

南氷洋の調査と地質(2)

棚橋 学 (海洋地質部)
Manabu TANAHASHI

5. 石油公団の南氷洋調査による成果の概要

石油公団の南氷洋での地質調査の結果の概要についてはTH80航海については Kimura (1982) TH81航海については Okuda et al. (1983) TH82航海については Sato et al. (1984) TH83 航海については Tsumuraya et al. (1985) の各報告があります。TH80 航海の結果については石和田 (1981) の報告もあります。また TH 83航海までの概括的な紹介が加藤 (1985) によって紹介されています。これらの報告によって各海域の地質の特徴と石油公団の調査の成果について述べたいと思います。TH84航海については筆者のメモによって簡単に紹介しましょう。

5-1. TH80航海—ベリングスハウゼン海

この海域には西側から Hero, Tula, Eltanin という断裂帯が北西—南東方向に走っています(第8 9図)。このあたりの海洋底は南極大陸の下にもぐりこんだ“アルク海嶺”によって生成され 海洋底の年代は大陸側から

海側に向かって古くなっていると考えられています。

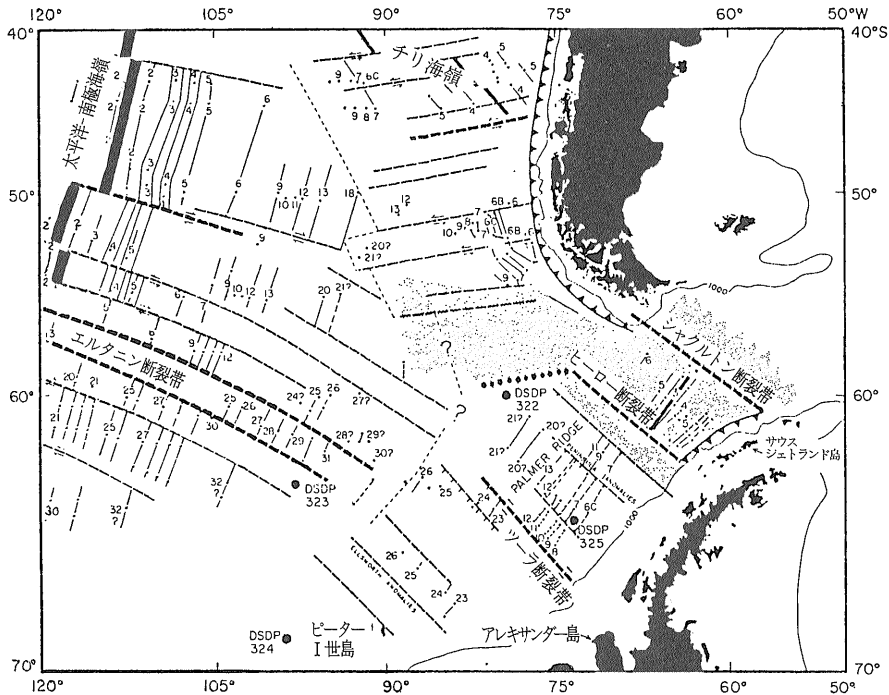
アルク海嶺が沈み込んだと考えられる海溝は現在は活動しておらず 地形や重力異常ではその位置は決められません。地磁気異常によって推定されています。

TH80航海は大部分が深海底からコンチネンタルライズで行われ 70°W 付近でのみ大陸棚上に到達しました。この航海の測線図を第10図に 古島弧を切る部分での地震探査記録の解釈図を第11図に示します。

5-1-1. 深海底～コンチネンタルライズ～大陸斜面

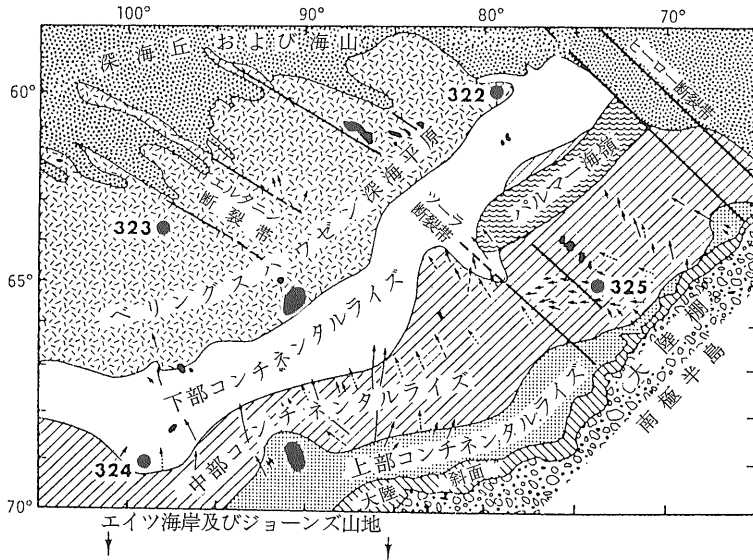
a) Hero 断裂帯-Tula 断裂帯

重力フリーエア異常は10数ミリガルの正の異常を示し地磁気異常は海洋底拡大にともなう縞状のパターンを示します。地磁気異常は大陸棚外縁から約 80km のところで急激に減衰し 陸側には不規則な小さな異常しか見られなくなります。この減衰の様子から かつてこの付近に海溝があり 海洋底が沈み込んでいたと推定できます。この場所は重力 地形では特定できず沈み込み



第8図
ベリングスハウゼン海周辺の地磁気異常 (Tucholke and Houtz, 1976による)

- | | | | |
|--|-----------------|--|------------------|
| | 不規則な丘および双曲線反射 | | 特に反射性がよく時折積層状をなす |
| | 平坦で反射性がよく積層状をなす | | 急な反射性が良い大陸棚 |
| | 傾斜し中程度に積層状をなす | | 平坦で反射性が良い大陸棚 |
| | 基盤山脈 | | 埋没海底谷 |
| | 細かく積層状をなす | | 不活発な海底谷 |
| | | | 活発な海底谷 |



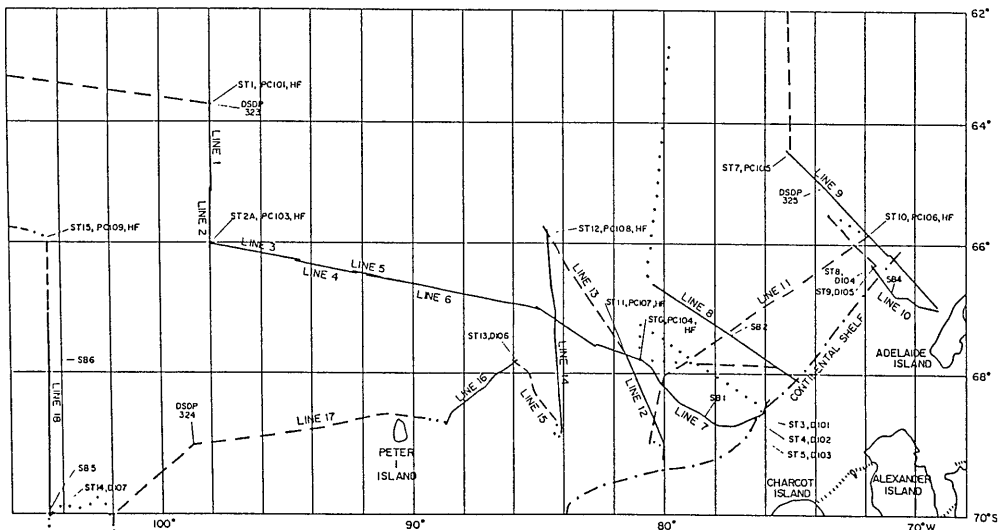
第9図
ベリングスハウゼン海の地形区分
(Tucholke et al., 1976による)

