

人工湧昇流発生構造物による海況変化*

柳 哲雄**・中嶋 昌紀**

Change of Oceanic Condition due to the Man-made Structure for Upwelling

Tetsuo YANAGI** and Masaki NAKAJIMA**

Abstract

The change of oceanic condition due to the man-made structure for the upwelling is revealed in the Bungo Channel, the Seto Inland Sea. The big man-made structure of 10m height and of 20m width was set 50m below the sea surface in order to induce the upwelling at the eastern part of the Bungo Channel, the Seto Inland Sea in autumn, 1987. The intensive field observations were carried out twice before the setting of this structure and after the setting. The nutrient is increased in the surface layer due to the setting of this structure and the concentration of chlorophyll a is increased only in neap tide.

1. はじめに

200 海里時代を迎え沿岸漁場の整備, 再開発は我が国の水産業にとって焦眉の課題となってきた。そのような時代の要請に応じて愛媛県と五洋建設(株)は人工湧昇流発生構造物を用いた新たな漁場開発の構想を打ち出した。それは海底上に衝立状の構造物を設置し, 強い潮流と構造物の相互作用で発生する渦を利用した湧昇流を励起して, 海底付近の栄養塩を海洋表層の有光層に持ち込んで植物プランクトンの増殖をはかるというものである。新たな漁場開発の候補地としては豊後水道東部の宇和海, 日振島一御五神島間の海域が選ばれた(愛媛県・五洋建設株式会社, 1987)(Fig. 1)。

人工湧昇流発生構造物設置前の当海域の特徴を明らかにしておくため, 1987年8月8日(満月)~同8月24日(新月)には当海域で精密な海洋観測が行われた。

その後1987年10月には当海域に人工湧昇流発生構造物(マリテックス)が設置された。重さ350t, 高さ10m, 幅20mのL型2基, 重さ240t, 高さ10m, 幅10mのS型2基のマリテックスは水深約50mの海底に Fig. 2に示すように配置された。2基のL型構造物の中心点が Fig. 1

の Stn. 2 の海底に置かれ, 二つのS型構造物はこの中心点から Stn. 1 と 3 の方向にそれぞれ35m離れて設置された。構造物設置の主軸方向であるS29.4°Wは1987年夏季の事前調査で明らかにされた当海域のM₂潮流楕円の主軸方向と一致させてある。上げ潮流, 下げ潮流それぞれの場合に潮流がS型構造物にぶつかって生じる縦渦は流下しつつL型構造物にぶつかり, 横渦となり, 表層に上昇していく。あらかじめ行われた3次元の数値シミュレーションの予測結果によれば, 人工湧昇流構造物による影響範囲は潮流の流下方向に幅100m×長さ500mであると考えられた(愛媛県・五洋建設株式会社, 1987)。

そして人工湧昇流発生構造物の設置による海況変化を明らかにするため, 1988年8月12日(新月)~同8月27日(満月)の間, 1987年の事前調査と同一の調査項目に関して海洋調査が行われた。

ここでは1987年と1988年の調査結果を比較検討し, 人工湧昇流発生構造物設置による海況変化の実態を明らかにすることを試みる。

2. 観測

現地観測の項目は流向・流速, 水温, 塩分, 栄養塩, クロロフィルa, 動物プランクトン, 底棲生物である。

流向・流速観測は湧昇流発生構造物の設置点 Stn. 2 から下げ潮流の主軸方向に沿って100m離れた Stn. 3 の海

* 1989年7月28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.

