

GEK 観測資料に基づく黒潮流路タイプ別の 熊野灘・遠州灘の流況—I*

—— 黒潮非大蛇行期 ——

小林雅人**・杉本隆成**・平野敏行**

Surface Current Patterns in the Kumano-nada and the Enshu-nada Seas for Different Types of the Kuroshio Paths Based on GEK Data—I

——For Periods without Large Meander of the Kuroshio——

Masato KOBAYASHI**, Takashige SUGIMOTO** and Toshiyuki HIRANO**

Abstract

Surface currents measured with GEK for periods without large meander of the Kuroshio from December 1965 to July 1975 were analyzed statistically, laying a focus on the Kumano-nada and the Enshu-nada Seas. Mean current patterns were obtained for different six types of the Kuroshio paths. Daily mean sea levels at the several tidal stations crossing the Kuroshio path at the Izu-Ogasawara Ridge were analyzed supplementarily to investigate fluctuations of the Kuroshio path within shorter than one month. From the analyses, followings were suggested.

(1) The surface current pattern in the Kumano-nada and the Enshu-nada Seas was mainly influenced by fluctuation of the Kuroshio path in the time-scale of a half-month to a few months, having a different pattern for every type of the six Kuroshio paths.

① Surface current conditions in the Kumano-nada Sea were easily influenced by fluctuations of the Kuroshio paths in comparison with those in the Enshu-nada Sea. ② Cyclonic circulations in the Kumano-nada and the Enshu-nada Seas were not so strong as those of large meander-path period of the Kuroshio. ③ A weak anticyclonic circulation appeared in the Kumano-nada Sea during the N IIIb type path. ④ During the C type path, offshore surface currents came to be predominant.

(2) The frequency of the Kuroshio path types had seasonal variation. In winter the C and the N I types appeared more frequently and the N IIIa, the N IIIb and the B types appeared less frequently than in other seasons.

(3) The surface current pattern in each of six types did not have significant relations with monsoon.

(4) Mean surface current patterns measured with GEK during the N IIIa and the N IIIb types corresponded to those of instantaneous sea surface temperature pattern measured by NOAA-6 with infrared AVHRR.

1. はじめに

海洋中に存在する溶存性物質や、卵・稚仔・プランク

トンなどの浮遊性物質および汚染物質などの動きを把握することは、水産資源生物の補給機構や海洋生態系の維持機構の解明、あるいは、海洋環境保全の面からも重要である。したがって、これらの物質の輸送・分散機能という立場から、海水の流動（海潮流の動態）について分析整理し、検討を加える必要がある。

一般に、沿岸域では生産性が高く、有機物質が多く存

* 1984年8月28日受理

** 東京大学海洋研究所 Ocean Research Institute, University of Tokyo, Fisheries Oceanography Laboratory, 1-15-1, Minamidai, Nakano-ku, Tokyo, 164 Japan

在するが、沖合域では少ない。沿岸で生産された物質は沖合に分散せられ、あるものは逆に沖合から沿岸に輸送される。沿岸と沖合との間で行なわれる種々の物質の交換機構について考えるさいに、物質輸送の原動力となる海水の流れとしては、「風による流れ」・「潮流」・「河川水の流出による密度流」・「黒潮などの海流の変動に伴う流れ」などが挙げられる。物質輸送に果たすこれらの流れの役割は時空間スケールにより異なる。中でも、数百 km の空間スケール、一週間以上の時間スケールでは、黒潮などの陸岸境界流の変動に起因する流動の影響が強いことがこれまでの経験から知られている(杉本, 1983)。

そこで本研究では、熊野灘・遠州灘の空間スケールと半月～数カ月の時間スケールでの黒潮流路の変動に伴う、黒潮の内側域(沿岸域)の流況を把握することを目指して、GEK による表層の流動の統計解析を行なった。なお、今回は1965年12月～1975年7月の約10年間の非大蛇行期について取り扱った。

2. 黒潮流路の細分類

熊野灘・遠州灘の空間スケールで、黒潮内側域の流況

に影響を与えるような黒潮流路の変動を調べようとするならば、従来から分類されている黒潮流路の型(A・B・C・D・N)(吉田, 1961; 二谷, 1969)を適用するだけでは不十分である。藤本(1972)や伊藤(1983)は従来の型に折衷型(CD)やA型の変形タイプ($A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_{s1} \cdot A_{s2} \cdot A_{s①}$)を加えて、黒潮の流路変動について論じた。また、部屋(1972)は八丈島・三宅島付近における黒潮流路を7種類の型に分類して流路変動を論じた。ここでは、一般に黒潮の非大蛇行期と呼ばれている1965年12月～1975年7月の約10年間に焦点を絞り、海上保安庁水路部発行の海洋速報により、熊野灘・遠州灘を中心にして、黒潮流路を以下に定義する6種類のタイプに分類した(Fig. 1)。なお、分類するにあたり、水深 200 m の水温分布・海表面水温分布・GEK による流向流速分布の優先順位で各タイプを判断した。

