

1986—1988年黑潮的变异*

孙湘平 王元培 袁启科† 徐洪达

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛, 266003)

(†国家海洋局北海分局, 青岛, 266033)

提要 对1986—1988年“向阳红09”号5个航次的黑潮调查及日本资料进行了分析, 结果指出, 这一期间黑潮又发生一次大弯曲现象。本文讨论了这次大弯曲的形成、强盛、衰消过程, 认为东海PN断面的流量变异与黑潮大弯曲有一定联系, 还对黑潮流量及流轴摆动均作了最大熵谱分析, 获得其主要周期。

1986—1988年, “向阳红09”号调查船参加了5个航次的中、日黑潮合作调查, 进行了71条断面、534个水文站的观测。本文根据这5个航次及日本有关部门的资料^[8,9], 分析上述3年的黑潮的变异。

一、黑潮路径的变异

“向阳红09”号5个航次黑潮调查的海区、断面分布以及黑潮路径如图1所示。该图

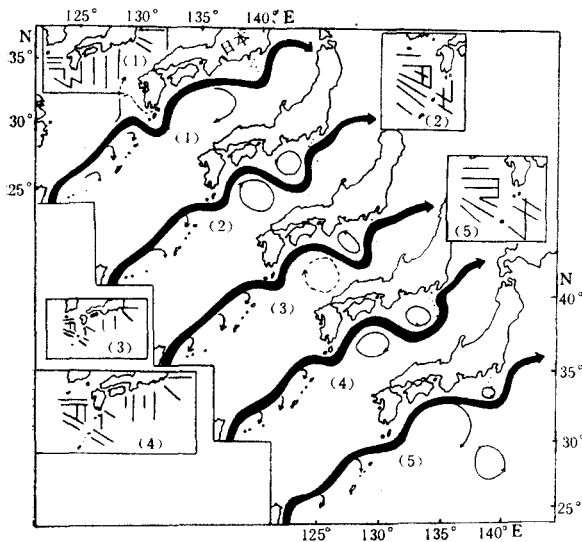


图1 “向阳红09”号黑潮调查的断面以及黑潮路径
Fig. 1 Observation sections and paths of the Kuroshio for five cruises of the R/V “Xiangyang hong 09”
(1) 1986年5—6月; (2) 1987年7—8月; (3) 1987年12月—1988年1月; (4) 1988年4—6月; (5) 1988年10—11月。

反映了两个重要现象: (1) 东海黑潮路径比较稳定, 5个航次的路径差异不大, 大致沿陡峭的东海大陆坡流动。(2) 日本以南海域, 第一、第五航次的黑潮路径为N型和D型; 第二、第三、第四航次的黑潮路径为A型、B型, 较长时间出现A型和B型路径, 意味着黑潮发生大弯曲。从时间上看, 黑潮大弯曲发生在第一航次之后、第二航次之前; 即1986年5—6月之后发生大弯曲; 大弯曲结束是在第四航次之后、第五航次之前, 即1988年11月以前大弯曲终止。1986年6月—1988年10月这一时期, 必然存在着黑潮大弯曲形成、强盛、衰消过程。

日本神户海洋气象台^[7]首先报

* 日本海洋学家西山勝暢、隈部良司两位先生提供1986—1988年 K_D, K_G 两断面的流量值, 谨此志谢。
收稿日期: 1989年6月15日。

道了本次大弯曲的消息, 但大弯曲的整个过程尚未见有论述。本文探讨这次大弯曲的全过程。

图 2a-l 分别表示 1986 年 6 月—1988 年 10 月, 不同时间的黑潮路径和 200m 层的温度场。若把上、下两图重叠起来可知, 黑潮路径与 200m 层 15—18°C 等温线分布极为一致。15°C 等温线可视为黑潮内(左)侧边界线, 18°C 等温线可看作黑潮外(右)侧边界线。

