

## 隆起をともなう微小侵食地形の形態変化

研究代表者 研究員 大内俊二（理工学部地学教室）

共同研究者 研究員 松下 貢（理工学部物理学科）

### 1 はじめに

山岳地形のような侵食地形の形態は自己アフィン性をもつフラクタルととらえることができ、その形態的特徴はフラクタル幾何を応用したパラメーターで表すことが可能である。したがって、形態以外に手がかりの乏しい侵食地形の進化過程について、フラクタルの概念から何らかの本質

的な情報が得られることが期待できる。これまでに、ランダム数を用いて作成した偽地形や地形図から読み取った格子点の高度分布の解析から、非整数ブラウン運動のスケールリングパラメーターと同等のパラメーター、 $H'$  によってフラクタル幾何からみた侵食地形の形態的特徴が表現できることがわかった [1][2]。また、人工降雨による微小侵食

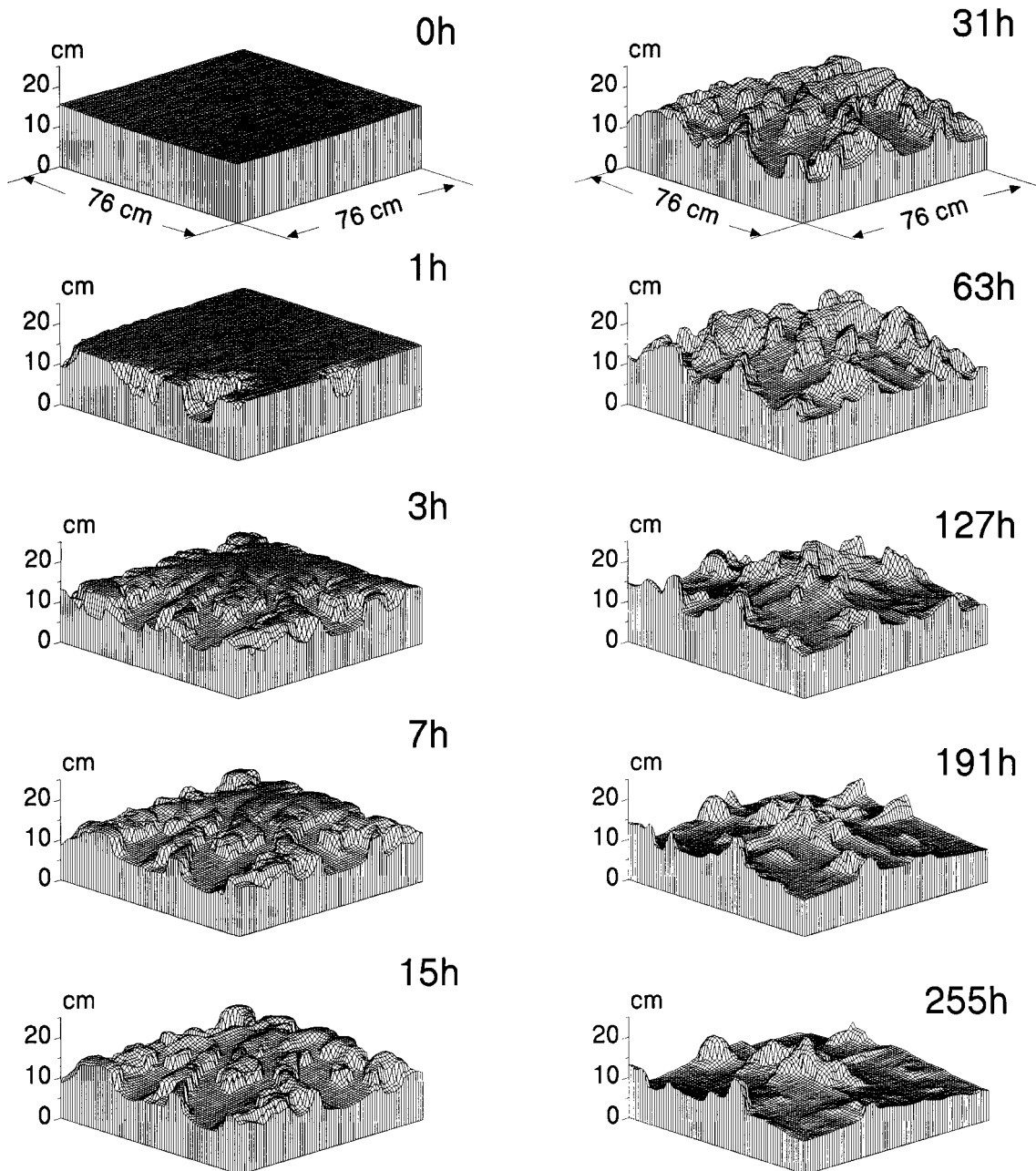


図 1 Run8 における微小侵食地形の変化を示すブロックダイアグラム。

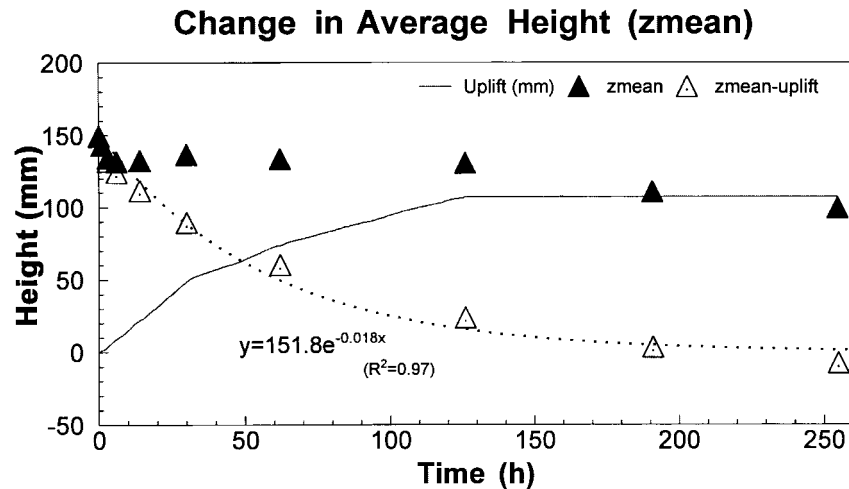


図 2 平均高度 ( $z_{mean}$ ) の時間的变化。隆起量および隆起量を除いた平均高度の変化も示した。点線は隆起量を除いた平均高度変化の回帰指数曲線である。

地形についての実験から、微小侵食地形の発達過程に降雨量と侵食される物質の性質によって違いが見られ、それが  $H'$  の変化に反映されていることが明らかになった [3][4]。しかし、これらの実験結果を実際の地形変化に結び付けて考えるためには、もう一つの重要な地形形成要素である地殻変動も考慮する必要がある。そこで今回 (Run8) は、これまでの実験条件に加えて、隆起を加えた実験を行った。

