

ニューギニア沿岸潜流及び南極中層水の水塊変動

柏野 祐二*¹ 川辺 正樹*² 黒田 芳史*³
Walter Zenk*⁴ Thomas J. Müller*⁴

ニューギニア北岸の水深100m以深には、ニューギニア沿岸潜流が北西方向に流れている。また同海域の水深700m付近には $\sigma_\theta = 27.2$ 付近で塩分極小を持つ南極中層水が見られる。本研究では、そのニューギニア沿岸潜流とその南極中層水の変動を142°E線における船舶観測結果および2°30'S, 142°Eにおける係留観測結果から調べた。

ニューギニア沿岸の700-800mの深度($\sigma_\theta = 27.2$ 付近)においては、夏季は冬季に比べ低温・低塩となっており、この海域の南極中層水の水塊に季節変動が存在することが判った。水深700mおよび850mに係留された流速計による観測結果もこの深さにおける西向き流速が夏季の方が冬季に比べ大きいことを示している。夏季には強化されたニューギニア沿岸潜流により南極中層水の性格を保った水塊が南東からより多く運び込まれると考えられる。

この深さにおける流れの変動は、水深500m以浅の流れの変動と相関が小さいことから、水深500m~700mを境にニューギニア沿岸潜流の変動の力学が違っている可能性が示唆された。

船舶・係留 ADCP から推定したニューギニア沿岸潜流の上部の流量時系列は、季節変動の変動幅が約10Svであること、10日から30日周期の季節内変動の変動幅はさらに大きく15Svにも達することを示した。また、季節・季節内変動に比べると小さいが、1997-98エル・ニーニョとその後のラニーニャに対応する経年的な変動や、半年周期の変動も見られる。

キーワード：ニューギニア沿岸潜流, 南極中層水, 低緯度西岸境界流

Variability of the New Guinea Coastal Undercurrent and water property of the Antarctic Intermediate Water

Yuji KASHINO*⁵ Masaki KAWABE*⁶ Yoshifumi KURODA*⁷
Walter Zenk*⁸ Thomas J. Müller*⁸

We have investigated variability of the New Guinea Coastal Undercurrent (NGCUC) flowing northwestward along the New Guinea coast, and the Antarctic Intermediate Water (AAIW) with a salinity minimum around $\sigma_\theta = 27.2$ (around 700m depth in this region) using on-board observation results along 142°E line and mooring observation results at 2°30'S, 142°E.

Temperature and salinity during boreal summer are lower than during boreal winter at the depth of 700 - 800m near the New Guinea coast, and water property of the AAIW varies seasonally. Westward current velocity at 700m and 850m depths is also large during boreal summer. Much AAIW appears to be advected during boreal summer from southeast by the strong NGCUC.

*1 海洋科学技術センター情報業務部 (兼務海洋観測研究部)

*2 東京大学海洋研究所

*3 海洋科学技術センター海洋観測研究部

*4 キール大学海洋研究所

*5 Computer and Information Department, JAMSTEC

*6 Ocean Research Institute, The University of Tokyo

*7 Ocean Reserach and Observation Department, JAMSTEC

*8 Institut für Meereskunde, Universitaet Kiel

Coherence at the AAIW depth and depth above 500m is small. It is possible that dynamics of the NGCUC variability differs between these depths.

Seasonal and intraseasonal variabilities of the transport of the upper NGCUC, estimated from shipboard and moored ADCPs, are large, and their amplitudes are about 10Sv and 15Sv, respectively. Interannual variability associated with 1997-98 El Niño and 1999-2000 La Niña, and semi-annual variability are also seen although their amplitudes are smaller than those of seasonal and intraseasonal fluctuations.

Keywords : New Guinea Coastal Undercurrent, Antarctic Intermediate Water, Low-latitude western boundary currents

1. はじめに

西部熱帯太平洋には、エルニーニョを引き起こす要素の一つである世界で最も海面水温が高い暖水プールが存在している。その暖水プールには、低緯度西岸境界流により中緯度から海水が運び込まれている。低緯度西岸境界流として、北太平洋からフィリピン沿岸を南下するミンダナオ海流と、南太平洋からニューギニア沿岸を北西方向に流れるニューギニア沿岸海流及びニューギニア沿岸潜流がある(図1)。ニューギニア沿岸海流は水深100m以浅をニューギニアに沿って流れる海流で、その向きはモンスーンに影響され、北半球の夏には北西向き、冬には逆の南東向きとなる

(Kuroda, 2000¹⁾)。ニューギニア沿岸潜流はその下を常に北西向きに流れ(Kuroda, 2000¹⁾)、赤道潜流に起源水を供給している(Tsuchiya et al., 1989²⁾)。

暖水プールの熱収支の変動には、南太平洋起源の水深100m以深に見られる塩分が高い南太平洋熱帯水(South Pacific Tropical Water)がバリエレイヤ(Lukas and Lindstrom, 1991³⁾)の変動を介して影響しているという仮説が示唆されている(Kuroda, 2000¹⁾)。また、この南太平洋熱帯水の変動は海面高度に影響し、結果として赤道域の海流分布を変調させることが示されている(Ueki et al., 2002⁴⁾)。この南太平洋熱帯水はニューギニア沿岸潜流によりソロモン海から運

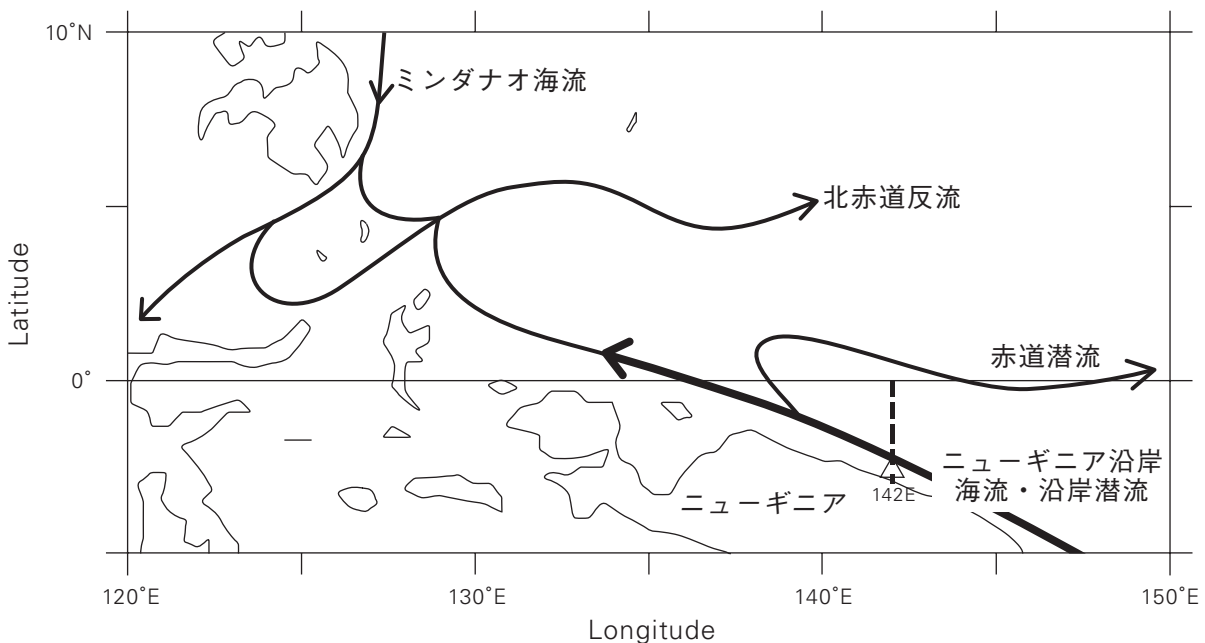


図1 太平洋低緯度西岸境界流の概略図。ニューギニア北方を北西方向に流れる太い矢印で示された流れが本報で述べられているニューギニア沿岸海流・沿岸潜流である。図の破線(142°E)は図3の断面の測線である。△印は本報で解析に用いたADCPブイの場所、また図4の結果の元となったCTD観測を行った場所でもある。

Fig. 1 Schematic of the Pacific low-latitude western boundary currents. The New Guinea Coastal Current and Coastal Undercurrent, which are discussed in this paper, are denoted by thick arrow. Broken line at 142E is the observation line for Fig.3. ADCP buoy referred in this paper was deployed at the station denoted by △. CTD observations for Fig. 4 were also conducted at this station.

