

更新統ギルバート型三角州前置層の 形成過程推定のための基礎実験

Fundamental Experiments for Estimation of Process
of the Pleistocene Delta Foresets

岡崎 浩子*・池田 宏**・目代 邦康**・飯島 英夫**

Hiroko OKAZAKI*, Hiroshi IKEDA**,
Kuniyasu MOKUDAI** and Hideo IJIMA**

I はじめに

千葉県木更津市に分布する更新統下総層群上泉層にはギルバート型粗粒三角州堆積物が認められる。この前置層は約 20° に傾斜する大規模なフォーセット層理で構成される。このフォーセット層理の内部には、平行層理やバックセット層理がみられる(岡崎, 1999; 岡崎ほか, 2000) (第1図)。このような地層にみられる堆積構造の形成条件や形成過程を推定するための基礎実験として、水路実験をおこなった。実験は三角州の形状や構成物質を決定する河川の供給物質やその量変化などを想定した。すなわち、水中安息角と粒径、給砂量変化による前置面傾斜角や流下形態の変化、および波の前置面にあたえる影響などを検討した。また、地層の粗粒三角州堆積物でしばしば報告されているバックセット層理(流れの上方に内部葉理が傾むく堆積構造。Jopling *et al.*, 1966; Postma, 1984; Postma and Roep, 1985; Massari, 1996)の形成条件もこれらの実験から探ることも目的とした。

ギルバート型三角州のような急傾斜の前置面での流れや堆積相については、Nemec (1990)によってよくまとめられている。また、地層のファンデルタ堆積物などの前置面の堆積相解析についても、比較的多くの報告がある(Postma, 1984; Postma and Roep, 1985; Massari, 1996, Falk and Dorsey, 1998; Sohn *et al.*, 1997; Sohn, 2000)。しかし、これらの中には、その形成過程や堆積作用の推定を目的とした実験はほとんどない。

II 実験方法

1. 実験 1. 水中安息角

実験装置は筑波大学陸域環境研究センター既設の幅0.5 m、深さ0.6 m、長さ20 mの造波水槽(鋼鉄、ガラス製)に水を張り、その中に幅10 cm、高さ10 cm、長さ2 mの透明アクリル水路を傾斜させ、沈めたものを用いた(第2図a)。透明アクリル水路の底面には、計測した砂よりも粗い礫を貼り付け、底面のすべりを防いだ。

実験方法は、傾けたアクリル水路に砂を手で波

* 千葉県立中央博物館

** 筑波大学陸域環境研究センター



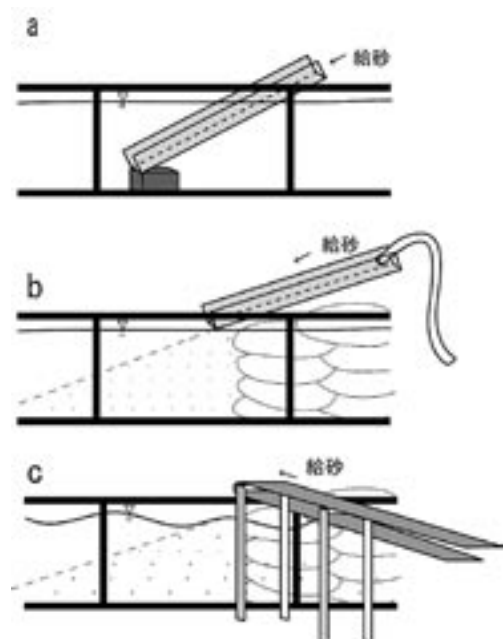
第1図 更新統下総層群上泉層のギルバート型粗粒三角州
白線より右下にバックセット層理がみられる。露頭の高さは約20 m.

が立たないようにゆっくりと給砂した。砂が十分にたまって斜面が形成され、給砂ごとに砂粒子が斜面表面を流下し、この流下が斜面全体にわたっておこることを数回繰り返した後、その停止角を計測した。ちなみに、最初のアクリル水路の傾斜角度は、あらかじめ計測した空中安息角（珪砂4号、7号ともに 34° ）より十分ゆるい角度（ $27^\circ \sim 20^\circ$ ）にした。

停止角をはかった後、次に、アクリル水路をゆっくりと傾けて、表面の粒子がわずかに流れ始める角度と表面全体が流れ出す角度をはかった。この2つの角度の中間値を、この報告では限界傾斜角とした。

