

## 黒潮直接測流結果の中間報告：総合ブイシステムによる海洋計測法の開発研究(第3報)

竹松, 正樹

川健, 和雄

水野, 信二郎

長浜, 智基

他

<https://doi.org/10.15017/4743636>

---

出版情報：応用力學研究所所報. 56, pp.37-57, 1982-02. 九州大学応用力学研究所  
バージョン：  
権利関係：



# 黒潮直接測流結果の中間報告

—総合ブイシステムによる

海洋計測法の開発研究 (第3報)—

|         |         |
|---------|---------|
| 竹 松 正 樹 | 川 建 和 雄 |
| 水 野 信二郎 | 長 浜 智 基 |
| 馬 谷 紳一郎 | 石 井 秀 夫 |
| 肥 山 央   |         |

## 概 要

種子島・屋久島南方の黒潮強流域の 1000 m 等深線に沿う 2 点 (間隔約 45 km) において、ほぼ 1 ヶ月間、定置ブイを用いて水温及び速度変動を測定した。変動の鉛直構造を捉えるべく各係留線にはそれぞれ 5 ケの測器を連結した。これは上層強流帯とその中・下層を同時に測定した恐らく最初の例であろう。ここに、得られた 10 組 (5 層×2 点) のデータの概略を提示し、それ等のデータから読み取られる黒潮短周期変動の諸相について述べる。特に半日及び 1 日周期の変動とそれ等を除いた「平均流」の挙動に焦点を当てる。なお、1 点係留方式で強流帯を測定する際のデータの精度についても言及する。

**Key words:** Kuroshio, Strong current, Vertical profile, Intermediate Buoy  
Short-term variability, Tide, Inertial oscillation, Bottom topography

## 目 次

1. 序 論
2. 観測及びデータ
  2. 1 観 測
  2. 2 デ ー タ
  2. 3 測器の運動と測定値
3. 短周期変動の特徴
  3. 1 「平均」場の変動
  3. 2 1 日及び半日周期の変動
4. 結 語  
謝 辞  
参 考 文 献

## 1. 序 論

応用力学研究所海洋研究グループは、協同研究『総合ブイシステムによる海洋計測法の開発研究』(1978~1982年度)の一環として、種子島・屋久島南方の黒潮強流域 (図 1,  $K_1$  及び  $K_2$  点) において、

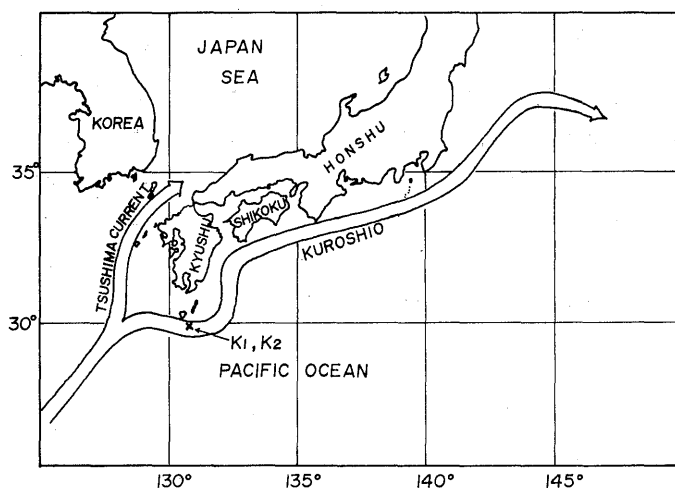


図 1 黒潮循環系と係留観測点 ( $K_1$ ,  $K_2$ )

過去 2 回 ('79 年, '80 年), 係留線を用いた直接測流実験を試みた. '79 年の第 1 回係留実験では  $K_1$  点の 1 本のみであったが, '80 年の第 2 回実験では  $K_1$  及び  $K_2$  点に合計 2 本の係留線が設置された. 第 1 回実験に関しては, 用いられた係留線の配置から結果の概要まで, すでに第 1 報<sup>1)</sup>に報告した. 従って本報告では特に断わらない限り第 2 回実験について述べるが, 観測結果の検討に当ってはこれまでに得られた全データが考慮される. この研究計画は現在なお継続中であり, 後半の '81 年及び '82 年には更に 2 回の測流実験が計画されている. 黒潮測流結果の総合報告は全研究計画が完了した時点で書かれるであろうが, ここでは, とりあえずその中間報告として, これまでに得られた測流結果の概要を若干の考察を加えて提示する次第である.

さて, これまでの測流実験においては, 係留線の確実な回収を期して係留期間を 1 ヶ月にとどめた. 従って, これまでに得られた測流データから伺い知ることができるのは 1 ヶ月以下の時間スケールをもつ短周期現象の諸相に限られる. 短周期変動に限っても, それについて統計的に有意な結論を導き出すには 1 ヶ月の測定期間ではなお不充分であり, 測定点の配置 (すなわち, 係留線の数) も満足とは云い難い. ここに示す一連の時系列は, 黒潮強流域に生起する短周期変動の一端を抉り出して見せるに過ぎない. そもそも本研究の主要な目的の一つは, 強流域といえども定置ブイによる直接測流が実際に可能であることを実証するとともに, 強流域に一体いかなる流動現象が生起しているかを探ることにある. 特定の現象に的を絞った本格的な研究観測はそうした手順を経た後に初めて可能となることを銘記しておかねばならない.

海洋の短周期変動は, 平均場の維持にどのように関与しているかという点において興味があるばかりでなく, 観測船により断続的に採取される通常の観測データに対する主要な '汚染源' の 1 つとしても重要な意味がある. しかしながら, すでに半世紀を越える黒潮観測の歴史の中でも, 短周期変動に関する観測例は不思議と少ない. それは, 観測船の航走に頼る従来の観測法が厳しく同時性を要求される短

周期変動の観測に向きなためではなかろうか。短周期変動を的確に捉えるためには複数の観測船を動員する特別の観測計画が必要である。そうした大々的な特別観測は、1960年代に2回、海上保安庁水路部<sup>2)</sup>及び気象庁<sup>3)</sup>によって潮岬沖で実施されたことがある。これ等の観測はGEK (Geomagnetic Electrokinetograph) による水表面流速測定が主であったが、黒潮短周期変動に関する最初の組織的観測として高い評価を得ている。黒潮短周期変動に関する我々の知識の大部分はこの二大観測によって得られたものであると云っても過言ではなかろう。それから10数年後の今日、黒潮内部の速度場の変動が初めて測定されたのである。僅か2測点においてではあったが、黒潮内部構造の1ヵ月に及ぶ連続観測は、黒潮短周期変動に新たな光明を投ずるものではなかろうか。

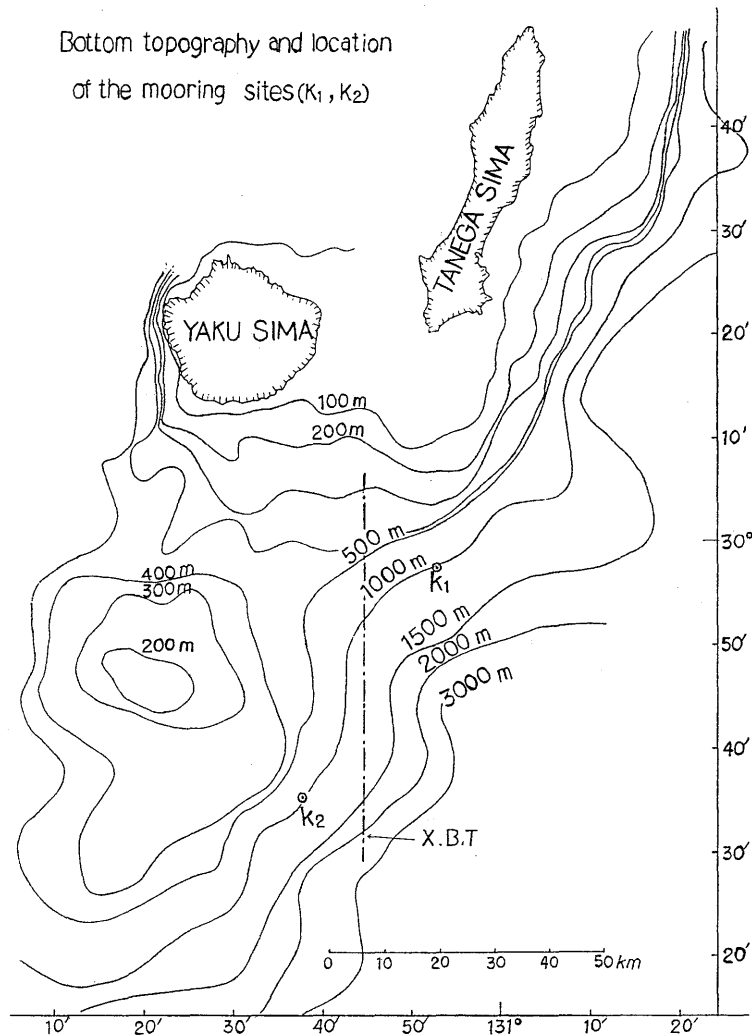


図 2 係留点近傍の海底地形 (東海大学の好意による)

