

地学教育

第60巻 第2号(通巻 第307号)

2007年3月

目 次

原著論文

中学生の岩石・鉱物の概念理解

—用語の構造理解と物質の構造理解の視点から—……廣木義久・平田豊誠…(43~51)

高校生のための天文学実習用教材「宇宙年齢を測る」の作成

……………西浦慎悟・中田好一・三戸洋之・宮田隆志…(53~66)

資 料

天頂の太陽・月と地平線の太陽・月の大きさの比較……………長谷川 敏…(67~72)

お知らせ (73)

学会記事 (74)

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

島根大会のご案内

日本地学教育学会会長 下野 洋
島根大会実行委員長 秦 明徳

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—

期 日：平成 19 年 8 月 17 日（金）～20 日（月）

会 場：島根大学教養教育棟 2 号館

主 催：日本地学教育学会

共 催：島根大学

後援（予定）：文部科学省，島根県教育委員会，松江市教育委員会，島根県高等学校理科教育研究会，島根県小中学校理科教育研究会，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，島根地学会

見学旅行（日帰り）

A コース：8 月 17 日（金）

B1・B2 コース：8 月 20 日（月）

パネルディスカッション

「新学習指導要領とこれからの地学教育」

パネリスト

清原洋一：国立教育政策研究所教育課程教科調査官

池本博司：広島市立基町高等学校

鎌田祥史：島根大学附属中学校

高橋隆子：安来市立布部小学校

司 会

林 武広：広島大学大学院教授

パネルディスカッション

記念講演会

「汽水域の自然環境と地学教育」

高安克巳氏は現在島根大学の学術国際担当の副学長をされております。専門分野は、化石や地層に関する地史学，および宍道湖・中海の環境学です。

今回は、「汽水域の自然環境と地学教育」と題して、これまでの研究で得られた知見をもとに、特に「水環境分野」を教材として取り上げる際の留意点についてお話しいたします。

研究発表（発表形式）

一般研究発表

持ち時間は 15 分（厳守）です。3 分以上の質疑応答時間を含みます。

ポスター発表

持ち時間は 1 時間です。発表者は参加者と自由に論議してください。なお、0.9 m×1.8 m の資料掲示用のパネルを準備します。パソコンなどを使っていただいてもかまいません。机と電源を用意いたしますので、事前にご連絡ください。

課題研究発表

これは一つのテーマについて、複数のものがチームを組み、論議するものとします。各発表チームでテーマを立ててください。持ち時間は 2 時間です。時間内の発表形式は自由です。司会者もチームで決めてください。

日 程

日	時刻	行事	会場（大会会館）
18 日 (土)	8:30	受 付	教養教育棟 2 号館入り口
	9:00	開会行事 学術奨励賞授与式	A
	9:30	ジュニアセッション	A 口頭発表
	11:00	ポスターセッション	D ポスター発表
	12:00	昼休み	
	13:00	パネルディスカッション	A 「新学習指導要領とこれからの地学教育」
	15:00	研究発表 I	A B C
	17:30	休 憩	
	18:00	懇 親 会	島根大学大学生食堂
	20:00		
19 日 (日)	9:00	研究発表会 II	A B C
	11:15	記念講演会	A 高安克巳「汽水域の自然環境と地学教育」
	12:15	昼休み	
	15:15	課題研究会	A B C
	15:15		
	15:30	閉会行事	A

研究発表申込み方法

申込みはメールでの申込みを原則とします。都合によりインターネットを利用できない場合は 郵送にてお申込みください。課題研究の場合には、チームの代表者が一括して申し込むようしてください。

郵送、インターネットともに発表申込みされた場合は、必ず確認のため返信メールを送ります。それが届かない場合は大会事務局の E-mail アドレス、または電話に連絡してください。

大会発表論文の取り扱い

大会発表論文は、大会申込み後に連絡させていただく様式に従い、PDF 形式（あるいは word、一太郎）の文章をメールに添付してお送りください。なお、詳しい投稿の仕方、様式につきましては大会申込み返信メールにてお知らせいたします。

分量

口頭研究発表、ポスター研究発表はそれぞれ A4、2 ページです。

課題研究発表は当該課題を設定した要旨を A4、2 ページつけ、発表者も A4、2 ページです。パネルディスカッションは提案者ごとに A4、2 ページです。

期限

研究発表申込締切：2007 年 5 月 18 日（金）必着

研究発表要旨提出締切：2007 年 6 月 29 日（金）必着

会場案内（下図を参照のこと）

○JR 利用の場合

「松江駅」下車 北口よりバスに乘車

・市営バス 乗り場① 北循環線内回り

乗り場② 大学・川津方面行き

⇒ 島根大学前下車

・一畑（いちばた）バス 乗り場②

美保関（みほのせき）ターミナル/
東高校/ソフトビジネスパーク/
平成ニュータウン

各方面行き ⇒ 島根大学前下車

○自家用車利用の場合

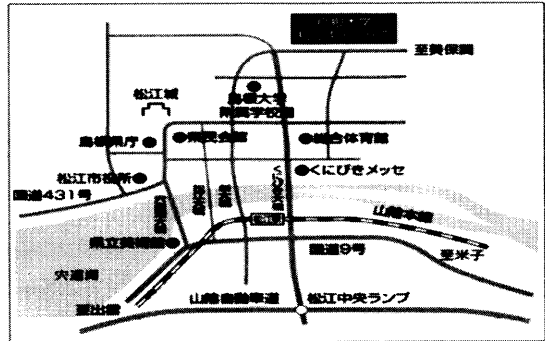
山陰自動車道「松江中央ランプ」より一般道へ

（駐車場に限りがあります。できるだけ公共交通機関をご利用ください）

○航空機を利用の場合

・出雲空港より連絡バスで松江駅まで約 30 分

・米子空港より連絡バスで松江駅まで約 45 分



（島根大学ホームページを参照してください）

<http://www.shimane-u.ac.jp/>

大会参加費

7 月 20 日以前の振込分

一般 4,000 円，大学生・院生 2,500 円

7 月 21 日以降の受付分

一般 4,500 円，大学生・院生 3,000 円

送金方法

郵便振替にて送金してください。送金の内訳および連絡先を必ず記入してください。

加入者名：日本地学教育学会島根大会

口座番号：15380-9508451

・大会参加費 上記「大会参加費」をご参照ください。

・懇親会費 4,000 円

・巡検 A コース 5,000 円

B1, B2 コース 4,000 円

宿泊案内

松江市内には、ビジネスホテル、共済組合関係の宿泊施設等が多数あります。インターネットなどでお調べの上、直接お申込みください。

会場の島根大学は、松江駅の北約 3 km にあります。島根大学方面へのバスは、松江駅北口から約 10 分間隔でありますので、ホテルは松江駅周辺が便利です。

その他に「松江・しんじ湖温泉」「玉造温泉」もあります。

見学案内

見学旅行を下記のとおり計画しています。各コースとも先着順で定員は 25 名です。（最低参加人員 10 名）
<A コース（8 月 17 日）>

地学的視点から捉えた中海・宍道湖の環境

（船舶チャーター、昼食付き）

(参加費用 5,000 円)

案内者 瀬戸浩二氏(島根大学汽水域研究センター)

集合: JR 松江駅北口 10 時, 解散: 14 時

〈B1 コース (8 月 20 日)〉

三瓶火山の形成史と埋没林 (参加費用 4,000 円)

案内者 福岡 孝氏 (三瓶自然館サヒメル)

集合: JR 松江駅南口 8 時, 解散: 17 時

〈B2 コース (8 月 20 日)〉

花崗岩地帯を流れる斐伊川の特質とたたら製鉄
(参加費用 4,000 円)

案内者 秦 明德 松本一郎(島根大学教育学部)

集合: JR 松江駅南口 8 時, 解散: 17 時

大会事務局・出張依頼状の申込先

・申込みは下記のとおりですが, 基本的にメールでの連絡をお願いします。

〒690-8504 松江市西川津町 1060

島根大学教育学部自然環境教育講座

日本地学教育学会島根大会事務局

事務局長: 松本一郎

TEL&FAX: 0852-32-6310 (松本)

6307 (秦)

E-mail: chromim@edu.shimane-u.ac.jp. (松本)

: hada@edu.shimane-u.ac.jp. (秦)

* 島根大会の詳細は以下の大会案内 HP でもご覧いただけます。

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

(日本地学教育学会 HP)

<http://rika1.edu.shimane-u.ac.jp/earthscience-edu/> (島根大会 HP)

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

申込日：2007 年 月 日

○参加申込み（ジュニアセッション発表者・同引率者は別紙でのお申込みとなります）	
フリガナ 氏名：	所属：
連絡先：〒	
Tel: E-mail:	Fax:
○研究発表申込み（〆切 5 月 18 日必着）	
発表題目：	
キーワード（4 つ）：	
発表者名（所属名）：	
研究分野（A, B, C のいずれにもお答えください。）	
A: <input type="checkbox"/> 小学校 <input type="checkbox"/> 中学校 <input type="checkbox"/> 高校 <input type="checkbox"/> 大学 <input type="checkbox"/> 一般	
B: <input type="checkbox"/> 地学一般 <input type="checkbox"/> 地質 <input type="checkbox"/> 天文 <input type="checkbox"/> 気象 <input type="checkbox"/> 環境	
C: <input type="checkbox"/> 地学教育論 <input type="checkbox"/> 教材開発 <input type="checkbox"/> 授業研究, 学習指導 <input type="checkbox"/> 認識, 学習心理, 評価 <input type="checkbox"/> 博物館, 地域, 学校連携 <input type="checkbox"/> カリキュラム <input type="checkbox"/> その他	
発表形態: <input type="checkbox"/> 口頭発表 <input type="checkbox"/> ポスター発表 <input type="checkbox"/> 課題研究	
使用機器: <input type="checkbox"/> OHP <input type="checkbox"/> 液晶プロジェクター (パソコンをご使用の場合には, 各自パソコンをご持参ください)	
○懇親会・見学旅行の申込み（先着順）	
<input type="checkbox"/> 懇親会 (4,000 円)	
<input type="checkbox"/> 見学旅行 A1 コース (5,000 円), <input type="checkbox"/> 見学旅行 B1 コース (4,000 円), <input type="checkbox"/> 見学旅行 B2 コース (4,000 円)	
○振込み金額	
参加費（予稿集代を含む）7 月 20 日以前のお振込み分一般 4,000 円, 大学生・院生 2,500 円 7 月 21 日以降のお振込み分一般 4,500 円, 大学生・院生 3,000 円	
懇親会費 4,000 円	円
見学旅行 A コース (5,000 円), B1, 2 コース (4,000 円)	円
合計金額	円

○申込みについては、ホームページ上から書式をダウンロードしていただき、必要事項をご記入の上、下記メールアドレスまで添付し、お申込みください。

事務局 E-mail: chromim@edu.shimane-u.ac.jp

郵送または Fax の場合は下記へ送付してください。

〒690-8504 松江市西川津町 1060

島根大学教育学部自然環境教育講座 日本地学教育学会島根大会

松本一郎 Tel/Fax: 0852-32-6310

○申込書を送付後、代金を下記の郵便振替口座へご送付ください。

口座名称: 日本地学教育学会島根大会 口座番号: 15380-9508451

○大会予稿集のみの申込み

申込者氏名

送り先 〒

Tel:

	部数	金額
大会予稿集 (1 冊 1,500 円)		円
送料 (310 円)		円
合計金額		円

中学生の岩石・鉱物の概念理解

—用語の構造理解と物質の構造理解の視点から—

Conceptual Understandings of Rock and Mineral by Junior High School Students:
From a Viewpoint of the Understandings of Their Terminological
Structure and Material Structure

廣木 義久*1・平田 豊誠*2

Yoshihisa HIROKI and Toyosei HIRATA

Abstract: The conceptual understandings of rock and mineral were examined for first-year junior high school students by analyzing concept maps, a test on rock names and a questionnaire on rock and mineral. Their understandings of rock and mineral were categorized into four groups defined by correct and incorrect understandings of the material and terminological structures of rock and mineral. The students of the group defined by correct understanding of the material structure and incorrect understanding of the terminological structure think the terminological structure of rock and mineral as same as the material structure. Because minerals are materially included in rocks, they regard minerals as a sort of rocks. This misconception was possibly acquired through the lesson on the material structure of rock and mineral. For correct understanding of rock and mineral, students have to learn both the material and terminological structures of rock and mineral.

Key words: rock, mineral, misconception, material structure, terminological structure, junior high school

1. はじめに

これまでの調査から、教員養成系の大学生の多く(少なくとも4割の学生)は岩石と鉱物の違いを正しく理解しておらず、その状況がこの20年間改善されていないことが明らかとなっている(加藤ほか, 1986; 廣木, 2003)。

学習者の多くが岩石と鉱物を正しく区別できないのはなぜなのか。筆者らはその原因を解明するために、中学校1年生を対象に岩石および鉱物の概念理解に関する調査を行った。そして、調査の結果、学習者が岩石と鉱物を区別できないでいる原因の一つが、岩石と鉱物という用語の構造関係を岩石と鉱物という物質

的な構造関係と同じものと理解してしまっているため(用語の構造理解が物質の構造理解に同一化されてしまっているため)であることが明らかになってきた。

これまでの岩石と鉱物の授業は、岩石と鉱物の物質的な構造のみを扱っており、岩石と鉱物という用語の構造については触れていない。このために学習者は、用語としての岩石と鉱物の関係(包含関係にはなく、全く別個のもの)を物質としての岩石と鉱物の包含関係(鉱物は岩石に含まれるという関係)と同じものと考えてしまっている。そこで、彼らは、岩石に属する物質の名前(例えば、花崗岩)と鉱物に属する名前(例えば、石英)の区別ができていないにもかかわらず、物質的に鉱物(石英)は岩石(花崗岩)に含まれるのだ

から、用語としての鉱物（石英）も岩石に含まれる、岩石の一種であると考えてしまっている。

本論文では、生徒らが岩石と鉱物を区別できないでいる原因の一つが、岩石と鉱物という用語の構造を岩石と鉱物という物質の構造に同一化させて理解しているためであることを示すとともに、岩石と鉱物の学習方法の改善策について述べる。

2. 調査方法

調査は大阪教育大学附属池田中学校の1年生147名を対象に、単元「活きている地球」の学習の直後に行った。授業は啓林館発行の教科書（竹内ほか、2002）に準拠して進めた。学習内容としては、火山岩と深成岩の種類と組織、マグマの冷え方と火成岩の組織、造岩鉱物の種類、組織・色・含有鉱物による火成岩の分類である。火成岩としては流紋岩、安山岩、玄武岩、花崗岩、閃緑岩、ハンレイ岩を、鉱物としては石英、長石、黒雲母、角閃石、輝石、カンラン石を学習させた。そして、調査は次のような質問紙によって行った。

(1) **岩石名調査**：「知っている岩石の名前を挙げて下さい」との質問を書いた質問紙を配布し、岩石の名前を列挙してもらった。そして、列挙した名前の中に、鉱物名を挙げているかどうかによって、岩石と鉱物を混同している者と混同していない者とを識別した。

(2) **コンセプトマップ調査**：加藤ほか(1986)の方法に従い、岩石・鉱物に関するコンセプトマップを描いてもらった。ただし、現行の中学校学習指導要領では変成岩を扱っていないため、本研究における調査では「変成岩」と「片麻岩」の二つの用語は使用しなかった。まず、「岩石」「マグマ」「火成岩」「堆積岩」「カコウ岩」「ゲンブ岩」「砂岩」「石灰岩」「石英」「黒ウンモ」「砂」の11の用語をランダムに示し、「語句の意味を考え、包含関係が表現できるように配列し、意味のある線で結ぶようにしてください。また、結んだ線には、結んだ意味がわかるように理由を記載してください。」と指示し、A4の白紙にコンセプトマップを描いてもらった。調査を行った1年生には、前もって、生物の例を使ってコンセプトマップの作成方法を学んでもらった。

(3) **アンケート調査**：(1)の岩石名調査で、鉱物名を挙げなかった者の中には、岩石と鉱物を混同しているにもかかわらず、鉱物名を思いつかなかったから挙げなかった者が含まれている可能性がある。岩石名調査