NI 型: 遠州灘沖を東進し、三宅島・御蔵島付近で伊豆・小笠原海嶺を越える。

N II 型: 遠州灘沖を東進し、伊豆半島に接岸して伊豆・小笠原海嶺を越える。

N IIIa 型: 遠州灘沖で接岸し、三宅島・御蔵島付近

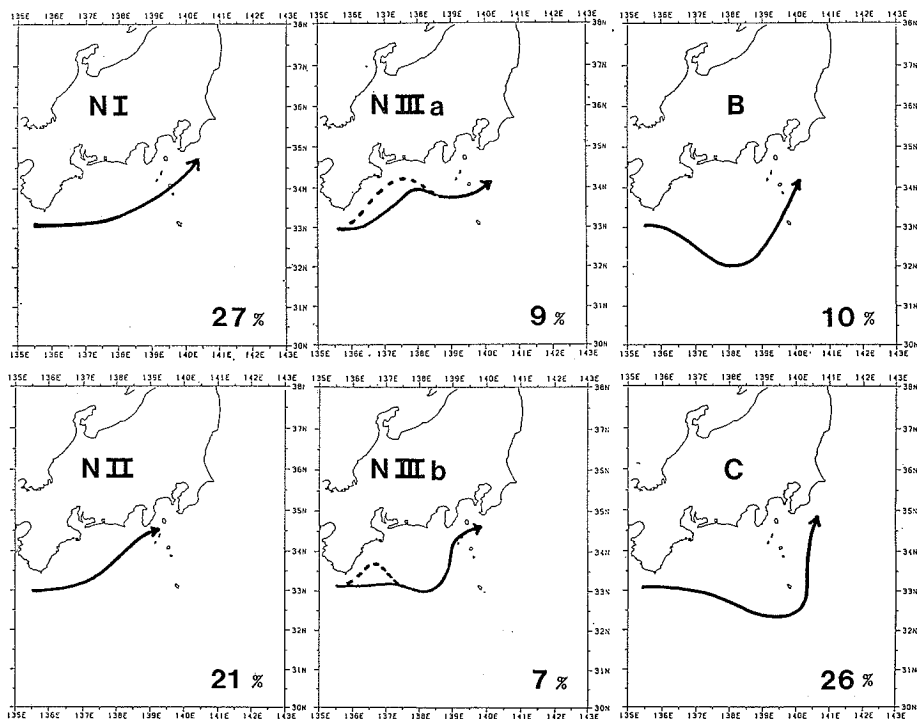


Fig. 1. Six types of the Kuroshio paths and their frequency for the period without large meander of the Kuroshio (Dec. 1965-Jul. 1975).

Table 1. Seasonal frequency (%) of appearance for six types of the Kuroshio paths.

Type Season	N I	N II	N IIIa	N IIIb	B	C	Total
spring [Mar.-May]	8(13)	14(23)	7(11)	4(7)	5(8)	23(38)	61(100)
summer [Jun.-Aug.]	16(28)	13(22)	6(10)	7(12)	10(17)	6(10)	58(99)
autumn [Sep.-Nov.]	19(35)	13(24)	5(9)	4(7)	5(9)	8(15)	54(99)
winter [Dec.-Feb.]	20(34)	9(16)	3(5)	1(2)	2(3)	23(40)	58(100)
all season	63(27)	49(21)	21(9)	16(7)	22(10)	60(26)	231(100)

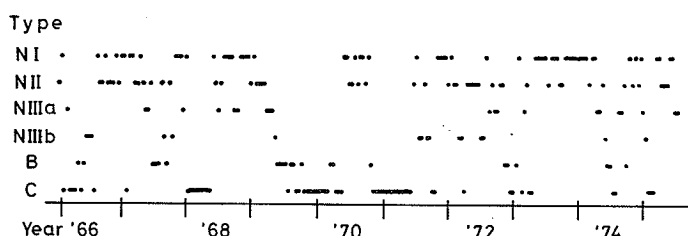


Fig. 2. Time series of the type of the Kuroshio path.

で伊豆・小笠原海嶺を越える（熊野灘で北上する特殊な場合もある）。

N IIIb 型： 遠州灘沖で離岸し，伊豆半島に接岸して伊豆・小笠原海嶺を越える（熊野灘で北上する特殊な場合もある）。

B型： 遠州灘沖で 32°N以南にまで離岸し，八丈島以北で伊豆・小笠原海嶺を越える。

C型： 八丈島以南を迂回し，伊豆・小笠原海嶺の東側を北上する。

3. 各タイプの出現頻度

1965年12月～1975年7月における黒潮流路6タイプの出現頻度は，Fig. 1 に示すように，N I，N II の直進タイプがそれぞれ約 1/4 ずつを占め，Cタイプも約 1/4 を占める。大蛇行期に対して，Cタイプをも含めて直進期という言葉が用いられることがあるが，ここでは直進期と呼ばずに非大蛇行期と呼ぶ。

上記期間を春（3～5月），夏（6～8月），秋（9～11月），冬（12～2月）の四季に分け，四季別に各タイプの出現頻度を調べた（Table 1）。春は C と N II タイプ，夏は N I と N II タイプ，秋も N I と N II タイプ，冬は C と N I タイプがそれぞれ出現しやすい。また，各タイプ別にどの季節に出現するかについて見ると，N I タイプは春に，N II と N IIIa タイプは冬にそれぞれ出現し

