

笠戸湾の潮汐残差流

樋口 明生*・柳 哲 雄**

1. ま え が き

沿岸海域における物質分散に“恒流”と呼ばれる流れの果たす役割が大きいことが最近明らかにされつつある^{1),2)}。“恒流”は潮流観測値の25時間平均値で、その大きさは通常潮流の数%程度であるが、その変動周期は潮流のそれよりはるかに大きい。そのため物質の輸送・分散に果たす役割は潮流のそれより大きい。“恒流”を作る主な原因としては風による吹送流、熱・塩分分布に起因する密度流、地形の影響による潮汐残差流³⁾などが考えられる。筆者らは水理模型実験によって潮汐残差流の基本的な発生維持機構を明らかにした^{4),5)}。一方、山田・矢野(1971)⁶⁾は内海の潮汐残差流の現地観測例を報告しているが、彼らの報告では潮汐残差流の細かい構造は明らかでない。

本論文では潮汐残差流の卓越した瀬戸内海周防灘北部の笠戸湾において現地観測と水理模型実験を行い、潮汐残差流の鉛直構造と潮汐振幅変化に対する応答関係を明らかにしようとした。

2. 現 地 観 測

笠戸湾は瀬戸内海周防灘北部に位置し、図-1(a)に示すように大島半島と笠戸島に囲まれた周囲約20kmの閉鎖的小内湾である。図中の数字はmで表わした水深を示している。海水は古島水道と宮の瀬戸を通じて出入りし、湾の平均水深は12~13mである。湾内の流れは非常に特徴的で、潮流成分よりも恒流成分が卓越している。過去第6管区海上保安本部⁷⁾と中国電力(株)⁸⁾によって観測された表層の恒流を図-1(b)に示す。図から明かなように湾北部に直径1.5~2.0km、周辺流速約10cm/secの顕著な反時計回りの環流がみられる。地元の漁師によるとこの環流は1年中存在しているようである。笠戸湾には顕著な年間卓越風もなく、大きな流量を持つ流入河川も無いところからこの恒流の主成分は地形の影響により潮流の非線形性に起因して発生する潮汐残差流であると考えられる。

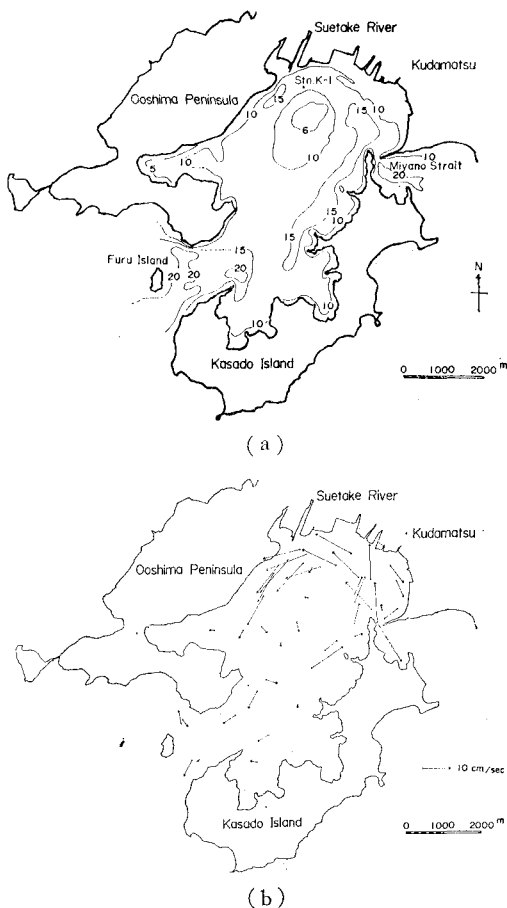


図-1 (a) 笠戸湾 (b) 表層の恒流

成層消滅期における潮汐残差流の鉛直構造と潮汐振幅変化に対する応答関係を明らかにするため、1975年10月19日~同11月3日の間図-1(a)中のStn. K-1(平均水深12.5m)において、海底から1.5m, 11.5mの深さにAanderaa RCM4流速計2台を係留線によって固定し、15昼夜潮流連続観測を行なった。

