

ISSN 1340-461X

研 究 集 錄

第 37 集

平成 6 年度

大阪教育大学教育学部附属天王寺中学校

大阪教育大学教育学部附属高等学校天王寺校舎

まえがき

新しい学力観ということが盛んに議論されている。「勉強すれば学力がつく」はずであったのに、勉強しても学力がつかないという深刻な現実がある。なぜ、こんなことになってしまったのか。教育学、教科教育学、発達研究、子ども研究、学習心理学、授業研究、これらのどれもが大きな成果を上げて、教育に関わる諸研究が発展しているはずなのに、子どもの学力形成に成功し得ていないと言えるのではなかろうか。教育に関わる諸研究は、教育実践に有効に働かないのであろうか。

子どもたちの教育環境は年々改善されているはずなのに、子どもたちの学習効果は上がらない。教科書の質は高まっているはずだし、学級定員も少なくなっているし、家庭での勉強部屋の確保や多種の学習参考書も買い与えられているはずだし、塾にも通っているし、親は子どもの勉強に配慮しているし、学習環境は着実に改善されているはずなのに、総体として、学力がつかない。学習態度も形成されない。学習意欲も育っていない。不登校が増え、高校中退が増え、子どもたちは、学校、あるいは、学習に関わって、「崩れ」を見ている。なぜだろうか。

勉強だけでなく、どのような活動であっても、「いやいやする」というのでは、活動は楽しくないし、成果も少ないし、活動に関わる能力も育たない。育たないどころか、その活動に対して拒絶反応を示すようになる。子どもたちの学ぶ場が、物理的にいかに整えられようと、心理的に抑圧状況にあれば、学ぶほどストレスがたまるということになるのであろうか。テストで計れる見える学力しか興味を示さず、子どもの内側に立ち入ろうとしない大人（親や教師）たちには、子どもの心の荒廃が見えない、というより見ようがない。

また、子どもたちは人間関係を優先させて、現実の出来事に关心を示し、ものごとを観察し、見抜くということが十分に育ちきれていない。いや、大人が育てきれていない。身のまわりの事象を科学する心を育てたいと思う。本研究集録には、そんな思いが込められている。

さて、本学は、中高一貫教育という、一般的には現行制度で進めがたい方向を、教育大学の附属校だからこそ可能な方向を提案してきた。時代の状況は、この方向を具体的、実践的に模索する必要性を示してはいないだろうか。長年の本学の実践がその真価を問われているのである。本研究集録は、この角度から捉えたとき、特に大きな意味をもつのではないだろうか。これまで多くの実践報告や研究論文、あるいは、授業改革や学校改善の提案が重ねられてきた。それらの多くが如上の視座の故に、注目に値する論稿たりえていると確信するものである。

しかし、まだまだ、中高一貫教育の内実は、広がりと深まりと高まりを十分に見せていくとは言いがたく、一層の研鑽が求められようかと考える。厳しいご批正を賜わりたい。

平成7年1月12日

大阪教育大学教育学部附属天王寺中学校長
大阪教育大学教育学部附属高等学校天王寺校舎主任

早川勝廣

目 次

生き生きとした国語教室を求めて（10） 中 西 一 彦	なが にし かず ひこ 1	
——慰靈詩歌集『切実』作成 ——		
ことばの豊かさを求めて<3> 松 山 典 子	まつ やまと のり こ 11	
中学校地理におけるディベートへの布告を打つ実践例 吉 水 裕 也		よし みず ゆう も 35
——プレゼンテーション<私がつくる魅力ある旅>——		
数学的モデリングについての共同研究（第2報） 柳本 幸久	やなが もと ふじ た 幸久 65	
——中高等学校における実践事例をもとに ——	よしら あきら ふじ た 幸久 65	
数学的モデリングについての実践事例 I 柳 本 哲	やなが もと あきら 83	
——地震の震源地を教材として ——		
数学的モデリングについての実践事例 II 柳 本 哲	やなが もと あきら 93	
——線香の燃える速さを教材として ——		
「車の通行量が最大になる速度」を求めさせる授業について 藤 田 幸 久	ふじ た ゆき ひさ 103	
——数学的モデリングを取り入れた授業実践報告 ——		
立体視と数学について（1） 吉 村 昇	よし じら あきら 111	
「振動と波動」分野の指導に関する工夫 井 上 広 文		いの うえ ひろ ふみ 119
——パネ用いた定常波と固有振動についての学習 ——		
水を中心とした理科教育 大仲 政憲・岡 博昭	おおなか まさのり おか 博昭 127	
——小学校・中学校・高等学校において ——	ひろせ あきひろ おか ひろあき 127	
	廣瀬 明浩・井上 広文	
	ひろせ あきひろ いの ひろふみ 127	
	井野口 弘治・柴山 元彦	
	いのくちこうじ しばやま もとひこ 127	
	中田 勝夫・森中 敏行	
	なかた まさお もりなか としゆき 127	
水に関する教材研究 廣瀬 明浩	ひろ せ あき ひろ 133	
——水道水と蒸留水の性質 ——		
水をテーマにした授業（高校編） 中 田 勝 夫	なか た まさ ひろ 141	
——水の循環における大気過程のモデル化と定量化 ——		
水を題材とした授業研究 井野口 弘治	いのくちこうじ ひろ せ あき ひろ 149	
——植物体内の水の移動 ——		

附属天王寺方式の化学	井野口 岡	こうじゅう	ひろし	じょう	163
——高等学校「状態変化と気体」の指導					
附属天王寺方式化学のカリキュラム	おかいのぐち	おか	ひろ	あき	179
——高校化学「酸化・還元反応」	井野口	こうじゅう	ひろ	じょう	
廃棄車椅子のリサイクルを中心とした環境教育と 新たな教育の可能性の考察	うえだ	うえだ	まなぶ	まなぶ	199
日本人の食生活をみなおそう！	うしおら	うしおら	ちえこ	ちえこ	219
——タイ米を使っての調理実習を通して——					
学校に行きたい。でも、行けない。	せき	せき	ひろ	み	231
——本校における登校拒否の事例——	崎	崎	浩	美	
自己表現のすすめ	いとう	いとう	よう	いち	239
——英語で伝える私たちの生活と社会——	藤	藤	洋	一	
意欲的に個性・創造性を發揮させる指導	かな	かな	とも	あつ	255
——過去時制の指導「物語の創作・発表」——	井	井	友	厚	
英語教育の今日的課題に対する現場的考察	たか	たか	かず	ゆき	265
——「コミュニケーション」と「国際理解」をめぐって——	橋	橋	一	幸	
生徒の創造的なオーラル・コミュニケーションを促す活動	たか	たか	かず	ゆき	289
——ロール・プレイ：記者会見からニュース・キャスティングまで——	橋	橋	一	幸	
ニューヨーク・タイムズに拾う四季	とう	とう	くに	お	305
——教室で読む英文を探す中で——	元	元	邦	夫	
映画を使った英語教材	まつ	まつ	じゅん	こ	313
——A V機器を活用して——	なが	なが	淳	子	
平成6年度 教科・個人研究テーマ一覧					329

生き生きとした国語教室を求めて(10)

—— 慰靈詩歌集『切実』作成 ——

なか　にし　かず　ひこ
中　西　一　彦

I. はじめに

「発問・助言」によって子供の関心・意欲を高めるためには、教材研究段階での教師自身の自問自答を煮つめることと子供ひとりひとりの関心度・好奇心のありかを探っておくことが大切である。

今回は、東京書籍一年の『碑』を題材とする授業実践をもとに「発問・助言」を考えていこうと思う。

II. 発問と助言

『碑』は、広島県立第二中学校の一年生322人と4人の先生が原爆で全滅した過程を、追跡調査して作ったドキュメンタリーのシナリオである。この『碑』を指導するにあたって、教育実習の学生たちといっしょに、そのねらいを話し合った。

- ・長文であるが、最後までしっかりと読ませたい。（でも退屈しないだろうか）
 - ・登場人物の心情を読み取らせたい。（淡淡と事実が記録されているだけなのだが…）
 - ・ひとりひとりの読みを生かしたい。（同じような部分をとりあげて、よく似た意見を述べそうな気もするが…）
 - ・自分の思いを綴らせたい。（どこに焦点化すればよいだろうか）
 - ・原爆や戦争に関する他の本にも興味を持たせたい。（知識として知るだけでなく、読んでみようというところまですすめるだろうか）
- という五つに集約された。（　）内は不安点である。

ここで、教師自らへの「発問・助言」が必要となる。教師自身への「発問・問い合わせ」は、次の通りである。

この五つのねらいを達成し、しかも不安点を解消する単純で明快な作業課題を発想せよ。

思考を研ぎ澄ますことで、発想は生まれる。「助言」となるのは、中学入学後2か月の授業を通しての（今回の実践は6月6日から6月14日にかけて行った）子供たちひとりひとりの表情・反応であり、行ってきたことへの手応えである。1分間に300字を基本とする話し方の練習、辞書活用を工夫することによる言葉への興味・関心、あいさつ劇やスピーチを通しての自己表現の面白さとむずかしさ、週に一度の読書タイムでの本とのふれあい等の積み重ねが、すべて教師への「助言」となる。

そのようにして見えてきた作業課題は、

『碑』に登場する県立広島二中一年生ひとりひとりに慰靈のための詩や短歌を作ろう。

これが生徒に対しての共通の「発問」ともなる。

『碑』に実名が登場する生徒は24名、先生4名。そこで一クラス40人を2人でひとつのグループとし、20名の生徒を担当させる。残り4名の生徒は、教育実習生4人が担当し、先生4名のうち、言動が記されている1名を、中西が担当することとした。

担当する生徒について記述されているのはわずかな部分である。そこを2人で対話を重ねて読み深める。そして想像の翼を広げていく。もちろん登場人物との対話もその中に含まれていく。そこに指導者の個々への「発問・助言」が、対話の形で加わっていく。つまり、三つの対話によって作業課題が達成されていく。最後にはそれぞれの担当部分と作品を朗読発表することで、『碑』全体像が浮き彫りにされてくるのである。

三つの対話とは

- 分担部分を読み取っていく上で、そのパートナーと行う対話が一つ
- 詩・短歌を作る上で作品の人物と行う対話が一つ
- 作成の始めから仕上げの段階の中で、先生（教育実習生含む）と行う対話が一つ

III. 課題への取り組みのために

『碑』を読み進めていくために予備知識の幅を広げておくことが、作業課題への取り組みをなめらかにさせる。

1. 資料集を使って愛するもの、いとしきものの死を悼むうたを知る。

（「国語資料総覧」吉野教育図書）

- ・万葉集の挽歌
- ・斎藤茂吉「死にたまふ母」
- ・高村光太郎「智恵子抄」
- ・五島美代子の短歌

わが息と共に呼吸する子と知らず

亡きを悼みて人の言ふかも

2. ビデオで原爆被爆の様子とその後を知る。

- ・NHKビデオ「きみはヒロシマを見たか」

3. 読書タイムで関連図書を読む。

- ・「はだしのゲンはピカドンを忘れない」（岩波ブックレット）
- ・「何とも知れない未来に—原爆小説名作選」大江健三郎編（集英社文庫）

4. 投稿文「8月6日に涙で読む本」（昭和58年7月28日付朝日新聞「声」欄八尾市女性45歳）を読む。（次にその全文を紹介しておく）

今年もまた8月6日が近づきました。この日に私は必ず1冊の本を読みます。それは『碑』（昭和45年、広島テレビ放送編、ポプラ社発行）です。

広島に原爆が投下され、当時広島二中一年生200余人がその日の朝、家を出かけた時から、被爆した時の様子、そしてその後どのようにして死んでいったかを、細かく

記された本です。

「一晩中さがしつづけ、あくる朝やっとみつけたわが子は、直前に息をひきとったのか、焼けただれたほおを流れた涙がまだかわいてなくて、朝日にキラリと光っていました」というお母様の話には、鳥肌が立つほどの悲しみを感じ、他の人たちの話にも、悲しみに涙しました。そして毎年8月6日、この本を読み、この人たちを思い出し、流れる涙をせめてもの供養にしたいと思ったのです。

私に出来るせめてもの慰靈のつもりで、出版以来12年間、8月6日にはこの本を手にしてきました。

しかし、不気味な軍靴の音が聞こえてきそうなこのごろです。二度と逆戻りすることのないよう祈り、死者の悲しみに涙するだけではだめだ、私も何かしなければと思いながら、何をどうすればよいかわからず、今年もまたこの本を読み、戦争を憎み、本の中の人々を思い起こし、涙するだけの8月6日になりそうです。

以上のことばすべて「発問」（作業課題）を必然のものとし、自分に身近なものへとする工夫である。関心度を高め、意欲を喚起するための伏線である。そして創作課題の場合に有効な生徒への「助言」は、指導者自らの作品を紹介することである。子供たちがある程度構想を練った頃（早すぎるとその模倣に走り、遅すぎるとせっかくの各自の作品への思いに水を差す）、朗読の形で紹介した。

箕村登先生に捧げる

中西一彦

昭和二〇年八月六日

午前八時十五分

箕村登は　すべて理解した。

ピカ　ドン

退避、解散

焼けた校舎

午後七時半

箕村登は　理解を超えた。

時止まり時を忘れし九時間余思ふは子等の命ただそれ

岡田彰久くんに捧げる

神元智子（実習生）

生きるため　ふみしめるのか　燃える砂

ただ一心に　掘ったその砂

天畠敏行くんに捧げる

政本澄人（実習生）

ぼくは　ここにいる

建物疎開の作業中

一すじの光がぼくをおそった

ぼくは　ここにいた

動かなくなった体
焼けた野原をぼくはさまよった
ぼくは ここにいる

ひとりぼっちで死んでしまった
おじさんはぼくを見つけられなかった
父さん
ぼくは ここにいたのに

故選浩行くんに捧げる 横田久美子（実習生）
見えぬ目が我の両耳とぎます
家に導くちちははの声

まぼろしの声に天まで導かれ
光れる三つの星になりけり

西本朝彦くんに捧げる 原田恵子（実習生）
アナタハ知ッテイル
アノ日ノ広島ヲ
アノ黒ク焦ゲタ校舎ヲ煙ノ臭ヒヲ
アノ空気ノ重ミヲ膨張シタ肉体ヲ
アナタカラ出タ青イ光ガ求メル
雨ノ中父母ノ声ヲ

アナタハ知ッテイル
アノ日ノ広島ヲ
アノ白ク刻マレタ名ニ
アナタノ人間ノ姿ガ映ル
アノ日ヲ過ゴシタ仲間ト
遊ンデイル声ガ聞エル
アノ日ヲ 繰り返サナイデ

IV. 授業の実際

長い作品をただ通読するのではなく、結果として通読してしまったという形にする。生徒ひとりひとりが精一杯作品と取り組み、その成果が優劣で比べられるのではなく、それぞれの読みとしてきちんと仲間に受け入れられるようにする。プレッシャーはかかるものの、重荷にならず、立ち向かっていく意欲を喚起するものとなること。

以上が今回の実践で心掛けたことである。

生徒ひとりひとりが対象とする作品中の人物は、くじ引きで決め、男子は男子、女子は女子というペアを作った。入学後まだ2カ月ということで、男子と女子の組み合わせでは、

対話が難しいと判断したためと、対象とする生徒の重なりがないようにということで、上記の方法を採用した。

(1) K. Aさんの取り組み例

(教科書本文より)

下野義樹君は、「点呼が終わると同時に退避という声を聞き、爆弾が落ちた、川に飛びこめ、という声をかすかに聞いて本川に飛びこんだ。爆発と同時に、黒く焼けた人が多かった。」と話しています。(東京書籍「新しい国語1」p.83)

五学級の下野義樹君は、土手にはい上がったときのことを、こう話しています。「川の中で板ぎれにつかまってういていました。はい上がってみたら、町はめちゃめちゃで、ぼくはもうだめだと思った。しかし、気を取り直して、父や母に会いたい一心でがんばった。岸に上がるとき、先生がぼくの手を引っ張ってくれた。そして、『君はあまりやけどをしていないから、元気を出してがんばれ』とはげましてくださった。いっしょに岸にはい上がって、飲み水を探しているうちに、けがのひどかった先生は、『もうわたしはだめだ、しかし君はがんばれよ』と言われて離れ離れになったが、そのとき、先生としっかり手をにぎって別れた。」(東京書籍「新しい国語1」p.85~86)

もう一度、お父さんやお母さんの顔を見たい、その一心で川土手にがんばっていた五学級の下野義樹君は、夜九時四十分、お父さんの声を聞きました。

わたしが大声で名前を呼ぶと、「お父ちゃん」と、手を上げて喜びました。

二キロ歩いて南観音町の家に連れて帰ると、学校に休みの届を出してくれ、腹が焼けると言い、ぼくは兵隊と変わりないんだね、と念を押し、しきりに〈くろがねの力〉を歌ってくれとせがみました。(東京書籍「新しい国語1」p.91)

<N. Sさんとの対話>

- ・どういう本文の部分が大切か、またそこから何が読み取ることができるかを話し合った。
- ・どういう言葉をあてはめたらよいか。
- ・一度お互いに読み合って、おかしな所の言い合いをした。また、ほめ合いもした。
- ・順序がストーリーに合っているか。
- ・二人の詩、短歌どちらを先に言うか。
- ・効果音を入れるかどうか。

<下野義樹君との対話>

私達が味わったことのない恐ろしい原爆の恐さが伝わってきた。でも、下野君の話を読んだ時、恐さだけを思っても無駄だと思うようになった。今、私達がしなければならないことは、原爆の全てを未来に伝えることであると下野君は教えてくれた。“平和”この二文字の素晴らしさを後世に伝えること、これを下野君は今でも訴えているのだと思う。

私の歌では、原爆の全てを知らせるることはできないけれど、(心をこめて作った)と心の中でとなえると、顔はわからないけれど、下野君の笑顔と「ありがとう」という声が響いてきたように思う。

“平和”“命”このことを同じ年の下野君はどのように思ったのだろう。きっと、今の私では下野君の十分の一もわかっていないのかもしれない。でも、これからは、下野君の思いに届くように、思いやりを持って世界と接していきたい。

そう、下野君と語り合い、わかった。

＜神元先生との対話＞

- ・ピックリの言葉が思いつかなく、アドバイスしてもらった。
- ・本文の意味について二人の意見が対立してしまった時に、どういう考えがよいのかアドバイスしてもらった。
- ・けずったらよいか一緒に考えた。
- ・言葉について適當か不適當か。
- ・どことなく変な感じがする文を読んでもらい、悪い所を教えてもらい、改善方法を教えてもらった。

下野義樹君に捧げる

K. A.

荒れ果てた ヒロシマの街を君は行く
もう一度抱いて父母の手よ

先生の 冷たき手を 握りしめ
思う心は 平和を願う

あの先生 あの友あの道 あの校舎
涙となって 今消えていく

青空に 刻まれているよ あの瞬間の
僕の思いが 消えぬように

(2) 浜内茂樹君に捧げる歌作り

(教科書本文より)

本川の川土手には、まだたくさんの二中の一年生がいました。しかし、生きている者はわずかでした。この記録では、七日の朝以後、この土手で生きているうちに肉親に会えた子供は、二人しかおりませんでした。

その一人は四学級の浜内茂樹君でした。お父さんは島の佐伯郡沖美町から舟で七日朝、本川をさかのぼり、着いたのです。

「日ごろ、空襲だけがをしたら、学校か作業の場所で待っているよう話しておりましたので、新大橋の所で見つけることができました。

たいへんなやけどをしていて、胸の名札と話しうりで、やっと我が子と分かるひどいやられようでした。

舟に乗せ、連れて帰りましたが、『みんなお母ちゃんと言って死んだよ。夜はとても寒かった。水は川に下りて、飲んだが、潮水はおいしいね』と言っておりました。十日午前一時、死亡しました。」

A. A. さんの例

＜T. M. さんとの対話＞

浜内くんはいったいどんな気持ちでお父さんと接していたのかな、といっしょに考えた。

気持ちが何ひとつ書かれていなかったので、気持ちが読み取りにくいねとしゃべった。その他まあよくある話だが、原子爆弾はむごいとか許せないということも話した。

＜浜内君との対話＞

原爆のむごさを本当に知っている浜内くんは、たぶん悲しみの顔よりもいかりの顔の方が強いだろう。もし浜内くんに口があったなら浜内くんはこういうだろう。お父さんに会えたそれだけでよかった。いつものあの約束の場所へいったら来てくれた。ぼくは肉親の前で死ねる、と。さぞ安心しただろう。私は浜内くんにこういうだろう。本当に自分の命が危ないときに本当に大切なものが見えてくるんだね、と。

＜横田先生との対話＞

できるだけ浜内くんの特徴をいれる。文章のことばを少しかえる。これがこつであると教えてもらった。

浜内茂樹君に捧げる A. A.

お父ちゃん

我が子の声がきこえる

お父ちゃん

我が子は寒い夜もがまんした

お父ちゃん

我が子は川の水をうまいといった

お父ちゃん

我が子はみんな死んだと悲しんだ

ぼくはだまってきていた

我が子も死ぬとは知らないで

お父ちゃん

我が子の声が今もきこえる

パートナーの T. M. さんは「けがをしてや父を待つなどを現実的なものではなく、空想であらわすにはどうしたらよいか」を三つの対話でずっと考え続け、次のような作品を作った。

浜内茂樹君に捧げる T. M.

やみの中 希望の場所で 光待つ

もし夢ならば 目よ覚めてくれ

また、M. Y. さんと K. Y. さんは、二人の対話の中で印象深い「最期の言葉」をキーワードにすることを決め、次のような作品を作りました。

浜内茂樹君に捧げる M. Y.

父より

我が教え 守りぬきて はかなきに
最期の言葉ぞ 忘れがたき

浜内茂樹君に捧げる K. Y.

ありがとう
最期の言葉 にぎりしめ
我が子は天に のぼりゆきたり

すべての作業を終えて、まとめの段階で用紙に記入させたので、対話の際のやりとりが具体的に見えてこないのが難点である。その中で実際の形で記入していた例があるので、次に紹介しておく。

(3) K. A. さんと S. A. さんの取り組み例

(教科書本文より)

二学級の脇坂邦男君のお父さんが、新大橋の東づめに着いたのは、午後11時半、夜半近い時刻でした。

「名前を呼ぶと、『お父ちゃん』と、我が子とは思えないやけどに崩れた顔で返事しました。

お父ちゃんはきっと来てくれると信じていた、と言いました。

自転車の荷台に乗せて、16キロの夜道を安佐郡可部町まで帰りました。そして、翌日の午後2時半に死んだのです。」(東京書籍「新しい国語1」p.92)

<生徒同士の対話と指導者からの助言>

K. A. …詩と短歌どっち？

S. A. …詩の方がよくない？

K. A. …そうね、それなら、(国語の資料集の詩の形式のページを見ながら)自由詩と定型詩と散文詩、そして叙事詩と抒情詩と叙事詩のどれにする？

S. A. …自由詩で抒情詩がやりやすいと思うよ。

それで、この脇坂君の部分をお父さんが来るまでと来てからに分けていたらつながってよくない？

K. A. …そうしよう。私が前半、Sさんが後半ってことでいい？

S. A. …いいよ。まず、下書きしよう。

(全体に対して中西先生から、作りにくい人は、五音七音の音を組み合わせて、とりあえず短歌形式にしてみたほうがいいかもしれないよ、というアドバイスがとぶ)

K. A. …でも、短歌の方がやりやすいらしいし、詩、うまくいかないからかえよう。

S. A. …下書きの内容からすると前半と後半、かわった方がいいね。

K. A. …うん。ねえSさんのそこの「父さんより何をくれたか」ってどういう意味？

S. A. …国は父よりもいいものをたくさんくれなかつたということ。

横田先生…そのところが分かりにくいかから変えた方がいいんじゃないかな。Kさんがこれの答を作っているのだったら二つに分けてしまったらどうかな。

二人…どういうふうにですか。

横田先生…例えば、Kさんが国に対するにくしみを、Sさんが父に対するありがたさを書くとかにしたらいいと思うよ。

(翌日)

K. A. …Sさん、私、短歌いくつか思いついたものをもとの決まった短歌の内容を大幅にかえないようにくっつけて詩にしたけれどいいかな。

S. A. …別にいいよ。(という形で作品が仕上がっていく)

脇坂邦男君に捧げる K. A.

戦争はうばっていった
友を
先生を
楽しい生活を

でも父さんはうばえない
どんな時代でも
どんな状況でも
親子の信頼感は
親子のきずなは
親子の愛情は
強く
不変だから――

脇坂邦男君に捧げる S. A.

父が来た
ただ うれしかった
父までも
国がうばって
いかなかったことが
ただそれだけのことが

なぜだろう
こうして父が
きてみると
国へのにくしみが
少しうすらいだ
気がする

V. 作品集『切実』の完成

作品を仕上げる段階での「助言」は推敲を促すことにつながり、それは言葉の吟味や表現技法の適切さを求める「発問」から始まる。そこでも一方的な指導というのではなく、

お互いの対話を通して、納得の行く形に収束されていく。そのようにして出来上がった作品は、朗読発表会として録音され、作品集『切実』として、生徒ひとりひとりの手元に届けられた。

今回、生徒への「発問・助言」は、対話の形式で個々に行われた。関心・意欲といったときに、やはり、ひとりひとりの取り組み方の違いを認識し、共通の課題を意識させながらも、個々にその力をひきだす工夫が大切であると改めて教えられた実践である。

VI. おわりに

入学後、詩を作るのも、もちろん短歌を作るのもはじめてで、しかも、十分に短歌の授業も行わぬままに、試みた慰霊詩歌集作りであったが、予想をはるかに上回る作品集となつたと自負している。生徒たちは表現することの醍醐味を味わってくれたようだ。生徒の作品ひとつひとつに思いがこめられ、それぞれに感動を与えてくれる。そこには優劣は感じられない。対象とする人物が同年齢であったということと、『碑』という作品そのものが持つ普遍的な主張のなせるわざであろう。ひとりひとりが『碑』とがっぷり四つに組んでくれていた。また、授業方法としては実習生4人と中西との協同指導であったが、「対話」を重んじた今回の実践では、非常に有効であった。なによりも、実習生と中西との間で、生徒への関わり方という点で、具体的な、それこそ対話ができたことがよかったですと分析している。

なお、この作品集『切実』をできれば「広島」へ送りたいということで、現在準備していることを付記し、この稿のまとめとしたい。

切実

——昭和20年8月6日、県立広島二中1年生に捧げる——



〔参考〕

今回の実践は、本校48期生中学1年160人と一緒に行ったものである。

この原稿は、『実践国語研究1994.12—1月号(142号)』(明治図書)に発表した「三つの対話から関心・意欲を—「碑」の慰霊のうた作り—」に加筆したものである。

ことばの豊かさを求めて<3>

まつ やま のり こ
松 山 典 子

I はじめに

こことことばが寄り添った生き生きとした表現活動をさせたい。そんな思いは、常に持ち続けている。ただ生徒たちが、ことばを巧みに操るのではなく、実感を伴った自分のこころを通したことばこそ、ことばの豊かさの出発点であると考えるからである。

今回は、そんな私の願いから発した、新しい授業の試みをいくつか紹介したい。

II 詩集一冊の教材化

—詩集「はだか」（谷川俊太郎）を読む—

中学1年生（1993. 12. 13～1994. 2. 7）全5時間

週に一時間だけの中学一年生の授業。教える側の自由度がかなり保証されており、その時その時の生徒にぶつけてみたいと指導者が考える教材を活きのいいうちに取り入れることができる。一年間で28回の授業を行ったが、その中でこの利点を活用できたと感じる五時間の単元を紹介する。

今まで、詩の授業は、何度もしてきたが、一つの単元で与える詩の数は、多くて三作品程度であった。今回は、新しい試みとして一冊の詩集を丸ごとぶつけ鑑賞させるという単元を組んだ。言うのも、この『はだか』という詩集は、一つひとつの作品も魅力的であるが、すべてを通して読んだときに、一つひとつの作品が織りなす不思議さの相乗効果から、作品が描いている世界がより明確になるとえたからである。

[指導過程]

第1時 12月13日 『すいっち』朗読。

第2時 12月20日 『でんしゃ』（　）□を創作して鑑賞。

第3時 1月17日 23編の詩の鑑賞。

第4時 1月24日 詩の創作。

第5時 2月7日 文集作り。級友の詩の鑑賞。

第1時では、何度もいろんな朗読を試みさせることを通して、詩の楽しさを味わわせた。

期末テストを返却後の授業でもあり、彼らのモヤモヤも一緒に吐き出させたかった。『だまってればもう？』で始まるこの詩は、彼らが口にしたいけれど今まで口にすることをためらっていたセリフを堂々と言える快感も有るとえたの

すいっち

だまつてればもう？

くちがばくばくしてるのでだけだよ

こえがのどからでてくるだけだよ

ことばがぼろぼろこぼれるだけだよ

しゃべっているのはあんたじゃないよ

あんたのかおしたおにんぎょうだよ

あたまのなかでまわってるのは

そこらでうつてるろくおんてーぶ

はつきしいつてうるさいだけさ

なんともきいた ただしいいけんを

あいもかわらずくりかえして

だまつてればもう？

じぶんのからだでかんじたいんだ

まちがえたってこわくない

あんたはわたしのまえにいるけど

なんだかれてびでみているみたい

けしかりたいけどすいっちがない

でんしゃ

わたしはこんだでんしゃにのるのが（いや）

くびすじによそのおじさんのいきがかかると

つきとばしてやりたくなる

こんなにからだをくつけてるのだから

でなければうんとともだちになりたくなる

めをあわせるゆうきさえあれば

おはようくらいえるとおもうのに

おじさんはそっぽをむいて

なにをかんがえてるのかわからない

おじさんのかおはだれにもていないので

みんなとおなじようなはなとくちがあつて

そのはなとくちでいきをしている

しらないひとのはくいきをわたしはすう

でんしゃじゅうのひとのいきがまじりあう

こーひーのいきおみつけのいき

ひやくねんたつたらみんななくなる

わたしはこんだでんしゃにのるのが（いや）

（いや）だから（すき）

で選んだ。

第2時では、（ ）□を創作させることを通して、谷川氏のものの見方、感じ方をとらえさせたいと考えた。本校は、生徒のほとんどが電車通学をしている。彼らの満員電車に対するイメージと谷川氏の表すイメージの違いに気付かせることで、彼らの世界も広がると考えたのである。

わたしはこんだでんしゃにのるのが（いや）
くびすじによそのおじさんのいきがかかると
つきとばしてやりたくなる
でなければうんとともだちになりたくなる
めをあわせるゆうきさえあれば
おはようくらいえるとおもうのに
おじさんはそっぽをむいて
なにをかんがえてるのかわからない
おじさんのかおはだれにもていないので
みんなとおなじようなはなとくちがあつて
そのはなとくちでいきをしている
しらないひとのはくいきをわたしはすう
でんしゃじゅうのひとのいきがまじりあう
こーひーのいきおみつけのいき
ひやくねんたつたらみんななくなる
わたしはこんだでんしゃにののが（いや）
（いや）だから（すき）

第3時では、詩集『はだか』を丸ごと一時間の教材とした。朗読者だけが詩集を持つ状態で他の生徒は、耳からのみ詩を受け取り一行感想を書くという作業をさせた。耳を澄ませて詩を受け取るという時間は、緊張感を伴う静寂を与えてくれた。第4時では、鑑賞の延長として、各自に詩を創作させた。前時に『はだか』風の詩を創作することは、予告しておいた。具体的な指示は、次の通り。

◆条件1 幼稚園児か小学校一年生になったつもりで、(外見)

ーただしー

◆条件2 洞察力は大人に負けない鋭さで(中身)

大人がドキッとする詩を書こう。

◆表記 すべてひらがなで。

◆ペンネーム 詩の中の子の名前。

※一人ひとりの原稿用紙に詩集『はだか』の挿絵を添えておく。21種類。(1クラスで同

じ絵は、1人か2人。)

※挿絵の子になったつもりで書いても良い。

第5時では、クラス全員の詩を詩集にまとめた後、詩の鑑賞。詩はすべて名前を公表せず、

ペンネームのみ載せていたので、詩を紹介した後に作者当てをする。

(筆跡、表情などで95%以上の正答率。)

[生徒作品]

<挿絵が生かされているもの>

あなたははなでしょ。
あなたはなんというなまえ?
あなたはどうしてここにいるの?
あなたはどうしてひとりぼっちなの?
あなたはしんでいるの?
わたしのまえでちいさなおんなのこが
わたしのこたえをまつていてる。
でもわたしはこたえられない。
なぜならわたしのせかいとあなたのせかいは
ちがうから。
わたしのせかいにあなたは
はいってこれないのよ。

おとうさんはうそをつく
おかあさんもうそをつく
せんせいもうそをつく
きょうだいもうそをつく
ともだちもうそをつく
わたしもうそをつく
だれもしんじられない
いんていあんはうそつかない
いぬもうそをつかない
わたしはいぬといる
だから

「せかい」

※ペンネーム

しーた(女子)



「しんじる」

たまねぎ(男子)



「すたあ」

(男子)



おどるのがすき

でもだれもみてくれない

しうががないからおふろでおどる

ひとりでずっとおどりつづける

しゃわあはすぼつとらいと

どんなにゆうめいなぶたいにも

ないせかいでいちばんのすぼつとらいと

じゃぐちからでるみずのおとは

べーとうべんがつくったきょくよりも

めいきょく

おきゃくさんはどんなにおおきな

げきじょうにもはいりきれないゆぶねのおゆ

そのおきゃくさんがはくしゅするとき

ぼくはせかいいちにかこまれた

せかいいいちのすたあになる

「わらう」

(女子)



ぼくはいつもかかえこむ

うちのだいどころのすみで

すりむいたあしをかかえこむ

あいつはみんなにかわいがられている

ぼくはあいつがかわいい

かわいいけれどとてもにくい

ながしのうえのりんごをむくものが

ぼくになにかをいっている

ぼくはしっているんだ

だっててれびでみたんだもの

あれでさしたらしぬんだ

でもしないんだ いまはわらっているんだ

でもいつかするんだ

そのときまでわらっているんだ

「ごめんなさい」

(女子)



けんかをした

わたしがわるいんじゃない

あのこがわるいんだ

でも

どうしてころがさむいんだろう

かぜがとおりぬけていくみたい

こころがさびしいっていってるみたい

おとなは

すぐあやまりなさいっていうけれど

あのこがあやまるまで

わたしはあやまらない

そんなかんたんな

ごめんなさいは

いやだから

「ゆめ」

はんこうきはやこ
(女子)



おかあさんにおこられた
すぐにあやまるのはくやしいから
いいかえしたら
もつともつとおこられた
こんどはだまっていたら
おかあさんがないた
わたしもなきたかったのになけない
おかあさんがかわいそう
わたしはまたきょう
おかあさんにおいてけばりにされる
ゆめを見る

「りこん」

かなしいともだち
(女子)



きらい
ぱぱも
ままも
わたしの
ぱぱと
ままじゃない
ぜんぜんちがう
くもにすんでるひとみみたい

きらい
りこんといふことをわかっているのに
わたしにかくしている
そういうばばとままが
かたまつてゐるいしみたい
はあとがいたい
りこんがかなしわけじやない
ぱぱと

<大人への批判>

おかあさんへ
ただのいちねんせい
(女子)



おかあさんは
こどもだったことあるの?
わたし
いちねんせいだからしってるわ
こどもはおおきくなったらおとなになるって
ただしんじられないだけ
いつだって
なんでもしつてているふりしてても
ほんとのきもちはわかつてないから
けんたくんもななちゃんも
しらないうちにおとなになるのよ
わたしもいつか
きょうのことなんかわすれて
わたしのこどもをおこるかもしね
だから
わたしはいえでします
そして
らんどせるをせおったま
ずつととおくで
いつまでもいちねんせいでいるの

「おかあさんへ」

ただのいちねんせい
(女子)

「？」

「どうぶつえん」

(男子)

なかつ(女子)



「こども」

くらすのはしつこ(女子)



たいいくたいかいみたいなぎょううじのとき

かいかいしきのちょうれいだいのうえで
せんせいはくちをそろえていう。

しょうはいかんけいありません。

やりとげることにいきがあるのです。

うそにきまっている。

うんどうかいのとき、

たんにんのせんせいがめをちらしらせ

ふたことめにはかてるぞ、にげきれ、といいつづける

しょうはいかんけいないというそのことばは

ききあきたし、うそだということもまるわかりだ。

おとなは、みんなのまえでおおぼらをふいでいるのだ。

こうえんにいると、ほとんどがことどだ。

こんないいところは、ほかにはないな。

きのうどうぶつえんにいった

ぞうさん きりんさん おさるさん
かめさん らくださん うさぎさん

いっぱいみた
いっぱいわらった

でもぞうさんはいってた

「もっとはなをのばしたい」

でもきりんさんはいってた

「もっとくびをのばしたい」

みんなきこえているはずなのに

きこえないふりして

わらっていた

ぼくはにんげんのはいっている

おりをさがした

ぼくはおりのなかに

はいりたかった

どうしてそんなに ことものなの?

どうしてそんなに さからうの?

せんせいはけっしてただしくないけど

さからっているきみは ばかみたい

よこでみていて ぼくは うんざりする

まわりがこどもときみは うけど

そんなことおおきなこえで いうきみが

みんなのなかで いちばんこども

みんなそうおもってるのに

きみはじぶんがいちばんおとなだなんて

かわいそうな きみ

<内面が滲み出しているもの>

「きみへ」

ことばのおくりもの
(男子)



「きみ」

すちゅわあです
たかのともか
(女子)



「ありんこ」

ちっこくなりたいしよう
(ねん)
(女子)



ぼくはきみのことがわすれられない

あそんでいるときも いえにかえって
てれびをみていても

あたまからなくならない

わされるために

いっしょうけんめいあそんでも

あたまにこびりついてとれない

きみと、はなすとあたまからぬけてく
でも、はなれたらまたこびりつく

めをつむつてもわすれられない

どうしてなの、ふしぎ

おとなになつたらわかるかな

ぼくはそっぽをむいてやつた

きみはどこをみているの

とつてもとおいとおいところ
なにがしたいの

いったい

とおいところをみて

てをくんで

うつとりして

まえのいしころにつまずいた
ぼくはわらってやつた

おもいっきり

きみははじめてぼくのほうをむいた

ほんもののぼくをみた

ぼくはそっぽをむいてやつた

ぼくはちっこい

でもありんこは ぼくよりちっこい
まなつのひるなのに こんなにあついのに
ありんこは セッセと はたらいている
じぶんのからだより おっきいものを
いっしょうけんめい はこんでいる

ぼくはついてつた
やがて ちっこい あなたのなかに
ありんこは はいってつた
ぼくもいっしょにはいりたかった
だけど はいれなかつた

おもいっきり

もっとちっこくなりたい

そしていつか あのあなたに はいるんだ

いつか きっと……

「さくぶん」

(女子)



せんせいがさくぶんをかいてきなさいといった
わたしはなにもかくことがなかつたから
せんせいにほめられそうなことを
ちょいちょいとかいてだしてやつた
わたしのおもつたとおり
せんせいはあたしのさくぶんをほめてくれた
みんなもすごいすごいってほめてくれた
あたしはちょっととくいになつた
でもなぜかおかしいの
うれしいのになんかうれしくない
おなかのなかがもやもやしてる
こんなさくぶんをかいたじぶんに
こんなさくぶんをかかしたせんせいに
なんだかはらがたつた

「し」

ぼく (女子)



せんせいはぼくにしをかけという
ぼくがしをかけないのをしってているのか
しっていないかせんせいはしをかけといふ
しっているのならぼくはせんせいをうらむ
だつてぼくはしをしらないんだもの
しはぼくをしらないんだもの
いちどもみたことのないきいたことのない
そしてかいたことのないしなんだもの
しをしらないぼくはしがかけない
ぼくをしらないしじつはぜつたいずつと
ぼくのまえにあらわれっこないんだもの

「し」

しをかく
(女ひと)



せんせいは
しをかけと
ようちえんじにもどつて
かけという
おとなになつたつもりでかくならともかく
ようちえんじにもどつてかくのは
むりなちゅうもんだ
ひとはうしろをふりかえらず
まえむきにいきるものだ
だから
おわる

【考察】

〈創作の苦手な生徒〉にとっては、苦労したようである。しかし、160名全員の作品を手にすることことができた。これは、〈挿絵が生かされているもの〉の作品を見ていただければ分かるように、各自の原稿用紙に挿絵を添えたことも有効であったと考えられる。

また、〈大人への批判〉〈自分の内面が滲み出ているもの〉で紹介した作品にもその生徒がいま、抱えている問題や子供から大人へと成長途中の彼らの鋭い視線が感じられる。

「たいくたいかいみたいな…………」で始まる詩や『こども』の「どうしてそんなに こどもなの」という詩の視線は、まさに日々の生活における作者自身の視線である。

反対に、女子が男子名のペンネームを用いていたり、『ありんこ』の「ぼくはちっこい」で始まり、「もっとちっこくなりたい」と言う少年が実は、とても背の高い少女が作者であるなど、自分とは全く違う第三者の振りをしながら、そこに本人自身の願いが無意識に投影されている詩にも多く出会った。また『きみ』『きみへ』のような詩も子供の外見を借りながら実は、愛の詩である。

彼らが構えることなく、自分の内面を綴ることのできた今回の詩集『はだか』は、原作の詩集『はだか』（谷川俊太郎）に負うところが大きい。第4時の創作活動は、詩集『はだか』の視点でさせているので、それまでの3時間が手助けとなっている。また、第3時で詩集一冊を音声化して耳から言葉が入ってきたことが、第4時の創作のときの言葉遣いに自然と生きてきた。

そして、ひとつひとつの作品を作品としてみても中学一年生の彼らの『はだか』の心が見え隠れする点で良い作品だと私は考えている。

参考文献

はだか 谷川俊太郎詩集 佐野洋子 絵 (筑摩書房)

III 選択授業「国語表現」15才の輝きを
— 中3の今でしか表現できないことを —
中学3年生（平成5年度後期）男子15名・女子7名 全11回（22時間）

平成5年度後期、中3を対象とする選択授業を担当する機会を得た。後期は、国（2講座）・社（2）・英（2）・美（1）の7講座が開講された。事前にオリエンテーションが行われ、各講座の内容説明を受けた生徒が講座を選択するのである。私の講座については、次のような説明を行った。

「15才の輝きを—中3の今でしか表現できないことを—」をテーマに「一瞬」をことばでとらえたり、Love Songをつくったり「今」を表現する。

約束として

- 今まで創作活動が苦手であった人にも、自然と自己を表現し、表現する楽しさを味わわせることができるように表現活動をしくむ。
- 創作した作品を鑑賞しあうことで、お互いを再認識しあい、深い部分で友人と出会うことを可能にする。
- ことばの様々な表現の仕方を体験することで言語感覚を磨かせる。

* ペンネーム登録制をしく。

（ただし、じわじわっと本人が判明できるはず。）

* できた作品は、必ずプリント・文集にしてみんなに返す。

このようにして受講者を募ったところ、予想以上に希望者が多く、人数調整の結果、22名の生徒が受講することとなった。

授業の形態としては、私にとって初めての2時間続きの授業だったので、1時間目に前回の作品の文集作り、相互批評などをさせ、2時間目に新しい創作活動を行った。11回の授業を終えたとき、8冊の文集と1冊の個人文集が、それぞれの手元に残った。

【授業内容】

1. 「附中の秋をつまむ」 （10月16日）

秋を校内から見つけ、写真に撮り、俳句をつくる。

2. 「風の詩 雨の詩」 （10月30日）

1の不十分だった点をふまえて、しっかり見つめて詩画集をつくらせる。ただ天候が雨だったため、窓ごしの風景となった。

3. 「愛の詩（1）」 （11月6日）

自分の好きな愛の詩を持ち寄り、キーワードを抜き出す。それを利用して詩をつくる。

4. 「愛の詩（2）」 （11月20日）

キーワードからの詩作り。Part 2

5. 「短編小説を書こう（1）」 （11月27日）

印象に残る小説の書き出しを集め、その書き出しを利用して小説をつくる。テーマは「クリスマスのおはなし」

6. 「短編小説を書こう（2）」（12月4日）
5のつづき
7～11'メインテーマ「卒業」
7. 「嵐の中のイチゴたち」（1月22日）
映画鑑賞（タイトル同上）をしての一行詩作り。注）イチゴとは15才のこと。
8. 「私を束ねないで」（1月29日）
詩の形式を利用しての詩作り。→22連の詩の完成。
9. 「つなぐ」（2月5日）
付け句、連句に挑戦。
10. 「春をみつけよう」（2月19日）
春の兆しを校内から探し、写真を撮り、俳句をつくる。
11. 「個人文集作り」（3月12日）
今までの個人の作品を全て集め、表紙、前書き、扉のことば、後書き、編集後記、奥付けなどをつくらせ、一冊の個人文集とする。

今回は、この中の1と10の教室外へ飛び出し、カメラを活用した実践と、11の編集後記などから、生徒のこの授業を受けての感想を紹介することから、選択授業の総括としたい。

[附中の秋をつまむ]

(表紙)――



初めての選択授業では今まで40人の教室では出来なかったことをしたいと思い、まず、教室を飛び出すことにした。しかし、ものを見る目を育てずに、外に出ただけで何か、詩心を感じてくれるだろうという指導者の甘さを露見する結果となってしまった。こころとことばの寄り添った表現の大切さを再認識したスタートだ。

(文集の前書きより)

はじまり、はじまり………

初めての選択授業。こうして綴じてみると、なかなか立派な冊子が出来上がりました。これから、あと10回の授業を通して、表現する楽しさや22人のメンバー同士の心の交流、より深い部分での新たな出会いが出来れば良いなと思っています。そして、勿論、言語感覚も磨きあっていきましょう。

その場にいても、何かを見ているとは限らない。
その場にいても、何かを感じているとは限らない。
息を殺してみつめていないと、見えないものがある。
心を開かなくては、感じることは出来ないものがある。

そんなことを改めて、いま、思います。ことばを転がすことは得意でも、いつもいつも机上の表現では、淋しいから、今回は、教室の外に飛び出して『附中の秋をつまむ』ということで俳句作りと写真撮影にチャレンジしました。写真と俳句が響きあって一つの秋の世界を表現するという試みだったのですが、残念なことに季語に縛られてしまって（これは、私にも責任があります。）、結局はことばを転がすことによって生まれた句も多いです。

しかし、その場の香りや息遣いまで伝わってくる句もありますよ。ベンネーム『覚醒』氏は、きっとこの場所で大地を踏みしめて波の音を聴いたことでしょう。また、ベンネーム『十三階段の月』氏の見付けた秋の風景。（学校側の民家）どこをどう迷い込んだらあんなステキな秋に出会えるのでしょうか、私の予想を超えた意外な発見です。

私も改めて『附中の小さな秋』を探す旅に出てみました。ちょっと耳を澄ませると、鈴虫の声が私の耳にも届きました。赤く染まった葉の美しさ、たくさんの秋の実も目に飛び込んできました。是非次の機会には、みんなに秋風を肌で感じて欲しいと思います。

松山 典子

教室を飛び出す前に、俳句の基礎知識を確認し、季語チェックを行った。最近季節感がなくなってきたと言われているが、セーター（冬）・運動会（秋）は正答率100%。トマト（夏）・コスモス（秋桜）は64%。猫の恋（春）23%。水仙（冬）・りんご（秋）・爽やか（秋）11%。夜なべ（秋）0%であった。

この季語チェックをしたことが、せっかく外に出て俳句を作るのに、季節を感じる機会を妨げ、季語をあてはめる俳句作りになってしまった。「自分なりの季語を発見しよう」など、指導者がもう少し配慮すればよかった。後に挙げる4つの生徒作品は、その中では、外に出たことが、効果的に働いたものである。

（生徒作品）

波の音
大地踏みしめ
かきならす
（男 覚
子 醒）



— 落ち葉の落ちている場所 —



十三階段の月
(女子)

黄色い鳥
風に三たび
ひるがえる
ヨブぞ見ゆる
麦に似せるか
猫じやらし



秋探し校舎の陰に銀杏あり
（男子）
（女子）
（男子）



華やかな運動会の音をきく
バクっていきます
（男子）

[春をみつけよう] 文集タイトル「ちいさい春 みーつけた」

(文集の前書きより)

静かに終わる第? 楽章

選択授業も今日が最後です。

「秋をつまむ」ことからスタートした授業も、最後は「春をみつける」がテーマとなり、この半年間の時の推移を感じます。この半年間、あなたは、表現することの楽しさを味わえましたか？

私は、書くことのすばらしさは、自分の身のまわりの自然に改めて目に向けることができる。

自分自身を見つめなおすことができる。

友人の意外な面を再発見できる。などなどたくさんあると考えています。それでも、何をおいてもあなたが、表現する楽しさを味わえたのなら、それが、一番の収穫であると考えています。さてどうだうだったでしょうか？

今回は、春の光と風を充分味わって藤棚で、俳句をつくりました。春風の香りが、漂ってくる句があれば、うれしいなあ。

ちょっと唐突ですが、あと3日で卒業ですね。誰かの手元にこの8冊の文集が末永く残ってくれることを幸せに感じながら……

卒業おめでとう

松山典子

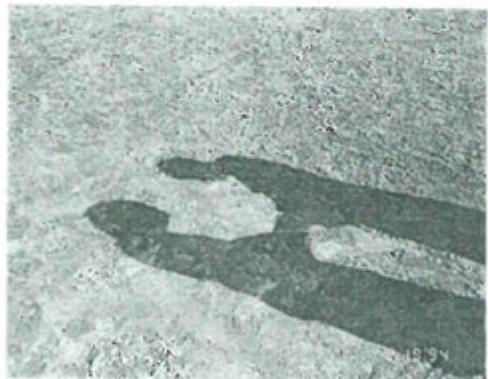
今日は、この形態の授業が2回目なので、写真と俳句がお互いに響き合う作品がたくさんできていた。授業では、それぞれが「春を感じる場所」を事前に探しておいて、全員をそこに案内し、写真撮影をした後、藤棚に行き、あたたかい陽射しのもとで、俳句作りをした。ぽかぽかとあたたかい日であったことも幸いしたようである。とにかく、自分が感じた春を表現するように強調した。



▲俳句作りの様子（本校藤棚にて）

春の土
（女子）
エイトマン

光うけたる
ぼかぼかの



—地面に映った影を撮影—



枯れた木も
春の息吹で
よみがえる
ネーブル
（男子）



淡い青

春をむかえる

空の色

U₂

(男子)

土の中

ムカデ動けば

春動く

代議員

(男子)



*彼は、実際に「春になったのだから虫がいるはずだ」とそこら中を掘り返して撮った。

春の風

校舎のかげで

かくれんば

（男子）
コ一ちゃん



青空が

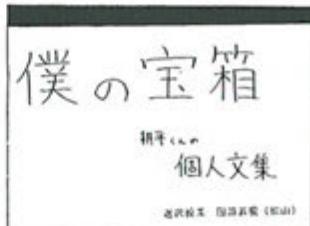
春の風を

はこんでくる

（男子）
タ一



[生徒の感想] 一個人文集の編集後記などのことばをひろって――



(はじめに) この半年間、たくさんの詩や文章を書いてきた。それらは、僕が今までに体験したことのないことばかりだった。僕は詩を書くことは自分を表現することだと思っている。この文集には、だれも知らない僕だけの自分がつまっている。だからこの文集は、僕の宝箱なんだ。

1994年3月

(編集後記) この文章をあなたはどんな顔で読んだのでしょうか。ベッドで眠そうに読んだのか。みんなで笑いながら読んだのでしょうか。そう、この文集にもいろいろな顔があるのです。涙を流した跡がある顔、顎がはずれるほど笑っている顔、いろいろな顔で書いた作品の一つを見て、私の心の顔を観察されたと思います。その私の顔をみなさんがどのようにとらえるか分かりませんが、一生で一度、十五歳だけが持つ顔だということは受け止めてもらいたいのです。

(コーちゃん 男子)



(はじめに) この選択授業で、様々な課題を与えられ、種々さまざまな文章の形にふれる事が出来ました。そのテーマごとにモチーフがあり写真を撮って飾ったり、前のすでに設定してある文章に言葉をつけたりして、ただのおきまりな方形も、斜めから見ることによってむしろ深く理解できたように思えます。不出来で短い物ではありますが、私にとって大切な思い出の一部となっています。

私にとって様々な通り過ぎていった時間は、すべてが思い出という名前で残すべきものです。この15歳という不安定な時期にあってこの様な事を考えていたと、その言葉の一部がここに示されています。10年、20年後の自分がどのように変わっていくのか、予想もつきませんが、所せん自分自身の延長線上である事で、どのような物事もすべてつみ重ねだという事を知りました。ここにあるのは今の私です。例え何であれ、私の前にあった色々な文章やボエムは、私自身のある種の一部であると確信しています。(十三階段の月 女子)



(はじめに) 想――自分の心の底の想いを何度も言葉におきかえた。そして、いくつもの詩を、俳句をつくってきた。その時の自分の“想い”は、本当のものだから、きっとずっと忘れないでいられるはずだ。

(終わりに) 私はこの選択授業をうけて本当に心からよかったですと思いました。詩や俳句をつくるのは決して得意ではありませんでしたが、何度もつくっているうちに楽しくなってきました。それに、他の詩をつくる授業と違って、恋のことなどについても正直に書けるというところがすごく好きでした。そういうテーマとか機会を与えて下さる松山先生に毎回感謝していました。私が正直な気持ちを書ける、書きたいテーマというか、そういうものは、恋愛に関することでした。

私は、この授業をうけて、そしてみんなのいろいろな気持ちを知ることができてとても

よかったです。やっぱりみんなの正直なところの気持ちを考えたペンネーム制度がよかったです。
(エイトマン 女子)



(はじめに) この個人文集を読むにあたっての諸注意
○作者の気持ちを考えて読む事。
○お腹が減っているときは読まないこと。(お腹が減っているとたちどころに、この本に吸い込まれて食べ物にされてしまいます。)
○この文章はお腹が減っています。○えさをあげないでください。——私について来て下さい。——

(扉のことば) この文集を作るには、数十時間かかっています。しかし、読むだけなら、ほんの5分でよめます。この5分に私の思いが込められています。どうか読みとって下さい。

(終わりに) この選択授業は、最も自由に活発に個性的な授業だと思います。ゆえに、まず、自分を表そうとするのが、この授業のテーマだと思います。それなりに自分を表せたと思います。しかし、ユーモア性を追求しすぎて自分を誤解されるような事も書きましたが、本当の私は、もっといい人です。

(編集後記) こうしてまとめてみると、いろいろな授業の中で最も自由に個性的な授業での個人文集だから、これを読んで私という人物がわかつていただければ、光栄です。

(代議員 男子)



(はじめに) この詩集は、ボクの脳髄をしぼりだして作った詩がつまつたものなんだ。見てね!

