

地学教育

第42巻 第3号 (通巻 第200号)

1989年5月

目 次

原著論文

- 気象通報のデータから等圧線図を作るパーソナルコンピュータ用
ソフトウェアの開発……………浦野 弘・島貫 陸…(95~102)
- 教材としてのチャート
—その学習指導における扱い方と効能について—……………池田俊夫…(103~108)
- 初歩的フィールドワークの指導に関する一考察 —プロセス
スキル習得の事前指導を通して—……………加藤尚裕・荒井 豊・若手三喜雄…(109~120)
- 白鳥座X1 (Cyg. X-1) の質量を求める演習……………高原まり子…(121~126)
- 魚眼レンズでとらえた太陽の日周運動とその年周変化……………
……………野村 仁・加藤賢一…(127~134)
- 平成元年度全国地学教育研究大会 愛知大会 開催案内プログラム
日本地学教育学会第43回全国大会
平成元年度大学入試共通第一次学力試験問題の検討 (135~138)
学会記事 (138~表3)

日本地学教育学会

184 東京都小金井市貫井北町4-1 東京学芸大学地学教室内

会費納入についてお願い

本年度分の会費 4,000 円をご納入下さい。送金は、振替口座 東京 6-86783 をご利用下さい。なお、前年度分の未納の方は、本年度分とともに現金書留で至急お送り下さるようお願いいたします。会費の納入率が悪いと補助金が減額されることがありますのでご協力下さい。

会員名簿について

先般、新しい会員名簿作成のため、現況を報告いただくための往復はがきを差上げました。名簿の原稿作成に支障となりますので、まだ返送していない方は大至急ご投函下さい。これまでと変更のない方もお願いいたします。また、“1円切手”の添付をお忘れなくお願いします。

原稿募集

「地学教育」は本誌で第 200 号となりました。一昨年度から補助金が増額されましたが、その大部分を成果刊行費（機関誌発行）にあてて参りました。現在、査読されている原著論文は 4 編ありますが、42 巻 6 号以降分がありません。

本誌、41 巻 1 号または 41 巻 2 号特別号掲載の編集規定、原稿の書き方を参照して、教材研究など本誌にふさわしい内容の論文を投稿くださるよう案内いたします。

平成元年度全国地学教育研究大会
日本地学教育学会第43回全国大会

愛知大会 開催案内

上記の大会を次の要項で開催いたします。何とぞご出席下さいますようご案内申し上げます。

日本地学教育学会会長 平山勝美
全国大会 実行委員長 木村一朗

大会テーマ 「地学を身近なものに」

主催 日本地学教育学会
共催 愛知県小中学校理科教育研究協議会 愛知県理科教育研究会高等学校部会 名古屋市学校教育研究会理科部会 名古屋地学会
後援 文部省 愛知県教育委員会 名古屋市教育委員会 愛知県小中学校長会 愛知県公立高等学校長会 名古屋市小中学校長会 名古屋市高等学校長会 全国連合小学校長会 全日本中学校長会 全国高等学校長協会 日本私立中学高等学校連合会 日本理科教育協会 財団法人日本教育研究連合会 愛知県教育振興会 名古屋市教育会 愛知県私学協会教科等研究部理科研究会 大幸財団（以上交渉中を含む）

期日 平成元年8月21日（月）～24日（木）

会場 名古屋市教育館（名古屋市中区錦三丁目16-6）
tel. 052-671-0181（代）

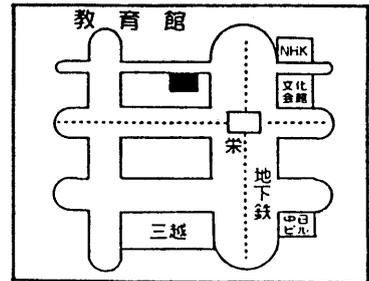
地下鉄「栄」下車 徒歩5分
テレビ塔西「ウォッチマン」前

日程 第1日 8月21日（月）研究大会

9:00～10:00 受付
10:00～10:30 開会式
10:30～10:50 表彰式
10:50～12:00 記念講演
13:30～16:00 （一部16:30まで）分科会
18:00～20:00 懇親会

第2日 8月22日（火）研究大会

9:30～11:30 （一部12:00まで）分科会
13:00～13:30 ポスターセッション（説明）
13:30～15:00 シンポジウム
15:00～16:00 全体会及び閉会式



第3日 8月23日（水）巡検

Aコース（東三河，第1日目）
Bコース（瀬戸）
Cコース（知多半島）

第4日 8月24日（木）巡検

Aコース（東三河，第2日目）

プログラム

第1日 8月21日（月）

記念講演（10:50～12:00）

「チベット高原地学紀行」……………名古屋大学教授 諏訪兼位

分科会〔I〕高等学校部会（13:30～16:30）

- ① 岐阜県蜂屋累層の火山地質とその教材化……………野村隆光（東海女子高）
- ② 箱根火山の爆風堆積物の研究……………笠間友博（神奈川県立岡津高）・相原延光（神奈川県立教育センター）
- ③ 琵琶湖について……………水山高幸（聖徳学園岐阜教育大）・稲森潤（東京学芸大名誉教授）
- ④ 東海地域（三重県鳥ヶ原，愛知県瀬戸地域）の陶土鉱床および粘土鉱物について……………小倉義雄・中原美保（三重大）・下坂康哉（名古屋工業試験所）
- ⑤ 樹枝状結晶について……………利安義雄・馬路英和（大阪府科学教育センター）・稲森潤（東京学芸大名誉教授）

- ⑥ 薄片でのパラジクロロベンゼン結晶の変形実験……………國香正稔（水橋高）
- ⑦ プレバート作製における学習効果について……………山本和彦（千葉県立市川南高）
- ⑧ 飛騨の朝霧とその教材化……………下畑五夫（岐阜県教育センター）
- ⑨ 都会校における教材としての地層標本……………
……………藤岡達也（大阪府立勝山高）・柴山元彦（大阪教育大附高）・稲川千春（大阪府立長野高）・
平岡由次（大阪府立生野高壱高）・宍戸俊夫（大阪府立北淀高）・藤 一郎（大阪府立箕面高）
- ⑩ 高等学校地学における「地層」の学習指導の工夫—泥層中の微化石による地層の対比の教材化……………
……………宮下 治（都立大崎高）
- ⑪ 小型天球儀と透明半球を用いた日周運動のモデル化実験……………内記昭彦（都立大森高）

分科会〔Ⅱ〕中学校部会（13：30～16：15）

- ① 地域の地学事象の教材化について—久居市を中心として—……………津村善博（久居市立久居中）
- ② “濃尾平野形成に関する一考察”の指導……………野々山智（刈谷市立朝日中）
- ③ 小・中・高における天文学習の問題点とその改善策“太陽の通り道”をどう指導するか……………
……………山田幹夫（穴吹情報ビジネス専門学校）
- ④ ビデオ撮影による天文現象の教材化……………高橋典嗣（明星大）・小森谷順一（群馬町立中央中）
- ⑤ 立体星図を利用した授業実践……………間々田和彦（筑波大附属盲）
- ⑥ 中学生における大気圧の認識に関する研究……………稲城成哲（横浜国立大）
- ⑦ 気象情報システムに関する教材の開発……………
……………名越利幸（東京 九段中）・浦野 弘（東京学芸大）・島貫 陸（東京学芸大）
- ⑧ 自然の事物・現象を主体的に追究する理科学習—気象の学習を通して—……………小林拓哉（春日井市立味美中）
- ⑨ 風化作用の教材化とその授業実践……………秦 明德（島根大）
- ⑩ 地学教材としての河川のもつ意義……………岩田 修（岐阜県教育センター）

分科会〔Ⅲ〕小学校部会（13：30～16：00）

- ① 小学校気象教材の指導に関する一考察—千葉市における実践から—……………島津幸生（千葉市立こてはし台小）
- ② 児童の空に関する認識状態……………
……………小川美紀（名古屋市立宝南小）・遠西昭寿（愛知教育大）・松森靖夫（千葉・私立日の出学園小）
- ③ つくり・調べ・確かめる理科指導—教室プラネタリウムへの過程を通して—……………伊東久範（東郷町立春木台小）
- ④ I. I.（イメージ・インテンシファイヤー）を使った天文教材研究……………鈴木 悟（岡崎市立六名小）
- ⑤ 小学校における天文教材の指導について……………田中信一（上野市立東小）
- ⑥ 雲粒の発生と消滅……………田平 誠・遠西昭寿（愛知教育大）

第2日 8月22日（火）

分科会〔Ⅰ〕高等学校部会（9：30～12：00）

- ⑫ フーコー振り子と偏向力の指導について……………平尾藤雄（滋賀県立膳所高）
- ⑬ 地学教育へのコンピュータ利用—地震データを利用した地震の学習—……………近藤直門（愛知淑徳高）
- ⑭ 理科Ⅱ（課題研究）の実践……………渡嘉敷哲（慶応義塾志木高）
- ⑮ 博物館を利用した地学教育……………芝川明義（大阪府守口東高）
- ⑯ 学術研究と先生の間インターフェースとしての博物館について……………
……………稲森 潤（東京学芸大名誉教授）・掛川一夫（長野市立博物館）
- ⑰ 地学の対象としての自然界のゆらぎについて……………本間久英（東京学芸大）・稲森 潤（同上）
- ⑱ 地学の対象としてのゆらぎについて—特に化石に関して—……………石井 醇（東京学芸大）・稲森 潤（同上）
- ⑲ 地学教材としての科学史の可能性と問題点……………池田幸夫（広島大附属福山高）
- ⑳ ニコラウス・ステノ『プロドロムス—固体の中の固体』（1669年）の地学教育上の意義について……………
……………山田俊弘（千葉県立船橋高）

分科会〔Ⅱ〕中学校部会（9：30～11：45）

- ⑪ 地形の特色から地質を学ぶ—衛星写真の有効的な活用—……………樋口信彦（豊橋市立青陵中）
- ⑫ 郷土に目を向けさせる地層の学習……………吉村暁夫（東海市立平洲中）
- ⑬ 意欲的に推論を進める地層学習……………小川 満（名古屋市立振甫中）
- ⑭ 自作スライド、ビデオやI. I.（イメージ・インテンシファイヤー）の
中学校第2分野「地球と宇宙」への活用をめざして……………明保俊通（岡崎市立六ッ美中）
- ⑮ 探究心を大切にしたい授業の改善—佐久島の地層を利用して—……………内田義和（愛知 一色町立佐久島中）
- ⑯ 名古屋市の野外教室（地学関係）の経過と現状について……………佐治邦一（名古屋市立桜山中）
- ⑰ 粘土鉱物の教材化……………細江隆正（上越教育大大学院）
- ⑱ 地域教材の見直しとその教材化—選択教科拡大に伴う地学クラブスタートの準備のために—……………
……………榊原 溥（美浜町立河和小）

分科会〔Ⅲ〕小学校部会（9：30～11：30）

- ⑦ 野外活動における児童の地学的領域の観察について……………下野 洋（国立教育研究所）
- ⑧ 野外学習における流速測定の一試案……………柴田浩治（名古屋市立五反田小）
- ⑨ 土地のでき方を事実にくくしてとらえさせる指導の試み……………榎野泰夫（名古屋市立豊田小）
- ⑩ 石に教えられて80年 小学校時代の遠足……………酒井榮吾（愛知教育大名誉教授）
- ⑪ 足もとに自然を見出す目を育てる—6年 地層の学習を通して—……………
……………森田哲人（豊橋市立高師小）・谷野正明（豊橋市立下地小）
- ⑫ 小学校1年生から3年生児童の土に対する認識調査……………
……………菱田清和（東京学芸大附属小金井小）・榊原雄太郎（東京学芸大）

ポスターセッション（13：30～14：00、この間発表者がポスターの前にいます）

- ① 地学教育へのコンピュータ利用—地震データを利用した地震の学習—……………近藤直門（愛知淑徳高）
- ② 授業にすぐ役立つ資料集（名古屋近郊）……………
……………井上恒男（名古屋市立大須小）・篠原直人（名古屋市立港南中）
- ③ 低地の地学をどう教えるか……………伊藤敏彦（愛知県弥富町立白鳥小）
- ④ 矢作川に学ぶ—地域の教材化とAV機器の利用—……………山下和仁（愛知県阿久比町立阿久比中）

シンポジウム（13：30～15：00）

「新学習指導要領と地学教育」

全体会及び閉会式（15：00～16：00）

大会参加要領

1. 大会参加費 3,000円 大会要録を含む

2. 懇親会

日 時：8月21日、18：00～20：00 場 所：通信会館（名古屋駅前）、tel. 052-551-5111

参加費：6,000円 ぜひ、ご参加下さい。

3. 巡 検

Aコース（東三河、1泊2日）

集 合：豊橋駅、10：00（8月23日） 解 散：豊橋駅、15：00（8月24日）

宿 泊：湯谷観光ホテル、tel. 05363-2-1535

対 象：鳳来寺山自然科学博物館、地すべり地形、設楽火山岩、領家花崗岩、圧砕岩、ポットホール、岩脈、

長篠城跡、中央構造線、三波川変成岩、豊橋自然史博物館

参加費：21,000円（予約金 10,000円）

Bコース（瀬戸，日帰り）

集合：名古屋市，栄，テレビ塔北，9：00（8月23日） 解散：名古屋駅，16：00（8月23日）

対象：瀬戸歴史民俗資料館，瀬戸陶土層，品野陶磁器センター（昼食・即売），せと焼き窯屋
（見学・湯のみに絵つけ，お土産つきです）

参加費：6,000円（予約金 2,000円）

Cコース（知多半島，日帰り）

集合：名古屋市，栄，テレビ塔北，9：00（8月23日） 解散：名古屋駅，16：00（8月23日）

対象：初神断層，小佐砂岩脈，師崎層群（貝化石），古布褶曲，礫ヶ浦，野間層（貝化石），野間面，常滑焼
参加費：6,500円（予約金 2,000円）

- ※ 定員は各コースとも40名です。申し込み者数が30名以下の場合には中止することがあります。
- ※ 参加者の都合で巡検を取り止める場合，予約金をお返しできないことがあります。
- ※ 見学地は都合により変更することがあります。
- ※ 天候など，やむを得ない事情で巡検を取り止めることがあります。

4. 大会参加，巡検，懇親会の申し込み

上記のことについて申し込みをお願いいたします。特に，巡検，懇親会は事前に参加者数を把握しておく必要があります。下記の要領で参加申し込みをお願いいたします。

申し込み法：郵便振替 名古屋 3-97457

「日本地学教育学会第43回全国大会実行委員会」あて

例（振替用紙通信欄記入例）

1. 大会参加費	3,000 円
2. 懇親会	6,000 円
3. 巡検Bコース	2,000 円
（予約金として）	
合 計	11,000 円

左の例に示すような方法で，振替用紙の通信欄に送金の目的と内訳を必ず明記して下さい。送金の目的および内訳が明記されていませんと，せっかくご送金いただいても事務局ではご送金の意図がわかりません。巡検についてはコース名もお書き下さい。

申し込み締め切り： 7月15日（土）必着

5. 出張依頼状申込先

〒184 東京都小金井市貫井北町4-1-1 東京学芸大学地学教室内 日本地学教育学会事務局

6. 宿泊案内 宿泊申し込みは下記に直接お願いいたします。

近畿日本ツーリスト株式会社 名古屋ユーストラベル支店

☎052-962-6981 担当 加藤 淳

「日本地学教育学会宿泊申し込み」と言って下さい。

名古屋不二パークホテル（中区錦）

ツイン：7,500円 朝食付（1人につき）

シングル：8,500円 朝食付

第一富士ホテル（名古屋駅西口）

ツイン：5,500円 朝食付（1人につき）

シングル：6,500円 朝食付

※同時期に名古屋デザイン博が催されます。はやめに予約されることをお勧めいたします。

7. その他

会場は交通に恵まれたところですが，会場の駐車場は小さく，ほとんど使用できません。付近に有料駐車場はありますが，なるべく公共交通機関をご利用下さい。

その他ご不明の点等がありましたら，下記へお問い合わせ下さい。

〒448 愛知県刈谷市井ヶ谷町広沢1 愛知教育大学地学教室内

日本地学教育学会全国大会実行委員会 TEL 0566-36-3111 内線(592) 木村，(590) 仲井，(588) 遠西

気象通報のデータから等圧線図を作る

パーソナルコンピュータ用ソフトウェアの開発

浦野 弘*・島貫 陸*

I. はじめに

中学校・高等学校における気象の単元の学習では、天気の変化の仕組みや規則性を理解させることが主なねらいである。天気の変化を引き起こす源は大気の動きであり、大気の動きは水平方向の気圧の差によって生じる。このような大気の動きのメカニズムを理解するには、気圧の水平分布を知る必要がある。この気圧の水平分布を示すものが天気図である。そこで、気象の学習のねらいを達成するためには、天気図を通して学習することが不可欠となる。

天気図は気象現象・気象要素をすべて記号化して表現したものである。この記号化され抽象化された天気図から、生徒が種々の情報を読み取ることは容易ではない。そのために、天気図の読み取りにつまずき、気象の学習の本質に迫れないことがある。そこで、生徒が天気図に触れながら、等圧線を引く概念や読み取る能力を修得できる教材の開発が望まれるが、現在のところ、このようなことを目的とした教材開発は少ない〔伊藤(1986)、浦野(1986)〕。

筆者らは、このような経緯の中で、天気図の主要部である等圧線を読み取る能力の育成に重点をおいたステレオ天気図を考案し、その基礎調査および試行を過去に報告してきた〔浦野・島貫(1984)、浦野ら(1985)〕。この調査を実施した折、現場におけるつぎのような問題点も明らかになってきた。

中学校理科教師の多くは、実際に天気図を作図した経験に乏しく、短時間に独力で満足のいく天気図を描くことに困難を感じている。そのために、生徒の気象現象に対する興味関心を持続させるには、昨日や今日の天気図を教材として活用することが重要であるにもかかわらず、生徒に等圧線を引かせることを不要としたり、引かせたとしても気圧配置のわかっている過去の天気図を利用することがほとんどである。そこで、教師が自ら天気図を作図する時に、教師の手本となる天気図が容易に準

備できることが望まれる。すなわち、教師の指導を支援する補助的な教材の必要性が要求されるが、現在のところそのようなものはない。

このような点からも、教師がリアルタイムに近い状態で日々の天気図を容易に準備でき、かつ、それを授業に利用することができれば、気象の学習に有効であるといえる。

本研究では、教師が自らの作図用の手本となる天気図を容易に準備することができるような、教師の指導・教材準備を軽減する教師支援の補助的な教材となり得る気象通報のデータから等圧線図を自動的に作図するソフトウェアの開発を試みた。しかも、このソフトウェアは単に教師の支援のみならず、生徒が天気図を身近なものとして触れながら、等圧線を引く概念や読み取る能力を習得できるような教材にもなり得るものである。

II. 開発の要件

開発を目指したソフトウェアの機能は、入手可能な最新の気象データをパーソナルコンピュータに入力することにより、自動的に等圧線図(天気図)を作図するというものである。さらに、これらの機能を活用して、生徒が自ら行なったデータの補間や補外にもつぎ、パーソナルコンピュータが等圧線を表示し、その等圧線の形状をもとに補間や補外の妥当性を生徒自らが評価することができるという機能をも付加するようにした。

具体的には、次のような要件を満足するソフトウェアの開発を目指した。

① 天気図(等圧線図)を自動的に描く

天気図を作図するときのデータは、ルーチンで観測している気象官署については決まった位置で与えられる。しかし、船舶のデータ、高低気圧の位置、特定の等圧線の通る位置などは、その時々で変わり、固定していない。このように任意の位置に与えられるデータにも対応した処理ができる必要がある。

等値線を引く方法として、三角網による内部補間の方法がある。データを有する地点どうしを結んだ三角形を作り、その三角形の集まりである多面体で等値線を求めるものである。この方法は、その後平滑化に工

* 東京学芸大学

1988年9月17日受付 11月22日受理

夫が必要であり、かつ、気圧の峯、谷の表現が難しい。しかも、データの分布の密度が低いところでの等圧線の精度は極端に低くなる。このような問題点を避けるために、格子点データを推定して格子点データによる等値線を引く方法がとられることが多い。格子点から一定の距離の範囲内にあるデータについて、格子点からの距離とともに重みが減少するような加重平均をとることにより、格子点における値を推定するものである。この手法はデータが均一に分布する場合には有効であるが、データの分布が不均一の場合にはデータの密度の高い区域の影響が大きくなる傾向にある。気象通報のデータは、太平洋上や天気図の周辺部ではその分布が粗である。このような気象通報のデータをもとに格子点での値を推測する有効な方法の開発が必要である。

② 入手が容易なデータを用い、最新の天気図を描く

だれもが入手可能な最新の気象観測のデータは、毎日3回放送されているラジオの気象通報（NHK第2放送で1日に3回放送している。他に日本短波でも放送しているがここでは対象としない。）のデータである。気象庁で描く地上天気図の基礎となるデータより情報量は少ないが、一般にはこの放送を聞きながら、人が天気図用紙にデータを記入し、天気図を仕上げることにより、学校教育の場で十分に耐え得る最新の天気図を用意することができる。

放送されたデータをパーソナルコンピュータに入力することにより、人が手書きで仕上げた天気図と同程度の天気図を、自動的に、かつ短時間に、作図することができる。

③ 教室等での利用が可能である

後述するように、大型の汎用コンピュータを用いて等値線を引く手法は幾つか開発されている。電話回線等を介して、これらの大型の汎用コンピュータでのソフトウェアを利用することは技術的には可能であるが、学校の構造、機構、電話料金等の問題があり、現在のところそのような利用は現実的ではない。そこで、大型の汎用コンピュータを用いることなく、教室での利用が可能なパーソナルコンピュータのみで、全作業ができることが必要である。また、大型の汎用コンピュータは記憶容量が大きく処理速度も速いが、記憶容量が小さく処理速度の遅いパーソナルコンピュータを用いた場合でも、授業での利用に耐え得るものにする必要がある。

そこで、格子点の数を減らすことにより、コンピュータが記憶すべきデータ量は少なくなり、パーソナル

コンピュータでの処理が可能となる。しかも、計算量も減ることになり、処理時間も短くなる。しかし、格子点の数が減ると、そこに表現できる等圧線の形状は粗くなるという矛盾が生じる。両者の兼ね合いを、パーソナルコンピュータで実現する必要がある。

④ 等圧線を引く訓練に役立つ

一般に人が等圧線を引く手順としては、まず、天気図上で気象通報によって与えられたデータの分布密度が粗な地域のデータを推測して、補わなくてはならない。データの無いある地点の気圧を推定するには、その地点の周囲での気象通報で与えられた既知の気圧の値をもとに、その地点の気圧の値を補間や補外により求める。このような方法で十分な個数の地点について気圧の値を求める。そして、求めた気圧の値が等しい地点をスムーズな曲線で結ぶ。このようにして、描かれたものが等圧線である。

多くの生徒は、この際の補間や補外を正確に行なうことができないため、等圧線をスムーズに引くことができない。

そこで生徒がある地点の気圧の値を推測し、その地点の位置とそこでの気圧の値をシステムに与えると、システムが自動的に等圧線を引き、画面に表示する。その画面に表示された等圧線に不自然な形状が見られれば、生徒は気づき、等圧線の形状を判断して、再度その地点の気圧の値を変更してシステムに与えると、システムは短時間に新しい等圧線図を再表示する。このようなことができれば、両者を比較することによって生徒は自ら行なった補間や補外の妥当性を等圧線の形状から検討することができる。

このために、気象通報で入力したデータに、さらに各自の行った補間や補外にもとづくデータを追加することが容易である必要がある。

III. ソフトウェアの特徴

(1) 本ソフトウェアを実行する上でのシステムの構成

II③で述べた理由により、学校現場での使用を目的とするので、全ての処理をパーソナルコンピュータのみで行なうこととした。本ソフトウェアを実行する上での機器類の最低限の構成要素を、学校現場でパーソナルコンピュータを導入するにあたっての最低限の要素と言われているもののみで実行可能となるように、表1のように設定した。

