

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

山地地形に代表される侵食地形については、証拠となる物質が持ち去られているためにその発達過程を知る手がかりが乏しく、地形の重要な部分をしめる割には理解が進んでいるとは言いがたい。地形そのものを手がかりする以外に侵食地形の形成過程を知る手立てがほとんどないということもできる。筆者らは、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を指摘し [1][2]、さらに、人工降雨によって形成される微小侵食地形の発達過程を観察・計測して、実際の侵食地形発達と H' などの変化との関連を探ってきた [3][4][5]。微小な実験地形ながら、降雨による侵食地形の変化過程を観察することが可能で、結果として残される侵食地形の形成過程を理解することに役立つと考えられる。前年より隆起を加えた実験を行っており [6][7]、今回は、隆起条件の異なる実験結果を比較して、隆起が微小侵食地形形成に与える影響を考察する。

2 実験設定

地下約 20cm に埋設した隆起装置の上に上面が 90×90cm ほど（測定範囲は 76×76cm）で地上に高さ約 15cm 出るように細砂とカオリナイトの混合物で四角い砂山を形成し、この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発達させた。実験開始 1 時間後から 1 時間おきに 1.6 ~ 0.2mm の隆起を 128 時間まで与えた場合（総隆起量約 107mm; Run8）、隆起なしに 255 時間まで降雨を与えた場合（Run9）、侵食が進み準平原状の形態が発達した 255 時間後から 1 時間おきに約 0.5mm の隆起を与えた場合（総隆起量約 112mm）(Run10)、における微小侵食地形の発達過程を観測・計測した。Run8 および Run10 の隆起速度は図 1 に示した。その他の実験条件は次のとおりである。

砂：粘土 30:3
透水係数 約 3.1×10^{-4} cm/s
平均降雨 約 38mm/h
降雨時間 Run8:255h, Run9:255h, Run10:536h

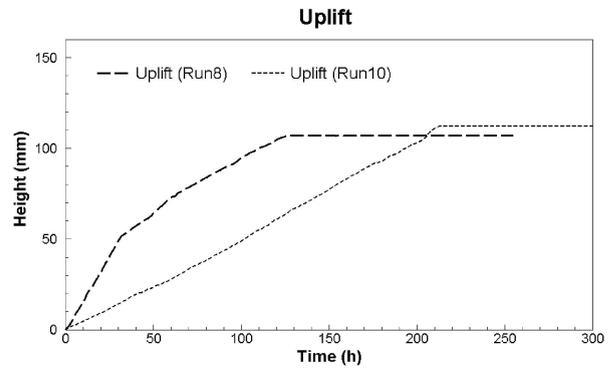


図 1 Run8 と Run10 における隆起。

3 実験経過

Run8 で隆起が起こっている間（128 時間まで）は、平均高度 (z_{mean}) の変化がはっきりしないが、隆起量を除くと隆起のない Run9 と同様に指数関数的な低下が明白となる（図 2）。隆起の分だけ侵食量が大きくなったわけである。これは、侵食量を除けば、平坦面を始原面とする侵食低下が隆起のあるなしにかかわらず、指数関数的に進行することを示している。Run10 では、平均高度は隆起とともに上昇に転じたが、その速度は隆起を下回っており、比較的ゆっくりとした隆起であっても侵食が隆起を相殺するまでいたらなかったことを示している（図 2）。隆起量を除くと、隆起が 2cm くらいになるまではわずかな低下が見られるだけであるが、その後隆起終了後も含めて緩やかながらほぼ指数関数的な低下が見られた（図 2）。ある程度の高度が得られると、平均高度の低下が指数関数的に進むことを示唆している。

最低点 (z_{min}) の変化は、Runs8, 9 の初期の急激な低下を除けば、大きな違いはないようであるが（図 3）、Run8, Run10 に隆起にともなうわずかな上昇が見られる。これに比べると、最高点 (z_{max}) は Run によって大きく異なる。Run9 では、一方的な低下を見せているのに対して、Runs8, 10 ではそれぞれの隆起にともなう上昇が明らかである（図 3）。最大起伏は隆起があれば増加するが、隆起がなければ初期の一時的増大を除いて減少すると言える。

10×10cm の範囲内における高度の標準偏差 (Z_i) は、Run8 と Run9 では、一旦増大した後減少し、次第に減少の度合いが小さくなるような変化を見せた（図 4）。Run8