表1 本報告で解析に用いた海洋調査船「かいよう」による赤道域における航海。表中の季節とは、本報告における定義で、冬は1月～3月、夏は7月～9月とした。

Table 1 List of R/V Kaiyo cruises that data analyzed in this report. Summer (Winter) season in this table is defined from July (January) to September (March).

航海	実施期間	2°30'S, 142°Eにおける観測日	季節
Cruise	period	Date at 2°30'S, 142°E	Season
K9406	Dec.19,1994 - Jan.11,1995	Jan.18,1995	Winter
K9505	Jun.30,1995 - Jul.26,1995	Jul.10,1995	Summer
K9601	Jan.24,1996 - Feb.26,1996	Feb.16,1996	Winter
K9606	Jul.7,1996 - Aug.5,1996	Jul.13,1996	Summer
K9702	Jan.26,1997 - Mar.1,1997	Feb.20,1997	Winter
KY9709	Aug.3,1997 - Aug.29,1997	Aug.21,1997	Summer
KY9801	Jan.3,1998 - Feb.1,1998	Jan.26,1998	Winter
KY9810	Aug.15,1998 - Sep.11,1998	Sep.5,1998	Summer
KY9901	Jan.26,1999 - Mar.1,1999	Feb.5,1999	Winter
KY9909	Oct.20,1999 - Nov.23,1999	Nov.15,1999	----
KY0006	Aug.20,2000 - Oct.1,2000	Sep.16,2000	Summer

ばれてくる(Tsuchiya et al., 1989²⁾)。したがって、エルニーニョやラニーニャに伴う暖水プールの熱・塩分収支の変動を考察するために、ニューギニア沿岸潜流の変動を理解する必要がある。

このニューギニア沿岸潜流は、南太平洋熱帯水だけでなく南極中層水(Antarctic Intermediate Water)もニューギニア沿岸に沿って北西方向に運んでいる(Tsuchiya, 1991⁵⁾)。南極中層水は、その名の通り南極付近を起源として、ニューギニア沿岸では $\sigma_{\theta} = 27.2$ 付近(水深700m付近)で塩分極小を形成している水塊である。すなわち、ニューギニア沿岸潜流は高緯度から中緯度への中層における海洋循環の一部にもなっている。この中層の循環は数十年のオーダーで海洋を巡っており、数十年規模の気候変動に寄与していることが考えられることから、ニューギニア沿岸潜流はエルニーニョスケールの変動だけではなく、より長期的な気候変動に関与している可能性もある。

ニューギニア沿岸潜流に関しては、1990年代中頃までにWEPOCS(Western Equatorial Pacific Ocean Climate Study, Tsuchiya et al., 1989²⁾)をはじめとする観測により、上記に述べた南太平洋熱帯水の南太平洋から赤道潜流への輸送、及び南極中層水のニューギニア沿岸に沿ったフィリピン海南部への輸送といった、水塊の分布やその平均的な循環像が明らかになった(Tsuchiya et al., 1989²⁾, Tsuchiya, 1991⁵⁾)。その後、1993年より始まった海洋科学技術センターによるプロジェクト研究「熱帯赤道域における観測研究(TOCS)」(Tropical Ocean Climate Study)により、南太平洋熱帯水の存在する水深300m以浅の流速変動が明らかになった

(Kuroda, 2000¹⁾)。しかし、それ以深、特に南極中層水の存在する水深700m付近の変動は未だに明らかではない。

以上の背景を踏まえ、海洋科学技術センターは東京大学海洋研究所と共同研究「熱帯太平洋域の中層及び深層循環の構造と変動特性の観測研究」を平成9年から開始した。この共同研究では、東京大学海洋研究所はウエーク島水路及びメラネシア海盆の水深3000m以深を流れる深層循環を、海洋科学技術センターは南極中層水を運ぶニューギニア沿岸潜流の観測を担当した。本報では、ニューギニア北方における観測結果について報告する。

2. 観測データ

本報で用いた観測データは、1994年～2000年の間に11回行った海洋調査船「かいよう」により行った船上観測(表1)、及び1995年7月～2000年9月に2°30'S, 142°Eに係留したADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)などを取り付けた係留系(以降、ADCP係留系と呼ぶ)による観測から得られたものである(図2)。

海洋調査船「かいよう」による観測はほぼ年2回行った(表1)。観測時期は1999年11月のもの(KY9909)を除き1月～3月及び7月～9月に集中している。1月～3月および7月～9月は、それぞれ北西および南東季節風がニューギニア周辺において卓越する時期であることから、ニューギニア沿岸海流・沿岸潜流の季節風変動に対する応答を見るために適当な時期である。したがって、本報ではこれらの時期をそれぞれ冬季、夏季と定義し、KY9909を除く各航海をそれぞれの季節に分類した。

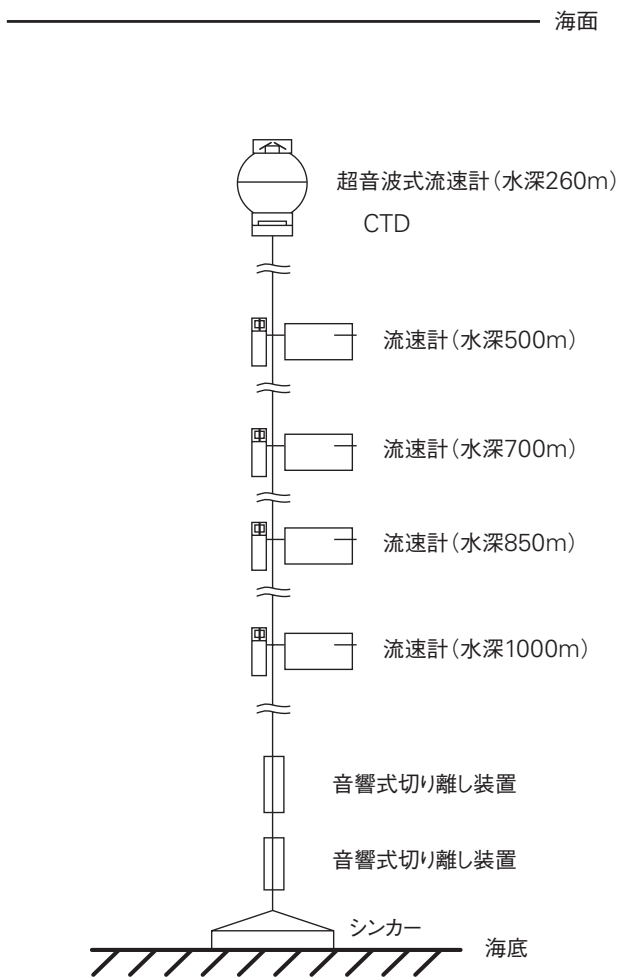


図2 ADCP係留系の概略図。
Fig. 2 Mooring line of the ADCP buoys.

