、その科学者と同様の疑似体験ができるように仕組みられた教材である。また、そこで科学者が立てた仮説の例が複数示され、どの仮説をその科学者が考えたかを推測する。科学者が判断を迫られた場面では、児童・生徒も質問の形式で判断を迫られる。Webページは画面単位の大きさで、児童・生徒とコンピュータとのインタラクションによって進行する。

(3) 解説・データベース型

ある科学者の辿った道筋を辿ることができる読み物的なWeb教材である。必要に応じて児童・生徒が要求することにより、関連する写真が拡大表示されたり、より詳しい解説のページに進んだり、アニメーションで分かりやすく表現されるなど、マルチメディア・ハイパーテキストの機能をもつ。解説文は、知識を伝えるものではなく、科学者がどこに目をつけ、どのような仮説をたて、どのような実験を行って、どのような結論を得たのか

を辿れるように工夫される。写真の拡大は、科学者の目のつけどころが強調されるように行われる。写真を使って解説をするのではなく、写真から何が読み取れるのか、写真を根拠に何が言えるのかを問いかける形式で読み物が進行する。問いかけに答えながら読み進むことによって、科学者の追体験ができるように構成される。また、関連する資料をデータベース化し、科学者が有する豊富な財産を利用可能とする。蓄積されるレコードの数を多くすることより、1レコードのフィールドの数を多くして、関連する豊富な情報が参照できるようにする。たとえば、野鳥のデータベースであるなら、野鳥の種類を多くするのではなく、ある種類の野鳥に限定した上で、同じ種類の野鳥の様々な場面の写真を蓄積する。

(4) 科学者の語り型

科学者が実際にビデオに登場して自分の研究における「問いの連鎖」について語るWeb教材である。ビデオでは、科学者が普段使っているノートやホワイトボードを使って解説する。科学者は、研究の厳密さよりも、「問いの連鎖」を重視して、その分野の専門家であっても、研究における科学者の発想の流れが、なんとなくわかるように、工夫して解説する。解説のビデオは小さなまとまりごとにクリップ化し、ビデオとビデオの間に、コンピュータからの質問を挿入する。質問の内容は、その科学者のひらめきや工夫を予測するものであり、選択肢の中から選択する。これにより、生徒はポイントを絞って集中して科学者の解説ビデオを視聴できる。ビデオの視聴後には、科学者の語った「問いの連鎖」のポイントを追体験するために、その科学者が行った代表的な実験をコンピュータ上でシミュレーションする。

3. 教材開発体制

3.1 教材開発チームの構成

①科学者（自然科学の研究者）、②教育工学者、③教員養成学部のコンピュータ利用教育分野の学生（ITを教育に如何に活用すべきかについて学んでいる）、④学校現場の教員、⑤自然科学以外の分野の大学教員から、開発チームを構成した。

3.2 開発のステップ

教材を開発するために、次のような開発ステップを考案した。

①科学者から、論文、素材等の資料の提供をうけ、②自然の事物・現象について、事実、注目したところ、頭に浮かんだ問い、仮説、実験など試したこと、その結果創造した知識について、インタビューにより分析し、③コンテンツの全体構成、画面構成、画面上の問いなどの設計を行い、④実際にデジタル教材として制作し、⑤小中学校等の協力を得て教材を試行し、⑥評価・改善を行う。この間、各ステップで科学者の評価を受ける。このような流れで実際にWeb教材を開発しながら、その開発ステップのモデルに修正を加えていく。

4. 開発されたWeb教材と試行

前述の4つのモデルに基づいて開発されたWeb教材の概要と試行結果について述べる。

4.1 模倣型

教材名：スケッチの達人をめざそう

対象：小学校6年，領域：理科，地球と宇宙，土地のつくり

原作：赤羽貞幸，平井智，制作：谷口智香，監修：東原義訓

概要：地層観察の事前学習教材。画面の地層の写真を見て描いた自分のスケッチと専門家のスケッチを比較して修正していく。科学者が地層を実際に観察しスケッチする過程をビデオで詳しく見られる。地学の専門家の目線を追って学べる。

