

# 地学教育

第59巻 第2号(通巻 第301号)

2006年3月

---

## 目 次

### 原著論文

- 香川県五色台における自然放射線の空間線量率と地質中の放射性核種との  
 相関について  
 ー自然放射線についての理解を促進する学習コンテンツの  
 開発をめざしてー……………水野敏孝・須田博文…(51～65)

### 教育実践論文

- 高潮浸水域の簡易調査法の開発とその教材化  
 ー台風0416号による香川県高松市の高潮災害ー……………川村教…(67～76)

### 資 料

- 理科教科書における太陽の描画表現再考……………松森靖夫・上嶋宏樹・深澤裕治…(77～87)

---

日本地学教育学会

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

## 平成 18 年度「地学教育フォーラム」

本年度フォーラムは、「博物館と授業支援—実物にふれ体験して学ぶ—」として、博物館の出前授業の内容やその有効な利用法などについて、講演者を交えて活発な討論を行いたいと思っています。多くの会員の参加をお願いいたします。

1. 日 時 平成 18 年 4 月 22 日（土）午後 2 時（総会終了後）より
2. 場 所 小金井市貫井北町 4-1-1 東京学芸大学二十周年記念会館 2F  
（武蔵小金井駅よりバス小平団地行き「学芸大正門」下車 徒歩 5 分）
3. 講演者  
富田廣行氏（埼玉県立自然史博物館）  
「地域の自然を学習の場とした体験学習プログラムについて」

平成 18 年度全国地学教育研究大会  
 日本地学教育学会第 60 回全国大会

静岡大会のご案内

日本地学教育学会会長 下野 洋  
 静岡大会実行委員長 熊野善介  
 静岡大会事務局長 坂田算浩

大会テーマ：地学教育の再構築

—身近な生活の中から地学リテラシーを  
 育成する—

期 日：平成 18 年 8 月 18 日(金)～21 日(月)

会 場：静岡大学 大会会館

主 催：日本地学教育学会

共催(予定)：静岡県地学会，静岡県理科教育協議会，  
 静岡県教育研究会理科研究部，静岡県高  
 等学校理科教育研究会

後援(予定)：文部科学省，静岡県教育委員会，静岡市  
 教育委員会，浜松市教育委員会，全国高  
 等学校長協会，全日本中学校長会，全国  
 連合小学校長協会，日本私立中学高等学  
 校連合会，日本教育研究連合会，日本科  
 学教育学会，日本理科教育学会，日本理  
 科教育協会

日 程

日	時刻	行 事	会場 (大会会館)
19 日 (土)	8:30	受付	大会会館入口
	9:00	開会行事 学会奨励賞授与式	ホール
	9:30	ジュニアセッション	ホール：口頭発表 研修室：ポスター発 表
	12:00	昼休み	
	13:30	パネルディスカッ ション	ホール
	14:30	研究発表 I	ホール：小・中 レストラン：高・ 大・一般
20 日 (日)	18:00 20:00	懇談会	食 堂
	9:00	研究発表 II	ホール：小・中 レストラン：高・ 大・一般
	12:00	昼休み	
	13:30	シンポジウム	ホール
	15:00	閉会行事	ホール
	15:30		

巡 検

A コース；8 月 18 日(日帰り)

B コース；8 月 21 日(日帰り)

パネルディスカッション：地学教育の 60 年の変遷と  
 未来への期待

パネリスト

小林 学：筑波大学名誉教授

清原洋一：国立教育政策研究所教育課程調査官

五島政一：国立教育政策研究所教育課程研究セン  
 ター基礎研究部総括研究官

司 会

下野 洋：星槎大学教授

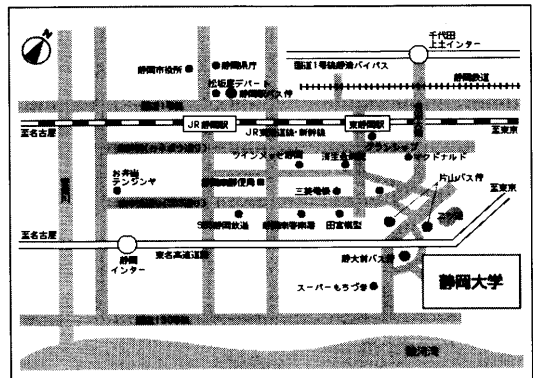
記念講演会

アメリカ合衆国において第一線で活躍している地学  
 教育・環境教育研究者であるエミー・シューベルト博  
 士(予定)をお招きし，アメリカの地学教育や環境教  
 育の現状と問題点を発表していただくと同時に，地学  
 教育を中心とした教育改革について述べていただく予  
 定です。

会場案内(下図を参照のこと)

○公共交通機関利用の場合

JR 静岡駅前(エクセルワード静岡ビル前)の静鉄バ



ス 13 番乗り場から「静岡大学」行き又は「大谷（お  
おや）」行きに乗りし「静大前」又は「片山」で下車  
（所要時間約 25 分，日中 1 時間に 8 本運行）

○自家用車利用の場合

東名高速道路「静岡インター」より一般道へ  
所要時間約 20 分

### 大会参加費

7 月 21 日（金）までの振り込み分

一般 4,000 円，大学生・院生 2,500 円

7 月 24 日（月）以降の振り込み分

一般 4,500 円，大学生・院生 3,000 円

ジュニアセッションで発表の高校生以下，および引率  
教員は無料です。

### 送金方法

郵便振替にて送金して下さい。送金の内訳および連  
絡先を必ずご記入下さい。

加入者名：日本地学教育学会第 60 回全国大会  
静岡大会実行委員会

口座番号：00880-4-149589

- ・大会参加費 上記「大会参加費」をご参照下さ  
い。
- ・懇親会費 4,000 円
- ・巡検費 各コース：4,000 円（予定）

### 宿泊案内

事務局で近畿日本ツーリストの団体申し込みを受け  
付けております。申込用紙に宿泊される日をご記入下  
さい。後日案内をお送りいたします。

なお、申込件数が 100 件以上になりますと、財団か  
ら補助が出ますので、こちらの団体申込みをご利用く  
ださい。

### 巡 検

講演・研究発表の前後の日に次のような巡検を計画  
しています。各コースともに先着順で定員は 25 名で  
す（最低参加人員 10 名）。

〔8 月 18 日〕

#### A1: 静岡市近郊の博物館巡り

「静岡科学館る・く・る」は、平成 16 年に開館し  
た新しい科学館です。好奇心を刺激する科学の展  
示物があります。「静岡県地震防災センター」は、  
平成 15 年に新しく地震防災機器を導入し、リア

ルな地震体験が可能なほか、パソコンや大画面モ  
ニターなどの活用で、臨場感のある映像を体験で  
きます。「ディスクバリーパーク焼津」には、プラ  
ネタリウムや天体に関する展示があります。

#### A2: 静岡市近郊の露頭の調査

調査地域は焼津の変成岩が中心です。枕状溶岩  
の観察もでき、蛇紋岩の採集も可能です。構造地  
質学的にも興味深い地質構造が観察できます。

#### A3: 前弧海盆の海底探検（掛川地域の鮮新-更新統の 化石相をさぐる）

集合：JR 掛川駅南口 9:30

掛川地域に分布する鮮新-更新統掛川層群は、  
現在の駿河湾や遠州灘のような前弧域で堆積した  
海成層からなります。本巡検では堆積相や、貝化  
石・生痕化石を観察し、堆積過程や古生態の復元  
を体験します。

〔8 月 21 日〕

#### B1: 安倍川の河口から源流まで（おいしい水の探究）

静岡市は全国の中でも水道水がおいしい市とい  
われています。安倍川の源流から河口まで、水  
質・地質調査をしながら安倍川の魅力を堪能して  
もらいます。また、下水処理場や風力発電施設を  
見学します。

#### B2: 南伊豆の地質調査

南伊豆では、多くの鉱山の廃坑跡があり、金・  
銀・銅・その他めずらしい鉱石が採取できます。  
特に鉱物が好きな方には大変魅力のある地域で  
す。

### 一般発表、ポスター発表の申込み

別紙の大会申込用紙に必要事項を記入していただ  
き、事務局までお送り下さい。一般発表は小・中分科  
会と高・大・一般分科会に分けて申込んで下さい。

なお、ジュニアセッションは別紙を参照して下さい。

#### ・発表申込締切

2006 年 5 月 1 日（月）必着

発表の申込みをしていただいた後、発表要旨の  
フォーマットをお送りいたします。

#### ・発表要旨提出締切

一般：2006 年 6 月 30 日（金）必着（A4 で 2 枚）

ジュニア：2006 年 6 月 30 日（金）必着（A4 で 2  
枚）

**大会事務局・出張依頼状の申込先**

〒422-8529 静岡市駿河区大谷 836  
静岡大学教育学部理科教育学教室

日本地学教育学会静岡大会事務局 熊野善介

Tel/Fax: 054-238-4637

E-mail: 事務局: q0530047@ipc.shizuoka.ac.jp

実行委員長: edykuma@ipc.shizuoka.ac.jp

◎研究発表の申込の締切 5月1日 ◎発表要旨の締切 6月30日 ◎参加の申込締切 8月5日

## 平成 18 年度全国地学教育研究大会・日本地学教育学会 第 60 回全国大会静岡大会

申込日：2006 年 月 日

○参加申込 (ジュニアセッション発表者・同引率者は別紙でのお申込みとなります)

フリガナ  
氏名：

所属：

連絡先：〒

Tel:

Fax:

E-mail:

○研究発表申込 (締切 5月1日必着) (ジュニアセッションは別紙でのお申込みとなります)

発表題目：

キーワード (4つ)：

発表者名 (所属名)：

研究分野・分科会：小学校 中学校 高校 大学 一般

発表形態：研究発表 ポスター発表

使用機器：液晶プロジェクター OHP

(パソコンを使用する場合には、各自パソコンをご持参下さい)

○懇親会・見学旅行の申込み (先着順)

懇親会 (4,000 円)

見学旅行 (各 4,000 円) 下記の参加するコースの□に✓を記入して下さい。

A1 A2 A3 B1 B2

○宿泊の申込み

17 日夜 18 日夜

19 日夜 20 日夜

○振り込み金額

参加費 (参加のみの申込みは 8月5日までといたします。)

7月21日までのお振込み分 一般 4,000 円, 大学生・院生 2,500 円

7月24日以降のお振込み分 一般 4,500 円, 大学生・院生 3,000 円

円

懇親会費 4,000 円

円

見学旅行 1 コースにつき 4,000 円

円

合計金額

円

○申込書の該当箇所を記入し、郵送または Fax で送付して下さい。

〈申込先〉 〒422-8529 静岡市駿河区大谷 836

静岡大学教育学部理科教育学教室 日本地学教育学会静岡大会事務局 熊野善介

Tel/Fax: 054-238-4637 E-mail: q0530047@ipc.shizuoka.ac.jp

実行委員長: edykuma@ipc.shizuoka.ac.jp

○申込書を送付後、代金を下記の郵便振替口座へご送金下さい。

加入者名: 日本地学教育学会第 60 回全国大会静岡大会実行委員会 □座番号: 00880-4-149589

○大会予稿集のみの申込み

申込者氏名

Tel:

送り先 〒

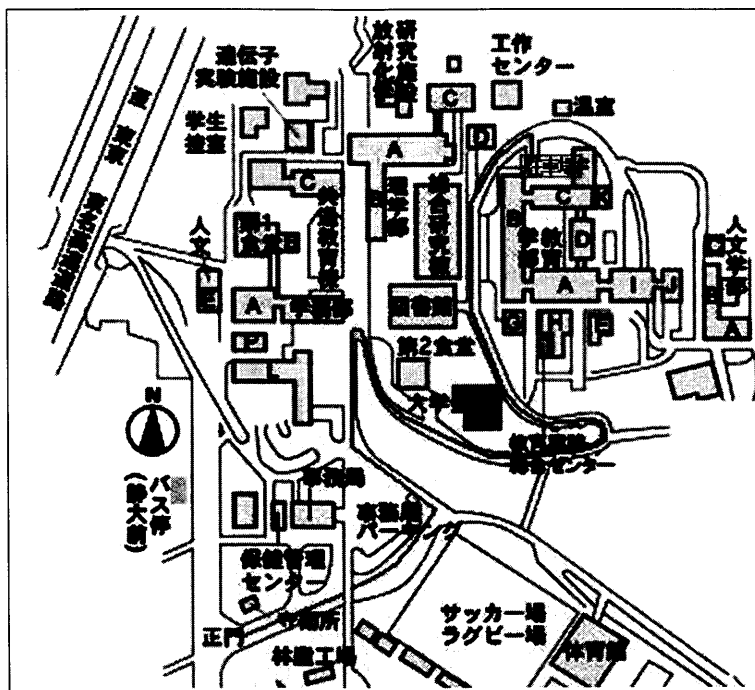
	部 数	金 額
大会予稿集 (一冊, 1,500 円)		円
送料 (310 円)		円
合計金額		円

## 日本地学教育学会静岡大会ジュニアセッション参加者募集

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

- 日 時： 口頭セッション：2006年8月19日（土）午前9時30分～12時30分  
ポスターセッション：8月19日（土）～20日（日）の会期中
- 場 所： 静岡大学 大学会館
- 応募資格： 中学生・高校生のクラブまたは個人で、地学または環境関連の研究を行っている方
- 応募方法： 口頭またはポスター発表を選択する（口頭発表にはぜひポスター発表もなさして下さい）
- 申込方法： (a) 発表のタイトル, (b) 発表者名・学年・学校名（発表者・学校名にはフリガナも記載）, (c) 概要（500字程度）, (d) 希望する発表方法（口頭発表かポスター発表、または両方）, (e) 連絡先（郵便番号・住所・氏名・電話・FAX・E-mail等）を明記の上、メールまたは郵送、FAXにてご応募下さい。
- 締め切り： 2006年6月30日（金）必着
- 申し込み・問合せ先： 〒422-8529 静岡市駿河区大谷 836  
静岡大学教育学部理科教育学教室 日本地学教育学会静岡大会事務局 熊野善介  
Tel/Fax: 054-238-4637  
E-mail: 事務局: q0530047@ipc.shizuoka.ac.jp  
実行委員長: edykuma@ipc.shizuoka.ac.jp

静岡大学構内地図







## 香川県五色台における自然放射線の空間線量率 と地質中の放射性核種との相関について

—自然放射線についての理解を促進する学習コンテンツの開発をめざして—

On the Correlation between Ambient Dose Rates and Radionuclides  
in Soils Studied in Goshikidai, Kagawa Prefecture:  
Developing Learning Content to Enhance Student Understanding  
about Natural Radiation

水野敏孝\*<sup>1</sup>・須田博文\*<sup>2</sup>

Toshitaka MIZUNO and Hirohumi SUDA

**Abstract:** We investigated the correlation between basic geology and ambient dose rates in Goshikidai mass, Kagawa, Japan, and we also analyzed the kinds and quantities of radionuclides found in local rocks and soils. This study was undertaken first to collect fundamental data about the radiation in this region, and then to develop learning materials about “natural radiation” for the study of nuclear energy and radiation in junior high school. A number of results were obtained.

First, the measured mean values of the ambient dose rates over the entire Goshikidai mass are  $0.116 \mu\text{Sv/h}$ ,  $0.086 \mu\text{Sv/h}$ ,  $0.078 \mu\text{Sv/h}$  for granite, sanukitic andesite, and pyroclastic rocks, respectively. This variation in observed dose rates emphasizes the importance of taking the local nature of the rocks into consideration when evaluating ambient dose rates. Second, differences were noted in the total amounts of radionuclides contained in granite and sanukitic andesite, depending on the measurement location. In pyroclastic rocks, such a difference was not observed. Third, the observed distribution of ambient dose rates can be explained by the totals of the products of “the radioactivity density” of radionuclides included in a rock and “1 centimeter dose equivalent rate constant.” Fourth, the percentage ratios of contributing radionuclides to the ambient dose rates are 12.2%, 50.9%, 36.8% for uranium series, thorium series, and  $^{40}\text{K}$ , respectively, reflecting the characteristics of the Goshikidai mass. Finally, the value of ambient dose rates at the outcrop surface can account for the qualitative difference of sanukitic andesite.

**Key words:** ambient dose rate, radionuclides, Goshikidai mass, sanukitic andesite, learning content, Kagawa Prefecture

## 1. はじめに

本研究では、香川県の五色台山塊において基本的な地質と空間線量率の関係を調査した。空間線量率を担っているのは、主に地表付近で検出される $\gamma$ 線である。そこで、空間線量率の地域分布の要因を明らかにするため、岩石や土壌に含まれる放射性核種( $\gamma$ 線放射核種)の種類と量を分析した。この研究は、中学校・高等学校において教科を横断した形で扱われている原子力・放射線の学習について、「自然放射線」を題材とした学習コンテンツを開発するための研究である。地域の測定データに基づいて学習者が自然放射線についての理解を深め、自らの課題を設定し探究する授業の設計を考えている。そこで、基本的な地質ごとの空間線量率や地質に含まれる放射性核種などを地域の測定データとしてまとめ、学習コンテンツ開発の基礎資料とする。

香川県における自然放射線の空間線量率については、これまでに日本全国の分布を調べる一環として、放射線医学総合研究所が約10年の年月をかけ、日本を30 km メッシュに区切り、学校の校庭などを利用して、測定を行った報告がある(阿部, 1982)。しかし、このような調査結果は、全国レベルでの空間線量率の分布を理解するには都合がよいが、県内のより細かな分布の実態や地域的な特徴を知るための詳細なデータを提供するものではない。

また、香川県環境保健研究センターが1988年度から文部科学省の委託を受けて実施している、土壌についての放射性核種の分析調査(坂出市1地点)と空間線量率(センターで1回/月測定)調査の報告が存在する(岩下・日野, 2003)。しかし、調査地点や採取試料の数が限られているため、地域や地質の違いによる詳しい考察には至っていない。

地表付近での空間線量率の分布について、古川(1993)は地質による違いを一つの要因として指摘している。一般に、酸性岩である花崗岩類は放射性核種の含有量が高くなることから、花崗岩が分布する地域は空間線量率が高く、中性岩(安山岩など)や塩基性岩(玄武岩など)ではその含有率が低いことから空間線量率が低くなると考察している。このことは、地質に含まれる放射性核種の種類や量を分析し、定量的な解析を進めることの必要性を示唆している。放射性核種の分析は、空間線量率の分布やその要因を説明するだけでなく、空間放射線による影響を評価する際の有

用な基礎データになりうると考えられる。

香川県平野部では、メサやビュートと呼ばれる小丘群が点在しており、地域の地形的な特質を表している。それらの多くは讃岐層群と呼ばれる第三紀中新世中期の火山岩類よりなり、その中で五色台山塊は大きさにおいても地域を代表するものの一つである。基盤となる領家帯花崗岩とともに凝灰岩、凝灰角礫岩、火山角礫岩、讃岐岩質安山岩の露頭を多数確認することができる。

この研究では、五色台山塊において基本的な地質と空間線量率の関係を明らかにすることを第1の目的とする。さらに、その要因について定量的な解析を進めるために、岩石や土壌に含まれる放射性核種( $\gamma$ 線放射核種)の種類と量の分析を行うことが第2の目的である。それらの結果を報告する。

## 2. 調査方法

### (1) 測定対象とする放射線

この研究で測定の対象とした放射線は、地表付近で検出される $\gamma$ 線である。地表付近の $\gamma$ 線には、大地(道路などの人工構造物を含む)に由来するもの以外に、空気中に含まれる放射性核種から放出される大気放射線と、宇宙線に由来するものがある。大気放射線による影響は大地放射線のおよそ5%程度(湊, 1984)、宇宙線に由来する影響はおよそ27%程度(3.4  $\mu$ R/h)と報告されている(阿部, 1982)。特に後者については、日本国内では地域差はなく、一定値として扱われることが一般的である。

このことをふまえて、この研究では、 $\gamma$ 線用シンチレーションサーベイメータによって測定される値を、地表付近の自然放射線による「空間線量率」とする。ただし、その値については宇宙線に由来する放射線と大気放射線の寄与が含まれているが、それらは一定値として扱うことにする。

