

尺度空間地形領域データベース(STSD)の提案と基礎実装

平井啓斗¹ 梶原大暉¹ 古賀翔多¹ 大村智紀¹ 廣重法道¹ 鶴田直之¹

概要: 数値標高モデルを画像化した後、Gaussian-Laplacian フィルタを適用して凹(黒)凸(白)の2値画像を生成すると、Gaussian フィルタの分散(尺度)を変化させながら地形を領域として抽出することができる。本稿では、地形領域を単位として尺度空間地形領域データベースを構築する方法について提案する。地形領域の属性に地形の複雑さを表すフラクタル次元を登録し、地形分類や地形判読に活用する。本データベースの活用例としては、ある尺度では斜面崩壊の予測に、また別の尺度では火山地形の自動判読などに応用が期待される。本稿では、このデータベースの基本構造とビューアとしての地図アプリについて述べる。

キーワード: 尺度空間, フラクタル次元, 地理情報システム, PostGIS, Leaflet

Proposal and Basic Implementation of Scale-space Terrain Segment Database (STSD).

KEITO HIRAI^{†1} DAIKI KAJIWARA^{†1} SHOTA KOGA^{†1} TOMOKI OHMURA^{†1} NORIMICHI HIROSHIGE^{†1} NAOYUKI TSURUTA^{†1}

Abstract: After the digital elevation model is imaged, a Gaussian-Laplacian filter is applied to generate a concave (black) convex (white) binary image, which allows the terrain to be extracted as a region while varying the variance (scale) of the Gaussian filter. This paper proposes a method for constructing a scale-space terrain segment database with terrain segments as units. Fractal dimension, which represents the complexity of the terrain, is registered as an attribute of the terrain segment and used for terrain classification and terrain interpretation. The database is expected to be applied to the prediction of slope failure at one scale and automatic terrain interpretation of volcanic terrain at another scale. This paper describes the basic structure of this database and the map application as a viewer.

Keywords: Scale Space, Fractal dimension, Geographic Information System, PostGIS, Leaflet

1. はじめに

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。地形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。一方、地形判読を自動化することを考えると、対象地形の境界線(地図上の範囲)は必ずしも明確な定義があるわけではなく、地形を数量的に表現することが容易ではない。これに対し、筆者らは数値標高モデル(DEM)[6]を画像化し、画像解析の分野で用いられる尺度空間により地形を凹凸に領域分割[2]し、得られた地形領域ごとにフラクタル次元を数量的な特徴量として用いること[3]を提案してきた。更に、得られた地形領域を単位とする地理情報データベースを構築しつつある[4]。本稿では、この地理情報データベースを「尺度空間地形領域データベース(Scale-space Terrain Segment Database (STSD))」と呼ぶことにし、その基本構造と今回追加したデータおよび開発した

データの表示機能について述べる。また、STSD に尺度空間地形領域に地形特徴量としてのフラクタル次元ベクトルを追加したフラクタル次元ベクトル付き STSD (STSD-F) について述べる。

2. 尺度空間における地形領域

図 1 に尺度空間地形領域の抽出とデータベース公開までの工程を示す。DEM を濃淡画像化したのち、LOG フィルタにより画像処理をすると、凸(白)領域と凹(黒)領域に領域分割された凹凸2値画像を得る。この時の個々の領域を尺度空間地形領域と呼ぶ。凹凸2値画像にラベリング処理を適用すると、全ての空間尺度地形領域に番号付けをすることができるので、これを領域 ID としてデータベースに登録する。データベースには、空間尺度地形領域ごとにその位置や形状を表す地理情報を付与する。データベースの構築には PostGIS[9]を使用している。

DEM 画像に LOG フィルタをかけて尺度空間地形領域を抽出する際に、尺度(スケール、以下 S)を変化させることができる。この S の大小によって、抽出する地形の抽象度を変えることができる。図 2 に、S の違いによる抽出さ

¹ 福岡大学
^{†1} Fukuoka University

れる尺度空間地形領域の違いを例示した。

尺度空間地形領域の特徴として、ある S で得られた尺度空間地形領域は S を小さくしていくにつれて形状が詳細に(ぼけのない実際の形状に近く)になっていき、更には複数の小さな尺度空間地形領域に分裂することがある。この分裂する前を親領域、分裂後を子領域とすると、全ての領域について子から見て親は必ず1つであるような木構造で表現することができる。