(1)教材の構成

「プロの描き方を見てみよう」コース

地学の専門家がスケッチをするときのコツやノウハウがビデオと静止画によって学べるようになっている。専門家が描いたスケッチが完成していく過程，描く順番と地層のどこを見て描いているか，専門家の着眼点を同時に見ることができる。

「スケッチマスター」コース

途中まで描かれたスケッチを描き足したり，層の細かな様子を描いたり，写真を見ながらスケッチを描いて自分のスケッチと見本を比べ，足りない部分を描き足したり描き直したりする。実際に描いてみることで自分のスケッチの足りない部分や模範のスケッチとのちがいを知り，より専門家のスケッチに近づく。

「野外観察直前クイズ」コース

クイズ形式でスケッチの着眼点と地層の基礎知識を，野外観察の事前に確認する。

「いろんな地層を見に行こう」コース

長野県の各地にある地層の写真で観察の疑似体験をする。観察場所は，長野市西長野の裾花川付近，東筑摩郡坂北村，東筑摩郡明科町，南安曇郡堀金村大野沢，諏訪郡富士見町，上伊那郡長谷村，下伊那郡阿南町の7ヶ所である。現地に行かずに，崖の全体的な様子と拡大された一つ一つの層を見ることができる。学校の近くに十分な観察場所がない場合や，観察場所があっても危険な場合に利用する。また，学校の回りの地層が観察できる場合にも，身の回りにある地層と他の地域の地層を見比べることでいろいろな地層があることを学習する。観察の事前教材としても事後教材としても使うことができる。

(2)教材の試行

長野県内の小学校6年生1クラスを対象として試行した。

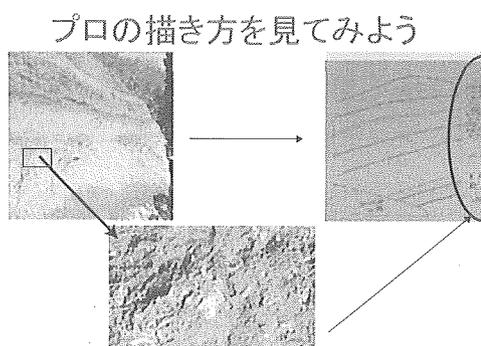


図1 教材の一部

児童のスケッチを比較することによって、最初に描き方のプロセスを学べる「プロの描き方を見よう」コースを学習することの重要性が示唆された。児童からは、「どこから書き出せばいいかわかった」「細かな部分に注意できるようになった」など、スケッチの描き方や目のつけどころが参考となったという感想が聞かれた。

4.2 目のつけどころ疑似体験型

教材名：カッコウの託卵の不思議

対象：小学校高学年，中学生，領域：理科，環境，生態学

原作：中村浩志，制作：山本知穂，監修：東原義訓

概要：理解を中心とした知識伝達型と「問いの連鎖」型の2つのコースから構成。後者では、写真が示され、どこに注目したいか、そこからどのような問いが浮かぶかが問われ、それと実際の科学者の思考が同様なものであったのかを比較しながら、科学者の辿った道を追体験して、自ら知識を創造していく。