また、等圧線の作図のための計算手法は、後述するような理由により、島貫(1987)による大型の汎用コンピュータ用の等値線作図ルーチンの考え方を採用すること

表1 使用機器の構成

パーソナルコンピュータ (日本電気PC-9801シリーズ)	16bit、主メモリ-640KB、 補助記憶装置としてディスクドライブが必要である。
カラー・ディスプレイ	640×400ドット
プリンタ	24ドット

とした。

プログラミングのための言語は、日本電気の N88-BASIC (86) (MS-DOS 版) およびライフボードの Pro-FORTRAN 77 および Pro-GRAPH を使用した。データの入力用プログラムは、日本語処理の問題および大型の汎用コンピュータへの入力の場合等をも考慮し、BASIC で作成した。また、作図用プログラムは、コンパイルすることにより、処理速度をかなり上げることのできる FORTRAN で作成した。

(2) 作図のための解析方法

1) 処理方法

等値線を自動的に引く手法としては、直交二次元座標 (x, y) 上で、 x も y もそれぞれ等間隔の格子点を用いることが多い。本システムでも II ① に述べた理由により、各格子点での気圧の値をもとに等圧線を引く手法を採用した。

しかしながら、全ての格子点上での気圧の値が気象通報から入手できるわけではなく、ランダムに分布する観測所や船舶、高低気圧の位置から各格子点上の気圧の値を推測する必要がある。格子点から外れたこれらの原始データから格子点上のデータの値を推測することは、コンピュータを用いれば可能であり、実際そのような方法は大型コンピュータを用いた天気予測すなわち数値予報をはじめとして、幾つかの手法が開発されている。しかし、前述のように、データの分布が不均一の場合にはデータの密度の高い区域の影響が大きくなる傾向にあり、また、データの得られている範囲の周辺部では、補間ではなく、補外になるため、信頼性が低くなるという問題点がある。そのため、気象通報のデータをもとに格子点上での値を推測する今回の方法には、特に太平洋上や天気図の周辺部での処理に考慮が必要となる。

そこで、本研究では、不均一に分布するデータから格子点上の値を推測し、かつ、パーソナルコンピュータでの処理が可能になるシステムの開発を行なうことが必要となった。

実際に気象通報をもとに、パーソナルコンピュータを用いて自動的に等圧線図を作成するための手順は、

① 気象通報のデータから、素データの作成

② ランダムに分布する素データから、格子点データの作成

③ 格子点データから等圧線図の作成

のプロセスに分割できる。実際の作図のためのプログラムは、気象通報のデータの入力用 (処理 I) としての①と、等圧線図作図用 (処理 II) の②および③を合わせたものの二つの処理系にわけた。

2) 気象通報のデータを入力し、素データの作成

気象通報の放送順に気圧のデータを入力し、各地点の座標値とともに、素データを作成する。その際、各観測所の緯度経度は決まっているので処理用にその値を変換した座標値を用意し、船舶や高低気圧の位置はその緯度経度から処理用の座標値を計算により求めるようにした。

素データは、座標値とそこでの気圧の大きさ (x, y, p) を記録したものである。

3) ランダムに分布するデータから、格子点データの作成

与えられた素データを最も近い格子点に割り当てる。外周上の値は、それに近い内部の場所に素データがあれば、その値を割り当てる。この操作が行なわれた場所に関しては、周辺部において境界の法線方向の微分をゼロとする境界条件を用いたことに相当する。その後、外周上で未決定の所の値を、外周を一続きの輪とみなして補間する。この操作によって値が決める場所に関しては、境界の接線方向の微分を小さくする方向で値が決められたことに相当する。したがって、この二つの操作によって、周辺部の等圧線の形は境界に垂直でも平行でもないほぼ常識的なものになる。

次に、内部の未決定の格子点について、縦または横方向の補間によってそこでの値を決める。ある格子点上の値を決めるには、縦または横方向にその格子点に隣り合う格子点上のデータの値が決まっているときのみ、その格子点上の値を決める。このことを、縦横交互に繰り返す。始めのうちは遠方の値との補間で、あまり正当とは考えられない値が求められても、縦横交互に繰り返すことにより、次第に近い点の値との補間になり、穏健な結

果が得られる。

補間の公式は、次の三通りのものを使用した。(a) 4点 (x_1, x_2, x_3, x_4) 補間。3点 (x_1, x_2, x_3) から2次補間で決まる x_2 における微分と、同様に (x_2, x_3, x_4) から決まる x_3 における微分を用いて、 x_2, x_3 における値を満足する3次式で補間する。(b) 3点2次補間。(c) 2点1次補間。原則として(a), (b), (c)の順に用いる。ただし、内部補間では、計算が不安定になることを防ぐために、(a)は縦または横の一方のみで用いる。

4) 格子点データから、等圧線図の作図

隣接した 2×2 個の格子点を頂点とする四角形の領域(以後、単位領域と呼ぶ)ごとに、その内部の等圧線を決定し、プロットのときは、それらの多数の線分をソートして連続に引く。単位領域内の等圧線の決定は、4頂点を通る滑らかな面のねじれが小さいとき(向い合った2頂点の値の2組の平均値の差が小さいとき)は、この4点の値だけから決定する。そのときは、4辺上で一次逆補間を行ない、等圧線の通る位置を求め、他の辺上の対応する点と直線で結ぶ。値の等しい点が4辺すべてにあるときは距離の近いもの同士を結ぶ。

ねじれが大きいときは、このようにして描くと斜めの方向の尾根線や谷線はとぎれとぎれの小さな山や凹みの列となる。それを一続きの滑らかなものとして実現するには、より広い範囲で見なければならない。そのときは、単位領域の中点の値を、対角線上の2点の平均値2個の荷重平均によって決める。その際の重みは、周囲16点の値から対角線の2方向について求めた2次微分の値に応じて、2次微分の小さい方に大きな重みをかける。中点の値が決まった後、単位領域内を2本の対角線によって四つの三角形に分け、それぞれにおいて3頂点の値を用いてねじれの小さいときと同様な方法で等圧線を引く。

5) 格子点のサイズ

一般的には、格子点の数を多くすれば等値線の精度は増すが、計算処理時間も増加する。このシステムでは、等圧線の形状およびパーソナルコンピュータでの処理時間との兼ね合いから、いろいろなテストを行なった。その結果、一般の天気図用紙上を 29×42 の格子点にして、計算を行なうこととした。

(3) 作図の方法

システムの流れを、図1に示す。このシステムは、データの入力用(処理I)と等圧線図作図用(処理II)の二つの処理系よりなる。

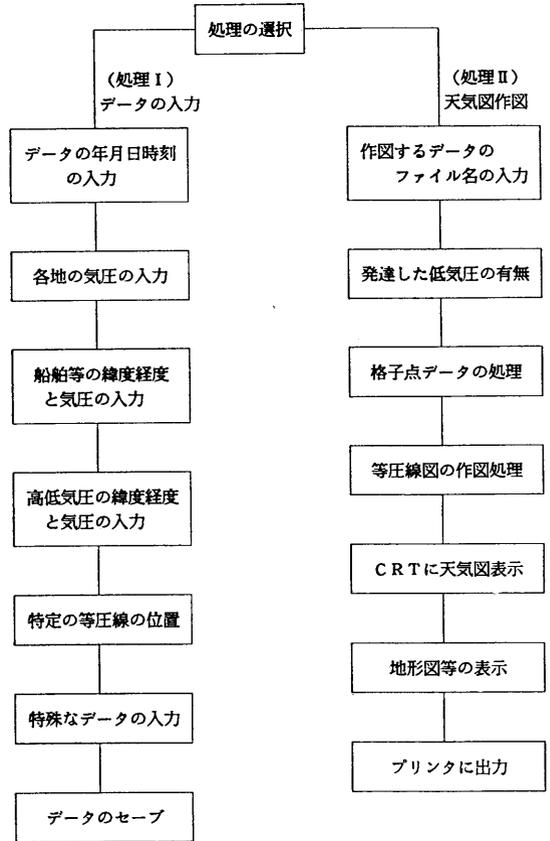


図1 処理のフローチャート

次に、具体的なデータの入力方法、処理方法の手順を述べる。

1) データの入力方法(処理I)

ラジオの気象通報を聞きながら、気圧のデータを、パーソナルコンピュータに入力する。

① 入力するデータの年月日時刻の入力

表示される画面の指示に従い、入力する。

② 各地の気圧の入力

放送される順に従い、地名が画面に表示される。放送に従い、その地点の気圧の値の下の2桁(例えば、1016ミリバールのときは16)を入力する(図2)。

③ 船舶等による気圧を緯度経度とともに入力

各地の気圧の入力が終了すると、気象通報は船舶の報告となる。画面には図3のように表示され、放送に従い船舶等の緯度経度を入力後に、気圧を入力する。

*****日付のデータを入力して下さい*****			
昭和 63 年 1 月 23 日 18 時			
*****各地の気圧のデータを下二桁入力して下さい。*****			
石垣島	気圧 (欠測のときは-9	?	9
1009	那覇	気圧 (欠測のときは-9	? 8
1008	南大東島	気圧 (欠測のときは-9	? 9
1009	名瀬	気圧 (欠測のときは-9	? 8
1008	鹿児島	気圧 (欠測のときは-9	? 8
1008	福江	気圧 (欠測のときは-9	?

図2 各地の気圧の入力例

1010	バスコ	気圧 (欠測のときは-9	? -9
-2	マニラ	気圧 (欠測のときは-9	? 8
1008	父島	気圧 (欠測のときは-9	? 11
1011			
*****北緯, 東経, 気圧のデータを入力して下さい。*****			
あと 45 個入力可能です。	北緯	? 28	
	東経	? 126	
	気圧	? 9	
あと 44 個入力可能です。	1009	北緯	? 38
		東経	? 135
		気圧	? 99
あと 43 個入力可能です。	999	北緯	? 37
		東経	? 146
		気圧	? 2
あと 42 個入力可能です。	1002	北緯	?

図3 船舶等による気圧の入力例

- ④ 高低気圧の中心の緯度経度・気圧の入力
 - ③と同様に, 高低気圧の中心の緯度経度を入力後に, 気圧を入力する。
- ⑤ 特定の等圧線の通る緯度経度・気圧の入力
 - ③と同様に, 特定の等圧線の通る緯度経度を入力後に, 気圧を入力する。③～⑤までのデータ数は, 20～30程度である。
- ⑥ 必要に応じて, 特別なデータの入力
 - 一般には入力が必要としない。
 - 生徒が補間や補外により求めたデータも, ここで

入力が可能である。

③～⑤のデータ数が少なかったり, データの分布に偏りがある等の特別な場合に用いる。(この部分だけは, 気象通報とは無関係に, 入力する人が任意に判断して行なう部分であるが, データの分布が粗な部分は一般的には12時間前の気圧とそれほど変化していない地域なので, 12時間前の気圧を入れても等圧線の形状が大きく変わることは少ない。)

⑦ 素データをセーブ

表示される画面の指示に従い, ファイル名を入力する。自動的にセーブを行ない, 終了する。

2) 等圧線図の出力方法 (処理II)

処理Iによって作られた素データを読み込み, 格子点データを作成し, それにもとづき等圧線図の作図を行なう。

① 作図するデータのファイル名を入力

気象通報のデータをセーブしたファイル名を入力し, 素データを読み込ませる。

② 発達した低気圧の処理

必要に応じて, 特に発達した低気圧の処理のための, 低気圧周辺でのローカルに計算すべき特定の気圧の大きさを入力する。(内容はIV(2)で述べる。)

③ 等圧線図を表示

自動的に等圧線を引き, 画面上に等圧線図を表示する。(例, 図5)

④ 地図の表示の有無を入力

地図を重ねて描くと図6のようなになる。地図は等圧線と別の色で表示されている。

⑤ プリントの有無を入力

必要に応じて, プリンターに画面のハードコピーを出力する。

IV. システムの評価

(1) 実行時間

素データの入力 (処理I) は, 気象通報を聞きながら行なう。ラジオの気象通報の終了後, すぐに, データをセーブすることが可能である。このように, 気象通報と同時に入力ができ, それ以外に入力のための特別な時間を必要としない。

等圧線作図 (処理II) は, 処理Iによってセーブしたデータを読み込み, 実行する。その所要時間は, 処理速度のやや遅い PC-9801 m2 を用いた場合でもほぼ3分程度で画面上に等圧線の表示を完了する。この程度の時間で表示することができるので, 授業でも十分に活用することができる。CPU が V 30 になった PC-9801 vm, さ

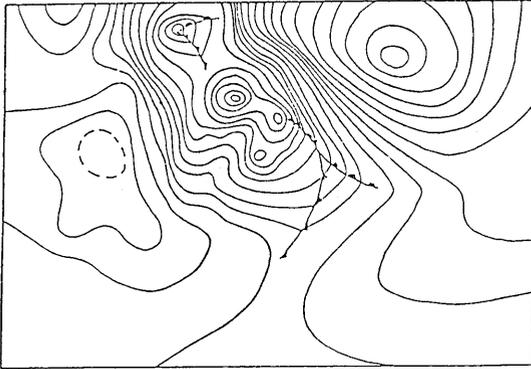


図4 手書きの天気図

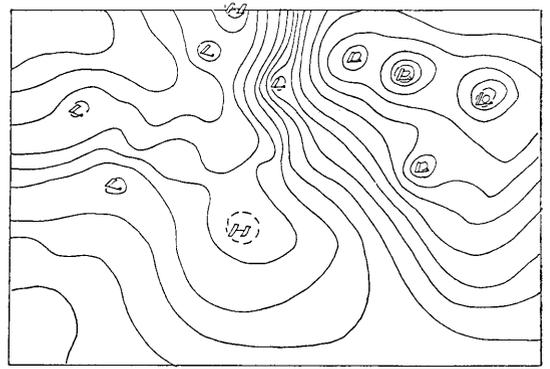


図7 図6に対応した手書きの天気図

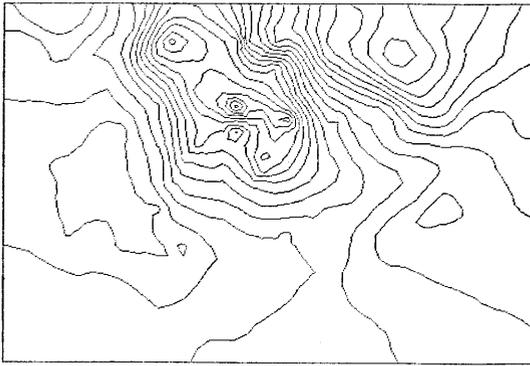


図5 図4に対応する自動作図した等圧線図

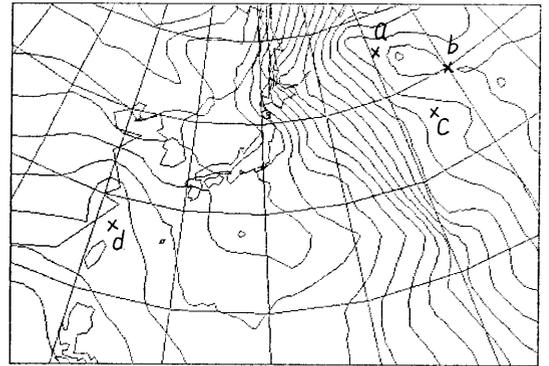


図8 図6の中で995ミリバール以下をローカルに計算した等圧線図

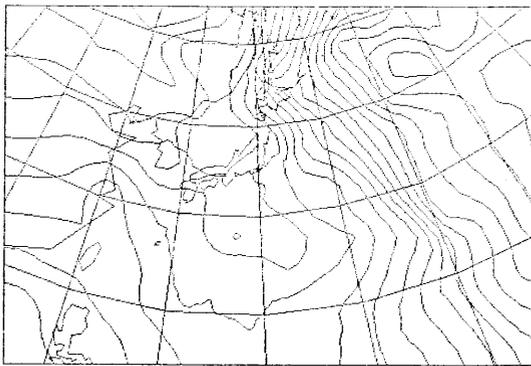


図6 自動作図した等圧線図

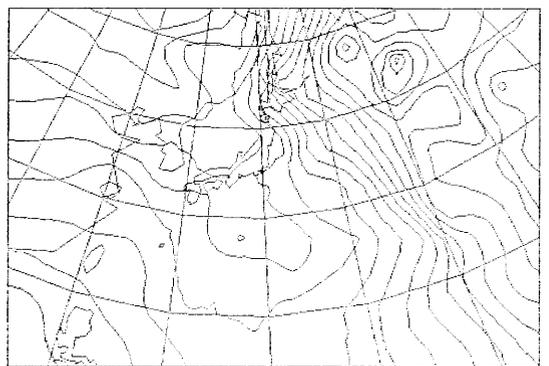


図9 図8のa, b, c, dの4点のデータを補って自動作図した等圧線図

らに PC-9801 VX 等における 80286 モードで実行した場合には、更に時間は短縮し、かつ画面上への表示速度も向上する。

(2) 本システムによる等圧線図の妥当性

ここでは、2例により自動的に作図した等圧線図の妥当性を検討する。

① 図4は、手書きによる天気図の等圧線のみを示したものである。図5は、気象通報によるデータのみを入力して自動作図したものである。気圧傾度の非常に小さいところ、および等圧線図の周辺部に、幾らかのずれがみられるが、全体的な気圧配置には満足のいく結果が得られている。不自然な部分については、明らかに気付く。そこで、手書きにより等圧線図を修正するか、その不自然な部分の近くにデータを追加入力することによって、不自然さを解消することができる。

② 図6は、図5と同様に気象通報によるデータのみを入力して自動作図したものである。図7は、手書きによる天気図の等圧線のみを示したものである。全体的な気圧配置はかなり一致しているが、図7の右上にある低気圧群が図6では正しく表現されていない。これは、本システムの現在の問題点のひとつである。

本システムでは、気象通報のデータを入力する際、高気圧・低気圧の場合については、高気圧・低気圧の中心であるという情報を、入力していない。船舶の報告と同様に、一地点の観測データと同じに扱うようになってい。すなわち、周囲の気圧がその地点の気圧よりも高い・低いという情報が入力されていないため、高気圧・低気圧の中心付近で等圧線が必ずしも閉じるとはかぎらない。

図8は、995ミリバール以下の所では、単位領域内でのねじれが大きくても、ねじれが小さい場合の計算方法を採用するようにして、計算を行なったものである。具体的には、このように狭い区域（ローカルな範囲）に重みをかけて計算を行なうことであり、発達した低気圧の中心周辺で気圧が急に下がっていることを表現でき、かつ、中心の低い気圧の値が広範囲に影響しないようにすることができる。その結果、等圧線はかなり閉じるようになる。これが、Ⅲ(3)2)②で述べた低気圧周辺でローカルに計算すべき特定の気圧の入力である。

さらに、図9は、図8中のa～dの4地点の気圧の値を追加したものである。a～dの各点は、低気圧の周辺部の気圧が中心部より高いという情報を与えるもので、低気圧と低気圧の間の地点の気圧を入力したものである。するとほぼ等圧線図は完成する。

気象通報のデータを自ら天気図用紙に記入する場合に

は、必ず低気圧の中心を記入するので、自動作図の結果示された図8と気象通報による低気圧の位置との違いにすぐに気付くので、a～dのデータの追加は容易である。

V. まとめ

本システムが等圧線図を作図するのに要する時間は3分程度であり、教育現場での使用に十分耐え得る範囲内である。

出力された等圧線図には、微妙な点でスムーズさに欠け、なめらかな曲線であるとは言えない部分が出現することもある。しかし、それらをスムーズな曲線に置き換えることは生徒でも可能であり、そのような置き換えの結果、手書きの天気図とほぼ同様なものになる。

このように、教師が自ら作図した天気図の等圧線の全体的傾向を修正したり、等圧線が枝分れしてしまいような部分の修正資料として活用できる。また、初心者である生徒は、等圧線を引くときの全体的な気圧配置を考慮した（念頭に置いた）等圧線の配置をとらえることができず、等圧線を交差させたり、枝分れさせたりしてしまうことがよくある。そのようなとき、参考的な資料として活用できる。

学習の場面では、具体的に以下のような利用法が可能になる。

その日の天気図を授業に用いるために、教師としても妥当な天気図を短時間に用意することができる。また、生徒が任意の地点での気圧を周囲の気圧から推測して、予想される値を入力することにより、その推測した気圧をもとに、等圧線図を得ることができる。その結果、推測値の妥当性を等圧線の形状をもとに検討することができるようになる。

以上の点から、本システムは、有効であると考えられる。

しかしながら、現時点で、まだ十分に解決できていない問題点として以下の点がある。

① 「低気圧の中心も、船舶の報告と同様に、一地点の観測データとして入力している」ため、低気圧であるという情報を入力していない。そのため、低気圧の周辺部のデータを補わなくてはならない場合がある。

② 生徒の学習を支援するというよりは、教師の資料準備を支援するシステムであるという要素が強い。

特に、①については、今後の解決すべき課題である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、東京学芸大学横山節雄助教授には貴重なご助言をいただいた。記して感謝の意を表

わす。

なお、本研究の一部は、昭和62年度文部省科学研究費補助金（奨励研究(A)，課題番号62780320）によるものである。

参 考 文 献

伊藤久雄，1986：学校教育の中での気象の扱い，気象研究ノート，第153号，p. 276～p. 298.

浦野弘・島貫陸，1984：ステレオ化した天気図を活用する気象教材，地学教育，37巻，6号，p. 163～p. 169.

浦野弘・佐藤美奈子・横山節雄・島貫陸，1985：ステレオ等値線作図ルーチンの教育利用—二色立体視法による天気図—，1985年教育工学関連学協会連合全国大会講演論文集，p. 227～p. 228.

浦野弘，1986：中学校における気象の教材教具，気象研究ノート，第153号，p. 313～p. 322.

島貫陸，1987：教育利用を意図した等値線作図ルーチンの開発，日本教育工学雑誌，11巻，1号，p. 15～p. 24.

浦野 弘・島貫 陸：気象通報のデータから等圧線図を作るパーソナルコンピュータ用ソフトウェアの開発 地学教育 42巻，3号，95～102，1989

〔キーワード〕 教材開発，天気図，パーソナルコンピュータ，自動作図，ランダム配置データ

〔要旨〕 天気図を書く指導での手本となる図が得られるように，毎日放送されているラジオの気象通報のデータを用いて，客観的に天気図が書けるシステムを開発した。ラジオの気象通報を聞きながら，パーソナルコンピュータに気圧のデータを入力する処理系と，ランダムに分布する気圧データから格子点データを求め，その格子点データから等圧線図を作図する処理系との2つより構成される。作図に要する時間，作図した等圧線図から本システムの妥当性を検討し，有効であることを述べた。

Hiroshi URANO and Atsushi SHIMANUKI : Development of Personal Computer Software Drawing Isobar from Weather Report Data ; *Educat. Earth Sci.*, 42 (3), 95～102, 1989.

