

## 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24年 6月 8日現在

機関番号：82626

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：22840053

研究課題名（和文） Fluid mud 堆積物における粘土ファブリックの  
形成メカニズムの解明

研究課題名（英文） Formation processes of clay fabric for fluid-mud deposits

研究代表者

西田 尚央 (NISHIDA NAOHISA)

独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・産総研特別研究員

研究者番号：40587317

研究成果の概要（和文）：沈降実験で得られた fluid mud 堆積物について、乾燥過程での変形が最も少ないアルコール置換法を用いて粘土ファブリックを観察した結果、粘土粒子の面-面接触による粒状構造が認められた。そのサイズや面積頻度の特徴から、fluid mud では粘土粒子どうしが密接に結びつくフロックが形成され、堆積後に粒状構造として観察されると考えられる。類似の構造は、佐賀六角川の fluid mud 堆積物にも認められた。

研究成果の概要（英文）：Clay fabric of experimentally formed fluid-mud deposits were observed using an alcohol-replacing drying method that can minimize fabric deformation during drying processes in samples. As a result, “granular structure” characterized by face-to-face contact of each clay particle was observed. The granular structures are interpreted as preserved flocs formed by densely packed clay particles in the fluid mud on the basis of size distribution and frequency per unit area of the granular structures. The granular structures were also observed in fluid-mud deposits of the tide-dominated Rokkaku River estuary, Saga, southwest Japan.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	780,000	234,000	1,014,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,480,000	444,000	1,924,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地質学

キーワード：粘土ファブリック, fluid mud, アルコール置換, 六角川

## 1. 研究開始当初の背景

従来、沿岸-浅海域における泥質堆積物の形成は、波浪・潮汐作用の影響が少ないより沖合の静穏な環境において、低濃度の懸濁粒子のゆっくりとした堆積作用によって行われると考えられてきた。一方、近年、fluid mud とよばれる高濃度 (>10 g/L) の泥質流体に

よって、波浪作用や潮汐作用の影響を受けるより水深の小さい「静穏でない環境」であっても、短期間で厚い泥質堆積物が広く形成されることが理解されるようになってきた。したがって、堆積プロセスあるいは堆積環境をより高精度で復元するためには、このような fluid mud 堆積物とより低濃度の懸濁粒子による泥質堆積物を、地層中からの的確に識別し

ていくことが必要不可欠である。このため、近年、fluid mud 堆積物の岩相や空間分布の特徴について、いくつかの検討が行われてきている。これに加え、これまでに筆者は、粘土ファブリックによる fluid mud 堆積物の特徴化について、主に室内実験に基づいて検討してきた。しかし、粘土ファブリックの解析方法に課題が残されていたために、粘土ファブリックの定量的特徴や形成過程については必ずしも十分に明らかではなかった。特に解析方法に関し、走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いた粘土ファブリックの観察のためには、未固結含水試料の乾燥処理にともなう変形をできる限り抑えることが必要不可欠である。このため、従来、複数の乾燥処理方法が示されてきた。特に、含水状態でも観察可能な低真空 SEM や、食品の凍結乾燥用に開発された Cell Alive System が、粘土ファブリック観察のための新たな手法として利用できる可能性がある。したがって、これらの手法を比較検討し、粘土ファブリックのより効果的な解析手法を明らかにすることが必要と考えられる。このうえで、実験的検討ならびに野外調査による検討を行い、その結果を統合することで、fluid mud 堆積物における粘土ファブリックの形成モデルを構築できると考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究課題の主な目的は、fluid mud に相当する高濃度の泥質流体による泥質堆積物について、その粘土ファブリックの形成メカニズムを明らかにすることである。特に、泥質堆積物を形成させる泥質流体の初期懸濁濃度に注目して、室内実験および野外調査に基づいて検討を行う。また、SEM を用いた粘土ファブリックの観察のための、含水未固結試料の有効な乾燥手法の評価についてもあわせて行う。これらの検討によって、地層中に認められる泥質堆積物の堆積プロセス、あるいは堆積環境のより高精度の復元を可能とする、新たなツールとしての粘土ファブリックの有効性の確立をめざすものである。

## 3. 研究の方法

(1) 含水未固結泥質堆積物の粘土ファブリックの乾燥法および観察手法について比較検討し、それらの有効性について評価した。特に、①試料を一般的な冷凍庫で凍結させた後に真空凍結乾燥機を用いる乾燥法、②食品の冷凍用に開発された Cell Alive System (株式会社アビー) により急速凍結させて真空凍結乾燥機を用いる乾燥法 (地質学分野では初の試み)、③未固結状態の試料を低真空 SEM を用いて直接観察する方法、④試料中の

