

タービダイトの話(8)

アマゾン海底扇状地 —巨大mud-rich fanの堆積作用の実例—

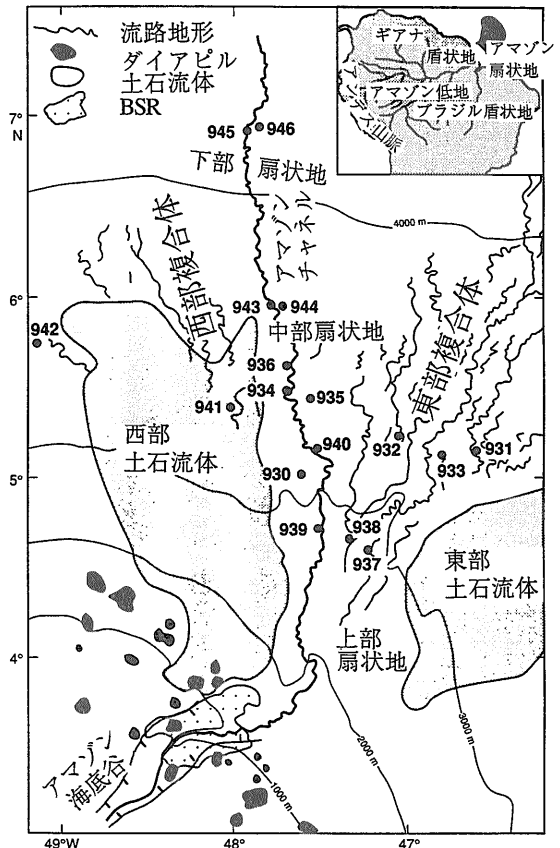
七山 太¹⁾・ODP Leg 155乗船研究者²⁾・徳橋秀一³⁾

1. はじめに

アマゾン、ミシシッピ、インダスおよびベンガル海底扇状地のような大陸縁辺に位置する巨大海底扇状地は、粘土やシルトサイズの粒子が卓越することから別名mud-rich fanと呼ばれる(Stow et al., 1985)。これら巨大海底扇状地の堆積作用は後背地側のテクトニクスや気候変動に支配された大河川の堆積物の流入状況、および氷期-間氷期等の地球規模の海水準変動によって支配されており、総じて高い堆積速度を有している。ゆえに、mud-rich fanの研究は単にこの種の海底扇状地の成長システムの解明に留まらず、陸域と海洋の気候変動を理解する上において、過去のデータを記録した高解像度のレコーダーとしてたいへん重要である。しかしながら、これら巨大海底扇状地は同時に多量のメタンを把胎しており、その掘削の危険性から多くの場合、表層のドレッジ採泥や10m程度のピストンコアの採取しか行われてはなかった。

南アメリカ大陸の大西洋岸、ブラジル北東部に分布するアマゾン海底扇状地(以下にアマゾン扇状地)は、非活動的縁辺域における代表的なmud-rich fanであり(Stow et al., 1985)、大陸縁辺域に形成された海底扇状地としては、世界第3位の規模を持つ。アマゾン扇状地はブラジル北東岸の陸棚域から700km大西洋側に伸張し、局部的に層厚10kmを越える堆積物の存在が音響探査によって明らかにされている(第1図; Damuth and Flood, 1984)。このアマゾン扇状地には、中新世前期のアンデスの隆起以降から現在までの $7 \times 10^5 \text{ km}^3$ 以上にも達する堆積物がほぼ連続して存在している(Castro et al., 1978)。

一方、アマゾン扇状地の膨大な碎屑物の供給源と



第1図 サイドスキャンソナとシービームによって明らかにされた現在のアマゾン扇状地の海底地形と Leg 155の掘削地点。中央の蛇行した太線がアマゾンチャネルである。東西両翼には巨大土石流体(西部土石流体および東部土石流体)が分布する。

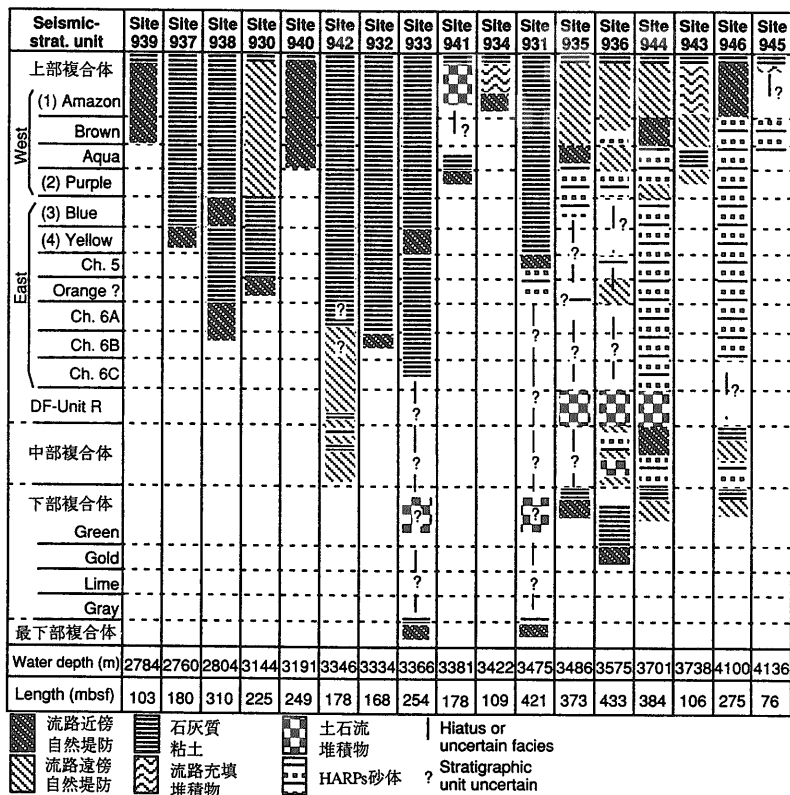
なっているアマゾン河は、赤道域に位置するアマゾン低地をほぼ東西に横断し(第1図)、現在、世界の

キーワード: アマゾン海底扇状地, 巨大mud-rich fan, 氷河性海水準変動, タービダイト

1) 地質調査所 燃料資源部(科学技術特別研究員)

