

# タービダイトの話 (7)

## 海底扇状地モデルの現状と問題点

### —COMFAN計画の総括を踏まえ—

徐 垣 (東大海洋研)・徳 橋 秀 一 (燃料部)  
Wonn Soh Shuicni TOKUHASHI

#### 1. はじめに

70年代後半以来 海底扇状地モデルの普及には目をみはるものがある。そして MUTTI & RICCI-LUCCHI のモデル (1972) に代表されるように多くの海底扇状地モデルが提唱されてきた。その数はざっと10以上にものぼる (例えばNORMARK 1970 : 1978 : NELSON & NILSEN 1974 : MUTTI & RICCI-LUCCHI, 1972 : WALKER, 1978 : LINK & NILSEN 1980 : HOWELL & NORMARK, 1982 : CHAN & DOTT, 1983)。しかし 一方では このモデルの安易な設定および適用によって多くの混乱を招いていることも事実である。このことは 海底扇状地モデルを提唱し発展させた堆積学者達の共通認識となり 1982年に海底扇状地モデルの現状と問題点を総括するためCommittee on Fans (COMFAN) が開かれている。本論では この COMFAN でなされた海底扇状地についての研究の現状と総

括を踏まえて 1) 海底扇状地を2つのエンドメンバーに分けて整理すべきだとの立場からのモデルを提唱するとともに 2)タービダイト堆積盆を海底扇状地のものとそれ以外のものに区分し 特に後者の非扇状地性タービダイト堆積盆の堆積物と堆積作用についていくつかの紹介を行った。

#### 2. 現世海底扇状地にみる現状と問題点

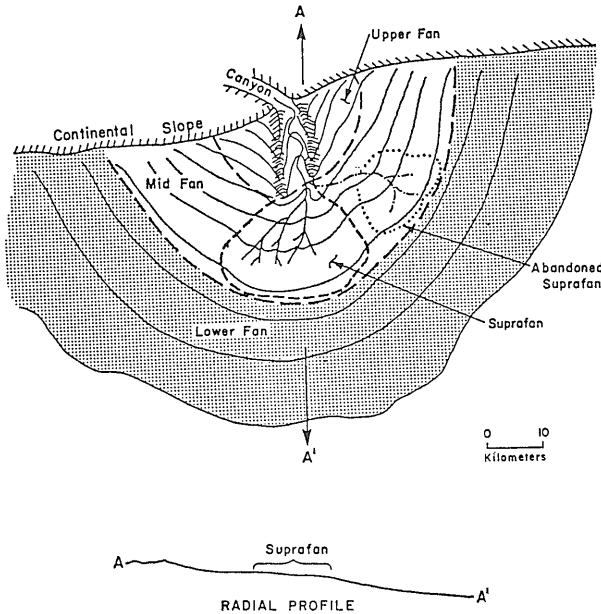
海底扇状地とはなんであろうか? この基本となる定義が混乱しているため現在数多くの問題が引き起こっている。

扇状地 (Fan) とは 本来その名が示すとおり扇状に広がった地形を指している。陸上では山地から平野へと移る地形変換点等にしばしば見ることができる。

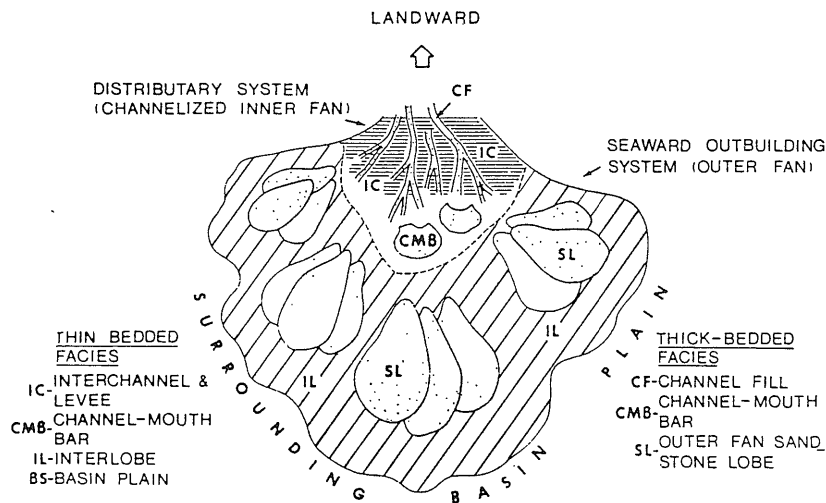
深海底にこのような扇状地が認識されるようになったのは1930年代である。その後 従来の地形的な意味と

はべつに深海底で砂を中心とする粗粒碎屑物が堆積する堆積場として海底扇状地はスポットライトを浴びはじめる。そして 厚いタービダイトが堆積する場合イコール海底扇状地というコンセンサスが広がっていくことになる。このように元来は 地形用語であった “扇状地” が深海底にあることと 砂質タービダイト等の粗粒碎屑物を厚く堆積させている場という地質学的意義が後に付加すぬことによって 成因論や形成プロセスを含んだ地質用語へと変化し その過程で定義の混乱が生じていった。

実際にいくつかの例を見ると 構造運動によって海底には凹凸ができ 堆積物はこの凹地を埋積する。そのため 堆積物を厚く堆積する実際の海底地形は構造運動に支配され必ずしも扇状地形を示していない。また 碎屑物を運搬し堆積する上で 扇状をなすために必要な時間を経ていない未成熟な扇状地も多い。したがって 扇状を示さない扇状地(?)も数多く存在する。



第1図 海底扇状地の形成モデル (NORMARK, 1978) この図は NORMARK (1970) を一部修正してつくられている



第2図  
海底扇状地モデル (MUTTI &  
RICCI-LUCCHI, 1975 より)

ではどのようなものを海底扇状地と認定すべきか？  
最近の有力な考え方に ポイントソースよりもたらされたタービダイトが広く堆積する場を海底扇状地と把握しようとするものがある(例えばW INN & DOTY, 1978, NORMARK *et al.*, 1985). このような考え方は 地層として残された過去の海底扇状地の認定にも同様に用いることができる利点を有する. しかしこの考え方に従うと 同じソースからもたらされた碎屑物が堆積する場という理由で扇状地末端を遙かにこえてベースンプレーン(大洋底)まですべてを海底扇状地を含めることにならないだろうか.

海底扇状地についての混乱した状況をもうすこし述べたい. なぜなら扇状地内部を細分する際にも混乱が生じているからである. San Lucas Fan 等において初めて海底扇状地の形成様式の復元を試みた NORMARK (1970) は フィダーチャネルより続く主として自然堤防が発達する単一海底チャネルとチャネル周辺域よりなる部分を上部扇状地 (Upper Fan) その下流にあって海底チャネルが分枝しロウブの集合体であるシュプラファン (suprafan) が出現し始める部分を中部扇状地 (Mid-Fan) さらにシュプラファンの下流に位置するスムーズな表面をもち turbidity current が分散しシート状のオーバーフローとして流れ始めるところから下部扇状地 (Lower Fan) とした (第1図). このような区分はその後の研究に大きな影響を与えた (例えばMUTTI & RICCI-LUCCHI, 1975 : 第2図).

しかし 海底扇状地内部のこのような区分も確立したものとばかりではない. 例えば Crati Fan を研究した RICCI-LUCCHI *et al.* (1984) は その形態的特徴 特にチャネルの存否等により海底扇状地を単に上部扇状地 (inner-fan) と下部扇状地 (outer-fan) とに大別する区分

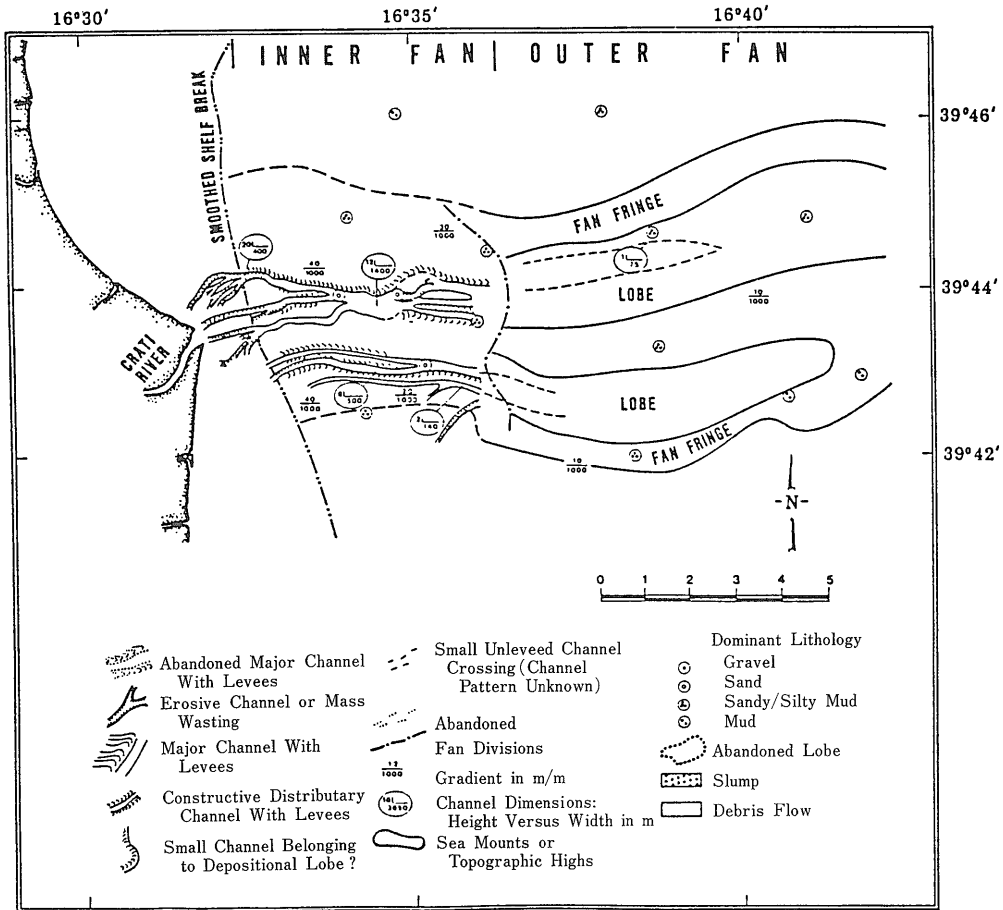
法を提唱している(第3図). また 海底扇状地をより広く意味づけ フィダーチャネル (feeder channel) 上部扇状地 (upper-fan) 中部扇状地 (middle-fan) と下部扇状地 (lower-fan) の四つに細分する例も報告されている

現在まで 幾つかの区分法が提案された背景としてそれぞれの扇状地が特異な形態を呈していることを考慮しなければならない. 例えば La Jolla Fan や San Lucas Fan では中部扇状地にチャネルおよびシュプラファンが発達するのに対して 下部扇状地ではこれらの特徴が失われている. この特徴は他の幾つかの海底扇状地でも認められ中部扇状地と下部扇状地を区分する特徴となった.