水をエタノールおよび  $t$ -ブチルアルコールで置換した後に液体窒素で凍結させ、簡易真空凍結乾燥装置を用いる乾燥法、および⑤オープン乾燥法を対象とした。それぞれの手法について、ベントナイトを用いて実験的に作製した泥質堆積物、東京湾小櫃川河口盤州干潟の砂質堆積物に挟在する泥質堆積物、日本海能登沖の半遠洋性泥、房総半島中部に分布する中部更新統万田野層および市宿層の砂質堆積物に挟在する泥質堆積物を例に比較検討を行った。

(2) 沈降実験によって得られた泥質堆積物試料を対象として粘土ファブリックを観察した。

①スメクタイトが卓越するベントナイトと塩水を用いて超音波洗浄機によってビーカー中で十分に攪拌し、泥質流体を作製した。懸濁粒子の初期濃度は、1, 10, 20, 30 g/L とした。このうち、1 g/L 以外はいずれも fluid mud に相当する。また、塩分は、従来の研究によって現世の堆積環境で fluid mud の形成が最も活発に行われることが知られている 5‰ とした。

②作製した泥質流体によって、長さがおおよそ 70 cm の塩ビ管を用いて沈降実験を行った (図 1A, B)。塩ビ管の底には、沈降実験終了後に堆積物試料を不かく乱で採取するための「セディメントトラップ」を装着した (図 1C)。

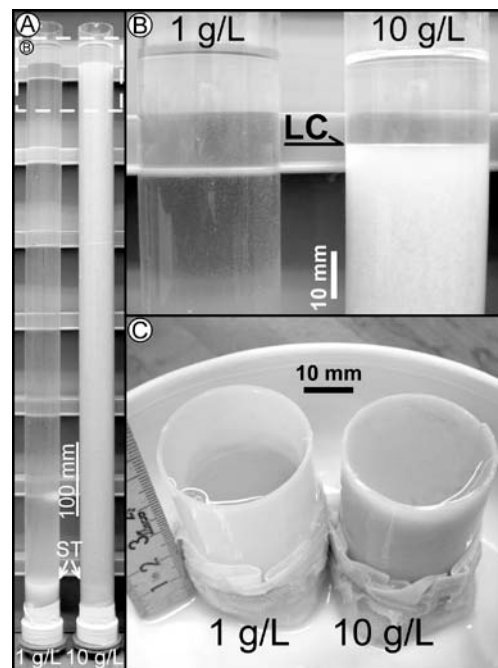


図 1. 塩ビ管を用いた泥質流体の沈降実験. LC: 濃度躍層.

③沈降実験により得られた堆積物試料について、(1) の検討により最適な乾燥手法と

考えられるアルコール置換乾燥処理を行った。すなわち、段階的に濃度を上げたエタノール溶液 (50, 70, 80, 90, 100%) に各7日ずつ合計 35 日浸し、その後、トプチルアルコール溶液におよそ 60 日浸した。最後に、液体窒素を用いて瞬間凍結させて、簡易凍結乾燥装置によって乾燥処理を行った。

③各懸濁濃度による堆積物試料について、内部での垂直変化を考慮し、120 枚ずつ SEM 写真を撮影してその構造の特徴について詳しく観察した。

④得られた SEM 写真をもとに、特徴的に観察された粒状の凝集体について、その面積頻度やサイズの特徴を画像解析によって定量的に解析した。

⑤凝集体の形態のおよび定量的特徴ならびに従来のブロックの研究もふまえ、その形成メカニズムについて考察した。

(3) 実験的検討による結果の有効性について検討するために、有明海に注ぐ佐賀六角川の泥質流体および泥質堆積物を対象に、粘土ファブリックの特徴について検討した。六角川は、河口付近の最大潮位差がおよそ 5 m で、潮汐卓越型エスチュアリーを形成している。従来の研究によって、潮位の変動にともなって、fluid mud に相当する高濃度の泥質流体が発達することが明らかとなっている。

①河口付近から上流へおよそ 20 km までの区間において、4 km 間隔で合計 6 地点でチャンネル底堆積物のコア試料ならびに表層水・チャンネル底直上水を採取した。いずれも小型船を用いて作業し、押し込み式簡易コアサンプラーおよびハイロート型採水器を使用した。

②得られたコア試料を半割し、肉眼観察をした。また、粘土ファブリック解析用試料、軟エックス線写真撮影を行うためのスラブ試料などを採取した。採水試料は、塩分ならびに懸濁物濃度を測定した。

