

近海域自然濁質の計測：総合ブイシステムによる海洋計測法の開発研究：第4報

本地，弘之
九州大学応用力学研究所：教授

金子，新
九州大学応用力学研究所：助教授

<https://doi.org/10.15017/4743637>

出版情報：応用力学研究所所報. 56, pp.59-71, 1982-02. 九州大学応用力学研究所
バージョン：
権利関係：



近海域自然濁質の計測

—総合ブイシステムによる海洋計測法の
開発研究 (第4報)—

本 地 弘 之*
金 子 新**

概 要

比較的開放的な近海域(種子島沖および津屋崎・新宮沖)において自然濁質の現地計測を行った。計測結果にもとづいて濁質の生成過程を議論し、また2, 3の特徴的な現象を提示している。

Key words: Ocean turbidity, Turbidity measurements

1. 緒 言

従来の海洋濁質の研究は、海洋環境保全の目的から沿岸域に生起する漂砂や湾内の人工汚染などに興味を中心があった海洋工学者と¹⁾²⁾、深海底に生起する広範なスケールの堆積過程に主として関心があった地質学者によって独立に進められてきた³⁾⁻⁵⁾。概ね前者が1~100 mg/ℓの濁度を取り扱ってきたのに対して後者は1 mg/ℓ以下の濁度を扱い、両者の間では対象とする濁度範囲も交差するところなかった。そして、測定装置の改良・進歩はより低濁度水の測定を強いられてきた地質学の分野で主として達成された⁶⁾。

本研究の最終目標は、沿岸近くで生起した自然濁質の外洋への輸送過程を解明することであるが、この結果得られる知見は、お互いに影響をおよぼすことのなかった従来の研究成果を相互に関連づける上でも有益であろう。我々は、すでに近海域に生起する自然濁質の in situ な測定を行うためのシステムの概要を前報で報告した⁷⁾。前報に述べた計測の後、濁度計センサーの分解能を0.1 mg/ℓまで向上させると同時に、種子島および津屋崎・新宮海域で計7回の現地計測を行った。本報では、上述の目標に近づくための第1歩として行われたこれらの現地計測の結果をとりまとめて報告する。

2. 測 定 装 置

海洋濁質の空間および時間的変動過程を明らかにするには、観測点を空間的に密に配置するとともに観測の頻度を高めなければならない。直接採水して船上または実験室でろ過し秤量する手法やコールターカウンターで粒径および粒子数を知るという手法では、自ずと観測密度の制約を受けるため、どうし

* 九州大学教授, 応用力学研究所

** 九州大学助教授, 応用力学研究所

でも採水することなしに in situ に濁度を計測できる光学的手法を採用することが必要となる。光学的手法の中では散乱光方式が透過光方式より低濁度水の測定には優れているといわれており、本研究のように 1 mg/l 程度の濁度を対象とする場合には散乱光方式がより適する。

本研究においては、貯水池・港湾などの水質管理用に開発された後方散乱方式濁度計（北斗理研株式会社製）を低濁度用に一部改造したものを使用した。分解能は 0.1 mg/l であり、大陸棚上での計測を可能にする能力を保持している。濁度の検定はカオリンの標準液を使用して行ったが、直線性は良好であった。光源としては、波長 940 nm の赤外線発光ダイオードを使用しているため、水表面の極く近く（+数cm）を除いて自然光の影響を無視できる利点を有している。濁度以外に水温・水位も同時に計測できるように、プローブハウジング内には各プローブを一体化して収納している（図1）。水位の測定範囲は、それぞれ $0\sim 35^\circ\text{C}$ と $0\sim 200\text{ m}$ であった。プローブハウジングの耐圧は 30 kg/cm^2 である。電源としては 24 V のバッテリーを使用しており、出力信号は増幅器を経てAD変換された後、テレメータシステムによって船上のデジタル記録計に送られる。今回の濁度の測定は光学的手法のみによってなされたが、測定濁度の実体を把握するためには、海水を直接採水して検査することも今後必要であろう。