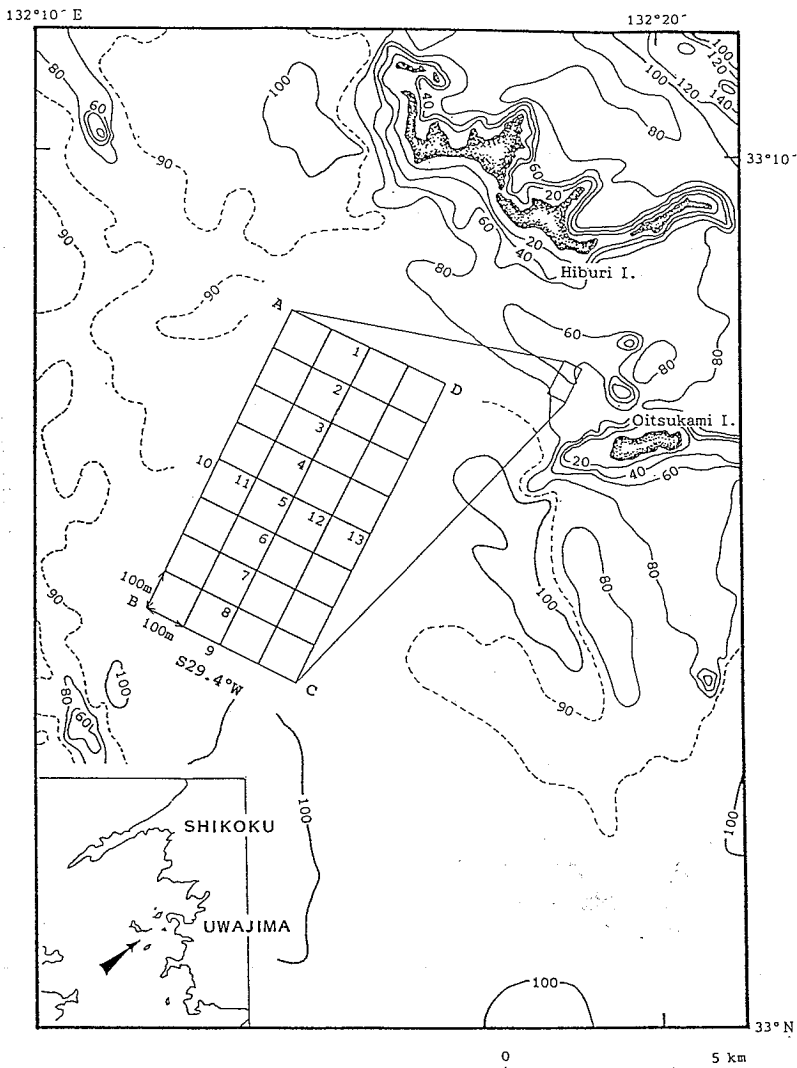


Fig. 1. Observation area. Man-made structure for upwelling was set at Stn. 2.

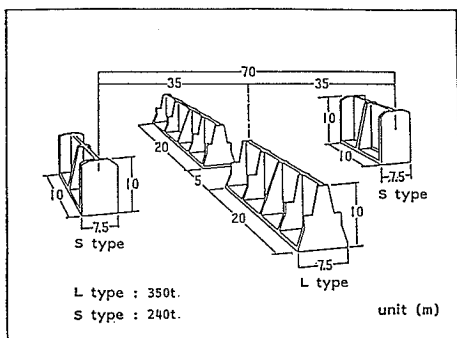


Fig. 2. Scale and arrangement of man-made structure for upwelling.

底上20mと200m離れた Stn. 4の海底上30mにアレック・メモリー電磁流速計 ACM16M-6を設置し、大潮から大潮までの15昼夜行われた。データは5分毎に20秒の間、1秒間隔で得られる20個の流向・流速値をベクトル平均することにより、15昼夜連続して記録された。

水温、塩分、栄養塩、クロロフィルa、動物プランクトンの水平・鉛直分布観測は Fig. 1に示す各点で大潮、小潮のいずれも下げ潮流最盛期に3回行われた。表層(海面下2m)の水温・塩分水平分布観測は Fig. 1の各観測線に沿って愛媛県水産試験場の「よしゅう」を低速で航行させ、海水を連続的に汲み上げ、水温塩分計によ

