

地形形成過程理解へのグラフィックシミュレーションの応用 —海成段丘形成シミュレーションを例として

Application of Graphic Simulation for Education of Geomorphologic Processes: A Case Study of Marine Terrace Simulation

蒔苗耕司(宮城大学・事業構想学部)

Koji MAKANAE (School of Project Design, Miyagi Univ.)

キーワード:シミュレーション, 海成段丘, 海食, 教育, CG

Keywords: Simulation, Marine terrace, Marine erosion, Education, CG

1. はじめに

地形理解において, その地形の形成過程を知ることは極めて重要である. 一般に地形理解には, 主に紙媒体による教科書が利用されてきた. しかし, 地形面は長い地質時間における様々な営力の総和として表されるものであり, 静的資料のみによる理解が難しいという問題がある. このような問題に対して, 近年では動的な資料としてアニメーションが, ビデオやCD-ROM, インターネット等の媒体より提供されるようになってきた. 一方, 近年では教育現場へのパーソナルコンピュータの普及も進み, 物理現象等をコンピュータ上でシミュレートするインタラクティブなソフトウェアが提供され, 教育での利用も増えてきた. 同様の手法は自然地理学における教育においても有効であると考えられる.

著者は海成段丘の形成過程を示すシミュレーションに関する研究を行っているが(蒔苗, 2003), 海成段丘の形成には, 時間に対する内的営力, 外的営力, 海水準変化等の要因が密接に絡み合っており, その形成過程の理解が難しい地形の一つであるということが出来る. そこで, 本稿では地形形成過程理解の例として海成段丘を取り上げ, シミュレーションシステムの概要について示すとともに, その自然地理教育への応用について述べる.

2. 海成段丘形成シミュレーションの概要

2.1. 従来の研究

海成段丘に関するこれまでの研究では, 隆起速度と海面変化との関係から海成段丘の形成を述べたものは多いが, 海食作用との関連を述べたものは少ない. 砂村(1972)は, 海食作用と大陸棚の形成についてのシミュレーションを行っているが, 海成段丘との関連を述べたものはほとんどない. これは海食作用の変化を示す証拠が得られないこと, 海食作用が主に工学的分野, 海成段丘の形成が主に理学的分野という異なった分野で検討されているという研究上の背景も原因していると考えられる.

2.2. シミュレーションの条件

今回のシミュレーションは, 海食作用の卓越する地域における海成段丘の縦断面形の算出を対象とする. 段丘の縦断面形に関するシミュレーションを行うにあたって, 定義すべき条件として, 原地形, 隆起速度, 海食速度, 海面高度がある.

a) 原地形

現地形を正確に復元することは困難であることから, ここでは任意の勾配を有する一次直線により定義する.

b) 隆起速度

第四紀を通じて地殻変動の様式・量は大きく変わっていないという考えに基づき, 隆起速度は一定とする.

c) 海食速度

段丘崖の後退速度(海食速度)は, 崖の高度には依存しないが(Sunamura, 1983), 岩質により異なる(貝塚, 1969). また, 海食速度の時間的変化については明らかになっていないことから, ここでは海食速度は一定であると仮定する.

d) 海面高度

海面高度は町田ほか(1980), Chappell and Shackleton(1986), Chappell(1994)の3種類の曲線を適用した. 町田ほか(1980)の海面変化曲線では高海面期のみが描かれているので, 最低海水準を-100mと仮

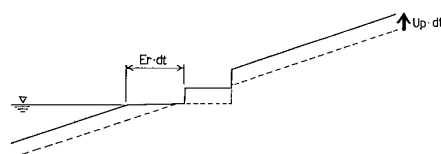


図1 シミュレーションモデル

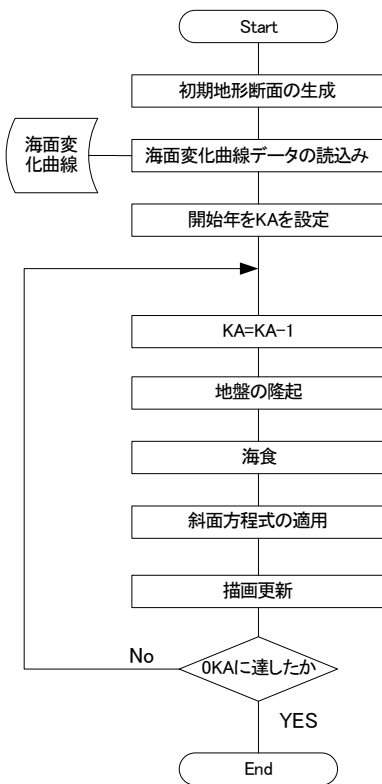


図 2 海成段丘シミュレーションフロー図

定して曲線を追加した. また Chappell and Shackleton (1986) の海面変化曲線は 150 KA 以降しか記載がないので, それ以前は町田ほか(1980)の曲線を結合して 200 KA 以前の海面高度を得た.

