第30回日本情報地質学会講演会

講演要旨集

Geoinforum-2019 Annual Meeting Abstracts

- 日 時:2019年6月27日(木)・28日(金)
- 会 場:(国研)海洋研究開発機構 横浜研究所 三好記念講堂(神奈川)
- 主 催:日本情報地質学会
- 後 援:日本地質学会 情報地質部会

目

次

一般講演

数理·論理

データベース

「ちきゅう」による 14 年間の検層オペレーションサービス 木戸 ゆかり	3
日本の金属鉱床の金属元素濃度と鉱物組成の資源地質学的特徴抽出	••••
	5
鹿児島市における 250m メッシュによる地盤情報データベースの試作	• • • •
	7

リモートセンシング

Landsat 画像を用いたディープラーニングによる植生分類水落 啓太・根本 達也・升本 眞二	9
ハイパースペクトル衛星画像による植生域での熱水変質帯の抽出精度向上	•••••
権守 宏明・久保 大樹・小池 克明	11
Satellite remote sensing for estimating water content and organic matter distributions in estuary sediments	•••••
······ Vu Thi Thu Thuy • Nguyen Thi Thu Ha • Nguyen Thuy Linh • Katsuaki Koike	13
リモートセンシング技術を応用した実験的な鉱物同定手法の開発久保 大樹・小池 克明	15

物理探查·装置開発

複数の室内計測情報の統合による岩石の電気的性質の物理モデル化	••••
	17

解析手法·応用

不等式標高データを活用するための曲面推定プログラム BS-Horizon の改良(その1)	•••
	19
感度分析による海底熱水系数値シミュレーションの支配パラメータの特定	
富田 昇平・小池 克明・後藤 忠徳・鈴木 勝彦	21
地中ガスラドン濃度の時空間変化に基づく地熱流体パスの特定:2つのインドネシア地熱地区でのケーススタディ	
	23

地質モデリング

ボーリングデータを用いた簡易土質ボクセルモデリング	• • • • • •
野々垣 進・升本 真二・根本 達也・中澤 努・中山 俊雄	25
三次元地質モデルを利用した簡易地中熱ポテンシャルマップの作成	27
愛媛県宮ノ浦遺跡における古環境解明への3次元地質モデルの適用	
	29

GIS•Web-GIS

地理院地図 Globe を利用したシームレス地理情報ステレオビュワー	31
PNG 標高タイルからデータタイルマップへ西岡 芳晴	33

ポスター発表	
OpenCV による化石形態の類似度解析	35
Rice terrace extraction from medium resolution satellite images using machine learning methods	•••••
······Hang Thi Do • Venkatesh Raghavan • Go Yonezawa	37
調査航海での運用を目的とした可搬型データベースの開発笠谷 貴史・金子 純二・北田 数也・町山 栄章	39
PNG 数値タイルの利用-3D ゲームマインクラフトを用いた現実地形の再現 西岡 芳晴	41
WebGL を用いた地質ボクセルモデルの3次元可視化根本 達也・升本 真二・野々垣 進	43

CONTENTS

General session

Mathematics and logic

Increase of variance with progressing survey Tetsuya Shoji	1
--	---

Database

14-year logging operation service by use of D/V Chikyu	3
Resource geologic characterization of metal element contents and mineral compositions of metal deposits over Japan	• • • •
Yu Shimoji, Yusuke Ohta, Katsuaki Koike and Yohei Shirose	5
Development of foundation information database by 250m mesh in Kagoshima City	••••
······ Fumio Nakada, Yoshito Tanaka, Ryosuke Kitamura, Kazunari Sako and Shinichi Itoh	7

Remote sensing

Vegetation classification based on deep learning using Landsat images	••••
······ Keita Mizuochi, Tatsuya Nemoto and Shinji Masumoto	9
Improvement of detection accuracy of hydrothermal alteration zones in vegetation areas using hyperspectral satellite imagery \cdot	••••
······ Hiroaki Gonnokami, Taiki Kubo and Katsuaki Koike	11
Satellite remote sensing for estimating water content and organic matter distributions in estuary sediments	••••
······Vu Thi Thu Thuy, Nguyen Thi Thu Ha, Nguyen Thuy Linh and Katsuaki Koike	13
Development of mineral identification method at lab scale by an application of remote sensing technique	••••
······ Taiki Kubo and Katsuaki Koike	15

Geophysical survey and observation system

Data analyses and applications

Improvement of the surface estimation program BS-Horizon for utilization of inequality elevation data (Part 1)	••••
······Shinji Masumoto, Tatsuya Nemoto, Susumu Nonogaki and Venkatesh Raghavan	19
Identifying controlling parameters on numerical simulation of seafloor hydrothermal system by sensitivity analysis	
······ Shohei Albert Tomita, Katsuaki Koike, Tada-nori Goto and Katsuhiko Suzuki	21
Identifying geothermal fluid paths using spatio-temporal variation of radon concentration in soil gas: Case study of	
two geothermal fields in Indonesia	
······Yuhei Watanabe, Taiki Kubo, Putri Aprillia, Andy Yahya Al Hakim, Irwan Iskandar and Katsuaki Koike	23

Geologic modeling

Simple voxel modeling of soil property using borehole data	•••••
······Susumu Nonogaki, Shinji Masumoto, Tatsuya Nemoto, Tsutomu Nakazawa and Toshio Nakayama	25
Creating a simple geothermal potential map of 3D geological model	27
Paleoenvironmental reconstruction using three dimensional geological modeling in Miyan'na Salt-making Site, Ehime	•••••
Go Yonezawa and Keisuke Makibayashi	29

GIS Web-GIS

A seamless stereoscopic viewer for 3D browsing of GSI Globe ······ Kunihiro Ryoki	31
PNG Elevation Tile to Data Tile Map ······ Yoshiharu Nishioka	33

Poster session

Similarity analysis of fossil forms by OpenCV Takanori Nakagawa and Koji Wakita	35
Rice terrace extraction from medium resolution satellite images using machine learning methods	•••••
Hang Thi Do, Venkatesh Raghavan and Go Yonezawa	37
Development of mobile database system for the research cruise	•••••
······ Takafumi Kasaya, Junji Kaneko, Kazuya Kitada and Hideaki Machiyama	39
Usage example of PNG numerical tile-Reproduction of real terrain using 3D game Minecraft	41
Three-dimensional visualization of geological voxel model using WebGL	
Tatsuya Nemoto, Shinji Masumoto and Susumu Nonogaki	43

調査の進行に伴う分散の増加

正路 徹也

Increase of Variance with Progressing Survey Tetsuya Shoji*

* 東京大学 The University of Tokyo, Tokyo 113-8639, Japan. E-mail: t-t_shoji@jcom.home.ne.jp

キーワード:地球科学,調査,情報,評価,分散 **Key words:** Geoscience, Survey, Information, Evaluation, Variance

地球科学的調査の進行に伴い対象地域を構成する地質体 の分布およびそれらの接触状態に関する地球情報が増加す る. したがって、対象地域を構成する各セルにおける各地 質体の存在度の推定値の精度が向上して、エントロピーあ るいは分散の値が小さくなる.この調査の進行に伴うエン トロピーあるいは分散が減少する様子を,正路(2018)は次の 単純な数値モデルで示した.調査は直線上で行われ,段階1 では全範囲の中点の地質体を同定する.段階2では、全体 を3つのセルに分け、各セルの中点の地質体を同定する(こ のうち中間のセルの中点は、段階1で調査済み).段階3で は各セルをさらに3つのセルに分け、各セルの中点の地質 体を同定する.以下,この操作を繰り返し,段階6でセル の大きさが目的の分解能に達し調査は終了する.条件を変 えたいくつかのシミュレイションのうち、地質体の種類数 が2(他は4)で、存在割合が準二値(他は完全二値)で与えら れ,存在割合の比が 50:50 (他は 20:80, 10:90, 5:95. 2:98)の 場合について、調査段階をパラメーターとして存在割合の 累積頻度を第1図に示す(5本の点列のうち、構成点数が少 ない方から段階2,3,4,5,6).一見して明らかなように, 調査の進行とともに分散が増加している.実際,分散の値



第1図.地質体の種類数が2で,存在割 合が準二値で与えられ,存在割合の比 が50:50の場合における存在割合の累 積頻度.各点列は調査段階に対応し,構 成点数が少ない方から段階2,3,4,5, 6.分散の値は,この順序で0.013, 0.047,0.096,0.149,0.196.

は、この順序で 0.013、0.047、0.096、0.149、0.196 と増加し ている. これは正路(2018)の結論と逆である. その理由は、 以下に詳述するように分散の定義の違いによる.

正路(2018)では、1つのセル*i*(総数*N*)に注目し、そこにお ける地質体*j*(種類数*m*)の存在割合が p_{ij} の場合、当該セルの 分散 V_{ilndv} は(m-1)次元空間の正単体 A₁A₂…A_mの頂点A_j に重み p_{ij} があり p_{ij} (j=1,...,m)で与えられる単体内の1点 P_iの周りの2次モーメントとして次式で定義する.

$$V_{i\text{Indv}} = \sum_{j=1}^{m} p_{ij} \left\{ \sum_{j=1}^{m} p_{ij_1}^2 + \sum_{j=1}^{m-1} p_{ij_1} \sum_{j=j+1}^{m} p_{ij_2} - p_{ji} \sum_{j=1}^{m} p_{ij_1} \right\}$$
$$= \sum_{j=1}^{m-1} p_{ij_1} \sum_{j=j+1}^{m} p_{ij_2}$$
(1)

ここで、添え字の Indv=Individual は個別のセルに注目していることを意味し、 $}$ 内は点 P_i と頂点 A_j の距離の二乗である.これより全体の分散 V_{Indv} は次式で与えられる.

$$V_{\rm Indv} = \sum_{i=1}^{N} V_{i\rm Indv} / N$$

V

なお,式(1)で与えられる分散は,セル*i*のデータのみを使って計算されているので,以後個別分散(individual variance)と呼ぶ.

二元系(m = 2)の場合,地質体1と2の存在割合をそれぞ $np_{1i} \ge p_{2i}$ ($p_{1i} + p_{2i} = 1$)とすると,点 $P_i \ge$ 項点 $A_1 \ge$ の距離は p_{i2} , 頂点 $A_2 \ge$ の距離は p_{i1} であるから,式(1)は次式(2)のよ うに表される.

$$\begin{aligned} \tilde{t}_{i\text{Indv}} &= p_{1i}p_{2i}^{2} + p_{2i}p_{1i}^{2} = p_{1i}p_{2i}(p_{2i} + p_{1i}) \\ &= p_{1i}p_{2i} = p_{i1}(1 - p_{i1}) \end{aligned}$$
(2)

第1図に示されている累積頻度の分散 V_{Bulk} (添え字 Bulk の意味は後述)は、セルiの存在割合を p_i (二元系なので地質 体の種類を示す添え字は省略)として、次式(3)で与えられる.

$$V_{\text{Bulk}} = \sum_{i=1}^{N} (p_i - \bar{p})^2 / N$$

= $\sum_{i=1}^{N} \left(p_i - \sum_{i=1}^{N} p_i / N \right)^2 / N$ (3)

ここで、pは全データ(bulk data)の平均である.式(2)に相当 するセルiのバルク分散 V_{iBulk} は次式(4)で与えられる.

$$V_{i\text{Bulk}} = (p_i - \bar{p})^2$$

(4)

式(4)には、*p*というセル*i*以外のセルの値を必要とする全体 の平均が入っている. すなわち、1 つのセルのバルク分散を 求めるとき、個別分散とは違い、当該セルのみの値では不 十分で、他のセルの値も必要とする. これがバルク(bulk)の 意味である.

第2図の左右にそれぞれ調査の進行に伴う個別分散とバ ルク分散の変化を示す.両図を比較すると、1)個別分散は 段階0に値があるが,バルク分散にはない、2)バルク分散 は個別分散の上下を反転したパターンを示す.段階0にお ける個別分散が定義できるのは,対象地域全体の地質体の 存在割合が最終段階における存在割合の平均に等しいと推 定し,その値に相当する重みが地質体を表す両端に掛かっ ているとするためである.バルク分散は個別分散の上下を 反転したパターンについては後述する.

第1図の累積頻度図を微分すると、微分型頻度図が得られる.上記の分散の説明はこの微分型頻度図に基づいている.三元系では、累積する方向によって得られる累積頻度 図が変る.しかし、微分型頻度図を考えれば、分散の計算は 可能である.例えば、m元系の場合、セルiの地質体の存在 割合を(m-1)次元の正単体内の1点P_iとして表し、その点 と平均の存在割合を表す点P_Mとの距離P_iP_Mの二乗をl_i²とす れば、それが次式のようにバルク分散となる.

 $V_{iBulk} = l_i^2$

三元系(m = 3)で,高さが1の正三角形A₁A₂A₃内の点P_i の位置を辺A₂A₃,A₁A₃,A₁A₂に下した垂線の長さそれぞれ p_{1i}, p_{2i}, p_{3i} ($p_{1i} + p_{2i} + p_{3i} = 1$)で,点P_Mの位置も同様に $\overline{p_1}$, $\overline{p_2}, \overline{p_3}$ で表すと,長さ $\overline{P_i P_M}$ の二乗 l_i^2 は次式(5)で与えられ, これがセルiのバルク分散となる.

$$V_{iBulk} = l_i^2 = \Delta p_1^2 + \Delta p_1 \Delta p_2 + \Delta p_2^2$$

$$(5)$$

$$C \subset \mathcal{O}, \quad \Delta p_1 = p_{i1} - \overline{p_1}, \quad \Delta p_2 = p_{i2} - \overline{p_2} \mathcal{O},$$

$$\overline{p_1} = \sum_{i=1}^{N} p_{i1} / N$$

$$\overline{p_2} = \sum_{i=1}^{N} p_{i2} / N$$

である.これより全体のバルク分散 V_{Bulk} は次式で与えられる.

$$V_{\rm Bulk} = \sum_{i=1}^{N} V_{i\rm Bulk} / N$$

前述のよう,個別分散とバルク分散は上下を反転したパ ターンをなす(第2図).したがって,両者は負相関を示して いる.さらに、二元系で両者の和は次式で示すように、 ($\overline{p_1} - \overline{p_1}^2$)と一定値である.

$$V_{\text{Indv}} + V_{\text{Bulk}} = \left\{ \overline{p_1} - \sum_{i=1}^{N} p_{i1}^2 / N \right\} \\ + \left\{ \sum_{i=1}^{N} p_{i1}^2 / N - \overline{p_1}^2 \right\} \\ = \overline{p_1} - \overline{p_1}^2$$

すなわち,両者は完全負相関(*r* = −1)をなす.三元系においても,次式に示すように完全負相関をなす.

$$V_{\text{Indv}} + V_{\text{Bulk}} = (\overline{p_1} + \overline{p_2}) - (\overline{p_1}^2 + \overline{p_1}\overline{p_2} + \overline{p_2}^2)$$

しかし, セルiの個別分散とバルク分散は次式のような関係 にあり, 負相関はなすが, 完全負相関ではない.

$$V_{i\text{Indv}} + V_{i\text{Bulk}} = p_{i1} - 2p_{i1}\overline{p_1} + \overline{p_1}^2$$

以上より次のまとめが得られる. 正路(2018)は, 調査の進行に伴う分散の減少の様子を簡単な数値モデルで示した. しかし,通常の統計処理で用いられている分散を使うと, 地質体の存在割合の分散は調査の進行に伴って増加する. 前者の分散は個別セルの値のみで求められるので個別分散, 後者の分散を求めるために全データの平均が必要なのでバ ルク分散と呼ぶと,両者は完全負相関の関係にある.

引用文献

正路徹也(2018):地球科学的調査の進行に伴う地球情報エントロピーと分散の減少.情報地質, 29(2), 61-75.



第2図.調査の進行に伴うセル分散(左)とバルク分散(右)の変化.各点列の右端が最終段階に対応する.

「ちきゅう」による 14 年間の検層オペレーションサービス

木戸ゆかり*

14-year Logging Operation Service by use of D/V Chikyu

Yukari Kido*

* 国立研究開発法人 海洋研究開発機構 研究プラットフォーム運用開発部門 運用部 Institute for Marine-Earth Exploration and Engineering (MarE3), JAMSTEC, 2-15 Natsushima-cho, Yokosuka, Kanagawa, 237-0061, Japan. E-mail: ykido@jamstec.go.jp

キーワード: 地球深部探査船「ちきゅう」,国際深海掘削計画,検層,南海トラフ,日本海溝 **Key words**: D/V Chikyu, IODP, Logging, Nankai Trough, Japan Trench

1. はじめに

2005年7月に地球深部探査船「ちきゅう」が海洋研究開 発機構に運用委託されて14年目を迎える.2カ年の試験航 海を経て、国際深海掘削計画(IODP)の枠組みの中、日本 周辺では、南海トラフ、日本海溝、沖縄トラフにて合計18 航海、物理検層としては、約20km分のオペレーションを 行ったことになる(第1表).本講演では、様々な物理検層 に取り組み、着手した科学成果について紹介する.

2. IODP での検層サービスの流れ

深海掘削計画は 50 年ものロングランであるが, 2003 年 のフェーズから日本主導の「ちきゅう」が参戦した(第1 図).「ちきゅう」が行う検層には特徴がある.航海毎に必要 項目を研究者と打ち合わせ,ロギング会社に見積もり合わ せをして契約を行うという流れである.運用側は,実施が 決まれば,検層ツールの搬入手続き,船上搭載,事前設営, バックアッププラン,データ取得までの準備,ロジスティ ックス,エンジニアの手配の協力をする.一方,米国が運用 する Joides Resolution 号(JR)の検層ツールは,種類は限 定されるが,年間契約であり,船上に搭載したまま必要時 に何度も利用でき,稼働性が高い.

3.「ちきゅう」で行った検層オペレーション 3.1 IODP における検層航海

2007 年 9 月の初航海は,検層キャンペーンであった.10 種類もの初めて使う検層機器に目を見張り,見学ツアーや データ取得説明,検層解析,プロット用ソフトウェアの講 習会など,連日乗船研究者も検層スタッフも大忙しだった. 以降 14 年間の検層記録は,第 1 表にあるように Exp.314 で 6 孔, 319 は 2 孔, 332, 348, 358 は 1 孔 (C0002), 338 では 5 孔の LWD を行った (第 2,3 図).日本海溝の 343 では 2 孔,下北沖 337 と南海の 319 の C9 サイトではワイ ヤーライン検層を行なっている (第 4 図).通常の検層プロ ットでは,深度軸に対して表示するが,時間軸でのプロッ トにより孔内状況を把握することにも使われる (第 5 図). 3.2 南海トラフ

C0002 サイトの 1400m までの同時検層図の中の左から 2つ目は,事前探査による反射強度図である(第2図).音

響基盤反射深度を把握し,地質状況と比較するが,前者は 数十 m,検層は数十 cm と解像度が異なる.図中の比抵抗 イメージ図から,第 2 図右端のおたまじゃくしが描ける. これは,孔壁の 360 度回転図から,地層傾斜,断層面の角 度,傾きを構造地質学的に解釈した例である.北西・南東方 向に黒い二重線が見える第 2 図左端図は,亀裂(ボアホー ルブレイクアウト)により海水の流入が考えられ,応力分 布解釈に用いられる.C0002 孔は,2019 年 2 月に海底下 3256.5mの世界最深部に達している.同じ孔内でも地層応 力分布や孔壁崩壊などの変化が大きい.

3.3 下北沖

下北沖 Exp.337 は, 慣熟航海で掘削した C0020 孔の 1200-2466 の区間を 5_run のワイヤライン検層を行った. 取得したデータは 20 種目にも及ぶ (第4図). 3_run まで でガンマ線,比抵抗,孔隙率,キャリパー,泥水検層,核磁 気共鳴データを得,流体を搾り取る現場観測ポイントを確 定した.

4. まとめ

数々の検層データを取得し、モラトリアム中の Exp.358 以外は一般公開もされているが、まだ十分な利活用がなさ れていない. 宣伝が足らず、データを用いた解釈例が浸透 していないこと、限られた利用での閉鎖系に位置している ことが考えられる. 米国主導のウェブサイトでは、検層デ ータベースが一元化され、その場で必要データの自動プロ ットもできる. オープンデータ化に向けて、本学会員にも 積極的にデータ利用されるようお手本としたい.

