

モロッコ産隕石の収集と科学教育・理科教育における活用

川上紳一¹・勝田長貴¹・東條文治²

1：岐阜大学教育学部

2：名古屋芸術大学人間発達学部

山中敦子³・小野輝雄⁴

3：蒲郡市立生命の海科学館

4：化石隕石研究家

Collecting Morocco meteorites and applications in science and technology education

Shin-ichi Kawakami¹, Nagayoshi Katsuta¹, Bunji Tojo²,

1 : Faculty of Education, Gifu University, Gifu-shi, 501-1193, Japan

2 : Nagoya University of Arts, Kitanagoya-shi, 481-0006, Japan

Atsuko Yamanaka³ and Teruo Ono⁴

3 : Gamagori Museum of Life and Ocean, Gamagori-shi, 443-0034, Japan

4 : Fossil and meteorite researcher, Mizuho-shi, 501-0236, Japan

要 旨

モロッコ産隕石を収集し、自然史博物館での展示や小・中・高等学校での出前授業、大学の公開講座での活用を始めた。これまでに収集した隕石は、鉄隕石、石鉄隕石、炭素質コンドライト、普通コンドライト、エコンドライトなど主な分類群を網羅している。これらに加えて未分類のモロッコ産隕石を大量に確保した。そのなかには、重量が100gから2.7kgで、顕著な溶融表皮、レグマグリプト、フィンガープリント構造があり、宇宙から大気圏を通過して地表に落下したことを物語るものを多数確保している。理科教育や科学教育における隕石活用の意義を考察するとともに、収集した隕石を用いたこれまでの教育活動を示し、理科教材としての隕石活用の効果について報告する。

【キーワード】：隕石、地球惑星科学、理科教育、博物館教育、偏光顕微鏡

1. はじめに

学校教育や生涯学習の現場において、学習者の興味・関心を高め、実感をともなった理解を図ることは重要な課題となっている。地球や宇宙に関する学習では、天体や星空を学習者にとって身近な存在にするための魅力的な教材を開発する必要性が高まっている。小惑星探査機「はやぶさ」の帰還は、多くの人々に感動を与え、太陽系や宇宙に対する興味関心を高めるうえで大きな影響を与えている。その結果、隕石や太陽系物質についても関心が高まっている。

天文分野における理科教育・科学教育の展開については、これまでもプラネタリウムや科学館、博物館を活用した取り組みがあり、このなかで隕石を扱ったものもある（山中ほか、2003, 2005）。博物館に展示されている隕石につ

いては、実際に手で触ったり、直接観察することができない場合が多い。本研究では、市販されている良質の隕石を数多く確保し、学習者が直接触って観察することを通じて、疑問を抱いたり、謎を見つけ出し、主体的な探究活動を通じて学びを深めるような学習プログラムを構築する手立てとしている。ここでは、その第一歩として、これまでに収集した隕石標本の概要を示し、今後の課題や展望について述べる。本研究では、走査型蛍光X線顕微鏡を用いて隕石の元素マッピングを行っているが、エネルギー分散型X線分析装置を用いた隕石の教材化については大場ほか（1999）の研究がある。中学校の理科学習において隕石を教材として用いた実践には吉川ほか（2007）があるが、本研究のように、多様な隕石を質的量的に収集し教材化を試

みているわけではない。

2. 学習指導要領における位置づけ

平成20年に公示された中学校学習指導要領解説-理科編では、地球と宇宙の単元のなかの(イ)「太陽系と恒星」において、観測資料などを基に、惑星と恒星などの特徴を理解するとともに、惑星の見え方を太陽系の構造と関連づけて捉えること」という記述があり、内容の取り扱いについては、「太陽系には惑星以外にも、彗星や冥王星などの天体が存在することにも触れる」とされている。こうした記述を受けて、教科書のなかに、クレーターや隕石の写真を掲載しているものもみられる。

