

地学教育

第59巻 第6号(通巻 第305号)

2006年11月

目 次

原著論文

Web ブラウザで使える恒星進化の表示ソフトの開発
.....鈴木数成・岡崎 彰・久芳頼正...(185~191)

教育実践論文

火星の風成地形の教材化: マーズ・グローバル・サーベイヤーによる
画像を用いた砂丘の形態に基づく卓越風向の推定.....川村教一...(193~199)

金星太陽面通過のインターネット中継とその教材化
.....荻原文恵・尾久土正己・富田晃彦・半田利弘・中山雅哉...(201~212)

学会記事 (213~223)

お知らせ (224)

日本地学教育学会

263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33 千葉大学教育学部理科教育教室内

平成 19 年度全国地学教育研究大会
日本地学教育学会第 61 回全国大会

島根大会 (第一次案内)

日本地学教育学会会長(星槎大学) 下野 洋
全国大会実行委員長(島根大学) 秦 明德

大会テーマ: 次代を拓く子どもたちの地学教育のあり方
を考える—自然体験と表現活動を通して—

主催: 日本地学教育学会

共催(予定): 島根大学, 島根県小中学校理科教育研究会,
島根県高等学校理科教育研究会

後援(予定): 文部科学省, 島根地学会, 島根県教育委員会,
松江市教育委員会, 日本科学教育学会, 日本理科教育学会

期 日: 平成 19 年 8 月 17 日(金)~20 日(月)

会 場: 島根大学

日程(予定): 8 月 17 日 巡検 A コース

8 月 18 日 ジュニアセッション・研究発表・シンポジウム・懇親会

8 月 19 日 研究発表・講演

8 月 20 日 巡検 B コース

ジュニアセッション: 島根県の高校生による地学・環境
に関わる研究発表

研究発表: オーラル及びポスター形式による発表
シンポジウム(予定): 新指導要領と地学教育の展望
講演(予定): 汽水域の自然と地学教育(講師: 島根大
学副学長 高安克巳氏)

巡検(予定): A コース 山陰の活火山 三瓶山(その
形成史と埋没林)

B1 コース 地学的視点から捉えた中
海・宍道湖の環境

B2 コース 花崗岩地帯を流れる斐伊川
の特質とたたら製鉄

大会事務局

〒690-8504 島根県松江市西川津町 1060

島根大学教育学部理科教育研究室

秦 明德

TEL: 0852-32-6307

E-mail: hata@edu.shimane-u.ac.jp

原著論文

Webブラウザで使える恒星進化の表示ソフトの開発

Development of Visual Presentation Software Displaying
Stellar Evolution with a Web Browser

鈴木数成*¹・岡崎 彰*²・久芳頼正*³

Kazunari SUZUKI, Akira OKAZAKI and Yorimasa KUBA

Abstract: We developed visual presentation software which displays the evolutionary change of a single solar mass star with a Web browser, focusing on the transition phase from a main-sequence star to a red giant. The data used in the software are those computed using Iben's code. The software displays the time variation of some parameters of a star: the position in the HR diagram; the radius; and the internal distribution of temperature, density, pressure, luminosity and chemical composition. Using the software, one can easily recognize some stellar phenomena, such as homogenization of the chemical composition due to a developing convection zone, that are often neglected in ordinary textbooks. It is expected that the software could be effectively used, for example, in a "research project" for Earth science in upper secondary schools.

Key words: stellar evolution, visual presentation, software development, Java, upper secondary school

1. はじめに

地学という科目は、「巨大なスケールの時間・空間的变化を読み取らせる」「対象の直接観察が難しい場合が少なくない」など、教える側にとって困難な要素を多く含んでいる。天文分野における観察・実験では、対象に対する条件の制御や対象が示す現象の再現が非常に難しいという問題がある。この問題に迫る効果的な対処法として、現象のメカニズムが明らかな場合は、これをコンピュータ画面上に再現することが考えられる。たとえば林(2002)は「地学の学習におけるマルチメディア活用の意義と有効性」を議論し、「シミュレーションやムービーは地学の学習を深化するための大きな可能性を持つ」と提言している。

今回、上記の観点から恒星の進化に着目し、研究者用の進化コードで得られた計算結果を使い、恒星進化の過程をコンピュータ画面上に視覚的にわかりやすく

示す二つのソフトを開発した。2006年8月現在、これらのソフトは、Webブラウザで利用できる学習教材として、http://www.geocities.jp/labo_stars/で公開している。恒星の進化は、文部科学省告示の平成10年版・高等学校学習指導要領「地学I」において「(2)大気・海洋と宇宙の構成」の「イ 宇宙の構成」の「(イ)恒星の性質と進化」で扱われ、その内容の取り扱いでは「恒星のHR図を中心に扱い、」と述べられている。本ソフトでは、高校地学の天文分野の授業、地学IIの「課題研究」に相応しい教材として利用されることを想定して、恒星進化のHR (Hertzsprung-Russell) 図上の経路を視覚的に扱い、恒星内部の温度や元素組成などの分布の変化をグラフで表示した。

2. 開発したソフト

ここで開発したソフトは恒星進化の数値計算を行うものではなく、Iben (1965)の進化コードで得られた

*¹ 群馬県立渋川高等学校 *² 群馬大学教育学部 *³ 足利工業大学工学部

2006年3月18日受付 2006年7月29日受理

計算結果を、高校地学の教材としても活用できるように視覚的にわかりやすい工夫をして表示するものである。具体的には、恒星進化の経路を HR 図上に描きながら恒星半径の変化を表示するソフトと、内部構造の変化を表示するソフトの二つである。前者は、1 太陽質量（太陽と同じ質量）の恒星が誕生して主系列星に達した直後（零歳主系列）から、主系列星から巨星に向かう段階（ヘリウムフラッシュ直前）までのおよそ 100 億年を追跡する。後者は、主系列星から巨星に移行する途中で恒星の内部構造が大きく変わる様子を表示する。

今回の進化計算で Iben (1965) の進化コードを用いたのは、著者の一人が以前に身近に使ったコードだったからである。出力結果が多様で、対流層の表示に必要なパラメータが得られるという利点もある。今回の計算では、元素組成（水素 [X], ヘリウム [Y], 重元素 [Z]）と混合距離 $[\alpha]$ として、 $(X, Y, Z, \alpha) = (0.706, 0.274, 0.02, 1.0)$ を採用した。結果を見ると、HR 図中の進化経路は現在の太陽位置よりも、温度で 400 K 程度、光度で 40% 程度それぞれ大きいところを通過している。Jørgensen (1991) は、さまざまなパラメータとコードでそれまでに計算された太陽程度の恒星進化を比較しているが、それによれば、現在の太陽位置付近における HR 図中の経路の各計算結果を重ねると、有効温度で ± 200 K 程度、光度で $\pm 20\%$ 程度の散らばりが見られる。さらに、主系列星としての寿命（零歳主系列から赤色巨星枝の下までの期間）については、 109 ± 6 億年と述べている。今回の計算結果では、上記のように HR 図中の経路のずれがやや大きく、主系列星としての寿命も 96 億年程度とやや短い。今後、実際の太陽の進化の状況により合うように改良していく予定である。

Iben (1965) の計算結果の出力は、その分野の研究者が使用することを想定して表示されているので、専門的知識がなければ、その内容を理解することは非常に難しい。まして、高校生がそこから必要な情報を引き出し、恒星の進化の様子を追跡することは実質的に不可能である。しかし、これらを画面上でグラフ化してわかりやすい形で表示すれば、高校生のための教材として活用することができる。とくに画面で「動的」に表示できれば、教科書等の図表に見られる「静的」な情報とは異なり、時間的変化の緩急を直観的にとらえることも可能になる。上記の二つのソフトは、そのような狙いをもって作成されたものである。

本ソフトと似たような Web 公開の恒星進化シミュレーションとしては、Dartmouth College の Brian Chaboyer による “Dartmouth Stellar Evolution Web Server” (<http://stellar.dartmouth.edu/>) がある。これは、Java アプレットを使用し、任意の初期条件から恒星の進化をモデル計算して、その結果を表示するものである。進化の計算を任意の初期条件で行える点で非常に優れたシミュレーションソフトであるが、結果を見るまでに細かい設定が必要になることがあるなど、高校生が自分で操作するには難しい。それとは対照的に、本研究で開発したソフトは、高校生などが恒星の進化について初めて学ぶ場合にふさわしい、「初心者向け」と位置づけることができる。

本ソフトの推奨動作環境としては、Java の動作環境にあり、Sun Microsystems の Java plug-in、または Java Runtime Environment (JRE) がインストールされ、かつ使用できる環境であることが挙げられる。とくに後者をインストールするシステムとして OS は Microsoft Windows 98 以上が必須であり、ハードウェアは「Pentium 166 MHz 以上のプロセッサと、最低 125 MB のディスク空き容量、および最低 32 MB の RAM」が最低条件となっている。したがって、本プログラムに対してもこれ以上のスペックが要求される。また、モニタも XGA (1024×768) 以上を表示できる環境が望ましい。本ソフトの開発にあたっては Microsoft 社の Internet Explorer (ver.6.0) を使用した。

(1) HR 図上の進化経路

1) ソフトの概要

このソフトでは、1 太陽質量の恒星の HR 図における位置と恒星の半径との時間変化を同時に動画で表示して、進化の過程における各時点の光度と有効温度、半径の関係を視覚的にとらえやすくした。

恒星は実質的に球形と見なせるので、光度 (L) と有効温度 (T)、半径 (R) の間には、ステファン・ボルツマンの法則と球の表面積を用いて、 $R^2 \propto L/T^4$ という関係が成り立っている。この関係式は、HR 図の右上に位置する恒星ほど半径が大きいことを表しており、実際、巨星や超巨星は HR 図上でそのような場所に位置している。本ソフトでは、HR 図の縦軸には太陽を単位とする光度を、横軸には有効温度を、それぞれ対数スケールの目盛間隔で表した。また、本ソフトでは、恒星の進化に伴う半径の変化を HR 図上の位置の動きと同時に表示させることで、この関係式の意味を生

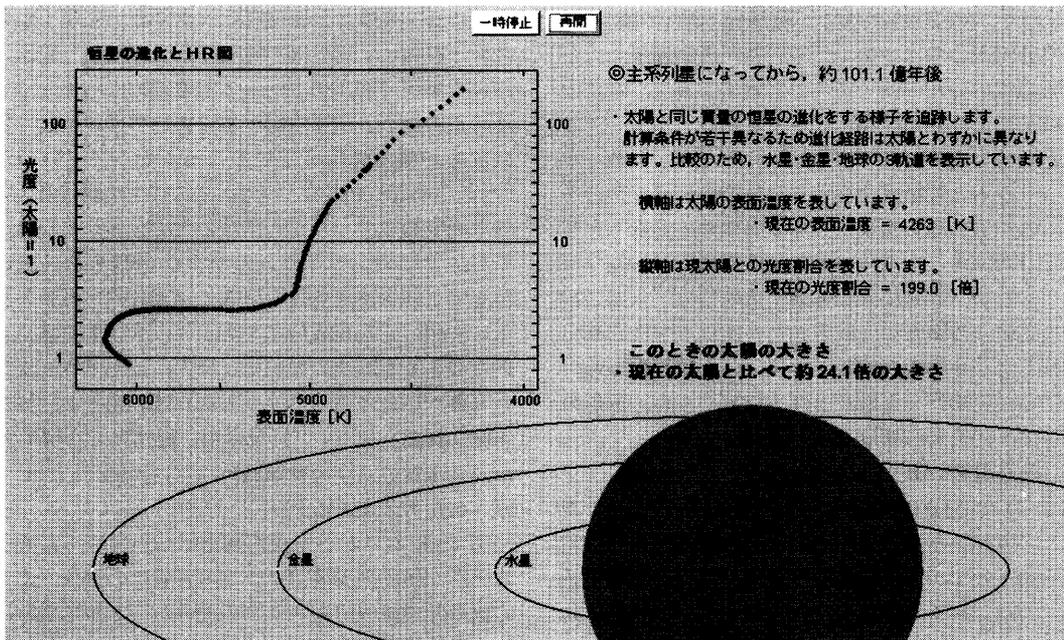


図1 HR図上の進化経路の表示画面(約101億年経過時)

徒たちに実感してもらうことも意図した。時間間隔は1000万年となっている。なお、動画の中では恒星の半径の大きさの比較のために、太陽のほか、太陽系の水星、金星、地球の軌道の大きさも表示した。

2) 出力画面の例

図1は、零歳主系列から約101億年経過したときで、ヘリウムフラッシュ直前の段階を本ソフトで表示したものである(実際の画面はカラーで表示され、本図よりは見やすい)。恒星の有効温度と光度の数値はHR図の右側に与えている。経過年数は、主系列星になった時点(零歳主系列)からの年数を示す。この時点における恒星の半径は、画面の下半分に示されている。

画面上部の「再開」ボタンをクリックすると以後の進化を追跡し、「一時停止」をクリックすると追跡がいったん止まる。図1の時期に光度と有効温度、さらに半径が急速に変化することは、この直前までの動画で、HR図上でプロットされる様子や下側の図で恒星の半径が大きくなる様子からわかるが、この画面でもHR図上でプロット点の間隔が開いていることから急速な変化を読み取れる。なお、前述のように、HR図上の経路は現在の太陽の位置からいくらか外れている。

(2) 恒星内部構造の変化

1) ソフトの概要

恒星内部ではガスの圧力が中心から外側に向かって減少している。それにより外向きの力を作り出し、恒星自身の重力を支えている(力学的平衡状態にある)。ガスの圧力は、密度が高くて温度が高いほど大きい。実際、恒星の密度と温度は中心に近いほど高くなっている。温度勾配が存在することにより、熱が内部から外向きに流れ、恒星表面に達すると、そのエネルギーが恒星の光として放出される。本ソフトは、主系列星から巨星に向かう途中の15の場面における恒星内部構造と元素組成分布を表示するものである。

内部構造(圧力、光度、温度、密度の分布)を表すグラフでは、縦軸に各物理量の対数を、横軸に M_r/M を採用した。 M_r/M とは、半径 R の恒星全体の質量 M に対する、恒星内部の半径 r の同心球の質量 M_r の割合を意味しており、いわば恒星内部の半径を質量比率で表したものである。星中心では $M_r/M=0$ 、星表面では $M_r/M=1$ となる。恒星内部の圧力、光度、温度、密度の四つの分布を読み取ることにより、恒星の中心から表面までの内部構造の状態を知ることができ、また、エネルギーがどのように中心部から表面へ運ばれているのかを推測することが可能になる。また、本稿の図

は白黒印刷なので見にくいですが、背景色(青)の濃淡は、ヘリウムの割合の大小を示している。各物理量の分布と元素組成の分布を同一グラフで表すことで、恒星内部の構造を全体的に把握することが可能となる。

元素組成分布のグラフは横軸に M_r/M を、縦軸に水素とヘリウムとの組成比をとり、具体的にその割合を表示した。もちろん水素、ヘリウム以外の元素も存在するが、今回扱った進化段階では他の元素は無視できるほど少ない。さらに、この進化段階では、水素の核融合反応により新たに生成されたヘリウムが中心部分に蓄積していく過程が重要である。以上の理由から、この二つの元素だけを取り上げている。また、黄色の背景色で、対流層の領域を示した。

2) 出力画面の例

図 2a は起動直後の画面(実際の画面はカラーで表示され、本図よりも見やすい)である。画面上部の左端からの 15 個のボタンは、それぞれ順に、零歳主系列からの経過年である約 66 億年、約 71 億年、約 81.5 億年、約 86.5 億年、約 90 億年、そして約 92 億年、これ以降は 1 億年ごとに約 101 億年まで経過した時点の分布を表している。また、「AUTO」ボタンを押すと、上記の 15 の経過年数に対応する画面がスライドショーで順に表示されていく。

この図 2a は、零歳主系列から約 66 億年経過したときの様子を表示したもので、恒星の中心近傍の水素がほぼ消費尽くされようとしている瞬間である。いま、左側の内部構造(圧力、光度、温度、密度の分布)を表すグラフで、光度(L)の分布曲線に注目してみる(本図は、他の分布曲線との区別のため、光度の分布曲線を白線で加工)。これを見ると、光度の分布曲線は星中心(グラフの左端)から星表面(右端)にかけて単調に増加しているが、傾きは中心付近ほど急で、表面に近いほど水平に近い。このことから、エネルギーを発生している核融合反応が中心付近ほど激しく、内部から表面に向かうほど緩やかであることが読み取れる。また、本図の右側の元素組成分布を表すグラフの背景色(本図は対流領域を白抜きで表示)に着目してみる。星表面(右端)のごく一部の領域だけが白抜きになっている。このことから、対流で熱を運んでいる領域は、表面付近のごく浅い層に限られていることもわかる。

図 2b は、零歳主系列から約 97 億年経過したときの様子を表示したものである。左側の内部構造を表すグラフで光度(L)の分布曲線(本図では白線で加工)

