

## 富山湾の深度300mにおける水温変動

内山 勇\*

(1998年3月12日受理)

Variation in Water Temperature at 300 Meter Depth in Toyama Bay

Isamu UCHIYAMA

### Abstract

Hydrographic data on the monthly and horizontal variation in water temperature at 300 meter depth in Toyama Bay from 1987 through 1996 were analyzed. The results were found to be as follows:

(1) At 300 meter depth in Toyama bay, the temperature varied within the range from 0.61 °C to 5.13 °C and the frequency of temperature being lower than 1.50 °C was 56.5% against 43.5% for temperature higher than 1.50 °C (N=1,569). It was supposed that the latter water contained non-Japan Sea Proper Water. (2) The temperature at 300 meter depth showed seasonal changes with a peak occurring during January to May and a trough occurring between June and December. These seasonal changes occurred in 9 out of 10 seasons, although the range of change fluctuated by the year. (3) The monthly change in horizontal mean temperature was correlated with a monthly change in horizontal standard deviation in temperature. (4) In the case involving horizontal distribution of ten higher temperatures, there were one or two warm/cold water areas, but their locations varied with the season. Therefore it is supposed that warming of water at 300 meter depth is caused by the sinking of upper warm water influenced by the Tsushima Warm Current.

Key words: Toyama Bay, Warming of water at 300m depth, JSPW, Sinking of warm water, Tsushima Warm Current

富山湾（この研究で扱った富山湾の範囲は北緯37° 15'以南，東経137° 47'以西の海域である）は，本州日本海側のほぼ中央に位置し，本州日本海側では若狭湾に次ぐ大きな湾である。富山湾は最大水深が約1,200mに達し，大陸棚が狭くしかも急深で，湾奥部には多数の海底谷が存在している。

富山湾には，上層に温暖な対馬暖流水が，下層に日本海固有水が分布している（今村ら 1985，奈倉・長田 1989，内山 1997）。そして深度300m（以下，300m深のように表記する）の水温は，月毎の累年平均値で見ると，周年1～2℃台で季節変動が小さい（今村ら 1985，内山 1997）。しかし変動が小さいとはいえ，富山湾の300m深の水温は，月毎の累年平均値で見ても

---

\* 富山県水産試験場 (Toyama Prefectural Fisheries Research Institute, Namerikawa, Toyama 936-8536, Japan)

(今村ら 1985, 内山 1997), 観測毎にみても (奈倉・長田 1989), わずかながら季節的な変動を示している。

富山県水産試験場では, 1995年に完成した深層水利用研究施設において, 距岸2,630m, 321m 深の海底から日量約3,500トンの海水 (以下, 「深層水」とする) を汲み上げ, 深海/冷水性生物の種苗生産・中間育成, ならびに栽培漁業や資源管理型漁業の推進のための生態学的基礎研究が行われている (藤田 1998)。この施設に取水された「深層水」の日単位の観測では, 最大4℃程度に達する不規則な水温変動が観測されている (Ohtsu 1997)。さらに, 時間単位の連続観測においては, 水温や塩分のほかに, pHや溶存酸素の変動も観測されている (大津 私信)。

このような「深層水」の性状の変動は, 表層海水に比べて小さいとはいえ, 「深層水」の特徴の1つが「性状の安定性」であることを考えると, 見過ごすことのできない現象である。また, 富山湾の深層域には, ベニズワイ *Chionoecetes japonicus*, シラエビ *Pasiphaea japonica*, ホッコクアカエビ *Pandalus borealis*, トヤマエビ *Pandalus hypsinotus*, ズワイガニ *Chionoecetes opilio elongatus*, バイ類, スケトウダラ *Theragra chalcogramma*, マダラ *Gadus macrocephalus*などの冷水性有用生物が生息している (富山水試 1991)。富山湾の深層における水温変動の特徴を明らかにすることは, 深層水利用研究施設に取水された海水の特性を評価するうえでも, 深層に生息する有用生物の生活環境を把握するうえでも大きな意義がある。

Table 1. Dates (upper) and number of stations (lower) at which observations were made from February 1987 through December 1996 at 300m depth in Toyama Bay.

Year	Month											
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
1987	-	2-3 14	2-3 12	2-3 14	A/30-M/1 14	1-2 14	1-2 14	3-4 14	2-3 14	S/30-O/1 13	7-8 14	N/30-D/9 14
1988	-	1-2 13	2-3 12	4-5 14	6-7 14	1-2 14	J/30-J/1 12	1-2 14	2-3 14	5-6 13	O/31-N/1 14	1-2 14
1989	9-10 14	1-2 12	6-7 14	4-5 14	8-9 14	M/31-J/1 14	3-4 14	1-2 14	A/31-S/1 12	4-5 14	6-7 14	6-7 14
1990	8-9 14	1-2 12	F/28-M/1 14	3-4 14	1-2 12	5-6 14	2-3 14	1-2 14	A/30-31 14	2-3 14	1-2 14	5-6 12
1991	-	J/30-31 12	-	2-3 14	7-8 14	M/30-31 14	1-2 14	1-2 14	A/29-30 14	1-2 12	O/30-31 12	2-3 14
1992	6-7 12	5-6 12	3-4 14	2-3 14	6-7 12	2-3 14	J/29-30 14	5-6 14	1-2 14	6-7 14	4-5 14	1-2 14
1993	6-7 7	3-4 12	3-4 12	5-6 14	A/27-28 14	M/31-J/1 14	1-2 14	2-3 14	1-2 14	4-5 14	4-5 12	2-3 12
1994	5-6 12	1-2 13	2-3 14	4-5 14	A/26-27 14	M/30-31 14	4-5 14	1-2 14	5-6 14	3-4 14	1-2 14	1-2 14
1995	9-11 10	2-3 14	6-7 14	4-5 14	A/27-28 14	M/30-J/1 14	3-5 14	1-3 14	A/30-S/1 14	S/25-27 14	6-8 14	4-6 14
1996	11-12 14	J/29-30 12	6-7 14	2-4 14	A/30-M/2 14	3-5 14	1-2 14	J/29-30 14	2-4 14	S/30-O/1 14	5-8 14	3-4 14