終了後すでにアイソスタシーが成り立っていると考えられます。

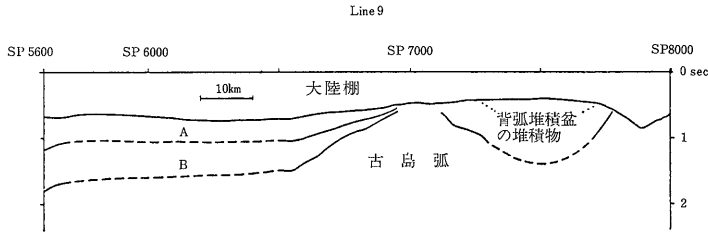
b) Tula 断裂帯-Eltanin 断裂帯

重力フリーエア異常はゼロに近く 地磁気異常は海洋底拡大にともなう縞状のパターンを示します。地磁気

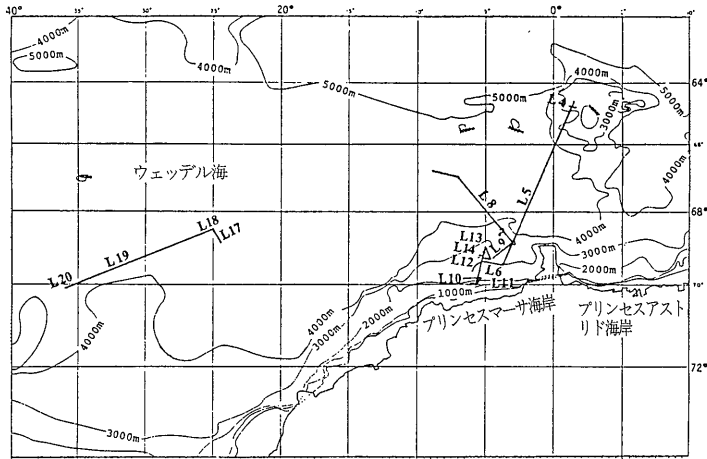
異常は大陸棚の外縁から約150kmのところまで急激に減少しており この付近にかけて海溝が存在したと推定されます。しかしやはり地形や重力異常には変化が見られません。Weissei et al. (1977) によると海洋底の年代は陸側から海側に向かって40-65Maと推定されます。



第10図 T.H.80航海測線図 (Kimura, 1982による)



第11図
ベリングスハウゼン古島弧の断面
(Kimura, 1982による)



第12図
ウェッデル海の地形とTH81航海地震探査測線図 (Okuda et al., 1983による)

c) Eltanin 断裂帯の西側

従来この部分は地磁気静穏帯 (magnetic quiet zone: 80-120Maの地磁気静穏期に生成された海洋底) と考えられていましたが この調査で縞状異常が発見され年代も 80 Ma より若いものと推定されました。 またこの海域は東の部分とは異なり大陸に向かって年代が若くなるという現象ははっきりせず むしろ現在太平洋と南極のプレートに分ける太平洋-南極海嶺によって生成された海洋底ではないかと推定されました。

d) 地震探査の結果

大陸棚からコンチネンタルライズにかけて古島弧の前面に白亜紀以降の遠洋性堆積物 タービダイト 氷運搬堆積物が覆っています。 最大層厚は古海溝 斜面で約 3.0 秒で層厚は西側ほど大きくなり 地磁気異常から推定されるのと同様に島弧活動が西側ほど早い時期に終了したと考えられます。

5-1-2. 大陸棚

重力フリーエア異常は大陸棚外縁に沿って特徴的なパターンを示し 大陸棚では10数ミリガルの正の異常を示します。 一方地磁気は顕著な異常を示しません。 地震探査の結果 1.0 秒程度の層厚を持つ古背弧海盆が認

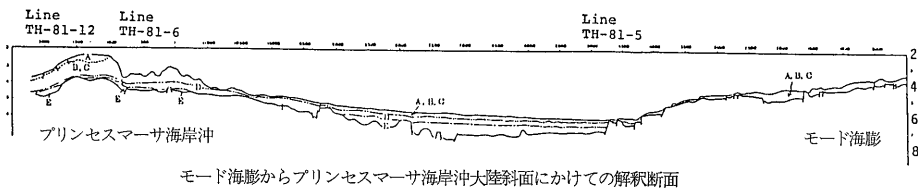
められました。 島弧の前面には中期中新世以降のタービダイト 氷運搬堆積物が 1.0 秒程度の厚さに堆積しています。

5-2. TH81航海—ウェッデル海

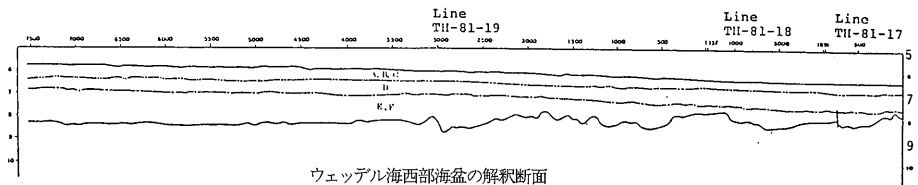
この海域の地形と地震探査の測線図を第12図に 模式的な地質断面図を第13図に示します。

5-2-1. 東部海域 (ウェッデル海東部〜クィーンモードランド沖)

ウェッデル海東部大陸斜面からコンチネンタルライズ深海盆をへてモードライズにいたる水深 1,800-4,500m の海域の調査を行いました。 重力フリーエア異常はモードライズ周辺で正の異常が見られる他は全体的に-10 数ミリガルの異常を示しました。 地磁気異常は東北東-西南西方向の縞状異常を示しました。 その結果この海域の基盤地殻の生成年代は 約 85Ma 頃と推定されました。 地震探査の結果 全層厚が 0.5-2.0 秒の堆積層が確認され この堆積層は鮮新統上部-第四系(A) 中新統-鮮新統(B) 漸新統(C) 古第三系下部-先第三系 (D, E) の 5 層に区分されました。 またこれらの堆積層の下位の音響基盤内にも弱い反射面が認められることもあり



モード海影からプリンセスマーサ海岸沖大陸斜面にかけての解釈断面



ウェッデル海西部海盆の解釈断面

第13図
ウェッデル海の地質断面
図 (Okuda et al., 1983
による)

かなり古い堆積岩が存在する可能性も示されました。堆積層の変形は余り見られませんが音響基盤内には正断層が発達しています。また大陸斜面下部付近では海底谷による侵食が顕著です。