を見ると、光度の分布曲線は、星中心(左端)から星表面(右端)に向かって約 1/6 のところで(質量比率による半径で約 1/6 付近)で不連続的な増加を示す。このことから、恒星内部のある狭い半径の範囲で核融合反応が盛んに起きていることがわかる。いわゆる「水素燃焼殻」である。一方、このグラフの背景色の濃淡は元素組成のヘリウム割合の大小を表しているが、それによると、ヘリウムの割合は内側から外側に向かってこの水素燃焼殻の位置で不連続的に減少している。右側の元素組成分布を表すグラフによれば、水素燃焼殻よりも内側の領域は、ほとんどヘリウムだけからなる。いわゆる「ヘリウム中心核」である。ヘリウム中心核は、図 2a で恒星の中心近傍にしから見られなかった水素の完全消費領域が徐々に外側に拡大して形成されたものである。

図 2b におけるヘリウム割合についてさらによく見ると、左側の内部構造グラフの背景色の濃淡、または右側の元素組成分布グラフの曲線からわかるように、水素燃焼殻からさらに外側に離れた位置(質量比率による半径で約 0.3 付近)でも再び不連続的に変化している。これは、外層が膨張する中で対流層が表面付近から内部の奥深くまで侵食し、その範囲のガスがかき混ぜられて元素組成が均一になって生じたものである。元素組成分布のグラフを見ると、対流層(本図では白抜きに加工)の最深位置(左端)とヘリウム割合の不連続的变化(2カ所のうち外側)の位置とが一致しており、このことを示している。

3. 本教材の特長

多くの教科書や参考書に掲載されている恒星進化を表す HR 図は、その軌跡が線で表示されている。しかし、そのような図からは、移動の速さを読み取ることは難しい。本ソフトでは、その軌跡を 1 千万年ごとの等時間間隔でプロットし、進化スピードの緩急を軌跡上の点の密度で読み取れるようにした。すなわち、点が「密」の部分は進化がゆっくり進んでいるところであり、逆に「疎」の部分は急激に進んでいるところである。

「HR 図上の恒星進化」を表示する本ソフトの特長の一つは、恒星半径の変化をアニメーションで表示することである。そのため、HR 図上における恒星の位置の移動は、恒星の物理量の時間変化によって生じていることが直観的にとらえやすくなる。もちろん、HR 図の意味をきちんと理解するためには、教師によ

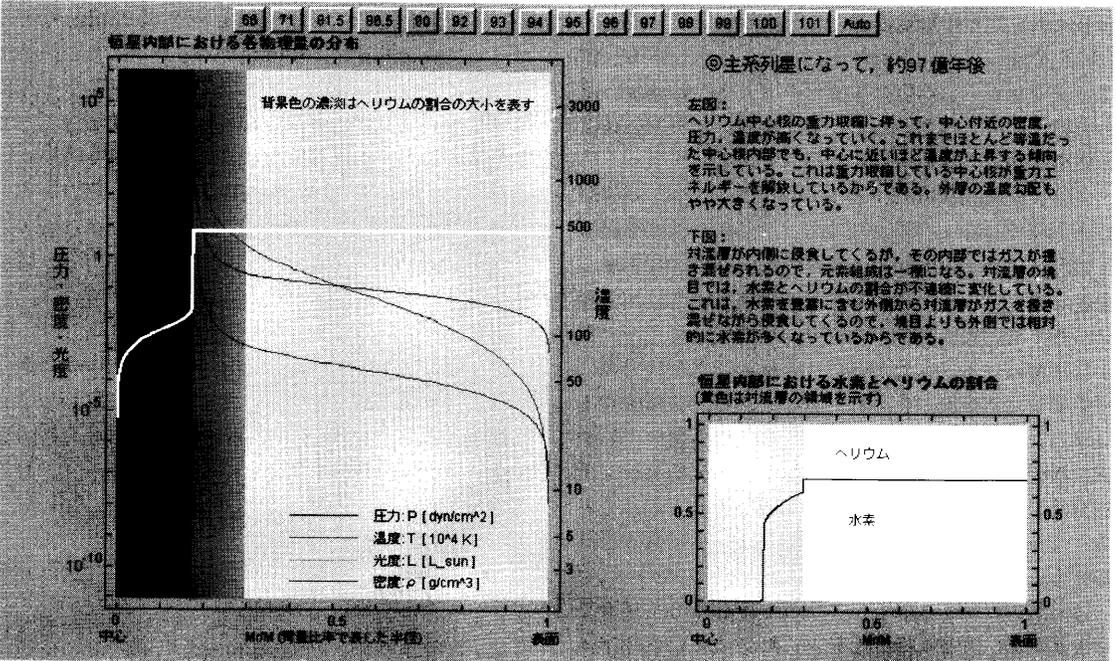
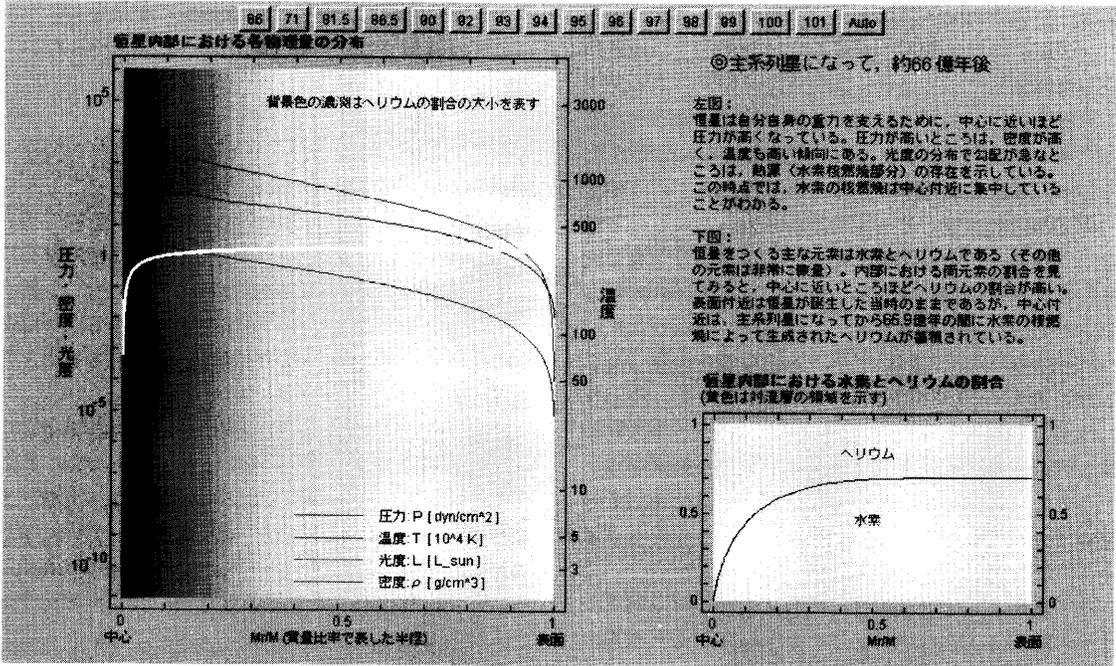


図2 恒星内部構造の表示画面
上図(a)は約66億年経過時、下図(b)は約97億年経過時。

る $R^2 \propto L/T^1$ の関係式などの説明が必要である。しかし、恒星の半径が大きくなるときは HR 図上の位置が右上に移動していくこと、恒星半径の増大と HR 図上の移動は巨星に向かう段階で急激に速くなることなどは、本ソフトのアニメーションを見れば何の説明がなくても、高校生に理解できるであろう。とくに、恒星の半径が時間に対して一定の割合で大きくなるのではなく、始めのうちは緩慢に変化し、終盤では急激に大きくなる様子は、アニメーションでこそ効果的に示されるといってよいだろう。

「恒星内部構造の変化」では、急激な変化の見られる巨星に向かう段階を集中的に追跡して、その表示を行った。このソフトの特長の一つは、いくつかの物理量を同時に表示し、さらにスライドショー形式を用いたことで、通常の静的な図では見逃されてしまいそうなわずかな変化がとらえやすくなっていることである。

その典型として元素組成分布の変化が挙げられる。約 66 億年後の時点で恒星のごく中心にあった水素の完全消費領域は、少しずつ外側に拡大してヘリウム中心核を形成していく。しかし、ヘリウム中心核の隣接領域よりも温度の低い周辺では、水素からヘリウムへの転化の速度はずっと緩やかであることがわかる。核融合反応がとくに温度に敏感であることを知れば、温度分布と照らし合わせることで、場所による反応速度の変化を理解できると思われる。

さらに元素組成分布の変化で興味深いのは、対流層と元素組成分布との関係である。約 90 億年後を過ぎた頃から、表面付近の対流層が内側に向かって急速に発達してくる。それによって対流層内のガスはかき混ぜられて元素組成は均一になり、元素組成分布のグラフは平坦になる。したがって、外層の元素組成分布の平坦部分是对流層の範囲と一致している。注目すべき点は、水素の一部がヘリウムに転化した外層の深い領域に対流層が食い込むことによって、表面を含む対流層全体のヘリウムの比率がわずかながら増えることである。スライドショーを注意深く見ると、その様子を確認できる。

「恒星内部構造の変化」で示した各量の分布グラフはいずれも、横軸に質量比率 M_r/M で表した内部半径を用いている。外層が急激に膨張して密度が低下すると同時に中心付近の密度が急激に増大する状況の中では、実半径 R も半径比率 r/R も大きく揺れ動いてしまうため、研究者がよく用いるこの M_r/M を使用せざる

をえない。しかし、高校生にはわかりやすい表示でないことは確かであり、将来的には改善していきたい。

4. おわりに

ここで開発した二つのソフトを利用すれば、恒星の進化をいろいろな視点から見て理解を深めることが容易になり、生徒たちの科学的な思考力や判断力を育む一助となることを確信している。また、高校地学の授業にとどまらず、大学の教養教育においても、これらのソフトの活用によって、科学を探究する方法や問題解決の能力を身に付けるのに効果が得られるものと期待される。

最初に述べたように、今回使用した計算結果は実際の太陽位置よりもいくらか外れている。今後、他のコードも含めて進化計算をさらに検討して、実際の太陽の進化の状況により近づくように改良していく予定である。現在、その一環として、Dartmouth Stellar Evolution Web Server の計算結果を表示するソフトを開発中である。

これらのソフトは Java 言語を使用している。その利点は Internet Explorer などのブラウザ上で動くために、Windows や Macintosh、または Linux などのプラットフォームを選ばない点にある。そしてこの言語は Web (インターネット上のホームページ) 上で稼働させることも可能である。Web 上へ掲載することでより多くの人々が利用可能となる。また更新も容易に行えるので、常に新しい情報を提供できる利点がある。本稿で示した二つの表示ソフトは、http://www.geocities.jp/labo_stars/ で公開 (2006 年 11 月現在) している。

謝 辞 本研究を実施するにあたり、Iben の進化コードを提供していただき、その使用方法についてもご指導くださった北海道大学大学院理学系研究科の藤本正行教授に感謝します。

引用文献

- 林 武広 (2002): 地学の学習におけるマルチメディア活用の意義と有効性. 地学教育, **55**, 245-257.
 文部省 (現文部科学省): 高等学校学習指導要領解説 理科編・理数編 1999 年 (平成 11 年).
 Iben, I., Jr. (1965): Stellar Evolution. I. The Approach to the Main Sequence. *Astron. J.*, **141**, 993-1018.
 Jorgensen, U. G. (1991): Advanced Stages in the Evolution of the Sun. *Astron. Astrophys.*, **246**, 118-136.

鈴木数成, 岡崎 彰, 久芳頼正: Web ブラウザで使える恒星進化の表示ソフトの開発 地学教育 59 巻第 6 号, 185–191, 2006

〔キーワード〕 恒星進化, 表示ソフト, Java, 高等学校地学

〔要旨〕 太陽と同じ質量の恒星が主系列星から赤色巨星に向かって進化する様子を, Iben のコードによる計算結果に基づいて, HR 図上の位置をはじめ, 恒星の半径, 恒星内部の温度や元素組成などの分布の変化を追跡して, アニメーションやグラフで表示するソフトを開発した. 対流層の成長によって元素組成がなられていく様子など, 解説書などの図ではわかりにくい変化も読み取ることが可能である. 高等学校地学の課題研究などでの活用が期待される.

Kazunari SUZUKI, Akira OKAZAKI and Yorimasa KUBA: Development of Visual Presentation Software Displaying Stellar Evolution with a Web Browser. *Educat. Earth Sci.*, 59(6), 185–191, 2006

火星の風成地形の教材化： マーズ・グローバル・サーベイヤーによる画像を用いた 砂丘の形態に基づく卓越風向の推定

Development of Teaching Materials About Eolian Geomorphology on Mars:
Inference of Prevailing Wind Directions Based on Shape of Sand Dunes
Utilizing Images Taken by Mars Global Surveyor

川村 教一*

Norihito KAWAMURA

Abstract: The author developed teaching materials to help students to infer prevailing wind directions on Mars, based on the shape of sand dunes seen in images taken by the Mars Global Surveyor orbiter of NASA, USA. Characteristics of the teaching materials are as follows: i) the materials integrate geomorphological, meteorological and planetary studies; ii) they utilize planetary exploration images taken by the orbiter and distributed by the telecommunications network; and iii) they allow independent research activities. Students who undertook these research activities were able to experience a genuine scientific investigation, such as experienced by actual planetary science researchers. The research activities enhance students' interest in science, their inquisitiveness, and their ability to undertake research for Earth science study, e.g. the collection and interpretation of data, and scientific reasoning. In addition, presentation of results in the format of a scientific paper helps students to improve their expressive abilities. Students who utilized these teaching materials enjoyed their research activity.

Key words: Mars, sand dune, prevailing wind, Mars Global Surveyor, research activity, high school

1. はじめに

近年、太陽系天体の探査、特に火星探査は進展が著しく、新しい話題を次々に提供している。初期の火星探査では、探査機マリナー9号(観測期間1971~1972年)、バイキング1号周回衛星(同1976~1980年)、バイキング2号周回衛星(同1976~1978年)の可視画像により、火星の地形に関する知見が著しく増大した(例えばNASA, 1976; Moore *et al.*, 1983)。近年の火星探査では、マーズ・グローバル・サーベ

ヤー(同1997~継続中、以下MGS)、マーズ・オデッセイ(同2002~継続中)、マーズ・エクスプレス(同2003~継続中)などが活躍した。このうちMGSはレーザー高度計(MOLA)による標高マッピングや火星周回衛星カメラ(MOC)による地表の撮像の成果を上げた。MOC画像の最高解像度は1.5m/ピクセルであり(<http://www.msss.com/mgs/moc/index.html>)、バイキング1, 2号周回衛星による画像と比べ、精細な地形の画像が得られた。

高校地学Iでは、大項目「地球の構成」のうち「太陽

系の中の地球」において惑星の特徴を学ぶが、地球型と木星型惑星の比較を中心に扱い、探究活動のテーマとして惑星に関する資料の収集や分析が提案されている(文部省, 1999)。これまで報告された月・惑星環境理解の教材としては、クレーター形成実験を教材化した例(高田ほか, 2000, 2004)のほか、月の地形に関する探究活動として、月面クレーターの形成史を考えさせる高校理科での実践(川村, 2001)、火星の極冠の形成・消失のモデル実験(高田ほか, 2004)があるにとどまる。高田ほか(2004)の実践例は、火星環境に関する学習の新しい試みである。先に述べた火星探査に代表されるように、近年の太陽系探査の進展により教材資源が豊富になり、惑星環境に関する教材開発が可能となっている。また、高速度の情報通信ネットワークの普及による教材資源の入手しやすさが、教材開発を支援してくれる。

筆者は、ウェブサイトから入手するMGS周回衛星による画像を用いて、火星の砂丘の形態をもとに風向の推定を行う学習を高校地学I探究活動として教材化したところ成果が見られたので、以下に報告する。

2. 火星の風成地形の概要

火星の大気には赤道の両側を覆う単一のハドレー循環が存在する(例えば Moore *et al.*, 1983)。松田(2000)の解説によると、火星の大気大循環モデルの結果は、子午面循環に伴う南北風が地表付近に吹いていることを示している。また、特に冬季においては高緯度地方で偏西風が卓越している。しかし、個々の地点における風には、後で述べるように局地風(山谷風など)の寄与が大きい可能性があると考えられる。火星の風系は風成地形を作ることが知られており、火星は「風成の惑星」とも呼ばれる(Hamblin and Christiansen, 2004)。Moore *et al.* (1983)やAlbee (2003)によると、火星の風成地形には、クレーターや岩盤が削られてできたヤルダン、堆積地形である砂丘、風条がある。風成地形の成因としては、砂嵐による侵食(荒川, 2004)、季節風による風条の形成のほか、火星の低緯度～中緯度にあたるタルシス地方やエリシウム地方では、山谷風が風条を作ることが知られている(Lee *et al.*, 1982)。北極冠周辺の北緯75°～85°では起伏が少なく砂で覆われる地表が広がり、この緯度の地域に風成地形が多い。この地域について、出村ほか(2001)によって砂丘と風条の分析が行われ、現在の風系を反映して砂が移動していることが示された。他の