2) 本文末参照

3) 地質調査所 燃料資源部



第2図 各地点の掘削状況と堆積相分布，および音響層序 (Manley and Flood, 1988) との対比。

河川堆積物の総量の約10%を運搬している。これらの河川堆積物は、現在のような高海水準期においては陸棚上のデルタ地域だけに堆積するが、低海水準期においては河川の末端がアマゾン海底谷に直結し、河川堆積物は直接アマゾン扇状地に流れ込んでいたと推測されていた (Nittrouer et al., 1991; 例えば第7図)。しかし、これは Stow et al. (1985), Vail, 1987, Posamentier et al. (1988) 等のモデルによって示されているのみで、現実には証明されてはいなかった。

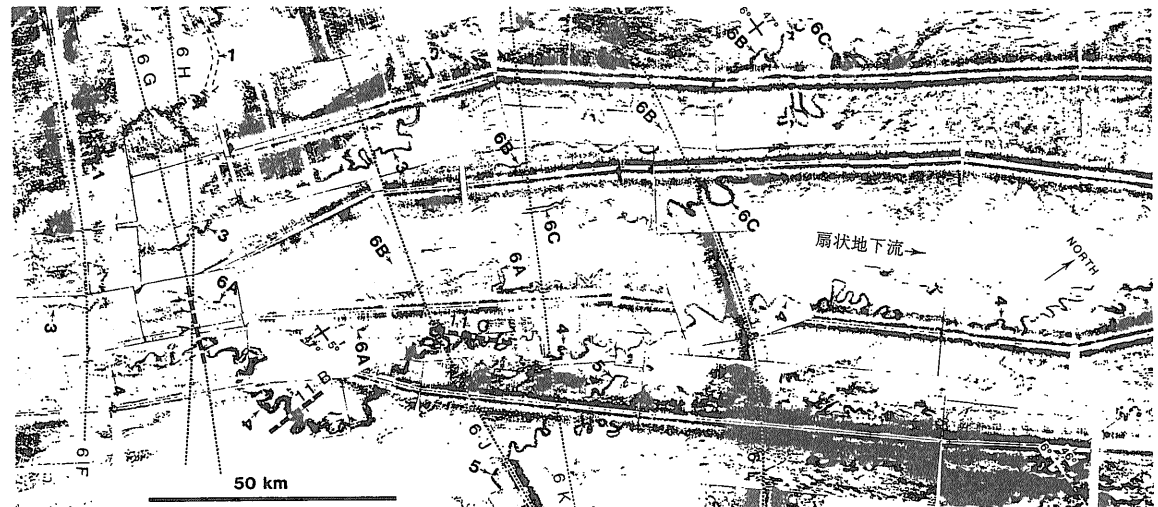
1994年3月28日～5月24日にかけてこのアマゾン扇状地において、国際深海掘削計画 (Oceanic Drilling Program; ODP) 第155次掘削航海 (Leg 155) が行われた。本航海の主席研究員は Roger Flood 博士 (New York 州立大学) ならびに David Piper 博士 (Bedford 海洋研究所) で、日本側からは九州大学理学部の徐 垣博士が岩石物性学担当研究者として、七山 太が堆積学担当研究者として乗船した。また、世界的なタービダイト研究家である John Damuth 博士 (Texas 大学), William Normark 博士 (USGS)

や Richard Hiscott 教授 (St. John's Memorial 大学) 等が参加し、さしずめ、国際タービダイト研究集会のような様相を呈していた (口絵8)。

この Leg 155 は、以下の4つ研究目的で掘削が企画された。

- 1) 巨大 mud-rich fan の発達様式とユースタティックな海水準変動、アマゾン低地の気候変動およびアンデス山脈のテクトニクスとの関連について考察を行う。
- 2) 既存の音響的層相と今回掘削して得られた連続コアの堆積相、粒度、物性との比較を行う。
- 3) 西大西洋赤道域の海洋物質循環とアマゾン低地の気候変動を、アマゾン扇状地の連続コアを用いて解析する。
- 4) アマゾン扇状地の有機炭素の特徴、起源、初期統生作用についての検討を行う。

この結果、本航海中には海底扇状地の上流 (水深 2,771m) から下流 (水深 4,112m) にかけて、17地点 (930～946) が掘削され、総計 4,000m にのぼるコアの回収が行われた (第1, 2図)。



第3図 サイドスキャンソナによって明らかにされたアマゾン海底扇状地中部付近の蛇行チャネルシステム (Damuth et al., 1988)

本稿においては、Leg 155による最新の掘削成果に基づいてアマゾン扇状地の堆積システムについて概観し、巨大mud-rich fanの堆積作用の特徴について考察してみたいと思う。

なお、本文の内容は既にFlood, Piper and Klaus et al. (1995)として公表されているLeg 155の Initial Report および Leg 155 Shipboard Scientific Party (1994, 1995)等の公表データを基礎として、地質ニュースのタービダイトの話シリーズ用に書き下ろしたものであることを予めお断り申し上げておく。更なる詳細については、原著をご参照頂ければ幸いである。

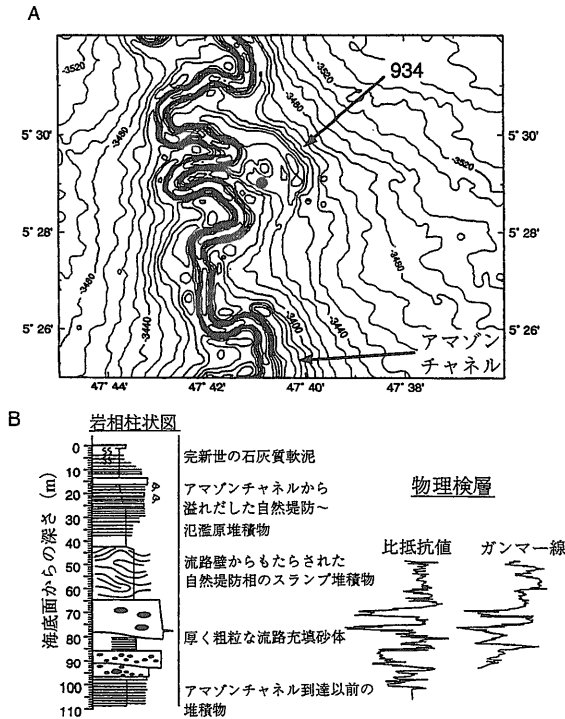
2. アマゾン扇状地の蛇行チャネルシステム

アマゾン扇状地の海底地形はラumont・ドハティ海洋研究所によるサイドスキャンソナおよびシービームによる海底地形の検討 (Damuth et al. 1983a, 1988)によってその詳細が明らかにされている。アマゾン扇状地に代表される巨大mud-rich fanは全長数100kmにも達する長大な蛇行流路とそれに伴う築き上げの自然堤防相の存在によって特徴付けられる (第1, 3図)。現在の海底面において、流路-自然堤防複合体 (channel-levee complex)は、西部複合体と東部複合体にV字状に分かれて分布している (第1図)。さらに、その両翼には東部土石流体と西部