(1)教材の構成

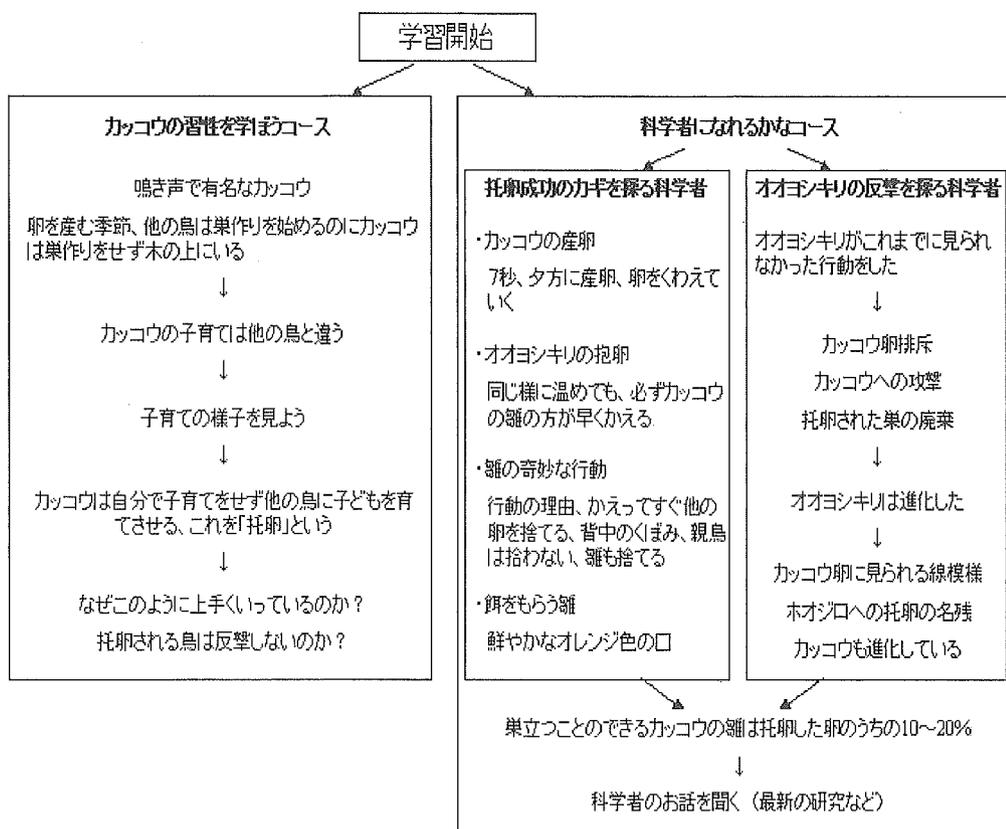


図2 「カッコウの託卵の不思議」教材の構成

本教材の構成を図2に示す。「カッコウの習性を学ぼう」コースは「科学者になれるかな」コースを始める前に、託卵について最低限の知識を得るためのコースである。託卵の様子と託卵を通してみられる進化を学習することができる。

「科学者になれるかな」コースは、科学者になりきって、2つのテーマ「托卵成功のカギ」、「オオヨシキリの反撃」を探りながら、科学者の辿った道筋を追体験する。

「托卵成功のカギ」は、習性を学んだ際に生まれた、「カッコウの托卵がここまでうまく成り立っているのはなぜか？」という問いから、托卵成功のカギを探る疑似体験である。

まずカギを探る4つの場面より探りたい場面を選択し、その場面の映像を見る。映像の一部を写真にしたものを見て、カギをなりそうな所や気になる所をクリックする。クリックしたところと科学者が目をつけたところとが一致すると、次画面に進む。クリックしたところと一致しないと、メッセージが表示され前のページに戻り、再びクリックして探る(図3)。

「オオヨシキリの反撃」では、習性を学んだ際に生まれた、「托卵されている鳥は反撃しないのか？」という問いから、托卵されている鳥とカッコウの進化という新しい知識を生み出すまでの過程を疑似体験する。目のつけどころの一致、不一致の展開の他に、学習者自ら説を立てる。科学者の研究の中にはまだ仮説段階のものもあるため、同じように疑似体験しながら説を立てる。写真など現在わかっている事実から、順に読みとれることを明らかにしながら説を立てる。

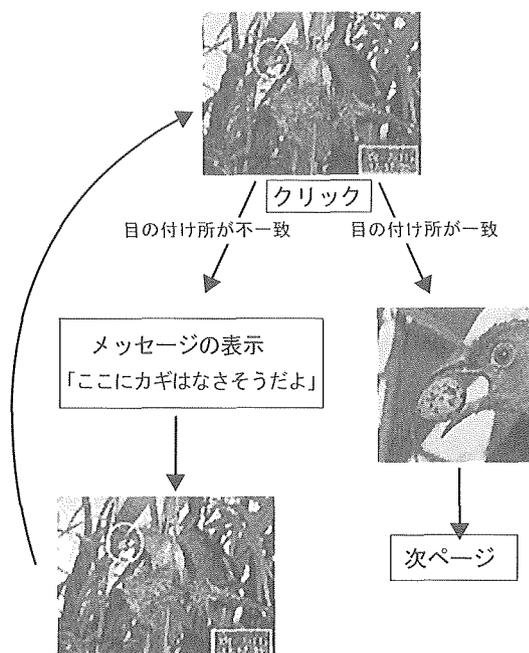


図3 カギを探る場面

(2)教材の試行

長野県内の小学校6年生1クラスを対象に試行した。児童の声に、「この他にも、カッコウみたいな鳥がいるのか見てみたい」、「他の動物もこのように調べて、動物のすごい力を見てみたい」、「カッコウにはまだ秘密があるかもしれないから、もっとくわしく調べたい」、「生きている世界が違っていると、生きるためにやる事が違うから、これを機会にすごく興味を持てた」と、もっと調べたいという意欲や関心が見られた。