り測定された。流れの主軸にそった観測点 (Stns. 1~9) と、それと直交する観測点 (Stns. 10~13) の水温・塩分鉛直分布は STD (鶴見精機社製) を垂下させることにより連続的に測定された。また同じ点の栄養塩、クロロフィル a 鉛直分布はナンセン・ボトルを用いて、各層観測 (表層から 5 m 間隔、海底上 1 m まで) を行い、各サンプルを愛媛県水産試験場に持ち帰り、それぞれの成分に関する化学分析を行って求められた。

動物プランクトンに関しては Stns. 1, 3, 5, 7, 9, 10, 13 において丸特ネットの海底からの鉛直曳によりサンプルが得られた後、愛媛県水産試験場において種類数と沈澱量が測定された。底棲生物は兩年とも小潮時に動物プランクトンと同じ観測点でスミス・マッキンタイア一採泥器による採泥を行ってサンプルが得られた。

今回の調査は下げ潮流時のみを考えているために、調査点は構造物設置点から南西方向のみに限った。

3. 観測結果

1987年の湧昇流発生構造物設置前の観測結果と1988年の湧昇流発生構造物設置後の観測結果を比較して明らかになった事柄を以下にまとめて述べる。

3.1 流向・流速

Stns. 3, 4 の15昼夜平均流と主要4分潮の潮流楕円の変化を Fig. 3 に示す。Stn. 3の平均流に関しては流向・流速ともほとんど変化はない。Stn. 4の平均流に関しては流向はほぼ等しいが、1988年の流速は1987年の約7割に減少している。その理由に関してはよくわからない。

潮流楕円の M_2 成分については、両点とも1988年の長軸は1987年のそれと比較して Stn. 3 では3割、Stn. 4 では2割増加している。また K_1 分潮流については両点で約5割流速が増加している。このことは人工湧昇流発生