にくい。N IIIb と B タイプは夏に最も出現しやすく，冬に最も出現しにくい。Cタイプは冬春季に出現しやすい。N II と N IIIa タイプや N IIIb と B タイプのように黒潮流路のパターンが類似しているタイプでは，出現頻度の特徴も一致している。小蛇行の出現・通過に季節変化のあることが示唆される。

4. 各タイプの持続性と変遷

熊野灘・遠州灘を通過する黒潮の小蛇行（擾乱）は半月ごとに発行されている海洋速報を用いて調べたので，半月程度持続するものが取り上げられる。そして，潮岬～伊豆・小笠原海嶺間（約 300 km）に 1～1/4 波長程度が入り，周期が半月～2 カ月以上のものに限定される。

Fig. 1 に示すように，非大蛇行期であっても，黒潮の小蛇行はかなり高い頻度で起こっている。また，黒潮は伊豆大島～八丈島以南にまでわたる広い海域で伊豆・小笠原海嶺を越えることがわかる。

6 種類のタイプの持続性と相互の変遷の過程を Fig. 2 に示した。長期間持続するタイプは C 型（最高 7.5 カ月），N I 型（最高 4.5 カ月），N II 型（最高 2.5 カ月）であるが，N I と N II は断続的に出現するので，小蛇行の通過に伴って出現する一過程であると考えられる。小蛇行の通過に合わせて各タイプが出現すると仮定すると，N IIIa→N II（N IIIb）→N I という変遷形態が存在する

Table 2. Frequency (%) of former and next type for six types of the Kuroshio paths.

Former type	Next type					
	N I	N II	N IIIa	N IIIb	B	C
N I	32(14)	19(8)	6(3)	1(0)	1(0)	4(2)
N II	18(8)	17(7)	4(2)	5(2)	3(1)	1(0)
N IIIa	2(1)	7(3)	8(3)	3(1)	0(0)	1(0)
N IIIb	2(1)	1(0)	0(0)	6(3)	3(1)	4(2)
B	2(1)	2(1)	0(0)	1(0)	9(4)	8(3)
C	7(3)	2(1)	3(1)	0(0)	6(3)	42(18)

ように考えられ、Fig. 2 にもわずかながら見られる。Fig. 2 では、N I→N II が最も多く、まれに、N I→N II→N IIIa→N IIIb→B→C→(B)→N I という変遷形態が現われる。したがって、N I→N II という変遷形態が最も多いことから、小蛇行(擾乱)には半月よりも短い周期で通過している擾乱も少なくないと考えられる。また、6 種類のタイプの前後のタイプの出現頻度を調べ、Table 2 に示した。Fig. 2 と同様に、C タイプ、N I タイプ、N II タイプの順で持続する頻度が高く、N I→N II の頻度も高いことが Table 2 から明瞭に見られる。

次に半月よりも短い周期の黒潮流路の変動を調べるために、大島、三宅島、八丈島のそれぞれの日平均潮位(静水圧近似により 1,000 mb を基準とした気圧補正のみを行なった)を、黒潮流路の各タイプが短期間のうちに変遷していた 1974 年の 1 年間について Fig. 3 に示した。図中には、比較のために、海洋速報をもとに分類した黒潮流路の各タイプも記入した。本州南岸の潮位または潮位差変動から黒潮の流路変動が把握できることは、すでに多くの研究から知られている(部屋, 1972; 岡田・西本, 1978; KAWABE, 1980)。

川辺(1978)は、1974 年～'76 年の 3 年間について、内浦・大島の日平均潮位偏差ならびに神津島・三宅島・八丈島の日平均潮位と、海洋速報から読み取った黒潮流軸の緯度変化を比較して、両者は良く対応することを報告している。

Fig. 3 を見ると、4・5 日、1 カ月、2 カ月の周期で潮位が変動しているように見られ、1 カ月～2 カ月周期の変動については、黒潮流路の各タイプの変遷と潮位変動とはほぼ一致している。1 月～3 月に、とくに三宅島で見られるような半月よりも短い周期の変動については、黒潮流路のタイプとの対応は明らかではない。このような島の潮位の半月よりも短い周期の変動は、黒潮流路の短周期変動もふくまれているものと思われるが、周期の

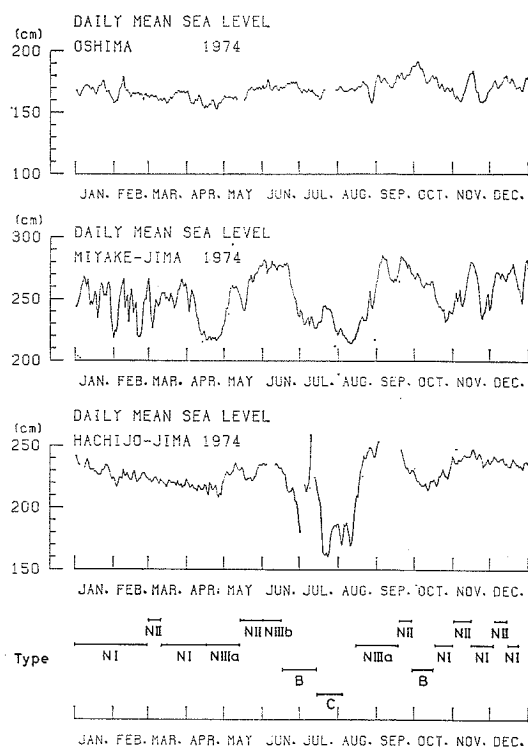


Fig. 3. Variations of daily mean sea levels at Oshima, Miyake-jima and Hachijo-jima in 1974. Bars indicate the type of the Kuroshio path.