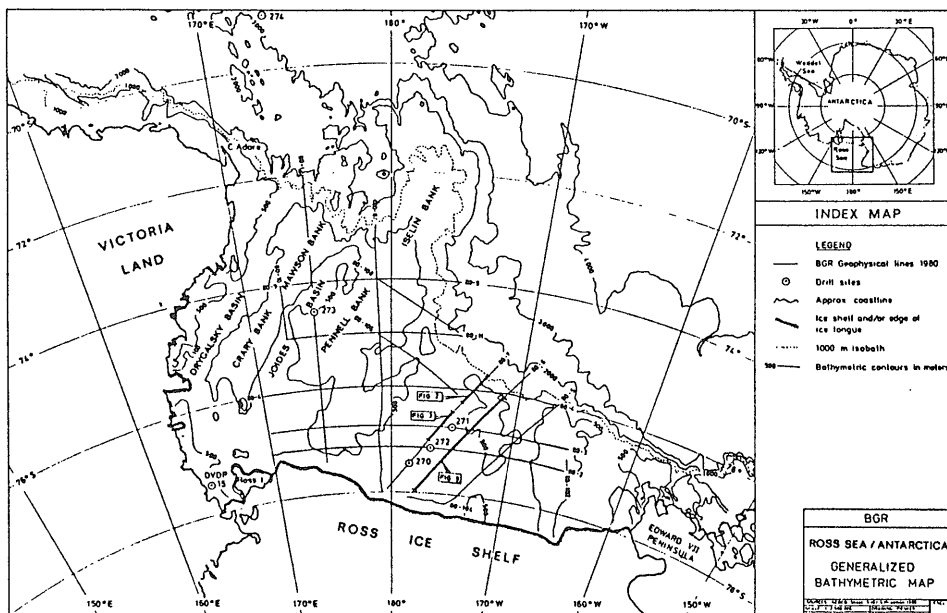
5-2-2. 西部海域 (ウェッデル海中部)

水深 4,000m 程度の海盆部の調査を行いました。東部と同様に 東北東-西南西方向の縞状地磁気異常 一10 数ミリガルの重力フリーエア異常を示しました。その結果本海域の基盤地殻の生成年代は従来推定されていた 42~160Maより新しく 40~120Maであるという可能性

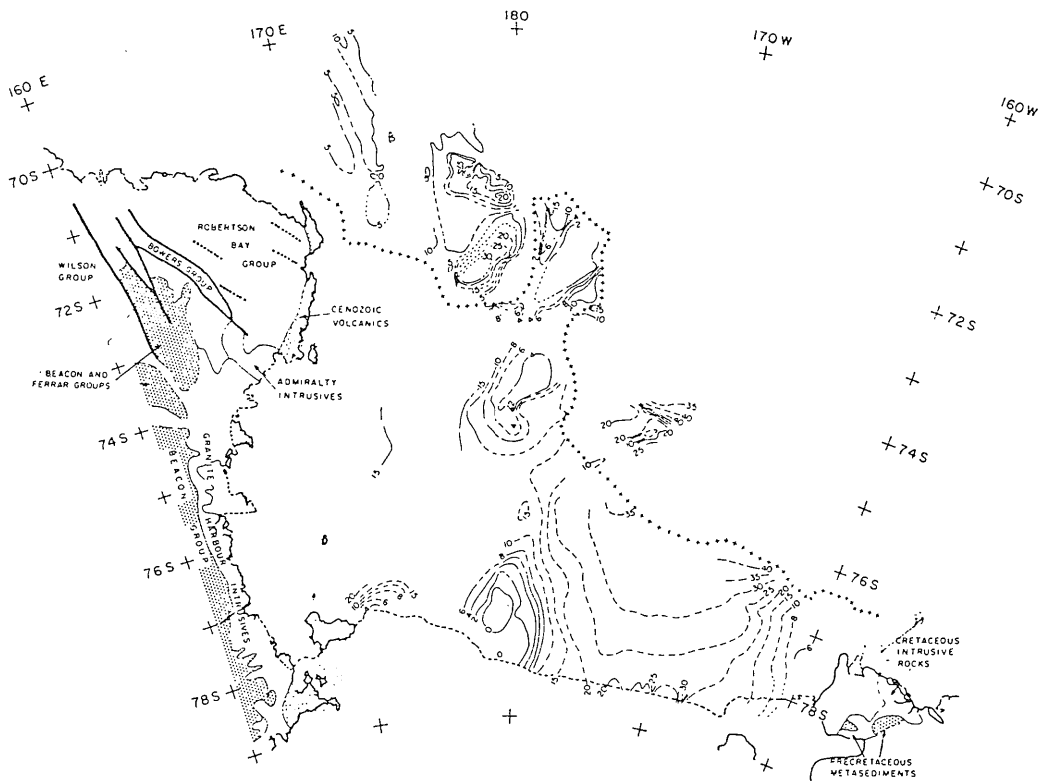
が指摘されました。地震探査の結果 水深が大陸棚に向かって減少するのに対し基盤が深くなり層厚が大きくなる傾向が見られました。堆積層はほぼ水平でほとんど変形していません。全層厚は2.0~3.0秒で東部に比べ厚くなっています。上下2層に区別され 上部層は主に新第三系下部層は古第三系~先第三系と考えられます。

5-3. TH82航海一ロス海

TH82航海ではデモンデュアビル海 ロス海入口 (ケープアデレー沖) ロス海大陸棚の3海域で調査が行



第14図 ロス海の地形図 (Hinz and Block, 1983による)



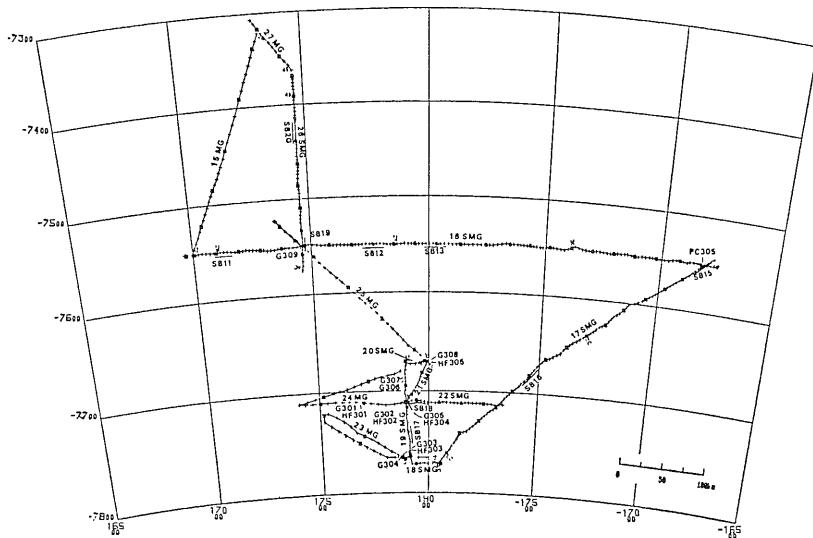
第15図 ロス海の堆積層厚 (Houtz and Davey, 1973による) 単位は 100m

