

地学教育

第62巻 第4号(通巻 第321号)

2009年7月

目 次

原著論文

実践的指導力の向上を目指す教員研修の評価について

—小学校教員を対象とした地学領域に関する研修

プログラムの開発・実施を通して—……岡本弥彦・五島政一・河尻清和…(99~113)

月の満ち欠けについての子どもの観念—その後の展開…宮脇亮介・吉村未希…(115~126)

教育実践論文

赤外放射温度計を用いた雲の輝度温度測定教材の開発……川村教一…(127~137)

本の紹介 (138)

日本地学教育学会

263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33 千葉大学教育学部理科教育教室内

原著論文

実践的指導力の向上を目指す教員研修の評価について

—小学校教員を対象とした地学領域に関する研修プログラムの開発・実施を通して—

Development, implementation, and assessment of a training program for elementary school teachers to help improve practical abilities to teach Earth Science

岡本 弥彦*1・五島 政一*2・河尻 清和*3

Yasuhiko OKAMOTO, Masakazu GOTO, Kiyokazu KAWAJIRI

Abstract: An Earth Science training program for elementary school teachers was developed and implemented. The program utilizes local educational resources and includes fieldwork activities and lesson practice. To evaluate the program, a training evaluation method utilized by business companies was implemented. This evaluation verified that the training program was effective in improving the practical ability of teachers.

Key words: teacher's training, evaluation of teacher's training, earth science of elementary school, practical ability, area teaching materials

1. はじめに

2008年3月に改訂された小・中学校の学習指導要領では、理数教育の充実の観点から、理科の授業時数の増加や内容の充実が図られた。しかし、小学校理科に関しては、以前から「流水の働き」や「土地のつくりと変化」などの地学領域の指導をたいへん困難としている教員が多いことが指摘されている(国立教育政策研究所, 2005)。理科(地学領域)に対する児童の関心や学習意欲を高め、科学的な思考力や表現力を身に付けさせるためには、それを指導する小学校教員の資質・能力を高めていくことが求められる。

教員の資質向上については、従前の教育職員養成審議会や中央教育審議会の答申での提言に見られるように、養成・採用・研修の各段階における改革を総合的に進める必要がある。研修の充実に関しては、2005年10月に公表された中央教育審議会答申「新しい時代の義務教育を創造する」において、主に次の3

点が述べられている。

- ① 任命権者が実施する体系的な研修と教師の主体性を重視した自己研修の双方の充実が必要であること。
- ② 実践的指導力を向上させるための工夫・改善が必要であること。
- ③ 大学と教育委員会や学校とのいっそうの連携を図っていくことが重要であること。

今後、こうしたことに配慮した教員研修の実施は、ますます重要になってくるものと考えられる。

教員研修は、教育公務員特例法の第21~24条などに則り、教育委員会や教育センターなどにより計画的・組織的に実施されてきている。特に各地の教育センターの取組については、これまでにさまざまな報告がなされてきた。例えば、地域の理科研究会の協力を得た実技研修の実施(八嶋, 2004)や、教育センターと研究者との連携による野外研修の実施(藤岡, 2004)など、それぞれに特長があり工夫を凝らしたも

が多く見られる。しかし、井関(2002)は、教育センターでの研修会の現状を分析したうえで、研修成果の評価方法の開発などが研修充実のための課題であると指摘している。教員研修に関しては、研修の成果が授業実践にどのように活かされたのか、教員の実践的指導力の向上にどのように役立ったのかなどを評価するまでに及んだ取組が進んでいないのが現状である。こうした状況が続く限り、小学校理科、特に地学領域の指導を困難としている教員の実践的指導力を高めることは期待できないと考える。

そこで、本研究では、研究目的を次のように定め、研究を進めた。

- ① 小学校教員を対象とした地学領域についての教員研修プログラムにおいて、その評価の枠組みを開発する。
- ② 開発・実施した研修プログラムを評価し、研修内容等を工夫・改善する。
- ③ ①と②を通して、地学領域の指導を困難としている教員の実践的指導力を高めるための方策を明らかにする。

なお、本研究は、平成17～20年文部科学省科学研究費補助金基盤研究(A)課題番号17200046『子どもが主体的に学び、科学を好きになるための教育システムの開発に関する実証的な研究』(代表:五島政一)の一環として、神奈川県相模原市において実施した研修プログラムを研究の場とした。

2. 研究の方法(研修プログラムの開発と実施)

(1) 研修プログラムの開発

本研修プログラムでは、相模原市の小学校教員を対象とし、「理科好きな教員を育成し、その実践的指導力の向上を図ること」を研修の目的とした。研修内容としては、小学校理科の地学領域の中から、第5学年の「流れる水の働き」と第6学年の「土地のつくりと変化」を取り上げた。研修内容をこの二つの単元に限定した理由は、次の3点による。

- ① 両単元は、小学校教員にとって指導がたいへん困難であるとされている(国立教育政策研究所, 2005)ため、それへの対応が急務であること。
- ② 両単元の指導において、例えば、相模原市の児童や教員にとって身近な地域素材である「相模川」や「相模野台地」を活用することが可能であること。
- ③ 両単元の授業は、相模原市内の小学校では各学

年の10月以降に実施されるため、教材や指導方法に関する研修を夏季休業中に組み入れることにより、10月以降の授業実践を見通した研修計画の立案が可能であること。

なお、両単元の目標・内容は、2008年3月に改訂された新しい学習指導要領(文部科学省, 2008)においても継承されている。

開発した研修プログラムは、平成17年度は予備的な取組として、平成18年度は試行的な取組として実施した(岡本ほか, 2006; 岡本ほか, 2007)。この2年間の取組により、教材・教具の準備不足や研修の期間・時間帯の不都合などの問題点を明らかにするとともに、研修プログラムの評価の枠組み(評価項目や評価規準など)を開発することができた。そして、平成19年度は、こうした問題点の解決を図りながら、開発した評価の枠組みを踏まえて研修プログラムを再構築し、本格的に実施した。

研修プログラムの受講者には、地学領域の指導を困難としている教員の実践的指導力を高める観点から、理科に苦手意識があり指導に自信がないと感じている教員を集めた。受講者募集に際しては、教育委員会経由で募集要項を市内全小学校へ配布するとともに、可能な限り多くの小学校を個々に訪問し、学校長に趣旨を説明した。その結果、多くの学校では、本研究プログラムへの参加を職務研修(職務の一環として職務命令により行わせる研修)に位置づけ、学校長から指名された教員が受講者となった。これにより、受講者一人一人の資質の向上だけでなく、受講者の所属校における研修成果の広がりも期待した。

3年間の受講者の概要を表1に示す。理科指導を苦手としている教職経験年数の若い教員が多かった。特に、地学領域の指導については、得意でないと感じている受講者がほとんどであった。単元「流れる水の働き」「土地のつくりと変化」の指導については、半数以上の受講者が授業実践の経験がなかった。また、野外観察についても、自信がないと感じている受講者がほとんどであった。さらに、地域素材として取り上げた「相模川」については、川原を訪れた経験はあるが、源流や流域、河川の規模などを知っている受講者はあまりいなかった。「相模野台地」(河岸段丘や関東ローム層)についても、相模原市に広く分布しているにもかかわらず、地層の広がりや構成物などを観察したことがある受講者は少なく、河岸段丘の成因を理解している受講者はほとんどいなかった。なお、受講者には、

麻布大学で教職課程（中学校・高等学校教諭免許状取得）を履修している学生も含めた。

以上のような背景から、本研修プログラムの開発に当たっては、次の3点を必要不可欠なものとして研修計画に組み入れた。

- ① 相模川や相模野台地などの地域素材に対する関心を高め、それらの教材化や指導方法などについての理解を深めること。
- ② 野外観察などの体験的な研修を通して、研修内容の定着・深化を図ること。
- ③ 取り上げた単元の授業を、受講者自らが設計・実践すること。

今回開発した研修プログラムの全体計画を表2に示す。一般に、研修を企画・実施するには、研修目的や研修計画の立案、研修内容についての研究、研修日

程の調整、受講者の募集、会場や教具の準備、教育実践に対する指導助言など、多種多様な役割が必要である。しかし、こうした役割すべてを大学などの一つの機関で担うには限界がある。教員研修における教育委員会と大学などとの連携の有効性や、野外観察における学校外の組織・人材の有用性については、藤岡(2003, 2004)や松川・林(2003)によりそれぞれ述べられている。そこで、本研修プログラムにおいても、大学・研究所・博物館・教育委員会が連携し、それぞれの特性を活かしながら研修プログラムの担当者としての役割を果たした。表2に示すように、大学(教員)および研究所(研究官)は研修の企画・調整・運営・教材開発を、博物館(学芸員)は調査研究・野外観察指導・会場準備を、教育委員会(指導主事)は受講者募集・指導助言・授業実践支援などを主に担当した。

(2) 研修プログラムの実施

本格実施した平成19年度の研修プログラムの実施要項を、表3に示す。以下、研修プログラムの内容を各回ごとに述べる。

第1回研修では、本研修プログラムの趣旨・日程を説明した後、体験学習や身近な自然の教材化の必要性、自然を多面的・総合的に見たり考えたりすることの重要性などについて講義した。その内容は、具体的な実践事例を踏まえたものとし、理科についての指導観や教師としての教育観にも言及した。これにより、その後の研修に積極的に参加することや、理科の授業実践への意欲を高めることをねらった。後半は、地域素材(相模川と相模野台地)に対する関心を高め、そ

表1 受講者の概要

		平成17年度	平成18年度	平成19年度	
教 員	担当学年	第5学年 第6学年	4人 1人	4人 3人	10人 7人
	経験年数	1~5年 6~10年 10年以上	3人 1人 1人	5人 1人 1人	10人 4人 3人
理科指導	得意	0人	0人	2人	
	普通 苦手	3人 2人	3人 4人	3人 12人	
地学領域 の指導	得意	0人	0人	3人	
	苦手	5人	7人	14人	
第5学年 C区分指導	既経験 未経験	3人 2人	3人 4人	6人 11人	
	第6学年 C区分指導	既経験 未経験	2人 3人	2人 5人	6人 11人
野外観察	自信あり	0人	0人	2人	
	自信なし	5人	7人	15人	
学 生 (教職課程履修)		2人	5人	7人	

表2 研修プログラムの全体計画および研修担当者の役割

受講者	研修の目標・内容	麻布大学 及び 国立教育政策研究所	相模原市立 博物館	相模原市 教育委員会
	事前準備	企画・調整	調査研究 会場準備	受講者募集 会場準備
関 心 理 解	第1回 教員研修の意義、理科教育の現状と課題を理解する。 地域教材に対する関心を高める。	教材研究 解説	教材研究 解説	指導助言
	↓			
体 験	第2・3回 野外観察を通して地域教材についての理解を深める。 取り上げた単元の教材を作成し、授業を構想する。	教材作成指導	野外観察指導	
	↓			
実 践	第4回 取り上げた単元の授業を設計する。	事例紹介		指導助言
	↓			
	授業実践 各学校において、研修内容を活かした授業を行う。	授業支援	授業支援	授業支援
	第5回 授業実践の成果と課題を報告し共有する。	指導助言	指導助言	指導助言
	終了後 授業実践についての研修報告書を提出する。	総括的評価		

第2回研修「河岸段丘と関東ローム層の観察」：7月31日(火) 9:00～17:00

1 目的

相模原市に分布する河岸段丘と関東ローム層の観察や、ロームから取り出した火山灰の観察などを通して、土地のつくりと変化に関する見方・考え方を習得する。

2 準備

地形図（2万5千分の1：「上溝」）、ワークシート、バインダー、軍手、採集袋、ルーペ、葉さじ、蒸発皿、茶こし器、ピーカー、スライドガラス、ろ紙、スパテル、双眼実体顕微鏡、磁石、救急箱

3 野外観察

観察ポイント①：関東ローム層の観察・採集

場所：

観察記録：

観察ポイント②：段丘礫層の観察

場所：

観察記録：

観察ポイント③：河岸段丘の観察

場所：

観察記録：

4 火山灰の観察

- 【手順】(1) ひとつまみの採集試料（ローム、T P、A T）を蒸発皿に取る。
 (2) 水を少量加え、指の腹で磨ぎ洗いをする。
 (3) 水を蒸発皿の8分目まで加え、よく混ぜた後、約10秒放置する。
 (4) 沈殿物を捨てないように注意しながら、濁り水だけを捨てる。
 (5) 手順の(2)～(4)を、水が濁らなくなるまで繰り返す。
 (6) 洗浄できた火山灰をスライドガラスに取り、余分な水分をろ紙に吸収させる。
 (7) 乾燥させた後、双眼実体顕微鏡で観察する。
 (8) 観察した鉱物の種類（色・形・磁性など）を記録する。

【観察記録】

試料名	観察できた主な鉱物とその特徴（色・形・磁性など）

5 火山噴火のモデル実験

準備物：

実験のポイント：

実験結果：

6 研修のまとめと感想・意見等

図1 第2回研修のワークシート（一部抜粋）

第3回研修「相模川と川原の礫の観察」：8月2日(木) 9:00~17:00

1 目的

相模川とその川原の礫の観察や、川原の礫の標本作成などを通して、流水の働きや土地のつくりに関する見方・考え方を習得する。

2 準備

地形図(2万5千分の1:「上溝」)、ワークシート、バインダー、軍手、付箋紙、10mロープ、物差し、黒マジックペン、ルーペ、標本箱、白画用紙、色鉛筆、クレヨン、カラーマジックペン、木工用ボンド、救急箱

3 野外観察

【観察ポイント①~③での手順】

- (1) 川の様子(川幅、流速など)や、川原の様子(川原の広さ、礫の並び方など)を観察する。
- (2) 川原の礫を分類しながら採集する。
- (3) 10mロープを河道にほぼ平行にのばし、ロープに触れている礫の長径を測定する。それらの中から、長径の長い上位3個を取り出す(長径のみを測定する簡便法とする)。

観察ポイント①：場所 ()

観察記録			
川原の礫の粒径	第1位 () cm	第2位 () cm	第3位 () cm

観察ポイント②：場所 ()

観察記録			
川原の礫の粒径	第1位 () cm	第2位 () cm	第3位 () cm

観察ポイント③：場所 ()

観察記録			
川原の礫の粒径	第1位 () cm	第2位 () cm	第3位 () cm

観察ポイント④：段丘礫層の観察

場所：
観察記録：

4 岩石標本の作成

- 【手順】(1) 採集した岩石(川原の礫)を観察し、特徴を記録する。
 (2) 作成例を参考に、台紙の上に岩石を配置し、おおまかなレイアウトを決める。
 (3) 台紙に、表題・産地・岩石名・採集年月日、採集地などを記入する。
 (4) 台紙を標本箱に糊付けする。
 (5) 各岩石を両面テープ又は木工用ボンドで台紙に接着する。

【観察記録】

岩石名	観察できた主な特徴(色・組織・形など)

5 川原の礫の大きさ

測定結果の集計：
結果と考察：

6 研修のまとめと感想・意見等

--

図2 第3回研修のワークシート(一部抜粋)

3. 結果と考察（研修プログラムの評価）

(1) 評価の枠組みの開発

教員研修の評価は、一般に研修後の受講者の意見や質問紙調査に基づいて行われる場合が多い。しかし、これらでは一般にマイナス面での回答が控え目となることや、あくまで受講者の自己評価であることなどから、これだけで研修の評価が適切にできたとは考えにくい。体系的・多面的な評価の枠組みを作成し、それに基づいて評価することが求められるが、教員研修についてはそうした事例は見当たらない。そこで、すでに体系化されている企業での教育研修の評価の考え方を参考にした。

企業における教育研修の評価については、いくつかのモデルが提唱されている。そのうち最も一般的なものは、カークパトリックの4段階評価である（Kirkpatrick and Kirlepatrick 2005; 中原ほか、

2006）。この評価では、研修の効果を測定する四つのレベルとして、レベル1「反応 (reactions)」、レベル2「学習 (learning)」、レベル3「行動 (behavior)」、レベル4「結果 (results)」が提唱されている。このモデルを簡潔に示したものが、表5の(a)である。