しかし Bengal Fan や Mississippi Fan (後述) のように 下部扇状地であっても依然単一チャネルが存在しその連続は扇状地の末端にまで追跡される海底扇状地の様な場合には La Jolla Fan や San Lucas Fan で用いられた区分法は意味をなさないことになる. このように 現世の海底扇状地は 構造運動の違いや供給物質の質や量に影響され それぞれの扇状地が海底地形や形成様式の違いによって形態が異なり 一見 千差万別の様にみえる.

他方 このような海底扇状地のもつ特異性以外に 海底扇状地に関する基本的な問題で意見の一致をみようとなし理由が他にもある. それは タービダイトを研究する研究者の頭の中にある扇状地の概念である.

もしもすべての海底扇状地が 構造運動や堆積場の地形などの二次的な要素を取り去り 扇状地を形成するのに十分な時間を与えられれば NORMARK(1970)の示すような放射状に配列したロウブ (lobe) によって整った規則正しい扇状地が形成されるはずだとする考えである.



第3図 Crati Fan の形態と海底地形 (RICCI-LUCCHI *et al.*, 1983 を一部改修)

つまり 海底扇状地の形成プロセスを無意識のうちに NORMARK の説いたプロセスとかさねて一元的に捕らえ実際に調査され得られた海底扇状地の形態やプロセスの特異性を海底扇状地のもつ本来の堆積様式とはみなさず 構造運動や海底地形といった二次的な要素を過大視し これによって特異性を解釈しようとしている. そのため本来別々に区分されるべきものを一つとみなし 問題を複雑なものにしてきたように思われる.

事実ここ数年 それぞれの置かれた地形や構造運動といった二次的要素を切り離し理想化したうえでも 実は海底扇状地には根本的に形態の異なる二つのタイプの海底扇状地が存在するとする多元論に立った考え方ができてきている.

### 3. 海底扇状地の二つのエンドメンバー

海底扇状地が本来異なる形態をもつ二つのタイプに区

分しうることをはじめて唱えたのは MUTTI (1979) であろう. 彼は 地層として露出するタービダイトを観察し ロウプ堆積物とチャネルとが離れている場合には扇状地の規模が大きく 構成する物質が細粒物質に富む特徴をもち 逆に接している場合には扇状地の規模も小さく粗粒物質が多いといった特徴が見られることを明らかにした. そして ロウプ堆積物とチャネルとが離れている場合の扇状地を high-efficiency fan 接している場合の扇状地を low-efficiency fan として区分した. その後現世海底扇状地においても 海底扇状地を形態から二分し得ることが指摘されるようになった (例えば Stow 1985).

本論では 現在まで報告されている数多くの現世海底扇状地をその形態と堆積様式に注目し その違いにより Channel-Lobe 系と Channel-interchannel Mound 系の二つのタイプに区分した. ここでは前者の例として Navy Fan を 後者の例として Mississippi Fan を

とり その詳細を説明し両タイプの比較検討を試みたい。

### a) Navy Fan

Navy Fanはサンディエゴの沖 California Borderland の San Clemente Basin に位置する砂質優勢扇状地である。本海底扇状地は北米プレートの大陸地殻に中新世の右ずれトランスフォーム断層によって形成されたオフセットバズンを覆う主として後期更新世タービダイトからなる。

その形態および形成史については W. R. NORMARK および D. J. PIPER らによって70年代初めより精力的な研究がなされてきた。以下では PIPER & NORMARK (1983) NORMARK & PIPER (1984) にもとずき本海底扇状地の特徴を述べることにする。

Navy Fan は その分布が地質構造に規制され不規則で構造的に活発な堆積盆に堆積した海底扇状地である。なかでも Upper Fan は北西—南東性の海嶺の構造規制によって強く地形的制約をうけている。扇状地は周辺の地形によって堆積盆の広がり制限され三角形をなしており典型的な放射状またはコーン状の扇状地形をなしていない。扇状地全体の面積はおよそ560km<sup>2</sup>におよぶ(第4図)。海底谷から供給された堆積物は構造規制をうけたこのような地形を埋積しさらに下流に位置するトラフ底へとプログレードしていく。

#### 上部扇状地

自然堤防の未発達な侵食性の深い海底谷(フィーダーチャンネル)から幅が広く比較的まっすぐで自然堤防のよく発達する浅い谷へと海底谷の特徴が移り変わる場所が大斜面から上部扇状地への変換点である(第4図)。

上部扇状地では単一海底谷が扇状地の中央部に位置しており他の多くの扇状地で見られる様に海底谷の右岸が左岸にくらべ幾分高くなっている。上部扇状地の勾配は13.3/1000-9.6/1000である。扇状地上に位置する海底谷は幅がその最上部で1.2km 中部で0.8km 自然堤防の高さはおおよそ15mになる。海底谷とそれに伴い発達する自然堤防をあわせた複合体の幅は4ないし5kmにおよびその面積は上部扇状地全体のおおよそ1/2を占める。残りの地域は主として細粒堆積物からなる半遠洋性起源の堆積物とチャンネルより溢れてた汎濫性の堆積物からなるチャンネル周辺堆積物が覆っている。

主として砂質の堆積物が堆積する上部扇状地の表層構造についてはまだ十分な資料が得られていない。しかし自然堤防ならびにチャンネル底ではその表層が凸凹地

形を示しており幾つかの場所で深さ4から8m 幅50から100mの船底状のくぼ地が認められる。このような凹凸構造は流速の大きな流れの存在を示す証拠と考えられている。またよく発達した自然堤防の存在はこの海底谷が極めて活動的であることと多量の堆積物がこの谷より溢れ出していることを示している。

#### 中部扇状地

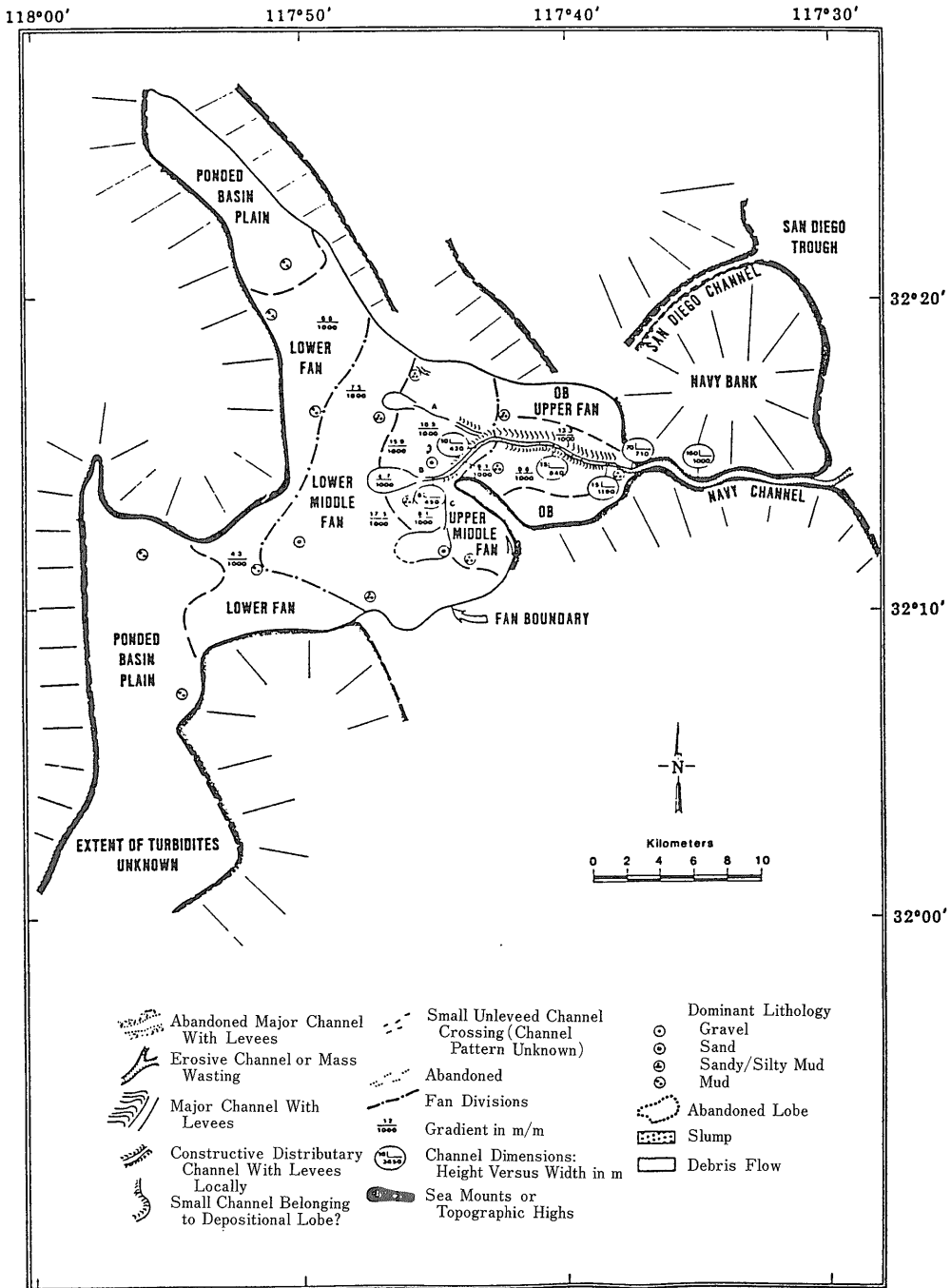
中部扇状地は海底谷が二つに分枝する地点を境に上流の上部扇状地と地形上区分されている。中部扇状地の占める面積は100km<sup>2</sup>以上にのぼり Navy Fan の最も広い範囲におよぶ。勾配はその上部で18.5/1000から7.5/1000で幅広く深さ20m 幅400m程度のスコアー(scour)状の地形がいたるところにみられ全体として起伏に富む。

上部扇状地より連続した海底谷は中部扇状地に入るとその幅も450m前後と狭まり谷底から自然堤防までの高さも10mから5m前後と一段と低くなる。そしてハンモッキー状の起伏をなすロウブへと連続しそこで消滅する。

Navy Fan 中には三つの分枝海底谷(distributary channel)が認められる。しかし上部扇状地より連続して谷地形として追跡されうるのは中央に位置する海底谷だけで残りの二つの谷は自然堤防と思われる堆積物の高まりによって中央の海底谷と境され地形的に上部扇状地から連続する谷筋とは続いていない。つまり現在活動している海底谷(distributary channel)は連続してつながる一つだけと考えられる。したがって残りの海底谷には現在砂などの粗粒碎屑物は供給されず中央の活動的の海底谷を流下する際にあふれてた堆積物が堆積しているに過ぎないと解釈される。

ロウブは幅数km 厚さ10m程度の堆積体からなる高まりで中部扇状地の中に複数個その存在が認められる。この興味深い地形は主として砂質堆積物よりなる。その表面は滑らかでこれといった侵食地形は認められない。復元結果(第5図)をみると現在までに6つのロウブの形成過程が明らかにされているがそれらの規模はほぼ似かよったものとなりこれらが集まってさらに一つの大きな堆積体(シュブラファン)を形成している。

