

## ケープタウンー南極大陸間の流量経年変化について

菱田昌孝\*・西田英男\*\*

ON THE ANNUAL VARIATIONS OF THE VOLUME TRANSPORT  
BETWEEN CAPE TOWN AND THE ANTARCTICA

Masataka Hishida and Hideo Nishida

Received 21 October 1975

## Abstract

The oceanographic observation data obtained during the Japanese Antarctic Research Expeditions from 1966 (7th) to 1974 (15th) were used for calculation of the volume transport between Cape Town and the Antarctica. The transport values of  $86 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$  to  $139 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$  relative to the 2500 decibar level were calculated as to the Antarctic Circumpolar Current (ACC). Concerning the ACC, the patterns of geostrophic velocity are classified into two types, A and B. The portions of maximum velocity of the ACC are found located at  $42^\circ\text{S}$ — $43^\circ\text{S}$  in A type and around  $50^\circ\text{S}$  in B type.

## 1. ま え が き

南極観測では、各層観測の最も系統的に実施される測線は、日程の関係からケープタウン南極大陸間の南北断面の測線である。1966年2月の第7次観測から1974年の第15次観測までの、観測結果（南極資料：1966～1974）について、水温・塩分・深度の値にもとづき力学計算を行ったところ、2500 db 基準面としたとき大略  $86 \sim 139 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$  の流量分布が、各年毎に求められた。なお、以下の本文では流量単位  $10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$  を 1 SV (Sverdrup) と略記する。

アフリカ大陸南端（ケープタウンは、これより少し北上した位置にある）と南極大陸のクイーンモード・ランドとの間を横切って流れる海流系は、大別して3系統あり、第1は南極大陸近傍のウェッデル海に向けて西行する微弱な沿岸流、第2は大陸間の中央部を東行する最も幅広く流量の大きな南極周極流、第3はアフリカ大陸南岸沖を西行する比較的強い流れの亜熱帯系海水より構成されるアグラス海流である。今回の計算結果では、主として、第2の南極周極流（以下ACCと略す）についての流量変化を述べることにする。

## 2. 観測海域及び計算方法

第1図は、計算の対象となった海洋観測資料が収集された海域の測線図である。第7次から第15次まで、測線の位置、測線上の測点間隔、測線の範囲等がまちまちではあるが、大略ACCを横切って観測していることがわ