用いた航海のデータは、ニューギニアの岸近くまで観測を行っている142°E線上のCTD・XCTD及び船舶搭載型ADCPから得られたものである。142°E上では、南端が2°42'Sで、それ以北は2°30'Sから30分おきに赤道もしくはそれ以北まで、CTDあるいはXCTD観測を水深1000mまで行った。

船舶搭載型ADCPについては、1999年以前の航海ではRDI社製の周波数75kHzのものを、2000年の航海では38kHzのものをを用いた。得られたデータに対してハワイ大学で開発されたCODAS(Common Oceanographic Data Acquisition System, Firing et al., 1995⁶⁾)により処理し、ADCPの船底に対する傾きの補正等を行った。

CTDはSea Bird社のSBE911plusを、XCTDは鶴見精機製のものをを用いた。CTDの値の精度については、塩分値はオートサルを用いた塩分検定により、また圧力・温度値についてはプレ・ポストクルーズキャリブレーションの結果で見積もった。その結果、生の値でも温度、塩分、圧力値に対して、それぞれ0.01℃、0.01PSU、2dbの精度であった。このため、本報で用いるCTDデータに関しては特に補正は行っていない。

図2に2°30'S、142°E(図1の△印)に設置したADCP係留

系の概略図を示す。水深260m付近にRDI社製150kHzのADCPを上向きに取り付け、ADCPフロートの下部のフレームには、係留索の流れに対する傾斜から生じるADCPの深度の変化を見るために、Sea Bird社製CTDのSBE-19を取り付けた。また、南極中層水の深さにおける流速の変動を調べるため1998年9月から1999年11月の係留期間においては、水深500m、700m、850m、1000mに4台のアンデラ流速計を取り付けた。

ADCPのデータに関しては、その直下に取り付けたCTDの圧力値を用いて深度補正をした。その深度補正をしたADCPデータから、潮汐成分を除くため25時間の移動平均を行った後、0時(UT)の値を取り出した日平均データを作成し解析に用いた。アンデラ流速計のデータに対しても、同様な手法で日平均データを作成し解析した。

3. 観測結果

3.1. 「かいよう」による現場観測結果

図3に142°E線における温度・塩分・東西成分流速の冬季(1月~3月)及び夏季(7月~9月)に行われた航海の平均を示す。両季節の差は表層100m以浅ではっきりしている。例えば、夏には混合層が冬に比べ厚くなっている。また冬の方が海面塩分が低く、下層の高塩分水の深度(例えば35.0PSUの等値線)が夏より浅くなっているため、冬には塩分躍層の深度が夏より浅くなっている。東西流速成分は海面付近で冬に東向き、夏に西向きになっており、夏の高塩分水は東から(冬の低塩分水は西から)移流されていることが示唆される。また、水深200m付近には、赤道で流速最大となる東向きの赤道潜流と、2°30'Sで流速最大となる西向きのニューギニア沿岸潜流が夏季・冬季とも明瞭に存在しているが、両海流ともコアにおける流速は冬季に比べ夏季の方が0.2m/secほど強い。また、水深170m付近に塩分極大を形成する南太平洋熱帯水は、ニューギニア沿岸潜流により東から運ばれていることがわかる。

本報で注目する南極中層水は中層の水深600m~1000mの間で塩分極小を形成している。特に、沿岸の水深700m付近において塩分値が最も低い。この特徴は夏季に顕著で、34.54PSUを下回る海水の層厚が冬季に比べると100m以上厚く、沿岸の水深700m付近における塩分値は平均34.5PSUを下回っている。温度においても、夏季の方が冬季に比べ0.1~0.2℃低くなっている。この特徴は2°30'S、142°Eにおけるポテンシャル温度-塩分図(図4)においても明瞭である。この海域の南極中層水の特徴である $\sigma_{\theta} = 27.2$ 付近の塩分極小においては、図から温度・塩分値とも概して夏の方が低く(両季節の平均の塩分の差は0.03PSU程度)、塩分極小がよりはっきりしている。

南極中層水の深さの流速を2000年以前の「かいよう」の船舶搭載型ADCPで観測することはできないが、少なくとも600mまでは夏季の方がニューギニア沿岸潜流が強いことが言える(図3c,f)。

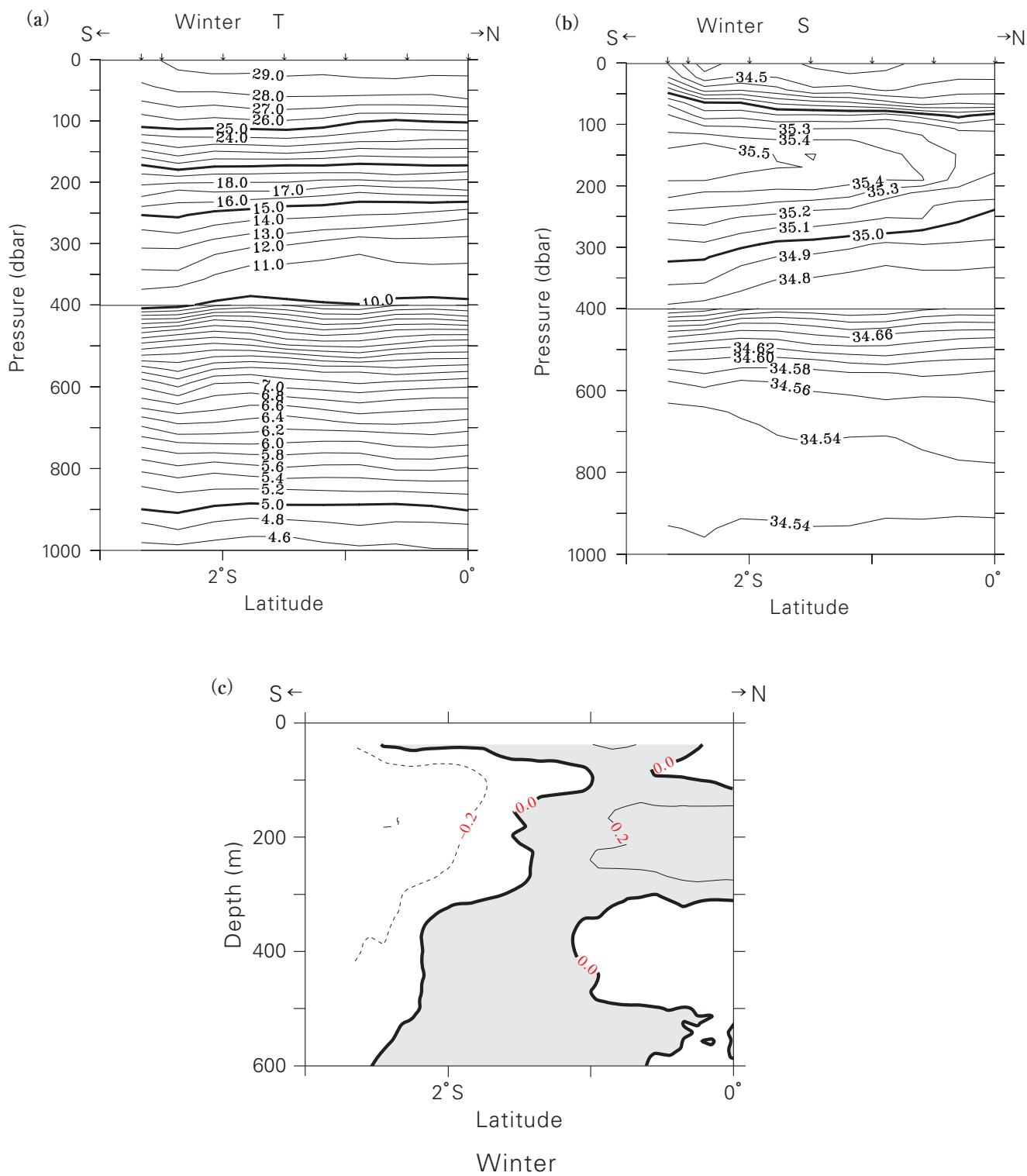
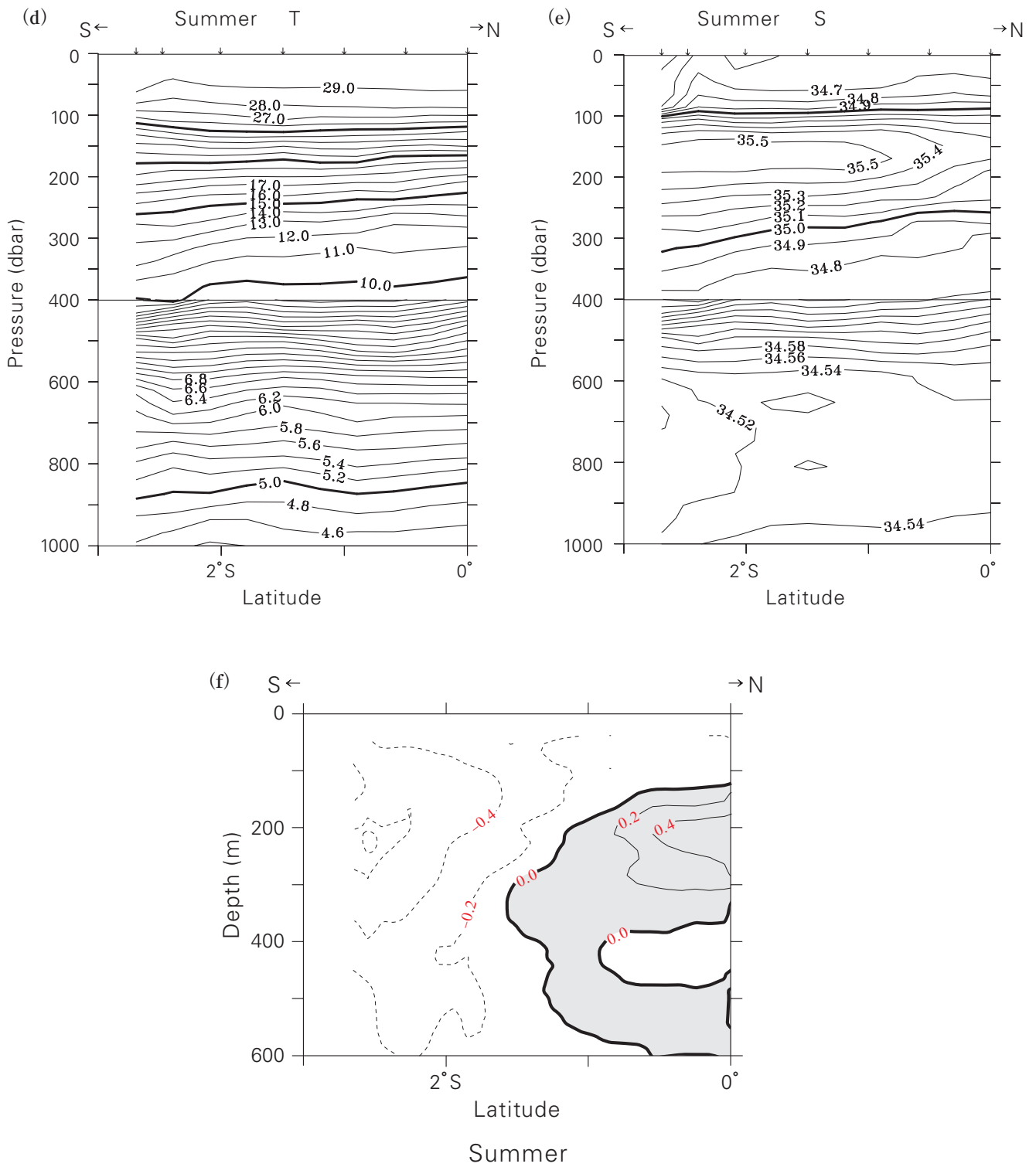


