

講演要旨(第147回)*

特集 「リソスフェア探査開発計画」に向けて ——(その1) サブダクションと堆積盆地の形成と発展

堆積盆地研究の現状と課題

鈴木尉元

堆積盆地は、石油・天然ガスなどの化石燃料鉱床、各種の金属鉱床を胚胎し、また近年は地熱資源との関連でも注目されており、1983年から1989年にわたって行われる固体地球科学の国際的総合研究計画 DELP (リソスフェア探査開発計画) が、サブテーマに資源と災害軽減をうたっている点もあって、時宜にかなった研究課題と考えられる。

上記の各種鉱床の探鉱は近年しだいに深部に及び、この深部の地質構造、さらに深部の地質と鉱床との関係の解明が求められている。この問題の解明に必要な課題と考えるものを以下にあげる。

1. 堆積盆地の基盤の形状を明らかにする。この問題の解明には、地球物理的手法によって堆積盆地の深部をさぐることに同時に、盆地周辺での基盤と被覆層との構造的な関係の究明が必要である。
2. 上記の課題と直接関係をもつが、褶曲構造と基盤の運動との関係を明らかにする。これは、褶曲の成因を明らかにすることにつながる問題であるが、石油・天然ガスなどの鉱床の深部探鉱に直接結びつく問題でもある。
3. 堆積盆地の形成過程と火成活動の性質との関係を明らかにする。様々な火成活動が堆積盆地内で行われるが、その性質は、盆地の運動やその構造的な位置に支配される例が知られている(生出・大沼, 1960; 藤田ほか, 1972)。この問題は、火成岩の多様性の起源の問題とも関係をもつが、金属鉱床が、ある種の火成岩と成因的關係をもっていることから、金属鉱床の探鉱とも関係する問題である。
4. 堆積盆地に対応する地殻・上部マントル構造を明らかにする。この問題は、重力や人工地震による方法もあるが、日本では、自然地震の資料を解析することも重要である。島弧のマントル構造として宇津のモデルが知られているが、彼の low Q ・low V ゾーンが地域性をもったものであることは、UTSU and OKADA (1968) や KANA-

昭和56年5月14日日本所において開催の研究発表会

MORI(1970)によって指摘されている。しかも KANAMORI によると、その地域性が深発地震の活動と関係をもつという。

日本列島は、いわゆるプレートが沈みこむ所とされ、各種の造構運動や火成活動はそれにとまらぬものと解釈されている。4.の課題は、これを具体的にする意味から非常に重要な問題と考えられる。

そのほか堆積盆地に関する重要な問題として、堆積盆地を構成する堆積物の起源の問題、堆積の中心が時代とともに一方向に移動していく将棋倒し構造の問題、前弧盆地と背弧盆地の形成機構の問題などがあるが、他の講演者によってふれられると思われるので、省略した。

(燃料部)

地向斜堆積物に関する問題点

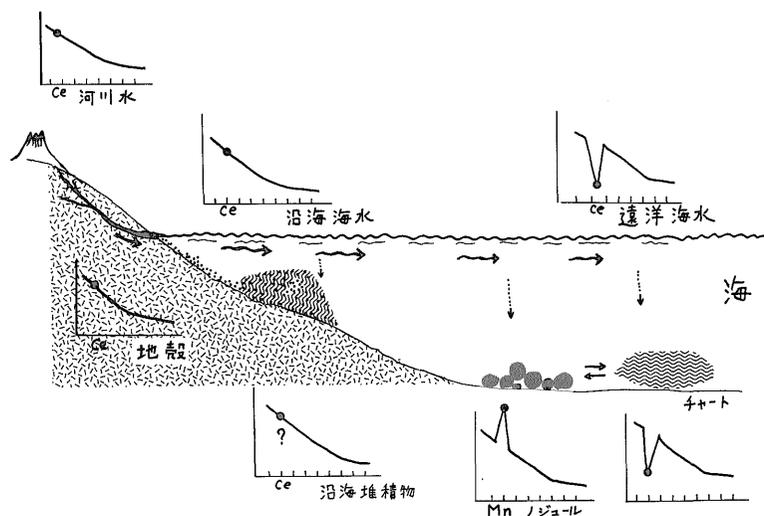
寺岡易司・酒井 彰 (地質部・同)

