

オーストラリア西岸沖の大陸斜面における堆積層構造について

堀 田 宏*

SEISMIC REFLECTION PROFILING ON THE CONTINENTAL SLOPE OF THE WESTERN AUSTRALIA

Hiroshi HOTTA*

Abstract

The continuous seismic reflection profiling was made in 1965–1966 during the 7th Japanese Antarctic Research Expedition. This paper reports on the structure of sediments on the continental slope along the west coast of the Australian continent, as a part of the results. The pneumatic gun of Lamont Geological Observatory type was used as the sound source. The ship's track is given in Fig. 1. Photographic records are presented in Figs. 3, 4, 6 and 8. Line drawings from these photographic records are presented in Figs. 5, 7, 9 and 10. In these pictures, horizontal distances are given in terms of the ship's navigation time. One hour navigation of

the ship gives approximately 22km of distance, as the ship ran at a rate of 12 kt during the observation. Depths of the sea bottom and each reflector are given in two way reflection travel time in seconds. The whole area of observation is divided into three regions depending on the character of structure of sediments. Each region is numbered from the north to the south. Schematic illustrations of Fig. 11 show the character of structure of sediments in each region. This division may not have practically any geological significance, since there is only one profile running parallel to the continental slope of the Australian continent.

1. ま え が き

海洋底堆積層構造の研究は、地殻変動の研究に関して重要な手掛りを与えるものとして、近年大いに注目されてきている。我が国においても、その研究の重要性が認められ、南極地域観測事業の再開ともなって、地震部門の船上研究観測として seismic profilerによる海

*北海道大学理学部地球物理学教室. Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University, Kita-10, Nishi-8, Sapporo.

洋底堆積層構造の研究が新たに加えられることになった。深海を対象とする continuous seismic reflection profiling の技術は、我が国としては初めてのものであり、1965年夏以来、多くの試験航海が行なわれ、その性能について種々の検討がなされた。その際に得られた資料の一部は既に報告されている（堀田、1967）。この小論は、1965-1966年の第7次観測で得られた記録のうち、オーストラリア西岸沖の大陸斜面についてのものを資料として報告するものであり、できるだけ主観的な解釈は避けた。地質学的解釈は、今後更に多くの地球物理学および地質学的調査資料の蓄積を待って行なわれるべきものである。

2. 測定方法

測定方法および得られた記録の基本的な解析手続きは既に述べられている（堀田、1967）ので、ここでは簡単な説明に止める。

音源は繰返し周期を約5秒から20秒までの範囲にわたって任意に変えることができ、しかも安全性が高いことから、Columbia University の Lamont Geological Observatory で開発された Airgun (EWING and ZAUNER, 1964) を用いた。これは単純なシリンダーとピストンによって構成され、シリンダー内にためられた高圧空気を水中に放射する際の爆発音を利用するものである。第7次観測では、その圧力を $120-130\text{kg/cm}^2$ として用いた。海底および堆積層内の境界面からの反射波は、1つの hydrophone system で受けられるが、記録器では2つのチャンネルに分けて記録することができる。したがって、1つのチャンネルに対しては、できるだけ増幅度やフィルターの周波数範囲を固定し反射波の地域的な変化を比較できるように努めた。他のチャンネルに対しては、随時これらを変えて、注目する浅い反射面、あるいは深い反射面を見易く記録することにした。

3. 測線および背景となる資料

図1は簡単な海底地形図 (Fiziko-Geograficheskiy Atlas Mira, 1964) に測線を入れてその位置を示したものである。また図2はオーストラリア西部の地殻変動、地質および海洋における地形分類を参考に示したものである (Fiziko-Geograficheskiy Atlas Mira, 1964)。これによると、陸上第三系、第四系の堆積層の存在は海岸に近い最も西側の狭い地域に限られ、更に中生代、古生代の堆積層もごく一部に限られていて、大部分は先カンブリア紀の古い岩石が露出していて、いわゆる楯状地を成していることかわかる。このことから想像されるように、オーストラリア西部は、北米大陸のカナダ楯状地等と同様、地震活動のない安定

