

日本周辺海域における水質 (1)

緑川弘毅*¹

日本周辺の海域における水質についての一般的な知識は広く行きわたっている。しかし、海水の性質は海域により独特の性質と変動性を持っている。このようなことから日本周辺の各海域の深さに対する水温、塩分の資料の整理を行った。調査海域は太平洋側と日本海の湾内と沖合の計8海域を対象とした。

四国沖のT-Sダイアグラムが西部北太平洋における典型を示し、中層の塩分極小値も34.00～34.10‰で、亜寒帯中層の平均的な値である。これに対して三陸沖合(30°00N, 147°00E)と駿河湾、相模湾においては極小値は、0.20～0.40‰高くなっている。三陸沖合では、表層水の塩分が逆に34.00‰ぐらいまでの低い値になっている。

湾内における中層の水は、塩分値の高い周囲の水塊と流れによる混合で、その特徴が変形したものと考えられる。三陸沖合水域では極前線が近いため、その影響が考えられ、特に表層水は寒流系の水の寄与が推測される。

日本海においては、富山湾、秋田沖の水温は表層では急激に減少し、深層ではほぼ一定である。富山湾における中層および下層の塩分値は34.10～34.15‰のほぼ均質なものであった。

これに対して水深3,200 mの秋田沖海域においては、底層において塩分値が34.00～34.05‰と減少している。この値は日本海固有水の塩分値に比べて小さい。

キーワード：海水、深層水、中層水、底層流、底層

Characteristics of Sea Water around Japanese Islands (1)

Koki MIDORIKAWA*²

T-S diagrams were made by STD measurements in order to study the characteristics of water from particular localities in the adjoining seas. Measurements are made at the sea areas in bays and offing in the Pacific Ocean and the Japan Sea.

In the Pacific Ocean, the T-S diagram off Shikoku is a typical representative in which the salinity of subarctic intermediate water has a minimum value of 34.0～34.1‰ which is the mean value in the North Pacific Ocean. However, the

*¹ 海洋開発研究部

*² Marine Research and Development Department

intermediate salinity minimum is extremely high (0.20 ~ 0.40‰) in Suruga Bay, Sagami Bay and the sea area far off the Sanriku coast (30°00' N, 147°00' E), and the salinity of the upper water off Sanriku is low and close to 34.00‰ at the surface.

The waters in the bays seem to be affected by adjacent dense waters and they gradually lose their characteristics by current mixing with the waters above and below them. The water off Sanriku may be influenced by the adjacent waters near the polar front.

In the Japan sea, the potential temperature of the upper layer decreases rapidly with depth, while it is almost constant in the lower layer. The water below the upper layer in Toyama Bay is occupied by homogeneous water of low temperature and the salinity of 34.1‰, called the proper water in the Japan Sea, while off Akita, the salinity of the deep water below 2,000 m gradually decreases to below the value of 34.05‰ at the bottom at 3,200 m.

Key word: sea water, deep sea water, intermediate water, bottom current, bottom layer.

1 はしがき

我が国の海洋調査において、海水の塩分や水温に関する研究は、古くから数多く行われてきた。そして、特定海域における海水の性質に関する一般的傾向については大変良く知れわたっている。それだけに水温や塩分は海の状態を良く物語ってくれる一つの大きな要素といってよい。しかし、広大な海は天空と同様に時期により、域により、状態あるいは特徴が変化するものである。

このような状態を踏まえて、日本周辺の海洋と半閉鎖海域をそれぞれ3海域ずつの計6海域(図1)を選び、1983年から1985年に計測を行った資料を主として用いて、各海域の水質の特徴をとらえる試みを行った。

日本周辺の海域は西部北太平洋に属し、日本海もその一部に位置している。ただ、日本海はその閉鎖性により、海域を満たしている海水の生成起因に至るまで本邦南東岸側(太平洋側)とは異なる。

日本海の水は、表層水を除いたそのほとんどが日本海固有水と呼ばれるもので、ある一定の狭い範囲に限定され塩分値と水温値、そして独自の生成過程をもつものである。日本海固有水が日本海北部沿岸域で形成された底層水に起因するのに対して、太平洋側の海域では、その海水の大半を占める中層水並びに底層水の生成海域や機構もそれ

ぞれに異なっている。

北太平洋側の中層の水は、亜寒帯中層水と呼ばれ、これは北太平洋極前線海域において沈降した親潮水塊に源を発するものと考えられている。また、底層水は、はるか南極圏の海域において、氷結時に析出された塩分を受け入れた表層水が沈降し、300年ともいわれる長い歳月を経て4,000 m以深の海底に沿って到達したものである。この他に表層水ではそれぞれ海域ごとに異なった海流や陸水の影響を受けているのである。

このように異なった成因をもった海水が日本近海に在って、それぞれの特徴を有しているものと思われる。ここでは季節的な特徴よりも海域的な一般的特性を調べることに重点を置いた。

2 本邦南東岸側(太平洋側)海域の水質

太平洋側においては沿岸部と2海域、沖合の2海域を研究の対象として行った。それらは駿河湾、相模湾そして三陸沖合、四国沖合である(図1参照)。

最初に三陸沖合のT-Sダイアグラムを図2に示す。塩分が最も小さく、水温が20°C以上の表層は水深が50mぐらいまでである。表層水100m層ぐらいまでの塩分値は、北太平洋の他の例(Kawai, 1972)と比べてかなり低い。水深200~

