

## 密度流による「超高流領域プレーンベッド」形成実験 Experimental study of "supercritical-flow plane bed" formed by density currents

成瀬 元<sup>1\*</sup>, 泉 典洋<sup>2</sup>, 武藤 鉄司<sup>3</sup>, 横川 美和<sup>4</sup>  
Hajime Naruse<sup>1\*</sup>, Norihiro Izumi<sup>2</sup>, Tetsuji Muto<sup>3</sup>, Miwa Yokokawa<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 北海道大学大学院工学研究院, <sup>3</sup> 長崎大学大学院生産科学研究科, <sup>4</sup> 大阪工業大学情報科学部

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>2</sup>Faculty of Engineering, Hokkaido University, <sup>3</sup>Graduate School of Science and Technology, Nagasaki University, <sup>4</sup>Osaka Institute of Technology

プレーンベッド(平滑床)とは, 平滑でほぼ平面的形状のベッドフォームであり, 自然界では様々な環境で形成されている。特に, 混濁流が形成する堆積物(タービダイト)の下部~中部にはプレーンベッドが作る平行葉理がしばしば発達し, Bouma sequence の Tb division としてよく知られている。これまで, プレーンベッドは常流の一方向流で形成されるものと考えられており, 形成条件としては粗粒かつ低フルード数で特徴づけられる低流領域プレーンベッドと, 高フルード数(ただし1以下)で特徴づけられる高流領域プレーンベッドの2種類が知られてきた。しかしながら, 本研究は, 新たにもう一つのプレーンベッド形成条件が存在する可能性を指摘する。密度流の水槽実験の結果, 極めて高いフルード数を示す射流領域であってもプレーンベッドが形成されることが明らかになった。この発見は, 従来行われてきた平行葉理からの古水理条件復元に再考を迫ることにつながる可能性がある。

本研究の水槽実験では, 塩水(比重1.01-1.04)およびプラスチック粒子(比重1.5・粒径80 $\mu$ m・粒子レイノルズ数1.57)の混合流体を用いて密度流を発生させた。この場合, 塩水は自然界の混濁流に含まれる泥粒子の代用であり, プラスチック粒子は沈降速度の速い砂粒子のアナログ物質である。実験には, 長崎大学環境科学科武藤研究室の実験水槽(長さ6.0m, 幅1.8m, 深さ1.2m)を用いた。この水槽の中に, 塩水を貯めるためのビニール製の袋を設置した。実験中, 実験水槽とビニール製の袋はどちらも淡水で満たされている。さらに, ビニール袋の内部には長さ4.0m, 幅2.0cm, 高さ50cmの亚克力製一方向水路を設置した。水路の傾斜は実験開始前に一定の角度に固定し, 実験中には変化させない。水路の下流端には堰が設置され, 堆積物が蓄積されて水路全体に移動床が形成されるように設定された。実験開始後, プラスチック粒子と塩水の混合物は水路上流端のノズルから一定の混合比・流量・流速で放出され, 密度流を形成する。下流端の堰から流出した塩水およびプラスチック粒子はサイフォンにより回収され, 水路内は定常条件に保たれた。ベッドフォームの観察は, 堰が十分に埋積され, 流入堆積物と流出堆積物の量が釣り合う平衡状態が実現されたのちに実施された。実験条件は, 密度フルード数が1.5-4.2程度, シールズ無次元せん断応力が0.2-0.8程度であった。

実験の結果, 従来では認識されていなかった超高流領域でプレーンベッドが形成されることが明らかになった。今回の実験で形成されたプレーンベッドは, 平滑な形状ではあるものの, 全体として緩やかに上へ凸な形態を示した。これは, 密度流が周囲の流体を連行することで流体条件を変化させながら流下していることを反映したものと考えられる。このプレーンベッドは擾乱に対して極めて安定であり, 実験の再現性も高かった。ベッドフォームの安定形成条件について検討するにはまだ実験回数が不足しているものの, 今回の実験で超高流領域プレーンベッドが形成されたのは, 上流端でのフルード数が4.2程度, シールズ数が0.8程度の領域である。これは, 通常の高流領域のプレーンベッドとは明らかに異なる形成条件である。