この考え方を教員研修に当てはめると、次のようにとらえることができる。

レベル1「反応」…研修に対する受講者の満足度や関心・意欲についての評価

レベル2「学習」…研修を通して習得した受講者の知識や技能についての評価

レベル3「行動」…その知識・技能を活用した授業設計・実践についての評価

レベル4「結果」…その授業実践を通しての児童の変容についての評価

こうした考えから、教員研修における評価の枠組み（評価項目、評価方法、評価規準）を作成した。それら

表4 受講者の主な授業実践の概要

単元	受講者	授業実践における工夫・改善点	主な成果（教員の姿勢・児童の変容など）
流れる水の働き	A	「水害」を取り上げ、実生活との関連に基づいた指導計画を立て、児童の実体験を大切に授業展開を取り入れた。	児童のつぶやきを見逃さないという姿勢で授業に臨むことができ、児童の自発的な学習を促すことができた。
	B	理科と総合的な学習の時間との接続を図った指導計画を立て、川についての学習に、地学的な視点だけでなく生物学的な視点を取り入れた。	大学生ボランティアとの連携による学習「相模川にすむ生き物」を行い、児童に相模川を多面的・総合的な視点からとらえさせることができた。
	C	この単元の学習を行った後に、児童が設定した学習課題に基づいて、グループによる調べ学習を行った。	教員・児童がともに、相模川を多様な視点から探究し、身近な河川について多くのことを知り、自然を多面的に見ることの大切さを実感した。
	D	学校での「流れる水の働き」の学習を、野外体験教室での「相模川の学習」に接続・発展させた。	学校と教育施設との連携を通して、児童に相模川の時間的な変化や空間的な広がりを認識させることができた。
	E	研修で配付した相模川のDVD（平常時と台風時）を活用し、堤防やダムが存在について考察する学習を取り入れた。さらに、これを道徳の授業に結び付けた。	児童に流れる水の動きを多面的に理解させることができ、水環境に対する畏敬や実生活との関連にまで広がってとらえさせることができた。
土地のつくりと変化	F	授業の導入として、校外にある段丘崖での地層観察を取り入れた。また、自然の美しさを感じ取らせる授業として、関東ローマ層の観察を行った。	大学生ボランティアとの連携による観察・実験を展開し、児童に火山灰（鉱物の結晶）の美しさを感じ取らせることができた。
	G	この単元の学習を行った後に、児童の表現活動に重点を置いた発展的な学習として、「火山」をテーマにした課題学習を行った。	火山についての課題を、児童が自発的・自主的に追究することができた。
	H	「相模野台地」に焦点を当て、学習に対する児童の思いを大切に授業計画を立案した。	教員が多面的・総合的な見方や考え方を持つことを意識することによって、児童の意欲的な学習を促すことができた。
	I	「大地のようす」に対する児童の意識を、自作のアンケートを通して把握し、授業の要点を整理したり、授業評価に活用したりした。	児童の理解度の変容を観点ごとに把握することができ、児童の言動を見取ることの大切さが実感できた。

表5 研修プログラムの評価の枠組み

レベル	(a) 企業での教育研修		(b) 教員研修		
	評価項目	測定方法	評価項目	評価方法	本研修プログラムでの評価規準
1 反応	受講者がどのくらいプログラムを受け入れたか	質問紙調査	受講者がどのくらい研修への関心や意欲を高めたか	質問紙調査 受講態度の観察	1-1 研修の受講に満足し、受講意欲を持てたか。 1-2 地域素材に対する関心を高めたか。 1-3 理科の授業実践への意欲を高めたか。
2 学習	どんな知識、考え方、技術を学んだか	試験	どんな知識・技能、見方・考え方を習得したか	質問紙調査 受講態度の観察	2-1 地域素材についての理解を深めたか。 2-2 野外観察や観察・実験の技能を身に付けることができたか。 2-3 具体的な授業設計をすることができたか。
3 行動	どのくらい職場での行動が変ったか	業務での行動変化の観察	研修成果をどのくらい授業実践に活かしたか	指導計画の立案 授業の参観	3-1 これまでの自分の授業を見直し、工夫・改善を図ることができたか。 3-2 地域素材を取り入れた授業が展開できたか。 3-3 体験的な活動を組み込むことができたか。
4 結果	結果としてどんな経営結果に結び付いたか	業績アップなど数字上の結果	結果として児童にどのような変化が見られたか	授業実践の報告(児童の成績)	4-1 児童は理科の学習に意欲的に取り組めたか。 4-2 児童は地域教材について理解できたか。 4-3 児童は理科の授業が好きになったか。

注) (a)は、中原ほか(2006)を基に作成

を、表5の(b)に示す。

(2) 評価の枠組みに基づいた研修プログラムの評価

本研修プログラムの評価を、表5で示した評価の枠組みに基づき、それぞれのレベルごとに考察した。評価方法は、各回の研修ごとに実施した質問紙調査と研修終了後に受講者から提出された研修報告書などによる。質問紙調査では、主に研修内容についての関心度や理解度などを質問した。設問項目に対して4者択一で回答する選択式と、意見・感想などを自由に回答する記述式を取り入れた。選択式調査の主な結果を図3と4に、記述式調査の主な結果を表6に示す。なお、本研修プログラムの受講者数は、3年間で併せても30人程度であったため、選択式調査の回答結果について有意差は検定していない。また、研修報告書は、研修成果を活用した授業実践について、受講者自らがその指導計画、実施内容、成果などをA4判4~6ページ程度にまとめたものである。その概要を表4に示す。

(i) レベル1「反応」についての評価

レベル1「反応」については、研修に対する関心の高揚や意欲の向上の程度を評価した。そのための具体的な評価規準として、次の3点を設定した。なお、ここでの評価規準の表現は、学習指導の評価規準で一般に用いられる表現と同様に、問い掛け文(意欲を高めたか、理解できたか、など)で表した(以下同様)。

- 1-1 研修の受講に満足し、受講意欲をもてたか。
- 1-2 地域素材(相模川や相模野台地)に対する関心を高めたか。
- 1-3 理科の授業実践への意欲を高めたか。

レベル1については、質問紙調査の結果に基づいて評価した。評価規準1-1については、表6に示す第1回研修での回答「理科を好きになりたい」「指導力を向上させたい」「教師としての立場を見直す機会としたい」などのように、研修の趣旨や内容を受け入れて意欲的に受講していこうとする感想が多く見られた。このことは、研修中の積極的な態度からも推測された。評価規準1-2と1-3については、図3に示すように、研修内容に対する関心、授業実践への意欲ともに、ほとんどの受講者が高く評価していることが分かった。このことは、表6に示す第1回研修での回答「地層に興味を持った」「授業づくりのイメージがもてた」などからも推測できた。

このように、本研修プログラムは、レベル1の段階では十分満足できるものであったと評価できた。その要因としては、次の2点が考えられる。

- ① 第1回研修の講義の内容として、地域素材の解説に終始するのではなく、理科についての指導観や教師としての教育観にまで及んだ幅広い内容を含めたこと。
- ② 地域素材の解説に関して、講義形式だけでな

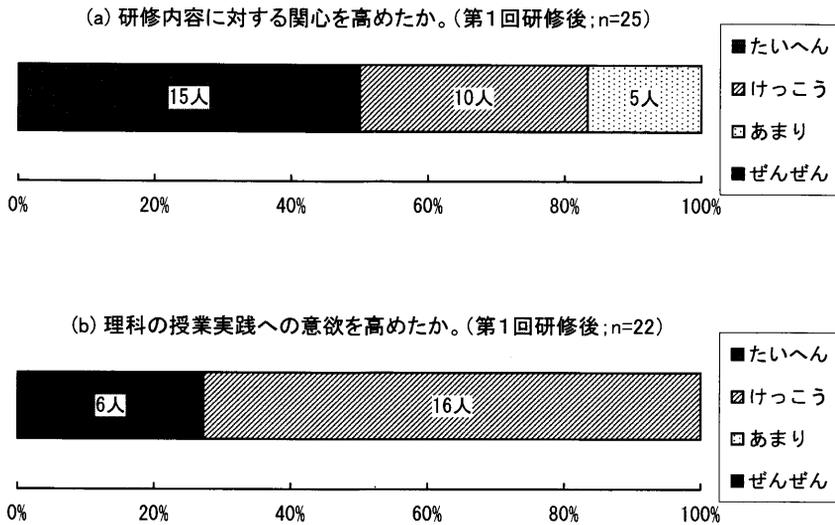


図3 レベル1「反応」に関する質問紙調査(選択式)の結果

く、博物館の展示物の見学も交えながらの解説としたこと。

(ii) レベル2「学習」についての評価

レベル2「学習」については、知識・技能、見方・考え方の習得の程度を評価した。そのための具体的な評価規準として、次の3点を設定した。

- 2-1 地域素材(相模川や相模野台地)についての理解を深めたか。
- 2-2 野外観察や観察・実験の技能を身に付けることができたか。
- 2-3 具体的な授業設計をすることができたか。

レベル2について厳密に評価するためには、測定方法として試験を実施する必要がある。しかし、受講者の自主性を重んじる教員研修において試験を課することは、受講意欲の持続などの点から望ましくないと考えられる。したがって、レベル1と同様に、質問紙調査の結果に基づいて評価した。

評価規準2-1と2-2については、図4の(a)、(b)に示すように、研修を進めて回を重ねるごとに、知識・技能を高めていることが分かった。評価規準2-1については、第1回において約1/4の受講者が「あまり理解できなかった」と回答し、「地学については学生時代ほとんど勉強していなかったので、とても難しく感じた」などの回答もあった。しかし、第2・3回研修では、受講者のほとんどが、河床礫の種類、流水の動き、ローム層の成因などの地学事象についての理解を深めることができた」と回答した。評価規準2-2について

は、図4の(b)に示すように、研修の前後で自信の有無が大きく逆転した。これは、図4の(c)に示すように、野外観察の大切さについての認識を深めたことから推察できる。また、評価規準2-3については、表6に示す第4回研修での回答「授業の見通しをもつことができた」「授業の目標設定が明確になった」などから分かるように、具体的な授業設計や授業実践のイメージを確実なものにしている様子が認められた。

このように、本研修プログラムは、レベル2の段階でも満足できるものであったと評価できた。その要因としては、次の2点が考えられる。

- ① 地域素材に関する講義や見学(第1回研修)に加え、野外観察や観察・実験・教材作成などの体験的な研修(第2・3回研修)を行ったこと。
- ② 理科指導についての理念の解説(第1回研修)や教材・教具の提示・提供(第2・3回研修)だけでなく、授業実践例の紹介や受講者同士の協議の時間を確保した研修(第4回研修)を行ったこと。

ただし、ここで述べた評価は、受講者による自己評価に基づくものである。評価の客観性を高めるには、次のレベル3での評価と併せて考察する必要がある。

(iii) レベル3「行動」についての評価

レベル3「行動」については、授業実践に対する研修内容の活用を程度を評価した。そのための具体的な評価規準として、次の3点を設定した。

- 3-1 これまでの自分の授業を見直し、工夫・改善

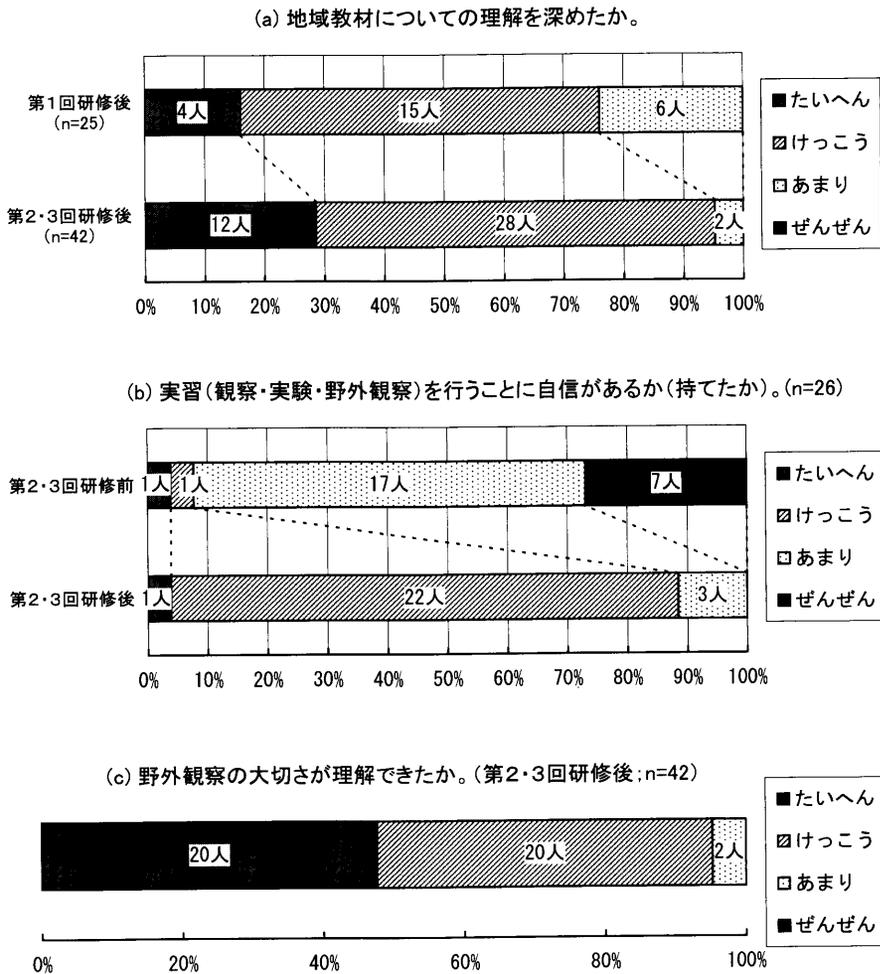


図4 レベル2「学習」に関する質問紙調査(選択式)の結果

を図ることができたか。

3-2 地域素材(相模川や相模野台地)を取り入れた授業が展開できたか。

3-3 野外観察などの体験的な学習活動を組み込んだ授業が展開できたか。

本研修プログラムでは、第4回研修と第5回研修との間に授業実践を行うことを義務づけ、その間に授業実践を行う教員を受講者とした。そこで、レベル3については、研修終了後に受講者から提出された研修報告書や第5回研修での実践報告などから評価した。受講者の実践内容の概要(工夫・改善点と成果)を表4に示す。大学生がボランティアとして参加する授業を行ったり、今回の研修成果を他の単元(例えば「水溶液の性質」など)に取り入れたり、地域素材を理科と

総合的な学習の時間との接続に役立てたりするなど、評価規準3-1と3-2については、報告されたすべての授業で達成されていた。また、相模川の観察や段丘崖の観察などの野外観察を取り入れた授業実践は、学校の地理的制約などもあり3割程度にとどまったが、校庭での流水実験や火山灰の顕微鏡観察などを含めると、評価規準3-3についても、ほぼすべての受講者の授業で達成されていた。

このように、本研修プログラムは、レベル3の段階でも満足できるものであったと評価でき、レベル2の評価の客観性も高めることができた。この要因としては、次の2点が考えられる。

- ① 研修内容として、理科教育の理念・指導方法・地域教材などについての理解だけでなく、野外観

表 6 第1～4回研修における質問紙調査(記述式)の主な回答

<p>第1回研修(理科指導, 地域教材)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○この研修を通して, 3年目という教師としての立場を見直す機会になればと思います。 ○この半年間で, 少しでも理科を好きになることができればいいと思います。 ○地域教材を学ぶことによって, 少しでも教師としての指導力を向上させたいと思いました。 ○博物館の展示物を使いながら説明してくださり, よく理解できました。 ○相模原の土地について, 少しだけ分かったような気がします。地学は, とても奥が深いと感じました。 ○自分でも地層のことに興味を持って調べてみたいと思いました。 ○地学については学生時代ほとんど勉強していなかったので, とても難しく感じました。 ○自分が地学に関する知識を持っていないことを実感しました。
<p>第2・3回研修(野外観察)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○地層をじっくり見る事ができて, とてもよい経験になりました。 ○実際の場所で丁寧に説明していただけたことがよかったです。 ○火山灰プレパラートは, 学校にある材料で簡単にできるところがよいと思いました。 ○自作した火山灰のプレパラートを授業で是非使いたいと思います。 ○相模川のスケールの大きさを実感できました。生の自然の声を聞けた気がします。 ○川原の礫について, 実際に手にとって, 分析して, 分類していく作業は, 宝物探しみたかったです。 ○自分の足元を見るようになりました。今までになかったことなので, 視野が広がりました。 ○「自分の目で見て, 触って, 感じる」ということがどれほど大切か, 改めて感じる事ができました。
<p>第4回研修(授業実践例の紹介, 授業設計)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○実践事例のお話があれば, 授業の見通しを持つことができませんでした。 ○児童に関する資料もあり, 分かりやすかったです。 ○授業の流れをお聞きすることで, どのような学習目標を立案すればよいのかを知ることができました。 ○自分の漠然とした授業計画が, 具体的なものへと変わりました。

察・観察・実験の技能の習得などの実践的な内容を取り入れたこと。

② 授業設計・授業実践の内容も組み入れ, 約半年という長期間にわたる研修期間を設けたこと。

(iv) レベル4「結果」についての評価

最後に, レベル4「結果」については, 授業実践を通じた児童の変容を評価した。そのための評価基準として, 次の3点を設定した。

- 4-1 児童は理科の学習に意欲的に取り組めたか。
- 4-2 児童は地域教材について理解できたか。
- 4-3 児童は理科の授業が好きになったか。

しかし, このレベル4の評価は実施するのが最も困難なものである。それは, 結果的に児童の変容が認められたとしても, それが研修による結果か, 他の要因によるものかを判断することが難しいためである。ここでは, レベル3と同様に, 受講者からの研修報告書や第5回研修での実践報告などから, 児童の変容を把握するにとどめた。

表4に示すように, 受講者の自己評価や授業実践の手応えとして, 「児童の自発的な学習を促すことができた」「相模川の時間的な変化や空間的な広がりを認

識させることができた」「火山灰の美しさを感じ取らせることができた」などが挙げられる。これらから判断する限りにおいて, 本研修プログラムがレベル4の段階についてもおおむね満足できるものであったと評価できる。その要因としては, 明確な因果関係を見いだすことは難しいが, 次の2点が考えられる。

- ① レベル3と同様に授業実践までも研修計画に入れたこと。
- ② 取り上げた地域素材が児童にも身近な存在であり, 関心や学習意欲を高めることに有効であったこと。

(3) 研修全般についての評価

最終回の第5回研修では, 「研修を受ける前と比較して, 理科の指導が得意になったかどうか」を受講者に質問した。その結果を, 図5に示す。「かなり得意になった」は少数であるが, 「いくぶん得意になった」と併せると7割以上の受講者が以前より得意になったと回答した。表1の受講者の概要で示した「理科指導を苦手とする」が6割以上であったことを考えると, 本研修プログラムの受講を通して, 理科に対する苦手意識が相当改善されたと評価できる。なお, 「苦手に

