

## リル網形態の発達過程と土壌特性

田熊勝利\*・安田 裕\*

平成7年6月23日受付

### Development Process of Rill-net Type and Soil Characteristics

Katsutoshi TAKUMA\* and Hiroshi YASUDA\*

The development of rill-net type which is related to soil loss, was investigated in the field for respective soil texture from fractal dimension. The slope which was used for the experiment is 200cm in length and the gradient is 10°. The slope is composed of an upper layer of 10cm in thickness and a lower layer which is filled with decomposed granite soil. Sample soils were 4 kinds, namely, KUROBOKU soil, volcanic cohesive soil, weathered soils of tuff and decomposed granite soil. As a whole, fractal dimension showed a tendency of increase following the increase of amount of soil loss. In regard to the kind of soil texture, the relation between soil texture and fractal dimension differs considerably by the nature of soil. The range of fractal dimension in the present experiment was in the range of 2.05~2.15. The amount of soil loss of decomposed granite soil showed increase following fractal dimension, and it was considered to have highest erodibility among 4 kinds of soil. Further, weathered soils of tuff have a tendency of smoothening of ground surface by the formation of crust. However, concerning soil loss, fractal dimension proper for the respective soils was not evident.

#### 結 言

土壌侵食はまず第一に雨滴衝撃によって起こるものであり、その後降雨が続けば雨滴衝撃エネルギーによって土壌表面のクラスト、シールの形成があり、水の浸透能を雨水が上廻れば、地表水が発生し、層状侵食、リル侵食へと侵食形態が発展していく。この土壌侵食のリル網形態の発達過程は土壌によって異なるものと考えられる。このように土壌表面の侵食の発達過程は時間の経過と共に複雑さを増していく。もし、この複雑さをとらえる尺

度があれば、その経過を数値で表すことができる。つまり侵食面の複雑な形状変化を数値化できることになる。またこの数値が侵食の程度を示す新しい指標となり得るものとする。

本報ではフラクタルと呼ばれる新しい幾何学的概念を用いて、侵食面の複雑さを数値化することを試み、また土壌類型別にこの値がどのような特徴をもつのか検討した。従って、土壌類型別の侵食形状についてフラクタル次元を求め、その数値を基にして、侵食の発達と共に侵食形状がどのように変化するかを調べた。

\* 鳥取大学農学部農林総合科学科生保環境科学講座

\* *Department of Environmental Science, Faculty of Agriculture, Tottori University*

### 実験内容と方法

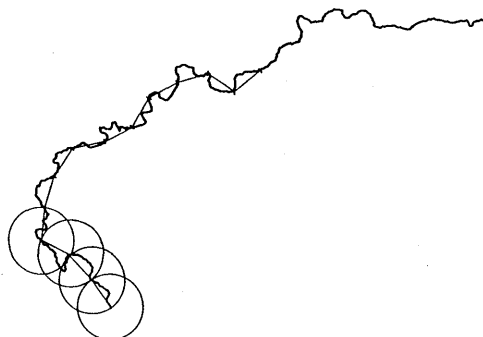
実験は野外に設置された4つの斜面にてなされた。実験に用いた斜面は長さ約200cm、幅約50cm、勾配10°である。斜面は試料土が上層10cmに、その下層に花崗岩風化土が充填されている。試料土は黒ボク土、火山灰質粘性土、花崗岩風化土および凝灰岩風化土の4種類で、風乾後4.76mmのふるいを通過させたものである。観測期間は1990年9月14日から12月3日までであり、この期間中の総降雨量は827.5mmであり、最大10分間降雨強度は8.0mm/10minで2回発生した。侵食に伴う流亡土量は斜面下端に設置した綿袋にて採取した。この綿袋に採取された土を絶乾し、その質量を流亡土量とした。降雨量は実験斜面横に設置した自記雨量計にて測定した。なお試料土の採取地を第1表に、試料土の物理性、透水係数および団粒係数を第2表に示す。

第1表 試料土の採取場所

試料名	採取場所
A. 大山黒ボク土	鳥取県東伯郡東伯町
B. 火山灰質粘性土	鳥取県東伯郡大栄町
C. 花崗岩風化土	鳥取県鳥取市布勢
D. 凝灰岩風化土	鳥取県東伯郡大栄町

### フラクタル次元

フラクタル次元を解析するための斜面形状の表現方法を説明する。まず実験斜面の50×200cm<sup>2</sup>の長方形領域を1cm間隔でメッシュを切りその交点に測点をおき、基準平面からの深さを測定し測点データとした。そして、このデータを使い、斜面形状をコンターマップ（等値線図）によって表した。侵食形状のフラクタル次元の解析には、いくつかあるフラクタル次元の定義の中で比較的容易に求められる方法、すなわち粗視化の度合いを変える方法を用い、侵食形状のフラクタル次元を求めた。粗視化の