\* 海洋研究室 \*\* 海象課

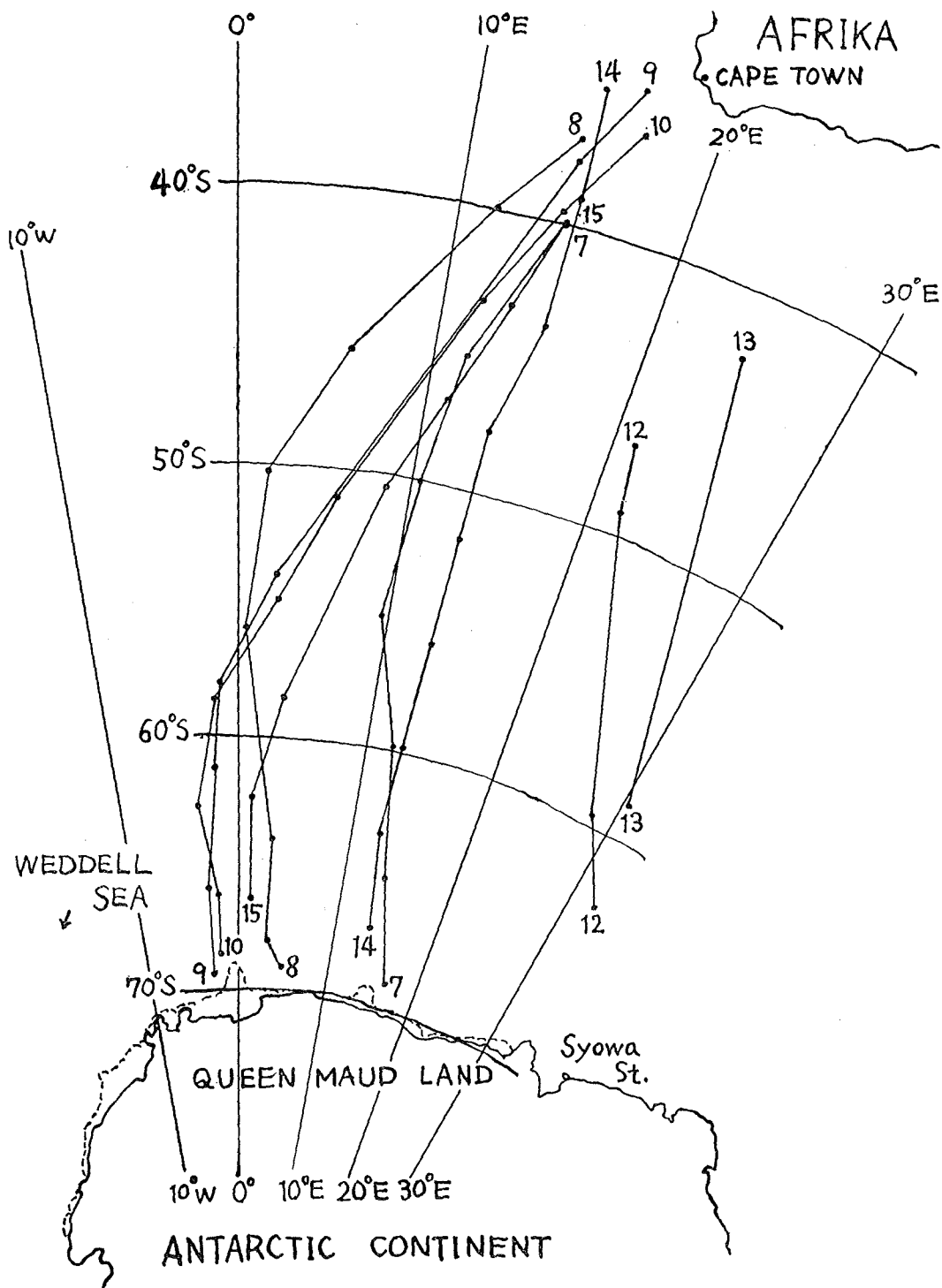


Fig. 1 Observation Line of JARE (7th~15th)

かる。次に地衡流量の計算は、各層観測で得られた水温 (T)・塩分(S)・深度(D)の値から 0 m, 10m, 20m, 30m, …… と所定層毎の T, S をニュートンの補間法で算出し、これをもとに 300m までは、10mおきの積分、1000m までは 50m おき、以後の深度は 100m おきに積分して流量  $Q$  を算出した。計算に利用した 2 測点間の距離は、第 1 図で最近接のそれでも 200km ほど離れているが、現場の海域は暴風圏など悪条件にさらされており、観測密度の粗さが計算結果の解釈に多少の困難さをもたらすことは避けられなかった。ただし幸いなことに ACC は全体としては、比較的斉一な 1500km ほどの幅広い一定方向の流れであって、黒潮のような変動の激しい 100~150km ほどの幅をもつ流れとは異なるので、この程度の観測密度でも、4000m ぐらいの深度までの各層観測値が揃っていれば、ACC の概要を把握できると思われる。流量のほかに流速・熱輸送量及び塩分輸送量についても計算を行い、後 2 者は T, S 値をそれぞれ平均した値に、流量を掛け合わせた結果を使ってある。なお比熱や密度はほぼ 1 に等しいとして算出してある。

### 3. 結果と考察

2 測点間を横切る地衡流の流速・流量・熱輸送量及び塩分輸送量について、基準面の水深を異にした算出結果を整理して、2500 db を基準面と仮定したときの流量計算結果のうち、南極周極流に相当する中央部の東流成分だけを総和し、各年次毎に比較したのが第 2 図及び第 1 表である。第 2 図のうち、アフリカ-南極間については、 $\bullet$  印が流量、 $\circ$  印が全体の断面に対する平均的な流速を示す。流量は、1966年から1974年までに、最低 55SV から最高 139 SV と大きな変動を示しているように見えるし、平均流速も最低 1.5 cm/sec から最高 3.1 cm/sec までとその変動幅は大きい。しかし、実はこの図からだけでは、流量等の経年変化について言及するのは困難である。なぜなら、7 次から 15 次までの各層観測結果で利用できる値はすべて使われたが、各年次により測点数・