(終わりに) 詩をかくというのは、意外と簡単だった。自分の胸の内を素直に出せばよいのだ。この授業を受けながら、この事に気付かなかっただろう。

(編集後記) 人の心とは色々な事を考えているものだ。

(玉吉 男子)



(はじめに) この文集には、それを書いた時の私の気持ちがよく表れているのです。そして、この間に成長した私の姿があります。そういう所に目を向けてみて下さい。

(終わりに) 最初にこの授業を選択したのは、ただ楽しそうだからという不純な動機だったのですが、授業を受けていくにつれて、だんだん楽しくなってきたのでした。今まで苦手だった自分で何かをつくるというのが、だんだんおもしろくなったります。

最後に、この授業を受けて本当によかったです。ありがとうございました。

(U. 男子)

[考察] 「15才の輝きを」——中3の今でしか表現できないことを——ということで、「今でしか」ということにこだわって授業を組んでいった。特にカメラを用いて、瞬間を切り取る俳句作りは、是非やってみたかった授業である。詩作について、40人を受け持つ通常の授業では、教室から外へ出かけることは、なかなかできない。22人の選択授業だか

らこそ、実現したのである。しかし、自然をみつめる目、感動する心を育てなくては、ただ外に出ただけでは、心に響く作品は生まれない。その当然のこととまず、気付けたことが、収穫であった。そして、最後の「春をみつけよう」では、易しいけれど、自分のことばで春を表現できていた。この自分のことばで、というのが、10回の選択授業の積み重ねの成果であると私は考える。

授業の流れとしては、折々に、いろんな形の表現活動をさせ、それを毎回文集としてまとめさせ、読み合い相互批評させるという平凡な形であったが、生徒の感想の中には、この授業を「最も自由に、活発に、個性的な授業」と評してくれるものもあり、驚いている。

まず、今回の選択授業で、生徒たちが充実感を持って授業を終えることができた原因として、15才の彼らの書きたいテーマを設定したことが挙られる。恋愛もタブーとせずに表現させたことで、今まで彼らが、表現したいけれどできなかったところ（本来隠したがっているように見える部分）が、素直に任せたようだ。そして、彼らが心を開いたからこそ自己を表現することができ、そのことに満足感を覚えることができた。感想の中にも「この文集の顔は、一生で一度、十五歳だけが持つ顔だ」「ここにあるのは、今の私です」「自分の心の底の想いを何度も言葉におきかえた。」とあるように、指導者の「中3の今でしか表現できないことを」という思いと、彼らの自分を表現することの楽しさや解放感が、今回は、うまく重なったように思う。表現する楽しさを今まで味わわすことができなかつた生徒から、「詩をかくということは、意外と簡単だった。自分の胸の内を素直に任せよいのだ。この授業を受けなかったら、この事に気付かなかっただろう。」「今まで苦手だった自分で何かをつくるというのが、だんだんおもしろくなっています。」のような感想が数名でも、もらえたことが何よりうれしい。

また、文集として毎回全員の作品を形に残し、返すことができたことも大きな力となっている。「みんなのいろいろな気持ちを知ることができてとてもよかった」「人の心とは色々な事を考えているものだ」などの感想もあったが、お互いが良き読者となり、（最初はペンネーム制をしき、表現する抵抗感をやわらげていたが）最後には、誰が、どの作品を書いているのかも理解していたようである。また、この文集は、この授業を受けた者しか持つことができないのであるが、たいへん好評で、他の授業を受けている生徒から、うらやましがられたり、せめて読ませてほしいと、休み時間に文集を読みにくる生徒もいたほどであった。そんなことも、授業の励みになったようだ。

大阪ことば教育研究会（1994. 7. 9.）で発表した折に「学校国語と日常国語が、今はあまりにも離れすぎている。子どもたちの日常国語に学校国語をいかに近付けるか…」ということが話題になったのであるが、今回の実践は、その両者をつなぐ実践と位置付けていただいた。中学3年生でも表現したいことは、たくさん持っているのである。ただ、学校国語では、彼らの心を閉じさせたまま表現を無理強いしていることが多いのではないか。今回は、「表現すること」は「楽しいこと」であるということに気付かせたことからスタートして、「表現すること」は、「自分を出すこと」であり、「自分と出会うこと」であるという認識に、自然とたどりつくことができた。生徒のパワーに助けられた形ではあるが、久々に生きのいい授業ができたと思っている。

IV 修学旅行を題材として

単元学習「乗鞍を表す」

中学3年生(1994. 5. 17~6. 1) 修学旅行 5. 23~28

大村はま先生の実践は学べば学ぶほど、その素晴らしさに敬服するばかりで、なかなか真似をすることもできそうにない。今回は、「個にそくした」「一人ひとりが何らかの手応えを持てるような」という面に着目して授業を創造した。

修学旅行に行けばそれだけで、良い作品が出来る訳ではない。しかし、『一生に一度』『中学生活最大の行事』『素晴らしい思い出を』と言われなくとも、生徒たちが修学旅行にかける期待は大きい。そこで、ことばを通して、修学旅行を心に止どめ、お互いが共有した体験に対する思いや感じ方を交流させたいと考えた。特別の思い出を特別素晴らしい表現したいという気持ち、文集という形で自分の作品がみんなに読まれ、一生残るかも知れない緊張感、お互いの表現が触れ合う中で意外な共鳴が起こる驚きや楽しさ、お互いの存在価値を感じさせる場面設定などを活用していった。この授業を通して、各自が自分の思いを書き切り、表現することを楽しみ、級友に対する新しい発見があれば満足である。

[単元の構成]

- ・『俳句を味わう』(学校図書3)・2時間
- ・連句に挑戦 *修学旅行の前後に2回・2時間
- ・(俳句日記) *修学旅行の6日間。スケッチブックを持たせ、そこに自由に記入。
- ・句会に挑戦 *俳句日記の中よりそれぞれが一番お気にいりの俳句を持ち寄って
- ・(詩画集づくり)『自然を切りとる』 *現地で下絵、授業で清書
- ・修学旅行文集『かたらい』作文 (詩画集、連句も掲載)

※最後の二つについては、事前、事後指導を国語科で行い、学活で担任の先生にもかかわっていただいたり、詩画集の画については、美術科の協力も得た。

今回は、俳句(季語にこだわらなかったので一行詩と呼んだ方が適切か)や詩など短詩型文学を中心据えて授業を展開している。特に五・七・五という制限された表現の中で言語感覚を高め、ことばの奥に秘められた作者の感動を感じとり、それに、触発されて、また、表現をつないで行くという、表現活動の楽しさと深まりを体験させたいと考えた。

[連句に挑戦]

一つのグループ五人。それぞれが別の五・七・五の書き出しを与えられて、(七・七)(五・七・五)(七・七)(五・七・五)とつないで行く。

(一回目)授業で学習した俳句からつなぐ。

イメージが、どんどん飛躍していくように、同じ言葉は繰り返さないよう注意したが、難しかったようだ。

(二回目)修学旅行先で出来た俳句からつなぐ。

一度経験しているので、作り方は心得ていた。優秀作品は、文集に載せると言ったことも励みになったようだ。作品は動いていないが、共同で作品を生み出す表現方法を思いっきり楽しめたようだ。

- 春風や鬪志いだきて丘にたつ（高浜虚子）
 - やさしく見守る晴れた青空（前田）
 - がんばろうこれから春をまいちらす（板倉）
 - きっと彼女もOKするさ（池上）
 - 初恋の心の動き感じては（南）
 - 若き心に炎がともる（南）
 - 外は闇暖炉のあかりで語り合う（田井）
 - 今ひと時を楽しんでいる（小幡）
 - 白樺は夜の林で道しるべ（南）
 - 草木もはえる月光の筋（中野）
 - 川の音昼夜を問わず涼しげに（田島）
 - 太陽さえも涼しく思う（池田）
- 星空へ店より林檎あふれおり（橋本多佳子）
- 我肌寒い秋の夜のこと（堀端）
- この寒さ故郷で冬は過ごせまい（林）
- 街でも寒く人は通らない（光井）
- 家路へと向かう足取りはやっぱやと（岩見）
- 家族の顔で心あたたまる（片桐）
- 大地から湧きてる空とあの雪を（齊藤）
- 別れを惜しむ我が心かな（岩見）
- 乗鞍の広大な自然ながめみて（河村）
- 体うごけず自然にとける（島田）
- 自分の身が川に流れいくように（光井）
- 雲も流れるあなたと共に（上杉）
- 分け入っても分け入っても青い山（種田山頭火）
 - 今が始まる暑い夏の日（仲村）
 - さわやかな夕日のもとではじめよう（宮園）
 - 丘に立つ燃える私のほほをそめ（梅ヶ谷）
 - トマト畑の彼と私（塩田）
 - はだ寒い静かな朝が動き出す（仲原）
 - 小鳥のさえずり耳に聞こえる（岡本）
 - 私は全ての音がハーモニー（田中）
 - きれいいろいろとひびきあうよう（岩本）
 - 果てしなく広がる自然に包まれて（本多）

(1回目)

- またここに来ると心に誓う（測田）
- [句会に挑戦]
- 修学旅行中に作った自作の『俳句日記』より一番気にいった作品を短冊に書かせた。
 - それを一覧表にはりあわせて、配布した。（名前は、公表せず、通し番号を付けておく。）
 - クラスメイトの作品の中から一番優れていると思う作品の番号とその理由を紙に書かせ回収する。
 - 票のたくさん集まった作品（BEST 5 程度）を黒板に書き出し、回収した紙を元にその推薦理由を指名して述べさせ、最後に俳句の作者を起立させ、インタビューする。

私が読んだ時点では、その良さに気付けなかった作品の良さに光を当ててくれた生徒もあり、また、作者を公表する時点では、生徒の間から、『ほう……』とか『へえ……』ということばと共に拍手も起こり、作者は、照れながらも、満更でもない様子であった。

句会のよさを感じた作品をひとつ紹介しておく。

晴れても雨が降っても良い天気

この句を見たときには、あまり魅かれなかった。ところが、クラスでは、一番支持を集めた。修学旅行では、四日目、五日目とあいにくの雨で、キャンプファイヤーが翌日に延期となったり（結局小雨のなかで五日目に行う）雪滑りが中止になったりしたのだが、『都会に住んでいると、雨は、悪い天気だが、自然の前には、良い天気も、悪い天気もない。』『雨が悪い天気なんて、人間の身勝手である。』『大自然の中にいると雨でさえ、素晴らしい自然を感じた』など修学旅行で共に過ごした体験からの共感・支持の声が上がり、作者もそのような気持ちを込めて作った作品ということであった。

今回、句会を初めて授業の中に取り入れてみたが、その効果を三つ上げることができる。

一つ目は、句会を持つことで、各自がそれぞれの作品と真剣に出会い、対話をして、句に描かれた世界を広げていけること。二つ目は、作者を予想しながら読むことや本当の作者を知ることを通して、友達に対する新しい発見や出会いがあること。三つ目は、直接その句を作った作者から話を聞き、その句が出来るまでのプロセスを知ることができること。

（句会優秀作品）

友の声ここには届かず滝の音
トーチの灯ひとつ投げては火が甦る
もし僕が神様だったら今日は晴れ
はだ寒い静かな朝が動き出す
暗闇に映える炎のあたかさ

〔俳句日記〕

五月二十三日 五月二十四日 五月二十五日 五月二十六日 五月二十七日 五月二十八日
五月二十六日 五月二十七日 五月二十八日
五月二十七日 五月二十八日
五月二十八日
乗鞍と冷たい風うけ実感す
さまざま自然目にして心なごむ
暗黒の世界に輝く月を見る
食欲を満たすため道歩き続ける
煌々と輝くよう燃える炎
日の流れ早過ぎてまだ 心おきざり

五月二十三日 五月二十四日 五月二十五日 五月二十六日 五月二十七日 五月二十八日
乗鞍の輝く景色に感激す
広大な自然と共に歩む日々
静謐な自然の中で起る朝
目の前に広がる滝に感激す
赤々と燃える炎を眺め見る
乗鞍を離れる事実にとまどう

（河村さん）

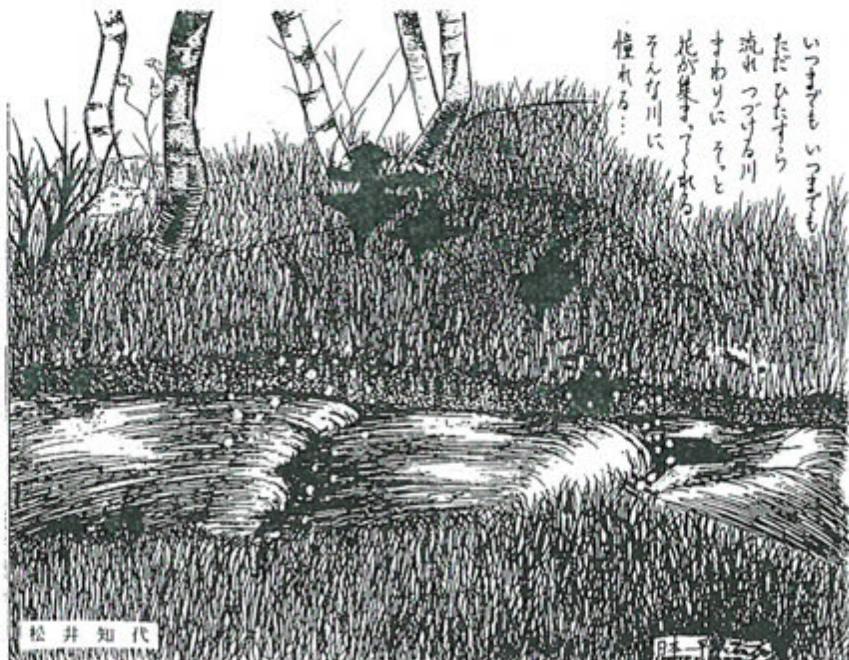
五月二十三日 五月二十四日 五月二十五日 五月二十六日 五月二十七日 五月二十八日
清らかな小川のせせらぎさわやかに
まっ暗な都会とちがう山の空
本当のやさしさわかった滝雄さん
 笹舟で子供に返った梓川
 大阪のビルにうつる木の緑
 バスの窓白樺の木々鮮明に

（木島くん）

（黒田さん）

【詩画集】——自然を切りとる——

修学旅行の4日目の午後、4時間かけて彼らが乗鞍の地で訪れたいと思う場所ごとにグループを募り、その場でスケッチし、思いついたことばを書きとめたものである。この修学旅行中彼らには、ずっとA6のスケッチブックを持たせ、俳句日記などもすべてこの一冊に書かせた。そのような取材の中で生まれた作品である。





中 岸 悠美子

雄大な滝をみると
いる。

自分のちっぽけな。

存在にさづく。

雄大な滝をみると
いる。

ちっぽけな自分にも。

勇気がわいてくる。

雄大な滝をみると
いる。

自分も雄大になりたい。

そう感じてしまう。

はんざうおねたき

H6.5.20(木)

Y.NAKAGISHI

[考察]

今回の実践では、新しい試みを二つしてみた。『句会』と『連句』である。どちらにも共通しているのは、共同の創造である。最初に『個にそくした』『一人ひとりが何らかの手応えを持てるような』授業という目標を掲げたが、今回は、共同で創造していく中でこそ、一人ひとりの感じ方が大切にされ、一人ひとりの存在価値に光をあてることが出来た。

『句会』では、まず全員の作品に目を通し『選ぶ』という表現活動が有った。次に、選ばれた作品を相互批評していく中で、ことばが磨かれ、ことばの持つイメージが無限に膨らんでいくことを体験できた。また、自分の作品が選ばれることで、クラスメイトに認められ、注目されることを経験できた生徒や、級友の新たな一面を知ることが出来た生徒がいた。

『連句』では共同の創造の楽しさと深まり、各自の個性が体感できた。

四十人いれば、四十通りのイメージが広がるのは、俳句の片言性に負うところも大きい。今回の取り組みは、修学旅行という題材、乗鞍の自然の雄大さに助けられた部分も大きいが、『句会』『連句』の活用は、教室をいきいきさせる手段に成りうるを考える。

また、詩画集については、じっくりと風景と対峙し、スケッチをしていく中で生まれてくることばこそ、本物のことばであると考える。ゆるやかな時間の中で創作するゆとりが学校国語では不足している。

V おわりに

三つの実践を紹介したが、そこに共通することは、生徒の作品は、必ず生徒に、文集、句会などの形で返している点である。表現は、再度生徒の手にもどして鑑賞しあってこそ力を発揮るのである。また、生徒の作品を手にしたとき、とにかく私自身が嬉しくなってしまい、文集作りの準備作業などをしながらも楽しくて仕方がなかった。指導者自身を生き生きさせる力も、表現活動にはある。



中学校地理におけるディベートへの布石を打つ実践例

—— プレゼンテーション<私がつくる魅力ある旅>——

よし　みず　ひろ　や
吉　水　裕　也

I. はじめに

アメリカでは小学校段階から様々な場面で対立する概念を与えて、ディベートへの足がかりを作っているという（渡部1993）。日本の小学校でも最近では多くのディベート実践がされ、報告されているが（例えば佐久間1994など）、本校に入学してくる生徒のディベート体験やディベートにつながるタイプの授業を受けた経験は残念ながらゼロに近い。

しかし、渡部（1993）も述べているように、本格的なディベートを行うためにはある程度のリサーチ能力が必要である。そこで筆者は、ディベートをある程度のリサーチ能力がついてから設定すべきだと考え、ディベートで必要とされるリサーチ能力のうちいくつかをつけるためにこの授業を設定した。なお、筆者は中学2年生の段階からディベートを導入しており（吉水1994）、中学1年生をディベート実践への準備期間と考えている。ただし、日々すべての実践をディベートへ直接つなげる実践として意識しているわけではない。

ディベートとプレゼンテーションのリサーチは、基本的に「自分の目的にあったものを探す」という行為については両者とも同じである。ただし、ディベートが相手を説得することに重きを置いているのに対して、プレゼンテーションは「とにかく相手を引きつける」ことに重きを置いているという点で、ます決定的に違うのである。しかし、ディベートにも相手を引きつけるという要素は確実に含まれているわけであり、身につけるべき技能の一つであろう。

このプレゼンテーションでは、ディベートへの布石を打つという目的から、後述する学習指導要領の目標をもとに、以下の力をつけることを特に意識して授業を設定した。

- ① 学校外で自分で調べる力（プレゼンテーションのリサーチ）
- ② 調べたことをレポートにまとまる力（資料をまとめるレポート）
- ③ 自分の考えた内容をグループの中で発表する力（企画会議1）
- ④ 相手の話を聞いて、誤りや曖昧な点を指摘する力（企画会議1）
- ⑤ エッセンスを取り出してまとめる力（企画会議2）
- ⑥ 協力して作業する力（プレゼンテーション準備）
- ⑦ 企画の説明で相手を引きつける力（プレゼンテーション）

これらの力は、ディベートを実践していく上でも形成される力であるが（松本1990）、設定している論題（吉水1995）へのレディネスを感覚的に考慮して、ディベート以外の手法で取り組むほうが良いと現段階では判断している。

本稿の目的は、その取り組みの経過を報告することである。なお、この取り組みは附属天王寺中学校47期生および48期生に対して行ったものであるが、基本的に47期生のデータ

を用いて報告する。

II. 授業の過程

この授業は中学1年生の2学期末から3学期にかけて設定している。地理的分野の中の大項目「世界とその諸地域」の中の「ア 多様な世界」の（イ）「人々の生活と環境」単元をこのプレゼンテーション形式で行うこととした。この単元の内容の取扱いとしては、「簡単な分布図の作成や読み取りなどを通して世界を大観させることができるよう工夫するとともに、各地域の人々の生活を、それぞれの地域固有のものとしてとらえさせるようにし、自然の影響だけで説明することのないように留意すること。」となっている（文部省中学校指導書 社会編）。取り上げる地域は世界全体が対象となっているわけであり、また取り上げる内容は人々の生活が中心となっている。そこで、授業ではこれらを意識して、全体の流れを考えた。

1. コースの設定

旅行コースについては、教科書の単元にできるだけ合うように8コースを設定して、それを生徒に選択させる形式をとった。各クラス8グループを作り1つのコースについて5人ずつが選択するようにした。

私のつくる魅力ある旅

47期生（1993年12月～1994年3月実施）

- ① N I E Sをめぐる旅
- ② 中東砂漠の石油採掘ツアー or オアシスの生活体験ツアー
- ③ アマゾンハイウェー横断の旅 or アンデスのインディオの生活体験ツアー
- ④ 常夏の島 フィジー「食」の旅
- ⑤ オーストラリア東海岸とアボリジニーの生活体験ツアー
- ⑥ アラビア半島遊牧ツアー
- ⑦ 韓国の旅
- ⑧ 輸入「米」のルーツを探る旅

48期生（1994年12月～1995年3月実施）

- ① イヌイットの生活体験ツアー
- ② 韓国の旅
- ③ 東欧諸国の旅
- ④ アンデスの高山都市とチチカカ湖の旅
- ⑤ アラビア半島遊牧ツアー
- ⑥ ブラジルまたはアルゼンチンの大農場見学ツアー
- ⑦ フィジーの旅
- ⑧ オーストラリア、アボリジニー生活体験ツアー

2. リサーチ

リサーチは、リサーチ課題に基づいて冬季休暇中に行い、リサーチペーパーを作ってくれることとした。課題は以下の通りである。また、リサーチはできるだけ自分の足で稼いだ資料のほうが良いということにして、図書館へ通うとか、在日外国公館へ電話をしたり、手紙を出したりすることも奨励した。

47期生 中1 冬季休暇中課題 地理 (吉水担当)

冬休みの課題は、プレゼンテーションのための、「リサーチ」にします。以下の要領でリサーチをしてきなさい。

- ① 対象となっている地域について、基本的なことを調べる。地形、気候、言語、通貨、文化などなど。
以上の調査は地理の時間に習った事項を参考に、地形であれば地図帳等を使い、気候であれば主要地点の雨温図を描くなどして調べること。
 - ② 魅力あるコースを作り上げるための、各ポイント（地名等）毎の下調べをする。
各都市についての調査を行うこと、地理的な内容を必ず加味すること。例えば、都市が持つ問題点や計画都市であるというようなこと。
 - ③ 大阪を起点とした旅なので、大阪からその国への移動方法を考える。
時差等を考えて、移動手段を考えてみること。
 - ④ 各ポイント間の移動の方法を考える。
対象となっている地域の間での移動方法を考えてみよう。たとえば、遊牧民の旅では、ラクダで移動するとか、アマゾンハイウェーは4WDよりももっと味のある乗り物を考えて欲しい。
 - ⑤ 自分自身でコースを設定する。
 - ⑥ 企画会議では各自5分の時間が与えられているという設定で、会社の中で自分の企画が採用されるように自分のコースを説明できるように原稿を書いておく。
(時間をオーバーしないように、よく考えて原稿を書いておくこと。その際、原稿の中にユーモアのセンスと、地理的な事物の説明を忘れずに)
 - ⑦ 何泊の旅か、また、旅の予算の概算を出す。
基本的には何泊でも良い。予算もいくらでも良い。しかし、旅のプランと予算があまりにもかけ離れたものであれば現実味がなくなる。
- * 集めた資料に関しては、記録カードに整理をして、レポートの最後に添付する。
- * レポートは、レポート用紙に20枚以上書くこと。（1行とばし等しないように）
- * 提出は、1994年1月10日（月）である。 厳守すること。

以上

表1 生徒の動き

大阪教育大学附属天王寺中学校第48期生 1年A組 資料入手先等

	書店	旅行社	在日外国公館等（訪）・訪問	図書館（附中図…附属天王寺中学校図書室）
1	×	○	ブラジル大使館	大阪府立夕陽丘図書館
2	○	○	ブラジル大使館	
3	○	○	韓国観光公社	枚方市立御殿山図書館
4	○	○	フィジー政府観光局	
5	○	○	韓国観光公社	大阪府立夕陽丘図書館、堺市立中央図書館
6	○	○	アラブ首長国連邦大使館	八尾市立図書館、柏原市立図書館
7	○	○	カナダ大阪総領事館	
8	○	○		
9	○	○		
10	○	○		大阪市立中央図書館
11	○	○	カナダ大使館、カナダ大阪総領事館	大東市立図書館
12	×	○	ブラジル大使館	大阪府立夕陽丘図書館、市立阿倍野図書館
13	○	×	韓国大使館、韓国観光公社	
14	○	○		堺市立図書館
15	○	×	ペルー大使館、アルゼンチン大使館	大阪国際交流センター、大阪市立島之内図
16	○	○		
17	○	○	アルゼンチン大使館	附中図
18	○	○		大阪府立中之島図書館
19	○	○		
20	○	○	フィジー政府観光局	
21	○	○	ペルー大使館、関西国際空港（訪）	
22	×	○	オーストラリア総領事館、政府観光局大阪支部（訪）	大和郡山市立片桐公民館図書室
23	○	○	カナダ大阪総領事館、アメリカ大阪・神戸総領事館	大阪市立東成図書館
24	○	○		堺市立金岡図書館
25	○	○	アルゼンチン大使館、ペルー大使館	大阪府立夕陽丘図書館
26	○	○	韓国観光公社	高石市立図書館
27	○	○	フィジー大使館	大阪府立夕陽丘図書館
28	○	○	カナダ大阪総領事館	大阪府立夕陽丘図書館、大阪市立中央図書館
29	○	×		大阪府立中之島図書館、府立夕陽丘図書館
30	○	○	アラブ首長国連邦大使館	八尾市立図書館
31	○	○	オーストラリア大阪総領事館、政府観光局大阪支部（訪）	奈良市立中央図書館、附中図
32	○	○	韓国大使館、韓国観光公社	泉大津市立図書館、高石市立図書館、附中図
33	○	○	ブラジル大使館	大阪府立夕陽丘図書館、守口市立中央公民館
34	○	○	フィジー大使館	
35	○	○		大阪府立夕陽丘図書館
36	○	○	フィジー政府観光局	大阪府立夕陽丘図書館
37	○	○	オーストラリア大使館、政府観光局（訪）	枚方市立中央図書館、枚方市立御殿山図書館
38	×	○	アラブ首長国連邦大使館	
39	×	○	アメリカ大阪・神戸総領事館、カナダ大阪総領事館	大阪市立大正図書館
40	○	○	ブラジル大使館	大阪府立夕陽丘図書館、吹田市立中央図書館

表2 生徒の動き

大阪教育大学附属天王寺中学校第48期生 1年B組 資料入手先等

番号	書店	旅行社	在日外国公館等 (訪) ・ 訪問	図書館 (附中園・附属天王寺中学校図書室)
1	×	○		大阪市立城東図書館
2	○	○		
3	○	○		附中園
4	○	○	アルゼンチン大使館、ブラジル大使館	
5	×	○		貝塚市立市民図書館
6	○	○	フィジー大使館、フィジー政府観光局	
7	○	○	ポーランド大使館	大阪府立夕陽丘図書館
8	○	○	サウジアラビア大使館	
9	×	○	オーストラリア大使館	大阪市立大正図書館
10	×	○		大阪府立夕陽丘図書館
11	○	○	オーストラリア大使館	
12	○	○		
13	○	×	アメリカ合衆国大阪総領事館	奈良市立西部図書館
14	×	○	オーストラリア大使館	大阪市立中央図書館
15	×	○	韓国大阪総領事館、韓国観光公社	寝屋川市立東図書館
16	×	○	オーストラリア大使館	羽曳野市立陵南の森図書館
17	○	○	アメリカ大阪・神戸総領事館	堺市立深井図書館
18	○	○	ハンガリー大使館、ブルガリア大使館	四条畷市立図書館田原分館
19	○	○		大阪府立夕陽丘図書館
20	○	○	韓国観光公社	
21	×	○		
22	○	○	ハンガリー大使館、関西国際空港	
23	○	○	オーストラリア大使館	藤井寺市立図書館
24	×	○	ペルー大使館	茨木市立中央図書館
25	○	○	アメリカ大阪・神戸総領事館 (訪) 、関西国際空港	
26	○	○	アメリカ大阪・神戸総領事館 (訪)	大阪市立旭図書館
27	×	○	アルゼンチン大使館、ブラジル大使館	守口市立図書館
28	×	○	ハンガリー大使館	枚方市立精華図書館
29	○	○	ルーマニア、ブルガリア、ハンガリー、ギリシャ各大使館	富田林市立金剛図書館
30	○	○	ボリビア大使館、ペルー大使館	岸和田市立図書館
31	×	○	サウジアラビア大使館	富田林市立図書館
32	○	○	サウジアラビア大使館	富田林市立図書館
33	○	○	アルゼンチン大使館、ブラジル大使館	門真市立図書館
34	○	○	フィジー大使館	
35	○	○	サウジアラビア大使館	大阪市立中央図書館
36	○	○	サウジアラビア大使館	堺市立新金岡図書館
37	×	○	オーストラリア大使館	
38	○	○	韓国大阪総領事館、韓国観光公社	堺市立豊美丘図書館
39	○	○	フィジー大使館	大阪府立夕陽丘図書館
40	×	○	韓国大使館	大阪市立住之江図書館

表3 生徒の動き

大阪教育大学附属天王寺中学校第48期生 1年C組 資料入手先等

	書店	旅行社	在日外国公館等 (訪)・訪問	図書館(附中図・附属天王寺中学校図書室)
1	x	○		
2	○	○		
3	○	○		大阪市立中央図書館、大阪市立此花図書館
4	○	○		奈良市立西部図書館、附中図
5	○	○	アメリカ大使館、カナダ大使館	枚方市立桃葉図書館、枚方市立牧野図書館
6	○	○		大阪府立夕陽丘図書館、堺市立中図書館
7	○	○		附中図
8	○	○		大阪市立都島図書館
9	○	○	オーストラリア総領事館	大阪府立夕陽丘図書館
10	○	○	アルゼンチン大使館、関空サービス係	大阪府立夕陽丘図書館
11	○	○		寝屋川市立中央図書館
12	○	○		岡山市立ふれあいセンター図書館
13	○	○		大阪市立中央図書館
14	○	○		大阪国際交流センター
15	○	○		東大阪市立図書館
16	x	○		堺市立泉ヶ丘図書館美木多分館
17	○	○		和泉市立図書館
18	○	○		大阪国際交流センター、東大阪市立図書館
19	○	○		
20	○	○		大阪市立大正図書館
21	○	○		東大阪市立図書館石切分室
22	x	x	大韓民国居留民団本部、韓国銀行公社	香芝市立文化センター図書室
23	○	○		大阪国際交流センター
24	x	○		奈良市立西部図書館
25	x	x		附中図
26	○	○		大阪府立夕陽丘図書館
27	○	○	ボーランド大使館、エールフランス航空	奈良市立西部図書館
28	x	○	韓国大阪領事館	奈良市立西部図書館
29	○	○		門真市立図書館
30	○	○		大阪市立中央図書館、大阪市立浪速図書館
31	○	○		堺市立中央図書館、堺市立泉ヶ丘図書館
32	x	○		大阪府立中之島図書館、附属天王寺中学校
33	○	○		附中図
34	○	○		大阪府立中之島図書館、大阪市立中央図書館
35	○	○	オーストラリア大阪総領事、オーストラリア政府銀行大阪支店	堺市立中央図書館
36	x	○		河内長野市立図書館
37	○	○		堺市立鳳図書館
38	x	○		
39	○	x	ボリビア大使館	
40	x	○		東大阪市立図書館花園分館

表4 生徒の動き

大阪教育大学附属天王寺中学校第4・8期生 1年D組 資料入手先等

	書店	旅行社	在日外国公館等 (訪) ・・訪問	図書館(附中図・附属天王寺中学校図書室)
1	○	○		市立深井図書館
2	○	○		
3	×	○		枚方市立疋田図書館
4	○	○		大阪市立西淀川図書館
5	○	○	韓国大阪領事館	
6	○	○	アルゼンチン大使館	大阪府立夕陽丘図書館
7	○	○	アラスカ州観光局	豊中市立千里図書館
8	○	○		美原町立図書館
9	○	○		
10	×	○	サウジアラビア大使館	
11	○	○		
12	×	×	アルゼンチン大使館	大阪府立夕陽丘図書館、松原市立図書館
13	×	×		枚方市立山田図書館
14	○	○	サウジアラビア大使館	枚方市立橋本図書館
15	×	○	韓国大使館、韓国観光公社	
16	×	○		
17	×	○		大阪府立夕陽丘図書館
18	○	○		高槻市立図書館、高槻市立天神山図書館
19	×	○		附中図
20	○	×		大阪市立北図書館
21	×	○		枚方市立菅原図書館
22	○	○	オーストラリア大阪総領事館	
23	○	×		大阪市立生野図書館
24	○	○		大阪府立中之島図書館、大阪市立福島図書館
25	○	○	アルゼンチン大使館	大阪府立夕陽丘図書館、泉佐野市立図書館
26	○	○		大阪市立中央図書館
27	○	○		大阪市立東住吉図書館
28	○	○		
29	×	×		大阪府立中之島図書館、府立夕陽丘図書館
30	○	○		
31	○	○		
32	○	○		附中図
33	○	○		
34	○	○		香芝市立二上文化センター図書室
35	○	○		附中図
36	○	○		大和郡山市立図書館、附中図
37	○	○	韓国総領事館(訪)	堺市立中央図書館
38	×	×		附中図
39	○	○	アラブ首長国連邦大使館、サウジアラビア大使館、イラン大使館	泉南市立図書館
40	○	○	ハンガリー大使館	大阪市立旭図書館

表1～4は、生徒が冬季休暇中のレポートを作成する際に行ったりサーチで、どのような動きをしたかをまとめたものである。図書館や書店の利用、在日外国公館へ資料を請求した者、直接領事館へ行った者などが見られる。特に、リサーチ期間が年末年始であったため、外国公館は閉館していたこともあり、資料が届くのにずいぶん時間がかかったり、コースによっては資料がなかなか手に入りにくいと言うこともあったようだ。また、資料を得るために東京へ電話したり、また東京へ直接来てもらわないとダメだと言われ、大阪は地方都市であるということにがっかりした者もいた。

レポートの提出状況は非常に良く、レポートの枚数も最高で35枚を越える者が出てきた。レポートの提出状況が良かったのは、レポート自体が今後の授業で使用するものであるために、必要な予習であるという意味あいがあったからではないかと思われる（図1）。

調べる為に獲得した資料としては、旅行ガイドブック的な書籍や一般書、百科事典等様々であるが、NHKの「はるばると世界旅」や外国から送られてきたビデオなどもあった。以下は、47期生（160人）がレポートを作成する際に参考にした文献である。なお、パンフレット類や旅行ガイドブックが、文献の記録カードには多数書かれていたが、ここでは除いてある。

参考文献リスト

- ・赤木 祥彦（1990）「沙漠の自然と生活」、地人書房、245p.
- ・アフサン、M. M.、岡崎 正孝訳（1989）「イスラム教のお祭」、同朋会出版、173p.
- ・阿部 雅雄（1980）「アラブ案内」、グラフ社、113p.
- ・井沢 紘生（1993）「アマゾン探検記」、どうぶつ社
- ・石井 義治（1991）「アラビアの風に吹かれて」、立風書房、160p.
- ・石川 栄吉（1987）「オセアニア世界の伝統と変貌」、山川出版社
- ・石田龍太郎（961）「世界地理 第4巻 アジア（2）・アフリカ」、古今書院、418p.
- ・一村 五男・鶴澤 真則（1991）「東南アジア」、実業之日本社
- ・稻葉 一郎（1990）「アマゾン発・熱帯林破壊報告」、朝日新聞社、86p.
- ・今田 達（1992）「北アフリカ・アラビア半島」、同朋舎出版、175p.
（1992）「世界再発見③ 南アメリカ」、同朋舎出版
（1992）「世界再発見⑦ 東南アジア・オセアニア」、同朋舎出版、173p.
- ・今村 廣（1991）「イスラムとオスマン帝国編」、偕成社
- ・今森 光彦（1991）「たくさんふしき」、福音館書店、
- ・岩淵 孝（1993）「地球を旅する地理の本 西アジア・アフリカ」、大月書店、211p.
- ・上村 英明（1992）「先住民族」、解放出版社
- ・NHK海外取材班（1977）「アラブの世界」、日本放送協会、250p.
- ・江波戸 哲夫、小若 順一（1991）「コメ自由化の落とし穴」、毎日新聞社、191p.
- ・大井 邦明・加茂 雄三（1992）「ラテンアメリカ」、朝日新聞社、251p.
- ・大原 美範（1974）「ブラジル経済の旅」、東洋経済新報社、223p.
- ・大山・細田・水野（1964）「南アメリカ—自然と人間—」、日本放送協会、270p.
- ・小倉 武一（1992）「世界人類の食料問題」、食料・農業政策研究センター、191p.
- ・小田 紘一郎（1991）「データブック 世界の米」、農山漁村文化協会、329p.

- ・甲斐 静馬（1971）「石油と砂漠の国々」、ボプラ社、222p.
- ・カーソン, J. (1988) 「砂漠の地理」、帝国書院、
- ・片倉 ともこ (1991) 「イスラームの日常世界」、岩波新書、227 p.
- ・片平 孝 (1985) 「科学アルバム 砂漠の世界」、あかね書房
- ・加藤 賢治他 (1986) 「新しい韓国を旅する本」、笠倉出版社、359p.
- ・姜 在彦 (1987) 「世界の大都市14 ソウル」、教育社、95p.
 (1992) 「世界都市物語 7 ソウル」、文藝春秋社、331p.
- ・神田 錬藏 (1963) 「アマゾン河」、中央公論社
- ・北出 俊昭 (1991) 「米政策と展開と食管法」、富民協会、254p.
- ・金 達寿 (1958) 「朝鮮 一民族・歴史・文化一」、岩波新書、218p.
- ・金 両基 (1993) 「韓国」、新潮社、388p.
- ・日下部 良武 (1992) 「オイ！ ブラジル」、毎日新聞社、213p.
- ・鯨岡 辰馬 (1990) 「コメ自由化はおやめなさい」、ネスコ、183p.
- ・久保田忠夫 (1979) 「オーストラリア その国土とひとびとのくらし」、ボプラ社、59 p.
- ・郡司 みさお (1991) 「ハルム・アラビアの夢」、大和出版、160p.
- ・ケイン, J. (1990) 「全アマゾン下り」、心交社、464p.
- ・小堀 嶽 (1973) 「砂漠 遺された乾燥の世界」、日本放送出版協会、
 (1986) 「さばくはいきている」、ボプラ社、
- ・小宮 清 (1985) 「台湾グラフィティー」、みずうみ書房、159p.
- ・小山 茂樹 (1992) 「誰にでもわかる中東」、時事通信社、352p.
- ・斎木 幸子 (1981) 「遊牧民族情」、文化出版局、138p.
- ・さいとう なんべい (1993) 「南太平洋の浮き島」、ミリオン書房、191p.
- ・笹野 武則 (1988) 「だいじょうぶ？ いまのコメ」、同時代社、213p.
- ・芝生 瑞和・文 桃井 和馬・写真 (1992) 「図説 アマゾン 大森林の破壊」、河出
 書房新社
- ・清水 夏江 (1985) 「台所から覗たアルジェリア」、西田書店、240p.
- ・清水 芳見 (1992) 「アラブ・ムスリムの日常生活」、講談社、
- ・下中 邦彦 (1978) 「世界の民族」、平凡社、143p.
- ・新保 满 (1980) 「オーストラリアの原住民」
- ・鈴木 昭 (1989) 「コメのすべて 生産から消費まで」、家の光協会
- ・鈴木 一郎 (1976) 「アマゾンの女たち」、インタナナル出版
 (1984) 「ブラジル その文化と社会」、教育社
- ・鈴木 直二 (1974) 「米 自由と統制の歴史」、日本経済新聞社、228p.
- ・鈴木 正明 (1992) 「目で見る世界の国々 9 オーストラリア」、国土社、67p.
- ・瀬木 耿太郎 (1988) 「石油を支配する者」、岩波書店、214p.
- ・関野 吉晴 (1991) 「南米大陸」、朝日新聞社
- ・高野 秀行 (1991) 「アマゾンの船旅」、ダイアモンド社
- ・高野 悠 (1968) 「ラテンアメリカ」、日本放送出版協会、313p.
- ・高森 圭介 (1987) 「世界の大都市15 シドニー」、教育社、79p.

- (1987) 「シンガポール」、教育社、87p.
- ・高山 純・甲斐山佳子(1993)「珊瑚礁の考古学」、大明堂、230p.
 - ・竹田 いさみ他(1988)「概説オーストラリア史」、有斐閣、372p.
 - ・多田 文男(1961)「新世界地理第5巻 インド・西亞」、朝倉書店、320p.
 - ・辰野嘉代子(1970)「南米二万一千キロ」、講談社、251p.
 - ・谷浦 孝雄訳(1980)「世界の地理教科書シリーズ24 韓国」、帝国書院、235p.
 - ・鶴巻 省吾(1979)「アメリカ西部」、日本交通公社出版事業局、207p.
 - ・ティムズ, R. (1987)「イスラム教の世界」、マクドナルド社
 - ・東大ラテンアメリカ継続調査隊(1971)「中南米の光と影」、実業之日本社、309p.
 - ・遠山 桀雄(1993)「砂漠を縁に」、岩波書店、196p.
 - ・戸田 郁子(1988)「ふだん着のソウル案内」、晶文社、221p.
 - ・鳥羽欽一郎(1976)「もう一つの韓国」、東洋経済新報社、247p.
 - ・中川・松下・渥野井(1985)「ラテンアメリカ現代史」、山川出版社、401p.
 - ・中野 不二男(1985)「アボリジニーの国」、中公新書、214p.
 - ・中屋 健(1964)「ラテンアメリカ史」、中公新書、231p.
 - ・西沢 利栄(1992)「アマゾン 生態と開発」、岩波書店、221p.
 - ・パウエル, A. (1983)「イスラム文明」、佑学社
 - ・橋本 善元(1989)「オーストラリア大自然の旅」、新潮社、119p.
 - ・波多野公介(1981)「ブラジル ベネズエラ」、朝日新聞社、74p.
 - ・花井 重次(1980)「アジア総論」、朝倉書店、312p.
 - ・畠村 貴子(1991)「出会いの南米大陸」、創和出版、220p.
 - ・浜田 桂子(1991)「アンデスまでとんでった」、講談社、95p.
 - ・浜田 拓朗(1991)「オーストラリア」、山と渓谷社、168p.
 - ・ハリス, P. D. (1979)「世界の教科書シリーズ オーストラリアーその國の人々」、帝国書院、310p.
 - ・ハリリファル, H. (1979)「世界の教科書シリーズ イラン」、帝国書院、168p.
 - ・樋口 健夫・容規子(1986)「住んでみたサウジアラビア」、サイマル出版会、247p.
 - ・姫宮 栄一(1964)「香港 その現状と案内」、中央公論社、198p.
 - ・広河 隆一(1987)「ヨルダン アリの歴史への旅」、偕成社
 - ・ファインスタイン, S. C., (1992)「オーストラリアー目で見る世界の国々」、国土社、67p.
- (1991) "ヨルダンー目で見る世界の国々"、国土社、
- ・深田 久弥・長沢和俊(1968)「シルクロードー過去と現在ー」、白水社、277p.
 - ・福井 英一郎(1960)「新世界地理」、朝倉書店、380p.
 - ・福浜 勝良(1985)「アフリカ感触旅行」、彩流社、253p.
 - ・藤川 隆男(1990)「オーストラリア歴史の旅」、朝日新聞社、265p.
 - ・藤木 高嶺(1983)「楽しく学ぶ民族学」、大阪書籍、
 - ・フラウデマンズ, C. (1981)「世界の民族と生活7」、ぎょうせい、151p.
 - ・ブラジル大使館(1982)「BRAZIL ブラジル」、ブラジル大使館、100p.
 - ・星野 知子(1990)「濁流に乗って 欲望の大河アマゾン」、テレビ朝日、231p.

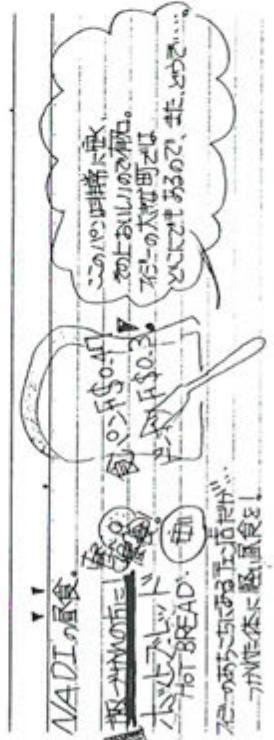
- ・堀内 勝（1988）「砂漠の文化」、教育社、226p.
- ・ホルダー、R.（1989）「先住民族シリーズ オーストラリアのアボリジニー」、リブリオ、45p.
- ・本多 勝一（1965）「アラビア遊牧民」、朝日新聞社、259p.
- ・前嶋 信次（1982）「アラビアに魅せられた人びと」、芙蓉書房、393p.
- ・前野 理咲（1988）「大自然の誘惑」、日本放送出版協会
- ・真木 太一（1993）「砂漠緑化の最前線」、新日本出版、214p.
- ・牧 英夫（1980）「世界地名の語源」、自由国民社
- ・松井 茂（1991）「イラク」、中公文庫
- ・松阪 実（1983）「アマゾン」、マリー企画
 （1984）「ナマズ捕りに学べ」
- ・マルシオ、D.（1978）「世界の教科書シリーズ ブラジル」、帝国書院、180p.
- ・三原 淳雄（1979）「誰も書かなかった香港」、サンケイ出版、229p.
- ・宮原 誠也（1988）「エリアガイド108 韓国の旅」、昭文社、
- ・村上 不二夫（1991）「ラクダの瘤にまたがって」、テレビ朝日、191p.
- ・森下 郁子（1988）「アマゾン川紀行」、日本放送出版
- ・谷沢 慎一郎（1981）「シンガポールの成功」、サイマル出版社、249p.
- ・柳本 昭信（1987）「オーストラリア 一動物の森スコットー」、サンシロー、40p.
- ・モス、M.（1990）「暑い土地の服」、リブリオ出版
- ・森本 哲郎（1987）「世界の旅 砂漠と華麗なる神秘」、小学館、220p.
- ・山内、大塚編（1993）「イスラームを学ぶ人のために」、世界思想社、340p.
- ・山田 達夫（1990）「日本の食糧・日本の農業」、シーアンドシー企画、261p.
- ・吉村 作治（1992）「日本人とアラブ人」、世界文化社
- ・ラックナー、H., 橋口聰訳（1981）「砂の王国サウジアラビア」、ダイアモンド社、
 266p.
- ・ルイス、B.（1967）「アラブの歴史」、みすず書房、194p.
- ・レオン、S. 染田 秀藤訳（1993）「激動期のアンデスを旅して」
- ・脇田 恵暢（1980）「東南アジア」、実業之日本社、71p.
- ・和田・梶村（1986）「韓国民衆 学園から職場から」、勁草書房、331p.

3. プランづくり

冬季休暇中に作成したレポートをもとに、まず各個人がそれぞれのコースについてのプランづくりを行った（図2、写真1）。レポートには、社名、ロゴ、旅の企画名、最も魅力あるポイント、旅が何を満たしてくれるのか、ターゲット、費用、旅行プラン、満足感、コースでの危険箇所が書き込まれている。図書館で借りた旅のガイドブック類や旅行社でもらってきたパンフレットが非常に役立ったらしい。

4. 企画会議1

企画会議1では、各自が作成した「企画書」に沿って、グループ内でプレゼンテーションを行った。各自の持ち時間は5分間で、その時間内に企画した旅行についての基本的な



コセラテンミリ COFFEE LUNCH 日
店内は会員がでいて、
休憩時間はもっこい。
野菜サンド! ハサゲー!
トマトサンド! ハサゲー!
チーズサンド! ハサゲー!



あひらぐるブランチ料理レポート。
なまこもコナツで味、こしあわ!
コロナド



スヌードル 豚肉と玉ねぎ
ニンジンとモロヘイヤの具
心臓が止まらない。タコの墨
魚卵によく似た、ほんのり甘い
ソースだ。さすがにカツナギだ。
セアフターカラント。

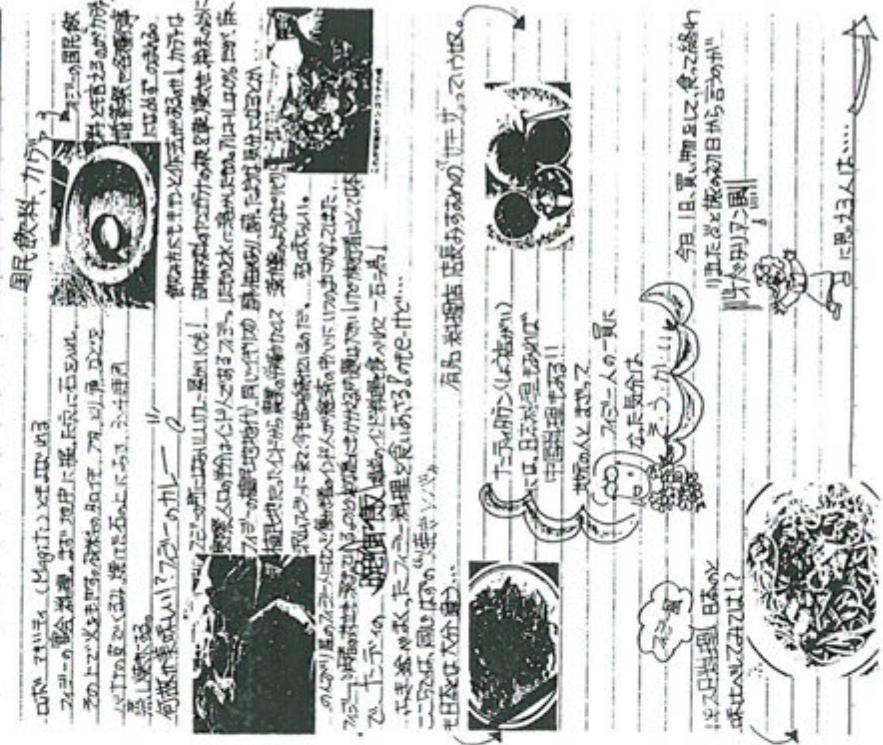


図1 レポートの例

47期生 中1 プレゼンテーション企画書

1年 A組 うみ なまえ 魚井 遼児	
社名	ロゴ
JFV	(F)
旅の企画名	フィジーまるかじり
この旅行の何が最も魅力的なのか。 のんびりとした大自然の中を、ゆっくりと時を過ごす。日頃、いそがしい人にぴったり。そして、その大自然を楽しみながら、自然を作りあした、のすらしい食べ物を食べられる。朝から晩まで、食べ物にあさないので、いつもお腹が減っている人も、のすらしい物を食べたいという人も、絶対に満足する。大自然の中で、おいしい食べ物を食べ、フィジー人の人の生活を感じれるという、すごい魅力!	
この旅は何を満たしてくれるのですか。 日頃のいそがしさに、のんびりとしたゆとりを満たしてくれる。そして、お腹を満たしてくれる。	
ターゲットは誰でしょう。 日頃、いそがしい人、若者 費用は 30万	
旅行プランは。	
1日目 指定: 病院、大蔵、中、東京、ナラズ、 <u>〈椎内島〉</u> (12)宿 (13)日 午前 カティ系便、ホテルのレストランでナラズビーチへ 夜 稚恋で日本ディナーを楽しむ 午後 ハリソンマリーナで真島、自由行動	
2日目 朝 ホテルで朝食 マリ島へ (船) マリ島・海・空	
3日目 マリ島で自由行動	
4日目 朝 朝食後、ナラズへ、ナラズガラス遊覧船でご当地カクハ 深夜 ロードサイクリング 午後 ニンジャサウス、スパラル、コースト、朝食後、カムバーハイウェイでジンガド方法 午前 朝食後、カムバーハイウェイ(バス)、カムバーハイウェイ、夜、カムバーハイウェイ、ホリエス自由行動	
5日目 朝 朝食後、カムバーハイウェイ(バス)、カムバーハイウェイ、夜、カムバーハイウェイ、ホリエス自由行動	
6日目 朝 朝食後、ストレート	
7日目 午後 マーケットでショッピング 夜、ココナタ <スパ・泊> 夕食 サンドン、カーラン、フレンチ博物館などの見学 などのディナーを楽しむ	
8日目 朝 朝食後、美路橋バスでララキイ、(約1時間) パナモ食べる 午後 美路橋、船でカヌイ、島へ(約1時間)、本郷を楽しむ <隣のホテル泊>	
9日目 朝 朝食後、ラオウギへ来る、五箇部バスでバヘ、夜 イトヨリ屋(ルーフで食べる) <バヘ 午後 美路橋、カヌイ、本郷、自由行動	
10日目 朝 朝食後、カヌイ、午後、ウルダナイト、(カトリカ) 12日目 朝 午後 第二弾! 自由行動、夜、のすら別屋を食べ尽くす。 <カトリカ> お世話休憩	
11日目 朝 朝食後、ランダイへ、夜、京町で日本料理 <ナラズ泊> 13日目 朝 途中 ビセイ村を見学、夜、ナラズ(朝)中橋(朝)中橋(朝)	
この旅で得られる満足感は? 自然の魅力と、珍しい食物を食べた後の不思議な気持方。そして、人々の笑顔で、幸せになる。食べ物を食べた満足感と、自然に会れる心の満足感を感じることができる。	

図2 プrezentation企画書

発表者	発表要旨	賛成意見	反対意見
本岡	リビア砂漠へ行く。 色々な砂漠をまわる。 12泊13日の旅行 49万円の費用	色々なオアシスを めぐるのは良いと想い ます。 日数的にもちょうど いいと思います。	オアシスの生活らし い体験がない。 エジプトの観光とい うのは、別にいらな いと思う。
岡本	モロッコ — サハラ砂漠へ行く。 フェス → エルフード (現地の人と屋食) 砂丘見学 (アラビア語) (モロッコ おわかれパーティー = フラン) 美川: オアシス、市でショッピング 6泊7日の旅行	細かいところまで 調べられていて良 いと思います。(通貨言語) 砂丘見学に行くのは よいと想います。 市を観学するのはいい。	ショッピングはいら ないと思う。だって オアシスの生活を体験 したいから。
加治	サハラ砂漠 — アルジェ 25万本のナツメヤシ 80万円 ラクダで5時間乗っていく。 エルウェドー はちの巣の部屋で泊 まる。 自給自足の生活を体験する。 アルビア語・アルジェリアディナー	はちの巣のようなどろ に泊るとかのことは、 みりょくできでいいと 思います。 自分で自足を体験する ところのは賛成です。	オアシスの生活が もう少しくれく分か たらいいと想います。 あとと長すぎるのでは (日数が) ラクダに5時間乗る うんていと思う。
堀井	エジプト バハレイ・カスルなどへ行く。 ダクラ・オアシスへ行く。 小アリを最高級のものにする と人田隊 66万円 7泊8日	温泉へ行くのはいい と想います。 狼と砂漠で食べるの はとてもみりょく的でい いと想います。	オアシスの生活を体験 するので、ホーラ・スタイル した方がいいのでは、 ホーラに泊まるのは オアシス体験。感じ がでない。

◎

図3 プrezentation記録用紙

プランをすべて述べることになる。5人ずつが机をつけて行うグループ内のプレゼンテーションのため、特別な資料を用意する必要はなく、事前に作成したレポートを適宜参照させながらプレゼンテーションは進行した。その他のメンバーは記録を取っている。記録する事柄は、発表の要旨、賛成意見、反対意見である（図3、写真2、3）。

全員のプレゼンテーションが終了した段階で、グループ内でどのような企画を作り上げるかの検討に入った。企画会議1の段階では、残り時間の関係で、会社名・ロゴマークの決定で終わっているところが多かった。

5. 企画会議2・3

企画会議2と3は、企画会議1でのそれぞれのプレゼンテーションから有効なところをピックアップしてグループの旅行コースを作り上げていく時間である。必ずしも1人のプランをそのまま採用すると言うことではなく、それぞれの良いところを取り上げていくのである（写真4）。

話し合いの最中は、机間指導を行い、適宜助言を与えた。

6. プrezentation準備作業

実際の準備を4時間確保した。ただし、資料の収集などがこの段階でも行われていたので、授業は東南アジア地域の学習と並行して行い、ほぼ週1回のペースで準備の時間を取った（写真5）。

準備に入るにあたって、ICU高校での渡部氏の実践例およびプレゼンテーションのルールを生徒に示した。ルールには、準備物も含めて記載しておいた。準備時間を用いて生徒たちは、パンフレット（図4）、ロゴマーク（写真6）、ポスター（図5、写真7）、およびプレゼンテーションの原稿を作成した。

中1 47期生 プrezentation 最終準備の手引き

1994. 2. 10.