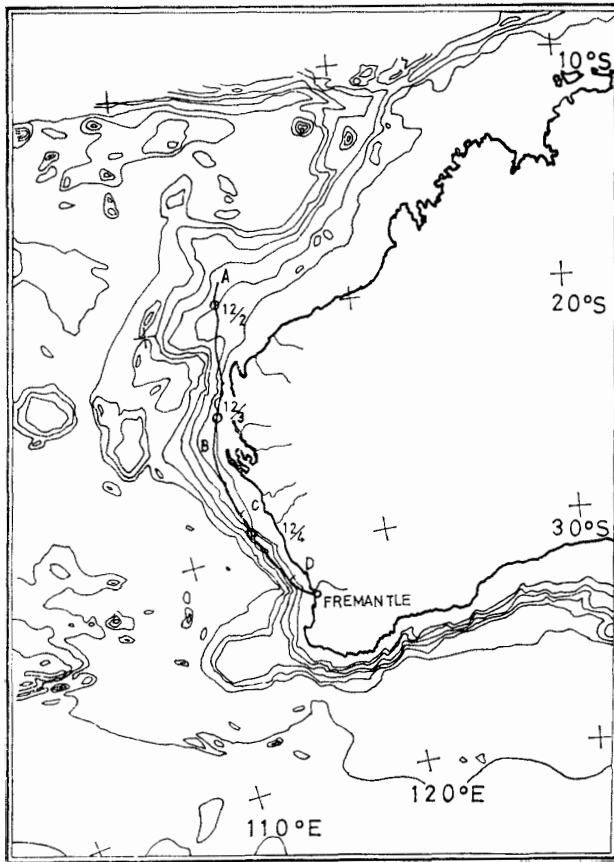
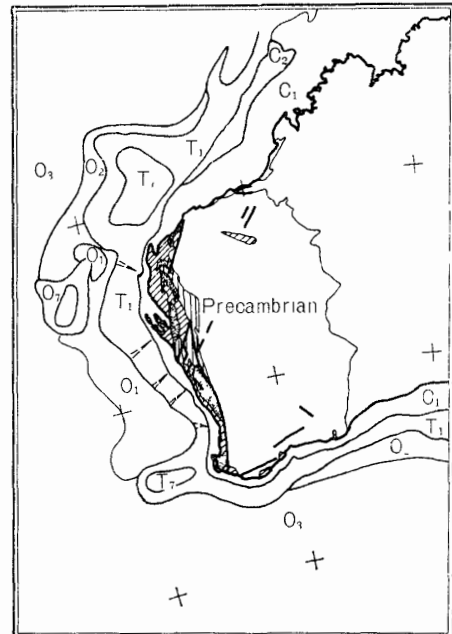


図1 Seismic profiler による海底地形および堆積層の調査を行なった測線(海底地形図は Fiziko-Geograficheskij Atlas Mira, 1964 によった).
 Fig. 1. Continuous seismic reflection profiling track is shown in a bathymetric chart (Fiziko-geograficheskij Atlas Mira, 1964). Alphabetic letters show ends of each region which have a different structural type of sedimentary layer



Cenozoic	Fault	T ₁ Continental slope
Mesozoic	Tectonic canyon	T ₂ Plateau
Palaeozoic	C ₁ Continental shelf	O ₁ Abyssal plain
Precambrian	C ₂ Continental shelf	O ₂ Continental rise
		O ₃ Ocean basin (rough)

図2 オーストラリア西部の地質および地殻変動と周辺海域の海底地形分類 (Fiziko-geograficheskij Atlas Mira, 1964)
 Fig. 2. Geological and tectonic map of the Western Australia and physiographic features in the eastern part of the Indian Ocean (Fiziko-geograficheskij Atlas Mira, 1964).

大陸塊である (GUTENBERG and RICHTER, 1954) またインド洋の地震活動はオーストラリア西部沖合で非常に少ないことも知られている (STOVER, 1966). これらの地震学的資料から、オーストラリア西部および周辺海域は現在極めて安定な状態にあると考えられる。

陸上の断層に対応するものとして、海洋域では、地殻変動にもなうと考えられる海底峡谷が示されているが、これについては後に触れる。

海底地形分類はロシア文の意味を汲んで対応する英語を当てて示してある。測線はこの地形分類によると、北のT₂で示される Exmouth Plateau (HEEZEN and THARP, 1965) からオーストラリア西岸沖の大陸斜面をほぼ南北に縦断してフリーマントルに至るものであ

る。

4. 堆積層の構造

得られた記録の例を図3, 4, 6, 8 に示す。横軸は測定時間で目盛りをつけ、縦軸は往復の反射時間を秒で目盛りをつけてある。本来、横軸は距離を表わすものであるが、船速を12ktとすれば、1時間は約22kmに相当する。したかつて、得られた記録による海底地形は約7倍深さ方向に拡大されている。これらの記録から顕著な反射面をトレースして示したのが図5, 7, 9, 10である。太い実線は非常に明瞭な強い反射面を示し、斜線を施した層は多くの反射面が近接していると考えられるものである。