(コメント) 希土類元素存在度パターンから
みた地向斜堆積物

田中 剛

希土類元素は周期律表において同一の位置を占め、その化学的諸性質は互いに類似している。又そのイオン半径が原子番号とともに連続的に変化することに原因する岩石中の希土類元素存在度パターンの変化は火成岩成因論に大きな役割を果している。

最近、堆積物や水の地球化学においてセリウム (Ce) が他の希土類元素とは異なった挙動をしていることがわかってきた。その模式図を第1図に示す。地球上の岩石及び鉱物中の希土類元素存在度はその値を隕石の値で規格化したパターン上で Ce は La と Nd を結ぶなめらかな線上に位置する。そして岩石・鉱物を風化・溶触したりあるいはその微粒子を含む河川水中の希土類元素存在度パターンはその川の流域における岩石中の存在度パターンを反映したもので、Ce はなめらかなパターンの線上に位置する。河川水が海に流入してもしばらくはそのパターンは変化しない。しかしながら太平洋や大西洋に



第1図 地殻、河水、沿海海水、遠洋海水及びそれらの地域における堆積物中の希土類元素存在度パターン(模式図)

において陸から十分に離れた地点において海水中に Ce のみが異常に乏しくなっていることがわかった(負のセリウム異常)。これは海水中で希土類元素の主な担体である微粒子の沈澱によるか、大洋底に存在するマンガンノジュール(一般に希土類元素特に Ce が濃縮している)等による Ce の選択的な取り込みにより海水中に Ce が乏しくなったと考えられる。当然のことながらそのような Ce に乏しい環境で生成した珪質堆積物には相対的に Ce が乏しい。ネオジミウムの同位体比の研究から遠洋堆積物中の希土類元素もその起源は海底火山ではなく陸に由来することがわかっている。

SHIMIZU and MASUDA (1977) (Nature, v. 266, p. 346) は遠洋の珪質堆積物(チャート)とともに美濃帯のチャートを分析し、遠洋のチャートには大きな負の Ce 異常があるが、美濃帯のそれにはないことから、それが浅海において生成したものと考えている。

以上のことから IPOD 計画での地質調査所における堆積岩研究の一つとして次のようなことが考えられる。

- 1) 日本周辺から西太平洋の現世表層堆積物中の希土類元素の分析調査により、陸からの距離、海流、海底地形などの諸条件と Ce の挙動の関係を定量化する。
- 2) 地質調査により、層序が明らかな地質時代のチャートを分析する。
- 3) 現世の海洋底においてチャート中の Ce と相補的なパターンを示すマンガンノジュールと地向斜堆積物中に存在するマンガン鉱石を対比する目的での鉱石中の希土類元素の分析を行う。(技術部)

地熱貯留層構造とサブダクション構造との関連について*

玉生 志郎

地熱貯留層モデルとしては種々のものがあるが、なかでも WHITE (1967) の熱水対流系モデルと WHITE *et al.* (1971) の蒸気卓越系モデルはよく知られている。これらのモデルに示されている通り、地熱貯留層形成には熱源、水、貯留層構造の三要素が必要である。熱水型になるか蒸気卓越型になるかは水の供給量と熱源の深さに関係するようなので、貯留層構造を考える上では区別せず一つの概念で検討していく。今回のテーマであるサブダクションとの関連で地熱貯留層を考えるには、ネオ・テクトニクスにおけるフラクチャー形成ということが主題とならざるを得ない(従来では地熱貯留層として粒子間隙の多い透水層を考えていたが、最近ではフラクチャー性の透水帯というものを重要視している)。無論、熱源としてのマグマの発生はサブダクション構造と深いかわりをもつものであるがここでは触れないこととする。

世界の地熱資源分布図をみると地熱地域は第四紀火山分布地域とよい一致を示し、それらは1)島弧系、2)海嶺及びその陸上延長部、3)海山などホット・スポットによるものとして各々区分できる。今回は中深発地震面から推定されるサブダクション・ゾーンと関連をもつ島弧系