## 2 実験経過

実験は、これまでと同様、高さ約 15cm で上面が  $90 \times 90$ cm ほど (測定範囲は  $76 \times 76$ cm) の細砂とカオリナイトの混合物で作った四角い砂山に農業用の灌水チューブから細かい人工雨を降らせて微小な侵食地形を作り出し、その形態変化を観測・計測するものである。今回は、この砂山の下に埋設する形で設置した隆起装置によって砂山全体を隆起させ、隆起をともなう微小侵食地形の発達過程を観測した。計測は、適宜降雨を止め (最初は降雨 1 時間後、その後は 2 の倍数の降雨時間ごと)、1cm 刻みの 77 本の測線についてポイントゲージを用いて行った。可能な限りすべての変曲点を計測し、解析のために  $1\text{cm} \times 1\text{cm}$  のグリッドデータに変換した。侵食による砂山の形態変化の概略は図 1 に示した。実験条件は次のとおりである。

砂：粘土 30 : 3  
 透水係数  $3.1 \times 10^{-4}$  cm/s  
 平均降雨 38 mm/h  
 降雨時間 255 h  
 隆起速度 0.5 – 1.6 mm/h

今回の実験で使用した砂はこれまでの実験のものと同製品としては同じ (硅砂 7 号:  $D_{50} = 0.18\text{mm}$ ) であったが、ソーティングが微妙に異なっており、標準的な透水係数 ( $10^{-4}\text{cm/s}$  オーダー) を持たせるために、粘土の割合を大