この測線に沿うオーストラリア西岸沖の大陸斜面は、異なる堆積層構造を持つ3つの地域と、フリーマントル沖合の大陸斜面から大陸棚に至る部分に分けられる。地域1は図1のAからBまでの範囲である。この地域での堆積層の構成は、図3および図4の原記録で見られるように、第1層は音響的に透明な層、第2層は多くの反射面が近接していると考えられる不透明な層、そして第3層はかなり透明な層から成っていて、大局的に3層構造であると云える。第2層と第3層の境界面は一般に明瞭であって、しかも平坦である。地域2はBからCまでの範囲であり、そこでの堆積層構造は、あたかも地域1での第1層が欠けたように、不透明な層が最表層を成している(図6) この地域でも、第1層と第2層の境界面は明瞭であり、しかも平坦である。このことは両地域での海底地形が、一般に凹凸に乏しいことと共に、地域1と地域2に共通な特徴と云える。地域3はCからDまでの範囲であって、その海底地形は、図8に一部示すように非常に凹凸に富んでいる。水深も前2地域に比べて深い。これらのことから地域3は前2地域とまったく別の性格を持った部分であると考えられる。その堆積層の構成も完全に異なり、明瞭な層構造を指摘することは困難である。特に図8に示した南側の部分では、海底面下にほとんど反射面を見出すことはできない。この地域3は、HEEZEN and THARP の海底地形図(HEEZEN and THARP, 1965)によると、フリーマントル沖合からNNW方向に延びる数条の割目状の地形を斜に横切っている範囲に相当する。この走向は南緯28度から32度にかけての、陸上に見られる断層のものとはほぼ一致している(HAWKINS *et al.*, 1965)、それらの陸上の断層は中生代と新生代の堆積層の境界を成している。

4.1. 地域1の堆積層構造

地域1の解析図を図5に示す。矢印I~II間およびIII~IV間は、透明な第1層のみが薄

くなり、海底地形は凹形を示している。矢印 III~IV 間は図 3 に原記録を示してあり、その対応する部分は図 5 で、下の太い矢印で示してある。これらの地形は、第 2 層の上面が平坦であることから、地殻変動によるものと思われず、海底での一種の浸蝕によるものと考え

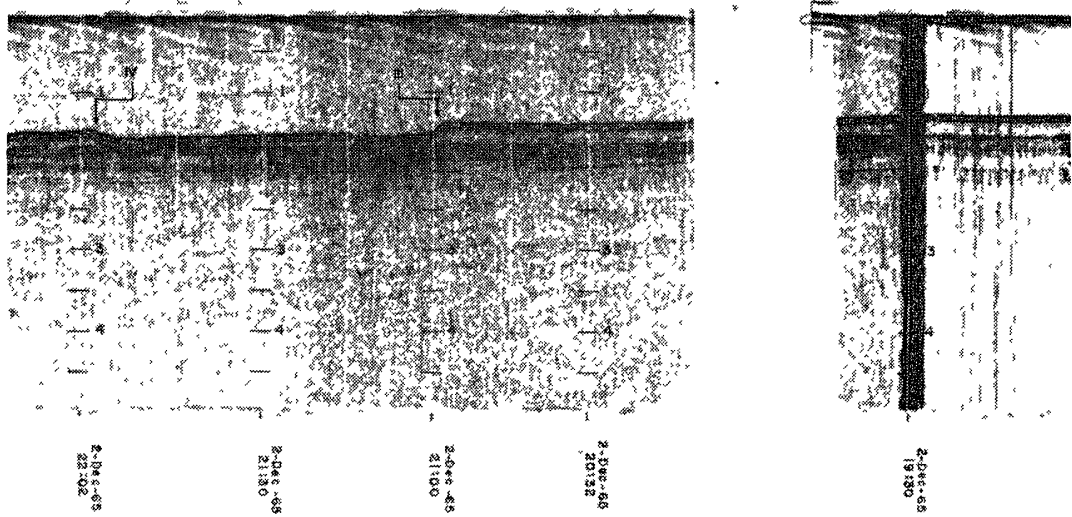


図 3 地域 1 における記録の例

Fig 3 A typical record of region 1 which is shown by a line between A and B in Fig 1 This picture shows transparent sediments in the topmost layer which is clearly distinguished from the underlying opaque sediments by strong and flatterly reflectors The topmost layer of transparent sediments is thin in the area between arrows III and IV, but no remarkable change is seen in the underlying sediments It may indicate erosion on the sea bottom

