

氏 名	あら 谷 忠
学位の種類	博士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2773 号
学位授与の日付	平成 16 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	理学研究科地球惑星科学専攻
学位論文題目	Grain fabrics formed on horizontal to gently inclined sandy erodible beds under unidirectional, oscillatory and combined flows, with special reference to the dependence of imbrication angles on grain elongation and grain size (一方向流・振動流・複合流下水平～緩傾斜移動砂床上で形成された粒子配列：インプリケーション角の粒子伸長度・粒径依存性)

論文調査委員	(主 査) 教授 増田富士雄	教授 瀬戸口烈司	助教授 山路 敦
--------	-------------------	----------	----------

論 文 内 容 の 要 旨

様々な流れの影響下で、水平に近い比較的平坦な砂床上に堆積した砂質混合堆積物について、個別粒子のみかけの粒径・伸長度・インプリケーション（水平面に対する粒子長軸の傾斜）を分析し、その意義を検討した。一方向流の高領域平滑床（upper plane bed(s)）条件（PB）、反砂堆（antidune(s)）条件（AD）および震動流下のバー頂部の疑似的平滑床条件（WPB）について水路実験を実施してサンプルを採取した。前浜堆積物（FS）と浅海成のハンモック状斜交層理（hummocky cross-stratification）砂層（HCS）については実験が困難なので、茨城県の上部更新統下総層群のサンプルを用いた。これらは一方向流・振動流・複合流の流れの高領域（高流砂階, upper flow regime）から遷移領域（transitional regime）相当の水理条件で堆積したものであると思われる。堆積物はいずれも珪質碎屑物が主体で WPB のみ粗粒砂、それ以外は細粒～中粒砂で、淘汰は比較的良好である。

解析方法

定方位で採取した堆積物のピール（はぎ取り）を用いて、砂粒子の投影像のみかけは長軸の配列方向と粒子の伸長度および粒径を解析した。サンプルはいずれも流れの方向や波の振動方向（FS と HCS は堆積時の海岸線に直交する方向）に平行な鉛直断面から採取した。薄片や研磨面の画像を用いた解析では、各粒子の“真の”粒径や形状特性を知ることが原理的に不可能である。本研究の手法では粒子の一断面ではなく、輪郭がほぼ完全に露出した粒子の投影像を計測するので、より有意義なデータが得られるものと期待される。

サンプルのデジタル画像から堆積粒子（各サンプルにつき数千粒かそれ以上）の輪郭を抽出し、画像解析ソフトを用いて各粒子の形状を楕円で近似し、水平面に対する楕円の長軸の方向（ θ ）、長軸の長さ（ a ）、短軸の長さ（ b ）および楕円の中心の座標（ x, y ）を求めた。母集団全体の平均値だけではなく、個別の粒子についてこれらの数値が（半）自動的かつ（半）客観的に得られる点でこの方法は優れている。さらに、楕円の伸長度（ $q=a/b$ ）と粒径（ $d=(ab)^{1/2}$ ）を計算し、各パラメータを統計処理した。本研究では x, y, q, d, θ の 5 変数を用いる。これらのパラメータはいずれも投影面上のみかけの数値である点は注意を要する。

粒子の配列の研究では、伸長度がある値以上の粒子を選択的に測定することが多い。これは、伸長度の小さいものは長軸方向が流れの特徴を反映しにくい可能性が高く、その測定誤差自体も大きく、みかけの伸長度が大きい粒子は“真の長軸”が切断面に平行に近いと思われることなどが理由である。本研究では伸長度に関わらず全粒子についてパラメータを測定しているが、特に断らない限り慣例に従い $q>1.5$ の粒子のみを選んだ。粒子は特に制限していないが、事実上細粒粒子は排除していることとなる。

結果と考察

比較的広い範囲（対粒度比，縦横数 cm かそれ以上）にわたって粒子配列を平均化すると，PB 以外では流れ条件や砂床形に関わらず水平成分が卓越する。従って，大局的にみたインプリケーションの傾向は流れ条件の判別にほとんど寄与しないといわざるを得ない。PB では， θ は上流に約 20° 傾斜したピークを持つガウス分布を示し，これは従来の研究で確認されている傾向にほぼ一致する。それ以外では M は水平に近い，AD・HCS・WPB では一般にほとんど水平な粒子配列が卓越するが，2 方向に数十度傾斜した副次的なモードも見られる。反砂堆条件では上流傾斜の，また前浜堆積物や HCS 砂層では陸側・沖側の 2 方向に傾斜したインプリケーションが知られているが，ここに示した結果は見かけ上これに反する。WPB で水平に近いモードが卓越するのは他の研究結果に一致するといえよう。