2.3. シミュレーションの方法

シミュレーションの計算間隔は 1 KA とした.

図 1 に示すように, 隆起速度 U_p に対し単位時間 dt 間に隆起させた地形面が海面高度に達した地点から, 海食速度 E_r だけ海水面レベルで地形を水平に後退させる. 従って汀線の x 座標値は, 海面高度と地形との交点の x 座標値 x_1 (ただし $x_1 \leq 0$) に海食速度 E_r (ただし $E_r \geq 0$) を加えた値 $x_1 + E_r$ となる. この計算を繰り返すことにより, 海成段丘の縦断面を得る.

斜面変化の数学的な解法として熱伝導方程式を適用できることが明らかとなっている. そこで下記の平野 (1966a, b) の斜面方程式を離水後の縦断面に適用する.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = k \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + g(x, t) \quad (1)$$

ただし, u : 高度, x : 位置, t : 時間, k : 拡散係数 (0~0.5), $g(x, t)$: 地殻変動量.

この際にも $dt = 1$ KA として差分を行い, 計算値を得た. 図 2 にシミュレーションのフロー図を示す.

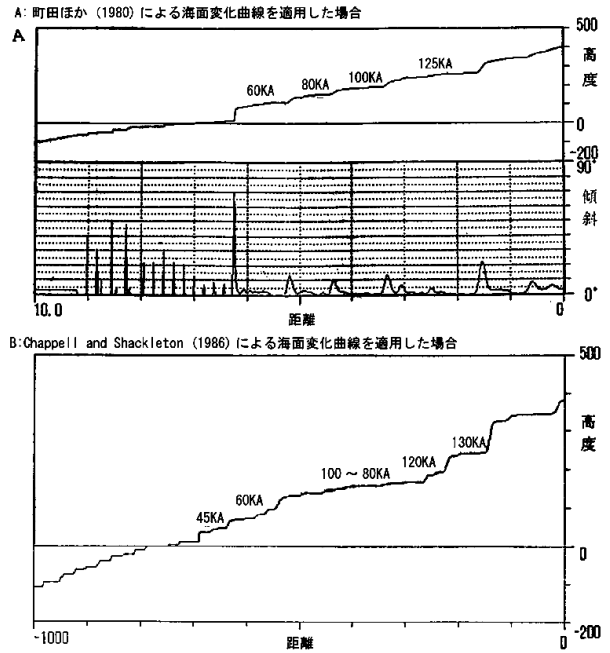


図 3 シミュレーションによる得られた段丘縦断面

隆起速度 2 m / KA , 海食速度 20 unit / KA , 初期地形 $y=0.5x$

2.4. シミュレーションにより形成された縦断面の評価

図 3 の縦断面形は, 初期地形 $y = 0.5x$, 隆起速度 2 m / KA , 海食速度 20 unit / KA (unit はシミュレーション空間における水平距離の長さの単位) の条件下で得られた縦断面である. その断面形は室戸半島で得られている実際の縦断面 (吉川ほか, 1964) にかかなり類似しており, 旧汀線高度についてもほぼ一致している.

図 4 に隆起速度, 海食速度の違いによる各段丘面の広さ (縦断長) を示した. 同じ隆起速度であっても, 各段丘面の広さに大きな差が生じることが明らかである.

これまでの研究においては, 下末吉期の段丘よりも下位の段丘として 80 KA, 60 KA の段丘が顕著に発達すると考えられているが, 今回のシミュレーションでは隆起速度が速くなるほど (1 m / KA 以上), 100 KA 段丘の発達が良くなるという結果を得た. 近年の火山灰層序学の知見から, 段丘面の形成年代が各地で確定されてきているが, 必ずしも下末吉期の段丘面が広く発達しているとは限らない. 一方, 例えば三浦半島のように隆起が激しい場所では 100 KA の段丘面が広く分布している場合があり, シミュレーションの結果はこのことと合致している.

