

地学教育

第60巻 第5号(通巻 第310号)

2007年9月

目 次

原著論文

地球上からの金星の見え方と金星・太陽・地球の位置関係を

同時に表現できるペーパークラフト教材……………鎌田正裕・鷹西智子…(161~169)

教育実践論文

中性水素 21 cm 輝線用の小型電波望遠鏡の製作と高校での天の川の観測実習

……………尾久土正己・佐藤奈穂子・藤沢健太・富田晃彦・石塚 互・

佐藤敏行・塩川貴之・近多健輔・雪谷俊之・半田利弘…(171~178)

粘土の地質模型を使った地形図・地質図の学習指導……………中野英之…(179~185)

資 料

飽和等温残留磁化をつけた溶岩試料を用いて岩石が磁石であることを視覚化する:

古地磁気, プレートテクトニクスの理解のために……………植木岳雪…(187~188)

本の紹介 (189)

日本地学教育学会

原著論文

地球上からの金星の見え方と金星・太陽・地球の位置関係を同時に表現できるペーパークラフト教材

Paper Craft for Teaching How the Phase of Venus and Its Position on the Celestial Sphere Change as Venus and Earth Revolve around the Sun

鎌田正裕*¹・鷹西智子*¹

Masahiro KAMATA and Tomoko TAKANISHI

Abstract: Junior high school students in Japan learn how the phase of Venus and its position on the celestial sphere change with time. We developed a paper craft for students that is composed of Venus, Earth, the Sun, and a part of a celestial sphere. Using this craft, students can relate the phase of Venus and its position as observed from Earth, as well as the locations of Venus, Earth, and the Sun as observed from the outer space. The detail of the craft will be presented as well as the result of our practical study using the craft.

Key words: junior high school, venus, phase change, irregularity, paper craft

1. はじめに

中学校理科第2分野では、地球から見た金星の満ち欠けや大きさの変化、天球上での不規則な動きについて学習する。しかし、金星が観察できる時間帯は、授業で取り扱いにくい明け方もしくは夕方であり、また、肉眼では金星の形や大きさの変化までは見ることができない。安藤(2004)の調査でも、教科書の「金星の動きを観察」する部分において、教師の観察実施状況は、観察を行わず「説明のみ」や「ビデオで説明した」という回答が94%を占めている。このことから、金星の観察を授業内で行うことは現実にはほぼ不可能と言える。また、金星の観察を行ったとしても、地球上からの視点でしか見ることができないため、金星・太陽・地球の3天体の位置関係と関連づけた学習は容易ではない。

さらに平成元年度告示の小学校学習指導要領で、「太陽と月の位置や月の形の見え方との関係」については扱われなくなったため、中学校で金星を扱う際に

月の満ち欠けを説明に用いることができなくなり、このことも金星の学習を難しくしている。

いっぽう、金星の学習に関しては従来から多くの教材開発や実践が行われてきた。たとえば、中高下ほか(2002)の研究で使用された自作モデルは、教室内で、CCDカメラを取り付けた地球儀と、金星、太陽の3天体を動かすことでそれらの位置関係を見ながら、金星の様子を地球儀のCCDカメラから撮影するもので、地球上の視点からも見ることができる。しかし、器具の大きさや価格を考えると、各生徒に1台ずつ配布してそれぞれ生徒のペースで操作しながら学習を進めることには向いていない。

著者らは、天体の位置関係を簡単なペーパークラフトで表現することができれば、生徒一人一人が自分のペーパークラフトを用いて自分のペースで学習に取り組めるようになると考え、この種の教材の開発を続けてきたところ、吉川ほか(2006)が執筆する中学校用の理科教科書にそのアイデアの一部が綴じ込みのクラフト教材「スペースビュー」として採用された。これ

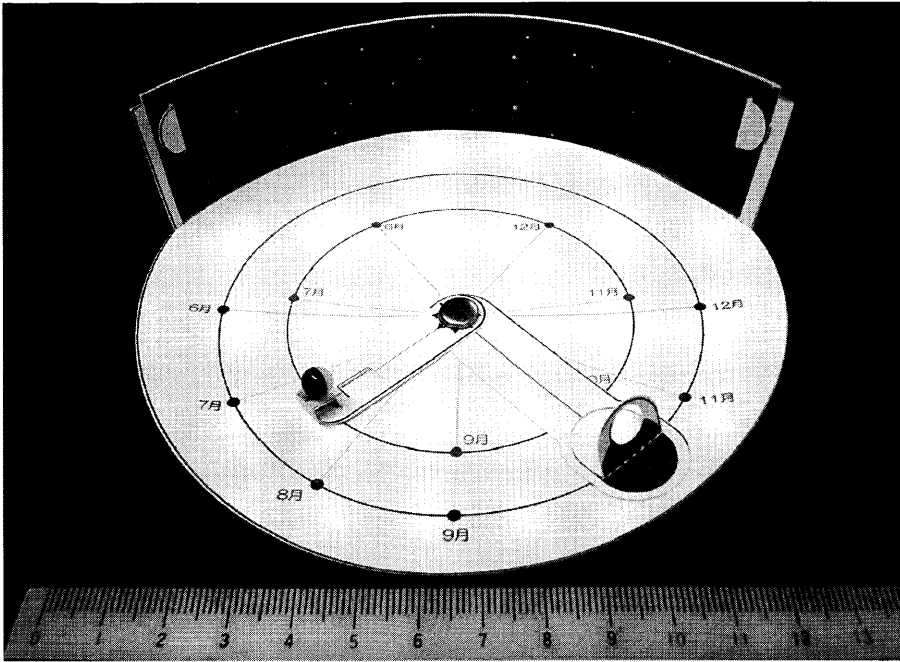


図1 金星の見え方と位置関係を示すペーパークラフト教材 (ROV)

によって、個々の生徒は太陽・金星・地球間の位置関係を把握しやすくなったと考えられるが、同クラフトには、多くの中学生が苦手とする「視点の移動」に対する対応が不十分なことや、金星の満ち欠けや見かけの大きさが取り上げられていないことなど、さらなる開発の余地が残されていた。そこで本研究では、地球上からの金星の見え方と、金星・太陽・地球の位置関係を同時に表現できる安価で手軽なペーパークラフト教材 (ROV: A tool to explain the Revolution of Venus) の開発を試みた。ROV と上記のスペースビューの具体的な相違点は以下の三つである。

- ①ROVの外観は図1に示すとおりで、ROVを手のひらに置いて、地球の部分にある覗き穴から金星に見立てたBB弾を覗くと、地球から見た金星の満ち欠けの様子が見える。さらに、その時のBB弾の位置を天球上の黄道12星座が描かれた背景と重ねることで、地球から見た金星の天球上の位置を知りこともできる。多くの中学生にとって視点を移動しながら天体の動き(見え方)を理解することは困難である。ROVでは、地球から見た(覗き穴から見た)金星の位置と、宇宙から見た(ペーパークラフトの真上から見た)金星と地球

の位置関係を、いつでも直接比較することができる。この点が、ROVの最も大きな特長の一つであり、これはスペースビューには備えられていない機能である。

- ②スペースビューでは、金星の満ち欠けについては全く取り上げられていないのに対し、ROVでは、半分黒く塗られたBB弾を金星に見立てているため、地球の覗き穴からそのBB弾を見ることで、金星の満ち欠けの様子(と太陽・金星・地球の位置関係)を学習者自身が確かめることができる。また、金星の見かけの大きさについても同様である。

- ③ROVの地球と金星の公転面上には、それらの惑星が何月にどの位置にくるのが明記されているため、月ごとの金星の見える位置を追跡することができ、これによって、金星が天球上を逆行する様子を学習者自身が確認できる。

なお、ROVは部品のほとんどが紙製であり、他の部品も手に入りやすく安価なものばかりなので、製作が手軽で、各生徒に一つずつ配ることができる。

2. ROV の構造とその使い方

ROV の台紙を図 2 に示す。通常はこれを A4 判のケント紙など厚手の紙に印刷して使用する。各部品は学習者自身がハサミやカッターで切り出すことも可能であるが、後述の実践では、時間短縮のためにカッ

ティングマシン（グラフィック(株)製，Craft ROBO ProII）であらかじめ切断したものを準備した。

地球から見ると，金星は地球を追い越す際に天球上をそれまでと逆方向に移動する。この様子を観察するために，ROV の公転面に印刷された地球と金星の軌道には，金星が地球を追い越す時期（2007 年 6～12

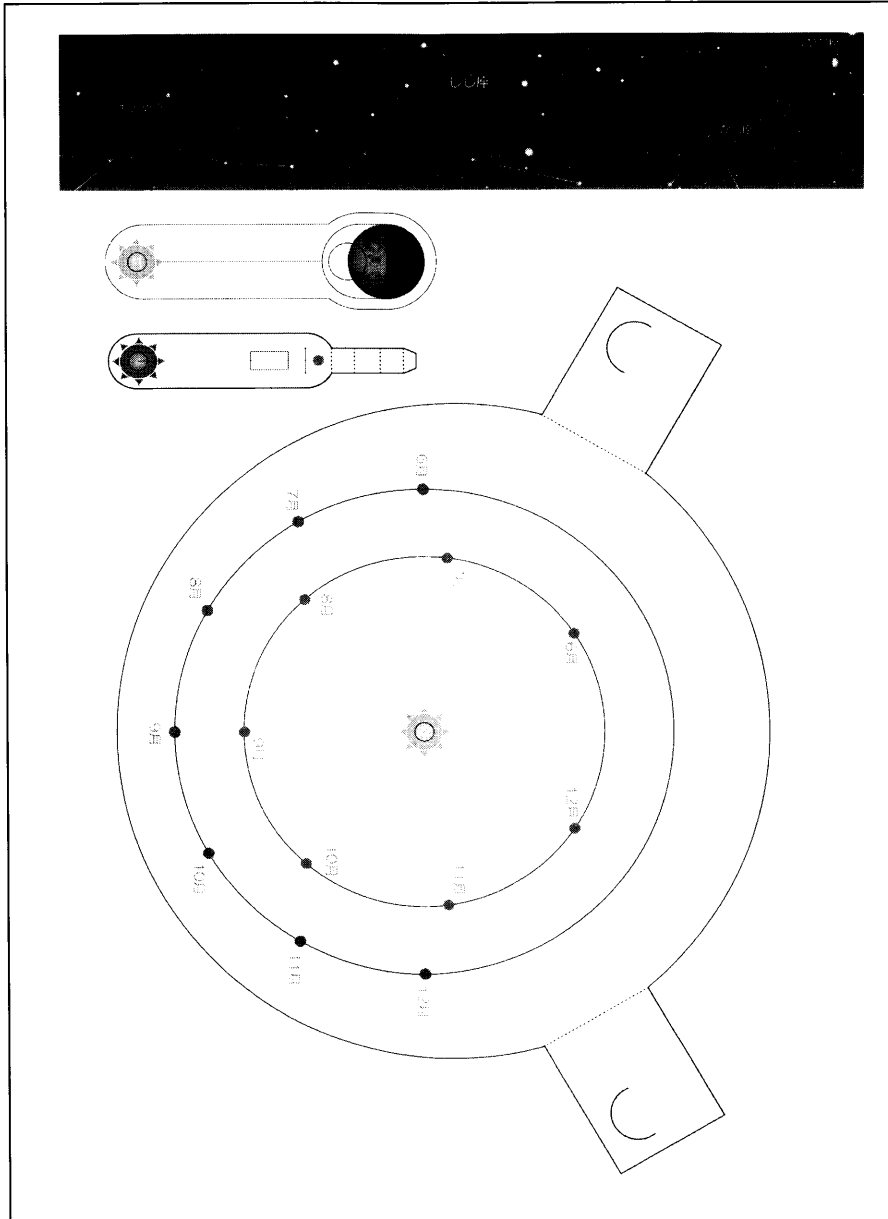
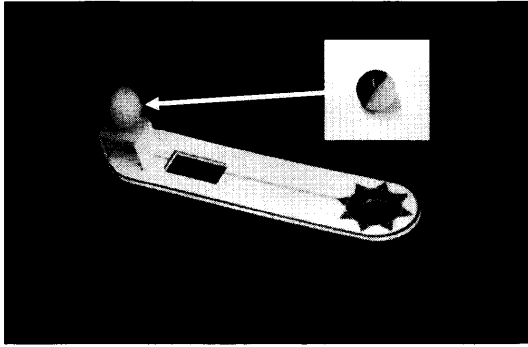
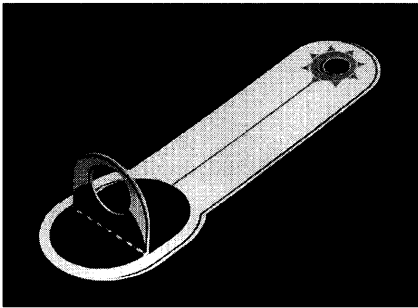


