AAPG 巡検『Modern and Ancient Mahakam Delta, East Kalimantan, Indonesia』参加報告

小田 浩*

Report on the AAPG Field Trip “Modern and Ancient Mahakam Delta, East Kalimantan, Indonesia”

Hiroshi Oda*

はじめに

平成 12 年 10 月の AAPG 国際大会にあたって、インドネシア共和国カリマンタン島南東部のマハカム地域で現世及び古マハカムデルタの地質巡検に参加したので報告する。巡検は 10 月 8 日～14 日に行われ、9・10 日はモーターボートで現世デルタ地形と堆積物の観察、11・12 日は中新世デルタ堆積物の露頭を見学した。案内者は Total 社 Balikpapan 鉱業所の Stefano Mora 氏他 5 名、参加者はインドネシア、タイ、米国ほか 8 ヶ国（うち日本人 1 名）の石油会社や地質コンサルタント会社から来ており国際色が豊かであった。

マハカム地域の石油地質

マハカム地域には現世及び中新世デルタ堆積物が発達しており、多数の油ガス田が活発に探鉱・生産されている。以下、Mora et al. (2000) に基いて本地域の石油地質について述べる。マハカムデルタ南部の下部 Kutai 堆積盆では 1880 年代後半から探鉱が行われ、1898 年に初めて石油の生産が行われた。大東亜戦争による中断を経て 1967 年からインドネシア石油 (株)、Total、Pertamina 等が活発な探鉱活動を再開し、1970 年代に Tumu, Handil, Attaka 等の巨大油ガス田の発見が相次いだ。1990 年代以来 Total と Unocal を中心に活発な探鉱・開発

が行われている。本地域の石油根源岩は石炭、有機質頁岩、海成泥岩である。生成した油ガスは中新統デルタ成砂岩貯留層に集積し、堆積同時性の背斜構造でトラップされ、頁岩層がシールしている。下部 Kutai 堆積盆はインドネシアで 2 番目に炭化水素資源に富む地域で、埋蔵量は石油が 30 億バレル、天然ガスが 30 Tcf である。

現世マハカムデルタの地形・堆積物調査

現世マハカムデルタの概要

現世マハカムデルタは、約 6,000 年前から陸棚上に 50～70 km の範囲で前進している。その面積は約 1,200 km²、厚さは 50～70 m に達する。デルタの特徴は河川型と潮汐型の間である。巡検一行は、モーターボートで北の上部デルタ平野から南のデルタフロントに至る見学ルートを取った。

第 1 日：ヘリコプターによる上空からの見学

Total 社 Handil-2 基地から約 40 分間ヘリコプターでデルタを俯瞰した (図 1)。植生は広葉樹林が多い上部デルタ平野から、ニッパヤシが多い下部デルタ平野へと変化する。デルタフロントにはマングローブが群生し、砂州上に泥炭が堆積していた。また蛇行した潮汐チャネルがまっすぐな分流チャネルに流れ込む様子が観察できた (図 2)。

第 1 日 Loc. 1：デルタ～マハカム川上流

マハカム川は幅 1 km 以上と大変広く、大量の砂泥がデルタへ運搬されている。底質はチャネル堆積物で砂が卓越し、粗粒砂と細礫が観察された。

受付：2001 年 2 月 27 日

* 産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門
Institute for Geo-Resources and Environment, AIST
Site C-7, Higashi 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8567
Japan

図 1 現世マハカムデルタと見学地点 (Mora et al., 2000 より)

図 2 蛇行する潮流チャンネル (ヘリコプターより撮影)

図 3 下部デルタ平野のニッパヤシ林

第 1 日 Loc. 2 : 上部デルタ平野の分流チャンネル

デルタ平野を流れるチャンネルの底質は、植物片を少量含む淘汰の良い中粒砂で、層厚 6~10 m のチャンネル充填堆積物を形成している。下流へ向かうと潮汐の影響が強くなり、底質は泥質砂または泥へ細粒化した。上部デルタ平野の分流チャンネル砂層は幅 50 m, 層厚 100 m に達し、現世及び中新世デルタで最も良い貯留層を形成している。