本研究では、富山県水産試験場が月に一度行っている富山湾の海洋観測資料を用い、富山湾の300m深における水温変動の実態を調べたので、その結果を報告する。

## 材 料 と 方 法

解析に用いた資料は、1987年から1996年までの間、富山県水産試験場が原則として月毎に富山湾内の海洋観測点において観測した300m深の水温値である。海洋観測は、当場所属調査船立山丸（156.38トン）のCTD（Niel Brown社製MkⅢB）を用いて行った。観測点の位置をFig.1に、観測の日付および月毎の観測点数をTable 1に示した。観測は毎月上旬に実施することを原則としたが、欠測月や欠測点があり、実際に観測が行われた点数は予定点数（14点×12月×10年＝1,680点）の93%であった。また、ある月の観測をその前月の下旬あるいはその月の中旬に行った場合が28回あった。しかしここでは、それらも観測を予定した月の資料として取り扱った。なお、1986年以前にも同じ定点で海洋観測は行われていたが、深度測定誤差の小さなCTDが用いられたのが1987年以降であったので、ここでは1986年以前の資料は用いなかった。

解析対象とした10年間の観測には、同一のCTDを用いたが、CTDの更正を定期的には行わなかった。しかし、一例として1987～1996年のStn.Aの300m深の水温観測値を見ると（Fig.2）、変動が認められるものの、傾向的な変化は認められなかったため、研究対象とした期間において、水温測定における器差は一定であったと判断し、観測値は特に補正しなかった。

## 結 果 と 考 察

**水温の頻度分布** まずはじめに、富山湾の300m深の水温がどの程度の変動幅を持ち、どのような頻度分布の形を示しているかを調べた。1987年2月から1996年12月の間に、全ての観測点（Fig.1）の300m深で得られた1,569データの水温の頻度分布と頻度の累積曲線をFig.3に示した。観測水温の最小値は0.61℃、最大値は5.13℃であった。分布型は単峰型で、モードは1.25℃（階級の中央値、以下同じ）にあったが、左右対称ではなく右に裾が広がる分布を示した。水温範囲毎の出現頻度は、1.5℃未満が56.5%と最も多くを占めたが、1.5℃以上2℃未満は26.3%、2℃以上も17.2%出現した。モード1.25℃の階級を挟んで上下0.2℃の範囲では、分布の対称性が認められた。これらのことから、富山湾の300m深には、1.25℃にモードを持つ相対的に均質な水が最も多く分布するが、1.5℃を超え最大5℃台に達する水も、水温が高くなるにつれ出現頻度が小さくなるものの、相当出現することがわかった。

日本海固有水の水温は、朝岡（1987）によると1.5℃以下、川辺（1987）によると0～1℃、最近の尹（1997）の報告では温位0.10～0.15℃とされているなど、厳密な定義があるわけではない。これは、日本海固有水といっても、分布する水深や場所の違いによって、性状に若干の差異があることによると考えられる。しかし、日本海固有水は、深層域において分布量が多く、低温で相対的に均質な水と考えられるので、今回の研究で見いだされた、モードが1.25℃付近の水を、日本海固有水ないしはこの水起源の水と考えることができる。そして、モードを挟んだ分布の対称性や、朝岡（1987）の水温値を考慮して、この水の温度の上限を1.5℃とすると、富山湾の300m

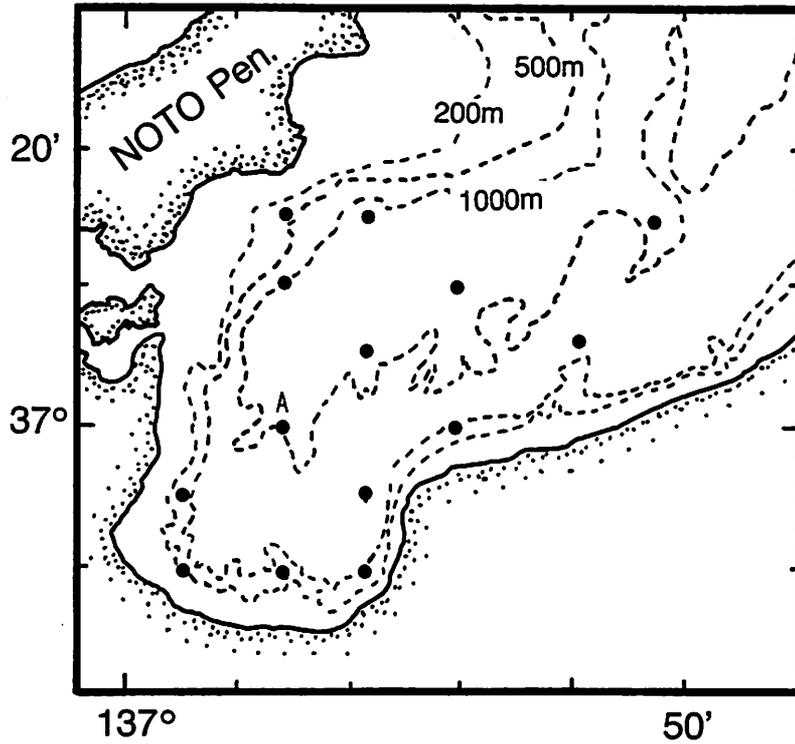


Fig. 1 Location of observation stations in Toyama Bay. Data collected at station A were used to estimate instrument error (Fig. 2), and to show isopleth (Fig. 8).