教材としてのチャート

—その学習指導における扱い方と効能について—

池田俊夫*

はじめに

道ばたや川原で、茶色や灰色あるいは黒っぽい色をした鉄クギでも傷のつかない、硬くて油光沢のある何の変哲もない極くありふれた岩石を、あなたは手にとって見たことがあるだろうか。

この岩石はチャートという堆積岩の一種で、ルーペで観ても一粒一粒がわからないほど緻密で細かい、ほとんど SiO_2 からできている石英の微小結晶の集合体なのである。一見して無化石の岩石である、ようである。

ところが近年、堆積岩石学の研究の進歩発展に伴い、このチャートは大きさ数100ミクロン程度の微化石の集合体からなる「生物岩」である、という意義づけが定着するとともに、日本列島の中・古生代地史をめぐるその問題点を解明するのに必要不可欠の存在となりつつあり、特に含有する微化石、放散虫・コノドント化石等からそれらの地層の時代決定や示準化石としての役割が新たに脚光を浴びてくるようになってきている。

今回、筆者の勤務する当科学センターで、このチャートを素材とした新しい実験学習としての教材化を計る開発研究に携わったので、この機会に地学教材としてどのように活用することができるか、あわせて「物に即した地学学習」としての学習指導上における扱い方とその効果に特に視点をあてて、私見を述べることにする。

チャートの地質学的意義

堆積岩の分類の中で、珪質岩の代表としてチャートが挙げられる。なかでも層状チャートは日本列島の骨格をつくっている地質岩体の中に多量に含まれている。層状チャートは厚さ数cmの硬い珪質部が数mmないし1cm程度程度の泥質部をはさんで幾重にも重なった地層である。

1960年代まで、この地層は大型化石が全く含まれていないがために地質学的には無視され続けてきたが、周囲の泥質岩や石灰岩に見つかるフズリナ、サンゴ、腕足貝

などの化石から、その時代は古生代後期の石炭紀から二畳紀(約3.0~2.3億年前)と決定され、いわゆる秩父古生層の代表的な珪質堆積岩となっていた。

しかしながら1970年代に入り、今まで無化石と思われてきたチャートからコノドントと呼ぶ脊椎動物の先祖にあたる原索動物の器官の一部が微化石として次々と発見されるにつれ、層状チャートのほとんどが中生代三畳紀のものであることがわかった。さらに光学顕微鏡、電子顕微鏡による新しい研究法の開発に伴い、層状チャートの珪質部が放散虫の骨格や珪質海綿の骨針といった極めて小さな珪質生物遺骸の集積からなることが明らかになり、深海掘削計画の進展とあいまって放散虫化石による時代決定の精度が高まった。

中生代ジュラ紀の放散虫化石の多量の発見によるおよそ1.3億年前の地層の存在が明らかとなるにつれ、日本列島の古生代と考えられていた地層から更により若いジュラ紀の地層への転変へと、それまでの常識は覆えされてしまった。

今や層状チャートとそれを構成する生物遺骸物質である放散虫化石は、日本列島のプレートテクトニクスを考える上で必要不可欠のものであり、それらが果たす役割はますます重要なものになりつつある。

教材としての意義

現行の小、中、高等学校理科教科書および学習指導要領に目を通すとき、その岩石教材の少なさに嘆きを覚える者の一人であるが、「鉄よりも硬そうな岩石チャートが実は生物からできている。」という事実にかんがみ、従来からの堆積岩としてのチャートの教材としての意義だけにとどまらず、この身近などこでも採取可能な親しみのある素材を用いて、自然の造形の不思議さ、鮮やかさに驚きかつ理解するために、さらに我々の日本列島の土台を形成する基礎的岩石が生物岩であって、化石放散虫の系統進化過程までが明らかにされつつあるという事実から、新しい示準化石としての位置づけも確立されつつあるという段階なので、小・中学校の理科ならびに高等学校理科1および地学に含まれる学習項目にかなり広範囲にわたって適用、応用される教材である、と考え

* 京都市青少年科学センター

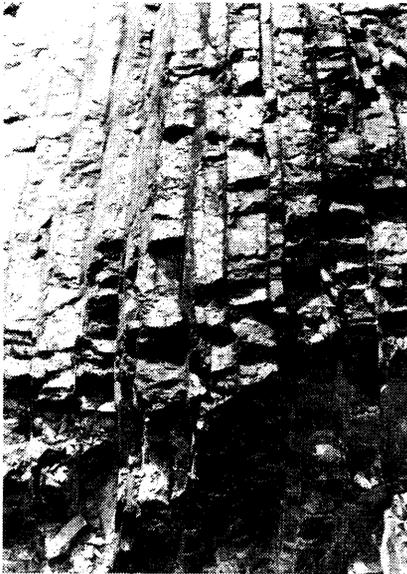


写真1 層状チャートの露頭
(京都府北桑田郡京北町周山)



写真2 層状チャートの互層(珪質部と粘土質部)
(京都府北桑田郡京北町周山)

られる。

次に、教材としてのチャートの産状、性質、特徴、教材化への具体的な方法を述べると、

(1) 産状

チャートには塊状もあるが、野外で見られるチャー

ト層は写真で示したごとくきれいな層状をなした地層として観察されることが多い。近づいてよく見ると厚さ1~5cmの珪質部と厚さ数mmほどの薄い粘土質部(泥質部)がリズムカルに繰り返して重なっている様子が気づく。すなわちサンドイッチ状に互層していて規則的な堆積状態をなしている。

層理面が明瞭なので地層の走向、傾斜をクリノメーターで測るのに好都合である。さらに層状チャートは往々にして外部からの圧力による大小様々の褶曲構造を見せてくれることが多い。たまには断層面が観察されることもある。

(2) 性質

層状チャートは主として1ミクロン程度の微粒石英からなる、堅くて緻密な堆積岩の総称であるが、微量に含まれる種々の鉱物の違いによって、赤・緑・白・灰・茶・黒など多様な色調を示す。また半透明のものもある。硬さは鉄クギでも傷が付きにくいほどなので硬度7ぐらいで、岩石中では極めて硬い部類に属する。油光沢(脂肪光沢)も大きく、手にぎっているとすべすべしてくる。割れ口は鋭角(貝殻状断口)でとても鋭く、傷を負いやすいほどの断面である。さらに石英脈を伴って産することも多い。

(3) 特徴

層状チャートは基本的には放散虫、コノドント、珪質海綿の骨片およびそれから由来した珪質泥が堆積してできたものと考えられている。

この層状チャートを、次に述べる方法でフッ酸(以下HFと記す)腐蝕処理し、観察すると、

①0.1~0.2mm程度の大きさを示す球形あるいは円錐形(たけのこ形)の放散虫化石や棒状の海綿の骨片、くし形のコノドント等が見られる。すなわち生物遺骸としての微化石が観察される。これら微化石の殻の形態・構造の違いにもとづいて、中・古生代の放散虫の分類・記載を行なうことができる。

②層状チャートの岩片の、層理面に平行および垂直なHF腐蝕面には微化石が多数観察される。特に層理に垂直な面には珪質微化石の級化構造(上下方向で放散虫の大きさが一定の向きに変化する)、平行葉理、斜交葉理などの堆積構造を形成したり、円錐状・針状微化石が特定の方向に配列しているのが観察される。このことから小さい礫や砂粒と同じように流水のはたらきによって運搬され堆積したことが推定される。

(4) 教材化への具体的な方法

硬い層状チャートを容易に腐蝕し、鮮やかな微化石



図1 微化石(海綿骨針)の定方位配列状態

の腐蝕面のレリーフを作りだして、微化石を通しての層状チャートの成り立ちや過去の古環境を復元するという、層状チャートを素材にした化石岩石の新しい学習指導は、生徒たちに身近な岩石から壮大な地球史の一面を垣間見ることができるという、夢のあるダイナミックな内容の学習が期待される。

この意図を実現するための教材化への方向として、チャートを容易にしかも安全に腐蝕させるためにHFを活用して実験し処理する装置がぜひとも必要である。それ故、以下に岩石腐蝕簡易実験装置および微化石抽出装置を紹介する。

①岩石腐蝕簡易実験装置の概要および使用法、効果

(概要)

下図に示したように、この装置はメタアクリル系樹脂(無色透明・5mm厚)板で作った直方体の実験槽を、支点を中心にして左右に2個つるし、図の矢印の方向に自由に回転運動ができるようにしてある。また両槽をシリコンチューブで連結させて、HF溶液が互いに自由に通りあうようにしてある。発生する刺激臭のガスを排気管(シリコンチューブ)を通してポリエチレン製袋に貯めるようにもしてある。直方体の実験槽は溶液が漏れないように接合部を完全に密着させ、また発生する蒸気が放散

しないようにふたも付けてある。

(留意点)

腐蝕性、刺激臭の強い化学薬品であるHFを使用するだけに、耐HF物質で加工が比較的容易なメタアクリル系樹脂製器具やシリコンチューブを活用してある。

(使用法)

まず一方の実験槽にHFを注いでおいて、他方の実験槽には表面を研磨した試料岩石(層状チャート)を入れる。試料の入っている実験槽は、自然の状態のまま重力の作用により下方に回転移動する。すると試料

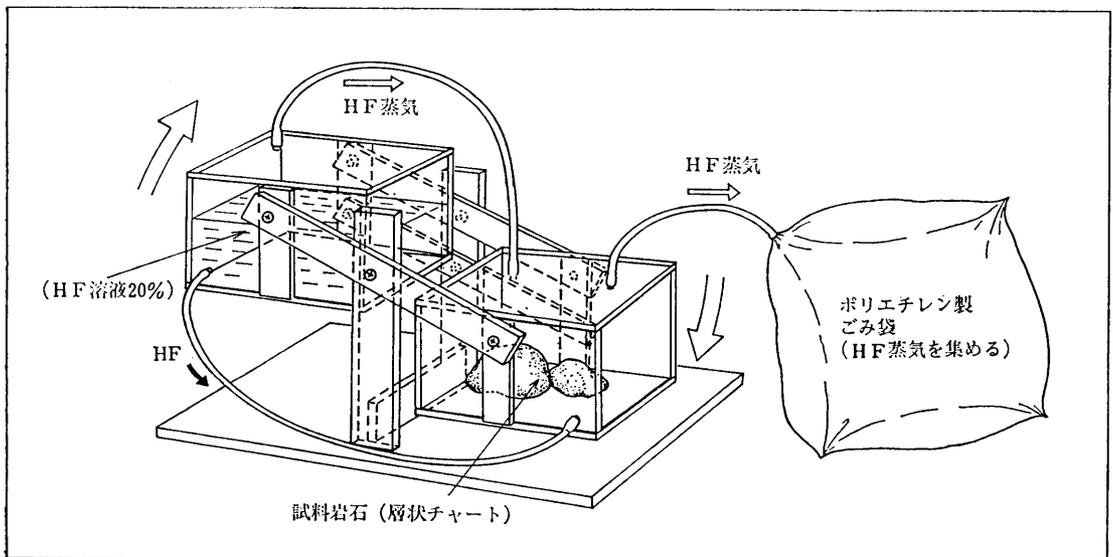


図2 岩石腐蝕簡易実験装置の構造図

岩石の入っている実験槽にはHFが流れ込み、試料が腐蝕される（濃度約20%のHFで約30分間浸漬する）。
 （このとき発生するガスは、ポリエチレン製袋にたまる）。腐蝕が終ると、試料岩石の実験槽を持ち上げて他方の実験槽にHFを追い出し、その後つまみ（竹べら）で腐蝕された試料をそと取り出す。続いて別の試料岩石を入れ、同じ腐蝕実験を繰り返して行なう。

（効果）

本教具を用いて得られる効能を挙げると、

1. 岩石をHFに浸すための実験槽が支点を中心に上下に回転移動するようにしてある。このことにより、実験するとき自らの手を直接HFに触れる危険性をまったく無くして実験することが可能になる。
2. ドラフトを使用することなしに発生する有毒ガスを容易に集積する方法をとったが、これはあくまでも身体に影響を与えないように工夫したものである。すなわち腐蝕中に発生するHFガスを抜きとるポリエチレン製袋は、期待したとおり発生ガスをうまく吸い集めてくれたのである。
3. HFで腐蝕される過程を直接目で観察することができる。これは耐HF物質である透明メタクリル系樹脂製容器を使用するようにしたためである。
4. 実験装置をでき得るかぎり小型化してあるので、岩石腐蝕実験を個別にしかも容易に実施することができる。

②微化石抽出装置

層状チャートから微化石を単体分離する場合は、次図に示すような順序にしたがって実験する。

（参考文献、井本・山中による）

1. HF腐蝕した試料液をつくる。

（方法）

- ・ 試料（チャートブロック）をポリエチレン製柄付きビーカーに入れ、あらかじめ5～10%に希釈しておいたHF溶液を試料が浸る程度に加える。

（チャートの表面観察の場合にはプラスチック製洗面器などで代用することもできる。）

- ・ 容器を適当な時間ドラフト内においた後、試料液をとりだす。

（表面観察用チャートの場合には、写真用竹製ピンセットなどで慎重にとりだし、他のプラスチック容器に移し、大量の流水で洗浄後、観察に提供する。）

2. 図のような装置を準備する。

柄付きビーカー液（a）を、上部に60～80メッシュの網（b）を張り先端部を200メッシュのクロスネ

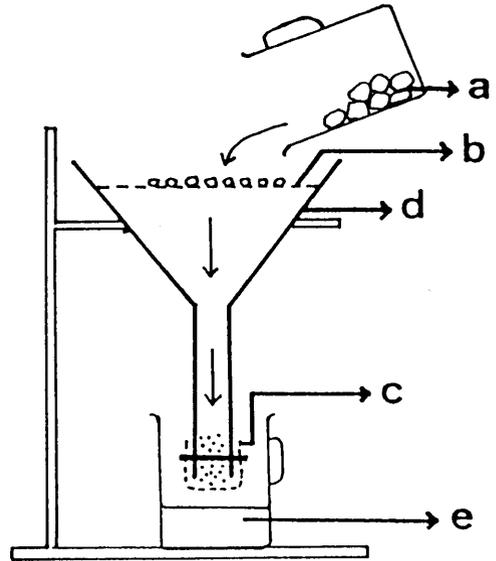


図3 放散化石抽出装置の構造図

- ット（c）（古ストックで代用も可）で包んだプラスチック製大型ロート（d）上に注ぐ。
 - 3. 最初の汚液（e）は別に準備した大容積のHF回収容器に移し、再使用に活用する（廃棄する場合は消石灰で中和するとよい）。
 - 4. 処理済の試料を水洗し、汚液を数回繰り返し残渣の回収をする。
 - 5. （c）の残渣をビーカー、シャーレ、試料びんなどに移し変え、目的に応じた方法で観察試料にする。
- ※ 処理作業にあたっては、この場合は必ずドラフト内で実施し、厚手ゴム製手袋を着用すること。HFの希釈時には必ずガスマスクを着用すること。

教材としての扱い方、理科学習への応用

前述したとおり、教材化への具体的な方法により教材化への道は拓けるのだが、そこから得られる情報が小・中学校の理科ならびに高等学校理科Iおよび地学に含まれる学習項目に、どのように適用され応用されることができるか、を検討する。

①小学校第1学年（石あそび）

川原などでの石あつめ、石あそびを通じて、児童・生徒が手にするあぶら石、はち巻き石などの多くはチャートである。この単元ではチャートの基本的な性質、すなわち硬度、色、油（樹脂）光沢、形からの断面、石英脈による貫入現象などを通して、なぜ硬いのか、なぜすべすべして滑らかなのか、どうしてはち巻き石はできるのだろうか、といった疑問に着実に経験

を通して対応する答を見出すことができる。これらはいずれもすべてチャートの実体そのものに関する事象だからである。

②小学校第6学年(地層)

教科書では、見事な互層や大規模な褶曲構造の例として第三系の地質など礫岩、砂岩、泥岩、火山灰層などを取り扱っている場合が多いが、層状チャートを例としている場合は皆無であるといつてよい。

層状チャートの地質構造体における堆積構造からいってその実例が探しにくいかもしれないが、例えば保津峡(京都府)や日本ライン(岐阜県)など各地の溪谷美を誇る景勝地には、層状チャートの露出しているところが多くある。このような場所をとらえ、解説をふまえて学習内容に加えるのも地層の学習としては有意義なのではなかろうか。

さらに、小学校4年生あるいは5年生の社会科などで学ぶ「人間の火としての活用」範囲に関わって、層状チャートの「火打ち石」としての実験用教材化、学習教材化も考察することが必要なのではないだろうか。

③中学校第2分野(堆積岩)

堆積岩の中に事例としてチャートを加えていることが多い。さらに双眼実体顕微鏡観察による実習や、電子顕微鏡写真の提示により、より高い学習効果の結果が期待される。

④中学校第2分野および高等学校理科I(地層)

層状チャートの互層や褶曲構造の露頭写真を教材として活用するだけにとどまらず、チャートの堆積構造としての円錐型放散虫や海綿骨針の定方向配列の顕微鏡による観察は、礫や砂粒と同じようにこれら微化石もまた海底の古水流によって運搬され、集積されたものであることを理解させる。すなわち古生物の堆積条件下における化石化を示す好材料となり、地層形成過程の一端を理解することができる。

⑤中学校第2分野および高等学校理科(地学)、(化石)

放散虫のドライラボ方式による分類、様々な形態と殻の構造の観察を通して、古生物の分類上の位置や多様性を理解させることができる。さらに放散虫や海綿動物の生息環境を現生のものと比較することによって、当時の堆積環境を考察することも可能である。

そして、また放散虫や海綿動物の示準化石としての役割やその生物進化の問題、その上地球の歴史や日本列島のおいたちなど、中学校第2分野、高等学校理科(理科I、地学)それぞれの段階で、様々な学習項目に対応して活用することができる。

	角度	個体数	総数	%
1	5°~14°	5:5:5:5:3	23	12.1
2	15~24	5:5:5:5:5:1	31	16.2
3	25~34	5:5:5:5:5:5:4	39	20.9
4	35~44	5:5:5:5:5:1	31	16.2
5	45~54	5:5:5:5:5:1	31	16.2
6	55~64	5:5:5:1	16	8.4
7	65~74	2	2	1.0
8	75~84	3	3	1.5
9	85~94	1	1	0.5
10	95~104	3	2	1.0
11	105~114	1	1	0.5
12	115~124	1	1	0.5
13	125~134	2	2	1.0
14	135~144	2	2	1.0
15	145~154	0	0	0
16	155~164	2	2	1.0
17	165~174	1	1	0.5
18	175~184	3	3	1.5
Total			191	100.0

図4 試料「花一6」(4)における海綿骨針の配列状態

おわりに

地層を形成している堆積岩としての層状チャートが、放散虫、海綿骨針、コノドントなどのおびただしい無数の珪質微化石で形成されているという事実から、いわゆる「生物岩」としての認識を高め、顕微鏡下での微化石を化石教材として、ぜひとも学習指導に生かすべきであると考えられる。なぜならば、層状チャートを主とする堆積岩中の微化石の研究を基礎に教材化を図ることによって、身近な岩石に対する生徒の新鮮な興味・関心呼び起こすことが期待されるからである。

堆積岩の中でも特に取り扱にくいチャートを、現在の進展する学問的研究成果の上にならって教材化をしようと努めたが、不十分で至らない点はまだ数多く残されたままである。今後の研究課題として努力するつもりである。諸先生方の忌憚のない御指導、御批判をお願いする次第である。

参考文献

高柳洋吉・大森昌衛編(1975):古生物学各論,第2巻,無脊椎動物化石[上]:築地書館。
 齊藤靖二(1986):日本列島をつくった深海ケイ質堆積物:科学(3月号),141~145,岩波書店。
 井本伸広・齊藤靖二(1974):層状チャートの正体:科学(3月号),180~182,岩波書店。
 井本伸広・山中くるみ(1982):教材としてのチャート放散虫化石:京都教育大学理科教育研究年報。
 池田俊夫(1978):珪質岩の微化石を観る一地質教材化

への一考察：地学教育，31巻，4号，107～111.

理科の教育（10月号），714～718，東洋館.

池田俊夫・小篠清（1985）：硬い岩石の微化石を観る：

池田俊夫：教材としてのチャート—その学習指導における扱い方と効能について— 地学教育 42巻，3号，103～108，1989

〔キーワード〕 地学教育，地学実験観察教材，堆積岩（チャート），珪質微化石，学習指導内容

〔要旨〕 従来無化石の堆積岩として扱われてきた「チャート」は，現在では大きさ数100ミクロン程度の微化石の集合体からなる「生物岩」であると意義づけられ，特に含まれる珪質微化石，放射虫・コノドント化石などから，それらの地質の時代決定や示準化石としての役割が新たに脚光を浴びてくるようになってきている。この「チャート」を地学分野の新しい実験観察教材として活用する具体的な一試案と，学習指導上における扱い方およびその効果についても触れる。

Toshio IKEDA: A Treatment of chert for Teaching Materials—In regard to dealing and effect on the learning guidance— ; *Educat. Earth Sci*, 42 (3), 103~108, 1989.

初歩的フィールドワークの指導に関する一考察*

— プロセススキル習得の事前指導を通して —

加藤尚裕¹⁾・荒井 豊²⁾・若手三喜雄³⁾

1. はじめに

地学教育において、野外学習は重要な位置を占めていることは言うまでもない。筆者らが行ってきた地質教材での実践でも、可能な限り児童を野外に連れ出して学習を進めてきた。しかし、野外学習の指導において、実際の野外の露頭は複雑で、指導目標としているような事象だけが児童の目の前に存在するのではなく、岩石の風化したレキがあったり、地層の厚さが激しく変化していたりしているため、「地層」という認識をもって露頭を見るのは初めてといってよい児童であるがゆえ、ただ漠然と露頭を見ているものが多かったり、解放感にひたってしまったりしているものが多い。また、露頭をスケッチするに際しても、複雑な自然の中からポイントとなるようなことだけを描くことは児童にはかなり困難であるため、広々として大切な情報を描き損じていることが多い。そのため、1単位時間では指導目標を満足させるような学習効果が上がっていない傾向にあった。

その原因の一つとして考えられるのは、一般的に行われているような短時間の諸注意や簡単な観察の観点の指導ですませているような事前指導が多かったためであろうと考えられる。

そこで、筆者らは、より効果的な野外学習を指向するためには観察能力を伸ばすような事前指導を行うことが必要であろうと考えた。事前指導では、たとえば、地層がいくつかの層になって重なっていることを認識させるために、赤土の色の層や黒っぽい色の層を識別する能力、地層の構成物質(砂・小石・粘土など)や地層にひびが入っているなどの地層の特徴を同定する能力、地層の厚さや広さを目測する能力などを伸ばすような指導をすることであろうと考える。そのような観察能力の指導をすることが野外学習を進める上で有意義であろうと思われる。下野洋氏も「中等教育の前段階では、「物」の名前

を覚えたり「物」を比較・分類したりするような基本的な探究の技法を中心とした自然の具体物に基づく活動(野外観察)を十分用意することである。」と述べている。

本稿では、石・砂・土を使った児童・生徒の観察能力(フィールドワークのプロセス・スキル構造)の調査(加藤・荒井, 1985)をもとに観察に関する能力の項目(プロセス・スキル)を選び出し、事前指導によってフィールドワークのプロセス・スキル(荒井, 1983)の初歩的な観察能力を理解させ、野外観察指導では技能面において質的レベルの低いもの(感覚的なもの)を育てることをねらいとした。研究対象は小学校6年生で、初歩的なフィールドワークについての事前指導と野外学習指導の授業実践を行った結果、特徴のある指導効果が認められたので、報告する。

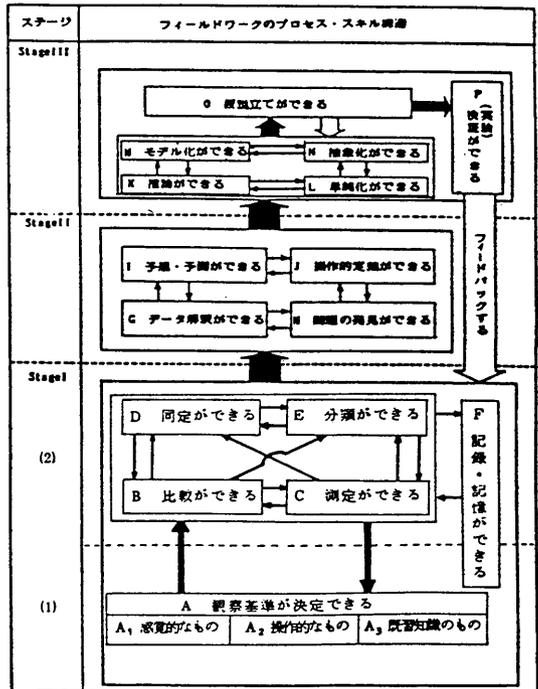


図1 プロセススキル構造

1) 埼玉県川越市立中央小学校 2) 埼玉県東松山市立北中学校 3) 埼玉大学教育学部附属小学校

* 本稿は日本地学教育学会第39回全国大会埼玉大会で発表したものに加筆したものである。

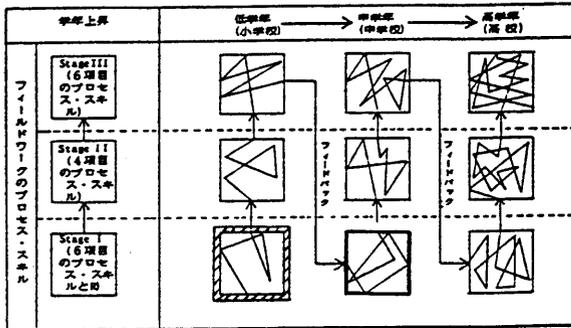


図2 プロセス・スキル訓練のカリキュラム模式

2. 初歩的なフィールドワークとは

筆者らは、小学校段階での初歩的なフィールドワークにおける指導段階を次のようにとらえた。ただし、地学領域の地質教材という狭い範囲に限定する。

以前に筆者らが行った児童・生徒の観察能力の調査結果では、観察能力は学年が上がるにしたがって量的にも質的にも発達する傾向にあった。また、触覚を十分使っていないこと、視覚の中で、粒の大小を比較する能力についても劣っていること、さらに、操作的な能力についてはほとんどといってよいほど形成されていないこともわかってきた。