## 2. 観測及びデータ

### 2.1 観 測

1980年度の現地係留実験では、'79年度実験と同じ海域、すなわち、種子島・屋久島南方黒潮強流域において、2本の係留線（ $K_1$ ,  $K_2$ ）の設置・回収が試みられた。係留線の設置は10月4日に行われ、約1ヵ月間の係留観測の後、11月3日に2本とも無事回収された。図2に係留点近辺の海底地形の詳細を示す。600 m以深の地形は比較的に単純であるが、500 mより浅い所（トカラ海峡）の地形はやや複雑である。2本の係留線は陸棚斜面部の1000 m等深線に沿って設置され、それぞれ5台のアンダー流速計が取り付けられた。係留線の一般配置を $K_1$ の場合につき図3に示す（ $K_2$ もほぼ同じ配置であった）。この配置の一つの特徴は、表層強流帯の鉛直構造を把握すべく、表層に密に3台の流速計を配したことである。係留線は海中にあっては流れの強弱に従って姿勢を変え、従って測器の深度も刻々に変化する。各流速計の係留期間中の実際の平均深度は次の通りであった：

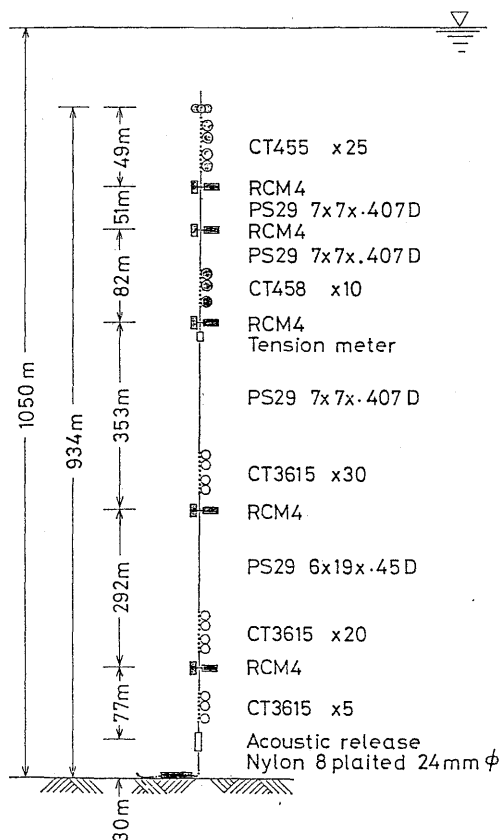


図 3 係 留 線 の 一 般 配 置

$\left\{ \begin{array}{l} K_1 \text{ 線 ; 210, 260, 340, 700, 980 m.} \\ K_2 \text{ 線 ; 140, 190, 270, 620, 910 m.} \end{array} \right.$

これ等 10 台のアンダーラ流速計によって、流向・流速、水温及び測器深度（水圧）が 10 分間隔で記録された。

なお、観測点近くの全体的な黒潮水温構造を把握するため、係留線設置後（10 月 4 日）に XBT による水温断面観測を行った。観測断面としては、この地点の黒潮がほぼ東向流であることと 2 本の係留線の配置を考慮して、130.45'E に沿う南-北断面（図 2 参照）を選んだ。この断面観測の所要時間は約 2 時間 45 分であった。

## 2. 2 データ

$K_1$ ,  $K_2$  で得られた全流向・流速記録を速度ベクトルの形に表わしたものが図 4, 5 である。図 6 には水温記録の例（於  $K_1$ ）を示す。一見して、半日周期の規則的変動が非常に活発であることがわかる。やや間歇的ではあるが 1 日周期の規則的変動も一部に見られる；特に、 $K_2$  点中層の時系列（図 5 の下から 2 段目）にそれが顕著である。各時系列に 25-時間移動平均操作を施すとそうした 1 日周期以下の短周期変動はほぼ除去される。こうして平滑化された場を、以下の記述においては、便宜的に、「平均場」と呼ぶことにする。図 7 は係留線設置直後に XBT により測定された水温プロファイルの例である。観測時は所謂冷却期（Cooling season）に当り、表面混合層がすでに 100 m 深を越えて深く発達し、

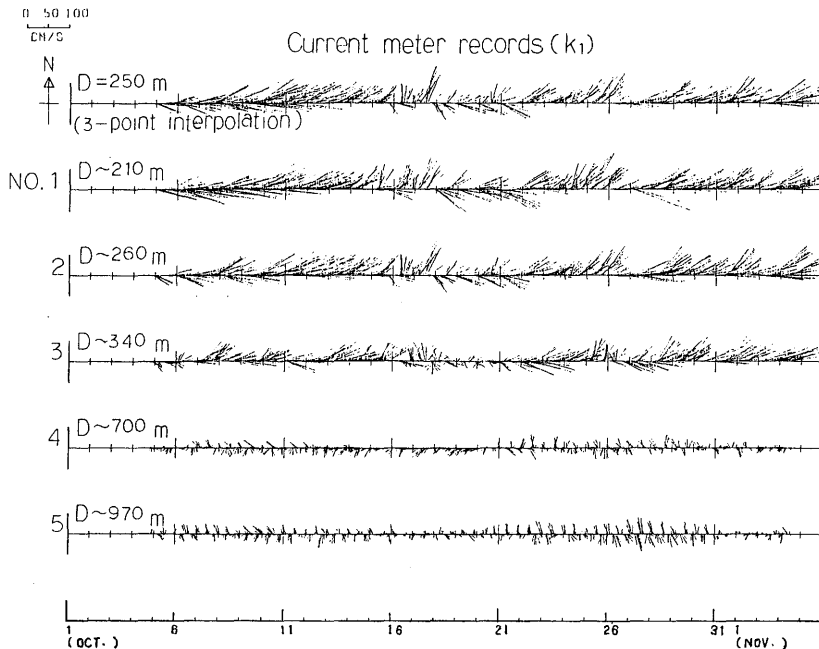
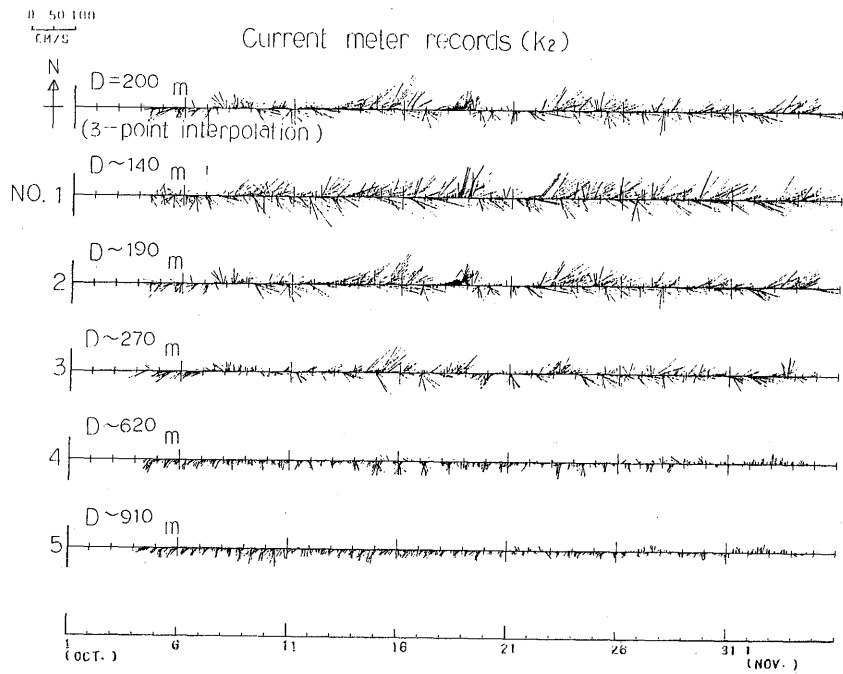
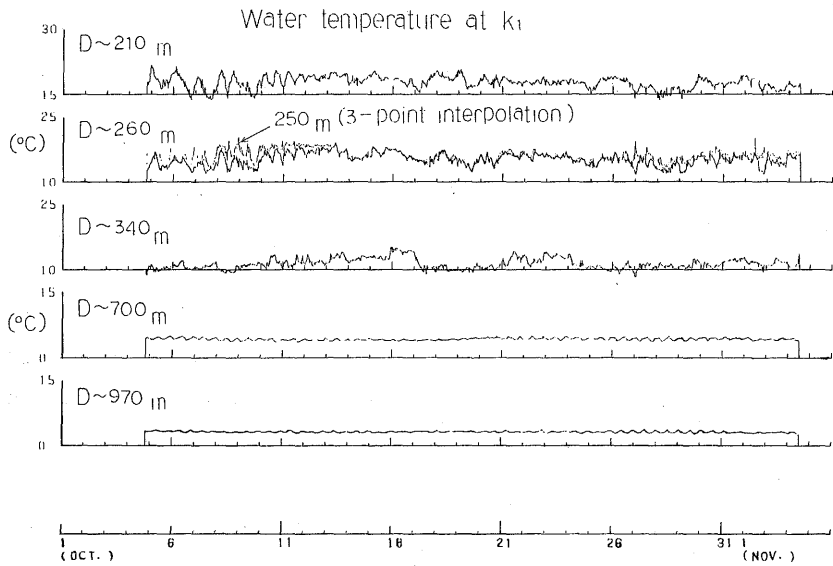