### (2) $\gamma$ 線用シンチレーションサーベイメータによる測定

測定器は、エネルギー補償形 $\gamma$ 線用シンチレーションサーベイメータ(アロカ製TCS-161, 千代田テクノロジー大洗研究所2004.2.4校正,  $\mu$ Sv/h表示使用については付記1に示す)を使用した。

サーベイメータによる測定は、五色台山塊について、環境庁自然環境保全基礎調査の3次メッシュを利用しメッシュの交点58カ所、さらに、五色台山上の車道(県道)沿いに確認できる露頭31カ所、計89カ

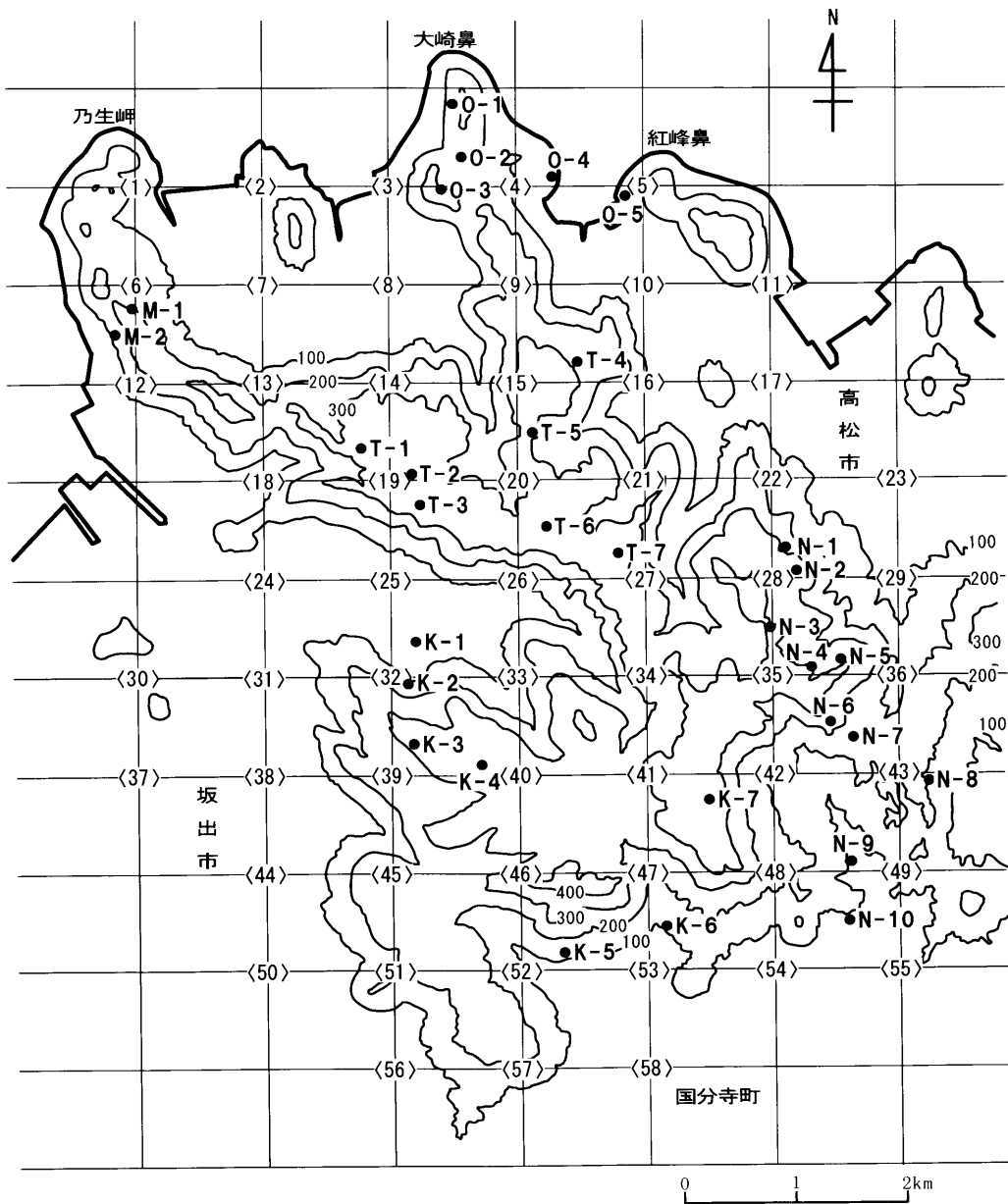


図1 空間線量率の測定地点

所の測定地点を設定した。これを図1に示す。調査地点は、地表を構成する岩石が確認でき、可能な限り広い(数mの高さと幅のある)露頭を選んで設定した。車道沿いの露頭においては、舗装面などの人工物の影響が考えられるが、建物などは避けた。なお、サーベイメータによって測定される線量率は、各測定ポイントの露頭において、同じ質量、同じサイズの岩石によ

るものと仮定している。

測定は雨天の日を除いて行い、測定地点周辺部で確認できる露頭を中心に露頭表面および地上1m(露頭からの距離1m)で、検出器を露頭表面に垂直に向けて空間線量率を測定した。測定時間は、測定器を設置して90秒後に1回目の数値を読み(時定数30秒)、30秒おきに計5回直接数値を読み取った。同時に、露

頭周辺の概況とともに岩石や土壌の特徴を記録し、後述する測定地点周辺部の影響を評価する際の参考にした。

### (3) ゲルマニウム (Ge) 半導体検出器による岩石や土壌の放射性核種分析

サーベイメータによる空間線量率の測定後、表層地質図「丸亀」(経済企画庁総合開発局, 1969)、「玉野」(香川県企画部企画調整課, 1976)をもとに地質が同定できる露頭について、岩石または土壌を採取した。道路や耕作地、崖錐などの影響で岩石の分類が不可能なものは除外した。採取した試料は次の(1)~(3)の前処理をした後、Ge半導体検出器により、 $\gamma$ 線放射核種分析を行った。

- (1) 乳ばちにて粉碎後、 $180\mu\text{m}$ と $710\mu\text{m}$ のふるいにかけて、粒度を $180\mu\text{m}$ 以上 $710\mu\text{m}$ 未満とする。
- (2) 約1週間乾燥(風乾)させる。
- (3) 風乾した試料から30gを測定用試料容器に封入する。

分析は、はじめにバックグラウンドを測定した後、測定時間を各10万秒で実施した。

なお、Ge半導体検出器の分析の計数値が計数誤差の3倍を下回るものについては、放射能濃度の結果を評価しない。また、Ge半導体検出器は $\gamma$ 線のエネルギーを計測するため、 $\gamma$ 線放出核種以外については、計測できない。以上のことから、次にあげる $\gamma$ 線放射核種の放射能濃度(Bq/g)を求めた。ウラン系列のTh-234, Pa-234m, Ra-226, Pb-214, Bi-214, Pb-210, トリウム系列のAc-228, Th-228, Ra-224, Pb-212, Bi-212, Tl-208, アクチニウム系列のTh-231, U-235, 系列に属さないK-40の分析を行った。

Ge半導体検出器によって得られる値は、 $\gamma$ 線放射核種ごとの放射能濃度(Bq/g 乾土)である。一般に、線源の放射能A(MBq)と線量当量率I( $\mu\text{Sv/h}$ )との関係は次式、

$$I=(A \times C)/d^2, \quad A=(I \times d^2)/C$$

I: 線量当量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )

A: 線源の放射能 (MBq)

d: 線源からの距離 (m)

C: 1 cm 線量当量率定数 ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{MBq} \cdot \text{h}$ )

で示される。1 cm 線量当量率定数とは、1 MBq 当たりおよび1時間当たり、1 m の距離における皮下1 cm における線量当量( $\mu\text{Sv}$ )を表す。

そこで、検出された $\gamma$ 線放射核種が、露頭表面での

空間線量率にどの程度寄与しているかを考察するために、それぞれの核種ごとに、「放射能濃度(Bq/g)×1 cm 線量当量率定数」の値を求める。この値の単位は $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h/g}$ であり、実際に測定(地上1 m)した空間線量率の単位 $\mu\text{Sv/h}$ とほぼ同じになる。これを、空間線量率に寄与する $\gamma$ 線放射核種を推定するための基礎的な値として扱う。1 cm 線量当量率定数については、付記2に示す方法で求めている。

## 3. 調査結果および考察

### (1) 空間線量率の測定について

図1に示す89カ所の測定地点のうち、メッシュの交点9カ所については、地形等の条件で測定を実施することができなかった。その結果、計80カ所から測定結果を得ることができた。

露頭が確認できたのは50カ所である。そのうち、表層の地質が確認できたのは花崗岩類(マサ土を含む)が12カ所、火山砕屑岩類(凝灰岩、凝灰角礫岩、火山角礫岩)が12カ所、讃岐岩質安山岩が23カ所である。残る3カ所については崖錐と考えられ、地質を特定していない。地上1 mでの空間線量率の測定結果を図2に、露頭表面での空間線量率の測定結果を図3に示す。それぞれの結果は、表層地質図「丸亀」、「玉野」をもとに作成した五色台の地質図上に記載している。

すべての測定地点80カ所の空間線量率の平均値は、地表1 mで $0.079 \pm 0.021 \mu\text{Sv/h}$ 、地表面(または露頭表面)で $0.088 \pm 0.024 \mu\text{Sv/h}$ である。露頭が確認できた50カ所では、地上1 m(露頭からの距離1 m)で $0.087 \pm 0.023 \mu\text{Sv/h}$ 、露頭表面で $0.098 \pm 0.025 \mu\text{Sv/h}$ である。地質別に見ると、花崗岩類の平均値は地上1 mと露頭表面でそれぞれ $0.116 \pm 0.023 \mu\text{Sv/h}$ 、 $0.130 \pm 0.023 \mu\text{Sv/h}$ であり、最高値は牛の子団地東(測定地点<44>)の $0.152 \mu\text{Sv/h}$ 、 $0.166 \mu\text{Sv/h}$ 、最低値は赤子谷(測定地点<36>)の $0.080 \mu\text{Sv/h}$ 、 $0.090 \mu\text{Sv/h}$ であった。讃岐岩質安山岩の平均値は、地上1 mと露頭表面でそれぞれ $0.086 \pm 0.016 \mu\text{Sv/h}$ 、 $0.096 \pm 0.019 \mu\text{Sv/h}$ であり、最高値は白峰山(K-4)の $0.104 \mu\text{Sv/h}$ 、白峰山西(K-3)の $0.126 \mu\text{Sv/h}$ (異なる地点で測定)、最低値は黒峰展望台下(T-3)の $0.052 \mu\text{Sv/h}$ 、 $0.064 \mu\text{Sv/h}$ であった。また、火山砕屑岩類の平均値は、地上1 mと露頭表面でそれぞれ $0.078 \pm 0.009 \mu\text{Sv/h}$ 、 $0.087 \pm 0.007 \mu\text{Sv/h}$ であり、最高値は稚児の滝下(T-2)の $0.096 \mu\text{Sv/h}$ 、 $0.102 \mu\text{Sv/h}$ 、最低

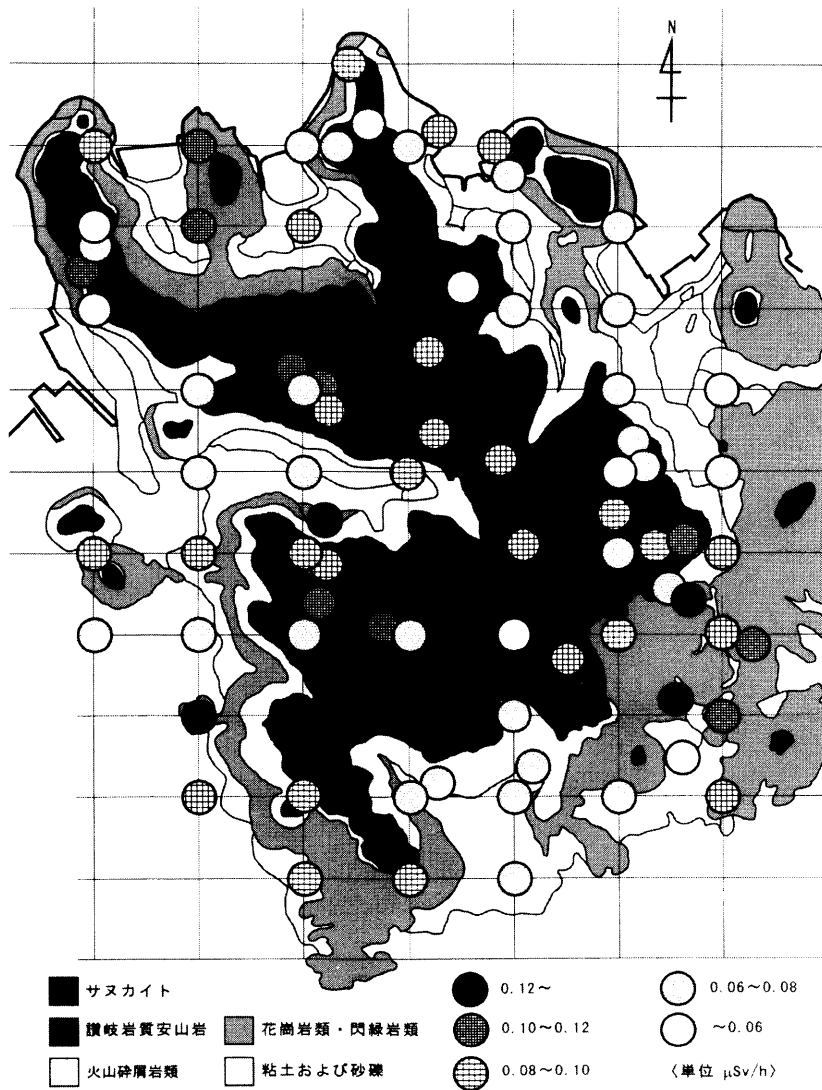


図2 地上1mでの空間線量率

値は西奥北(K-7)の0.070  $\mu\text{Sv/h}$ , 0.080  $\mu\text{Sv/h}$ であった。

過去の報告の値と比較するために、今回の測定結果を表1にまとめた。測定結果を地質別に見ると、火山灰を含む火山砕屑岩類の地質、中性岩である讃岐岩質安山岩の地質、酸性岩である花崗岩類の地質の順に、空間線量率の平均値が高くなっていることがわかる。また、今回の測定では最高値0.152  $\mu\text{Sv/h}$  (測定地点<44>)と最低値0.032  $\mu\text{Sv/h}$  (N-10, 崖錐)に約5倍の差がある。宇宙線に由来する放射線と大気放射線の

寄与する部分を一定値として扱うので、このような値の変化は地質の差異に由来するものと考えることができる。

阿部(1982)は、香川県の平野部(測定地点は学校の校庭程度の広さのところ)を中心に調査を実施している。その結果は、丸亀市12.0  $\mu\text{R/h}$  (0.122  $\mu\text{Sv/h}$ )、宇多津町11.0  $\mu\text{R/h}$  (0.111  $\mu\text{Sv/h}$ )、高松市12.7  $\mu\text{R/h}$  (0.129  $\mu\text{Sv/h}$ )、志度町10.9  $\mu\text{R/h}$  (0.110  $\mu\text{Sv/h}$ )、大内町12.9  $\mu\text{R/h}$  (0.131  $\mu\text{Sv/h}$ )、香川県の平均値11.9  $\mu\text{R/h}$  (0.121  $\mu\text{Sv/h}$ )と報告されている。この報告と

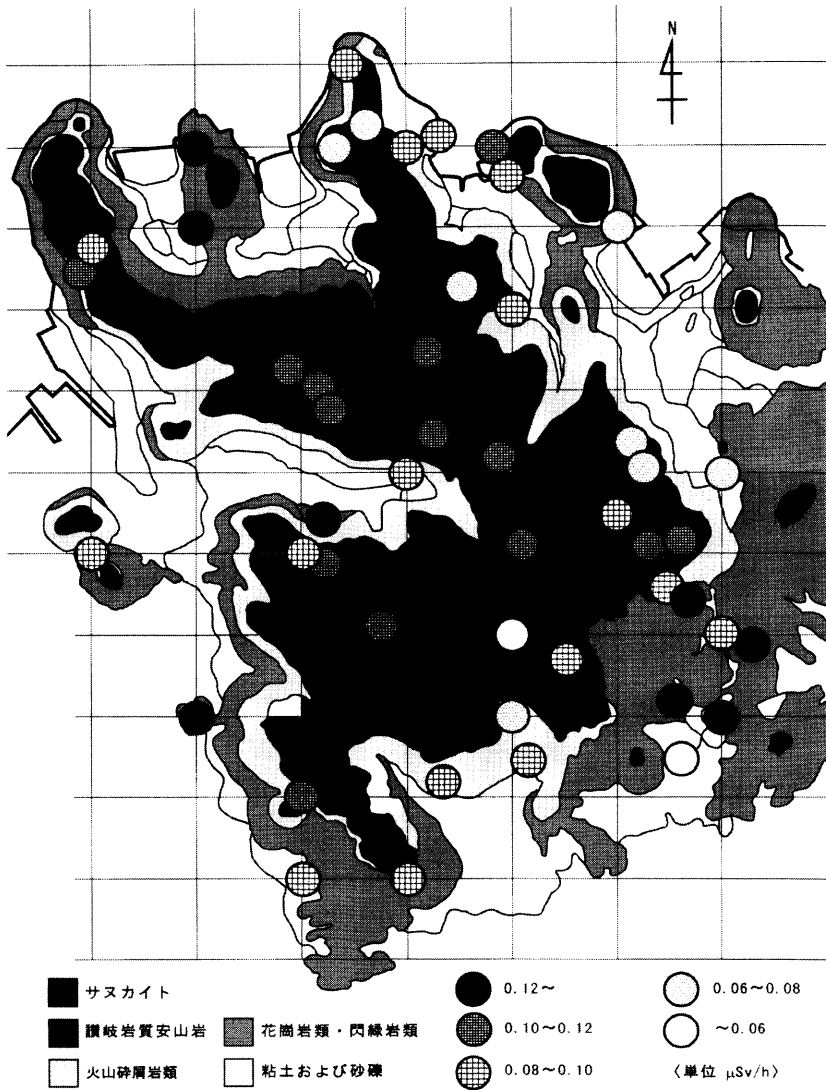


図3 露頭表面での空間線量率

比べて、今回の測定結果（全体の平均値  $0.079 \pm 0.021 \mu\text{Sv/h}$ ）はかなり低くなっている。これは、阿部による調査が平野部を中心に、今回は火山岩類を中心とした丘陵地という調査地域の違い、それぞれの地域の地質の違いが主な原因であると考えられる。また、香川県の平野部では、造成地の表土として花崗岩類の風化土（マサ土）が一般的に使用されることも影響していると推察できる。

古川(1993)によれば、花崗岩類の分布する地域の自然放射線レベルはその年代によらずほぼ  $70 \text{ nGy/h}$

( $0.081 \mu\text{Sv/h}$ ) 以上で、全体的には  $80 \sim 120 \text{ nGy/h}$  ( $0.093 \sim 0.139 \mu\text{Sv/h}$ ) 程度の高レベル域である場合が多いとまとめられている。一方、火山岩の分布する地域では、高レベルであっても  $100 \text{ nGy/h}$  ( $0.116 \mu\text{Sv/h}$ ) を超える地域は少なく、概して低レベルである場合が多いと報告されている。今回の測定結果は、地質を構成する岩石ごとに空間線量率をまとめた古川の報告とはほぼ一致している。

香川県の地質は、基盤となる花崗岩類を中心に、平野部では砂礫からなる沖積層に覆われている。加え

表1 日本における過去の報告との空間線量率(平均値, 最高値, 最低値)の比較

	地域	地質など	平均値 (μSv/h)	最高値 (μSv/h)	最低値 (μSv/h)
本研究	五色台山塊	全体	0.079±0.021	0.152	0.032
		花崗岩類	0.116±0.023	0.152	0.080
		讃岐岩質安山岩	0.086±0.016	0.104	0.052
		火山砕屑岩類	0.078±0.009	0.096	0.070
古川(1993)*	日本全土	全体	0.092±0.022	0.171±0.003**	0.031±0.002**
		西南日本	0.100±0.019		
		東北日本	0.081±0.021		
阿部(1982)*	香川県		0.121	0.131	0.110
		高松市	0.129		

\* 1 μR/h=8.73 nGy/h, 1 μGy/h=1.16 μSv/h の関係から, 単位を μSv/h に換算している (付記(2), 原子力安全委員会, 2001).