きくする必要があった。降雨開始後 1 時間 (1h) より隆起を始め、128 時間まで 1 時間おきに間欠的に隆起させた。降雨 32 時間までは 1 時間ごとに約 1.6mm、32 時間から 64 時間までは約 0.7mm/h、64 時間から 128 時間までは約 0.5mm/h の隆起を起こし、128 時間以降は隆起を停止した。最終的な隆起量は 107mm であった (図 2)。隆起速度が時間によって異なるのは主に隆起装置の調整具合のためである。降雨開始直後から表面流の見られた東南部の一角から渓谷状の谷侵食が始まったが、3 時間くらいの間は砂山外壁部に円弧地すべり状の崩壊も盛んに起こった。ただし、これらの崩壊は計測範囲外にあり、計測された侵食量に大きな影響は与えていない。

## 3 侵食経過に現れた隆起の影響

隆起が起きている間 (128 時間まで) の平均高度 ( $z_{mean}$ ) は、最初の 3 時間を除けば侵食による低下を見せていない。しかし、隆起量を除けばこれまでの Run と同様に指数関数的な低下が明白である (図 2)、これは、侵食量を除けば、オープンシステムにおける侵食が隆起

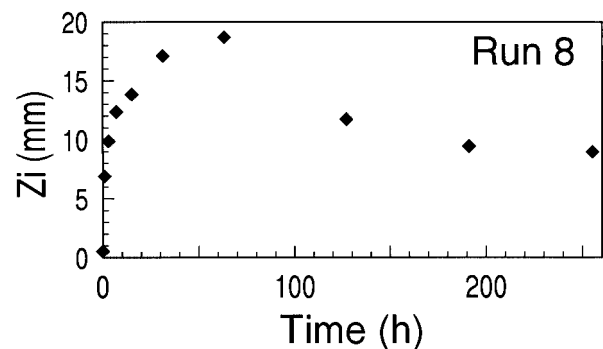


図 3  $10 \times 10\text{cm}$  の範囲内における高度の標準偏差 ( $Z_i$ ) の時間的变化。

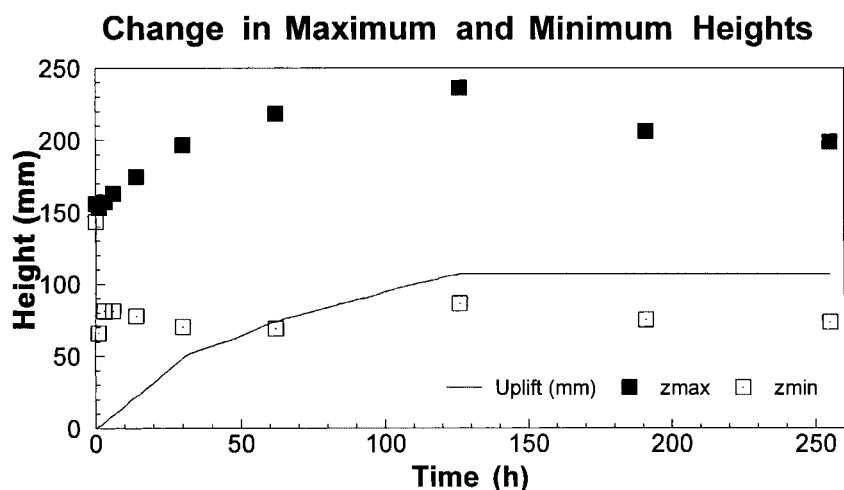


図 4 高度最高点 ( $z_{max}$ ) と最低点 ( $z_{min}$ ) の時間的变化。隆起量 ( $Uplift$ ) との関係に注意。

のあるなしにかかわらず、同様に進行することを示している。10×10cm の範囲内における高度の標準偏差 ( $Z_i$ ) は、63h に起伏最大の状態に達した後、減少に転じている (図 3)。この減少はこれまでの実験の場合と同様指数関数的に見えるが、指数関数での近似はあまりよくない (4 点で  $R^2 = 0.89$  程度)。これは隆起の影響で比較的大きな起伏の状態が持続したためであろう。高度の最高点は明らかに隆起とともに上昇しているが、最低点は降雨 1 時間で大きく低下した後あまり大きな変化が見られず (図 4)、隆起によって起伏が増大・維持されたことを示している。一旦谷系が発達すると谷筋に表面流が集中して下刻が進むため、一時的な谷中への堆積による多少の上昇を除けば、隆起による上昇を簡単に相殺することができたと考えられる。これに対して、尾根や山頂に当たる部分では侵食の進行が遅く、始原面が少しでも残っている間は高度最高点がほぼ隆起に合わせて上昇した。隆起終了後は高度最高点の低下が明らかであり、起伏の増大は隆起が続いている間進んだことになる。ただし、尾根や山頂の低下は 31h 以降には始まり、隆起終了までは上昇が続くものの、隆起速度より高度最高点の上昇のほうが遅くなっている。