今後の慎重な検証が必要だが, このプレーンベッドはこれまで知られていなかった全く新しいタイプのベッドフォームである可能性があるだろう。ベッドフォームの安定性に関する従来の理論を適用する限り, このような超高流領域ではプレーンベッドは安定ではない。したがって, 「超高流領域プレーンベッド」の成因を考えるためには, これまで理論に組み込まれていなかった要因を考慮する必要がある。例えば, 通常のプレーンベッドでは traction および suspension による堆積物移動が卓越するのに対し, 「超高流領域プレーンベッド」は sheet flow (traction carpet) が卓越する条件で形成されている。また, 流れが開水路1方向流ではなく密度流である点も, 従来の実験・理論とは異なる点である。これらの要因がどのようにベッドフォームの形成に関連しているかについては, 今後のより詳細な研究が必要となるだろう。

キーワード: 混濁流, ベッドフォーム, 水槽実験, 平滑床

Keywords: turbidity current, bedform, flume experiment, plane bed

## 鹿島灘における海洋投入土砂の長期的移動と堆積 Long-term migration and deposition of dumped sediment on the Kashima Coast

伴野 雅之<sup>1\*</sup>, 清家 弘治<sup>2</sup>, 小松原 純子<sup>3</sup>, 栗山 善昭<sup>1</sup>

Masayuki Banno<sup>1\*</sup>, Koji Seike<sup>2</sup>, Junko Komatsubara<sup>3</sup>, Yoshiaki KURIYAMA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 港湾空港技術研究所, <sup>2</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>3</sup> 産業技術総合研究所

<sup>1</sup>Port and Airport Research Institute, <sup>2</sup>Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, <sup>3</sup>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

It is important to understand offshore sedimentation processes for predicting long-term morphological changes in the nearshore zone. In this study, we investigated the whereabouts of sediments, which were dumped into the sea in large amounts in the past on the Kashima Coast, by dating radiocarbon ages of shells contained in the seabed to understand the offshore sedimentation processes. The older-than-normal shells specially contained in the dumped sediments were used as tracers, because the sediments were derived from excavating the ground. We estimated the amount and the history of depositions, caused by dumping sediments, in some depths of water. The result confirmed that the dumped sediments were deposited on offshore seabed, which had potential to migrate onshore, and would influence the morphological changes in the nearshore zone.

キーワード: 海洋投入土砂, 鹿島港, 鹿島灘, 沖域, 堆積速度, C14 年代測定法

Keywords: dumped sediment, Kashima Port, the Kashima Coast, offshore, sedimentation rate, radiocarbon dating

## 冬季モンスーン変動に関連するメコンデルタ・ソクチャン海岸の前進速度 Progradation rate of the Soc Tran coast, Mekong delta, related to the winter monsoon fluctuations

田村 亨<sup>1\*</sup>, 斎藤文紀<sup>1</sup>, マーク・ベートマン<sup>2</sup>, グエン・バン・ラップ<sup>3</sup>, タ・ティ・キム・オーン<sup>3</sup>, 佐藤明夫<sup>4</sup>, 田中明子<sup>1</sup>, 上原克人<sup>5</sup>  
Toru Tamura<sup>1\*</sup>, Yoshiki Saito<sup>1</sup>, Mark D. Bateman<sup>2</sup>, V. Lap Nguyen<sup>3</sup>, T.K. Oanh Ta<sup>3</sup>, Akio Sato<sup>4</sup>, Akiko Tanaka<sup>1</sup>, Katsuto Uehara<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所地質調査総合センター, <sup>2</sup> シェフィールド大学地理学教室, <sup>3</sup> ベトナム科学技術院ホーチミン資源地理研究所, <sup>4</sup> 東京大学大学院新領域創成科学研究科, <sup>5</sup> 九州大学応用力学研究所

<sup>1</sup> Geological Survey of Japan, AIST, <sup>2</sup> Department of Geography, The University of Sheffield, <sup>3</sup> HCMC Institute of Resources Geography, VAST, <sup>4</sup> Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, <sup>5</sup> Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

