

岩場景観のビジュアルシミュレーション法に関する研究

伊 藤 智 也*

Visual Simulation of Rocky Scenery Taking into Account Joints

Tomoya ITO*

Abstract

Research on methods for representing natural objects and phenomena by computer graphics (CG) has been steadily broadening the scope of represented objects in recent years. Among such research, visual simulation of rocky scenery is an important issue that has a wide range of applications related to visual contents, such as in landscape simulation. In the early days of research on terrain scenery representation, a great deal of techniques for representing terrain shapes and rocky textures mainly using noise generation methods such as the midpoint displacement method and FFT were reported. In the natural rocky scenery, cracks called “joints” are an important visual feature. After cracking base rocks by joints, the change of the rock shapes according to some factors, such as eliminating rock pieces by weathering or moving by gravity, determines the consequent rocky scenery. In order to create such rocky scenery, in this paper, we propose a rocky scenery modeling method based on joint formation and rock elimination/movement simulation.

Keywords: Computer Graphics, Visual Simulation, Rocky Scenery, Terrain Modeling

1. はじめに

コンピュータグラフィックス (CG) による自然物・現象の表現法は、景観シミュレーション、映画の SFX、アニメーション、マルチメディアコンテンツ、バーチャルリアリティなどに多くの応用を持つ重要なテーマであり、近年、表現対象を着実に広げている。しかしながら、自然景観の基本的な構成要素である岩場景観の表現法に関する報告例は少ない。この分野の初期において、中点変位法や FFT によるノイズ生成法など確率過程に基づく架空の地形の表現法について活発に研究されたが、構造的に様々な様相を見せる“自然な岩場”の表現には至っていない。[1, 2, 3, 4, 5]

自然の岩場形状では、節理と呼ばれるひび割

れ形状が重要な役目を果たしており [6]、このような岩場形状を生成するためには、節理の生成に基づいた岩場の形成シミュレーション法が有効であると考えられる [7]。

本報告では、岩盤に発生する節理および風化・侵食を考慮した岩場地形の形状モデリング法を提案する。

2. 岩場地形を形成する要因

本研究の表現対象である岩場地形の生成要因について、文献[8] [9]に基づきまとめておく。岩場地形を形成する要因には節理形状、岩盤の風化作用・侵食作用などがある。

2.1 節理

岩盤には種々の不連続面や潜在的な弱面がある。このうち、面で接する岩盤間において、面に平行な方向への変位が全く無い場合か、あつ

平成 17 年 12 月 16 日受理

* システム情報工学科・助手

たとしてもごくわずかなものを節理と呼ぶ。節理は地形形状を形成するための主要因と考えられている。

2.2 岩盤の風化・侵食

地上に露出する岩盤は風化現象により表面が崩れていく。風化の作用は大きく物理的風化作用と化学的風化作用の2つに分けられる。

- ・物理的風化作用：地表に露出する岩盤の表面が外気の冷熱によって互いの結合を緩め、ひずみが生じ、表面にひび割れが生ずる作用。岩石はひび割れた面で分割され、崩れやすくなる。
- ・化学的風化作用：水の影響によって岩石が化学変化することによる侵食作用。

2.3 節理構造の分類

節理には、火山岩の冷却の際にできるものと、地殻に作用する応力によるものとがあり、後者の節理がより多くみられる。節理には、割れ方の規則性や割れ目のでき方によって「柱状節理」「方状節理」「板状節理」などがある。本手法では「方状節理」を対象とした。

3. 岩場地形の形成シミュレーション法

2章で述べた生成要因を考慮し、本手法での岩場地形の形成法を示す。本手法では、地形データは濃度値を持ったボクセルで表現する。ボクセルは隣接する6近傍のボクセルと連結している(図1)。個々のボクセルが持つデータは、

- ・隣接する6格子との連結情報
- ・グループ番号

である。

3.1 節理モデル

実際の節理の形状は明らかにすることは困難である。本手法では、節理をシンプルな形状として扱うため、円盤で表すことにした[6]。ここで、円盤の法線を節理の方向、直径を節理長

