陸棚外縁三角州にともなうハイパーピクナイトの形態と内部構造： 房総半島中部更新統国本層

中村 圭助*・高尾 晶彦**・伊藤 慎***

Geometry and internal organization of hyperpycnites associated with a shelf-margin delta, the Middle Pleistocene Kokumoto Formation on the Boso Peninsula of Japan

Keisuke Nakamura*, Akihiko Takao** and Makoto Ito***

Some turbidite beds of the Middle Pleistocene Kokumoto Formation on the Boso Peninsula of Japan exhibit different types of vertical and lateral changes in grain size and sedimentary structures compared with the Bouma model, which is generally interpreted to represent turbidites deposited from surge-type, ephemeral turbidity currents. Some turbidite beds examined by this study are characterized by several repetitions of coarsening-to-fining upward patterns in association with climbing ripple lamination and parallel lamination. Furthermore, these turbidites are not necessarily laterally continuous in the two-dimensional cross section. Two thickest parts are separately observed within the same stratigraphic level. The geometry and internal organization of these turbidites are interpreted to be a product of hyperpycnal flows generated from a multi-source system associated with a shelf-margin delta in an upslope area during falling- and lowstand stages.

Key words : flood, hyperpycnal flow, multi-source system, shelf-margin delta

はじめに

深海性のタービダイトとして解釈されてきた砂岩層には、従来の Bouma model や Lowe model では説明されない粒度変化や堆積構造の重なりパターンを示すものの存在が明らかとなってきており、これらの形成には洪水にともなう河口域から流出したハイパーピクナル流が大きく関わっている可能性が指摘されている (Mulder and Alexander, 2001 ; Parsons et al., 2001 ; Mulder et al., 2003 ; Plink-

Björklund and Steel, 2004 ; Zavala et al., 2006)。本研究ではハイパーピクナル流によって形成された可能性のある砂岩層 (ハイパーピクナイト) の形態と内部構造の特徴について、単層解析を用いて検討した。検討対象は房総半島中部に発達する中部更新統の国本層である。国本層は陸棚外縁三角州に関連した堆積盆地で形成されたと解釈されるシート状タービダイトで特徴づけられる。本研究では主に国本層中に認められる低海水準期に発達した砂岩層 (単層の厚さ 5-200 cm) に注目した。特に、複数の火山灰層を用いての詳細な単層解析を行うことによって、タービダイトの形態・粒度・内部構造の下流方向への変化について検討した。

地質概説

本研究の対象である国本層を含む上総層群は、房総半島中部にはほぼ東西にわたって広く分布する。上総層群は上総海盆とよばれる前弧海盆の埋積によって形成された最大層

受付：2006 年 10 月 31 日 受理：2007 年 1 月 5 日

* 千葉大学自然科学研究科生命・地球科学専攻
Graduate School of Science and Technology, Chiba University, Chiba 263-8522, Japan, E-mail : K.N-Feb.06@graduate.chiba-u.jp

** 住友商事株式会社
Sumitomo Co., Ltd. Tokyo 104-8610, Japan

*** 千葉大学理学部地球科学科
Department of Earth Sciences, Chiba University, Chiba 263-8522, Japan

厚が 3,000 m 以上に達する地層で、深海平坦面から海底扇状地、斜面、陸棚、ならびに沿岸域にかけてのさまざまな堆積環境で形成された堆積物によって構成される（伊藤ほか, 2004）。上総層群の堆積年代は微化石層序、古地磁気層序、火山灰鍵層のフィッシュ・トラック法年代などにより、鮮新世後期から更新世中期のおよそ 2.4 Ma から 0.45 Ma と見積もられている。上総層群は砂泥互層の繰り返しによって特徴づけられ、岩相の特徴から 23 の累層に区分される。また、本層群の形成には氷河性海水準変動が大きく関与したとされ、17 の堆積シーケンスが識別されている（Ito and Katsura, 1992）。

国本層は上総層群中部を構成し、中部にブリュヌ/松山古地磁気境界が存在する（新妻, 1976）ことから、その堆積年代はおおよそ 0.78 Ma と解釈される。塊状の砂質シルト岩層の卓越した層準と砂岩の卓越した砂泥互層で特徴づけられる層準の組み合わせが 2 回繰り返されるという特徴から、国本層は 2 つの堆積シーケンスで構成されると解釈されている（Ito, 1992）。一般に、国本層は東部に向かって全体が細粒化し、砂岩層も多くが薄層化する。また、国本層には、最下部に Ku6、中部に Ku2、上部には Ku1 など多くの火山灰鍵層が挟在する。これまでの研究により国本層の堆積環境は、陸棚外縁・上部斜面と考えられており（Ito and Katsura, 1993）、その上流部には陸棚外縁三角州が発達していたと解釈される（伊藤ほか, 2006）。

タービダイトの特徴

本研究では、短距離（数 10 m）と長距離（10 数 km）の異なる 2 つの空間的スケールで単層解析を行った。検討対象とした層準は、短距離、長距離ともに低海水準期堆積体の一部に相当する。短距離の単層解析は国本層中部の Ku3 火山灰鍵層の上位に発達する砂岩層（厚さ 40–180 cm）、長距離の単層解析は国本層上部の Ku1 火山灰鍵層の直下に発達する砂岩層（厚さ 5–200 cm）に注目した。