2.1 観測結果

10分ごとに得られた水温、塩分、水位、流向、流速の記録を図-2に示す。実線は表層、破線は底層の記録を表わしている。水温は表、底層とも次第に下がってい

* 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

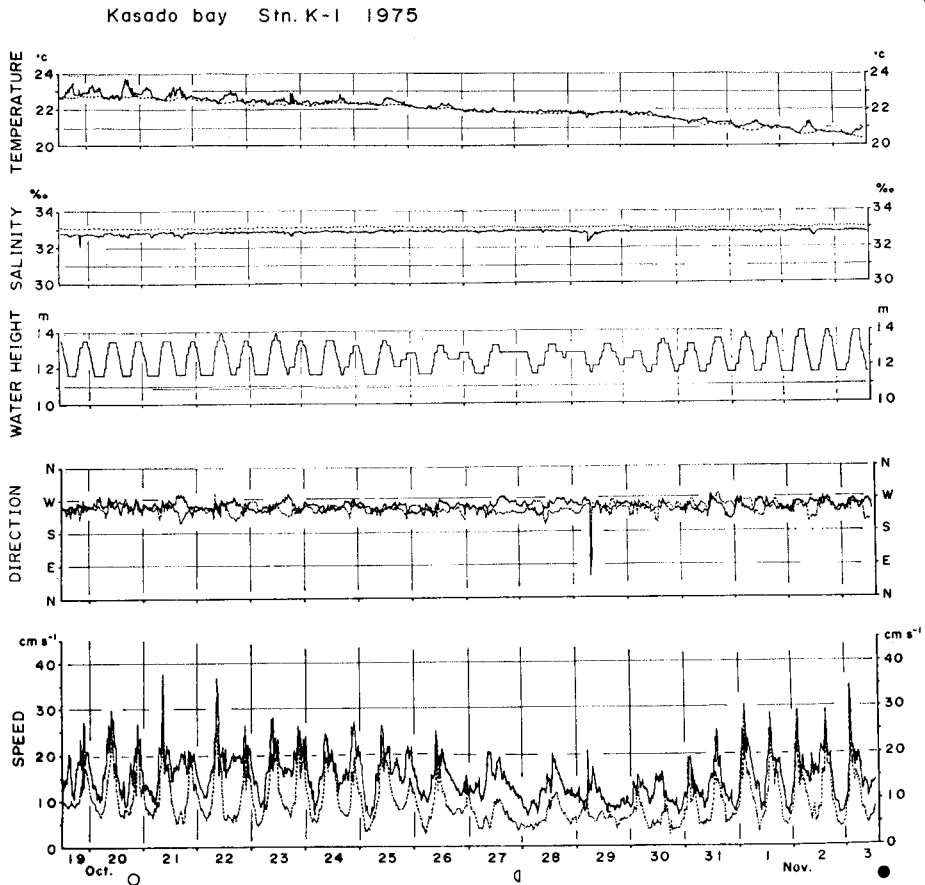


図-2 観測記録

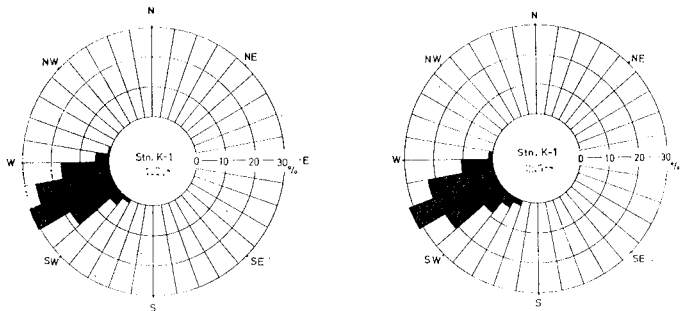


図-3 流向頻度分布

て、表層の方にやや細かい変動がみられる。塩分は底層の方がやや高く、両層ともほとんど変化していない。水位はセンサーの精度の関係で記録上では階段状に変化しているが、実際の水面はなめらかに変化している。大潮時1日2回潮で潮差約2.5m、小潮時1日1回潮、潮差約1.5mであることがわかる。流向は表・底層とも細かい変動はあるものの同一方向(WSW)に流れつづけている。流速は底層よりも表層の方が大きく、水位変化に対応して大潮時1日2回、小潮時1日1回強くなり、

最強値はそれぞれ約35 cm/sec、約15 cm/secであることがわかる。

流向の頻度分布を図-3に示す。左が表層、右が底層のそれを示している。全データ数は2,203個である。この頻度分布から両層とも主流方向を245°として、流速を主流方向(VM)とその直角方向(VN)に分解し、それぞれの成分と水位記録を調和分解した。調和分解の結果を図-4に示す。水位の振幅スペクトルには4大分潮しか現われていない。流速のそれには4大分潮の他に