2. 実験2. 給砂量変化

実験1の造波水槽の中央をアクリル板で仕切り、幅17 cm、深さ60 cm、長さ4 mの開放水路をつかった。そこにあらかじめ手でゆっくりと給砂をおこない、水中安息角をもつ斜面をつかった。その斜面に給砂し、その単位時間あたりに与



第2図 実験装置
a. 実験1. b. 実験2. c. 実験3

える量を変化（増加）させた。給砂方法は、その開放水路の上流側に、樋をつくり（アクリル水路を空中斜めに固定した）、そこから水で砂を押し流す方法を用いた（第2図b）。すなわち、樋の下端をいったん塞いで、その中に一定量の砂を入れ、水で湿らせた後、下端を開いて、ホースで一定量の水を注入しながら押し流した。この実験で用いた給砂量は単位時間・単位長あたり（以下給砂率とする）、約3～300 g s⁻¹cm⁻¹で、この値の間で段階的に増加させた。この値は、1回のrunで樋に入れた砂の重量（例えば約24 kg）を、給砂に要した時間（約120秒）と開放水路の幅（17 cm）で割って求めたものである。

各run終了後、前置面プロファイルを取り、前置面傾斜角の測定をおこなった。

実験に使用した砂は、珪砂5号と7号である。この粒径の砂を選んだ理由は、珪砂5号はこの報告で検証の対象としている地層の粒径に対応すること、後述するが二つの砂の流下形態の違いによる。

3. 実験3. 波をあてながら給砂量変化

実験2と同じ開放水路に、周期1秒、波高8 cmの波をあてた。給砂は、ベルトコンベアーを用いて、1, 5, 25, 125 g s⁻¹cm⁻¹のように与えた（第2図c）。ここでは、波の効果をみるために、各給砂率で数回runをおこない、短い時間で前置面プロファイルが変化するもので10～30秒毎計1分、長いものでは1分毎計6分のプロファイルをとった。

実験2と給砂方法が異なるのは、実験2でベルトコンベアーを用いると、給砂率が大きい場合、給砂地点での一時的な堆積（つまり）がおり、連続的に前置斜面に砂がいなくなったからである。一方、波をあてた場合は、波によって砂の流動化が促され比較的スムーズに給砂された。また、実験2の方法では給砂率をあらかじめ正確に与えることができないので、実験2と3で給砂率

の値は同一ではない。

4. 実験4. 混合砂で給砂量変化

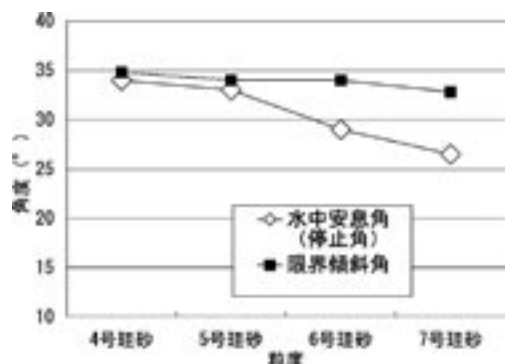
実験2・3で用いた開放水路で、給砂する砂を珪砂5号と7号の混合砂にして供給率を変化させた。すなわち、珪砂5号と7号の混合比を珪砂5号：7号＝7：3とし、給砂率を5, 25, 125 g s⁻¹cm⁻¹で実験をおこなった。波はあてていない。

III 実験結果

1. 実験1. 水中安息角

実験1で用いた砂の範囲では水中安息角（停止角）は、粒径が小さくなるにつれて、34°～26°と小さくなる（第3図）。限界傾斜角も、停止角ほど顕著ではないが、粒径が小さくなると小さくなる。また、限界傾斜角は、いずれの粒径でも停止角よりも大きく、停止角との差が、粒径が小さくなるにつれて大きくなるという傾向がみられる。

この水中安息角をつくる砂粒子の流下形態は、珪砂4～6号と、珪砂7号では異なることが観察された。珪砂4～6号は、いくらか含まれている細粒分は水中を浮遊しながら雲状に流下する。浮