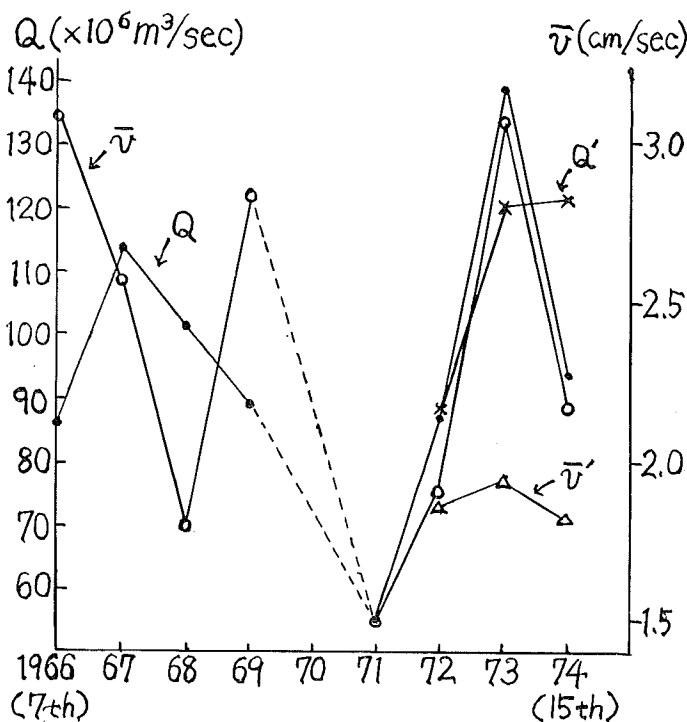


Fig. 2 Transport and mean velocity of ACC relative to 2500 dbars.

Table 1 Volume Transport and Velocity of ACC relative to 2500 decibar.

	Obs. Year (JARE No)	Station Number	Latitude (°S)	Distance (km)	Maximum Velocity (cm/sec)	Mean Velocity (cm/sec)	Total Transport ( $10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$ )	Reference Transport ( $10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$ )
CAPE TOWN { Antarctic Continent	1966 (7th)	12~14	45°-13' ~ 55°-13'	1112	8.2	3.09*	85.90*	133.31 (3500db)
	1967 (8th)	14~17	40°-00' ~ 55°-55'	1770	8.3	2.57*	113.77*	139.84 (3000db)
	1968 (9th)	7~9	37°-48' ~ 58°-08'	2261	5.4	1.79	101.32	
	1969 (10th)	14~16	39°-34' ~ 50°-54'	1260	13.8	2.83	89.26	
	1971 (12th)	3~5	46°-31' ~ 59°-41'	1464	14.3	1.50	54.88 <sup>+</sup>	
	1972 (13th)	4~5	42°-14' ~ 58°-42'	1831	6.1	1.90	86.79	
	1973 (14th)	9~13	39°-33' ~ 55°-49'	1809	19.2	3.07*	138.64*	138.64 (2500db)
	1974 (15th)	19~22	43°-06' ~ 58°-37'	1725	8.6	2.17*	93.68*	142.64 (3000db)
	Mean Value	—	41°-45' ~ 56°-37'	1654	10.5	2.37 (2.73*)	95.53 (108.00*)	138.60
	FRE MAN TLE { Antarctic Continent	1972 (13th)	1~2	43°-46' ~ 60°-48'	1893	5.0	1.86	88.25
1973 (14th)		1~3	38°-02' ~ 60°-26'	2489	7.3	1.94	120.36	
1974 (15th)		1~3	33°-55' ~ 57°-52'	2663	7.0	1.82	121.45	
Mean Value		—	38°-34' ~ 59°-42'	2348	6.4	1.88	110.02	