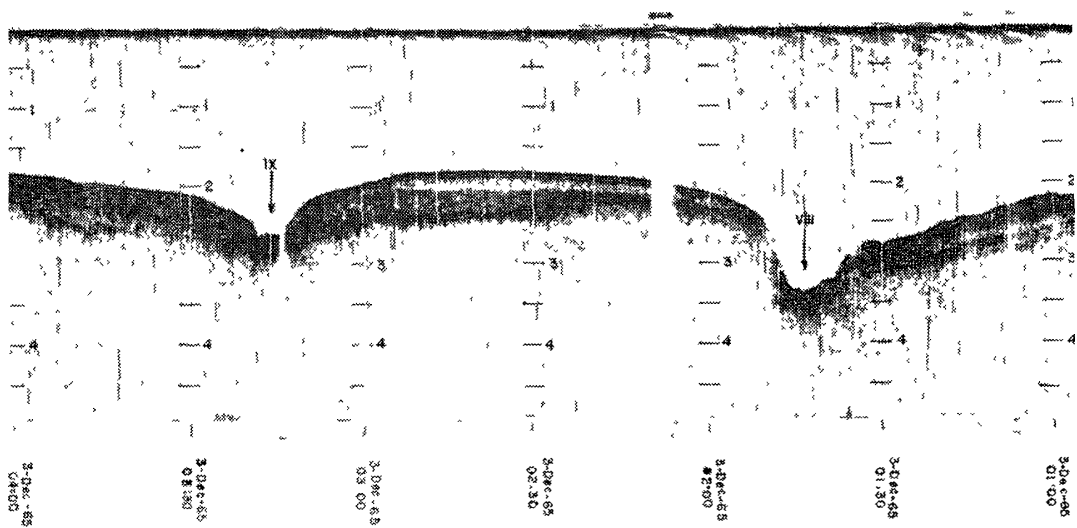


図 4 地域 1 における他の記録の例。大規模な海底峡谷状地形が見られる。

Fig. 4. Two big submarine canyon-like shapes are seen in region 1 off the Northwest peninsula of the Western Australia It is suggested that the canyon at arrow VIII may have been formed by a fault, because there is about 900m difference in level of the deepest reflector across this canyon

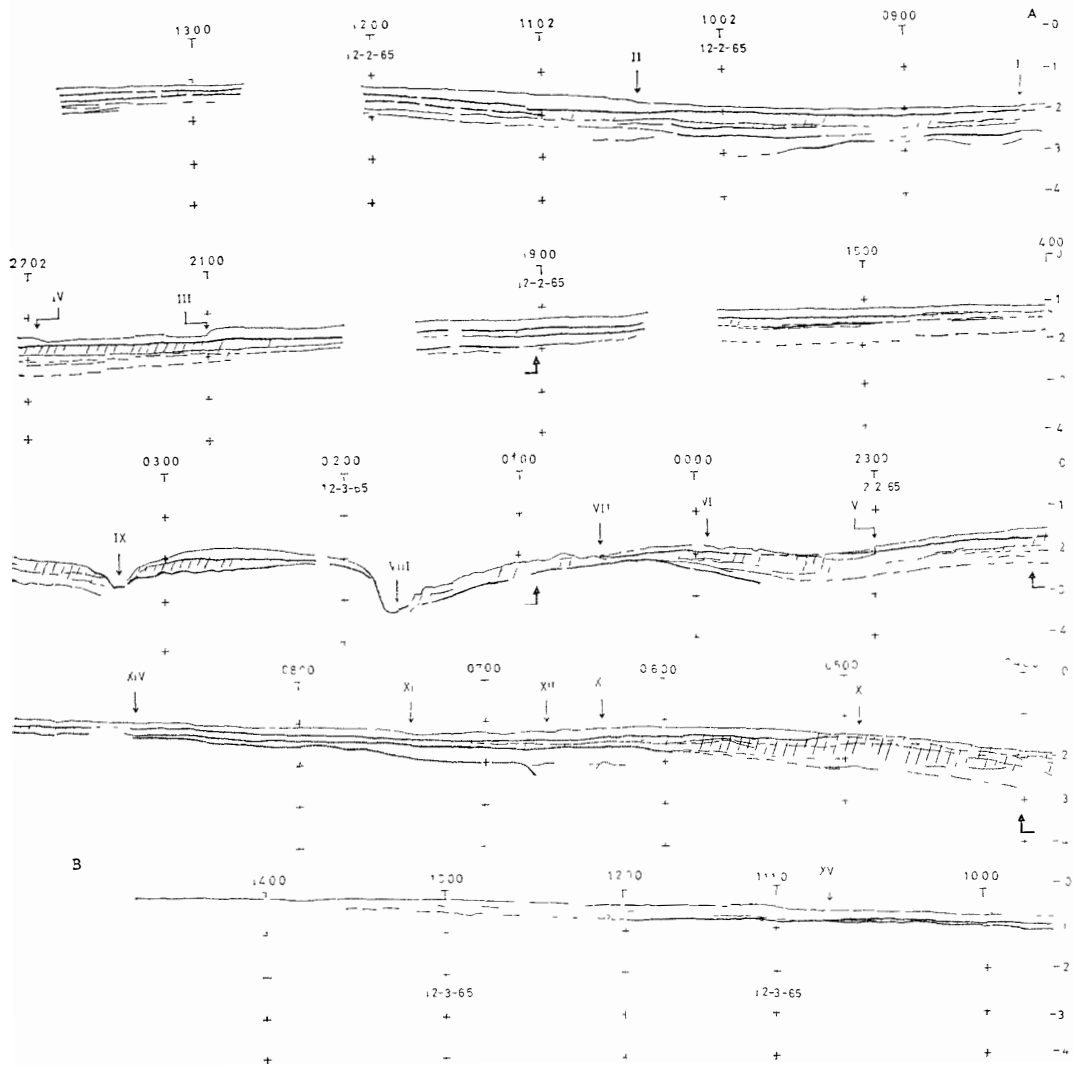


図 5 地域 1 における海底地形および堆積層構造

Fig. 5. The structure of sediments in region 1. These pictures are redrawn from the records by lines. Thick solid lines show predominantly strong reflectors. Finely stratified opaque layers are shown by hatching. Thick arrows drawn below the picture give the range where photographic records are shown in Figs. 3 and 4. Thick arrows in Figs. 7 and 9 are same indications.