図3 142°Eにおける(a,d)温度, (b,e)塩分, (c,f)東西流速断面。a~cは冬季, d~fは夏季のものである。流速断面図におけるハッチは東向きの流れを表し, コンター間隔は0.2m/sである。

Fig. 3 (a,d)Temperature, (b,e) salinity and (c,f) zonal velocity sections along 142°E. Figures 3a~3c are sections during winter, and 3d~3f are during summer. Eastward velocity is hatched, and contour interval is 0.2 m/s in Figs 3c and 3f.

図3の続き



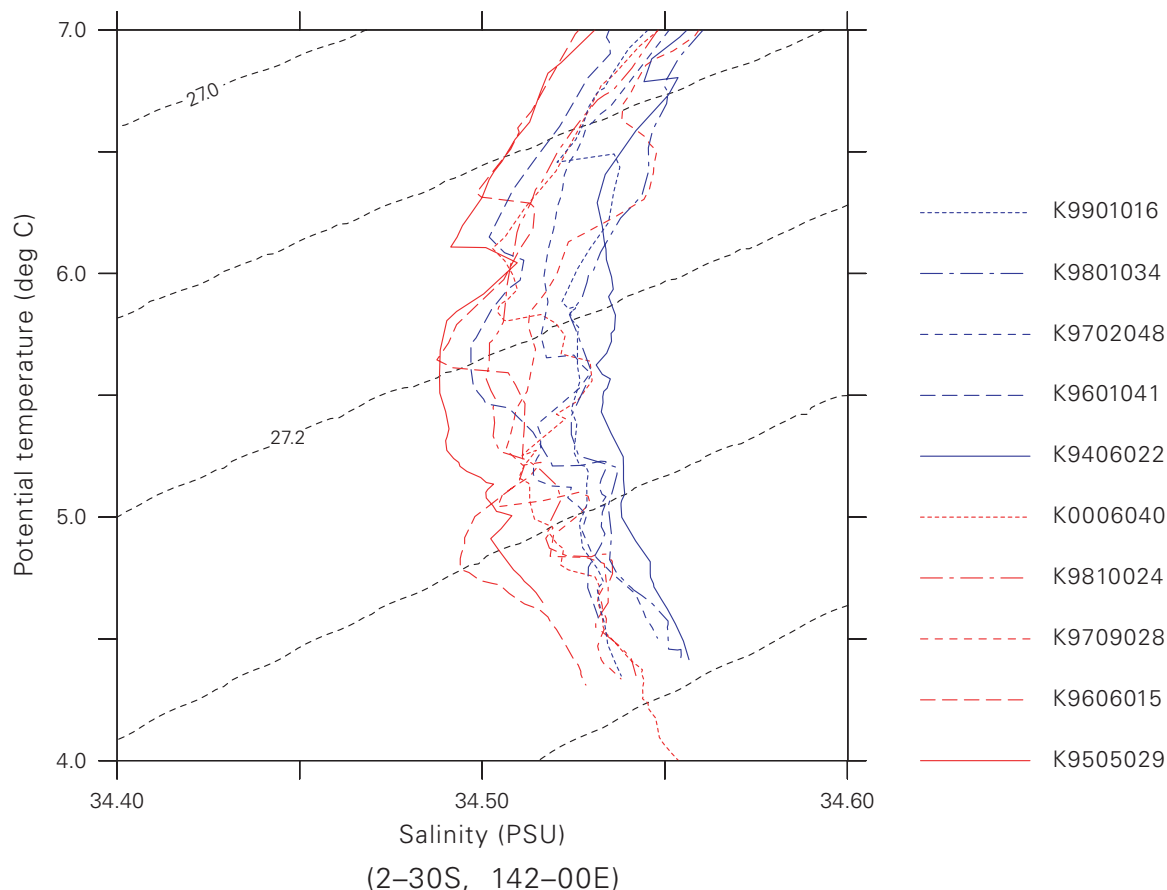


図4 2°30'S, 142°Eにおける, $\sigma_\theta = 27.2$ 付近のポテンシャル温度-塩分関係。青線・赤線はそれぞれ冬季・夏季に行われた航海の結果である。黒い点線は等ポテンシャル密度のコンターで, コンター間隔は 0.1kg/m^3 である。

Fig. 4 Potential temperature - salinity relations around $\sigma_\theta = 27.2$ at 2°30'S, 142°E. Blue (red) lines denote relations during winter (summer) cruises. Black broken lines are contour lines of σ_θ with interval of 0.1kg/m^3 .

