

# 地学教育

第58巻 第2号(通巻 第295号)

2005年3月

---

## 目 次

### 原著論文

天体観測による総合的な学習教材の開発

—市販の冷却 CCD カメラとレプリカグレーティングを用いて—

.....八巻富士男・水野孝雄...(37~50)

気体による赤外線吸収量の簡易測定法

—気体の温室効果を測定する装置の開発—.....赤田耕嗣...(51~63)

### 教育実践論文

Web GIS を用いた中学校「大地の変化」に関する発展的な学習の開発

—貝塚を手がかりに、大地の変化を考察する実践—

.....久保田善彦・山島一浩・西川 純・戸北凱惟...(65~73)

お知らせ(75)

学会記事(76)

---

## 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 17 年度全国地学教育研究大会  
 日本地学教育学会第 59 回全国大会

茨城大会のご案内

日本地学教育学会会長 下野 洋  
 茨城大会実行委員長 牧野 泰彦

大会テーマ：生徒と一緒に考える地学教育

期 日：平成 17 年 8 月 5 日（金）～9 日（火）

会 場：茨城大学教育学部 D 棟

主 催：日本地学教育学会

後 援：文部科学省、茨城県教育委員会、水戸市教育委員会、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、日本理科教育学会、日本理科教育協会

日 程

	時刻	行事	会場 (A, B, C)・その他
6 日	8:30	受付	教育学部 D 棟入口
	9:00	開会行事・学会 奨励賞授与式	A
	9:30		A 口頭発表 C ポスター発表
	12:00	ジュニアセッ ション	A 口頭発表 C ポスター発表
	13:30	昼休み	
	14:30	記念講演会	A 白尾元理「露頭から 読み取れる情報」
	18:00	研究発表 I	A 小・中 B 高・大・一般
	20:00	懇親会	茨苑会館
7 日	9:00	研究発表 II	A 小・中 B 高・大・一般
	12:00	昼休み	
	13:30	シンポジウム	A
	15:00	閉会行事	A
	15:30		

シンポジウム「野外実習を実施しやすくするための条件づくり」

小・中学校で地学の野外実習を実施する際、さまざまな困難を乗り越えなければなりません。実施例を挙げて具体的な条件づくりを示したい。口頭発表の希望者を募ります。

記念講演会「露頭から読み取れる情報」

白尾元理氏は火山地質の専門家であるとともに、地球科学一般および天文を題材にして、魅力的な写真を撮り続けている写真の専門家でもあります。今回は、「露頭から読み取れる情報」と題して、世界各地を飛び回っているご自身の経験に基づき、露頭との付き合い方についてお話し頂きます。

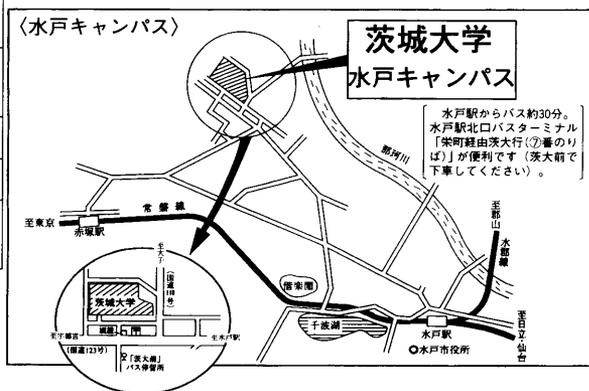
会場案内（下図、参照のこと）

○JR 利用の場合

上野駅より常磐線特急「スーパーひたち号」又は「フレッシュひたち号」に乗りし「水戸駅」下車。北口駅前バス乗り場 7 番「栄町経由茨大行」のバスに乗りし「茨大前」下車。バス乗車時間は約 30 分。

○自家用車利用の場合

常磐自動車道「水戸インター」より一般道へ。



見学旅行

A1 コース、A2 コース；8 月 5 日（日帰り）

B コース；8 月 8 日・9 日（一泊二日）

## 大会参加費

7月11日以前の振込分

一般 4,000 円, 大学生・院生 2,500 円

7月12日以降の受付分

一般 4,500 円, 大学生・院生 3,000 円

ジュニアセッションで発表の高校生以下, および引率教員は無料。

## 送金方法

郵便振替にて送金して下さい。送金の内訳および連絡先を必ずご記入下さい。

加入者名: 日本地学教育学会茨城大会

口座番号: 00180-7-584897

- ・大会参加費 上記「大会参加費」をご参照下さい。
- ・懇親会費 4,000 円
- ・巡検 コース  
A1, A2: 4,000 円  
B1: 25,000 円 (後日精算)

## 宿泊案内

水戸市内にはホテル, ビジネスホテル, 共済組合関係の宿泊施設が多数あります。インターネットなどでお調べの上, 直接お申し込み下さい。

会場の茨城大学は水戸駅より北西 4 キロにあります。茨城大学方面へのバスは水戸駅北口から数分間隔にありますので, ホテルは水戸駅周辺, もしくはバス通り (南町, 泉町など) が便利です。

## 見学旅行

講演発表の前後に次のような見学旅行を計画しています。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)

<日帰りコース (8月5日)>

**A1:** 茨城県自然博物館と宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の見学 (参加費用 4,000 円)

集合…野田市駅前, 11 時 (JR 柏駅で東武野田線に乗り換え野田市駅下車)

**A2:** 国土地理院と地質標本館の見学 (参加費用 4,000 円)

集合…JR 土浦駅西口, 11 時 30 分

両コースとも見学後に JR 水戸駅, もしくは水戸市内の主要ホテルまでお送りします。つくば研究学園都市から水戸までは交通が不便なためこのバスをご利用下さい。

<一泊二日コース (8月8日・9日)>

**B1:** 那珂川の河口から源流までを見る (参加費用 25,000 円, 後日精算)

下流域の洪水堆積物, 中流域の那須野ヶ原扇状地と堆積物, 源流域では那須岳の火山地形および火山噴出物などを観察する予定。

集合…8月8日 午前 8 時 茨城大学正門

解散…JR 東北新幹線那須塩原駅, JR 水戸駅, 茨城大学。

## 講演, ポスター発表の申し込み

小・中分科会と高・大・一般分科会に分けて講演発表を申し込んで下さい。なお, ジュニアセッションは別紙を参照して下さい。

- ・講演申込締切 2005 年 4 月 28 日 (木) 必着
- ・講演要旨提出

一般: 2005 年 6 月 30 日 (木) 必着 (A4 で 2 枚)

ジュニア: 2005 年 7 月 22 日 (金) 必着 (A4 で 1 枚)

## 大会事務局・出張依頼状の申込先

〒310-8512 茨城県水戸市文京 2-1-1

茨城大学教育学部地学教室

日本地学教育学会茨城大会事務局

牧野泰彦・伊藤 孝

Tel: 029-228-8238 (牧野), 8268 (伊藤)

Fax: 029-228-8329

E-mail: makinoy@mx.ibaraki.ac.jp (牧野)

tito@mx.ibaraki.ac.jp (伊藤)

**平成 17 年度全国地学教育研究大会・日本地学教育学会  
第 59 回全国大会茨城大会申込書**

申込日: 2005 年 月 日

○参加申し込み (ジュニアセッション発表者・同引率者は別紙でのお申し込みとなります)  
 (7月11日までのお振り込み分) 一般 4,000 円, 大学生・院生 2,500 円  
 (7月12日以降のお振り込み分) 一般 4,500 円, 大学生・院生 3,000 円

フリガナ 氏名:	所属:
連絡先: 〒 Tel:	Fax:
E-mail:	

○研究発表申し込み (〆切 4 月 28 日必着) (ジュニアセッションは別紙でのお申し込みとなります)

発表題目:
キーワード (4 つ):
発表者名 (所属名):
研究分野・分科会: <input type="checkbox"/> 小学校 <input type="checkbox"/> 中学校 <input type="checkbox"/> 高校・大学・一般
発表形態: <input type="checkbox"/> 講演発表 <input type="checkbox"/> ポスター発表
使用機器: <input type="checkbox"/> OHP <input type="checkbox"/> 液晶プロジェクター (パソコンを使用する場合には、各自パソコンをご持参下さい)

○懇親会・見学旅行の申し込み (先着順)  
懇親会 (4,000 円)  
見学旅行 A1 コース (4,000 円), 見学旅行 A2 コース (4,000 円), 見学旅行 B1 コース (25,000 円\*)  
 \*宿泊代, バス代, 諸料金等の費用を含めた金額で、後日精算いたします。

○振り込み金額 参加費 (予稿集代を含む) 7 月 11 日以前のお振り込み分一般 4,000 円, 大学生・院生 2,500 円 7 月 12 日以降のお振り込み分一般 4,500 円, 大学生・院生 3,000 円	円
懇親会費 4,000 円	円
見学旅行 A1, 2 コース 4,000 円, B1 コース 25,000 円	円
<b>合 計 金 額</b>	円

○申込書の該当箇所を記入し, にチェックして, 郵送またはファックスにて送付して下さい。

<申込先> 〒310-8512 水戸市文京 2-1-1  
 茨城大学教育学部理科教育, Fax 029-228-8329  
 伊藤 孝 宛

○申込書を送付後, 代金を下記の郵便振替口座へご送金下さい。

口座番号: 00180-7-584897    口座名称: 日本地学教育学会茨城大会

○予稿集のみの申し込み

申込者氏名 \_\_\_\_\_ Tel \_\_\_\_\_  
 送り先 〒 \_\_\_\_\_

	部数	金額
大会予稿集 (一冊, 1,500 円)		円
送料 (310 円)		円
合計金額		円

## 日本地学教育学会茨城大会ジュニアセッション参加者募集

日本地学教育学会茨城大会において、ジュニアセッションを開催します。つきましては下記の要項で参加者を募集いたします。

- 日 時：口頭セッション：2005年8月6日（土）午前9時30分～12時30分，  
ポスターセッション：8月6日（土）～7日（日）の会期中。
- 場 所：茨城大学教育学部D棟
- 応募資格：中学生・高校生のクラブまたは個人で、地学または環境関連の研究を行っている方。
- 発表方法：口頭またはポスター発表を選択する（口頭発表の方はぜひポスター発表もなさってください）。
- 申込方法：(a) 講演のタイトル，(b) 著者名・学年・学校名（著者名・学校名にはふりがなも記載），(c) 概要（500字程度），(d) 希望する講演方法（口頭発表かポスター発表，または両方），(e) 連絡先（郵便番号・住所・氏名・電話・FAX・電子メール等）を明記の上，メールまたは郵送でご応募下さい。
- 締 切：2005年4月28日（木）必着
- 申 込 先：〒306-0405 茨城県猿島郡境町塚崎 2170 番地 茨城県立境西高等学校  
滝口信吾宛  
E-mail: s\_takky25@yahoo.co.jp
- お問合せ：水戸第二高等学校 岡村典夫  
E-mail: okamura@mito2-h.ed.jp



## 天体観測による総合的な学習教材の開発

—市販の冷却 CCD カメラとレプリカグレーティングを用いて—

Development of Teaching Materials through Astronomical  
Observations and Data Analyses

—Using a Cooled CCD Camera and a Replica Grating  
Available on the Market—

八巻富士男\*・水野孝雄\*\*

Fujio YAMAKI and Takao MIZUNO

**Abstract:** We developed an educational spectroscope for stars, using a cooled CCD camera available at telescope shops, and a replica grating of plastic sheeting, available from shops which carry science teaching materials. Using a telescope equipped with the CCD camera and the replica gratings the spectra of stars can be observed. The data obtained are analyzed using free software from the Internet and astronomical image-processing software available at telescope shops. The spectra are useful to study the spectral characteristics of stars. Through these practices, high school students are able to learn research methods in the natural sciences, as well as to view the wide range of scientific content across the subjects, through an "Integrated Study."

### 1. はじめに

平成 15 年度より実施されている新高等学校学習指導要領では「生きる力をはぐくむこと」が総則にうたわれている。それを実現するために理科教育においては、知識の詰め込みではなく、実験・観察を重視した自然の探究方法に対する体得的・体験的な学習を行うことに大きな力点が置かれている。また「総合的な学習の時間」がすべての学校で取り入れられることになり、各学校は「地域や学校、生徒の実態等に応じて、横断的・総合的な学習や生徒の興味・関心等に基づく学習など創意工夫を生かした教育活動を行う」こととなった。それを行うにあたっては“自然体験やボランティア活動、就業体験などの社会体験、観察・実験・実習、調査・研究、発表や討論、ものづくりや生産活動など体験的な学習、問題解決的な学習を積極的に取り入れること”になっている(文部省, 1999)。

今日、必要な情報の多くはインターネットを介して容易に取得できる。しかしながら、インターネットの情報は 2 次的 3 次的なものであることが多く、生の自然や 1 次情報に接することは難しい。惑星科学や宇宙科学が SF ではなく、自然科学であることを実感し体得するためには、実際に自分で天体を観測し、結果を自分で考察する体験が必要であると考え、国立天文台や公開天文台でこのような体験的な学習が試みられてはいる(縣ほか, 2000)が、限られた一部の生徒しか体験できないという制約を抱えている。

生の自然を体験しつつ、自ら取得した 1 次データを用いて天体画像等の解析を行うことにより、現代の宇宙科学(自然科学)の研究の一端を体験的に学習することは、一般の生徒にも必要であると考え、近年の天体観測においては、従来の銀塩写真に代わって、冷却 CCD カメラが用いられるようになってきている。それは、CCD が銀塩写真に比べて感度が高く、人力に

\* 埼玉県立北本高等学校

\*\* 東京学芸大学宇宙地球科学分野 2003 年 6 月 20 日受付 2004 年 12 月 11 日受理

対する出力の線形性が格段によく、またその出力を A/D 変換することによりデータ処理が容易となるなどの特性を持っているからである。高校の現場において、このような特長を持つ CCD カメラを活用し、科学の方法を体験的に学習できるようにするためには、学校（または理科教育振興法等）の予算で購入可能な価格のもので、教育用として十分な機能を備えたものが必要である。近年そのような冷却 CCD カメラが市販品として入手可能となった（八巻，1997）。

この論文では、市販の冷却 CCD カメラと、扱いやすいプラスチック・シートのレプリカグレーティングとを組み合わせて作製した簡易な点光源用分光器について紹介する。レプリカグレーティングを利用した教育用分光器については、過去に多くの開発例や実践例がある（例えば、高城，1973；松永，1988；西村，1998）が、CCD と組み合わせ、コンピュータを用いてデータ解析を行った例は高校ではいまだにない。今回開発した教育用分光器を普通の学校に装備されている望遠鏡（口径 8 cm で十分で、明るい恒星ならばカメラの望遠レンズでも可）に装着して天体観測を行い、そのデータを市販の天体画像解析ソフトや Web 上のフリーソフト等を利用して解析することにより、コンピュータを活用した現代の自然科学の探究方法についての体験的な学習が可能となる。

## 2. 教育用分光器を用いた実験・観測

これまでに直視分光器や対物プリズム等を用いた肉眼や写真によるスペクトルの観察が、スペクトル学習の定例として生徒実験の項目にしばしば取り上げられてきた。ここでは、今まで生徒実験および演示実験としては試みられなかったレプリカグレーティングと冷却 CCD カメラを組み合わせたスペクトル観測の方法について述べる。

ここで取り上げる観測・実験方法には次のような特徴がある。

①ここで考案された分光システムは、レプリカグレーティングを挿入した CCD カメラを望遠鏡のドローチューブ（または望遠レンズ）に接続して使用するものである。このシステムでの“分光器”部分はレプリカグレーティングのみで、ガラスグレーティングを使用している通常の分光器を構成しているスリットもコリメータレンズも結像レンズも使用していない。したがって、市販の分光器（SBIG 社製のもので約 90 万円）に対して格段に安価（レプリカグレーティング

のみなので 3,000 円）である。本分光システムでは、画角の小さな CCD チップでもグレーティングによる回折光をとらえられるように、CCD チップの直前にグレーティングを挿入している。使用するグレーティングは、回折した光が短い距離で十分に分散するように格子定数（1 mm あたりの溝の数）の大きいものがよい。

②観測で得られるデータがデジタル情報なので、データ取得後の解析がしやすく、スペクトルの強度の変化やスペクトル線の波長等を比較的容易に調べることができる。同時に、自然界のアナログ情報がどのようにデジタル化され、どのように処理されて、科学的認識に到達するのかという、現代科学の基本的な手法の一つを体験的に学習することが可能となる。

③元素の発光スペクトル（スペクトル管）や標準星を標準光源として使用することにより、標準の意味、その使用法、標準光源の精度良い実験・観測データを得ることの重要性などについての学習が可能となる。

④較正曲線の作成、フラットフィールドング（後述）、データの規格化、波長感度による観測データの補正などのデータ解析の方法を学ぶことにより、科学の探究方法についての学習が可能となる。

⑤実験や観測によって取得済みの画像データを解析する場合には、時刻や天候に左右されずにデータ解析や画像解析方法の学習が可能である。

以上において、特に②のスペクトルの強度については、従来は簡単にそれを調べる方法がなく、資料集等のデータに依存するほかなかった。今回の方法では、取得した観測データを画像解析ソフト等で解析することにより、光源のスペクトルを波長と強度のデジタルデータとして比較的容易に視覚化できるようになった。その強度も、精度に多少問題はあるが、教育用としては十分に意味のあるものが取得できるようになった。（精度については、高木・水野（2002）の方法およびそのデータを用いることにより改善することが可能である。）

## 3. 波長較正のための室内実験

### 3.1 実験の目的

この観測システムでは、点光源でなければスペクトルの強度を測定できないので、実験室内に点光源をつくり、その光をグレーティングで分散し、冷却 CCD カメラで受光するようにする。点光源として、輝線スペクトルの波長が分かっているスペクトル管や市販の

ネオンパイロットランプ等を用いることにより、この観測システムにおけるスペクトルの波長と CCD のピクセル (pixel; 画素) 間の関係を求める。

### 3.2 実験の方法

#### (1) 準備

##### ①使用する機材

光源および受光部で使用する主な部品・機材は表 1 のとおりである。

##### ・光源部

図 1 のように段ボール箱の中に光源を入れ、アルミホイルにあけた小さな穴から光を取り出す。Ne パイロットランプの場合も点光源になるように上と同様な工夫をする。

##### ・受光部

図 2 のように CCD の直前にハサミで丸く切ったグレーティングを配置する。グレーティングの格子の方向はスペクトルの展開方向が CCD チップの対角線の方法になるように決める (決め方は次の (2) ①を参照)。グレーティングの方向を決定したら、再度同じ方向にスペクトルが展開できるよう、図 2 の写真のようにグレーティングの枠 (枠は少し厚手の食品トレーなどをドーナツ状に切り出し黒く塗ったものを使用) に目印を付けておく。また、受光装置内部の光路の概略は、図 3 のとおりである。ただし、標準レンズを用いると、長波長側でのスペクトルの広がりが大きくなる

表 1 光源および受光部に必要な部品・機材

部位	部品・機材
光源部	スペクトル管 (H, He)
	Ne パイロットランプ (数百円)
	電源 (スペクトル管用, その他)
	光源を覆う段ボール箱等 点光源作成用アルミホイル
受光部	冷却 CCD カメラ一式 [武藤工業製 CV-04. 現在は同等品を (株) 光映舎で 40 万円程度で販売]
	制御用パソコン (IBM ThinkPad1157 OS:Windows98SE)
	三脚
	一眼レフカメラ用 200mm 望遠レンズ (スペクトル標準光源撮影用)
	口径 16cm 反射望遠鏡 $f=1,000\text{mm}$ (恒星スペクトル観測用)
	丸く切ったレプリカグレーティング [格子定数約 530 本/mm. (株) 中村理科工業が 1 セット 3,000 円程度で販売. 他の販売先は西村 (1998) を参照]

ので 200 mm 程度の望遠レンズを用いるようにする。

#### ②実験装置の配置

点光源となるように、光源と CCD カメラができる限り離れるような位置に実験装置を配置する。可能ならば学校の実験室の対角線上に両者を配置し、カメラレンズのピントが  $\infty$  の近くで合焦するように、最低でも 10 m 以上の距離を確保することが望ましい。