第3図 実験1の実験結果
珪砂7号の角度は、全体の角度を平均化している。

遊しない粗粒な粒子は、斜面上端でいったんたまり、その後崩壊をして斜面上をなだれ状に流下する。また、まれにしか含まれないような、全体よりかなり粗粒な粒子は、このなだれ状の流下層の上面を流下層よりも高速ですべて下る。この結果、下流方向に粗粒な粒子がたまり、斜面下方で粗粒化がおこる。給砂の中に入り込んでしまったゴミ等でみられるファブリックは a(p)a(i) のものが多い。また、流下層内での垂直的分級もおこっていると考えられるが、層が薄いのと、粒径がほぼ均一であるために、肉眼では判定されなかった。これらのことからこのようななだれ状の流れは粒子流と考えられる。

珪砂 7 号では、給砂全体が、浮遊・流動化して雲状に一緒に流れ下り、混濁流となる。この流下層の中でもより細粒な泥質分が最後に沈積し、結果として泥層のラミナが挟まれるようになる。

2. 実験 2. 給砂量変化

珪砂 5 号と 7 号の給砂量を増加させながら、前置面上での砂粒子の流れの状態の観察と、その堆積面の傾斜角（前置面傾斜角）・断面形状（前置面プロファイル）の変化を求めた。これらの粒径を選択したのは、前述したように珪砂 4～6 号は同じ流下形態を示し、珪砂 7 号がそれと異なるからである。

1) 珪砂 5 号

前置面プロファイルは、給砂率の増加にともなって変化する（第 4 図 a）。給砂率が小さい（ここでは約 $12 \text{ g s}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ 以下）時は、頂置面が前進しながら比較的直線的なプロファイルを保つ。この時の流れは上記の水中安息角のところ述べたと同じである。

給砂率が大きくなる（ここでは約 $62 \text{ g s}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ 以上）と、流下形態が変わり、給砂全体と一緒に流下して、高速で流れ下る高密度混濁流となる。この結果、斜面上～中部での侵食と、より下流の底置面への堆積によって、斜面のプロファイル

は、やや下に凸（concave）な形状になる。実験ではさらに給砂率を約 $1350 \text{ g s}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ と極端に大きくした run (run 10) もおこった。この場合、斜面を流下するというよりも全体に一度に堆積がおき、直線的プロファイルに戻った。

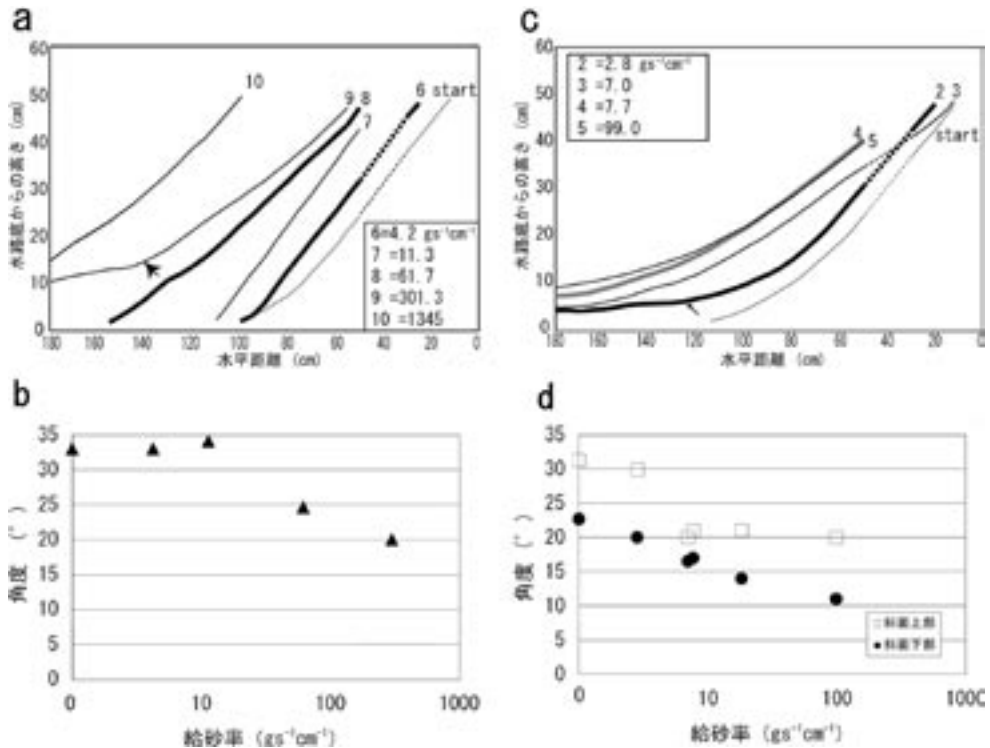
次にこれらの前置面傾斜角をはかると、給砂率の小さい時の傾斜角は水中安息角（停止角）と同じ $33^\circ \sim 34^\circ$ である（第 4 図 b）。給砂率を増加させると前述したように前置面プロファイルは concave して、斜面下部に傾斜変換点ができる。したがって、それよりも上部の比較的直線的な部分の傾斜角度をはかった。それらは 25° をへて 20° まで給砂率の増加とともにゆるくなる。ちなみに run 10 では、斜面中部の直線部分で水中安息角と同じになった（第 4b 図ではこの値は示していない）。