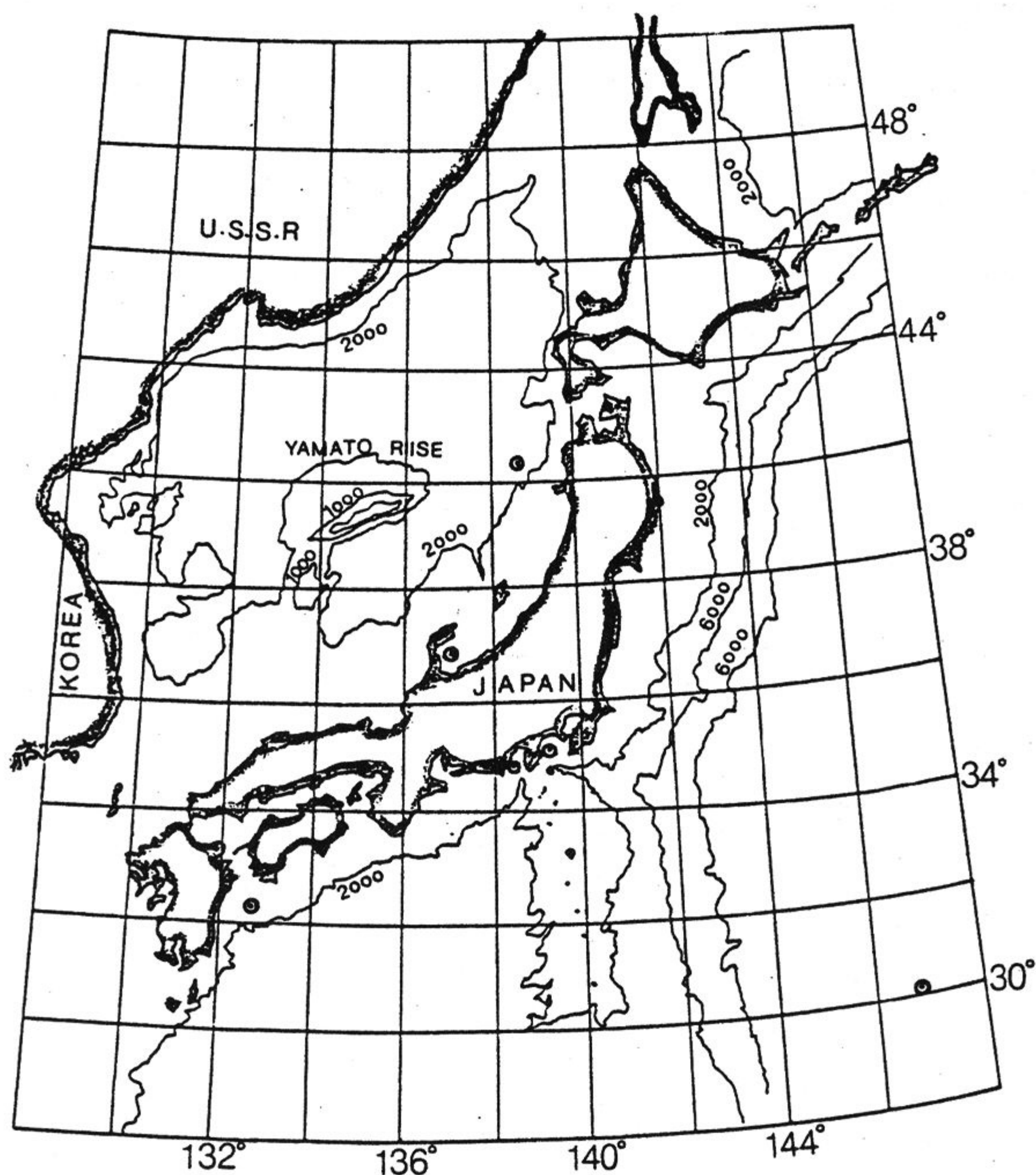


図1 日本周辺の海域と等深線図並びに計測点 (⊙)
 Fig. 1 Map showing the Isobath of adjacent area around Japan with the locations (⊙) of stations.

300 m層に塩分の極大値があってそれは 34.80 ‰ぐらいで、北太平洋上の上層の水の中では最も塩分値の高い層である。

図中の一本の曲線はSVERDRUP et al. (1942)によって示された西部北太平洋の中央水についての各温水に対する平均塩分値である。当海域の上層から中層にかけての塩分値は、若干この値を上まわっている。亜寒帯中層水の塩分極小は σ_t が26.8の面に在るといわれているが、その深さは 800 mほどになっている。塩分極小値は黒潮水域の平均より少し大きいようで34.15～34.35 ‰の値である。

水深が 1,500 m以深になるとポテンシャル水温

は 2 °C 以下の深層水になり、塩分は徐々に増加して水深 4,000 m以深になると北太平洋の底層水の塩分値は の塩分値 34.68 ‰に達する。

図3は四国沖合 1,200 m水域におけるT-Sダイアグラムである。冬期ではあるが表層水温が20 °C以下であることは、黒潮があまり近くなかったことを示している。しかし塩分値は高く、黒潮水域のものであることが分る。中層の塩分極小は亜寒帯中層水の平均的な値、34.00～34.20 ‰の範囲にほぼ収まっている。下層においてはT-S値は収束状態になり、成層圏の様相を呈している。下層においては、水温が 3 °C以上、塩分が 34.63 ‰ぐ