図 2 ROV ペーパークラフト台紙



(a)



(b)

図3 アームに取り付けられた金星(a)と地球(b)

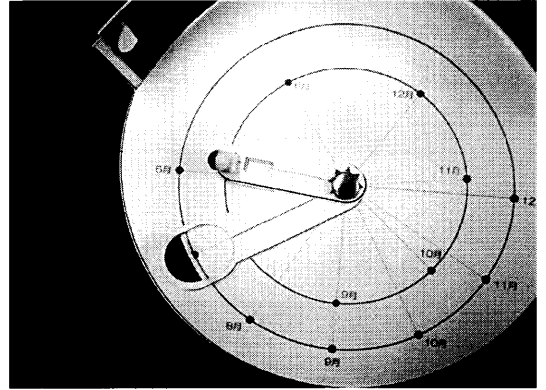


図5 7月の地球と金星の位置関係

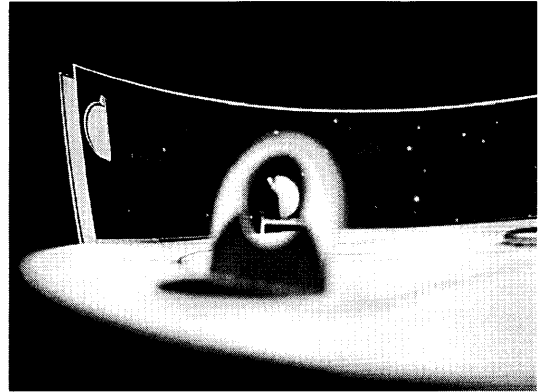


図6 地球から見た金星の見え方(7月)

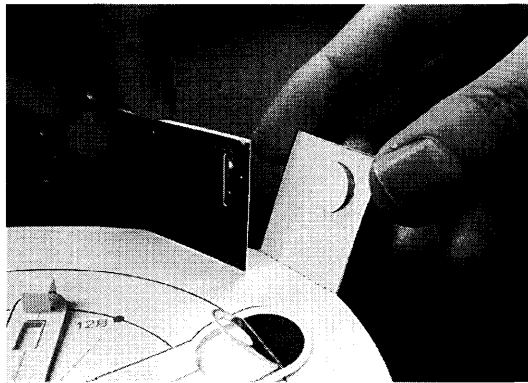


図4 背景部の固定方法

月)の地球と金星の月ごとの位置が示されている。また、この逆行がちょうどしし座周辺で見られるため、背景となる天球には、しし座を中心とした黄道12星座の一部(右からふたご座、かに座、しし座、おとめ座)が印刷されている。

いっぽう、金星を表すBB弾は、図3(a)のように、影の部分を油性マジックペンで黒く塗り、その黒く塗



図7 実践風景

られた部分が太陽の反対側を向くように、紙製のアーム上に両面テープで固定する。また、地球は図3(b)のように加工し、覗き穴を含む地球の一部が公転面に垂

	主な流れ・活動	指導上の留意点
導入 5分	<ul style="list-style-type: none"> ・天球上の星座は位置が変わらず、全体的に動いている。 ・黄道 12 星座をあげ、天球上の太陽の通り道にあることを説明する。 ・太陽のように黄道 12 星座上を通る『金星』がたまに不規則な動きをすることを紹介する。 ・金星の不規則な動きを観察できる教材として、ROV を紹介する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・天体や星座を習うのは、小学校以来の生徒たちなので、基本的な星座の動きを、黄道 12 星座を例としてあげ、共通理解を図る。 ・黒板に、黄道 12 星座を描き、しし座周辺に金星の不規則な動きを矢印で示す。
製作時間 10分	<ul style="list-style-type: none"> ・ROV を製作する。 ① 部品を台紙からはがす ② 金星の台を差し込んでつくる。 ③ 下から、本体・地球・金星の順で置いてから、割りピンで留める。 ④ 背景を差し込む。 ⑤ 両面テープをつけて、金星を貼り付ける。 	<ul style="list-style-type: none"> ・全体同時進行で、一手一手作り方を説明していく。
展開 1 10分	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">ほんとうに金星が不規則な動きをして見えるのか、確かめよう。</div> <ul style="list-style-type: none"> ・簡単に使い方を説明してから、観察させる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・このときは、金星が黄道 12 星座のどこを通るか見る方法のみ説明する。 ・ワークシートの問い①に、気づいたことを自由に書くように、指導する。
展開 2 10分	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">金星が不規則な動きをして見えるのはなぜか、考えよう。</div> <ul style="list-style-type: none"> ・ROV を上から見ると、金星、太陽、地球の 3 天体の位置が見えることを説明してから、考えさせる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ワークシートの問い②に、気づいたことを自由に書くように、指導する。 ・書き終わったら、ワークシートを回収する。
まとめ 10分	<ul style="list-style-type: none"> ・アンケートを配布して、記入させる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・アンケートを回収してから、生徒が書いたワークシートの内容を紹介して、不規則な動きの理由を説明する。

図 8 授業の展開

直になるように折り曲げる。

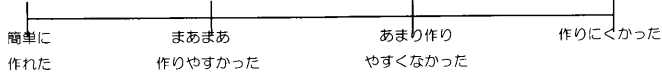
各部品の準備ができたなら組み立ては容易で、金星と地球を取り付けたアームは公転面の中心、すなわち太陽の位置に割りピンで固定し、公転面の周囲に背景を図 4 のように取り付けて完成である。

実際の使用方法については次のとおりである。たとえば、2007 年 7 月の様子を知るためには、図 5 に示したように、地球を印刷したアーム上の青い直線と金

星を載せたアーム上の黄色い直線を、公転面上に記された 7 月の青い直線と黄色い直線に合わせる。このとき、地球上の覗き穴から金星を見ると、図 6 のように見え、金星の満ち欠けの様子や天球上での位置を知ることができる。同様の操作をそれぞれの月ごとに繰り返すことで、学習者は、金星・太陽・地球間の位置関係と金星の満ち欠けや天球上の動きを関連づけながら学習することができる。

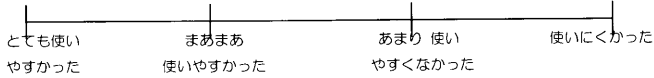
アンケート

① ROVは、作りやすかったですか。



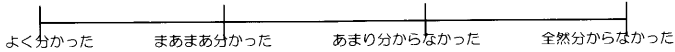
作りにくいところ、難しいところがあれば、書いてください。

② ROVは、使いやすかったですか。



使いづらいところがあれば、書いてください。

③ ROVを使って、金星の変わった動きは、分かりましたか。



④ その他で気づいたことについて

・地球から金星を見たとき、金星の形は変わると思えますか。

(変わる ・ 変わらない) 理由

・地球から金星を見たとき、金星の大きさは変わると思えますか。

(変わる ・ 変わらない) 理由

・金星は、いつ見えると思えますか？いくつかでも選んでください。

(早朝 ・ 夕方 ・ 深夜)

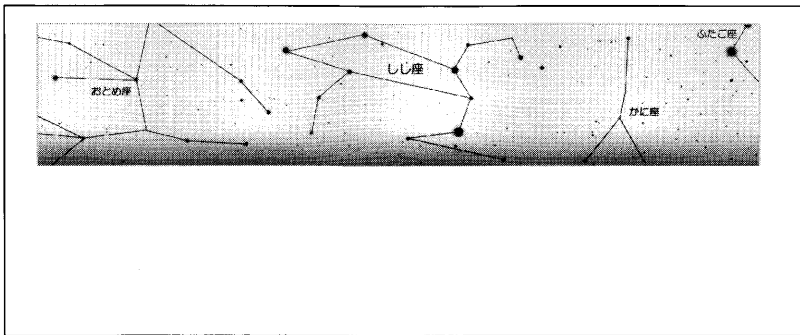
⑤ 最後に、感想や疑問があれば、自由に書いてください。

図9 事後アンケート



名前 _____

- ① 地球から見ると、金星はどんな動きをして見えましたか。



- ② そのとき、金星と地球の位置関係は、どうなっていましたか。
気づいたことがあれば、書いてください。

Blank space for writing answers to question 2.

図10 実践ワークシート

3. 授業実践

金星の天球上での不規則な動きと、その理由について生徒が考える際に、ROVが有効な助けになりうるかを確かめるために東京学芸大学附属世田谷中学校の第1学年の生徒13名を対象に実践と調査を行った。なお、この13名は、各クラスの理科係とその友人(有志)からなるため、理科に対する興味関心は一般の生徒より高いものと考えられる。実践の風景は図7に示すとおりで、中学校の天体単元は全員未習であった。

1時間の授業の流れの概略は以下に示すとおりで、詳細な授業展開は図8に示す。また、授業時間内に使用したアンケートとワークシートをそれぞれ図9、10に示す。

- ①天球上の星座の基本的な動きを説明する(5分)。
- ②ROVを紹介し、製作する(10分)。
- ③ROVを使って、地球から見た金星の不規則な動きを観察する(10分)。

④ROVを使いながら、金星が不規則な動きをして見える理由を考える(10分)。

⑤アンケート(10分)

授業中に生徒が記入したワークシート(図11参照)と、授業後にとったアンケートの結果から、生徒がROVで金星の動きを正しく理解できたか、生徒にとって作りやすさや使いやすさはどうであったのかを調べたところ、以下のような結果が得られた。

1) 金星の不規則な動きについて

ワークシートの中で「地球から見ると、金星はどんな動きをして見えましたか。」と問うて、ワークシート上の図(ROVの背景と同じ図)に鉛筆で直接書き込ませるとともに、自由記述欄に気づいたことを書くように指示した。その結果、13名全員がワークシートの図に6月から12月までの金星の位置を正しく書き込めており、全員が地球から見た金星の不規則な動きを確認できたことが分かった。さらに、実践中に金星が満ち欠けして見えることは一切触れなかったにもか

