

## 四国南西海岸の水溫急変現象\*

柳 哲雄\*\*・秋山秀樹\*\*・武岡英隆\*\*

### Sudden Increase of Water Temperature along the Southwestern Coast of Shikoku\*

Tetsuo YANAGI\*\*, Hideki AKIYAMA\*\* and Hidetaka TAKEOKA\*\*

#### Abstract

The characteristics of sudden change of water temperature along the southwestern coast of Shikoku is investigated with use of observational data at several stations. Sudden increase of water temperature with the period of about 10 days is induced along the southwestern coast of Shikoku by the intrusion of warm water mass from the southern part of the Bungo Channel. Warm water mass intrudes into the northern part of the Bungo Channel in summer with the speed of about 30 cm/sec but it does not intrude into the northern part of the Bungo Channel in winter.

#### 1. はじめに

豊後水道に面した四国南西海岸の宿毛湾や宇和島湾では1日の内に数°Cも湾内水溫が急上昇する水溫急変現象がしばしば発生することが報告されている(秋山・柳, 1984; 秋山ほか, 1987; TAKEOKA and YOSHIMURA, 1988)。四国南西海岸は真珠・ハマチ養殖が盛んで、いずれも日本一の生産額を誇っている。このような水溫急変現象により挿核直後のアコヤ貝は多数死亡し、ハマチの餌食いが著しく低下するので、この現象の機構解明更には現象発生の予報可能性は現地の水産業にとって重要な問題である。

上述の論文においてはこのような水溫急変現象は豊後水道南部の宿毛湾では夏季も冬季も発生するのに対して、北部の宇和島湾では夏季にしか発生しないと報告されている。しかしその理由は明らかにされていないし、豊後水道東岸=四国南西海岸の他の港湾におけるこのような水溫急変現象の実態も明らかにされていない。

同様な水溫急変現象は相模湾(松山・岩田, 1977)、三陸沿岸(四籠, 1980; 永田, 1982)、若狭湾(YAMAGATA *et al.*, 1984)でも報告されていて、このような水溫急変現象は日本沿岸でかなり普遍的に見られる現象であることがわかる。しかしいずれの場合も水溫急変

象の完全な機構解明には至っていない。

本稿においては四国南西海岸のいくつかの港湾における水溫観測データをもとに水溫急変現象の実態を詳細に明らかにすることを試みる。

#### 2. 解析資料

解析に用いた水溫データは宇和島湾(愛媛大学によって距岸100mのハマチ生簀から垂下されたアンデラ流速計を用いて測定されたもの)、下灘湾(下灘青年漁業者協議会によって海岸の真珠いかだから垂下されたサーミスタ温度計を用いて測定されたもの)、宿毛湾の姫島と大藤島(宿毛市によって宿毛一沖ノ島定期連絡船に付けられたサーミスタ温度計を用いて測定されたもの)、足摺岬港(気象庁によって海岸で棒状温度計を用いて測定されたもの)で1985年7月から1986年9月まで観測されたものである(Fig. 1)。

#### 3. 解析結果

観測された水溫記録から毎日午前10時の水溫値を読み取り、全期間の水溫変動を描いた(Fig. 2)。これを見ると北部の宇和島湾では夏季に周期10日程度の水溫変動が卓越しているが、このような水溫変動は南部に行くに従って不鮮明になることがわかる。逆に南部の足摺岬港や宿毛湾外の姫島では冬季周期7日-10日程度の水溫変動が卓越しているが、このような水溫変動は北部に行くに従って顕著でなくなり、宇和島湾では冬季短周期の水

\* 1988年6月20日受理

\*\* 愛媛大学工学部海洋工学教室

Department of Ocean Engineering, Ehime Univ.  
Bunkyo 3, Matsuyama 790, Japan.

