

# 第一部 海鷹丸航海調査報告 平成14年度（2002年度） 第9次航海報告 南極海調査の概要

著者	石丸 隆
雑誌名	航海調査報告
巻	13
ページ	99-156
発行年	2003-09-30
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1342/00000415/">http://id.nii.ac.jp/1342/00000415/</a>

## 4.7 南極海調査の概要

石丸 隆

(東京水産大学)

Summary of the Antarctic Ocean Research

ISHIMARU Takashi

(Tokyo University of Fisheries)

### 1. はじめに

近年、気候温暖化による南極大陸の棚氷の融解や、海氷の減少が報告され、また海氷の発達に伴って形成される深層水の循環が地球規模の気候に大きな役割を果たしていることも知られるようになってきた。従って南極海の海洋構造や深層水の形成過程を明らかにすることは環境変動を予測する上できわめて重要である。一方、南極大陸周辺では、豊富な栄養塩を利用して珪藻が増殖し、珪藻を餌として成長する膨大なナンキョクオキアミが鯨やペンギン、アザラシなどの成長を支えるという単純で効率の良い生態系が成立していると考えられてきた。しかし近年、微小植物プランクトンやゼラチン質動物プランクトンを低次生産者とする全く異質の生態系が卓越する海域があることや、そのような生態系の出現が海氷の発達などに関係しており、従って地球温暖化がそれらの出現と深く関わっていることが指摘されるようになった。南極海における環境や生態系の変動過程を明らかにするためには、南極海の広い範囲で、また夏の短い期間だけでなく、季節を通じた継続的な研究を行うことが必要である。このため複数の船を用いた共同研究計画が国立極地研究所を中心に進められ、最新鋭の設備を持つ練習船「海鷹丸」にも大きな期待が寄せられてきた。

東京水産大学では科学研究費補助金「南大洋インド洋セクターの生態系と海洋構造」(基盤研究(A) 海外学術)を申請し、平成14~17年度に交付されることが決まったため、「海鷹丸」による南極海調査航海を平成14年度および16年度に実施することとした。これは、国立極地研究所の「しらせ」、オーストラリア南極局の「オーロラ・オーストラリス」、極地研の傭船する観測船「タンガロア」と共同して観測データの少ない南大洋インド洋区の海洋構造と生物生産構造を、明らかにしようとするものである。平成14年度には、1月3日から2月12日の間、ケルゲレン海台付近および南極大陸縁辺の東経130度30分および140度の経線上での測線を中心に観測・採集を行った。各分野における研究の概要を以下に記す。

### 2. 物理分野の観測・研究

アデリーランド沖で形成される底層水(ADLBW)は、Bindoff(2000)によれば、東経140度以西の南極大陸よりの深層に見られ、東経150度以东には見られない。また、アデリ

ーランド沖を西向きに流れる。これは Slope current と呼ばれ、30Sv 近い膨大な流量がある。この一部はプリンスエリザベス海谷を通過して西に、残りは西北西に流れてケルゲレン海台沿いの境界流として北上し、南緯 50 度付近から東に転じて南極周極流の南端に合体して東向流を形成すると言われる。この深層流を正しく見積もることを主な目的として観測を行った。本航海の直後には、ケルゲレン境界流の構造と時間変化の把握を目標とする日豪共同研究が計画されており、オーロラ・オーストラリスによりケルゲレン海台東岸 8 測点に 30 台の流速計を係留する予定であった。そこで、海鷹丸では、まず係留予定点の精密測深を行って係留観測に協力するとともに、各観測点では CTD、LADCP により海底付近までの水温・塩分・流速の鉛直プロファイルを観測した。また、アデリーランド沖の 2 測線において経線上に観測点を設け同様の観測を行った。航走中には XCP や船底設置 ADCP により水温・塩分、流速の観測を行った。これらの観測データから、海洋の大循環、鉛直微細構造を明らかにする。一方、海鷹丸に搭載した衛星信号受信装置を用いて SeaWiFS の画像を取得し渦の観測を行った。また、Turbomap による乱流の計測と CSIRO および JAMSTEC の依頼による ARGO フロートの投入を行った。

### 3. 化学分野の観測・研究

南極海域には HNLC (High Nutrient Low Chlorophyll) と呼ばれる、硝酸塩などの主要栄養塩が高濃度に存在しているにもかかわらずクロロフィル濃度が低い海域が存在する。これは、鉄の不足によるものであり、鉄の供給機構が南極海の基礎生産に大きく関わっていると考えられる。このため、各観測点で、チタンケーブルとテフロンコート NISKIN-X 採水器付き CTD を用いた水面から海底付近までの各層無汚染採水を実施し、栄養塩の分布、鉄およびその他の微量金属元素分析のための採水を行った。また、栄養塩の詳細な分布を調べるため水深 150m まで 2.5 から 5m 間隔の高密度採水を行った。

この他、二酸化炭素の大気との収支を明らかにするため各層の二酸化炭素濃度と表層連続測定を行い、また、硫化ジメチルの分布や生成機構を明らかにするための採集や実験を行った。

### 4. 生物分野の観測・研究

インド洋セクターの表層では、西側でオキアミの卓越する生態系が、東側ではサルパの卓越する生態系が見られることが従来の研究で明らかになってきており、本研究ではこれらと環境とのかかわりの解明を主な目的とした。各測点において  $^{13}\text{C}$  法による基礎生産の測定と植物プランクトンの光合成特性の測定、採水法による植物プランクトンの採集、NORPAC ネットによる動植物プランクトンの採集、HPLC による光合成色素の測定のための試料の採集を行った。また、従来の水色リモートセンシングによるクロロフィルおよび基礎生産力の推定アルゴリズムは、南極海で誤差が大きいことが指摘されていることから、改良のための基礎データを取得するため、分光照度・放射計による海中光学的測定、採水試料

をもちいた植物プランクトンの吸収スペクトル、SS、CDOMの測定を行った。また、計量魚群探知機による、オキアミの資源量調査（現場での測定と、採集試料によるTS測定）、CPRによる動物プランクトンの連続採集（オーストラリア南極局との共同研究）を行った。

中深層は、ペンギン、ゾウアザラシ、歯鯨類などの摂餌の場所でありハダカイワシやイカなどが大量に分布すると考えられているが、研究は少なく、また表層における生産と中深層の生態系とのかかわりに関する情報も少ない。本研究では、多段開閉式中層トロール（RMT）による大型プランクトン・マイクロネクトンの採集と魚類、イカ類の採集を目的とする中層オッタートロールによる曳網を実施した。各群集の分布と生物量や捕食・被食関係を調べ、生態系の構造を明らかにする予定である。

#### 4.7.1 南大洋における植物プランクトン群集構造把握の観測について

橋濱史典

(東京水産大学浮遊生物学研究室)

Survey on the structure of phytoplankton community in the Antarctic Ocean

HASHIHAMA Fuminori

(Tokyo University of Fisheries, Department of Ocean Sciences)

##### 1. 目的

南大洋における植物プランクトンの分布、沿岸域における植物プランクトン群集構造の変動及び光強度・水温・塩分・栄養塩濃度が植物プランクトン群集構造に及ぼす影響を解明するため CHEMTAX (CHEMical TAXonomy) によって解析を試みる。

種によって特有のマーカ物質を持つある生物群集において、その種別存在度を計算によって求めることのできるプログラムである CHEMTAX (CHEMical TAXonomy) を使用する。マーカ物質には、HPLC や GC によって分離可能な色素、脂肪酸、ステロール、アミノ酸、炭化水素など用いられが、本研究では、植物プランクトン色素をマーカ物質とする。そして、各植物プランクトン分類群の補助色素量：Chl *a* 量を定義し、多変量解析を行うことにより、全 Chl *a* 量に対する各植物プランクトン分類群の寄与を明らかにすることを目的とする。

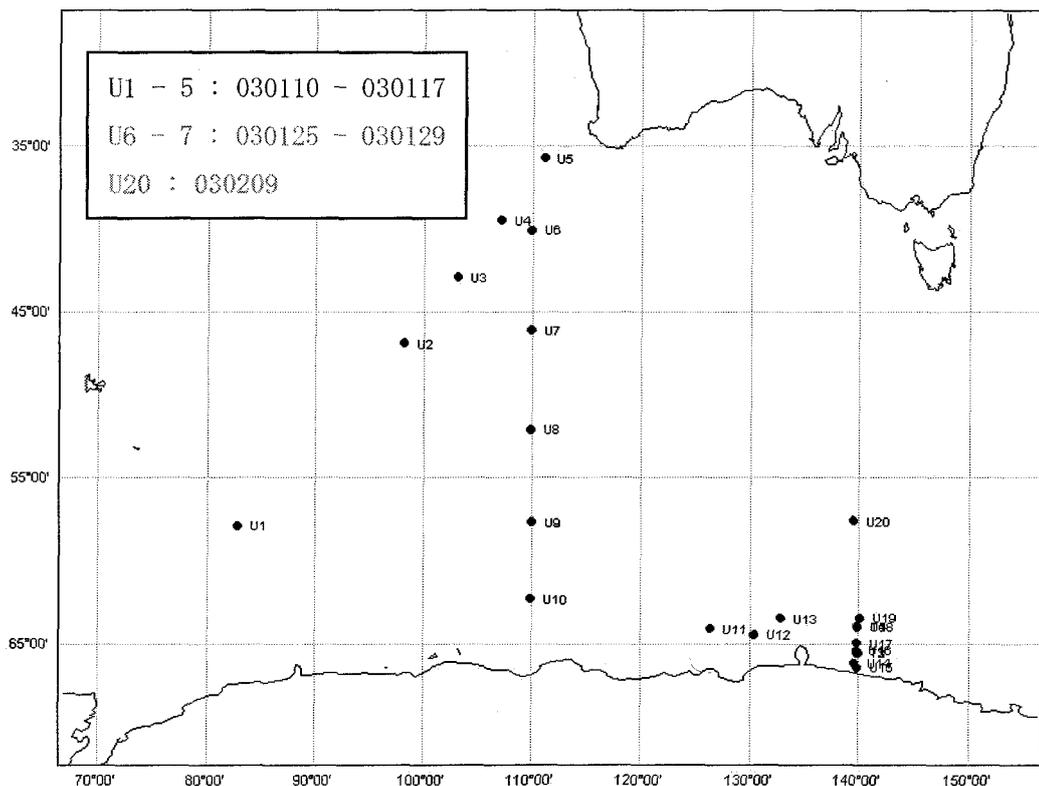


Fig. 1 Observation Leg Chart

## 2. 結果概要

Fig.1 および Fig. 3 に観測海域図および観測ポイントを示す。Fig. 2 は各測点でのクロロフィル a の鉛直分布の概要を示す。

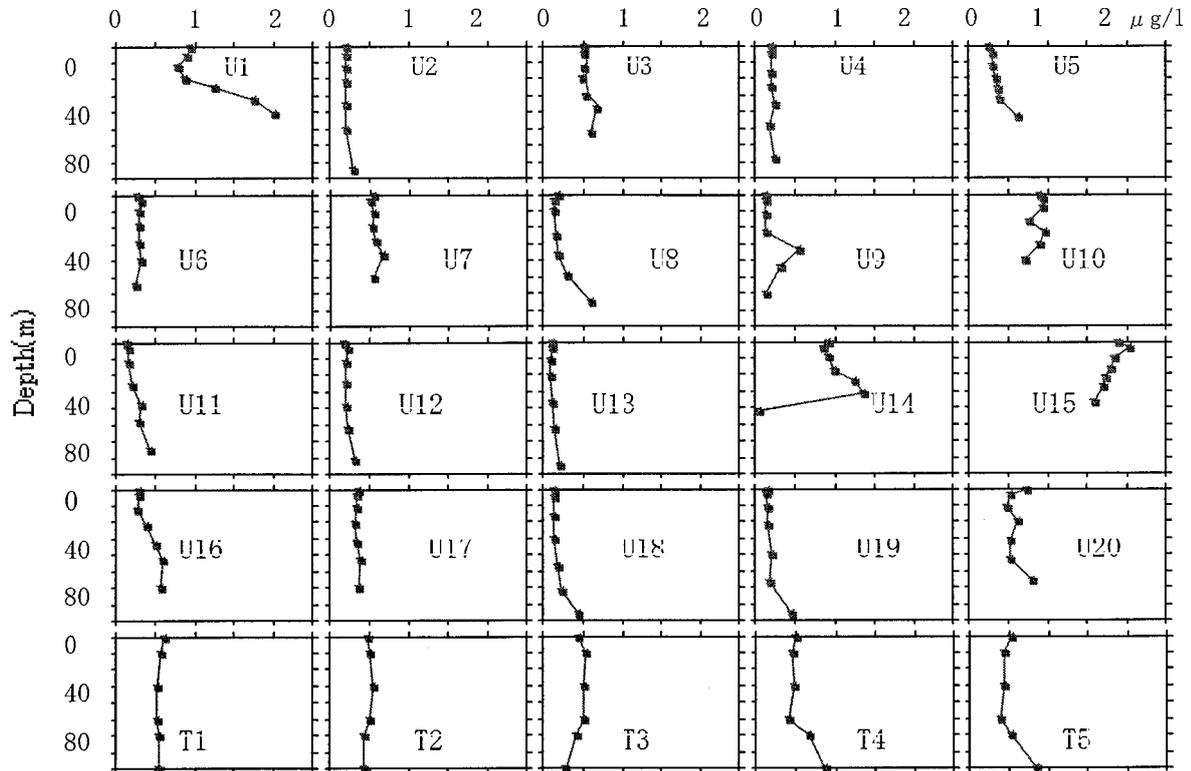


Fig. 2 Chlorophyll ( $\mu\text{g/L}$ ) vertical distribution

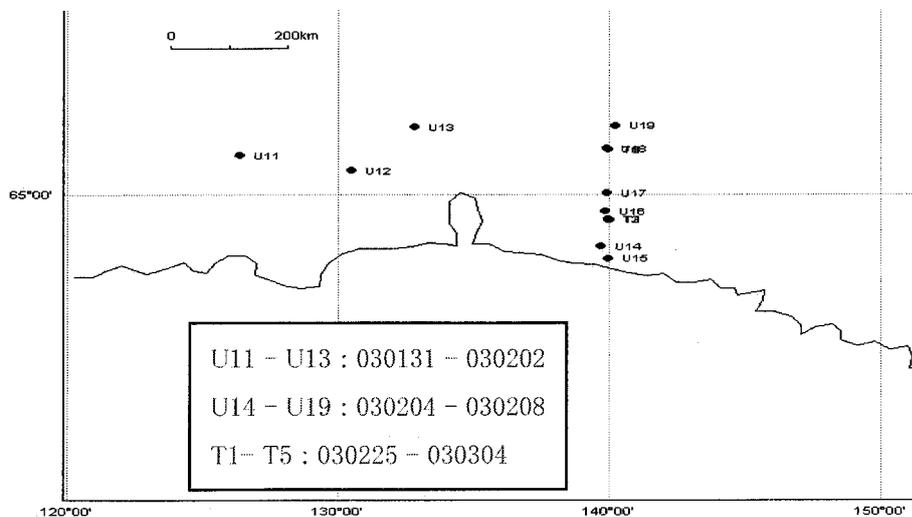


Fig. 3 Observation leg chart in detail

#### 4.7.2 南大洋インド洋セクターにおける植物プランクトンの 光合成特性と基礎生産力について

伊藤洋介・山口征矢

(東京水産大学海洋環境学科)

Photosynthetic nature of phytoplankton and primary productivity  
in the Indian sector of Antarctic Ocean

ITO Yousuke and YAMAGUCHI Yukuya

(Tokyo University of Fisheries, Department of Ocean Sciences)

##### 1. 目的

南大洋インド洋セクターの基礎生産力を把握するために、植物プランクトンの光合成特性と擬似現場法による基礎生産の測定を行い、同時に測定した南極海の生物光学的特性と植物プランクトン現存量の測定結果を利用して、同海域の基礎生産機構の詳細な解析を行うとともに、リモートセンシングによる生産力解析への基礎データを提供することを目的として調査を行った。

##### 2. 方法及び測定項目

海中照度の減衰の実測により設定した相対受光量 1%層までの 7 層から採水した試水を用いて植物プランクトンの現存量の指標としてのクロロフィル *a* 濃度 (Chl *a*)、光-光合成曲線の測定を行うとともに、擬似現場法による生産力の測定を行った。採水は全ての測点において午前 8 時~10 時の間に行い、CTD システムに付設したロゼット採水装置によって採水した。採水装置に取り付けたニスキン採水器は全てテフロンコーティングを施し、使用前に十分に洗浄したものをを用いた。採水試水はすべて黒色のプラスチックコンテナ中で遮光し、使用まで表面海水を流した水槽中に保管した。

植物プランクトンの光合成速度の測定は全て  $^{13}\text{C}$ -法を用い、培養に当たってはあらかじめ塩酸で十分に洗浄した、容量 1 リットルのポリカーボネート瓶を用いた。光-光合成曲線の測定には、水面相対照度 100%、12.5%または 6%、および 1%の 3 層の試水を用い、 $1600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  の高照度を確保した照射水槽中で、10 段階の異なる照度の下で測定を行った。測定時の水温は、表面海水を流すことによって調節した。培養時間は 3~4 時間とした。擬似現場法による日生産力の測定に当たっては、100、50、25、12.5、6、3、および 1%の相対照度層から採水した試水について、黒色ナイロン製の布フィルターで採水層の相対照度に受光量を調節し、上甲板に設置した水槽中で 24 時間の培養を行った。培養期間中の天空受光量は RI-COR 社製の光量子計を用いて測定した。培養終了後、試料をあらかじめ  $450^\circ\text{C}$  で焼いて有機物汚染を除去したグラスファイバーろ紙 (Whatman, GF/F) を用いて濾過捕集し、直ちに液体窒素凍結により活性を停止させ、ディープフリーザーで保管して持ち帰り、試料中の  $^{13}\text{C}$  元素比の測定

に用いた。<sup>13</sup>C 元素比の測定には炭素 13 アナライザー（日本分光、EX130）を用いた。

### 3. 結果の概要

今航海中、Table 1 に示す 20 測点において基礎生産力の測定を行うことができた。これらの側点では基礎生産測定と併行して、海中光の強度とスペクトル、海面放射、後方散乱係数、光の吸収消散係数など海水の生物光学的特性の測定、および植物プランクトンや懸濁粒子の光吸収係数、海水の光吸収係数のほか、クロロフィル *a* 濃度、懸濁物量 (SS)、HPLC による植物色素分析、NORPAC ネットによる生産層内の動植物プランクトン現存量の測定を同時に、また同一採水試料を用いて行うことができた。試料の分析と解析は、その多くが現在精力的に進められている段階であるが、これらのデータの相互解析により、より詳細な南大洋の基礎生産の機構が明らかに出来るものと期待される。

Table 1 Sampling stations for measuring the primary productivity in Antarctic Ocean

Stations	Latitude (S)	Longitude (E)	P-E* or S*	Depth (m)	Euphotic depth (m)
U- 1	57°55.50	82°59.63	P-E, S	2877	41
U- 2	46°59.34	98°14.50	P-E, S	3892	75
U- 3	42°58.17	103°13.86	P-E, S	4108	52
U- 4	39°33.85	107°13.88	P-E, S	4484	68
U- 5	35°49.31	111°09.67	P-E, S	5471	43
U- 6	40°09.20	109°58.82	P-E, S	4412	55
U- 7	46°12.76	110°02.51	P-E, S	3458	50
U- 8	52°10.83	110°04.68	P-E, S	3741	65
U- 9	57°43.88	110°07.97	P-E, S	4433	60
U-10	62°19.35	110°00.80	P-E, S	3849	40
U-11	64°08.74	126°26.75	P-E, S	3524	65
U-12	64°29.68	130°31.11	P-E, S	1367	72
U-13	63°30.33	132°51.84	P-E, S	4101	75
U-14	66°11.40	139°44.42	P-E, S	393	42
U-15	66°27.65	139°59.56	P-E, S	1010	36
U-16	65°24.22	139°55.84	P-E, S	2457	60
U-17	64°59.52	139°58.94	P-E, S	2630	60
U-18	63°59.67	139°58.74	P-E, S	3692	76
U-19	63°28.95	140°15.94	P-E, S	3795	76
U-20	57°40.55	139°37.06	P-E, S	4077	56

\* P-E: Photosynthetic – light curve, S: Simulated insitu method

#### 4.7.3 極域海洋の植物プランクトンによる DMSP 生成調節機構とその生態学的意義

笠松伸江

(総合研究大学院大学)

The regulatory mechanism of DMSP formation in phytoplankton and  
its ecological significance in the polar sea

KASAMATSU Nobue

(The Graduate University for Advanced Studies)

##### 1. はじめに

硫化ジメチル(DMS、 $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ )は海洋環境において生物学的に作られる主要な揮発性有機硫黄化合物である。DMS の主な前駆体はジメチルスルフォニオプロピオネート(DMSP、 $(\text{CH}_3)_2\text{S}^+\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COO}^-$ )で、浸透圧調整と凍結防止のため、主に海洋性大型および微小藻類によって作られる。これまで、南極海において海水中 DMS および DMSP 濃度が高いことが報告されてきた。今航海において、南極海における DMS の生化学的な生成過程を明らかにするため、1) DMS、DMSP、植物プランクトン鉛直分布、2) 粒状態 DMSP 生成、3) 溶存態 DMSP 分解酵素、4) 植物プランクトン培養株の確立、5) DMS(P) 表面濃度分布に関する観測および培養実験を実施した。

##### 2. 観測項目と中間結果及び考察

各観測点における観測項目を Table 1 に示す。

Table 1 各観測点における観測項目 (○印が採水した項目)

	St. B10	St. D7	St. C0	St. C11	St. C14
	62-20S 110E	64-30S 130-30E	66-28S 140E	65S 140E	64S 140E
培養株用採水			○	○	
DMS(P)濃度分布観測	○	○	○	○	
検鏡用試料採水	○	○	○	○	○
DMSP <sub>p</sub> 生成実験	○	○	○	○	
分解酵素実験	○	○	○	○	

##### 1)海水中 DMS(P)鉛直濃度分布および植物プランクトン検鏡用試料採水

水深 0 m から 200 m (9 層)における DMS、溶存態 DMSP および粒状態 DMSP 濃度を測定した。海水試料は 2.5 L 容のニスキンボトルのついた CTD/CAROUSEL システムによって採水した。St. B10 を除いて、海洋表面の試水はプラスチックバケツによって採水した。試水は直接ニスキンボトルまたはバケツから 50 ml シリンジに移され、分析するまで約 4 °C 以下の暗所に保存した。DMS 用のサンプルはすべて 12 時間以内に分析した。シリンジ内の試料水を、穏やかに加圧しながら Whatman GF/F (47 mm)で大気に接することなくろ過し脱気槽に移した。脱気槽中の試料 14 から 20 ml に清浄な窒素ガスを送り込み、溶存気体を試料水中から抽出した。DMS を、ドライアイス-エタノール(-78 °C)に浸した Tenax GC を填したガラス製 U 字管内に濃縮し、その後、U 字管を熱湯(>90 °C)で温めて DMS を脱離させ、炎光光度検出器付きのガ