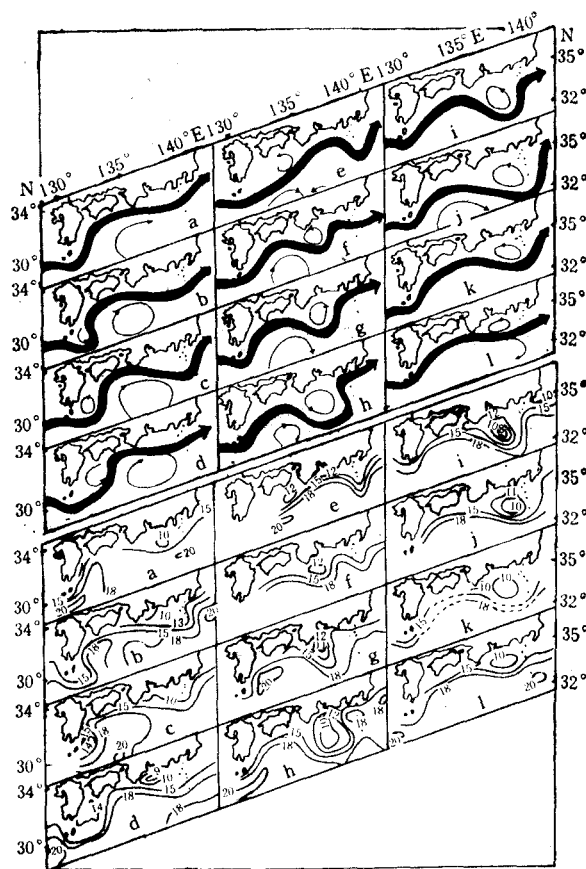


图 2 大弯曲的形成、强盛、衰消三过程的黑潮路径(上)以及对应三过程的 200m 层的温度分布(根据文献[9]资料改绘)

Fig. 2 Paths of the Kuroshio and the temperature field at 200m layer, in the formation, maturity and decay processes of the large meander

a. 1986.6.18—7.2; b. 1986.7.2—16; c. 1986.7.30—8.13; d. 1986.8.13—9.3; e. 1986.10.1—15; f. 1986.11.18—12.3; g. 1986.12.3—17; h. 1987.4.30—5.14; i. 1987.11.5—9; j. 1988.7.1—13; k. 1988.8.4—17; l. 1988.9.15—10.5.

a—f. 形成期; g—i. 强盛期; j—l. 衰消期。

根据图 2 中不同时段的特点, 把这次大弯曲划分为以下 3 个阶段。

1. 大弯曲形成期 (1986 年 7—12 月)

首先在九州东南都井岬、种子岛一带, 黑潮路径出现小弯曲, 并在那里出现气旋式小环流和低温水块开始, 随着时间的推移, 小环流和冷水块(图 2)逐步加强, 使黑潮路径呈

波状逐渐向东移动、传播,最终形成大弯曲。1986年6月18日—7月2日,黑潮路径为N型。7月2—16日起,都井岬东南近海,黑潮路径出现小弯曲;对应于200m层温度场,出现水温为 14°C 的闭合冷水块。8月,气旋式小环流和 14°C 等温线的闭合冷水块东移至足摺岬以南海域。9月,上述小环流和冷水块通过四国近海。11月,它们继续东移至潮岬近海。12月初,东移至熊野滩近海,到12月中旬,开始稳定在熊野滩—远州滩近海。此时,黑潮运行受冷水团的阻挡,从而向南侧迂回绕行而发生弯曲。至此,黑潮大弯曲正式形成。

图3a表明,在冷水块东移过程中,冷水块范围逐渐扩大,中心温度逐渐降低,势力逐步加强(由 14°C 降至 10°C 左右),并从表层至1000m、2000m,甚至3000m层的温度图(图略),均明显显示出闭合的低温特性,以致发展成大型冷水团。