地域では20年間動いていない「化石風成地形」(出村ほか, 2001)が存在する(Edgett and Malin, 2000)。現在の大気大循環モデルと砂丘の示す風系が一致しない地域の風成地形は、過去の風系により形成されたのかもしれないとの指摘がある(Albee, 2003; 出村, 2004)。しかし、現在の多くの大循環モデルは地形効果を正確に表現していない。砂丘の示す風系は、現在の大気大循環モデルが示す惑星規模の風系ではなく、局地的な地形効果による風を反映している可能性もある。

3. 本学習の主な特徴

(1) 地形、気象と惑星科学学習の融合

高校地学Iの学習項目には、地形、気象と惑星科学とが含まれており(文部省, 1999)、学習項目の配列ではこれらの学習項目を個別に展開している。本学習活動は探究活動としてこれらの学習を融合させた実践例である。

(2) 惑星探査画像の活用

本学習では教育素材としてウェブサイト上の火星周回衛星による豊富な画像を用いる。このような学習例としては、マーズ・オデッセイにより得られた画像を用いた、米国アリゾナ州立大学による“Mars Student Imaging Project(MSIP)”(小学生～大学生向けの学習)がある(<http://msip.asu.edu/>)。しかし、日本においてそのような教材例は報告されていない。

(3) 情報通信ネットワークの活用

近年、学校だけでなく一般家庭にも高速度のネットワークが普及し、これを活用した実習が可能になってきた。本学習では学校だけでなく生徒の自宅の情報通信ネットワークを活用する。

(4) 主体的な探究活動

通常、研究者向けの太陽系探査データを生徒が直接得ることはできないが、本学習で用いるウェブサイトはこれが可能である。本学習は、生徒自身が惑星探査画像を入手して行う主体的な学習活動で、惑星科学研究者と同様の体験ができる探究活動である。

4. 教育実践

(1) 学習指導の概要

本学習指導の概要は次のとおりである。

学習テーマ: 「火星の砂丘地形を用いた火星表面の卓越風の風向推定」

学習内容: 米国の Malin Space Science Systems

社（以下、MSSS）のウェブサイトを通じて得た画像を解析して砂丘地形を抽出、その砂丘の形態をもとにその地点の卓越風の風向を推定する。

指導のねらい：高校地学Ⅰの目標（文部省，1999）のうち、地学的に探究する能力の向上を目指す。また、本テーマの学習を経て、高校理科の評価の観点（江田・三輪，2001）に従い、知識・理解（砂丘の分類と風向の関係）、技能（風成地形の衛星画像分析）、思考・判断（風向の推定）、表現（論文作成）を達成できたかどうか成果を評価する。

活動・指導形態：本校では探究活動は授業時間以外に行う個人もしくは2～3名のグループ活動として、放課後、長期休業中に個別指導している。

教材画像の概要：MOCには広視野カメラと、狭視野カメラがあり、後者の方が高解像度である。教材に用いたMOC画像は狭視野モノクロ画像で、MSSSのウェブサイトから入手できる。画像には、処理済み、未処理のタイプがあり、本学習にはサンソング法で投影されたコントラスト調整など画像処理済みのjpeg型式ファイルを用いた。画像データとして画像名、撮像開始時刻、画像中心の座標、1ピクセル当たりの地表の距離、黄経、太陽の方位角、撮影高度ほかが付記されている。砂丘の大きさは、波長3～600mであり（Wilson, 1972）、MOC画像は砂丘の形態を分析するのに十分な解像度がある。

指導過程：学習指導は表1のように構成し、2005年5月～9月にかけて実施した。探究活動で取り組んだ成果は、論文の提出、高校文化祭で発表させた。

(2) 画像の収集と地形判読

地球同様、火星の同程度の緯度には同じ卓越風が分

布することを予想し、砂丘の多い地域（北緯81°～85°）の画像を中心に選定することにした。

画像の収集と解析の手順は次のとおりである。

1) MOCが撮像した画像を、先に述べたMSSSのウェブサイト(http://www.msss.com/moc_gallery/)からダウンロードする。1997～1999年の北極地方の画像を入手する場合の具体的な手順は次のとおり。

- ・「MOC Narrow Angle Images」のうち「AB1 through M04 September 1997-August 1999」を選択。

- ・「Mars Global Surveyor Mars Orbiter Camera Image Gallery/Narrow Angle Gallery (AB1-M04)」の画像索引図で北極地方を選択。

- ・「MOC Narrow-Angle Image Gallery: Mars Chart 01: Mare_Boreum」の画像索引図の任意の位置を選択。

- ・「Resolve Close or Overlapping Footprints」の画像リストから任意の画像を選択。

- ・画像ファイルをダウンロード。

2) 地形の形状の分類を行い、砂丘地形を抽出する。

砂丘地形の抽出手順は次のとおりである。

- ・画像を印刷して、方位、水平スケールを記入する。
- ・太陽光線の方向を考慮して地形の起伏の判読を行う。

- ・砂丘の形態分類を行う。

3) それぞれの地点での風向を推測する。

地球の砂丘は、その形態により、横列砂丘、縦列砂丘、バルハン砂丘、網目状砂丘ほかに分類され（赤木、

表1 学習指導過程

項目	実施時期	生徒の活動	指導者の活動	生徒活動場所	配当時間	*
計画		ねらい、計画、準備物を検討する。	ねらいを明確にさせ、実施可能な計画を立てさせる。	学校	1時間	
実習前指導	6月	空中写真や衛星画像を用いた地球の砂丘画像の観察判読練習を行う。火星の砂丘の画像集を用いて判読の練習をする。	教員立ち会いのもと学校で画像ダウンロード、画像判読の練習を行う。ウェブサイト上の用語（英語）の意味について知らせる。	学校	2時間	① ② ③ ④
生徒実習	7月	火星画像の収集 画像判読 風向の推定	風向推定の妥当性の確認	自宅及び学校	15時間	⑤ ⑥
	8月	論文執筆	論文草稿の査読	自宅	15時間	
発表	9月	論文提出 研究成果ポスターの準備 本校文化祭発表	ポスター作成の助言	学校	2時間	

*用いたウェブサイトもしくは文献
 ① Googleローカルサテライト <http://maps.google.co.jp/>
 ② NASA http://disc.gsfc.nasa.gov/geomorphology/Geo_8/Geo_CHAPTER_8_TABLE.shtmlWeb
 ③ 火星の砂丘の画像集 http://www.msss.com/mars_images/moc/themes/DUNES.html
 ④ Mars Odyssey Mission THEMIS http://themis.asu.edu/theme-sand_dunes
 ⑤ MOC http://www.msss.com/moc_gallery/
 ⑥ Chorley et al. (1984)

1990; 大森, 1997), 例えば縦列砂丘は風向に平行に伸長し, バルハン砂丘は風上側に凸になるなど, 砂丘の形態は風向により規制される (Bagnold, 1941). Chorley *et al.* (1984) は, 縦列砂丘, バルハン砂丘以外も含め, 砂丘の形態と風向の関係を模式図にまとめた. 本学習では, 風向を判別するに当たって, 砂丘の形状分類および風向と砂丘の形状の関係に関しこの模式図を参考にした.

1)~3) は実習前指導として, 教員立ち会いのもと, 学校でダウンロードのリハーサルや画像の予備判読を行った.

(3) 指導上の注意

地形, 気象, 惑星科学の項目を総合的に扱う学習なので, これらの項目を学習した後に本学習を導入することが望ましい. しかし, 本校ではこれらの学習前に探究活動を行っているので, 本学習に取り組んだ生徒には, 本学習に関する砂丘地形などの項目を独習させた.

5. 学習の成果: 生徒による結果と考察

高校地学 I の目標 (文部省, 1999) にある, 「地学的に探究する能力」を育てることについて例示されているもののうち, 情報の収集, データの解釈, 推論などについて, 生徒による論文から地形解析例の一部 (画

像名 M02-00783: 図 1) を中心に抜粋して以下に示す. ただし, 文献の出典については, 筆者が修正した.

「真ん中に 1 本の線のように見える地形は対称形の尾根であるため北東から南西にはしる縦列砂丘だと推測することができる. また, 南西に凹部分のある三日月状をしている砂丘はバルハン砂丘と判別できる.」

「縦列砂丘は, その伸びている方向に対し両側から斜めに風が入るとできるため, その伸びている方向を卓越風の平均と考えられる. そのために砂丘が伸びている方向に風が吹いていると考えられる.」

「バルハン砂丘は風下側に凹部分ができると言われている (Bagnold, 1941). 南西側に凹部分があるこの画像では, 北東から南西にかけて卓越風が吹いていると判断できる.」

「二つの砂丘の形態の考察から, 北東から南西にかけて卓越風が吹いている.」

このようにして収集した各画像 (1997~2005 年画像) について推定した風の風向を, 火星の地図上にまとめて示す (図 2). この図の作成には, MOC の砂丘画像ギャラリー (http://www.msss.com/mars_images/moc/themes/DUNES.html) の画像も用いた.

以上挙げたような生徒の作品から判断して, 知識・理解 (砂丘の分類と風向の関係), 技能 (衛星画像の地

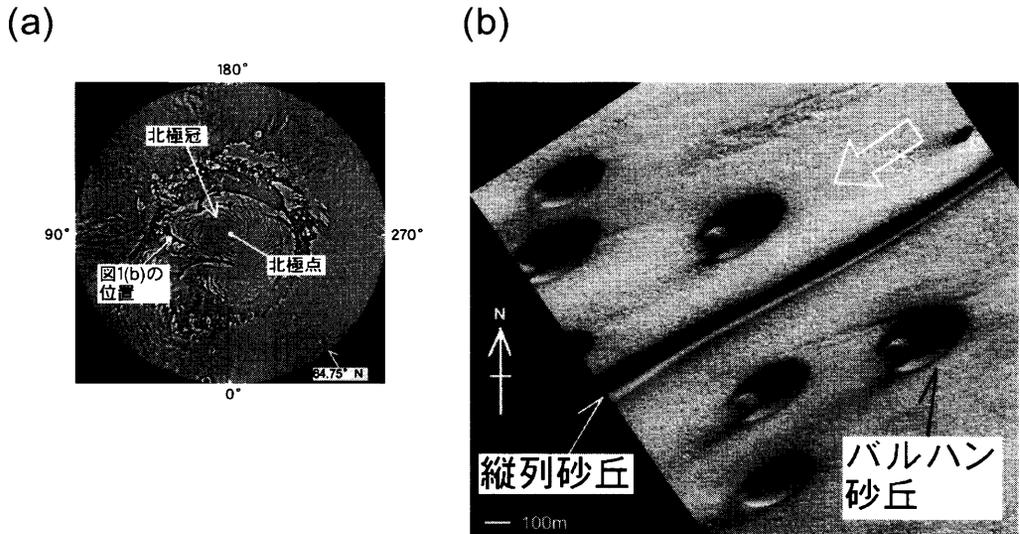


図 1 (a) MOC の M02-00783 画像の位置 (米国地質調査所提供の極ステレオ投影図) に加筆. (b) MOC の M02-00783 画像の北西部. MOC の M02-00783 画像 (NASA/JPL/MSSS 提供) に加筆したもので, 生徒作成の図を清書して作成. 矢印は砂丘の形態から推定した風向を示し, 風上から風下へと向いている.

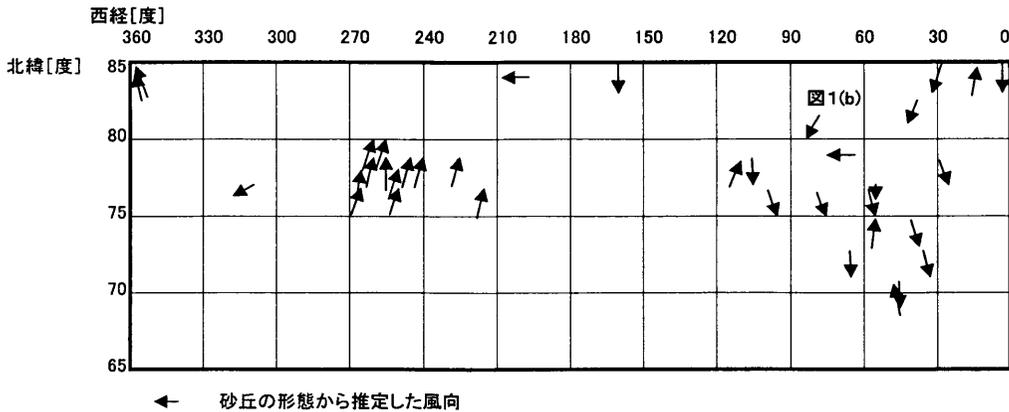


図2 火星の北極冠周辺に分布する砂丘から推定した風向（1997～2005年のMOC画像を使用）

形分析), 思考・判断(風向の推定)について, 向上させることができたと考える。

この探究活動をして身につけたこととして, 生徒は次のように述べている。

「一番に文章力が上げられます。つまり, 自分の文章を他人が読んで分かるか? という客観的な視点を得ることができたと思います。あとは, 研究をするときの手順を知ることができました。」

この生徒にとっては, 探究活動は表現力の向上に最も成果があり, 科学的な探究の方法も身につけられたと考えている。また, 生徒の感想には次のような記述があった。

「火星の地表付近での大気はまだまだ分からないことがたくさんある分野である。そのような分野での基礎的な研究を手がけられたことは非常に光栄なことであった。」

この感想文から判断して, 研究体験ができたことを喜んでいることが分かる。

生徒のうち1人は本学習活動を終えた直後に新たに天文分野の研究テーマに取り組み, その成果を日本天文学会2006年春季年会の第8回ジュニアセッション(2006年3月)で発表した。この生徒については高校地学Iの目標(文部省, 1999)の一つ, 「自然に対する関心や探究心を高め」とあることが達成できたと想像される。

6. 本教材の課題と展望

最後に, 火星周回衛星の画像を用いて行う探究活動の課題や今後の可能性について述べる。

探究活動の所要時間: 今回は実習時間に多くの時間

を費やし, その多くは, 情報通信ネットワークの利用と論文執筆であった。本学習を授業時間に行う場合, 教員があらかじめ火星画像を生徒人数分用意しておき, 異なる地点の画像を分担して実習させ, それぞれの生徒の推定結果を1枚の火星の地図に集約させる方法も考えられる。

季節風の存在の確認: 出村ほか(2001)は, バイキング画像を分析し北極冠周辺では秋の偏西風卓越から春の偏東風切り替わりが認められると述べた。しかし, 彼らの論文に掲載されている図から判断すると, そのような違いが認められるのはごく一部の地点にしかなないように見え, なお吟味が必要であると考えられる。本学習活動では, 季節ごとの風系の区別までは扱っていなかった。MOC画像は, 1997年9月～2005年3月まで断続的に撮影されているので, 砂丘から探る季節風の研究にはMOC画像が有効である。

北極冠周辺地域以外の教材化: 北極冠周辺以外の地域を教材化する場合, 先に述べたように, 北極冠周辺以外では現在の風系と風成地形が無関係の場合もあることに留意する必要がある。

ウェブサイトの英語表記の読解: 学習実践を行った生徒は, 英語表記のウェブサイトは気にならなかったようであるが, 英語の学力が十分でない場合, 生徒実習としてウェブサイトを利用すると閲覧に時間がかかるかもしれない。そのような場合, 閲覧時に翻訳ウェブサイトを併用するよう指導することが考えられる。

火星画像の充実による本学習の発展: 最近サービスが始まった火星地形の検索エンジンであるGoogle Marsは, MOLAで得られた標高データから地図が作製されている(<http://www.google.com/mars/>)

about.html). また 2006 年 3 月に火星周回軌道に投入された, 米国の探査機マーズ・リコネッサンス周回衛星 (MRO) に搭載されているカメラの解像度は 1~2 m/ピクセルであり (<http://marsoweb.nas.nasa.gov/HiRISE/>), テスト撮影の結果がウェブサイトに掲載されている (<http://marsprogram.jpl.nasa.gov/mro/> あるいは <http://www.msss.com/mro/marci/images/2006/04/13/index.html>). Google Mars では高精度の画像は閲覧できないものの, 火星表面の大まかな地形画像を自由に閲覧できる. 高精度な MOC 画像や MRO 画像と組み合わせることにより, 火星地形や気象などの学習に大変有効な教育素材となろう.

謝 辞 本研究に用いた MOC 画像は NASA/JPL/MSSS の提供によるものであり, Malin Space Science Systems 社のサイトからダウンロードした. 教育用目的の MOC 画像の利用に際し便宜を図りウェブサイトで公開している, 米国航空宇宙局/ジェット推進研究所, および Malin Space Science Systems 社には感謝の意を表します. また, 査読者から修正案を賜り論文が改善できましたこと, ここに記して謝意を表します.

