

# Formation conditions of bedforms under sediment-laden gravity currents

## 堆積物重力流ベッドフォームの形成条件

大畑耕治

### 和文要約

陸上を流れる河川が砂や泥を運び堆積させるように、深海底では混濁流とよばれる現象が堆積物を運搬する。混濁流は数十～数百 km を流れ下り、深海底にタービダイトと呼ばれる砂層を堆積させる。地層を堆積させた流れの条件は、堆積構造から読み取ることができる。堆積構造のもととなるのは、流れの底面にできる地形（ベッドフォーム）である。したがって、タービダイトから混濁流の情報を読み取るためには、混濁流によるベッドフォームがどのようなプロセスで形成されるのかを理解する必要がある。混濁流は開水路流（河川のような自由水面を持つ流れ）と同じように、流路内で一方向に流れ、底面にベッドフォームを形成するという共通点がある。近年は野外での混濁流の観測例が増えており、混濁流ベッドフォームに関する水槽実験も行われているが、その数はまだ少ない。そのため、混濁流堆積物の堆積構造を解釈する際には、開水路流による実験結果をもとにしたベッドフォームの形成条件を示す安定相図が用いられてきた。

しかし、開水路流と混濁流とでは流れの構造などに大きな違いがあるため、開水路流ベッドフォームの安定相図をそのまま混濁流にも応用できる保証はない。たとえば、開水路流と混濁流とでは（１）浮遊砂の運搬量、（２）流速・密度の鉛直構造、の二点ではっきりとした違いがある。開水路流は浮遊砂がなくとも水自身の重さによって下流に流れていくのに対し、混濁流の場合は浮遊砂が周囲流体との密度差を生んでいるため、浮遊砂がなければ混濁流は流ることができない。また、開水路流は水面付近で流速が最大値を示すが、混濁流は底面および周囲流体との界面に向かって流速が小さくなるという流速分布を示す。さらに、開水路流は大気よりはるかに大きな密度を持つ一方で、混濁流と周囲流体との密度差は小さい。

おそらくこれらの流れの性質の違いを反映して、開水路流および混濁流堆積物に観察される葉理構造に大きな違いが生じている。例えば、開水路流堆積物中には、デューンと呼ばれるベッドフォームの痕跡である大型の斜交葉理が頻繁に観察される。一方、混濁流堆積物中にはデューンによる斜交葉理はほとんど見られない。すなわち、混濁流堆積物中の葉理構造を解析するためには、開水路流・混濁流の流れの性質の違いを考慮する必要があるだろう。

本研究の目的は、混濁流ベッドフォームの形成条件を明らかにすることである。本研究では、混濁流と開水路流の流れの様式の違いとして（１）浮遊砂の存在、（２）流れの鉛直構造、がベッドフォームの形成に与える影響に着目した。

まず、浮遊砂の有無がベッドフォームの形成に与える影響を検討するため、本研究では開水路流ベッドフォームの線形安定性解析を行った。その結果、粒子が細かいとき（粒径 0.12 mm, 0.25 mm）は、浮遊砂を考慮するとプレーンベッドが安定となる領域（擾乱が成長しない水理条件を示す領域）が大きく広がることが明らかになった。一方、この条件では、デューンが形成される水理条件を示す領域は大幅に狭まった。この解析結果は、既存研究における開水路流プレーンベッドの観測結果とも一致している。粗い粒子（粒径 1.2 mm）の場合は、浮遊砂を考慮しても安定領域の分布の違いはあまり生じなかった。すなわち、本研究により、浮遊砂によってデューンの形成は阻害され、プレーンベッドの形成が促進されることが理論的に明らかとなった。

次に、流れの鉛直構造の違いがベッドフォーム形成条件に与える影響を調べるため、塩水を用いた水槽実験を行った。また、既存の重力流実験のデータを収集し、開水路流ベッドフォームの安定領域図と比較した。安定領域図の軸としては粒子レイノルズ数やシールズ数などの無次元数を用いた。重力流の水理条件を示す無次元数としては、(1)流速や濃度を流れ全体（底面から周囲流体との界面まで）で平均した値、(2)流れの下部（底面から流速最大値を示す高さまで）を代表する値の二つを用いた。結果として、以下のことが明らかになった：(1) 実験条件を表すパラメーターとして層平均値を用いた場合は、重力流ベッドフォームの安定領域は開水路流ベッドフォームの安定領域とは大きく異なっていた、一方、(2) 実験条件を下層を代表する値を用いて表した場合は、重力流ベッドフォームの安定領域は開水路流ベッドフォームの安定領域とよく一致した。このことは、開水路流と異なり密度流の場合は流れ全体ではなく下層のみがベッドフォームの形成を支配しうることを示している。

以上から、浮遊砂の存在および流れの鉛直構造の違いが混濁流ベッドフォームの形成条件に影響を与えていることが明らかになった。本研究の結果は、(1) 浮遊砂により混濁流下でのデューンの形成が阻害されるため堆積物中に大型の斜交葉理が見られないこと (2) 開水路流ベッドフォームの安定領域図を混濁流堆積物に適用した場合、復元された水理条件は混濁流の下層の状態を表している可能性があること、を示唆する。