

天体望遠鏡による月面観察とクレーター形成実験

—伊奈波中学校におけるサイエンスパートナーシッププロジェクトにおける実践報告—

川上 紳一・鈴木かおり・東條文治*

岐阜大学教育学部理科教育講座(地学)

伊奈波中学校

岐阜市則武1816番地

Telescopic observation of lunar surface and cratering experiments:
The practice at Inaba Junior High School
as Science Partnership Project (SPP)

Shin-ichi Kawakami, Kaori Suzuki, Bunji Tojo*
Faculty of Education, Gifu University, Gifu, 501-1193, Japan

The Inaba Junior High School
1816 Noritake, Gifu, 502-0931 Japan

要旨

文部科学省科学技術理解増進事業の一つであるサイエンスパートナーシッププロジェクト(SPP)ト事業による支援を受けて、岐阜市立伊奈波中学校において、研究者招へい講座を実施した。この講座では、中学校理科第2分野における「地球と宇宙」の単元に関連させて、生徒自身による観察を重視した取り組みを行った。2007年度は、月面の模様、地形、クレーターに関する観察を促し、月の進化に関する理解を深めるようなプログラムを開発し実践した。講座は3つのプログラムから構成されており、2006年10月16日から19日に行われた第1回目の講座ではクラスごとに天体望遠鏡(スピカ)の製作実習と天体望遠鏡のしくみについての解説、天体の観察の仕方や課題についての説明を行った。全クラスが天体望遠鏡の製作を終えた11月2日と11月29日に希望者を募集して校庭での天体観察会を実施した。まとめの講座は2006年12月12日から15日にかけて、クラスごとに生徒たちの観察記録を用いて、月面について気づいたことを発表していただき、クレーターがどのようにできたかについて課題作りを行ったあと、色のついた砂で成層構造をした標的を作り、鉄球を落下させるクレーター形成実験を行った。この講座の終了後に質問紙を配布し、講座の内容が適切だったか、興味や関心が高まったかどうかについての調査を行った。天体望遠鏡による月面の観察と、クレーター形成実験による月の進化の学習は、生徒たちにとって興味深いものであり、科学的探究心を育くむ有効な学習プログラムであることが示された。

【キーワード】サイエンスパートナーシッププロジェクト、月、クレーター、実験、天体望遠鏡、中学校

1. はじめに

私たち現代人は、ICTの普及による情報化社会の到来、遺伝子工学の発達による生命の改変や新しい医療技術の波、エネルギーや地下資源に対する需要の高まりと枯渇への懸念、地球環境問題などの環境問題の顕在化など、複雑化する社会に生きている。私たち現代人が明るい未来へ向けて生活の質を高めていくうえで、科学技術に対する理解と関与は不可欠となっている。

文部科学省が平成14年度から実施しているサイエンスパートナーシッププロジェクト(SPP)は、先進的な科学技術や理科教育に活用できる様々なリソースを持つ大学、研究機関、企業等と学校現場が連携することにより、第一線の研究者・技術者による特別授業などを実施し、次世代を担う青少年が、科学技術に夢と希望を傾け、科学技術に対する志向を高めていくことを目的としている。

*) 現在の所属：名古屋芸術大学人間発達学部子ども発達学科

筆者（川上）は、こうした取り組みに平成15年度から関わるようになり、岐阜県加茂高等学校で天体望遠鏡組立キット（KT-5）の製作を取り入れた天文学習の講座を実施してきた。平成17年度には、岐阜市立伊奈波中学校3年生5クラス約170名を対象に、天体望遠鏡（スピカ）の製作と、金星の継続的観察をテーマにした講座を実施し、生徒たちの宇宙に対する興味や関心を高め、継続的観察によって自然の移り変わりを実感し、その仕組みに対する理解を促す取り組みを実施した（川上ほか、2006）。本論文は、平成18年度に伊奈波中学校で、3年生4クラス150名を対象に実践した月の継続的観察とクレーター形成実験を取り入れたSPP事業の内容、生徒の学習状況、アンケートによる事後評価を報告するものである。

