

仮想地形のプロシージャル生成

今田 智紀 川崎 博翔

A : 研究目的

架空の地形はゲームや都市計画など様々な分野において利用されている。加えて、近年の仮想現実(Virtual Reality)への注目から今後もその需要は高まっていくと予想される。しかし、デザイナーが一から地形を作るには多大な時間と労力を要する。そこで現在は、コンピュータによる自動生成を用いて地形生成の負担を軽減している。例えば、世界中で人気を博するゲーム「Minecraft」ではパーリンノイズというアルゴリズムを用いて自動で地形を生成している。

しかし、そのようなゲームでは現実ではありえないような形状の地形が生成されていることがある。我々はこのような問題を解消したいと考えた。

本研究では、既存のアルゴリズムを用いて生成した地形の自然らしさ(リアリティー)の評価方法を考えることにより、自然な地形の自動生成の実現を目指す。

B : 研究方法

B.1 地形の自然らしさの評価方法

地形の自然らしさを評価するために地形が何をもち自然かどうかを決める必要がある。そのためまず、地形をいくつか要素に分ける。地形を構成する要素には様々なものがあるが、国土地理院の定義では地形は「形態(どんな形をしているか)」、「形成営力(どのような作用でできたか)」、「形成時期(いつできたか)」、「構成物質(どんな物質で作られているか)」の4つの要素に分けられる。

この中で形成営力、形成時期、構成物質の形態以外の要素はそれ単体では形態と比べてコンピュータグラフィックス(以下CG)での地形のモデリングにおいて、目に見える形での特徴が薄いと考えたため本研究では、形態のみに着目して地形の自然らしさを評価する。

また、「形態」を評価する指標として図形の複雑さを定量的に表すことのできる「フラクタル次元」を採用した。フラクタル次元の解析は図形の解析手法として広く知られており、血管系の画像の次元をフラクタル解析で分析することで心臓の病気を調べることができると、数学だけでなく様々な分野で利用されている。

○フラクタル次元

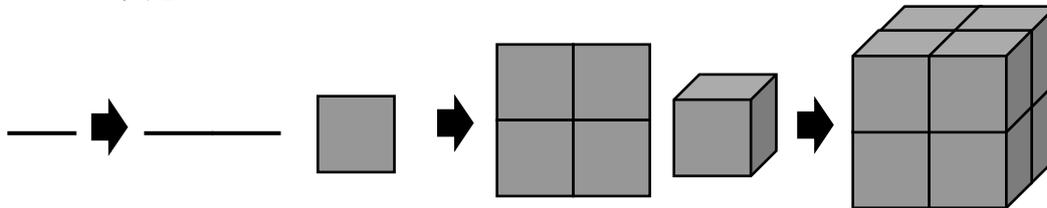


図1 フラクタル次元の算出

線分, 正方形, 立方体を使ってフラクタル次元について説明する。図1のように線分は辺の長さを2倍すると全体の長さはもとの図形の2倍になる。同様に, 正方形は1辺の長さを2倍すると面積はもとの4倍に, 立方体はもとの8倍になる。これはそれぞれ, 2^1 , 2^2 , 2^3 とも表現でき, 乗数1, 2, 3はそれぞれの図形のフラクタル次元を表す。このことから, 図形の1辺を n 倍して N 個のもとの図形ができる場合, その次元数を d とすると, 次の①式が成り立つ。