4.3 解説・データベース型

教材名：みんなの森と鳥たちの役割

対象：小学校高学年、中学生、領域：理科、環境、生態学

原作：中村浩志、制作：高垣文緒、監修：東原義訓

概要：カケスの貯食行動を中心テーマとして、科学者が蓄えた貴重で豊富な写真データベースと科学者の研究過程の解説によって、科学者の目のつけどころを知り、

観察のポイントをつかむ野外観察事前教材。里山と人間との望ましい関わり方も学ぶ。

(1)教材の構成

「秋の森の様子を見てみよう」コース

豊富な写真を通して秋の森を見て、そこに住む動物たちの様子を見る。夏や冬の森の写真も見られ、同じ森でも季節によって全く違った姿をとらえることができる。だんだんに森に住む動物、そしてカケスに迫っていく。

「カケスってどんな鳥？」コース

カケスの貯食行動の研究を、写真を見ながら辿ることができる。①カケスの生態について②ドングリの貯食行動について③ドングリの芽生えの3つのブロックから構成される。

「貯食行動をする鳥たち」コース

カケスの他にも貯食行動の見られる野鳥や種子散布に関わる野鳥がいることがわかり、野鳥の様々な場面の拡大写真(原寸に近い大きさ)を見ることができる野鳥データベース。

「科学者になって森を見る」コース

カケスに対してどのような疑問が生まれ、どのように調査し、何を発見したのか、科学者を追体験する。森と人間のつながりについて触れ、人間と自然との望ましい関わり方も学ぶ。