引用文献

- 赤木祥彦 (1990): 沙漠の自然と生活. 地人書房, 京都, 245 p.
- Albee, A. L. (2003): The Unearthly Landscape of Mars. 風と水が作った幻想的な地形 (編集部 訳, 2004), 別冊日経サイエンス, 144, 日本経済新聞社, 東京, 14-23.
- 荒川政彦 (2004): 火星環境の模擬室内実験. 日本惑星科学会誌, **13**(3), 166-174.
- Bagnold, R. A. (1941): The Physics of Blown Sand and Desert Dunes. Dover Publ., New York, 265 p.
- Chorley, R. J., Schum, S. A. and Sugden, D. E. (1984): Geomorphology. 現代地形学 (大内俊二訳, 1995), 古今書院, 東京, 692 p.
- 出村裕英 (2004): 火星における惑星地形学『火星の風成地形・特徴とその意味』での議論を踏まえて. 物性研究, **82**(3), 435-440.
- 出村裕英・西川洋平・高田淑子 (2001): 北極砂海の風成地形から読み取る火星大気大循環. 惑星地形地質学 (photogeology) からのアプローチ. 日本惑星科学会誌, **10**(43), 202-207.
- 江田 稔・三輪洋次 (2001): 高等学校/生徒指導要録の解説と記入上の留意点. 各教科・科目等の学習の記録理科. 中等教育資料, **50**(5), 86-88.
- Edgett, K. S. and Malin, M. C. (2000): New views of Mars eolian activity, materials, and surface properties: Three vignettes from the Mars Global Surveyor Mars Orbiter Camera, *J. Geophys. Res.*, **105**, 1623-1650.
- Hamblin, W. K. and Christiansen, E. H. (2004): Earth's Dynamic Systems 10th Ed. Prentice-Hall, New Jersey, 759 p.
- 川村教一 (2001): 「総合理科」における課題研究の指導—地学・環境分野を例として—. 地学教育, **54**, 107-116.
- Lee, S. W., Thomas, P. C. and Veverka, J. (1982): Wind streaks in Tharsis and Elysium: implications for sediment transport by slope winds. *J. Geophys. Res.*, **87**, 10025-10041.
- 松田佳久 (2000): 惑星気象学. 東京大学出版会, 東京, 204 p.
- 文部省 (1999): 高等学校学習指導要領解説 理科編理科編. 大日本図書, 東京, 310 p.
- Moore, P., Hunt, G., Nicolson, I. and Cattermole, P. (1983): The Atlas of the Solar System. 図説われらの太陽系 4 金星・地球・火星 (清水幹夫 訳, 1986), 朝倉書店, 東京, 78 p.
- NASA (1976): Mars as Viewed by Mariner 9. 火星—探査衛星写真— (小尾信彌 訳, 1976), 朝倉書店, 東京, 283 p.
- 大森博雄 (1997): 4-7 オーストラリアの砂丘. 世界の地形, 215-226, 東京大学出版会, 東京.
- 高田淑子・佐々木佳恵・松下真人・斉藤正晴・佐藤崇・須田敏典・西川洋平・伊藤芳春 (2004): 教室で行う宇宙の実験—6: 火星の表層環境を理解しよう. 宮城教育大学環境教育研究紀要, **7**, 99-104.
- 高田淑子・須田敏典・西川洋平 (2000): 教室で行う宇宙の実験—1: クレーター形成実験. 宮城教育大学紀要, **35**, 95-99.
- Wilson, I. G. (1972): Aeolian bedforms—their development and origins. *Sedimentology*, **19**, 173-210.

参考ウェブサイト

- 米国地質調査所の火星画像
<http://astrogeology.usgs.gov/Projects/MDIM21/data/ME90N000E.JPG>
- Google Mars
<http://www.google.com/mars/about.html>
- Mars Global Surveyor (MGS), Mars Orbiter Camera (MOC)
http://www.msss.com/mars_images/moc/themes/DUNES.html
<http://www.msss.com/mgs/moc/index.html>
http://www.msss.com/moc_gallery/
- Mars Odyssey Mission THEMIS
http://themis.asu.edu/theme-sand_dunes
- Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) の The High Resolution Imaging Science Experiment (HiRISE)
<http://marsoweb.nas.nasa.gov/HiRISE/>

Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) の撮影画像サンプル http://marsprogram.jpl.nasa.gov/mro/ http://www.msss.com/mro/marci/images/2006/04/13/index.html	Mars Student Imaging Project (MSIP) http://msip.asu.edu/ NASA の砂丘画像集 http://disc.gsfc.nasa.gov/geomorphology/GEO_8/GEO_CHAPTER_8_TABLE.shtml
---	--

川村教一：火星の風成地形の教材化：マーズ・グローバル・サーベイヤーによる画像を用いた砂丘の形態に基づく卓越風向の推定 地学教育 59 巻 6 号, 193-199, 2006

〔キーワード〕 火星, 砂丘, 卓越風, マーズ・グローバル・サーベイヤー, 探究活動, 高等学校

〔要旨〕 米国 NASA のマーズ・グローバル・サーベイヤー周回衛星による画像を用いて, 火星の砂丘の形態をもとに風向の推定を行う学習を高校地学 I 探究活動として教材化したところ, 情報の収集, データの解釈, 推論など「地学的に探究する能力」, 探究心を育てることができた. また, 探究活動の論文指導を通じて, 表現力を向上させることができた. また, 生徒は研究体験ができ喜びを感じた.

Norihito KAWAMURA: Teaching Material Development about Eolian Geomorphology on Mars: Inference of Prevailing Wind Directions Based on Shape of Sand Dunes of the Images Taken by Mars Global Surveyor. *Educat. Earth Sci.*, 59(6), 193-199, 2006

金星太陽面通過のインターネット中継と その教材化

An Internet Broadcast of the Transit of Venus and the Educational
Value of the 1 AU Measurement Teaching Materials

荻原文恵*1・尾久土正己*2・富田晃彦*3・半田利弘*4・中山雅哉*5

Fumie OGIHARA, Masami OKYUDO, Akihiko TOMITA,
Toshihiro HANDA and Masaya NAKAYAMA

Abstract: A transit of Venus occurred on June 8, 2004. This phenomenon provided a good opportunity to measure the scale of the solar system (1 astronomical unit or AU) using a simple calculation based on actual images obtained of the transit, and we broadcasted this phenomenon from Japan to the world over the Internet. In the teaching materials for high school students that we prepared, we cited web pages showing how to measure 1 AU by using the observed images of the transit; these materials were also made available to the public for teaching use. We also held a classroom on 1 AU measurement for high school students. Most of the students readily understood what happened during the transit and how to derive 1 AU from the data they obtained.

Key words: high school geography, Transit of Venus, 1 astronomical unit (AU), Internet broadcast

1. はじめに

近年、子どもの理科離れが深刻になっている。日本の小学生は「理科の勉強は楽しい」と答えている割合は国際平均に比べて低く、中学生になるとさらにその割合が減少している(文部科学省, 2004)。縣(2004b)は、「小学4~6年の4割が、太陽が地球の周りを回っていると考えている」と報告し、マスコミ等で大きな反響を呼んだ。また、すべての教科の中で不得手な教科について中学生と高校生に尋ねたとき、理科だけは中学から高校にかけて不得手な生徒が急増していると

いう報告(鈴木, 1992)がある。

一方、国立天文台などは高校教員と協力して実際の観測データを使った中学・高校生向けの教材を開発・実践し、高い教育効果を確認している(縣・戎崎ほか, 2002)。実際の観測データを使った学習は、子どもに学習意欲を持たせるのに効果がある手法の一つである。特に天文分野は、生徒に比較的人気のある分野でもあることから(鈴木, 1992)、中学・高校生向けの効果的な天文教材は多数提案されている。

2004年6月8日、日本では130年ぶりとなる金星太陽面通過という珍しい現象が起きた。我々は、この

*1 和歌山大学大学院教育学研究科(2006年4月より日本気象株式会社)

*2 和歌山大学学生自主創造科学センター

*3 和歌山大学教育学部

*4 東京大学大学院理学系研究科付属天文学教育研究センター

*5 東京大学情報基盤センター

2005年8月20日受付 2006年9月3日受理

現象を利用して、インターネットなどのITを利用した教材を開発し、教育効果のある実践例を示すことにした。地球上の観測地点を変えることで、太陽面上の金星の位置に視差が生じる。1874年12月8日の金星太陽面通過では、この視差を観測して地球-太陽間の距離(1天文単位: 1 AU)が測定された。1874年当時は、1 AUの距離を正確に測定しようと、アメリカやフランスなど当時の科学先進国が国の威信をかけて日本などに観測隊を派遣した。ケプラーやニュートンらによる惑星の運動モデルにより、太陽系天体の相対的な位置関係が1 AUを単位とした値で表すことができるようになった。しかし、それはあくまでも相対的な値であり、太陽系の絶対的な大きさを測定するために1 AUの実測が必要だったのである。130年経った現在は、より精密な1 AUの測定方法が用いられるようになったため、金星太陽面通過を利用した1 AUの測定の学術的な価値はなくなった。しかし、太陽系天体の絶対的な大きさを実感し理解するために、1 AUを資料からしか得られない値として捕らえるのではなく、自らの手で測定し実体験することは教育上有益である。また、これまで地学教育の現場では、1 AUの絶対値を測定するための説明や実習は、ほとんど扱われていない。今回の太陽面通過を使った測定法は論理が簡単で、中学・高校生をはじめ、多くの市民に太陽系の大きさの基本単位である1 AUを実測してもらうことができる絶好の機会であった。

1 AU実測のための効果的な資料を得るため、インターネットを活用して以下のような取り組みを行った。天文現象のインターネット中継を行う任意団体「ライブ!ユニバース」(尾久土・高橋, 2004, <http://www.live-universe.org/>)と協力し、金星太陽面通過を多地点で観測し、世界中の市民に対してインターネット中継を行うプロジェクト「LIVE! VENUS 2004」を実施した。同時に、「高校生天体観測ネットワーク(Astro-HS)」(鈴木ほか, 1999; 鈴木, 2004, <http://www.astro-hs.net/>)やオーストラリア・パース天文台(<http://www.wa.gov.au/perthobs/>)と協力して、1 AU測定用の静止画像の撮影も行った。また、中継サイトでは中学・高校生向けに1 AUの測定方法を紹介した。そして、中継や観測の終了後、得られた画像データを使って実際に1 AUの測定ができる教材サイトを作成した。

インターネット中継を天文教育に利用した世界初の試みは、土星の輪が消失する現象の中継(渡辺ほか,

1996)である。その後も多くの実践が行われており、代表的なものとして、星食(月が背景の星を隠す現象)の中継を行い、小学生に観察させるという教育実践(尾久土ほか, 1999)や、日食中継を見ることで、天文分野に対する興味関心がどの程度高まるかを調査した報告(尾久土ほか, 2001; 縣・尾久土ほか, 2002)がある。今回は、金星太陽面通過のインターネット中継を通して、異なる地点で観測された画像から視差を現象中に実感してもらうこと、真正資源(ここでは実際に各地で撮影された画像や中継画像; 縣, 2004a)を利用して1 AUの測定を行い天文に興味を持ってもらうことを目的に教材作成、実践を行うことにした。

本論文では、今回のインターネット中継の詳細やその際に生徒に対して行ったアンケート調査の結果と、事後に作成した教材サイトの詳細とその授業実践に絞って報告する。

2. 金星太陽面通過のインターネット中継(LIVE! VENUS 2004)

今回の金星太陽面通過のインターネット中継は、日食などの天文現象をインターネットで世界中に中継している任意団体「ライブ!ユニバース」のプロジェクトとして実施された。中継地点は、国内が青森南高校、葛飾区郷土と天文の博物館、国立天文台三鷹キャンパス、同乗鞍コロナ観測所、京都大学附属飛騨天文台、岡山商科大学付属高校の6地点で、これに海外中継地点であるイランのイスファハン工科大学を加えた合計7地点とした。今回の現象は6月で、日本においては梅雨の時期となり晴天に恵まれない心配があったため、日本各地に観測点を置くことにした。また、イランは晴天率が高いことと、日本との観測点間の視差を大きくするために選んだ。

現象の観測は、葛飾、三鷹、乗鞍、飛騨では専用の太陽望遠鏡によるHa線(励起した水素原子が出す輝線)撮像を行い、青森、岡山、イランでは移動式の10 cm 屈折望遠鏡にHa線だけを透過するフィルター(コロナフィルター)を組み合わせた機材を使用した。青森、岡山の観測では、「高校生天体観測ネットワーク(Astro-HS)」参加校の、青森県立青森南高等学校と岡山商科大学付属高等学校に協力してもらった。

今回、太陽をHaの波長で観測しようとしたのは次の理由からである。金星の視差は、背景の太陽像を基準に求めるが、白色光(コロナフィルター等で特定の波長を選択していない)で太陽を観測した場合、黒

点以外はほとんど目立つ模様はない。特に、今回は太陽活動が極小期で黒点の出現も少ないことが予想された。一方、 $H\alpha$ で太陽を観測すると太陽面上層にある彩層の様相、太陽外周のプロミネンスや、プロミネンスが前面にある場合のフィラメントなどが見えやすくなる。このため、 $H\alpha$ 画像であれば太陽面上に位置参照となる模様が多く見える画像となることが期待できる。そこで、観測地の一つである飛騨天文台では、世界有数の高分解能を誇るドームレス太陽望遠鏡(DST)で $H\alpha$ の高解像画像を撮影し、他地点の観測画像と比較するための太陽表面様相のリファレンス画像を得る計画とした。

インターネット中継用には、太陽像を撮影しているデジタルカメラのビデオ出力やビデオカメラの信号を一定間隔でJPEG形式にして取り込み、その静止画を中継センターのサーバに転送した。JPEG画像は画像の劣化が発生するので、本来ならばRAW形式など劣化のない画像を中継することが望ましい。しかし、転送すべきデータ量が大きくなること、RAW画像の転送にはそれなりの技能が必要で、各地に散らばっている多くの画像提供者のすべてに的確な指示を行う必要があると考えられた。さらに、当日以前に行った試験観測ではJPEG画像でも十分に目的を達しうると分

かった。よってこれらを勘案し、簡易性を重視して今回はJPEG形式で実施することにした。サーバでは、その一定間隔の静止画から自動的にMPEG形式の微速度動画(いわゆるパラパラ漫画)を作成し、ウェブサイトで公開した(図1)。この微速度動画では、時間を短縮して見ることができ、金星が太陽の表面を徐々に移動していく様子を短時間で見ることができる。この画像は携帯電話にも配信し、今回の現象を多くの人に見てもらう機会を提供した。今回、日本においては現象が終わる前に日没を迎えることになっていたが、イランでは全過程を見ることができる。そこで、イランからは、国内では見ることができない太陽面から金星が外れる(第3接触～第4接触)の様子を動画で生中継することになっていた。

ウェブサイトでは、中継に関するコンテンツのほかに、教材ページ「金星の太陽面通過について知ろう」を用意した。ここでは、現象の概要や1 AU測定方法について中学・高校生を意識して執筆した。これについては、次章で詳述する。さらに、トップページには、各地点で見られる金星太陽面通過のシミュレーション画像があり、現在時刻での各地の現象の進行状況の他、任意の時刻での様子をシミュレーションできるようにした。その他、掲示板を用意し、視聴者の意見・



図1 LIVE! VENUS 2004の中継サイト

各地の最新の観測画像がサムネイルで公開されており、クリックすることで各地の微速度動画を見ることができる。

<http://www.live-universe.org/lv2004>

感想を収集した。

現象の当日は、日本は梅雨ということもあり、雨や曇りで観測することができなかつた地域が多かつた。我々の中継では、飛騨からは雨のため画像配信ができなかつたが、三鷹と葛飾で雲の切れ間から時折太陽を見ることができ、一部であるが画像配信ができた。イランでは現象の全過程において晴天が続き、中継に成功した。今回の中継サイトのアクセスは、約150万件(8日11時～20時30分)であつた。また、携帯電話による中継画像配信(8日14時～19時)は約700件であつた。日本各地の多くが悪天候のため観測できなかったことや、昼間の現象であつたことがアクセス数を増やしたのであろうと推測する。なお、このような多くのアクセスを集めても視聴者が円滑にコンテンツを取得できるよう、負荷分散のシステム(下川ほか、2001)を用意して対応した。

3. 1 AU 測定のための教材

今回、1 AU 測定用の画像については、イランにおいて取得できたが、悪天候のため我々が国内に用意した観測地点では取得できなかった。そこで、Astro-HS 参加校に画像提供を依頼したところ、埼玉県立三郷北高校より雲の切れ間から白色光での観測に成功した画像を提供していただけることになった。また、和歌山

大学と学生交流で提携しているオーストラリア・カーティン工科大学の紹介でパース天文台のデータを提供していただき、白色光での静止画像を多数入手することができた。

以上のように得られた画像を利用し、中継時に公開していた1 AUを測定するページを再編集し、新たに教材としてのウェブサイトを作成した(図2)。パソコン上で太陽像全体が見えつつ高い解像度を得るため、太陽画像の直径は500ピクセルという解像度にした。このウェブサイトでは、特に高校生を対象と想定し、三角比の実用的な使用例を具体的に示す意図もあつて、あえて三角比を用いて示している。ただし、三角比が未習である中学生以下でも基本原理と手順を理解することは可能だと考え、直接には三角比そのものを表記しない形での解説ページも用意した。したがって、この教材と中継サイト内の画像データを組み合わせれば、1 AUを求める過程について中学生以下あるいは三角比へのなじみが薄い社会人を対象とする場合でも十分に利用可能であると考えている。今回は、NASAのウェブサイト「Sun Earth Day Venus Transit 2004」(http://sunearth.gsfc.nasa.gov/sunearthday/2004/vt_edu2004_venus_912.htm)も参考にしながら測定方法の説明を作成した。手順は以下のとおりである。

1天文単位を測定しよう!
金星太陽面通過の画像を利用して、太陽系の大きさを実測しよう

地球から見て太陽面上を金星が通過していく現象を、金星太陽面通過と呼んでいます。
その金星太陽面通過が、2004年6月8日、122年ぶり(日本においては190年ぶり)に起きました。

これは、金星の軌道と地球の軌道が同じ平面上にないために起きる、珍しい現象です。→こちら
また、金星太陽面通過(お祭り!)ということだけが価値があるのではありません。
この現象を利用して、地球-太陽間距離(1天文単位:1AUが何kmなのか?)を測定することができます。
実際、過去に起きた金星太陽面通過では、1天文単位の測定が行われていました。

このホームページでは、今回の金星太陽面通過の様子を撮影した画像を利用して、
実際に1天文単位を測定する方法を紹介しています。

1天文単位=1億5000万kmと知っていても、本当にそんなのか?と疑問を持ったことはありませんか?
この教材を使って、実際に自分で確かめてみましょう!