- Expedition 314 Scientists (2009) Expedition 314 summary. *Proc. IODP*, 314. <u>doi:10.2204/</u> <u>iodp.proc.314315316.111.2009</u>.
- Expedition 337 Scientists (2013) Expedition 337 summary. *Proc. IODP*, 337. <u>doi:10.2204/</u> <u>iodp.proc.337.101.2013</u>.
- Expedition 348 Scientists (2015) Expedition 348 summary. *Proc. IODP*, 348. <u>doi:10.2204/</u> <u>iodp.proc.348.101.2015</u>.



第1図 IODP「ちきゅう」 掘削記録 (2019 年5 月時点)

	 航海数(検層航海) ()内は航海番号, *は検層を実施した 航海を示す 	18 航海(8 航海) (314*, 315, 316, 319*, 322, 326, 331, 332*, 333, 343*, 343T, 337*, 338*, 348*, 365, 370, 380, 358*実施順)
	掘削サイト数 ホール数	24 サイト (16 サイト) 114 ホール (23 ホール)
	総掘削長	44254.1 m (20197.5 m)
	総コア長	9123.4 m 1131本
1111	最大パイプ長	6,900 m (Exp. 343)
=)	最大掘削深度	海底下 3,262.5 m (Exp. 358)

第1表 IODP「ちきゅう」掘削記録(2019年5月時点),3桁の数 値は航海番号で,実施した順に羅列している.同じサイト名の周 辺には、半径100m内に掘削孔(ホール)がA,B,C順に命名さ れる.サイト,ホール、総掘削長の()は、検層を行った数値.



第2図 Exp.314 Site C0002, 1400 mLSF(海底下)までの同時検層データプロット例



第4図 Exp.337 Site C0020 from 1200-2466 mMSL (海面下深 度) のワイヤーライン検層データプロット例

4116 4117 4118 4119 4120 4121 4122 4123 4124 4125 4126 4127 4128 4129 4130 4131 4132 4133 4134 413

第3図 C0002 下部の 4116-4136 mBRT (リグフロアからの深度)まで の比抵抗イメージ図



第5図 時間変化に伴うプロット例:検層プロットは,通常は縦軸 に深度を取るが,生データは,一定時間間隔で取得している.同時 に得られた深度情報から紐付けられる.左から時間掘進率,比抵抗 値,日時,深度,吊り下げ荷重,回転数,流量,圧力,温度,およ び泥水比重の変化が表示される.本プロットでは,30分ごとにタ イムスタンプが太いラインで表示されている.パイプ交換時や荒 天待機の際には,同じ深度でデータを取り続けることもある.

日本の金属鉱床の金属元素濃度と鉱物組成の資源地質学的特徴抽出

下地 悠¹·大田 優介¹·小池 克明¹·白勢 洋平²

Resource geologic characterization of metal element contents and mineral compositions of metal deposits over Japan

Yu Shimoji¹ • Yusuke Ohta¹ • Katsuaki Koike¹ • Yohei Shirose²

- 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 Department of Urban Management, Graduate School of Engineering, Kyoto University, Katsura C1-2, Kyoto 615-8540, Japan. E-mail: shimoji.yu.62w@st.kyoto-u.ac.jp (Shimoji)
- 2) 京都大学総合博物館 The Kyoto University Museum, Kyoto University, Kyoto 606-8317, Japan

キーワード:金属鉱床,鉱物組成,金属元素濃度,濃度分布

Key Words : metal deposits, mineral composition, metal element content, metal content distribution

1. はじめに

近年新興国の経済発展に伴う需要の急増により、金属資 源の供給リスクが顕在化している.原田ほか(2007)による と、2050年には主要な金属の世界全体での累積消費量が現 有埋蔵量を越えることが予測されている.特に銅,亜鉛,銀, 金などいくつかの金属では 2050 年までの累積消費量が埋 蔵量ベース (経済性を無視した技術的には採掘可能な量)を も上回ると予測されている. 金属資源の安定供給のために は、新たに経済的価値の高い鉱床を探査・開発することが重 要である.現在日本で稼行している大規模金属鉱山は,鹿児 島県の菱刈金鉱山のみとなり,新たな鉱床の開発の場は海 外になると考えられる.しかし,かつて日本に存在していた 種々のタイプの鉱山からは金・銀・銅・鉛・亜鉛・タングス テンなどを含む多種多様な鉱石が採掘されており、このよ うな鉱石の地球化学的・鉱物学的な特徴を明らかにすれば, 鉱床タイプと金属元素濃度特性の関係などの相関関係が得 られ,世界における同じタイプ金属鉱床の探査や開発への 利用が期待できる.

そこで本研究では、日本の 38 ヶ所にわたる鉱山の鉱石を 用い、その元素濃度と鉱物組成を分析し、資源地質学的な視 点から元素濃集の特徴、およびこれと鉱床のタイプや形成 年代との関係を明らかにすることを目的とした.

2. 対象試料と分析

本研究では、京都大学総合博物館で収蔵されている鉱石 から日本の38鉱山について、鉱山ごとに2~5個の鉱石を 選び、カッターで一部を切断して試料として用いた. 試料数 は計149個である.第1図に分析対象とした鉱山の分布図 を、第1表にそれらの鉱山の一覧を示す.分析した鉱山の 鉱床タイプは熱水鉱脈型鉱床、キースラガー、スカルン鉱 床、黒鉱型鉱床といずれも熱水性鉱床であった.最も多いの は鉱脈型鉱床で、次にスカルン鉱床、黒鉱型鉱床、キースラ ガーの順である.各鉱床タイプについて鉱床の形成年代は、 鉱脈型鉱床は古第三紀と新第三紀に、スカルン鉱床はジュ ラ紀から新第三紀までの全ての年代で、黒鉱型鉱床は全て 新第三紀, キースラガーは全てジュラ紀に形成されており (下中, 1996; 鈴木, 1961; 兼平, 1955), 鉱床タイプによっ て形成された年代に偏りがあることがわかった.

試料の分析では粉砕機を用いて各試料を粉末化し,鉱物 組成は XRD(X線回折装置),元素濃度は XRF(蛍光 X線 装置)を用いて定性・定量分析を行った.



第1図 分析対象の鉱山の位置

第1表 鉱山名の一覧										
赤石	明延	足尾	阿仁	荒川	飯盛					
生野	宇陀	内の岱	大内	大谷	大森					
尾小屋	加納	釜石	神岡	木浦	紀州					
喜和田	串木野	鴻之舞	佐渡	釈迦内	蔵目喜					
椿	豊羽	中瀬	中竜	長登	花岡					
別子	東山	日立	細倉	八茎	山ヶ野					
吉岡	吉乃									

3. 分析結果と考察

本研究では、鉱物組成と元素濃度の分析で相対的に多く のデータが得られた Cu, Fe, Zn の3元素に注目した.鉱 物組成分析の結果、いずれの鉱床タイプにおいても黄鉄鉱、 黄銅鉱, 閃亜鉛鉱が最も多くみられた. 特に Zn を含む鉱物 は閃亜鉛鉱のみであった. よって, これらはそれぞれ Cu, Fe, Zn の主要鉱物であるとみなせる. キースラガーではほ ぼすべての鉱石から黄鉄鉱, 黄銅鉱が検出されたが, 閃亜鉛 鉱が検出されたのは約 10%のみであった. スカルン鉱床や 鉱脈型鉱床では Fe, Cu の鉱物として黄鉄鉱, 黄銅鉱のほか に硫砒鉄鉱や磁鉄鉱, 輝銅鉱など, キースラガーと比較して 多種の鉱物が検出された. 黒鉱型の鉱床では閃亜鉛鉱が特 に多くの割合を占める.

Cu, Fe, Zn の元素濃度分析結果から各鉱床タイプと各形 成年代の特徴を比較するために,金属ごとに濃度データの ボックスプロットを描いた(第2図).ボックスプロットの 上の数字はデータ数を表す.また,鉱山ごとに濃度データの 中央値を代表値として濃度分布図を作成した(第3図).鉱 床タイプ別にCu濃度を検討すると,相対的にキースラガー の中央値が高く,スカルン鉱床の中央値は低い.さらにキー スラガーの四分位範囲が他と比較して狭いことから濃度の ばらつきが少なく,全体的に高い濃度を示すことがわかる. 形成年代別では自亜紀が他よりも低い中央値を示し,その 他の年代では差異はない.これは形成年代が白亜紀であっ たのがスカルン鉱床のみであったためである.しかし,スカ ルン鉱床のみに限定すると,白亜紀に形成されたスカルン 鉱床は他の年代のスカルン鉱床よりも濃度が低いことが考 えられる.

Fe 濃度では、Fe の地殻平均濃度と比較して、キースラガ ーとスカルン鉱床が高い値を示した.一方、鉱脈型鉱床の最 大値は他の鉱床タイプと変わらないが、中央値は地殻平均 濃度よりも低く、四分位範囲も大きいことから鉱石によっ て Fe 濃度のばらつきが大きいことがわかる.形成年代別で は年代が新しくなるにつれて、濃度は低下する傾向を明ら かにできた.鉱床タイプによって形成された年代に偏りが あるため、鉱床タイプごとの元素濃度が形成年代での元素 濃度の特徴に影響している.Fe の濃度分布では、東北地方 と中国・四国地方で高いのに対して、北海道と南九州では低 い値を示す.

Zn 濃度では黒鉱型鉱床が特に高い値を示した.黒鉱は閃 亜鉛鉱・方鉛鉱・重晶石を主成分とする鉱物である(下中, 1996)ので,これが濃度の特徴に現れている.形成年代別で は白亜紀のみが極端に濃度が低い. Zn でも Cu と同様にス カルン鉱床全体の濃度と比べると白亜紀の濃度が低く,同 じ鉱床タイプであっても年代によって濃度の特徴が異なる ことが考えられる.

Cu と Zn の濃度分析結果からは、同じスカルン鉱床でも 年代によって濃集する元素の特徴に違いがあることが考え られた.そこでスカルン鉱床のみの Cu と Zn の濃度分布図 を作成した(第4図).いずれも年代による濃集の違いは明 らかであり、その要因として年代による火成作用の違い、あ るいは地域の地質分布の違いがあげられる.同じ形成年代 の鉱山が近くに分布しているため、その特定は難しく、今後 の継続課題である.

4. まとめ

本研究では資源地質学的な視点から金属鉱床の金属元素 濃度と鉱床タイプや形成年代との関係を明らかにすること を目的として、日本の38鉱山の鉱石について元素濃度分析 と鉱物組成分析を行い、Cu、Fe、Znについて主要な鉱物と 鉱床タイプによる元素濃度の特徴を明らかにした.Cu、Fe、 Znの主要な鉱物はそれぞれ黄銅鉱、黄鉄鉱、閃亜鉛鉱であ った.Cu 濃度はキースラガーが高く、スカルン鉱床で低い 値を示した.Fe 濃度はキースラガー,スカルン鉱床で高い. Zn 濃度では黒鉱型鉱床が特に高い値を示した.また、同じ スカルン鉱床でも Cu 濃度は古第三紀が高く、Zn 濃度では ジュラ紀が高い、という形成年代による元素濃度の相違も 見出された.

謝辞:本研究にあたって貴重な鉱石試料を提供いただいた 京都大学総合博物館に深甚の謝意を表したい.

文献

- 原田幸明・島田正典・井島清 (2007) 2050 年の金属使用量 予測. 日本金属学会誌, vol.71, no.10, pp.831-839.
- 兼平慶一郎 (1955) 和歌山県飯盛鉱山の地質と鉱床. 鉱山 地質, vol.5, no.18, pp.231-240.
- 下中 弘 (1996) 新版地学辞典 付図付表・索引.平凡社 pp.46-47.
- 鈴木喜義(1961) 会津盆地北方の鉱床群について. 鉱山地 質, vol.11, no.45, pp.115-120.



第4図 スカルン鉱床でのCuとZnの濃度分布図

鹿児島市における250mメッシュによる地盤情報データベースの試作

中田 文雄*,田中 義人**,北村 良介***,酒匂 一成***,伊藤 真一***

Development of Foundation Information Database by 250m Mesh in Kagoshima City

Fumio NAKADA^{*}, Yoshito TANAKA^{**}, Ryosuke KITAMURA^{***}, Kazunari SAKO^{***}, Shinichi ITOH^{***}

*特定非営利活動法人地質情報整備活用機構 Geological Information Utilization and Promotion Initiative URL: https://www.gupi.jp/ E-mail: nakadaf@gupi.jp

**南日本技術コンサルタンツ株式会社, URL: http://www.nantec.co.jp/

***鹿児島大学工学部海洋土木工学科 Department of Ocean Civil Engineering, Kagoshima University,

URL: http://oce.oce.kagoshima-u.ac.jp/

キーワード:地盤情報データベース,メッシュ管理,属性情報,鹿児島市

Key words : Foundation Information Database, Management by Mesh, Attribute Information, Kagoshima City

1.はじめに

筆者等は,鹿児島大学・酒匂研究室に利用者限定の「鹿 児島版地盤情報データベースシステム」(以下,K-DBS と 言う)を構築して運用している.現段階で 12,000 本以上 のボーリング柱状図に加え,土質試験結果などの地盤情報 が登録されている.K-DBS は,鹿児島平野などの地盤モ デルの作成,あるいは「地圏シミュレータ」などの地盤シ ミュレーションのために利用されている.

本研究では,K-DBS に登録されている柱状図を見直し て鹿児島市平野の地層区分を作成すると共に,より実用性 に富んだ三次元地盤モデルを推定した.更に,この三次元 地盤モデル情報を管理するために「250m メッシュ地盤情 報データベース(以下,250M-DBS と言う)」を開発した.

250M-DBS に登録されている地盤情報には,柱状図情報に含まれる個人情報が存在しないため,一般に広く公開できる,という特徴がある.また,地層名などが標準化されていることから,一般市民などにとって解釈が難しい柱状図よりも利用し易いのではないだろうか.

2.250mメッシュ地盤情報データベースシステム 2.1 対象範囲と登録情報の作成手順

試作対象の範囲は,鹿児島市中心部に設定した東西 4km,南北8kmであって,中心部分のみ第1図に示す.

三次元地盤モデル情報を 250M-DBS に登録する手順の 一部を第2図に示し,主な項目について以下に略記する.

2.2 地層区分(地質層序)

本報告における核心の一つであって,第2図の「地

質層序策定」に該当する.対象区 域に存在する 1,120 本の柱状図, 並びに既刊の『鹿児島市地盤図』 などを参考にして,対象範囲に共 通する標準的な地質層序凡例を作 成した.結果を第1 表に示すが, 紙面の都合上詳細は中田他(2019) を参照されたい.

2.3 地質断面図

上記標準凡例に基づいて対象区 域内から 88 本の柱状図を選定し, 合計 20 の地質断面図を作成した.



2.4 地質層序DB

88 本の柱状図に加え,20 本の地質断面図に設定した合計167 箇所の参照点から, 第1表に示す各地層の上端標 高を読み取って作成したDB である.登録情報は,サーフ





ェスモデル推定時の入力データなどに利用する.

2.5 サーフェスモデル

更新統に属する Si 層や Km 層などのいわゆる基盤層ま で到達している柱状図が少ないため,当該層のサーフェス モデルの推定誤差が大きいと判断した.従って,第1表

第1表 鹿児島平野の地質層序(対象区域限定)

時 代			記号	地層名	備考		
		表土類	b	表土層	表土,盛土,埋土		
	空新曲		Kt-U	甲突層上部層	沖積上部砂層(河川成)		
元 7	元初世	油硅网	法建屋	Kt-L	甲突層下部層	沖積中部層(海成)	
		/甲俱眉	Ar	荒田層	沖積中部層(河成~浅海成) 下層に黒色ロームを伴う		
			Yj	与 次 郎 層	沖積下部砂層(扇状地~河川成)		
5		更新統	更新統		Si	入戸火砕流堆積物	しらす(約29,000年前) 下層に薄い軽石層を伴う
-	車 乾冊				Km	郡元層	厚い軽石層が特徴的な礫,砂,シルト互層
史初	史利世			Sh	城山層	シルト,砂,礫(城山およびその周辺に分布,約13万年前)	
			Wt	吉野火砕流堆積物	溶結凝灰岩(吉野台地およびその周辺に分布,約50万年前)		
		1	Kr	花倉層	シルト,砂,礫(鹿児島市域の地下に広く分布,約60万年前)		

に示す更新統を一つの地層(Sb)と見なしてサーフェスモ デルの推定を行った.結果の例を第3図に示す.

第3図 サーフェスモデル(更新統上面のみ,部分)



2.6 パネルダイアグラムとメッシュデータ

南北方向の間隔が 250m となるように,合計 33 本の東 西方向のパネルダイアグラム(以下,パネルと言う)を推定 した.更に,各パネルについて,水平距離 250m 間隔で 各地層の上端標高を数値化してパネルデータを取得した. 例を第 4 図に示す.全てのパネルデータを総合すると 250m メッシュデータが得られる.この方法についての詳 細は,中田(2018)を参照されたい.



第4図 パネルダイアグラムデータの作成例

2.7 250mメッシュ地盤情報データベース

現在の 250M-DBS では,平面直角座標の 250m メッシュごとに第2表に示す地盤情報を登録しており,今後増やす方向で検討を進めている.

分類	内容
	パネルダイアグラムから当該メッシュを切り出した図
二次元 地般モデル情報	各地層の上面標高データ(推定値)
	当該メッシュのパネルダイアグラム
	『鹿児島市地盤図』から当該メッシュの表層地形を読み 取った地質名
地質・地層情報	柱状図から各地層別に平均N値を計算しメッシュに付与した。複数本に対応
	上記の計算に使用した柱状図名
災害関連情報	鹿児島県が策定した土砂災害警戒区域,防災技研が策定 した地すべり地形の有無。前者は急傾斜地と土石流
	地層別平均N値を使用して独自に推定した表層の卓越周期

第2表 250m メッシュ DB 登録情報

250M-DBS の情報検索は,原則として地図検索方式であって,例を第5図に示す.

三次元地盤モデル情報は,第1表に準拠した地質層序 名で表現されているため,当該区域内では共通して扱うこ とができる.従って,250M-BDS に登録されている三次 元モデル情報(各地層の上面標高推定値)を使用することに よって,マイクロゾーニングなどを実施する際に最も時間



第5図 250M-DBS の地図検索方式(例)

と費用の掛かる「浅層地盤モデルの作成作業」を省くこと ができるのではないかと考えている.

なお,250M-DBS には,地質層序 DB に登録されてい る柱状図データ(XML)から,直接各地層の 地盤定数を抽出・数値処理する機能を有して いる.見本として,各値層別に平均 N 値を 計算した結果を第3表に示す.

3.おわりに

現時点の登録情報は第2表に示した程度 であるが,GIS化されて公開されている統 計情報などを取り込むことは十分可能であ る.今後は,一般ユーザの利用を想定して, 登録情報の種類と内容,並びに検索と可視化 方法について検討を進めたい.

更に,より多くの関連情報を扱うべく,メ ッシュの座標系を緯度・経度を基本とした「地域メッシュ」 への移行も検討したいと考えている.

第3表 地層別平均 N值(見本)

	時代	2	記号	地層名	平均N值	本数
第四		表土類	b	表土層	5.7	73
	□		Kt-U	甲突層上部層	9.3	55
	元初世	沖積層	Kt-L	甲突層下部層	11.5	55
			Ar	荒田層	14.7	71
			Yj	与次郎 層	21.8	26
紀		更新統	Si	入戸火砕流堆積物	33.4	29
	面 新冊		Km	郡元層	29.1	6
	丈利已		Sh	城山層	43.8	15
			Wt	吉野火砕流堆積物	56.7	3
			Kr	花倉層	36.4	20

献

中田文雄,田中義人,北村良介,酒匂一成,伊藤真一 (2019):鹿児島平野の地層区分と三次元地盤モデル の作成(その2),自然災害研究協議会西部地区部会 報,第43号,pp.29-32.,Feb.2019

文

中田文雄(2018):三次元地質モデルを利用した地震動 予測の一手法,第 29回日本情報地質学会講演会講 演要旨集,pp.5-6.,Jun.2018

Landsat画像を用いたディープラーニングによる植生分類

水落 啓太*・根本 達也*・升本 眞二*

Vegetation Classification based on Deep Learning using Landsat Images

Keita MIZUOCHI*, Tatsuya NEMOTO* and Shinji MASUMOTO*

*大阪市立大学大学院理学研究科 Graduate School of Science, Osaka City University, 3-3-138 Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585, Japan. E-mail: m19sc026@fa.osaka-cu.ac.jp

キーワード: Landsat, リモートセンシング, 植生分類, ディープラーニング **Key words**: Landsat, Remote sensing, Vegetation classification, Deep learning

1.はじめに

現在,植生分布を示した情報として,生物多様性センター が行っている調査の結果により作成された現存植生図があ る.しかし,この現存植生図の作成には空中写真の判読や現 地調査などの作業が必要であるため,植生図の更新には多 大な時間と労力を要する(鎌形ほか,2006).効率的に植生 図を整備する手法の開発は重要な課題である.