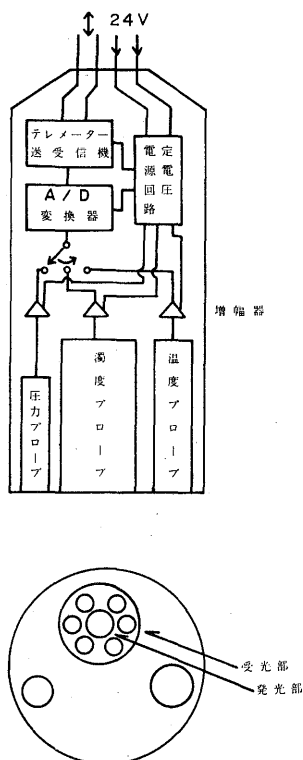


図 1 プローブハウジングと回路図

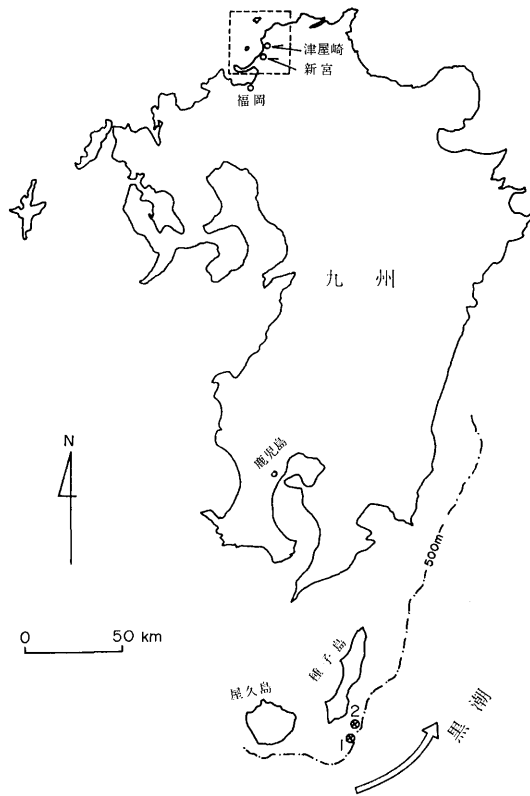


図 2 計 測 海 域

3. 計測地および計測方法

本研究では、近海域に生起する自然濁質を計測することを目的としているため、人工汚染の影響の少ない都市域から離れた海域を計測地として選定している。従来近海域の浮遊粒子のかなりの部分は、河川水の流出によって直接もたらされ则认为られてきた⁸⁾。ここでは、一度海底に堆積した微細粒子が風波・潮流・海流などの作用によって再浮上し輸送される過程を研究の対象としている。従って、河川から直接流出した浮遊粒子が常時存在するような大河川の近くは実験海域として好ましくない。

上記の目的に沿って、種子島沖と津屋崎・新宮沖の二海域が選定された（図2）。種子島の南東約15 kmの大陸棚縁辺域に設定された海域は、都市域から全く隔離されており、また黒潮の流路に近いいため黒潮による海底堆積物の浮上・運搬が常時期待できる。付近の大陸斜面は急峻であり、かつ斜面上には顕著な海底谷が発達している。計測は、東海大学丸Ⅱ世号（排水量702.6 t）を使用して1980年11月4日未明（午前4時～6時）に行なわれた。船上から海中へのプローブの降下、揚収の詳細については前報⁷⁾を参照されたい。人力で200 m近くもプローブを降下させたわけであるが、洋上は微風で波もほとんどなかったため、船上での作業は非常に能率的に進められた。計測は二地点でなされたが、第1、第2測点の位置はそれぞれ（30° 14.2' N, 131° 00.2' E）と（30° 17.2' N, 131° 01.0' E）であり、水深

はどちらも約 190 m であった。底質はどちらも細粒砂であり、また第 2 測点は黒潮からみて第 1 測点よりも種子島の背後に隠れている。

図 3 に拡大して示されている津屋崎・新宮沖の海域は、福岡都市圏からかなり離れていること、近くには大河川がないこと、本研究津屋崎海洋災害実験所の固定式海洋観測ステーションを活用できるなどの利点を考慮して選定されている。加えて、近くには福岡管区気象台の宗像観測点もあり気象データの入手も容易である。津屋崎・新宮海岸は、冬季の強い北西の季節風のため沿岸砂州 (longshore bar) の良く発達した遠浅の暴風海浜に属しており⁹⁾、沖合には強い潮流が存在することでも知られている。観測点は、津屋崎・新宮・相ノ島によって囲まれる三角領域を被うべく合計 13 点配置されており、図 3 に示されるように沿岸から沖に向かって大きな測点番号が付されている。測点 9 は、固定式ステーションの位置と一致している。地形的にみて、測点 1～8 (水深 5～10 m) を内海域、測点 9～11 (水深約 15 m) を中間域そして測点 12, 13 (水深約 20 m) を外海域と分類することは意味のあることのようにみえる。測定は、本研究所周有の小型観測船「だんりゅう」(排水量 2.3 t) を使用して 1981 年 8 月 18 日から 9 月 30 日の間で計六回実施された。どの計測日においても、測定時刻は 9～13 時の間であった。ブロープハウジングとケーブルの水中重量は合わせても 10 kg 程度であるため、ブロープの降下・揚収の作業は写真 1 のように一人で十分遂行することができた。船位は、相ノ島、タワー、岬の突端、山頂(茶臼山・鹿部山)および河口(西郷川・花鶴川)などの固定物を目安にして目測により決定している。このように船位は、極めて粗く決定されているが、各位置で得られた測定値が図 4 で区分された各領域を代表すると考えてよいだろう。底質は概ね細粒砂であるが、以前に実施された海底における砂漣の形

