

地形判読自動化のための広域地形データベース構築に関する研究

岡崎楓¹ 北原秀一¹ 廣重法道¹ 鶴田直之¹

概要: 地形判読は地質学や火山学,防災・減災と言った多目的で重要である.そこで,地形の規模によらず日本全国を網羅するために地形判読の自動化を進めている.本研究では,国土地理院の数値標高データに画像の尺度空間表現を適用し,地形を凹凸単位で階層的に表現した地理データベースの構築法を提案する

キーワード: 地理データベース・空間データ管理, 画像特徴抽出, 並列・分散処理アルゴリズム

A Study on the Construction of a Wide-Area Topographic Database for Automated Terrain Interpretation

KAEDE OKAZAKI^{†1} SYUICHI KITAHARA^{†1}
NORIMICHI HIROSHIGE^{†1} NAOYUKI TSURUTA^{†1}

Abstract: Topographic interpretation is important for many purposes such as geology, volcanology, disaster prevention and mitigation. Therefore, we are working on the automated topographic interpretation in order to cover the whole of Japan regardless of the size of the terrain. In this paper, we propose a method of constructing a geographic database that hierarchically represents topography in units of unevenness by applying a scale-space representation of image to Digital Elevation Model provided by the Geospatial Information Authority of Japan.

Keywords: Geographical databases and spatial data management, Image feature extraction, Parallel and distributed algorithms

1. はじめに

1.1 研究背景

地形判読とは, 任意の地形を「地形種」に分類し, その起伏状態と形成過程を理解することであるとされる^[1]. 地形種は, 規模または形成過程によって分類されることが多い. 例えば, カルデラは, 規模がおおよそ 1km~10km で, 形成過程は火山地形と分類され, これを理解することは地質学や観光, 地質資源において重要である. また, 地すべり堆は, 規模が 100m~1km で, 形成過程は集動地形と分類され, 防災・減災や土地活用に応用できる. このように判読の対象地形は規模が多様であるうえ, 判読の結果は多目的に利用される. そこで, 全国の地形を網羅的に記録し, かつ多目的に利活用が可能なデータベースの構築が望まれる. これに対し, 現状では利用目的別にデータベースが構築されていたり, ハザードマップのように居住区の周辺のみ地域が限定的であったりする. そこで, 筆者らは, 任意の規模で凹凸に基づいて地形を区分し, 区分された領域(以下, 地形領域)ごとに地形特性を記録した地理データベースの構築を目指している.

地理データベース構築の工程を図 1 に示す.

1. まず, 国土地理院が発行する数値標高モデル (DEM; Digital Elevation Model) [4] を定期的にダウンロード

し, DEM データから標高値を画素値とする画像を生成する.

2. 次に, 画像処理のラプラシアンフィルタを適用して, 地形を凹凸に基づいて地形領域に区分し, 地形領域ごとにデータベースに登録する. その際, 地形の多様な規模と地形の複雑さを表現できるように, 画像の尺度空間法を用いることによって地形領域の階層的な表現を得る.
3. 更に, 地形領域毎に算出可能な地形特性の指標を記録し, 機械学習 (教師なし学習) を適用して地形を分類する. 最後に, 災害の記録や学術的知見を教師データとして学習した人工知能により, 未判読の地形領域の自動判読を可能にする.

1.2 研究目的と本稿の構成

本稿の目的は, 前述の地理データベース構築工程の 1 と 2 を実現することである. まず, 2 章で工程 1 を実現するためのダウンロードの自動化および任意領域の切り出しについて述べる. 次に, 3 章で工程 2 を実現する方法について提案する. 特に, 地形領域の階層表現の生成処理では高速化を行ったので, その性能評価について 4 章で述べる.

¹ 福岡大学工学部電子情報工学科
Department of Electronics Engineering and Computer Science, Fukuoka