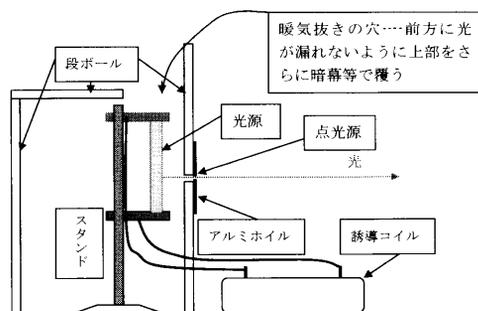


図 1 点光源の概略  
スペクトル管を利用して点光源を作るときの概略。

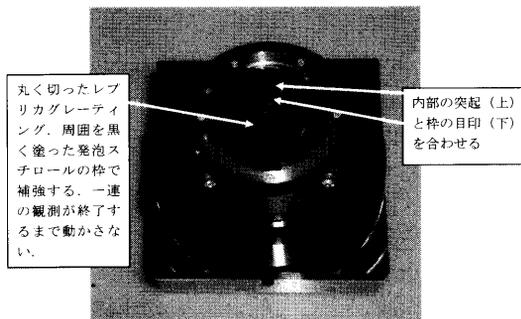


図 2 冷却 CCD カメラの受光部  
冷却 CCD カメラの受光部にレプリカグレーティングを装着した状態。

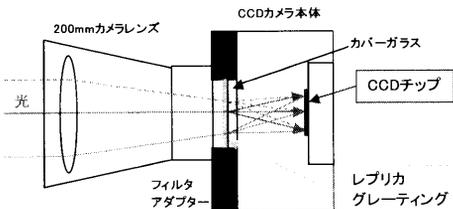


図 3 受光部の光路の概略  
受光装置内部のグレーティングを通過する光の光路概略図

### ③暗室での実験

実験室に暗幕を張る。日中は外部の光が実験室内に漏れやすいので、外部の光が入らないようにして夜間の実験するのがよい。高校の実験室ぐらいの広さの完全な暗室があれば昼間でも実験は可能である。

#### (2) データの取得

##### ①目的画像の取得

解析しようとしているデータ（今回はスペクトル）を含む画像を『目的画像』と呼ぶ。その取得法は以下のとおりである。

図2のようにグレーティングを装着した冷却 CCD カメラのヘッドに1眼レフカメラの200 mm 望遠レンズを取り付け、三脚に固定する。次に、レンズを点光源に向け、点光源の像(0次回折像)が CCD の視野の左上隅にくるように、CCD 画像の取り込みソフト(今回は Phoenix/Studio N.O.A 社製 UCCS を使用)のプレビュー画面を見ながら、レンズの向きを調整する。その際に点光源の0次像の焦点合わせも行う。さらに、スペクトル(1次回折光)が CCD チップの対角線の方向に展開するようにグレーティングの回転位置を画面を見ながら調整する。

カメラレンズの方向とグレーティングの回転位置が決定したら、プレビュー画面のカウント値の最大値を考慮しつつ、ブルーミング\*1の起こらない範囲で露出時間が可能な限り長くとれるよう、露出時間を決定する。(露出時間を決定したら、実験室における他の点光源の撮影においてもできる限りその値を用いるようにすると、後々のデータ処理が容易になる。)

カメラの方向と露出時間を決定した後、目的画像を5~10枚撮影する(図4)。スペクトルが長く、1枚の画像に収まらない場合には、カメラの方向を変え、残りの部分を撮影する。

##### ②スペクトルを含まない背景画像(バックグラウンド)の取得

光源の電源を切り、スペクトルを含まない画像を撮影する。露出時間は①の目的画像の露出時間と同じにする。

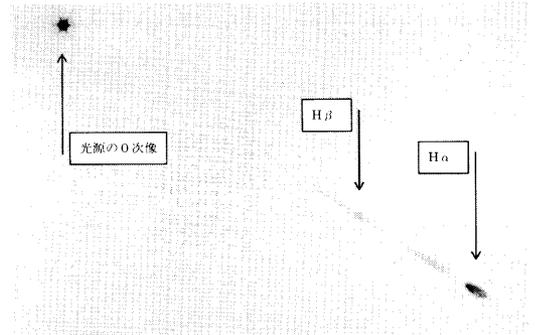


図4 水素Hのスペクトル画像(白黒反転)

##### ③すべての画像の暗電流画像(ダーク)の取得

目的画像、背景画像用の暗電流画像(シャッターを閉じた状態で撮影した画像)を、それぞれの画像を撮影する前後に5枚ずつ、それぞれの画像と同じ露出時間で撮影する。例えば目的画像の露出時間が10秒ならば、それと同じ露出時間の暗電流画像を5枚撮影し、その後目的画像を10枚撮影し、再び暗電流画像を5枚撮影する。(n回測定して得られる最確値の誤差は母集団の標準偏差の $1/\sqrt{n}$ に比例するので、それを適切に小さくするために10回の測定は必要である。)

後に行う星のスペクトル観測では、実験室での光源撮影時と同じ状態にグレーティングを保つ必要があるため、この撮影後もグレーティングは CCD カメラから取り外さないようにする。

##### (3) 取得したデータの1次処理

データ処理の仕方は、詳しくは定金(1991)、福島(1996)などを参照することとし、ここでは要点を簡単に述べるに留める。なお、データの1次処理には Windows98 (OS) 上で FITS (科学研究用天体画像の標準ファイル形式) ファイルの読み書きと画像処理ができる AstroArts 社製の画像解析ソフトウェア Stella-Image3 を用いた。

##### ①目的画像からの暗電流画像の差し引き

暗電流画像の差し引きをする前に、10枚の暗電流画像の中央値または平均値をとる。

##### ②背景画像の差し引き

目的画像の処理と同様に、スペクトル光源を消して撮影した画像(スペクトルの背景画像となっている)から暗電流画像を差し引く。暗電流画像の差し引かれた目的画像から暗電流画像の差し引かれた背景画像を差し引く。ただし、この実験ではピークのピクセル座

\*1 ブルーミング…CCD の画素に強い光が入ると周りに光がにじみ出たような画像になる。この現象をブルーミングという。この現象を避けるため、アンチブルーミングの処理が施されている CCD カメラがあるが、その場合は強い光が入ると、受光量と CCD のカウント値が比例しなくなるので定量的な観測には適さない。

表2 参照ウェブサイトリスト

国立天文台光学赤外線研究系のウェブページ http://optik2.mtk.nao.ac.jp/~yagi/obs.semi/Sec10.html
国立天文台/天文データセンター/VizieR Service http://vizier.nao.ac.jp/viz-bin/VizieR
美星天文台ウェブページ http://www.town.bisei.okayama.jp/bao/bespec/ 分光データ解析ソフト BeSpec : Tetsuya Kawabata
加藤賢一データセンター http://www.sei-museum.kita.osaka.jp/~kato/castet/castet/castet.html 恒星の有効温度カタログ (CASTET). 大阪市立科学館研究報告 6, 1-40

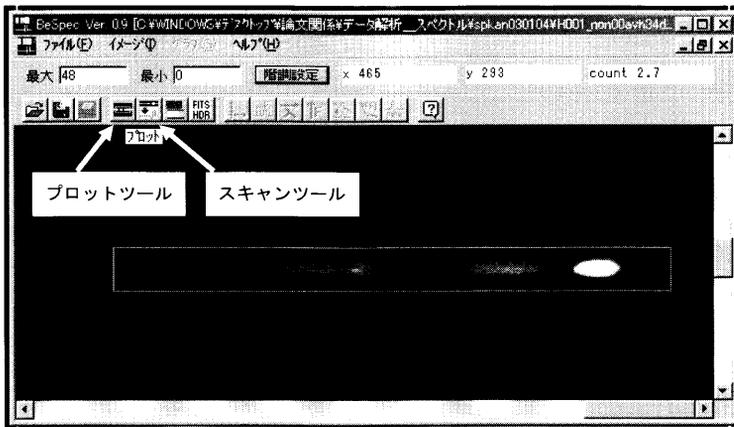


図5 BeSpec の操作画面

スペクトルが展開されている部分を範囲指定した状態。次にツールバーの左から4番目のプロットツールを選択するとスペクトルのグラフが得られる。

標が求まればよいので、処理を簡単にするため、背景画像の差し引きは行っていない。

#### (4) データの解析

##### ①同一目的画像の重ね合わせ (コンポジット)

目的画像の信号の強度が小さいときには同一の対象を撮影した画像を重ね合わせるにより、ノイズを低下させ、S/N比を向上させることができる。

##### ②画像の回転

スペクトルの強度を③で述べる BeSpec を使用してグラフ化する準備として、スペクトルが水平方向に展開されるように画像を回転する。使用したソフトでは1度刻みの回転ができるので、回転による水平方向の角度誤差は最大で1°である。したがって、この誤差は波長決定には影響しない。

##### ③スペクトルのグラフ化 (BeSpec を使用した場合)

スペクトルのグラフ化に当たっては、BeSpec を使用する。BeSpec は岡山県美星町立美星天文台 Web

ページ (表2) にある分光観測データ解析ソフトで、WindowsOS (95 や XP など) 上で稼働し、以下のような機能を有する。

- FITS ファイルの表示
- CCD データの1次処理
- スペクトルの1次元化
- グラフの表示と測定
- 比較光の波長同定と波長較正
- 印刷等

ソフトは Web ページよりダウンロード/インストールし使用する。無料で使用できる。

処理の手順としては、まず②の回転処理を施した画像を BeSpec で開き、スペクトルが展開されている部分を範囲指定する。次に、ツールバーから「プロット」を選択し、スペクトルのグラフを得る (図5)。

##### ④波長とピクセル間隔の関係

得られたグラフを既知の輝線スペクトルの波長デー

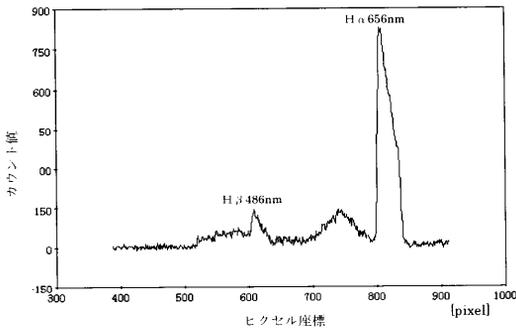


図6 Hの発光スペクトルの強度分布  
縦軸はカウント値, 単位は [カウント/5秒].  
横軸はピクセル座標.

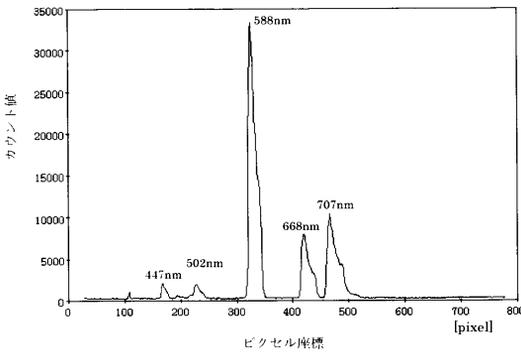


図7 Heの発光スペクトルの強度分布  
縦軸はカウント値, 単位は [カウント/5秒].  
横軸はピクセル座標.

と照合し, ピークの波長を推定する (図6, 図7). 次に, ピーク波長の水平方向のピクセル座標 (以後,  $x$  座標) と光源 (0次像) の  $x$  座標を求め, ピーク波長を縦軸に, ピークのピクセルの  $x$  座標から0次像の  $x$  座標を引いた値 (ピクセル間隔) を横軸に取ったグラフを新たに作成する. 最後に, 最小2乗法により, 波長とピクセル間隔の関係 (較正曲線) を表す式を求める. (表計算ソフト Excel 等を利用するとよい. 図8を参照.)

なお, 0次像の  $x$  座標の決定は精度に大きく影響するので, 位置を目分量で推定するのではなく, 0次像のグラフに BeSpec のガウスフィットツール (0次像のグラフを k キーで範囲指定することで起動する) を適用し, そのピークの値から0次像の位置を推定する (図9).

#### ⑤較正曲線による波長決定誤差

スペクトル標準光源の0次像位置を原点として数

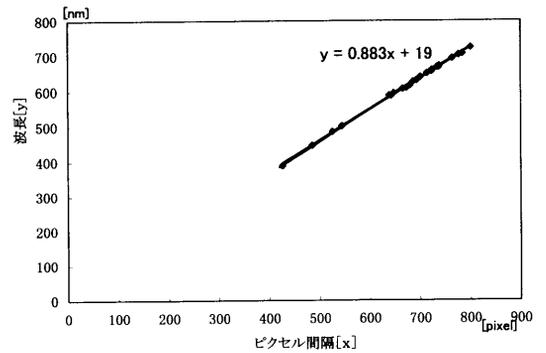


図8 波長とピクセル間隔の関係  
標準光源の発光スペクトルの観測から求めた波長とピクセル間隔の関係.  $x=0$  が光源の位置である.

枚の目的画像を重ね合わせて各輝線の位置を決定する際に伴う誤差は約5ピクセルである. したがってこれらの輝線の決定位置と波長との関係を直線として求めた較正曲線による波長決定誤差は5nm程度となる.

## 4. 分光標準星の観測

### 4.1 観測の目的

この観測システムによって得られるデータには, 使用した CCD の波長感度特性, 望遠鏡 (または望遠レンズ) や回折格子等の光学特性, 大気吸収等の影響が含まれる. スペクトルに対するこれらの影響を補正するために, 今回は, 連続スペクトルの中に吸収線がほとんど見られない B 型の恒星を分光標準星として観測し, 各波長でのカタログ値 (大気圏外の標準値) で観測値を割った値 (“相対受光率”と呼ぶことにする) を求める. 目的とする各恒星 (目的星) のスペクトルの観測値をその “相対受光率” で割り算することにより, 前記の影響を補正した大気圏外における恒星のスペクトルの強度を求めることができる. ただし, “相対受光率”での割り算により大気吸収の補正も行うので, 目的星と標準星とは方位・高度が近いことと, 両者をほぼ同時刻 (少なくとも同じ観測夜) に観測することが必要である. (国立天文台光学赤外線研究系のウェブページ [表2] を参照)

### 4.2 観測

今回の観測における分光標準星として, B 型星で, ウェブページ (国立天文台/天文データセンター/VizieR Service から III/201 または pulkovo で検索. 表2参照) からスペクトルのカタログ値 (Alekseeva

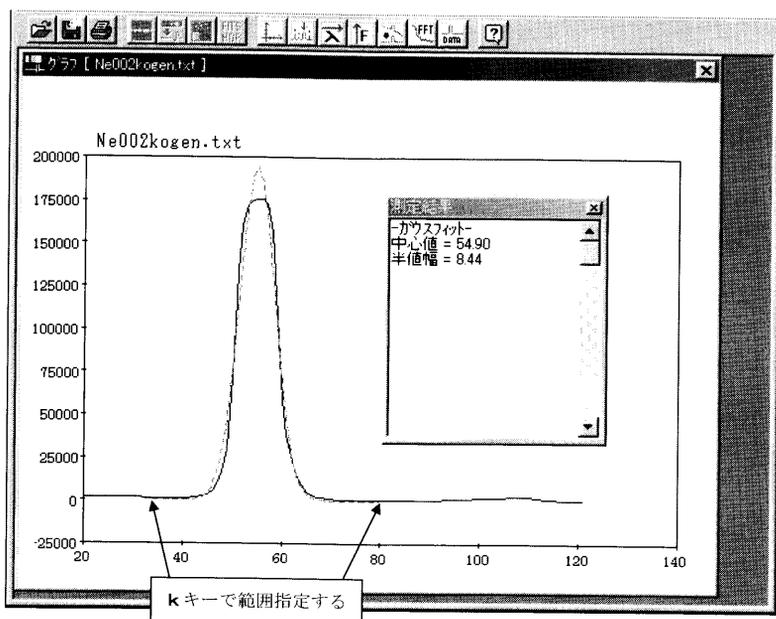


図9 光源(0次像)のx座標の測定  
「ガウスフィット」ツールを適用し、そのピーク値から光源位置を推定する。

et al., 1996, 1997) が得られる  $\kappa$  Ori と  $\gamma$  Ori を採用した。

観測に際して注意しなければならないことは、以下の①～③である。

①実験室で用いたグレーティングを一連の観測が終わるまで CCD から取り外さずに、最後までグレーティングを実験室のときと同じ状態に保ちながら観測する。

②この観測ではスペクトルの強度が重要なので、必ず一様光画像(フラットフレーム)を撮影するようにする。一様光画像を撮影する方法には、観測ドームの内壁や広い壁に白い紙や布を当て白色光で一様に照らしその反射光を利用する方法(ドームフラット)や、薄明の空を利用する方法などがある。今回は白い半透明のアクリル板をディフューザーとして望遠鏡の筒先に取り付け、薄明を利用して撮影を行った。S/N比を良くするため、5秒の露出で10枚撮影した。詳細は定金(1991)、福島(1996)などを参照のこと。

③大気吸収量が同じと見なせるように、目的星に近い方位・高度の分光標準星を選定し、その夜の目的星とほぼ同時刻(少なくとも同じ観測夜)に観測する。今回は、以下の2つの標準星を選んだ。

(1)  $\kappa$  Ori (SAO 132542, HD 38771, HR 2004)

・赤経 05 h 47 m 54 s 赤緯  $-09^{\circ} 40' 11''$  (元期 2000)

・スペクトル型 B0.5Ia

南中高度が約  $44^{\circ}$  であるので観測時の高度が高い恒星の補正には適さない。より高度が高い星の場合には次の  $\gamma$  Ori (南中高度約  $60^{\circ}$ ) を標準星として使用する。

(2)  $\gamma$  Ori (SAO 112740, HD 35468, HR 1790)

・赤経 05 h 25 m 08 s 赤緯  $+06^{\circ} 20' 59''$  (元期 2000)

・スペクトル型 B2III

#### 4.3 観測データの処理

観測したデータは、実験室で取得したデータの処理と基本的に同様の手順で処理する。

①目的画像からの暗電流画像の差し引き

②一様光画像の規格化

より正確な強度を測定するためにフラットフィールドングを行う。フラットフィールドングに使用する規格化された一様光画像は次のようにして作成する。

1) 撮影した10枚の一様光画像から暗電流画像を引く

2) それらの平均または中央値を取る画像演算を行

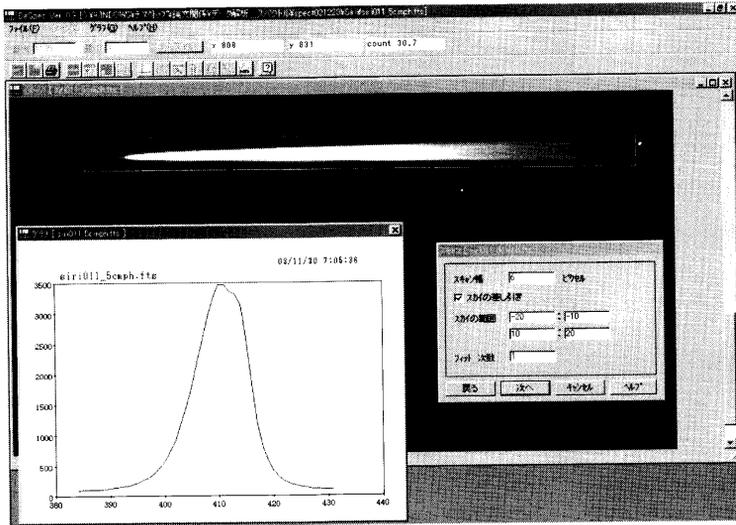


図10 スキャン幅とスカイの設定

左のグラフでスペクトルのy軸方向の強度分布を参照しながら、右のダイアログボックスでスキャン幅とスカイ（バックグラウンド）の範囲を指定する。両者共にできる限り星が含まれないように範囲を設定する。

う。

3) 演算の結果得られた画像（Fとする）の全ピクセルの平均値または中央値を求め、その値でFを割り算する（規格化）。

### ③フラットフィールドニング

②の操作によって規格化された一様光画像で目的画像の割り算を行う。この操作により、CCDの各ピクセルごとの感度の違いや望遠鏡の光学系の不正・不備（‘けられ’や汚れなど）の影響を補正することができる。