これまでに筆者（川上）は、岐阜市周辺の中学校と連携して、中学3年「地球と宇宙」の学習のなかで、天体望遠鏡（スピカ）による観察を取り入れた授業実践を支援してきた。金星の満ち欠けの授業実践については、山田ほか（2001）、渡辺ほか（2002）、加藤・川上（2006）、山田・川上（2006）、川上ほか（2007）がある。また、太陽黒点や日食の観察を取り入れた授業実践については、渡辺ほか（2003）、渡辺・川上（2004）があるが、月面の模様や地形をテーマにした実践は初めてである。

砂を用いたクレーター形成の模擬実験については、Stöffler et al. (1975), Mizutani et al. (1983), 高岡（1993）による研究など多数あり、中学校や高等学校の自由研究等では、鉄球の自由落下による実践があるが、色のついた砂（カラーサンド）で成層構造をつくった標的を用いて、中学校における授業のなかで、クレーターの形態やエジェクタの分布、多重衝突によるクレーター地形の進化をテーマにした点に本実践のオリジナリティがある。

2. SPP事業の内容とその実践

本事業は、(1)天体望遠鏡の製作、(2)月面観察とスケッチ、(3)観察結果の交流とクレーター形成実験の3つの取り組みからなる。中学3年生は、10月から11月にかけて「地球と宇宙」という単

元を学習することになっており、本講座の内容は、太陽系の構造に関する学習を発展させたものとして位置づけることができる。

(1) 天体望遠鏡の製作活動

この取り組みは、クラスごとに、6時間目の授業として位置づけ15時25分から約1時間30分をとって行った。

授業の導入では、一つの学校の3年生全員が一人ずつ天体望遠鏡をいただいて天体観測を行う取り組みは、全国的にみてもほとんどないものであり、そうした活動が可能となったのは、文部科学省のサイエンスパートナーシッププロジェクトから支援していただいていることを説明し、今回の学習活動の趣旨がどのようなものであるかを説明した。その後約1時間かけて、天体望遠鏡（スピカ）を製作した。図1に天体望遠鏡（スピカ）を製作している生徒のようすを示す。

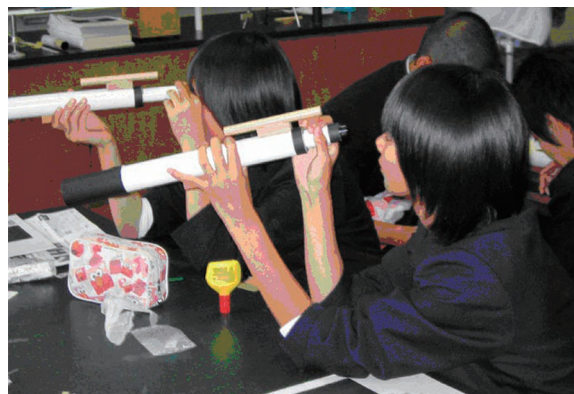


図1. 天体望遠鏡（スピカ）を製作する生徒たち。

続いて、天体望遠鏡が凸レンズ2個を使って遠くのを拡大してみる器具であること、レンズの焦点距離、倍率、口径、視野の広さ、解像度について、中学生にもわかるようにやさしく解説した。最後に、実際に月や金華山山頂付近にある岐阜城などに望遠鏡を向けて、ピントの合わせ方を練習し、天体望遠鏡では見たものが逆に見えることなどを確認した。結果的には、3年生全員が天体望遠鏡を作成することができた。

(2) 天体観察の実施

生徒を校庭に集めて行う観察会の実施は、学習者が天体観察体験を共有することを達成するための重要な布石である。4クラス目が天体望



図2. 校庭で月を観察する生徒たち.

遠鏡製作講座を終えた2006年11月2日午後6時から8時にかけて第1回目の観察会を行った。このときは、3年生の半数に達する約80名の生徒が集まった(図2)。月面のスケッチをしっかりとさせるため、研究室が所有する三脚を貸し出した。また、観察のポイントを示すため、校庭にスクリーンとプロジェクタを設置し、web教材を映示した。

第2回目の11月29日の観察会では、たまたま月齢がほぼ同じで撮影日の異なる月写真をいくつか示したところ、月齢が小さい日の月の方が満ちていることに気づいた生徒があり、質問を投げかけてきた。図3は、月面の地形に対する明暗境界線の位置は一致しているが、左は下弦の月であり、右は下弦の月より欠けているように見えるわかりやすい例である。こうした現象