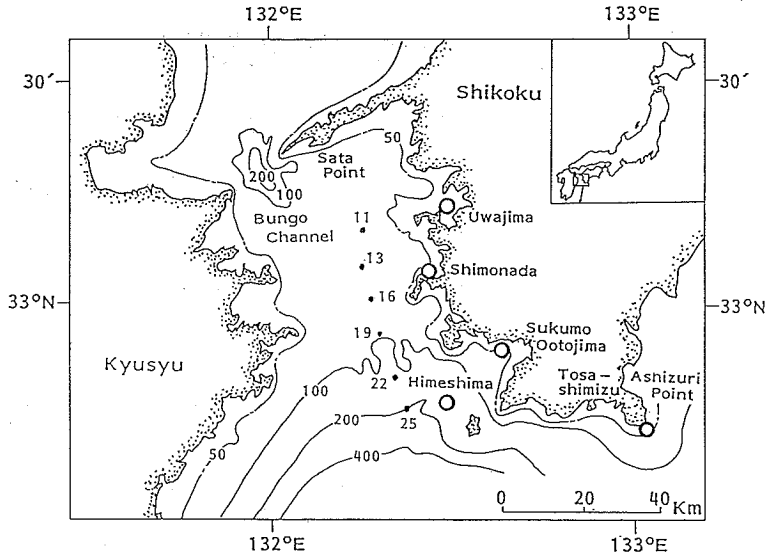


Fig. 1. Observation stations. Numbers with full line show the depth in meter. Black spots with number show the observation stations by Ehime Prefectural Fisheries Experimental Station.

温変動はほとんど存在していないこともわかる。宇和島湾の観測層のみ-10mと他の測点より深い、冬季は鉛直混合が盛んで上下の海水が良く混合されているので、上述の結果は観測層の違いには影響されない。

1985年7月から1986年3月までの256個の水温データを用いて、通常のFFT法によって求めた各観測点のパワースペクトルをFig. 3(各点のスペクトルの縦軸は1桁づつずらして描いてある)に示す。北部の湾ほど、より長周期にスペクトル・ピークを持っていることがわかる。

Fig. 2を見ると各季節毎に水温の変動特性は異なっているので、水温データを1ヶ月毎(32日)に分割し、5日毎ずらしてFFT法により各観測点のダイナミックスペクトルを求めた(Fig. 4)。図中ハッチを付けた部分はスペクトル密度が高い( $2.5^{\circ}\text{C}^2/\text{C.P.D.}$ 以上)部分を示しているが、北部の宇和島湾では夏季にのみ周期7日-15日の水温変動が卓越するのに対して、南部の足摺岬港では冬季にのみ周期7日-15日の水温変動が卓越し、下灘湾、宿毛湾の水温変動は宇和島湾、足摺岬港のその中間的な性格を持っていることがわかる。また宇和島湾のみに注目すると、夏季のスペクトル・ピークが周期5日からより長周期の広い周期帯で見られるのに対し、冬季のそれは周期10日以上の部分でしか見られずしかもそのピーク値は小さい。したがって宇和島湾では夏

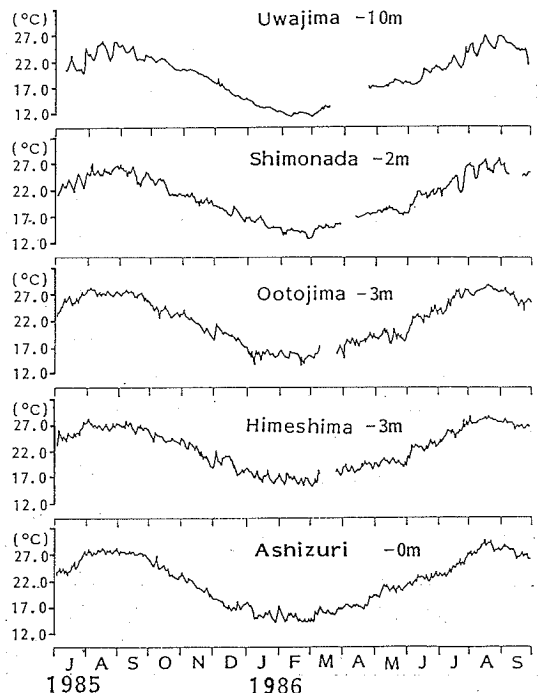


Fig. 2. Temporal variations in water temperatures at 5 stations (see Fig. 1) along the southwestern coast of Shikoku.