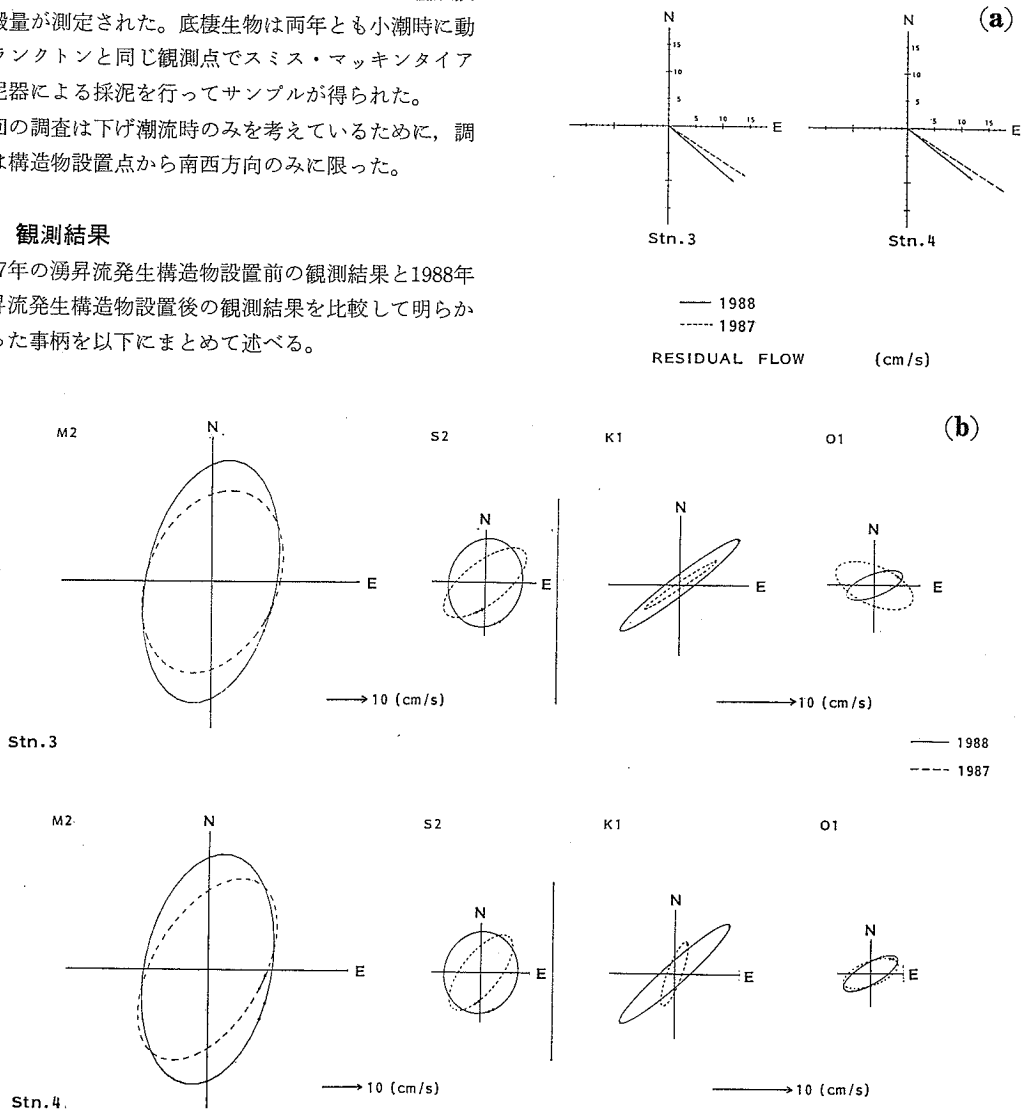


Fig. 3. Change of residual flow (a) and tidal ellipses (b).

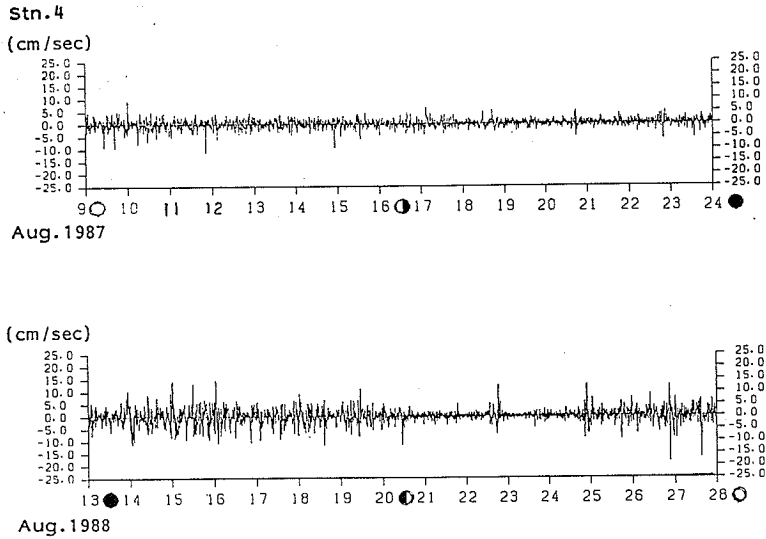


Fig. 4. Change of vertical turbulent velocity whose period is shorter than 2 hours at Stn. 4.

Table 1. Change of standard deviation of vertical turbulent velocity whose period is shorter than 2 hours (cm/s).

	Stn.3	Stn. 4
1987	1.7	1.4
1988	2.6	2.5

構造物の設置により、鉛直方向の断面積が2割減少したために、潮流流速が増加したことに加え、成層の存在によりその影響が構造物のかなり下流まで及ぶことを示していると考えられる。ただ潮流流速の増加がM₂, K₁分潮流のみに見られ、S₂, O₁分潮流は変化していない理由に関しては良くわからない。