図2 取得された静止画像を使って、新たに作成した教材サイト「1天文単位を測定しよう!」
<http://www.wakayama-u.ac.jp/~okyudo/LU/LV/1AU/>

(1) まず、金星-太陽間距離と金星-地球間距離の比を天文単位で求める。ここで、金星、地球が共に円軌道を描いていて、それぞれ太陽との距離が変わらないとする（実際には楕円軌道であり、それによる誤差はこの章の後半で述べる）。金星の最大離角は46度と知られている。この最大離角は、太陽と惑星間の見かけの角度を継続的に観測することから実測も可能である。よって、太陽・地球・金星が描く直角三角形（図3(a)）から、

(金星-太陽間距離) = (地球-太陽間距離) × sin 46°
 となる。地球-太陽間距離は1 AUであるから、この式から金星-太陽間距離は0.72 AUとなる。金星太陽面通過のときには、太陽・金星・地球が一直線上に並び、よって、金星-地球間距離は、

1 AU - 0.72 AU = 0.28 AU
 となる。

(2) 図3(b)において、地球上の2地点A, Bで太陽面通過を観測したとき、太陽面上に投影される金星はA', B'のように見える。地球上の観測した2地点間距離は2地点の緯度・経度から求めることができる。この2地点間距離は、地球-金星-太陽の視線に垂直な面に投影した成分である。ここで、AB間距離とA'B'間距離、地球-金星間距離0.28 AUと金星-太陽間距離0.72 AUがそれぞれ対応しているの、

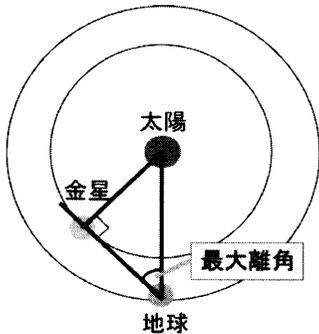


図3(a) 1 AUの求め方 その1: 地球-金星間、金星-太陽間距離の比を求める。

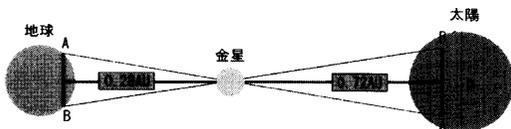


図3(b) 1 AUの求め方 その2: 実際の太陽直径を計算する。

$$A'B' = \frac{AB \times 0.72}{0.28} \text{ [km]}$$

となり太陽面上のA'B'間距離を求めることができる。

(3) 次に実際の太陽直径Dを求める。その前に、観測した画像から太陽直径を測定する。そして、2地点の画像を重ね合わせ、金星の位置のずれ（図3(c)）を測定する。

先に求めたA'B'間距離と実際の太陽直径、画像上での2地点間の金星のずれと太陽直径がそれぞれ対応するので、

$$D = \frac{\text{画像の太陽直径} \times A'B'}{\text{画面上の金星のずれ}} \text{ [km]}$$

となり実際の太陽直径を求めることができる。

(4) 最後に太陽の視半径（約0.267°）と求めた太陽直径を利用して、三角比の原理から（図3(d)）、

$$1 \text{ AU} = \frac{D/2}{\tan 0.267^\circ}$$

となり1 AUが何kmになるかを計算することができる。

ここで、この計算方法で生じる誤差を簡単に見積もってみる。誤差を生む原因は、金星と地球の軌道を同心の真円と仮定しているところである。軌道の真円からのずれは離心率で表現することができる。地球と金星の軌道の離心率は、それぞれ0.0167と0.0068（たとえば、理科年表2006年度版による）であり、遠日点距離と近日点距離が平均距離と比較して、それぞれ±1.67%、±0.68%変化する。地球軌道の方が真円からのずれが大きく、また金星軌道は1%以内で真円

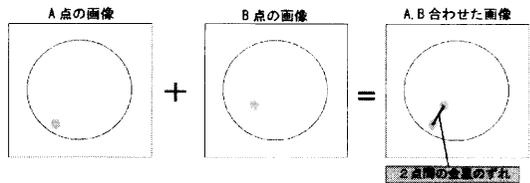


図3(c) 1 AUの求め方 その3: 2地点の画像から金星のずれを測る。

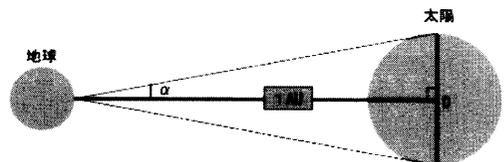


図3(d) 1 AUの求め方 その4: 三角比を利用して1 AUを測定する。

に近いことから、以下では簡単のため、地球軌道の真円からのずれである 1.67% による影響に着目することにする。地球が遠日点、近日点にいるときに、金星軌道を見込む最大離角はそれぞれ 45.35° 、 47.36° と変化する。その結果、太陽-金星間距離と金星-地球間距離の比は、それぞれ $(0.711/0.289)=2.46$ 、 $(0.736/0.264)=2.79$ と変化する。これは A'B' の値の変化に影響する。次に、太陽の視半径の変化であるが、遠日点と近日点で 0.262° 、 0.271° と変化する。この値の \tan をとると、それぞれ 4.57×10^{-3} 、 4.73×10^{-3} となる。1 AU を求める式に上で示した値の振れを代入すると、地球が遠日点と近日点にいたときに、1 AU の値として中央値から $\pm 4.6\%$ の相対誤差を生じることが分かる。また、同じ内惑星である水星は頻繁に太陽面通過を起こす。しかし水星軌道は非常に大きな離心率 (0.2056) を持っているため、今回のような近似では精度がずっと悪くなる。

視差を測定するために利用する二つの画像は、同時刻の画像である必要がある。イランとパースでは、好天に恵まれたが、表面に出現していた黒点が小さいうえに淡く、イランの $H\alpha$ 像においてもその位置を十分に確認することができず、位置合わせを高い精度で行

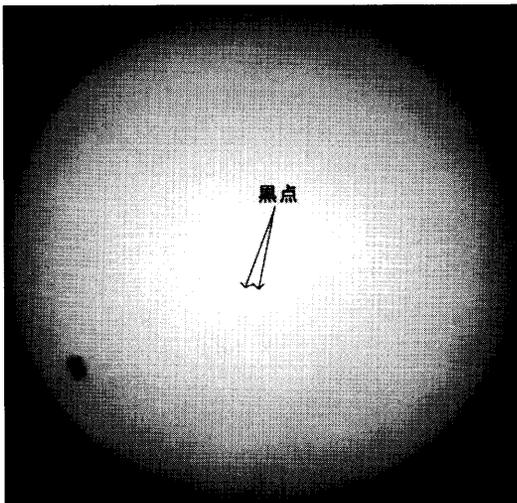


図4 埼玉とパースにおける画像の合成
金星が少しずれて重なっている様子が分かる。(左下にある二つの黒い丸、上がパース、下が埼玉・三郷北高校での金星)このときの太陽黒点はとても淡く小さいため、この画像からも分かりにくい、中央に2点確認できた(図上矢印で示したところ)。画像の向きは上が北である。

うことが困難であった。同時刻で、黒点を確認できる組み合わせを探したところ、パースと三郷北の白色光画像の中で、日本時間 15 時 33 分の画像の組み合わせが使えることがわかった。図4は、この二つの画像を合成したものである。黒点は小さく淡かったので、フォーカスのずれや天候によって見えない画像も多かった。しかし、白色光画像ではあるが、黒点を確認できる画像が見つかった。その画像上の二つの黒点は、太陽面のほぼ中央に位置していたために、位置合わせの際に回転方向の誤差が大きくなっていると考えられるが、他に基準になる模様がないうえに、今回の最善の組み合わせとしてこの一組を採用した。国内が天候に恵まれ、飛騨天文台の DST の画像が取得できていれば、精度の高い位置合わせができたと考えている。

今回の教材において、上記の理由により精度良い処理を行うのに必要以上の知識と技能を要した位置合わせは、事前に我々の手によって完了させた。そして、位置合わせ済みのデータを提供し、金星の中心位置を測定する作業以降の処理を生徒に実行してもらった。測定には、天体画像処理用に開発されたソフト(ステライメージやマカリィなど)を使用したほうが天体の重心測定などの機能が利用でき、精度良く測定できると思われるが、今回はあえて Windows 標準搭載の画像描画ソフト“ペイント”を利用した方法を紹介した。これは、天体画像処理ソフトでは、その具体的な操作を学習する時間が必要であることと、ソフトウェア自体の入手が普及の自由度を狭めることを避けたかったことが理由である。逆に、今回の経験をきっかけとして、より便利なソフトとして上述の天体画像処理ソフトを紹介するという方法もある。今回我々は、測定した値から 1 AU を計算し、その後復習とアンケートができる教材サイトを用意した。

4. 学校での実践とその考察

我々が行った金星の太陽面通過のインターネット中継と、当日の観測によって取得された画像を使った教材サイトについて、少数の事例であるが学校現場の協力を得ることができたので、その結果を報告する。

【インターネット中継】

当日のインターネット中継と中継サイト内に用意した教材ページについて、Astro-HS の参加校に協力を呼びかけたところ 26 名から回答を得ることができた。26 名のうち 10 名が雲の切れ間から観測でき、残

表1 金星太陽面通過のインターネット中継と1 AU測定ページに関するアンケート結果(回答数26名)

Q1. 今まで天文に興味がありましたか？	観測できた	観測できなかった
とてもあった	0	4
少しあった	8	12
どちらともいえない	1	0
あまりなかった	1	0
全くなかった	0	0
Q2. インターネット中継を見ましたか？		
見た	1	12
見なかった	9	4
Q3. ホームページで紹介した測定方法は理解できましたか？		
理解できた	0	2
少し理解できた	0	7
どちらともいえない	0	1
わからなかった	2	1
全く分からなかった	0	0
ホームページを見ていない	8	5
Q4. 現象後、天文への興味・関心度は変化しましたか？		
かなり増した	1	5
少し増した	5	3
変わらない	3	7
少し減った	0	0
かなり減少した	0	0
Q5. 次の現象は見ますか？		
絶対見る	1	6
多分見る	3	6
わからない	4	3
多分見ない	1	0
絶対見ない	0	0

りの16名が悪天のために全く観測できなかった。この「観測できた」、「観測できなかった」の二つのグループに分けて設問の解答を見てみると以下のような興味深い結果になった(表1)。

(1) インターネット中継を見たか？ 見ていないか？ の質問に対して、観測できたグループでは、中継を見た生徒は10名中1名で、観測できなかったグループでは16名全員が中継を見ていた。

(2) 観測できなかったグループのほうが、中継サイト内の教材ページをよく見ており、そのうちの多く(8割)が測定方法をよく理解した。

(3) 現象後に、天文への興味関心度は変化したかどうか聞いたところ、意外にも観測できなかったグループのほうが、観測できたグループよりも興味関心が増

加している。さらに、8年後の現象についての関心も高い。

一般的に、インターネット中継は、実際の観測に比べると、現状のインターネットの制限から画像サイズが小さく、画質が悪かったり、実際に自分の手で作業しないことから、観測現場の感動をすべて伝えることは難しいと考えられている。しかし、室内実験と違い自然現象は、1回限りのものであって、観測したいと思ってもさまざまな理由(地理的条件、時間的条件、天候条件などの理由)で観測できない現場では、それが中継画像であっても、価値のある教材になる。今回はサンプルが少数で、統計的には有意な結果とは言えないが、観測できなかった生徒たちが教材ページを熱心に見ており、インターネット中継と用意した教材

が、生徒の興味関心や将来の学習意欲を高めているという傾向が出たのは興味深いことである。我々の事前の想定では、現象当日が晴れていれば、自分たちの観測画像とイランの中継画像を比較して、視差をリアルタイムに実感できる実践であった。しかし残念ながら、晴れた地点では観測に追われて中継を見る余裕がなかったのであろう。協力校の指導教員に対して、事前にこちらの意図が伝わるように学習指導案を渡しておくべきであった。観測しながら中継を見ることができていれば、観測できた学校においても、中継画像が持つ教育効果はより大きかったと期待できる。しかし、今回の調査によって教材ページを充実させることも重要であることが確認できた。

【1 AU 測定の教材ページ】

教材サイト完成後の2005年2月23日、和歌山県立桐蔭高等学校の生徒に協力してもらい、教材の実践授業を行った。協力してくれたクラスは、選択で地学を履修している総合人文科2年生17名の文系クラスであった。情報処理室で、1名に1台パソコンが利用できる環境で測定と計算を行った。授業内容としては、教材コンテンツ内の「1 AU の測定」ページに沿って解説をしながら進めていき、65分の授業時間内で1 AU の測定からアンケートの記入までを行った。今回の授業における指導案は表2にある。授業時間と文系という点を考え、今回は視差を実感し1 AU のスケールを自分で測定してもらうため、2地点間の金星のずれと1 AU を測定することに重点を置いた。よって、地球上の2地点間距離や地球-金星間距離、金星-太陽間距離などは測定させず、こちらで計算した値を用いて式に代入する形を取った。また、関数計算もパソコンの電卓機能を利用するなど、少しでも複雑な計算に抵抗を与えないようにした。

アンケートは、参加した17名からの回答があった。設問内容としては、これまでの天文に対する興味に対することや、教材の理解、実習後に天文に対する興味・関心度の変化を聞いた。アンケートの結果は以下のとおりである(表3)。

(1) 今回授業を行った生徒は文系であったが、これまでに流星群、日食、火星などを見たことがあり、「これまで天文に対する興味があった」と答えた生徒が15人(9割)とほとんどであった。なお、今回の現象については、全員本物も中継も見えていない。

(2) 教材を利用したことで現象が理解できたかという設問には、12名(7割)が「理解できた、まあ理

解できた」と答えた。

(3) 1 AU の測定方法が理解できたかの設問には、13名(8割)が「理解できた、まあ理解できた」と答えた。

(4) 授業後に、天文に対する興味関心の変化を聞いたところ、最初から興味のある生徒がほとんどであったため、全員が「変化なし～興味が増した」と答えた。

(5) 1 AU の測定・計算結果は、 $1.24 \times 10^8 \sim 1.67 \times 10^8$ km の範囲で平均は 1.44×10^8 km、標準偏差は 0.13×10^8 km となった。

画像ソフトのペイントのカーソル座標を読む今回の測定方法では、1ピクセル以下の測定はできない。太陽直径が500ピクセルである今回の太陽画像上では、金星位置のずれの平均値は7.34ピクセルである。金星位置のずれの読みでの ± 1 ピクセルの差は、1 AU の値で $\pm 11\%$ の相対誤差、実測値では $\pm 0.17 \times 10^8$ km の誤差を生じる。上記計算結果の標準偏差とよく一致している。今回の生徒たちの測定がこの条件下ではよい精度で行われたことを示すと同時に、2枚の太陽画像の位置合わせの誤差はほとんどないことも確かめることができた。

なお、本教育実践においては、埼玉-バース間の距離を地球-金星-太陽の視線に垂直な面に投影した成分に変換せずにそのまま利用していた。また、太陽の視半径の値を間違った値 0.258° を採用してしまっていた。視線に垂直な面に投影した場合、約8%短くなり、両者の影響で11%大きな値になってしまっている。しかし、金星位置のずれの読み取りから発生する誤差を考慮すると生徒たちは適当な答えを導いたと言える。

以上のように、我々が制作した1 AU を測定する教材ページを使うことで、生徒は現象を理解し、全員が1時間という短い時間内に結果を出すことができた。ただ、文系のクラスでありながら、天文に対する興味を9割の生徒が持っていたことから(表3)、今回のクラスが文系を代表する調査対象であったかは、この調査からだけではわからない。しかし、流星群などさまざまな天文現象を見た経験が多いという事実は、和歌山県が活発な公開天文台が多いことが影響しているかもしれない。また今回の授業で、今までに見たことのある天文現象を聞いたところ、アルデバラン食を観察したという回答があり、著者の一人が行った実践授業(尾久土ほか、1999)を小学生のときに受けた生徒がいたようである。