しかしチャンネルとその末端に位置するロウブによって占められる地域は中部扇状地全域の20%に過ぎない。その他はフルート型の凹地やハンモック型の凸地で特徴づけられた小規模の地形が発達する地域からなる。この地域はチャンネルから溢れてた流れが堆積する場で侵食と堆積が同時におこなわれている。前者によってフルート型の凹地が後者によって自然堤防やたぶ

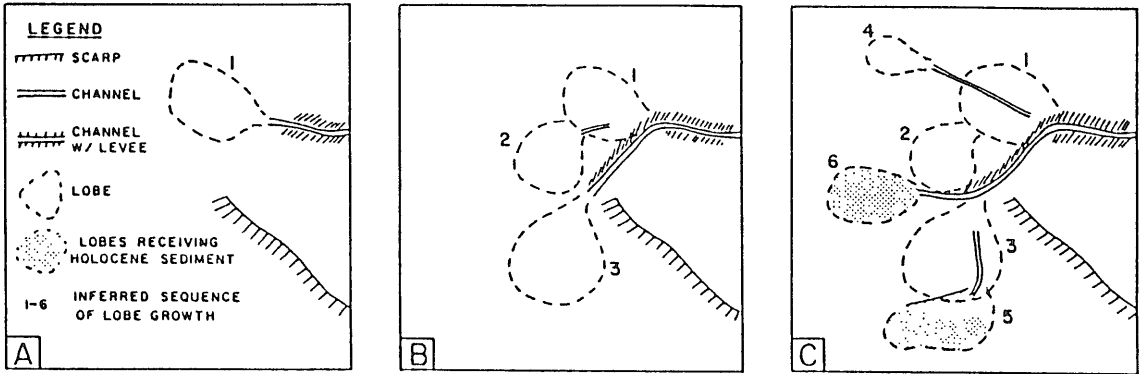


第4図 Navy Fan 内部の形態と地形 (NORMARK & PIPER, 1983 を一部改修)

んハンモック型の凸地が形成されると考えられる。

ここで述べたロウブとチャネルとの関係は Navy Fan の形成にとって重要な意味をもつ。第5図に示されたようにチャネルに沿って運搬された多量の砂質堆積物

はチャネル前面で急速な堆積作用(いわゆるフリージング)を開始し、凸状の堆積地形であるロウブを形成発達させる。その結果海底谷末端の流路は高まり、次により低い凹地に流路移動が引き起こる。そのため地



第5図 Navy Fan におけるロウブとチャンネルとの形成発達史 (NORMAK & PIPER, 1983より) 説明は本文を参照

形的には ロウブの前面で流路が急激に屈曲したようになり つづいて 新たな場所に新たなロウブが形成され始める。このような流路の移動は繰り返し起こり それに伴いロウブが並列し 全体として扇状地形が形成されていく。

#### 下部扇状地

水深1890m付近より扇状地形は不明瞭となり チャンネルや凹凸状の地形が姿を消し全体としてなだらかな地形へ移り変わる。下部扇状地のはじまりである。上部扇状地や中部扇状地にくらべこの下部扇状地はなんら特徴的地形をもたず面積的にも小さい。より下方に位置するベースンプレーンへと地形的には漸移し その境界は不明瞭である。

#### b) Mississippi Fan

Mississippi Fan は Mississippi 河の河口 メキシコ湾東部にひろがる巨大な海底扇状地である。その外形は一見扇状地をなしているようにはみえない。しかし MOORE *et al* (1978) をはじめ近年研究が進み DSDP Leg 96 等によって海底扇状地としての特徴が明らかとなってきた。ここでは BOUMA *et al.* (1983:1984) FEELEV *et al.* (1984) および KASTENS & SHOR (1985) を中心とし Mississippi Fan の概要をのべることにする。

Mississippi Fan (第6図) は その東を West Florida Escarpment 北西を Sigsbee Escarpment 南を Campeche Escarpment といった3つの Escarpment にかこまれた場所に位置している。水深は1200-3400m その広がりや300000km<sup>2</sup> 容積は290000km<sup>3</sup> に達し さきの Navy Fan の500倍以上に達する巨大な扇状地である。海底扇状地をつくる主たる堆積物は更新統よりなり 完新統の泥質堆積物がこれを薄く覆う。扇状地をつくる堆積物は 全体として細粒な堆積物が卓越する砂

／粘土比の小さな扇状地といえることができる。

もっとも新しい時代の海底扇状地は その地形的特徴より (1)Upper Slope Canyon; (2)Upper Fan Lobe; (3)Middle Fan Lobe; (4)Aggradational Lower Fan Lobe の4つの部位に区分される (第6図)。

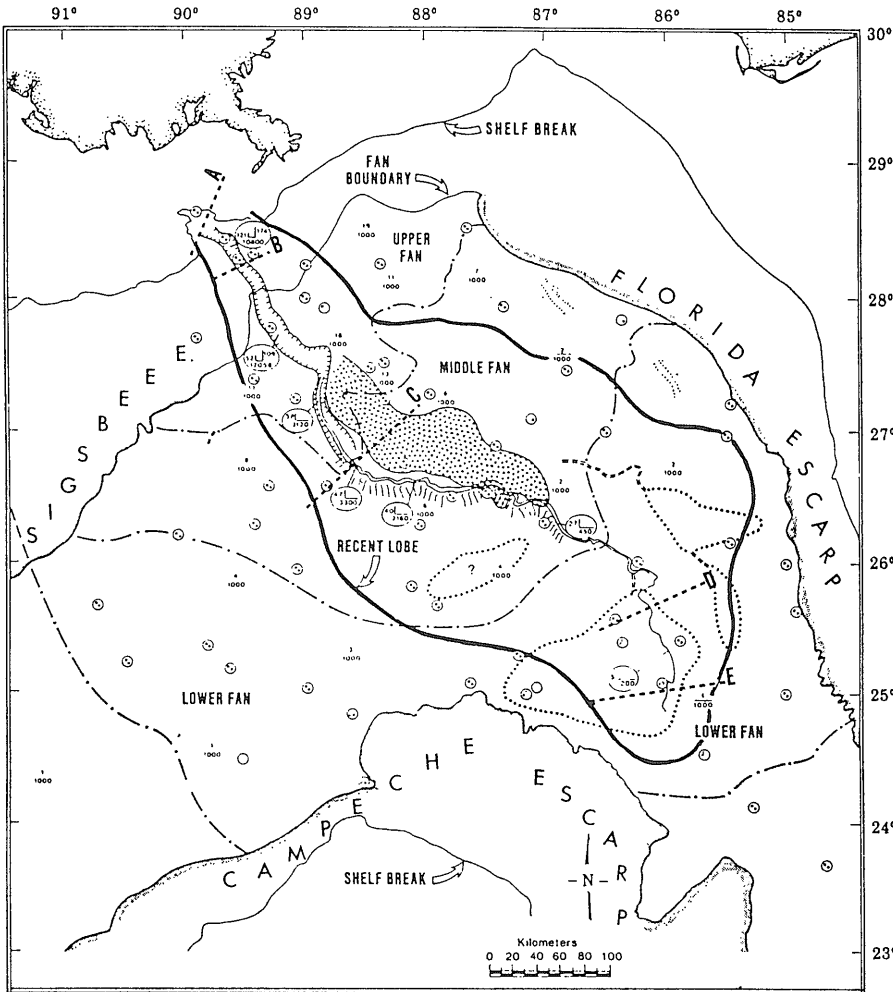
#### Upper Slope Canyon : Mississippi Canyon

現在の Mississippi Canyon は Mississippi Fan 全体を形成したフィーダーチャンネルとして活躍したのではなく 比較的新しい時代に入って作られたものである 海底谷は 幅10kmで平均150m前後の深さをもち その谷頭は巨大な Mississippi Delta の下部に連結している。平均谷勾配は11/1000である。

最近のボーリングコアの検討結果によれば この海底谷は 25000-27000年 B. P. ころから形成され 20000年前後には谷地形の埋積が始まっている。したがって谷地形の形成は 非常に短時間におこなわれたことになり 海水準の低下時に生じる巨大規模の海底地滑りがその成因として有力視されている。

#### Upper Fan Lobe

Upper Slope Canyon からこの Upper Fan Lobe へは水深1200m付近で移り変わる。Upper Fan Lobe は伸びた堆積物のマウンドからなる (第6図)。マウンドの中央に沿って幅25kmのカットアンドフィル構造を示す海底谷が見られる。海底谷の幅は最大で12km 谷幅に対する深さの比は32:1で 場所によって谷幅は変化に富む。海底谷に沿って形成されたこれらのマウンドはタービディティーカーレントによって運搬された粗粒堆積物(主としてチャンネル充填堆積物)とやはりタービディティーカーレントとしてチャンネルより溢れた細粒の堆積物から構成される。したがって海底谷に沿って発達するマウンドは 主としてタービディティーカーレントによって運搬された海底谷充填堆積物と海底谷をあふれだしたフローとして海底谷周辺へと流れだし堆積したチャ



第6図  
Mississippi Fan の形態  
太い線で囲った部分が最  
も新しい扇状地を示す  
(BOUMA *et al.*, 1983 を一  
部改修)

- |  |   |  |   |  |                    |
|--|---|--|---|--|--------------------|
|  | Abandoned Major Channel With Levees                   |  | Small Unleveed Channel Crossing (Channel Pattern Unknown) |  | Dominant Lithology |
|  | Erosive Channel or Mass Wasting                       |  | Abandoned   |  | Gravel Sand        |
|  | Major Channel With Levees                             |  | Fan Divisions   |  | Sandy/Silty Mud    |
|  | Constructive Distributary Channel With Levees Locally |  | Gradient in m/m   |  | Mud                |
|  | Small Channel Belonging to Depositional Lobe?         |  | Channel Dimensions: Height Versus Width in m              |  | Abandoned Lobe     |
|  |   |  | Sea Mounts or Topographic Highs                           |  | Slump              |
|  |   |  |   |  | Debris Flow        |

ネル周辺堆積物との複合堆積体と考えることができる。  
他方 マウンド以外の場所では半遠洋性堆積物ならびにスランプ性の堆積物が堆積しており 海底谷から溢れでた堆積物(タービダイト)はほとんど届いていない。したがって 地形として現れるマウンドとマウンド以外の平坦面との境は 海底谷に沿って流れ下るタービディティーカーレントの届く限界をあらわすことになる。

**Middle Fan Lobe**

第6図に示すように Upper Fan Lobe から Middle Fan Lobeへは 水深約2000-2400m付近より移りかわる。Middle Fan Lobe は 幅200km 厚さ400mになる全体としてもありあがったマウンド地形を呈し その頂部に沿って幅10-20kmの堆積性のチャネルの複合体が存在する。Middle Fan Lobeは 放棄または活動中のチャネルを埋積する砂質タービダイトと自然堤防や氾濫源となるチャネル周辺域の泥質タービダイトから構成されている