第1図 フラクタル次元の求め方（高安<sup>1)</sup>による）

度合いを変える方法によるフラクタル次元の求め方の一例を第1図に示す。粗視化の度合いを変える方法とはフラクタル図形を円・球・線分・正方形・立方体という特徴的な長さを持つ基本的な図形によって近似する方法で、基準となる長さ $r$ とその総数との間に $N(r) \propto r^{-D}$ なる関係が成立するとき、この $D$ をフラクタル次元と呼ぶという実用的な定義方法である。まずコンターを、物差しの長さをいろいろ変えて測る。物差しの長さ $r$ と得られる個数 $N(r)$ との関係を両対数グラフに示したときの直線の傾きの絶対値がフラクタル次元である。ところでフラクタル次元もユークリッド図形同様に、フラクタル次元が $1 < D < 2$ のフラクタル曲線を直線で切ると、切り口は次元 $D-1$ の点の集合になる。逆も同様である。つまりフラクタル次元の等高線が集まってできる起伏の形状は $D+1$ のフラクタル次元をもつと考えることができる。このことから、本報では、侵食形状を示すいくつかのコンターのフラクタル次元を求め、その平均値に1を加えたものを、その侵食形状のフラクタル次元であると定義した<sup>1)</sup>。

### 結果と考察

第2図は実験期間中に表れた斜面形状の一例として、

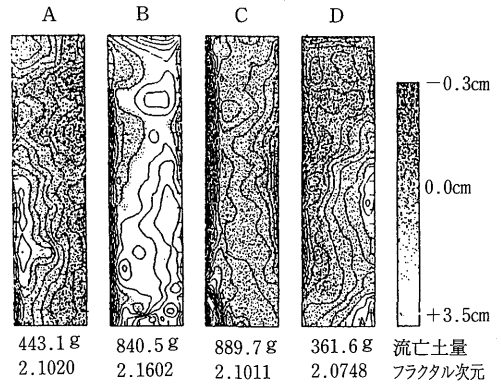
第2表 試料土の物理性その他

試料名	粒径組成(%)			比重	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	ファイネスナ ンバー(%)	透水係数 (cm/s)	団粒係数
	砂	シルト分	粘土分						
A	12.0	49.0	39.0	2.417	68.5	55.0	73.5	$9.4 \times 10^{-3}$	221.7
B	8.0	41.0	51.0	2.672	67.0	39.5	71.2	$4.0 \times 10^{-3}$	249.9
C	79.0	10.0	11.0	2.621	N. P.	N. P.	31.7	$1.6 \times 10^{-2}$	201.0
D	60.0	17.0	23.0	2.686	N. P.	N. P.	29.9	$5.4 \times 10^{-4}$	107.6

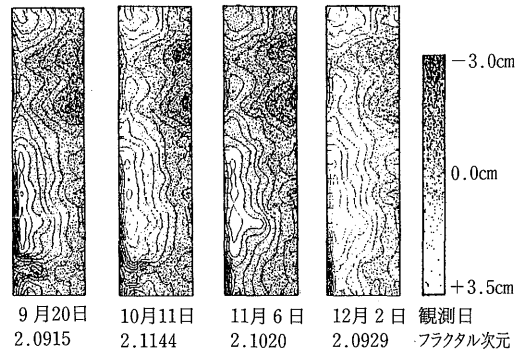
11月6日の各試料土の斜面形状をコンターマップで示したものである。ドットの密度が高低を表し、密度が小さくなるに連れて深く掘れて侵食されている。逆にドットの密度の大きいところが堆積を表している。またそれぞれのコンターは深さ3.0mm間隔で描いている。ただしこのコンターマップは50×200cm<sup>2</sup>の斜面領域を表すもので実験斜面全体を表すものではない。

各斜面の形状を比較すると、花崗岩風化土を除き、他の試料土は斜面全体において部分的な侵食が点在している。すなわち、斜面のある点を中心としてそこから侵食が広がっているのが分かる。それに対し花崗岩風化土はリル形態の発達の傾向がみられ、斜面全体に侵食を生じ、特に下流端ではすべりによる大量の流亡土量を生じている。11月6日観測のフラクタル次元からみると、火山灰質粘性土2.160であり、花崗岩風化土2.101となり、火山灰質粘性土の方が次元が大きく、侵食形状が複雑であることを示している。これは後述する深さ別のフラクタル次元にて明らかにされる。黒ボク土と凝灰岩風化土については、斜面のある点を中心としてそこから侵食が広がる傾向を示している。第3図に黒ボク土の時間経過における斜面形状を示す。黒ボク土のフラクタル次元は花崗岩風化土のそれと同値を示すが、花崗岩風化土に比べ流亡土量が約50%となっており、あまり侵食は起こっていない。また凝灰岩風化土はフラクタル次元も2.075であり、流亡土量も4土の中では一番少なく耐食性となっている。これは観測期間中の降雨量はかなり多かったものの、1時間降雨強度が10mm以上は3回であり、そして10分間降雨強度3mm以上は7回となっており、強い降雨がなかったことも一因だと考える。また土壌面被膜の破壊が十分に行われなかった可能性もある。