スクロマトグラフ(Shimadzu GC-14B)で分離・定量した。DMSP は脱気槽にバイアル瓶を用いて測定した。バイアル瓶に 6 N の水酸化ナトリウム溶液を 8 ml 加え、ゴム栓とアルミキャップで密栓し、シリンジおよび注射針を用いて試料水 2 から 10 ml をバイアル瓶に注入した。24 時間以上冷暗所(0-4 °C)に放置し、DMSP を DMS とアクリル酸に分解し、測定ラインに針を付け、針から窒素ガスを送り込み、DMS として測定した。この操作により、全 DMSP 分解後の DMS と海水中に溶存していた DMS が測定される。シリンジに Whatman GF/F を入れたフィルターホルダーを接続して、注射針を付け、バイアル瓶にそのフィルターを入れると、粒状態 DMSP 分解後の DMS が測定される。この値から DMS 濃度を差し引いて、粒状態 DMSP 濃度を求めた。溶存態 DMSP は、前記の全 DMSP 濃度+DMS 濃度から、粒状態 DMSP と DMS 濃度を差し引いて算出した。他の実験においてもこれと同じ方法で DMS および DMSP を測定した。

植物プランクトン検鏡用試料は、St. B10 および St. D7 の 0- 100 m (6 層; 0、10、20、30、50、100 m)、St. C0、C11、C14 の 0- 200 m (9 層) において得られた。海水試料 500- 1000 mL をニスキンボトルまたはバケツから 1 L 容サンプルボトルに移し、ルゴール-グルタルアルデヒド混液を添加した。試料は 4 °C 以下の冷暗所に保存した。これにより、海水試料中の植物プランクトンは数ヶ月から 1 年は保存される。

## 2) DMSPp 生成実験

### a) 目的

昨年行われた KH01-3 航海 (1 月) と JARE-43 Tangaroa 航海 (2 月) で比較すると、1 月には植物プランクトン存在量が多い割に粒状態 DMSP(ほとんどが植物プランクトン内にあると考えられる DMSP)存在量は少なく、2 月には反対に、植物プランクトン存在量が少ない割に粒状態 DMSP が多かった。この理由として、1 月から 2 月にかけて植物プランクトンの優占種が変化したこと、植物プランクトンの生長段階が変化したことなどが考えられる。植物プランクトンの種組成および生長段階と DMSP の関係についての研究はいまだ不十分である。そこで、本研究では DMS の時空間変化を決定する要因を明らかにするため、植物プランクトンの種組成および生長段階(生理活性状態)が粒状態 DMSP 量(植物プランクトン内 DMSP 量)に及ぼす影響を評価した。

### b) 方法

表面海水を用いて培養実験を行った。表面海水は 330 $\mu$ m 目合いのネットで濾し、4 個の 5 L のユニオンテナーに入れて、甲板水槽にて 48 時間培養した。4 個のうち、2 個のユニオンテナーには黒い布をかぶせて光量が 25%になるように調整した。0、12、24、36、48 時間後に採水を行った。採水項目を Table 2 に示す。現場における植物プランクトン群集の生長速度と DMSPp の生成速度を求め、培養株によるそれらの速度と比較する予定である。

Table 2 培養実験開始後の各時間における採水項目

(○が採水した項目、△は測点によっては採水している場合のある項目)

	T=0	T=12	T=24	T=36	T=48
DMS(P)	○	○	○	○	○
植物プランクトン検鏡	○				△
PAM	○	△	○	○	○
Chl a	○	○	○	○	○

### 3) DMSP 分解酵素実験

#### a)目的

海洋中において、溶存態 DMSP は植物プランクトンやバクテリアのもつ DMSP 分解酵素によって DMS とアクリル酸に分解される。昨年に行われた白鳳丸 KH01-3 航海および Tangaroa 航海では、海洋表面から水深 200 m までの溶存態 DMSP 積算値と DMS 積算値の比は南極海においてほぼ一定という結果が得られた。つまり、南極海において DMSP 分解酵素の活性がほぼ一定であったことになる。この確証を得るため、DMSP 分解酵素活性に関する実験を行った。

#### b)方法

表面海水を 5 L ユニオンテナーに採水した。その後、海水を 2 つの 1 L デュラン瓶に移し、そのうちのひとつには 100 nM になるように DMSP スタンダードを添加した。スタンダードを加えたデュラン瓶および自然海水の入ったデュラン瓶から 30 分ごとに DMS 濃度を測定した。その濃度から DMS 生成速度を算出し、海水の DMSP 分解酵素活性を見積もる予定である。

### 4)植物プランクトンの培養株用試料の採水

St. C0 および St. C11 の水深 0 m および光量 3%の層の海水試料を採水した。これらは実験室に持ち帰り、培養株の確立を試みる。

### 5) DMS(P)表面濃度分布

航海中、任意の 20 点における DMS(P)の表面濃度分布を調べた。研究用海水をビーカーにあふれさせたまま、そのビーカーから 50 mL シリンジによって採水を行った。

## 3. 期待される成果

植物プランクの状況、動物プランクトン種の異なる海域における DMS、溶存 DMSP、粒状 DMSP の分布が少なくとも時期の異なる 2 航海(海鷹丸・Tangaroa)で明らかにされ、それらをつぶさに解析することにより自然界における生物と DMS の関係が明らかになる。また、時期の異なるこの海域での DMS 測定は単発で行われてきた種々の結果を時空間的に結びつけることとなり、南極海域における海洋から大気への DMS 逃散量をより正確に見積もれる。この結果は南極海域における気候変動・変化へ果たす DMS の役割を明らかにする。

## 4. 現在までの結果

### 1) 海鷹丸(1月)南極海航海での DMS(P)鉛直分布

- DMS は、62-20S、110E、水深 30 m において 5 nM のピークが見られたほかは、約 1 nM で、緯度経度、水深にかかわらず、ほぼ一定であった。
- 粒状態 DMSP は、観測中約 20 nM で推移し、62-20S、110E および 65S、140E では 50 nM と高かった。
- 溶存態 DMSP は常に粒状態 DMSP より低濃度であった。これは、DMSP 分解過程に関わるバクテリア等の活性は、あまり高くなかった可能性があると思われる。
- DMS(P)濃度はいずれも文献値より低めであるが、昨年と比べて、粒状態 DMSP 濃度は同程度であり、溶存態 DMSP および DMS 濃度は低かった。これは、種組成の変化すなわち DMSP 含量の高い植物プランクトンの種が優占した可能性も考えられる。また粒状態 DMSP から溶存態 DMSP へ移行させる生物学的なプロセスが、昨年よりも活発ではなくなっていると思われる。

2) 船上培養実験の結果

- ・植物プランクトン培養実験を海鷹丸上で4回(Table 3)、JARE-44で2回 (Table 4) 行った。

Table 3 海鷹丸で実施した実験における DMSPp 保持量 (培養実験の t=0 の値)

January	62-20S	64-30	66-28S	65S
	110E	130-30E	140E	140E
Chl a [ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ]	0.90	0.18	1.88	0.36
DMSPp [ $\text{nmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ]	39.86	18.41	17.70	32.34
DMSPp 保持量 [ $\text{nmol}\cdot\text{DMSPp}\cdot\mu\text{g}\cdot\text{Chl.a}^{-1}$ ]	44	103	9	97

Table 4 JARE-44 で実施した実験における DMSPp 保持量 (培養実験の t=0 の値)

February	St.K ( 65-37S, 140E)	St. 5 ( 64S, 140S)
Chl.a [ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ]	0.62	0.44
DMSPp [ $\text{nmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ]	172.58	33.15
DMSPp 保持量 [ $\text{nmol}\cdot\text{DMSPp}\cdot\mu\text{g}\cdot\text{Chl.a}^{-1}$ ]	278	75

- ・1月の培養では、時間がたつにつれて植物プランクトンは増殖していた。
- ・DMSPp 量には 100%と 25%光量で差が見られた。
- ・DMSPp/Chl a は培養時間が経つにつれて減少傾向を示したため、DMSPp/Chl a の少ない植物プランクトンが増殖した可能性が考えられる。
- ・生長段階の変化について、2月の培養実験では、1月に見られたような植物プランクトンの増殖は見られなかった。
- ・DMSP 保持量は、文献値と比較すると、珪藻類が対数増殖期後期にもつ DMSP 量よりも非常に高い値を示しており、生長段階に差があることが考えられる。
- ・プリムネシオ藻類等の DMSP 含量の高い植物プランクトンが優占していた可能性も考えられる。

#### 4.7.4 CPR (Continuous Plankton Recorder : 連続プランクトン採集器) 調査報告

高橋邦夫<sup>1)</sup>・平譯 享<sup>2)</sup>

(<sup>1)</sup>: 総合研究大学院大学、<sup>2)</sup>: 国立極地研究所)

##### Survey on the CPR (Continuous Plankton Recorder) in the Antarctic Ocean

TAKAHASHI Kunio<sup>1)</sup> and HIRAWAKE Toru<sup>2)</sup>

(<sup>1)</sup>: The Graduate University for Advanced Studies, <sup>2)</sup>: National Institute of Polar Research)

#### 1. はじめに

南大洋は周極的な前線構造により、いくつかの水塊が存在している。現在までにプランクトンネットを用いた調査により、南大洋における動物プランクトンの分布特性は、東西方向に変動は少なく（すなわち周極分布を有し）、南北方向の変動については、水塊構造と密接な関連があることが明らかとなっている。しかし、プランクトンネットを用いた採集は観測点毎に行なう、いわゆる spot sampling によってなされるため、群集構造の連続的な情報は検出され難いという問題がある。

前線構造と動物プランクトン群集の分布、量、種組成の変動パターンを、より詳細に把握することを目指し、東経 110 度を南下する観測ライン、及び東経 140 度を北上する観測ラインにおいて曳航した。曳航速度は船の巡航速度（11-17 knot）で行い、水深約 10 m となるようにワイヤーがセットされた。内挿カセットは No. 2、3 のカセットを使用した。本カセットは豪州南極局（Australian Antarctic Division）より提供を受けたものである。ここでは調情報の概要を示す。

#### 2. 採集物の処理工程

曳航終了後、採集されたサンプルは 10% のホルマリン海水中に保存した。

以下に各カセットのデータを示す。

##### CPR-1 (カセット No. 2)

Date	Time (GMT)	Operation	Position
26 JAN 03	10:05	Shot	47°59.6'S 110°01.3'E
27 JAN 03	02:01	Haul	52°10.7'S 110°04.6'E
27 JAN 03	03:11	Shot	52°11.7'S 110°06.6'E
27 JAN 03	13:57	Haul	55°01.6'S 110°00.5'E

##### CPR-2 (カセット No. 3)

Date	Time (GMT)	Operation	Position
27 JAN 03	14:05	Shot	55°01.7'S 110°00.3'E
28 JAN 03	01:55	Haul	57°43.6'S 110°08.2'E
28 JAN 03	03:01	Shot	57°43.7'S 110°08.9'E
28 JAN 03	21:37	Haul	62°20.1'S 110°00.2'E

## CPR-3 (カセット No. 2)

Date	Time (GMT)	Operation	Position
08 FEB 03	01:24	Shot	63°27.4'S 140°14.3'E
09 FEB 03	00:26	Haul	57°40.6'S 139°37.2'E
09 FEB 03	02:52	Shot	57°39.6'S 139°41.8'E
09 FEB 03	09:18	Haul	56°00.1'S 140°16.8'E

## CPR-4 (カセット No. 3)

Date	Time (GMT)	Operation	Position
09 FEB 03	09:43	Shot	55°58.9'S 140°17.6'E
09 FEB 03	23:56	Haul	52°36.6'S 142°30.0'E
10 FEB 03	00:18	Shot	52°37.0'S 142°28.9'E
10 FEB 03	15:05	Haul	49°02.0'S 144°46.3'E

実験用 NORPAC ネット (ツイン型 NORPAC ネット)

・脂質分析用サンプル

動物プランクトン (主にカイアシ類) の脂質含有量および脂肪酸組成分析用に、状態の良い個体を採集する目的で、コットエンドを 2L の瓶に改良した NORPAC ネットを使用した。採集は深度 150-0 m の鉛直曳を行い、ワイヤー繰り出しおよび巻き上げはそれぞれ毎秒 1 m および 0.5 m で行った。採集後に同種、同ステージ毎に分類し、直ちに冷凍保存 (ディープフリーザー: -80°C) した。

・飼育実験 (カイアシ類の代謝活性度測定実験)

カイアシ類の代謝活性度を評価するため、状態の良い個体を用いて呼吸量、アンモニア排泄量およびリン排泄量を測定した。実験には優占していたカイアシ類を用い、暗所で 24 時間の飼育を行った。同時に対照瓶を用意し、飼育瓶との溶存量の差を求めた。実験に用いた個体は、終了後直ちに冷凍保存 (ディープフリーザー: -80°C) した。

実験用 NORPAC ネット実施測点および実験情報 (+ : 実施観測点)

Date	Station	Time (start)	Cast	Position	脂質	代謝実験
04 FEB 02	C0	01:35	2	66°27.6'S 139°58.4'E	+	
04 FEB 02	C1	13:00	2	65°59.5'S 139°56.8'E	+	
04 FEB 02	C3	18:00	2	65°49.9'S 139°55.7'E	+	
04 FEB 02	C5	22:10	1	65°40.0'S 139°57.4'E	+	
05 FEB 02	C7	03:30	3	65°29.0'S 139°56.2'E	+	+
06 FEB 02	C9	01:20	2	65°18.8'S 140°02.0'E	+	+
06 FEB 02	C10	05:04	2	65°09.7'S 139°59.2'E	+	
06 FEB 02	C11	09:48	2	64°59.3'S 139°58.7'E	+	+
06 FEB 02	C12	21:40	2	64°39.6'S 139°59.6'E	+	
07 FEB 02	C13	05:03	2	64°19.2'S 140°03.0'E	+	
07 FEB 02	C14	10:05	2	63°59.4'S 139°57.7'E	+	
08 FEB 02	C15	00:15	2	63°28.6'S 140°01.3'E	+	

#### 4.7.5 南極洋の光の測定

岸野元彰・平譯 亨

(国立極地研究所)

Survey on the marine optics in the Antarctic Ocean

KISHINO Motoaki and HIRAWAKE Toru

(National Institute of Polar Research)

#### 1. 目的

南極洋において生物光学的特性の研究と海色リモートセンシングに関する研究を行う。  
ここでは調査内容の概略を示す。

#### 2. 方法及び測定項目

海中光の強度とスペクトル (PRR)、海面放射 (TRIOS)、後方散乱係数(VSF3)及び  
吸収・消散係数 (ac-9) の観測を行い、また採水の後、吸収係数 $a^*$  (植物プランクトン、  
その他の懸濁物)、CDOM (有色溶存有機物)、クロロフィル $a$ 濃度、懸濁物量 (SS)  
の測定を行った。また関連する観測として、基礎生産及びHPLC色素分析の測定を行った。

#### 3. 結果

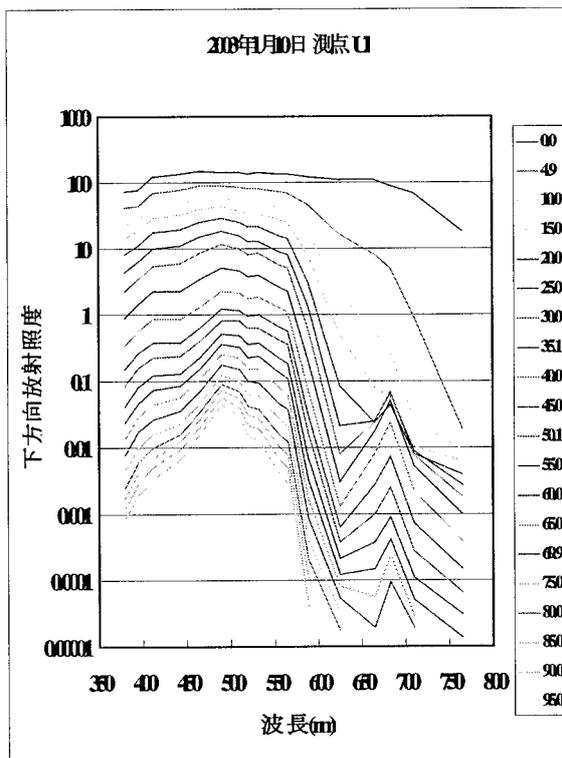


Fig. 1 波長別の下方向放射照度の変化量

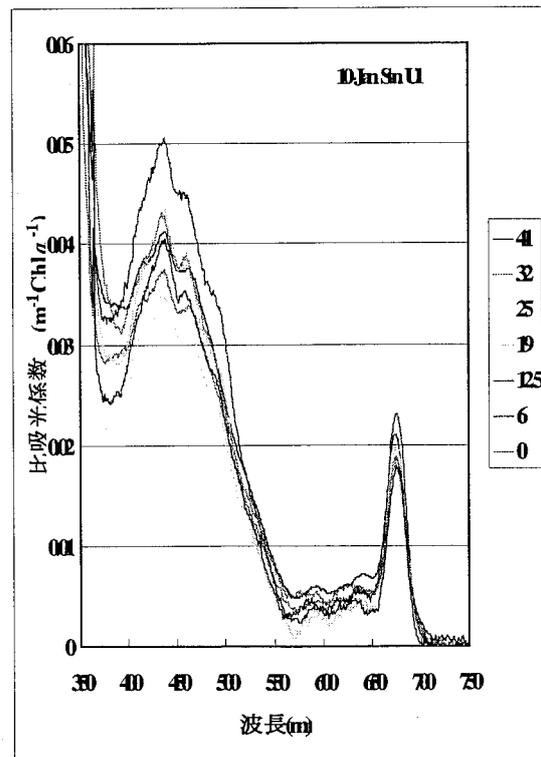


Fig. 2 波長別の光係数の変化

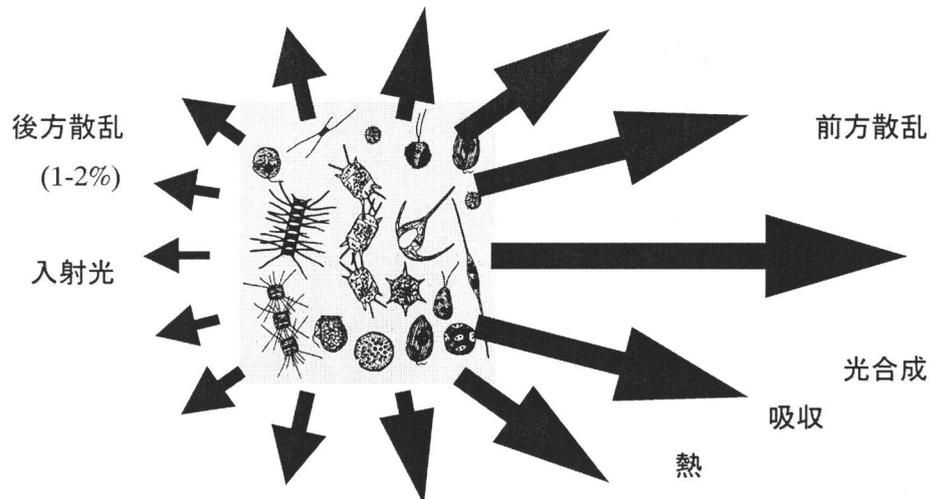


Fig. 3 Structure of marine ecology

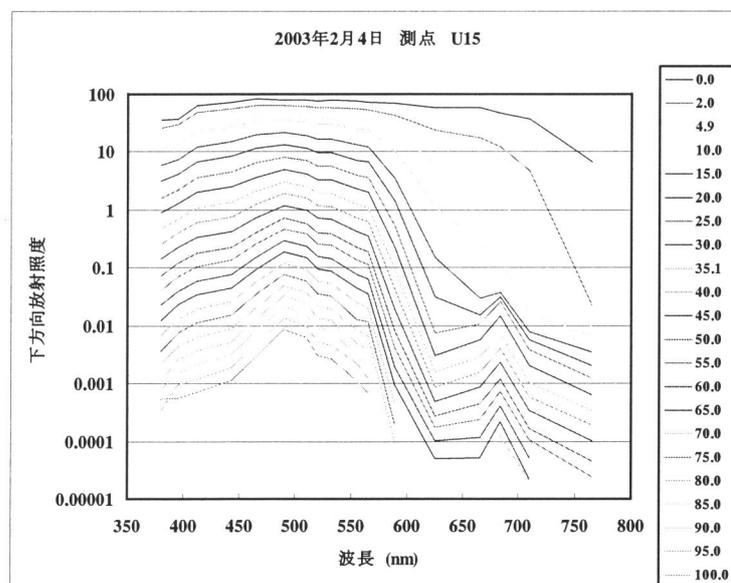


Fig. 4 波長別の散乱係数の変化

その他の関連した観測としての海色リモートセンシングについて

現在のアルゴリズムの検証を目的とし、大気補正及びクロロフィル a の実測を行い、新しいアルゴリズムの開発のためローカルアルゴリズム及び放射伝達式の適応性を考慮する。関連研究として色素濃度と吸収係数と光合成の量子収率及び自然蛍光強度と基礎生産の関係について調査を行う。

#### 4.7.6 南極洋における栄養塩観測データ

神田 穰太

(東京水産大学海洋環境学科)

Nutrient distribution in the Southern Ocean

KANDA Jota

(Tokyo University of Fisheries)

##### 1. はじめに

南極洋は広大な面積を持つ高緯度海域であり、そこでの生物代謝は全球レベルの生物地球化学的循環系において極めて重要な位置を占めている。栄養塩類濃度は、生物代謝や有機物の鉛直輸送、水塊の混合や移流等をよく反映して変動するため、生元素循環の研究においては重要な基礎データである。2002年度南極洋観測における、栄養塩データの一部を紹介する。

##### 2. 方法

海水試料は Seabird CTD による観測時に、ニスキン採水器により採取した。栄養塩類の分析は海鷹丸設置の空気分節型連続フロー比色分析装置 AACS-III (ブランルーベ社製) を用いて行った。測定は硝酸塩、亜硝酸塩、アンモニウム塩、リン酸塩、ケイ酸塩の5項目について行った。

##### 3. 結果

Fig. 1(a~d)に D-line (130°30'E; D1 65°15'S~D10 63°30'S) について、水深 500 m までの結果を断面図で示した。40~50 m 深度に水温・塩分共に躍層がみられ、躍層を境に表層では栄養塩濃度の低下が認められた。しかしこの濃度低下は硝酸塩で 3~4  $\mu\text{M}$ 、リン酸塩で 0.1~0.2  $\mu\text{M}$  程度であり、成層状態の夏季の南極洋で報告されている値と比較すると小幅な濃度減少であった。このことはクロロフィル現存量が通常より低めにとどまっていたこととよく一致している。また表層部では亜硝酸塩、アンモニウム塩が共に検出された。これらはいわゆる HNLC 海域にみられる一般的特徴である。

躍層より下層では低温・低塩分の周極水の下に低緯度側からわずかに水温・塩分の高い水塊が潜り込むような構造が見られた。この海水は周極水より高濃度の栄養塩類を含んでいることがデータから明瞭に示されており、低緯度側の深層水の影響を受けた水塊の南端部と考えられる。