3. 教育用インターフェースの構築

3.1. GUI の設計

ここでは, 2. で述べた海成段丘形成シミュレーションの自然地理学教育用教材への応用を考える. シミュレーシ

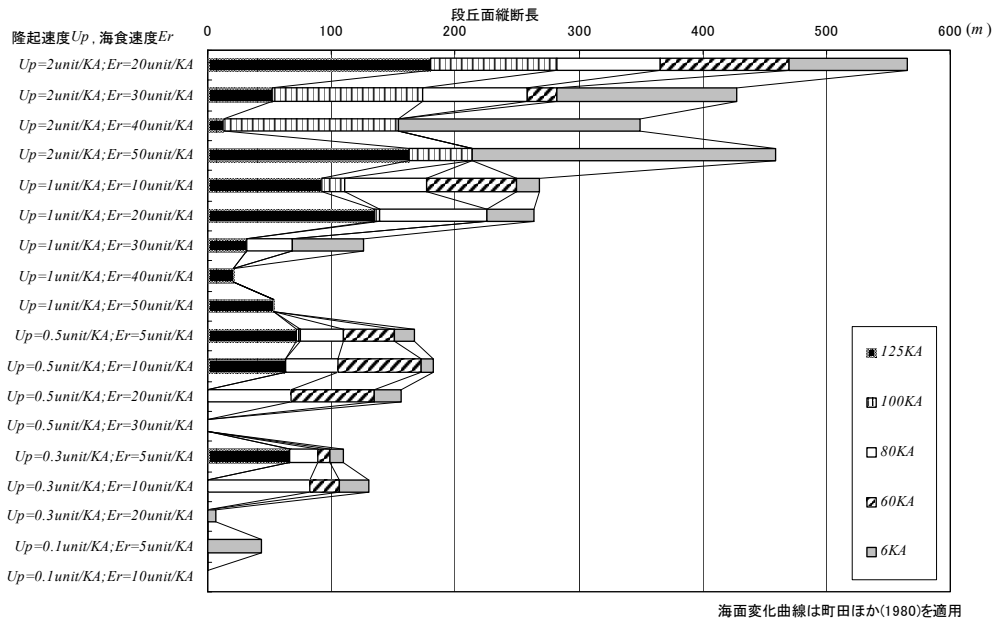


図 4 段丘縦断面長の比較

シミュレーションプログラム自体は、当初、1980年代後半に MS-DOS 上の Microsoft QuickBasic をベースとして開発されたものであり(蒔苗, 1990), その後, MS-Windows 上の Microsoft Visual Basic への書換えを行っている(蒔苗, 2003). 教育用教材への応用のための GUI 構築においては、一方的に情報が提供されるものではなく、ユーザーが隆起速度や海食速度のパラメータを任意に変更できるインタラクティブなものとした。

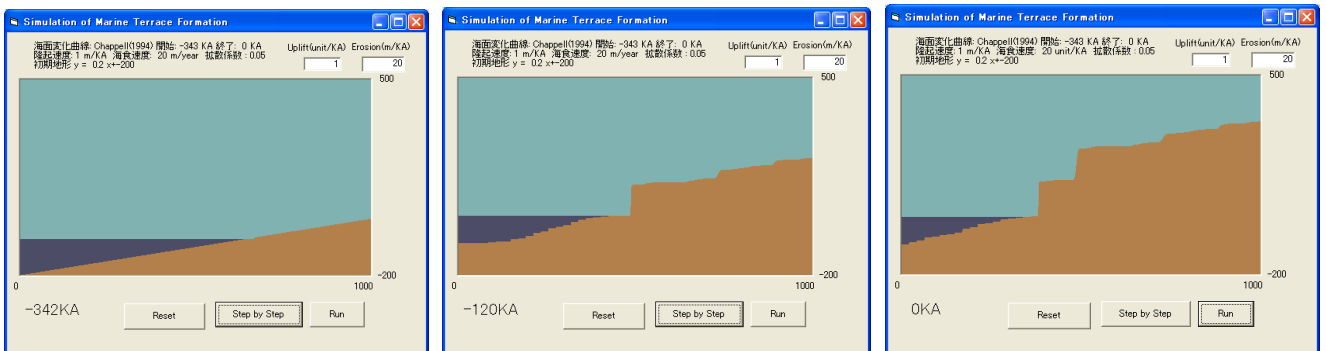
図 5 に構築した GUI を用いたシミュレーションの実行画面を示す。図 5 (a) はシミュレーションの開始時点 (342 KA), (b) はシミュレーション中の 1 画面 (120 KA), (c) はシミュレーションの終了時点 (0 KA) の画面を示している。シミュレーションは 1 KA 毎に計算・描画更新されるが、その表示は連続的にアニメーションとして表現すること、マ

