

笠戸湾の鉛直循環流

樋口 明生*・柳 哲 雄**

1. ま え が き

瀬戸内海局防灘北部の笠戸湾では潮汐残差流が卓越している。筆者らはこの潮汐残差流の基本的な性格を現地観測と水理模型実験によって明らかにした¹⁾。観測結果によれば潮汐残差流は湾北部のナカモチと呼ばれる浅瀬を中心に反時計回りの水平環流を形成し、流速は表層で大きく底層で小さい。このことは底層エクマン層での収束発散に起因する鉛直循環流の存在を推測させる。

今回は流速観測によってこの鉛直循環流の存在を確認し、このような流れが水温・塩分分布や底質分布にどのように影響しているかを明らかにしようとした。

2. 現 地 観 測

予想される鉛直循環流の流速は $10^{-2} \sim 10^{-3}$ cm/sec 程度で流速計で直接測定することは不可能である。そこで水平流速の収束発散量を測定して鉛直循環流を堆定しようと考えた。図-1 に示すように湾北部の水平環流の流軸に沿って3点 (Stn. 5, 6, 7) に海底より 1 m 上層に Aanderaa RCM4 型流速計を設置し、1977 年 8 月 30 日～同 9 月 1 日 (月令 16～18 日) 5 分ごとの流速・流向・水温・塩分・深度の連続記録を得た。8 月 31 日には湾北

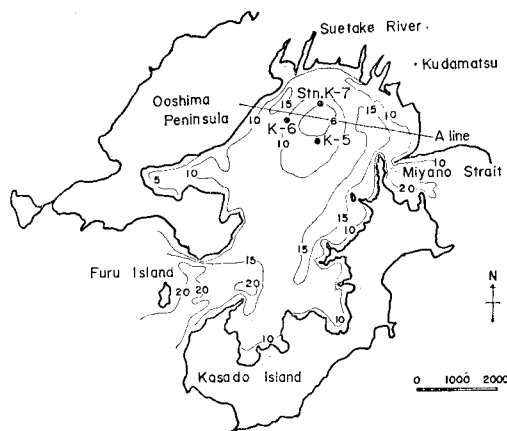


図-1 流速観測点

部 23 点において -1 m, -5 m, -10 m, 海底上 1 m 層の採水・測温を行なって水温・塩分・密度の水平・鉛直分布を求めた。さらに 1978 年 8 月 29 日にはエクマン採泥器を用いて湾北部 35 点で底泥を採取した。採取した底泥は 60 日間室内で風乾した後、乳鉢で細砕し円孔フルイを用いて粒度分析を行なった。

2.1 流 速

得られた 3 点の流向・流速値を用いて次式²⁾ により海底上 1 m 層の収束発散・渦度を計算した。

$$Q = \frac{1}{A} \iint_A \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) dx dy$$

$$= \frac{1}{2A} \sum_{i=1}^3 (u_i y_{i+1} - u_{i+1} y_i + v_i x_{i+1} - v_{i+1} x_i) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$Z = \frac{1}{A} \iint_A \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) dx dy$$

$$= \frac{1}{2A} \sum_{i=1}^3 (v_i y_{i+1} - v_{i+1} y_i + u_i x_{i+1} - u_{i+1} x_i) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで Q は収束発散, Z は渦度の鉛直成分, A は 3 台の流速計で囲まれる面積, u, v は流速の東方・北方成分, x, y は流速計設置点の座標, $i=1, 2, 3$ は Stn. 5, 7, 6 に対応する。結果を図-2 に示す。上から渦度・収束発散・潮位を表わしている。図中細線は 5 分ごとの値を, 太線は 24 時間 50 分の移動平均値を表わしている。図から上げ潮時は収束し, 渦度は大きくなり, 下げ潮時は発散して渦度が小さくなる様子がよくわかる。しかし 24 時間 50 分の移動平均値は渦度は $2 \times 10^{-4} s^{-1}$, 収束は $-3 \times 10^{-6} s^{-1}$ で一定値をとっている。このことは笠戸湾底層には常に反時計回り (渦度正) の水平環流が収束しながら (上向きの鉛直流) 存在していることを示している。連続式から堆定される鉛直流速は 3×10^{-3} cm である。

2.2 水温・塩分・密度

流速計で得られた水温・塩分の値は観測期間中ほぼ一定で, 長時間かかって得られた水温・塩分の水平・鉛直分布は時間的にはあまり変動していないと考えられる。 -5 m 層の水温・塩分・密度の水平分布を図-3 に, 図-1 中の A 線に沿った鉛直分布を図-4 に示す。図中黒