植生図作成・更新の効率化にリモートセンシングの技術 の適応が期待されており,近年ではリモートセンシングと 機械学習を用いて植生図を作成する研究が進められている. また,近年は機械学習の一種である深層学習の技術が発展 してきている.深層学習はニューラルネットワークを用い ることにより,従来の機械学習より高度な学習ができる.本 研究では、リモートセンシングデータと深層学習を用いて 植生図を作成し,その精度を検証した.

2. 分類方法

分類は8個のクラス(落葉広葉樹林,常緑広葉樹林,針葉 樹林,低草地,竹林,耕作地,市街地,水域)で行った.分 類結果の検証対象と学習データ作成に使用する植生データ は,環境省生物多様性センター1/25,000 植生図のデータを 用いて8クラスに再分類して作成した.リモートセンシン グデータは多数のデータを容易に取得できることから Landsatのデータを用いた.解析地域は,大阪・奈良・京都 を含む,東西55.68km,南北72.96kmで行った.分類は画 像認識に適した CNN (Convolutional Neural Network)を 用いた分類とピクセルベースでの2つの手法で行った. Landsatのデータは CNN での分類は植生図が作成された 年代に最も近い2000年8月のデータを,ピクセルベースの 分類では2000年の3月・8月・12月のデータを使用した.

2.1 CNN を用いた分類手法

CNN での学習は3 チャンネルの画像データで行うため, バンド 1~5 と7 の反射率のデータと NDVI (正規化植生指 数)をから3 つ選び RGB に対応させて画像データを作成し た. 作成した画像と植生データを使用し 16×16pixel の画 像を約 4000 枚切り出し,学習データを作成した.学習デー タを用いて CNN 分類器を作成して, 3 チャンネルの画像 を入力し分類結果を反映させた植生図を出力した.

2.2 ピクセルベースでの分類手法

ピクセルベースでは、各ピクセルの3月・8月・12月の バンド1~5とバンド7の反射率のデータ、合計18個のデ ータを使用した、学習は、18個のユニットを持つ入力層、 150個のユニットを持つ層が4層ある中間層、8つのユニッ トを持つ出力層で構成したディープニューラルネットワー ク(第1図)と、100,000個の学習データを用いて行った、 学習したネットワークに、全ピクセルの反射率のデータを 入力してクラスの分類を行った。



3. 結果

精度の検証には κ 係数 (kappa statistic) を用いた. κ 係数は判定結果などの一致率を示す統計量で1 に近いほど高い一致を示す. κ 係数の判定基準には Landis and Koch (1977) によって示されたものを使用した, 0.41~0.60 で中程度の一致, 0.61~0.80 で高い一致を示すとされる.

CNN を用いた分類は各バンドと NDVI の数種類の組み 合わせで行った結果,バンド2,5と NDVI を組み合わせた 画像での分類が最も κ 係数が高くなった.第2図(a)に再 区分した植生図,第2図(b)に分類結果,および第1表に 精度の検証結果を示す. κ 係数は0.66となり高い一致とな った.

第2図(c)に再区分した植生図,第2図(d)にピクセル ベースでの分類結果,および第2表に精度の検証結果を示 す. κ 係数は0.70となり高い一致を示し,CNNでの分類 よりも高い精度での分類結果を得られた.



第2図 植生区分と分類結果

(a) CNN 用に再区分した植生図,(b) CNN による分類結果,(c) ピクセルベース用に再分類した植生図, (d) ピクセルベースでの分類結果.

		分類結果									
		落葉広葉 樹林	常緑広 葉樹林	針葉樹林	低草地	竹林	耕作地	市街地	水域	合計	
	落葉広葉樹林	122,381	9	$227,\!588$	315	4,224	75,569	1,462	9	431,557	
	常緑広葉樹林	548	0	7,172	0	16	2,830	61	0	10,627	
	針葉樹林	59,152	27	1,182,961	667	1,234	107,671	3,314	35	1,355,061	
late (I	低草地	3,614	0	8,439	9,660	395	49,680	5,043	292	77,123	
植生	竹林	7,141	0	9,836	7	1,514	31,809	377	0	50,684	
区刀	耕作地	20,007	0	39,915	688	3,630	521,746	39,881	196	626,063	
	市街地	469	0	6,860	24	65	$354,\!150$	1,403,016	12,191	1,776,775	
	水域	0	0	3,465	0	0	$5,\!597$	5,567	105,491	120,120	

第	1	表	CNN	に	よ	る	分類の精度検証結果

第2表	ピクセルベースでの分類の精度検証結果
210 - 23	

		∩ <u>×</u> <u>x</u> ↔ <u>म</u>									
						分類和	当果				
		落葉広葉 樹林	常緑広 葉樹林	針葉樹林	低草地	竹林	耕作地	市街地	水域	合計	
	落葉広葉樹林	289,001	115	$186,\!625$	1,019	11,755	39,809	13,860	1,731	$543,\!915$	
	常緑広葉樹林	5,743	852	13,646	131	1,417	1,118	2,492	255	$25,\!654$	
植生	針葉樹林	133,011	324	993,717	2,423	11,812	$34,\!265$	16,763	1,149	1,193,464	
	低草地	3,676	4	4,530	$33,\!466$	332	36,890	15,023	1,989	95,910	
	竹林	18,217	27	21,689	60	43,029	12,354	8,606	376	104,358	
ĽЛ	耕作地	36,453	6	28,726	1,380	7,562	503,081	106,742	3,236	687,186	
	市街地	13,294	146	$15,\!442$	$1,\!272$	4,514	$123,\!155$	$1,\!490,\!420$	12,497	$1,\!660,\!740$	
	水域	1,879	69	2,314	149	379	10,848	$24,\!532$	151,913	192,083	
	合計	501,274	1,543	1,266,689	39,900	80,800	761,520	1,678,438	173,146	4,503,310	
一致率 77.84% к係数 0									0.70		

4. おわりに

ピクセルベースでの分類はκ係数が0.70と高い精度で分 類することができた.しかし,落葉広葉樹林,常緑広葉樹林, 針葉樹林ではそれぞれ間違って分類していることが多かっ た.本研究での解析範囲では常緑広葉樹林が占める場所は 1%未満であったため、今後、分類精度の向上方法を検討し ていきたい.

슴計

213,312

文献

- 鎌形哲稔・原慶太郎・森 大・赤松幸生・李 雲慶・星野義延 (2006) 高分解能衛星データのオブジェクト指向分類に よる植生図作成手法の提案.写真測量とリモートセンシ ング, vol.45, no.1, pp.48-93.
- Landis, J. R. and Koch, G. G. (1977) The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. Biometrics,

vol.33, no.1, pp.159-174.

36 1,486,236 11,361 11,078 1,149,052 1,458,721 118,214 4,448,010 一致率 75.24%

> 松林健一・根本 淳・百瀬 浩・藤原宣夫・日置佳之(2002) 高解像度衛星データを用いた植生図化手法の開発と図化 精度評価. 日本緑化工学会誌, vol.28, no.1, pp.127-131.

κ係数 0.66

- 望月翔太・村上拓彦(2016)機械学習法を用いた SPOT5/HRG データの土地被覆分類とその精度比較.統 計数理, vol.64, no.1, pp.93-103.
- 中川恭平・村上拓彦(2012)オブジェクトベース画像分類に よる森林タイプ分類における分類手法ならびに特徴量選 択に関する検討.新潟大学農学部研究報告, vol.65, no.1, pp.57-65.
- 岡谷貴之(2015)機械学習. 講談社, 165p.
- 杉田幹夫(2018) Landsat 地表面反射率データを用いた富 士山周辺域の土地被覆分類における地形補正の影響.富士 山研究, vol.12, pp.17-24.

ハイパースペクトル衛星画像による植生域での熱水変質帯の抽出精度向上

権守 宏明*・久保 大樹*・小池 克明*

Improvement of Detection accuracy of Hydrothermal alteration zones in Vegetation areas using Hyperspectral satellite imagery

Hiroaki Gonnokami*, Taiki Kubo* and Katsuaki Koike *

*京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 Department of Urban Management, Graduate School of Engineering, Kyoto University, Katsura C1-2, Kyoto 615-8540, Japan. E-mail: gonnokami.hiroaki.65w@st.kyoto-u.ac.jp

キーワード: リモートセンシング, ハイパースペクトル衛星画像, アンミキシング, 地熱兆候地, Wayang Windu

Key words: Remote sensing, Hyperspectral satellite imagery, Unmixing, Geothermal manifestations, Wayang Windu

1. はじめに

温泉や噴気などの地熱兆候が確認される地熱資源有望 地においては、深度2、3kmまでに位置する地熱貯留層 から上昇する熱水や蒸気によって岩石の変質が生じるた め、衛星リモートセンシングによる熱水変質鉱物の分布 推定が有効となる.しかしながら、光学センサによる広 域調査では、植生に覆われた地表物質の反射スペクトル を観測することが困難となる.また、植生の少ない領域 においても、解析に用いる衛星画像の一画素中に、複数 の地表物質の情報が混在するため、目的とする変質鉱物 の情報を取り出すための、Spectral unmixing 手法が必要 となる.波長分解能が高く、より多くの情報を取り扱う ことができるハイパースペクトルデータの利用は、この 観点においても有効であると考えられる.

そこで本研究では、明瞭な地熱兆候地が確認されてお り、大規模な地熱発電所が稼働しているインドネシア西 ジャワ州の Wayang Windu 地区を対象として、唯一のハ イパースペクトルセンサ衛星画像である Hyperion デー タによる解析を行った.特に植生が厚い地域での熱水変 質帯の抽出精度を向上させることを目的に、スペクトル 分離法を適用した.地熱兆候地抽出の際には、変質鉱物 の分光反射特性を利用し、ハイパースペクトルデータに 有効な手法である Linear Spectral Unmixing (LSU),およ び SAM (Spectral Angle Mapper) という画像処理法を適 用した.



第1図 LSU による端成分鉱物の重み係数分布. 重み係数の対象と設定した端成分は(a)噴気帯で採取した変質鉱物の現地サンプル: 端成分は現地の植生と変質鉱物の2種類, (b)kaolinite:端成分は aspen(植生)と kaolinite の2種類, (c)kaolinite: 端成分は aspen, alunite, calcite, illite, kaolinite, andesite, sulfur, bare soil(土壌を示すピクセルのスペクトル)の8種類, および(d)alunite:端成分は aspen, alunite, calcite, illite, kaolinite, andesite, sulfur, bare soil の8種類.

2. LSU による熱水変質帯の抽出結果

解析データとして、対象領域において雲量が最も少な い2012年6月25日撮影のHyperion衛星画像を用い、前処理 を施して信頼性の高い157バンドを地表面反射率へ変換 した後、LSUを適用した.LSUとは、画像の各画素におけ る反射率が、その画素内に存在する物質の反射率の線形 結合であると仮定し、各画素に含まれる各物質の存在量 の値を重み係数として求める方法である.一般に、観測 スペクトルρ_i(i:バンド番号)は、複数の端成分iの反射 スペクトルρ_{ij}を用いて次式で表される(島田, 2007).

$$\rho_{\rm j} = \sum_i (x_i \cdot \rho_{ij}) + R_j$$

ここで, x_iは各端成分の重み係数, R_jは残差である.LSU は物質間での相互作用がないと仮定しており,複数の物 質の散乱が重なり非線形的になる場合を考慮した手法よ りは不正確となるが,多くの環境において良好な結果が 得られると報告されている(Boardman *et al.*, 1994).

LSUにより求めた4種類の重み係数の分布を第1図に示 す. 教師データには, USGSのスペクトルライブラリに加 え,分光放射計(ASD FieldSpec 4)で測定した現地土壌 サンプルの反射スペクトルを用いた.第1図に示す測定結 果から、現地試料とスペクトルライブラリの重み係数の 分布は類似しており、本解析の教師データとしてスペク トルライブラリを用いることの妥当性が示された.また, アンミキシングに用いる端成分を増やすと、重み係数の 大きい領域の分布は局所的になった. さらに, Wayang Windu地区における熱水変質帯の抽出にはkaoliniteの重 み係数に注目すべきことがわかる. 第2図で,端成分数8 でのkaoliniteの重み係数上位0.5%に着色した箇所と, Wayang Windu地区の地質分布図 (Saepuloha et al., 2018) を比較する. 左図の緑点は地熱兆候地を示すが, 重み上 位部と数ヶ所が対応していることがわかる.また,対象 領域北部の抽出地点は赤い線で囲まれた領域、すなわち 火山性陥没地形であるカルデラに対応し、変質鉱物が分 布している可能性は高い領域である. 東部の抽出地点は 断層の交点付近に位置しており、地熱流体の噴出によっ て変質鉱物が生成されていることが考えられる.よって, LSUによる推定結果には、一定の信頼性があると言える.

3. SAM による熱水変質帯の抽出結果

前処理を終えたHyperionデータに対し、観測スペクト ルと教師データとの類似度を測るSAMの適用を試みた. SAMは2つのスペクトルをバンド数に等しい次元を持つ 空間内のベクトルとして扱い、類似度としてスペクトル 角を算出する.Hyperionデータとkaoliniteのスペクトル角 の下位0.5%の画素に着色した箇所と、Saepuloha et al. (2018)によるリニアメント密度分布図を第3図で比較す る.左図の赤点は既知の地熱兆候地、白線は断層、背景 はリニアメント密度を示す.SAMによる熱水変質帯の抽 出地点はLSUの結果と比較して広範囲に分布しているが、 その多くは既知の地熱兆候地や断層付近、リニアメント 密集地に対応する.よって、変質鉱物分布域を妥当に抽 出できたと言える.



第2図 LSUによる熱水変質帯の抽出地点(重み係数の 上位0.5%部分)(右)と地質分布図(左)の比較



第3図 SAM による熱水変質帯の抽出地点(スペクトル角の下位 0.5%部分)(右)とリニアメント密度(左)の比較

4. まとめ

地熱地域におけるハイパースペクトル画像を用いた変 質鉱物抽出精度の向上を目的に、2 つの Spectral unmixing 手法を適用した.抽出された熱水変質帯の抽出地点の多 くは、既知の地熱兆候地や地形の急変部と対応し、地熱 資源探査の広域概査におけるハイパースペクトルセンサ 画像解析の有効性が示された.今後の課題としては、他 の既知の地熱兆候地を抽出するために、スペクトル分離 において端成分を適切に設定すること、および Wayang Windu 地区以外の地熱サイトも対象とし、本手法の有効 性を確かめることなどがあげられる.

- Boardman J. W. and Kruse, F. A. (1994) Automated spectral analysis: A geologic example using AVIRIS data, north Grapevine Mountains, Nevada: in Proceedings, *Tenth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing*, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, MI, pp. I-407 - I-418.
- Saepuloh, A., Haeruddin, H., Heriawan, M.N., Kubo, T., Koike, K. and Malik, D. (2018) Application of lineament density extracted from dual orbit of synthetic aperture radar (SAR) images to detecting fluids paths in the Wayang Windu geothermal field (West Java, Indonesia), *Geothermics*, vol. 72, pp. 145-155. 島田沢彦 (2007) リモートセンシングによる解析, 自然環境解
- 島田沢彦 (2007) リモートセンシングによる解析,自然環境解 析のためのリモートセンシング・GISハンドブック.古今書院, pp. 8-27.

Satellite remote sensing for estimating water content and organic matter distributions in estuary sediments

Vu Thi Thu Thuy*, Nguyen Thi Thu Ha**, Nguyen Thuy Linh** and Katsuaki Koike*

**Graduate School of Engineering, Kyoto University, Katsura C1–2–215, Kyoto 615–8540, Japan. E-mail: koike.katsuaki.5x@kyoto-u.ac.jp (K. Koike)
**Department of Geology, VNU University of Science, Hanoi, Vietnam.

Key words: Remote sensing, Water content, Organic matter, Estuary sediment

1. Introduction

Tidal flat, the submerged and exposed daily coastal wetland, is a deposition field of sedimentary materials by tides or rivers. It also has an important role for trapping and filtering sediments and suspended contaminants from discharged river water. Recently, several studies have addressed a significant relationship between the reflectance of electromagnetic waves and tidal flats' sediment properties such as sediment organic matter (Kaplan and Milliken, 2014) and water content (Lobell and Asner, 2002; Small et al., 2009; Ngoc et al., 2013). Additionally, the use of satellite imagery and different classification techniques have demonstrated effectively to map the distribution of water content of sediments (Rainev et al., 2000). Therefore, satellite remote sensing is a promising method for monitoring the changes of sediment properties and coastal geo-environments.

2. Materials and methods

The Van Uc estuary belonging to the Thai Binh river is situated in the northern part of the Red River Delta coastal zone in the north of Vietnam. As the discharged area of the Thai Binh river system, this area has complex environment components with mangrove and intertidal eco-systems (Fig. 1).

Total 20 sediment samples were taken from the tidal flat of Van Uc estuary on 17 December 2017 by spoon and preserved in plastic bags under cool condition after measuring their reflectance spectra by the field spectrometers RS³. In a laboratory, all samples were measured continually for their reflectances under dry and wet conditions.

All samples were dried at 105°C for 24h in an electric oven to detect the water content as follow:

$$w = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m_c} \times 100$$

where *w* is water content of sample (%), m_c is the weight of cup containing sample (g), m_1 is the weight of wet sediment with cup (g), and m_0 is the weight of dry sample with cup (g).



Figure 1. Land covers in the Van Uc estuary in which mudflat area is colored yellow.

Total samples were also divided into several parts for adding water to take more samples at different situations from dry to saturation. Then, they were dried at 550° C for 5h in an electric oven to measure the organic matter from the next equation:

$$om = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_c} \times 100$$

where *om* is organic matter of sample (%), m_c is the weight of cup containing sample (g), m_1 is the weight of dry sediment with cup before dry at 550°C (g), and m_2 is the weight of dry sample with cup after dry at 550°C (g).

Sentinel 2A (S2A), one of the Earth observation satellites has a multi-spectral imager including 13 spectral bands spanning from the visible blue to shortwave infrared (SWIR) region. The S2A image used in this study was acquired at 17:46 GMT on 25 September 2016 at the UTM zone 48N with 10, 20, and 60 m resolutions. The S2A Toolbox in the Sentinel Application Platform ver. 5.0 on Windows 10 was used to resample the image at the 10 m resolution. Then, a traditional empirical line method was applied as an atmospheric correction of the S2A scene. Finally, the distribution map of sediment properties was generated by the density slicing tool of ENVI 5.3 and ArcGIS 10.5.

3. Results and discussion

The measured water contents of all samples were distributed widely from dry condition (0 %) to saturated condition (54.7 %). The organic matter contents were also ranged from 2.91 % to 7.67 %. The measured reflectance spectra of all the sediment samples at different water contents were in the range from visible to SWIR region. Obviously, the reflectance spectra of dry samples are higher than the wet samples, and the reflectance spectra of samples at dry condition have the same trend in that they increase with the wavelength.



Figure 2. Distribution map of organic matter estimated from Sentinel 2A acquired on 25^{th} September 2016.

There was a small correlation between the water content and the simulated S2A single band reflectance in the total wavelength range with R (correlation coefficient) smaller than 0.5. On the other hand, most band ratios of the simulated S2A had strong correlation with the water content. The highest R was for the relationship of water content with the band ratio of NIR (band 8a, B8a) and SWI (band 11, B11) with R = 0.84. Therefore, it can be estimated water content from the ratio of S2A band 8a versus band 11 by the next equation:

$$WC(\%) = [\ln (B8a/B11) - \ln 0.9135)]/0.0143$$
 (1)

where WC is the water content of the surface sediment of tidal flats (%).