「野外観察直前チェック」コース

貯食行動についての問題、カケスについての問題、野外観察のポイントについての問題

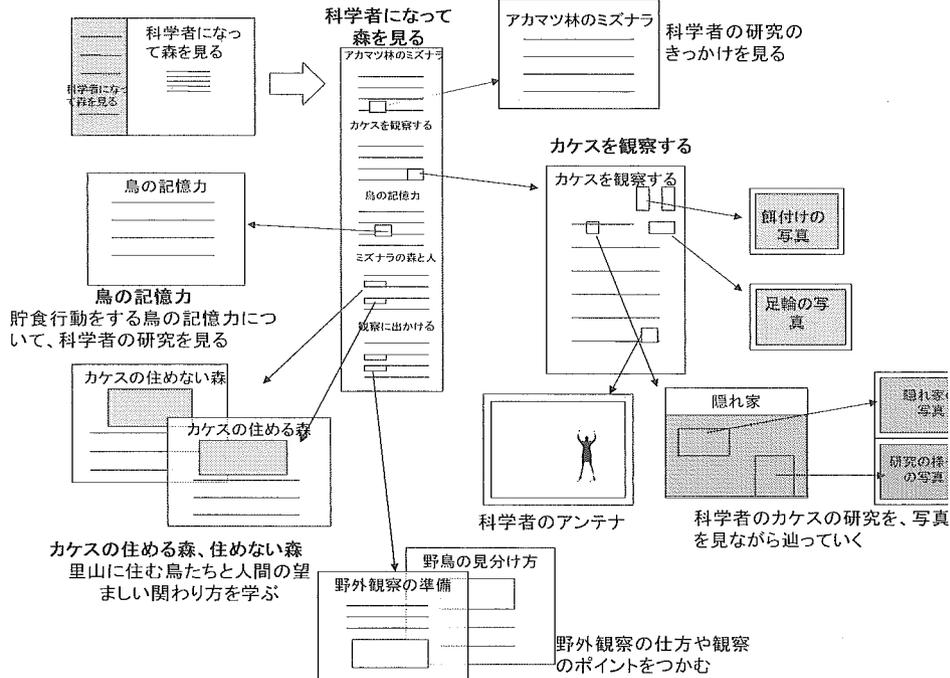


図4 「科学者になって森を見る」コース

からなり、野外観察の事前チェックができる。

(2)教材の試行

長野県内の小学校6年生1クラスを対象に試行した。

試行後のアンケートから、「もっと野鳥について知りたくなった」「以前より、野鳥の観察をしてみたくなった」と感じ、今までの授業と比べると「楽しく学習できた」、「鳥や理科について興味を持った」、「集中でき」、「次はこんなことを調べてみたい」という自発的な学習意欲につながったことが示された。ワークシートからは、多くの児童が、驚いたこと、なるほどと思ったことについて、もっと調べてみたいと感じていることが明らかになった。児童が本教材を通して科学者の研究や目のつけどころを見て、今まで知らなかった世界、違った見方を知ったことで、自然に対する視野が広がり、野鳥に対して「もっと詳しく知りたい」という興味・関心につながったことが、教師のアンケートからも明らかにされた。

4.4 科学者の語り型

教材名：環をつくろう

対象：中学生、高校生、大学生、領域：理科、化学

原作：漆戸邦夫、制作：山本一郎、監修：東原義訓

概要：科学者がビデオで自分の研究について語り、学習者は科学者の発想などを予測する問いに答えながら進む。分子構造を表現可能な3Dソフトの画像を豊富に利用。

(1)教材の構成

「環って何？」コース

「環をつくる」を学習する前に環の基本的な知識を学ぶ。環とはどういったものか、環のできる仕組み、どのように環の存在を確認するのか、環はどのように利用されるのか。

「環をつくる」コース

研究の中で体験したこと、特に失敗したこと、もっとよい結果をえようとして試してみた工夫を化学者自身が語ったビデオにそって学習する。学習者は、化学者が直面した問題や課題に対する予想を画面に回答しつつ、ビデオを見てゆく。正解はビデオの中にあるので学習者自身が化学者の語りの中から読み取る。科学者が問題解決する視点や発想、そしておもしろさを感じ、化学者の研究の上でしてきた体験を追体験する。

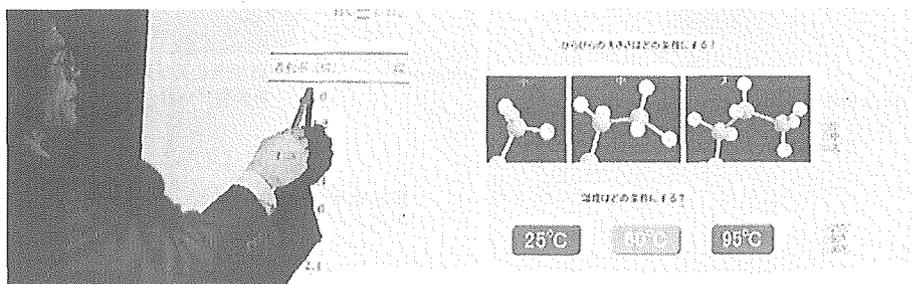


図5 「科学者の語り」と「シミュレーション画」画面

「環をつくろう」コース

条件を選び、環化重合の実験を疑似体験するコース。化学者が、「環をつくる」コースで、研究の醍醐味として自分の仮説の検証を語っていた場面のシミュレーションである。

(2) 教材の試行

大学生4名、大学院生1名、原作者1名を対象に試行した。

学生からは「何回も違う条件で、繰り返し実験をしている」、「こんなに試行錯誤しながら、いろいろなものをつくって、すごく苦勞している」など、化学者に対するイメージが変わったという感想がよせられ、原作者は、「僕が環に興味を持ってやってきたことについてはけっこう反映されていると思いますが、どれだけの人が興味をもってくれるだろうか・・・」といった感想であった。