#### 4. 研究成果

(1) SEM 観察のために未固結合水試料の乾燥法について比較検討した結果、地層中の泥質堆積物では手法間で大きな違いは認められなかった。一方、コア試料や実験的に作製した泥質堆積物など含水率の高い試料では、手法間で次のような違いが認められた。①試料を一般的な冷凍庫で凍結させた後に真空凍結乾燥機を用いた場合ならびに②Cell Alive System を用いた場合は、凍結時の水の結晶化にともなう構造が認められた。このうち、Cell Alive System は、生体試料の場合は急速凍結によってその構造を破壊せずに凍結させることが特徴だが、堆積物試料の場合にはそこに含まれる水が凍結されるこ

とに変わりはないため、結果的に氷の結晶が形成されたと考えられる。したがって、これらの手法による含水率の高い泥質堆積物の初生的粘土ファブリックを観察することは困難と考えられる。③半未固結状態の試料を低真空 SEM を用いて観察した結果、観察作業中に試料の変形が認められた。低真空 SEM は乾燥試料でなくても観察可能な点が特徴だが、試料室内は常に陰圧状態であるため、観察中に試料中の水が蒸発したと考えられる。したがって、含水率の高い試料を直接低真空 SEM を使用して観察することは困難である。④アルコール置換を用いた場合、含水率の高い試料においても、従来のモデルと類似する粘土粒子の面一端および端一端接触が顕著に認められた。このため、アルコール置換処理に時間を要するが、初生的な粘土ファブリックの観察が適切に行えると考えられる。⑤オープン乾燥を用いた場合、アルコール置換法に比べて粘土粒子の面一面接触が多く認められた。このため、含水率の高い泥質堆積物試料の定量的な解析は困難だが、粘土粒子の配列の定性的特徴を読み取ることが可能と考えられる。

(2) 沈降実験を行った結果、初期懸濁濃度が 1 g/L の泥質流体は、下部から上部に向かって濁りの程度が徐々に薄くなり、沈降が進行した。一方、fluid mud に相当する初期懸濁濃度の泥質流体は、濃度躍層の発達をともなって沈降することが認められた (図 1B)。このような沈降実験によって得られた泥質堆積物試料について、乾燥手法の比較検討の結果をふまえアルコール置換処理を行い、粘土ファブリックを観察した。その結果、1 g/L の泥質流体では粘土粒子の端一端あるいは端一面接触によるランダム配列が卓越することが認められた (図 2A, B)。一方、fluid mud に相当する高濃度の泥質流体からは、粘土粒子の面一面接触によって特徴づけられる凝集体「粒状構造」の発達が認められた (図 2C, D)。この粒状体の平均サイズは 4.6-6.5

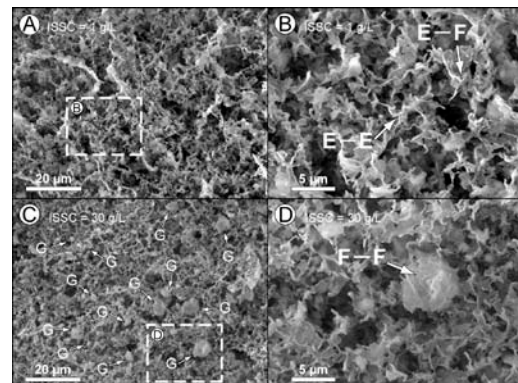


図 2. 粘土ファブリックの SEM 写真。  
E: 端, F: 面, G: 粒状構造。

$\mu\text{m}$ であったが、沈降前の初期懸濁濃度との相関は認められなかった(図3)。一方、平

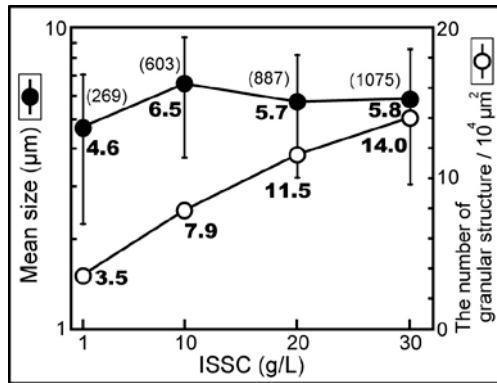


図3. 初期懸濁濃度に対する粒状構造の平均サイズ、単位面積あたりの個数。

均サイズの垂直変化に注目すると、初期懸濁濃度が 1 g/L の泥質流体の場合、上位に向かってサイズの減少が認められたのに対して、fluid mud に相当する初期懸濁濃度の泥質流体は、一定の変化の傾向を示さなかった。また、単位面積あたりの平均個数は初期懸濁濃度の増加にともなって顕著に増加した(図3)。このような粒状構造の形態的特徴およびサイズの特徴に加え従来の低濃度の泥質流体におけるブロックの特徴に関する研究をふまえると、fluid mud に相当する高濃度の泥質流体においては、個々の粘土粒子がより密接に結びついて相対的にサイズが小さく、強度が大きいブロックが形成されると考えられる。このため、これらが沈降後も堆積物中に保存されて粒状構造として観察されると考えられる。