The organic matter had weak correlated with the simulated S2A single band reflectance, because their Rs were from 0.1 to 0.4. On the contrary, the organic matters were well correlated with the *in-situ* S2A band ratios with higher R. The maximum R was specified for the relationship between the organic matter and the ratio of the band in NIR (B7) versus the band in visible deep blue (B1) with R = 0.9. Accordingly, the most suitable equation to estimate the organic matter from the ratio of S2A band 7 versus band 1 is expressed as:

$$OM(\%) = 0.0134 e^{1.0045(B7/B1)}$$
 (2)

where *OM* is the organic matter in the tidal flat sediment (%).

Applying Equations (1) and (2) to the S2A image scene acquired on 25^{th} June 2018, distributions of water content and organic matter in the surface sediments in the study area were mapped (Fig. 2). The water contents are distributed from 0 to 50.1 % and have the trend with the highest value near the shoreline Tien Lang, while the lowest value was located in the north tidal flat and some small areas in the middle estuary. The organic matters are ranged from 2% to 8.2% with the highest along the inland and decreasing toward the off-shore.

4. Conclusion

A strong correlation was clarified between the *in-situ* reflectance spectra data and the sediment features of the surface sediment samples in the Van Uc estuary. The result confirmed the strong effect of the water content and organic matter on the reflectance spectra and the potential of Sentinel 2A band ratio to estimate the distribution of them in the surface sediments in tidal flat of the estuary.

References

- David, B.L., Gregopy, P.A. (2002) Moisture effects on soil reflectance. Soil Science Society of America Journal, 66(3), pp.722-727.
- Kaplan H. H., Milliken R. E., Knoll A. H. (2014) Detection of organic matter in sediments with near-infrared reflectance spectroscopy. *Effects of Mineralogy, Albedo and Hydration. Eighth International Conference on Mars.*
- Ngoc, N.T., Koike, K., Tue, N.T. (2013) Correlating mass physical properties with ALOS reflectance spectra for intertidal sediments from the Ba Lat Estuary (northern Vietnam): an exploratory laboratory study. *Geo-Marine Letters*, 33, pp.273-284.
- Rainey, M.P., Tyler, A.N., Bryant, R.G., Gilvear, D.J. (2000) The influence of surface and interstitial moisture on the spectral characteristics of intertidal sediments: Implications for airborne image acquisition and processing. *Remote Sensing*, 21, pp.3025-3038.
- Small, C., Steckler, M., Seeber, L., Akhter, S.H., Goodbred, Jr.H., Mia, B., Imam, B. (2009) Spectroscopy of sediments in the Ganges-Brahmaputra delta: Spectral effects of moisture, grain size and lithology. *Remote Sensing of Environment*, 113, pp.342-361.

リモートセンシング技術を応用した実験的な鉱物同定手法の開発

久保 大樹*·小池 克明*

Development of mineral identification method at lab scale by an application of remote sensing technique

Taiki Kubo* and Katsuaki Koike*

*京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 Department of Urban Management, Graduate School of Engineering, Kyoto University, Katsura C1-2-215, Kyoto 615-8540, Japan. E-mail: kubo.taiki.3n@kyoto-u.ac.jp (Kubo)

キーワード: リモートセンシング,分光放射計,粘土鉱物,反射スペクトル,スペクトル分解 Key words: Remote sensing, Spectroradiometer, Clay mineral, Reflection spectrum, Spectral unmixing

1. はじめに

土壌や岩石に含まれる鉱物の種類や量比を迅速かつ簡便 に判別することは、土木工学や資源探査など様々な分野に おいて必要とされる技術であり, 非破壊・非接触な手法であ ればさらにその需要は拡大する.衛星リモートセンシング において広く用いられる鉱物指数など、物質の分光反射特 性を利用した解析は,前述の条件に適した手法であると言 える. 各種鉱物は形状や構成元素によって固有の反射スペ クトルを有しており、それらの違いによって種類や量比の 判別を行うことができる.近年,センサ類の著しい小型・高 性能化に伴って, ハンディタイプの分光放射計や赤外域ま で撮影可能なカメラの開発が進み、ラボスケールで運用可 能なサイズと価格の製品が次々と登場している.本研究で は、このような測定装置類を用いた、いわば『ラボスケール での衛星リモートセンシング解析』によって,迅速・簡便か つ非破壊・非接触な鉱物同定システムの開発を目指した. し かしながら,衛星リモートセンシング解析の対象は主に広 域における概査であり、それ単体での解析精度はさほど高 いものではない. そのため, ラボスケールで必要とされる測 定精度を得るためには、種々の条件での試料の測定と検証 が必要となる.本発表では、前述の目的のため、主にハンデ ィタイプの分光放射計を用いて様々な状態の岩石や土壌試 料の反射スペクトルの変化を測定し、それに基づく試験的 な定量手法について議論する.

2. 測定装置の概要

測定には Malvern Panalytical (旧 ASD Inc.)の ASD FieldSpec (以下 FieldSpec)を用いた. FieldSpec は 350 nm から 2500 nm までの連続分光計測が可能な可搬型の可視・近赤外分光 放射計である. ASTER や Landsat といった光学センサを搭 載した人工衛星によって取得された地表の反射スペクトル と,実際の計測対象物のスペクトルの対応を検証する目的 (Ground truth)で,野外や室内での測定に広く用いられて いる.光源は FieldSpec 付属,あるいは市販のハロゲンラン プを使用し,測定前に白色板を使ったホワイトバランスの 校正を行った.また,測定時にはセンサプローブを固定台に 設置し,測定対象物との距離が変化しないように注意を払 った.

3. 合成スペクトル分解の実験的検証

リモートセンシング解析に用いられる衛星画像は、1ピク セル内に異なる波長に対する地表物質の反射率が格納され た多次元データである. ピクセル内に複数の物質が存在す る場合,観測値は各物質の分光反射特性の組み合わさった 合成スペクトルとなり、このようなピクセルは mixel (ミク セル)と呼ばれる(長澤ほか、2007). 合成スペクトルの分解 を行い, mixel 内に含まれる物質の種類や割合を求める Spectral unmixing は衛星画像を用いた主要な解析のひとつで ある.

この概念がラボスケールでの実測値に対しても適用できることを確かめるため、FieldSpecを用いた実験を行った. 実験では、粉末状の精製ベントナイトと珪砂、および両者の混合試料を作成し、それぞれの反射スペクトル($\rho_{clay}, \rho_{sil}, \rho_{mix}$)を計測した.混合試料は重量比に基づいて混合率を段階的に変化させている.計測結果から、 ρ_{mix} は珪砂の混合率が大きくなるにつれて ρ_{clay} から ρ_{sil} に類似した形状に近づいていることがわかった(第1図).最も単純な Spectral unmixing 手法である線形分離の概念が適用できるとすれば、各反射スペクトルの関係は次式によって表せる.

$$\boldsymbol{\rho}_{\text{mix}} = x_1 \boldsymbol{\rho}_{\text{clay}} + x_2 \boldsymbol{\rho}_{\text{sil}} \tag{1}$$

ここで x_1 , x_2 はそれぞれの物質の存在率に比例する重み係 数であり, $x_1 + x_2 = 1$ となる. これに従い, ρ_{clay} と ρ_{sil} に それぞれの混合率を重み係数として乗じて足し合わせた計 算スペクトル(ρ_{cal})と, 珪砂混合率 50%と 70%の実測スペク トル (ρ_{mix}) を比較した結果を第 2 図に表す. いずれの場合 も両者のスペクトル形状はよく類似しており, ρ_{mix} は二つ の反射スペクトルの線形結合による合成スペクトルである と言える.

以上の結果を踏まえ、各混合試料の重み係数を**p**clayと**p**sil から算出することを試みる.式(1)および重み係数の制約から,計算上の合成スペクトルと実測スペクトルの差分fは式(2)で表すことができる.

$$f = x_1 (\boldsymbol{\rho}_{\text{clay}} - \boldsymbol{\rho}_{\text{sil}}) - \boldsymbol{\rho}_{\text{cal}}$$
(2)



第1図 粉末状のベントナイト,珪砂,および混合率を段階的に変 化させた試料の実測反射スペクトル.



Wavelength (nm)

第2図線形結合によって求めた計算スペクトルと実測スペクト ルの比較.上図が珪砂混合率50%,下図が珪砂混合率70%.



第3図 最急降下法を用いて求めた各混合試料中のベントナイトの推定混合率と実混合率の比較.緑の破線は残差の二乗平方根Eの変化を表す.

この差分の二乗平方根 E を最小化する変数x₁を勾配法の一 種である最急降下法によって求める.今回はリモートセン シング解析で使用される既存の計算プログラムを流用する ため、実測スペクトルから ASTER の VNIR・SWIR センサ に対応する 9 つの波長帯(小池・古宇田, 2016)を用いた. 求めた x₁の値を推定混合率として、結果を第3図に表す. 混合率 10%の場合を除き、全体に E の値は小さく、適切に 重み係数の推定ができていることが確かめられる.推定混 合率と実混合率は特に混合率 40%までよく対応しており、 全体の相関係数は 0.96 である.混合率 50%以降では過小評 価となっているが、実測スペクトルには室内の湿度や温度 変化、試料とセンサのわずかな距離の変化など諸種の観測 誤差が含まれており、これらを補正することができればよ り精度の高い量比の推定を行うことができると考えられる.

4. まとめ

本研究では衛星リモートセンシング解析のノウハウを応 用し、ラボスケールで利用できる迅速かつ簡便な鉱物同定 手法を開発するために、混合試料を用いた実験的検討を行 った.これによって、混合試料の反射スペクトルは混合され た物質の反射スペクトルの合成であることが確かめられた. この事実に基づき Spectral unmixing 手法を適用して、ベント ナイトの推定混合率を求めた結果、相関係数 0.96 と高い推 定精度を得ることができた.

しかしながら、鉱物の判別や量比の推定を行うためには、 対象とする鉱物の純粋な反射スペクトル情報が必要となる. また、実際の土壌や岩石はより多くの物質が混合した状態 であり、さらには含水率や粒径など複雑な条件の違いがあ る.実用的な鉱物同定システムへ発展させるためには、鉱物 反射スペクトルのライブラリ情報の蓄積と、さらなる検証 作業が必要とされる.

- 長澤良太・原慶太郎・金子正美 (2007) 自然環境解析のため のリモートセンシング・GIS ハンドブック,古今書院,256 p.
- 小池克明・古宇田亮一 (2016) 金属鉱物・地熱資源探査への リモートセンシング応用技術とその最近の動向. Journal of MMIJ, vol.132, no.6, pp. 96-113.

複数の室内計測情報の統合による岩石の電気的性質の物理モデル化

大田優介*・後藤忠徳**・林為人*・多田井修***・笠谷貴史****・町山栄章****

Rock physics modeling for electrical properties by integration of multiple information of laboratory measurements

Yusuke Ohta*, Tada-nori Goto**, Weiren Lin*, Osamu Tadai***, Takafumi Kasaya**** and Hideaki Machiyama****

*京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 Department of Urban Management,

Graduate School of Engineering, Kyoto University, Katsura C1-2-225, Kyoto 615-8540, Japan. E-mail: ohta.yusuke.58z@kyoto-u.ac.jp (Ohta)

兵庫県立大学大学院生命理学研究科 Graduate School of Life Science, University of Hyogo *マリンワークジャパン Marine Works Japan Ltd.

****海洋研究開発機構 Japan Agency for Marine-earth Science and Technology

キーワード:岩石物理モデル,電気伝導度 Key words: Rock physics model; electrical conductivity

1. はじめに

岩石の電気伝導度(比抵抗の逆数)は、含有鉱物により大 きく変化しており、そのモデル化が進められてきた。従来、 間隙率や間隙水の電気伝導度,粘土鉱物の含有量と電気伝 導度の関係は、岩石物理モデル(物性を他の物性や形状パラ メータで表した物理式)で記述されてきた(例えば,Katsube & Hume, 1983)。さらに大田ほか(2018)では、海底下塊 状硫化物鉱床の岩石物理モデルが提案されている。大田 (2018)では鉱床胚胎が期待される海底熱水活動域(中部沖縄 トラフ)において硫化鉱物を含む岩石試料を採取し、その間 隙水を交換しながら周波数 1kHz の交流電流に対する岩石 試料の複素電気伝導度の絶対値を測定することにより、間 隙水の電気伝導度変化に伴う岩石の電気伝導度の変化を式 (1)のようにモデル化した.

$$\sigma_{R} = \left(\frac{F_{2}F_{3}}{F_{3}\sigma_{w} + F_{2}C_{e}} + \frac{F_{1}}{\sigma_{w}}\right)^{-1} + C_{s}$$
(1)

この岩石物理モデルでは岩石は間隙率(式中の形状定数 F_1 ~ F_2 に含まれる),間隙水の電気伝導度 σ_w ,表面電気伝導 C_s などの関数として表されているほか,硫化鉱物の体積含有率と強い相関性のあるパラメータ C_e が定義されているのが特徴であり,実際に硫化鉱物という物質情報と物性情報の結び付けに成功している.

調査地域の地質を鑑み,適切な岩石物理モデルを構築す れば,物理探査によって得られる地下の物性情報を他の物 性や地下構造の情報に変換することが可能である(鈴木, 2015).従って、岩石物理モデルの高度化は地下構造解釈の 高度化に寄与しうる。しかし、大田ほか(2018)では、電気伝 導度の実成分のみを考慮したものであり,電流の周波数応 対については記述していない.硫化鉱物は充電特性を持ち, 高周波数の電流に対しては高導電率を発揮する一方で,低 周波数の電流に対しては低導電率を示すことが知られてい る.したがって本来,このような岩石の電気伝導度は複素成 分を持つものであり,式(1)のような実成分モデルで解釈す る際には虚部や周波数応対についての情報が損失してしま う.この問題を解決するためには,岩石物理モデルを周波数 領域に拡張し,岩石の複素電導度を扱えるようにすること が必要である.

そこで本研究では、岩石サンプルの複素電気伝導度の周 波数特性を再現することを目指し、岩石サンプルに対する 物性測定を行うと共に、モデルの構築を行い、モデルの整合 性について検証した.

2. 対象海域と岩石サンプルの概要

本研究の調査海域は中部沖縄トラフである.この海域で は複数の熱水活動が観察されており、実際に塊状硫化物の 形成が確認されている.



第1図 調査海域および日本列島近海の熱水活動域の位置関係 出展:海洋研究開発機構

海洋研究開発機構の調査航海 KM18-08C において, 無人調

査船を用いて海底表面の塊状硫化物を含む岩石試料を19個 採取し,径40mm,長さ40mmのコア状試料へと加工した. (コアサンプルと呼称)

3. 複素電気伝導度の室内計測について

本研究では間隙水の変化に伴ってどのように岩石全体の 電気伝導度が変化するかを可視化するために、岩石の間隙 水を電気伝導度が既知の NaCl 溶液で置換することによっ て、ある間隙水の電気伝導度での岩石の複素電気伝導度を 測定した.0.1Hz-100 kHz の周波数レンジを51 段階に離 散化し、四極法の交流インピーダンス法による定電位計測 (電位設定はサンプル依存で約20 mV-100 mV)を行い、 得られた複素インピーダンスをサンプルの形状に基づいて 複素電気伝導度に変換した.なお、間隙水として導入した NaCl 溶液の電気伝導度は約0.03 S/m から約10 S/m のレ ンジを5~7 の段階に分けたものである.

4. 測定結果

ここでは,岩石の複素電気伝導度の一例を第2図に示す. なお,複素電気伝導度は複素数のため実数成分および虚数 成分を持つが,ここではそのうち虚数成分のみを示す.



第2図 測定された複素電気伝導度.縦軸は岩石サンプルの複 素電気伝導度の虚数成分,横軸は周波数.凡例は間隙水 の電気伝導度を示す.1サンプルにおける測定結果.

岩石サンプルの複素電気伝導度の虚数成分が、間隙水の電気伝導度の変化に伴って変化する特徴がみられる.また、周波数の変化に対し、*σ*wが小さい2つのサンプルでは複数のピークを持つ特徴がみられる.このような特徴は、岩石内に異なる充電性質を持つ複数の硫化鉱物が存在することを示唆している.

5. 物理モデル

本研究が構築した複素電気伝導度モデルは以下式(2)の通りである.式(1)の C_e を,複素成分を持つキャパシタンスへと拡張してある他,形状定数に変更を加えた.

$$\sigma_R^* = \left[\sum_{i=1}^N \left\{k_i \frac{x}{\phi^m \sigma_w + x(j\omega\varepsilon_i)^{c_i}}\right\} + (1-x)\frac{1}{\phi^m \sigma_w}\right]^{-1} + \sigma_c$$
(3)

ここで、 σ_R^* [S/m]は岩石の複素電気伝導度、 ϕ は間隙率、mは Archie の式の膠結係数、 σ_c [S/m]は岩石粒子の表面を流 れる過剰表面電気伝導を表す項である.このモデルはN個の 充電項を持ち、 ε_i 、 c_i 、 k_i はそれぞれi番目のキャパシタンス、

Cole-Cole パラメータ,充電項の重み係数である(ただし, $\sum_{i=1}^{N} k_i = 1$).このモデルの等価回路図を第3図.に示す.



第3図 モデルの等価回路図.

このモデルでは、第2図で示された複数のピークの特徴を 再現するため、複数種のキャパシタンスを導入した.キャパ シタンスが完全に充電されて不導体となった場合(式 (2)の $\omega \rightarrow 0$ の極限)でも、間隙水 σ_w が電流を流すことがで きること(図3.の破線部分)が特徴である.

このモデルによって岩石サンプルの電気伝導度を再現した結果を第4図に示す. 誤差は数%から20%程度と,精度よく再現することができた.



第4図 モデルによる複素電気伝導度の再現結果. 横軸は実測さ れた|\sigma_R|であり,縦軸はモデルによって計算された|σ_R^{*}|.

5. まとめ

本研究では岩石試料の室内計測によって間隙水の電気伝 導度,角周波数,岩石の複素電気伝導度の間の相関関係を調 査した.また,その結果を元に構築した物理モデルを用いる ことで,岩石の複素電気電導度を間隙水の電気伝導度や間 隙率といった他の物性情報によって計算することが可能と なった.今後,海底熱水活動域における物理探査の解釈技術 として本研究で構築したモデルを実際に利用して,硫化鉱 物の含有量などを推定することが期待される.

献

鈴木浩一(2015)岩石物理学に基づく物理探査データに対 する複合解析技術の動向.公益社団法人物理探査学会第 133回学術講演会講演論文集,物理探査学会.

文

- Katsube, T. J., and Hume, J. P. (1983) Electrical resistivities of rocks from Chalk River, Ws. Geophys. Geosci. Res, At Chalk River, proc., 105-114.
- 大田優介・後藤忠徳・小池克明・柏谷公希・林為人・多田井 修・笠谷貴史・金松敏也・町山栄章・町山栄章(2018)海 底熱水活動域で得られた岩石試料の電気伝導度特性に基 づく岩石物理モデルの構築.物理探査,71,43-55.

不等式標高データを活用するための 曲面推定プログラムBS-Horizonの改良(その1)

升本 眞二*・根本 達也*・野々垣 進**・ベンカテッシュ ラガワン***

Improvement of the Surface Estimation Program BS-Horizon for Utilization of Inequality Elevation Data (Part 1)

Shinji MASUMOTO^{*}, Tatsuya NEMOTO^{*} Susumu NONOGAKI^{**} and Venkatesh RAGHAVAN^{***}

*大阪市立大学大学院理学研究科 Graduate School of Science, Osaka City University, 3-3-138 Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585, Japan. E-mail: masumoto@sci.osaka-cu.ac.jp
** 国立研究開発法人産業技術総合研究所 Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan
*** 大阪市立大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Osaka City University, 3-3-138 Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585, Japan

キーワード:曲面推定, BS-Horizon,地質境界面,地形面,不等式標高データ **Key words**: Surface estimation, BS-Horizon, Geologic boundary surface, Topographic surface, Inequality elevation data

1. はじめに

曲面がこの位置よりも上(あるいは下)にあることを示す 不等式標高データは、曲面の位置を示す等式標高データと 同様に重要である.ボーリングデータの最下部の標高は不 等式標高データであり、3次元モデリングの際の地質境界 面推定に一般的に利用されている.地形図の等高線間の不 等式標高データは、地形図から地形面を推定する際の基本 となる情報である.不等式標高データを活用して曲面を推 定するプログラムに BS-Horizon(野々垣ほか、2008)があ る.しかし、BS-Horizon は計算やパラメータの決定に多 くの時間と手間がかかるという問題がある.Nonogaki et al.(2017)は計算時間の短縮,塩野ほか(2001)や Tran et al. (2017)はパラメータ等の関係を述べた.本研究ではこれら を発展させ、問題を解決するためのその1として、プログ ラム改良に向けた検討結果について述べる.