潮流流速の増加は鉛直方向の乱れの増加につながっていることが予想される。このことを直接確かめるために移動平均法を用いて、鉛直流速の周期2時間以下の高周波成分を抜き出し、15昼夜の変動を描いた (Fig. 4)。なお測器の不調のため鉛直流速の平均値に関しては信頼出来る測定値を得ることが出来なかった。Fig. 4より、構造物設置後の1988年は1987年と比較して乱れ成分が大きいこと、更に乱れ成分は大潮に大きく、小潮に小さくなっていることがわかる。両年の両点の周期2時間以下の鉛直方向の乱れ成分の標準偏差をTable 1をにまとめた。Table 1より鉛直乱れ成分は5割～8割増加していることがわかる。

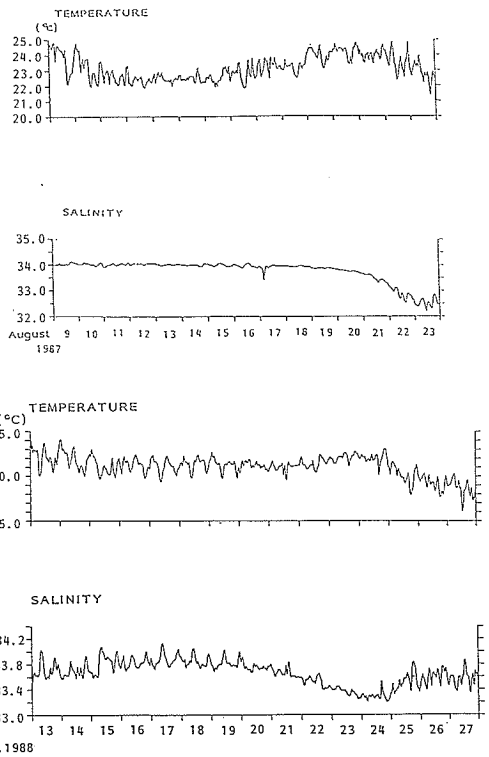


Fig. 5. Change of temporal variations in water temperature and salinity at Stn. 4.

3.2 水温・塩分の時間変動

Stn. 4 の水温、塩分の15昼夜変動の記録を Fig. 5 に示す。水温の変動幅は1987年が22~25°Cであるのに対して、1988年は20~24°Cと大きくなっている。また塩分に関しては1987年は潮流に伴う短周期の変動がほとんど存在していないのに対して、1988年には特に大潮期に塩分差0.2に達する短周期変動が顕著にみられる。水温、塩分のセンサーは海面下30mに設置されているので、後述する塩分鉛直断面分布から考えると塩分差0.2の時間

変動は潮流最強時に40m以深にある底層水が30m深程度まで湧昇してくることを示唆していると考えられる。

3.3 水温・塩分・密度の鉛直分布

兩年の対応する大潮期の水温、塩分、密度の鉛直分布を Fig. 6 に示す。水温分布を見ると表層の水温は25°C以上と兩年共ほぼ同様なのに対して、底層の水温は1987年は22°Cであるのに対して、1988年は21°C以下と低下している。また塩分については1988年には表層の低塩分化が顕著で、底層は高塩分化している。その結果密度