* 研究発表会での講演名は「地熱と堆積盆地の深部構造」であったが、講演内容を明確にさせるため上記のような題名に変更する。

の地熱についてのみ考える。日本列島で地熱地域とサブダクション構造との対応性を検討すると以下のように区分して考えることができる。

- (1) 東北日本弧では多くの地熱地帯があるが、ここでのサブダクション・ゾーンは500 km 深に達する深く長いものである。その厚さは沈み込みに従い薄くなるが100 km 程度ある。千島弧及び伊豆・マリアナ弧でも同様に深く長い沈み込む角度は急になっている。
- (2) 西南日本弧のサブダクション・ゾーンは紀伊半島で50 km, 四国で80 kmである。琉球弧でも300 km 程度でいずれも浅く短かく薄い。火山はサブダクション・ゾーンの120-200 km 深で多量に発生するため、西南日本弧には火山に伴う地熱地域はない。但し白浜、湯の峰、道後などの有名な温泉がある。一方琉球弧では多くの第四紀火山が地溝帯の中に分布している。
- (3) 大山火山帯と呼ばれる山陰、北九州では中深発地震が観測されないで現在サブダクション・ゾーンはないと思われる。ここにはいくつかの地熱地帯が存在するが、これは過去の地質時代にサブダクションが存在していてその残存として火山活動が続いているのか、又は縁海生成に伴う火山活動によるものなのか現時点で判断がつかない。

以上のように日本列島には3つのタイプの地熱地帯が存在する。この区分を世界各地の島弧にあてはめるとやはり3区分することが可能のようである。そこで以下に各タイプ毎にその応力分布、貯留層構造などの特徴についてまとめてみる。

1型

(サブダクション・ゾーン) : 500 km 深以上に達する深く長いもので且つ100 km 程度の厚さをもつ。

(ネオ・テクトニクス) : 圧縮応力が支配的である。

(地熱貯留層構造) : 浅部地熱貯留層は先第三系基盤岩隆起帯に形成され、深部地熱貯留層は基盤岩中の逆断層系の断裂帯に形成されている可能性が大きい。

(例) : 千島弧, 東北日本弧, 伊豆・小笠原弧, フィリピン弧, インドネシア弧, チリー・ペルー弧

2型

(サブダクション・ゾーン) : 300 km 深より浅く短いもので且つ厚さも50 km 程度と薄い。

(ネオ・テクトニクス) : 圧縮応力と引張応力が混在する。

(地熱貯留層構造) : 浅部地熱貯留層は基盤陥没地域に多く形成されているようである。深部地熱貯留層は深部断裂帯に形成されている可能性がある。

(例) : 西南日本弧, 琉球弧, ニューゼaland, 中米,

北米カスケード, イタリア, トルコ

3型

(サブダクション・ゾーン) : なし

(ネオ・テクトニクス) : 引張応力場(主圧縮軸が垂直)

(地熱貯留層構造) : 浅部地熱貯留層は正断層の断裂帯に存在する可能性があり、深部地熱貯留層も正断層系の断裂帯内に形成されていると思われる。

(例) : 山陰・北九州, ベーズン・アンド・レンジ

最後に地殻熱の研究からリソスフェア計画に寄与できるとされる課題を以下に掲げておく。

1. 深部地熱貯留層の開発目的から地表から3-4 km 深のフラクチャー形態と生成時期を明らかにする。
2. 現在の応力パターンや火山活動パターンがいつから開始されたか明らかにする。
3. マグマ上昇における地質構造による規制を明らかにする。
4. 熱水対流域と熱伝導域の境界深度を明らかにする。

(地殻熱部)

(コメント) マグマ貫入と堆積盆地

小出 仁

カルデラ状あるいはグラーベン状陥没盆地が、地下深部からのマグマまたは流動性の大きな岩体の貫入・上昇によって、形成されることが、力学的に予測できる。この貫入岩体は必ずしも地表に到達せずに、潜頭で留まっていることも多いと考えられる。しかし、貫入によって、地殻上部に割れ目系が形成され、マグマからの初生水や地下水の加熱により、地下の熱水系が形成される。特に、陥没盆地に堆積した層が、不透水性のブランケットになると、深部に被圧熱水系が効果的に形成され、地熱資源あるいは熱水性鉱床の場となることが期待される。間隙流体圧が高まると、岩石中に割れ目が生じ、二次的に浸透率が高まるが、他方、熱水からの鉱物の沈積によって割れ目や空隙はシールされる。地殻の応力やマグマ圧や供給される水量の変化や温度変化によって、きわめて複雑な変動する流通系を形成しているであろう。

地下の流通系は、資源の開発・地下利用・地震予知に重要であるが、流通系の動態はほとんど明らかになっていないといってよいであろう。この研究には、リモートセンシングや地表地質の調査(特に割れ目系や変質)、また物理探査や微小地震観測により熱水系や破碎域・火成