われました。デュモンデュアビル海の結果については5-4で一緒に述べます。

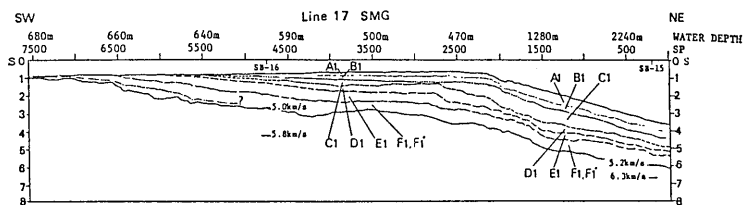
ロス海の地形図を第14図に 従来のデータによる堆積盆の層厚分布を第15図に示します。TH82航海の地震探査測線を第16図に その模式的な断面を第17図に示します。

5-3-1. ロス海入口 (ケープアデレー沖)

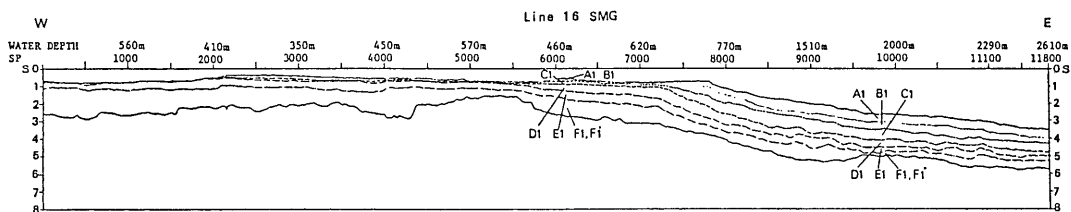
この部分はケープアデレー北北東のコンチネンタルライズ下部にあたる水深3,500m程度の海域です。重力フリーエア異常は地形にはほぼ対応しています。地磁気異常には海山の影響によるものと海洋底の生成時の縞状の異常とが見られます。従来の縞状地磁気異常の解析



第16図 TH82航海(ロス海大陸棚)測線図 (Sato et al., 1984による)



ロス海(Line17)の解釈断面



ロス海(Line16)の解釈断面

第17図 ロス海の地質断面図 (Sato et al., 1984による)

によれば本海域の基盤の年代は漸新世初期-始新世後期とされています。地震探査の結果 堆積層は5層に区分され深海掘削結果との対比により漸新統-第四系からなると推定されました。最大の層厚は1秒程度です。音響基盤及び堆積層中に 正断層がかなり発達しています。各堆積層は層厚変化がかなり激しく海山の周囲には凹地が発達しており底層流やタービダイトの活動が激しかったことを示すと考えられます。このような活動は特に中期中新世以降に活発になったと推定されます。

5-3-2. ロス海大陸棚

大陸棚の水深は 500m 程度です。

重力フリーエア異常は全体的に-10ミリガル程度の異常を示します。ロス海のほぼ中央の175°に沿って北北東方向の地形のトレンドと斜交する南北方向の正の重力異常帯が確認されました。その大きさは50mgal 以上です。その他の大陸棚上のフリーエア異常は比較的平坦です。地磁気異常はあまり変化がありません。

地震探査の結果 経度180°の西側に南北に伸びる西部堆積盆(いわゆる Central Basin) 東側に大陸斜面に向かって開いた東部堆積盆(いわゆる Eastern Basin) を確認しました。この海域は比較的浅いため多重反射が強く反射法記録のみでは構造がよく判りませんでした。ソノブイによる屈折法の結果を参考にして地質構造の概要が推定されました。

東部堆積盆では最大4 kmの堆積層が認められました。最大層厚部は大陸棚外縁~大陸斜面部にあります。地層の年代は主に深海掘削の結果との対比によって推定さ

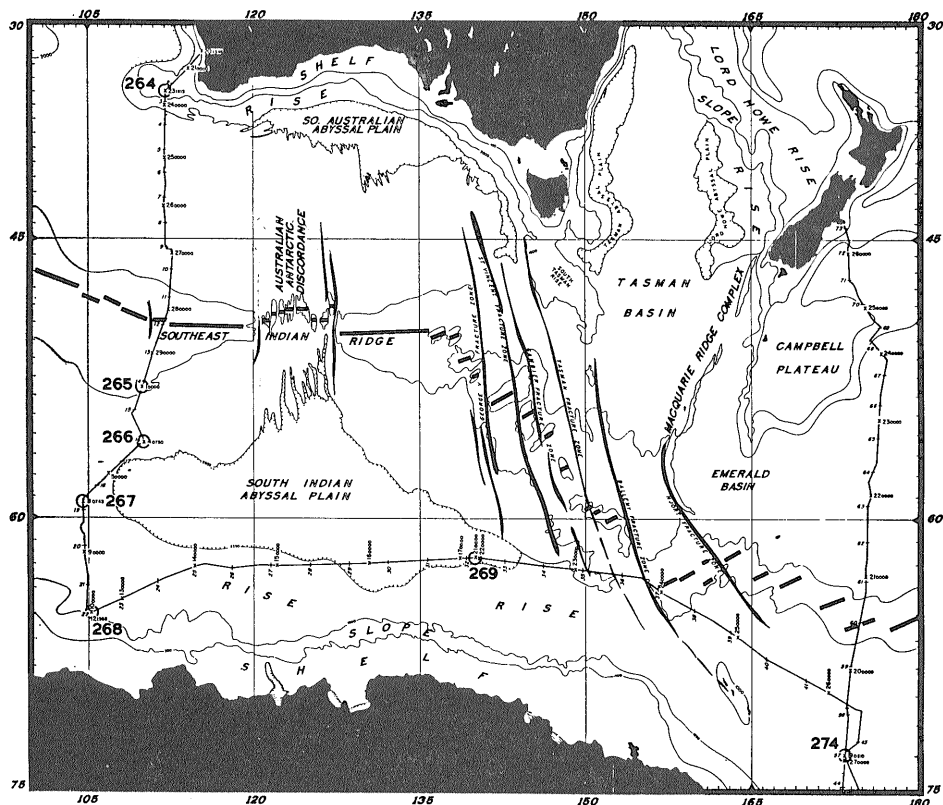
れました。基盤は古第三系より古いものと推定されます。堆積層の上部層ではプログレーディングした地層が発達しています。

西部堆積盆では最大層厚は3.5kmで堆積層中には緩やかな褶曲が見られます。東部堆積盆の層序との対比によると上部中新統以上と推定される堆積層が東部堆積盆に比べて 非常に薄く堆積層は主に 上部中新統-古第三系で構成されていると考えられます。

5-4. TH83航海—ウィルクスランド沖

ウィルクスランド沖海域(第18図)は かつてオーストラリアと隣り合っていた所であるので オーストラリアの南側の大陸縁域域と同様の大西洋型の大陸縁域域となっています。

