

大陸 塩 辺域—水中プロセスによって大陸棚を形成するには溶解塩素が必要なのだろうか

Is dissolved salt necessary for the formation of continental shelves?

Parker Gary^{1*}

PARKER, Gary^{1*}

¹ イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校

¹University of Illinois Urbana-Champaign

大陸とニューギニアのような巨大な島のほとんどは大陸棚、大陸斜面、そしてコンチネンタルライズからなる、大陸縁辺域に囲まれている。ここで、炭酸プラットフォームではなく、河川が供給する陸成土によって形成される、碎屑性縁辺域を考える。大陸棚は非活動的縁辺域では広く、活動的縁辺域では狭い傾向を呈し、また河川デルタ周辺では沖方向に突き出ている事例が多い。しかしデルタとデルタの間大陸棚は途切れず、連続性のあるベンチ形状を示している。この巨大な形態を層序学的時間スケールでは単に、低海水準期に露出していた海岸平野が海進によって溺れたものに過ぎないという解釈がある。しかしかつて6000年にわたって海水準がほぼ停滞しているにもかかわらず、大陸棚や小規模プロトシェルフは水中形態力学プロセスによって活発に形成され、ベンチ状クライノフォームをなして沖向きに進出しているところが多い。一方、マラウィ湖やバイカル湖のような大規模淡水湖沼の場合、河川デルタは突き出ただけでデルタとデルタをつなぐベンチ状クライノフォームは見られない。ここでは、この海と淡水湖沼の違いは溶解塩素に依存する、という仮説を立てる。淡水湖沼の場合は塩水の密度障壁がないため、浮遊砂を運ぶ河川流はデルタで砂礫を落としてから混入し、混濁流に変化して泥を直接深い領域に運ぶ、ハイパーピクナルの傾向が強い。海の場合は河川流が海水の標準密度より重くなるには浮遊砂濃度が43,000 mg/l という、滅多に到達する事のない限界を超えなければならない。従って海に流入する河川流のほとんどはハイポピクナルとなり、混入せずに表層ブルームに変化する。泥は比較的浅い近岸海域に沈殿しているうちに波浪作用限界線をやや上回る陸成土プラットフォームを作る。さらに泥はその後、複合流によって浮遊され沖方向に運ばれ、斜面に堆積することによってクライノフォームを沖方向に前進させる。また、同じ浮遊砂は陸棚沿いプロセスによって再分配され、デルタとデルタをつなぐベンチを形成する。大陸棚はこのようにして海水固有の現象であることを仮定する。

キーワード: 大陸棚, デルタ, 混濁流, 海水, 淡水, 碎屑性縁辺域

Keywords: continental shelves, deltas, turbidity currents, seawater, fresh water, siliciclastic margins

デルタ性大陸棚のオート層序学: 開拓へ向けてのアイデア Autostratigraphy of delta-feeding continental shelves: A strategy to explore

武藤 鉄司^{1*}
MUTO, Tetsuji^{1*}

¹ 長崎大学水産・環境科学総合研究科

¹ Graduate School of Fisheries Science and Environmental Studies, Nagasaki University

河川デルタの前進・後退を繰り返しながら成長する大陸棚について、そのオート層序学を開拓するための予察的考察を披露したい。オート層序学は、堆積系の非平衡応答と決定論的オートジェネシスの理解に根差した成因論的層序学の新しい枠組みである。これまでのオート層序学は単調な海水準上昇もしくは単調な海水準下降のもとでのデルタ単体を対象としてきたにすぎない。これからのオート層序学の展開においては、より大きな時間空間スケールへ適用できるよう、枠組みを拡張・汎用化させることが肝要と思われる。なぜなら、時間空間スケールを大きくとるほど非平衡応答は顕著となり、オート層序学に立脚した考察が一層必須かつ有効となるからだ。この拡張戦略のもと、沖積河川上流端?デルタ海岸?大陸棚外縁を一つの堆積系として捉え、多サイクル海水準変動のもとでのマクロな地層・地形形成過程とその結果としてのマクロな層序構造を説明するオート層序学を構築したいと考えている。この場合、デルタは大陸棚堆積系の構成要素であると同時に大陸棚成長の主駆動部でもある。したがって、デルタの非平衡応答の理解が基礎となるが、考察において最も注目すべき点は、大陸棚が海水準変動を何度も経験しながら成長する過程でデルタおよび大陸棚全系の非平衡応答が変貌していくと予想されることである。非平衡応答が具体的にどう変わり、そのことが大陸棚のマクロ層序にどう反映されるのかを突き止めたい。これによって、大陸棚オート層序学の端緒を切り拓きたいと考えている。

キーワード: オート層序学, 大陸棚, デルタ, 海水準変動, モデル実験, 非平衡応答

Keywords: autostratigraphy, continental shelf, river deltas, sea level changes, model experiment, non-equilibrium response

熊野沖斜面域における 2011 年熊野川洪水堆積物の特徴 Characteristics of 2011 Kumano River flood deposits on off Kumano submarine slope

池原 研^{1*}, 宇佐見 和子¹, 芦 寿一郎²

IKEHARA, Ken^{1*}, USAMI, Kazuko¹, ASHI, Juichiro²

¹ 産業技術総合研究所地質情報研究部門, ² 東京大学大気海洋研究所

¹Institute of Geology and Geoinformation, AIST, ²Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo

2011年9月の台風12号による熊野川の洪水起源と考えられる堆積物を熊野沖海底で確認した。2地点で採取された試料の最表層部には褐色で通常時の半遠洋性泥よりもやや密度の高い泥層が認められる。洪水以前に同じ斜面から採取された試料にはこの泥層は確認されておらず、台風12号による洪水堆積物と考えられる。この泥は粘土鉱物と碎屑粒子に富む。また、基底は明瞭であり、2枚の泥層が癒着して重なりあう場合もあるが、砂層部分はほとんど認められない。先行研究で1889年十津川洪水に対比されている砂層は碎屑粒子と植物片に富み、また厚い砂層を持つが、これとは明らかに特徴が異なる。土砂ダムの決壊や河口砂州の崩壊などの有無がこのような違いをもたらしたと推定される。

キーワード: 海底堆積物, 洪水, 海底環境, ハイパーピクナル流

Keywords: marine sediments, flood, sea bottom environment, hyperpycnal flow

泥池化過程の小型海盆で生成するタービダイト層序パターン：水槽実験による解析 Stratigraphic patterns of turbidites in ponded submarine minibasins: Implications from flume experiments

橋 宏樹^{1*}, 成瀬 元², 武藤 鉄司³

TAKAHASHI, Hiroki^{1*}, Hajime Naruse², Tetsuji Muto³

¹ 千葉大学大学院理学研究科, ² 京都大学大学院理学研究科, ³ 長崎大学大学院生産科学研究科

¹Graduate School of Science, Chiba University, ²Department of Geology and Mineralogy, Graduate School of Science, Kyoto University, ³Graduate School of Science and Technology, Nagasaki University

現世大陸斜面の多くで閉塞的な小型海盆が存在する。非活動的縁辺域では、岩塩ダイアピルに由来する隆起体が無数の小型盆地を形づくる (e.g. メキシコ湾海底斜面)。活動的縁辺域でも、付加体内部の衝上断層活動によって小型海盆が形成されている (e.g. 南海トラフ陸側斜面)。それらの小型海盆は混濁流がもたらす陸源堆積物によって埋積される過程にあると考えられる。

タービダイト堆積系あるいは混濁流の規模に対して海盆が十分に大きければ、混濁流は下流側縁辺に到着する前に終息してしまうので、安定大陸縁で一般的にみられるような海底扇状地系が形成される。一方、海盆が小さければ、混濁流は流れが終息する前に海盆下流端の地形的高まりへ到達する。必然的に、流れの挙動はこの閉塞地形の影響を強く受ける。