5. おわりに

科学者の「問いの連鎖」を追体験できるWeb教材の開発を目的として研究を進め、およそ次の事柄が明らかになった。

(1) 科学者の「問いの連鎖」を追体験するための教材のモデルとして、模倣型、目のつけどころ疑似体験型、解説・データベース型、科学者の語り型を考案し、実際にそれぞれのモデルに基づいた教材を開発し、試行することにより、それぞれのモデルが科学者の問いの連鎖を追体験する教材作成の方法として有効である可能性が示された。しかし、どのような「問いの連鎖」の条件のときに、どのモデルが有効であるのか、また、それぞれのモデルの違いによる効果の差異などについて明らかにすることは、今後の課題である。

(2) 科学者、教育工学者、学生からなる教材開発チームを構成することは、教材を開発するために有効な手段であることが明らかにされた。制作者が科学者から情報を得るための有効な方法として次のことがらが指摘された。

①研究者の興味のある部分を引き出す。科学者が研究の醍醐味だと思っている部分は、学習者にとってもおもしろい。この部分に研究の本質や本質につながることもあることも少なくないので、納得できるまで聞くようにする。

②科学者の話した内容を自分の言葉で必ず表現して、認識が正しいのかを確認する。

③自分がポイントだと感じたところをつつこんで聞く。自分がポイントだと感じたことは教材をつくる上で深めていくところになる可能性が高い。

④具体的にポイントを絞って聞く。科学者に協力する気持ちがあっても、どんなことを語ればいいのか分からない。ポイントを絞って質問することで、科学者も教材制作者がどんな情報を求めているか分かり、漠然とした情報ではなく具体的な情報を提供しやすくなる。ポイントがずれていることが発覚した場合はその場で修正できるという利点もある。

⑤理解できなければ聞きなおす。具体的にどこが分からなかったかを伝えれば、その部分について違う角度、例えなどから説明をしてもらえる。

⑥自分に教材化するだけの知識がなければ、科学者に語ってもらう。ビデオカメラの前で

語ってもらい、語りの展開に合わせて教材を構成する。

(3)「問いの連鎖」を教材化した制作者の開発過程を分析し、次の開発ステップが抽出された。

- ①ステップ1：代表的な研究内容を説明してもらい、文書化する。
- ②ステップ2：教材化する研究内容を決め、その詳しい情報と資料を得る。
- ③ステップ3：話や資料から、研究内容とキーワードをまとめる。
- ④ステップ4：どこに注目し、重要と考え、どう伝えたいかを聞き、教材の構想を相談する。
- ⑤ステップ5：得た情報の中から教材化する内容と方法を決め、構想を立てる。
- ⑥ステップ6：構想を伝え、情報と資料（図鑑、写真等）を得る。必要な質問をする。
- ⑦ステップ7：オーサリングツールを用いて教材作りに入る。
- ⑧ステップ8：教材をつくる中で必要になった資料を入手する。
- ⑨ステップ9：ほぼ完成した教材を試行し、改善点を指摘してもらい、修正する。

(4)学習者が疑似体験すべき道筋を明らかにするために、資料や、インタビューから得られた情報を、「事実」、「注目したところ」、「生まれた問い」、「仮説」、「試したこと」、「生まれた知識」の項目からなる表に整理することが有効であることが示された。

本研究では、科学者の「問いの連鎖」を追体験できるWeb教材を開発するために、人的な開発システムのあり方を提言し、科学者の目のつけどころ、疑問に思ったことなどに注目して、4つのタイプの教材を作成しうることを実際の教材開発を通して明示し、その教材によって、「もっとくわしく調べてみたい」など児童・生徒の意欲や関心への効果が期待できることを明らかにした。

謝辞

Web教材の制作は下記に挙げる卒業研究として実施され、教材の試行には、長野県南安曇郡豊科町立豊科北小学校、長野市立柳原小学校、上田市立北小学校、信州大学教育学部の皆さんに協力いただきました。感謝申し上げます。本研究は、文部科学省特定領域研究「課題番号15020226」として実施されたものである。

信州大学教育学部卒業研究（2004）

山本知穂、科学者が辿った道筋を疑似体験できる教材「カッコウの托卵の不思議」の開発

高垣文緒、貯食行動の見られる野鳥の野外観察を支援する携帯情報端末対応の教材開発

山本一郎、高分子化学の世界を化学者の着眼点にそって可視化したデジタル化学教材の開発

谷口智香、野外地学観察のためのタブレットPCを用いた事前学習教材の開発

(2005年4月30日 受付)