* 正会員 理博 愛媛大学教授 工学部海洋工学教室

** 正会員 理博 愛媛大学講師 工学部海洋工学教室

Kasado Bay 1977

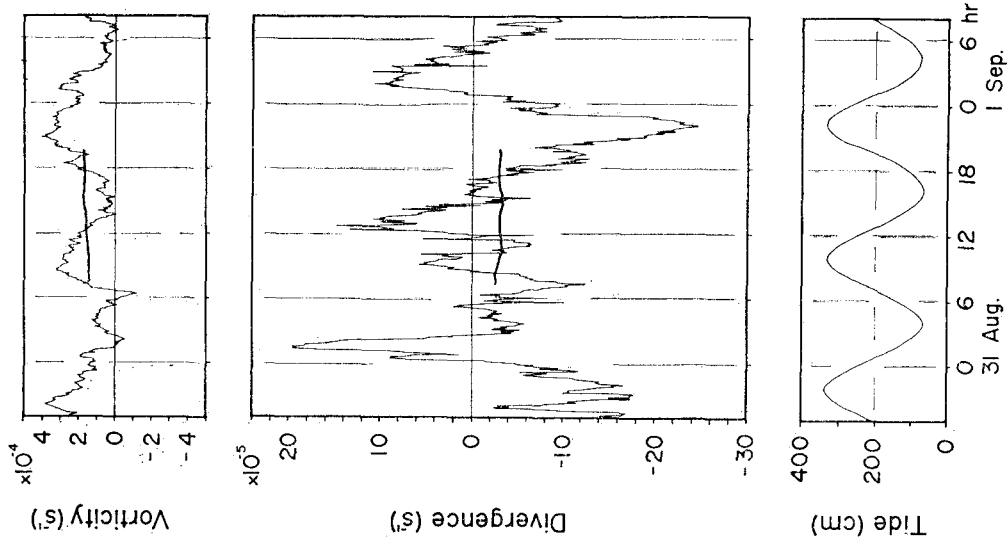


図-2 過度, 収束発散, 潮位

Kasado Bay 1977. 8.31 -5m

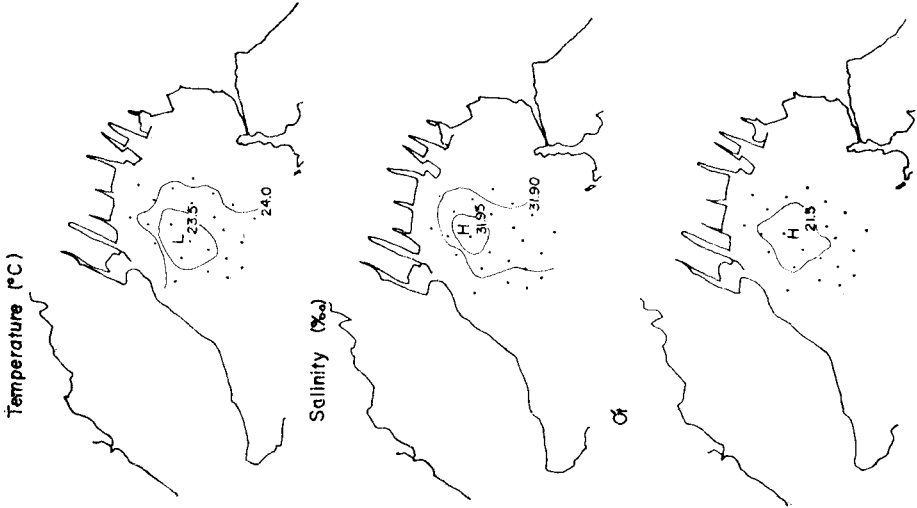


図-3 水温・塩分・密度の水平分布 (-5 m 層)

Kasado Bay 1977. 8.31

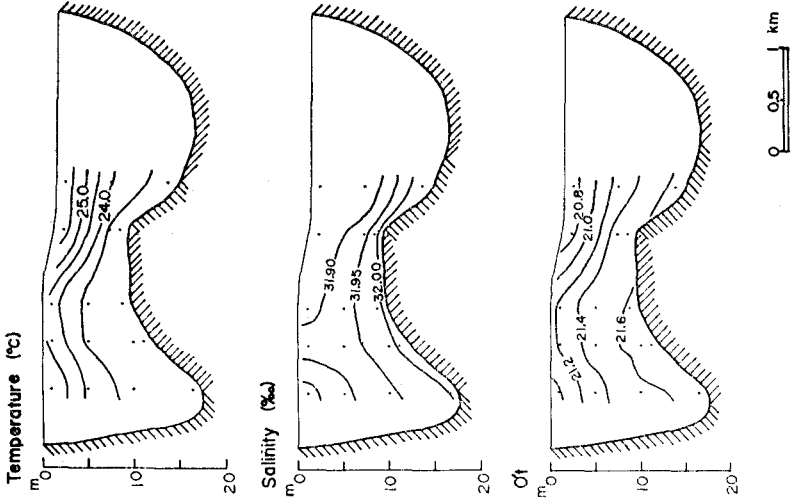


図-4 水温・塩分・密度の鉛直分布 (A 断面)