混濁流への地形的制約は流れの持続時間によっても異なる。混濁流には短時間で流れが終息するサージ型と長時間流れが維持される持続型がある。小型海盆に流入するサージ型の混濁流は海盆下流端で反射し、二流向を示すタービダイトを堆積させる。一方、持続的な混濁流は海盆内に濁水を蓄積し、混濁していない上位海水との間に明瞭な密度界面を形成する。閉塞的な小型海盆のタービダイトの埋積過程では、このような泥池化現象がタービダイト層の堆積地形および層序パターンの形成を支配している可能性がある。

泥池化現象のタービダイト層序パターンへの影響を検討するため、泥池化が進行ししかもその界面が上昇傾向にある小型海盆をモデル実験で再現した。実験は長崎大学の一次元水槽マルジ6号 (長さ 6.5m × 幅 0.60m × 深さ 1.3m) を用いて、次の手順でおこなわれた。まず、真水で満たされたマルジ6号内に塩水用ビニル容器 (長さ 6.5m × 幅 0.18m × 深さ 1.0m) を置き、その中へ下流端が開いたアクリル水路 (長さ 4.0m × 内幅 0.020m × 深さ 0.50m) を適度の勾配を付けて固定した。軽量プラスチック粒子を重量濃度 14% の着色塩水とともにアクリル水路の上流側から一定流量で供給することによって、アクリル水路内に塩水と真水とを分ける密度界面を生じさせた。すなわち泥池化の始まりである。実験中、上流側からの混濁流 (塩水 + プラスチック粒子) の一定供給により、塩水準 (= 界面位) を一定速度で上昇させた。このような設定のもとで、混濁流の挙動とタービダイト層序パターンを調べた。この実験において、プラスチック粒子は混濁流中の砂を、塩水は泥を、真水は海水を、アクリル水路床面と塩化ビニル容器は閉塞小型海盆を、それぞれ模している。

初期条件を変えた複数シリーズの実験を実施したところ、次のような現象が観察された。

(1) 最終的に形成されたタービダイト堆積層は下流側斜面に丸みを帯びたギルバート型デルタと酷似したジオメトリを呈する。

(2) 泥水準の近傍にタービダイト堆積面が低勾配 (上流側斜面 = トップセット) から高勾配 (下流側斜面 = フォーセット) へと急変するフォーセット?トップセット境界が現れる。

(3) フォーセット?トップセット境界の上流側ではアンティデュオンやサイクリックステップなどの高流階ベッドフォームが生じるのに対し、下流側ではプレーンベッドが発達する傾向がある。

さらに、泥水準が上昇する条件下では、

(4) フォーセット?トップセット境界は下流進行したのちに上流進行を経験する。

(5) フォーセット?トップセット境界が上流進行する場合、下流側斜面での堆積作用は無堆積となることがある。

(6) タービダイト層序パターンはフォーセット?トップセット境界の移動軌跡を反映する。初期塩水準位置 (実験開始時の塩水準と水路床の交点) で得られるタービダイト柱状断面は、下部がフォーセット堆積物、中部がトップセット堆積物、上部は再びフォーセット堆積物で構成される。フォーセット?トップセット境界の挙動は、流入する混濁流の流量、堆積物供給速度、泥水準上昇速度に依存する。上流側斜面の長さには堆積物供給速度と泥水準上昇速度によって決まる限界値が存在するようである。下流側斜面の無堆積化は直接的にはこの限界長さの実現と関係していると考えられる。

混濁流堆積系における傾斜変換点の存在とその後退過程は、小型海盆を埋積する海底扇状地の地震波探査プロフィールに実際に認められる。また、数値シミュレーションにより、小型海盆のタービダイト層序パターンを解析することができた。これらの結果をフィールド事例と比較対照することにより、閉塞小型海盆におけるタービダイト層序パターンの理解が一層深まると期待される。

キーワード: 小型海盆, 泥池化, タービダイト, 水槽実験

Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SCG73-04

会場:202

時間:5月21日 14:30-14:45

Keywords: Minibasin, Ponding, Turbidite, Flume experiments

地形実験における山地の成長限界について Limit of mountain growth in the rainfall-erosion and uplift experiment

大内 俊二^{1*}
OUCHI, Shunji^{1*}

¹ 中央大学理工学部

¹ College of science and engineering, Chuo University

隆起と降雨侵食によるこれまでの地形発達実験において、実験地形の発達を規定する隆起速度の閾値が二つ存在することが推定された。隆起速度が小さく下方閾値を下回る場合、流水による侵食が卓越し、実験材料の侵食に対する抵抗性を反映した起伏が形成されて安定するようであった（特徴的起伏段階）。隆起速度がこの閾値を越えると、起伏が成長するようになり崩壊やクリープなど斜面侵食のプロセスが重要になってくる。隆起とともに斜面が成長し、ある限度に達すると崩壊することを繰り返すようになる。崩壊土砂は流水によって運搬・排出され、この斜面と流水のプロセス間のバランスによって隆起速度（すなわち斜面の成長速度）に対応した起伏が保たれるようになる（平衡状態段階）。隆起速度がさらに増大して上方閾値を越えるようになると隆起による起伏の成長が進み、山脈状の地形が発達するようになる（山脈成長段階）と考えた。今回はこの上方閾値と山地の成長限界についての実験結果を報告する。

実験はこれまでと同様、細砂とカオリナイトの混合物からなる上面 60 × 60 cm の砂山を隆起装置で隆起させると同時に人工降雨（約 40 mm/h）による侵食を起こすものであるが、砂山周りの堆積域の幅が 10 cm と狭くなったことと降雨が霧状となったことが異なる。ここでは隆起速度が異なる 2 回の実験（run 25、run 26）を報告する。隆起速度はそれぞれ約 5 mm/h と約 0.4 mm/h である。隆起が速い場合（run 25）、最高点高度も平均高度も隆起とともに急速に上昇するが、平均高度は 40 h 過ぎから上昇速度が鈍り、その後 100 mm（56 h）を越えたところから低下を始めた。最高点高度は、56 h 過ぎから上昇速度が鈍りだし隆起終了（72 h）まで上昇を示した（240 mm まで）が、その後平均高度と同様急速に低下した。150 h 以降は実験終了（1000 h）までわずかな低下を示すのみで、地形もほとんど変わらない状態となった。隆起の遅い run 26 では、隆起とともに上昇した隆起域の平均高度が 200 h あたりから上昇速度を低下させ、100 mm に達した 600 h あたりからは、比較的急速な低下とゆっくりとした上昇を繰り返して長期的には一定の高度を維持するような様相を呈した。最高点高度も 680 h あたりまで（高度約 220 mm）は隆起を反映した上昇を示すが、その後は低下と上昇の繰り返し長期的にはほぼ一定の高度を保つようであった。

今回の主要目的は隆起速度の上方閾値の確認であったが、2 つの run で隆起速度が大きく異なるにもかかわらず、平均高度・最高点高度が似たような高さに達してそれ以上の上昇が抑えられるような変化を見せた。これは、上方閾値以外に実験山地の成長限界が存在していることを示唆している。この山地成長限界は堆積域の幅（10 cm）と砂山構成物質の性質によって規定されると考えられ、今回の実験条件においては、前回までの実験では疑似平衡状態の段階にあると考えられる約 0.4 mm/h の隆起速度であっても、隆起と侵食の平衡状態ではなく山地成長限界に達したと思われる。霧状の降雨が表流水の発生（そして侵食）を少なくして隆起速度の上方閾値を低下させたことも考えられるが、隆起速度から見て、幅が狭い堆積域が山地成長限界を低くしたために、疑似平衡状態に至る前に山地成長限界に達したとしたほうが説明しやすい。隆起速度に近かった平均高度あるいは最高点高度の上昇が減速し出すのは、急斜面が発達し斜面崩壊土砂が直接堆積域の外に出てしまうことが目立つようになってからであった。最高点高度から考えると、0.6 あたりにこの実験条件での限界勾配（角度約 30°）があり、これを超えると大規模な斜面崩壊が頻発して高度の低下が起これ、下回ると隆起が卓越して上昇すると推定できる。堆積域の幅が狭ければ、当然、高度がより低いところでこの限界勾配に達することになる。また、広くて崩壊土砂が直接堆積域外に出ることが難しくなれば、隆起域内に崩壊土砂がいったん堆積することが多くなり、実験域外への砂の排出は表流水による運搬が中心となる。そして、堆積が進む分だけ隆起域の高度も上昇できることになるだろう。今回の実験の 10 cm という堆積域の幅はこれまでの実験（約 60 cm）に比べてかなり狭く、それだけ限界勾配に達する高度が低かったのではないだろうか。ただし、最高点高度も平均高度もこれまでの実験の疑似平衡状態から推定できる高さを越えており、この点については、降雨の性質の違いによって表流水による侵食が弱くなっていた可能性を考える必要がある。この侵食力低下のために隆起速度の上方閾値が下がってしまい、低くなった成長限界に達することがより容易になったのではないだろうか。