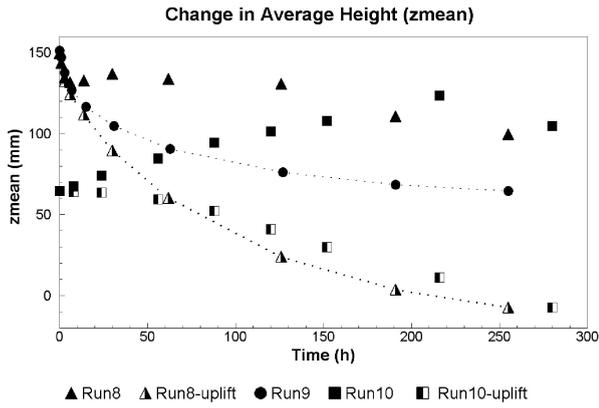


図2 Run8,9,10における平均高度 (z_{mean}) の変化。(Run10の300時間以降は示されていない。)

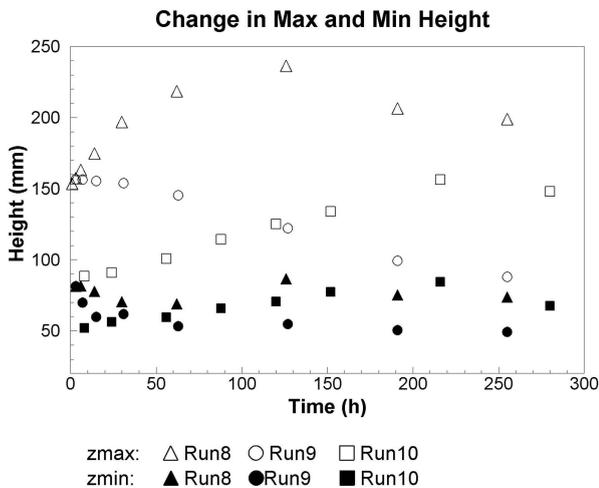


図3 Run8,9,10における最高点高度 (z_{max}) および最低点高度 (z_{min}) の変化。(Run10の300時間以降は示されていない。)

の隆起を考慮すれば、Run8とRun9で Z_i の変化はほとんど同じであったと言える。Run10では Z_i は隆起とともにゆっくり増大し、隆起終了後は明らかに減少してからほとんど変化しなくなった(図4)。 H' は、Run8、Run9では、始原面の1に近い値から急速にランダム表面を表す0.5に近い値となり、その後ゆっくりとした増加に転じた(図5)。これに対してRun10では、隆起終了後まで減少傾向が続き、最終的には0.6くらいの値で安定するようであった(図5)。

4 考察

Run8とRun9は、実験開始時の形態がほぼ同一であり、その後の変化も類似している。 z_{mean} 、 z_{min} 、 z_{max} の実際の変化は異なるが、隆起量を除いて考えると同様となるし、 H' はほとんど同じ変化を示した。始原面の高度・形態が同様であれば、隆起があってもなくてもその後の侵食の様子は侵食量以外ほとんど同様となることを意味している。

Run9は平坦地が瞬間的に約15cmの高さまで隆起した

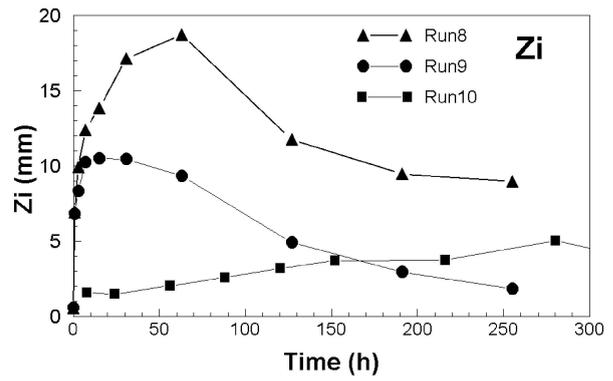


図4 Run8,9,10における Z_i の変化。(Run10の300時間以降は示されていない。)

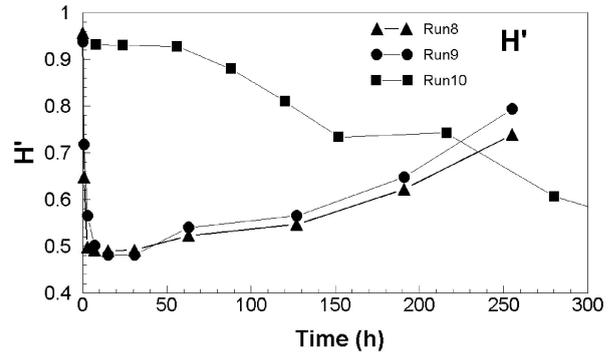


図5 Run8,9,10における H' の変化。(Run10の300時間以降は示されていない。)