堆積相は、給砂率の小さい場合、斜面方向での分級がおき、下流方向にやや粗粒になる。給砂率を大きくすると、給砂率の少ない時よりも、より細粒分が混じるため、全体に均一で細粒になる。

2) 珪砂 7 号

珪砂 5 号と同様に前置面プロファイルは、給砂率の増加にともなって変化するが、形状や変化の様子は異なる（第 4 図 c）。珪砂 7 号は最初につくった水中安息角をもつ前置面の時から tangential な形状を示す。給砂率が小さい時は、給砂とともに頂置面が前進し、最初の tangential な形状を保つが、給砂率を大きくする（約 $7 \text{ g s}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ 以上）と、頂置面～前置面上部の侵食と前置面中部での堆積がおこり、プロファイルは全体に寝てきて concave になる。流下形態は最初から混濁流で、給砂率の増加によって変化しない。

この前置面傾斜角を、前置斜面中部の傾斜変換点から上部と下部で分けて計測した（第 4 d 図）。給砂率が小さい時は、斜面の上部と下部は、約 30° 前後、約 20° 前後を示す。給砂率が大きくなると、傾斜変換点より上部はほぼ約 20° と変



第4図 実験2の実験結果

- a. 珪砂5号の前置面プロファイル. concave したプロファイルは, 矢印より上を上部としている.
- b. 珪砂5号の前置面傾斜角度.
- c. 珪砂7号の前置面プロファイル. プロファイルの太い矢印 (上部の傾斜変換点) より上を上部とした. 細い矢印 (下部の傾斜変換点) ~太い矢印までを下部としている.
- d. 珪砂7号の前置面傾斜角度.

化しないのに対し, 傾斜変換点よりも下部が, 給砂の増加とともに傾斜角が小さくなる. この実験では約 10° まで小さくなった. すなわち, 給砂増加分はより下部に, より底置面方向での堆積に使われていることがわかる.