測点間隔及び測定深度等が大きく異なるため第2図における各年の流量等を同一条件で比較したことはならないからである。そこで、測点数が少なかったり、測定深度の小さかったりする条件の悪い年次を除いて、比較的良好な結果が得られた年次についてのみ検討すると、第7次・8次・14次及び15次が利用可能である。この4年分の資料についてみると、アフリカ-南極間のACCの地衡流成分は、2500 dbを基準面であるとしたとき、86 SV から 139 SV の幅の流量変化があることになり、その平均値は108 SV である。また、平均流速も 2.2 cm/sec から 3.1 cm/sec の幅で変化し、この総平均は 2.7 cm/sec となる。また同様に、この4年分の約3000 db を基準面としたバロクリニックな流れについての平均的な流量は 139 SV となる。次に、第2図のうち、オーストラリア-南極間のACCに相当する流量は×印、平均流速は△印で示されるが、この変化幅は、流量  $Q'$  が 88 SV から 121 SV、流速  $v'$  が 1.8~1.9 cm/sec といずれも小さい。このときは第13次から第15次までの僅か3年間のデータしかなく、一概に変化幅の比較はし難いが、仮りにACCについてアフリカ-南極間の流量、

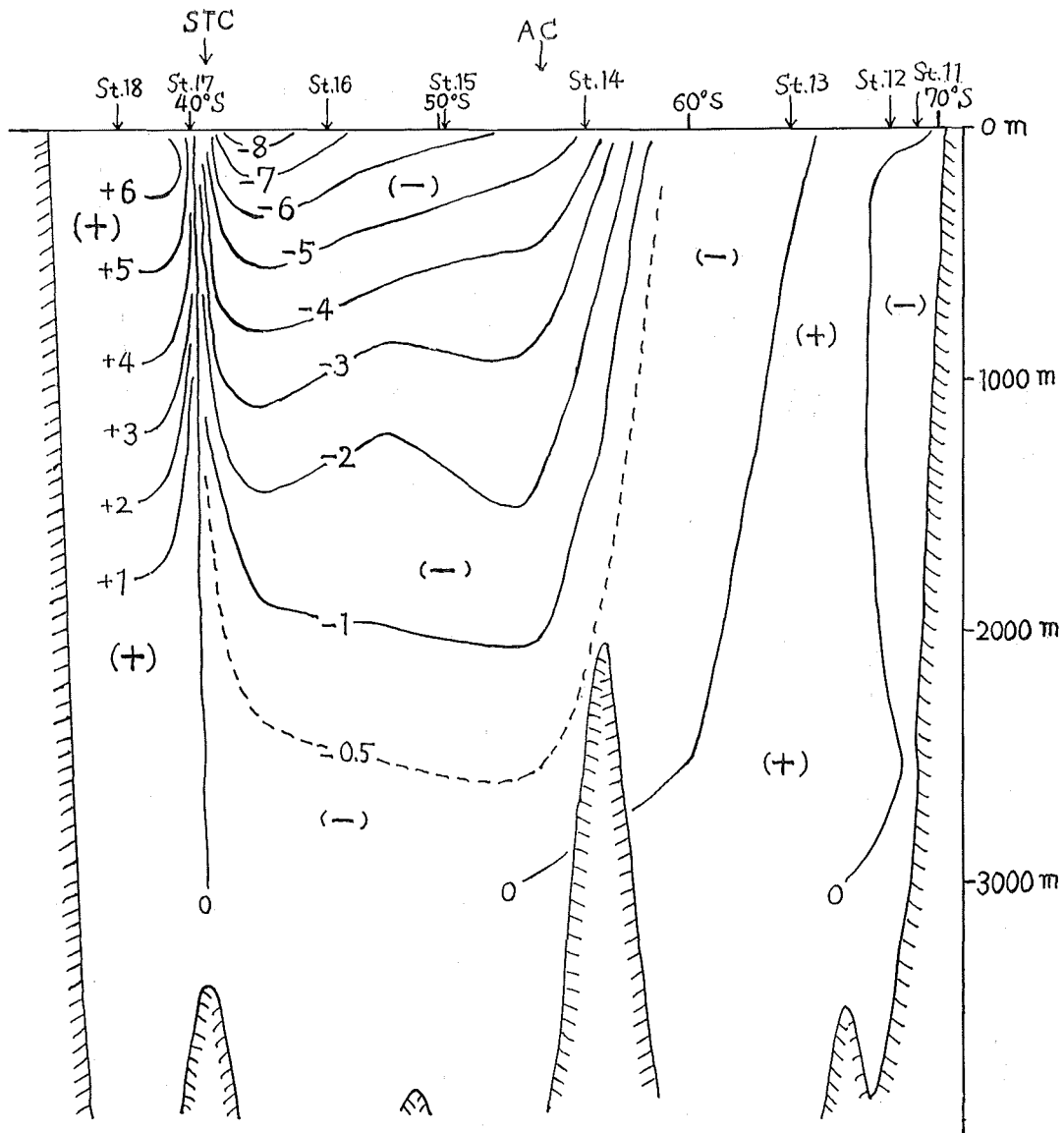


Fig. 3 Velocity of Geostrophic Current relative to 3000 m  
(8th JARE - Type A, Unit : cm/sec)