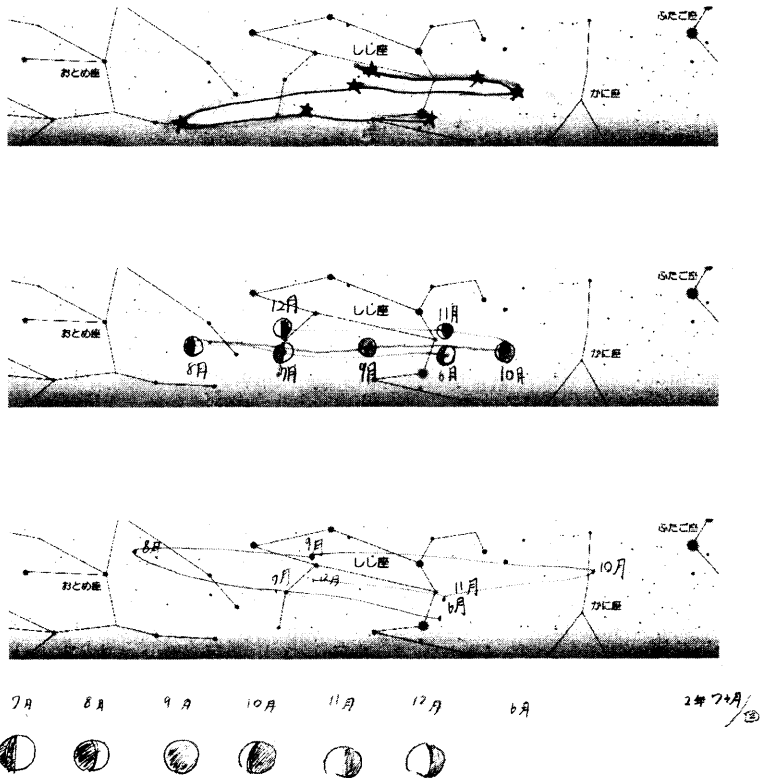


図11 ワークシート記述例

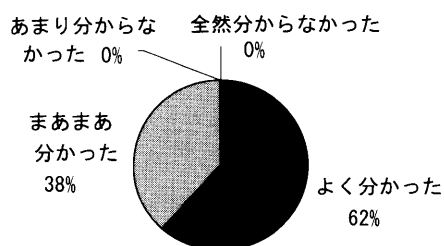


図12 アンケート結果

ならず、13名中5名は、金星の満ち欠けの様子も書き込んでいた。

ii) 金星の不規則な動きと金星と地球の位置関係ワークシートの中で「金星の不規則な動きが見えたときの、金星と地球の位置関係は、どうなっていましたか。気づいたことがあれば、書いてください。」と問うて自由に記述させたところ、表現の仕方には違いが見られるものの、13名中11名が正しく回答していた。回答の内容から、多くの生徒がROVの金星と地球を動かしながら上から見ることでそれに気づいたようであった。ROVを実際に手で持って観察したり動かしたりすることが、金星が不規則に動いて見える仕組みを理解する上で効果的であったと考えられる。

iii) 生徒の理解度（生徒の自己評価）

アンケートで「ROVを使って、金星の変わった動きは、分かりましたか。」と質問し、「よく分かった」から「全然わからなかった」までの4段階で回答させたところ、図12に示したように、13名全員が「よく分かった」あるいは「まあまあ分かった」と、肯定的な回答をしていた。

iv) 作りやすさと使いやすさ

アンケートで「ROVは、つくりやすかったですか。」、「ROVは、使いやすかったですか。」と質問したところ、前者については13名中11名の生徒が「簡単に作れた」「まあまあ作りやすかった」と答え、後者については、13名全員の生徒が、「とても使いやすかった」「まあまあ使いやすかった」と、肯定的な答えを選んだ。

4. おわりに

今回は、開発したROVが実際に中学生に受け入れられるかを確認するための簡単な調査しか行っておらず、その教育的効果についての定量的な評価は今後の課題である。しかし、得られた結果から、ROVが、天球上での金星の不規則な動きとその仕組みを中学生に理解させる上で有効なものになりうることは十分に期待できる。また、金星の満ち欠けや見かけの大きさが変化する理由を考えるとにも役立つものと考えられる。ROVはそのコストが1枚あたり数十円程度と安価であるため、今後、さらに広く使われるようになることが期待される。

引用文献

- 安藤秀俊 (2004): 中学校理科教材に掲載されている観察・実験の実施状況. 理科教育学研究, 44(3), 35-41.
 中高下 亨・前原俊信・永田邦生・荒森圭子 (2002): 中学校天体学習に関する一考察—自作モデル教材の導入と生徒の方位認識—. 理科教育学研究, 43(2), 35-42.
 吉川弘之ほか (2006): サイエンス2分野 下. 啓林館, 大阪, 96-97 間に綴じ込み.

鎌田正裕・鷹西智子: 地球上からの金星の見え方と金星・太陽・地球の位置関係を同時に表現できるペーパークラフト教材 地学教育 60巻5号, 161-169, 2007

〔キーワード〕 中学校, 金星, 満ち欠け, 不規則, ペーパークラフト

〔要旨〕 中学校の理科第2分野では、地球から見た金星の満ち欠けや大きさの変化、天球上での不規則な動きについて学習する。この学習を助ける目的で、太陽の周りを回る金星と地球、天球の一部からなるペーパークラフトを開発した。学習者は、この教材を用いることで、地球上から見た金星の形や動きを、地球外に視点を置いて得られた情報と関連づけながら学習することができる。このペーパークラフトの詳細について中学1年生を対象に行った実践研究の結果とともに報告する。

Masahiro KAMATA and Tomoko TAKANISHI: Paper Craft for Teaching How the Phase of Venus and Its Position on the Celestial Sphere Change as Venus and Earth Revolve around the Sun. *Educ. Earth Sci.*, 60(5), 161-169, 2007

中性水素 21 cm 輝線用の小型電波望遠鏡の製作と 高校での天の川の観測実習

Development of a Small Radio Telescope for the Observations of the
Neutral Hydrogen Emission Line and an Observing Lesson
of the Milky Way at a High School

尾久土正己*1・佐藤奈穂子*2・藤沢健太*3・富田晃彦*4・石塚 亙*4・
佐藤敏行*5・塩川貴之*5・近多健輔*5・雪谷俊之*6・半田利弘*7

Masami OKYUDO, Naoko SATO, Kenta FUJISAWA, Akihiko TOMITA,
Wataru ISHIZUKA, Toshiyuki SATO, Takayuki SHIOKAWA,
Kensuke CHIKATA, Toshiyuki YUKITANI and Toshihiro HANDA

Abstract: We developed a 2-m radio telescope for the observations of the neutral hydrogen (HI) radio emission line with a wavelength of 21-cm. A parabolic mirror for the telescope was made by undergraduate students. Receiving and spectrographic systems were composed from amateur radio parts of reasonable cost. We observed the Milky Way using this telescope and succeeded in detecting the HI spectrum. We also carried the telescope to a high school to make a lesson of observing the Milky Way. Consequently, almost all high school students were able to understand how astronomers reveal the structure of the Galaxy using radio observations.

Key words: earth science at a high school, the Galaxy, radio telescope, neutral hydrogen radio emission line with a wave length of 21-cm

1. はじめに

人類は自らが住む地球を見る視点を遠くに置く手法を得つつ、地球や太陽系、そして銀河系の空間的配置についての知見を深めてきた。科学教育の中で天文分野を扱う際、宇宙からの視点獲得についての先人たちの追体験も有効な教材となりうるだろう。このような観点から我々はこれまでに、日食を使って地球を宇宙から見る教材(尾久土ほか, 2007)、金星の太陽面通過を使って太陽系のスケールを実測する教材(荻原ほか, 2006)を開発し、実践を行ってきた。本研究では

さらに視点を遠くに置き、我々の銀河系を外からの視点でとらえることができる教材の開発に取り組むことにした。銀河系を俯瞰した歴史的な手法としては、球状星団の分布からその広大な銀河系空間を示唆した H. Shapley の手法(Shapley, 1918)と、銀河面内の中性水素(電離していない水素原子、以下 HI と記す)が放射する波長 21 cm (周波数 1.42 GHz) の電波輝線を観測し、銀河系円盤の 2 次元マップを明らかにした J. H. Oort らの手法(Oort ほか, 1958)をまず挙げることができる。我々は以下に述べるような理由から、後者の電波観測による教材の開発を行うことにした。

*1 和歌山大学学生自主創造科学センター *2 和歌山大学生涯学習教育研究センター *3 山口大学理学部

*4 和歌山大学教育学部 *5 和歌山大学システム工学部 *6 和歌山県立和歌山工業高等学校

*7 東京大学大学院理学研究科付属天文学教育研究センター 2007年4月20日受付 2007年8月13日受理

近年の天文学の大きな発展は、それまでの可視光での観測に加えて、電波からガンマ線に渡る多波長での観測によるところが大きい。中でも電波天文学の功績は多く、天文・宇宙分野で受賞したノーベル物理学賞をみても電波天文学の成果が過半数を占めている。ところが、学校現場や科学館や公開天文台での学習内容は可視光域が大半であり、天体観察に関しても、流星のエコー観測や太陽電波の観測を除けば、電波観測はあまり実践されていない。人類に新しい宇宙観をもたらした電波天文学を学習できる教材の開発は重要である。また、近年の情報通信技術の発展の中で、電波は身近な存在になり、最近まで先端技術であったGHz帯の高周波技術を詰め込んだ携帯電話を子供たちまでが所有する時代になっている。しかし、その中身はブラックボックス化しており、その仕組みに興味を持つきっかけを与えていない。そこで、比較的興味関心の高い宇宙観測をテーマに、電波観測の仕組みを明らかにすれば、技術的な興味関心の増進にも役立つと考えた。

本研究ではまず、手作りのパラボラ鏡に安価な汎用の電波機器を組み合わせた電波望遠鏡を開発し、それによって我々の銀河系の中性水素が放射する電波輝線を検出できるか試験観測を行った。その上で、電波望遠鏡を地域の公立高校に持ち込み、観測実習を行い、どのようにして、人類が銀河系を俯瞰できるようになったかを学べる実験授業を行った。本論文では、開発した電波望遠鏡の詳細と、実験授業でのさまざまな工夫を紹介し、電波天文学を教育現場で展開する上での課題について議論する。

2. 小型電波望遠鏡の製作

本研究で使用する電波望遠鏡を製作する上で必要な要件は次のとおりである。

- (1) 直径10度より高い角分解能を達成すること
- (2) 銀河系内のHI 21 cm線を受信できること
- (3) 受信した電波のスペクトルを表示できること

以上の要件を満たす望遠鏡で天の川に沿って銀河面を観測すれば、望遠鏡を向ける方向によって輝線の中心波長(速度)やプロファイルが違うことを示すことができ、銀河系円盤のマップを作ることができる。

以下、実際に製作した口径2 mの電波望遠鏡について紹介する。

2.1 パラボラ鏡と架台

必要なパラボラの鏡面精度は波長に依存し、波長の



図1 学生が製作中のパラボラ鏡。組み立てた骨組みに金網を張っているところ(和歌山大学学生自主創造科学センターにて)。

1/20が要求水準である。HIの観測用と考えると、1 cmの精度があれば十分である。もっと短波長の電波を使う衛星放送用ではこの10倍の精度が必要であるために自作にはそれなりの技術が必要であるが、1 cmの精度の工作であれば素人でも製作可能と判断し、ものづくりの経験が豊富でない学部生に作らせることにした。パラボラ鏡の口径が大きいほど高い角分解能で観測ができる。しかし、屋内で製作し、屋外に持ち出すことや、据付けせず必要な場所に持ち運ぶことを考えると学生工作のために使っている建物のドアの寸法などで上限が決まり、口径2 mのパラボラ鏡を製作することになった。なお電波望遠鏡の正確な角分解能については、電波源を使った測定をしなければ求めることができないが、口径と観測波長から求めることができる光学的な値(～波長/口径、単位はラジアン)をもって判断した。

パラボラ鏡は図1のように、30度間隔の12本のアルミパイプ(2 cm角)を放物線に曲げたものを枠組みにして、5 mm目のステンレス製金網を張ったものである。放物線への加工は、大型プリンタで実寸の放物線(口径比=口径/焦点距離=0.3125)を書いた型紙を用意し、自作の手曲げ器で型紙に合うように曲げていった。なお、パラボラ面の製作についての情報は、多くのアマチュア無線の愛好家や海外衛星放送愛好家が自作のパラボラ鏡についての情報を公開しているので参考にした(例えば、「パラボラアンテナの製作」<http://www.geocities.jp/satao40/>など)。なお、今回の製作では事前準備もせずに試行錯誤を繰り返しながら行ったため1カ月以上の製作期間を要したが、材料の選定や放物線の型紙などの事前準備ができていれ

ば、工作自体にかかった時間は2~3日であったと思われる。

パラボラ鏡を載せる架台にはアマチュア無線用の2軸(高度・方位)のアンテナローテーター(YAESU G5500)を、そのまま経緯台として利用することにした。アンテナ用ローテーターは望遠鏡の架台に比べて安価で、屋外設置を前提とした防水仕様になっていることが採用した理由である。

2.2 受信システム

電波望遠鏡は、特定の方向からくる宇宙からの電波を集めるパラボラ鏡と、焦点に集めた電波を電気信号に変えるフィード(給電部)、そしてその信号を増幅するアンプ類、最後にその信号の強度を測定したり周波数方向に展開しスペクトルを表示する観測機器から構成されている。ここでは、我々が製作した電波望遠鏡のフィード以降のシステムについて紹介する。