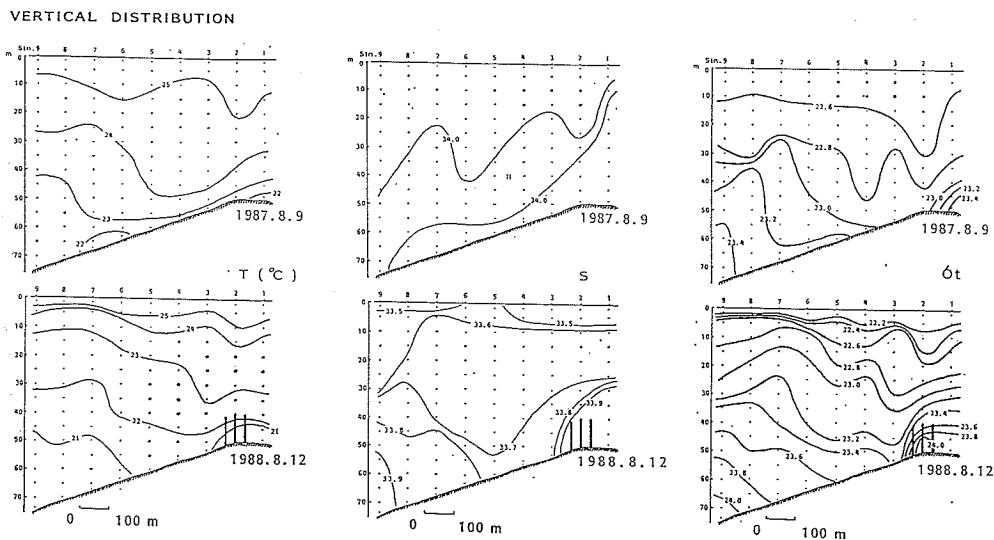


Fig. 6. Change of vertical distributions of water temperature, salinity and density.

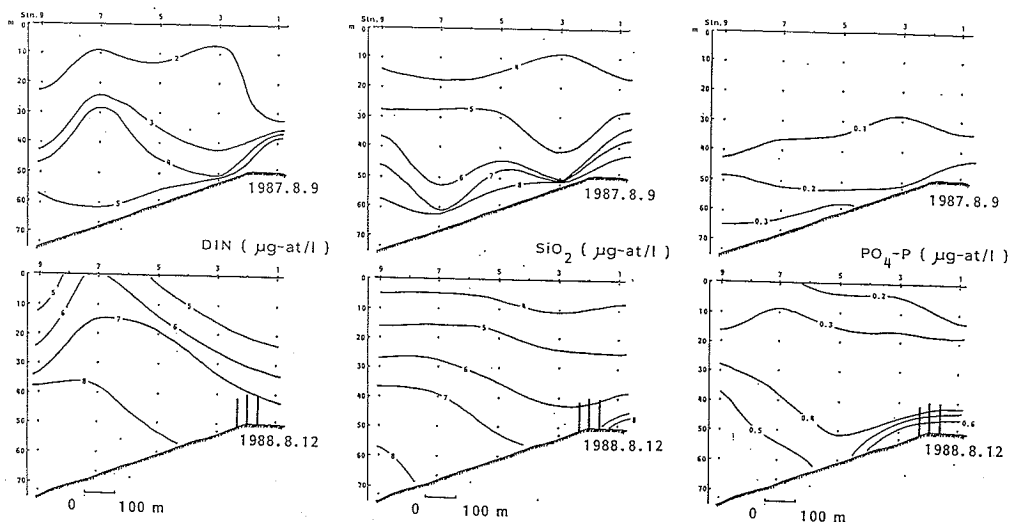


Fig. 7. Change of vertical distribution of nutrients.

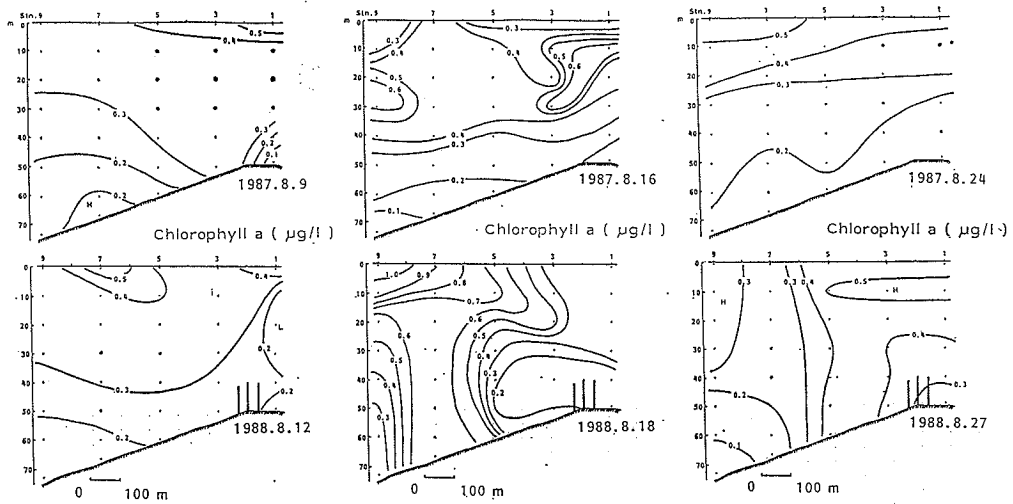


Fig. 8. Change of vertical distribution of Chlorophyll a.