岩貫入体(あるいはマグマ溜り)の三次元的形態を知ることが重要であるが、特に新しい方法として、深いボーリングにより直接に地殻応力や流体圧・温度分布、あるいは浸透率や流通経路等を正確に測定する方法を開発する必要がある。さらに、地殻の変形・破壊と流通系の総合的なモデルを作り、地下の状態の予測を可能にする必要がある。

地殻の変形・応力・温度分布・流通系を総合的に明らかにし、地下の状態を的確に把握できるようにすることを、リソスフェア探査開発計画の主要テーマとして提案したい。
(環境地質部)

(コメント) 微小地震と堆積盆地

伊藤久男

近年地熱地帯での、探査を目的とした微小地震観測が数多く行われるようになった。また地熱発電所周辺には環境監視のため、地震観測システムが建設されつつあり、地熱地域における微小地震観測データが集積されつつある。これら微小地震データが本来の地熱探査あるいは環境監視の目的に加えて、例えばテクトニクスの理解に役立つかどうかの可能性を考えてみる。

第一に、地熱地域の地震は、水と地震との関係を探る上でよい機会を提供してくれる。地熱地帯、特に地熱発電所周辺では、熱水の採取、還元が行われ、地下の間隙水圧が人為的に制御されるため、一種の地震の野外実験を行っていると考えられる。地熱地域の地震について、間隙水圧、地下構造との関係を明らかにすることにより、広く地殻上部に発生する地震について考える資料を提供してくれる。

また、地震の解析によって地下構造を知ることが可能である。その例として、遠地地震のP波到達時刻から地下構造を決める方法、あるいは自然地震の反射波からコンラッド面等の不連続面を決める方法がある。前者は、テレサイスミック P-delay 法と呼ばれる方法に加えて、最近では稠密な観測網によって三次元地下構造を決定する方法が開発され、米国においてはいくつかの地熱地域に適用されている。特に大規模な貫入岩体等がある場合にこの方法は有効であるが、我国においてはまだほとんど解析が行われていない。
(地殻熱部)

新第三紀・第四紀の堆積盆地の形成機構 —水平説と垂直説の問題

小玉喜三郎

島弧の前面に発達するいわゆる Fore Arc Basin は、北海道から東北、関東、東海、紀州、四国、九州といった太平洋側の各地の沖合に分布しているが、これらの形成は、海溝の発達やサブダクションの進行(もしあるとすれば)と密接に関連すると予想される。ここでは、陸域でみられる最大の Fore Arc Basin である関東堆積盆地を例に、その沈降機構を検討し、最近のモデルを中心に議論した。

関東平野は、日本海溝の軸から 150 km ほど離れた陸域に発達するほぼ 150 km 四方の広さをもつ堆積盆地で、中新世中期以後、累計すれば 1 万 m 以上の厚さの堆積物が堆積している。ただしその基盤(先新第三系)深度は 3,000-4,000 m 足らずであるから、これらの堆積物は、沈降部が時代とともに南から北へ順次拡大する過程で堆積したいわゆる将棋倒し構造をとるとされている。このような様式の沈降運動は、更新世後期から現在にかけても継続していることが、以下のような現象から示されている。

① 1 つは更新世後期に堆積した常総層の構造等高線で示される構造(小玉ほか, 1981)、同層の堆積平坦面(今から 5-6 万年前)が、現在は東京湾北部及び埼玉県東部の 2 つの目玉を中心とした盆状構造を示している。沈降量の規模は南部との比高で 150 m 以上に達する。また構造等高線の形態に示されているように、運動は比較的平頂な地塊単元の集合から構成されている。このような地塊単元は、先第三系基盤の構造で規制されていると推定されるが、最近首都圏で行われている人工地震による地下構造解析の資料(嶋ほか, 1980)には、これらの地塊の境界付近に、基盤深度のステップが報告されている。

② 堀口ほか(1981)によれば、埼玉県東部の利根川や中川沿いの低地では、沖積層下に関東ローム層が埋没しており、このローム層とともに歴史時代の古墳遺跡等が発見されている。これらの資料にもとづき、堀口は、この地域では造盆地運動が沖積世以後もつづいており、その速度は年間 0.5-2.0 mm に達すると報告している。なお沈降域の中心は、前記①でのべた、目玉の位置より北側へ移動している。