土石流体が分布しており、蛇行流路系によって生じた海底地形を乱している (第1図)。

現在、西部複合体上の海底面には唯一の流路地形としてアマゾンチャネルが存在している。サイドスキャンソナおよびシービームによる海底地形の検討によれば、このアマゾンチャネルは幅400~3,000m、深さ30~80mで、水深約1,000mのアマゾン海底谷の谷端から出現し始め、下部扇状地の水深4,273m地点までは追跡できる (Damuth et al., 1983a, 1988; 第1図)。また、陸上の河川系と同様に流路の勾配量の減少と共に蛇行率を変化させ、ミシシッピ河等の陸上の大河と同等の蛇行率を示している (第3図; Flood and Damuth, 1987, Pirmez and Flood, 1995)。

934地点においてはアマゾンチャネルの蛇行流路系によって形成された堆積シークエンスを検討する目的で掘削が行われた (第4図)。その結果、下位からマッドクラストを多数伴う厚い中~粗粒砂相 (海底面からの深さ64.56~98.09m; 流路充填堆積体)→流路壁の崩壊?によってスランプリングした自然堤防相 (42.30~64.56m)→流路変更後に形成された自然堤防相~氾濫原相 (0.87~42.30m)→高海水準期の石灰質軟泥相 (0~0.87m)の上方細粒化シークエンスを示す連続コアが得られた。また、物理検層のデータから、この厚い砂層は1度の大規模な堆積物重力流によって生じたものではなく、複数の小規模な



第4図 シービームによって明らかにされた現在のアマゾンチャネルの蛇行地形と934掘削地点(A)。934掘削地点から得られた上方細粒化シーケンスと物理検層データとの対応(B)。厚い砂体は複数のタービダイトの複合・癒着によって生じている。

タービダイトが癒着することによって形成されたと解釈される(第4図)。

946地点においては、アマゾンチャネル末端の堆積シーケンスを検討する目的で掘削が行われた。この掘削地点の下部(160mより下部)の回収率は極めて低かったが、併せて行った物理検層によって24.72~128.72m付近および155.82~211.37m付近において複数の上方粗粒化や上方細粒化シーケンスを示す厚い砂体の存在が確認された。これらの砂体はタービディーカレントの速度の減衰により、流路末端に形成されたローブ砂体と解釈された。

この結果、アマゾンチャネルの軸部においては、上流~下流域まで連続して中~粗粒砂の存在(口絵2)、さらに、水深3,500m地点においては細~小礫の存在も確認された(口絵2-D)。従って、アマゾン扇状地のようなmud-rich fanにおいても粗粒な砂礫が扇状地の末端部まで運搬されていることが分かった。

同様の礫の存在はミシシッピ海底扇状地(Bouma et al., 1985)においても報告されている。

3. 流路—自然堤防複合体の実体

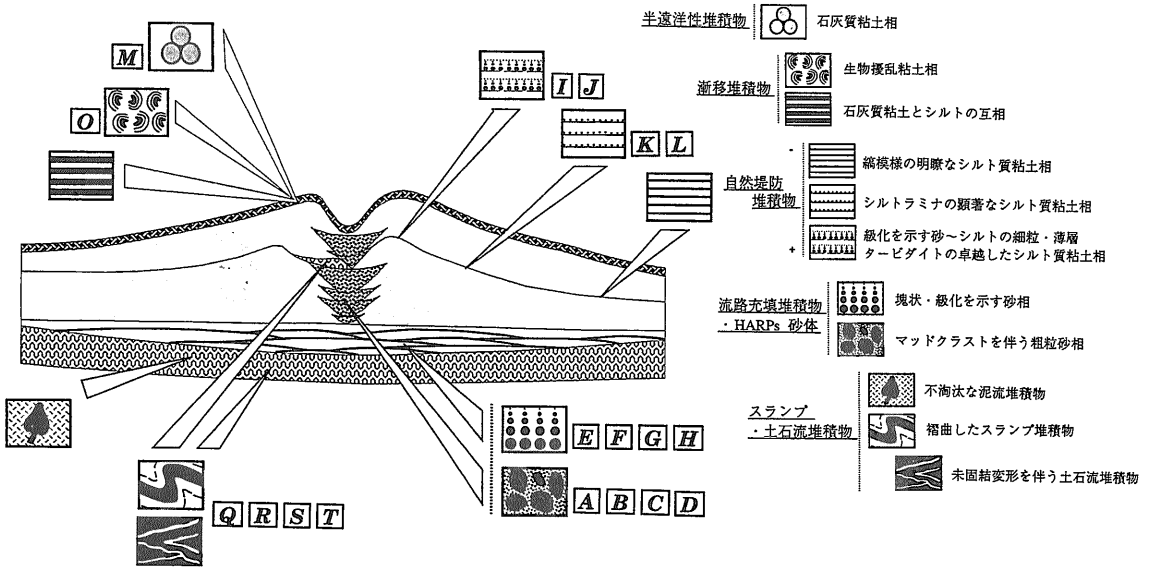
935地点においては、アマゾンチャネルの流路—自然堤防複合体を貫通する模式的なシーケンスが得られた(第2図)。表層から順にこのボーリングコアの堆積相の変化を記載する。