図 4 速度ベクトルの記録 ( $K_1$  係留線)

図 5 速度ベクトルの記録 ( $K_2$  係留線)図 6 水温記録 ( $K_1$  係留線)

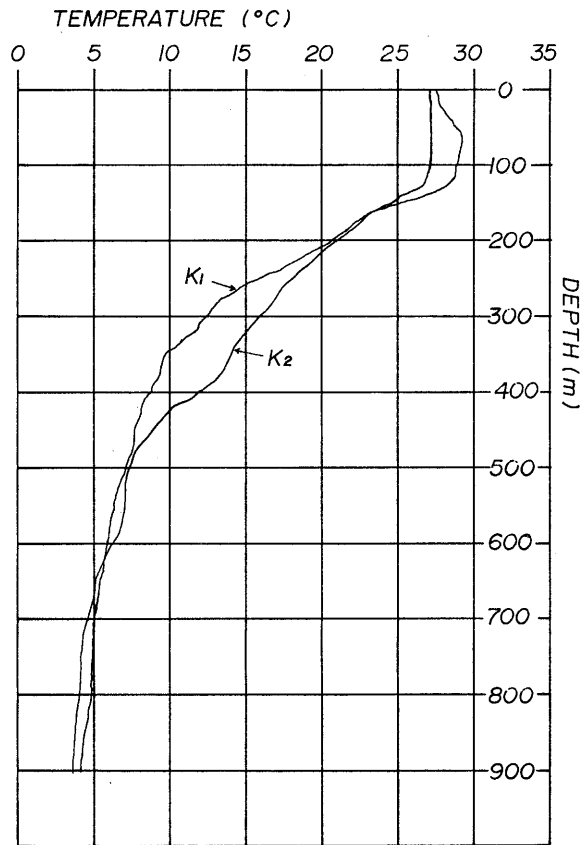


図 7  $K_1$ ,  $K_2$  点に於ける水温鉛直分布 (10月4日, XBTによる)

季節温度躍層 (Seasonal thermocline) が大半消滅しかかっているのが見られる。図8は XBT による断面観測の結果を図示したもので、観測域における黒潮の総観的 (Synoptic) 水温断面構造を示す。この図の等温線の傾斜から、観測当初のこの時期 (10月4日) には、少なくとも  $K_1$  点は黒潮強流域に入っていることがわかる。こうして黒潮断面の水温分布が知れると、それから断面の密度分布を推定することができる。密度分布がわかると、所謂‘力学計算’によって地衡流 (量) を計算することができる。この‘力学計算’こそはまさに古典海洋学の極致ともいべきものであるが、この手法の強流域における妥当性についての直接的検証はまだない。我々の観測は、一つの副産物として、この注目すべき検証を可能にしたのである。その結果は別報にて報告されるのであろう。

なお、観測期間中の10月14日未明、過去3日間に亘って沖縄に影響を与えた台風19号が観測点  $K_1$  の近くを通過した。外に特に目立った気象擾乱としては、24日から25日にかけての発達した低気圧の通過をあげることができる。



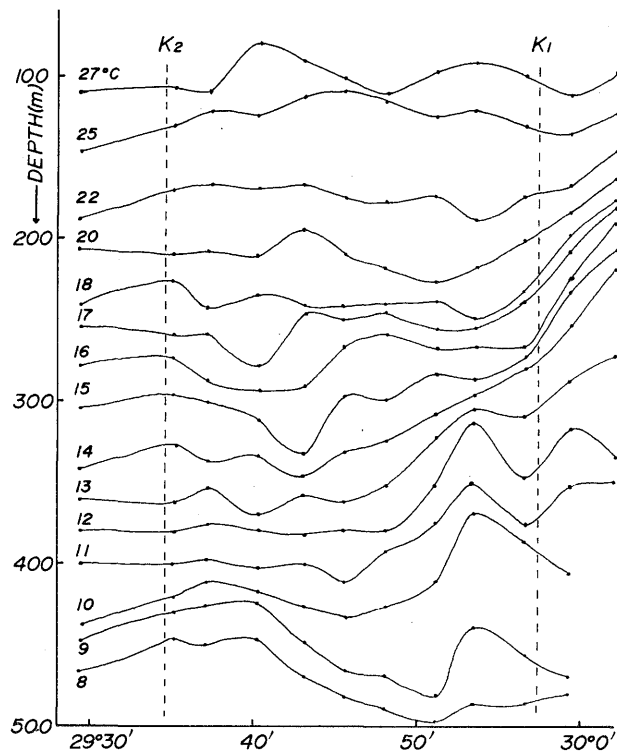


図 8 黒潮断面 (130°45'E) 水温分布 (XBT による)

### 2.3 測器の運動とデータ

一点係留方式に頼る限り、各測器は厳密には不動点ではなく、流況の変化につれて係留線とともに運動する。こうした測器の運動に伴う測定誤差についてはすでに第1報で論じた。ここでは、測器の深度変動に基づいて測定値に含まれる見かけの変動について簡単に触れる。

図9は  $K_1$  点 No. 1 (最上層) 流速計で得られた「平均」東向流と「平均」深度の変動を示したものである。東向きの強流成分にほぼ追隨して測器深度が変化している様子が見られる。「平均」深度の最大変動幅は約 50 m に達する。ところで、 $K_1$  点の 200 m 深における鉛直温度勾配は特に大きく  $0.1^\circ\text{C}/\text{m}$  にも達する。従って、水温場が時間的に全く変化しない場合でも、図の様な測器の深度変化により最大数  $^\circ\text{C}$  の水温変動が記録されることになる。図4～6の記録には、こうした測器深度の変化による見かけの変動量も含まれているから注意しなければならない：図には測器深度の一応の目安として観測期間中の平均深度を記入してはあるが、各時系列は必ずしも記された平均深度における流況を示すものではない。しかし、測器が深さ方向に充分密に配置されていて流れの鉛直構造がわかれば、見かけの変動を含まない定深度における流況を容易に推算することができる。 $K_1$  係留線の上層3台の測器で得られた深度及び水温時系列を使って内挿法により推算された定深度 ( $D=250\text{ m}$ ) における水温変動を、図6の上から2段目に、No. 2 測器 (平均深度約 260 m) の水温時系列と比較して示してある。表層強流が

1 m/s を越える観測の初期において両者の差は特に大きい。すなわち、測器の深度変化による見かけの変動が極めて大きいことがわかる。「平均」流の東向成分についての同様な比較の例を図 10 に示す。矢張り、流れの強い観測初期において両者の差が大きい。

同様に全 10 組の時系列について測器深度の変化に伴う見かけの変動量の大きさを調べた結果、特に強い流れのあった  $K_1$  点の上層 3 組の時系列を除き、他の時系列については全てそうした見かけの変動が無視できる程度に小さいことがわかった：すなわち、7 組の時系列については、それが個々の平均深度における実際の流況変動を表わしているものと見做してさしつかえない。しかし、観測の初期における  $K_1$  点の様に特に流れが強い所では、単一の測器で得られたデータだけでは実際の流況変動を正確に知ることはできない。つまり、表層強流帯に単一の流速計を配しただけでは、それから得られるデータは非常に限られた目的のためにしか使えないであろう。

なお、これまでの図及び以下の図において、深度表示に等号「=」を用いてあるものは、それが 3 点内挿によって推算された、定深度における時系列であることを意味する——例； $D=250\text{ m}$ ——。

### 3. 黒潮短周期変動の特徴

#### 3. 1 「平均」場の変動

観測データに 25-時間移動平均 (Cosine lowpass filter 使用) を施して得られる「平均」流速と「平均」水温の時系列を図 11, 12, 13 及び図 14, 15 に示す。なお図には、潮汐の大潮-小潮サイクルを示すために所々に月齢を記入してある。