① まず、東京のICU高校の高3の政経演習のプレゼンテーションの例を示します。テーマは、「野菜価格高騰」

渡部 淳（1993）討論発表を楽しもう ディベート入門 ポプラ社 による

……天候不順のために野菜の値段がとても高くなった1991年には「野菜価格高騰」という発表の中で「白菜婦人」というキャラクターも生みだされている。これは、価格があまりに高くなつたために、野菜が食べ物ではなくなつたという設定から生まれたものである。彼女は洋服に白菜のはっぱをぬいつけ、筒切りにしたキュウリをネックレスにして、買い物かごをもつて教室にあらわれた。このスキットは次のように始まる。

やおや（黒板の「やおや」の文字を「ジュエリー・ベジ」に書きかえる。店頭には野菜アクセサリー）

主婦「あら、やおやさん、こんにちは。お店の模様がえかしら」
やおや「いやいや奥さん、おまちしておりました。（小声で）実は、いいキュウリが
はいったんですよ。」

主婦「（大声で）キ、キ、キュウリですって！どこ、どこなの、そのキュウリ
は！」

やおや「シーッ！静かに！ほかの方が聞きつけてしましますよ」

主婦「（落ち着いて）そ、そうね。それで、このキュウリのお値段は」
やおや「そう、それなんですよ。いやあご存知のとおりのこの品薄ですからねえ。
値段をつけるのも難しいんですけどねえ」

主婦「いいからおっしゃってよ」
やおや「お客様だから、特別に……（指を五本差し出す）これでいいや！」

主婦「あら、五百円！お安いのね！（さいふから五百円を取り出そうとする）」
やおや「（きっぱりと）五千円です」

主婦「まあ！五、五、五千円ねえ……（さいふをのぞきこむ）」
やおや「いやあ、このキュウリ、奥さんによくお似合いだなあ。いいなあ、美しいな
あ」

主婦「そお、そうかしら。やっぱり、そうよねえ、そうかもしれない」
やおや「五千円になります」

主婦「はい。（五千円を手渡して、キュウリを身につける）」
やおや「毎度ありい！」

農水省「いかん、いかん！こんなめちゃくちゃな状態が野放しにされているなんてけ
しからん！これはわれわれ農林水産省の威信にも関わる問題だ。早急に対策をね
らねば」

主婦「（ハッと我にかえって、キュウリをかくし）あら、たのもしいことおっしゃ
るのね。それで具体的にはどんな方法でこの野菜の値段を下げるおつもり？」
このあと農水省の役人が野菜の緊急輸入対策を説明したり、卸売り業界のベテラン
であるセリの「セッちゃん」が登場して野菜の流通のしくみを論じたり………

- ② 旅行コースにマッチしたポスターを作ろう。
- ③ 旅行コースにマッチしたパンフレットを作ろう。

中1 47期生 プレゼンテーション ルール

- ① プレゼンテーションは、クラスごとに行い、最終的には、授業を参観にこられた
先生と吉水先生、そしてみなさんがジャッジとなり、1位を決定します。つまり、
競合です。
- ② プレゼンテーションの持ち時間は、10分間です。ただし、その時間のうち、実際
のプレゼンテーションは7分間。残りの3分間は、質疑応答の時間です。自分のグ
ループが1位になるために、ほかのグループのプレゼンテーションには積極的に

午前 午後

/日目	1125 大阪発 (JAL) → 横浜 → 美術館 → パーク
2日目	340 ケニア・首都内観 → ケレトドリアリーフ散策 → 15:45-16:45 ホタル
3日目	1040 ケニア発 (EW) → 13:30 ケニア ホカド、国立公園 → カジカ、クロウド ホタル、B
4日目	120 9:45-11:00 アボリジニの石窟・体験 アボリジニと一緒に オルカ岩石 ラクラ トトロ
(早朝)	13:0 シドニー 自由行動 ムホリティ・イン・メンジン ホタル
5日目	17-スコット サンライズスクー 13:0 アジアアフタヌ (CAW)
6日目	シドニーにて自由行動 → ホリディ・イン・メンジン ホタル
7日目	125 シドニー発 (SW) → 13:35 大阪着 → 11:30 開散
料金	往復一人様 30,000円

図4 生徒の作成したパンフレットの例①



アフリカの文化や歴史を学ぶ旅
アフリカの文化や歴史を学ぶ旅
アフリカの文化や歴史を学ぶ旅



アフリカの文化や歴史を学ぶ旅



アフリカの文化や歴史を学ぶ旅



アフリカの文化や歴史を学ぶ旅



アフリカの文化や歴史を学ぶ旅

▲アースロック

アースロックは47.32 km²の
所にあるマウンテンオブ・アースロック
とまで「たくさんの丘」といわれる
この地がアボリジニの聖地だと言え
ます。



アフリカの文化や歴史を学ぶ旅

料金 往復一人様 30,000円

▲アースロック

アースロックは47.32 km²の
所にあるマウンテンオブ・アースロック
とまで「たくさんの丘」といわれる
この地がアボリジニの聖地だと言え
ます。

料金 往復一人様 30,000円

行動予定表

出発日	行動予定
1日目	日本から台北へ（飛行機） 台北駅 台北新公園 中正記念堂 龍山寺 台北の新鮮、いつもみたいひな人出の西門町
2日目	高雄へ 4時間 織道に乗って出発！
3日目	見晴らしのいい寿山公園、タカヘルを食う砂浜西子湾、有名な龍の口に入ったまだ蓮池潭など高興めぐり。
4日目	シンガポールへ（飛行機） 国立博物館 キャナル・タウン ラサカニ・プレース シンガポールの郊外へ（バスで） 人気のマーチ・ハウ・バー・ピラ 帽子の野鳥園 ジョロシ・ハーツ
5日目	長距離バスに乗りマレーシアへ
6日目	林地公地帯（動物園、植物園）旧モスクワチャイ・ラン マレーシアから香港へ（飛行機）
7日目	九龍公園 ブラーフィン・ハイ・カーデン ビクトリア、ビック 香港から韓国、釜山へ（飛行機）
8日目	李王廟、遺跡 豊臣秀吉作の倭城 リトル 徳寿宮、国立中央博物館などをめぐる
9日目	韓国から日本へ

泊 9日で たたかわく

台湾

台湾は比較的治安が良く、日本と習慣もよくにいろいろ歴史、政治に関する発言をする時は、TPOをよく考えこむ。（ハイレベルががないので注意して下さい）

通貨 —— 7元 ≈ 3.8 円 (93')

時差 —— 7時間

面積 —— 3万6190 km²

公用語は北京語、特に一般は台湾語を母語。

* こんなには、体好 (ニハイオ) いから、歩々鐵 (トウオシヤオナニ) かけてくたさい。
・歩點 (ツヤオスワニ) デイエニ)

気候 —— 全体的に暖かくすこしあげすい
しかし、夏の暑さはかなり厳しい

シンガポール

シンガポールの規則はとても厳しい
MRT駅構内・車内への飲食物の持ち込み禁止
国内でのチケットがいい製造販売業者などである
規則が守れない者には、罰金や譲せらる。

観客とはいつも自觉ある行動をするべし！

通貨 言語
言語 漢字

またに英語、（中国語、マレーシア）
日本の平均は30℃くらい
けれど冷房やまいている所もある

図4 生徒の作成したパンフレットの例②

日本米屋の細川さんひとりごと。

県出身の、昔
か何だか知
小沢さんだ
さんだって
たちが、か
だけで、こ
の決議の時
まってる真夜中
すか! 本当に
は国民だけで
さん。あちこち
ブレンド米でし
なんていって。
かにあるよ!!
は商売あがつ
とかしてください
んだから。

日本米だ カルフォルニア米だっていいながら、結局どっち
だっていいんだよ。うちはとにかく米がなくて困っている
んだから。首相のホソカワさんは一休何考えて
るんだネ!? 熊本
のお殿様の家系だ
らないけれど、
羽田さんだ 武村
まわりの大臣さん
ヤガヤ騒いでる
の前のコメ自由化
も、うちらが寝しづ
だったじゃないで
迷惑しているの
すよ、ホソカワ
で「米はない!
かやむをえない」
絶対コメはどこ
でないと、うち
たりだよ。なん
いよ、政治家な



こんな人にオススメなツアードです。

名称：米の輸入ルートを探る旅
NAME

行路：大阪 $\xleftarrow{\text{飛行機}}$ サンフランシスコ $\xrightarrow{\text{バス}}$ フレスノ
COURSE $\xleftarrow{\text{バス}}$ ホームステイ

日数：240泊 (\pm 少変動あり)
DAYS

企画、主催：株式会社 WRAIR

PROJECT SPONSOR ※ このポスターは 100% 模造紙を利用しています。

図5 生徒が作成したポスターの例

質問をあびせて、基本的なコンセプトや説明の不十分なところについて、どんどんついていってください。

- ③ プレゼンテーションの始まりには、会社のロゴマークと旅行する地域のイメージ画像をテレビ画面に映し出す、ということを行います。
- ④ 発表形式は、スキットを含むかたちでもかまいません。衣装等は、自由です。アッと驚く演出も大歓迎です。
- ⑤ 発表は、プレゼンテーションとポスター発表の二通りで行います。
- ⑥ ポスター発表は、見本市形式で行います。見本市に出品するものは、各自のレポートパンフレットを最低条件とします。その他、出品するものがあればどんどん出品してもらい、自分達のブースを充実させてください。（即売はしないこと。）

ジャッジの基準

- * 話し方に関するこ（ユーモア、声の大きさ、わかりやすさなど）
- * 調べた内容に関するこ（資料、コースの充実など）

最終的な提出物

個人

- * プレゼンテーション・リサーチペーパー（冬休みの課題）
- * プレゼンテーション企画書
- * プレゼンテーション記録用紙
- * 参考文献記録用紙

グループ（会社）

- * パンフレット原稿
- * ポスター
- * プレゼンテーション原稿（シナリオ）（音楽やビデオなどを使ったときには、その曲目等のリスト）
- * ロゴマーク（B5版製図用紙にプレゼンテーション当日までに清書。カラー可）
- * プレゼンテーションは、すべてビデオにおさめます。あとで貸出のサービスも考えています。

III. 生徒が行ったプレゼンテーションの実例

4クラスで32グループがプレゼンテーションを行った（写真8～12）。実例を掲載する。以下の原稿は、ビデオに録画したものから原稿化したものである。

グループ名 コアラカンパニー（附属天王寺中学校47期生1年A組）

旅行コース オーストラリア アボリジニーの生活体験ツアー

発表形式 ニュース形式 （ニュースの中に旅行コースが含まれており、この旅

の持つ魅力やアボリジニーについての知識も解説している。)

- ニュースの話題
- アボリジニーについて
 - オーストラリアの気候
 - 白豪主義
 - 旅行について

〈時報 音楽 NHK基礎英語のオープニング曲〉

アナウンサー 7時になりました。コアラカンパニー、略してKCニュースを始めます。まず今週の特集からです。今週は先住民アボリジニーについてです。まず、アボリジニーとはいっていいどういうものなのでしょうか。アボリジニーについて調べて10年アボリジニー教育大学教育学部名誉教授であり、コアラカンパニー社社長でもある仲田博士に聞いてみましょう。

博士 こんなにちは。

アナウンサー まず、アボリジニーとはいっていいどういうものかを教えて頂きたいのですが。

博士 アボリジニーと聞いて、みなさんは一体どのようなことを思い浮かべるでしょうか。アボリジニーとはオーストラリアの先住民と言われております。だが、オーストラリア先住民は、インド、マライ半島、セイロン島、さらにジャワ島を経て犬の一種「ディンゴ」を連れて、この大陸に相次いで達したのです。上陸した地点はヨーク岬で、ここから大陸各地に広がり、初期の上陸者がだんだん奥に入っていたと言われています。

〈アナウンサーは適当に相づちを打つ〉

アナウンサー なるほど。移動経路についてはわかりました。次に、彼らの生活について教えて頂きたいのですが。

博士 彼らは農園経営も移動飼育もほとんどせず、まったく自然に依存した半遊牧狩猟民族及び食物採集民族であり、各家庭が一定の土地に対して優先権、時には独占権を持っております。男女の分業は確立しており、男は動物性食物、女は、植物性食物を入手します。

アナウンサー では、それについて詳しく調べて頂くためにオーストラリアのアボリジニー保護区にリポートに行っておりますリポーターに聞いてみることにしましょう。現地の吉田さん。

リポーター はーい。それではアボリジニーの狩猟生活について、コアラカンパニー社の旅に来ておられるオーストラリア人に聞いてみたいと思います。

Please!!

オージー Well They eat some kangaroos and some wallabys. They catch them with a spear, and roast, and eat. I surprised!

リポーター なるほど。彼らはカンガルーとワラビーを食べる。彼らはやりでつかまして丸焼きにして食べる、ということだそうですね。

- アナウンサー ワラビーとは何でしょうか。
- リポーター アボリジニーたちはカンガルーの小さなものを言うようです。
- アナウンサー なるほど、では続けてください。
- リポーター はい。ではですねえ。今度は日本人に聞いてみたいと思います。どうぞ。
- 日本人 アボリジニーたちはおもしろいですよ。彼らはダチョウに似た大きな鳥を枝でおおった落とし穴に餌でおびきよせて捕らえるんですよ。僕もね、初めて見たときには『なんだ、単純だな』と思ったんですけどね。落とし穴の底には鋭いやりが上向きに据え付けてあると知ってびっくりしました。ええ。
- リポーター ほお。なかなかアボリジニーたちも「やり」ますねえ。そういうことをした。
- アナウンサー ありがとうございました。次に民族問題についてのコーナーです。今日はアボリジニーについて取り上げてみました。
- 博士 私はオーストラリア住民とアボリジニーとの差別について少々お話ししたいと思います。昔は、オーストラリアで暮らしていた人類はアボリジニーだけでした。ところが、イギリス・アイルランド系白人が植民地として利用し始めたのです。そして、彼らだけのものにしようとした訳です。それをわれわれは白豪主義と呼んでいます。そうすることによって民族問題が起こるようになりました。先住民、アボリジニーへの迫害です。白人はスポーツとして「アボリジニー狩り」などをしました。そして、約30万人いたアボリジニーが約18万人と半分に減ってしまったのです。まあ、これはほんの一例ですが。
- アナウンサー 恐ろしい話ですね。私には信じられない話ですよ。で、話はかわりますが、そのようなことを知ってもらうためにアボリジニーの神妙を探る旅を企画されたのでしょうか？
- 博士 まあ、そんなところです。わが社の旅はただ楽しんでもらうだけではなく、真実を知ってもらうと言うということも含まれております。
- アナウンサー なるほど、ありがとうございました。さて、次は「旅行トピック」の時間です。今日は、時間の都合により、コアラカンパニー社主催の「アボリジニーの神妙を探る旅」のみにさせていただきます。リポーターの竹谷さん。
- リポーター② はーい。こちらは株式会社コアラカンパニー社の社内です。さて、そのことについて聞くために社員の方を探していますが。<みつけたように>あっ、いましたね。では聞いてみます。<社員に>あのー、新しい企画の「アボリジニーの神妙を探る旅」についてお聞きしたいのですが。
- 社員 ええとですね。だいたいのことはパンフレットに書いてあるんですが、まあ、主なことを説明しますと、何日間も暮らすことが出来て30万円という激安。そして、向こうに着きましたら、その直後から自由行動となるんですよ。
- リポーター② ヘー、で、食事については？

- 社員 食事はとても素朴な感じがするかもしれませんね。基本的には各自で補給するということです。でも、とれなかった場合はこちらの方で用意したカンガルーたちの肉やその他の果物を売りますよ。
- リポーター② ふつうの食事などについては。
- 社員 もし『食べられない』時のために、普通食も用意しております。
- リポーター② 向こうでの盗難、その他の事件などについては？
- 社員 基本的には一切責任を負わないということになっておりますが、どうしても困るような場合のみ、お金などを貸したりする事が出来ますのでご安心ください。
- アナウンサー ありがとうございました。では、最後はおなじみの「国情報のコーナー」です。今日は、オーストラリアの気候についてです。リポーターの寺岡さん。
- リポーター③ はーい。オーストラリアはですね、湖といったものが非常に少ないため、海からの距離によってほとんど気候が決まってしまうのです。さらに、南回帰線が大陸のほぼ中央を通るので、乾燥気候が全面積の57%ほどを占め世界第1位の乾燥大陸とされています。
- アナウンサー そうですか。では、気温についてはどうですか。
- リポーター③ 年平均気温は北部では25°C以上。南東部では15~19°Cです。南東部でも氷点下に達することは希ですね。
- アナウンサー ありがとうございました。そろそろお別れの時間がまいりました。KCニュース、このへんで終わらせていただきます。また、来週お会いしましょう。さようなら。
- (お申し込みは、フリーダイヤル0120-1000-103、フリーダイヤルせん一じゅうみんまで。)

- グループ名 G A L-S U Z U Y A (附属天王寺中学校47期生1年A組)
- 旅行コース メキシコ(7泊)～ブラジル(4泊)～韓国(2泊)～インド(4泊)
～香港(3泊)～シンガポール(2泊)～タイ
N I E Sをめぐる旅
- 発表形式 子ども向け番組風(N I E Sおよびその周辺国をめぐる旅であるが、N H Kの子ども向け番組風にアレンジしながらも、日本人男性の東南アジアなどへのツアーを鋭く風刺している。つまり、旅のターゲットは中年男性。)

ピッピッピッポーン

<音楽 NHKのドレミファドーなつのオープニング>

- おねえさん よい子のみんな、こんにちは。あれー、声が小さいなあ。じゃーもう一度。せーの。こんにちはー。うん、みんな元気だねー。今日も「よい子

のギャル」の時間がやってきましたよ。じゃあ、さっそく「けいたくんと
りえちゃん」を呼んでみよー。「けいたくん、りえちゃん」あれ、声
が小さいなあ。じゃ、もう一回「けいたくん、りえちゃん」

りえ・けいた おねえさん、こんにちわー。みんなも、こんにちわー。ねえ、おねえさ
ん、今日何のおはなし？

おねえさん 今日は、よい子のみんなをNIESの旅へ誘いにきたんだよ。

けいた ねえ、NIESって何？どこ？

りえ それはね、新興工業経済地域のことよ。

おねえさん りえちゃん、よく知ってるわねえ。じゃあ、ツアーについて説明してみ
よっか。

けいた はやく!! はやく!!

おねえさん まず最初にメキシコに行くんだよ。

りえ・けいた メキシコ!? Oh、アミーゴ!!

おねえさん あら、アミーゴって「親友」って意味なのよね。ところで、このネック
レスいくらに見える？

けいた 1億8623万9357円

りえ <おねえさん、りえちゃん スリッパでけいたくんの頭をたたく>
…………んー。700円かな？

おえさん ブーッ、二人ともはずれ、実は100円よ。

りえ そっか、メキシコの物価は日本に比べてずいぶん安いんだね。

おねえさん そう。さらに値切ったら、もっと安くなるわよ。

けいた わーい。そこは、あったかいの？

おねえさん ええ、夏くらいにね。

けいた んー。水着ギャルかー。

けいた・りえ <おねえさん、りえちゃん けいたくんの頭をスリッパでたたく>
おいしいタコスと買い物は…………やっぱりメキシコだね！

おねえさん <音楽 「さあ、がんばれ まだまだたのしいドーナツ」>

おねえさん 次は、ブラジルよ。な、なーんとブラジルの面積は世界で5位！

けいた へー、広いなー。暖かいの？

りえ 热帯気候だから暖かいでしょう？

けいた へー、ハイレグギャルか…………。

おねえさん <おねえさん、りえちゃん けいたくんの頭をスリッパでたたく>

おねえさん ここでは鉄山と製鉄所を見学するのよ。

りえ イタビラ鉄山とウジミナス製鉄所よね。

けいた 国会議事堂にも行くんだ。

おねえさん ここでは、けっこう真面目にお勉強の旅をするのよ。すべてがすごいも
のばかり！

りえ そうそう、ミネラルウォーターを買うようにね。

<音楽 タカタカ タ タ プップップー>

おねえさん さあ、次はどこかな？
りえ うーんと、韓国!!
おねえさん ピンポーン。 お次は、韓国よ。
けいた 水着のお姉さんはいるの？
<おねえさん、りえちゃん・けいたくんの頭をスリッパでたたく>
りえ 韓国といえば、ロッテワールドに行かなきゃね。
おねえさん そうそうロッテワールドには、遊園地でしょ、ホテル、ショッピングセンターでしょ、デパートもあるし、病院まであるのよ。行かなくっちゃね。
けいた ところで僕はキムチが好きなんだ。
りえ あっ、たしかソウルにキムチ博物館っていうのもあるのよ。
おねえさん おいしい料理もいっぱい！行かなきゃ、そんそん。
りえ うーん、楽しみだなあ。
おねえさん 地下鉄とバス。これで市内はバッタリよ！
<音楽 チャチャチャチャチャ タンタタン ルラルララリ ロ
ロラリン！>
おねえさん おつぎは、インドよ。インドなんて、そういうばめったに行かないところね。
りえ 何かあるの。
けいた インドに行ったら、ガンガーで沐浴しなくっちゃ。
おねえさん 珍しいこと言うわね。
りえ ガンガーっていうのは、ガンジス川のことよねえ。おもしろそう。
おねえさん それと、タージマハール！あれも見なくっちゃねえ。あれはお墓なのよ。
りえ そのほかにもたくさんヒンドゥー寺院があるのよね。
けいた ごはんもおいしいと思うし。
りえ あっ、インドにはトイレがないのよー！どうしよう、どうしよう。
けいた そういうことは現地の人を見習うのさ。 <ちょっときめる>
おねえさん やけにまじめねえ。
けいた 移動にはリクシャーという三輪のタクシーみたいなやつが便利だよ。
<音楽 にこにこぶんの始まり>
おねえさん さあ、ホンコンへ行ってみよーっ。
りえ そういうえば、おいしい飲茶が食べたーい。
けいた ハイレグギャルかー。
おねえさん おねえさんはやっぱりブランド品ね。
けいた ふーん。みんなのたー坊とかケロッピーとか？
<スリッパが炸裂!!>
りえ シャネルとかアルマーニとか。
おねえさん 昼は買い物、そして、夜は100万ドルの夜景を楽しみたいよねー。
けいた でもねー。花売り娘に気をつけてね。足にしがみつかれちゃう。
りえ バカねー。もっと足が長くなけりゃ、しがみつけないじゃない。
おねえさん じゃ、次 行ってみよーっ!!

<音楽 わーいわーい にこにこぶん>

おねえさん 東南アジアへ Let's go !
りえ まず最初はマレーシアの首都クアラルンプルね。
けいた この地方の民族衣装ってセクシー ?

<スリッパ>

おねえさん バンコクでは水上マーケットがいいわね。
けいた 忍法 水とんの術 ?

<スリッパ>

りえ 王宮へも行きたいな。
おねえさん そうね。もちろん行くわよ。りえちゃんはお姫様ね。けいたくんは、… …お茶くみ係ぐらいかしら。

りえ やっぱり東南アジアの魅力は「途上国の発展ね。」
けいた よし、明日も元気に生きよう。
おねえさん けいたくんは、一生死ねそうにもないですね。くれぐれも個人行動と生水だけは飲まないでね。

<音楽 ひとりでできるもん>

りえ この旅って、すごいね。
けいた いろんな国に行けるし、とても安いし。料理もおいしいし。しかも、水着が当たる。うひ !

<スリッパ>

おねえさん けいたくんの言うとおり。水着が当たっちゃうの。

<けいた おどる><おねえさん、りえちゃん スリッパ>

おねえさん そして、そして 9万8千円
りえ ベリー ベリー スペシャル ワンダフル フル フル ウルトラマン タロウの父 ゴージャス ビューティフル デリシャス グッドグッドな旅ね。早く行ってみたいね みんな ?
ほら、みんなも行きたいって言ってるよ。

おねえさん あっ、もうお別れの時間ね。じゃあ またあしたー。
みんな バイバーイ !

<音楽 エンディング>

IV. おわりに

中学校社会科の地理的分野の一単元として「多様な世界」をプレゼンテーションという授業形態で取り扱った。本単元は、本来なら中1の1学期に設定されるべきところを、ある程度本格的なリサーチを要求したため3学期に設定した。

生徒たちは、単なる知識理解ではなく「旅行コースを自ら企画して、しかもそれを発表し、選んでもらう」という行為を通じて、資料の活用能力を高め、地理的事象への興味・関心を深めたと思う。

最後に、生徒の感想文から生徒の味わった達成感を読みとっておきたい。
・とても楽しくレポートを書いていたのだが、私の母が「へんな宿題やなあ」と部屋に入っ

てきては言うもので、耳にタコができてしまった。レポートを作成する段階で、すべて地名などが頭に入ってしまい、すごいものだと自分でも思った。それに、こんなに書けるものなのだなあと自分でもびっくりしてしまった。

・アメリカ総領事館へ行った。自動ドアが開いて警備員のおじさんに「鞄の中を見せろ」と言われて。お弁当の中とかリュックの中などいろいろ見られて、「よおー勉強してるねー。」と言われて図書室を教えてもらった。本が日本語版が1冊しかなく、英語ばかりで読めないし適当にコピーした。監視カメラなどがあり恐かった。領事館の厳重さに驚いた。考えたツアーは今でも行ったらどうなるかはわからないと思っている。しかし、イヌイットの生活体験では他に類を見ないほどおもしろくなつたはずだ。

謝辞

本実践は、本校教諭中西一彦先生の「読書の旅」実践（中西1994）から多くの影響を受けている。中西先生には有益な助言を賜った。記して謝意を表します。

参考文献

- 佐久間 順子（1994）『シリーズ・教室ディベート2 小学生でもできる教室ディベート』学事出版、123p.
- 中西 一彦（1994）「生き生きとした国語教室を求めて（9） 読書表現活動の試み」、大阪教育大学附属天王寺中高等学校研究集録36、pp.1-29.
- 松本 道弘（1990）『やさしいディベート入門』 中経出版、238p.
- 吉水 裕也（1994）「ディベート実践への布石をどう打つか」、教育科学社会科教育（明治図書）388、pp.67-70.
(1995) 「中学2年のディベートならこの論題だ！」、教育科学社会科教育（明治図書）402、pp.65-68.
- 渡部 淳（1993）『討論や発表をたのしもう ディベート入門』 ポプラ社



写真1 企画づくり



写真2 グループ内プレゼン（企画会議1）



写真3 グループ内プレゼン（企画会議1）



写真4 企画会議2



写真5 プrezen準備

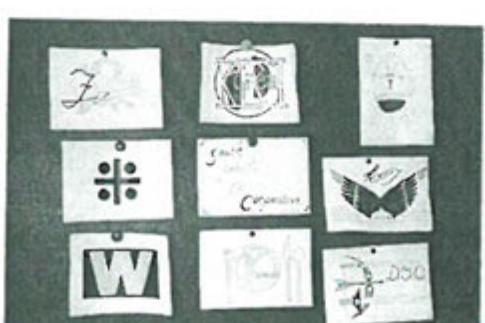


写真6 ロゴマーク



写真7
ポスターの例



写真8 発表風景



写真9 発表風景（小道具も豊富）



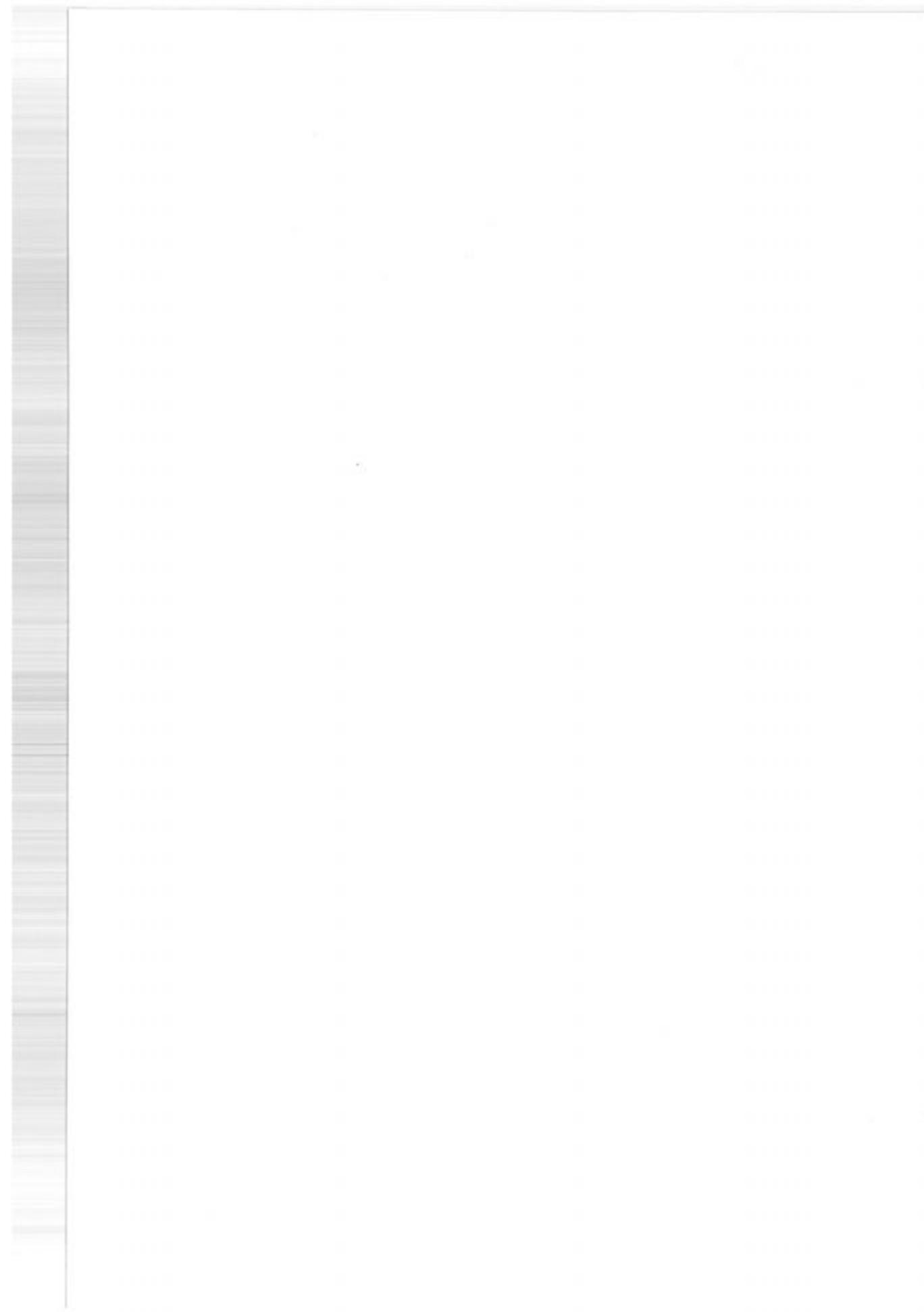
写真10 発表風景（メイクも充実）



写真11
発表風景
(チャドル
姿で登場)



写真12
衣装にも
力が入る
(チマ・チョ
ゴリを着
た男子生
徒)



数学的モデリングについての共同研究（第2報）

——中高等学校における実践事例をもとに——

やなぎもと あきら ふじた ゆきひさ よしむら のばる いわせ けんいち
柳本 哲・藤田幸久・吉村 昇・岩瀬謙一

概要：数学的モデリングを中高等学校で扱うことは、現実の問題場面での生徒の解決能力を養うとともに、最近の生徒たちの数学嫌いを克服する1つの手だてになるものと考えられる。ここでは、地震の震源地（中1、中3）、線香の燃える速さ（中2）、原材料の在庫調整（中3）、道路の輸送容量（高1）を題材として行った数学的モデリングの実践をもとに、それらに関ったいくつかの話題について報告する。

1. 問題の所在と研究の目的

1. 問題の所在

近年、高校生の理科系離れが話題になることが多い。数学についても例外ではない。前報^[1]でも述べたが、時代の変化にともない1つのテキストをじっくり読んで考えたり、時間をかけて答にたどりつくよりも、早く結果を求める生徒が増え、1つの事柄をじっくり考えることが要求されるような数学は敬遠されるようになった、というのが1つの理由だろう。また別の理由としては、現在の学校数学の内容・扱われ方に問題があるとも言える。というのはこれまでの中高等学校での数学のカリキュラムは、より高度な数学（主として微積分学）を習得するための準備に重きが置かれており、また実際の授業では受験対策のための問題解きがあまり意味を考えずに多く取り扱われている。そのために生徒たちは、今やっていることのビジョンを持ちにくくなっていたと思われる。とりわけ、問題を解くための方法を教え込まれ、覚えるだけという生徒にとっては、数学が現実離れした空虚なものと思われても仕方あるまい。

このような状況の下、学習指導要領も改訂された。中学校では課題学習が持ち込まれ、知識・技能に偏らない数学教育への一步がふみ出された。高等学校では、知識や技能をいかに多く教え込むかではなく、どういう考え方の下にどのような取り組み方をすればよいかを教えることが重要^[2]ということをふまえて、大幅な内容の組み替えと、選択制が導入されたが、今までの教科書の順序を入れ替えただけで指導法に変化がなければ上記問題点は解決されないように思われる。

一方、国際的な動向に目を向けると1980年に米国の数学教育団体であるNCTMから発表された‘An Agenda for Action’において問題解決が学校数学の焦点となるべきであるという勧告がなされ^[3]、単なる文章題ではない現実性のある数学を取り上げようとする動きが活発化している。1992年のICME-7（ケベック）のワーキンググループWG14では「教室における数学的モデリング」がテーマとなり、モデリングや応用についての議論がなされた。

数学的モデリングを授業に取り入れることで期待される成果としては、歴史的に次のことが言わされている⁽⁴⁾。

成果① 生徒が主体的に問題を解決する態度・能力を高めることができる。

成果② モデリングの過程を通じ、数学が空虚なものではなく、現実の場面に対しても有効性があることを感じさせられる。

成果③ 生徒の多様性に応じることができる。

これらの成果は上に述べた生徒の数学離れに対する一つのブレーキにもなることが期待される。ところが、日本の中高等学校段階において数学的モデリングの指導を取り入れるには解決しなければならない問題が多く残っている。中高等学校の現場において数学的モデリングの概念が確立していないこともその1つであるが、最大の障壁は、

障壁① 「モデリングの教材として何を選べばよいのか」

障壁② 「それを授業でいつ、どのように展開していくのか」

障壁③ 「生徒の活動をどう評価するのか」

ということがわかっていないことではないだろうか。

2. 研究の目的

この研究の最終的な目標は、数学的モデリングを取り入れることで上に述べた成果が本当に得られるのかを検証し、また、障壁①～③に対する答えの1つを見つけることにある。

昨年度は、「我々としてはモデリングをどう捉えるのか」について議論し、各種文献からモデリングの教材を集めて指導の可能性を検討した。今年度は障壁①に関連して現行教科書の中に応用可能な教材がないかを探した。さらに、障壁②、③に対する手がかりを求めて、また、「期待される成果」があるかを検証するための1つのたたき台として、昨年度検討した教材のいくつかを実際に授業の中で扱ってみた。

II. 研究の結果

1. 数学的モデリングまでの経緯

最近の国際会議等での1つの注目点となってきている数学的モデリングについて、その経緯をさかのぼってみると、その発端には応用数学の捉え方の変遷がある。

1976年の第3回ICME（国際数学教育会議、カールスルーエ）での分科会「数学と他の学科との相互作用」では、これまでの物理学への応用を越えて、あらゆる分野への数学の応用が述べられ、これが数学教育に与える影響について議論されている⁽⁵⁾。この傾向は、1980年の第4回ICME（バークレー）でさらに顕著になり、数学教育において“問題解決（Problem Solving）”が重視されるようになった。NCTM（全米数学教師協議会）の「1980年代の数学教育への行動日程（Agenda）」では、問題解決が第1番目の項目として挙げられている。

〔応用数学についての捉え方の変遷〕

（ア）古典的応用数学を教えることが応用数学である。

（イ）応用可能な数学を教えることが応用数学である。

（ウ）数学以外の話から、それを数学の話に置き換えて、その結果をまた数学以外の話に返すことまでを教えることが応用数学である。

（エ）（ウ）の内容を、一巡だけではなく、繰り返して扱うこと（循環）が応用数学である。

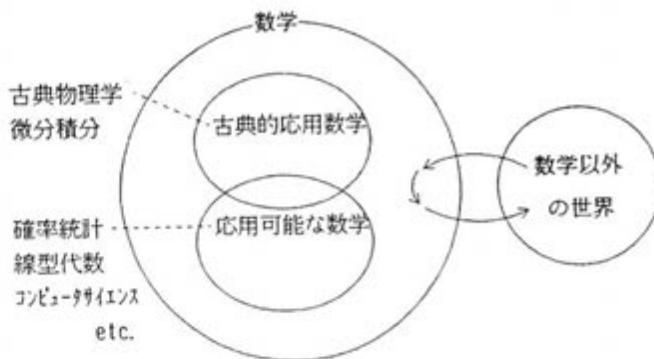


図1 応用数学についての捉え方

1950年代にアメリカから始まった数学教育の“現代化”の流れの背景には、

① 現代数学の発展 ② 数理科学の勃興

が挙げられている。日本でも“現代化”において①を重視し、中学校に集合や位相などの現代数学の内容が取り入れられたが、それだけでは「数理科学的な考え方」が養われるものとはならなかったといえる。むしろ②を重視し数学的モデリングの考え方を数学教育の中に取り入れる必要があるだろうということが、上のICMEの会議での流れになってきたものと考えられる。この②を重視した現代化を「数理科学指向型」と植竹⁽⁶⁾は呼んでいる。

問題解決重視の傾向は1990年代に入っても続き、1989年にNCTM（米国、National Council of Teachers of Mathematics）が出たスタンダード（Curriculum and Evaluation Standards for School Mathematics；学校数学のカリキュラムと評価の基準）においても、初等・中等教育の全学年でカリキュラム基準の第1番目に問題解決（Mathematics as Problem Solving）が位置づけられている。小学校5年から中学校2年、中学校3年から高校3年のカリキュラム基準は、それぞれ次のように示されている⁽⁷⁾。

CURRICULUM STANDARDS FOR GRADES 5-8

1. Mathematics as Problem Solving
2. Mathematics as Communication
3. Mathematics as Reasoning
4. Mathematical Connections
5. Number and Number Relationships
6. Number Systems and Number Theory
7. Computation and Estimation
8. Patterns and Functions
9. Algebra
10. Statistics
11. Probability
12. Geometry
13. Measurement

CURRICULUM STANDARDS FOR GRADES 9-12

1. Mathematics as Problem Solving
2. Mathematics as Communication
3. Mathematics as Reasoning
4. Mathematical Connections
5. Algebra
6. Functions
7. Geometry from a Synthetic Perspective
8. Geometry from a Algebraic Perspective
9. Trigonometry
10. Statistics
11. Probability
12. Discrete Mathematics
13. Conceptual Underpinnings of Calculus

応用数学や問題解決を重視する中で、数学的モデリングが注目されているが、これにはそもそもモデルの概念がある。モデルの一般的な定義は、

「あるものMがあるものPのモデルであるといわれるのは、それらの間のある種の同型性に基づいて、Pにおける事柄がMにおける事柄に反映されるとし、また、その逆がいえるときである」といわれている^[3]。この概念を図式化すると右のようになる。

このモデルは、次の2つに大きく分けられる。1つは、「数学的概念や原理・関係」を

原型とするモデルで、他の1つは「現実世界の事象」を原型とするものである。前者には、物的モデル、図的モデル、言語数式的モデルの3つがあるが、教育的には、平易化などの観点から用いられることが多い。小中学校では、単元の導入場面で数学的な概念を理解させるために具体物や半具体物を用いることが多いが、それらはこのタイプのモデルと考えられる。

後者の場合には、現実世界の事象あるいは現実的事象（例えば、現実世界の事象を言葉で表現したもの）を原型とし、数学的な処理ができるように、それを図表や数式などの数学的表現手段によって表したモデルを考えることになる。これは数学的モデルと呼ばれ、数学の応用場面でよく使われるものである。数学的モデルを図式化して表すと右のようになる。

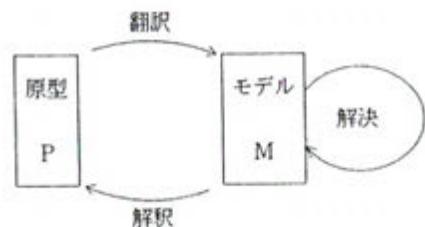


図2 モデルの概念

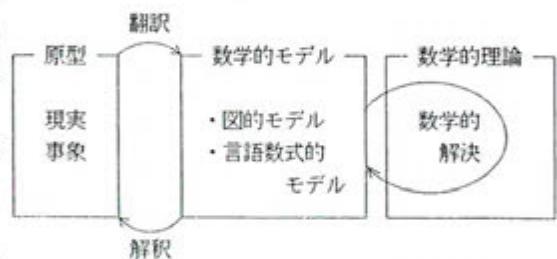


図3 数学的モデルの概念

一般に数学的モデリングという場合、上でいう後者の「現実世界の事象」を原型とした数学的モデルを考えていく活動の方を指している。つまり、現実事象から数学的モデルに翻訳し、そこでの結果を原型に解釈するという数学的モデル化の過程を学びとらせる学習活動ということになる。このタイプの学習が今後の数学教育の中ではより重要なものとなってくるであろうと我々は考えている。

最近は、ICME 7 のWG14でのW. Blumの説明でもそうであったが、数学的モデリングの過程が4要素に分解して捉えられるようになっている。M. Niss^[4]による説明から解説すると、まず、

- 現実の世界において何らかの問題を認識する
ことが第1段階である。それを解決する一つの方法として、
- 現実の世界における対象や対象間の関係を整理して
- 数学的モデルに移しやすいように条件整理（理想化）した現実的モデルを作り
- 現実的モデルを数学の世界へ移しとめて数学的問題（表現）にする
ことが行われる。このようにして作られてきた問題を数学的モデルと呼び、ここまで段階を狭義の数学的モデル化と呼ぶ。数学的モデルに対しては、

(e) 数学的手法によって数学的な解を得て
(f) その解を現実の世界へ戻してやる
ことで現実の問題の解決に至るのである。ただし、数学的モデル化がうまく行われなければ、満足のゆく現実場面の解決が得られないであろうから、その場合には、
(g) モデルを修正する
という形で(a)～(g)のループを繰り返してゆくことになる。このようなループの繰り返しを広義の数学的モデル化と呼ぶ。図式化すると次のようになる。

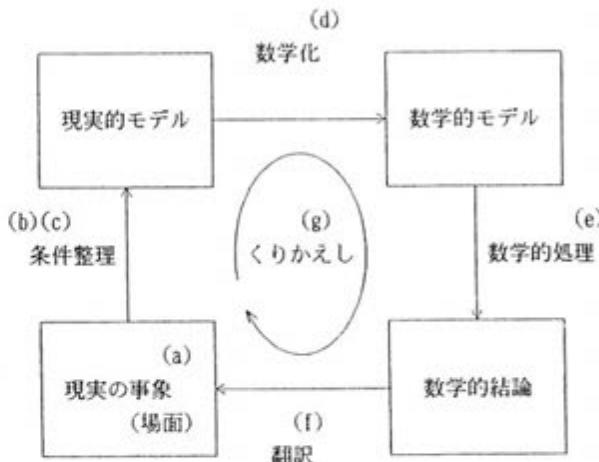


図4 数学的モデリングの過程

2. 欧米を中心とした議論

欧米を中心とした数学的モデリングについての議論は、ICMEの国際会議やこの分野を話題とした国際会議 ICTMA (International Conference on the Teaching of Mathematical Modelling and Applications) でなされてきている。ICTMAの会議は2年毎に開催され、次のように回を重ねてきている。

- 1 th ICTMA 1983年 エクセター (Exeter) 大学 英国
- 2 th ICTMA 1985年 エクセター (Exeter) 大学 英国
- 3 rd ICTMA 1987年 カッセル (Kassel) 大学 東ドイツ
- 4 th ICTMA 1989年 ロスキルド (Roskilde) 大学 デンマーク
- 5 th ICTMA 1991年 フロイデンタル (Freudental) 研究所 オランダ
- 6 th ICTMA 1993年 デラウェア (Delaware) 大学 米国
- 7 th ICTMA 1995年 ウルスター (Ulster) 大学 北アイルランド (予定)

それぞれの会議の後に、その会報が出版されている。我々がそれらの1部から得ている情報の中から、数学的モデリングについての議論のいくつかを以下に述べる。

(1) モデリングや応用は数学の学習に必要か

なぜ数学の応用やモデリングを数学の教科書に取り入れなければならないのか」については、一般的には、次のようにまとめられる⁽⁴⁾。

- a) 一般的に生徒が創造的に問題を解決する態度、活動、能力を高めるため
- b) 数学以外の所での数学の使用、未使用に対する生徒の批判的な考察力を養うため

c) 生徒が応用やモデリングを実行できるように準備するため

d) 数学の全容を捉えさせるため

e) 生徒の数学に対する理解と獲得の手助けをするため

数学を通して生徒に望むことを考えたとき、従来の教育では数学の知識・技能を教えることはなされていたが、条件の整理されていない問題にいかに取り組むか、などの数学を利用する態度までは、取り扱われていないようと思われる。數学者だけを育てるための数学教育ではないので、純粹数学にこだわらない数学教育が必要になってくると思われる。

(2) 何をどのように教えるか。

数学的モデリングを数学の授業で取り扱う場合の一般的な疑問の視点は、なぜ(Why)、何を(What)、どのように(How)ということである。なぜは上の(1)で述べたが、その次には何をどのようにということが議論になる。しかしながら、これらの議論については、教育の段階や対象に応じて、次の表のような3つの教育水準(Educational levels)を考え、それぞれに応じて考える必要がある^[4]。

	なぜ	何を	いかに
(1) 一般の人対象の数学			
(2) 数学外の専門分野者のための数学			
(3) 数学専門者のための数学			

何をというのは教える題材(resources)の問題であるが、これについては欧米ではすでにかなりの教材が開発されており、実際に指導もなされているようである。その一部については我々の共同研究の第1報でも触れているが、まだ十分にそれらの教材収集はできていない。

どのようにという視点では、先に書いた目標(Why)を達成するためには、II. 1で述べた(a)～(g)のすべてのモデリング過程を取り扱う必要があるだろう。しかし、実際には、生徒数や時間数などの制約から、ある程度の制限された範囲での実施となる場合が多いと思われる。これは後述の“本当に現実的か(Really Real?)”という指摘とも深く関連している。

(3) コンピュータをどう役立てるか。

数学の中で実験を行うという側面において、コンピュータが大きな役割を果たすであろうといわれている^[9]。つまり、コンピュータを使うことによって、

観察する、探求する、洞察力や直観力を形成する、

仮設を検証する、思考する、シミュレートする、等々

のことを生徒が経験し、その技能を獲得していくであろうということである。

このことを数学的モデリングの立場から考えると、コンピュータの持っている変数の機能を最大限に活かすならば、いろいろな現実の場面を想定した実験を行うことが可能である。したがって、モデリングの過程の中で、非常に有効な道具として、コンピュータを利用していくであろうと思われる。言い換えれば、コンピュータを使うことによって現実により近いモデルを設定することができるということである。これは、後で述べる“本当に現実的か(Really Real?)”という指摘に答えることにもなる。

(4) 評価をどうするか

モデリングを数学の授業の中で取り扱っていくとき、その目標との関連で、生徒たちがどのように活動し、問題解決に関わった能力を身につけたのかを評価していく必要がある。しかし、単なる知識・技能とは異なり、この種の能力を評価することは難しい。欧米では、この点をどのように考えているのだろうか。

その一例を、オーストラリアのモデリングを既にカリキュラムに取り入れている実例から見てみる^[10]。前述のモデリング過程の(a)～(g)との関わりで、ここではモデリング能力の基準を次の表1、2のようにC₁～C₄の4場面に分け、さらに、それぞれの段階における生徒の能力（水準 Standards）をS₁～S₃の3段階に評定するようになっている。

表1 モデリング能力の評価水準

基準 (Criteria)	水準 (Standards)
C ₁ ： 問題をはっきりと特定する能力	S ₁ ： 手がかりが与えられたときのみ作業を進められる。 S ₂ ： 与えられた情報から手がかりを抽出し、それらを「解くべき問題」として明らかな形で表現できる。 S ₃ ： S ₂ に加え、与えられた情報が、オープンエンドのとき、条件過剰のときにも、問題を設定できる。
C ₂ ： 適当なモデルを定式化する能力 ——変量選び、それらの間の関係を見つけること	S ₁ ： 手がかりが与えられたときのみ作業を進められる。 S ₂ ： 最小限の助言により、重要な要素を決定し、関係を構成できる。 S ₃ ： 手がかりのないところから、独自で重要な要素を決定し、関係を構成できる。
C ₃ ： 数学的問題を解く能力 ——解を得る、現実の世界への翻訳、有効性の確認、評価・修正	S ₁ ： 手がかり、ヒントなどかなりの助言が与えられれば問題が解ける。 S ₂ ： 助言がほとんど、或いは全くなくとも基本的問題が解ける（モデルの修正は不可能）。 S ₃ ： 独自に基本的問題を解くことができる。モデルの評価・修正が可能。
C ₄ ： 結果を文章或いは口頭で発表する能力	S ₁ ： 構成（視覚的なものの使用も含む）・提示法・簡潔性の点で合理的に発表できる。促進されながら口頭で発表できる。 S ₂ ： 補助手段をうまく使いながら、促進されることなく明確に発表できる。 S ₃ ： 革新的で創造的な特徴をもつ、傑出した提示法で明確に発表できる。

表2 モデリング能力の水準（フィードバック票）

数学II—モデリング				
フィードバック 票				
氏名	○ ○ ○ ○	月日	○ / ○	
課題番号	□			
基 準	水 準	S ₁	S ₂	S ₃
C ₁ 問題をはっきり特定する能力		✓		
C ₂ 適当なモデルを定式化する能力 —— 変量を選び、それらの間の関係 を見つけること		✓		
C ₃ 数学的問題を解く能力		✓		
C ₄ 結果を文章、或いは口頭で発表する 能力				✓

所 見：
生徒によるコメント

(5) 教師教育をどうするか

モデリングを授業で扱う場合に、その指導にあたる教師の力量が問われることになる。自らがモデリングの活動を体験し、生徒のいろいろな角度からのアプローチに対して柔軟に対応できる能力が求められることになる。これは教員養成の中での1つの課題といえる。この点についての欧米を中心とした議論があるようであるが、我々が今直面する課題とはなっていないので、この部分については省略する。

(6) 何が現実の世界なのか

W. Blum は、数学的モデリングの学習活動で取り扱っている題材の内容について“本当に現実的か (Really Real?)”という視点を投げかけている。諸外国で示されている事例を見ると、それらは人為的、装飾的 (artificial, dressing-up) なものが多く、モデリングの過程が一巡で終わってしまうことが問題であると指摘している⁽¹¹⁾。この点は、今後さらに議論的になってくるものと予想される。

(7) モデリング実施の障害⁽¹¹⁾

広い視野で見れば、数学のカリキュラムの中にモデリングを入れようとする世界的な流れがある。今日、オーストラリアのビクトリアやオランダなど、中等学校のカリキュラムの中に必修の科目としてモデリングを取り入れている所もある。さらに、応用数学の内容や範囲も広く扱われており、たとえば離散数学が中学校から大学までの各段階で取り上げられている。また、日々の授業の中でも数学的モデリングの活動がより多く取り上げられるようになっている。しかし、既存の内容との関わりで標準的なモデル（小さくて、うまく定義され、概観しやすい）が多く、数学教育の最先端の研究や発展との間にはずれが生

じている。そして、多くの国では、数学的モデリングはまだ小さな役割しか演じていない。優秀な教員や指導的な教員さえ、数学教育者の積極的な提言に対してしばしば従っていない。

これらはいくつかの障害が影響している。それは主に次の3つに要約できる。

① 授業と評価についての障害

モデリングは多くの時間を必要とする。モデリングは正規のカリキュラムにうまくそぐわない。50分授業に合わない。

評価が難しく、試験できないことはとり上げられないだろう。

② 生徒についての障害

モデリングは数学の授業や試験の中で、より多くのことを要求し、予想できることは少なくなる。すなわち、生徒により多くの負担をかけることになる。

③ 教師についての障害

モデリングの授業では、教師に数学以外の知識や資質を要求することになる。授業でオープンシチュエーションを扱う能力も必要である。さらに、授業に適した多くのモデリングの教材を知り、それが今日的なもので授業に適するように絶えず努力して調べておかなくてはならない。つまり、教師の役割が変わることを意味している。

3. 現行教科書に見られる教材

日本の教科書にのせられているいくつかの例を示し、それらについての考察を述べる。

① 「震源からの距離」（啓林館 p.117）

現実場面：震源からの距離はどう

のよにして求めればよいか。

数学的モデル：微動のつづく時

間 t 秒と、震源からの距離

s kmとの関係を、ある地震の

記録から式化して、 $s = 9t$

とする。

〔考察〕現実の場面についての話題が示され、比例式で捉えら

れることが、お話をとして書かれて

れている。問題解決の形では

提示されていない。教科書の

内容としては、指導時間外で、

多くの場合に授業では扱われ

ず、生徒が自動的に読む内容

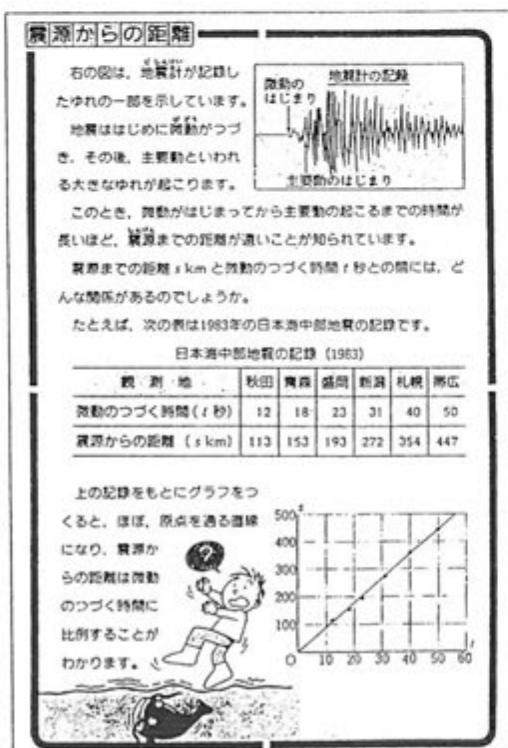
となっている。内容も、比例

関係が現実の中に存在するこ

とを示すまで、利用とか、

数学の有用性を示すまでには

なっていない。



② 「平面图形と式」(教育出版、新数学 I (改)、p. 103)

野球はゲームである。当然どのようにしたら勝てるかということが大きな問題となってくる。現実場面として、色々な事柄が考えられるが、打球の飛距離を延ばす為にはどうしたらよいかを考えることは、比較的数学化しやすいと思われる。ただし、重力加速度を導入しなければならないことに加えて、高1の枠内では飛距離を立式することは難しいだろうと思われる所以、高2までの知識を基にした方がよいだろう。その他、ボールの回転等空力学的因素、気象学的因素を考えることによって、現実場面により正確な形で返していく。上記の要素は、資料として考えてよいだろうと思われるが、様々な場合が考えられるのでむずかしい面もある。しかし、実際にスポーツ科学として研究されているものであり、一般向け出版物の中にもこのような研究が見られる。

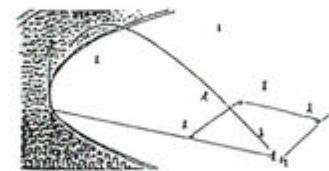
③ 「領域における最大、最小」(学校図書、高等学校数学 I、p.192~3)

線形計画法の問題は、現代社会において非常に重要な役割を果たしている。また、右図の様な形の数学的モデルは今まで多く見られたが、より現実的な場面からスタートすることにより、「モデリング的授業」として、有意義なものを作り上げることができるであろう。また、生徒達がどのように条件整備をするかによっては、より一般的な数理計画法の問題となることも考えられるが、高校までの知識でも解決できる内容が数多く含まれていると思われる。

平面上の距離は式で表されることが多いのです。たとえば、家の裏でまた開墾地のグラウンドを登ることを学びました。傾斜を理解すると、空気の抵抗がなければ、その物理は直線運動を描いて飛んでいくことが想像できます。ホームランを打ったとき、その打球が外野エスタンドに入ったのを見て、また傾斜を思い出してもよいわけですね。

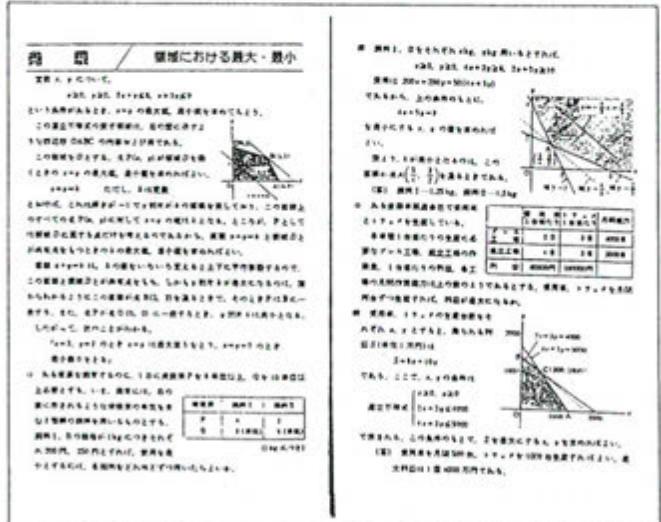
もちろん直線として飛ぶことができます。このときは、最も簡単な式、1次式で表されます。

また、たとえば、過渡地の現象の中の1つのが風と曲線は同じです。



現代社会において非常に

重要な役割を果たしている。また、右図の様な形の数学的モデルは今まで多く見られたが、より現実的な場面からスタートすることにより、「モデリング的授業」として、有意義なものを作り上げることができるであろう。また、生徒達がどのように条件整備をするかによっては、より一般的な数理計画法の問題となることも考えられるが、高校までの知識でも解決できる内容が数多く含まれていると思われる。



④ 「円の性質と震源の位置」(第1学習社、新編数学A、p.125)

現実場面：地震の震源の位置は、地図上でどのように定めればよいか。

数学的モデル：3つの円が交わるとき、2つずつの円の交点を結ぶ3つの直線は1点で交わる。

2つの球面の交円の射影。比例関係。

(考察) 円の性質を使った数学の応用(利用)場面として、「話のひろば」1ページに紹介されている。現実場面に数学的モデルがうまく対応するように話が進められているが、生徒にとっては与えられた知識としての理解にとどまっているように思われる。

生徒が主体的、能動的になって、条件整理や理想化をふまえた数学的モデル作りや、その解決と現実場面への翻訳などの活動を行うように指導することが大切であろう。数学的モデリングの過程を指導するんだという教師の姿勢によっては、よいモデリングの教材になると思われる。

⑤ 全体的考察

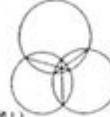
これらの例は、主として発展あるいは補足的な部分にその単元で扱われている内容の応用例として載せられているものである。現実の中から数学的モデルを作らせることを意図した教科書はほとんど見られないが、ここに上げた例は指導者の考え方によっては数学的モデリングをともなう授業の一助となると考えられる。②は、ボールの打球の描く軌跡が放物線であるという例であるが、同じ力で、ボールをより遠くへ飛ばすということへの興味を持たせることができれば数学的モデリングをともなう授業になるだろう。③は、線形計画法でだいたいどの高1の教科書にも見られる内容であるが、もう少し現実のなかからスタートすると、吉村が実践した在庫調整問題のようなより一般的な数理計画法の問題になる。ただし、中学生に対して強く探求意欲を持たせることはなかなか難しいかもしれない。①、④は地震に関するものである。最近、日本列島では頻繁に地震がおこっている。地震は我々にとって大変切実なものであり、これを予知することが我々の課題となっている。そういう意味でも、地面が揺れたとき、どこが震源なのかという疑問が生じることは自然なことであろう。ただし、この教材は地学で以前から扱われていると思われる。この教科書では、「3つの円が交わるとき、2つずつの円の交点を結ぶ直線が1点で交わる」という事実を応用する立場であるが、現実からこのような数学的モデルを作り出すことが出来ればよいと思われる。

話の ひろば

円の性質と震源の位置

119ページの問7より、図1のように、3つの円が交わると、2つずつの円の交点を結ぶ3つの直線は1点で交わることになる。

この性質は、震源の位置を地図上に定めるのに利用されている。

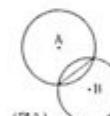


(図1)

地震が起ると、震源地点では、はじめにP波(纵波)が観測され、その後でS波(横波)が観測される。地中にある震源の位置と震源地点との距離は、震源地点での下振とS波の到着時間の差に比例するので、この到着時間の差を測定することによって、震源地点から震源までの距離が計算できる。A, Bの2地点から震源までの距離がそれぞれ、とのとき、図2のように、A, Bを中心とし、半径がそれぞれ、の2つの球をかくと、震源はこれら2つの球が交わってできる円の周上にある。