研修を受ける前と比較して、理科の指導が得意になったか。(n=29)

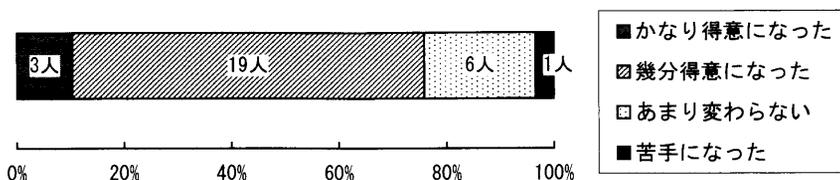


図5 理科の指導に対する意識についての調査結果

表7 研修プログラム終了後の質問紙調査(記述式)の主な回答

<p>(a) 地域教材について</p> <ul style="list-style-type: none"> ○自分たちにかかわりのある教材ということで、研修への意欲が高まりました。 ○初めて知ることが多く、教材研究や授業実践の幅が広がりました。 ○研修で頂いた資料(相模川の画像)がたいへん役立ちました。授業で活用させていただきました。 ○県外出身のため、相模原市のことをあまり知らない自分にとって、本当に勉強になりました。
<p>(b) 野外観察について</p> <ul style="list-style-type: none"> ○実際に体験して、自分の体で覚えることができました。 ○実際の理科の授業でもそうですが、実物を観るとのことの大切さが分かりました。 ○このような機会がないと現地へは行かないと思うので、野外観察があつてよかったです。 ○地学に興味があつてました。このような野外観察の研修には、また参加したいです。
<p>(c) 授業の実践報告について</p> <ul style="list-style-type: none"> ○多様な導入・展開の実際に触れることができました。自分の今後の授業に活用していきたいです。 ○流水実験の方法の工夫など、いろいろな実践を聞くことができ、アイデアの豊富さを感じました。 ○同じ教材を、他の先生がどのように扱ったのかを知ることで、自分に足りない部分がよく分かりました。 ○様々な先生の貴重な意見が聞けました。素晴らしいプログラムに参加できて、とても充実感があります。
<p>(d) 理科の指導について(研修を受ける前と比較して)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○今まで一度も、この学年(単元)の授業をしたことがなかったので、いい勉強になりました。 ○少し自信をもって指導できるところが増えたので、以前より幾分理科が得意になりました。 ○楽しいと感じることが増えたため、苦手意識はなくなりました。 ○以前よりも理科が好きになりました。授業での児童の「やる気」が楽しみでした。 ○今まで知らなかったことや意識していなかったことに触れる機会を頂きました。 ○教材や授業をとらえる観点が明確になることによって、児童に対する見方の幅が広がりました。

なった」と回答した受講者(1人)もいたが、その後の聞き取り調査から、「考える視点が増え、理科の難しさを痛感した。」とのことであった。理科指導を漠然ととらえていた教員が視点を定めて理科指導の実践を考えるようになったことの表れと考え、これも本研修プログラムの成果の一つと評価できる。

また、受講者には、研修の日数・期間・時間帯・受講者数や研修内容についての意見・感想・要望等も求めた。本研修プログラムでは、7月から翌年の1月までの間に計5回の研修を行ったが、日数・期間・時間帯についてはほぼ全員の受講者が適当であったと回答した。受講者数については、「とても話しやすい人数で、意見も言いやすかった。」「少人数で、たくさんの質問ができてよかった。」のように、受講者数を10人程度としたことを適当とする回答が多かった。ただし、「より多くの先生方の話も聞いてみたかった。」と

する回答もあった。研修の広がりという点では十分な人数であるとは言いがたいが、研究協議での意見交換に関しては、少人数であることが効果的であったと評価できる。

研修内容についての記述式調査の結果を、表7に示す。地域素材や野外観察に関しては、受講者の関心を高め理解を深めるうえで、良好な評価を得ることができた。また、授業の実践報告を行ったことについても、実践成果の共有だけでなく、自分の実践の振り返りや次の指導への意欲づけなどにつながるという意見を多く得ることができた。これにより、研修プログラムに授業実践を組み入れたことが有効であったと裏づけることができた。さらに、「自信をもって指導できるところが増えた」「苦手意識はなくなった」「授業での児童のやる気が楽しみ」などのような、理科の指導についての感想からも、前述した「理科の指導が得意になった」

ことの具体的な内容を知ることができた。

4. 成果と課題

本研究は、地域教材・野外観察・授業実践などを組み入れた教員研修プログラムを開発・実施するとともに、研修の成果が授業実践にどのように活かされたか、教員の実践的指導力の向上にどのように役立ったかを評価することを目的に取り組んだものである。

開発・実施した研修プログラムを四つのレベルに基づいて評価した結果、レベル1「反応」・レベル2「学習」・レベル3「行動」では満足できるものであり、レベル4「結果」でもおおむね満足できるものであることが判明した。そして、研修の成果が授業実践にどのように活かされたかに対しては、授業実践にまで及ぶ内容を組み入れた研修計画を立てたことが有効であったと評価できた。また、本研修プログラムの受講者は、理科（地学）の指導があまり得意でなく、半数以上が単元「流れる水の働き」「土地のつくりの変化」の授業経験がなかった。そのため、この単元の指導に自信をもち、魅力ある授業を実践することが課題であった。研修プログラムの評価で述べたように、身近な地域素材を取り入れて野外観察などの体験的な活動を中心に研修プログラムを構築したこと、授業設計に対する指導助言や大学生ボランティアによる授業支援などの実践的な研修内容に配慮したことなどが有効に働き、受講者は意欲的に教材研究や授業設計に取り組むことができた。そして、理科指導に苦手意識をもっていた受講者の多くが、それぞれに工夫・改善した授業を実践することができた。受講者の実践的指導力の向上は、これらの結果としてとらえることができる。

しかし、本教員研修プログラムは、2007年から3年間にわたり研究の一環として実施したものであり、研修の取組としては緒に就いたばかりである。特に、受講者数に関しては、相模原市の小学校数と教員数（76校、約1,600人）を考えると、十分でない。この取組をいかに継続して行かか次の課題である。また、より活用しやすい教材・教具の開発、地域素材のより具体的な授業での活用方法、野外観察の授業への導入方法などについても、今後更に検討を加えていく必要がある。さらに、本研修プログラムでは、教職課程を履修している学生の参加も図ることができた。理科指導に対する学生の実践力の向上や教職に対する意欲や志望の強化を目指すといった教員研修と教員養成の接続・連携についても今後研究を進めていきたいと考え

る。

以上、本研究の成果と課題を述べた。これらを基に、地学領域の指導を困難としている教員の実践的指導力の向上を目指す教員研修について、それを充実・改善するための方策として、次の4点を提言する。

(1) 研修内容を、取り上げた教材や指導方法についての知識・技能の習得にとどめるのではなく、受講者の授業設計・授業実践にかかわる内容も研修計画に組み入れること。

(2) 地学領域の研修に関しては、地域素材を取り上げ、多様な研修形態（例えば、博物館見学、野外観察、教材作成など）を通して、受講者の関心を十分に高めながら無理なく理解を深めるような研修計画を立てること。

(3) 参加しやすい研修計画の立案、授業で活用しやすい教材の提供、授業実践に対する指導助言や授業支援など、受講者に対するきめ細やかな配慮を重視すること。

(4) 上記の3点を効果的に実行するには、大学・研究所・博物館・教育委員会などの多様な機関の連携を図ることが有効であること。

謝 辞 本研究を進めるに当たり、相模原市教育委員会教育局学校教育部の門倉松雄指導主事および西山俊彦指導主事には、研修プログラムの開発から実施に至るまで、多大なるご支援・ご協力をいただきました。地域教材の開発については、東京都立大学名誉教授の町田 洋先生に、受講者の授業実践については、相模原市教育委員会教育局総合学習センターの城田善夫指導主事に、それぞれ貴重なご助言をいただきました。さらに、本研修プログラムには多数の小学校の先生方がご参加くださり、校長先生にはその派遣にご配慮くださりました。ここに深甚の謝意を表します。

また、東京学芸大学の松川正樹先生をはじめとする査読者の方々からは、粗稿に対して貴重なご助言や的確なコメントをいただきました。厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 藤岡達也(2003): 科学教育に関連した教員研修における教育センターと一般行政・企業・大学との連携—大阪府を例にした都道府県レベルの教育センターの今日的な役割とその課題—, 科学教育研究, 27, 50-59.
- 藤岡達也(2004): サイエンス・パートナーシップ・プログラム事業における教員研修について—研修機関と研

- 究者との新たな連携構築の観点から一. 地学教育, 57, 203-216.
- 林信太郎(2006): 世界一おいしい火山の本—チョコやココアで噴火実験—. 小峰書店, 東京, 127 p.
- 井関和明(2002): 教育センターでの研修会の現状. 理科の教育, 51, 17-19.
- Kirkpatrick, D. L. and Kirkpatrick, J. D. (2005): Evaluating Training Programs. Berrett-Koehler, San Francisco, 21-74.
- 国立教育政策研究所(2005): 理科教育の内容とその配列に関する総合的研究, 平成15~16年度科学研究費補助金(特定領域研究(2))研究成果報告書, 113-118.
- 公文富士夫・立石雅昭(1998): 新版 砕屑物の研究法. 地学団体研究会, 東京都, 112-119.
- 松川正樹・林 慶一(2003): 大学・博物館・学校にボランティアを加えた地質の野外観察支援システムの構築, 地学教育, 56, 61-67.
- 文部科学省(2004): 小学校学習指導要領(平成10年12月)改訂版. 国立印刷局, 東京, 55-61.
- 文部科学省(2008): 小学校学習指導要領. 東京書籍, 東京, 65-70.
- 中原 淳・荒木淳子・北村士朗・長岡 健・橋本 諭(2006): 企業内人材育成入門. ダイヤモンド社, 東京, 173-179.
- 岡本弥彦・五島政一・河尻清和・門倉松雄(2006): 大学・博物館・教育委員会の連携による教員研修プログラムの開発—科学好きな子どもを育てるための教師教育(2)—. 日本地学教育学会第60回全国大会静岡大会講演予稿集, 135-136.
- 岡本弥彦・五島政一・河尻清和・門倉松雄・西山俊彦(2007): 大学・博物館・教育委員会の連携による教員研修プログラムの開発2—科学好きな子どもを育てるための教師教育(2)—. 日本地学教育学会第61回全国大会島根大会講演予稿集, 182-183.
- 八嶋真理子(2004): 教師が「理科の楽しさを実感する」ことの大切さ—教育センターからの発信—. 理科の教育, 53, 33-35.

岡本弥彦・五島政一・河尻清和: 実践的指導力の向上を目指す教員研修の評価について—小学校教員を対象とした地学領域に関する研修プログラムの開発・実施を通して— 地学教育 62巻4号, 99-113, 2009

〔キーワード〕 教員研修, 研修の評価, 小学校理科, 実践的指導力, 地域教材

〔要旨〕 小学校教員を対象に, 理科(地学領域)についての研修プログラムを開発・実施した. このプログラムでは, 地域の教育資源を活用するとともに, 野外観察などの体験的な研修や授業実践にかかわる実践的な研修を取り入れた. また, 研修プログラムの評価には, 企業内研修で用いられる評価方法を適用した. その結果, 開発したプログラムが実践的指導力の向上に有効であることが実証された.

Yasuhiko OKAMOTO, Masakazu GOTO and Kiyokazu KAWAJIRI: Development, implementation, and assessment of a training program for elementary school teachers to help improve practical abilities to teach Earth Science. *Educat. Earth Sci.*, 62(4), 99-113, 2009

原著論文

月の満ち欠けについての子どもの観念—その後の展開

Children's Notions on Phases of the Moon: Subsequent Development

宮脇亮介*・吉村未希**

Ryosuke MIYAWAKI and Miki YOSHIMURA

Abstract: Based on the work of Miyawaki and Nanbu (1992), research was conducted to assess children's notions about the phases of the moon. Most children were found to have eight different notions about moon phases, none of which was the scientifically appropriate notion. The number of children who have the appropriate notion increases at the 4th grade, when children learn subjects related to the moon, but then decreases at the 5th and 6th grades. This may be due to the sequence of National Curriculum Standards, although it is necessary to also consider teaching methods reflecting learning theories. For maximum benefit to the child, it is important that teachers be expected to learn not a particular aspect of astronomical knowledge, but also to acquire a deeper understanding of astronomy.

Key words: elementary school, astronomy education, phase of the moon, children's science

1. はじめに

月は天文教育において太陽とともに必ず使われる天体である。月を対象とした学習についての研究は、Piaget (1926) が月についての子どもの認識について研究して以来、多くの研究がなされ、月の満ち欠けの指導に関する子どもの認識についての研究も多く報告されている (例えば、Baxter, 1989; 宮脇・南部, 1992; Stahly, Krockover and Sheparson, 1999; Barnett and Morran, 2002)。子どもたちは、月の満ち欠けも含めて学習以前にも、そして学習後でさえ、科学的に適切なモデルのほか非科学的なモデル、科学的に適切なモデルと非科学モデルを合わせたモデルを持っていることが示されている。

宮脇・南部 (1992) では、小学校第 3 学年から第 6 学年までの子どもたちと大学生の月の満ち欠けについての観念を調査した結果より、それぞれ独自に科学的に適切なモデルとは別の 7 種類の異なった観念を

持っており、学年が進行するにつれて科学的に適切な観念に至る傾向のあることが示された。しかし、学習後の学年において、科学的に適切なモデルとは異なるモデルが保持され続けることも示された。子どもたちの月の満ち欠けについての理解のために学校教育において教師はさまざまなモデルや教具を使い指導を進めるが、依然として子どもの理解は教師が望むべきレベルに達していないといえる。これらの原因として指導方法やカリキュラムの問題などの要因が多く研究者によって提起されている。

Baxter (1996) はイギリスの National Curriculum 実施以降の 1994 年に Baxter (1989) での調査項目について 10 歳から 16 歳の子どもを対象に調査を再度行っている。Baxter (1991) で提示された ACM (Alternative Conceptions Movement) に基づいた二つのレベルを考慮した指導法もあり、Baxter (1989) で挙げられた観念で①の「雲が月の一部を覆う」の観念は変化がなかったが、②-b の「惑星の影が月にかか

る」および③の「太陽が月を隠す」の観念を持つ子どもがいなくなり、④の「地球の影が月にかかる」の観念が半分以下になった。科学的に適切な観念が約50%増加したことを示し、National Curriculumの効果を示している。アメリカのNational Science Education Standardsでも、子どもの観念を考慮した策定がなされている。月の満ち欠けについては、K-4段階では、地球中心（観測者）の世界を、5～8段階では、太陽中心の天体の運動を前提に太陽-地球-月のシステムについて視点移動をもってメンタルモデルを形成して考えることができることを目標としている。その際にK-4段階での子どもの観念についても配慮することが前提となっている(Adams and Slater, 2000)。

しかしながら、月についての科学的な認識、例えば月の満ち欠けについて、中学生・高校生・大学生のレベル(Trumper, 2000, 2001a, b, c), 教師のレベル(Atwood and Atwood, 1999; Abell, 2001; 松森, 2005; Trumper, 2006), 一般(Durant, Evans and Thomas, 1989)などが学習の効果は別にして科学的に正しい観念を必ずしも保持するとは限らないという結果も発表されている。また、Bell and Trundle (2008)は、小学校教員の研修において、プラネタリウムの理解を促進するためによく設計されたソフトウェアを使うことで月の満ち欠けを含む天文の内容についてほとんどの参加者が理解することができたことを報告している。これはShen and Conerey (2001)がK-8の教師を対象とした研修で、データと2Dモデルから3Dモデルに至るさまざまなモデルを経て教師の概念転換が可能であることを示すことと関連している。しかし、一方では、Trundle, Atwood and Christopher (2007)は小学校教師に、Trumper (2006)は小中の教員養成課程の学生に研修を行った後の調査を行い、それまで科学的に適切な観念を持たなかった人が研修後に月の満ち欠けについて科学的に適切な概念を形成することができ、数カ月後には研修を受けたほとんどの人が科学的に適切な観念を保持しつづけていたが、一部には研修前の科学的に適切でない観念に戻ってしまっていることを報告している。教師の概念転換も容易ではないことを示している。

本研究では、福岡市内の小学生を対象に、月の満ち欠けに関するアンケートの結果を報告する。この調査は宮脇・南部(1992)の「月の満ち欠けについての子どもの観念」と同様の調査であり、それらの結果とあ

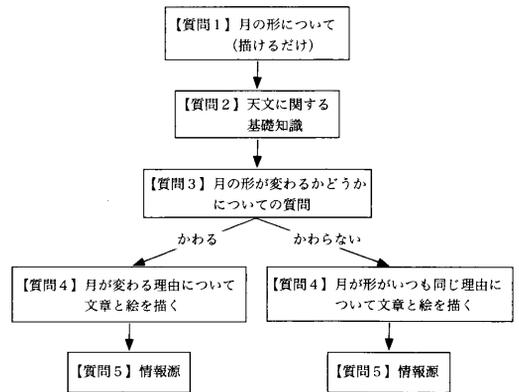


図1 質問順序

わせて、平成元年度指導要領と平成10年度改訂版学習指導要領での子どもの考え方を比較した。

2. 調査と分析

2006年11月に福岡市内の公立小学校の3年生(102名:男子52名,女子53名),4年生(104名:男子54名,女子50名),5年生(92名:男子46名,女子46名),6年生(114名:男子58名,女子58名),計412名の子どもに対して質問紙を用いて調査した。調査した時点で、4年生は月の学習を終了していた。