一方、高等学校学習指導要領-理科編では、科目「地学基礎」において学習する内容として、(1) 太陽系の誕生と生命を生み出す条件を備えた地球の特徴を理解すること、(2) 地球の成層構造とその状態を理解すること、(3) 古生物の変遷と地球環境の変化を理解することが挙げられている。

中学校の理科や、高等学校の「地学基礎」の授業において、隕石を教材として扱う場面としては、

(1) 太陽系の構造に関して、小惑星、彗星やそれらの天体の探査に関する学習

(2) 太陽系の形成過程に関して、惑星の材料物質、内部分化に関する学習

(3) 惑星の内部構造に関して、地殻、マントル、中心核の構成物質に関する学習

(4) 生物の変遷に関して、恐竜絶滅事件や天体衝突事件に関する学習

が考えられる。いずれも観察や実験が困難な内容であり、教師による説明を聞いたり、資料を調べるといった活動が中心になりがちであり、実感をともなった理解に向けて、実物標本の観察は効果が挙げられる可能性がある。

3. 隕石の教材化

(1) 隕石の収集

隕石は宇宙から落下した固体物質で、鉄隕石、石鉄隕石、石質隕石に分類されている。また、落下が目撃された落下目撃隕石と地上に落ちて

いるものが発見された発見隕石に分けられている。隕石は地上で風化しやすいため、発見隕石の多くは鉄隕石である。隕石の落下は稀であるため、実物標本の入手は困難とされてきた。ちなみに、岐阜県内における過去100年間における隕石の落下については、美濃隕石、笠松隕石など4例が知られているのみである。

ところが、1990年代からサハラ砂漠で大量の隕石が発見されており、ミネラルマーケット等での入手が可能となっている。本研究では、モロッコ産の隕石を中心にいろいろな種類の隕石標本を集め、さまざまな学習現場で実物標本として活用している。また、モロッコ産の隕石の多くは未記載であり、貴重な隕石については、地球惑星科学における研究用としても活用できると期待される。こうした取り組みのきっかけは、隕石を扱っている外国人とのネットワークを構築できたことが大きい。

収集している隕石については、これまでに発見されている主な分類群を網羅すべく、多様な隕石を収集している。これらの多くは地球惑星物質科学的にも貴重なものが含まれている。隕石については、一つ一つ名前がつけられており、発見場所、発見年の情報も重要となっている。これまでの収集状況については、次のようである。

(a) 鉄隕石

鉄隕石は鉄ニッケル合金の金属組織が顕著なものが多くあり、鉄隕石の特徴となっている。ウィドマンシュテッテン構造と呼ばれる金属組織が顕著な隕石として、石鉄隕石であるがセイムチャン隕石がある。また、鉄隕石の塊状標本としては、カンボ・デル・シエロ隕石を確保している。

(b) 石鉄隕石

石鉄隕石は大きくパラサイトとメソシデライトに分類される。パラサイトには、鉄に含まれるケイ酸塩鉱物としてかんらん石からなるメイン・グループと、輝石などの結晶を含むいくつかのマイナーなグループがある。メソシデライトは、ケイ酸塩の岩石質の部分を含み、隕石母天体の表層地殻に由来すると考えられている。パラサイト隕石については、重量1kgのエンドカット標本であるブラヒン隕石のほか、セイム

チャン隕石，イミラック隕石を確保した。

メソシデライトは鉄ニッケル合金とケイ酸塩物質の混合物であり，隕石母天体表層部での融解を受けている。メソシデライトについては，NWA4747の板状にカットした標本を確保している。

(c) 炭素質コンドライト

炭素質コンドライトは太陽系物質のなかで，もっとも始源的な物質の仲間である。過去100年に落下した隕石の中では，アエンデ隕石とマーチソン隕石が有名である。アエンデ隕石 (CV3) については，太陽系で最も古い年代を示す物質カルシウム・アルミニウム包有物 (CAI) が発見され，注目を集めた。一方，マーチソン隕石 (CM2) については，有機物が発見され，生命の起源との関係で注目を集めた。今回収集した隕石のうち，アエンデ隕石は20cm×14cmの大きさの板状にカットした標本を確保した。また，マーチソン隕石については重量が4g程度のものであるが，有機物の匂いが残っているものであった。このほかに，CR2隕石としてNWA1180隕石を確保した。また，CO隕石としてはNWA1323隕石を確保した。