(図2)



(図3)

これを、地図の上で考えると、図3のように、震源はA, Bを中心とする2つの円の交点を結ぶ線上上の点の真下にある。

したがって、A, B, Cの3地点で地震を観測すれば、図4のように3つの線分 AB , BC , CA の交点Pに震源があることがわかる。



(図4)

4. 本年度の実践事例

(1) 地震の震源地（中1、中3）⁽¹²⁾

指導対象：本校中学1年160名、中学3年選択授業24名

指導時期：1994年10月5日～12日の2時間（中1）、10月29日～11月5日の4時間（中3）

指導内容（概略）：日本は地震の多い国である。つい最近も北海道沖での地震で大きな災害が起こっている。そこで、地震の震源地をどのように求めればよいのかを考える内容を取り扱うこととした。

〔現実場面〕 地震の震源地はどのように求めればよいのだろうか。

〔中1の場合〕

まず、上の現実場面を提示し、どのようにして震源地の位置を求めればよいのか、その解決方法についてのアイデアを出させた。その後、日本全国には気象庁の地震観測所が129あることを一覧表と地図で示し、そこで得られる地震計の記録例を示した。さらにその特徴から、P波とS波の存在、初期微動時間の存在を知らせた。

次に、初期微動時間（t秒）と震源からの距離（s km）が比例関係にあることを、データからのグラフ化により確認し、 $s = 9t$ の式を求めさせた。これを使って震源地を作図で求める場面をいくつか与え、その解決をさせた。例えば、

「日本の太平洋側で地震が起り、岡山と津の観測地での初期微動時間が、それぞれ26秒と20秒でした。この地震の震源地を地図上で求めてみましょう。ただし、震源は浅く、2つの観測地と震源は同じ地表平面上にあるものとします」

「ある地震で、高知と潮岬の2つの観測地での初期微動時間が等しかった。この地震の震源地はどこにあると考えられますか。地図上に示しなさい」

といった場面である。使った数学内容は、比例、垂直二等分線の作図、縮図などである。

〔中3の場合〕

前半の2時間についてはほぼ中1の内容と同じであるが、最後に次の課題を考えさせた。「2つの観測所A、Bから震源Sまでの距離が、それぞれ45km、27kmで、震源の深さが10kmであったとする。このとき、震央Oの位置はどのようにして求められるだろうか？」

この場合、三平方の定理を使って、 $AO = 5\sqrt{65} = \text{約}40\text{km}$ 、 $BO = \sqrt{329} = \text{約}18\text{km}$ を求め、地図上で作図する内容となる。

後半の2時間では、次の3つの課題を扱った。

「日本の太平洋側で地震が起り、高知と名古屋での初期微動時間が、それぞれ45秒と35秒でした。震源の深さが0km、20km、50km、100km、200km、300kmの各場合について、その震央の位置を地図上で求めなさい」

「地図上の3点A、B、Cから震源までの距離がそれぞれ120km、91km、150kmであることがわかったとき、震央はどこでしょう。また、震源の深さはどのくらいでしょう？」

「ある地震で、高知、姫路、大阪での初期微動時間が、それぞれ23秒、17秒、18秒でした。震央の位置を地図上で求めなさい。また、大阪から震央までの距離、震源の深さを求めなさい」

ここでは、2つの球の交円を射影した直線を考え、3つの円が交わるとき、2つずつの円の交点を結ぶ3つの直線は1点で交わること（高1数学）も理解させるようにした。

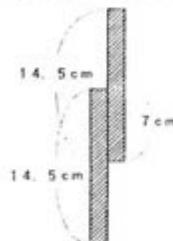
(2) 線香の燃える速さ（中2）⁽¹³⁾

指導対象：本校中学2年160名

指導時期：1994年12月20日～22日の計2時間

指導内容（概略）：最近の子どもには縁がうすいかもしれないが、線香は神仏に関った催等で日本人にとっては見慣れた存在であろう。また、線香を燃やす実験は一次関数の導入で扱われることも多く、関数概念を理解させるためのモデルとしても有効なものである。そこで、数学の応用の立場から数学的モデリングの教材としてこれを取り扱ってみることを考えた。

＜現実場面＞ 長さ14.5cmの線香を2本用いて、図のように、のり（でんぶんのり）でつなぎました。火をつけてからの時間（分）と線香全体の長さ（cm）との変化のようすはどうなるだろうか。



一次関数の導入時に、これと同じ線香1本を燃やす実験をしており、この授業は一次関数の単元終了後に実施した。

第1時では、上の現実場面を提示し、まず、予想でよいから式やグラフなど数学を使った表現を試みさせた。その後、2本をつなげた部分の燃え方が問題点であることを確認し、その部分の実験結果の記録グラフを配布し、もう一度、時間xと長さyの関数をグラフと式に表させた。さらに、「90分で燃えつきるようにするには、2本の線香をどのようにつなぎ合わせるとよいか」をも考えさせた。

第2時では、はじめに前時の正解を確認した。線香の燃える速さを、1本部分が約0.3cm/分、2本部分が約0.2cm/分とすれば、 $y = -0.3x + 22$ ($0 \leq x \leq 25$)、 $y = -0.2x + 19.5$ ($25 \leq x \leq 60$)、 $y = -0.3x + 25.5$ ($60 \leq x \leq 85$)となる。90分で燃えつきる場合は1次方程式を解いて、4cmを重ねればよいことを求め、後は同様にする。次に、線香が燃える速さを決定する最大の要因を考え、それが空気ではないかということから、空気に触れる線香の側面の面積に注目することにした。線香は正四角柱だから、1本の線香の側面は4、2本では $4 \times 2 = 8$ 、2本をつなぎ合わせた部分では、 $8 - 2 = 6$ となり、 $0.3 \times (6/8) = 0.225\text{cm}/\text{分}$ となる。この数学モデルの考え方方に立って、最後に次の課題に取り組ませた。

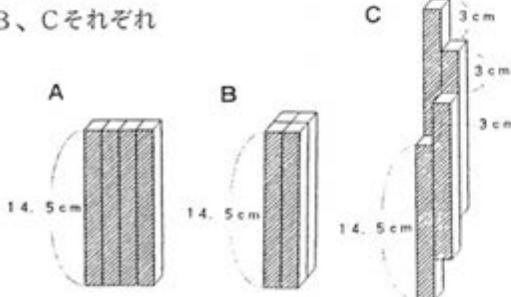
＜課題＞ 図のように、長さ14.5cmの線香4本をのりで

接着して上から燃やしました。A、B、Cそれぞれ

の場合に、火をつけてからの時

間x分と線香の長さycmの関数をグラフと式に表しなさい。

ただし、1本だけが燃える速さは0.3cm/分とし、その他は空気に触れる側面積の割合に比例するものとします。



(3) 原材料の在庫調整（中3）^{⑩⑪⑫⑯}

指導対象：本校中学3年38名

指導時期：1994年11月9日の1時間

指導内容（概略）：在庫は、企業活動に必要不可欠なものである。気がつくと無くなっていたというのでは困る。また、在庫を多く持つと、お金や人手がかかり、更に、状況が変わったときに使えないといった危険もある。そこで、在庫の状況を正しく把握して、少なくとも多くもないといった状態を維持し、更に、在庫に関わる費用を最小にするには、どのようにすればよいのかを考える内容を取り扱うこととした。

＜現実場面＞ 工場では、いろいろな原材料を使って、品物を生産する。従って、原材料を、蓄えておく必要がある。どのくらいの原材料を蓄えておくのがよいのだろうか。

まず、在庫が企業活動に必要不可欠なものであり、たくさんあれば、それだけ便利なものであるだけに、ちょっと目をはなすとすぐに増えてしまう傾向にある。そのため、在庫を適切な状態に保っておくように管理すること、すなわち「在庫管理」が必要になることを理解させた。そこで、在庫管理について、次の①、②に注意させながら、上の現実場面を提示した。

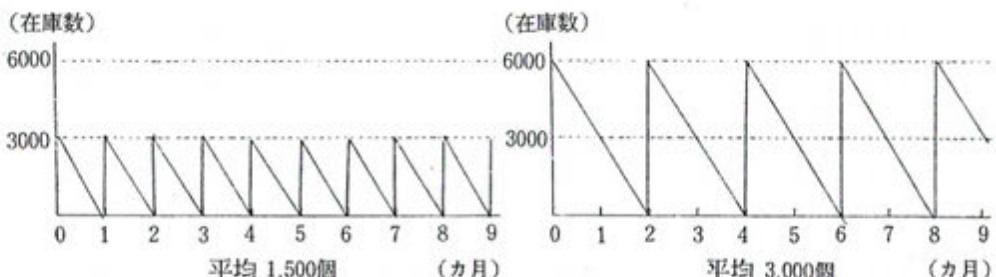
- ① 一回に在庫を大量に買えば買うほど、有利な条件は何か。
- ② 一回に在庫を大量に買えば買うほど、不利な条件は何か。

次に、右のような例を挙げ、これらの在庫にかかる費用は、発注の仕方によって変化するのかどうか、もし変化するとすればどのような変化をするのかについて考えさせた。

そのために、まず、実際の在庫変動を直線で近似させ、更に、直線の近似をもとに、この部品を毎月、月はじめに3,000個ずつ納入させるように発注した場合と、2カ月に1度、月はじめに6,000個ずつ納入されるように発注した場合について、それぞれ近似した直線のグラフをかき、在庫がどのように変化するのか調べさせた。

ある部品の例

1回の発注費用	10,000円
年間保管費用	20円／個
1日の所要量	100個
年間所要量	36,000個
1カ月は30日、1年は360日	



グラフをもとに、年間の発注費用、平均在庫量、年間保管費用を求めた。これらをもとに、年間総費用 = 年間発注費用 + 年間保管費用の関係をもとに、年間発注回数と年間総費用を表にまとめ、最適の発注回数を求めさせた。

(4) 道路の輸送容量（高1）^[17]

指導対象：本校高校1年184名（男子108名、女子76名）

指導時期：1994年10月の4～5時間

指導内容（全般的な概略）：道路のある1断面の単位時間当たりの通行量を考えたとき、これは車の速度の関数になっていると考えられる。安全性（追突の危険性）を考慮しながら通行量が最大になる速度を求めようとするとき、通行量の捉え方、車間距離の決め方など考えなければならないことが多い。班別に議論をさせながら通行量を速度の式で表現させ、グラフを用いて通行量が最大になる速度を求めさせた。また、各班の考え方などを発表する時間をもうけて、考えを深めさせた。

＜現実場面＞ 道路が混雑したり、渋滞するというニュースを耳にすることが多いが、安全にかつなるべく多くの車を通すことの出来る限界はどのあたりにあるのだろうか。

（授業の展開）次の表3のように行った。

表3 「道路の輸送容量」授業計画

内 容	時数
・解決すべき問題を数学化しやすい表現で捉え直す（現実場面→現実的モデル） 現実場面を提示し、通行量の捉え方を各自考えさせ、考えの似たもの同士で班を作らせる	1
・問題を式で表現する（現実的モデル→数学的モデル） 各班ごとに議論をさせ、通行量を速度の関数の式で表現させる	1～2
・数学的な解を得る 前段階で作成した式とともにグラフをかかせ、それより通行量が最大になる速度を求める結果がおかしければモデルを修正して、作業を繰り返す	1～2
・発表と協議 各班ごとに前に出て、これまでの活動について発表する	1

指導結果：班別の作業でどのくらいのことが出来るか不安であったが、ほとんどの生徒がこの課題に積極的に取り組んでいた。最後にレポートを課し、感想を書かせたが、「最初は何をすればよいかわからなかったがグループで話し合っているうちに考えがまとまってきて、それからは積極的に取り組めた」とか、「自分も疑問に思っていたので楽しく考えられた」、「自分の考えが班の中で言えて良かった」、「数学を使って現実の問題を考えることが出来るということがわかった」等、肯定的な感想が多くあった。しかし、「難しかった。もっとアドバイスがもらえれば良かった」、「所詮は机上の空論ではないか」、「どうしてこの課題に取り組まねばならないかわからない。そのあたりをもっと説明して欲しい」等、否定的な感想を書いていた者も数名あった。

これらのことから、班別活動時に教師がどう関わっていけばよいかもっと検討が必要であると思えた。

5. 本校教育研究会における議論

1994年11月の本校教育研究会において、Ⅱ、4の(3)と(4)の授業の一部を公開し、「中高等学校における数学的モデリングの実践」をテーマに発表協議会をもった。参会者はおよそ40人で、指導講師は、松宮哲夫、寺田文治、下出心の諸先生方である。この協議会の質疑応答の中で次のようなご意見をいただいた。

まず、高1の授業については、a)前時の授業ではどのようなことをしたのか？ b)どのような数学的内容を目標としていたのか？ 等の質問があった。これに対して授業者は、前時で生徒が到達している段階についての説明、「関数」「現象を式で表せるか？」「グラフの読みとり」をポイントにしていたこと等を答えている。また、高1では一般には扱わないグラフを、パソコンを使うことによって乗り越えたのが良かった。次の授業、その次の授業に興味がわく等のご感想をいただいた。

中3の授業については、a)授業の準備は、どのようなことをしたのか？ b)どのような数学的内容を目標としていたのか？ 等の質問があった。これに対して授業者は、とにかく在庫調整の本を数多く読みあさったこと、「流通のしくみがわかる」「関数」「比例、反比例」「合成関数」等の内容を指導のポイントにしていたこと等を答えている。また、最後に計算をさせていたが、未知数（変数）を見つけだすようにある程度こちらの方から指針を示せばよかったのではないか。高1の授業と同様にグラフの困難さをパソコンを利用することによって乗り越えるともっとうまくいくのではないか？ 等のご感想をいただいた。

質疑応答後まとめて、指導講師の先生方から次のようなご助言をいただいた。a)数学の範疇にはいらないような数学の方が面白いのではないだろうか？ 中3の授業については、あまり現実にこだわる必要はなかったのではないか？ 高1の授業については、興味、関心を引き出すのにとてもよかった。b)モデリングは知識創造型の授業として最も重要ではないか？ 悟り、納得させることが大切である。c)2時間連続くらいで、授業参観できればよかった。現実に即した数学を考える必要があるだろう。

以上が、本研究会の協議の概要である。今回、現実場面を数学的に表現して解決する能力や生徒達の主体的な取り組みを引き出すための1つの手法として、「数学的モデリング」による授業をおこなったが、我々はこのような手法の授業に対してさらに検討し、議論を積み重ねていかなければならぬと考える。そして、多くの場所で「数学的モデリング」についての議論がまきおこることを望んでやまない。

III. 要約と今後の課題

今年度の数学的モデリングについての共同研究を要約すると次のようになる。

第一は、数学的モデリングの教材開発は中等教育段階でも可能であるということである。前報においていくつかの教材を紹介したが、今年度は、地震の震源地、線香の燃える速さ、原材料の在庫調整、道路の輸送容量について、中学1年、2年、3年、高校1年で、数学的モデリングの実践授業を行った。その結果、学年が低くても数学的モデリングの教材開発が可能なのではないかと思われた。もちろん限定された数学内容で限られた数学モデルということになるが、数学的モデリングの手順をふまえた指導展開が可能なのではないかという感触を得ることができた。生徒主導の解決活動はまだまだ難しいとも思われたが、

教師主導または教師支援のもとでの指導展開は十分可能である。はじめに述べた障壁①に対する対して、まだ問題点はあるものの、いくつかの教材事例が示せたのではないだろうか。

第二は、同じ題材でもその指導過程や授業形態については検討を要するということである。例えば、地震の震源地を題材としても、中学1年、3年、高校1年では、それぞれ数学的モデルが異なり、授業形態も同じとはいえない。障壁②については、より多くの教材について具体的な実践展開を積み重ね、そこから体系化していくより仕方ないだろう。どんな教材でもそうであるが、特に数学的モデリングの教材については、生徒の主体的な問題解決の過程を重視するために、指導方法についての工夫と改善に継続的な努力が必要である^{[18][19][20]}。一般的には、学年が上がるに従って生徒の多様性により応じられるようになっていくべきである。今回の実践でもそのように配慮はしたが、1人の授業者で対応できる生徒数には限界があった。ティームティーチングなどの検討も必要であろう。

第三は、今回の実践では評価についての統一的な検討ができなかったということである。数学的モデリングの指導では、教材についての評価、生徒の学習活動についての評価、授業者の指導についての評価が必要である。今回の実践では、教材についてはある程度評価できたが、他の部分の評価は各授業者に任せられた形になってしまった。これらの部分についてのより客観的な評価ができるように研究する必要がある。II. 2でも述べたように欧米では一定の評価のシステムを取り入れている。障壁③については、まだ我々の共同研究の中での議論が不足している。

第四は、数学的モデリングの授業を通して、多くの生徒の数学に対する認識を好ましい方向に変えうるということである。今回の4教材についての実践を通して、生徒たちは数学と現実との関わりを認め、数学の有用性、数学を学ぶ価値を感じていたように思われる。このことは、数学的モデリング教材の実践における成果といえる。このような学習活動は、生徒の数学に対するイメージをより明確なものにしていくだろう。数学はやはり科学の中の1つなのであり、単なるゲーム的な思考訓練の道具ではない。数学はいろいろな現実を解き明かすためのサイエンスの一つである。しかし、今の生徒たちの中には、数学は現実とは無関係と捉えてしまっているものが少なからずいる。また、このような学習活動に興味を示さない生徒も一部に見られた。現象を数理的に捉えてコントロールすることは、すべての生徒に求められる能力とはいえないのかもしれない。

今後の課題は、研究の目的にしたがって、より多くの教材開発をし、障壁①～③についての具体的検討を積み重ねていくことである。研究会等で数学的モデリングについての議論がなされていくことを期待しつつ、このテーマについての共同研究をさらに深めていきたい。

参考引用文献

- [1] 藤田幸久、吉村昇、柳本哲、西谷泉「数学的モデリングについての共同研究（第1報）—具体的事例と中高等学校における指導可能性—」大阪教育大学附属天王寺中高等学校研究集録第36集、1994、pp.117～129
- [2] 高等学校学習指導要領解説 数学編 理数編、文部省（1989）
- [3] An Agenda for Action — Recommendations for School Mathematics of the 1980's NCTM (1980)

- [4] M.Niss : "Aims and Scope of Applications and Modelling in Mathematics Curricula", In M.Niss et al. (eds), Applications and Modelling in learning and teaching Mathematics, Ellis Horwood Ltd. England, 1989, pp.22~31
- [5] Henry O. Pollak 「数学と他の学科との相互作用」、数学教育国際委員会（ICMI）編、数学教育新動向研究会誌『世界の数学教育—その新しい動向』の第12章、共立出版、1980、pp.299~320
- [6] 植竹恒男「なぜいま「問題解決」なのか」明治図書、数学教育1983年2月号、pp.10~13
- [7] NCTM, Curriculum and Evaluation Standards for School Mathematics, USA, 1989
- [8] 岩合一男編『算数・数学教育学』第8章問題解決（飯田慎司）、第12章数学的モデル（小山正孝）、1990
- [9] 植竹恒男監訳『数学教育とコンピュータ』、聖文社、1989
- [10] N.J.Clatworthy, Assessment at the Upper Secondary Level, In M.Niss et al. (eds), Applications and Modelling in learning and teaching Mathematics, Ellis Horwood Ltd. England, 1989, pp.60~65
- [11] W.Bluem, Mathematical modelling in mathematics education and instruction, In T.Breiteig et al. (eds), Teaching and Learning Mathematics in Context, Ellis Horwood Ltd. England, 1993, pp.3~14
- [12] 柳本哲「数学的モデリングの実践事例I—地震の震源地を教材として—」大阪教育大学附属天王寺中高等学校研究集録第37集、1995、pp.83~91
- [13] 柳本哲「数学的モデリングの実践事例II—線香の燃える速さを教材として—」大阪教育大学附属天王寺中高等学校研究集録第37集、1995、pp.93~102
- [14] 五十嵐暉『在庫削減の効果的な進め方』日刊工業新聞社、1990、pp.27~68
- [15] 平野裕之『在庫管理の仕事が分かる本』日本実業出版社、1987、pp.56~80
- [16] 柳沢滋『在庫管理のはなし』日科技連出版社、1988、pp.1~156
- [17] 藤田幸久「「車の通行量が最大になる速度」を求めさせる授業について」大阪教育大学附属天王寺中高等学校研究集録第37集、1995、pp.103~110
- [18] 池田敏和「数学的モデリングとその課題提示に関する事例的研究」日数教論文発表会誌、1990、pp.393~398
- [19] 池田敏和、山崎浩二「中学校数学学科における数学的モデリングの可能性に関する事例的研究」日数教論文発表会誌、1991、pp.347~352
- [20] 池田敏和、山崎浩二「数学的モデリングの導入段階における目標とその授業展開のあり方にに関する事例的研究」日数教学会誌数学教育、第75巻1号、1993、pp.26~32

数学的モデリングについての実践事例Ⅰ

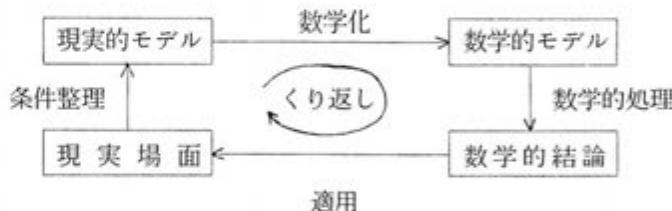
— 地震の震源地を教材として —

やなぎ もと あきら
柳 本 哲

I. はじめに

数学を現実の問題場面に応用するときには、数学的モデリングの過程をふむことになる。筆者らは、数学的モデリングについての共同研究を1991年から行っている⁽¹⁾⁽²⁾。そこで問題点は、①数学的モデリングをなぜカリキュラムの中に取り入れるのか、実施することによって具体的にどのような成果が得られるのか、②教材として何を選べばよいのか、授業でいつ、どのように展開していくのか、③生徒の活動をどのように評価していくのか等ということである。

数学的モデリングというのは、現実の問題場面に対して、その場面の条件を整理した現実的モデルを考え、さらにそれを数学化した数学的モデルを設定する。そして、そこでの数学的処理の結果をはじめの現実場面に適用し、不都合な部分をさらに条件設定しなおしてこのプロセスを再度くり返す。図式化すると次のようになる⁽³⁾。



ここでは、数学の応用場面で、地震の震源地についての話題を取り上げ、数学的モデリングの教材として実践を試みた。日本は地震の多い国で、つい最近も北海道沖等での大きな地震も起こっている。生徒にとっても興味・関心の高い話題であろうと思われる。

II. 指導実践1（中1）

- ① 指導対象 本校中学1年160名（男88名、女72名）
- ② 指導時期 1994年10月5日～12日の計2時間
- ③ 指導内容と重点

教科書の中でも、各单元末には数学の利用がいくつか取り上げられている。地震の震源地までの距離についての話もその中の1つで、中学1年の第4单元「変化と対応」の最後のトピックに1ページの内容が紹介されている⁽⁴⁾。ここでは、地震の初期微動時間と震源までの距離の関係を比例 $s=9t$ に数学的モデル化し、さらに、震源地の作図を平面上の2点間の距離に数学的モデル化し、地震の震源地を求めるという問題解決の学習過程を取り扱うことにした。

④ 指導の実際

第1時では、まず、気象庁の地震観測所129の一覧表と配置図を配布し、地震の震源はどのようにして求めればよいのかを聞いてみた。調査は約15分である。

調査1

日本全国には、別紙のように気象庁の地震観測所があり、地震の観測をしています。日本近辺で地震が起こったとき、その震源（地震の中心、地震の発生した位置）はどうのようにすると求められると思いますか。

できるできないは別として、自由に自分のアイデアを書いてみなさい。

（各観測所でどんな観測をし、どのようにして震源の位置をきめればよいか）

調査1の結果を要約すると、比較的多かったものから、⑦各地の震度から等震度の所を結ぶ線を考えていき、それらの中心を考える、同じ震度の所から等距離にある所を考える、①2つの観測所のゆれの大きさの差とその間の距離から求める、⑦地震が観測された時間が同じ所を調べ、それらを結ぶ線を円と考え、その中心を求める、②2つの観測所のゆれの大きさの比率を反比にして、それらの観測所からの距離を考える、⑦津波の高さが同じ所から等距離の位置を考える、⑦たくさんの衛星で調べる、⑦かみなりのようにして求める、⑦なまず、どじょうを各地において調べる、⑦コンピュータで計算する、⑦気象庁に電話で聞く、等々であった。

生徒から出たアイデアをいくつか紹介し、今回は、観測所から地震の震源までの距離を求める方法で考えることを知らせ、図1のようなプリントを配布した。そして、地震計の記録がどのようになされるか、記録にはP波（綫波）とS波（横波）の伝わってきたずれの時間が初期微動時間として残ることを説明した。この時間のずれについては、かみなりの光と音についての体験を思い出させ、そのイメージを持たせるようにした。P波とS波については、本校生徒は中学2年の地学分野で詳しく学習するようなので、ここでは簡単に説明しておいた。

続いて、初期微動時間(t 秒)と震源までの距離(s km)の関係を、1983年の日本海中部地震の記録から求めさせた。表から座標平面上にとった6点は、ほぼ直線上に並ぶことから、2点(0, 0)、(50, 450)を結ぶ直線に近似させることにした。その直線の式から、 $s = 9t$ という関係式を導くことができた。点列が完全な一直線にならない理由として、測定誤差や地質・地形のちがいが存在することを確認しておいた。

第2時では、図2～図5の学習プリントの

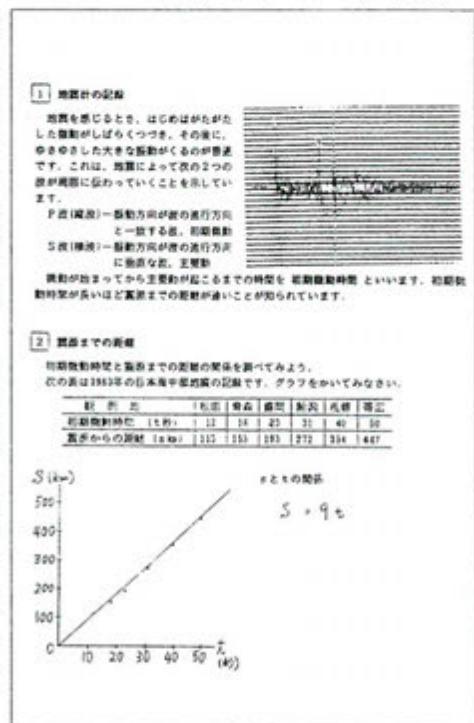


図1 生徒学習プリントNo.1



図2 生徒学習プリントNo.2



図3 生徒学習プリントNo.3



図4 生徒学習プリントNo.4

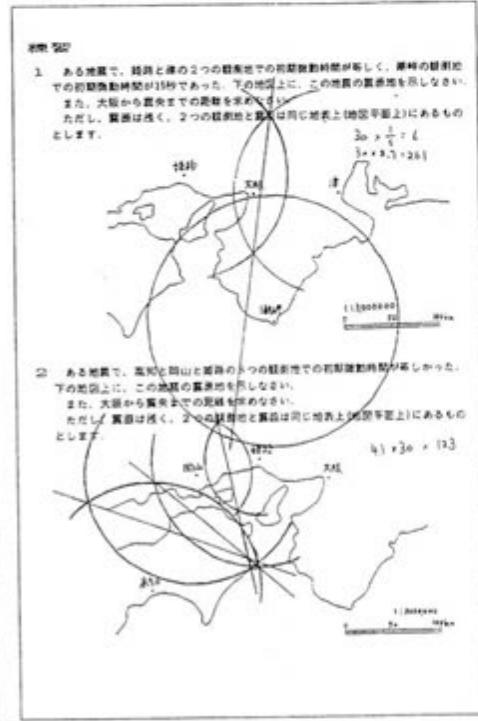


図5 生徒学習プリントNo.5



写真1 コンパスで作図する生徒

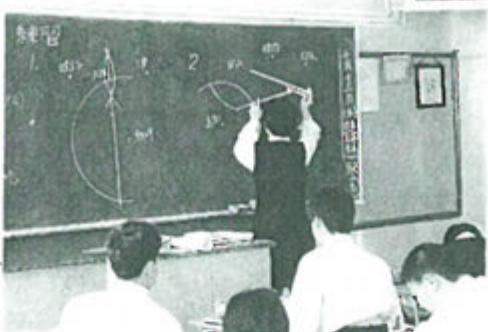


写真2 黒板に解答をかく生徒



写真3 第2時の授業風景



写真4 板書の解答確認 ([6]と練習)

ような内容を順に扱った。図2のはじめの作図では、作図の解答時に、「震源は浅く、2つの観測地と震源は同じ地表上（地図平面上）にあるものとする」というように数学的モデル化して考えていることを確認し、震源が深い場合には別のモデルを考えて修正する必要があることを知らせておいた。図3の④で震央と震央距離という言葉を説明し、⑤で垂直二等分線による作図を行わせた。この場合には、震源の深さに関係せず、震央の位置が垂直二等分線上に求まることに気づかせておいた。図4の⑥では、2本の垂直二等分線の交点で震央の位置を求め、大阪から震央までの距離を地図の縮尺から求めさせた。図5では、練習問題2間に取り組ませ、学習の定着をはかった。

⑤ 生徒の認識

指導の事後に、次のような調査を行った。

調査2

[1] 今回学習した数学の応用「地震の震源地」について、興味をもちましたか。

ア～エより一つ選び、その理由も書きなさい。

- ア たいへん興味をもった
- イ かなり興味をもった
- ウ あまり興味をもたなかった
- エ まったく興味をもたなかった

理由

〔2〕今回の「地震の震源地」の学習をとおして、前よりも数学が好きになりましたか。

ア～オより一つ選び、その理由も書きなさい。

- ア 前から好きだったが、さらに数学がおもしろく好きになった
- イ 前から好きだったし、今も変わらず数学は好きである
- ウ 前は好きでなかったが、今は数学もおもしろそうで少し好きになった
- エ 前から好きでなかったし、今も変わらず数学は好きでない
- オ その他 ()

	理由
--	----

〔3〕今回の数学の応用「地震の震源地」の学習について、感想を書きなさい。

結果と考察

〔1〕と〔2〕の結果は右の表1の通りである。

〔1〕では、「地震の震源地」という題材に対する生徒の興味の度合を聞いたが、興味をもった生徒（アとイ）が82%と大変高い数値となった。その理由としては、「ちょうど最近北海道の方で地震があったから」「地震の震源地はなぜわかるのかと前々から不思議に思っていたから」「垂直二等分線と資料だけで簡単に震源地を求められるのがすごいと思ったから」「数学がこんなところにも使えると知ったから」等々があげられる。逆に興味をもたなかつた生徒（ウとエ）は18%で、その理由としては、「地震の震源地がわかれることには興味があったが、求まるまでがややこしく思ったから」「やり方さえわかれば後はそれをどういうふうに解いていくかだけで簡単だったから」「そんなに大阪に関係することでもないし、日常生活とも関係ないから」「自然（地学）の分野に関することには興味ないから」「知っていることだったから」等々があげられる。

〔2〕では、この学習を通して数学に対する生徒の意識がどのように変わったかを、数学に対する好き嫌いから聞いてみた。数学がより好きになった生徒（アとウ）は43%で、変わらず好きである生徒（イ）は36%で、合わせると79%の生徒が数学好きと答える結果になった。特に、前は好きでなかったが、今は数学もおもしろそうで好きになった（ウ）と答えた生徒が23%いたことは、今回の数学的モデリングの学習による成果といえる。アを選んだ理由は、「今まで数学といって問題集の問題を解くだけだったけど、今回の学習で本当の数学というものが少しあわかったように思う」「いつも計算が好きだという点でいえば代数の方がおもしろかったが、今回のテーマで幾何がとてもおもしろくなった」「数学は今までどのように応用して使うのだろうと思っていて、このような事に数学が使えることがわかつてとてもよかったです」「一つ一つを求めて、一つの大きなものを求めることができたから」等である。イを選んだ理由は、「今まで好きで、地震のこともわかつたので変わらない」「自分の持っている学力を使って解いていくのが面白かったです」

表1 調査2〔1〕〔2〕の結果(%)

	ア	イ	ウ	エ	オ
〔1〕	28	54	17	1	/
〔2〕	20	36	23	5	16

ら」「数学はもともと得意科目でもあったので、それにこんな授業のしかたはじめてだったから」「数学という計算のようなイメージがあるけど、そうではないということを知ったから」等である。ウを選んだ理由は、「数学は得意でもなかったのであまり好きではなかったが、数学によってこういうのが解けるんだなと思ったから」「前はあまり役に立たないと思っていたけど、実は地震の震源が求められたりすることを知ったから」「数学の応用がおもしろいことがわかったから」「数学をこんな風にも使うのかなあと感心した」等である。エを選んだ理由は、「できないから」「地震のことだけが数学だったら好きだけど、それ以外いろいろあるからあまり好きじゃない」「理由はわからないけど数学は好きでない」等である。その他(オ)を選んだ16%の生徒の回答は、「変わらずふつう」「前は普通だったが、今は好きになった」「前から苦手でも得手でもなかつたが、少し好きになった」「代数はあまり好きではないが、幾何は今まで以上に好きになった」等で、その理由は、「地震の震源地の学習はおもしろかったのですが、普段の幾何は別にどちらでもないから」「これだけではそんなに変わらない」「数学という教科じたい何とも思っていないので、好きともきらいとも判断できない」等である。

〔3〕では、授業についての感想を聞いたが、そのいくつかを以下に挙げておく。

「もっとむずかしくてややこしくて分かりにくくて簡単には応用できないものかなと思っていたけど、けっこうやさしくて私にも分かるからうれしかった。それに、どこが震源地？なんて考えるのはけっこう楽しくて予想をつけてから考えてみるのも楽しいと思う。又、数学って大事だなと思いました//もっと身近な応用できる数学もないかなと思った」

「とても楽しかった。資料などを使って、地震について今まで知らなかったことが分かったので、いろいろ知識が増えたみたいですごくうれしい。そして、地震って奥が深いんだなぁと思わされた今回の学習だった」

「この2回の授業より、教科書からはずれて数学を学ぶということが印象にのこりました。又、こういう授業をしてほしいです」

「はじめに震源地を求める方法を書きなさいといわれて、とまどってしまい、すごく悩んだ。たくさん所に観測所を置くなど、少し無理なことも考えてしまった。けれども、今は求め方も分かり、すごくうれしい／＼初期微動時間などいつもの数学の時間よりも知らないことがたくさんあり、楽しかった。そして勉強になった／＼」

「身近なものに数学が利用されているとわかって、おもしろかった。自分が本当の地震の観測をしているようで楽しかった」

「楽しかったと思う。垂直二等分線のかき方がけっこう好きなので、それを生かせてよかった。数学もこういう所に使えると知って、ちょっとびっくりした。また、こういうのをしてほしいと思う」

「一言で言えば、おもしろかったです。地震の震源地を求めるのにも数学が使えるなんて、とてもおどろきました。これほど簡単に震央が求められ、この方法を考えた人はすごいと思いました。あと、震央の位置から震源までの距離を求める方法を知りたいです」等々

III. 指導実践2（中3）

- ① 指導対象 本校中学3年選択授業受講者24名（男20名、女4名）
- ② 指導時期 1994年10月29日～11月5日の計4時間
- ③ 指導内容と重点

前述の指導実践1の内容に加えて、地表を平面と考えた数学的モデルで、三平方の定理を用いて、深さや震源までの距離を求めるなどを扱う。また、3つの球の交わる交円から、「3つの円が互いに交わるとき、2つずつの円の交点を結ぶ3つの直線は1点で交わる」ことにまで触れる。

④ 指導の実際

第1、第2時は、前述の中学生で行った内容とほぼ同じである。ただ最後に、2つの観測所から震源までの距離と深さがわかっているとき、震央の位置をどのように求めればよいかを課題として考えさせることを扱った。

第3時では、前時の課題の解答を図6のプリントによって板書上で生徒とともに確認していった。ここでは、地表上のAからOまでを直線と考え、 $\triangle AOS$ 、 $\triangle BOS$ をそれぞれ直角三角形と見て、三平方の定理を使う数学的モデルを扱った。この考え方方が理解できたところで、図7のプリントの問で計算に慣れさせ、深さが変わると震央の位置がどのように変わるかを見させるようにした。そのちがいが明確になるように、深さを0km、20km、50km、100km、200km、300kmとして求めさせることにした。もちろん計算には電卓を使用させた。

第4時では、まず前時の問の解答を全員で確認した。結果は図7の通りである。次に、図8のLet's tryの〔1〕を考えさせた。なかなか解決は難しいようであったが、一部の生徒の中に、この作図については中学2年の地学の授業時に聞いたことを思い出したもののがいて、その解答を確かめた。ここでこの作図は、「3つの円が互いに交わるとき、2つずつの円の交点を結ぶ3つの直線は1点で交わる」という数学の性質にもとづいていた。そ

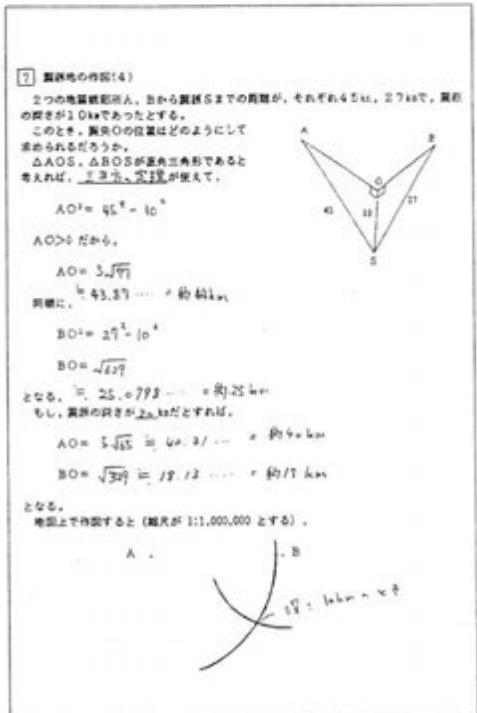


図6 生徒学習プリントNo.6

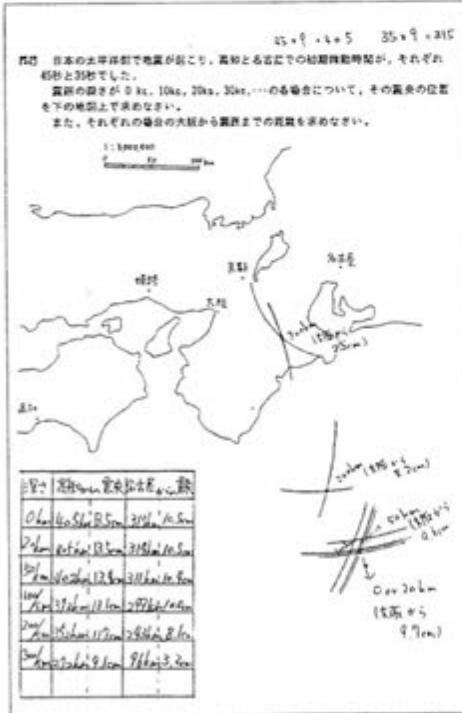


図7 生徒学習プリントNo.7

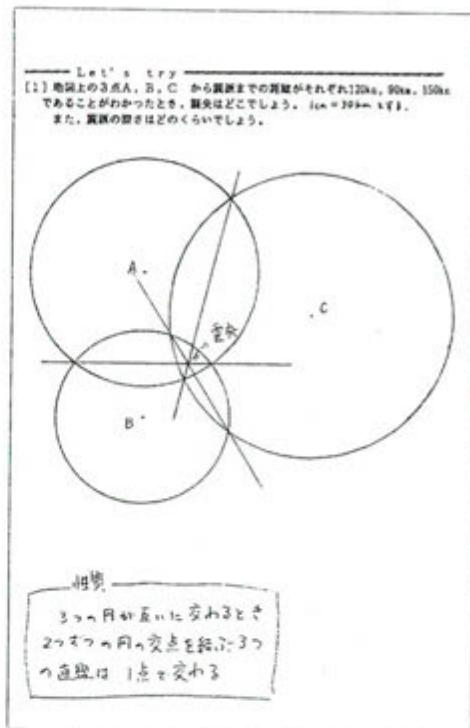


図8 生徒学習プリントNo.8

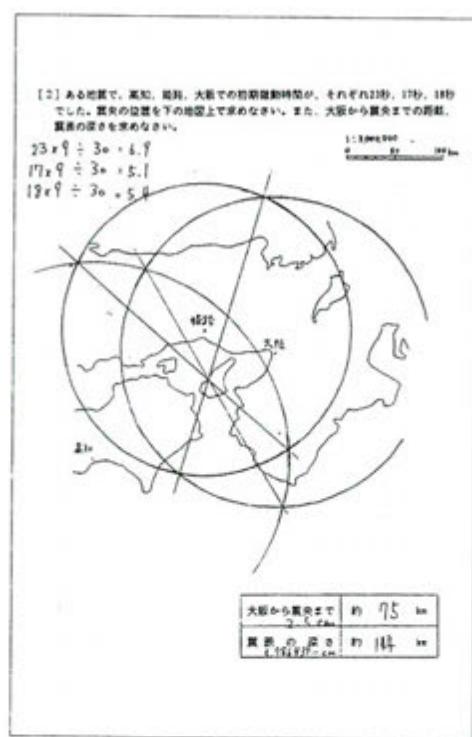


図9 生徒学習プリントNo.9

の証明は中学3年生では難しいが、震源は1点しかないと考えれば当然1点で交わるだろうし、3つの球が互いに入り込んで交っている状況から、その投影図として直観的に理解することも可能である。生徒たちから特に疑問の声はあがらなかった。最後に、図9の[2]を練習として解答させ、この授業を終えた。

⑤ 生徒の感想

授業についての生徒の感想をいくつか下に挙げておく。

「中2のときに地学で地震のことを少し習ったので、ある程度の知識はあったけど、数学となると少し難しかった。地震と数学は無関係と思っていたけど、おおいに関係のあることがわかった」

「三平方の定理など数学の基本となることを地学分野に使っていたので驚いた。地学分野といっても地震は大いに生活にかかわっていることだと思う。これを科学的に分析していくと地震予知などの課題への展望がひらけるかもしれない」

「地震の震源を3ヶ所の地点の初期微動がわかるだけで求めることができるなんてすごく面白かった。今度は本物の地震計を見ながら震源を求めてみたいと思いました」

「数学でいろいろと求められることがおもしろいと思った。ひとつひとつは中学校で習うことだけ組み合わせるといろいろできるということもわかった」

「2年のときに地学で習った所もあったけれど、つっこんでできたり、地震と数学のつながりがとてもよくわかった。それに、この学習をしたことによって、数学のちがった使い方、楽しみ方もわかった。次回は、さらに新しいものをやってみたい」

「この内容は作業が多く、あきることがなかったので集中してできたのでよかった」等々

IV. おわりに

地震をテーマとした数学的モデリングの授業を中学1年と3年で指導した。中学1年生では、北海道沖地震の直後だったので、導入での生徒の動機づけは十分であった。また、生徒にとっては、教科書や問題集を離れて、はじめて数学を現実の問題場面に応用する経験だったので、多くの生徒が興味を示し、その内容を好意的に受けとめていた。中学3年生では、2年時の地学で少しの部分は既習であったので、その分だけ興味は薄れていったように思われる。しかし、数学がどのように関わっていて、どれだけ役立つかを理解し、数学の使い方や楽しみ方がわかった生徒も多かったようである。

数学的モデリングの学習としては、まだまだ不十分な展開であったかもしれない。Iで図式に示した数学的モデリングの過程を、指導者は意識して進めていたが、生徒は決められたレールの上を学習する結果となってしまった。特に、現実場面から条件整理して数学化する段階と、数学的結論を現実場面に適用し、その反省からさらにモデル化する段階の活動が希薄になっていた。このような学習活動には慣れていない生徒の状況や、40人学級での一斉授業という制約の中では、初期の学習段階では止むをえない部分もあるが、さらに検討を要するだろう。しかし、数学的モデリングの教材としての1つの実践提起はできたものと思う。

この実践記録の反省に立って、さらに数学的モデリングの教材開発と、その指導法についての検討を重ねていきたい⁽⁵⁾。

参考引用文献

- 〔1〕藤田幸久、吉村昇、柳本哲、西谷泉「数学的モデリングについての共同研究（第1報）—具体例と中高等学校における指導可能性—」大阪教育大学附属天王寺中高等学校研究集録第36集、1994、pp.117～129
- 〔2〕柳本哲、藤田幸久、吉村昇、岩瀬謙一「数学的モデリングについての共同研究（第2報）—中高等学校における実践事例をもとに—」大阪教育大学附属天王寺中高等学校研究集録第37集、1995、pp.65～82
- 〔3〕松宮哲夫、柳本哲『総合学習の実践と展開—現実性をもつ課題から—』明治図書、1995
- 〔4〕数学1年教科書、啓林館、平成5年度用
- 〔5〕柳本哲「数学的モデリングの実践事例II—線香の燃える速さを教材として—」大阪教育大学附属天王寺中高等学校研究集録第37集、1995、pp.93～102

数学的モデリングについての実践事例Ⅱ

——線香の燃える速さを教材として——

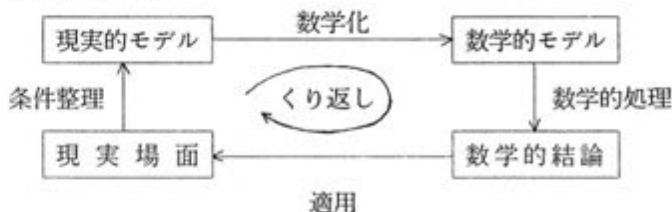
やなぎ もと
柳 本 哲

1. はじめに

学校教育の中で数学をなぜ教えるのだろうか。いろいろな目的があげられている。たとえば、数学の知識・技能を身につけておくことが必要で、特に将来において理数系を専門にしようとする人には必要不可欠なものであるとか、より一般的な人に対しては、過去の文化的遺産だから教養として知っておくべきであるとか、将来のための思考力を養うことができる等といわれている。これらは、教育全般の広い意味でいえば、実質陶冶と形式陶冶の2つに大別されるものであるともいえる。

今の社会は激動の時代ともいわれ、科学の進歩も激しく、将来においてどのような状況に遭遇するかも予測がつかないともいわれている。このような社会では、単に知識や技能のみを身につけているよりも、そのことは大切ではあるけれども、いろいろな問題場面に対してその解決のためにいかに取り組んでいけるのかという問題解決能力がより重視されることになる。したがって、近年の数学教育の国際会議においても、問題解決 (Problem Solving) や応用 (Application)、数学的モデリング (Mathematical Modelling) 等のことが話題となっている⁽¹⁾。しかし、日本での研究事例はまだ少ない⁽²⁾⁽³⁾。

数学的モデリングというのは、現実の問題場面に対して、それと同型な数学的モデルを考え、その中の結果から現実問題の解決をはかっていこうとするものである。したがって、現実場面のいろいろな条件を整理したり理想化する能力や、得られた結果を吟味して再度モデル化する能力などがより重要視されることになる。数学的モデリングの過程を図式化すると、次のようになる。



筆者たちは、すでに本校数学科のメンバー4人で1990年から数学的モデリングをテーマに共同研究を始めている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。しかし一方では、数学的モデリングを授業の中で扱っていくにはかなりの数学的な予備知識を必要とし、中等教育の段階ではなかなか難しいとも言われている。特に学年が下がるにしたがってそのことは顕著である。実際の具体的教材をもとにした実践とその検討が必要であろう。より多くの具体的教材の実践から、どの学年でどのような指導が可能なのかを調べていくことが望まれる⁽⁶⁾。

ここでは、線香を数学的モデリングの具体的教材として実践を行い、その指導可能性について検討することにする。

II. 実践内容

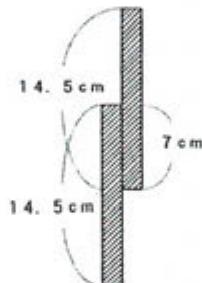
指導対象：本校中学2年160名（男子88名、女子72名）

指導時期：1994年12月20日と22日の計2時間、一次関数の単元終了後

指導内容：一次関数の導入時において、線香を燃やす実験を行った。その時に得られた結果では、静かに長さ12.5cmの1本の線香を燃やしていくとき、燃える速さは平均して0.32cm/分となり、 x 分後の線香の長さ y cm は、 $y = -0.32x + 12.5$ というものであった。そこで、この同じ規格の線香について、数学的モデリングの教材とならないかを考えてみた。

第1回では、以前に実験を行った同じ線香で長さ14.5cmのものがあることを示し、これより長いものがなかったので、2本をでんぶんのりでつなぎ合わせたことを説明し、実物を見せた（5分）。そして、次の①を予想でよいから、とりあえず考えさせてみた（15分）。ただし、1本部分が燃える速さは0.3cm/分とするように指示した。

- ① 前に実験をした長さ14.5cmの線香を2本用いて、右の図のように、でんぶんのりでつなぎました。
火をつけてからの時間（分）と線香の長さ（cm）との変化のようすはどのようになると思いますか。
式やグラフなど、数学を使った表現で予想してみなさい。



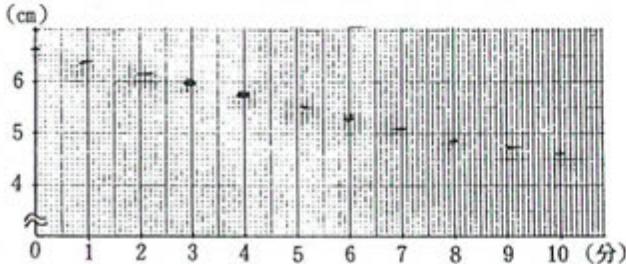
（数学的モデリングの第1段階）

次に、この問題を考える場合に、何がわからないのか、どんな情報が必要なのかを確認し、2本をつなげた部分がどのような速さで燃えるのかがわかれればよいことに気づかせた。実際に生徒に実験をさせられればよかったが、時間的制約もあったので、前もって教師が行っておいた実験結果を配布した。適当に2本をのりでつなぎ合わせた長さ6.6cmの線香が、10分間にどのように燃えていくかを調べたもので、下のような結果であった。

実験結果

線香2本をでんぶんのりでつなぎ合わせて、燃やす実験をしました。

火をつけてからの時間（分）と線香の長さ（cm）を測定していくと、下のグラフのようになりました。



この実験では、①の線香を単にのりで接着し、上から火をつけただけでは、1本部分から2本部分に火が移らず、そこで火が消えてしまう。そこで、ちょっと工夫をして、下側の線香の上端を右図のように横からくさび型に切れ目を入れておくと、上側の線香からの火が下側の線香にうまく燃え移る。そのことも実際につなぎ合わせるときの工夫として簡単に説明しておいた(5分)。

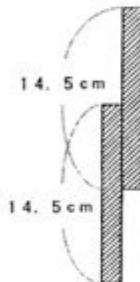


その後、この実験結果をもとに、もう一度数学化しなおすことを試みさせた。それが次の②である(15分)。続いてさらに③の問題解決にも取り組ませた(10分)。

- ② 実験結果をふまえて、①の線香を燃やしたとき、火をつけてからの時間 x (分) と線香の長さ y (cm) の関数を、グラフと式に表しなさい。

(数学的モデリングの第2段階)

- ③ 90分で燃えつきるように、長さ14.5cmの線香2本を、でんぶんのりでつなぎ合わせたい。
何cmをつなぎ合わせるとよいですか。
また、そのときの火をつけてからの時間 x (分) と線香の長さ y (cm) の関数をグラフと式に表しなさい。



(あらたな数学的モデリングの段階)

第2時では、まず、上の②③の問題解決を全員で確認した(20分)。模範解はおよそ次のようにになる。

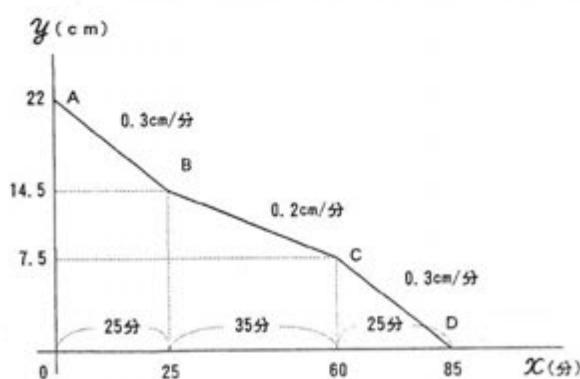
<②の解> 線香1本が燃える速さは0.3cm/分とし、線香2本部分が燃える速さは、実験結果から10分間でおよそ2cmだから、0.2cm/分と考えることにする。すると、

A B間が燃えるのにかかる時間は、 $7.5 \div 0.3 = 25$ (分)

B C間が燃えるのにかかる時間は、 $7 \div 0.2 = 35$ (分)

C D間が燃えるのにかかる時間は、A B間と同じで25(分)

したがって、グラフは下の図のようになり、A、B、C、Dの座標は、



A (0, 22) B (25, 14.5)
C (60, 7.5) D (85, 0)

線分ABの式は、

$$y = -0.3x + 22 \quad (0 \leq x \leq 25)$$

線分BCの式は、

$$y = -0.2x + b$$

$$14.5 = -0.2 \times 25 + b$$

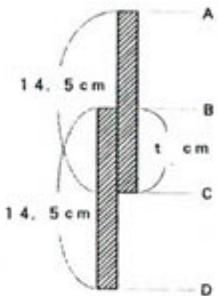
$$b = 19.5$$

$$y = -0.2x + 19.5 \quad (25 \leq x \leq 60)$$

線分CDの式は、同様にして、

$$y = -0.3x + 25.5 \quad (60 \leq x \leq 85)$$

<③の解> 1本の部分は0.3cm/分の速さで燃え、2本の部分は0.2cm/分の速さで燃えるものと考え、2本を重ねる長さをt cmとすると、方程式



$$\frac{14.5-t}{0.3} + \frac{t}{0.2} + \frac{14.5-t}{0.3} = 90$$

が成り立ち、これを解くと、

$$2(14.5-t) + 3t + 2(14.5-t) = 54$$

$$t = 4$$

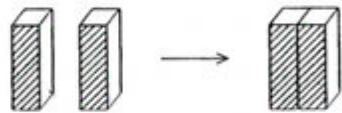
したがって、4 cmを重ねてのりで接着するとよい。

(グラフと式は②と同様なので省略)

その後、2本をつなぎ合わせた部分の方が1本だけの部分よりもゆっくり燃える理由を考えた(5分)。そして、空気に触れる側面の面積に注目させるようにした。つまり、2本をばらばらに燃やしたときは、空気に触れる側面は、 $4 \times 2 = 8$ 面あるが、2本を接着した場合には、空気に触れる側面は、

$8 - 2 = 6$ 面となる。図で示すと右のようになっている。もちろん、線香はすべて正四角柱と考えている。この場合、燃やしているときの空気に触れる部分の面積の割合は、

$$6 \div 8 = \frac{6}{8} = \frac{3}{4} = 0.75$$



側面 8 面

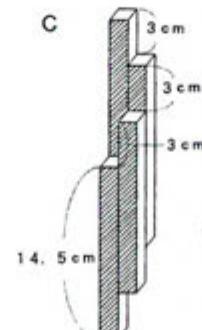
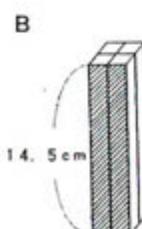
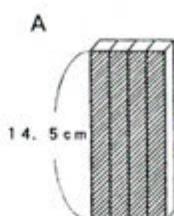
側面 6 面

となるから、この割合で燃える速さを計算すると、 $0.3(\text{cm}/\text{分}) \times 0.75 = 0.225(\text{cm}/\text{分})$ の速さで2本部分が燃えることになる。この値は、実際の実験結果にも近い値だといえる。

そこで、線香が燃える速さを、このような数学的モデルによって決めるこにして、さらに数学的モデリングによる問題解決を試みさせることにした。すなわち、次の④の問題解決に取り組ませた(25分)。

④ 下の図のように、長さ14.5cmの線香4本をでんぶんのりで接着して上から燃やしました。A、B、Cそれぞれの場合に、火をつけてからの時間x分と線香の長さy cmの関数をグラフと式に表しなさい。

ただし、1本だけが燃える速さは0.3cm/分とし、その他は空気にふれる側面積に比例するものとする。



(数学的モデリングの第3段階)

この問題の解答は後日プリントにして生徒に配布した。解答は次の通りである。

<④の解> Aの場合

$$\begin{aligned} \text{燃える速さは、 } & 0.3 \times \frac{10}{16} \\ & = \text{約}0.19\text{cm/分} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{燃える時間は、 } & 14.5 \div 0.19 \\ & = \text{約}76\text{分} \end{aligned}$$

よって、

$$\begin{aligned} y &= -0.19x + 14.5 \\ (0 \leq x \leq 76) \end{aligned}$$

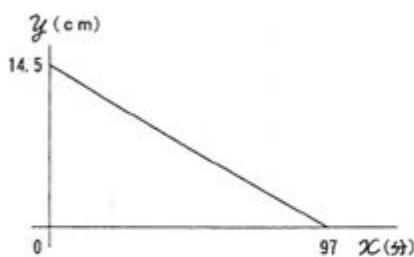
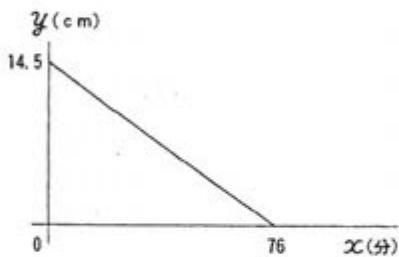
Bの場合

$$\begin{aligned} \text{燃える速さは、 } & 0.3 \times \frac{8}{16} \\ & = 0.15\text{cm/分} \end{aligned}$$