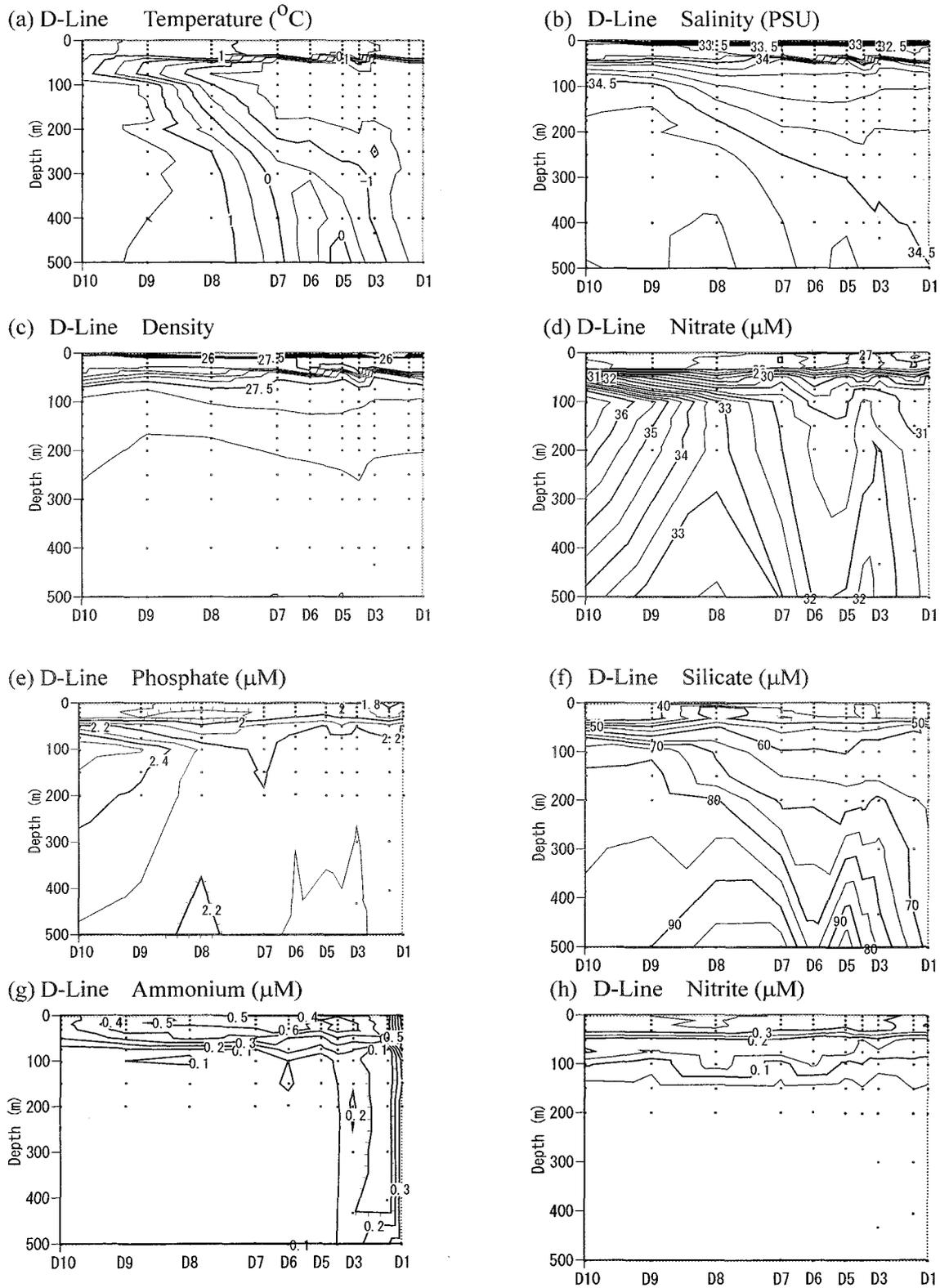


Fig. 1. Meridional sections of temperature (a), salinity (b), density (c), nitrate (d), phosphate (e), silicate (f), ammonium (g), and nitrite (h) from  $65^{\circ}15'\text{S}$  (D1) to  $63^{\circ}30'\text{S}$  (D10) at  $130^{\circ}30'\text{E}$  (Line D).

#### 4.7.7 栄養塩鉛直分布の高密度計測（フリーマントル～ホバート間）

荒島正道・神田穰太

（東京水産大学海洋環境学科）

Detailed vertical profiles of nutrients in the surface waters of the Southern Ocean

(from Fremantle to Hobart)

ARASHIMA Masamichi and KANDA Jota

(Tokyo University of Fisheries)

##### 1. はじめに

有光層における栄養塩濃度の詳細な鉛直変化を解析した。特に有光層下部における濃度の急変構造に注目し、2.5～5mの深度間隔で高密度に採水を行って栄養塩濃度を測定した。

##### 2. 方法

測点 B10, L1, D7, D10, C0, C5, C12, C15 において、CTD-OCTOPUS で水面から水深 150m まで約 2.5～5m おきに採水した。採水後、船上でオートアナライザー（AACCSIII、プランルーベ製）を用いて、リン酸塩、硝酸塩、亜硝酸塩、アンモニウム塩、ケイ酸塩の 5 項目について、自動比色分析を行った。

##### 3. 結果と考察

C5 と C15 について、Fig. 1 に水温と密度、Fig. 2 に硝酸塩、Fig. 3 にケイ酸塩の鉛直分布を示した。各栄養塩とも水深 20～40m 付近において、水温変化を伴いながら濃度が急変した。この濃度変化の詳細を解析することにより、栄養塩の鉛直的な輸送と生物代謝による消費・再生について検討を行う予定である。

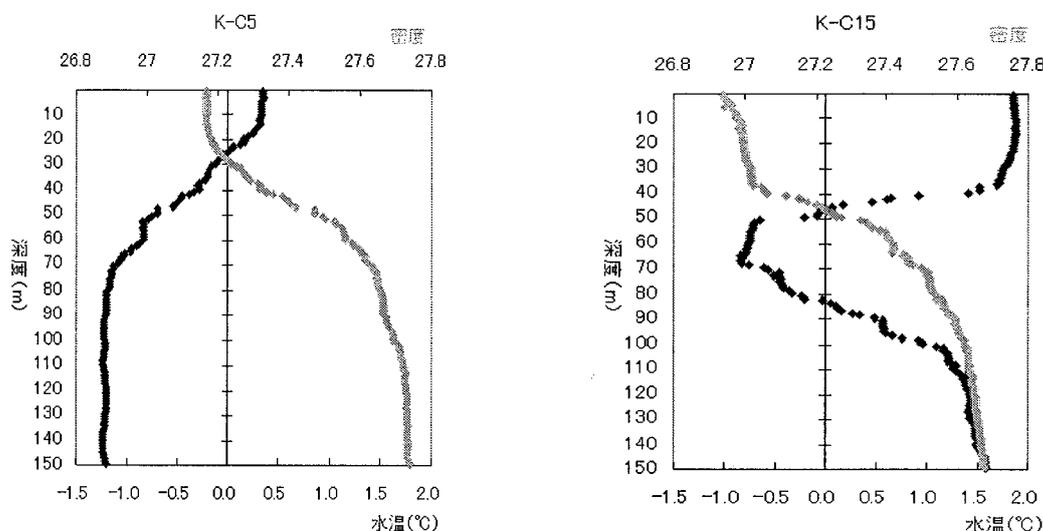


Fig.1 Vertical profiles of density and temperature at Stations C5 and C15.

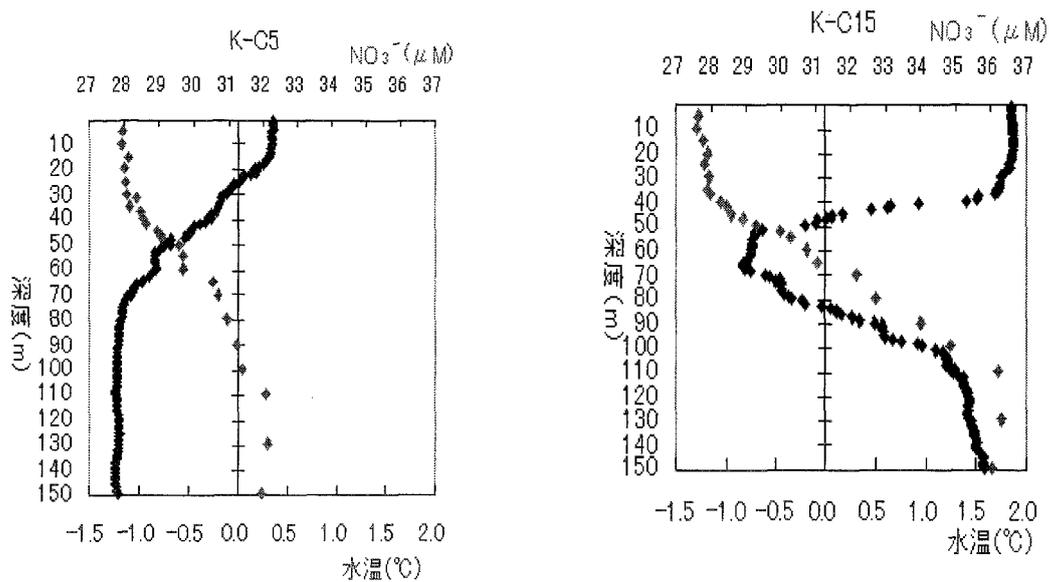


Fig.2 Vertical profiles of nitrate and temperature at Stations C5 and C15.

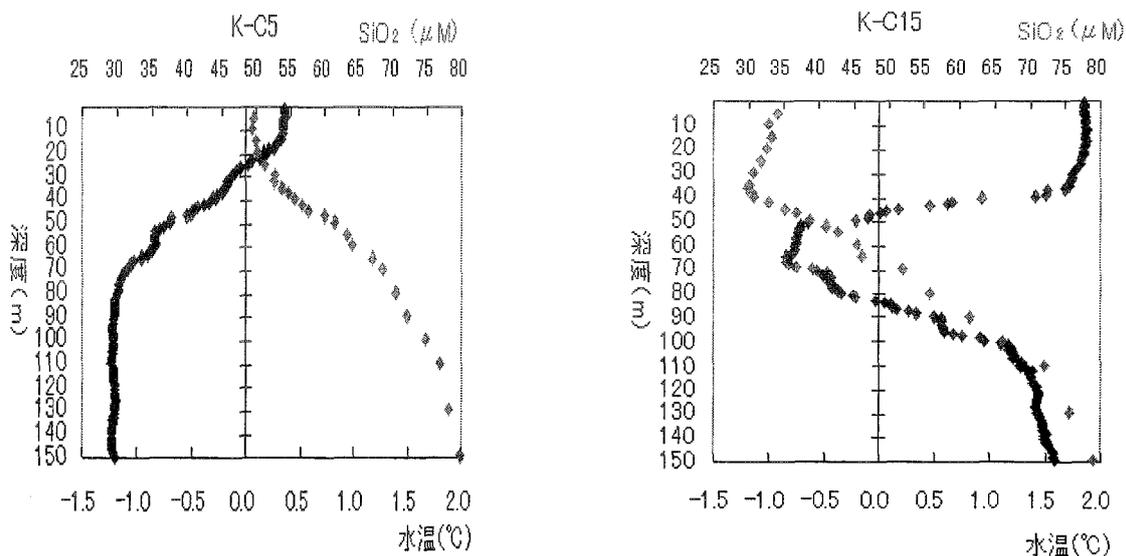


Fig.3 Vertical profiles of silicate and temperature at Stations C5 and C15.

#### 4.7.8 南大洋インド洋セクターにおける深層流の構造について

長島秀樹・北出裕二郎・川村有二・鳴海吉洋・日下朋子

(東京水産大学海洋環境学科)

Structure of deep current in the Indian sector of Antarctic Ocean

NAGASHIMA Hideki , KITADE Yujirou, KAWAMURA Yuji ,

NARUMI Yoshihiro and KUSAKA Tomoko

(Tokyo University of Fisheries, Department of Ocean Sciences)

##### 1. はじめに

南極周辺で底層水が形成される海域は、Weddell 海、Ross 海、Adelie Land 沖といわれており、特にインド洋セクターに位置する Adelie Land 沖で形成される底層水 (ADLBW) が、近年注目されるようになった。最近の観測結果によれば (Bindoff et al.,2000)、ADLBW は、東経 140 度以西の南極大陸よりの深層にみられ、東経 150 度以東にはみられない。また、ADCP、CTD 観測結果を総合すると、Adelie Coast に沿って西向きに流れ (Slope current と呼ばれ)、30 Sv 近い膨大な流量があるという (Bindoff et al.,2000)、一部は Princess Elizabeth Trough を通って西に、残りは西北西に流れて Kerguelen Plateau 沿いの境界流として北上し (Speer and Forbes,1994)、南緯 50 度付近から東に転じて南極周極流 (ACC) の南端に (あるいは ACC と合体して) 東向流を形成する (この部分は Slope current の Recirculation と呼ばれる)。この流れは、インド洋底層水の起源という意味できわめて重要である。

平成 15 年 1 月から実施されている日本・豪州の共同研究では、Kerguelen Plateau の東岸 8 測点に 30 台の流速計を係留し、Kerguelen 境界流の構造と時間変化を把握することを目標としている。本学海鷹丸による観測はこれに先駆けて行われた。物理関連の観測課題は、1) Kerguelen 境界流の観測、2) Slope current の観測で、1) は Kerguelen 海堆付近の測線 (A-line と名づける)、2) は 130°30'E (D-line) と 140°E (C-line) にほぼ沿って、8~16 の観測点を設け (Fig.1)、合計 37 観測点において、海洋構造と海流の観測を CTD および LADCP を用いて実施した。本報告では、これらの観測の概要と、D-line で得られた結果を中心に述べる。観測資料の少ないインド洋セクターで、LADCP による海流観測を海底直上まで行うことが出来たことは、大きな意義がある。なお、これらの他に、TurboMAP、XCP、XCTD 等を用いて乱流観測を行ったが、これについては、北出他 (2003: 本報告書) を参照されたい。

##### 2. 観 測

2003 年 1 月 3 日に Port Luis を出航し、最初の観測ラインである A-line に 1 月 9 日到着し、全 8 測点の観測を 1 月 11 日まで行った。観測終了後、Frimantle へ向け航走をし、1 月 18 日に入港した。

2003 年 1 月 23 日に Frimantle を出港し、B-line (110°00'E) の最も北に位置する観測点で

ある Stn.B10 (60°20'S、110°00'E) に 1 月 29 日到着し観測を行った。当初の計画では Stn.B10 観測後そのまま南下し Stn.B09 の観測をする予定であったが、海氷が観測予定海域に分布していたため、これ以上南下をして観測することが困難となった。そこで、新しい測線として D-line (130°30'E) を設けた。Stn.B10 から D-line へ向かう途中 Stn.L1 (Fig.1 参照) を新しく設けて観測し、D-line では全 10 測点の観測を行った。D-line 観測後、当初から計画されていた C-line (140°00'E) の観測を全 16 測点行った。これらの観測点を Table.1 および Fig.1 に示す。

全観測点において、LADCP および CTD 観測を行った。また、LADCP はマグネットコンパスを用いて流向観測を行っているため、磁南極が近いこの海域は、流向が正確に測定できない。そこで、海図を用いて、マグネットコンパスが示す方位の補正を行った。また、CTD のフレームに取り付けた加速度計のデータから、LADCP の流向を求める試みも行った。

### 3. 結 果

A-line、D-Line、C-Line での水温・塩分・ $\sigma_t$ ・ $\sigma_\theta$  の鉛直断面図を、それぞれ Fig.2、Fig.3、Fig.4 に示す。

A-line では、Stn.A1～Stn.A6 の 100m 層に、0°C以下の低温の水が分布しているが、Stn.A7～Stn.A8 にかけては分布していなかった。また低水温の分布域をみると、塩分躍層はみられるものの、低水温と対応するような分布はみられなかった。また、密度の水平勾配は海堆付近である Stn.A1～Stn.A6 に比べ Stn.A6～Stn.A8 の方が大きくなっていった。

D-line では、50m 以浅の表層において高温・低塩分の軽い水となっており、50m 付近が顕著な密度躍層となっていた。この密度躍層以深をみると、大陸に近い Stn.D1～Stn.D3 の測点では、水温の鉛直勾配が小さかったのに対し、海底が谷となっている Stn.D3～Stn.D5 には高温の水塊が 500～1000m に分布していた。また、沖側の Stn.D7～ Stn.D10 では、高温・高塩分水が 500～1000m 付近に分布していることがわかった。1000m 以深に着目してみると、水温・塩分・密度の等値線が海底地形に沿った形となっており、34.65 PSU 以上の高塩分の水が分布していた。

C-line には、陸棚の終端である Stn.C06～Stn.C08 の 500m 付近に強い水温・塩分の水平勾配があることがわかった。これは、ASF (Antarctic Slope Front; Bindoff et al,2000) と呼ばれ、陸棚から陸棚斜面にかけての表層水と陸棚斜面上に分布する中層水との混合を考える上で非常に重要な役割を果たしていると考えられる。また、D-line と同様、50m 付近が顕著な密度躍層となっており、Stn.C13～Stn.C15 にかけて高温・高塩分水が 500～1000m 付近に分布していた。

次に、D-line で、LADCP により観測された流速の東西成分の鉛直断面図を Fig. 5 に示す。まず、顕著な密度躍層となっている 50m 付近では、Stn.D3 において 60cm/s の東向きの強い流れとなっていた。また、Stn.D8 では 500～1000m にかけて東向きの流れが存在しているのに対し、1000m 以深では海底まで西向きの流れとなっていた。この LADCP で観測された

Stn.D1～Stn.D10における東西成分の総流量は、西向きに 16 SV であった。

また、CTD 観測で得られた水温・塩分のデータから密度を求め、観測最深層を基準面として地衡流計算を行った。つぎに、LADCP で観測された流れの東西成分から求めた断面の総流量と地衡流計算による断面の総流量が等しくなるように設定して、Reference Layer を調整した。その結果、Reference Layer として 145・435 dbar を選んだときに、総流量が一致した。Fig.7 に LADCP で観測された 435 dbar の流速を Reference にして求めた地衡流計算の結果を鉛直断面図で示す。LADCP で観測された結果と比較すると、Stn.D8 の 500～1000m に分布した東向きの流れは実際の測流結果に比べ流速の値が小さかったが、Stn.D8 の陸棚斜面上にある西向きの流れは地衡流計算の結果にも現れていた。また、Stn.D1～Stn.D10 における東西成分の傾圧・順圧成分の流量を求めたところ、傾圧成分が西向き 16 SV・順圧成分が 0.3 SV であり、順圧成分はほとんどないことがわかった。

Bindoff et al.(2000)は、CTD の観測結果から表面を Reference として地衡流計算を行い傾圧成分を求め、順圧成分は船底に取り付けられた ADCP で計測された 28.6 m のデータを用いて流れの分布を求めており、その流量を西向き 29 SV と見積もった。そこで、Bindoff et al.(2000)と同じ方法で今回の観測結果から流量を求めたところ、西向き 29 SV と見積もられ、実際に LADCP で観測された流量、西向き 16 SV に比べかなり大きな量となった。従って、この方法を用いると西向きの順圧流量を過大評価する可能性があることがわかった。

以上のことから、過去の観測事例に比べても、LADCP および CTD データを用いて、南大洋インド洋セクターにおけるスロープカレントの構造を、より詳しくとらえられたと考えられる。今後は他の測線における流れの解析、特に C-line の解析を行っていく予定である。

#### 参考文献

- Bindoff, N.L., Rosenberg, M.A., Warner, M.J., 2000. On the circulation and water masses over the Antarctic continental slope and rise between 80 and 150°E. *Deep-Sea Research II* 47, 2299-2326
- Speer, K., Forbes, A., 1994. A deep western boundary current in the South Indian Basin. *Deep-Sea Research* 41 (9), 1289-1303

Table.1 Position of hydrographic and LADP observation stations.

Station	Date	Time (UTC)	Latitude (° ' )	Longitude (° ' )	Depth (m)	S.Temp (°C)	A.Temp (°C)	Wind.Dir (° )	Wind S'd (m/s)	観測最深層 (m)
B10	2003/1/29	22:54	62-20.02S	110-00.10E	3844.2	2.4	-0.4	254.0	13.3	3750.0
L1	2003/1/30	15:22	63-45.65S	121-14.09E	3300.0	4.0	1.2	289.0	1.7	3200.0
D1	2003/1/31	11:11	65-15.13S	130-29.74E	533.9	2.0	-2.9	134.0	5.5	501.0
D2	2003/1/31	12:44	65-10.71S	130-30.31E	449.1	1.8	-2.7	148.0	5.9	405.0
D3	2003/1/31	14:33	64-59.90S	130-30.27E	424.0	2.1	-2.6	151.0	6.4	430.0
D4	2003/1/31	15:50	64-55.09S	139-29.61E	1750.0	2.5	-2.8	163.0	5.5	1650.0
D5	2003/1/31	17:48	64-49.98S	130-29.70E	1721.0	2.4	-2.3	181.0	4.3	1650.0
D6	2003/1/31	20:15	64-39.94S	130-30.00E	1379.3	2.3	-2.0	195.0	4.5	1320.0
D7	2003/1/31	22:27	64-29.90S	130-30.45E	1366.7	2.1	-0.7	194.0	3.4	1325.0
D8	2003/2/1	3:30	64-09.94S	130-30.52E	2950.0	2.7	0.9	167.0	3.6	2900.0
D9	2003/2/1	10:39	63-50.19S	130-30.01E	3800.0	2.9	-0.2	224.0	2.1	3700.0
D10	2003/2/1	15:11	63-30.30S	130-30.61E	3969.0	3.4	-0.5	201.0	4.7	3900.0
C00	2003/2/3	12:09	66-27.81S	139-59.03E	999.5	1.1	0.7	141.0	6.2	950.0
C01	2003/2/4	3:24	65-59.54S	139-56.78E	193.0	1.9	-0.7	145.0	6.1	180.0
C02	2003/2/4	6:55	65-54.43S	139-56.24E	207.3	1.9	-0.2	141.0	4.0	190.0
C03	2003/2/4	8:35	65-49.89S	139-55.70E	213.6	1.8	0.2	122.0	4.1	200.0
C04	2003/2/4	10:46	65-44.94S	139-57.73E	234.0	1.4	-0.3	106.0	5.2	216.0
C05	2003/2/4	11:58	65-40.02S	139-57.47E	270.0	1.9	-0.6	107.0	5.7	255.0
C06	2003/2/4	16:22	65-34.48S	139-53.02E	873.9	1.9	-2.3	110.0	12.1	820.0
C07	2003/2/4	17:26	65-29.89S	139-56.46E	1519.3	2.1	-2.3	119.0	13.2	1450.0
C08	2003/2/4	20:23	65-24.88S	139-56.44E	1903.8	1.9	-2.7	114.0	13.2	1700.0
C08n	2003/2/5	1:19	65-23.46S	139-54.19E	2454.3	1.5	-2.4	118.0	14.9	2400.0
C09	2003/2/5	14:00	65-19.84S	140-00.25E	2463.0	2.2	-1.7	127.0	7.8	2360.0
C10	2003/2/5	16:15	65-10.22S	139-59.40E	2613.0	2.5	-1.7	108.0	7.2	2650.0
C11	2003/2/5	22:07	64-59.81S	140-00.14E	2726.1	2.2	-1.1	123.0	6.3	2600.0
C12	2003/2/6	10:40	64-39.92S	139-59.91E	2936.0	3.0	0.4	104.0	9.4	2850.0
C13	2003/2/6	15:18	64-20.43S	140-01.69E	3455.6	3.3	-0.1	124.0	5.7	3430.0
C14	2003/2/6	22:22	63-59.92S	140-00.05E	3695.0	3.2	1.0	76.0	6.5	3610.0
C15	2003/2/7	10:57	63-30.01S	140-00.88E	3798.7	3.3	0.4	95.0	10.8	3763.0