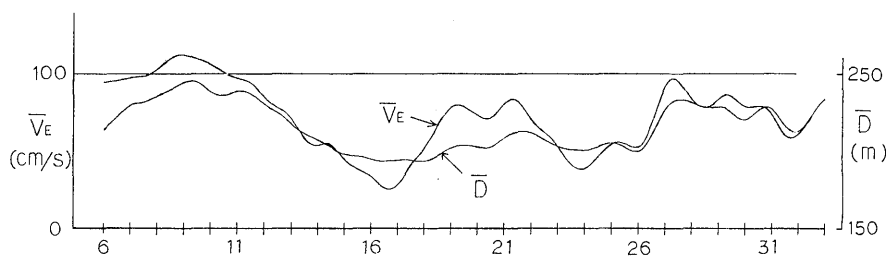


図 9  $K_1$  点 No. 1 流速計で得られた「平均」流の東向成分 ( $\bar{V}_E$ ) と「平均」深度 ( $\bar{D}$ )

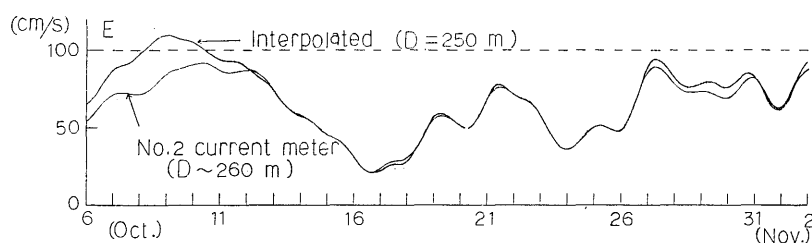


図 10  $K_1$  点 No. 2 流速計 ( $D \sim 260\text{ m}$ ) で得られた「平均」東流成分と定深度 ( $D=250\text{ m}$ ) の「平均」東流成分との比較

これ等の図を概観すると、「平均」流の短周期変動は、変動の時間スケールに関して、少なくとも2種の変動に区分できるように思われる：すなわち、2週間以上のスケールを持った比較的ゆっくりした変動と3～4日周期の短い変動と。この後者の変動は表層強流帯において特に顕著で、その時間スケールから見て恐らく気象擾乱によるものであろう。短周期変動と云っても、その統計的性質を調べるためにはここに得られた時系列は短か過ぎる。以下、もっぱら視察によって得られるいくつかの興味ある変動の特徴を列記するにとどめる。

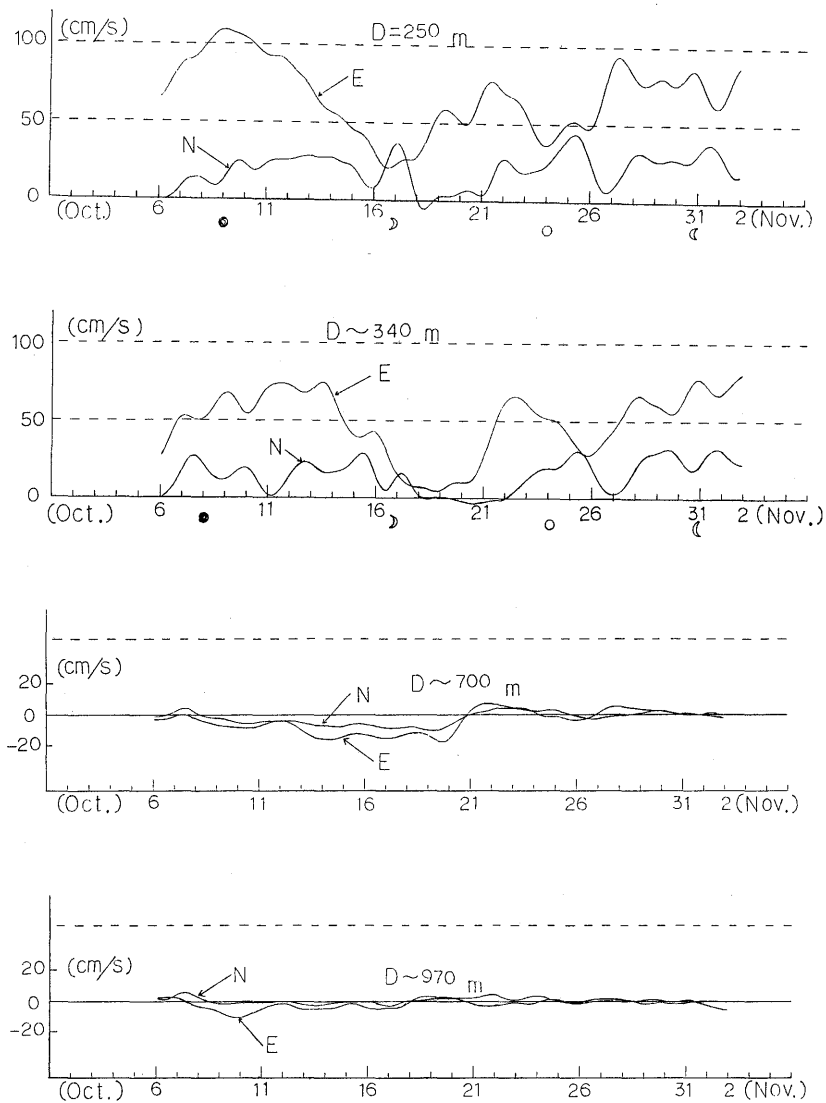


図 11  $K_1$  点に於ける「平均」流 (E; 東-西成分, N; 南-北成分)