る一連の複合堆積体である。したがって先に述べた Navy Fan のロウプとチャネルとのそれとは異なった特徴を示している。

このチャネル複合体中には幅2から4km 深さ25から45m の自然堤防の発達した蛇行チャネルが認められる。チャネル複合体の内部には流路の放棄によってできる三ヶ月湖や“凹凸構造 (ridge and swale)” さらには“サンドウェーブ”や“バー”の形成がサイドスキャンソナーに写しだされている。このような地形的特徴は陸上河川の氾濫源のそれとよく類似している。

チャネル複合体は上流(幅と厚さの比; 375:1)から下流(650:1)へとその厚さを減じていく。このことはチャネルに沿って流れるタービディティーカーレントの碎屑物運搬量の減少を反映している。他方チャネル複合体間にはスランプ性堆積物から転化したと考えられるデブリフロー堆積物が堆積している。

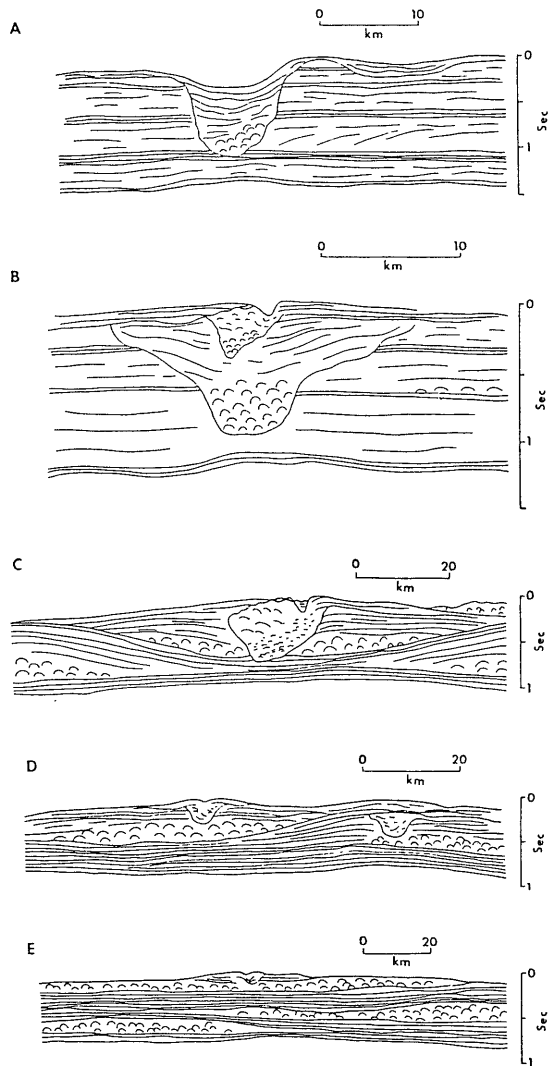
#### Aggradational Lower Fan Lobe

Middle Fan Lobe から Lower Fan Lobe へは水深3100m付近で移りかわる。Lower Fan Lobe の中央部には Middle Fan Lobe より連続する海底谷がある。しかし深さ5mから10m 幅500mと規模が減少している。またチャネルの蛇行も規模の減少に伴い緩やかになってくる。単一チャネルに沿ったオーバーバンクレビー (overbank levee) と考えられる高まり (Low Topographic Ridge) も徐々にその規模を減じながらも追跡される。

音波探査記録(第7図)によれば Lower Fan Lobe 上の現世チャネルの流路の脇には放棄されたかつての大規模な単一チャネルの流路が痕跡として残っておりあわせてチャネルに沿ってオーバーバンクレビーを含むチャネル周辺堆積物の存在が読み取れる。このことは Lower Fan Lobe の形成に際して古くから単一チャネルが重要な役割をなしていたことを示している。

一方この高まりの外側には不規則で小規模な地形の凹凸が認められる。それらの中にはデブリフローによる舌状堆積体やたぶん局地的な海底地滑りによって形成されたと解釈されるもの。また脱水による泥火山と考えられる中央に穴をもつ円形状の凸地形などがふくまれている。このようにチャネル周辺域には様々な微地形が発達しており一般に予想されるようなチャネル末端での砂シート (sand sheet) が作りだす平坦な堆積地形をみることはできない。

以上述べたように Mississippi Fan では Upper Fan Lobe より Lower Fan Lobe にかけてタービディティーカーレントによって運ばれる堆積物がチャネル内部やその周辺のマウンド状の堆積物として消費されそれ

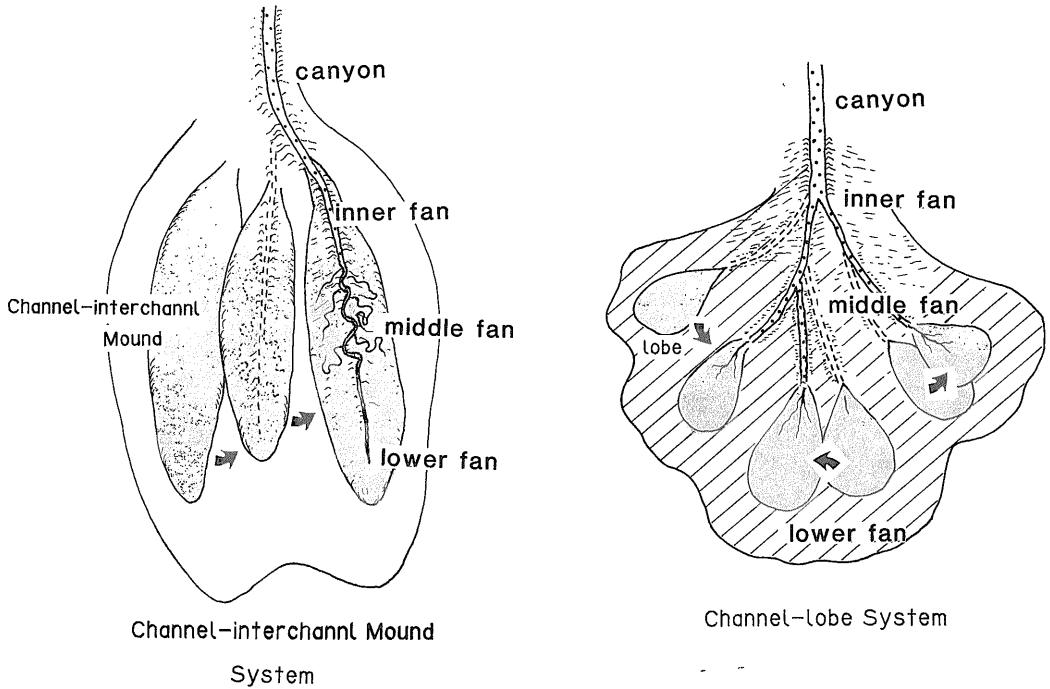


第7図 Mississippi Fan を上部から下部にかけて切った音響断面のスケッチ(断面の位置は第6図に示す)チャネル複合体が下部扇状地末端付近(E)まで連続して追跡できることが読み取れる。(BOUMA, COLEMAN *et al.*, 1983/1984 より)

外の場所ではタービダイトではなくスランプ堆積物やデブリフロー堆積物が主として扇状地を覆う。

Mississippi Fan をみると扇状地形成プロセスとして重要なのは単一チャネルとそれに伴うチャネル周辺堆積物の側方移動であろう。つまり単一チャネルが側方へと移動するのに平行してチャネルに伴い形成される幅広いマウンド状堆積物も側方移動する。その結果幾つかのマウンド状堆積物が側方に重なりあうことでひょうたんのよりのびた扇状地形が作られていく。





第8図 海底扇状地の二つのタイプの概念的スケッチ図

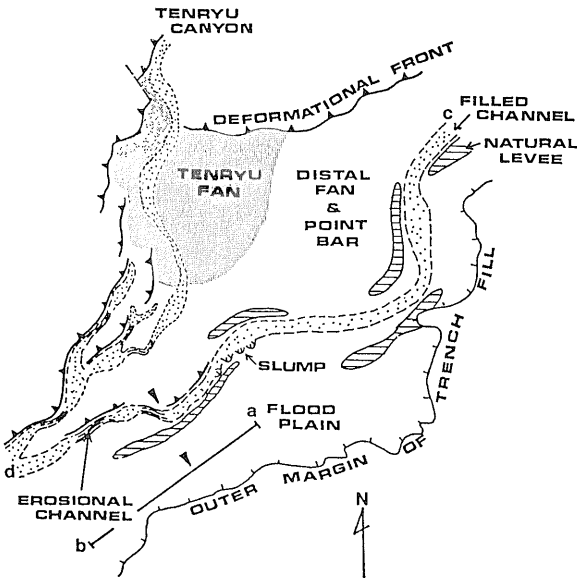
c) 海底扇状地の二つのタイプ

上述された二つの海底扇状地はその地形および堆積様式において大きく異なっている。それぞれの海底扇状地の特徴をまとめ第8図に示す。Navy Fanを代表とする channel-lobe 系に属するタイプは 地形的に整っ