られる。矢印 V~VI 間の凹地形では第 1 層が一部欠けていて、前 2 者と同様の原因によるものと考えられるが、第 3 層上面も凹形を示している点が異なっている。この矢印 VI の地点位までが Exmouth Plateau と思われるが、前述の HEEZEN and THARP の海底地形図には ENE-WSW 方向に延びる溝状地形が示されていて、これらの凹地形がそれらに対応するものと考えられる。これらの地形は、その幅が 20km あるいはそれ以上であるのに対し、深さは精々 100m 程度である。

第3層は矢印VIの付近で、上部が斜に切られ、第2層と不整合になっている。このことは、地殻変動の歴史を考える場合の一つの鍵になるものである。

オーストラリアの大陸斜面の矢印VIIでは、透明な第1層が無くなり、海底に不透明な第2層が露出している。ノースウエスト岬の沖合に当るVIIIでは、この第2層も削られ、第3層が露出している大規模な海底峡谷状地形が見られる。同様の地形は矢印IXにも見られる。この付近の原記録は図4に示してある。矢印VIIIの南寄りでは第2層が欠けて透明な第1層が直接第3層に接しているが、更に南寄りでは再び不透明な第2層が見られる。したがって、VIIIの両側の構造で、第3層上面を比較すると約900mの食い違いが存在する。このことは、この海底峡谷状地形は本来断層に起因するものであることを示唆しているものと考えられる。これに対して、矢印IXでは、第3層上面は両側にゆるく傾斜しているが、大きな食い違いは見られない。矢印IXからXにかけては透明な第1層は存在しないで、不透明な第2層が海底に露出している。矢印Xから南では再び透明な第1層が見られるが、不透明な第2層は徐々に薄くなり、矢印XVで完全に見られなくなる。第3層は矢印XIIからXIVまでの間で、上層部から順に見られなくなる。このことは矢印VI~VII間で見られた第2層と第3層の関係と同様である。矢印XVから南寄りの透明な第1層の下に存在する層は、矢印XI付近の最深反射面として出現したものである。この層は矢印XIIまでの間に乱れが見られるが、浅くなるに従って次第に強い反射を示すものである。図2で、tectonic canyonとして示されている最北端のものは、矢印XIからXIIIまでの間に相当するが、それに対応する海底峡谷は見られない。ただ、矢印XII~XIIIでの第1層はわずかに薄くなり、海底での浸蝕を示している。

4.2. 地域2の堆積層構造

地域2の解析図を図7に示す。この地域での第1層は前述のように、地域1での第2層と良く似たものであることは、それぞれの地域での代表的な記録例である図3と図6を比較すれば容易にわかる。同様にして、この地域の第2層が、地域1での第3層と似ていると云える。地域2では、地域1よりも海底地形および堆積層構造の大きな変化が少ない。小さい海底地形の凹凸はすべて第1層の厚さの変化のみによっていることは、地域1と同様である。この第1層は南側に次第に薄くなり、矢印XIXでなくなっている。B点付近での第2層の上面は、次第に深くなり、矢印XVIIIとXIXの間で不明となる。矢印XVII付近で第1層の下に現われた層は、次第に厚さを増し、優勢な第2層となり、矢印XIXで海底に露出する。矢印XVIとXVIIIの間で、この第2層の下に薄くレンズ状に存在する層が見られる。

