

## 13 山体解析—水系網発達の基本原則とは

京大農学部 福島義宏

### 1. はじめに

砂防事業が山体解析のある瞬間における突発事象に対応するものである以上、そもそも、ある時間ステージでの山体の姿がどのような空間・時間的経過で形成され、山崩れや土石流等の突発事象はそれの中にどのように位置付けられ、かつ今後いかなる方向に進行するかを推測しておくことはダム工・植栽工などを統一的に説明する上で重要である。

地形学では山体解析の形態的变化の見方としてはDavisの浸食輪廻説などがあるが、概観的であって、その枠組みの内部には上記の課題に対する答えが用意されていない。斜面系の発達については微分方程式系で表わされる数値モデルがある。現今の数値モデルの多くは、よく考えてみると、地形変化の原因ではなく、結果の表現であるように思われる。また複合した条件下で、どのような空間的な変化をするかの予想には使い難い。一方、Random Walkモデルあるいは位相幾何学を援用したモデルによる水系網形成の説明は、結局は単なる初期条件の説明にしか過ぎず、時間経過での水系発達の変貌を説明してはいない。時間変化としては上記の課題に対して比較的答えを用意しているように見える、物理則やRandom Walkモデルによる河床変動や土砂氾濫simulationにしても、結局は外部条件として与えられる流入土砂量時系列の見積のいかに結果を大きく左右することになる。

筆者は現在の大型計算機の処理能力の格段の進歩とその費用の廉価化を援用して、上記した問題の多くはcomputer simulation実験とでもいう分野が解決するところが大きいと考えている。特に山地地形や海岸線等はスケールの違いに関係なく形態が保存される、いわゆるフラクタル事象の典型とされる点も空間的な類推をする上にも有利な点である。

今回はあるモデル地形を想定して、最も単純な仮定の基で、山体はどのように浸食され、また水系網はどのように発達するかを試算してみた。表題に示したように筆者自身もまだ模索中であるので、結論的な解答を得たわけではないが、筆者の考え方を述べることによって、さまざまな意見をうかがえることを期待して発表する次第である。

### 2. 方法

まず60×60のメッシュを想定する。この数はいくらでもよいが、あまり多くすると計算機の能力を越える。その中央の20×20は高さ6を有する。その周りの40×40は高さ2とする。一番外側は基準面であり、海水面と考えて良い。さて、山体にはまず水系網ができるものとしよう。水系は隣り合う4点中の最低地点に向かうが、もし最低地点が複数個あれば、一様乱数を発生させて、その流下方向を決める。初期条件ではかなりのメッシュ交点が水平面上にあるので、ある2地点で互に相手の方向を選ぶことが起こる。その場合はその2地点の周りの6地点のなかでその2地点に向かわない地点を、これもランダムに選ぶものとする。このようなアルゴリズムで始めると基準面に到達する以前に、途中でループしてしまう部分が発生する。疑似基準面の存在を意味すると考えられる。このようにして全てのメッシュ点から水系が発生し、

最終的には基準面あるいは疑似基準面に流入する。その初期ステージの水系網を図-1に示す。

つぎに、浸食を発生させる営力について、以下の3式を想定する。

$$(1) \quad E = C1 \cdot S \cdot Nu$$

$$(2) \quad E = C1 \cdot S \cdot (Nu - 1)$$

$$(3) \quad E = C1 \cdot S \cdot \{C2 \cdot (Nu - 1)^2\}$$

ここで、Eは浸食深、Sは勾配 ( $\tan \theta$ )、Nuはその地点に流入する水系のメッシュ数、C1、C2は係数である。

(1)式は浸食がメッシュ間勾配とメッシュ数に比例するという条件である。メッシュ数は集水面積を意味するので流量に比例している。(2)式は流下の始まり、すなわち最初のポイントは斜面であるから流路浸食は及ばないと仮定する。(3)式の基本形はMeyer-Peter & Müller型の掃流砂公式とregeme則で流量の平方根が流路幅に比例するという仮定から近似的に導かれる。それと(2)式との混合型である。計算に際しては各時間ステップで勾配に応じて水系網を発生させる。最低勾配地点が複数個あれば、前の時間ステップの流路を選択させる。そして上記のそれぞれの式で浸食を発生させ、絶対標高を計算させる。このようにすると、初期条件で存在した疑似基準面は水系の発達によって、より下方の水系に取り込まれる。なお、係数  $C1 = C2 = 0.001$  とした。計算ステップはそれぞれ、200, 1000, 5000回である。