(d) 普通コンドライト

普通コンドライトには，Hコンドライト，Lコンドライト，LLコンドライトの3つのグループがあり，それらは金属鉄と珪酸塩鉱物中の酸化鉄の量比で分類されている。また，コンドリュールに含まれているかんらん石中のFe/Mg比も分類の指標となっている。こうした分類は，化学的な性質によるものであるが，普通コンドライトは隕石母天体内部における熱変成作用を受けており，比較的コンドリュールが明瞭で不透明物質からなるマトリックスにかこまれた岩石学的タイプ3型から，徐々にコンドリュールが不明瞭になる4～6型に分類されている。普通コンドライトについては，H3.8コンドライトのNWA532，H5コンドライトのガオ (Gao)，L5コンドライトのBecher，LL3.2コンドライトのBegaaなどを確保したほか，未分類の多くの隕石が普通コンドライトに分類される。

(e) エンスタタイトコンドライト

エンスタタイトコンドライトは還元的な環境

でできた隕石であり，輝石はほとんどがエンスタタイトである。EH6コンドライトであるNWA974を確保した。

(f) エコンドライト

エコンドライトは，隕石母天体でマグマが生成し，冷えて固まった火成岩の岩石組織を示す隕石である。ホルダイト，ユークライト，ダイオジェナイトは，それらの頭文字をとってHED隕石と呼ばれているが，これらは小惑星ベスタ起源であると考えられている。HED隕石については，ミルビリリー隕石，キャメルドンガ隕石，スマラ隕石，ドーファ007隕石などを確保した。これらはいずれもユークライトに分類される。また，角礫岩組織を示すホルダイトについては，14×8cmのNWA5971の板状にカットした標本を確保した。

火星起源の隕石にはシャーゴットタイト，シャシナイト，ナクライトが知られている。シャーゴットタイト隕石としては，NWA2975，NWA2986，DAG735を確保した。また，シャシナイトについてはこれまでに2個の隕石が確認されているだけであり，NWA2737隕石を確保した。

月起源の隕石には，高地の斜長岩と海の玄武岩が知られている。斜長岩質隕石として，DAG400，NWA5000，NWA2727を確保した。また，海の玄武岩としてはNWA032を確保した。

アングライトはエコンドライトのなかで，水星起源ではないかといわれている珍しい隕石である。ここではSahara99555を確保している。

これらの隕石標本について，デジタルカメラで撮影を行い，webサイト教材隕石図鑑を構築した。また収集した隕石については薄片を作成し，含まれているコンドリュールについて顕微鏡写真も掲載している。

(g) 未同定隕石

分類群が不明の未同定隕石には，溶融表皮など，隕石としての特徴を備えた観察用の隕石を確保した。授業での観察には少なくともグループに1つは必要であり，重量が100g以上のものを10個以上は確保している (図1)。



図1. 観察用の隕石標本の例. 熔融表皮がみられるもの. 球形磁石の直径が20mm.

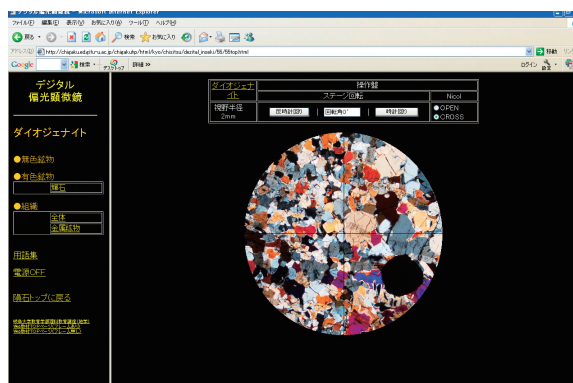


図2. デジタル偏光顕微鏡 - 南極隕石表示システムの表示画面の例. ダイオジェナイトのクロスニコルの画像が表示されている.