$H'$  の算出にはこれまでと同様 area scaling method[2]を用いた。計測した形態はすべて自己アフィン性をもつフ

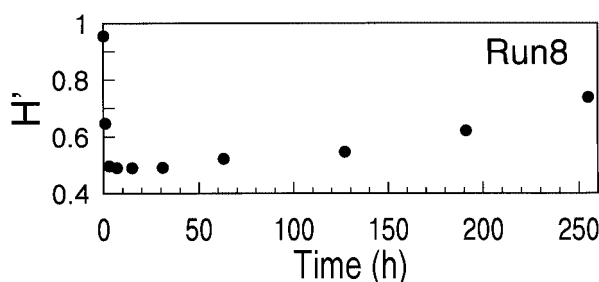


図 5  $H'$  の時間的变化。

ラクタルと考える事が可能であった。 $H'$  は、始原面の 0.95 から 1h には 0.63, 3h にはランダム表面を表す 0.5 に近い 0.49 となった (図 5)。その後 31h まではほぼ同じ値で推移し、31h から隆起終了 (127h) までは漸増傾向が見られた (127h で 0.55)。隆起終了後は形態の平坦化にともなって増加する傾向が見られ 255h には 0.74 まで増加した (図 5)。この変化の様子は、隆起という新たな条件が加わったにもかかわらず、これまでの実験結果と整合的である。これまでの実験結果はどの場合も、 $H'$  が人工的に作られた比較的滑らかな面を示す 1.0 に近い値から出発し、侵食による谷の発達とともにランダム表面を表す 0.5 に近づくことを示している。その後の変化は降雨量と砂山の材質 (ここでは砂:粘土の割合) の兼ね合いによって、そのまま 0.5 に漸近していく場合や谷系の消耗とともにもう一度値が大きくなり 0.5 ~ 1.0 の間のある値で安定する傾向を見せる場合がある。どの程度の値で安定傾向になるかは、降雨量と砂山の性質によると考えられる。

前回の報告 [5] では、このような  $H'$  の変化を、0.5 に漸近する Type A、一旦 0.5 に近い値をとった後に増加して 1.0 に近い値で安定傾向になる Type C、その中間の値で安定傾向になる Type B に分けて考えた。隆起の影響で  $Z_i$  の減少状態が異なるために時間軸を同様にとることができず、比較が難しいが、Run8 の実験結果は、TypeB に近いことを示している。現在、降雨量および砂山の性質が同一で隆起を起こさない実験 (Run9) を進めているが、これまでに得られた結果からは  $H'$  の変化に隆起の影響がほとんど現れないことが予想されている。隆起は起伏と侵食量には影響を与えるが、 $H'$  すなわち凹凸の性格にはあまり影響しないようである。

## 参 考 文 献

- [1] Matsushita, M., and Ouchi, S.: *On the self- affinity of various curves*. Journal of the Physical. Society of Japan, **58**, 1489-1492, 1989.
- [2] Ouchi, S., and Matsushita, M.: *Measurement of self-affinity on surfaces as a trial application of fractal geometry to landform analysis*. Geomorphology, **5**, 115-130, 1992.
- [3] Ouchi, S.: *Fractal analysis on the miniature erosion landform generated by artificial rainfall*. Geographical. Report of Tokyo Metropolitan University, **31**, 97-103, 1996.
- [4] Ouchi, S., and Matsushita, M.: *Morphological characteristics and evolution of miniature erosional landforms generated by artificial rainfall*. Jour. Inst. Science. and Engineering, Chuo University, **3**, 67-80, 1997.
- [5] 大内俊二, 松下 貢: 人工降雨による微小侵食地形の形態変化. 中央大学理工学研究所年報, **6**, 52-55.