小学校学習指導要領では、小学校段階で地層を観察するのに必要な能力は、地層がいくつかの層になって重なっていることを認識するのに、層の色や層の構成物質を識別する能力、地層の構成物質（小石・砂・粘土など）や地層の特徴を同定する能力、地層の厚さや広さを目測する能力であるだろうと考える。

以上のようなことから総合的に考えると、本実践で指導する初歩的なフィールドワークとは、荒井の提示したフィールドワーク探究における一般的な探究様式のプロセス・スキル構造（図1）のStage I (1)(2)に相当し、フィールドワークにおけるプロセス・スキル訓練のカリキュラム模式（図2）の二重わく部分を指す。すなわち、 A_1 （感覚的なもの）の能力と、 A_2 （操作的なもの）の能力と Stage I (2)（B：比較できる能力、D：同定できる能力、E：分類できる能力）をさす。それらはフィールドワークの中でも最も重要な位置をしめるものと考えられる。

3. 研究の方法

研究の方法として、プロセス・スキル学習の訓練を目的とした事前授業を実施したクラス（実験群）と、一般

的に行われているような簡単な諸注意だけを実施したクラス（統制群）を同時に野外学習させた。野外学習では、実験群も統制群もワークシートをもとに観察活動を実施した。

4. 野外学習の事前指導

(1) 事前指導までの授業の流れ

事前指導の授業を実施する前に、単元の導入として1時間授業を実施した。一斉授業形式で3クラスとも各担任が指導した。導入の授業展開はおおむね次のような流れである。

山を切り崩した崖のスライド、川岸の崖のスライド、縞模様に見える地層のスライド、大きな石が入っているレキ層のスライドなどを見せ、土地には、土や砂や小石が層状に重なりあって、縞模様に見えるところがあることに気づかせると同時に、実際に自分でも地層を見たいという意欲をもたせるような指導である。

(2) 目標設定

事前指導の授業のねらいは、OHPで崖の絵を見せてその崖をいくつかの層に分けることができるようにするために（E：分類できる能力）、分けたときの基準（色、粒の大小）が言えるようにすること（D：同定できる能力、 A_1 ：感覚的な能力）である。

(3) 本時の学習指導（ブロックダイアグラム）（図3）

5. 野外学習の授業設計

(1) 目標の設定

野外学習の授業のねらいは、現地地で露頭をみて、ワークシートにそれぞれの層の厚さ、色、粒の大小を記入することができる（ A_1 ：感覚的なもの能力、 A_2 ：操作的なもの能力、B：比較できる能力、D：同定できる能力）。そして、地層をいくつかの層に分けてスケッチすることができる（E：分類ができる能力）ことである。

(2) 観察場所の決定

観察学習地点を次のような視点から決定した。

ア) 学校から仙波地区の露頭までは、交通量が少なく、児童を安全に引率していける。また、観察場所は大勢の児童が一度に観察でき、集合場所も広く安全である。

イ) この露頭は関東ローム層とレキ層を含んでいるので、地層のでき方を考える上に、よい手がかりになる。また、地層が層状であることを理解させるのに適している。

ウ) この露頭は水平層であるので、地層の広がりを推論させるのに適している。

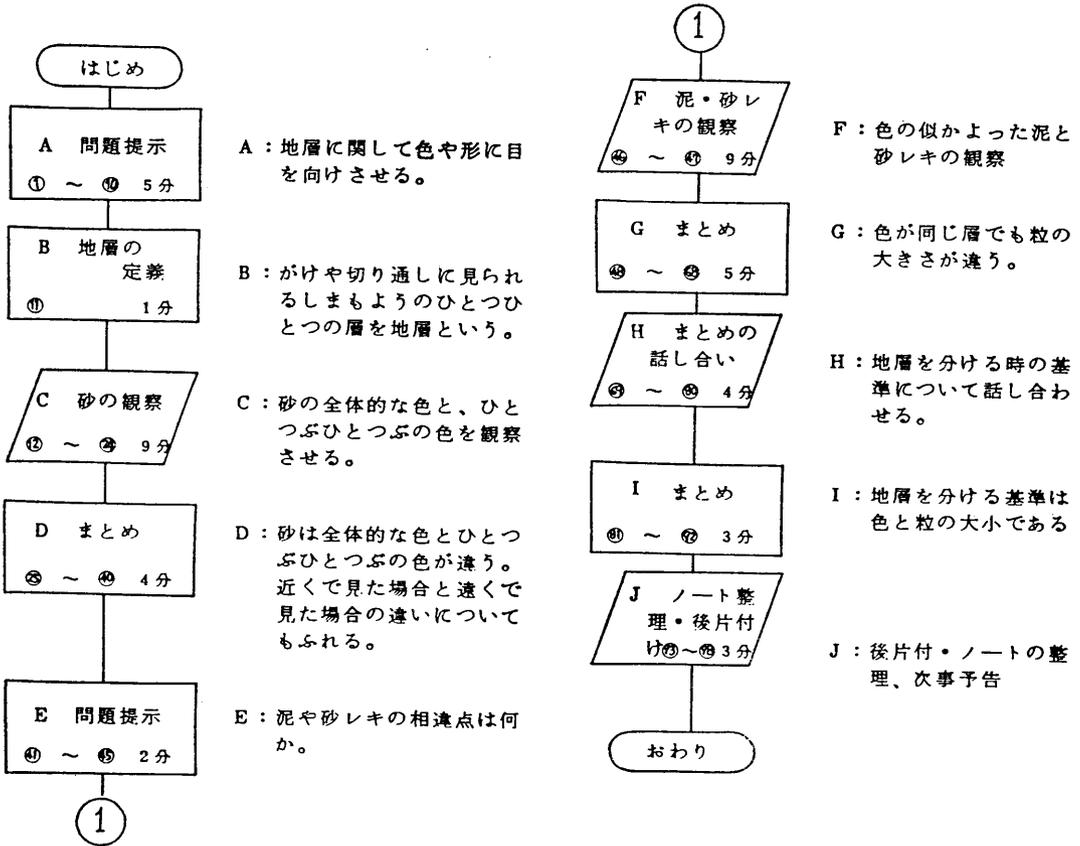


図3 ブロック ダイアグラム

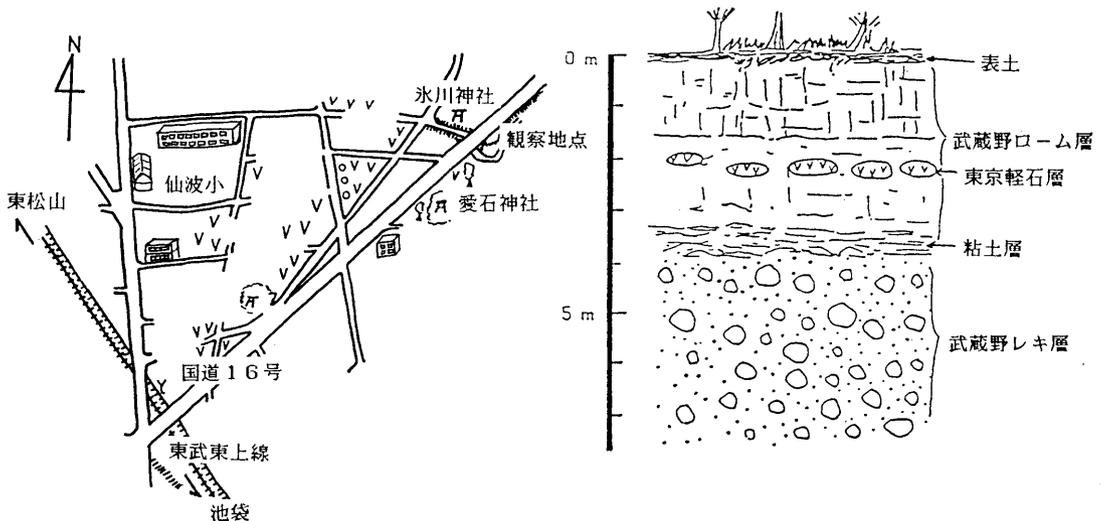


図4 仙波地域の観察場所地点と露頭の断面

エ) 学校から歩いて35分程度の距離にあり、適当な観察地点であるといえる。

上記のような事項を満足するような観察場所なので、野外学習の場所としては最適であろうと考えた。

(3) 野外学習の観察場所の露頭の地質

野外学習の観察場所は、埼玉県川越市仙波町の氷川神社の南側、国道16号沿いの露頭である。(図4)

川越市は東西約16km、南北約14kmとほぼ正方形に近い。川越市周辺の地域は関東ローム層におおわれた台地が広がっている。この台地は武蔵野の面影を残す雑木林がところどころにある。西部の台地は武蔵野台地へとつながり、東部は荒川低地へとつながり、そこには荒川がほぼ南北に流れている。

観察場所の露頭は、大きく上下の2つの部分に分けら

ワークシートの作成

「土地のつくり」野外観察用ワークシート

6年 組 名前

【作業1】 観察場所(がけ)から、約5m離れて全体の様子を観察しましょう。

①この地層はいくつの層に分けることができますか()

②それぞれの層を分けた基準は何ですか。一番上の層をAとして必要なだけ記入すること。

- A ()
- B ()
- C ()
- D ()
- E ()
- F ()

【作業2】 今度は手でさわれる位置まで移動しましょう。さきほどの地層をそれぞれの層に分けた基準で、もう一度、詳しく観察してみましょう。

【作業3】 もう一度、がけから約5mはなれて、全体の地層をスケッチしましょう。どのようにスケッチすれば、地層をきれいに正しく書き表せるか、かきかたを十分に工夫しながら書いてみましょう。

◎スケッチしながら、感じたこと、ふしぎに思ったこと、気づいたこと、疑問に思ったことなど、何でも書いておきましょう。

れる。上位は茶褐色をした、いわゆる「関東ローム層」、下位には砂レキ層が露出している。関東ローム層の中にはひび割れの発達しているところと、そうでないところがある。その下の層は淡黄色～黄橙色をなし、その中に粒形約数mmの粒が密集している部分が観察できる。この粒は「東京軽石層」といわれているものである。この東京軽石層を含む部分が「武蔵野ローム層」とよばれているものに相当する。武蔵野ローム層の下位の部分は、全体的に茶褐色をしていて、レキの表面が風化している地層がある。レキ層のマトリックスは粘土・砂である。レキ種はチャートがほとんどで、砂岩、ホルンフェルス等のレキも混じっている。レキの形は亜円形～垂角レキのものが多く、河川の中流に分布する石の形とほとんど同じであると思われる。レキの大きさは64mm～4mmの中レキが圧倒的に多い。いわゆる「武蔵野レキ層」が分布する。

(4) ワークシートの作成

(5) 野外学習指導案の作成

(教授フローチャート、図5)

5. 授業の実施及び結果

(1) 事前指導について

(ア)日時 昭和59年11月29日～12月5日

(イ)方法 クラス単位で一斉指導、授業者 加藤

(ウ)対象児童数 川越市立中央小学校児童 69人
6年生 2クラス

(エ)評価方法 事前・事後調査を下記の要領で行った。《事(前)後調査》

事前調査は放課後、2クラス全員一斉に図6のような調査用紙を児童に配布し、OHPで崖の絵を提示し、調査用紙に記入させた。事後調査は事前指導の授業終了後、授業をしたクラス毎に調査を実施した。(注)実際のTPシートには図のTPシート中の記述の色が塗って

【作業4】 こんどは手でさわれる位置まで移動しスケッチした地層を詳しく観察しましょう。(層を作っているつぶの大きさ、層を作っているつぶの色、層の厚さなど)

- A ()
- B ()
- C ()
- D ()
- E ()
- F ()

*終わったら、先生にみせましょう。

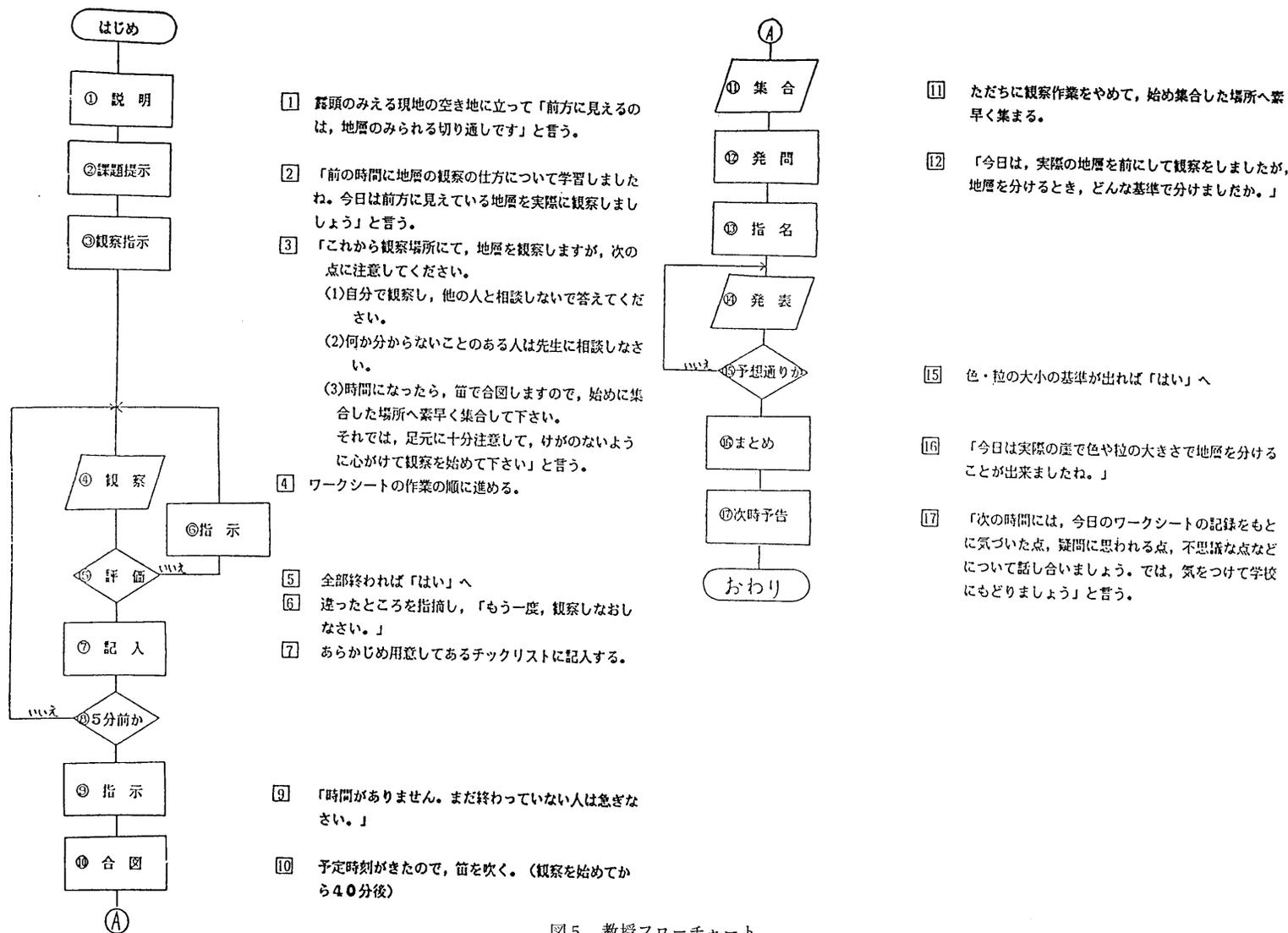
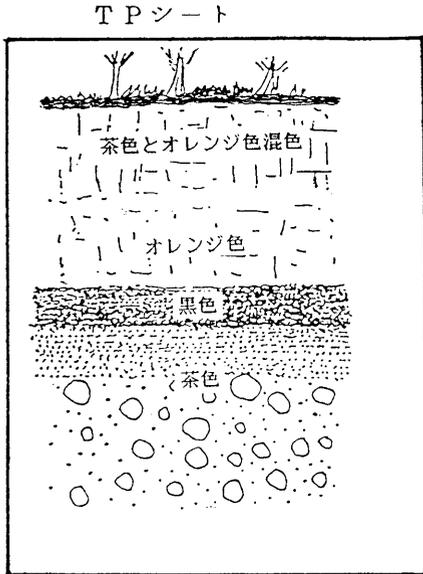


図5 教授フローチャート



OHPに写し出されているがけの絵をみて、次の問いに答えなさい。

①このがけは、いくつのしまもように分けられますか。
()

②それぞれしまもように分けましたね。それらのまもようは、何をもとにして分けたか答えなさい。ただし、記入するときには必要なだけ記入すること。

- A ()
- B ()
- C ()
- D ()
- E ()
- F ()

図6 TPシートと調査用紙

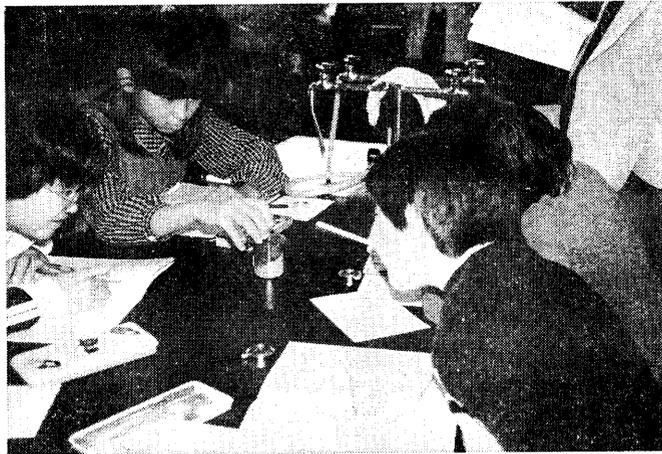


写真1 事前指導の授業風景

ある。

(オ)実施結果

結果については、評価マトリックス表で示す。事前・事後テスト結果(表中の記号は次のりである。)

$P_r(+)$ 事前調査で合格 $P_r(-)$ 事前調査で不合格

$P_o(+)$ 事後調査で合格 $P_o(-)$ 事後調査で不合格

正答率 $\frac{P_r(-) \text{で} P_o(+)$ の児童数}{ $P_r(-) \text{で} P_o(+)$ + $P_r(-) \text{で} P_o(-)$ の児童数} \times 100

①この地層は、いくつの縞模様に分けられますか。
(合格基準……5つ以上)

	$P_o(+)$	$P_o(-)$
$P_r(+)$	60	0
$P_r(-)$	7	2
計	67	2

$$\frac{7}{9} \times 100 = 78\%$$

②それぞれの縞模様を分けた基準は何ですか。

- ・A (色) B (色 or 粒の大小) C (色) D (色) E (色 or 粒の大小)

・ A (色) B (色) C (色 or 粒の大小) D (色) E (色) F (色 or 粒の大小)

・ A (色) B (色 or 粒の大小) C (色) D (色) E (色 or 粒の大小) F (粒の大小)

(合格基準……全問 正答で、上記の3つのうちどれか1つに該当すればよい)

	Po(+)	Po(-)
Pr(+)	26	0
Pr(-)	36	7
計	62	7

$$\frac{36}{43} \times 100 = 84\%$$

・②について、不合格者が7人いる。これらの児童の解答について調べてみると、最下部層を粒の違いで分けることができていなかった。また、粘土とか砂という基準で分けている児童がいた。この基準はけして誤りではないし、感覚的な能力としては大切であると思われるが、この場合は授業効果を測定するため、上記のような基準の観点は指導しなかったため、合格基準から除外した。
・実施結果の評価マトリックスよりいえることは、地層のモデル図をみて、いくつかの層に分けることは教授活動をする以前に69人中60人(87%)が合格している。そして、その分けた基準を問うと、66人中26人(38%)が合格している。このことは、児童が地層を見た感じ、いわゆる感覚的な能力で分けて、確固たる基準を持って分けているのではないということがわかる。このような結果は、いろいろな学校で実践されているような指導、すなわちいきなり野外学習に連れ出して指導するより、むしろ、野外学習に連れ出す前に事前指導をすることが有

意義であることを示唆するものと思われる。また、評価マトリックスの結果から判断して、本時の授業は一応の指導効果があったものと考えられる。

(2) 野外学習指導について

(ア)日 時 昭和59年12月10日

(イ)方 法 3クラス全員、ワークシートをもとに観察活動をした。各クラス担任引率、指導者 加藤

(ウ)対象児童 川越市立中央小学校児童 109人
6年生 3クラス

(エ)所要時間 中央小から仙波の観察場所まで往復時間、徒歩約70分、野外観察活動時間45分

(オ)評価方法

〔スケッチの評価方法〕

スケッチの評価は、2つの方法で行った。ひとつは、石井・稲森(1979)の作成した評価の方法に従い、評価項目を定めて児童の描いたものを評価した。その評価項目は、

- ①砂・レキ層の存在に気づいているか。
- ②ローム層の存在に気づいているか。
- ③砂層の存在に気づいているか。
- ④地層の色をぬっているか。あるいは地層の色を記入しているか。
- ⑤地層と地層に境界があることに気づいているか。
- ⑥ローム層中のひび割れ(クラック)があることに気づいているか。
- ⑦粘土層の存在に気づいているか。
- ⑧その他の特徴を記入しているか。

である。この評価項目をもとに分類した。

ふたつは、地層を自分なりの基準をもって分けている



写真2 野外学習の観察風景

表1 自由記述についての項目内容

項 目	実 験 群	統 制 群
stage III	なし	なし
stage II	<ul style="list-style-type: none"> ・石が丸いのはどうしてだろう。 ・どうして石が入ったのだろうか。 	なし
stage I(2)	<ul style="list-style-type: none"> ・下の方は上の方に比べて小石が混ざっている方が多い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・同じ層でも色が違う。 ・石と砂が丸い形をしている。
stage I(1)	<ul style="list-style-type: none"> ・石の色がやけに赤っぽい ・この地層は石ばかりだった。 ・色は似ていても、さわった感じが違った。 	<ul style="list-style-type: none"> ・石がすぐくもろかった ・理科の本みたいに、くつきりとはしていなかった

かどうかという視点で、Aタイプ・Bタイプ・Cタイプの3つに分けて集計した。

〔記述事項の評価方法〕

地層を観察して気づいたことを自由に書かせた。それらの事項をプロセス・スキル構造図(図1)を基に分類した。それが表6である。

表6中の、Stage I(1)ではA₁「感覚的なもの」A₂「操作的なもの」A₃「既知知識的なもの」という内容の項目を1つと数えた。Stage I(2)では「同定ができる」「分類ができる」「比較ができる」という内容の項目を1つと数えた。Stage IIでは「事物の解釈ができる」「問題の発見ができる」という内容の項目を1つと数えた。Stage IIIでは「推論ができる」という内容の項目を1つと数えて集計した。たとえば、表1のような記述内容の項目を集計した。