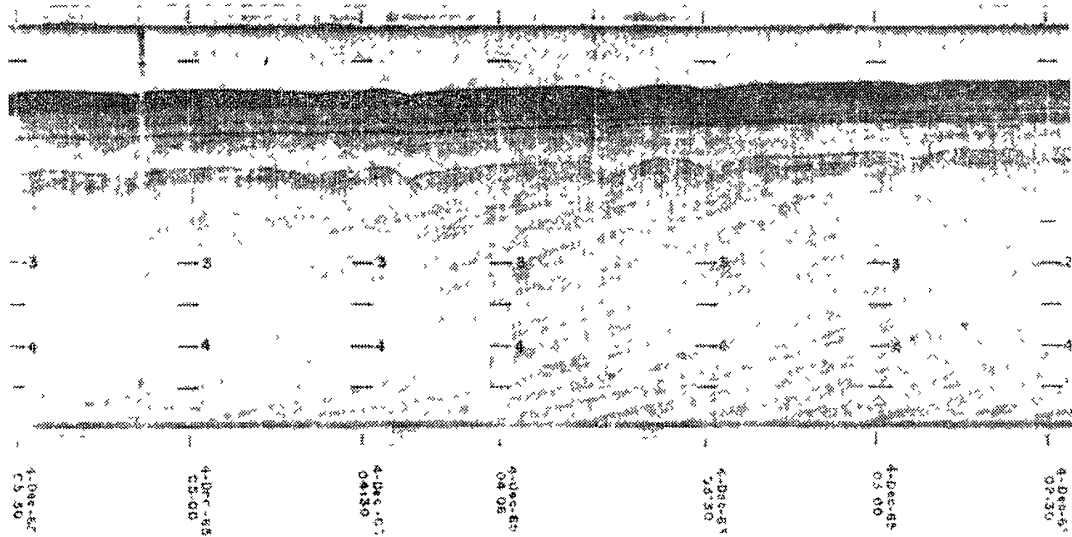


図 6 地域 2 における記録の一例

Fig 6 A typical record of region 2 which is shown by a line between B and C in Fig 1. The sedimentary structure of this region consists of finely laminated opaque sediments of the topmost layer, rather transparent sediments of the second layer which is distinguished from the deepest transparent layer by two strong closely spaced reflectors. It is the common character between regions 1 and 2 that the roughness of the sea bottom does not affect deeper layers.

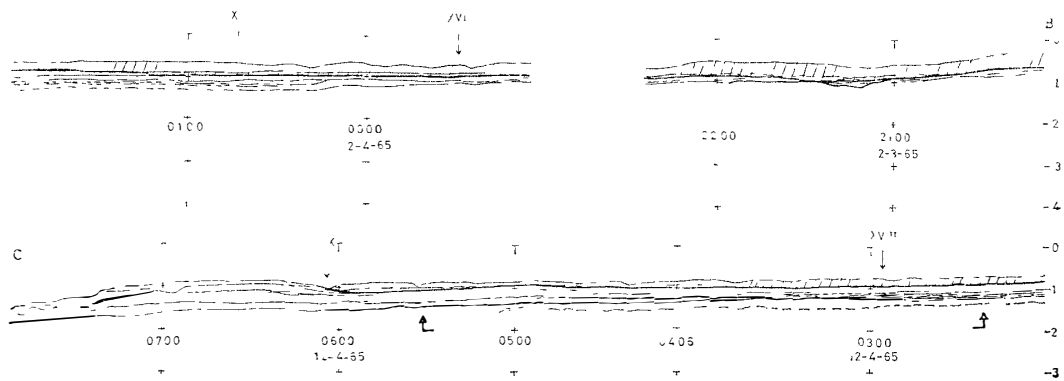


図 7 地域 2 における海底地形および堆積層構造

Fig 7 The structure of sediments in region 2

矢印 XVIII 南寄り 03 時 30 分頃 から 05 時頃 にかけての構造は図 6 の原記録で見られるように、多数の反射面があると考えられる不透明な層、比較的透明な第 2 層、そして強い 2 重の近接した深い反射面と云う構成であって、Houtz 等 (Houtz *et al*, 1967) がニューージーランド東側の Mernoo Bank の北で示しているものと非常に良く似ている。矢印 XIX から C 点までの海底には、それより北の第 2 層が露出しているように見える（があるいは最表層だけは連続していて第 2 層は露出していないのかもしれない）いずれにしても、矢印 XIX 付

近から第2層が層を増していることは認められる。

地域2を逆しての第1層とそれ以下の層との関係は地域1での第2層と第3層との関係に

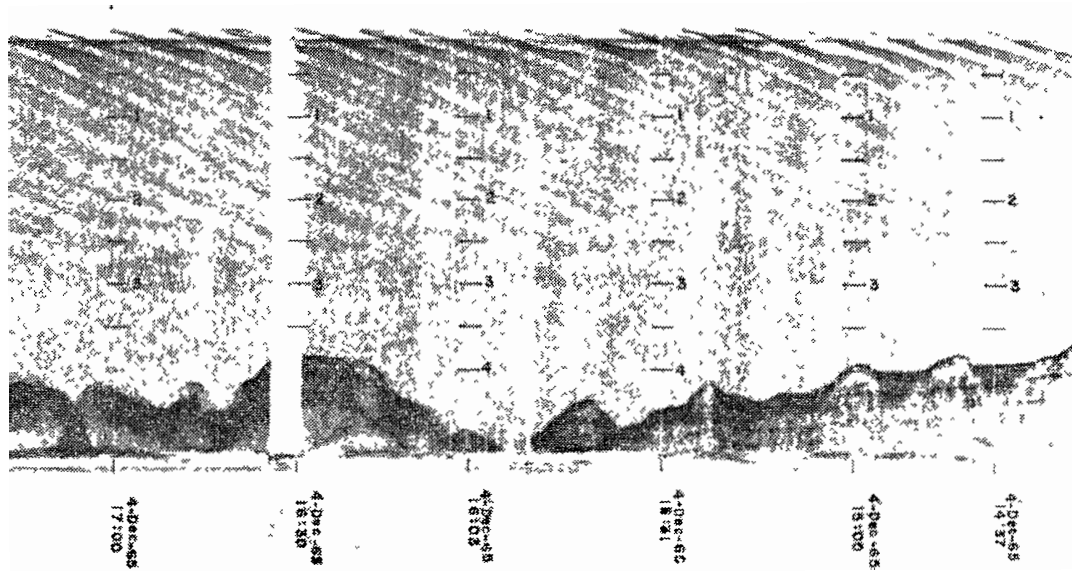


図8 地域3における記録の例

Fig. 8. A typical record of region 3 which is shown by a line between C and D in Fig. 1. The structure of sediments of this region is characterized by rough topography and no stratified sediments.