デュモンデュアビル海のTH82航海で得られたデータを従来の資料と共に検討した結果 第19図のような構造が推定されました(Tanahashi et al. in press). 前期白亜紀頃には現在の大陸棚からコンチネンタルライズの外縁まで広がる広い堆積盆に 主に大陸内堆積物 (prerift sedimente) が堆積しており 後期白亜紀頃に現在の大陸斜面からコンチネンタルライズの外縁部まで続くリフト堆積盆があつて陸成ないし浅海成の堆積物 (sinrift sediments) が堆積していたと推定されました。つまりコンチネンタルライズの下にはかつての大陸地殻が変形 変質した大陸と海洋の中間的な地殻が存在すると推定しました。その後おそらく古第三紀に南極とオーストラリアが分裂して大陸の間に新しい海洋底が広がっていきました。この海洋底の拡大は現在も継続していま

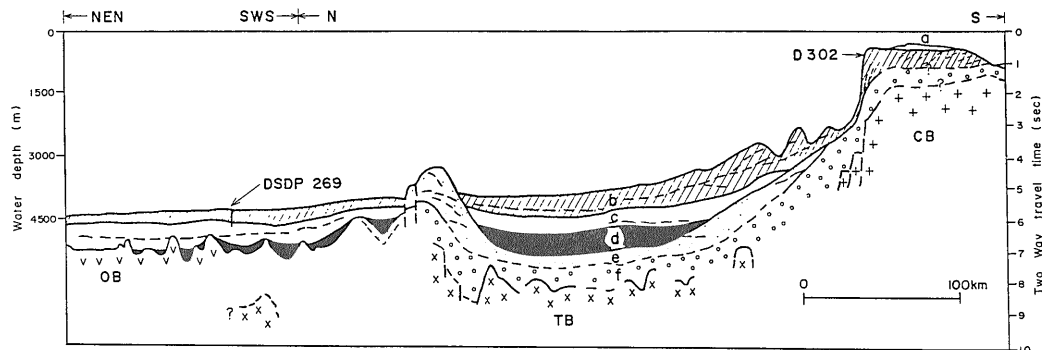


第18図
ウィルクスランド沖の
地形 (Hayes and
Wyll, 1975 による)

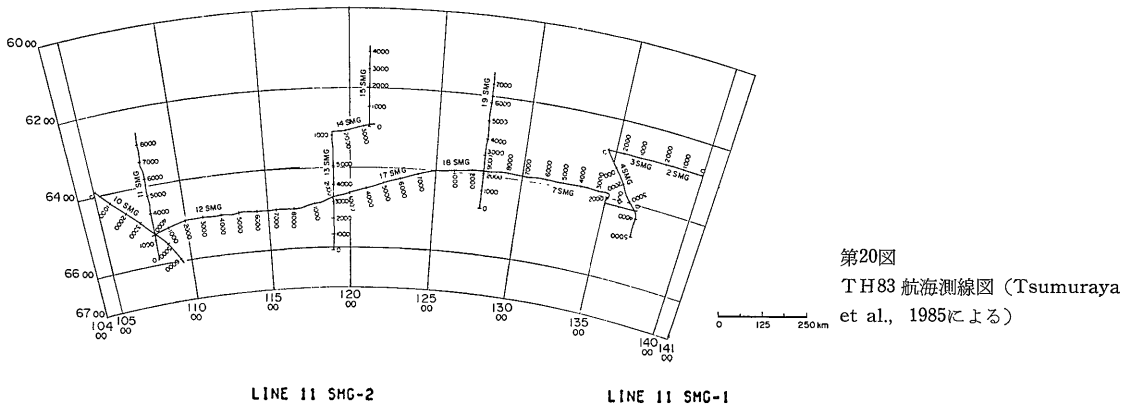
す。現在のコンチネンタルライズはその後しだいに沈降して2秒程度の海洋成堆積物が堆積しました。新生代の中頃からコンチネンタルライズの上で海底谷や大規模な斜交層理を示す migrating wave の堆積形態が発達しました。これはこの頃から大陸の氷床が現在の大陸棚まで広がって 陸上で侵食された堆積物が直接大陸斜面へ運ばれたことと 南極の周囲を流れる底層流の活動が活発になったためではないかと思われます。

しかしほぼ同じ時期にこの海域の調査を行った USGS の研究者は 2つの大陸の分裂は白亜紀の中頃に起き

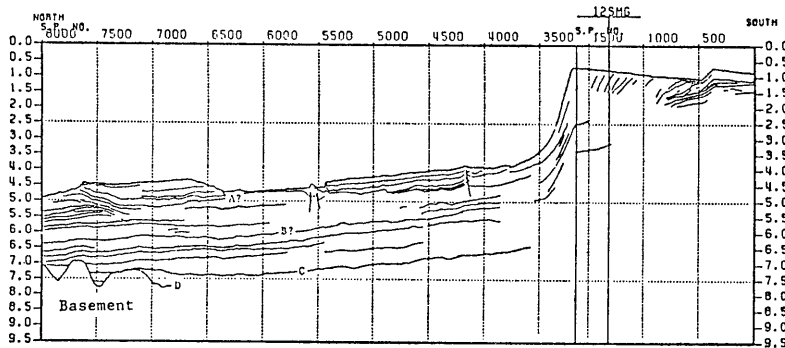
その分裂時に形成された不整合は筆者等の考えている不整合 (第19図のdとeの間)ではなく その下の不整合であると考えています (Eittrheim et al. 1985; Eittrheim and Smith, in press). 彼らによればこの海域の海底の拡大の始まりは Veevers (1986) の推定による白亜紀の半ばであり 先の不整合は Watts and Thorne (1985) が古第三紀初めに推定した海水準の低下によるものです。彼らもコンチネンタルライズの下地殻は海洋性のものではなく 非常に薄くなった大陸地殻だと考えています。また48chの地震探査を行った結果フランスの研究



第19図 ウィルクスランド沖大陸縁辺域の推定断面図 (Tanahashi et al., in pressによる)



第20図
T H 83 航海測線図 (Tsumuraya et al., 1985による)



第21図
ウィルクスランド沖の地質断面図
(Tsumuraya et al., 1985による)

者はコンチネンタルライズの下の地殻は大部分が海洋性のものであるという別の解釈をしています (Wannesson et al., 1985)。

T H 83の調査の結果(第20 21図) コンチネンタルライズの堆積盆の形状が広い範囲にわたって明らかになり最大3.7秒の層厚が確認されました。また DSDP site 268 で認められていた下部中新統と鮮新統の間の欠如がその上を通る測線上で記録上の不整合と対比され追跡されました。その結果中部中新統以上の層厚は所により大きく異なることがわかりました。また柱状採掘により後期鮮新世から初期更新世頃の *Globorotalia inflata* 等からなる浮遊性有孔虫の群集が発見されました。この頃には南氷洋もかなり温暖であったようです。

から白亜紀の分裂以前の陸成から浅海成の2,000mの堆積物があり その上に不整合で白亜紀初期から現世までの浅海成および氷河成の堆積層が1,500m以上乗っています。T H 84航海では北方のケルゲレン海台の南端部から大陸棚の外縁部までの測線がとられました。最も堆積の厚いところはコンチネンタルライズの下部です。ケルゲレン海台付近では正断層を伴ったリフト状の凹地が発見され 大陸斜面下部には一部に褶曲構造が見られました。大陸斜面では海進 海退を示す堆積形態が識別されました。コンチネンタルライズの堆積層の内部には成層した部分 反射が弱い部分 乱堆積の部分 migrating wave が発達した部分 埋積された谷地形等の様々な堆積構造が発達しています。

