

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月11日現在

機関番号：13601
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22540467
 研究課題名（和文） 礫質フォアセット堆積構造の形成プロセス—ファンデルタ単層の観察と水路実験による
 研究課題名（英文） Reconstruction of sedimentary process of coarse-grained foresets from description of Tertiary fan-delta foreset beds and flume experiments
 研究代表者
 村越 直美（MURAKOSHI NAOMI）
 信州大学・理学部・准教授
 研究者番号：80270966

研究成果の概要（和文）：粗粒デルタ（ファンデルタ）のフォアセット中における堆積構造の変化を解明するため、露頭（長野県上田市鴻ノ巣）でファンデルタのフォアセットを構成する単層の詳細な記載を行い、混合砂礫を使った水路実験によって堆積プロセスを再現した。フォアセット上流下時の堆積粒子の粒度による挙動の違いが堆積構造の変化に重要であることが示された。すなわち細粒物質の拡散および礫の濃集、礫粒子流と拡散した細粒物質の混合、粒子流内部の分級による級化形成である。

研究成果の概要（英文）：Sedimentary structures and their depositional processes of coarse-grained foresets were investigated by description of Tertiary fandelta deposit and flume experiments using mixed-sized sediments. During a foreset deposition, the different behaviors of sediment grains due to their diameters are important on the transition of a foreset sedimentary structure, i.e., diffusion of fine grains and depletion of coarser grains, mixing of grain-flow of granules and fines, and sorting processes within grain flows.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

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：フォアセット，ファンデルタ，堆積構造，堆積プロセス，水路実験，混合粒径。

1. 研究開始当初の背景

ファンデルタ堆積物中には大規模なフォアセットが発達する。一般に、フォアセットは粒子流（grain flow）によって形成するといわれているが、実際に露頭でみられるフォアセット中には粒子流では説明できない多様な堆積構造が多くみられる。すなわち、緩傾斜，上方細粒化，側方細粒化および薄層化

する層理などの堆積学的特徴である。これらの特徴に関して、砂質なフォアセットの形成過程の説明として一般に引用される“Joplingモデル”や“Bagnoldモデル”では上記のような多様な堆積構造の成因を説明できない。さらに従来のモデルとは異なる、河川から流入する高密度流からの粒子沈降や流下にもなう土砂の流送過程の変化が関わって

ると予想される。

長野県周辺の第三系中には、中部山岳地域が日本海形成を経て陸域山岳地域となる過程で、海岸地域に発達したファンデルタの堆積物が地層として保存されており、良好な露頭となっている。上田市鴻巣では1つの露頭でファンデルタの内部構造すなわち、プロデルタ-フォアセット-トップセットのほぼ全貌が露出しており、ファンデルタフォアセットが連続的に観察できるので、詳細な野外調査に適している。

フォアセットの野外観察からは、前述のように粒子流による上方粗粒化では説明できない特徴が見つかったのでそれらを堆積構造の違いによってタイプ分けし、実験的にそれらの形成過程の解明を試みる。扱う対象は、堆積物のスケールでいえばベッドフォームの形成と地形の形成プロセスの中間に相当する。これを解明することは、単に前進するベッドフォームの理解だけでなく、それらが構成する堆積システムのプログラデーションにかかわる物理的プロセスの理解へとつながる。

2. 研究の目的

大規模な礫質フォアセット中には、粒子流に由来する逆級化層理以外に多くの堆積構造（緩傾斜、上方細粒化、側方細粒化および薄層化する層理）がみられる。これらの堆積構造の成因は一般的なフォアセットの形成過程を説明するとき用いられる粒子流モデルでは説明できない。野外での露頭観察に基づく詳細な記載と水路実験を用いた実験的手法によって、多様な堆積構造の堆積プロセスを明らかにし、礫質の大規模フォアセットの堆積学的な発達モデルを提案する。

フォアセットの内部堆積構造を構成している粒子レベルで解析し、その形成過程を野外観察と実験から明らかにする。初年度は野外調査に重点を置き、フォアセットのユニット認定と、1枚のフォアセット中の側方および上下方向への厚さの変化や粒子の大きさやオリエンテーションの変化に注目してその特徴を把握する。さらに次年度は水路実験により、フォアセット形成に関与する堆積プロセスを再現し、これらの結果および文献により他の研究例を総合して、粗粒フォアセットの堆積プロセスと内部構造の特徴とを関連づけて解明する。