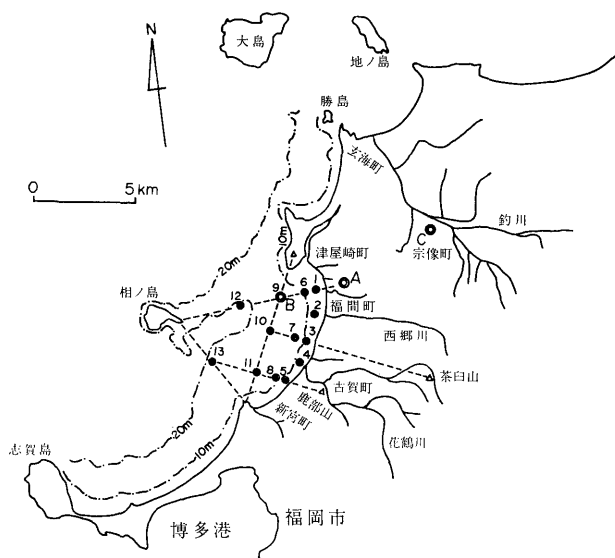


図 3 津屋崎・新宮付近の海岸地形と測点

A: 津屋崎海洋災害実験所

B: 固定式海洋観測ステーション

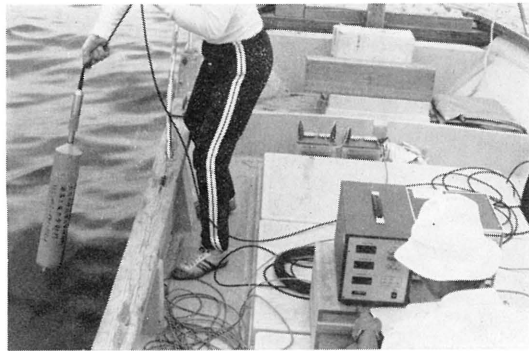
C: 福岡管区気象台宗像観測点

成の有無の調査から、測点3の近辺で最も細粒であるものと判断できる¹⁰⁾。付近の筑前海岸一帯は、cusplate foreland¹¹⁾の顕著に発達したトンボロ海岸として特徴づけられており、著しい海岸侵食の進行でも最近注目を集めている。

4. 計測結果と議論

4.1. 種子島近海域

種子島近海で得た水温と濁度の測定結果をそれぞれ図5(a), (b)に示している。水位計の作動不良のため、同図には150 m以深のデータは含まれていない。測点1と2の距離がわずか10 km程度であったにもかかわらず、測点2での温度躍層の位置が測点1のそれより約20 m上昇するという有意な差が存在する。黒潮によって種子島の背後に反時計回りの冷水渦が形成され、深部の冷水の湧昇(upwelling)が起きていると考えれば、この温度躍層の上昇は一応説明できる¹²⁾。種子島の東方海域は、栄



写 真 1 津屋崎・新宮海域における観測作業の一例

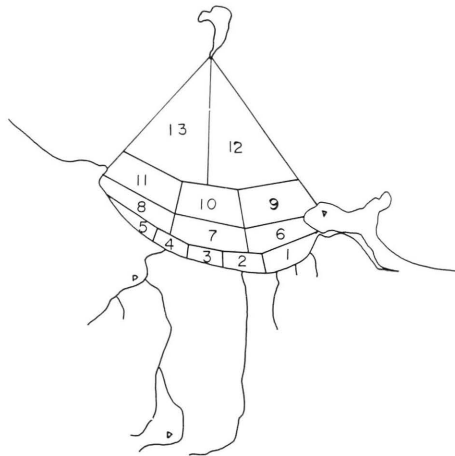


図 4 津屋崎・新宮海域の分割図

養塩類も豊富で、昔からカツオ・マグロの好漁場として知られていることも上述の仮説に有利な材料を提供するだろう¹³⁾。測点1における計測中の船の漂流距離は、測点2におけるものよりかなり大きかった。このことは、測点1が黒潮の強流域により接近していることを意味し、また図5(b)で示されるように測点1の濁度が測点2のそれより全水深にわたって大きいことに反映しているようだ。測点1と2とで100 m以深の濁度分布の傾向が逆転しているが、この位置が水温躍層とよく一致していることは興味深い。表層の濁度は両測点とも約1 mg/lであり、他の大陸棚縁辺域で従来観測されてきた0.1~0.2 mg/lに比してかなり大きな値となっている⁸⁾。この差異は、近くの大津斜面が急峻なため黒潮の水勢が大陸棚上にまで強くおよんでいることから説明されるようだ。