### 3. 結果

すべて初期の水系網は図-1である。図-2-1~3は(1)式での200, 1000, 5000回の計算結果である。結局、各水系は基準面までの最短経路を選ぶようになり、部分的に谷部は残っているものの、全体的には四角錐に近い地形となる。図-3-1~3は(2)式による結果である。斜面部の浸食を止めているので尾根部は残存し、急勾配部下方の堆積地形がよく表われている。図-4はその最終時間ステップにおける水系網である。分岐も見られるがやはり最短経路に向かう傾向が強く表われているようである。図-5-1~3は(3)式による結果である。係数C2を導入したために、浸食の進行は遅いが、流域面積の2乗が浸食量に効くので大きい水系網はますます拡大する傾向が表われているようである。図-6はこの最終ステップでの水系網である。水系網の横方向からの流入は図-4よりも多いようである。

### 4. おわりに

今回は最も単純化できる掃流形式の浸食のみを扱った。しかし、われわれが対象にしている現実の地形は流路系の掃流力の論理だけで形成された訳ではない。斜面の論理としては崩壊も考慮しなければならないであろう。また、地盤の耐浸食性も同じではないであろう。さらに、断層などの弱線も現実の地形形成に関与しているであろう。上記した各条件を本山体解析モデルに取り入れることは、基本的にはそれほど難しくはない。最大の問題は、現実の地形発達の時間・空間スケールとの対応をどのようにつけていくかという点である。なお、モデルの対局として、記述される現実地形の類似点や相違点を数値的に表現する作業が必要となってきた。