(カ)実施結果 ※実験群は事前指導した1クラスであり、統制群は事前指導しない1クラスの集計である。

①この地層はいくつの層に分けることができますか

表2 地層を分けた数

数	実 験 群	統 制 群
3つ	51%	70%
4つ	6%	6%
5つ	6%	15%
6つ	37%	9%

・ワークシートの作業1の①の結果から、実験群は地層を細かく分けている。それに対して、統制群の方は地層を大まかに分けているようである。さらに、実験群について内容を調べてみると、事前指導で学習したことに基づいて地層を分けていることが分かる。たとえば、O君のスケッチのように粒の大小や形を詳しく観察して地層を分けている児童が多かった。

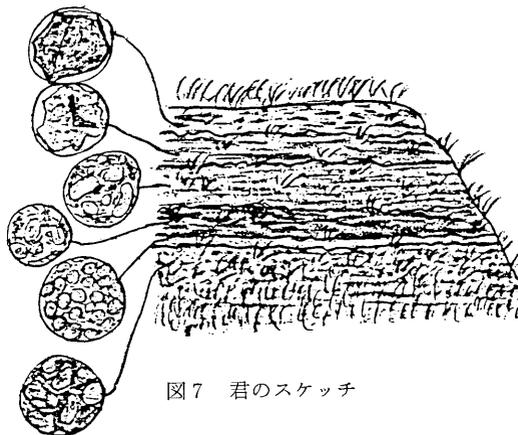


図7 君のスケッチ

②それぞれの層を分けた基準は何ですか

表3 地層の分類基準

基 準	実 験 群	統 制 群
色または粒の大小	91%	74%
そ の 他	9%	26%

・ワークシートの作業1の②の結果から、色や粒の大きさに目を向けて地層を分けている児童は、実験群では91%と高いのに比べ、統制群では74%と低い。さらに、内容について調べてみると、実験群では多くの児童は「色」とか「粒の大小」という言葉を使って記述していることは、地層を分類する能力が事前指導をしたことにより形成されたものと思われる。それに対し、統制群では「おうど色でごつごつしている」「茶色で柔らかい土」「石などがある」というような基準で分け多数の児童は「茶色で柔らかい土」というような視覚的な「色」と感覚的な「やわらかさ」という基準の入り混じったもので分けている。

・その他の基準について調べてみると、実験群では色や粒の大小で分け、さらに、石の形で分けたり物が混じっていることで分けたりしている。統制群では「？」だったり、「地層と思うから」とか「堅そうだ」というような基準で分けている。

これらのことより、プロセス・スキル習得の事前指導をすると、児童は観察に必要な基本的な基準(A₁:感覚的なもの、B:比較ができる、E:分類ができるなど)を習得することができるようになるものと考えられる。

もう一度、がけから約5mはなれて、全体の地層をスケッチしましょう。どのようにスケッチすれば、地層をきれいに正しく書き表せるか、記録のしかたを十分に工夫しながら書いてみましょう。

表4 観察スケッチの評価項目内容

項目	実験群	統制群
① 砂・レキ層	91%	97%
② ローム層	94%	64%
③ 砂層	34%	6%
④ 地層の色	91%	18%
⑤ 地層の境界	97%	91%
⑥ ローム層ひび割れ	9%	—
⑦ 粘土層	6%	—
⑧ その他	29%	—

・表4よりいえることは、実験群も統制群もほとんどの児童は観察した崖には砂れき層があることや、地層には境界があることに気づいていることがわかる。また 実

験群は多くの児童がローム層(児童は赤っぽい土とか、層を赤色で塗っている)の存在に気づいている。そして、どの児童も色鉛筆で地層に色を塗っていた。さらに、実験群は統制群に比べて、多くの項目に気づいていることがわかる。

このことから、プロセス・スキル習得の事前指導をしたことにより、児童の観察能力(D:同定する能力、E:分類する能力など)の向上があったものと考えられる。また、多くの項目に気づいていることより、野外学習に対する意欲が強まったのではないかと考えられる。

次に、児童の観察能力についてもう少し詳しく調べるために、児童のスケッチしたものをAタイプ(基準を明確にもって地層を分けている)・Bタイプ(地層をなんとなく分けている)・Cタイプ(地層が分けられない)という3つのタイプに便宜的に分類した基準が図8であり、それをまとめたものが表5である。

・表5より、次のことが分かる。実験群はAタイプがほとんどであるのに対して、統制群ではAタイプからCタイプまで同じような割合になっている。そして、統制群ではBタイプ、Cタイプ、その他を合わせると、73%の児童がいる。筆者らは、野外学習のときに観察した資料を使って授業展開をしていくためには、Aタイプ以外のスケッチは不十分と考えている。

表5 観察スケッチのタイプ分け

タイプ	実験群	統制群
Aタイプ	94%	27%
Bタイプ	3%	24%
Cタイプ	3%	37%
その他	0%	12%

※Aタイプ:基準をもって地層をかいている
 Bタイプ:なんとなく地層をかいている。
 Cタイプ:層に分けてかけていない。
 その他:何もかけていない。

これらのことから、地層を観察させ、その観察記録を使って学習を展開していくためには、野外学習をする前に事前指導をすることが有効的であると考えられる。また事前指導をしないで、現地指導する場合を考えると、ワークシートだけでは十分な観察記録をとらせることはできないと言えるようである。もしワークシートだけで野外学習を進めるならば、ワークシートでプロセス・スキルの習得ができるような授業設計の工夫をすることが必要であろう。

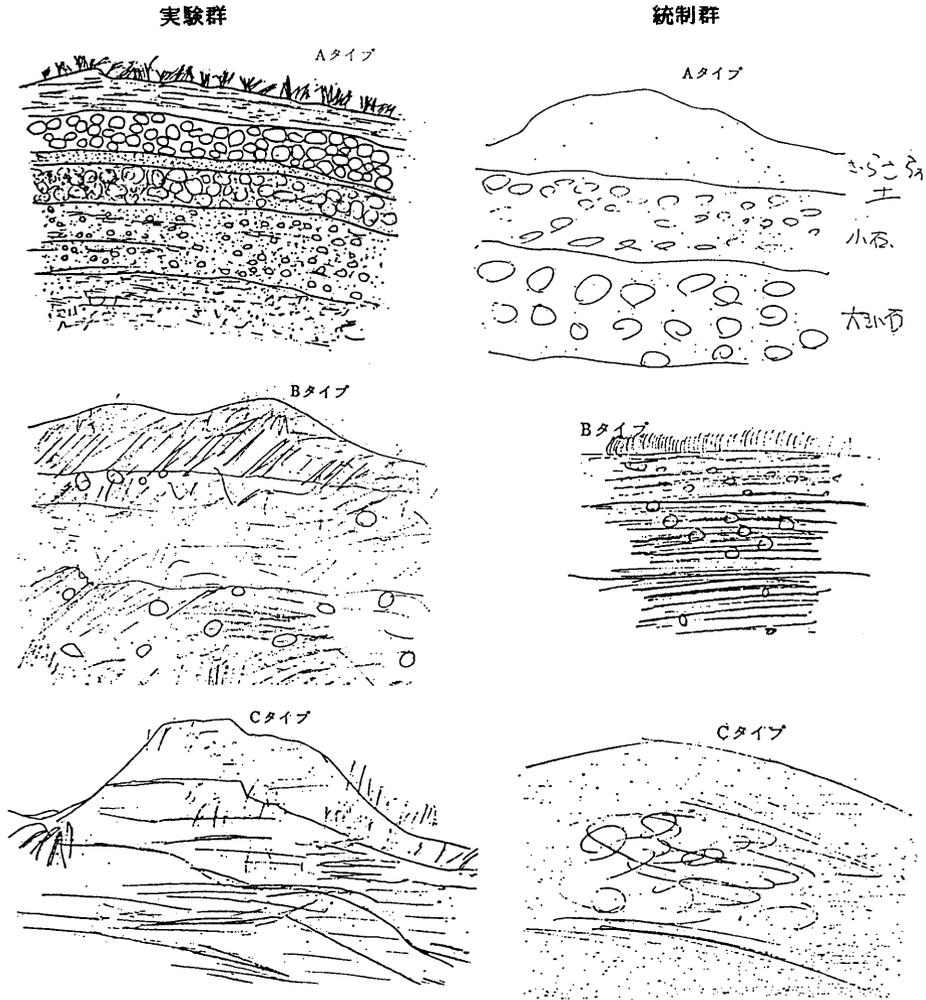


図8 観察スケッチのタイプ分け

表6 プロセス・スキル構造の観点による項目内容

項 目	実 験 群	統 制 群
stage III	-	-
stage II	30%	-
stage I(2)	11%	7%
stage I(1)	59%	93%

た。それに比べ、実験群の児童は Stage II (B:比較ができる)「H:問題の発見ができる」という観点の記述が多くなっていた。さらに、自由記述事項の指摘数を比べてみると、実験群は64個に対し、統制群は27個と、実験群の方が約3倍の指摘をしている。また、指摘した項目の内容について調べてみると、実験群の児童は地層を構成しているもの、すなわち砂、小石、土などに注目した記述が多かった。

このことより、プロセス・スキル習得の事前指導をすることにより質的レベルのより高い観点を使って露頭を観察していることがわかる。

・表6よりいえることは、統制群の児童は Stage I(1)「A₁:感覚的なもの」の観点の記述がほとんどであっ

7. おわりに

実験群と統制群との野外学習の比較検討から、プロセス・スキル習得の事前指導をしたことにより、次のような効果が考えられる。

- ①粒の大小や形を細かく観察して地層を分けることができるようになる。
- ②観察に必要な基本的な基準(A₁:感覚的なもの, B:比較ができる, E:分類ができるなど)を習得することができるようになる。
- ③観察能力(D:同定する能力, E:分類する能力など)の向上が認められる。
- ④野外学習に対する意欲が強まる傾向にある。
- ⑤的確な地層のスケッチができるようになる。
- ⑥質的レベルのより高い観点(Stage I (1)からStage IIへ)を使って露頭を観察できるようになる。

以上のことから、今回実施したプロセス・スキル習得(基本的な観察の方法)をめざした事前指導を実施したことは効果的な指導法であったと考えられる。

児童は、自然を調べていく活動の中から、自分が考えていたことや、すでに知っていた知識と違うことなどを新たに発見するであろう。そのような活動を支えるものが観察能力であるだろう。それゆえに、地学教育では、児童を野外に連れ出して学習を展開していくことの大切さが強調されるのであろう。そのような強い要望の中で、われわれ現場の教師はより効果的な野外観察ができるような指導の工夫として、基本的な観察能力を児童一人一人に確実に身につけさせることが必要であると思われる。また、基本的な観察能力の習得の効果については、細谷俊夫氏が「与えられた既存の知識をもっとも効果的にかつ自動的に利用することのできる技能を習得しなければならない。こうした技能は練習によって習得されるのであるが、技能の習得は逆にまた理解を完全なものにし、さらに知識を豊富にしかつ明確にするのに役立つのである。」と述べている。このように知識や理解を一層確実なものにするという意味あいからも、児童に基本的な観察能力を確実に身につけさせることが大切であろう。

引用文献・参考文献

- 荒井豊・中村次郎, 1979:「野外観察における事前指導の授業設計」, 日本理科教育学会第29回全国大会発表要項, 46.
- 荒井豊, 1983:「理科におけるプロセス・スキル習得の指導法に関する一考察—地質教材フィールドワークに
関して—」, 日本理科教育学会研究紀要, vo 123, no 3, 101—108.
- 荒井豊・丸山巧・加藤尚裕, 1987:「感覚的な観察能力の指導について—地層野外学習を通して—」, 地学教育, 第40巻, 6号, 183—190.
- 荒井豊, 1988:「地質教材の系統的な教材配列のあり方」理科の教育, vo 137, no 3, 東洋館, 18—22.
- 石井醇・稲森潤, 1979:「野外指導の評価」, 地学教育, 第32巻, 3号, 87—93.
- 加藤尚裕・荒井豊, 1982:「小学校6年, ボーリング資料を活用した指導例」日本理科教育学会第32回全国大会発表要項, 89.
- 加藤尚裕・荒井豊, 1985:「石・砂・土の観察能力の調査に関する一考察」日本理科教育学会研究紀要, vo 126, no 2, 69—78.
- 木暮節夫, 1981:「地層の観察指導」, 地学教育, 第34巻, 3号, 71—79.
- 小林学・大塚誠造, 1971:「地学的領域の探究的指導」, 明治図書.
- 小堀志津子, 1983:「地域の生物的特性を生かした野外学習のあり方」, 理科の教育, vo 132, no 6, 東洋館, 13—17.
- 下野洋, 1987:「地学教育の改善に関する一つの提案」地学教育, 第40巻, 3号, 69—78.
- 鈴木康司, 1982:「地表の変化」の野外観察指導における問題点と改善の方策」, 理科の教育, vo 131, no 6, 東洋館, 14—18.
- 須藤和人・富樫裕・原口和夫・星野仁, 1979:「地域の特性を生かした理科指導に関する調査研究」, 埼玉県立教育センター研究報告書第152号.
- 須藤和人, 1983:「野外観察の指導法に関する一考察」, 地学教育, 第33巻, 4号, 125—130.
- 関利一郎, 1983:「地質教材の問題点と改善の方策」, 理科の教育, vo 132, no 9, 東洋館, 9.
- 徳山明, 1986:「教科内容論序説」, 兵庫教育大学研究紀要, vo 16, 75—85.
- 日本理科教育学会編, 1980:「野外観察の指導」, 現代理科教育体系6, 東洋館, 224.
- 根本和成, 1986:「理科における野外学習の意義」, 理科の教育, vo 135, no 7, 東洋館, 9—12.
- 古谷庫造, 1983:「理科教育と野外観察」理科の教育, vo 132, no 6, 東洋館, 10.
- 細谷俊夫, 1980:「教育方法」, 第3版, 岩波全書,
- 堀口万吉, 1975:「日曜の地学, 新埼玉の地質をめぐって」築地書館, 34—46.

加藤尚裕, 荒井豊, 若手三喜雄: 初歩的なフィールドワークの指導に関する一考察, 一プロセス・スキル習得の事前指導を通して—地学教育 42巻, 2号, 109~120, 1989

〔キーワード〕 プロセス・スキル習得, 野外学習, 観察能力, 事前指導, フィールドワーク

〔要旨〕 筆者らの過去の授業実践において, 一般的に行われているような短時間の諸注意や簡単な観察の観念の指導だけでは, 効果的な野外学習は目指せなかった。そこで, より効果的な野外学習を指向するためには, 基礎的な観察能力の育成が必要であろうと考えた。筆者らは, 6年生を対象に野外学習を実施する前に, 事前指導として初歩的な観察能力(感覚的な能力, 同定したり分類したりする能力)を伸ばすような授業を実施した。その結果, 特徴ある結果が得られたので, ここに報告する。

Takahiro KATO, Yutaka ARAI and Mikio WAKATE; A study as to how to Teach Effectively on the first stage of Field Work. Through the pre-Field Observation Learning by which the pupils acquire "The Process Skills"; *Educat. Earth Sci.*, 42(3), 109~120, 1989.

abstract

Several times in the past, the present writers have conducted lessons: various short-time attention and the viewpoints of easy observation which have been conducted by many teachers. But those did not effectively aim at Observation Learning.

So, in order to point to more effective field work lessons, we thought it necessary to develop the fundamental observing abilities. To the 6th graders of an elementary school, the present writers have conducted pre-observation learning lessons, as contrivances of the effective field work lessons: we practiced a lesson which cultivates their first stage of the observation abilities (sensuous ability, classifying ability, identifying ability)

As a result, we could get distinctive data, so we report it here.

白鳥座 X1 (Cyg.X-1) の質量を求める演習

高原 まり子*

§ 1 はじめに

これまでの教育系大学の専門課程の天文学の演習としては、光学観測に基づいたものが数多く考案されてきた。しかし、現代の天文学の観測は、可視光のみならず、電波、赤外線、紫外線、X線、 γ 線と、あらゆる波長の電磁波を用いて行われており、更に、最近ではニュートリノ天文学のように粒子を用いた観測も始まっている。

このような天文学の推移は、テレビの特集番組や、新聞や科学雑誌の特集記事を通して学生にも広く浸透し、学生から、超新星や中性子星やブラックホールを、天文学の講義で是非取りあげて欲しいと注文されることも多い。従って、天文学の演習でもこのような教材を取り上げることは、学生の興味や関心と合うだけでなく、それを通して現代天文学に対する理解を深めるのに大変役立つと思われる。

特に学生の関心の高いブラックホールについては、その同定問題は一般相対論の厳密な知識がなくても議論できるので、教育系の学生の演習用の教材として最適である。本論ではブラックホールと考えられている白鳥座 X1 (Cyg. X-1) の質量を求める演習を取り上げ、その過程で星の質量の決定法を学ぶと共に、白鳥座 X1 に対して用いられたパチンスキー(1974)のエレガントな方法を紹介する。そして求められた質量から白鳥座 X1 がどのようにしてブラックホールと同定されたかを論じていく。これは横浜国立大学教育学部地学教室の天文学演習として考案したものであるが、学生に大変好評であったので、それに多少手を加えたものを紹介する。

この演習の目的は、(i)ブラックホールの観測法、(ii) X線の時間変動と天体の大きさとの関係、(iii)連星系の星の運動と質量の決定法(その限界と白鳥座 X1 に対する処方)、(iv)白鳥座 X1 のブラックホール同定法を理解することにある。

以下、§2 でブラックホールとは何か、§3 でブラックホールをなぜ X線で観測できるか、§4 で X線の時間変動から X線源の大きさをどのようにして推測するかを論じる。更に、§5 で連星系の星の運動から星の質量を

決定する方法を一般の場合についてその適用限界と共に論じ、§6 でその方法が適用できない白鳥座 X1 の場合の質量の決定法について論じる。そして、実際に白鳥座 X1 の質量を求め、その値から白鳥座 X1 がブラックホールであることを推測する。最後に §7 で実際にこの演習をどのようにして行ったかを述べ、学生の感想を紹介する。

実際上はこの演習に先立ち、天文学の講義で §2, 3, 5 を取り上げ、その後に演習として §4, 6 を行うことが望ましい。又、中性子星やブラックホール形成過程としての超新星爆発についても、1987年の2月に大マゼラン星雲で発見された超新星1987A と関連して学んでおくとい層興味深いものになるだろう。

§ 2 ブラックホールとは何か

ブラックホールとは、一般相対論によって予言された、強い重力の発生源であるにもかかわらずその体積が無限小の存在のことである。星は、通常自分自身の重さで収縮しようとする自己重力と内部の圧力がつりあって平衡状態にあるが、進化の最終段階で圧力が減少し、重力が圧力に打ち勝つと急激に収縮を始める。これを重力崩壊といい、この重力崩壊が止まることなく続いた結果、最終的に形成される天体がブラックホールなのである。

天体の重力の大きさは GM/R^2 であり、重力エネルギーは $\alpha GM^2/R$ である。ここで G は重力定数、 M は星の質量、 R は星の半径、 α はオーダー1の量である。星が重力崩壊を始めると、星の半径はどんどん小さくなるのに質量は一定のままなので、重力や重力エネルギーは急激に増大する。重力エネルギーが星の静止エネルギー Mc^2 に比べて無視できなくなると、一般相対論を用いた取扱が必要になる。

一般相対論を用いると、球対称の星の重力崩壊では、星が重力半径(シュバルツシルド半径) $r_g = 2GM/c^2$ (c は光速) よりも小さくなったとき、重力半径のところでは特異な現象が生じる。すなわち、この半径の内側から放射された光は、強い重力のために、この半径よりも外側に決して出ることができなくなるのである。これは、重力半径の定義式を $\frac{1}{2}c^2 = GM/r_g$ と書き換え、光速が不変であることを用いると容易に理解することができる。 r_g よりも小さい半径では、重力ポテンシャルの井戸から光

*東京工業大学理学部物理学教室

1987年9月21日受付 1989年3月5日受付 3月20日受理

が脱出するのに光速以上の速度を要するからである。このようにブラックホールからは光（電磁波）が放射されないで、我々はブラックホールを直接観測することができない。

§ 3 X線によるブラックホールの観測

直接観測できなくても、天文学にはブラックホールの存在を知る手がかりがある。それは、X線の観測によって間接的にその存在を知ることができるからである。

近年発展してきたX線天文学は、強いX線を放射している多くの星を発見した。これらの星はX線星と呼ばれ、その多くが、白鳥座X1と同様連星系であることがわかった。連星系から、どのようにして強いX線が放射されるのだろうか。

連星系では図1aのように二つの星が共通の重心の周りを公転している。二つの星はどの瞬間をとっても必ず星と重心を結ぶ直線上にあるので、二つの星の公転周期Pは等しくなる。そこで、この星と一緒に周期Pで公転している回転系に乗ってみると、二つの星は重心の両側に静止して見えることになる。この回転系で遠心力を考慮した重力ポテンシャルを考えると、図1aのようになる。図1aのロッシュローブの内側ではそれぞれの星の重力が最も強く、ロッシュローブの外側では二つの星の重力と回転系の遠心力とがきいている。

連星系を構成している一方の星が進化して巨星になる

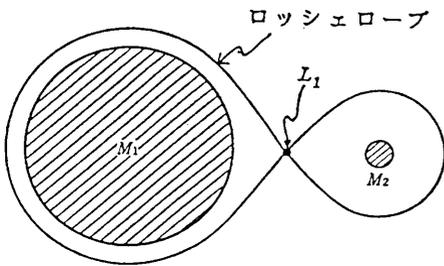


図1a 連星の重力圏

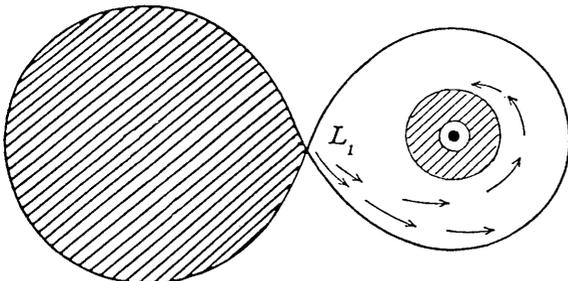


図1b ガスの流れ

と、半径が急激に増大するため、図1bに示したように星はロッシュローブを満すようになる。更に半径が増大すると、星の表面のガスはロッシュローブからあふれて、L1点を通りもう一方の星に螺旋を描きながら落下していく。落下したガスは星を取り巻く円盤を形成し、円盤から少しずつ星に降着していく。この降着の途中でガスは暖められ、X線を放射するようになるのである。もしこのガスの落下していく先がブラックホールであったとしても、X線が放射される場所はブラックホールから重力半径の数倍離れたところなので、このX線は我々のところまで到達することができる。すなわち、我々はこのX線を観測することによって、間接的にブラックホールの存在を知ることができるのである。

しかし、連星系でX線が観測されるだけでは、一方の星がブラックホールであると断定することはできない。白色矮星や中性子星の可能性もあるからである。そこで、天体の大きさから白鳥座X1の候補を中性子星とブラックホールに絞り、更にその質量からブラックホールであると断定するのである。中性子星もブラックホールも極めて小さな天体であるが、質量によって二つを区別することができるからである。

それは、中性子星が、強い重力にもかかわらずつぶれずに安定して存在できるためには、その質量に上限値があるからである。この上限値は採用した状態方程式によって異なるが、現在のところ約 $2M_{\odot}$ であり、因果律に矛盾しない範囲で最も硬い極限の状態方程式を用いた場合でも、 $3M_{\odot}$ を大きく越えることはないと考えられている。この事実を用いると、もし白鳥座X1の質量が $3M_{\odot}$ よりもずっと大きければ、白鳥座X1が中性子星ではなく、ブラックホールであると断定できるのである。

§ 4 X線の時間変動とX線源の大きさ

白鳥座X1の大きさは、白鳥座X1から放射されているX線強度の時間変動から知ることができる。図2は、縦軸にX線強度を、横軸に観測した時間を取り、白鳥座X1から放射されるX線の強度が時間的にどのように変動するかを表したものである（Rothschildら、1974）。斜線部分は、1msの時間スケールでX線が急激に強くなったことを示している。この時間変動から、X線源の大きさをどのようにして知るのだろうか。