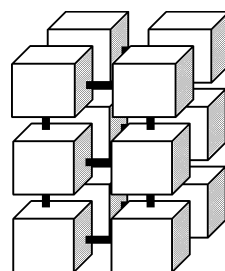


図1 ボクセルの連結状態

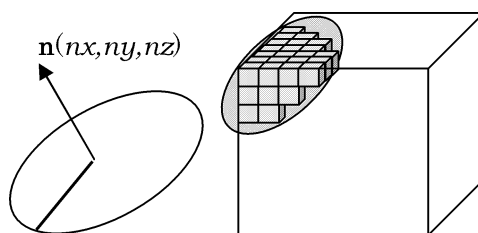


図2 左：円盤型で定義された節理
右：円盤によるボクセルの分割

と定義する。節理による岩盤の割れ目は、生成された円盤に接するボクセルの連結を切断することにより表現する(図2)。

3.2 節理長、分布の特徴

岩盤内の節理の平面的な広がりを測定した例はなく、これまでは露頭や空洞壁面での亀裂のトレース長により評価されてきた。一般に1つの節理群の分布は特定の方向に卓越して存在し、発生個数はスケールの大きいものは少数で、スケールの小さな節理は多数発生する[6]。このため、各節理群に平均節理長、節理個数を定め、節理長の分布形を指数分布と仮定して、次式によって節理長(円盤の半径)を求める。半径が0や、極端に大きな節理の発生は適ではないので、節理の半径には最小値・最大値を設定した。

$$r = -m \log x \quad (1)$$

r : 円盤の半径, m : 平均節理長,
 x : ランダムな値 (ただし, $0 < x < 1$)

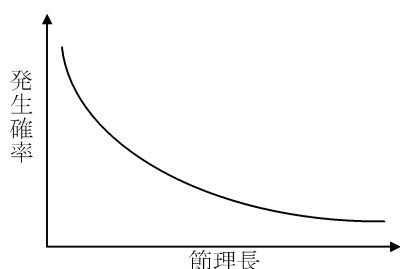


図3 節理長と発生確率

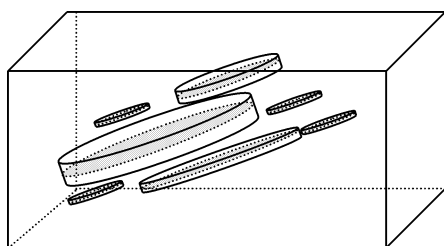


図4 節理の分布例

一般に見られる節理では、規模の大きなものは分布が疎であり、規模が小さなものは密である。これを表現するため、節理のための円盤(節理円盤)に節理長に応じた厚さを持たせ(図4)、厚みの内側の領域を禁止領域として、同じ節理群の他の節理は生成できないものとした。すなわち、節理円盤の候補となる円盤(候補円盤)を、岩盤を定義した3次元空間内にランダムに発生させ、候補円盤が他の節理円盤と交差していないとき、候補円盤を新たな節理円盤として設定するものとする。

これにより、規模の大きな節理の近くには他の節理は生成されないため粗に、規模の小さな節理は反対に密に生成されるようになる。

3.3 ボクセルのグループ化

地形データは節理によって分割される。分割によって生じた岩石の固まりを求めるため、節理面で切断されたボクセル群を幅優先探索によりグループ化する。グループ化されたボクセル群をブロックと呼ぶことにする。図5にグルー