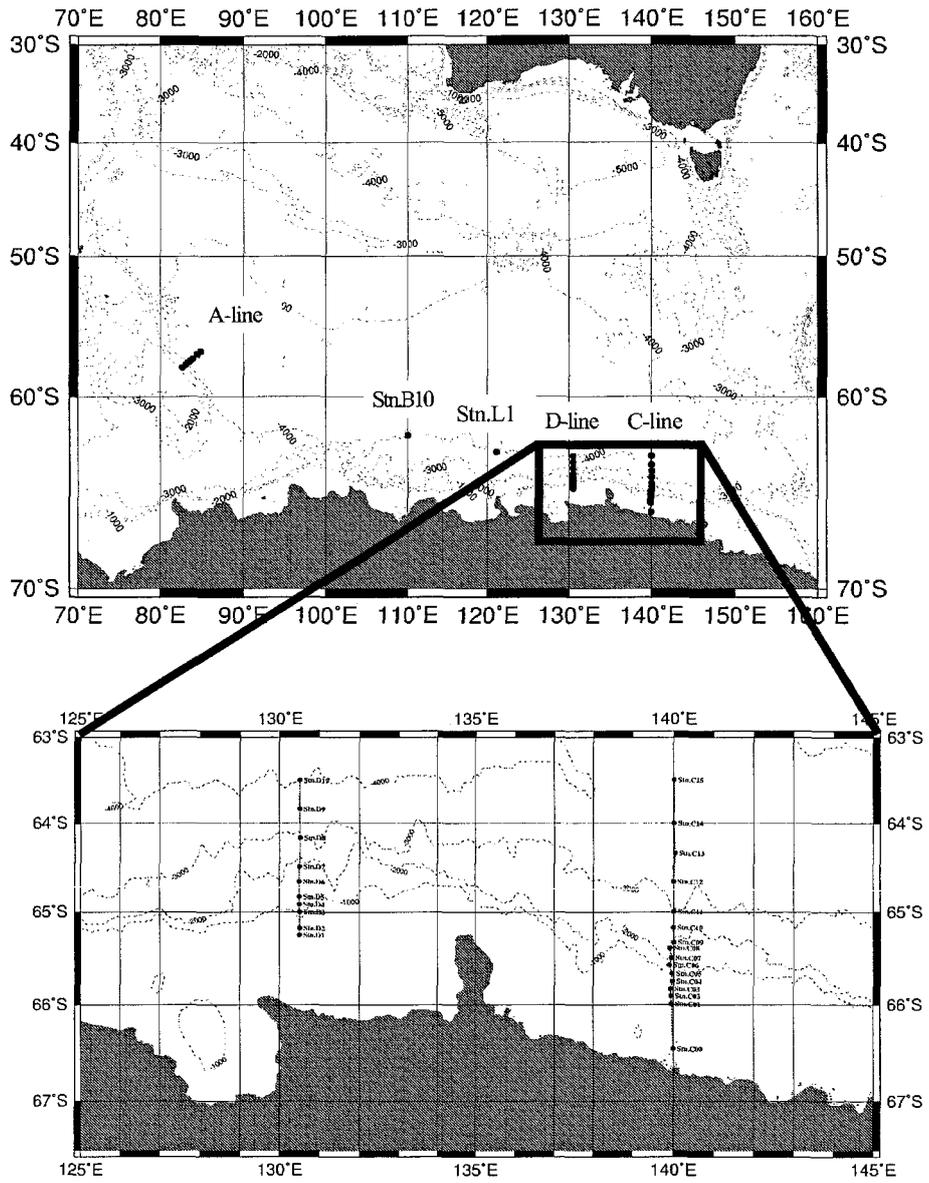


Fig.1 Positions of hydrographic and LADCP observation stations.

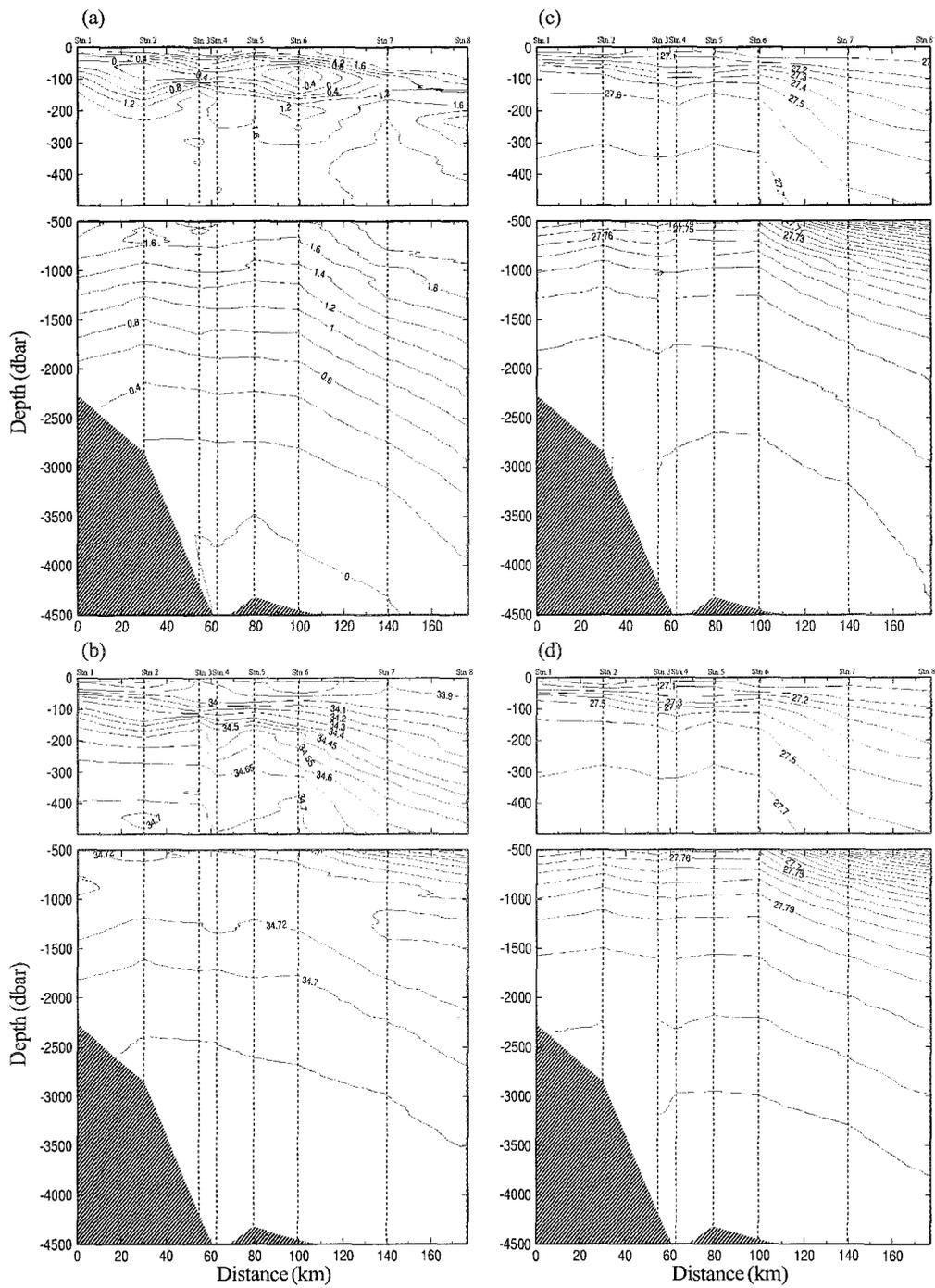


Fig.2 Vertical distribution along the A-line section of (a) temperature in  $^{\circ}\text{C}$  , (b) salinity in PSU, (c) sigma-t in  $\text{kg/m}^3$  and sigma- t in  $\text{kg/m}^3$  . The fine dotted lines are the location of each observation station.

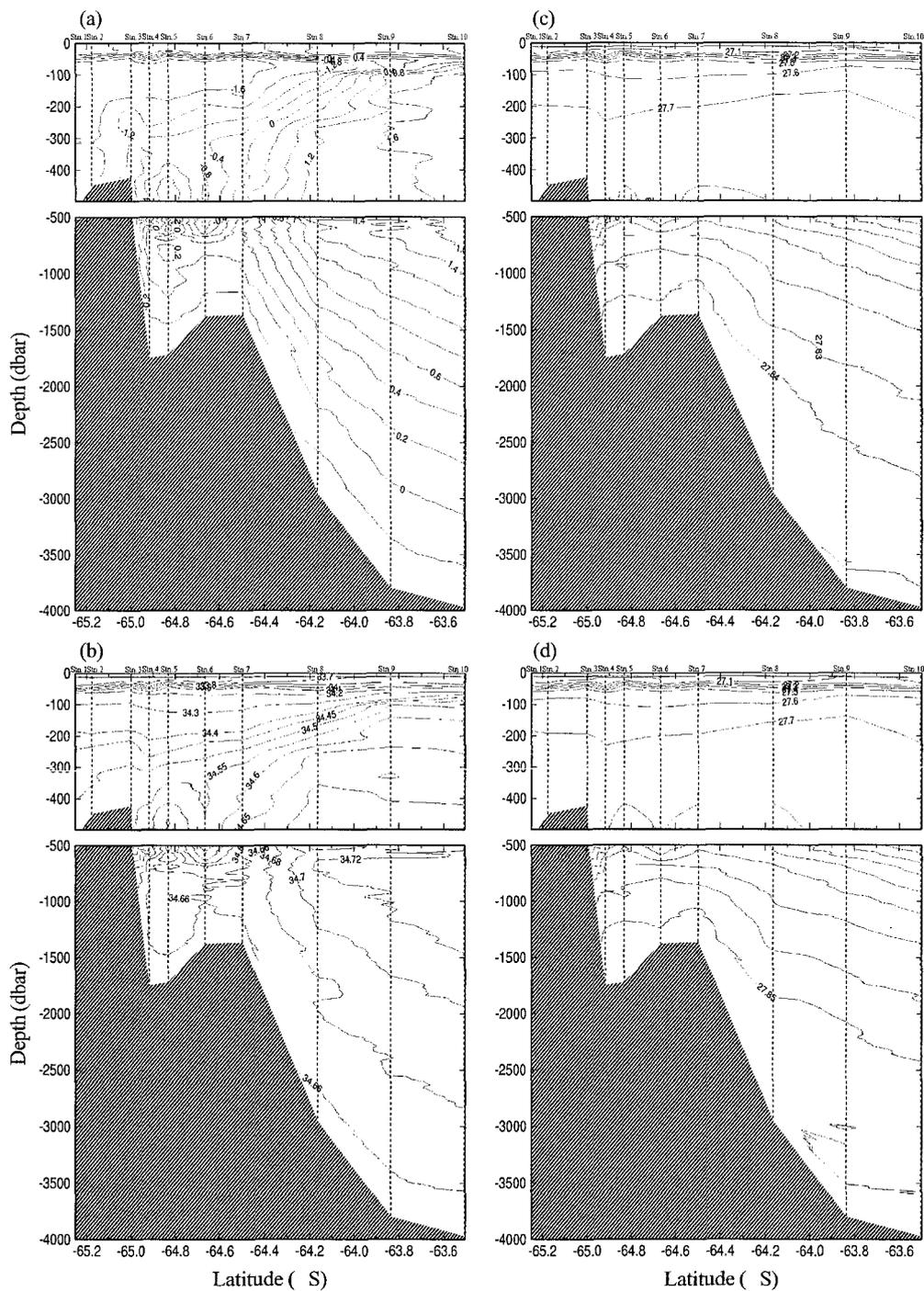


Fig.3 Vertical distribution along the D-line section of (a) temperature in  $^{\circ}\text{C}$  , (b) salinity in PSU, (c) sigma-t in  $\text{kg}/\text{m}^3$  and sigma- t in  $\text{kg}/\text{m}^3$  . The fine dotted lines are the location of each observation station.

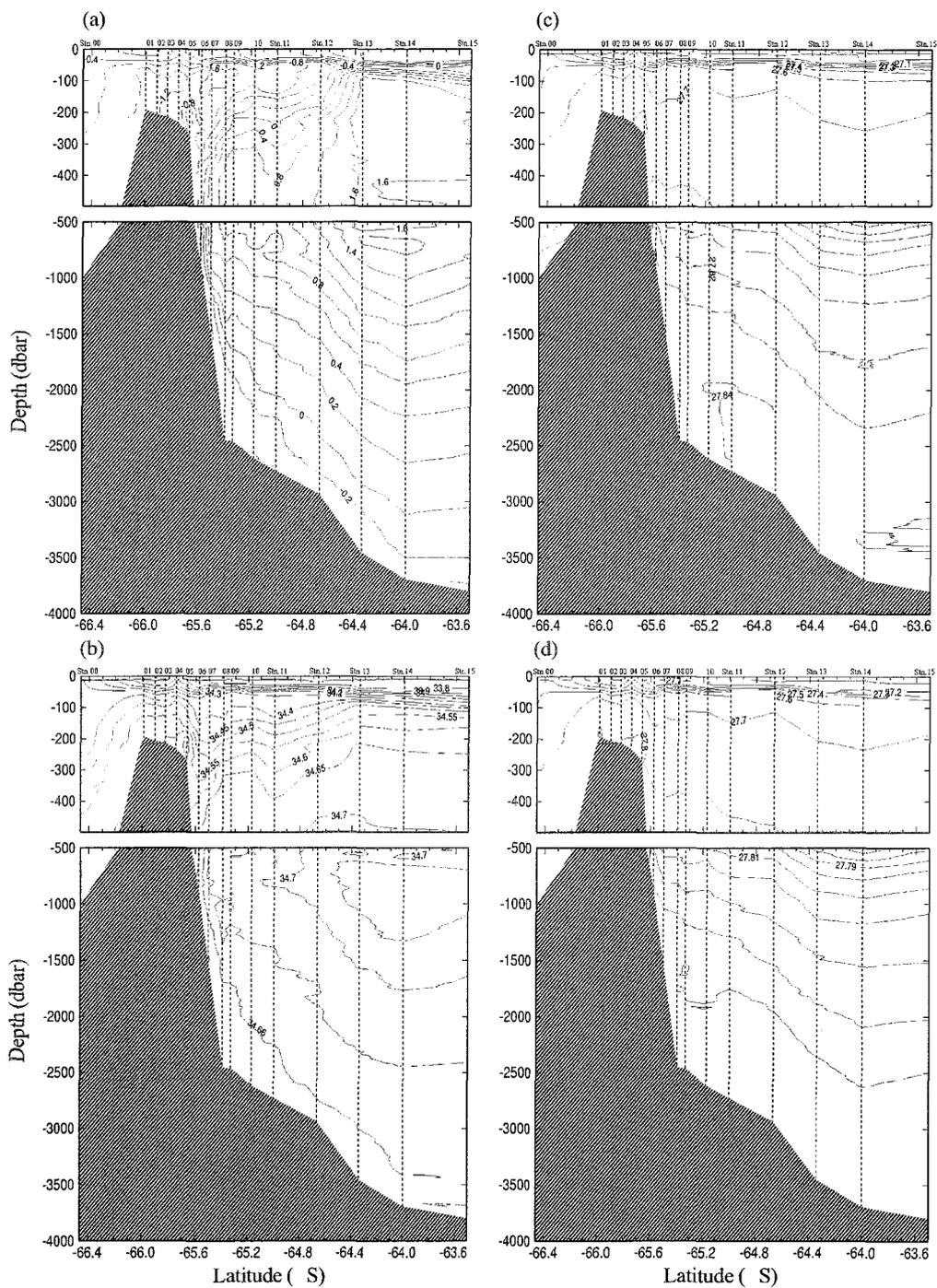


Fig.4 Vertical distribution along the C-line section of (a) temperature in  $^{\circ}\text{C}$  , (b) salinity in PSU, (c)  $\sigma\text{-t}$  in  $\text{kg}/\text{m}^3$  and  $\sigma\text{-t}$  in  $\text{kg}/\text{m}^3$  . The fine dotted lines are the location of each observation station.

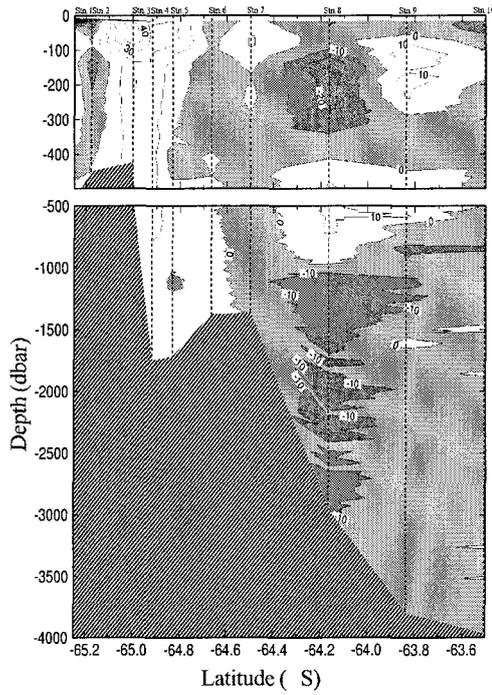


Fig.5 Vertical distribution along the D-line section of eastward current speed in cm/s measured by LADCP.

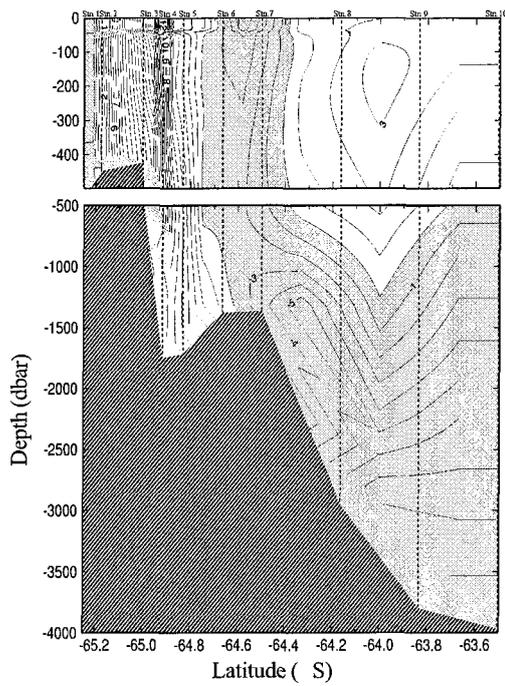


Fig.7 Vertical distribution along the D-line section of geostrophic eastward current speed in cm/sec, where the reference velocity measured by LADCP at 435db is used.

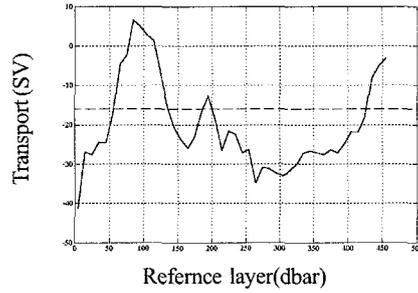


Fig.6 The geostrophic volume transports (solid curve) along the D-line section in Sv ( $10^6\text{m}^3/\text{s}$ ) for various reference level (abscissa). The horizontal averaged zonal velocity by LADCP observation at the level is used as a reference velocity. The zonal volume transport estimated by LADCP data are shown as a reference (dotted line).

#### 4.7.9 南インド洋・南太平洋西部での XCP・XCTD 観測による 中・深層の鉛直渦拡散係数の推定

北出裕二郎<sup>1)</sup>・川村有二<sup>1)</sup>・日下朋子<sup>1)</sup>・丹羽淑博<sup>2)</sup>・  
古市尚基<sup>2)</sup>・長澤真樹<sup>2)</sup>・日比谷紀之<sup>2)</sup>

(<sup>1)</sup>: 東京水産大学海洋環境学科、<sup>2)</sup>: 東京大学大学院理学系研究科)

Vertical eddy diffusivity based on XCP/XCTD observation in mid and deep depth of the  
western and southeastern South Indian Ocean and the western South Pacific Ocean

KITADE Yujiro<sup>1)</sup>, KAWAMURA Yuji<sup>1)</sup>, KUSAKA Tomoko<sup>1)</sup>, NIWA Yoshihiro<sup>2)</sup>,  
HURUICHI Naoki<sup>2)</sup>, NAGASAWA Maki<sup>2)</sup> and HIBIYA Toshiyuki<sup>2)</sup>

(<sup>1)</sup>: Tokyo University of Fisheries, <sup>2)</sup>: University of Tokyo)

##### 1. はじめに

深層海洋大循環を定量的に評価することは、気候変動の長期予測において非常に重要である。現在広く用いられている海洋大循環モデルでは、全海洋が水平に数十 km 間隔の計算格子に分割され、計算されている。しかし、海洋乱流のエネルギー源として重要な内部重力波は、この格子間隔よりも小さいため、この大循環モデルでは表現されていない。そのため、格子間隔よりも小さいサブグリッドスケールの現象の効果は、一般に粘性・拡散パラメータとしてモデルに組み込まれている。近年では、サブグリッドスケールの現象が海洋に不均一に分布し、その分布が大循環に重要な役割を果たすと考えられている。海洋大循環を定量的に評価できるモデルの開発には、サブグリッドスケールの現象やその分布を正確にパラメータ化する必要がある。

鉛直渦拡散係数の推定は、乱流プロファイラーを用いた乱流の直接計測によりなされるが、測器の特性上、観測海域や深度が極端に限られてしまう。そのため広範囲での鉛直渦拡散係数の見積もりには、観測の容易な expendable Current Profiler (XCP)による鉛直スケール O(10)m の鉛直シアの測定と expendable Conductivity, Temperature and Depth profiler (XCTD)による水温・塩分測定から、Gregg (1989) の経験式を用いる方法がとられている (Nagasawa et al., 2002 ; 長島他, 2003)。これは乱流スケールの現象を直接測定するのではなく、乱流のエネルギー源となる鉛直スケール O(10)m の鉛直シアを測定し、乱流の強さを推算する方法である。本調査では、鉛直渦拡散係数の全球グローバルマッピングの一環として、南インド洋および南太平洋西部で XCP・XCTD による観測を実施した。

##### 2. 観測および解析

###### 2.1. 観測方法

観測は、南インド洋西部のポートルイスから南太平洋西部のヌメアまでの間に Fig.1 に示

すように4測線で、XCPとXCTDにより実施した。XCPプローブはセンサー部と海上ブイ部から成り、プローブを海中に投げ込むと、約30秒後にセンサー部が海上ブイから切り離され、約4.5m/sで自由落下しながら水温と流速を計測する。計測記録は導線で海面ブイまで送られ、海面ブイから電波(172MHz)により観測船まで送られる。この電波の受信に支障をきたさないようにXCP観測時には船速を4ノットまで落とした。XCP観測終了後、船速を10ノットに上げ、XCTD観測を実施した。測点は、南インド洋西部のline aで12地点、南インド洋南東部のline bとline cで11地点、南太平洋西部のline dで26地点の合計49地点である。line cの南側の2測点は南磁極にかなり近く、異常な流速値を示したが、そのほかの地点では正常な記録が得られた。