長い潮位変動については黒潮流路の各タイプと良く対応しているので、上述のタイプ分類で半月程度以上の黒潮流路の変動が、かなり良くとらえられていると考えられる。

5. GEK による沿岸域の流況

海洋表層の流れとして、GEK による流速の広域にわたる多量のデータが蓄積されている。

本研究では、黒潮流路の変動に伴う沿岸域の流況を把握することを主な目的としているので、潮流や吹送等流

の影響をできる限り取り除くために、GEK による測流値を統計的に整理した。

GEK データを用いた統計的整理は、既に、RIKIISHI (1974), NITANI *et al.* (1979) らにより日本近海の平均流速・流向、安定性などについて計算され、議論されている。しかし、これらは黒潮の大蛇行期と非大蛇行期の期間に分類し、黒潮流路に主眼をおいたもので、沿岸域の流況については検討されていない。

本研究で用いた GEK データ (1953 年～1980 年) は、海上保安庁水路部海洋資料センターより提供を受けたもので、緯度・経度ともに 15' のメッシュ内 (データが 2 個以上あるメッシュ内のみ) で統計的整理を行なった。非大蛇行期 (1953 年 10 月～'55 年 12 月, '59 年 7 月～'62 年 12 月, '75 年 8 月～'80 年 8 月の大蛇行期を除いた期間) における観測数の分布、安定度 (流向流速のベクトル平均値を流速のスカラー平均値で除した値を百分率で示したもの) の分布、流向流速のベクトル平均値の分布を Fig. 4 に示す。Fig. 1 に示したように、非大蛇行期の中には 6 種類の黒潮流路タイプが含まれているので、沿岸域の安定度は低く、黒潮流路の幅は広く現われている (Fig. 4)。そこで、Fig. 1 に示した 6 種類の黒潮流路の各タイプごとにその出現期間だけのデータを用いて、観測数の分布 (Fig. 5)、安定度の分布 (Fig. 6)、ベクトル平均値の分布 (Fig. 7) をそれぞれ示した。観測数が少なく、偏りもあるが、Fig. 7 を見ると、ベクトル平均値の分布は各タイプとも Fig. 1 と対応した黒潮の流路が良く現われている。また、各タイプによる黒潮内側域 (熊野灘・遠州灘) の流況の違いについても Table 3 に示すように見ることができる。

この表から、①熊野灘は遠州灘よりも黒潮流路の違いによる影響を受け易いこと、②黒潮の大蛇行期に存在する冷水塊のような、熊野灘と遠州灘とが明瞭に一体となった強い左旋環流は存在しないこと、③ N IIIb タイプの時には熊野灘に弱い右旋環流が見られること、④熊野灘と遠州灘において B タイプの時には循環流よりも不規則な流れが、また、C タイプの時には沖向きの流れがそれぞれ卓越すること、の 4 点が示唆される。

また、熊野灘・遠州灘海域において、Fig. 6 の安定度の分布を Fig. 4 のそれと比較して見ると、6 種類のタイプは全てこの海域全域にわたり、かなり安定度が高い。したがって、Table 2 に示した沿岸流の特性は、おのおのの黒潮流路タイプに対応して、それぞれに安定した流動であると考えられる。