アンケートでは、「天文分野の計算はややくつ

表2 1 AU 測定の学習指導案（今回の実践で使用したもの）

理科（地学）指導案

<科目> 地学 I

<学習活動> 1天文単位の測定

<学習目標> 地球－太陽間距離の「1天文単位」は、約 1.5 億 km とされている。過去においては、金星太陽面通過を利用した 1 天文単位の測定が行われており、今回は 130 年ぶりに金星太陽面通過を観測できた貴重な機会であった。この実習では、2004 年 6 月 8 日に起きた金星太陽面通過の観測から得られた画像を用いて、実際に 1 天文単位を測定することによって、太陽系の大きさを実感する。

<授業の流れ>

段階	時間	学習内容	指導上の留意点	教材ページ
導入	10分	<ul style="list-style-type: none"> 「1天文単位」という単位について学習する。 日食、月食を例に金星太陽面通過が起こる仕組み、その時の太陽・地球・金星の位置関係を理解する。 	<ul style="list-style-type: none"> 過去の日本における観測も紹介。 学習済みであれば内惑星について復習する。 	transit-2 transit-3 transit-4
展開	10分	① 異なる2地点で得られた画像を重ね合わせると、どのようになるか？ ・ 重ね合わせると2地点の金星はどのように見えるかを予想してみる。	<ul style="list-style-type: none"> 地球上での観測点位置と、太陽面上の金星の位置の関係に気づかせる。 重ね合わせるために黒点を利用したので、当日の黒点の写真を見せる。 パソコンのペイント機能を利用する。 	venus-1 venus-2
	20分	② 2地点の画像から、金星のずれの測定を行う。 ・ 各地点の画像から金星の中心座標値を測る。 ・ 三平方の定理を利用して、2点間の金星のずれを測定する。	<ul style="list-style-type: none"> 金星のずれと、太陽直径を画像から測定する。 測定のサポートをする。 計算にはパソコンの電卓機能を利用すると良い。 	venus-3 venus-4
	15分	③ 1天文単位を求める式に値を代入して実際に値を求める。	<ul style="list-style-type: none"> 早く終わったらワークシートの問題を考える。 	venus-5
まとめ	10分	<ul style="list-style-type: none"> 測定結果について考察する。 復習問題をさせる。 アンケートの記入 	<ul style="list-style-type: none"> 何人かに測定結果を発表してもらう。 次の太陽面通過についてもコメントする。 	

<使用教材、準備するもの>

- 「1天文単位を測定しよう」教材ページ
<http://www.wakayama-u.ac.jp/~okyudo/L!U/L!V/1AU/>
- ワークシート、パソコン（Windows ペイント）、プロジェクター

表3 1 AU 測定実習におけるアンケート結果 (回答数 17 名)

Q1. これまで天文や宇宙に興味はありましたか？	
はい	15
いいえ	2
Q2. 実際に2004年6月8日の金星太陽面通過を見ましたか？	
はい	0
いいえ	17
Q3. 教材を使って、金星太陽面通過がどのような現象わかりましたか？	
理解できた	4
まあ理解できた	8
どちらともいえない	2
あまりわからなかった	2
わからなかった	1
Q4. 1 AU の測定方法はわかりましたか？	
理解できた	7
まあ理解できた	6
どちらともいえない	3
あまりわからなかった	1
わからなかった	0
Q5. 測定後、以前に比べて天文に対する興味・関心度は変わりましたか？	
興味が増した	1
少し増した	6
どちらともいえない	10
少し減った	0
興味が減った	0

かみどころがなかったが、苦手意識が少しなくなった」、 「授業で習ったところの総復習ができた」という感想が寄せられた。計算を簡略にして、イメージをつかむための図や実際の撮影画像を用いたことで、このような意義のある実践授業ができたと考えている。なお、高校では情報科の授業が行われているが、パソコン操作を不得意とする生徒もおり、操作説明に予想以上の時間を要した。たまたま、この学校では通常の50分授業でなく、65分であったために辛うじて時間内に終わったが、可能であれば、解説に1時間、実習に1時間用意できればさらに理解が高まったであろう。

5. おわりに

本論文では、日本で130年ぶりとなった金星太陽面通過のインターネット中継と、実際に撮影された画像を利用した教材サイトの授業における実践についてまとめた。あいにく日本では観測できない地域が多かったのが残念であるが、我々の中継サイトを通して多くの人に珍しい現象を見る貴重な機会を提供することが

できた。もし実際に観測しながら中継を見ることができれば、リアルタイムに視差を実感することができ、生の中継画像のさらなる教育効果が確認できたであろう。しかし、中継後の調査によって、中継だけではなく教材ページを充実させることも、天文への興味を高めるには重要だということが確認できた。また、太陽系の基本スケールを実感するという目的で教材作成を行い、高校生に1 AU を実際に測定するという授業実践を行った。煩雑な計算への抵抗を減らし、真正資源を教材に活用することで、充実した教材ができ、意義のある授業実践を行うことができた。130年ぶりということもあり、今回のような実習教材は数が少ないので、今後も次回の太陽面通過である2012年まで、貴重な教材ページとして活用されるだろう。次回の金星太陽面通過は、2012年6月6日で、またもや梅雨時である。しかし、太陽活動が比較的活発な時期にあたるため、黒点などの表面模様も多く、高い精度で位置合わせした画像を用意することができるだろう。海外の観測者との連携を強化し、天候のリスクを回避した

い。今回は、今回の測定結果との比較が可能になるので、多くの教育現場で1 AUの測定に挑戦してもらいたい。よって、今回作成したウェブサイトは、今後の発展のために残しておきたいと考えている。

なお、2005年日本天文学会春季年会と同時に開催されたジュニアセッションにおいて、我々の中継サイトを見て1 AUの測定を行ったという報告が3件あり(足立, 2005; 大澤, 2005; 田口ほか, 2005)、中高生の自主的な学習活動を支援できたものと考えている。

最後に、今回の教材作成にあたり、画像を提供していただいた埼玉県立三郷北高等学校自然科学部、オーストラリア・バース天文台のDr. James Biggs, カロリーナ工科大学のDr. Katie Dunworth, Dr. Robert D. Loss, 天候には恵まれず観測はできなかったが、今回の観測計画時に多くの示唆をいただいた、京都大学大学院理学研究科附属飛騨天文台の上野 悟氏, また教材の実践に協力いただいた全国のAstro-HSの皆さん, 和歌山県立桐蔭高等学校の清水博之教諭と生徒の皆さんに、ここに感謝の意を記す。

また、本研究は、文部科学省科学研究費・基盤研究(C)・課題番号16500549(平成16~18年度)の補助を受けて行ったことを付記する。

引用文献

- 縣 秀彦・尾久土正己・中山雅哉・永井智哉・高橋典嗣(2002): 日食インターネット中継の実施例とその評価。日本教育工学会論文誌, **26**(2), 77-85。
- 縣 秀彦・戎崎俊一・五島正光・松本直記・千頭一郎・畠中亮・松浦匡・川井和彦(2002): 科学教育活動Hands-On Universeの日本での実践とその評価。インターネットを用いた学びの共同体の一例として。日本教育工学会論文誌, **26**(3), 181-191。
- 縣 秀彦(2004a): 教育の現状と日本天文学会の役割—天文学の真正資源をどのように教育利用すべきか?—。天文月報, **97**(3), 163-168。
- 足立真衣(2005): 金星の太陽面通過により1天文単位を
求める。第7回ジュニアセッション講演予稿集, 84-85。
- 縣 秀彦(2004b): 理科教育崩壊—小学校における天文教育の現状と課題—。天文月報, **97**(12), 726-736。
- 国立天文台編(2005): 理科年表2006年度版, 丸善。
- 文部科学省(2004): 「国際数学・理科教育動向調査の2003年調査」国際調査結果報告(速報)。
- 尾久土正己・角下麻人・田中英明・豊増伸治・坂元誠・綾仁一哉・川端哲也・曾我真人・渡辺健次(1999): アルデバラン食を使った月の運動の学習。天文教育, **11**(1), 26-32。
- 尾久土正己・板垣朝子・高橋典嗣・和田英一・森友和・相川成周・安田 豊・中山雅哉・森下貴裕・市川雄一・大原弘美・渡辺健次・近藤弘樹(2001): インターネットを使った大規模な日食中継システムの実践。教育システム情報学会誌, **18**(2), 219-231。
- 尾久土正己・高橋典嗣(2004): ライブ!ユニバースの日食中継とその教育実践。天文月報, **97**(3), 135-140。
- 大澤 大(2005): 金星の太陽面通過から1 AUを求める。第7回ジュニアセッション講演予稿集, 30-31。
- 下川俊彦・中川郁夫・山本文治・吉田紀彦(2001): 広域分散Webサーバにおける経路情報を用いたサーバ選択。電子情報通信学会技術研究報告(インターネットアーキテクチャ研究会), IA2001-26, 49-56。
- 鈴木文二(1992): いま, 中・高生の天文意識はどうなっているか。天文月報, **85**(10), 461-463。
- 鈴木文二・宮下 敦・大島 修・尾久土正己・小野智子・浜根寿彦・水野孝雄・渡部義弥(1999): しし座流星群全国高校生同時観測会—その学術的成果と教育的側面—。天文教育, **11**(5), 24-33。
- 鈴木文二(2004): 高校生天体観測ネットワークの活動—ホンモノの天体現象の体験活動—。天文月報, **97**(3), 141-148。
- 田口聖久・鈴木康右・加茂直之・中村大輝・原 菜見子・別府歩美(2005): 2004年6月8日の金星の太陽面通過の観測による1天文単位の算出。第7回ジュニアセッション講演予稿集, 72-73。
- 渡辺健次・岡田 浩・田中英明・坂元 誠・尾久土正己(1996): 天文教育におけるインターネットの活用とその試行実験について。教育システム情報学会研究報告, **95**(5), 65-71。

荻原文恵・尾久土正己・富田晃彦・半田利弘・中山雅哉：金星太陽面通過のインターネット中継とその教材化 地学教育 59 巻 6 号, 201-212, 2006

〔キーワード〕 高等学校地学, 金星太陽面通過, 1 天文単位, インターネット中継

〔要旨〕 2004 年 6 月 8 日, 130 年ぶりに金星の太陽面通過が起きた。これは, 多くの人に太陽系の大きさの基本尺度である 1 天文単位 (1 AU) を実測してもらうことができる機会である。そこで我々は, 日本と海外からインターネット中継を行い, 画像配信を行った。各地で観測された画像を用いた 1 AU の測定方法のウェブサイトを作成し, 主に高校生を中心とした実習教材として公開した。実際に高校の授業で実践を行った結果, 1 回の授業時間内で現象をほぼ理解することができた。本論文では, 金星の太陽面通過のインターネット中継と実際の画像を利用した 1 AU 測定の教育的な効果について報告する。

Fumie OGIHARA, Masami OKYUDO, Akihiko TOMITA, Toshihiro HANDA and Masaya NAKAYAMA: An Internet Broadcast of the Transit of Venus and the Educational Effect of the 1 AU Measurement Teaching Materials. *Educat. Earth Sci.*, 59(6), 201-212, 2006

学会記事

平成 18 年度 第 2 回評議員会議事録

日 時：平成 18 年 8 月 18 日(金)16 時 30 分～18 時

場 所：静岡大学教育学部 大会会館

出席者：下野 洋・馬場勝良・熊野善介・渋谷
 紘・林 慶一・五島政一・岡本弥彦・山本
 和彦・八田明夫・秦 明德・米澤正弘・高
 橋 修・坂田算浩(大会事務局)

はじめに本評議員会は、出席者 12 名・委任状 14 名で計 26 名となり、現評議員の過半数を超えているため成立することが確認された。

議 題：

1. 静岡大会について

熊野副会長(静岡大会実行委員長)から静岡大会についての進捗状況、これからのスケジュール等の説明があった。

2. 大会宣言文について

熊野副会長から静岡大会宣言文(案)が提出され、それについて討議、承認が行われた。

3. 次期(平成 19 年度)開催地(島根)の紹介

秦副会長(島根大会実行委員長)から平成 19 年度島根大会の進捗状況・組織案について説明があった。原案として島根大会は、平成 19 年 8 月 17 日(金)～20 日(月)島根大学において開催されることが報告された。大会テーマは「地域に根ざした地学教育の創造(案)」とし、シンポジウムは「新指導要領と地学教育の展望(案)」が行われる予定である。

報 告：

1. 本年度学術奨励賞について

松川学術奨励賞選考委員長(代理高橋会員)から本年度学術奨励賞について報告があった。学会賞および優秀論文賞は該当なし、教育実践優秀賞については五島正光会員による「レプリカグレッチングを用いた恒星の色と温度の授業実践」(58 巻 1 号)に授与されることが報告された。

2. その他

1) 本年度も補助金の申請を積極的に行うことが確認された。

2) 日本教育研究連合会教育研究賞に本学会から、藤田郁男会員(北海道)を推薦することが

報告された。

第 2 回 常務委員会議事録

日 時：平成 18 年 7 月 5 日(水) 午後 6 時 15 分
 ～午後 8 時 30 分

場 所：慶應幼稚舎

出席者：下野 洋・馬場勝良・熊野善介・岡本弥彦・相場博明・米澤正弘・五島政一・渋谷
 紘・濱田浩美・高橋 修

議 題：

1. 前回議事録の承認

前回(第 1 回常務委員会)議事録の承認がなされた。

2. 平成 18 年度静岡大会について

熊野副会長から静岡大会の進捗状況について説明があった。

3. 大会宣言文について

静岡大会実行委員会から原案が提出され、検討された。修正された原案をもとに評議員会での承認を得る予定である。

4. 評議員会について

平成 18 年度定例評議員会は、8 月 18 日(金)16 時 30 分から、静岡大学において開催される予定である。

5. 学術奨励賞について

松川学術奨励賞選考委員長(代理相場会員)から学術奨励賞の進捗状況について説明があった。

6. 平成 19 年度以降の大会について

次年度島根大会の進捗状況(テーマ、期日等)について、今回の評議員会で大会実行委員長の秦副会長から説明がある予定である。平成 20 年度は東京学芸大学、平成 21 年度は三重大学での開催が検討された。

7. 入会者・退会者について

今回は入会者 2 名、退会者 14 名、物故者 1 名が承認された。

入会者：上山容江(和歌山)・引間和彦(埼玉)

退会者：磯部琇三・太田豊穂・大脇直明・河村勁・杵島正洋・工藤源義・高橋文明・田中豊顕・永野清経・長谷川好成・松本直記・山内 攻・山

田辰明・竹内 淳
物故者：河村義郎

8. その他

- 1) 国際委員の下野会長・熊野副会長・五島会員の 5th International Geoscience Education Organization (GeoSciEd), Bayreuth, Germany への参加。
- 2) 日本地球惑星科学連合の地学教育委員会（教育課程検討委員会）の委員の変更。林（武）会員から南島会員に交代することが了承された。
- 3) 「粘土科学討論会」および「子供のためのジオカーニバル」の後援を承諾した。
- 4) 日本教育研究連合会教育研究賞に本学会から、藤田郁男会員（北海道）を推薦することが承認された。
- 5) 日本地球惑星科学連合ニュースレターを毎号 200 部受けることが了承された。

報 告:

1. 各種常置委員会から

- 1) 編集委員会から 59-4 号の編集状況について

報告があった。また、本年度は昨年度の投稿数をすでに 19 編上回っていることが報告された。

- 2) 教科「理科」関連学会協議会で、新教育課程における理科のあり方のシンポジウムが開催されることが報告された。

2. 寄贈交換図書

- 理科の教育, 648, 日本理科教育学会, 2006
- 地質ニュース, 620, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2005
- 神戸大学発達科学部研究紀要, 13-1, 神戸大学発達科学部, 2005
- 神戸大学発達科学部研究紀要, 13-2, 神戸大学発達科学部, 2006
- 愛知教育大学研究報告（自然科学編）, 55, 愛知教育大学, 2006
- 熊本大学理学部紀要（地球科学）, 18-2, 熊本大学理学部, 2006
- 熊本地学会誌, 142, 熊本地学会, 2006
- 第 50 回粘土科学討論会講演要旨集, 日本粘土学会, 2006

平成 18 年度全国地学教育研究大会 静岡大会報告
日本地学教育学会第 60 回全国大会

日本地学教育学会第 60 回全国大会（静岡大会）実行委員会

I. はじめに

第 60 回という節目の大会が静岡大学で開催された。しかも、静岡では初めての開催である。お蔭様で高校生、静大の学生と教員も含め、約 160 名の参加があった。研究発表も高校生によるジュニアセッションから始まり、大変活発な議論となり、各会場でも多くの参加者との研究交流が盛んに行われたことは、喜ばしいことであった。

今回は「静岡県地学会」との共催で行われ、東部支部長である富士常葉大学の高橋 豊先生に特別セッションということで黒曜石の研究成果を発表していただいた。さらに、パネルディスカッションでは、「地学教育の 60 年の変遷と未来への期待」と題して、長らく学習指導要領の作成に関わられ、静岡県の出身であり元教科調査官であった筑波大学名誉教授の小林 学先生、現在の文部科学省の教科調査官である清原洋一先生、そして、国立教育政策研究所において地学教育の発展に最も関係している五島政一先生、司会者として、本学会会長である下野 洋先生にお願いし、活発な議論がなされた。次期学習指導要領の改訂作業はどのような方向性でなされるべきかについても、過去と現在をもとに未来に向けて議論が行われた。