短距離で単層解析を行った砂岩層は、全体として基底部が平坦で堆積構造に乏しい塊状の砂岩層で、以下のような特徴が認められる：(1) 下流方向に向かってある地点で急激な層厚と粒度の減少が認められる、(2) 急激に薄層化・細粒化した砂岩層には内部侵食面が認められ、複数のフローユニットが確認できる、(3) 一部のフローユニットには上方粗粒化が認められる。

長距離で単層解析を行った砂岩層の中には、古流向と 30° 程度斜交する 2 次元断面図において沖合方向へ連続しないものが認められる。すなわち、同一層準に発達するにもかかわらず、2 つのグループに分かれて分布し、それぞれに 2 m ほどの最大層厚部が発達している。さらに、2

つのグループの砂岩層には平均 10° 程度の古流向の違いが認められる。2 つのグループの砂岩層には、以下のような特徴が認められる：(1) 沖合方向へ向かって層厚を減少させるが、ある地点で急激な層厚の減少が認められる、(2) 上流部では、中粒砂を主体とする塊状ないしは平行層理をとまなう極厚層砂岩層が発達し、上位にクライミングリップル葉理を特徴とする細粒–極細粒砂の砂岩層が重なる、(3) これら 2 種類の砂岩層の境界は一部で侵食面となる、(4) 沖合方向に向かって極細粒砂からなるクライミングリップル葉理を特徴とする薄層砂岩層が発達し、一部にはクライミングリップル葉理と平行葉理が 5 cm 程度の間隔で複数回繰り返されて重なる場合がある、(5) このような堆積構造の変化とともに、1 枚の細粒–極細粒砂の砂岩層に上方粗粒化–上方細粒化サイクルが複数認められる。

ハイパーピクナイトの形成プロセス

短距離で対比された砂岩層に認められる急激な層厚と粒度の減少は、洪水にともなって発生した重力流からの堆積作用を反映していると解釈される。すなわち、一般的な重力流は海水中で発生するため、その内部流体は海水であるが、陸棚外縁三角州からの洪水によって生じたハイパーピクナル流内の流体は密度の小さい淡水で構成されている。そのため、流体に含まれる粗粒碎屑粒子が急速に堆積すると、ある地点で流体の密度が急激に減少することになる（Plink-Björklund and Steel, 2004）。その結果、重力流の一部は低密度流体となり下流方向へ流下し、一部の密度の小さい流体は上昇ブルームとして下流方向へ広域に拡散していく。したがって、ある地点を境に下流側で形成される堆積物の層厚や粒度が急激に減少すると解釈される（伊藤ほか, 2006）。また、複数のフローユニットが認められることから、一連の洪水にともなって断続的に供給された重力流からの堆積物と解釈される。

長距離で対比される 2 つのグループに識別される砂岩層は、それぞれ最大層厚部をもち、最大層厚部付近で粒度が最も粗く、沖合方向へ急激な細粒化の傾向を示すことから、これら 2 つのグループの砂岩層は同時期に、異なった供給システムによって形成された堆積物である可能性が考えられる。一方、このような 2 つのグループに識別される砂岩層は、複数の地点に周辺よりも厚く、粗い砂岩の発達した一枚の砂岩層として形成された可能性も考えられる。しかし、複数の地点で周辺に比べ、厚さや粒度が著しく変化するような重力流による堆積作用をもたらす不規則な海底地形（例えば、Kneller, 1995）が存在した可能性は、国本層の特徴からは考えられない。したがって、これら 2 つのグループの砂岩層は、単一の供給システムで特徴づけられ

る海底扇状地堆積物（例えば, Reading and Richards, 1994）とは異なり, 複数の供給システムから同時期に形成された砂岩層と解釈される。これまでの研究により, 国本層は陸棚外縁三角州にともなう, その沖合で形成された地層と解釈されているため（伊藤ほか, 2006）, 複数の供給システムの存在が考えられる。

長距離で対比される砂岩層の上流部で認められる粒度の著しく異なる下部と上部の発達は, 2相重力流からの堆積作用による可能性が考えられる。すなわち, 下部の中粒砂を主体とした部分はより高密度の重力流から, 上部のクライミングリップル葉理を特徴とする細粒-極細粒砂はより低密度の重力流からの堆積物と解釈される。また, 下部と上部の境界付近に認められる侵食面は, 後方から流下したより低密度の重力流によるバイパス作用の結果と考えられる。最近, このような2相重力流堆積物が, 洪水にともなう形成されることが明らかにされている（Mutti et al., 2003 ; Tinterri et al., 2003）。したがって, 長距離で対比される砂岩層も, 陸棚外縁三角州の河口から流入した洪水流にともなう発生したハイパーピクナル流によって形成された可能性が十分に考えられる。