(2) 南極隕石観察システム

教育用南極隕石薄片セットを借用し、偏光顕微鏡観察を行って、web教材を開発した。教育用南極隕石薄片セットは、国立極地研究所南極隕石ラボラトリーから借用したもので、エンスタタイトコンドライト1種、普通コンドライト12種、炭素質コンドライト3種、始源的エコンドライト1種、エコンドライト10種（火星起源のシャーゴットタイト、月起源の斜長岩を含む）、パラサイトとメソシデライトそれぞれ1種からなる。それぞれについて岩相を示す偏光顕微鏡写真ならびに構成鉱物やコンドリュールの特徴を示す偏光顕微鏡写真を撮影した。

web教材は、「デジタル偏光顕微鏡」と名づけたもので、web画面においてステージの回転操作を行うボタンをクリックすることで、偏光顕微鏡を用いた観察をシミュレーションできるようにした。偏光顕微鏡は偏光板を出し入れすることで、オープンニコルとクロスニコルで薄片を観察する。その際に薄片を載せたステージを回転させて鉱物の光学的性質を調べる。こうした観察をweb上でできるようにするため、オープンニコル、クロスニコルについて、ステージを10度ずつ回転させて写真撮影を行い、ステージ回転ボタンのクリックにともなって表示する画像を変更できるようにした。

開発したweb教材「デジタル偏光顕微鏡 - 南極隕石観察システム」は、webサイト教材「理科教材データベース」に登録し、2006年からweb上で利用できるようにしている (図2)。

(3) 走査型X線分析顕微鏡による元素マッピング

収集した隕石標本のうち、板状にカットした標本については、掘場製作所の走査型X線分析顕微鏡XGT-2000V（略称SXAMで記述）により元素マッピングを行った。

分析に用いた隕石は、火星起源とされる月斜長岩 (NWA5000, DAG400), ユークライト (スマラ, ドーファ007, ポリミクトユレイライト (DAG319), およびシャーゴットタイト (DAG739) シンナイトNWA2737 である。SXAMによる元素マッピングは、非破壊で広領域の隕石研磨面を走査して元素組成の画像を得ることができるものであり、隕石の研磨面におけるさまざまな構成元素の分布の把握や元素組合せによる化学組成の推定を行うことができる。

図3に、月起源の斜長岩であるNWA5000の測定で得られたさまざまな元素の相対存在度をX線カウント数として示す。この隕石は月の高地に由来するレゴリスブレッチャであり、天体衝突で落下した隕石中の鉄ニッケル合金からなる粒子を含むことが特徴的である。

図4には、火星起源の隕石シンナイトNWA2737の測定結果を示す。シンナイトは地球上で発見されている隕石としては2つしか知られていない。NWA2737隕石は2000年にモロッコで入手した隕石のなかに含まれていたものであり、2006年にシンナイトであることが判明した。この隕石は火星のかんらん岩であり、かんらん石からなるダナイトに分類される。か