PB を除き， q が大きい領域では θ のベクトル平均 M は水平に近く， q が 1 に近い領域では M は数十度に達する。ベクトルの集中度は q と正の相関を持つ。つまり，伸長した粒子は堆積面にほぼ平行（ほぼ水平）に配列しがちで良く配列が揃っているが，丸い粒子は高角で立った配列をするがかなりランダムである。PB では， q にかかわらず M は上流に数十度傾斜するが， $q > 2$ では水平に地殻なる。ただし，解析手法の特性上 q が 1 に近いほど誤差が大きくなり，これがベクトル集中度を低下させる一因となっている可能性は否めない。

PB を除き， $d[\phi]$ が相対的に大きい（母集団中の細粒）領域では M は数十度に達し，相対的に小さい（粗粒な）領域では水平に近い。PB ではほぼ $d[\phi]$ にかかわらず M は上流に数十度傾斜するが， $d > 3.5[\phi]$ では若干傾斜が緩くなる。いずれのサンプルでもベクトルの集中度は $d[\phi]$ とは逆相関を示す。また，粒子配列の傾向はある絶対的な粒度を境に変化するわけではなく，その母集団中の相対的な粒度により変化するようにみえる。換言すれば，粗い粒子は堆積面いほぼ平行（ほぼ水平）に配列しがちで良く配列が揃っているが，細かい粒子は高角で立った配列をするがかなりランダムで，粗い細かいの差異は，水理学的な挙動が変化するある粒径で区別されるというよりは，むしろ単に周囲の粒子との比較関係で決まらしいということになる。ただし，手法の特性上細粒側では測定精度が低下していると思われる。

粒子配列はサンプル上のどの範囲で測定するかによっても変化する。解析範囲を狭めるほど局所的な定向配列が突出する一方，解析対象となる粒子数が少なくなり確率的なばらつきが大きくなるというパラドックスを抱えているので，評価が困難である。また，堆積物中の位置と堆積過程の堆積条件（例えば堆積速度・流速・水深など）の関係を知ることは一般に不可能であり，粒子配列の位置的变化を意味づけることは難しい。粒子配列の空間的变化を評価する前提として，単一の条件・過程で堆積したと思われる業理や業理内の微細構造，あるいは粒子が形成する cluster（micro-domain）を正しく把握する必要がある。

論文審査の結果の要旨

堆積物に関する情報から，堆積時の水理条件を推定しようとする試みは多い。そのひとつとして堆積粒子の配列に注目した研究がある。近年，この分野の研究は大きく発展しつつある。それはコンピューターの能力の向上によって，これまでの断片的な情報で解析していたのが，多数の粒子の配列パターンを広範囲にわたり連続して，しかも客観的に解析できるようになってきたからである。

申請者の論文では，一方向流，振動流，複合流などのもとで形成された比較的平坦な砂床上の堆積物の粒子配列を明らかにしている。そこでは水路実験や過去の砂質堆積物を対象に，次のような新しい方法が導入された。1) 堆積物の断面をピール（はぎ取り）面で接写した。これによって輪郭が完全に露出した粒子の投影像を計ることができるので，これまで行われてきた切断面や薄片による観察よりも，より有意義なデータ取得を可能にした。2) 比較的広い範囲（対粒度比，縦横数 cm 以上）にわたって高精度で多数粒子を定量的に解析した。これによって粒子配列の試料の部分や層準による多様性や変化を統計的に検討できる。ここで開発した手法はさまざまな堆積物に適用できる汎用性があるので，今後，広く利用されると思われる。

この新手法による研究で次のような結果を得ている。一方向流の平滑床堆積物だけが，上流に約 20° 傾斜したピークをもつガウス分布の粒子配列を示し，それ以外の堆積物では，粒子の長軸が水平配列するものが卓越することを明らかにした。この事実は，大局的にみた場合，粒子配列の傾向は流れの条件の判別にほとんど寄与しないことを示している。さらに粒子

のみかけの長軸・短軸比のみかけの粒度によって粒子配列に違いがみられることを示した。平滑床を除き、長く伸びた粒子と粗い粒子は水平面にほぼ水平にそろって配列し、丸い粒子と細かい粒子はランダムな配列をするという傾向がある。粒子群の中での粗い・細かいという区別は水理条件との関係によるのではなく、周囲の粒子との比較関係で決まるといえる。具体的には粒子群中のどの粒度あるいはどの伸長度に注目すべきかということを考えることが、堆積物を取扱う場合に重要であることを示している。これまで報告されている粒子配列のいくつかは、副次的なモードを強調していたり、解析対象の粒子数が少なかったり、測定範囲が狭く局所的な定向配列を報告していたりした可能性があると考えられる。

以上のように、申請論文では、堆積物の粒子配列の実態を、新しい方法で客観的・定量的に解析し、これまでの研究結果との差異を明らかにしている。ここでとられた手法や得られえた情報やその解析は、今後の研究に大きな影響を与えるものといえる。よってこの論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認めた。また、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。