

フラクタル次元を用いた令和 6 年能登半島地震に伴う地形変化の解析

高橋 陽希*・根本 達也*・ベンカテッシュ ラガワン*

Fractal Dimension Analysis of Topographic Changes Caused by the 2024 Noto Peninsula Earthquake

Haruki TAKAHASHI*, Tatsuya NEMOTO* and Venkatesh RAGHAVAN*

* 大阪公立大学大学院理学研究科 Graduate School of Science, Osaka Metropolitan University,
3-3-138 Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-5858, Japan. E-mail: sq25330y@st.omu.ac.jp

キーワード： 地形変化, 令和 6 年能登半島地震, フラクタル

Key words: Topographic Changes, 2024 Noto Peninsula Earthquake, Fractal

1. はじめに

フラクタルは様々な自然科学分野で研究対象とされ、地球科学もその対象である(大野, 1997)。

木村(1998)は3次元 Box-Counting 法(以下, BC 法)のアルゴリズムを作成し、フラクタル次元の算出プログラムを開発した。しかし、対象領域に対する最適なボックスのサイズの検討がされていなかった。また、解析を行う対象領域は正方形の領域に限られていた。そこで、ボックスの大きさを変えてフラクタル次元を算出し、対象領域のサイズに対する最適なボックス一辺の変化幅に関する検討を行い、対象領域が正方形でない地形に対しても使用できるようプログラムを改良した。

また、地形面に大きな変化を及ぼす地震に着目し、地震発生前後のフラクタル次元の変化を確認した。

2. 手法

フラクタル次元の算出方法として、BC 法を用いた。

三次元空間内に三次元格子を設定する。地形面を三次元空間に分布する面として、数値標高モデル(以下, DEM)を用いた。三次元格子の一辺の長さと、DEM が通る三次元格子の個数を計測し、両対数グラフにプロットする。三次元格子の長さを適宜変えると、それに応じて DEM が通る三次元格子の個数も変化する。複数の点が両対数グラフにプロットされ、プロットされた点に対して最小二乗法を用いて回帰直線を求める。この回帰直線の傾きの絶対値が、BC 法によって得られるフラクタル次元に相当する。

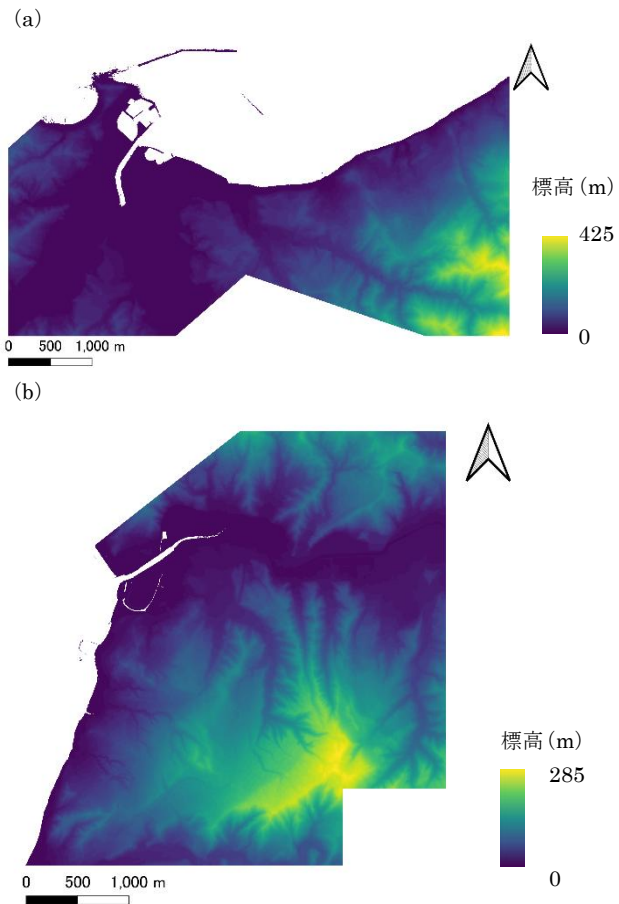
3. 対象地域と使用データ

3.1 対象地域

本研究では、令和 6 年能登半島地震によって隆起が確認された輪島市河井町(第 1 図(a))と門前町(第 1 図(b))を対象とした。輪島市河井町は、河原田川と鳳至川の 2 つの川によってつくられる扇状地地形が中央部にあり、標高の高い地域が南部に見られる。一方、輪島市門前町は北部を八ヶ川が東西方向に流れており、標高の高い地域が東部に見られる。

3.2 使用データ

地震発生前の標高データとして国土地理院基盤地図情報の数値標高モデル 5 m メッシュを、地震発生後の標高データとして国際航業レーザ計測の 0.5 m メッシュを使用した。



第 1 図 輪島市門前町の数値標高モデル
(a) 輪島市河井町 (b) 輪島市門前町

4. 結果と考察

地震発生前のデータに関しては、ボックスのサイズを 5 m から 50 m まで 5 m 間隔または 10 m から 100 m まで 10 m 間隔で設定した。地震発生後のデータに関しては、ボックスのサイズを 1 m から 10 m まで 1 m 間隔で設定したもの、5 m から 50 m まで 5 m 間隔で設定したもの、及び 10 m から 100 m まで 10 m 間隔で設定したものでそれぞれのサイズごとにボックスの個数を求めた（第 1 表）。

河井町と門前町の両地域では、地震発生前より後のほうがフラクタル次元の値が大きい。このことから両地域の地形が地震によって複雑化したと考えられる。また、地震発生前の 2 地域、地震発生後の 2 地域をそれぞれ比べると、ともに門前町のフラクタル次元の方が河井町のフラクタル次元よりも大きい。このことから、河井町より門前町の方が複雑な地形であることが分かる。