3.2. 係留観測結果

1998年9月から1999年11月までの2°30'S, 142°EのADCP (水深50m, 200m)と流速計(500m, 700m, 850m, 1000m)の流速スティック図を図5に示す。50m深における流れ, すなわちニューギニア沿岸海流は流速変動が大きく, 夏季には北西向き, 冬季には南西向きが卓越している。これは, この海流は季節風に応じて変動していることを示している。

水深200m~850mにおいては, 一年を通じて西北西の岸に沿った流れとなっている。水深1000mでは流速がかなり弱く, 特に一定方向に流れているようには見えない。すなわち, ニューギニア沿岸潜流は水深850mには達しているが, 1000mには達していない。南極中層水に伴う塩分極小層が存在する深さ(水深700m付近)では30日位の周期の変動が卓越しているが, やはり年間を通じて西北西向きである

流速の東西成分のスペクトルを図6に示す。細かなピークがいろいろ見えるが, 10日付近および30日付近のものが目立つ。特に水深200mの約10日のピークと水深500mの20-30日のピークが大きい。このような赤道域における季節内変動は

Kuroda (2000)¹⁾及びKutsuwada and Inaba (1995)⁷⁾によっても報告されている。

図5を注意深く見ると, 表層だけでなく, 垂表層以深でも夏季と冬季の季節差があるように見える。それを定量的に評価するために, 表2に1999年1月~3月(冬季)及び7月~9月(夏季)のそれぞれ3ヶ月の平均流速の値を示す。表から, どの深さにおいても, 夏季の方が冬季に比べ西向き流が強いことがわかる。南極中層水が存在する水深700mでは10%, 850mでは50%夏季の方が流速が大きい。(ちなみに700mにおけるこの季節差は, 95%の信頼限界ぎりぎりです統計的に意義がある差である。)すなわち, この係留観測の結果と「かいよう」で得られた現場観測の結果は矛盾していない。

3.1において, 夏季の方が冬季に比べ南極中層水の塩分極小がはっきりしていることを示した。この南極中層水はサング海からニューギニア沿岸にそって北西に流れてくることから(Fine et al., 1994⁸⁾), ニューギニア沿岸潜流が夏季に強くなることにより, 南極中層水の性格を持った水塊がより多く南東から運ばれてくるものと考えられる。

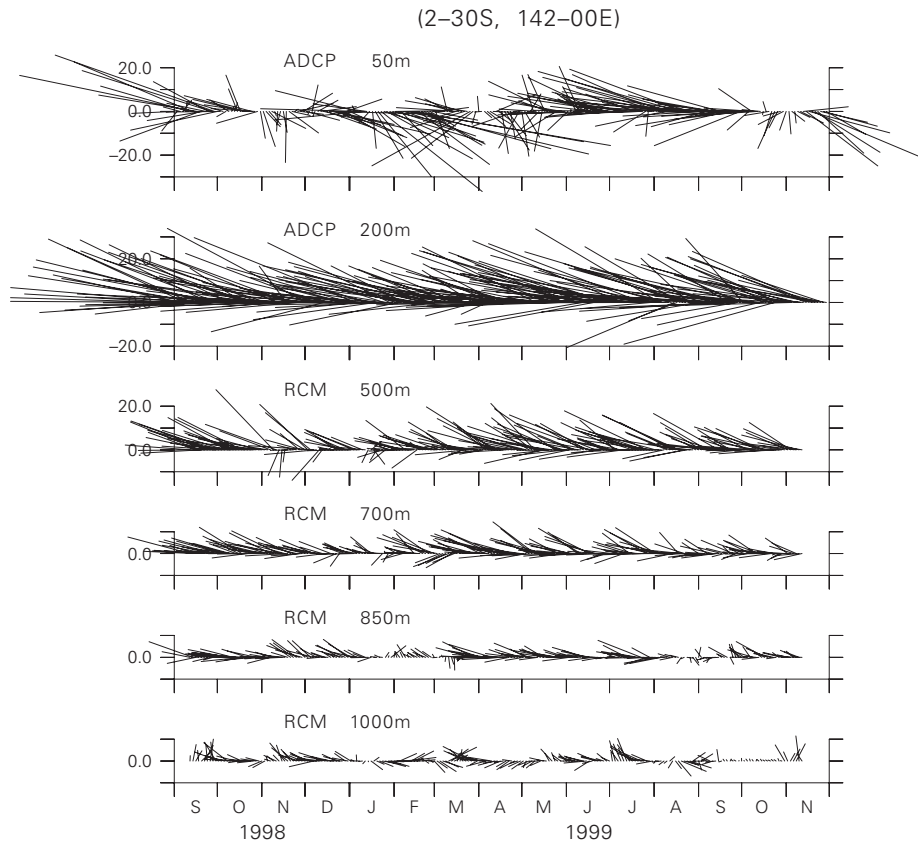


図5 1998年9月から1999年11月までの2°30'S, 142°Eにおける水深50m, 200m, 500m, 700m, 850m, 1000mの流速変動。

Fig. 5 Time series of current velocity at the depths of 50m, 200m, 500m, 700m, 850m and 1000m, at 2°30'S, 142°E from September 1998 to November 1999.

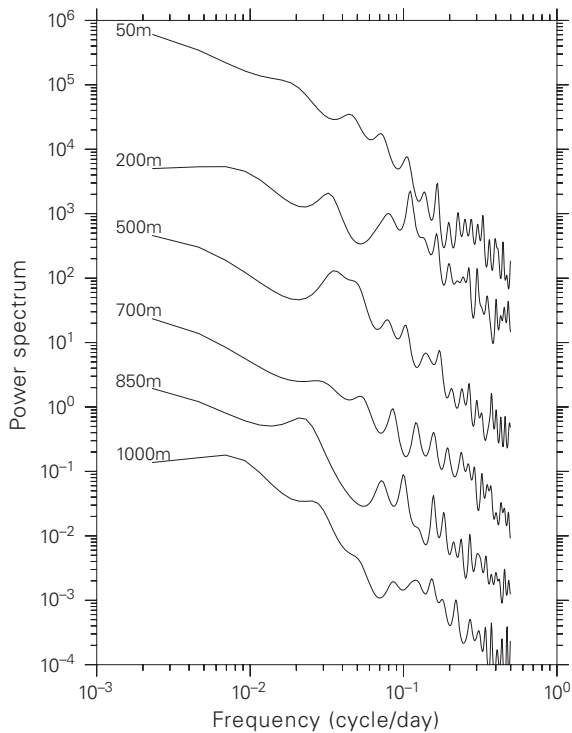


図6 図5で示された流速の東西成分から計算したパワースペクトル。
Fig. 6 Power spectrums for zonal component of the same time series as Fig. 5.

表2 2°30'S, 142°Eにおける冬季(1999年1月~3月)及び夏季(1999年7月~9月)の平均流速。負の値は西向き及び南向きを意味する。

Table 2 Averaged velocity during boreal winter (Jan.-Mar., 1999) and summer (Jul.-Sep., 1999) at 2°30'S, 142°E. Negative values mean westward and southward flow.

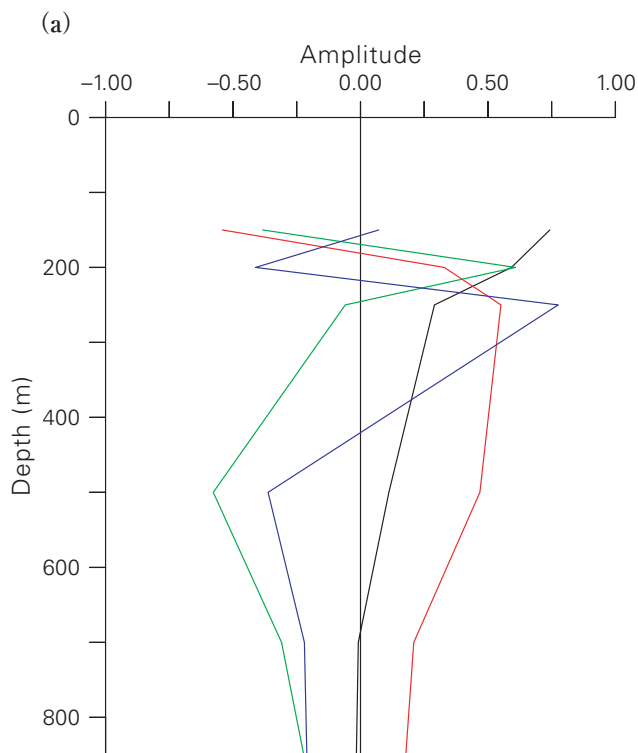
水深 (depth) (m)	冬季 (Winter) Jan.1 - Mar.31, 1999		夏季 (Summer) Jul.1 - Sep.30, 1999	
	U (cm/s)	V (cm/s)	U (cm/s)	V (cm/s)
50	9.2	-8.2	-36.1	3.5
200	-47.7	8.5	-58.6	9.2
500	-13.9	2.5	-22.0	5.2
700	-11.8	2.1	-13.0	2.7
850	-4.2	1.2	-6.4	1.0
1000	2.5	0.7	-1.4	0.7

