

平成 22 年 5 月 11 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19740313
 研究課題名（和文）地形・地層発達過程のマルチスケール干渉現象：流路発達モデル実験の時系列相関解析
 研究課題名（英文） Laboratory Channel experiments and time series analysis on topography and erosion-sedimentation processes.
 研究代表者
 遠藤 徳孝（ENDO NORITAKA）
 金沢大学・自然システム学系・助教
 研究者番号：60314358

研究成果の概要（和文）：小型平面水槽内で河川網のモデル地形を生じさせ、発達過程の特性を調べた。扇状地上の流路は時間的に遷移するが、遷移の仕方には時間経過に伴う履歴の影響が表れた。地層への応用面を考慮し、層厚分布に関する既存の確率モデルの逆問題を考察し、ある条件下で求解可能性を示した。本研究での確率モデルでは、堆積侵食量の発生確率分布は定常を仮定するが、今後は履歴効果を取り入れたモデルが求められる。

研究成果の概要（英文）：By flume experiments, characteristics of the topological development of stream channels on fans were investigated. The effect of its history (hysteresis) was observed in migration and avulsion of channels. Besides, it was found that the inverse problem of Kolmogorov model dealing with layer thickness distribution could be solved under particular conditions. In this work, the constant probabilistic function of erosion and sedimentation amounts were assumed. A model that can well reproduce hysteresis is a future work.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,400,000	0	1,400,000
2008 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	570,000	3,870,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：室内地形発達実験、モデル実験、地層形成

1. 研究開始当初の背景

地層と地形とは密接に関連しているが、それぞれの従来的な見方は、大雑把に言えば、

地層は場所を固定して時間軸でその変化を、地形は時間軸を固定して空間的な特徴を見てきたと言える。各々に関する自然現象は時間軸だけで見ても、あるいは、空間軸だけで

見ても、さまざまなスケールで同時に起こっている。我々はいつもそれらを適当なスケールごとに取り出して考察し、最終的には個々のスケールを持つ現象の重ね合わせと見るという立場を取ってきた。

地球科学的自然現象は、多様な要因が複雑に関連して引き起こされており、様々なスケールの揺らぎ（変動）を持つ。従って、ある現象が定常であるか、あるいは、非定常であるかは、われわれ観察者がどのようなタイムスケール and/or 空間スケールで見るか依存する。言い換えれば、どのような現象も、観察するスケールによって、定常であるようにも、非定常であるようにも見える。しかし、非定常でも、平均して安定に見える現象を我々は多く知っている。そもそも、人間個人の生活や社会活動も、時々自然災害に見舞われつつも、全体としては概ね安定であることを前提に成り立たせている。

本研究では、地質学的タイムスケールである一定の特徴付けが成される現象に対し、その内部の（マイクロな）変動に着目し、統計的な性質の理解を目指す。

2. 研究の目的

従来の、個々のスケールを持つ現象を重ね合わせて見るという立場は、全体像を捉える際、本当に正しいのだろうか。自発的な変動が生み出され、且つ、その結果としてもたらされる変化が直感的に捉えやすい河川水系網発達モデル実験を対象として、地形学的特徴の時間的空間的部分と全体との関連を考察する。

河川地形には、典型的とされるいくつかの形状パターンによる分類が古くからなされており、比較的広域の地形パラメータによる対応付けがなされている。しかし、ある広域外部条件に対してある河川パターンが実現している最中も、けして流路は静的に固定されているわけではない。

変動しつつも、ある特定の河川パターンを保っているわけであり、河川パターンは動的平衡状態である。しかし、そのローカルな地形特性の時間変動に関する統計的な性質はこれまでほとんど調べられていない。そこで、小型平面水槽内で河川モデル地形を生じさせ、写真解析から時系列データを収集する。また、これら流路の変動は、堆積場の移動や堆積量の変動を引き起こすだけでなく、侵食も生じさせる。これらの変動は、地形学的にはローカルな地表面の高低の変化として表されるが、堆積学的には、侵食は地層情報の喪失という形で生じる。一般に、侵食によって失われた地層情報を復元する方法はないが、地層ユニットの層厚の分布などは、流路