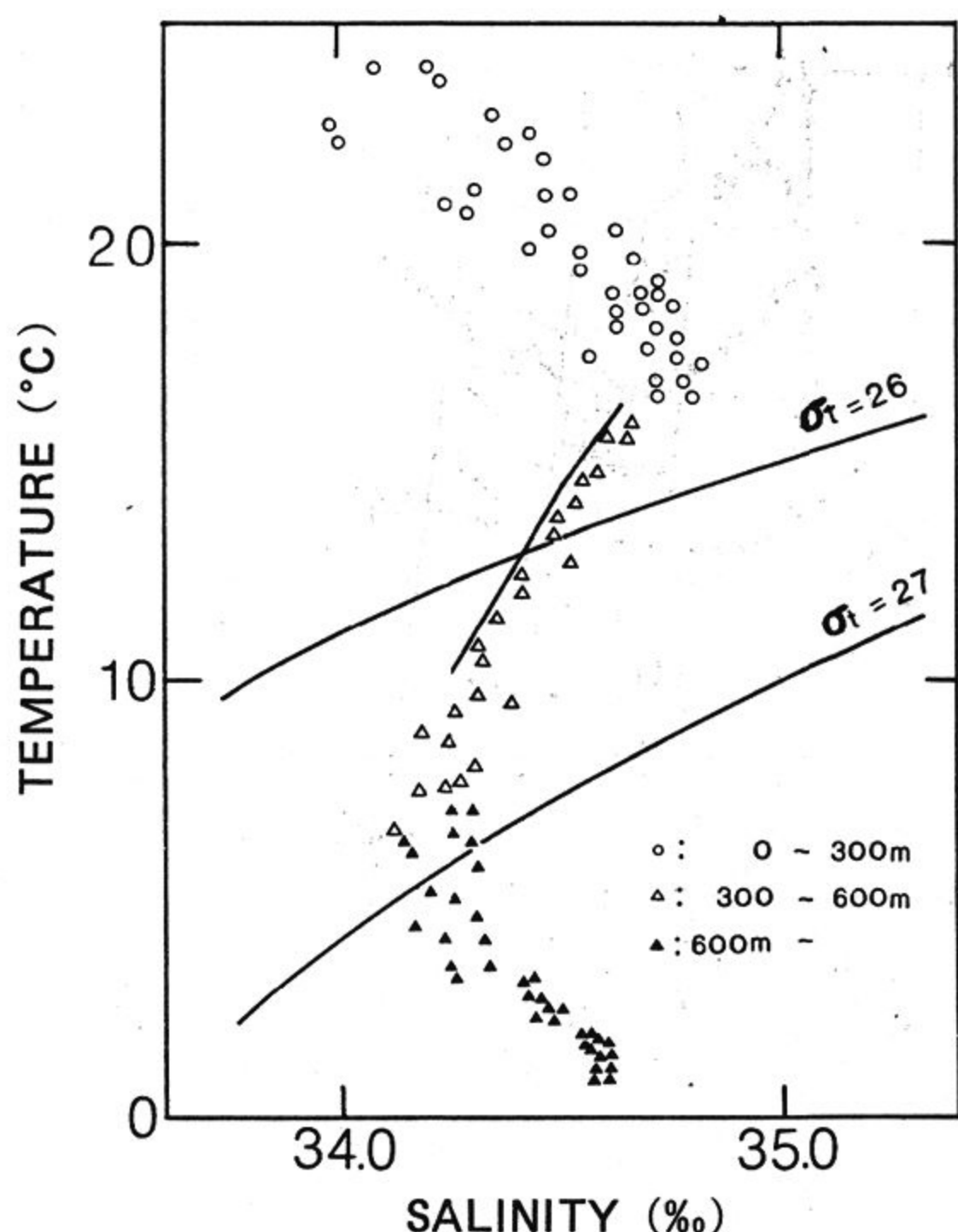


図2 西部北太平洋三陸沖、水深5,700m海域 (30°00'N, 147°00'E)でのT-Sダイアグラム, 1980年7月

Fig. 2 Potential temperature-salinity diagram for the water masses at the stations (30°00'N, 147°00'E) of the depths of 5,700m far off Sanriku coast in North Pacific Ocean in July, 1980. A shorter curve near center shows the average salinities of the central water masses at different temperature demonstrated by SV-ERDRUP et al. (1942) and two longer ones are σ_t curves. The beside are plots depth in meters.

らいまでで、深層水の値には達していない。これは水深が浅いためである。

図4には駿河湾と相模湾の隣り合った2つの海域におけるT-Sダイアグラムである。両者共に水深1,500m以上の海域で、図の内容も表層の水温値を除けば良く以ている。表層水の温度に約4°Cの差があるのは、計測季節の1か月間のずれによるものと思われる。表層を除いた上層並びに中層の塩分値は34.30~34.65‰の範囲に収まり、変

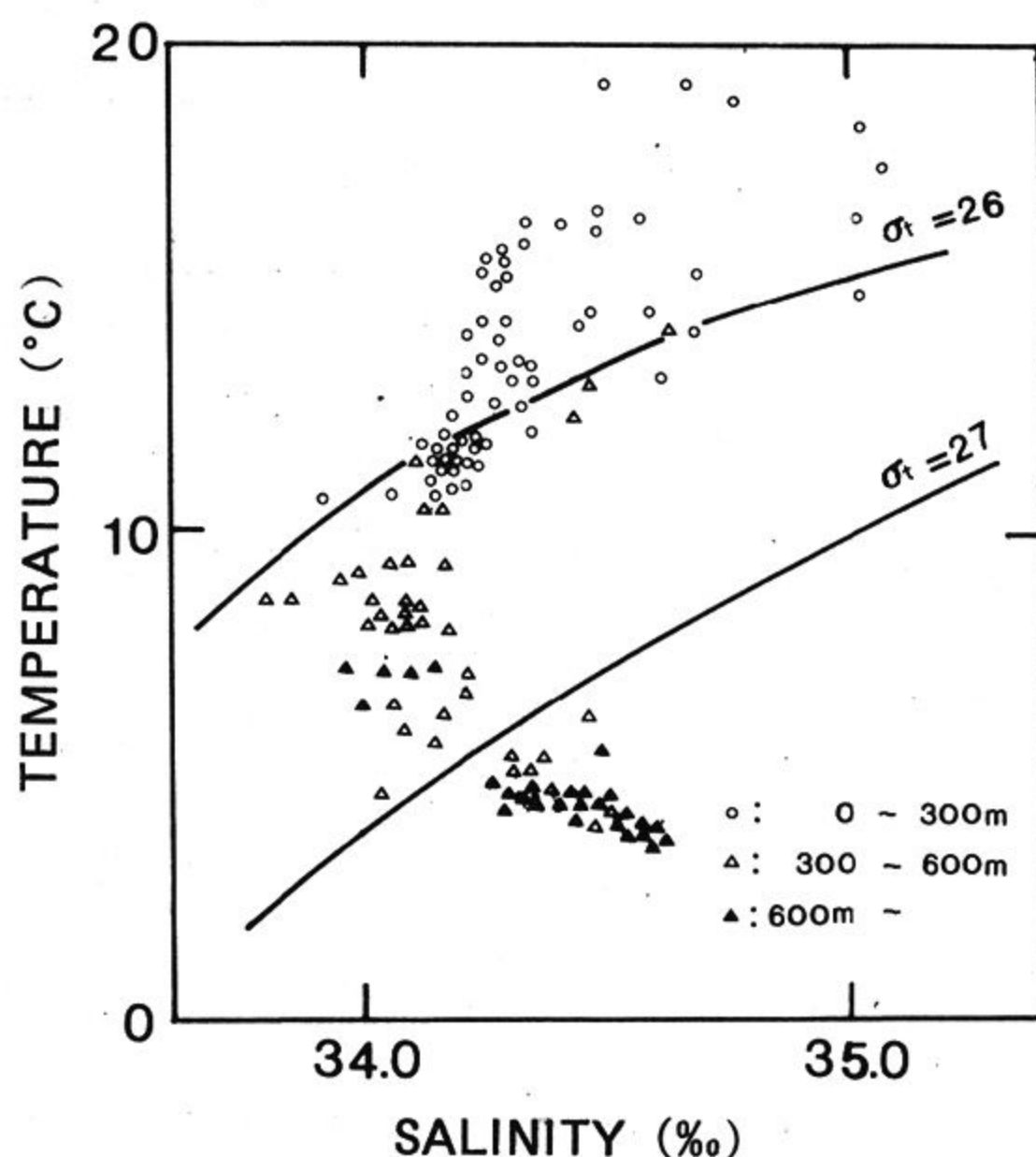


図3 四国沖水深1,200m海域におけるT-Sダイアグラム, 1985年2月

Fig. 3 T-S diagram for the water masses measured at the station off Shikoku in February, 1985.

化の少ない形になっている。 $\sigma_t=26.8$ の面付近に現われるべき塩分の極小も、三陸沖合や四国沖合の中層水のように明瞭ではない。下層においては両者共深さが増すにしたがって塩分値は徐々に増加し、34.60‰を越えて深層水の値に近くなり、水温も2.5°C前後まで下っている。

図5は駿河湾松崎沖の駿河トラフ水深2,000mの海域におけるT-Sダイアグラムである。上層の塩分の極大値を有する100~150m層の塩分値は34.50~35.00‰になっているが、これは黒潮起因の外洋水と思われる。この層を除くとダイアグラムは全体的に直線状になっている。特に中層は34.30~34.50‰の範囲に収まっていて、中層水の特徴である塩分極小もない（あるいは見かけ上に現われていない）。そして下層では、さらに狭い34.40~34.50‰の間にすべて収まっているという特異な状態になっている。このSTD計測の数時間前と約2日前の2回に、この海域の海底に約1Ktの流れが在ったことが確認されているので、中層、あるいは底層において流れによる混合があったためと考えられる。