表1 岩石名調査の結果

数字は回答者率でパーセンテージ。全体の回答者率が2%未満のものは省略した。

回答名	回答者率 (%)
花崗岩	89.1
玄武岩	87.8
安山岩	84.4
礫岩	77.6
砂岩	77.6
泥岩	77.6
流紋岩	71.4
石灰岩	70.7
閃緑岩	68.7
ハンレイ岩	67.3
チャート	62.6
凝灰岩	59.2
火山岩	40.1
深成岩	40.1
火成岩	26.5
石英	21.8
黒雲母	21.1
輝石	18.4
長石	17.0
堆積岩	14.3
カンラン石	12.9
大理石	10.9
粘板岩	8.8
角閃石	7.5
ダイヤモンド	6.1
頁岩	5.4
溶岩	4.8
水晶	4.8
エメラルド	4.1
ルビー	4.1
サファイア	4.1
軽石	3.4
カンラン岩	2.0
鉄鉱石	2.0

で、中学生が最も多く回答する鉱物名の一つは石英であると予想されたので、岩石名のみを回答した者に対しては、「なぜ、石英を書かなかったのですか」という質問をし、岩石と鉱物を混同している者（「思いつかなかったから」「忘れていたから」と回答した者）を洗い出した。また、岩石と鉱物を混同している者が、どのようにそれらを混同しているのかを明らかにするために、岩石名の質問で石英を挙げた者に対して、「なぜ、石英を書いたのですか」という質問をした。

3. 結果

(1) 岩石名調査

表1に岩石名調査の結果を示す。最も回答者率の高

かった名前は花崗岩で、89.1%の生徒が名前を挙げた。以下、玄武岩、安山岩、礫岩・砂岩・泥岩、流紋岩、石灰岩、閃緑岩、ハンレイ岩、チャート、凝灰岩(以上、回答率が50%以上のもの)の順に回答者率が高かった。また、鉱物名を挙げた者の割合は、回答者率の高い順に、石英 21.8%、黒雲母 21.1%、輝石 18.4%、長石 17.0%であった。

また、調査の結果、147人中55人(37.4%)の生徒が岩石と鉱物を混同していたことが分かった。この数字は、岩石名調査で鉱物名を挙げた生徒の人数と、鉱物名を挙げなかったが、「なぜ、石英を書かなかったのか」というアンケート調査で「石英を思いつかなかったから書かなかった」と回答した生徒の人数を合わせた数字である。

(2) コンセプトマップ調査

図1(A)は加藤ほか(1986)が正しいとした岩石と鉱物に関するコンセプトマップである。ただし、今回の調査で使用していない「変成岩」「片麻岩」は削除してある。また、「マグマ」はカテゴリーの位置づけに多様性があり、コンセプトマップ作成上不適当としてもと

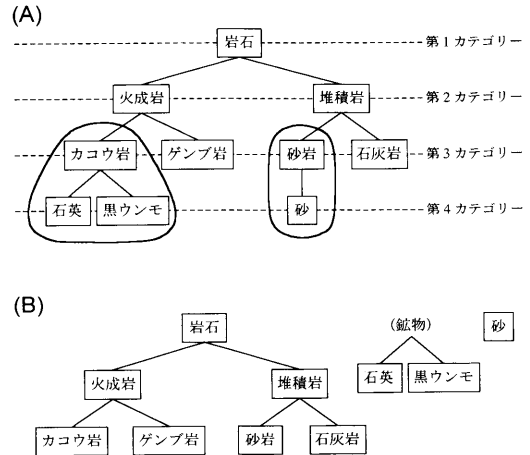


図1 岩石と鉱物に関するコンセプトマップ

(A)は加藤ほか(1986)の“正しいコンセプトマップ”から「変成岩」と「片麻岩」を省いたもの。図中の太線の囲みは、その中の関係が用語の包含でなく物質的な包含を表している部分を示す。(B)は用語としての包含関係のみに基づいて描いたコンセプトマップ。

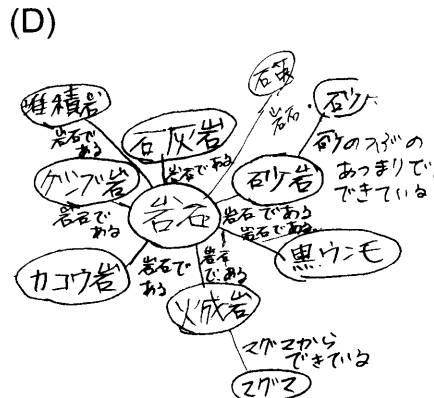
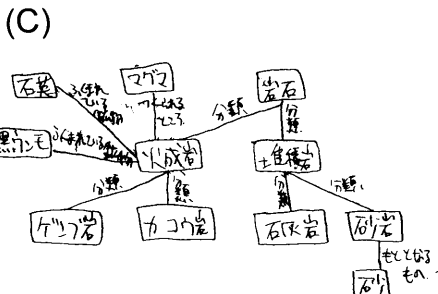
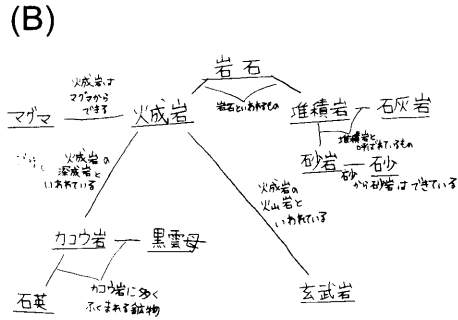
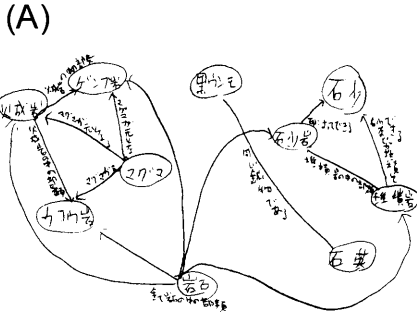


図2 生徒が描いた岩石と鉱物に関するコンセプトマップの例

もと削除されている(加藤ほか, 1986). 加藤ほか(1986)によれば, このコンセプトマップに使用されている10の用語は四つのカテゴリーに分類される. そして, それらの四つのカテゴリーは階層的な構造を持ち, 図中の上にあるものほど, より上位の概念に属すると説明されている.

しかしながら, 加藤・遠西(1994)も指摘しているように, この図1(A)のコンセプトマップが示す用語間の関係には「岩石には火成岩が含まれる」「火成岩は岩石の一種である」という用語概念としての包含関係と, 「カコウ岩には石英が含まれる」「砂岩は砂から成る」という構成物としての包含関係(図中の太線で囲った部分)の2種類の包含関係が混在している. このコンセプトマップを純粋に用語概念としてのマップとして考えるならば, 図1(B)に示したように, 「石英」と「黒ウンモ」は「岩石」や「火成岩」, 「カコウ岩」といった岩石名を表す用語グループとは別にして, 「石英」と「黒ウンモ」は鉱物という用語に包含されるものとして描くほうがよい. 同様に, 「砂」はあくまで「砂岩」を構成する物質であり, 「砂岩」の種類ではない. そこで, 「砂」は「砂岩」から独立して描くほうがよい. 物質としての「砂」には「石英」や「黒ウンモ」が含まれるが, 「石英」や「黒ウンモ」は「砂」の種類ではないため, 「砂」という用語は「石英」や「黒ウンモ」と線で結ばれない.

では, 中学生の描いたコンセプトマップはどうであったかという点, ほとんどの生徒が用語概念としての包含関係と構成物としての包含関係を区別せずに混在させて描いていた. 「石英」と「黒ウンモ」を他の岩石名と分けて配置していた生徒は二人だけで(図2の(A)), 147人中138人(93.9%)の生徒が「石英」, 「黒ウンモ」を「カコウ岩」, 「火成岩」, 「岩石」などの岩石名に結びつけていた(図2の(B)~(D)).

今回の調査では, 図1(B)に示すようなコンセプトマップを描いた生徒は皆無であったが, 彼らの描いたコンセプトマップを用語概念としてのコンセプトマップとしてではなく, 物質としての構成概念のマップとして捉えるならば, 岩石名と鉱物名とを包含関係として線で結び, その関係を「岩石の中に含まれる」, 「鉱物の集まりである」などと説明した生徒は岩石と鉱物の物質的な構造をよく理解していると言える(例えば, 図2の(B)と(C)).

そこで, 中学生の描いたコンセプトマップを, (1)「石英」および「黒ウンモ」を結びつけている用語が何

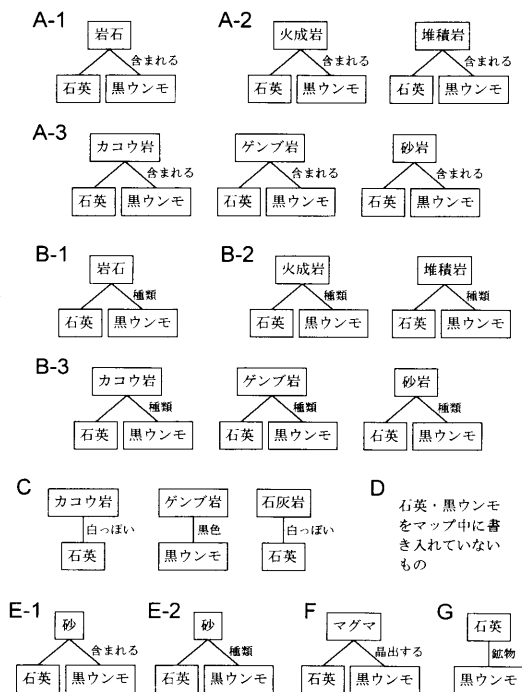


図3 岩石と鉱物に関するコンセプトマップの分類

であるか, そして, (2) それらの関係を何と説明しているか, によってタイプA~Gに分類した(図3).

1) タイプA

「石英」, 「黒ウンモ」を「岩石」(A-1), 「火成岩」あるいは「堆積岩」(A-2), 「カコウ岩」, 「ゲンブ岩」, 「砂岩」(A-3)と結びつけて, その関係を「含まれる」としたものの.

2) タイプB

「石英」, 「黒ウンモ」を「岩石」(B-1), 「火成岩」あるいは「堆積岩」(B-2), 「カコウ岩」, 「ゲンブ岩」, 「砂岩」(B-3)と結びつけて, その関係を「種類」としたものの.

3) タイプC

「石英」, 「黒ウンモ」を「カコウ岩」, 「ゲンブ岩」, 「石灰岩」と結びつけて, その関係を「色が似ている」としたものの.

4) タイプD

「石英」, 「黒ウンモ」をコンセプトマップ中に書き入れていないもの.

5) タイプE

「石英」, 「黒ウンモ」を「砂」と結びつけて, その関係を「含まれる」(E-1)あるいは「種類」(E-2)としたもの.

表2 コンセプトマップの分類と回答者数

分類	石英・黒雲母を結びつけている用語	関係*	回答者数(%)
岩石と鉱物の物質構造を理解			
A-1	岩石	XがYに含まれる	20 (13.6)
A-2	火成岩, 堆積岩	XがYに含まれる	7 (4.8)
A-3	花崗岩, 玄武岩, 砂岩	XがYに含まれる	85 (57.7)
岩石と鉱物の物質構造を不理解			
B-1	岩石	XはYの種類	11 (7.5)
B-2	火成岩, 堆積岩	XはYの種類	9 (6.1)
B-3	花崗岩, 玄武岩, 砂岩	XはYの種類	4 (2.7)
C	花崗岩, 玄武岩, 石灰岩	XとYは色が同じ	2 (1.4)
D	石英・黒雲母をマップ中に入れていない		1 (0.7)
岩石と鉱物の物質構造の理解・不理解が不明			
E-1	砂	XがYに含まれる	2 (1.4)
E-2	砂	XはYの種類	1 (0.7)
F	マグマ	XはYから晶出する	3 (2.0)
G	石英もしくは黒雲母	XもYも鉱物	2 (1.4)
合計			147 (100.0)

*Xには石英, 黒雲母, もしくは石英・黒雲母が, Yには石英・黒雲母を結びつけている用語が入る

表3 岩石名調査で石英を挙げた理由と岩石・鉱物の物質としての包含関係の理解, 不理解 (数字は人数を表す. また, 岩石名調査で石英を挙げたが, その理由を尋ねた質問に回答していない者 (7名) は除く.)

石英を回答した理由 (アンケート調査から)	岩石と鉱物の物質としての包含関係 (コンセプトマップ調査から)			合計
	理解	不理解	不明	
鉱物は岩石に含まれるから	8	2	1	
名前が頭に浮かんだから	2	8	1	
石英は岩石だと思ったから	0	2	0	
岩石と鉱物の違いがよく分からなかったから	1	0	0	
合計	11	12	2	25

の。

6) タイプ F

「石英」, 「黒ウンモ」を「マグマ」と結びつけて, その関係を「晶出する」としたもの。

7) タイプ G

「石英」と「黒ウンモ」とを線で結んで, その関係を「鉱物」としたもの。

図3では, タイプ A, B, E, F において, 「石英」と「黒ウンモ」の両方がそれぞれの用語に結ばれているが, 「石英」もしくは「黒ウンモ」のいずれかのみが線で結ばれている場合も含む。

それぞれのコンセプトマップのタイプごとの回答者数およびパーセンテージを表2に示す。

この分類の中で, タイプ A は岩石と鉱物の物質的な包含関係を正しく記述していることから, タイプ A のコンセプトマップを描いた生徒は岩石と鉱物の物質的な構造を正しく理解しているといえる。一方, タイプ B は「石英」, 「黒ウンモ」を岩石の種類としており,

タイプ C は色が似ているということで「石英」, 「黒ウンモ」を岩石名に結びつけていることから, タイプ B, C のコンセプトマップを描いた生徒は岩石と鉱物の物質的な構造を正しく理解しているとは言えない。また, タイプ D はコンセプトマップ自体が不完全なもので, このタイプのコンセプトマップを描いた生徒も岩石と鉱物の物質的な構造を正しく理解しているとは言えない。

また, タイプ E, F, G については, 「石英」と「黒ウンモ」を岩石名以外の用語に結びつけており, このマップからは, これらのタイプのコンセプトマップを描いた生徒が岩石と鉱物の物質的な構造を正しく理解しているかどうかは不明である。

(3) アンケート調査 (石英を挙げた理由)

岩石名調査から 37.4% の生徒が岩石と鉱物とを混同しているということが分かったが, いったい, 彼らは岩石と鉱物をどのように混同しているのだろうか。岩石と鉱物とを混同していた 37.4% の生徒のな

かで、岩石名調査で石英を挙げた者に、「なぜ、石英を書いたのですか」という質問をしたアンケート調査の結果が表3である。岩石名調査で石英を挙げた生徒25名(アンケート調査に回答していない7名を除く)を、各々が描いたコンセプトマップから、岩石と鉱物の構成物質としての包含関係を理解しているグループ(11名)、理解していないグループ(12名)、理解しているかどうか不明なグループ(2名)に分け、それぞれのグループについて石英を挙げた理由を集計した。

岩石と鉱物の物質的な包含関係を理解しているグループと理解していないグループで、石英を挙げた理由が異なっている。物質的な包含関係を理解しているグループでは、11人中8人が「鉱物は岩石の中に含まれるから」と回答した。ある生徒は、「石英は鉱物であり、石英は花崗岩という岩石に含まれる粒だから石英は岩石に含まれると思った」、「石英は鉱物で、岩石は鉱物からなっているから、鉱物も岩石に含まれるから」、「岩石の中に石英が入っているので、石英は岩石の一部だと思った」と回答している。これらの表現から、このグループの生徒たちの多くは、石英は鉱物であることは理解しているが、石英は岩石中に構成物質として含まれるから、用語としての石英も岩石に含まれる、岩石と言えようと考えていることが分かる。

一方、物質的な包含関係を理解していないグループでは、12人中8人が「名前が頭に浮かんだから」と回答し、2名は「石英は岩石だと思ったから」と回答している。このグループの生徒の多くは石英が鉱物であることを理解していないことが明らかである。また、2名が「鉱物は岩石に含まれるから」と回答しており、このグループに属する生徒の中にも一部、石英が岩石に含まれることを理由に石英を岩石の仲間と考えている者が含まれていることを示している。

4. 考 察

今回の調査は、中学生の岩石・鉱物に関する理解を岩石名調査、コンセプトマップ調査、アンケート調査という三つの方法で探った。岩石名調査は岩石と鉱物の混同、非混同を明らかにしたが、この調査は、岩石と鉱物の用語としての構造の理解、不理解にかかわる調査と言える。一方、コンセプトマップ調査は岩石と鉱物の物質としての包含関係の理解、不理解、すなわち、岩石と鉱物の物質的な構造の理解、不理解にかかわる調査と言える。

用語の構造理解 (X)