3.3. ニューギニア沿岸潜流の鉛直構造の変動(EOF解析結果)

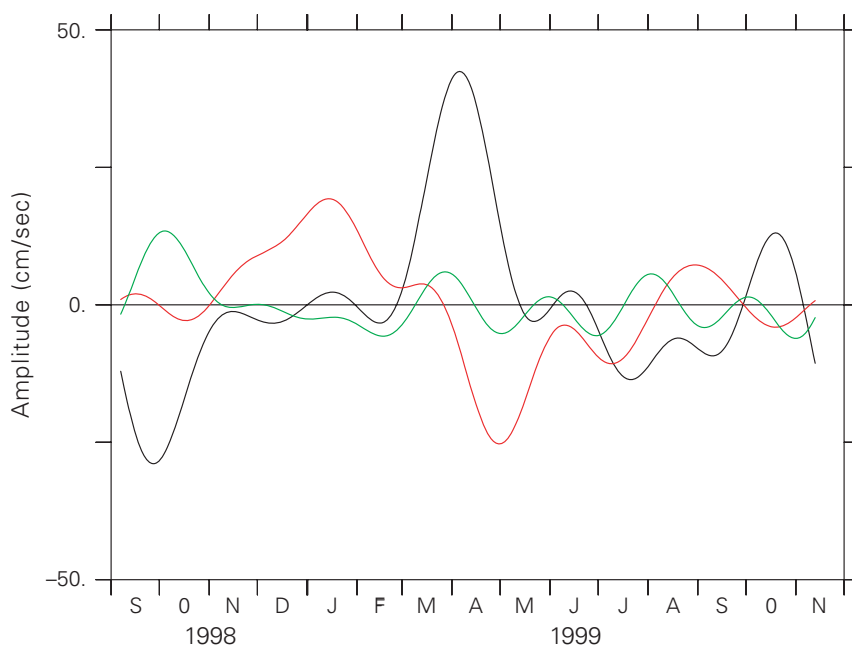
ニューギニア沿岸潜流全体の鉛直構造の変動を調べるために、1998年9月～1999年11月にかけて $2^{\circ}30'S$, $142^{\circ}E$ の中層に設置された流速計及び垂表層に設置されたADCPのデータから、水深150m, 200m, 250m, 500m, 700m, 850mの6つの層の東西流速成分に対してEOF(Empirical Orthogonal Functions)解析を行った。ただし、EOF解析は平均流速を差し引いた変動成分について行った。

第1モード(寄与率55.6%)は最上層(150m)で最も振幅が大きく、深くなるにつれ小さくなり、水深700m以深ではほとんど0という構造になっている(図7a)。すなわち、第1モードは水深700m以深の変動には寄与していない。水深700mの流速の変動に寄与しているのは、第2モード(寄与率22.3%)以上の高次モードである。なお、第3モードの寄与率が9.7%とかなり小さく、時間変動における振幅も小さいことから(図7b)、実質第2モードがこの水深の変動を支配していると言える。

最も寄与率が高いモードである第1モードは、水深700m以深ではほとんど0であることから、150m～500mまでの変動とそれ以深の変動の間に相関があまりない。すなわち、1998年9月～1999年11月の係留期間においては、120m～500mの間の流速から700m以深の変動を推測するのは困難であると言える。



(b)



($2-30S$, $142-00E$)

図7 1998年9月から1999年11月までの $2^{\circ}30'S$, $142^{\circ}E$ の水深150m, 200m, 250m, 500m, 700m, 850mの東西流速の変動成分に対してEOF解析を行った結果。(a) 第1(黒), 第2(赤), 第3(緑)及び第4モード(青)の鉛直構造。(b) 第1～第3モードまでの係数の時間変化に、60日のローパスフィルターを通したもの。

Fig. 7 EOF analysis results for zonal current velocity anomaly at the depths of 150m, 200m, 250m, 500m, 700m and 850m at $2^{\circ}30'S$, $142^{\circ}E$ from September 1998 to November 1999. (a) Vertical structures of first (black), second (red), third (green) and fourth (blue) modes. (b) 60days low-passed time series of coefficients of the first, second and third modes.

第2モードの構造の特徴は、水深150mとそれ以深で変動の向きが異なること、及び水深250mで極大になることである。したがって、第1モードは水深150m～500mまで変動の向きが同じであるので、もし両モードの変動が同符号ならば、200m～500mでは流れを強め合うが、150mでは変動がキャンセルされる方向に働く。

図7bに60日のローパスフィルターを通した第1～第3モードまでの係数の時間変動を示す。寄与率が最も大きい第1モードは冬から春にかけて最大となり、夏に最小となっている。すなわち、1年2ヶ月と短い係留期間であるが、季節的な変動のように見える。このモードが最大となる冬から春にかけて、この海域は北西風が卓越するため西向きの表層流が弱くなるもしくは逆流（東向き）するが、それに対応して係数が大きくなっていると考えられる。一方夏はその逆で、負の値が大きくなっていることから、西向き流が卓越していることに対応している。

第2モードは最上層150mの流れがそれ以深とは逆向きのセンスになっているモードであることから、値が正ならば最上層は東向きの流れが、それ以深は西向きの流れが強化されるセンスである。このモードの振幅が大きくなっているのは、1999年1月(正方向)及び1999年4月末(負方向)である。すなわち1月では最上層の西向き流が弱められ一方で下層は西向き流(潜流)が強められるセンスになっている。一方、4月～5月では位相が少しずれているものの第1モードと逆センスであることから、表層は第1モードと合わせて強め合い(特に4月中旬)強い東向き流となっているが(図5)、下層ではキャンセルされて潜流はあまり強くなっていない。

3.4. ニューギニア沿岸潜流の流量変動

次に、係留式ADCP及び船舶搭載型ADCPの観測結果を用いて、ニューギニア沿岸潜流の上部(水深500m以浅)の流量の変動を調べた(南極中層水の深さは船舶ADCPの観測範囲外であるため、それ以深の流量は見積もることができない)。そのデータ処理手法を以下に記す。

- 1) 船舶搭載型のADCPの流速データから、各航海毎に142°E線を横切るニューギニア沿岸潜流の流量を見積もった。ただし、上部ニューギニア沿岸潜流の流量を、赤道潜流の南限(もしそれが1°S以北であった場合1°Sを南限とする)～2.7°Sで水深118m～502mの断面を横切る西向きの流量とした。なお、航海によっては2.5°S以南において観測を行っていない場合がある。その場合における2.5°S～2.7°Sを通る西向き流量は、2.3°S～2.5°Sを通る西向き流量を使って見積もった。(6回の航海で2.5°S～2.7°Sを通る西向き流量と、2.3°S～2.5°Sを通る西向き流量と相関係数が0.96であった。)
- 2) 2.5°S, 142°Eの係留式ADCPの水深150m～250m間の平均東西流速を係留点に「かいよう」が到着した時点において求め、1)で計算した船舶搭載型ADCPから見積もった流量との相関を調べた(図8)。両者の相関は係数が0.872と大変高いことから、両者の回帰式を求め、係留式ADCPの水深150m～250mの平均流速の時系列をそ

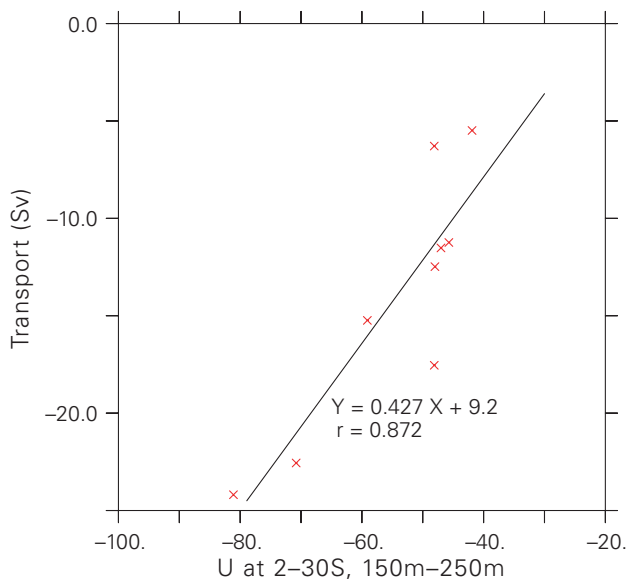


図8 2°30'S, 142°Eにおける水深150m～250mの東西流速の鉛直平均値と、142°E線の水深118m～502mを流れるニューギニア沿岸潜流の流量の相関図。

Fig. 8 Relations between vertical mean of zonal velocity from 150m to 250m depth at 2°30'S, 142°E, and volume transport of the New Guinea Coastal Undercurrent across 142°E from 118m to 502m depth.