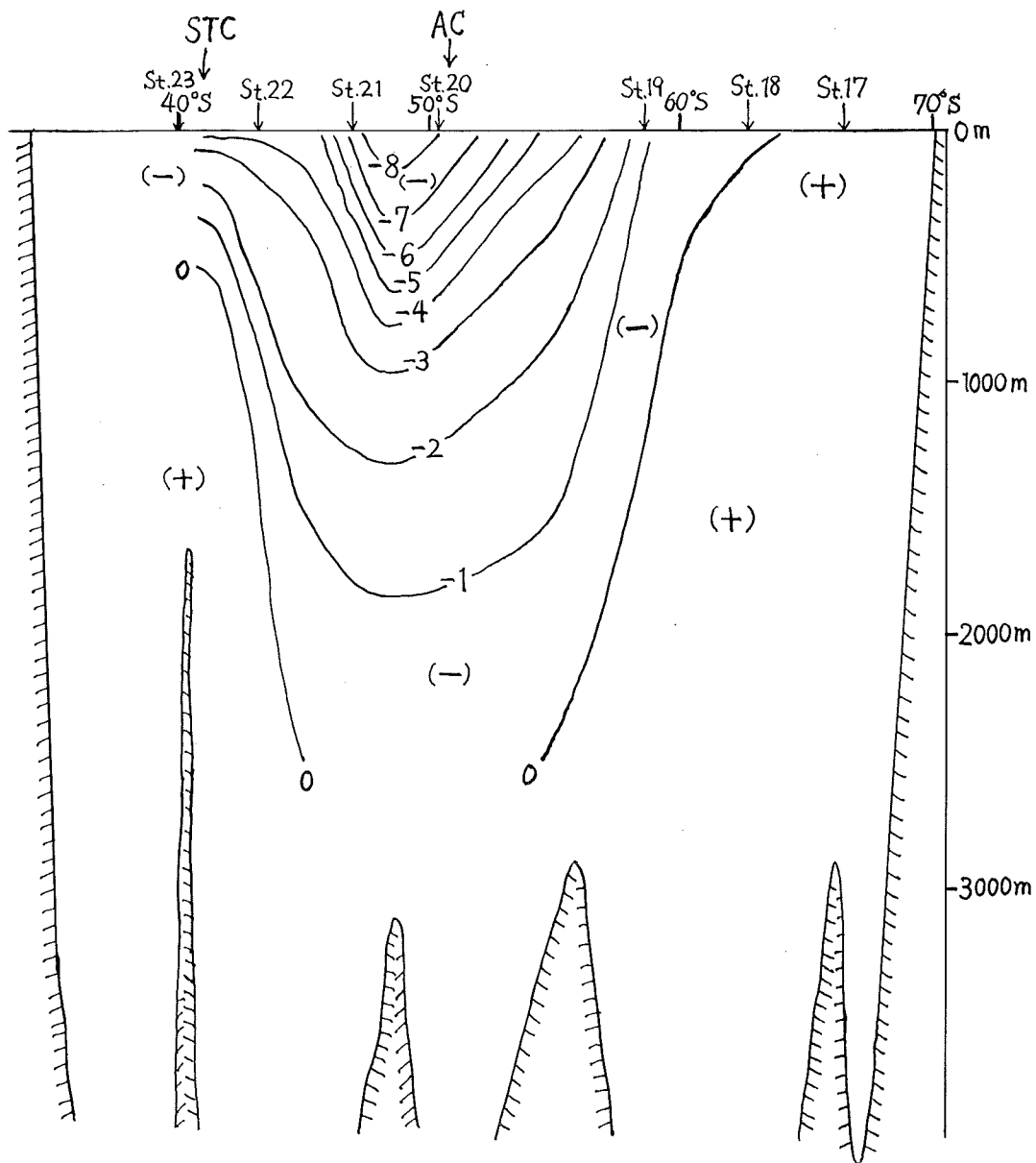


Fig. 4 Velocity of Geostrophic Current relative to 2500 m  
(15th JARE - Type B, Unit : cm/sec)

流速ともにオーストラリアー南極間に比較して、変動幅が大きく不安定であり、かつ流速はやや大きい傾向があることが認められるとしたら、これは何の影響によるのか。この原因の一つとしては、アフリカ大陸南端と南極大陸のクイーンモードランドとの間の海域は、南大西洋からの供給とウェッデル海より由来する海水の寄与とインド洋のアグラス海流を経て影響を及ぼす海水とが、複雑に混じり合った形で存在する場所であることが考えられる。例えば、ウェッデル海で形成した深層水の年変化が大きければ、この海域の流量変化等にも大きな影響が見られるであろう。

第3図及び第4図は、典型的なアフリカー南極間の流速分布断面図である。ここで最大流速を示す位置をACCの中心とすると、第3図のように緯度にして42°~43°S付近の北偏した流れの中心を示す場合と、第4図のように50°S付近の比較的中央部に流れの中心を示す場合とに大別できる。前者(A型)は8次、10次及び14次であり、この型に属するものは、流量・流速ともに大きく、また40°S付近にACCとアグラス海流との境界が形成され、強い西流のアグラス海流が明示される場合である。これに対して、第4図の后者(B型)に属するものは7次、12次及び15次であり、流量・流速は比較的小さく、アグラス海流との境界が不明瞭である場合である。ACCの中心と考えられる流速最大を示す海域が、42°付近に北偏しているA型のときは、当然ながら、高温・高塩分の水が流速最大部を占めており、一方50°S付近にあるB型のときは、低温・低塩分の水が占めている。亜熱帯収斂線や南極収斂線の位置とこの流速最大部の位置との相関は、とくに見られなかった。

次に、過去に算定されたACCの流量・流速結果との比較をすると、SVERDRUPら(1942)がドレーク海峡で、3000dbを基準として約90SV、GORDON(1967)は86~134SV等の値を報告している。しかしREIDら(1971)により報告されたドレーク海峡の深層流速計を用いた観測結果から、最深部を基準面としてT、S値より計算されたバロクリニックな流量は、113SVであったが、流速計によるパロトロピック成分を加算すると237SVにも達することが認められた。また132°Eにおいて、CALLAHAN(1971)が算定した結果では、バロクリニック成分が156SV、深層流速計を用いた測定によりパロトロピック成分を加えた総流量は233SVと報告されている。なお、GORDON(1972)が求めたACCの平均流速は、160°W付近において、3000dbを基準面として、10cm/secという値である。結局、今回のケープタウンー南極大陸間の流量86~139SVという値は、2500db基準面で計算された結果としては、上述のドレーク海峡やその他の経度における流量と比較しても妥当なものであろう。真の海流系の姿を明らかにするためには、通常の各層観測の他に、深層流速計による計測を併用

Table 2 Heat Transport and Salinity Transport of the Currents between South Africa and Antarctica. (motionless layer : 2500 db)