次に、季節風の影響を調べるため、6 種類のタイプ別

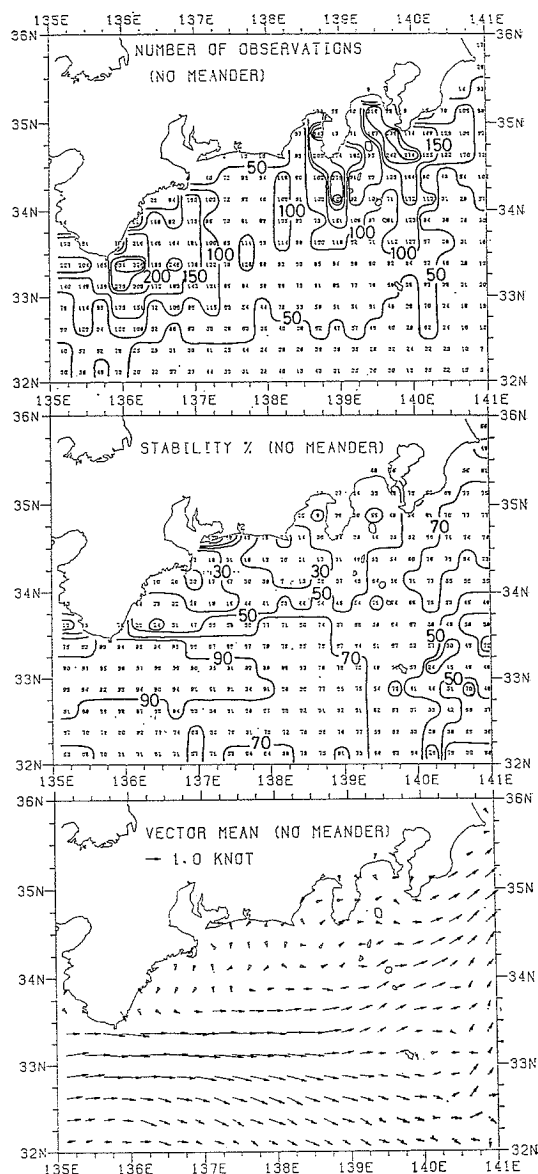


Fig. 4. Number of observations, stability and vector mean of the surface current velocity measured with GEK in each 15' mesh in the periods without large meander of the Kuroshio since 1953.

に、その出現期間の GEK データを夏のモンスーン期 (6 月～9 月) と冬のモンスーン期 (10 月～3 月) に分けて、ベクトル平均値と安定度について検討した。熊野灘・遠州灘を包括する緯度 2°, 経度 5° の海域 (34°～36° N, 135°～140°E) において、風の 15 年間の月別平均応

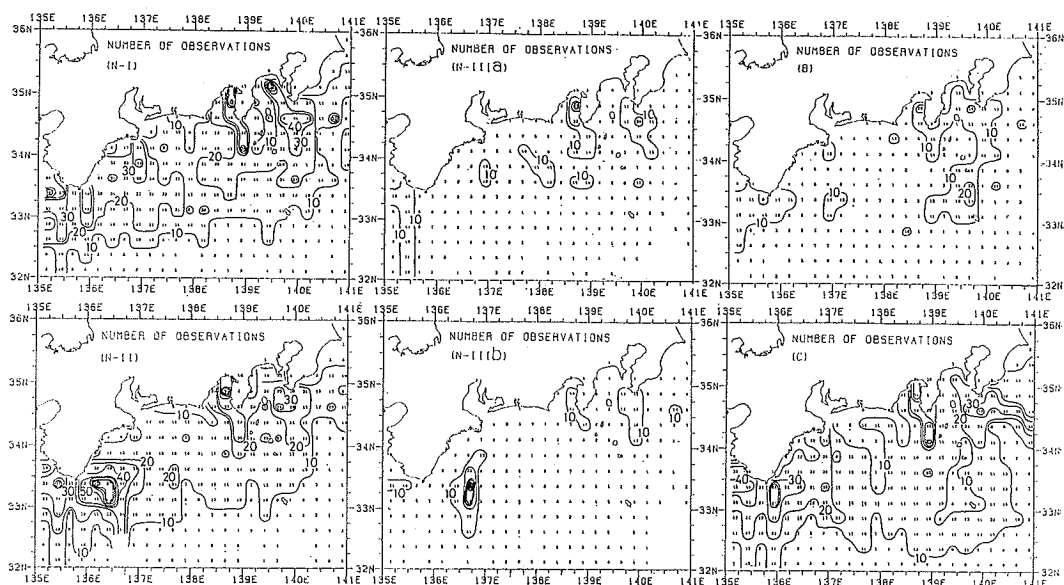


Fig. 5. Number of GEK observations for six types of the Kuroshio paths for the same period as in Fig. 1.

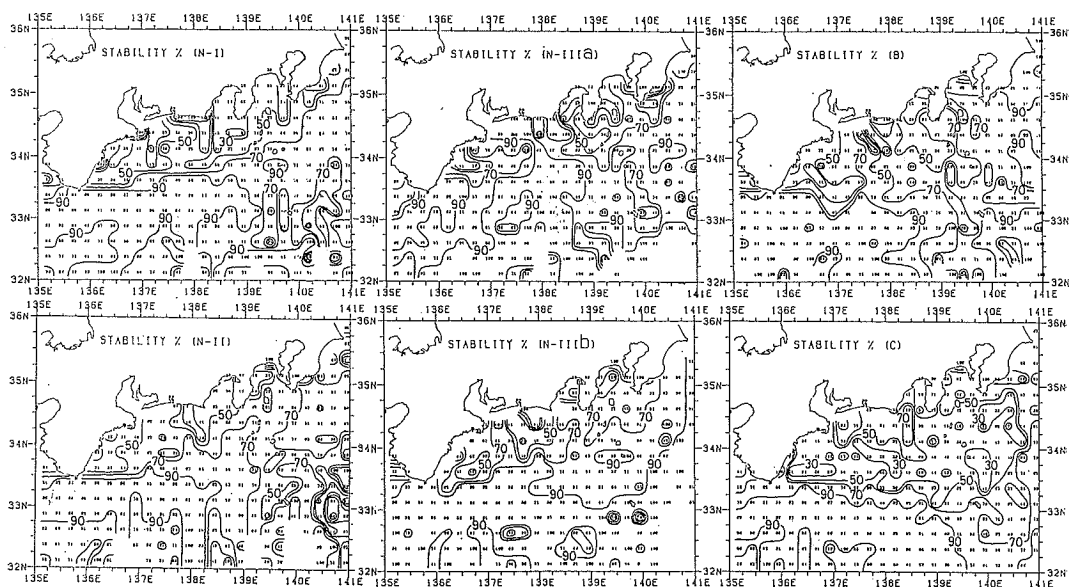


Fig. 6. Stability of the surface current velocity measured with GEK for six types of the Kuroshio paths for the same period as in Fig. 1.