\*\* 市町村ごとに算出したもの.

表2 地質別の放射能濃度 (Bq/g)

γ線放射核種	放射能濃度 (Bq/g)								
	花崗岩類		讃岐岩質安山岩		火山砕屑岩類		全体		
	平均値	(%)	平均値	(%)	平均値	(%)	平均値	(%)	
U系列	Th-234	0.044	(4.0)	0.041	(5.1)	0.039	(4.4)	0.041	(4.5)
	Pa-234m	0.060	(5.4)	0.066	(8.3)	0.000	(0.0)	0.049	(5.3)
	Ra-226	0.040	(3.6)	0.045	(5.6)	0.034	(3.9)	0.041	(4.4)
	Pb-214	0.016	(1.5)	0.017	(2.1)	0.029	(3.3)	0.019	(2.1)
	Bi-214	0.014	(1.3)	0.015	(1.8)	0.023	(2.7)	0.017	(1.8)
	Pb-210	0.005	(0.5)	0.018	(2.2)	0.016	(1.8)	0.013	(1.4)
	小計	0.179	(16.3)	0.200	(25.0)	0.140	(16.1)	0.179	(19.5)
Th系列	Ac-228	0.043	(3.9)	0.027	(3.4)	0.026	(3.0)	0.032	(3.5)
	Th-228	0.051	(4.6)	0.037	(4.6)	0.013	(1.5)	0.036	(3.9)
	Ra-224	0.041	(3.7)	0.023	(2.9)	0.026	(3.0)	0.030	(3.2)
	Pb-212	0.044	(4.0)	0.028	(3.5)	0.029	(3.4)	0.034	(3.7)
	Bi-212	0.048	(4.3)	0.026	(3.2)	0.034	(3.9)	0.035	(3.8)
	Tl-208	0.035	(3.2)	0.022	(2.8)	0.024	(2.7)	0.027	(2.9)
	小計	0.261	(23.7)	0.164	(20.5)	0.152	(17.4)	0.193	(21.1)
Ac系列	Th-231	0.009	(0.9)	0.007	(0.8)	0.002	(0.3)	0.007	(0.7)
	U-235	0.002	(0.2)	0.000	(0.0)	0.000	(0.0)	0.001	(0.1)
	小計	0.011	(1.0)	0.007	(0.8)	0.002	(0.3)	0.007	(0.8)
その他	K-40	0.650	(59.0)	0.430	(53.7)	0.576	(66.2)	0.537	(58.6)

(注)Ge 半導体検出器の分析の計数値が計数誤差の3倍を下回るものについては, γ線放射核種を記載していない. なお, 検出限界値の計算については, 文部科学省環境放射能シリーズに従った.

て, 点在する火山岩類が地域の地形的な特質を表している. したがって, この地域の空間線量率を評価する際には, 地域の詳細な地質(岩石や土壌)を考慮しなければならないことがわかる. このような結果は, 一般的にこれまで報告されていた傾向と一致する.

## (2) 岩石等に含まれるγ線放射核種の分析について

露頭が確認できた50ヶ所のうち, 花崗岩類10カ所, 讃岐岩質安山岩13カ所, 火山砕屑岩類7カ所の

岩石または土壌について, γ線放射核種の分析を行った. 地質別の平均値を表2に示す. K-40を除いて最も割合(%)の大きい放射性核種は, 讃岐岩質安山岩のPa-234 mで8.3%, 割合(%)が2桁に達しているものはない.

地質に含まれるγ線放射核種が, 露頭表面での空間線量率にどの程度寄与しているかを考察するために, 測定された放射能濃度をもとに「放射能濃度(Bq/g)

表3 地質別の「放射能濃度(Bq/g)×1 cm線量当量率定数」の値

γ線放射核種	「放射能濃度×1 cm線量当量率定数」(μSv/h/g)								
	花崗岩類		讃岐岩質安山岩		火山砕屑岩類		全体		
	平均値	(%)	平均値	(%)	平均値	(%)	平均値	(%)	
U系列	Th-234	5.29E-11	(0.1)	4.86E-11	(0.2)	4.63E-11	(0.1)	4.95E-11	(0.2)
	Pa-234m	6.81E-11	(0.2)	7.59E-11	(0.3)	0.00E+00	(0.0)	5.56E-11	(0.2)
	Ra-226	5.01E-11	(0.1)	5.58E-11	(0.2)	4.22E-11	(0.1)	5.07E-11	(0.2)
	Pb-214	5.86E-10	(1.6)	6.05E-10	(2.4)	1.05E-09	(3.4)	7.03E-10	(2.3)
	Bi-214	2.53E-09	(6.7)	2.58E-09	(10.1)	4.07E-09	(13.2)	2.91E-09	(9.4)
	Pb-210	1.47E-12	(0.0)	5.06E-12	(0.0)	4.52E-12	(0.0)	3.74E-12	(0.0)
	小計	3.29E-09	(8.7)	3.37E-09	(13.2)	5.22E-09	(16.9)	3.77E-09	(12.2)
Th系列	Ac-228	5.23E-09	(13.9)	3.36E-09	(13.2)	3.23E-09	(10.5)	3.95E-09	(12.8)
	Th-228	1.78E-11	(0.0)	1.28E-11	(0.1)	4.57E-12	(0.0)	1.25E-11	(0.0)
	Ra-224	7.25E-11	(0.2)	4.14E-11	(0.2)	4.57E-11	(0.1)	5.28E-11	(0.2)
	Pb-212	8.49E-10	(2.3)	5.41E-10	(2.1)	5.63E-10	(1.8)	6.49E-10	(2.1)
	Bi-212	5.50E-10	(1.5)	3.00E-10	(1.2)	3.91E-10	(1.3)	4.05E-10	(1.3)
	Tl-208	1.39E-08	(36.8)	8.82E-09	(34.6)	9.28E-09	(30.1)	1.06E-08	(34.4)
	小計	2.06E-08	(54.7)	1.31E-08	(51.2)	1.35E-08	(43.8)	1.57E-08	(50.9)
Ac系列	Th-231	1.74E-11	(0.0)	1.23E-11	(0.0)	4.47E-12	(0.0)	1.22E-11	(0.0)
	U-235	5.28E-11	(0.1)	0.00E+00	(0.0)	0.00E+00	(0.0)	1.76E-11	(0.1)
	小計	7.03E-11	(0.2)	1.23E-11	(0.0)	4.47E-12	(0.0)	2.98E-11	(0.1)
その他	K-40	1.37E-08	(36.4)	9.06E-09	(35.5)	1.21E-08	(39.3)	1.13E-08	(36.8)

表4 空間線量率に対するγ線放射核種の寄与の割合(%)

	地域	地質など	ウラン系列	トリウム系列	K-40
本研究	五色台山塊	全体	12.2	50.9	36.8
		花崗岩類	8.7	54.7	36.4
		讃岐岩質安山岩	13.2	51.2	35.5
		火山砕屑岩類	16.9	43.8	39.3
		花崗岩土壌	16.3	45.7	38.0
Minato (2005)	日本	安山岩土壌	21.6	39.7	38.7
		裸地または砂地	19.2	39.8	41.0
Chikasawa et al (2001)	高知県	裸地または砂地	19.2	39.8	41.0
藤崎ほか(1994)	鹿児島県	県平均	19.0	40.9	38.8
市村ほか(1993)	茨城県	県平均	18.0	37.4	44.3

×1 cm線量当量率定数」の値を核種ごとに求めた。その平均値を地質別に表3に示す。

全体の平均値では、ウラン系列のBi-214が9.4%、Pb-214が2.3%である。トリウム系列ではTl-208が34.4%、Ac-228が12.8%、Pb-212が2.1%である。系列に属さないK-40が36.8%である。この6種類のγ線放射核種で全体の97.9%を占めている。Tl-208、Ac-228に注目すると、放射能濃度の割合がそれぞれ2.9%、3.5%であるが、「放射能濃度×1 cm線量当量率定数」の割合がそれぞれ34.4%、12.8%である。これは表8に示すように、1 cm線量当量率定数の値が他のγ線放射核種に比べて大きいためである。

系列別にまとめると、ウラン系列全体で12.2%、ト

リウム系列全体で50.9%、アクチニウム系列全体で0.1%以下である。K-40は36.8%である。トリウム系列とK-40を合わせて全体の約88%を占め、ウラン系列は約12%にとどまっている。このことから、露頭表面での空間線量率にはトリウム系列とK-40が主に寄与していることがわかる。

過去の報告の値と比較するために、空間線量率に対するγ線放射核種の寄与の割合(%)を表4にまとめた。高知県、鹿児島県、茨城県では、空間線量率に対するγ線放射核種のウラン系列とトリウム系列、K-40の寄与の割合が、ほぼ1:2:2になっている。(近澤ほか, 2001; 藤崎ほか, 1994; 市村ほか, 1993)。今回の調査では、全体の平均値としてトリウム系列の割合が



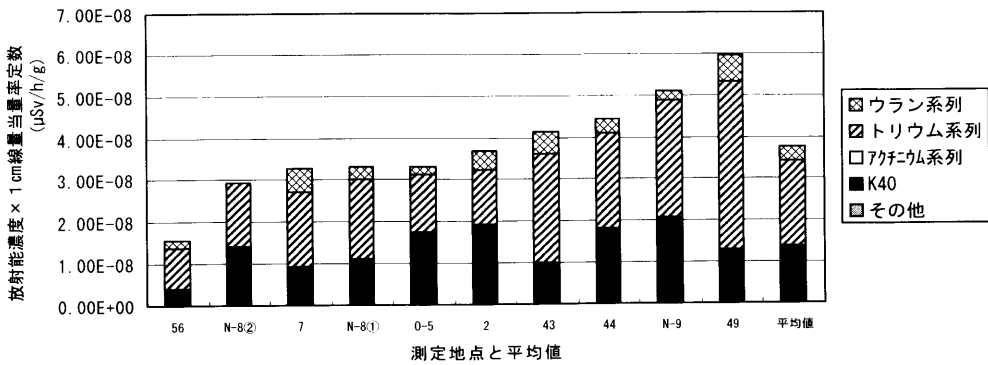


図4 γ線放射核種分析の結果—花崗岩類

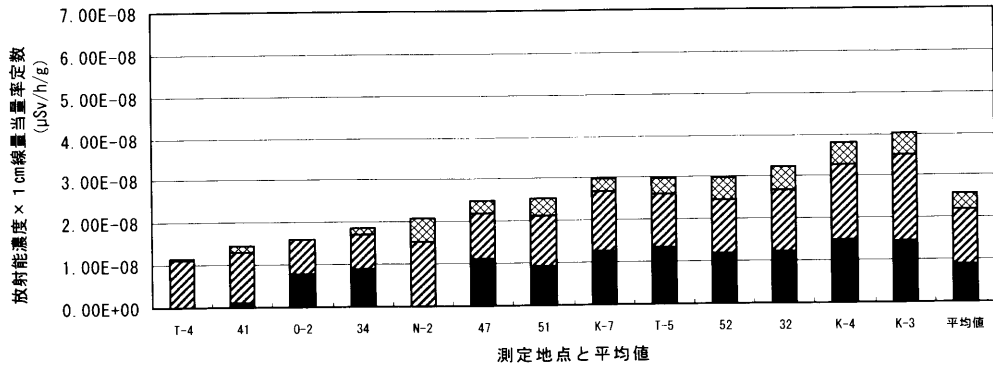


図5 γ線放射核種分析の結果—讃岐岩質安山岩

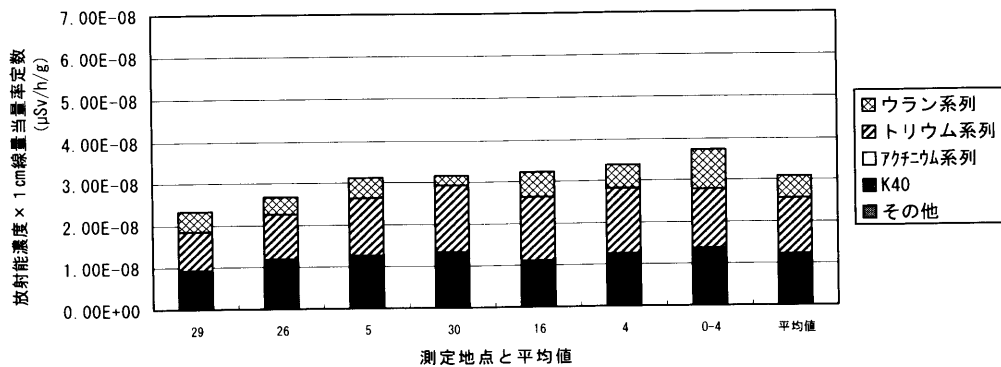


図6 γ線放射核種分析の結果—火山砕屑岩類

50.9%と高く、ウラン系列の割合が12.2%と低くなっている。この傾向が花崗岩類においてより顕著に表れていて、ウラン系列の割合が他県の2分の1になっている。これは、五色台山塊という狭い地域の分析結果ではあるが、地域的な特徴を表していると推察できる。しかし、その要因については、基盤となる領家帯花崗岩、讃岐層群の讃岐岩質安山岩の成因にかか

わる部分であり、今後の検討課題である。

「放射能濃度×1cm線量当量率定数」の値をそれぞれの系列ごとに加算し、測定地点ごとにまとめた。それらを最小値から順に並べ、地質別にそれぞれ図4、5、6に示す。

花崗岩類の平均値は $3.77 \times 10^{-8} \mu\text{Sv/h/g}$ であり、最大値は山ノ池(測定地点<49>)の $5.95 \times 10^{-8} \mu\text{Sv/h/g}$

h/g, 最小値は加茂町松尾神社裏(測定地点〈56〉)の  $1.56 \times 10^{-8} \mu\text{Sv}/\text{h}/\text{g}$  であった。最大値が最小値の約 3.8 倍になっている。花崗岩が風化したマサ土が確認された地点は、加茂町松尾神社裏(測定地点〈56〉)に加えて、王越山南西の神社(測定地点〈7〉)と赤子谷(測定地点〈43〉)である。その他の地点はすべて花崗岩の新鮮な面で試料を採取している。マサ土が確認された3地点では、K-40の占める割合が小さくなっている。これは、花崗岩を構成するカリ長石や雲母などが風化作用によって粘土鉱物へと変化し、水に溶け出したためと考えられる。

花崗岩における「放射能濃度×1 cm線量当量率定数」の値の全体的な差異については、岩石の風化と分解が影響していることも考えられる。しかし、マサ土化していない花崗岩でも違いが認められること、今回の調査地点は五色台の北部と南部で約 10 km の隔りがあることから、花崗岩の質的な違い、含まれる  $\gamma$  線放射核種の組成や量の違いが寄与している可能性が考えられ、風化と分解の影響が大きいとは一概に言いきれない。

讃岐岩質安山岩の平均値は  $2.55 \times 10^{-8} \mu\text{Sv}/\text{h}/\text{g}$  であり、最大値は白峰山西(K-3)の  $4.03 \times 10^{-8} \mu\text{Sv}/\text{h}/\text{g}$ 、最小値は黒峰展望台下(T-4)の  $1.15 \times 10^{-8} \mu\text{Sv}/\text{h}/\text{g}$  であった。最大値が最小値の約 3.5 倍になっている。岩石の試料については可能な限り新鮮な面で採取することに努めたが、一本松北の遍路道(測定地点〈41〉)と根香寺北(N-2)の二つの測定地点については讃岐岩質安山岩の風化が露頭全体で確認された。 $\gamma$  線放射核種の組成に違いが見られる根香寺北(N-2)については、岩石の風化と分解が影響していることも考えられる。風化が確認されていない黒峰展望台下(T-4)については、その他の測定地点と比べて讃岐岩質安山岩の質的な違いが寄与していると推察できる。

火山砕屑岩類の平均値は  $3.09 \times 10^{-8} \mu\text{Sv}/\text{h}/\text{g}$  であり、最大値は大崎赤鼻(O-4)の  $3.72 \times 10^{-8} \mu\text{Sv}/\text{h}/\text{g}$ 、最小値は桑崎池東(測定地点〈29〉)の  $2.33 \times 10^{-8} \mu\text{Sv}/\text{h}/\text{g}$  であった。前述の花崗岩類、讃岐岩質安山岩と比べて、含まれる  $\gamma$  線放射核種の組成や量にばらつきが見られない。火山砕屑岩類の地層は、花崗岩類と讃岐岩質安山岩の地層に挟まれ五色台山塊中腹部に連続して確認できることから、 $\gamma$  線放射核種の組成が同じ溶岩をもとにほぼ同時期に堆積したものと推察できる。

### (3) 空間線量率と「放射能濃度×1 cm線量当量率定数」との関係について

露頭表面での空間線量率と「放射能濃度×1 cm線量当量率定数」との関係を図7に示す。それぞれの間に危険率5% (相関係数 0.7442, 説明率 0.5539) で有意に相関が認められた。地上1 mでの空間線量率と「放射能濃度×1 cm線量当量率定数」との関係を図8に示す。それぞれの間に危険率5% (相関係数 0.7073, 説明率 0.5003) で有意に相関が認められた。この結果から、前節で述べたように岩石に含まれる  $\gamma$  線放射核種の組成や量に違いはあるが、 $\gamma$  線放射核種の「放射能濃度×1 cm線量当量率定数」の総量を空間線量率の分布を説明する定量的な一つの要因と位置づけることができる。特に、これについては讃岐岩質安山岩(▲)と火山砕屑岩類(●)で顕著に説明できることが図7, 8から読み取れる。

今回の測定では、同じ地質(岩石類)においても、 $\gamma$  線放射核種の組成や量の違いが明らかになった。詳細な地域の空間線量率を評価する場合には、地表を構

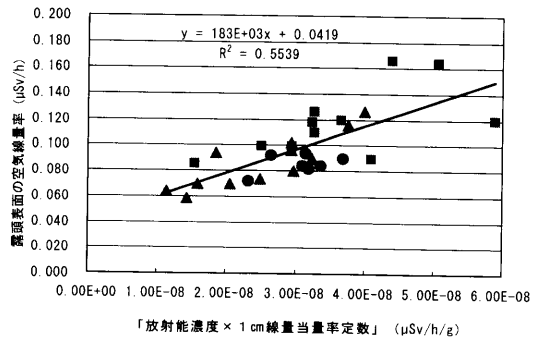


図7 露頭表面の空気線量率と「放射能濃度×1 cm線量当量率定数」との関係

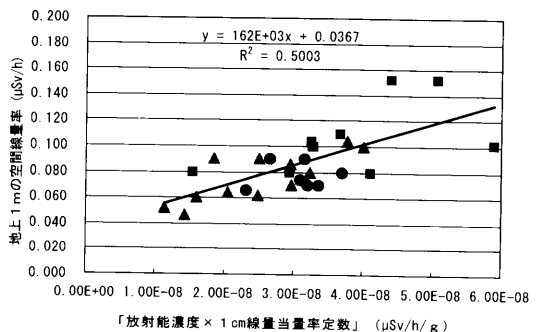


図8 地上1 mの空気線量率と「放射能濃度×1 cm線量当量率定数」との関係

成する岩石を一般的な分類で考慮するだけでは十分ではなく、岩石や土壤に含まれる $\gamma$ 線放射核種についての定量的な分析の必要性が明らかになった。

(4) 讃岐岩質安山岩の溶岩下部からの高さとの空間線量率について

片山(1987)は、五色台溶岩に含まれる石基斜長石の大きさとその分布から、溶岩下部を基準にした溶岩急冷部の高度を明らかにしている。溶岩下部の標高は、根香寺付近では約220 m、大崎付近では約100 mである。測定地点の標高から溶岩下部の標高を差し引いて、溶岩下部からの高さとしている。そして、根香寺付近では、溶岩下部からの高さで約130 m以下(根香寺溶岩/厚さ100~150 m)、約130~180 m(国分台溶岩/厚さ20~60 m)、約180 m以上(青峰溶岩/厚さ50 m)の少なくとも3回の溶岩流の存在を確認している。また、大崎周辺では約220 mを境に2回の溶岩流の可能性を指摘している。