(3) 実験的に再現した fluid mud に特徴的に認められた粒状構造について、現世堆積環境の fluid mud 堆積物で同様に認められるのか、佐賀六角川の泥質堆積物を例に検討した。

①合計6地点から、長さがおおよそ 1 m のコア試料が得られた。これらに共通する特徴は、砂質堆積物や生痕が顕著に発達した砂質泥-泥質砂堆積物に挟在して、「きれいな泥」が認められたことである(図4)。この泥は、

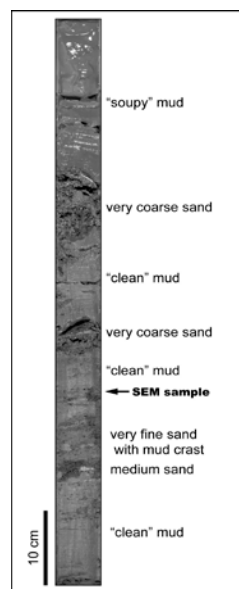


図4. 六角川から得られたコア試料。

1枚の厚さが最大で 10 cm で、上下の砂層と明瞭な境界面を持つ。また、堆積構造や生痕の発達が全く認められない。一部で、リップルをドレープして発達する場合がある。このような岩相の特徴は、従来の研究をふまえると fluid mud 堆積物として形成されたことを示す。特に、河口からおおよそ 8 km 上流の地点では、チャンネル底直上水の懸濁濃度が fluid mud に相当するおおよそ 70 g/L の泥質流体であることから、fluid mud 堆積物が形成しうる条件にあることが理解される。

②岩相の特徴から fluid mud 堆積物と認定された泥質堆積物について、アルコール置換を経た凍結乾燥処理を行い、SEM を用いて粘土ファブリックの観察を行った。その結果、粘土粒子の面-面接触によって特徴づけられる粒状構造の発達が認められた(図5)。粒状構造の平均サイズは 9.4  $\mu\text{m}$  であった。このほかに、シルト片や主に珪藻による生物遺骸片も広く認められた(図5)。したがっ

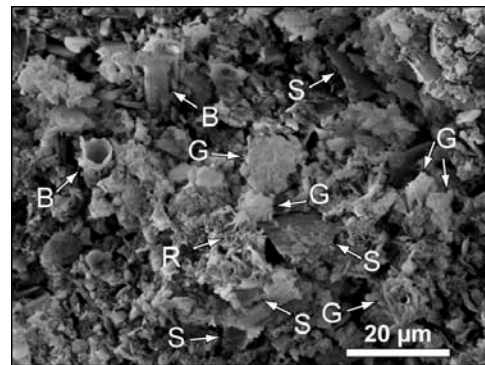


図5. 六角川の fluid mud 堆積物の SEM 写真. G: 粒状構造, S: シルト片, B: 生物遺骸片, R: ランダム配列。

て、実験的に再現された fluid mud 堆積物と比較して構成粒子に違いがあるものの、粒状構造が発達することを確かめることができた。このことは、地層中に保存された fluid mud 堆積物を適切に認定していくうえで、粘土ファブリックが有効な指標の一つであることを示すと考えられる。

## 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)

[雑誌論文] (計2件)

- ① 西田尚央, 伊藤 慎, 砂質干潟における fluid mud 堆積物の時空分布: 東京湾小櫃川河口盤州干潟, 堆積学研究, 査読有, 70 巻, 2011, 3-14, doi:10.4096/jssj.70.3

- ② 西田尚央, 島野恭史, 小松侑平, 伊藤 慎,  
砂質な陸棚堆積物に挟在する fluid mud  
堆積物の認定とその意義, 堆積学研究,  
査読有, 70 巻, 2011, 37-42,  
doi:10.4096/jssj.70.37

[学会発表] (計 2 件)

- ① Nishida, N. and Ikehara, K., Clay  
fabric of hemipelagites recording  
oxic-anoxic bottom water fluctuation  
in Sea of Japan, Geological Society of  
America 2011 Annual Meeting, 2011 年  
10 月 12 日, Minneapolis Convention  
Center, Minnesota (USA)
- ② 西田尚央, 池原 研, 陸棚堆積物中の  
fluid mud 堆積物の形成プロセス: 福岡  
遠賀川河口沖, 日本地質学会第 118 年学  
術大会, 2011 年 9 月 10 日, 茨城大学 (茨  
城県)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

西田 尚央 (NISHIDA NAOHISA)  
独立行政法人産業技術総合研究所・地質情  
報研究部門・産総研特別研究員  
研究者番号: 40587317

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし