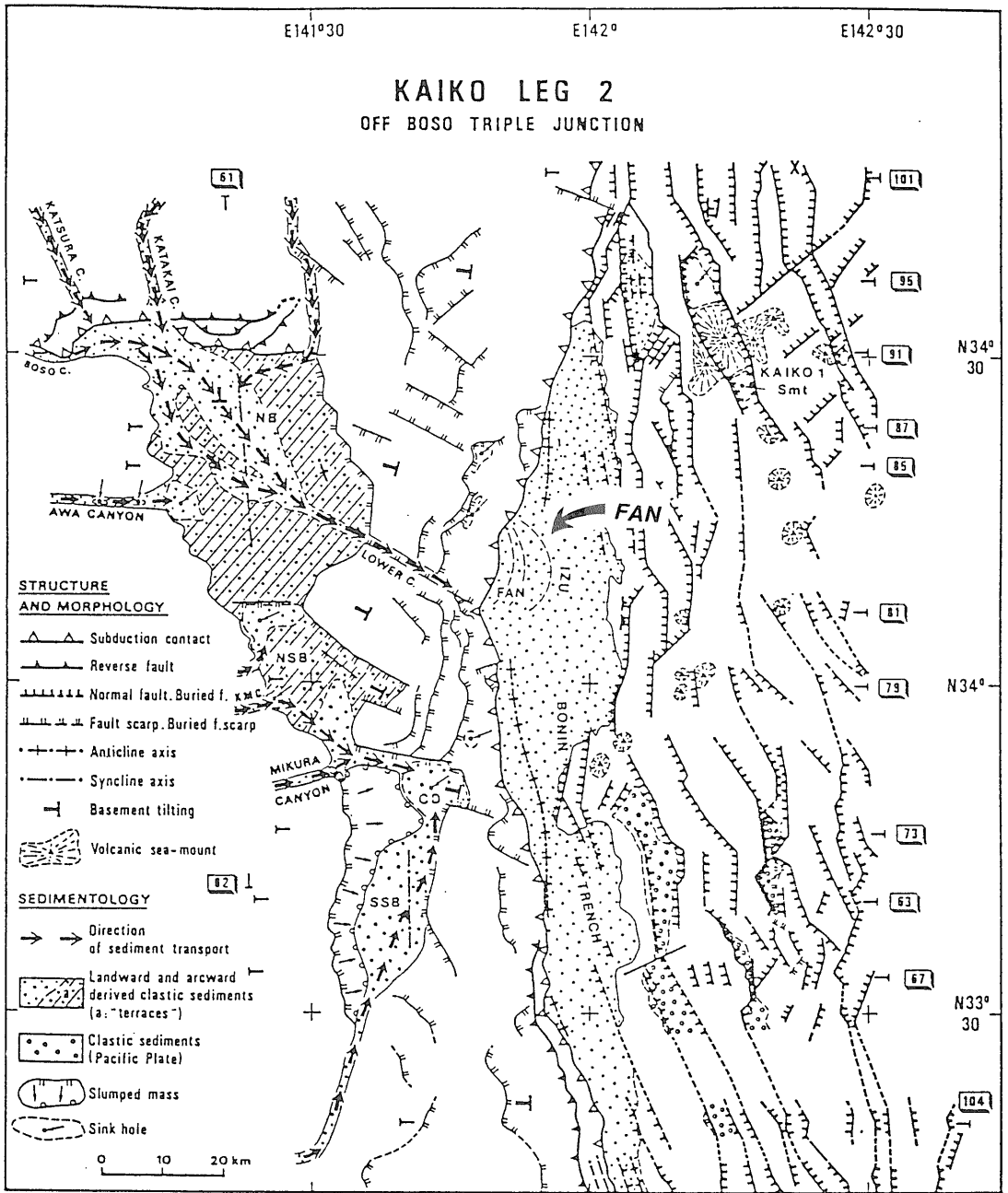
た扇状地形をなしているため海底扇状地として古くから注目され研究がなされてきた。このタイプの海底扇状地は主としてタービダイトを主体とする砂質優勢の碎屑物から構成される。大規模な海底谷の末端に発達することが多く 海底扇状地は頂部を中心に半円状にひろがった典型的扇状地形を呈している。中部扇状地には単一海底谷から分枝したチャンネルが発達し そのターミナルには主として砂質の堆積ロウプが形成される。このようなロウプは幾つか重なり複合体を作る。そのため地形的に凸状の盛り上がり (Suprafan) が形成される。NORMARK (1970) によって復元された堆積プロセスがよくあてはまるのはこのタイプの海底扇状地で チャンネルとロウプとが側方移動することで 主としてロウプによる凸状地形によって放射状の扇状地形が形作られる。

この Channel-lobe 系のタイプにはすでに述べた Navy Fan 以外に San Lucas Fan La Jolla Fan Redondo Fan などが含まれる。また日本周辺では天竜海底谷の末端に位置する天竜海底扇状地 (Le PICHON, IYAMA *et al.*, in press : 第9図) や東京海底谷に連なる海底扇状地 (SHEPARD *et al.*, : 1964) 三重点上に位置する海底扇状地 (RENARD, NAKAMURA *et al.*, in press ; 第10図) もこのタイプに属するものと考えられる。

このタイプの海底扇状地は 他にも radial fan 砂質扇状地 低効率 (low-efficiency) 扇状地 小規模扇状地



第9図 天竜海底扇状地の位置と隣接する南海トラフ内部の微地形 (Le PICHON, IYAMA *et al.*, in pressより)

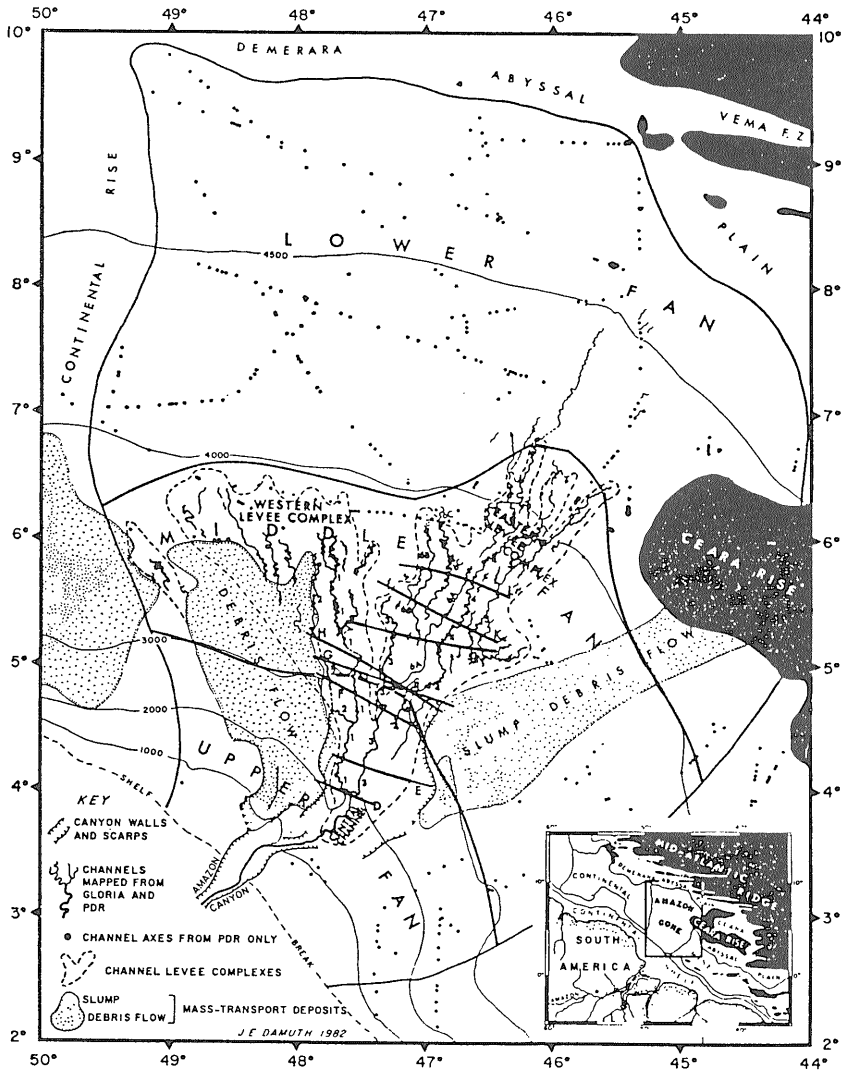


第10図 海溝三重点上に位置する海底扇状地 (RENARD, NAKAMURA *et al.*, より)

ないしは限定扇状地などと呼ばれることがある。

もう一つのタイプである Channel-Interchannel mound 系に属するタイプは その外形が長くのび 一般に扇状地形が明確でない。上述の Mississippi Fan の他にも Ebro Fan (NELSON *et al.*, 1984) Bengal Fan (EMMEL & CURRAY, 1984) Amazon Fan (DAMUTH *et al.*, 1983) な

どに代表されるように 大規模な海底扇状地を形成することが多い。このタイプの海底扇状地では 一般に泥質碎屑物が卓越する。扇状地を構成する堆積物には スランプ堆積物やデブリフロー堆積物がよく発達することも特徴の一つにあげられよう。トリビュータリーやディストリビュータリーチャンネルが複雑に発達し



第11図  
Amazon Fan の形態と地形  
(DAMUTH *et al.*, 1983 より)

ており 蛇行チャンネルが認められるのもこのタイプに多い。Mississippi Fan 以外に第11・12図で示した Amazon Fan の場合 (DAMUTH *et al.*, 1983) のように このタイプの海底扇状地では チャンネルとそれに伴うひょうたんのよう長くのびたマウンド状堆積物(チャンネル充填堆積物・自然堤防およびチャンネル周辺堆積物の複合体) が側方移動することによって扇状地形が作られていく。したがって 扇状地を構成する堆積物は 例えば下部扇状地であっても チャンネル充填堆積物とチャンネル周辺堆積物が卓越し Channel-lobe 系において扇状地形形成上重要な役割をはたす砂質のロウプ堆積物を基本的には欠くことになる。

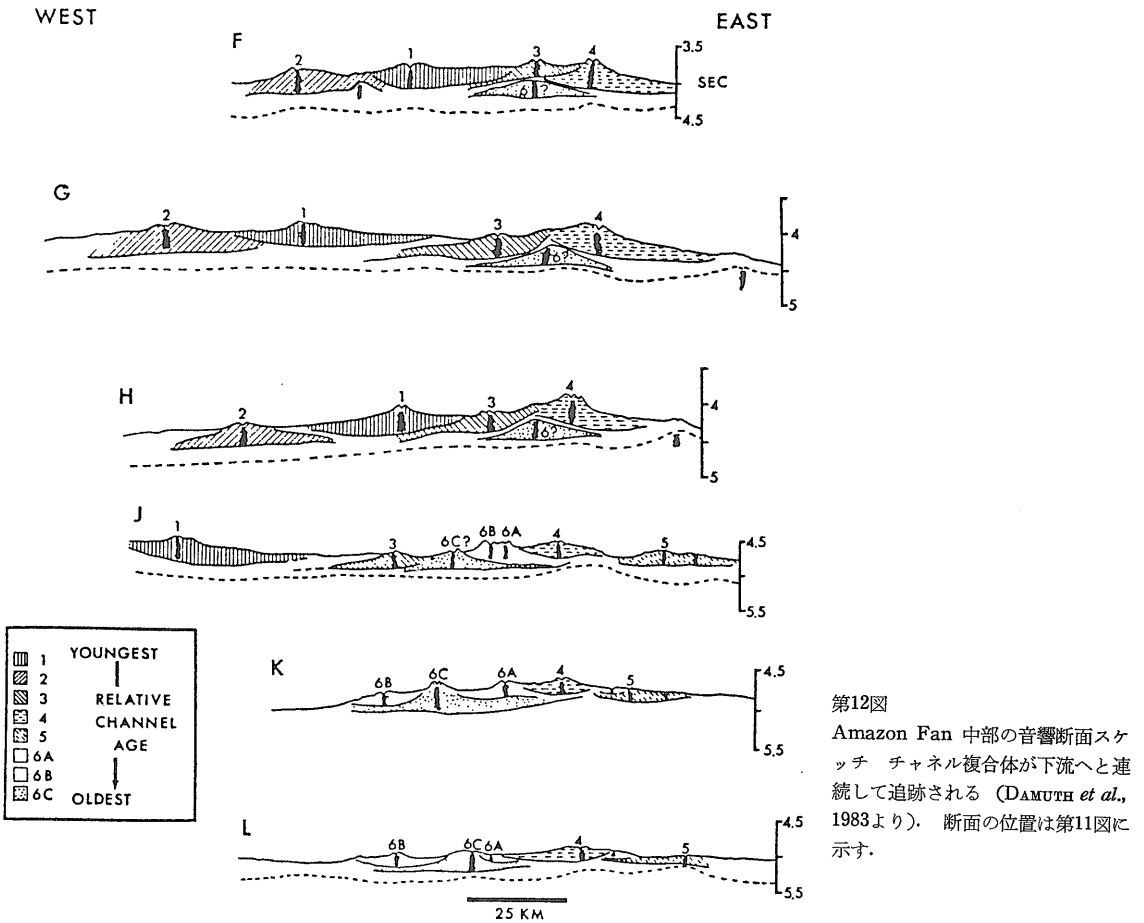
Channel-Interchannel mound 系のタイプは 他にも 泥質海底扇状地 高効率 (high-efficiency) 海底扇状