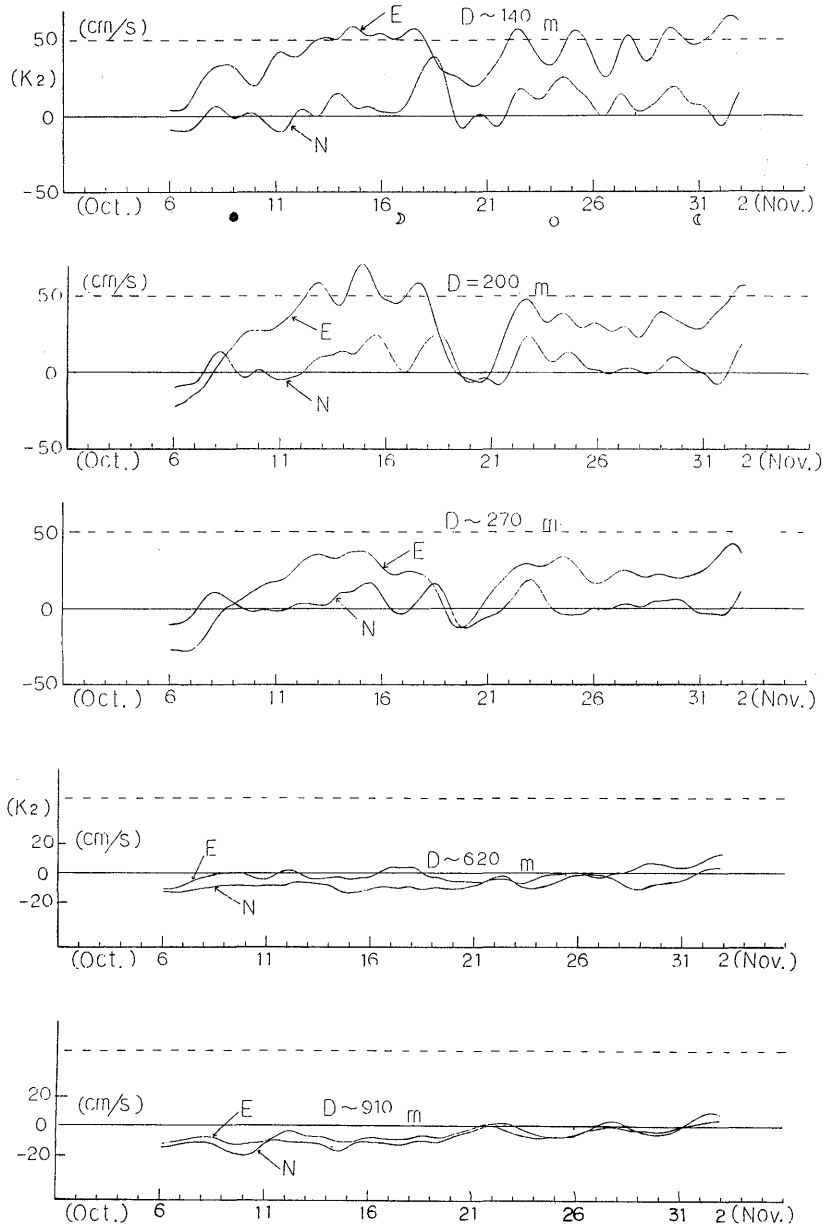


図 12  $K_2$  点に於ける「平均」流

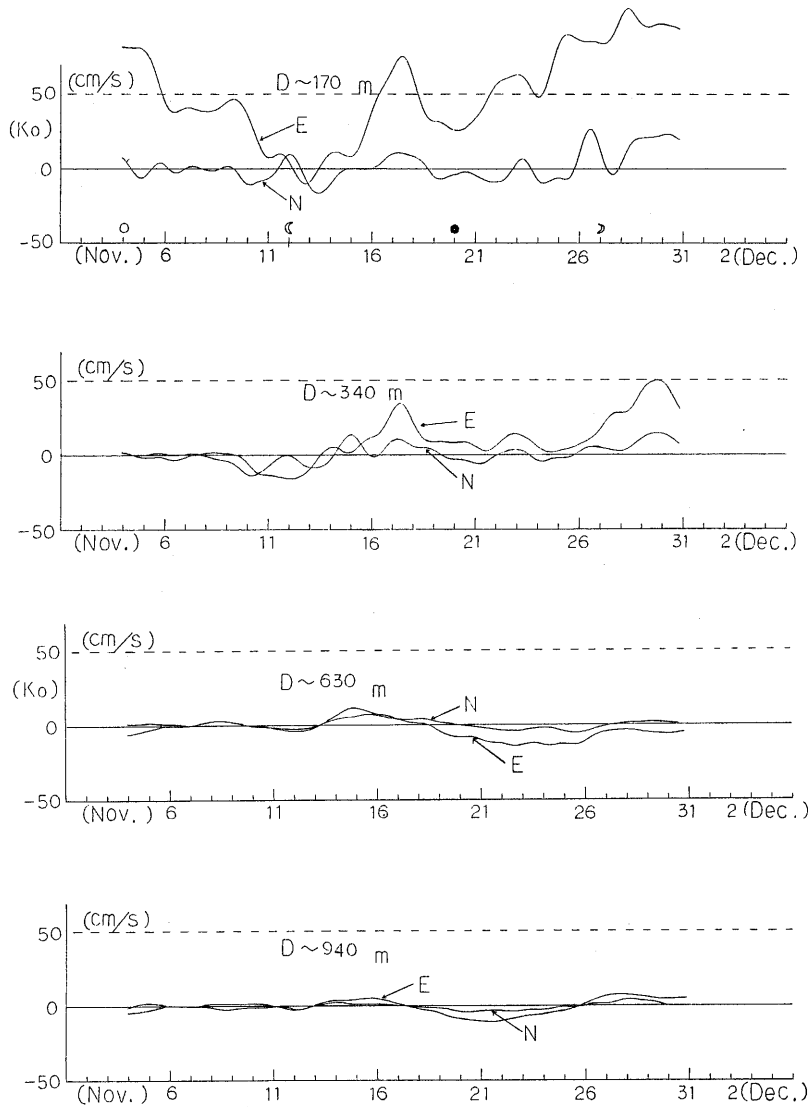


図 13  $K_1$  点に於ける「平均」流 ('79 年観測)

#### 上・中層流の変動

○表層強流帯における変動の鉛直構造をより鮮明に観るために「平均」流の東向成分の鉛直プロファイルの例を図 16 に示す。

$K_2$  点では全期間を通じて、季節温度躍層の下部から数百 m 深までが主として変動している。 $K_1$  点における 6 日から 11 日までの変動も同様な構造を示す。これに対し、 $K_1$  点における 12 日～17 日間の変動では、200 m 以浅の表層部の変動が主で、それに下層が追従している。表層の変動（水平運動量の変動）は、

減少) が除々に下層に伝わって行く様子が見られて興味深い。12日～17日間のプロファイルの移り変わりは冷却期 (Cooling season) における混合層の深化を想起させる。なお、この表層変動の深化速度は 20m/day 程度と大きく、対応する鉛直渦動粘性の値も非常に大きいものと思われる ( $10 \sim 10^2 \text{ cm}^2/\text{sec} ?$ )。前者の変動の空間スケールは比較的大きいらしく、概して  $K_1$ 、 $K_2$  点で同時に見られる。しかし、後者の表層主導型の変動は  $K_2$  点では見られない。時間スケールの観点から2種の変動が識別できることは先に述べた。ここでは構造上の区分について述べたわけであるが、この区分と先の区分がどう対応しているのか (或いは、対応していないのか) は今後の観測研究に俟たねばならない。

○観測の初期 (強い気象擾乱を受ける前) における表層「平均」流の変動を見ると、それが大潮-小潮サイクルと関連があるのではないかと疑念を抱かせる。 $K_1$  点では大潮の時流れは強く、小潮の時弱くなっている。偶然の徒かも知れないが、'79年観測の初期においても  $K_1$  点で全く同じ特徴が見られる。大潮-小潮に従って黒潮の「流軸」が南北に移動するらしいとの指摘は古くからあるが、実際、観測の初期における  $K_1$  点、 $K_2$  点の「平均」流の変動を「流軸」の変動として説明できないこともない。また、最近では Magnell 等<sup>4)</sup> が急峻な陸棚斜面部における平均流と潮汐流の局所的非線型相互作用 (潮汐流の整流) の可能性を指摘しているが、いずれも推測の域を出ない。

○ $K_2$  点においては時として非常に浅い所にも逆流 (西向流) が見られる。6日の例では、表層は東向流であるのに 200 m 深ではすでにかなり強い逆流となっている。この比較的小い所の逆流構造は 20 日

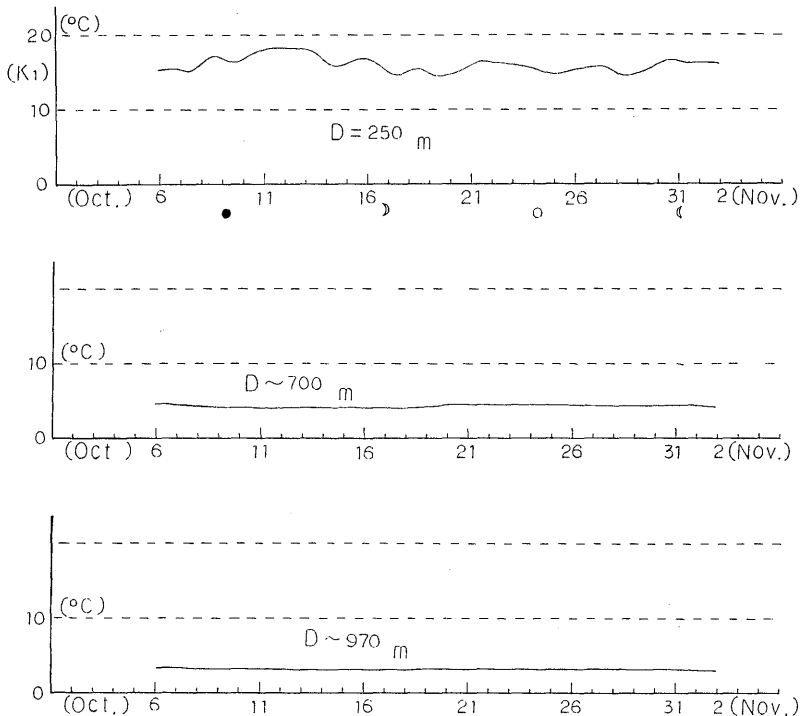
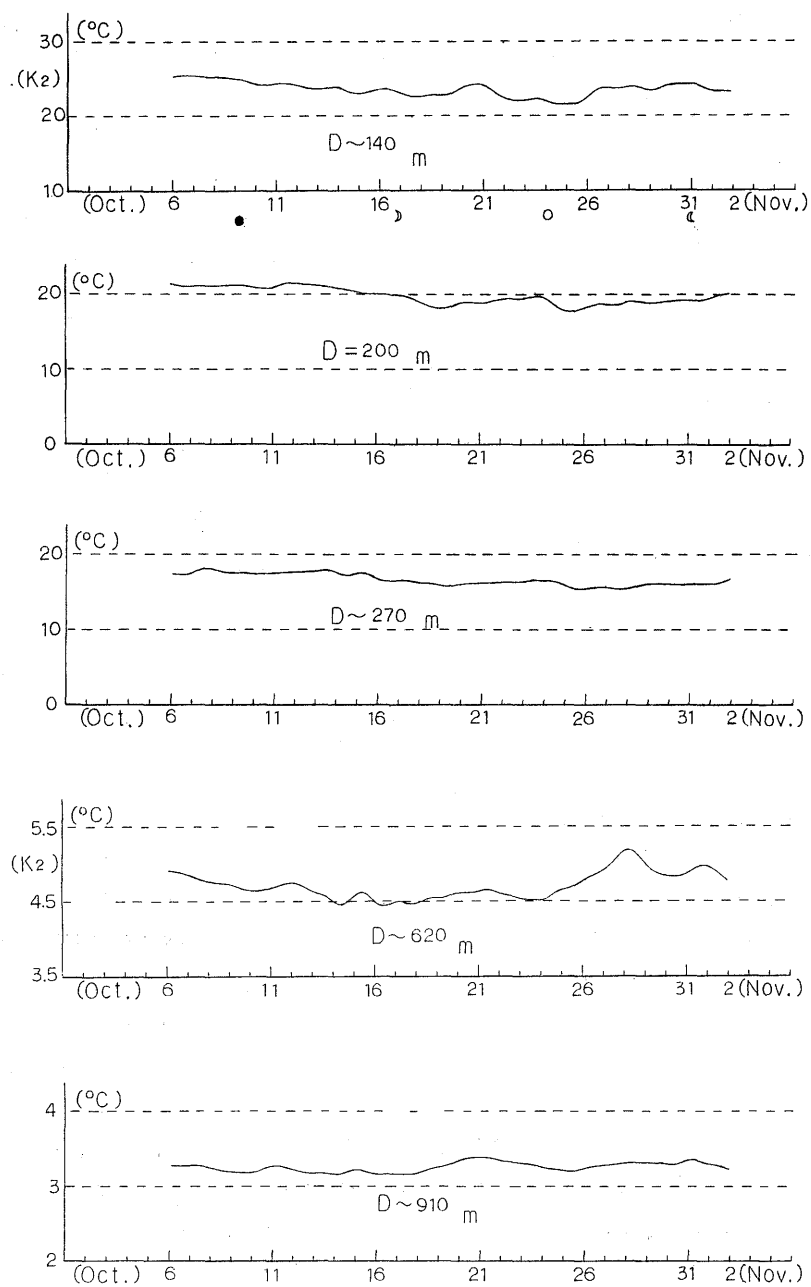