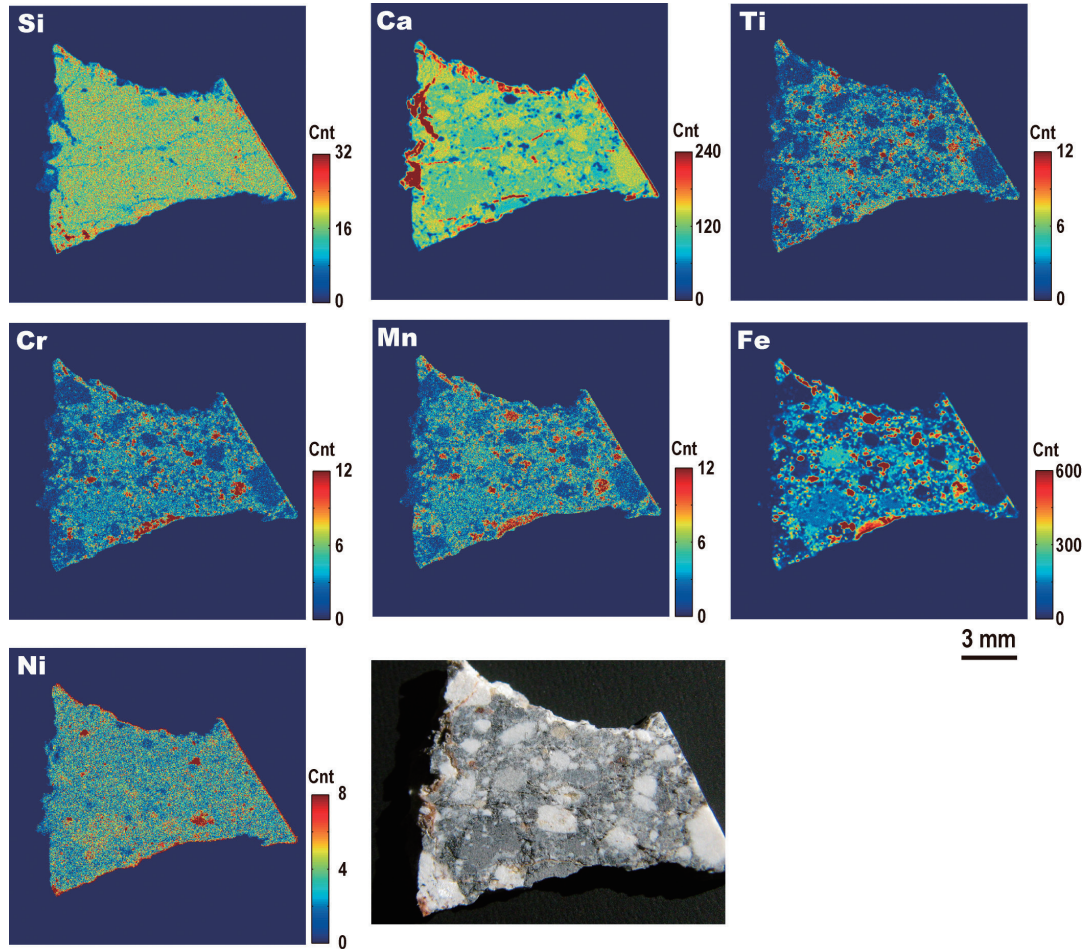


図3. 月起源隕石NWA5000の元素マッピングの結果。本隕石は斜長岩質角礫岩で鉄ニッケル合金を含むレゴリス・ブレッチャ。

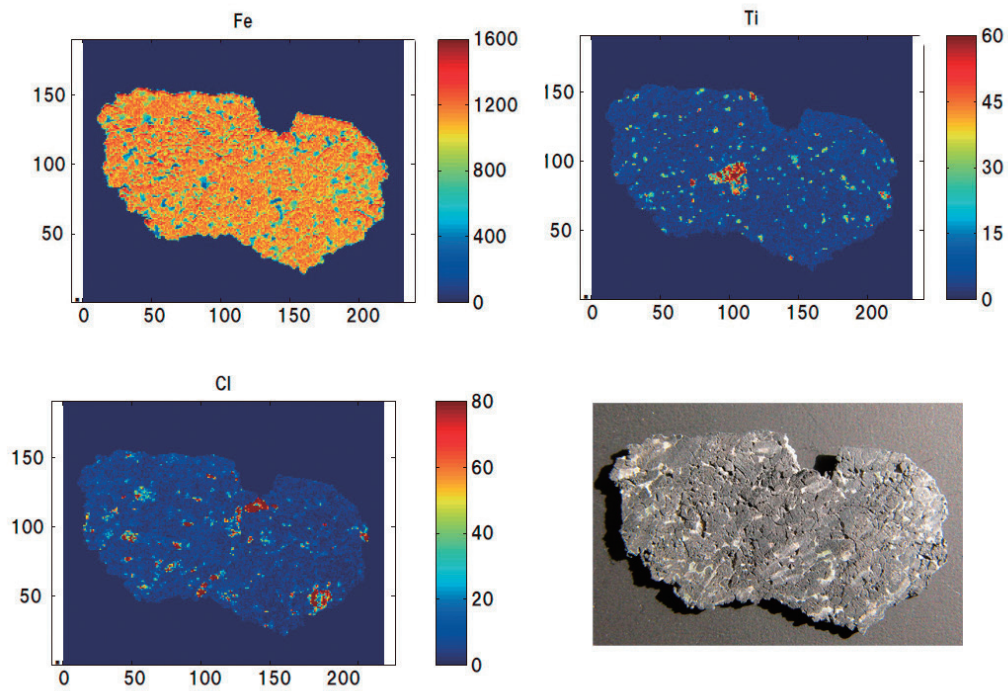


図4. 火星起源隕石NWA2737の元素マッピングの結果。本隕石は主にかんらん石の結晶からなる。衝撃変成でかんらん石は黒色化している。

んらん石には鉄を多く含む。この隕石は強い衝撃変成作用を受けており、青みがかかった黒色を示す。分析結果にはClの濃集している部分が見られるが、これは地球に落下してからの風化作用によるものであると考えられている。

これらの分析例からわかるように、SXAMは、隕石の岩相と化学組成の対応関係を非破壊で分析する手法としてすぐれている。

4. 隕石標本データベースの教育利用

(1) 岐阜大学隕石コレクション展の開催

これまでに収集した隕石と、地上の天体衝突クレーターで採取したシャッターコーン、スーパーバイト、テクタイトなどを「岐阜大学隕石コレクション」として、岐阜県七宗町・日本最古の石博物館で展示した(図5)。展示した隕石は、月起源隕石(NWA2727など)、火星起源隕石(NWA2986)、小惑星ベスタ起源隕石(HED隕石)などを含んでおり、由来した惑星や小惑星が推定されているものである。展示期間は平成23年5月から平成24年3月1日までを予定しており、期間中に「かぐやが見た月写真展」を開催した。この展示は、来館者から好評を得ている。この企画展示については、2012年3月以降も継続する計画であり、展示する隕石については定期的に入れ替えを行っていく計画を立てている。