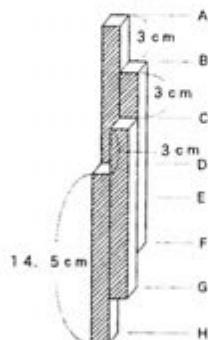
$$\begin{aligned} \text{燃える時間は、 } & 14.5 \div 0.15 \\ & = \text{約}97\text{分} \end{aligned}$$

よって、

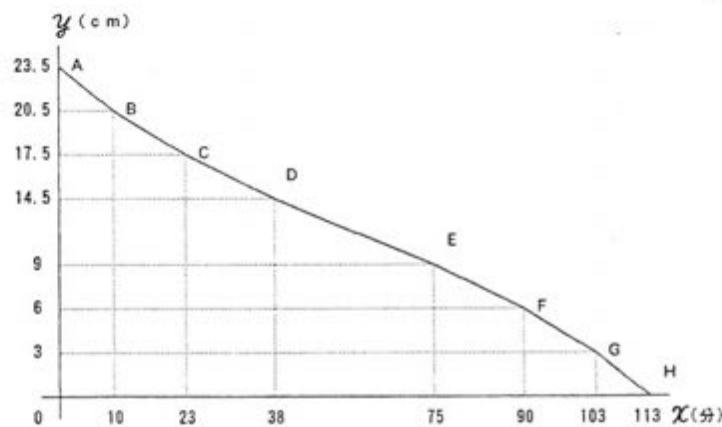
$$\begin{aligned} y &= -0.15x + 14.5 \\ (0 \leq x \leq 97) \end{aligned}$$



Cの場合



	燃える速さ	燃える時間
A B間	0.3cm/分	$3 \div 0.3 = 10$ 分
B C間	$0.3 \times \frac{6}{8} = \text{約}0.23\text{cm/分}$	$3 \div 0.23 = \text{約}13$ 分
C D間	$0.3 \times \frac{8}{12} = \text{約}0.2\text{cm/分}$	$3 \div 0.2 = 15$ 分
D E間	$0.3 \times \frac{8}{16} = 0.15\text{cm/分}$	$5.5 \div 0.15 = \text{約}37$ 分
E F間 (C D間と同じ)	0.2 cm/分	15分
F G間 (B C間と同じ)	0.23cm/分	13分
G H間 (A B間と同じ)	0.3 cm/分	10分
		計113分



III. 生徒の問題解決能力とモデリング教材

授業実践後の事後調査と、授業における生徒の問題解決状況や反応等から、数学的モデリングの学習活動における生徒の問題解決能力と線香を題材とした数学的モデリングの指導内容について検討することにする。

事後調査問題

線香をのりでつなぎ合わせる問題について考えました。これに関して、次の質間に答えなさい。

〔1〕はじめの問題①で予想した関数はどんなものでしたか。アからエより1つを選びなさい。

- ア 3つの一次関数をつなげたものを予想し、変化の割合もほぼ実際に近かった。
- イ 3つの一次関数をつなげたものを予想したが、変化の割合が実際と違っていた。
- ウ 1つの一次関数になると予想した。
- エ その他 ()

〔2〕はじめの問題①で予想したとき、2本をつないだ部分はどのように燃えると思いましたか。

ア～エより1つを選びなさい。

- ア 1本のときよりも速く燃えると思った。
- イ 1本のときと同じ速さで燃えると思った。
- ウ 1本のときよりも遅く燃えると思った。
- エ その他 ()

〔3〕2本を燃やした実験結果を見たとき、問題②で関数のグラフや式を求めるることは難しかったですか。アからエより1つを選びなさい。

- ア どのように求めればよいのかわからず、たいへん難しかった。
- イ なんとか求められそうだと思ったが、少し難しかった。
- ウ ほぼ求めていけそうだったので、それほど難しくなかった。
- エ すぐ求めていたので、簡単だった。

〔4〕感想を書きなさい。

結果と考察

事後調査の結果は表1の通りである。〔3〕では、ア～エ以外に、その他と書いたものが3%いた。この質問紙法による事後調査以外に、数学的モデリングの各段階において、生徒の解答を回収し、その解決状況を調べてみた。そのことも含めて、いくつかの観点から以下に考察する。

① 数学的モデリングの第1段階

問題①では、一次関数と予想したもの（〔1〕のア、イ、ウ）は93%で、そのうち1つの一次関数としたものが31%、3つの一次関数としたものが62%であった。その他（〔1〕のエ）は、2つの一次関数をつなげたもの、反比例、迷ったもの、忘れたもの等で6%いた。また、線香2本をつないだ部分の燃える速さについては、1本のときよりも遅く燃え

表1 事後調査の結果 (%)

	ア	イ	ウ	エ
〔1〕	27	35	31	6
〔2〕	5	37	55	3
〔3〕	15	43	29	10

ると予想したもの（〔2〕のウ）が最も多く55%で、次に1本のときと同じとしたもの（〔2〕のイ）が37%で、1本のときよりも速いとしたもの（〔2〕のア）が5%であった。その他（〔2〕のエ）は、1本のときの1/2の速さで燃える、1本のときのちょうど半分の時間で燃える、欠席していたというものであった。遅く燃えるとしたものの中では、1/2の速さ0.15cm/分としたもののが多かった。

この第1段階では、線香1本が燃える速さ0.3cm/分を与えて、2本部分が燃える速さを予想させたわけであるが、同じ速さで燃える、半分の速さで燃える、2倍の速さで燃えるというようなわかりやすい予測が多く、その根拠にまで触れているものはほとんどない。ほとんどが感覚的な予測となっていたようである。数学的モデルを組み立てる上で情報が不足していたか、予備知識不足か、ある根拠をもって予想を立てれるような段階にないのか、根拠を示しにくい場面設定になっているのか、明確ではない。しかし、多くのものが式やグラフを用いた数学的モデルを一応は作ることができていたとはいえる。

② 数学的モデリングの第2段階

次に、根拠がより確かな数学的モデル化を行うために、必要な情報として、2本部分を燃やした実験結果が与えられた。この状況の中で、グラフや式を使った数学的モデルをつくることは、生徒にとって容易だったのだろうか。問題〔2〕で、たいへん難しかったという生徒が15%、少し難しかったが43%、それほど難しくなかったが29%、簡単だったが10%であった（〔3〕の結果）。その他（〔3〕の選択枝外）は3%で、すぐ求められたが間違っていたのでよく分からなかったと無答と？であった。約4割の生徒が容易であると感じ、約4割の生徒が少し難しいと感じ、1割5分の生徒がたいへん難しいと感じていた。ここでは、もともと関数に対して苦手意識を持っている生徒が見られた。

この段階では、数学的モデルをつくるのに必要な条件整理はできていた、現実的モデルが与えられていると考えられる。まだ細かな所で疑問点を感じている生徒がいるかもしれないが、一応、線香の火はほぼ一定の割合で燃えていき、それぞれの部分の燃える速さは実験結果から式化できる状況にある。生徒による問題解決は、およそ次のようであった。まず、グラフに表すモデル化においては、約80%の生徒が4点A、B、C、Dの座標を示した折れ線グラフをかいていた。約10%の生徒は、折れ線グラフをかいていたが、x座標またはy座標のどちらかが示せていない。残り約10%の生徒は、折れ線になっていたり、折れ線でも座標の値が誤っていたりしていた。次に、式に表すモデル化においては、約20%の生徒が前述の解答のように正しく式化できていた。約50%の生徒は、3つの一次関数に式表現できていたものの、切片の値が異なっていた。約30%の生徒は、切片を22、14.5、7.5としており、折れ線の左上の始点をy切片とし、y軸を移動した形の立式になっていたが、xの変域はもとのままの形でちぐはぐな立式となっていた。約25%の生徒は、はじめの折れ線部分のみの立式であったり、切片のない比例の式であったり、ほとんど式化できていない状況であった。やはり、中学生で関数の式化は力の弱い部分だと思われた。

③ あらたな数学的モデリングの段階

問題〔3〕では、別の視点で一次方程式を使った問題解決を行わせた。つなぐ長さが4cmと正解できていた生徒は約40%であった。約25%の生徒は方程式を用いて解決し、その他は算術等による解決であった。約5%の生徒は正しく方程式を立てていたが、その解には至っていないかった。約10%の生徒はなんらかの方程式での解法を試みていたが誤っていた。約

50%の生徒は、ほとんど解答できていない状況であった。これは、授業中の解決に取り組ませた時間が②と③で合わせて25分程であったので、時間不足となった生徒も多かったようと思われた。しかし、第2時の授業で②、③の模範解を解説したときには、ほとんどの生徒がなんとか理解できていたようであった。

④ 数学的モデリングの第3段階

問題④では、さらに数学的モデリングの過程を設定し、A、B、Cの3種類の接着線香に対して数学的モデル化を考えさせた。Aでは、約55%の生徒が正しいグラフと式にモデル化ができていた。約10%の生徒は、正しいグラフ化はできているが式化で誤っていた。約10%の生徒が、その逆に式化は正しくできていたがグラフがかけていなかった。約25%の生徒は、グラフの切片が異なり、式の変化の割合が異なったり、計算の途中までであったりしていた。その中で約10%の生徒は、燃える速さ $0.3x/(10/16) = \text{約}0.19$ を求めていた。約10%の生徒はほとんど手がつけられていない状況であった。Bでも、ほぼAの場合と類似した結果であった。Cでは、時間の関係でグラフのみをかかせたが、約30%の生徒がほぼ正しいグラフ化を行っていた。約45%の生徒は、途中までは正しくかけており、そこで終っているか、そこから誤っているかであった。約25%の生徒は、グラフが少しだけかけているが座標がとれていなかったり、全くかけていなかったりという状況であった。

この第3段階では、線香が燃える速さを空気に触れるその側面積の比で求めるという数学的モデルを教師が与える形になったが、いくらかの生徒にはその考え方の意味がすぐには理解できず、問い合わせる場面も見られた。その場合には、2本を接着した線香について再度丁寧に個々に説明してやることによって納得できていたように思われる。しかし、Cの場合にはかなり複雑で、生徒たちも難しく感じていた。電卓を使用させるのも1つの方法かもしれない。今の生徒たちは、複雑な計算は苦手で根気がない傾向が強く、概数や近似値による計算処理は大変弱い部分であることを改めて実感した。

⑤ 生徒の感想

最後に、代表的な生徒の感想（〔4〕）をいくつか挙げておく。

「線香を燃やすという単純な作業からいろいろと数学的な部分が見えてくるということはとても興味深かった。身近なものにも数学があるのだということが分かった」

「とても意外な結果だったので感動した。線香にもこんなに深いことがあったのかと感心した」

「くっつけたらどうなるんだろうと思ったが、冷静に考えていくとわかった。側面積の比で速さが求められるのには、結構びっくりした。断面積の比だと思っていたからだ。おもしろい内容だったと思う」

「とてもややこしかったけど、ずっと長い間考えられる問題なのでおもしろかった」

「非常にやっていて楽しかったです。けっこう理科的な所もあったのでやりがいがありました。また、こんな授業をしたいです」

「今まで考えたこともない問題だった」

「答はまちがっているかもしれないけど（〔4〕）解くのが楽しかったです。〔1〕の時に右下がりの一次関数のグラフを、原点を通る右上がりのグラフにしてしまった。でも楽しかったです」

「こういう実験から、あらたな実験をして、答を求めるのははじめてだったので、興味深かった」

「90分で燃えつきるようにするにはどうしたらよいかという問題がわからなかった。解き方が分からず無茶苦茶なグラフをかいてしまった。線香を使って数学をするというのはとても面白かった。結構難しい問題とかつくれるし、線香の燃え方など新しい発見がたくさんてきて、とても楽しかった。だ

から、これからもこのようなものをしてほしいです」

「数学はあまり好きではない方だが、何故だか今日は楽しかった」

「ふだん、線香は墓とか仏壇にそなえるものなので、ここまで深く考えたことがなかったので感心した」

「最後になればなるほど難しくなり、とても奥が深そうで、とてもおもしろい授業だった」

IV. おわりに

線香を用いた一次関数の導入実験は以前から広く行われていた。今回は、この線香を数学的モデリングの教材として捉え、その指導を試みた。線香を燃やすという一見単純なことながらであるが、ちょっとした思いつきで、場面設定を変えていくと、まさに数学的モデリングのプロセスを必要とする教材となることがわかった。

教科書等で見られる教材は、余りにも理想化され仕立て上げられたものが多い。その方が数学的解決や処理（知識・技能）を教えるには能率的で都合がよいともいえる。しかし、現実の問題場面に直面したときには、理想化したりモデル化することによって数学的な解決をはかることになる。したがって、手間と時間はかかるが、このような数学的モデリングの学習をどこかでいくつか体験させておくことが重要であると考える。この線香の例のようにまだまだ教材開発の可能性があるようと思われる。

今回の線香の実践でも、さらに数学的モデリングの教材としてふくらませることが可能である。たとえば、線香の形を正四角柱から円柱に変えるなど、形や大きさを変えることによってどのように燃え方が変わるのがかをモデル化することも考えられる。また、実践で行ったモデル化は実際とはまだ少しの誤差があるから、さらに実際の値に近づけるような修正のモデルを考察することも可能である。それらのことは、ろうそく等に素材を変更して考えてみるとより広がった数学的モデリングの教材開発ができるかもしれない。

実践における生徒の反応は、おおむね好意的なものが多く、意外な所に感心したり、興味を深めたりしていた。しかし、一部の生徒の中には難しい、面倒だといった反応も見られた。今回は2時間の授業に圧縮した形で、その時間内での処理を行ったので、その中で自力解決に至らなかった生徒もいた。実際に実験を行わせたり、グループ学習させたり、時間の枠をはずすなど、さらに指導方法についての検討が必要である。一般的な一斉授業の形態は、日本ではふつうの慣れ親しんだものであるが、数学的モデリングの学習には本来あまり似わないように思われる。中学校段階であってもやはり検討を要するだろう。また、電卓・コンピュータの使用についても積極的に検討する必要があるだろう。なぜなら、コンピュータを使って現実場面を解決すること自身が、数学的モデリングの活動だとも言えるからである。

今後さらに数学的モデリングの教材開発と指導法、生徒の認識について研究して行き、このような学習活動が少しでも普及していくことを期待したい。

参考引用文献

- [1] 松宮哲夫、柳本哲編著『総合学習の実践と展開—現実性をもつ課題から—』明治図書、1995
- [2] 池田敏和、浜泰一「高等学校数学科における数学的モデリングの事例的研究」日本数学教育学会誌第74巻7号、1992、pp.238~246

- 〔3〕池田敏和、山崎浩二「数学的モデリングの導入段階における目標とその授業展開のあり方に関する事例的研究」日本数学教育学会誌第75巻1号、1993、pp.26～32
- 〔4〕藤田幸久、吉村昇、柳本哲、西谷泉「数学的モデリングについての共同研究（第1報）—具体的事例と中高等学校における指導可能性—」大阪教育大学附属天王寺中高等学校研究集録第36集1994、pp.117～129
- 〔5〕柳本哲、藤田幸久、吉村昇、岩瀬謙一「数学的モデリングについての共同研究（第2報）—中高等学校における事例研究をもとに—」同上第37集、1995、pp.65～82
- 〔6〕柳本哲「数学的モデリングの実践実例(I)—地震の震源地を教材として—」同上第37集、1995、pp.83～91

「車の通行量が最大になる速度」を求めさせる授業について ——数学的モデリングを取り入れた授業実践報告——

ふじ た ゆき ひさ
藤 田 幸 久

概要：本校数学科共同研究の一環として、数学的モデリングを取り入れた授業を行ったことについての報告。「道路の輸送容量」と題して4~5時間の授業を高校1年生に行った。1時間目に課題を提示し、2時間目以降は班ごとに討議をさせながら作業を進めさせたところ、多くの生徒は積極的に課題に取り組み、活発な話し合いが班内で成された。また、各時間の作業目標や各班へのアドバイスの与え方、発表のさせ方などに今後の検討を要する課題が見つかった。

I 教材の位置づけ

高校生の数学離れが話題になることが多い。その対策として指導すべき内容と共に指導法そのものについても検討が成されなければならない。本校数学科ではその指導法として問題解決型の流れの中で出てきた「数学的モデリング」というものに注目して研究を続けてきた。

1. 数学的モデリング

詳しくは別稿にゆずるとして、Niss(1987)による数学的モデル化の過程⁽¹⁾を図式化すると図1のようになる。つまり、(a)現実の世界において何らかの問題を認識して、それに対して図の(b)~(f)の手順で数学を利用して問題の解決に至るのである。また、(d)までの段階で数学的モデル化がうまく行なわれなければ満足のゆく解が得られないであろうから、その場合は、(g)モデルの修正、という形で(a)~(f)のループを繰り返してゆくことになる。

我々は、これら一連の過程全体を数学的モデリングと考えることにした⁽²⁾。

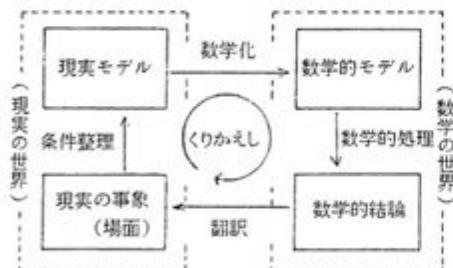


図1 数学的モデリングの過程

2. 教材設定の理由

通常の授業では、整理された数学的知識や技能を教えることに主眼がおかれて、生徒が主体的に活動したり、自らで学習する場面が少ないとと思われる。もちろん知識・技能は大切であるが、数学が現実的な場面にも適用できるということを知ることや、数学を利用して問題を解決していくとする態度を育てるこことも重要であると思う。

今回扱った、車の通行量が最大になる速度を求めるという問題については、問題自体が現実的であるばかりではなく、数学的モデリングを利用していく中で生徒各自が意見を出すことで自分を高めてゆくという主体的な活動が期待され、またグラフを用いて最大値をとるときの車の速度を求めるという形で、関数のグラフの利用というものが現実性を持って提示される。このような利点が見込まれるのでこの教材を設定した。

II 教材の解釈^{(2),(3)}

1. 現実場面

行楽シーズンや朝の通勤時間帯には、道路の渋滞がニュースとして取り上げられることがよくある。渋滞の原因は車の量が多すぎることだと思われるが、安全にかつなるべく多くの車を通すことの出来る限界はどのあたりにあるのだろうか。車の量が増えたときにのろのろ運転になるのは、その方がかえって輸送容量が高まっているのだろうか。

2. モデルの例

“多くの車を通す”という言葉の解釈（通行量の定義の仕方）によっていくつかのモデルが考えられる。

(1) 現実モデル

どの場合も問題を簡単化するために、一車線で信号や交差点のない直線道路と仮定し、路面の様子は一様だとする。このとき、現実モデルとしては次のようなものが考えられる。

- ① 「ある地点（P）を単位時間当たりに通過する車の台数を最大にする」
- ② 「ある区間（I）を一定時間（T）の内に通過する車の台数を最大にする」

(2) 数学モデル

現実モデル①に対しては車体長 L (m)の車が車間距離 ℓ (m)、速度 v (m/秒)で走っているとすると、一台の車が占有する道路の長さは $L + \ell$ (m)であるので、点Pを一台

が通過するのに $\frac{L + \ell}{v}$ (秒)を要する。即ち、一秒あたりの通過台数 n は、 $n = \frac{v}{L + \ell}$ (台/秒)

ということになる。 L をどう設定するかは平均的な車の長さとするとか、普通車の最大の長さにしておくとか考え方方が分かれるが、 v の関数にはなっていないので定数とする。 ℓ は v の関数と考えられる。安全性を強く求めると ℓ は車の停止距離と考えると良い。

車の停止距離は空走距離と制動距離の和で与えられる。空走距離は速度に比例し、制動距離は速度の二乗に比例するので、停止距離は速度の二次関数 $av + bv^2$ (a 、 b は比例定数)の形で表される。

$$\text{以上のことから、} n = \frac{v}{L + av + bv^2} \text{ といえる。}$$

現実モデル②に対しては、区間Iの距離がつけ加えられる。距離 D (m)の区間を一台の車が通過するのに $\frac{D + \ell}{v}$ (秒)かかる。よって T 秒間に間にこの区間を通り抜ける車の台数は $(T - \frac{D + \ell}{v})$ 秒間に間にこの区間にいった車の台数と考えられるので、

$$n = (T - \frac{D + \ell}{v}) \cdot \frac{v}{L + \ell} \text{ (台) となる。}$$

3. 結論

①のモデルで、 $\ell = 0.5v + \frac{v^2}{16.5}$ として

(これは時速100kmの時に車間距離を60mとっていることになる)

$L=3.5, 4.0, 4.5$ のそれぞれについてグラフをかくと右の図2のようになる。なお横軸が時速になるよう値を修正してある(以下同じ)。

また、①で車体長は $L=4.5\text{m}$ としたまま、

車間距離を $\ell = 0.5v + \frac{v^2}{16.5}$ したものと、

$\ell = 0.5v + \frac{v^2}{30.0}$ したもの(後者の場合時速

100kmの時に車間距離が40mということになる)を同じ座標平面上にかくと図3のようになる。

これらのことから、車体長や制動の性能に関わらずおおよそ時速30km~40kmぐらいで走行するときに通行量が最大になると思われる。

②のモデルでは①に加えて区間Iの長さや、一定時間Tの決め方が問題になるだろう。そこで、車体長 $L=3.5\text{m}$ 、車間距離 $\ell = 0.5v + \frac{v^2}{40}$ としておいて、区間長 $D(\text{m})$ 、一定時間 $T(\text{秒})$ を変えたグラフをかくと図4~6のようになる。

区間の長さが長く、一定時間が短ければ、走り抜けるためにある程度速度を上げなければならぬので、通行量が最大になる速度は高いが、区間の長さに対して一定時間を充分にとってやれば、だいたい時速50kmあたりにピークがくることがわかる。

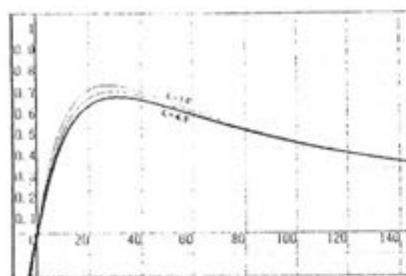


図2 車体長を変えてみたときの比較

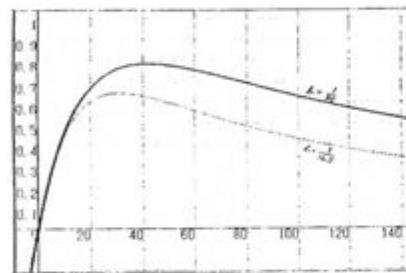


図3 制動の性能を変えてみたときの比較

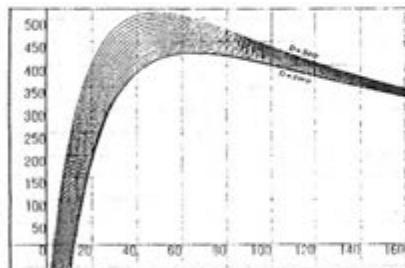


図4 区間の長さを変えたとき($T=600$)

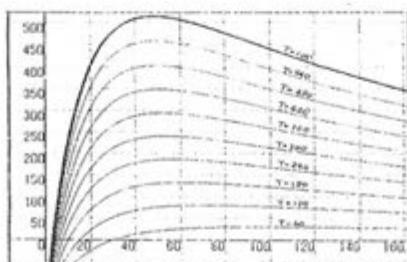


図5 一定時間Tを変化させたとき($D=500$)

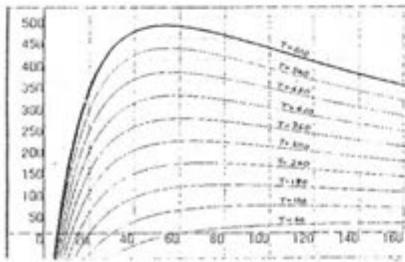


図6 一定時間Tを変化させたとき($D=1000$)

III 授業の展開

本校高校1年生184名（男子108名、女子76名）に対して、1994年10月から11月にかけて表1のように4～5時間をとって授業を行った。

表1 「道路の輸送容量」授業計画

内 容	時数
・解決すべき問題を数学化しやすい表現で捉え直す (現実場面→現実的モデル)	1
・問題を式で表現する(現実的モデル→数学的モデル)	1～2
・数学的な解を得る	1～2
・発表と協議	1

1. 1時間目

(1) 目標：現実場面を提示し、通行量の捉え方を各自考えさせること

考え方の似たもの同士で班を作らせること

(2) 学習過程：導入として生徒に次のように書いたプリントを配った。

＜御知恵拝借＞

自動車に乗っていて、次のようなことに気がついた。車の数が少ないとときは自分の好きな速度で走っていられるが、車が増えてくると全体的に速度が下がり、さらに車が増えると渋滞して止まってしまう。

全体が速く走る方が多くの車を通せるような気がするのだが、そうではないのだろうか。また、なるべく多くの車を安全に通すにはどのくらいの速度で車が流れている状態が良いのだろうか。

上の問題を数学を用いて解決して欲しいのです。

【第1課題】「多くの車を通す」とはどういうことでしょうか。

この課題について補足説明をして「第1課題」について各自考えさせた。その際考えたことをプリントに書くよう指示した（約5分）。次に隣や前後の生徒と相談しても良いことを告げ、考えを深めさせた（約10分）。この間机間指導しながら、どのような考えがでているかチェックした。

ある程度考えが出た頃を見はからって、数名指名して考えを発表させた。クラスによって差があったが、4～5通りの解釈が出たクラスもあった。考え方方が一つでないことを示した上で、次回以降の作業のために自分の考えと似たもの同士で6～8名の班を作るよう指示し、残りの時間を班作りに当てた。班員のリストと、その班での問題解釈を班別の報告書に書かせて提出させた。

(3) 解釈例

「一定時間内に、ある地点を通過する車の台数」を最大にする。

（約100名）

「一定時間内に、ある一定区間を通過する車の台数」を最大にする。(約 40名)
「一定時間内に、ある一定区間で認められる車の台数」を最大にする。(約 20名)
「その道にしては車の量がいつもより多いこと」(約 10名)
「一定時間内に、ある一定区間を走った車の走行距離の総和」を最大にする。
等の解釈があった。

2. 2~3 時間目

この時間については1994年11月9日に本校教育研究会において公開授業を行ったものと同じです。

- (1) 目標：前時に各班で考えた通行量を速度 v の式で表現させること
その過程ででてくる問題点について討議することで、現実問題を見る視点を深めさせること

- (2) 学習過程：(前回作った班ごとに座らせておいた)
各班ごとの設定を読み返して前時の内容を思い出させ、本時の目標が「各班で設定した通行量を式で表現すること」であることを告げた。前回提出させた班ごとの報告書に右のような課題を挟んで返して作業に入らせた。

各班を回りながら、班ごとに指導
(話題にしている数量間の関係を明確にさせる、立式の妥当性を問う)
した。共通の話題とする方がよいもの(例えば、車の長さについて)は全体で討議させた。

車の性能など後で調べなければならない事柄についてまとめさせた。

また、式が出来上がった班については次の段階へ進ませた。

【第2課題】 前回定義した通行量を式で表してみよう
Point :
① どのような“量”に着目するか。
② それらの間の関係はどうなっているか。
③ 安全性について大丈夫か。
④ 式が複雑になることを避けるために無視できる条件はないか。

3. 3~4 時間目

- (1) 目標：前段階で作成した式をもとにグラフを書かせ、それより通行量が最大になる速度を求めさせる
結果がおかしければモデルを修正して、作業を繰り返させる
- (2) 学習過程：教室にノートパソコンとグラフィックソフトを持ってゆき、式が出来た班から順に式を入力してグラフにした。
そのグラフをもとに自分たちの思っていた通りかどうかなど討議させた。

4. 5 時間目

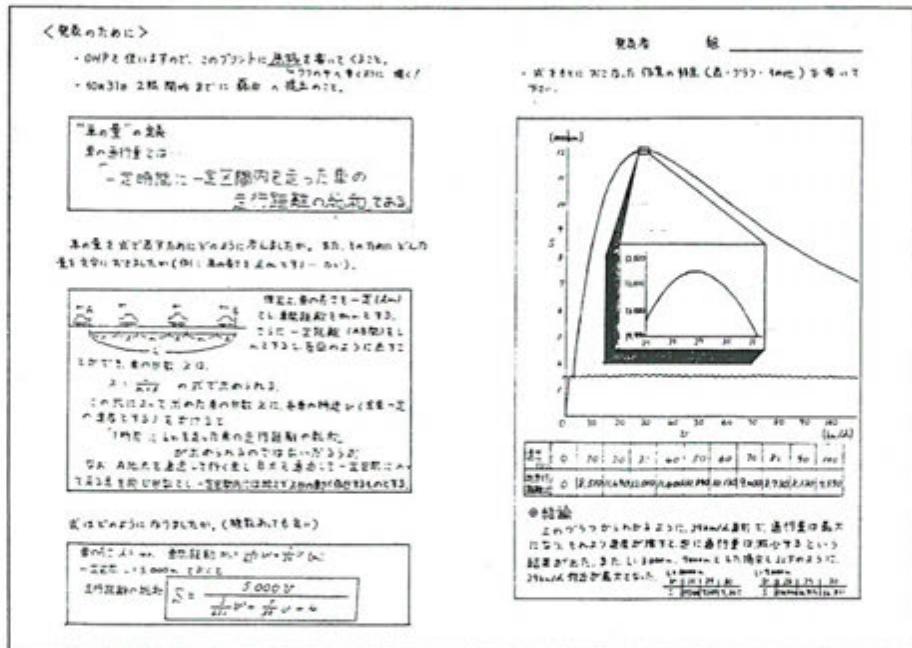
- (1) 目標：各班ごとにこれまでの活動について発表させる
(2) 発表のさせ方に対する反省
最初のクラスでは教材提示器(テレビカメラでノートなどを写してTVに出すもの)を利用させようと思ったが、発表用に原稿を作ってきている班がほとんどなく、黒板

に式や図を書いていたので時間もかかり、分かりにくかった。

そこで、次のクラスには発表用原稿の雛形を配って記入させ（下の表2）、それをOHPシートにコピーして、OHPを使って発表させた。発表はスムーズになったが、聞いている他の生徒にとっては分かりにくいようであった。

次のクラスでは発表用原稿をOHPシートにコピーするだけでなく、全員に印刷して配ることで、メモを取らなくても発表している内容についてくることが出来るようにしたが、発表を聞くだけで、討議するまでには至らなかった。

表2 発表用原稿の例



IV 授業を終えて

各班の発表をもって授業は終了したが、これまでの活動についてのレポートを全員に課した。レポートに感想を書くように指示したところ色々な感想が返ってきた。その一部を大きく2つにわけて以下に紹介する。

1. 肯定的反応

今回の授業の内容は実際に起こることを取り上げていたので、興味がもてた。（男）

この車の渋滞の問題は、僕自身日々不思議に思っていたことなので、すごく興味があり、また、少し分かったような気がする。（男）

身近にある些細なことも、関数で表せることに正直驚いている。（男）

旅行とか行くときに気になっていた問題なので正しいかどうかは分からぬけど、少しは分かったような気がする。（男）

普通の授業では、この授業のように、他の人と真剣に話し合ったりすることがないので、慣れていないためか、初めはあまり意見を言わなかったけれど、最終的には何個か自分の

意見を持つことができ、良かったと思う。（男）

初めのうちは、通行量を表す式に文字が4つもあり、それらをどのようにしてグラフにすればよいのか見当がつかなかったが、みんなで考えたら、何とか結論が出て良かった。僕も自分の考えを生かせることが出来た。（男）

単なる計算とは違い、独自の思考を十分に生かせたところが良かった。多人数による意見の交換で、その考えをより深められたと思う。（男）

本当に、他の人に助けられつつ、考えを進めていくて良かったです。レポートを書くにつれて、さらに理解が深められて嬉しかったです。それにしても難しかった……。（女）

初めは、何をしようとしているのかわからなかっただけだ、だんだんとやろうとする事が見えてくると、いろいろ考えがでてきておもしろかった。（女）

初めに何をするか聞いたときは、全く見当もつかなかっただが、7人で少しづつ考えていくと、お互い相手の意見から新しい考え方方が浮かんだりして、思ったより進められた。最後、何とかグラフもできて、私達なりの考えをまとめられてうれしい。（女）

最初はまさに暗中模索といった感じだったが、回数を重ねるうちに少しづつわかり始め、興味を持って取り組むことが出来た。（男）

初めのうちは、こんな問題解けるわけがないと思って、どこから手をつければいいかもわからなかっただけだ、最後くらいになると自分でイメージして式を作れるようになり、そのグラフが一応もっともらしそうな形になったので嬉しかった。（女）

一つのことを考えるのにいろいろな要素がからんてきて、難しい課題でした。でも、苦労して作った式がグラフとなってぱっと現れたときはとてもうれしかった。（女）

途中まではスムーズに考えられたが安全性を考えるあたりから急に難しくなった。意見が食い違うこともありかなり苦労したが、一つの結果が導き出せて良かった。またやりがいもあり、楽しむことが出来た。（男）

班活動で良かった。一人ではとてもできなかった。（男）

授業から離れてこんなことやるのも楽しいと思った。今度やるときは、もっと一人一人の解釈の違いがもっとはっきりとするような題材にしたらいいと思う。（男）

少し他の人に任せていた面があったが、人の意見を参考にして僕もそれと少し違うことについて考えることが出来た。途中で訳が分からなくなることもあった。（男）

初めはよく分からなかっただけだ、考えを深めるにつれて分かってきました。でも、もう少しクラス全体で考えを深めてから班分けをした方が良かったようにも思います。（女）

授業とは離れた内容なので、積極的に考えられたが、指導者がいないのでなかなか進まなかった。（男）

2. 否定的反応

ちょっと変わった趣向で気分転換になった。でも、具体的な値が出てこないので式をたてるのに四苦八苦したのでもっとアドバイスが欲しかった。（女）

問題が、分かりにくかった。一体何をしたらいいのか分かりにくいし、行き結まったとき、アドバイスがもらえたなら、もう少しきちんと深く考えられたと思う。（女）

自分からやろうという姿勢がなかった。アドバイスがあったらそれについて考えられたけど、あまり出来なかった。（男）

文字にするのが多くて、他の班を見ると、難しい式がたくさん書いてあったので、自分の班の式が、いいのか悪いのか分からなかった。(男)

問題が漠然としすぎていて分かりにくかった。他の班の考えがもっと途中で知りたかった。(女)

具体的な数字のデータの少なさから、あまり正しいとは言い切れない。しかも、この具体的なデータの少なさで、班での話し合いも難航してしまった。(男)

速度 v の単位に関して混乱してしまい、とても難しかった。(男)

最終的にどの考えが正しいのか分らなかった。(女)

うちの班は、できた！と思ってグラフを書いてみると、ちがう…。というのが続いて、ちょっとイライラしました。(女)

各々の班で自分のテーマについては深い過程に基づいているので理解できるが、他の班の発表については、この前の文化祭の発表会企画と同じで何をやっているのかわからなかった。もしさま同じことをすることがあればもう少し考えて欲しい。(男)

毎回先生から“今日は○○を考えてください”というような形で毎回の作業目標は示されたが、全体を通して、何を目的で“お知恵拝借”的問題を行うのかが示されなかつた。コンピュータをもっと利用して、グラフなど書いてみたかった。(女)

数学は量の上の水練だということがよく分かった。(女)

V まとめ

数学的モデリングを利用する授業の事例として「道路の輸送容量」に関する授業を行ったが、予想以上に生徒は積極的に課題に取り組み、班内での活発な討論も行われた。少し難しい内容であったが、班別の活動にすることで、その難点を多くの者が克服していく。結論を1つにしほらないことで、考え方の多様性に応じることもできた。感想から、数学が現実的な問題にも有効であることを知らされることが出来たようにも思う。

しかし、班別作業時に各班の様子をつかんで適切にアドバイスを出すことが難しく、そのあたりに不満を持っている者もいる。また、発表をさせて、それに対して討議をさせたかったのだが、それについては完全に失敗に終わってしまった。生徒の評価をどうするか、ということについても今後の課題として残っている。

最後に、数学的モデリングについて色々な示唆を与えてくださった本校数学科のメンバーならびに、教育研究会当日にわざわざ足を運んでくださった参会者の方々に感謝の意を表して本稿の締めくくりとします。

参考引用文献

- [1] M.Niss : "Aims and Scope of Applications and Modelling in Mathematics Curricula", APPLICATIONS AND MODELLING IN LEARNING AND TEACHING MATHEMATICS, Ellis Horwood Limited (1989)
- [2] 藤田幸久、吉村昇、柳本哲、西谷泉：「数学的モデリングについての共同研究（第1報）大阪教育大学教育学部附属高等学校天王寺校舎『研究集録』第36集（1994）
- [3] 大阪教育大学教育学部附属天王寺中学校附属高等学校天王寺校舎『第42回教育研究会便覧』（1994）

立体視と数学について（1）

よしむらのぶる
吉 村 昇

1.はじめに

裸眼立体視というのは、長い人類の歴史の中で、近年になってはじめて気がついた目の使い方である。人間の体には目が2つある。このことは人類の太古から変わっていない。人類はその2つの目でいつも1つの物を左右2つの目で必ず1つの物を見ていた。1つの物を左右2つの目でみることから立体感や距離感を得ていた。

ところが、裸眼立体視というのは、左右2つの目で左右2つの物を見る。左右2つの目で左右2つの画像を見て、それを1つの頭の中で受けとめて、架空の立体感を得る。人類五百万年の歴史を生きたあとに、まだこのような初体験があったのか、という不思議さである。

1枚の平面の世界から、立体視の技法は、もう数百年も昔から人々の心を魅了してきた魔術的現象であった。歴史的には、19世紀イギリスのホワイトストーン卿の立体視鏡の発明に始まるというが、イタリアにはそれよりも2世紀も前に、手書きの絵で立体視を試みた画家たちがいたというから、こんな立体視現象への憧憬は、むしろ人類が絵を描き始めて以来、意識の奥に秘めてきた悲願だったのかも知れない。

2.立体視とその解析

実体視とも呼び、2枚の図または、写真を使って物体を3次元的に見ることである。これには、次の①～④の条件を満たす2枚の図または、写真が必要である。〔図1〕

- ①同じ物体が描かれている
- ②2枚の図の光軸が同一平面内にある（傾きがない）
- ③2枚の図の縮尺が等しい
- ④ b/h の比が一定の範囲にある

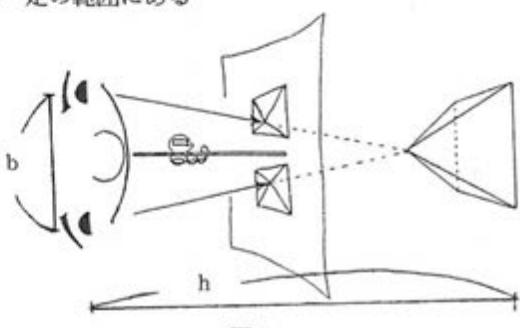


図1

図2のように、ある物体の点Pを右目と左目で見る。このとき、間に透明な紙があるとする。物の位置を決めるため、基準となる原点Oを図のようにおき、

点Pの座標を $P(x, y, z)$

点Oから紙までの距離を k

紙から左目と右目の中点までの距離を m

左目と右目の距離を $2h$

とする。

また、左目から点Pを見たときの紙との交点を $P'_{L}(x'_{L}, y')$

右目から点Pを見たときの紙との交点を $P'_{R}(x'_{R}, y')$

とする。ここで、 P'_{R} と P'_{L} のY座標は同じである。

図3で、 $\triangle PAB \sim \triangle PCR$ より、

$$\frac{x'_{R}-x}{h-x} = \frac{k-z}{m+k-z}$$

これより、整理して、

$$x'_{R} = \frac{-z h + k h + m x}{m + k - z} \quad \text{---①}$$

同様にして、 $\triangle PDA \sim \triangle PLC$ より、

$$x'_{L} = \frac{z h - k h + m x}{m + k - z} \quad \text{---②}$$

また、図4で、 $\triangle PRE \sim \triangle P'_{R}RB$ で、

図2より $RE : P'_{R}R = m : m+k-z$ を用いて、

$$y' = \frac{m y}{m+k-z} \quad \text{---③}$$

を得る。

①、②、③の式を使って、 $h=4$ 、 $k=45$ 、 $m=10$ のとき、頂点の座標が、 $A(10, 10, 0)$ 、 $B(-10, 10, 0)$ 、 $C(-10, 10, 0)$ 、 $D(10, -10, 0)$ 、 $E(0, 0, 10)$ の四角錐の立体視図をN_{BS} BASICで作ってみた。(図5)

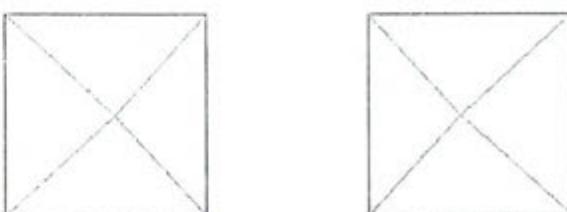


図5 四角錐の立体視図とそのN_{BS} BASICのプログラム

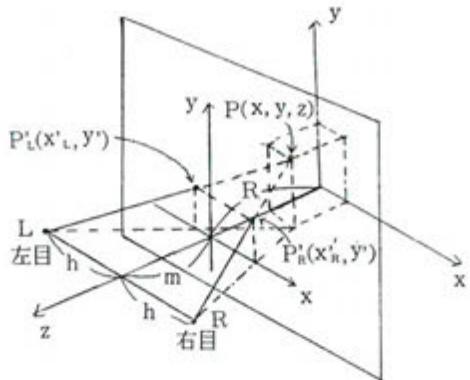


図2 立体視の原理

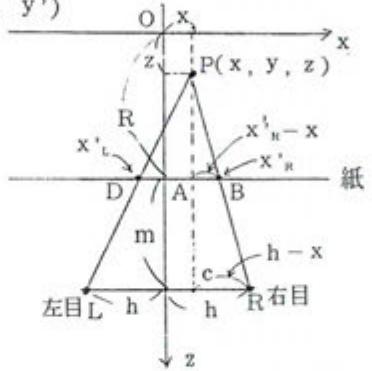


図3 図1の真上から見た図

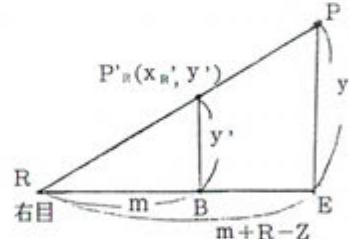


図4 図1を斜めから見た図

```

10 SCREEN 3:CLS 3:H=4:K=45:M=10
20 WINDOW(-8,-5)-(8,5)
30 FOR N=1 TO 10
40 READ X,Y,Z :GOSUB *ZAHYO
50 NEXT N
60 END
70 *ZAHYO
80 XR=(-Z+H+K+M*X)/(M+K-Z)
90 XL=(Z+H-K+M*X)/(M+K-Z)
100 YD=M*Y/(M+K-Z)
110 IF A=0 THEN A=1 :GOTO 140
120 LINE(XR0,-YD0)-(XR,-YD)
130 LINE(XL0,-YD0)-(XL,-YD)
140 XRO=XR:XL=XL:YD=YD
150 RETURN
160 DATA 10,10,0,10,-10,0,0,10
170 DATA 10,10,0,-10,10,0,0,10
180 DATA -10,-10,0,-10,10,0
190 DATA -10,-10,0,10,-10,0

```

3. 研究のねらい

絵画の2次元的表現の限界を超えて、さらに、奥深いリアリティに迫りたいという好奇心から、近年にいたるまで、遠近法の発明をもとに、さまざまな立体像技術が考えられてきた。それはなぜか。立体写真めがねで、風景の立体写真をみると、何となく箱庭やミニチュアを見ているようで、奥行きの感じがときには、实物以上によく出ているように思えて楽しい。

また、単に楽しいだけではなく、実用的にも役だっていることは少なくない。たとえば、航空測量をするために、飛行機に乗って写真をとる。航空写真を1枚とるのにかかる費用は5ドルだが、その写真から地図をつくりだすには、95ドルの費用がかかる。1枚の航空写真そのものが地図になるわけではない。地の起伏、カメラの傾き、レンズの収差やフィルムの歪み、そのほかの現象が原因となって、航空写真は往々にして地表の画像に歪みを生じさせる。さらに1枚の航空写真からでは、土地の高度差を測る手がかりを得ることはできない。航空写真に含まれている情報を正確な地形図に転換するために、さまざまな立体作図装置が開発されてきた。今世紀初頭にその基本的な原理を初めて考えだしたのは、ドイツのカール・ブルフリッヒであった。ブルフリッヒは実体座標測定器を発明した。これは、重複する2枚の写真を投影して3次元像を作り出す器械で、この2枚のとられたときの角度を再現することによって、2枚の写真で重複している地域のどの地点の位置も正確に決定できるようになった。つまり、立体視の原理は飛行機の発明と結びつき、航空写真から直接つくられる地図（正射写真地図）の方法へと役だっていった。

立体視は、人々の心をとらえ、娯楽から芸術の世界へと、さらには、科学技術の世界へと広がっていき、最近では、大衆的なブームまで巻き起こしている。

立体視が、娯楽の世界から、芸術の世界、さまざまな世界に利用されていることを、実感させることによって、その中に見えかくれする数学を無味乾燥なものではなく、現実に対しても有効性があると感じさせたい。また、数学を文化の一環として捉えさせ、さらに進んで、世界の文化を尊重するような態度ができればと願っている。

4. 授業の実践内容

3に記したねらいのうち、立体視が、娯楽の世界、芸術の世界に利用されていることを、実感させることによって、その中に見えかくれする数学を無味乾燥なものではなく、現実に対しても有効性があると感じさせるために、次のような指導計画をたてた。

(1) 対象：本校中学3年選択授業25名

(2) 指導時期：1994年10月15日～1995年3月4日の計22時間

(3) 指導計画：

	学習内容	時間配当	
第1次	立体視の基本原理について知ろう	4時間	
第2時	ステレオグラムを作ろう	22時間	6時間
第3時	パソコンでCG3Dを作ろう		6時間
第4次	パソコンでR.D.S.を作ろう		6時間

(4) 指導の内容とおよび課題の概要（第1次と第2次についてのみ）

第1次では、

- ① 四角錐を真上からみた立体視図を例にし、左目用、右目用の図の各頂点をずらすことによって立体視図ができるなどを、さらに、ずらす距離と奥行きの距離の関係を理解させ、それをもとに、自作の立体視図を作成させた。
- ② 3種類（○、△、□）の立体視図（図6）を見せ、対応する左目用と右目用の図や線を近づけると像は近くに、遠ざけると像は遠くに見えることを理解させ、その原理をもとに、自分の好きな図をコピーし、何層かの奥行きのある自作の立体視図を作成させた。

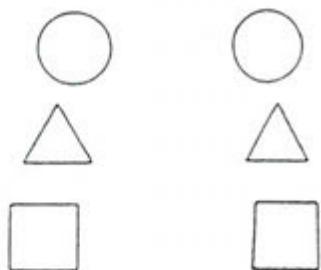
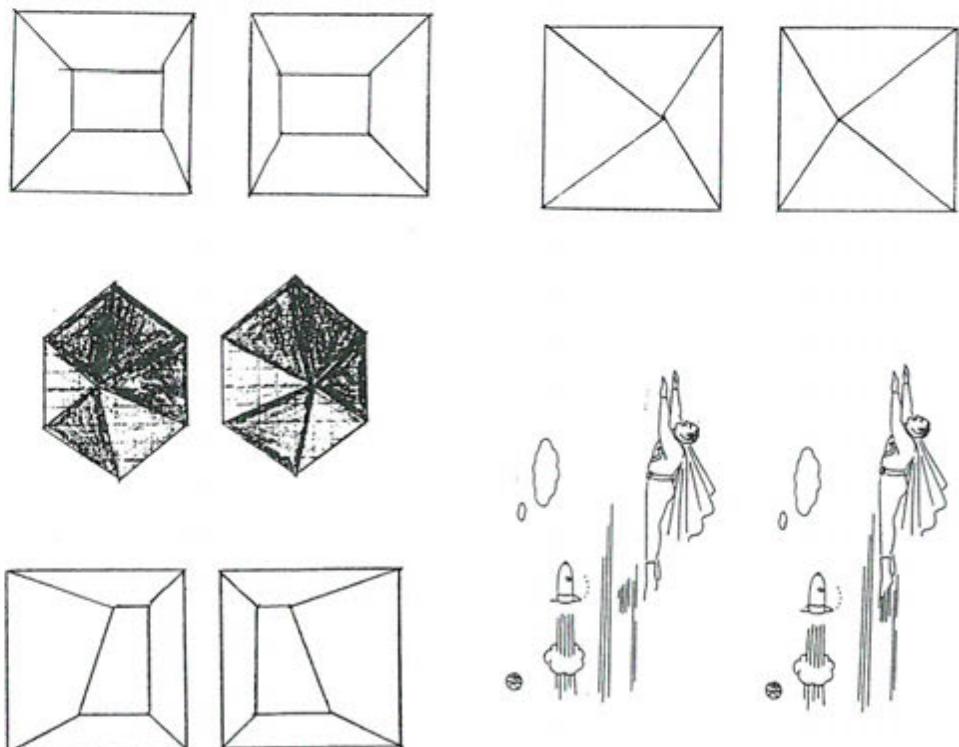


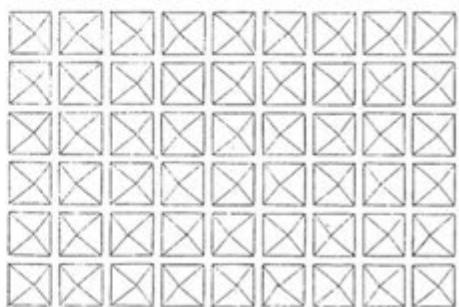
図6

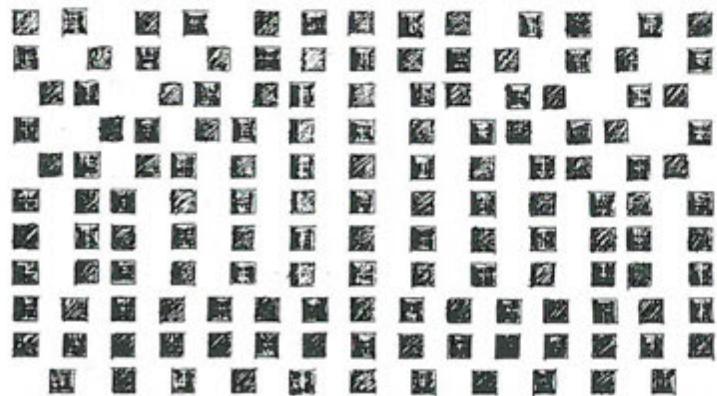
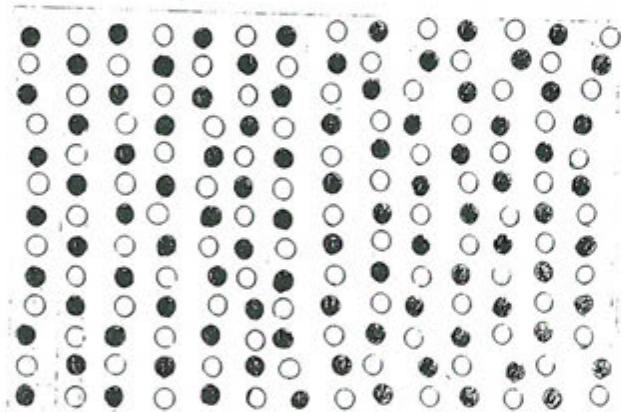
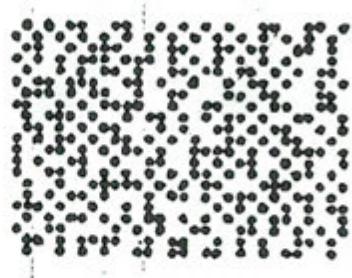
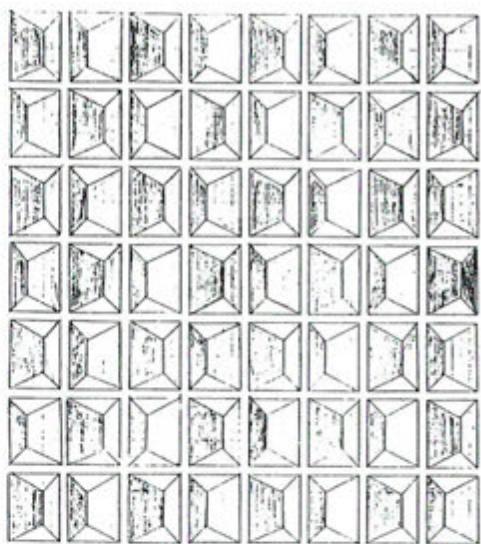
第2次では、

- ③ ①の原理をもとに、1組の立体視図を交互にかくことによって、凹凸の立体視図を、つまり、ひとつの画面の立体視図を作成させた。
- ④ ②と③を組み合わせた立体視図を作成させた。

6. 生徒の作品







6. おわりに

4(4)①～④について、生徒の感想および反応をもとに、気付いたこと及び、今後の課題を記して、まとめとしたい。

①では、生徒が立体視図を見て、不思議さを感じるとともに、数学の要素を省いて説明したためか、その原理の簡単さに驚き、数学とどのような関係があるのか疑問に思う生徒がいた。①の授業後、数学的遠近法についてのレポートをかけた。そのレポートの内容から、数学との関係を実感する生徒も見られた。その生徒たちは、計算や作図をもとにして、厳密に奥行きの距離を求めてみたいようであった。

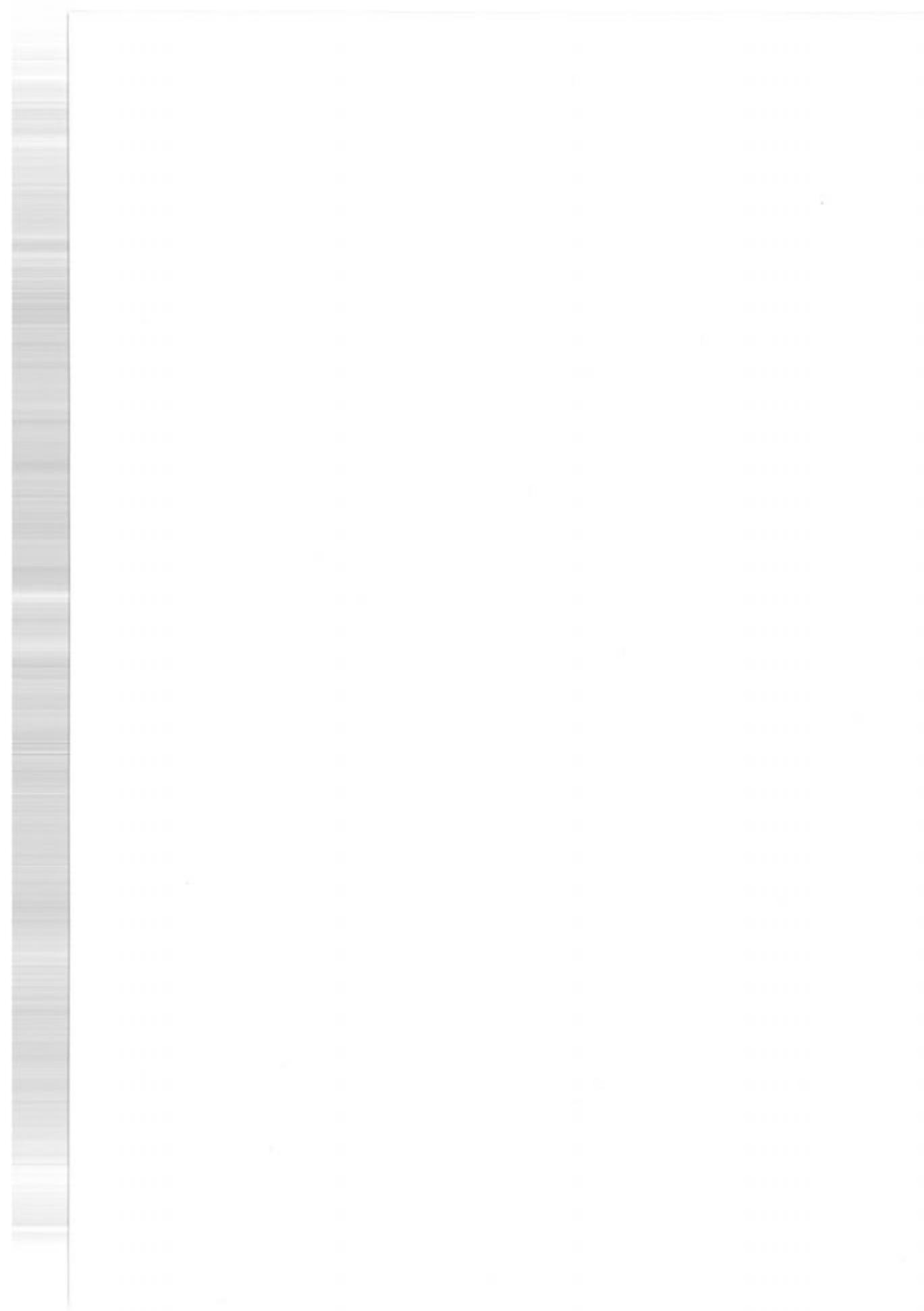
②では、自分の好きな図や絵をコピーし、自分のおもしろいなあと思えるように、何層かの立体視図を作成していた。「見えるか?」などと互いに言いあい、自分の作品の出来映えをみんなに知ってもらいたいという感じであった。また、自宅に帰ってから、コピーではなく、自分の描いた絵を何層かの立体視図にしていた生徒も見られた。適度な作業量で、余り細かいことにもこだわらずに作品ができあがっていたが、生徒の中には、原図が細かく、作業が大変になり、やり直す生徒も見られた。コピーをとる段階で、どのような作品に仕上げようとしているのかを聞き、適切なアドバイスを与えておく必要があったと考えられる。