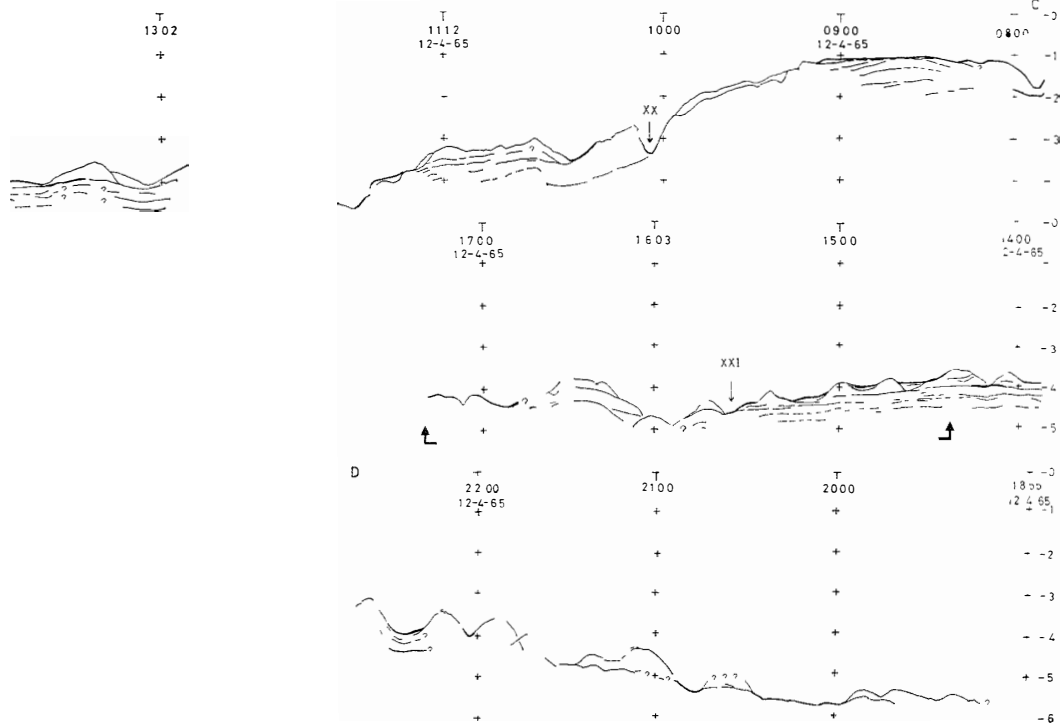


図9 地域3における海底地形および堆積層構造

Fig. 9. The structure of sediments in region 3

似ていることは興味深い。地域1および地域2での堆積層構造を模式的に書いて示したのが図11の上である。

4.3. 地域3の堆積層構造

地域3の解析図を図9に示す。地域3における層と地域1, 2の層との対比はむずかしく、よくわからない。C点から09時頃までの表層が、地域2の大部分での第2層に対応することには問題はない。しかし、09時の南からその層構造は不明となって、音源の故障で測定のない部分から先はまったく対応をつけられない。矢印XXからXXIにかけては比較的透明な堆積層が見られる。図8に原記録を示した付近では、この透明な堆積層の凹凸を埋める比較的不透明な堆積層が見られる。凹凸を示す透明な層の下には平坦な連続した反射面が見られることから、この凹凸は海底での浸蝕によってできたものと考えられる。矢印XXIからD点までは、ほとんど反射面らしいものを指摘できない。C点での海底谷状の地形は陸上のマーチンソン川に続くものと思われる。図2に示したソ連の資料によるとこの付近に tectonic canyon が存在するが、C点での構造はその両側で何らの食い違いも示していない。

4.4. フリーマントル沖の大陸斜面

この部分を便宜上、地域4と呼ぶことにする。その解析図を図10に示す。この大陸斜面での堆積層の構造は、水深が大きいほど大陸棚での下位の層が海底に露出する形式を示している。矢印XXII付近で海底に露出している(あるいは非常に海底面に近い)層は、矢印XXIII付近で上位の層と不整合的な関係を示している。矢印XXIIIから大陸棚にかけての海底は、別の比較的透明な層でおおわれている。XXIIからXXIIIまでの間では不透明な層が海底に露出しており、この層は大陸棚の下まで続いている。これらの層と他の地域での各層との対比はわからない。フリーマントル沖合の大陸棚で行なわれた屈折法地震探査の結果(HAWKINS *et al.*, 1965)によれば、水深120m(016s)で、176km/sの低速度堆積層が