ウスのクリック操作により 1 コマ (1 KA) 毎に表示することが可能である。

3.2. シミュレーションの 3 次元表現

3.1 のシミュレーションでは、図 5 に示したように、地形の縦断面形を算出、表示することを目的としていた。現実の地形は 3 次元空間に存在しており、シミュレーションにより形成される縦断面形の 3 次元形状を示すことにより、より教育効果が高まることが期待できる。そこでシミュレーションの結果を 3 次的に表現可能となるようにシステムの拡張を行った。

3 次元表現を行うシステムを構築するにあたって、地形面の 3 次元形状モデルを作成する必要がある。ここでは、単一の地形断面を直線に沿ってスイープ (sweep) させる



(a) シミュレーション開始

(b)シミュレーション実行中

(c)シミュレーション終了

図 5 シミュレーションの実行画面

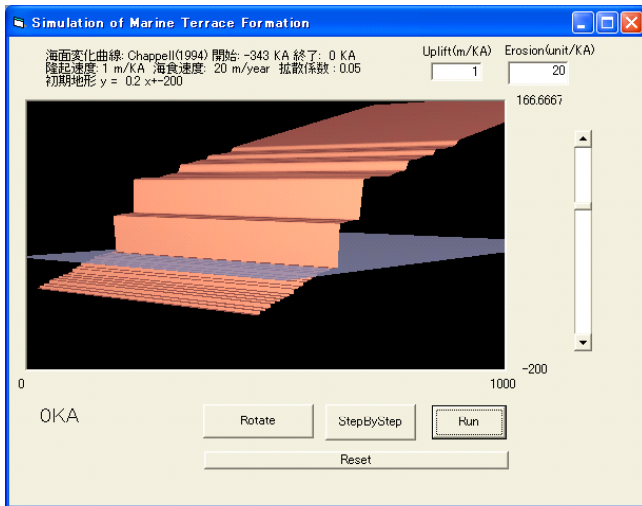


図 6 シミュレーションの 3 次元表現

ことによってできる簡易な 3 次元地形モデルを、形状モデルとして用いた。

GUI には、2 次元表現のシステムにおけるインタラクティブ性を損なわず、かつ 3 次元空間内での地形モデルの回転や高さスケール等の自由設定等、3 次元表現の利点を生かすようなものとした。開発にあたっては、Microsoft Visual Basic をベースに、3 次元グラフィックスライブラリとして OpenGL を用いた。図 6 に構築した 3 次元表現システムの GUI を示す。シミュレーションにおいて、地形面は茶、海面は半透明の平板として表現している。

4. 教育用システムの評価

構築したグラフィックスシミュレーションの教育用コンテンツとしての有用性を明らかにするためには、その評価を行うことが必要である。そこで地形学に関する専門教育を受けていない 21 歳～31 歳までの大学生・教職員の 7 名を対象とした評価実験を行った。実験は以下の手順で行った。

- (1) 地形学の教科書の海成段丘に関する記述を読み、その形成過程が理解できたかを 5 段階で評価する。
- (2) 海成段丘形成シミュレーション(2 次元)を使用した後、形成過程の理解度とその興味について 5 段階で評価する。
- (3) 海成段丘形成シミュレーション(3 次元)を使用した後、形成過程の理解度とその興味について 5 段階で評価する。

実験の結果は表 1 の通りである。

まず資料のみによる理解度については、全員が 5 段階で 3 以下の評価であった。一方、ソフトウェアを用いた場合には、その理解度は全ての評価において 4 以上であり、その理解度が高くなることを示している。また地形形成に関する興味についても、4 以上を示した被験者が半数を