宮脇・南部(1992)が用いたアンケート用紙、方法とほぼ同様に調査を実施した。各学年で学習する漢字を用い、漢字にはルビをつけた調査用紙を各学年ごとに用意した。質問は、図1のような順序(質問紙は資料1)である。【しつもん1】で、自分の見たことのある月について描かせる。【しつもん2】で、月の自転・公転、地球の自転・公転、月は太陽の光があたって光っているかなどの、天文知識について問う。【しつもん3】では、月の形は変わるか、またその理由はなぜかを、絵を描いて説明させる。【しつもん3】の回答で月の形が変わると回答した場合に【しつもん4】および【しつもん5】では、月の形が変わる理由と情報源について、月の形が変わらないと回答した場合には、【しつもん4】および【しつもん5】では、変わらない理由と情報源について回答させた。

アンケート調査の分析は、宮脇・南部(1992)の分類方法を参考にした。回答に顕著な性差は見られなかったが、表1では男女別で表記している。

表1 各モデルにおける人数(複数回答を含む)

	3年生 (103名)		4年生 (104名)		5年生 (92名)		6年生 (114名)		合計
	男子	女子	男子	女子	男子	女子	男子	女子	計
①雲が月の一部を覆う	1	5	0	0	3	3	2	2	16
②-a 惑星が月を隠す	0	1	0	0	1	1	3	3	9
②-b 惑星の影が月にかかる	1	0	0	0	0	3	0	3	7
③太陽が月を隠す	2	0	0	2	1	1	2	1	9
④地球の影が月にかかる	0	2	3	0	4	3	7	5	22
⑤様々な月がある	2	0	0	0	0	0	1	0	3
⑥地平線・水平線	0	0	0	1	0	0	1	3	5
⑦見る場所によって変わる	4	0	2	0	5	5	7	11	34
⑧-a 太陽の光を受けて輝く	11	9	33	23	13	9	15	13	126
⑧-b 正確な位置関係まで記述している	0	0	3	2	2	2	2	1	12
⑨月に隕石などがあたって欠ける	0	0	0	1	3	3	3	1	11
⑩その他・無回答	31	34	13	21	13	16	15	13	158
計	52	51	54	50	46	46	58	56	413

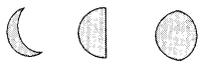
子どもたちの月のとらえ方	3年生	4年生	5年生	6年生	合計
A: 科学的に適切な記述 	11 (10.8%) 5 (12.8%)	26 (25.0%) 10 (26.3%)	17 (18.5%) 12 (30.8%)	13 (11.4%) 13 (32.5%)	57 (13.8%) 40 (25.6%)
B: 月食のような欠け方 	21 (20.6%) 2 (5.1%)	18 (17.3%) 2 (5.3%)	14 (15.2%) 3 (7.7%)	24 (21.1%) 5 (12.5%)	67 (16.3%) 12 (7.7%)
C: 板で隠されているような欠けた部分が直線 	8 (7.8%) 2 (5.1%)	7 (6.7%) 0 (0.0%)	11 (12.0%) 1 (2.6%)	9 (7.9%) 2 (5.0%)	35 (8.5%) 5 (3.2%)
D: 欠けた部分が徐々に小さくなる 	5 (4.9%) 2 (5.1%)	5 (4.8%) 0 (0.0%)	2 (2.1%) 0 (0.0%)	10 (8.8%) 0 (0.0%)	22 (5.3%) 2 (1.3%)
無記述など	57 (55.9%) 28 (71.8%)	48 (46.2%) 26 (68.4%)	48 (52.2%) 23 (59.0%)	57 (50.0%) 20 (50.0%)	210 (51.0%) 97 (62.2%)
学年の合計	102 (100%) 39 (100%)	104 (100%) 38 (100%)	92 (100%) 39 (100%)	114 (100%) 40 (100%)	412 (100%) 156 (100%)

図2 子ども描いた月のカテゴリー分類と人数()内は%, 上段は本研究, 下段は宮脇, 南部(1992)の人数

3. 月の形のとらえ方

子どもの描いた月を宮脇・南部(1992)の調査に従い, カテゴリー分類を行った(図2). 図2の右側の数値はカテゴリーごとの学年, 男女別の人数である. 下段には宮脇・南部(1992)の結果も表記している.

【しつもん1】において, A~Dの4種類の記述が見られた.

A: 科学的に適切な記述.

B: 月食のような欠け方.

C: 板で隠されているような欠けた部分が直線.

D: 欠けた部分が徐々に小さくなる.

多くの子どもが満月、半月、三日月を描いており、高学年になるほど月の形を連続的なものとして記述する子どもの数は増加し、本来は観察できない新月や、それ以外の形の月も描くようになってきている。3年生ではまだ学習前なので、月の形も楕円形や三角形に近い形など、全く異なる形を描かれていた(無記述などに分類)。第4学年で「月と星」について学習するため、4年生ではカテゴリーAが26名(25.0%)であり、一番正確に月の満ち欠けの様子が描けていた。満月、半月、三日月などの月の語句を知っているのも4年生からである。しかし、5年生では、カテゴリーAが17名(18.5%)、6年生では、カテゴリーAが13名(11.4%)と学年が上がるにつれて正確な月の満ち欠けを描かない児童が増加し、4年生と5年生を比較すると統計的に有意ではないが($Z(4年 \rightarrow 5年) = 1.101; p < 0.05$)、4年生と6年生を比較すると統計的に有意であった($Z(4年 \rightarrow 6年) = 2.616; p < 0.05$) (以下たとえば4年生と5年生を比率のZ検定(片側)の結果は $Z(4年 \rightarrow 5年)$ のように表記する)。月の形を連続的なものとして記述する子どもの数は学年が上がるにつれて増加し、用語として記憶することで新月のような観察不可能な形を記述していた子どもも学年が上がるにつれて増加する傾向にあると言える。

月の形についての学習は第4学年で行われるが、学習を行った後でも月の満ち欠けで生じる形を正しくとらえられてない子どもも多く見られた。「科学的に適切な記述」が3年生から4年生にかけて増加するものの($Z(3年 \rightarrow 4年) = 2.658; p < 0.05$)、統計的には有意ではないが、5年生にかけて減少傾向にあり、4年生と6年生を比較すると統計的に有意となる($Z(4年 \rightarrow 6年) = 2.616; p < 0.05$)。「月食のような欠け方」については3年生から6年生での増減に統計的有意は見られなかった($Z < 1.645; p < 0.05$)が、5年生から6年生ではカテゴリーDの「欠けた部分が徐々に小さくなる」の人数が増加し、統計的に有意となる($Z(5年 \rightarrow 6年) = 2.010; p < 0.05$)。全体として「月の満ち欠け」と「月食」を混同している子供が多数いる一方、月の形を一つだけしか描いていない子どもがいた(カテゴリーでは「無回答など」に分類)。「無回答など」に分類された記述が半数程度いることを含め、学習後も月の満ち欠けで生じる形を正しくとらえていないと考えられる子供が多く存在した。今回の調査では、宮脇・南部(1992)と同様「無回答など」の数は学年を通じて一定数の人数いるが、その他の学年間では統計的に有意で

ない($Z < 1.645; p < 0.05$)。

4. 月の満ち欠けについて

図3は、宮脇・南部(1992)の研究を参考にして、【しつもん3】の月の満ち欠けに対する子どもの考えを分類したものである。分岐において「月の形はかわらない」と回答した子どもであっても、月の形が変化することに関しての考えを回答していた子どもたちが多くいた。①から⑧-b、⑩は同じだが、その他の考え方に「月に隕石などが当たって欠ける」という考え方が複数見られたので、今回の研究では新たに⑨を追加した。その結果、月の満ち欠けの原因について記述させると、10のカテゴリーに分類することができた。月の形は変わらないとした回答、回答者の図と説明が不一致なものや記述がないものについては「その他・無回答」に分類した。

観念①: 雲が月の一部を覆う。

観念②-a: 惑星が月を隠す。

観念②-b: 惑星の影が月にかかる。

観念③: 太陽が月を隠す。

観念④: 地球の陰が月にかかる。

観念⑤: 地球の周りにはさまざまな形をした月があり、地球が自転しているために月の形が変わる。

観念⑥: 地平線、水平線のために月の形が変わる。

観念⑦: 見る場所によって月の形が変わる。

観念⑧-a: 月は太陽の光を受けて輝き、それを地球から見ている。

観念⑧-b: 正確な位置関係まで記述している。

観念⑨: 月に隕石などが当たって欠ける。

観念⑩: その他。

子どもが月の満ち欠けについて説明するとき、月の欠けている部分を影あるいは陰で説明するタイプ(②-b, ④, ⑧)、自己の視点との間に何らかの障害物があるとするタイプ(①, ②-a, ③, ⑥)、さまざまな種類の月を見ているタイプ(⑤)の三つのタイプに分類される。表1は、図3の分類における学年の男女ごとの人数を表している。

月の形が変わらない、無回答、その他を除くと子どもの持つ観念で最も多かったのは科学的には適切なモデルである「月は自ら光を出しているのではなく太陽の光を反射して輝き、それを地球から見ている(⑧-a)」であった。科学的に適切とされるモデルは3年生では19.4%、学習後の4年生では58.7%と増加す

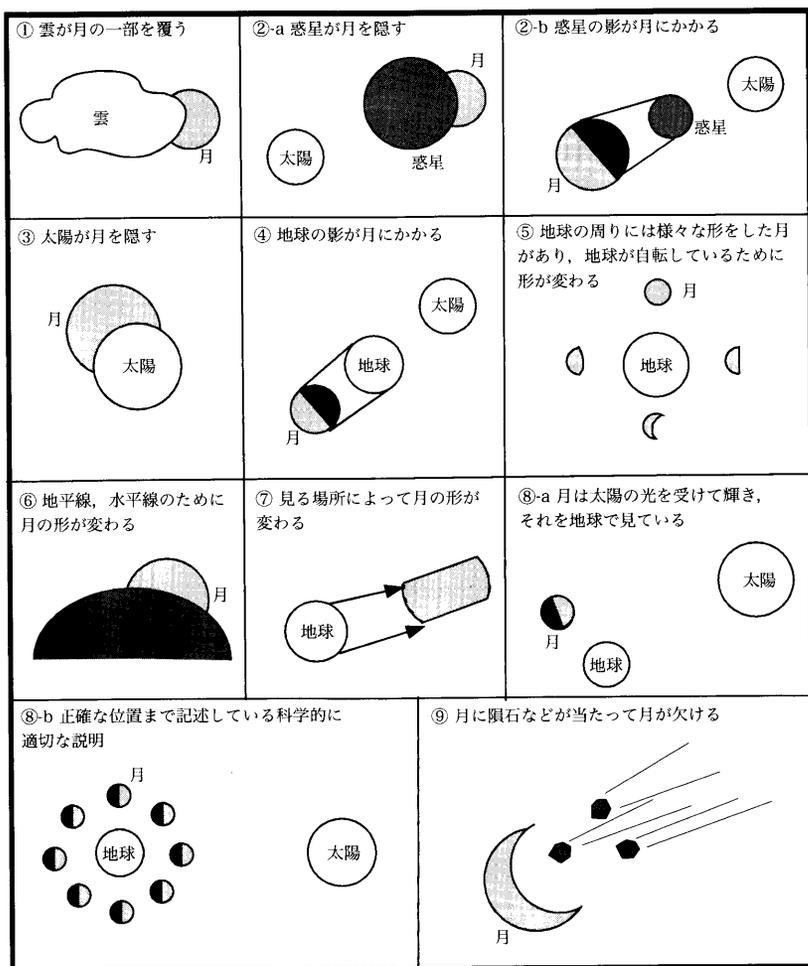


図3 月の満ち欠けに対する子どもの考え

るが (Z(3年→4年)=5.138: $p < 0.05$), 5年生の28.3%, 6年生の27.2%と減少している (Z(4年→5年)=4.273: $p < 0.05$) ことから, 4年生と5年生の間に減少してしまい, 5年生, 6年生とそのまま保持されるようである (Z(5年→6年)=0.108: $p < 0.05$). また, 科学的に適切ではないモデルであるが共通してみられた観念の中で最も多かったのは, 月の欠けた部分は太陽の光の当たらない陰ではなく惑星(②-b), あるいは地球のつくる影が月に影を落とす(④)という陰と影とが混同している観念がある. 影をつくるのは惑星であると考えた子どもは全体で7名(1.6%), 地球であると考えた子どもは全体で22名(5.2%)いた. 次に多く見られたのは, 月が満ちかけするのは自己の視点(地球)と月との間に障害物があるためであるとす

る考え方である. それは, 雲(①), 惑星(②-a), 太陽(③), 地平線や水平線(⑥)で説明されていた. 障害物が雲であるとする子どもは3年生で5.8%, 4年生で0%になるものの, 5年生で6.4%, 6年生で3.5%になる. その次に多く見られたのが, aの場所においては月のAの部分, bの場所においては月のBの部分が見えるために月が形を変えていくとする⑦の考え方である. 以上の子どもは, 月の数は一つであると考えている. これらに対して, 月の数は数種類あり, 地球の自転のためにいろいろな月が見られるという考え方は, 1名であるが6年生の子どもにも持たれている. また, ④の地球の影が月を隠すという考え方を持っている子どもが高学年に少なからず見られた. 太陽の光を反射して月が輝き, その光の当たり具合に

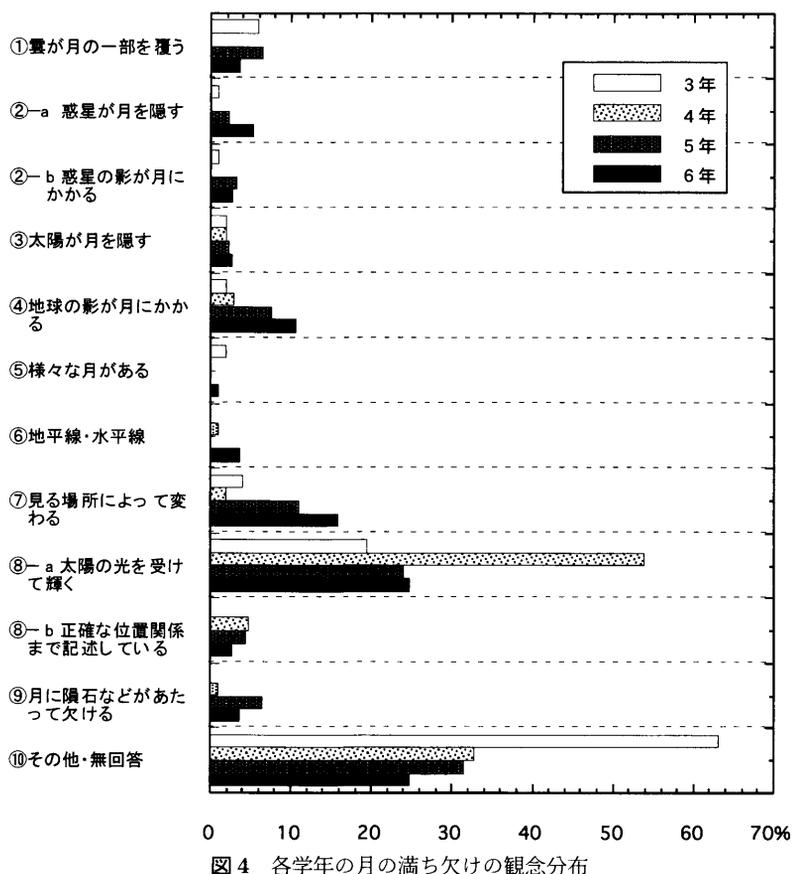


図4 各学年の月の満ち欠けの観念分布

よって月の見え方が変わるということは理解しているが、月が地球の周りを公転していることを知らなかったり、ほかの考えを混同していたりして、正確な位置関係まで説明できている子どもは全体の2.8%ほどであった。わずかであるが、月に隕石などが当たって、月が欠けたりまた再生したりするという月自体の形が変わるという考えを持っている子どもが5年生、6年生に見られた。

4年生と5年生では、科学的に適切な考えが約30%減少している。この原因としては、小学校は教科担任制ではないので、授業の内容による効果とも考えられるが、一時的に学習して科学的に適切な観念を持つようになり、時間の経過とともに科学的に適切な考え方から、②、④、⑦などのほかの考え方に置き換わっていると推測される。

「その他・無回答」は、3年生で最も多く、4年生で減少し、5、6年生でも4年生と同様の傾向にある($Z(3年 \rightarrow 4年) = 4.380; p < 0.05$)。その他の回答の例と

しては、「空を見たら昨日の月と形が違ったから」、「時間ごと、日にちごとに月の形が変わる」など、月の満ち欠けの理由を、視点を自己の視点で説明しているものや、理由は分からないけれどそう思うというものがほとんどであった。このことから、学年が上がるにつれ、連続的な月の変化を説明しようとしているために無回答が減少し、何らかの考えを記述しようとして、誤った考え方でも回答者は自分の経験の中から月の満ち欠けの理由を考え出そうとしていることがうかがえる。

平成10年度改訂版学習指導要領における第4学年の「月と星」の授業では、月の満ち欠けの様子を詳しくは学習していない。しかし、正確に位置関係まで記述できている子どもが4年生、5年生、6年生に3~5名ずつ見られた。【しつもん5】で、それらの子どもの情報源の多くは、本やテレビであることを回答した。特に、学習を行ったばかりの4年生は月に興味を持ち、自分で進んで本で調べたりしているようである。