キーワード: 降雨侵食実験, 隆起速度の閾値, 山地成長限界, 堆積場, 斜面プロセス, 流水侵食

Keywords: rainfall-erosion experiment, threshold uplift rate, limit of mountain growth, deposition area, slope processes, fluvial erosion

河川堆積物中の石英粒子を用いた揚子江支流からの懸濁物流量復元 Reconstruction of suspension fluxes from branches of Yangtze River using quartz in river sediments

齋藤 京太^{1*}, 多田 隆治¹, 入野 智久², Zheng Hongbo³, Chao Luo³, Mengying He³, 鈴木 克明¹, Wang Ping³
SAITO, Keita^{1*}, TADA, Ryuji¹, IRINO, Tomohisa², Zheng Hongbo³, Chao Luo³, Mengying He³, SUZUKI, Yoshiaki¹, Wang Ping³

¹ 東大・理・地球惑星, ² 北大・地球環境科学, ³ Nanjing Univ.

¹ EPS, Univ of Tokyo, ² Univ. Hokkaido, ³ Nanjing Univ.

揚子江では全流域にわたり観測地点が整備され、本流だけでなく支流についても水や懸濁粒子の流量が測定されているので、それらの時空間変化を知ることができる。しかし懸濁粒子の流出量の観測が始まったのは1950年代以降であるため、それ以前の懸濁粒子流出量を直接知ることは不可能である。観測開始以前における、揚子江から流出する全堆積物への各支流の寄与を推定するためには、揚子江河口における過去の堆積物記録の利用が考えられるが、その場合各支流から流れ出る懸濁粒子を識別するための指標が必要となる。

そこで本研究では、石英粒子のESR(電子スピン共鳴)信号と結晶化度(CI)を用いて、各支流から流出する懸濁粒子の特徴づけを行うとともに、支流合流前後での懸濁粒子のESR信号強度やCIの変化から、本流起源と支流起源の懸濁粒子の混合比を復元し、実際の観測量と比較することで、各支流由来の懸濁粒子を区別する指標の確立を目指す。

具体的には、まず水の同位体比から本流と支流の水の流出量比を求め、それに懸濁物濃度を掛けることにより、合流前の本流と支流の懸濁粒子フラックス比を算出する。合流前の本流と各支流の粒子のESR信号強度とCIから、比の計算により合流後のESR信号強度とCIが予測される。これを合流後の堆積物における実際のESR信号強度と比較することで、指標としてのESRおよびCIの妥当性を検証する。もし両者が一致すれば、合流前支流・合流前本流・合流後本流のESR値やCI値から逆に支流と本流の粒子流出比を推測することが可能となる。同様の分析を揚子江の主要な9支流について行い、ESR信号とCIの指標としての有用性を検証するとともに、各支流に由来する粒子の特性を明らかにすることを旨とする。

キーワード: 揚子江, 河川堆積物, 堆積物流量, ESR信号強度, 結晶化度

Keywords: Yangtze River, river sediments, sediment flux, ESR signal intensity, Crystallinity Index

アスペクト比が1000以上の条件での網状流路の数値解析 Numerical simulation of braided channels with aspect ratio larger than 1000

竹林 洋史^{1*}, 藤田正治¹

TAKEBAYASHI, Hiroshi^{1*}, Masaharu Fujita¹

¹ 京都大学防災研究所

¹ Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

Rivers all over the world face to a rapid climate change because of the global warming phenomena. Climate change will change the precipitation characteristics, sediment production characteristics and vegetation growth characteristics. As a result, water discharge, sediment transport rate and sediment size of bed material in downstream area will be changed. These spatiotemporal changes of water discharge, sediment transport rate and sediment size will change the geometric characteristics of channels and bed configuration. Braided channels produce diversified physical environment and it is considered that the diversity of the physical environment must affect on the quality of ecosystem in the river. Hence, the temporal changes of the bed configuration and geometric characteristics of bars affects on the quality of ecosystem. In this study, effects of increase and decrease in water and sediment supplies on geometry of braided streams with large aspect ratio (larger than 1000) are discussed by use of results of horizontal two dimensional bed deformation analysis.

The straight rectangular open channel with the constant channel slope is used as the calculation domain. The bed slope is 0.0032. The channel width is 1000m. These values are decided by channel characteristics of the Tagliamento River at the upstream area of Pinzano. The braided width is used for the channel width here. Hence, the channel width includes the potential channel area; the vegetated area along the river is included in the calculation area. The bed materials are treated as both non-uniform sediment and uniform sediment with a particle mean diameter of 2 cm. The distribution is decided by the results of field survey performed in Sep. 2009. Growth and wash away process of vegetation is considered in the model. 1200m³/s, 1800m³/s and 600m³/s are selected as the water discharges in the analysis. All hydraulic conditions are located in the formative conditions of braided stream (Takebayashi H. and Egashira S. (2000)). Water discharge in Case 1 is 1200 m³/s and the aspect ratio is 1204. Vegetation growth is considered and the bed material is treated as uniform sediment. Water discharge in Case 2 is 1.5 times as that in Case 1. Sediment transport rate at upstream boundary is calculated by use of the equilibrium sediment transport formula. As a result, the sediment discharge at upstream boundary in Case 2 is 2.7 times as that in Case 1. Water discharge and sediment discharge at upstream end in Case 3 are 0.5 times and 0.02 times as those in Case 1, respectively. Water and sediment discharges in Case 4 are the same as that in Case 2. However, vegetation growth is neglected in Case 4. Water discharge in Case 5 is the same as that in Case 1. However, bed material is treated as non-uniform sediment in Case 5.

The results are summarized as follows:

(1) The numerical model can reproduce the periodical multiple row bars which has 7 rows in the first stage of the bed deformation. The periodical bars are transformed to irregular braided channels.

(2) When water and sediment supplies are increased, the number of channels is decreased. In addition, when water and sediment supplies are increased, two or three large channels which have the nearly same scale are formed. These results show that the size distribution of habitats is changed very well due to the change of water and sediment supply conditions.

(3) When water discharge becomes half, sediment transport rate decreased to 2%, because sediment transport rate decreases rapidly near critical shear stress.

(4) When vegetation growth is neglected, the maximum scale of islands becomes smaller.

(5) When bed material has wide size distribution, the scale of the islands and the submerged bars becomes large. Furthermore, width-depth ratio of each channel becomes large, because armoring phenomena of bed material is developed in channels and bed degradation is suppressed.