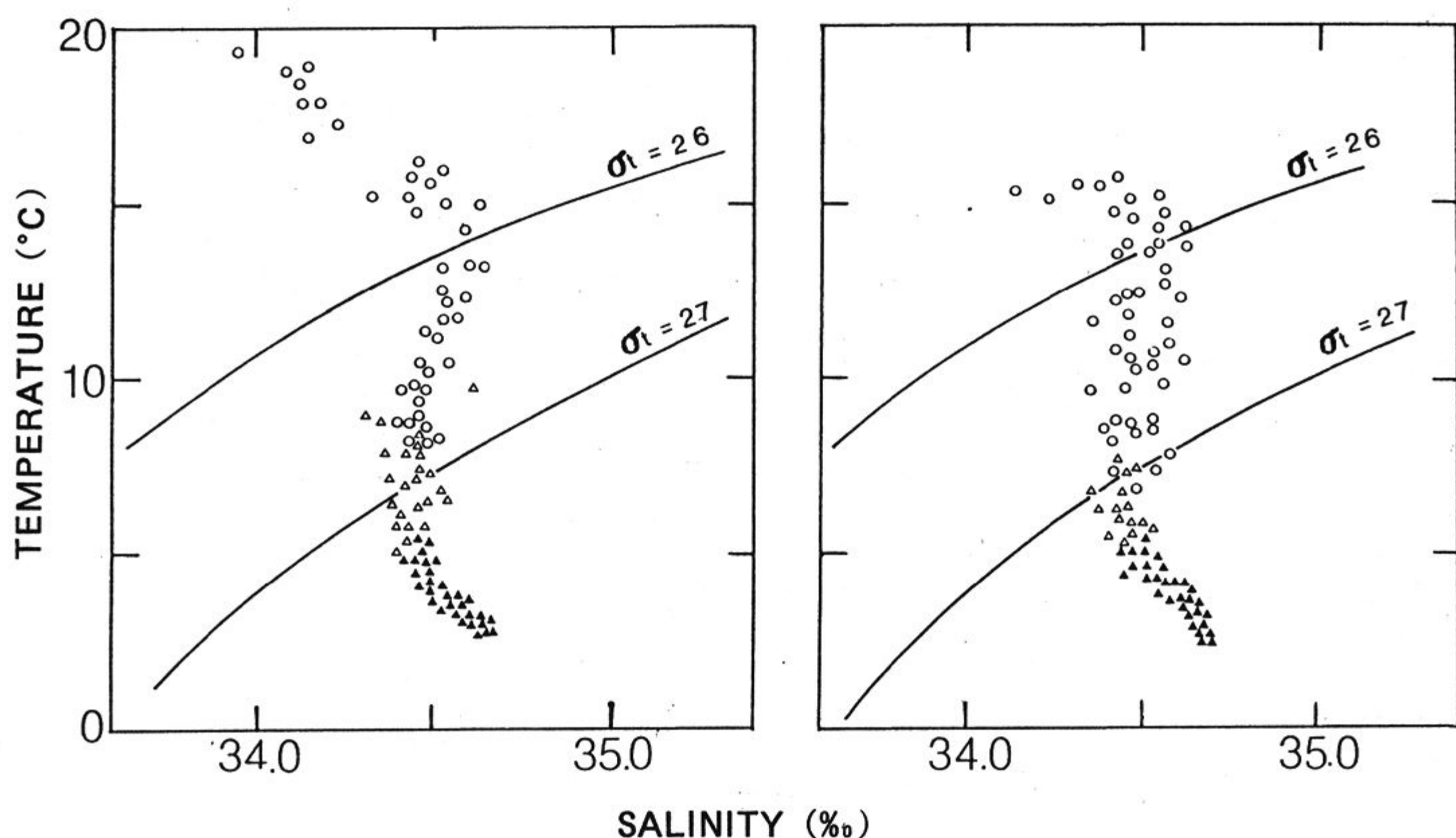


図4 相模湾(a)〔1983年5月〕と駿河湾中央付近(b)〔1985年4月〕についてのT-Sダイアグラム

Fig. 4 T-S diagram for the water masses measured in Sagami Bay in May, 1983 (Left) and in Suruga Bay in April, 1985 (Right)

この現象から、成層圏といわれる中層や下層にも、特に港湾やその他の沿岸海域においてはかなりの混合があるものと推測される。

3 日本海、富山湾、秋田沖海域の水質

日本海は平均水深約1,400 mで、ほとんどを陸地に囲まれた海である。日本海と太平洋を結ぶものは対馬海峡、津軽海峡、宗谷海峡、そして間宮海峡であるが、それらの水深は150 m以浅で、周囲の海から日本海には深層の水は入って来るところがない。したがって、日本海の温度の低い深層の水は日本海のどこかで冷やされて沈降したものであると考えられている。その場所は日本海の北部沿岸域とされているが、西岸という説もある

(Gamo, 1983)。そして、それが大和堆を乗り越えて日本列島沿岸にも到達する。もちろん原料となる水は日本海の表層の水で、元をただせば対馬海流をはじめ日本海に流入するすべての水である。

こうしてできた日本海固有水と呼ばれるものが、日本海の中層、下層のほとんどを占めているもの

と考えられている。この日本海固有水の温度は1～2℃以下で、塩分は34.1‰前後である。

表層にはリマン寒流と対馬暖流、そして陸水の流入があり、これらによる混合水を形成しているものと思われる。塩分は深層の水に比べてかなり薄く、水平的な分布にも大きな差異がある。

日本海の底層の水に関する研究は古くはSUDA (1932)、そしてNITANI (1972)などがある。近年日本海の海峡に関するシンポジウムが行われ、津軽海峡 (SUGIMOTO et al., 1984., ODA-MAKI, 1984)、宗谷海峡 (AOTA, 1984)、対馬海峡 (TAWARA et al., 1984)などについての研究報告がまとめられている。

図6は富山湾と大和堆海域のポテンシャル水温の鉛直分布を示したが、水深200 mで共に2℃を下まわり、1,000 m水深においては富山湾では0.1℃以下になっている。水温躍層はいずれも水深300～400 mにあるので、成層圏は400 m以深ということになる。