図3. 欠け方の異なる2つの月画像。月の地形に対する明暗境界線は一致しているが、左は下弦の月で、右は下弦の月より欠け方が進んでいる。

は、librationと呼ばれており、月の軌道が楕円軌道であることによって生じるものである。3名の生徒を太陽、地球、月にしたモデルとみなし、校庭で月の公転運動と地球の自転運動を模擬し、新月が遠日点にある場合には近日点にある場合に比べ同じ位相になるまでの時間が長いことを説明した。観察会で生徒のなかから浮上した疑問に、その場でわかりやすい説明がなされ、多くの生徒が納得できたことは、深く印象に残ったことが、その後の観察記録から読み取れた。

(3) web教材・教室掲示物の活用

筆者の研究室では、2002年ごろから月の満ち欠けや、月齢ごとの月の地形の見どころを紹介したweb教材の開発を行っている。このweb教



図4. 月の満ち欠けを示すwebページの一部(理科教材データベース).



図5. 月の見どころを示すwebページの一部. 月齢5日の月の例 (理科教材データベース).



図6. 「かおり通信」の例. 左: 月のスケッチの仕方を示したものの(No.1), 中: 観察会の日月の見どころを紹介したもの(No.2), 右: クレーター形成実験と月面の地形を紹介したもの(No.6).

材では、すべての月齢について、岐阜大学教育学部屋上の天体観測ドームの口径80ミリ、焦点距離1200ミリのタカハシ製屈折型天体望遠鏡に、キャノン製一眼レフデジカメD60を取り付けて撮影した月面画像を用いており、月の満ち欠け(図4)や、月齢ごとに見どころを選び出し、海の名前、目立つクレーターや山脈のほか、アルプスの谷や直線壁のような特徴的な地形につい

て、名前を表示している. 図5に月齢5日の月の見どころを紹介したwebページの一部を示す.

伊奈波中学校における前年の実践(川上ほか, 2006)で、生徒のなかには自宅でインターネットを利用できないものが含まれることがわかったため、2006年度の実践では、web教材の一部を用いた掲示物を作成した. この掲示物は、天体望遠鏡の製作、天体観察会でTAを務めた著

者のひとり（鈴木かおり）が作成したもので、TAとして生徒たちにも親しまれていたことから「かおり通信」とした。この掲示物は天体望遠鏡の製作授業からまとめの授業までの2ヶ月間に6回発行し、生徒たちに継続的な月の観察を促した。図6に「かおり通信」の例を示す。とくに、生徒たちは天体望遠鏡の観察と月面のスケッチが初めての取り組みだったため、スケッチの描き方の例を示し、観察会の直後には当日の月の画像で見どころや地形を示したことで、月面に対する興味や関心が高まり、さらにweb教材のURLにアクセスして、詳しい情報を調べる生徒がいた。