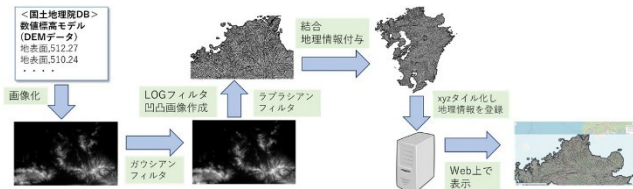


図 1. 尺度空間地形領域とフラクタル次元ベクトルの生成手順

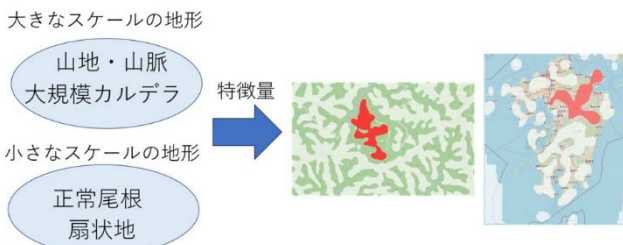


図 2. 異なるスケールで抽出された尺度空間地形領域の例

本研究では、尺度空間地形領域を単位として、多様な用途の地形判読に活用できるように地理情報データベースを構築することが目的である。

3. 尺度空間地形領域データベース

3.1 登録データ

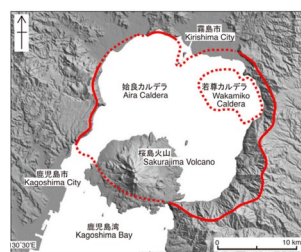
本稿の執筆時点で STSD に登録しているデータを以下に示す。陸域には国土地理院の DEM を用いている。本研究では新たに The General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO)[7]が公開しているグリッド水深データを用いて海域の水深データを付与した。データは、先述の尺度空間地形領域を単位とし、属性としてそれぞれが得られたときの S (5m~61440m までの 50 段階、以下無単位の S は段階番号)、ぼかし画像、凹凸 2 値画像、さらにそれぞれの位置情報を持った地形領域ポリゴン、面積、先述の親子関係を登録している。 $S=61440m$ では、沖縄や離島等を除く九州全体が一つの尺度空間地形領域(以下、九州領域)となる。

また、尺度空間地形領域とは別に、元となったぼかし画像と凹凸 2 値画像全体を xyz タイリング[11]して地図データとして保持している。本稿執筆時点で、5m メッシュ (1 画素が 5m に相当する) 画像からデータを生成している。DEM 画像は、スケールに応じて 5m メッシュから 2 倍ずつ変化させた 10240m メッシュまで 12 段階に変化させている。

海域を含む場合と含まない場合の尺度空間地形領域の違いを図 3 と図 4 に示す。図 3 からは、陸域のみの時に孤立した領域と判断されていた地域が、海域を含めると他の領域と繋がっていることが確認できる。

スケール	陸域のみ	海域あり
50 61440m		
48 40960m		
40 1024m		

図 3 海域を含めるかどうかの違い (例 1)



[8]から引用

陸域のみ	海域あり

図 4 海域を含めるかどうかの違い (例 2)

また、図4は、若尊カルデラ周辺の地形図と尺度空間地形領域を比較したものである。海域を含むことによって若尊カルデラの外輪が確認できることと、霧島市の川から流れ込んだ堆積物が扇状地形を海底まで形成していることがわかる。

3.2 3.2 地図表示機能

本研究では Leaflet[10]を用いて STSD の表示機能も開発している[4]. 本研究では、特定の S における特定の尺度空間地形領域に注目し、S を小さくしていくにしたがって、その尺度空間地形領域がどのように形状を変化させていくかを観察するためのスケール変化追尾機能を追加した。この機能の概要を図5に示す。左図は、尺度空間地形領域の木表現を示しており、各ノードは縮小した九州全体の地図のイメージである。地図上の白領域が尺度空間地形領域であり、最上位が九州領域になっていることがわかる。これに対して S を小さくした2段目では左側に新たな尺度空間地形領域が出現している。この時点で、ユーザが尺度空間地形領域をクリックすると地形領域の色が変わる。更にスケール変化追尾モードに切り替え、S を変化させると対象領域の子孫の尺度空間地形領域（左図中の赤枠で囲んだ領域）のみが赤く表示される。図の右図は、以上の操作をするためのユーザインタフェースを示したものである。地図の左上に2つのスライドバーと、1つのボタンがある。2段目のスライドバーをスライドさせて、適当な S と注目する尺度空間地形領域を選択する。次にボタンを押すとスケール変化追尾モードに切り替わる。この状態で1段目の S を操作すると、注目領域の子孫がどのように変化するかを追尾しながら観測することができる。