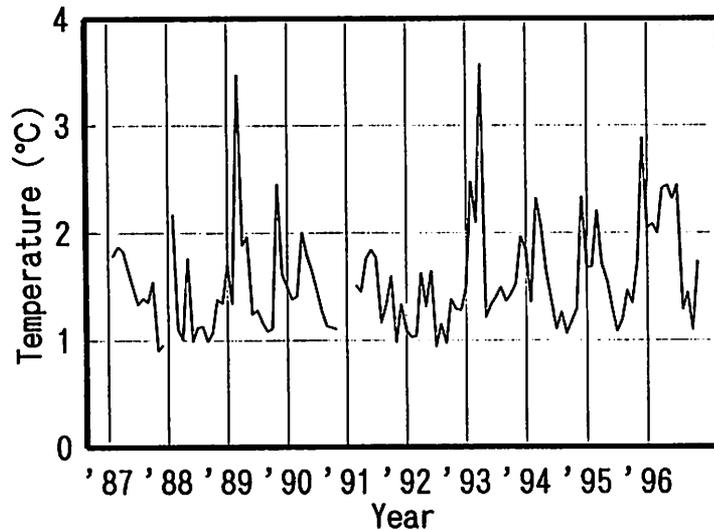


Fig. 2 Time series of temperature readings at observation station A (Fig. 1) at 300 meter depth in Toyama Bay.

深におけるその出現頻度は、56.5%と最も多くを占めていることが指摘できる。一方で、少なくとも1987～1996年の月別点別の資料には、富山湾の300m深で、分布型や水温値からみて、日本海固有水とするには疑問がある1.5°C以上の水が、43.5%の頻度で出現していたことは注目値する。これらの事実は、富山湾の300m深が、安定的に日本海固有水が分布する深度ではなく、日本海固有水と非固有水の境界層であることを示している。

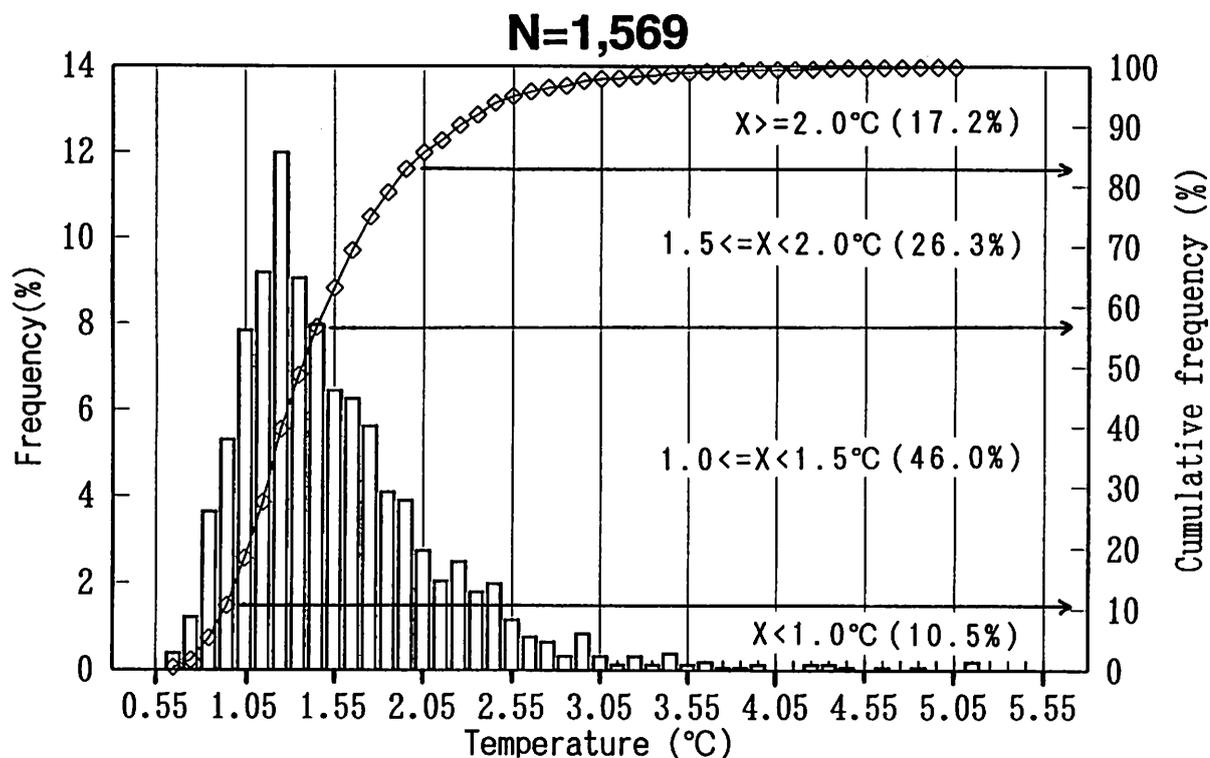


Fig. 3 Distribution of monthly temperatures from 1987 to 1996 at fourteen stations ( Fig. 1) in Toyama Bay.