第 1 日 Loc. 3 : 潮汐チャンネル

顕著な蛇行 (図 2) と張り出した入江という典型的な潮汐地形を呈する。チャンネルはしばしば水深 18~20 m に達するほど深く、下位のデルタフロントの海成粘土を削削している。懸濁したシルトと粘土

のみ堆積し、大量の植物片が含まれる。

第 1 日 Loc. 4 : デルタ平野末端部

デルタ平野の末端部では有機質が豊富な堆積物とニッパヤシの密集する植生 (図 3) が特徴であった。これらのニッパヤシが堆積物に大量の腐植質有機物を供給している。デルタ平野では全体的に潮流の影響で懸濁物が多く堆積し、泥炭地は存在しない。

第 1 日 Loc. 5 : 潮間帯の泥質干潟

分流チャンネルの河口には、植物片に富む塊状の泥から成る泥質干潟が広く発達している。表層にはマングローブが群生し、その上にニッパヤシが密生している。

図 4 Tanjung 湾の碎屑性泥炭地

図 6 河口州

図 5 泥炭のコア (左が上位)

図 7 河口州のコア (左が上位, 黒褐色の部分は泥炭)

第 1 日 Loc. 6 : 碎屑性泥炭地

デルタフロントでは, デルタ平野から運搬された植物片が沿岸流の作用で汀線沿いに浜堤を形成していた. Tanjung 湾では碎屑性泥炭地が面積 10~15 km², 層厚 2~3 m で発達する (図 4, 5). 波浪の影響が強くなるにつれて泥炭地は砂質の海進性ビーチへ漸移する

第 2 日 : Loc. 7~9 : チャネル沿いのセクション

分流チャネル沿いのセクションで底質堆積物と深度プロファイルを取ると, 砂がちの上部デルタ平野の分流チャネルから, 河口州の泥質堆積物への変化がよく観察できた.

第 2 日 Loc. 10 : 河口州

デルタフロントには数多くの砂州が発達しており, その一つを干潮時に踏査した (図 6). 砂州の砂層は層厚 2~10 m で, 分流チャネルより細粒である (図 7). 粘土の薄層やフレーザー層理, 貝殻片や生

物擾乱が多かった. 砂層の淘汰が良く, 貯留岩性状は fair~good である.

古マハカムデルタ堆積物の露頭見学

マハカム地域の地質概略

Mora et al. (2000) の巡検案内書に準じてマハカム地域の地質を概説する. Kutai 堆積盆はインドネシアで面積 60,000 km² と最も広く, 深度 15,000 m と最も深い. 中~後期始新世以来基本的に堆積作用が連続している. 基盤は上部白亜系~上部暁新世の変成タービダイトである. 中期始新世には地域的な伸張場が生じてハーフグラベンが形成され, 沖積平野・河川成堆積物, 石炭と石灰岩といったデルタ/浅海相が堆積した. 後期始新世~前期漸新世の沈降で炭酸塩ビルドアップが形成され, 前期中新世の海退期に走向 20~50 km, 層厚 3,000 m に及ぶデルタが発達し始めた. 下部 Kutai 堆積盆では, 下部~中部中新統 Loa Kulu 層を主とした河川成層と海成層が堆積し, デルタ堆積シーケンスが発達した.

本巡検では、Loa Kulu 層のデルタ相と浅海相を中心に観察した。

第3日 Stop 1 : 河川堆積相

Loa Kulu 層上部の露頭で層厚約 55 m の河川相を観察した。河川平野相は基底部に氾濫原泥岩と石炭を伴い、中粒でトラフ型斜交層理（以下、TCS）を持つチャネル砂岩が上方へ細粒カレントリップル砂岩とシルト質砂岩へと漸移する（図 8）。このような堆積ユニットが 2 つ観察できた。両ユニットで TCS 砂岩層は上方厚層化し、水理域または堆積物供給量の増大を示唆する。上位ユニットの方が地層に割れ目が少なく、TCS 砂岩の粒径の淘汰が良いことから、より良い貯留岩性状を示していた。

第3日 Stop 2 : デルタ平野相

Loa Kulu 層上部のデルタ平野相は、石炭層とチャネル間の入江またはデルタフロント相を被覆する分流チャネル砂岩の集積層から成り、3 つのデルタ平野相堆積ユニットが観察できた。いずれのユニットもチャネル基底は礫質砂岩を伴う洗掘面を呈し、TCS 砂岩層を被覆している。チャネル充填堆積