そこで、今回測定した讃岐岩質安山岩のうち、片山の報告と測定地域を同じくする8カ所の地点について、空間線量率と溶岩下部からの高さとの関係を図9に示す。

溶岩下部からの高さ約130~140 m付近で空間線量率の値が大きく変化している。これは讃岐岩質安山岩の質的な変化を示唆している。溶岩下部からの高さとの関係は片山の報告とほぼ一致していることになる。

さらに、タンベ池周辺の測定地点T-5では、溶岩下部の標高を約150 mとすると、溶岩下部からの高さとの空間線量率の値は170 m、0.102  $\mu$ Sv/hである。さらに、図5よりT-5の讃岐岩質安山岩に含まれる放射

性核種の組成が国分台周辺の測定地点〈51〉と類似することから、T-5の讃岐岩質安山岩が国分台溶岩である可能性も推察できる。

4. ま と め

この研究は、五色台山塊において基本的な地質と空間線量率の関係を明らかにするとともに、その要因について定量的な解析を進めるため、岩石や土壤に含まれる $\gamma$ 線放射核種の種類と量の分析を行った。その結果、次のようなことが明らかになった。

- (1) 空間線量率の測定結果は、花崗岩類の分布域で0.116  $\mu$ Sv/h、讃岐岩質安山岩で0.086  $\mu$ Sv/h、火山砕屑岩類で、0.078  $\mu$ Sv/hである。地質を構成する岩石ごとにまとめた古川(1993)の報告とほぼ一致している。香川県での空間線量率を評価する際には、基盤となる花崗岩類の寄与だけで論じるのではなく、地域の地形的な特質を表している火山岩類などの詳細な地質を考慮することが必要である。
- (2) 花崗岩類や讃岐岩質安山岩では、測定地点によって含有する $\gamma$ 線放射核種の総量に差異が見られた。花崗岩類では最大値が最小値の約3.8倍、讃岐岩質安山岩では約3.5倍になっている。火山砕屑岩類では大きな差異は見られなかった。
- (3) 岩石に含まれる $\gamma$ 線放射核種の「放射能濃度 $\times$ 1 cm線量当量率定数」の総量が、空間線量率の分布を説明する定量的な一つの要因となることが明らかになった。「1 cm線量当量率」とその「定数」については、付記(1)、(3)に示す。
- (4) 空間線量率に対する $\gamma$ 線放射核種の寄与の割合(%)は、ウラン系列が12.2%、トリウム系列が50.9%、K-40が36.8%であった。これは、五色台山塊の地域的な特徴を表していると推察できる。
- (5) 空間線量率の測定結果から、溶岩下部からの高さが約130~140 m付近で讃岐岩質安山岩についての質的な変化を確認することができた。これは、片山(1987)による溶岩に含まれる石基斜長石の分析の報告とほぼ一致している。

今後の課題として、香川県下の平野部や和泉層群、三豊層群などの堆積層についても同様の調査を実施し、自然放射線や放射性核種を題材とした学習コンテンツ開発の基礎資料を作成したい。

謝 辞 本研究を進めるにあたり、香川大学工学部

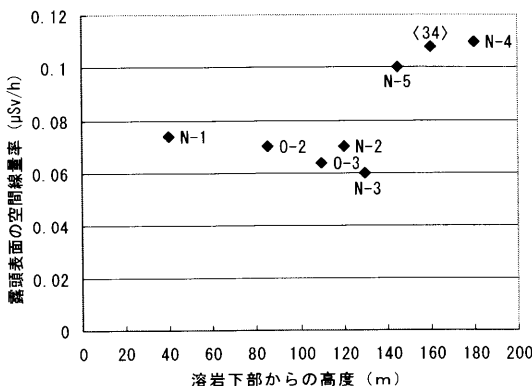


図9 讃岐岩質安山岩が分布する地域の空間線量率と溶岩下部からの高さとの関係

表5 標本試料の実測値から Sv/Gy

標本試料	μSv/h	μGv/h	Sv/Gy	含有する主なγ線放射核種
バックグラウンドB.G.	0.12	0.10		
ウラン鉱石	0.65	0.55	1.18	Th-234, Ra-226, Pb-214
酸化トリウム	2.19	1.90	1.15	Pb-212, Ac-228, Tl-208, Bi-212
泉源体 (温浴器用セラミック)	0.40	0.33	1.22	Ac-228, Pb-212, Bi-212, Tl-208, Ra-226, Bi-214, Pb-214
マンテル (ガスランタン用)	0.93	0.79	1.17	Ac-228, Pb-212, Bi-212, Tl-208
K-40 (JIS規格Z4333)			1.15	

中西俊介教授には研究の遂行全般にわたり丁寧なご指導とご助言をいただいた。香川大学工学部の寺林 優助教授には地質全般についてのご指導とご助言をいただいた。これらの方々には深く感謝の意を表す。

## 引用文献

- 阿部史朗 (1982): わが国における自然の空間放射線分布の測定, 保健物理, 17, 169-193.
- Chikasawa, K., Ishii, T. and Sugiyama, H. (2001): Terrestrial gamma radiation in Kochi Prefecture, Japan, *J. Health Sci.*, 47, 362-372.
- 藤崎 学・四反田昭二・今村和彦・岩田治郎 (1994): 可搬型 Ge 半導体検出器を用いた鹿児島県における空間放射線量率の地域分布とその構成成分. 鹿児島県環境センター所報, 10, 69-77.
- 古川雅英 (1993): 日本列島の自然放射線レベル. 地学雑誌, 102(7), 868-877.
- 原子力安全委員会 (2001): 環境放射線モニタリングに関する指針. 原子力安全委員会, 41-42.
- 市村雄一・三好 隆・橋本和子・田辺芳次・平井保夫 (1993): 茨城県における空間ガンマ線量率分布とその構成要因. 茨城県公害技術センター研究報告, 5, 23-31.
- 岩下陽子・日野康良 (2003): 香川県における環境放射能調査 (XIV). 香川県環境保健研究センター所報, 2, 147-149.
- 香川県企画部企画調整課 (1976): 土地分類基本調査表層地質図「玉野」.
- 片山敏彦 (1987): 五色台溶岩に含まれる石基斜長石の大きさと形について. 香川県自然科学館研究報告, 9, 33-40.
- 経済企画庁総合開発局 (1969): 土地分類基本調査表層地質図「丸亀」.
- 湊 進 (1984): 自然環境ガンマ線変動シミュレーション用モデル. 名古屋工業技術試験所報告, 33, 246-258.
- Minato, S. (2005): Uranium, Thorium and Potassium Concentrations in Japanese Soils, *RADIOISOTOPES*, 54(3), 91-97.
- 日本分析センター (1992): ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー 2訂, 203-273.

日本アイソトープ協会 (2001): アイソトープ手帳 10 版, 20-76.

## 付記

## (1) μSv/h 表示の測定器使用について

放射線の空間線量率 (一定時間当たりの空気中を通過する放射線の量) の測定には, 一般的に NaI (Tl) シンチレーションサーベイメータを用い, 空気吸収線量率 (μGy/h) を測定するのが通常の方法である. 今回は μGy/h 表示の測定器が身近になく, μSv/h 表示の測定器を香川大学総合生命科学実験センターより借用

表6 換算係数 (Sv/Gy)

	Sv/Gy
[K-40+ウラン鉱石]	1.16
[K-40+酸化トリウム]	1.15
[K-40+泉源体]	1.18
[K-40+マンテル]	1.16
平均値	1.16

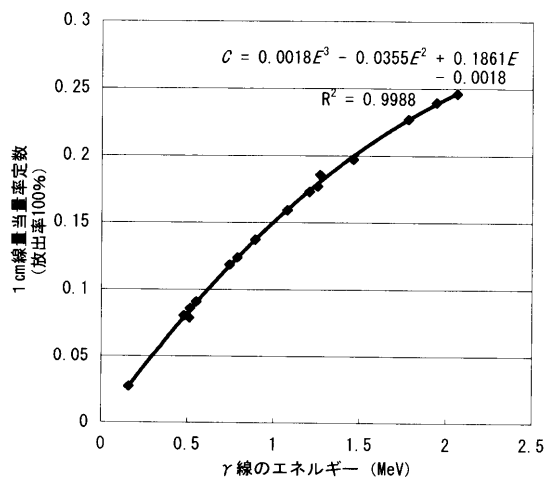


図10 1 cm 線量当量率定数の近似式のグラフ

表7  $\gamma$ 線のエネルギーと1 cm線量当量率定数が1対1に対応する核種のデータ

(日本アイソトープ協会, 2001)

$\gamma$ 線放射核種	エネルギー (MeV)	放出割合 (%)	1 cm線量当量率定数 ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{MBq} \cdot \text{h}$ )	放出割合100%に換算した1 cm線量当量率定数
Be-7	0.478	10.5	0.00847	0.08067
Al-28	1.779	100.	0.227	0.227
Si-31	1.266	0.07	0.00013	0.18571
K-40	1.461	10.7	0.0211	0.1972
Sc-47	0.159	68.3	0.0186	0.0272
Kr-85	0.514	0.43	0.00037	0.08605
Rb-86	1.077	8.6	0.0137	0.1593
Y-91	1.205	0.26	0.00045	0.17308
mNb-97	0.743	97.9	0.116	0.118
Rn-220	0.550	0.11	0.0001	0.0909
Rn-222	0.510	0.076	0.00006	0.07895
Na-24	2.063	99.95	0.246	0.246
Mg-27	0.892	49.9	0.0685	0.1373
Cl-38	1.942	37.15	0.089	0.240
Co-60	1.253	100.	0.177	0.177
Nb-94	0.788	98.9	0.1225	0.1239

表8 Ge半導体検出器により分析を行った $\gamma$ 線放射核種の1 cm線量当量率定数

(日本分析センター, 1992)

$\gamma$ 線放射核種	$\gamma$ 線のエネルギー (MeV)	エネルギーの放出率 (%)	1 cm線量当量率定数 ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{MBq} \cdot \text{h}$ )			
			放出率100%の近似値	$\times$ 放出率	計算値	
Th-234	0.0633	3.82	0.0098	0.0004	0.0012	
	0.0928	5.43	0.0152	0.0008		
Pa-234m	0.7666	0.21	0.1208	0.0003	0.0011	
	1.0010	0.59	0.1507	0.0009		
Pb-214	0.0532	2.24	0.0080	0.0002	0.0365	
	0.2419	7.68	0.0412	0.0032		
	0.2952	18.92	0.0501	0.0095		
	0.3520	36.74	0.0594	0.0218		
	0.7860	0.87	0.1234	0.0011		
	0.8392	0.60	0.1304	0.0008		
	Bi-214	0.4057	0.17	0.0680	0.0001	0.1752
		0.6093	46.11	0.0988	0.0456	
		0.6655	1.57	0.1069	0.0017	
		0.7031	0.47	0.1121	0.0005	
0.7199		0.40	0.1144	0.0005		
0.7425		0.00	0.1175	0.0000		
0.7684		4.91	0.1210	0.0059		
0.7861		0.31	0.1234	0.0004		
0.8062		1.24	0.1261	0.0016		
0.9341		3.19	0.1425	0.0045		
1.1203		15.06	0.1647	0.0248		
1.1552		1.70	0.1686	0.0029		
1.2381		5.95	0.1776	0.0106		
1.2535		0.00	0.1792	0.0000		
1.2810		1.48	0.1821	0.0027		
1.3777		4.05	0.1919	0.0078		
1.3853		0.79	0.1927	0.0015		
1.4015		1.40	0.1942	0.0027		
1.4080		2.48	0.1949	0.0048		
1.5092		2.19	0.2044	0.0045		
1.5832	0.73	0.2110	0.0015			
1.5993	0.33	0.2124	0.0007			
1.6613	1.16	0.2176	0.0025			
1.7296	2.98	0.2232	0.0067			
1.7645	15.86	0.2259	0.0358			
1.8474	2.11	0.2322	0.0049			
Pb-210	0.0465	4.25	0.0068	0.0003	0.0003	

表 8 (つづき)

(日本分析センター, 1992)

γ 線放射核種	γ 線のエネルギー (MeV)	エネルギーの 放出率 (%)	1 cm 線量当量率定数 (μSv・m <sup>2</sup> /MBq・h)		
			放出率 100%の近似値	×放出率	計算値
Ac-228	0.0995	1.32	0.0164	0.0002	0.1227
	0.1004	0.12	0.0165	0.0000	
	0.1291	2.63	0.0216	0.0006	
	0.1540	0.80	0.0260	0.0002	
	0.2095	4.37	0.0356	0.0016	
	0.2702	3.63	0.0459	0.0017	
	0.3219	0.22	0.0545	0.0001	
	0.3283	3.14	0.0555	0.0017	
	0.3329	0.36	0.0563	0.0002	
	0.3387	12.20	0.0572	0.0070	
	0.4098	2.13	0.0686	0.0015	
	0.4633	4.65	0.0770	0.0036	
	0.5627	0.86	0.0920	0.0008	
	0.7268	0.78	0.1154	0.0009	
	0.7553	1.02	0.1193	0.0012	
	0.7718	1.62	0.1215	0.0020	
	0.7820	0.51	0.1229	0.0006	
	0.7950	4.47	0.1246	0.0056	
	0.7961	0.13	0.1248	0.0002	
	0.8304	0.65	0.1293	0.0008	
	0.8356	1.72	0.1300	0.0022	
	0.8404	0.97	0.1306	0.0013	
	0.9041	0.82	0.1388	0.0011	
	0.9112	27.20	0.1397	0.0380	
	0.9644	4.71	0.1463	0.0069	
	0.9688	16.20	0.1468	0.0238	
	1.2451	0.17	0.1784	0.0003	
	1.2469	0.38	0.1785	0.0007	
	1.2494	0.12	0.1788	0.0002	
	1.4592	0.93	0.1998	0.0019	
	1.4962	0.98	0.2032	0.0020	
	1.5017	0.55	0.2037	0.0011	
	1.5391	0.05	0.2071	0.0001	
1.5883	3.55	0.2114	0.0075		
1.6253	0.32	0.2146	0.0007		
1.6307	1.53	0.2151	0.0033		
1.6383	0.46	0.2157	0.0010		
1.6858	0.10	0.2197	0.0002		
Pb-212	0.2386	43.10	0.0406	0.0175	0.0192
	0.3001	3.33	0.0509	0.0017	
Bi-212	0.2881	0.32	0.0489	0.0002	0.0116
	0.4528	0.35	0.0754	0.0003	
	0.7273	6.32	0.1155	0.0073	
	1.0788	0.51	0.1599	0.0008	
	1.6206	1.41	0.2142	0.0030	
Tl-208	0.2774	6.83	0.0471	0.0032	0.3942
	0.5107	21.69	0.0842	0.0183	
	0.5831	86.30	0.0950	0.0820	
	0.7631	1.65	0.1203	0.0020	
	0.8604	12.04	0.1332	0.0160	
	1.0939	0.37	0.1617	0.0006	
	1.5925	0.00	0.2118	0.0000	
	2.6145	99.20	0.2743	0.2721	

し、1 cm 線量当量率( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )を測定した。

## (2) Sv と Gy の換算係数について

JIS 規格 Z4333 に空気吸収線量と 1 cm 線量当量との換算係数(Sv/Gy)が与えられており、特定エネルギーでの 1 cm 線量当量率と空気吸収線量率との変換が可能である。使用したエネルギー補償形  $\gamma$  線用シンチレーションサーベイメータのエネルギー補償範囲は 50~3 keV であるので、換算係数(Sv/Gy)には 1.67~1.13 の範囲がある。そこで、今回の調査分析で確認された  $\gamma$  線放射核種を含む標本試料を使って、 $\mu\text{Sv}/\text{h}$  表示の測定器と  $\mu\text{Gy}/\text{h}$  表示の測定器(調査測定後購入)で実測し、Sv/Gy を求めた(表 5)。さらに、全採取試料の平均値で K-40 の放射能濃度の割合が 58.6% であることから、標本試料ごとに、K-40(換算係数 1.15)を 58.6% 含有する [K-40+標本試料]を想定し、Sv/Gy を算出した。それらの平均値を換算係数(Sv/Gy)として求めた(表 6)。

## (3) 放射性核種の 1 cm 線量当量率定数について

1 cm 線量当量率定数は、 $\gamma$  線のエネルギーと 1 cm 線量当量率定数が 1 対 1 に対応する核種のデータ(表 7)から、 $\gamma$  線の一つのエネルギーに対応する放出率 100% の 1 cm 線量当量率定数を最小 2 乗法による三次関数の近似式(図 10, 説明率  $R^2=0.9988$ )を求めて算出した。この関数は次式、

$$C=0.0018E^3-0.0355E^2+0.1861E-0.0018$$

C:  $\gamma$  線のエネルギーの値に対応する 1 cm 線量当量率定数 ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ )

E:  $\gamma$  線のエネルギー (MeV)

で示される。

放射性核種の 1 cm 線量当量率定数については、個々のエネルギーに対する 1 cm 線量当量率定数に、その放出率(%)を掛け、すべてを加算して求めた(表 8)。

水野敏孝・須田博文：香川県五色台における自然放射線の空間線量率と地質中の放射性核種との相関について—自然放射線についての理解を促進する学習コンテンツの開発をめざして— 地学教育 59 巻 2 号, 51-65, 2006

〔キーワード〕空間線量率, 放射性核種, 五色台山塊, 讃岐岩質安山岩, 学習コンテンツ, 香川県

〔要旨〕この研究では、香川県の五色台山塊において基本的な地質と空間線量率の関係を調査した。また、空間線量率の要因を明らかにするため、岩石や土壌に含まれる  $\gamma$  線放射核種の種類と量を分析した。この研究は、原子力・放射線の学習について、「自然放射線」を題材とした学習コンテンツを開発するためのものである。そして、「自然放射線」についての地域の基本的な測定データを収集するために実施した。その結果、次のようなことが明らかになった。

1. 空間線量率の測定結果は、花崗岩類の地質で  $0.116 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 、讃岐岩質安山岩で  $0.086 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 、火山砕屑岩類で、 $0.078 \mu\text{Sv}/\text{h}$  である。地質を構成する岩石ごとにまとめた古川(1993)の報告とほぼ一致している。香川県での空間線量率を評価する際には、基盤となる花崗岩類の寄与だけで論じるのではなく、地域の地形的な特質を表している火山岩類などの詳細な地質を考慮することが必要である。
2. 花崗岩類や讃岐岩質安山岩では、測定地点によって含有する  $\gamma$  線放射核種の総量に差異が見られる。火山砕屑岩類では大きな差異は見られなかった。
3. 岩石に含まれる  $\gamma$  線放射核種の「放射能濃度」と「1 cm 線量当量率定数」の積の総量が、空間線量率の分布を説明することができる。
4. 空間線量率に対する  $\gamma$  線放射核種の寄与の割合(%)は、ウラン系列が 12.2%、トリウム系列が 50.9%、K-40 が 36.8% であった。これは、五色台山塊の地域的な特徴を表していると推察できる。
5. 露頭表面の空間線量率の値によって、讃岐岩質安山岩の質的な違いを確認することができる。

Toshitaka MIZUNO and Hirohumi SUDA: On the Correlation between Ambient Dose Rates and Radionuclides in Soils Studied in Goshikidai, Kagawa Prefecture: Developing Learning Content to Enhance Student Understanding about Natural Radiation. *Educat. Earth Sci.*, 59(2), 51-65, 2006





## 高潮浸水域の簡易調査法の開発とその教材化

—台風0416号による香川県高松市の高潮災害—

A Quick Investigation Method to Assess Storm-tide Flooded Area, and Development of Related Teaching Materials, Based on the Disaster Caused by Typhoon No. 0416 in Takamatsu, Kagawa Prefecture, Japan

川村 教一\*

Norihito KAWAMURA

**Abstract:** An outline of quick investigation methods used to investigate the flooded area from a storm-tide was developed. Methods used to identify the severity of the flooding included discoloration and fallen plants, and the disorder of vending machines and other machines in parking lots. These methods are suitable for use in developing storm-tide disaster-research teaching material, as well as Earth Science club activities. Using these methods, students were able to investigate the storm tide disaster caused by Typhoon No. 0416 in the lowlands of Takamatsu, Kagawa Prefecture.