Keywords: Braided channel, Numerical analysis, Aspect ratio, Vegetation, Tagliamento River, Multiple row bar

降雨によって急勾配斜面上に形成される水路網 Channel networks formed on steep slopes due to rainfall

泉 典洋^{1*}, 長原 準也²

IZUMI, Norihiro^{1*}, Junya Nagahara²

¹ 北海道大学工学研究院, ² 札幌市

¹Faculty of Engineering, Hokkaido University, ²Sapporo City Office

It is commonly observed that channel networks are formed on slopes subject to erosion due to flowing water. Characteristic morphology of channel networks has been attracting many researchers' interest since long time ago. In the case of mild slopes for flow to be subcritical in the Froude sense, the flow is affected by morphology at the downstream end. Indentations formed at the downstream end of the slope attracts more water than other parts, and the resultant concentration of erosion takes place at the indentations. The interaction between flowing water and morphological changes causes the formation of channel networks. Taking into account of this physical process, the author has performed linear stability analysis to explain the formation of channels on mild slopes. According to their results, channels with spacing equivalent to the critical flow depth divided by the friction coefficient grow faster than those with other spacing. Estimating the friction coefficient to be on the order of 0.01, he concluded that the channel spacing is on the order of one thousand times the critical flow depth. On the other hand, however, his analysis shed no further light on the formation of channels on slopes in the Froude sense. In this study, a series of experiments have been performed to study the formation of channels on steep slopes. According to the experimental results, channels are formed from the downstream end in the case of relatively mild slopes such as 10 degrees, and the channel spacing is relatively large. When the slope angle is 20 degrees, relatively narrow-spaced parallel channels are formed on slopes. When the slope angle is larger than 30 degrees, rhomboid patterns of channels are formed on slopes.

キーワード: 水路網, ガリ, 降雨, 侵食

Keywords: Channel network, gully, rainfall, erosion

数値模型で探る環境変動下での砂丘形態

Dune morphology changed by multiple flow conditions using a numerical simulation

勝木 厚成^{1*}

KATSUKI, Atsunari^{1*}

¹ 日本大学理工学部

¹ CST, Nihon University

地形の多くは粉粒体と流れによって形成されており、その代表的なものに砂丘がある。砂丘は物理的興味だけでなく環境問題にも深く関わっており、例えば、高さ数十 m の砂丘が道路や畑、街までも飲み込む砂丘災害がいられている。また、砂丘の様子は砂漠だけでなく海底や火星、金星、土星の衛星タイタンにもみられており、その形態から砂丘周りの砂の量や風の方向などの環境条件を知ることができる。この環境条件を知るためには、様々な砂丘形態の成因や変形過程の事前の豊富な知識は必須である。そこで、本発表では砂丘形態の相図とその時間発展のカタログを作成することを目的とした。使用した数値模型はサルテーションとアバランチを素過程とした格子模型で、計算コストを大幅に削減することができ、複雑な地形形状を容易に計算機上で再現することが可能な模型である。この模型は実験や野外観測で得られた砂丘形態を良く再現することができることが分かっている。ここでは、高さを $h(x,y,t)$ としたときの、サルテーション関数を $Ls=a+bh(x,y,t)-ch^2(x,y,t)$ [ただし、 $a=1, b=1, c=0.01$ とする] とした。また、雪崩は安息角を超えた余剰砂は最も急峻な斜面に流れることとした。

この砂丘模型を使って、風の方向と砂の量を変えたときの相図を作ったところ、三日月型砂丘（風下に角を向けた三日月型の砂丘：風が1方向で砂の量が少ない場合）、横列砂丘（風の方向に対して峰が垂直方向に並ぶ砂丘：風の方向が1方向で砂の量が多い場合）、縦列砂丘（風の合力方向に峰が並ぶ砂丘：風の方向が2方向で砂の量が多い場合）、星形砂丘（星の様に腕が多少伸びた形状をした砂丘：風の方向が3方向以上で砂の量が多い場合）、涙型砂丘（風上が丸く大きく、風下側の角が1本の砂丘：風の方向が2方向で砂の量が少ない場合）、ネットワーク砂丘（星形砂丘がつながった砂丘：風の方向が2方向以上で砂の量が星形砂丘より少ない場合）を再現することに成功した。特にネットワーク砂丘は相図のどこにあるかは諸説があり今回の計算を通してその位置を明らかにすることができた。また、砂の全移動量を各場所、各時刻毎に詳細に調べることによって、横列砂丘と縦列砂丘の形成過程の違いを明らかにした。次に、安定してできた砂丘形態に環境変動を加える事によって、出現する砂丘形態は、一様な砂場の初期条件から生成される形態とは異なるものが現れることが分かってきた。

キーワード: 砂丘, 変形

Keywords: dune, morphology

流体力学的相互作用を組み込んだ粉体なだれのパターン形成 Pattern formation of granular avalanches simulated by particle method with hydrodynamics interaction

新屋 啓文^{1*}, 粟津 暁紀¹, 西森 拓¹
NIIYA, Hirofumi^{1*}, Akinori Awazu¹, Hiraku Nishimori¹

¹ 広島大学大学院 理学研究科 数理分子生命理学専攻
¹Department of Mathematical and Life Sciences, Hiroshima University

なだれは雪崩に限らず、岩屑流や火砕流、土石流などの重力流や密度流といった大規模な斜面崩壊現象の類として取り扱われる。これらの流れは粉体と流体が混合した状態で斜面を下り、なだれ前端に大きな物質が集まり頭状の大きな膨らみ、なだれ後端に小さな物質が集まり尾状の細長い、頭部-尾部構造と呼ばれる共通の構造を形成することが知られている。そして、頭部-尾部構造を形成する要因として、空気抵抗と重力の比率が重要と考えられている。例えば、ポリスチレンのような低密度粒子を斜面上に流した場合、頭部-尾部構造が形成され、かつ、なだれ前端に波上のパターン（複数の頭部）が形成される [1]。さらに、形成される頭部の大きさは用いる粒径に依存すると報告されている。一方で、ガラスビーズのような高密度粒子を斜面上に流した場合（空気抵抗 \ll 重力）、頭部-尾部構造は形成されないが、低密度粒子流と同様に波状のパターンが形成される [2]。これらの実験結果を説明する理論的考察として、なだれを流体と仮定する流体モデルや、なだれを一つの大きな粒子と仮定する質量中心モデルなどが存在する。しかしながら、なだれを構成している物質はポリスチレンやガラスビーズのような粉体であり流体ではない。また、上記モデルで考慮されていない粉体間の相互作用が非自明な役割を果たしている可能性もある。そこで、我々は既存モデルの欠点を打開するため、以下の粒子モデルを提案する。

モデルは以下の3つを仮定する。まず、粉体は球状粒子（3次元）で表現され、2次元平面上のみを運動する。次に、粒子の回転を無視し、並進運動のみを考慮する。最後に、粒子に働く力として、(i) なだれの駆動力である重力、(ii) 排除体積効果を引き起こす粉体間の接触力、(iii) 流体から受ける抵抗力の3つを取り入る。

我々は上記モデルを用い、一定角度の斜面上に粒子を運動させることで、なだれ前端に生じる不安定化及びパターン形成に着目した。そして、用いる粒子数を2000と固定し、初期配置にi) 円型とii) 直線型の2種類を使用した。その結果、i) 円型の場合、粒径に依存せずに単体の頭部が形成され、なだれ内部に渦対の発生を確認した。一方で、粒径の増加は後方に位置する粒子を前方へ引き出す効果を高めている。ii) 直線型の場合、空気抵抗によりなだれ前端が不安定化し、波状のパターン（複数の頭部）が形成された。また、頭部の幅は粒径と線型の関係にあることが分かった。

References

- [1] Y. Nohguchi and H. Ozawa: *Phys. D* **238** (2009) 20.
- [2] O. Pouliquen, J. Delour and S. B. Savage: *Nature* **386** (1997) 816.
- [3] C. Hartel, E. Meiburg and F. Necker: *J. Fluid Mecha.* **418** (2000) 213.
- [4] Y. Nohguchi: *Ann. Glaciol* **13** (1989) 215.