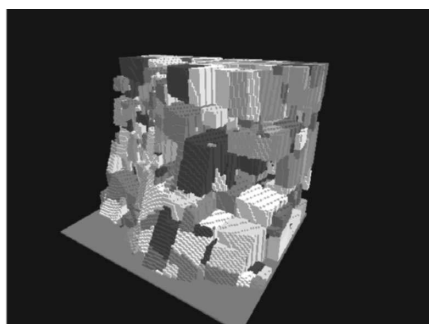


図5 ボクセルのグループ化

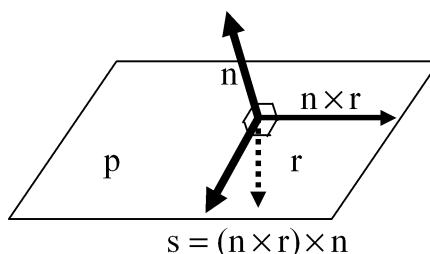


図6 1面によるすべり方向

プ化後のブロックを色分けした図を示す。

3.4 ブロックの滑落条件

弱面が関与する破壊は、その面の方向や傾斜角に強く依存する。本手法では、各ブロックが滑落するのに必要な幾何学的条件を考慮し、各ブロックを移動させることにより岩石の破壊を表現する。

(a) 落下による移動

他のブロックの移動により、ブロックの直下に空間が発生した場合、そのブロックを垂直に落下させる。

(b) 1面すべりによる移動

1面すべりは、ブロックの1つの面がすべり面となってすべるものである。1面すべりにおけるすべり方向 s は、 r を重力方向、 n を面 p の法線ベクトルとすると、次式で表される(図6)。

$$s = (n \times r) \times n \quad (2)$$

(c) 交線すべりによる移動

ブロックが互いに平行でない2つの面に沿ってすべるとき、そのすべり方向は2つの面の交線とおなじ方向である。 n_1 と n_2 をそれぞれ節理面 P_1 , P_2 の法線ベクトルとすると、滑り方向 s は式 (3) のように $(n_1 \times n_2)$ か、あるいは $(-n_1 \times n_2)$ となる。ブロックの滑る方向は、重力方向とのなす角度が小さい方 (90° 以下) を選ぶ (図 6)。

$$s = n_1 \times n_2 \quad (3)$$

本手法では、すべての滑り方向を計算し滑落方向ベクトルのリストを作成する。各ブロックについて水平方向からの傾斜角が大きいものから落下・滑落が起こるかを探索する。

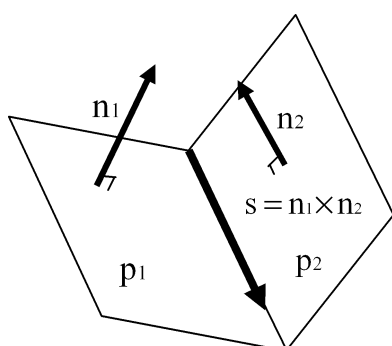


図7 交線すべりのすべり方向

3.5 岩場地形生成アルゴリズム

岩場地形の生成アルゴリズムを以下にまとめる。

- Step 1: 初期地形形状を入力する。
- Step 2: 初期地形をボクセルデータに変換する。
- Step 3: 初期地形が定義されている空間内で節理を生成する。
- Step 4: 生成された節理によってボクセルの連結を切断する。
- Step 5: 連結を切断されたボクセルを幅優先探索によりグループ化し、ブロックを求める。
- Step 6: 次の Step 6-1 と 6-2 を、移動すべきブロックがなくなるまで、あるいは、指定された回数繰り返す。
 - Step 6-1: 全ブロックに対し、落下方向、すべり方向について探索し、落下・滑落可能なブロックのリストを作成する。
 - Step 6-2: 落下・滑落可能なブロックのリストの中からランダムに複数個選択し、移動処理を行う。移動の結果、地形の定義領域外へ移動したブロックは除去する。