図7は富山湾の水温、塩分の鉛直分布である。塩分躍層は水深100 mほどのところにあり、水温

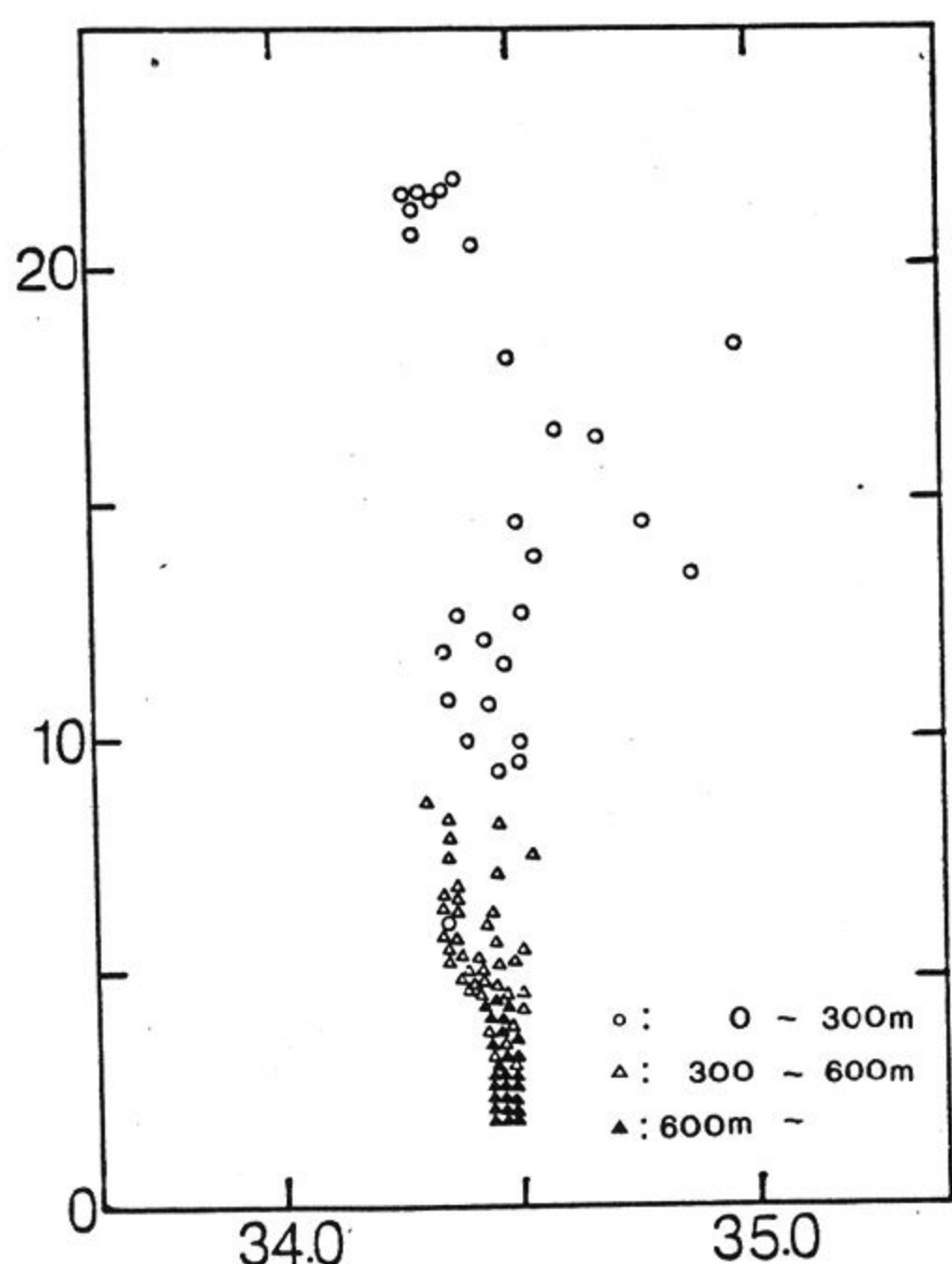


図5 駿河トラフ海域についてのT-Sダイアグラムで下層の塩分値が均質になっている。
1987年10月

Fig. 5 T-S diagram showing homogenous water of the salinity in the Bottom layer in Suruga Bay in October, 1987.

躍層は300m付近にある。密度分布図 (σ_t) は300mに大きな躍層があって、その上に小さな変動の多重構造になっている。下層では水温は徐々に下がり、水深1,000mでは約0.1°Cに、塩分は34.10‰前後になっている。この躍層以下の水すべてが日本海固有水であろう。

湾内5点での資料から地衡流の計算を行った結果、100m以浅の表層で最大2Kt弱の、300m層で0.6Ktの半時計回りの流れがあった。上層にこれだけの流れがあるにもかかわらず、中層以深の塩分値は一定している。もう一度上層の塩分の鉛直分布を見てみると、100mから300mの間に塩分極大値を持つ大きな変動がある。これを詳しくみるために図8に塩分の断面を示した。

図8において水深150~250m間に塩分値の34.20‰という大きな層があって、逆転層になっている。これは日本海や北太平洋によくみられる小規模の暖水塊で、ここ日本海では対馬暖流の日本