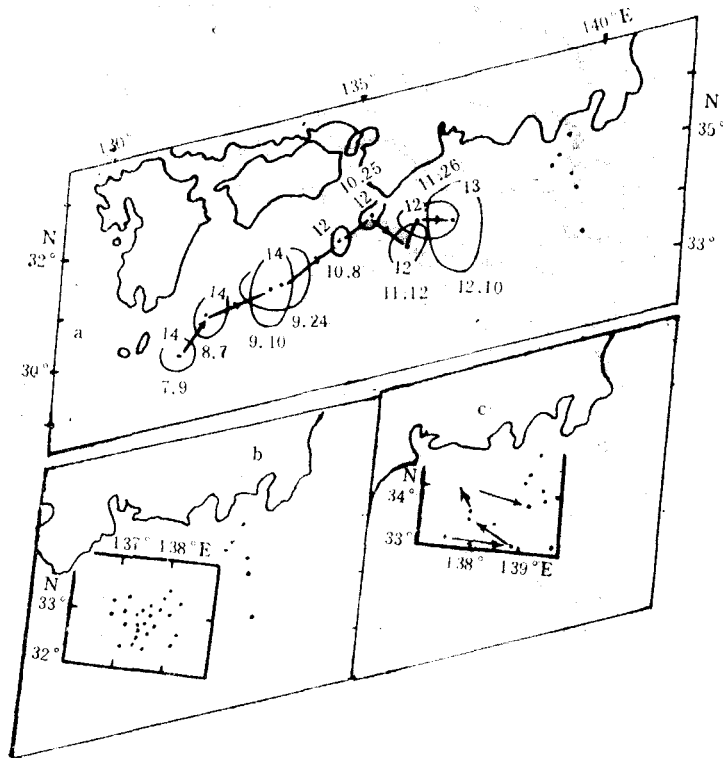


图3 冷水团的三个阶段

Fig. 3 Three stages of the cold water mass

- a. 大弯曲形成期冷水块的移动过程(1986.7—12); b. 大弯曲强盛期远州滩外冷水团的中心位置(1986.12—1988.5.); c. 大弯曲衰退期远州滩外冷水团的中心位置和移动(1988.6—10)。

从都井岬附近黑潮出现小弯曲开始,至远州滩外大弯曲正式形成,约需5个月时间。

2. 大弯曲强盛期(1986年12月—1988年5月)

自1986年12月中旬起,大弯曲逐步趋于稳定。U字型弯曲及其内侧的气旋式冷涡,稳定停滞在伊豆海岭以西、远州滩以南海域,大弯曲进入强盛期。此时,U字型弯曲(图2)和大型冷水团(图3b)不再东移,黑潮路径呈A型或B型;大型冷水团势力强(冷中心

低于 10°C , 最低值在 7°C 或 6°C 以下), 水平尺度大约 ($2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 经纬距), 冷水团中心位置较形成期时南伸了一个纬度, 位于 $32-33^{\circ}\text{N}$, $137-138^{\circ}\text{E}$ (图 3b)。冷水团位置有时虽有东-西或南-北向移动, 但移动幅度很小, 可视为大弯曲的相对稳定期。这种稳定期, 持续 1 年 5 个月左右。这一时期冷水团的形状, 多为圆形或长轴呈南-北向椭圆形。黑潮流轴远离本州南部海岸。

3. 大弯曲衰消期 (1988 年 6—10 月)

1988 年 6 月起, 黑潮路径转向 C 型, U 字型弯曲和大型冷水团又开始东移, 至伊豆海岭附近再次停滞下来 (图 2)。冷水团长轴由强盛期时的南-北向逐渐变成东-西向, 冷中心位置北缩、东移。这现象从图 3c 中明显看出, 冷中心位置由 $32-33^{\circ}\text{N}$ 北缩到 $33-34^{\circ}\text{N}$; $137-138^{\circ}\text{E}$ 东移至 $138-139^{\circ}\text{E}$ 。冷水团范围逐渐缩小, U 字型弯曲逐渐变短而拉平, 黑潮流轴位置北移靠近本州海岸。至 1988 年 10 月, 远州滩外虽仍有冷水团的残余, 但规模很小, 黑潮路径基本上为 D 型或恢复为 N 型 (图 2)。至此, 黑潮大弯曲消失。大弯曲衰消阶段, 需 4—5 个月。本次大弯曲持续时间为 1 年 10 个月。