		理解	不理解
物質的な構造理解 (Y)	理解	(グループA) ⊗ ≠ ⊙ 用語の構造、物質の構造ともに正しく理解	(グループB) X ⇒ ⊙ 用語の構造理解が物質の構造理解に同一化
	不理解	(グループC) ⊗ ≠ Y 用語の構造のみ正しく理解	(グループD) X / Y 用語の構造、物質の構造ともに理解できていない

図4 中学生の岩石・鉱物の理解に関する分類 X, Y についている○は、その構造について正しく理解していることを表す。

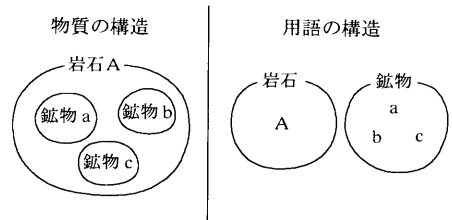


図5 岩石と鉱物における物質の構造と用語の構造との違い

そして、今回調査した中学生の岩石・鉱物に対する理解を、この岩石と鉱物の物質的な構造の理解、不理解と用語としての構造の理解、不理解の枠組みの中でとらえることにより、今まで我々が見落としていた生徒たちの岩石・鉱物に対する理解の真の姿が浮かび上がってくる。

岩石と鉱物の学習を終えた中学1年生を岩石・鉱物に関する理解状況によって四つのグループに分類したのが図4である。生徒たちの岩石・鉱物に対する理解は、岩石・鉱物の物質的な構造の理解・不理解とそれらの用語の構造の理解・不理解の組み合わせで定義される四つのグループの中に位置づけることができる。グループAは「物質の構造と用語の構造のいずれも理解」で定義され、グループBは「物質の構造の理解と用語の構造の不理解」で定義される。そして、グループCは「物質の構造の不理解と用語の構造の理解」で定義され、グループDは「物質の構造と用語の構造のいずれも不理解」で定義される。正しい岩石と鉱物の物質的な構造と用語の構造は図5に示したとおりである。

グループ B とグループ D に属する生徒は、用語の構造を理解していない生徒たちである。岩石名調査で石英を挙げた生徒に対して行ったアンケート調査から、グループ B の生徒の多くは「石英は鉱物であることは理解しているが、石英は構成物質として岩石に含まれるから、石英も岩石の一種である」と考えていることが分かった。グループ B の生徒が理解している用語の構造は「鉱物は岩石の仲間」「鉱物は岩石に含まれる」というもので、この構造はまさに岩石と鉱物の物質の構造と同じである(図5)。つまり、彼らは用語の構造を物質の構造と同じものと考えてしまっているのである。彼らは「鉱物は岩石に含まれる」という物質の構造を、直前の学習によってよく理解した。しかしながら、その学習により、岩石と鉱物の用語の構造を物質の構造と同じものと誤って理解してしまったものと考えられる。つまり、岩石と鉱物の物質の構造の学習により、岩石・鉱物に関する「用語の構造理解の物質の構造理解への同一化」が起きていると考えられる。

上記の考察から、中学校における岩石・鉱物の学習に伴う学習者の岩石・鉱物理解の流れに関して、図6に示すようなモデルを考えることができる。中学校の

岩石・鉱物の学習以前の学習者は、鉱物についてはまだ学習しておらず、岩石と鉱物の物質の構造についても未学習であるから、岩石・鉱物の理解に関してはグループ D に属するはずである。そして、中学校における岩石と鉱物の学習に伴い、岩石と鉱物の物質的な構造と用語の構造のいずれに関しても正しく理解したものはグループ A へと移る(図6の①)。また、岩石と鉱物の物質的な構造と用語の構造のいずれに関しても正しく理解できなかった者はグループ D にとどまる(図6の②)。また、岩石と鉱物は違うものであるという用語の構造については理解したが、岩石と鉱物の物質的な構造に関して正しく理解できなかったものはグループ C へと移る(図6の③)。岩石と鉱物の物質的な構造に関しては正しく理解できたが、岩石と鉱物の用語の構造については正しく理解できなかったものはグループ B へと移る(図6の④)。

そして、また、次のような理解の流れも考えられる。少なからぬ一部の生徒は、まず、岩石と鉱物は異なるものと理解することにより、いったん、グループ D の理解からグループ C の理解へと移る。次に岩石と鉱物の物質的な構造を学習し、そのことについて理解することにより、岩石・鉱物に関する「用語の構造理解の物質の構造理解への同一化」が起り、グループ C の理解からグループ B の理解へと移ってしまう(図6の⑤)。

この中で、我々はこのグループ C からグループ B への理解の流れに注目すべきである。グループ C に属する学習者は岩石と鉱物の用語の構造は理解しており、物質的な構造を理解していなかったわけであるが、その学習者が岩石と鉱物の物質的な構造を学習したからといって、その理解が必ずしもグループ A に移るわけではないということである。その学習により、岩石・鉱物における「用語の構造理解の物質的

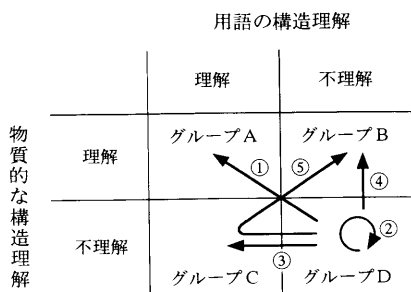


図6 岩石・鉱物の物質的な構造の学習に伴う岩石・鉱物の理解の流れ

表4 岩石と鉱物の物質としての包含関係の理解、不理解と岩石名と鉱物名の混同、非混同に関するクロス集計結果(数字は人数、カッコはパーセンテージを表す。)

岩石と鉱物の物質としての包含関係 (コンセプトマップ調査から)	岩石と鉱物の混同 (岩石名調査およびアンケート調査から)		合計
	非混同	混同	
	理解	81 (55.2%) ^a		31 (21.1%)^{b}	112 (76.3%)
不理解	8 (5.4%) ^c	19 (12.9%) ^d	27 (18.3%)
理解・不理解が不明	3 (2.0%)	5 (3.4%)	8 (5.4%)
合計	92 (62.6%)	55 (37.4%)	147 (100.0%)

^a^b^c^d: それぞれ図4, 6のグループA, B, C, Dに対応する。

造理解への同一化”が起こり、むしろ、グループBへと理解が移ってしまい、岩石と鉱物の混同が起こってしまう。

表4を見ると、今回調査した中学1年生のうち、グループCに属する生徒は5.4%とその割合が非常に小さい。それに比べて、グループBに属する生徒は21.1%である。この数値の大小は、上記のようなグループCからグループBへの流れを考えることでよく説明することができる。

岩石と鉱物の物質的な構造の学習は、中学校における岩石・鉱物の学習の中心的内容であり、その構造を理解すれば岩石と鉱物を理解したものとされていた。しかしながら、今回の調査結果から、皮肉にも、その物質的な構造の理解が逆に岩石と鉱物の正しい理解を阻害するケースのあることが示された。そして、岩石と鉱物を正しく理解するため、岩石と鉱物を混同しないためには、それらの物質的な構造の学習のみでは不十分であり、その学習に用語の構造の学習が伴わなければならないことを示している。

グループBの理解に落ち込んだ学習者をグループAの理解に移行させるためには、岩石と鉱物の物質的な構造の学習の後に用語の構造の学習を設定することが必要である。すなわち、「物質的には鉱物は岩石に含まれるが、用語として鉱物と岩石は独立であり、包含関係にはないこと(図5)」を改めて確認させるような学習場面の設定である。そのような学習場面を設定することにより、かなりの割合の学習者が岩石と鉱物を正しく理解することになるとともに、岩石と鉱物を混同する者もかなり減少すると思われる。ちなみに、今回の調査結果を参考にすれば、表4のグループBに属する21.1%の学習者が、グループAに移るとすれば、グループAの55.2%の学習者と合わせて76.3%の学習者が岩石と鉱物を正しく理解することになる。

5. まとめ

これまでの岩石と鉱物の学習は、岩石と鉱物の物質

的な構造理解にのみ焦点が当てられてきた。その点に関してみるならば、今回の調査結果でも76.3%の生徒が岩石と鉱物の物質的な包含関係を理解しており、成功していると言えよう(表4)。しかしながら、今回の調査結果から、岩石と鉱物の物質的な構造を理解している生徒の一部は、岩石と鉱物の用語としての構造を理解していないがために、岩石と鉱物を混同していることが明らかとなった。そして、それらの生徒は、岩石と鉱物の物質的な構造の学習に伴って、岩石と鉱物の用語の構造理解の物質的な構造理解への同一化が起こり、いわば、岩石と鉱物の混同という“誤理解のポケット”へと落ち込んでしまっている。

岩石と鉱物の学習にあっては、それらの物質的な構造の学習の後、改めて、岩石と鉱物の用語としての構造を提示し、「物質的には鉱物は岩石に含まれるが、用語としての鉱物と岩石は全く相容れないものであること」、「石英は物質としては花崗岩に含まれるが、石英はあくまでも鉱物の一種であって、岩石ではないこと」をしっかりと確認させることが肝要である。

謝辞 大阪教育大学の山口 弘教授には、本研究について日頃から議論していただいた。2名の査読者からはたいへん有益なコメントをいただき、論文の改善に大いに役立った。また、本研究には平成17年度科学研究費補助金(基盤研究(C)、課題番号17530659、研究代表者 廣木義久)を使用した。以上の方々に感謝します。

引用文献

- 廣木義久(2003): 大学生はどのくらい岩石の名前を知っているか? 地学教育, 56, 123-126.
 加藤圭司・羽場康成・遠西昭寿(1986): 「岩石」に関する概念構造—教育学部非理科系学生における Concept Maps—。地学教育, 39, 177-184.
 加藤圭司・遠西昭寿(1994): 理科系学生と非理科系学生の岩石に関する概念構造の相違。地学教育, 47, 65-74.
 竹内敬人ほか(2002): 理科2分野上。新興出版社啓林館, 大阪, 119 p.

廣木義久・平田豊誠: 中学生の岩石・鉱物の概念理解—用語の構造理解と物質の構造理解の視点から— 地学教育 60 巻 2 号, 43-51, 2007

〔キーワード〕 岩石, 鉱物, 誤概念, 物質の構造, 用語の構造, 中学校

〔要旨〕 中学 1 年生の岩石・鉱物の理解の仕方を岩石名調査, コンセプトマップ調査およびアンケート調査により調べた. その結果, 生徒たちの岩石・鉱物に対する理解は, 岩石・鉱物の物質的な構造の理解・不理解とそれらの用語の構造の理解・不理解の組み合わせで定義される四つのグループの中に位置づけられることが分かった. そして, そのうち, 岩石・鉱物の物質的な構造の理解と用語の構造の不理解で定義されるグループに属する生徒の多くは, 用語の構造を物質的な構造と同様に理解していることが分かった. そのような理解は岩石と鉱物の物質的な構造の学習により強化されたものと考えられる. 学習者が岩石と鉱物を正しく理解するため, 岩石と鉱物を混同しないためには, 物質的な構造の学習のみでは不十分であり, 岩石と鉱物の用語の構造の学習を伴わなければならない.

Yoshihisa HIROKI and Toyosei HIRATA: Conceptual Understandings of Rock and Mineral by Junior High School Students: From a Viewpoint of the Understandings of Their Terminological Structure and Material Structure. *Educat. Earth Sci.*, 60(2), 43-51, 2007

高校生のための天文学実習用教材 「宇宙年齢を測る」の作成

Teaching Material for High School Students to
Calculate the Age of the Universe

西浦 慎悟*1・中田 好一*2・三戸 洋之*2・宮田 隆志*3

Shingo NISHIURA, Yoshikazu NAKADA,
Hiroyuki MITO and Takashi MIYATA

Abstract: A method for creating teaching material for high school students to measure the age of the universe using a simple assumption is introduced. Any high school teacher with a personal computer connected to the Internet can create this teaching material. Utilizing photographs of external galaxies with known red shift, we can estimate the age of the universe assuming that all of the galaxies are of the same size as the Milky Way (our galaxy), i.e., 30.0 kpc in diameter. The fact that the simple assumption and simple material can provide an estimate of the age of the universe should impress many high school students. This teaching material has already been applied with positive benefit to about 1,000 high school students studying astronomy in the Kiso Observatory, Institute of Astronomy, University of Tokyo.

Key words: age of universe, Hubble constant, Hubble's law, astronomical education, teaching materials of astronomy, Internet, high school

1. はじめに

本稿では、高校生対象の天文学実習「宇宙年齢を測る」の教材作成方法およびその使用方法・効果等を紹介する。これは東京大学大学院理学系研究科附属天文学教育研究センター木曾観測所において、2002年から実施されているサイエンス・パートナーシップ・プログラム事業 (Science Partnership Program; SPP: 文部科学省の「科学技術・理科大好きプラン」, http://www.mext.go.jp/a_menu/kagaku/daisuki/index.htm)「星の教室」用に開発されたものである。本教材を用いた実習では、高校生は十数個の銀河の画

像サイズを定規で測定し、その上で「すべての銀河の実サイズがわれわれの住む天の川銀河の実サイズと同じである」という簡単な仮定の下に、その銀河までの距離を算出する。そして、それを用意されたデータベースから得られる銀河の後退速度と合わせることで、銀河の距離-後退速度図 (Hubble diagram: ハッブル図) を描き、その比例関係の傾き (ハッブル定数に相当する) を求めることで宇宙年齢を計算する。本実習の特徴としては、a) 単純なパソコン設備のみで行えること、b) 実習作業の時間が2~3時間と比較的に短いこと、c) 簡単な四則演算のみで遂行できること (ただし計算量が多いため電卓または表計算ソフトを使用

*1 東京学芸大学自然科学系宇宙地球科学分野

*2 東京大学大学院理学系研究科附属天文学教育研究センター木曾観測所

*3 東京大学大学院理学系研究科附属天文学教育研究センター

2006年12月15日受付 2006年12月28日受理

することが望ましい), そして, d) インターネット上で一般に公開されたアーカイブ・データを使用しているため, インターネット環境が整っていれば, 誰にでも容易に教材を作成できること, が挙げられる. さらに, 実習を行った高校生にとっては, 簡単な作業で宇宙年齢を算出できる, という事実そのものが大きな驚きとなること, また実習を通して, 高校生に物体の運動やデータの誤差・精度といった情報の取り扱い方の重要性を強く訴えることができる点も大きな特徴と言える.

本稿第2章では本教材を使用するにあたって最低限必要と思われる天文学的背景の基礎事項を簡潔に述べる. 第3章では教材の作成方法を紹介し, 第4章では教材の具体的な使用方法を紹介・解説する. そして最後に第5章では木曾観測所で行われたSPP「星の教室」で得られた成果をもとに, 本教材による実習で得られる教育効果等を紹介する.

2. 基礎事項

現代宇宙論では, 宇宙はビッグバンから始まり今なお膨張していると言われている. この膨張宇宙という概念は, 1922年にフリードマン, 1927年にルメートルが提唱したことに始まる(Friedman, 1922, 1924; Lemaitre, 1927). 彼らの研究結果はアインシュタインの一般相対性理論に基づいて得られたものであるが, アインシュタイン自身は宇宙が膨張したり収縮したりすることはないとして彼らの主張に強く反対した. アインシュタインが宇宙の大きさを時間的に不変にするために, 自ら一般相対性理論に宇宙項と呼ばれる概念を導入したことは広く知られている. しかし1929年, ハッブルによって, 遠くの銀河ほど速いスピードで遠ざかっている, という観測結果(ハッブルの法則: Hubble's law)が報告され(Hubble 1929など), これによって膨張宇宙が宇宙モデルの主流となる. なお20世紀前半期の宇宙論の経緯については二間瀬(1998)や佐藤(1999)などが, 20世紀後半期の経緯については寿岳(2003)などが比較的平易な解説を行っている.

ハッブルの法則は, 「銀河までの距離」 d (Mpc)と「銀河の後退速度」 v (km s^{-1})という二つの独立した観測量が比例関係にあることから得られたものであり, 一般に,

$$v = H_0 d \quad (1)$$

と表現される. ここで比例定数 H_0 ($\text{km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$) は

ハッブル定数(Hubble constant)と呼ばれ, この逆数 $1/H_0$ は近似的に宇宙年齢(一般にこの宇宙年齢をハッブル時間[Hubble time]と呼ぶ)を表すことになる. $1/H_0$ の単位が時間を示していることに注意されたい.