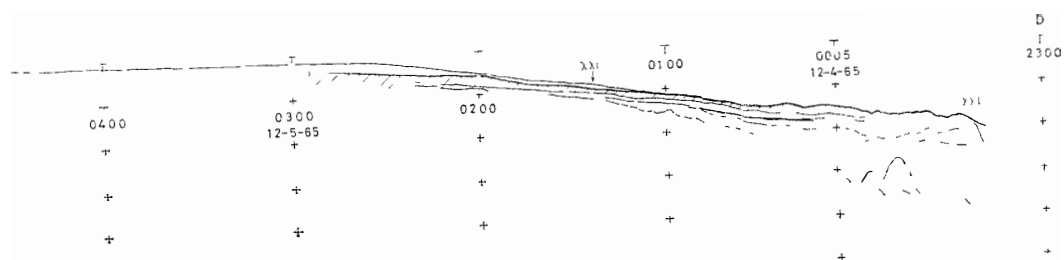


図10 地域4における海底地形および堆積層構造

Fig 10 The structure of sediments on the upper continental slope off Fremantle

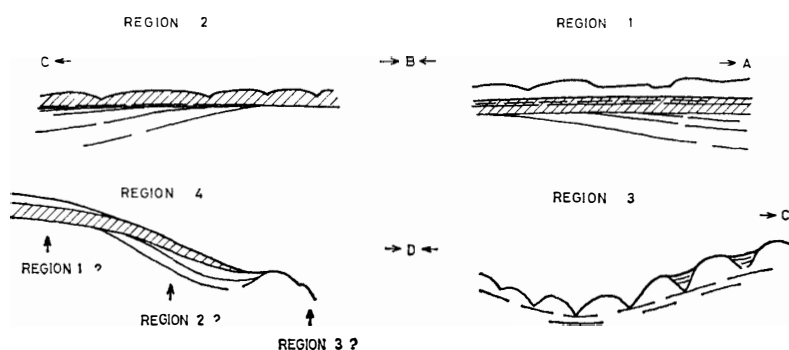


図11 各地域の堆積層構造の特徴

Fig 11 Schematic illustrations of the structure of sediments in each region.

0.3kmの厚さで存在していて、その下には2.89km/sの層となっている。0.3kmの厚さは反射時間で表わすと、約0.34秒となる。今回得られた記録では大陸棚の端付近で透明な層とその下の不透明な層を合せると、約0.4秒に境界面があるが、この境界面が前述の屈折法のものと同じであるとすれば、両層の平均速度は1.76km/sになる。地域3および地域4の堆積層構造を模式的に示したものが図11の下である。

図11で、地域4の構造と他の地域のそれを比較すると、それぞれの地域は矢印を付した大陸斜面の部分に良く似ていることがわかる。したがって、この小論での地域分類は、何ら地質学的な意味を持つものでないかも知れない。ただし、地域1と地域2の水深は図11の矢印の部分とは逆に、地域1の方が深いことは注意すべきことである。

5. あとがき

オーストラリア西岸沖の大陸斜面で行なった堆積層の調査の結果について述べたが、おそらく公表されたものとしては初めてのものと思われる。しかし、その測線は南北に一本のみであって、しかも数カ所にわたって欠測があり、不十分なものであることはいうまでもない。今後この測線と直交する大洋底から大陸棚への測線がとられることによって、多くの不明確さは解決されるであろう。

最後に、本観測を実施するにあたり好意あるご協力を惜しまれなかった「ふじ」乗組員諸氏に謝意を表します。

また国立科学博物館の村内必典博士、浅沼俊夫氏をはじめ一方ならぬお世話をいただきま

した多くの方々に感謝いたします。

北海道大学の田 望助教授には原稿をお読みいただき、数々の適切なるご助言をいただきましたことを感謝いたします。

文 献

- AKADEMIYA NAUK SSSR (1964) Fiziko-Geograficheskiy Atlas Mira (Physico-Geographical Atlas of the World), Moscow.
- EWING, J I and R ZAUNERF (1964) Seismic profiling with a pneumatic sound source J Geophys Res., **69**, 4913-4915.
- GUIENBERG, B and C F RICHTER (1954) Seismicity of the Earth, 2nd ed, Princeton Univ Press
- HAWKINS, L V, J F HENNION, J E NAFE and R F. THYER (1965) Geophysical investigations in the area of the Peith Basin, Western Australia Geophysics, **30**(6), 1026-1052
- HELZEN, B C and M THARP (1965) Physiographic Diagram of the Indian Ocean Geol Soc Am
- 堀田 宏 (1967) 日本海にちける堆積層の構造. 北海道大学地球物理学研究報告, **18**, 111-131
- HOLTZ, R, J EWING, M EWING and A G LONARDI (1967) Seismic reflection profiles of the New Zealand Plateau J Geophys Res, **72**(18), 4713-4729
- STOVER, C W (1966) Seismicity of the Indian Ocean J Geophys Res, **71**(10), 2575-2581

(1969年1月22日受理)