徒がいた。

(4) クレーター形成実験

12月中旬に、クラスごとにまとめの講義を行った。授業は、中学校での正規の授業時間に行っており、正味の時間は50分である。

まず、生徒たちの観察記録から、気づいたことを発表してもらった：

- ・月には濃い色をした部分（海）と薄い色をした部分（高地）がある
- ・クレーターの多い地域と少ない地域がある
- ・クレーターにはいろいろな大きさのものがあ

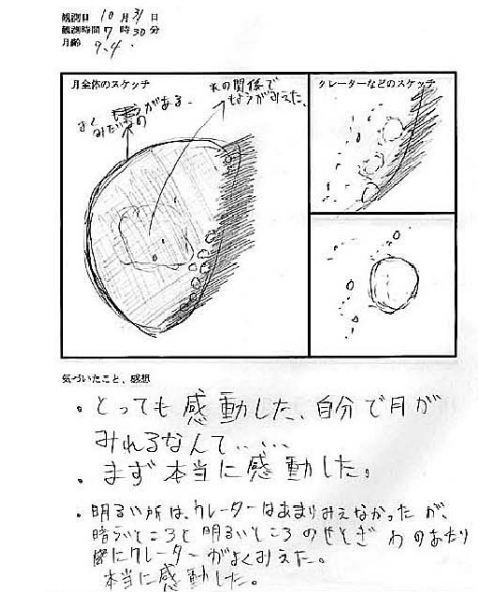
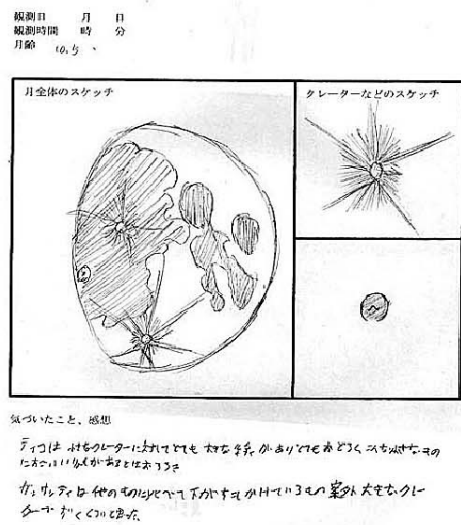
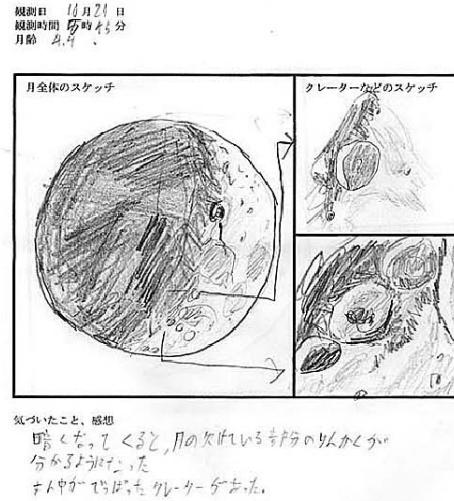
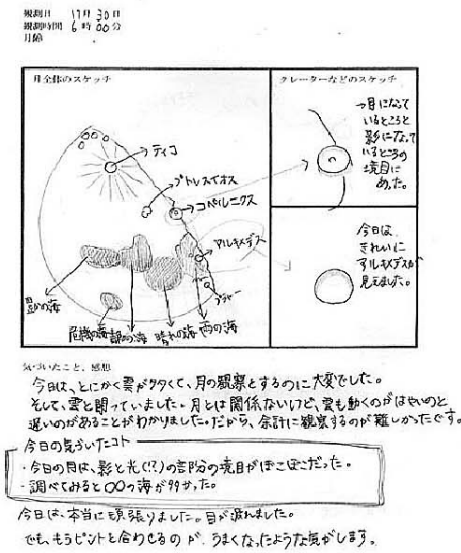


図7. 生徒たちの描いた月のスケッチの例。

- る
- ・クレーターは丸い
- ・クレーターには、深いクレーターと浅いクレーターがある
- ・クレーターに中心にとがった部分がある
- ・月の海は丸い形をしたものが多い
- ・クレーターから放射状に広がったものがある
- ・大きなクレーターのなかに、小さいクレーターがある

これらの発言に対応する生徒たちのスケッチを映示し、発言の中身を一つひとつ確認した。図7に生徒たちの描いたスケッチの例を示す。その後、クレーターがどのようにしてできたかを質問すると、「隕石の衝突」という答えが返ってきた。そこで、教壇の上においてあった砂をいれた容器に注意を促し、これから行うクレーター実験の概要を説明した。そして、ワークシートを配布し、実験前にどのようなクレーターができるか、クレーターの断面図、上から見た図、およびその文章での説明を記入させ、グループごとに交流させた。

クレーター実験は、白色の砂をいれた容器(直径20センチ程度の台所用プラスチック製のもの)に、紙コップ半分ぐらいの量のカラーサンドを薄くかけて成層した標的をつくることから始まる。白色の砂とカラーサンドはサイズが0.3mmで、新見化学工業(株)が販売しているものを用いた。

標的が準備できたグループから、直径10～20ミリのスチール製の球を自由落下させた。こうした実験をスチール球数個について行って、衝突が繰り返すことによって、前にできたクレーターがどのようになるかについても調べさせた(形成されたクレーターについては図5の「かおり通信」を参照)。実験結果をワークシートに記入させ、グループごとに、わかったことを発表させた。図8にワークシートの例を示す。

実験からわかったことをグループごとに発表させたところ、生徒たちから次のような発言があった：

- ・クレーターができると、下の砂が噴出してくる

- ・深いところにあった砂が飛び散った
- ・砂の層の順番に、同心円状のパターンができた
- ・大きい球(質量が大きい)ほど大きなクレーターができた
- ・高いところから落下させると、大きいクレーターができた
- ・前にあったクレーターの影響で、丸くないクレーターができた
- ・後からできたクレーターで前にあったクレーターが消えた
- ・斜めに衝突すると丸くないクレーターができた