表2 各学年における天文知識の理解度（数字は「はい」と答えた児童の割合）

	3年生 (103名)	4年生 (104名)	5年生 (92名)	6年生 (114名)
①月は地球の周りをまわっている	54名 52.4%	79名 76.0%	59名 64.1%	65名 57.0%
②月は太陽の光があたって光っている	47名 45.6%	80名 76.9%	55名 59.8%	59名 51.8%
③地球は太陽の周りを回っている	39名 37.9%	58名 55.8%	52名 56.5%	89名 78.1%
④月はコマのようにうごいている	21名 20.4%	36名 34.6%	18名 19.6%	24名 21.1%
⑤地球はコマのようにうごいている	48名 46.6%	66名 63.5%	55名 59.8%	75名 65.8%

また、全学年に共通して、月の満ち欠けの情報源として、空を見て知っていると言った子どもが多く見られた。

表2は、【しゅもん2】で子どもに、月や地球に関する天文知識を調査したものである。内容は、地球の自転および公転、月の自転および公転に関することである。質問①および②のように月に関することは、学習後の4年生の正答率が一番高く、5年生と6年生学年が進むにつれて正答率が下がる傾向にあり、①は5年生と6年生では統計的に有意とは言えないが ($Z(5年 \rightarrow 6年) = 1.037; p < 0.05$), 4年生と5,6年生を比較すると統計的に有意な結果を示す ($Z(4年 \rightarrow 5年) = 1.811; p < 0.05$), ($Z(4年 \rightarrow 6年) = 3.532; p < 0.05$)。②についても4年生と5,6年生では統計的に有意である ($Z(4年 \rightarrow 5年) = 2.587; p < 0.05$, $Z(4年 \rightarrow 6年) = 3.861; p < 0.05$)。一方、③のように地球に関することは4年生と5年生では変化がないが ($Z(4年 \rightarrow 5年) = 0.106; p < 0.05$), 4,5年生と比較すると6年生では正答率が上がっている ($Z(4年 \rightarrow 6年) = 3.509; p < 0.05$, $Z(5年 \rightarrow 6年) = 3.308; p < 0.05$)。これは、地球の公転や自転は日常生活において、テレビや本、学校の授業などでも目にすることが多いが、月に関することは、4年生のときに学習する以外、それ以降目にする機会や耳にする機会が少なく、その知識を使うことがあまりないということが分かる。また、月は公転しないと考える子どもや、月は地球の周りを回ることなく、太陽の周りを回っていると考えている子ども、月は太陽の光があたって光っているが、さらに自らも光を出しているという考え方の子どもも見られたこと、

④の回答が4年生の学習後減少している ($Z(4年 \rightarrow 5年) = 2.354; p < 0.05$)。5年生と6年生の間では統計的に有意で差が見られなかった ($Z(5年 \rightarrow 6年) = 0.263; p < 0.05$) ことから、月が常に地球のほうに同じ面を向けて公転しているために月の自転を意識することができない、あるいは自転のイメージを持っていないことが考えられる。⑤の回答も3年生と4年生では統計的に有意であるが ($Z(3年 \rightarrow 4年) = 2.438; p < 0.05$)、4年生以降では統計的な有意差はなく、地球の自転についてのイメージが変化することはないようである。

5. 月の満ち欠けと学習指導

宮脇・南部(1992)が調査した研究では、科学的に適切な⑧の考え方が一番多く見られ、サンプル数が少ないために統計的には言えなかったが、その人数は学年とともに増加傾向にあった。反対に、そのほかの科学的に適切でない考え方をする子どもは学年が上がるにつれ、減少傾向にあるという結果が得られた。平成元年度版学習指導要領では、5年生で月の学習、6年生で星の学習を行っていた。調査した時点では、5年生は月の満ち欠けの学習をまだ行っていなかった。

今回の調査では、⑧の考え方が一番多く見られたのは同じであるが、その人数は月の学習をしたばかりの4年生が一番多く、5年生、6年生では4年生比で減少していることである。減少している分、ほかの科学的に適切でない考え方に分散しているという結果が得られた。

小学校理科、天文分野の内容の移り変わりを調べるために、調査時の平成10年度改訂版学習指導要領と

表2 各学年における天文知識の理解度（数字は「はい」と答えた児童の割合）

学習指導 要領 学年	昭和53年度版	平成元年度版	平成10年度版	平成20年度版
1	<p>○日なたにできる物の陰は、どれも同じ向きになっていること。</p> <p>○物によってできる影の形、濃さなどに違いがあること。</p> <p>○影は日光によってできること。</p>			
2	<p>○日なたと日陰の地面の様子は、暖かさ、乾き方、水の温まり方などに違いがあること。</p> <p>○日陰の位置は太陽の動きによって変わること。</p>			
3		<p>ア 日陰は太陽の光を遮るととき、日陰の位置は太陽の動きによって変わること。</p> <p>イ 地面は太陽によって暖められ、日なたと日陰では地面の暖かさや湿り気に違いがあること。</p>	<p>ア 日陰は太陽の光を遮るととき、日陰の位置は太陽の動きによって変わること。</p> <p>イ 地面は太陽によって暖められ、日なたと日陰では地面の暖かさや湿り気に違いがあること。</p>	<p>ア 日陰は太陽の光を遮るととき、日陰の位置は太陽の動きによって変わること。</p> <p>イ 地面は太陽によって暖められ、日なたと日陰では地面の暖かさや湿り気に違いがあること。</p>
4	<p>ア 太陽及び月は丸い形をしているが、月は、日によって形が変わって見えること。</p> <p>イ 太陽及び月は、絶えず動いていて、東の方から出て南の空を通り、西の方へ入ること。</p>		<p>ア 月は絶えず動いていること。</p> <p>イ 空には、明るさや色の違う星があること。</p> <p>ウ 星の集まりは、1日のうちでも時刻によって、並び方は変わらないが、位置が変わること。</p>	<p>ア 月は日によって形が変わって見え、1日のうちでも時刻によって位置が変わること。</p> <p>イ 空には、明るさや色の違う星があること。</p> <p>ウ 星の集まりは、1日のうちでも時刻によって、並び方は変わらないが、位置が変わること。</p>
5	<p>ア 星には、明るさや色の違うものがあること。</p> <p>イ 星の集まりは、時間がたつと位置及び向きが変わるが、並び方は変わらないこと。</p> <p>ウ 太陽の通り道の近くに見える星は、太陽と似た動きをすること。</p> <p>エ 北極星の周りの星は、北極星を中心にして回っているように見えること。</p> <p>オ 星は、同じ方向に動き、1日たつとほぼ元の位置に見えること。</p>	<p>ア 太陽や月は絶えず動いていて、東の方から出て南の空を通り西の方へ入ること。</p> <p>イ 太陽や月は球形をしているが、月は日によって形が変わって見え、月の輝いている側に太陽があること。</p> <p>ウ 月の表面の様子には太陽と違いがあること。</p>		
6	<p>ア 気温は、日光によって暖められる地面の温度に関係があり、それらの変化の様子は似ていること。</p> <p>イ 季節によって気温が違うのは、太陽の高さや昼間の時間の長さに関係があること。</p>	<p>ア 星には、明るさや色の違うものがあること。</p> <p>イ 星の集まりは、時間がたつと位置や向きが変わるが、並び方は変わらないこと。</p> <p>ウ 南天の星の動きは太陽の動きに似ていること。また、北天の星は北極星を中心にして回っているように見えること。</p> <p>エ 全天の星は、同じ方向に動き、1日たつとほぼ元の位置に見えること。</p>		<p>ア 月の輝いている側に太陽があること。また、月の形の見え方は、太陽と月の位置関係によって変わること。</p> <p>イ 月の表面の様子は、太陽と違いがあること。</p>

平成元年、昭和53年改訂の学習指導要領との天文分野の内容の比較を平成20年度改訂の指導要領とともに表3に示す。学習指導要領の天体分野における内容は平成元年度と平成10年度の2回の改訂によってかなり削減されている。宮脇・南部(1992)の調査時の学習指導要領から今回の調査時の学習指導要領において、月の満ち欠けの内容である、「太陽や月は球形をしているが、月は日によって形が変わって見え、月の輝いている側に太陽があること(5学年のイ。)」という内容が削除され、「月は絶えず動いていること(4学年ア。)」となっている。平成20年度改訂の学習指導要領では、第4学年の「月の形と動き」に関連して第6学年で「月の形と、太陽と月の位置関係」などが加わり、連続性が見られるので、子どもの観念も宮脇・南部(1992)と同様な結果が期待できるかもしれない。

学習内容の連続性については、柳本・大高(2008)が指摘しているように「光とかげ」についての子どもの認識が月の満ち欠けに影響していることを考慮すると、当然のことながらカリキュラムの連続性が天文領域だけでないことを示している。つまり、天文分野の単元の内容のみにとられずに他の単元との関連も十分に考慮する必要がある。これまでの理科教育学における概念構造の研究結果から、知識の有機的なつながりが必要であり、そのような学習指導が望まれることが議論されている。月の満ち欠けについても「季節の変化」、「昼夜のサイクル」で作成された子どもの概念構造(宮脇・池上・大井, 1994; Vosniadou & Brewer, 1994)が月の満ち欠けについての問題についての解決策を与えてくれるかもしれない。また、誤概念についてもSharp and Kuerbis(2006)は9~11歳の子どもたちが知識ベースではその他への応用が利かないので、簡単に概念を変更できない場合もあるが、さまざまな手だてで時間をかけて概念転換させることで可能であることを示している。また、子どもの持つメンタルモデルとの整合性がない状態をつくりながら子どもからの応答を引き出し、子どもが本質的な理解に至るような応答を引き出すことについての重要性が述べられている(Vosniadou et al., 2004)。このようにカリキュラムの連続性で天文教育の理解が促進されるだけではなく、指導法についての具体的な検討も必要になることになる。

さらに、指導する教師の問題も多く提示されている。松森(2005)は、子どもたちの認識形成を支援する立場にある教員養成系学部在籍する学生を対象に、

季節変化に対する認識の調査を行った。その結果、季節変化に対する学生の認識が小学校での授業を構成するために十分な知識を保持していないことが判明した。また、伊藤・千田・田原(2007)に示されているように、最近の教師志望を含む学生の天文分野についての知識は、「月の形」についての知識をはじめとして全般的に正解率が下がり、月の満ち欠けの仕組みを正しく説明できた学生は約10%に過ぎないことが報告されている。このように大学生の学力の低下が叫ばれて久しいが、その原因は学習指導要領だけの問題だけではなく、学習しても学習以前の観念に戻ってしまい、本質的な理解がされていないということのためであると推測される。

6. まとめ

宮脇・南部(1992)が行った調査を基に、月の満ち欠けに対する調査を行った。結果は、先行研究と比較すると、若干科学的に適切な考えを持つ子どもは少なく、新たに、学習を終えたばかりの学年は科学的に適切な考えを持っている子どもが多数いるが、それは学年が進むと科学的に適切な考え方の数が減少していくことが明らかになった。

平成10年度の指導要領改訂により、天文分野の月の内容で削減されたことは、「太陽や月は球形をしているが、月は日によって形が変わって見え、月の輝いている側に太陽があること」、「月の表面の様子には太陽と違いがあること」の二つである。平成10年度改訂版学習指導要領では4年生でしか天体について学習する機会がなく、5年生、6年生は授業で全く天体について扱わない。5年生、6年生になるにつれ、忘れて、他の日常生活での体験などから、考えが混同し、科学的に適切でない観念に戻ったり、再構成したりするようである。

指導要領改訂前と改訂後で、比較をすると、平成10年度改訂版学習指導要領では、小学校では「月は絶えず動いていること」、「空には、明るさや色の違う星があること」、「星の集まりは、1日のうちでも時刻によって、並び方は変わらないが、位置が変わること」しか学習しない。月の形は、二つ取り上げるだけである。中学校でも「月の満ち欠け」は扱わず、発展的な内容で少し取り上げられている程度である。高校でも、現在地学を履修することはほとんど皆無であり、天文の月の分野を学習することは小学校以降ないかもしれない。そのため、大学生や大人は5年生や6年生

資料1. 調査用紙

つき
月のアンケート

- ◎ あなたが知っていることを教えてください ※テストではありません。
(男・女) 年 組 名前

【しつもん1】

- ① あなたが空を見上げると、月が見えました。あなたが見た月は、どんな形をしていますか？
あなたの知っている月の形を全部下の“□”の中に入れてください。

(□は省略)

- ② 月はいくつあると思いますか？

(回答欄は省略)

【しつもん2】 下の(1)～(8)の文を見て、あなたが正しいと思うものには○を、ちがうと思うものには×を、わからないときには△をつけてください。

- (1) 月は、地球のまわりをまわっていると思う。……………()
(2) 地球は、月のまわりをまわっていると思う。……………()
(3) 月は、太陽の光があたって光っていると思う。……………()
(4) 月は、自ら光を出して光っていると思う。……………()
(5) 太陽は、地球のまわりをまわっていると思う。……………()
(6) 地球は、太陽のまわりをまわっていると思う。……………()
(7) 月は、コマのようにうごいていると思う。……………()
(8) 地球は、コマのようにうごいていると思う。……………()

【しつもん3】

月の形はかわると思いますか？
(かわる ・ かわらない)

※ 「かわる」と思う人は☆マークの3ページへ、「かわらない」と思う人は★マークの5ページのしつもんにこたえてください。(省略)

☆ 『かわる』と思う人だけ、つぎのしつもんに答えてください。

【しつもん4】 月の形がかわっていくのはどうしてだと思いますか？あなたの考えをできるだけ詳しく書いてください。そのあとに、□の中に絵をかいてあなたの考えを説明してください。

(□は省略)

★ 上にかいたあなたの考えはどのくらい自信がありますか？下の5つの顔からいちばん近いと思う顔をえらんで○をつけてください。



とても
自信がある
()



すこし
自信がある
()



わからない
()



あまり
自信がない
()



まったく
自信がない
()

【しつもん5】

月の形がかわっていくことを学校で学習しましたか？学校で学習していないならば、どこで月のかたちが、かわっていくことを知りましたか？(1)～(7)に○をつけて下さい。(7)をえらんだ人は、どこで知ったのか□の中に入れてください。

- (1) 学校で勉強した。……………() (5) 家庭教師から習った。……………()
(2) じゅくで勉強した。……………() (6) 親から習った。……………()
(3) 本を読んで知った。……………() (7) そのほか……………
(4) テレビで見たことがある。……………()

これでしつもんはおわりです。ありがとうございました。

と同じような結果が得られると予測される。このような人が教師になる場合には、十分な知識がないために、教科内容についての本質的な理解をすることなく授業を行っているために単なる記憶や知識伝達のみで不完全な授業になるかもしれない。このような授業では子どもは不十分な学習をすることになる。学習に関わる教師が月の満ち欠けについての正しい知識を有することはもちろんであるが、子どもたちの観念を理解して、適切な指導法を用いた指導ができるようになるべきである。

平成20年度改訂の学習指導要領では平成元年度改訂の学習指導要領程度の内容が復活するようであるが、内容だけが戻っても同様の問題を抱えるだろう。月の満ち欠けの問題はこの内容だけではなく、天文教育、理科教育の多くの問題を包含するのではないかと考える。

謝辞 本研究に際し、調査に理解を示し、快く協力していただいた酒井道行校長、村橋正実教諭をはじめとした各学年の担任に感謝いたします。

引用文献

- Abell, S. (2001): "That's what scientists have to do": preservice elementary teachers' conceptions of the nature of science during a moon investigation. *International Journal of Science Education*, **23**, 1095-1109.
- Adams, J. P. and Slater, T. F. (2000): Astronomy in the National Science Education Standards. *Journal of Geoscience Education*, **48**, 39-46.
- Atwood, V. A. and Atwood, R. K. (1995): Preservice elementary teachers' conceptions of what causes day and night. *School Science and Mathematics*, **95**, 290-294.
- Barnett, M. and Morran, J. (2002): Addressing children's alternative frameworks of the moon's phases and eclipses. *International Journal of Science Education*, **24**, 859-879.
- Baxter, J. (1989): Children's understanding of familiar astronomical events. *International Journal of Science Education*, **11**, 502-513.
- Baxter, J. (1991): A constructivist approach to astronomy in the National Curriculum. *Physics Education*, **26**, 38-45.
- Baxter, J. (1996): The influences of the National Curriculum in Children's Misconceptions about Astronomy and the Use of These Misconceptions in the Development of Interactive Teaching Materials. In Gougenheim, L., McNally, D. and Percy, L. R. (ed.), *New Trends in Astronomy Teaching*, Cambridge University Press, 139-145.
- Bell, R. L. and Trundle, K. C. (2008): The use of a computer simulation to promote scientific conceptions of moon phases. *Journal of Research in Science Teaching*, **45**, 159-177.
- Durant, J. R., Evans, G. A. and Thomas, G. P. (1989): The public understanding of science. *Nature*, **340**, 11-14.
- 伊東明彦・千田 恵・田原博人 (2007): 大学生の天文分野に関する知識の変化—1976年と2006年の調査結果の比較—. 宇都宮大学教育学部教育実践総合センター紀要, **30**, 473-482.
- 松森靖夫 (2005): 我が国における天文教育の危機的状況—季節変化に対する小学校教員志望学生の認識状態とその変容に基づいて—. *地学教育*, **58**, 113-132.
- 宮脇亮介・南部省吾 (1992): 月の満ち欠けについての子供の観念. *地学教育*, **45**, 219-226.
- 宮脇亮介・池上和久・大井善幸 (1994): 季節についての子どもの観念. *地学教育*, **47**, 185-198.
- Piaget, J. (1926): Etudes sur la logique de l'enfants II: La representation du monde chez l'enfant. (臨床児童心理学 II: 児童の世界観, 大伴 茂訳, 同文書院, 1954, pp. 483-493)
- Sharp, J. G. and Kuerbis, P. (2006): Children's idea about the solar system and the chaos in learning science. *Science Education*, **90**, 124-147.
- Shen, J. and Confrey, J. (2007): From conceptual change to transformative modeling: A case study of an elementary teacher in learning astronomy. *Science Education*, **91**, 948-966.
- Stahly, L. L., Krockover, G. H. and Shepardon, D. P. (1999): Third grade students' ideas about lunar phases. *Journal of Research in Science Teaching*, **36**, 159-177.
- Trumper, R. (2000): University students' conceptions of basic astronomy concepts. *Physics Education*, **35**, 9-15.
- Trumper, R. (2001a): A cross-college age study of science and nonscience students' conceptions of basic astronomy concepts in preservice training for high-school teachers. *Journal of Science Education and Technology*, **10**, 189-195.
- Trumper, R. (2001b): A cross-age study of senior high school students' conceptions of basic astronomy. *Research in Science and Technological Education*, **19**, 97-109.
- Trumper, R. (2001c): A cross-age study of junior high school students' conceptions of basic astronomy concepts. *International Journal of Science Education*, **23**, 1111-1123.
- Trumper, R. (2006): Teaching future teachers basic astronomy concept—seasonal change—At a time of reform in science education. *Journal of Research Sci-*

- ence Teaching*, **43**, 879–906.
- Trundle, K. C., Atwood, R. K. and Christopher, J. E. (2007): Fourth-grade elementary students' conceptions of standards-based lunar concepts. *International Journal of Science Education*, **29**, 595–616.
- Vosniadou, S. and Brewer, W. F. (1994): Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, **18**, 123–183.
- Vosniadou, S., Skopeliti, I. and Ikospentaki, K. (2004): Modes of knowing and ways of reasoning in elementary astronomy. *Cognitive Development*, **19**, 203–222.
- 柳本高秀, 大高 泉 (2008): 「月の満ち欠け」の理解と2種類のかげ「影」と陰」の理解との関係—小学4年生における実態—. *理科教育学研究*, **49**, 81–89.