KASADO BAY STN.K-1

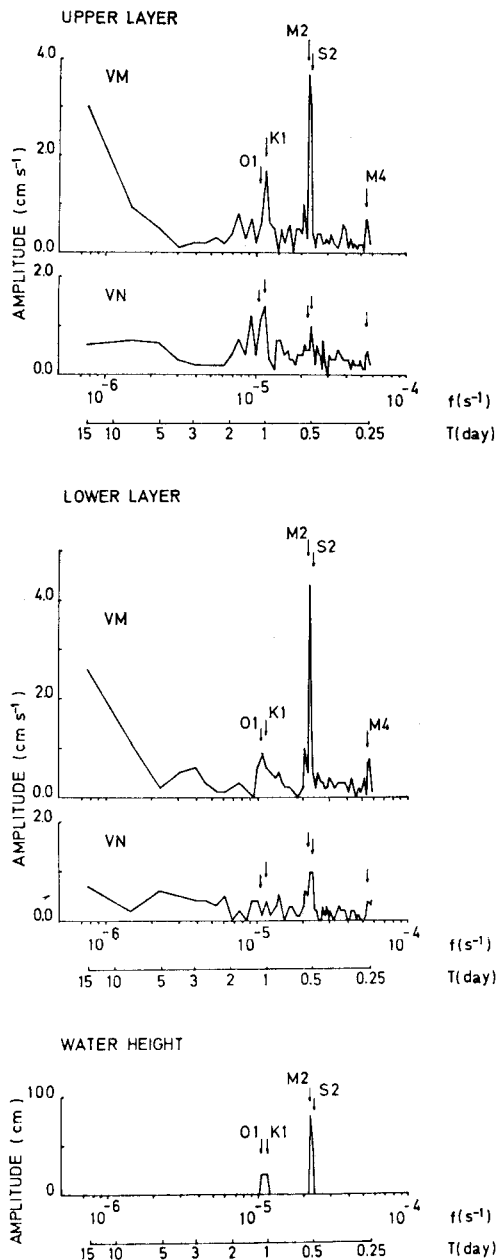


図-4 振幅スペクトル

M4 などの倍潮成分、さらに 15 日周期の顕著な変動成分が現われている。このことの意味を明らかにするため次のような処理を行なった。調和分解の結果求めた O1, K1, M2, S2, M4 成分を合成し、生のデータから除いて、さらに高周波成分を取り除くため 25 時間移動平均を行い、いわゆる恒流成分を取り出した。図-5 の太線はそうにして得られた恒流成分、細線は O1, K1, M2, S2, M4 合成潮流成分を表わしている。