**Key words:** storm tide, salt damage, Typhoon No. 0416, Takamatsu, club activity

### 1. はじめに

香川県は、2004年8月末に台風16号(0416号)によって広い範囲にわたり高潮災害を被った。8月30日午後11時に高松港の潮位は標高2.46mで最高潮となり、31日にかけて高松市では沿岸部の広い範囲で土地が冠水、建物が浸水した(高松地方気象台, 2005)。浸水範囲の多くは市街地であるため、床上浸水、床下浸水の被災家屋が多数発生し、死者も出た(高松市広聴広報課, 2004)。このときの浸水状況については、港湾空港技術研究所(2004)による暫定的な報告のほか、1447件のアンケート調査に基づいた浸水範囲の経時変化の調査(及川, 2004)、一部地域ではあるが719カ所の水面痕跡の観察や聞き取り調査に基づいた詳細な浸水状況報告(寺林ほか, 2005)がある。

ところで自然災害とその防災に関する学習は、中学校理科では地学教育の内容項目の一つである(文部省, 1999a)。一方、高等学校理科の地学に関する科目

について、現行およびその前の学習指導要領と解説(文部省, 1989, 1999b)を比べると、旧課程の地学IAには大項目として「地球の活動と災害」が設定されたのに対し、現行課程の理科総合Bでは地球環境の課題例として自然災害が挙げられているのみで、扱いが小さくなった。また、地学IBと地学Iの教科書数点を比較すると、学習項目の削減に伴って、「高潮」が教科書から記述が消えているほか、気象災害についてはごくわずかな記載しかない。筆者は、自然災害教育の一環として、地域の自然災害誌を教材化することが重要であると考えた。これまでも自然災害の教材化の試みとして、池田(1993)による地震や気象災害の教材化、藤岡(1996)の地震災害の教材化、藤岡(1992)や日下(1996)による河川災害教材の例などがある。また高潮の教材例は、藤岡(1999)による、過去の災害記録と地形との関係を資料をもとにワークシートで学習させた例がある。しかし、これまでに野外における高潮災害の観察を教材化した例はない。

そこで筆者は、台風0416号に伴う高松市の低地

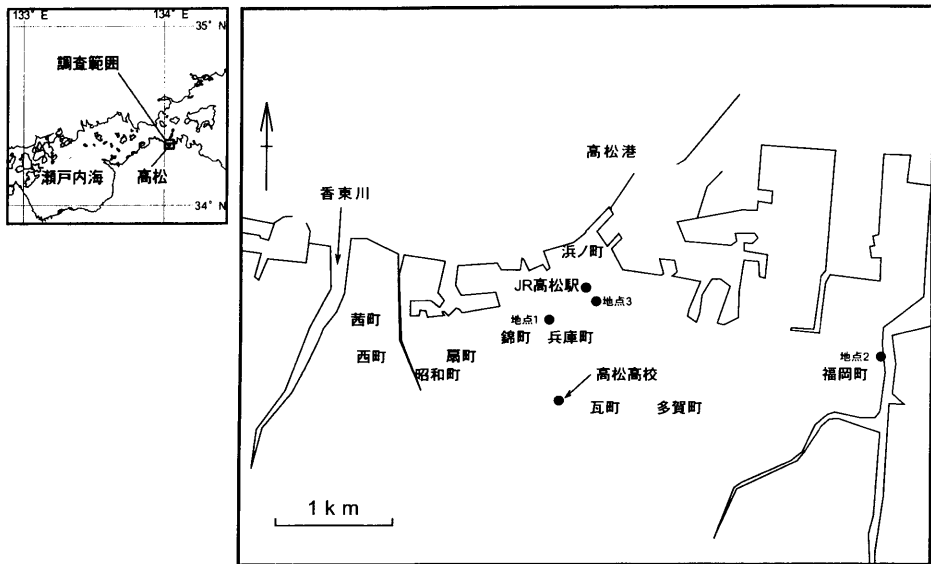


図1 調査地域の位置

(図1)での、高潮浸水域の迅速・簡便な現地調査法を開発した。さらに、この方法に基づいて高潮災害の教材化を図り、前任校(香川県立高松高等学校)のクラブ活動において導入したので、その成果について報告する。

## 2. 調査法開発の視点

### (1) 教材化のための課題

一般的に用いられる高潮浸水範囲の調査法(以下、従来法)は、大量のアンケート用紙の配布、聞き取りや建物・自動販売機の壁面などに残された水面の痕跡の発見などによる水位の推定などである(及川, 2004; 港湾空港技術研究所, 2004; 寺林ほか, 2005)。これらの方法を用いて教材化する際の課題は、次のとおりである。

- 1) 大規模なアンケートの実施は通信費がかかる。
- 2) 水面の痕跡はその後の降雨などにより消えやすく、高潮の後、なるべく早く調査を始める必要がある。
- 3) 水位の聞き取り調査では、情報提供者の確保やインタビューが必要であり、1地点あたりの調査に時間がかかる。

これらのことから、教材化に際しては従来法をそのまま導入するばかりではなく、迅速・簡便な方法の開発が求められる。

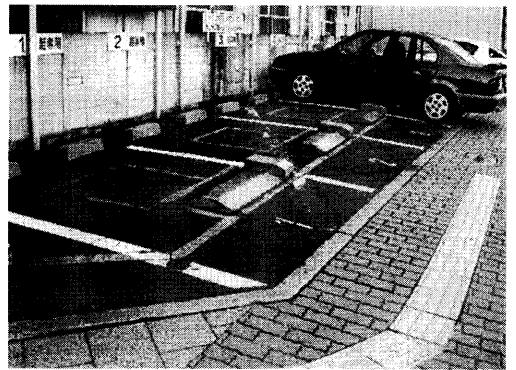


図2 コインパーキングの例(地点1:高松市錦町) 自動車の下の路面に見える長方形の部分がフラップ板。高潮で被災したが撮影時には修理されている。

### (2) 調査項目の選定

本調査法は、街頭に植えられた樹木の葉の変色や落葉、自動販売機の故障、時間貸し駐車場(いわゆるコインパーキング:図2)の料金精算入出場管理システム機器の故障を指標として高潮浸水範囲を推定しようとするものである。

#### 1) 樹木の葉の変色や落葉

潮風が吹きつけたり、塩分のある水に浸ったことにより被害をもたらされる災害を塩風害や塩水害(併せて塩害)という(中島, 1986)。塩風害調査の例とし

て、イチョウの葉の変色や落葉を指標としてその範囲を調査した例が岡(2000)により紹介されている。塩風害と同様に、塩水害でも植物に異常が発生すると考えられる。樹木は、道路沿いに特定の種が植えられていることが多いので観察条件を統一しやすい。また、葉の変化は短時間で観察できるので、短期間の調査で多くの地点のデータが得られると期待できる。

さて、今回の高潮で浸水しなかった地点（高松高校付近など）では、台風通過後に樹木に変化が見られなかったのに対し、JR 高松駅前（図 1 参照）など、高潮による浸水が目撃された地点では、高潮があった翌日から街路樹や公園樹などが落葉したり、葉が変色したりし始めた。街路樹のアメリカフウ、生け垣のアベリア、イヌツゲ、イブキ、ツツジ、サンゴジュなどは、葉に変化が見られた個体と見られなかった個体の分布境界が図 3 に示すように明瞭であり、塩水害によるものと考えられる。

## 2) 自動販売機の故障

JR 高松駅前など高潮による浸水が目撃された地点では、屋外に設置されていた自動販売機には故障したものが多かった。高潮発生時に浸水地区におられた方にインタビューしたところ、自動販売機の下部が高潮で浸水すると同時に、自動販売機が使用不可能になったという。しかし、電源コンセントの位置が水面上にあった場合、販売機は故障しなかったという。自動販

売機が故障していると、照明が消えている、硬貨を入れても返却口に戻ってくるなどの異常があるので、故障の有無を短時間で判別しやすい。これらのことから故障した自動販売機の分布は浸水範囲の指標になると考えた。

## 3) コインパーキングの機器の故障

浸水目撃のあったすべてのコインパーキングでは機器が故障した。例えば、車両が存在しないのに車のストッパーであるフラップ板（リア車輪ロック）が上がったままになっていた。このため機器が故障したコインパーキングの分布は、浸水範囲の指標になると考えた。

## 3. 調査の概要と調査項目

前章で選定した調査項目を用いた調査の有効性を検討するために、各調査項目から推定される浸水範囲と、アンケートによる浸水家屋の分布調査結果を比較した。現地調査は、2004年9月2～23日、10月13～14日、16～18日、22日、2005年1月2日、27日に行った。

### (1) 調査地域

調査地域は、台風 0416 号によって高潮で浸水した香川県高松市のうち西町、茜町～福岡町三丁目である（図 1）。台風 0418 号による高潮浸水範囲は、高松市福岡町付近の一部と限定的であったので、その影響は

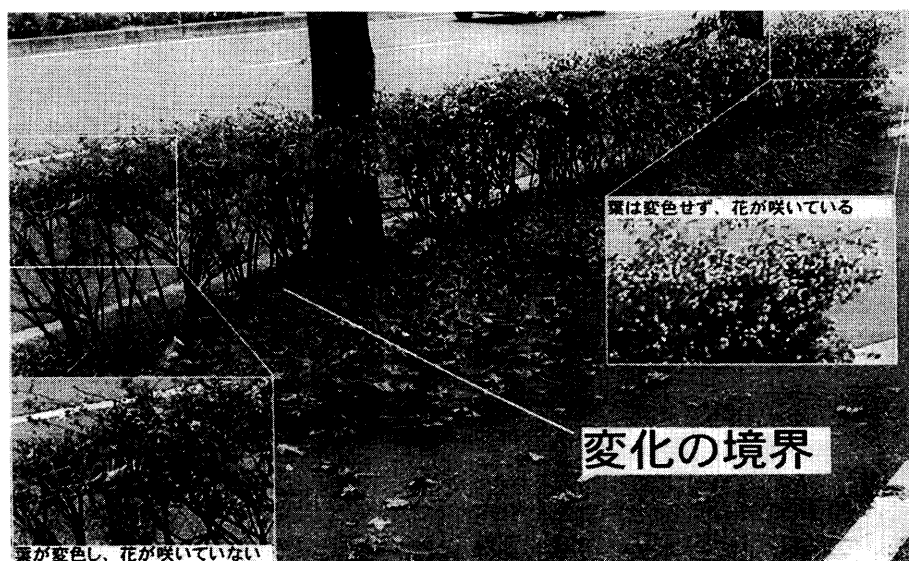


図 3 葉に変化が見られるアベリア個体の分布境界  
（地点 2: 高松市福岡町，2004 年 9 月 23 日撮影）

考慮しない。

## (2) 調査項目

### 1) 樹木の葉の変化

次の樹木を観察対象とした。

①街路樹：公道沿いの中央分離帯や車道/歩道分離帯において、並木として植えられた樹木

①生け垣：車道/歩道分離帯や歩道/建物境界において、密集して植えられた樹木

③公園樹：公園や緑地内に植えられた樹木

各樹木について、葉の変色（茶色や黒色）やほとんど葉が残らなくなるような著しい落葉の有無を観察し、それらの分布調査を行った。

### 2) 自動販売機の故障

道路に面した、道路面と比高の小さい位置（20 cm 以内）に設置された清涼飲料水やたばこの自動販売機の故障の有無を観察し、その分布調査を行った。

### 3) コインパーキングの機器の故障

コインパーキングにおける機器（フラップ板）の故障の有無を観察し、その分布調査を行った。

### 4) 浸水家屋の分布

高松高校の生徒および教員 1,046 名に 2004 年 9 月 8 日にアンケート用紙を配布、9 月 13 日までに回収した。有効回答数 691（有効回答率は 66.1%）であった。

アンケートでは台風 0416 号による高潮の浸水の有無や浸水の程度について、自宅の被害状況として、「床上浸水」、「床下浸水」、「家の前の道路が冠水した」、「冠水しなかった」、「分からない」の選択肢のうちから回答していただいた。

## 4. 調査結果

### (1) 樹木の葉の変色や落葉

葉の変色、顕著な落葉の調査結果は表 1 のとおりである。ソメイヨシノやハナミズキは、浸水が目撃されていないにもかかわらず海岸線に近い地点の個体では多くの葉が落葉したことから、塩風害の影響を受けやすいようである。クスノキの多くやクロマツ、マルバシャリンバイなどは、目撃例や報道画像を通じての観察などから高潮によって浸水したと確認された個体であっても外観に変化がなく、著しい落葉は確認できなかった。これらを除いた、葉に変化が見られた樹木の分布を図 4 に示す。

ベニバナトチノキ（図 5）、アメリカフウなどは、高潮浸水 3 日後には落葉が著しくなり、浸水 10 日後に

はほとんどの葉が落葉した。クロガネモチ、サンゴジュなどは、葉が黒色に変わった。またアベリア（図 3）、イブキ、ツゲ類、サツキ、リュウキュウツツジは落葉しないものの、すべての葉が茶色に変色した。その後、新芽を出すこともなかった。

### (2) 自動販売機の故障

調査範囲の西から順に、高松市昭和町、扇町、浜ノ町～多賀町～福岡町にかけての一带で、多くの自動販売機が故障したことがわかった。これらの地域に隣接する地域では、故障した自動販売機は見られなかった（図 4）。

### (3) コインパーキングの機器の故障

コインパーキングは市街地中心部に密集している。故障した機器の分布は、錦町～兵庫町やその東方である。浜ノ町の JR 高松駅付近や、瓦町南部では故障した機器は見られなかった。

### (4) 浸水家屋の分布

アンケート回答の内訳は、「床上浸水」5 カ所、「床下浸水」80 カ所、「家の前の道路が冠水した」2 カ所、「冠水しなかった」が 599 カ所、「分からない」5 カ所であった。

床上浸水したとの回答（図 4 中の■印）は松島町から、床下浸水したとの回答（図 4 中の●印）は、茜町、昭和町、扇町、浜ノ町、兵庫町～瓦町～多賀町～福岡町などから得られた。茜町～多賀町より南方では、浸水したとの回答は全くなかった（図 4 中の○印）。

## 5. 浸水範囲の推定

図 4 に示したように、4.(1)～(3) の各調査法による浸水地点の分布は相補的な関係にあり、矛盾しない。樹木やコインパーキングの機器が地面の浸水を示唆するのに対し、自動販売機は地面より高い位置までの浸水を示すという違いがあるものの、三つの調査項目から推定される浸水範囲の限界はおおむね一致する。これらの調査項目から推定される浸水地点を総合して、図 4 のように浸水範囲を推定した。

推定浸水範囲の限界線は、調査範囲西部の西町、昭和町、扇町、錦町付近において、標高 1.0～1.5 m 等高線とほぼ調和的である。同様に調査範囲中部の兵庫町～瓦町では、標高 2.0 m 等高線とほぼ一致する。また、多賀町付近では標高 1.5 m 等高線と類似する。一方、扇町一丁目～錦町二丁目や浜ノ町サンポート付近の微高地は浸水していないことが分かる（図 6）。

本調査による推定浸水範囲の限界線は、高松市広聴

表1 観察した樹木リスト

学名は、アベリアについては塚本(1975)、カンツバキとマメツゲを北村・村田(1971)、それ以外を牧野(1989)に従った。ただし、コブシの表記は簡略化した。耐潮性/5段階区分は日本緑化センター・日本植木協会(2001)、それ以外の3段階区分は飯島・安蒜(1974)による。

和名	学名	区分	耐潮性 /5段階 (3段階)	落葉	葉の色 の変化
アオキ	<i>Aucuba japonica</i> Thunb.	常緑広葉樹	3	±	黒色
アカメガシワ	<i>Mallotus japonicus</i> (Thunb.) Muell. Arg.	落葉広葉樹	(強い)	+	—
アベリア	<i>Abelia grandiflora</i> Rehder	常緑または 落葉広葉樹	3	—	茶色
イブキ	<i>Juniperus chinensis</i> L. var. <i>chinensis</i>	常緑針葉樹	5	—	茶色
イチジク	<i>Ficus carica</i> L.	落葉広葉樹	(強い)	+	茶色
イヌツゲ	<i>Ilex crenata</i> Thunb. var. <i>crenata</i>	常緑広葉樹	3	—	茶色
イロハカエデ	<i>Acer palmatum</i> Thunb. var. <i>palmatum</i>	落葉広葉樹	2	+	—
エノキ	<i>Celtis sinensis</i> Pers. var. <i>japonica</i> (Planch.) Nakai	落葉広葉樹	5	+	—
カナメモチ	<i>Photinia glabra</i> (Thunb.) Maxim.	常緑広葉樹	3	+	—
カリン	<i>Choenomeles sinensis</i> (Thouin) Koehne	落葉広葉樹	3	+	—
カンツバキ	<i>Camellia hiemalis</i> Nakai	常緑広葉樹	4	+	—
キリ	<i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Steud.	落葉広葉樹	(あり)	+	—
クス	<i>Cinnamomum camphora</i> (L.) Presl	常緑広葉樹	4	—	—
クロガネモチ	<i>Ilex rotunda</i> Thunb.	常緑広葉樹	4	+	黒色
クロマツ	<i>Pinus thunbergii</i> Parl.	常緑針葉樹	5	—	—
ケヤキ	<i>Zelkova serrata</i> (Thunb.) Makino	落葉広葉樹	3	+	—
コブシ	<i>Magnolia praecocissima</i> Koidz.	落葉広葉樹	3	+	—
サツキ	<i>Rhododendron indicum</i> (L.) Sweet	常緑広葉樹	3	—	茶色
サンゴジュ	<i>Viburnum odoratissimum</i> Ker-Gawl. var. <i>awabuki</i> (K. Koch) Zabel	常緑広葉樹	5	±	黒色
シダレヤナギ	<i>Salix babylonica</i> L.	落葉広葉樹	3	—	—
シリブカガシ	<i>Lithocarpus glabra</i> (Thunb.) Nakai	常緑広葉樹	不明	±	茶色
ソメイヨシノ	<i>Prunus yedoensis</i> Matsum.	落葉広葉樹	3	+	茶色
ツゲ	<i>Buxus microphylla</i> Sieb. et Zucc. var. <i>japonica</i> Rehder et Wils.	常緑広葉樹	5	—	茶色
トチノキ	<i>Aesculus turbinata</i> Blume	落葉広葉樹	3	+	—
ハナミズキ	<i>Cornus florida</i> L.	落葉広葉樹	3	+	—
ヒサカキ	<i>Eurya japonica</i> Thunb.	常緑広葉樹	3	+	—
ポプラ	<i>Populus nigra</i> L. var. <i>italica</i> Moench.	落葉広葉樹	3	±	茶色
マサキ	<i>Euonymus japonicus</i> Thunb.	常緑広葉樹	5	+	—
マメツゲ	<i>Ilex f. bullata</i> Rehder	常緑広葉樹	(あり)	—	茶色
マルバシヤリンバイ	<i>Rhaphiolepis umbellata</i> Makino var. <i>integerrima</i> Rehder	常緑広葉樹	5	±	—
モミジバフウ	<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	落葉広葉樹	3	+	—
リュウキュウツツジ	<i>Rhododendron mucronatum</i> G. Don	常緑広葉樹	3	—	茶色

耐潮性/5段階 5:強い, 4:やや強い, 3:普通, 2:やや弱い, 1:弱い。(3段階) 強い, あり, 弱い  
 落葉 +:ほとんどの葉が落葉, ±:落葉が顕著, —:落葉が顕著でない  
 葉の色の变化 —:変化なし