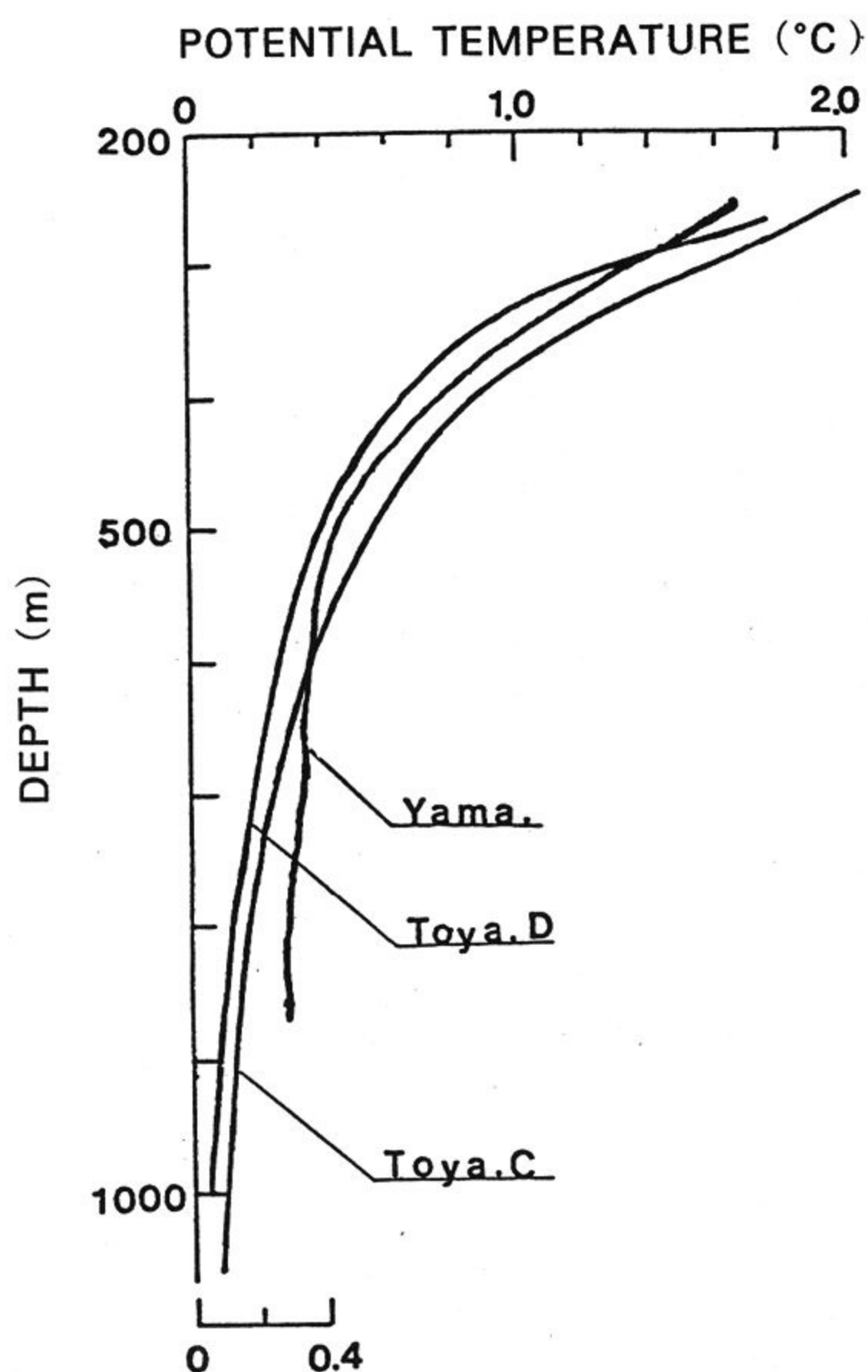


図6 富山湾と大和堆海域の200m以深におけるポテンシャル水温の鉛直分布

Fig. 6 The vertical distribution of the potential temperature below a depth of 200m in Toyama Bay and at a bank called Yamato Rise near the middle of Japan Sea

沿岸に沿って北上したものと考えられる (KAWAI, 1974)。富山湾の上層の高塩分層については後にもう一度検討する。

図9は日本海秋田沖合のT-Sダイアグラムで、下層の水温座標を拡大して別に記した。塩分は表層を除いて、水深170~300mの上層が最も濃く34.25‰で、中層に向かって徐々に減少している。中層からは深層にむかって塩分はさらに少しずつ減少し、800m層で34.10‰以下となる。深層の2,000m以深においても塩分は減少を続け2,500m層で34.05‰程度になり、3,000mの底層でもう少し小さな値になっている。

秋田沖合と富山湾の海洋構造を比べてみると、

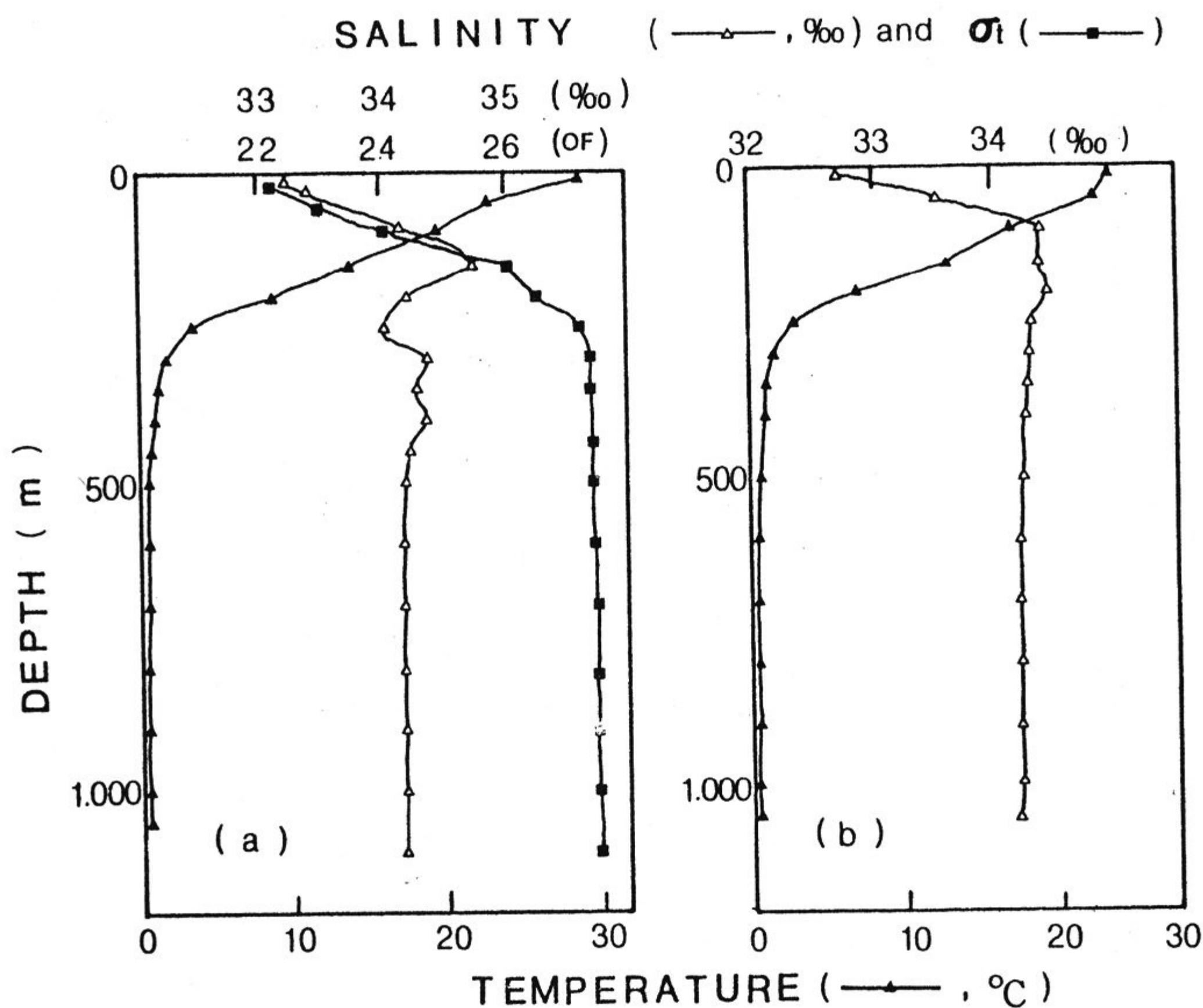


図7 富山湾中央付近の水温、塩分そして σ_t の鉛直分布図
 Fig. 7 The vertical profiles of temperature, salinity and σ_t in the mid-area in Toyama Bay in August, 1983.