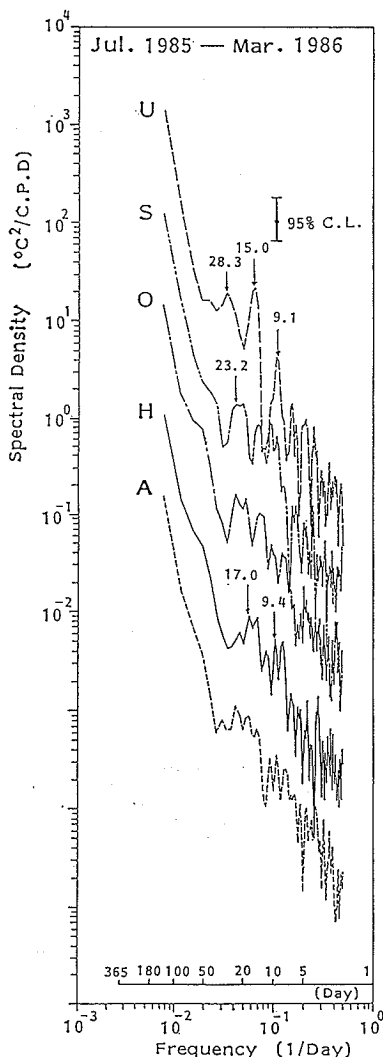


Fig. 3. Power spectra of water temperature variations at 5 stations. U: Uwajima, S: Shimonada, O: Ootojima, H: Himeshima, A: Ashizuri Point.

季により短周期の顕著な水溫変動が卓越することがわかる。これは柳・秋山 (1982) が宇和島湾では夏季に10日—15日周期の水溫変動が、冬季に15日—20日周期の水溫変動が卓越すると報告していることと定性的には一致している。

各観測点の水溫データを用いて相互相関関数を計算し、水溫変動のコヒーレンスと位相差を求めてみた。結果の一例として、各点で共通してスペクトルピークとして存在している9.1日周期変動に関するコヒーレンスと

位相差を Fig. 5 に示す。コヒーレンスはかなり高い値を示しているが、位相差に関しては下灘で最も早く、各点の間で1日以下となっている。このことは後述する実際の水溫急変現象の伝播と矛盾する結果をあたえている。1年間を通じて安定したかつ組織的な水溫変動が存在していないためにこのような不合理な結果が得られたと考えられるがよくわからない。他の周期変動に関しても有意な結果は得られなかった。

そこで顕著な水溫急変現象を幾つか取り出し、生データを直接解析した。Fig. 6(a)~(c)に1985年7月25日~7月31日、1986年1月5日~1月11日、7月25日~7月31日の各点の午前10時の水溫値の変動を示す(足摺岬港と宿毛湾内のデータが1日1個しかないので、このような解析をまず行った)。Fig. 6(a)を見ると1985年7月27日、下灘湾で2°C近くの水溫急変が発生し、2日後の7月29日に宇和島湾で4°C以上の水溫急変が発生していることがわかる。宇和島湾の方が2°Cほど水溫急変の幅が大きいのは、宇和島湾の測定深度が10mで、もともとの湾内水溫が2°Cほど低いためであろう。同様な水溫急変現象は1年後の1986年7月27日~7月29日にも発生している (Fig. 6, c)。一方冬季の水溫急変は豊後水道南部の宿毛湾 (姫島, 大藤島) では見られるものの、北部の宇和島湾では見られない (Fig. 6, b)。

秋山・柳 (1984), 秋山ほか (1987) は宿毛湾における水溫急変現象は夏季も冬季も湾外から湾内に侵入する暖水塊 (その起源は不明) によって引き起こされることを示した。また TAKEOKA and YOSHIMURA (1988) も NOAA9 による衛星写真を解析して、1985年7月29日の宇和島湾の水溫急変現象が豊後水道南部からの暖水塊の侵入によってもたらされていることを示している。ここではこの水溫急変現象のより詳細な位相伝播を見るために、下灘と宇和島で連続的に観測された水溫時系列を15分間隔で読み取り図示した (Fig. 7)。坪井、成はいずれも下灘湾内の観測点を示す。宇和島の-10m層と下灘の-2m層のデータは途中で欠測を含んでいるので、それぞれ-6m層と-5m層のデータを用いた。これによると下灘で水溫が上昇し始めて約20時間後に宇和島で水溫が上昇し始めている。両地点間の距離は約20kmだからこの暖水塊の移動速度は約28 cm/sとなる。TAKEOKA and YOSHIMURA (1988) は宇和島湾に暖水塊が流入する時には約30 cm/sの急潮現象が生じることを報告しているが、今回求められた暖水塊の移動速度は宇和島湾で求められた暖水塊の流入速度と良く一致している。