University

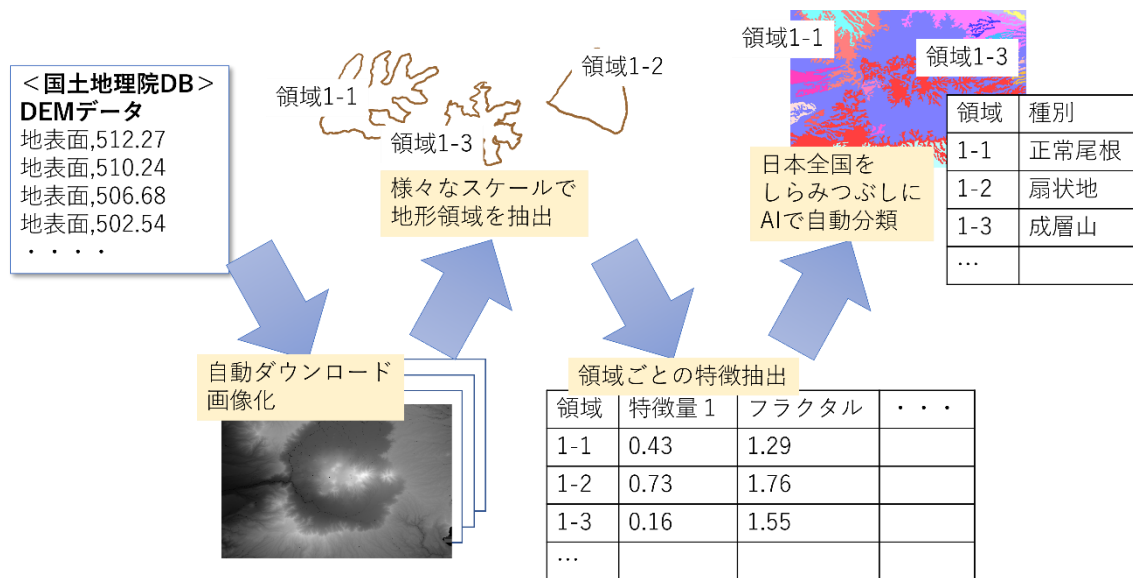


図 1 自動化された地形判読システム全体の概念図

2. DEM から GEOTIFF への変換

2.1 DEM のダウンロードおよび画像化の自動化

地形判読の自動化には画像処理技術を用いるため、XML 形式で保存されている DEM データから標高値を画素値とする濃淡画像に変換する。これに対し、DEM データは、図 2 に示すように地表を矩形に区分された領域ごとにファイルされており、九州一円をカバーするだけでも 800 個程度のファイルになる。そこで、ブラウザを自動的に操作するフレームワーク Selenium を利用してダウンロードの自動化を行った。画像の形式は、255m 以上の標高が存在するため 16bit/pixel を用いている。



図 2. 国土地理院の DEM データの区分

2.2 任意位置・広さの画像化

最初に画像化処理から地形領域抽出処理へは、広範囲の領域を含む低解像度の画像を渡す。地形領域抽出処理では、受け取った画像から地形の凹凸単位に地形領域を抽出する。更に抽出した地形領域ごとにより詳細な処理を施すために狭い範囲の高解像度画像を画像化処理に要求する。この際、地形領域抽出処理が要求する範囲は、一般的には国土地理院の矩形区分とは一致しないため、画像化処理では任意の範囲の画像化が必要になる。そこで、画像化処理部と地形

領域抽出処理部の間では、緯度・経度を用いて範囲指定のやり取りをする。図 3 に、国土地理院での DEM データの XML ファイルの命名規則を示す。地形領域抽出処理部では、画像処理部から指定された起点となる緯度経度および緯度方向・経度方向の範囲（地理情報）を基にファイル命名規則から逆算して、必要となるファイルおよび画像化の開始点・終了点を特定する。地形領域抽出処理部でも抽出した領域を地図と重ねて表示し確認することがあるため、地理情報をヘッダ部に格納可能な GeoTIFF フォーマット[5] を用いる（なお、本稿執筆時点では二つの処理のインターフェイスは自動化していない）。

$$\begin{aligned} \text{緯度} &= (36/1.5) + (0 \times 0.125) = 24 \\ \text{経度} &= (23 + 100) + (6 \times 0.125) = 123.75 \end{aligned}$$

図 3. DEM の XML ファイル名と緯度経度の関係

3. 地形領域の抽出と階層表現

ここでは、藏田ら[2]の先行研究で実装済みの部分も含め、画像から地形領域の抽出して階層的に表現する方法を述べる。

3.1 LOG (Laplacian Of Gaussian) フィルタ処理

LOG フィルタとはガウシアンフィルタとラプラシアンフィルタを組み合わせたフィルタである。ラプラシアンフィルタは、画像の 2 階微分に相当するため、出力の正負の符号により画素を凹に含まれるものと凸に含まれるものとに分けることができる。一方、ガウシアンフィルタでは画像の平滑化を行い、ノイズを低減する。地図においてガウ

4. ラベル伝搬処理の高速化

4.1 異なるスケール間のラベル伝搬処理の詳細

異なるスケール間のラベル伝搬処理の概念を図 7 に示す。まず、大 Scale2 値画像と小 Scale2 値画像を比較して同じ値を持つ画素には、大スケールでのラベルを伝搬させる（図中ラベル画像の白または黒の部分）。一方、一致しなかった部分（図中の灰色の部分）は隣接する領域のラベルを 2 値画像処理の膨張処理を使って伝搬させるか、もしくは収縮処理によって削除する。