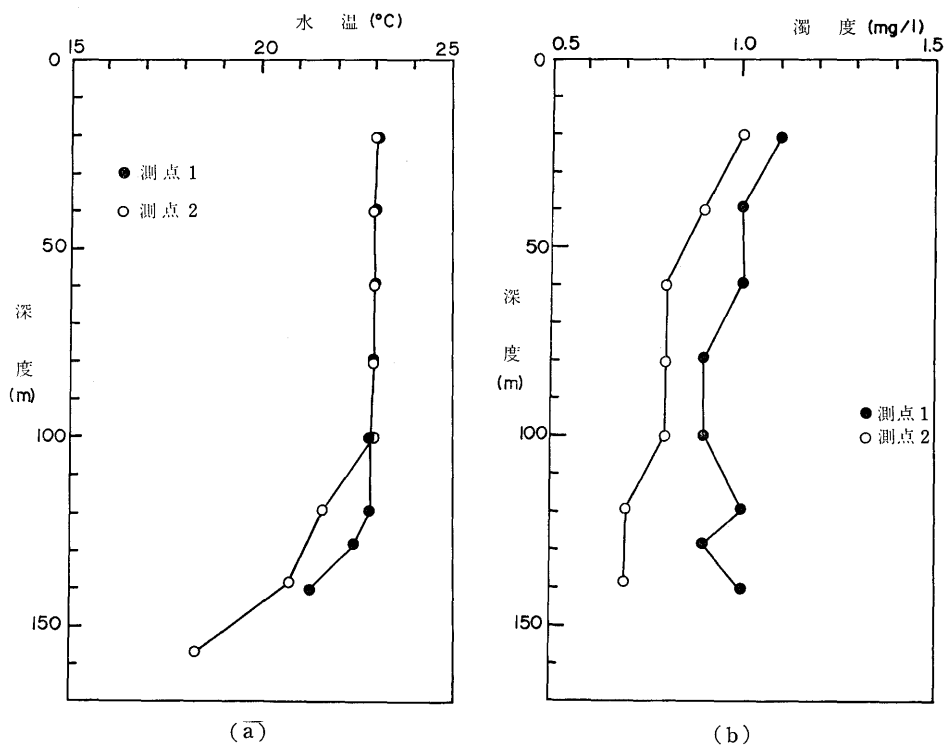


図 5 種子島海域における観測結果

(a) 水温の鉛直分布 (b) 濁度の鉛直分布

4.2. 津屋崎・新宮沖

計測期間中の気象条件を概観するために、福岡管区気象台宗像観測点で1981年8月10日から同年9月30までに得られた日平均気温、時間平均日最大風速および日雨量のデータを図6に示している。同図には、大潮・小潮の区間も併記されている。図6は、後述する測定結果の議論の中で特に断わることなしに引用されるのでその都度参照されたい。

外海域に属する測点 13 において得られた水温と濁度の鉛直分布の時間変動過程が、それぞれ図 7 (a), (b)に示されている。図 7 (a)より次のことがわかる。8 月 18 日の第 1 回測定において得られた水温分布は、顕著な温度躍層の存在を示しているが、それ以後躍層は気温の低下につれ消滅過程に移行する。8 月 28 日の第 2 回測定直後に気温の一時的上昇もあったけれども、9 月 3 日夜に対馬海峡を通過した台風 18 号によって温度躍層は完全に破壊されてしまった。このことは、9 月 8 日の第 3 回測定の結果からわかるが、それ以後は気温が低下し続けたため水温の鉛直構造は形成されなかった。一方、図 7 (b)に示される濁度分布からは次のようなことがわかる。第 1 回測定における濁度分布には、温度分布とよく対応した 10 m 以深での著しい濁度の上昇が認められる。この濁度の上昇は、風速データから判断して風波によって生起したものとは考え難く、測定が大潮の直後でしかも満潮時になされたことから潮流の作用によるものと推定される。また、第 3 回測定における濁度の全水深にわたる急激な