広報課(2004)や及川(2004)の調査結果とほぼ同じ範囲である。しかし、扇町や浜ノ町は、これらの調査結果では浸水範囲とされているが、本調査では扇町の一部地域は浸水していないと判断される。これは高松市広聴広報課(2004)の集計は自治会単位、また及川(2004)の調査は結果表示が町丁目単位であるのに対し、本調査では樹木1本、自動販売機1機、住居1棟単位であるため、より詳細な浸水地点の分布が得られたためと考えられる。調査範囲西部の西町、昭和町、扇町、錦町付近は、詳細な水面痕跡の調査を行った寺林ほか(2005)の調査範囲にあたり、本調査による推定浸水範囲と彼らのそれとはほぼ一致する。

## 6. クラブ活動での指導事例とその成果

高潮浸水範囲を推定し、浸水の要因を考察させるために、屋外調査とアンケート調査を併用して行う研究テーマを、クラブ活動(地学部)において指導した。

### (1) 指導内容

指導対象者: 香川県立高松高等学校地学部の生徒6名

研究テーマ: 高松市街地における台風0416号による高潮による浸水

調査範囲: 香川県高松市西町~福岡町

調査期間: 2004年9月1日~9日

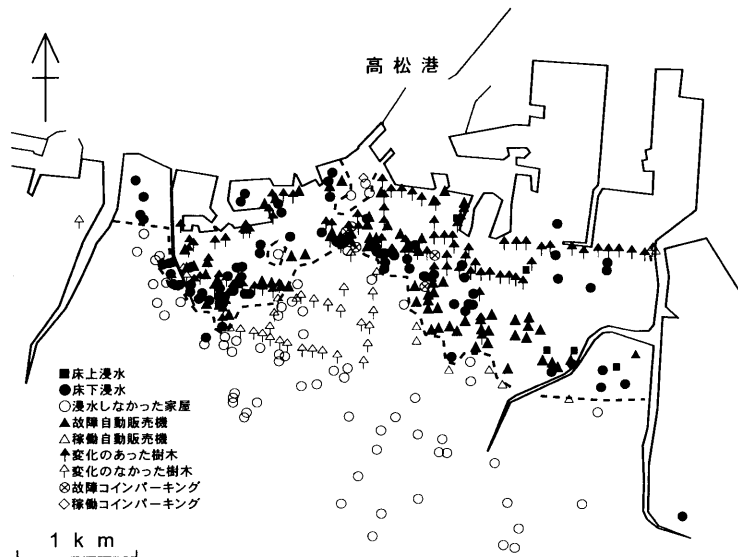


図4 高松低地における、塩水害の見られた樹木、自動販売機、コインパーキング、浸水家屋などの分布調査結果破線は推定浸水範囲限界。

調査項目：樹木、自動販売機、コインパーキングの異常の有無の観察

指導内容：①浸水指標となる観察項目を伝える。②登下校途中、休日などに屋外で浸水指標を見いださせ、その内容と位置を記録させる。③不明植物種は葉を採集させて、指導者が専門家に鑑定を依頼する。④観察結果を国土地理院1万分の1地形図「高松」に整理させる。⑤浸水の要因について考察させる。

指導上の注意事項：災害調査にあたっては、被災者の心情に配慮するよう指導する。

成果：生徒による調査の結論の概要を抜粋して次に示す。

- ・標高0 m から約2.0~2.5 m までの土地が浸水したと考えられる。当時の高松港の潮位から計算した最高潮位は標高2.5 m であった。浸水地域の上限の標高と、最高潮位はほぼ一致する。
- ・高松港や高松漁港は（中略）防波堤がなく、海水が浸入しやすく浸水が起こったと考えられる。
- ・高潮は、防波堤がない海岸線から、台風の接近に伴う海面上昇によって海水が陸地に浸入し、標高の低い地域に広がっていったと考えられる。
- ・海面の上昇に伴い、河川堤防の標高が低い地点から海水が越流し、海岸線からではなく、河川からいきなり標高が2 m 前後の土地に海水が浸入したことも考えられる。

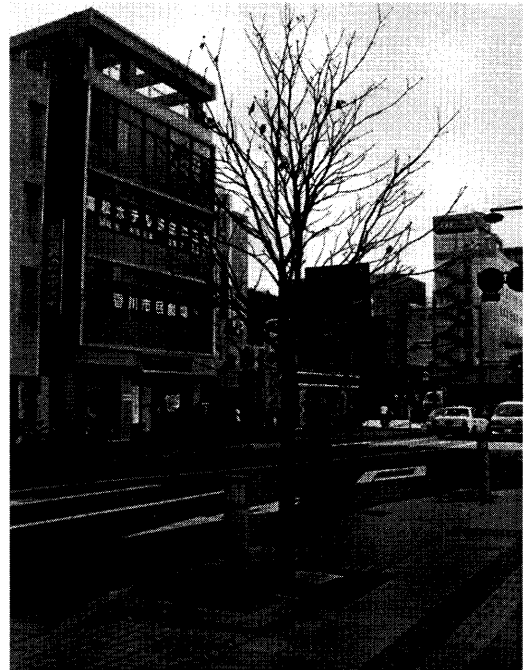


図5 葉がほとんど落葉したベニバナトチノキ（地点3: 高松市西の丸、2004年9月8日撮影）

- ・海水の浸入を防ぐためには標高3 m 以上の十分に高い防波堤や港域内の防潮堤、河口付近の河川堤防の設置が有効ではないかと考えられる。

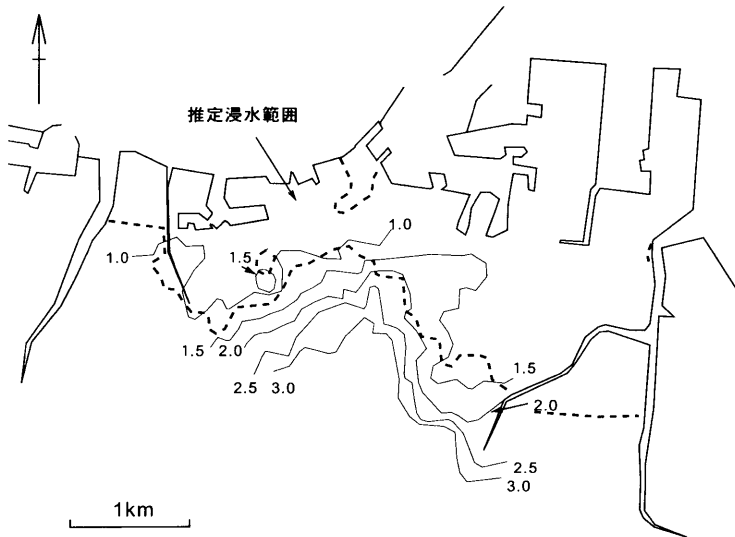


図6 推定した高潮浸水範囲と等高線（国土基本図をもとに作成）  
細実線は等高線（数値の単位は m）、破線は浸水の境界線。

## (2) 教育上の効果

(1) で述べた成果の一部を高校文化祭において研究発表を展示したところ、見学者から高潮に関する展示資料の一部を、地元住民に啓蒙するから分けて欲しいという要望があり、地域へ研究成果を還元することができた。

今回指導した高松高校地学部の生徒は、入部時のアンケートによると、天文分野に関心を持って入部しており、気象や気象災害に関する関心はほとんどなかったようである。しかし、クラスメートの家が被災するという身近な災害について、調査活動を通じてその実態を明らかにしていく中で、指導者から指示を出さなくても生徒自ら学習項目を考え取り組んでいた。このような生徒については、高潮やその災害に関する関心を高めることができたと考えられる。

## 7. 成果と課題

### (1) 本調査法の成果

本調査法による浸水範囲の比較から、街路樹などの葉の変色や落葉、故障した自動販売機やコインパーキングの分布は、高潮の浸水範囲を知るための指標となる可能性が示された。これらを調査対象とする方法は、高校生でもできる観察技術で行い、1地点あたり短時間で現地調査が終了すること、聞き取り調査を主としないため調査時間帯を問わないこと、多くの調査

地点からのデータを得やすいこと、災害から時間が経過しても調査可能であること（特に植物の観察による方法）など、簡便かつ迅速な方法であることから、生徒主体の調査研究における方法として好適であると考ええる。また、台風0416号による高潮の発生は深夜であったので、浸水の目撃報告地点は住宅地などに集中した。これに対し、本法は目撃報告のない地域での浸水範囲の復元にも有効である可能性を示した。

### (2) 教材としての成果

本教材を高校地学クラブ活動の研究テーマとして導入したところ、データの収集と分析、高潮侵入経路の考察など、一連の科学的探究手法を用いて研究を成立させ、さらに防災対策の提案もできた。このことは、調査地域が学校や自分たちの居住地域を中心としており学校に極めて近かったので調査しやすかったことのほか、簡便な本調査法の特徴によると考えられる。

### (3) 調査可能期間の限界とその解決

各対象の調査可能状況の特徴を、表2のように整理することができる。この表に示したように調査対象ごとに利用期間や適用地域に限界があるので、商業地の自動販売機やコインパーキングから調査を始めるなど、これらを調査時期に応じて適切に従来法と組み合わせると、調査の成果が向上すると期待できる。

### (4) 虫害と塩害の区別

街路樹の一部には、カイガラムシ類の虫害による葉

表2 高潮浸水域の迅速調査法と従来法の比較

調査法	調査可能期間	調査対象地域	特徴
本 法	植栽観察	翌日以降、1週間後～数ヶ月（樹種による）	住宅地、工業地の幹線道路 植物同定の知識、塩風害との区別が必要。耐塩性の吟味が課題。
	街頭の自動販売機の故障観察	高潮発生直後～1週間（商業地）、1ヶ月以上（住宅地など）	商業地、住宅地などの幹線道路沿い 商業地では、左記理由により調査可能期間が短い。
	コインパーキング機種の故障観察	高潮発生数日以内、修理されるまで。	商業地 左記理由により調査可能期間が短い。
従 来 法	アンケート	いつでも可能（回答者の記憶がある時期）	住宅地、商業地 高潮発生が夜間だと、回答者の住宅地などに偏在
	インタビュー	同上	同上 調査時間がかかる
	水面痕跡観察	降雨あるいは人為的に痕跡が消されるまで	同上 水面標高の精度良い、左記理由による消失早い。

の喪失が見られた。生徒が塩害と誤認した例があったので、不注意な観察によって虫害と見間違わないように指導することが必要である。

#### (5) 樹木の被害と耐潮性

本調査で扱った種のうち、クロマツ以外についての、塩水に対する耐性についてのデータは文献から得られなかった。クロマツは数時間や1日程度なら、海水が地表面に滞留しても枯死することはほとんどないといわれている（小田，1992）。その他の樹木が高潮被害の指標として利用できるかを検討するためには、塩水に対する耐性についての基礎研究が今後求められる。一方、塩風害に対する耐性（耐潮性）は、飯島・安蒜（1974）、日本緑化センター・日本植木協会（2001）ほか多くの文献があり、種ごとの耐潮性の強弱を表1に引用する。小田（1992）によると、塩風害と塩水害とでは植物の被害の発生機構が違うので、耐潮性と植物の高潮被害と比較する場合、注意が必要である。

さて、樹木の落葉について4.(1)で述べた観察結果から考えると、ソメイヨシノやハナミズキは塩風害の影響を受けやすいようであり、浸水指標には不向きである。また、クスノキの多くやクロマツ、マルバシャリンバイなどは、浸水した個体に著しい落葉は確認できなかった。これらは浸水の指標とはならなかった。

表1を見ると、葉の変色と耐潮性の強弱にはとくに関係は見いだせない。これに対し、耐潮性の極めて強い種では、著しく落葉する種が少ない傾向にある。先に、ソメイヨシノなどには塩風害の可能性があることを指摘したが、葉が水没しなかった高木で、耐潮性が強くない種に見られた著しい落葉には、塩風害が関係

している可能性がある。

#### (6) 塩風害と塩水害の区別

今回の高松地域の被災は、ほとんどが塩水害によるものと推定されるが、南に開いた湾岸沿いの土地の場合では、塩水害と塩風害が同時に起こる可能性が大きい。このときは、指標植物の選定についてより詳しい観察による検討が必要であろう。また、水没した様子の画像を集めておくと、塩風害と塩水害を区別しやすい。カメラ付携帯電話の普及により、災害時の画像が広く集められることが期待できる。

#### (7) その他の問題点や課題、留意点

今回の高潮は8月末に発生し、香川県では落葉樹の落葉が起こる時期ではなかった。しかし、10月以降の落葉の時期に塩害が発生した場合、落葉の原因を区別することは難しいかもしれない。

自動販売機の故障は、電源コンセントが水没することが原因であることが推定される。また、コインパーキングの機器は水没したものが故障したが、そのときの最大水深は不明である。これらの現地調査には時間がかかるため今回は確認しなかった。今後の課題である。

今回の調査地域は市街地であったが、市街地以外で調査を行う場合、指標となる調査項目は本調査と同じものが確保できるとは限らず、新たな調査項目を選定する必要があるかもしれない。

本教材の開発に際しては、被災教員や生徒の心情に配慮した。具体的には、自動車の被災例は調査対象とはせず、実践は被災しなかった生徒を対象に行うなどした。今回、自然災害を教材化するにあたり、このような点に留意することを強く感じた。

## 8. おわりに

水谷（2002）によって、1945年以降の台風災害をもとに高潮危険海灣が示されたが、備讃瀬戸にはそこには含まれていなかった。しかし、備讃瀬戸沿岸で初めて高潮災害が発生したわけではなく、今回明らかになった浸水範囲は、筆者が明治時代～昭和時代初期の新聞記事などから推定した過去の高潮被災地域（川村，1997，1998）とほぼ一致している。このことから、高松低地では高潮発生に再帰性があると言える。高松が過去高潮の常襲地であったことは、一般にほとんど知られていない。高潮防災のためには、饒村（2002）が述べるように、災害誌を正確に残すことが必要と思われる。このたび教材開発を行ってみて、生徒に災害の履



歴を学ばせ、地域の災害誌に学ぶように普及・教育する必要があるとの思いをあらためて強く持った。今回は勤務校の諸事情のため、クラブ活動における実践にとどまったが、授業クラス単位で展開すると、より多くのデータを集めることができ、学習成果も一層充実することと期待できる。

本報を締めくくるにあたり、今回の高潮災害で被災された方に、心からお見舞い申し上げます。

**謝 辞** 今回の調査において、アンケート調査に協力していただいた香川県立高松高等学校生徒および教職員に対し御礼申し上げます。街路樹の葉は、香川県教育委員会高校教育課の泉谷俊郎先生、香川大学教育学部の末廣喜代一教授、(元)高松高等学校の住友恵美子先生に鑑定していただいた。高松高等学校地学部卒業生のみなさんには、アンケート集計の一部をお手伝いいただいたほか、高潮浸水状況の記録画像を提供していただいた。英文摘要は、香川県立丸亀高等学校の Nikki Disney 先生による校閲を参考にした。これらの方々記して感謝いたします。

#### 引用文献

- 藤岡達也 (1992): 高校地学における自然災害教材化について 大阪を例にして. 地学教育, **45**, 17-25.
- 藤岡達也 (1996): 兵庫県南部地震に関する STS 教育開発の実践的研究. 地学教育, **49**, 131-139.
- 藤岡達也 (1999): 沖積平野における河川環境と水害・治水に関する教材化について—大阪府河内平野を例として—. 地学教育, **52**, 11-21.
- 飯島 亮・安蒜俊比古 (1974): 庭木と緑化樹 2 落葉高木・低木類. 誠文堂新光社, 東京, 338 p.
- 池田幸夫 (1993): 自然災害と自然環境を中心にした地学教育の試み 理科 I 地学分野. 地学教育, **46**, 67-74.
- 川村教一 (1997): 文献資料からみた高松平野の水害. 香川地理学会会報, **17**, 15-25.
- 川村教一 (1998): 資料: 高松平野の水害史年表. 香川地理学会会報, **18**, 7-13.
- 北村二郎・村田 源 (1971): 原色日本植物図鑑木本編 (I). 保育社, 大阪, 453 p.
- 港湾空港技術研究所 (2004): 台風 0416 号による高潮災害について (香川県, 岡山県). 港湾空港技術研究所, 16 p.
- 日下 哉 (1996): 河川の教材化 北海道渡島半島の河川分類とその災害. 地学教育, **49**, 223-231.
- 牧野富太郎 (1989): 牧野新日本植物図鑑. 北隆館, 東京, 1453 p.
- 水谷武司 (2002): 自然災害と防災の科学. 東京大学出版会, 東京, 207 p.
- 文部省 (1989): 高等学校学習指導要領解説 理科編・理数科編. 実教出版, 東京, 286 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・理数科編. 大日本図書, 東京, 310 p.
- 中島暢太郎 (1986): 塩害. 浅井富雄・内田英治・河村武 (監修), 平凡社版気象の事典, 東京, 平凡社, 123.
- 日本緑化センター・日本植木協会 (200): 緑化樹木ガイドブックポケット版. 建物物価調査会, 東京, 503 p.
- 饒村 曜 (2002): 気象災害の予測と対策. オーム社, 東京, 186 p.
- 及川 康 (2004): 台風 16 号接近に伴う高松市内の高潮災害に関する実態調査の集計速報. 平成 16 年度香川県地盤工学研究課題 2 回セミナーテキスト, 61-69, 地盤工学会四国支部香川県地盤工学研究会.
- 小田隆則 (1992): 生理・気象被害と防除技術. 村井宏・石川政幸・遠藤治郎・只木良也 (編), 日本の海岸林—多面的な環境機能とその活用—, ソフトサイエンス社, 東京, 441-454.
- 岡 秀一 (2000): 南関東—潮風とイチョウ. 青山高義・小川 肇・岡 秀一・梅本 亨 (編), 日本の気候景観, 古今書院, 東京, 126-128.
- 高松地方気象台 (2005): 香川県の気象平成 16 年. 高松地方気象台, 36 p.
- 高松市広聴広報課 (2004): 広報たかまつ. No. 1302, 高松市広聴広報課, 16 p.
- 寺林 優・越智 信・仲谷英夫 (2005): 平成 16 年台風 16 号による高松市街地西半における高潮浸水. 地盤工学会誌, **53**, 37-39.
- 塚本洋太郎 (1975): 原色花卉図鑑球根・花木・洋らん・温室花木編. 保育社, 大阪, 107 p.