簡単のために、図3のような半径Rの球状の天体が、時間間隔 Δt_1 で光ったり暗くなったりしている場合を考えよう。我々に最も近い点Aと、最も遠い点Bについて考察しよう。ある瞬間に天体全体が

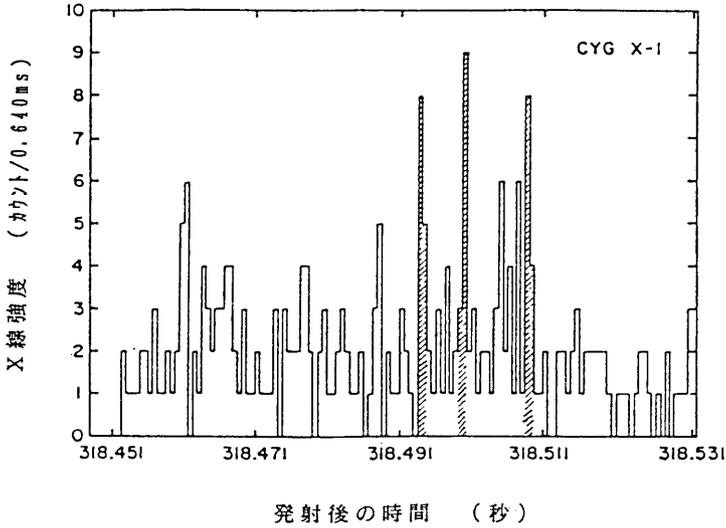


図2 X線の時間変動

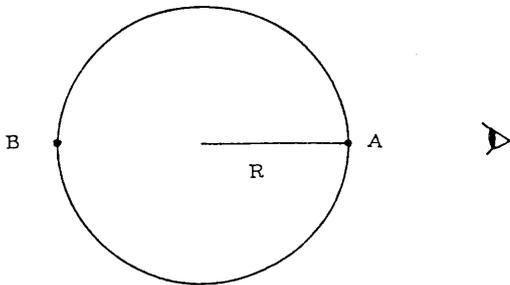


図3 明るさの変動の時間スケールと天体の大きさとの関係

光ったとすると、B点から我々に届く光は、A点から届く光よりも $\Delta t = 2R/c$ だけ遅れて届く。もし $\Delta t_1 \gg \Delta t$ であれば、我々はこの天体の明滅を観測できるが、逆に $\Delta t_1 \ll \Delta t$ であると、天体の明滅は Δt の間にならされてしまい、観測できなくなってしまう。このように、明るさの時間変動と天体の大きさには、密接な関係があるのである。一般に、 Δt_1 の時間スケールで天体の明るさの変化が観測できたとすると、 $\Delta t \leq \Delta t_1$ であるから、その天体の大きさ(直径)は $2R \leq c\Delta t_1$ でなければならないことになる。これは、天体全体が時間スケール Δt_1 で明滅するためには、天体全体が因果律で結ばれていなければならないという要請でもある。

白鳥座X1の場合、図2より、 Δt_1 は 1ms のオーダーなので、X線を放射している天体の半径は、 1.5×10^7 cmよりも小さいことがわかる。地球の半径が 6.4×10^8 cm

なので、このX線源は地球よりも小さいことになる。矮星の中でも特に半径の小さな星には、白色矮星、中性子星、ブラックホールがあるが、白色矮星の大きさは地球程度、中性子星の半径は 10^6 cm程度、ブラックホールの大きさはたかだか重力半径 ($1 M_\odot$ の星の場合、3km)なので、白鳥座X1は中性子星かブラックホールだということになる。

§ 5 連星系の星の質量の推定法

白鳥座X1は連星で、相手の星は HDE226868 と呼ばれる B0型の星である。連星系の星の質量は、一般に質点系の力学と観測結果を用いて、次のようにして推定することができる。星を質点と考え、その質量を M_1, M_2 とする。図4 (杉本・浜田, 1975) に示したように、二つの星は共通の重心の周りを周期Pで公転しているとし、簡単のために円軌道を仮定する。その軌道半径と公転速度をそれぞれ a_1, a_2, v_1, v_2 とすると、質点系の力学から、これらの物理量の間には次の関係がある。

$$a_1/a_2 = M_2/M_1 \tag{1}$$

$$a = a_1 + a_2 \tag{2}$$

$$2\pi a_1/P = v_1 \tag{3}$$

$$2\pi a_2/P = v_2 \tag{4}$$

$$(2\pi/P)^2 a^3 = G(M_1 + M_2) \tag{5}$$

ただし、 a はX線源と HDE226868 の間の距離であり、(5)式はケプラーの第三法則を表している。(1)式と(2)式を用いて(5)式から a を消去すると、 a_1, a_2 のいずれを消去したかにより、次の二式が得られる。

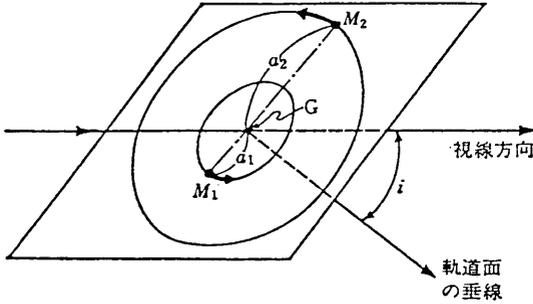


図4 連星の公転運動と軌道傾斜角

$$M_1^3/(M_1+M_2)^2 = (2\pi/P)^2 a_2^3/G \quad (6)$$

$$M_2^3/(M_1+M_2)^2 = (2\pi/P)^2 a_1^3/G \quad (7)$$

我々が連星系を観測するとき、我々の視線方向と星の軌道面の法線は一般には一致せず、角度 i をなす。これを軌道面傾斜角という。そのため、スペクトル線の観測から得られるのは、公転速度 v_j ($j=1, 2$) ではなく、 $v_j \sin i$ ($j=1, 2$) である。従って、(3), (4)式より、 a_j ($j=1, 2$) ではなく、 $a_j \sin i$ ($j=1, 2$) が観測できることになる。そこで(6), (7)式の両辺に $\sin^3 i$ をかけた式、

$$(M_1 \sin i)^3/(M_1+M_2)^2 = (2\pi/P)^2 (a_2 \sin i)^3/G \quad (8)$$

$$(M_2 \sin i)^3/(M_1+M_2)^2 = (2\pi/P)^2 (a_1 \sin i)^3/G \quad (9)$$

の右辺はすべて観測で決まる量なので、右辺を質量関数と呼ぶ。

食連星の場合は軌道面傾斜角 $i \sim \pi/2$ が、と決まるので、(8), (9)式を解くことにより、 M_1, M_2 を決定することができる。しかし、それ以外の一般の連星の場合は i の値が決まらないため、(8), (9)式のみでは M_1, M_2 を決定することができない。白鳥座 X1 は食連星ではな

表1 HDE 226868 の観測結果

スペクトル型	B0	
みかけの等級	V=8.87	$V_0=5.51^*$
色指数	B-V=0.81	$(B-V)_0=-0.31^*$
	U-B=-0.30	$(U-B)_0=-1.11^*$
星間赤化	$E(B-V)=1.12$	
輻射補正	B.C.=-2.2	
有効温度	$\log T_{\text{eff}}=4.40$	
公転周期	P=5.6日	
公転速度	$v_1 \sin i=72\text{km/s}$	

* V, (B-V) および (U-B) に下付きの添字は、星間赤化を補正した値であることを示す。

いので、この方法では X 線源の質量を決めることができない。

それでも、もしなんらかの方法で連星系のもう一方の星、HDE 226868 の質量がわかれば、X 線源の質量を知ることができる。 M_1 を HDE 226868 の質量、 M_2 を X 線源の質量とすると、表 1 にまとめた観測結果から、(9)式の質量関数は $0.208M_\odot$ になる。更に、HDE 226868 が主系列星であると仮定すると、HDE 226868 の HR 図上の位置と恒星進化論の結果から、 $M_1 \sim 30M_\odot$ (Stothers, 1972) と求める。従って、白鳥座 X1 の質量の最小値は、(9)式で $\sin i=1$ とおいて得られる値、 $M_2 \sim 6.5M_\odot$ になる。

実際には HDE 226868 は年齢 0 の主系列から少しずれているので、HDE 226868 が主系列星であることを仮定して求めたこの値には、少し曖昧さが残る。白鳥座 X1 の質量として信頼できる値を決定するには、このような方法ではなく、もっと別の方法を工夫しなければならない。

§ 6 パチンスキー (Paczynski) の質量決定法

パチンスキー (Paczynski) は上記の観測事実と質量関数以外に、(i) HDE 226868 は $V=8.87$ の B0 型星であり、ロッシェロブよりも大きくないこと、(ii) 白鳥座 X1 で X 線の食が観測されないこと、すなわち、X 線源を隠すほど HDE 226868 の半径が大きくないことの二つの幾何学的な仮定をするだけで、白鳥座 X1 の質量を我々からの距離の関数として与えることに成功した。これは、白鳥座 X1 の距離さえわかれば、観測事実と簡単な幾何学的仮定から X 線源の質量を知ることができるという、非常にエレガントな方法である。以下ではパチンスキーのこの巧妙な方法を用いて、白鳥座 X1 の質量を求めよう。(注)

表 1 のみかけの等級 V を輻射補正して輻射等級 m_{bol}

になおし (輻射等級 $m_{\text{bol}} = \text{みかけの等級 } V + \text{輻射補正} = 5.51 - 2.2 = 3.31$)、 m_{bol} と輻射絶対等級 M_{bol} 、距離 d (単位は kpc) の関係式、

$$m_{\text{bol}} - M_{\text{bol}} = 5 \log(10^2 d)$$

に代入すると、

$$\begin{aligned} M_{\text{bol}} &= m_{\text{bol}} - 5 \log(10^2 d) \\ &= 3.31 - 5 \log(10^2 d) \quad (10) \end{aligned}$$

となる。一方、輻射絶対等級 M_{bol} は光度 L と

$$M_{\text{bol}} = 4.72 - 2.5 \log(L/L_\odot) \quad (11)$$

(L_\odot は太陽光度を表し、 3.84×10^{33} erg/s である) の関係にあるから、(10), (11)式

より M_{bol} を消去すると,

$$\log(L/L_{\odot}) = 2 \log(10^2 d) + 10^{0.564}$$

従って,

$$L/L_{\odot} = 3.7 \times 10^4 d^2 \quad (12)$$

となり, HDE 226868 の光度を距離 d の関数で表すことができる。

光度 L は, HDE226868 の半径を R_1 , 有効温度を T_{eff} とすると,

$$L = 4\pi R_1^2 \sigma T_{eff}^4 \quad (13)$$

で表される (σ はステファン・ボルツマン定数)。そこで, 表 1 の T_{eff} の観測値を用いて (13) 式を (12) 式に代入すると, HDE226868 の半径 R_1 も距離 d で表すことができる。

$$R_1/R_{\odot} = 10d \quad (14)$$

ただし, R_{\odot} は太陽半径 (6.96×10^{10} cm) であり, 導出の途中で太陽の有効温度 $T_{eff,\odot} = 5780$ K を用いた。

仮定 (i) より, HDE226868 の半 R_1 径には, ロッシュ半径 (HDE226868 の満たすロッシュローブと同体積の球の半径) R_{1R} 以下であるという条件

$$R_1 \leq R_{1R} \quad (15)$$

がつく。ロッシュ半径 R_{1R} には, コパール (Kopal, 1959) がロッシュ半径を質量比 M_1/M_2 の関数としてまとめた表を内挿した式 (Paczynski, 1971),

$$R_{1R} = a \{0.38 + 0.2 \log(M_1/M_2)\} \quad (16)$$

を用いる。

仮定 (ii) より, HDE226868 は白鳥座 X1 を隠すほど半径が大きくない。従って, R_1 には, 更に,

$$R_1 \leq a \cos i \quad (17)$$

の条件がつく。

ここで, (9), (15), (17) 式を無次元量

$$q = M_1/M_2 \quad (18)$$

$$x = R_1/A_1 = R_1/a_1 \sin i \quad (19)$$

を用いて書き換えておく。ただし, A_1 は,

$$A_1 = a_1 \sin i = (P/2\pi) v_1 \sin i \quad (20)$$

であり, 表 1 より, $v_1 \sin i = 72$ km/s と, $P = 5.6$ 日を用いると $7.9 R_{\odot}$ になる。

(9) 式の右辺の質量関数を f ($f = 0.208 M_{\odot}$) と置き, (18) 式を用いて M_1 を消去すると,

$$\begin{aligned} f &= (M_2 \sin i)^3 / (M_1 + M_2)^2 \\ &= M_2 \sin^3 i / (1+q)^2 \end{aligned} \quad (21)$$

となる。従って, 白鳥座 X1 の質量 M_2 は, 次式のように, 質量比 q と軌道傾斜角 i で表されることになる。

$$M_2 = (1+q)^2 f / \sin i \quad (22)$$

次に, (15) 式の両辺を $a_1 \sin i$ で割り, (16), (19) 式を代入する。更に, (1), (2), (18) 式を用いて a を消去

すると,

$$x \leq (1+q)(0.38 + 0.2 \log q) / \sin i \quad (23)$$

となる。

同様に (17) 式も両辺を $a_1 \sin i$ で割り, (1), (2), (18), (19) 式を用いて R_1 と a を消去すると,

$$x \leq (1+q)(\cos i / \sin i) \quad (24)$$

となる。

ここで (23), (24) 式の右辺をそれぞれ $f_1(q)$, $f_2(q)$ と置くと, (23), (24) 式は

$$f_1(q) = (1+q)(0.38 + 0.2 \log q) / \sin i \geq x \quad (25)$$

$$f_2(q) = (1+q)(\cos i / \sin i) \geq x \quad (26)$$

と書き直される。(14), (19) 式より, x は距離 d の関数であるから, 白鳥座 X1 の距離 d を決めると, (25), (26) 式は q と i について解くことができる。求めた q と i を (22) 式に代入すれば, 白鳥座 X1 の質量 M_2 が求まることになる。

実際には, (25), (26) 式は不等式なので, q の値は一意的には決まらない。しかし, q の最小値は等号の場合に与えられるだろう。そこで,

$$f_1(q) = f_2(q) = x \quad (27)$$

を解いて q の最小値を求めれば, 白鳥座 X1 の質量の最小値が得られることになる。こうしてパチンスキーは, 白鳥座 X1 の質量の最小値 M_2 を距離 d の関数として表すことに成功したのである。

その結果を表 2 に示す。表 2 より, M_2 は d と共に増大することがわかる。白鳥座 X1 の距離は 2 kpc 以上 (Margon ら (1973) と Bregman ら (1973)) であると考えられているので, 白鳥座 X1 の質量は $6.4 M_{\odot}$ よりも大きいことになる。

表 2 距離の関数として与えた HDE226868 と白鳥座 X1 の物理量

距離 d (kpc)	R_1 (R_{\odot})	$\log L$ (L_{\odot})	M_1 (M_{\odot})	M_2 (M_{\odot})
0.65	6.5	4.20	1.05	1.05
0.8	8	4.37	1.9	1.4
1.0	10	4.57	3.5	2.0
1.2	12	4.73	5.7	2.8
1.4	14	4.86	8.7	3.6
1.6	16	4.98	12.4	4.4
1.8	18	5.08	17.1	5.4
2.0	20	5.17	22.7	6.4
2.2	22	5.26	29.3	7.5
2.4	24	5.33	37.0	8.8
2.6	26	5.40	46.1	10.1
2.8	28	5.47	56.2	11.5
3.0	30	5.52	67.3	12.9

こうして求めた白鳥座 X1 の質量の最小値は、§3 で議論した中性子星の質量の上限値よりもずっと大きい。従って、白鳥座 X1 はブラックホールだということになる。

§ 7 演習にあたって

白鳥座 X1 の質量を決めるパチンスキーの方法は、観測事実と幾何学的な仮定しか用いていないので、非常にエレガントな方法である。しかも、高度に専門的な天文学の知識を駆使しなくても白鳥座 X1 の質量を求めることができるので、問題の本質的な点が容易に理解できるものとなっている。

実際の演習では、本論の内容を、(i) 星の質量を求める基本的な方法を理解させると共に、(ii) 表 1 の観測事実をもとに質量関数を計算させる、(iii) HDE 226868 が主系列星であると仮定して HR 図を用いてスペクトル型から質量を推定させる、(iv) 質量関数と推定した HDE 226868 の質量とを用いて、白鳥座 X1 の質量の最小値を (9) 式から求めさせる ($\sin i = 1$ の場合)、(v) $f_1(q) = f_2(q) = x$ を解き、表 2 を求めさせる、(vi) HDE 226868 の減光量と白鳥座 X1 の方向の空の減光のデータを与えて、白鳥座 X1 までの距離を求めさせる、(vii) 求めた距離と表 2 から白鳥座 X1 の質量を推定させる、(viii) 質量から白鳥座 X1 がブラックホールであると同定させるというように、何段階もの問題の形式にして与えた。特に、(iii)~(vi)については、パソコンを用いて計算させた。

学生の反応としては、まず、「対象がブラックホールだったので、大変興味もてた」というのが最も多く、次に「星の質量の決定法がよく理解できた」、「パソコンで計算したのが面白かった」というのが多かった。更に、

当時の第一線の論文を理解できたことに感激している者も多く、演習問題として大変適切であったといえるだろう。

注) 現在ではパチンスキーの論文が出版された当時よりも観測が進んでいるので、新しい観測事実も発見されている。しかし、それを考慮しても白鳥座 X1 の質量の最小値は大幅には変化しないので、議論の本質的な部分は変わらない。それで、読者が引用文献にあげたパチンスキーの論文を参照することも考慮して、論旨が理解しやすいように当時の観測をもとにして議論した。従って、本論で引用した観測値も当時のものを用いてある。

引用文献

- Bregman, J., Butler, D., Kemper, E., Koski, A., Kraft R. P., and Stone, R. P. S., *Astrophys. J.*, 185 (1973) L117.
- Kopal, Z. I., *Close Binary Systems*, 1959, New York, Wiley.
- Margon, B., Bowyer, S., and Stone, R. P. S., *Astrophys. J.*, 185 (1973) L113.
- Paczynski, B., *Ann. Rev. Astron. and Astrophys.* 9 (1971) 183.
- Paczynski, B., *Astron. and Astrophys.*, 34 (1974) 161.
- Rothschild, R. E., Boldt, E. A., Holt, S. S., Serlemitsos, P. J., *Astrophys. J. Lett.*, 189 (1974) L 13.
- Stothers, R., *Astrophys. J.*, 185 (1972) 431.
- 杉本大一郎・浜田隆士, 1975: 宇宙地球科学, 34.

高原まり子：白鳥座 X1 (Cyg. X-1) の質量を求める演習 地学教育 42 巻, 3 号, 121~126, 1989

〔キーワード〕 白鳥座 X1 ブラックホール 中性子星 X線天文学 天文学演習用教材 (大学生)

〔要約〕 本論では、横浜国立大学教育学部地学教室の天文学演習用に考案した教材を紹介する。現代天文学の一端である X線天文学とブラックホールとを取り上げ、連星系の質量を求める演習と共に、白鳥座 X1 がブラックホールと断定されるに至った過程と論理を、パチンスキーの方法に従って理解させる。ブラックホールについては学生の関心が高く、しかもその同定問題は一般相対論の厳密な知識がなくとも議論できるので、本演習は教育系の学生の演習問題として最適である。

Mariko TAKAHARA : Exercise for Determination of the Mass of Cyg. X-1 ; *Educ. Earth Sci.*, 42 (3), 121~126, 1989.

魚眼レンズでとらえた太陽の日周運動とその年周変化

野村 仁*・加藤 賢一**

1. はじめに

天体の日周・年周運動の観察は困難な場合が多く、それを補助する有効な一手段として写真による記録が使われて効果をあげている。特に、画角の広い魚眼レンズを用いると全天が一枚のフィルムに納まり、直接観察ではとらえきれない全天の動きを容易に把握しうるような映像が得られる。最近の荒木・池田(1988)による自作全天カメラを使った星の日周運動の撮影例はそのような実践例の一つである。本稿ではこの研究を受けて、天体の運動のなかで最も基本となる太陽の動きをとらえた例を紹介したい。

太陽の運動についてはこれまでもいろいろな観測装置が工夫されており、全国理科教育センター研究協議会編(1973, 1977, 1985)の一連の「地学教材の研究」シリーズや「地学観察実験ハンドブック」(小林・恩藤・山際, 1983)などに実践例がまとめられている(なお天体全般の観察法・記録法に関しては尾形(1976)や黒田(1988)などを参照されたい)。なかでも透明半球を使った方法は直感的な理解が得やすいということで、最近では定着した感がある。季節変化をとらえたり、高度・方位などの数値を問題にしようとする記録してから後に処理しなければならないが、このような場合には自動記録装置もまた捨てがたい。

太陽運動の自動記録装置としては青焼き感光紙を用いた北村・岡田のピンホール法がよく知られている(北村1974:北村・岡田, 1974, 1975:北村, 1986)。ここで紹介する全天写真も自記装置の一つに分類されるだろうが、写真には地上の風景や雲が同時に写し込まれたりして臨場感にあふれ、他の装置にない魅力がある。全天を一平面に写しこむ際につきまとう分りにくさは残っているものの、写真の持つ記録性と臨場感に着目して利用すれば大いに有効ではないかと思う。

2. 撮影

撮影は1980年3月から1987年にかけて野村が自宅屋上にカメラを設置して行い、約1500コマ、のべ日数601日

分の軌跡を記録した。それでもすべての月日の記録がとれたわけではなく、現在のところ365日のうち約330日ほどを埋めているだけである。ただしここでは軌跡が半分以上写っているものを一応撮影成功として数えた。8年間かけても網羅できなかった最大の原因は気象条件の悪さで、梅雨時の7月に欠測が多い。

1980年から1981年にかけてのシリーズでは対角魚眼レンズ(焦点距離16mm)を用いた自作の6×6判全天カメラを天頂に向けて撮影した。このシステムは荒木・池田(1988)の自作全天カメラと同様のものである。彼等は画質を高めるために対角魚眼レンズにブローニー判フィルムを組み合わせたカメラを自作したと言っているが、われわれの自作全天カメラでは残念ながら良好な画像を得ることができなかった。カメラの工作精度が良くなかったこと、レンズの特性から解像度に制限があったこと、長時間露光の間にフィルム面が湾曲したこと、などがあったためではないかと思われる。少なくとも太陽に関してはフィルムが大きいから良好な画質が得られると単純に言えない、というのがわれわれの実験結果であった。

このような画質の問題があったことと対角魚眼レンズが等距離射影法(次節で述べる)に則った設計でなかったことから、1981年からのシリーズでは自作カメラから市販の35mm判カメラに切り替え、それまで天頂に向けていたものを真南へ35度傾けて設置し、天の赤道がフィルム中心を通過して直線状に写るようにした。これには焦点距離7.5mmのレンズを使い、予備的にもう1台(焦点距離8mm)を天頂に向けて撮影した。

使用したカメラはニコンF、180度以上の画角が必要となる夏至前後には6mmのレンズ(画角220度)も併用した。フィルムはコダクローム25で、カラーの反転現象は業者に依頼した。太陽光を減光させるフィルターはモノクロ・フィルムを露光して作り、適正な露出となるよう天候や季節によって交換した。ただし、高度・方位を測ったり臨場感を出すために地上の風景も同時に写るようにすること、うす雲が出てきた時でも軌跡が写るようにするという2つの理由から、太陽に対しては露出過剰気味の設定となった。

そして、よほどの事情がない限り雨天・完全曇天の日を除いて撮影を行うこととし、日の出前にカメラをセッ

*京都市立芸術大学美術学部 **大阪市立電気科学館天文室
1989年2月13日受付 3月20日受理

トし、日没後にシャッターを閉じて収納するという単調な作業をくり返した。

3. 結果

写真1から5に撮影結果をいくつか示した。また何枚かつなぎ合わせて写真6と7を作った。これらを野村は“a spin in curved air”と題し、1987年7月23日から8月25日まで大阪府吹田市の国立国際美術館において開かれた「近作展2 野村仁 spin & gravity」展において展覧した。