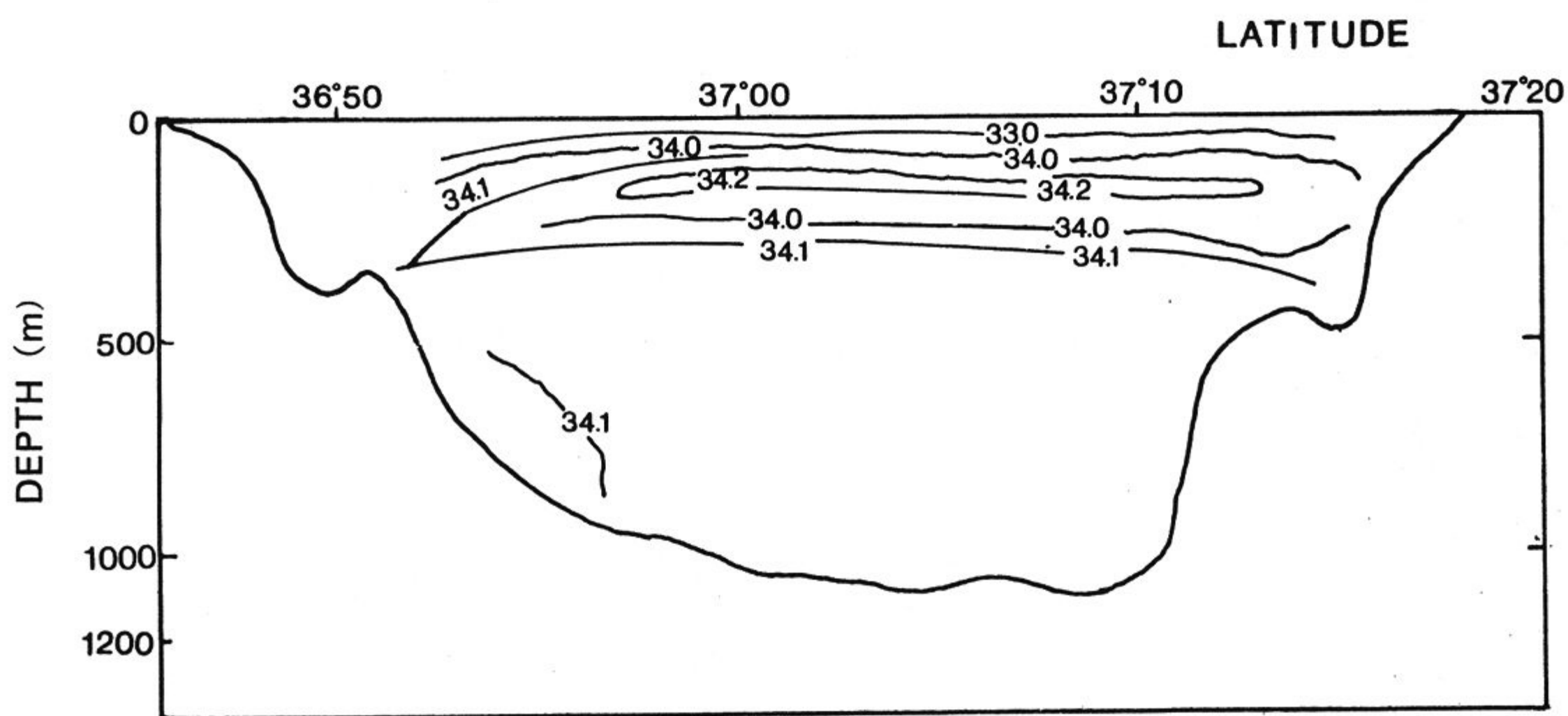


図8 塩分分布の南北断面図，富山湾 137°14'E において
 Fig. 8 South-North section of salinity cross Toyama Bay at 137°14'E in August, 1983

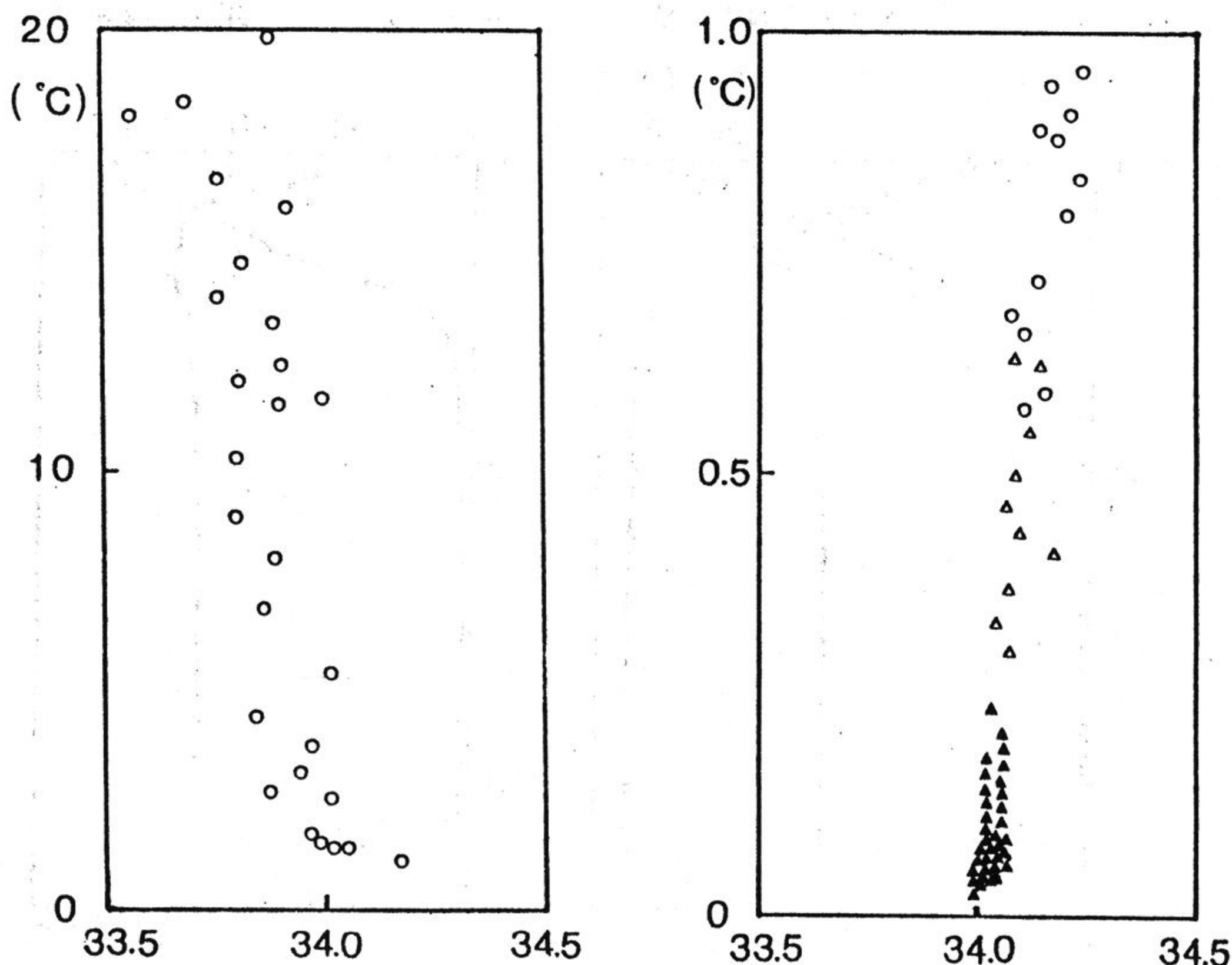


図9 男鹿半島北西水深3,200m海域のT-Sダイアグラム, 1983年9月
Fig. 9 T-S diagram for the water at the station of the depth of 3,200m off Akita in Japan Sea in September, 1983.