2. プログラム改良のための検討

BS-Horizon は 3 次 B-スプラインにより表現した曲面を 塩野ほか(2001)による拡大目的関数に適用した曲面推定 プログラムである.不等式標高データを用いる場合は,最 適な曲面は外点ペナルティ関数法にもとづいて決定する. 第1図(a)に示すようにデータの充足度 R と面の滑らかさ J のバランスを調整するペナルティ aを増加させながら反復 計算を行う.推定結果の曲面も第2図のように変化する. このために aを決定する作業と反復計算のための時間がか かる.

2.1 反復計算回数の削減

反復計算の回数を減らすための工夫として,結果の変化 を評価する指標 Cを追加した. Cは反復計算の前後の推定 結果(格子データ)の差の2乗平均の平方根で表す.第1図 (a)に示したように、Cはデータの充足度 R と同様に aの増加に伴い減少する. R と Cを用いることで出力結果を可視 化せずに評価でき、必要以上の計算を止めることが可能と なる. aの増加分に対応する反復計算の回数(第1図(b))、 aの初期値(第1図(c))、およびスプラインの格子数であり、 計算時間に直接影響する M_x (ここでは、 $=M_y$:第1図(d)) についても検討した.反復計算の回数は、必要以上に大き くしても R は変わらない. aの初期値は1ではなく100で も良い. M_x =401は M_x =201の約13倍の計算時間を要す るが、R はほとんど変わらない. これらから、不必要な計 算を行わなくても良いことがわかる.

2.2 並列化による計算時間の短縮

マルチコア CPU と OpenMP を用いてスレッド並列化が 行われていた BS-Horizon をもとに,連立方程式の解法を 改良した.また,GPGPU と OpenACC を用いた並列化に より高速化を試みた.これらにより数倍程度に速度は改善 されが,大幅な計算時間の短縮はできていない.GPGPU をより有効利用するために,連立方程式を圧縮せずに解く 方法も検討したが,GPGPU と CPU 間のメモリの転送に 時間がかかるために改善は見られなかった.

3. おわりに

本研究の最終目標は、不等式標高データを用いた曲面推 定を自動的かつ高速に実現することである.ここで述べた 反復計算回数の削減は計算時間と直結するため、効果が期 待できる.今後、多様なデータでの比較など、詳細な検討 が必要である.なお、本研究は JSPS 科研費 16K00158 の 助成を受けたものである.



第1図 不等式標高データを用いた曲面推定時の α とR, J等の関係 (a) $M_x = 201$ の際の α とR, J, QおよびCの変化, (b) $M_x = 201$ の際の $\alpha = 1.0 \sim 1.0 \times 10^{16}$ 間の反復計算の回数の違いによるRとJの変化, (c) $M_x = 201$ の際の α の初期値の違いによるRとJの変化, (d) M_x の違いによるRとJの変化.



第2図 曲面推定結果の表示例 $(M_x = M_y = 201, \alpha = 1.0 \sim 1.0 \times 10^{20}$ 間,反復計算回数81) (a) $\alpha = 1.0$, (b) $\alpha = 1.0 \times 10^3$, (c) $\alpha = 1.0 \times 10^{10}$, (d) $\alpha = 1.0 \times 10^{20}$.

文

献

- 野々垣進・升本眞二・塩野清治 (2008) 3 次 B-スプラインを 用いた地層境界面の推定. 情報地質, vol.19, no.2, pp.61-77.
- Nonogaki S., Masumoto S. and Nemoto T. (2017) High-speed Gridding System for Geological Surfaces using Multi-threading Technology. *International Journal of Geoinformatics*, vol.13, no.1, pp.1-10.
- 塩野清治・能美洋介・升本眞二・坂本正徳 (2001) Horizon2000:等式・不等式制約条件や傾斜データを活用 した地層境界面推定プログラムの改良.情報地質, vol.12, no.4, pp.229-249.
- Tran T. A., Masumoto S., Raghavan V., Nonogaki S., Yonezawa G. and Nemoto T. (2017) Evaluating Parameters for BS-Horizon Surface Generation using Elevation Data. *Geoinformaticcs*, vol.28, no.2, pp.31-50.

感度分析による海底熱水系数値シミュレーションの支配パラメータの特定

冨田 昇平*・小池 克明*・後藤 忠徳**・鈴木 勝彦***

Identifying controlling parameters on numerical simulation of seafloor hydrothermal system by sensitivity analysis

Shohei Albert Tomita*, Katsuaki Koike*, Tada-nori Goto** and Katsuhiko Suzuki***

*京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 Department of Urban Management,

Graduate School of Engineering, Kyoto University, Katsura C1-2, Kyoto 615-8540, Japan. E-mail: tomita.shohei.57n@st.kyoto-u.ac.jp

** 兵庫県立大学大学院生命理学研究科 Graduate school of Life science, University of Hyogo, 3-2-1, Koto, Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo 678-1297, Japan.

***海洋研究開発機構 Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), 2-15, Natsushima-cho, Yokosuka-city, Kanagawa, 237-0061, Japan.

キーワード:海底熱水系,数値シミュレーション,TOUGH2,感度分析,熱流束 Key words: Seafloor hydrothermal system, Numerical simulation, TOUGH2, Sensitivity analysis, Heat flux

1. はじめに

世界的な経済成長と人口増加により金属資源の需要が 急増している中で、海底熱水鉱床は新たな金属資源とし て注目を集めている.海底熱水鉱床の開発のためには, 熱水循環システムの解明と鉱床賦存可能性の高い領域の 推定の2 つが不可欠である.熱水循環メカニズムの解明 のため、これまで主に陸域において熱水流動シミュレー ションが行われていたが、近年海域においても熱水流動 シミュレーションが適用されるようになってきた(例え ば Gruen et al., 2014). 熱水流動シミュレーションは海 底面からの海水の浸透, 流体の加熱・上昇, 金属成分の 溶解・沈殿という一連の熱水循環プロセスを再現できる が,海底熱水系の熱水循環システムを再現しうる地質構 造・物性値分布は未だ明らかになっていない.また,熱 水流動シミュレーションでは未知パラメータについては 試行錯誤的に変動させてモデルを構築するが、熱水流動 形態に大きな影響を及ぼす支配的なパラメータも明らか になっていない.

そこで本研究では、これらの問題に対処し、局所的な 亀裂や不透水層などを考慮した詳細モデル化の前段階と して、シンプルな Preliminary モデルを構築し、海底熱 水系の大局的な温度・圧力・熱水流動形態を推定するこ とを目的とした.そのために、伊平屋北海丘をケースス タディに選び、熱水流動シミュレーションと感度分析を 実施した.本研究の最終目標は、推定した温度分布と熱 水流動形態に基づき、鉱床ポテンシャルの高い領域を特 定することである.

2. 熱水流動シミュレーション

数値計算では、ダルシー則および質量・エネルギー保 存則を支配方程式とする気液二相流と熱の3次元流れの 解析ソフトTOUGH2を用いた.解析領域の大きさは南北 1.2km, 東西4km, 鉛直方向2kmとし, さらに周辺に10km の緩衝領域を設けた.シンプルなモデルを構築するため, 地質構造として以下の三つのみをモデルに組み込んだ. 第一に,高温流体の深部からの上昇流を再現するために, Conduit (浸透率 k=10⁻¹³ m²)を配置した(図1). この Conduitは伊平屋北海丘の熱水活動の中心として考えら れているNBC直下に鉛直方向に設置している. 第二に, 高温流体の横方向の流れを可能にするため、ボーリング 調査で確認されているCaprockの深度を基に、表層付近 にCaprock(k=10⁻¹⁶ m²)を配置した. 第三に, 上記以外の 解析領域の大半部分にVolcanic basementを配置してお り、ボーリング調査においてVolcanic basementの中に複 数枚の不透水層が確認されたことから、水平方向の浸透 率(k=10⁻¹⁴ m²)を鉛直方向(k=10⁻¹⁵m²)に比べて1オーダ ー大きく設定している.

初期条件は静水圧状態および表層を4℃とし,熱水地 域を除く本地域の平均温度勾配である0.12℃/mを与え た.境界条件として,表面を温度・圧力一定の透水性境 界とし,側面・底面は不透水性境界としている.さらに, Conduitの底面からは340℃の熱水を流入させ,Conduit の表層からは圧力に応じて熱水が流出するように設定し ている.岩石の物性値は現地調査で得られた値を参考に 設定し,熱水噴出量,熱水流入量,浸透率は試行錯誤的 に変化させ,適宜調整した.



第1図 温度分布と熱水流動形態のシミュレーション結果



第2図 熱流束データと計算値の比較 (熱流束の観測値は Masaki *et al.*, 2011より引用)



第3図 Site C0014 と C0017 における温度データと計算値の比較 (温度の観測値は Takai *et al.*, 2011 より引用)

数値計算により、大局的な温度分布と熱水流動形態を推定 した(第1図).底面から流入した高温流体が熱水噴出域での 流出に加えて、Caprockに沿って横方向に移動していること、 および表層から流入した海水が対流していることがわかる.熱 流束について観測値と比較すると、計算値は全体的な傾向を よく再現しており、流れが複雑となる Discharge area におい ても概ね一致している(第2図).Site C0014 における温度プ ロファイルについて、計算値は 50mbsf における高温を除き、 観測値と概ね一致している(第3図).一方、Site C0017 にお ける温度プロファイルについては、計算値は全体的に 30℃程 度 過 大 評 価 する傾向 であった.この原因としては、 SiteC0017 の周辺には海水の涵養域として考えられている Volcanic ridge が存在するが、Preliminary モデルでは局 所的な recharge を考慮していないことが考えられる.

3. 感度分析による支配パラメータの特定

熱水流動の支配パラメータを特定するために、感度分 析手法の一つであるOne Factor at a Time study(OFAT) を適用した. OFAT とは、一つのパラメータの値を変化 させ、他のパラメータを全てベースケースの値に固定さ せたときに、アウトプットの値の変化を把握する手法で ある. ベースケースとしてPreliminaryモデルを選択し、 様々なパラメータについて変化させた. その一例を第4 図に示す. 第4図では熱水流動の重要な指標の一つであ る表層の熱流束をアウトプットとして選択し、そのうち 最も熱流束が高くなる熱水噴出域地点での感度分析結果 を示している. 感度分析の結果から、熱水流入量、熱水 噴出量、Conduitの有無およびキャップロックの浸透率 が感度の高い支配的なパラメータであることがわかった. 今後はこれらを主要パラメータとして位置付け、適切な 値を特定することで詳細モデルを構築する.



第4図 熱水噴出域の熱流束に対する感度分析結果.棒グラフの横の値は各パラメータの上限/下限入力値を表す.下付き文字の cap.

volc, cond は Caprock, Volcanic basement, Conduit を表す.

4. まとめ

伊平屋北海丘を例として,熱水流動シミュレーション を行い,観測された熱流東と温度を概ね満足しうる地質 構造・物性値分布を明らかにした.また,感度分析を行 うことにより,熱水流動に対して熱水流入量,熱水噴出 量,Conduitの有無,およびCaprockの浸透率が支配的 なパラメータであることがわかった.

謝辞:本研究は,総合科学技術・イノベーション会議の SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)「次世代海洋 資源開発技術プログラム」(管理法人:JST)の一環とし て実施した.

- Gruen, G., Weis, P., Driesner, T., Heinrich, A. C., and Cornel E.J. de Ronde. (2014) Hydrodynamic modeling of magmatic-hydrothermal activity at submarine arc volcanoes, with implications for ore formation, *Earth and Planetary Science Letters*, vol.404, pp.307-318.
- Masaki, Y., Kinoshita, M., Inagaki, F., Nakagawa, S., and Takai, K. (2011) Possible kilometer-scale hydrothermal circulation within the Iheya-North field, mid-Okinawa Trough, as inferred from heat flow data, *JAMSTEC Rep. Res. Dev.*, vol.12, pp.1-12.
- Takai, K., Mottl, M.J., Nielsen, S. H., and the Expedition 331 Scientists. (2011) Proceedings of the Integrated Ocean Drilling Program, vol.331, 253p.

地中ガスラドン濃度の時空間変化に基づく地熱流体パスの特定:2つの インドネシア地熱地区でのケーススタディ

渡邉 雄平*・久保 大樹*・Putri Aprillia**・Andy Yahya Al Hakim**・Irwan Iskandar** 小池 克明*

Identifying geothermal fluid paths using spatio-temporal variation of radon concentration in soil gas: Case study of two geothermal fields in Indonesia

Yuhei Watanabe*, Taiki Kubo*, Putri Aprillia**, Andy Yahya Al Hakim**, Irwan Iskandar** and Katsuaki Koike*

*京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 Department of Urban Management, Graduate School of Engineering, Kyoto University, Katsura C1-2, Kyoto 615-8540, Japan. E-mail: koike.katsuaki.5x@kyoto-u.ac.jp

**バンドン工科大学 Institute of Technology Bandung, Indonesia, Jl. Ganesha 10, Bandung 40132, Indonesia.

キーワード:地熱貯留層, ラドン濃度, 時間変化パターン, Wayang Windu 地区, Patuha 地区, 地熱資源探査

Key words: Geothermal reservoir, Radon concentration, Temporal change pattern, Wayang Windu area, Patuha area, Geothermal resource exploration

1. はじめに

地熱発電には年間を通した設備利用率が高く,二酸化 炭素排出量も少ないという利点があるため,世界でも開 発・利用の促進が進められている.しかし一方で,開発リ スクが高く,調査のためのボーリングなど導入までのコ ストにより発電単価が高くなってしまうという課題を抱 えている.地熱開発では,地熱貯留層に連なり熱水の通 路となる透水性亀裂(地熱流体パス)の位置と空間分布 が重要となる.この透水性亀裂を地表での調査によって 特定し,空間分布形態まで推定することができれば,大 幅な開発コストの削減が期待できる.

そこで、本研究では透水性亀裂の空間分布を推定する ために、地化学探査の一種であるラドン探査に着目した. ラドンガスは火山ガス中に多く含まれており、その化学 的性質から、熱水パスの抽出に有効であるとされている

(Koike et al., 2014). 噴気や温泉などの地熱兆候が確認 される地熱地域において地中ガス中のラドン濃度測定を 実施し,その結果から熱水パスを抽出することを目的と するとともに,地熱資源探査におけるラドン探査の有効 性も明らかにする.

2. 対象地域

インドネシア西ジャワ州の州都であるバンドンの南方 約35 km に位置する Wayang Windu 地区,およびその西 方約40 km に位置する Patuha 地区を本研究の対象地域に 選んだ(第1図).いずれの地区も噴気や温泉など明瞭な 地熱兆候が複数存在しており,地熱発電所が既に稼働中 である. Wayang Windu 地区では平成 28 年より, Patuha 地区では平成 30 年より継続的なラドン濃度のモニタリ ング測定を実施している.

3. 地中ガスラドン濃度測定方法

ラドン濃度測定には半導体型ラドン測定器 (Durridge 社製 RAD7)を用いた.本装置はラドン核種やその娘核 種が放射性崩壊する際に放出するα粒子のエネルギー量 を測定し、ラドン濃度 (Bq/m³) に換算する.

Wayang Windu地区では,深度2~5m程度の計測井を計 24箇所に設置し,約2年の間に各測点で3~5回の計測を実 施した.測定では土壌中のガスをポンプで吸引し,5分間 を1サイクルとして,4~6サイクルを繰り返す.Wayang Windu地区における測定結果の一部は,久保ほか(2018)



第1図 Wayang Windu 地区と Patuha 地区の位置



第2図 Patuha地区におけるラドン測点と航空写真の重ね合わ せ.主要な噴気帯と発電所を併せて図示する.



第3図 Wayang Winduにおけるラドン濃度の時間変化の典型的 な例. 左図は急増した後に急減するパターン,右図は 急増し,濃度が一定に保たれるパターン.

で報告している. Patuha地区では,最大2mの計測井を10 箇所に設置し,各測点で2~3回程度の測定を実施してい る.いずれも5分間を1サイクルとして4~10サイクルを繰 り返した. Patuha地区での測点を第2図に表す.

4. 結果と考察

4.1 Wayang Windu地区

全24 測点における測定結果から、ラドン濃度の時間変 化は、短時間で急増後に急減する(Type A)、急増後に一 定の濃度を保つ、または微増を続ける(Type B)という 二つのパターンに大別できることが明らかになった(第 3 図). Type B の時間変化を示す測点は比較的ラドン濃度 が高いことから、地下に地熱流体パスが存在し活発なガ ス流動が生じていることが考えられる.さらに同一測点 でも測定時期によって濃度や時間変化の傾向に変化が見 られ、これらは雨季・乾季における土壌の状態や気温変 化などの影響によるものと考えられる.

4.2 Patuha地区

Patuha地区では断層の交点や生産井近傍の計10箇所で ラドン濃度測定を実施した.計測井の深度が異なるため 濃度の直接的な比較はできないが,第4図に表すように Wayang Windu地区と同じく時間変化のパターンは二つ に大別することができた.



第4図 Patuha地区での特徴的なラドン濃度変化のパターン.

代表的な例としては、断層上のPA02がType A、温泉近傍 のPA04と生産井近傍のPPL07がType Bを示した.PPL06は Patuhaにおける最大濃度を示しており、Wayang Windu地 区と同様に主要な地熱流体パスの存在がラドン濃度の特 徴に現れていることが考えられる.また、Wayang Windu 地区にはない特徴として、PPL07でモニタリング測定開 始前の予備調査時と比較して5~10倍ほどのラドン濃度 の上昇が確認された.この期間に気候的な変化はほとん どなかったため、別の要因によって地中ガスの流動状態 の変化が生じたことと想定される.その一つとして、両 者とも生産井に近いことから、生産蒸気量の変化が影響 している可能性が高い.

5. まとめ

本研究では、地熱資源探査において重要となる地熱流 体パスの抽出に対するラドン探査の有効性を示すために、 明瞭な地熱兆候が確認されるインドネシアの2地区にお いて地中ガス中のラドン濃度測定を実施した.計30箇所 以上の測定結果から、ラドン濃度の時間変化が、急増後 に減少するパターンと一定に保たれるパターンの二つに 大別できることが明らかとなり、後者のパターンを示す 測点は地熱流体パスの存在が示唆される.さらに、気候 やその他の要因によると考えられる濃度の時期的な変化 も確認された.このような濃度の変動要因を明らかにす ることで、より精度の高い地熱流体パスの抽出と地熱資 源量の推定が可能になると考えられる.

- Koike, K., Yoshinaga, T., Asaue, H. (2014). Characterizing long-term radon concentration changes in a geothermal area for correlation with volcanic earthquakes and reservoir temperatures: A case study from Mt. Aso, southwestern Japan. *Journal of Volcanology* and Geothermal Research, 275, 85-102.
- 久保大樹・北村将悟・イスカンダル イルワン・ヘリアワン モ ハメド・ノトシスウォヨ スダルト・小池克明・櫻井繁樹 (2018)地中ガスラドン濃度の時間・季節変化に基づく地熱 地域での蒸気スポット検出の可能性.資源・素材学会平成 30 年度春季大会(東京)講演要旨.

ボーリングデータを用いた簡易土質ボクセルモデリング

野々垣 進*・升本 真二**・根本 達也**・中澤 努*・中山 俊雄***

Simple Voxel Modeling of Soil Property using Borehole Data

Susumu NONOGAKI^{*}, Shinji MASUMOTO^{**}, Tatsuya NEMOTO^{**}, Tsutomu NAKAZAWA^{**}, and Toshio NAKAYAMA^{***}

- * 国立研究開発法人産業技術総合研究所 National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. E-mail: s-nonogaki@aist.go.jp
- ** 大阪市立大学大学院理学研究科地球学教室 Department of Geosciences, Graduate School of Sciences, Osaka City University, 3-3-138 Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585, Japan.
- *** 東京都土木技術支援・人材育成センター Civil Engineering Support and Training Center, 1-9-15, Shinsuna, Koto-ku, Tokyo 136-0075, Japan.