川村教一：高潮浸水域の簡易調査法の開発とその教材化—台風 0416 号による香川県高松市の高潮災害—  
地学教育 59 巻 2 号, 67-76, 2006

〔キーワード〕高潮, 塩害, 台風 0416 号, 高松平野, クラブ活動

〔要旨〕教材, あるいはクラブ活動などの研究テーマとして行う高潮の浸水範囲の推定のための迅速・簡便な調査法を開発した。本調査法は, 樹木の葉の変色や落葉, 街頭の自動販売機の故障, いわゆるコインパーキングの機器の故障を指標として, 浸水範囲を推定するものである。高校の地学クラブの研究テーマとして, 台風 0416 号に伴う, 香川県高松市の低地における高潮の浸水範囲の調査研究を生徒に指導したところ, 短時間で調査を実施することができた。

Norihito KAWAMURA: A Quick Investigation Method to Assess Storm-tide Flooded Area, and Development of Related Teaching Materials, Based on the Disaster Caused by Typhoon No. 0416 in Takamatsu, Kagawa Prefecture, Japan. *Educat. Earth Sci.*, 59(2), 67-76, 2006

## 理科教科書における太陽の描画表現再考

Rethinking the Descriptions of the Sun in School Natural  
Science Textbooks in Japan

松森 靖夫\*1・上嶋 宏樹\*2・深澤 裕治\*2

Yasuo MATSUMORI, Hiroki UWAJIMA and Yuuji FUKASAWA

### 問題の所在

理科教科書における自然界の事象の描画表現が、学習者の認知面に及ぼす影響について報告されている。たとえば、対流現象に関する描画表現(勝俣・栗田, 1981)や火炎構造に関する描画表現(森本・栗田, 1981; 松森・西山, 1994)を扱った研究である。この一連の研究の中では、教科書中の描画表現(誤記の問題も含む)が、学習者に非科学的認識を生じさせる原因の一つになっていることが指摘されている。

しかしながら、小中学校理科教科書中に認められる太陽の描画表現について、検討を加えた研究は皆無に近い。そこで、まず本稿では、小中学校理科教科書において使用されている太陽の描画表現について概観する。そして、想定される誤解釈(教科書中の太陽の描画表現によって、学習者に生じる可能性のある非科学的認識)や、想定される認知的混乱(教科書中の太陽の描画表現によって、学習者に生じる可能性のある混乱)について検討を加える。

本稿を作成するに当たり、主に松森は論文全体の構成を、また上嶋と深澤は教科書中の描画分析を担当した。

### 1. 本研究の目的

本研究の主な目的は、以下の3点である。

- (1) 既存研究を参考にしながら、太陽の描画表現を整理するための雛型モデルを抽出する。
- (2) 上記(1)で抽出した雛型モデルと照合しながら、小中学校理科教科書中の太陽の描画表現を概観する。
- (3) 上記(2)に基づき、小中学校理科教科書の太陽の描画表現に潜在する問題点(学習者に生じる可

能性のある誤解釈や認知的混乱等)について指摘する。

### 2. 太陽の描画表現を概観するための雛型モデル

諸外国において、多様な年齢層を対象にした調査研究により、太陽などの光源に対する認識状態が明らかにされてきた(Guesne, 1984; Goldberg & Mcdermott, 1986; Feher & Rice, 1987; Galili *et al.*, 1993; Bendal *et al.*, 1993; Galili, 1996; Galili & Hazan, 2000)。また、この一連の調査研究から、「光源に対する概念理解の移行モデル」が明らかになっている。図1のようなモデルであり、筆者らが、Galili (1996) と Galili & Hazan (2000) を参考にしながら整理したものである。

一覧すれば分かるように、**モデル I**: 静的な光による描画表現モデル(素朴な知識)→**モデル II**: 懐中電灯のような描画表現モデル(不完全な知識)→**モデル III**: サボテンのような描画表現モデル(科学的に適切な知識)への移行である。

この三つのモデルのうち、特に、科学的に適切なモデル III の描画中の○部分は、太陽の光球(連続スペクトルを発する場所であり、大気中に仮想した層であり、白色円盤状に見える部分(たとえば(力武, 2002))を示し、かつ、サボテンの棘のように描かれた各部は、光球面の各点(全点)から放射状に放たれる光の様子を、具体的に表現したものに一致する。

そのため、本研究では、科学的に適切な描画表現を含むこの3種類を“太陽の描画表現の雛型モデル”として位置づけ、小中学校理科教科書における描画表現を概観するための枠組にする。

なお、「我が国の各年齢層における光源に関する概念理解が、図1のような移行モデルに従って進展する

\*1 山梨大学教育人間科学部 \*2 山梨大学教育学研究科大学院生  
2006年1月23日受付 2006年2月26日受理

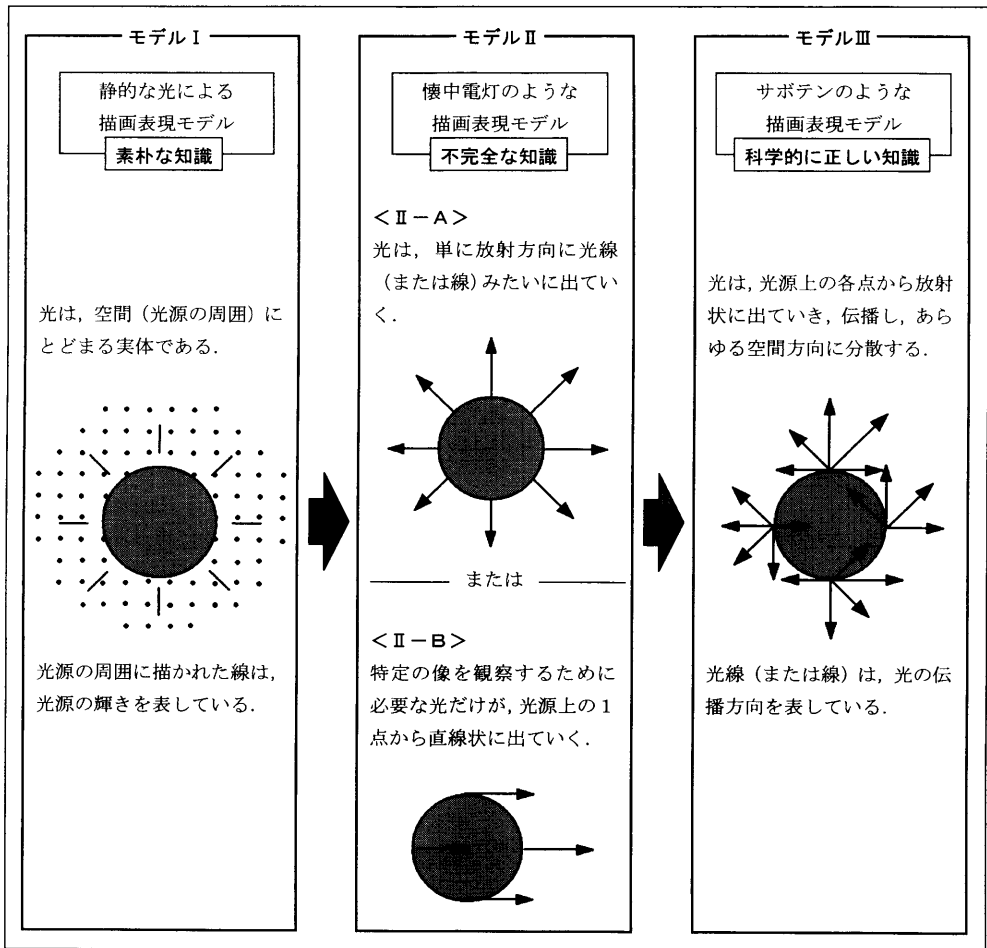


図1 光源に関する概念理解の移行モデル (Galili *et al.*, 1996, および Galili & Hazan, 2000 を参考にして作成)

か否か。」という問題については、既述した本研究の目的の範疇を逸脱するものであるため、別の機会に取り上げることにしたい。

### 3. 雛形モデルの運用上の留意点

#### (1) 文脈依存性の問題

既述したように、図1は、イスラエルにおける調査研究から導出されたものであり、モデルⅠ→Ⅱ→Ⅲへと移行するにつれて、より科学的に適切な描画表現へと至るとする認知的階層を示すものである。

しかしながら、理科教科書中の所与の文脈において、太陽の描画表現は、図1のような認知的階層に準拠して使用されているという保障はない。むしろ、認知的階層にとらわれない、各文脈や目的等に見合った

描画表現の選択と使用が、大勢を占めるように思われる。

さらに、各理科教科書においては、図1のように文章による説明部分を添えずに、描画部分だけが所与の文脈中に単独で埋め込まれる場面も少なからず存在するものと予想される。したがって、図1の雛形モデルの運用に当たっては、各描画部分の文脈依存性（同一の描画でも、埋め込まれる文脈によって、異なる意味内容で解釈される場合があること）に十分配慮していく必要がある（広松ほか、1998）。

そこで、雛形モデルの運用に先立ち、以下の(2)～(4)において、各描画部分の文脈依存性について明確にしておきたい。具体的には、所与の文脈中に、図1の各描画部分のみが埋め込まれた場合、表出するもの

と想定される意味内容の異同について、二つの視点(科学性および汎用性、学習者に生じる誤解釈および認知的混乱)から論じる。

## (2) モデル I (描画部分) の文脈依存性について

### 〈科学性および汎用性〉

肉眼による太陽の観測時、水晶体内の光学的不均一性によるピンボケ状態でその形が現れたもの(伊藤, 1970)を、そのまま描写したものと一致する。換言すれば、実際に肉眼でそのように見えてしまうため、素朴ながらも日常的文脈等において多用されている汎用性の高い描画表現である。

一方、科学的文脈において、本描画表現を使用すれば、「輝く太陽」、「太陽が太陽であること」、「太陽の位置」、および「天気が晴れであること」等を、象徴的に示すことができる。

### 〈学習者に生じる誤解釈および認知的混乱〉

本モデルに該当する描画表現だけが埋め込まれた所与の文脈においては、学習者達に「太陽が発する光は地球や他の天体まで伝播せず、周囲にとどまる(図1中の文章による説明部分)」という非科学的認識を抱かせてしまう危険性を孕んでいる。

また、このような非科学的認識を持つに至った学習者は、地上に照射する光を扱う理科学習において、認知的混乱をきたすことも予想に難くない。さらに、太陽光と地球や他の天体との間で生じる諸現象について、科学的に説明することもできない。

## (3) モデル II (描画部分) の文脈依存性について

### ①モデル II-A

#### 〈科学性および汎用性〉

モデル I と同様、日常的文脈において多用される太陽の描画表現である。一方、モデル I とは異なり、太陽から地球や他の天体に光線が届いていることを明確に表現できるという点に、本描画表現の科学的側面を認めることができる。

#### 〈学習者に生じる誤解釈および認知的混乱〉

描画のみが埋め込まれている所与の文脈において、学習者たちが「あたかも、太陽の中心から、放射状に光が放たれている(図1中の文章による説明部分)」と誤解釈してしまうことも十分想定される。また、そのような誤解釈を抱くに至った学習者の場合、科学的に説明できない天文事象に直面することになる。

たとえば、光球面の地球側に向けた約 1/2 が見えるという事実(約 1/2 の光球面の各点(全点)から、地球上の観測者方向へと光線が照射されているという事

実)である。この誤解釈を適用して説明しようとする、「太陽の中心から放射状に光が発せられるため、その一部の光しか地上の観測者に到達しない。つまり、約 1/2 の光球面の一部しか見えない。」という認知的混乱に陥ってしまうことが考えられる。

### ②モデル II-B

#### 〈科学性および汎用性〉

日常的文脈において、太陽などの光源から一定方向や特定の物体に光が照射されることを表す際に、活用される描画表現である。また、科学的文脈においても、太陽光をはじめとする光源からの伝播を用いた光学等に関する作図(たとえば、凸レンズの像の作図、および月食や日食における本影や半影の作図)を行う際に、適用される描画表現でもある。

#### 〈学習者に生じる誤解釈および認知的混乱〉

上述したように、本モデルの描画表現の科学的正当性は、必要な光線だけを便宜的に抽出し表現しているという暗黙の前提に支えられている。

しかし、埋め込まれた所与の文脈から、この前提が読みとれない場合(光球面上の数点から、それぞれ1本のみの光線が放たれていると誤解釈した学習者の場合)、「太陽光が光球面の各点(全点)から、放射状に放たれている。」という科学的事実等との認知的混乱を引き起こす危険性がある。

## (4) モデル III (描画部分) の文脈依存性について

### 〈科学性および汎用性〉

Galili & Hazan (2000) がサボテンのようなイラスト(illustration (of the 'cactus kind'))として名づけた科学的に適切な描画である。上述した II-A と II-B を融合させた描画表現として位置づけることも可能である。

本モデルを使用すれば、モデル I やモデル II による描画表現では説明できなかった事象(たとえば、約 1/2 の光球面が見えること)に対する科学的説明が可能になる。

しかしながら、日常的な文脈において「太陽が太陽であること」や「天気が晴れであること」等を表すシンボルとしては、モデル I やモデル II ほどの汎用性は認められないように推察される。したがって、科学的に正しい描画表現であっても、日常的な文脈等における性急かつ強制的な使用は、大きな混乱を生じさせる可能性も否定できない。

#### 〈学習者に生じる誤解釈および認知的混乱〉

この科学的に適切な知識(光球面の各点から光が放

射されていること)は、我が国における現行の小中学校理科の中では取り上げられていない(文部科学省, 1999a, 1999b)。したがって、仮に学校理科という文脈の中で、何の説明も施さずに本描画モデルが提示された場合、学習者たちは科学的に適切なモデルであること自体を認識できないものと推察される。

次章以降では、上述した各モデルの描画表現の文脈依存性に十分留意しながら、小中学校理科にみる描画表現と照合し、検討を加えていきたい。

#### 4. 概観するための手続き

##### (1) 対象となる小中学校理科教科書

現行の計6社から発行されている文部科学省検定済小学校理科教科書(戸田ほか, 2004a, 2004b, 2004c, 2004d, 2004e, 2004f, 2004g; 日高ほか, 2004a, 2004b, 2004c, 2004d; 大隈ほか, 2004a, 2004b, 2004c, 2004d, 2004e, 2004f, 2004g; 養老ほか, 2004a, 2004b, 2004c, 2004d, 2004e, 2004f, 2004g; 三浦ほか, 2004a, 2004b, 2004c, 2004d, 2004e, 2004f, 2004g; 掛川ほか, 2004a, 2004b, 2004c, 2004d, 2004e, 2004f, 2004g), および計5社の文部科学省検定済中学校理科教科書(戸田ほか, 2001a, 2001b, 2001c, 2001d; 霜田ほか, 2001a, 2001b, 2001c, 2001d; 竹内ほか, 2001a, 2001b, 2001c, 2001d; 細谷ほか, 2001a, 2001b, 2001c, 2001d; 三浦ほか, 2001a, 2001b, 2001c, 2001d)である。

##### (2) 概観する方法

計3名の理科教育研究者(筆者ら)の合意に基づきながら、各教科書中の所与の文脈に埋め込まれた描画表現と、太陽に関する描画表現の錐形モデル(図1)とを照合する。また、描画表現数についても把握する。

なお、図1の錐形モデルに該当しない描画表現については、「その他」の項目を新設し、まとめて整理する。

##### (3) 描画表現の文脈依存性への配慮

既述したように、描画表現の文脈依存性を想定する時、たとえば、図1のモデルIとモデルII-Aとの識別は非常に難しいものとする。モデルIに該当する描画表現に加え、「地面に立てた支柱の影」を示す描画、あるいは「太陽の光が地上に届く」といった文章が添えられているような場面では、2種類の解釈が可能になるためである。

つまり、太陽の描画表現部分だけに着目すれば、モ

デルIとして位置づけることができる。また、他の描画や文章を含め合わせると、地面を照射する光(動的な光)が描かれていないだけで、モデルII-Aに該当する意味内容を汲み取ることもできるためである。

したがって、そのような場合は、二者択一的に識別することをあえて避け、複合的モデル(たとえば、I and/or II-A)として捉え、整理していくことにしたい。

#### 5. 概要

##### (1) 描画表現数について

###### ①小学校理科教科書の場合

計6社の小学校理科教科書から、計696もの太陽に関する描画表現を確認することができた。各学年用教科書の小計は、6社を合わせると、第3学年用で計81(約11.6%)、第4学年用で計29(約4.2%)、第5学年用で537(約77.2%)、および第6学年用で49(約7.0%)であった。

第5学年用教科書に、太陽の描画表現が多数認められた要因として、本学年に充当されている単元「天気とその変化」が挙げられる。各社教科書における本単元中で、天気の晴れを表現する太陽の描画が多用されているためである。また、第5学年ほどではないが、第3学年用教科書の単元「日なたと日かげ」においても、太陽の位置を示したり、時には太陽からの光の伝播を表したりする目的で、太陽の描画表現が多用されていた。

###### ②中学校理科教科書の場合

小学校理科教科書と同様、計5社の中学校理科教科書から、計593に及ぶ描画表現が認められた。5社を含み合わせると、第1分野では計22(約3.7%)であったが、第2分野では計571(約96.3%)にも達した。

このように、太陽に関する描画表現のほとんどが、第2分野の理科教科書に集中している理由として、第1分野との内容構成の違いを挙げることができる。たとえば、「天気とその変化」に関する単元では、日本各地(全都道府県)の週間天気予報を示している教科書(霜田ほか, 2001d)も存在し、晴れを表す描画表現(☆)が多用されているためである。また、各社第2分野教科書における「地球と宇宙」に関する単元では、太陽や太陽系の学習等を展開するために、多数の描画表現が盛り込まれていることも挙げられる。

## (2) 太陽の描画表現の雛形モデルとの照合

## ① 小学校理科教科書の場合

小学校理科における太陽の描画表現は実に多様であった。たとえば、図2の21種類の具体的な事例(a.~u.)を挙げる事ができる。

また、表1は、縦軸に各学年用各社教科書を、横軸には太陽の描画表現の雛形モデルをそれぞれ付して、描画表現数の概要を示したものである。一覧すれば分かるように、モデルI、モデルII-B、およびモデルIIIとして、明確に判断できる描画表現は皆無であった。




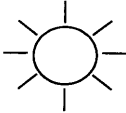


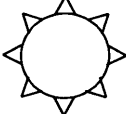
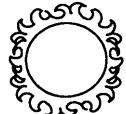
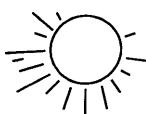
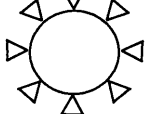

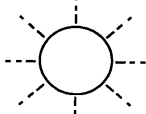

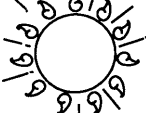
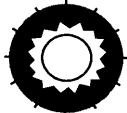





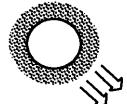




















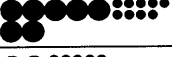


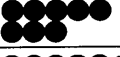

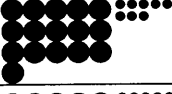













a.  『楽しい理科6年下』 (掛川ほか, 2004g, p. 33)	h.  『わくわく理科5年上』 (大隈ほか, 2004d, p. 10)	o.  『小学校理科5年上』 (養老ほか, 2004d, p. 27)
b.  『新編新しい理科5年上』 (三浦ほか, 2004d, p. 4)	i.  『わくわく理科6年上』 (大隈ほか, 2004f, p. 38)	p.  『新版たのしい理科5年上』 (戸田ほか, 2004d, p. 27)
c.  『小学校理科3年』 (養老ほか, 2004a, p. 18)	j.  『楽しい理科6年上』 (掛川ほか, 2004f, p. 52)	q.  『小学校理科3年』 (養老ほか, 2004a, p. 77)
d.  『新編新しい理科3』 (三浦ほか, 2004a, p. 47)	k.  『楽しい理科6年下』 (掛川ほか, 2004g, p. 29)	r.  『新版たのしい理科6年上』 (戸田ほか, 2004f, p. 37)
e.  『新版楽しい理科6年下』 (戸田ほか, 2004g, p. 51)	l.  『楽しい理科6年下』 (掛川ほか, 2004g, p. 33)	s.  『わくわく理科6年上』 (大隈ほか, 2004f, p. 35)
f.  『みんなと学ぶ小学校理科5年』 (日高ほか, 2004d, p. 23)	m.  『みんなと学ぶ小学校理科5年』 (日高ほか, 2004c, p. 8)	t.  『わくわく理科6年上』 (大隈ほか, 2004f, p. 46)
g.  『わくわく理科5年上』 (大隈ほか, 2004d, p. 56)	n.  『新版たのしい理科6年上』 (戸田ほか, 2004f, p. 25)	u.  『みんなと学ぶ小学校理科6年』 (日高ほか, 2004d, p. 23)

図2 小学校理科教科書にみる太陽の描画表現の事例

表 1 文部科学省検定済各社小学校理科教科書にみる太陽の描画表現

(該当個数)

学年等	出版社	描画モデル		I	I and/or II-A	I, II-A and/or II-B	II-B	III	その他の描画表現
									
小学校3年	大日本図書			(17)					
	学校図書			(14)		(1)			
	啓林館			(14)					
	教育出版			(15)					
	信濃教育			(11)					
	東京書籍			(9)					
小学校4年	大日本図書			(1)					
	学校図書			(5)		(1)			
	啓林館			(11)					
	教育出版			(6)					
	信濃教育								
	東京書籍			(5)					
小学校5年	大日本図書			(79)					
	学校図書			(28)		(3)			
	啓林館			(80)		(3)			
	教育出版			(168)					
	信濃教育			(97)					
	東京書籍			(79)					
小学校6年	大日本図書			(12)		(1)			
	学校図書			(9)		(1)			
	啓林館			(5)		(2)			
	教育出版			(4)		(2)			
	信濃教育			(8)					 (1)
	東京書籍			(4)					