現在の地球は高海水準期であり、前述した如く、アマゾン河からの陸源碎屑物は陸棚上のデルタ地域のみで堆積し、海底扇状地には流入していない。そのため、扇状地の表層部はナノプランクトンと有孔虫の遺骸からなる石灰質軟泥相によって広く覆われている(口絵6-M)。この下位層準(0.7~5.9m)には、生痕によって乱された半固結した生物擾乱泥相(口絵6-O)が厚く堆積している。この生物擾乱泥相より下位の層準が、酸素同位体のデータから低海水準期に形成された堆積物と解釈される。

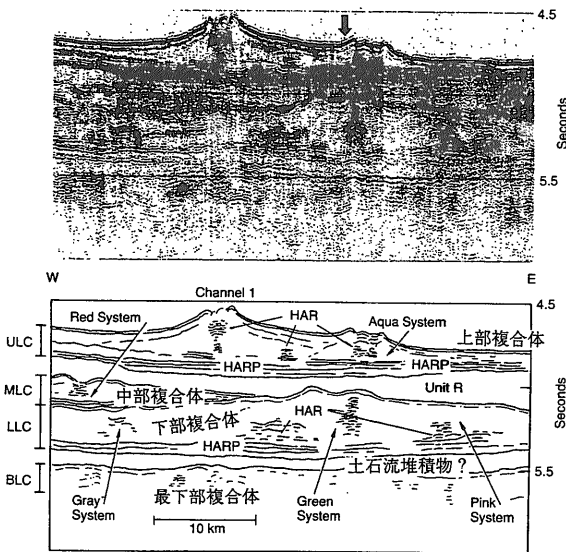
5.9~98.5m付近には細粒砂~シルト層の薄層理タービダイトを頻繁に挟在する自然堤防相が厚く堆積している(口絵5-I~L)。自然堤防相のうち流路近傍と推察される部分においては、Ta, Tc部(Bouma, 1962)の卓越した薄層・粗粒タービダイト(Bouma, 1962)によって特徴付けられており、最大粒径は中粒砂である(口絵5-L)。しばしば、マッドクラスト(mud clast)、コンボリュート葉理(convolute lamination)、クライミングリップル(climbing ripple)の発達した“CCC turbidite”(Walker, 1992)も観察されるが、マッドクラストは僅かしか伴わない(口絵5-I)。より流路から離れていたと推定される部分では、Tcde, Tde等の薄層・細粒タービダイトによって特徴付けられており、最大粒径は極細粒砂~シルトである(口絵5-L)。

さらに、この自然堤防相の下位層準となる98.5~199.3m付近にはマッドクラストを多量に含んだ中~粗粒砂が厚く堆積している。このような未固結砂の回収率は当然低くなるが、同坑井で行われた物理検層のデータを参照するならば、上方粗粒化や上方細粒化シーケンスが複数認められる。また、その中央部においては、自然堤防相起源のスランプ相を挟んでいる。

199.3~276.3m付近には、マッドクラストを多数含



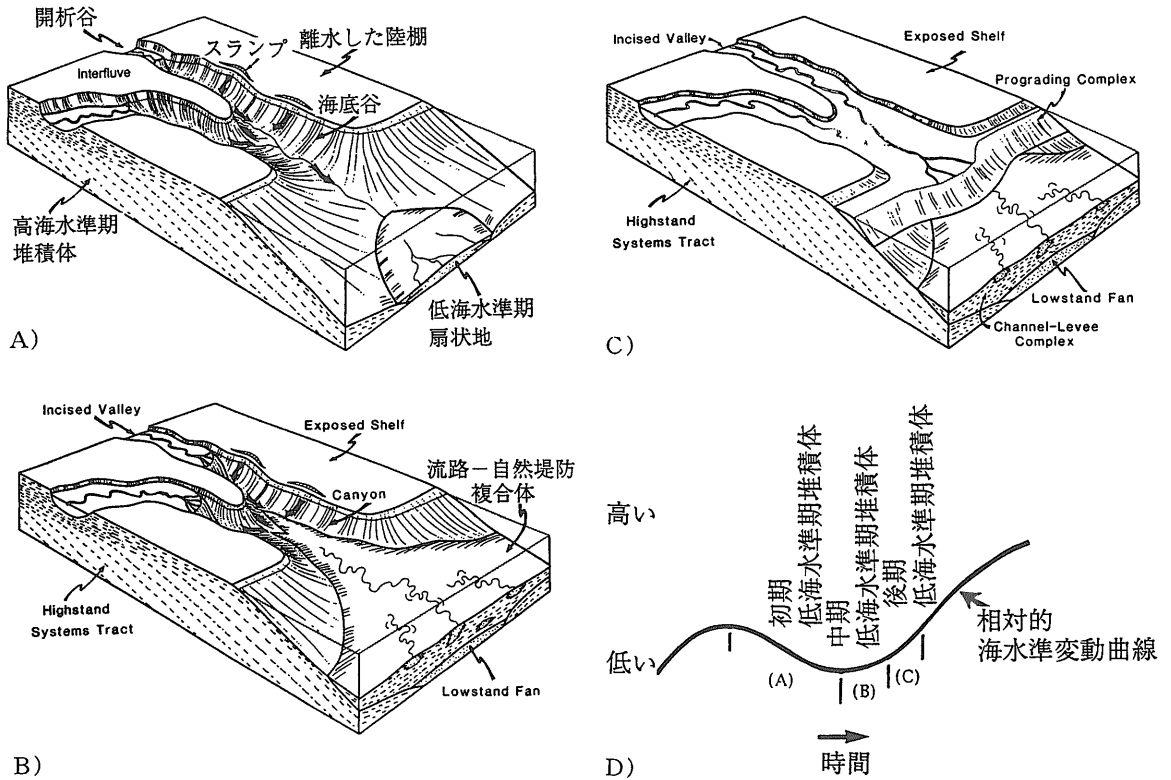
第5図 音響断面と実際の掘削試料の対比から復元されたアマゾンチャネルの流路-自然堤防複合体の形態 (Flood, Piper and Klaus et al., 1995)