また、記念講演として、米国ウィスコンシン州のエッジウッド大学から若手の研究者として第一線で活躍されているエミー・シーベル博士をお招きし、アメリカ合衆国における最新の地学教育・環境教育の現状や問題点を発表していただき、日本にとって意義ある議論が展開した。

巡検は第 1 日目と第 4 日目に行われ、第 1 日目は掛川層群の化石や堆積環境を中心としたものであり、後半の巡検は西伊豆から東伊豆にまたがる金銀銅の鉱床に関するものから、白浜層群等の堆積環境を確認しながら伊豆半島の成因に迫る考察ができる巡検であった。1 日目は 25 名、2 日目は 26 名が参加した。

最後に、静岡大会の宣言文が作成された。このなかで特に、「科学リテラシー」の一部である「地学リテラシー」を育成することが、持続可能な発展のための教育にとって、極めて重要であることが示された。身

近な生活の中で自然は日々刻々変化しており、地球というシステムが常に進化していることを科学的に解釈できる国民の育成のため、日本地学教育学会として努力を惜しまないということが宣言文の中で示された。

II. 大会概要

大会テーマ：地学教育の再構築

—身近な生活の中から地学リテラシーを育成する—

期 日：平成 18 年 8 月 18 日(金)～ 21 日(月)
会 場：静岡大学 大会会館
主 催：日本地学教育学会
共 催：静岡県地学会
後 援：文部科学省、全国高等学校長協会、全日本中学校長会、全国連合小学校長協会、日本私立中学高等学校連合会、日本教育研究連合会、日本科学教育学会、日本理科教育学会、日本理科教育協会、静岡県教育委員会、静岡市教育委員会、浜松市教育委員会、静岡県理科教育協議会、静岡県教育研究会、静岡県理科教育研究部、静岡県高等学校理科教育研究会、静岡新聞社・静岡放送

1. 日程：平成 18 年 8 月 18 日(金)～21 日(月)

日	時刻	行 事	会場（大会会館）
19 日 (七)	8:30	受 付	大会会館入口
	9:00	開会行事 学会奨励賞授与式	A 会場
	9:30	ジュニアセッション	A 会場：口頭発表
	10:30	特別セッション	A 会場
	11:00	ポスター・ブース展示	D 会場・E 会場
	12:00	昼休み	
	13:30	パネルディスカッション	A 会場
	14:30	研究発表 I	B 会場：小・中 C 会場：高・大・一般
	17:30	懇親会	食堂
	18:00		
	20:00		
20 日 (一)	9:00	研究発表会 II	B 会場：小・中 C 会場：高・大・一般
	12:00	昼休み	
	13:30	記念講演会	A 会場
	15:00		
	15:30	閉会行事	A 会場

2. 大会一日目開会式 学会奨励賞授与式

開会式

司会進行（実行委員 土屋光永）

1. 開会の辞ならびに挨拶（事務局長 坂田算浩）
2. 学会長挨拶（下野 洋）
3. 実行委員長挨拶（熊野善介）
4. 歓迎の挨拶（静岡大学教育学部長 石井 潔）

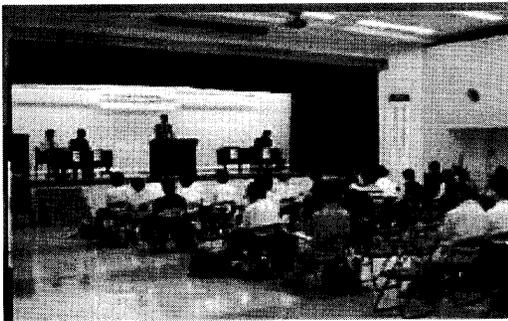
表彰式

1. 開式の辞（担当・学会本部）
2. 学会本部から受賞者の説明（今回は選考委員長も受賞者も公務のため欠席）

教育実践優秀賞 五島正光・土橋一仁

「レプリカグレーティングを用いた『恒星の色と温度』の授業実践」

3. 閉式の辞（学会本部）



〈開会式の全景〉

3. ジュニアセッション：A会場（9:30～10:30）

1J01 「遠州灘海岸で見られる風紋の形態と成因」

窪野篤宏，加藤義宣，岩井貴寛（静岡県立磐田南高等学校・地学部）

1J02 「浜名湖周辺に分布する火山灰と古環境の推定」

榎原玄大，澤口真実，白川美穂，鈴木啓介，関琢磨，夏秋友美，大澤 悠（静岡県立浜松北高等学校・地学部）

1J03 市川裕香，及川正統，長野真子，三浦史寛（静岡県立静岡高等学校・生物学部）

4. 特別セッション：A会場（10:30～11:00）

高橋 豊：富士常葉大学 地球化学部門客員研究員
「蛍光 X 線分析による凡方遺跡・東三洞貝塚出土黒曜石の産地推定」

5. ポスターセッション：D会場（11:00～12:30）

P01 「小学理科と連携した化石採集会の実践—北海道小平町の例—」

添田雄二（北海道開拓記念館），疋田吉識（中川町エコミュージアムセンター），鈴木明彦（北海道教育大学岩見沢校），越高大輔（北海道教育大学岩見沢校），平中伸英（同左），荒川忠宏（苫小牧市博物館），小平町教育委員会（留萌郡小平町），赤松守雄（留萌郡小平町）

P02 「生痕化石フィコサイフォンの謎：身近な古生物教材として」

静大付属浜松中学校，細田一成（三島市立錦田中学校）

P03 「自記気象観測装置による気象観測の条件の検討」

日切勇輝（広島大・教育・院），石井喬志（同左），永田真依子（同左），林武広（広島大・教育）

P04 「静岡平野の地学を題材とした課題研究—海陸風と，有孔虫化石—」

寺田紘介（静岡県立静岡中央高等学校・地学部）

P05 「眼視・高感度ビデオカメラ・電波観測による2005年ベルセウス座流星群の特徴」

檜木梨花子，田中裕也（静岡県立磐田南高等学校・地学部）

P06 「パソコンによる静岡県周辺の微小地震活動の解析」

長坂翔吾，山城奏美，久永容高，内藤公輔（静岡県立磐田南高等学校・地学部）

P07 「遠州灘海岸で見られる風紋の形態と成因」

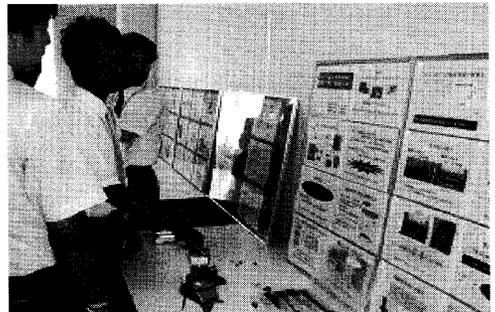
窪野篤宏（静岡県立磐田南高等学校・地学部）

P08 「静岡市近郊の絶滅危惧植物について」

市川裕香，長野真子，及川正統，三浦史寛，西島奈生子（静岡県立静岡高等学校・生物学部）

P09 「『手づくり磁石』の教材開発と教材化」

岡田拓也（静岡大学大学院教育学研究科），熊野善介（静岡大学教育学部），畑 俊明（静岡大学教育学部）



6. パネルディスカッション：地学教育の60年の変遷と未来への期待

パネリスト

小林 学：筑波大学名誉教授

清原洋一：国立教育政策研究所教育課程調査官

五島政一：国立教育政策研究所教育課程研究センター基礎研究部総括研究官

司会 下野 洋：星槎大学教授・本学会会長

7. 大会一日目・研究発表 I (14:30~17:30)

(1) 一般発表・B会場〈小学校・中学校〉

1B01 「メタ認知能力の育成に焦点を当てた『大地のつくり』に関する概念地図の利用に向けて」

加藤尚裕(九州女子短期大学), 下妻淳志(埼玉大学附属小学校)

1B02 「初歩的な観察能力を育てる指導の試み—第3学年特設単元『石をくらべよう』の実践を通して—」
引間和彦(さいたま市青少年宇宙科学館), 加藤尚裕(九州女子短期大学)

1B03 「岩石の命名を取り入れた『土地のつくり』の授業プラン」

境 智洋(北海道立理科教育センター)

1B04 「科学的パラダイムに基づく『流れる水のはたらき』の展開法」

林 慶一(甲南大学)

1B05 「グーグルアースの教材としての活用」

相場博明(慶応義塾幼稚舎), 馬場勝良(慶応義塾幼稚舎)

1B06 「川の教材化—河床礫に注目して—」

本藤洋一朗(広島大・教育・院), 山崎博史(広島大・教育), 梶山 透(広島大・教育・院), 鹿江宏明(広大附東雲中), 林 武広(広島大・教育)

1B07 「中学校理科, 火山の学習におけるモデル実験の試み」

佐竹 靖(広大附東雲中), 鹿江宏明(同左), 林武広(広島大・教育), 鈴木盛久(同左)

1B08 「インターネットを利用した気象学習—Live-Eの活用—」

石井喬志(広島大・教育・院), 匹田 篤(広島大・地域連携セ), 相原玲二(広島大・情報メディアセ), 鹿江宏明(広大附東雲中), 日切勇輝(広島大・教育・院), 林 武広(広島大・教育)

1B09 「生徒の観察・実験を支援し思考を援助する学習環境としての市販教育用ソフトと自作ソフトの効果的な活用」

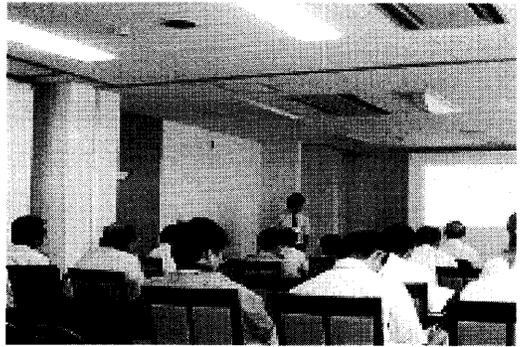
平松良夫(岡山県総社市総社中学校), 野瀬重人(岡山理科大学理学部)

1B10 「誰にもできる野外学習『安倍川学習』の実践から」

高橋照枝(静岡市立中島中学校)

1B11 「博物館における地学に関する小・中学生向け体験イベントの調査」

楠 賢司(静岡大学)



(2) 一般発表・C会場〈高校・大学・一般〉

1C01 「熱残留磁気の理解のための教材の開発」

中野英之(獨協埼玉中学高等学校・東京理科大学)

1C02 「恐竜の声の復元の教材化」

小荒井千人(慶應義塾湘南藤沢中・高等部)

1C03 「生徒の疑問に答える火山学習—科学好きな子どもを育てるためのカリキュラム開発(1)—」

美澤綾子(静岡県立御殿場南高等学校), 五島政一(国立教育政策研究所)

1C04 「身近な火山の学習を通して地球を実感できるSSH野外体験学習プログラム—科学好きな子どもを育てるためのカリキュラム開発(2)—」

相原延光(神奈川県立西湘高等学校), 五島政一(国立教育政策研究所)

1C05 「高等学校地学におけるアースシステム教育の実践(特に気象分野を中心として)—科学好きな子どもを育てるためのカリキュラム開発(3)—」

小泉治彦(千葉県立柏高等学校), 五島政一(国立教育政策研究所)

1C06 「小石川 SSH と学校における地震観測」

南島正重(東京都立小石川高等学校)

1C07 「岐阜県美濃帯に見られる褶曲構造の解析」

青野宏美(岐阜聖徳学園大学)

1C08 「平成17年台風14号により発生した土石流

について～防災学習の視点から～

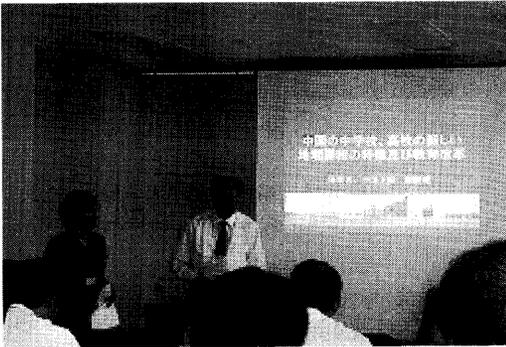
鈴木盛久 (広島大・教育), 重道浩二 (鳥取県東伯中), 林 武広 (広島大・教育), 鹿江宏明 (広大附東雲中), 岩永拓也 (広島大・教育・院), 吉森正尚 (広島市大河中)

1C09 「単位制高校の多様な生徒に応じた地学の学習指導」

吉川契子 (静岡県立静岡中央高等学校)

1C10 「惑星の近日点移動角及び天体(太陽)の表面付近をかすめる星光の屈折角を導く初等的新方法」
服部哲雄 (世界社)

1C11 「地層と化石から御前崎の隆起に迫る—御前崎海岸と牧ノ原地谷古層の観察会での実践—」
佐藤弘幸 (静岡聖光学院中・高等学校)



8. 懇親会, 静岡大学学生会館 2 階 (D 会場)
(18:30~21:30)

懇親会も静岡大学の学生会館 2 階で開催いたしました。静岡大学教育学部長の石井 潔先生を来賓に迎え、パネルディスカッションに参加いただいた、小林学先生、清原洋一先生、2 日目の記念講演者のエミー・シーベル博士にも参加していただき、和やかな



中で第 60 周年という節目のお祝いとともに喜ぶとともに、静岡の地酒やご馳走を楽しむことができた。会場が貸切であることもあり、時間を越えても歓談を続けることができたことは、今後の地学教育研究のために貢献できたのではないだろうか。参加者はスタッフ・来賓を含めて約 60 名であった。

9. 大会二日目・研究発表・記念講演

(1) 研究発表 II (9:00~12:00)

B 会場: 小学校・中学校・高校

2B01 「城ヶ島に分布する第三系を題材にした野外学習」

高橋 修 (東京学芸大学), 斎藤 大 (横国大学院), 湯浅智子 (東学大大学院)

2B02 「3 次元空間概念を育成する理科学習の試み」

鹿江宏明 (広大附東雲中), 佐竹 靖 (同左), 鈴木盛久 (広島大・教育), 林 武広 (同左)

2B03 「岩手県荒川地域における地学的自然の教材化」

茂庭隆彦 (岩手県立総合教育センター), 照井一明 (岩手県立大東高等学校)

2B04 「学習意欲を高める「高等学校地学 I」の授業展開」

池本博司 (広島市立基町高等学校), 林 武広 (広島大学大学院), 鈴木盛久 (広島大学大学院)

2B05 「地震発生, そのときの震度は? —マグニチュードから震度を推定する教材の開発—」

北川達彦 (那須高原海城中学校・高等学校)

2B06 「学童保育児童を対象とした防災教育の実践報告—震災体験を次世代に語り継ぐ, 劇団『すずらん』の活動を通して—」

香田達也 (神戸市立兵庫商業高校), 正木美帆子 (神戸市立兵庫商業高等学校), 岩崎みすず (神戸大学大学院), 新井敏夫 (神戸大学大学院), 末延武司 (神戸大学大学院), 金丸龍夫 (神戸大学大学院)

2B07 「緯度による日周運動と見え方の違い」

竹内英二 (拓殖大学第一高等学校)

2B08 「2005 年 8 月 9 日千葉県君津市で見られた降水現象とその教材化」

山本和彦 (習志野市立習志野高等学校)

2B09 「中国の中学校・高校の新しい地理課程の特徴及び教育改革」

陳 勝慶 (上海華東師範大学・上海華東師範大学第二中学校)

2B10 「タイ・コンケンにおける GPS 可降水量の変

動と地学教育への導入の検討」

藤間 俊 (静岡大学大学院), 熊野善介 (静岡大学教育学部), 里村幹夫 (静岡大学理学部), 島田誠一 (防災科学研究所), Sununtha Kingpaiboon (タイ・コンケン大学)

2B11 「探究的な活動を促す実習についての試み—エラストネスの測定の実習を通して—」

坂田算浩 (静岡県立静岡高等学校)

(2) C 会場: 大学・一般 (9:00~12:00)

2C01 「博学連携・融合はどこまで可能か? 学芸員と教師の協働を考える」

平田大 二 (神奈川県立生命の星・地球博物館)

2C02 「地層に関する高精細映像教材について」

岩永拓也 (広島大・教育・院), 匹田 篤 (広島大・地域連携セ), 山崎博史 (広島大・教育), 林 武広 (同左)

2C03 「少年自然の家における継続的天体観察活動の試み」

金澤大起 (広島大・教育・院), 石井隼人 (福岡市次郎丸中), 藤本浩士 (国立吉備少年自然の家), 原田彩 (広島大・教育・院), 林 武広 (広島大・教育)

2C04 「水辺ウォッチング—富士山の湧水—」

井上 誠 (富士常葉大学), 中川二郎, (富士常葉大学), 湯浅久美子 (富士常葉大学), 藤川格司 (富士常葉大学)

2C05 「碎屑物の豊富な河川と枯渇している河川」

牧野泰彦 (茨城大学)

2C06 「子どもが主体的に学び科学を好きになるための教育システムの開発に関する実践的な研究—科学好きな子どもを育てるための教師教育(1)—」

五島政一 (国立教育政策研究所), 科学好きな子どもを育てるための教育システム開発研究会・アースシステム教育研究会

2C07 「大学・博物館・教育委員会の連携による教員研修プログラムの開発—科学好きな子どもを育てるための教師教育(2)—」

岡本弥彦 (麻布大学), 五島政一 (国立教育政策研究所), 河尻清和 (相模原市立博物館), 門倉松雄 (相模原市教育委員会)