宇宙電波は非常に微弱なために、焦点に取り付けたフィードで受けた電波は、直ちに増幅する必要がある。増幅には、1.2 GHzのアマチュア無線用に市販されている低雑音アンプ(LNA)の中心波長をメーカーに依頼して1.42 GHzに変更して製作してもらった(利得40 dB, 雑音指数0.5 dB以下)。フィードは同じくアマチュア無線用メーカーに1.42 GHz用のホーンアンテナを製作してもらった。フィードとLNAの間は0.5 m長の低損失の高周波用同軸ケーブルで接続した。

LNAでいったん増幅すれば、ある程度の距離を同軸ケーブルで伝送することができるので、2段目の増幅は電波望遠鏡から15 m長の同軸ケーブルを挟んで入れた。受信機全体の性能は、アンテナ-LNA間の損失の少なさとLNAの低雑音・高利得だけでほぼ決まるために、2段目以降の性能はそれほど注意する必要はない。そこで、我々は当初の実験では2段目のアンプにBS放送用のブースターを二つ直列につないで増幅した。増幅した信号をスペクトルアナライザーに入力し、銀河系のHIの受信・表示に成功したが、GHz帯を測定できるスペクトルアナライザーは非常に高価(100万円以上)で大学の研究費でもなかなか購入できる機器ではない。本研究の目的は、教育現場で利用可能な比較的安価な教材の開発であり、スペクトルアナライザーに代わる機器の選定が必要になった。

そこで、我々はBSブースターの代わりにアマチュア用の広帯域受信機を採用した。それらの中には2~3 GHzまでの高周波を受信可能でかつ、その増幅した

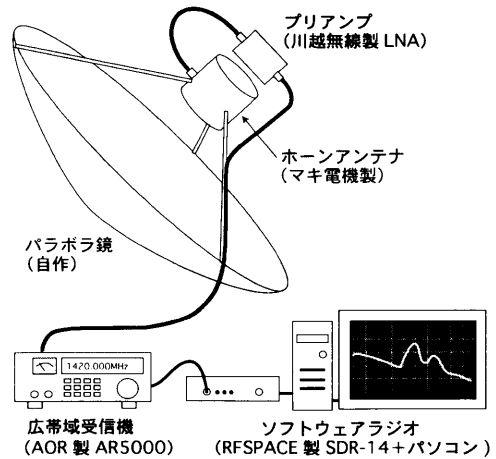


図2 受信システムの構成図

信号を10 MHz前後の中間周波数に変換して出力する端子(IF端子)を持っているものがある。10 MHz前後になれば、パソコンへの取り込みは容易になる。A/DポートとFFTソフトを開発することも考えたが、スペクトル表示可能なソフトウェアラジオが市販されていることがわかったので採用した。図2は、最終的に我々が完成させた受信システムである。観測帯域は速度で400 km/s以上、分解能は2 km/sである。

この受信システムを2 mパラボラ鏡に取り付け、はくちょう座の方向とカシオペア座の方向を観測した結果が図3である。ともに高S/N比のHIのスペクトルの取得に成功しており、中心波長やプロファイルの違いを見ることができる。それぞれ複数の輝線が見えるが、その観測方向にある複数の銀河系の腕に相当していると思われる。なお、本スペクトルは観測時の生データであり、観測者の運動成分を含むものである。本来観測したスペクトルはそれらを取り除いた局所静止系に変換した後、比較するものであるが、今回の高校生向けの実習では処理に手間がかかることと、説明が文系の1年生には困難であると判断し省略した。後述する実習においてもこの天域を観測したが、その理由は当日の授業時間中に、校舎や植樹などの影にならない十分な高度にある天の川の位置を考えた場合、これらの星座方向が好条件であったことと、多くの生徒になじみのある星座として取り上げることにした。星座が見えない昼間の導入については、パソコン用の星座早見ソフトで高度方位を求め、地質調査用のクリノメーターを架台にあてて星座のおよその方向に向け

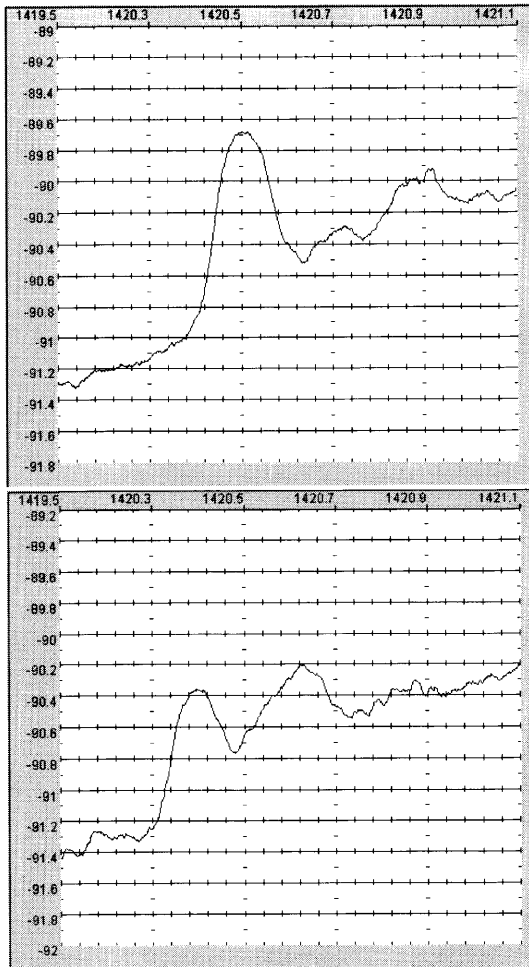


図3 2 m 望遠鏡で観測した天の川のスペクトル
上: はくちょう座(銀経80度)方向, 下:
カシオペア座(銀経120度)方向. 縦軸は強
度(dB, 零点不定の表示値), 横軸は周波数
(MHz).

た. 授業時間の制約もあり, 観測方向の精度は重視しなかった.

3. 高校での天の川の観測実習

完成した小型電波望遠鏡を使って, 高校生に我々の銀河系の構造をどのように知ることができたかを理解させる実験授業を行った. 一般的に高校では地学は文科系の生徒の選択が多い. そこで文系の生徒でも理解できる範囲に内容を厳選し, 本実践が全国の教育現場で活用される際の参考になるよう配慮した. 学習の要点は以下のとおりである.

表1 観測実習の流れ(時間はおよその時間)

時間(分)	学習の内容	場所	備考
0	本日の授業の概要の説明	教室外	畑中博士の記念碑の説明
5	はくちょう座の方向の観測		グラフの形だけ覚える
20	昼間の天体観測の意味	教室	パワーポイントで説明
35	電波の性質(波の性質)		パワーポイントで説明
50	音声スペクトル実験		声、口笛などのスペクトル
70	ドップラー効果の実験		正弦波の音源ソフト
90	休憩・移動		
100	カシオペア座の方向の観測	教室外	はくちょう座との違いに注目
125	電波望遠鏡の仕組みの説明	教室	パワーポイントで説明
140	電波スペクトルの解釈		パワーポイントで説明
160	学習のまとめ		
170	アンケート、レポート		レポートは紀南講座提出用
190	解散		

- 中学理科の復習: 昼間に南中している天体は夜間とは逆の季節の天体である.
- 電波について: 電波は波であり, 性質を決めている一番の要素はその周波数(波長)である. スペクトルは周波数(波長)展開したグラフである. 銀河系にある水素ガスは特定の周波数の電波を出している.
- ドップラー効果: 発信源が相対運動すればドップラー効果により観測される周波数は変化する.
- 電波望遠鏡の仕組み: この電波望遠鏡はパラボラ鏡で集めた電波を受信・増幅しスペクトル表示するものである.
- 銀河系の構造: 天の川を観測した際, 向ける方向によって, その中心周波数が移動したり, 複数のピークが見えるが, それは違う速度成分を持ったガスを見ているからである.

以上の内容を理解できるようなパワーポイントや実験装置を準備し, 2006年12月16日, 和歌山県立新宮高校で実践を行った. 当日は, 和歌山大学と県教育委員会の共催で行われている紀南講座の枠を利用した. 紀南講座では, 和歌山大学の教員がその専門分野を高校生に講義するものである. 参加者は, 新宮高校が33名(1年生31名, 2年生1名, 3年生1名), 古座高校5名(1年3名, 2年2名)の合計38名であった. このうちすでに地学の履修をしているのは2名であった.

授業は, 紀南講座のルールに従い, 午後からの90分2コマで, 前述の要点の順に行った(表1). まず, 電波望遠鏡をセットした前庭に集まり, その日の授業のアウトラインを説明した(図4). この前庭には, 我



図4 和歌山県立新宮高校での観測実習の様子
自作の2 m 電波望遠鏡が右奥に見える。

が国の電波天文学を切り開いた新宮高校出身の 故 畑中武夫博士のメッセージ「われら地球人」の記念碑があり、畑中氏の出身校で電波観測実習を行う意義も短時間説明した。そして、まだ電波の性質もスペクトルの意味も、望遠鏡の仕組みもわからない状態で、はくちょう座方向の電波スペクトル(図3の上)を見せた。ここでは、まだスペクトルの見方を理解できなくてもよいので、このグラフの形を覚えて教室に戻るように指導した。

教室に戻り、夏の天の川(はくちょう座)がどうして12月の昼間に見えるかをパワーポイントの図を使って解説した(要点のa)。次に電波は波の性質をもっており、波を表現するパラメーターである周波数と波長について説明した。さらに横軸を周波数で表現したものをスペクトルということ、電波には連続的に放射されているものと、特定の周波数だけ放射されているものがあることを説明した。理数系が苦手な生徒にとってグラフは特に苦手だろうと判断し、同じく波の性質を持つ音声を使った実験を行った。

音声の実験には、音声解析用のフリーウェア WaveSpectra (<http://www.ne.jp/asahi/fa/efu/soft/ws/ws.html>)を利用した。パソコンにマイクをつなぎ、入力した音声のスペクトルをプロジェクターで教室の前面に投影した。まず、マイクに向かって話をして、広い周波数でレベルが上がることを示した。次に、口笛を吹くと、特定の周波数にピークを持つスペクトルが見え、音程を上げていくと周波数が高くなることを示した。口笛ではなく口を閉めて「ブー」と発すると、広い範囲で一樣なレベルで音が出ている様

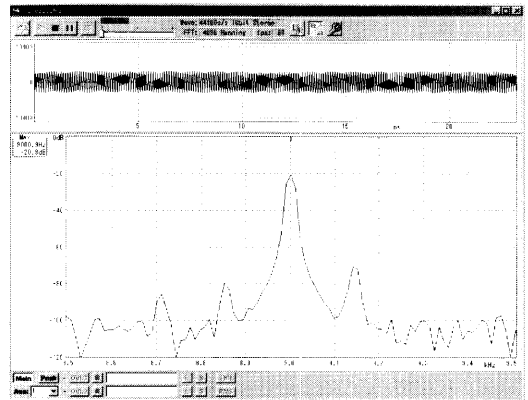


図5 9.0 kHzの正弦波音源をパソコンに取り込み、音声スペクトル表示ソフト WaveSpectra for Windows で表示した一例
画面の上はオシロスコープ、下はスペクトルアナライザーになっている。

子が表示され、連続波の説明になった(ここまでの要点のb)。

次に、WaveSpectraの関連ソフトである WaveGene を用いてパソコンにつないだスピーカーから特定の周波数の正弦波を出し、そのスペクトルを表示した(図5)。このスペクトルが、授業の開始時に前庭で見た HI のスペクトルによく似ていることに注目させた。そして、マイクを持った手をスピーカーに対して前後して、中心周波数が変化することを示した。また手の動きを速くするとスペクトルの変化量が広がることも示した。すでに周波数の高低は音の高低に対応していることを理解しているために、救急車のサイレンの例を持ち出し、その理由を考えさせた(要点のc)。