キーワード: なだれ, パターン形成, 粒子法, 数値計算

Keywords: avalanche, pattern formation, particle method, numerical simulation

1次元柱状情報から推測するタービダイト堆積体の規模 Volume of turbidite body evaluated from 1-D geological information

石原 与四郎^{1*}, 高野 修²

ISHIHARA, Yoshiro^{1*}, TAKANO, Osamu²

¹ 福岡大学理学部, ² 石油資源開発株式会社技術研究所

¹Department of Earth System Science, ²Japan Petroleum Exploration, JAPEX Research Center

タービダイトサクセッションの1次元柱状情報, すなわち, 野外や坑井の数値情報から得られる柱状図から堆積環境を推定し, 実際に3次元的に分布している堆積体の規模を見積もるためには多くの仮定を必要とする上, 専門家の経験や知識を欠くことはできない. 一方, タービダイトサクセッションから堆積環境や堆積エレメントを判定する際には, 多かれ少なかれ, 個々のタービダイトの層厚, 半遠洋性泥岩との層厚の比, 垂直的な層厚の変化傾向, 層厚のばらつき, 層厚や層相の側方変化を考慮に入れる. したがって, 限定的な条件付きとなるかも知れないが, 1次元柱状情報のみからも, このような傾向を統計的に表現することで, 堆積体の規模の拘束条件となる堆積環境や堆積エレメントを推定し, これらに基づいて堆積体の規模や連続性を抽出するということが可能であると考えられる. 本研究では, タービダイトサクセッションから得られる情報についてまとめ, それらと単層形態, 堆積エレメントごとの層厚の傾向から, 特に堆積体の規模を見積もる方法について検討した.

タービダイトサクセッションのうち, 連続性の良い堆積体をもつ堆積エレメントの例としては, チャネル充填堆積物や海底扇状地におけるローブ堆積物がある. ローブの堆積物は, 側方へ連続性が良く, タービダイトの堆積体としては最も主要なものである. 1ヶ所で得られた柱状図から堆積体の規模を見積もる上では, それぞれ独立した情報ではないが, 少なくとも(1)堆積体の側方への分布規模(2)堆積体の厚さ(3)堆積体での観測位置, が必要であると考えられる. 本研究では, 比較的これらの条件を満たしやすく, 堆積体の規模も大きなローブを対象とした. 実際には, 複数のタービダイトサクセッションを検討してローブ相の統計的特徴や堆積体の観測位置の推定手法をまとめた上, 事例研究として, 詳細な情報の得られている安房層群のタービダイトを対象として実際の解析を行ったので報告する.

キーワード: タービダイト, 堆積体, 体積, 層厚頻度分布, 単層解析, 堆積エレメント

Keywords: turbidite, depositional body, volume, bed-thickness distribution, bed-by-bed correlation, depositional element

東北沖津波により発生した混濁流のダイナミクスと堆積作用

Dynamics and sedimentary processes of the turbidity current generated by the 2011 Tohoku Oki Tsunami

成瀬元^{1*}, 新井和乃², 三浦亮³, 川村喜一郎⁴, 伊藤喜宏⁵, 日野亮太⁵, 稲津大祐⁵, 横川美和⁶, 泉典洋⁷, 村山雅史⁸, 金松敏也⁹

NARUSE, Hajime^{1*}, ARAI, Kazuno², MIURA, Ryo³, KAWAMURA, Kiichiro⁴, ITO, Yoshihiro⁵, HINO, Ryota⁵, INAZU, Daisuke⁵, YOKOKAWA, Miwa⁶, IZUMI, Norihiro⁷, MURAYAMA, Masafumi⁸, KANAMATSU, Toshiya⁹

¹ 京都大学大学院理学研究科, ² 千葉大学, ³ 日本海事株式会社, ⁴ 山口大学, ⁵ 東北大学, ⁶ 大阪工業大学, ⁷ 北海道大学, ⁸ 高知大学, ⁹ 海洋研究開発機構

¹ Kyoto University, Graduate School of Science, ² Chiba University, ³ Nippon Marine Enterprises, Ltd., ⁴ Yamaguchi University, ⁵ Tohoku University, ⁶ Osaka Institute of Technology, ⁷ Hokkaido University, ⁸ Kochi University, ⁹ JAMSTEC

巨大津波は深海底にどのような影響を及ぼすのだろうか?本研究は,海底コア試料・海底地震計・海底圧力計の記録から,巨大津波が海底に大規模な混濁流を発生させた可能性を示唆する.2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震(Mw 9.0)および巨大津波が発生し,三陸海岸をはじめとする東日本陸域の広範囲に深刻な被害をもたらされた.一方,三陸沖の陸棚から海溝斜面にかけて,広範囲に泥質堆積物が堆積したことも明らかになっている.本研究は,海底に堆積したイベント性泥質堆積物の分布とその粒度変化を報告し,この堆積物を運搬した流れのダイナミクスと堆積作用を検討する.津波が海底に混濁流を引き起こし,深海底にタービダイトを堆積させるとすると,海底の地質記録は地震・津波災害履歴を復元する上で貴重なデータとなるだろう.

東北地方太平洋沖地震の発生から3時間後,宮城県牡鹿半島東方沖約70kmの地点(N38.5002°E142.5016°およびN38.1834°E142.3998°)に設置された海底圧力計(OBS)が約0.2°の温度上昇を記録した.この温度異常は2時間半程度持続された.これらOBSの内一台は日本海溝方向に1km移動し,横倒しになった状態で発見された.

さらに,地震発生直後に海底調査および柱状試料採取を行ったところ,未固結泥質堆積物が陸棚外縁(水深300m)から海溝斜面(水深5940m)の広い範囲から発見された.回収時にROVによって取得された動画より,OBPおよびOBSが設置された地点は約15cm程度の厚さで新たに堆積物に覆われたことが明らかになっている.さらに,宮城沖に設置してあったOBS14台のハードハット内には多量の未固結堆積物が詰まっていた.加えて,三陸沖の水深2900~5900mにわたる7地点において有人潜水調査船しんかい6500および深海調査曳航システムDeeptowのカメラを用いて海底調査を行った結果,すべての地点で海底が新たに暗オリーブ色の泥質堆積物に覆われていたことが明らかになった.一部の海底面ではリップルなどの流痕が観察された.水深5350m・3230m・3500mの3地点において,しんかい6500を用いて海底堆積物の柱状試料を採取したところ,3地点のうち2地点のコアの最上部には0.3~1.5cm程度のシルト層が発見された.OBSおよび柱状試料から採取された試料に対して粒度分析を行ったところ,堆積物には陸から沖に向けて連続的に細粒化する傾向が見られた.堆積物の平均粒径は2.34~6.08 phiである.

新たに発見された泥質堆積物は,大陸棚縁辺部から海溝に向けて流れた混濁流から堆積した可能性が高い.OBPの移動および温度異常は,より水温の高い浅海域から深海底へ向かう流れが約2時間半にわたって持続されたことを表している.海底面にベッドフォームが観察されることや,OBSが完全に埋没していないにも関わらずハードハットの上から堆積物が侵入していることから考えて,堆積物を運搬した流れは土石流や地滑りのような高濃度のものとは考えられない.一般に,タービダイトは下流方向へ向かって細粒化することが知られているが,今回の堆積物も全体的に下流方向への細粒化傾向を示す.

混濁流の発生メカニズムとしては,津波の引き波により陸棚上で発生した浮遊堆積物雲からの発達と考えられる.OBS設置地点付近では流れが到達した時刻には大きな余震は発生しておらず,地震に伴う海底地すべりが発生した可能性は考えづらい.今回のイベント性泥質堆積物の分布域で最浅点は水深およそ300mであることから,流れの元となった堆積物の供給源は300m以浅の陸棚と考えられる.陸棚から陸棚縁辺部の範囲は非常に傾斜が緩やかであり,地滑りや斜面崩壊の発生は考えにくい.したがって,混濁流発生原因として最も可能性が高いのは津波そのものによる海底・陸域の侵食作用である.