変動の統計的な性質が分かれば、それから推測できる可能性があり、この数理的な検証も行なう。

3. 研究の方法

小型の平面水槽内で、河川路発達モデル実験を行う。上流からの水の供給は、(1)水槽上流側に設置したタンクの水位を一定に保ち浸透水（非表面流）として供給する、または、(2)流量コントローラーで精密制御して表層水を供給する。水槽内で発達する地形に対して逐次写真撮影し、画像処理により流路変動の時間特性を統計的に調べる。(3)チャンネルをトレースした画像から、avulsionを認定する。Ashworth et al. (2004) では15分の間にチャンネルの幅以上の距離を側方に移動したものを avulsion と認定し avulsion 頻度を計測した。30秒間でのチャンネル幅以上の側方への移動を avulsion と認定し、より詳細にチャンネルの振る舞いを観察し avulsion の発生を計測した。(4) 流路変動の統計性質が分かった場合、何度も侵食を受けた地層への応用に関して数理的な手法を用いて、原理的な可能性について考察する。

4. 研究成果

浸透水のみの供給による実験では、シートフローはある程度の間隔を保ち斜面に均等に分布しているように見られる。このシートフローによって表面の砂がわずかに移動しているのが観察された。シートフローの砂の移動が活発な部分が初生的なチャンネルとなっており、実験開始後 2、3 分でチャンネルを形成し始めた。上流貯水槽の水位を設定水位まで 3 分間という短時間で上昇させたため、チャンネルが発生する位置は斜面の下流端というわけではなく、シートフローが土砂を運搬するのに十分な掃流力を持つ集中した部分にチャンネルができていった。Avulsion と呼ばれる、不連続的（突発的）に起きる流路変化には、1) 初生的な浅瀬から発達したチャンネルが流水を争奪するもの、2) チャンネルの屈曲部で新たな解析が生じるもの、3) 一旦放棄されたチャンネルに再び流入するもの、の3パターンが見られた。2) と 3) については野外からの報告でも指摘されている。時間が経つに連れて放棄されるチャンネルが増え 3) のタイプが起りやすくなっていくことを実験で確かめた。つまり、地形変化が履歴の影響を受け、時空間相関が強まることを意味する。また、表層水を供給した実験で扇状地の幅は、流量を変動する場合でもほぼ流量の時間平均値に依存し、流量変動がない場合と違

わない。一方、上流部のチャネルの幅は、流量変動に応じて変化し、各時点での流量の影響を比較的強く受けることがわかった。粘着性の無い砂の実験で見られたチャネルの蛇行では、湾曲の頂点が下流側に見られた。それに対し、粘着性を帯びた砂の実験で形成された蛇行は上流側に湾曲の頂点があり、蛇行部分が新たな谷頭として上流に開析するのが観察されたが、これは上流から供給される地下水の影響が考えられ、サッピングによる湧水が蛇行の上流側への移動を促した可能性がある。これはフィールド調査でも観察された地下水の流下方向に対して成長するサッピングキャニオンの性質によるものである。粘着性の無い砂では蛇行チャネルの攻撃斜面(下流側)での浸食が強く、下流側に頂点が移動したのではないかと考えられる。