表1 シミュレーション例で用いた節理のパラメータ

| 生成パターン | 節理群 | nx | ny | nz | 平均半径 | 最小半径 | 最大半径 | 発生数 |
|--------|-----|------|-----|-----|------|------|-------|-----|
| 節理 A | 1 | 0.0 | 0.1 | 1.0 | 30.0 | 1.0 | 100.0 | 50 |
| | 2 | 1.0 | 0.2 | 0.0 | 30.0 | 1.0 | 100.0 | 50 |
| | 3 | 1.0 | 2.0 | 0.0 | 30.0 | 1.0 | 100.0 | 50 |
| 節理 B | 1 | -1.0 | 0.1 | 1.0 | 10.0 | 1.0 | 100.0 | 120 |
| | 2 | 0.6 | 0.5 | 0.1 | 5.0 | 1.0 | 100.0 | 150 |
| | 3 | 0.1 | 1.0 | 0.2 | 20.0 | 1.0 | 100.0 | 150 |
| 節理 C | 1 | 0.2 | 0.1 | 1.0 | 20.0 | 5.0 | 100.0 | 300 |
| | 2 | 1.0 | 0.2 | 0.1 | 30.0 | 5.0 | 100.0 | 250 |
| | 3 | 0.1 | 1.0 | 0.1 | 20.0 | 5.0 | 100.0 | 300 |

4. シミュレーション例

提案手法による岩場地形の形成シミュレーション結果を示す。

表1にシミュレーションに用いた節理のパラメータを示す。用いたボクセルは $64 \times 64 \times 64$ である。図8, 9, 10は表1で示されたパラメータによるシミュレーション結果である。シミュレーションに用いた座標系は右手系, 長さの単位は1ボクセルの幅である。

一般的な方状節理は卓越した3方向により岩盤が切り出されているため, 節理のパラメータ

設定において, 卓越した3方向を手動で設定した。図8aは節理A, 図8bは節理Bを用いて生成した例である。それぞれ1ステップは100ブロック除去した時とする。

図9はシミュレーションに $100 \times 256 \times 50$ のボクセルを用いて節理Cを生成した例である。節理Cすべてを図10(上)の初期形状に適用したところ8,459のブロックに分割された。

図10(中)は1,400ブロックを除去後, (下)は2,000ブロックを除去後の形状である。初期形状が単純であっても, 複雑な岩場状の形状が生成できることが分かる。

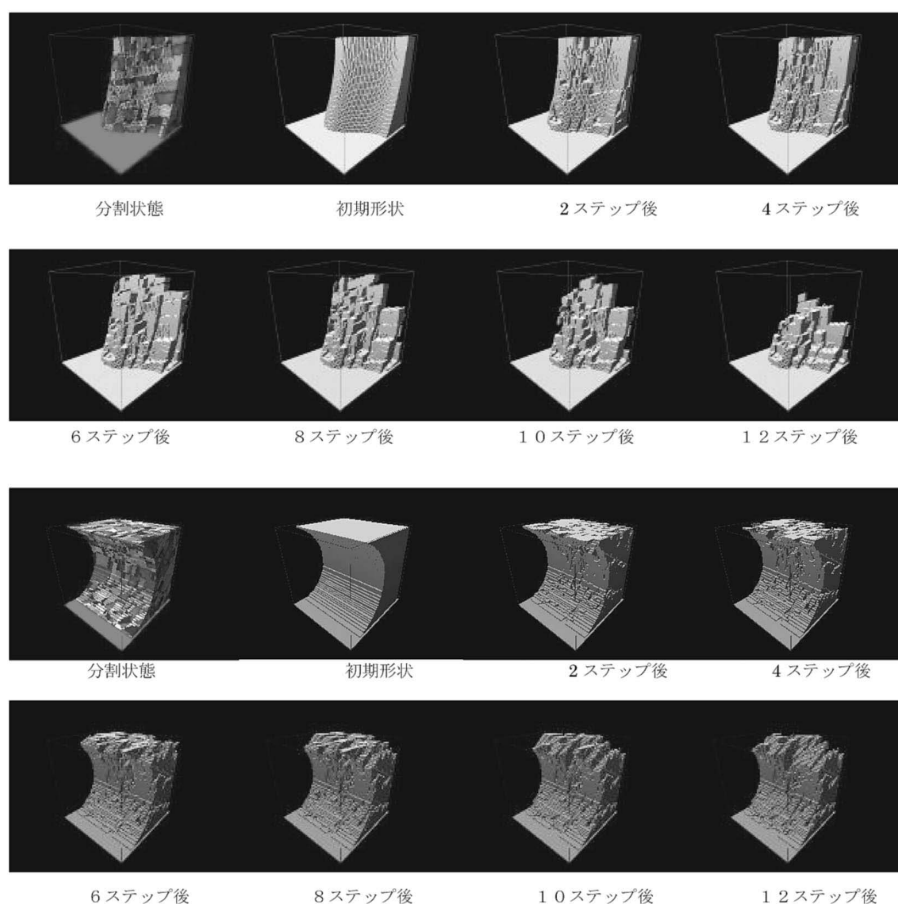
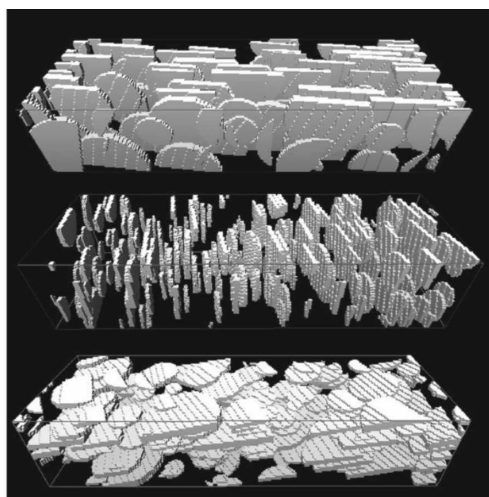