銀河の後退速度は, 分光観測によって得られた輝線スペクトルの変位量から計算される. 具体的には, ある銀河の後退速度 v は,

$$v = cz, \quad (2)$$

$$z = (\lambda_{\text{obs}} - \lambda_0) / \lambda_0, \quad (3)$$

で表される. ここで, c は光速, λ_0 は静止系における輝線スペクトルの波長, λ_{obs} は観測から得られたその輝線スペクトルの波長を示す.

後退速度の導出に比べて, 銀河までの距離を測定することは極めて困難である. ハッブル自身は銀河の中にあるセファイド型変光星を観測することによって, 18個の銀河までの距離を計算した. われわれの銀河系内にあるセファイド型変光星に対しては, 当時からその変光周期と平均絶対等級との間に良い相関関係があることが知られていた. そのため銀河中のセファイド型変光星の変光周期を知ることができれば, この相関関係を適用することでそのセファイド型変光星の平均絶対等級がわかり, それと見かけ上の等級との差からそのセファイド型変光星までの距離, つまりはそのセファイド型変光星が存在している銀河までの距離を算出することができる(銀河の実サイズに対して, われわれから銀河までの距離が非常に大きいことから, このように考えて差し支えない). 実際にはFreedman et al. (2000)は, ハッブル宇宙望遠鏡(Hubble Space Telescope; HST)の高い解像度を活かした銀河のセファイド型変光星のモニター観測を行い, $H_0 = 71 \pm 7$ ($\text{km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$), 宇宙年齢で140億年という値を得ている. 近傍に存在する銀河までの距離決定方法については, このセファイド型変光星を用いる方法が最も精度が高い. しかしながら高校生の実習でこの方法を取り上げることは極めて難しく, また指導者への負担も大きい. そこで本教材では「すべての銀河の実サイズ(直径)はわれわれの住む天の川銀河と同じである」という仮定を設け, 見かけ上のサイズからその銀河までの距離を計算させることとする. すなわち, 天の川銀河の実サイズ D_{MW} (Mpc), ある銀河の見かけ上のサイズ θ (度角)を用いると, その銀河までの距離 d (Mpc)は,

$$d = D_{\text{MW}}(180/\pi)(1/\theta) \quad (4)$$

と表される。先ほどの仮定から、ここでは $D_{MW} = 30.0$ (kpc) とする。

また輝線や吸収線のスペクトルのデータから銀河の後退速度を測定する作業も、高校生に対しては極めて難しく、同時に本実習で取り上げるのは困難である。そこで本教材では、銀河の後退速度は既存のデータベースや研究論文から引用した値を用いることとする。

宇宙年齢（もしくはハッブル定数）を求める試みは今までにも多くの研究者によって行われており、現在でも非常に研究が盛んなテーマの一つである。そしてその手法も結果もさまざまである。例えば、前述したセファイド型変光星を用いた銀河までの距離決定法以外にも、惑星状星雲や球状星団の光度関数を利用した方法や、渦巻銀河のタリー・フィッシャー関係（光度・回転速度関係）、楕円銀河の $D_n-\sigma$ 関係（サイズ・速度分散関係）を用いる方法、1a 型超新星が出現した銀河を用いる方法などが試みられてきた（例えば Kennicutt et al., 1995; Sandage et al., 1995; 池内, 1997; 岡村, 1999）。しかしながらこれらを実習に持ち込むためには、天体の等級差を距離の差に置き換える作業が必要となったり、より専門的な知識が必要となるため、やはり高校生に対しては難易度が高くなってしまふ。

なお宇宙年齢に関する最新の研究結果としては、前述した Freedman et al. (2000) によるものと、WMAP 衛星を用いて宇宙背景放射の揺らぎから宇宙年齢を 137 億年と求めた Spergel et al. (2003) によるものが挙げられる。

以上のように宇宙年齢（ハッブル定数）は、その測定精度が非常に高くなったとはいえ、いまだ正確に確定した値にはなっていない。それゆえに高等学校地学分野における取り扱いには慎重なものになっている。例えば現行の地学の教科書ではハッブルの法則の式のみを表示したり（力武ほか, 2004a）、直接ハッブルの法則の式やハッブル定数には触れずに宇宙年齢が約 150 億年であると記述したり（内海ほか, 2004）、ハッ

ブル定数は $50 \sim 100 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ （力武ほか, 2004b）である、と表記するにとどめざるをえない状況になっている。

3. 教材作成

(1) 教材作成・運用のための環境

本教材に最低限必要なものは、鮮明な数十個の銀河のデジタル画像のみである。ただしこれらデジタル画像中の銀河の見かけ上のサイズ（視角）は測定可能であり、また後退速度も既知でなければならない。そしてさらに銀河の実体は空間的に淡い構造が広がっているため、これらのサイズを精度良く測定するためにはデジタル画像のコントラストを容易に変化できるようなアプリケーションが用意されていることが望ましい。上記の条件を満たすためには、銀河の画像を fits（通常「フィッツ」と読む）形式で取得し、これを fits 形式画像用ビューアの SAO Image DS9（以下 DS9, <http://hea-www.harvard.edu/RD/ds9/>）を使用して閲覧することで解決する。DS9 と fits 形式画像の組み合わせは、本章 (4) で述べるように画像の表示レベルやコントラストを非常に容易に変えることができる点で本実習には最適なものである。また後退速度については既知の銀河を学術論文から引用・収集する。銀河のサンプル選出については次節で詳述する。

なお本教材のオリジナル版（東京大学木曾観測所 SPP 事業「星の教室」において運用）の作成および運用は、表 1 のようなコンピュータおよびネットワーク環境の下で行われた。ただしこれらはあくまで参考環境であり、これ以下の環境であっても教材作成と運用について、それほど支障をきたすことはないと考えられる。本質的にはインターネットブラウザ（例えば Internet Explorer, Netscape Navigator, Mozilla など）と前述した fits 形式画像ビューア DS9 が動作すれば十分である。もちろん、画像の表示レベル・コントラストを変更することが可能であれば、fits 形式以外の画像ファイルとアプリケーションでも本実習を実施することは可能である。

表 1 教材作成・運用のためのコンピュータ環境

CPU	Athlon 650Mhz	Duron 900Mhz	Athlon XP-M 1600+
OS	MS-Windows 98	Vine Linux 2.5	MS-Windows XP
インターネットブラウザ	Netscape 6	Mozilla 1.0	Sleipnir 1.42
fits ビューア		SAO Image DS9 2.3b1	
HD 容量		約 30MB	

表 2 通常銀河サンプル

銀河名	形態	赤経	赤緯	後退速度	データ数	算出距離
		(J2000.0)	(J2000.0)	(km s ⁻¹)			(Mpc)
NGC142	SBb	00 31 08.1	-22 37 07	8004	4	115 ± 6.20
IRASF04057-0857	....	04 08 07.8	-08 49 58	9923	4	83.5±11.6
NGC2512	SBb	08 03 07.8	+23 23 31	4647	9	74.9± 3.09
Mrk387	E	08 24 14.3	+17 19 55	11182	4	264 ±17.4
NGC2750	Sc	09 05 47.9	+25 26 15	2698	9	49.7± 1.86
MCG-03-28-008	SAB0	10 49 16.7	-19 38 13	3298	9	70.7± 8.77
MCG+01-29-038	SABc	11 22 27.4	+04 17 13	11422	9	151 ±12.9
NGC3978	SABbc	11 56 10.3	+60 31 21	9983	4	76.1± 1.74
NGC4334	SBab	12 23 23.9	+07 28 23	4197	9	45.4± 2.85
IC3704	Sbc	12 43 45.6	+10 46 12	8694	9	74.2± 2.14
NGC5001	....	13 09 33.2	+53 29 39	9084	9	91.8± 5.74
NGC5104	Sa	13 21 23.1	+00 20 33	5576	9	87.3± 6.51
MCG+08-27-042	Sab	14 58 36.0	+44 53 01	10703	9	103 ±13.1
NGC6552	SB?	18 00 07.3	+66 36 54	7855	4	121 ±10.3
NGC6621	SB?	18 12 55.3	+68 21 48	6296	4	53.8± 0.948
UGC11401	SB0/a	19 05 03.4	+55 42 55	4797	4	70.1± 2.40
NGC6845	SBb	20 00 58.3	-47 04 12	6356	4	60.7±18.0
IC4933	SBbc	20 03 29.0	-54 58 48	4857	4	53.2± 3.70
MCG-07-42-005	SB?	20 26 05.9	-40 55 55	9354	4	117 ± 3.22
NGC6948	SAa	20 43 29.1	-53 21 24	3238	4	51.7± 3.92
NGC6970	Sbc	20 52 09.4	-48 46 40	5276	4	68.0±15.3
NGC7083	SABc	21 35 44.7	-63 54 10	5156	4	26.9± 1.39
NGC7184	SBe	22 02 39.8	-20 48 46	2638	4	39.7±12.9
NGC7205	SAc	22 08 34.3	-57 26 33	1649	4	31.2± 1.31
E344-G16	Sb	22 14 42.0	-38 48 23	14390	9	136 ± 9.87
NGC7316	SBe	22 35 56.3	+20 19 20	6116	9	94.3± 1.99
NGC7448	SABc	23 00 03.6	+15 58 49	2099	9	45.5± 2.05
NGC7620	Scd	23 20 05.7	+24 13 16	9563	9	109 ± 7.30
NGC7738	SBb	23 44 02.0	+00 31 00	6775	4	68.9± 5.40
MCG+02-60-017	....	23 47 09.1	+15 35 46	7855	4	154 ±13.0

(2) 銀河サンプルの選出

前述したように、本教材には後退速度既知の銀河のサンプルが必要である。加えてハッブルの法則の比例関係のある程度再現するためには、後退速度が小さい銀河から大きい銀河までを適度にサンプルの中を含めなければならない。また銀河にはそれぞれ個性があるため、可能な限り同じ性質を持っている銀河を選ぶことも必要である。そこでまずわれわれは、多数の銀河を性質毎に分類しつつ、その個々の後退速度も併記してある資料として、Rush et al. (1993) による学術論文を選んだ。次にこれらの中から前述した条件（銀河の性質と後退速度）で約 200 個の銀河を抽出した。最

後に、この中から相互作用銀河（銀河同士の衝突や合体によって、その形態が多少なりとも乱された銀河）や矮小銀河（実サイズが 10 kpc 以下という小型の銀河）、クェーサー（quasar: 中心部分が異常なまでに明るい銀河、後述の DSS では中心部の明るさのために銀河本体が見えなくなっている）など、本実習の距離算出方法ではその推定値に大きな誤差を与えてしまう銀河を極力取り除いた。最終的に Rush et al. (1993) の論文からは 30 個の通常銀河、14 個のセイファート I 型銀河、23 個のセイファート II 型銀河を教材用サンプルとして選出した。

各銀河の名称、形態、天球上での位置（赤経・赤

表 3 セイファート I 型銀河サンプル

銀河名	形態	赤経	赤緯	後退速度	データ数	算出距離	
		(J2000.0)	(J2000.0)	(km s^{-1})		(Mpc)	
UGC00488	Sab	00 47 19.4	+14 42 13	11572	8	159	± 20.3
UGC00774	S?	01 13 51.0	+13 16 18	14720	8	187	± 25.7
ES0543-G011	N	01 40 15.6	-22 14 45	25812	2	331	± 9.03
Mrk1400	S0	02 20 13.7	+08 12 20	8784	8	150	± 7.34
NGC931	Sbc	02 28 14.5	+31 18 42	4917	7	26.5	± 0.719
Mrk1044	SB0	02 30 05.4	-08 59 53	4887	8	123	± 17.0
Mrk1187	S	02 48 22.0	+13 56 07	13461	8	182	± 14.2
IRAS02553-1642	....	02 57 40.8	-16 30 46	20386	3	208	± 51.4
VII Zw244	S	08 44 45.2	+76 53 09	39663	8	454	± 37.3
NGC3080	Sa	09 59 55.8	+13 02 38	10553	7	148	± 11.5
Mrk1347	S	13 22 55.4	+08 09 42	15086	8	192	± 9.59
Mrk885	Sb	16 29 48.2	+67 22 42	7495	8	129	± 6.87
Mrk896	SBb	20 46 20.9	-02 48 45	7855	8	110	± 11.1
IIZw136	Sa	21 32 27.8	+10 08 19	18880	3	205	± 13.9

表 4 セイファート II 型銀河サンプル

銀河名	形態	赤経	赤緯	後退速度	データ数	算出距離	
		(J2000.0)	(J2000.0)	(km s^{-1})		(Mpc)	
IRAS00198-7926	pec	00 21 53.6	-79 10 07	22245	5	201	± 9.28
FGC0061	Sab	00 34 43.5	-00 02 27	12591	3	177	± 4.37
MCG+00-02-094	SABab	00 37 35.8	+00 16 50	10463	7	138	± 17.4
IRASF00521-7054	E-S0	00 53 56.1	-70 38 04	20985	2	273	± 27.7
NGC591	SB0/a	01 33 31.2	+35 40 06	4527	7	109	± 3.48
Mrk1066	SB0	02 59 58.6	+36 49 14	3598	7	80.8	± 5.12
MCG-02-08-039	SABa	03 00 30.6	-11 24 57	8874	3	83.4	± 14.7
UGC02608	SBb	03 15 01.4	+42 02 09	6985	7	121	± 7.39
IRAS03362-1641	SBb	03 38 34.5	-16 32 16	11062	3	111	± 31.4
CGCG420-015	E/SA0	04 53 25.7	+04 03 42	8904	3	101	± 15.4
IRAS06317-6403	....	06 32 00.8	-64 06 10	14540	3	176	± 36.7
MCG-01-24-012	SABc	09 20 46.2	-08 03 22	5935	3	82.5	± 5.29
MCG-05-27-013	SBa	11 27 23.4	-29 15 27	7015	3	71.1	± 10.6
Mrk1457	compact	11 47 21.6	+52 26 58	14600	7	196	± 17.2
IRAS13144+4508	SAA	13 16 39.7	+44 52 35	27131	3	346	± 76.2
Mrk266SW	compact	13 38 17.5	+48 16 37	8274	7	105	± 24.0
Mrk463W	....	13 56 02.6	+18 22 18	15140	2	216	± 4.75
NGC5695	SBb	14 37 22.1	+36 34 04	4197	7	85.4	± 9.39
IRAS15304+3017	S0	15 32 29.7	+30 07 49	19487	3	246	± 38.0
IC5063	SA0	20 52 02.3	-57 04 08	3388	3	40.6	± 4.35
IRASF22017+0319	SA0	22 04 19.2	+03 33 50	19786	2	206	± 2.75
Mrk917	SBa	22 41 07.6	+32 10 11	7255	7	154	± 23.8
NGC7674	SAbc	23 27 56.7	+08 46 45	8664	7	114	± 2.56

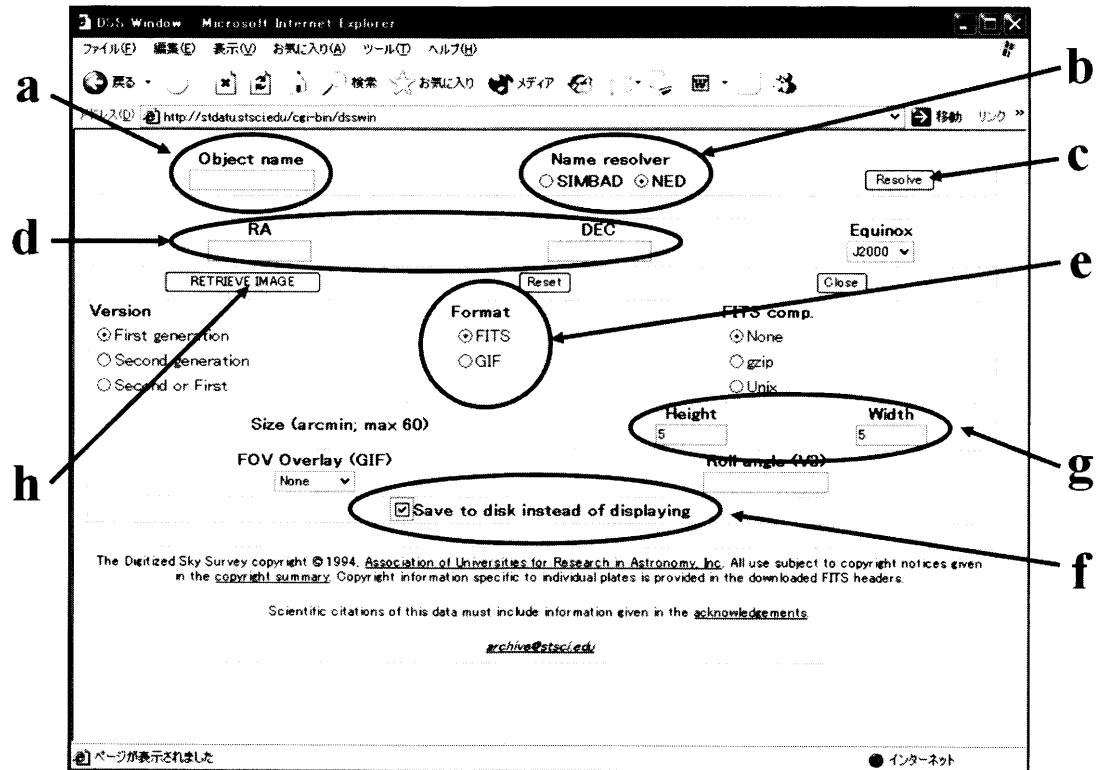


図1 DSS Windows ホームページ
(<http://stdatu.stsci.edu/cgi-bin/dsswin>)