ここで10分間の休憩を入れ、授業再開は前庭の電波望遠鏡の前で始めた。はくちょう座の方向の電波スペクトルを確認してから、望遠鏡をカシオペア座の方向に向けて電波スペクトル(図3の下)を見せた。はくちょう座方向のスペクトルと違い、周波数の違う強いピークが二つあるなどプロファイルと中心周波数の違いに注目するように指導した。この後、再び教室に戻り、電波望遠鏡の簡単な仕組みをパワーポイントを使って説明した(要点のd)。そして、先ほどの、二つ山のスペクトルの意味を音声の実験と比較して考えさせ、速度成分の違う二つのガスを見ていることを気づかせた。次に、現在わかっている銀河系の模式図を示し、見る方向によって異なる速度成分の複数の渦状腕

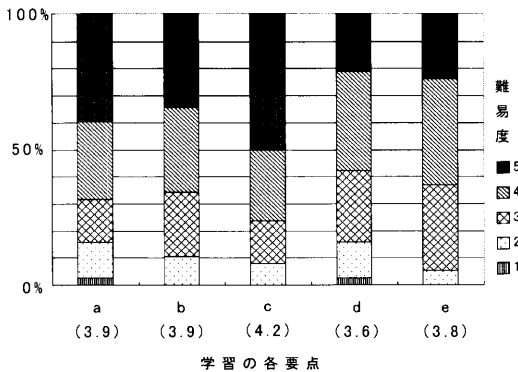


図6 各学習の要点の難易度

評点は、生徒が「5: とてもわかりやすかった」「4: わかりやすかった」「3: ふつう」「2: 難しかった」「1: とても難しかった」の5段階で回答した。横軸の各要点の下の数字は平均点。

が見えることを説明した。ここでは、文系の、そして1年生の生徒にもわかるように、スペクトルのプロフィールから構造を求める具体的な手順を説明するのではなく、既にわかっている銀河系の構造から、先ほど観測されたスペクトルが説明できることを解説した(要点のe)。

図6は、授業後に行ったアンケートの結果である。各学習の要点(a~e)について、わかりやすさを5段階の評点で回答してもらった。評点3以上が高校生に対して受け入れられる難易度と考え、すべての要点の実験観測や説明が9割前後の生徒に受け入れられている。なかでも音声のスペクトルを使った実験は評価が高く、一見難しそうに見えるスペクトルを容易に受け入れたことがわかる。その結果、大学レベルの内容である、銀河系の構造をどのように我々が知ることができたかという最終的な学習目標を持った授業に対して、多くの生徒が受け入れ可能なカリキュラムとして評価した。

4. 考 察

本研究では、安価で工作が容易なパラボラ鏡を自作し、市販されている安価な通信機器を組み合わせた受信機を取り付けることで、我々の銀河系のHIの電波輝線を受信し、そのスペクトルを表示することに成功した。さらに、その小型電波望遠鏡を地域の高校に持ち込み、音声実験などを交えて観測実習を行ったところ、ほとんどの高校生がHIを使った銀河系の探求手

法を理解することができた。以下、同様の取り組みを全国の高校や生涯教育施設で展開する上での課題について、望遠鏡の製作と現場での実践に分けて議論したい。

電波を使った銀河系の観測では、数十MHzの低周波帯では以前からダイポールや八木アンテナを使った実践が提唱され(前田, 1989), 高校生による実践も行われている(田口ほか, 2005)。しかし、これらの観測は連続波の観測であり、視線方向のすべての電波が重なって届いており、分離は不可能である。それに対して、HI輝線の観測では複数の電波源を視線方向の速度の違いで速度的に分解することができる。しかしこれまでは輝線観測には高価な装置や高度な技術が必要と考えられ、その挑戦を阻んでいた。パラボラを製作する上で必要な材料はすべてホームセンターで揃い、工具も最低限、金鋸、ハンドドリル、金切り鋏、ドライバがあれば作ることができる。あとは、微弱なHIを受信し、スペクトル表示する受信システムを用意できれば、高校生が観測に成功することも夢ではなくなっている。実際このような中、HI観測のために自作のパラボラ鏡を製作し受信に挑戦した高校生が現れている(國安, 2007)。

我々が今回用意したシステムを構成する機器は、すべて市販品であり、購入後、同軸ケーブルで互いを接続するだけで利用できるものばかりである。もっとも高価なものが広帯域受信機(販売価格で約20万円)でシステムの総額でも40万円前後である。光学望遠鏡に冷却CCDカメラを取り付けた測光観測が多くの高校で行われていることを考えると、それらの機材(普及版のよく使われているカメラだけでも50万円前後)に比べても十分に安価なシステムであり、十分に普及が期待できる。さらに、安価なシステムの開発には、市販品だけの組み合わせでは困難であり、A/Dボードで取り込んだデータをFFT処理するソフトウェアの開発が必要である。これについては電波信号を非圧縮で符号化しインターネット上に載せるRVoIPの技術試験が始まっており、10万円前後のボードで2.4GHzまでの電波をそのままパソコンに取り込むことが可能である(大江, 2007)。この技術を利用することで、さらに安価なシステムが利用できると考えている。なお、アメリカのHaystack ObservatoryがHI観測用の口径2.3m電波望遠鏡を開発し、完成品を市販しており、我が国でも導入が始まっている(時政, 2007)。しかし、完成品であるため

に我々のシステムに比べて高価（最低のキットがアメリカ国内での価格で7,000ドル）であること、さらにもものづくりを体験できないことから、受信機などのシステムに対する興味を持ちにくいと思われる。

一般的に、理数系離れが進む学校教育において周波数を横軸にしたスペクトルは理解が困難と思われたが、本実践ではフリーウェアの音声解析ソフトを使った実験を組み合わせることで十分に理解可能なカリキュラムにすることができた。ドップラー効果の音声実験は物理の授業においてすでに実践が行われているが（北村, 2003）、高等学校学習指導要領の物理Iを見ると、「ドップラー効果の扱いは初歩的な程度にとどめること」とある（文部科学省, 1999）。物理Iでの学習が困難であれば、より具体的な観察実験のできる銀河系の電波観測と組み合わせ、地学の時間に行うことを提案したい。なお、本実践は90分2コマで行ったが、通常の高校の授業である50分授業で実施可能か考えておく必要がある。今回の授業で提示した五つの要点のうち、(a)は中学理科の復習であり、この単元で行う必要はない。また、(d)の技術的な話を簡単に済ませ、アンケートやレポートの時間も不要と考えれば十分に50分2コマで実践可能と考える。本研究では、地学履修者の多くが文系であることを前提に、観測データから銀河系の構造を描く具体的な手順については省略した。しかし、スーパーサイエンスハイスクールのような高度な教育実践を行う場合や、課外活動のように時間をかけて天の川に沿った観測を行うことが可能な場合には、自らの手で銀河系の2次元マップを完成させることも可能であろう。

授業実践のアンケートでは、参考データとして「天文の話題」「理数系の話題」「電波の話題」に関する興味についても調査をした。それぞれへの興味を「興味がある・普通・あまり興味がない」の3段階で尋ねたところ38名全員から回答があり、興味があると答えたのは、それぞれ53%, 42%, 16%となった。天文への興味は理数系の興味以上に高いことがわかる。一方、電波への興味は非常に少なく、学習の要点の理解度でも、(d)の技術的な話が一番難しいと感じていた。つまり、理数離れが純粋な自然科学で起こっているのではなく、科学「技術」で深刻になっている可能性がある。言い換えれば、天文分野は技術離れを止める有効な教材であり、銀河系のHI電波観測は物理的現象も技術的な話もできる高い潜在能力を持った実践であることをさらに支持する結果になっている。なお、今

回利用した紀南講座は全7回の講座のうち4回のテーマが文系であり、また修了の単位取得のためには5回以上の参加が義務づけられている。週末の自由参加の講座であるために、受講生の中には7回のテーマの中に天文分野の講座があったことを理由に受講している生徒が含まれている可能性を否定できないが、特に理数系、天文好きに偏ったサンプルではないことを付け加えておく。

本研究を行うにあたり、初期の段階で兵庫医科大学の前田耕一郎氏に電波望遠鏡製作に取り組んだ学生に対して電波天文学についての講義をしていただいた。また、パラボラ鏡の製作で、元和歌山大学技術補佐員の西端一憲氏、下代組機工の下代博之氏にいろいろ指導、助言をいただいた。受信システムの実験においては、川越無線、(株)東京ハイパワー、(株)エーオーアール各社にお世話になった。さらに、和歌山県立新宮高校での実習では、高校の教職員・生徒の皆さんのほか、和歌山大学教務課の山田純氏に、機材の輸送などでたいへんお世話になった。ここに謝意を表したい。

引用文献

- 北村俊樹(2003): 映像と音声分析ソフトで学ぶ『音・波動デジタル教材』の開発. 日本理化学協会研究発表論文集, 66.
- 國安正志(2007): 2 m 電波望遠鏡の製作と中性水素 21 cm 線の検出. 日本天文学会第9回ジュニアセッション, 講演予稿集, 74-75.
- 前田耕一郎(1989): 簡単な電波望遠鏡による低周波電波天文学 2. 天文月報, **82**, 230-234.
- 文部科学省(1999): 高等学校学習指導要領, 78.
- 荻原文恵・尾久土正己・富田晃彦・半田利弘・中山雅哉(2006): 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**(6), 201-212.
- 尾久土正己・荻原文恵・小澤友彦・吉住千亜紀・富田晃彦・山田宏之・明井英太郎・石川雅一・山本文治・中山雅哉・半田利弘(2007): プラネタリウムにおける日食の全天周生中継. 地学教育, **60**(3), 99-107.
- 大江将史(2007): RWoIP 技術とその応用, 第14回天網の会集録, 75-81.
- Oort, J. H., Kerr, F. J. and Westerhout, G. (1958): The Galactic System as a Spiral Nebula. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **118**, 379-389.
- Shapley, H. (1918): Globular Clusters and the Structure of the Galactic System. *Astronomical Society of the Pacific*, **30**, 42-54.
- 田口聖久・鈴木康石・加茂直之・中村大輝・原菜見子・別府歩美(2005): 自作アンテナを用いた電波望遠鏡の製作と銀河電波の検出. 日本天文学会第7回ジュニア

セッション講演予稿集, 64-64.
時政典孝・川西浩陽・坂田裕之・前田耕一郎 (2007): 水

素 21 cm 波観測用の 2.3 m 電波望遠鏡の立ち上げ. 日本天文学会 2007 年春季年会予稿集, Y28b, 283.

尾久土正己・佐藤奈穂子・藤沢健太・富田晃彦・石塚 互・佐藤敏行・塩川貴之・近多健輔・雪谷俊之・半田利弘: 中性水素 21 cm 輝線用の小型電波望遠鏡の製作と高校での天の川の観測実習 地学教育 60 巻 5 号, 171-178, 2007

〔キーワード〕 高校地学, 我々の銀河系, 電波望遠鏡, 中性水素 21 cm 線

〔要旨〕 我々は, 中性水素 (HI) が放射する波長 21 cm の電波輝線を観測するための口径 2 m の電波望遠鏡を製作した. 望遠鏡のパラボラ鏡は, 学部学生が自作した. また, 受信機や分光システムは, 安価なアマチュア無線機器で構成した. 完成した望遠鏡で天の川を観測したところ, HI のスペクトルの検出に成功した. そこで, この望遠鏡を高校に持ち込み, 天の川の観測実習を行った. その結果, ほとんどの高校生が, 天文研究者がどのようにして電波観測から我々の銀河系の構造を明らかにしたかについて理解することができた.