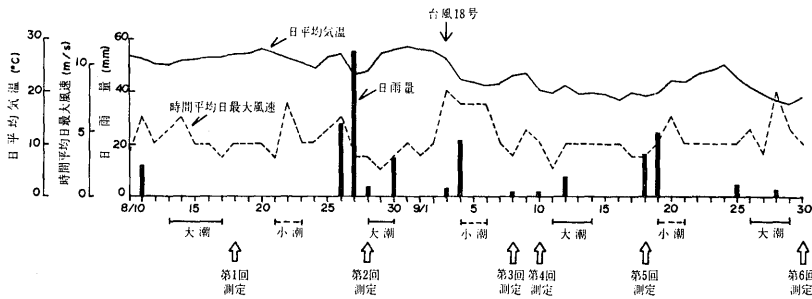


図 6 気 象 デ ー タ

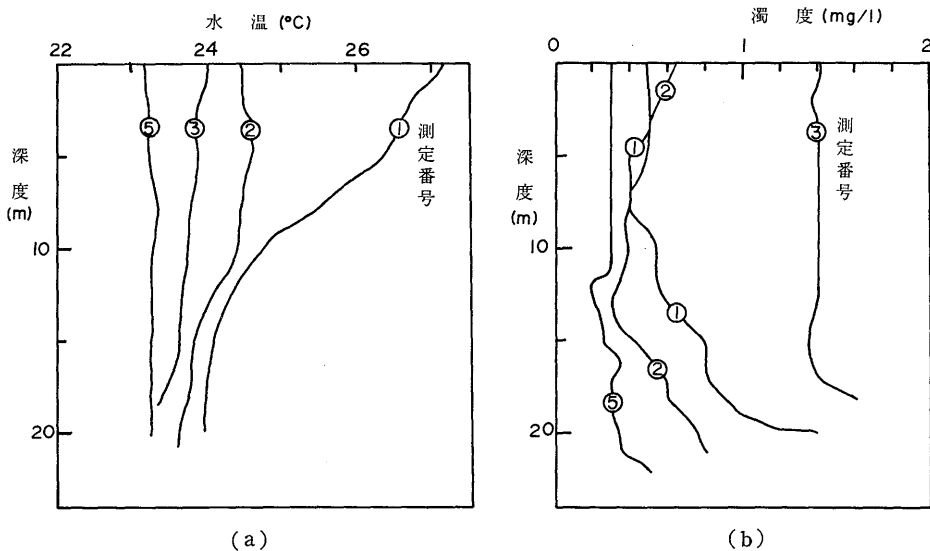


図 7 測点13 (外海域) において得られた観測結果の時間変動過程
(a) 水温の鉛直分布 (b) 濁度の鉛直分布

上昇は、台風 18 号による風浪によって生じたものである。

ここで、水温躍層が顕著に発達していた状況下で得られた第 1 回測定の結果について今少し詳しく検討する。図 8 には、外海域に属する二測点 12, 13 において得られた水温と濁度の鉛直分布を示す。どちらの測点においても、温度躍層より深部での濁度の急激な上昇が認められる。この現象は、温度躍層の存在が上層への濁質の拡散を妨げることから生じているものと考えられる。また、濁度と水温構造との間のこのような依存関係については、過去にも幾つかの報告がなされている¹⁴⁾¹⁵⁾。図 9 には、第 1 回測定において得られた濁度分布の沖方向変化の典型的な実例を示している。特に海底近くの濁度は、沖にいくにつれ漸次増加していることがわかる。外海域により多く存在する濁質は、内海域に生じた濁質の拡散によっては説明できず、外海域自体にその原因を求めなければならない。このことから、外海域により強く存在する潮流の役割が重要視されてくる。

外海域の濁度におよぼす潮流の影響をより詳細に検討するため、各測定における海底面上 1 m での濁度 (C_b)、測定時刻および満潮時が表 1 でまとめて示されている。9 月 8 日の第 3 回測定での C_b の値は、干潮時に測定がなされたにもかかわらず非常に大きな値を示しているが、これは台風 18 号の作用によるものである。図 6 の大潮・小潮のサイクルとも合わせて考えれば、 C_b の他の測定値については、大潮の 2 日後の満潮時に得られた 8 月 18 日の値を最大にして小潮あるいは干潮に近づくにつれ漸次減少するという傾向が認められる。データ数は不足しているが、外海域における C_b の値は潮流の強さに依存していると結論してよいであろう。