3. 実験3. 波をあてながら給砂量変化

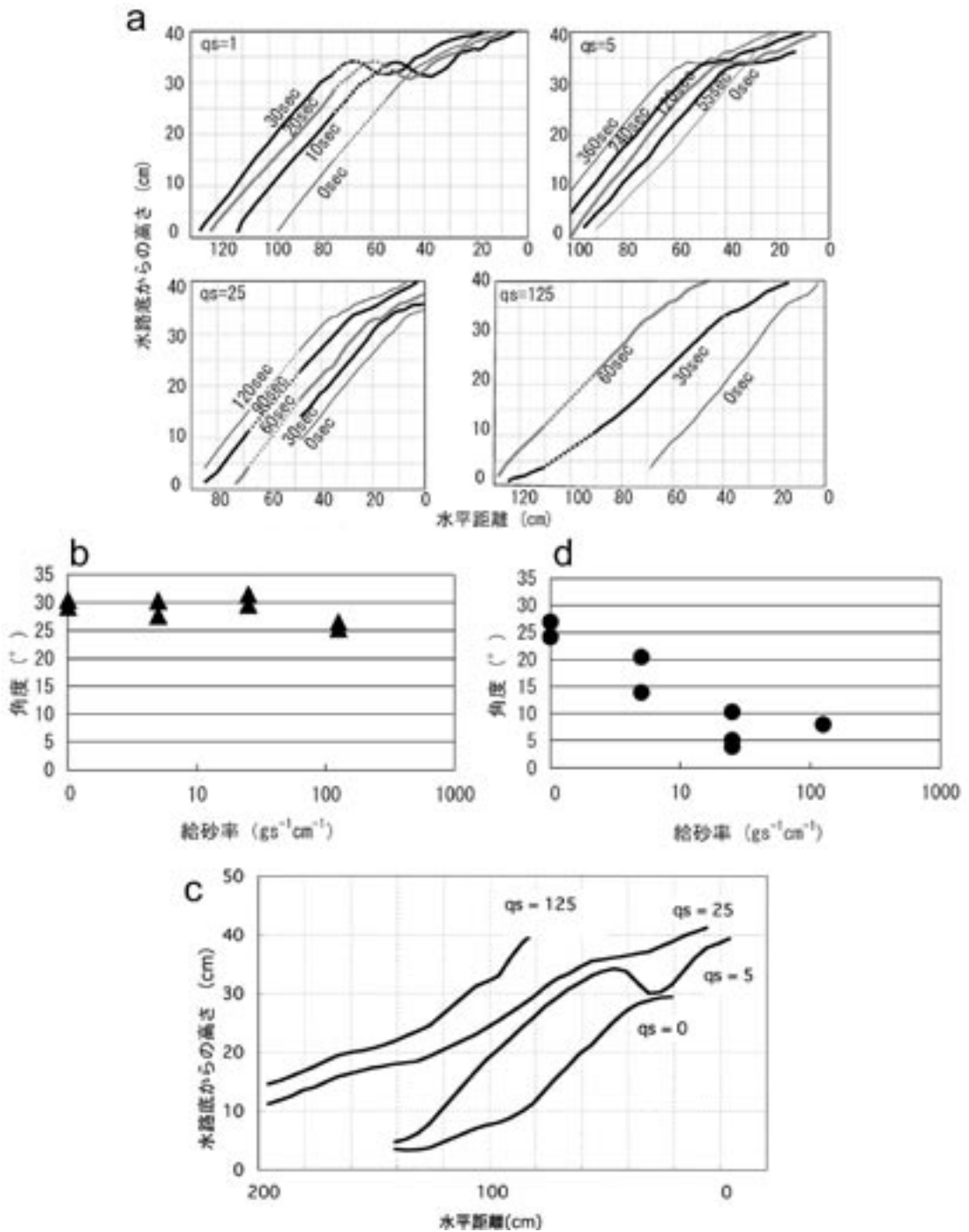
1) 珪砂5号

波をあてながら給砂率を増加させると, 前置面プロファイルは, 波の影響を受けて実験2とは異なる特徴を示す (第5図a). 給砂率の小さい時 ($1 \text{ g s}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) は, 斜面上部の砕波地点で波の侵食による凹地ができる. 少し給砂率を上げる ($5 \text{ g s}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) と, そこが埋まって平滑に

なり, 波浪侵食平坦面が形成される. 給砂率を上げていく ($25 \text{ g s}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) と, その斜面上部での堆積によってそこにも緩傾斜面ができる. さらに給砂率を大きくする ($125 \text{ g s}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) と, 斜面全体が直線にもしくはやや tangential に近い形状にかわっていく. 実験2と同様に, 給砂率が少ない時は, 流れは粒子流で, 給砂率が大きくなると高密度混濁流に変化する.

この斜面の傾斜角を計測すると, 斜面中一下部の傾斜角は給砂率が $25 \text{ g s}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ までほぼ一定で, 約 30° を示す. 給砂率 $125 \text{ g s}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ では, 約 25° と小さくなる. 同じ給砂率でも各 run で傾斜角の揺らぎが認められる (第5図b).

2) 珪砂7号



第5図 実験3の実験結果

- a. 珪砂5号の前置面プロファイル.
- b. 珪砂5号の前置面傾斜角度. プロファイルの直線部分の角度.
- c. 珪砂7号の前置面プロファイル. 各給砂率の模式的なプロファイルを示した.
- d. 珪砂7号の前置面傾斜角度. プロファイルの下部の角度.

波をあてた場合の前置面プロファイルは、珪砂7号も珪砂5号とよく似たプロファイル変化を示す(第5図c)。すなわち、給砂率の小さい時 ($5 \text{ g s}^{-1}\text{cm}^{-1}$ 以下) は、碎波地点で侵食による凹地ができる。その後、 $25 \text{ g s}^{-1}\text{cm}^{-1}$ で斜面上部が平坦になり、直線からやや tangential に近い形があらわれてくる。 $125 \text{ g s}^{-1}\text{cm}^{-1}$ では凹凸は残るが tangential な形状になる。