Masami OKYUDO, Naoko SATO, Kenta FUJISAWA, Akihiko TOMITA, Wataru ISHIZUKA, Toshiyuki SATO, Takayuki SHIOKAWA, Kensuke CHIKATA, Toshiyuki YUKITANI and Toshihiro HANDA: Development of a Small Radio Telescope for the Observations of the Neutral Hydrogen Emission Line and an Observing Lesson of the Milky Way at a High School. *Educ. Earth Sci.*, 60(5), 171-178, 2007

粘土の地質模型を使った地形図・地質図の学習指導

A Laboratory Investigation of Topographic and Geologic Maps Using a Clay Model

中野 英之*¹

Hideyuki NAKANO

Abstract: The purpose of this program is to examine a teaching material using a geologic model in order to improve high school students' understanding of topographic and geologic maps. The geologic model shows monoclinic strata and the students gauge the heights of the model. The procedures for using this model are as follows: 1) measurement of the height of the model; 2) drawing of contours and the distribution of strata; 3) measurement of the strike and dip of the strata. It was found that this model is effective in helping students understand topographic and geologic maps.

Key words: senior high school, physical geography, geologic map, topographic map, contour line, dip and strike

1. はじめに

高等学校「地学」における「地質図の読み方と書き方」の単元は、高等学校地学教育の重要な柱の一つとなっている。しかし、この単元は空間的な思考が必要とされることから、生徒にとって理解することが困難な単元でもある。

また、「地質図の読み方と書き方」を理解するためには、地形図認識能力、とりわけ等高線を読むことができる能力が必要である。しかしながら、等高線は中学校1年社会科(地理分野)で既習の内容であるにもかかわらず、こうした地形図認識能力を十分に身に付けている高校生はわずかであるという報告がされるようになってきた(例えば、松森, 1995)。筆者の勤務校でも地質分野の学習にあたり、標高のデータから等高線を描く作業(例えば、Earth Science Curriculum Project, 1965)を行わせたことがあるが、自力で等高線を描くことができる生徒はわずかであった。

地形分野の学習が地理と地学にまたがっている。恩藤(1985)は、その学習の責任を一方の教科に委ねて

しまった結果として、その内容の取り扱いが不十分となっていることが、地形図認識能力の低下の一因となっている可能性を指摘している。また、筆者の勤務校に在籍する生徒のように埼玉県東部の平坦な地域で生活している場合、地形図の読解が生活上必要に迫られることがないことも原因の一つになっている可能性もある。

いずれにしても等高線が正確に読めない状況では、空間的な思考をすることは困難であり、いきなり「地質図の読み方と書き方」を学習させたところで容易にこれを理解できるようにはならないだろう。「地質図の読み方と書き方」を理解できるようにするためには、正木(1988, 1990)が主張するように、地形図学習を地質図学習の中でもっと取り入れていかねばならないのではないかと、筆者はこのような背景を踏まえ、地質図の理解に役立つ教材開発をめざし、地形図学習を取り入れた地質図学習教材を検討した。

筆者が着目したのは模型教材の有効活用である。これまで、粘土(例えば、別府, 1965)、発泡スチロール(宇留野, 1982)、地質ブロック(柴山・岸和田,

*1 獨協埼玉中学高等学校 2007年4月6日受付 2007年8月30日受理

1984) などさまざまな素材からなる地質模型を使った教育実践が数多く行われてきた。これらの教育実践の中で地質模型は、空間的思考力の向上や、クリノメーターの使用方法を学習するために用いられてきた。また、次のような模型を使った地形図作成の教育実践も行われてきた。別府(1965)は模型を水槽に入れ、等間隔の目盛りごとに水を注いで、模型と水面との境界線を押し等高線を書かせている。等高線を標高ごとに切り取ってそれをボール紙に貼り付け、立体模型をつくる方法(例えば、清水・渡辺, 1998)も特に小・中学校で広く実践されているようである。

模型を使った地質図学習で地形図学習を取り入れることができれば、生徒の地形図認識能力を高めながら地質図の理解も飛躍的に高めることが期待できる。

そこで筆者は、

- ①地質模型の各地点の高さを測定し、そのデータをもとにして地形図が作成できること
- ②作成した地形図に地質模型の露頭線を描き、地質図が作成できること
- ③作成した地質図から地層の走向・傾斜を求められること
- ④楽しく実習ができ地質に興味を持つことができること

以上4点の目的が達せられる実習教材を開発し、その教育実践を行ったのでここで報告する。

2. 教材の開発

作製した教材は、地質模型本体と、地質模型の起伏を測定する高さ測定器からなる。

(1) 地質模型の作製

教科書などによく出てくるような単純化されたモデルである褶曲構造を持たない同斜構造を示す地質模型を数種類作製した。その一例を図1に示す。

地質模型の作成方法は次のとおりである。本研究では、①生徒にとって親しみのある身近な素材であること、②加工が容易で繰り返し使える素材であること、③力を加えない限り変形しにくい素材であること、④長期間保存がきくこと、といった理由から、油粘土を用いて同斜構造の地質模型を作成した。油粘土は無色のものと有色のものを用了。

A4 程度の木製の板(粘土板)の上に有色の油粘土で山体の底部を作製する。山体底部が傾斜した(ここでは約 30°)層理面になるように板などを押し当てて形を整える。この上に約1.5 cmの厚さで板状に形

成した無色の油粘土を乗せる。さらにその上に有色の油粘土で山体上部をつくる。最後にへらなどを用いて余分な粘土を切り落として目的の地質模型とする(図1)。粘土板の上には任意に方位を書いておく(図1)。

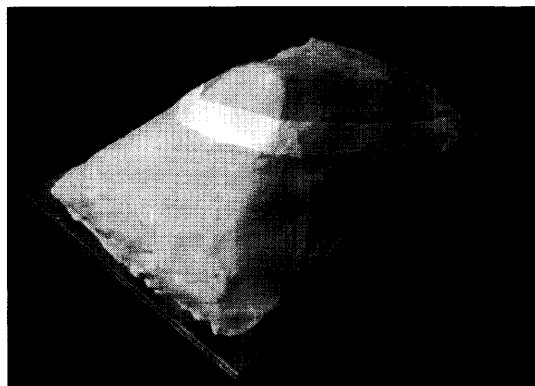


図1 作製した地質模型の一例

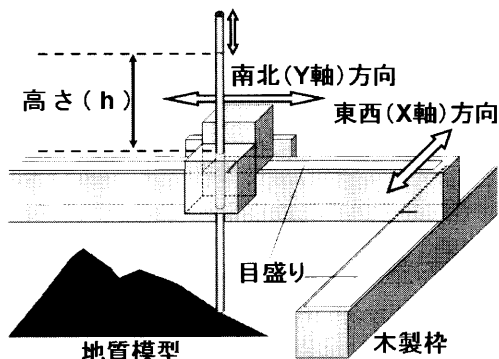
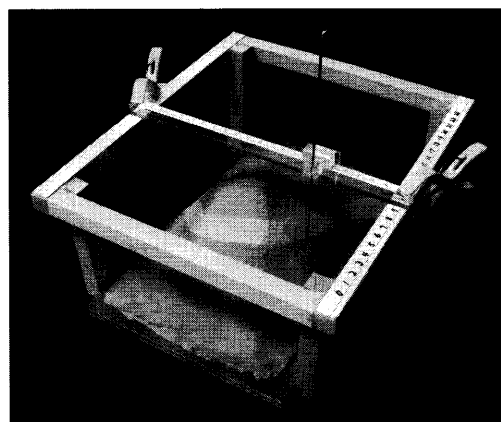


図2 地質模型にとりつけた高さ測定器と高さ測定器の概略図

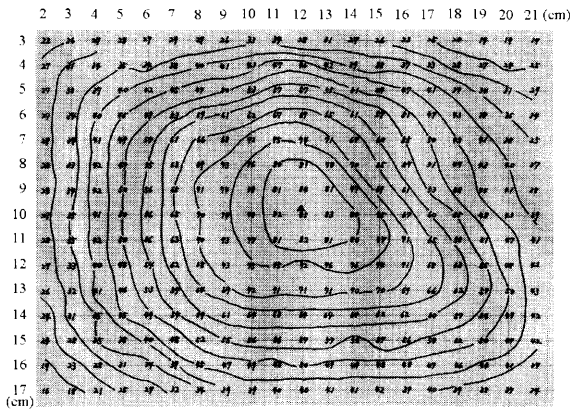
今回作製した数種類の模型の地層の傾斜は $10^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 程度になるようにした。また、山体表面は等高線学習の便宜を図るため、起伏が激しくなるように加工した。

(2) 高さ測定器の作製

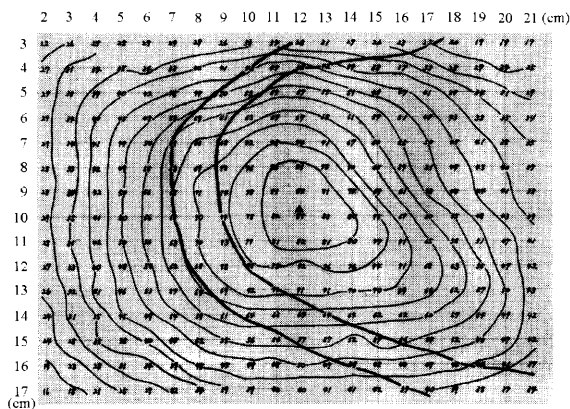
地形図を作成するための基礎データである模型山体各部の高さのデータは、基準面（粘土板）からの山体各部までの高さを読み取るにより得られる。林 (1993) は、海食台に平面として露出する実際の地層の走向に直角（傾斜方向）に目盛りの入ったロープを水平に張り、ロープから露頭面までの垂直距離を測定することにより地形の凹凸を図に表した。今回採用した模型の高さ測定の方法は林 (1993) の測定方法に類似したものである。

図2に、作製した高さ測定器を示す。木製の角材を

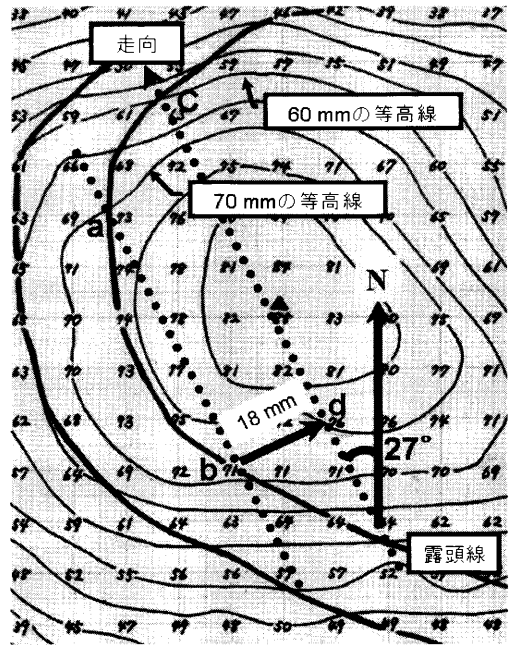
組み合わせて地質模型が入る大きさの木製枠をつくる。木製枠の上面は粘土板に対して水平になっている。この木製枠の上に、東西 (X 軸) 方向および南北 (Y 軸) 方向にスライドできる高さ測定器を置く。この高さ測定器は木製枠の辺の長さに合わせてアクリル棒とその上を移動できるアクリルの角材と板で作製したスライダーからなる。スライダーを支えるアクリル棒上（南北方向に相当）と木製枠上（東西方向に相当）には 1 cm ごとの目盛をふった方眼工作用紙が貼ってある（図2）。スライダーには 2 mm の穴を開け、2 mm のアルミ棒がスライドできるようになっている。アルミ製棒には任意の位置にマークがふっており、模型の起伏に応じてスライダーとマークの距離が変化する。この距離を定規で読み取って高さとする。なお、2 mm 太さのアルミ棒を使用した理由は、1 mm 以下



(a) 手順1



(b) 手順2



(c) 手順3

走向 a b は 70 mm, c d は 60 mm の高さであるから、地層は北東に傾いていることがわかる。a b と c d の間隔は図より 18 mm であるので、地層の傾斜 (θ) は、 $\tan \theta = 10/18 \approx 0.55$ $\therefore \theta = 29^{\circ}$ と求まる。

図3 地質模型から地質図を作成する方法

だと強度不足になり、3 mm 以上になると起伏の激しい部分の測定が難しくなるためである。

(3) 測定方法と測定例

手順1：粘土板に固定した高さ測定器のスライダを東西方向、南北方向それぞれ1 cm 間隔ごとに動かし、地質模型の高さをmm 単位で測定し、測定結果を方眼紙上に記録していく。高さのデータをもとに5 mm ごとの等高線を描いて地形図を完成させる。また、山頂の位置は▲で印をつけておく(図3a)。