**湾内水温の時間変動とその水平的なバラツキ** 次に富山湾の300m深の水温がどのような時間変動をし、それが水平的な水温値のバラツキとどのような関係を持っているかを調べた。1987年2月～1996年12月の、月毎の観測で得られた全観測点の平均水温（以下、湾内平均水温という）と、標準偏差（水平的なバラツキの指標）の時系列変動を Fig. 4 に示した。湾内平均水温は 0.90℃（1988年6・11月，1992年8月）～3.94℃（1993年5月）の範囲で変動した。湾内平均水温は1ヶ月ごとに上下することもあったが、数ヶ月継続して上昇や下降がみられることが多かった。また、湾内平均水温は年の前半に高く後半に低いことが多かったが、1992年はこの傾向が認められなかった。またこの傾向は、1987～1992年に比べて、1993～1996年により明瞭に認められた。標準偏差の時系列変動は湾内平均水温の時系列変動と良く対応し、高い正相関（ $r = 0.8$ ,  $P < 0.0001$ ）を持つ直線回帰を示した（Fig. 5）。

富山湾の300m深の水温変動に、月単位以上の継続性のある場合が多かったことから、その原因も、月単位以上の継続性を持つことが推定される。また、湾内平均水温とその標準偏差の変動が対応していた事実は、この現象の水平的な構造を知る上で重要な知見であり、300m深の水温が上昇するとき、この水深帯では、高い確率で冷たい水と暖かい水が混在して分布していたことが推定できる。

今回の結果では、月ごとにみた300m深の湾内平均水温の変動幅が、最大で3℃以上に達していた。この値は、月別の累年平均値に認められる、たかだか1℃程度の変動幅（今村ら 1985, 内山 1997）を遥かに凌いでいた。累年平均値でみれば安定性が高いように見える富山湾の300m深の水温も、年によって異なるものの、実際には大きな時間変動を示す場合があることがわかった。

**湾内平均水温と標準偏差の季節変動** 富山湾の300m深の水温やその水平的なバラツキには、

季節的な変動パターンが存在するらしいことが示唆された。そこで、次にこれらの季節変動の特徴を調べた。湾内平均水温およびその標準偏差の経月変動を、それぞれの月毎の累年平均値とともに Fig. 6 に示した。湾内平均水温には、年による変動が1～5月に大きく、6～12月は小さくなる傾向が認められた。また湾内平均水温の累年平均値は、1～5月に高く、その後9月まで下降し11月まで低く、12月には再び上昇する季節的な変動を示した。湾内平均水温の年による変動

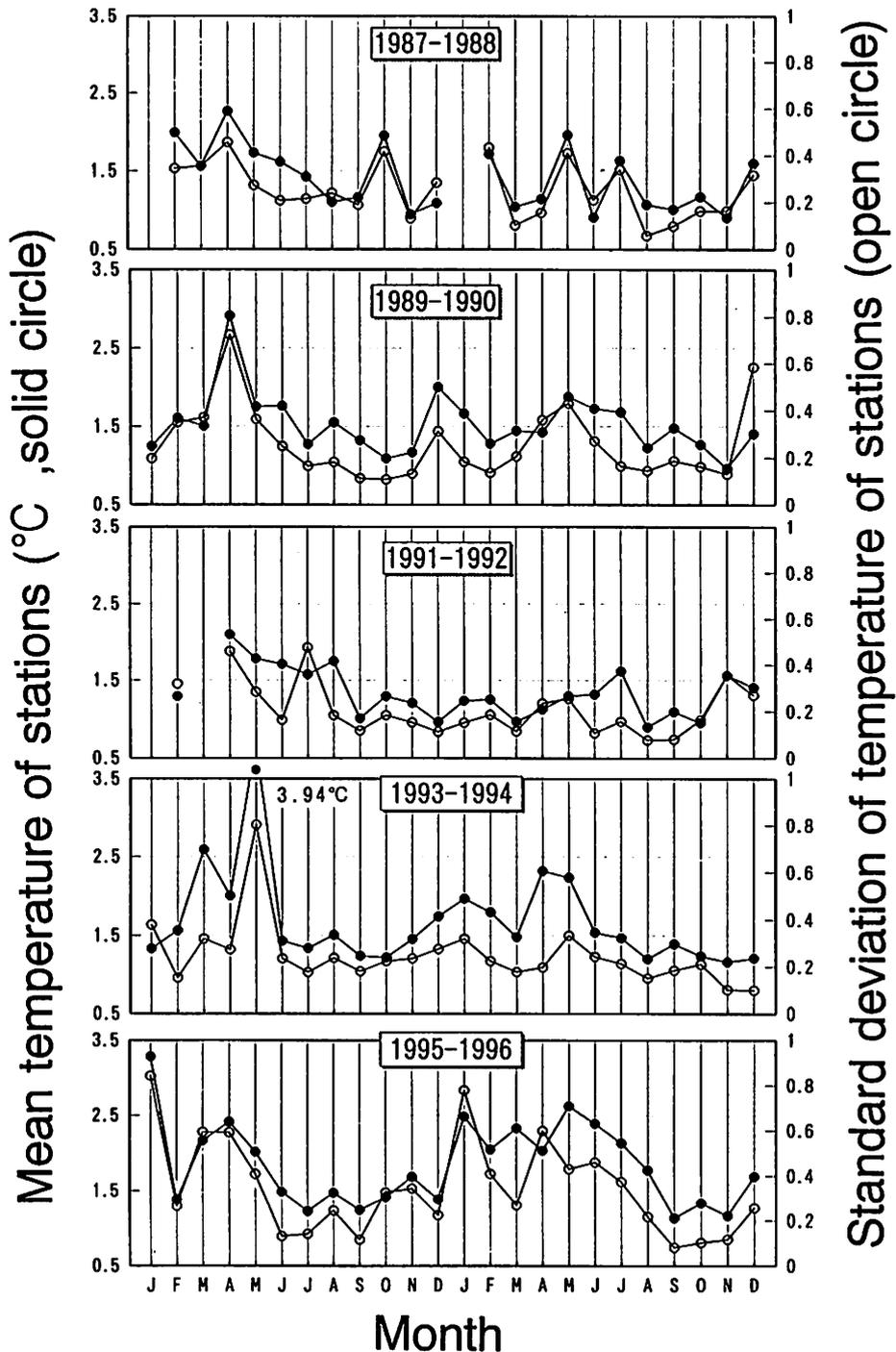


Fig. 4 Time series of mean temperature readings at fourteen stations versus standard deviation at 300 meter depth in Toyama Bay.