今回得られたデータから,発生した混濁流のダイナミクスがある程度推定できる.混濁流頭部の移動速度は,津波発生時刻および浅海域からOBPまでの距離(50km)を考慮すると,約5.5m/sと推定される.これは,設置されていたOBPを移動させるのに十分な流速である.さらに,混濁流頭部の密度フルード数が常に1.2程度になることを考慮し,仮に流れの厚さを50-150m程度とすると,浮遊堆積物濃度は約0.9-2.6%となる.すなわち,混濁流としては比較的高濃度な流れであったことが推定される.今後は,海底探査および数値計算により混濁流のダイナミクスをより詳細に逆解析し,混濁流の発生要因および海底の侵食・堆積作用における津波の重要性を解明していく予定である.

キーワード: 津波, タービダイト, 混濁流, 形態力学

Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SCG73-P02

会場:コンベンションホール

時間:5月21日 17:15-18:30

Keywords: tsunami, turbidite, turbidity current, morphodynamics

鳥取砂丘沿岸域の50年にわたる地形・堆積物のダイナミックな変遷 Geomorphological and sedimentological dynamic changes at the coast of Tottori Sand Dunes over a last half-century

小玉 芳敬^{1*}, 岡部広夢², 河本悠佑², 渡壁 卓磨², 藤井まゆら³

KODAMA, Yoshinori^{1*}, Hiromu Okabe², Yusuke Komoto², WATAKABE, Takuma², Mayura Fujii³

¹ 鳥取大学地域学部, ² 鳥取大学大学院地域学研究科, ³ ゆうちょ銀行

¹Fac. Regional Sciences, Tottori Univ., ²Graduate School of Regional Sciences, Tottori Univ., ³Japan Post Bank

はじめに

鳥取砂丘が1980年代以降に抱える課題として「草原化」と「海岸侵食」があり、それぞれ除草(1990年以降)やサンドリサイクル(2005年以降)などの対策がとられてきた。本発表では、砂丘の後背地にあたる千代川流域に注目し、流砂系の観点から両課題の原因を探った結果を報告する。

砂を断続的に流す千代川

1998年と2004年、千代川では徐々に大規模な出水が発生し、川原が砂で満ちあふれた。この状況下では、礫の集団がキロメートル単位で活発に移動した。しかし砂の集団がより早く流下する結果、数年のうちに礫集団が取り残され河床表面の粗粒化が生じて、礫集団は移動を停止し、川原は草で被覆された(小玉, 2004)。千代川では1998年以降このような現象が2度繰り返されている。つまり、粒径の混合効果が礫集団の動きに決定的な役割を果たしていることを再認識できた。

沿岸砂州の規模変遷

鳥取砂丘の浅海底に発達する沿岸砂州の規模を、5年おきに撮影された空中写真で調べた結果、1968年~1998年にかけては縮小傾向にあった沿岸砂州が、2003年には大規模に拡大し、2008年も拡大状態を維持したことが明らかになった(藤井・小玉, 2009)。沿岸砂州の規模は、千代川の大規模出水に数年遅れて対応した。つまり豪雨にともない多くの沢に蓄積されていた砂が、千代川本川に流出し、それらが中小規模の出水により数年かけて河口部に到達したためと考えられる。

砂浜堆積物の粒度変遷

2004年、2009年、2011年に鳥取砂丘が面する海浜において、バームクレスト堆積物の粒度組成調査を実施し、1955年当時のデータと比較した(図)。2004~2009年にかけては中央粒径1.0mm以粗と粗粒化していた海浜が、2011年には0.5mm~0.25mmへと細粒化し、1955年当時の粒径に戻りつつある実態が明らかになった。

日本各地での事例から類推して、鳥取砂丘沿岸の海岸侵食は、おそらく高度経済成長時代に千代川の川砂利を大量に採取したこと、あるいは千代川河口部~鳥取港にかけての浚渫工事を続けたことに起因する。海岸侵食が生じたとき、砂浜は粗粒化したと考えられる。つまり2004年~2009年に計測された中央粒径1.0mm以粗の粗い状況は、鳥取砂丘の砂浜で1980年代にはすでにおこっていた可能性が高い。

飛砂特性と草原化

風洞実験によると、海浜の粒度のわずかな変化が飛砂量には決定的な違いをもたらした(長尾・小玉, 2011)。つまり粒径1.0mmと0.2mmの砂の混合比率をかえた一連の風洞実験で、飛砂量を調べた結果、1.0mmの砂の比率が20%以上を占めると、実験経過時間とともに砂床表面が粗粒化して、飛砂量が激減することがわかった。

砂浜からの飛砂量減少は、砂丘内の飛砂を不活発にし、非砂丘植物も生育できる環境を生み出してきた。このことが1980年代以降問題となってきた鳥取砂丘の草原化の重要な要因と考える。今後は海浜堆積物の細粒化にともない、砂浜からの飛砂量が増すことで、鳥取砂丘の草原化の緩和が期待される。植生のモニタリングがますます重要になる。

文献

藤井まゆら・小玉芳敬(2009)鳥取県郷土視覚定点資料(県博の空中写真)は語る その5 鳥取砂丘沖の浅海底に発達する沿岸砂州の変遷. 鳥取地学会誌, 13号, 65-70.

小玉芳敬(2004)「鳥取の地形まるごと研究:鳥取大学自然地理研究室の卒業論文や修士論文の成果を中心にして」鳥取大学教育地域学部自然地理学教室, 68pp.

長尾 翼・小玉芳敬(2011)鳥取砂丘海岸の粒度組成変化が飛砂量に及ぼす影響. 鳥取地学会誌, 15号, 3-10.

山名 巖(1962)鳥取砂丘の粒度組成について. 鳥取県立科学博物館研究報告, 1号, 17-22.

山名 巖(2010)鳥取砂丘砂の粒度組成について再吟味. 鳥取地学会誌, 14号, 11-20.

キーワード: 沿岸砂州, 海浜堆積物, 粒度変遷, 千代川流域, 大規模出水, 砂礫運搬に及ぼされる粒径混合効果
 Keywords: offshore bar, beach sediment, grain size changes, the Sendai-river basin, major flood events, particle-size mixture effects on sediment transport

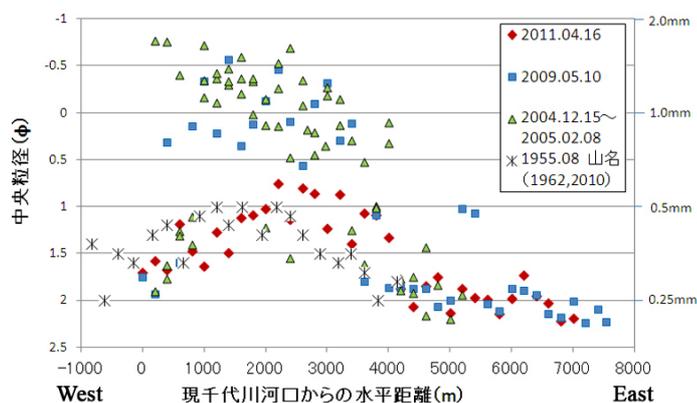


図 鳥取砂丘沿岸における海浜堆積物の中央粒径変遷

緩慢な河床上昇・低下が河川蛇行に及ぼす影響 Influence of slow bed aggradation/degradation on river meandering

青木 章宜^{1*}, 泉 典洋²
AOKI, Aki^{1*}, IZUMI, Norihiro²

¹JR 西日本, ²北海道大学大学院工学研究院
¹JR West, ²Faculty of Engineering, Hokkaido University

一般に上流からの土砂供給が多く河床が上昇傾向にあるとき河道変動は活発となり、土砂供給量が少なく河床が低下傾向にあるとき河道変動は不活発となることが定性的に知られている。本研究では、河床がゆっくりと上昇あるいは低下傾向にある場合について、多重尺度法を用いた河川蛇行の線形安定解析を行うことによって、河道の安定性の変化を理論的に示す。河床変動の速度に対する河床上昇速度あるいは低下速度を微小パラメータとした多重尺度法を用い、河床上昇・低下時における河床縦断の平衡形状を導いた。それを基本状態とし蛇行状の摂動を加えることで線形安定解析を行った。擾乱の増幅率を決定する重要なパラメータはアスペクト比および波数であり、不安定ダイアグラムはアスペクト比 - 波数平面上に得られる。不安定ダイアグラム上では、河床が上昇傾向にある場合、不安定領域が増加するのに対して、低下傾向にある場合、不安定領域が減少することが明らかとなった。