手順2：スライダを動かして露頭線の位置を方眼紙に記録する。それを結んで露頭線を描き、地質図を完成させる(図3b)。

手順3：完成した地質図をもとに、等高2点法を用いて、地層の走向・傾斜を求める(図3c)。

図3cのように白い地層の露頭線を横切る70 mm と60 mm の等高線に着目し、Y軸が南北方向とすると、地層面の走向はN27°W、傾斜は29°Nと求まる。

3. 教育実践

(1) 教育実践

筆者の勤務校に在籍する高校2年生地学I(2単位)

履修者29名を対象に、「地質図の読み方と書き方」の単元で本装置を用いて地形図・地質図を作成させる授業実践を行った(表1)。実習には2時間をあてた。地学Iを履修している生徒は全員が文科系の大学の志望者である。生徒3~5名を1班として八つのグループに分け、作業を行わせた。

(2) 生徒の反応と評価

このような実習を体験するのは初めての生徒が多く、当初は測定に苦労する場面がみられた。しかし、慣れてくると意欲的に作業に取り組むことができるようになり、2時間連続の授業の休み時間であってもほとんどの生徒は休み時間なしで実習に取り組んでいた。「もう少しで山頂だから」と仲間を励まし合いながら作業を進めたり、分担して作業を進めたりと楽しい雰囲気を実習を進めることができた。実際に生徒に取り組ませると、2時間の授業では、等高線と露頭線を描くことで精一杯であり、作成した地質図から走向・傾斜を求める課題は宿題として次回の授業でのまとめにつなげることにした。

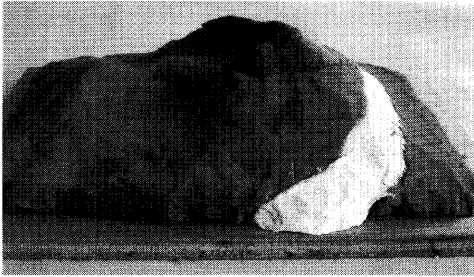
図4に生徒が地質模型をもとに作成した地質図と地質図から求めた地層の走向・傾斜を示す。

等高線については、ほとんどの生徒が描いていた。模型と比較しながら等高線を描くことになるので、大

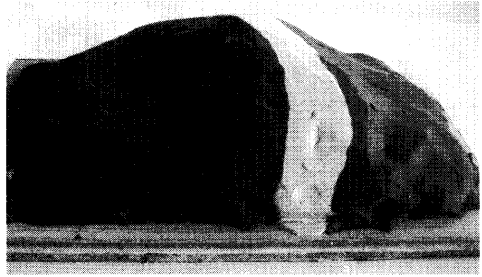
表1 学習活動の内容

時数	指導内容	備考	
2	1. 地層の構造		
	地層累重の法則、整合と不整合		
	褶曲と断層、鍵層、変成作用		
2	2. 地質図の読み方と書き方 I	地層の走向と傾斜	クリノメーターを使った走向・傾斜の測り方、等高2点法について解説する
2	3. 地質図の読み方と書き方 II (本装置を用いた実習)		
	10分	班分け(3~5人で構成)と地質模型の選択	使用する模型をよく観察させ、立体的な地層の広がりを確認させる
	20分	実習方法の説明(教師の作例をもとに解説) 手順1:高さ測定器の使用法、注意点等 方眼紙へのデータの記入方法 等高線の描き方 手順2:露頭線の描き方 手順3:地質図から走向・傾斜を求める方法 …教師による一斉方式の解説	地層の分布を平面上に落とすと露頭線が描け、これに等高線が加わると地層の分布が平面上で立体的に表現できることを理解させる
	60分	実習 …教師による班の間の巡視と補足説明	
	10分	片付けと宿題の指示	
2	自宅学習:地質図の完成と走向・傾斜の測定		
	実習のまとめと問題演習		
	50分	実習のまとめ 実習レポートのまとめ(実習の感想も書かせる) 走向・傾斜の求めることができない生徒への指導	走向・傾斜を求める方法を再確認する 完成した地質図と使用した地質模型を比較させる
	50分	地質図の問題演習・解説	

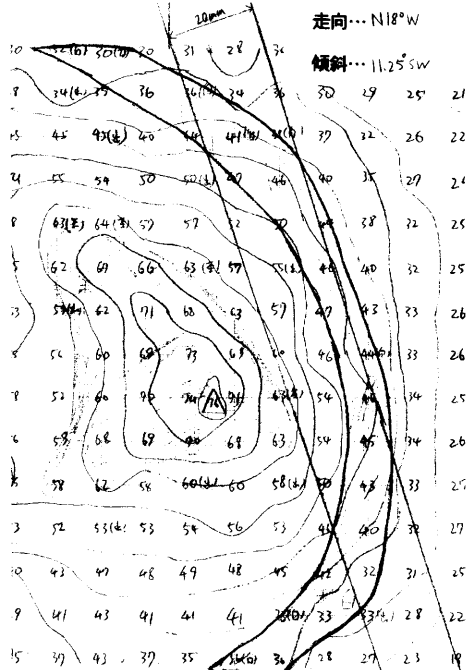
地質模型 A



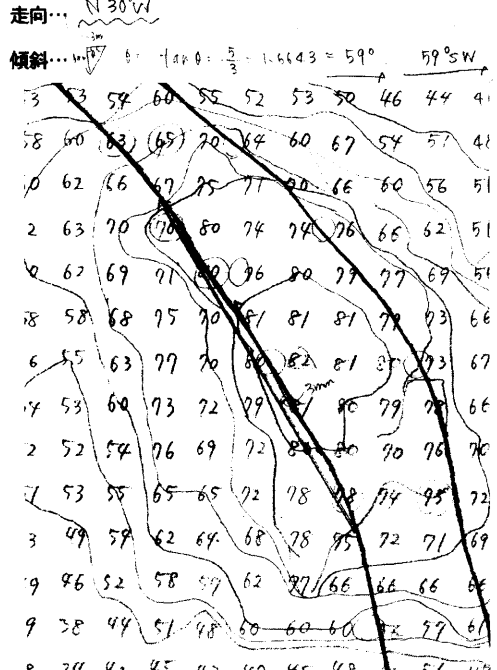
地質模型 B



(a) 生徒が作成した地質図の例



(b) 生徒が作成した地質図の例



地質模型 C



図4 実習に用いた模型と生徒が作成した地質図

表2 実習後の生徒の反応

【等高線を描く作業について】

- 中学の地理で等高線と等高線の間隔が狭くなるにつれて斜面が急になっていくと習ったが、実際に実験してみたところ証明されたのでおもしろかった。
- 模型の山の高さを測定するのはありえないほど大変だった。
- 等高線を書くときに同じ数値を見つけるのが大変だったが等高線の書き方がだんだん分かるようになってきた。
- 地図を見て、どうして谷があることや頂上の場所がわかるのかわからなかったけどこの実験でそのしくみもわかって勉強になった。
- 山の高さを数値だけ見て認識していくことの大変さを知った。
- 等高線が書き上がったときちょっと感動した。

【地質図を描く作業について】

- 測定は大変だったけど最終的に地質の構造や地質図の書き方などを楽しみながら学習できたのがよかった。
- 等高線の学習だけでなく、走向・傾斜の求め方も理解することができて一石二鳥だった。
- この実験から地質模型から地形図・地質図が作れるようになった。
- 今までやってきた実習と違い、何かを作成するという現場の作業の雰囲気を感じただけ味わえた。
- 地層のミニチュア版で実習することで地層が身近に感じられた。

【実験装置について・その他】

- 衝撃を加えると粘土板がずれたりすることがあるので、標高測定器をしっかり固定した方がよい。
- 実物そっくりの模型で想像しやすくてわかりやすかった。
- 模型をもう少し小さくすれば作業時間が短くなると思った。
- 点を打つ間隔を多少広げても良いと思った。

きな間違いもなく作業を進めることができたようである。地形図に露頭線を描く作業についてもほとんどの生徒が露頭線を描いていた。図4の(a)と(b)は、生徒が作成した地質図であるが、これらのように、最終的に作成した地質図から地層の走向・傾斜を求めることができた生徒は全体の80%程度であった。図4の地質模型A、Bのような比較的単純な模型を用いた班では、ほとんどの生徒が走向・傾斜をきちんと求めることができた。走向・傾斜を求めることができなかった生徒の多くは地質模型Cを用いた班にみられた。地質模型Cは深い谷があり、著者が用意した模型の中で最も起伏の激しいものである。地質模型Cを用いた班では、地層が傾斜しているにもかかわらず、露頭線を等高線に水平になるように描き、結果的に走向・傾斜が測定できなくなった例がみられた。また、露頭線をきちんと描けていても走向・傾斜を求める際に、走向を読み誤る例や、露頭線と等高線の交点を結んだ線と線の水平距離を読み誤る例もみられた。

表2は、実習後の生徒の主な反応をまとめたもので

ある。「等高線の描き方がよくわかるようになった」「中学の地理で等高線の間隔が狭いところほど地形が急になっていると習って実際実験してみたところ証明されたのでおもしろかった」という感想が多く、実習を通して等高線の理解を深めることができたようである。地形図学習を地質図実習の中に取り入れることで、効率良く地形図についても学習できるようになるのではないと思われる。授業で学習した等高2点法を用いた走向と傾斜の求め方が、この実習を通してよく理解できるようになったという感想も多くみられた。次に述べるように本教材にはまだまだ改善の余地があるが、楽しみながら地形図・地質図学習を深めていったという点では一定の成果があったと考えられる。

4. おわりに

今回用いた地質模型は高さを測定する地点が多く、測定にかなりの時間を要した。複雑な地質模型であるほど測定に時間がかかる傾向がみられたので、目的を

逸脱しない範囲で極力単純な模型を使用したほうが良いと思われる。また、標高を測定する際、アルミ棒そのものに目盛りをつけておけば、定規を用いる必要もなくなるので測定時間の短縮につながると思われる。さらに、実習中に木製棒が動いてしまい、測定をやりなおした班もあったので、木製棒を粘土板にしっかり固定することも必要である。

林(1993)が指摘するように、野外での実習を行わずにこのような架空の、褶曲構造を持たない同斜構造のモデルを使うことの問題点もある。今回実習を行って、実際の地層の分布も模型のようになっていると考えている生徒もいた。このため、模型のような単純な地層が観察できることはあまりないこと、実際の地層は褶曲していることが多いことなど、実際の地質との相違点を実習の前あるいは後に生徒に説明したうえで実習に望むべきだろう。

今後は以上の反省点を踏まえ、より使いやすい実習教材となるように改良を加えていきたい。今回は筆者が地質模型を作製したが、次回は生徒自身に地質模型をつくらせるところから指導をしたい。例えば、浅井(1995)の教育実践「寒天地層のボーリング疑似体験」を参考に今回用いた地質模型からストローなどを利用してボーリング試料を取り出して、地質柱状図の学習に応用させたり、地質図から東西南北の各方向からみた地形や地層の分布を推測させ、実際に地質模型を東西南北の各方向から観察させて、推測した地形や地層

の分布と比較することもできるだろう。また、山体上部を外せるようにし、クリノメーターを直接層理面に当てられるようにすることで、地質図から読み取った走向・傾斜との比較をすることもできるだろう。

引用文献

- 浅井孝一(1995): 寒天地層モデルを用いた「ボーリングごっこ」。理科の教育, **44**, 14-15.
- 別府松彦(1965): 地質図の学習指導に油粘土を利用する試みについて。地学教育, **59**, 7-10.
- Earth Science Curriculum Project (1965): *Investigating the Earth*. American Geological Institute, 21-2.
- 林 慶一(1993): 野外調査と空中写真判読の組み合わせによる地質図作成の実習。地学教育, **46**, 199-215.
- 正木智幸(1988): 高校地学における空間認識能力育成の方法。東京学芸大学附属高等学校大泉校舎紀要, **12**, 95-116.
- 正木智幸(1990): 環境教育における理科教育と地理教育の接点。地理, **35**, 40-46.
- 松森靖夫(1995): 高校生からみた科目「地学」の存在意義について。地学教育, **48**, 11-23.
- 恩藤知典(1985): 理科教育における自然のとらえ方。地理, **30**, 30-36.
- 柴山元彦・岸田容司郎(1984): 地質ブロック模型での授業。地学教育と科学運動, **13**, 82-91.
- 清水靖夫・渡辺一夫(1998): 地図かきかた入門。ポプラ社, 東京, 24-27.
- 宇留野勝敏(1982): 地学団体研究会編: 「自然をしらべる地学シリーズ4」地層と化石。東海大学出版会, 東京, 151-153.