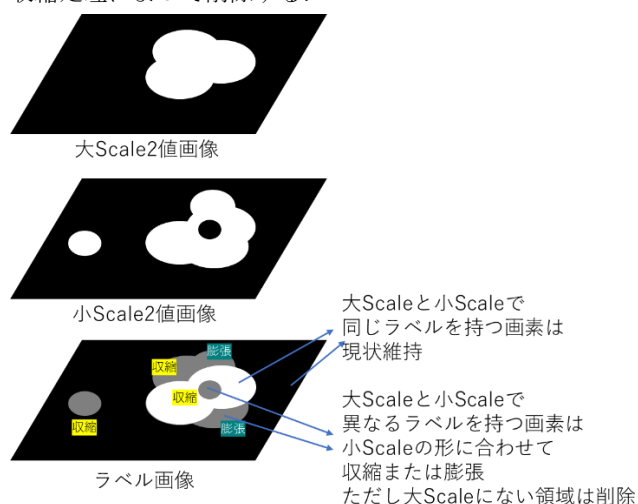


図 7 スケール間のラベル伝搬処理

この膨張および収縮処理は、未処理領域（図 7 における灰色領域）の輪郭に位置する画素の画素値を、周囲の 8 近傍の画素値に対する論理演算（フィルタ処理）によって決定することによって実現される。したがって、この処理は、すべての領域で膨張・収縮処理が完了するまで繰り返される。なお、地形における鞍状点（1 方向には凸（凹）でありながら別方向には凹（凸）であるような点）では、図 8 に示すように、ラベル伝搬に任意性がある。

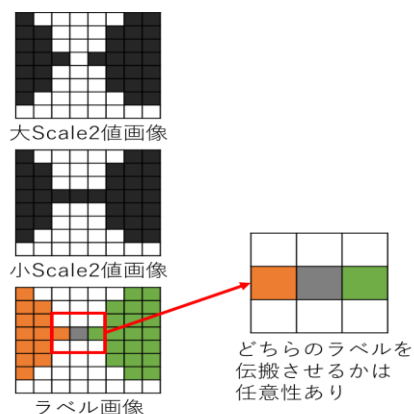


図 8 鞍状点でのラベル伝搬の任意性

a numpy は、Python の数値計算ライブラリの一種で、多次元配列オブジェクトを効率よく計算する多数の演算関数を提供している。
b cupy は、numpy と高い互換性を持つ数値計算ライブラリで、NVIDIA 社

以上の処理を、従来は python の for ループで記述して処理していたため、処理時間が膨大になっていた。

4.2 ラベル伝搬の高速化

前述のラベル伝搬処理を高速化するために、フィルタ処理の部分、畳み込みニューラルネットワークで使用される `im2col`[3] を用いたフィルタ処理に置き換え、さらに NVIDIA 社の GPGPU 上で実装した。図 9 に、`im2col` によるフィルタ処理の概念を示す。従来の方法では、8 近傍に対する演算をするために 3×3 のフィルタ処理を一画素ずつずらしながら画像全体を走査して処理をする。これを膨張・収縮が起こらなくなるまで繰り返す。これに対し、`im2col` は、 3×3 の画素値を 1×9 のベクトルに変形し、画像全体捜査に必要な個数 H （すなわち全画素数 $x \times y$ ）だけ取り出し、 $H \times 9$ の配列に格納しなおす。これにより、従来の for ループを用いた操作処理が、行列に対する行ごとの処理に変わり、numpy^aの機能を用いればループを使わずに記述でき効率が上がる。さらには、cupy^bを用いて GPU で実行することにより、行単位の並列処理が実現でき、より大きな高速化が見込まれる。処理した結果は、`im2col` の逆変換である `col2im` によって画像形式に戻される。

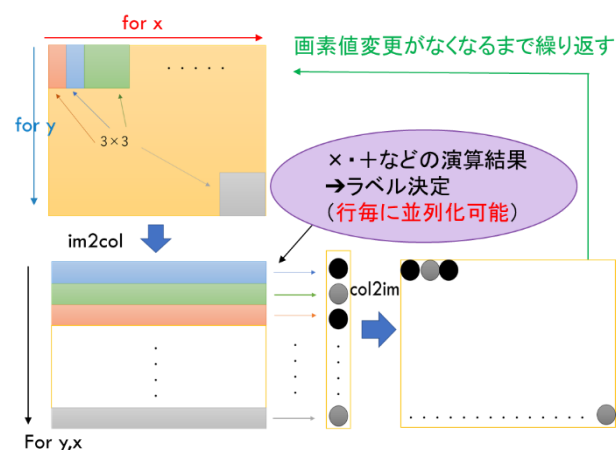
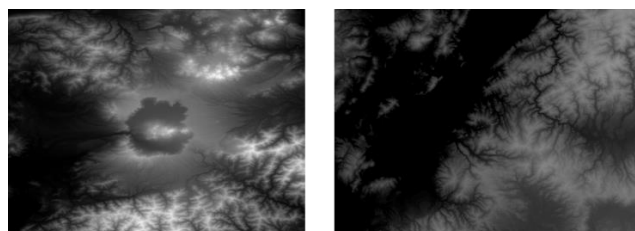


