

## 将来 10 万年間の地形変化に関するシミュレーション

## Simulation of landform changes for the future 100,000 years

# 野上 道男 [1]

# Michio Nogami[1]

[1] 日本大・文理・地理

[1] Geography, Nihon Univ.

19 世紀末ごろ成立した近代地形学創成期に、すでに地形変化の原理が明らかにされている。しかし地形変化に関わる諸過程は複雑であり、特に時間に関するデータが無かったために、変化の原理を単純な方程式で表現し、数学的あるいは数値的に解いても、リアリティを得ることはできなかった。しかし最近事情が変わってきた。日本列島には新しい第三紀層が広く分布し、地形との関連がつけやすい第四紀層の分布も広い。そしてこれらの地層は火山岩・火山灰層との関連で、その年代データが蓄積してきた。このことによって、力学的プロセスに立脚するものではないが、地形変化の速さを定式化して記述できるようになり、それを用いてシミュレーション（数値解を得ること）が可能となった。

## 1. なぜ 10 万年か

氷床コアなどの酸素同位体比の分析によって、過去 70 万年間くらいは、かなり規則的に約 10 万年を周期として海水量変動してきたことがわかっている。このような周期の海水量変動は大陸（北半球）に生成された大陸氷床の氷量の増減による。すなわち気候変化に原因がある。隕石の落下、新たな火山の生成のような 10 万年周期を超えるような出来事は天変地異であり、これらはシミュレーションの対象外である。すくなくとも過去 7 回繰返された 10 万年周期の現象はもう一度繰返される蓋然性が高い。とくに最後の 10 万年間については過去の地形もよく残っており、研究の蓄積も多い。そこで、これからの 10 万年間は、気候変化も海面変化も、さらに地殻運動も過去 10 万年の状況がそのまま繰返されると仮定する。この仮定は局地的な地形変化とは独立にアプリオリに与えなければならないが、蓋然性は高いと考えている。

## 2. 地形変化の原理

現在実用になっている地域気象シミュレーションは天気予報として数日間以内に検証を受ける。地球気候モデルは 100 年というタイムスパンであるので検証が困難である。まして地形変化シミュレーションは 10 万年が対象であるので、検証は全く不可能である。そこで、このシミュレーションでは現在の時点で得られている地形変化に関する地形学的知識・知見をモデルに最大限取り入れ、かつそれらと矛盾しないモデルを構築していることで説得力を持ち、これによってのみ有効性が担保される考える。

地形変化は地表物質の移動によって起こる（質量保存）。それは陸地斜面、河川、海岸線および波浪作用限界深までの海底で起きている。変化には緩慢で持続的なものと急激で突発的なものがある。斜面では岩石の風化・塊状崩行、雨滴・地中水・生物などによる選択的移動、河川では平水時に近い状態における基盤岩石や河床物質の摩耗・分級移動、海岸線付近では基盤岩石や海底物質の摩耗・分級移動などが緩慢かつ持続的変化である。これらは拡散方程式によってモデル化される。斜面領域の拡散係数は岩石・風化層の物性と気候特性によって支配される。河川領域の拡散係数は駆動力である水流量と基盤岩石・河床物質の性質によって決まる。とくに水流量と礫径は下流方向に一方向的に変化する。この拡散係数は距離の関数として与える必要がある。海底では波のエネルギーは深さによって逓減することから、拡散係数を深さの逆数で与える（非線形モデルとなる）。

斜面物質の崩壊（山崩れ）、土石流などの洪水、海食崖の崩壊などが急激で突発的な地形変化である。斜面の勾配と風化物質の厚さ、堆積する場の地形条件、海食崖の高さ・前面の水深・岩石物性などが関係する。河川洪水時の物質移動については良くわかっていないが、粗粒物質をそのまま下流方向に平行移動させている（下流で小さな拡散係数を与える）。これらの現象には地形などの条件だけでなく、きっかけとなる気象条件の強さと再現期間も考慮している。さらにこれらの現象は条件がそろえばそこで必ず発現するというものではなく、地形条件に応じた生起確率を持つランダム現象であるとしている。

## 3. シミュレーションの実施

地形は流路網によって刻まれており、物質移動は流路網に沿って合流しながら下流に向かう。このような内部構造を持った場のプロセスを記述するには、正六角形 DEM 上の 2 分木を巡回するモデルの採用が簡素化の要点である。いうまでもなく地形問題は内部構造を持たない単純な 2 次元拡散問題ではない。初期条件としては緯度経度法で作成された DEM(国土地理院など)から正六角形 DEM を生成して用いた。まだ不十分なところが多いが、上述の現象をすべて取り込んだモデルを用いて、架空の島（水没させたある山地）の 10 万年間の地形変化をシミュレーションした。その結果をアニメーションで示す。