の回帰式に当てはめ、ニューギニア沿岸潜流の流量に変換し、流量の時系列を計算した。

なお、唯一回帰直線から大きくはずれているのが、K9606の航海時のものである(水深150m～250mの間鉛直平均流速:48.1cm/sec, 流量:17.5Sv)。通常ニューギニア沿岸潜流のコアはこの鉛直平均を取った深さ(水深150m～250m)に見られる。ところが、K9606航海時は水深200m～300mと深くっており、このことが回帰直線から大きくずれた原因と考えられる。この時の航海の結果を除くと、相関係数はさらに0.941まで上昇する。しかし、K9606の航海の結果を含めても相関は十分高いことから、回帰式はK9606の結果も含めたもので計算した。

上記の方法で求めた水深118m～502mの断面を横切るニューギニア沿岸潜流の流量の時系列を図9に示す(長周期変動を合わせて見るために120日以上ローパスフィルターをかけた時系列を赤線で示す)。この図からまず分かることは季節内変動の振幅が最も大きく、約15Svの幅で変動していることである。次に季節変動が大きく、約10Svの幅で変動していること、9月に最大、3月に最小となることが分かる(図9赤線)。このことは、3.1及び3.2で示した結果と矛盾しない。なお、半年周期の変動も、3～5Svの幅を持っている。

季節変動ほど大きくないものの経年変動、特にエルニーニョスケールの変動も図には現れている。例えば、1997-98エルニーニョの発達期である1997年夏には、ニューギニア沿岸潜流の流量が他の年の夏に比べ大きい。また、通常の年は秋に流量が半年周期の変動に伴い極小値を取るが、この

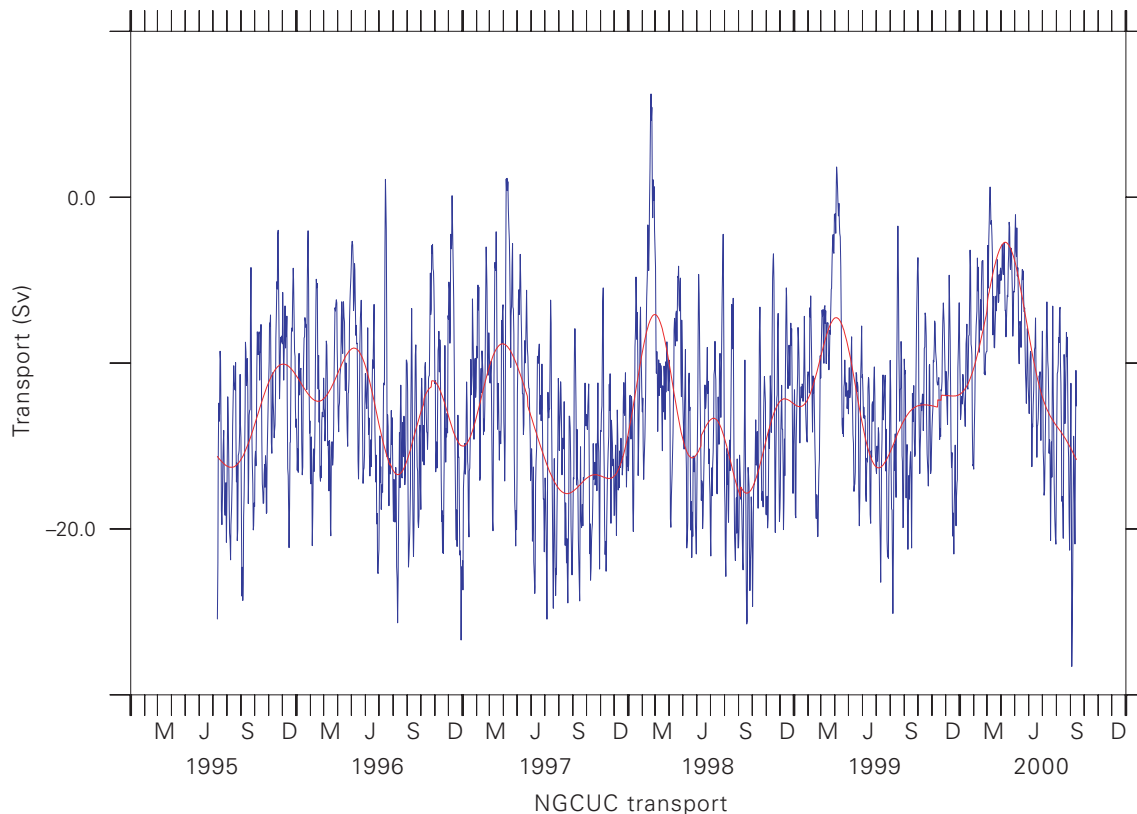


図9 142°E線の水深118m～502mを流れるニューギニア沿岸潜流の流量で、青線は日平均時系列から計算したもので、赤線は120日以上ローパスフィルターをかけたものである。

Fig. 9 Volume transport of the New Guinea Coastal Undercurrent across 142°E between 118m and 502m depths. Blue and red lines are plotted using daily data and data after application of 120days low-pass filter, respectively.

年の秋は流量がほとんど減少せず、1997年の年末まで平均18Svもの西向き流量を維持している。また、ラニーニャとなった1999年～2000年にかけては、流量が他の年に比べて小さめで、特に2000年春には5Sv以下になっている。

4. 考察とまとめ

ニューギニア北方海域の142°E線の温度・塩分・流速分布から、この海域における流れや水塊の性質が季節的に変化していることがわかった。特に、南極中層水の水塊特性に季節的に変化が見られることは、水深700mもの深さにまで季節変動が及んでいることを意味しており、興味深い結果である。係留観測から得られた流れの変動から、流速場にはさまざまなタイムスケールの変動が見られるものの、季節内及び季節変動の振幅が大きい。

表層・亜表層の季節変動は、黒田・植木(2002)⁹⁾に示されたメカニズムで説明できるであろう。すなわち、夏季は南東季節風に伴うエクマン流により、ニューギニアの沿岸方向に海水が表面において集められ、表層の密度の低い(塩分も低い)海水が厚くなり、結果として北西方向の地衡流が強められニューギニア沿岸海流及び沿岸潜流が強くなる。一方冬季はそれとは逆で沿岸海流・潜流ともに弱くなる。実際、

図3に示される温度・塩分断面はその考えと矛盾しておらず、流量の変動もそれを支持している。

ところが、南極中層水の深さになると、このメカニズムでは説明が難しい。図5から水深700mの深さにおいても季節的な変動が見られるが、3.3で示したように、この変動は水深500m以浅の沿岸潜流の変動を支配するEOF第1モードではなく、第2モード以上の高次モードに支配されている。すなわち、水深700m以深の変動と水深500m以浅の変動とは相関が薄い。実際、水深150m～250mの鉛直平均流速と、水深700mの流速の間のコヒーレンスとフェーズ(図10)は、両者の相関が10日以上タイムスケールでは0.1以下でほとんど無視できることを示している。