Observation Year (JARE-No.)	Heat Transport ( $10^{16}$ g.cal/min)			Salinity Transport ( $10^{13}$ g/min)			Type
	Coastal Current	Antarctic Circumpolar Current	Agulhas Stream	Coastal Current	Antarctic Circumpolar Current	Agulhas Stream	
1966(7th)	0.00	1.08*	-0.14	-0.73	17.7*	-1.35	B
1967(8th)	0.00	2.37*	-1.17	0.36	23.5*	-5.72	A
1968(9th)	0.00	2.64	—	-0.46	21.5	—	B
1969(10th)	0.00	11.9	-1.00	-0.37	21.8	-4.21	A
1973(14th)	-0.01	4.49*	-4.79	-0.95	29.5*	-15.4	A
1974(15th)	0.00	1.62*	—	-0.35	19.5*	—	B
Mean Value	0.00	4.02	-1.78	-0.42	22.3	-6.67	

する必要がある。この他、BOWEN ら (1971) の報告では、ACC はどのくらい変化するかと題して、1938年4月から1939年3月までのディスカバリーII世号のデータより、 $0^{\circ}$ と $20^{\circ}\text{E}$ におけるACCの2000m層の水温変化を調べている。ここでACCの中心は $50^{\circ}\text{S}$ 付近にあるとしており、第3図、第4図に示されるA型、B型ともに流れの中心部が2500mを越える深層部について見たときには、 $50^{\circ}\text{S}$ 付近にあることと一致している。

最後に、熱輸送量と塩分輸送量について求めたところ、第2表に示すように\*印をつけた信頼度の高い年次についてのA型のACCの熱輸送量は $2.37\sim 4.49\times 10^{16}\text{ g}\cdot\text{cal}/\text{min}$ 、塩分輸送量は $23.5\sim 29.5\times 10^{13}\text{ g}/\text{min}$ となり、B型の熱輸送量 $1.08\sim 1.62\times 10^{16}\text{ g}\cdot\text{cal}/\text{min}$ 、塩分輸送量 $17.7\sim 19.5\times 10^{13}\text{ g}/\text{min}$ に比べて、いずれも大きな値を示した。これは流量の差がこれらの輸送量に反映することを意味している。ACCは、黒潮やメキシコ湾流と比較すると、熱輸送は大きくないが、塩分などの物質輸送には、大きく影響していることが、岸ら (1975) の報告などと比べると明らかである。

#### 4. あとがき

ケープタウン—南極大陸間の海域は、暴風圏など観測困難な条件下にあるが、海洋大循環を知るうえで重要な位置を占めるので、4000m程度までの各層観測の多年にわたる欠測なしの資料の収集と、深層流速計による計測を実施することが望ましい。おわりに、多年にわたり南極海洋観測に各方面から従事された数多くの方々に感謝するとともに、本研究推進に御理解と御支援戴いた水路部内の関係者の方々に感謝の意を表したい。

#### 参 考 文 献

- 板東 保・岩永義幸 1973, 南極資料, 第46号, 83—102.  
 Bowen, J. L. and H. Stommel, 1971, Research in the Antarctic., Am. Assoc. for Adv. of Sci., 645—650.  
 Callahan, J. E., 1971, J. Geophys. Res., 76, 5859—5864.  
 Gordon, A. L., 1967, Science, 156 (3783), 1732—1734.  
 Gordon, A. L., 1972, Am. Geophys. Union., Antarctic research series, Columbia Univ., 19, 71—78.  
 日向野良治・猿渡了己 1970, 南極資料, 第37号, 33—64.  
 菱田昌孝・徳江猪久二 1974, 南極資料, 第51号, 99—136.  
 堀 定清・塩崎 愈・秋山 勉 1966, 南極資料, 第27号, 2126—2152.  
 岸 昭・宇田道隆 1975, 講演要旨集, 昭和50年度日本海洋学会春季大会, 36—37.  
 中林修二・背戸義郎 1971, 南極資料, 第42号, 103—123.  
 Reid, J. L. and W. D. Nowlin, Jr., 1971, Deep-Sea Res., 18, 51—64.  
 杉田敏巳・岩永義幸 1974, 南極資料, 第48号, 110—141.  
 Sverdrup, H. U., Jr., 1942, The Oceans., Prentice-Hall, New York, 1087 pp.  
 渡辺隆三・塩崎 愈・杉村行勇 1968, 南極資料, 第31号, 33—65.  
 渡辺隆三・日向野良治 1969, 南極資料, 第34号, 35—59.