緯)、後退速度、を表2~4に掲げる。これら表中の「算出距離」は実際に実習で高校生達が計算したその銀河までの距離を表しているが、これについては4.1節にて詳述する。

セイファート銀河とは非常に明るい中心核を持つ銀河の総称であり、このような銀河に最初に注目して研究を行った研究者セイファート(Seyfert, C. K.)の名前に由来している。セイファート銀河はそのスペクトルからI型とII型に大別される。セイファート銀河よりも明るい中心核を持つ天体が前述したクェーサーである。セイファート銀河やクェーサーについては塩谷・谷口(2002)や谷口(2004)が平易な解説を行っている。

なお本稿では、通常銀河とは以上のような明るい中心核を持つこともなく、また極端に大きなサイズまたは小さなサイズではない普通の銀河であることを意味する。

(3) 銀河の画像取得方法

次にサンプル銀河の画像取得方法を紹介するが、こ

れにはDigitized Sky Survey (DSS)の画像データを使用する。これは写真乾板によって行われた全天の掃天観測データ(北天領域はアメリカのパロマー天文台[Palomar Observatory]のシュミット望遠鏡、南天領域はオーストラリアのUK [=United Kingdom]シュミット望遠鏡によって実施された)をデジタルスキャンして作成された画像データである。インターネット上にはこのDSS画像を提供するホームページがいくつか存在し、なかでもNASA Goddard Space Flight Centerが提供するSky Viewホームページを用いたDSS画像の取得方法は神鳥ら(2001)が詳しく紹介しているので参照されたい。

今回の教材作成に関して、われわれは宇宙望遠鏡科学研究所(Space Telescope Science Institute = STScI)が運営するDSS画像提供サイトDSS Window (<http://stdatu.stsci.edu/cgi-bin/dsswin>)を利用した。このサイトからDSS画像を取得する方法は以下のとおりである。

まず上記URLへインターネット・エクスプロー

ラー (Internet Explorer) やネットスケープ・ナビゲーター (Netscape Navigator) などのインターネット・ブラウザでアクセスする。すると図1のような画面が表示されるので、まず画像を取得したい天体の名称を「Object name」(図1のa)に入力する。「Name resolver」(図1のb)は基本的には「SIMBAD」と「NED」のどちらでも構わないが、今回は銀河がターゲットなのでここでは「NED」(NASA Extragalactic Database)を撰択しておく、そして「Resolve」スイッチ(図1のc)を押してしばらく待てば、その天体の座標(赤経[RA]および赤緯[DEC])が表示される(図1のd)。次にfits形式の画像を取得するために「Format」では「FITS」(図1のe)を選択して、さらに「Save to disk instead of displaying」(図1のf)にチェックを入れる。続いて画像中の銀河の見かけ上のサイズをなるべく大きくするために、「Height」と「Width」(図1のg)に適当な数字(単位は分角)を入力して、取得する画像の視野を調整する。本教材で使用するサンプルではいずれの銀河に対してもHeight=5, Width=5が適当である。以上の入力を行った上で最後に「RETRIEVE」スイッチ(図1のh)を押すと、新たなウィンドウが開いて、この画像ファイルの名称をどのようにするか、を質問してくるので、適当なファイル名(筆者らは「ngc2750.fits」といった「天体名.fits」というファイル名を推奨する)を指定して、画像ファイルを保存する。これによって最初に名称を入力した天体のfits画像イメージを得ることができる。ただし通常のインターネットブラウザにはfits画像を閲覧するための機能が付いていないため、ここで「ファイルを開く」や「ファイルを閲覧する」を選択したり、「Save to disk instead of displaying」(図1のf)のチェックを忘れてしまうと、インターネットブラウザ上に意味のない文字の羅列が表示されることがあるので注意して欲しい。

以上の作業で取得された銀河のfits形式画像は、視野が5分角四方で統一されているため、この視野サイズと比較することで銀河の見かけ上のサイズ(視角)の算出が可能となる。即ち銀河の画像の視野が a 度角四方であり、この実測が b (cm)、さらに画像上での銀河のサイズが x (cm)だった場合、この銀河の視角 θ (度角)は、

$$\theta = (a/b)x \quad (5)$$

となる。

(4) 銀河の画像閲覧方法

前節で取得した銀河のfits形式画像を閲覧し、かつ銀河の淡い構造までも鮮明に確認するには、前述したDS9を使用することが適当である。これはハーバード・スミソニアン宇宙物理学研究所(Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics)で天文学研究者用に開発・無償配布されているfits画像用ビューアである。前述したホームページにアクセスすることでOSごとの実行ファイルを簡単にダウンロードして使用することができる。MS-Windows用のDS9の起動は実行ファイルをダブルクリックするだけである。起動すると図2のようなウィンドウが立ち上がる。DS9のコントロールはウィンドウ上部(図2のa)のメニュー、またはウィンドウ中央部に二段表示されているアイコン群(図2のbとc)を用いて行う。ただしメニュー(図2のa)とメインアイコン群(図2のb)の内容は同じものであり、メニュー(図2のa)をクリックしたときに表示されるサブメニューはサブアイコン群(図2のc)と同じものである。メインアイコン群(図2のb)をクリックすると、クリックされたアイコンに応じてサブアイコン群も変化するようにになっている。ここではウィンドウ中央部のアイコン群を用いた使用方法を解説する。

まず起動直後のDS9の画像表示部(図2のd,e,f)には何も表示されていない。画像を表示するには、メインアイコン「File」、サブアイコン「Open」と選んで新たに開かれたウィンドウから表示させたいfits形式画像ファイルを選ぶ。するとメイン表示部(図2のd)に選んだファイルの画像が表示される。上部の二つのサブ表示部には画像全体(図2のf)とマウスカーソルがある場所を中心とした拡大画像(図2のe)が表示される。

銀河のサイズを精度良く測定するためには、銀河の淡い部分までも明瞭に視覚化する必要がある。これは画像の輝度表示とコントラストを調整することで可能となる。輝度表示の調節はメインアイコン「Scale」を選び、さらにサブアイコン「linear」「log」「squared」「sqrt」「hist equ」のうちのいずれかと「minmax」「99.5%」「99%」「98%」「z scale」「z max」のいずれかとの組み合わせで実現できる。ただしDSS画像の元になった写真乾板は、それぞれで深さが異なっているため、その組み合わせは元になったfits画像に依存する。したがって画像ごとに随時試行錯誤して最も良い組み合わせを探さねばならない。その上でメイン

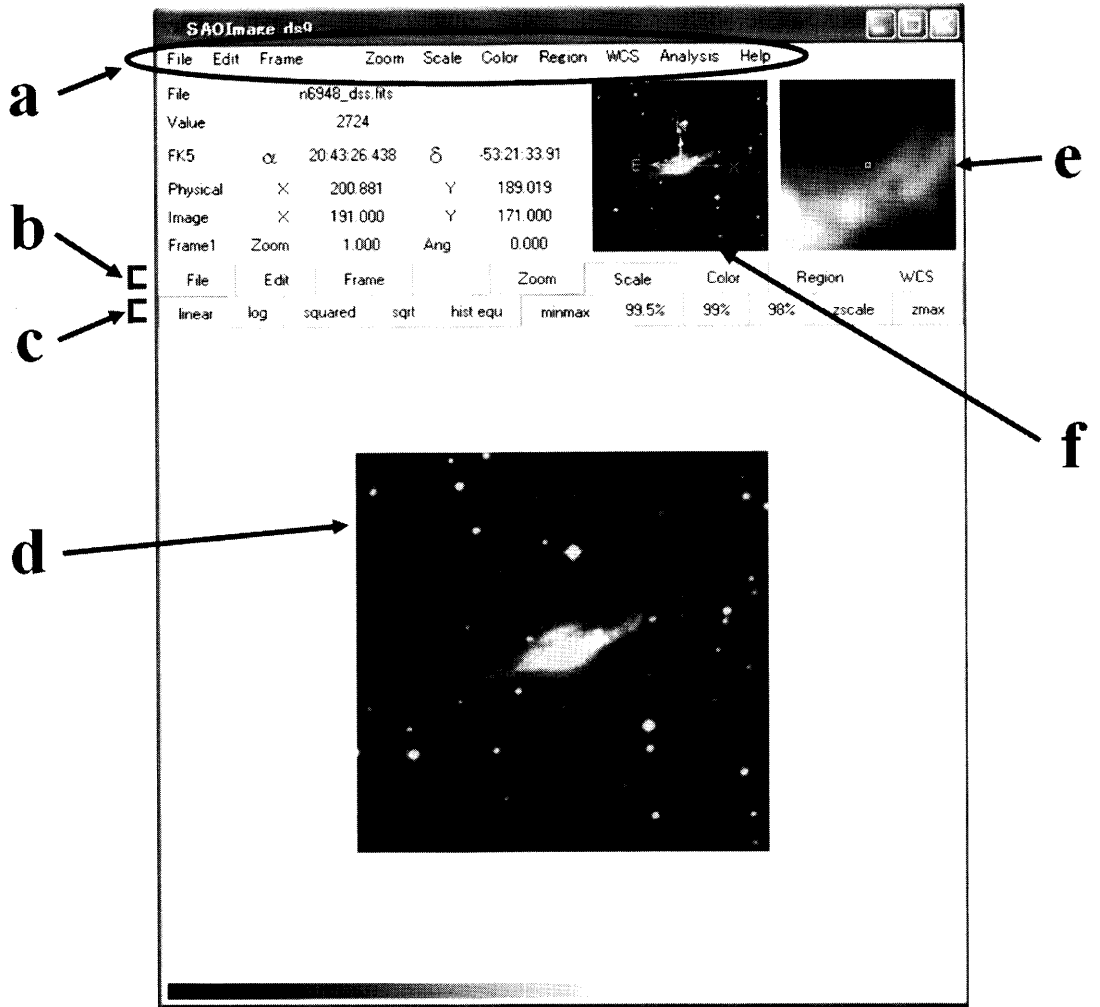


図2 DS9による fits 画像の閲覧

アイコン「color」をクリックし、右クリックを押したままマウスカーソルをメイン表示部（図2のd）内で移動させることによって、表示コントラストの微調整をリアルタイムで行うことができる。また銀河のサイズを決定する際には、本来ピーク値の1/2や1/eになる等輝度線のサイズを用いるほうが適切であると考えられるが、DSS画像の線形性の保証が一律ではないため、この方法を用いることは難しい。そこで本教材を用いた実習では、参加者自身が画像のコントラストを調整して、主観的に銀河のサイズを測定することとした。

(5) 実習用環境の作成

ここまでの作業によって、後退速度が既知の銀河の

画像データがそろったことになる。最後に銀河の名称、画像、後退速度などのデータを一元的に扱い、実習を効率的に行うための簡易なデータベースとワークシートを作成する。データベースは実習作業をコンピュータ上で効率的に行うため、HTML (Hyper Text Markup Language) で記述し、インターネットブラウザを用いて閲覧できるようにする。そして閲覧したい天体をクリックすることによって、その場で銀河のfits画像を閲覧し、かつ任意の表示コントラストに設定することができるようにする。

データベース用のHTMLソースは、一例を本文末に付録Aとして掲げておくので参照していただきたい。このHTMLファイルをネットワークブラウザで



図3 実習用データベース

開くと図3のようになる。ここで一番右端の「Image」をクリックすることで銀河画像を閲覧できるようにしたいが、前述したように通常ネットワークブラウザには fits 型式画像の表示機能が備わっていない。そこでネットワークブラウザ側で fits 型式画像をクリックされた場合には DS9 を使用して画像表示されるような設定を行う。例えば WindowsXP であれば fits 形式画像を DS9 に関連づけするだけで良い。これで「Image」を左クリックすることで、図4のように自動的に DS9 が起動して天体の画像を表示することができる。この DS9 上で適度にコントラスト調整するこ

とでより精度良く銀河のサイズを測定することができる。銀河サイズの測定はコンピューター・ディスプレイ上で行っても良いが、プリンタ設備が整っていれば、DS9 上でコントラスト調整した画像をプリントアウトし、それを定規を用いて測るようにしても良い(実際に SPP 「星の教室」ではこの方法で実習が行われている)。

図5には本実習で使用するワークシートを掲げた。実習を行う生徒はこれに銀河の名称、自分で測定した銀河の画像上でのサイズを記載し、さらに計算によって得られた銀河の視角サイズ、算出した銀河までの距

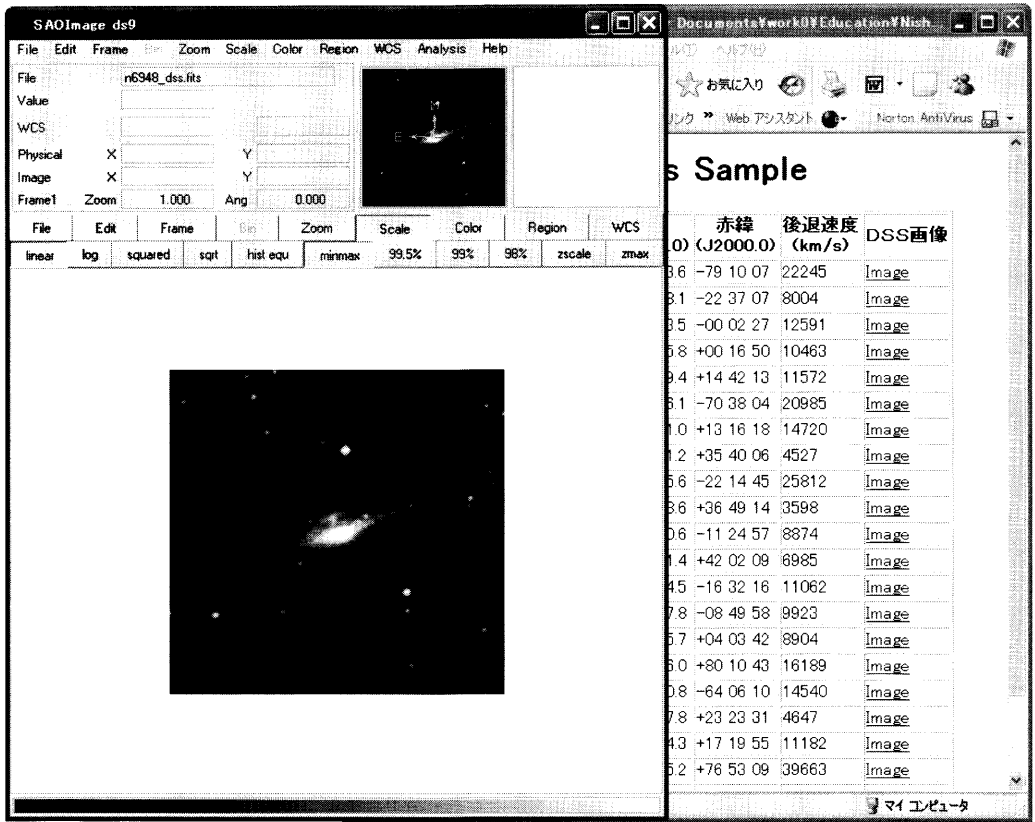


図4 実習中のコンピュータ画面の様子

離の項目を順番に埋めていく。またデータベースに記載された銀河の後退速度を記録し、それを Mpc/年の単位に変換した値を記入する。単位変換は宇宙年齢の導出を容易にするために行う。単位変換などに必要な数値は付録 B を参照していただきたい。なお単位変換という作業に、実習時間を割きたくない場合には、あらかじめ実習用データベースの後退速度を Mpc/億年などの単位で表記しておくが良い。状況に合わせて適宜工夫していただきたい。