④同一目的画像の重ね合わせ（コンポジット）

⑤画像の回転

⑥スペクトルのグラフ化（BeSpecを使用した場合）

この処理を行うにあたっては、BeSpecの「プロット」ツールではなく、スペクトルのスキャン幅とバックグラウンド（スカイ）の位置の設定が可能な「スキャン」ツールを使用する（図5）。「スキャン幅」はデフォルトの6ピクセルを使用する。幅は広すぎても狭すぎても特に短波長側のデータのカatalog値からのずれが大きくなるので、注意を要する。また、「バックグラウンド（スカイ）」の設定に当たっては、その領域内に星が入り込まないようにすることが特に重要である（図10）。少しの星の光でもバックグラウンドにあると、スキャンするすべてのピクセルからその星の光を

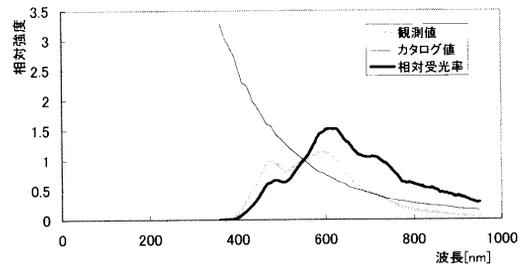


図11  $\kappa$  Oriによる“相対受光率”

$\kappa$  Oriの観測値とカタログ値から求めた相対受光率。縦軸は550 nmのときのカウント値を1とした相対値。

含んだバックグラウンドが引かれることとなり、全体として大きな誤差の要因となる。（可能ならば、スキャンする以前にバックグラウンドにある星を除去しておくことが望ましい。）

### ⑦“相対受光率”の算出

データ処理の結果、波長ごとのカウント値が得られたら、その値とカタログ値の両方とも550 nmのときの強度を1とした相対強度に変換する。最後に、観測値の相対強度をカタログ値の相対強度で割り算し、波長ごとの“相対受光率”を求める（図11）。

## 5. 目的星のスペクトル観測

### 5.1 観測の目的

目的星のスペクトルを標準星と同様の方法で撮影する。そのデータを処理・解析し、さらに、“相対受光率”による補正をすることによりその恒星本来のスペクトル強度を求める。今回の観測では、結果を評価するために、カタログデータが存在し、かつ、観測しやすい恒星をいくつか選び、そのスペクトルを撮影した。

### 5.2 観測およびデータ処理

観測対象に選定した目的星は、リゲル (B8 Ia)、シリウス (A1 V)、プロキオン (F5 IV-V、ベテルギウス (M 2 Ia) で、観測およびデータ処理は標準星の場合と同様に行った。今回の観測時のデータは表 3 のとおりである。

データ処理の最後に、目的星の処理の結果得られた波長ごとの観測相対強度をその目的星に対応する標準

星により得られた“相対受光率”で割り、補正する。結果を図 12, 14, 16, 18 に示す。

標準星の相対受光率により補正された目的星のスペクトルの波長には、標準星と目的星の中心決定誤差と較正曲線による誤差が含まれるので、全体として 7 nm 程度の誤差が見込まれる。

## 6. 教育用分光器としての有用性

### 6.1 波長分解能

CCD カメラの直前にレプリカグレーティングを置いただけの本分光システムは、グレーティングに平行光を導入するためのコリメーターレンズがないためにスペクトル線（輝線または吸収線）の幅が広がっていると考えられる（図 3）。さらに、通常分光器では可視光の平均的な回折方向（波長約 550 nm の光の回折方向）に置かれるべき結像レンズが本システムには設置されておらず、また、その回折方向に垂直に置かれるべき CCD チップ面は、本システムではグレーティング面と平行になっている（図 3）。その結果、スペクトル線の幅がさらに広がるだけでなく、長波長側に伸びた形になっている（図 4, 図 6, 図 7）。その結果、使用したグレーティングの溝数は多いが、波長分解能は焦点距離 1,000 mm の望遠鏡使用の場合で約 10 nm（焦点距離 200 mm の望遠鏡使用の場合で約 25 nm）となっているようである。分光システムの簡素化のために波長分解能は悪くなっているが、以下の観測結果において教育的に十分な有用性を持っていることを示す。

表 3 天体観測時のデータ

天体名	観測日時(JST)	撮像枚数	高度h	天気
リゲル	02.12.27.21:08~21:15	3	41°	快晴
$\kappa$ Ori	02.12.28.00:22~00:29	5	41°	快晴
$\gamma$ Ori	02.12.28.22:29~22:48	10	60°	快晴
ベテルギウス	02.12.28.23:34~23:41	5	61°	快晴
プロキオン	02.12.29.00:45~00:55	5	59°	快晴
シリウス	04.02.27.19:24~19:54	10	37°	ほぼ快晴
$\kappa$ Ori	04.02.27.20:51~20:56	5	38°	ほぼ快晴

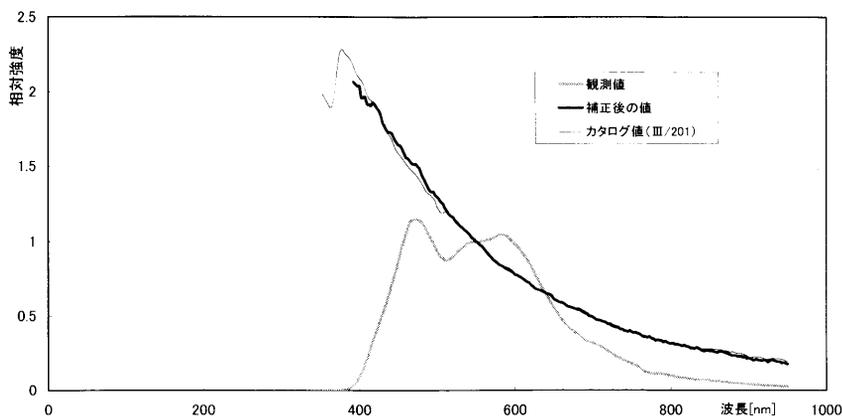


図 12 リゲルのスペクトル

縦軸は 550 nm のときのカウント値を 1 とした相対値。観測時の高度は 41°。高度 41° の  $\kappa$  Ori の相対受光率で補正。

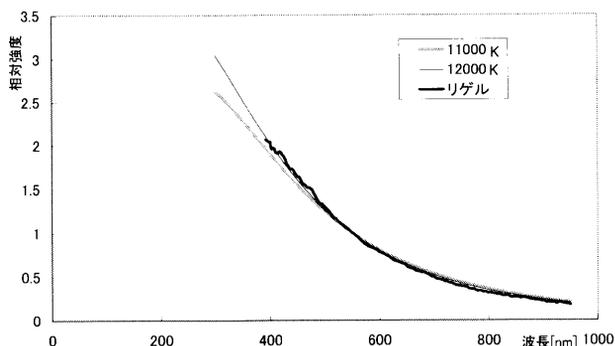


図 13 リゲルと黒体放射の相対強度  
リゲルの補正済みの相対強度と 11,000 K および 12,000 K の黒体放射の相対強度を比較したもの。

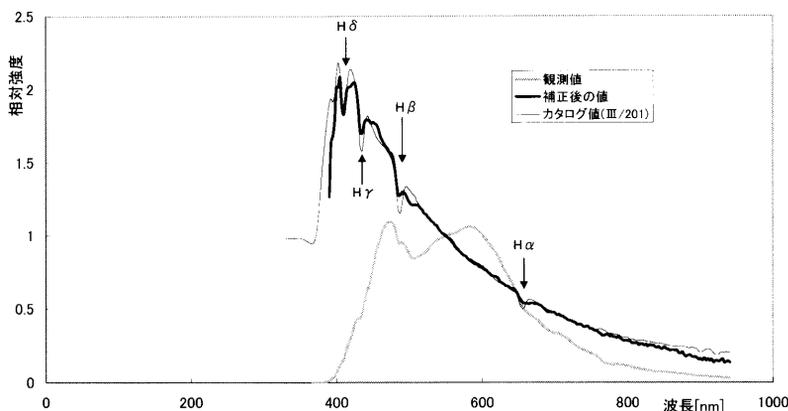


図 14 シリウスのスペクトル  
縦軸は 550 nm のときのカウント値を 1 とした相対値。観測時の高度は 37°。高度 38° の  $\kappa$  Ori の相対受光率で補正。

## 6.2 観測結果

ここで使用した冷却 CCD カメラの CCD チップはコダックの KAF-0400 で、その相対感度（波長 550 nm での感度を 1）は 400 nm より短波長では 0.07 以下、900 nm より長波長では 0.37 以下（高木・水野，2002）である。400 nm より短波長では CCD の感度が悪く、900 nm より長波長では高温の星のスペクトル強度が小さいため、それぞれの波長域での観測値は非常に小さくなっている。したがって、それらの波長域における補正後のスペクトル強度の精度は非常に悪いため、ここで示す結果は波長域約 400 nm から 900 nm に限ることとする。

今回の観測により得られた補正後の相対強度を用いて、目的星の表面温度を求めることを試みた。実際の恒星の表面からの光は、温度の異なる部分からの光が混じっており、また恒星大気による吸収線があるため

に、単一温度の黒体放射から外れている。しかし、ここでは簡単のため恒星からの光を単一温度の黒体放射として目的星の表面温度を二つの方法で推定する。一つは、目的星の相対強度において最大となる波長から単純にウィーンの変位則を適用して表面温度を求めるものである。もう一つは、得られた目的星のスペクトルを様々な温度の黒体放射のスペクトル（計算値）と比較する方法である。

・リゲル：図 12 における補正済み相対強度は約 400 nm まではカタログ値とよく一致している。相対強度のピークは 400 nm より短波長にあると判断されるので、表面温度は 7,300 K より高温であると推定される。一方、リゲルの相対強度と黒体放射強度との比較では表面温度 12,000 K のものがよく合っている（図 13）。なお、磯部ほか（2003）によるリゲルの表面温度は 11,550 K である。

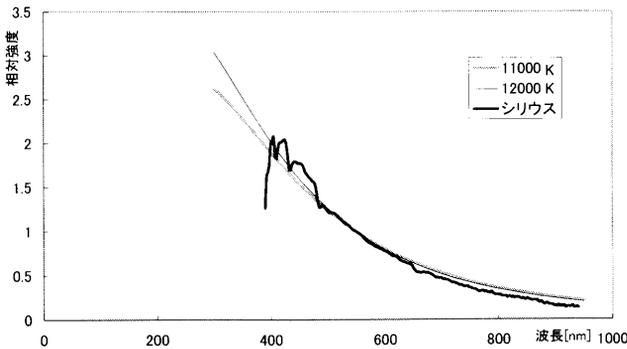


図 15 シリウスと黒体放射の相対強度  
シリウスの補正済みの相対強度と 11,000 K および 12,000 K の黒体放射の相対強度を比較したもの。

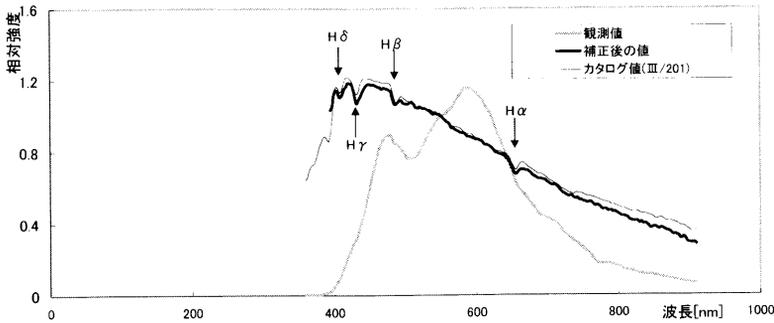


図 16 プロキオンのスペクトル  
縦軸は 550 nm のときのカウント値を 1 とした相対値。観測時の高度は 59°。高度 60° の  $\gamma$  Ori の相対受光率で補正。

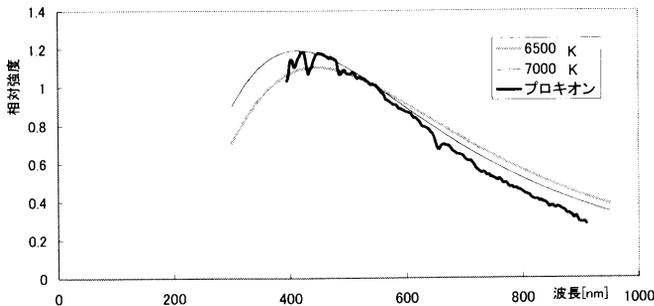


図 17 プロキオンと黒体放射の相対強度  
プロキオンの補正済みの相対強度と 6,500 K および 7,000 K の黒体放射の相対強度を比較したもの。

・シリウス：図 14 における補正済み強度はカタログ値と形状がよく一致しており、水素による吸収線であるバルマー系列の  $H\alpha$  から  $H\delta$  まで同定可能である。400 nm より短い波長での強度の急激な減少は、バルマー系列の吸収線が密集する（365 nm の“バルマー不連続”につながる）ことの現れと考えられる。したがって、補正済み強度のピーク波長は 405 nm で

あるが、表面温度は 7,200 K より高温であると推定される。黒体放射強度では表面温度 12,000 K のものがシリウスの補正済み強度に比較的よく合っている（図 15）。なお、大脇ほか（1989）によるシリウスの表面温度は 10,400 K である。

・プロキオン：図 16 における補正済み強度はカタログ値と形状がよく一致しており、水素のバルマー系

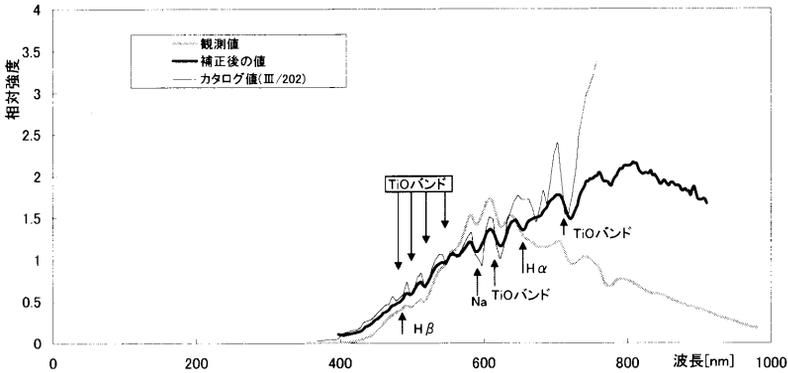


図 18 ベテルギウスのスペクトル  
縦軸は 550 nm のときのカウント値を 1 とした相対値。観測時の高度は 61°。高度 60°の  $\gamma$  Ori の相対受光率で補正。

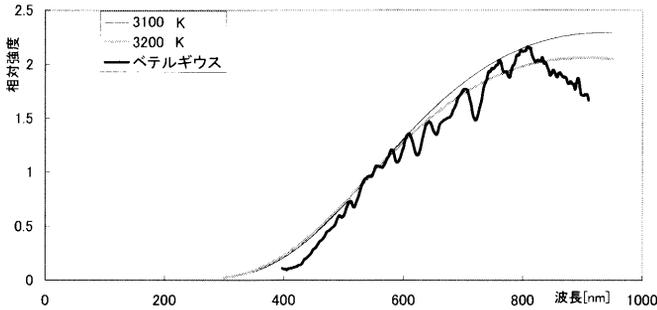


図 19 ベテルギウスと黒体放射の相対強度  
ベテルギウスの補正済みの相対強度と 3,100 K および 3,200 K の黒体放射の相対強度を比較したもの。

列の  $H\alpha$  から  $H\delta$  までが十分に同定可能である。補正済み強度のピーク波長は 420 nm であり、ウィーンの変位則からは表面温度は 6,900 K と求まる。図 17 からは、プロキオンの補正済み強度に合う黒体放射の温度は 6,500 K と 7,000 K の間と考えられる。なお、大脇ほか(1989)によるとプロキオンの表面温度は 6,450 K である。

・ベテルギウス：カタログ III/201 にはベテルギウスのデータが載っていないために、図 18 における比較のためのカタログ値は III/202 のものを使用した。ところが、このカタログで与えられているデータは 757.5 nm までであるため、ベテルギウスの強度のピークが現れるように、標準星から相対受光率を求めるのにはカタログ III/201 を用いた。図 18 の補正済み強度には M 型星の特徴である酸化チタンの分子吸収帯が多く現れている。また、Na の D 線も同定可能である。補正済み強度のピーク波長は 808 nm であり、ウィーンの変位則からは表面温度は 3,600 K と求

まる。図 19 からは、ベテルギウスの補正済み強度に合う黒体放射の温度は 3,100 K と 3,200 K の間と考えられる。なお、磯部ほか(2003)によるベテルギウスの表面温度は 3,605 K である。(この星の補正済み強度に現れる吸収線の位置はカタログ III/202 のものと一致しているが、吸収線の深さや長波長側での強度がカタログと大きく異なっている。カタログ III/202 と III/201 の両方に記載されている他の星についてのデータを互いに比較すると III/202 の方が吸収線が深く、ピーク値が大きく出ている。カタログ III/202 のデータが光電管を用いたスキャン測光により得られたものであることがこれらの差を生じた一つの原因と考えられる。)

補正をしなければ、吸収線の同定はもちろん、連続光のピークも実際とは大きく異なり、温度の見積もりも不適切なものとなる。しかし、本研究のように、データを適切に補正すれば、安価な装置でも、教育的に有用で科学的にも意味のある結果を得ることができ

る。このように、本研究における「教育用分光器」は十分にその有用性を示すことができた。

## 7. 天体観測を取り入れた総合的な学習について

この教材開発の目的は、予算の限られた教育の現場で、いかに費用をかけずに、現在行われている科学研究の手法の一端を生徒に体験的に学習させることができるかを探り、可能な限りその教材化を図ることである。現代の科学研究を特徴づけるものは、コンピュータとエレクトロニクスを縦横無尽に使用した実験・観察・情報処理装置の利用である。それゆえ、現代の科学研究の手法を体験的に学ぶにはコンピュータの利用法とコンピュータを活用した観測機器の利用についての学習は欠かせない。

本論で扱う実習教材は関連する分野が広く、単一の教科で扱うには困難な点も多いので、総合的な学習の見地からいろいろ検討を加えていくのが適当であろう。特に、物理および新教科「情報」とは、多くの点で指導内容が重複または密接に関連するので、総合的な学習のテーマの1つとしてカリキュラムを工夫することによって、高校でも指導可能な教材に仕上げることが可能である。以下にこの学習教材を用いた総合的な学習の題材としてふさわしいものの例をいくつか提示する。これらの例のほかにも、生徒の興味・関心・習熟度等に応じて多様な工夫・展開が可能であろう。

### (1) パソコンの使用方法

既成のデータではなく、今回のように学校の望遠鏡と装置を用いて自ら取得した生の観測データを処理するような場合には、より多くの興味・関心を抱きながらパソコンの実習に取り組むことができるものと考えられる。ノイズや不要な情報を含む生の観測データから、パソコンで種々の処理をすることにより目的とする良質な画像が得られ、有意義な情報を引き出すことができる。実際、意義がわかれば、高度なパソコンの扱いにも生徒は進んで意欲的に取り組もうとする様子が見られる(八巻, 1998)。結果に興味を感じつつパソコンを扱うことにより、その使用についての習熟を早めるであろう。

### (2) 情報の収集、調査、分析

観測対象の天体についての情報は書籍や雑誌、論文などの紙媒体にとどまらず、CD-ROMや各種のデータベースなどに莫大なデジタル情報が蓄積されている。インターネット上にも多くの情報が公開されてお

り、それらにアクセスすることによりネットの有用性をよく体験できるとともに、ネット上から必要な情報を見つけだす良い練習にもなる。

### (3) 情報のデジタル化

教科「情報」で画像情報のデジタル化(サンプリング、A/D変換等)について取り扱うが、この教材を用いればより具体的な例を用いて、画像情報がCCDカメラの内部でどのようにデジタル化され、それがパソコンでどのように処理され、科学的に意味のあるデータになるのかという情報処理の流れを、自らが入手した生のデータをもとに体験的に学習できる。具体的な学習項目としては、