図5. 日本最古の石博物館の岐阜大学隕石コレクション展示コーナー。

(2) 公開講座・SPP講座・理科授業などでの活用

これまでに中学生・高校生を対象にして、隕

石を教材とした講座を実施している。岐阜県立加茂高校のSPP講座では、天体望遠鏡(コルキットKT-5)の製作ならびに、隕石を展示している日本最古の石博物館の見学などを実施している。

滋賀県立河瀬中学校のスタープログラムでも、天体望遠鏡(コルキット・スピカ)の製作、月の観察、クレーター実験を行うなかで、隕石の観察を取り入れている。

また、日本学術振興会・ひらめき☆ときめきサイエンス講座では、「天体望遠鏡を作って探れ! 月隕石のひみつ」というテーマで、天体望遠鏡(コルキット・KT-5)の製作、月の観察、クレーター実験を行うなかで、月隕石の解説を行うという内容で実施している。

これらの講座では、月面に多数のクレーターが観察できること、クレーターは隕石衝突でできること、クレーターの形成過程をカラーサンドを用いた実験で理解することを狙っており、こうした学習活動の結果、月の表面物質が天体衝突で飛び散った物質が集まってできたことを推論することを目指している。実際に観察する隕石についても、月やベスタ起源のものはインパクト・ブレッチャであることがわかるものを選んで収集している。