5-5. T H 84航海—アメリー棚水沖

この航海の報告は口答発表のみですが 簡単に成果を紹介します。この海域の位置と地形を Stagg (1985) によって第22図及び第23図に示します。この海域はゴンドワナ大陸の分裂以前にはインドの東部に続いていたと考えられています。分裂の時期は前期白亜紀とされています。

オーストラリアによる大陸棚の調査の結果によれば 5 km 以上の堆積層があって 大陸の基盤の上に二畳紀

5-6. 地殻熱流量測定の結果

石油公団の南氷洋の地質調査では毎回地殻熱流量の測定を行っています。T H 80~T H 83の4航海での測定結果が Tsumuraya et al. (1985) にまとめられているので第24図に紹介しておきます。地殻熱流量調査などのデータは少ない点数の測定ではデータの評価や地質解釈も困難ですが この調査のように系統的な測定を行ったデータは非常に貴重なものです。

6. 南氷洋の地質学的なトピックス

南氷洋には地質学的に見て非常に興味深い現象がたくさんあります。先に紹介したベリングスハウゼン海の沈み込みを停止した海溝の存在はその一つです。いくつかこのような興味深い現象を紹介しましょう。

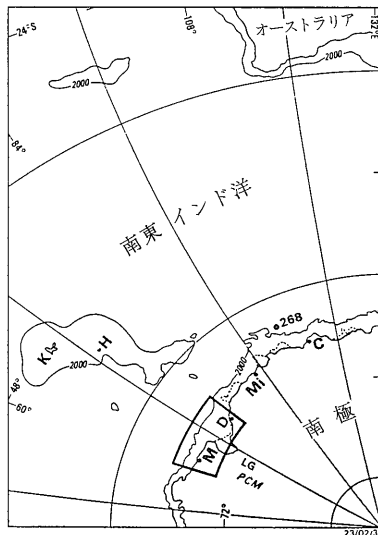
6-1. Seaward dipping reflectors

西ドイツの Hinz らはウェッデル海の顕著な不整合の下に海側に傾斜した反射面群 (Seaward dipping reflectors) を記載しました (Hinz and Krause, 1982)。この現象は大陸が分裂するときのはげしい火山活動によって造られた地層が示すと考えられたものでノルウェー沖や西アフリカ沖でも知られています。

新しい深海掘削計画の ODP 目的の一つとしてこの反射面群の実体を解明することが挙げられていて 昨年 (1985) ノルウェー沖で行われた Leg 104 ではこの反射面群を示す層とその下位の層が掘削され 反射面群はソレイト系列の陸上および水底噴出の溶岩からなり その下位の層は片麻岩の破片などを含む堆積岩層をはさみ大陸地殻上で噴出したと思われるアルカリ玄武岩であったとのことです (ODP ニュースレター-No. 3)。

6-2. 氷床の消長と海洋環境

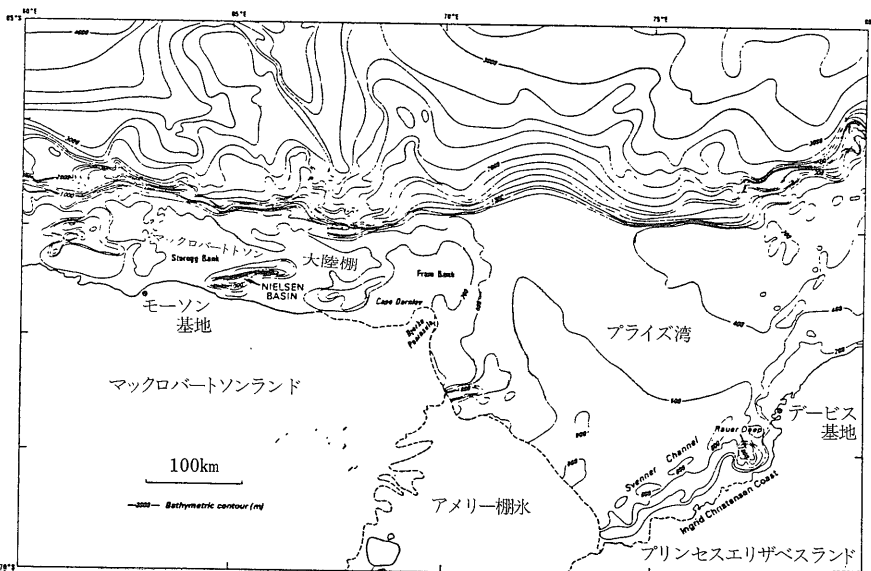
南極大陸のほぼ全体を覆っている厚い氷床がどのように成長しどのように衰退したかが大きな関心を呼んでいます。現在の南極山脈は古生代のロス造山帯とほぼ一致していますが その隆起は主に第四紀に起こったと



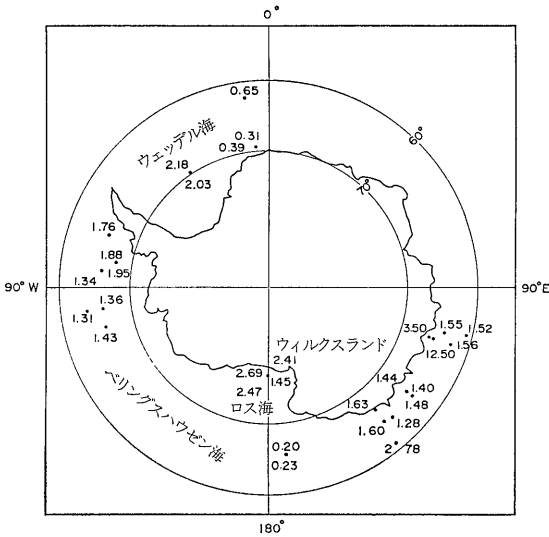
第22図 プライズ湾の位置 (Stagg, 1985による)

されています。その前の鮮新世には南極山脈のある部分には海水が入り込んでいたことが南極山脈の鮮新世の地層から海棲の化石が見つかったことからわかっています。ウィルクスランド沖の海域が初期更新世にかなり温暖であったことは T H 83 航海で得られた試料の分析でもわかりました。

現在南極の氷床は中新世に最も広く拡大し その後少し小さくなったと普通考えられていますが まだ調べなければならないことが沢山あります。このような南極の氷床の発達史を調べることは地球の環境の歴史を知り



第23図 プライズ湾の地形 (Stagg, 1985による)



第24図 南氷洋の地殻熱流量 (Tsumuraya et al., 1985による)