③、④は、ともに、細かい繰り返し作業だったので、作品の出来映えよりも、作業の大変さの方が印象に残っているようだった。ある意味で、ひとつの画面の立体視図を作成させることは、手作業では限界に近いようであった。ここでの原理を理解させるのに、今回のように手作業に頼ったのは、計算ではなく、感覚的に理解させようと考えたからであるが、逆に、手作業がやっかいであったため、原理もあまり理解できていないようであった。授業を終えて、パソコンを使ってもよかったのではないかと考えられる。つまり、第3次の内容に入れてもよかったのではないかと考えられる。時間的に余裕があれば、第3次でもう一度この内容を取り入れればと思う。

第3次、第4次、及び、全体を通しての考察は、今後にしたい。また、さまざまなお批評、ご助言をいただければ幸いである。

参考引用文献

- 1) 監修 横地清「21世紀への学校数学の展望」、誠文堂新光社、1994、pp.443～471
- 2) 松宮哲夫・柳本哲・吉村昇他「陸上競技の数学」、「鉄道の数学」「交通安全の数学」、大阪教育大学数学教室編「数学教育研究」第20～22号、1990～1992
- 3) 「C.Gステレオグラム」小学館、1993、pp.25～43
- 4) ジョン・ノーブル・ウイルフォード(鈴木主税訳)「地図を作った人々～古代から現代にいたる地図製作の偉大な物語」、河出書房新社、1988、pp.335～350
- 5) 菅野峰明・安仁屋政武・高阪宏行、地理学講座2「地理的情報分析手法」、古今書院、1987、pp.69～169
- 6) 何森 仁「ステレオグラムをつくろう」日本評論社、1993、pp.1～47
- 7) 高崎正義、総観地理学講座「地図学」、朝倉書店、1988、pp.52～82、pp.239～257
- 8) 日本写真測量学会編「立体写真のみかた・とりかた・つくりかた」、技報堂出版、1979
- 9) 西尾元充「写真測定入門」、共立出版、1982



「振動と波動」分野の指導に関する工夫

——バネを用いた定常波と固有振動についての学習——

井 上 広 文

I. はじめに

波動に関する学習単元に、定常波・固有振動・共鳴・共振、といった内容が含まれている。しかしこれらは、独立した物体や大きさの決まった領域における振動現象であり、波動について理解する中で考えるのも大切であるが、「物体固有の」という点に着目した理解の仕方も重要であると思う。なぜなら、独立した物体にエネルギーを与え、固有振動が起こっているとき、その振動エネルギーは物体の中に閉じ込められたような形になっており、進行する波のようにエネルギーが運ばれていく、といった見方はできなくなるからである。

今年度私は、単振動の学習に引き続いで固有振動を扱った。その主な理由は上に述べたようなことが気になっていたからであるが、もう一つ考えてみたいことがあった。それは気柱の振動のような目に直接は見えないような現象を、何とか視覚的に演示するようにできないか、ということである。閉じ込められた気柱に固有振動が起きている様子を理解させるために、「クントの実験」などがよく用いられる。ガラス管内の粉末が、派手に舞い上がり、演出効果は非常に大きいが、この実験でわかるのは「固有振動している気柱に生じた定常波の腹と節の位置が示される」ということであって、気柱を構成している気体分子の振動の様子を実感する、というレベルに達するのはなかなか難しいようだ。実際に起こっている現象や本物を見て、ものを考えることが非常に大切である、というのは当然であるが、理論から具体的な現象を説明しようとするときには、イメージを膨らませるための適切なモデルが欲しくなる。特に直接目に見えないようなものを扱うときにはそうである。

今回の試みで私は、固有振動と外力のする仕事との関係が、エネルギーの面から理解できるようになることを一つの目標とした。一方、継波（疎密波）及びその定常波における媒質の振動の様子を、横波と同じ程度に理解することも重視した。この目的のために、バネを媒質とした継波の定常波を観察する、ということを題材に、固有振動の教材を組み立ててみることにした。

II. 指導の流れ

通常、教科書においては力学が最初の部分におかれ、単振動についてはここで扱うようになっている。その後に波動についての単元があり、その中の振動一般についての項で定常波について学習した後、音波についての項で発音体の振動、及び共鳴・共振について学ぶ。ところで、我々が音波をはじめとした波について考えるときには、たいてい波源（音

波においては発音体）のことも同時に考えるものであり、生徒たちには物体が何故その物体特有の（具体的には高さや音色の特徴をもつて）音を発するのか、ということにまで思いを巡らせて欲しいと思う。そこで、次のような教材配列にした。

1. 指導内容

(1) 波動の表現の仕方と波の伝わり方（5時間）

縦波・横波の違いや波動の一般的な性質について。特に、波の伝わる条件や波の速さの決まり方、波とエネルギーとの関係などについて強調した。

(2) 単振動とエネルギー（4時間）

固有振動との関連を強く意識し、単振動の周期を決定する条件、すなわち物体の慣性の大きさと、物体に働く復元力の大きさとについて強調した。

(3) 音波に関する諸現象と発音体（7時間）

発音体によって出てくる音が異なることと、物体ごとに決まる固有振動の存在について中心的に取り上げ、あらゆる可能性の中から実際に存在できるものが選び出されてくる過程について考えるよう配慮した。

2. 授業の展開

今回の工夫は、指導内容の(3)、「音波に関する諸現象と発音体」における、固有振動と共振にいたる授業についてである。この間の授業展開は以下のとおりである。

第1時	音の3要素、すなわち音の高さ・大きさ・音色がそれぞれ波としての振動数・振幅・波形（またはスペクトル）に対応していることを知る。
第2時	弦に生じる定常波の観察を通じて、定常波の形成のされかた、定常波が安定して存続する条件について考える。
第3時	弦を弾いたときに出る音の波形を観察し、両端が固定された形の弦について可能な振動の形を考える。フーリエ分解とスペクトルについての基本的な考え方を学ぶ。
第4時	弦の固有振動と気柱の固有振動を題材に、その振動の様子について詳しく理解する。特に、共鳴の起こっている状態をエネルギーの面から考えてみる。

音のスペクトルについては、普通はあまり扱われないと思う。しかし一般の発音体が実際に発する音は、純粋に单一の振動数の音ではなく、スペクトルに分解できるものであるから、フーリエ分解の考え方で簡単に触れることが必要ではないかと思う。最近は、コンピューターを用いて、音波のフーリエ分解及び再合成などが比較的簡単にできるようになっている。

III. バネを用いた教具の工夫

音波の授業の第4時において、バネを用いた教具を組み立てて演示実験を行った。以下にその内容をまとめる。

1. 素材

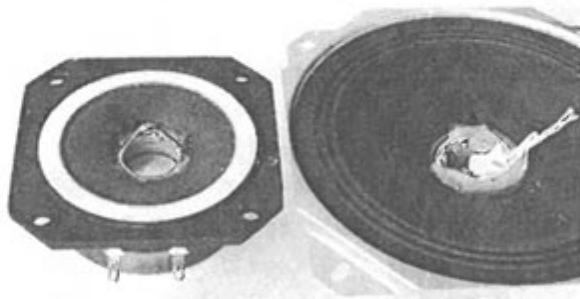
(1) 音波の媒質としてのバネ

今回、主に気柱の共鳴状態や形成された定常波の様子を視覚化するためのモデルを作ろうと考えた。管内の気柱に定常波ができる場合、気体の各要素（微小部分）は管の方向にしか振動しないと考えてよいから、バネに生じる振動と同じ形になる。そこで、適当なバネを用いて演示すればよいということになる。しかし周囲を見渡したところ大抵は引きバネであり、また押しバネで適当な大きさ、強さのものがなかったので、ピアノ線を用いて自作した。いくつか製作したもののうち、ピアノ線の太さが0.5mmのものが使いやすそうだったので、それを用いた。

(2) 外力の源としてのスピーカー

媒質に加える力の周期を変化させるために、低周波発振器につないだスピーカーを用いた。はじめ、簡便な方法はないかと思い、よく用いられている電磁音叉や交流式記録タイマーの使用も試してみたが、振動数を変えるためには低周波発振器を用いなければならなかった。手近にあった機械を分解するなどして、スピーカーを取り出し、糸やバネを取り付けるための金具を、アラルダイト接着剤で固定した。（写真1）

写真1



2. 授業における演示の実際

(1) 弦の固有振動

スピーカーに張力を加えたタコ糸をつないでタコ糸に加える外力の振動数を変化させ、ある特定の振動数のときに定常波が形成されることを観察する。これは教科書などに、写真と共によく示されているものである。弦に生じている定常波の振動数が、発振器の目盛りに示されるのでわかりやすい。

(2) 気柱の振動（気柱の共鳴実験）の視覚化

初めに、塩ビ管の一端をゴム栓でふさいだものを用いて、基本振動といくつかの倍振動の音を聞かせてから、気柱の振動の様子を考えさせる。その後、バネを用いた装置で演示実験を行う。

図1（及び写真2）のように装置を組む。縦にしたバネを安定させ、横振動が生じないようにするために、中心にアルミ管を通しておく。バネの下端は両面テープでスピーカーの表面に接着する。（接着しなくても、スピーカーの振幅が小さいかぎりは問題ない）

スピーカーの振幅ができるだけ小さくしておくほうが、バネの下端がより厳密に気柱の閉端とみなせる。バネの上端は自由端、即ち気柱の開端とみなせる。

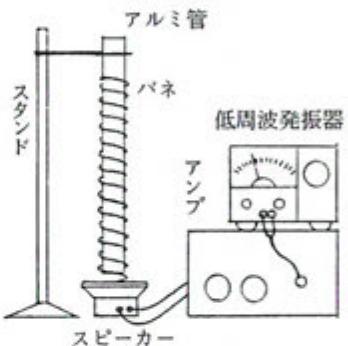


図1 気柱共鳴実験モデル

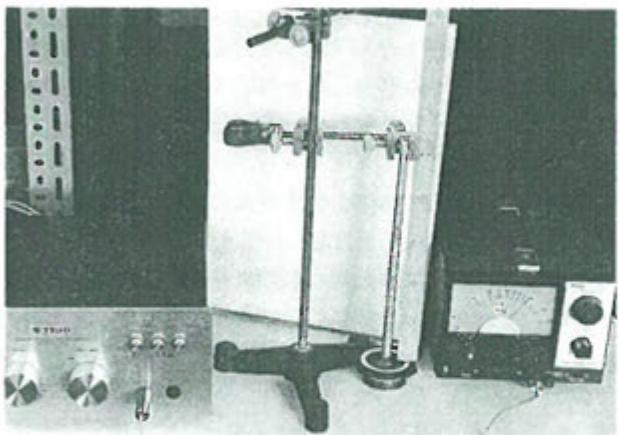


写真2

発振器を調節して、スピーカーの振動数がバネの固有振動数に等しくなったとき、バネには安定した定常波が生じ、腹と節の位置の違いが明確に認められる。（写真3～6）節の位置ではバネが振動していないのでバネの線がはっきりと見えるのに対し、節以外のところでは線がぶれて見える。（写真7、8）

実際に使用したバネでは写真3に見られるように、3倍振動が27Hzということで、基本振動数は9Hzとなるが、発振器が18Hz以下の信号を出せないので、残念ながら基本振動の様子を演示することはできなかった。バネを変えればこのことは解決するが、演示するのに適当な堅さ、長さ、太さのものを求めると、実際に今回用いたもの程度になるようである。

スピーカーの振動数を少しずつ変えていくと、45Hz、63Hz、…………というように9Hzの奇数倍になったところで共振が生じ、少しでも振動数がずれると共振は起こらないということがわかる。

管を吹いたときに出る音と、その時の気柱の振動との関係では、以下の点を強調した。

- ・気柱の振動に与えられる制限は、一端が定常波の節、他端が腹となるということである。
- ・吹いたときにはあらゆる振動数の外力が生じているはずだが、その中で気柱の固有振動数に等しい外力による振動のみが、気柱に安定した定常波を作り出す。

・気柱に貯められている振動のエネルギーが、少しづつ回りに音波の形で漏れ出てくるのが、我々の耳にはいると、音として聞こえる。

この演示実験を行った次の時間に、気柱共鳴の生徒実験を行った。モデル実験と実際の現象を扱う実験との関連を常に保っておかなければならないと思う。

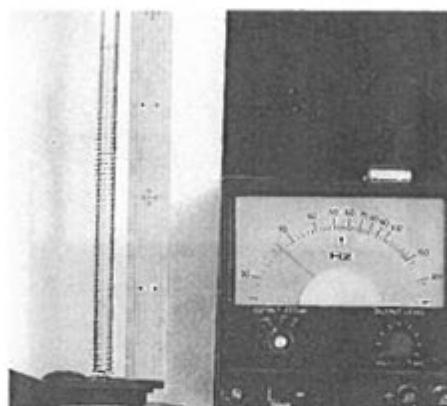


写真3

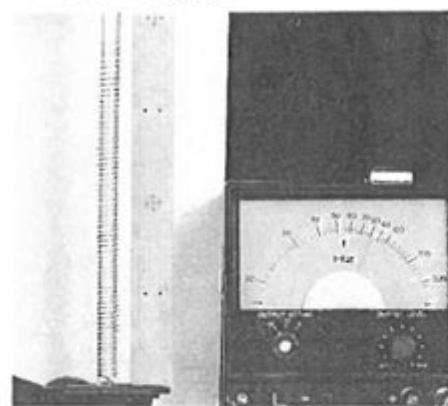


写真6

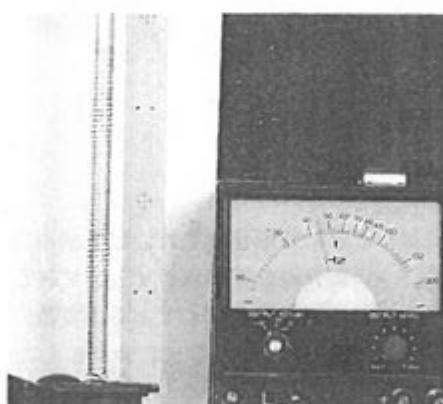


写真4

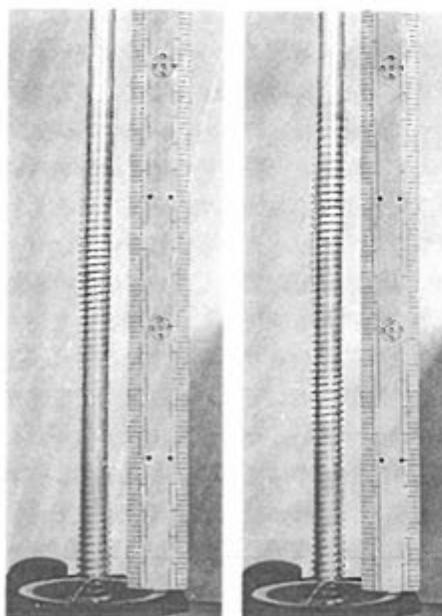


写真7 (27Hz)

写真8 (45Hz)

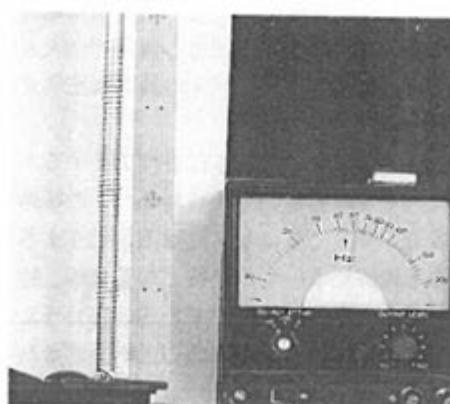


写真5

(3) クントの実験の視覚化

クントの実験では、両端がふさがれた（固定端）気柱に周期的な外力を加えた時に生じる定常波の様子を観察する（図2）が、バネによるモデル化においては、少し引き伸ばした状態で安定させたバネの一端をスピーカーにつなぎ、他端を固定する。（写真9）

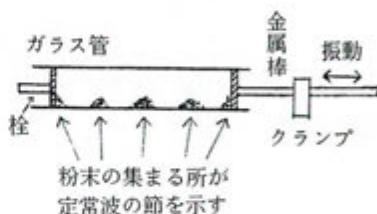


図2 クントの実験（概念図）

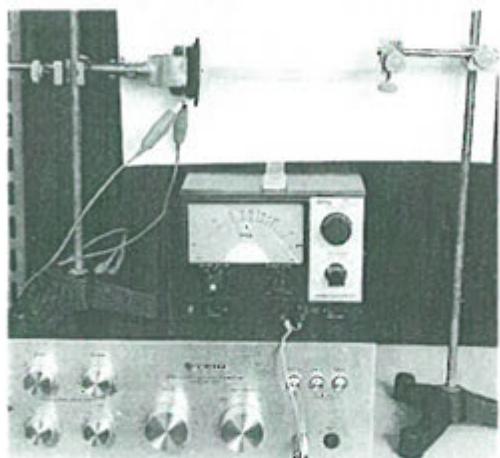


写真9

スピーカーの振動数を変化させると、特定の振動数のときに共振が起こり、定常波の様子が観察される。スピーカーによる外力の振動数がバネの固有振動数からわずかにずれるだけで、バネの様子が全く変化してしまう、という点は、(2)の実験と同じである。実際に行った実験では、約22Hzで基本振動の共振が起こり、振動数を大きくしていくにしたがって、以下その整数倍の倍振動が順次観察された。（写真10～14）この実験においてもスピーカーの振幅はできるだけ小さくしておいたほうが、共振した状態とそれ以外との区別がしやすい。この実験において、バネを引き伸ばして長さを変えても、定常波の疎密のパターンの数は変化しない。媒質の密度がバネの長さに反比例する一方、復元力の大きさがバネの長さに比例し、結果としてバネを疎密波が伝わる速さが、バネの長さに比例することになるからである。このことは、面白い練習問題として使える。

この実験においてはバネに生じた定常波の疎密の様子が、時間とともにどう変化するかをぜひ見せたい。そのためにはストロボスコープでバネを照射し、発光周期をバネの振動周期からわずかにずらすことにより、バネの動きをごくゆっくりにして見せる。こうすることにより、疎密波の変位波形と密度波形との関係を理解する一つの手段となるほか、特に基本振動の様子の観察では、媒質（バネ）が全体として左右に振動している、というようすがわかり、気柱の固有振動も物体の単振動と同じである、ということが実感され面白い。

ストロボスコープを用いた演示は、(2)の実験においても同様に行いたい。

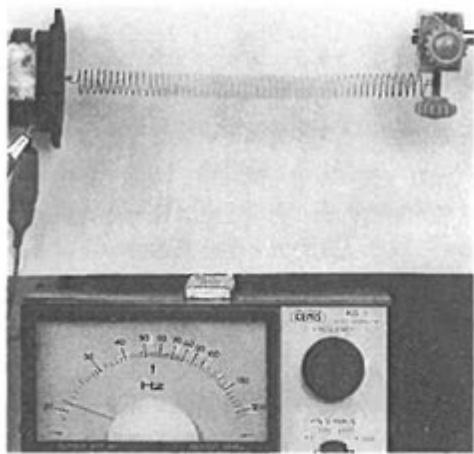


写真10

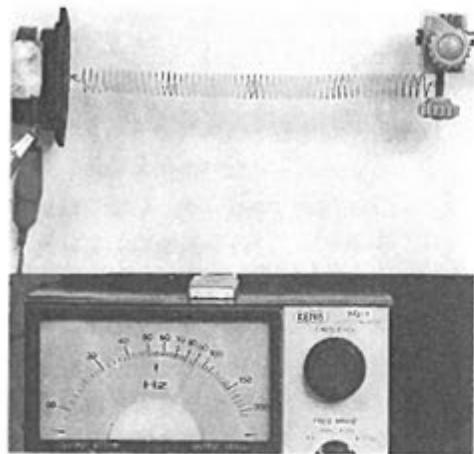


写真13

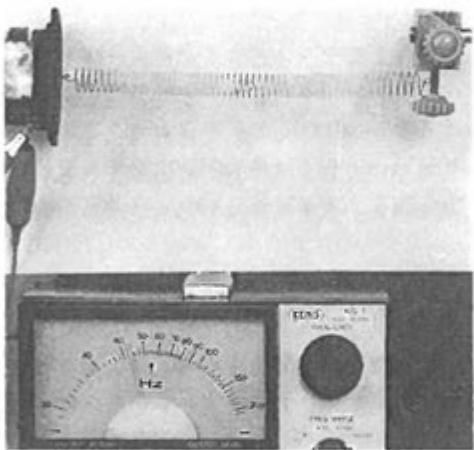


写真11

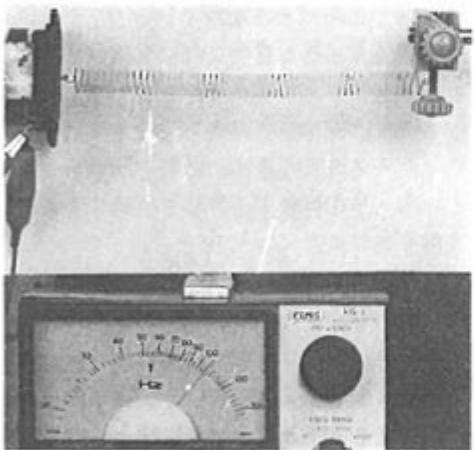


写真14

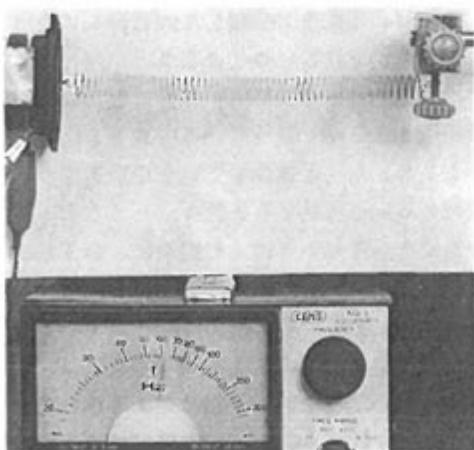


写真12

(4) 固有振動のエネルギーについて強調する実験

固有振動している物体が、外界と仕事のやりとりがない場合、振動のエネルギーは物体内部に留まり続ける。また、共振という現象は、外力のする仕事が物体内にエネルギーとして効率的に吸収される現象である、とも言える。このことを写真9の装置で演示する。

アンプのボリュームつまみを操作して、スピーカーをほんの一瞬だけ、大きく振動させる。バネの固有振動数に等しい時、直ちに定常波が形成され、外力による仕事が加わらなくなってしまったのちも、バネの振動はかなり長い間続く。外力の振動数を固有振動数からほんのわずかずらすだけで、定常波は全く観察されなくなり、バネの振動はすぐにやむ。この違いは顕著である。共振によってバネ内部に取り込まれたエネルギーが、逃げ出さないで内部に留まり続ける、ということが実感できる。

写真2の装置でも同じような実験ができるが、この場合、バネの自由端でエネルギーの散逸があると考えれば、管を吹くのを止めると音がすぐにやむ、という事実に対応している。実際の演示では、バネの自由端においてではなく、アルミ管との摩擦によってエネルギーが失われていく。

3. 演示における注意点

講義室で小さな装置を用いて演示する場合、通常ビデオカメラから大型のモニターテレビに映し出して生徒に提示している。今回もそうしたが、バネの振動がかなり速いので、バネの節の部分以外の映り方はあまり満足できるものではなかった。できれば近くからじかに見せるほうがよい。また、ストロボスコープを用いた演示は非常に効果的であるのだが、カメラの性質上、テレビに映すことは不可能である。大きな教室での演示実験の限界を強く感じた。

IV. おわりに

今回の試みは2年生の授業における演示実験の工夫についてであったが、ちょうど同じ時期に3年生の授業において、原子内における電子軌道についての話をしていた。電子の存在できる条件がどのように決まってくるのかを考える際に、ド・ブロイ波の定常波といったものをイメージしながら考えたりするが、これも結局は、波動としての電子が原子内で安定して存在できる条件を考える、ということになり、2年生で学習した固有振動の概念があれば、よりイメージ豊かに理解することができるのではないか、と思う。

高校物理で学習する内容は、生徒にとっては浅いながらもかなり広い分野にわたっているように感じられるだろうと思う。離れた分野のことと生徒が思っている現象を、同じ原理法則や考え方でとらえることができるということを、もっと強調していきたいと思う。また、原理的いろいろな分野に応用のきく教材をもっと作れたらと思う。

物理を学習する生徒には、高校物理は自分たちにとって分かり切った現象に、わざわざ理屈をつけてわかりにくくしている、と思っている者が多い。特に必修授業においてのみ物理を受けている生徒にそういう思いが強い。しかし現実にこの世界に起こっている現象は、様々な可能性の中から選び出されているものが多く、そのことに気付くことは、より根源的な法則への目を開くことにつながるのではないだろうか。今回のバネを用いた教材も、そのための一つの材料とするつもりで考えた。今後さらに、物理世界の基本法則の面白さを感じさせるような教材を作っていくたい。

水を中心とした理科教育

—小学校・中学校・高等学校において—

おおなか 大仲	まさのり 政憲	おか 岡	ひろあき 博昭	ひろせ 廣瀬	あきひろ 明浩
いのうえ 井上	ひろふみ 広文	いのぐちこうじ 井野口弘治	しばやま 柴山	もとひこ 元彦	
なかた 中田	まさお 勝夫	もりなか 森中	としゆき 敏行		

I. はじめに

水は私達の周りにあるありふれた存在である。しかしその性質や作用などを見てみるとこれほど驚異的なものはない。水はどこにでもあり地球表面の7割を占める海、川、湖、氷河という形で、また地下には地下水として、さらに大気中には水蒸気として存在している。この大量の水は生命を造りだし、育てさらに人類に文明をもたらしたが、時には文明や生命を破壊することもあった。

地球表面の形を変える力をもち、気候を左右し、植物を育て、水力発電で電気を作り出すなどのさまざまな役割を果たしている。また化学的には非常に安定した化合物であり、溶媒でもあり、化学エネルギーのみならぬものもある。ユニークな面もあり、例えば他の物質とは異なり凍ると膨張するし、熱を他の物質より多く吸収したり放出したりするなどである。このような現象を含めて水はさまざまな形で私達人間の暮らしと大きくかかわっている。

近年理科ばなれが進んでいると言われている。その原因の1つは理科が進学のための学習となり、生徒の生活や体験からかけはなれていて、学んだことが日常生活の現象と結び付けて考えることができなくなっていることであると言われている（例えば1994年佐伯）。そこで1例として私達の生活にかかわり合いの深い水を中心としたカリキュラムを編成し、水をさまざまな角度で、また各発達段階での教材化を試みた。

II. これまでの取り組み

1. 1992年4月15日 中・高理科教科会

附属天王寺中・高の理科の授業において、「これを学んだ。」と生徒が言うような教育をしたいものだということになり、生活の場天王寺を中心として、生徒をとりまく自然、環境を取り扱う試みを実施することに決した。物理、化学、生物、地学の各分野から眺めて、何ができるか、何をしたいかを提出することになった。まとめは、井上広文が担当となる。

2. 1992年6月3日 中・高理科教科会

5月28日の井上のまとめをもとに討議する。井上の提案〔都市の環境をとりあげる〕の趣旨一本校は大阪市という大都市の中にあり、生徒の多くは都市部から通学してきている。都市においては、人間が生活していくのに不可欠な水、空気、土壤あるいは様々な生物によって形成された生態系が、本来のものから大きく変化してきており、人間生活が脅かされるまでになってきている。これらを理科の各分野からとらえることによって、人間の置かれている立場を認識し、我々がどのように振る舞えばよいかを理解するための基礎を身につけられるようにしたい。一が承認された。6月末までに、物化生地各分野から、とりあげる内容を具体的に提案するように決定。

3. 1992年10月7日 小・中・高理科研究部会

中・高より、都市の環境を研究課題としたい旨の提案があり、小、中、高の児童生徒の実態の情報交換を行う。当面とりあげる研究テーマとして、都市の水、空気、土・建物、衣料・食物について意見交換した。都市の水を当面とりあげることに決定。

4. 1993年1月27日 中・高理科教科会

水を中心としたカリキュラムづくりにはいることを決定。4月までに物化生地各分野ごとに立案することを宿題とする。

5. 1993年6月2日 小・中・高理科研究部会

水に関わった授業を行い、研究することに決定。小・中・高と順に回りながら、研究授業を実施すること。学習指導案は事前に届けること。VTRで記録し、授業の参観ができなかった者への便を図ること。最初の授業は廣瀬明浩が実施することなどを決める。

6. 1993年9月30日 小・中・高理科研究部会

廣瀬明浩授業実施。中1化学分野〔水道水と蒸留水〕→(本誌p.)

7. 1994年1月19日 小・中・高理科研究部会

山中哲夫授業実施。小4「水たまりの水の行方」

到達行動目標—水たまりの水がなくなっていくことで、常温でも水が蒸発して水蒸気になっていくのではないかと考え、実験方法を考え確かめることができる。

大阪教育大学教授鈴木善次氏の論説文「環境教育 こうあって欲しい」をもとに討議。

8. 1994年6月8日 小・中・高理科研究部会

中田勝夫指導のもと、教育実習生公開授業。高1地学「地下水の循環」→(本誌p.)

9. 1994年10月17日 小・中・高理科研究部会

岡博昭授業実施。中1生物分野「植物の水の吸収」→(本誌p.)

10. 1995年1月18日 小・中・高理科研究部会

附属小学校で授業実施の予定。

なお、上記6. 8. 9. の授業展開に関しては、本誌に掲載の報告を参照されたい。

III. 中・高の水に関する教材

1. 物理分野

〈学年〉 〈学期〉 〈大項目〉 〈小項目〉 〈内容の概要〉

中1	身の回りの現象	反射と屈折	空気と水の境界面での反射屈折 水レンズの作製
----	---------	-------	---------------------------

<学年> <学期> <大項目> <小項目> <内容の概要>

			比 热	温度変化の激しさと水中の環境
			水 壓	水圧・気圧の測定、宇宙と深海
中2		電流	電気抵抗	水溶液の電気抵抗の測定
中3		力とエネルギー	浮 力	水中での浮力の測定
				食塩水の濃度と浮力
		発電と水		日本・世界の水力発電の実態
高II	1	波動	波の性質	波の伝わり方、媒質としての水
			光	光の屈折、水中から見た外界
				光速度、ヤングの実験
	2	電流と電子	電界	電荷と電気力、電荷・磁場と水 電気容量、水の誘電率

2. 化学分野

<学年> <学期> <大項目> <小項目> <内容の概要>

		身の回りの物質	水溶液	水道水と蒸留水
			溶質・溶媒	水溶液の性質の違い
			溶解度と濃度	硝酸カルシウムの溶解度
		物質の状態変化	融解・凝固・融点	
			蒸発・凝縮・沸騰・沸点	
		物質の分離	蒸留	蒸留による物質の分解
		密度	液体の密度	状態変化と体積・質量
中2		化学変化と 原子分子	化学変化	分解、水の電気分解 量的関係、水の合成 原子と分子 化学式と化学反応式
		化学変化とイオン	電気分解とイオン	物質の通電性
			酸・アルカリ	イオンの電気泳動、塩酸の電解
			中和反応	中和による水の生成
	1	物質の構造	物質の構成	物質の分離と精製、ろ過・蒸留
			化学結合	共有結合と分子
			物質量	気体の分子量の測定 モル濃度と沈殿量、BaSO ₄ の沈殿
高I	2	物質の状態	物質の三態	三態変化、飽和蒸気圧の測定 物質の分類と性質
			溶液	溶解と溶解度、水分子の取合い 希薄溶液の性質、蒸気圧降下・ 凝固点降下・浸透圧の測定

<学年>		<学期>		<大項目>		<小項目>		<内容の概要>	
高II	1	3		物質の変化		コロイド		生成、透析、チングル現象 凝析、保護作用、電気泳動 ゲル化と吸着、ケイ酸のゲル ヘスの法則、中和熱・溶解熱 ブレンステッドの酸・塩基 水のイオン積とpH 滴定曲線の作成 中和滴定	
高III	1	2		反応の速さと 化学平衡		熱化学 酸と塩基		電池と電気分解 水の電気分解とファラデーの法則 電極生成物（pH試験紙利用）	
	1	2		高分子化合物 課題研究		合成高分子		化学平衡 イオン交換樹脂と食塩水 水道水の化学、水質検査、 分子量測定	

3. 生物分野

<学年>		<学期>		<大項目>		<小項目>		<内容の概要>	
中1	2	2		植物の生活 と種類		根のつくり 茎のつくり 葉のつくり		ダイコンの根による吸水実験 道管での水・肥料分の移動 茎・葉からの蒸散量の測定	
中3	1	1		潮間帯の動物		野外実習 (磯観察)		タイドプールと動物 乾燥と動物	
高I	1	1		生物体の構造と 機能		生命の単位 一細胞一		生体の構成物としての水 物質輸送における水の役割	
高II	2	2		細胞の増殖 性と生殖		細胞と個体 世代交代と 核相交代		器官と組織、水と維管束 生活様式と水 植物進化と水 水と突然変異	
高III	1	3		遺伝子		突然変異		体液と調節、生体内の水・体液 の調節、免疫に働く生体内の水 神経系と内分泌系、ホルモンと 自律神経の協調	
	2	2		生物体の反応と 調節		内部環境の 恒常性		酵素の性質と働きにおける水の 役割	
	1	1		生体内の化学反応		化学反応と 酵素		電子伝達系における水の役割 光合成における水の役割	
	2	2		生物の進化		異化 同化 進化の証拠		水と生物進化	

4. 地学分薦

<学年>	<学期>	<大項目>	<小項目>	<内容の概要>
中1	3	星の世界	宇宙への旅	惑星、水の惑星
中2	1	天気の変化	大気中の水 日本の天気	湿度、水蒸気、雲、霧、雨 天気変化、前線と天気
中3	3	大地の変化	削られる大地	地層、浸食、運搬、堆積
高1	1	地表の変化	地形の形成	風化、浸食、河川の働き、海水の働き（雨と川と海と地形）
	2	地殻の歴史	地層の形成	堆積環境、堆積作用、（川、湖、海の堆積作用と地形）
	3		海の誕生	原始地球の誕生、海水の成分変化、生命の誕生 (水の誕生、生命の誕生と水)
高II	1	気象の変化	雨、雲	雨の降水機構、大気中の水 (雨、雪、霧の水)
	2	海水の運動	海流、潮汐	海流の原因、海水の成分、潮汐運動（日本付近の海流、月と潮汐）
	3	太陽系	惑星	水の惑星

IV. おわりに

具体的な授業の展開を積み重ねながら、物理・化学・生物・地学の各分野での担当分担、適時性の判断を今後進める予定である。中・高全体の理科のカリキュラムの検討中であり、その中にどのように位置づけるかも課題である。学期一回の研究授業を今後も継続して、生徒が「小・中・高においてこれを学んだ」といえる内容にしていきたいと思っている。

水に関する教材研究

—水道水と蒸留水の性質—

ひろ せ あき ひろ
廣瀬 明浩

I. はじめに

「水の液性は?」と聞かれると、多くの人は「中性」と答えるだろう。ここで言う「水」とは、純物質としての「水」であることは言うまでもない。しかし我々の身の回りには、はたして純物質としての「水」がどれほど存在するのであろうか。人間のみならず、すべての生物にとって水は不可欠の物質であり、地球が生命をはぐくんできたこと自体、水の存在なくしては語れない。このように、「水」は非常に身近でありながら、反面、物質世界においてはかなり特異的な性質を持つ。たとえば、多くの物質を簡単に溶かしてしまうはたらき、すなわち極めて優れた溶媒という性質である。この性質のために、日常では純粋な水を得ることは非常に困難である。また、水が溶媒として用いることがあまりにもあたりまえであるために、水を用いて種々の物質の性質を分析することは行われても、水そのものを化学的にとらえてみることは、あまり行われていないのが現状である。今回の実践では、ふだんあまり顧みられない水道水や蒸留水の化学的性質を考えることを通して、我々にとって最も身近な液体である「水」についての認識を深めさせると同時に、物質世界を通して、環境への理解や興味関心を高めることをねらった。

II. 水道水の性質

II-1 水質基準

ふだんわれわれが接する水として、水道水がある。これは水道法に基づいた水質基準に従って管理された水で、その中に含まれる成分の範囲が決められている。(表II-1)。

表II-1 水道法による水質基準

●通常の場合	遊離残留塩素 0.1mg/l以上	結合残留塩素 0.4mg/l以上
●伝染病等の発生のおそれがある場合	" 0.2mg/l以上	" 1.5mg/l以上

検査項目		許容量
法第4条第1項	第1号	硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素 10mg/l以下
		塩素イオン 200mg/l以下
		有機物等(過マンガン酸カリウム消費量) 10mg/l以下
		一般細菌 100個/ml以下
		大腸菌群 検出されないこと(50ml)
	第2号	シアノイオン・水銀・有機リン 検出されないこと

(表II-1つづき)

検査項目		許容量
法 第 4 条 第 1 項	銅	1.0mg/1以下
	鉄	0.3 "
	マンガン	0.3 "
	亜鉛	1.0 "
	鉛	0.1 "
	六価クロム	0.05 "
	カドミウム	0.01 "
	ヒ素	0.05 "
	フッ素	0.8 "
	カルシウム、マグネシウム等(硬度)	300 "
	蒸発残留物	500 "
	フェノール類	フェノールとして0.005mg/1以下
	陰イオン界面活性剤	0.5mg/1以下
	第4号 pH値	5.8~8.6
	第5号 臭気・味	異常でないこと
第6号	色度	5度以下
	濁度	2度以下

備考: シアンイオン・水銀及び有機リンについての「検出されないこと」とは、別に定める方法により測定した場合において、その結果が当該方法の定量限界を下回ることをいう。

II-2 残留塩素濃度

浄水場における原水の処理過程で、殺菌のために塩素が用いられるが、配水過程における細菌の増殖を抑制する目的から、表II-1のように水中の残留塩素濃度の下限が定められている。さて本校の配水システムであるが、校舎内の水道栓から供給される水は、すべていったん校舎屋上の貯水槽に蓄えられ、高低差によって生じる水圧を利用して各所に配水されるようになっている。したがって、貯水槽内ではいわゆる「汲み置き」の状態になるが、硝酸銀溶液(0.1mol/l)に対する反応は十分に観察が可能である。水槽に1昼夜「汲み置き」をした場合でも、反応には著しい変化がみられなかった。相当時間煮沸を行った場合のみ、塩化銀の白沈を生じないことが確認できた。

II-3 pH値

水道水にBTB溶液を加えると、緑~青緑を示し、pH値も7.4~7.8と弱アルカリ性を示すことが多い(表II-2)。前項で述べたように、水道水中に残留塩素が含まれることだから考えると、矛盾が生じる。しかし配水が塩素によって酸性になっていると、金属である水道管が徐々に腐食され、漏水や破裂の危険が伴う。したがって、いったん塩素殺菌が施された水には、中和のために、

表II-2 校内における水道水のpH値

場所	pH値
物理実験室	7.6~7.8
物理実験室(汲み置き)	7.8~8.0
中学校教官室	7.6~7.8
学園ホール(本管より直)	7.4~7.6

少量ではあるが水酸化ナトリウムが投入されている。そこで水道水を煮沸し、残留塩素を減らすと、pH値に変化がみられたので、表II-3に測定値を示す。

表II-3 煮沸時間の違いによるpH値の変化

煮沸時間(分)	pH値
1	7.4
2	7.8
3	8.2
4	8.2
5	8.6
6	8.7
7	8.8
8	8.7
9	8.7
10	8.7

水100gを加熱し、沸騰開始後の時間を測定。

加熱終了後放冷し、水温20°CでpH値を測定

使用機器：簡易pHメーター

精度 ± 0.2

III. 純水の性質

水が非常に優秀な溶媒であるという事実は、同時に、不純物の少ない水を得ることが非常に困難であることを示している。純水の定義は明確ではないが、一般に純水は1m³当たりの不純物が、概ね1g以下である。また、純水の純度を示す値として、電気抵抗値を用いる場合が多い。電極間隔が1cmのときの抵抗値を100万で割った値を $\mu\text{S}/\text{cm}$ （マイクロジーメンス・バー・センチメートル）と呼び、1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 程度の水を純水と呼んでいる。一方、pH値で水の純度を評価した場合、pH=7.0の水を研究室に設置されている程度の純水製造装置で得ることはほぼ不可能である。空気中には二酸化炭素が含まれるが、純水が製造される過程、あるいは容器に移される過程で、この二酸化炭素が容易に溶け込み、炭酸水となってしまうからである。したがって、煮沸によりpH値はほぼ7.0になるが、放冷すると時間経過によりpH値は下降し、最終値はpH=6.2～6.4を示した。

IV. 実践例

以上の内容を教材化し、授業実践として行ったときの記録を以下に示す。

IV-1 指導案

理科学習指導案

指導者 大阪教育大学教育学部附属天王寺中学校

廣瀬 明浩

1. 日時 平成5年9月30日(木) 5時限(13時20分～14時10分)

2. 場所 大阪教育大学教育学部附属天王寺中・高等学校物理実験室(東館4階)

3. 学級 大阪教育大学教育学部附属天王寺中学校 第1学年B組40名(男子22名、女子18名)

4. 主題 物質の変化(教科書 啓林館 理科1分野上)

5. 目標

身の回りにはさまざまな物質があり、われわれは日常生活において、それらの物質

の特性をうまく利用している。そのような身近な物質の性質や変化の様子を詳しく観察させ、さまざまな物質に親しませるとともに、物質のもつ多様性と一般性を理解させ、さらに生徒の興味関心を啓発し、理科好きの生徒を育てたいと考える。

本主題においては、水道水と蒸留水の性質の違いを調べることによって、最も身近な液体である水についての認識を深めさせると同時に、物質世界を通して環境への理解や興味関心を高めることをねらっている。

6. 指導の計画

区別	学習内容	時間配当
第1次	物質の溶け方	7
第2次	気体の性質	3
第3次	状態の変化	9
第4次	水道水と蒸留水	1(本時)

7. 本時の指導

(1) 題材 水道水と蒸留水

(2) 目標

水道水と蒸留水の性質の違いを調べることによって、

① 水についての認識を深めさせる

② 環境についての理解や興味関心を高めさせる

(3) 準備物

水道水、蒸留水、ピーカー、試験管、試験管立て、試験管ばさみ、硝酸銀溶液、B T B溶液、ガスバーナー、プリント

(4) 指導過程

段階	学習内容	生徒の活動	指導者の活動・評価
導入	・本時の学習内容	・日常使う水は、水道水であることに気づく。 ・本時の学習内容を知る	・日常に蒸留水を用いたときの経費を伝えるなどして、興味関心をもたせるようにする。 ・本時の学習内容を知らせる。
展開	・水道水と蒸留水の性質の比較	水道水と蒸留水について、硝酸銀溶液、B T B溶液それぞれに対する反応を予想し、発表する。 ・実験を行い、予想に対する結果を知る。 水道水、蒸留水それぞれの性質を実験結果から考え、発表する。	・プリント配布 ・予想した理由も説明させる。 ・正しい実験操作ができるか机間巡回し、適宜指導する。 ・水道水に塩素が含まれていることに気づかせる。

	<ul style="list-style-type: none"> ・塩素の水溶液の液性 ・水道水の液性 ・蒸留水の液性 	<ul style="list-style-type: none"> ・塩素が水に溶けると、その水溶液は酸性を示すことを知る。 ・水道水の液性の原因について知る。 ・蒸留水の液性の原因について考える。 ・蒸留水を煮沸することにより、中性に戻せることを知る。 	<ul style="list-style-type: none"> ・水道水中の塩素の存在と液性との間に矛盾があることに気づかせる。 ・中和のために、水酸化ナトリウムが加えられていることを説明する。 ・蒸留水は、本来中性であることを告げる。 ・気体の溶解度と温度の関係について思い出させる
整理	<ul style="list-style-type: none"> ・学習内容の整理 	<ul style="list-style-type: none"> ・プリントに、学習内容を整理する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・本時の要点が正しくまとめられているか。

IV-2 使用プリント

【化学実験11】水道水と蒸留水

I. 目的

水道水と蒸留水の性質を調べ、日常使っている水に対する理解を深める。

II. 準備

蒸留水、ピーカー（100cm³, ②）、試験管（18×180mm, ⑤）、試験管立て、試験管ばさみ、硝酸銀溶液、BTB溶液、スポット、ガスバーナー

III. 方法

- (1) 水道水と蒸留水を、それぞれピーカーに50cm³ずつとる。
- (2) 水道水を2本の試験管に分け、硝酸銀溶液、BTB溶液それぞれを加えたときの変化を観察する。
- (3) 蒸留水についても同様の操作を行う。
- (4) 結果を表に記入し、水道水と蒸留水の性質を比較する。

IV. 予想と結果

		水道水	蒸留水
硝酸銀溶液との反応	予想		
	結果		
B TB溶液との反応	予想		
	結果		

V.まとめ（今日の学習でわかったことをまとめなさい）

(1) 水道水の性質について

(2) 蒸留水の性質について

()組()番 氏名()

IV-3 授業の流れ

○導入

薬局で購入した蒸留水を提示し、価格を告げる。ふだん我々が利用するには、蒸留水は経済的に適切でないことを気づかせる。

○展開

プリントを配布し、水道水、蒸留水それぞれについて硝酸銀溶液およびB T B溶液それぞれに対する反応の予想を立てさせる。

水溶液中にCl⁻が存在すれば、硝酸銀溶液の滴下により塩化銀の白沈を生じることや、液性の違いによるB T B溶液の呈色について生徒はすでに学習している。したがって、硝酸銀溶液による変化については、塩素消毒の有無という観点から、水道水は白沈を生じるが蒸留水は変化がおきないという予想を、またB T B溶液の呈色については、水道水・蒸留水ともに緑色との予想を立てた。

プリントにしたがい、水道水、蒸留水それぞれの硝酸銀溶液に対する反応、B T B溶液による呈色を確認させる。

硝酸銀溶液による変化は予想通りであったが、B T B溶液による呈色については、水道水→緑色、蒸留水→黄色となり、多くの生徒が、蒸留水が酸性を示すことに対して驚きと疑問を感じた。

塩素が水に溶けると水溶液は酸性を示すことを演示し、実験との矛盾に気づかせる。

塩素の発生には家庭用の塩素系漂白剤を用いた。この容器には事故防止のために酸性洗剤との混合を避けるための警告が表示されている。警告の意味を理解させるため、あえて希塩酸との混合を行った。三角フラスコ内で2液を混合するとすぐに反応が起こり、底の方に黄色い塩素ガスが溜まることが目視できる。これを注射器で適量捕集

し、BTB溶液を入れた水の中へ塩素を注入すると、水溶液はたちまち黄変する。

酸性の水を金属管内に長時間流すと腐食が生じることに気づかせ、残留塩素を含む水は、配水の段階で中和処理を施す必要があることを説明する。

蒸留水中性を示さない原因を考えさせ、中性に戻すにはどのような方法があるか考えさせる。

生徒は、空気中の二酸化炭素が水と自然に溶け込むことにはなかなか気づかない。中性に戻す方法については、気体の溶解度を学習しているので、加熱すればよいことは容易に理解できた。

BTB溶液によって酸性を示している蒸留水を試験管に適量とり、バーナーで加熱すると緑色を呈する。加熱後放冷する間に二酸化炭素が再び溶け込み、数分後にはもとの黄色を呈するようになる。

○整理

プリントに本時の学習内容を整理させ、授業を終わる。

V. 参考文献

- (1) 高橋 裕 他編著：水のはなしⅠ～Ⅲ、技報堂出版、(1982)
- (2) 化学工業日報社編：化学で探る飲料水の世界、(1993)



水をテーマにした授業（高校編）

— 水の循環における大気過程のモデル化と定量化 —

なか　た　まさ　お
中　田　勝　夫

I. はじめに

高校地学においては、水に関する内容が非常に多い。例えば、大気の大循環の単元における水の凝結・降水過程、熱の収支に対する水の役割、あるいは地表の変化の単元における流水のはたらき、統成作用など、数え上げればきりがない。これは地学という分野が、地球やそれをとりまく環境を主に考える分野であり、さらにその地球の環境には水というものが大きく関係しているからである。地球の環境を考えるときに、さまざまな形での水との関わりが意識されなければならないように、地学の範囲においては、さまざまな面から水を見つめてゆかねばならない。

このような中で、今回は水の循環における大気過程に注目した。岩石を風化・侵食し、大地の形を変え、地層を形成する水の循環が、大気中の水の蒸発・降水の過程を経て完成することは、ともすれば見落とされがちである。地表を水が絶え間なく流れるためには、常にその上流に水が供給されていなければならず、とすればその源は降水であり、またその源は海面などからの蒸発であることは、生徒も理屈としては理解している。しかし、その具体的な量や、蒸発・降水のシステムについては、なかなか正確に理解されていない。そこでこれに対し、大気を通じて循環する水のイメージをモデル化した演示実験装置を作成して、理解の深化を図った。また、実際に屋外において蒸発量を測定し、ある地域での蒸発量を計算したり、地球全体での量を考えたりすることで、その定量的な理解にもつなげた。生徒は、蒸発という現象が、目には見えないけれども日常的に起こっていること、またその量が予想以上に大きいことに新たな発見を見いだしていたようである。

II. 水の循環の大気過程をモデル化した実験装置

中学校から高校にかけて、生徒は主に気象の単元で水の蒸発や凝結の作用について学習するが、熱せられてもいい水の表面からも蒸発が起こるという認識をなかなか持ちにくく。これは蒸発と沸騰を混同していること、また常温での蒸発が目に見える形となって現れず、たいへん緩やかに進行することが原因であると思われる。

水の循環は、地球全体で考えると閉鎖系のもとにある。したがって、地表を水が流れるということは、必ずどこかで水の蒸発が起こり、雨を降らせて流れる水に還元する作用があるということである。

これをモデル化するものとして、図1のような装置を組み立てた。密閉したアクリル容器内の水源には、周囲の気温と同じ温度の水をいれ、海洋や湖沼に見立てた水の蒸発源を置いた。また容器の天井には金属性の盆をおき、上に水をいれて冷却し、盆の底に水蒸気

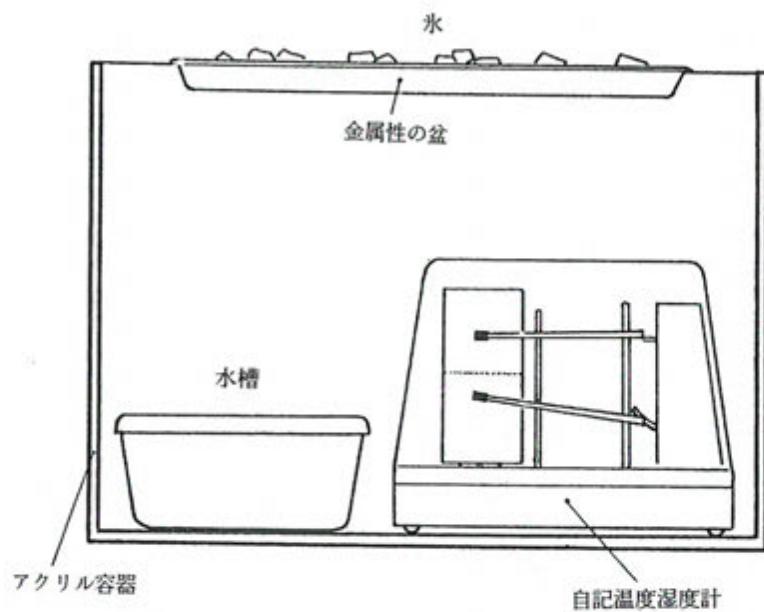


図1. 水の循環モデル化装置

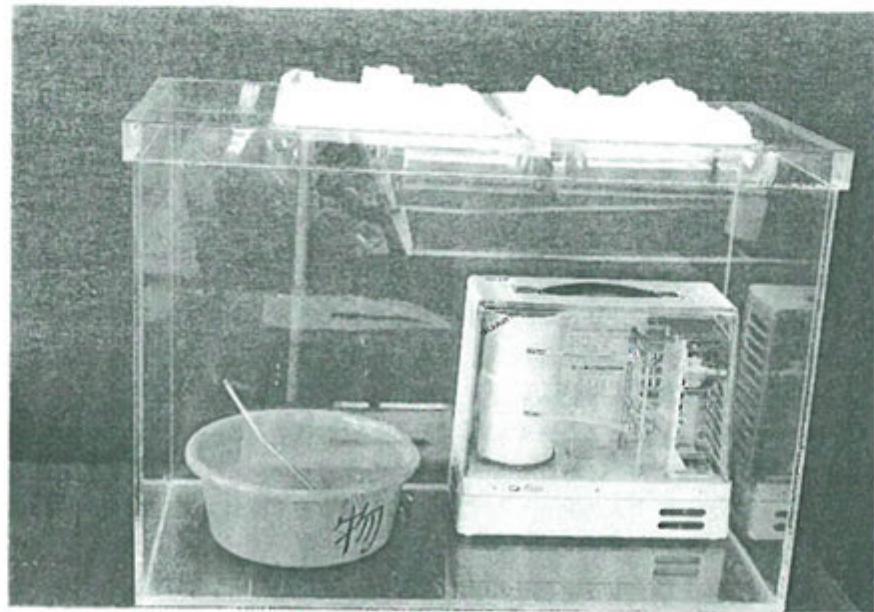


図2. 水の循環モデル化装置

を凝結させた。これはいうまでもなく、大気中の雲の作用を表すものである。装置をこのような状態で放置しておくと、やがて盆の底に凝結した露が大きくなり、水滴がたれるようになる。つまり雨が降って、もともとの水源とは異なる場所に水を運ぶ。今回の工夫ではここまでであるが、さらに容器内に降った雨が、再び水源に戻るような傾斜板を設置しておこうと、さらに実際の環境と似たような水の循環を見ることができるであろう。さらに傾斜板に砂や泥で地形の模型をつくっておくと、流れる水の作用で地形が変形していったり、砂や泥が侵食・運搬される様子を観察することもできるかもしれない。

今回はこのような工夫の代わりに、容器内に自記温度湿度計を設置して、温度や湿度の変化がわかるようにした。この自記温度湿度計の設置は、当初予想していた以上に興味深い湿度の変化を見る結果をもたらした。このことは、水の循環の大気過程がどのような仕組みで起こるのか、そのことを理解するのにたいへん参考になる。すなわち、少し逆説的な言い方であるが、雲ができ、雨を降らすことで大気が乾燥し、継続的な水の蒸発を促すということである。

この装置を使った演示実験の手順は、

- (1) まず、容器内に自記温度湿度計だけを設置して密閉し、しばらくそのままにしておく。
上部の盆にはまだ水をいれない。
- (2) 次に蓋を開けて、気温と同じ温度の水を入れた洗面器（水源）を容器内に設置し、再び密閉し、しばらく放置する。
- (3) 上部の盆に氷を入れる（図2）。

また、このような手順で進めた実験の時間変化の様子は、ビデオカメラで撮影した。

この実験で得られた温度と湿度の変化の記録を図3に示す。これを見ると、水源を置かず単に容器を密閉した場合には、当然ながら特に目立った変化は起こらないが、水源を入れると徐々に湿度が上昇し、湿度100%、すなわち水面からの蒸発が平衡状態に近づいていく。次に上部の盆に氷を入れると、急激に湿度計の値が低下していく。これは上部を冷却することで対流が起り、盆の底に接する冷たくて飽和した空気が、下降していく途中で容器の壁や記録器によって暖められ、相対湿度が下がるからである。そのため、すぐ隣に水源があるにも関わらず、湿度は最初の値よりさらに低い値を示すようになる。また温度は、氷を入れた時点から少しずつ下がっていくが、せいぜい数°C低下する程度であり、上部の氷によって0°Cまで下げられることはない。こうして乾燥した空気が水源の水面

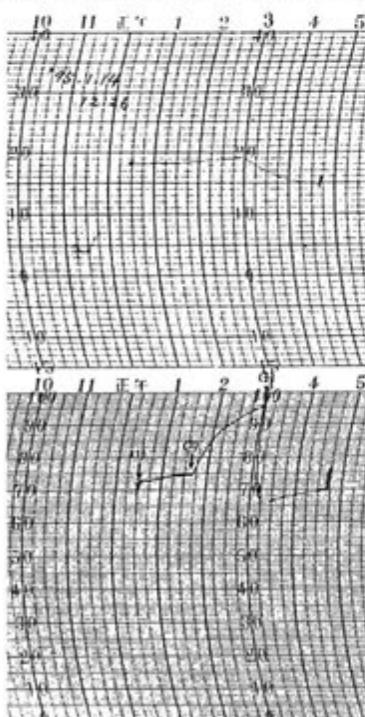


図3 湿度計の記録

に接すると、再び水蒸気が供給され、いくらか湿った空気を上昇させる。この水源からの蒸発の速度と、盆の底での水蒸気の凝結の速度がつりあったところで、湿度計の値は安定する。(図3では、最も湿度の下がったところから、いくらか一旦上升しているが、これは盆の中の水が融けたためである)。したがって、湿度計の値が安定してからも、水源からの水の蒸発が続く限りは、盆の底の水滴の成長は継続する。