図 14  $K_1$  点に於ける「平均」水温

図 15 K<sub>2</sub> 点に於ける「平均」水温

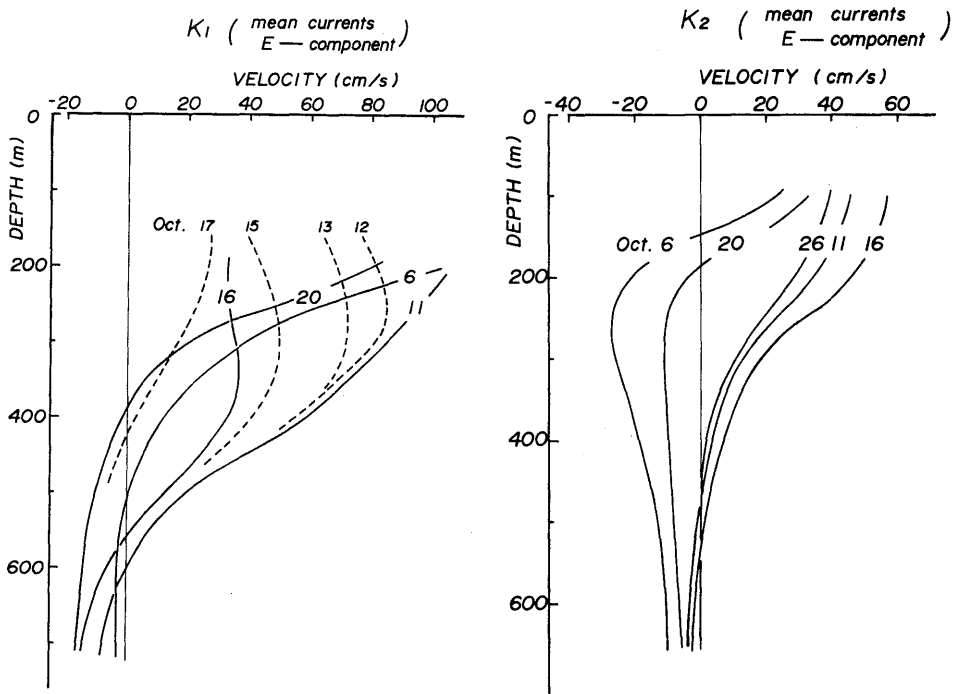


図 16 「平均」流東—西成分の鉛直プロファイルの例

前後に再度現われる。実際、20日のプロファイルは8日のプロファイルとほぼ一致するのである。この逆流構造は比較的安定に存続し、それが単に南-北に移動しているだけなのであろうか。

○これまで強流帯の流量はもっぱら密度場の測定から地衡流計算（‘力学計算’）によって算定されてきた。屋久島南東線に沿っての流量計算結果も報告されており、その変動は黒潮大蛇行現象との関連で重視されている。しかし、地衡流量計算には「無流面」の深度を知る必要があるが、直接測流結果が皆無であったため、この深度は適当に仮定されていた（例えば800m深）。図16を見る限り、同一地点においてさえ、単一の無流面深度を定めることは困難である。半年、1年といった、もっと長い期間の平均を考えれば、統計的に有意な無流面が浮びあがってくるのかもしれないが。なお、観測の初期（10月4日）においては、XBT観測により測点近傍の温度分布が知れているから、所謂‘力学計算’により地衡流（量）を推算することができる。温度（密度）場から推算された地衡流と直接測定した「平均」流との比較は非常に興味のある問題であるが、これについては別報で論ずる予定である。

#### 底層流の変動

○黒潮の底層には南西流があると一般に云われている。今回の観測結果によると、確かに南西流が目立っているが、北東流となる期間もある。有意な平均値を得るには観測期間が短か過ぎるが、無理に平均をとれば弱い南西流となる。もっと永い期間の平均を考えた場合はどうであろうか。但し、変動振幅



に比べて平均値が極めて小さいという結論は変わらないのではなかろうか。丁度 Mode 渦で満たされた Sverdrup 領域がそうであるように。

○各点の最下層の流測計で得られた「平均」流の流向を調べてみると、それは等深線の局所的な方向とほぼ一致することが知れる。地球自転の効果により流れは海底地形に強く拘束されているのである。しかし、底から 300~400 m 離れた所の「平均」流の流向は必ずしも等深線の傾きと一致しない。密度成層の効果により、流れは海底から離れるに従い、次第に地形拘束から解放されるからである。

○ $K_1$ ,  $K_2$  の下層の時系列は、ともに同じ現象（成層の影響を受けた地形性ロスビー波）を捉えていると思われるが、両地点の変動に明らかな位相のずれが見られるから、この種の変動の波長はせいぜい  $K_1 \sim K_2$  間の距離（約 45 km）程度であろうか。なお、Luyten<sup>5)</sup> も Gulf-Stream の底層で同様な変動を観測したが、矢張りその空間スケール（等深線方向の）が驚く程小さい（ $\leq 50$  km）ことを指摘している。Luyten は、この種の波動は海底に向って強くなる傾向（Bottom Intensified）があると述べているが、我々の観測例ではむしろ逆の傾向が見られる。

○底層の「平均」速度場と「平均」温度場の間には恐らく「温度風バランス」が成立しているものと思われる。この関係と静水圧近似を使うと熱の水平移流を、次式によって、速度場のデータから見積もることができる：

$$\bar{u} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{T}}{\partial y} = \frac{f}{\alpha g} (\bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} - \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z})$$

ここに、 $(x, y)$  は水平座標、 $z$  は鉛直座標を表す。 $(\bar{u}, \bar{v})$  は  $(x, y)$  方向の「平均」流速、 $\bar{T}$  は「平均」温度、 $f$  はコリオリパラメータ、 $g$  は重力加速度で、 $\alpha$  は熱膨張率である。Bryden<sup>6)</sup> は大西洋 Bermuda の南西部で得られた速度データを使ってこの水平移流を算定し、それが局所的時間変化とバランスしていることを示した；すなわち

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + (\bar{u} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{T}}{\partial y}) \approx 0$$

底層の 2 台の測器で得られたデータを使い、 $K_1$  点と  $K_2$  点それぞれについて、同様に水平移流の 3 日毎の平均量を計算してみた結果（省略）、黒潮底層ではそのような関係は成立しないことが分った；確かに、 $(\partial \bar{T} / \partial t)$  と  $(\bar{u} \partial \bar{T} / \partial x + \bar{v} \partial \bar{T} / \partial y)$  は同じ程度の大きさであるが、その和はゼロにならない。少くとも、もう一つ、同じ程度の大きさの項を考慮する必要があるようである。それは恐らく鉛直移流項  $\bar{w} \partial \bar{T} / \partial z$  であると思われる。鉛直移流と水平移流の比はおおよそ  $(L_D / L)^2$  の程度である（ $L_D$  は内部変形半径、 $L$  は変動の空間スケール）。底層の  $L_D$  は 40 km 程度であるから、もし先に述べた様に、この変動の空間スケールが 50 km 以下であれば、上の比は 1 に近く、 $\bar{w} \partial \bar{T} / \partial z$  が水平移流項と同じ様に局所的な時間的溫度変動  $(\partial \bar{T} / \partial t)$  に重要な寄与をしていても不思議ではない。