粗粒な材料が作る堆積構造に関して堆積学的知見が不足していることは、地層学や堆積学の分野でよく使われているベッドフォームと水理条件のダイアグラムでは砂サイズの粒子までしか扱われていないことからわかる。礫が作るベッドフォームと堆積構造との関係は、その規模と形成プロセスに関してまだ解明されていないことが多い。さら

に巨大化したベッドフォームは地形そのものの規模を持つに至るので、地形や堆積システムの動きや海岸線の動きに関しても重要な要素の理解となる。

一方、同じ水理条件のもとでは、粒度の違いが異なる堆積構造を作り出すといわれている (Leckie, 1988; 増田, 2000 など)。さらに地表面になった後のアーマー化も保存される堆積構造に影響することから、粗粒な堆積物の形成に関しては複数の堆積プロセスを組み合わせる必要がある。

この研究のねらいは、野外での詳細な観察・記載に実験堆積学的な意味づけをすることにある。ファンデルタは陸から海への碎屑物循環の中で、陸-海境界を成す重要な要素である。それは陸からの土砂供給と相対的海水準変動に鋭敏に反応する堆積システムの1つでもあり、日本のような活動域で特徴的な地形でもある。その構造はフォアセットの前進による前置層の発達によって特徴づけられる。しかし、世界的にみても粗粒な物質からなるフォアセットの堆積学的な前進プロセスの詳細は明らかになっておらず、砂質フォアセットの知見を外挿して理解しているにすぎない。この研究では礫質なフォアセットの発達様式を野外で層理1枚ごとに観察・記載して、粒子流と他の幾つかの堆積プロセスからなることを示し、さらに水路実験によってその堆積学的特徴を再現する。

3. 研究の方法

ファンデルタのフォアセットユニット中の、粒子流モデルでは成因が説明不能な堆積構造の特徴を示し、それらの堆積プロセスを明らかにして、各種水理条件との関連を推定する。野外調査によって、礫質なフォアセットの発達様式を1枚ごとに観察・記載して、粒子流と他の堆積プロセスからなる構造を識別する。つぎにそれらの堆積構造の堆積プロセスを解明するために、水路実験によってその構造を再現し、総合的に堆積物濃度や流速などの水理条件との関係を見出す。

(1) 野外観察：長野県上田市の露頭で、ファンデルタ堆積物の詳細な記載を行う。デルタ前置層の内部堆積構造の中で、観察のポイントは、1枚ごとにフォアセットユニットを認定し、1) フォアセット中の粒度の変化や、2) 粒子配列、3) フォアセットの厚さの変化を追跡することである。露頭が急傾斜で堆積物は固結して足場が切れないので、必要に応じて懸垂下降しながらの作業となる。1枚のフォアセットを完全に記載するには緻密な記載作業が必要なので、ある程度熟練した調査補助者を必要とする。データの解析には、粒度分析・粒子ファブリックの計測などを含む。野外観察の結果から、内部堆積構造の違いによって粒子流とそれ以外のフォアセットの

タイプ分けを行う。分けられたタイプごとに特有の異なる堆積プロセスを経て形成されたと考えられ、それぞれの形成過程を文献調査および理論・実験を通じて推定していく。

(2)水路実験：実験に向けての準備として信州大学理学部の循環式開水路装置を用いて、フォアセット形成実験に向けたハードの整備と予備実験を行う。粗粒な堆積物を定量的に供給する装置（ポンプを含むホッパーとコンベヤベルト）を作成し、水路（可変勾配型循環式開水路装置）に設置し、予備実験を行って調整などの準備を行う。

準備した開水路装置を使用して、水路内にマイクロデルタをつくり、中礫～砂を材料としたフォアセットの形成実験を行う。流量の調整にはインバーターを用いてポンプの出力を変化させることによって微調整する。実験方法は、まず粒子流によるフォアセット形成過程を再現し、粒子スケールからみた堆積構造を明確にする。つぎに堆積物の供給量・粒度構成・流量・水深比等を変化させ、粒子流領域のプロセスに応じて形成されたフォアセットの粒度構成と水理条件による堆積構造との違いを明らかにする。