計六回の各測定において得られた C_b の水平分布を図 10 (a)~(f) に模式的に示している。図 9 に

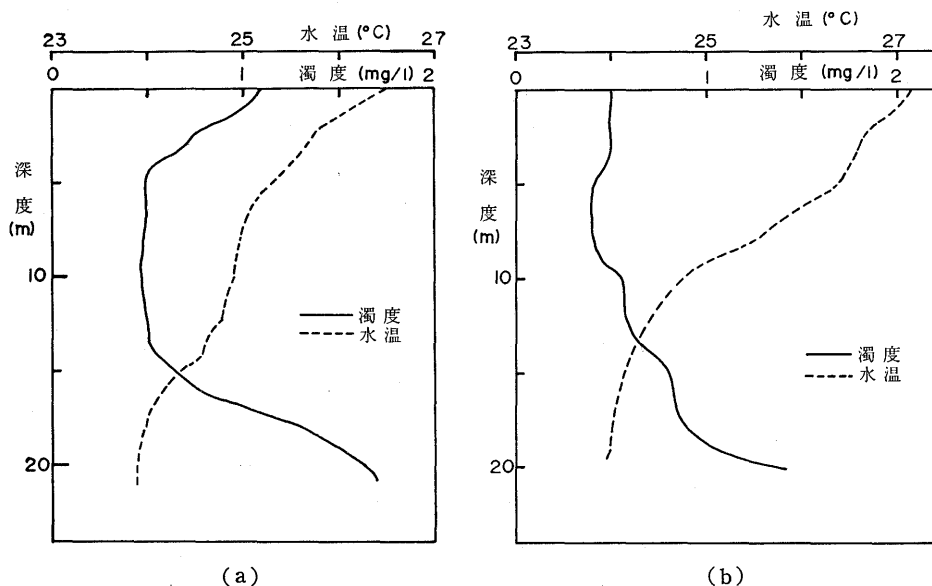


図 8 第 1 回測定 (8 月 18 日) で得られた水温分布を濁度分布との比較図
(a) 測点 12 (b) 測点 13

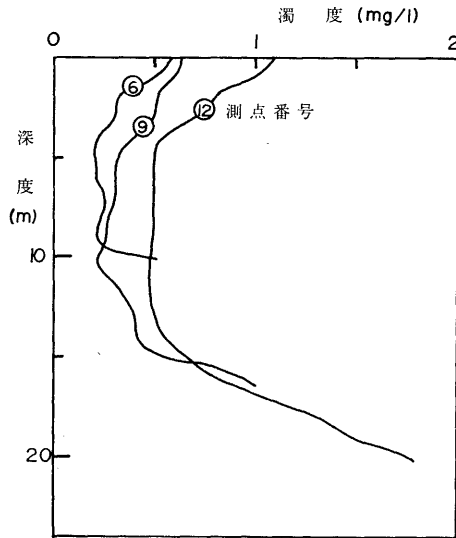
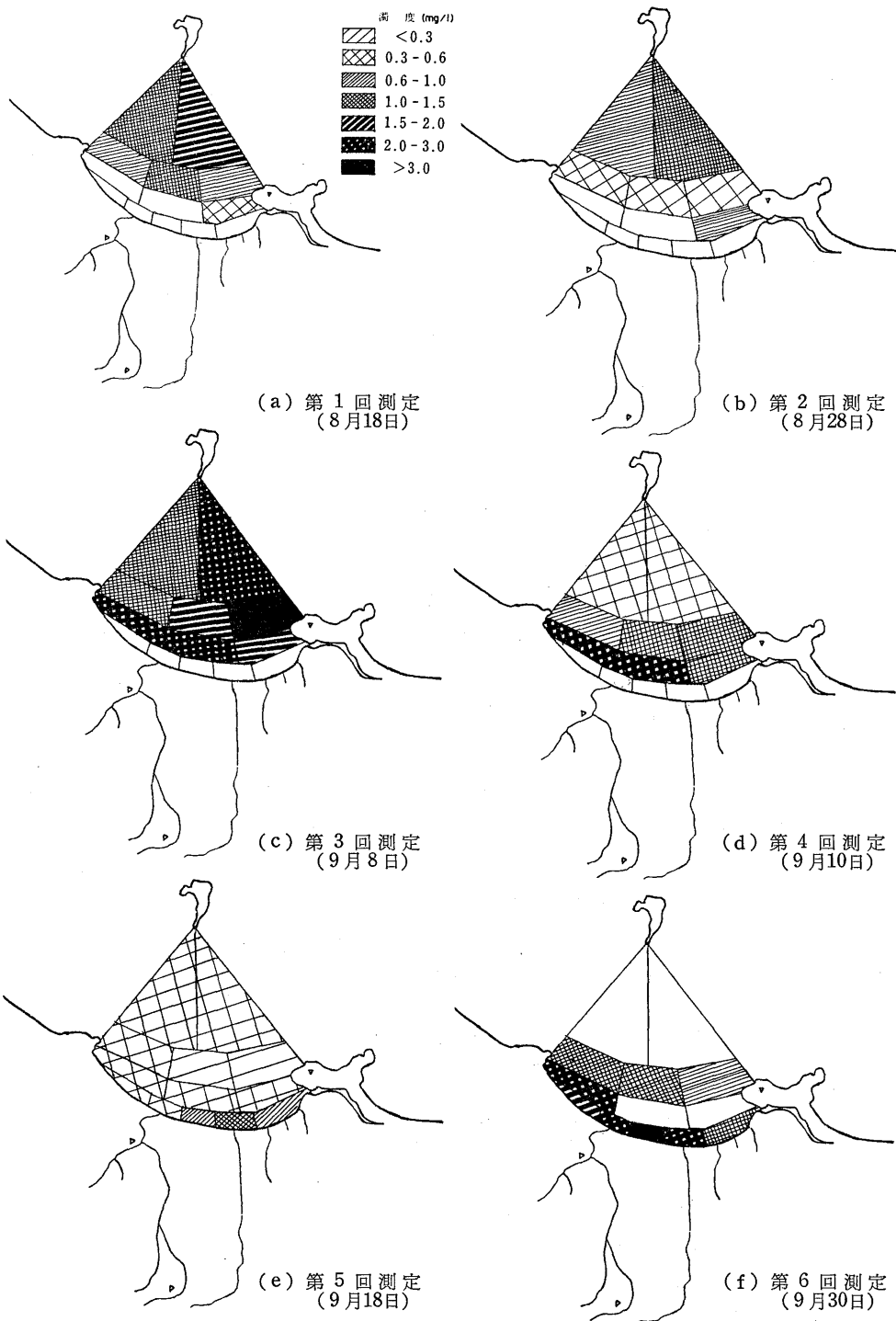


図 9 第1回測定（8月18日）で得られた濁度分布の沖方向変化の代表例

おいてすでに言及した濁度の沖方向への増加現象は，図10(a)，(b)でも認められる．図10(c)は，台風18号によって測定区域全体に生じた高濁度水の分布を示している．台風18号が少量の降雨しか伴わなかったことを考えると，この高濁度水は河川水の流出でなく風波やうねりによって底質が浮遊化した結果生じたものと推定される．図10(c)の測定から2日後に得られた図10(d)においては，外海域の濁度はすでにほぼ平常時の値に復帰している．このことは，台風の影響はこの日までに消失していたことを示す．しかしながら，近海域の濁度は，依然前回の測定と同様な値を示しており，前日の風波が内海域の濁度を維持するのに有効に作用したものと解釈できる．穏やかな気象条件が続いた後に得られた図10(e)は，測定区域全体が非常に清澄であったことを示している．特に，中間域の測点9，10における濁度は低く，今回の計測中初めて濁度0を記録した．西郷川の河口近くに多少濁った区域が存在するが，これは測定当日の降雨による河川水の増加によって説明できるかも知れない．図10(f)の結果は，内海域により高濁度水が存在するという図10(d)と同様な傾向をもつ．測定日以前に降雨が