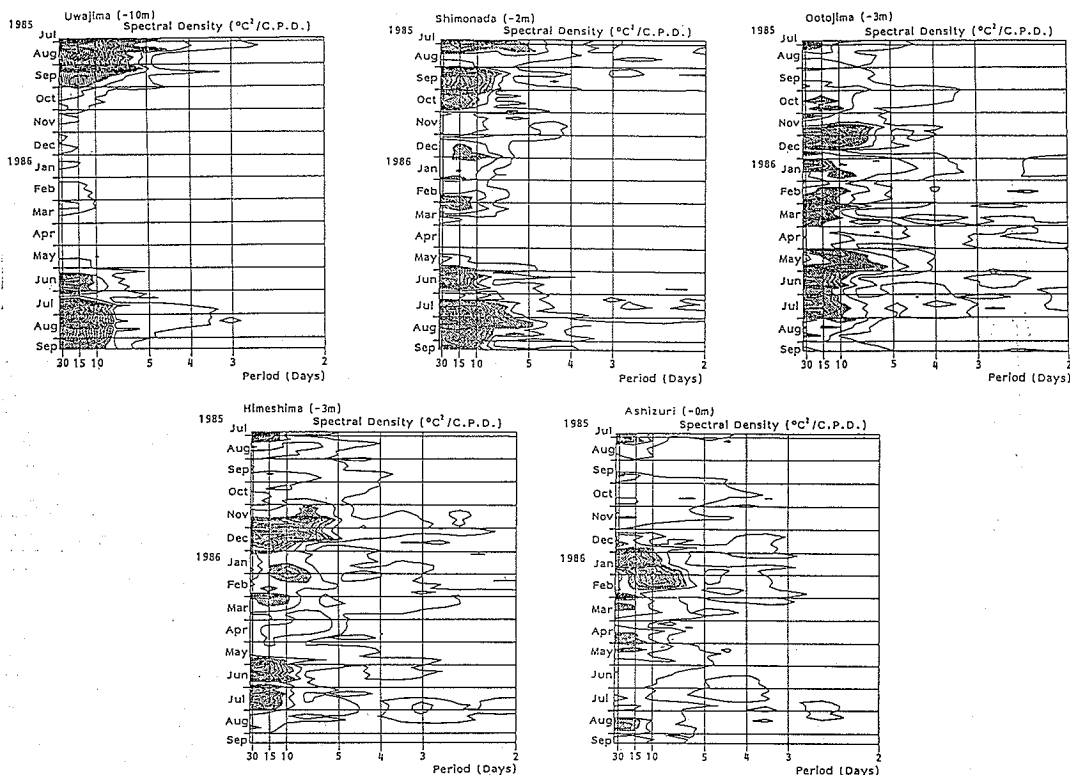


Fig. 4. Dynamic spectra of water temperature variations at 5 stations. Shadow areas denote the region where the spectral density is higher than  $2.5^{\circ}\text{C}^2/\text{C.P.D.}$ .

以上の解析より豊後水道南部に出現する暖水塊は夏季には水道北部にまで侵入して、下灘湾や宇和島湾で水温急変現象を引き起こすが、冬季には宿毛湾までしか侵入せず、水道北部へは顕著な影響を及ぼさないことがわかった。

#### 4. 考察

四国南海岸の水温急変現象の特徴として次のようなことが明らかとなった。1)夏季の水温急変現象は特に宇和島湾、下灘湾など豊後水道中央部から北部にかけて顕著で、周期7日～15日程度で発生し、水温急変現象をもたらす暖水塊の移動速度は約30 cm/s程度である。2)冬季の水温急変現象は特に宿毛湾で顕著に発生し、周期は10日～15日程度で、水温を急変させる暖水塊は豊後水道北部には侵入しない。

暖水塊は夏季には豊後水道北部まで侵入するのに何故冬季には水道北部まで侵入しないのだろうか。暖水塊の移動はその場の密度勾配によって駆動されるから、愛媛

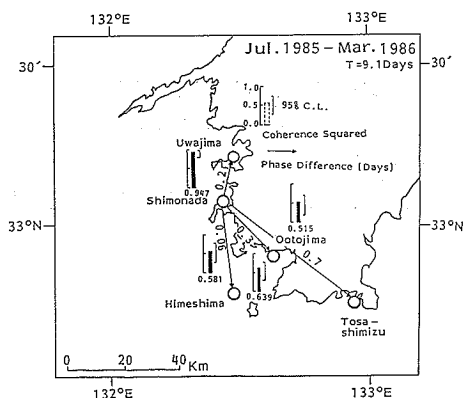


Fig. 5. Coherence squared and phase difference of water temperature variation with the period of 9.1 days. Arrows denote the direction of phase propagation and numbers the phase difference in days.