堆積物の供給量・流量・水深比を変化させ、さらに高濃度浮流状態からの堆積物中のフォアセット形成実験を行い、その内部構造を明らかにする。

(3)文献調査：各種文献の精査・レビュー。粗粒フォアセットの記載論文と実験堆積学論文に重点をおく。

(4)その他：必要に応じて、堆積構造と実験に関して専門的な知見を得るため、実験堆積学研究者と議論する。

(5)まとめ：この研究のねらいは、野外での詳細な観察・記載と、それに対して実験的に物理的な意味づけをすることにある。現地調査での記載と水路実験の結果から、実際の粗粒フォアセットの形態と内部堆積構造を水理的なパラメータ（粒度・供給量・流量など）と関連させてまとめる。また実験結果を総合して検討し、流下にもなうエネルギー減衰過程によってフォアセットの内部構造が変化するモデルを構築する。

4. 研究成果

粗粒デルタ（ファンデルタ）のフォアセット中における堆積構造の変化を解明するため、露頭の詳細な記載と混合砂礫を使った水路実験による堆積プロセスの解明を試みた。

長野県上田市鴻ノ巣の露頭（図 1）で、ファンデルタのフォアセットを構成する単層の詳細な記載を行い、フォアセット上部～中部～下部への堆積構造の変化を定量的に明らかにした（図 2、表 1）。平均層厚は 56cm～85cm～28cm、平均粒度は中礫から細礫へ緩やかに細粒化し、下部ではシルト層を 44%含

んだ互層となる。フォアセット傾斜角は平均 44° ～ 47° ～ 42° （実測）。支持構造は礫支持 100%～57%～13%へと変化した。級化構造は全体に無級化が卓越するが（88%～51%～85%）、逆級化は 4%～23%～10%、正級化は 8%～17%～2%と変化した。単層内での級化から逆級化は中部のみ（9%）、逆級化から正級化は下部のみ（2%）でみられた。インブリケーションは上部および中部でみられ（中部では顕著）、下部では層理面に平行に近かった。

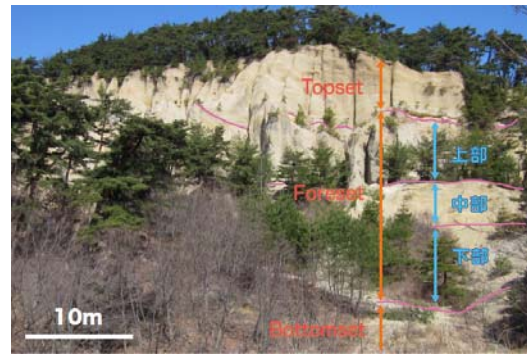


図 1 鴻ノ巣の露頭。上部・中部・下部からなるフォアセット。

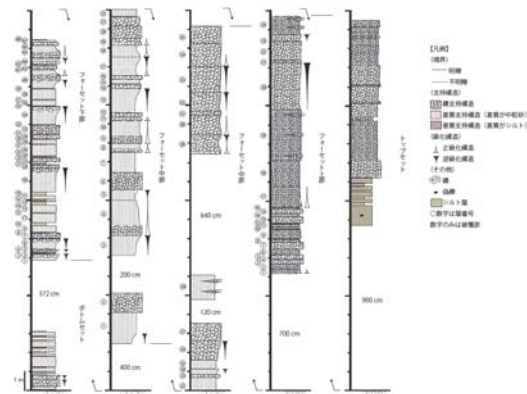


図 2 単層ごとに記載した露頭柱状図

表 1 各部におけるフォアセットの特徴。

	上部	中部	下部
平均層厚(cm)	55.7	84.5	28.3
平均粒度	中礫	中礫	細礫
平均傾斜角(°)	42.7N	46.8N	41.8N
インブリケーション角(°)*	28.8N	34.8N	39.3N
基質支持層(%)	0.0	42.9	43.8
礫支持層(%)	100.0	57.1	12.5
シルト層(%)	0.0	0.0	43.8
無級化層(%)	87.5	51.4	85.4
逆級化層(%)	4.2	22.9	10.4
正級化層(%)	8.3	17.1	2.1
逆一正級化層(%)	0.0	0.0	2.1
正一逆級化層(%)	0.0	8.6	0.0