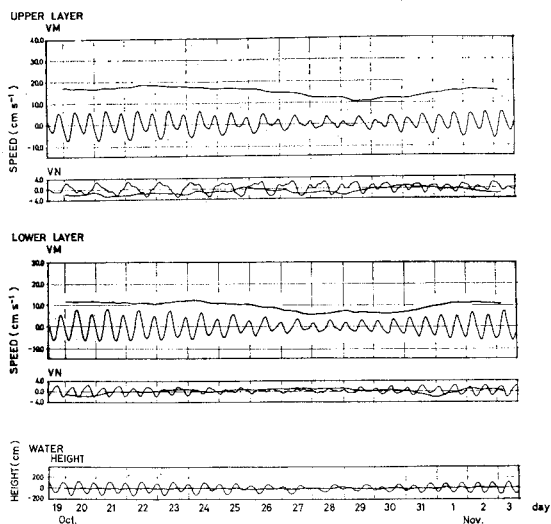


図-5 恒流成分と潮流成分の日変化

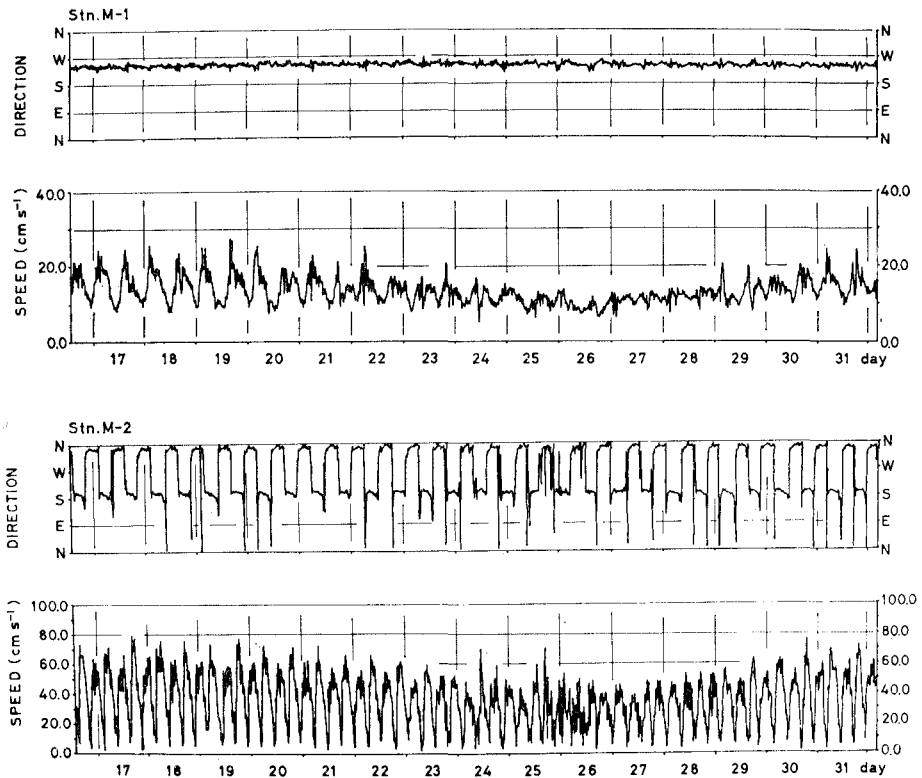
図-5 から水位については恒流成分はほとんどゼロ、すなわち平均海面は変化していないことがわかる。さらに表・底層の主流方向の潮流成分の大きさはほとんど等しいが、恒流成分は表層の方が底層より大きいこと、潮流成分の振幅変化に対応して恒流成分も大潮で大きく小潮で小さくなる 15 日周期の変動をしていることがわかる。潮流成分は表・底層で同じ大きさであるのに恒流成分は表層の方で大きい理由は、粘性境界層の厚さが周期の 1/2 乗に比例していて、底層の観測点が恒流の境界層内で、潮流の境界層外にあったためと思われる。

3. 水理模型実験

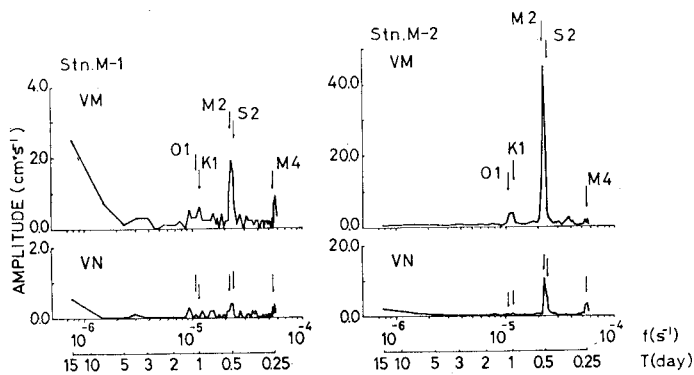
笠戸湾の恒流の主成分が潮汐残差流であるなら、潮汐・潮流の再現された水理模型内において測定できるはずである。さらに水理模型内では吹送流や密度流は起り得ないので測定される恒流成分はすべて潮汐残差流であると考えられる。そこで通産省中国工業技術試験所にある瀬戸内海大型水理模型（水平縮尺 1/2 000, 鉛直縮尺 1/160）に O1, K1, M2, S2 合成潮を与え、模型内の笠戸湾の M-1 点（現地観測の K-1 点と同地点）と宮の瀬戸（M-2 点）において、超音波流速計を用いて 15 昼夜（現地換算）潮流連続測定を行なった。また笠戸湾の潮汐残差流がどのような地形によって引き起こされているかを明らかにするため、模型に M2 潮を与え古島水道と宮の瀬戸をそれぞれ閉鎖して、湾内の潮汐残差流の変化を調べた。

3.1 実験結果

図-6 に起潮機始動後 17 日目～31 日目（現地換算）の M-1, M-2 点の流向・流速記録を示す。M-1 点の記録は先述した K-1 点の観測記録と定性・定量的によく



図—6 流向流速測定記録 (模型)



図—7 振幅スペクトル (模型)

合致していることがわかる。M-2 点の記録は内海で通常みられるように 1 日 4 回の転流がみられる。両点の流向頻度分布より主流方向を M-1 点 240° 、M-2 点 345° とし、流速を主流方向とその直角方向に分解した。両点の主流方向 (VM)、直角方向 (VN) の流速の調和分解の結果を 図—7 に示す。M-2 点の振幅スペクトルが内海の通常海域でみられる型のものである。M-1 点のそれは主要分潮の他に 15 日周期の大きな変動成分を持ち、先述した K-1 点のものと一致している。