また, 異なった堆積構造の繰り返しや粒度の変動は, 一連の砂岩層の形成をもたらした持続した重力流の流速や密度などの時間的な変動に対応したものと解釈される。さらに, 長距離の対比でも認められた厚層砂岩層の下流方向への急激な層厚と粒度の減少は, 短距離の対比で確認された砂岩層の示す現象と同様に解釈される。

国本層の単層解析によって明らかとなった砂岩層の堆積形態や内部構造の特徴は, Bouma model に代表される surge-type の乱泥流より長期間持続し脈動する重力流, すなわち, 洪水からの堆積作用を反映しているものと解釈される。したがって, これらの堆積物は, 陸棚外縁三角州の河口から流下したハイパーピクナル流にともなう形成された堆積物（ハイパーピクナイト）と考えられる。

ま と め

- (1) ハイパーピクナイトは下流方向への層厚と粒度の急激な減少によって特徴づけられる。
- (2) 同一層準において, ハイパーピクナイトは必ずしも下流方向へ連続しない。複数の流れが河口域からほぼ同時期に発生することで, 同一層準の異なった地点に最大層厚部が複数形成される場合がある。
- (3) ハイパーピクナイトの粒度と堆積構造は, 垂直方向へ不規則に変化し, これらの変化には内部侵食面を伴うことがある。これらの特徴は流出量が不安定かつ長期間の持続した洪水起源の重力流からの堆積過程を反映していると解

釈される。

謝 辞

本稿を作成するにあたり, 査読者である保柳康一氏（信州大学）には多数の建設的なご意見をいただき, 改善に大いに役立ちました。厚く御礼申し上げます。

文 献

- Ito, M., 1992 : High-frequency depositional sequences of the upper part of the Kazusa Group, a Middle Pleistocene forearc basin fill in Boso Peninsula, Japan. *Sedimentary Geology*, **76**, 155-175.
- Ito, M. and Katsura, Y., 1992 : Inferred eustatic control for high-frequency depositional sequences of the Plio-Pleistocene Kazusa Group, a forearc basin fill in Boso Peninsula, Japan. *Sedimentary Geology*, **80**, 67-75.
- Ito, M. and Katsura, Y., 1993 : Depositional sequences in turbidite successions of the lower Kazusa Group, the Plio-Pleistocene forearc basin fill in the Boso Peninsula, Japan. *Journal of the Geological Society of Japan*, **99**, 813-829.
- 伊藤 慎・齋藤高浩・中野孝教・市川暢子・佐伯貴央・久保雄大・高野壮太郎・中村 譲, 2004 : 上総層群の堆積作用と堆積シーケンス. In. 伊藤 慎・小竹信宏（編）: 日本地質学会第111年学術大会見学旅行案内書, 日本地質学会, 109-131.
- 伊藤 慎・高尾晶彦・石川和明・姫野 修, 2006 : 深海底堆積物研究の進展: 低海水準期堆積モデルの再構築. 石油技術協会誌, **71**, 21-33.
- Kneller, B., 1995 : Beyond the turbidite paradigm : Physical models for deposition of turbidites and their implications for reservoir prediction. In Hartley, A.J. and Prosser, D.J. eds. : *Characterization of Deep Marine Clastic Systems*, Geological Society, London, Special Publication, no. 94, 31-49.
- Mulder, T. and Alexander, J., 2001 : The physical character of subaqueous sedimentary density flows and their deposits. *Sedimentology*, **48**, 269-299.
- Mulder, T., Syvitski, J.P.M., Migeon, S., Faugeres, J-C. and Savoye, B., 2003 : Marine hyperpycnal flows : initiation, behavior and related deposits. A review. *Marine and Petroleum Geology*, **20**, 861-882.
- Mutti, E., Tinterri, R., Benevelli, G., Angella, S., di Biase, D. and Cavanna, G., 2003 : Deltaic, mixed and turbidite sedimentation of ancient foreland basins. *Marine and Petroleum Geology*, **20**, 733-755.
- 新妻信明, 1976 : 房総半島における古地磁気層位学. 地質学雑誌, **82**, 163-181.
- Parsons, J.D., Bush, J.W.M. and Syvitski, J.P.M., 2001 : Hyperpycnal plume formation from riverine outflows with small sediment concentrations. *Sedimentology*, **48**, 465-478.
- Plink-Björklund, P. and Steel, R.J., 2004 : Initiation of turbidity currents : outcrop evidence for Eocene hyperpycnal flow tur-

bidites. *Sedimentary Geology*, **165**, 29–52.

Reading, H.G. and Richards, M., 1994 : Turbidite systems in deep-water basin margins classified by grain size and feeder system. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, **78**, 792–822.

Tinterri, R., Drago, M., Consonni, A., Davoli, G. and Mutti, E., 2003 : Modelling subaqueous bipartite sediment gravity flows

on the basis of outcrop constraints : first result. *Marine and Petroleum Geology*, **20**, 911–933.

Zavala, C., Ponce, J., Arcuri, M., Dritanti, D., Freije, H. and Asensio, M., 2006 : Ancient lacustrine hyperpynites : A depositional model from a case study in the Rayoso Formation (Cretaceous) of west-central Argentina. *Journal of Sedimentary Research*, **76**, 42–59.