図 9 `im2col` を用いた処理の概念

5. ラベル伝搬処理の高速化の評価実験

python の for ループで記述した従来版と、前述の `im2col` を利用して高速化した numpy 版、および GPGPU を使用して並列処理した cupy 版で、空間尺度表現の生成の処理速度の比較実験を行った。今回の実験では阿蘇地域と北海道一部地域の画像を使用した。画像サイズは 1125×750 に統一して実験を行った。実験に使った領域の画像を図 10 に、実験の計算機環境を表 1 に示す。

の GPU(Graphics Processing Unit)で実行することで簡単に高速化できるように設計されている。



阿蘇周辺の濃淡画像

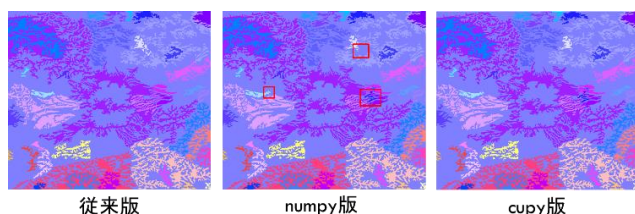
北海道一部の
濃淡画像

図 10 評価実験に使用した地形の濃淡画像

表 1 実験環境

従来版・numpy 版	cupy 版
CPU:R9-5900	CPU:2 Xeon
MEM:128GB	MEM:384GB
GPU:1080GTX	GPU:4 x GTX1080Ti
OS:WinServer2016	(mem 11GB)
	OS:Ubuntu20

3 つ版で生成された結果は図 11 に示す通り、前述の鞍状点におけるラベル伝搬の任意性によるもの（図中、numpy 版に赤枠で示した箇所）以外は、同様の結果を得ることができ、アルゴリズムが正しく実装されていることを確認した。なお、numpy 版と cupy 版は完全に同じ結果である。



従来版

numpy版

cupy版

図 11 生成した画像の比較（numpy 版中の赤枠は従来版との差異。Numpy 版と cupy 版は完全に同じ）

最上位のスケールを 16 とし、15 から 2 まで 14 回のラベル伝搬を行い、処理時間を計測した。結果を表 2 に示す。numpy 版によっておよそ 20 倍の速度向上、cupy 版によって 500 倍以上の速度向上が得られた。

表 2 処理速度の比較（時間の単位は秒）

版	阿曾周辺		北海道一部	
	処理時間	速度比	処理時間	速度比
従来	2107.30	1.0	1946.41	1.0
numpy	108.54	19.4	92.26	21.1
cupy	4.04	521.6	3.45	564.2

6. 結論

本研究では、広域の地形判読を自動化する目的、および判読結果を多目的に活用するための広域地形データベース

スの構築を目指している。これに対し、本稿では、任意の規模で凹凸に基づいて地形を区分し、区分された地形領域ごとに地形特性を記録する方式について提案した。地形特性は地形領域ごとの空間尺度表現に基づく階層表現として保持する。その際に最も処理時間を要していた画像のラベル伝搬処理を高速化することにも成功した。九州全体の地形に対して空間尺度表現の生成を行うとすると 800 区画も存在するため、従来版では 400 時間以上かかる。今後の開発工程の短縮化や、災害等による地形変化の迅速な反映、DEM データの高解像度化への対応が容易になったと言える。

謝辞

福岡大学研究推進部の令和 3 年度領域別研究チーム「情報科学教育のための九州の活火山における画像認識を活用した GIS 開発」の成果の一部である。

参考文献

- [1] 月刊『測量』別冊 いまさら聞けない地形判読、公益社団法人日本測量協会、2019 年
- [2] 蔵田、鶴田、廣重、三次元地図データを用いた地形判読の自動化に関する研究—扇状地・地すべり・斜面崩壊—、火の国情報シンポジウム 2020, C3-5, 2020.3
- [3] 斎藤康毅著、ゼロから作る Deep Learning Python で学ぶディープラーニングの理論と実践、オライリー・ジャパン、ISBN978-4-87311-758-4, (2017.2))
- [4] 国土地理院：GSI HOME PAGE (<https://www.gsi.go.jp>)
- [5] Geo TIFF | 地理空間情報ライブラリー (<https://geotiff.gsi.go.jp/taxonomy/term/47>)