## 2.2. 鉛直渦拡散係数の推定

乱流エネルギー逸散率 $\varepsilon$ は、XCPとXCTDにより得た流れの鉛直シアと浮力振動数 $N$ から、経験的に

$$\varepsilon = 7 \times 10^{-10} \times (N^2/N_0^2)(S_{10}^2/S_{GM10}^2)^2 \quad (1)$$

と表せる(Gregg, 1989)。ここで、 $S_{10}^2$ は鉛直スケール10mの流速シアの二乗値でXCPにより測定された流速シアのスペクトル解析により得られる。 $S_{GM10}$ はGarrett and Munk(1972)により提唱されたGMスペクトルから得られる流速シアである。また、 $N_0=3$  cycle/hourである。鉛直渦拡散係数はこの乱流エネルギー逸散率と浮力振動数より、

$$K_v = 0.2\varepsilon/N^2 \quad (2)$$

と求めることができる(Oakey, 1988)。(1),(2)式から分かるように、 $\varepsilon$ および $K_v$ はともに浮力振動数 $N$ に依存する値である。従って、浮力振動数の鉛直変化を考慮するために、データを鉛直に200m毎に区切って解析した。

## 3. 結果

まず、XCPで観測された各海域での流速プロファイルの典型的な例をFig.2に示す。XCPでは流向が地磁気により求められているため、磁気偏差による補正が施されている。Sta.11, 15は45°S付近の流速プロファイルで、500m以浅には比較的強い東あるいは南東向きの流れが見られる。これは南極周極流によるものである。ほとんどの測点で流速の符号が鉛直に変化し、傾圧的な流れが顕著であることを示すが、高緯度(57°40'S)のSta.17では流速が全観測層にわたりほぼ同じ、順圧的な流れの構造を示す。鉛直スケール十～数十メートルの

流速変動は各測点で見られるが、流速の鉛直変化、すなわち流速シアは 30°S 付近の Sta.6, 41 で特に大きいことが分かる。

次に、Fig. 3(a)~(c)に (1), (2)式より推算された鉛直渦拡散係数の緯度分布を示す。図には 200m 毎の記録から求めた拡散係数と各測点の 500~1500m の平均値を示している。以下に各海域での分布の特徴を示す。

○南インド洋西部(**line a**) : 同じ測点でもかなりばらつきがあるが、南インド洋西部では 28°~30°S で約  $0.5 \times 10^{-4} (\text{m}^2 \text{s}^{-1})$  の平均値を持つ。その両側では  $0.2 \times 10^{-4} (\text{m}^2 \text{s}^{-1})$  程度とほぼ同じ値をとっている。

○南インド洋南東部(**line b, c**) : 平均値は  $0.02 \sim 0.4 \times 10^{-4} (\text{m}^2 \text{s}^{-1})$  の値をとり、45°S から 55°S の緯度帯で比較的高い値を示す。この緯度帯は暴風圏に対応しており、海面から近慣性周期内部波へのエネルギー供給を示唆し、興味深い。

○南太平洋西部(**line d**) : この測線ではかなり高密度の観測を実施しているが、同じ緯度帯ではかなり近い値を示している。このことは、流速測定は各点で 1 回の瞬間値ではあるが、再現性があることを示し、結果の有効性を示すものと言えるだろう。28°~30°S での約  $0.5 \times 10^{-4} (\text{m}^2 \text{s}^{-1})$  の平均値をピークに、両側で低下している様子が伺える。

#### 4. 終わりに

ポートルイスーヌメア間で XCP と XCTD による観測を実施し、主温度躍層 500m 以深における鉛直渦拡散係数を推算した。その結果、中緯度帯で観測が行われた南インド洋西部と南太平洋西部海域では、鉛直渦拡散係数は 30°付近で高く、その両側で低くなる傾向が認められた。南インド洋西部の観測線は、30°S 付近でちょうど海嶺を横断しているため、内部潮汐による流速シアが直接関与し鉛直渦拡散係数が 30°S 付近で高くなった可能性がある。一方、南太平洋西部の観測線は Lord How Rise の東斜面の水深 2000m に沿うように測線が設けてあるため、内部潮汐の発生域からの距離など各地点の条件はほぼ同じと考えてよい。従って、Fig.3(c)に見られる緯度変化については、局所的な地形による効果とは考え難く、Hibiya et al.(1998) が指摘するように parametric subharmonic instability (psi)の作用が緯度により変化することに起因する可能性がある。また、南インド洋南東部では南極周極流の海域で比較的高い値を示している。(1), (2)式が浮力振動数の小さい高緯度域で十分使えるものなのかどうかも含め、Gregg (1989)の経験式の有効範囲について今後検討する余地があるだろう。

## 謝辞

観測に協力して下さった海鷹丸の小池義夫船長をはじめ乗組員の皆様、また南極洋海域での観測をアレンジして下さった石丸 隆教授に心から感謝いたします。本観測の一部は人・自然・地球共生プロジェクト（代表：日比谷 紀之）および科学研究費基盤研究(A)(2)（代表：石丸 隆）の援助を受けて行われました。

## 参考文献

- Garrett C. J. R. and Munk W. H. : Space-time scales of internal waves. *Geophys. Fluid Dyn.*, 2, 225-264 (1972).
- Gregg M C: Scaling turbulent dissipation in the thermocline, *J. Geophys. Res.*, 94 (C7), 9686-9698 (1989).
- Hibiya T, Niwa Y and Fujiwara K: Numerical experiments of nonlinear energy transfer within the oceanic internal wave spectrum, *J. Geophys. Res.*, 103, 18715-18722 (1998).
- Nagasawa M, Hibiya T, Niwa Y, Watanabe M, Isoda Y, Takagi S and Kamei Y: Distribution of fine-scale shear in the deep waters of the North Pacific obtained using expendable current profilers, *J. Geophys. Res.*, 107, C12, 3221, doi: 10.1029/2002 JC001376 (2002).
- 長島秀樹・長澤真樹・日比谷紀之：北太平洋南西部中・深層での XCP/XCTD 観測による乱流拡散率の推定. 東京水産大学航海調査報告, 222-227(2003).
- Oakey N. S.: Determination of the rate of dissipation of turbulent energy from simultaneous temperature and velocity shear microstructure measurements, *J. Phys. Oceanogr.*, 12, 256-271 (1982).

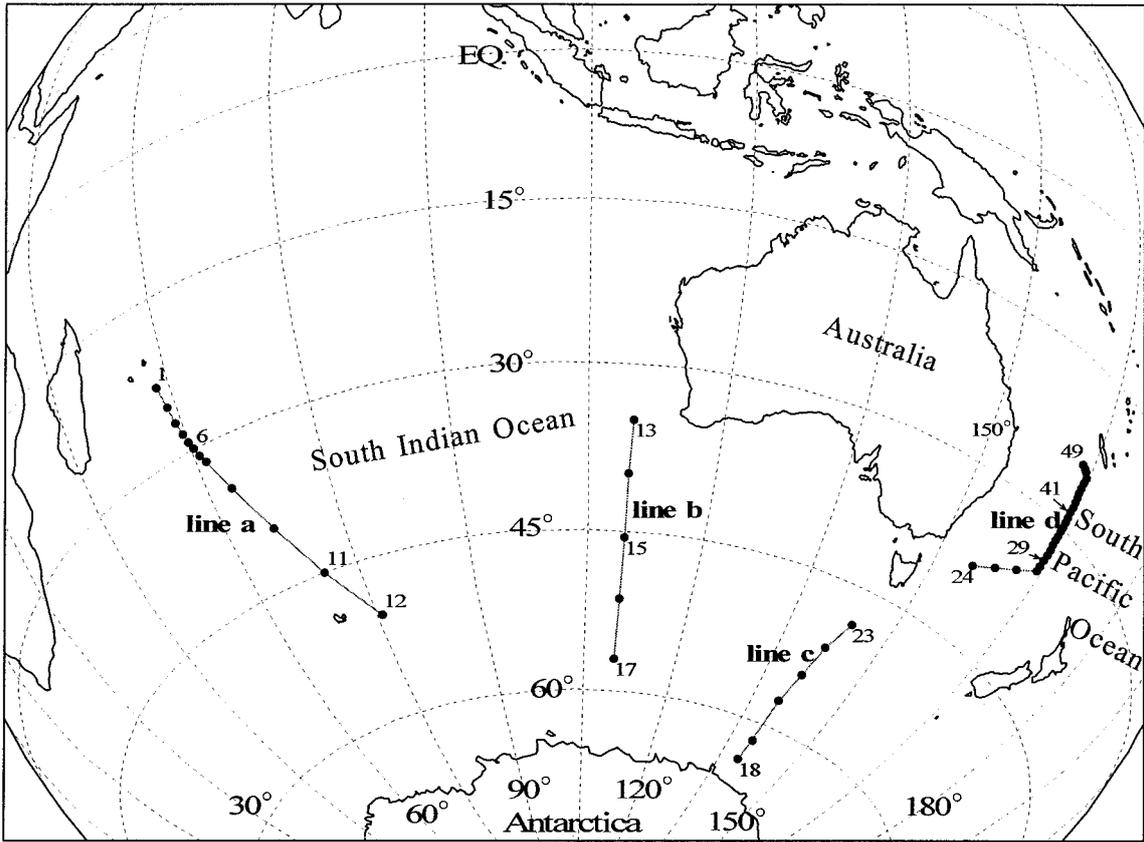


Fig. 1. Locations of observation station.

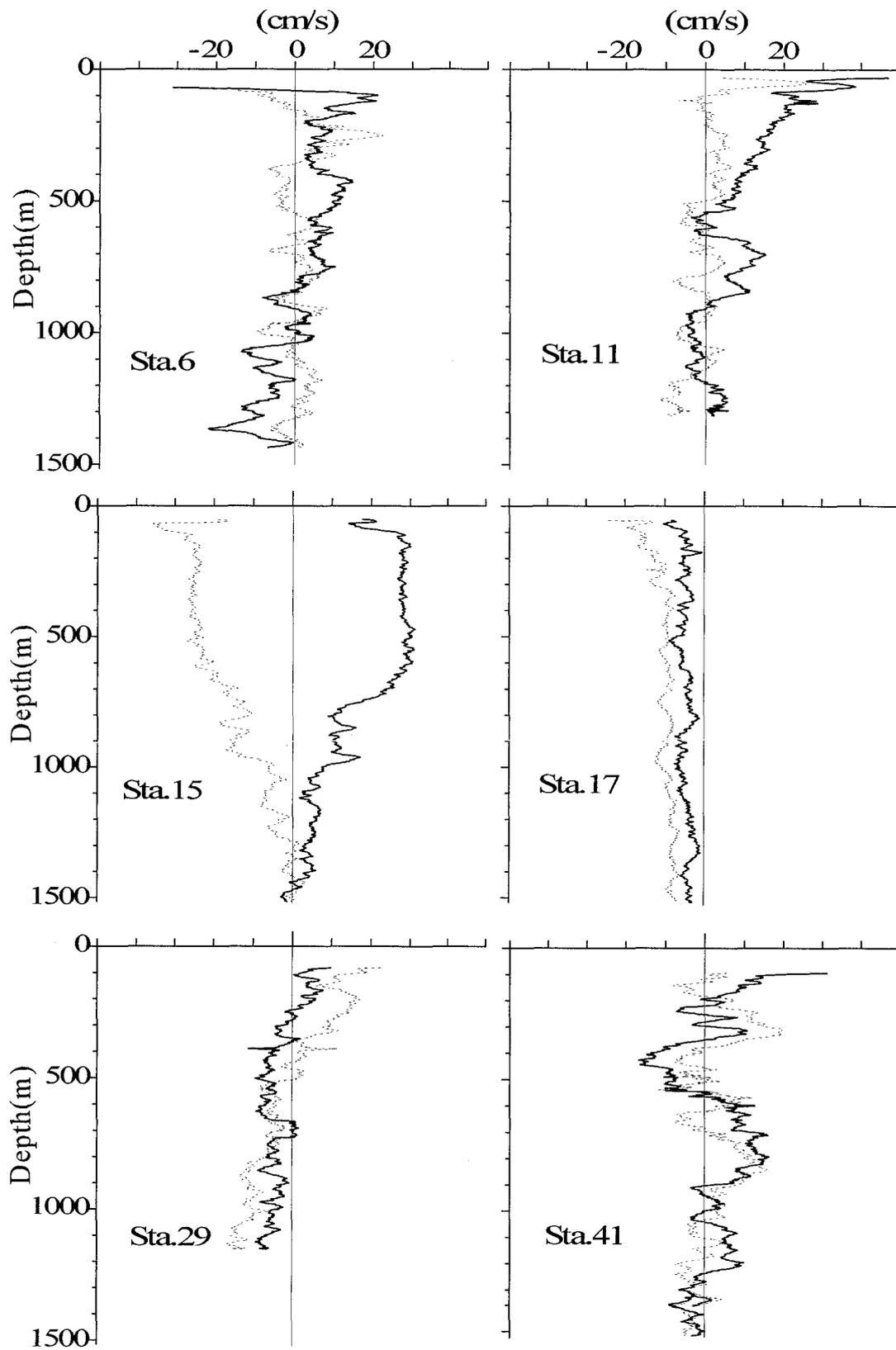


Fig. 2. Vertical profiles of the eastward (solid line) and northward (dashed line) current.

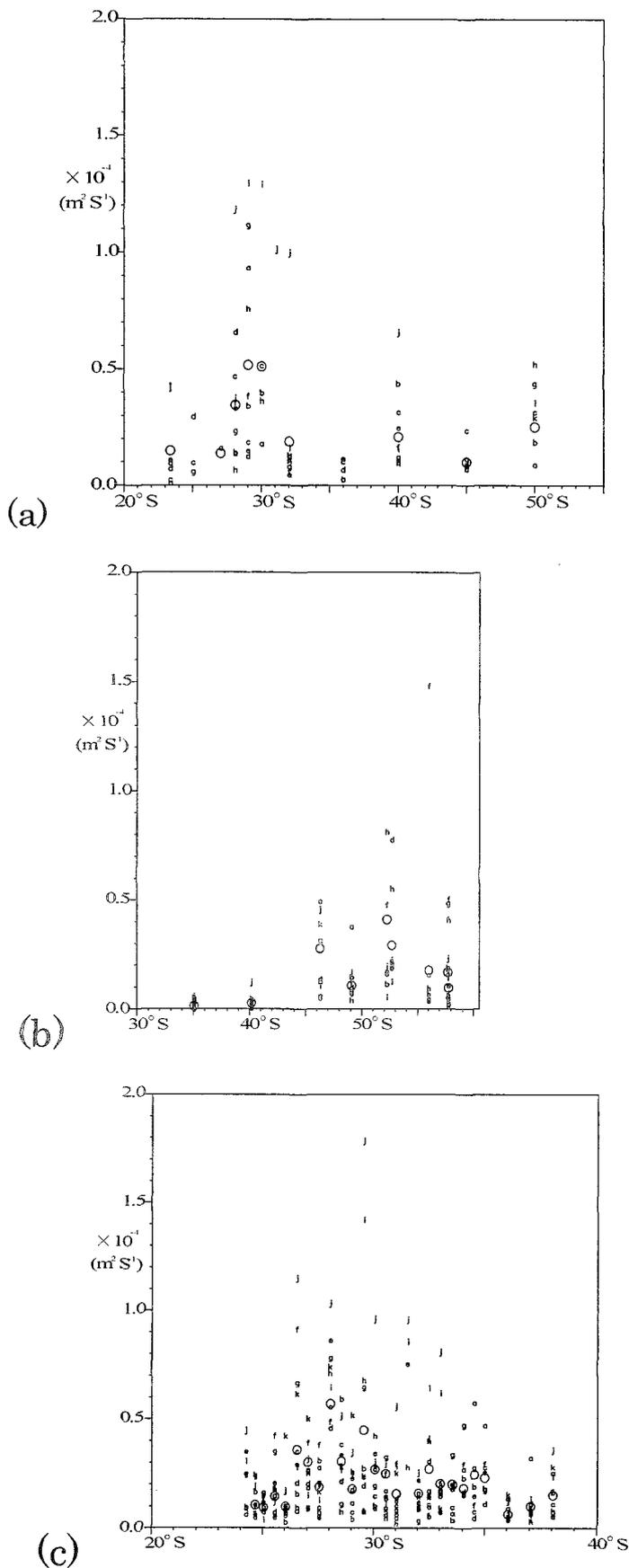


Fig.3. Latitudinal distribution of vertical eddy diffusivity in (a) the western South Indian Ocean, (b) the southeastern South Indian Ocean and (c) the western South Pacific Ocean. a: 400-600m, b: 500-700m, c: 600-800m, d: 700-900m, e: 800-1000m, f: 900-1100m, g: 1000-1200m, h: 1100-1300m, i: 1200-1400m, j: 1300-1500m, k: 1400-1600m, ○: average.

#### 4.7.10 南極大陸棚縁辺における乱流観測

北出裕二郎・松山優治・長島秀樹・川村有二・日下朋子・鳴海吉宏  
(東京水産大学海洋環境学科)

Observation of Turbulence over the continental shelf of Antarctica  
KITADE Yujiro, MATSUYAMA Masaji, NAGASHIMA Hideki,  
KAWAMURA Yuji, KUSAKA Tomoko and NARUMI Yoshihiro  
(Tokyo University of Fisheries, Department of Ocean Sciences)

##### 1. はじめに

地球環境を考える時、海洋に付加された熱・淡水・二酸化炭素などのガス・栄養塩などが、どのような仕組みで海洋全体に広がり、さらに失われていくかということを定量的に把握しておく必要がある。これまでのCTD観測によりグローバルな平均分布が詳しく知れるようになった。しかし、どのような過程を経て、そのような分布が形成され維持されているかは、定性的にある程度理解されていても、定量的には明らかになっていない。その原因は、熱・ガス・栄養塩などの輸送は海流や乱流拡散など、その位置や強さが時空間的に変化しやすい現象によって行われることに依存する。特に、乱流拡散によって鉛直的に輸送される量の把握は非常に難しいとされてきた。しかし、近年、理論の構築、実験式の導入、観測の進歩により、乱流拡散輸送の推定が可能になってきた。その観測機器が「海洋微細構造プロファイラー」である。現在、アメリカ西海岸を中心に微細構造を測定し、鉛直拡散係数の見積もりが行われており、深層大循環の解明において興味深い結果が得られている。しかしながら、これまでに観測の行われた海域は限られ、南極域はもちろん、太平洋西部での観測はまだ殆ど行われていない。特に、南極海域は深層水の形成において非常に重要な海域であり、水温・塩分に加えクロロフィル・濁度等の鉛直的な微細構造や高精度の乱流場の測定および物質循環の定量的な評価は、海洋環境学において非常に重要である。そこで、南極海域における乱流の強度ならびに乱流拡散率を推算するために、Turbulence Ocean Microstructure Acquisition Profiler (TurboMAP; Wolk et al., 2002)による観測を実施した。

##### 2. 観測

観測は、Fig. 1 に示すように南極大陸の陸棚縁辺(140° E に沿った測点)で乱流プロファイラーTurboMAPIII (アレック電子社製) により実施した。TurboMAPIIIでは、流速シア計、高速応答水温計 (FPO7)、水温計、電気伝導度計、水圧計、クロロフィル計、濁度計の他に、プロファイラーの内部に本体の振動を感知する加速度計 (3次元方向)が配備されており、合計10種類の項目が測定できる(Fig. 2(a), (b))。また、一般的な乱流計では内部メモリーにデータが収録されるが、TurboMAPIIIはプローブ部と船上ユニット部が有線ケーブルで接続されており(Fig. 2(c))、リアルタイムでデータが収録できるように変更されている。

Table 1 に示すようにC00 からC07 までの各点で数キャストずつ測定した。観測層は表層約5dbar から約150dbar までである。C07 での観測中に専用ウインチのモータが作動しなく

なり、C08 以降での観測を断念した。また、ケーブルとスリッピングの問題により、データの欠測やスパイク状のエラーが生じたが、乱流計測に最も重要な流速シアは概ね良好なデータが得られた。

### 3. 結果

#### 3.1. 鉛直プロファイルの特徴

TurboMAP で観測された記録の例として、C00 と C01 での流速シアと水温、塩分の鉛直プロファイルを Fig. 3 に示す。南極大陸に最も近い C00 と大陸から 70km 程度離れた浅瀬上の C01 では水温・塩分の鉛直構造が全く異なり、C01 では 60dbar 以浅で水温・塩分ともに弱い成層をしているが、C00 では海面から 40dbar 付近の温度躍層を除きほぼ一様である。ここには示していないが、C01 より北(沖側)の測点では、C01 と類似した水温・塩分構造を示した。

水温・塩分プロファイルでは、データの通信エラーによる欠測部分は線形補間してあるため分かりにくい。流速シアではゼロとしているため、例えば C01 の 34dbar や 52dbar 付近で欠測していることが分かる。この通信が途切れた部分の上下で大きな流速シアを示しているが、これが本当の流速シアによるものか疑わしいため、以下に示すように解析結果では除外する。

#### 3.2. 乱流エネルギー逸散率の算出

乱流計で測定された水平流速の鉛直シア  $S (= \partial u / \partial z)$  (ただし、 $u$  は水平流速、 $z$  は鉛直座標で、TurboMAP のシア計では直接  $S$  が計測される) から、乱流エネルギー逸散率  $\varepsilon$  (W/kg) は、

$$\varepsilon = \frac{15}{2} \nu \overline{S^2} \quad (1)$$

により算出される(Osborn, 1974)。ここで、 $\nu$  は海水の分子粘性係数( $\sim 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ )、 $\overline{S^2}$  は乱流スケールの波数を持つ二乗流速シアの平均値(流速シアの分散)である。

Fig. 4 に C00 での記録から求められた流速シアと加速度のスペクトルを示す。この図のスペクトルには、片側 6 項のスペクトルウインドウを施してある。10-15m 深のデータから求めたシアのスペクトル(Fig. 4(a))には、1cpm より低波数側でエネルギーレベルが高い様子、1~50cpm(cycle/meter)での盛り上がるような分布、さらに、100cpm 付近のエネルギーピークなどが認められる。一方、加速度のスペクトル(Fig. 4(c), (d))はプロファイラー本体の振動の波数を意味する。従って、加速度のスペクトルにおいて、1cpm より低波数側でエネルギーレベルが高いことは、流速シアのスペクトルに見られる 1cpm より低波数側の高いエネルギーレベルが、海水の運動ではなくプロファイラー本体の振動によるものであることを示す。また、Fig. 4 (a)のシアスペクトルの高波数側のエネルギーピークを示す波数 100cpm(波

長 1cm)は、シアプローブ先端の長さに匹敵していることから、シアプローブ等の振動によるものと考えられる。従って、乱流による流速シアは  $S$  としては Fig. 4(a) の破線ではさまれた領域の積分値を流速シアの分散  $\overline{S^2}$  として、エネルギー逸散率の計算に用いた。それに対し、50-55m 深のデータから求めたシアスペクトルの Fig.4(b)では Fig.4(a)とくらべ、Fig. 3 左図の 50~55dbar でシアが大きくなっているにも関わらず、1~50cpm 帯 のエネルギーレベルは低く、1cpm より低波数側と 50cpm より高周波側のノイズのエネルギーレベルがかなり高い。よって、Fig. 3 のシアの鉛直プロファイルにおいて、シアが極端に大きくなっているものはエラーと見なし、以下の解析では除外した。