宮脇亮介・吉村未希: 月の満ち欠けについての子どもの観念—その後の展開 地学教育 62 巻 4 号, 115–126, 2009

〔キーワード〕 小学校, 天文教育, 子どもたちの科学, 月の満ち欠け

〔要旨〕 宮脇・南部 (1992) が行った調査を基に, 月の満ち欠けに対する調査を行った。子どもたちは科学的に適切なモデルとは別に 8 種類の異なった観念を持っている。関連の学習を終えたばかりの学年では科学的に適切な考え方を持っている子どもが多数いるが, 学年を追うごとにその数が減少していくことが明らかになった。これらの結果は学習指導要領の連続性も関連があるが, 学習理論を考慮した指導法の導入も関連するのかもしれない。教師は断片的な知識の修得だけではなく, 教師自身が学習内容について本質的理解をして指導にあたる必要である。

Ryosuke MIYAWAKI and Miki YOSHIMURA: Children's Notions on Phases of the Moon: Subsequent Development: Subsequent Development. *Educ. Earth Sci.*, **62**(4), 115–126, 2009

赤外放射温度計を用いた 雲の輝度温度測定教材開発

Development of Teaching Material on Brightness
Temperature Measurement of Clouds

川村 教一*

Norihito KAWAMURA

Abstract: To improve high school students' understanding about the role of water vapor in terms of infrared atmospheric radiation, the author developed teaching material about the brightness temperature measurement of clouds using an infrared thermometer. Results show that the brightness temperatures tend to lower values as the altitude of clouds increases. Distinctive difference of the brightness temperatures are observed between nimbostratus and clear sky, especially during winter season. Finally, an example teaching plan on the lesson of brightness temperature measurements of clouds for atmospheric radiation study is presented and the effect of the teaching material on high school students' learning ability is discussed.

Key words: atmospheric radiation, brightness temperature, cloud, infrared thermometer, high school

I. はじめに

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の初期の報告 (例えば, Houghton et al., 1995) で, 地球温暖化の原因が温室効果ガスの増加にあることが指摘され, 最新の第4次報告においてもこのことがあらためて確認された (<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/ipcc/ar4/index.html>). このように地球環境の変動が話題になる昨今, 地学を選択している高校生のうち, 「地学の勉強は, 自然や環境の保護のために必要だ」と考えている生徒がそうは考えない生徒よりもはるかに多い (国立教育政策研究所教育課程研究センター, 2004). このような社会的な背景のもと, 現行教育課程の高校地学はか理科の地学領域の学習を通じて地球環境を理解することは, 今後ますます重要となる。

さて, 高校地学 I の学習項目「大気の大気熱収支と大気の運動」には, 地球の大気熱収支が含まれる (文部省, 1999b). しかしながら, 平成 17 年度実施の国立教育政策研究所の教育課程実施状況調査によると, この学習項目の学習は, 生徒からの回答では「よく分からなかった」が 44.2% で, 「よく分かった」の 22.5% の約 2 倍である。また, 「きらいだった」が 38.7% で, 「好きだった」の 22.1% よりも多いとの調査結果がある (国立教育政策研究所教育課程研究センター, 2007). この傾向は, 旧課程で学んだ生徒対象の平成 14 年度実施調査でもほぼ同じであった (国立教育政策研究所教育課程研究センター, 2004). このことから, 本項目について学習の成果が上がっているとは言い難く, 指導について改善の余地が大きい学習項目である。

そこで筆者は, 「大気の大気熱収支と大気の運動」の学習に関し, 日常経験では生徒が気づきにくい赤外放射の

* 香川県立丸亀高等学校 2009年4月15日受付 2009年6月5日受理

うち、大気放射について雲の下向き放射の教材化を図り、本項目の学習指導を改善しようと考えた。本報ではそのための基礎研究として取り組んだ、赤外放射温度計（以下、放射温度計とする）を用いて行う雲の温度の測定結果と実践例について報告する。なお、放射温度計による測定では、対象をほぼ黒体と見なして測定したので、以下、これを輝度温度とする。

II. 大気の熱収支学習についての課題

地表付近における放射収支の変化を私たちが経験することがある。例えば、会田(1982)によると、「冬の晴夜の厳しい冷え込みと曇天時のほのかなゆるみ」は、雲が地表からの放射を遮り下向きの放射を放っていることで、雲層の下の大気の冷却を抑えていることで説明される。中学校理科第2分野の教科書では、この現象を掲載しているものがあるが、中学校では放射については扱うこととなっていない(文部省, 1999a)。このため、この現象を「熱の放出」で解説している(例えば、三浦ほか, 2007)。

高校地学Iでは大気放射について学習指導要領解説で触れられていないが(文部省, 1999b)、高校地学I教科書では地球をめぐる年間エネルギー収支の図(例えば、Ramanathan, 1987)において、大気が地表に向けて赤外線放射の様子を示されており(松田ほか, 2006; 小川ほか, 2007など)、赤外放射が重要な役割を果たしていることを学ばせている。地球の熱収支について理解を深めさせるために、年平均太陽放射・長波放射の緯度分布グラフ(Ellis et al., 1978)を実習教材化した例(広島県高等学校教育研究会理科部会地学, 1987; 大阪府高等学校生物教育研究会・大阪府高等学校地学教育研究会, 2004など)がある。大気の上向き放射は、赤外線雲頂温度を測定する気象衛星による赤外画像として高校地学教科書などでよく知られている。いずれも概念の理解や、数値・画像データをもとにした教材であり、生徒が観測を直接体験できるものではなかった。一方、温室効果気体の特徴を調べる教材として、二酸化炭素の性質を確める実験を教材化した例(森, 2003; 赤田, 2005)がある。ところが大気放射を屋外で測定する教材は見あたらない。これらのことから、大気放射の理解を生徒にいっそう深めさせるため、大気放射を測定する教材開発が課題であると考えられる。

III. 研究のねらい

大気の下向き放射は、主に大気中の雲量、地表付近における大気温度・水蒸気の影響によって決まる(朝倉, 1986; 橋本, 2000)、あるいは、上層の気温・湿度・雲量などによって決まる。また、晴天日はこの日変化が非常に小さい。なぜならば、水蒸気量には顕著な日変化がなく、また上層の気温は日変化しないため、昼と夜とでは顕著な差がないためである(塚本, 1998, 2001a)。このように、大気の下向き放射量を決める要素として何が重要かは研究者により多少異なる。

ところで、晴れている日に、積雲が天頂を通過するときに放射温度計でその方向を測定していると、積雲が天頂にあるときには輝度温度が高く、晴れ間では輝度温度が低い。雲が次々と通り過ぎることにより、輝度温度は高低の変化を繰り返す。このようなとき、雲が赤外線を出していることが良くわかる。

雲の赤外放射は、気球観測(Cox, 1971, 1976)、航空機観測(Stephens et al., 1978; Griffith et al., 1980)により実証的に研究されてきた。一方、王ほか(1993)は、大気の下向き放射を測定するため国産放射温度計の特性について研究し、曇った日の場合、大気の下向き放射の輝度温度は雲の温度と近似できると述べたが、雲の詳細については触れなかった。最近では、内藤ほか(2001)は、赤外放射温度計を用いて雲底温度を測定する観測を提案したが、結果は示されなかった。また、伊藤ほか(2004)は、放射温度の観測結果を水蒸気量をもとに補正する方法を工夫するなど、赤外放射温度計を気象研究に導入する試みが始まっている。

では、雲の発生高度が異なると観測される輝度温度にどのような違いが出るのか。また、大気の下向き放射の教材として適切な雲は何だろうか。

本研究のねらいは、学校でも入手可能な普及型のポータブル放射温度計を用いて雲の下向き放射を測定し、雲形による輝度温度の違いが明瞭に測定できる条件を明らかにすること、また教育実践を行い、大気中の水あるいは水蒸気の赤外放射における役割を理解させる教材として、学習で用いたときの成果と課題を検討することである。

IV. 天頂方向の輝度温度の測定

1. 観測方法

1) 使用した機器の特徴

放射温度計とは、赤外線を熱電対などで受光し、入射した赤外線量に応じて発生した熱起電力を、赤外線を放射した物体の温度に換算する装置である(塚本, 2001b; 堀場製作所, 2005)。放射温度計には、本体温度を一定にしないと精度良く測定できないものがある(王ほか, 1993)。放射温度計を保管場所から使用場所へ移動して温度が変化したときの「温度ドリフト」が比較的小さい機器を選ぶと測定は短時間で済む(堀場製作所, 2005)。この点、本研究では数秒以内で測定値が安定する機器を用いた。使用した放射温度計の定格は次のとおりである。

機種名: 放射温度計 IT-540N (株)堀場製作所製

測定視野: 500 mm 離れた面において直径 40 mm の範囲 (視野角約 7°)

測定波長: 8~16 μm

測定温度範囲: -50~500°C, 表示分解能 1°C

地表で天空からの放射を測定するとき、本温度計の測定波長域のうち 11 μm より長波長側では水蒸気による吸収率が徐々に増加し、時間変化はあるものの 15 μm では 50%程度、二酸化炭素による吸収率も 13 μm から長波長側では増加し、14 μm 程度で 100%となる(図 1)。こうして大気による吸収率は 11 μm から増加し 14 μm 程度では 100%になる(Goody and Robinson, 1951; Goody, 1964)。気象衛星「ひまわり 5

号」では、水蒸気の影響を避ける赤外センサーのチャンネルとして、10.3~11.3 μm , 11.5~12.5 μm を設定している(井上, 2006)。これに対し本研究で用いた放射温度計の測定波長範囲には、水蒸気や二酸化炭素による吸収波長域を含んでいる。二酸化炭素の混合比は地表~80 km まで一定である(例えば、山本・青木, 1976)。一方、水蒸気による吸収率は熱帯では 50%(Houghton, 1977)になるなど、水蒸気の存在量の違いが測定値の変化に影響を及ぼす可能性がある。この影響を減減するには、観測波長域が 14 μm 以下のほうが望ましいが、ポータブル放射温度計では機種に限られる。

2) 測定場所の環境

測定は香川県丸亀市で行った。図 2 に位置を示したように丸亀市は瀬戸内海南岸沿いの低地に位置する。深さが 300 m 以上ある深い盆地内では、冷気湖が形成されると夜間の大気放射量は小さくなる(近藤, 1987)。本観測地はこのような影響を受けない。

王ほか(1993)によると、非接触型の温度計では周囲の建物からの長波放射が測定値に影響する。このことをもとに、測定には視界が広く、近くに建物がない場所を選んだ。また、暖候期には放射温度計自体が高温にならないよう測定待機中は屋内に保管した。

3) 放射率の設定

放射率とは、黒体を基準とした理想的な全放射エネルギー(W)に対する、物体が放射するエネルギー(W')との比率(W'/W)をいう(例えば、堀場製作所, 2005)。水蒸気の放射率は不明であるが、水(液体)の

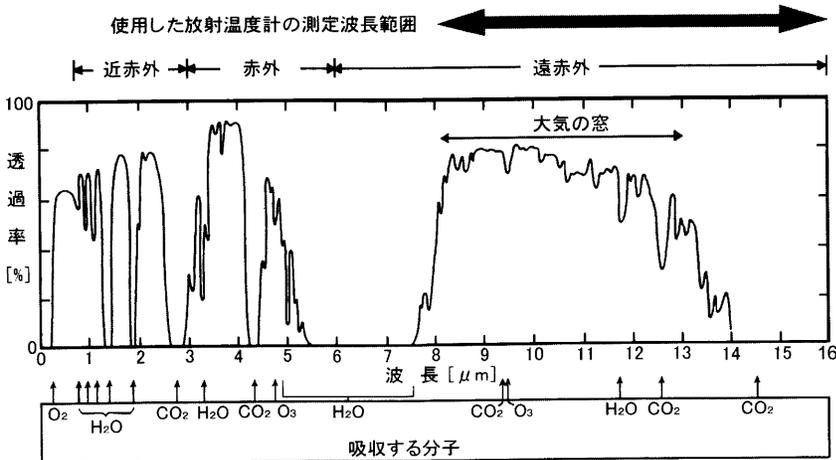


図 1 地表に到達する太陽光の大気による吸収スペクトル(堀場製作所, 2005 を Fleagle and Businger, 1963 および Goody, 1964 に基づき修正, 加筆)

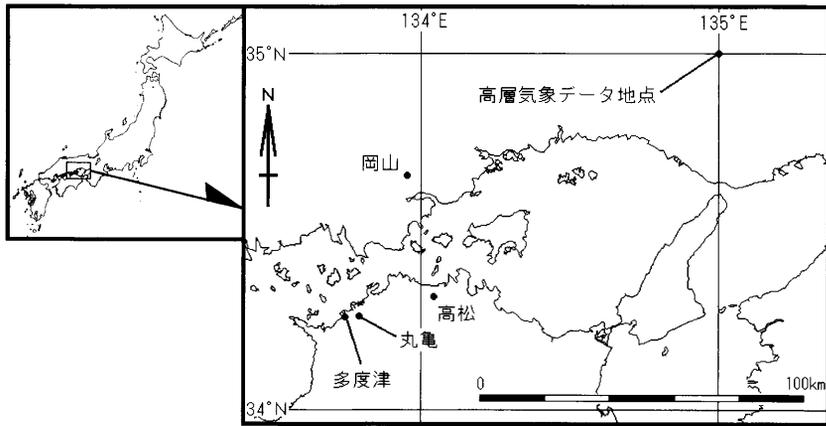


図2 測定地点（丸亀）および AMeDAS データ（多度津）、高層気象データの位置図

放射率は 0.92～0.97 である（例えば、浜田，2000）。雲の放射率は中緯度の 350～950 hPa で 0.45～0.64 の間にある（Cox，1976）。また Houghton（1977）は、巻雲を除くすべての雲は黒体と仮定しても良いと述べた。大気の窓領域（8～13 μm ，Houghton，1977）において雲粒モデルに基づき下～中層雲の放射率を計算すると、雲水総量が 30 g/m^2 以上で黒体と見なすことができ（Stephens，1978a，b）、実測例でもこれに近い（Stephens et al.，1978）。一方、会田（1982）は、厚さ 50 m 以上の下層雲を近似的に黒体と見なした。これらのことから、下～中層雲の厚さにより放射率が変化すると考えられる。観測では放射温度計の放射率設定を 0.95 にした。巻雲の放射率はかなり幅があり、0.05 ないし 0.6 である（Cox，1971）。なお、放射温度計の放射率設定が実態と異なり、放射温度計の本体温度が物体からの温度より高い場合、放射温度計の指示温度が真の値より低くなる（王ほか，1993）。例えば放射率を 1.00 から 0.95 に変えた場合、1°C 程度低く示される（真木・黒瀬，1987）。

4) 測定・観察

天頂方向の輝度温度（以下、天頂の輝度温度と呼ぶ）の測定を行うとともに、雲の有無、雲形を目視により観察した。

輝度温度の測定は、雲が測定視野（約 7°）以上に広がっているときに行い、「視野欠け」が起こらないようにした。上・中層雲のうち巻雲、巻積雲、高積雲は、雲間から「青空」が見られるときも測定したが、測定視野内の雲量がおよそ 9 以上のときに限定した。放射温度計は弱雨中でも測定に影響がないといわれている