長は継続(図4)、1時間程度でしたたるまでに成長する。ただこの場合、外気温がさほど高くないと盆の底との温度差が小さくなり、水滴の成長過程は遅くなる。盆の底の形状にもよるが、20°C程度の気温であれば、水滴が次々に落ちてくる、というほどにはならない。

この実験を通して、水の循環の大気過程の大きな役割を担っているのが、上空での水の凝結であることがわかる。この凝結・降水によって空気が乾燥化し、再び地上付近の水を蒸発させることができるのである。よく太陽の放射によって水が暖められ蒸発するというように考えられるが、逆に乾燥した空気によって水が蒸発した結果、太陽によって与えられた熱が奪われると考える方が正しい。ただし、その水の蒸発を起こすもとは空気の対流であるから、その対流の原動力という意味では、やはり水の循環は太陽によってもたらされていると考えられる。実験では、上部を冷却することで水滴の発生と空気の対流を作り出しているが、自然界では太陽が地表を暖めることで対流が生じる。

このような水の循環のモデル実験は、ビデオカメラで要所を撮影して10分程度にまとめ説明を加えながら生徒に見せた。生徒は、気温と同じ温度の水からも蒸発が起こり、それが確実に湿度計に表れてくることに関心を示していたようである。

III. 蒸発量の測定

身の回りの水の表面からも蒸発が起っていることが、先の実験によって改めて意識づけされるにしても、その具体的な量になると、まだ想像すらできないようであった。そこでこれを簡単な道具を使って調べることで、蒸発という現象を定量的な面からも認識させることにした。

図5に示すように、蒸発量を調べる道具として、バケツにものさしを張りつけただけのごく簡単なものを用意した。蒸発量が

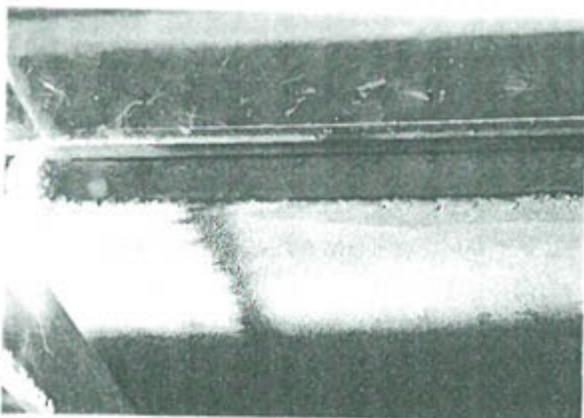


図4. 盆の底で成長する水滴

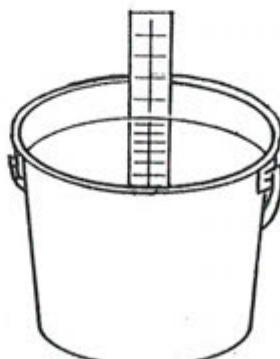


図5. 蒸発量の測定具

降水量と同じように深さで表現されることは、生徒にとって最初戸惑いを感じるものであったようであるが、水の表面積が大きいほど蒸発量も増えることを説明して納得していたようである。

この道具に水を入れ、それを屋外に半日放置しておいてその蒸発量を測定した。しかもこれを単に結果だけを示すのではなく、少しずつ蒸発が進行している様子が見られるようにビデオカメラで60秒ごとのインターバル撮影を行った。こうして撮影したものを見せる早送りの画面で見せると、水面が低下していく様子がようやくわかるようになる。

蒸発量はその日の気象条件によって大きく違ってくるが、実際にこの実験を行った日には、半日で10mm程度の蒸発が見られた。この量は、生徒にとって意外にも多い量であったようである。この夏、異常渇水で琵琶湖の水位の低下が心配されたが、このときの1日で約2cmの低下は、多く蒸発によっていたと判断される。

IV. 授業の展開

この授業の展開は、次に示す学習指導案のとおりである。なお、ここで書かれている演示実験(1)、(2)は、それぞれ本論文中のⅡ、Ⅲの実験を表している。また、ワークシートは、資料集などに書かれているデータをもとに、降水量に見合う蒸発量などを計算する、演習作業用のプリントである。

＜本時の学習指導＞

- (1) 題材 水の循環
(2) 目標 ①地表の変化をもたらす流水の供給源を考えることによって、水が姿を変えて循環していることを把握する。
②地表にもたらされる降水量の大きさを認識し、またそれに釣りあうだけの水が必ず蒸発していることを演示実験や数値計算などの作業を通して認識する。
③水は海洋だけでなく、陸地や植物からも蒸発し、あらゆる場所からの蒸発によって、水の循環が完結していることを理解する。
(3) 準備物 演示実験(1)、(2)の装置、演示実験を録画したビデオテープ、ワークシート
(4) 指導計画

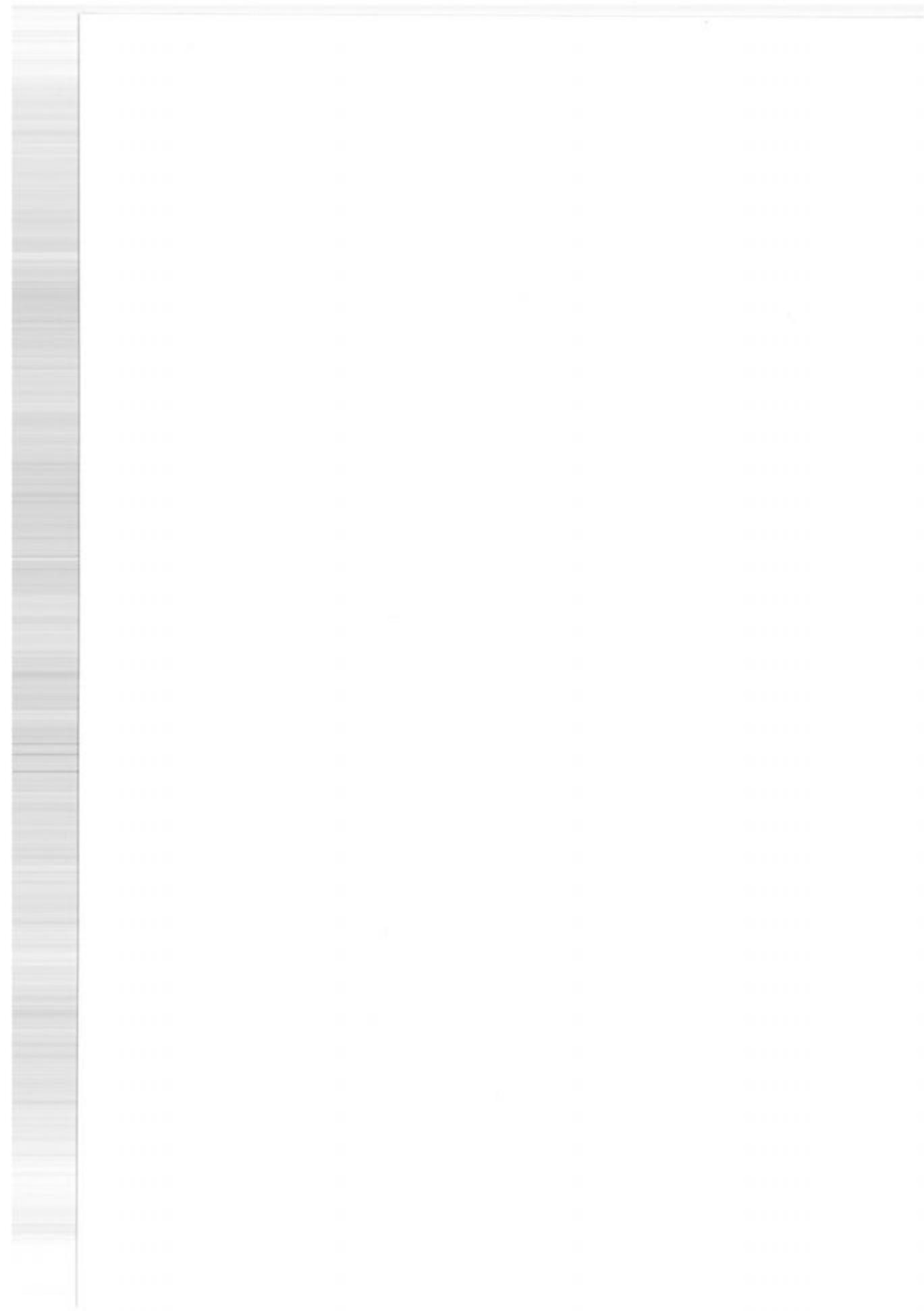
段階	指導内容	生徒の活動	指導者の活動・留意点
導入 5分	前時の授業のまとめ	地表の変化に際しては、水というものが、多大な影響を及ぼしていることを思い出す。	V字谷やU字谷などが、どのような作用で形成されるか思い出させる。
	降水の供給源	地形をつくるのは、流水であり、流水のもとは降水であることに気付く。そして、降水の供給源につ	降水の供給源について考えることにより、水の循環を導く (単純に海からの蒸発を指摘す)

		について考える。	
展開 40分	水の循環の 演示実験	水が循環しているという事実を、実験を通して認識する。すなわち供給源から、降水につりあうだけの水蒸気が蒸発していることに気付く。	るだけでなく、本当に降水量とつりあう量が蒸発しているか) 演示実験(1)を見せる。 ポイント 水の供給源を置かない場合は湿度が下がり、乾燥化する。水の供給源を置くと、湿度があがり雨が降っても、ある程度の湿度が保たれる。
	身近な地域で水の循環を考えてみる	大阪府の年間降水量のデータより大阪府に1年間で降る水の量を計算し、降水量の大きさに気付く。	降水量の定義についての説明ワークシートを配布し、データを与え大阪府の年間降水量を日常的な感覚で把握し、降水量の大きさに気付かせる。
	蒸発量の予想	降水のもとになっている海面からの蒸発量を予想する。	降水の供給源の水の蒸発は年間どれくらいであり、また1日あたりどれくらい、予想
	水の蒸発の 演示実験	演示実験を通して、水の蒸発が表面積によらず、同じ深さの蒸発が起きることを把握し、また水の蒸発の量的な認識をつかむ。	演示実験(2)を見せる。 ポイント どのような気象条件のもとで行われたかを説明する。
		実験データから、大阪府に降る雨が、海洋からの蒸発だけで供給されているとしたら、どれだけの面積の海洋が必要か計算する。	降水量と同じく、水は表面から一様に蒸発し、表面積が大きくても小さくとも同じ深さだけ、蒸発する。
		海面からの蒸発だけでは、降水量がまかなえるかどうか疑問を抱く。	ワークシートの流れに従い、蒸発に必要な海洋の面積について計算させる。このとき、海面から蒸発した水は、陸地に降るだけでなく、海面自身にも降ることを説明し、海面からの蒸発だけでは、降水量が充分ではないことに気付かせる。
	世界規模での水の循環	全海洋の1年間の蒸発量(mm)のデータから、年間蒸発量をkmで求め、地球全体の年間降水量(km)と比較する。 海洋からの蒸発だけでは、降水量をまかなえないことに気付く。	与えたデータから全海洋の蒸発量を計算させ、年間降水量と比較させる。 海面からの蒸発以外の、降水の供給源を考えさせる。例えば、河川からの蒸発や植物からの蒸

		海洋以外の降水の供給源について考え、教師の発間に応じて発表する。	散など。
整理 5分	水の循環のまとめ	<p>降水と同じだけの量の水が蒸発しているということを確認する。</p> <p>降水の供給源は、海面からの蒸発だけでなく陸地からの蒸発散もあることに気付き、それらがすべてあわさって、水の循環が完結していることを理解する。</p>	<p>本時の学習事項を整理する。</p> <p>海洋だけでなく、陸地からの蒸発散もあって、降水量につりあうだけの水蒸気がやはり供給されていることを理解させる。</p>

V. おわりに

大気から地表、あるいは地下を通って循環する水の姿を追うことはたいへん興味深い。なぜならそこには、水という物質が持っている様々な性質が反映されているからである。地球に大量に存在する水が、ちょうど地球の平均気温付近で三態に変化し、その過程で地表から熱を奪ったり、大気の対流に乗って上空に運ばれたり、地表を流れて様々な物質を溶かし込んだり運搬したりする。またそのそれぞれの段階で、水という物質の特徴的な性質によって微妙なバランスが保たれている。私たちはその水の循環の微妙なバランスの中で、そこから様々な影響を受けながら生活しているわけだから、当然水に対して関心が向く。今回はその中で、水が蒸発によって移動していくことにのみ目を向けたが、今後の課題として、これに伴う熱の移動や凝結過程など、関連のある他の事柄も総合的に把握できるようにしたい。ひとつひとつの局面ごとの理解ではなく、水の循環という大きな流れを追うことでの角的に自然を見直す姿勢を育てていきたい。



水を題材とした授業研究

—植物体内の水の移動—

岡 博 昭・井野口 弘 治

I. はじめに

本大学附属天王寺小中高研究部会の理科では、水を題材とした授業研究を行っている。本年度、中学校1年生の生物分野において、植物体内の水の移動に関する授業を計画し、実践したので、これについて報告する。

現行の中学校学習指導要領では、中学1年生の理科生物分野において、植物の生活とからだのつくりについて学習することになっている。具体的な内容は、中学校指導書理科編(文部省)によると、次のようになっている。

- 校庭や学校周辺の生物の観察を行い、いろいろな生物が様々な場所で生活していることを見いだすとともに、観察器具の操作、観察記録の仕方などの技能を身につけること。
- いろいろな植物の花の観察を行い、その観察記録に基づいて、花の基本的なつくりの特徴を見いだすとともに、それらを花の働きと関連づけてとらえること。
- いろいろな植物の葉の観察を行い、その観察記録に基づいて、葉の基本的なつくりの特徴を見いだすとともに、それらを光合成や蒸散に関する実験結果と関連づけてとらえること。
- いろいろな植物の根や茎の観察を行い、その観察記録に基づいて、根や茎の基本的なつくりの特徴を見いだすとともに、それらを根や茎の働きに関する実験結果と関連づけてとらえること。

根の働きについては、まず根毛の観察を行い、根毛の表面積が極めて大きく、そのことが効率的に吸水を行う上で重要な役割を果たしていることを考察させる。その際、葉での蒸散が根の吸水量と深い関係があることにも触れる。ここでは、浸透圧など吸水が起こる物理的な説明は行わない。

これにともない、教科書(啓林館2分野上巻)における水の移動の記述は次のようになっている。

- 根は、土の中にのび、植物の体をしっかりとささえるとともに、地中から水をとり入れるはたらきをしている。
- 細い根の先端近くには、根毛とよばれる毛のようなものが無数に生えていて、根毛から水や養分を取り入れる。
- 根の表面からとり入れられた水や養分は、次々に根の内部に移動し、やがて道管という管に入る。道管は、根から茎を通り葉の葉脈へつながっていて、水や養分は、道

管を通じて根から葉へ移動する。

- 根から取り入れられた水は、植物の体をさえるのに役立つとともに、一部は光合成の原料として使われる。しかし、その大部分は、葉の気孔から、水蒸気となって空気中に出ていく。これを蒸散という。

当然植物の吸水が起こる物理的な説明はなされていない。では、高等学校の生物ではどのような取り扱いになっているのだろうか。

改訂前の教科書（数研出版生物）では、「植物の調節 水分の調節」に関して次のような記述があった。

- 植物は、土壤中の水分を根の先端部にある根毛から吸水する。この吸水は、根毛の浸透圧が外液よりも高いために起こる。濃い肥料などで外液の浸透圧が高くなると、根毛から水分が失われ、植物体はしおれてしまう。
- 道管内の水の上昇の原動力は葉からの蒸散であり、水分子どうしの引き合う力（凝集力）がそれを可能にしている。

しかし、今回の改訂により、「植物の代謝と調節」に関して高等学校生物で学習する内容は、高等学校学習指導要領理科編（文部省）によると次のようにになった。

○ 細胞の構造と機能

細胞は独自の機能をもついろいろな細胞内小器官から成り立っているとともに、細胞全体としてもまとまった働きをしていることを扱う。

○ 植物の反応と調節

植物の運動や植物ホルモンなどについて扱うが、羅列的に扱うことはせず、屈性などを例として、環境に対する植物の反応や調節の仕組みが解説してきた過程に重点を置いて扱う。

これにともない、現行の教科書（啓林館生物ⅠB）では、屈性を中心になっている。現行の教科書において、「細胞の構造 細胞膜と物質の出入り」に関して次のような記述がある。

- 水とショ糖溶液を半透膜でしきると、ショ糖は拡散できないのに水は拡散して、ショ糖溶液を薄めるように移動する。この現象を浸透という。水位の差による圧力（水圧）は水の浸透を妨げ、やがて水の移動は止まる。このときの半透膜にはたらく圧力をその溶液の浸透圧とよぶ。浸透圧は溶液の濃度に比例する。
- 細胞は水を溶媒としていろいろな物質を溶かしていく、その濃度に応じた浸透圧をもっている。細胞を異なる濃度の溶液に浸すと細胞膜を通して浸透圧の差に応じた水の移動が生じ、それに伴って細胞の形が変わる。

すなわち、膨脹運動による気孔の開閉に関する記述はあるが、根の吸水に関する説明は無くなってしまった。

以上のように、現行の学習指導要領のもとでは、植物の吸水の原理は高等学校の生物でも扱っていない。ただし、浸透圧に関しては、高等学校の生物だけではなく、化学においても扱っている。現行の教科書（啓林館化学ⅠB）では、「希薄溶液の性質 浸透圧」に関して、次のような記述がある。

- うすいデンプン水溶液と水とをセロハン膜で仕切ると、水分子はセロハン膜を通して拡散していき、デンプン水溶液に入り込む。一方、デンプン分子はセロハン膜を通

過することはできない。この水分子のように、膜を粒子が通過して拡散する現象を浸透という。

- したがって、両液の液面を同じ高さに保つには、溶液の液面に一定の圧力を加えなければならない。この圧力を溶液の浸透圧という。

浸透圧に関する説明が、生物と化学では微妙に異なることが気になる。

II. 植物体内的水の移動に関する授業計画

中学1年生の生徒でも、植物の吸収に関して疑問を持つものが多い。ところが、先程も述べたように高等学校生物でも扱っていない。そこで、そのような生徒の疑問にこたえるために、植物の吸水に関する内容を教材化した。具体的には、茎の観察、蒸散作用、毛細管現象、浸透現象を題材とし、計3時間の授業を計画した。

1. 観察 茎のつくり

茎のつくりの観察を行い、茎の中に道管や師管が通っていること、また、水は道管を通っていることを見いださせた。また、顕微鏡で観察しながらスケッチを行わせ、細かく観察し、正しく記録する力を身につけさせた。

導入では、すでに学習した光合成を想起させ、光合成に必要な水はどこから供給されるかを問題提起し、本時の学習目標とした。

あらかじめ生徒に用意させた植物の茎を用いて、茎のつくりを顕微鏡で調べさせた。材料については特に指定はしなかったが、双子葉植物ではホウセンカやヒメジョオンが、單子葉植物ではトウモロコシやススキなどが観察しやすく、よく用いられている。また、あらかじめ葉のついた茎を着色した水にさしておくと、水は茎のどの部分を通って移動するか調べるのに都合が良く、実験前夜、家で色水につけておいた茎を持ってきた生徒もいた。

茎の断面をつくるのにかみそりの刃を利用したが、うすく切片をつくるのに生徒は苦労していた。特に、堅い茎や太い茎は困難であった。また、指を傷つけないように留意した。

この観察によって、道管、師管、維管束を確認させ、吸い上げられた水は道管を通って葉に移動していることに気づかせることができた。（資料1参照）

2. 観察 蒸散、実験 毛細管現象、観察 蒸散のモデル

蒸散の実験により、植物の葉の気孔から水蒸気が放出されていることに気づかせた。また、蒸散をモデル化することにより、植物の吸水の主な原因是水の凝集力と蒸散であることに気づかせた。

導入では、前時の学習内容の理解の程度を調べ、道管内の水の移動について考えることが本時の学習目標であることを伝えた。

葉のついたサクラの枝を用いて、30分間における蒸散量を測定して見せた。水の蒸発を防ぐために、水面にグリセリンを浮かせておいた。メスシリンドーとグリセリン、水及びサクラの枝全体の質量を測定すると、葉のついた枝では0.39g減少したが、葉のついていない枝では0.02gしか減少しなかった。この差を、葉から蒸散される水の量とした。

また、内径の異なる3種類のガラス管を使って、試験管に入っている赤色2号で着色し

た水の水位を測定させた。その結果、内径5mmのガラス管では3mm程度上昇し、内径2mmのガラス管では12mm程度上昇し、さらに、ガラス細工により試験管からつくった外径1mmの毛細管では50mm程度上昇した。これにより、内径の小さいガラス管の方が水位が上がるることを示すことができた。ここで、道管も細い管であることを押さえておいた。

さらに、12mmの試験管の下半分を毛細管にした装置を使い、試験管の上部には水でぬらした脱脂綿を詰め、毛細管部分は赤色2号で着色した水につけた。数時間後には、着色した水が脱脂綿にまで上昇し、脱脂綿が赤色に変化した。このモデル実験により、植物の吸水の主な理由は毛細管現象と蒸散作用であることが明らかになった。（資料2参照）

3. 実験 浸透現象

浸透現象の実験を行い、水はセロハン膜を通ってブドウ糖溶液に移動することを見いださせた。また、植物の根による吸水は浸透現象が関係していることに気づかせた。

導入では、カイワレの根毛を教材提示装置を使って観察させ、表面積の大きいことに気づかせた上で、植物の根の働きを考えることが本時の学習目標であることを示した。

浸透現象の実験では、セロハンチューブと内径2mmのガラス管を用いて行った。セロハンチューブには1mol/lのブドウ糖溶液に赤色2号を加えたものを入れさせた。比較的短時間で、ガラス管内をブドウ糖溶液が上昇していった。どの班も失敗なく、浸透現象を確認することができた。ただし、浸透圧には触れないように留意した。

今までに学習した、道管、蒸散作用、毛細管現象、浸透現象をまとめ、植物体内の水の移動を総合的に考察させた。（資料3、資料4参照）

III. おわりに

茎の観察のレポートを読んでいると、植物の吸水の仕組みに関する疑問が多かった。しかし、先ほども述べたように、植物の吸水については、後の学習で取り扱われていない。そのような意味で、今回このような授業を計画し、実践してよかったですと思っている。しかし、毛細管現象や浸透現象は、たとえ定性的な取り扱いだけであるといえども、中1の生徒にどの程度定着したのかという疑問がある。また、これらは植物の一部をモデル化したものであるが、モデルと実物の植物とが頭の中でどのように結びついているのかも疑問である。

浸透現象の実験レポートの中に「植物はすごいことをしているんですね。」という感想があった。これらの授業を通して、植物に対して今まで以上の興味を持たせることができたのではないかと考えている。

文献

- 中学校指導書 理科編（文部省）
- 高等学校指導要領解説 理科編（文部省）
- 理科2分野上（啓林館）
- 高等学校生物（数研出版）
- 高等学校生物I B（啓林館）

資料1

理科学習指導案

指導者 岡 博昭

1. 日時 平成6年10月1日（土） 第 時限（ 時 分～ 時 分）
2. 場所 大阪教育大学教育学部附属天王寺中学校・高等学校 化学実験室（東館2階）
3. 学級 大阪教育大学教育学部附属天王寺中学校 第1学年 組
(男子 名、女子 名)
4. 主題 植物の生活と種類（教科書：理科 第2分野上、啓林館）
5. 目標
 - (1) 身近な場所で生活をしている生物の観察を行い、いろいろな場所に生物がいることを見つけだすとともに、観察器具の操作、観察方法などの技能を身につけさせる。
 - (2) いろいろな植物の花や葉の観察を行い、その観察記録に基づいて、基本的なつくりの特徴を見いだせるとともに、からだのつくりに基づいて分類できることを見いだせる。
 - (3) 光合成や蒸散、毛細管現象や浸透現象の実験を行い、葉の構造と関連づけて葉のはたらきを見いだせるとともに、根や茎の構造と関連づけて植物体内の水の移動を考察させる。
 - (4) 花の咲かない植物の観察を行い、その観察記録に基づいて、それらの植物の特徴を見いだせる。
 - (5) 生徒ひとりひとりが探求の過程を大切に観察・実験を行っていく中で、科学の方法を身につけさせ、身近な物質や現象に興味を持たせ、それを追求しようとする意欲や態度を養う。

6. 指導計画

区分	学習内容	時間配当
第1次	水中の小さな生物	3
第2次	花のつくりとはたらき	3
第3次	葉のつくりとはたらき	6
第4次	茎・根のつくりとはたらき	3（本時は1時間目）
第5次	植物のなかま	5

7. 本時の学習内容

- (1) 題材 茎のつくり
- (2) 目標
 - ① 茎のつくりの観察を行い、茎の中に道管や師管が通っていること、また、水は道管を通っていることを見いだせる。
 - ② スケッチを行うことにより、細かく観察し、正しく記録する力を身につけさせる。
- (3) 準備物 植物の茎、かみそりの刃、シャーレー、ピンセット、スライドガラス、カバーガラス、えつき針、顕微鏡

(4) 指導過程

段階	学習事項	生徒の活動	指導者の活動・評価
導入 (5分)	・本時の学習目標の確認	・水や養分は、茎のどの部分を通って移動するか考える。	・茎の内部のつくりやはたらきについて調べることを説明する。
展開 (40分)	・観察方法の説明 ・観察の準備 ・観察 ・結果のまとめ ・後かたづけ	<ul style="list-style-type: none"> ・プレパラートのつくり方を知る。 ・各自用意した植物の茎の断面を、手を傷つけないように注意しながらつくる。 ・顕微鏡で観察しながら、茎の断面のスケッチを行う。 ・着色した水が道管を通って移動したことに気づく ・スケッチに各部分の名称を記入する。 ・単子葉類と双子葉類の違いに気づく。 ・各班協力して後かたづけを行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・茎の断面のプレパラートのつくり方の説明を行う。 ・かみそりの刃の使い方に留意させる。 ・安全にプレパラートをつくることができているか確認し、必要に応じて個別指導を行う ・点描写で正しくスケッチが行われているか確認する。 ・着色した部分に注目させる。 ・道管、師管の位置が確認できているかを把握し、不十分なときは個別指導を行う。 ・単子葉類と双子葉類では、維管束の並び方が異なることに気づかせる。 ・双子葉類には形成層があり、単子葉類には形成層がないことを確認する。 ・顕微鏡の取り扱いに留意させる。
整理 (5分)	・本時の学習事項の整理と次時の予告	・本時の学習内容をふりかえり、その要点をつかみ次時の学習事項を知る。	<ul style="list-style-type: none"> ・本時の学習内容を整理し、観察レポートを次時までの課題とする。 ・次時は茎の中を水が移動するしくみについて考えることを予告する。

資料2

理科学習指導案

指導者 岡 博昭

1. 日時 平成6年10月14日（金） 第 時限（ 時 分～ 時 分）
2. 場所 大阪教育大学教育学部附属天王寺中学校・高等学校 化学実験室（東館2階）
3. 学級 大阪教育大学教育学部附属天王寺中学校 第1学年 組
(男子 名、女子 名)
4. 主題 植物の生活と種類（教科書：理科 第2分野上、啓林館）
5. 目標
 - (1) 身近な場所で生活をしている生物の観察を行い、いろいろな場所に生物がいることを見つけるとともに、観察器具の操作、観察方法などの技能を身につける。
 - (2) いろいろな植物の花や葉の観察を行い、その観察記録に基づいて、基本的なつくりの特徴を見つけるとともに、からだのつくりに基づいて分類できることを見つける。
 - (3) 光合成や蒸散、毛細管現象や浸透現象の実験を行い、葉の構造と関連づけて葉のはたらきを見つけるとともに、根や茎の構造と関連づけて植物体内の水の移動を考察する。
 - (4) 花の咲かない植物の観察を行い、その観察記録に基づいて、それらの植物の特徴を見つける。
 - (5) 生徒ひとりひとりが探求の過程を大切に観察・実験を行っていく中で、科学の方法を身につけさせ、身近な物質や現象に興味を持たせ、それを追求しようとする意欲や態度を養う。
6. 指導計画

区分	学習内容	時間配当
第1次	水中の小さな生物	3
第2次	花のつくりとはたらき	3
第3次	葉のつくりとはたらき	6
第4次	茎・根のつくりとはたらき	3 (本時は2時間目)
第5次	植物のなかま	5

7. 本時の学習内容

- (1) 題材 水分の調節
- (2) 目標
 - ① 蒸散の実験により、植物の葉の気孔から水蒸気が放出されていることに気づかせる。
 - ② 蒸散をモデル化することにより、植物の吸水の主な原因は水の凝集力と蒸散であることに気づかせる。
- (3) 準備物 葉のついたサクラの枝、葉を切り落としたサクラの枝、メスシリンドラー、電子平秤、試験管、ガラス管（2種類）、毛細管赤色2号、脱脂綿、グリセリン、水

(4) 指導過程

段階	学習事項	生徒の活動	指導者の活動・評価
導入 (5分)	・前時の復習 ・本時の学習目標の確認	・前時の茎の断面の観察を想起する。 ・道管内を水が移動することを思い出す。 ・本時の学習事項を知る。	・道管や師管における物質の移動の理解の程度を知り、必要に応じて追加指導する。 ・本時は茎の中を水が移動するしくみについて考えることを伝える。
展開 (40分)	・蒸散 ・毛細管現象 ・蒸散 ・蒸散のモデル	・実験の方法を知り、結果を予想する。 ・2本の内径の異なるガラス管と毛細管を、色水の中につけ、ガラス管内の液面の位置を測定する。 ・内径の細いガラス管の方が液面が高くなることに気づく。 ・減少した水は、植物の茎を通って葉の気孔から出ていったことに気づく。 ・装置の仕組みとモデルの意味を知る。 ・植物の茎を水が移動する原因は、毛細管現象と蒸散であることを知る。	・葉のついたサクラの小枝を水の入ったメスシリンドーにさし、電子天秤で全体の質量を測定する。 ・実験の方法を説明する。 ・正しく実験ができているか確認し、必要に応じて個別指導を行う。 ・各班の結果を発表させ、毛細管現象について確認する。 ・植物の道管も細い管であることを押さえておく。 ・質量を測定することにより、メスシリンドー内の水が減少していることを示す。 ・下半分を毛細管にした試験管を使い、色水が毛細管を通して上部の脱脂綿に到達することを示す。 ・植物の茎を水が移動する原因について説明する。
整理 (5分)	・本時の学習事項の整理と次時の予告	・本時の学習事項をふりかえり、その要点をつかみ次時の学習事項を知る。	・本時の学習事項の整理を行う。 ・次時は、根の吸水の仕組みについて考えることを予告する。

資料3

理科学習指導案

指導者 岡 博昭

1. 日時 平成6年10月17日（月） 第 時限（ 時 分～ 時 分）
2. 場所 大阪教育大学教育学部附属天王寺中学校・高等学校 化学実験室（東館2階）
3. 学級 大阪教育大学教育学部附属天王寺中学校 第1学年 組
(男子 名、女子 名)
4. 主題 植物の生活と種類（教科書：理科 第2分野上、啓林館）
5. 目標
 - (1) 身近な場所で生活をしている生物の観察を行い、いろいろな場所に生物がいることを見つけるとともに、観察器具の操作、観察方法などの技能を身につける。
 - (2) いろいろな植物の花や葉の観察を行い、その観察記録に基づいて、基本的なつくりの特徴を見いだせるとともに、からだのつくりに基づいて分類できることを見いだせる。
 - (3) 光合成や蒸散、毛細管現象や浸透現象の実験を行い、葉の構造と関連づけて葉のはたらきを見いだせるとともに、根や茎の構造と関連づけて植物体内の水の移動を考察させる。
 - (4) 花の咲かない植物の観察を行い、その観察記録に基づいて、それらの植物の特徴を見いだせる。
 - (5) 生徒ひとりひとりが探求の過程を大切に観察・実験を行っていく中で、科学の方法を身につけさせ、身近な物質や現象に興味を持たせ、それを追求しようとする意欲や態度を養う。

6. 指導計画

区分	学習内容	時間配当
第1次	水中の小さな生物	3
第2次	花のつくりとはたらき	3
第3次	葉のつくりとはたらき	6
第4次	茎・根のつくりとはたらき	3 (本時は3時間目)
第5次	植物のなかま	5

7. 本時の学習内容

- (1) 題材 浸透現象と根のはたらき
- (2) 目標
 - (1) 浸透現象の実験を行い、水はセロハン膜を通じてブドウ糖溶液に移動することを見いだせる。
 - (2) 植物の根による吸水は浸透現象が関係していることに気づかせる。
- (3) 準備物 実験プリント、ビーカー、ゴム栓、スポイド、定規、ゴム輪、セロハンチューブ、ガラス管、スタンド、セロテープ、ブドウ糖水溶液 (1 mol/l)、赤色2号、水、カイワレ

(4) 指導過程

段階	学習事項	生徒の活動	指導者の活動・評価
導入 (5分)	<ul style="list-style-type: none"> ・前時実験の想起 ・本時の学習目標の確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・前時の実験内容を想起する。 ・カイワレの根毛の特徴やはたらきを考える。 	<ul style="list-style-type: none"> ・前時の実験内容の理解の程度を知り、必要に応じて追加指導を行う。 ・カイワレの根毛を見せ、本時の学習事項を説明する。
展開 (40分)	<ul style="list-style-type: none"> ・実験説明 ・実験 ・結果のまとめと考察 ・植物体内的水の移動 	<ul style="list-style-type: none"> ・浸透現象の実験の方法を知る。 ・実験プリントの手順に従いながら、班で協力して実験を行う。 ・後かたづけを行い、班毎に実験結果を整理する。 ・班毎に結果を発表する。 ・セロハンチューブ内の液量が増した理由を考える。 ・水がセロハン膜を通過したことに気づく。 ・前時に学習した茎の構造蒸散作用、毛細管現象、本時に学習した浸透現象を総合して、植物体内的水の移動を考える。 	<ul style="list-style-type: none"> ・実験プリントを用いて、実験の説明を行う。 ・正しく、かつ協力しながら実験を行っているか把握し、必要に応じて個別指導を行う。 ・きちんと後かたづけができるか確認する。 ・各班の結果を整理し、浸透現象によりガラス管内の水位が上昇したことを確認する。 ・セロハンチューブ内の液量が増したことに気づかせる。 ・セロハン膜には小さい穴があり、水はさらに小さい粒からできていることに気づかせる。 ・植物体内的水の移動についてまとめる。
整理 (5分)	・本時の学習事項の整理	・本時の学習事項をふり返り、その要点をつかむ。	・本時の学習事項を整理し、実験レポートを次時までの課題とする。

実験 浸透現象

目的 浸透現象を観察することにより、植物の根のはたらきを考える。

準備 ピーカー(500mℓ、100mℓ)、ゴム栓(3号2個、5号1個)、スポイド、定規(180mm)、ゴム輪(ピール管を切ったもの2個)、セロハンチューブ(直径16mm)、ガラス管(長さ290mm、内径2mm)、スタンド、セロテープ、ブドウ糖水溶液、食用色素(赤色2号)、水

方法 ① 水に浸してあるセロハンチューブ柱を取り出し、中に入っている水を捨てる。

(注意) セロハンチューブは破れやすいので、取り扱いに注意する。

② 食用色素で着色したブドウ糖水溶液を、スポイドを用いて、セロハンチューブ柱内に、ゴム栓の穴まで入れる。

(注意) 空気の泡が残らないように注意する。

③ 上端にゴム栓を通したガラス管を、セロハンチューブ柱のゴム栓の穴に取り付ける。

(注意) ガラス管はあまり深く差し込まないように、また、差し込んだときにはふれるブドウ糖水溶液はよくふき取ること。

④ 500mℓのピーカーに水を入れ、③

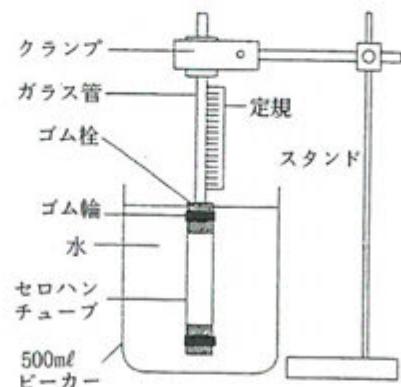
で用意したセロハンチューブ柱を、上部のゴム栓が水に浸かるように入れ、ガラス管をスタンドで固定する。

(注意) セロハンチューブ柱の底がピーカーに触れないようにする。

⑤ ガラス管に定規をセロテープで取り付ける。

⑥ 約1分後にガラス管内の水面の位置を読み、5分間観察した後、再びガラス管内の水面の位置を読む。

⑦ 実験が終わったら、セロハンチューブ柱をピーカーから取り出し、中のブドウ糖水溶液を捨て、水に浸しておく。ガラス管は水を通してよく洗う。



結 果

ガラス管内の最初の水面の位置	cm
5分後の水面の位置	cm
5分間でガラス管内の水面は何cm上昇したか。	cm上昇した

考 察

- ① ガラス管内の水面が上昇したことについてどのように考えたらよいか。

- ② 水はセロハン膜を通るのだろうか。また、その理由を考えてみよう。

- ③ ビーカーにブドウ糖水溶液を入れ、セロハンチューブ柱に水を入れると、どのような現象が予想されるか。

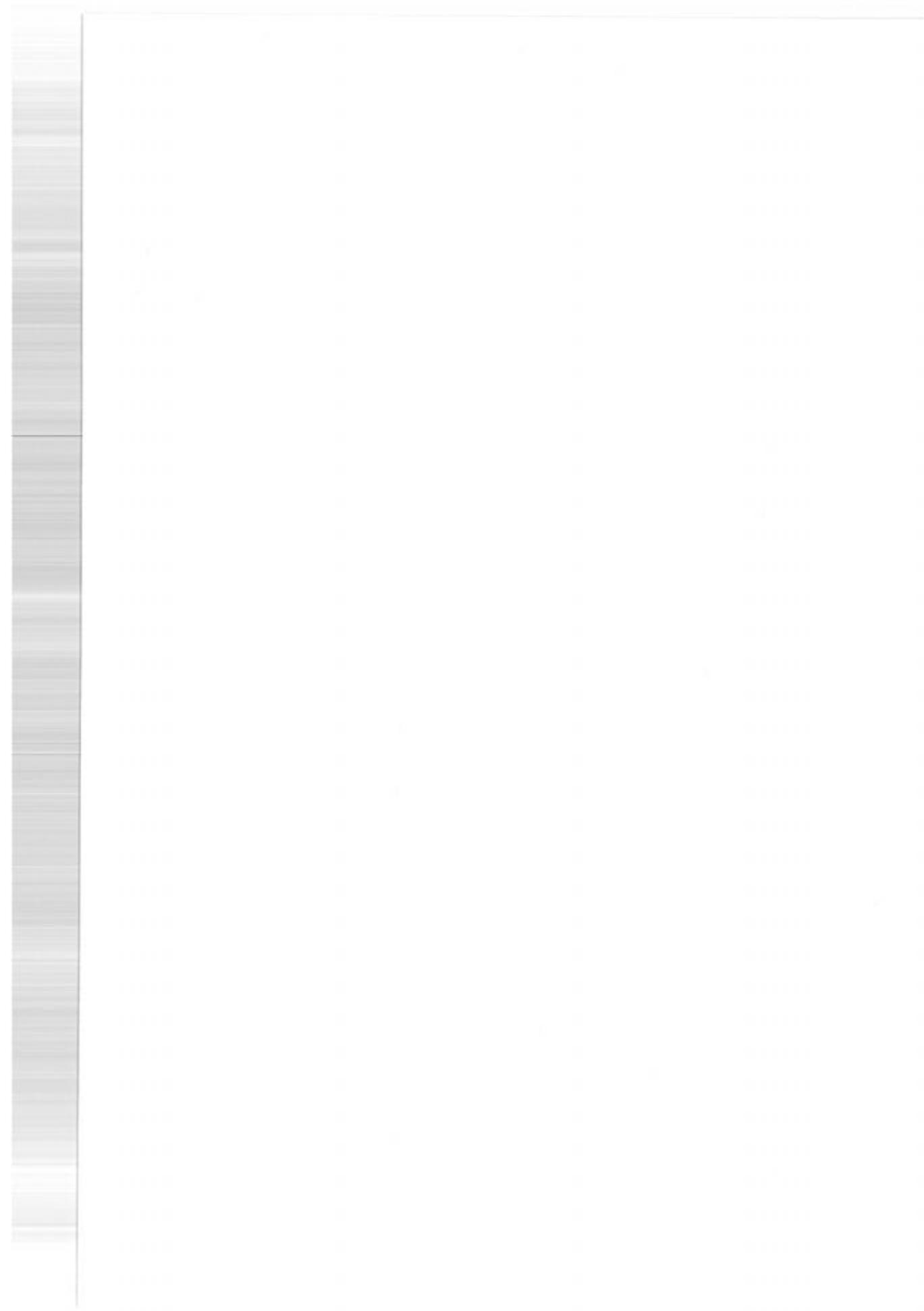
参 考

植物は、土の中に含まれている水分を根の先端近くにある根毛から吸収する。毛は、表皮細胞の一部が伸びたもので、土の粒の間にくいこんで植物のからだを固定させるはたらきもある。根毛の寿命は数日間と短く、根の成長とともに、次々とできる新しい根毛と交代する。

課 題

今までに学習した茎の構造、蒸散作用、毛細管現象、さらにこの実験で確認できた浸透現象を総合して、植物の体の中の水の移動について考えてみよう。

48期生	1年	組	番	名前
------	----	---	---	----



附属天王寺方式の化学

—高等学校「状態変化と気体」の指導—

井野口 弘治・岡 博昭

I. はじめに

中学・高校の6年間を通して指導する本校において、他の6・3・3制の学校とは異なる指導過程・指導方法・指導内容があつて当然だと考える。中学と高校とに分けることにより生じる無駄を省き、発達段階に即して適時的な教材を用い、本校勤務者によるアイデア一杯の展開をして、化学に対する興味・関心を持った、知的理窟度の高い、応用力のある、化学的な態度を有する人間を卒業させようとするものである。以前から行ってきた研究を生かして、天王寺方式の化学と呼べるものを持ち立てたいと思い、研究名とした。

6年間を通しての化学学習のカリキュラムについて検討を重ねているが、中学・高校とともに、週休2日制に対応するカリキュラムを作成中であり、本年は、その推移をみる一方、具体的な授業の展開において、いかに工夫するかを検討した。高校1年生において、物質の状態変化と気体の性質の展開を、高校2年生において、酸化還元反応の展開を工夫し、研究授業を行ったのでその内容を報告する。

II. 状態変化と気体の指導

1. 指導要領の内容

文部省の指導要領「化学IB」には次のように記されている。

2 内容 (1)物質の構造と状態

エ 純物質と混合物 (ア)気体、液体、固体 (イ)気体の分圧 (ウ)溶液

オ 物質の構造と状態に関する探究活動

(内容の取扱い) 気体については、定量的な分子運動論は扱わないこと。固体について結晶を扱う場合は、結晶中の原子またはイオンの配列を扱うにとどめること。

指導要領解説には次のように記されている。

気体については、理想気体を中心として、気体の共通な性質を扱う。液体の蒸気圧にも触れる。気体の分圧については、混合気体の全圧との関係において扱う。それぞれに共通な性質を観察、実験や資料の活用などにより探究させる。例えば、気体の法則、気体の分子量の測定などの実験をさせることなどが考えられる。

2. 指導計画

第1次 物質の状態変化 (4時間)

水の状態図 (1時間)

蒸気圧と沸騰 (1時間)

分子のつまり具合 (1時間)

第2次 気体の性質 (5時間)

ボイル、アモントンの実験 (1時間)

気体の状態式 (1時間)

分圧の法則 (1時間)

分子の熱運動と三態（1時間）

分子量の測定（1時間）

実在気体（1時間）

3. 各時間の展開

(1) 水の状態図（指導内容）

三態変化と名称（融解、蒸発、沸騰、凝縮、凝固、昇華）

水の状態図（三重点、昇華曲線、沸騰曲線、融解曲線、凝固点と沸点）

富士山頂での水の凝固点と沸点

圧力釜中での水の温度

復水現象

二酸化炭素の状態図（昇華点、臨界点）

大気圧下のドライアイスの最高温度

昇華しやすい物質（ヨウ素、ナフタレン、水）

(2) 蒸気圧と沸騰

①

理科（化学IB）学習指導案

指導者 井野口 弘治

1. 日時 平成6年11月16日（水曜日） 6時限（2時20分～3時10分）

2. 場所 大阪教育大学教育学部附属高等学校天王寺校舎 化学講義室（東館2階）

3. 学級 大阪教育大学附属高等学校天王寺校舎1年B組 46名（男子27名、女子19名）

4. 主題 物質の状態（教科書 啓林館 高等学校化学IB）

5. 目標 (1) 物質の構成粒子の熱運動と状態変化との関係に注目させ、三態の相互変化及び各状態の性質を理解させる。

(2) 気体の体積・圧力・温度の関係を理解させる。

(3) 溶液の性質及びコロイド溶液の特徴を実験を通して理解させる。

(4) 常に日常生活との関わりに留意し、化学的ものの見方を身近なものにさせる。

6. 指導計画

区分	学習内容	時間配当
第一次	物質の状態変化 水の状態図 蒸気圧と沸騰 分子のつまり具合 分子の熱運動と三態	1 1 1 1 4
第二次	気体の性質	5
第三次	溶液の性質	5
第四次	コロイド溶液	3

7. 本時の指導

(1)題 材 蒸気圧と沸騰

(2)目 標 液体の示す蒸気圧の性質及び蒸気圧と沸騰との関係を、実験を通して、次の

①～④を気づかせながら理解させる。

- ①液体の蒸気圧は物質により異なること。
- ②液体の蒸気圧は高温ほど大きいこと
- ③蒸気圧が外圧より小さいときは、蒸気のみの空間は生じないこと
- ④蒸気圧が外圧を超える温度になると沸騰が起こること

(3)準備物 教科書、プリント、蒸気圧測定装置、沸騰観察装置、教材提示装置

(4)指導過程

段階	学習事項	生徒の学習	指導者の活動・評価
導入 (5分)	本時の学習目標の確認	本時の学習目標を知る。	液体の沸点について思い出させる。
展開 (40分)	飽和蒸気圧 蒸気圧曲線 外圧と蒸気圧 沸騰 大気中での蒸発	エタノール、ジエチルエーテルの室温での蒸気圧を知る。 高温ほど蒸気圧が高いことを知る。 外圧が大きいと、蒸気圧のみの空間ができるないことに気づく。 蒸気圧が外圧を超える温度になると沸騰が起こることに気づく。 大気中での蒸発の限界について考える。	飽和蒸気圧を測定し、物質により異なることを把握させる。 蒸発の激しさと温度との関係を想起させる。 蒸気圧曲線より温度と蒸気圧の関係を確認させながら、注射器中のジエチルエーテルの蒸発を観察させる。 液中からの気泡の発生に注目させる。 大気中への蒸発では、飽和蒸気圧は達成されないと気づかせる。
整理 (5分)	要点の整理	蒸気圧の性質、沸騰の条件について確認する。	発表させ、不十分ならば補充する。

<御高評欄>

② 授業プリント

蒸気圧と沸騰

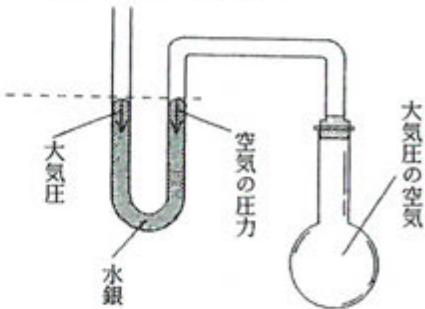


図1

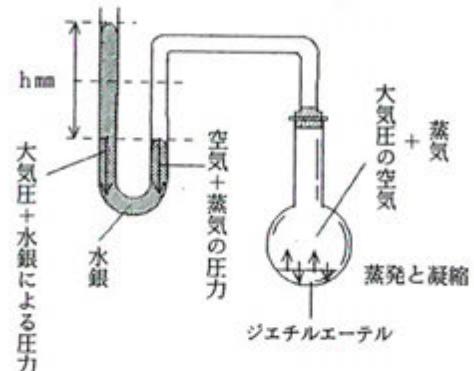


図2

$$\text{蒸気圧} = (\text{水銀による圧力}) = h \text{ mmHg}$$

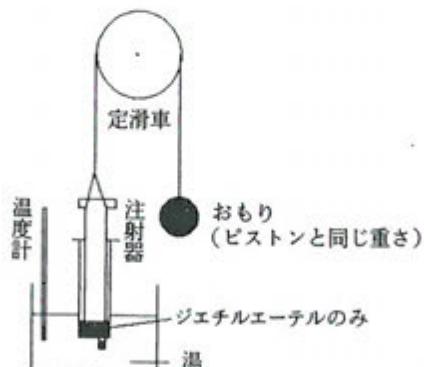
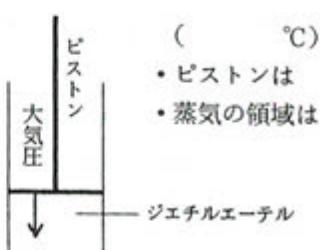
実験1 蒸気圧の測定 室温 () °C

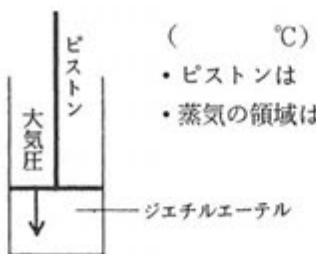
ジエチルエーテル mmHg

エタノール mmHg

•

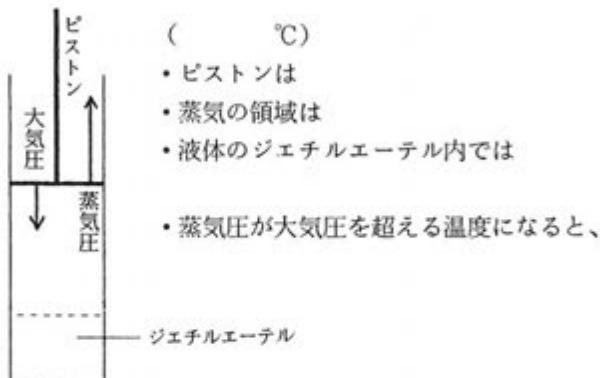
実験2 蒸気圧と外圧





(°C)

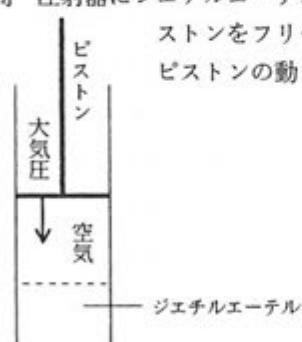
- ・ピストンは
- ・蒸気の領域は



(°C)

- ・ピストンは
- ・蒸気の領域は
- ・液体のジェチルエーテル内では
- ・蒸気圧が大気圧を超える温度になると、
- ・冷却すると気体の部分は

問 注射器にジェチルエーテルの液体を吸い込み、さらに空気を吸い込んで密封した。ピ
ストンをフリーストップの状態にして、注射器を30°Cの湯に浸けた。
ピストンの動きを判断せよ。



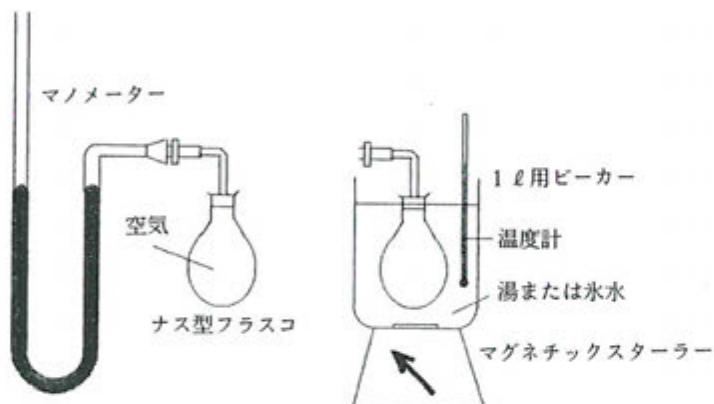
問 液体が沸騰する温度と、外気圧との関係について述べよ。

問 なぜ、蒸気圧が大気圧を超えないとい沸騰できないのか。

③ 実験について

ア. 蒸気圧測定装置

この装置は昭和63年に開発したもので、マノメーターと、簡易接続できる容器とからなる。マノメーターは、内径1.5mmの厚肉細管1.5mをU字型に曲げたものに、水銀を入れたものである。容器にはナス型フラスコにゴム栓をしたものを用いる。マノメーターと容器との接続は、マノメーターにガスゴム管用ソケット（株式会社ハーマン社製 JG200）を取り付け、容器にはガスゴム管用プラグ（JG300）を付けて、着脱自由とする。分離すると、マノメーターには大気が接するが、容器内は大気と遮断されており、その密閉度はこのマノメーター利用での測定に十分である。容器内の開放には、別のガスゴム管用プラグを接続すれば直ちにできる。ゴム栓をはずしてもよい。



蒸気圧の測定には、容器として300mℓナス型フラスコ（内容積450mℓ）を用い、容器内を大気圧にしてから、使い捨て注射器（テルモシリンジ1mℓ用）で試料液体を1～2mℓを取り、容器のゴム栓にできるだけ長い距離で針を通して容器内に注入する。針を抜いても気体の漏れはない。室内、または測定温度の水浴中でよく振り液を蒸発させる。容器内に液体が残存することを確認してからマノメーターに接続すれば、直ちに蒸気圧がはかれる。エタノール、ベンゼン、アセトン、ジエチルエーテルなどの蒸気圧が測定できる。

イ. 沸騰観察装置

授業プリントの実験2の装置を、教材提示装置のビデオカメラで撮影しモニターで観察させるものである。注射器（100mℓ用）にジエチルエーテルを空気を入れないようにいれ、ポリエチレン管で作ったキャップをする。キャップ内にもジエチルエーテルを満たし空気を入れないようにする。キャップには前もって、沸騰石として金剛砂を少量入れておく。室温の水、沸点以下の湯、沸点を少し超えた湯で観察させる。沸点を超えた温度でのみ、注射器のピストンが持ち上げられ、蒸気圧が大気圧に勝ることに注目させる。液中に沸騰を示す気泡の発生が観察できる。しばらく沸騰を続けた後、室温の水に没け、気層部分が急激に減少することも観察させる。沸点以下では、気層部分が大気圧で圧縮され、凝縮することに注目させる。

(3) 分子のつまり具合

[授業プリント]

分子のつまりぐあい

(1) 固体分子間の距離

データー -253°Cでの Ar

密度 1.65g/cm^3 面心立方格子 (格子定数 $5.43 \times 10^{-8}\text{cm}$)

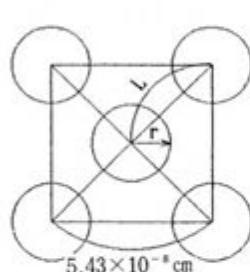
分子半径 (原子半径) $1.88 \times 10^{-8}\text{cm}$

算出 分子半径 r 、分子の中心間距離 L

$$5.43 \times 10^{-8}\text{cm} : L = () : ()$$

$$L = \frac{5.43 \times 10^{-8}\text{cm}}{2} = () \times 10^{-8}\text{(cm)}$$

$$\frac{L}{2r} = \frac{() \times 10^{-8}\text{cm}}{2 \times 1.88 \times 10^{-8}\text{cm}} = () \text{倍}$$



固体分子間には、分子の直径の () % ほどの隙間がある。

(2) 液体分子間の距離

データー -186°Cでの Ar

密度 1.39g/cm^3

算出 分子半径 r 、分子の中心間距離 L'

固体に比べて体積は何倍になっているか。

$$\frac{1\text{g}}{1.39\text{g/cm}^3} \div \frac{1\text{g}}{1.65\text{g/cm}^3} = \frac{() \text{cm}^3}{() \text{cm}^3} = () \text{倍}$$

距離は何倍になっているか。

$$\sqrt[3]{() \text{倍}} = () \text{倍}$$

$$\frac{L'}{2r} = () \times () = () \text{倍}$$

液体分子間には、分子直径の () % ほどの隙間がある。

(3) 気体分子間の距離

データー 0°C、1 atm 下での Ar

密度 $1.78 \times 10^{-3}\text{g/cm}^3$

算出 分子半径 r 、分子の中心間距離 L''

$$\text{体積は固体の } \frac{1}{1.78 \times 10^{-3}} \div \frac{1}{1.65} = () \text{ 倍}$$

$$\text{距離は } \sqrt[3]{()} \text{ 倍} = () \text{ 倍}$$

$$\frac{L''}{2r} = () \times () = () \text{ 倍}$$

気体分子間には、分子直径の () 倍の隙間がある。

(4) 0°C、1 atm の気体 1mm^3 中の分子数

分子 1 mol — () 個 — で () ℥

$$6.02 \times 10^{23} \text{ 個} \div (22.4 \times 10^3 \times 10^3 \text{ mm}^3) = () \text{ 個/mm}^3$$

(4) 分子の熱運動と三態

[授業プリント]

気体分子の熱運動

(1) 気体分子の並進運動の速さ

(最大確率速度)

$$v = \sqrt{\frac{\text{絶対温度(K)}}{\text{分子量}}} \times \frac{1.29 \times 10^2 \text{ m/s K}^{-\frac{1}{2}}}{(\text{定数})}$$

25°C H₂ = 2 N₂ = 28.....