(3) 隕石の教材化としての意義

吉川ほか(2007)は流星群や隕石を教材として用いた授業を行い、その効果について報告している。宇宙塵・隕石に触れた感想としては、(1) 驚きやすごさ、(2) 不思議・神秘的、(3) 感動、(4) 身近さ、(5) よかったといったカテゴリーに分けられている。学習効果としては、興味・関心の高まること、宇宙を身近に感じることができていることが挙げられている。本実践では、天体望遠鏡の製作や月の観察、クレーター実験などの探究的な活動を多く取り入れたため、面白かった、うれしかった、感動したといった感想が多く寄せられた。以下に、参加者の感想の例を示す。

・自分で天体望遠鏡を作れて楽しかった。知らなかった隕石のことを学ぶことができて良かったです。月や土星を身近に見れるようになってうれしいです。

・5 cmの望遠鏡をつくれたのがとてもうれしかった。また月の海やクレーター、木星とその衛星がとてもきれいだった。

・とっても楽しかったです。将来は石関係の仕事で人によろこんでもらえるようなことをしたいなと思っています！

・月のクレーターや海があることは知っていたけれど、どうやってできたかとかは考えたことがありませんでした。自分でつくった天体望遠鏡を見たり、砂で実験をしてとても楽しかったし、興味がわきました。

5. 今後の展望

隕石は多様な種類があり、落下地点や発見年ごとに分類、命名されてカタログ化されている。落下や発見のエピソードについても興味深いものがあり、隕石研究者だけでなく、博物館や個人コレクターの間でも貴重なものとされている。隕石にはさまざまな個性があり、それらを生かした教材化や学習プログラムの構築が可能であり、その内容は収集した隕石標本と切り離せない関係にある。今後は、より充実した標本収集とそれらを活用した学習プログラムの開発が課題である。そのために、サハラ砂漠における隕石集積基地となっているモロッコ王国のザゴラ、エルフード、リッサニーなどの町で現地調査ならびに情報収集を行うことを計画している。

謝辞.

岐阜県七宗町日本最古の石博物館とは、平成19年より、博物館展示や生涯学習活動において連携を深めており、収集した隕石の展示コーナーの設置に協力していただいている。また、この

展示は、岐阜大学活性化経費地域連携として実施している。第23回岐阜大学シンポジウムならびに岐阜大学フェアの開催では、岐阜大学研究協力課の支援を受けている。

本研究で収集した学術的にも貴重な標本については、フランスの隕石収集家ブルーノ・フェクタシーとキャリー・ビドー氏などに提供していただいている。さらに、教育用南極隕石薄片セットの教材化では、国立極地研究所の小島秀康教授に協力していただいた。ここに記して深謝する。

引用文献

- 文部科学省 (2008) 中学校学習指導要領解説－理科編, 大日本図書.
- 文部科学省 (2009) 高等学校学習指導要領解説－理科編, 理数編. 実教出版.
- 大場孝信・渡辺隆・小川茂・五百川裕 (1999) エネルギー分散型X線分析装置 (EDS) を使った教材の開発, 上越教育大学研究紀要, **19**, No.1, 111-121.
- 山中敦子・村越英昭・小田泰史・川上紳一 (2003) 地域で育てるWEB教材「トレジャー・プラネット」の開発と実証実験, 日本科学教育学会研究会研究報告, **17** (6), 341-342.
- 山中敦子・村越英昭・小田泰史・川上紳一 (2005) WEB教材を作る・育てる～学校から家庭へ, 家庭から地域へ～. 日本科学教育学会年会論文集, **29**, 11-14.
- 吉川武憲・フェテケレ・プリンス・ロォネックス・フンサニ・松原緑・豊岡修・多田祥成・古川貴仁・香西武・村田守・西村宏・小澤大成 (2007) 中学校における流星群・流星塵・隕石の教材化, 鳴門教育大学学校教育研究紀要, **22**, 83-88.