前置面傾斜角は、同一給砂率での揺らぎが珪砂5号と比べると大きい(第5図d)。また、斜面上部の傾斜角は 5° まで給砂率の増加とともに小さくなる。

また、珪砂5号でも7号でも給砂をせず、波だけあてると、波の作用によって波をあて始める前よりも前置面傾斜角はゆるくなる。すなわち、碎波による上部での侵食と、それらの砂粒子がさらに波によってより下流方向に運ばれ堆積することが観察される。

4. 実験4. 混合砂で給砂量変化

混合比が珪砂5号:7号=7:3の混合砂では、給砂率が $5 \text{ g s}^{-1}\text{cm}^{-1}$ の時に、斜面上で小さい“うねり”が不規則に生じる。このうねりの凹部で後から流れてきた砂が凹部をこせず、凹部の下位からじょじょに埋積していくのがみられた。すなわち、上方埋積がおこった。給砂率を $25 \text{ g s}^{-1}\text{cm}^{-1}$ に上げると、“うねり”はたつが、すぐに次にくる流れでうねりはかき消された。さらに給砂率を $125 \text{ g s}^{-1}\text{cm}^{-1}$ にすると、うねりはたたず、実験2と同じ流れになる。

前置面プロファイルは、給砂率 $5 \text{ g s}^{-1}\text{cm}^{-1}$ で直線的で、 25 、 $125 \text{ g s}^{-1}\text{cm}^{-1}$ で concave になる。前置面傾斜角は、 $5 \text{ g s}^{-1}\text{cm}^{-1}$ の直線的プロファイルで 31° である。 25 、 $125 \text{ g s}^{-1}\text{cm}^{-1}$ の concave なプロファイルでは、傾斜変換点より上部はどちらも 24.5° で、下部が、 $10^\circ \sim 13^\circ$ である。いずれも珪砂5号のみでおこなった実験2の、同じ形状の時よりも傾斜角度が小さい。

$5 \text{ g s}^{-1}\text{cm}^{-1}$ で、斜面上でおこった小さい“うねり”の堆積相は逆級化を示す(第6図)。このような逆級化層は、給砂率をあげて上方埋積がおこらない場合には認められなかった。その場合の堆積相は、実験2の給砂率が大きい場合と同様である。

IV 考察

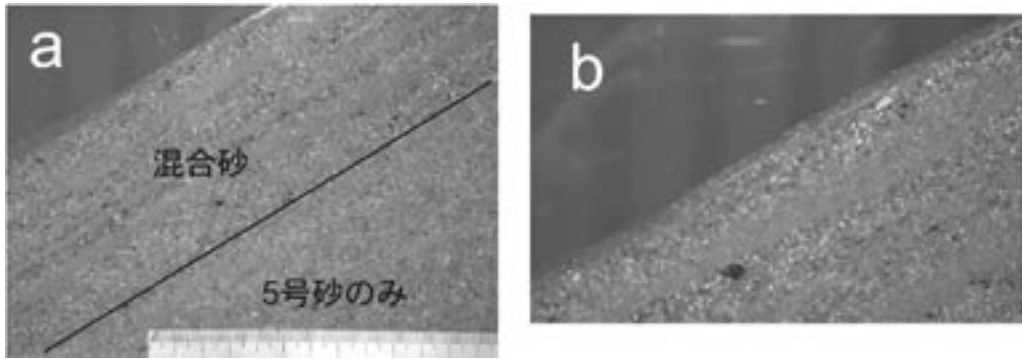
1. 水中安息角と粒径

水中安息角は粒径が小さくなるにつれて小さくなる。このように、粒径に相関することはGibsonの実験式などでよく知られており、ここで得られた角度も妥当な結果である(河村, 1982)。

また、珪砂4~6号と珪砂7号で流下形態が異なるのは粒子のサイズによる運搬形態の違いによるものと考えられる。Pantin (1979)は、低角度の混濁流に関して、粘土・シルトからおおよそ中粒砂までは、低速・低密度でも運搬可能であり、一方、それ以上の粒子サイズでは自動浮遊することができないとしている。珪砂7号、(中央粒径 0.13 mm 、極細粒~細粒砂)は、低密度でも浮遊し、低角度でも混濁流で流れ下ることができる。珪砂6号(中央粒径 0.29 mm 、細~中粒砂)以上の粒子サイズのものは、上記のサイズのものが浮遊し、それ以上のサイズのものが分離して斜面上を粒子流で流下すると考えられる。