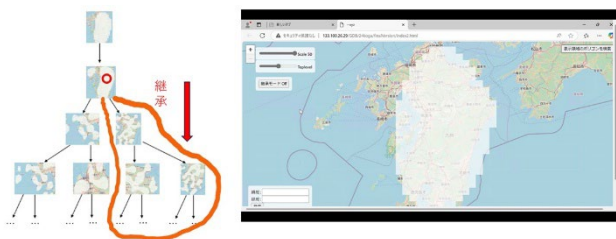


図5 STSD の表示機能の1つ：尺度空間地形領域のスケール変化追尾機能

以上の機能の応用例を図6に示す。図(a)は大きな S で九州全体を表示しており、この S では、日田市および朝倉市が山岳地帯に囲まれた地域であることがわかる。この状態で S を小さくしながら、山岳地帯の一部を注目する尺度空間地形領域として指定し、スケール変化追尾機能モードに設定する。さらに S を小さくしながら、同地域を観測すると、図(b)を得る。中程度の大きさの S (左図) では、山の尾根が大きな尾根から小さな尾根に枝分かれする長期的に形成された自然の形状が観測できる。しかし、更に S を小

さくすると、右図の黒い四角で囲った領域において、枝分かれした尾根の先端付近が分裂して小さな孤立領域になっていることが観測できる。これらの孤立領域は、地すべりや斜面崩壊によって堆積した地形である可能性が高い。

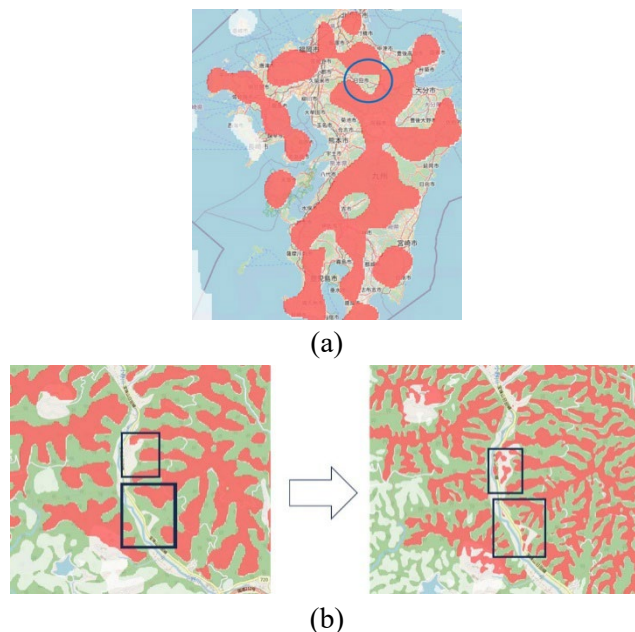


図6. スケール変化追尾機能の応用例

4. フラクタル次元ベクトルの算出と STSD への登録

4.1 フラクタル次元ベクトルの算出の基本概念

各尺度空間地形領域を定義域とし、定義域内の標高値を地域とする関数面を考え、Box カウント法により尺度空間地形領域の輪郭の複雑さと標高変化の複雑さを表すフラクタル次元を計算することができる[3]. 以下に概要を述べる(図7). 図左のように凹凸2値画像と同領域のDEM画像を用意する。図中央のように尺度空間地形領域を定義域、定義域内の標高値を地域とする関数面を考える。ここに立方体(Box)を立体的に敷き詰め、関数面と交差するBoxの数をカウントする。以上のBoxカウントをBoxの一片のサイズが2倍ずつ異なるもので繰り返し、Boxサイズとカウント数の関係からフラクタル次元が算出される。