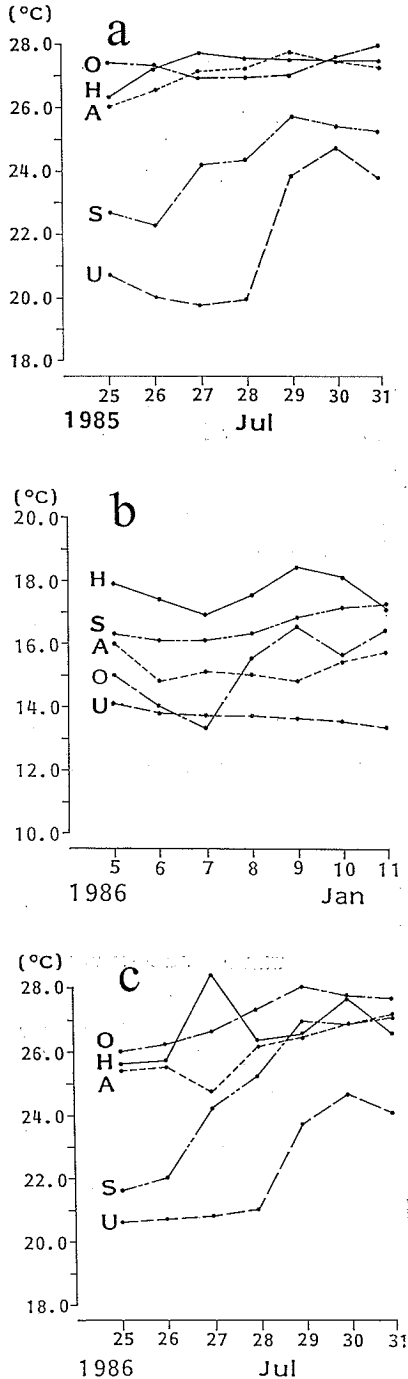


Fig. 6. Day-to-day variations in water temperature at 5 stations from 25 to 31 July 1985 (a), from 5 to 11 January 1986 (b) and from 25 to 31 July 1986 (c). U: Uwajima, S: Shimonada, O: Ootojima, H: Himeshima, A: Ashizuri Point.

県水産試験場が毎月一回行っている浅海定線調査の1985～1986年のデータを用いて夏、冬の3ヶ月平均値を求め、豊後水道表層（水深0 m層）の夏季と冬季の南北の密度分布を調べてみた (Fig. 8)。夏季には豊後水道北部の表層水の密度は南部のそれより大きく南北の密度差は  $\sigma_t$  で1.3に達しているが、冬季には南北の密度はほぼ一様になっている。南北の密度差が大きいということが南からの暖水塊の侵入を容易にすることと関連しているのかもしれない。更に夏季は成層が発達し、冬季は鉛直混合により豊後水道内の海水は一様になるが、成層が発達することも暖水塊の北上を容易にしている一因かもしれない。また冬季豊後水道では北西季節風が連吹するため海洋表層では南西向きの成分を持つエクマン輸送が励起される。この南向きの流れによっても暖水塊の北への移動が妨げられているのかもしれない。いずれにしても暖水塊の北上が夏季のみ見られる理由に関しては数値実験等を行って早急に明らかにしたいと考えている。

また夏季豊後水道北部と南部の水温変動卓越の程度の違いの理由は次のように考えることができる。夏季、豊後水道南部でも短周期の上昇幅の小さい水温急変は多く発生している。水道南部では夏季の平均水温が高いので、水温差の少ない暖水塊が通過しても北部のような顕著な水温変動を生じないのだろう。一方夏季平均水温の低い豊後水道北部では、南部では水温急変を生じないような暖水塊が侵入しても顕著な水温急変現象が発生することとなるのだろう。