2. 給砂量変化と前置面プロファイル・傾斜角

珪砂5号の給砂量に伴う、前置面プロファイル・傾斜角の変化は流下形態(堆積物重力流の種類)の変化に基づくと考えられる。すなわち、給砂率がある一定以上に増加し、流下速度も増加すると、粒子流から高密度混濁流へと流下形態が変化したためと考えられる。高密度混濁流は斜面上~中部を侵食し下部での堆積を助長する。したがって concave なプロファイルとなり、前置面傾斜角が減少する。それに対し、珪砂7号では、



第6図 a. 珪砂5号のみと混合砂の堆積相（スケールは約13cm） b. 混合砂の部分の近接写真

浮遊が可能な粒径であり、給砂率が小さくても急傾斜を混濁流となって流下する。また、給砂率が増加するとより下部、より遠くへと堆積域が前進し、下部の傾斜角がどんどんと減少していく。

Jopling (1965) によって、水路実験でつくったフォーセット葉理の形状（ここでの前置面プロファイル）は、流速や前置面の高さ、懸濁物質の割合が増大すると、angular型から tangential型、そして concave型へと変化していくことが明らかにされている。また、小島・横川 (1997) は同じく水路でつくったフォーセット葉理で、その形と堆積過程は、流速が小さい場合と大きい場合の2つに分けられると述べている。すなわち、流速が小さい場合は、angular-tangential型で、前置面は沈積となだれで、流速の大きい場合は、concaveで沈積によって前進するとしている。また、細粒砂、中粒砂、粗粒砂で同様の実験を行っており、結果の図からは細粒砂の変化が他よりも大きいことが確かめられる。これらの結果は、実験2の結果と一致する。小島・横川 (1997) では、前置面の高さ、流速など異なる（私信）が、このように異なる実験条件においても同様の結果が得られることは、この現象は粒径とその流れの中の密度に大きく依存していると考えられる。

3. 波の効果

波の効果としては、波による攪拌によって、細粒物質がより浮遊しやすくなることが考えられる。また、波砕帯での侵食により、前置面上部から下部への供給が増加する。したがって、全体により急速に傾斜角を減少させる。

実験では、珪砂5号、7号ともに、波をあてない場合と比較すると、波をあてた方が全体に傾斜角が小さくなる。また、珪砂7号で顕著だが、給砂率の増加にともなって、すぐに傾斜角が小さくなり、その減少の割合も大きい。これらは、上記のことが原因と考えられる。

また、珪砂5号、7号の共通する前置面プロファイルの上部変化からは、給砂率の小さい時には波の侵食による特徴的な形がみられたが、給砂率が大きくなるにつれて、波の侵食よりも給砂の堆積の方が上回ることが読み取れる。

4. バックセット

今回の研究の目的の一つに粗粒ギルバート型三角州で特徴的にみられるバックセット層理の形成がある。実験2や実験3では、給砂量を増加したり、波浪条件（周期、波高）変化させても、前置面上で上方埋積はおこらなかった。しかし、5号、7号珪砂ともに、前置面上に人為的に限界傾斜角よりも急な傾斜面をつくると、斜面が後退すると

同時にその基部で埋積がおき、斜面上方に向かって埋積が移動するのがみられた。

実験4の混合砂では、上記の上方埋積が給砂率の低い時 ($5 \text{ g s}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) に斜面上で自律的に起きた。また、それ以上の給砂率ではおこらなかった。これは、 $5 \text{ g s}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ という給砂率は、珪砂5号では、粒子流で直線的のプロファイルをとるが、珪砂7号は、高密度混濁流で concave する給砂率である。これ以上の給砂率 $25 \text{ g s}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ では、珪砂7号は当然高密度混濁流であるが、珪砂5号もプロファイルがやや変化し始め、また、 $125 \text{ g s}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ では、完全に珪砂5号も高密度混濁流となる。このような違いは、この“うねり”の形成と関連しているのかもしれない。また、この流れの Fr 数は1をこえ supercritical な流れである。

ここでみられた上方埋積は、Makse *et al.*, (1997), 木村・宮田 (1999) などが乾燥粒子で報告しており、キックバックと呼ばれている。木村・宮田 (1999) ではこの時、顕著な逆級化が生じるとしている。しかし、この実験のように水中での報告例はまだなく、今回の実験がはじめてである。