- ・光電効果 ・PN接合
- ・CCDカメラの構造(電荷の転送を含む)
- ・画像情報のデジタル化の仕組み
- ・誤差の原因と種類、その対応と処理法等
- ・画像処理ソフトの役割とその使用法等

### (4) 情報の統計的な処理

画像の加算(コンポジット等)、減算(変化量の検出等)、乗算(信号の増幅等)、除算(フラットフィールドニング等)や平均値、最大値、最小値、標準偏差の計算、グラフの近似曲線(回帰分析)などを具体的な対象(天体画像)に対して行うことにより、情報の統計的な処理についての具体的なイメージを持つことができる。

### (5) 光のもたらす情報

光源からの光を分光し、そのスペクトルを解析することにより、光源の温度や元素組成などを推定することができる。その解析において、黒体放射やウィーンの変位則等について実践的に学ぶことができる。

## 8. おわりに

今回開発した教育用分光器の特徴は、以下のとおりである。

- ・恒星分光器と比較してはるかに安価である。
- ・グレーティングがプラスチック・シートのため組工が容易である。
- ・スリットやコリメーターや結像レンズは不要で光学系が単純である。
- ・約400 nmから900 nmまでの分光観測が可能である。
- ・精度7 nm程度で波長の測定が可能である。
- ・連続光の形状から有効数字2桁程度の温度の推定が可能である。

・精度 7 nm 程度で主な吸収線の同定が可能である。

以上により、学校で行う天体観測に新たな可能性を示すとともに、天文学のみならず、物理学や情報科学についても体験的に学習することが可能となる総合的な学習の題材に、この教材はなりうるものと考える。

**謝 辞** この教材の開発にあたって利用した分光データ解析ソフト BeSpec の開発者ならびに国立天文台/天文データセンター/VizieR Service に対して、深く感謝する。

## 引用文献

- 縣 秀彦・伊藤信成・川端哲也・黒田武彦・尾林彩乃・古荘玲子(2000): 特集「天文施設による体験学習」, 天文教育, 12 (3), 2-33.
- Alekseeva, G. A., Arkharov, A. A., Galkin, V. D., Hagen-Thorn, E. I., Nikanorova, I. N., Novikov, V. V., Novopashenny, V. B., Pakhomov, V. P., Ruban, E. V., Shchegolev, D. E. (1996, 1997): *Pulkovo Spectrophotometric Catalog. Baltic Astron.*, 5, 603 (1996); 6, 481 (1997). (国立天文台の VizieR Service から III/201 で検索)
- 磯部 秀三・佐藤勝彦・岡村定矩・辻 隆・吉澤正則・渡邊鉄哉(2003): 天文の事典. 朝倉書店, 196.
- 大脇直明・磯部秀三・斎藤馨児・堀 源一郎(1989): 天文資料集. 東京大学出版会, 40-48.
- Kharitonov, A. V., Tereshchenko, V. M., Knyazeva, L. N. (1988): *Spectrophotometric Catalogue of Stars*. Alma-Ata, Nauka, 484 p. (国立天文台の VizieR Service から III/202 で検索)
- 定金晃三(1991): 冷却 CCD カメラ. 横尾武夫(編), 宇宙を観る II, 恒星社厚生閣, 184-193.
- 高木貴博・水野孝雄(2002): 「レプリカグレーティングを用いて標準星の観測により求めた CCD の感度特性」. 東京学芸大学紀要, 第 54 集, 93-100.
- 高城武夫(1973): 天文教具. 恒星社厚生閣, 207-209
- 西村昌能(1998): 自作分光器を利用した授業例. 第 12 回天文教育研究会集録, 130-133.
- 福島英雄(1996): 天文アマチュアのための冷却 CCD 入門. 誠文堂新光社, 134-188
- 松永武徳(1988): 恒星の性質と分類. 小林 学・恩藤知典・山極 隆(編). 地学実験観察ハンドブック. 朝倉書店, 304-305.
- 文部省(1999): 高等学校学習指導要領(告示).
- 八巻富士男(1997): 理科教育におけるコンピュータの利用(冷却 CCD カメラによる天体観測とデータ処理およびその教材化). 平成 8 年度埼玉県長期研修教員等研修報告書集録, 93-95.
- 八巻富士男(1998): 高校の部活動での冷却 CCD カメラを使った観測およびデータ処理の試み. 第 12 回天文教育研究会集録, 179-181.
- 八巻富士男(2001): 東京学芸大学教育学研究科修士論文「市販の冷却 CCD カメラと安価な光学フィルタを用いた天体観測による教材の開発」.
- 横尾武夫・福江 純(1991): 宇宙を観る眼. 横尾武夫(編), 宇宙を観る II. 恒星社厚生閣, 8-12.

八巻富士男・水野孝雄: 天体観測による総合的な学習教材の開発—市販の冷却 CCD カメラとレプリカグレーティングを用いて— 地学教育 58 巻 2 号, 37-50, 2005

〔キーワード〕 高校用総合学習, 教育用分光器, 冷却 CCD カメラ, レプリカグレーティング, スペクトル, コンピュータ

〔要旨〕 市販の比較的安価な冷却 CCD カメラと, 扱いやすいプラスチックシートのレプリカグレーティングを用いて, 簡易な点光源用分光器を作製する. それを高校等にある望遠鏡に装着し, 天体観測を行う. そのデータを市販の天体画像解析ソフトやインターネット上に公開されているフリーソフト等を用いて解析することにより, 天体のスペクトルを求める. これらの実習を通して, 自然科学の探究方法について体験的に学ぶとともに, 高校の教科・科目の枠を越えた学習や情報の収集・加工・発信などの学習を含む「総合的な学習」が可能となる.

Fujio YAMAKI and Takao MIZUNO: Development of Teaching Materials through Astronomical Observations and Data Analyses—Using a Cooled CCD Camera and a Replica Grating Available on the Market—. *Educat. Earth Sci.*, 58(2), 37-50, 2005

## 気体による赤外線吸収量の簡易測定法

### —気体の温室効果を測定する装置の開発—

A Simple New Method to Measure the Absorptivity of Infrared Flux by Gas  
—Development of a Measuring Instrument for Greenhouse Effect of Gas—

赤 田 耕 嗣\*

Koji AKADA

**Abstract:** Measurement of the amount of absorption of infrared flux by gas is the basis for calculation of radiative forcing, one of the most important indices for the degree of greenhouse gas effects. Obtaining such measurements usually requires expensive infrared spectrophotometers for gas. As an alternative, we utilized the infrared flux detector of a marketing infrared thermometer in a new method to measure the absorptivity of the emitted thermal infrared flux by the target gas along the light path. With respect to those gases which absorb infrared radiation in either outlying area of the atmospheric window, we must consider instrumental errors, which are readily addressed with easy quantitative measurements of this method. With respects to other gases, it is possible to measure the amount of absorption of infrared flux due to each gas directly by this easy and inexpensive method. This method appears to be useful for environment education applications.

### 1. はじめに

各種の気体の大気中での増加に伴う地球温暖化のしくみは大気科学の教科書, 例えば Jacob (1999) によると以下のように簡略に説明される。太陽放射からの入力と地球放射による出力との熱収支が地球全体でほぼつりあうことで, 地表温度も長年一定に保たれてきた。ところが, 太陽放射の主成分である可視光線には透明であり, かつ同時に, 地球放射の主成分である赤外線は吸収するような気体が大気中に増加すると, 地表から宇宙へ放射される赤外線の一部が大気に吸収され, 続いてそのさらに一部が再び地表に戻される。地表での熱量の収支はプラスに傾き, 地表温度は上昇する。

こうした効果を持つ気体を温室効果ガスという。各気体についての温室効果の正確な評価は, Houghton (1977) のように, 赤外線吸収量の関数として計算され

る放射強制力が一般に用いられる。具体的には, Fisher et al. (1990) が行ったように, 高分解能型を含む各種の赤外スペクトル分光計から得られた, 吸収線の位置と強度のデータと, 気体の大気中の分布などを考慮した総合的な積分として厳密にコンピュータ計算される。多数の気体についての厳密な計算結果を基に経験的に簡略に計算する式が IPCC (1990) にまとめられている。そのうちの 4 種の気体の放射強制力を計算する経験式を表 1 の第 1 列に記した。ちなみに, 広く用いられている温暖化係数はその気体の大気中での寿命なども考慮し, 一定期間について時間積分された放射強制力の変化量として, IPCC (1995) は次のように定義した。すなわち, 温暖化係数は単位質量の気体の大気中での増加により, 一定年数間の放射強制力の変化量が単位質量の二酸化炭素の増加による変化量の何倍かを示す。

多種類に及ぶ温室効果ガスが現在も大気中で増加し

表 1 各種の温室効果ガスの大気中濃度と放射強制力

気体の種類	放射強制力の経験式 (注1) ( $W/m^2$ )	大気中濃度 (注2) (ppbv)		放射強制力の値 (注3) ( $W/m^2$ )
		1992年 (注5)	1997年	
CO <sub>2</sub>	$6.3 \ln \{ (V + \Delta V) / V \}$	355,000	360,000 (注6)	$1.8 \times 10^{-5}$
CH <sub>4</sub>	$0.036 (\sqrt{V + \Delta V} - \sqrt{V})$ (注4)	1,714	1,725 (注6)	$4.3 \times 10^{-4}$
HFC134a	$A (V + \Delta V - V)$ $A = 0.22 \times 0.77$	0.000 03	0.005 4 (注7)	0.17
フロン12	$0.28 (V + \Delta V - V)$	0.503	0.530 (注7)	0.28

注1 IPCC(1990)による。Vはその時点の大気中濃度 (ppbv)。ΔVは増加濃度 (ppbv)。

注2 季節変動調節後の平均値。

注3 本表中の1997年の大気中濃度が1ppbv増加した瞬間生ずる放射強制力を表中の経験式に適用して有効数字2桁で算出。

注4 大気中のN<sub>2</sub>O濃度にも関係するが、N<sub>2</sub>O濃度は変わらないと仮定。

注5 IPCC(1995)による。

注6 CMDL(1998)の2章 Carbon cycle による。

注7 CMDL(1998)の5章 Nitrous Oxide and Halocompounds による。

て、地球温暖化を引き起こし、地球規模の環境問題として注目されている。

IPCC (1995)によると、二酸化炭素の大気中の濃度が近年増加の一途を辿っている原因は二つある。一つは人類の社会活動の結果として、化石燃料の使用の急増による大気への排出量の増大である。もう一つは炭酸同化により大気からの除去を担うはずの森林の急速な破壊である。

二酸化炭素以外にも多種の温室効果ガスが表1に記した気体例のように大気中で増加しつつある。

放射強制力は赤外スペクトル分光計のデータを用いて計算されるが、この分光計は高価である。各種の気体の赤外線吸収量を安価な装置で手軽に測定できれば、環境教育への応用も期待される。

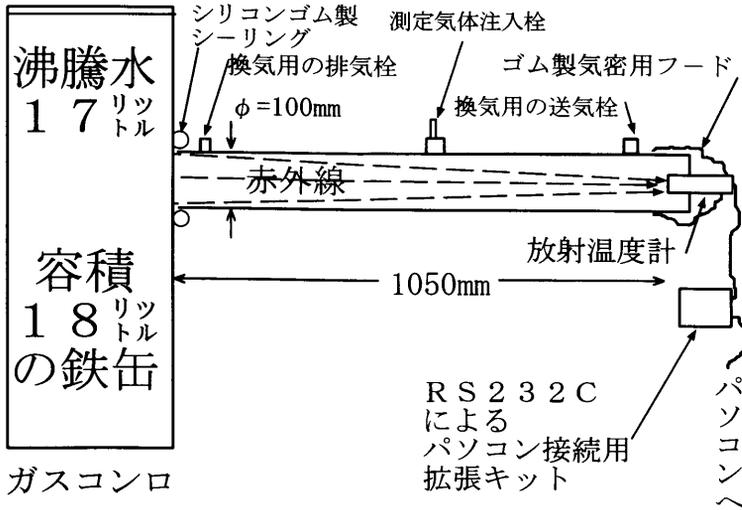
## 2. 測定の原理

Sellers (1965)は、地表温度に近い絶対温度 300 K の黒体放射との比較により、地球大気による吸収を経た、宇宙への放射 (実際の地球放射) は波長 7 μm から 21 μm の赤外線が主であることを示した。Hanel et al. (1972)は人工衛星ニムバスによる観測結果から、上記波長域の中でも特に 8 μm から 12 μm の赤外線の放射量が大きいとして、この波長域を大気の窓と呼んだ。

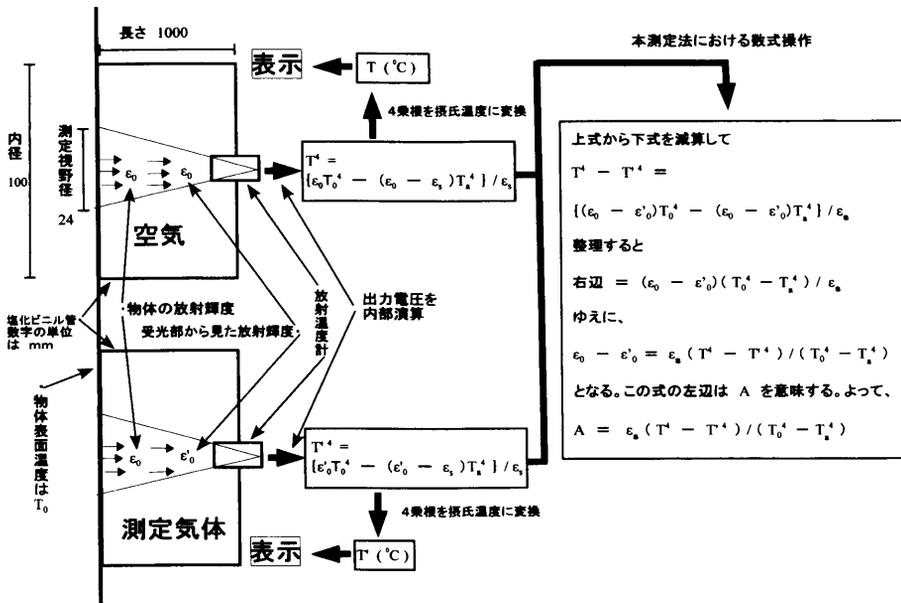
この窓領域の赤外線の総エネルギー量を測定する装

置があれば、温室効果を測定できると考え、放射温度計に着目した。使用した放射温度計の原理は、図1(B)の上図のように、対象物体から放射された赤外線のうち、測定波長域である 8 μm から 16 μm の赤外線を受光し、その有するエネルギー量をプランクの輻射式を用いて、物体から放射された全波長域の放射エネルギー量に換算した値をステファン・ボルツマン式の全放射エネルギーの項に適用して対象物体温度を計算し、表示するというものである。このとき、図1(B)の下図のように、物体と放射温度計の受光部までの空間に 8 μm から 16 μm の波長域の赤外線を吸収する気体が存在すると、途中で吸収される分だけ、到達した総エネルギー量が減少し、ステファン・ボルツマン式から計算される物体表面の表示温度も低下することになる。この低下量を測定できれば、赤外線吸収量を求めることができると考えた。

そこで、赤外光を視覚的に分かりやすい可視光に置換えたイメージを用いて説明する。塩化ビニル管内の測定気体が赤外光に対し本実験程度の小さな不透明度で存在する場合を想定する。管壁は室温を背景温度として赤外放射している。可視光でのイメージでは管壁全体が背景温度 (室温) の輝度で発光している。内部の測定気体は特定波長の赤外光をある吸収率で吸収し、同率の放射率で再放射し、全方位における吸収・放射の平衡が成立している。受光部から室温物体を見



(A)



(B)

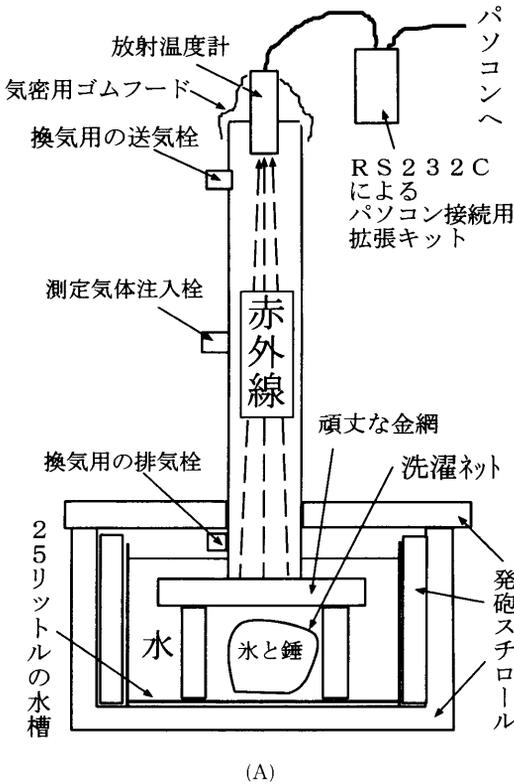
図1 気体の赤外線吸収量測定装置

(A): 実際の組立図 (沸騰水の満ちた鉄製の缶表面を対象物体とした測定用)

(B): 気体の赤外線吸収量測定法の概念図

ると、測定気体分子により吸収されて直進できない波長の赤外光が少量存在するため、やや不透明なモヤが薄くかかって見える。この吸収に続く平衡過程を経て再放射されるエネルギーは背景温度から吸収されたエネルギーに等しい。つまり、気体分子は吸収した光を

ごく微小時間の遅延後再放射すると考えてよい。その再放射光に加え、物体からの放射光のうち非吸収光すなわち透過光を合わせた到達光は物体からの直達放射光と同一エネルギーを有するので室温の輝度を示す。ただし、吸収（再放射）された波長部の光は直進でき

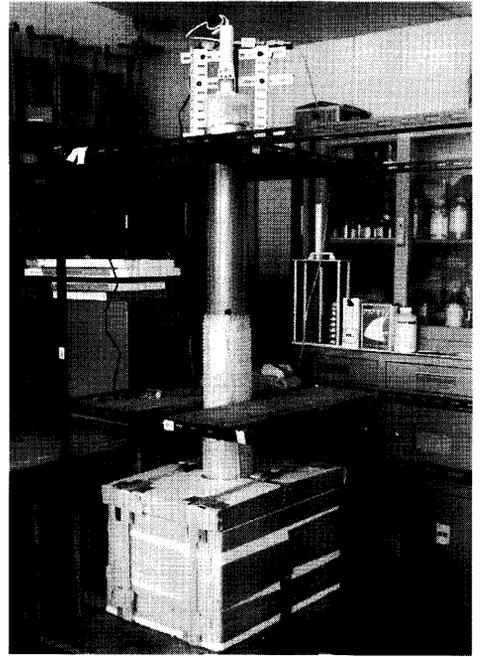


(A)

図1 気体の赤外線吸収量測定装置(水を沈めた水の表面を対象物体とした測定用)

(A): 実際の組立図

(B): 測定装置の写真



(B)

なかったのでモヤ状に見える。この室温輝度のモヤとともに見る物体はモヤのない場合と同じ室温輝度を持つ。次に沸騰水に接する物体の測定を考える。物体方向からの放射はより明るい輝度を持ち、当該波長エネルギーも大きい分、測定気体分子が全方位から受け取る吸収エネルギーも増大する。吸収・放射平衡は室温背景時より少し大きく、背景温度を沸点付近と仮想したときよりかなり小さい方向にずれる。その平衡エネルギーを気体分子は再放射する。これと透過光を合わせた到達光は本物体からの直達放射光に比べ、当該波長部のエネルギーが減少している分、全波長域の積分量がわずかに減少し暗いモヤに見える。このモヤとともに物体表面を見ることになり、モヤのない場合(沸点より少し低温)に比べごくわずかに暗く見える。この見かけの物体輝度の低下量から、後述する数学的方法により気体の赤外線吸収率が計算できる。次に氷点付近の水を用いた測定では、測定気体分子は物体(水)方向からの放射が減少し当該赤外光も低下した