キーワード: 河床上昇, 河床低下, 蛇行, 線形安定解析
Keywords: aggradation, degradation, meandering, linear stability analysis

揚子江最上流域金沙江流域における侵食速度分布の再計算と制御要因-GISを用いた地形分類に基づく推定- Re-evaluation of erosion rate in the uppermost reach of Yangtze River based on topographic classification using GIS

鈴木 克明^{1*}, 多田 隆治¹, 小口 高², 早川 裕弐², Zheng Hongbo³
SUZUKI, Yoshiaki^{1*}, TADA, Ryuji¹, OGUCHI, Takashi², HAYAKAWA, Yuichi S.², Hongbo Zheng³

¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, ² 東京大学空間情報科学研究センター, ³ Institute of Surface Geochemistry, School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University

¹ Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, ² Center for Spatial Information Science, The University of Tokyo, ³ Institute of Surface Geochemistry, School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University

構造運動が活発な地域の河川における侵食・堆積作用はテクトニクスの激しさに応じた地形を形成し、大気循環に影響を与える。また、侵食作用は岩石の風化面積を増大させるという物理風化との相互作用によって、化学風化の速度を規定している。また、侵食作用は堆積物の供給により有機物の埋没を促進する役目も担っている。これらの過程は大気組成の変化を通して気候にも影響を与える。したがって、侵食速度が起伏、隆起速度、母岩の地質、気温、降水量に応じてどのように変動するのかわかることは、地形変化とグローバル地球化学循環を通じたテクトニクスと気候の相互関係をj知るうえで重要である。この観点において、大陸衝突帯であるチベット高原や金沙江流域は、侵食速度研究の場として理想的である。

宇宙線照射により生成し、河川堆積物中の石英粒子内に蓄積した¹⁰Beの測定に基づいて侵食速度を推定する手法は、河川堆積物が石英を普遍的に含むうえ、試料として入手しやすいため、長期的な侵食速度の分布を推定する手法として有用である。実際に、金沙江流域や隣接する流域においてこの手法を用いた研究がいくつか存在する。

この手法においては、1) 侵食速度は流域内で一定である、2) 侵食された土砂は河川に長くは滞留せず、相対的に短い期間の間に河川系から除去される、という仮定が広く用いられている。しかし、流域内に存在する多様な地形や、相対的に長期間にわたって堆積物をせき止めるような地形(今回の研究ではこのような地形を「せき止め地形」と呼ぶ)が構造運動に伴って流域内に一時的に発生することを考慮すると、これらの仮定は必ずしも現実的でない。金沙江流域にはせき止め地形が数多く存在するが、¹⁰Beを用いた金沙江の侵食速度分布の研究において、せき止めの影響を侵食速度計算時に考慮した例はない。

本研究では、DEM(デジタル標高モデル)とGISを用いて金沙江流域のせき止め地形を抽出した。また、堆積物の流下を阻害するような地形の存在が侵食速度および流域の堆積物流出量の推定に与える影響を評価し、侵食速度と地形・地質の相関関係を評価した。

金沙江流域には、複数の構造湖およびそれらが埋積して形成された盆地(これらを「埋積地形」と呼ぶ)が下流部に多数存在する。また、金沙江の源流域であるチベット高原には大小さまざまな規模の湖沼が点在する。今回は埋積地形と湖沼をせき止め地形と定義した。まず、現地調査において埋積地形の特徴を観察した。次にDEMとGISを用いて地形解析を行い、同様の持つ埋積地形とそれぞれの集水域を除去した。同様に、湖沼の認定および集水域の除去も行った。残りの領域を「堆積物供給域」と定義した。その上で、堆積物供給域における平均侵食速度を、先行研究の¹⁰Beデータに基づいて再計算し、せき止め地形の影響を考慮していない先行研究の侵食速度推定結果と比較した。

せき止め地形を考慮すると、金沙江全体の堆積物流出量は先行研究と比べて70%程度に低下した。この影響を流域内の各試料の集水域において評価したうえで、再計算した侵食速度と地形・母岩地質・気候などとの関係について議論する予定である。

キーワード: 侵食速度, 宇宙線生成核種, 地理情報システム, 揚子江, チベット高原

Keywords: erosion rate, cosmogenic nuclides, GIS, Yangtze River, Tibetan Plateau

衝撃による液状化と流体輸送の実験的研究：浅部の低浸透率層の影響 Experimental study of liquefaction and fluid transport: effects of the low-permeability layer

安田 奈央^{1*}, 隅田 育郎¹
YASUDA, Nao^{1*}, SUMITA, Ikuro¹

¹ 金沢大学大学院自然科学研究科
¹ Kanazawa University

液状化とは、粉粒体における粒子同士の支え合いが何らかの振動、衝撃により崩れ、一時的に流体のような振る舞いをすることを言う。液状化後には間隙水が排出され圧密が起きる。液状化から圧密までの間の間隙水圧の緩和過程が実験により調べられている (Nicolas et al., 2004)。さらに液状化に伴う諸現象の例として噴砂があり、噴砂と液状化層厚の関係については土木工学の分野で調べられている (山口他, 2008)。一方で、液状化による流体排出のパターンや層厚の時間変化については十分には調べられていない。また、浅部に低浸透率層がある場合、この層がどのように流体排出に影響してくるのかも興味の対象である。ここでは、水とガラスビーズを用いて作成した小型のモデルに衝撃を加えた場合の液状化実験の結果を報告する。

本実験では、粒径の異なる2種類の球形のガラスビーズと水を封入したケースに衝撃を与えて液状化させる。ケースをよく振って一定時間放置させることでビーズは2層に成層するため、浅部に低浸透率層がある2層構造 (上層 $8.0 \pm 1.6\text{mm}$ 、下層約 $24.7 \pm 1.8\text{mm}$) を仮定することができる。本実験における重要な物性パラメータは浸透率であり、この浸透率は粒径の2乗に比例することから、上下層の粒径を変えて実験を行った。実験の様子はビデオカメラで撮影し、加速度波形はオシロスコープに記録した。

1層のみで実験を行うと、衝撃が加わった後すぐに層厚が収縮する様子が観察された。粒径の異なるビーズによる2層実験では、下層から排出された水が一時的に2層の界面にたまった後、上層中をチャンネル状、あるいはシート状の形態をとり上昇し排出される様子が観察された。また、液状化に伴う層厚の時間変化を調べると、一連の現象が1: 衝撃により傾斜が崩れる、2: 下層から排出された間隙水が上層にたまった後、上昇する、3: 間隙水の排出が終わり、粒子が沈降する、という3段階に分けられることがわかった。また、全体の層厚変化がなくなる時間 (一連の現象が終了する緩和時間) の粒径依存性を調べると、1層の場合には、下層粒径が小さくなるに従い緩和時間が長くなっていた。2層の場合には、浅部の浸透率の低い層が流体上昇を抑制するため、1層の場合よりも緩和時間が長くなるが、上層の粒径が十分小さくなると、緩和時間は下層の粒径には依存しなくなった。

本実験から、浅部に低浸透率層がある場合には、上下層の浸透率比で決められたパターンで下層の間隙水が排出される傾向があることがわかった。またそれに伴う層厚の変化には段階があり、すべての段階が終了する時間の粒径依存性は、2層の場合であっても実効的浸透率を導入することで説明できる。

キーワード: 浸透率, ダルシーの法則, パッキング, 低浸透率層

Keywords: permeability, Darcy's law, packing fraction, low-permeability layer

斜面上での粉体柱崩壊現象のモデル化とその地質学的意義 Slumping of a granular mass on an unconfined slope

前野 深^{1*}, HOGG, Andrew J.², SPARKS, R. Stephen J.³
MAENO, Fukashi^{1*}, Andrew J. Hogg², R. Stephen J. Sparks³

¹ 東京大学地震研究所, ² ブリストル大学数学科, ³ ブリストル大学地球科学科

¹Earthquake Research Institute, University of Tokyo, ²Department of Mathematics, University of Bristol, ³Department of Earth Sciences, University of Bristol

Dense granular flows generated by slumping of granular mass are often encountered in industrial processes where the transport and deposition of granular material such as seeds, cereals, and tablets are involved. They are also observed in geophysical systems, such as pyroclastic flows caused by collapse of a lava dome or volcanic explosions, snow avalanches, and landslides.