二、黑潮的流速结构和流轴的变异

黑潮的流速分布在 3 条断面上的主要特点 (图 4) 表现为单核、单束的狭窄强流, 流轴随深度增加而有些向右侧倾斜移动; 流向十分稳定, 垂直向几乎无流向变化。这些共同点, 与管秉贤^[3,4]、宫地邦明等^[10] 分析东海黑潮的结论大体相同。但黑潮在各条断面上仍有其地区性的差异。

F_7 断面 (图 4a) 位于 PN 断面稍北, 与 PN 断面平行。断面上的站距为 20n mile, 计算地转流的“无流面”取 700hPa 。该图表明, 4 个季节的主要流向均为 NE。流核位置基本在 4 号站附近, 摆动幅度很小。流轴位于 2—6 号站之间, 流轴宽为 45—55n mile, 略大于文献 [1], [2] 的数值。流速以 1988 年 10 月最强 ($>100\text{cm/s}$), 1988 年 5 月最弱 ($>70\text{cm/s}$), 1987 年 8 月和 1988 年 1 月, 分别为 90cm/s 和 80cm/s 以上。流轴厚度: 1988 年 10 月最深, 为 335m ; 1988 年 1 月最浅, 为 220m ; 1987 年 8 月和 1988 年 5 月, 分别为 280m 和 290m 。在黑潮流轴左侧, 于 1988 年 5 月和 10 月, 均有 SW 向的逆流出现, 逆流流速为 10cm/s ; 但 1987 年 8 月和 1988 年 1 月, 没有发生逆流现象。

U_1 断面 (图 4b) 位于都井岬东南, 站距为 30n mile, “无流面”取 1000hPa 。这里的流核和流轴不象 F_7 断面那么稳定: 1987 年 12 月, 流核位于 5—6 号站之间, 1988 年 5 月和 10 月分别位于 4—5 号站及 3—4 号站之间, 流核位置逐渐离开海岸向东南伸展。流轴宽度变化也大: 最宽 55n mile (1988 年 5 月), 最窄 37n mile (1987 年 12 月)。流速季节变化也与 F_7 断面不同: 1988 年 5 月最强 ($>100\text{cm/s}$), 1988 年 10 月最弱 ($>80\text{cm/s}$)。流轴厚度: 1988 年 5 月最深, 为 520m ; 1988 年 10 月最浅, 为 360m 左右。1988 年 10 月, 黑潮流轴左侧, 也出现流速为 10cm/s 的逆流; 但 1987 年 12 月和 1988 年 5 月, 却无逆流出现。

U_3 断面 (图 4c) 是经向断面, 与 136°E 经线重合。站距与“无流面”均与 U_1 断面相同。流速结构与 U_1 断面有些相似, 流核和流轴均有明显的位移 (与大弯曲有关): 1986 年 5 月, 流核位于 $32^{\circ}30'-33^{\circ}\text{N}$ 之间, 1987 年 12 月和 1988 年 5 月, 流核南移了 $30'$ 。流轴