第6図 935掘削地点における音響断面とその解釈図。↓は掘削地点を示す。HARP: 流路-自然堤防複合体直下に水平に広がるhigh-amplitudeの反射波。HAR: チャネル地形直下に分布するhigh-amplitudeの反射波。high-amplitudeの反射波は粗粒な砂礫相の存在を示唆する。ULC: Upper Levee Complex, MLC: Middle Levee Complex, LLC: Lower Levee Complex, BLC: Bottom Levee Complex。

んだ厚い土石流相が分布している。この土石流相は音響断面に明確に現れており、Unit Rと呼称されている(第6図)。また、このUnit Rは表層と同様な高海水準期を示す石灰質粘土相を覆っている(口絵6-P)。

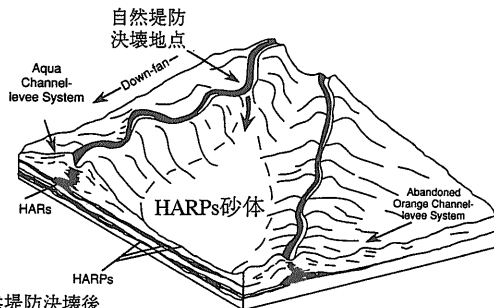
以上の堆積相の分布状況を音響断面と対比すると、第5図のようなモデルが描かれる。アマゾン扇状地の上部~中部扇状地において、一つの流路-自然堤防複合体の幅は20~40km、厚さは300~400mとなっている。前述の935地点は、この自然堤防頂部を掘削したシークエンスであるが、特に重要なことは、この流路-自然堤防複合体の基底部に音響断面のHARPs (flat-lying high-amplitude reflection packet: 第6図)に対応する溢れだしに伴う厚くて粗粒な砂体の存在が認識された点である。これをHARPs砂体と呼ぶことにする。これらHARPs砂体は流路の末端に位置しない点でローブ砂体とは明確に区別される。このようなHARPs砂体について、Walker (1992)やPosamentier et al. (1991)は“低海水準期初期に生じた扇状地堆積体 (Lowstand Fan)に相当する(第7図A).”との見解を示していた。さらに、Posamentier et al. (1991)は“低海水準期中期には、扇状地堆積体の上位に流路-自然堤防複合体が広く発達する(第7図B).”と記述している。



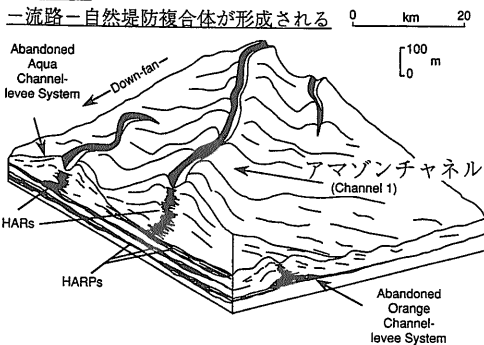
第7図 低海水準期における海底扇状地の堆積モデルの一例 (Posamentier et al., 1991)

(A)低海水準期最初期 (B)低海水準期中期 (C)低海水準期最末期 (D)相対的な海水準変動曲線

A. 自然堤防決壊時— HARP s 砂体が形成される

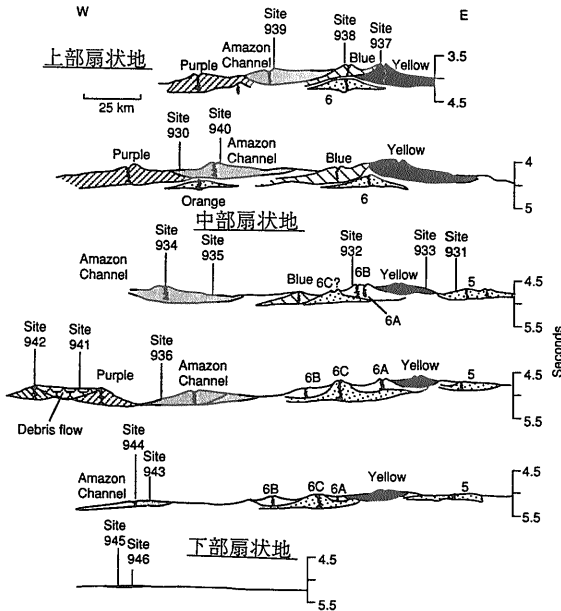


B. 自然堤防決壊後



第8図(左) 自然堤防の決壊によって生じた流路—自然堤防複合体の変遷の概念図 (Flood et al., 1991). HARP sとはこの決壊初期に生じた粗粒砂体を指す。

しかし、実際にはこれらHARP s砂体は流路充填堆積物より粗粒かつ厚層であることからこれらのモデルは成立しえない。一方、Damuth et al. (1988)は前述の海底地形の検討の結果、上部扇状地において周期的に発生した自然堤防の決壊に伴って古い流路が放棄され、より急傾斜側に新しい流路が形成された可能性を論じている。ゆえに、この流路—自然堤防複合体下部のHARP s砂体は、上部扇状地において自然堤防の決壊によって流路変更が生じた際、最初に溢れだした粗粒堆積物と解釈されよう(第8図)。



第9図 各地点の掘削状況と堆積相分布および音響層序 (Manley and Flood, 1988) との対応

4. アマゾン扇状地の階層構造

ラumont・ドハティ海洋研究所のDamuth et al. (1983b)やManley and Flood (1988)等の音響断面の検討によれば、これら流路-自然堤防複合体は、重なり合い癒着している(第6, 9図)。特に表層付近に分布するものは解析度が高く、それらには番号(Damuth et al., 1983b)とカラー名称(Manley and Flood, 1988)が与えられている(第2図)。すなわち、海底扇状地西部(西部複合体; 第1図)に分布する最上部の7つの流路-自然堤防複合体、すなわち表層の流路地形と放棄された6つの流路跡は、上位からアマゾンチャンネル、ブラウン、アクア、パープル、ブルー、イエローおよびオレンジと命名されている。一方、海底扇状地東部(東部複合体)に分布する流路跡はブルー、イエロー、Channel 5、オレンジ、Channel 6A、6B、6Cと命名されている(第2図; Damuth et al., 1983b., Manley and Flood, 1988)。

これら流路-自然堤防複合体の集合体は、より大きなオーダーである自然堤防複合体(levee complex)に区分されている。このうち、海底扇状地の最上部に位置する自然堤防複合体は、上部複合体(ULC)と呼称されている(第6図)。この上部複合体基底部