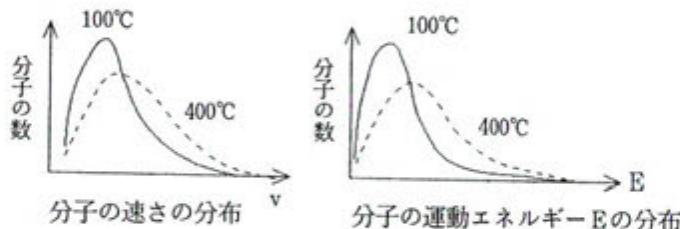
O₂ = 32.....

(2) 気体分子の運動エネルギー (E_k)

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{速さ } v \\ \text{質量 } m = \frac{\text{分子量}}{(\quad)} \end{array} \right.$$

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \times \frac{(\quad)}{\text{アボガドロ数}} \times (\text{定数})^2$$

分子の運動エネルギーは () に比例する。



- 温度が決まると、どの物質でも分子は同じ E_k の分布を示す。

- 高温になると、E_k の小さい分子の割合が減り、E_k の大きな分子の割合が増え。

(3) 1秒間に 1 つの分子が他の分子に衝突する回数 (25°C、1 atm の N₂) () 回

→拡散の速さはゆっくり N₂...0.92 cm/s O₂...0.96 cm/s H₂...2.42 cm/s

(4) 1秒間に 1 cm² の面に衝突する分子数 (25°C、1 atm の N₂) () 個

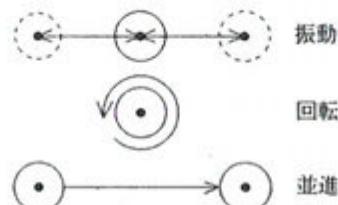
→気体による圧力

液体・固体の熱運動

(1) 液体分子 極短い並進、回転、振動

(2) 固体分子 振動、回転

(3) 温度に応じた運動のエネルギー分布を持つ。



(5) ポイル、アモントンの実験

① 授業プリント

ボイルの法則

一定量の気体の体積と圧力の関係を調べよう。

用具 一端を封じた内径1.5mmの厚肉細管(1.5m)

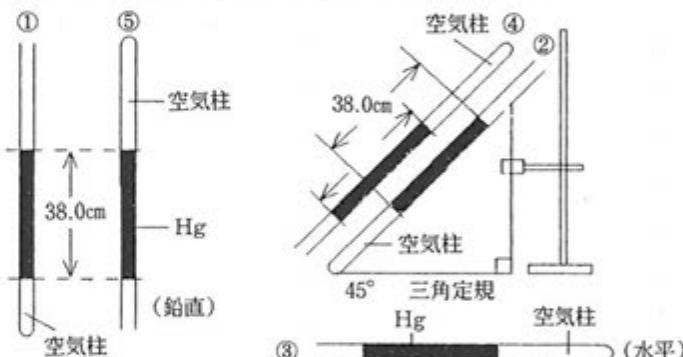
水銀、針付き使い捨て注射器(1ml用)、ピアノ線(1.5m)

黒板用三角定規(二等辺)、スタンド

ものさし(1mm目盛り、50cm用)

操作1 肉厚細管の適当な位置までピアノ線を差し込み、水銀を吸い込んだ注射器から肉厚細管に水銀を注入する。水銀柱の長さが38cmなるようにする。(水銀はピアノ線のあるところまでは簡単に入り、また、容器に戻すこともできる。ピアノ線を引き出しながら入れるとよい。)

操作2 次の5つの場合について、空気柱の長さを測定する。

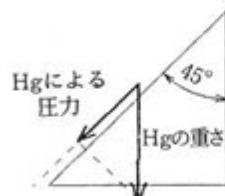


操作3 アネロイド気圧計で大気圧を測定する。

() cmHg

細管内の空気柱にかかる圧力は

- ① 大気圧 + 38.0 cmHg
- ② 大気圧 + 26.9 cmHg Hgによる圧力 ($38.0 \div \sqrt{2} = 26.9$)
- ③ 大気圧
- ④ 大気圧 - 26.9 cmHg
- ⑤ 大気圧 - 38.0 cmHg



結果の処理

	空気にかかる圧力 cmHg	空気の体積 cm	圧力×体積
①			
②			
③			
④			
⑤			

気体の圧力と体積は
() する。

アモントンの実験

(ゲイ・リュサック、シャルルの法則)

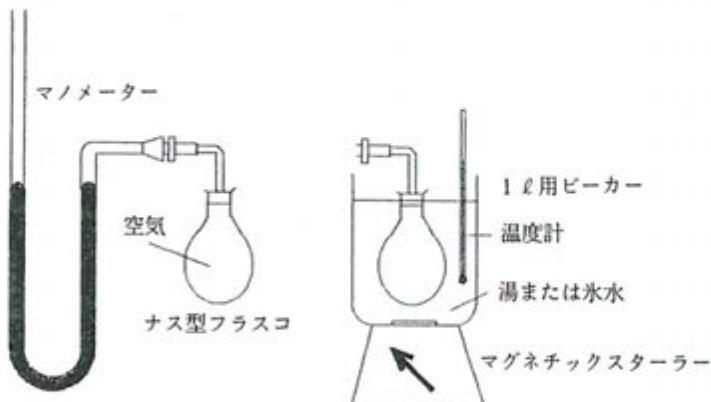
一定量の気体の温度と圧力の関係を調べよう。

用具 マノメーター（簡易接続装置付き）
ナス型フラスコ（100ml、簡易接続装置付き）
ビーカー（1ℓ用）、温度計、マグネチックスターラー
熱湯、氷水、アネロイド気圧計

操作1 室温で大気圧の空気をナス型フラスコに入れる。

操作2 ナス型フラスコをマノメーターにつないだまま、ビーカー中の熱湯に浸け、マノメーターの動きが止まったときに、湯温（空気の温度）と圧力を測定する。

操作3 ナス型フラスコをマノメーターにつないだまま、ビーカー中の氷水に浸け、マノメーターの動きが止まったときに、水温（空気の温度）と圧力を測定する。
(氷水は、氷を細かく碎いたものに水道水を加えて氷が多く残っている状態にする。0℃とみなせる。)



結果の処理

	空気の温度 (°C)	空気の圧力 (cmHg)
①	湯温	大気圧 + 水銀柱
②	室温	大気圧
③	氷水温	大気圧 - 水銀柱

横軸に温度、縦軸に圧力をとってグラフ化してみよう。

② 実験結果

実施日時 1994年11月25日

(1時限目) ボイルの法則の実験

空気の圧力 P /cmHg	空気の体積 V /cm	P • V
114.1	18.7	2134
103.0	20.8	2142
76.1	28.0	2131
49.2	43.2	2125
38.1	55.7	2122

アモントンの実験

空気の温度 t /°C	空気の圧力 P /mmHg
73.5	897
17.3	761
0.0	717

$$P = 717.8 + 2.44 t$$

$$P = 0 \text{ のとき } t = -294.2$$

(2時限目) ボイルの法則の実験

空気の圧力 P /cmHg	空気の体積 V /cm	P • V
114.0	18.9	2155
102.9	20.8	2140
76.0	28.1	2136
49.1	43.6	2141
38.0	56.0	2128

アモントンの実験

空気の温度 t /°C	空気の圧力 P /mmHg
74.6	896
18.0	760
0.0	714

$$P = 715.0 + 2.43 t$$

$$P = 0 \text{ のとき } t = -294.2$$

(3時限目) ボイルの法則の実験

空気の圧力 P /cmHg	空気の体積 V /cm	P • V
114.0	18.9	2155
102.9	20.8	2140
76.0	28.2	2143
49.1	43.7	2146
38.0	56.2	2136

アモントンの実験

空気の温度 t /°C	空気の圧力 P /mmHg
79.1	902
18.6	760
0.0	714

$$P = 714.8 + 2.37 t$$

$$P = 0 \text{ のとき } t = -301.6$$

(4時限目) ボイルの法則の実験

空気の圧力 P /cmHg	空気の体積 V /cm	P • V
113.9	18.9	2153
102.8	20.9	2149
75.9	28.3	2148
49.0	43.8	2146
37.9	56.6	2145

アモントンの実験

空気の温度 t /°C	空気の圧力 P /mmHg
70.0	883
19.3	759
0.0	713

$$P = 712.6 + 2.43 t$$

$$P = 0 \text{ のとき } t = -293.3$$

(6) 気体の状態式

〔板書事項〕

気体の状態式

1. ボイルの法則…… $pV = \text{一定}$ 、 $pV = p'V'$ (一定量気体・一定温度)

2. アモントンの法則

$$\cdots \frac{p}{T} = \text{一定} \quad \frac{p}{T} = \frac{p'}{T'} \quad (\text{二定量気体} \cdot \text{一定体積})$$

3. ボイル・シャルルの法則

温度 T_1 、圧力 p' 、体積 V_1 の気体

(温度一定) ↓ ボイルの法則①

$$\text{①} \cdots p_1 V_1 = p' V_2 \quad (1)$$

温度 T_1 、圧力 p_1 、体積 V_2 の気体

(体積一定) ↓ アモントンの法則②

温度 T_2 、圧力 p_2 、体積 V_2 の気体

$$\text{②} \cdots \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad (2)$$

(1)と(2)の辺々をかける。

$$\frac{p' p_1 V_1}{T_1} = \frac{p' p_2 V_2}{T_2} \quad \therefore \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

(ボイル・シャルルの法則)

一定量の気体において

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{圧力一定のとき } (p_1 = p_2) \\ \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (\text{シャルルの法則}) \\ \text{温度一定のとき } (T_1 = T_2) \\ p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad (\text{ボイルの法則}) \\ \text{体積一定のとき } (V_1 = V_2) \\ \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad (\text{アモントンの法則}) \end{array} \right.$$

4. 気体の状態方程式

$$\frac{pV}{T} = k \text{ の比例定数を定める。}$$

標準状態で物質量 n の体積を利用する

$$p = 1 \text{ atm} \quad T = 273 \text{ K} \quad V = n \times 22.4 \ell / \text{mol}$$

$$k = \frac{1 \text{ atm} \times n \times 22.4 \ell / \text{mol}}{273 \text{ K}} = \frac{22.4 \times n}{273} \ell \cdot \text{atm} / (\text{K} \cdot \text{mol})$$

$$= 0.0821 \times n \ell \cdot \text{atm} / (\text{K} \cdot \text{mol})$$

$$0.0821 \ell \cdot \text{atm} / (\text{K} \cdot \text{mol}) = R \text{ (气体定数) とおく、}$$

$$\therefore k = \frac{pV}{T} = n \times R$$

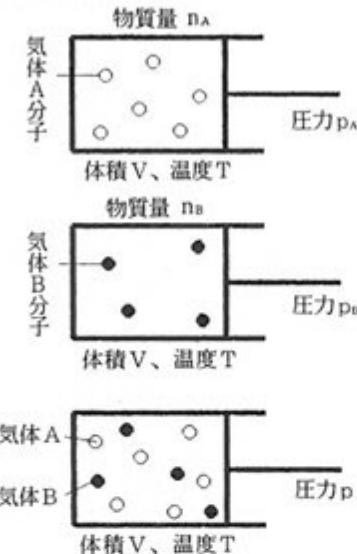
$$\therefore pV = nRT \text{ (气体の状態方程式)}$$

……气体の量を問題にするとき用いる。

単位に気を付けること。

(7) 分圧の法則

① 板書事項



分圧の法則

ドルトンの発見（1801年）

体積 V ・温度 T ・圧力 p_A の気体と、
体積 V ・温度 T ・圧力 p_B の気体を混合し、
体積 V ・温度 T に保つと、圧力はどうなるか。

$$\text{結果 } p = p_A + p_B \quad (1)$$

混合気体の圧力 p は、各成分気体が混合気体と同体積を占めるときに示す圧力の総和になる。

$$p_A \cdots \text{気体 A の分圧} \\ p_B \cdots \text{気体 B の分圧} \quad \} \text{ という。}$$

混合気体の全圧力は、成分気体の分圧の和になる。

$$p_A = n_A \frac{RT}{V} \quad (2)$$

$$p_B = n_B \frac{RT}{V} \quad (3)$$

(2)(3)を(1)に代入

$$p = (n_A + n_B) \frac{RT}{V}$$

$$\therefore pV = \frac{(n_A + n_B) RT}{V} \quad (4)$$

↓
混合気体の物質量 n

$$(4) \text{より} \quad \frac{RT}{V} = \frac{p}{n_A + n_B} \quad (5)$$

(5)を(2)、(3)に代入

$$p_A = \frac{n_A}{n_A + n_B} p$$

(気体 A のモル分率)

$$p_B = \frac{n_B}{n_A + n_B} p$$

(気体 B のモル分率)

$$\text{分圧} = \text{全圧} \times \text{モル分率}$$

② 授業プリント

分圧の法則の検証

分圧の法則を確かめてみよう。

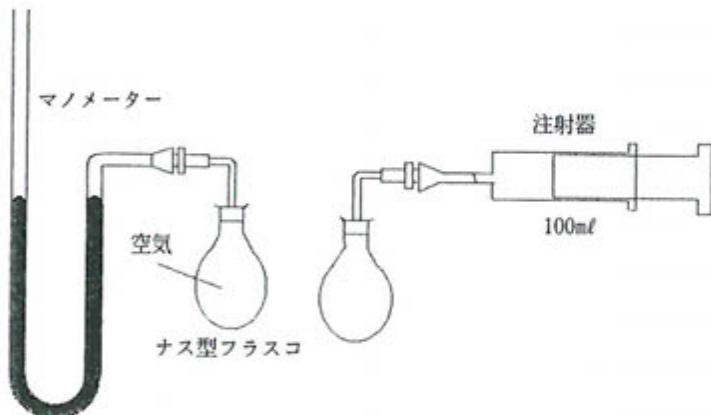
用具 マノメーター、ナス型フラスコ（内容積450mℓ）、注射器（100mℓ）
アネロイド気圧計、温度計

操作1 フラスコから注射器を用いて空気を80mℓ程度抜く。

操作2 フラスコをマノメーターにつなぎ、フラスコ内の気体の圧力 P_A を測る。

操作3 大気圧を測定し、大気圧のもとで100mℓの空気を注射器で測りとり、フラスコに圧入する。

操作4 フラスコ内の気体の圧力 P を測る。



結果の処理

室温 () ℃、大気圧 () mmHg

$P_A = () \text{ mmHg}$ 、 $P = () \text{ mmHg}$

①大気圧下で100mℓの空気を、450mℓの容器に入れたときに示す圧力 P_B を求めよ。

$$P_B = \text{ mmHg}$$

②分圧の法則を用いて、操作3を行ったあとのフラスコ内の混合気体の圧力 P を算出せよ。

$$\text{混合気体の圧力(計算値)} = \text{ mmHg}$$

③測定値と計算値を比較しよう。

(8) 分子量の測定

① [授業プリント]

液体物質の分子量の測定

気体になりやすい液体物質の分子量を求めよう。

用具 マノメーター（簡易接続装置付き）

ナス型フラスコ（300mℓ、簡易接続装置付き）、メスシリンダー（500mℓ）

電子天秤（感量10mg）、温度計、使い捨て注射器（1mℓ用）

試料 アセトン、エタノール、ジエチルエーテル

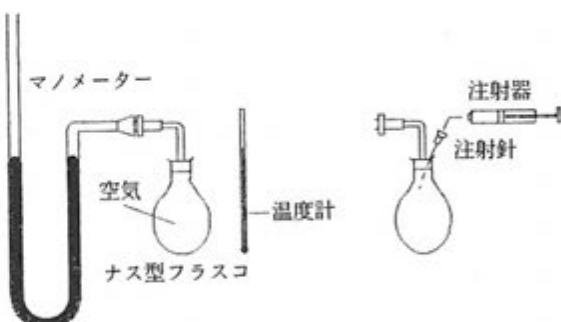
操作1 注射器の質量 w_1 を天秤で測る。次に、試料0.2mℓを取った注射器の質量 w_2 を天秤で測る。

操作2 大気圧に調整したナス型フラスコ内に、試料0.2mℓをゴム栓に針を通して注入する。注射器を針ごとはずしてから、フラスコをよく振って、試料を完全に蒸発させる。

操作3 フラスコとマノメーターをつなぎ、増加した圧力 p を測定する。また、室温 t を測っておく。

操作4 ナス型フラスコに、ゴム栓の位置まで水を入れ体積を測定する。

操作5 試料を変えて操作1～4を繰り返す。



結果の処理

物 質	質量 / g	圧力 / mmHg	室温 / °C	容器の体積 / mℓ	分子量
アセトン					
エタノール					
ジエチルエーテル					

$pV = nRT$ 、 $T = t + 273\text{ K}$ 、 $n = \text{質量 (g)} \div \text{モル質量 (g/mol)}$ を利用して分子量を算出しよう。

② 実験結果

物 質	質量 /g	圧力 /mmHg	室温 /°C	容器の体積 /mℓ	分子量
アセトン	0.16	134	24	376	59
ジエチルエーテル	0.15	94	25	386	77

分子量の文献値 アセトン ; 58.08 ジエチルエーテル ; 74.12

(9) 実在気体

〔板書事項〕

実在気体の状態変化

(1)一定温度のもとで加圧するときの体積変化

圧力>その温度でのその物質の飽和蒸気圧 のとき

ボイルの法則に従っての体積減少（圧力と反比例）

圧力=その温度でのその物質の飽和蒸気圧 のとき

凝縮（または、昇華）による等圧体積減少→液化後の急激な圧力増加

(2)一定容積のもとで冷却するときの圧力変化

蒸気しか存在しないとき

シャルルの法則に従っての圧力減少（絶対温度に比例）

液体（または固体）が共存するとき

飽和蒸気圧曲線（または、昇華曲線）に沿っての圧力減少

凝縮、昇華する原因→分子間力

分子間力と気体 1 mol の体積

沸点の高い（分子間力が強い）物質ほど、標準状態の体積が 22.4 ℥ より小さい。

理想気体……全温度・圧力範囲で気体の状態方程式を満足する気体

(1)分子間力の働くかない気体

(2)分子に大きさのない気体

標準状態において 1 mol の体積が理想気体より大きい気体の存在

……分子に大きさがある。

実在気体が理想気体とみなせる温度圧力

高温・低圧……分子間距離が大きく分子間力や分子の大きさが無視できる。

III. 終わりに

基本はなにか基礎はなにかを考えて、新しい実験や、新しい展開法を試みている。知識は活きなくては意味がないし、授業を受けて、生徒たちが自分でもなにかを調べてみようと思わなくてはダメであろう。今回は、平成 6 年度 2 学期に実施した内容を提示した。まだまだ、遙遠しの感がある。今後、他の分野においても我々の取り組みを提示し、ご意見を頂戴して、ますます内容のあるものにしていきたい。

附属天王寺方式化学のカリキュラム

—高校化学「酸化・還元反応」—

岡 博 昭・井野口 弘 治

I. はじめに

中学校の理科では、内容がよく理解できていた生徒でも、高等学校の化学を学習するうちにしだいに理解が困難になることが多い。これにはいろいろな理由が考えられるが、中学校で学習した狹義な定義が、より一般的で抽象的である広義な定義に変わることが原因の一つであろう。中学校理科と高等学校化学において、大きく定義が異なり、その結果生徒がつまずきやすいものに、酸・塩基や酸化・還元などがある。中学校の酸・アルカリではアレニウスの定義であるが、高等学校の化学ではブレンステッドの定義に変わる。また、中学校の酸化・還元は酸素の授受で定義されるが、高等学校の化学では電子の授受で定義される。今回、高等学校の酸化・還元において、中学校理科との関連を考慮しながら、授業を計画し、実践したので、これについて報告する。

II. 中学校の酸化還元と高等学校の酸化還元

中学校学習指導要領と高等学校学習指導要領の内容、および中学校理科の教科書と高等学校化学の教科書の記述の比較をしてみた。

1. 中学校学習指導要領

中学校学習要領では、化学変化の学習において、次のように記述されている。

- 燃焼の実験を行い、燃焼が酸素と結びつく化学変化であることを見いだすこと。
- 加熱や電流の働きによって物質を分解する実験を行い、分解して生成した物質から元の物質の成分が推定できることを見いだすこと。

これを受けて、教科書（啓林館1分野上巻）では次のように説明している。

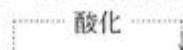
- このように、物質が酸素と結びつく化学変化を酸化といい、酸化されてできたものを酸化物という。

(例) 鉄 + 酸素 → 酸化鉄

銅 + 酸素 → 酸化銅

マグネシウム + 酸素 → 酸化マグネシウム

- 酸化されてできた物質（酸化物）が酸素を失う化学変化を還元という。



(例) 酸化銅 + 炭素 → 銅 + 二酸化炭素



- 電流を通して水を分解したように、物質に電流を通して分解する方法を電気分解と

いう。

(例) 水→水素+酸素

水の電気分解は、中学校では酸化・還元と関連させていないが、高等学校の化学では酸化・還元の範疇に入る。

また、化学変化とイオンの学習において、中学校学習指導要領には次のように記述されている。

- 電気分解の実験を行い、電極に物質が生成することを見いだすとともに、この実験結果からイオンの存在を知ること。
- 電解質水溶液と2種類の金属を用いた実験を行い、電流が取り出せることを見いだすこと。

電気分解だけでなく電池についても、中学校では酸化・還元と関連させていないが、高等学校の化学では酸化・還元反応の範疇に入る。教科書(啓林館1分野下巻)では次のように説明している。

- 塩化銅の水溶液を電気分解したときの化学変化は、次のようなになる。
塩化銅→銅+塩素
- 塩酸を電気分解したときの化学変化は、次のようなになる。
塩化水素→水素+塩素
- 2種類の金属板を電解質水溶液に入れ、2枚の金属板を導線でつなぐと、電流が流れれる。このような装置を電池という。

(例) 硫酸、銅板、亜鉛板、鉄板

2. 高等学校学習指導要領

高等学校学習指導要領では、化学IBの酸化・還元に関して次のような記述がある。

- 酸化・還元
電子の授受を中心に扱い、代表的な酸化剤、還元剤に触れること。また、金属のイオン化傾向についても触れること。
- 電気分解
ファラデーの法則を中心に扱うこと。
- 電池
化学反応による電気エネルギーの発生を中心に扱うこと。

ここでは、化学変化には電子の授受に関係した反応があり、電気分解や電池の反応も酸化還元反応であることを理解させることがねらいになっている。

これを受けて、教科書(啓林館化学IB)では次のような説明になっている。

- 酸素と化合して酸化物になる反応を酸化という。酸化物が酸素を失う反応を還元といふ。一般に、酸素の授受を伴う化学変化を、酸化還元反応といふ。

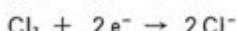
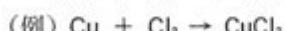
(例) $2\text{Cu} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CuO}$



- 水素を失う反応を酸化、逆に水素と結びつく反応を還元とよび、水素の授受でも酸化・還元を定義する。

(例) $2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$

- 物質が電子を失う変化を酸化といい、逆に物質が電子を得る変化を還元という。



この教科書では、中学校で学習した酸化・還元を復習しながら、段階的に定義を広めていくという配慮がなされている。

- 酸化還元反応に伴って放出されるエネルギーを、熱ではなく電気エネルギーとして取り出すようにつくった装置が電池である。電池では、酸化と還元を別の場所で行わせ、その間を導線で結んで電流を取り出している。
- 電解質の水溶液や融解液に2本の電極を入れ、外部から直流電流を流すと、液中の物質または電極が酸化還元反応を行う。このような操作を電気分解という。

以上のように、中学校の理科と高等学校の化学において、酸化・還元の取り扱いが大きく変わっていることがわかる。高等学校の化学において、イオンや電子の概念が十分でない生徒は、たとえ中学校の理科における酸化・還元が理解できいても、高等学校の化学における酸化・還元は理解できなくなる。

III. 高等学校化学における酸化・還元の展開例

計8時間の予定で、酸化・還元の授業を計画し、実践した。

1. 酸化と還元

酸化と還元のより一般的な定義を行い、酸化・還元を電子の授受や酸化数の増減で説明できるようにした。

まず導入では、酸化・還元の理解の程度を調べた。金属の酸化の例として、スチールウールの燃焼、マグネシウムの燃焼、粉末銅の加熱などが中学校で学習した内容である。また、金属の酸化物の還元の例としては、酸化銅の炭素や水素による還元を学習している。このように、本時までの学習においては、酸化・還元は酸素の授受のみで考えられてきた。

次に H_2S の反応を考えると酸素の授受だけでなく、水素の授受によっても酸化・還元が説明できることに気づかせ、本時の学習目標を説明した。すなわち、酸素原子、水素原子の授受で定義されていては複雑なので、統一する必要があるということである。

金属は一般に金属結合でできている。また、酸素分子は共有結合でできている。ところが、酸化銅はイオン結合になっている。これらの化学結合に注目させると、酸化・還元反応によって、金属原子から金属の陽イオン、酸素分子から酸化物イオンの変化があったことがわかる。このことから、酸化・還元反応によって電子の授受が行われていることに気づかせることができる。

具体的な例として、銅と塩素の化合を演示した。集氣びんにさらし粉を入れ、これに塩酸を加えて塩素を発生させ、塩素の中に加熱した銅線入れ反応させた。この反応は、中学校の理科では単に化合と考えていた。しかし、銅原子から銅イオン、塩素分子から塩化物

イオンの変化において電子の授受が行われていると考えることにより、塩化銅の化合は酸化・還元の範疇に入ることを理解させることができた。

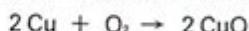
ところがイオン結合以外の分子からなる物質では、それを構成している1つの原子がどのように電子を授受したか判断に苦しむことが多い。そこで酸化数の考え方を説明した。酸化数の増減によって酸化・還元を判断することは、基本的には困難なことではないが、ある程度の慣れが必要である。そこで、今後の授業において、電子の授受と酸化数の増減を併用することにした。また、酸化・還元は受身形で表現される。すなわち、「酸化された」、「還元された」と表現するように留意した。

<板書内容>

(1) 酸化・還元

①酸素の授受と酸化・還元

酸化…酸素と化合して酸化物になる反応



還元…酸化物が酸素を失う反応



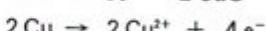
②水素の授受と酸化還元



酸化…水素を失う反応

還元…水素と結びつく反応

③電子の授受と酸化・還元



Cu原子は電子を失って Cu^{2+} になる。

O原子は電子を受け取って O^{2-} になる。

酸化…物質が電子を失う変化

還元…物質が電子を受け取る変化

(2) 銅と塩素の化合と酸化・還元



Cu原子…電子を失う→酸化された

Cl原子…電子を受け取る→還元された

(3) 酸化数

酸化還元反応において、電子の授受がわかりにくいとき、適用されている考え方

①単体の原子の酸化数 = 0

②化合物中の水素原子の酸化数 = +1

化合物中の酸素原子の酸化数 = -2 (過酸化物のときは -1)

③化合物中の成分原子の酸化数の総和 = 0

④単原子イオンの酸化数 = +陽イオンの価数
-陰イオンの価数

⑤多原子イオンの成分原子の酸化数の総和 = +陽イオンの価数
-陰イオンの価数

(4) 酸化数の変化と酸化・還元

酸化数が増加 → 酸化された

酸化数が減少 → 還元された



Cu の酸化数 … 0 → +2 … 酸化された

O の酸化数 … 0 → -2 … 還元された



Fe の酸化数 … +3 → 0 … 還元された

Al の酸化数 … 0 → +3 … 酸化された

2. 酸化剤と還元剤

代表的な酸化剤・還元剤に触れ、それらの反応を電子の授受や酸化数の増減で説明できるようにした。

導入では、酸化・還元の新しい定義を想起させ、理解の程度を調べた。酸化・還元は電子の授受と酸化数の増減により判断できるが、それらは1つの原子やイオンについてである。しかし、実験で用いる試薬は物質であり、ある特定の原子やイオンではない。そこで、酸化剤や還元剤について学習することが本時の目標であることを説明した。

まず、酸化剤と還元剤について説明した。ここでは、酸化剤は他の物質を酸化することのできる物質であるから、酸化剤そのものは還元されること、すなわち電子を受け取りやすい性質があり、酸化剤に含まれている原子の酸化数が減少することを押さえておいた。

次に具体的な酸化剤の例として、過酸化水素と過マンガン酸カリウムを取り上げた。過酸化水素は硫酸酸性下でヨウ化カリウムと反応し、ヨウ素を遊離させる。この反応は、無色の液からヨウ素が遊離して色の変化があり、視覚的に確認しやすい。3%のH₂O₂に1mol/lのH₂SO₄を加え、さらに1mol/lのKIを加えて、ヨウ素の遊離を確認させた。演示実験の後で、半反応式を用いて電子の授受を説明した。また、イオン反応式を完成させて、酸素の酸化数とヨウ素の酸化数の変化を求めさせた。

過マンガン酸カリウムも硫酸酸性下でヨウ素カリウムと反応し、ヨウ素を遊離させる。この反応では、液の色の変化は確認しにくいが、教材提示装置を用いると可能である。0.1mol/lのKMnO₄に1mol/lのH₂SO₄を加え、さらに1mol/lのKIを加えて、ヨウ素の遊離を確認させた。さらに、半反応式を用いて電子の授受を説明し、イオン反応式を完成させてマンガンとヨウ素の酸化数の変化を求めさせた。

酸化剤・還元剤とは絶対的なものではなく、相対的なものである。これを説明するためには、過マンガン酸カリウムと過酸化水素の反応を取り上げた。硫酸酸性下で過マンガニ酸カリウムと過酸化水素を反応させると、過マンガニ酸イオンがマンガニイオンに変化し、溶液の色が無色に変わる。すなわち、過酸化水素が還元剤としてはたらき、マンガニ原子が還元されるからである。0.1mol/l KMnO₄に1mol/lのH₂SO₄を加え、これに少し

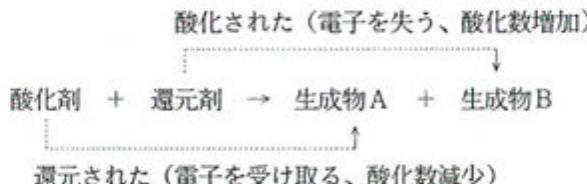
ずつ 1 mol/l の H_2O_2 を加えていき、過マンガン酸イオンの色が消えることを確認させた。さらに、半反応式を用いて電子の授受を説明し、イオン反応式を完成させてマンガンと酸素の酸化数の変化を求めさせた。この結果、過酸化水素が還元剤としてはたらくこと、また、酸化剤・還元剤は相対的なものであることに気づかせることができた。また、酸化剤・還元剤が相対的なものであることを強調するために、「酸化剤としてはたらく」「還元剤としてはたらく」と表現するように留意した。

<板書内容>

(1) 酸化剤・還元剤とそのはたらき

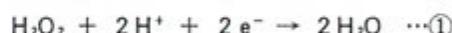
酸化剤…他の物質を酸化することができる物質

還元剤…他の物質を還元することができる物質



(2) 過酸化水素

他の物質から電子を奪う (酸化剤)



①、②より e^- を消去すると、



O の酸化数…-1 → -2 …還元された

I の酸化数…-1 → 0 …酸化された

(3) 過マンガン酸カリウム

過マンガン酸カリウム／希硫酸…他の物質から電子を奪う (酸化剤)



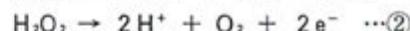
①、②より e^- を消去すると、



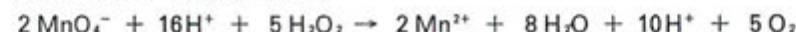
Mn の酸化数…+7 → +2 …還元された

I の酸化数…-1 → 0 …酸化された

(4) 過マンガン酸カリウムと過酸化水素の反応



①、②より e^- を消去すると、



Mn の酸化数…+7 → +2 …還元された

O の酸化数…-1 → 0 …酸化された

過酸化水素は還元剤としてはたらいた。

3. 実験 電気分解と電池

電気分解と電池の実験を行い、電気分解と電池の反応は電子の授受をともなっており、酸化・還元反応であることを理解させた。

塩化銅（II）水溶液の電気分解は、中学校3年生で学習している。しかし、中学校ではイオンの導入として扱っており、酸化・還元反応であることには触れていない。ここでは、酸化・還元反応の範疇を広めることを目的とし、そのために昨年本研究集録で報告した炭素板を使った電池を教材化した。

導入では、酸化・還元の定義の理解の程度を調べるとともに、銅と塩素の反応、及び中学校3年生で学習した塩化銅（II）水溶液の電気分解の生成物の確認を行った。

銅と塩素の反応では、生成物がイオン結合になっていることにより、反応において電子の授受がおこなわれていること、すなわち酸化・還元反応であることを想起させた。さらに、塩化銅（II）水溶液の電気分解においては、銅イオンと塩化物イオンが電極との間で電子の授受をおこなっていることより、酸化・還元反応であることに気づかせた。

次に生徒実験により、炭素板を使って 1 mol/l の CuCl_2 に電流を通し、生成物を確認させた。陰極の炭素板に銅を付着させ、陽極の炭素板に塩素を吸着させた状態で、この両極に電圧計を接続させると、約 1 V の起電力が生じていることが確認できた。また、モーターを接続させるとモーターが回転することから、回路に電流が流れていることを確認することができた。

この実験により、炭素板に付着した銅は負極となって回路に電子を提供し、炭素板に吸着された塩素は正極となって回路から電子を受け取っていることがわかる。すなわち、銅と塩素で電池ができ、電池の反応も酸化・還元反応であることを示すことができた。

塩化銅（II）の電気分解の反応を電極ごとに半反応式で説明し、電子の授受を考えさせ、酸化数の増減を求めさせた。これらにより、銅イオンが還元され、塩化物イオンが酸化されたことに気づかせた。また、電池の反応を電極ごとに半反応式で説明し、電子の授受を考えさせ、酸化数の増減を求めさせた。これにより、銅原子が酸化され、塩素原子が還元されたことに気づかせた。さらに、半反応式を比較することにより、電気分解と電池が逆の反応であることも触れた。（資料1、資料2参照）

<板書内容>

(1) 銅と塩素の反応



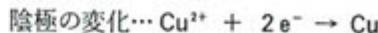
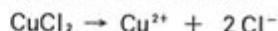
Cu 原子…電子を失う→酸化された

酸化数…0 → +2

Cl 原子…電子を受け取る→還元された

酸化数…0 → -1

(2) 塩化銅(II)の電気分解



Cu^{2+} は電子を受け取った→還元された

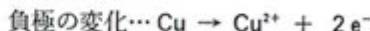
Cu の酸化数…+2→0…還元された



Cl^- は電子を失った→酸化された

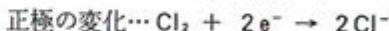
Cl の酸化数…-1→0…酸化された

(3) 塩化銅(II)電池



Cu 原子は電子を失った→酸化された

Cu の酸化数…0→+2…酸化された



Cl 原子は電子を受け取った→還元された

Cl の酸化数…0→-1…還元された

4. 実験 金属のイオン化傾向

金属のイオン化傾向の実験を行い、イオン化列を確認させた。

約5gのゼラチンを100mLの熱湯に溶かし、これに10mL程度の飽和の酢酸鉛水溶液を混ぜ、試験管に移して亜鉛粒を沈めておくと、やがて全体が固まり、鉛樹が成長していく。この鉛樹を教材提示装置で示し、本時の学習目標の説明を行った。すなわち、鉛イオンがどうして金属になったのかということである。

まず、イオン化傾向とイオン化列の説明をおこない、生徒実験に移った。生徒実験は大阪府高等学校理化教育研究会編「化学実験書」の方法に従い、5つの試験管に次の(ア)～(オ)の水溶液を用意させた。

(ア) 0.1mol/l AgNO_3 (イ) 0.5mol/l CuSO_4 (ウ) 0.5mol/l FeSO_4

(エ) 0.5mol/l $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COOH})_2$ (オ) 0.5mol/l FeSO_4

さらに、(ア)～(オ)それぞれの水溶液には、次の金属の小片を入れさせ、溶液と金属の変化について調べさせた。

(ア) Cu (イ) Fe (ウ) Cu (エ) Zn (オ) Zn

鉄の確認には磁石を用いたが、亜鉛板には少量の鉄が付着しただけで、十分確認することができなかった。また、銅(II)イオンは6mol/l NH_3 を加えて、淡青色の水酸化銅(II)の沈殿や深青色のテトラアンミン銅(II)イオンをつくり確認させた。

この実験では、 $\text{Zn} > \text{Fe} > \text{Cu} > \text{Ag}$ のイオン化列を決定することができた。また、それらの変化をイオン反応式で説明させることにより、電子の授受がおこなわれていること、すなわち酸化・還元反応であることに気づかせた。

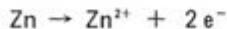
<板書内容>

(1) 金属のイオン化傾向とイオン化列

イオン化傾向…金属の単体が、水溶液中で陽イオンとなる性質の強さ

イオン化傾向の大きなものから順に並べたもの

(2) イオン化と電子の授受

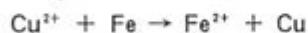


Znは電子を失った→酸化された

H⁺は電子を受け取った→還元された

亜鉛は水素より陽イオンになりやすい。

(3) 実験の考察



5. イオン化傾向と標準電極電位

イオン化傾向の異なる2種類の金属で電池ができると理解させ、電池の起電力は、標準電極電位から予想できることを知らせた。

導入では、前時に行った実験結果の確認と、理解の程度を調べた。イオン化傾向の大きい金属では、電子を失って陽イオンになりやすいから酸化されやすく、イオン化傾向の小さい金属では電子を失いにくいから酸化されにくいことを説明し、イオン化傾向の異なる2種類の金属を用いると、電池ができると予想させた。

次に、3つのビーカーにそれぞれ次の(ア)～(ウ)の水溶液を用意した。

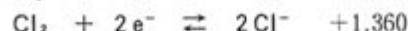
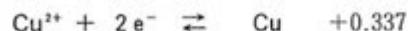
(ア) 0.1mol/lのAgNO₃ (イ) 1mol/lのCuSO₄ (ウ) 1mol/lのZnSO₄

この(ア)～(ウ)の水溶液に、それぞれ次の金属片をつけた。

(ア) Ag (イ) Cu (ウ) Zn

(ア)と(イ)の溶液の間にペーパークロマト用のろ紙をつけると、両方の液がろ紙にしみこんでいる。ろ紙の中央に達する。そこで、(ア)と(イ)の金属を電圧計よりも高抵抗のテスターにつないで起電力を測定すると、0.43Vの起電力が測定できた。また、(イ)と(ウ)では1.09V、(ア)と(ウ)では1.51Vの起電力が測定できた。すなわち、電池ができていることを示すことができた。

次に、標準電極電位の意味と値を紹介した。亜鉛、銅、銀、塩素の標準電極電位は次のような値である。



したがって、銀と銅の電池では、+0.799-0.337=0.462[V]の電位差が期待でき、測定値に近い値になった。なお、測定値との違いは、硝酸銀水溶液の濃度が0.1mol/lであることが原因である。同時に、銅と亜鉛の電池では、+0.337+0.763=1.100[V]の電位差が

期待でき、測定値と一致した。また、亜鉛と銀の電池では、 $+0.799 + 0.763 = 1.562$ [V] の電位差が期待でき、測定値と近い値になった。さらに、銅と塩素の電池では、 $+1.360 - 0.337 = 1.023$ [V] の電位差が期待でき、前時の実験の測定値と一致した。

<板書内容>

(1) イオン化傾向と単位金属の性質

イオン化傾向の大きな金属…電子を失って陽イオンになりやすい

酸化されやすい

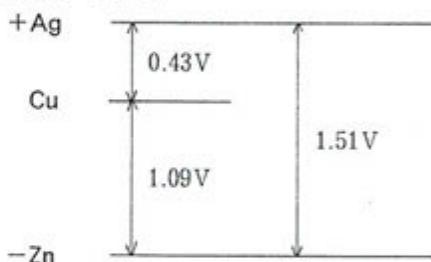
還元作用が強い

イオン化傾向の小さな金属…電子を失いにくい

酸化されにくい

陽イオン電子を受け取って金属になりやすい
(還元されやすい)

(2) 金属間の電位差



(3) 標準電極電位

単体を、そのイオンが 1 mol/l で存在する溶液につけたとき、単体と溶液の間に生じる起電力。この値がイオン化系列の具体的な順序を示す。



6. 電池

ボルタ電池、ダニエル電池、鉛蓄電池のしくみを説明し、それらが酸化還元反応によって電圧を生じ、電流が取り出されること、すなわち化学変化によって電気エネルギーを取り出すことができるることを理解させた。

導入では、トマトに銅板と亜鉛板を差しこみ、モーターが回転することを見せ、電池に対する興味付けを行い、本時の学習目標の説明を行った。

次に電池に関する科学史の紹介を行った。歴史上もっとも古くと考えられているのはバグダット電池であるが、詳細についてはわかっていない。ボルタ電池のヒントになつてるのがガルバニの実験である。彼は、解剖したカエルの脚が近くにおいた起電機の作用でけいれんすることを知った。また、皮を剥いだカエルの脊髄を黄銅のカギに引っかけて庭の

鉄柵につるし、棒で鉄柵に押しつけると、カエルがけいれんすることを知った。

ボルタ電池では、亜鉛原子は酸化され、水素原子が還元される。これにより、銅板の表面が水素の膜でおおわれ、水素原子は酸化されてしまう。この逆反応による分極を、起電力が低下する理由として説明した。また、減極剤として過酸化水素を用いると、起電力の低下がある程度防げることを、演示実験を行うことにより示した。

ダニエル電池では起電力が低下しないことを、演示実験によって示した。亜鉛原子は酸化されて亜鉛イオンになり、銅原子は還元されて銅板上に付着する。したがって銅板上で水素が発生しないから分極が起こらないと説明した。

鉛蓄電池では、酸化鉛が減極剤としてはたらいていること、放電と充電が逆の反応であることを中心に展開した。充電、放電の演示実験を行い、それぞれの反応を半反応式、イオン反応式、化学反応式を用いて説明した。

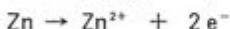
電池や電気分解の化学変化は、極ごとに半反応式で説明することが多いが、生徒にとっては理解しにくいものであることが定期テストの結果で明らかになった。

<板書内容>

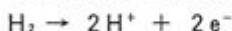
(1) ボルタ電池



イオン化傾向… $\text{Zn} > \text{H}_2 > \text{Cu}$



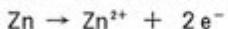
電池の分極…銅の表面が水素の膜でおおわれる



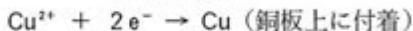
両極間の電位差が小さくなる。

減極剤…分極を防ぐ酸化剤（例） H_2O_2

(2) ダニエル電池



↓ 外部回路

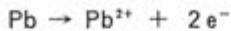
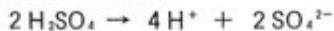


銅板上で H_2 の発生がない → 分極がない

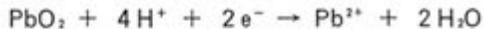
(3) 鉛蓄電池



①放電による変化



正極へ



PbO_2 は酸化剤であり、減極剤としても作用

負極上の反応



正極上の反応：



放電の全反応式



②充電による変化

負極上の反応：



正極上の反応



充電の全反応



7. 電気分解

電気分解が酸化還元反応であることを確認させるとともに、電気分解の量的関係について説明した。

電気分解については、中学校3年生で塩化銅(II)などを使って学習している。したがって、水溶液中の陽イオンは陰極に、陰イオンは陽極に移動すること、及び、陽イオンは電極から電子を受け取って原子になり、陰イオンは電極に電子を与えて原子になること、すなわち、イオンと電極との電子の授受については理解できている。ところが、中学校では水の電離は扱わない。したがって、水の電離が関係する電気分解については説明することができない。本時は、説明に水の電離やイオン化傾向の考え方が必要な電気分解を中心に取り扱い、また、電気分解による量的関係についてもふれることにした。

導入では、塩化銅(II)の電気分解を想起させ、同じ塩化物である塩化ナトリウムはどうなるかという問題提起を行い、本時の学習目標とした。

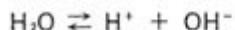
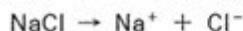
U字管に塩化ナトリウム水溶液と少量のフェノールフタレイン溶液を入れ、炭素電極で電気分解を行うと、陰極付近が赤色に変化した。この実験により、陰極付近の水酸化物イオン濃度が増していることが明らかになった。陰極では水の電離によって生じた水素イオンが還元されて水素が発生する。一方陽極では塩化物イオンが酸化されて塩素が発生する。すなわち、ナトリウムよりイオン化傾向の小さい水素が還元されるため、陰極付近の水酸化物イオンの濃度が増すと説明した。

次に希硫酸の電気分解について考えてみた。電気分解を行うと、水素と酸素が発生し、水の電気分解と結果は同じである。ここで問題になるのは、陽極から酸素が発生するということである。陽極付近には硫酸イオンが移動してくるはずであるが、水の電離によって生じた水酸化物イオンが酸化されて水と酸素ができる。この水酸化物イオンと硫酸イオンの比較は、高等学校化学においても説明が困難である。

量的な問題については、生徒実験を先に行う方がよいが、時間の関係からここではファラデーの法則を先に紹介した。次時に実験により確認することを予告しておいた。

<板書内容>

(1) 塩化ナトリウム水溶液の電気分解



H⁺は電子を受け取った（還元された）



Cl⁻は電子を失った（酸化された）

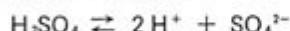
Na⁺より H⁺の方が電子を受け取りやすい。

陰極付近の溶液では、OH⁻の濃度が大きくなる。

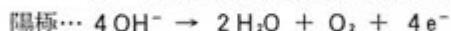
隔膜法…陰極付近の液と陽極付近の液が混じらないようにして、工業的に

NaOHなどをつくる方法。

(2) 希硫酸の電気分解



H⁺は電子を受け取った（還元された）



OH⁻は電子を失った（酸化された）

(3) 電気分解と電気量

電子1個の電気量 = 1.602×10^{-19} C

電子1 molの電気量 = $1.602 \times 10^{-19} \times 6.022 \times 10^{23} \approx 96500$ [C/mol]

ファラデーの法則…

① 電気分解では、流れた電気量と物質の変化量は比例する。

② 96500 Cの電気量で電気分解されるイオンの物質量は、イオンの価数をZとすると、

$1/Z$ [mol] になる。

8. 実験 ファラデーの法則

水の電気分解の実験をおこない、ファラデーの法則を確認させた。

導入では、前時に紹介したファラデーの法則を想起させ、実験的に検証することを本時の目標として説明した。

大阪府高等学校理化教育研究会編「化学実験書」にしたがって、生徒実験を実施した。ホフマン型電解装置に 2 mol/l NaOHを入れ、Pt電極を使って約200mAの電流を流し、10分間電気分解を行わせた。水素と酸素の体積は、1分ごとに交互に測定させ、流れた電気量と物質の変化量は比例することを確認させた。

電流の強さを I [A]、電解時間を t [s] とすると、電気量 Q は、 $Q = It$ [C] で表すことができる。また、実験時の気温を T [K]、気圧を P [mmHg]、T [K] における水蒸気圧を P' [mmHg]、発生した水素の体積を v [mL] とすると、気体の状態方程式より発生した水素の物質量 n は、 $n = (P - P') / 760 \times v \times 10^{-3} / 0.082 T$ [mol] で求めることができる。したがって、水素 1 mol が発生するのに必要な電気量は It/n [C] であ

り、電子 1 mol の電気量は $It/n/2$ [C] となる。

生徒実験から得られた電子 1 mol の電気量を次に示す。

高 II A

班	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
電気量	9.9	10.8	8.9	11.3	9.4	10.4	8.7	9.4	10.5	10.2	8.4	9.7

高 II B [×10⁴C]

班	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
電気量	9.7	7.3	9.7	11.6	9.4	10.3	10.0	9.5	9.9	9.5	9.4	9.5

高 II C [×10⁴C]

班	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
電気量	9.4	7.9	11.7	10.6	9.6	10.0	9.1	9.6	10.1	9.5	9.1	9.2

高 II D [×10⁴C]

班	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
電気量	9.0	—	9.0	10.4	9.0	9.3	9.6	9.6	10.2	9.6	9.7	9.6

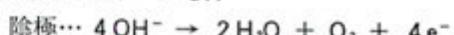
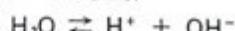
[×10⁴C]

水素と酸素の水に対する溶解度の問題があるので、1時間目のクラスの実験の前に、10分程度あらかじめ電気分解を行い、溶液に水素と酸素を十分に溶かし込んでおいた。どの班も概ね水素と酸素の体積比が 2 : 1 になっていたので、コックから水素がもれた可能性は少ない。

実験時の注意として、電流を一定に保つこと、気体の体積を測定するときは、液だめの液面と H 字管の液面を一致させるように指示を与えた。計算によると、電流値が 2 mA 異なると、10分間実験を行った場合、電子 1 mol の電気量が約 1000 C 違ってくる。すなわち、1% の誤差になる。また、水素の体積が 0.2 mL 異なると、電子 1 mol の電気量が 1000 ~ 2000 C 程度異なることになる。

<板書内容>

(1) 水の電気分解



(2) 結果の処理

電流の強さ = I [A] 、電解時間 = t [s] とすると

$$\text{電気量} = Q \text{ [C]} = It$$

気温 = T [K]、気圧 = P [mmHg]、水蒸気圧 = P' [mmHg]、H₂の体積 = v [mL]
とすると、

$$H_2\text{の物質量} = n \text{ [mol]} = \frac{P - P'}{760} \times v \times 10^{-3} \times \frac{1}{0.082T}$$

$$\text{水素 } 1 \text{ mol} \text{ が発生するのに必要な電気量} = \frac{It}{n} \text{ [C]}$$

$$\text{電子 } 1 \text{ mol} \text{ の電気量} = \frac{It}{2n} \text{ [C]}$$

IV. おわりに

昨年度、本研究集録で報告した炭素板を使った電池教材を授業に取り入れ、さらに中学校理科と高等学校化学の酸化・還元についての整合性について検討を行った。その結果、単に定義が広義になるだけではなく、他の要素、たとえばイオンや電子の概念が十分に定着していなければより広義の定義が使えないこと、さらに反応の表現として半反応式やイオン反応式の理解の程度の問題などが明らかになった。

授業の中で、常に中学校の学習内容を起点として展開するように留意したつもりであるが、彼らが以前は理解していたはずの内容が思い出せなくなっていることがたびたびであった。これについては、彼らが中学校時代に理科を担当していた者として、大いに反省する必要がある。高等学校の化学の内容を学習するために、中学校の理科として何が大切であるか、今一度検討し直すことが課題である。

文献

中学校指導書 理科編（文部省）

高等学校学習指導要領解説 理科編（文部省）

理科1分野上、下（啓林館）

高等学校化学ⅠB（啓林館）

岡 博昭 「酸化銅(II)電池」 化学と教育（日本化学会）第42巻第2号（1994）

岡 博昭・井野口弘治 「中学・高校理科（化学分野）実験の工夫」

—炭素板を使った電池教材— 本校研究集録第36集（1994）

資料 1

理科（化学）学習指導案

指導者 岡 博昭

1. 日時 平成 6年11月16日（水） 第6時限（14時20分～15時10分）
2. 場所 大阪教育大学教育学部附属天王寺中学校・高等学校 化学実験室（東館2階）
3. 学級 大阪教育大学教育学部附属高等学校天王寺校舎 第2学年C組46名
(男子27名、女子19名)
4. 主題 酸化還元反応（教科書 数研出版四訂版高等学校化学）
5. 目標
 - (1) 酸化と還元のより一般的な定義を行い、酸化還元を電子の授受や酸化数の増減で説明できるようにするとともに、代表的な酸化剤、還元剤に触れる。
 - (2) 電気分解や電池の実験を行い、それらの反応が酸化還元反応であることを確認させる。
 - (3) 金属のイオン化系列の実験を行い、いろいろな電池の仕組みを理解させる。
 - (4) 水の電気分解の実験を行い、電気分解の量的関係について理解させる。
 - (5) 生徒ひとりひとりが探求の過程を大切に実験を行っていく中で、科学の方法を身につけさせ、身近な物質や現象に興味を持たせ、それを追求しようとする意欲や態度を養う。
6. 指導計画

区分	学習内容	時間配当
第1次	酸化還元と酸化剤、還元剤	2
第2次	電気分解と電池	1（本時）
第3次	金属のイオン化傾向と電池	3
第4次	電気分解と電気量	2

7. 本時の学習内容

- (1) 題材 電気分解と電池
- (2) 目標
 - ① 炭素電極を用いて塩化銅（II）水溶液の電気分解を行い、酸化還元反応によって、銅と塩素が生成することを確認させる。
 - ② 銅と塩素によって電池ができていることを、電圧計とモーターを使って確認させ、酸化還元反応によって電圧が生じ、電流が取り出せるることを理解させる。
- (3) 準備物 教科書、実験プリント、電源装置、電圧計、モーター、リード線、ビーカー（300mL）、炭素板（2枚）、発泡スチロール板、1 mol/L 塩化銅（II）水溶液、塩化ナトリウム水溶液

(4) 指導過程

段階	学習事項	生徒の活動	指導者の活動・評価
導入 (5分)	<ul style="list-style-type: none"> 前時の復習 本時の学習目標の確認 	<ul style="list-style-type: none"> 酸化、還元の定義を想起する。 本時の学習目標を知る。 	<ul style="list-style-type: none"> 酸化、還元の理解の程度を知り、必要に応じて追加指導をし、本時の学習目標を説明する。
展開 (40分)	<ul style="list-style-type: none"> 塩化銅(II)の化合と分解 電気分解 電池 ボルタ電池 	<ul style="list-style-type: none"> CuとCl₂の反応について考える。 CuCl₂の電気分解を想起し、CuCl₂の化合、分解とともに酸化還元反応であることを知る。 CuCl₂の水溶液の電気分解を行い、生成物を確認する。 CuとCl₂の間の電子の授受を考え、実験結果を予想する。 2枚の炭素板の間に起電力が生じていることに気づく。 炭素板の間に起電力が生じた原因について考える。 CuとZnの間に起電力が生じることに気づく。 	<ul style="list-style-type: none"> CuとCl₂の化合、CuCl₂の分解とともに電子の授受が行われていることに注目させ、酸化還元反応であることを示す。 CuCl₂水溶液の電気分解の方法を説明する。 生成物間の電子の授受に注目させる。 電圧計の針の振れから、正極負極の確認をさせる。 CuとCl₂によって電池ができしたこと、電池も酸化還元反応であることに気づかせる。 CuとZnを電極とした電池で動く時計や電卓を紹介し、金属間にも起電力が生じることを示す。
整理 (5分)	<ul style="list-style-type: none"> 本時の学習事項の整理 次時の予告 	<ul style="list-style-type: none"> 本時の学習事項をふりかえり、次時の学習事項を知る。 	<ul style="list-style-type: none"> 本時の学習事項を整理し実験レポートを次時までの課題とする。

資料2

実験 塩化銅（II）による酸化還元反応

目的

炭素板を使って塩化銅（II）水溶液の電気分解を行い、生成物を確認する。また、生成物間の反応によってどのような現象がみられるかを確かめる。

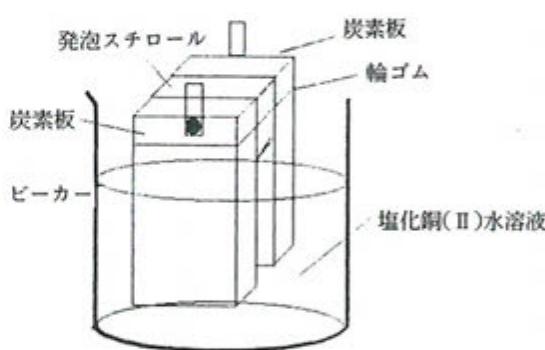
準備

用具：電源装置、電圧計、モーター、リード線、ビーカー（300mL）、炭素板（2枚）、発泡スチロール板

材料：1 mol / L CuCl₂

実験操作

1. 塩化銅（II）水溶液の電気分解



- ① 2枚の炭素板の間に発泡スチロール板をはさみ、輪ゴムで固定する。
- ② ビーカーに1 mol / L の CuCl₂ 水溶液を200mL入れ、炭素板の電極をつけ、電源装置とつなぐ。
- ③ 炭素板の電極に3.0Vの電圧をかけ、1分間電気分解を行い、両極板の変化をよく観察せよ。

変化

陽極	陰極

2. 生成物間の反応

- ① 炭素板の電極を電圧計に接続し、電圧計の針が振れるか調べよ。電圧計の針が振れたら、どちらの極が正極になっているか調べ、電圧の大きさを測定せよ。

結果

	() が生成した極	() が生成した極
極		
電圧の大きさ		

- ② 電圧計と並列にモーターを接続し、モーターが回転するかどうか調べよ。

結果

考 察

- 実験 1 の陽極、陰極に生成した物質はそれぞれ何か。
- 実験 1 のそれぞれの電極における化学変化を、 e^- を用いたイオン反応式で示せ。
- 実験 2 で電子が導線に流れ出したのはどちらの極板か。また、電流はどちらの極板から流れ出していることになるか。
- 実験 2 での両極板での反応を、 e^- を用いたイオン反応式で表せ。
- 実験 2 でみられた現象を利用した装置を何というか。