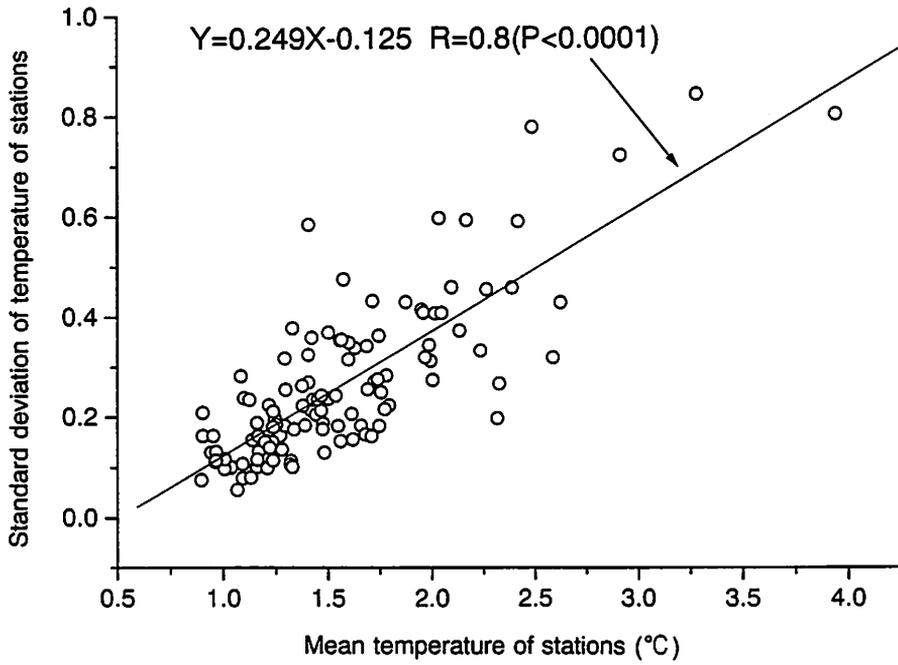


Fig. 5 Relationship between mean temperature at fourteen stations versus standard deviation at 300 meter depth in Toyama Bay.

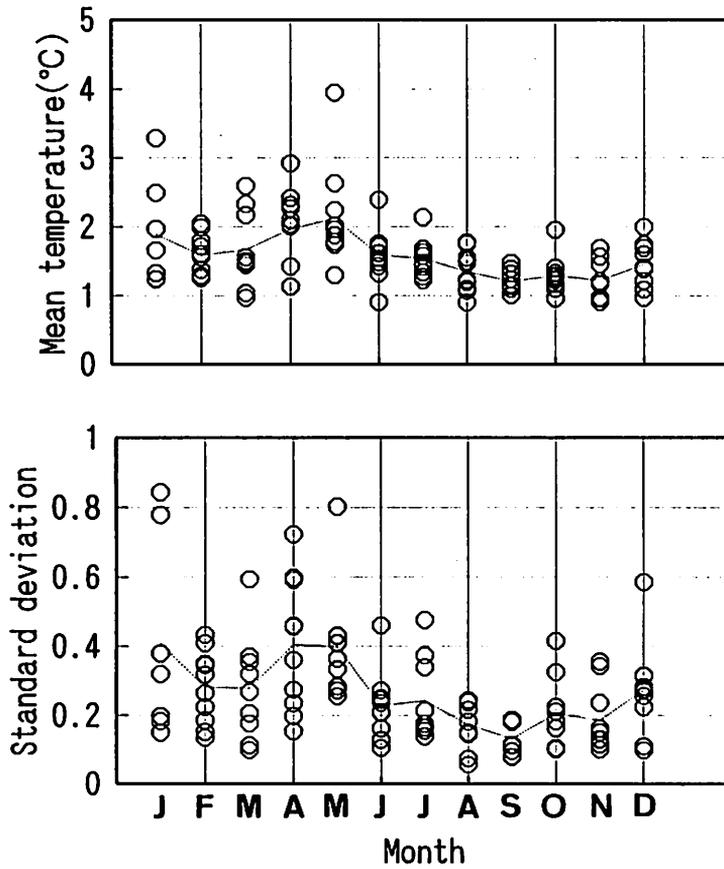


Fig. 6 Monthly change in mean temperature at fourteen stations (upper) and standard deviation (lower) at 300 meter depth in Toyama Bay.