A unique sediment transport system caused by monsoons characterizes the South China Sea coast of the Mekong delta, southern Vietnam. In summer, under the relatively weaker southwesterly monsoon, sediments supplied from the flooded river is deposited and stored on the coast. These sediments are then drifted northwestwards by the longshore current driven by the stronger northeasterly winter monsoon. Mud is further transported to the end of the South China Sea coast, forming the prominence of the Camau Peninsula. Thirteen optically-stimulated luminescence (OSL) ages of cheniers and radiocarbon ages of a sediment core were obtained for the reconstruction of the progradation of the Soc Tran coastal plain, southwestern part of the Mekong delta. From this, we found remarkable changes of the progradation rate, which are thought relevant to fluctuations in the winter monsoon strength. The OSL ages are younger than 2770 yr, and become younger seawards concordantly with the coastal progradation that cheniers document. The sediment core, drilled in the inter-ridge swale between two chenier ridges of 1370 +/- 70 yr and 600 +/- 30 yr, reaches the basement at -20 m relative to the mean sea level. The core shows a regressive delta succession, of which radiocarbon ages become younger upwards from 4790-4640 BP (4850-4700 yr) to 1530-1420 BP (1590-1510 yr). These radiocarbon ages support estimates of OSL ages obtained in cheniers landwards, which contemporaneous of the subaqueous delta deposits in the succession. The progradation rate of the Soc Tran coast have changed drastically; it was 8 m/yr, 31 m/yr, and 5 m/yr during periods of 2770-1370 yr, 1370-590 yr, and 590 yr to present, respectively. The rapid progradation during 1370-590 yr did not form cheniers, resulting in an extensive inter-ridge swale. Cheniers are generally formed in relations to erosion of muddy coast. The chenier distribution and drastic changes in progradation rate were resulted from fluctuations in relative importance of longshore sediment removal to seaward sediment accretion. The architecture and chronology of beach ridges in the Tra Vinh coastal plain, northeast of the Soc Tran, also suggest similar fluctuations in the longshore sediment transport. The dominance of the longshore sediment transport after 590 yr is thought caused by the strengthened winter monsoon, which is possibly related to the beginning of the Little Ice Age.

## 河川堆積物粗粒画分の供給源推定に基づく 8Ma 以降の崑崙山脈隆起活動史復元 Uplift history of the Kunlun Mountains based on provenance of coarse fraction of fluvial sediment since 8Ma

烏田 明典<sup>1\*</sup>, 多田 隆治<sup>1</sup>, Zheng Hongbo<sup>2</sup>, 豊田 新<sup>3</sup>, 長谷川 精<sup>4</sup>, 磯崎 裕子<sup>1</sup>, 吉田 知紘<sup>1</sup>

Akinori Karasuda<sup>1\*</sup>, Ryuji Tada<sup>1</sup>, Zheng Hongbo<sup>2</sup>, Shin Toyoda<sup>3</sup>, Hitoshi Hasegawa<sup>4</sup>, Yuko Isozaki<sup>1</sup>, Tomohiro Yoshida<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院理学系研究科, <sup>2</sup> 岡山理科大, <sup>3</sup> 名古屋大学博物館

<sup>1</sup>The University of Tokyo, <sup>2</sup>Nanjing Normal University, <sup>3</sup>Okayama University of Science, <sup>4</sup>The Nagoya University Museum

現在タクラマカン砂漠が広がる中国西部のタリム盆地は、チベット高原の隆起に伴い乾燥化したとされている。しかし、これまでの隆起時期を求める研究の多くは岩石熱履歴などより隆起時期推定を行っており、時代推定精度が悪かった。そのため、隆起活動と乾燥化の関係を詳細に調べることが難しかった。

そこで本研究では、詳細な年代層序が確立しているタリム盆地南縁部の河川堆積物層に着目し、タリム盆地辺縁部の河川堆積物粗粒画分の供給源推定から後背地の隆起活動復元を試みた。供給源推定には風化に強く、普遍的に存在する鉱物である石英に着目した。

石英の ESR 信号強度は母岩の形成年代と比例関係を持つ事 (Toyoda and Naruse, 2002)、その結晶化度 (CI) は石英の結晶化過程を反映すること (Murata and Norman, 1976) が知られており、両者は石英の起源を特徴づける独立した指標と言える。そしてこの 2 つの指標を用いた現世河川堆積物の供給源推定より、63  $\mu\text{m}$  以上の河川堆積物粒子は河川後背地の母岩地質を強く反映することが判明している (Isozaki, 2009 MS)。