混合砂礫給砂装置を作成し、循環式開水路装置を用いて（図 3）、フォアセット形成実験を行った。

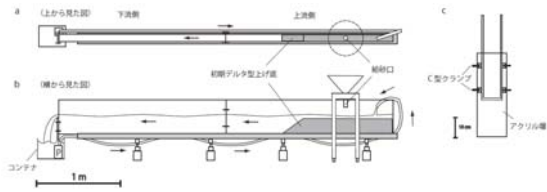


図3 実験に使用した水路および給砂装置.

その結果、フォアセット上流下時の堆積粒子の粒度による挙動の違いが堆積構造の変化に重要であることが示された。すなわち、トップセットを堆積した流れが水中部分へ突入し、細粒物質が拡散した。そのため礫のみが急激に堆積し、無級化構造の礫支持構造を形成した。中部には、上部から粒子流としてなだれてきた礫と上部で拡散した細粒物質が供給され、それらが混合した粒子流によって基質支持構造が形成した。中部は粒子流によって堆積し、粒子流内部の分級の違いによって形成された級化構造が異なった。分級が進み、基質と礫が完全に分離した部分は礫支持構造となった。下部では、中部を堆積した粒子流が流下し、流下に伴って粒子流内部で分級が進んだことで、無級化および逆級化構造の基質支持構造が形成した。

この研究によって得られた知見は、実験堆積学の分野では粗粒な混合粒径からなる堆積物を使った例として最新であり、日本をはじめとする地質学的に活動的な地域で普遍的にみられる粗粒デルタの発達および地層形成プロセスを理解する上で重要である。

今後、この研究で得られた堆積モデルを他地域の粗粒デルタ堆積物や同じく礫質フォアセットを持つ砂嘴堆積物などに適用し、妥当性の検討および改良を加えていくつもりである。

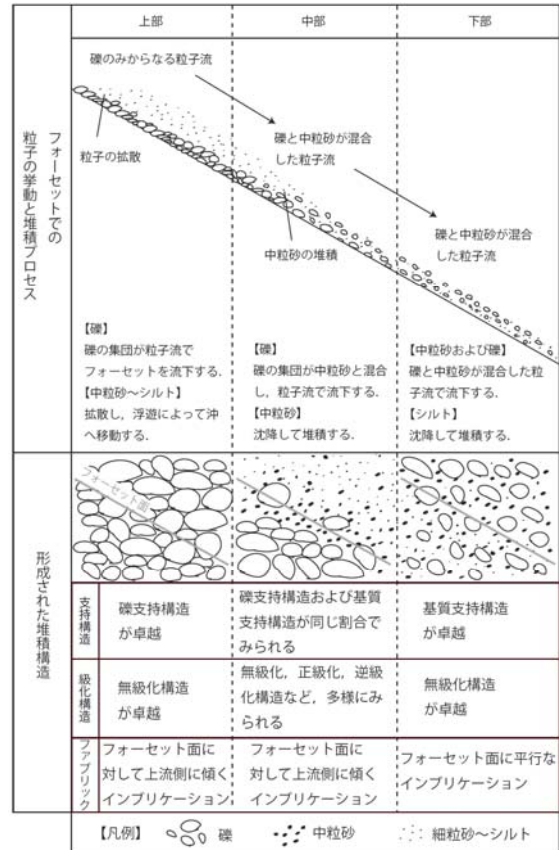


図4 粗粒デルタのフォアセットの堆積プロセスを模式的に表したモデル図。上部から下部にかけて卓越支持構造、級化構造およびフォアブリックが変化している。

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)

〔その他〕
ホームページ等
<http://science.shinshu-u.ac.jp/~environ/NAO/NAO.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村越直美 (MURAKOSHI NAOMI)
信州大学・理学部・准教授
研究者番号：80270966

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：