表 1 C_b におよぼす潮汐の影響

測 定 番 号		1	2	3	4	5
日 付		8月18日	8月28日	9月8日	9月10日	9月18日
測 定 時	測 点 12	10時55分	10時55分	11時17分	10時34分	12時40分
	測 点 13	11時22分	11時34分	11時39分	11時10分	12時20分
満 潮 時		11時7分	8時39分	3時24分	6時36分	12時23分
C_b (mg/l)	測 点 12	1.6	1.1	2.3	0.6	0.5
	測 点 13	1.0	0.8	1.5	0.6	0.5

図 10 C_b の 水 平 分 布

ほとんどなかったこと、河口付近より細粒の底質からなる測点3で最も濁度が高いことを合わせて考えれば、この高濁度水が河川水の流出の結果もたらされたとは考え難い。前々日の強勢な前線の通過によって発生した風波が、特に内海域の底質を多量に浮遊化させたのであろう。

外海域の濁度に占める潮流の役割はすでに議論されたが、ここでは内海域の濁度を規定する要因について検討する。図11において、各測定において得られた C_b と測定日の2日前から測定時刻直前までに観測された時間平均最大風速 W (m/s) との関係が示されている。内海域で観測された C_b の値は、図11 (a) で示されるように W と良い相関をもつ。一方中間域と外海域のデータには、図11 (b), (c) で示されるようにこの様な相関は認められない。濁度と風波との間の依存関係は、10 m より浅い沿岸部で特に顕著であると結論できる。

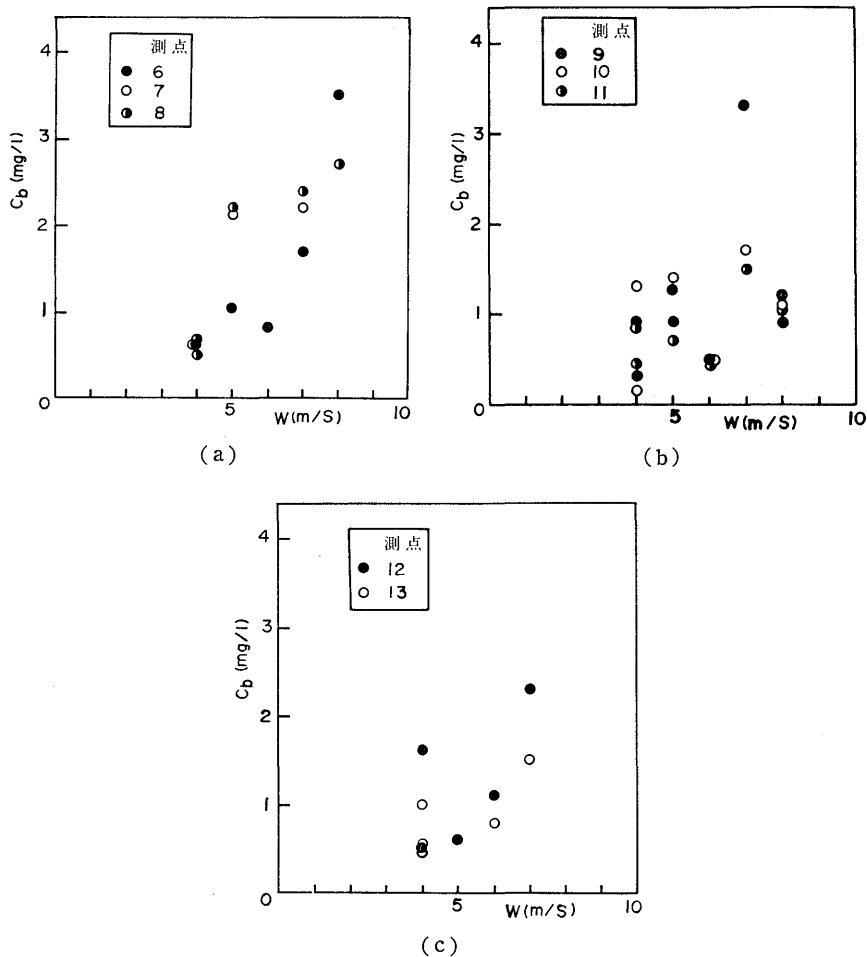


図 11 C_b におよぼす W の 影 響
(a) 内海域 (b) 中間域 (c) 外海域

最後に、海水面下 1 m における濁度 (C_f) と海水の透明度との関係を図 12 に示している。ここに、透明度は橙色のプロープハウジングが船上から目視できる限界の深度(m)として定義されている。透明度は、濁度以外にも天候や海面の状態によって変化するけれども、 C_f の増加につれ透明度が減ずるという傾向は十分読み取れる。このことから、本研究で取り扱ってきた 1 mg/l 前後の濁度が、本装置によって十分判別可能であることがわかる。