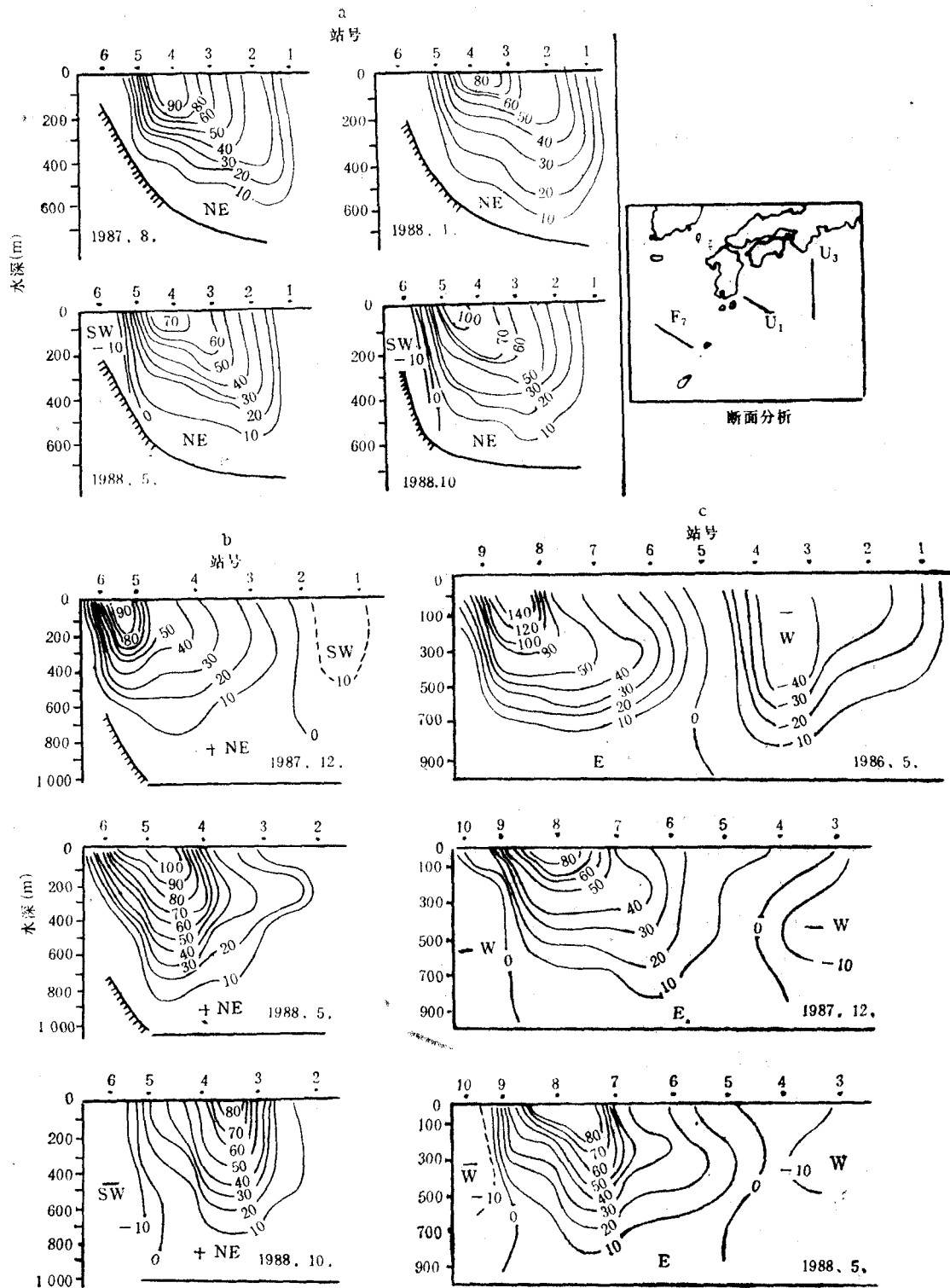


图 4 三条断面上黑潮的流速 (cm/s) 分布
 Fig. 4 Distribution of velocity of the Kuroshio at three sections
 a. F₂ 断面; b. U₁ 断面; c. U₃ 断面。

宽度为 46—59n mile。流速以 1986 年 5 月最强 ($>140\text{cm/s}$), 1987 年 12 月最弱 ($>80\text{cm/s}$)。即是同月、不同年, 流速也有较大差异, 如 1986 年 5 月比 1988 年 5 月流速强许多。流轴厚度, 1986 年 5 月和 1988 年 5 月, 均为 450m 左右; 1987 年 12 月为 280m。从逆流分布看, 1987 年 12 月与 1988 年 5 月有些相似, 黑潮南、北两侧均有流速为 10cm/s 的逆流存在, 但 1986 年 5 月, 北侧无逆流发生, 南侧逆流较强, 流速达 40cm/s 。