図8 表1のパラメータを適用したシミュレーション結果
(a): 節理Aの適用結果 (b): 節理Bの適用結果
(a), (b) それぞれの左上の画像は初期形状のグループを表している



(上) 節理群1
(中) 節理群2
(下) 節理群3

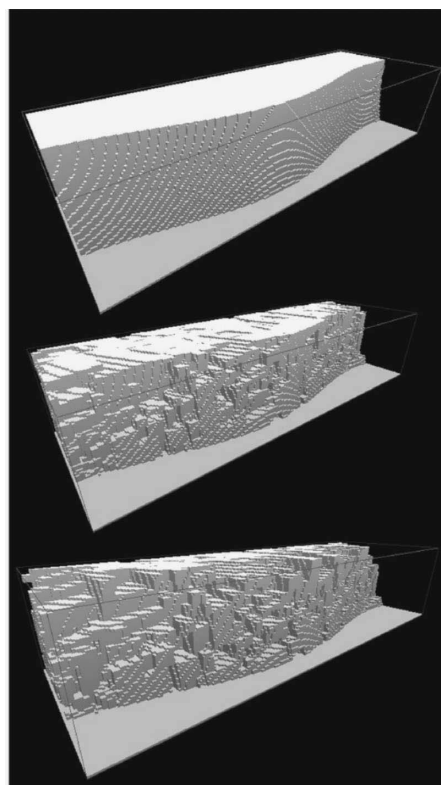
図9 節理群の生成例

ブロックの除去時間は1,400ブロックでおよそ4時間,2,000ブロックでおよそ7時間であった。1つのブロックを移動したことにより,その周りのブロックが移動可能になり,さらにその周りのブロックも移動可能になるというように,連鎖的に移動処理が必要となることがあるため,ブロック数が増えるとブロック除去時間は増大する。本シミュレーションでは,(CPU:Pentium4 1.7 GHz,メモリ:512 MByte)を使用した。

図11に岩場景観画像への適用例を示す。岩場の表面はポリゴンで定義されている。ポリゴンは,ボクセルデータに対して空間フィルタを施し,その等濃度面として求めた。なお,等濃度面をポリゴンに変換する方法には4面体格子法[10]を用いた。