V まとめ

更新統下総層群上泉層のギルバード型三角州のフォーセット層理、特に平行層理相の平均傾斜角は約 20° である。これは実験で求められた珪砂5号の給砂量の多い前置面傾斜角に合致する。また、バックセット層理と同じ上方埋積は、混合砂が供給された時に斜面上で自律的に起きた。従来、バックセット層理は周辺の層理の構成物質よりも粗粒になることが報告されており、下総層群でみられるバックセット層理も貝化石や礫などがより多く含む。また、ここでは平行層理とバックセット層理の繰り返しが見られ、バックセット層理をつくる条件が特殊なものではなく、ある程度

周期的におこった可能性が考えられる。したがって、実験4の結果からは、雨量や風・潮流の向きなどによる三角州の供給砂礫の周期的な変化を推定することができる。

実験1の水中安息角は砂粒子の粒径や形状が支配的である。実験2と3からは、粒子サイズや密度によって、粒子の浮遊の有無が決まり、それが流下形態を決定し、その結果、前置面の形状がつくられていくことがわかる。また、急傾斜面での高密度混濁流の傾斜角は 20° を示す。これは水中安息角が粒子の大きさや形状に関係するように、流れの安息角(?) というような意味のある傾きである可能性が考えられる。今後、流れの定量的な解析や、流れの定置した記録である堆積物の堆積構造の解析によって、検討していきたい。

文献

- 岡崎浩子 (1999) : バックセット層理—更新統上泉層三角州堆積物にみられる—。堆積学研究, **49**, 1-5.
- 岡崎浩子・伊左治鎮司・中里裕臣 (2000) : 更新統下総層群にみられるギルバート型粗粒三角州。地質学雑誌, **106**, 461-471.
- 河村三郎 (1982) : 「土砂水理学」森北出版, 10-11.
- 木村 真・宮田雄一郎 (1999) : フォーセットにおけるなだれのメカニズムと数値シミュレーション。日本地質学会第106年学術大会講演要旨, 281.
- 小島 出・横川美和 (1997) : フォーセット上での堆積過程に関する実験的研究。日本地質学会第104年学術大会講演要旨, 318.
- Falk, P. D. and Dorsey, R. J. (1998): Rapid development of gravelly high-density turbidity currents in marine Gilbert-type fan deltas, Loreto Basin, Baja California Sur, Mexico. *Sedimentology*, **45**, 331-349.

- Jopling, A. V. (1965): Hydraulic factors controlling the shape of laminae in laboratory deltas. *Journal Sedimentary Petrology*, **35**, 777-791.
- Jopling, A. V. and Richardson, E. V. (1966): Backset bedding developed in shooting flow in laboratory experiments. *Journal of Sedimentary Petrology*, **36**, 821-825.
- Makse, H., Havlin, S., King, P. R. and Stanley, H. E. (1997): Spontaneous stratification in granular mixtures. *Nature*, **386**, 379-382.
- Massari, F. (1996): Upper-flow-regime stratification type on steep-face, coarse-grained, Gilbert-type progradational wedges (Pleistocene, southern Italy). *Journal of Sedimentary Research*, **66**, 364-375.
- Nemec, W. (1990): Aspects of sediment movement on steep delta slopes. Colella, A. and Prior, D. B. eds. : *Coarse-Grained Deltas. Int. Assoc. Sedim. Spec. Publ.*, **10**, 29-73.
- Postma, G. (1984): Slumps and their deposits on fan delta front and slope. *Geology*, **12**, 27-30.
- Postma, G. and Roep, T. B. (1985): Resedimented conglomerates in the bottomsets of Gilbert-type gravel deltas. *Journal of Sedimentary Petrology*, **55**, 874-885.
- Pantin, H. M. (1979): Interaction between velocity and effective density in turbidity flow : Phase-plane analysis, with criteria for autosuspension. *Marine Geology*, **31**, 59-99.
- Sohn, Y. K. (2000): Depositional processes of submarine debris flows in the Miocene fan deltas, pohang basin, se korea with special reference to flow transformation. *Journal of Sedimentary Research*, **70**, 491-503.
- Sohn, Y. K., kim, S. B., Hwang, I. G., Bahk, J. J., Choe, M. Y. and Chough, S. K. (1997): Characteristics and depositional processes of large-scale Gravelly Gilbert-type foresets in the Miocene doumsan fan delta, Pohang basin, SE Korea. *Journal of Sedimentary Research*, **67**, 130-141.

(2004年6月18日受付, 2004年9月8日受理)