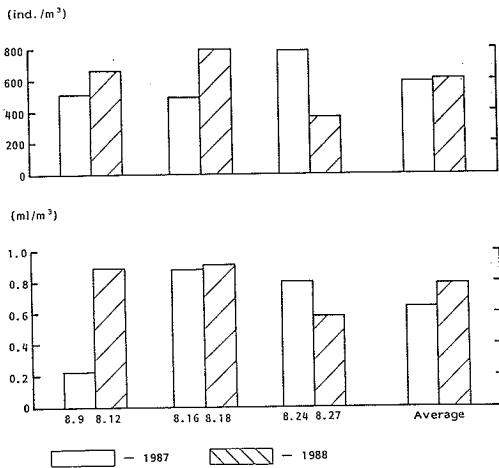


Fig. 9. Change of number and mass of zooplankton.

鉛直分布は1988年の方が等値線が密になっている。他の小潮期、大潮期の結果も図示しないが Fig. 6 とほぼ同様であった。

1988年の底層の低水温化、高塩分が湧昇流の存在と関係している可能性はあるが、兩年の水温、塩分、密度の鉛直分布の変化と湧昇流の関連の有無をこれらの図面から直接推測することは困難である。

3.4 栄養塩の鉛直分布

兩年の対応する大潮期の DIN (溶存態無機窒素)、SiO₂ (ケイ酸態ケイ素)、PO₄-P (リン酸態リン) の鉛直

分布を Fig. 7 に示す。SiO₂ については兩年ともほぼ同じような濃度分布を示しているが、DIN、PO₄-P については1987年よりも1988年の方が約2倍ほど濃度が増加している。濃度上昇は特に30m以浅の有光層で顕著である。続く小潮期と大潮期の観測ではSiO₂も2倍以上の濃度増加を示し、DINは2~3倍、PO₄-Pは3~4倍の濃度上昇を示していた。

3.5 クロロフィルaの鉛直分布

兩年の対応するそれぞれの時期のクロロフィルa濃度の鉛直分布の変化を Fig. 8 に示す。大潮期の濃度は兩年ともほとんど変化しないが、小潮期には1987年に比べて1988年は表層で2倍以上の濃度上昇が見られる。

3.4節に述べたように1987年と比較して1988年には有光層に栄養塩が多量に存在しているにも関わらず、クロロフィルaの濃度が大潮期には変化していない理由としては次のようなことが考えられる。すなわち大潮期には強い潮流に起因する鉛直方向の乱れが大きくなりすぎて、植物プランクトンが有光層にとどまることが出来ずに底層の無光層まで運ばれてしまって、増殖のための有効な光合成が行えないということであろう。一方小潮期には Fig. 4 に示すように、鉛直方向の乱れが小さくなるため、植物プランクトンは栄養塩が豊富な有光層内に留まることが出来、盛んに増殖してクロロフィルa濃度が上昇するのであろう。

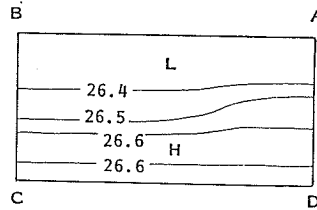
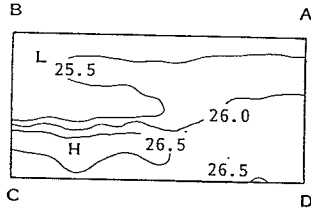
3.6 動物プランクトンの変化