$$N = n^d \cdots \textcircled{1}$$

また, ①式を変形すると,

$$d = \frac{\log N}{\log n}$$

となり, フラクタル幾何は非整数の値をとり, これを利用して図形の複雑さを表すことができる。

B.2 本研究の各種技法

○ボックスカウント法

純粋なフラクタル幾何であれば, そのフラクタル次元を原理から求めることは可能だが, 実際の図形のフラ

クタル次元を計算で求めることは困難である。そこで、フラクタル次元を近似的に求める手法としてボックスカウント法（以下BC法）が広く知られている。

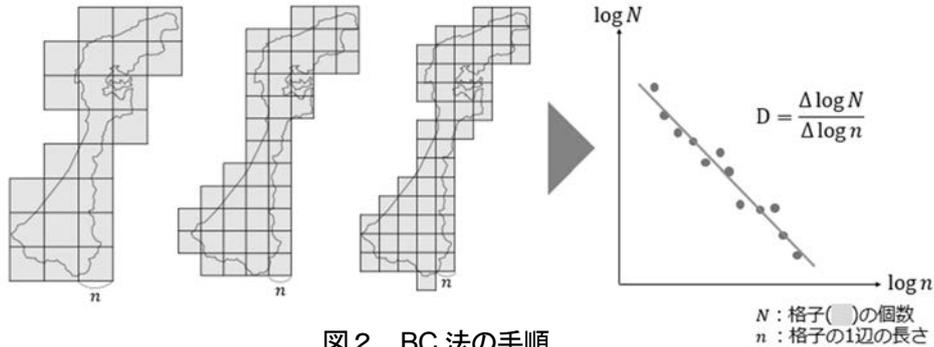


図2 BC法の手順

<BC法の手順>

- (1) フラクタル次元を求めたい図形を格子で覆う。
- (2) 図形と重なる格子の数を数える。
- (3) 格子の大きさを変化させながら同様に格子の数を数える。
- (4) 数えた格子の数と格子の大きさの両対数をグラフにプロットし、直線回帰を行う。
- (5) その直線の傾きの絶対値がフラクタル次元となる。

○中点変位法

中点変位法はフラクタル地形を生成するための手法の1つである。フラクタル地形とは、自己相似性を持った地形のことを指し、自然界に存在するものの例としてリアス式海岸の海岸線があげられる。

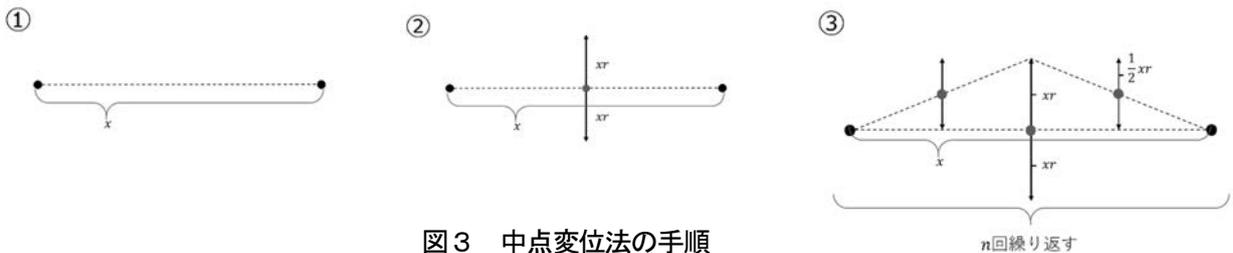


図3 中点変位法の手順

<中点変位法の手順>

- (1) 適当な2点を用意し、その中点をとる。
- (2) 入力値である乱雑度 r の値を用いて範囲を決定し、中点をその範囲で上下にランダムに配置する。
- (3) 配置した位置から点を結びさらに中点をとる。
- (4) 前の半分の範囲でこれらの中点も上下にランダムに配置する。
- (5) (3)(4)の手順を繰り返す。

なお、図2, 3では説明のために2次元の図形を使っているが、実際にはBC法であれば正方形の格子ではなく立方体を使い、中点変位法であれば中点変位法を3次元に応用したダイヤモンドスクエア法を使っている。また、これらの手法はPythonによるプログラムを用いて利用した。

本研究で用いた地形生成プログラムには乱雑度と分割回数の2つの引数がある。乱雑度とは、中点変位法で点をランダムに配置する範囲を決定するための定数である。これは地形の幅に対する高さの比とも考えられる。分割回数は多いほど精度の高い地形が作ることができるが、その分指数関数的に実行時間が長くなる。本研究では、分割回数は6回に固定した。

B.3 実験I：現実地形のフラクタル解析

中点変位法で作成した地形の自然らしさを評価するために、現実の地形のフラクタル次元を求める。また、権利上の問題から日本の地形のみを対象とする。以下に実験の手順を示す。