4. 実習の手順

ここでは、第3章で準備・作成した教材を用いた実習の進行手順を解説する。

生徒たちはまず、自分たちに割り当てられた約十数個の銀河サンプルを、データベースから探し出し、既知である画像の視野と比較することで、銀河の視角を計算する。次に「すべての銀河の実サイズは天の川銀河と同じ（直径 30.0 kpc）である」と仮定して、各銀

銀河名	画面での サイズ(cm)	視角 (度)	銀河までの 距離(Mpc)	後退速度 (km/s)	後退速度 (Mpc/年)

図5 実習用ワークシートの例

河までの距離を算出する。そしてデータベースから得られる銀河の後退速度の単位 km s^{-1} を Mpc/年に換算する。続いて後退速度と自分たちが計算した銀河までの距離をプロットして、ハッブル図を作図する。最後にプロットしたデータ点を原点を通る直線で近似さ

表5 『星の教室』への参加者数

年度	高1	高2	高3	男:女	教員
2002	58	75	4	80:57	9
2003	91	82	18	93:98	18
2004	119	98	16	124:109	10
2005	122	114	0	138:98	15
2006	126	114	3	138:105	17
計	516	483	41	573:467	69

(2006年度11月まで)

せ、その直線の傾きからハッブル定数の値、つまり宇宙年齢を算出する。ハッブル図の直線フィッティングには、本来最小2乗法などを用いるべきであるが、これは高校生の理解の範囲を超えるため、実際の実習では原点を通りかつ分布の真ん中を通るような直線を目分量で求めさせる程度でよい。

5. 実習の結果

東京大学木曾観測所の「星の教室」には、2002年11月の初回から2006年11月までの間に、延べ44の高等学校（このうち延べ3校はSSH指定校）から1,000名を超える高校生と69名の引率教員が参加した。本事業は2006年11月以降も継続して実施されている。参加校はいずれも長野県下の高等学校であり、参加する生徒の選出については、学校側に一任しているため、必ずしも宇宙や天文学に興味を持っている生徒が参加するとは限らない。また学年も1年生から3年生までさまざまである。さらには文系クラスの生徒と理系クラスの生徒が混在しているケースも多い。参考までに表5に「星の教室」の年度別学年別参加者数を示した。この表に示した高校生全員が本教材による実習を体験している。

実際の「星の教室」では、本教材による実習の前に、木曾観測所主力の105 cm シュミット望遠鏡の見学、銀河と膨張宇宙に関する基礎知識の講義、デジタルカメラを用いた物体の見かけサイズ（視角）から距離を導く原理の実験、を行う。これに続いて本教材を用いた実習が行われる。実習では5~8名を1グループにして、測定や計算を共同作業を行わせる。なお計算量が多いため、1グループ当たり2~3台の電卓を用意した。時間配分は、概ね銀河の視角を算出するところまでで1コマ（約60分）、後退速度の単位変換までで1コマ、ハッブル図の作図と宇宙年齢の算出までで1コマ、を目安としている。実習は夕食後にも及ぶが、

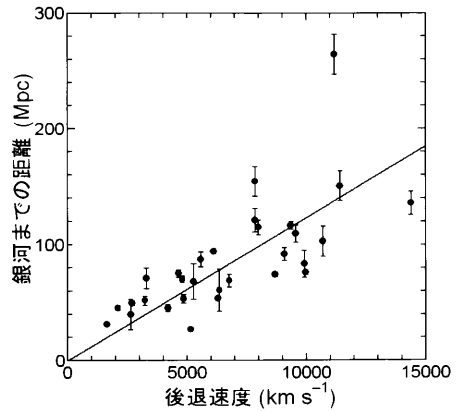


図6 通常銀河のハッブル図

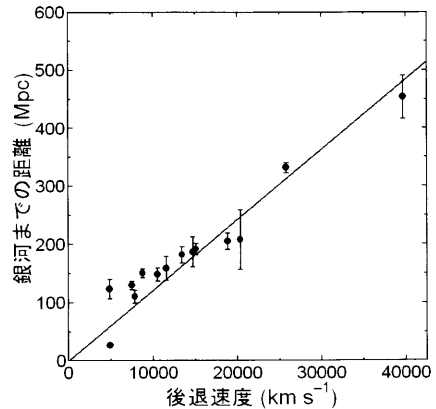


図7 セイファートI型銀河のハッブル図

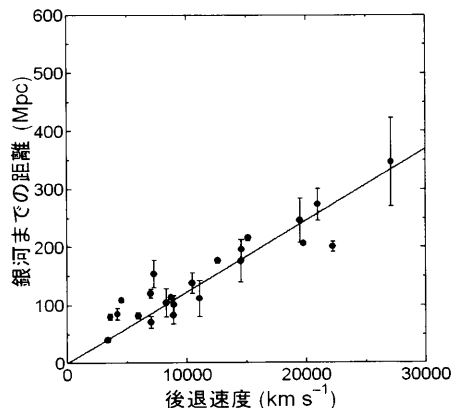


図8 セイファートII型銀河のハッブル図

晴天時には小望遠鏡を用いた観望会も実施される。実習の最後には各グループ10分程度の結果報告も行う。

表6 本教材実習によって得られた宇宙年齢

サンプル銀河	サンプル数 (個)	ハッブル定数 ($\text{km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$)	宇宙年齢 (億年)	相関係数
通常銀河	30	81.1	120	0.698
セイファート I 型銀河	14	82.5	118	0.950
セイファート II 型銀河	23	81.1	120	0.908

図6~8は、サンプルごとのハッブル図である。これらは2002および2003年度の「星の教室」に参加した高校生たちが実際に計算したデータを集計し、筆者が描画したものである。高校生たちが計算した銀河までの距離は「算出距離」として表2~4に掲げてある。なお誤差は σ/\sqrt{n} (σ は標準偏差、 n はデータ数)を表している。各図中の直線は筆者が最小2乗法でデータ点をフィットしたものである。表6にはサンプルごとに得られたハッブル定数・宇宙年齢・相関係数をまとめた。ただし、実際の実習では、高校生達は15個程度の銀河しか用いないことや、最小2乗法ではなく目測によって直線フィットを行っていることなどから、導き出されるハッブル定数には50~200 $\text{km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$ と大きな幅が出る。これは宇宙年齢では100~200億年に相当する。このハッブル定数や宇宙年齢の値の幅は、今までの多くの研究結果で示されている範囲内に(例えば Kennicutt et al., 1995; Sandage et al., 1995; 岡村, 1999), ほぼ収まるものになっている。

「星の教室」終了直後には、参加者に対してアンケートを実施している。前述したように「星の教室」では、本教材を用いた実習が主ではあるが、これ以外にも研究用望遠鏡の見学や観望会が行われているため、本教材による効果のみを純粹に抽出することは難しい。それでも、2002年度のみアンケート結果ではあるが、「(星の教室が)面白かったか」という問いに対しては約7割が「面白かった(5段階中の5)」と回答している。また「習った内容をもっと知りたいか」という問いに対しても「ある(5段階中の5)」と回答した高校生が約50%にも及んでおり、「どちらかといえばある(5段階中の4)」まで含めれば9割にも達する。さらに自由記入欄からは、本教材による実習を通して「単に天文学の一知識を得たにとどまらず、自分で考えることの重要性に気づいた」とことを示唆する記述も複数見られた。これらアンケート結果は、本教材による実習が、自然科学教育に対して一定の効果があることを示している。なお東京大学木曾観測所「星の教室」の

運営・実施・初期成果についての詳細は、宮田(2004)を参照していただきたい。

6. おわりに

高校生を対象に、2~3時間程度で行うことができる天文学実習用教材を作成した。東京大学木曾観測所の「星の教室」では、本教材を用いた実習を実際に高校生に対して実施しているが、本教材を用いた実習では以下のような効果が得られると期待される。

1) 宇宙年齢という最新の天文学のテーマを、「すべての銀河のサイズは天の川銀河のサイズと等しい」という簡単な仮定と、四則演算という容易な計算のみで算出できる、という事実そのものが科学への興味を喚起する。

2) ハッブルの法則から膨張宇宙論が考え出された過程を、初歩的な高校物理(等速度運動)を用いて追体験し、これによって別の側面から高校物理の理解を深めることができる。

3) 本教材で導かれる宇宙年齢の精度は、銀河のサイズの測定精度に依存する。そのため、高等学校の数学または理科で学習する精度や有効数字といった概念の重要性を、高等学校の通常の授業には存在しないケースで再確認することができる。

4) 「ハッブルの法則」と言いながらも、実際に生徒が作成するハッブル図は、必ずしも高い相関関係を示さず、ときには非常に分散の大きなものになる。当然のことながら、最初は自分たちの測定を疑うが、やがて導入した「すべての銀河のサイズは天の川銀河のサイズと等しい」という仮定の問題性に気づき、銀河の多様性の可能性(実際にさまざまな多様性がある)を考えるようになる。

本教材作成および本稿執筆に際して、データ収集とさまざまなご意見をいただいた東京大学大学院理学系研究科天文学教育研究センター木曾観測所の青木 勉 助手、征矢野隆夫助手、樽沢賢一技官、田中由美子氏、同センターの峰崎岳夫助手に感謝いたします。また「星の教室」実施に協力していただいた同センターの

教員や大学院生の皆様にも深く感謝いたします。そして本稿執筆のきっかけとなりました2002・2003年度SPP事業「星の教室」に参加された長野県県ヶ丘高校、飯田高校、飯山北高校、伊那北高校、上田高校、大町高校、木曽高校、諏訪二葉高校、長野高校、野沢北高校、松本深志高校、屋代高校の教員および生徒の方々にも深く感謝するとともに、この場を借りて御礼申し上げます。

また本論分の執筆・出版に関しては、文部科学省および学術振興会による科学研究費補助金(17500577, 18300262)から援助を受けました。ここに感謝申し上げます。

引用文献

- Freedman, W. L., Madore, B. F., Gibson, B. K., Ferrarese, L., Kelson, D. D., Sakai, S., Mould, J. R., Kennicutt, R. C., Ford, H. C., Graham, J. A., Huchra, J. P., Hughes, S. M. G., Illingworth, G. D., Macri, L. M. and Stetson, P. B. (2000): Final Results from the *Hubble Space Telescope* Key Project to Measure the Hubble Constant. *Astrophys. J.*, **553**, 47–52.
- Friedman, A. (1922): Über die Krümmung des Raumes. *Zs. f. Physik.*, **10**, 377–386.
- Friedman, A. (1924): Über die Möglichkeit einer Welt mit Konstanter negativer Krümmung des Raumes. *Zs. f. Physik.*, **21**, 326–332.
- 二間瀬敏史(1998): なっとくする宇宙論, 講談社, 東京, 222 p.
- Hubble, E. (1929): *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **15**, 168–173.
- 池内 了(1997): 観測的宇宙論, 東京大学出版会, 東京, 194 p.
- 寿岳 潤(2003, 責任編集): 宇宙論はいま, 丸善株式会社, 東京, 186 p.
- 神鳥 亮・土橋一仁・上原 隼・佐藤文男(2001): インターネットを活用した天文教材の開発—The Digitized Sky Survey と暗黒星雲—. *地学教育*, **54**, 61–73.
- Kennicutt, R., Jr., Freedman, W. L., and Mould, J. R. (1995): Measuring the Hubble constant with the Hubble Space Telescope. *Astron. J.*, **110**, 1476–1491.
- Lemaître, G. (1927): Un Universe homogène de masse constante et de rayon croissant, rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extragalactiques. *Ann. Soc. Sci. Bruxelles*, **47A**, 49–59.
- 宮田隆志(2004): 高校生の理科好きゴコロを呼び覚ませ! —東大木曾観測所「星の教室」の取り組み—, *天文月報*, **97**, 82–87.
- 文部科学省国立天文台編(2003): 理科年表(平成16年版), 丸善株式会社, 東京.
- 岡村定矩(1999): 銀河系と銀河宇宙, 東京大学出版会, 東京, 216 p.
- 力武常次ほか(2004a): 高等学校地学 I 地球と宇宙, 数研出版株式会社, 234–235.
- 力武常次ほか(2004b): 高等学校地学 II 地球と宇宙の探求, 数研出版株式会社, 203–206.
- Robertson (1928): *Phil. Mag.*, **5**, 835.
- Rush, B., Malkan, A. and Spinoglio, L. (1993): The Extended 12 micron Galaxy Sample. *Astrophys. J. Suppl.*, **89**, 1–33.
- Sandage, A. R., Kron, R. G. and Longair, M. S. (1995): *The Deep Universe*, Springer-Verlag, Berlin.
- 佐藤勝彦(1999): 最新宇宙論と天文学を楽しむ本, PHP 研究所, 東京, 250 p.
- 塩谷泰広・谷口義明(2002): 銀河もウルトラをめざす, ポピュラー・サイエンス, 裳華房, 東京, 144 p.
- Spiegel, D. N., Verde, L., Peiris, H. V., Komatsu, E., Nolta, M. R., Bennett, C. L., Halpern, M., Hinshaw, G., Jarosik, N., Kogut, A., Limon, M., Meyer, S. S., Page, L., Tucker, G. S., Weiland, J. L., Wollack, E., and Wright, E. L. (2003): First-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Determination of Cosmological Parameters. *Astrophys. J. Suppl.*, **148**, 175–194.
- Tammann, G. A. and Sandage, A. (1995): The Hubble diagram for supernovae of type Ia. II. The effect on the Hubble constant of a correlation between absolute magnitude and light decay rate. *Astrophys. J.*, **452**, 16–24.
- 谷口義明(2004): クェーサーの謎, ブルーバックス, B1458, 講談社, 東京, 245 p.
- 内海和彦(2004): 高等学校地学 I, 株式会社第一学習社.

付録 A. HTML による簡易データベース

データベースのフォルダ構造としては、まず「index.html」という名称で後述するようなテキストファイルを作成する。そして index.html と同じフォルダに「_fits」という名称のフォルダを作成して、その中に銀河の fits 画像を格納する。index.html の中は表 2~4 を元にして以下のように記述する。

```

<HTML>
<BODY>
<CENTER>
Galaxies Sample
<TABLE BORDER>
<TR><TH> 銀河名 </TH>
<TH> 形態 </TH>
<TH> 赤経 <BR> (J2000.0) </TH>
<TH> 赤緯 <BR> (J2000.0) </TH>
<TH> 後退速度 <BR> (km/s) </TH>
<TH> タイプ </TH>

```

```

<TH> DSS 画像 </TH>
</TR>
<TR>
<TD> NGC142 </TD>
<TD> SBb </TD>
<TD> 00 31 08.1 </TD>
<TD> -22 37 07 </TD>
<TD> 8004 </TD>
<TD> 通常 </TD>
<TD> <A HREF="_fits/n142.fits"> Image </A>
</TD>
</TR>
<TR>
<TD> IRASF04057-0857 </TD>
<TD>... </TD>
<TD> 04 08 07. 8 </TD>
<TD> -08 49 58 </TD>
<TD> 9923 </TD>
<TD> 通常 </TD>
<TD> <A HREF="_fits/n142.fits"> Image </A>
</TD>
</TR>

```

```

</TABLE>
</CENTER>
</BODY>
</HTML>

```

ここでは2天体分のデータしか記述していないが、実際には必要となる銀河のデータすべてを上記にならって記述することになる。なお fits 拡張子名で表されているのが DSS の fits 画像名である。

付録 B. 単位換算に用いる数値

天文学では扱う対象の規模が非常に大きいため、独特な単位を使用することがしばしばある。参考までに表7に理科年表（平成18年版）から必要な数値を転記しておくので参考にしていきたい。

表7 単位変換に必要な数値データ

物理量	単位変換
角度	1度角 = 60分角 = 3600秒角
距離	1 Mpc = 10^3 kpc = 10^6 pc 1 pc = 3.26光年 = 3.08×10^{13} km
時間	1年 = 3.16×10^7 秒