力を示した図によると、夏季は南～南南東の風、冬季は北西の風がそれぞれ吹いている (KUTSUWADA and SAKURAI, 1982)。Cタイプを除いた5タイプ、特にN IIIa・N IIIbとBの3タイプでは、冬よりも夏の観測数が多い。ここでは、夏と冬の観測数がほぼ等しい

N I と N II の2つのタイプのうち、一例としてN Iタイプの夏と冬について比較する。観測数・安定度の分布とともにベクトル平均値の分布をFig. 8 (A, B) に示すが、夏と冬とで安定度とベクトル平均値の分布に大きな違いは認められない。N IIタイプでも夏と冬とで大き

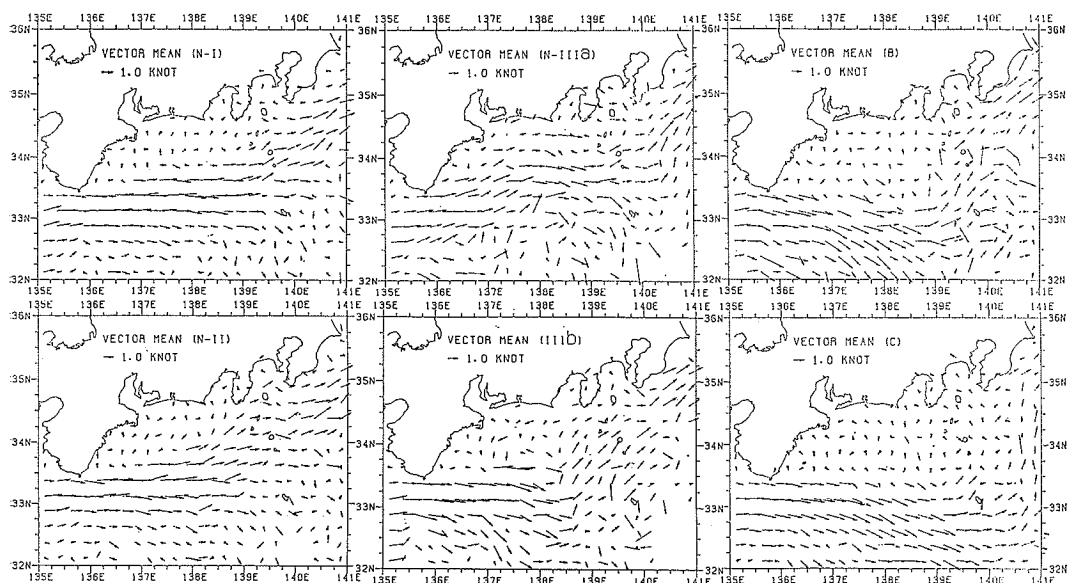


Fig. 7. Vector means of the surface current velocity measured with GEK for six types of the Kuroshio paths for the same period as in Fig. 1.

Table 3. Surface current patterns in the Kumano-nada and the Enshu-nada Seas for six types of the Kuroshio paths.

Type	Surface current pattern	
	the Kumano-nada Sea	the Enshu-nada Sea
N I	weak irregular flows	weak cyclonic circulation
N II	weak south-westward flows	weak cyclonic circulation
N IIIa	weak north-eastward flows	eastward flows (with near-shore westward flows)
N IIIb	weak anticyclonic circulation	weak cyclonic circulation
B	weak irregular flows	weak irregular flows
C	weak south or south-eastward flows	weak south-eastward flows

な差違は認められず、左旋流が夏の方でやや明瞭になる程度である。したがって、Fig. 7 に示される黒潮内側域の流動は、季節風の影響をほとんど受けずに、黒潮流路タイプによって規定されていると考えられる。

6. GEK による流況と人工衛星の熱赤外面像

Fig. 9 は N IIIb タイプの流速のベクトル平均値で、図中の点線・一点鎖線・破線は気象人工衛星 NOAA-6 に搭載された改良型高分解能放射計 (Advanced Very High Resolution Radiometer: AVHRR) により測定された、1980年12月1日の熱赤外面像に見られた低温な伊勢湾系水等のフロントを示す。これから、熊野灘に時計回りの環流が、遠州灘には反時計回りの環流がそれぞれ独立して存在し、伊勢湾からは低温水が流出して、2つ