キーワード:ボクセルモデル,ボーリングデータ,土質,ボロノイ図 **Key words**: Voxel model, Borehole data, Soil property, Voronoi diagram

1. はじめに

災害リスク評価や都市計画を行う上で、地下における地 層の広がり(地質分布)を把握することは非常に重要である. 地質分布を把握する方法のひとつに、3次元地質モデリング がある.都市平野部の地下数十mを対象とする3次元地質 モデリングでは、その基礎データとして、ボーリング掘削調 査の結果(ボーリングデータ)を利用することが多い(例: 納谷ほか、2018).特に、土質情報や標準貫入試験の結果等 は、地質分布に深く関係する空間情報であり、3次元地質モ デリングでは、これらの広がりを把握することも非常に重 要となる.

近年,都市平野部では、土木・建築工事の際に作成された 大量のボーリングデータが、国や自治体により収集・管理・ 公開されている(例:土木研究所,2019).このようなデー タを利用して土質等に関する3次元モデルを構築すれば、 地下における土質等の広がりを概観することが可能となり、 3次元地質モデリングに不可欠なボーリングデータを用い た地層の対比処理を、効率化できると考えられる.

本研究では、国や自治体から公開されている大量のボー リングデータの利活用法に関する研究の一環として、ボー リング交換用データ(XML形式)に記載される土質情報か ら、簡易的にボクセルモデルを構築する方法について検討 した.本発表では、データ処理の詳細について述べる.なお、 ボクセルモデルから得られる土質分布と、実際の地質分布 との対応関係については、ここでは詳細な議論を行わない.

2. 方法

本研究における土質ボクセルモデリングでは、「ある地点 における土質は、最近傍に存在するボーリングデータの土 質に従う」という考えのもと、次の4つの処理を行う. (1) モデリング範囲の設定, (2) 1 次元土質グリッドの作成, (3) 2 次元ボロノイ図の作成, (4) 土質ボクセルモデルの作成. 以下にそれぞれの処理について記す. 第1図には、モデリ ングの流れを示す.

2.1 モデリング範囲の設定

本研究による土質ボクセルモデルは、土質に対応するカ テゴリー値を、3次元空間に等間隔で並べたデータセットで ある.このため、東西・南北・鉛直方向それぞれについて、 モデリング範囲とデータ間隔を設定する.

2.2 1次元土質グリッドの作成

ボーリングデータの土質情報を,鉛直方向のモデリング 範囲・データ間隔で読み取り,土質に対応するカテゴリー値 を等間隔で並べたグリッドデータ(以下,1次元土質グリッ ド)を作成する.ボーリングデータの下端標高よりもモデリ ング範囲の下端標高が低い場合は,土質情報が存在しない ため,データ無しに対応するカテゴリー値を割り振る.

2.3 2次元ボロノイ図の作成

ボロノイ図は、対象としている地点が、任意に配置した母 点のうち、どの母点に最も近いかによって領域を分割して 得られる図形である(第2図).ここでは、ボーリングデー タの経度・緯度情報を利用して、ボーリングデータの位置を 母点とする2次元ボロノイ図を作成する.得られる2次元 ボロノイ図は、設定した東西・南北方向のモデリング範囲・ データ間隔をもつラスターデータである.



第1図 土質ボクセルモデリングの流れ.



第2図 2次元ボロノイ図の例.赤丸は母点(ボーリングデータの 位置)を表す.各母点を囲む領域はそれぞれの母点の支配 領域を表す.破線ABは第3図の断面図の測線を表す.



第3図 土質ボクセルモデルの断面図の例.測線の位置(AB)およびボーリング番号(1,3,4)は第2図のものと対応する.ボクセルモデルの下端標高は,各領域を支配する1次元土質グリッドの下端標高に依存する.

2.4 土質ボクセルモデルの作成

ボーリングデータの1次元土質グリッドを,2次元ボロノ イ図に基づいて水平方向に拡張する.また,地形の数値標高 モデル(Digital Elevation Model: DEM)を用いて,地下の みのデータセットになるようにマスクする.さらに,土質に 対応するカテゴリー値を利用して配色・可視化する.土質ボ クセルモデルの下端標高は,1次元土質グリッドの下端標高 に依存するため,2次元ボロノイ図に示される小領域毎に異 なる値をとる(第3図).

3. 結果

上述に基づいて,ボーリング交換用データ(XML 形式) から,土質ボクセルモデルを構築するプログラムを作成した.また,テストデータを用いて,プログラムの動作確認を 行った.各種計算パラメータは,次の通りである:

(1) データ数:3413本,

(2) モデリング範囲: 9.4km×10.29km×120m,

(3) データ間隔: 10m×10m×0.5m.

地形の DEM には、国土地理院の基盤地図情報数値標高モ デル 10m メッシュ (標高) (国土地理院, 2019) を利用し た.計算の空間参照系には、JGD2011 平面直角座標系第 9 系を用いた.テストデータの利用にあたっては、東京都土木 技術支援・人材育成センターの協力を得た.

第4図に、テストデータの分布図とそこから得た2次元 ボロノイ図を示す.第5図に、鉛直方向を50倍に強調した 土質ボクセルモデルの表示例を示す.第5図では、礫や泥 などの土質が連続的に分布している様子が明瞭に示されて おり、ボーリングデータから土質分布を概観できる3次元 モデルを構築できていることを確認できた.



第4図 テストデータの分布図と2次元ボロノイ図.



第5図 土質ボクセルモデルの表示例. 高さの強調:50倍.

4. おわりに

本研究では、ボロノイ図を利用して、最近傍のボーリング データの1次元土質グリッドを水平方向に拡張することで、 簡易的に土質ボクセルモデルを構築する方法について検討 した.ボクセルモデルを用いれば、任意の位置における水 平・鉛直断面図を容易に作成できる.この特徴は、地質分布 に深く関係する土質分布の把握や、ボーリングデータを用 いた地層の対比処理の効率化に役立つ.

現時点では、ボクセルモデルの各データ点におけるカテ ゴリー値を、ボロノイ図の各小領域を定める 1 つのボーリ ングデータの土質情報にのみ基づいて決定している. この ため、各小領域の境界付近では、不自然に土質が変化するよ うな結果が出力されることがある. 今後は、この問題を解決 するために、複数のボーリングデータの土質情報を用いて 土質分布を求める方法について検討していく予定である.

本研究は JSPS 科研費 19K04004 の助成を受けたものである.

- 土木研究所 (2019) 国土地盤情報検索サイト「KuniJiban」. URL: <u>http://www.kunijiban.pwri.go.jp/viewer/</u> (確認 日: 2019/05/09)
- 国土地理院 (2019) 基盤地質情報ダウンロードサービス. URL: <u>https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php</u> (確認
- 日:2019/05/09) 納谷友規・野々垣 進・小松原純子・宮地良典・中澤 努・風 岡 修・潮崎翔一・香川 淳・吉田 剛・加藤晶子・八武崎 寿史・荻津 達・中里裕臣 (2018)都市域の地質地盤図「千 葉県北部地域」(説明書). 産総研地質調査総合センター, 55p.

三次元地質モデルを利用した簡易地中熱ポテンシャルマップの作成

豊田 守*

Creating a simple Geothermal potential map of 3D Geological Model

Mamoru TOYODA*

* ジーエスアイ株式会社 GSI CO., LTD., 2-8-37 Chuo, Mito-shi, Ibaraki, 310-0805 JAPAN.

キーワード: 地質情報、3 次元地質モデル **Key words**: geological information、Three dimensional geologic model

1. はじめに

再生可能エネルギーの一つである「地中熱エネルギー」の 活用が期待されている。今回は、「地中熱エネルギー」を効 率良く利用するために重要なデータとなる地中熱ポテンシ ャルマップの作成を試みた。地中熱ポテンシャルマップは 理論的に推計される地下のエネルギー量(熱交換量など)を 表すもので作成には地下データとして、地下水位・地下水流 速・帯水層の厚さ・熱伝導率・熱容量・地下水による流れの 効果の6項目が必要となる。ただし、これらのデータがすべ て得られることは少ない。そこで、ボーリング柱状図から3 次元地質モデルを作成し、得られた地質分布をもとに地中 熱に関して最も基本的な情報である地下の熱伝導率分布図 を作成し、それを簡易地中熱ポテンシャルマップとした。

2. 3次元地質モデルの作成

地質モデルは、第1図に示す札幌駅の北側の約8km× 11kmの範囲にて、1グリッドを100m×100m×1m(厚さ) とする三次元グリッドモデルとして作成した。ボーリング 柱状図は「北海道地盤データベース2003(地盤工学会北海 道支部発行)から約7000本を利用した。土質区分を泥・ 砂泥・砂・礫の4種としグリッドモデル作成の計算を行い



第1図 三次元地質モデル作成範囲

結果を第2図の断面図と第3図にはグリットの3次元表示 にて示した。対処地域の中央部から南側では、礫層が連続良 く分布している。これは札幌扇状地の舌端部分と考えられ る。この礫層は、下位の洪積層覆うように分布し、北側に行 くに従い薄くなり、やがて消滅している。礫層の上位の砂層 及び粘土層は、豊平川の度重なる氾濫による堆積物と考え られる。砂層は、比較的連続良く分布するが、層厚は不安定 である。表層部は、粘土層に覆われ、泥炭層が広く分布して いる。今回、泥炭層は粘土層に含んでいる。



第2図 3次元グリッドモデル断面図



礫の分布



砂の分布



<u>粘土の分布</u> 第3図 グリッドの三次元表示

3. 簡易ポテンシャルマップの作成

グリッドモデルから得られた土質区分からグリッドごと に平均有効熱伝導率を求める。

平均有効熱伝導率は1mごとに区分された土質に第1表で 示した値を適用し、グリッドごとに深度方向で平均した値 をそのグリッドの平均有効熱伝導率とした。今回、地下水位 より上位の土質については平均値から除外した。

吊 衣 有 効 工 壌 の 熱 伝 導 単	第1表	· 有効	土壌の	熱伝導率
---------------------------	-----	------	-----	------

十西	有効熱伝導率(W/m・K)					
	飽和	不飽和				
砂	1.53	1.19				
れき	2.00					
シルト(砂泥)	1.44					
粘土(泥)	1.27	0.97				

地中熱ヒートポンプシステム、オーム社、p95,2014

グリッドごとの平均有効熱伝導率とは別に、深度ごとに土 質の分布が異なることから、10mごとに区切って有効熱 伝導率の平均を試み、第4図に深度別の平均有効熱伝導率 図として示した。砂礫層の上部には、粘土と砂が覆っている ため上部に行くに有効熱伝導率が低下する傾向を示す。



第4図 深度別の平均有効熱伝導率

4. まとめ

ボーリング柱状図から三次元グリッドモデルを作成し簡 易のポテンシャルマップを作成することは、堆積層で構成 される地盤でボーリング柱状図の密度が100~200m に1本程度あれば容易に作成可能である。また、3次元で 表示することで地下の帯水層の構造が極めてよく見えてく る。地中熱利用の詳細な検討に必要な地下水流動解析など を行うための貴重な資料となる。

- 北海道大学地中熱利用システム工学講座:地中熱ヒートポ ンプシステム、オーム社、p95,2014.
- 国土交通省 大臣官房官庁営繕部設備・環境課:施設にお ける地中熱利用システム導入ガイドライン.
- 江藤稚佳子・石原与四郎・田辺 晋・木村克己・中山俊雄 (2008)ボーリング柱状図資料を用いたN値と岩相の三 次元モデルー東京北部低地における沖積層の例-、地質 学雑誌、114, 187-199.

愛媛県宮ノ浦遺跡における古環境解明への3次元地質モデルの適用

米澤 剛*・槙林 啓介**

Paleoenvironmental Reconstruction using Three Dimensional Geological Modeling in Miyan'na Salt-making Site, Ehime

Go YONEZAWA* and Keisuke MAKIBAYASHI**

* 大阪市立大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Osaka City University,

3-3-138 Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585, Japan. E-mail: yonezawa@osaka-cu.ac.jp

* 愛媛大学東アジア古代鉄文化研究センター Research Center of Ancient East Asian Iron Culture,

Ehime University, 10-13, Dogo-Himata, Matsuyama, Ehime 790-8577, Japan.

キーワード:考古学,人間活動,トレンチ,DEM,3次元地質モデリング **Key words**: Archeology, Human activity, Trench survey, DEM, 3D geological modeling

1. はじめに

考古学の分野にとって先史時代の人間活動や生活様式 の解明は重要な課題の一つである.遺跡から発掘された遺 構や出土した遺物はそれらを知る重要な手がかりとも言 える.しかしながら,先史時代の人間がそれらをどのよう に利用し,どのような環境下で活動・生活をしていたのか を知るには遺構・遺物情報だけでは十分ではない.考古学 的な調査から得られたさまざまな情報をもとに,情報地質 学的な手法を用いて古環境,とくに古地形環境を明らかに することで,少なくとも彼らがどのような地形の上でどの ように活動していたのかを把握する手がかりになると考 える.

本研究は瀬戸内海の芸予諸島の佐島にある宮ノ浦(みや んな)遺跡において,先史時代の人間活動がどのようにお こなわれていたかを解明するために古地形環境を復元す ることを目的としている.具体的には,遺跡の発掘調査に おけるトレンチ情報(遺物情報や地層情報)をもとに,こ の地域の最初の人間活動が確認された古墳時代前期の地 形面の DEM(数値標高モデル)を作成し,現地形とあわ せて3次元地質モデルを構築し,考古学・情報地質学の両 分野からこの地域の古環境を解明する有効な手法として 提案する.

2. 対象地域

宮ノ浦遺跡は愛媛県越智郡上島町佐島に所在しており, 佐島は芸予諸島の上島群島に属する面積約 2.5km² の島で ある.沿岸域は狭い浜堤を形成し,島の最高地点は中央部 の横峯山山頂であり標高約 119m である.宮ノ浦遺跡は島 の東側の小規模な入り江の浜堤地域に立地している.宮ノ 浦遺跡の大きさは南北 150m 東西 150m の領域であり,第1 図に宮ノ浦遺跡の概略図と空撮写真を示す.

これまで宮ノ浦遺跡では古墳時代前期の製塩炉や製塩 土器が数多く見つかっており、この地域の人間活動は古墳 時代前期からはじまり、製塩活動を主とした生活がおこな われていたと考えられている.定期的な発掘調査は 2011 年から 2018 年まで 8 回おこなわれている.第2 図にトレ ンチ配置図を示す.





第1図 研究対象地域(上)と空撮画像(下). 図は村上(2019)『宮ノ浦遺跡IV』を一部修正.





第3図 宮ノ浦遺跡のトレンチ地層図の例(村上(2016)『宮ノ浦 遺跡Ⅱ』). 灰色部分は古墳時代前期,クロスナ層.



第4図 宮ノ浦遺跡の現在の地形 DEM の可視化例. 等高線間隔は 0.1m.

3. トレンチ調査から得られる情報

トレンチ調査から得られる情報としては、出土遺物の情報と地層(土層)情報である.出土遺物としては、縄文土器、土師器、製塩土器、陶器、貝、魚骨等である.これらの遺物は年代特定に有効であり、製塩活動を含めた人間活動の時期を特定することができる.宮ノ浦遺跡において遺物のほとんどは黒褐色に変色した砂層から出土されており、この黒い砂層は考古学の分野では「クロスナ層」と呼ばれ人間活動の痕跡を明らかにする上で重要な地層とされている.クロスナ層は温暖・湿潤期に地表が植物、動物遺体の腐食によって分解されて形成されたものとされている(村上,2016).この地域のクロスナ層は古墳時代前期と特定されている.

米澤ほか(2018)においてもトレンチ調査報告をおこな ったが、その後追加調査により最終的に合計 34 箇所のト レンチ調査がおこなわれ、地層の形状と層厚がまとめられ ている.第3図にトレンチの地層図の例を示す.トレンチ 地層図は層厚の数値や砂の形状・種類はデジタルデータと しては記録されていないため、土質区分や地層面の推定を おこなうためにデジタルデータとして変換する作業を行 った.34箇所のトレンチのうち人間活動の痕跡として重要 なクロスナ層は10箇所で確認されている.また、遺物情 報から古墳時代前期の地層が特定されたトレンチは14箇 所あった.

4. 古地形環境の復元にむけての3次元地質モデ ルの適用

宮ノ浦遺跡の発掘調査が行われる前に現地形の実測量 がおこなわれた.このデータを坂本ほか(2012)による



第5図 宮ノ浦遺跡の古墳時代前期の地形 DEM の3次元可視化例. 等高線間隔は0.1m.

Terramod-BS を用いて推定した現地形の DEM を第 4 図に 示す. 等高線間隔は 0.1m である.

24 箇所のトレンチ情報より古墳時代前期の地層を分類 し(抽出した点は約120点),古墳時代前期の地質境界面 を現地形面と同様の方法で推定しDEMを作成した.作成 したDEMは3Dプリンタで出力し,2019年3月の一般向 け現地説明会時に立体模型として展示した.3Dプリンタ 用の古墳時代前期の地形面のDEMを第5図に示す.表面 上には古墳時代前期の地層が検出されたトレンチの配置 図を表示している.等高線間隔は0.1mである.DEMの可 視化には3D編集ソフトウェアであるMeshLabを用いた.

一般的にトレンチ調査は発掘面積が狭く,ある特定の時 代の全体的な環境状況を把握することは難しい(村上, 2019). 宮ノ浦海岸のどのような地形で、どう製塩活動を 行なっていたのかを知るには地下構造の可視化が重要に なってくる.情報地質学的手法の一つである3次元地質モ デリングはその有効な手法の一つであると考える.

5. おわりに

宮ノ浦遺跡を事例として、古地形環境の復元に向けて3次元地質モデリングの手法を活用し、古墳時代前期の地形面を復元した.得られた結果と考古学的な考えとの検証は現在おこなわれているが、考古学分野への3次元地質モデリングの適用においていくつかの課題も残されている.遺跡内のうちトレンチ調査をおこなえる場所は限られてくる.今回の場合もトレンチ箇所から離れたところの地形面をどう推定するのか.また、トレンチ区画内においても具体的にどこを古墳時代前期の地層面のポイント(x, y, z)と定義するのかということもその一つである.情報地質学と考古学、それぞれの境界を明確にした上でお互いが協同できる方法を今後も模索していきたい.

本研究は科研費(16K03158)の助成および 2019 年度の 大阪市立大学戦略的研究経費(基盤研究)による支援を受 けたものである.

- 村上恭通編(2016)宮ノ浦遺跡Ⅱ-第1次~第5次発掘調 査報告-. 上島町教育委員会・愛媛大学考古学研究室, 193p.
- 村上恭通編(2019) 宮ノ浦遺跡IV-第8次発掘調査報告-. 上島町教育委員会・愛媛大学考古学研究室,137p.
- 坂本正徳・野々垣 進・升本眞二 (2012) Terramod-BS: BS-Horizon を組み込んだ地層境界面推定・表示 Visual Basic プログラム. 情報地質, vol. 23, no. 4, pp. 169-178.
- 米澤 剛・槙林啓介(2018)愛媛県宮ノ浦遺跡の自然環境 からみる人間活動の痕跡. 第29回日本情報地質学会講 演会講演要旨集, pp. 55-56.

地理院地図 Globe を利用したシームレス地理情報ステレオビュワー

領木邦浩

A Seamless Stereoscopic Viewer for 3D Browsing of GSI Globe

Kunihiro RYOKI*

* 職業能力開発総合大学校能力開発院基礎系 Department of Fundamental Sciences, Faculty of Human Resources Development, Polytechnic University of Japan, 2-23-1 Ogawa-nishimachi, Kodaira, Tokyo, 187-0035, Japan. E-mail: k-ryoki@uitec.ac.jp

キーワード: 立体視, HTML, 交差法, 回転体, 地形図 Key words: Stereo vision, HTML, Crossing method, rotating body, topographic map

1. はじめに

地質調査を行う上で、地形図は不可欠なものである.また、 航空写真を持参して現地で立体視しながら地形の状況を把 握することは有効である.宿泊先などで調査ルートを予察 検討する上でも、地図に比べると情報量も多く、重宝する. その際、従来は印刷物を持参したが、持ち歩ける量は限られ ており、複数枚にわたると現場では取り扱いが難しかった.