写真7は一年分365枚の写真を太陽の軌跡が連続的につながるように順に並べていったもので(前述のとおり全日数が揃っていないわけではない。欠けているところは適当に補った)、非対称形の8の字型パターンとなった。これと似たものをアメリカ合衆国の美術家チャールズ・ロスが作っていることを坂根(1982)が紹介している。それによるとロスは大型のフレネル・レンズを南天に向け、厚板に焦点を結ばせて焦がし、それが日周運動で移動していく様子をとらえたという。詳細は分らないが、フレネル・レンズでは画角が狭く(80度ほどと推定される)、南中時をはさんだ短時間しか記録できなかったはずだし、もともと画質の良くないところに加え中心からはずれたところではレンズの収差がひどいであろうから、日周運動の記録としてはどうであろうか。

また写真8はプラネタリウムを使って夏至、春・秋分、冬至の太陽の日周運動を1枚に納めたもので、当然ながら同様の軌跡を示している。

4. 高度・方位への変換

魚眼レンズによる射影パターンには立体射影法、等距離射影法、等立体角射影法、正射影法などがある(たとえば、中川, 1986)が、ここで使用したレンズは等距離射影法のもので、高度・方位の再現性にすぐれている。なお、雲量測定に用いられるのは等立体角射影法のレンズである。等距離射影法レンズの特徴はカメラを傾けても高度変化が写真上に忠実に再現されることで、図1にそれがよく表われている。

等距離射影法の射影パターンは次のようになっている。物体の天頂角を θ とし、その像が光軸から距離 r に投射されるとすると

$$r = C\theta. \tag{1}$$

ここで、 C は定数である。もちろん実際は設計上の制約などがあって厳密に当てはまるわけではないが、この式からのずれは±2%ほどとされており、実用上は(1)式で十分である。

一方、ここではカメラを天頂から ω だけ南に傾けているので、写しこまれるのはフィルムを底面とするような半球である(ここでは便宜上、画角180度の魚眼レンズとする)。そこで地平座標系(高度, 方位) $\equiv (h, A)$ をカメラでとらえられる座標系 (i, B) に球面三角法を使って変換してやると、両座標系は子午線を共有して ω だけ傾いているので、

$$\cos i \cos B = \cos h \cos A \tag{2}$$

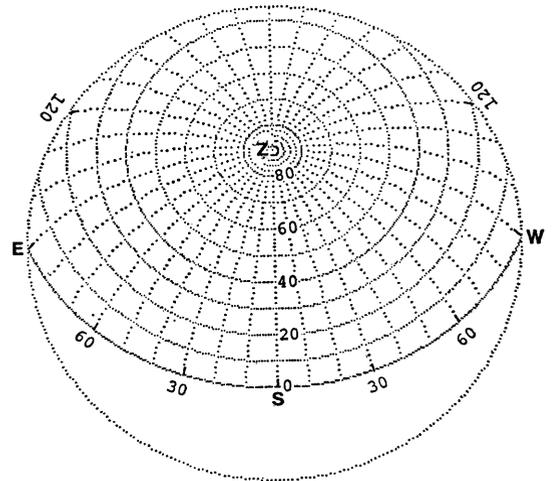


図1 等高度・等方位角線図。 $\omega = 35^\circ$ 。曲線 ESW が南の地平線、Z は天頂。高度が等間隔となっている

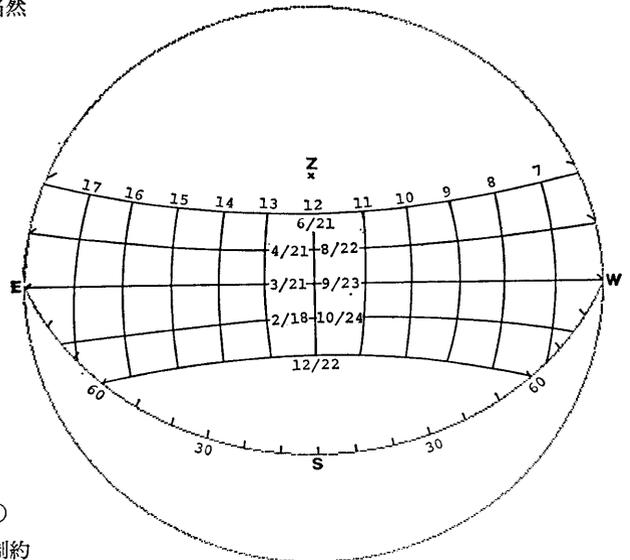


図2 代表的ないくつかの日付けに対する等時刻線図。均時差が考慮されていないので、単なる目安に過ぎない

$$\cos i \sin B = \sin h \sin \omega + \cos h \sin A \cos \omega \quad (3)$$

$$\sin i = \sin h \cos \omega - \cos h \sin A \sin \omega \quad (4)$$

となる。

図1はこの変換式と(1)式を使って描いた等高度・等方位角線図である。ただし $\omega=35$ 度にとった。(2)~(4)式から i と B を求め、 $\theta=90^\circ-i$ として(1)から r を求め、 $(x, y)=(r \cos B, r \sin B)$ として平面上に描いたものである。

また図2は等時刻線で、図1と組み合わせてある時刻における太陽の高度・方位を求めることができる。ただし、等時刻線が非対称になっていたり歪んだりしてあまり厳密なものではない。それは図の描き方が悪いというより、均時差の影響だと思っていただきたい。描く際に採用した高度・方位の値に均時差が入っていて不揃いになったものを無理に滑らかな線で近似したからである。太陽の南中時刻が均時差によって30分ほど前後することを思い返してみれば、影響の大きさがお分かりいただけます。

5. まとめ

天体の日周・年周運動の学習は決して無味乾燥なおもしろみに欠ける教材ではないし、工夫によっては大変興味深いものとなるはずだと加藤(1988)は述べているがここで示した写真がそのような具体例の一つではないかと思っている。写真の持っているリアリティ、それもプラネタリウムのような人工の太陽ではなく、実物を納めた写真には何ものにも代えがたい迫力がある。これだけでも学習の導入として使用できるのではないだろうか。また写真7で示したある種の幾何学的図形は年周運動の規則性をもたらしたものである。それがいかなるものか写真からただちに分るわけではないが、少なくともある種の規則性と調和が存在していることは了解できる。

だが、魚眼レンズを使って全天を一枚のフィルムに納めることには功罪がある。まず180度にも及ぶ視角が人間の能力を越えていることで、それによって全天の動きを一度にとらえることができる反面、写真から全天での動きを再現するには相当の経験と訓練を要する。また球面を平面に投影していることから派生する分りにくさは避け難い。これはノーモンを使った日影曲線記録法や北村・岡田のピンホール法なども同じであるし、荒木・池田(1988)が危惧を抱いているように星の運動にも共通に言えることであって、カメラを使って平面状の写真とする限り不可避の問題である。こうした点を考慮すると

あらかじめ天“球”を想定しているという大欠陥に目をつぶればであるが、太陽に関しては透明半球に軍配が挙るかも知れない。

すなわち、全天カメラによる写真は、それからただちに日周・年周運動のパターンが分るというものではなく補助的教材として使われて初めて有効性を発揮するものである、したがって、小中学生にそのまま適用することにはならないだろうが、中学校の天体クラブでアナレマを撮影したという小池田(1986)が紹介している例などを見ると、日中に撮影できる利点を生かして実験・観察の一つとしてとり入れることができるのではないかと思う。年に数枚撮影できれば変化が容易につかめるはずである。実際の撮影にあたっては気象条件に大きく左右されるので、気象の学習と組み合わせるといふ発展も考えられる。

なお、本稿をまとめるにあたって大阪府科学教育センターの小林英輔氏にいろいろご教示いただいた。氏の協力に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 荒木英治・池田俊夫：1988, 地学教育 41, 99.
 尾形育：1976, 教師のための天文学, 恒星社.
 加藤賢一：1988, 地学教育 41, 93.
 北村静一：1974, 科学の実験 25, 692.
 北村静一・岡田宏：1974, 第6回東レ理科教育賞作品集
 北村静一・岡田宏：1974, 太陽運行の記録, 大阪府科学教育センター地学教室.
 北村静一：1986, うちゅう 2, No.11, 大阪市立電気科学館星の友の会
 黒田武彦：1983, 天文教室 I, アストラリスシリーズ11, 恒星社.
 小池田洋子：1986, 太陽をしらべる, ぼくらの天文・気象・地球 1, p.17, 岩崎書店.
 小林学・恩藤知典・山際隆編：1988, 地学観察実験ハンドブック, 朝倉書店.
 坂根敏夫：1982, 新・遊びの博物誌, p.253, 朝日新聞社.
 全国理科教育センター研究協議会編：1973, 探求の学習をめざした地学教材の研究, 東京書籍.
 全国理科教育センター研究協議会編：1977, 新地学教材の研究, コロナ社.
 全国理科教育センター研究協議会編：1985, 身近かな自然を生かした地学教材の研究, 東洋館出版社
 中川治平：1986, レンズ設計工学, p.123, 東海大学出版会.

野村仁・加藤賢一：魚眼レンズでとらえた太陽の日周運動とその年周変化 地学教育 42巻, 3号, 127~134
1989

〔キーワード〕 天文教育, 太陽の日周運動, 年周変化, 天体写真, 魚眼レンズ

〔要 旨〕 魚眼レンズを用いて太陽の日周運動を記録し, 季節による軌跡の変化をとらえることができた。
それらをつなぎ合わせると奇妙な幾何学図形ができ, 太陽の年周変化の規則性を教えてくれる。これらは
太陽の日周運動・年周変化の学習の参考になるだろう。

Hitoshi NOMURA and Ken-ichi KATO : Diurnal and annual motions of the Sun recorded with
fisheye lenses ; *Educat. Earth Sci.*, 42 (3), 127~134, 1989.

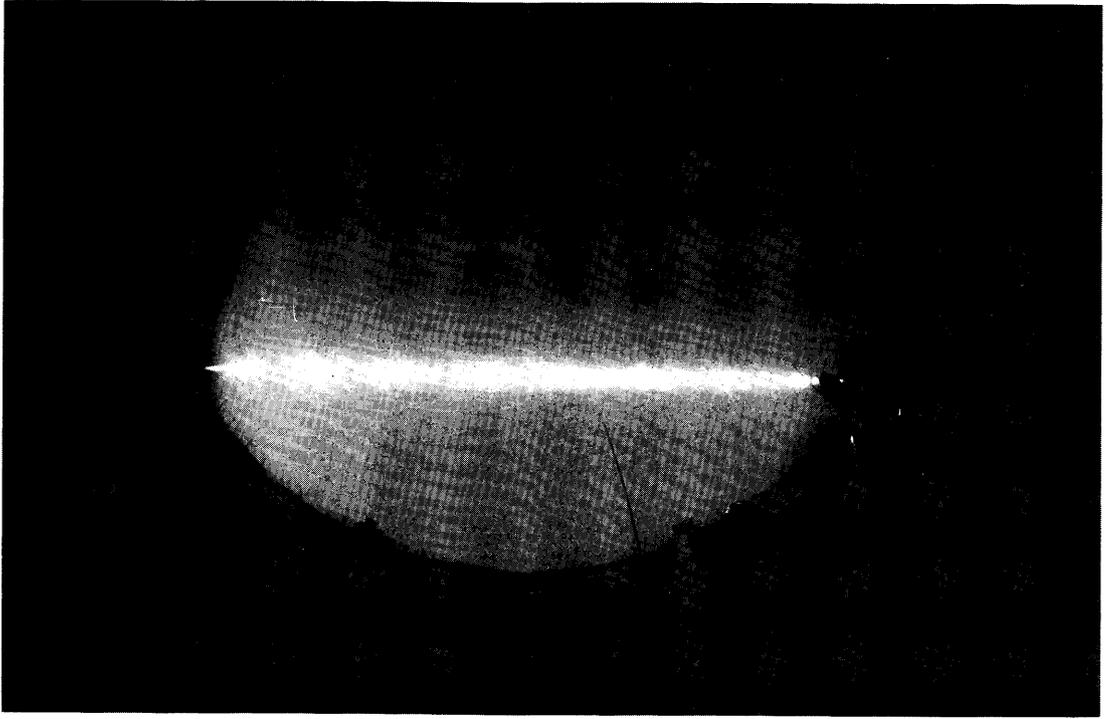


写真1 1981年3月18日撮影

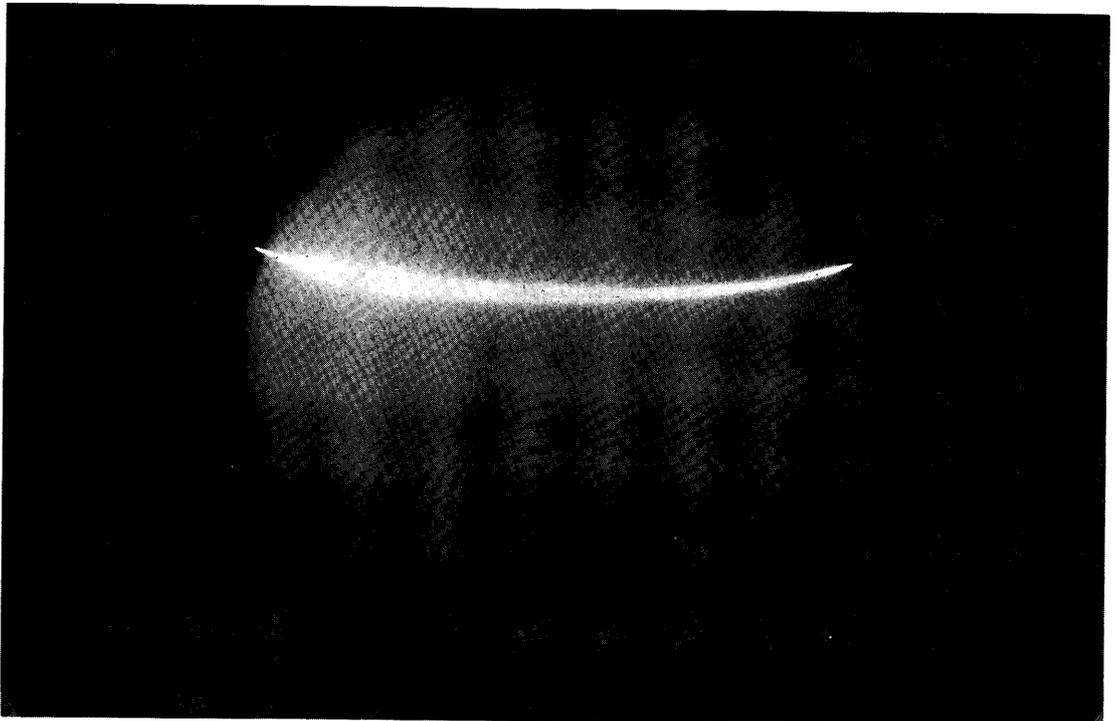
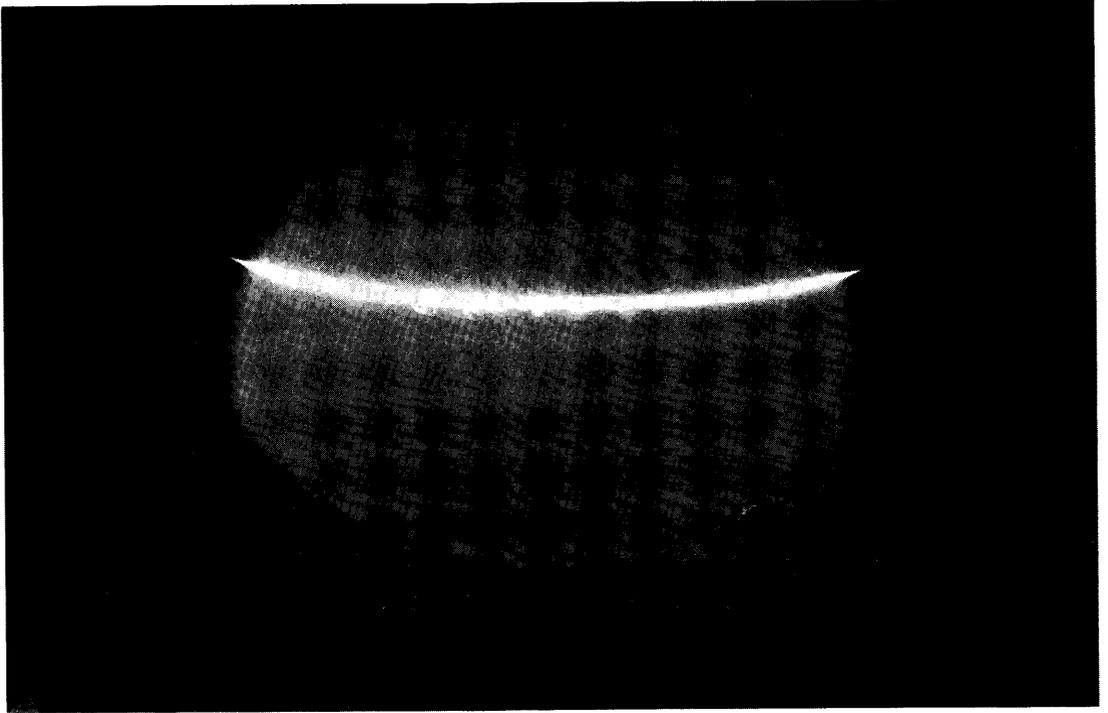
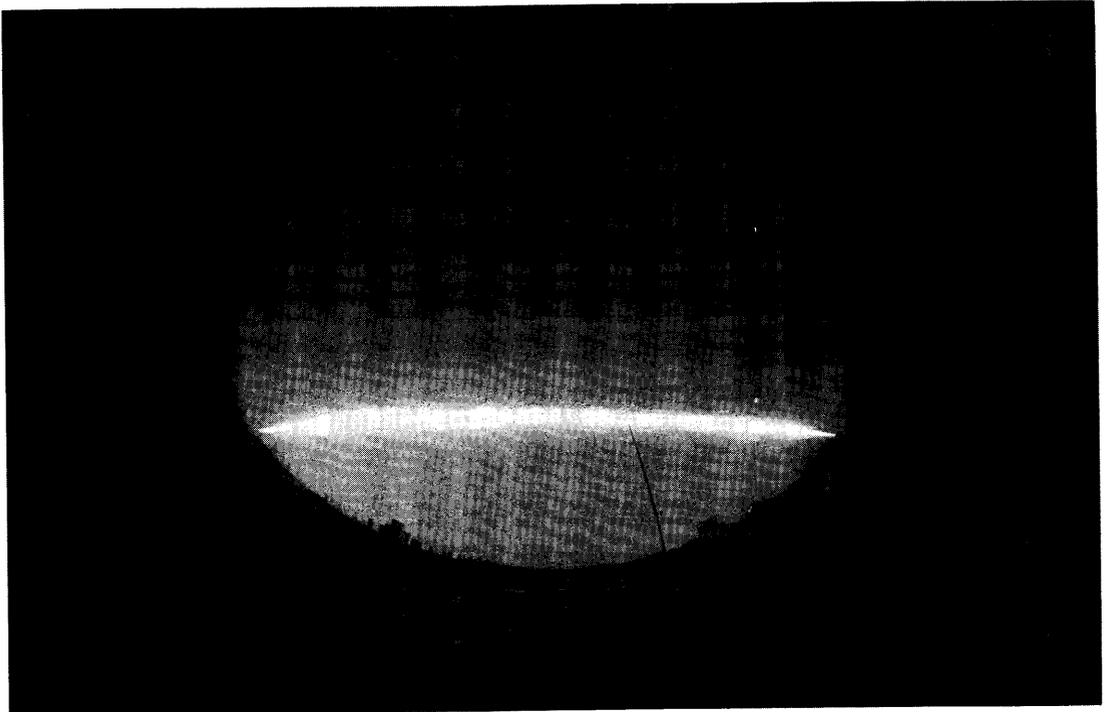


写真2 1981年6月8日撮影



写 真 3 1981年 7月25日 摄影



写 真 4 1981年10月27日 摄影

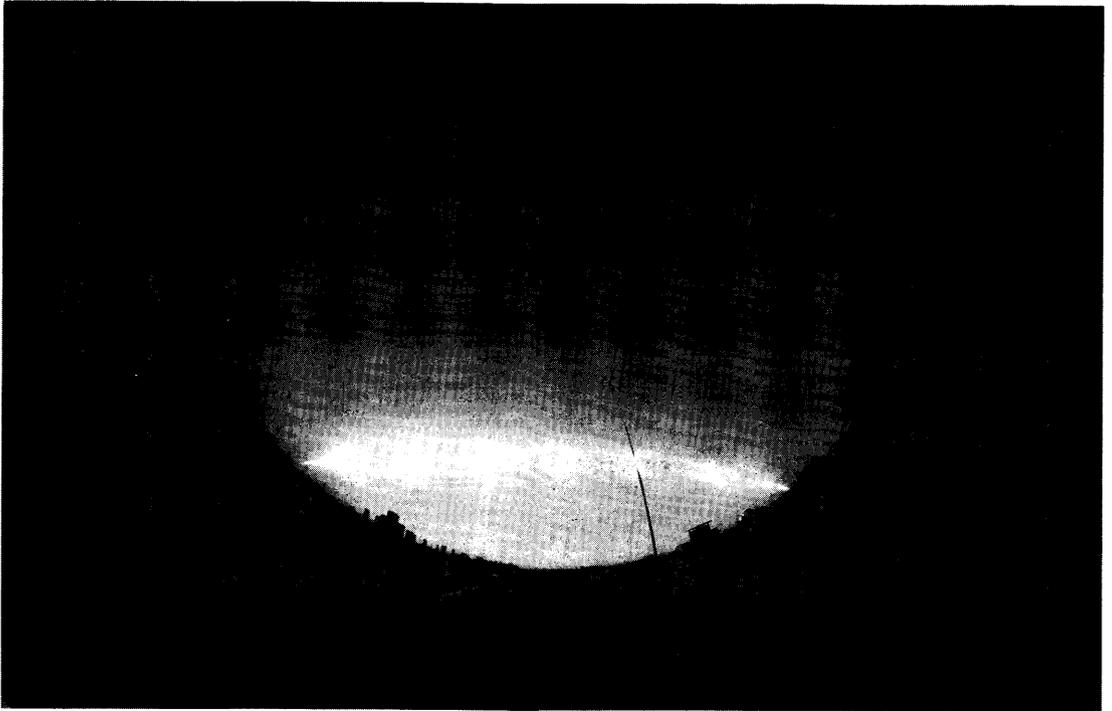


写真5 1981年
12月18日撮影

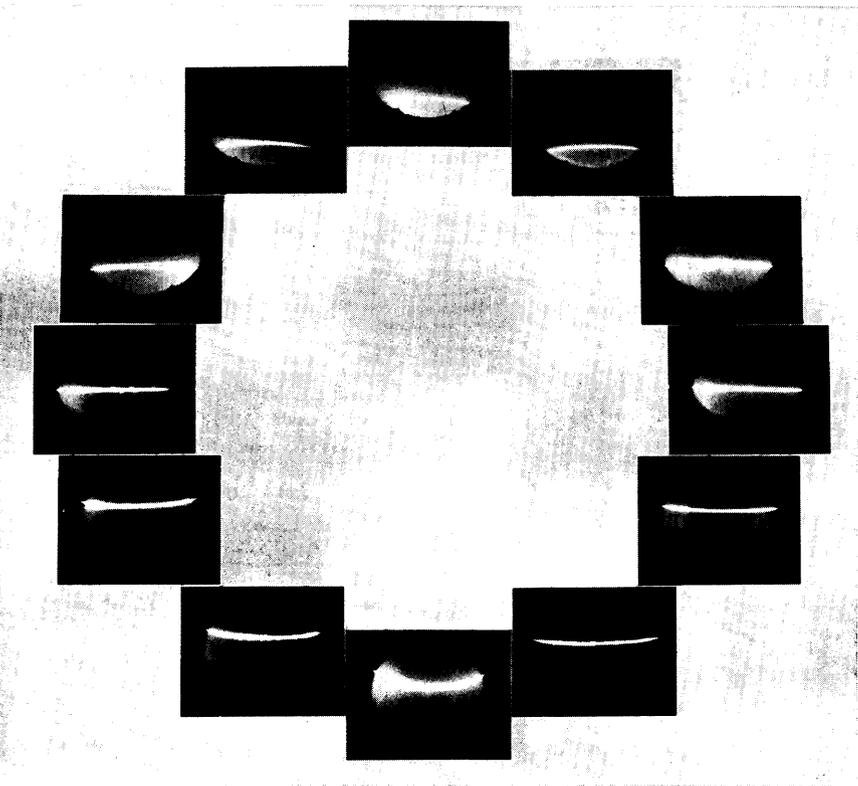


写真6 12スピンド

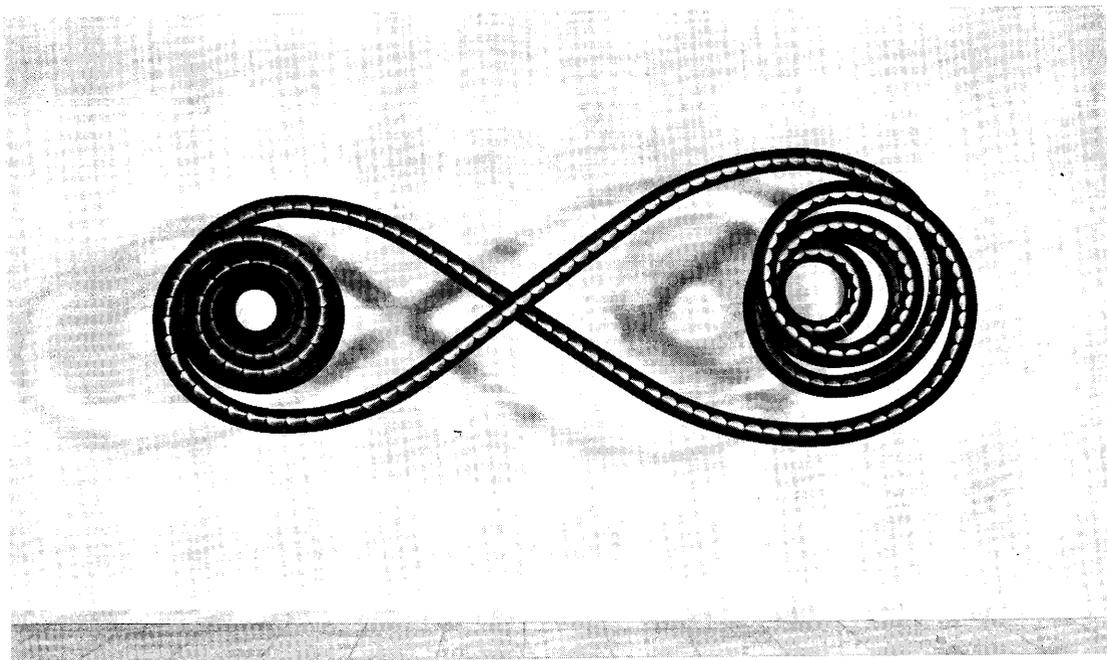


写真7 回転するもの (Lat. $34^{\circ} 51' N.$)