それでは、深さ別のフラクタル次元はどうなっているのか。時間経過における深さ別のフラクタル次元は、その変動が大きいほど侵食が激しいものと思われる。花崗岩風化土、凝灰岩風化土は概ね緩やかなフラクタル次元の変動傾向を示しているが、火山灰質粘性土は変動が激しく、侵食形状が複雑なことが分かる。このことは前述のようにコンターマップにおけるフラクタル次元に表れているようである。第4図は深さ別に解析されたフラクタル次元の変動を黒ボク土の場合について示す。黒ボク土は11月6日に激しい侵食があったことを示しており、特に深いところでのフラクタル次元が大きく変動している。このときの最大10分間降雨強度は8.0mmを記録しており、強い雨がかったことを示し、この影響が考えられる。10月11日から11月6日での時間経過において、流亡土量



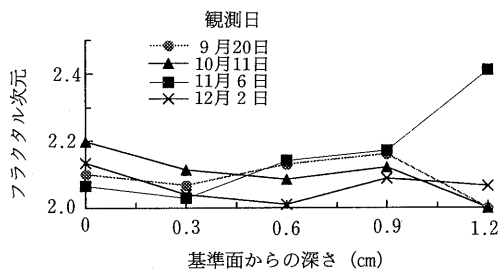
第2図 斜面形状とフラクタル次元



第3図 黒ボク土の時間経過における斜面形状

が大量に増加している原因は、全体的なフラクタル次元にはあまり変動がないが(第3図)、深さ別にフラクタル次元を調べてみるにより明らかとなった。

第5図にフラクタル次元と累加流亡土量との関係を示す。全体的傾向をみると、2.0から2.2次元という非常に狭い範囲内であるが、流亡土量の増加とともにフラクタル次元も増加しており、侵食形状も複雑になっている。特に花崗岩風化土はその傾向が強い。土壌類型別にみると、凝灰岩風化土は全体とは逆の傾向を示している。これは、凝灰岩風化土が降雨によりクラストを斜面全体に形成し、表面が滑らかになったためと考えられる。よって、もしクラストの破壊があれば、凝灰岩風化土も全体の傾向に従うものと思われる。黒ボク土、火山灰質粘性土についても、侵食形状のフラクタル次元は、流亡土量と単純な比例関係があるのではなく、降雨がもつエネルギーや土粒子構造等によっては、逆に滑らかになることが

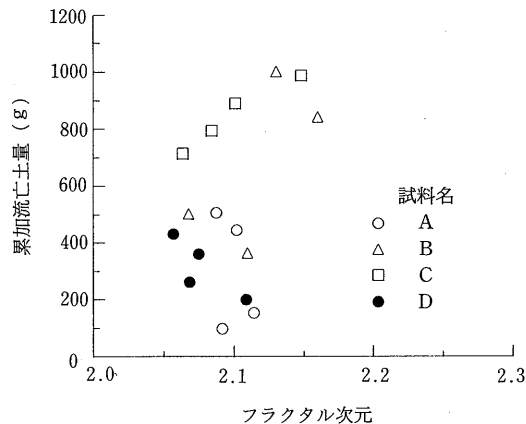


第4図 黒ボク土の深さ別フラクタル次元

考えられる。以上のことから侵食に伴う斜面形状の変化は、土壌によって様々であるが、一定の範囲内で〈複雑〉と〈滑らか〉をくり返しなが、圃場単位を想定するならば、全体的にすべての土壌は次第に複雑になっていくものと考えられる。

### 総 括

自然降雨の下で土壌類型別のリル網発達過程の進行程度、すなわち土壌面の侵食形状がどうなるのか、またフラクタル的形態を示すのか。4種類の土壌を用いて解析を加えた。土壌面侵食形状はフラクタル次元において2.0から2.2という狭い範囲内であった。このことからより正確な侵食面形状の測定・表現方法と、フラクタル次元の定義方法が必要であることが痛感せられた。本報ではデ



第5図 フラクタル次元と累加流亡土量

ータの数も少なく、また斜面形状のコンターマップによる表現方法や、粗視化の度合いを変える方法によるフラクタル次元の定義方法などまだまだ改良の余地があると思われる。今後、これらの点が改善されるとともに、多くのデータが得られれば、フラクタル次元とリル網の発達過程との関係が明らかになるものとする。

### 文 献

- 1) 高安秀樹：フラクタル。朝倉書店、東京(1987) pp. 7~36.