こうした生徒たちの発言の内容をクラス全員で確認したあとに、web教材から適当な月面写真を映示し、実験からわかったことが月面でも当てはまることを指摘して授業を終えた。

3. 授業の評価

本授業を終えた12月中旬に4クラスの生徒に対して、質問紙による調査を行った。質問の内容は、講義の難易度、web教材や掲示物の有効性、月面観察の頻度や観察会への出席に関するものである。

(a) 天体望遠鏡のしくみに関する説明

これについては、2006年度の実施と同様、90%を超える生徒がよくわかったと答えている。その理由は次のようである：

- ・自分で実際に組み立てることができたから
- ・説明がわかりやすかった

(b) 観測の仕方に関する説明

これについては、90%を越える生徒が分かりやすかったと答えた。その理由は次のようである：

- ・実際にやって説明してもらえたから
- ・通信をみてわかった
- ・三脚やファインダーなどの助言がよかった

(c) 掲示物が観察の動機づけになったか

これについては、85%の生徒がそう思ったと答えている。

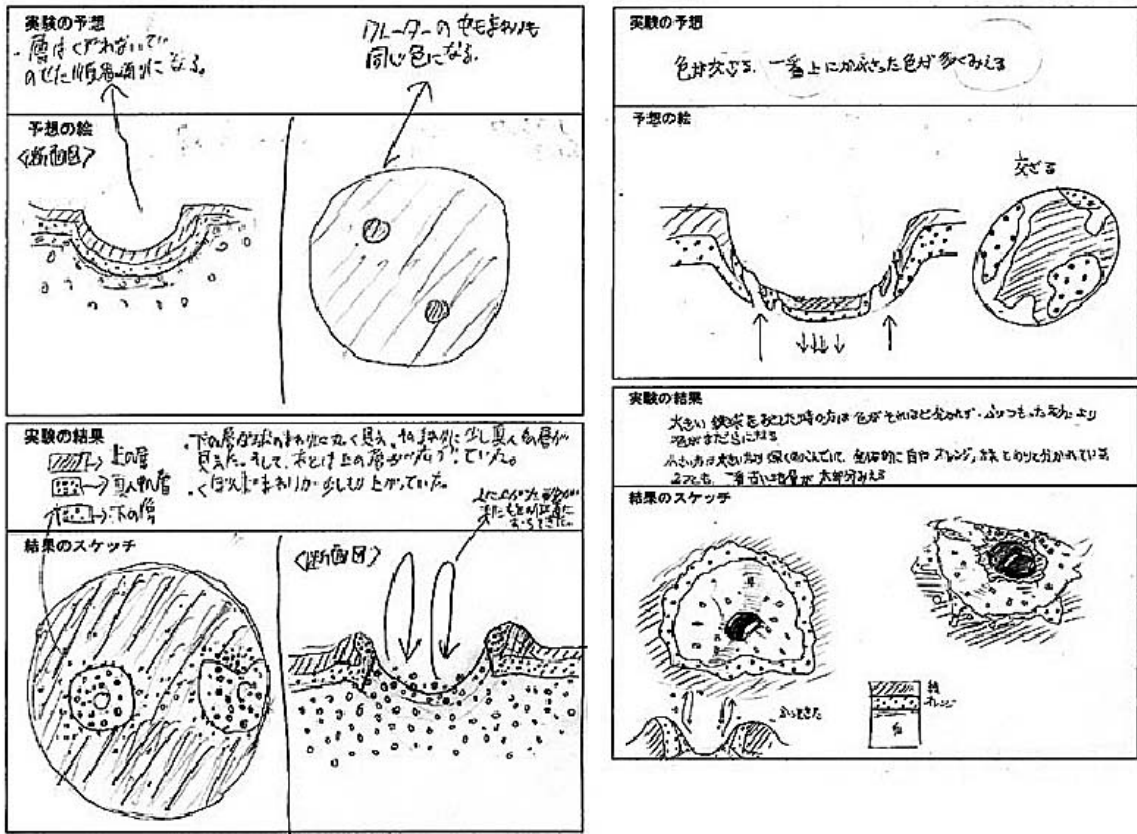


図8. クレーター実験の予想と実験結果を記入した生徒のワークシートの例。

ホームページを見た回数については、よく見たが2%、週に1、2回といったものも含めると8%程度で、見なかったと答えた生徒は72%であった。これは2006年度の実施に比べ、割合が低下しているが、その原因はweb教材よりも掲示物を重視したことによるものと考えられる。