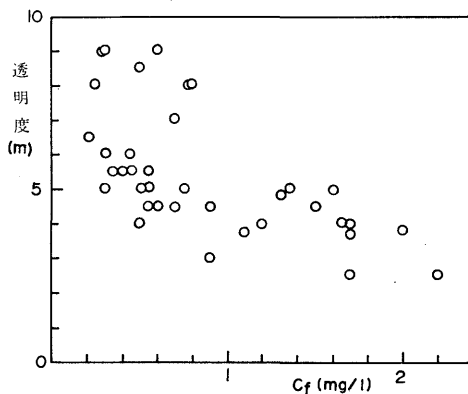


図 12 透明度におよぼす C_f の影響

5. 結 語

本研究の結果、近海域の自然濁質におよぼす風波・潮流・海流の作用の実態を包括的に把握できた。今後は、今回の計測によって明らかとなった現象に注目しつつ、自然濁質の近海から外洋への輸送過程を測流を含めたより系統的な計測計画のもとに解明することが必要である。

謝 辞

本研究を行うにあたって終始適切な御助言と多大なる御支援とを頂いた、故 田才福造先生並びに海洋工学臨時事業小委員会各位に厚く感謝致します。種子島沖での観測に際し、東海大学丸Ⅱ世号を使用する便宜を与えて下さった東海大学関係者各位、および観測を側面から支援して下さい乗組員並びに応用力学研究所海洋関連部門職員各位に深く感謝致します。津屋崎・新宮沖の観測では、本研究所所有の小型観測船「だんりゅう」の操船等で御助力を頂いた津屋崎海洋災害実験所安部哲二技官に心から謝意を表します。また、流体力学部門井上進助手には、種子島近海の水産関係資料を紹介して頂いたことを記し、ここに謝意を表します。

観測ならびにデータ整理を全面的に支援して下さい海底土床力学部門白石洋二技官および大学院後期課程学生松永信博・蒲地政文両君に心から謝意を表します。

最後に、本研究の一部は文部省科学研究費の援助のもとに行われたことを付記し、合わせて関係者各位に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 福島久雄: 漂砂測定法, 水工学に関する夏季研修会講義集, (B) 海岸・港湾コース, 1965, p. 1-10.
- 2) 日本海洋学会編: 海洋環境調査法, 恒星社厚生閣, 1980.
- 3) Swift, D. J. P., Duane, D. B. and Pilkey, O. H.: *Shelf Sediment Transport; Process and Pattern*, Dowden, Hutchinson & Ross, Pennsylvania, 1972.
- 4) Gibbs, R. J.: *Suspended Solids in Water*, Plenum, New York, 1974.
- 5) Biscaye, P. E. and Eittreim, S. L.: *Suspended Particulate Loads and Transports in the Nepheloid Layer of the Abyssal Atlantic Ocean*, Marine Geology, Vol. 23, 1977, p. 155-172.
- 6) Thorndike, E. M.: *A Deep Sea, Photographic Nephelometer*, Ocean Engng., Vol. 3, 1975, p. 1-15.
- 7) 田才福造, 他: 総合ブイシステムによる海洋計測法の開発研究 (第1報), 応用力学研究所所報第52号, 1981, p. 29-98.
- 8) Manheim, F. T. and Meade, R. H.: *Suspended Matter in Surface Waters of the Atlantic Continental Margin from Cape Cod to the Florida Keys*, Science, Vol. 167, 1970, p. 371-376.
- 9) 土木学会編: 水理公式集, 1972, p. 541-542.
- 10) 本地弘之, 井上 進, 金子 新: 簡便な浅海底撮影装置の試作と応用, 九州大学応用力学研究 所所報第48号, 1979, p. 61-66.
- 11) Shepard, F. P.: *Geological Oceanography*, Heinemann, London, 1978, p. 61-76.
- 12) Takahashi, et al.: *Upwelling Plumes in Sagami Bay and Adjacent Water around the Izu Islands, Japan*, Journal of the Oceanographical Society of Japan, Vol. 36, 1980, p. 209-216.
- 13) 日本水産学会編: 対馬暖流—海洋構造と漁業, 恒星社厚生閣, 1975, p. 69-88.
- 14) Pak, H. and Zaneveld, J. R. V.: *Bottom Nepheloid Layers and Bottom Mixed Layers Observed on the Continental Shelf off Oregon*, J. Geophys. Res., Vol. 82, 1977, p. 3921-3931.
- 15) Newberger, P. A. and Caldwell, D. R.: *Mixing and the Bottom Nepheloid Layer*, Marine Geology, Vol. 41, 1981, p. 321-336.

(昭和56年10月31日 受理)