分、全方位からの吸収エネルギーが低下し、室温背景時より少し小さく、背景温度を氷点と仮想したときよりかなり大きい方向にずれた平衡状態に相当する当該赤外光を再放射する。この再放射光と透過光を合わせた到達光は本物体の放射光に比べ当該波長部が増大するが、全波長域を積分するとわずかに明るいモヤに見える。そのモヤとともに見る物体は氷点物体よりごくわずかに明るく見える。この見かけの物体輝度の増加量から赤外線吸収率を次に述べる数学的方法により計算する。

この温度計が実際に検出するエネルギーは温度計自体の温度(背景温度)と物体温度との差エネルギーである。使用した放射温度計の説明書によれば、下記の①式によって、物体の表示温度を計算している。

$$T = \sqrt[4]{\frac{\varepsilon_0(T_0^4 - T_a^4)}{\varepsilon_s} + T_a^4} \quad (1)$$

ただし、式中の記号は下記を意味する。

T: 対象物体の表示温度(°C)を絶対温度に変換した

もの(K) (本実験では、絶対零度を  $-273.15^{\circ}\text{C}$  とした)

$T_0$ : 対象物体の絶対温度(K)

小数第1位まで、正確に読み取った。

$T_a$ : 放射温度計自体の絶対温度(K)=室温

一定に保つのは困難で、実験中、最大で  $0.3^{\circ}\text{C}$  程度の変動があるので、有効数字3桁とした。

$\varepsilon_0$ : 対象物体の空気中の放射率 ( $0 < \varepsilon_0 < 1$ )

$\varepsilon_s$ : 放射温度計の設定放射率

そこで、図1(B)の下図のように、対象物体と放射温度計を結ぶ空間に赤外線吸収量を測定したい気体を満たし、物体からの赤外放射をこの放射温度計で検出し、物体表面温度を測定する。光路途中の測定気体が  $8\mu\text{m}$  から  $16\mu\text{m}$  の波長域の赤外線を吸収すれば、放射温度計の表示温度は変化する。放射温度計の受光部から見て、対象物体の放射輝度が光路中の気体による吸収のために変化した結果であるが、見かけ上、対象物体の放射率が変化したとみなすこともできる。つまり図1(B)で表示温度が上図  $T$  から下図  $T'$  に変化した場合、対象物体の放射率が  $\varepsilon_0$  から  $\varepsilon'_0$  へ変化したとみなせる。ここで、 $\varepsilon_0 - \varepsilon'_0$  は測定気体による赤外線吸収に伴う、見かけの放射率の変化に相当する。本来これは、途中気体による赤外線吸収率 (=  $A$ ) にほかならない。よって、②式となる。

$$A = \varepsilon_0 - \varepsilon'_0 \quad \text{②}$$

そこで、図1(B)の右側のような数式操作により下式を得る。

$$A = \varepsilon_s \frac{T^4 - T'^4}{T_0^4 - T_a^4} \quad \text{③}$$

この式において、使用した放射温度計の表示温度や設定放射率の精度に関しては1台1台のばらつきの可能性も考えられるので、図1(B)の上図の空気の場合の  $T$  とそのときの  $\varepsilon_s$  を正確に定めておくことで補正した。すなわち、あらかじめ別の温度計で  $T_a$  と  $T_0$  を正確に測定し、その  $T_0$  に放射温度計の表示温度  $T$  が一致するように  $\varepsilon_s$  をその物体の放射率  $\varepsilon_0$  として設定する。

よって、 $T = T_0$  となり、改めて、 $T' = T$  として、③式に右辺は代入し、次の④式を得る。

$$A = \varepsilon_s \frac{T_0^4 - T^4}{T_0^4 - T_a^4} \quad \text{④}$$

ただし、式中の記号のうち、 $A$  は下記、他は①式と同じ意味である。

$A$ : 赤外線吸収率。すなわち、 $8\mu\text{m}$  から  $16\mu\text{m}$  の波長域において、物体からの放射エネルギーに対する、途中気体により吸収されたエネルギーの割合

こうして、図1(A)または、図2(A)の装置の測定容器に測定気体を注入して、表示温度  $T$  の変化を測定すれば、④式により赤外線吸収率  $A$  を計算できる。

### 3. 材料と方法

#### (1) 試薬

- 1) 窒素ガス: 1klのボンベ ((株)原田商店)
- 2) フロン 12, HFC134a: スプレー式の缶 (ホーザン(株))
- 3) メタン: スプレー式の缶 (日本酸素(株))
- 4) 二酸化炭素: 気体発生装置の下段のフラスコに過剰硫酸を入れ、上段のフラスコから炭酸水素ナトリウム溶液を徐々に滴下して、発生した二酸化炭素を水上置換で次に述べる定量気体注入装置の集気瓶に捕集する。最初の気体は捨て、純粋の二酸化炭素のみを捕集する。

#### (2) 装置

- 1) 定量気体注入装置: 約2.4lの水を容量2.5lの2本の集気瓶に注入し、サイホンの原理でつなぎ、組み立てた。
- 2) 放射温度計: 堀場製作所製 IT-550L とそのパソコン接続用拡張キット
- 3) パソコン: NEC 社製 va10ha
- 4) 使用ソフト: マイクロソフト社製ウインドウズ 98 および、エクセル 2000

放射温度計のパソコン接続用拡張キットをパソコンの RS232C コネクタに接続し、送信された測定温度データはエクセルで処理し、グラフ化した。

#### (3) 測定方法

- 1) 沸騰水の満ちた鉄製の缶を対象物体とした測定  
容量18lの直方体型の鉄製の缶(表面はラッカー塗装)に水を上端近くまで満たし、ガスコンロで沸騰させる。図1のように組立て、測定容器内に測定気体を定量気体注入装置で注入して測定する。
- 2) 水を沈めた水の表面を対象物体とした測定  
容量25lの直方体型の水槽に約  $4^{\circ}\text{C}$  の水22lを注入し、約2kgの水と鉛製の錘3個を洗濯ネットに詰めて、冷水中に沈める。この水槽をポリスチレンの断熱箱内に設置し、測定容器や放射温度計を図2のように組立てる。測定容器内に測定気体を定量気体注入装置で注入して測定する。

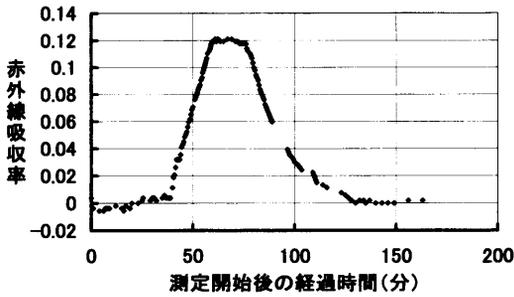


図3 フロン12の赤外線吸収効果

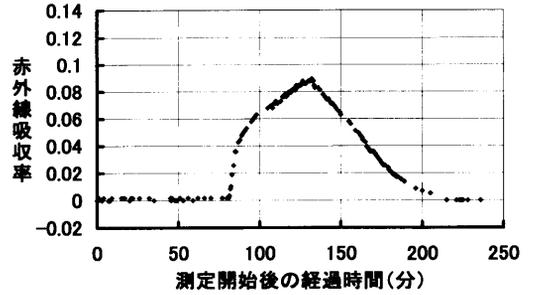


図7 二酸化炭素の赤外線吸収効果

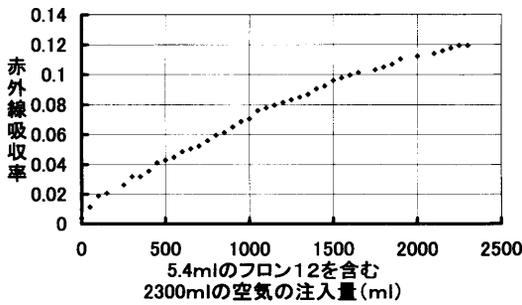


図4 フロン12の赤外線吸収量

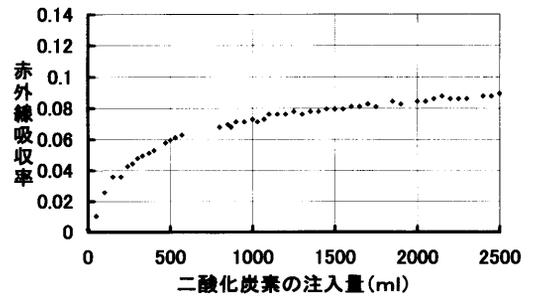


図8 二酸化炭素の赤外線吸収量

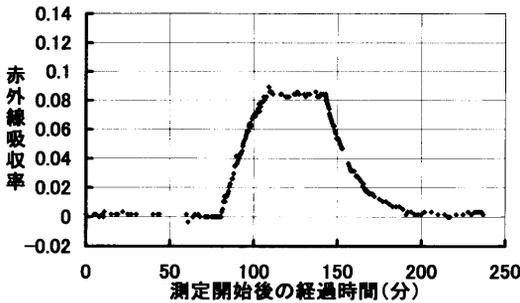


図5 HFC134aの赤外線吸収効果

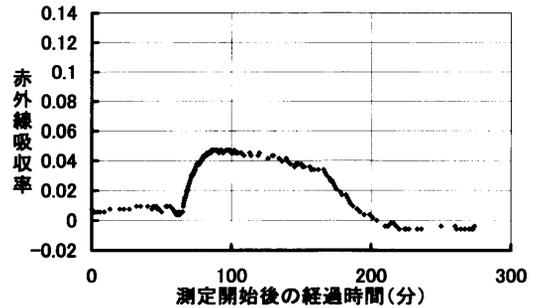


図9 メタンの赤外線吸収効果

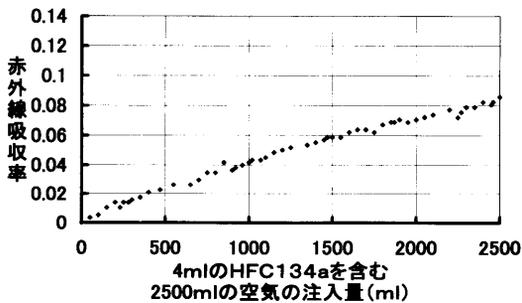


図6 HFC134aの赤外線吸収量

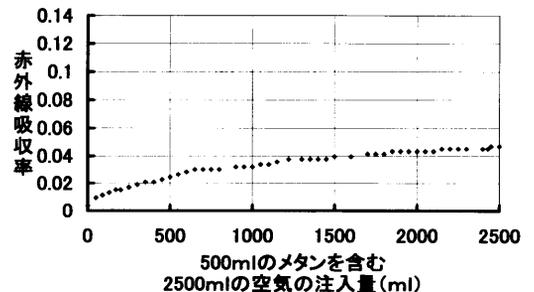


図10 メタンの赤外線吸収量

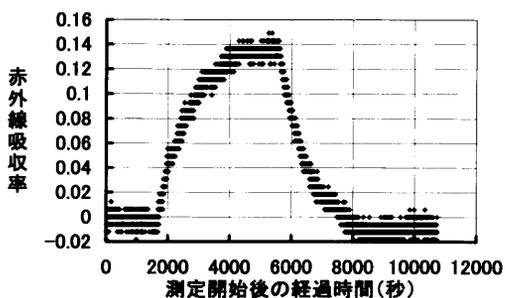


図 11 フロン 12 の赤外線吸収効果

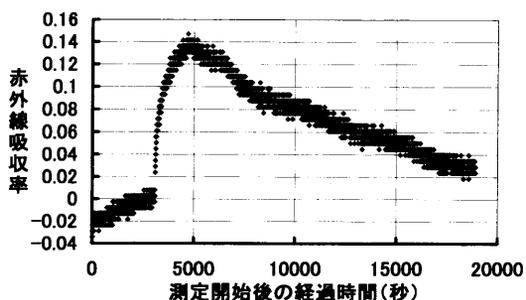


図 15 二酸化炭素の赤外線吸収効果

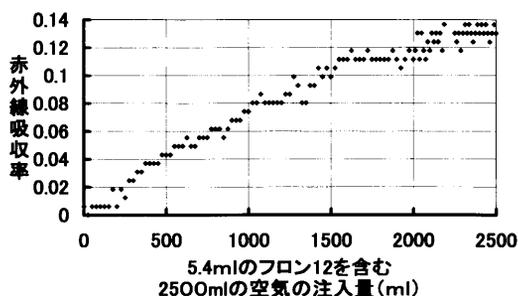


図 12 フロン 12 の赤外線吸収量

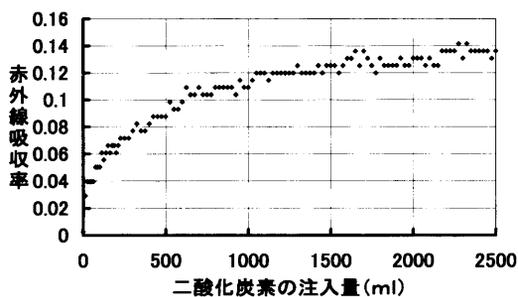


図 16 二酸化炭素の赤外線吸収量

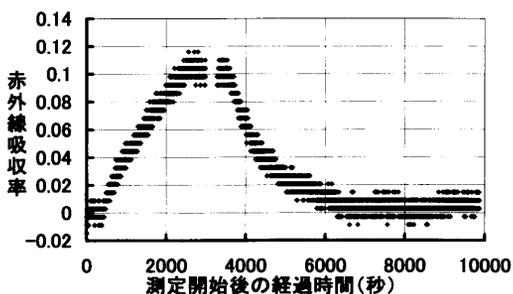


図 13 HFC134a の赤外線吸収効果

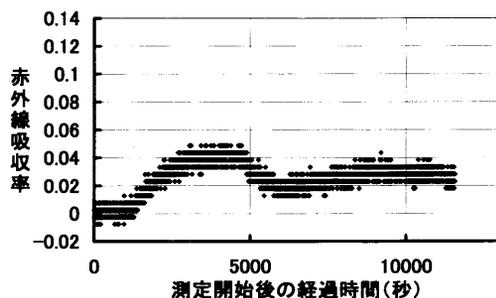


図 17 メタンの赤外線吸収効果

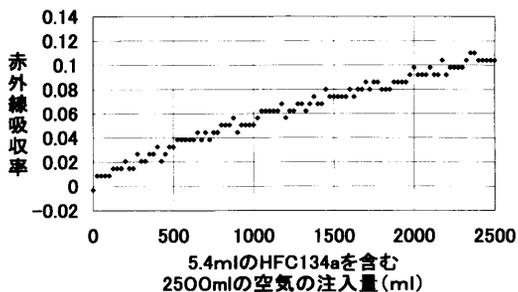


図 14 HFC134a の赤外線吸収量

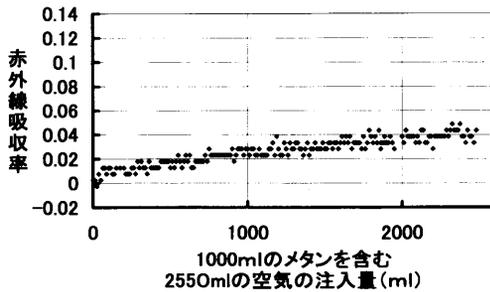


図 18 メタンの赤外線吸収量

## 4. 結 果

(1) 沸騰水の満ちた鉄製の缶を対象物体とした測定

④式に代入する数値は最初に以下が測定された。

設定放射率  $\epsilon_s = 0.88$

1) フロン 12

容量 10 ml の注射器に 5.4 ml のフロン 12 を入れ、これを定量気体注入装置に注入し、空気で 2300 ml に希釈した気体を用いた。

④式に代入する数値は以下が測定された。

対象物体の絶対温度  $T_0 = 366.9 \text{ K}$

放射温度計自体の絶対温度 (室温)  $T_a = 307 \text{ K}$

さらに放射温度計の表示温度データ ( $T$ ) をパソコンに送信・処理し、④式により赤外線吸収率を計算し、図 3 にグラフとした。図 3 の実験では、測定開始 40 分後に定量気体注入装置から、空気で希釈したフロン 12 を少しずつ注入し、測定開始後 60 分で注入を完了した。注入とともに赤外線吸収率が 0 から 0.12 まで増加していった。測定容器をこの状態のまま保ち、さらに 15 分間測定を続けても赤外線吸収率は 0.12 を維持し続けた。このことから本装置の気密性は十分であると言える。

次に測定開始後 75 分から測定容器の放射温度計の受光部近くの気体注入栓から、金魚飼育用の空気ポンプで空気を送風し、測定容器の対象物体側の排気用栓から、内部の気体を排気することで、測定容器内を空気に換気していった。換気につれて、赤外線吸収率が約 50 分で元の 0 に戻っていった。

図 4 では、定量気体注入装置からのフロン 12 の注入量を横軸に、赤外線吸収率を縦軸に、実験結果をグラフ化した。常温常圧で 5.4 ml に相当するフロン 12 を徐々に注入した場合、気体量にほぼ比例して赤外線吸収率が 0.12 まで上昇した。

2) HFC134a

容量 10 ml の注射器に 4.0 ml の HFC134a を入れ、これを定量気体注入装置に注入し、空気で 2500 ml に希釈した気体を用いた。

④式に代入する数値は以下が測定された。

対象物体の絶対温度  $T_0 = 367.2 \text{ K}$

放射温度計自体の絶対温度 (= 室温)  $T_a = 301 \text{ K}$

図 5 の実験では、測定開始 80 分後に定量気体注入装置から、空気で希釈した HFC134a を少しずつ注入し、測定開始後 110 分で注入を完了した。注入につれ

て赤外線吸収率が 0 から 0.085 まで上昇した。

その後、「1) フロン 12」と同様に、測定容器内を元の空気に置換するにつれて、赤外線吸収率は元通りの 0 に戻っていった。

図 6 では、HFC134a の注入量を横軸に、赤外線吸収率を縦軸に、実験結果をグラフ化した。常温常圧で 4.0 ml に相当する HFC134a を徐々に注入した場合、気体量にほぼ比例して赤外線吸収率が 0.085 まで上昇した。

3) 二酸化炭素

「3. 材料と方法」で述べた方法で発生させた二酸化炭素 2500 ml を、定量気体注入装置に詰めて用いた。

④式に代入する数値は以下が測定された。

対象物体の絶対温度  $T_0 = 367.5 \text{ K}$

放射温度計自体の絶対温度 (= 室温)  $T_a = 300 \text{ K}$

図 7 の実験では、測定開始 80 分後に定量気体注入装置から、二酸化炭素を少しずつ注入し、測定開始後 132 分で注入を完了した。注入とともに赤外線吸収率が 0 から 0.088 まで上昇した。

その後、「1) フロン 12」と同様に、測定容器内を元の空気に置換するにつれて、赤外線吸収率は元通りの 0 に戻っていった。

図 8 では、二酸化炭素の注入量を横軸に、赤外線吸収率を縦軸に、実験結果をグラフ化した。常温常圧で 2500 ml の二酸化炭素を徐々に注入した場合、注入量の増加につれて、赤外線吸収率が 0.088 まで上昇したが、曲線の傾きは二酸化炭素量の増加につれ減少する、上に凸の曲線になった。

4) メタン

スプレー式の缶から、500 ml のメタンを定量気体注入装置に詰め、窒素ボンベから窒素を注入して、最終的に 2500 ml とした気体を測定気体とした。

空気中の酸素とメタンが燃焼反応するのを防ぐため、測定開始 230 分前より、測定容器の温度計の受光部近くの気体注入栓から、窒素ボンベから窒素ガスを注入し、測定容器の対象物体側の排気用栓から、内部の気体を排気することで、測定容器内を窒素に置換していった。

④式に代入する数値は以下が測定された。

対象物体の絶対温度  $T_0 = 366.3 \text{ K}$

放射温度計自体の絶対温度 (= 室温)  $T_a = 307 \text{ K}$

図 9 の実験では、測定開始後 63 分から、メタンと窒素の混合気体を測定容器に徐々に注入し、測定開始

後 86 分で 2500 ml の注入を完了した。注入とともに赤外線吸収率が 0 から 0.047 まで上昇した。

その後、「1) フロン 12」の実験と同じ趣旨で、測定容器内を窒素ボンベから供給する窒素に置換するにつれて、赤外線吸収率は元通りに減少していったが、測定開始後 165 分からは容器内のメタンは十分希釈され、空気中の酸素との爆発などの危険はなくなったと判断し、窒素ガスに替えて空気による置換に切り替えた。空気に置換されるにつれ、赤外線吸収率は元の 0 に戻っていった。