なお、web教材や掲示物を見た生徒の感想には、つぎのようなものがあった：

- ・写真がきれいだった
- ・観察に役立った
- ・月を見てみたいと思った
- ・自分の結果と比べることができた
- ・地名がわかった

(d) 望遠鏡を使って観察した回数

この質問については、見える日はほぼ毎日見たという生徒が7%、週に1、2回は見たというものが61%であり、98%の生徒は全体で1～2回は観察したと答えている。月の継続観察については、生徒たちの自主的な活動として促した

ものであるが、熱心に観察したことを示す結果として注目される。

(e) 観察会への参加状況

観察会へ参加したかという質問については、2回とも参加した生徒が33%、どちらか1回だけ参加した生徒を含めると55%が観察会に参加している。

観察会に参加した生徒の感想には、つぎのようなものがあった：

- ・月の見どころを教えてもらえた
- ・家よりうまく観察できた
- ・地名があることが驚きだった
- ・三脚を借りることができてよかった
- ・感動した

(f) クレーターの形成実験

クレーターの形成実験については、とても面白いと答えた生徒が62%、まあ面白いとおもった生徒を含めると98%の生徒が面白かったと答

えている。その理由は、つぎのようであった：

- ・クレーターができると前のクレーターが壊れるのが面白かった
- ・月と似たクレーターができた
- ・斜めにぶつかってクレーターができた
- ・予想と違うクレーターになった
- ・クレーターの形がきれい
- ・クレーターで年代がわかることが面白かった
- ・クレーターには中の成分がでてくることがわかった

(g) 宇宙や天体に対する興味関心の高まり

これについては、96%に達する生徒が興味をもつことができたと答えている。その理由としては、次のようなものがあった：

- ・月のクレーターのでき方が面白かった
- ・月以外の惑星についても知りたくなった
- ・月は面白い天体だとおもった
- ・クレーターの実験で興味が持てた
- ・宇宙についてもっと知りたいとおもった

4. 考察

(1) 継続的観察を促す手立てについて

天体望遠鏡（スピカ）の製作は、中学生の学習意欲を高めるすぐれた教材であることが明らかにされている（山田ほか，2001）。生徒たちに継続的観察を促す手立てとして、川上ほか（2006）はweb教材の活用を試みた。しかし、生徒のなかには家庭でインターネットを自由に使えないものが20%程度いることから、今回はweb教材のほかに教室に貼りだす掲示物「かおり通信」を週に1回程度の頻度で作成した。また、校庭での観察会を2回実施し、55%の生徒が観察会に参加して観察の仕方や月の見どころを学んだ。こうした取り組みが有効だったことは、生徒たちの観察記録や、事後のアンケートから裏づけられた。

(2) クレーター形成実験について

今回の実践における特徴は、月面の継続的観察による課題づくり、クレーター形成実験による月の歴史を読む力をつけることである。クレーター形成実験では、成層構造をした標的をカラー

サンドでつくる作業を通じて、月の地殻が成層構造しているという着想をもつことへのヒントを与えるものとして構想した。大きさの異なる鉄球を異なる高さから落下させることで、生徒たちが自発的にクレーターの大きさと鉄球の大きさ、質量、速度との関係に注意を向けるようになるのではないかと期待された。

さらに、鉄球を次々と落下させることで、月面地形の進化や、クレーター放出物の分布、月の海と高地における色の違いから月の岩石の違いに気づかせることができ、海では玄武岩質マグマがあふれ出したことへと発展させていくことができるのではないかと期待した。このように、クレーターの形成実験は、月の地形や進化に対する理解を生徒たちの活動から考えを引き出すことができる活動であり、科学的な考え方、地学現象の歴史性をつかむことができるものである。生徒たちのワークシートの記入内容やアンケート結果から、クレーター実験のねらいを達成した生徒が多くいたことが示唆された。