Fig. 9 に観測点全点で平均した各時期の動物プランク

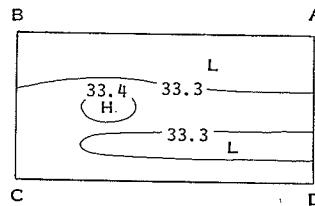
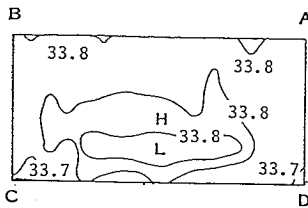
人工湧昇流発生構造物による海況変化

HORIZONTAL DISTRIBUTION

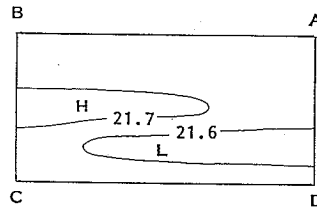
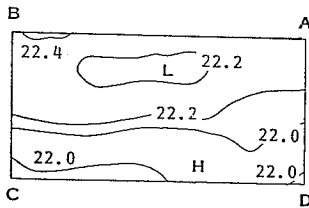
TEMPERATURE (°C)



SALINITY



σ_t



1987.8.9

1988.8.12



0 200 m

Fig. 10. Change of horizontal distributions of surface water temperature, salinity and density.

トンの個体数, 体積の兩年の変動を示す。最後の大潮期を除いて1987年より1988年の方が若干ではあるが個体数, 体積とも増加している。

3.7 底棲生物の変化

底棲生物の変化を採集した7点の平均値としてTable 2に示す。1988年は1987年と比較して総種類数, 総個体数ともに大幅に減少している。このような大幅な減少にも関わらず, 総重量があまり減少していないのは, 1988年にはStn. 13にホクロガイが網集している, その重量が大きかったためである。このような底棲生物の種類数, 個体数の減少が自然環境の変化によるものか, 湧昇流発

Table 2. Change of species, number and mass of benthos.

	Species	number	mass(g)
1987. 8.16	21.7	2,010.0	25.1
1988. 8.16	12.4	225.7	21.3

生構造物の設置と関連した底層付近の乱れの増加に起因するものかどうかは現在のところ不明である。

3.8 水温・塩分・密度の水平分布

兩年の対応する大潮期の表層の水温, 塩分, 密度の水平分布の変化を Fig. 10 に示す。湧昇流発生構造物の設

置による水温、塩分の水平分布の変化は特に認められない。

4. おわりに

以上、流速計の観測結果からは湧昇流発生構造物の設置により、 M_2 分潮流速と鉛直乱れの増加が認められ、水温、栄養塩、クロロフィルaの鉛直断面分布からは湧昇流発生構造物の設置により、低温で栄養塩豊富な底層水が当海域に湧昇し、小潮期に特に植物プランクトンが増殖していることが示唆された。しかし動物プランクトンの現存量は两年でほとんど変化がなく、底棲生物は若干減少しているという結果も得られた。

Fig. 10 の水温、塩分、密度の表層の水平分布から考えると、今回の調査海域は湧昇流発生域の一部分しか捉えておらず、湧昇流の影響はもっと広い範囲に及んでいる可能性が高い。また当海域の栄養塩濃度の変化は経年

変動によるものが大きいのか、湧昇流構造物に起因するものが大きいのかは今回の調査結果からだけでは判断しがたい。

したがって、湧昇流発生構造物の設置が当海域の海洋環境をどう変えたかを明らかにするためにはもう少し広範囲、長期間の追跡調査が必要のように思われる。

本研究を進めるにあたり貴重な討論をして頂いた愛媛大学工学部武岡英隆助教授、貴重な観測資料を提供して頂いた愛媛県水産試験場の関係各位に深甚なる謝意を表する次第である。

文 献

愛媛県・五洋建設株式会社（1987） 湧昇流漁場開発調査報告書，69 pp.