図 10 では、メタンと窒素の混合気体の注入量を横軸に、赤外線吸収率を縦軸に、実験結果をグラフ化した。常温常圧で 500 ml のメタンを含む混合気体を徐々に注入した場合、注入量の増加につれて、赤外線吸収率が 0.047 まで上昇したが、曲線の傾きは、メタンの増加につれて減少する、上に凸の曲線になった。

(2) 水を沈めた水の表面を対象物体とした測定

設定放射率  $\epsilon_s = 0.94$

対象物体の絶対温度はどの実験でも一定であった。

すなわち、 $T_0 = 277.8 \text{ K}$

1) フロン 12

容量 10 ml の注射器に 5.4 ml のフロン 12 を入れ、これを定量気体注入装置に注入し、空気で 2500 ml に希釈した気体を用いた。

④式に代入する数値は以下が測定された。

放射温度計自体の絶対温度 (= 室温)  $T_a = 292 \text{ K}$

図 11 の実験では、測定開始 1700 秒後に定量気体注入装置から、空気で希釈したフロン 12 を少しずつ注入し、測定開始後 4354 秒で注入を完了した。注入につれて赤外線吸収率が 0 から 0.12 まで増加した。物体温度 366.7 K の場合の図 3 とほぼ同様であった。

その後もこの状態のまま測定容器を保ち、さらに 1230 秒間測定を続けても赤外線吸収率は 0.12 を維持し続けた。このことから本装置の気密性は十分であると言える。次に測定開始後 5580 秒から測定容器の温度計の受光部近くの気体注入栓から、金魚飼育用の空気ポンプで空気を送風し、測定容器の対象物体側の排気用栓から、内部の気体を排気することで、測定容器内を空気に置換していった。置換につれて、約 2400 秒後には赤外線吸収率が元の 0 に戻っていった。

図 12 では、フロン 12 の注入量を横軸に、赤外線吸収率を縦軸に、実験結果をグラフ化した。常温常圧で 5.4 ml のフロン 12 を徐々に注入した場合、気体量に

ほぼ比例して赤外線吸収率が 0.12 まで上昇した。このグラフは、物体温度 366.9 K の場合の図 4 のグラフとほぼ同じであった。

2) HFC134a

容量 10 ml の注射器に 5.4 ml の HFC134a を入れ、これを定量気体注入装置に注入し、空気で 2500 ml に希釈した気体を用いた。

④式に代入する数値は以下が測定された。

放射温度計自体の絶対温度 (= 室温)  $T_a = 293 \text{ K}$

図 13 の実験では、測定開始 416 秒後に定量気体注入装置から、空気で希釈した HFC134a を少しずつ注入し、測定開始後 2760 秒で注入を完了した。注入とともに赤外線吸収率が 0 から 0.105 まで増加していった。

その後、「1) フロン 12」と同様に、測定容器内を元の空気に置換するにつれて、赤外線吸収率は元通りの 0 に戻っていった。

図 14 では、HFC134a の注入量を横軸に、赤外線吸収率を縦軸に、実験結果をグラフ化した。常温常圧で 5.4 ml の HFC134a を徐々に注入した場合、気体量にほぼ比例して赤外線吸収率が 0.105 まで上昇した。図 14 は、物体温度 367.2 K の場合の図 6 と同様な結果であった。

3) 二酸化炭素

④式に代入する数値は以下が測定された。

放射温度計自体の絶対温度 (= 室温)  $T_a = 294 \text{ K}$

図 15 の実験では、測定開始 3100 秒後に定量気体注入装置から、二酸化炭素を少しずつ注入し、測定開始後 4884 秒で 2550 ml の注入を完了した。注入とともに赤外線吸収率が 0 から 0.136 まで上昇した。

その後、「1) フロン 12」と同様に、測定容器内を元の空気に置換するにつれて、赤外線吸収率は元通りの 0 に戻っていった。

図 16 では、二酸化炭素の注入量を横軸に、赤外線吸収率を縦軸に、実験結果をグラフ化した。常温常圧で 2550 ml の二酸化炭素を徐々に注入した場合、注入量の増加につれて、赤外線吸収率が 0.136 まで上昇したが、二酸化炭素量の増加につれて曲線の傾きが減少する、上に凸の曲線になった。図 16 は、物体温度 367.5 K の場合の図 8 とほぼ一致した。

4) メタン

スプレー式の缶から、1000 ml のメタンを定量気体注入装置に詰め、空気を注入して最終的に 2500 ml とした気体を測定気体とした。

④式に代入する数値は以下が測定された。

放射温度計自体の絶対温度 (= 室温)  $T_a = 293 \text{ K}$

図 17 の実験では、測定開始 1400 秒後に定量気体注入装置から、空気希釈したメタンを少しずつ注入し、測定開始後 3228 秒で 2480 ml の注入を完了した。注入とともに赤外線吸収率が 0 から 0.044 まで増加していった。

その後、「1) フロン 12」と同様に、測定開始後 4530 秒から測定容器内を元の空気に置換するにつれて、赤外線吸収率は減少していったが、完全に元の 0 に戻すのは困難であった。

図 18 では、メタン混合気体の注入量を横軸に、赤外線吸収率を縦軸に、実験結果をグラフ化した。常温常圧で 1000 ml のメタンを徐々に注入した場合、注入量の増加につれて、赤外線吸収率が 0.044 まで上昇したが、メタンの増加につれて曲線の傾きが減少する、上に凸の曲線になった。

図 18 は、物体温度 366.3 K で、メタン量が半分の 500 ml の場合の図 10 と比べて、赤外線吸収率が小さい結果となった。

## 5. 考 察

### (1) フロン 12 ( $\text{CCl}_2\text{F}_2$ 分子量 121)

IPCC (1995) によると、この気体は分解されにくく、オゾン層破壊効果も強いのですでに製造中止になっているが、大気中の寿命が 139 年と長いため、大気中濃度は表 1 のように今もって上昇し続けている。

物体温度 366.3 K での図 4 で、赤外線吸収率が 0 から 0.01 まで上昇するのに要する気体体積をグラフの傾きの初期値から読み取ると約 119 ml であるから、その中に含まれるフロン 12 の常温常圧での体積は 0.28 ml と計算される。

一方、物体温度 277.8 K での図 12 で、赤外線吸収率が 0 から 0.01 まで上昇するのに要する気体体積をグラフの傾きの初期値から読み取ると約 116 ml であるから、含まれるフロン 12 の常温常圧での体積は 0.25 ml となる。この値は上記の 0.28 ml とよく一致しているので、平均 0.26 ml とした。

測定容器の内容積は約 10 l であるので、その 1 ppmv に当たる気体量は 0.01 ml である。上記のように平均 0.26 ml で赤外線吸収率が 0.01 上昇するので、0.01 ml 当たりでの赤外線吸収率増加量を計算すると、 $385 \times 10^{-6}$  となる。

### (2) 代替フロン HFC 134a ( $\text{CH}_2\text{FCF}_3$ 分子量

102)

IPCC (1995) によると、本物質は代替フロンとしてクーラーや冷蔵庫の冷媒、電子部品の洗浄または冷却ガスなどとして広く使用されている。CMDL (1998) Summary Report の 5 章によると 1995 年あたりから大気中に急増している。

物体温度 367.2 K での図 6 で、赤外線吸収率が 0 から 0.01 まで上昇するのに要する気体体積をグラフの傾きの初期値から読み取ると約 208 ml であるから、その中に含まれる HFC 134a の常温常圧での体積は 0.33 ml と計算される。

一方、物体温度 277.8 K での実験における図 14 で、赤外線吸収率が 0 から 0.01 まで上昇するのに要する気体体積をグラフの傾きの初期値から読み取ると約 146 ml であるから、その中に含まれる HFC 134a の常温常圧での体積は 0.32 ml と計算される。この値は上記の 0.33 ml とよく一致している。平均を 0.32 ml として、「1) フロン 12」と同様に 0.01 ml 当たりの赤外線吸収率を計算すると、 $313 \times 10^{-6}$  となる。

### (3) 二酸化炭素

IPCC (1995) によると、この気体の大気中での増加が現在の地球温暖化の主因とされている。産業革命後、増加の傾きを増しつつあるため問題となっている。

物体温度 367.5 K での図 8 で、赤外線吸収率が 0 から 0.01 まで上昇するのに要する気体体積をグラフの傾きの初期値から読み取ると約 48.6 ml である。一方、物体温度 277.8 K での図 16 で、赤外線吸収率が 0 から 0.01 まで上昇するのに要する気体体積をグラフの傾きの初期値から読み取ると約 42.5 ml である。この値は上記の 48.6 ml とよく一致している。平均を 45.6 ml として、「1) フロン 12」と同様に 0.01 ml 当たりの赤外線吸収率を計算すると、 $2.19 \times 10^{-6}$  となる。

### (4) メタン

IPCC (1995) によると、メタンはある種の微生物の生活活動により自然界でも全球発生量の約 3 割発生する。残りは人為起源である。水田や、家畜の腸内発酵での発生も大きい。どぶやゴミ埋立て地での発生が問題とされ、燃料採掘に伴う放出もある。最近では海底の泥の中にメタンハイドレートの形で大量に存在することが分かってきた。海水温の上昇などにより気化する恐れもあるので、過去の地史的気候温暖化との関係が注目されている。

表2 各種の温室効果ガスの赤外線吸収率の測定値  
気体の種類 赤外線吸収率 (=A)  
( $\times 10^6$ ) (注1)

CO <sub>2</sub>	2.19
CH <sub>4</sub>	0.763 (注2)
HFC134a	313
フロン12	385

注1 1 ppmv 当りの各気体の増加による吸収率 =  $A \cdot (0 < A < 1)$   
水の沸点付近での測定値と凝固点付近での測定値との平均。  
詳細は本文参照。

注2 水の凝固点付近での測定値。

物体温度 366.3 K での図 10 で、赤外線吸収率が 0 から 0.01 まで上昇するのに要する気体体積をグラフの傾きの初期値から読み取ると約 238 ml であるから、その中に含まれるメタンの常温常圧での体積は 47.5 ml と計算できる。

一方、物体温度 277.8 K での図 18 で、赤外線吸収率が 0 から 0.01 まで上昇するのに要する気体体積をグラフの傾きの初期値から読み取ると約 336 ml であるから、その中に含まれるメタンの常温常圧での体積は 131 ml となる。この値は上記の 47.5 ml と大きく違う。物体温度 366.3 K では、図 1 において、熱された鉄板が触媒となり、空気中の酸素がシーリングゴムと沸騰水を満たした鉄缶との隙間からしみ込んできて、容器内に注入されたメタンと反応して二酸化炭素になったとすれば、「(3) 二酸化炭素」で求めた値、48.6 ml とはよく一致している。よって、物体温度 277.8 K での 131 ml を正しいと考え、「(1) フロン 12」と同様に表 2 での 0.01 ml 当たりの赤外線吸収率は、 $0.763 \times 10^{-6}$  とした。

以上の結果を表 2 にまとめた。表 1 の放射強制力と比較して、一部の気体の赤外線吸収率の数値が予想値からずれているように見える。特に大小関係の逆転は説明が要る。具体的には、表 1 の放射強制力と比べ、

表 2 の赤外線吸収率について、二酸化炭素は高目、メタンは低目、HFC134a は高目となった。

(5) 本測定法の測定誤差について

大気の窓と名づけられた波長域は地球放射の、あくまでも主成分であって、全部ではない。ゆえに大気の窓の外側の波長域も地球温暖化に影響を与える。特に大気の窓に隣接する波長域は要注意である。実際、Hanel et al. (1972) の人工衛星ニンバスによる地球放射のデータを詳しく見ると、 $7 \mu\text{m}$  から  $8 \mu\text{m}$  にかけて、弱いながらも地球放射が観測されている。そのうち特に  $7.5 \mu\text{m}$  から  $8 \mu\text{m}$  にかけての地球放射を示す曲線は地表温度相当の黒体放射の曲線になだらかに近づいている。いわば、この波長域は半開きの窓のようである。Shi (1992) によると、メタンは主として  $7.7 \mu\text{m}$  付近の赤外線を吸収することにより温室効果を地球に与える。メタンによる温室効果はこの半開きの窓を閉じようとすることによりもたらされると言えようか。

「1. はじめに」で述べたように、大気の窓の波長域は通常  $8 \mu\text{m}$  から  $12 \mu\text{m}$  とされている。そのため、一般に放射温度計は大気成分による測定への影響を避けるため、この波長域付近を用いて測定する。本実験で用いた放射温度計も測定波長として  $8 \sim 16 \mu\text{m}$  を採用しているが、浅川 (2004) によると、 $7.7 \mu\text{m}$  付近の赤外線は、フィルターによりカットされるものの約 39% は受光部に到達してしまう。その結果、測定容器中の気体の  $7.7 \mu\text{m}$  付近の赤外線の吸収量の大小にかかわらず、受光エネルギーは本来の約 39% 程度となるので、その差（本測定法の赤外線吸収率を与える）も同じ割合で縮小された数値になる。こうした影響でメタンの赤外線吸収率は表 1 の放射強制力からの予想値の約 39% に過小評価されたと考えられる。

本実験で用いた放射温度計の測定波長域 ( $8 \sim 16 \mu\text{m}$ ) の外側、 $16 \mu\text{m}$  以上の赤外光の透過率は、浅川 (2004) によると無視できる程度である。よって、 $8 \mu\text{m}$  から  $12 \mu\text{m}$  までの窓領域とのもう一つのずれは、 $12 \mu\text{m}$  から  $16 \mu\text{m}$  の波長域に限定できる。Goody (1964) によると、二酸化炭素は、 $15 \mu\text{m}$  の波長域付近の赤外部に強い吸収線を持つ。前述したニンバスのデータでも、この波長域は大気によってすでに不透明に近く、この波長域の赤外線を吸収する気体が現在以上増加してもさらなる赤外線吸収効果はあまり増えない。つまり、地球温暖化を考える場合はこの波長域の評価分を小さくした方がよい。しかるに、本実験装置

では、12  $\mu\text{m}$  から 16  $\mu\text{m}$  の波長域も同等の重みをもたせて測定している。本実験の二酸化炭素濃度は大気濃度よりはるかに大きいので、通常濃度での吸収量はほとんど無視できる、約 1 m という短い光路にかかわらずこの波長域を大いに吸収し、測定波長域全体 (8~16  $\mu\text{m}$ ) の赤外線吸収率は表 1 の放射強制力から予想されるより過大評価されたと考えられる。

Fisher et al. (1990) によると、フロン 12 は、おおむねの波長で、8.5  $\mu\text{m}$ , 9  $\mu\text{m}$ , 11  $\mu\text{m}$  などに吸収線を持つのに対し、HFC134a は 7  $\mu\text{m}$  から 16  $\mu\text{m}$  のより広い波長域にフロン 12 より多数の吸収線を持つ。HFC134a の吸収線のうち、窓領域の外縁部には、7  $\mu\text{m}$  付近と 14  $\mu\text{m}$  以上との二つの波長域に吸収線がある。前者の吸収線は上述したように本測定装置にはほとんど検出されないし、大気の放射強制力にも寄与しない。後者の吸収線は上記の二酸化炭素と同様に放射強制力への寄与は少ない一方で、本実験での赤外線吸収率には過大評価を加えたと考えられる。

以上より、地球温暖化に関係する地球放射の波長域と本実験装置の測定波長域とがずれているために、表 2 の一部の気体の示す赤外線吸収率が表 1 の放射強制力から予想される値からずれてしまったと考えられる。

#### (6) 本測定法の定量性について

フロン 12 などのフロン類や HFC134a などの代替フロン類はメタンや二酸化炭素に比べ、複雑な化合物であるので、分子内の化学結合も多種かつ多数ある。Fisher et al. (1990) によると、これらの化合物は本実験の測定波長の 8  $\mu\text{m}$  から 16  $\mu\text{m}$  の波長域も含めて赤外部に多数の吸収線がある。巻出 (1993) によると、これらの物質は赤外領域の広域にわたり吸収能力が高く、どの波長域で測定しても吸収に頭打ちがきにくいと言う。会田 (1993) によると、大気中に低濃度しか存在しないフロン・代替フロン類は気体量と赤外線吸収率の関係が直線に近くなる。本実験でも、低濃度のフロン 12 や HFC134a で得られた図 4、図 6、図 12、図 14 においては、頭打ち現象が見られず、ほぼ直線的であった。

会田 (1993) によると、メタンのようにすでになりの高濃度で存在する気体による赤外線吸収率は物質量の平方根に比例すると言う。本実験中のメタンの場合の図 18 の結果をうまく説明できる。

同氏によると、さらに高濃度で存在する二酸化炭素のような気体の赤外線吸収率は物質量の対数になると

言う。本実験中の二酸化炭素の場合の図 8 や図 16 においては、気体量と赤外線吸収率のグラフは対数曲線風に見える。

以上の比較において、本測定装置による赤外線吸収率のデータと赤外スペクトル分光計から得られたデータはよく一致する。ゆえに、本測定法は簡便ながらも定量的と考えても矛盾がない。

## 6. 応 用

中島 (1997) によると、放射強制力の変化量は地球放射に対する気体の光学的厚みの変化量に反比例し、この光学的厚みは赤外線吸収量のある単調増加関数で表現されるという。したがって、もし定量的に赤外線吸収率が測定できれば、その測定値から放射強制力が計算できる。このことは、本測定方法が気体の赤外線吸収率の測定にとどまらず、温室効果の簡便な定量測定にも応用できる可能性を示唆している。

さらに、本測定方法は簡便にもかかわらず、気体の温室効果を目に見える形で実験的に観測できる上に、比較的低濃度の気体で、より大きな差を容易に検出できる。こうした特長を活かして、本測定法により身近なさまざまな気体を測定することは、気体の持つ温室効果に科学的関心を高め、地球温暖化という現実を直視させ、その対策をより真剣かつ科学的に考える契機をもたらすなど、実践的環境教育に有効であると思われる。

## 引用文献

- 会田 勝 (1983): 大気と放射過程, 東京堂出版, 東京, 280 p.
- 浅川洋平 (2004): 堀場製作所ホームページ, 放射温度計プラザ, 相談フォーラム.
- CMDL (Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory) (1998): Summary Report (1996-97) No. 24, National Technical Information Service, Springfield, U.S.A.
- Fisher, D. A., Hales, C. H., Wang, W., Ko, M. K. W. and Sze, N. D. (1990): Model calculations of the relative effects of CFCs and their replacements on global warming, *Nature*, **344**, 513-516.
- Goody, R. M. (1964): *Atmospheric Radiation I (Theoretical Basis)*, Oxford Univ. Press, Oxford, 436 p.
- Hanel, R. A., Conrath, B. J., Kunde, V. G., Prabhakara, C., Revah, I., Salomonson, V. V. and Wolford, G. (1972): The Nimbus 4 infrared spectroscopy experiment(1)-calibrated thermal emission spectra, *J. Geophys. Res.*, **77**, 2629-2641.

- Houghton, J. T. (1977): *The Physics of Atmospheres*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 203 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change Working Group 2) (1990): *Climate Change (The IPCC Scientific Assessment)*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 364 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1995): *Climate Change 1994, Radiative Forcing of Climate Change*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 339 p.
- Jacob, D. J. (1999): *Introduction to Atmospheric Chemistry*, Princeton Univ. Press, Princeton, 266 p.
- 巻出義紘 (1993): 大気中微量気体と地球環境, *Isotope News*, No. 468 (6), 2-8.
- 中島映至 (1996): 2 章温暖化のメカニズム, 半田暢彦 (編) 「大気水圏科学からみた地球温暖化」, 名古屋大学出版会, 名古屋, 11-67.
- Ramanathan, V., Cicirone, R. J., Singh, H. B. and Kiehl, J. T. (1985): Trace gas trends and their potential role, *J. Geophys. Res.*, **90**, 5547-5566.
- Sellers, W. D. (1965): *Physical Climatology*, The Univ. of Chicago Press, Chicago, 272 p.
- Shi, G. Y. (1992): Radiative forcing and greenhouse effect due to the atmospheric trace gases, *Science in China*, **35B**, 217-229.