地 大規模海底扇状地などと呼ばれることがある。

扇状地形をなし厚い堆積物が堆積する場として定義される海底扇状地は 以上述べてきた様に 形成プロセスや地形的特徴の異なる二つのタイプに区分しうる。

#### 4. 海底扇状地の二つのタイプとテクトニクスセッティング

現在海底扇状地が形成されるテクトニクスセッティングとして passive margin (紅海 カリフォルニア湾など) convergent margin (南海トラフ アリューシャン海溝など) transform margin (カリフォルニアコンチネンタルボーダーランド ベネゼーラ沖など) さらに back-arc margin (フィリピン海など) や intraoceanic basin (ベーリング海など)



第12図

Amazon Fan 中部の音響断面スケッチ。チャンネル複合体が下流へと連続して追跡される (DAMUTH *et al.*, 1983より)。断面の位置は第11図に示す。

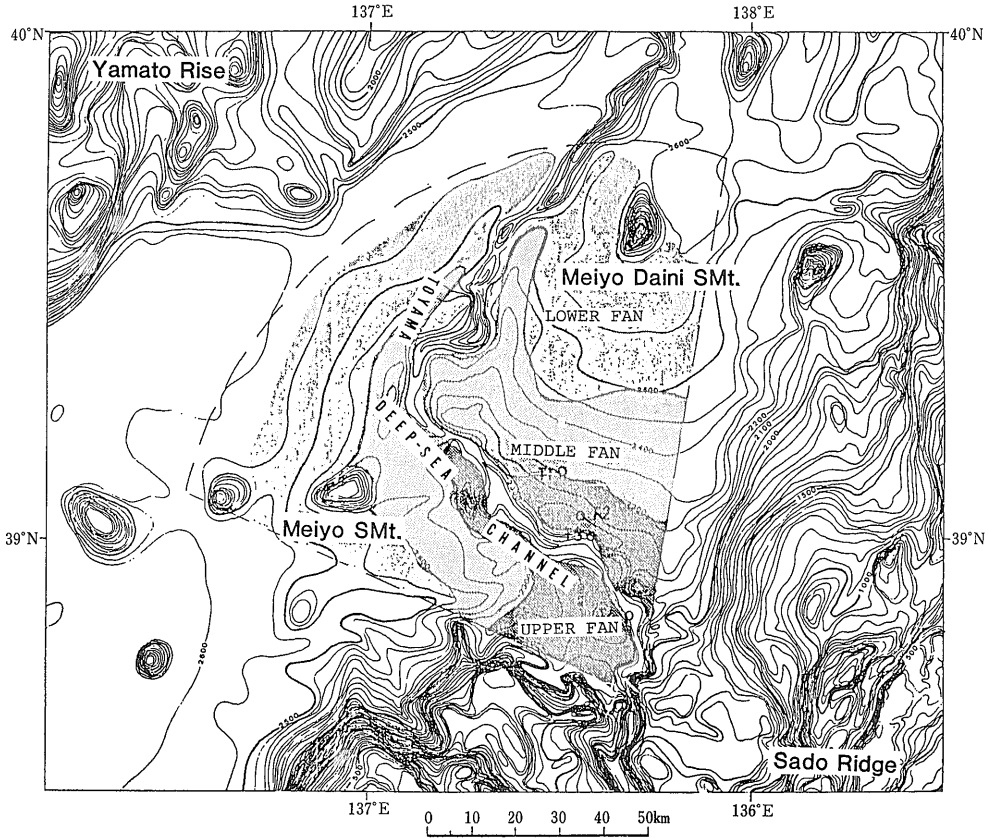
があげられる (Stow *et al.*, 1984)。このようなテクトニクスセッティングの違いは供給地の隆起量とそれに伴い供給される量、供給経路系の形態および堆積盆までの勾配と堆積盆の形態といった条件に大きな影響を与え、さらには地震などの堆積物重力流の引きがね様式に至るまで多くの性質がそれぞれのテクトニクスセッティングによって支配されている。

日本周辺を見渡すと、海底扇状地を形成するセッティングとして convergent margin のそれと back-arc margin の二つが認められる。前者の例として現在の南海トラフにある天竜海底扇状地があげられる (第9図)。扇状地の直径はおおよそ 20km と比較的小規模ではあるが明瞭な扇状地形を示している。その地形の特徴等より Channel-lobe 系に属す扇状地と考えられる。

隆起の著しい赤石山地が主要供給地として控えていることから判断すると、扇状地へ碎屑物は十分多量にもたらされているものと思われる。しかし扇状地の規模は小さく貧弱な感がある。大規模に発達した扇状地形が認められない原因として、フィリピン海プレートの沈

み込み速度に規制されたということが考えられる。すなわち供給される堆積物の量にくらべ沈み込み速度が十分早いと十分な量の堆積物が供給されても大規模な扇状地を作りあげるまえに付加されてしまったり (Soh *et al.*, in preparation) 変形して側方に細長くのびたラクビーボールのような扇状地を作りあげてしまうことになる (Schweller & Kulm, 1978参照)。実際に多くの例 (Renard, Nakamura *et al.*, in press など) をみてもプレートの沈み込みに伴う構造規制を強く受けた海底扇状地では規模の大きな扇状地形の発達をみない。

他方 Back-arc margin の例としては富山海底扇状地が上げられる (第13図)。この扇状地は先の Channel-lobe 系のタイプの扇状地とは異なりむしろ Channel-Interchannel mound 系のタイプの海底扇状地に分類されるものであろう (徳山 私信 1986)。富山海底扇状地は大和堆の以南と以北に二つの扇状地形を有している。そのうち比較的調査の進んでいる以南の扇状地はその直径が100km以上にも達し、自然堤防のよく発達した海底扇状地が下部扇状地まで追跡される (Nash,



第13図 富山海底扇状地の内部形態と地形 (NASH, 1981 を一部改修)

1981). 扇状地は全体に泥質で その形成は 50 万年前から開始された (徳山 & 末益, 1987). 背弧海盆のリフティングの段階で地塊化した大和堆等によって海底地形が規制されているものの全体として先のべた天竜海底扇状地のような激しい構造規制は受けていない。

### 5. 海底扇状地以外のタービダイト堆積盆

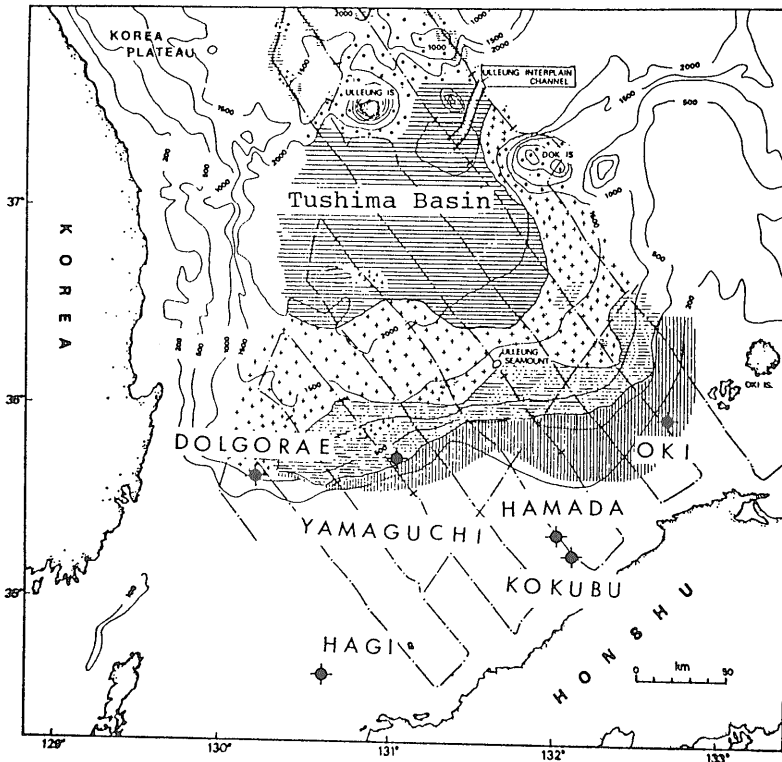
従来 タービダイトが厚く堆積するのは海底扇状地であると考えられてきた。しかし 上述のような海底扇状地以外にも実はタービダイトが厚く堆積する場が幾つかある。このような扇状地を作らないタービダイト堆積盆をここでは非扇状地性のタービダイト堆積盆 (non-fan turbidite basin) と呼ぶことにする。現在までに明らかにされている非扇状地性タービダイト堆積盆をみるとやはりこれにも幾つかのタイプがあるように思われる。このような非扇状地性のタービダイト堆積盆についての理解は 海底扇状地の理解を深める結果となりうる。以下に非扇状地性タービダイト堆積盆について紹

介し 海底扇状地との違いについて考えてみたい。

#### a) ラインソース (線状供給源) によるタービダイト堆積盆としての Tushima (Ulleung) Basin

Tushima Basin は縁海ないし back-arc の堆積ベーズンの典型例の一つである。現在では 日本海のオープニングによって生じた堆積盆と考えられている。海底地形 (第14図) を眺めてみると判るように この堆積盆は西側が朝鮮半島に沿ってのびる大陸棚と接し 東に隠岐バンク さらに 南には山陰地域よりのびた幅広い大陸棚によって囲まれている幅250km以上にもなる長方形の堆積盆である。Tushima Basin 内は海底面が一般に平坦で 北方の朝鮮プラトーに向かって徐々にその深度を増す傾向にある。

TAMAKI *et al.* (1978) によると 本堆積盆には下位より新第三系の半遠洋性堆積物とこれを覆い主として更新統のタービダイトが堆積している。このタービダイトの厚さは平均で 600m に達し 現在の海底地形にそうように北側にむかってその層厚が薄化する。また 海底



第14図  
Tushima Basin の地形と堆積相  
(CHOUGH *et al.*, 1985 を一部改修)

ボーリングの解析結果(第15図)もこれと同様な結果をしめしている。一方厚く発達したタービダイトは含まれる重鉱物の検討結果より西方ないし南方よりもたらされたと考えられている(BANK & CHOUGH, 1983)。このような供給方向は、充填堆積物が示す層厚変化をうまく説明する。しかしより深い大和ペーゼンへと伸びるUlleung interplain channelを除けば、これといった海底谷や海底扇状地が発達しておらず過去に存在した証拠もない。

他方 CHOUGH *et al.* (1985) は 3.5kHz のプロファイルの解析結果より Tushima Basin を充填する堆積物を五つの堆積相(陸棚ソークエンス・ロックフォール相・スライドおよびスランプ相・デブリ相およびタービダイト相)に区分し、それらが大陸棚側から北方の深海ペーゼンに向かって帯状配列していることを示した。そしてこのような堆積相の移化過程は、大陸棚から崩壊しデブリフローを経てタービディティーカーレントへと移りかわる一連の運搬堆積プロセスの反映と考えた。