の環流の境を南下しているように見られる。これらの流動状態は、このときの黒潮流路のタイプ (N IIIb) の平均的流況と良く対応している。

1981年4月23日 (N IIIa タイプ時) についても熱赤外面像とこの流路タイプの GEK による流況とが良く対応する (杉本, 1983)。このように、人工衛星から測定した表面水温分布は瞬間の状態を表現しているのであるが、半月以上持続している平均的な表層の流動状態と良く対応している。

7. むすび

海上保安庁水路部の海洋速報を用い、非大蛇行期の黒潮流路を6種のタイプに分類して、各タイプ毎に GEK データを整理し、平均表面流況図を作製した。この結果、

GEK 観測資料に基づく黒潮流路タイプ別の熊野灘・遠州灘の流況—I

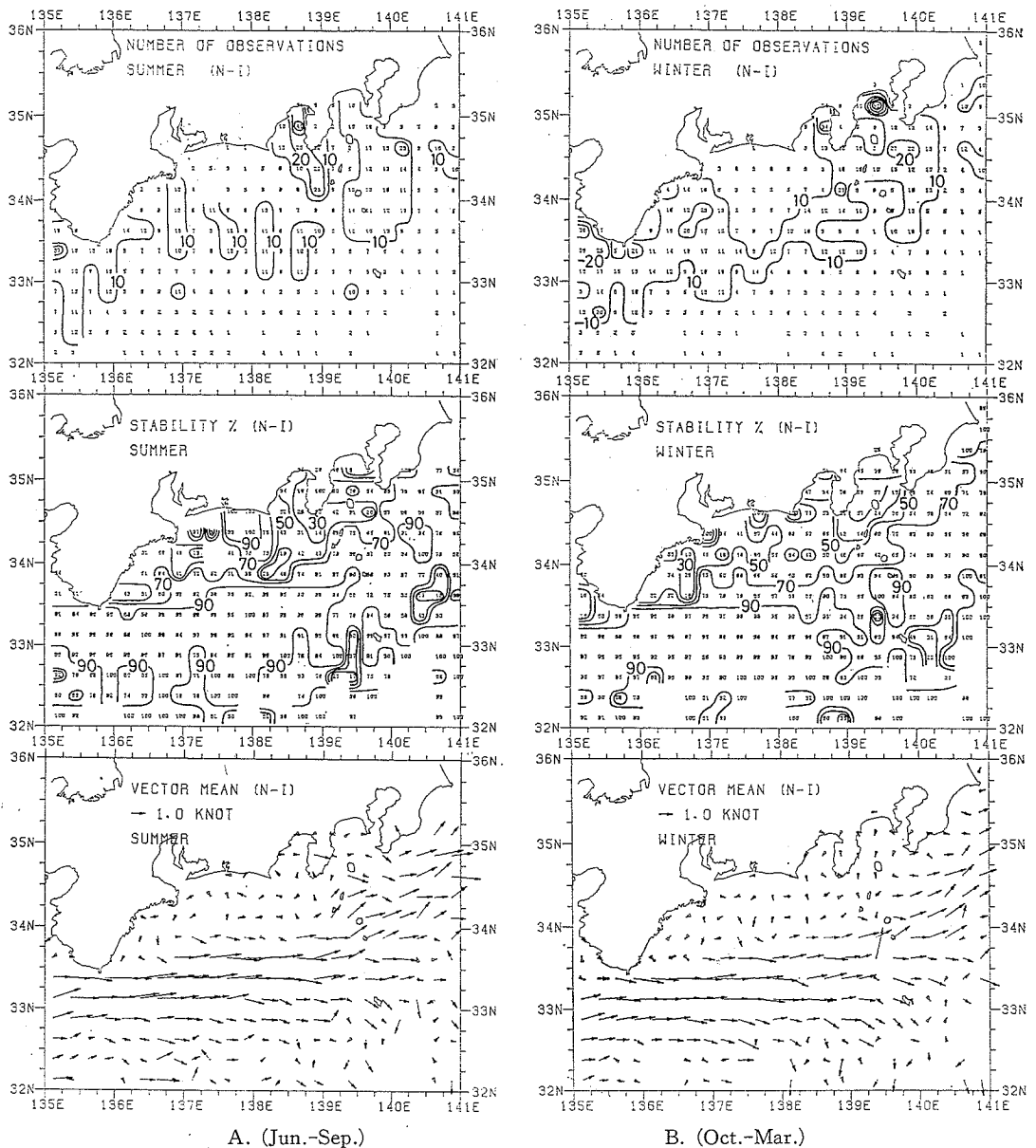


Fig. 8. Number of observations, stability and vector mean of the surface current velocity measured with GEK for the NI type path for the same period as in Fig. 1.