場合と同等と考えることが可能で、隆起により最高点がRun9の実験開始時と同等の高さまで回復したRun10の隆起終了以降の変化と、隆起終了後の侵食による変化として比較することが可能である。最高点高度はほぼ同じ値から出発しているが、Run9では明確に低下しているのに対してRun10では大きな変化が見られない。最低点高度は、Run9の開始直後を除けば、隆起とそれに伴う扇状地の発達を反映してRun10のほうが10mmほど高いままほとんど変化なく推移している(図6)。すなわち、Run9では最大起伏がはっきり減少したが、Run10ではほとんど変化がなかったことになる。これに対して平均高度は、Run10の隆起後も緩やかではあるがRun9と同様指数関数的な低下を見せている(図7)。Run10では Z_i も H' もそれほど大きな変化は見せていない。Run9における侵食は平坦な高原状の地形を急速に下刻する谷系の発達で始まり、全体が平坦化していく様子を呈するが、Run10の隆起終了後は、急速な谷の下刻も新しい谷系の発達もなく、残丘状の地形を残しつつ中間的な斜面の平坦化が進んだようである。Run9では谷系の発達とともに侵食が進んだのに対して、Run10の隆起終了後は高い地点はすでに残丘状の地形となっており、水流による侵食が進みにくかったのでは

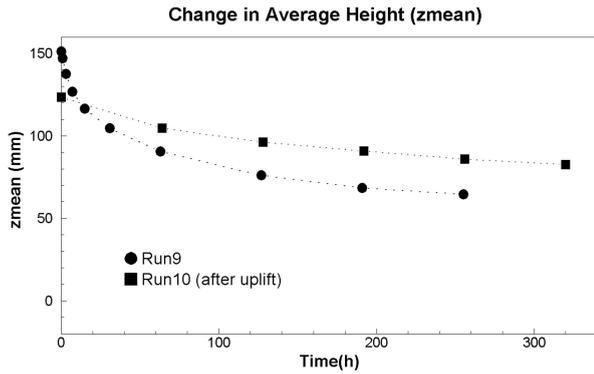


図6 Run9 および Run10 の隆起以降における平均高度 (zmean) の変化。

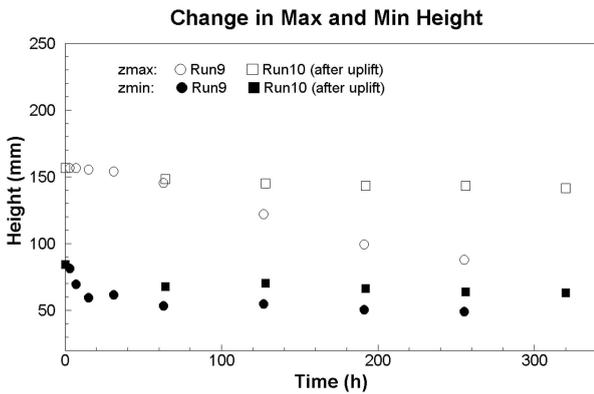


図7 Run9 および Run10 の隆起以降における最高点高度 (zmax) および最低点高度 (zmin) の変化。

ないだろうか。Run10 で隆起終了後に H' が明らかな変化傾向を示さないことは、後者の場合、侵食によって平坦化が進んでも基本的な凹凸の様子が変わらなかったことを意味している。 H' は大小の起伏のバランスによって決まる値で、起伏の大きさには左右されないことから考えると、いったんできあがった地形の平面的配置を保ったまま少しずつ平坦化が進んだと考えられる。

Run10 の隆起中の地形変化は、Run8 と隆起始源面の形態と高度が異なる場合として比較することもできる。急崖に囲まれた高原状の平坦面が急速に侵食されていくと同時に隆起が起こった Run8 の場合、急速な下刻と谷系の発達も隆起と同時に起こったため、この間は最低点高度と平均高度は隆起の影響がはっきりしない。最高点高度が隆起とともに上昇したのは、隆起によって谷の下刻が長引くことになり、側方への平坦化と始源面の消失が遅れたためではないだろうか。これに対して Run10 では、最高点高度、平均高度、最低点高度どれもが隆起とともに上昇しており、どの地点においても侵食が隆起を上回らなかったことを示している。ただし、最高点高度の場合でもその上昇は隆起量よりも小さく、全体的に侵食が起こっていたことも明らかである。

かである。隆起の影響は尾根部より中間的斜面の平坦化に表れるようである。Run8 と Run10 の基本的な違いは、谷系が発達する時期に隆起を受けたか、起伏が小さくなってゆっくりとした平坦化が進む時期に隆起を受けたかの違いである。さらに、Run8 と Run9 との比較で述べたように、始原面の高度と形態が隆起のあるなしにかかわらずその後の侵食形態を規定すると考えると、実験地形の場合、侵食のどの段階で隆起が始まりどの段階で終わったかが侵食地形の形態に重要な影響を与えようである。

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, 1999.
- [6] 大内俊二, 松下 貢: 隆起をともなう微小侵食地形の形態変化. 中央大学理工学研究所年報, 8, 28–31, 2001.
- [7] 大内俊二, 松下 貢: 隆起をともなう微小侵食地形の形態変化. 中央大学理工学研究所年報, 9, 42–47, 2002.