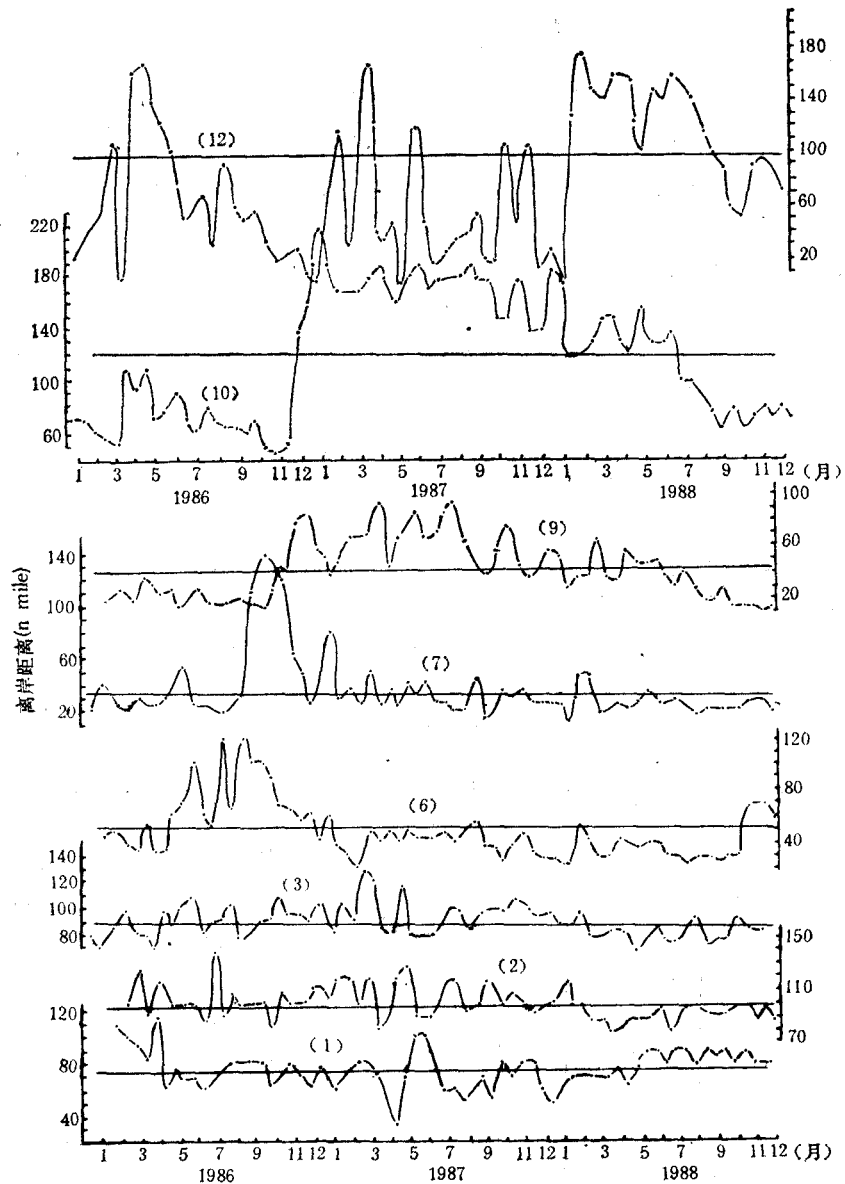


图 5 黑潮流轴与岸边各地距离的逐月变化

Fig. 5 Monthly variations of distances between the Kuroshio axes and the stations near coast

- (1) 石垣岛; (2) 冲绳岛; (3) 奄美大岛; (6) 都井岬; (7) 足摺岬;
(9) 潮岬; (10) 大王埼; (12) 石廊埼。

时三种情况来统计, 结果列入表 1。表中有两点值得注意: (1) 各断面流量均有季节性变化。以多年平均为例, K_B 断面以春季流量最大、秋季为最小, 这与浦泳修等的结论^[2]一致。日本以南海域, 以夏季流量最大, 其余三季较小。(2) K_B 断面与 K_G 断面呈相反的变化趋势: 当黑潮发生大弯曲时, K_B 断面的流量(指各季, 下同), 大于该断面的多年平均值, 流量出现正距平; 而 K_G 断面流量却低于该断面的多年平均值, 出现负距平。相反、黑潮大弯曲消失时期, K_B 断面流量低于它的多年平均值, 为负距平; K_G 断面的流量出现正距平, 大于它的多年平均值。这一关系说明, 黑潮“上游段”(东海黑潮)的流量变异, 与黑潮“下游段”(日本以南海域黑潮)的大弯曲现象存在着一定的联系。 K_B 、 K_G 两断面的流量变异, 是反映黑潮大弯曲发生与否的重要指标之一。在 K_B 断面, 1986—1988 年的流量变异基本上符合上述结论; 但 K_G 断面, 1986—1988 年的流量变异却不太符合上述关系。