物は層厚 4~10 m で、TCS 砂岩層が 80% 以上占めている（図 9）。これが下部 Kutai 堆積盆における生産油ガス田の主要な貯留層である。一つのデルタ堆積サイクル内で、貯留岩（チャネル砂岩層）と根源岩（石炭）が形成された。

第3日 Stop 4 : デルタ平野—デルタフロント—プロデルタ相

1, 2 時間続く激しいスコールのため見学順序を変更した。毎日昼時に激しいスコールに遭遇したが、それでも雨期ではないらしい。この地点ではプロデルタ、入江、分流チャネル、河口州、デルタ平野の石炭、海進性ラビーンメント面へ至る堆積相変化を観察した。

第4日 Stop 3 : デルタフロント相

Loa Kulu 層のデルタフロント相で、頁岩、斜交層理砂岩、*Ophiomorpha*, *Chondrites*, *Skolithos* の擾乱を受けた塊状砂岩へ垂直変化する（図 10, 11）。河口州の砂岩体は層厚 1.6~6 m で、砂州フロント、砂州冠部、砂州縁辺部の各堆積相から成る。砂州フロント相は炭質物が多量に散在する泥岩と砂岩薄層

図 8 Stop 1 下位ユニットの石炭（下）とチャネル砂岩層（上）

図 9 Stop 2 のチャネル集積砂岩層（上）

から成り、砂州冠部相に覆われている。砂州冠部相末端部はリップル砂岩とハンモック状斜交層理（以下、HCS）砂岩から成る。砂州縁辺相は入江の泥岩と砂岩薄層が指交している。これらが3つのデルタフロント・ユニットを構成し、上方厚層化している。貯留岩性状は、砂州冠部の砂岩層が淘汰が良く泥質分が少ないので良好である。上位の河口州砂岩体ほど貯留岩性状が良い。

図 10 Stop 3 の砂州フロント相

第4日 Stop 5 : 陸棚海成相

デルタの前進が休止した間に発達した下部中新統の炭酸塩ビルドアップを観察した。層厚約 40 m のパッチリーフから板状・枝状のサンゴ、巻貝、腕足類、大型底棲有孔虫が産出する。隣接する露頭では3つの陸棚相堆積ユニットから成る炭酸塩ビルドアップと陸棚層の互層を観察した。サンゴ、大型有孔虫、軟体動物を産するパッチリーフ相、TCS/HCS 砂岩、*Ophiomorpha* や *Thalassinoides* など巣穴化石を伴う塊状砂岩、層厚約 4.5 m のサンゴモ石灰岩が分布する。顕著な浅海化サイクルを持つが、地表露出面は認められない。

第4日 Stop 6 : デルタ斜面相

プロデルタの泥岩に始まり、土石流から Bouma シーケンスまでのデルタフロント・タービダイトを観察した（図 12）。炭酸塩パッチリーフよりも深いデルタ最末端部の斜面相である。砂岩層で覆瓦構造を示すマッドクラストと石炭片、堆積構造は平板状層理、小規模のリップル、登攀リップル、フルート

図 12 Stop 6 のデルタ斜面相タービダイト

図 11 Stop 3 生痕の密集する HCS 砂岩層

図 13 民族舞踊団

キャスト，グループマークが見出された．最後に記念撮影をして，巡検は予定通り終了した．

おわりに

最終日は Samarinda 郊外の博物館で伝統的な舞踊（図 13）やきらびやかな財宝を鑑賞した．本巡検はマハカム川遊覧とヘリコプターでの空中散歩で現世デルタの大局的なイメージをつかみ，保存の良い露頭でデルタ堆積過程と石油システムを効率的に理

解することができ，非常に有意義であった．本巡検の案内者及び関係者に深く感謝の意を表したい．

文 献

Mora, S., Gardini, M., Kusumanegara, Y., and Wiweko, A., 2000, Modern, ancient deltaic deposits and petroleum system of Mahakam area. AAPG-IPA 2000 Field Trip Guide Book.