以上のようなデータの取扱いのもとに、(1)式から求めた乱流エネルギー逸散率の鉛直分布を Fig. 5 に示す。C00、C01 ともにエネルギー逸散率は  $10^{-9} \sim 10^{-7}$  のオーダーであるが、C01 の方が幾分ばらつきが大きい。平均値は C00 で  $\varepsilon = 1.15 \times 10^{-8} (\text{W/kg})$ 、C01 で  $\varepsilon = 1.47 \times 10^{-8} (\text{W/kg})$  と C01 方が約 1.3 倍大きい。

### 3.3. 鉛直拡散係数

次に、乱流による拡散係数を見積もる。鉛直拡散係数  $K_v$  は、 $\varepsilon$  と浮力振動数  $N$  ( $= \sqrt{-g/\rho \, dp/dz}$ 、ただし、 $g$  は重力加速度、 $\rho$  は海水の密度)から

$$K_v = 0.2 \frac{\varepsilon}{N^2} \quad (2)$$

により算出できる(Oakey, 1982)。

5m 毎に求めた鉛直渦拡散係数の分布を Fig. 6 に示す。乱流エネルギー逸散率は C01 の方が約 1.3 倍大きいだけだったが、拡散係数は C00 での平均値が  $5.42 \times 10^{-3} (\text{m}^2/\text{s})$ 、C01 では  $5.91 \times 10^{-4} (\text{m}^2/\text{s})$  と、C00 の方が 1 桁大きい。(2) 式から分かるように、拡散係数の大きさは浮力振動数  $N$ 、すなわち成層の強さに強く依存している。まだ試算の段階で、正確な値については、これからさらに検証の余地があるが、鉛直渦拡散係数は  $K_v = 0.59 \sim 5.42 \times 10^{-3} (\text{m}^2/\text{s})$  と推算され、南極大陸棚縁辺ではかなり大きいことが分かった。

## 4. 終わりに

南極の大陸棚縁辺で観測を行った。有線ケーブルによりリアルタイムで記録が得られる TurboMAPIII の初期仕様に依存するいくつかのトラブルにあったため、得られた記録は完全なものでは無いが、南極海域の数地点で流速の鉛直シアを測定できた。その結果、乱流エネルギー逸散率が  $\varepsilon = 10^{-7} \sim 10^{-8}$  のオーダーで、予想以上に強い乱流が存在すること確認された。これから鉛直拡散係数を推算すると  $K_v = 0.59 \sim 5.42 \times 10^{-3} (\text{m}^2/\text{s})$  となることが分かった。Fig. 3 から、C00 の水温・塩分特性は C01 での水塊が鉛直に混合したものに近いことが分かるが、これは偶然なのだろうか。この乱流のエネルギー源の解明やその影響を含め、更に詳細な観測が必要である。

南極海域は、これまで TurboMAP が試験運用されていた海域に比べかなり過酷な状況であることに加え、今回ほとんどテストする機会を持たないうちに新規導入した測器を南極海観測で使い幾つかのトラブルが遭遇したが、これらの経験を踏まえ、寒冷地での対策を講じる必要がある。

#### 謝辞

観測に協力して下さった海鷹丸の小池義夫船長をはじめ乗組員の皆様、また観測計画をアレンジして下さった石丸 隆教授をはじめ南極海観測員の皆様に心から感謝いたします。本観測調査の一部は、平成 14 年度東京水産大学教育研究プロジェクト(学長裁量経費)および科学研究費基盤研究(A)(2) (代表：石丸 隆) の援助を受けて行われました。

#### 引用文献

- Oakey N. S.: Determination of the rate of dissipation of turbulent energy from simultaneous temperature and velocity shear microstructure measurements. *J. Phys. Oceanogr.*, **12**, 256-271 (1982).
- Osborn T. R.: Vertical profiling of velocity microstructure. *J. Phys. Oceanogr.*, **4**, 109-115 (1974).
- Wolk F., Yamazaki H., Seuront L. and Lueck R.G. : A new free-fall profiler for measuring biophysical microstructure, *J. Atmospheric and Oceanic Tech.*, **19**, 780-793 (2002).

Table 1. Number of TurboMAP casts and data condition at each station.

Sta. (Depth: m)	Casts	Condition	Note
C00 (1000)	3	n. p.	
C01 (193)	2	n. p.	
C02 (207)	4	p. c.	
C03 (214)	4	p. c.	
C04 (234)	—	s. o.	Slipring of the winch was checked.
C05 (270)	3	p. c.	
C06 (874)	4	p. c.	
C07 (1519)	1	p. c.	Motor of the winch became out of order.

n. p.: No problem; p. c.: problem on conductivity data; s. o.: suspend operation.

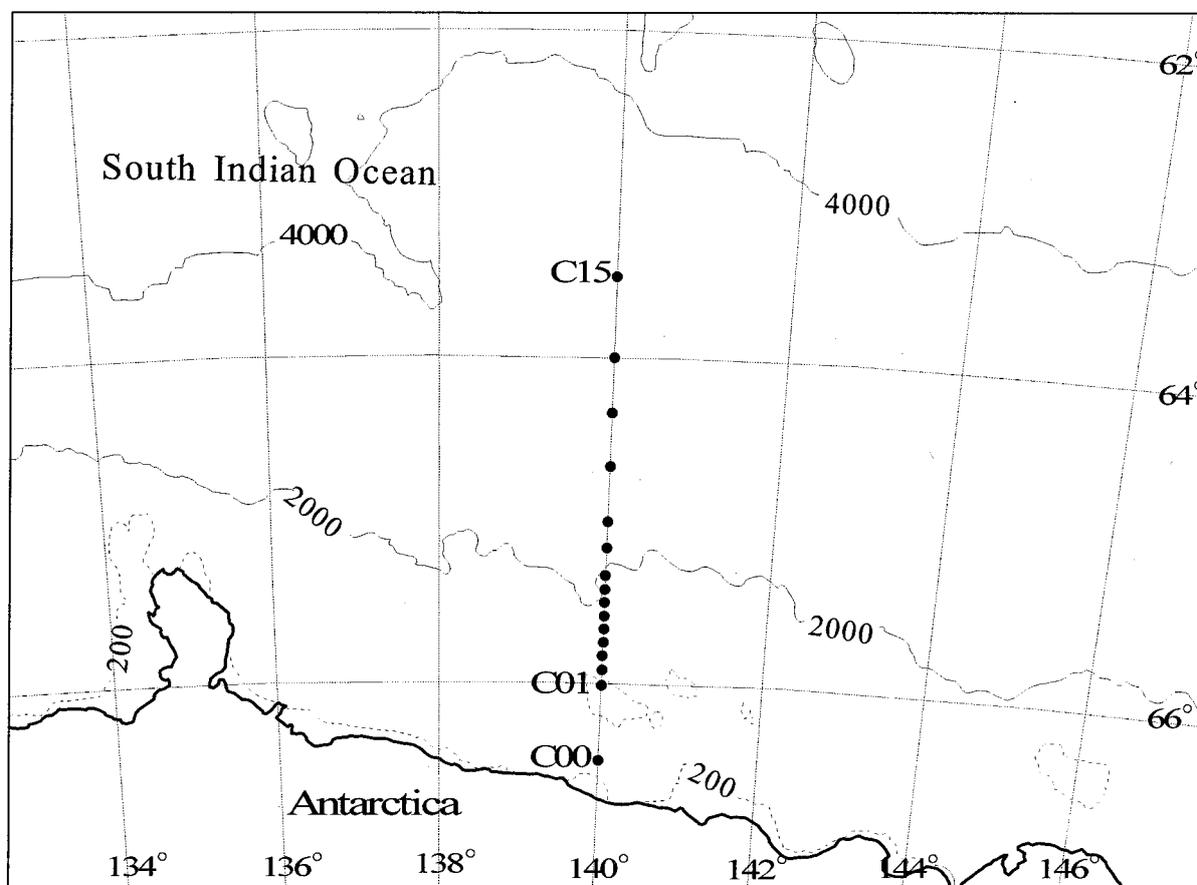


Fig. 1. Locations of observation stations. Numerals on the contour lines are in meters.

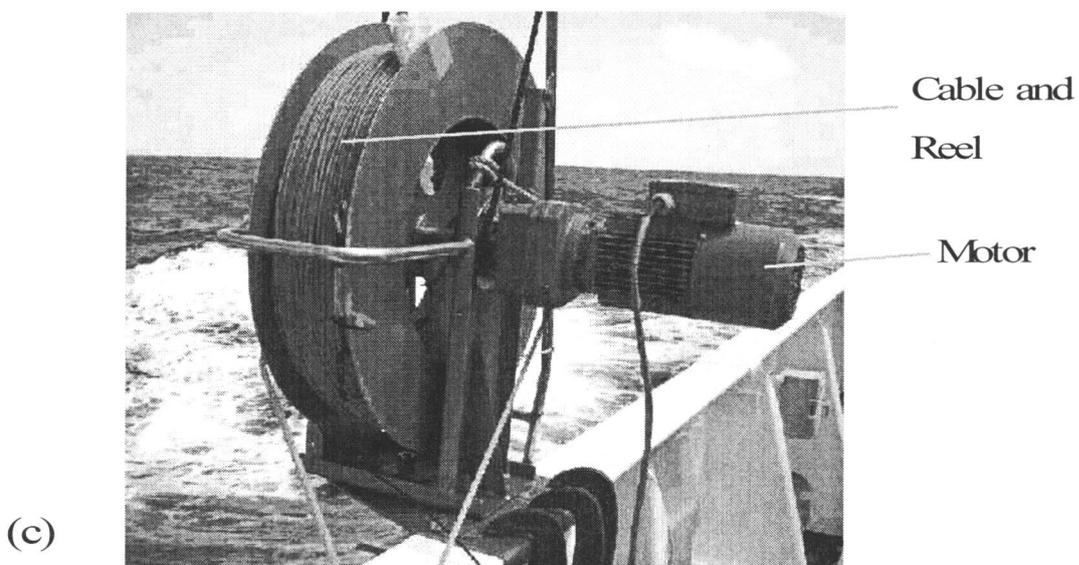
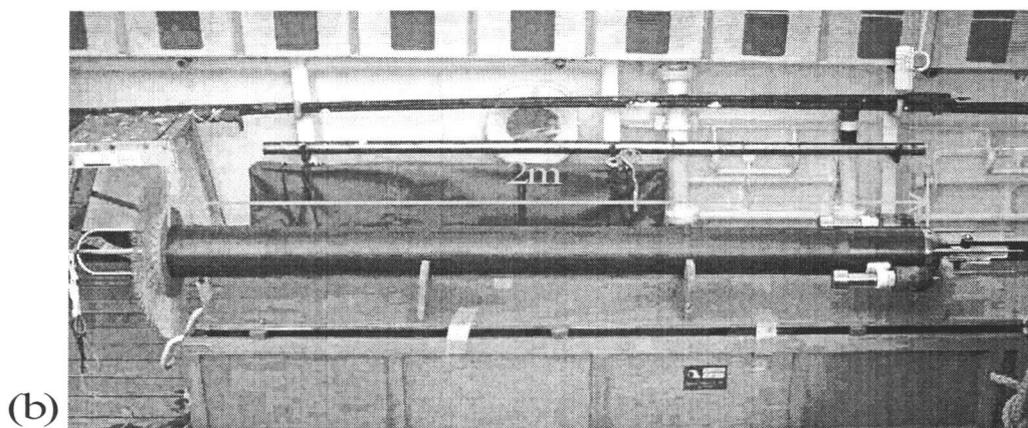
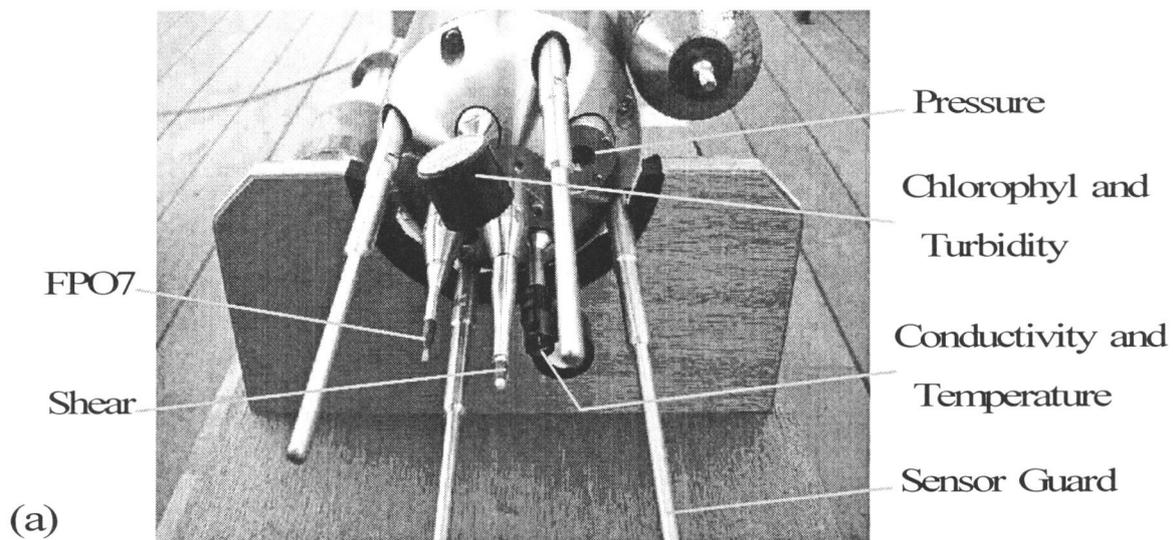


Fig. 2. Photos of the TurboMAP system. (a) Sensor nose. (b) Overview of the profiler.  
 (c) Winch for the TurboMAP III.

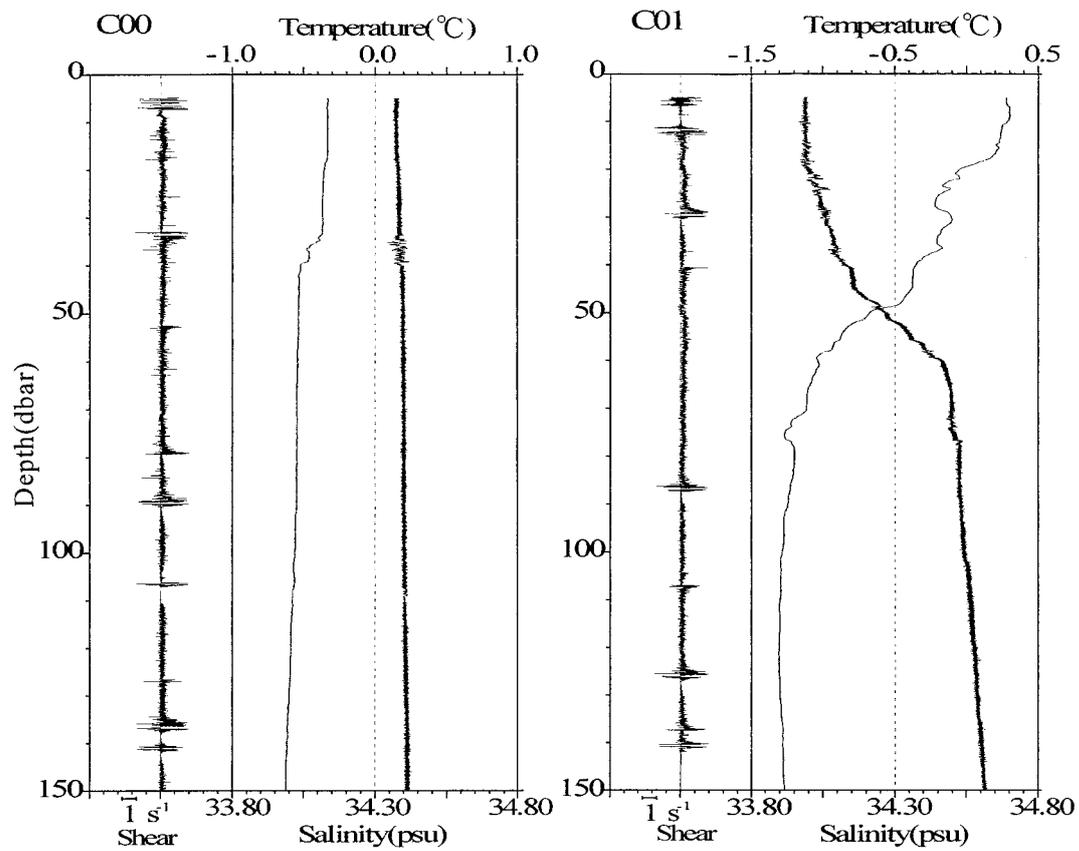


Fig. 3. Vertical profiles of current shear, temperature and salinity obtained at C00 (left) and C01 (right).

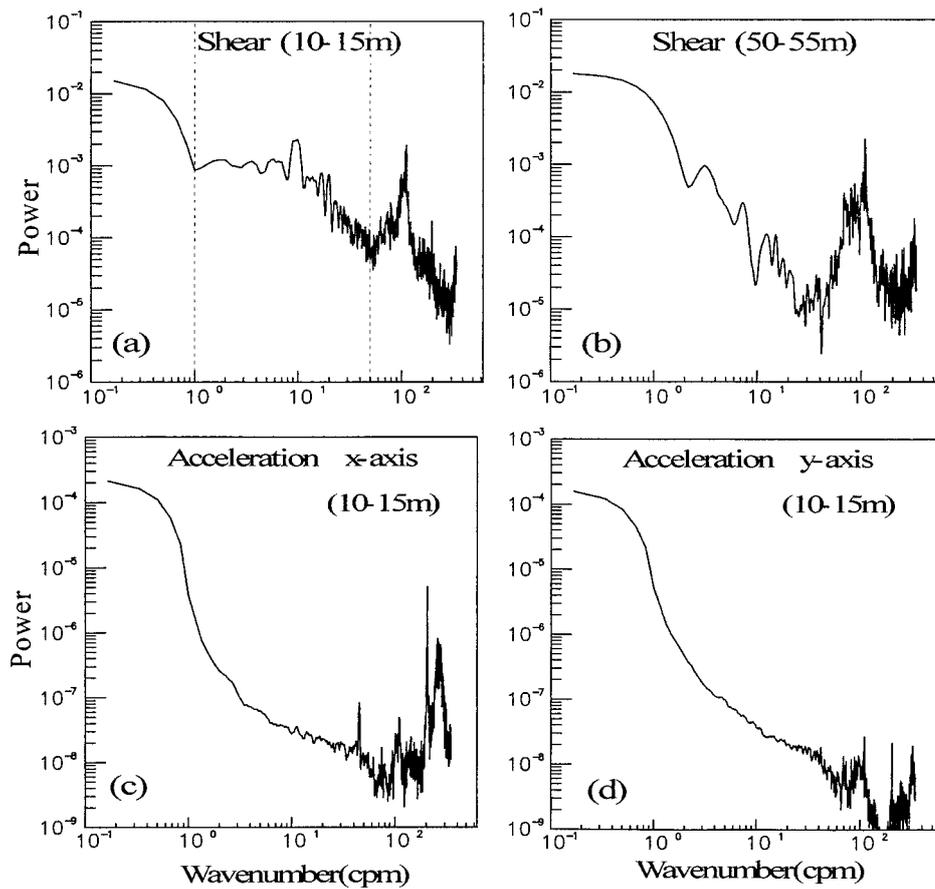


Fig. 4. Power spectra of the shear from (a) 10 to 15 m depth and (b) 50 to 55 m depth. Power spectra of (c) x-axis and (d) y-axis components of acceleration.

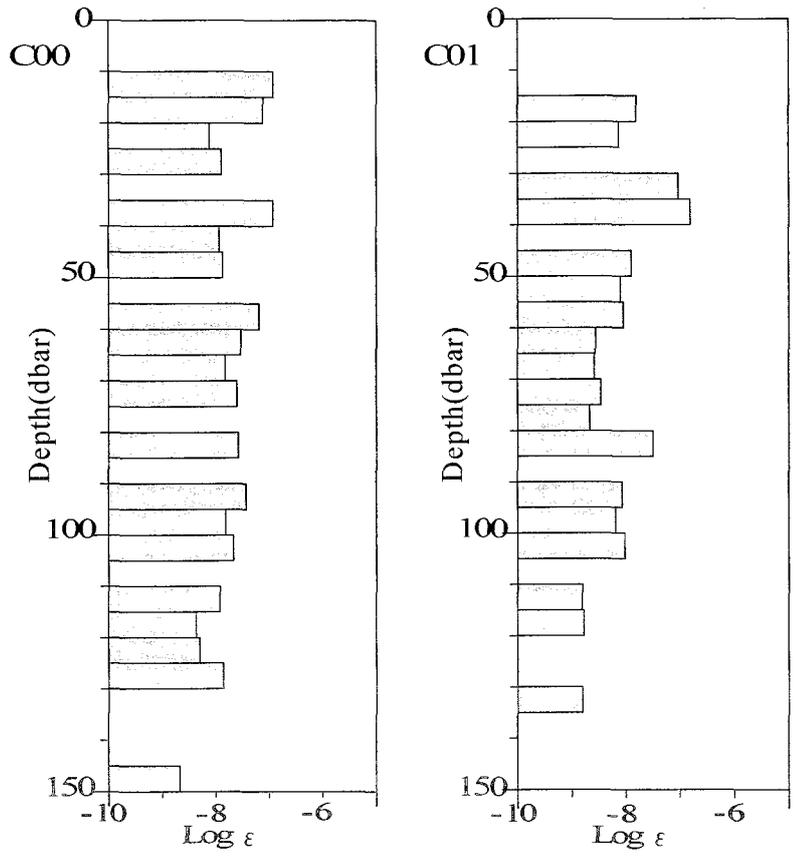


Fig. 5. Vertical distributions of energy dissipation rate,  $\epsilon$  (W/kg), at C00 (left) and C01 (right).