丸は観測点を表わしている。流速観測から推定された鉛直循環流によって湾中央部で底層の低温、高塩分の海水が湧昇している様子がよくわかる。

2.3 底 質

粒径 840μ 以上の土粒子と 74μ 以下の微細泥の重量百分率を図-5に示す。粒径の大きい粒子が湾北東部の切戸川河口附近に集中していることから笠戸湾への土砂の主な供給源は切戸川と堆定される。笠戸湾にはもう一つ末武川が流入しているが、末武川には古くから上流にダムがつくられているため、湾内にはほとんど土砂を運びこんでいないと思われる。微細泥は湾北部のナカモチで高い分布を示している。土粒子の運搬・堆積には流速の絶対値が関与すると思われるので水理模型実験結果⁹⁾から湾内の恒流流速と M_2 潮流の振幅を加えたものの水平分布を求めてみた。結果を図-6に示す。ナカモチ附近は周辺領域にくらべて流速が遅いことがわかる。これらの結果から切戸川から流入した粒子のうち、粒径が大きく重いものは比較的すみやかに河口附近に堆積し、粒径が小さく軽いものは水平環流によって全域に広がりな

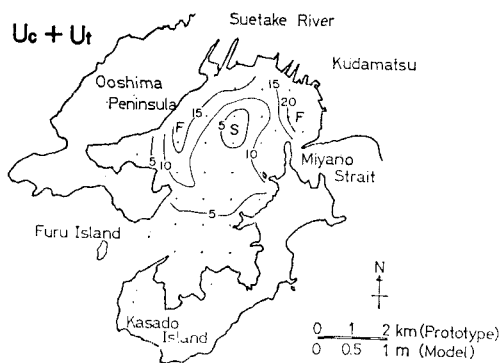


図-6 恒流流速+潮流流速 (cm/sec)

がら沈降・まき上がりをくり返し、底層の鉛直循環流にはき集められるように湾中央部に運ばれ、流速の遅いナカモチ附近に堆積していくと考えられる。

3. あとがき

以上著者らは笠戸湾の潮汐残差流に関する現地観測を行なった結果次のことがわかった。

- 1) 笠戸湾の潮汐残差流による水平環流は底層で収束し、表層で発散するような鉛直循環流を伴っている。
- 2) 鉛直循環流によって湾中央部では夏期低温・高塩分の底層水が湧昇している。
- 3) 水平環流と鉛直循環流によって微細泥が湾中央部に集中的に堆積している。

この研究を進めるにあたって有意義な討論をして頂いた愛媛大学工学部武岡英隆助手、観測に御協力頂いた愛媛大学学生正田孝明氏（現三洋水路測量 KK）、川澄敏治氏（現ユニオンエンジニアリング KK）、岩崎公平氏（現愛媛大学大学院）に深甚なる謝意を表する次第である。なおデータ整理に際して愛媛大学計算機室 FACOM 230-28、九州大学計算機センター FACOM M-190 を使用したこと、本研究は文部省科学研究費補助金による奨励研究の一部であることを付記する。

参 考 文 献

- 1) 樋口明生・柳 哲雄：笠戸湾の潮汐残差流，第25回海岸工学講演会論文集，pp. 475~479，1978。
- 2) 川合英夫：収束・発散と海の粒々物理学，海洋物理学Ⅱ，東大出版会，pp. 103~155，1976。
- 3) 柳 哲雄・安田秀一：笠戸湾の潮汐残差流に関する水理模型実験，中国工業技術試験所報告，第2号，pp. 31~40，1977。

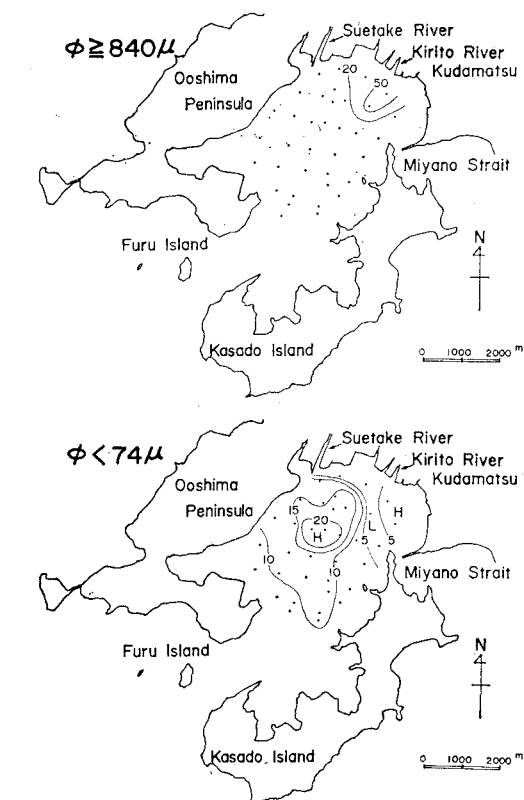


図-5 粒径 840μ 以上と 74μ 以下の粒子の重量百分率 (%)