2C08 「保育園・幼稚園における研修プログラムの開発—科学好きな子どもを育てるための保育士・教師教育(3)—」

坂田尚子 (静岡エネルギー環境教育研究会), 田中千佳子 (函南さくら保育園), 田宮 緑 (常葉学園大

学), 熊野善介 (静岡大学), 五島政一 (国立教育政策研究所)

2C09 「藤沢市教育文化センターの教員研修プログラム—科学好きな子どもを育てるための教師教育(4)—」

川地啓文 (藤沢市立片瀬中学校), 五島政一 (国立教育政策研究所)

2C10 「理科教育における教師教育プログラム開発の視点—科学好きな子どもを育てるための教師教育(5)—」

下野 洋 (星槎大学), 五島政一 (国立教育政策研究所), 下畑五夫 (斐太高校), 小椋郁夫 (武儀中学校)

2C11 「静岡アースシステム教育教師教育プログラム—静岡大学プログラム—」

熊野善介 (静岡大学)

10. 記念講演会: A 会場 (13:30~15:00)

「Earth Science Education in the United States: Good News, Bad News and more Good News」

講師 エミー・シーベル博士 (米国ウィスコンシン州エッジウッド大学科学教育センター長)

11. A 会場: 閉会式

司会進行 (松本仁美)

1. 開始期の辞 (坂田算浩)
2. 学会長挨拶 (下野 洋)
3. 大会宣言文発表 (大会事務局長 坂田算浩)
4. 閉会の辞 (大会実行委員長 熊野善介)
5. 巡検等の連絡

III. 参 加 者

一般参加者は一般会員 72 名, 学生 14 名, スタッフ 15 名, ジュニアセッション関係者 22 名, 県内小学校中学校高等学校教員 25 名, 巡検のみの参加者 12 名を含めて約 160 名であった。

IV. 主な行事の報告

(1) 特別セッション

高橋 豊 (富士常葉大学)

演題: 蛍光 X 線分析による凡方遺跡・東三洞貝塚出土黒曜石の産地推定

高橋先生は静岡県地学会の前副会長でもあり, 長年静岡県の地学教育に寄与してきた先生で, 最近の研究は黒曜石の蛍光 X 線分析により, 考古学的遺跡で見つかる黒曜石とその原産地の関係について, 韓国や北米, サハリン等の産地の分析を進めている。

今回は九州北西部の腰岳、針尾島をはじめとする原石産地の黒曜石は朝鮮半島の考古遺跡でも確認されているが、これを科学的に保障できる分析事例が少ないだけでなく、九州西北部の黒曜石原石が朝鮮半島のどの地域にいつ、どの時代に、どのように供給されたのかを示す十分な資料は確保されていない。

分析の結果、東三洞貝塚と凡方遺跡から出土した黒曜石は、一部不明な試料を除けば、大部分の試料が九州の原産地と推定された。今回の分析結果は、既存の研究成果を裏づけるものであるが、朝鮮半島南海外地域から出土する黒曜石の実態をうかがい知ることのできる具体的なデータを確保したという点から重要な意義があるという見解が述べられた。



(2) パネルディスカッション

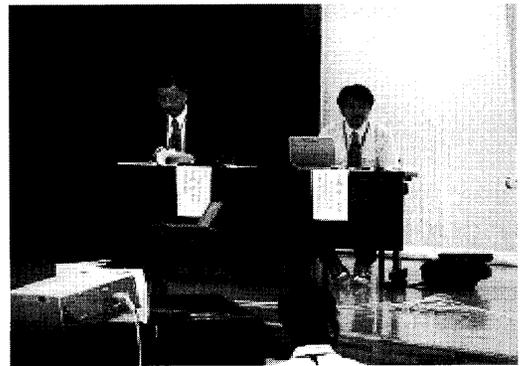
まず、筑波大学名誉教授である小林 学先生から「地学教育の変遷—戦後から昭和50年代まで」というタイトルで長年、学習指導要領を作成されてきたお立場で、戦前から昭和50年までの地学教育に関する歴史的な考察をいただいた。そして、小林先生の地学の重要性を踏まえた自然観を図で示しながら、現在の地学教育の問題を解決していくために多くの関係者が力を合わせて努力していく必要があることを力説なされた。

国立教育政策研究所の研究員で、文部科学省の調査官でいらっしゃる、清原洋一先生には、「地学教育の60年の変遷と未来への期待—これからの地学教育の展望」と題して地学教育のわが国の変遷を抑えつつ特に最近の実施状況調査の中にみられる地学領域の生徒に対する意識について述べられ他の理科の教科同じように肯定的な意識を持っていることがわかった。しか

し、小学校、中学校の先生方の多くが地学領域をとっても苦手になっているということが明らかとなった。さらに、清原先生は地学教育が発展するための重要な5つの視点を表明された。

国立教育政策研究所教育課程研究センターの五島政一からは、「海外の地学教育と今後の日本の地学教育の展望」という副題で、「国際的な動きをもとに地学教育の展望について提案がなされた。特に、環境教育を具現する教科としての地学教育、または防災教育としての地学教育、総合的な学習としての地学教育、持続可能な開発のための教育としての地学教育の視点が示された。

司会を快く引き受けてくださった本学会会長であり星槎大学教授の下野 洋先生から、人類の生存環境としての地球の科学の学習をあらゆる人々が科学リテラシーの一つとしてしっかり学んでいく必要があることが今回のパネルディスカッションから明らかになったとまとめられた。



(3) 記念講演

「アメリカにおける地学教育」という演題で、アメリカ合衆国において第一線で活躍されている地学教育・環境教育研究者であるエミー・シューベル博士をお招きし、アメリカの地学教育や環境教育の現状と問題点を発表していただくと同時に、地学教育を中心とした教育改革について述べていただいた。

シューベル博士はアメリカの現状と最近の動向を踏まえながら、地学教育の現状を示され、特に地学の全国調査の結果が思わしくなかったことと、全米科学教育スタンダードやベンチマークの登場で、地学教育を他の科学教育と同等に扱うことが明確に示されたことが述べられた。このことにより、各州の科学カリキュラムの中に地球科学が位置づけられ、教育改革が推進していることが示された。今後、われわれが進めるべきことは、全米科学教育スタンダードの考えをより広める努力をすること、全米科学教育スタンダードにより、どのような影響が起こったかに関する冷静な研究と、それらの結果に基づいた改訂を行うことが必要であるとした。これらのことにより、地学教育の地位向上を行っていく必要があるとした。

(4) 巡 検

《8月18日》(金) A コース

前弧海盆の海底探検 (掛川地域の鮮新-更新統の化石相をさぐる)



案内者：延原尊美 (静岡大学) 参加者 25 名

掛川地域に分布する鮮新-更新統掛川層群は、現在の駿河湾や遠州灘のような前弧域で堆積した海成層からなります。本巡検では堆積相や、貝化石・生痕化石を観察し、堆積過程や古生態の復元を体験した。

《8月21日》

伊豆の地質調査 (月) B コース, 参加者 26 名

案内者：藤井伝一、高橋 豊 (富士常葉大学、静岡県地学会東部支部長)、浜田 俊 (加藤学園高校)、佐藤弘幸 (静岡聖光学院中・高等学校)

縄地鉾山跡で鉾石採集をした後、堂ヶ島、黄金崎で白浜層群および第四紀の火山砕屑岩等を観察した。巡検を通して伊豆になぜ金銀鉾の鉾石ができたのかを考察していった。最後に土肥金山を見学した。

**V. 静岡大会宣言文**

日本という国には資源も乏しく、長い歴史の中で、他の諸外国には無い日本文化を築き上げてきました。これらは、自然と共生してきた日本人の英知が組み込まれています。他の諸外国に比べ、圧倒的な自然災害の多さは、火山国であり、地震国であり、台風の経路であることから明らかです。また、海に囲まれていることから、雨量が多く、昔から常に洪水に見舞われてきました。これらの自然環境の特徴に関する学習はすべて、小学校でいえばC領域であり、中学校であれば第2分野、高校でいえば、理科総合A及びB、地学I、IIで学習する内容であります。さらに、大学における地学関連の講座があります。ところが、地球科学関連の人材が、特に現場の理科教師の中で、地球科学関連の学習について自信を持って教授できる方が年々減少しているという現実があります。

一方、わが国がリーダーシップを取りながら、「持続可能な発展のための教育 (ESD: Education for Sustainable Development)」が国連の UNESCO で推進され始めました。この ESD は、われわれ人類が抱える様々な問題、環境問題やエネルギー問題、自然災害からいかに被害を最小限にするか (減災害) 等の問題を教育の中で扱うもので、識字教育のみならず「科学リテラシー」の重要性が確認されつつあります。

このような、新たな教育改革が推進する中で、地学教育の再構築が望まれます。国民の「科学リテラシー」の骨組みの一つとして、「地学リテラシー」があるという合意を得る必要があります。そのために、学校教育の現場のみならず教育委員会、博物館、科学館や地域社会等との連携を図りながら地学教育の教育実践や教育研究を通して、身近な生活の中から、実践可能な枠組みや考え方を積極的に提案していかなければなりません。静岡県におきましては東海地震に備えて、学校の耐震構造を強化し、防災教育を徹底して行っておりますが、学校教育全体のカリキュラムの中では、教科の教育としてあるのではなく、防災訓練として位置づけられていることが多く、身近な生活の中から「地学リテラシー」を育成するというには至っていません。

そこで、わが国の学校教育のカリキュラムを原点に戻って再検討することを提案し、特に、「科学リテラシー」の一部である「地学リテラシー」を育成することが、持続可能な発展のための教育にとって、きわめて重要です。日々刻々身近な生活の中で自然は変化しており、地球というシステムが常に進化していることを科学的に解釈できる国民の育成のため、日本地学教育学会として努力を惜しまないことをここに宣言します。

VI. 謝 辞

本大会の事前準備の段階から、日本地学教育学会事務局をはじめとし、茨城大学、上越大学等からいろいろとご支援をいただきました。また、静岡県教育公務員弘済会、静岡県理科教育協議会から多額の補助金をいただきました。さらに、多くの地学教育関係企業団体から広告代等を支援していただきました。そして、静岡新聞社・静岡放送から支援をいただきました。上記諸機関に厚く感謝申し上げます。

VII. 実行委員

実行委員長	熊野善介	静岡大学教育学部
事務局 長	坂田算浩	静岡県立静岡高等学校
委 員	楠 賢司	静岡大学教育学部
委 員	坂田尚子	静岡大学教育学部
委 員	佐藤弘幸	静岡聖光学院中・高等学校
委 員	塩澤康人	静岡市立千代田東小学校
委 員	高橋照枝	静岡市立中島中学校

委 員	高橋 豊	富士常葉大学・静岡県地学会
委 員	土屋光永	静岡県立浜松南高等学校
委 員	寺田光宏	静岡県立島田工業高等学校
委 員	藤間 俊	静岡大学大学院教育学研究科
委 員	延原尊美	静岡大学教育学部
委 員	原口博之	静岡大学大学院教育学研究科
委 員	松本仁美	静岡市立富士見小学校
委 員	森田明宏	静岡県立浜名高等学校

平成 18 年度の学術奨励賞の選考について

平成 18 年度の学術奨励賞は以下に決まりました。

学会賞

該当なし

優秀論文賞

該当なし

教育実践優秀賞

五島正光・上橋一仁 著 レプリカグレーティングを用いた「恒星の色と温度」の授業実践 地学教育, 第 58 巻, 第 1 号, 1-12.

(審査結果)

高校地学の天文分野では、天体(恒星)のスペクトルを扱う。実験や観察の授業では、簡便な道具を用いて、スペクトルを見出し、光の色と温度の関係やスペクトルの仕組みを理解することを試みる。しかし、これらの手法は、研究現場で行われている恒星のスペクトル分析とは大きく異なる。著者らが 2004 年に提案したレプリカグレーディングを用いると、豆電球と白熱電球など身近な光源を用いても、恒星のスペクトル観測と同様の観測が可能であることを明らかにし、研究現場で得られるデータ解析と同様な体験ができた。本論文は、この方法を用いた授業実践の研究で、豆電球と白熱球を用いて、光の色と温度によるスペクトルの相違を体験的に理解することを示した。これは、レプリカグレーディングを用いて観測した恒星の写真を基に、学習者が光の色と温度の関係を見出すことができたためである。さらに、この授業実践では、多くの生徒が光の色と温度に対して誤った認識を持っていることを見出し、それに対する指導方法を提案して、改善策を示した。以上のように、身近なものを用いて、恒星の光の色と温度の関係を体験的に理解させる方法を示したことは高く評価でき、本論文は教育実践優秀賞にふさわしいものである。

役員選挙に関する公示

平成 18 年 11 月 1 日

正会員および学生会員 各位

日本地学教育学会
選挙管理委員会

役員候補者の推薦について

「役員選挙についての細則」に基づいて、平成 19 年度年度役員（評議員および監事）の選挙を行います。ついては細則により評議員候補者の推薦をお願いいたします。

[参考] 役員選挙についての細則（抜粋）

5. 評議員候補者の推薦は、正会員および学生会員 3 名以上の署名捺印した推薦状に本人の承諾書を添えて、推薦者が 12 月 1 日から 12 月 25 日（消印有効）までに選挙管理委員会（事務局）に届けるものとする。
6. 監事候補者の推薦は、常務委員会が行う。

（注）会則および細則の全文は、会誌「地学教育」52 巻 3 号、1999 年 5 月発行を参照してください。

現在の役員は、下記のとおりです。

- 1) 平成 18 年度で任期の切れる評議員（再選を認められている）
北海道・東北地区：宮嶋衛次
関東地区：濱田浩美・相原延光・円城寺 守
中部地区：熊野善介
近畿地区：戸倉則正
中国・四国地区：林 武広
九州・沖縄地区：八田明夫
会長指名：林 慶一
- 2) 平成 19 年度ないし平成 20 年度まで任期のある評議員（推薦しても無効）
北海道・東北地区：照井一明・中村泰久、関東地区：山本和彦・渋谷 紘・米澤正弘・荒井 豊・江藤哲人・松森靖夫、中部地区：遠西昭寿・藤岡達也、近畿地区：田結庄良昭・澁江靖弘、中国・四国地区：野瀬重人・秦 明德、九州・沖縄地区：田中基義・宮脇亮介、会長指名：加藤圭司・青野宏美・高橋 修・土橋一仁・五島政一・馬場勝良・松川正樹・宮下 治・岡本弥彦・牧野泰彦

~~~~~  
お 知 ら せ  
~~~~~

東京学芸大学教員公募について

1. 職名及び人員 助手1名（なお、平成19年4月から助手は助教に変更予定です）
2. 専門分野 地質学又は古生物学
3. 応募期限 平成19年1月22日
4. 問い合わせ先 宇宙地球科学分野地学教室主任 猪郷久治 電話 042-329-7531
E-mail: igohisa@u-gakugei.ac.jp（応募資格・提出書類・提出先等についての詳細は、東京学芸大学HP教員公募http://www.u-gakugei.ac.jp/recruitment/pdf/2006/06_11_uchukyoin.pdfをごらんください）

編集委員会より

特集号の後半部の出版が事情により1号遅れ、第60巻1号(2007年1月)に出版予定です。

投稿論文のペースが、このところ落ちてきています。春先は、ハイペースでしたので、「このペースが束の間の安心にならぬように」と願っていたのですが、会員の皆様からの投稿をお待ちしております。

地 学 教 育 第 59 巻 第 6 号

平成 18 年 11 月 20 日印刷

平成 18 年 11 月 25 日発行

編 集 兼 日 本 地 学 教 育 学 会
発 行 者 代 表 下 野 洋

〒263-8522

千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33

千葉大学教育学部理科教育教室内

電話 & FAX 043-290-3682 (濱田)

振替口座 00100-2-74684

印 刷 所 株式会社 国際文献印刷社

169-0075 東京都新宿区高田馬場3-8-8

電話 03-3362-9741~4

EDUCATION OF EARTH SCIENCE

VOL. 59, NO. 6

NOVEMBER, 2006

CONTENTS

Original Article

- Development of Visual Presentation Software Displaying Stellar Evolution with a Web Browser
.....Kazunari SUZUKI, Akira OKAZAKI and Yorimasa KUBA...185~191

Practical Articles

- Development of Teaching Materials About Eolian Geomorphology on Mars:
Inference of Prevailing Wind Directions Based on Shape of Sand Dunes
Utilizing Images Taken by Mars Global SurveyorNorihito KAWAMURA...193~199
- An Internet Broadcast of the Transit of Venus and the Educational Value of the
1 AU Measurement Teaching Materials
.....Fumie OGIHARA, Masami OKYUDO, Akihiko TOMITA,
Toshihiro HANDA and Masaya NAKAYAMA...201~212

Proceeding of the Society (213~223)

Announcements (224)

All communications relating this Journal should be addressed to the
JAPAN SOCIETY OF EARTH SCIENCE EDUCATION

c/o Faculty of Education, Chiba University; Chiba-shi, 263-8522, Japan