以上のことは、この堆積盆に堆積するタービダイトが堆積盆を取り囲む周囲の大陸棚からスランプおよびデブリフローを経て万遍なく多方向からもたらされたことを示しており、Tushima Basin が多方向からの供給を受けるラインソースの特徴をもつタービダイト堆積盆で

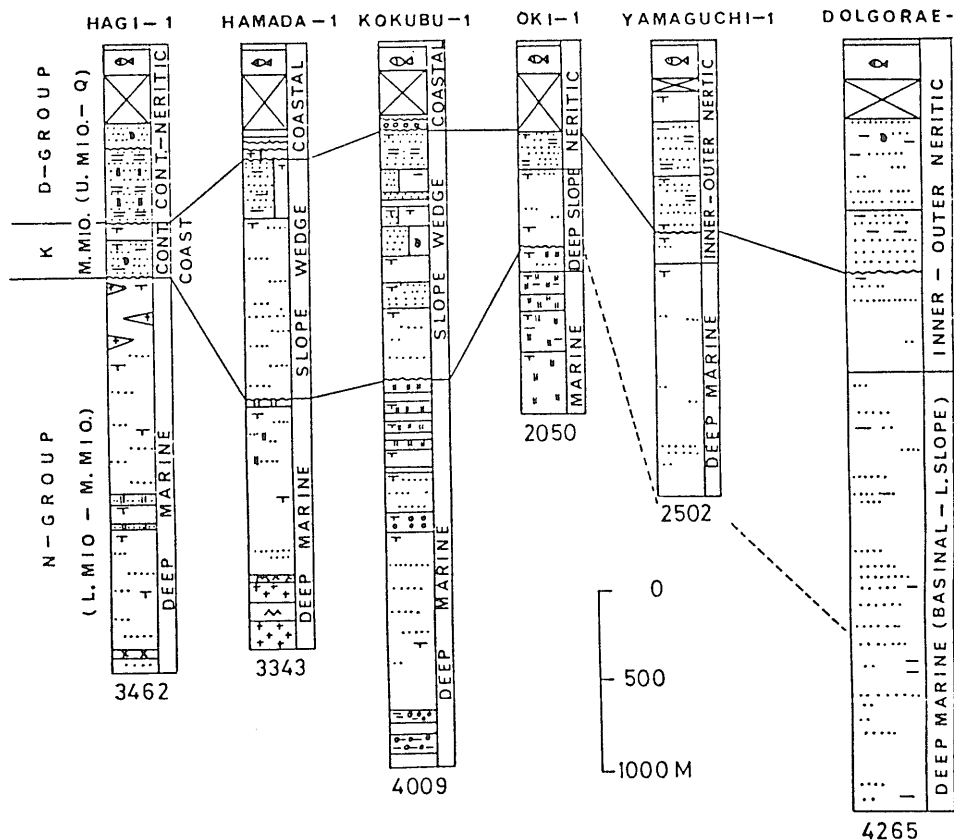
あることを示唆している。その意味で Tushima Basin は単一海底谷というポイントソースから堆積物が主としてもたらされる海底扇状地堆積盆とは異なっている。したがって非扇状地性タービダイト堆積盆に属するものと考えられる(CHOUGH *et al.*, 1984: 1985)。

#### b) スロープエプロンのタービダイト堆積盆としての相模エプロン

タービダイトが堆積する環境のなかでスロープエプロンの占める位置は決して小さなものではない。それは大陸棚と堆積盆底の間にあって比較的急傾斜な斜面上に形成されるエプロン状の高まりをなして堆積している。

関東山地および丹沢山地等の隆起の著しい山地をその背後に有する相模トラフは、酒匂川および桂川等の河川から多量の碎屑物がもたらされるトラフである。この相模トラフの北端の斜面に粗粒堆積物を主体とする厚い堆積物重力流による堆積物が厚く堆積している(KAGAMI & OTSUKA, 1980)。

大塚(1985)によれば、相模トラフ北端の海底地形は上部斜面域(水深100mから250m位まで)、中部斜面域(500mから1100mまで)および下部斜面域(1100m以深の地域)の三つの地形的特徴をしめす部位に区分される。このうち上部斜面域は酒匂川を作るファンデルタ下部



第15図 Tushima Basin 南部のボーリング柱状図と堆積相の解釈堆積物は、南方へと薄化する傾向がよみとれる (BARG. 1986 より).

(デルタスロープ)に相当する地域である。ピストンコアによって採取された上部斜面域の表層堆積物は主として砂礫といった粗粒碎屑物よりなり 表層部には泥が分布する。

スロープエプロンは中部および一部下部斜面域にまたがってみられる (第16図)。中部斜面域 特に酒匂川南部のような碎屑物の供給が活発な地域では 細かな海底谷地形は消え去り 全体として大きく滑らかな盛り上がり(幅200-800m 高さ20m程度)を示すスロープエプロン状の地形が発達している。より深い地域では海底地滑りの頭部と解釈される半ドーム状の急崖が認められ 主たる海底地滑りのはじまりの地域であることを示唆している。中部斜面域の傾斜は6°から3°である。中部斜面域にて得られたピストンコア 試料 (東大海洋研資料 KT 77-2-2 同2-3 同2-4 同2-6 KH78-5-G E3:大塚 1985 参照) をみると 中部斜面域に堆積する堆積物は 主として含礫粗粒砂からなる厚層タービダイト(厚さ1.5-2m)である。砂/泥層厚比は20以上にもなる。

下部斜面域では リッジとスエルの波状地形 (波高数m以内 波長200-500m位) が一面に広がり全体として起伏の変化が小さくなる。また 斜面をなす勾配も小さく全体としてその傾斜は3°以下になる。下部斜面より得られたピストンコア試料 (KT 77-2-8 同2-5および KH 78-5-G E2 同G E4:大塚 1985参照)によると この地域の堆積物は 細粒砂よりなるタービダイトを主体とし しばしば厚層(厚さ80cm程度)タービダイトおよび半遠洋性堆積物を狭在する。砂/泥の層厚比はほぼ1になる。泥質堆積物中にはしばしば植物片が多量に含まれる。

スロープエプロン性の堆積物は中部斜面域において厚く地形的にも盛り上がり 下部斜面域にむかってその厚さを急激に減ずる性質がみられる。この層厚変化はタービダイトの層厚の変化と対応するものであろう。

スロープエプロンをなす堆積物はファンデルタが作るデルタスロープ以深にあって 海底扇状地へと多量の碎屑物を供給する単一海底谷の谷頭はこのスロープエプロ

ン性堆積物の分布域の末端に位置している。

次に このスロープエプロン上に位置するチャンネルシステムについてみる。 海底地形図を眺めてみるとスロープエプロンに認められるチャンネルは 上部斜面域より下部斜面域へと小規模なチャンネルが次々と合流し最終的に規模の大きな海底谷へと成長していく。 このようなチャンネルパターンは 陸上河川の上流域にみられるトリビュータリーチャンネルの特徴と類似しており 扇状地や海底扇状地にみられるような下流にむかって分枝し 広がるディストリビュータリーチャンネルのそれとは明らかに異なった様式を示している。

大規模なスロープエプロン性堆積物は 他にも 現在多量の碎屑物が陸域より供給されると同時に 地形的にも急峻な場である駿河トラフ北縁にも認められる (大塚 1987)。 また 南部フォッサマグナ地域を構成する地層としてもこのような堆積物が存在すると思われる。

## 6. 海水準の影響

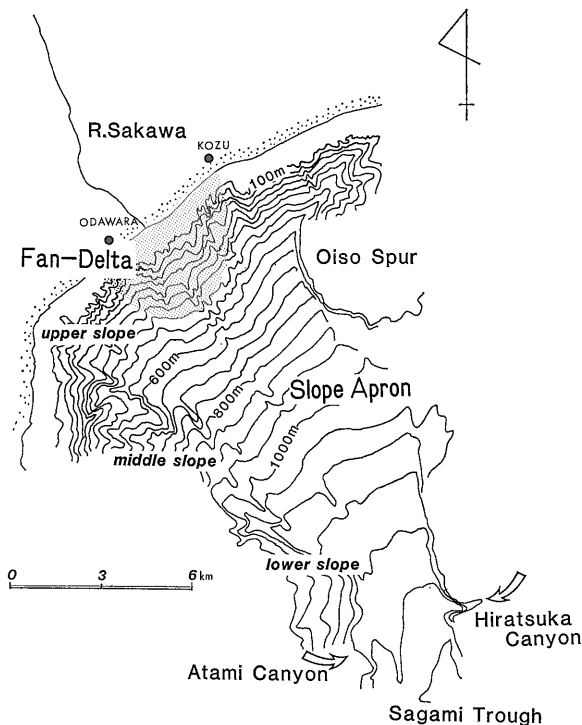
第四紀に生じた海水準の変化は 単に海岸域の堆積作用だけでなく 深海底における堆積作用にも大きな影響をもたらす。

汎世界的な規模で海水準を変化させる原因として プレートの沈み込みや海嶺のスエリング さらに大陸のリフトや大陸同士の衝突と 氷期などの気候変化の二つが現在考えられる。 しかし 第四紀についてみると沈み込みや火山といった構造変化では最大でもその変化する率は6.7/1000年でしかない(PITMAN 1979)。 一方 氷期に著しく拡大する氷河によって海面がしめす変化率は10 m/1000年にもなる。 したがって第四紀では 気候変化は 急速な海水準変化を引き起こす唯一の原因であると考えてよい。

気候変化によるこのような急速な海水準変化 とりわけ海水準の低下は海底扇状地の堆積作用に大きな影響を与えている。 とりわけ 供給される碎屑物の量は飛躍的に増加し そのため扇状地全体の形態におおきな変化がおこる。 現在見られる海底扇状地は主として海水準の低下した時期にその外形を獲得し その後の海水準上昇期の半遠洋性堆積物によってその外形が覆われている場合が多い。

Mississippi Fan における海水準変動の影響を研究した FEELEY *et al.* (1984) によると 海水準が下がり始めると陸棚にあったデルタ性および浅海性堆積物のプログラデーションがおこり それに伴い生じる堆積物の崩壊やスランピングによって海底谷が新たに形成されたり再活動し始めることになる。 そして 海底扇状地には

1987年 6月号



第16図 酒匂川河口付近の海底地形

海底谷より運ばれた厚いスランブ堆積物等が堆積する。更に 引き続き下がる海水準によって 陸棚より多量の碎屑物が供給され スランブ堆積物を作る地形的くぼ地を埋積する。 次に 海水準の上昇によって もたらされる碎屑物の量は減少し 埋積はチャンネルとその周辺に限られていく。 このように 海底扇状地の堆積プロセスと海水準の変化とは密接に関係している。アマゾン海底扇状地では タービディターカーレントの頻度や規模が永期に著しく増大しており 現在の巨大な海底扇状地の外形はこの時期に形成されたい (DAMUTH *et al.*, 1977)。