③ 最近 70 年間(1895-1965)の一等水準点変動でも、関東平野は周辺地域に対して盆状に沈降していること

が壇原(1971)により示されている。また、主な国道沿いの一等水準路線にみられる変動曲線には、しばしば測地学的地塊単元がみとめられ、その境界は①でのべた、洪積台地の変形単元の境界と一致することが多い。

④ 津村(1981)による最近(1973-1976)観測された平野部の微小地震の震源分布をみると、深さ40-80 kmには特徴的な震源集中域が発達している。このうち茨城県南西部にはNW-SE方向にのびる震源域が深さ40-50 kmに発達するが、この方向は、地表付近でみられる河川や台地の地形、ならびに①で述べた台地の変形構造と調和している。千葉市北部にも深さ60-80 km付近に震源集中域が発達するが、これも①でのべた変形単元の境界に対応している。ただし、このような地震活動は①で示した最大沈降部の周辺には必ずしも存在していないので、現在の運動と地史的な累積変形が、全ての点で調和しているのではないとする見方が必要であるように思われる。なお、牧(1981)による発震機構解析の節面解をみると、節面の片方は垂直で、西側(又は北西側)ブロックが下がるセンスを示している。これは造盆地運動の中心が沈下するセンスと調和していると考えられる。

以上のようないくつかの現象から、筆者は更新世後期以後現在まで造盆地運動が多少の変化を伴いながらもひきつづき進行していること、その中で地殻内の変形活動が互いに関連し合っているのではないかとこの作業仮説を立ててみた。すなわち、深さ0-80 km、水平150 kmにおよぶ地殻・マントルが、何らかの原因で変形するとき、地表部では地塊状の凹地が形成され、その沈降中心部は水平方向に遷移してゆき、断層の下端(深さ数十 km)で地震が発生するとするモデルである。これらの条件にもとづき、東西500 km、深さ100 kmの関東平野を横切る断面を設定してモデル実験を行った(小玉ほか、1981)。このモデル実験より、大洋底に対し相対的に島弧が上昇するだけで、以上のべた地殻内の様々な変形が最もよく説明されることが示された。なお、中・深発地震面は、このような変形に際して生じる地殻内の歪集中帯であり、この帯に沿ってサブダクションは生じないと結論された。

最近、関東平野地下のテクトニクスに関して、主としてプレートのサブダクションを原因とするモデルが提案されているが(牧, 1981; 笠原, 1980)、これらのモデルと前記モデルとの相違点・類似点についても言及した。ただし、筆者らのモデルではまだ説明不十分な、地表変形と深部変形の機構上の関連性(例えば深部断層が存在するかどうかなど)については、今後の実証的な研究が残されており、将来予定されているリソスフェア探査開

発計画の課題の1つに取り上げられることを期待している。(燃料部)

(コメント) 東北日本弧南部にみる第三紀火成活動と堆積盆地

須藤定久

地質学の分野における島弧に関する現在の最大のテーマは、プレート・テクトニクス理論による島弧の形成・発展に関する仮説の、野外の事実に基づく検証であろう。

海洋プレートは、島弧にぶつかり、その下へもぐりこむ。もぐり込む角度はしだいに高角となり、ついにはプレートは折れ、マントル内に深く沈みこむ。そして再びもぐり込みが始まる、というもので、その周期は約1000万年程度と考えられている。この仮説を検証するには、島弧における火成作用、造構運動、鉍化作用などの時空分布をより一層明確にしていくことが必要である。

近年、東北日本弧の新第三系については、新しいより正確な対比、編年が行われつつある。また本所においては、新しいデータを盛り込んだ100万分の1、50万分の1、20万分の1などの地質図や鉍床図の編集が行われている。これら最近の地質・鉍床などのデータに基づいて、東北日本弧についての総合的解析が行われれば、プレート・テクトニクス理論による島弧の形成・発展に関する仮説の検証に大きな貢献となるであろう。さらに、これを機にコンピュータを使用しての地質データの解析システムの開発が行われることを期待したい。

このような観点から、東北日本弧についてのデータを総覧してみると、東北日本弧南部、津川-会津地域から北関東にかけての地域のデータが極めて乏しいことがわかる。この地域は、新第三紀初期-前期の堆積物と先新第三系基盤岩類がそれぞれ広く分布しており、弧初期の歴史や堆積盆地の発生・発展機構を考える上で、重要な地域である。これらの地域の調査・研究も合せて推進していく必要があるだろう。(鉍床部)