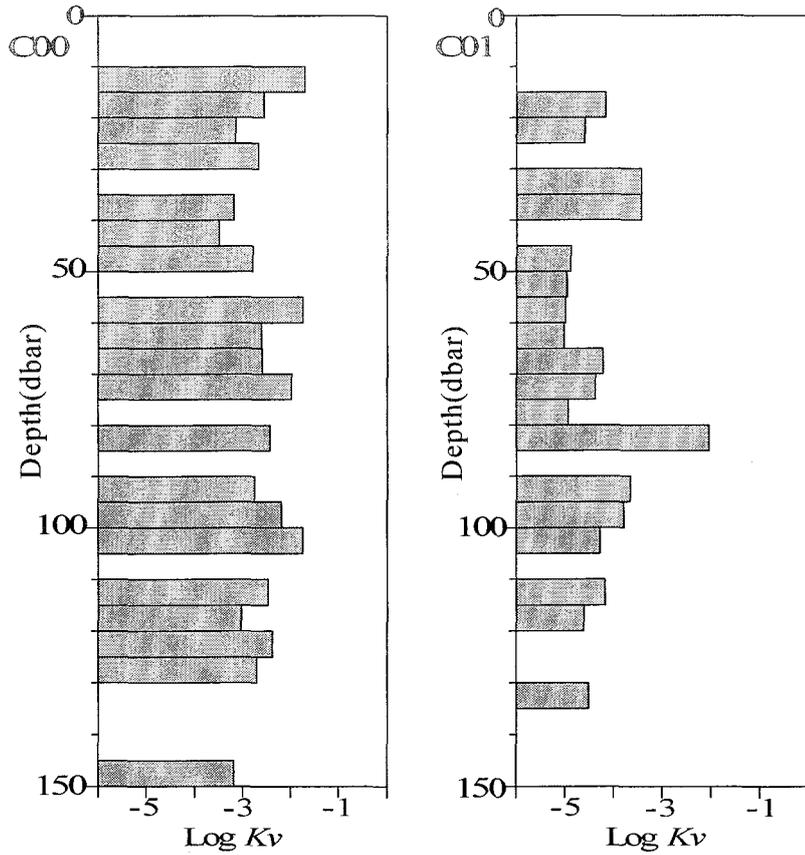


Fig. 6. Vertical distributions of vertical eddy diffusivity,  $K_v$  ( $m^2/s$ ), at C00 (left) and C01 (right).

#### 4.7.11 ナンキョクオキアミ *Euphausia superba* のターゲットストレングスの測定と計量魚群探知機を用いた音響調査について

甘糟和男<sup>\*1</sup>・折井麗子<sup>\*2</sup>

(<sup>\*1</sup> 東京水産大学海洋生産学科、<sup>\*2</sup> 東京水産大学水産専攻科)

Target strength measurements of Antarctic krill *Euphausia superba* and acoustic survey by using quantitative echo sounder

AMAKASU Kazuo<sup>\*1</sup> and ORII REIKO<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup>Department of Marine Science and Technology, Tokyo University of Fisheries  
<sup>\*2</sup>Advanced Course for Apprentices in Seamanship, Tokyo University of Fisheries

##### 1. はじめに

ナンキョクオキアミ *Euphausia superba* (オキアミ) は、南極海に生息する甲殻類で、体長が最大 60mm にも達する大型の動物プランクトンである。このオキアミは、南極海において鯨類をはじめとする様々な生物の餌生物として重要であり、我々人間にとっては総漁獲量が約 10 万トンという重要な水産資源でもある<sup>1)</sup>。南極海はオキアミを鍵主とする比較的単純な生態系であるため、オキアミの減少という事態は南極海の生態系を破壊しかねない。よって、オキアミを水産資源として利用する我々は、生態系に悪影響が及ばないように、オキアミ資源の正確な把握の下に計画的な漁獲を行う必要がある。南極海の生態系を守りつつ、持続的な水産資源として利用していくことが必要不可欠である。

オキアミの資源量調査や生態調査の手法の一つとして、計量魚群探知機 (計量魚探機) が効果的に適用されてきた。2000 年に実施された南極海洋生物資源保存委員会 (Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources, CCAMLR) の国際共同一斉調査でも計量魚探機を用いた音響資源調査が中心的な調査であった<sup>2)</sup>。この調査結果から予防的漁獲制限量が算定されている<sup>3)</sup>。

計量魚探機は、船底に装備された送受波器から超音波パルスを出し、海洋生物などからの反射強度を計測する。群れからの反射強度は、1 尾あたりの反射強度であるターゲットストレングス (Target strength, TS) の総和と考えられるので、得られた群れからの反射強度を TS で割れば量を求めることができる。よって、資源量を高精度に推定するためには、オキアミの TS が正確な値でなければならない。オキアミの TS については、これまでに多くの研究<sup>4-10)</sup> が行われ、徐々に明らかになりつつあるが、姿勢、形状、質などの変化によって TS も大きく変動するので、その原因と特性を知ることが必要である。特に生きた状態での TS の測定は難しく、TS の姿勢に対する特性 (TS パターン) の測定例はほとんどないのが現状である。この理由として以下のような点があげられる。1) 寸法が小さく、弱く、骨が無く、形状が複雑であるので、取り扱いが難しく、例えば魚の TS の測定のような釣糸による姿勢の制御<sup>11)</sup> が難しいこと、2) 小さく、鰭がないので TS の値が小さいこと、3) 鰭がなく、形状が複雑であるので TS パターンが複雑であること、4) 生きた状態でのサンプルもしくはそれと同等の新鮮なサンプルの入手が難しいこと。

これまでのオキアミの音響資源調査では、国際的に 120 kHz が使用されてきた。しかし、適切な周波数に関する十分な検討はなされていない。一般に、測定個体の体長に対して波長が短い高周波では TS パターンは鋭く複雑になるため、TS の変動も大きくなり、量推定の精度が低くなる。120 kHz は、波長が 1.25 cm（音速 1500 m/s とした時）とオキアミのサイズに対して波長が短いために TS の変動が大きい可能性がある<sup>12)</sup>。より高精度な資源量推定を目指すためには、適切な周波数に関する検討が必要である。

前述したような TS の変動の解明と適切な周波数の検討を行うため、海鷹丸第 9 次航海における南極海調査において、オキアミの生きた状態における TS の測定、計量魚探機による音響調査、オキアミの遊泳姿勢の観測を行った。特に TS の測定に関しては、船上での測定も可能な今までに無い高精度な測定方法<sup>13)</sup>をすでに開発し、今回の調査に使用した。また、生きた状態でのサンプルが得られるという好条件でもあった。本報告では、実施項目の概要を述べるとともに、得られた生きた状態におけるオキアミの TS パターン、調査中に行った計量魚探機の較正結果、平均面積散乱強度の分布について報告する。

## 2. 実施項目

### 2.1 小型水槽を用いたオキアミの生きた状態における TS の精密測定

我々がこれまでの研究で開発した、スプリットビーム (SB) 方式と小型水槽を用いる小型生物の TS の測定方法<sup>13)</sup>により TS の測定を行った。計測システムを Fig. 1 に示す。計測システムは、周波数が 70kHz の SB 方式音響計測システムと、ビデオカメラによる姿勢観測システムとで構成される。姿勢観測を精確に行い、かつ、音響計測との同時計測を容易にするために、観測窓が備わった小型水槽 (1 m×1 m×1 m) を使用する。送受波器は小型水槽上面に下向きに設置する。測定個体は、ビーム内の適当な位置にとどまるように釣糸 (直径 0.14 mm) によって簡単に拘束のみで、自ら浮遊、遊泳し、姿勢を変化させる。後処理で、得られた TS とその時の姿勢角を対応させ、TS パターンを得る。計測システムは漁獲物処理室に設置した。

測定個体は、稚魚ネット (網口面積 1.33 m<sup>2</sup>) や RMT (Rectangular Mid-water Trawl, 網口面積 8 m<sup>2</sup>) で採集した生きたオキアミのうち 14 個体について生きた状態で TS の測定を行った。まず、採集したオキアミは、活魚水槽等で生かしておき、定点観測中で船があまり揺れていない時に TS の測定を実施した。



Fig. 1. Target strength measurement system using the split-beam method and a small tank.

## 2.2 計量魚群探知機による音響調査

調査海域および調査定線を Fig. 2 に示す。海鷹丸には、周波数 38、70、120 kHz の 3 周波数を備えた計量魚群探知機 (KAIJO 製、KFC-3000) (Table. 1) が搭載されている。フリーマントル出港後、2003 年 1 月 29 日 (05:01) から 2 月 8 日 (14:14) まで計量魚探機を常時作動させて体積散乱強度 (volume backscattering strength, SV) 等の音響データの連続収録を行った。これまで音響データの記録媒体には MO ディスクや Jaz ディスクを使用してきた。しかし、今回は調査期間が長いので、代わりにハードディスク (80 GB) を増設してデータの収録に使用した。測深用として使用している 88 kHz の魚群探知機は、調査中は計量魚探機との干渉を防ぐために送信を切った。周波数 38 kHz の Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) は、事前に計量魚群探知機と送信の同期をとれるように改造し、干渉をなるべく抑えた。音響データの解析ソフトウェアとしては Echoview (Sonar Data 社製) を使用し、雑音や不要なエコーを取り除いた後、エコー積分処理を行って平均面積散乱強度 (mean area backscattering strength, 平均 SA) を求めた。

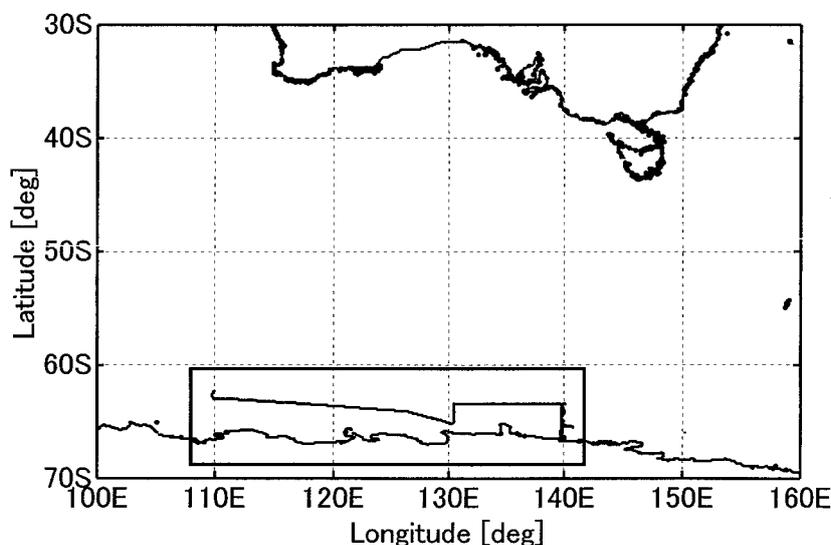


Fig. 2. Survey area.

Table 1 Specifications of KFC-3000.

Frequency [kHz]	Beam width [deg]		Pulse duration [ms]
	Narrow	Wide	
38	8.5	19.0	0.6
70	8.5	19.0	0.6
120	8.5	-	0.6

調査期間中の 2 月 3 日には、標準球 (タングステンカーバイド製、直径 38.1 mm) を使用した計量魚探機の較正<sup>14)</sup>を、フランスのデュモンデュルビル基地沖 (66°38'S, 139°58'

E) で実施した。調査の都合上、較正は 2 時間で簡単に行うという制限があった。通常は 3 本の釣竿を用いて標準球を吊るすが、ここでは、較正を短時間で簡易的に行うために 2 本の釣竿を用いて標準球を吊るす『2 点吊り』にて行った。較正時には、アンカーを打って船を固定し、TS が既知である標準球を送受波器のビーム軸上に懸垂した。標準球の TS は、水温の測定により音速を求め、音速と TS の関係から求めた。標準球のエコーレベルから送波音圧、受波感度、前置増幅器のゲインの 3 者の積である送受信係数を較正した。また、総合的なチェックのために標準球エコーの積分も行った。

### 2.3 オキアミの遊泳姿勢の観察

TS の変動の大きな要因として考えられるオキアミの遊泳姿勢を調べるために、水槽 (40 cm×30 cm×30 cm) にオキアミ 20 個体を入れて、ビデオカメラによる遊泳姿勢の観察を行った。現在、データの解析中であるため、後日報告する。

## 3. 結果

### 3.1 オキアミの TS の測定結果

TS の測定を実施した 14 個体のうち、12 個体について生きた状態における TS パターンが得られた。(Fig. 3) 測定個体の体長を Table 2 に示す。Fig. 3 における横軸の  $\theta_t$  は、オキアミの姿勢を表す。正の時に頭を上げた状態、負の時に頭を下げた状態になる。縦軸は TS である。実線は音響理論散乱モデルである DWBA (Distorted Wave Born Approximation) 変形円筒モデル<sup>9, 15, 16</sup> による値である。これまでの遊泳性エビ類などの測定<sup>13, 17</sup> では、気泡の付着と思われる影響により、測定した TS の値が理論モデルによる値より 10 dB 大きいということがあった。しかし、今回の測定では、気泡の付着に気を配ったこともあり、どの個体も最大値付近では理論モデルとほぼ合っている。特に No.3、5、6、8、9、11 は、理論モデルと一致している部分が多かった。No.4 は、メインローブ付近では理論モデルと一致する部分があるものの、30°付近で理論モデルよりも測定値が大きくなる結果が得られた。No.2 においても 30°付近で同様の結果となった。No.1、10 では全体的に測定値の方が大きかった。No.7、12 は、測定値のばらつきが大きかった。

### 3.2 計量魚探機の較正結果

較正結果を Table 3 に示す。比較のために 2002 年 10 月 13 日に沖縄県亜嘉島沖で実施した前回の較正で得られた送受信係数 (TR factor) を示した。38 kHz では前回の送受信係数と比較すると、5.8 dB (Narrow)、5.7 dB (Wide) 低くなった。70 kHz では 1.9 dB (Narrow)、1.8 dB (Wide) 大きくなった。120 kHz では 0.7 dB 大きくなった。標準球エコーの積分を行い総合的なチェックを行った結果、38 kHz では標準球の SV の測定値 (Sphere "SV" (Measurement)) は、理論値 (Sphere "SV" (Theory)) と比較すると 0.3 dB (Narrow)、0.2 dB (Wide) 小さかった。70 kHz では 0.3 dB (Narrow)、0.4 dB (Wide) 小さかった。

120 kHz では 0.3 dB 小さかった。

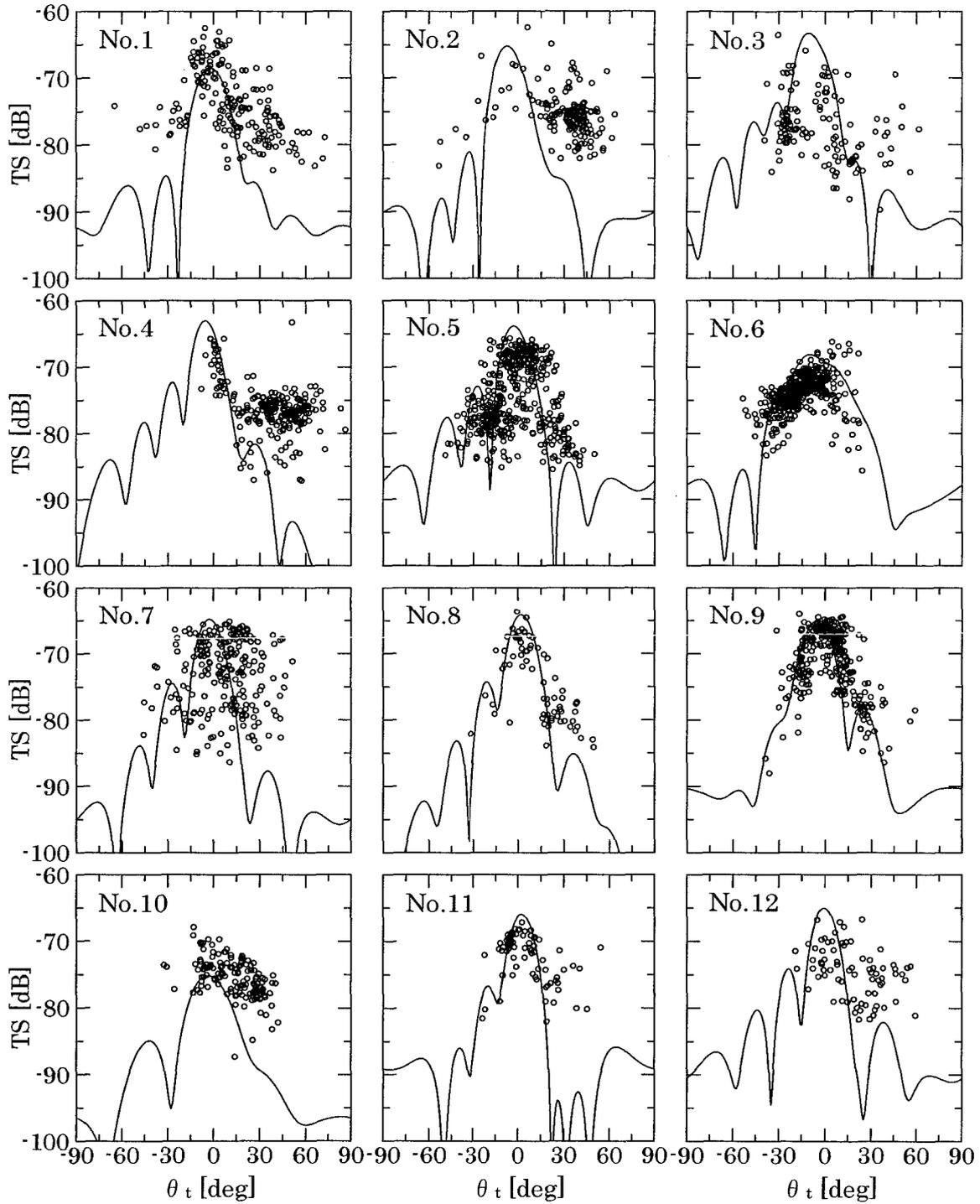


Fig. 3. Results from measurements and DWBA-based deformed cylinder model calculations of TS pattern for Antarctic krill (*Euphausia superba*).

Table 2 Body length of Antarctic krill (*Euphausia superba*) used for the TS measurements.

No.	Length [mm]	Measurement date
1	45.25	2003/02/01
2	48.85	2003/02/01
3	48.20	2003/02/01
4	51.35	2003/02/02
5	47.00	2003/02/02
6	43.95	2003/02/02
7	45.05	2003/02/02
8	46.10	2003/02/04
9	43.50	2003/02/04
10	30.30	2003/02/04
11	40.50	2003/02/05
12	41.00	2003/02/07

Table 3 Calibration results of KFC-3000.

Date	Position	Water temp. [°C]	Salinity [psu]	Sound speed of water [m/s]		
2003/02/03	66°38.41' S 139°57.75' E	1.1	33.6	1452.5		
Frequency [kHz]		38	70	120		
Beam type		Narrow	Wide	Narrow	Wide	Narrow
Absorption coefficient [dB/km]		10.3		18.5	10.3	
TR factor [dB]		60.8	61.6	62.0	63.4	60.3
		66.6*	67.3*	60.1*	61.6*	59.6*
Sphere "TS" (Theory) [dB]		-42.1		-40.6		-42.1
Sphere "SV" (Theory) [dB]		-52.7	-60.0	-51.1	-58.4	-50.4
Sphere "SV" (Measurement) [dB]		-53.0	-60.2	-51.4	-58.8	-50.7

\*Results from the last calibration on October 13, 2003.

### 3.3 平均 SA の分布

現段階では、音響データから雑音や不要なエコーを取り除いているのみであり、オキアミと他生物との区別や昼夜の区別等を行っていない。また、3周波数のデータを得たが、解析中であるので、本報告では70 kHzについてのみ述べる。Fig. 4に70 kHzで得られた調査定線上における平均 SA の分布を示す。調査前半よりも後半の140°ライン上で他に比べ

て強い反応が多く見られた。調査中、Fig. 5 に示すようなオキアミと思われるエコーが多数

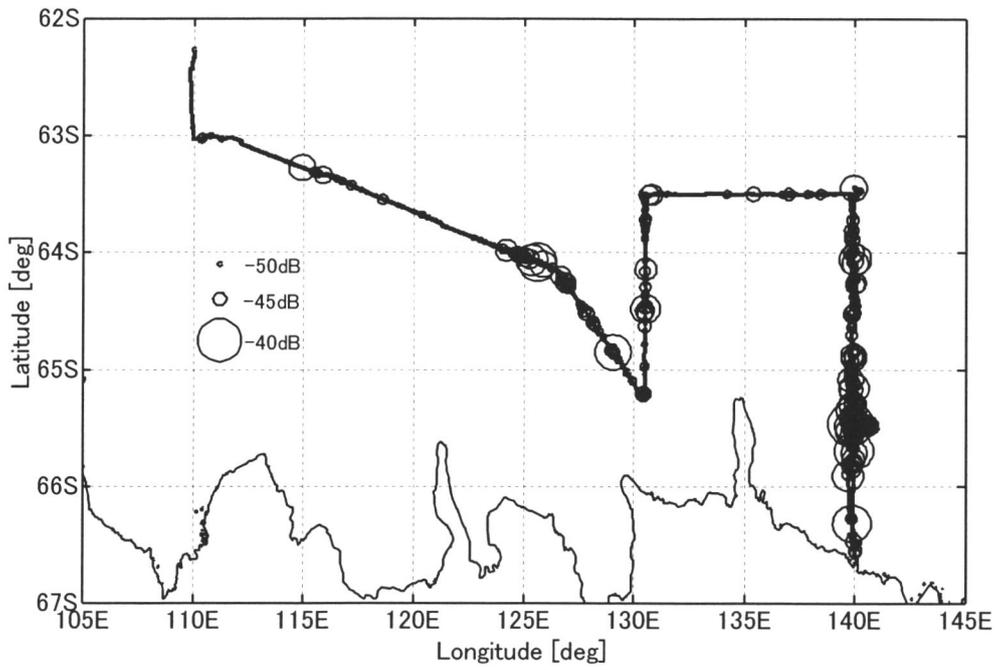


Fig. 4. Distribution of mean area backscattering strength on the survey line.

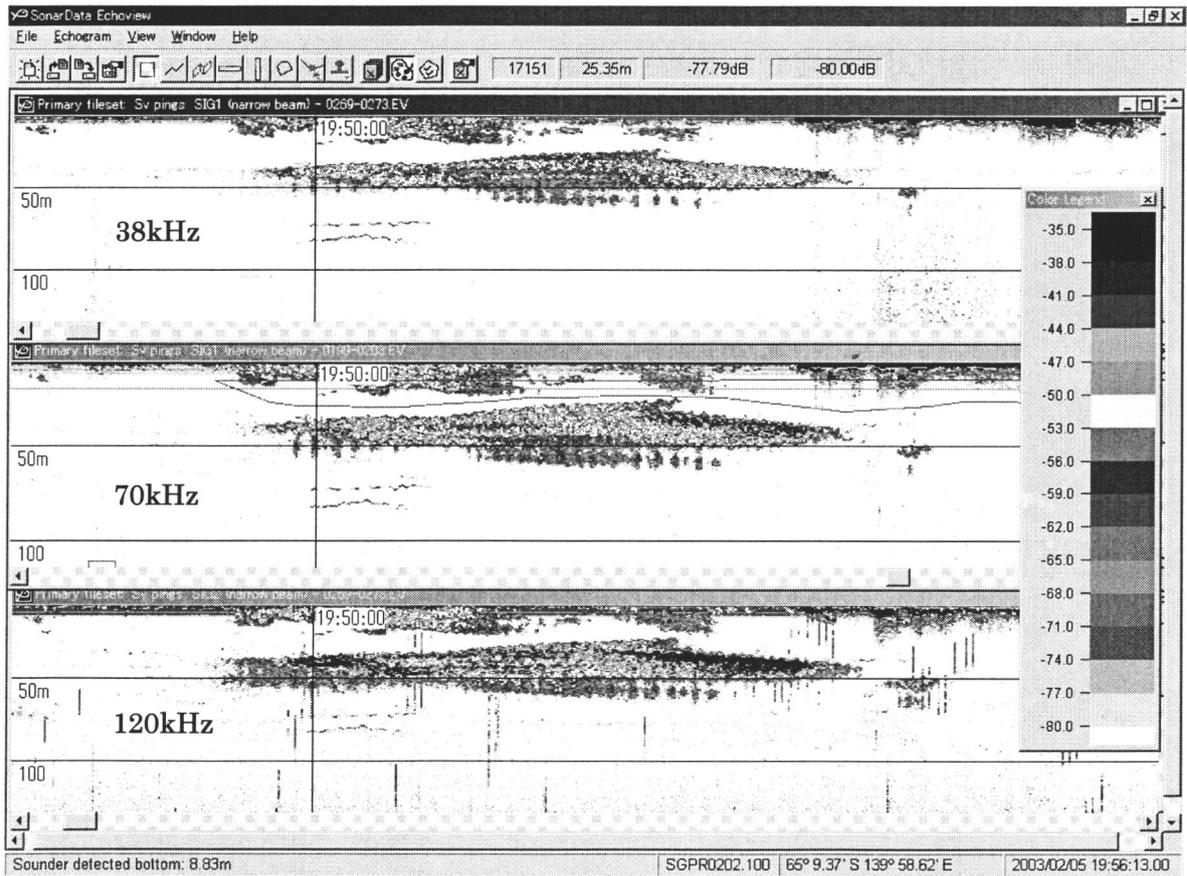


Fig. 5. Echogram of Antarctic krill.