将来の気候を予測したりする上でも大切なことです。

ODP ではこのような海域の環境の変遷を調べることも大きな目的の一つです。

6-3. 非活動的大陸縁辺域

東南極の大陸縁辺域はすべて 大西洋型の非活動的大陸縁辺部となっています。これらは主に白亜紀に分裂しており分裂にともなう諸現象は 分裂の時期が新しく堆積物が薄いため 大西洋の縁辺に比べよりはっきりしています。特にオーストラリアの対岸のデュモンデュアビル海はマルチチャネル調査も多く行われており 大西洋型の大陸縁辺部の特性や発達史を解明するためにはよい場所だと考えられます。この海域では海底での侵食がはげしいため コンチネンタルライズでは大陸分裂後の堆積物が非常に薄い部分があり 分裂の開始の時のリフトの堆積物とその下の先リフトの堆積物さらにはそ

の下の基盤まで掘削することもできるかも知れません。

第19図に見られるコンチネンタルライズの外縁にある高まりは marginal high などと呼ばれ 海洋底の拡大の初期に拡大中心がジャンプしたことで形成されたと言われてはいますが この断面では内部の反射面が褶曲を示しており もっと複雑な形成過程が推測されます。

また 汎世界的な海水準変動の歴史がアメリカやアフリカの縁辺部のデータからまとめられようとしています。東南極縁辺部でもそれを調べることで 大洋毎に異なると思われる分裂後の沈降の影響を区別して 海水準変動の歴史を確立することができる可能性があります。このような観点からフランス アメリカなどからこの海域での ODP の掘削の提案がなされています。

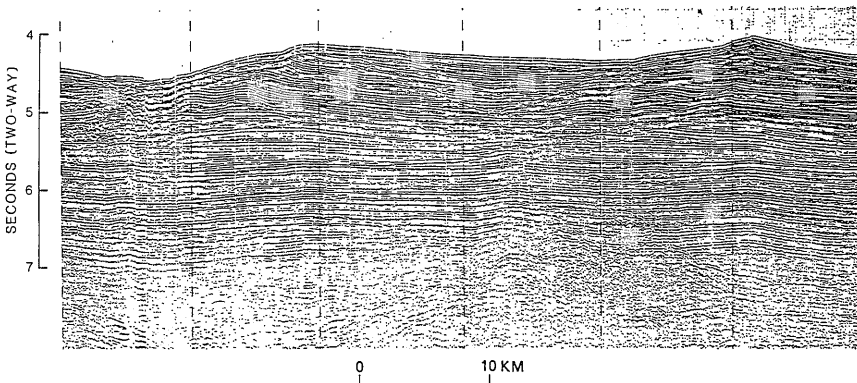
6-4. Migrating wave

東南極の縁辺部の地震探査記録には非常に大規模な migrating wave (Mitchum et al., 1977) と呼ばれる堆積構造が見られます。その規模は波長が 30~50km 振幅が 500m 程度にもなる巨大なものです。その形態は露頭で見られる波長10-20cm程度の climbing ripple と非常によく似ており 波のような形の反射面が下位から上位へ横方向へ少しずつずれて重なっているものです。

第25図に USGS の報告に紹介されているウィルクスランド沖の migrating wave の記録を示します。彼らはこの構造を depositional ridge と呼んでいます。migrating wave はおそらく相当に強い流れが 定期的に流れた時期がかなり長い地質年代にわたって存在したことを示すものでしょう。東南極沖のこのような巨大な構造がいつごろ どのようにしてできたか また climbing ripple など微細な構造とどのような関係を持っているのか非常に興味深い問題です。

7. 南氷洋の資源について

現在南緯 60° 以南の海域 陸域には世界の主要30数か



第25図
ウィルクスランド沖の migrating wave (depositional ridge) の例 (Eittrheim et al., 1984による)

国が批准している南極条約が適用されています。条約は南極を平和的目的のみに利用すること 科学的研究を促進することを目ざしています。経済的活動は許されていません。一方南極の資源が深海底鉱物資源などと同様に人類共通の財産であるという考えから資源探査開発を条件をつけた上で進めていこうという提案が条約加盟国の一部及び非加盟国から出されており南極条約の定期協議会でもそのための条約の見直しが進んでいます。

真夏にもそのほとんどが厚い氷に閉ざされた南極大陸ではたとえ石油などの鉱物資源が相当量存在しても近い将来に利用することは不可能です。一方 海域に大量に石油が存在すれば 最近北極海での油田開発が徐々に進行していることから全く不可能であるとは言い切れません。

USGS の Behrendt (1983) は10年から20年の内に探鉱開発が可能になると予測していますが 加藤 (1985) は近い将来南極で石油の開発生産が可能になる条件はまったくないと述べています。これは最近の石油価格の低迷による経済的な条件のみならず 技術的にも困難な条件が山積しているためです。Ivanhoe (1980) も南極での地質条件 技術的制約などを検討した上で 南極で油田を開発するためには 5×10^9 bbl 以上の超巨大油田でなければ将来にわたっても開発は不可能であろうと予測しています。またそのような油田が存在する可能性はほとんどないと考えられます。ちなみに USGS が1983年の世界石油会議で発表した世界の石油資源の可能性を考慮した埋蔵量予測では 南極地域全体で可能性の低いものが 9×10^9 ppl とされています。

いずれにしても 南極の鉱物資源の開発の可否 開発の条件について議論するためには情報が極端に不足しており 地球科学的な実体を解明することが先決問題だと思われれます。そのためにも石油公団が行っている南氷洋の地質調査は有意義だと言えます。

8. おわりに

石油公団の南氷洋調査は南極の周囲の重要海域の調査を行い すでに一巡したところで 今後白嶺丸の強化をして今まで行けなかった海域の調査を行おうとしています。今までの段階でも諸外国に比べ装備の点では不十分な点もありますが調査項目に試料採取も含まれていること 散点的ではあるが大陸を一周する広い範囲をカバーしたこと 調査結果が公表されていること 事故を起こしていないことなど 南氷洋の調査としては世界でも最も優れた調査プロジェクトの一つであると思います。

その裏には 乗船者のみならず 計画推進のための諸委員会の委員の方々 資源エネルギー庁 石油公団 地

質調査所の関係者 運航会社ほかの非常に多くの方々の大きな協力があります。今後も関係者全員の協力によって調査を安全に行って行ってほしいと思います。

その成果は地球科学的に見て 非常に素晴らしいものです。ただ残念なことに 調査の担当者が多忙なこともあり 報告が概要報告のみでとどまっていることが多く 成果が十分に広く知られるようになっていないという状況があるのも事実です。今後は引き続き調査航海での成功を願うと共に 成果のより詳細な報告を出して行って頂きたいと思います。また今まで国際的な協力については 様々な制約もあって 十分にはできて来ませんでした。ODP 等で今までの成果をより豊富にすることができる可能性が強まっていますので ぜひより一層推進していただきたいと思います。

最後になりましたが 筆者の石油公団への出向中御世話になりました石油公団の方々を初めとする関係者の皆様 またこの紹介を書くにあたって 種々御教旨下さいました石油公団石油開発技術センター佐藤俊二 同技術部佐木和夫 地質調査所海洋地質部の奥田義久の各氏にも厚くお礼申し上げます。