- (1) 現実の地形を大起伏山地、小起伏山地、成層火山、溶岩ドーム、丘陵、段丘の6つに分類する。
- (2) それぞれの地形区分から4つずつ地形を選び、国土地理院から4km四方の範囲で地形データをダウンロードする。なおこの時、データが偏らないように一つの地形からもできるだけ多くのデータをダウンロードする。

- (3) 作成した BC 法プログラムを用いて、ダウンロードした地形データのフラクタル次元を求める。
- (4) 各地形区分のフラクタル次元の代表値を決定する。本実験では、それぞれの地形区分のフラクタル次元の平均値を代表値とする。

B.4 実験Ⅱ：各地形の乱雑度の計測

実験Ⅰで求めたフラクタル次元は、そのまま地形生成プログラムに用いることはできない。そのため、地形生成プログラムに用いる乱雑度に変換する必要がある。この実験では各地形区分に当てはまる乱雑度の値を求める。以下に実験の手順を示す。

- (1) 乱雑度の初期値を 0.5 に設定する。
- (2) 地形を 30 個生成し、BC 法でフラクタル次元の平均値をとる。
- (3) 現実地形のフラクタル次元と比較し、数値が離れているときは乱雑度を調整して(2)をもう一度行う。
- (4) 生成した地形のフラクタル次元の平均値が現実地形のフラクタル次元の $\pm 0.5\%$ の範囲に入るまで(3)の処理を繰り返す。

これを各地形区分 3 回ずつ行った。

C：得られた結果

C.1 実験Ⅰ：現実地形のフラクタル解析

地形区分	地形名	フラクタル次元	代表値
大起伏山地	赤石山脈(9)	2.6218	2.6788
	飛騨山脈(9)	2.6815	
	日高山脈(6)	2.6832	
	紀伊山地(3)	2.6394	
小起伏山地	阿武隈山地(4)	2.5303	2.5786
	北上山地(4)	2.5903	
	北見山地(5)	2.5784	
	中国山地(7)	2.5998	
成層火山	浅間山(2)	2.5769	2.6227
	阿蘇山(4)	2.6255	
	北海道駒ヶ岳(2)	2.6692	
	十勝岳(3)	2.6185	
溶岩ドーム	硫黄山(2)	2.6729	2.6619
	羅臼岳(2)	2.6684	
	昭和新山(2)	2.6088	
	雲仙岳(2)	2.6973	
丘陵	房総丘陵(6)	2.3359	2.3128
	奥能登丘陵(2)	2.3089	
	宗谷丘陵(6)	2.3451	
	宇都宮丘陵(2)	2.1505	
段丘	函館段丘(2)	2.4215	2.3526
	松本盆地(2)	2.1678	
	沼田段丘(2)	2.3595	
	信濃段丘(2)	2.4620	

()内の数字はそれぞれの地形からとったデータ数を示す。

C.2 実験Ⅱ：各地形の乱雑度の計測

地形区分	1 回目	2 回目	3 回目	平均値
大起伏山地	0.3365	0.2707	0.2953	0.3008
小起伏山地	0.1906	0.1649	0.1745	0.1767
成層火山	0.2390	0.2377	0.2194	0.2320
溶岩ドーム	0.2490	0.2555	0.2266	0.2437
丘陵	0.0554	0.0561	0.0562	0.0559
段丘	0.0778	0.0627	0.0744	0.0716

D：考察

実験IIで求めた乱雑度を用いて地形のサンプル(図)を生成した。現実の地形(図)の画像と比較すると、似た形状の地形となっているためこの結果は妥当だといえる。

しかし、表2から成層火山と溶岩ドームの乱雑度は同程度の値を持つことがわかる。したがって、これらの地形の違いを表現するためには、今回着目した形態だけでなく、ほかの要素にも着目する必要がある。しかし、形態以外の要素はそれ単体では特徴が薄いので今後は、複数の要素を組み合わせることで評価を行っていく。

また、中点変位法で生成した地形は図のように表面がとがったような形状になっており、自然とは言い難い。そのため今後は、地形の平滑化のための処理を行っていく予定である。地形の平滑化には接峰面という考え方が多く利用されている。接峰面とは地表の一定区間内ごとの最高点に接する仮想面のことで、小規模な谷や尾根を無視したまだ浸食されていない地形の原型とも考えることができる。