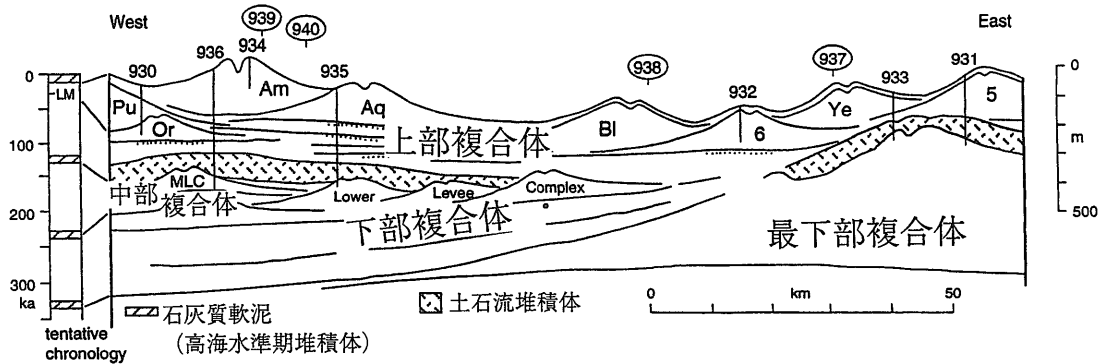
から得られた高海水準期を示唆する石灰質粘土層(口絵6-P)は、船上における生層序や古地磁気層序の検討の結果、8万5千年~13万年(酸素同位体ステージ5)の堆積物であることが判明した。すなわち、この事実は上部複合体の形成が、ほぼ最終氷期の期間に対応することを意味している。

土石流堆積物と解釈されるUnit Rは、前記の上部複合体の音響層序の下位に識別される。このUnit Rは中部複合体(MLC)を覆い、さらに、この基底に分布する土石流を示唆する音響層相により下部複合体(LLC; ゴールド、ライムおよびピンク流路-自然堤防複合体)と分離されている。音響断面からはこれより深部の最下部複合体(BLC)や土石流堆積体も認識しうるが、その詳細は不明である(第6図)。

今回、936地点においてはUnit Rの下位の中部複合体まで、935地点においては下部複合体までの掘削が行われた(第10図)。さらに、931および933地点においてはこの下部複合体の基底部に発達する巨大土石流体を貫通し、最下部複合体に達する掘削を行った(第10図)。この結果、下部複合体を覆う石灰質粘土層の年代が18万5千年~22万5千年(酸素同位体ステージ7)、さらに、最下部複合体を覆う石灰質粘土層が26万年~33万年(酸素同位体ステージ9)に対比されることが明らかになった。以上のことは、各自然堤防複合体の形成時期がそれぞれの氷期の期間、すなわち低海水準期に明確に対応する事を証明したことになる。

これらのデータから堆積速度を試算してみると、低海水準期における堆積速度は数m/10³年、高海水準期においてはおよそ数cm/10³年であるが、この値は当然堆積環境によって大きく変動する。たとえば、自然堤防上の生物擾乱を受けた粘土相は堆積速度が比較的遅く1~3m/10³年、築き上げの自然堤防相は10~25m/10³年、下部扇状地のロープ砂体の堆積速度は2m/10³年である。これに対して、高海水準期に堆積した石灰質粘土層の堆積速度は10cm/10³年程度である。

このように、アマゾン扇状地はあたかも高層ビルのような構造を持っており(第6, 10図)、各階は扇状地を覆う土石流ないし石灰質粘土層によって境されている。特に、石灰質粘土層は間氷期(高海水準期)のみに堆積したもので、時代を示すメルクマールとなりうる。今回の掘削によって、4階までの階層構造



第10図 今回の掘削によって明らかにされたアマゾン扇状地の階層構造

の時代枠が明らかとなった。また、今回掘削されなかったこれより下位の層準も、基本的には同様のシーケンスの繰り返しから構成されているのであろう。

5. 巨大土石流体の起因と海水準変動

海底扇状地の海底地形を破壊するほどの大規模な土石流堆積体の存在は、巨大mud-rich fanの特徴の一つである(例えば、Walker, 1992)。現在の海底地形に現れている巨大土石流体はアマゾンチャネルの東翼(東部土石流体)と西翼(西部土石流体)に分かれて分布し、上部～中部扇状地の表面の半分以上を覆っている(第1図)。さらに、今回の掘削航海によって、より深部においてもUnit R等の巨大土石流体が自然堤防複合体に夾在されている産状が明らかとなった。また、このような土石流堆積物の存在は大陸縁片部においてサイドスキャンソナ等の音響データによってすでにその存在が推定されているが、ほぼ連続的にコアとして採集されたのは今回が初めてである(口絵7-Q～T)。

941地点において、アマゾン扇状地に発達する西部土石流体の掘削が行われた(第1図)。また、935、936および944地点においては、上部複合体の基底に位置する巨大土石流体Unit R(第2図)の掘削が行われた。この種の巨大土石流体の下部は変形した泥岩ブロック主体の粗粒堆積物から構成されるが(口絵7-R)、その上部はほとんどクラストを含まない泥流堆積物となっている(口絵7-S)。また、これら巨大土石流体は120m以上の層厚を持つが、これらが複数の土石流が癒着しているものか、1回の土石流によってもたらされたものであるのかは不明である。

一方、巨大土石流体の起因と海水準変動との対応についても、未だ十分な理解は得られていないが、幾つかの土石流体は明らかに高海水準期堆積物を覆って発生している(口絵6-P)。また、935地点においては酸素同位体ステージ5の石灰質粘土がUnit Rの土石流堆積物中にブロックとして取り込まれている産状から(口絵7-Q)、Unit Rの発生時期が高海水準期以降であることは確実である。この場合、Unit Rの成因として、相対的な海水準低下に伴い大陸斜面のメタンハイドレートの融解が生じ、これが引き金となった可能性(Manley and Flood, 1988)が示唆される。しかし、941地点においては、逆に西部土石流体が完新統の石灰質軟泥(酸素同位体ステージ1)に覆われており、巨大土石流体の起因を総てこのモデルで説明ができる訳ではない。この西部土石流体の起源としては、陸棚上の泥ダイヤピル(第1図)が引き金になった可能性も示唆されている。