5. む す び

自然の岩場地形に見られる節理に注目し,節理生成と風化作用を考慮した,岩場形状の形成シミュレーション法を提案した。また,手法の



(上) 初期形状
(中) 1400ブロック除去後
(下) 2000ブロック除去後
図10 風化シミュレーション

効果をシミュレーション例により示した。

今後の課題としては,ブロック除去処理の高速化や他の地形形成要因のモデル化,「柱状節理」や「板状節理」を考慮したモデルへの拡張,岩場景観画像生成に適したテクスチャの生成法,およびレンダリング法の開発などが挙げられる。

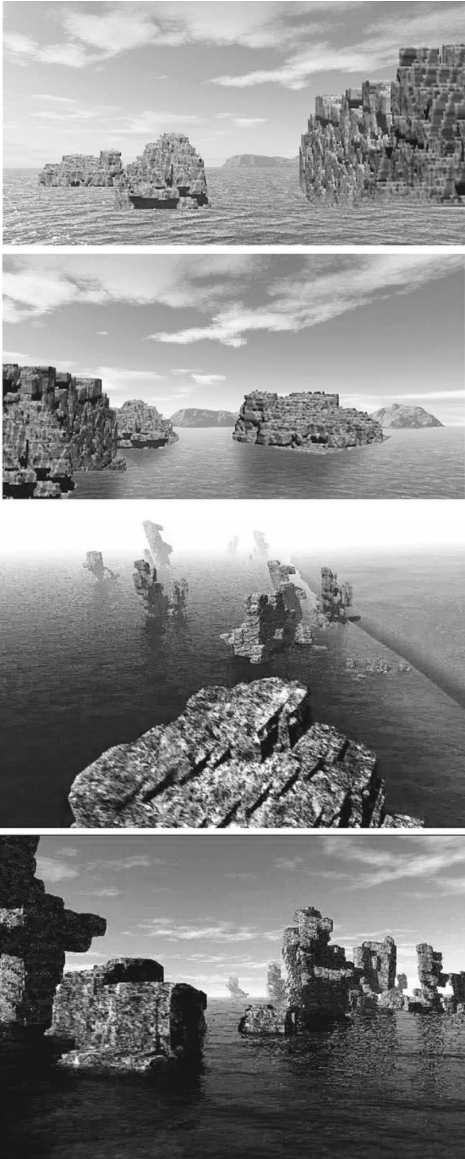


図 11 岩場景観画像への適用例

参考文献

- [1] K. Anjyo: "A Simple Spectral Approach to Stochastic Modeling for Natural Objects", Proc. Eurogr. APhics '88, pp. 285-296, 1988
- [2] 中嶋正之, 宮田一乗, 安居院猛: 三次元自然形状の疑似符号化について, 情報処理学会研究会資料, グラフィクスとCAD, pp. 20-1, 1986
- [3] 中嶋正之, 宮田一乗, 安居院猛: フラクタル次元に基づくデジタル図形の疑似符号化について, 信学技報, IE85-13, 1985
- [4] Voss, R.F.: Random Fractal Forgeries, Fundamental Algorithms for Computer Graphics, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 805-835, 1985
- [5] Fournier, A., Fussell, D. and Carpenter, L.: Computer Rendering of Stochastic Models, C. ACM, Vol. 25, No. 6, pp. 371-384, 1982
- [6] 大西, 鍵本: 岩盤割れ目性状の評価方法に関する一考察, 土木学会論文集 400 号, pp. 29-38 (1988/12)
- [7] 武田 哲: 岩場の CG シミュレーションに関する基礎的研究, 平成 3 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, pp. 321
- [8] R.J. チョーレー, S.A. シャム, D.E. サグデン. 大内俊二訳: "現代地形学", 古今出版
- [9] 三木幸蔵, 古谷正和: "土木技術者のための岩石・岩盤図鑑", 鹿島出版会
- [10] 土井, 小出: 等関数値曲面生成のための 4 面体格字法, 第 3 回 NICOGRAPH 論文コンテスト論文集, pp. 55-61 (1987)