中野英之: 粘土の地質模型を使った地形図・地質図の学習指導 地学教育 60 巻 5 号, 179-185, 2007

〔キーワード〕 高等学校理科, 地学, 地質図, 地形図, 等高線, 走向と傾斜

〔要旨〕 本研究では、高校生を対象に粘土の地質模型を使って地形図と地質図を作成できる教材を開発した。

本教材は、同斜構造を示す地質模型と、模型の高さを測定する高さ測定器からなり、高さ測定器を用いて模型の等高線と露頭線の作図を通して地質図を完成させ、地層の走向・傾斜を求めさせるものである。実践の結果、本教材を用いて高校生が楽しく地形図や地質図の学習をすることができた。

Hideyuki NAKANO: A Laboratory Investigation of Topographic and Geologic Maps Using a Clay Model. *Educat. Earth Sci.*, **60**(5), 179-185, 2007

資料

飽和等温残留磁化をつけた溶岩試料を用いて岩石が磁石であることを視覚化する： 古地磁気，プレートテクトニクス理解のために

Visualization of Rock Magnetization Using a Lava Sample Acquired with Saturated Isothermal Remanent Magnetization (SIRM):
Introduction to Paleomagnetism and Plate Tectonics

植木 岳雪*¹

Takeyuki UEKI

1. はじめに

高等学校の地学 II では、岩石の残留磁気の種類、地磁気の逆転、海嶺を挟んだ磁気異常の対称性、過去の地磁気極の移動などが取り上げられ、プレートテクトニクスと関連づけられている。これらの古地磁気に関連する内容については、岩石が磁化を持つこと、すなわち岩石が磁石であることを理解させることが重要である。そのためには、岩石が磁石にくっつくことを見ることが最も直感的でわかりやすい。

岩石は、外部から磁場を加えなくてもそれ自身で自然残留磁化 (Natural Remanent Magnetization; NRM) と呼ばれる磁化を持っている。しかし、それは非常に弱いので、普通の磁石のように岩石が磁化を持つことは理解しにくい。人工的に岩石に着磁させる磁化にはいくつかの種類があるが、その中で最も強いものは飽和等温残留磁化 (Saturated Isothermal Remanent Magnetization; SIRM) である。SIRM は、一定の温度で非常に強い磁場をかけ、その後磁場をゼロにしたときの残留磁化で、一般に SIRM の強度は NRM の強度の 100 倍程度大きい。本報告では、SIRM を着磁させた溶岩試料は磁化が強いので、普通の磁石にくっつくことを示す。

2. 飽和等温残留磁化の着磁

本報告の溶岩試料は、富士山の玄武岩から採取した直径 2.5 cm の円柱状のコアを高さ 2 cm に切断して、



図 1 産業技術総合研究所のパルス磁化器
最大 2.5 T (テスラ) までの磁場をかけることができる。

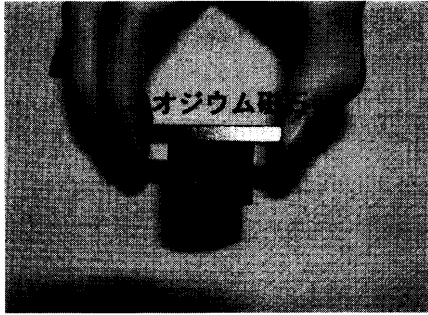
古地磁気測定に供したものである。SIRM は、パルス磁化器 (図 1) で 2.5 T (テスラ) の引加磁場で着磁させた。溶岩試料の NRM の強度は $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{ Am}^2$ のオーダーであるが、一般に SIRM の強度は $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{ Am}^2$ である。すなわち、100 倍程度強い磁化を持つようになった、強い磁石になったと言える。

3. 溶岩試料が市販の磁石にくっついている様子

SIRM を着磁させる前の溶岩試料は市販の強い磁石にくっつかないが、SIRM を着磁させるとくっつくようになる。ネオジウム磁石および強いフェライト磁石 (例えば、ピップエレキバン) と溶岩試料がくっついている様子を図 2 に示す。

*¹ 独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門

(1)



(2)



図2 溶岩試料と市販の磁石がくっついている様子
(1) ネオジウム磁石, (2) 磁気健康器具のフェライト磁石.

4. ま と め

本報告では、SIRM を着磁させた溶岩試料は市販の強い磁石にくっつくことから、岩石が磁化を持つこと、磁石であることが視覚的に理解しやすいことを示した。産業技術総合研究所のパルス磁化器では、円柱状でない溶岩試料にも SIRM を着磁することができる。希望者には、岩石カッターで切断した一辺 2 cm

の立方体の溶岩試料を送ってもらえれば、著者が SIRM をそれに着磁して返送する。また、溶岩試料を用意できない場合でも、多少の予備があるので相談されたい。著者の連絡先は、〒305-8567 茨城県つくば市東 1-1-1 中央第 7 独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門、電話：029-861-3797、E-mail: gakusetsu-ueki@aist.go.jp である。

~~~~~

本の紹介

~~~~~

松田良一/編著 「世界の科学教育—国際比較からみた日本の理科教育—」明石書店 A5判, 199頁, 2006年12月初版 2,200円(税別) ISBN4-7503-2481-7

理科教育の危機が危惧されるようになって久しく、これまでもいろいろな問題点の指摘がなされている。本書の編著者である松田良一氏は、自身の東大教養学部での生物教育を通してこの危機にいち早く気づき、多方面の研究者・教育者らとシンポジウムを主催するとともに、Web上で「高等教育フォーラム」という議論を運営されるなど、大学人にはまれな理科教育への情熱を持って活動されている方である。氏が東京大学の正木春彦氏らとともにやってきた活動は、これまでも「日本の理科教育が危ない」(学会センター関西/学会出版センター, 1998年)、「危機に立つ日本の理数教育」(明石書店, 2005年)として出版されたが、本書はその第3弾として、国際比較の視点から日本の科学教育の問題点を明らかにしようとしたものである。

本書の構成と著者は次のようになっている。ここで、著者名にあえて肩書きを付したのは、このシンポジウムが多様なバックグラウンドを持つ人のさまざまな角度からの分析によって問題を正しく深く把握しようとし、考え得る限りの方法でその解決法を求めようとする著者らの科学的な姿勢を正に示していると考えられるからである(ただし、正式な肩書きは紙幅の都合もあり、許容されると思われる範囲で略記した)。

第I部 世界の科学教育

- 1 21世紀の理科学力を目指した教育改革を
小倉 康(国立教育政策研究所統括研究官)
- 2 世界の医学教育
香川靖雄(女子栄養大学副学長, 自治医科大学名誉教授, 国際生化学・分子生物学教育委員)
- 3 化学教育の国際比較
渡辺 正(東京大学生産技術研究所教授)
- 4 アメリカの教育政策
西村和雄(京都大学経済研究所教授, 所長)
- 5 高校「生物」教育の国際比較
松田良一(東京大学総合文化研究科助教授)
- 6 教科書の変遷から見た理数教科内容削減の歴史
筒井勝美(学習塾「英進館」館長)
- 7 「2006」年問題とは何か—高校理科の教育課程の現状と問題点
左巻健男(同志社女子大学教授)
- 8 中国の科学教育

林 万雅(中国語教師)

- 9 シカゴの公立高校における AP 教育体験
酒井由紀子(東京大学理学部生物学科4年)
- 10 ダラスの公立高校における AP 教育体験
古谷美央(東京大学医学系研究科博士課程3年)

第II部 「世界の科学教育」公開シンポジウムより

第I部は、いずれの項目も日本の理科教育の問題を新しい視点からとらえた納得できる主張であるが、紙幅の制約上やむをえず個人的に刺激された少数に絞ってコメントする。まず、小倉氏の「日本の理科教育では、その時点での学習指導要領を超越して、目指すべき長期的な方向性が存在しない」という指摘は、氏の立場上からはたいへん勇気ある発言である。理科教育が全体として何を目指しているのかが、日本ではコンセンサスがないどころか、これまできちんと議論されたこともないのである。香川氏が明らかにした日本の医学教育が抱える大問題は、最も優秀な学生を集めている日本の医学教育はそれなりにうまくいっているのだろうという私の浅い認識を根底からひっくり返すもので、理科教育の現状はおそらく高等教育のすべての分野に深刻な状況を作り出していることをうかがわせるものである。西村氏の、日本の現状に似た困難を20年近く前に経験した米国の、国家を挙げての取り組みと大規模な実験研究の紹介は説得力がある。日本で多用されるようになったクラスサイズをそのままのTTが、少人数クラスと比べてあらゆる側面で劣ることが証明されているというのは、向かうべき方向を示すものである。松田氏は世界各地の10カ国の教科書を比較して、日本の教科書が突出して劣っている点を明確にしたのは衝撃的である。酒井氏と古屋氏の米国の公立高校における大学レベルの内容を先取りしたAP(Advanced Placement)教育については、是非日本の教育関係者は詳細に研究する必要があると感じた。

第II部は公開シンポジウムにおけるコメントーター、パネラーおよび会場出席者によるディスカッションの記録を中心としている。多様な議論が展開されたいへん勉強になるが、なかでも教育の世界と科学研究の世界が結びついていないという正木氏の指摘はたいへん重要であると感じた。会場参加者の教師からの現場を踏まえた改善に向けての提案と、文部科学省の基盤政策係長の発言はたいへん興味深いものであったが、これらはぜひ皆さんに直接読んでいただきたい。(林 慶一)

編集委員会より

今年は投稿ペースが順調でしたが、後半になり少し鈍ってきた感じがあります。会員の皆様の積極的な投稿をお願いします。

投稿に際して、原稿送付状を送って頂いておりますが、記入漏れや記入ミスが多くあります。経費削減のために事務局からの連絡はメールで行うことが多いのですが、そのメールアドレスが未記入であったり、アドレスが違って届かないことがあります。また送付先の住所が、勤務先の場合は勤務先名も必ず記入して下さい。

原稿送付状のダウンロードは以下の URL からできます。

<http://wwwsoc.nii.ac.jp/jsese/toukou.htm>

地 学 教 育 第 60 卷 第 5 号

平成 19 年 9 月 20 日印刷

平成 19 年 9 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. 60, NO. 5

SEPTEMBER, 2007

CONTENTS

Original Article

- Paper Craft for Teaching How the Phase of Venus and Its Position on the Celestial Sphere Change as Venus and Earth Revolve around the Sun
.....Masahiro KAMATA and Tomoko TAKANISHI...161~169

Practical Articles

- Development of a Small Radio Telescope for the Observations of the Neutral Hydrogen Emission Line and an Observing Lesson of the Milky Way at a High School...Masami OKYUDO, Naoko SATO, Kenta FUJISAWA, Akihiko TOMITA, Wataru ISHIZUKA, Toshiyuki SATO, Takayuki SHIOKAWA, Kensuke CHIKATA, Toshiyuki YUKITANI and Toshihiro HANDA...171~178
- A Laboratory Investigation of Topographic and Geologic Maps Using a Clay Model
.....Hideyuki NAKANO...179~185

Survey Report

- Visualization of Rock Magnetization Using a Lava Sample Acquired with Saturated Isothermal Remanent Magnetization (SIRM): Introduction to Paleomagnetism and Plate TectonicsTakeyuki UEKI...187~188

Book Review (189)

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