7. 現状における巨大-mud rich fanの堆積システムのまとめ

Leg 155の掘削航海で得られた事実をまとめるならば、アマゾン扇状地に代表される巨大mud-rich fanの堆積システムは以下のようにまとめられる。

- 1) 現在のような高海水準期においては(特にアマゾン扇状地のような広い陸棚を伴う海底扇状地においては)、河川からの碎屑物質の供給は停止してしまい、半遠洋性軟泥によって覆われてしまう。
- 2) 低海水準期においては、アマゾン河が海底谷に直結し扇状地への碎屑物の供給が行われる。その際、扇状地上において碎屑物を運搬する主流路は

1本である。また、この主流路は築き上げの自然堤防相を伴い、陸上の河川と同様な蛇行を示す。さらにその末端部にはローブ砂体を形成している。

3) 上部扇状地においては自然堤防の周期的な決壊に伴い主流路の切り替えが行われ、その際、上部扇状地上に厚くて粗粒なHARPs砂体を堆積させた。

4) 巨大土石流は海退期にも海進期にも生じており、その成因には陸棚斜面のメタンハイドレートの融解や泥ダイアピルの活動が関与するらしいが、その実体は明確ではない。

8. 海底扇状地の掘削の今後の展望と課題

タービダイトと海底扇状地の堆積作用を理解するうえで、過去に三つの方向で研究が行われてきた。すなわち、(1) 現世の海底扇状地の地形とピストンコアに基づいた研究、(2) 陸上に露出する過去のタービダイト層の時空的な分布に基づいた研究および(3) 炭化水素ポテンシャル検討の為に震探データに基づいた研究である(Normark et al., 1993)。しかし、これらは異なる手法でかつ異なるスケールで行われているために、相互の互換性があまり良くない。今回のアマゾン扇状地の掘削航海によってもたらされたデータによって、少なくとも巨大mud-rich fanについては、これら三者間のギャップをある程度埋めることができるものと期待される。また、同様の検討をsand-rich fan (例えば、カルフォルニア沖のNavy海底扇状地; Normark and Piper, 1972., Piper and Normark, 1983)においても早急に行う必要性がある。

ところで、今回の航海中において現在の深海掘削技術の限界を痛感させられる場面も幾つかあった。たとえば、(1) 船上に引き上げられることで生じる減圧によるコア試料中のガス膨張に伴う堆積物の変形、(2) ドリル式採泥器(XCB)によるピケット状の堆積物の変形、(3) 減圧によるガスハイドレートの溶融、(4) 砂質堆積物の注入現象等があげられる。特に(1)による堆積物の変形(アーティファクト)は困り者で、多くのコアが船上に上げられたと同時に膨張を始め、堆積物はチューブ内部で引き離され、空になった部分にはメタンガスが充填し、堆積物がインナーチューブから激しく飛び出す場面を幾度となく見ることとなった。このような変形は堆積物の内部構造

を破壊し船上で測定される物性や古地磁気測定等の障害となった。この種のアーティファクトを是正するために、期間中に現在ODPで開発中の保圧式柱状採泥器(PCS)の試験が行われたが、コア採集ができずに不調に終わった。

その一方で、本掘削航海はたとえ砂質な地点であっても、掘削地点を慎重に設定すれば十分な掘削成果が得られることを証明した。しかし、より深部においてピストン式採泥器(APC)を使用できない場合、ドリル式採泥器XCB(XCB)で未固結砂の掘削を行うためには今後更なる技術的な改良が必要とされるであろう。一方、今後、BSR(ガスハイドレート把持層準)以深の掘削の検討も含めて、浅海域における掘削の要請が増すものと思われるが、このためにはライザー船導入を含めたハードの面での一層の技術革新が望まれる。当然、乗船する研究者のソフトの面での充実もより一層望まれるわけではあるが?

本邦においては現世の海底扇状地研究は数えるほどしか行われていないし(例えば、Mogi Fan: Soh et al., 1988; 富山深海扇状地: 徳山・末益, 1986., 中嶋・佐藤, 1996), 研究可能な研究室も研究者も指で数えるほどしか存在しない。そのかわり、陸上には房総の上総前弧海盆や新潟背弧海盆堆積体に代表される早い堆積速度、高精度の時間面を兼ね備えたタービダイト層が存在する。これらからは、当然、当時の海底地形を直接知ることはできないが、音響断面や坑井データを得て堆積相オーダでの3次元的な広がりを知ることができれば活動的縁辺域の世界的なsand-rich fanモデルを構築することも決して不可能なことではない。本稿がきっかけとなって本邦におけるタービダイト研究がより一層活発化し、邦人研究者の示したモデルが現在とは逆に欧米研究者に広く受け入れられる日が来ることを願ってやまない。

最後に、七山 太がODP Leg 155に乗船する機会を与えてくださった、Roger Flood博士(New York州立大学)、David Piper博士(Bedford海洋研究所)、Adam Klaus博士(Texas A&M大学)、岡田博有教授(九州大学理学部)、平 朝彦教授、末広 潔教授(東京大学海洋研究所)、航海中常に教育的配慮を賜ったLeg 155乗船研究者の諸賢(Flood, R.D., Piper, D.J.W., Klaus, A., Burns, S.J., Busch, W.H., Cisowski, S.M., Cramp, A., Damuth, J.E., Goni, M.A., Haberle, S.G., Hall, F.R., Hinrichs, K.,

Hiscott, R.N, Kowsmann, R., Kronen, J.D., Long, D., Lopez, M., McDaniel, D.K., Manley, P.L., Maslin, M.A., Mikkelsen, N., Nanayama, F., Normark, W.R., Pirmez, C., Santos, J.R., Schneider, R.R., Showers, W.R., Soh, W., Thibal, J.) に対し厚く御礼申し上げたい。また、本稿をとりまとめるにあたり有益なご助言を賜った有田正史統括研究調査官、奥田義久燃料資源部長ならびに関係各位に対し深謝し、本稿の結びとしたい。