日本では 2000 年頃から WWW を通じた電子地図配信サ ービスが試験的に開始され(田代博, 2018), 2003 年 7 月]15 日から電子国土 Web システム(大野・他, 2004)として一般 に公開された.現在はその後継と位置付けられる地理院地 図(北村・他, 2014)が広く利用されていて,地質調査の現場 もその利便性を享受している.

地理院地図の機能の一つである地理院地図 Globe は、地 理院地図でで閲覧できる地図や空中写真等をシームレスで



方法 平行法では左右の瞳孔 からの視線が平行にそれぞれ の画像に届くが、交差法では 視線が交わり、左右を入れ替 えた画像を注視する(根本 (2006)に加筆).

3D 表示するサ ービスで,2016 年3月29日の 試験公開を経て (国土地理院, 2016), 2017年 3月14日に正式 公開された(国 土地理院, 2017). 現在,地質調査 の現場に限らず, タブレット端末 やスマホ(スマ ートフォン)等 の情報機器から これらを利用す ることは普遍的 に行われている. 使用する情報 機器のインター ネットへの接続 条件の制約のた

め、現状ではすべての地点でこれらが利用できる常態には なっていないが、近い将来には人工衛星を通じて地球上の ほとんどの場所からの接続を可能にしようとする計画が進 められている(岩見, 2019).

地形図は通常単体で用いられるので、上述の情報機器で の使用に問題はない.すでに地理院地図はシームレス化さ れており、各種の地図や地理情報も重ね書きができ、機器の 重量を厭わなければ印刷物を持参するより重宝することが 多い.しかし、航空写真は立体視することによって使用する ことが主体であり、これに替わる簡便な利用方法がなかっ た.そこで、地理院 Globe を利用した裸眼用ステレオビュ ーワーの HTML コードを試作した.

2. 立体視の原理

1976). 第2図

は、平行法に

よる立体視用

画像の例であ

る. ヒトの瞳

孔距離はおお むね6.5cm内

外であり,眼

球は内側に回

転しやすいが

外側には回転

しにくい. そ

のため, 広い

範囲で立体視

を行いたい場

2 図面を使用した立体視の歴史は古く、写真技術の開発よ りも以前とされ、写真が発明されると、時を待たずして立体 写真が巷でブームとなった(広内哲夫, 2013).

裸眼による立体観察は、地図や空中写真を表わす紙楳媒 体や電子機器以外が不要なため、野外調査において有用で ある(第1図). 個人差はあるものの、集中すれば30分程度 の訓練で習得できるが、習得するには練習以外にないとさ れる(松野、



2図 平行法による立体視用画像の例 ウォッちずで表示された例(根 本(2006)による).

合は交差法が有利である.

3. 回転体動画の立体視

第3図に回転体を用いて立 体視視用画像を作成する際の 考え方を示す. 観察者 O の正 面に回転体 G がある場合, 観 察者の右目RにはGのやや右 側面が, 左目LにはGのやや 左側面が見える. すなわち, 右 目RにはGをやや左に回転さ せた画像 R'を, 左目 L には G をやや右に回転させた画像 L' を正面に見るようにすればよ い. このように、R'と L'をそれ ぞれ平面画像として用意し, 並べて観察すれば, 第1図に 示された立体視の平行法とな る.また、これらを左右入れ替 えて見れば交差法となる. R'と L'は、それぞれ右または左の瞳 孔位置を起点として描いた 1 点透視図である.

地球儀は上述の回転体に当 たり、これを1 点透視図法で 描いた地理院地図 Globe の画

像は、そのまま立体視視用画像となる.

小田原未沙(2006)は、対象物を回転することによって1台の単眼カメラで立体写真を撮影する手法について報告した. この手法は、地理院地図 Globe で近接する2つの緯度における航空写真をそれぞれ描画させることと同等である.このとき、得られた地図が多少互いに歪んでいても立体視に支障がない.

田辺・藤田(2004)は、ヒトは両眼からの視覚情報を単に利 用して立体感を得ているわけではなく、脳内での相当高次 な処理を経て立体視を行っていることを示唆した.したが って、立体視に用いる 2 つの地図画像の縮尺が多少違って いても、また、両者が互いに歪んでいても、眺めていると立 体視できる場合がある.ヒトは脳内で高次の画像処理を行 って、自分の「見たいように見る」のであろう.

4. ステレオビュワーの試作

第4図は、今回試作した裸眼用ステレオビューワーの表示画面である.2つの画像はそれぞれHTMLの<iframe>タ グを用いて描画している.ここでは、観察者の瞳孔間の中点 を「視点O」(地球外の1点)として、この点から地表へ垂直 に下した注視地点Gの緯度経度と、両点の距離(視点高度) を用いて視点を特定している.注視地点Gから経度方向へ 角度で表される視差を $\Delta\lambda$ として、左右の画像のそれぞれ の中心は $\pm \Delta\lambda/2$ だけ離れた点にしてある.

第4図では∆λを負の値として交差法のための表示にしているが、これを正の値にすれば平行法として見ることが可能である.

5. おわりに

今回試作したビューワーがないとき、地理院地図 Grobe で立体視を試みる際に視点、特に高度を一致させることに 時間がかかり実用的でなかったが、今回提案したビュワー によって野外でも短時間に立体視を行えるようになった. <iframe>の仕様によって現状では実現できていないが、今



 第3図 回転体動画を用 いて立体視る方
 10日間
 10日
 10日





後,地理院地図 Grobe のプラットフォームである Cesium ベースでの改良を加え,ポインタの動きに呼応して連続的 に立体視のまま地形を追えるようにして公開する予定であ る.

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP18K03793 の助成を受けた. 記 して, 感謝します.

- 広内哲夫(2013)立体視の原理と3D技術への応用,情報シス テム学会誌 Vol. 8, No. 2, pp. 5-16.
- 岩見旦(2019)Amazon、人工衛星を 3000 基以上打ち上げ、 世界中にインターネットを提供する計画が始動, Business, Finders, 2019.4.8.掲載記事, https://finders. me/articles.php?id=883 (2019 年 5 月 25 日閲覧).
- 北村京子・小島脩平・打上真一・神田洋史・藤村英範(2014) 地理院地図の公開,国土地理院時報,125, pp.53-57.
- 国土地理院(2016)国土地理院 Globe について, http://www. gsi.go.jp/common/000138598.pdf (2019 年 5 月 25 日閲 覧).
- 国土地理院(2017)地理院地図 Globe の正式公開, http://www. gsi.go.jp/common/000185126.pdf (2019 年 5 月 25 日閲 覧).
- 大野裕幸・明野和彦・久松文男・石関隆幸(2004)電子国土 Web システム,国土地理院時報,106, pp.25-33.
- 小田原未沙(2006)対象物を回転させて撮影した単眼カメラ 映像からの立体映像の作成,名古屋文理大学情報文化学 部情報文化学科はせがわ研究室 2005 年度卒業研究報告, 通巻 No.4, art.6, 5p.
- 松野久也(1976)裸眼立体観察,写真地質,実業広報社,pp. 39-41.
- 根本正美(2006)地図を立体視する,帝国書院高等学校地理・ 地図資料,2006年4月号,pp.21-24.
- 田辺誠司・藤田一郎(2004)両眼立体視の脳内表現,日本神 経回路学会誌, vol. 11, No.2, pp. 64-73.
- 田代博(2018)国土地理院 地形図閲覧システム、地図閲覧サ ービス (ウォッちず) のトップ画面の変遷,田代博のホー ムページ, http://yamao.lolipop.jp/map/2018/06/etsuran. htm (2019 年 5 月 25 日閲覧).

PNG 標高タイルからデータタイルマップへ

西岡芳晴*

PNG Elevation Tile to Data Tile Map

Yoshiharu NISHIOKA*

* 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質情報研究部門 Institute of Geology and Geoinformation, AIST, Tsukuba Central 7, 1-1, Higashi 1, Tsukuba Ibaraki, 305-8567, Japan. E-mail: y-nishioka@aist.go.jp

キーワード: タイルマップ, データ, Web, 標高 **Key words**: tile map, data, Web, elevation

1. はじめに

近年,ネットワーク環境,モバイル機器の高度化を背景 に,Web地図サイトの普及が目覚ましい.一方で官民デー タ活用推進基本法の施行を受けて,様々な機関からオープ ンデータが提供され始めており,これらには地図データも 含まれている.一般的なWeb地図サイトでは,通常サーバ 側に置かれたタイル分割された地図画像が利用されており, クライアント側が求める解像度と範囲のみの画像をクライ アント側に送ることにより高速化を実現している.このよ うな仕組みを,地図画像のみではなく面的な広がりを持つ 地図データに拡張し,クライアント側でのデータ処理を導 入することにより,ユーザの要望に応じた反応応答性の良 いWebアプリケーションの開発が可能となり,多様なデー タ利用の促進が期待できる.

2. データタイルマップとは

データタイルマップ(西岡・長津,2016)とは,地図上に面 的に広がるデータをインターネットを通じて有効に活用す るためのベースとなるフォーマットであり,ユーザの要望 に応じて柔軟かつ高速に処理できることを目的として設計 されている.一般的な Web 地図で用いられている地図画像 タイルをデータに応用したのもので,標高データですでに 用いられている PNG 標高タイル(西岡・長津,2015b)を 一般的なデータに拡張したものである.

今回は,西岡・長津(2016)のデータイルマップの仕様に を整理し,より具体性を持たせたフォーマットとして, PNGデータタイル, PNG数値タイル, PNGパレットタイ ルの規定を追加した. 仕様は以下のWeb サイトで公開した.

https://gsj-seamless.jp/labs/datatilemap/

3. データタイルマップの特徴

Web 環境で最も標準的な画像形式である PNG 形式をフ ァイルフォーマットとして採用している.このため、タイ ル提供者にとっては GIS または簡単なプログラムで作成で き、タイル単体で視認性も良いので管理が容易である.

また、Web 地図作成者にとっては、汎用画像フォーマットであるため Leaflet や OpenLayers 等の既存の地図用 JavaScript ライブラリの多くで利用可能であり、クライア ント側で変換等の処理を行うことができ、ユーザのリクエ ストに応じて表示を柔軟に変更できる Web 地図アプリケー ションの構築が可能である.

4. 仕様の概要

4.1 PNG データタイル

PNG データタイルでは、データタイルマップが共通に 満たすべき仕様としての基本事項として、ファイルフォー マットとして PNG 形式を用いること、完全に透明な画素 を無効値として扱うことなどが定めれらている.また、タ イル画像が存在しないことと、すべての画素が無効値であ るタイルが存在することと等価であることなどが定められ ている.この規定により、まったくデータの存在しない範 囲のタイルは作成する必要が無くなる.



第1図 データタイルマップ仕様概要 https://gsj-seamless.jp/labs/datatilemap/

4.2 PNG 数値タイル

PNG 数値タイルは PNG データタイルの一種であり、1 つの画素が1つの数値を表すものである.これまでの PNG標高タイルをより一般的なデータに拡張したもので あり、画素から直接的に得られる整数値を、一次関数を用 いて変換する方法が規定されている.RGB値(r,g,b:0~ 255で表したもの)から係数(か及びオフセット(のを用いて最 終的な値(v)をもとめる式は以下のようになる.

この式で f, o の値,及び iuまたは isのどちらを用いるか

$$\begin{split} i_{u} &= 2^{10}r + 2^{8}g + b \\ i_{s} &= \begin{pmatrix} i_{u}, & (i_{u} < 2^{23}) \\ i_{u} - 2^{24}, & (i_{u} \ge 2^{23}) \end{pmatrix} \end{split}$$

v = f(i_u または i_s) + o

-16

はタイル配信サービス毎に決定される. また, PNG 数値タイルでは,完全に透明な画素以外に, 無効値として扱うべき色の追加が可能である.

3.3. PNG パレットタイル

PNG パレットタイルは PNG データタイルの一種であり、 地質図のようにいくつかの限定された色のみが使用される タイルを扱う. 画素から値を取得するために、ピクセル値 という概念が導入されいている. RGB 値($r,g,b: 0 \sim 255$ で 表したもの)からピクセル値(p_v)を求める式は以下のように なる.

 $p_v = 2^{16} r + 2^8 g + b$

また、PNGパレットタイルでは、各色に対応する凡例 情報が別途提供されることが必須となる.凡例情報の形式 は特に定められていないが、json、csv等、プログラムで 処理しやすいものが望ましいであろう.

5. 利用事例

5.1 国土地理院 標高タイル PNG 形式

国土地理院は「テキスト形式」及び「PNG 形式」の標高タ イルを公開している.タイルセットには以下の2種類があ る.

標高タイル(基盤地図情報数値標高モデル)

標高タイル(地球地図全球版標高第2版)

2つの形式のうち「PNG 形式」はデータタイルマップの PNG 数値タイルに適合しており、画素を符号付整数に変



第2図 標高タイルの利用事例 「自分で作る色別標高図」は国土地理院, <u>http://www.gsi.go.jp/common/000197933.pdf</u>から引用 データは国土地理院標高タイル及び標準地図を使用 換したのち,係数 0.01,オフセット 0 を用いてメートル単位の標高値を取得できる.また,無効値と指定は RGB = (128,0,0)を追加している.

このタイルを利用して、国土地理院の地理院地図では、 「自分で作る色別標高図」の機能を実装している.この機能 では、ユーザは色別標高図の閾値や色を自由に選択でき、 即座に地図上に反映させることができる.また、標高タイ ルを利用した陰影図、傾斜量図などをオンデマンドで作成 できる Web サイトもあり、さらに、標高タイルから取り込 んだデータを用いた 3D 地図サイトの作成が容易になる (第2図).

5.2 20 万分の1日本シームレス地質図 V2

産業技術総合研究所の20万の分の1日本シームレス地 質図V2WebAPIのタイルサービスで提供されているレイ ヤーg(地質レイヤー)のみのタイルはデータタイルマッ プのPNGパレットタイルに適合している.このため,ク リック(タップ)地点の凡例情報の取得,ユーザが選択し た凡例のみの表示,凡例の色を変換しての表示等の機能を サーバとの接続を行わずにクライアント側だけで完了する ことができ,高速に動作させることができる(第3図).



第3図 シームレス地質図タイルの利用事例 特定位置の凡例情報表示,選択した凡例のみの表示,凡例の色を 変換しての表示等の機能が高速に行える.

5. おわりに

データタイルマップの概念の提案後,少しづつではある が適合した地図タイルの公開やそれを利用した Web アプリ ケーションが公開され始めてきた. 今後,多くの機関から 様々なデータタイルが公開されば,それらを複合したアプ リケーションの公開も加速されると思われる. 概念の提示 だけでは利用が進まないため,今後は,各機関へタイル化 の働きかけ,それを利用したアプリケーションの試作も行 って普及を図りたい.

- 西岡芳晴・長津樹理(2015a)スマートタイルアーキテク チャの考案とシームレス地質図への適用. 情報地質, vol. 26. no. 3, pp. 113-120.
- 西岡芳晴・長津樹理(2015b) PNG 標高タイル-Web 利用に 適した標高ファイルフォーマットの考案と実装-. 情報 地質, vol.26. no.4, pp.155-163.
- 西岡芳晴・長津樹理(2016)データタイルマップを用いた シームレス標高サービスの公開. 情報地質, vol.27. no.2, pp.110-111.

OpenCV による化石形態の類似度解析

中川孝典*·脇田浩二*

Similarity analysis of fossil forms by OpenCV

Takanori Nakagawa* and Koji Wakita*

*山口大学大学院創世科学研究科 Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi University, 1677-1 Yoshida, Yamaguchi-shi, Yamaguchi 753-8511, Japan. E-mail: takanaka9060@gmail.com

キーワード: OpenCV, 化石, 画像解析, 類似度

Key words : OpenCV, fossil, image analysis, similarity

1. はじめに

化石の記載や分類は基本的に形態的特徴を基に行われる. 化石の種名を決めるときにその代表となる個体を Holotype (正基準標本)とされる.この Holotype は少ない個体数か ら選ばれた,もしくは第一に発見された個体が設定される ことがほとんどであるが,それゆえに Holotype がその種の 代表的な形態であるとは言えず,必ずしも種の実態を示し ているとは言えない.

近年では、化石の形態を数学的に捉え解析しようとする 試みが行われ始めている(生形,2005).しかし、化石間の 形態的類似度から化石の代表的な形態を求めることが行わ れた例はない.

2. 化石の中央値的形態

その種の代表的な形態はその種の中央値的形態であると 考えられる.日本人の身長にしても,平均身長の約170 cm を基準にするのが妥当であることと同じで(日本人の身長 は多くのデータがあり,その平均値がほぼ中央値となる), 化石の中央値的形態を画像解析から客観的に判断できれば, より化石の実態に迫ることが期待できる.

3. 手法

本研究では Python による OpenCV を用いた特徴点比較 から類似度を算出することで,化石間の類似度を数値化す ることを行う.類似度の評価はターゲットとする画像と, その他すべての画像の類似度を求め,最も類似度の値が小 さい数値と最も類似度の値が大きい数値の差を求め,バラ つきが小さい個体が,すべての化石個体に近似すると考え, それが中央値的形態であると評価する.

化石の画像処理を行う上で,化石種によって同定の評価 基準は様々である.今回対象としているペルム紀放散虫化 石(*Palafollicucullusu*属)は,主に外形によって種の区別 が行われる。また、化石を胚胎する母岩の岩種によって, 化石表面の殻の保存状態は様々である.これらのことから, 放散虫化石の外形をエッジとして認識し,強調するフィル タ処理と,化石表面の平滑化処理をした化石の SEM 画像を, 解析した.

4. 結果

解析の結果から,放散虫化石の中央値的形態を示す化石 群を求めることができた.

文 献

生形貴男(2005)現代形態測定学:化石,人骨,石器等のかたちの定量・比較ツール,vol.44, no.5, pp.297-313.

Rice Terrace Extraction from Medium Resolution Satellite Images using Machine Learning Methods

Hang Thi DO*, Venkatesh RAGHAVAN** and Go YONEZAWA**

*Graduate School for Creative Cities, Osaka City University,

3-3-138 Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585, Japan. E-mail: dohanghumg@gmail.com.

** Graduate School for Engineering, Osaka City University,

3-3-138 Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585, Japan.

Key words: Rice Terrace, Support Vector Machine, Random Forest, Neural Network, OBIA

1. Introduction

Rice terrace is agriculture production in hilly areas which reduces soil erosion and control water resource. They are historical agricultural landscape, and an essential factor in the ecosystem conservation. Most of studies about rice terrace classification have been used high-resolution remote sensing data which is costly and difficult to use in monitor rice terrace over a large-scale (Zhang et al., 2017). In recent years, machine learning methods has used frequently on remote sensing area. In this study, we evaluated the capability of two medium resolution remote sensing RapidEye and Landsat images in rice terrace classification in Lao Cai area, Vietnam. Pixel-based and object-based approaches were compared to obtain the best classification result. Feed-forward neural network (FNN), Random Forest (RF), and Support Vector Machine (SVM) algorithms were used for rice terrace classification.

2. Data and Methodology

Figure 1 showed the methodology of the study. Pixelbased and object-based (OBIA) were approached to classify terrace and no terrace classes from RapidEye and Landsat imageries using FNN, RF and SVM classification algorithms. Training and validation datasets were used to train and optimize the models of FNN, RF and SVM classifiers. Finally, test dataset was employed to assess the classification accuracy and evaluate the capability of RE, and LS on rice terrace extraction.

2.1. Data and Study area

Lao Cai area is in North of Vietnam where rice terrace is the primary, long history agriculture practice. The remotely sensed data used are 5 bands (blue, green, red, NIR, redegde) of 5-m RapidEye and 6 bands (blue, green, red, NIR, SWIR1, SWIR2) of 30-m Landsat images. Reference data has collected from Google map in order to be used as training, validation dataset for classification and test dataset for accuracy assessment and evaluation.

2.2. Optimal threshold of OBIA

OBIA is generated by image segmentation process.