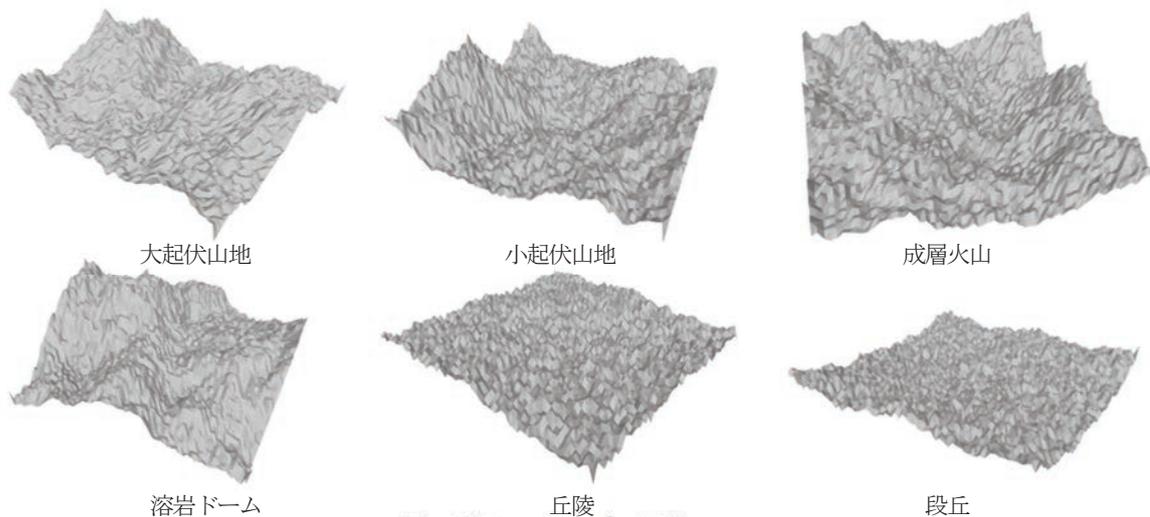


図 地形のサンプル画像

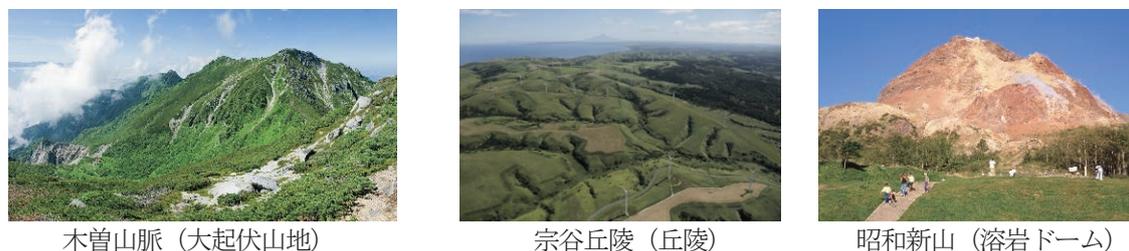


図 比較画像

E：結論

本研究では、地形生成アルゴリズムとフラクタル次元を利用して現実の地形と似た形状の地形を自動で生成することに成功した。しかし、今回用いた手法だけでは成層火山と溶岩ドームのように違いが表現できなかったものもある。また、用いた地形生成プログラムでは表面の不自然な尖りなど課題が残る。今後は、これらの課題の解消のためプログラムの改良や新たな手法の模索などを行っていく予定である。

F：謝辞

この研究を指導してくださった木村晋也先生をはじめ、高松第一高等学校の先生方に厚く感謝申し上げます。

G：参考文献

- 1.自然景観のパラメトリックな自動生成 著：岡 倫弘, 島田 英之, 塩野 充, 宮垣 嘉也
- 2.ボックスカウント法によるフラクタル次元解析を3次元でやってみた 著：Tsuboi Joji
<https://qiita.com/JojiTsuboi/items/c0939ff02a5fc5b76279>
- 3.表面粗さ曲線のフラクタル解析 著：児野 武郎
- 4.国土地理院地図 地理院タイル <https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>
- 5.The Diamond Square Algorithm <https://learn.64bitdragon.com/>