表 1 アンケート結果

被験者	年齢	性別	資料			3次元化	
			理解度	理解度	興味	理解度	興味
A	21	男	2	4	3	3	4
B	23	男	3	5	5	4	5
C	21	女	3	5	4	4	4
D	21	女	2	5	5	3	3
E	21	男	3	4	1	3	3
F	22	男	1	5	4	4	4
G	31	男	1	5	4	4	4
平均値			2.1	4.7	3.7	3.6	3.9
最頻値			3	5	4	4	4

5:理解できた。興味が湧いた

1:理解できなかった。興味が湧かなかった。

自由意見

自由意見:

●2 次元シミュレーションに関する意見

【良い点】

- ・ビジュアルで動的に見れるのでわかりやすい
- ・数値を変えることにより、それぞれの作用の影響が確認できる。
- ・流れがわかる。
- ・文書を理解するよりも親しみが湧く。

【悪い点】

- ・画像がリアリティに欠ける。
- ・空間のスケールがわかりづらい
- ・隆起速度等の知識が無く、数値をどの程度に設定すれば良いのかわからない

●3 次元シミュレーションに関する意見

- ・2 次元の方が、形成過程が見えやすかった
- ・海面と地形がずれているような気がした。

●その他

- ・比較するオブジェクトがあればわかりやすいかも。
- ・説明文が同時に表示されるとわかりやすいのではないか。

越え、グラフィックシミュレーションが有効であることを示している。

3 次元表現については、理解度が 4 以上の評価が半数にとどまった。これは自由意見にも示されているように、半透明で表現された海面の位置がわかりづらい等の要因が影響していると考えられる。一方、興味については、4 以上の評価が半数を超えており、個人差はあるが、3 次元表現がより興味を深める傾向を示している。

これらの結果は、地形の形成過程の理解においては、インタラクティブなシミュレーションが有用であることを示している。またインタラクティブ性や 3 次元表現は地形の形成過程に対する興味を誘発する上では有効であると考えられる。

5. おわりに

本稿では、海成段丘形成シミュレーションを事例として、教育用コンテンツへの応用とその評価を行った。その結果、地形形成過程のグラフィックスシミュレーションのイン

タラクティブ性と 3 次元表現が、地形形成過程の理解と興味を誘発に有効であることが明らかとなった。

今後、自然地理学教育にグラフィックスシミュレーションを活用していくためには、そのコンテンツの充実を図る必要がある。そのためには、地形形成過程をより論理的に解明し、それをシミュレーションに実装することが必要である。本研究で取り上げた海成段丘形成シミュレーションについても、より詳細な検証が必要と考えている。またコンテンツを開発する技術者の育成も必要不可欠であり、自然地理学と情報科学との融合が強く望まれる。

参考文献

- Chappell, J. and Shackleton, N.J. (1986): Oxygen isotopes and sea level. *Nature*, 324, 137-140.
- Chappell, J. (1994): Upper Quaternary sea levels, coral terraces, oxygen isotopes and deep-sea temperatures. *J.Geogr.*, 103, 828-840.
- 平野昌繁(1966a): 斜面発達とくに断層崖発達に関する数学的モデル. 地理学評論, 39, 324-368.
- 平野昌繁(1966b): 斜面発達の数学的モデルに関する若干の補足. 地理学評論, 39, 606-617.
- 貝塚爽平(1969): 地形変化の速さ. 自然地理学Ⅱ, 岩倉書店, 164-192.
- 町田 洋・新井房夫・袴田和夫(1980): 南関東と近畿の中期更新世の対比と編年—テフラによる一つの試み—. 第四紀研究, 19, 223-261.
- 蒔苗耕司(1990): 異なった諸条件下における海成段丘形態の差異. 横浜国立大学教育学研究科修士論文, 120p.
- 蒔苗耕司(2003): コンピュータシミュレーションによる海成段丘発達形態に関する一考察. 蒔苗耕司, 日本地理学会発表要旨集, No.64, pp.125.
- 砂村継夫(1972): 大陸棚の形成に関する一考察. 地理学評論, 45, 813-828.
- Sunamura, T. (1983): Process of Sea Cliff and Platform Erosion. Handbook of Coastal Process and Erosion, CRC Press, 233-265.
- 豊島 修(1974): 海崖侵食の現況とその対策, 海岸工学講演会論文集, 1-8, 1974.
- 吉川虎雄・貝塚爽平・太田陽子(1964): 土佐湾北東岸の海成段丘と地殻変動. 地理学評論, 37, 627-648.