参 考 文 献

- Castro, J.C., Miura, K., and Braga, J. A. E. (1978) : Stratigraphic and structural framework of the Foz do Amazonas Basin. 10th Annual Offshore Tecnology Conference, no. 3, 1843-1847.
- Damuth, J.E., Flood, R.D., Kowsmann, R.O., Belderson, R.H., and Gorini, M. A. (1988) : Anatomy and growth pattern of Amazon Deep-sea Fan as related by long-range side-scan sonar (GLORIA) and high-resolution seismic studies. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 72, 885-911.
- Damuth, J.E., Kowsmann, R.O., Flood, R.D., Belderson, R.H., and Gorini, M. A. (1983a) : Distributary channel meandering and bifurcation patterns on Amazon deep-sea fan as revealed by long-range side-scan sonar (GLORIA). *Geology*, 11, 94-98.
- Damuth, J.E., Kowsmann, R.O., Flood, R.D., Belderson, R.H., and Gorini, M. A. (1983b) : Age relationships of distributary channels on Amazon deep-sea fan : implications for fan growth pattern. *Geology*, 11, 470-473.
- Flood, R.D. and Damuth, J.E. (1987) : Quantitative characteristics of sinuous distributary channels on the Amazon deep-sea fan. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 98, 728-738.
- Flood, R.D., Manley, P.L., Kowsmann, R.O., Appi, C.J., Pirmez, C. (1991) : Seismic facies and late Quaternary growth of Amazon submarine fan. In Weimer, P. and Link, M.H. (eds.), *Seismic facies and sedimentary processes of modern and ancient submarine fans*: New York (Springer-Verlag), 274-282.
- Flood, R.D., Piper, D.J.W., Klaus, A., Burns, S.J., Busch, W.H., Cisowski, S.M., Cramp, A., Damuth, J.E., Goni, M. A., Haberle, S.G., Hall, F.R., Hinrichs, K., Hiscott, R.N., Kowsmann, R., Kronen, J.D., Long, D., Lopez, M., McDaniel, D.K., Manley, P.L., Maslin, M.A., Mikkelsen, N., Nanayama, F., Normark, W.R., Pirmez, C., Santos, J.R., Schneider, R.R., Showers, W.R., Soh, W., Thibal, J. (The ODP Leg 155 Shipboard Scientific Party) (1995) : *Proceeding of the Oceanic Drilling Program, Initial Reports (Leg 155)*, 155, College station Texas (Oceanic Drilling Program), 1-1233.
- Manley, P.L. and Flood, R.D. (1988) : Cyclic sediment deposition within the Amazon deep-sea fan. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 72, 912-925.
- 中嶋 健・佐藤幹夫(1996) : 富山深海長谷の堆積相と堆積作用。日本地質学会第103年学術大会講演要旨, 180.
- Nittrouer, C. A., DeMaster, D.J., Figueiredo, A. G. and Rine, J.M. (1991) : AmasSeds: an interdisciplinary investigation of a complex coastal environment. *Oceanography*, 4, 3-7.
- Normark, W.R. and Piper, D.J.W. and Hess, G.R. (1979) : Distributary channels, sand lobes, and mesotopography of Navy Submarine Fan, California Borderland, with applications to ancient fan sediments. *Sedimentology*, 26, 749-774.
- Normark, W.R., Posamentier, H. A. and Mutti, E. (1993) : Turbidite systems: state of the art and future directions. *Reviews of Geophysics*, 31, 91-116.
- Piper, D.J.W. and Normark, W.R. (1983) : Turbidite depositional patterns and flow characteristics, Navy Submarine Fan, California Borderland. *Sedimentology*, 30, 681-694.
- Pirmez, C. and Flood, R.D. (1995) : Morphology and Structure of Amazon Channel. *Proceeding of the Oceanic Drilling Program, Initial Reports (Leg 155)*, 155, College station Texas (Oceanic Drilling Program), 23-45.
- Posamentier, H.W., Jervey, M.T. and Vail, P.R. (1988) : Eustatic controls on clastic deposition I - conceptual framework. *SEPM, Spec. Pub.*, no. 42, 109-124.
- Soh, W., Taira, A. and Tokuyama, H. (1988) : A trench fan in the Izu-Ogasawara Trench Triple Junction, Japan. *Marine Geology*, 82, 235-249.
- Stelting, C.E., Pickering, K.T., Bouma, A.H., Coleman, J.M., Cremer, M., Droz, L., Meyer-Wright, A.A., Normark, W.R. Suzanne O'Connell, D.A.V. Stow and DSDP Leg 96 Shipboard Scientists (1985) : Drilling results on the Middle Mississippi Fan. In Bouma, A.H., Normark, W.R. and Barnes, N.E. (eds.), *Submarine fans and related turbidite systems*: New York (Springer-Verlag), 274-282.
- Stow, D. A. V., Howell, D.G. and Nelson, H.C. (1985) : Sedimentary, tectonic, and sea-level controls. In Bouma, A.H., Normark, W.R. and Barnes, N.E. (eds.), *Submarine fans and related turbidite systems*: New York (Springer-Verlag), 15-22.
- The ODP Leg 155 Shipboard Scientific Party (1994) : *Late Pleistocene Climate and Sedimentation, Amazon Fan*. *EOS*, 75, 435-437.
- The ODP Leg 155 Shipboard Scientific Party (1995) : *Drilling the Fantastic Amazon Fan*. *Geotimes*, 18-19.
- 徳山英一・未益 誠(1986) : 富山深海扇状地の形成年代と成因。月刊地球, 8, 734-739.
- Vail, P.R. (1987) : Seismic stratigraphic interpretation using sequence stratigraphy, Part I, Seismic Stratigraphy interpretation procedure, in *Atlas of Seismic Stratigraphy*, vol. 1, edited by A.W. Bally, *AAPG Stud. Geol.*, 27, 1-10.
- Walker, R.G. (1992) : Turbidites and Submarine Fans. In Walker, R.G. and James, N.P. (eds.), *Facies models: response to sea level change*. *Geol. Assoc. Canada*, 239-263.

NANAYAMA, F., ODP Leg 155 Shipboard Scientific Party and TOKUHASHI, S. (1996) : Amazon Deep-sea Fan : an example for sedimentation of large mud-rich fan.

< 受付 : 1996年3月12日 >