Constructing a numerical model to capture the major characteristics of spreading granular materials in the above situations is a significant challenge because the mechanics of the grains and their interactions are incompletely understood at a fundamental level. This study investigated the dynamics of dense granular materials, released from rest and allowed to flow down an unconfined slope, driven by gravitational forces. First laboratory experiments were performed to study granular slumping, in which a measured volume of materials were instantaneously released from a cylindrical tube and spread across an unconfined rigid plane inclined at angles less than the repose angle. On release from the source the particles initially spread radially. However up-slope motion is rapidly arrested and motion down the incline is promoted, leading to an approximately ellipsoidally-shaped deposit once the flow has been fully arrested. Secondly, the flows were modeled under the shallow layer approximation and integrated numerically to capture the motion from initiation to final arrest. In modelling, two types of Coulomb-type friction models were introduced. One has a constant friction coefficient, and another has a friction coefficient that depends upon the dimensionless inertial number of the motion. When the initial aspect ratio of a granular mass and the slope angle is low (< 5 deg), the model with a constant friction coefficient can capture the deposit shape; but when the slope angle is increased, the inertial-number dependent friction model becomes more important. For high aspect ratio granular columns, the shallow water model fails to reproduce some aspects of the experimental observations. Finally an example of model application to geophysical systems is introduced.

キーワード: 粉体流, 地滑り, 火砕流, クーロン摩擦則, 浅水理論

Keywords: granular flow, slumping, pyroclastic flow, Coulomb friction law, shallow water theory

空隙スケール画像をもちいた多孔質堆積物中の拡散シミュレーション Pore-Scale Simulations of the Diffusion in the Fluid-Saturated Porous Sediments using X-ray Microtomographic Images

中島 善人^{1*}, 神宮司 元治¹, 左山 幹雄¹

NAKASHIMA, Yoshito^{1*}, Motoharu Jinguuji¹, Mikio Sayama¹

¹ 産業技術総合研究所

¹ AIST

多孔質な堆積物中の空隙をつたっての物質輸送現象は、地盤汚染や続成作用を理解する上で重要なテーマである。我々は、多孔質堆積物の3次元デジタル画像を用いたシミュレーションによる拡散移動現象へのアプローチを提案したい(Ref. 1)。細粒な堆積物試料をX線CT装置で撮影し空隙スケールの3次元画像を得て、そのデジタル画像上で拡散シミュレーションを実施した。昨今の平均的な64-bitパソコンの仕様であれば、定常拡散(ラプラス方程式)シミュレーションによるボトルネックの抽出や乱歩シミュレーションによる拡散係数テンソルの計算は十分実施可能であることがわかった。また、このアプローチにおける最大のポイントは、X線CT装置の空間分解能であることもわかった。本研究は科研費基盤研究A(No. 23241012)の助成を受けている。

Ref. 1: Nakashima et al. (2011) <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-010-0473-2>

キーワード: 堆積物, X線CT, 計算機シミュレーション, 拡散, 多孔質媒体

Keywords: sediment, X-ray microtomography, computer simulation, diffusion, porous media

含水・疎水性流体の流れによって氷上に形成されるサイクリックステップの形成構造 - 火星極冠に形成されるステップ地形との類似 - Cyclic steps formed by a hydrophobic fluid with water dispersed flowing on ice - an analogy with NPLD -

内藤 健介^{1*}, 泉 典洋¹, 横川 美和², 山田 朋人¹, 清水 裕貴²

NAITO, Kensuke^{1*}, IZUMI, Norihiro¹, YOKOKAWA, Miwa², YAMADA, Tomohito¹, SHIMIZU, Hiroki²

¹ 北海道大学大学院工学研究院, ² 大阪工業大学情報科学部

¹Faculty of Engineering, Hokkaido University, ²Osaka Institute of Technology

A variety of characteristic landforms on Mars have been discovered since Mariner 9 spacecraft returned images of Martian surface in 1972 for the first time. Recently, in particular, spiral troughs on Martian north polar ice cap have been focused due to a possibility that characteristic landforms such as spiral troughs can reveal historical variation of climate on Mars. Though they are suspected to have some relation with katabatic wind blowing on the ice cap, it has been unclear how they are formed in detail. It has been observed that spiral troughs are formed perpendicularly to the direction of katabatic wind, so that they should be boundary waves formed between Mars atmosphere and ice rather than troughs excavated by flow. In addition, because internal structures of boundary waves clarified by radar show traces of upstream migration, these steps may possibly be cyclic steps formed by density airflow.

In this study, we have performed a series of analogue model experiments of the formation of cyclic steps on Martian polar ice cap. Experiments were conducted with the use of a low temperature chamber in the Institute of Low Temperature Science (ILTS), Hokkaido University. In order to simulate density airflow including water vapor blowing on Martian polar ice cap, we have used a hydrophobic fluid with water dispersed. We did not include temperature difference among ice, flowing fluid and ambient air, which is important for the formation of cyclic steps on Mars. It is found that cyclic steps were formed on ice even without the influence of temperature. It is suspected that the concentration of water in the hydrophobic fluid changes in space, and non-uniform freezing and melting take place on ice. This causes instability of a flat ice bed. By formulating freezing and melting rates of ice as functions of flow velocity and water concentration respectively, we found that the formation of cyclic steps on ice can be described by the equations similar to that for transportational cyclic steps formed on river beds composed of suspendable fine sand.

キーワード: サイクリックステップ, 火星, 北極冠, 氷床, 疎水性流体

Keywords: Cyclic steps, Mars, Polar caps, Ice, Hydrophobic fluid

岩盤河川に形成されるサイクリックステップについての実験的研究 An experimental study on cyclic steps formed in bedrock rivers

横川 美和^{1*}, 泉 典洋², 京極 晃年¹, 小寺 彰¹

YOKOKAWA, Miwa^{1*}, IZUMI, Norihiro², Akitoshi Kyogoku¹, Akira Kotera¹

¹ 大阪工業大学, ² 北海道大学大学院工学研究院

¹Osaka Institute of Technology, ²Faculty of Engineering, Hokkaido University

A train of steps are often observed to be formed in bedrock rivers. They are thought to be cyclic steps formed due to erosion of bedrock. The erosion of bedrock is assumed to be dominantly driven by abrasion due to bedload sediment transport.

Here we demonstrated a series of flume experiments as an analogue of the formation of cyclic steps on bedrock. The experiments were conducted using the facility of Osaka Institute of Technology. We used a 1.5 m long, 2 cm wide, and 25 cm deep flume made by glass. The flume has 10 cm high weirs at the downstream end and 1.2 m upstream from the downstream end, so that there is an 10 cm deep reservoir. We put sand (0.2 mm in diameter) with cement (150:2) in the reservoir and hardened it so that the flume has an 10 cm 'model bedrock' on its bottom. The flume is tilted by 20 degrees. The water and sand (1.0 mm in diameter) is supplied from a head tank to the upstream end of the flume, flows on 'model bedrock' in the flume, and was dropped from the downstream end into a downstream reservoir, then pumped up to the head tank.

As a result, cyclic steps were formed on the 'model bedrock.' The shapes of the steps were resembled with the shape that predicted by theoretical analysis (Izumi and Yokokawa, 2011).

キーワード: サイクリックステップ, 岩盤河川, 水路実験

Keywords: Cyclic steps, Bedrock rivers, Flume experiments