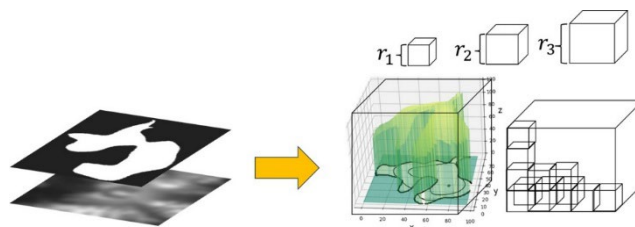


図7. Box カウント法によるフラクタル次元算出の概略

更に、図8のように同じ尺度空間地形領域に対して S を変化させながらフラクタル次元を計算すると複数のフラク

タル次元が得られるので、これらを一つのベクトルとみなして尺度空間地形領域に対する特徴量（フラクタル次元ベクトル）とする。

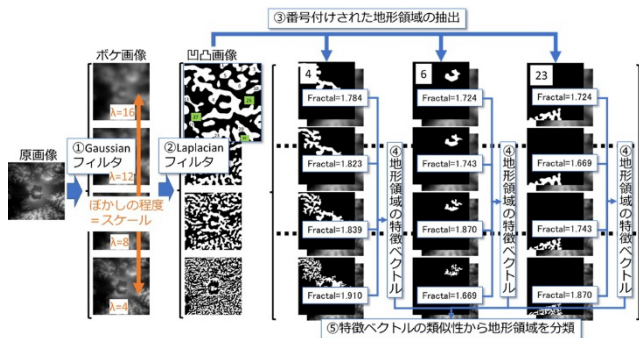


図 8. フラクタル次元ベクトルの生成手順

次に、フラクタル次元ベクトルを尺度空間地形領域の木表現上で計算する手順について述べる。図 9 の左上は、九州領域の例で、これを ROOT とし、S を徐々に下げていくと、複数の尺度空間地形領域に分裂していくので、その枝分かれを木構造で模式的に表している。S=20km のときの尺度空間地形領域の一つ（図では ID を 1 としている）を ROOT とする部分木を同図の右側で示している。領域 1 は、次の S=18 km で二つの領域に分裂した。このことは ID 伝搬処理によって検出できる。そこで、S=18 km では 2 つの尺度空間地形領域にそれぞれ 1/1, 1/2 と ID を付与する。以上の処理を最小の S まで続ける。現在の STSD では、最小の S は 5 m である。

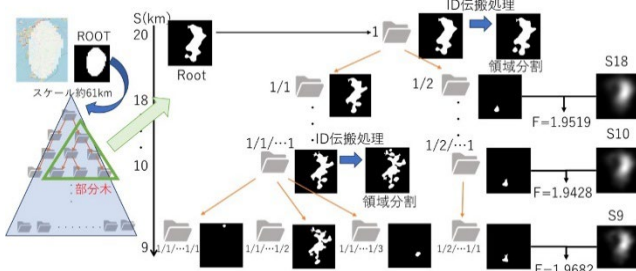


図 9 木表現におけるフラクタル次元ベクトルの計算手順

一旦、S=5m の葉ノードに達すると、次はフラクタル次元を計算しつつ、Box カウントの数値を親に向かって集計する。例えば、S=10km の空間地形領域 1/1/...1 では、自身のフラクタル次元を計算すると同時に、3 つの子から Box カウント数を集めて集計し、自身を ROOT とする部分木において S=9km のフラクタル次元も計算する。結局、空間地形領域 1/1/...1 は S=9,10km に対する 2 次元のフラクタル次元ベクトルを持つことになる。これを繰り返していくと、例えば、尺度空間地形領域 1/1 では、自身のフラクタル次元に加え、自身を ROOT とする部分木の配下から集計してきた Box カウント値を使って S=9~18 のそれぞれにおいて、

配下の全ての尺度空間地形領域からなるフラクタル次元を計算することができ、フラクタル次元ベクトルを得ることができる。最後に尺度空間地形領域 1 も自身のフラクタル次元と配下のフラクタル次元ベクトルを計算して終了する。

以上の手続きは、木表現に対する再帰の手続きで記述することができ、容易に実現できる。STSD-F では、現在 S=50 (61440m) から 26 (960m) までのフラクタル次元数を登録しており、計算にかかった時間は、18 時間 29 分であった。S=1~25 については、S=26 の葉ノードを横探索しつつ、それぞれのノードに前述の再帰処理を適用すればよいが、処理時間の短縮が求められる。

4.2 フラクタル次元ベクトルの算出結果

S=50~26 に対して、各 S でのノード数を図 10 に示す。この結果から S=50 から 45 まで領域が分割した様子が見られなかったが、S=31 から急激にノードの数が増え領域が分割していることがわかる。そして、ツリー構造で生成されたノードの総和は 909 個であった。