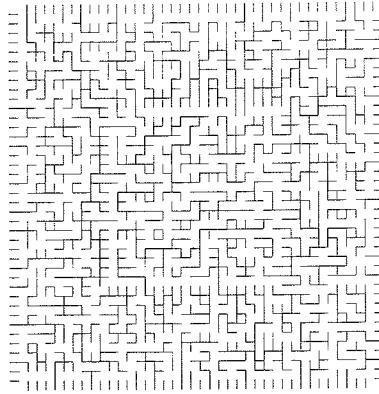


図-1 初期の水系網

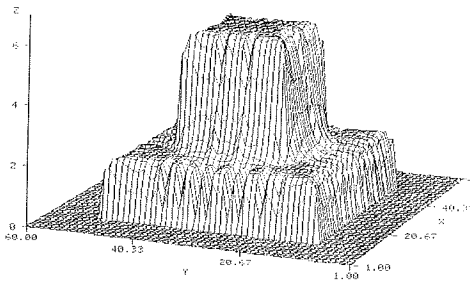


図-2-1 (I)式, 200ステップ

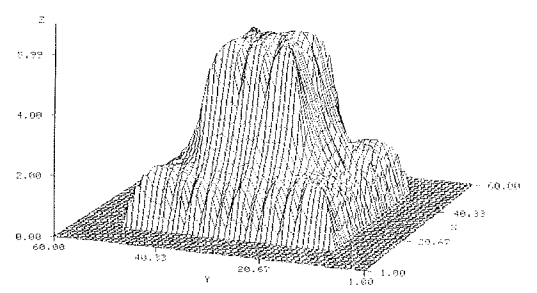


図-2-2 (I)式, 1000ステップ

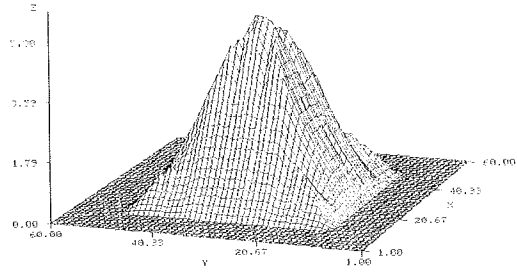


図-2-3 (I)式, 5000ステップ

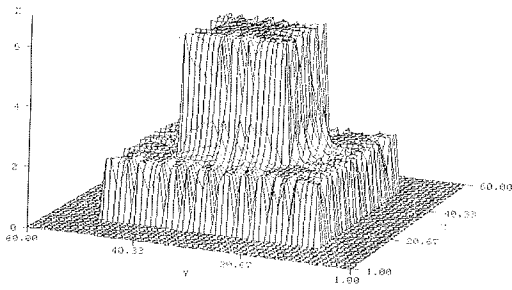


図-3-1 (2)式, 200ステップ

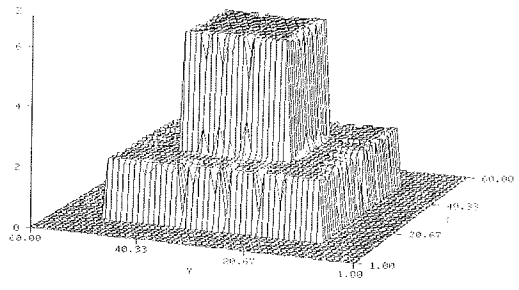


図-5-1 (3)式, 200ステップ

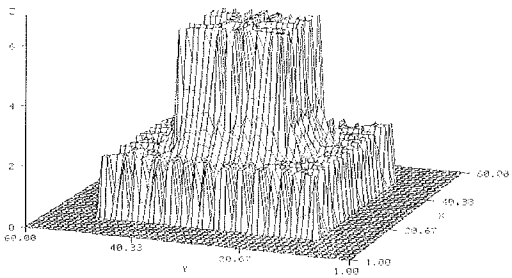


図-3-2 (2)式, 1000ステップ

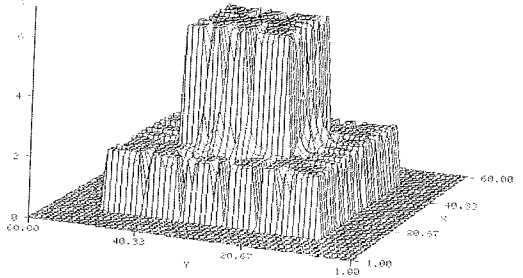


図-5-2 (3)式, 1000ステップ

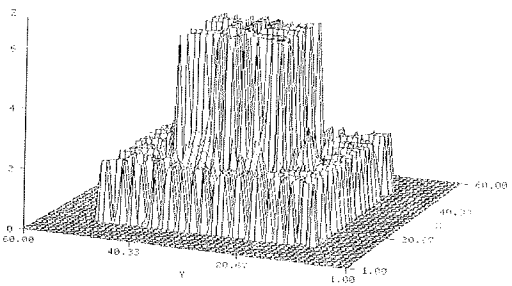


図-3-3 (2)式, 5000ステップ

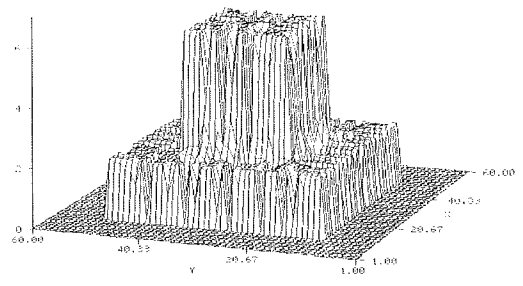


図-5-3 (3)式, 5000ステップ

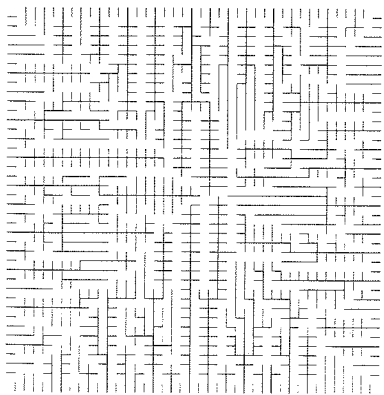


図-4 (2)式 5000ステップ後の水系網

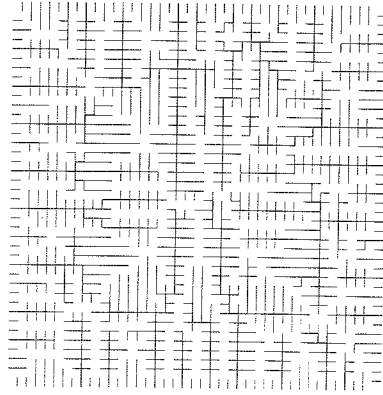


図-6 (3)式 5000ステップ後の水系網