と湾内平均水温の累年平均値をあわせてみると、湾内平均水温の累年平均値が低くなる9・10月には、年による変動が小さかった。しかし、湾内平均水温の累年平均値が高くなる1～5月には、年による変動が大きいというえに毎年水温が高いとは限らなかった。

標準偏差では、湾内平均水温よりも年による変動が大きかったが、年による変動も月毎の標準偏差の累年平均値の変動も、湾内平均水温の場合とよく似た変動の傾向を示していた。特に9月に、標準偏差の年による変動も累年平均値も小さくなる点が、湾内平均水温の場合と共通していた。

今回の結果と同様な水温の季節的な変動は、1953～1981年の富山湾内300m深の月別累年平均水温にも認められ(今村ら 1985)、このような季節変動は富山湾において経年的に再現性の高い現象であると考えられる。しかし、湾内平均水温や標準偏差の月単位の時系列変動をみると(Fig. 4)、扱った10年の間でも1992年のようにほかの年とは季節的な変動パターンの異なる年があったり、季節的な変動の幅が小さな期間(1987～1992年)と大きな期間(1993～1996年)が認められたりした。これらのことから、富山湾の300m深における水温の時間変動に、季節的な変動成分に加えて、これに比べて変動周期の大きな変動成分の存在することが推定できる。

**水温水平分布** ここまでの検討で、①年による変動があるものの、富山湾の300m深の水温が経年的に再現性の高いと考えられる季節変動を示し、②その際、湾内平均水温の変動と水平的な水温値のバラツキの変動が平行して起こっていることがわかった。そこで最後に、300m深水温が上昇しているとき、実際の水平分布がどのようなものであったかを調べた。扱った月別観測資料のうちで、湾内平均水温が高かった方から10番目までの、300m深の水温水平分布をFig. 7に示した。どの例においても、数マイル～十数マイルの水平規模を持つ、暖水域あるいは冷水域が、1～2ヶ所分布していた。しかし、暖/冷水域とも、湾奥に分布することもあれば、湾中央や沖合に分布することもあり、これらの形成位置は、この10例では一定ではなかった。暖水域と冷水域の形状を比べると、全ての例に共通するわけではないが、1995年1月、1989年4月、1993年3月、1996年1月、1995年4月および1996年3月のように、暖水域が水温水平傾度の比較的大きな円弧状の等温線に囲まれる傾向が認められた。

Fig. 7は、富山湾の300m深で水温が上昇するとき、上層から暖かい水が、下方への突出部を伴って下降していることを示唆している。水平分布の特徴から、この暖かい水の下方への突出部は、高気圧性の渦を形成している可能性がある。これらのことは、Fig. 4から、300m深で水温上昇が起こるとき、高い確率で温かい水と冷たい水が混在していたと考えられたこととも一致する。また、Stn.A (Fig. 1)における水温(900m深まで)の、1994年5月～1998年1月のイソプレット(武野 1997に最近の資料を追加)では、300m深より深い1℃以下の各等温線と200m深前後に位置する5℃の等温線がよく似た変動傾向を示している(Fig. 8)。このことも、上層からの影響が、300m深の水温を変動させていることを推定させる。なおFig. 7で、暖/冷水域の形成位置が一定ではなかった点については、さらに多くの事例を検討して確かめる必要がある。

ところでFig. 7において、水温1.5℃以下の水の分布は1996年1月および1996年6月の2つの観測点でみられただけであった。このことは、300m深の水温上昇が、この10例においては、局所的な暖水の下方への突出にとどまらず、より広域的な暖水の下降を伴って起こっていたことを示している。この点についても、さらに多くの事例を検討して確かめる必要がある。

