

リル網発達形態のシミュレーション解析

山口大学工学部 藤原輝男
山口大学工学部 深田三夫
山口大学大学院 ○遠藤守彦

1. まえがき

裸地斜面上に発生するリル網による侵食は、表面侵食の種々の形態のなかでも非常に大きなウェイトを占めるといわれているが、リルの発生・発達のメカニズムはほとんど解明されていない。一方、リル網の平面形態は斜面上で不規則に変化するランダムウォークパターンのように思われるが、ランダムウォークでシミュレーションしても、分合流のしかた、リル網の成長の方向などのパターンの特性を十分再現することはむずかしい。リル網は分流や合流を繰り返し、複雑なパターンへと成長するフラクタル性をもっている。¹⁾ 本研究では、成長するランダムパターンモデルのうちのフラクタル現象として知られている凝集体モデルを用いてリル網発達シミュレーションを行い、実験で得られたリル網パターンとの比較を行った。

2. シミュレーション手法

凝集体モデルについて

2次元平面座標を考え、その原点にパターン生成のもとになる種Aをおく。次にそれを中心にもつ円周上の一点Bをランダムに選び、そこからランダムウォークするブラウン運動粒子を1つ放出する。その粒子がAに到着すれば、そこで付着して2粒子のパターンとなる。粒子がAに接触することなく遠くへ離れていけば、それを捨てて次に新しく円周上にランダムに1点を選んで粒子を放つ。このブラウン運動粒子の発生の繰り返しにより凝集体パターンは成長していく。モデルの説明と、成長させた凝集体パターンをFig.1に示す。

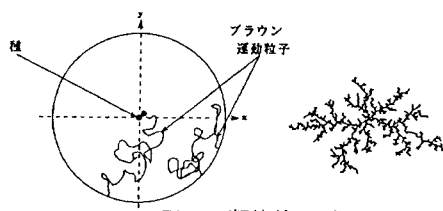


Fig.1 凝集体モデル

リル網パターンの発達モデル

斜面上のリルの発達の様子を観察すると、多くは斜面下端部より発生し、ヘッドダウンを繰り返しながら斜面上方に分合流を繰り返しながら発達していく。また斜面に発生した表面流に雨滴の衝撃が加わることで、加速された水流がパターンの発達を促すと考えられる。このことから、今回用いたモデルは、まず長方形の斜面を考え、その下端部にパターンのもとになる種をおく。そして、枠の中にランダムに点を選びランダム粒子を発生させ、y軸方向(斜面下方)には一定に下端に向かって進み、x軸方向(水平方向)はある範囲内で変化する運動をする粒子を1つ放出する。粒子がパターンに接触すれば、そこで付着しパターンは発達する。接触せずに枠外に出ればその粒子を捨てて新しく枠の中に点を選んで粒子を放つ。この作業を繰り返すことによってリル網パターンは成長するが、リルに幅がなく分岐の数が現場に

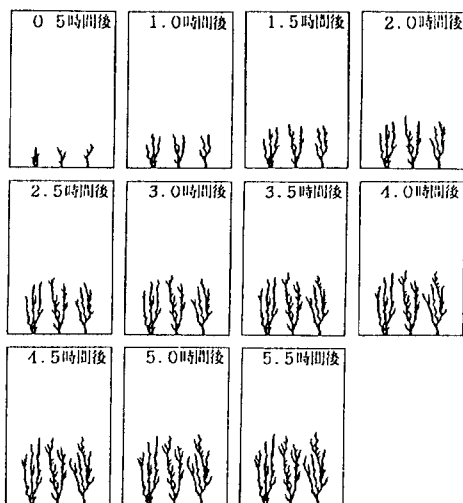


Fig.2 シミュレーション結果

発生したリル網に比べて多すぎる。そこで次の2つの仮定を設けた。①パターンの幅を先端からの距離に比例させて与える。②パターンの先端に優位性を与えて分岐の数を制限する。このような修正を加えたリル網パターンの発達モデルをつくり、シミュレーションした結果、得られたパターンはFig.2のようになった。