第 2 表に、2 地域の領域全体のフラクタル次元の誤差と 2 地域のそれぞれの分割領域ごとのフラクタル次元の誤差を示す。2 地域のフラクタル次元の差を比較すると、最も次元値の差が小さくなるのはボックス一辺のサイズの変化幅が 1 m のものを用いたときであった。このとき、フラクタル次元の値の差は 0.0021 であるが、2 地域のフラクタル次元の標準誤差はフラクタル次元の差分に比べて十分に小さなものである。ゆえに、フラクタル次元の値の差が最小の場合でも有意な差であることが分かる。

最後に、対象地域である輪島市河井町を小領域に分割した地図と、それぞれのボックスサイズを 1 m ずつ変化させたときのフラクタル次元の値を示す（第 2 図）。主に沿岸部分ではフラクタル次元の値が小さくなっている一方、内陸部ではフラクタル次元の値が相対的に高くなっており、最大値は領域 07ED8344 の 2.0297 であった。この領域は周辺のフラクタル次元の値が大きく、沿岸からも離れているが小さな値となった。この領域は河原田川と鳳至川という 2 つの川の合流地点であり、川の終着点であることから平野となっている。凹凸の少ない（複雑でない）領域であるため、周囲と比べて平坦な地形であったことがフラクタル次元の値が周囲と比べ小さくなったと解釈される。

5. おわりに

本研究では、令和 6 年能登半島地震に伴う地形面のフラクタル次元の変化を解析し、地震前後の地形の複雑さを定量的に評価した。フラクタル次元を用いることで地形面の粗さ、自己相似性の度合いを明らかにし、地震による地形変動の影響を理解するための有力な手法であることが示された。また、河井町と門前町において地震前後でフラクタル次元の変化が確認され、地震が地形の複雑化に影響を与えることが明らかとなった。

第 1 表 ボックス一辺の変化幅に対するフラクタル次元

(a) 地震発生前 (b) 地震発生後

ボックス一辺の 変化幅 (m)	地震発生前	
	河井町	門前町
5	2.3652	2.4644
10	2.4154	2.5646

ボックス一辺の 変化幅 (m)	地震発生後	
	河井町	門前町
1	2.0100	2.0121
5	2.3688	2.4694
10	2.4187	2.5722

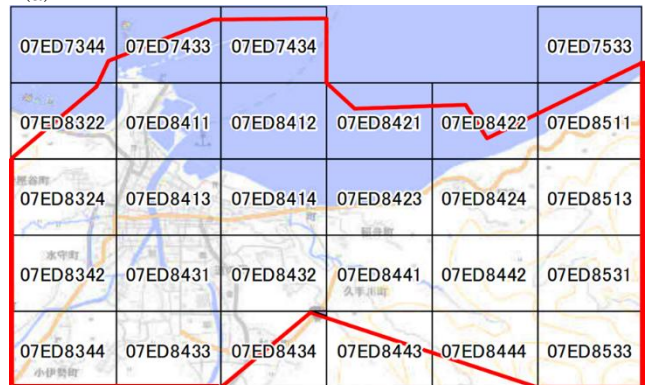
第 2 表 ボックス一辺の変化幅に対するフラクタル次元の誤差

(a) 地震発生前 (b) 地震発生後

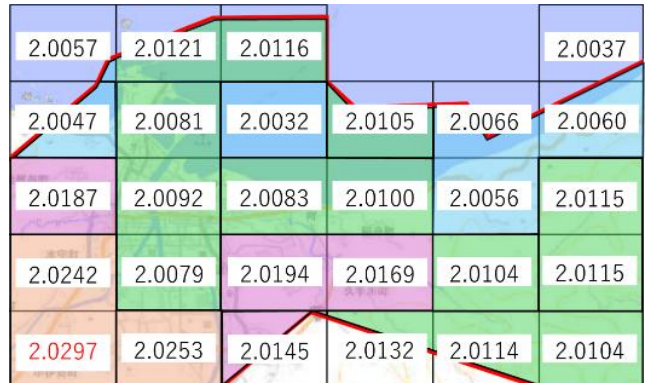
ボックス一辺の 変化幅 (m)	地震発生前	
	河井町	門前町
5	0.0000074323	0.0000798876
10	0.0000020199	0.0000037410

ボックス一辺の 変化幅 (m)	地震発生後	
	河井町	門前町
1	0.0000021020	0.0000034720
5	0.0000228530	0.0000986881
10	0.0000005903	0.0000002051

(a)



(b)



第 2 図 輪島市河井町の分割領域（国際航業レーザ計測）

(a) 分割領域の番号 (b) 分割領域ごとのフラクタル次元の値

フラクタル次元はその地形の複雑さを示す指標であり、地形によってさまざまな値を示す。そのため、異なる地域によるフラクタル次元の変化を比較し、地形の複雑さがどのように変化するかをより広範囲にわたって調査する必要がある。また、地形断面におけるフラクタル次元との比較や実際の谷密度や起伏量等の地形量との比較、フラクタル次元における誤差の影響をさらに検討し、精度を高める方法を模索することも課題である。

文 献

- 木村彰宏 (1998) 地形のフラクタル次元を求めるための 3 次元 Box-Counting 法を用いたプログラムの開発. 大阪市立大学理学部地球科学士論文.
- 大野博之 (1997) 地球科学分野へのフラクタルの応用. 応用地質, Vol. 38, No. 3, pp. 159-173.