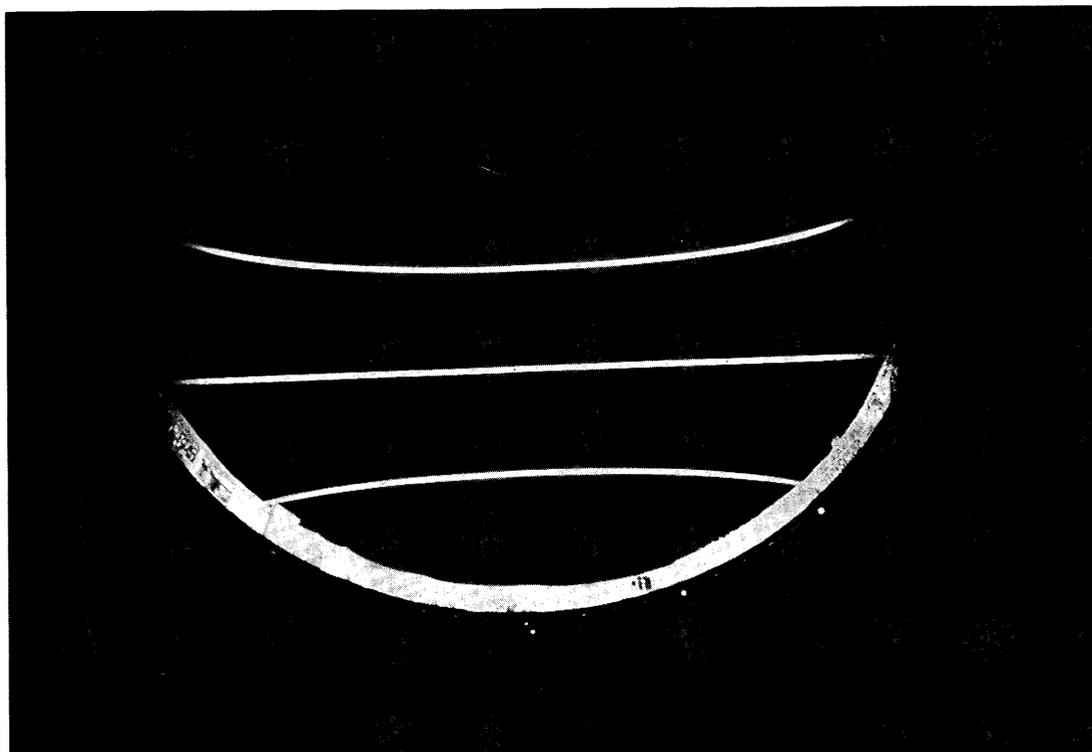


写真8 プラネタリウムで再現した北緯35度地点での夏至・春・秋分、冬至の太陽の日周運動。下に地上風景投影機で投影した地上の景色が写っている

平成元年度大学入試共通第一次学力試験問題の検討

本年度の大学入試共通第一次学力試験問題の検討会を3月13日に、下記の方々にご出席いただき開催した。

その検討結果を後述のようにまとめて、大学入試センターに送付いたしました。本年は、物理・生物の素点に手を加えたことについて遺憾の意を申しそえました。

出席者

猪郷 久治 (東京学芸大学)
 岡村 三郎 (東京学芸大学)
 小関 恒夫 (千葉市立千葉高校)
 榊原雄太郎 (東京学芸大学)
 白石 幸子 (都立京橋高校)
 渡嘉敷 哲 (慶応義塾志木高校)
 林 慶一 (東京学芸大学附属高校)
 平山 勝美 (立教大学)
 府川 宗雄 (都立千歳高校)
 増子 正一 (都立三鷹高校)
 宮武隆二郎 (桐朋女子高校)
 山本 和彦 (千葉県立市川南高校)

郵送による意見の提出者

恩藤 知典 (神戸大学)
 加藤 定男 (都立武蔵丘高校)
 菅野 重也 (群馬県榛名高校)
 下野 洋 (国立教育研究所)
 鈴木 将之 (宇都宮大学)
 高橋 紀信 (福島県立磐城高校)
 田中 豊治 (福岡県久留米大付高校)
 西宮 克彦 (山梨大学)
 平野 弘道 (早稲田大学)
 古谷 修 (熊本県立第二高校)
 宮下 治 (都立大崎高校)

記録

永田 智 (東京学芸大学学生)
 荒木 暁 (東京学芸大学学生)

<検討内容>

日本地学教育学会では、平成元年度大学入学共通第一次学力試験問題検討委員会を設け、東京、千葉、埼玉の公立、私立の高等学校教員8名と大学教官4名、さらに郵送による地方からの高校教員8名、研究所1名、大学教官3名の計24名の意見によって検討会を行なった。

今回の試験においては、特定の科目についてのみ換算がおこなわれたことに対してまず遺憾であったことを述

べる。

日本地学教育学会では、大学入学共通一次学力試験が開始されて以来、貴センターの依頼により入試問題につきまして、出題方法、内容の程度、高等学校の履修範囲の確認などにつきまして、慎重に検討を行い、誠意をもって貴センターに報告してまいりました。また、貴センターにおかれましても、本学会からの検討結果を反映して頂き、年ごとに地学の出題が、大学入学共通一次試験の主旨であります高等学校の教育の正常化に沿ったものになるよう努力されておりますこと、本学会としまして、高く評価していたところであります。

今までも、物理・化学・生物・地学の4教科の平均点で、年によって最も高い教科と最も低い教科では10～15点くらいの差があり、問題作成に十分検討され、そのようなことがないように、その都度貴センターに意見を申し入れてあります。

平成元年度の「物理」と「生物」の素点の換算・かさ上げは、慎重にかつ公平に行われるべきはずの大学入学共通一次試験におきまして、受験生に対してのみならず社会的にも、取り返しのつかない不信感を抱かせました。

日本地学教育学会としましては、今後大学入学共通一次試験に代る大学入学試験においても、結果によって左右されるのではなく、問題作成の過程で、高等学校の学習内容をよく検討され、後日の評価・検討に耐えうるものにするとともに、高等学校の教育を歪めないように努力されるよう切望致します。

I 本試験

1. 全体の感想

出題の範囲及び出題方法は、全体的にバランスがとれており、計算問題もあって今までに比べて良い問題であった。また、絵とグラフも多くなり、問題の紙面が真黒(文字だけ)ということもなくなって、生徒に与える圧迫感がうすらぐようになった。生徒の印象は、「良くできた」といったもので、この程度が地学の受験者には、丁度よいように思われる。

例年に比べてやさしいという意見もあるが、平均点は71でまずまずであったが、入試センターでは平均点を60と見ていたようで、これに対して不都合はなく、むしろ妥当と思われる。

生物は、新聞などでも記されていたように、実際の授業を重視したい問題であったが、受験産業式の暗記中心の問題ではなかったため、従来と傾向が変わったため平均点が低かったのではない。

化学や地学を受験した生徒のうち、物理や生物の補正点(47点)以下の生徒に特に不自信や無力感を与えた補正方法であった。このような補正の仕方は適正を欠いている。足切りする場合は補正を行うが、そうでない時は、補正しないなど、各大学に委せてもよかったのではない。

とにかく問題作成に適正を欠いたことは事実で、このような入試センター側のミス、受験生にかぶせたような形となったことは、強く抗議すべきである。

今年の問題は素直で、高校の指導要領の範囲内で教科書や授業に沿った良問であった。

補正について、平均点を揃えるということは、時に必要な操作であると思うが、「補正式」に問題がある。補正に関しては、最後だからといって許されるべきではない。補正法は、全科目編差値を用いる方法などもっと工夫すべきであった。

地学にも実験、実習に関する問題がもっと多くあった方がよい。

表記の方法に、カンラン石、かんらん岩というように鉱物をカタカナ、岩石名をひらがなで表すのは正確な書き方ではあるが教科書の中には漢字のものもあり、生徒が混乱しないだろうか。

2. 地学・本試験 各問

第1問 文系の生徒が解き易い問題の形式である。

HR図を使うよりはむしろよい。「星間ガス雲」は用語として不適當である。

第2問 6で間違えると7・8が続かないが、この程度の問題なら、まぎらわしい選択肢もないのでよいと思う。しかし、万有引力と遠心力との関係に言及するには、共通一次としては高過ぎる。

第3問 理科1の地学分野的な基本問題である。出題の仕方が、グラフの読み方を問1で誘導してよい。問の流れがよく考えられている。

第4問 特に問題なし。

第5問 化石を用いる問題は、その選択を慎重にすべきである。

問4は選択肢がつかうは少ない。化石の選択肢がまぎらわしい。もっとひろがりのある選択肢にすべきである。問題文がモデル化されすぎた問題である。

問題には直接関係ないが、図3は細か過ぎる。教

科書では、これ程細く扱っていないのではない。図1に比べて、図2・3は簡略に過ぎる。問そのものには問題はない。

第6問 理1の範囲からの出題で、よい問題である。問題をよく読んでいるうちに、分かってくる問題である。

第7問 「密度」をよく理解していれば、解ける問題である。

問1、いん石、すい星、特にすい星は、彗星と水星があるので、漢字で書いて、るびをふった方がよい。

II 地学 追試験

1. 全体の感想

まず全体として問題を見たところ、本試験と同様に点のとれる問題だと思う。特に化石を好きな生徒にとっては、本試験よりも点がり易いと思う。

2. 各問

第1問 理科1の範囲で扱っている内容の問題である。選択地学で扱ってもよいが、もう少し選択地学的な問題に発展させた方がよかったかもしれない。

第2問 本試験に比べて少し難しい問題のように思う。計算も難しく、「明るさ」と「距離」の問題は、生徒にとって、多少抵抗があったのではない。問の構成が、本試験では1段階構成になっていたのに対し、ここでは2段階構成になっている。この問題を見る限りでは、本試験よりも少し難しい。

第3問 多くの生徒が図を正確に理解できたかが疑問である。もう少し図に説明を加えた方が親切である。

第4問 気象に関する問題は、これまで少なかったようである。

問3の選択肢⑤の文章は分かり難い。他の問題に比べて、質が少し落ちるようである。

出題方法に工夫がほしい。問2と3では正しいものを選ばせているのに対し、問1では誤ったものを選ばせている。非常にまぎらわしく、受験生は本質とはずれたところで気をつかわなくてはならなくなってしまう。おそらく誤りを選ぶ問題の方がつくりやすいのであろうが、誤りを選ぶ問題はよくない。

問1については、問題文と解答が正確に一致しているか疑問である。解答が十分に問題を説明して

いるとはいえない気がする。

第5問 問3の大陸氷河は少し難しいと思う。

氷河については、問題に少し無理がある。高校では第四紀の氷河期程度しか扱わない。問2問3は消去法で解かせる問題のようである。また選択肢⑦の「三葉虫の出現」という表現は適切でない。化石として最初のものが残っているというだけのことであろう。図が不適切である。解答にある現象が、時代の幅をもって表わされていない。図と問題文とが正確に一致していない。

第6問 配点10は大きすぎるのではないか。

岩石表記が、少し細かすぎる。特にセキエイ砂岩というのは問題である。答は出せるのだが、使わない事を問題文に載せる必要があるのか、もう少し工夫して欲しい。

岩塩がここで出てくるのは間違いである。ここで問題にしているのは、岩石であり、岩塩は鉱物である。少し苦しまぎれの問題のようだ。

第7問 28について、シャチョウ石の分類が不明瞭である。選択肢②・④でシャチョウ石を細く分類しておきながら、③では「シャチョウ石」と一括している。

選択肢③・④はまずい。無理に選択肢を増やしているようだ。

27に入る言葉が問題文にうまく合っていない気がする。特に選択肢①は異質である。選択肢中で、「全部とける」、「一部とける」という表現を使っているが、どのような意図で出題者は使っているのかがよく分からない。もう少し正確な説明をした方がよい。地学らしい表現をして欲しい。

第8問 ㊸磁鉄鉱を選ぶのであれば、「磁性をもつ」と明確に表現した方がよいのではないか。問題文中に「鉄の酸化物」と書かれているので、消去法で答えられるはずだが、磁石に吸いよせられる鉱物は他にも沢山ある。

全体として、問題数をそろえたようなところがある。本試験ほどに練れていないようである。

III 理科1・本試験

第1問～問7 厳密には、理科1の範囲の問題と見られるが、指導要領には書かれていなくて、多くの教科書で扱われている内容である。誤りを選ぶ問題であるが、どうも理科1の地学分野の問題には、誤りを選ぶものが多いようだ。その方が問題をつくりやすいという気持は分かるが、少し問の作

り方が安易である。

第2問 問3 誤りを選ぶ問題である。「誤っているもの」という表記が太字で書かれているといった配慮もみられるが、この形式の問題が多く、誤りを選ばせる形式は好ましくない。

問題中の表は教科書通りでよいのだが、表を読むだけで解答がわかってしまう。出題に工夫が欲しい。

第3問 問2 a…絵が雑であり、それぞれの化石が特定できない。

問題文中で「化石」としている以上、この図は化石以外の何物でもない。だとすると絵があまりにも雑である。また化石を細く分けすぎではないか。むしろ化石A・B……とした方がよいかもしれない。あるいは化石名を別記してもよいのではないか。これでは化石の絵が書かれている必要性はないのではないか。この問題は生物分野とするには「進化」とは無関係であり、また地学分野とするには、化石が深く扱われすぎである。この問題の出題意図が不明である。

b「粗く」という表現だけで泥岩と砂岩を区別するところがあるが適切ではない、大きさを示すべきである。選択肢が少し多すぎる。また意味不明な選択肢が多い。

理科の問題というより、簡単なクイズである。問3・地学の本質とはあまり無関係な問題である。

簡単な計算問題であり、「地震」という現象を理解していなくても解ける。もっと地学らしい問題にして欲しい。せめて層を曲線で書いてもよかったのではないか。問題の主旨がよいとはいえない。

全体として…理科1の問題だからといって、ひとつの問題を無理に総合的に扱う必要はない。もっと問題ごとに分野を明確に区別する配慮をした方がよい。

IV 理科1・追試

第1問 問1～誤っているものを選ばせている。

①の表現不明・文章が出来ていない。

②流域面積が小さいということは図からわかりにくい。

④の「折れまがりが多い」というのもわからない。図が生きていない。

①～④の内容は理科1ではあまり扱わないのではないか。

問2 理1本試験問3と同じような形式である。

図がまぎらわしい。石灰岩に注目することが分かれば正答は簡単にみつかる。多少ひねっているが単なる絵の比較で、科学的な問題でない。方位表現が正しくない。

第2問 問1 問題の意図が不明

「人間の一生」というスケールの必要性があるのかどうか不明である。

「造山運動」は日本列島のスケールのものなのか、地球規模のスケールを指しているのかあいまいである。

氷もそれぞれ一つ一つの氷期を指しているのか、まとめてとらえているのか、それぞれという表現はいらぬ。

問2物理の問題・出題者は「潜熱」が「地球の熱収支」で扱われたことから地学として出題されたようだ。

第3問問1解答がまちがっていると思われる。

現在は定向進化ではなく自然選択説になっている。定向進化は教科書ではあまり扱っていない。あるとしても、科学史上の学説としてだけである。

地学の立場からみた場合不適切である。理科1でしか受験出来ない生徒に対する配慮が必要である。

全体……無理に分野をまとめようとする必要はない。

問題の内容および程度が適切でない。理科1は分野の違い者が集まって出題しているのでお互いの分野を完全にチェックできていないのではないか。融合問題にする必要はない。もっと「地学」らしい問題にして頂きたい。

昭和62年度大学入学者選抜共通第1次学力試験の科目別平均点

科目	受験者数	平均点	標準偏差
物 理	108,115	69.59	19.72
化 学	115,325	55.93	18.79
生 物	111,530	61.99	14.25
地 学	20,526	58.98	15.82
理 科 I	588	34.31	11.98

昭和63年度大学入学者選抜共通第1次学力試験の科目別平均点

科目	受験者数	平均点	標準偏差
本試験			
物 理	114,455	60.66	19.88
化 学	108,805	66.22	21.01
生 物	117,374	67.81	16.09
地 学	22,557	56.12	18.59
理 科 I	655	35.32	13.58

平成元年度大学入学者選抜共通第1次学力試験の科目別平均点

科目	受験者数	平均点	標準偏差
本試験			
物 理	95,531	76.17	9.35
		(Max100, Min49) 53.47+22.70	
化 学	120,142	73.75	19.61
		(Max100, Min 0) 73.75	
生 物	120,507	70.59	6.77
		(Max 98, Min47) 44.31+26.28	
地 学	23,044	71.31	17.88
		(Max100, Min 0) 71.31	
理 科 I	566	38.99	12.91
		73.12	53.12 + 14.33

学 会 記 事

第5回常務委員会

日 時 平成元年2月13日(月) 18:00~20:00

場 所 日本教育研究連合会 小会議室

出席者 大沢啓治常務理事長 岡村三郎 石井醇 木村一朗 榊原雄太郎 下野洋 新城昇 鈴木秀義 須藤和人 遠西昭寿 渡嘉敷哲 長谷川善和 茂木秀二 横尾浩一の各常務委員 平山勝美会長

議 題

1. 平成元年度全国大会の件

平成元年度の全国大会について、木村一朗準備委員長より次の項について説明がありました。

①平成元年度全国地学教育研究会

日本地学教育学会第43回全国大会

愛知大会開催計画の概要について

②日本地学教育学会全国大会実行委員会組織

③実行委員会の構成メンバー・実行委員会名簿

④平成元年度大会役員・準備委員会名簿

⑤全国準備委員会スケジュール(概要)案

⑥同大会開催第1次案内

⑦予算書

⑧学会当日スケジュール案

⑨同大会実行委員会準備担当代表者会議議事録

2. 平成2年度全国大会の件

会長と副会長で、候補地と交渉中で、具体化の方向であること了承した。

3. 役員選出の件

①新会則の初年度であるので、この3年間は移行措置として扱うことを承認した。

②選挙管理委員会の発足を承認した。

4. 補助金の件

本年度の補助金は113万円であり、それともなう補正予算案を承認した。

5. 「地学教育」の発行の件

予定したように、第42巻第2号を3月中に発送する。

6. 入会者退会者の件

次の5名の入会を承認した

小野正裕 東京都府中市立府中第七小学校

高谷精二 南九州大学園芸学部

新田篤司 富山大学理学部地球科学科

長谷川正 新潟県立直江津高等学校

小幡 功 熊本市立日吉小学校

7. 海外巡検の件

長谷川常務委員に、中国巡検コースなどについて研究して頂き、最終的には委員会にはかって検討して頂くことにした。

報 告

1. 日本科学教育学会の研究会の件

3月11日に埼玉大学で開催し、学習指導要領についてのシンポジウムが行われた。

2. 寄贈及び交換図書

63.12. 1 熊本地学会誌 No.39 熊本地学会

63.12. 5 国立大学ガイドブック (昭和64年度版)

大学入試センター

63.12. 5 地質ニュース 11月号 地質調査所

63.12. 8 研究集録 81集 神戸大学教育学部

63.12.26 理科の教育 1月号 日本理科教育学会

64. 1. 5 地学研究 37巻10~12合併号

日本地学研究会

1. 1. 9 地質ニュース 12月号 地質調査所

1. 1.20 理科教育研究 28巻1号

千葉県総合教育センター

1. 1.30 理科の教育 2月号 日本理科教育学会

1. 2. 6 新地理 36号 日本地理教育学会

1. 2. 9 地質ニュース 1月号 地質調査所

3. その他

新城常務委員から、次の報告があった。

①日本理科教育協会について。

②日本理化教育研究会について。

③海外のビデオについて。

EDUCATION OF EARTH SCIENCE

VOL. 42, NO. 3.

MAY. 1989

CONTENTS

Original articles :

- Development of Personal Computer software Drowing Isobar from
Weather Report Data.....
.....Hiroshi URANO and Atsushi SHIMANUKI... 95~102
- A Treatment of Chert for Teaching Materials—In regard to dealing
and Effect on the learning guidanceToshio IKEDA...103~108
- A Study as to how to Teach Effectively on the first stage of
Field work ; Through the pre-field observation learning by
which the pupils acquire "The Process Skills".....
.....Takahiro KATO, Yutaka ARAI and Mikio WAKATE...109~120
- Exercise for Determination of the Mass of Cyg. X-1.....
.....Mariko TAKAHARA...121~126
- Diurnal and annual motions of the Sun recorded with Fisheye lenses
.....Hitoshi NOMURA and Ken-ichi KATO...127~134
- Program of the 43th Annual Meeting of the Society.

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

c/o Tokyo Gakugei University; Koganei-shi, Tokyo, 184 Japan

平成元年 5月25日 印刷 平成元年 5月30日 発行 編集兼発行者 日本地学教育学会 代表 平山勝美
184 東京都小金井市貫井北町4-1 東京学芸大学地学教室内 電話0423-25-2111 振替口座 東京 6-86783