**論 議** ここまでの結果から浮かび上がった、富山湾の300m深における水温変動の全体

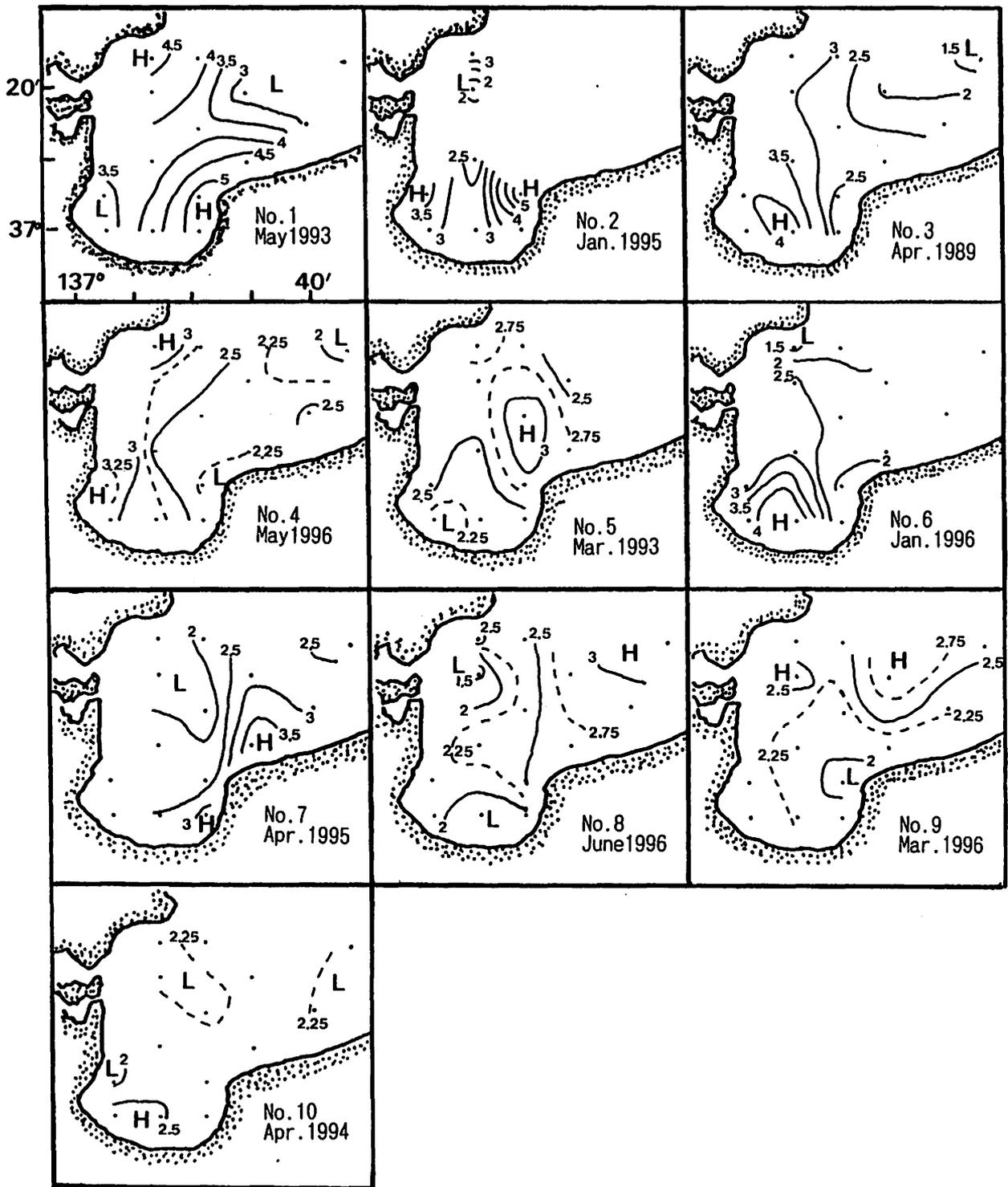


Fig. 7 Horizontal distribution of ten cases of higher temperature at 300 meter depth in Toyama Bay.

像をまとめると以下のとおりである。富山湾の300m深には、水温モード1.25℃で1.5℃未満の日本海固有水と考えられる水が、観測データのうちの56.5%の頻度で出現していた。一方で、1.5℃以上の日本海固有水とは言い難い水が、43.5%の頻度で出現していた。300m深における水温変動は、月単位以上の継続時間を有する場合が多く、冬から春に暖かく、夏から秋には冷たくなる

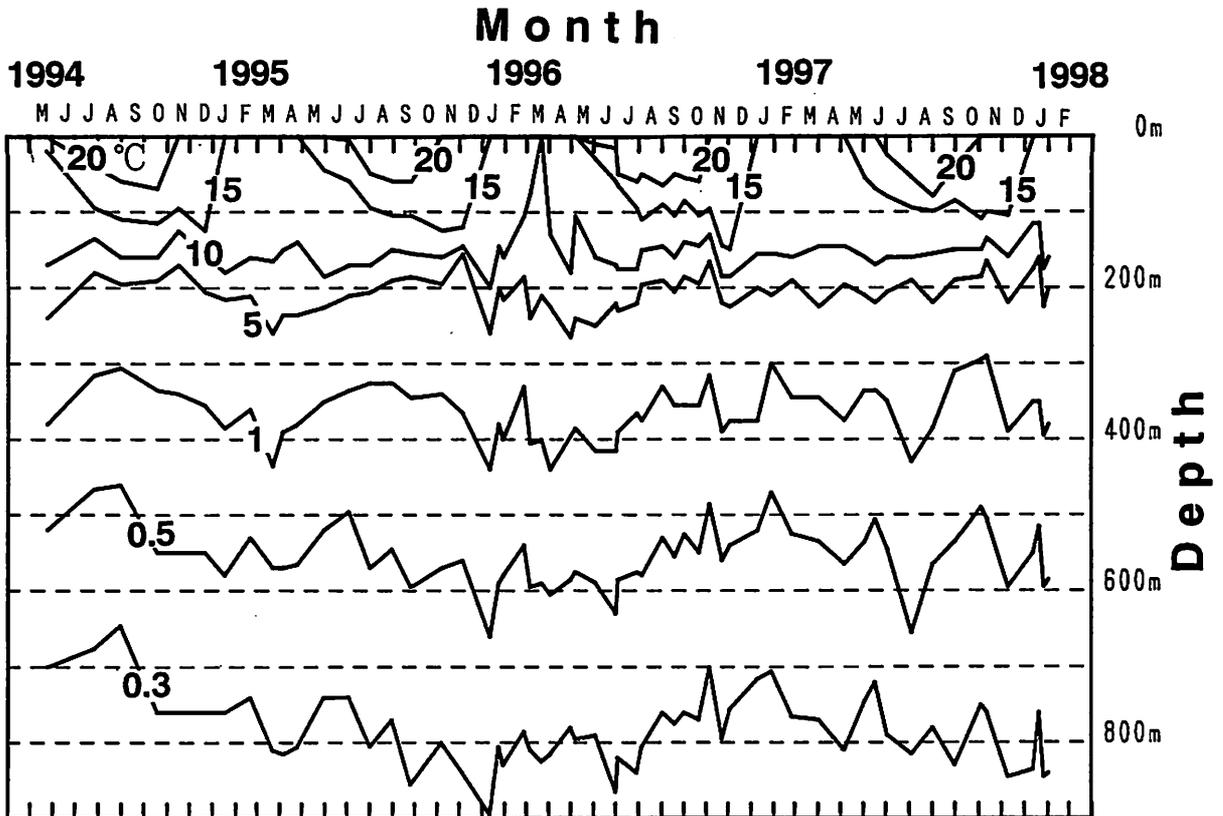


Fig. 8 Isotherm of temperature at station A in Toyama Bay (append recent data to Takeno 1997).