3. シミュレーションの解析結果

フラクタル次元の比較

シミュレーションによって幾何学的に相似なパターンは作れないが、感覚的には似ているパターンは作ることができる。このことをMandelbrot²⁾は統計的に自己相似性という言葉で表現し、非整数であるフラクタル次元を導入してその複雑さの指標とした。フラクタルの説明として海岸線などがしばしば引用されているが、ここでは実験的に斜面に発達させたリル網（以下単に実験リル網と呼ぶ）の写真撮影を行い、そのパターンのフラクタル次元を求めて上述のシミュレーションでできたパターンのフラクタル次元との比較を行った。実験リル網での粗視化法によるフラクタル次元Dの変化をFig.3に示す。一方、シミュレーションによって得られたパターンのDをFig.4に示す。また、測度によるフラクタル次元は、実験では1.20、シミュレーションでは1.14となった。このことから、実験リル網のパターンとシミュレーションによるパターンとは、似ているといえる。

時間-リル面積の比較

時間的にリル面積がどのように変化するかを比較してみた。Fig.5は実験リル網の時間-リル面積の関係である。また、シミュレーションパターンのそれはFig.6に示す。実験リル網では、時間が経つにしたがって一定量を示すようになる。シミュレーションパターンではリル面積は時間とともに変化量が少なくなるが、一定量を示すまでには至らない。

4. まとめ

リルが発達して行くときのヘッドダウン現象などの物理的なメカニズムや水理、土質条件などを除外したシミュレーションであったが、実験リル網とシミュレーションで得られたリル網のフラクタル次元および面積の経時変化について比較を行った。その結果、今回使用したリル網発達モデルは、実際のリル網形態の変化の様子をかなりよく表現しているといえる。今後、シミュレーションで使用したパラメータの物理的意味や、またそれが侵食に関する諸要因とどのように関わっているか実験・観測を中心に考察を進めていく予定である。

- 1) 松下 貢：成長するランダムパターンのフラクタル構造, 数理科学, No.2, 1986
- 2) B.B.Mandelbrot: The Fractal Geometry of Nature (Freeman, San Francisco, 1982)

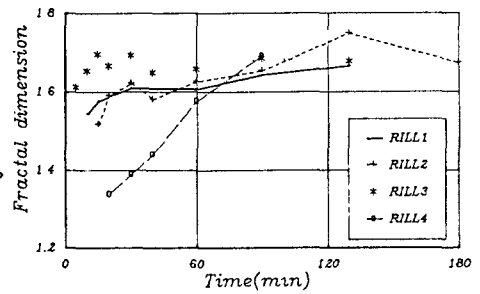


Fig.3 フラクタル次元の変化（実験リル）

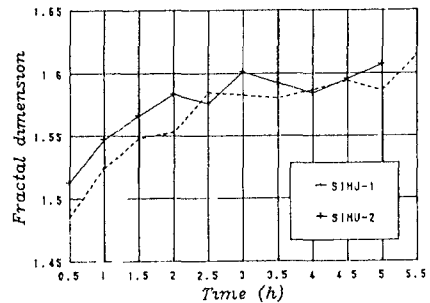


Fig.4 フラクタル次元の変化（モデル）

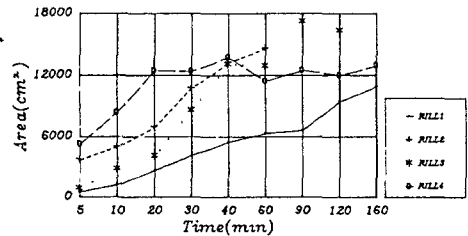


Fig.5 時間-リル面積変化（実験リル）

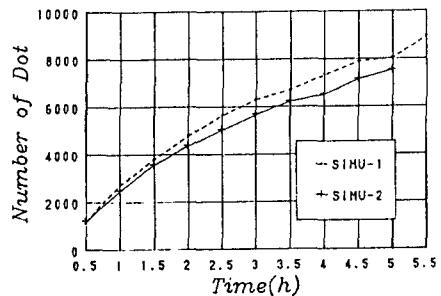


Fig.6 時間-リル面積変化（モデル）