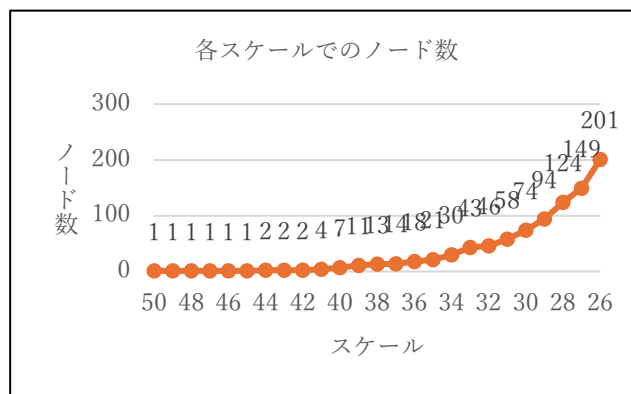


図 10 各スケールでのノード数

また、九州領域のフラクタル次元ベクトルについて求めた (図 11)。その際に計数されたボックスカウント数を図 12 に示す。上位ノードでは比較的ボックスカウントが少ないのに対して、S=26 のボックスのカウント数が 490,251,840 と大幅に増加していることが分かる。

スケール	フラクタル次元数
50	2.043243129164151
49	1.9964345489055872
48	1.9964345489055872
...	...
29	1.9345307995351708
28	1.9964345489055872
27	1.9788605613809533
26	1.9476502542343654

図 11 九州領域のフラクタル次元ベクトル

スケール	ボックスカウント数
50	[8, 56, 222, 861, 2427]
49	[5, 36, 138, 568, 2001, 4941]
48	[6, 41, 162, 632, 2220, 5888]
...	...
29	[112, 440, 704, 3115, 15048, ..., 943376, 3603936, 13918912]
28	[140, 840, 3220, 15540, ..., 24754100, 87132080, 249391800]
27	[302, 1812, 7248, 34428, ..., 56996158, 200736078, 571602044]
26	[241, 1446, 5784, 28438, ..., 49125440, 173046917, 490251840]

図 12 九州領域の各スケールにおける Box カウント数

[10] Leaflet, <https://leafletjs.com/> (2025.1 最終確認)

[11] 地理院タイルについて,
<https://maps.gsi.go.jp/development/siyou.html> (2025.1 最終確認)

5. おわりに

筆者らは地形判読の自動化を目的に尺度空間地形領域を単位とする地理情報データベース STSD を構築している。本稿では、STSD の基本構造と今回追加したデータおよび開発したデータの表示機能について述べた。沖縄や離島等を除いて九州全体をカバーするデータに海域の水深データを含めてデータベース化できた。また、表示機能に特定の尺度空間地形領域に対するスケール変化追尾機能を追加したことによって、多目的な応用が容易になったと考えられる。更に、STSD に尺度空間地形領域ごとのフラクタル次元ベクトルを追加したフラクタル次元ベクトル付き STSD (STSD-F) について述べた。本稿の執筆時点では、スケール 50 (61440m) から 26 (960m) までのフラクタル次元ベクトルを計算している。スケール 26 以降についても、引き続き計算を続けるが更なる計算時間の短縮が求められる。

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 (2020.3) 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.
- [3] 三好, 廣重, 鶴田, 地形判読自動化における地形特徴量としてのフラクタル次元に関する研究, 情報処理学会九州支部火の国シンポジウム, A21-1 (2022 年)
- [4] 廣重法道・安富圭太郎・岡崎 楓・若松弦汰・平野達也・鶴田直之, 尺度空間法による地形分類図の公開データベースシステムの構築, 国際火山噴火史情報研究集会講演要旨集, 2023-2, 4-05, 134-137.
- [5] 野見山夏海: “DEM データに対する画像処理技術を用いた地形判読の自動化に関する研究” 福岡大学工学部電子情報工学科卒業論文 (2022 年)
- [6] 国土地理院ダウンロードサービス,
<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php> (2025.1 最終確認)
- [7] The General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO) グリッド水深データ, <https://www.gebco.net/> (2025.1 最終確認)
- [8] 産業技術総合研究所 地質調査総合センター “桜島火山地質図 (第 2 版) 解説” 第 1 図 「始良カルデラと桜島火山の地形」 (2013 年) ,
https://gbank.gsj.jp/volcano/Act_Vol/sakurajima/fig/fig1-1p.html (2025.1 最終確認)
- [9] PostGIS, <https://postgis.net/> (2025.1 最終確認)