The key parameter to partition the image into objects is threshold of segmentation (T). In order to obtain optimal threshold of segmentation, Rate of Change of Local Variance (ROC-LV) was used (Dragut *et al.*, 2010). In this study, thresholds ranged from 0.01 to 0.5, step is 0.01. Optimal thresholds were list at the first row of Table 1 and Table 2.

2.3. Feed-forward neural network

Feed-forward back propagation neural network (FNN) is a well-known model which has powerful computing capabilities base on the propagation of information between neurons (Zhang *et al.*, 2016). Input layers are spectral bands of the remotely sensed images. 8 hidden layers which include 128 nodes for each layer is setup. Rectifier is chosen as activation function with dropout ratio of hidden layers is 0.2. L1 and L2 are set as 10^{-5} . Logloss metric is exploited to decide the best model it can be reached.



2.4. Random Forest

Random forest (RF) classifier is an ensemble learning method that uses a randomly selected subset of training samples and variables to produces multiple decision trees (Belgiu, 2016). Two parameters of the model were set as: the number of decision trees (Ntree) equals 500, and the number of variables in the random subset at each node (Mtry) is chose as default in caret.

2.5. Support Vector Machine

SVM works by finding a hyperplane with the largest margin in the feature space that separates input data into target classes (Abe, 2010). In this study, Radial Basic Function (RBF) kernel of the SVM classifier is used, due to commonly used and shows an excellent performance of the function. Size of subset equals 9.

3. Result

3.1. RapidEye classification

Pixel-based approach showed the most accurate results in comparison with object-based approach, at 91.9% of FNN classifier, 92% of RF and SVM (Tabel 1). With object-based approaches, the classification accuracy achieved the highest values at the first peak of ROC-LV graph. In general, the values slightly decreased when threshold values increased, the lowest accuracies belonged to very high thresholds. FNN, RF, and SVM classifiers produced almost same accuracy at same approach.

3.2 Landsat classification

Overall accuracies of pixel-based approach were at 89.7% of FNN, 89.2% of RF, and 89.9% of SVM, higher than all object-based classification cases (Table 2).

With object-based approaches, the classification accuracy achieved the highest values at the first peak of ROC-LV graph. The classification accuracies crucially declined from pixel-based to the second peak of ROC-LV graph, then slightly reduced to the lowest accuracies. Furthermore, three classifiers produced almost similar accuracy at same approach.

4. Discussion and Conclusion

This study presents an evaluation of 5-meter RapidEye and 30-meter Landsat image on rice terrace extraction by using FNN, RF, and SVM classifiers at pixel-based and OBIA approaches. Both remote sensing imageries showed the highest and almost similar accuracy at pixel-based approach. At OBIA, the accuracies decreased when thresholds increased. However, the degree of reduction was more significant at Landsat data. Also, the difference of accuracy among three classifiers was small.

It recommended that both imageries are useful for rice terrace extraction at pixel-based approach, however, only RapidEye image could be used for rice terrace classification at OBIA. Furthermore, rice terrace classification from remote sensing data is not affected much by the classification methods.



Figure 1. Rice terrace maps classification of (left) Rapideye and (righ) Landsat at pixel-based

Table 1. Overall accuracy of rice terrace from RapidEye image classification. First row showed threshold of OBIA														
	pixel	0.06	0.09	0.12	0.14	0.20	0.22	0.25	0.28	0.32	0.37	0.40	0.43	0.45
FNN	91.9	90.0	88.7	88.1	88.5	87.2	86.6	86.5	86.3	85.9	86.4	85.4	85.4	85.4
RF	92.0	90.3	89.2	88.9	88.8	87.8	87.6	87.2	87.3	87.0	86.7	86.6	86.5	86.7
SVM	92.0	89.8	88.5	88.3	87.9	87.0	86.7	86.5	86.5	86.5	86.3	86.0	85.6	86.3

Table 2. Overall accuracy of rice terrace from Landsat image classification. First row showed threshold of OBIA														
	pixel	0.05	0.09	0.13	0.15	0.18	0.23	0.27	0.33	0.35	0.37	0.43	0.45	0.47
FNN	89.7	83.3	78.5	77.8	77.8	76.1	75.6	75.7	75.7	75.4	74.0	74.0	73.7	73.8
RF	89.2	83.9	78.6	77.8	77.4	76.3	75.8	75.9	75.9	75.7	74.0	74.1	73.6	73.6
SVM	89.9	83.4	78.8	78.0	78.0	76.7	76.3	76.3	76.3	76.1	74.5	74.5	74.3	74.3

References

- Abe, S., 2010, Support Vector Machines for Pattern Classification. Springer, London.
- Belgiu, M. and Dragut, L., 2016, Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol.114, pp.24–31.
- Dragut, L., Tiede, D. and Levick, S. R., 2010, "ESP: A tool to estimate scale parameter for multiresolution image segmentation of remotely sensed data". International

Journal of Geographical Information Science, vol.24, no.6, pp.859-871.

- Zhang, Li, Zhang, Le and Du, B., 2016, "Deep Learning for remote sensing data". IEEE Geosciences and remote sensing magazine, 0274-6638/16.
- Zhang, Y., Shi, M., Zhao, X., Wang, X., Luo, Y. and Zhao, Y., 2017, Methods for automatic identification and extraction of terrace from high spatial resolution satellite data (China-GF-1). International Soil and Water Conservation Research, vol.5, pp.17-25.

調査航海での運用を目的とした可搬型データベースの開発

签谷貴史*·金子純二*·北田数也*·町山栄章*

Development of mobile database system for the research cruise

Takafumi Kasaya*, Junji Kaneko*, Kazuya Kitada* and Hideaki Machiyama*

*海洋研究開発機構海洋機能利用部門 Research Institute for Marine Resources Utilization 2-15 Natsushima-cho, Yokosuka, Kanagawa, 237-0061, Japan. E-mail: tkasa@jamstec.go.jp

> **キーワード**:可搬型データベース,海底地形,潜航データ **Key words**: Mobile database, Bathymetry, Dive data

1. はじめに

2009年から始まった文科省による「海洋資源の利用促進 に向けた基盤ツール開発プログラム」を契機として資源探 査手法の開発が始まり、「海洋鉱物資源広域探査システム 開発」として東京大学生産研を研究委託先として継続的に 開発が行われた。海洋研究開発機構は、「海洋鉱物資源広域 探査システム開発」において東京大学生産研からの再委託 を受け、海底地形などのベースデータや開発される機器な どで取得されるデータを各委託課題間での効率的な共有と 統合的に解釈するために必要な手法の開発を行った。本講 演では、海洋での調査を念頭において開発した機動型デー タベースと可視化システムについて報告する。

2.「機動型」データベースの開発

一般的なデータベースは SQL に代表されるデータベース 言語で開発し、データ需要に応じたサーバを決まった場所 に設置して利用するのが一般的である。委託事業を推進す るに当たって、(1)逐次集積されていくデータを効率的に 管理すること、(2)最新のデータセットから必要な海域の データを取りだして容易に調査にもちだせること、(3)船 舶での利用を想定して仮想環境(VMware など)でも運用 可能なこと、(4)乗船中に取得されたデータも容易にデー タベースに格納し、下船後に研究室のデータベースに容易 にマージできること、を念頭に仕様を検討した。データベ ースのコア部分は PostgreSQL と PostGIS をベースに構築 し、データベースへのアクセスは、一般的な Web ブラウザ を用いて操作可能なものとした。

データベースに収録するデータは海底地形や構造探査デ ータなどのアスキーデータとオリジナルのバイナリデータ に加え、潜航調査で得られる映像など多岐にわたる。その ため、データベース本体は、それらのデータを格納し、表 示される地図をベースにマウスオペレーションや範囲入力 をするデータを選択して表示あるいはダウンロードする基 本的な機能に特化した。図1はデータベースにWebプラウ ザでアクセスしたときの表示イメージである。それ以外に 必要な種々の機能はアドオンする形で、実際に試験運用を 重ねながら実装を進めた。

既存のデータベースとは異なる機能として、乗船中に有 用と思われる測線計画の支援機能が上げられる。これは、 既存データを表示しながら、測深や曳航、潜航などの測線 計画を容易に立てるための機能で、例えば、一定間隔の測 深のための測線であれば、主となる測線とそれ以外の測線 の数と測線間隔を入力するだけですべての測線の始点終点 の座標を計算し、表示とアスキーデータでの出力を行う機 能である。また、潜航中のデータをビークルの測位データ と合わせてリアルタイムでキャプチャー・記録する機能も 乗船中に有用な機能である。また、基本的な GIS 的な機能 として距離・面積・体積の計測機能、地形断面のデータ出 力、コアや地下構造データの3次元可視化機能など、多様 なアドオンツールが実装されている。開発の過程で、 JAMSTEC および民間の調査航海で実際に使用し、フィー ドバックをしてもらい、バグ修正や機能向上に役立てた。 発表では、実際に所内に設置されたサーバにアクセスして、 それらの機能を実際の運用シーンを紹介する予定である。



第1図 データベースの Web ブラウザの表示イメージ.

PNG 数値タイルの利用-3D ゲームマインクラフトを用いた現実地形の再現

西岡芳晴*

Usage example of PNG numerical tile – Reproduction of real terrain using 3D game Minecraft

Yoshiharu NISHIOKA*

* 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質情報研究部門 Institute of Geology and Geoinformation, AIST, Tsukuba Central 7, 1-1, Higashi 1, Tsukuba Ibaraki, 305-8567, Japan. E-mail: y-nishioka@aist.go.jp

キーワード: 3D, ゲーム, マインクラフト, 地形 **Key words**: 3D, game, minecraft, terrain

1. はじめに

地質学的・地形学的な事象の認識においては3次元的な な理解が必要不可欠であるが、それは特に初学者にとって は容易と這い難く、大きな障害となっている.本研究の目 標は、主として児童・生徒・学生を対象に、地質学・地形 学が学びやすい環境の提供にあり、コンピュータゲームを 材料として扱う.近年ゲームは、従来型の知識習得偏重の 教育から脱却するアクティブラーニングのためのツールと して注目されている.そこで、子供たちに人気のあるマイ ンクラフト(第1図)という3Dサンドボックスゲームに 着目した.

スウェーデンの Mojang 社が開発したマインクラフト (現在はマイクロソフト社が提供)は、世界で総売上本数 が1億7千万本を超える非常に人気のあるゲームソフトで あり、日本でも小・中学生を中心に幅広い愛好者がいる. ゲーム内ではほとんどのオブジェクトが直方体ないし立方 体の形状をしており、地形も1mサイズの立方体ブロック で構成されている.プレイヤーは3次元の世界を自由に移 動し、建築物等を作成することができ、地面を掘ることも できる.ゲーム自体に明確な目的が無く、ユーザはモンス ターと戦ったり、仲間同士で巨大な街を作ったりといった 自由な遊びかたができる.このゲームを用いれば3D地形 を再現、疑似体験できるので、地質学・地形学の教育用と しても高いポテンシャルを秘めていると言える.



第1図 マインクラフト公式サイト https://www.minecraft.net/ja-jp/

2. 「日本の地形/世界の地形」

作成したワールドデータや,作成環境を提供するために 試験公開サイト「日本の地形/世界の地形」を公開した.

https://gsj-seamless.jp/labs/minecraft/landform/

このサイトでは主に以下の3点を公開している.

- 日本の地形 (1/30~1/2,000)
- ・ 世界の地形 (1/24,00~1/40,000)
- Minecraft リアル地形ワールド作成ツール

「日本の地形」(第2図,第3図)及び「世界の地形」(第 4図)では,作成したワールドデータをダウロードできる. ただし,使用できるマインクラフトはJava版1.12.2のみ であり,それ以外は別途変換が必要である.ダウンロード したファイルを解凍し,特定のディレクトリにコピーする ことにより使用できる.ワールドデータの改変および二次 利用は出典明記のみで可能である.

Minecraft リアル地形ワールド作成ツールでは,ユーザ が任意の範囲を指定してワールドデータを生成できる.



第2図 「日本の地形」マインクラフトワールドデータ ズームレベル5(約1/4,000). 標高データは国土地理院標高タイル(基盤地図情報数値標高 モデル, DEM10B)を使用.



第3図 「日本の地形」のデータで富士山周辺を表示. ズームレベル 12(スケール約 1/30) 標高データは国土地理院標高タイル(基盤地図情報数値標高モデル,DEM10B)を使用 被覆データとして国土地理院土地被覆(GLCNMO)を使用

3. 使用したデータ

模型の作成に必要な標高データは、主に、国土地理院が オープンデータとして公開している標高タイルを利用した. この標高タイルは日本全体を 10m メッシュの精度でカバー しており、一部は 5m メッシュの精度のデータも提供して いる.このほか「世界の地形」では、アマゾン ウェブ サー ビスの AWS Terrain Tiles も利用した.

これらの標高タイルは、Web 地図で良く利用されるタイ ル分割された地図画像をデータ表現に応用したもので、デ ータタイルマップと呼ばれる(西岡・長津,2016).仕様 の詳細は PNG 標高タイル(西岡・長津, 2015)として提案 されたものだが、そらにそれをより一般的なデータに拡張 した「PNG 数値タイル」という仕様を提案した.PNG 数値 タイルでは、RGB 値から求めた整数値をさらに一次関数に より変換して、標高値以外の任意の数値データに利用可能 としている.

さらに,設置するブロックの種類を変更するために,国 土地理院地理院タイルの土地被覆(GLCNMO)も使用している.



第4図 「世界の地形」のカリフォルニア半島付近
 標高データはアマゾン ウェブ サービスの AWS Terrain
 Tiles(2019/2/4 時点)を使用.

被覆データして国土地理院土地被覆(GLCNMO)を使用. 右端の緑の部分はプレイヤーが持っている剣.

4. 作成手法

ワールドを作成するプログラムは JavaScript で記述され ており、OS に依存せず Web ブラウザがある環境で実行で きる.使用するデータはインターネット経由で取得すため 常に最新のデータが利用可能である.作成プログラムでは 出力解像度(ズームレベル)や鉛直方向誇張率等を変更する ことができる.

5. おわりに

現在,このツールを使用して,「ゲーミフィケーション を用いた地理・地学の学習支援に関する研究」(科研費, 代表:国土地理院,岩橋純子)に参加しており,具体的な 応用方法を検討している.また,今後は地表面を地質図で 色分ける機能を実装したり,典型的な地形にアクセスしや すくするような手法を取り入れる予定である.

- 西岡芳晴・長津樹理(2015) PNG 標高タイル-Web 利用に適 した標高ファイルフォーマットの考案と実装-. 情報地 質, vol. 26. no. 4, pp. 155-163.
- 西岡芳晴・長津樹理(2016) データタイルマップを用いた シームレス標高サービスの公開. 情報地質, vol.27. no.2, pp.110-111.

WebGL を用いた地質ボクセルモデルの3次元可視化

根本 達也*・升本 眞二*・野々垣 進**

Three-dimensional Visualization of Geological Voxel Model using WebGL

Tatsuya NEMOTO*, Shinji MASUMOTO*, Susumu NONOGAKI**

* 大阪市立大学大学院理学研究科 Graduate School of Science, Osaka City University, 3-3-138 Sugimoto,

Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585, Japan. E-mail: tnemoto@sci.osaka-cu.ac.jp

** 国立開発研究法人産業技術総合研究所 National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan.

キーワード: WebGL, ボクセルモデル, 可視化, 地質断面図 **Key words**: WebGL, Voxel model, Visualization, Geological cross section

1. はじめに

地質構造を理解するためには、地質情報を3次元地質モ デルとして表現し、可視化することが有効である.根本ほ か(2017)は3次元地質モデルをWeb上で共有・可視化 することを目的に、オープンスタンダードを用いたWeb 可視化システムを開発した.本システムでは3次元地質モ デルの水平断面と鉛直断面の2次元可視化を可能としたが、 より実用化するために、新たにボクセルモデルを3次元可 視化するためのモジュールを開発した.本モジュールでは、 モデルを動的に3次元可視化し、任意の面で切断できる.

2. システム概要

ボクセルモデルを3次元可視化するためにWebGLを用 いてシステムを開発した.WebGLはWebブラウザで3次 元コンピュータグラフィックスを表示させるための標準仕 様である.WebGLのための多くのライブラリが公開され ているが、本システムでは、three.js(https://threejs.org/) を使用した.開発言語はJavaScriptである.

モデルの可視化に必要なソフトウェア環境は Web ブラ ウザのみである.対応している Web ブラウザは以下の通り である.

- $\cdot \ {\rm Microsoft} \ {\rm Edge}$
- ・Google Chrome 9 以降
- Internet Explorer 11
- ・Mozilla Firefox 12 以降
- ・Opera 12 以降
- ・Safari 8以降

ボクセルモデルの作成とデータ形式

ボクセルモデルは、地質構造の論理モデルに基づいて構築された3次元地質モデルから出力できる(升本ほか、2002).地質構造の論理モデルは、地質体の分布域と境界面との間に成り立つ論理的関係である.この論理的関係と各境界面の具体的形状(DEM)があれば、3次元空間内の任意の点に対して、その点が含まれる地質体を割り当てる関数(地質関数g)が定まる.対象空間の各ボクセルの位

置座標を地質関数 gに入力し,得られた結果(各地質体に 対応する番号)を3次元配列で出力することによって,ボ クセルモデルのデータを作成できる.

ボクセルモデルのデータ形式は GRASS GIS の 3D ラス タデータ ASCII 形式とした (GRASS Development Team, 2003). データのヘッダ情報を以下に示す.

version: "grass7"	(バージョン)
order: "nsbt"	(ボクセル値の順序)
north: floating point	(北端の座標値)
south: floating point	(南端の座標値)
east: floating point	(東端の座標値)
west: floating point	(西端の座標値)
top: floating point	(上端の標高値)
bottom: floating point	(下端の標高値)
rows: integer	(南北方向の格子数)
cols: integer	(東西方向の格子数)
levels: integer	(上下方向の格子数)

ヘッダ情報に続けて、各ボクセルの値(地質体に対応す る番号)を下層から上層の順序で記述する.各層は北西角 のボクセル値から東向きに、南東角までを記述する.また、 各地質体に色を付けるために RGB 値を用いた色設定ファ イルを準備する.ただし、白色(255:255:255)を設定し た地質体は空中とし、表示しない.色設定ファイルの例を 以下に示す.

6	(地質体の総数)
1:70:145:0	(地質体1に対するR:G:B)
2:210:205:225	(地質体 2 に対する R:G:B)
3:190:165:90	(地質体3に対するR:G:B)
4:70:160:160	(地質体4に対するR:G:B)
5:250:255:180	(地質体5に対するR:G:B)
6:255:255:255	(地質体 6 に対する R:G:B)

4. WebGL による可視化

秋田県本荘地域のボクセルモデルの可視化例を示す(第 1図).ボクセル数は87×65×20である.マウス操作で直



第1図 地質ボクセルモデルの可視化. (a) 視点の変更, (b) 任意断面, (c) 個々の地質体.

感的に視点を動かすことができる.また,スライダーを動かして任意の断面を動的に可視化できる.単一の地質体のみを可視化することも可能である.

4. おわりに

WebGL を用いてボクセルモデルの 3 次元可視化モジュ ールを開発した.ボクセルのサイズよりも薄い地質体を表 現することはできないが,任意断面の可視化により地質構 造の全体像を理解できる.今後はサーフェスモデルやソリ ッドモデルの可視化機能を開発する予定である.

- GRASS Development Team (2003) GRASS GIS 7.6.2svn Reference Manual. https://grass.osgeo.org/grass76/ manuals/r3.in.ascii.html
- 升本眞二・根本達也・ベンカテッシュ ラガワン・塩野清治 (2002) 地質関数を用いた 3 次元地質モデルのボクセル 化と可視化. 情報地質, vol.13, no.2, pp.86-87.
- 根本達也・升本眞二・野々垣進(2017)地質構造の論理モ デルに基づく3次元地質モデルのための Web 可視化シ ステムの開発. 情報地質, vol.28, no.2, pp.102-103.

第30回日本情報地質学会講演会

講演要旨集

2019年6月17日 発行

発行
 日本情報地質学会
 〒101-0047 東京都千代田区内神田1-5-13
 内神田TKビル3階
 特定非営利活動法人 地質情報整備活用機構内
 Tel. 03-6689-5353