地層への応用に関連して、ある与えられた確率分布で発生する堆積・侵食量の関数から、保存される地層の層厚分布を求めるKolmogorov モデル (1951)の逆問題について考察を行った。Kolmogorov モデルにおける確率論的平衡状態は、

$$f(x) = p \cdot g(x) + \int_{-\infty}^0 g(x-y)f(y)dy$$

で表される。ここで、 $f(x)$ は地層として残されるユニットの層厚の分布で、 $g(x)$ は侵食と堆積両方を含めた生起確率関数、 p は

$$p = \int_0^{\infty} f(x)dx$$

で表され、堆積が起きる全体の確率であり、Kolmogorov 係数と呼ばれる。Kolmogorov モデルにおける確率論的平衡状態の式は以下のように変形できる。

$$s(x) = g(x) + \int_{-\infty}^0 g(x-y)s(y)dy$$

ここで、 $s(x)$ には以下のような性質がある。

$$s(x) = f * (x) \text{ for } x > 0$$

及び、

$$f(x) = p \cdot s(x).$$

このモデルの逆問題は、

$$g(x) = s(x) - \int_{-\infty}^0 g(x-y)s(y)dy$$

で表され、 $s(x)$ が地層から得られる層厚分布で既知であり、 $g(x)$ について求めることになる。解は、

$$g(x) = \sum_r (-1)^r \int_{-\infty}^0 \int_{-\infty}^0 s(x-y_r L - y_1) s(y_1) L s(y_r) dy_1 L dy_r,$$

であることが示される。

収束性も確かめることができる。上式の各項について、先に x について全範囲で積分する。その後 $s(x)$ の性質を利用すると、各項の積分が計算でき、それらの和は等比級数の和であることが分かる。地層が残されるための条件から、それらの和が収束することが示される。よって、上式が求めたい侵食と堆積両方を含めた生起確率関数であり、侵食によって部分的に失われた情報が復元されうることを意味する。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

1. H. Naruse, O. Sequeiros, M. H. Garcia, G. Parker, N. Endo Kataoka, K. S., Yokokawa, M. and Muto, T. Self-accelerating turbidity currents at laboratory scale. River, Coastal and Estuarine Morphodynamics. RCEM 2007 - Dohmen-Janssen & Hulscher (eds) 4 / 1271 (p473-476). (2008 年) (査読あり)
2. Sequeiros, O. E., Naruse, H., Endo, N., Garcia, M. H., Parker, G. Experimental study on self-accelerating turbidity currents. Journal of Geophysical Research, 114, C05025. (2008 年) (査読あり)

[学会発表] (計 7 件)

1. 鈴木太郎・遠藤徳孝, シルトサイズの碎屑物からなるマイクロデルタの水路実験, 日本堆積学会, 2010 年 3 月 27 日, 茨城大 (茨城県).
2. 遠藤徳孝・上野佑基, Rhomboid rill の室内実験. 九州大学応用力学研究所研究集会「地形のダイナミクスとパターンとその境界領域」, 2009 年 11 月 25-26 日, 九州大学応用力学研究所 (福岡県).
3. 遠藤徳孝, 地層情報の保存性と層厚分布の再構成に関する理論研究, 日本地形学連合, 2009 年 10 月 3 日, 京都教育大 (京都府).
4. 上野佑基・遠藤徳孝, ロンボイド・リル (Rhomboid rills) の実験解析, 日本地形学連合, 2009 年 10 月 3 日, 京都教育大 (京都府).
5. 谷口圭輔・遠藤徳孝・関口秀雄, 角度変動量・継続時間が異なる二方向流下における孤立砂丘発達 - 水路実験に基づく変形プロセスの考察. 地形学連合 2008 年, 10 月 18 日, 駒沢大学 (東京都).
6. 遠藤徳孝, 超小型水槽を用いた湧水起源チャネル発達実験. 九州大学応用力学研究所研究集会「地形のダイナミクスとパターン」,

2007年11月15日，九州大学応用力学研究所
(福岡県)。

7. 谷口圭輔・遠藤徳孝・関口秀雄，2007，周
期的に流行変動する二方向流下で発達する
孤立砂丘の形態：地形発達の角度依存性に関
する水槽実験．地形学連合，2007年11月10
日，筑波大学（茨城県）。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

遠藤 徳孝 (ENDO NORITAKA)

金沢大学・自然システム学系・助教

研究者番号：60314358