（真木・黒瀬，1987）。しかし、霧で視界が遮られるような場合は測定誤差が生じる（堀場製作所，2005）。そこで念のために降雨がないときに測定した。層雲はそもそも雲底の赤外放射を図ることは不可能で、測定対象外とした。また、複数の雲形が天頂付近に観察されるときは測定しなかった。図 3 に、天頂方向の輝度温度測定の方法を示す。

5) その他気象観測データ

地上気象観測データとして、観測地に最も近い香川県多度津町の気象庁 AMeDAS データ（気温、相対湿度）を入手した。また、高層気象データは、気象庁の気候データ同化システム（JCDAS）による循環場データを Web サイト（http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/db/diag/db_hist_txt.html）から、香川県に最も近い地点（北緯 35°，東経 135°）の 925，500，250 hPa での月平均温度データを入手した。これらの気圧は、米国標準大気（United States Committee on Extension to the Standard Atmosphere，1976）では高度 0.8，5.6，10 km 程度に相当する。

2. 結果

観測期間：2006 年 6 月から 2007 年 5 月の間に測定した。夜間は、快晴、乱層雲出現時などを除き、雲形の観測が困難であることが多く、十分な観測データは得られなかった。なお、霧、もや、黄砂が観察されたときのデータは分析対象から除いた。分析したのは、123 日、580 回測定分のデータである。測定回数のうち快晴もしくは晴天時の晴れ間の占める割合は 60.5%、以下同様に上層雲は 13.3%、中層雲は 13.4%、下層雲（乱層雲を含む）は 12.8% である。積

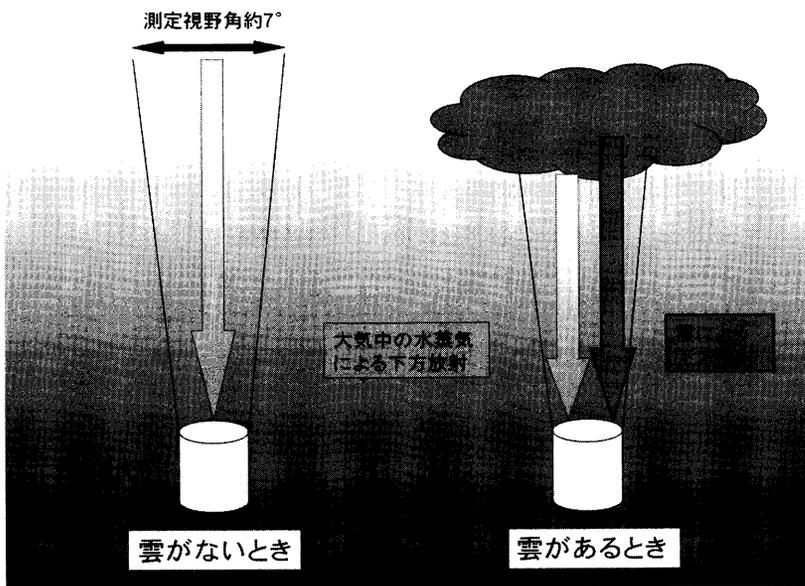


図3 天頂方向の輝度温度測定のご概念
下向き矢印は赤外線の下方向放射を示す。

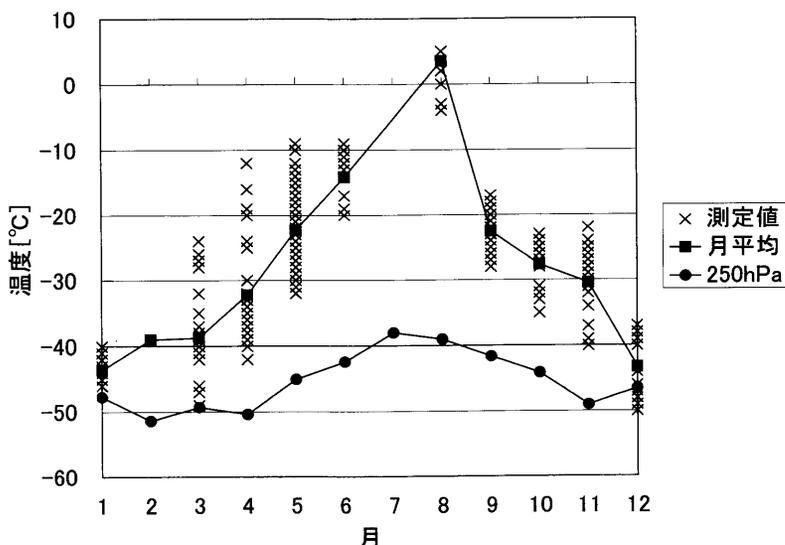


図4 快晴・晴天時の天頂方向の輝度温度および250hPaでの大気温度の年変化
2006年6月～2007年5月の観測。

乱雲は測定する機会がなかった。

快晴時などの天頂輝度温度の月平均の年変化は、 $-50 \sim 5^\circ\text{C}$ の範囲におおよそ収まる(図4)。

次に、雲形と天頂の輝度温度の関係を図5に示す。輝度温度は下層雲(図5中の雲形番号6～8)が -10

$\sim 20^\circ\text{C}$ の範囲に、中層雲(雲形番号4, 5)は $-20 \sim 10^\circ\text{C}$ の範囲に、上層雲(雲形番号1～3)は $-45 \sim -5^\circ\text{C}$ の範囲におおよそ収まる。図6には、一部の雲形の輝度温度と上空の大気温度の年変化を示す。

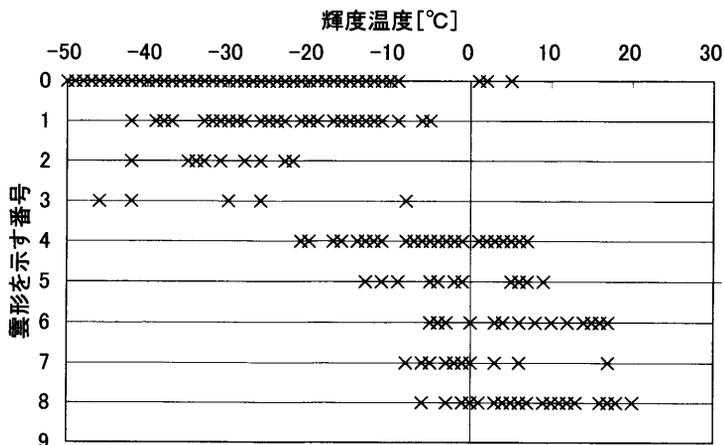


図5 雲形と天頂方向の輝度温度の分布
 雲形番号は次のとおり、上層雲（番号1: 巻雲, 2: 巻積雲, 3: 巻層雲）、中層雲（4: 高層雲, 5: 高積雲）、下層雲（6: 層積雲, 7: 積雲, 8: 乱層雲）、その他（9: 積乱雲）。2006年6月～2007年5月の観測。

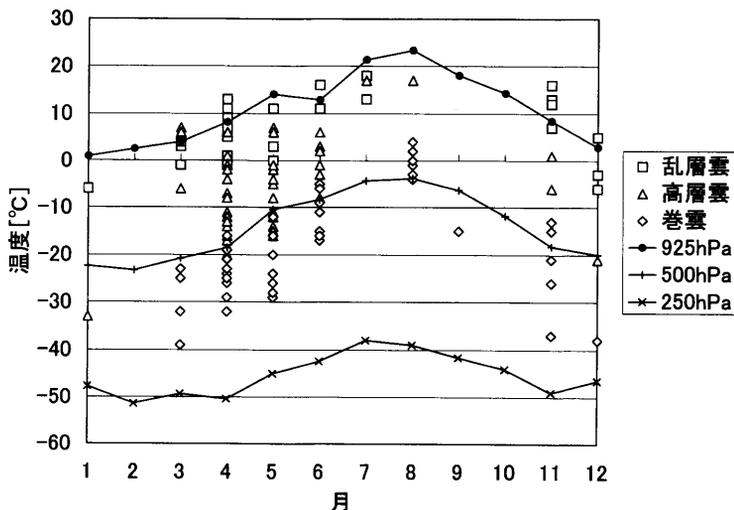


図6 巻雲・高層雲・乱層雲出現時の天頂方向の輝度温度と高層大気温度（月平均）の年変化
 高層大気温度は気象庁の気候データ同化システム（JCDAS）による循環場データから北緯35°，東経135°地点のデータを用いた。2006年6月～2007年5月の観測。

3. 考察

まず、快晴時などの天頂輝度温度の年変化について概観する。

輝度温度は-50～5℃と60℃近くの幅がある。1月、12月の輝度温度は250 hPaの大気の月平均温度に近い。水蒸気は黒体ではないので、見かけの輝度温度として測定しているのは250 hPaよりも温度の高い、より下層の大気である。7月～8月は輝度温度が0℃以上であることから、さらに下層の大気による下向き放射を測定していると考えられる。

次に、下層雲～上層雲出現時の天頂輝度温度について、図6をもとに考察する。

下層雲の出現高度は地面付近～2 km 程度である（気象庁，1989）。下層雲のうち、乱層雲の出現時の輝度温度と925 hPaの月平均温度は年間を通じて類似する。先に引用したように下層雲の放射率は黒体に近いと見なせるので、輝度温度は雲底の温度をおおむね示していると考えられる。

中層雲の出現高度は2～7 km 程度である（気象庁，1989）。中層雲の分布高度の中間に相当する500 hPa

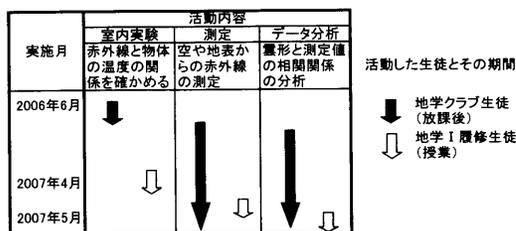


図 7 本教材を用いた教育実践の流れ

での温度が $-22 \sim -5^{\circ}\text{C}$ であり、高層雲出現時の輝度温度はこれに調和的に $-20 \sim 8^{\circ}\text{C}$ の間にあるが、系統的に輝度温度のほうが高い。雲の発生が 500 hPa より低い高度であった場合もあるだろうが、雲底と地表間の大気による下向き放射の影響が加わっていると考えられる。

巻雲の放射率の平均値は、中緯度で 150 hPa で 0.05 程度、450 ~ 550 hPa で 0.6 程度である (Cox, 1971)。また、Griffith et al. (1980) が報告した中緯度における巻雲の放射率の実測値から考えると、厚さが 1 km 程度以上にならなければ黒体とは見なせないため、巻雲は黒体に近似できない (会田, 1982)。このことから、巻雲の輝度温度は大気温度よりも低く観測されるはずである。

上層雲の出現高度は 5 ~ 13 km 程度である (気象庁, 1989)。この分布高度の中間に相当する 250 hPa の温度が $-50 \sim -40^{\circ}\text{C}$ の範囲であるのに対し、巻雲出現時の輝度温度は系統的に高い。寒候期は大気温度と巻雲出現時の輝度温度の値は近いが、暖候期では輝度温度が 0°C 前後にもなることがある。年間を通じて、巻雲出現時の天頂輝度温度には、雲底と地表間の大気による下向き放射の大きな影響が考えられ、特に暖候期には著しい。

V. 教育実践

1. 学習の概要

前章で述べたデータ取得を行いつつ、次のように教材化し、教育実践を行った。図 7 に教育実践の流れを示す。

学習の主題：雲が放射する赤外線—高校地学 I もしくは地学クラブの学習として—

学習のねらい：赤外線の特徴を理解させ、放射温度計を用いて、雲形と天頂方向の輝度温度との関係を探究的に調べさせることにより、大気の下向き放射のうち、雲による影響を見いださせる。

学習の目的：雲の種類と雲の方向の輝度温度にどのような関係があるかを確かめるため、観察された雲を分布高度別、形態別に分類し、輝度温度と雲形の関係を分析する。

学習形態：地学クラブの生徒 7 名が、観測、データ分析、考察を行い、後で述べるように地学 I 履修者の一部も授業時に測定してデータを取得した。

学習項目の構成：

室内実験：赤外線と物体の温度の関係を実験で確かめる。

測定：空や地表から赤外線が出ていることを測定して確かめる。

データ分析：雲形と天頂方向の輝度温度の関係をデータ分析で明らかにする。

2. 学習の内容

(1) 室内実験

赤外線の特徴に気づかせ、放射温度計の機能を理解させるため、物体の表面温度が異なると赤外線の輝度が異なること確かめさせた。実験として、温度の異なる缶入り飲料 2 本 (60°C 程度と 5°C 程度) のそれぞれの表面を放射温度計で測定させ、次に缶入り飲料を触らせて輝度温度の違いを生徒に知らせた。次いで赤外線の存在を確かめさせるため、高温物体に手を近づかせて、赤外線により手の表面が熱を感じることを実感させた。この際、サーミスタ温度を用いて、センサ部分に赤外線が当たらないようにして高温物体周辺の空気の温度を測定し、空気が暖かいわけではないことを確かめさせておくことが必要である。

(2) 測定

期間：2006 年 6 月 ~ 2007 年 5 月の間、地学クラブの生徒のうち 3 名が、2007 年 4 月 ~ 5 月には地学 I 履修生徒の一部が測定し、これらを用いた授業実践は 6 月に行った。

まず地表の赤外放射を測定体験させた。その後、先の基礎研究同様、天頂方向の輝度温度を測定した。天頂方向に存在する雲の種類を目測によって、気象庁 (1989) を参考に十種雲形を判別させるが、複数の雲形が断片的に観察されるなどして生徒が判別に困る場合には、解説する必要があった。参考データとして温度計により地上の気温測定をさせた。雨天時などを除き生徒が可能なときに測定記録を取らせ、継続的にデータを取得させておいた。

なお輝度温度は、上層雲のような場合、放射率が設定値 (本研究では 0.95) と異なるので誤差があること

を知らせるが、その詳細までは触れない。

(3) データ分析

1) 快晴時の輝度温度の1日の変化

データ分析にあたり、塚本(1998)で示された大気下向き放射の日変化の小ささをまず確認させた。

例えば、2006年10月15日は日中快晴であった。

丸亀近郊の多度津での AMeDAS データによると、日中を通して地表付近の気温は 17~24℃と変化しているのに、天頂方向の輝度温度の変化は -27~-23℃と地上気温に比べて変化は小さい(図8)。このようにして、輝度温度に対する地表付近の大気の影響は小さいことをグラフから読み取らせた。

2) 輝度温度と雲形の関係

測定結果を図5と同様にまとめ、下層雲出現時のほうが、快晴時あるいは上層雲、中層雲出現時よりも輝度温度が高いことを見いださせた。

VI. 成 果

1. 雲形と輝度温度の関係

本研究の主な成果として、雲の発生高度が低いと天頂の輝度温度が系統的に高い傾向が見いだされた。とりわけ乱層雲の輝度温度は、直近の時期の快晴時との違いが明確である。

図4に示すように、天頂方向の輝度温度には年変化があり、特に寒候期は快晴時の大気輝度温度が低く、上~下層雲出現時の輝度温度の相違が比較的明瞭である。一方、これに対して暖候期は快晴時の雲形に

よる違いを測るには不向きである。

2. 教育上の効果

地学受講生徒の大気中の熱についての意識を調べるために、本授業実践後に次の項目についてアンケート調査を行った。その結果を図9に示す。

この図に見られるように、設問1については、回答者のうち約46%が「身近になった」、約54%が「まだ身近になったとはいえない」と回答した。前者の回答をした生徒の一部は設問3で、「実際に使ったことで実感がわき、赤外線を身近に感じるようになってきた」と感想を書いている。また、後者の回答をした生徒からは、「実際に使いたい」、「測ってみたい」、「もっと(放射温度計が)いっぱいあったらいい」などの意見があった。

その他に生徒の理解度の変化を知るために、学習期間を通して地学クラブの生徒に適宜インタビューしたところ、最初は輝度温度は気温で決まると考えているような発言があった。しかし、測定実習を繰り返すうちに、生徒はその日の輝度温度を測定する前に、雲の有無や雲の種類を観察してから、輝度温度を予想するようになった。このような生徒の変化は、実習を担当していた生徒に見られた。

これらのことから、データを分析するだけでなく、気温測定や雲形の観察と輝度温度測定の実習を繰り返すことが、学習の目的の達成に重要であると考えられる。

設問2の回答として、「大気中にたくさんのエネル

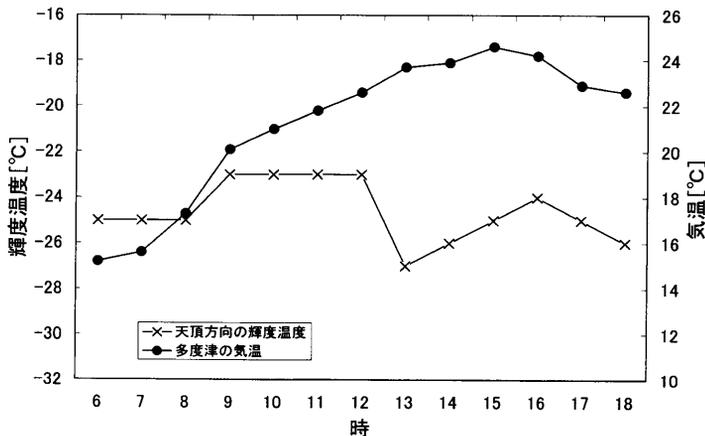
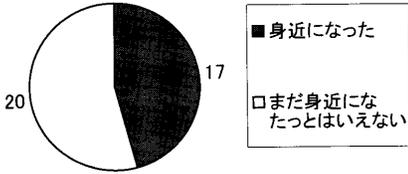