本研究では、この手法を過去の河川堆積物に応用し、石英の ESR 信号強度と CI から過去の河川堆積物の供給源変動の復元を試みた。さらに河川堆積物と河川堆積物に含まれる礫岩の ESR 信号強度と結晶化度 (CI) の分析結果を比較することで、供給源岩体とその時代変化を明らかにした。そして、最終的に供給源岩体の時代変化を整合的に説明できる隆起活動の復元を行った。

本研究はタリム盆地南西部の Yecheng section に見られる河川堆積物層の調査を行った。タリム盆地南西部の河川は、現在は崑崙山脈とその前縁部によって河川集水域が分断されているが、Yecheng セクションの河川集水域は現在崑崙山脈前縁部で分断されている。この河川堆積物層は、古地磁気層序より 7.6Ma から 1.8Ma にかけて堆積したことが判明している (Zheng et al., 2010)。本研究では、27 の河川堆積物 (砂岩 9 つ、礫岩基質 18 つ)、21 の礫岩中の礫試料について 63-500  $\mu\text{m}$  画分の粒子を取り出し、ESR 信号強度、結晶化度 (CI) の分析を行った。

その結果、河川堆積物粗粒画分の ESR 信号強度の急激な増加が 6.6Ma、5.2Ma、4.0Ma で、急激な上下動が 3.5Ma と 3.0Ma で確認された。そして礫岩も含めた ESR 信号強度と結晶化度を用いた考察より、7.6Ma から 3.5Ma までの供給源変動は崑崙山脈前縁部の隆起による砂岩の露出で説明が可能であること、3.5Ma から 3.0Ma の供給源変動は崑崙山脈前縁部の逆断層を伴った急激な隆起による弱変成岩の露出で説明が可能であること、3.0Ma 以降の供給源変動は崑崙山脈前縁部の隆起による片麻岩と花崗岩の露出で説明が可能であることが分かり基本的に崑崙山脈前縁部の隆起活動を反映していることが判明した。

以上より、Yecheng セクションの粗粒河川堆積物層の供給源変動は 7.6Ma 以降では 3.5-3.0Ma にかけて一番急激な変動が起きており、基本的に崑崙山脈前縁部の隆起活動を反映していることが強く示唆された。そしてタリム盆地の乾燥化に関する先行研究の指摘も合わせて考えると、8 Ma 以降のタリム盆地は崑崙山脈前縁部を含めた隆起活動がタリム盆地内の風成塵形成や砂漠の形成に強く関与していたことが示唆される。

キーワード: タリム盆地, 隆起, 供給源推定, 石英, 乾燥化

Keywords: Tarim Basin, Uplift, Provenance study, Quartz, Desertification



## 蝦夷層群・久慈層群に含まれる碎屑性クロムスピネルの化学組成と時代変化 Historical transition in chemistry of detrital chromian spinels in the Cretaceous Yezo and Kuji Groups, northern Japan

吉田 孝紀<sup>1\*</sup>, 西尾真由子<sup>2</sup>, 岡本高大<sup>3</sup>

Kohki Yoshida<sup>1\*</sup>, Mayuko Nishio<sup>2</sup>, Takahiro Okamoto<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 信州大学理学部地質科学科, <sup>2</sup> 信州大学工学系研究科地球生物圏科学専攻, <sup>3</sup> 大阪府高槻市

<sup>1</sup>Department of Geology, Faculty of Science, Shinshu University, <sup>2</sup>Gosphere and Biosphere Science, Graduate School of Science and Technology, Shinshu University, <sup>3</sup>Takatsuki City, Osaka

Tectonic histories of sedimentary basins in the Cretaceous Japan arc have been assessed to understand the response of the Asian continental margin to the oblique subduction of the Paleo-Pacific (i.e. Kula or Izanagi) Plate beneath the Asian continent during the Early Cretaceous and that subducted orthogonally in the Late Cretaceous. In the Cretaceous Yezo Group in Hokkaido, northern Japan and the Kuji Group in the Kitakami Massif in northeastern Honshu, sandstone petrography and chemistry of detrital chromian spinel grains were performed to assess the tectonic environmental change during the Cretaceous period on the basis of provenance analysis.