関東盆地の深部構造

長谷川 功・駒沢正夫

関東盆地の先第三系の基盤構造については、地質及び物理探査データを用いて、石井(1962)、島山(1964)がその基本的な形態を明らかにした。その後、関東盆地における物理探査はあまり実施されず、新しい知見はほとんど加えられていない。

しかし、ここ数年地震予知が注目され、爆破地震データが急速に蓄積され(嶋ほか, 1978; 伊藤ほか, 1976; 笠原ほか, 1976), 重力測定, 編集も行われた(国土地理院, 1978; 駒沢ほか, 1981). そこで爆破地震データと重力データとの比較・検討を行った後, 主として重力解析によって関東盆地西南部の深部構造について若干の考察を行った. その結果,

(1) ある種のフィルター(アップワード)処理後の重力値と基盤(5.5 km/sec 層)のタイムタームとは非常によい相関がある. 従って, 重力データに適当な処理を行うことによって, 詳細な基盤構造を決定できる可能性は高いと思われる.

(2) 重力データから駒沢(1980)による方法で基盤の三次元二層構造を求めた. この特徴は, イ) 従来の推定や爆破地震による構造と大局的には調和的である. ロ) 横浜市荏田付近の低重力異常に対応する凹部構造は, より西方の町田市付近に存在する. ハ) 小金井市から狭山丘陵を経て埼玉県鳩山村に至る地域に低重力帯がみられ, 幅がせまく深い地溝状の構造が存在する. ニ) 上福岡市付近には, 基盤のもり上がりだけでは説明しつくせない高重力異常がみられ, 基盤の性質が違っている可能性もある.

これらの結果は, 関東盆地の一部についての議論であり今後の課題として,

1) 関東盆地全体をカバーする重力測定及び編集を行い, その解析と爆破地震データの解析などの比較・検討から関東盆地の全体像を明らかにする必要がある.

2) 種々の地域における重力データと爆破地震データなどの比較を行い, 重力データの最適処理を見出すことも必要であろう.

3) 基盤形態とともに, 表層の形態を明らかにすることは, 関東盆地の造構造運動を知る上で, また地震防災に役立てる上でも重要であろう. このためには, 活断層, 基盤断層付近でのマイクログラビティ調査なども有用であろう.

(環境地質部・物理探査部)

前弧堆積盆地と背弧堆積盆地の形成機構

本座 栄一

島弧の堆積盆地は島弧特有の造構造運動を反映した形態を持っている. 島弧は前面に海洋プレートの沈み込み口である海溝が形成されることからできるものであり, 海溝のないところには島弧は形成されない. 島弧を形成する基本構成物として海溝の他に火山列(火山フロント)と前弧基盤隆起帯がある. 西太平洋の島弧にはこの他に縁海がある. これらの基本構成物の間に堆積盆地が形成される. 堆積盆地は本質的には沈降域に, 後背地の堆積物の供給源の存在のもとに形成され, 双方の形態上の違いが堆積盆地の形態の違いとなって現われている. しかしながら, 前弧と背弧には造構造運動にも系統的相違がみられ, それが堆積盆地にも反映されている.

前弧の堆積盆地は海溝の形成に始まる堆積盆地であり, それ以前に形成された堆積盆地を多かれ, 少なかれ破壊することから形成される. これは形成初期は別として, 全域的な沈降運動によるものであるが, 局所的には沈降運動の差にもとづく相対的隆起域もみられる. 顕著な隆起帯は海溝斜面縁を中心とするものである. 陸側海溝斜面には海溝付加帯がみられるものもあり, 日本周辺の島弧では小規模であるが, 他の島弧には大規模の海溝付加帯がみられるものもある.

背弧の堆積盆地は全般的に隆起しているところが多いが局所的に多大な沈降をとめない, 前弧にみられる以上に厚い堆積層が分布するところもみられる. そこにはタービダイトを含む粗粒堆積物も供給され, 複雑な形態も形成される. これら背弧に特有な形態は火山列の造構造運動にも関連した水平方向の引張力によって形成されると考えられるが, そこから離れた背弧側は水平方向の圧縮応力の場となっている. このような圧縮応力の場では堆積盆地形成の初期にみられた厚い堆積層は形成されないと考えられるが, 一部に断層をともなった傾動地塊運動による部分的に厚い堆積盆地もみられる.

(海洋地質部)