観測された。その水深は、主に 100 m 以浅で見られた。夜間は、稚魚ネットで採集できるほど水面近くに群れていることが多かった。

#### 4. まとめ

TS の測定では、世界的にも測定例の少ない生きた状態におけるオキアミの TS パターン (12 個体) を得ることが出来た。また、開発した小型水槽を用いた測定方法<sup>13)</sup> を有用種であるオキアミに初めて適用し、その有効性が確認出来た。しかし、理論モデルと比較すると、測定値にはあばれが多いものもあり、その原因が測定方法に起因するものか、現在の理論モデルでは説明しきれないオキアミの TS の変化特性であるのか、を今後、明らかにしていく。オキアミは 6 節からなる腹部を有し、遊泳姿勢に伴って曲がり具合が変化する。これが TS の変動の一要因と考えられている<sup>18)</sup>。今回は、オキアミの遊泳姿勢の観察結果について、解析中であり述べることができないが、今後、この遊泳姿勢の観察データから遊泳姿勢だけでなく、姿勢に伴った腹部の屈曲の動きを定量的に明らかにし、TS の変動特性を明らかにしたい。

38 kHz における送受信係数の低下は、水温が低かったために生じたと考えられる。前回の較正時の水温は 27°C、今回は 1.1°C であった。水産庁調査船、開洋丸に搭載されている KFC-3000 でも 38 kHz は、水温が低くなることにより、送受信係数が今回と同程度、低くなる現象が確認されている<sup>19)</sup>。海鷹丸の計量魚探機は、さまざまな水温で較正が行われていないので、今後、行われる較正の結果を蓄積していき、水温に対する変化を知ることによって明らかに出来ると思われる。70、120 kHz においては若干であるが、送受信係数が大きくなった。これらの原因については明らかでないが、特に装置の異常を示すほどの変化であるとは考えにくい。標準球エコーの積分では、3 周波数とも理論値に比べて、測定値がわずかに小さいが、ほぼ一致した。原理的に測定値は理論値より小さく、その小ささの程度は標準球の揺れの程度による<sup>14)</sup>。総合的に判断して、異常と思われるような変化は無かったので、今回較正した送受信係数を今後の解析に使用することとした。

計量魚探機で得られた音響データから 70 kHz における平均 SA を算出し、調査定線に沿った分布が得られた。その結果、調査前半よりも後半における 140° ラインで強い反応が多く見られた。前述したように、オキアミと他生物との区別を行っていないので純粋にオキアミの分布ではない。エコーの形状やトロールによる漁獲データ、周波数間での散乱強度の差を調べるなどしてオキアミのみのエコーを選別する必要がある。また、夜間は日周鉛直移動によりオキアミが水面近くまで上がってくる。その場合、計量魚探機では観測できないオキアミの群れもある。そのため、夜間は、実際よりも平均 SA が小さいことも考えられ、昼夜あわせて比較するのは難しい。今後は、これらの問題に対して区別を行い、より詳細なオキアミの分布を調べたい。また、最終的には、オキアミと判別した 3 周波数のエコーから散乱強度の変動を調べ、オキアミに適切な周波数の検討を行う。

## 謝辞

東京水産大学海洋生産学科の古澤昌彦教授には、終始御指導御鞭撻を賜り本調査が出来ましたことを厚く御礼申し上げます。また、東京水産大学海洋環境学科の石丸隆教授をはじめとする先生方、小池義夫船長をはじめとする海鷹丸乗組員の皆様、専攻科生の皆様、大学院生の皆様には、本調査を行うにあたり多大なご協力とご支援をいただきました。ここに記して感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 永延幹男. ナンキョクオキアミ. 国際漁業資源の現況, 水産庁・水産総合研究センター, 東京, 2003; 319-327.
- 2) 永延幹男, 川口 創, 亀田卓彦, 高尾芳三, 井口直樹. 1999/2000 年開洋丸南極海オキアミ生態系調査. 遠洋 2000; 106: 18-22.
- 3) Hewitt RP, Watkins JL, Naganobu M, Tshernyshkov P, Brierley AS, Demer DA, Kasatkina S, Takao Y, Goss C, Malyshko A, Brandon MA, Kawaguchi S, Siegel V, Trathan PN, Emery JH, Everson I, Miller DGM. Setting a Precautionary Catch Limit for Antarctic Krill. *Oceanography* 2002; 15: 26-33.
- 4) Foote KG, Everson I, Jonathan L, Watkins JL, Bone DG. Target strengths of Antarctic krill (*Euphausia superba*) at 38 and 120 kHz. *J. Acoust. Soc. Am.* 1990; 87: 16-24.
- 5) Greene CH, Stanton TK, Wiebe PH, McClatchie S. Acoustic estimates of Antarctic krill. *Nature* 1991; 353: 110.
- 6) Wiebe PH, Grenne CH, Stanton TK, Burczynski J. Sound scattering by live zooplankton and micronekton: Empirical studies with a dual-beam acoustical system. *J. Acoust. Soc. Am.* 1990; 88: 2346-2360.
- 7) Hewitt RP, Demer DA. Krill abundance. *Nature* 1991; 353: 310.
- 8) Pauly T, Penrose JD. Laboratory target strength measurements of free-swimming Antarctic krill (*Euphausia superba*). *J. Acoust. Soc. Am.* 1998; 103: 3268-3280.
- 9) McGehee DE, O'Driscoll RL, Traykovski LVM. Effects of orientation on acoustic scattering from Antarctic krill at 120 kHz. *Deep-Sea Research II* 1998; 45: 1273-1294.
- 10) Demer DA, Conti SG. Reconciling theoretical versus empirical target strengths of krill: effects of phase variability on the distorted-wave Born approximation. *ICES J. mar. Sci.* 2003; 60: 429-434.
- 11) Sawada K, Miyanozana Y, Ishii K. Precise target strength pattern measurement in an indoor tank. *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)* 1997; 18: 231-238.

- 12) Furusawa M, Miyonohana Y, Ariji M, Sawada Y. Prediction of Krill Target Strength by Liquid Prolate Spheroid Model. *Fisheries Science* 1994; 60: 261-265.
- 13) 甘糟和男, 古澤昌彦, 樊 春明. スプリットビーム法と小型水槽を用いる小型生物のターゲットストレングスの測定方法. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2003; 69: 575-583.
- 14) 古澤昌彦, 宮野鼻洋一, 澤田浩一, 高尾芳三. 計量魚群探知機の較正方法. 水産工学研究所技報 1995; 15: 9-37.
- 15) Chu D, Foote KG, Stanton TK. Further analysis of target strength measurements of Antarctic krill at 38 and 120 kHz: Comparison with deformed cylinder model and inference of orientation distribution. *J. Acoust. Soc. Am.* 1993; 93: 2985-2988.
- 16) Stanton TK, Chu D, Wiebe PH. Sound scattering by several zooplankton groups. II. Scattering models. *J. Acoust. Soc. Am.* 1998; 103: 236-253.
- 17) 甘糟和男, 古澤昌彦, 樊 春明, 大塚康巨. 生きた浮遊性エビ類のターゲットストレングスの計測. 海洋音響学会講演論文集 2001; 15-18.
- 18) 甘糟和男, 古澤昌彦, 谷津智明, 樊 春明. オキアミ類の体屈曲に伴うターゲットストレングスの変化. 海洋音響学会講演論文集 2002; 25-28.
- 19) 高尾芳三, 柳本 卓, 安間洋樹, 内田靖志. ベーリング海スケトウダラ調査における計量魚群探知システムの較正概要 - 平成 13 年度第 6 次開洋丸調査. 平成 13 年度開洋丸第 6 次調査報告書ベーリング海スケトウダラ音響資源調査, 北海道区水産研究所, 北海道, 2002; 41-53.

#### 4.7.12 南極海インド洋セクターにおける中層性マイクロネクトン調査

茂木正人<sup>\*1</sup>・原田友香子<sup>\*2</sup>・土屋光太郎<sup>\*1</sup>・石丸 隆<sup>\*2</sup>

(<sup>\*1</sup>東京水産大学資源育成学科、<sup>\*2</sup>東京水産大学海洋環境学科)

Survey on the Midwater Micronekton in the Indian Ocean Sector of Antarctic Sea  
MOTEGI Masato, HARADA Yukako, TSUCHIYA Kotaro and ISHIMARU Takashi

<sup>\*1</sup>Tokyo University of Fisheries, Department of Aquatic Bioscience  
<sup>\*2</sup>Tokyo University of Fisheries, Department of Ocean Science

##### 1. はじめに

南極海のインド洋セクター、オーストラリア南方海域において中層トロール、RMT1+8 および稚魚ネットを用いて中層性魚類および頭足類を中心としたマイクロネクトンの採集を行った。南極海インド洋セクターにおいては表層・亜表層においては体系だった調査がオーストラリアなどによって行われているものの<sup>1,2)</sup>、用いられている漁具も小規模であり、中深層性で特に鯨類、海獣類などの餌料となる大型のマイクロネクトンの分類、分布生態についてはいまだ不明な点も多く、南極海の生態系を考える上でも大きな情報の欠落となっている。本研究では亜南極圏・南極圏における大型マイクロネクトンの水平および鉛直分布を明らかにすることを目的に研究を行った。

##### 2. 材料および方法

マイクロネクトンの採集には多段式開閉ネット Rectangular Midwater Trawl (RMT1+8)<sup>3)</sup>、中層オッタートロールネット（中層トロール）および稚魚ネットを用いた。RMT1+8による曳網は段階曳き、中層トロールでは傾斜曳きを行った (Table 1)。RMT1+8と中層トロールで採集された生物は、船上で大まかに分類した後凍結あるいは10%ホルマリンで固定し持ち帰った。なおRMT1+8は8回の曳網を行ったが、8回目は開閉装置の故障のため傾斜曳きとした。中層トロールは3回の曳網を行ったが1回目は網がうまく開かなかったため採集物は得られなかった。稚魚ネットの口径は1.3mで目合は0.33mmのものを用いた。曳網は舷側で行い、1回15~20分間で計39回行った (Table 2)。稚魚ネットの採集物は5%ホルマリンを用いて船上で直ちに固定した。

Table 1. RMT1+8 と中層トロールの採集位置および水深 Sampling of RMT1+8 and midwater trawl tows

net	no.	date	start			finish				depth sampled (m)	
			time	lat (S)	long (E)	depth(m)	time	lat (S)	long (E)		depth(m)
RMT	1	30-Jan	1202	63-20.2	116-00.6	3329	1328	63-20.4	116-06.9	3299	1500-1000-500-0
	2	1-Feb	1647	64-02.8	130-31.5	3260	1840	63-59.1	130-31.8	3372	2300-1000-500-0
	3	4-Feb	502	66-25.6	139-47.0	913	642	66-27.8	139-52.9	1046	835-500-200-0
	4	4-Feb	1455	65-55.8	139-55.7	203	1528	65-54.7	139-55.9	206	180-100-50-0
	5	5-Feb	1341	65-25.2	140-02.2	2381	1534	65-27.3	140-09.5	2269	2300-1000-500-0
	6	7-Feb	1319	63-54.6	139-52.0	3722	1513	63-50.7	139-49.6	3744	2886-2000-1000-500
	7	7-Feb	1649	63-48.0	139-50.4	3766	1732	63-46.5	139-52.1	3764	474-193-77-0
	8	8-Feb	405	63-26.4	139-56.2	3800	834	63-28.9	140-15.3	3796	2643-0
Trawl	2	5-Feb	1640	65-28.3	140-14.2	2326	2020	65-29.6	140-50.5	1549	0-634
	3	6-Feb	1320	64-54.6	139-56.3	2553	1725	64-39.8	139-59.7	2937	0-728

Table 2. 稚魚ネットの採集データ Sampling data of larva net tows

Tow no.	Date	Time	Start		Finish		Surface temp (°C)	Sal (psu)
			Lat (S)	Long (E)	Lat (S)	Long (E)		
1	29 Jan	1415-1500	62-22.89	109-55.91	62-23.81	109-55.48	2.1-3.2	32.83-32.84
2	29 Jan	1513-1528	62-24.30	109-55.25	62-25.05	109-54.91	3.0-3.2	32.81-32.83
3	29 Jan	2345-0005	63-03.60	112-08.02	63-03.89	112-06.50	3.1-3.2	33.15
4	31 Jan	1053-1113	63-20.30	115-55.58	63-20.25	115-56.95	3.4	33.50
5	31 Jan	0115-0135	63-46.04	121-14.61	63-46.18	121-15.87	4.3	33.45-33.47
6	31 Jan	1054-1114	64-08.44	126-27.81	64-08.80	126-29.29	3.2-3.3	33.38
7	31 Jan	2048-2108	65-14.96	130-29.75	65-14.29	130-29.57	1.8-1.9	33.11-33.12
8	31 Jan	2215-2235	65-10.68	130-30.39	65-09.98	130-30.36	1.6-1.8	33.08-33.10
9	1 Feb	0000-0020	64-59.65	130-29.82	64-58.98	130-29.64	2.5	33.15-33.20
10	1 Feb	0135-0215	64-54.86	130-28.93	64-54.38	130-28.85	2.6	33.17
11	1 Feb	0353-0413	64-49.70	130-29.78	64-49.15	130-29.69	2.4-2.5	33.14
12	1 Feb	0614-0634	64-39.69	130-30.07	64-39.22	130-30.17	2.2-2.4	33.18
13	1 Feb	1036-1056	64-29.24	130-31.75	64-28.69	130-31.98	2.2	33.21-33.22
14	1 Feb	1450-1510	64-07.41	130-32.02	64-06.55	130-31.94	3.3-3.4	33.24-33.27
15	1 Feb	1745-1805	64-00.99	130-31.54	64-00.34	130-31.60	3.6-3.7	33.37-33.38
16	1 Feb	2137-2157	63-50.19	130-30.70	63-49.61	130-30.92	2.8-2.9	33.17-33.19
17	2 Feb	0518-0538	63-31.06	130-34.92	63-30.91	130-36.20	3.4-3.5	33.10
18	3 Feb	1051-1111	66-11.65	139-44.59	66-12.22	139-45.38	1.6-1.8	33.16
19	4 Feb	0412-0432	66-24.69	139-43.60	66-25.05	139-44.89	1.2-1.3	33.60-33.62
20	4 Feb	0559-0619	66-27.11	139-50.31	66-27.33	139-51.32	1.1	33.59-33.61
21	4 Feb	1401-1421	65-59.13	139-55.61	65-58.58	139-55.63	1.6-1.8	33.18-33.19
22	4 Feb	1500-1520	65-55.60	139-55.72	65-55.04	139-55.81	1.9-2.1	33.18-33.20
23	4 Feb	1849-1909	65-49.44	139-55.50	65-48.85	139-55.41	1.6-1.7	33.21-33.26
24	4 Feb	2332-2352	65-38.41	139-53.73	65-48.85	139-53.33	1.7-1.8	33.17-33.18
25	5 Feb	0434-0454	65-28.29	139-53.42	65-27.62	139-53.30	1.6-1.8	33.05-33.07
26	5 Feb	1205-1225	65-23.19	139-55.20	65-23.52	139-56.21	1.8-1.9	33.09-33.10
27	5 Feb	1028-1048	65-20.34	140-01.75	65-20.08	140-00.59	2.2	33.12-33.13
28	6 Feb	0551-0612	65-09.10	139-57.50	65-08.36	139-57.49	2.5	33.10-33.15
29	6 Feb	1034-1054	64-58.70	139-56.80	64-58.17	139-56.63	2.3-2.5	33.09
30	6 Feb	2155-2215	64-38.92	139-58.42	64-38.32	139-58.86	2.5-2.6	32.97-32.99

31	6 Feb	2336-2356	64-21.14	140-00.32	64-20.67	140-01.23	3.2	33.17-33.19
32	7 Feb	1119-1139	63-58.54	139-54.43	63-57.91	139-54.16	3.3	33.24-33.26
33	7 Feb	1332-1352	63-54.14	139-51.78	63-53.49	139-51.35	3.4-3.5	33.28
34	7 Feb	1730-1750	63-46.62	139-52.02	63-45.76	139-52.63	3.4	33.24-33.26
35	8 Feb	0412-0432	63-26.39	139-56.82	63-26.48	139-58.12	2.9-3.1	33.11-33.12
36	8 Feb	0630-0650	63-27.42	140-06.72	63-27.62	140-08.12	3.2	33.12-33.14
37	8 Feb	0956-1016	63-28.29	140-14.20	63-27.71	140-14.30	3.0	33.17-33.19
38	9 Feb	1157-1217	57-40.63	139-40.96	57-39.91	139-41.64	6.3-6.4	33.32-33.36
39	9 Feb	1850-1910	55-59.86	140-16.97	55-59.09	140-17.56	6.2	33.31-33.34

### 3. 結果と考察

#### 魚類

採集された魚類は 15 科 28 種、2070 個体に上った (Table 3)。もっとも多く漁獲された科はハダカイワシ科の 1,768 個体で全体の 85.4% を占めた。ハダカイワシ科のなかでは *Electrona antarctica* (Fig. 1) と *Gymnoscopelus nicholsi* がそれぞれ 1,069 個体と 369 個体でもっとも多かった。そのほかには *Kreffichthys andersoni* (66 個体)、*Protomyctophum bolini*, *Electrona carlsbergi* などハダカイワシ科で優占した。その他の科では *Cyclothone pallida* (ヨコエソ科)、*Pleurogramma antarcticum* (ノトセニア科)、*Notolepis coatsi* (ハダカエソ科)、*Bathylagus antarcticum* (ソコイワシ科) あるいは *Chionodraco* sp. (コオリウオ科) などが優占し、個体数はそれぞれ 109、51、44、39 および 35 であった。

稚魚ネットの表層曳き (0~2 m) は合計 39 回行われたが、採集されたのはわずかに 14 個体であった。このうち 9 個体は *Gymnoscopelus* sp. の仔稚魚で、No.39 の曳網で採集された。No.38 と 39 の曳網が行われた場所は表層水温が 6°C 以上であることや低緯度であること (Table 2) から南極前線の北に位置するものと考えられる (その他の採集点では 1.1~4.3°C)。また 1 個体得られた *Notolepis coatsi* は体長 167mm の成魚で偶発的に入網しともものと考えられる。したがって南極前線の南において、表層から得られた仔稚魚はわずか 4 個体となる。本調査海域では少なくとも夏季の間、仔稚魚は表層を生活の場として利用していないことが示唆された。

Table 3. 採集された魚類の個体数 Number of individuals of fish collected by each sampling gear

	RMT1+8	Trawl	Larva net
Microstomatidae			
<i>Nansenia antarctica</i>		4	
Bathylagidae			
<i>Bathylagus antarcticum</i>	39		
Gonostomatidae			
<i>Cyclothone pallida</i>	109		
Scopelarchidae			
<i>Benthalbella elongata</i>	1		
Paralepididae			
<i>Notolepis coatsi</i>	38	5	1
Myctophidae			
<i>Electrona antarctica</i>	32	1037	
<i>E. carlsbergi</i>		38	
<i>E. sp.</i>	3		
<i>Gymnoscopelus bolini</i>		4	
<i>G. hintonoides</i>		11	
<i>G. nicholsi</i>		369	
<i>G. sp.</i>			9
<i>Kreffichthys andersoni</i>	2	64	
<i>Lampanyctus spp.</i>		44	
<i>Protomyctophum bolini</i>	1	53	
<i>P. choliodon</i>	3		
<i>P. spp.</i>	2	51	
Myctophidae spp.	4	41	
Macrouridae			
<i>Cynomacrurus pirieri</i>	1		
Melamphidae			
<i>Melamphaes sp.</i>	1		
Liparidae			
<i>Paraliparis sp.</i>	2		
Nototheniidae			
<i>Peurogramma antarcticum</i>	50		1
Channichthyidae			
<i>Neopagetopsis ionah</i>		3	
<i>Chionodraco sp.</i>	33		2
Gempylidae			
<i>Paradiplospinus gracilis</i>		9	
Centrolophidae			
<i>Icichthys australis</i>		1	
Achiropsettidae			
<i>Mancopsetta sp.</i>		1	
Notothenioidae			
Notothenioidae sp.			1
	321	1735	14

## 頭足類

採集された頭足類は26個体はすべて開眼亜目に属するイカ類で5科6属6種に分類された。ナツメイカ *Bathyteuthis abyssicola* をのぞくすべての種は南極域・亜南極域に固有性の高いイカ類で、ナンキョクイカ *Psychroteuthis gracialis* は科としても南極固有である。得られたイカ類の標本すべては未成体あるいは幼稚仔であり、成熟した個体は得られなかった。

Table 4. 採集された頭足類 Cephalopods collected in the present survey

---

ツツイカ目	Order TEUTHIDA
開眼亜目	Suborder Oegopsida
ナツメイカ科	Bathyteuthidae
ナツメイカ	<i>Bathyteuthis abyssicola</i>
テカギイカ科	Gonatidae
ナンキョクテカギイカ	<i>Gonatus antarcticus</i>
ムチイカ科	Mastigoteuthidae
ムチイカ属の一種	<i>Mastigoteuthis</i> sp.
ナンキョクイカ科	Psychroteuthidae
ナンキョクイカ	<i>Psychroteuthis gracialis</i>
サメハダハウズキイカ科	
スカシイカ属の一種	<i>Galiteuthis</i> sp.
ダイオウハウズキイカ	<i>Mesonychoteuthis hamiltoni</i>

---

## 引用文献

- 1) R.J. Hoddell, A.C. Crossley, R. Williams 2000, G.W. Hosie. The distribution of Antarctic pelagic fish and larvae (CCAMLA division 58.41). Deep-Sea Research II 47: 2519-2541.
- 2) O. Gon 1988. The fishes collected during the South African SIBEX I + II expeditions to the Indian Ocean sector of the Southern Ocean (60-66S, 48-64E). S. Afr.J. Antarct. Res. 18(2): 55-70.
- 3) A. de C. Baker, M.R. Clarke, M.J. Harris 1973, The N.I.O. combination net (RMT s1+8) and further developments of Rectangular Midwater Trawls. J. Mar. Biol. Assoc. UK 53: 167-184.