○この底層に見られる変動は表層強流帯の挙動とどのような関係があるのか、そもそもこの変動（波動）はいかなるメカニズムで駆動されているのか、等々の重要な問に答えるためには周到に計画された研究観測を俟たねばならない。

### 3. 2 1日及び半日周期の変動

「平均」流に対する「変動分」のうち、1日及び半日周期の変動が際立って活発である。すなわち、「変動分」のエネルギーは1日及び（或るいは）半日周期の所に集中している。従って、「変動分」に13時間移動平均を施すことにより両者をほぼ分離して取り出すことができる。厳密には適当な帯域フィルターを通すべきであろうが、単に両変動の定性的な特徴を見るには上の様な粗い分離法で充分であろう。速度変動の東-西及び南-北成分についての分離例を図17～20に示す。温度変動にも1日及び半日周期の変動は顕著に見られる。図21はその一例で、 $K_1$ 点上層強流帯の中の温度変動を示す。なお、半日周期の変動の場合には、温度場の変動振幅は速度変動振幅に比例して増減するのが見られる。

1日及び半日周期の潮汐変動や慣性波動については、測流データも比較的豊富で（長期測流の‘副産物’？）、すでに多くの研究がなされている——この種の変動は一般に‘中規模変動’（Mesoscale variation）と呼ばれ、海洋変動の中では比較的良く理解されている。しかしながら、強流域における中規模変動の挙動については殆んど何も知られていない。実際、ここに提示した測流結果が、強流域における中規模変動に関する最初の手がかりと云えるのではなかろうか。

**1日周期の変動：** この海域（緯度  $\varphi \approx 30^\circ \text{N}$ ）における1日周期の変動の中には1日周潮の外に慣性波動も含まれる。慣性波動は、その励起源が何であれ、‘コリオリパラメータ  $f = 24\text{hr.}/(2\sin\varphi)$  に近い周期をもつ時計廻り（於北半球）の水平円運動’と定義される。我々の観測海域が偶々  $\varphi \approx 30^\circ$  に位置するため、慣性波動も1日周潮とほぼ同じ周期を示すのである。周期の点で両者を区別するのが困難であるから、慣性波を同定するには上の定義の後半部に頼らねばならない。

図17～20の上段の時系列は、それぞれ、 $K_2$ 点の上層、中層及び下層におけるほぼ1日周期の変動の様子を示すものであるが、これ等の時系列の1つの際立った特徴は、台風の到来（14日）に呼応して

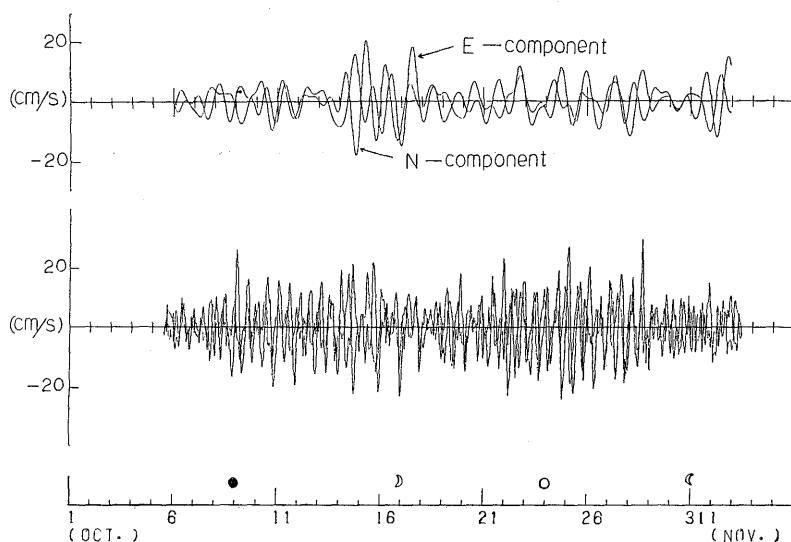


図 17 1日及び半日周期の速度変動 ( $K_2$ ,  $D=200\text{ m}$ )

振幅が著しく増大していることである。別の比較的強い気象擾乱が到来した(25日)後にも同様な振幅の間歇的増大が見られる。同様な特徴は  $K_1$  点の各時系列にも認められることから、この間歇的1日周期の変動は強い気象擾乱によって励起されたものと判断して間違いなさそうである。振幅は深さ方向に減少してはいるが、‘指数函数的減衰’という程に急激な減少ではない。なお、この間歇的1日周期変動は、 $K_2$  点の中層(約 600 m 深)に限り、上述の定義に合致する典型的な慣性波動の特徴を示すが(慣性円の直径は 2~3 km 程度)、その他の場所では概して波形もキタナイし‘水平円運動’とは云い難い。

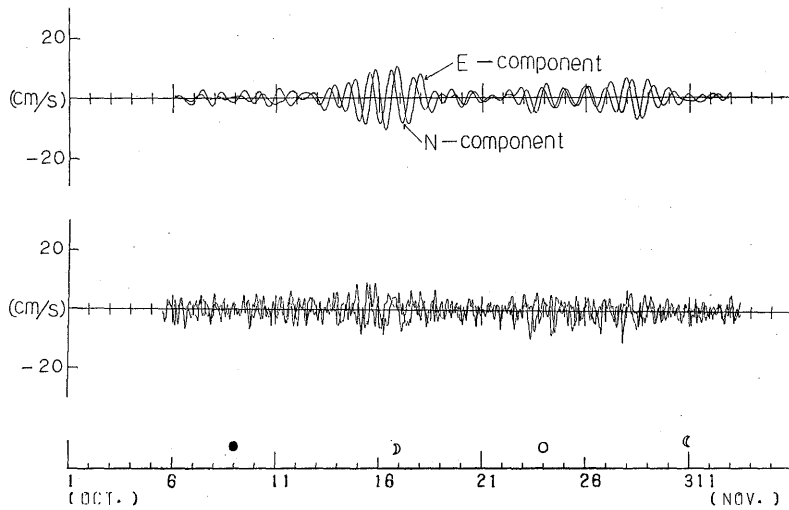


図 18 1日及び半日周期の速度変動 ( $K_2$ , D~620 m)

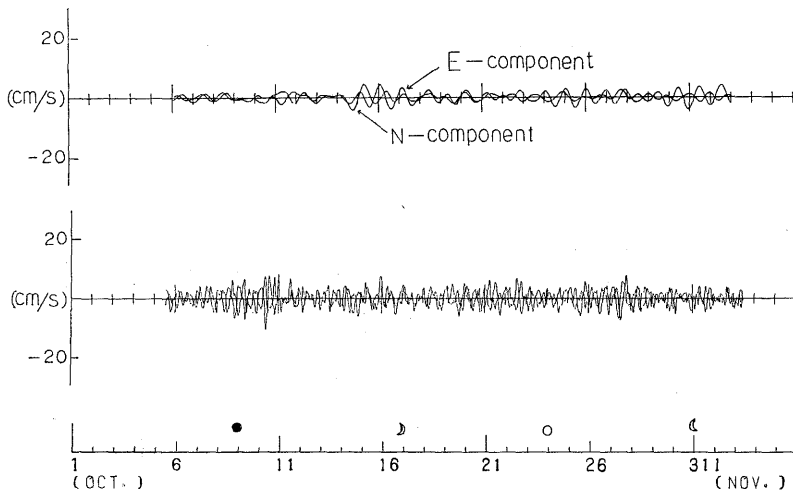


図 19 1日及び半日周期の速度変動 ( $K_2$ , D~910 m)

さて、現実には海洋で見られる慣性波動のうちで最も良く知られているのは、気象擾乱に呼応して表面混合層 (Mixed Layer) 内に励起されるものである。この種の慣性波動は局所的、間歇的であり、混合層の下方では指数函数的に急激に減衰しているのが特徴である。気象擾乱と云っても、特に表面風応力 (Wind stress) の変化が重要で、実際、Pollard & Millard<sup>7)</sup> は簡単な Wind stress モデルで観測結果が良く説明されることを示した。こうした表面混合層内の慣性波の他に、時として 500 m ~ 1000 m といった比較的深い所にも強い (10 cm/s 程度) 慣性波が検出されることがある。この深い所の慣性波に