季節的な変動をした。このような季節変動は、年によって変動幅が異なるものの、経年的な再現性が比較的高いと考えられた。また水平的にみると、300m深で水温が上昇するときは、水温の高い上層の水が下方への突出部を伴って下降していた。さらに昇温が著しい場合は、上層の水の下降が、広域的に起こっていた。

富山湾では上層に温暖な対馬暖流水が、下層には日本海固有水が分布している(今村ら 1985, 奈倉・長田 1989, 内山 1997)。従って対馬暖流系水の分布層が季節的に厚くなったときに、300m深の水温が上昇すると考えられる。富山湾で対馬暖流系水の分布層の厚さが変化することについては、まだ明らかではない。ただ、この原因も、300m深の水温変動の特徴と同様に、月単位以上の時間スケールを持ち、季節変動をし、さらに経年的に再現性の高い現象であることが推定される。

次に、本研究で明らかになった事実に基づき、2つの指摘をする。まず、観測深度の問題である。本研究で扱った海洋観測は、もともとは表中層の海洋構造の把握を目的に設計されたもので、水深が300mを超える観測点でも、観測は300m深までしか行われなかった。しかし、本研究の結果からは、たとえ表中層の海洋構造の把握を目的にしても、富山湾においては300m深までの観測では全体の構造を捉えきれない場合が多くあり、不十分であることが指摘できる。ただしこの点は、1997年4月から、月毎の海洋観測においても、最大で1000m深までの観測が行われ対応が図られている。

2点目は、深層水利用研究施設の取水の質の問題である。今回の研究では、月に一度の観測で

さえ、富山湾の300m深には、対馬暖流系水の影響が高い頻度で及ぶことが明らかにされた。このことから考えると、321m深からの取水であるとはいえ、連続して汲み上げられているこの施設の取水への対馬暖流系水の影響は、今回の結果よりもさらに大きいことが十分考えられる。従って、今後取水の性状について、水温や塩分ばかりでなく、容存酸素や栄養塩類などのモニターを継続して行う必要があるだろう。しかし、少なくとも今回明らかになった事実だけに照らしても、取水している「深層水」は純粋な日本海固有水ではない疑いが濃く、「深層水」の利用目的によってはこのことに考慮を払う必要があることを指摘しなければならない。

なお、本研究のCTDを用いた観測では、水温値と同時に塩分値も得られていた。しかし、塩分変動の小さな深層海水の、特に長期間の変動を評価するには、塩分の観測精度に問題がある可能性もあったので、本研究では塩分値を用いなかった。今後、深層の海水を観測対象にしようとする場合は、測器の更正を定期的に行い、精度の高い観測値が得られるよう努める必要があるだろう。また、過去に得られた資料であっても、観測精度を考慮したうえで、塩分の解析を行う必要がある。

## 謝 辞

この研究に用いた海洋観測資料は、富山県水産試験場所属調査船立山丸の、歴代乗組員や調査員の長年の地道な努力によって得られたものです。時として困難な海上作業を、常に責任を持って遂行された乗組員や調査員の努力に敬意を表します。またこの研究をまとめるに当たり、論議に参加していただいた富山県水産試験場漁業資源課の方々、栽培深層水課藤田大介博士、校閲をいただいた當場場長反町稔博士に感謝いたします。

## 要 約

1987～1996年に富山湾の300m深の14点において月毎に観測された水温資料を整理して以下の結果を得た。

1. 富山湾の300m深では、水温の最小値は0.61℃、最大値は5.13℃であった。また水温 1.50℃未満で1.25℃にモードを持つ日本海固有水と考えられる水が56.5%の頻度で出現していたが、水温1.50℃以上の日本海固有水とは言い難い水も43.5%の頻度で出現していた。
2. 300m深の湾内平均水温は、年による変動が大きいものの1～5月に高く、6～12月は年による変動が小さいうえに低かった。このような季節的な変動は、富山湾において経年的な再現性の高い現象と考えられた。
3. 300m深の湾内平均水温の変動は、これに対する標準偏差の変動と高い相関を示した。また、水温が高かった方から10番目までの水温水平分布では、形成位置の一定しない1～2ヶ所の暖／冷水域がみられた。これらのことから、上層からの対馬暖流系水の局所的な下降に伴い300m深の水温が上昇すると考えられた。また、昇温が著しい場合は暖水の下降がより広域的であることが示唆された。

## 引 用 文 献

- 朝岡 治 1987. 海洋の大事典 (和達清夫監修). 384p. 東京堂出版, 東京.
- 藤田大介 1998. 富山県における水産への利用. 海洋深層水'97-富山シンポジウム講演記録集 : 17-22.
- 今村 明・石森繁樹・川崎賢一 1985. 富山湾 II 物理. pp.990-1000, 日本全国沿岸海洋誌 (日本海洋学会 沿岸海洋研究部会編). 東海大学出版会, 東京.
- 川辺正樹 1987. 海洋の大事典 (和達清夫監修). 359p. 東京堂出版, 東京.
- 奈倉 昇・長田 宏 1989. 富山湾における深層水の水温, 塩分等の鉛直分布. 富水試研報 1 : 21-31.
- Ohtsu, J. 1997. Characteristics of Deep Sea Water of Toyama Bay and its Use in Experimental Breeding and Seed Production. Conference Proceedings of IOA97 International OTEC/DOWA Association. Oceanology International 97 Pacific Rim : 119-126.
- 武野泰之 1997. ベニズワイ調査. pp.14-53. 平成 8 年度資源管理型漁業総合対策事業報告書. 富山県.
- 富山県水産試験場 1991. とやまの魚. 110pp. 富山水試.
- 内山 勇 1997. 湾を満たす水の性質. pp.88-91, 富山湾 (藤井昭二編). 振興出版社, 東京.
- 尹 宗煥 1997. 日本海における海洋研究の動向. 水産海洋研究, 61 : 300-303.