### 5. おわりに

以上の解析により四国南西海岸では豊後水道南部に出現する暖水塊の侵入により沿岸の各湾で水温急変現象が引き起こされること、この暖水塊は夏季は水道北部まで侵入するが、冬季には水道北部までは侵入できないこと、暖水塊の移動速度は約30 cm/s であることなどが明らかとなった。

このような知見は四国南西海岸各地で水温の観測を定期的に行い、その連絡体制を確立しておけば、たとえば北部の各湾における暖水塊侵入による水温急変現象は1～2日前に予測可能であることを示している。

今後更に研究を進め、このような水温急変現象のより詳細な力学を解明していきたいと考えている。

本研究を進めるにあたり、貴重な観測データを提供して頂いた下灘青年漁業者協議会、宿毛市、資料整理に協力して頂いた愛媛大学工学部学生松浦由朗氏(現、玉野測量設計(株))に深甚なる謝意を表する次第である。なお本

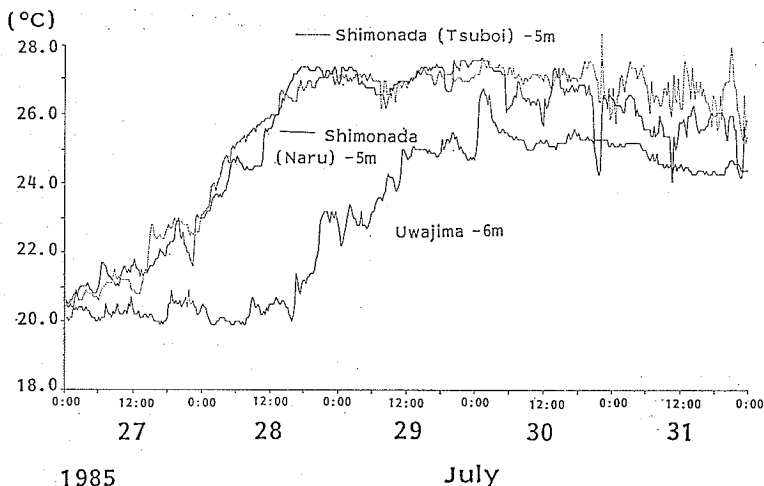


Fig. 7. Detailed temporal variations in water temperature at Uwajima and Shimonada from 27 to 31 July 1985.

研究は文部省科学研究費補助金による重点領域研究「養殖場の物質循環」(課題番号63602537, 研究代表者: 柳哲雄)の一部であることを付記する。

文 献

秋山秀樹・柳 哲雄 (1984) 宿毛湾の水温急変現象の機構. 沿岸海洋研究ノート, 22, 61-66.  
 秋山秀樹・柳 哲雄・中田喜三郎 (1987) 宿毛湾における夏季の水温急変現象. 沿岸海洋研究ノート, 24, 169-181.  
 松山優治・岩田静夫 (1977) 相模湾の急潮. 水産海洋研究会報, 30, 1-7.  
 永田 豊 (1982) 湾内水温の急変現象と外洋条件. 沿岸海洋研究ノート, 19, 103-111.  
 四籠信行 (1980) 大槌湾での測流. 沿岸海洋研究ノート, 18, 1-18.  
 TAKEOKA H. and T. YOSHIMURA (1988) The Kyucho in Uwajima Bay. J. Oceanogr. Soc. Japan, 44, 6-16.  
 YAMAGATA T., S. UMATANI, N. MASUNAGA and T. MATSUURA (1984) Observation of an intrusion of a warmer and less saline water mass into a bay. Continental Shelf Research, 3, 475-488.

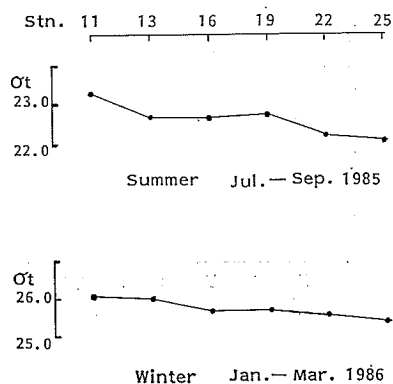


Fig. 8. Horizontal distributions in surface (0 m) density of the Bungo Channel in summer 1985 and in winter 1986. Observations stations are shown in Fig. 1.

柳 哲雄・秋山秀樹 (1982) 豊後水道の海況変動 (I) 一宇和島湾の水溫・塩分変動特性一. 愛媛大学工学部紀要, 10(1), 191-200.