西浦慎悟・中田好一・三戸洋之・宮田隆志：高校生のための天文学実習用教材「宇宙年齢を測る」の作成
地学教育 60 巻 2 号, 53-66, 2007

〔キーワード〕 宇宙年齢, ハッブル定数, ハッブルの法則, 天文教育, 天文教材, インターネット, 高等学校

〔要旨〕 本稿では高校生を対象とした地学（天文学分野）実習用教材「宇宙年齢を測る」の作成方法を紹介する。本教材は「すべての銀河の実サイズが天の川銀河のそれに等しい(=30.0 kpc)」という簡単な仮定と作業のみで宇宙年齢を導出することをテーマにしている。これを用いた実習を通して高校生は、物体の運動に関する基本的な概念を理解することができる。また本教材には、インターネットに接続されたコンピュータと基本的な操作だけで容易に作成することができる、という大きな特徴がある。特に簡単な仮定と計算作業のみで宇宙年齢が導出できるという事実は、多くの高校生に大きなインパクトを与えることができるであろう。

なお本教材は、東京大学木曽観測所における体験教室において、すでに1000名を超える高校生たちに対して使用されている。

Shingo NISHIURA, Yoshikazu NAKADA, Hiroyuki MITO and Takashi MIYATA: Teaching Material for High School Students to Calculate an Age of the Universe. *Educat. Earth Sci.*, 60(2), 53-66, 2007

資料

天頂の太陽・月と地平線の太陽・月の大きさの比較

Comparison a Size of the Sun or the Moon at a Zenith and
a Size of the Sun or the Moon on a Horizon

長谷川 敏*

Satoshi HASEGAWA

1. はじめに

地学の中で、天文分野の学習方法が他の分野のそれと大きく異なるところの一つは、天体の観察を夜間に行わなければならない点であり、このことが天文分野の観察の実施を鈍らせている原因であろう。しかし天体観察の中でも、太陽については昼間に行うものであり、また月については夜間の場合であっても、これは子供でも容易に見つけられるものである。

そこで筆者は、私学の中学・高校に11年前まで在職していた時、太陽や月を対象としたいくつかの研究課題を設け、高校の授業やクラブ活動などで生徒たちに実施させてみた。本文は、この研究課題の一つである「天頂の太陽・月と地平線の太陽・月の大きさを比べる」を取り上げたものである。

資料として用いるための太陽や月の写真は、筆者が在職中に生徒たちと写したものである。古くはなつたが、今でも学習の資料として支障なく用いられるものと思う。なお、当然これらの写真はデジカメによるのではなく、フィルムを使用したものであり、パソコンで手を加えるという脚色的な処理は一切行っていないことを明記しておきたい。また、本文中に記した太陽や月の写真についての測定値は、原本の写真についてのサイズなので、本誌に掲載されている写真のサイズとは合わないことも記しておく。

なお、太陽を観察する場合には、生徒たちに次のような注意をしておいた。それは太陽の強力な光と熱を必ず減少して観察するというので、それには望遠鏡で直視の場合は、その口径を4cmぐらいに絞り、さらに専用のサングラスやサンダイアゴナルを付けるということである。また望遠鏡にカメラを取り付ける場合も同じような対策をすることである。これらの処置

を怠ると失明の恐れがある。

2. 地平線近くの太陽や月の大きさ

地平線の近くにある太陽や月が、中天にあるときよりも2倍も3倍も大きく見えることは多くの方々が経験していることであろう。この大きく見える理由については、目の錯覚のためなどと昔から諸説が唱えられているが、まだ定説はないようである。本文は、この地平の太陽や月が大きく見える理由について述べたものではなく、『①太陽や月が天頂近くにある場合と地平線近くにある場合との大きさの比は本当はどのくらいなのか。②これを調査する時期(季節)は、太陽や月の南中高度が高くなるほど好条件であるが、その最適の時期はそれぞれいつ頃か』を考察したものである。このうちの①は、地学の分野というよりも心理学の分野のものであるともいえよう。しかし対象が天体であるし生徒の興味もひいたので、地学的に整約し、これに筆者の考察としての②を加えてまとめた。この①の方法については、例えば月の場合は、50円硬貨を手を持ってその手を延ばし、50円硬貨の穴を通して月を見ると月はこの穴の中に入るので、この入り具合を両方の月で比べる方法が考えられる。しかし、この方法は面白くて簡便ではあるが、大きさの定量的な比較はできない。そこで、高い高度にあるときの太陽や月と、地平線近くにあるときの太陽や月を、できる限り同一条件で写真に撮り、写った両方の太陽や月の大きさを測って比べる方法を用いた。

この際に注意しなくてはならないことは、高度の低い天体ほど大気の影響を大きく受けて浮き上がって見える大気差という現象の影響である。この浮き上がる量(角度)は理科年表によると、高度0度の場合が最高で、10°Cでは平均34.4分角になる。このため、地

* 元 東横学園中学・高等学校(東京都) 2006年11月9日受付 2006年12月1日受理

平線近くにある太陽や月は下縁のほうが上縁よりもこの影響を大きく受けるので、上下方向に少し縮まった楕円状に見える。

この大気差による影響は高度のほかにも気温、気圧、緯度にも関係して複雑なようなので、本文ではこの影響を受けない方向について考えてみることにした。そのために太陽面や月面の直径の測定には、地平線に近いときにはこれに平行な横の方向に測った。この測定した方向は日周運動の動きにつれて傾斜している、南中時にはおおよそ上下の方向になる。

3. 高度の異なる太陽の大きさ

図1の二つの写真は共に1986年3月8日の太陽で、左は南中の1時間14分後に、右は日没の29分前に写したものである。撮影する日は太陽の南中高度が最高となる夏至のころが理想的だが、その頃はいいにくくと梅雨期で、日没前の太陽はとうとうまく撮れなかった。結局、同一日の二つの太陽が写せた数組の撮影日は、いずれも夏至から離れて南中高度が中高度の時期のものとなってしまった。

この左右二つの写真は、大きさを比べるのに適するように、撮影が同一日のほか、望遠鏡、カメラ、フィルター等々はもちろん同じ物にし、さらにフィルムについては同一のコマに両者を多重露光して写した。

地平線近くの太陽の高度を限度まで低くしなかったのは、大気層や陽炎などの影響を強く受けて太陽の輪郭に乱れが生ずるのを避けるためである。しかし、それでもかなり低いため大気差の影響を大きく受け、太陽面は上下方向につぶれた楕円形になっている。

かくして、この写真を測って得られたデータは表1のとおりである。なお『高度』は概略の値を測定しておけばよいだろう。表1の『測定の直径』の値を比べてみると目視の場合とは異なって、水平方向に測った二つの太陽の大きさには、ほとんど差はなかった（厳密に言えば、目視の場合とは逆に地平に近い太陽のほうがわずかに、ほぼ0.7%ほど小さくなっていて、この傾向は別の日の太陽写真についても同様になったが、理由は低い太陽への大気の影響であろうか?）。「それにしても、地平の太陽は大気差のために上下方向には図1のように短くなっているのに、夕陽はなぜあんなに大きく見えるのか?」と改めて考えさせられた。

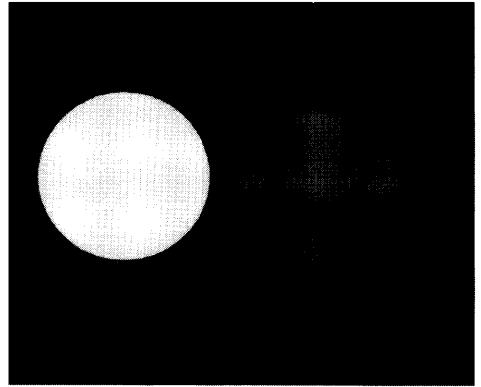


図1 高い高度の太陽（左）と地平に近い太陽（右）

表1 太陽の観測・測定資料

項目	高い高度の太陽	地平に近い太陽
撮影日	1986年3月8日	左の欄に同じ
撮影時刻	13時06分	17時13分
南中、日没時刻	11時52分(南中)	17時42分(日没)
高度	約40°	約4°
測定	直径	53.7mm(平均)
	直径の比	100.0
観測地(緯度)	東京都世田谷区(+35°36.6')	太陽の赤緯
		-4°58'

4. 高度の異なる満月の大きさ

月についても太陽の場合と同様に、地平線に近い満月と高い高度の満月を写真に撮って大きさを比べてみた。この場合も、もちろん、両方の月に使用する望遠鏡、カメラ、倍率などを同じにし、さらにフィルムと同じコマに両方の月を多重撮影した。

ところで当然ながら、高い高度のほうは可能な限り天頂に近いこと、また月の位相は満月の頃が適当と考えられる。それには観測の時期は冬が理想的である。その理由は、満月の南中時の高度は太陽の場合とは逆に冬至の頃が高くなるし、さらに地平線辺りの晴天率がよいからである。

図2は共に1985年12月28日夜の満月頃の写真で、左は月の出の1時間6分後、右は南中の5分前に写したものである。この写真は南中時の方向に合わせて上が北になっているが、天体は日周弧を描いて傾いていくので、月の出のときの水平方向はこの写真では概略で上下の方向になっている（詳しくは、この写真を左へ約54° $\langle = 90^\circ - \phi, \phi$ は緯度 \rangle 回した場合の水平

方向となる)。したがってこの写真での直径の測定方向は、月の出の頃のも南中時の頃のもほぼ上下(南北)の方向に、同じ模様に合わせて行った。

これらの測定値などを表2に示した。『高度』は撮影時に概略の値を測定しておく程度でよく、球面三角法による計算で求めるまでもない。この『測定の直径の比』を見ると、意外にも肉眼で見たのとは逆で、地

平に近い月のほうが高い高度の月よりも、おおよそ1.7%小さくなっている。この理由は何であろうか？

5. 天頂近くの月が大きい理由

この理由は距離の違いによると考えられる。それには観測時の、高度の違いに関するものと、時間の違いに関するものが挙げられる。

(1) 高度差による距離への影響

まず、天頂近くの月のほうが地平近くの月よりも観測者に近いという理由が考えられる(伊東, 1984)。

図3はこれを模式的に示したもので、月が正確に、天頂の方向に見える点をA、地平の方向に見える点をB、地球の中心をE、月の中心をM、また地球と月間の距離を平均距離(38.44万km)とした。したがって

$$EA=6,400 \text{ km}, BM \approx EM=384,400 \text{ km}$$

$$AM:BM \approx AM:EM=378,000:384,400$$

$$\approx 59.0:60.0 \approx 100.0:101.7 \approx 98.3:100.0$$

となる。すなわち観測者から月までの距離の比は、観測者がBにいる場合の60.0に対して、観測者がAにいる場合は59.0となっており、天頂方向の方が地球の半径分の1.0(1.7%)だけ短いのである。

以上は月までの距離が平均の場合であったが、この距離が最遠や最近の場合はどうであろうか。まず最遠の距離40.6万km(地球半径の63.4倍)の場合は

$$AM:EM=62.4:63.4 \approx 59.1:60.0$$

また最近の距離36.3万km(地球半径の56.7倍)でも

$$AM:EM=55.7:56.7 \approx 58.9:60.0$$

となるので、どちらの場合も天頂の月と地平線の月の距離の比は約59:60で、平均距離の場合とはほぼ同じである。したがって月の大きさの比は、距離の比の逆数をとって、天頂の月:地平線の月=60:59となる。

以上は満月が天頂および地平線の方向にきた理想的な場合であるが、実際にはこのようにはいかない。そこで実際的な場合の二つの月までの距離の比について

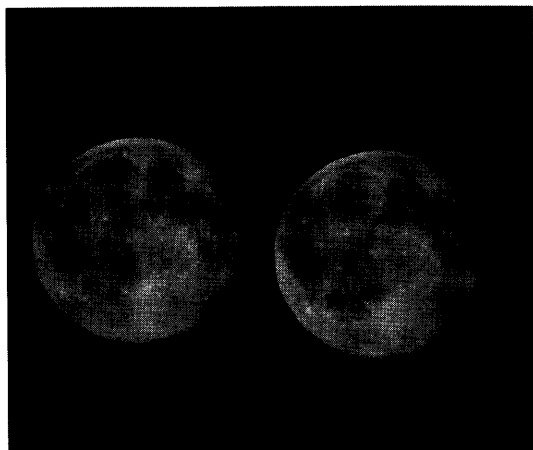


図2 地平に近い満月(左)と高い高度の満月(右)

表2 満月の観測・測定資料

項目	高い高度の満月	地平に近い満月
撮影日	1985年12月28日	左の欄に同じ
撮影時刻(月齢)	24時45分(16.7)	18時18分(16.4)
月出, 南中時刻	24時50分(南中)	17時12分(月の出)
高度(h)	約79°	約12°
計	60-sinh	59.02
	距離の比	98.7
	直径の比	100.0
測定	直径	59.3mm(平均)
	直径の比	100.0
観測地(緯度)	神奈川県相模原市(+35°30.7') 月の赤緯(21度)+26.6'	

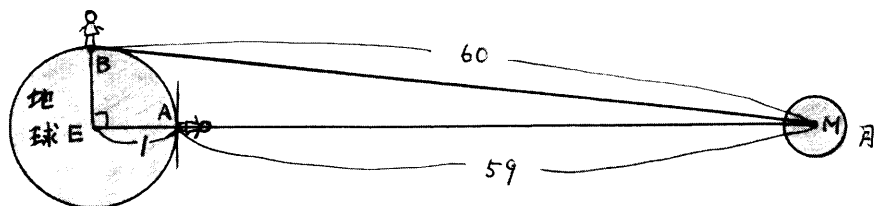


図3 月が天頂と地平線の方向に見える2地点から月までの距離の比(地球の半径=1)

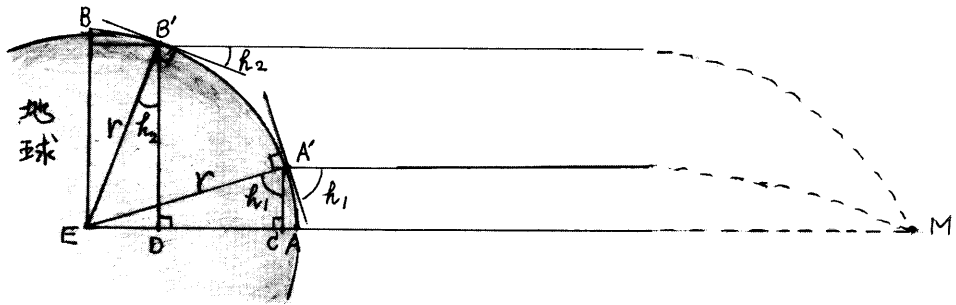


図4 高度の異なる2地点から月までの距離

考えてみよう。図4で、A'を月が高いときの観測点、 h_1 をそのときの月の高度、B'を月が低いときの観測点、 h_2 をそのときの月の高度、 r を地球の半径とすると月までの距離の比A'M:B'Mは次のようにして求まる。

$$EC = r \sin h_1, CA = r - EC = r(1 - \sin h_1)$$

$$ED = r \sin h_2, DA = r - ED = r(1 - \sin h_2)$$

$$A'M \cong CM = CA + AM = r(1 - \sin h_1) + 59r \\ = r(60 - \sin h_1)$$

$$B'M \cong DM = DA + AM = r(1 - \sin h_2) + 59r \\ = r(60 - \sin h_2)$$

$$A'M : B'M \cong CM : DM = 60 - \sin h_1 : 60 - \sin h_2$$

この式の h_1 と h_2 に表2の月の『高度』の値をそれぞれ代入すると次のようになる。

$$A'M : B'M \cong 59.018 : 59.792 \cong 98.7 : 100.0$$

これが『距離の比』で、この逆数の『直径の比』とともに表2に示した。この直径の比が計算では100.0:98.7なのに、測定では100.0:98.3と少し異なったが、これは大気の影響や測定誤差によるものと考えられる。結局この場合の測定では、目視とは逆に地平に近い月のほうが1.7%小さいと出た。

(2) 時間差による距離への影響

高度の高いほうの月が大きくなる理由には、上記の他に観測時刻の違いによって生ずる月までの距離の違いも考えられる。すなわち、月と地球間の距離は時間に対する変化が大きいので、月が地平線の方に来たときから最高の高度(南中高度)の方向にくるまでの時間や、またはその逆の場合の時間である平均6.2時間(≒24時間52分/4、注:24時間52分は、月の南中から南中までの平均時間)の間に、月と地球間の距離はどのくらい変化するのかも調べてみる必要がある。この間における距離の変化が大きいと、地平方向

での月の直径と南中方向での月の直径の比に対して影響が及ぼされると考えるからである。

これをケプラーの「惑星の運動に関する第1と第2法則」から考えると、まず月が軌道上の遠地点を通るときに、次に近地点を通るときに、時間に対する月と地球間の距離の変化が最も少ないことがわかる。この距離の変化が最も大きくなる時期は、月が近地点を通過する5,6日前と後であって、この頃には月は24時間に約6,400 km、すなわち地球の半径分だけ変化している。したがって6.2時間ではその約4分の1の約1,600 kmの変化とみなせよう。この頃には地球と月の間の距離は約38.4万 kmなので、月までの距離に対するこの変化の割合は $1,600/384,000 = 1/240 = (1/60) \times (1/4)$ である。ところで前述のように、天頂方向の月の大きさと地平方向の月の大きさの比は60:59なので、この差1の比は1/60であった。これに対して距離の変化のほうは、最大の場合でも6.2時間でこの1/60のさらに1/4となるわけである。つまり月までの距離が変化することによって生ずる月の直径の違いは、最大の場合でも天頂方向と地平方向によって生ずる月の直径の違いの1/4程度である。まあ、月の大きさの変化が最大でもこの程度なら、月への距離の変化による直径への影響は観測誤差の範囲内と考えても差し支えないであろう。なお本文の場合、月は観測日の5日前の12月23日に遠地点を通り、11日後の翌年1月8日に近地点を通った。

6. 最適な観測の時期は?