以下のことが明らかになった。

(1) 半月～数カ月の時間スケールでは、熊野灘・遠州灘の流況は黒潮流路の変動により大きな影響を受けていることが明らかになった。また、黒潮流路のタイプによって異なった流動パターンを示す。これが Table 3 に示された特徴である。これらの特徴から、①熊野灘は遠州灘よりも黒潮流路の違いによる影響を受け易いこと、②

黒潮の大蛇行期に存在する冷水塊のような、熊野灘と遠州灘とが明瞭に一体となった強い左旋環流は存在しないこと、③ N IIIb タイプの時には熊野灘に弱い右旋環流が見られること、④熊野灘と遠州灘においてBタイプの時には循環流よりも不規則な流れが、また、Cタイプの時には冲向きの流れがそれぞれ卓越すること、の4点が示唆された。

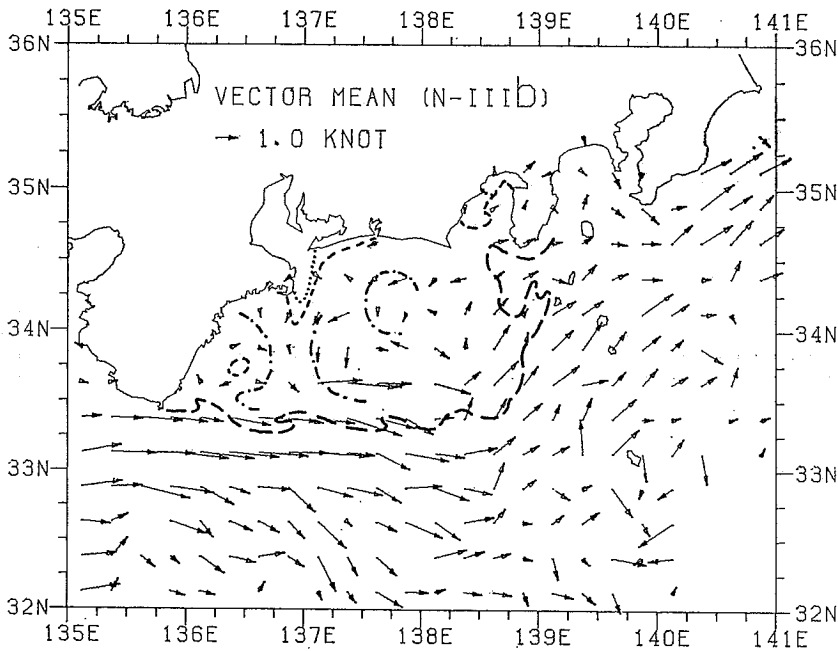


Fig. 9. Vector mean of the surface current velocity measured with GEK for the N IIIb type path for the same period as in Fig. 1. A dotted line and broken lines indicate different brightnesses shown in the image of infrared AVHRR measured by NOAA-6, and correspond to thermal fronts.

(2) 各タイプの流況には季節風の影響は見られず、年間を通じて流況に再現性があるように考えられた。しかし、各タイプの出現頻度には季節的な特徴があり、春はCとNIIタイプ、夏はNIとNIIタイプ、秋もNIとNIIタイプ、冬はCとNIタイプがそれぞれ出現し易く、黒潮流路に季節変化のあることが示唆された。

(3) 人工衛星からの熱赤外面像と、黒潮流路タイプ別に平均化した内側域の流動とが良く対応していることから、表面水温分布を瞬時にとらえた熱赤外面像が半月以上持続性を持つ上層の流動状態を良く表わしていることがわかった。

最後に、1953年～1980年のGEKデータ（地域別ファイル、81-060, CG1-80G）を提供して戴いた海上保安庁水路部海洋資料センターに感謝する。

文 献

- 藤本 実 (1972) 黒潮流軸の変動について. 東海区漁場海況概報, **59**, 1-16.
 部屋寛二 (1972) 八丈島、三宅島の日平均水位と黒潮主軸の位置について. 沿岸海洋研究ノート, **9**, 37-43.
 伊藤宜毅 (1983) 熊野灘海域での黒潮の変化. 三重県

- 浜島水産試験場年報, 昭和56年度, 105-112.
 川辺正樹 (1978) 潮位にみる黒潮大蛇行の変動. 黒潮大蛇行と大冷水塊 その消長と予測に関する研究, 昭和52年度文部省科学研究費総合研究A研究報告書, 91-105.
 KAWABE, M. (1980) Sea level variations along the south coast of Japan and the large meander in the Kuroshio. Jour. Oceanogr. Soc. Japan, **36**, 97-104.
 KUTSUWADA, K. and K. SAKURAI (1982) Climatological maps of wind stress field over the North Pacific Ocean. Oceanogr. Mag., **32**, 25-46.
 二谷頼男 (1969) 最近数年の黒潮の変動について. 水産海洋研究会報, **14**, 13-18.
 NITANI, H., S. YOSHIDA, J. OKUMOTO and H. NAKAMURA (1979) Statistics on the currents in the seas adjacent to Japan. Rep. Hydrogr. Res., **14**, 57-91.
 岡田正実・西本和義 (1978) 1925年以前の黒潮大蛇行と日本南岸の潮位. 海と空, **54**, 91-97.
 RIKIISHI, K. (1974) Note on the Kuroshio meander. Jour. Oceanogr. Soc. Japan, **30**, 42-45.
 杉本隆成 (1983) 黒潮の陸岸境界域の流動構造の観測. 昭和57年度漁業資源研究会議環境部会報, 92-104.
 吉田昭三 (1961) 遠州灘沖冷水塊と黒潮変動について (その1). 水路要報, **67**, 54-57.