同样, 对 K_B 、 K_D 、 K_G 3 条断面的流量也进行最大熵谱分析(图 6)。由图可知, 不同断

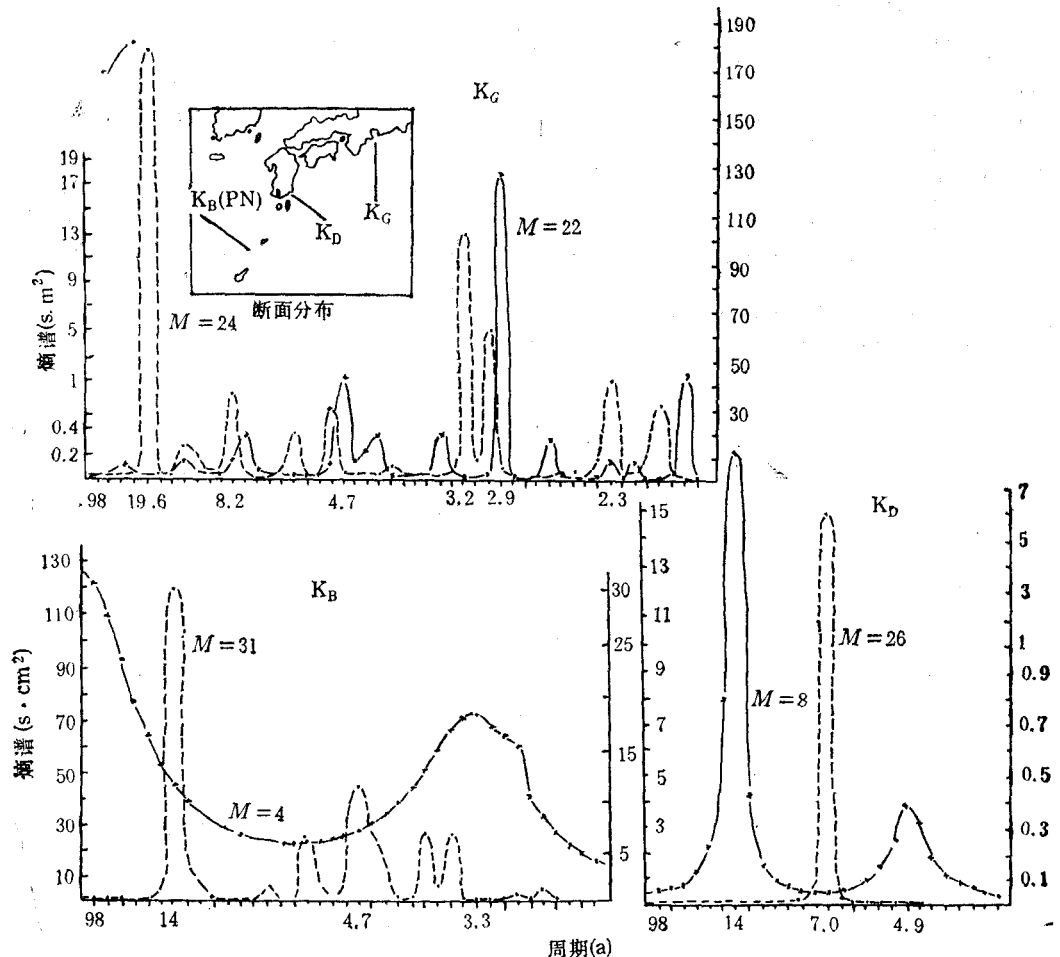


图 6 三条断面上黑潮流量的最大熵谱(实线表示冬季, 虚线表示夏季)

Fig. 6 Maximum entropy spectrum analyses on the volume transports of the Kuroshio at three sections (Solid line for winter; dotted line for summer)

面,不同季节,黑潮流量的变化周期也不相同。在 K_B 断面,冬季以 3.3 年,夏季以 14 年和 4.7 年最显著。 K_D 断面,冬、夏季分别为 14 年和 7 年变化周期。 K_G 断面,冬季为 2.9 年,夏季为 19.6 年和 3.2 年。

