

大陸 塩 辺域ー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