模型に M2 潮を与え湾内にまいたフロートの読みとり

から求めた湾内の潮汐残差流を 図—8 に示す。湾北部に顕著な反時計回りの環流がみられ、周辺流速は約 10 cm/sec で定量的にも 図—1 (b) に示した現地観測の結果とよく一致している。これらの実験結果から笠戸湾の恒流の主成分は地形の影響のため発生する潮汐残差流であることが確認された。

図—9 (a) に宮の瀬戸を閉じて模型に M2 潮を与えた場合の潮汐残差流を、図—9 (b) に古島水道を閉じた場合のそれを示す。宮の瀬戸を閉じた場合顕著な環流は発達せず、湾北部で時計回り、湾南部で反時計回りの弱い

環流が形成されている。古島水道を閉じた場合湾北部の環流のスケールは変化しないが、強さは閉じない場合の2倍ほどになっている。このことから笠戸湾の潮汐残差流は主に宮の瀬戸の地形の効果によってつくられていて、古島水道は湾内の潮汐残差流の発達をむしろ弱めるような効果を果たしていることがわかる。

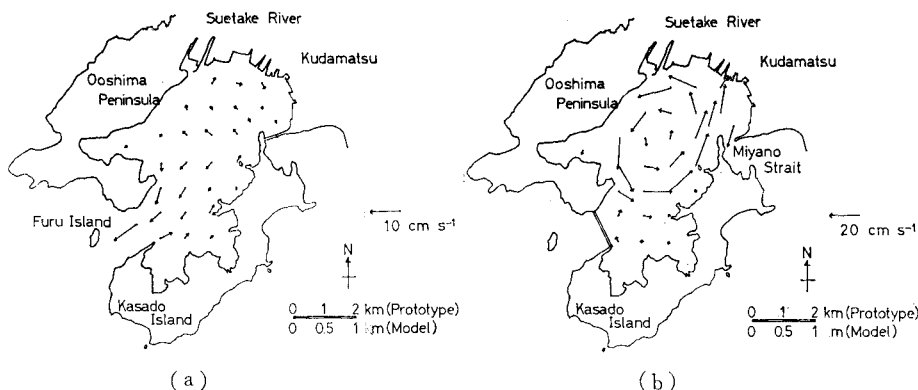
4. あとがき

以上著者らは笠戸湾の潮汐残差流に関する現地観測、水理模型実験を行なった結果次のことがわかった。実験の詳細については別報⁹⁾を参照されたい。

- 1) 潮汐残差流は大潮で強く、小潮で弱くなる。



図—8 模型の潮汐残差流



図—9 (a) 宮の瀬戸を閉じた場合の潮汐残差流 (模型)
(b) 古島水道を閉じた場合の潮汐残差流 (模型)

- 2) 潮汐残差流は表・底層ともほぼ同方向に流れ、表層の方が底層よりも速い。
- 3) 笠戸湾の潮汐残差流の平均的な強さ、パターン、潮汐振幅変化に対する応答関係は瀬戸内海大型水理模型でよく再現されている。
- 4) 笠戸湾の潮汐残差流は主として宮の瀬戸の地形の効果によってつくられている。

この研究を進めるにあたって終始御激励を頂いた京都大学理学部國司秀明教授、水理模型実験を行う機会を与えられた中国工業技術試験所早川典生氏、実験に御協力頂いた同安田秀一氏に深甚なる謝意を表する次第である。なおデータ処理に際して中国工業技術試験所 TOSBAC-40C、愛媛大学計算機室 FACOM 230-28、九州大学大型計算機センター FACOM 230-75 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特定研究「海洋環境保全の基礎的研究」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・柏井 誠：三河湾における潮流による拡散の水理模型実験について，第21回海岸工学講演会論文集，pp. 361～366，1974。
- 2) 柿沼忠男・柳 哲雄：水島からの流出重油の拡がりについて，第23回海岸工学講演会論文集，pp. 559～563，1976。
- 3) 樋口明生・柳 哲雄：潮汐残差流の基礎的研究，第22回海岸工学講演会論文集，pp. 213～218，1975。
- 4) 前出 3)。
- 5) 樋口明生・柳 哲雄：潮汐残差流の基礎的研究(続)，第24回海岸工学講演会論文集，pp. 563～566，1977。
- 6) 山田紀男・矢野雄幸：地形の影響による恒流と1/4日周潮流の発生について，水路部研究報告，第6号，pp. 63～77，1971。
- 7) 第6管区海上保安本部：徳山・下松港，下松附近潮流観測報告，8p.，1963。
- 8) 中国電力株式会社：下松発電所環境調査報告書，296p.，1975。
- 9) 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。