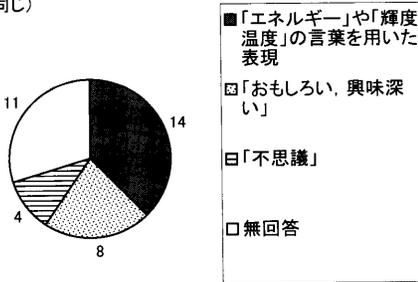
図8 快晴時の天頂方向の輝度温度の日変化

2006年10月15日に香川県丸亀市で測定。地上気温および相対湿度は多度津の気象庁 AMeDAS データによる。

設問1 赤外線は目に見えませんが、赤外放射温度計での測定は、あなたにとって赤外線の存在を身近にしましたか。



設問2 頭上方向からの赤外線量を「温度」の違いに換算し、雲の種類ごとに整理するとグラフのようになりました。この結果から大気から地表に差し込むエネルギーについて、どのような印象をお持ちですか。(グラフは図5とほぼ同じ)



設問3 赤外放射温度計を用いた実習について意見や感想など。

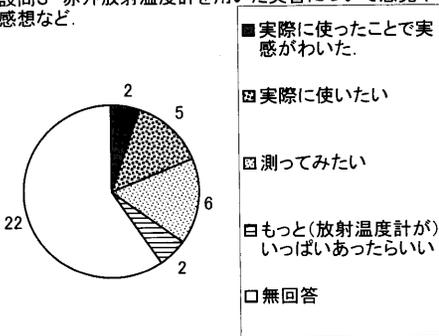


図9 授業実践後の生徒アンケート結果
対象者数37名、回答者数37名、回収率100%。

ギーが含まれているんだなあと思いました」「雲が下にあるときの方が大気から地表に差し込むエネルギーが大きい」「厚い雲ほど輝度温度が高い」など、下向き放射について「エネルギー」や「輝度温度」の言葉を用いて書いた生徒が約39%である(図9)。「エネルギー」や「輝度温度」の用語を用いてグラフを解釈できるようになった生徒については、大気の下向き放射や雲によるその影響について理解を深めていると考えられる。

3. 本教材で効果的にできる指導内容

前節のアンケート集計結果から、特に測定に携わった生徒を中心に、大気における赤外線の下方向放射を実感し、身近に感じる生徒を増やすことができ、これまでの教材ではできなかったものである。

VII. 本教材活用のための留意点と課題

1. 指導計画上の留意点

(1) 指導者が理解しておくべきこと

本教材は雲形と雲に向けたときの輝度温度の関係を探究する内容である。IV章3で論じたように、雲の種類によって赤外線の放射率が異なることに指導者は留意し、教材とする雲形を選ぶべきである。また、V章2の(2)で述べたように、生徒に十種雲形の判定を指導する必要があるなどから、本教材を実践するためには、指導者が雲形を適切に判断できることが求められる。

(2) 観測実施時期の選定

IV章3で論じたように、西日本の太平洋側の場合、暖候期には中～上層雲の雲底と地表間の大気による下向き放射の影響が大きいので、教材化にはこの時期を避ける方が望ましい。

(3) 実習などを簡略に実施する場合の工夫

学習時間が十分確保できない場合には、先に述べたような学習指導に代わり、III章で述べたような晴天積雲出現時の積雲とその晴れ間との比較観測が大気の下向き放射の入門として好適であろう。

2. 課題

先のアンケートの集計の分析にあるように、実際に放射温度計を操作できた生徒のほうが学習上の効果があった。低額の放射温度計で実習に耐える機種があれば台数を増やすことができ、学習集団全体の成果の向上が期待できるので、今後はそのような機種を再選定することが望ましい。

夜間観測では雲形の判定が困難である。この問題点は生徒だけでなく教員にとっても同様である。このことが改善できれば、夜間と昼間のデータの比較も可能となり、教材としてより充実させることができる。

また、快晴時、暖候期の輝度温度はどの高度の大気からの放射を測定しているのだろうか。これを解明できれば、大気熱収支の学習をより深めることができるだろう。

謝辞 (株)堀場製作所からは文献を賜った。ま

た、気象庁の Web サイトからは、AMeDAS および高層気象データを利用させていただいた。諸機関の関係者の方々に心より御礼申し上げる。

引用文献

- 会田 勝 (1982): 大気と放射過程—大気の熱源と放射収支を探る—。東京堂出版, 東京, 280 p.
- 赤田耕嗣 (2005): 気体による赤外線吸収量の簡易測定法—気体の温室効果を測定する装置の開発—. 地学教育, **58**, 51-63.
- 朝倉 正 (1986): 大気放射. 浅井富雄ほか (監修), 平凡社版気象の辞典. 平凡社, 東京, 329-331.
- Cox, S. K. (1971): Cirrus clouds and the climate. *Journal of Atmospheric Science*, **28**, 1513-1515.
- Cox, S. K. (1976): Observation of cloud infrared effective emissivity. *Journal of Atmospheric Science*, **33**, 287-289.
- Ellis, J. S., Vonder Haar, T. H., Levitus, S. and Oort, A. H. (1978): The annual variation in the global heat balance of the earth. *Journal of Geophysical Research*, **83**, 1958-1962.
- Fleagle, R. G. and Businger, J. A. (1963): *An Introduction of Atmospheric Physics*. Academic Press, New York, 346 p.
- Goody, R. M. (1964): *Atmospheric Radiation*. Clarendon Press, Oxford, 436 p.
- Goody, R. M. and Robinson, G. D. (1951): Radiation in the troposphere and lower stratosphere. *Journal of Royal Meteorological Society*, **77**, 153.
- Griffith, K. T., Cox, S. K. and Knollenberg, R. G. (1980): Infrared radiative properties of tropical cirrus clouds inferred from aircraft measurements. *Journal of Atmospheric Science*, **37**, 1077-1087.
- 浜田 崇 (2000): 1.1 気温. 牛山素行 (編), 身近な気象・気候調査の基礎, 古今書院, 東京, 2-27.
- 橋本 哲 (2000): 1.7 地表面の放射環境. 牛山素行 (編), 身近な気象・気候調査の基礎, 古今書院, 東京, 110-123.
- 広島県高等学校教育研究会理科部会地学 (1987): カード式地学実習書. 第一学習社, 東京, 22 p.
- 堀場製作所 (2005): 放射温度計のすべて. 堀場製作所, 京都, 37 p.
- Houghton, J. T. (1977): *The Physics of Atmosphere*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 203 p.
- Houghton, J. T., Meira Filho, L. G., Bruce, J., Lee, H., Callander, B. A., Haites, E., Harris, N. and Maskell, K. (1995): *Climate change 1994 radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios*. Cambridge Univ. Press, New York, 339 p.
- 井上豊志郎 (2006): 第 1 章マルチチャンネルデータの利用. 気象研究ノート, **212**, 1-31.
- 伊藤 文・酒井 敏・大塚成徳 (2004): 赤外放射温度計による雲底温度測定～快晴時モデルによる水蒸気補正～. 日本気象学会 2004 年度秋季大会講演予稿集, **87**, 49.
- 気象庁 (1989): 雲の観測 (地上気象観測法別冊). 日本気象協会, 東京, 37 p.
- 国立教育政策研究所教育課程研究センター (2004): 平成 14 年度高等学校教育課程実施状況調査報告書—高等学校理科物理 IB 化学 IB 生物 IB 地学 IB—. 実教出版, 東京, 351 p.
- 国立教育政策研究所教育課程研究センター (2007): 平成 17 年度教育課程実施状況調査 (高等学校) ペーパーテスト調査集計結果及び質問紙調査集計結果. 国立教育政策研究所教育課程研究センター, 666 p.
- 近藤純正 (1987): 身近な気象の科学 熱エネルギーの流れ. 東京大学出版会, 東京, 189 p.
- 真木太一・黒瀬義孝 (1987): 赤外放射温度計の局地気象への応用. 農業気象, **43**, 233-237.
- 松田時彦ほか (2006): 高等学校地学 I 改訂版. 新興出版社啓林館, 大阪, 263 p.
- 三浦 登ほか (2007): 新編新しい科学 2 分野下. 東京書籍, 東京, 129 p.
- 文部省 (1999a): 中学校学習指導要領 (平成 10 年 12 月) 解説—理科編—. 大日本図書, 東京, 162 p.
- 文部省 (1999b): 高等学校学習指導要領解説理科編理科編. 大日本図書, 東京, 310 p.
- 森 幸一 (2003): 温室効果気体の働きを理解するための教具の工夫. 化学と教育, **51**, 698-699.
- 内藤陽子・伊藤 文・大塚成徳・山本哲也・酒井 敏・他京大総合人間学部地球科学実験受講メンバー (2001): 赤外放射温度計を用いた雲底温度の観測. 日本気象学会 2001 年度秋季大会講演予稿集, **85**, 316.
- 小川勇二郎ほか (2007): 改訂版高等学校地学 I 地球と宇宙. 数研出版, 東京, 271 p.
- 大阪府高等学校生物教育研究会・大阪府高等学校地学教育研究会 (2004): 理科総合 B 実習帳. 大阪府高等学校生物教育研究会・大阪府高等学校地学教育研究会, 77 p.
- Ramanathan, V. (1987): The role of Earth radiation budget studies in climate and general circulation research. *Journal of Geophysical Research*, **92**, 4075-4095.
- Stephens, G. L. (1978a): Radiation profiles in extended water cloud. I: theory. *Journal of Atmospheric Science*, **35**, 2111-2122.
- Stephens, G. L. (1978b): Radiation profiles in extended water cloud. II: parameterization schemes. *Journal of Atmospheric Science*, **35**, 2123-2132.
- Stephens, G. L., Paltridge, G. W. and Platt, C. M. R. (1978): Radiation profiles in extended water cloud. III: observations. *Journal of Atmospheric Science*, **35**, 2133-2142.
- 塚本 修 (1998): 1.6 境界層の気象. 気象利用研究会

(編), 気象利用学, 森北出版, 東京, 38-52.

塚本 修(2001a): 第1章 地表面フラックスと大気境界層. 気象研究ノート, 199, 1-8.

塚本 修(2001b): 第2章 放射量. 気象研究ノート, 199, 9-18.

United States Committee on Extension to the Standard Atmosphere(1976): *U. S. standard atmosphere*. National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, 227 p.

王 秀峰・堀口郁夫・町村 尚(1993): 国産放射温度計の特性と天空長波放射の補正法. 農業気象, 49, 149-158.

山本義一・青木忠生(1976): 9. 大気放射学. 気象研究

ノート, 128, 102-121.

参考 Web サイト

気象庁の気候データ同化システム(JCDAS)による主要な循環場データ

http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/db/diag/db_hist_txt.html

IPCC 第4次評価報告書第1作業部会報告書 政策決定者向け要約

<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/ipcc/ar4/index.html>

川村教一: 赤外放射温度計を用いた雲の輝度温度測定 of 教材開発 地学教育 62 巻 4 号, 127-137, 2009

〔キーワード〕 大気放射, 輝度温度, 雲, 赤外放射温度計, 高校

〔要旨〕 大気中の水の赤外放射における役割を高校生に理解させるため, 赤外放射温度計を用いて天頂方向の輝度温度を測定する教材化を試みた. 雲の発生高度ごとには輝度温度の相違があり, 特に冬季に乱層雲が出現するときは快晴時よりも輝度温度が高いことが分かる. この教材を用いて, 雲と天頂方向の輝度温度の関係を探る大気放射の学習指導を実践し, 本教材の活用法と効果を提示した.

Norihito KAWAMURA: Development of Teaching Material on Brightness Temperature Measurement of Clouds. *Educat. Earth Sci.*, 62(4), 127-137, 2009

 本の紹介

岩坂泰信・西川雅高・山田 丸・洪 天祥編「黄砂」
 大型本 342 頁, 2009 年 7 月初版 9,500 円 (税別)
 古今書院 ISBN978-4-7722-3125-1 C3040

「黄砂」という現象は、古くは霾(つちふる)や霾曇(よなぐもり)などと呼ばれて俳句の季語にもなっており、現在も天気予報などで聞かれる一般にも広く知れわたって馴染みのある言葉である。しかしながら、それに関する一般的な知識はせいぜい「春になるとたまに空が黄色くなる」程度のものであろう。具体的に黄砂とは一体何か、どのようなメカニズムで発生しそれが自然環境や人間社会にどのように影響を及ぼしているかと問われると、それを的確に説明できる人は科学教育を生業としている人にも決して多くはないのではないだろうか。

本書はこの馴染みがあるがあまりその実際が知られていない黄砂について、我が国の黄砂研究者が中心となり、それに韓国・中国・アメリカの研究者が加わって、それぞれが専門とする分野を教科書用に執筆したものをまとめたものである。

本書の構成は以下のようになっている。

- 第 1 章 序論
- 第 2 章 黄砂の発生源
- 第 3 章 黄砂の発生・輸送・予報
- 第 4 章 黄砂の観測法
- 第 5 章 東アジアにおける代表的な観測事例
- 第 6 章 タクラマカン砂漠を舞台にした日本の黄砂観測
- 第 7 章 黄砂の生物地球化学的循環: 長距離輸送と変質

第 1 章では序論としてこれまでの黄砂研究の大きな流れと地球環境における黄砂研究の意義が示されている。また、日本・中国・韓国の歴史文書の中に残る黄砂の記録が紹介され、人と黄砂との関係がどのようなものであったかが分かるようになっている。第 2 章と第 3 章では黄砂の基礎知識として、その発生源と発生・輸送・予報のメカニズムが豊富なデータおよび数学的な解析によって説明されている。第 4 章では様々な黄砂の観測法とその実例のデータが 110 ページにわたって詳細に紹介されている。例を挙げると、黄砂観測に用いられるプラットフォームの紹介だけでも係留気球・カイトプレーン・ライダーネットワーク等、8 種類が示されており、それぞれのメカニズムや

利用の実際、利点や欠点などが分かりやすく解説されている。第 5 章では日本を含む東アジア各国における黄砂観測の代表的な事例が紹介されており、それぞれの地域ごとに黄砂が及ぼす様々な影響やそれに伴う研究アプローチの違いをうかがい知ることができる。第 6 章にはタクラマカン砂漠における黄砂観測の結果が豊富なデータと共に記載されている。最終章である第 7 章では黄砂の生物地球化学的循環が取り上げられている。発現地で乾燥した状態で発生した黄砂粒子が日本上空に到達するまでに、大気汚染の激しい大都市や湿度の高い海洋の上空を通過する。その結果、黄砂粒子は大気中に含まれる硫黄酸化物などの化学物質や水蒸気の影響を受けて化学的・物理的に変質を起したり、他の化学物質と一緒に輸送したりすることで私たちの生活環境に様々な影響を及ぼす。長距離移動中の黄砂粒子の伝播の様子や変質などに関するこれまでに観測された多くのデータやシミュレーションモデルを用い、こうした中で実際にどのようなことが起きているかについての研究報告や議論が行われている。各章末にはそれぞれの参考文献が示され、巻末には付図として本文中に出てくる化学物質の化学構造式が示されている。

このように、内容は黄砂の基礎的な知識や歴史的な記載事例と社会背景の紹介に始まり、日本以外の国々の研究状況まで幅広く記述が及んでいるため、黄砂現象に対する関心の時間的・空間的広がりを知ることができる。また、黄砂研究・調査にかかわる最新の技術が数多く詳細に取り上げられ、筆者らによる最新の観測成果も豊富に記載されているが、記述自体は極めて平易になされているため、専門家のみならず、ゼロからこの方面の勉強を始めたい人にとっても適切なガイドブックとなっている。難点を挙げるならば、本文中の図の中にカラーでなければ分かりづらいものがいくらか見られることである。それを補うため巻頭にカラー図版のページが設けられているが、十分ではない。

総じて、大学学部後期から大学院修士レベルの教科書や中・高等学校の理科系教員の授業参考書、そして大気環境科学の研究者の基礎文献として、あるいは単に趣味的な読み物としても大いに活用されうる本であると言えるだろう。

(柘原礼士)

編集委員会より

最近になって少しずつ論文の投稿数が増えてきました。しかしながら、査読・修正に時間がかかることが多く、未だに掲載できる原稿は不足しております。引き続き皆様の投稿をお待ちしています。

地 学 教 育 第 62 卷 第 4 号

平成 21 年 7 月 25 日印刷

平成 21 年 7 月 30 日発行

編 集 兼 日 本 地 学 教 育 学 会
発 行 者 代 表 牧 野 泰 彦

〒263-8522

千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33

千葉大学教育学部理科教育教室内

電話 & FAX 043-290-3682 (濱田)

振替口座 00100-2-74684

印 刷 所 株式会社 国際文献印刷社

169-0075 東京都新宿区高田馬場 3-8-8

電話 03-3362-9741~4

EDUCATION OF EARTH SCIENCE

VOL. 62, NO. 4

JULY, 2009

CONTENTS

Original Articles

Development, Implementation, and Assessment of a Training Program for
Elementary School Teachers to Help Improve Practical Abilities to Teach
Earth Science

.....Yasuhiko OKAMOTO, Masakazu GOTO and Kiyokazu KAWAJIRI... 99~113

Children's Notions on Phases of the Moon: Subsequent Development

.....Ryosuke MIYAWAKI and Miki YOSHIMURA... 115~126

Practical Article

Development of Teaching Material on Brightness Temperature
Measurement of Clouds

.....Norihito KAWAMURA... 127~137

Book Review (138)

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

c/o Faculty of Education, Chiba University; Chiba-shi 263-8522, Japan