全体的傾向は良く似ている。しかし、秋田沖における水深3,200mにおける底層の水の塩分値が、日本海の底層水の塩分値といわれる値に比べて小さいように思われる。

4 考察とまとめ

4.1 太平洋側の水質

まず太平洋沖合の2つの海域における水質について検討してみる。三陸沖合の上層水、水深200m以浅では温度18°C以上で塩分は薄く、表層近くで最小になっている。当海域は沿岸水の影響の及ばない黒潮の沖合で、北太平洋中央水域と考えられるが、極前線が近いと寒流系の水が関係したものとも推定される。

これに対して比較的沿岸寄りの四国沖合の表層水の塩分値は、三陸沖合のそれに比べて高い。四国沖合では水深400m以浅で水温12°C以上、塩分値34.25~35.10‰になっている。当海域はほぼ

黒潮流域であり、上層の水は沿岸水の影響は少なく、黒潮の影響を強く受けたようである。

中層における塩分値は反対に三陸沖合が四国沖合に比べて高い。北太平洋における中層水は、塩分の極小値を持つことで特徴づけられ、その深さは $\sigma_t = 26.8 \text{ g/l}$ の等値面付近であるといわれる(REID, 1965)。黒潮海域においては、その塩分極小値は34.0~34.1‰で水深800mぐらいであることをSVERDRUPら(1942)は示している。

図4の駿河湾並びに相模湾の中層水では塩分極小はさらに明瞭ではなくなる。極小値は34.15~34.35‰で水深が700mほどである。沿岸海洋であるため、両湾の表層は陸水の影響で塩分値は低い。中層は全体的に西部北太平洋の平均的な塩分値よりも高い値である。

これらをまとめると、4海域のうちで、ほぼ黒潮流域である四国沖の水が西部北太平洋の典型的な値に近く、黒潮流の沖側においても、沿岸側の

2 水域においても、中層水の塩分値が高かった。

これは、日本近海の極前線水域でつくられた亜寒帯中層水が北太平洋を循環しながら塩分を増していくことを考えれば納得しうることである。相模湾や駿河湾のように陸地と黒潮に囲まれた半閉鎖水域に、亜寒帯中層水が到達する過程において陸水及び黒潮の影響を受けた水の混入が考えられる。さらにもう1つの原因として、駿河トラフにおける流れの例(図5)に示したように、流れと海底地形との作用によって混合が生じる可能性も十分にある。

表層の塩分については、相模湾の100 m層の水温、塩分が、黒潮の流路の変化に従って変動する例が示されている(KAWABE et al., 1987)。

4.2 日本海における水質

富山湾、秋田沖のいずれにおいても中層および深層における水は、水温2℃以下、塩分34.10‰前後の日本海固有水である。秋田沖における中層および深層の塩分は、深さの増大と共にわずかに減少しているが、富山湾においてはほとんど変化がない。また、秋田沖では2,000 m以深においても、底層に向ってわずかながら減少を続けている。これは深層水における一般の概念とは異なる状態である。

ただし、このことについては、平均滞留時間が300年ともいわれる日本海底層水に(Gamo, 1983) 海底からしみ出した水でもあれば、これによって塩分が薄められることも考えられる。この付近には、過去に海底岩盤を破壊した大きな地震の痕跡が深海カメラにより認められているが、それとの関係の有無はまだ分らない。

今度は富山湾の水が、かなりの湾流があるにもかかわらず、その中層や底層における塩分値が小さくならない理由について考えてみたい。

富山湾は水域の3/4近くを陸地に囲まれており、湾内には雪解け水の湧出や土石流が生じることがあるといわれている。しかし、これらの現象が湾の中層以深の水に影響を及ぼすことは考えにくい。上層の水が中層あるいは下層に影響を及ぼす可能性としては、下記の現象が挙げられる。

たとえば当湾の150 m層にみられるような高塩分層(図7または図8)の水塊が、周囲の低温の

水塊と接触して混合が生じると、混合水は以前の密度よりも大きくなって沈降が生じることがある。

富山湾は対馬海流による高い塩分値の水塊の到達する海域であり、冬期には風による蒸発と冷却は著しい。このことから、当湾では密度不安定が生じること十分考えられる。当湾の上層には沿岸に沿った反時計回りの循環流も認められているので、長い期間に少しずつ塩分が下方へ補給される可能性はある。

5 謝 辞

本報告に用いたS T Dの資料は深海曳航調査及び潜航調査によって得られたものである。調査を行われた、あるいはご協力を下された深海研究部、運航部の方々に御礼を申し上げます。資料の整理および作図等では、同室の神宮忍女史のご協力を得ました。同女史に感謝の意を表します。

参考文献

- Aota, M., (1984): Oceanographic Structure of the Soya Warm Current, Bull. Coastal Oceanogr., vol. 22 (1), pp. 30-39.
Gamo, T. and Horibe, Y., (1983): Abyssal Circulation in the Japan Sea, J. Oceanogr. Soc. Japan, vol. 39, pp. 220-230.
Kawabe, M. and Yoneno, M., (1987): Water and Flow Variations in Sagami Bay under the Influence of the Kuroshio Path, J. Oceanogr. Soc. Japan, vol. 43, pp. 283-294.
Kawai, H., (1972): Hydrography of the Kuroshio Extension, KUROSHIO, pp. 235-352.
Kawai, H., (1974): Transition of current images in the Japan Sea, In, the Tsushima Warm Current—Ocean structures and fishery, ed. by Fishery Soc. Japan, Koseisha-Koseikaku, pp. 7-26 (in Japanese).
Nitani, H., (1972): On the deep and bottom waters in the Japan Sea. In, Research in Hydrography and Oceanography, ed. by Shoji, D., Hydrographic Department of Japan, pp. 151-201.
Odamaki, M., (1984): Tide and Tidal Current in the Tsugaru Straits, Bull. Coastal Oceanogr., vol. 22 (1), pp. 12-22.
Reid, J. L., (1965): Intermediate waters of the Pacific Ocean, Johns Hopkins Oceanographic Studies, 2, pp. 85-86.

Suda, K., (1932): On the bottom water in the Japan Sea, J. Oceanogr., vol. 4, pp. 221-241.

Sugimoto, T. and Kawasaki, Y., (1984): Seasonal and year-to-year Variations of the Tsugaru Warm Current and Their Dynamical Interpretation, Bull. Coastal Oceanogr., vol. 22 (1), pp. 1-11.

Sverdrup, H. U., Johnson, M. W. and Fleming, R. H., (1942): The Oceans, Prentice-Hall, New York, pp. 739-745.

Tawara, S., Miita, T. and Fujiwara, T., (1984): Oceanographical Structure and Its Variabilities of the Tsushima Strait, Bull. Coastal Oceanogr., vol. 22 (1), pp. 50-58.

(原稿受理 1988年4月15日)