Results of sandstone petrography suggest that the material of clastic rocks was derived from areas of a Cretaceous volcanic belt (Rebun?Kabato Belt) and from a Jurassic accretionary complex (Oshima - North Kitakami Terrane), which was intruded by Cretaceous granite, adjacent to the depositional basin. The compositions of detrital chromian spinels in these sediments are very diverse and mainly derived from tholeiitic and intra-plate basalts showing high-TiO<sub>2</sub> (>about 1.0 wt%) and island arc basalts with moderately low-TiO<sub>2</sub> (1.0 > TiO<sub>2</sub> > 0.5 wt%) and high -Cr#. Latter chromian spinels can be considered as a record of island arc activity including high Mg-andesite. Because adequate source rocks of the spinels are elusive near the basin, these rocks are believed to have been disturbed by Cenozoic tectonics and eroded and covered by newly formed volcanic and sedimentary rocks.

Comparison of chemical composition of the chromian spinels among studied areas of the Yezo and Kuji Groups indicates that chromian spinels with very low-TiO<sub>2</sub> (<0.5 wt%) prevail in the Lower Cretaceous (Aptian-Albian). In contrast, chromian spinels showing moderately low TiO<sub>2</sub> predominated in the late Cretaceous (Cenomanian-Santonian). This clear difference suggests the change of oceanic plate motion around Japan arc promoted the change of source rock assemblage and the arc volcanic activity in late Cretaceous time. Thus the chemical characteristics of detrital chromian spinels of the Yezo and Kuji Groups give the key to clarify the interaction between the swaying of young and hot plate and development of the Cretaceous island arc in eastern Asian margin.

キーワード: 蝦夷層群, 久慈層群, 重鉱物, 白亜紀

Keywords: Yezo Group, Kuji Group, Cretaceous, heavy mineral

## 阿武隈水系における放射性物質の動態

## Sedimentological studies on dynamics of radioactive cesium in the Abukuma River system

箕浦 幸治<sup>1\*</sup>

Koji Minoura<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Science, Tohoku University

2011年東北日本太平洋沖地震が原因となった東京電力福島第1原子力発電所の事故により、多量の放射性物質が自然界に放出された。これら放射性物質の多くは直接海洋に流出したが、陸域に乾性・湿性沈着した放射性物質も少なからず、特に放射性セシウムの湿性沈着により福島第一原発から北西方向に延びる顕著な高濃度汚染域が出現した。放射性セシウムは、有機物質や粘土鉱物に付随し、これらと共に水系を経由して後次的に移動していったと考えられる。阿武隈山地における花崗岩類露出地域の表層には雲母類に起源するイライトを主とする粘土鉱物が多く含まれ、沈降放射性セシウムの一部はこうした粘土鉱物に固定されたと考えられる。陸上高濃度汚染域の大部分は偶然にも花崗岩類露出地域と重複し、セシウムはイライト類の結晶格子間に取り込まれた可能性がある。有機物質や粘土鉱物に付随する沈降放射性物質は、表層流動を経て阿武隈川水系に入り、最終的に太平洋へ流出していると予測される。常磐沖では僅かながら底質中に放射性セシウムが検出されている。沿岸漁業に波及する被害を評価する上で、阿武隈川が流れ込むものの汚染度が低いとされる仙台湾においても、放射性物質の動態の見極めは非常に重要である。

我々は、地震発生直後から、放射性セシウム (<sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs) の地表面移動と沈着に注目し、阿武隈川中・下流部および支流流域においてこれらの濃度変動の観測を試みてきた。これにより、放射性セシウムは、多量の降水時に集中的に移動し、河川合流部での氾濫あるいは停滞に伴って高濃度沈積する事実が明らかとなった(最大で  $9.2 \times 10^2$  Bq/g)。細粒物質は、多雨時の地表表面流により運ばれて河川に流入し、合流部や氾濫域で河川流が急激に停滞する場合に沈積する。放射性セシウムが河川合流部の細粒表層堆積物中に高濃度検出され、平常時に河川流出放射性物質が殆ど観測されない事実により、汚染物質は増水時に移動集積すると考えられる。こうした放射性セシウムの移動と沈積の過程を解明する目的で、阿武隈川中流部に設置されている東北電力飯野ダムにおいて採泥調査(2012年8月23日)を実施した。採取堆積物試料に含まれる放射性セシウムには季節的な変動が認められ、放射性物質の移動に集中的な降水が深く関与していると考えられる(図1)。

キーワード: 放射性物質の動, 阿武隈川, 放射性セシウム