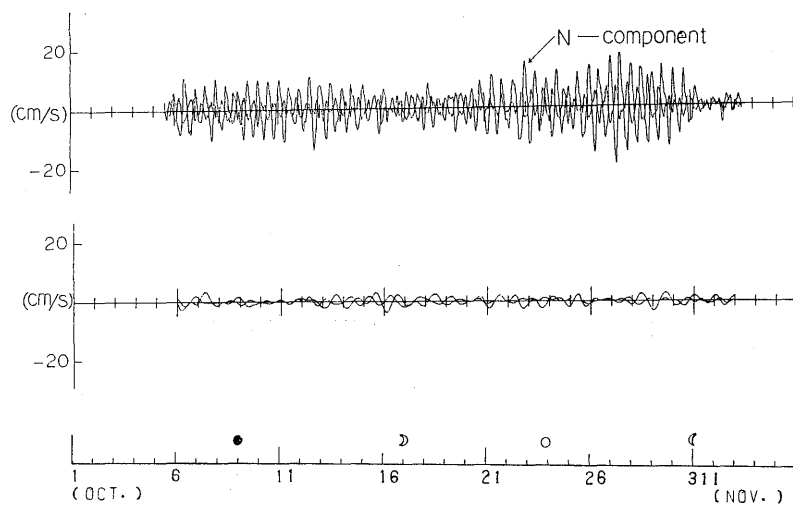


図 20 1日及び半日周期の速度変動 ( $K_1$ ,  $D \sim 970$  m)

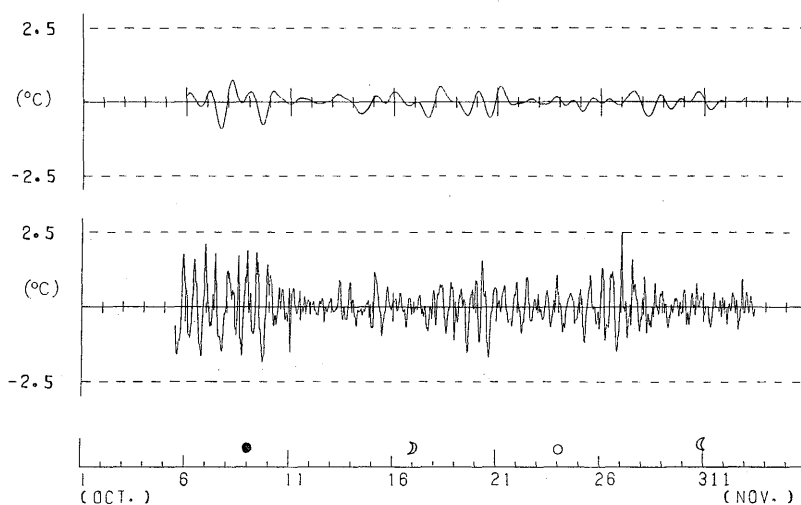


図 21 1日及び半日周期の水温変動 ( $K_1$ ,  $D = 250$  m)

については、それが単純な Wind stress モデルで説明できないという事以外、何もわかっていない。我々の観測が捉えた1日周期の変動も、現時点では、この素性の知れぬ慣性波動の部類に入れておくべきであろう。その励起には気象擾乱が関与していることは間違いないが、既存の Wind stress モデルによる説明では明らかに無理であり、別の新しい機構を考える必要がある。この興味ある問題については別報で論ずる予定である。

1日周期の変動としては、上に指摘した間歇性の変動の他に、気象擾乱に無関係にどの時系列にも万遍なく見られる小さな振幅のものがある。これは1日周潮と見るのが自然であろう。

**半日周期の変動：** 半日周起潮力によって駆動されるこの半日周期の変動は非常に活発で、表層強流帯においても先に示した「平均」流の変動に匹敵し、中・底層部では「平均」流の変動を凌駕する。これは、強流域に固有の現象と見るよりも、陸棚斜面部の特徴と見るべきであろう（観測点は強流域であると同時に陸棚斜面部でもある）。実際、観測された半日周潮（Surface tide+internal tide）は、これまでに一般の斜面部で観測されたものとおおむね同じであった。強流域の存在に起因すると思われるような目新しい現象は、過去2回の測流結果に関する限り、何ら認められなかった。起潮力がほぼ一様であるにもかかわらず観測される半日周潮の水平及び鉛直構造が極めて顕著であること（すなわち、起振力の空間スケールと応答の空間スケールの不一致の問題）、水温変化と速度変化の間の関係等々、すべて、半日周潮に関するこれまでの観測・研究結果に関連づけて説明できるようである。

大陸棚及び陸棚斜面部における潮汐流が非常に活発であるが故に、平均流と潮汐流の相互作用の問題（特に潮汐流の整流現象）が魅力ある問題としてしばしば研究者の注意を惹きつける。最近では、Magnell 等<sup>4)</sup> が、大西洋 Georges Bank の斜面部の測流結果に基づき、平均流の変動と半日周潮の振幅変動（そして気象擾乱）との間に良い相関が認められることを指摘した。同様な現象が黒潮強流域においても見られるであろうか。我々の観測例では、半日周期の変動はおおむね大潮・小潮サイクルに一致した2週間周期の振幅変動を示す。K<sub>1</sub> 点の下層（図20）がその最も美しい例である。図17（下段）は K<sub>2</sub> 点の上層強流帯中の変動を示したものであるが、その振幅変動は、先に示した同点の「平均」流の大きな変動に殆んど無関係であるのがわかる。一般に、潮汐流は黒潮を自由にすり抜けているかのような印象を受ける。ただし、'80年観測で得られた K<sub>1</sub> 点強流部（D=250 m）における半日周期の変動は例外である。図21にはその水温変動のみを示してあるが、第2の気象擾乱に見舞われた10月24日を中心として、「平均」流の急変（東流成分の減少、北流成分の増大）に応じて半日周潮の振幅が異常に減じているのが認められる。これは Magnell 等が観測したのと同様の現象であろうか。この種の現象にとっては成層構造と海底地形が重要な因子である（Magnell 等）から、時により、場所により、黒潮強流域に同一の現象が見られても不思議ではないが、それが潮汐流と「平均」流の非線型相互作用の結果であるか否かは疑問である。気象擾乱が黒潮の速度場・密度構造を大きく変化させ、その結果、内部潮汐の空間構造が著しく変ったとする単純な説明も可能ではなからうか。いづれにしろ、「平均」流と潮汐流及び気象擾乱の間の関係については、測流データが蓄積されて行くに従い自然と明確な結論が浮び上って来るであろう。

#### 4. 結 語

種子島・屋久島南方の黒潮強流域において試みられた係留観測の結果を提示し、そこから読みとられる黒潮変動の特徴のいくつかを指摘した。ここに提示したデータは、固より黒潮の特定の現象の解明に直接結びつく性質のものではないかもしれないが、過去半世紀に亘って蓄積された膨大な観測データに加えられた初めての直接測流データとして、今後の新たな黒潮研究計画の立案に貢献するところ少なくないであろう。——少なくとも、直接測流法によって今後何ができ得るかを判断する材料となるであろう。研究計画半ばにしてその結果を公表する狙いもそこにある。従って、この中間報告の‘主要な結果’は、強流域直接測流の事実であり、得られたデータそのものである。

#### 謝 辞

’80年度観測における係留線の設置・係留及び各種観測は東海大学所属 調査練習船「東海大学丸Ⅱ世」によって実施された。同船の政次五男船長をはじめとする乗組員の方々のご協力に深く感謝します。

#### 参 考 文 献

- 1) 田才福造, 栖原寿郎他10名: 総合ブイシステムによる海洋計測法の開発研究 (第一報), 九州大学応用力学研究所所報, 第52号, 1980, p. 29-98.
- 2) Nitani, H. and Shoji, D.: On the variability of the velocity of the Kuroshio-II, The Kuroshio (edited by J.C. Marr), 1970, East-West Center Press, p. 107-116.
- 3) Masuzawa, J.: Cruise report on multiple-ship study of short-term fluctuations of the Kuroshio in October to November 1967, Oceanogr. Mag., 20, 1968, p. 91-96.
- 4) Magnell, B. A., Spiegel, S. L., Scarlet, R. I. and Andrews, J. B.: The relationship of tidal and low-frequency currents on the north slope of Georges Bank, J. Phys. Oceanogr., 10, 1980, p. 1200-1212.
- 5) Luyten, J. R.: Scales of motion in the deep Gulf Stream and across the Continental Rise, J. Marine Research, 35, 1976, p. 49-74.
- 6) Bryden, H. L.: Horizontal advection of temperature for low-frequency motions, Deep-Sea Research, 23, 1976, p. 1165-1174.
- 7) Pollard, R. T. and Millard, R. C.: Comparison between observed and simulated wind-generated inertia oscillations, Deep-Sea Res., 17, 1970, p. 813-821.

(昭和56年10月31日 受理)