一方 徳山 & 末益 (1987) は 富山海底扇状地の形成が50万年以降に始まったとした上で その形成要因として北アルプス周辺域の急速な隆起を重視している。激しい構造変形が引き起こされる地域を主要供給地とするだけに 富山海底扇状地では 海水準の変動による影響以上に構造運動が海底扇状地形成にとって重要であるかもしれない。

## 7. おわりに

海底扇状地モデルをめぐる最近までの研究の現状と問題点について筆者らの考えを含め述べてきた。そして



海底扇状地を少なくとも二つのタイプに分けて考えるべきであることを述べるとともに タイプ分けについての一つの試案を提案した。しかしこれがすべての海底扇状地を説明する最善のものであるとは筆者らは考えていない。例えば 1986年11月に来日したアメリカ合衆国の T. H. NILSEN 博士は その際の講演のなかで 海底扇状地を Sand-rich Fan, Mud-rich Fan とその中間に位置する Mixed-sediment Fan とに区分し Navy Fan を Mixed-sediment Fan として捕らえている。

このように海底扇状地をその地形と堆積物の両面からどのように分類・モデル化し総合化するかという問題についてはまだ議論の最中で 今後なお追及していく必要がある現在の課題である。本論がその意味で議論のきっかけとなれば幸いである。

一方 本稿でも指摘したように 非扇状地性タービダイト堆積盆の堆積物と堆積作用に関する認識を深めることは タービダイトの堆積する環境と堆積様式 とりわけ地質時代のタービダイトの堆積環境と堆積作用を解釈する上で今後増々重要となる。今回は2・3の例を紹介するにとどまったが 非扇状地性タービダイト堆積盆での堆積物と堆積作用の特徴については 今後更に検討を加えて行きたい。

タービダイトの堆積環境と堆積作用について 海底扇状地であるか否かを問わず モデルの安易な適応や偏見を捨て より詳細で多面的な観察および検討を加えて行くことがいづれにせよ必要であり その結果としてタービダイト堆積盆についての認識がより一層深まっていくと思われる。

本稿をまとめるにあたり 東京大学海洋研究所の平朝彦教授 加賀美英雄助教授 徳山英一博士および新潟大学の立石雅昭博士の各氏には粗稿に目を通していただき有益な意見を賜った。記して感謝の意を表したい。

#### 文 献

- BARG, E. J. 1986: Cenozoic Geohistory of the Southwestern margin of the Ulleung Basin, East Sea. *Master Thesis Seoul Nat. Univ.* 1-174.
- BAHK, K. S. and CHOUGH, S. K. 1983: Provenance of turbidites in the Ulleung (Tsushima) back-arc basin, East Sea (Sea of Japan). *Jour. Sedim. Petrol.*, **53**, 1331-1336.
- BOUMA, A. H., STELTING, C. E. & COLEMAN, J. M., 1984: Mississippi Fan, Internal Structure and Depositional Process. *Geo-marine. Lett.*, **3**, 147-154.
- BOUMA, A. H., COLEMAN, J. M., and DSDP Leg 96 Shipboard Scientists, 1983/1984: Mississippi Fan: Leg 96 Program and Principal Results. In *Submarine Fans and Related Turbidite Systems* (eds. A. H. BOUMA, W. R. NORMARK & N. E. BARNES) 248-275. Springer-Verlag.
- CHAN, M. A. and DOTT, R. H., 1983: Shelf and deep-sea sedimentation in Eocene fore-arc basin, Western Oregon-Fan or non Fan?. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, **67**, 2100-2116.
- CHOUGH, S. K., PARK, K. S. and KIM, S. W. 1984: Fine structure of turbidite and associated muds in the Ulleung (Tsushima) Basin, East Sea (Sea of Japan). *Jour. Sedim. Petrol.*, **54**, 1212-1220.
- CHOUGH, S. K., JEONG, K. S. and HONZA, E., 1985: Zoned Facies of Mass-flow Deposits in the Ulleung (Tsushima) Basin, East Sea (sea of Japan). *Marine Geol.*, **65**, 113-125.
- DAMUTH, J. E., J. E., KOWSMANN, R. O., FLOOD, R. D., BELDERSON, R. H. and GORINI, M. A., 1983: Age relationships of distributary chanel on Amazon deep-sea fan: Implications for growth pattern. *Geology*, **11**, 470-473.
- EMMEL, F. J. and CURRAY, J. R., 1984: The Bengal Submarine Fan, Northeastern Indian Ocean, *Geo-Marine Lett.*, **3**, 119-124.
- FEELEY, M. H., BUFFLER, R. T. & BRYANT, W. R., 1984: Depositional Units and Growth Pattern of the Mississippi Fan. In *Submarine Fans and Related Turbidites Systems* (eds. A. H. BOUMA, W. R. NORMARK & N. E. BARNES), 253-258. Springer-Verlag.
- HOWELL, D. G., and NORMARK, W. R. 1982: Sedimentology of submarine fans. *Mem. Amer. Ass. Petrol. Geol.*, **31**, 365-404.
- KAGAMI, H. and OTUKA, K., 1980: Slope fans around the shelf of Japan. *26th Intern Geol. Congress, Preprint* 492.
- KASTENS, K. A. & SHOR, A. N., 1985: Depositional Processes of a Meandering Channel on Mississippi Fan. *Bull. Amer. Ass. Petrol.*, **69**, 190-202.
- LE PICHON, X., IYAMA, T. and others in press: The eastern and western ends of Nankai Trough: Results of Box 5 and Box 7 KAIKO Survey. *Earth Planet. Sci. Lett.*
- LINK, M. H. and NILSEN, T. H., 1980: The Rocks Sandstone, an Eocene sand-rich deep-sea fan deposit, northern Santa Lucia Range, California. *Jour. Sedim. Petrol.*, **50**, 583-602.
- MOORE, G. T., and others, 1978: Mississippi Fan, Gulf of Mexico-physiography, stratigraphy, and sedimentation pattern. In *Framework, Facies and Oil-Trapping Characteristics of the Upper Continental Margin. AAPG studies in Geol.*, **7**, 155-191.
- MUTTI, E., 1979: Turbidites et cones sousmarins profonds. In *Sedimentation detritique (fluviale, littorale et marine)* (ed. P. HOMEWOOD), **1**, 353-419, Institut Geologique Universite de Fribourg, Switzerland.
- MUTTI, E. & RICCI-LUCCHI, F., 1972: Le trobiditi delj Appennino settentrionale: introduzion all'analisi di fa-

- cies. *Mem. Soc. Geol. Italy*, **11**, 99-161.
- NASH, M. 1981: The sediments of Toyama Deep Sea Fan. *Masters Thesis of Univ. Tokyo. Mar. Res. Ins.* 1-106.
- NELSON, C. H., MALDONADO, A., COUMES, F., GOT, H and MONACO A., 1984: The Ebro Deep-Sea Fan System, *Geo-Mar. Lett.*, **3**, 125-131.
- NELSON, C. H. and NILSEN, T. H., 1974: Depositional trends of modern and ancient deep-sea fans. In: DOTT, R. H. & SHAVER, R. H. (eds.) *Modern and Ancient Geosynclinal Sedimentation. SEPM. special pub.* **19**, 69-91.
- NORMARK, W. R., 1970: Growth patterns of deep-sea fans. *Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol.*, **54**, 2170-2195.
- NORMARK, W. R., 1978: Fan valleys, channels and depositional lobes on modern submarine fans: characters for recognition of sandy turbidite environments. *Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol.*, **62**, 912-931.
- NORMARK, R. W., BARNES, N. E. and BOUMA, A. H., 1984/1985: Comments and New Directions for Deep-Sea Fan Research. In. *Submarine Fans and Related Turbidite Systems* (eds. A. H. BOUMA, W. R. NORMARK & N. E. BARNES), 341-343, Springer-Verlag.
- NORMARK, W. R. and PIPER, D. J. W., 1984: Navy Fan, California Borderland: Growth Pattern and Depositional Process. *Geo-Marine Lett.*, **3**, 101-108.
- 大塚謙一 1985: 活動的トラフの埋積過程と堆積相—相模トラフ北端域および駿河トラフ北縁域の上部第四系—, 静岡大学地球科学研究報告, **11**, 57-117.
- PIPER, D. J. W. and NORMARK, W. R., 1983: Turbidite depositional pattern and flow characteristics, Navy Submarine Fan, California Borderland, *Sedimentology*, **30**, 681-694.
- PITMAN, W. C., 1979: The effect of eustatic sea level changes on stratigraphic sequences at Atlantic margins. In *Geological and Geophysical Investigations of Continental Margins* (eds. J. S. WATKINS, L. MONTADERT & W. DICKERSON), *Mem. Amer. Ass. Petrol. Geol.*, **29**, 453-460.
- RENARD, V., NAKAMURA, K. and others in press: Trench triple junction off Central Japan—Preliminary results of French-Japanese 1984 KAIKO cruises, leg 2. *Earth Plant. Sci. Lett.*,
- RICCI-LUCCHI, F., COLELLA, A., GABBIANELLI, G., ROSSI, S. & NORMARK, W. R., 1984/1985: The Crati Fan, Ionian Sea. *Geo-Marine Lett.*, **3**, 71-78.
- SCHWELLER, W. J. and KULM, L. D. 1978: Depositional patterns and Channelized Sedimentation in Active Eastern Pacific Trenches: In *Sedimentation in Submarine Canyons, Fans and Trenches* (eds. D. J. STANLEY & G. KELLING), 311-324.
- SHEPARD, F. P., NIINO, H. and CHANBERLAIN, T. K., 1964: Submarine Canyons and Sagami Trough. *Bull. Geol. Soc. Amer.* **75**, 1117-1130.
- STOW, D. A. V., 1982: Deep-sea clastics: where are we and where are we going?. In *Sedimentology Recent development and applied aspect* (eds. P. J. BRENCHLEY & B. P. J. WILLIAMS), 67-93. Geol. Soc.
- STOW, D. A. V., HOWELL, D. G. and NELSON, C. H., 1984: Sedimentary, Tectonic, and Sea-Level Controls on Submarine Fan and Slope-Apron Turbidite Systems. *Geo-Mar. Lett.*, **3**, 57-64.
- TAMAKI T., MURAKAMI, F. and HONZA, E., 1978: Continuous seismic reflection profiling survey. In *Geological Investigation in the Northern Margin of the Okinawa Trough and the Western Margin of the Japan Sea* (ed. E. HONZA), *Geol. Sur. Japan, Cruise Rep.*, **10**, 39-42.
- 徳山英一・末益 誠, 1987: 富山深海扇状地の形成年代と成因, 月刊地球. **8**. 734-739
- WALKER, R. G., 1978: Deep water sandstone facies and ancient submarine fans: Models for exploration for stratigraphic traps. *Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol.*, **62**, 932-966.
- WALKER, R. G., 1979: Facies models 8. Turbidites and associated coarse clastic deposits. In. *Facies Models* (ed. R. G. WALKER), *Geosci. Can., Reprint ser.*, **1**, 91-103.
- WINN, R. D. and DOTT, R. H., 1979: Deep-water fan-channel conglomerates of Late Cretaceous age, Southern Chile. *Sedimentology*, **26**, 203-228.