注) 表中の●1個は該当描画数10、および●1個は該当描画数1を、それぞれ表している。

複合的モデル(I and/or II-A)に該当する描画表現が圧倒的に多く、全体の約97.8% (描画表現数681)にも及んだ。その背景には、☼という太陽の描画表現が、学習者にとって馴染み深いものであり、容易に太陽の

位置を伝達したりすることができるという前提が存在するように推察される。なお、この複合的モデルに該当する描画表現は、実に多様であり、その典型例が図2のb.~s.である。



一方、複合的モデル(I, II-A and/or II-B)に該当する描画表現も計14(2.0%)存在した。具体的には、図2のt.とu.を挙げることができる。

その他の描画表現1例は、信濃教育出版社の第6学年理科教科書に掲載されていたものであり、太陽を○

として表している(図2のa.)。本描画表現が埋め込まれている文脈や、他の関連する事象の描画との並記から、容易に太陽であることが判断できるものであった。

以上、太陽の描画表現の雛形モデルと照合してきた




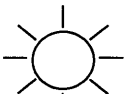


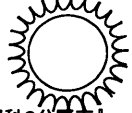
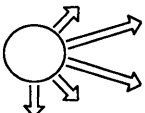

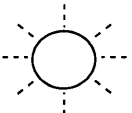
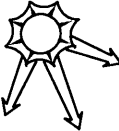
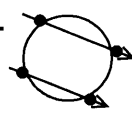





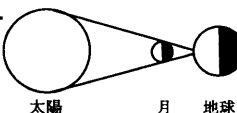


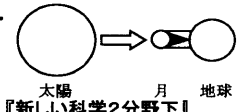
<p>a.</p>  <p>『新しい理科2分野下』 (三浦ほか, 2001d, p. 78)</p>	<p>h.</p>  <p>『中学校理科2分野上』 (竹内ほか, 2001c, p. 11)</p>	<p>o.</p>  <p>『理科2分野下』 (竹内ほか, 2001c, p. 76)</p>
<p>b.</p>  <p>『新しい理科2分野下』 (三浦ほか, 2001d, p. 73)</p>	<p>i.</p>  <p>『理科2分野上』 (竹内ほか, 2001c, p. 28)</p>	<p>p.</p>  <p>『中学校理科2分野下』 (霜田ほか, 2001d, p. 114)</p>
<p>c.</p>  <p>『中学校理科2分野下』 (戸田ほか, 2001d, p. 53)</p>	<p>j.</p>  <p>『理科1分野下』 (竹内ほか, 2001b, 裏表紙)</p>	<p>q.</p>  <p>『中学校理科2分野下』 (細谷ほか, 2001d, p. 100)</p>
<p>d.</p>  <p>『中学校理科1分野下』 (戸田ほか, 2001a, p. 54)</p>	<p>k.</p>  <p>『理科2分野下』 (竹内ほか, 2001d, p. 90)</p>	<p>r.</p>  <p>金星の 太陽面通過</p> <p>『中学校理科2分野下』 (霜田ほか, 2001d, p. 88)</p>
<p>e.</p>  <p>『中学校理科1分野下』 (戸田ほか, 2001a, p. 51)</p>	<p>l.</p>  <p>『中学校理科1分野下』 (細谷ほか, 2001b, p. 69)</p>	<p>s.</p>  <p>『新しい理科1分野上』 (三浦ほか, 2001a, p. 2)</p>
<p>f.</p>  <p>『中学校理科1分野上』 (細谷ほか, 2001a, p. 34)</p>	<p>m.</p>  <p>『中学校理科2分野下』 (細谷ほか, 2001c, p. 97)</p>	<p>t.</p>  <p>太陽 月 地球</p> <p>『中学校理科2分野上』 (霜田ほか, 2001c, p. 71)</p>
<p>gg.</p>  <p>『中学校理科1分野上』 (霜田ほか, 2001a, p. 4)</p>	<p>n.</p>  <p>『中学校理科1分野上』 (細谷ほか, 2001a, p. 3)</p>	<p>u.</p>  <p>太陽 月 地球</p> <p>『新しい科学2分野下』 (三浦ほか, 2001d, p. 69)</p>

図3 中学校理科教科書にみる太陽の描画表現の事例



## (2) “光球面の各点から放射される光”に関する学習機会の欠如(要因 I)

既述したように、現行の小中学校理科において、光球面の各点から放射状に放たれる光について、学習する機会は見当たらない(文部科学省, 1999a, 1999b)。したがって、すべての学習者が、教科書中の太陽の多様な描画表現(図2, 3)について、その文脈依存性(3.の(2)~(4))を十分踏まえながら、理解しているという保障はない。

たとえば、図2の描画表現 b. は、複合的モデル(I and/or II-A)に該当するものであり、その使用の前提には、「あくまでも、シンボルとしての太陽の表現であること」や「光球から発せられる光の一部、およびその進行方向を表現したものであること」という科学的理解が不可欠である。そのため、このような科学的理解を伴わない学習者が、描画表現 b. を見た際、「太陽の中心から、放射状に光が放たれていること」や「太陽の光は、太陽の周りの線(一)の先までしか届かないこと」といった誤解釈が構成される可能性は極めて高いように推察される。

## (3) 科学的に不完全な描画表現の多用(要因 II)

小中学校理科教科書における描画表現の90%以上が、複合的モデル(I and/or II-A)に該当するものであった。必然的に、学習者はこの複合的モデルを最も頻繁に目にすることになる。

したがって、たとえば「太陽は、☆って書くから、光も太陽の中心から出ているんだ。」というステレオタイプの誤解釈が、徐々に強化されてしまう可能性が非常に高いと考えられる。

## (4) 学習者の既習知識との整合性の欠如(要因 III)

小学校理科第3学年(文部科学省, 1999a)において、確固たる科学的根拠については言及しないが、「日光は平行である。」という知識が取り上げられている。

したがって、小学校第4学年以降の学習者達は「日光は平行である。」という既習知識(事実認識)を携えて、教科書中の太陽の描画表現を見ることになる。たとえば、図3の描画 h. は、「太陽の光が葉に届く。」ことを示している点では科学的であるが、あたかも「太陽の中心から放射状に光が出ている。」かのようにも受け取れるため、描画表現(放射状に進む光)と既習知識(平行な日光)との間の認知的混乱に戸惑う学習者も表出してくるものと思われる。

## (5) 多種多様な描画表現の問題(要因 IV)

たとえば、図3の描画 p. と t. とを見比べた学習者

の場合、双方とも、太陽光線のごく一部を書いた不完全な科学的表現であることが理解できず、矛盾に戸惑うことが想定される。

また、同じく図3の u. (日食に関する描画表現)に至っては、太陽を表す○、光の進行方向を示す矢印(⇒)、月の上端と下端から平行に届く線および本影部分の境界を示していると思われる線、という4種類描画表現が併用されている。すでに述べたように、光球面から放たれる光について未履修の学習者を想定するとき、大きな認知的混乱が生じるものと推察される。

## 今後の課題—実証に向けて—

本稿では、小中学校理科教科書における太陽の描画表現について検討を加えてきた。また、それらの描画表現によって、学習者達の中に誤解釈や認知的混乱が生じる可能性について指摘した。

しかしながら、あくまでも可能性を指摘しただけであり、実際の学習者達が誤解釈や認知的混乱に陥っていることを実証したわけではない。たとえ、光球面から発せられる光について未履修であったとしても、実際の学習者達が、図1のモデル III (科学的に適切な描画表現)を十分理解しているか否か、さらには図1の3種類のモデル(描画部分)について文脈依存性を踏まえながら理解しているのか否か等について、詳細に把握していかななくてはならない。

また、今後は、学習者の実態を十分鑑みながら、理科教科書における太陽に関する望ましい描画表現についても、慎重に検討していく必要がある。

## 引用文献

- Bendall, S., Goldberg, F., & Galili, I. (1993): Prospective elementary teachers' prior knowledge about light. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(9), 1169-1187.
- Feher, E. & Rice, K. (1987): A Comparison of Teacher-Student conceptions in optics. In Novak, J. D. (Ed.), *Proceedings of the Second International Seminar: Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics* (pp. 108-117). Ithaca, NY: Cornell University Press.
- Galili, I. (1996): Students' conceptual change in geometrical optics. *International Journal of Science Education*, 18(7), 847-868.
- Galili, I., Bendall, S., & Goldberg, F. (1993): The effects of prior knowledge and instruction on understanding image formation. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(3), 271-301.

- Galili, I. & Hazan, A. (2000): Learners' knowledge in optics: interpretation, structure and analysis. *International Journal of Science Education*, 22(1), 57-88.
- Goldberg, F. & Mcdermott, L. C. (1986): Student difficulties in Understanding image formation by the a plane mirror. *The Physics Teacher*, 24(8), 472-480.
- Guesne, E. (1984): Children's ideas about light. In *New Trends in Physics Teaching*, IV (ed. Wenham, E. J.), pp. 179-192. UNESCO: Paris.
- 日高敏隆ほか (2004a): みんなと学ぶ小学校理科3年. 文部科学省検定済教科書, 学校図書, 東京, 92 p.
- 日高敏隆ほか (2004b): みんなと学ぶ小学校理科4年. 文部科学省検定済教科書, 学校図書, 東京, 128 p.
- 日高敏隆ほか (2004c): みんなと学ぶ小学校理科5年. 文部科学省検定済教科書, 学校図書, 東京, 126 p.
- 日高敏隆ほか (2004d): みんなと学ぶ小学校理科6年. 文部科学省検定済教科書, 学校図書, 東京, 121 p.
- 広松 渉ほか編 (1998): 岩波哲学・思想事典. 岩波書店, 東京, 801.
- 細谷治夫ほか (2001a): 中学校理科1分野上. 教育出版, 文部科学省検定済教科書, 東京, 117 p.
- 細谷治夫ほか (2001b): 中学校理科1分野下. 教育出版, 文部科学省検定済教科書, 東京, 85 p.
- 細谷治夫ほか (2001c): 中学校理科2分野上. 教育出版, 文部科学省検定済教科書, 東京, 113 p.
- 細谷治夫ほか (2001d): 中学校理科2分野下. 教育出版, 文部科学省検定済教科書, 東京, 109 p.
- 伊藤礼子 (1970): 星はなぜ星形にみえるか. *臨床眼科医報*, 64(11), 953.
- 掛川一夫ほか (2004a): 楽しい理科3年. 文部科学省検定済教科書, 信濃教育出版社, 長野, 76 p.
- 掛川一夫ほか (2004b): 楽しい理科4年上. 文部科学省検定済教科書, 信濃教育出版社, 長野, 48 p.
- 掛川一夫ほか (2004c): 楽しい理科4年下. 文部科学省検定済教科書, 信濃教育出版社, 長野, 56 p.
- 掛川一夫ほか (2004d): 楽しい理科5年上. 文部科学省検定済教科書, 信濃教育出版社, 長野, 64 p.
- 掛川一夫ほか (2004e): 楽しい理科5年下. 文部科学省検定済教科書, 信濃教育出版社, 長野, 56 p.
- 掛川一夫ほか (2004f): 楽しい理科6年上. 文部科学省検定済教科書, 信濃教育出版社, 長野, 60 p.
- 掛川一夫ほか (2004g): 楽しい理科6年下. 文部科学省検定済教科書, 信濃教育出版社, 長野, 52 p.
- 勝俣 仁・栗田一良 (1981): 対流現象に関する一考察. 日本理科教育学会『研究紀要』, 22(2), 45-51.
- 松森靖夫・西山 修 (1994): 教員志望学生の観察能力に関する一考察—ろうそくの炎の構造について—. 日本理科教育学会『研究紀要』, 35(1), 31-36.
- 三浦 登ほか (2001a): 新しい理科1分野上. 文部科学省検定済教科書, 東京書籍, 東京, 131 p.
- 三浦 登ほか (2001b): 新しい理科1分野下. 文部科学省検定済教科書, 東京書籍, 東京, 107 p.
- 三浦 登ほか (2001c): 新しい理科2分野上. 文部科学省検定済教科書, 東京書籍, 東京, 109 p.
- 三浦 登ほか (2001d): 新しい理科2分野下. 文部科学省検定済教科書, 東京書籍, 東京, 113 p.
- 三浦 登ほか (2004a): 新編 新しい理科3. 東京書籍, 文部科学省検定済教科書, 東京書籍, 東京, 84 p.
- 三浦 登ほか (2004b): 新編 新しい理科4上. 文部科学省検定済教科書, 東京書籍, 東京, 56 p.
- 三浦 登ほか (2004c): 新編 新しい理科4下. 文部科学省検定済教科書, 東京書籍, 東京, 70 p.
- 三浦 登ほか (2004d): 新編 新しい理科5上. 文部科学省検定済教科書, 東京書籍, 東京, 70 p.
- 三浦 登ほか (2004e): 新編 新しい理科5下. 文部科学省検定済教科書, 東京書籍, 東京, 50 p.
- 三浦 登ほか (2004f): 新編 新しい理科6上. 文部科学省検定済教科書, 東京書籍, 東京, 50 p.
- 三浦 登ほか (2004g): 新編 新しい理科6下. 文部科学省検定済教科書, 東京書籍, 東京, 64 p.
- 森本信也・栗田一良 (1981): 炎の構造に関する一考察. 日本理科教育学会『研究紀要』, 22(2), 53-59.
- 文部科学省 (1999a): 小学校学習指導要領. 国立印刷局, 東京, 51-61.
- 文部科学省 (1999b): 中学校学習指導要領. 国立印刷局, 東京, 45-59.
- 大隈良典ほか (2004a): わくわく理科3年. 文部科学省検定済理科教科書, 啓林館, 大阪, 89 p.
- 大隈良典ほか (2004b): わくわく理科4年上. 文部科学省検定済理科教科書, 啓林館, 大阪, 71 p.
- 大隈良典ほか (2004c): わくわく理科4年下. 文部科学省検定済理科教科書, 啓林館, 大阪, 55 p.
- 大隈良典ほか (2004d): わくわく理科5年上. 文部科学省検定済理科教科書, 啓林館, 大阪, 77 p.
- 大隈良典ほか (2004e): わくわく理科5年下. 文部科学省検定済理科教科書, 啓林館, 大阪, 47 p.
- 大隈良典ほか (2004f): わくわく理科6年上. 文部科学省検定済理科教科書, 啓林館, 大阪, 67 p.
- 大隈良典ほか (2004g): わくわく理科6年下. 文部科学省検定済理科教科書, 啓林館, 大阪, 55 p.
- 力武常次ほか (2002): 高等学校地学I 地球と宇宙. 文部科学省検定済教科書, 数研出版, 東京, 210 p.
- 霜田光一ほか (2001a): 中学校理科第1分野上. 文部科学省検定済教科書, 学校図書, 東京, 117 p.
- 霜田光一ほか (2001b): 中学校理科第1分野下. 文部科学省検定済教科書, 学校図書, 東京, 93 p.
- 霜田光一ほか (2001c): 中学校理科第2分野上. 文部科学省検定済教科書, 学校図書, 東京, 121 p.
- 霜田光一ほか (2001d): 中学校理科第2分野下. 文部科学省検定済教科書, 学校図書, 東京, 115 p.
- 竹内敬人ほか (2001a): 理科第1分野上. 文部科学省検定済教科書, 啓林館, 大阪, 119 p.
- 竹内敬人ほか (2001b): 理科第1分野下. 文部科学省検定済教科書, 啓林館, 大阪, 101 p.
- 竹内敬人ほか (2001c): 理科第2分野上. 文部科学省検定済教科書, 啓林館, 大阪, 119 p.

- 竹内敬人ほか (2001d): 理科第2分野上. 文部科学省検  
定済教科書, 啓林館, 大阪, 109 p.
- 戸田盛和ほか (2001a): 中学校理科第1分野上. 文部科学  
省検定済教科書, 大日本図書, 東京, 131 p.
- 戸田盛和ほか (2001b): 中学校理科第1分野下. 文部科  
学省検定済教科書, 大日本図書, 東京, 87 p.
- 戸田盛和ほか (2001c): 中学校理科第2分野上. 文部科学  
省検定済教科書, 大日本図書, 東京, 121 p.
- 戸田盛和ほか (2001d): 中学校理科第2分野下. 文部科  
学省検定済教科書, 大日本図書, 東京, 103 p.
- 戸田盛和ほか (2004a): 新版 楽しい理科3年. 文部科学  
省検定済教科書, 大日本図書, 東京, 100 p.
- 戸田盛和ほか (2004b): 新版 楽しい理科4年上. 文部科  
学省検定済教科書, 大日本図書, 東京, 66 p.
- 戸田盛和ほか (2004c): 新版 楽しい理科4年下. 文部科  
学省検定済教科書, 大日本図書, 東京, 76 p.
- 戸田盛和ほか (2004d): 新版 楽しい理科5年上. 文部  
科学省検定済教科書, 大日本図書, 東京, 72 p.
- 戸田盛和ほか (2004e): 新版 楽しい理科5年下. 文部科  
学省検定済教科書, 大日本図書, 東京, 76 p.
- 戸田盛和ほか (2004f): 新版 楽しい理科6年上. 文部科  
学省検定済教科書, 大日本図書, 東京, 72 p.
- 戸田盛和ほか (2004g): 新版 楽しい理科6年下. 文部  
科学省検定済教科書, 大日本図書, 東京, 66 p.
- 養老孟司ほか (2004a): 小学校理科3年. 文部科学 省検  
定済教科書, 教育出版, 東京, 112 p.
- 養老孟司ほか (2004b): 小学校理科4年上. 文部科学省  
検定済教科書, 教育出版, 東京, 70 p.
- 養老孟司ほか (2004c): 小学校理科4年下. 文部科学省  
検定済教科書, 教育出版, 東京, 68 p.
- 養老孟司ほか (2004d): 小学校理科5年上. 文部科学省  
検定済教科書, 教育出版, 東京, 112 p.
- 養老孟司ほか (2004e): 小学校理科5年下. 文部科学省  
検定済教科書, 教育出版, 東京, 36 p.
- 養老孟司ほか (2004f): 小学校理科6年上. 文部科学省  
検定済教科書, 教育出版, 東京, 102 p.
- 養老孟司ほか (2004g): 小学校理科6年下. 文部科学省  
検定済教科書, 教育出版, 東京, 46 p.



## 編集委員会より

平成17年度に査読をお願いした方々は下記のとおりです。お忙しいところ時間を割き、また無償でお引き受け下さり、厚く御礼申し上げます。

片岡祥二，加藤圭司，鎌田正裕，榊原保志，高橋 修，富田晃彦，中尾賢一，馬場勝良，濱田浩美，藤本光一郎，松本直記，松森靖夫，森 厚

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

### 地 学 教 育 第59巻 第2号

平成18年3月20日印刷

平成18年3月25日発行

編 集 兼 日 本 地 学 教 育 学 会  
発 行 者 代 表 下 野 洋

〒263-8522

千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33

千葉大学教育学部理科教育教室内

電話 & FAX 043-290-3682 (濱田)

振替口座 00100-2-74684

印 刷 所 株式会社 国際文献印刷社

169-0075 東京都新宿区高田馬場3-8-8

電話 03-3362-9741~4

# EDUCATION OF EARTH SCIENCE

---

VOL. 59, NO. 2

MARCH, 2006

---

## CONTENTS

### Original Article

- On the Correlation between Ambient Dose Rates and Radionuclides in Soils Studied in Goshikidai, Kagawa Prefecture: Developing Learning Content to Enhance Student Understanding about Natural Radiation  
.....Toshitaka MIZUNO and Hirohumi SUDA...51~65

### Practical Article

- A Quick Investigation Method to Assess Storm-tide Flooded Area, and Development of Related Teaching Materials, Based on the Disaster Caused by Typhoon No. 0416 in Takamatsu, Kagawa Prefecture, Japan .....Norihiro KAWAMURA...67~76

### Note

- Rethinking the Descriptions of the Sun in School Natural Science Textbooks in Japan .....Yasuo MATSUMORI, Hiroki UWAJIMA and Yuuji FUKASAWA...77~87

---

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