EOF第1モードは、水深150mから深くなるにつれ同じ符号のまま水深500mまで振幅が小さくなり、それ以深で振幅0となる構造をしていることから、バロトロピックモードと第1バロクリニックモードを合わせたような構造となっている。この変動は季節風の変動と合うことから、風の変動に伴うもの、すなわち上記のメカニズムの変動であると考えられる。700m以深の変動は、EOF第1モードの振幅が小さく、第2モード以上の高次のモードで表されることから、物理的にはバロクリニック第2モード以上の高次モードに対応してい

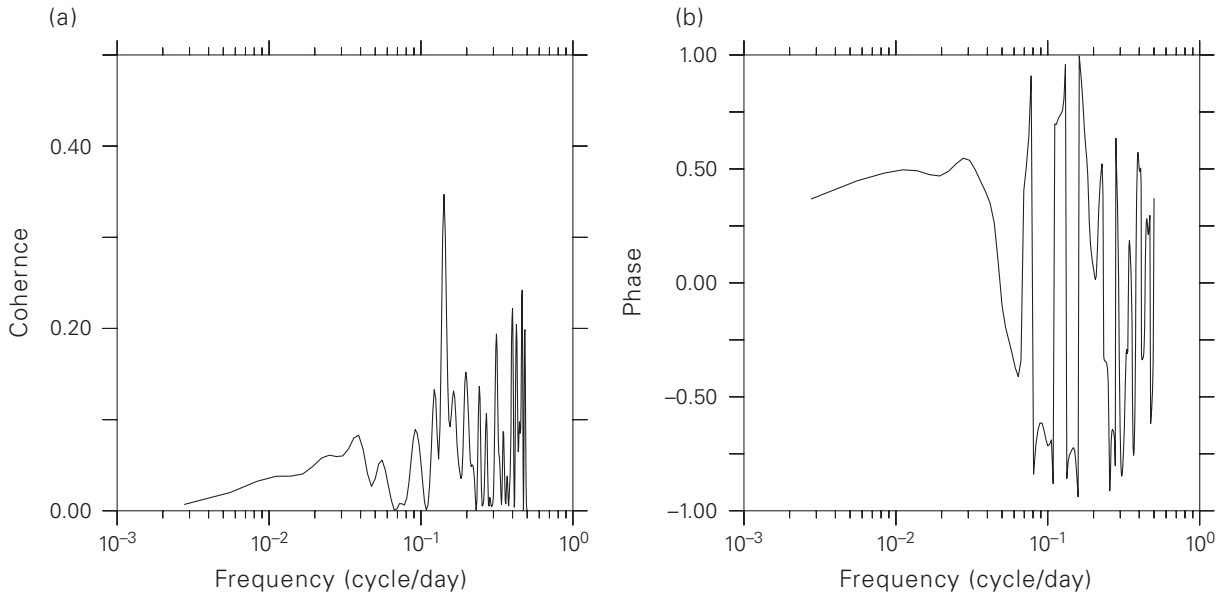


図10 2°30'S, 142°Eにおける水深150m～250mの東西流速の鉛直平均値と、水深700mの東西流速の時系列のコヒーレンス(a)とフェイズ(b)。

Fig. 10 (a) Coherence and (b) phase between vertical averaged zonal velocity from 150m to 250m depth at 2°30'S, 142°E, and zonal current velocity at 700m depth.

る可能性がある。このモードの変動が何に起因しているかこの解析だけでは分からないが、クリアな季節変動となっていないことから、少なくとも風に伴う海洋の変動ではないように見える。すなわち、ニューギニア沿岸潜流は500m～700mを境として力学が異なる海流である可能性が示唆される。

以上の議論を以下にまとめる。

- 1) 1995年から2000年の北半球の夏季5航海、冬季5航海のCTDデータから、ニューギニア沿岸の700m付近の深度($\sigma_\theta = 27.2$ 付近)で冬季に比べ夏季に低塩(0.03PSU)、低温(0.1～0.2℃)となっており、この海域の南極中層水の水塊の性質に季節差が存在することがわかった。
- 2) 船舶ADCPの東西流速断面から、深度200m付近のニューギニア沿岸潜流のコアの流速は、冬季に比べ夏季の方が0.2m/sほど強い。この夏季のニューギニア沿岸潜流の強化は、深度700mおよび850mの流速計中層係留系による時系列データにも見られた。夏季は冬季に比べ、強化されたニューギニア沿岸潜流により南極中層水の性格を保った水塊が、南東からより多く運び込まれると考えられる。
- 3) 係留流速時系列データから深度850mまでは岸に沿い西北西に向う成分が卓越するが、深度1000mでは変動成分が卓越し流向は一定ではなく、ニューギニア沿岸潜流は1000m深まで達しないことがわかった。
- 4) 1998年9月～1999年11月にかけて実施した係留観測結果に対しEOF解析を行った結果、ニューギニア沿岸潜流の水深500m以浅の変動と南極中層水が存在する水深700mの変動の間の相関が小さく、水深700mにおける変動を水深500m以浅の変動と結びつけるのは困難であることがわかった。すなわち、水深500m～700mを境として

ニューギニア沿岸潜流の変動の力学が違っている可能性が示唆された。

- 5) 船舶・係留ADCPから見積もった、142°E線の水深118m～502mの間を流れるニューギニア沿岸潜流の上部の流量は、9月に最大、3月に最小を示しその季節変動の変動幅は約10Svであった。10日から30日周期の季節内変動の変動幅はそれよりも大きく15Svにも達する。また、季節・季節内変動に比べると小さいが、1997-98エル・ニーニョとその後のラニーニャに対応する経年的な変動や、半年周期の変動も見られる。

謝辞

本研究は東京大学海洋研究所との共同研究「熱帯太平洋域の中層及び深層循環の構造と変動特性の観測研究」のもとに行った。また、ADCPのデータ及び船上観測のデータはプロジェクト研究「熱帯域における大気・海洋観測研究」のもとで取得されたものを使用した。

これらの観測データの取得に協力して下さった、海洋科学技術センター海洋観測研究部の研究者、日本海洋事業(株)・マリンワーク(株)の技術者、「かいよう」の乗組員の皆様にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) Kuroda, Y. : Variability of the currents off the north coast of New Guinea, J.Oceanogr.Soc.Japan, 56, 103-106. (2000)
- 2) Tsuchiya, M., R. Lukas, R.A. Fine, E. Firing, and E. Lindstrom : Source waters of the Pacific Equatorial

- Undercurrent, Prog. Oceanogr., 23, 101-147. (1989)
- 3) Lukas, R. and E.Lindstrom : The mixed layer of the western equatorial Pacific Ocean, J.Geophys.Res., 96, Suppl., 3343-3357. (1991)
 - 4) Ueki, I., K. Ando, Y. Kuroda, and K. Kutsuwada, Salinity variation and its effect on dynamic height along the 156E in the Pacific warm pool. Geophys. Res. Lett. (2002, accepted)
 - 5) Tsuchiya, M. : Flow path of the Antarctic Intermediate Water in the western equatorial South Pacific Ocean, Deep Sea Res., Part A, 38, s273-s279. (1991)
 - 6) Firing, E., J. Ranada and P. Caldwell : Processing ADCP data with the CODAS software system version 3.1, software manual provided via the web site: <http://noio.soest.hawaii.edu/>, 212pp. (1995)
 - 7) Kutsuwada, K., and H. Inaba : Year-long measurement of upper-ocean currents in the western equatorial Pacific by acoustic Doppler current profilers, J.Metero.Soc.Japan, 73, 665-675. (1995)
 - 8) Fine, R. A., R. Lukas, F. Bingham, M. Warnar, and R. Gammon : The western equatorial Pacific: A water mass crossroads, J.Geophys.Res., 99, 25063-25080. (1994)
 - 9) 黒田芳史・植木巖：ニューギニア沿岸海流及び沿岸潜流の季節・経年変動，月刊海洋，34，307-315。（2002）

(原稿受理：2002年7月29日)