赤田耕嗣: 気体による赤外線吸収量の簡易測定法—気体の温室効果を測定する装置の開発— 地学教育  
58 巻 2 号, 51-63, 2005

〔キーワード〕 温室効果ガス, 放射強制力, 窓領域, 赤外吸収, 放射温度計, ステファン・ボルツマン式

〔要旨〕 温室効果の指標である放射強制力の計算には高価な赤外スペクトル分光計による赤外線吸収の測定が必要である。安価な市販の放射温度計を応用して、物体の赤外放射エネルギーのうち光路中の気体による吸収量を測定する方法を考案した。窓領域の外縁部付近に吸収線を有する気体については、本測定法は簡便法にありがちな誤差を考慮する必要があるが、それ以外の気体については、簡便に赤外吸収率を定量測定できると思われる。本法は環境教育への応用も容易と思われる。

Koji AKADA: A Simple New Method to Measure the Absorptivity of Infrared Flux by Gas—Development of a Measuring Instrument for Greenhouse Effect of Gas—. *Educat. Earth Sci.*, **58** (2), 51-63, 2005



## Web GIS を用いた中学校「大地の変化」に関する 発展的な学習の開発

—貝塚を手がかりに、大地の変化を考察する実践—

Development of the Expansive Curriculum Using Web GIS for  
“Change of the Ground” in Junior High School  
—Consideration on How Changes of the Ground Surface  
Form the Shell Mounds—

久保田善彦\*・山島一浩\*\*・西川 純\*\*\*・戸北凱惟\*\*\*

Yoshihiko KUBOTA, Kazuhiro YAMASHIMA,  
Jun NISHIKAWA and Yoshinobu TOKITA

**Abstract:** It is valuable to develop teaching materials for experience in “Change of the ground” in junior high school. We therefore developed and practiced with a curriculum using GIS for virtual experience on the following two ways. First, we built a web-based GIS system which can overlay shell mounds on a three-dimensional topographical map, and then model the changing surface of sea water. Second, we developed and practiced with an expansive curriculum using Web GIS for “Change of the ground” in junior high school. Students can readily understand the concept of changing coastline using Web GIS. Students evaluate this system as easy to use and also noted that it clarifies study themes. Students using Web GIS also had a purpose of museum study, and thus studied expansive considerations of depositional actions.

### 1. はじめに

中学校では「大地の変化」で、高等学校の「地殻の変動」の単元で、隆起・沈降や火山活動、地震などの「大地の変動」の学習を行っている。

隆起や沈降などの大地の変動は、1年に数mm単位の変化が長期間にわたって起こることが多く、観察や測定で変化の様子を捉えることは難しい。地震などにより短時間に数mもの変動が起こり、視覚的に変動を捉えやすい場合もあるが、観察には危険を伴うことも多い。そのため、大地の変動に関する学習では、写真や資料、ビデオなどの視聴覚教材をよく用いる。しかし、荻原(1989)は、写真や資料、ビデオの利用の必要性を認めながらも、生徒が事象をより実感するため

には、手や体を動かして実習することの重要性を指摘している。

実習を伴う大地の変動に関する教材の一つに、海水面の上下に合わせて、海岸線を別の等高線に変更するシミュレーションがある(戸田ほか, 1997)。生徒は、等高線の引かれた地図と鉛筆さえあれば、大地が隆起・沈降することで起こる海岸線の変化を容易に理解することができる。また、地球温暖化によって海水面が上昇した場合の海岸線の変化を視覚的に捉えることができる教材となる。

海岸線の移動は標高と密接に結びついているが、平面の地図では立体的に捉えることは難しく、また海水面の変化を連続的に捉えることができない。実習は、地図に直接に書き込む形で進められるため、多くの条

\* 兵庫教育大大学院連合学校教育学研究科 \*\* 筑波学院大学

\*\*\* 上越教育大学 2004年9月18日受付 2004年12月11日受理

件で試すと、同一の地図に多数の線が描かれ見にくくなるなどの問題点もある。これらを解決する一つの手だてが、コンピュータによる海面上昇シミュレーションの利用である。

本論では、海面上昇シミュレーションを利用した中学校「大地の変化」に関する発展的な学習を報告する。

## 2. GISによる海面上昇シミュレーションと貝塚情報の重ね合わせ

### (1) 縄文時代の海岸線を推測する教材

等高線の代わりに、地図上の貝塚を結んでいくことで、縄文海進の海岸線の様子を推測しようとする発展的な教材(戸田ほか, 1997)がある。これは、貝塚の分布から、縄文時代の海岸線を復元した東木(1926)の研究を教材化したものである。関東地方の学校では、近くに縄文遺跡があることが多く、貝塚は身近な存在である。また、小学校6年生の社会科で縄文時代の学習をしている。そのため、中学校1年生にとって、大変関心の高い教材となっている。

### (2) GISによる空間情報の統合

複数の地理情報を重ね合わせることで、空間的な広がりを捉えやすくなるコンピュータシミュレーションに、GIS (Geographical Information System)がある。GISは、さまざまな空間情報を統合して利用することを目的としたシステムである(岡部, 2002)。蓮沼・山崎(2002)は、空間情報の可視化機能を豊富に含んでいるGISは、複合的な空間情報を扱う課題に適しているとしている。

これまで地学教育では、いくつかのGIS教材が開発されてきた。蓮沼・山崎(2002)は、海岸線や活断層のデータ、地震情報データなどを重ね合わせることでできる地学教材を開発している。また、林ほか(2003)は、3次元の地形図にルートマップや複雑な地質図を重ね合わせ、空間的な広がりを捉えやすくした教材を開発している。どちらの実践からも、GISは、空間的概念の形成を目指す地学教育にとって、有効な仕組みであることがわかる。

## 3. 海面上昇シミュレーションと貝塚情報の重ね合わせ

地形図に、貝塚や縄文遺跡の情報を重ね合わせることでできるGISを構築すれば、縄文海進の海岸線を考察できると考える。さらに、貝塚等の情報が統合され

た地形図で、海面上昇シミュレーションを行うことができれば、生徒は自由に操作を繰り返し、海岸線の変化を連続的に捉えることが可能になると考えた。

もちろん正確な復元には、縄文時代から現在までの、侵食・堆積作用や地殻変動の程度などを考慮する必要があるが、現在の標高データにおいてもその概略を捉えることは可能である。

本研究の目的は以下の2点とした。第一に、海面上昇シミュレーションに貝塚等の情報を重ね合わせることでできるGISの構築である。先に述べたように、地学教育用のGISシステムの構築は、すでに行われている。しかし、そのシステムを実際の教育現場において単元に組み込んで実施している例は少ない。本研究の第二の目的は、GISを用いた中学校「大地の変化」の発展的な学習を開発および実践することである。

## 4. Web GISの構築

### (1) GISの概要

今回構築したGISは、ディスプレイ上に地形図を立体表示させ、その地形図上で水深を変化させることが可能である。さらに、立体地形図に任意の色データを重ね合わせるシステムが実装されている。

立体地形図は、国土地理院発行の数値地図(縮尺25,000分の1)の標高データを、VRML (Virtual Reality Modeling Language)形式に変換した地形データファイルと地形画像ファイルからなっている。閲覧には、VRMLのプラグインソフトを導入したWWWブラウザが必要である。

実習のテーマや作業方法はHTML形式で記述し、課題コンテンツを構成している。地形図データに対して水深を変化させる操作はJavaScriptで記述している。

立体地形図に任意の色データの重ね合わせには、空間を任意のグリッドで区切る、ラスタ法を利用している。なぜならラスタ法は、複数のデータの重ね合わせが容易なためである(岡部, 2002)。

### (2) WWWベースでの教材提供

GIS教材はWWWベースで提供する、WebGISである。その理由として、学習者は、汎用のWebブラウザとインターネット接続環境があれば、だれでも自由に利用できることが挙げられる。また、教材がWebで提供されるため、利用するデータやGIS自身の更新は、サーバを修正するだけで済むなど、利便性に優れた形態であるからである(蓮沼・山崎, 2002)。

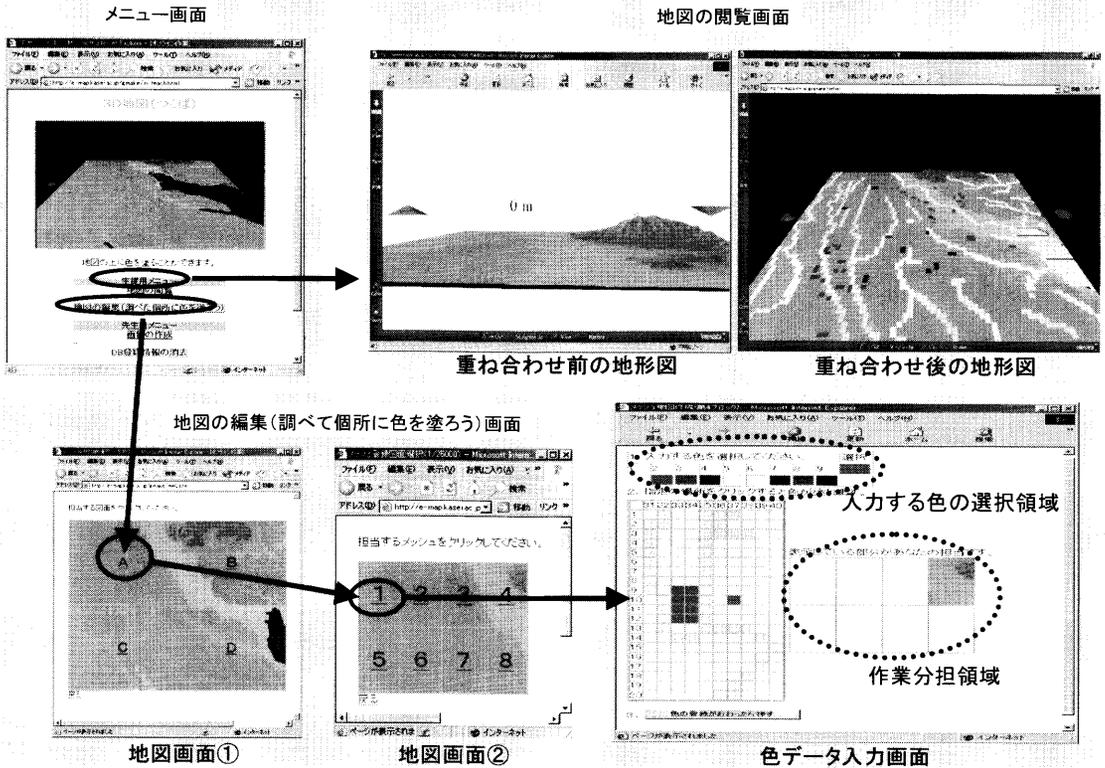


図1 開発した Web GIS の操作の流れ

さらに、WWW ベースでの教材の提供は、多くの者が協同で学習を進めることを可能とする。例えば、地図を使った実習について、紙の地図にマーキングする従来の作業では加われる人数に制約が生じる。本教材を利用すればブラウザから、それぞれの生徒が担当部分のデータ入力を分散して作業し、最終的にデータを統合できるようにすることで、作業時間を節約しながら、協同で課題解決が可能になるのである。(山島・余田, 2001)。

(3) 教材コンテンツの構成

教材は、図1に示すように「メニュー画面」、「地図の編集画面」、地図模型を閲覧・操作する「地図の閲覧画面」の三つ画面から構成されている。それぞれについて以下に説明する。

1) メニュー画面

メニュー画面は、生徒用と教師用がある。生徒用メニューは、「地図の閲覧」「地図の編集 (調べた個所に色を塗ろう)」の二つのボタンがあり、この二つのボタンを使って学習を進める。教師用メニューには、生徒

が入力したデータを重ね合わせることができるボタンが付いている。

2) 地図の編集画面

メニュー画面の「地図の編集」ボタンをクリックすると、図1の地図画面①が現れる。地図画面①は、A～Dに4分割された平面図である。各平面図は、国土地理院編集の縮尺 25,000 分の 1 の国土基本図にそれぞれ対応している。

平面図の地図番号 A～D をクリックすると、1 枚の地図が 1～8 に分割された図1の地図画面②が現れる。地図画面②の分割画面の数字をクリックすると、メッシュに色データを入力する画面となる。

色データ入力画面は主に、「入力する色の選択」「指定場所への色の入力」の領域がある。「入力する色の選択」では、生徒がメッシュに入力したい色を選択できる。「指定場所への色の入力」の画面は、20 行×10 列のメッシュでできている。一つのメッシュは 200 m 四方に対応している。メッシュをクリックすると、選択した色でメッシュを塗ることができる。



図2 簡単なマウス操作で拡大した立体地形図

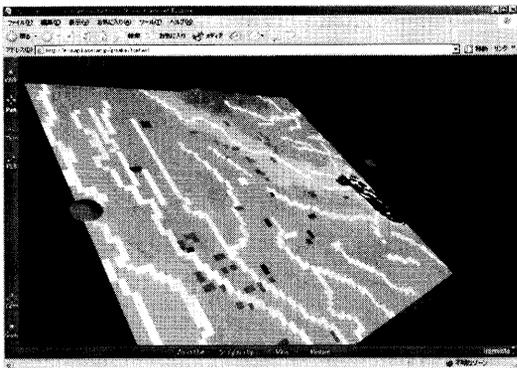


図3 さまざまな視点から閲覧した立体地図

### 3) 地図の閲覧画面

メニュー画面の「地図の閲覧」ボタンをクリックすると、国土地理院発行の数値地図(縮尺2万5千分の1)の標高データをVRML形式に変換して作成された立体地形図が表示される。図1の重ね合わせ前後の地図が、その出力例である。立体地形図は、図2のように詳細に捉えたい場所を拡大(ズーム)させたり、図3のように視点を変化させさまざまな角度から閲覧(パン)することが可能になる。

閲覧画面内にある左右の円錐形のボタンをクリックすると、海水面を1m刻みで上下に変動させられる。海水面は青色で表示され、地表と区別される。現在のところ、海底面等のデータを入れていないために、0m以下は変化しない。

## 5. Web GIS を利用した発展的な学習の開発

今回構築したWeb GISを、中学校1学年「大地の変化」の単元で利用した。実践校は、茨城県南部の学

園都市の中心に位置する落ち着いた雰囲気の中学校である。実施時期は2004年1月で、対象は1年生の4クラス、128名である。

### (1) 単元への位置づけ

学習指導要領に示す内容の理解を深めたり、容易にしたりするために、発展的な学習や補充的な学習が目されている。中学校理科2分野「大地の変化」の単元の中で、「地層と過去の様子」の学習後に発展的な学習の中にWeb GISを利用した。学習のテーマは「縄文時代のつくば市」とした。表1は、発展的な学習の計画表である。縄文時代の海岸線を推測するだけでなく、生徒たちの住むつくば市が、約6000年前はどのような環境であったか、また現代までに大地はどのように変化したのかを総合的に考える学習とした。

### (2) 地図の範囲

本実践で設定した立体地形図の範囲は、茨城県つくば市および土浦市の一部(東経 $140^{\circ}00' \sim 140^{\circ}15'$ 、北緯 $36^{\circ}00' \sim 36^{\circ}10'$ )で、東木(1926)の分類による、鹿島灘系統内の霞ヶ浦-北浦系統の西側となる。

前述したように、このWeb GISは現在の標高データを使っているために、立体地形図上の海岸線が縄文時代の海岸線を正確に復元しているとは限らない。そこで、地域を設定するに当たっては、「内海の早・前期貝塚の分布と海進最盛期の海の様子」(上高津貝塚ふるさと歴史の広場、2000)や、「古鬼怒湾地域の地質断面図」(遠藤ほか、1983)で推定されている海岸線と、本Web GISでのシミュレーションによる海岸線が大幅にずれないことを確認した。なお、「内海の早・前期貝塚の分布と海進最盛期の海の様子」は、貝塚からの出土品と貝の種類から海岸線を推定した図である。「古鬼怒湾地域の地質断面図」は、ボーリング調査および $^{14}\text{C}$ から年代を推定した縄文海進期最盛期の海域図と河川沿いの地質断面図である。

### (3) 実践の様子

以下では「縄文時代のつくば市」の実践の流れを報告する。

#### 1) Web GIS を利用するにあたっての注意事項

実践にあたり、生徒には、「Web GIS上の立体地図の標高データは、現在のものを利用している。」ことと、「大地はさまざまな理由で変化しているため、現在の地形と縄文時代の地形は完全に一致しない。そのため、このWeb GISでは、縄文時代の地形のおおよその見当をつけることができるが、正確に表すことはできない。」ことを伝えた。

表1 「縄文時代のつくば市」学習計画

次	時間	学習内容	指導上の留意点
1	3	①つくば市と近隣にある貝塚を記入する。 近隣の貝塚だけでなく河川や市内の中学校などをメッシュのトレーシングペーパーに色別に記入する。 ②GIS 教材から縄文時代の海岸線を推測する。 色分けしたデータをコンピュータに入力し、コンピュータ上の立体地図の海水面を上下させることで、縄文時代を推測する。 ③各班の考えを交換する。	・立体地図の標高データは、現在のものを利用してのために、縄文時代の地形を必ずしも正確に模写できるとは限らないことを伝えておく。 ・海岸線の変化だけでなく、縄文時代の気候や生活の様子についても考えさせる。
2	2	④近隣の貝塚にフィールドワークに行く。 貝塚の観察や学芸員からの話から、貝塚から出土した化石から縄文時代の地形や自然環境など推測する。	・観察と並行して、示相化石の学習を行う。 ・シミュレーションの結果と博物館の復元図を比べさせる。
3	2	⑤縄文時代からの堆積作用を考える。 氷期に侵食された谷が奥まで入っていること、6000 年間の間の堆積作用を考える。 ⑥発展的な学習のまとめをする。	・縄文時代の海水面は、GIS 教材の数値と実際の研究による数値とは、差があることを伝える。 ・「古鬼怒湾地域の地質断面図」にある河川の地質断面図を提示し、堆積作用を理解させる。

## 2) 縄文時代の情報をメッシュに入力

教師は、平成4年度につくば市教育委員会社会教育部が発行した地図「つくば市の文化財」を基に、貝塚の位置を調べ、縮尺25,000分の1の地図（国土基本図）に記入しておいた。

生徒は、貝塚の記された地図に、200m四方のメッシュと座標番号が記入してあるトレーシングペーパーをのせる。その後、指定された対象のあるメッシュを塗りつぶした。指定された対象とは、つくば市近隣の主な川や湖、貝塚、縄文遺跡、実践校および近隣中学校である。それぞれを、水色、赤、緑、黄色で塗りつぶすこととした。

当初は、貝塚と河川のみを塗る予定であったが、生徒からの要望により、縄文遺跡と実践校を含めた近隣の中学校を含めることにした。縄文遺跡を入れたのは、人間の生活の場所を特定しておくことも生活環境を考える上で必要な資料であると考えた生徒がいたためである。立体地形図上には現在の情報を表すデータは何もない。立体地形図上の空間認識を整理するためには身近な建物である学校を入れるべきとの考えがあり、学校を入れることとした。

## 3) メッシュデータをコンピュータに入力

生徒用メニューから「地図の編集」のボタンをクリックし、任意の範囲を選択し、「色データ入力画面」を表示した。この画面で生徒は、トレーシングペーパー上の色データを、座標番号と照合しながらコンピュータに入力した。

入力画面は合計32画面ある。コンピュータ室の32台のコンピュータを使い、それぞれの画面を別々のコンピュータで入力した。これによって作業時間の大幅な短縮が可能となった。

教師は、全入力が完了したのを確認し、教師用メニューから「画像の作成」ボタンをクリックして、重ね合わせ画像を作成した。

## 4) 地図の操作と考察

生徒用メニュー画面から「地図の閲覧」のボタンをクリックし、重ね合わせ後の地図を閲覧した。生徒は、自由に立体地形図の海水面を上昇、または下降させることで、縄文時代の地形や環境を推測した。