引用文献

- Addie, R. J. (1977) The geology of Antarctica: a review. in *Scientific Research in Antarctica*, The Royal Society of London, p. 123-130.
- Behrendt, J. C. (1983) Are there petroleum resources in Antarctica? U. S. Geological Survey Circular, 909, 24pp.
- Cameron, P. J. (1981) The petroleum potential of Antarctica and its continental margin. *Aust. Petroleum Expl. Ass. Jour.*, v, 21, p. 99-111.
- Eittrheim, S. L., K. Cooper, and Scientific Staff (1984) Marine geological and geophysical investigations of the Antarctic continental margin, 1984. U. S. Geological Survey Circular 935, 12pp.
- Eittrheim, S. L., M. A. Hampton, and J. R. Childs (1985) Seismic-reflection signature of Cretaceous continental breakup on the Wilkes Land margin, Antarctica. *Science*, vol. 229, p. 1082-1084.
- Eittrheim, S. L. and G. L. Smith (in press) Seismic sequences and their distribution on the Wilkes Land margin, in S. Eittrheim, A. Cooper, M. Hampton and F. Davey, eds. *Antarctic continental margin studies: offshore Wilkes Land and the western Ross Sea: Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Science Series*.
- Fossum, B. A., G. H. Maisey, and H. O. Torsen (1982) Marine geophysical research in the Weddell Sea during the Norwegian Antarctic Research Expedition of 1976-77. in C. Craddock (ed.) *Antarctic Geoscience*, Univ. Wisconsin Press, p. 397-404.

- Gjelsvik, T.(1983) The mineral resources of Antarctica: Progress in their identification. in F. O. Vicuna (ed.), Antarctic resources policy, Scientific, Legal and Political Issues, p. 61-76, Cambridge Univ. Press.
- Haugland, K. (1982) Seismic reconnaissance survey in the Weddell Sea. in C. Craddock (ed.) Antarctic Geoscience, Univ. Wisconsin Press, p. 405-413.
- Hayes, D. E. and R. E. Wall (1975) Bathymetric, magnetic, and seismic reflection data: Glomar Challenger, Leg 28. in Init. Rept. DSDP, v. XXVIII, US Government Printing Office, p. 945-975.
- Hinz, K. and W. Krause(1982) The continental margin of Queen Maud Land/Antarctica: Seismic sequences, structural elements and geological development. Geol. Jb. E23, p. 17-41.
- Hinz, K. and M. Block (1983) Results of geophysical investigations in the Weddell Sea and in the Ross Sea, Antarctica. Proceedings of the 11th World Petroleum Congress, London, PD2, p. 79-91.
- Houtz, R. and F. J. Davey (1973) Seismic profiler and sonobuoy measurements in Ross Sea, Antarctica. Jour. Geophy. Res., v. 78, p. 3448-3468.
- 石和田靖章 (1981) 南極ペリグスハウゼン海の地質. 石油技術協会誌 v. 46, No. 5, p. 290-294.
- Ivanhoe, L. F. (1980) Antarctica-operating conditions and petroleum prospects. Oil and Gas Journal, Dec. 29, p. 212-220.
- 加藤正和 (1985) 南極の地質と石油. 石油技術協会誌 v. 50, No. 2, p. 151-165.
- Kimura, K. (1982) Geological and geophysical survey in the Bellingshausen Basin, off Antarctica. Antarctic Record, No. 75, p. 12-24.
- Mitchum, R. M., Jr., P. R. Vail, and J. B. Sangree (1977) Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 6: Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. in Seismic Stratigraphy-applications to hydrocarbon exploration, Amer. Assoc. Petroleum Geol. Memoir 26, p. 117-133.
- 宮崎滋治 (1980) 南極の地質と石油. 石油の開発 v. 13, no. 1, p. 29-47.
- Okuda, Y., T. Yamazaki, T. Sato, T. Saki, and N. Oikawa (1983) Framework of the Weddell Basin inferred from the new geophysical and geological data. Memoirs of National Institute of Polar Research Special Issue, No. 28, p.93-114.
- Sato, S., N. Asakura, T. Saki, N. Oikawa, and Y. Kaneda (1984) Preliminary results of geological and geophysical surveys in the Ross Sea and in the Dumont d'Urville Sea off Antarctica. Memoirs of National Institute of Polar Research Special issue, No. 33, p. 66-92.
- Stugg, H. M. J., D. C. Ramsay, and R. Whitworth (1983) Preliminary report of a marine geophysical survey between Davis and Mawson stations, 1982. in R. L. Oliver, P. R. James and J. B. Jago (eds.), Antarctic Earth Science. Australian Academy of Science, Canberra, p. 527-532.
- Stugg, H. M. J. (1985) The structure and origin of Prydz Bay and MacRobertson Shelf, East Antarctica. Tectonophysics, v. 114, p. 315-340.
- Stump, E. and R. W. Fairbridge (1975) Antarctica. in R. W. Fairbridge(ed.) The Encyclopedia of World Regional Geology, Part 1, p. 2-13.
- Tanahashi, M., T. Saki, N. Oikawa, S. Sato (in press) An interpretation of the multichannel seismic reflection profiles across the continental margin of the Dumont d'Urville Sea, off Wilkes Land, East Antarctica, in S. Eittreim, A. Cooper, M. Hampton and F. Davey, eds., Antarctic continental margin studies: offshore Wilkes Land and the western Ross Sea: Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Science Series.
- Tsumuraya, Y., M. Tanahashi, T. Saki, T. Machihara, and N. Asakura (1985) Preliminary report of the marine geophysical and geological surveys off Wilkes Land, Antarctica in 1983-1984. Memoirs of National Institute of Polar Research Special Issue, No. 37, p. 48-62.
- Tucholke, B. E. and R. E. Houtz (1976) Sedimentary framework of the Bellingshausen Basin from seismic profiler data. in Init. Rept. DSDP, v. XXXV, US Government Printing Office, p. 197-227.
- Tucholke, B. E., C. D. Hollister, F. M. Weaver, and W. R. Vennum (1976) Continental rise and abyssal plain sedimentation in the southeast Pacific Basin-Leg 35 Deep Sea Drilling Project. in Init. Rept. DSDP, v. XXXV, US Government Printing Office, p. 359-400.
- Veevers, J. J. (1986) Breakup of Australia and Antarctica estimated as mid-Cretaceous (95+/-5Ma) from magnetic and seismic data at the continental margin. EPSL, v. 77, p. 91-99.
- Wannesson, J., M. Pelras, B. Petitperrin, M. Perret and J. Seguofin(1985)A geophysical transect of the Adelie Margin, East Antarctica. Marine and Petroleum Geology, v. 2, p. 192-201.
- Watts, A. B. and Thorne, J. (1984) Tectonics, global changes in sea level and their relationship to stratigraphic sequences at the US Atlantic continental margin. Marine and Petroleum Geology, v. 1, p.319-339.
- Weissel, J. K., D. E. Hayes, and E. M. Herron (1979) Plate tectonic synthesis: the displacements between Australia, New Zealand, and Antarctica since the Late Cretaceous. Marine Geol., v. 25, p. 231-277.
- 矢内桂三 (1979) 南極大陸. 岩波講座「地球科学」16 「世界の地質」 p. 221-233 岩波書店.