二谷颖男^[13]、佐伯理郎^[14] 都对 K_B 断面上黑潮流量变化的周期作过分析,分别获得 6—7 年、8 年和 5.5 年的显著周期。但他们均是指年平均流量而言,象本文这样分别对冬、夏季作谱分析,还是初次尝试。

参 考 文 献

- [1] 孙湘平,1987。东海黑潮表层流路(途径)的初步分析。黑潮调查研究论文集。海洋出版社,1—14 页。
- [2] 浦泳修、许小云,1986。1972—1983 年期间东海 (PN 断面)的黑潮流况。海洋学报 8(1): 14—20。
- [3] 管秉贤,1964。黑潮流速流量的分布、变化及其与地形关系的初步分析。海洋与湖沼 6(3): 229—251。
- [4] 管秉贤,1979。东海黑潮变异研究的若干结果。海洋与湖沼 10(4): 299—306。
- [5] 孙湘平、袁启科、王元培,1988。黑潮表层流路の分析。海と空 64(3): 17—28。
- [6] 西沢純一,1981。本州南方の黒潮観測定線にすける流量変動にツいて。黒潮の開発利用の調査研究成果報告書(その4)。100—105。
- [7] 神戸海洋気象台海洋課,1987。1986—1987 年の黒潮の変動。海と空 63(1): 45—48。
- [8] 長崎海洋気象台,1986—1988。海洋速報 No.1—4。
- [9] 海上保安庁,1986—1988。海洋速報 No.1—24。
- [10] 宮地邦明、井上尚文,1986。東シナ海奄美大島北西海域にすける黒潮の流動特性。西海区水産研究所研究報告 63: 1—14。
- [11] 藤原伊佐美,1981。東シナ海の海況。海洋科学 13(4): 264—269。
- [12] 藤原伊佐美・江口一平、中尾一見、半沢洋一,1982。東シナ海の黒潮定線にすける海況。黒潮の開発利用の調査研究成果報告書(その5),61—70。
- [13] Nitani, H., 1972. Beginning of the Kuroshio, Kuroshio-its Physical aspects. University of Tokyo Press, pp. 129—163.
- [14] Saiki, M., 1982. Relation between the geostrophic flux of the Kuroshio in the East China Sea and its large meander in South of Japan. *Oceanogr. Mag.* 32(2): 11—18.

THE VARIATION OF THE KUROSHIO DURING 1986—1988

Sun Xiangping, Wang Yuanpei, Yuan Qike[†] and Xu Hongda

(*First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao, 266003*)

([†] *North Sea Branch of SOA, Qingdao, 266033*)

ABSTRACT

The variation of the Kuroshio during the period of 1986—1988 is examined using the observations conducted on the vessel "Xiangyanghong 09" at that time and the historical Kuroshio data from Japan.

The formation, maturity and decay of a large meander of the Kuroshio occurred during 1986—1988 are analysed for the first time in this paper.

The Kuroshio is a narrow and strong current with a single core and bunch. The stream axis slopes down gradually to the right of the Kuroshio with the increasing depth. The periods of its oscillation are 12.3 and 3.3 months in the northern Kuroshio area of the East China Sea, while the period is obscure in its southern area. In the area south of Japan, the periods of stream axis oscillation are about 12.3, 8.2 and 5 months except for a few region where periods of oscillation were not obvious.

The volume transport for each seasons on PN section is larger than its annual mean value with a positive anomaly, but smaller than its annual mean value with negative anomaly on the K_G section. On the contrary, when the meander doesn't appear, the volume transport on the PN section has a negative anomaly and a positive anomaly on the K_G section. These phenomena have been verified with the volume transport on the PN section, but not on the K_G section.

Periods of Kuroshio volume transport vary with sections and seasons, e.g. 3.3 years in winter and 14 and 4.7 years in summer on the PN section, 14 and 7 years in winter and summer on the K_D section, and 2.9 years in winter and 19.6, 3.2 years in summer on the K_G section.