以上述べた太陽や満月の観測は何日に行ってもよいが、もし可能なら最適な条件となる時期に行くと良い結果が得られるであろう。それは太陽や満月の南中高度が最も高くなる時期(天頂にくる日が理想的だが、

日本本土ではなし)である。では、太陽や満月がこのようになるのは、それぞれ何月、または何年の何月ごろであろうか。

(1) 太陽の場合

太陽が天球上を1年周期で通る黄道は、天の赤道と $23^{\circ}26'$ ほど斜交しており、最も北に寄る点が夏至点(赤経6時0分、赤緯 $+23^{\circ}26'$)である。したがって北半球の中高緯度の地域では、太陽が夏至点にくる夏至の日(6月21日頃)に太陽の南中高度が最も高くなるので、日本列島では、毎年この頃が太陽の観察に最適となる。

天体の南中高度 h は観測地の緯度を ϕ 、天体の赤緯を δ とすると $h=90^{\circ}+\delta-\phi$ で与えられるので夏至の日の太陽の南中高度は、那覇市($\phi=+26^{\circ}13'$)では $87^{\circ}13'$ 、東京($\phi=+35^{\circ}39'$)では $77^{\circ}47'$ 、札幌市($\phi=+43^{\circ}04'$)では $70^{\circ}22'$ となる。しかしこの頃は、本州ではあいにくと梅雨期なので、実際には夏至の日に近い晴れた日に、日の出か日の入り時と南中時の太陽の観察を行うことになる。

(2) 満月の場合

満月の場合は複雑である。それは月は約30日ごとに満月になることと、月の通る道(白道)が黄道と平均して $5^{\circ}9'$ ($4^{\circ}59'\sim 5^{\circ}18'$)傾いていることに起因する。

まず簡単のため、この白道の傾きがないとした場合を考えてみよう。この場合は月も黄道を通るので、月が天球上で最も北側にくるのは太陽の場合と同様に夏至点(赤経6時、黄経 90°)にきたときである。このときに月は高度が高くなり、そのときの位相は太陽が春分点(赤経0時、黄経 0°)辺りにあれば(つまり春分の頃)上弦、夏至点(赤経6時、黄経 90°)辺りにあれば(夏至の頃)新月、秋分点(赤経12時、黄経 180°)辺りにあれば(秋分の頃)下弦、冬至点(赤経18時、黄経 270°)辺りにあれば(冬至の頃)満月となる。ところが冬至の頃に月が都合よく満月になるという年はまれである。したがって実際に観察を行うには、条件を緩めて12月や1月という冬至前後の満月も対象とすることになる。ちなみに2006~2009年の12月における満月の日付は、順に5日、24日、13日、2日で、約11日ずつ早くなっていく。

次に、白道が黄道と傾斜していることを考慮してみよう。この場合には、一般には月は黄道をはずれているので、夏至点よりも若干北や南を通る。この黄道からはずれる値は年によって異なり、9.3年ごとに北や

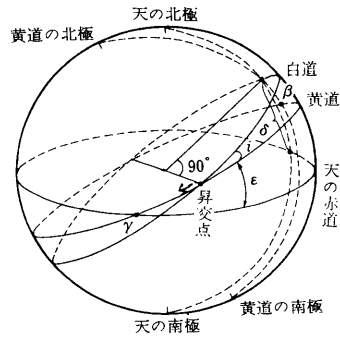


図5(A) 天の赤道・黄道・白道の関係
 γ : 春分点, $\epsilon=23^{\circ}26'$, $i=5^{\circ}9'$
 ←: 白道の昇交点の移動方向

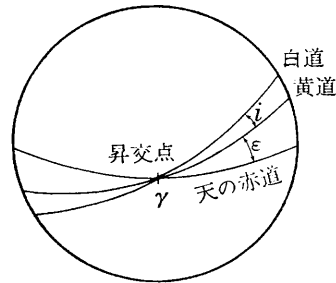


図5(B) 白道の昇交点が春分点にきた場合
 (天の赤道と白道の間角度は最大になる)

南へ最大の $5^{\circ}9'$ (平均)ほどになる。したがって月が夏至点から最も北側へ寄ったときの赤緯は $+28^{\circ}35'$ ($=23^{\circ}26'+5^{\circ}9'$)となるので、そのときの南中高度は那覇市では $92^{\circ}22'$ と天頂を越えて北側へ $2^{\circ}22'$ 下がってしまうが、東京では $82^{\circ}56'$ 、札幌市でも $75^{\circ}31'$ とより高くなる(このときの月は満月とは限らない)。

こうなる理由は、図5(A)のように白道が黄道上を平均 $5^{\circ}9'$ の傾斜を保ったまま、18.6年の周期で西へ移動しているからである(長谷川, 1969)。つまり18.6年ごとに月は夏至点(赤緯 $+23^{\circ}26'$)よりもさらに北側へ、最大の $5^{\circ}9'$ (平均)ほど寄るわけである(周期の半分の9.3年前と後には月は夏至点から、最大の平均 $5^{\circ}9'$ ほど南に寄る)。

では近年で、満月がこのように一段と北に寄る年をみてみよう。

(3) 2006年の冬の満月は一段と高くなった

第6章の(2)で述べたように、白道は黄道と平均 $5^{\circ}9'$ 傾いたまま黄道上を西へ1日に約 0.053° ずつ移動し、18.6年で1周している。そこで図5(A)におい

て、白道と黄道が交わる二つの交点のうち、白道が南から北へ通っているほうの交点(昇交点)が春分点 γ (黄経 0° =赤経0時)にまで移動してきたときに、図5(B)のように白道は天の赤道と最大の $28^\circ 35'$ ($=\varepsilon+i$)ほど斜交する。このとき、夏至点のある黄経 90° では、白道は夏至点よりも $5^\circ 9'$ 北の赤緯 $+28^\circ 35'$ のところを通っている。このとき、ここにちょうど月がきていれば、その月は最も北に寄るのだが…。

白道がこのようになる時期(白道の昇交点が春分点にくる時期)は計算より求めることができる。最近のその時期は実は2006年6月20日であった。この日、白道は黄経 90° のところでも最も北に寄ったので、もしこの頃に月が黄経 90° にあれば、その南中高度はさらに高くなる理屈である(しかし、実際には06年6月20日の月の黄経は約 20° であった)。月が黄経 90° 付近にあって満月となるのは前述のように冬至の頃である。それは2006年では12月5日で、その日の満月の黄経は約 78° のため、赤緯は $+27.8^\circ$ となって、最高となる赤緯より約 1° ほど低かった。ちなみに、2006年6月より18.6年前の、白道の昇交点が春分点にきた年は1987年であった。本文の月の写真を撮った1985年12月28日は、この年のわずか2年前の冬至の頃なので、満月の南中高度は例年より高くなっていた。

7. おわりに

改めて、主題である写真に写した結果に触れてみると、まず太陽では天頂近くにあるときの大きさと、地平線近くにあるときの大きさは同じとみなせえた。これは当初から予想されていたことで、それが実証されたといえよう。次に満月では、地平線近くにあるときのほうが天頂近くにあるときよりもわずか(1.7%)ではあるが小さかった。この目視とは逆の結果は予想外で、生徒たちも驚いていた。

なお当然のことだが、地平線に極めて近くなるほど太陽や月は大気のために、大気差以外にも、像の輪郭がぼやける等々の影響を受けたと見受けられる。

また、観測する時期については南中高度が高くなる季節が望ましいが、実際はなかなかそうはいかない。南中高度が低くなる季節でなければ余り時期にこだわる必要はないだろう。生徒の活動が無理のないように実施すべきである。なお、天体の高度が天頂近くなると望遠鏡の扱いが難しくなることも記しておく。

以上、観察が容易である太陽と月に関して、写真を用いた研究課題の1例をまとめてみた。もちろん、生徒たちが実際に天体を撮影するのが理想ではあるが、いざ、撮影を実施させるに当たって、対象が太陽や月であっても同じ日に地平と天頂近くという2回の観測となると、時刻や天候の関係などで予定どおりにはいかなかった。特に天候は直前に変わることもあって、空振りもしばしばであった。止むなく、次善の策として用いた筆者の撮影による資料の写真も、何回かの失敗の末の作品であり、本文に用いた月の写真も、実は満月を1日過ぎたものとなってしまった。

本文が天体観察の参考の一助となれば幸甚である。

最後となったが、本文を作成するに当たって、太陽や月についての位置や距離、白道の移動などのデータを、理科年表(国立天文台編、丸善)、天文年鑑(天文年鑑編集委員会編、誠文堂新光社)、天文観測年表(天文観測年表編集委員会編、地人書館)のそれぞれの年度版から用いた。ここに感謝の意を表します。

引用文献

- 長谷川 敏(1969): 月の高度について. 地学教育, 22, 142-145
伊東昌市(1984): 月の距離と大きさ, 西城恵一・伊東昌市(編), 「工作による天体観測」. 共立出版, 東京, 81 p.

長谷川 敏: 天頂の太陽・月と地平線の太陽・月の大きさの比較 地学教育 60巻2号, 67-72, 2007

〔キーワード〕 太陽, 月, 見かけの大きさ, 天頂, 地平線, 天体写真

〔要旨〕 人々が経験しているように、地平方向の太陽や月は天頂方向にあるときよりも大きく見えるが、これらの太陽や月同士の大きさの比は本当はどうかを調べてみた。それには2方向の太陽や月を写真に撮って直径を比べた。その結果、太陽はほとんど同じ大きさであったが、満月は地平線近くにあるほうが1.7%小さかった。この理由として、2方向の地表上の観測点から月までの各距離が違うことなどを調べてみた。また観測の好条件となる太陽や満月の南中高度がより高くなる時期にも触れてみた。

Satoshi HASEGAWA: Comparison a Size of the Sun or the Moon at a Zenith and a Size of the Sun or the Moon on a Horizon. *Educat. Earth Sci.*, 60(2), 67-72, 2007

お 知 ら せ

平成 19 年度日本地学教育学会総会開催案内

日本地学教育学会会長 下野 洋

下記により、平成 19 年度の日本地学教育学会総会を開催いたします。ご出席くださいますようご案内いたします。なお、やむを得ずご欠席の方は先般送付いたしました委任状に、ご署名・ご捺印いただき、平成 19 年 4 月 18 日（水）までに、学会事務局にご返送ください。

1. 日 時 平成 19 年 4 月 21 日（土）午後 1 時より
2. 場 所 東京都小金井市貫井北町 4-1-1 東京学芸大学二十周年記念会館 2F
（武蔵小金井駅よりバス小平団地行き「学芸大正門」下車 徒歩 5 分）
3. 議 事
 - 1) 報告事項
 - ①平成 18 年度事業報告
 - ②平成 18 年度決算報告
 - ③平成 19 年度役員選挙結果
 - 2) 審議事項
 - ①平成 19 年度事業計画（案）審議
 - ②平成 19 年度予算（案）審議

地学教育フォーラム

本年度の地学教育フォーラムは、「スーパーサイエンスハイスクール (SSH) における地学教育」と題しまして、SSH での研究成果のご講演をいただくとともに、科学に対する興味関心を引き出すための方策や科学リテラシーを養うための教育支援の方法などについて講演者を交えて活発な討論を行いたいと思っています。多くの会員の方々のご参加をお願いいたします。

1. 日 時 総会終了後 午後 2 時～
2. 場 所 総会会場
3. 講演者
黒田直和会員（埼玉県立浦和第一女子高等学校）
「埼玉県立浦和第一女子高校における SSH を含めた地学教育について」
小泉治彦会員（千葉県立柏高等学校）
「県立柏高校の SSH と地学教育」

~~~~~  
学 会 記 事  
~~~~~

第 4 回 常務委員会議事録

日 時：平成 18 年 12 月 13 日(水)午後 6 時 20 分～

場 所：日本教育研究連合会 会議室

出席者：下野 洋・渋谷 紘・濱田浩美・馬場勝
良・南島正重・高橋 修

議 題：

1. 前回議事録の承認
前回(第 3 回常務委員会)議事録の承認がなされた。
2. 平成 19 年度以降の大会について
平成 19 年度島根大会で、大会テーマに沿った自然体験と科学的表現力をテーマにしたシンポジウムを開催することについて検討した。平成 20 年度東京学芸大学、平成 21 年度三重大学の進捗状況について報告があった。
3. 役員選挙日程について
役員選挙について推薦等の進捗状況が報告され、例年どおりの日程で役員選挙が行われることが確認された。
4. 入退会者について
入会者：花山秀和(東京)・井上直樹(熊本)
退会者：なし
5. その他
 - 1) 第 5 回火山都市国際会議への後援を承諾する。
 - 2) 本年度センター試験討論会はそのとりまとめを南島会員が担当する。

議 題：

1. 各種常置委員会から
 - 1) 編集委員会
59-6 号の進捗状況について報告があった。
 - 2) 日本理科教育協会教育課程担当の馬場副会長から、同協会における最近の活動と文部科学省への答申について報告があった。
 - 3) 日本地球惑星科学連合第 4 回評議員会の報告が会長よりあった。地学オリンピックについて、次次年度からの参加を目標に、本学会の熊野副会長・五島会員が担当窓口となり情報を収集中であることの報告があった。
 - 4) 教科「理科」関連学会協議会の第 11 回シンポジウムの報告が馬場副会長からあった。
2. 寄贈図書について
 - ・日本地理教育学会(2006)：新地理，第 54 巻，第 2 号
 - ・産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2006)：地質ニュース，第 625～627 号
 - ・日本理科教育学会(2006)：理科の教育，通巻 652?653 号
 - ・日本理科教育学会(2006)：理科教育学研究，Vol. 47, No. 1
 - ・東京地学協会(2006)：地学雑誌，115.
 - ・長崎県地学会(2006)：長崎地学会誌，70.
 - ・香川県高等学校教育研究会理化・生地部会(2006)：42.
 - ・(財)武田科学振興財団(2006)：武田医学賞 100 人の横顔。

編集委員会より

平成18年度に査読をお願いした方々は下記のとおりです。お忙しいところ時間を割き、また無償でお引き受けくださり、厚く御礼申し上げます。

懸 秀彦, 小島郁生, 加藤圭司, 榊原保志, 榊原雄太郎, 沢 武文, 高橋 修, 坪内秀樹, 富田晃彦, 中村文隆, 西浦慎悟, 八田明夫, 馬場勝良, 松田佳久, 松森靖夫, 森 厚

編集委員: 松川正樹(委員長), 相場博明(副委員長), 青野宏美, 天野和孝, 伊藤 孝, 大久保 敦, 小荒井千人, 五島政一, 土橋一仁, 林 慶一, 林 武広, 三次徳二, 南島正重, 山崎謙介, Jim W. Haggart

地 学 教 育 第60巻 第2号

平成19年3月20日印刷

平成19年3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. 2

MARCH, 2007

CONTENTS

Original Article

- Conceptual Understandings of Rock and Mineral by Junior High School Students:
From a Viewpoint of the Understandings of Their Terminological Structure and
Material StructureYoshihisa HIROKI and Toyosei HIRATA... 43~51
- Teaching Material for High School Students to Calculate the Age of the Universe
.....Shingo NISHIURA, Yoshikazu NAKADA,
Hiroyuki MITO and Takashi MIYATA...53~66

Note

- Comparison a Size of the Sun or the Moon at a Zenith and a Size of the Sun or the
Moon on a HorizonSatoshi HASEGAWA...67~72

Announcements (73)

Proceeding of the Society (74)

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