閲覧は四人一組のグループで行った。生徒は、一つのコンピュータ画面をのぞきながら、シミュレーションの操作と、推測のための話し合いを行っている。コンピュータを操作することで、モニターには自分の考

えや試行錯誤の様子が映し出される。同じグループの生徒たちは、その様子をモニターから読み取り、活発な意見交換をしていた。

貝塚によっては、海から数 km 離れているものや、河川の貝が中心となるものもある。しかし、多くの生徒は、すべての貝塚が海の近くで作られていると考えていた。そのため「内海の早・前期貝塚の分布と海進最盛期の海の様子」(上高津貝塚ふるさと歴史の広場, 2000) や、「古鬼怒湾地域の地質断面図」(遠藤ほか, 1983) で推定されている海岸線より標高の高い位置まで海岸線を上昇させていた。

班ごとに、話し合った推測内容は、プロジェクトで投影しながらプレゼンテーションを行い、情報を共有しあった。推測の内容は、後述する。

### 5) 近隣の貝塚にフィールドワーク

Web GIS 教材から、海岸線の変化を推測するのは可能であるが、その他の縄文時代の環境を推測するには限界がある。そのため、近隣の貝塚とそこに隣接された博物館「上高津貝塚ふるさと歴史の広場」にフィールドワークに出掛けた。

博物館の資料から、近隣の貝塚から出土するのは、ヤマトシジミ、ハマグリ、ハイガイなどの貝のほかに、クロダイ・スズキなどの骨や土器もあることがわかった。これらから、比較的温暖な時期があったことや、貝塚の近くは海水だけでなく汽水や淡水であったこともわかった。学芸員の解説から、貝塚には新旧があることや、出土する貝の種類の変化から海退現象がわかることも明らかになった。

フィールドワークの際に、博物館内にある「内海の早・前期貝塚の分布と海進最盛期の海の様子」の展示を閲覧させた。その展示資料は、自分たちの行った Web GIS で推測より、標高の低い位置に海岸線が設定されていることがわかった。当時の貝塚と海的位置関係についての学芸員の解説を聞くことで、なぜ推測がずれていたかを知ることができた。

### 6) 堆積作用の考察

学校へ戻り、再度、Web GIS を用いて「内海の早・前期貝塚の分布と海進最盛期の海の様子」の図と同じ位置まで、海水面を上昇させた。約 14 m の水位上昇で、海岸線がほぼ同じ位置になった。

生徒は、「縄文時代は海水面が 14 m 上昇していた。」と結論づけた。それに対し、教師は、現在の学説では海水面の上昇は 3~6 m 程度であったとされる(遠藤ほか, 1983) ことを伝えた。つづけて教師は、

「10 m の差は、なぜ起こったのかを考えよう。」という本時の学習課題を提示した。

課題を明確にするために「Web GIS 上の立体地図の標高データは、現在のものを利用している。」「大地はさまざまな理由で変化しているため、現在の地形と縄文時代の地形は完全に一致しない。そのため、この Web GIS では、縄文時代の地形のおおよその見当をつけることができるが、正確に表すことはできない。」という Web GIS を利用する前に伝えた注意事項を再度確認した。

その後、10 m 程度の上昇はなぜ起こったかについて教室全体で話し合いをした。生徒の意見は、「地震などの影響で隆起した。」「富士山の度重なる爆発で火山灰が積もった。」「河川の堆積作用によって土砂が降り積もった。」などの考えが出された。

そこで教師は、「古鬼怒湾地域の地質断面図」にある河川沿いの地質断面図を提示した。その図から、縄文海進期の地形の上に新しい地層が堆積していることがわかる。また、新しい地層は、火山灰ではなく、砂や礫の層であり貝化石も見られることから、「河川の堆積作用によって土砂が降り積もった。」の考えが、もっともらしいとの結論に達した。

## 6. 発展的な学習「縄文時代のつくば市」の評価

本論で紹介した実践を、Web GIS の利用に関する評価と、それ以外の学習の評価に分けて考察する。

### (1) Web GIS の評価

Web GIS の利用場面を中心に、推測の内容と利用後の感想、SD 法のイメージ調査から、教材を評価する。

#### 1) 閲覧場面の生徒の推測

生徒は、立体地図の海水面を上昇・下降させることでさまざまな気づきや縄文時代の推測が見られた。気づきや推測は、ワークシートに記入させた。その記述から代表的なものを取り上げる。

まず、子どもが気づいたことは、「海は川沿いにある。」「川や霞ヶ浦の近辺は標高が低い。」など、海水面を上昇させることで低地の把握をしている。次に、海水面を上昇させると、その海岸線沿いに貝塚があることを発見し「海水面を上げたところに貝塚がある。」といった貝塚と海水面の位置関係を考察している。

また、「縄文時代には、現在の中学校付近まで海だった。」「海岸線は現在よりも複雑であった。」といった縄文時代の海岸線を推測している。さらには、地球温暖

表2 Web GIS 利用に関するイメージ調査 (SD 法による)

	たいへん	やや	どちらとも	やや	たいへん			
楽しい	7	6	5	4	3	2	1	楽しくない
気楽な	7	6	5	4	3	2	1	緊張する
明るい	7	6	5	4	3	2	1	暗い
気軽な	7	6	5	4	3	2	1	慎重な
軽い	7	6	5	4	3	2	1	重い
大胆な	7	6	5	4	3	2	1	繊細な
柔らかい	7	6	5	4	3	2	1	固い
速い	7	6	5	4	3	2	1	遅い
わかりやすい	7	6	5	4	3	2	1	わかりにくい
豊富な	7	6	5	4	3	2	1	貧弱な
話しやすい	7	6	5	4	3	2	1	話しにくい
暖かい	7	6	5	4	3	2	1	冷たい
価値がある	7	6	5	4	3	2	1	価値のない
簡単な	7	6	5	4	3	2	1	複雑な
満足な	7	6	5	4	3	2	1	不満足な
やさしい	7	6	5	4	3	2	1	むずかしい
よい	7	6	5	4	3	2	1	悪い

化の問題と関連させ、縄文時代の海水面が高いのは、「縄文時代は今よりも暖かかったのでは？」と推測する生徒もいた。

すべての貝塚が水没する地点から、海水面を下げていくことで、徐々に遺跡や貝塚が現れることを発見した生徒は、「貝塚は海の方に移動したのでは？」「海水面が下降したのでは？」といった推測もしている。

この Web GIS を用いることで、貝塚と海水面の関係や、縄文時代の海岸線の様子などを、多くの生徒が推測することができた。「縄文時代が本当に暖かかったのかは（知るには）、実際の貝を見るべきである。」「貝といっても、海の貝じゃなかったら？」などの記述があるように、コンピュータ上の推測では限界があることを指摘しているとともに、次回のフィールドワークへ目的意識を明確にしている。

2) 自由記述と SD 法による教材のイメージ

学習後に、本 Web GIS に関して、自由記述を行った。多くが肯定的な記述であった。自由記述を分類すると、「操作に関する記述」「学習課題に関する記述」「その他の記述」の三つになった。

また、SD 法による教材イメージに関する調査も行った。表 2 に示すように実施した SD 法は、7 件法により、4 が中間点となる。ほとんどの項目が、高得点を示しているため、全体的に生徒の関心が高く、好印象な教材であったことがわかる。以下では、代表的な自由記述と SD 法による教材イメージを照らし合わせながら、教材の評価を行う。

ア 操作に関する記述

「操作に関する記述」で一番多かったのが、「(操作が) わかりやすい。」と「(操作が) 単純である。」である。SD 法にも、わかりやすい (5.2)・簡単な (5.3)・や

さしい (5.4) が高得点となっているように、中学生の教材として、操作が理解しやすく、簡単であることがわかる。

また、「自分で何度も操作 (海水面の上下) ができるので、納得できるまでやれた。」の記述や、SD 法の気楽な (5.6)・気軽な (5.5) が高得点なことから、コンピュータシミュレーションであるため、何度も自分の思考に合わせて操作ができたことを評価していることがわかる。

「操作がいろいろできておもしろい。」「画面が色別で見やすい」の記述や、SD 法の楽しい (5.6)・明るい (5.4)・豊富な (5.1) が高得点だったことから、操作や作業の自由度が高かったことや色データの見やすさが好評であったといえる。

「表示がもっと細かい方がよい。」「拡大 (ズーム) や移動 (パン) が遅い。」の記述も見られた。SD 法のポイントが最も低いものは、速い (4.4) である。処理スピードに問題があり、スムーズなシミュレーションが行えなかったためと考えられる。

イ 学習課題に関する記述

「学習課題に関する記述」には、「貝塚と縄文時代の海の関係がすぐわかる。」や「紙に印を付けただけではわからないことが理解できてよかった。」とあった。生徒が、学習の目的をつかみやすい教材であると同時に、課題を解決するのに有効な教材であったことがわかる。SD 法でも、価値がある (5.0)・満足な (5.3)・よい (5.6) とあるように、生徒は、本教材を課題解決に価値があるとイメージしている。

また、「地球温暖化など、今後の (地形の) 変化もわかった。」の記述もあった。縄文時代だけでなく、環境問題とからめて今後の地形変動などを予測する生徒も

いたことがわかる。

#### ウ その他の記述

“その他の記述”は、「協力してできた。」が多く見られた。WWW ベースで教材を提供し、共同作業が容易に行えるようにした結果と考えられる。また、「友だちの考えがためになった。」という記述が見られた。SD 法では話しやすい(5.1)が高得点となった。本教材では、自分たちの考えや試行錯誤の様子をモニターに表しながら話し合いをすることができた。今回の作業では、発話に加えて、モニターによって自分の考えが表現されることになる。これによって、それぞれの考えが把握しやすくなり、相互のコミュニケーションが活性化したのではないかと考える。

### (2) フィールドワークおよび堆積作用の考察に関する評価

発展的な学習の全体を通しての感想を自由記述で書かせた。その中から、博物館実習や堆積作用の学習に関するものを抜き出し、教材の評価する。

#### 1) フィールドワークについての感想

博物館へのフィールドワークに関する感想には、第一に「(海岸線の位置についての) コンピュータでの予想と博物館の予想は違っていた。」「僕の(海水面が下がっていったという) 予想は当たっていた。」のように、Web GIS による縄文時代の海岸線の推測に関するものが多くあった。Web GIS での学習を事前に行ったことで目的意識を持って活動することができた。

また、「コンピュータではわからない、貝の種類や生活の様子がわかった。実物は大事。」など、フィールドワークの重要性を再確認している生徒もいた。

#### 2) 縄文時代からの堆積を考える学習についての感想

「川の力で、(土地の) 高さが、何メートルも上がっているなんてすごいと思った。」「(大地は) どんどん変わっていることがわかった。」などの記述があった。多くの生徒は、堆積作用や大地の変化について理解をしていた。

その一方で、「難しかった。」など、堆積作用について十分に理解できない生徒もいる。「図(地形断面図)がどこを指しているかわからなかった。」のように提示資料の理解が難しいとする意見もあった。記述にはないが、生徒へのインタビューから Web GIS での推測の値と、博物館の推測の値、学説上の値などが整理されず混乱している生徒もいたことも明らかになっ

た。

#### 3) その他

「身近な地域を調べる活動だったので、興味がわいた。」の記述があった。「縄文時代のつくば市」という地域を扱った課題であったことで、意欲的に活動に取り組めたことがわかる。

### 7. おわりに

海水面上昇シミュレーションの立体地形図に貝塚や縄文遺跡などの空間情報を重ね合わせできる Web GIS を構築した。この Web GIS を「縄文時代のつくば市」という発展的な学習で利用することにより、縄文時代の海水面の変化を再現するだけでなく、縄文時代の気象などを推測する手がかりとなった。Web GIS に対する生徒の評価は、操作が単純なだけでなく、何度も自分の思考に合わせて海水面を操作できるなど、シミュレーション教材として良好な操作性であった。課題に関しても目的をつかみやすく、解決に有効な教材である。

また、Web GIS の利用後は、目的意識を持ったフィールドワークの実施や、堆積作用の発展的な考察へ展開することができた。

今回実施した「縄文時代のつくば市」という学習を「大地の変化」の発展学習に位置づけることは一定の効果があるといえる。

今後の課題としてとして、以下の点を挙げる。

(1) 生徒は、すべての貝塚が海の近くにあると推測していた。貝塚からの出土物などによって、海からの距離や時代を特定することが可能である。それらを、色別にして表示するならば、より正確な推測が可能になるはずである。

(2) 本教材のデータには、海底の地形データは入っていない。海底のデータを追加することで、東京湾の海底に残る河川の侵食なども捉えることができるはずである。

(3) 堆積作用の学習では、地形断面図などを見せることで、科学的理解に近づけようとしたが、すべての生徒が理解するには至らなかった。河川への堆積作用を空間的に捉えることのできるアニメーション教材なども利用する必要があると考える。

本研究は、日本地学教育学会第 57 回全国大会に発表した内容(久保田ほか, 2003)をもとに、さらに研究を深め、加筆・修正したものである。

**付記** 本研究は、平成16年度科学研究費補助金(奨励研究)(課題番号:16916022)からの援助を受けている。

#### 引用文献

- 遠藤邦彦・関本勝久・高野 司・鈴木正章・平井幸弘(1983): 最終氷期以降の関東平野関東地方の《沖積層》。アーバンクボタ, 21, 26-43.
- 岡部篤行(2002): 空間情報科学の挑戦。岩波書店, 東京, 45-68.
- 荻原 彰(1989): コンピュータシミュレーションを使った土石流・崖崩れに関する教材の開発。地学教育, 42(6), 251-255.
- 上高津貝塚ふるさと歴史広場編著(2000): 内海の貝塚縄文人と海のかかわり。上高津貝塚ふるさと歴史広場第5回特別展の図録, 9-38.
- 久保田善彦・西川 純・戸北凱惟(2003): 海面上昇シミュレーションを使った過去環境推測教材の開発。日本地学教育学会第57回全国大会要項集, 60-61.
- 東木竜七(1926): 地形と貝塚分布より見たる関東低地の旧海岸線(1~3)。地理学評論, 2(7~9), 587-775.
- 戸田盛和ほか39名(1997): 新版中学校理科2分野下。大日本図書, 東京, 94-96.
- 蓮沼 賢・山崎謙介(2002): 空間情報の可視化機能を有するWeb GISに基づいた地球科学eラーニングシステムの構築。地学教育, 55(5), 189-201.
- 林 武広・小倉泰史・岡崎敬之・前田卓巳・永田雄一・山崎博史・鈴木盛久(2003): パソコンによる3次元地形図・地質図の描画。地学教育, 56(1), 37-45.
- 山島一浩・余田義彦(2001): WWW ベースで「閲覧」「作業」「操作」を行う地形模型教材システム。日本教育工学会第17回大会論文集, 367-368.

久保田善彦・山島一浩・西川 純・戸北凱惟: Web GIS を用いた中学校「大地の変化」に関する発展的な学習の開発—貝塚を手がかりに、大地の変化を考察する実践— 地学教育 58 巻 2 号, 65-73, 2005

〔キーワード〕 Web GIS, 貝塚, 博物館実習, 堆積作用

〔要旨〕 本研究は、以下の2点を行った。第一に、海水面シミュレーションの立体地形図に貝塚等の情報を重ね合わせることのできるGISを構築した。第二に、GISを用いた中学校「大地の変化」の発展的な学習を開発および実践した。生徒は自由にWeb GISを操作しながら、海岸線の変化を連続的に捉えることができた。生徒は、操作性がよく、学習課題をつかみやすい教材と評価した。また、生徒は、GISを使った学習をすることで、目的を持った博物館実習を行うことができた。さらに、堆積作用を考察する学習につなげることもできた。

Yoshihiko KUBOTA, Kazuhiro YAMASHIMA, Jun NISHIKAWA and Yoshinobu TOKITA: Development of the Expansive Curriculum Using Web GIS for "Change of the Ground" in Junior High School—Consideration on How Changes of the Ground Surface Form the Shell Mounds—. *Educ. Earth Sci.*, 58(2), 65-73, 2005



~~~~~  
お 知 ら せ  
~~~~~

## 平成 17 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 17 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、やむをえずご欠席の方は、先に郵送されました委任状に、ご署名・ご捺印いただき、平成 17 年 4 月 20 日(水)までに、学会事務局にご返送ください。

1. 日 時 平成 17 年 4 月 23 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 16 年度事業報告
    - ②平成 16 年度決算報告
    - ③平成 17 年度役員選挙結果
  - 2) 審議事項
    - ①平成 17 年度事業計画(案) 審議
    - ②平成 17 年度予算(案) 審議

## 地学教育フォーラム

行事委員会

本年度フォーラムは、「地学分野の今日的な教員研修の課題」として、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  
宮下 治会員「東京都における理科の教員研修の現状と課題」  
藤岡達也会員「パートナーシップによる教員研修の意義と課題  
—地域における学校・大学・教育行政等の連携の現状から—」

## 学会記事

### 第4回 常務委員会議事録

日時: 平成16年12月1日(水) 午後6時00分～

場所: 日本教育研究連合会 会議室

出席者: 下野 洋・馬場良勝・渋谷 紘・五島政一・  
濱田浩美・相場博明・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. 日本学術会議会員候補者選定  
本会からは下野 洋・熊野善介・藤岡達也・田村 糸子の4氏を日本学術会議会員候補者として推薦することを決定した。
3. 平成17年度以降の大会について  
茨城大会の進捗状況が報告された。また、平成18年度は静岡で開催されることが確認され、平成19年度の候補地として沖縄があげられた。
4. 入会者・退会者について  
今回は入退会者ともに該当がなかった。

#### 5. その他

「地学教育」誌のPDF化について、その是非と方法について討議が行われた。

#### 報告:

1. 各種常置委員会から
  - 1) 編集委員会から57-6号の編集状況について報告があった。
  - 2) 地球惑星科学関連学会連絡会での学習指導要領試案作成委員会の発足と、そのメンバーについての報告があった。本会からは林 武広会員が委員として参加すること、またその他の委員については現在交渉中である旨報告があった。
  - 3) 教科「理科」関連学会連絡協議会の報告があった。第9回シンポジウム「新しい高校「理科」の枠組みについて」での講演者として、本会からは下野会長が参加することになった。
  - 4) 各種常置委員会の仕事の枠組み確認とその見直しが行われた。

## 編集委員会より

電子メールにより編集委員会を行っています。3月16日現在で、編集状況は、原著論文2件、資料1件が受理されています。

昨年査読をお願いした方々は下記の通りです。お忙しいところ時間を割き、また無償でお引き受けて下さり、厚く御礼申し上げます。

懸 秀彦, 天野和孝, 加藤圭司, 遠西昭寿, 土橋一仁, 榊原保志, 榊原雄太郎, 佐藤文男, 清水政義, 高橋 修, 藤本光一郎, 牧野泰彦, 松田佳久, 松森靖夫, 森 厚, 森本信也

編集委員: 松川正樹 (委員長), 相場博明 (副委員長), 青野宏美, 大久保敦, 五島政一, 坪内秀樹, 林 慶一, 林 武広, 宮下 治, 三次徳二, 南島正重, 山崎謙介, 土橋一仁

## 地 学 教 育 第58巻 第2号

平成17年3月20日印刷

平成17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. 58, NO. 2

MARCH, 2005

---

## CONTENTS

### Originals

Development of Teaching Materials through Astronomical Observations and Data Analyses

—Using a Cooled CCD Camera and a Replica Grating Available on the Market—

.....Fujio YAMAKI and Takao MIZUNO...37~50

A Simple New Method to Measure the Absorptivity of Infrared Flux by Gas

—Development of a Measuring Instrument for Greenhouse Effect of Gas—

.....Koji AKADA...51~63

### Practical Article

Development of the Expansive Curriculum Using Web GIS for “Change of the Ground” in Junior High School

—Consideration on How Changes of the Ground Surface Form the Shell Mounds— .....

Yoshihiko KUBOTA, Kazuhiro YAMASHIMA,  
Jun NISHIKAWA and Yoshinobu TOKITA...65~73

Announcements (75)

Proceeding of the Society (76)

---

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