クレーター形成実験については、2007年3月の岐阜県安八町ハートピア安八における一般市民向け講演会、2007年8月の三重県四日市博物館プラネタリウムにおける「教師のための宇宙塾」、2007年11月の宇宙少年団（一宮分団）の学習会でも実施した。これらは、天体望遠鏡（スピカ）の製作、天体望遠鏡による月面観察に関する体験のない学習者を対象として行ったものである。学習者の年齢や、知識のレベルが異なるものの、クレーター形成実験に対する課題意識と、実験結果から読み取れる科学的な見方の獲得状況をみると、本実践を体験した中学生の方が、学習意欲も高く、高い学習達成度を示しているように思われる。

(3) 求められる地学教育の充実

月面のクレーター形成実験を実施する前に、生徒たちの観察記録を映示し、口頭で説明を求めた。多くの生徒は、月面に黒っぽい地域（海）と白っぽい地域（高地）があることを述べたので、その違いが岩石の種類であることを示唆した。生徒たちは、白っぽい石は何かという質問に対し、石英、長石と答え、黒っぽい石は黒雲

母と答え、花崗岩、玄武岩という名前はほとんどでなかった。これは、現行の学習指導要領のなかで、大きく削減された内容に関わるものである。科学的見方や考え方を重視し、内容を厳選したものの、新たな現象に接したときに考えを深める知識に乏しい生徒たちの姿が浮き彫りになった。いまの高校で地学を履修する機会を提供している学校が少ないことを考えると、小中学校における地学分野における体系だったカリキュラムが必要であろう。

5. おわりに

今回のサイエンス・パートナーシップ・プロジェクトにおける成果は、生徒一人ひとりの熱心な観察と、観察から生まれた課題解決の手立ての一つとして、クレーター形成実験がかみ合っており、高い学習効果が得られたことである。生徒たちの観察の動機づけは、校庭での観察会で望遠鏡の使い方の徹底と、掲示物を使って月面の見どころをわかりやすく説明したこと、観察に必要な三脚を生徒一人ひとりに貸し出したことである。生徒たちの家庭での自主的観察を促す工夫として残された課題は、天体望遠鏡（スピカ）だけでなく、安価な三脚を全員に確保することである。

今回導入したクレーター形成実験は、天体望遠鏡による月面観察を体験した学習者に対し、さらなる興味・関心を高める手立てとして非常に有効なものであった。こうした活動を多くの学校で展開していくことが今後の課題である。

謝辞. 本論は、文部科学省科学技術理解増進事業サイエンスパートナーシッププロジェクト事業の成果報告としてまとめたものであり、ここに記して感謝いたします。

文献

- 加藤一郎・川上紳一（2006）金星の継続的観察を取り入れた惑星の運動に関する中学校理科授業の実践，岐阜大学教師教育研究，第2号，144-151.
- 川上紳一・平岩大作・伊奈波中学校（2007）中学生を対象とした金星の継続的観察を取り入れた天文学習，岐阜大学教育学部研究報告（自然科学），31，43-50.
- Mizutani, H. S. Kawakami, Y. Takagi, M. Kato, M. Kumazawa (1983) Cratering experiments on sands and a trial for general scaling law. *J. Geophys. Res.*, **88**, A835-A845.
- Stöffler, D., D. E. Gault, J. A. Wedekind, and G. Polkowski (1975) Experimental hypervelocity impact into quartz sand: Distribution of shock metamorphism. *J. Geophys. Res.*, **80**, 4062-4077.
- 高岡直美（1993）斜め衝突によるクレーター—実験的アプローチ—，岐阜大学教育学部卒業論文。
- 山田茂樹・川上紳一・上田康信・江川直（2001）金星の観察を取り入れた惑星の運動に関する中学校理科授業の実践，岐阜大学教育学部研究報告（自然科学），26，No. 1，61-72.
- 山田茂樹・川上紳一（2006）中学校における博物館やプラネタリウムを活用した野外観察学習，岐阜大学教育学部研究報告（自然科学），30，65-76.
- 渡辺進武・川上紳一・上田康信・江川直・山田茂樹（2002）天体望遠鏡（スピカ）とインターネットを活用した中学校理科金星の満ち欠けの指導：内合前後の観察を通じて，岐阜大学教育学部研究報告（自然科学），27，no. 2，95-103.