

关于东海黑潮流量某些特征的分析*

汤毓祥 林葵

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266003)

田代知二

(长崎海洋气象台, 长崎, 日本)

提要 基于1955—1990年G-PN断面资料, 详细分析东海黑潮流量的分布特征及其变异, 以进一步研究东海黑潮流量的变化规律。主要结果表明, (1) 东海黑潮流量的多年平均值为 $22.7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$, 春、夏和冬3季, 流量的多年平均值相差甚小。(2) G-PN断面两段不同观测期间内, 多年平均流量及其季节变化皆有一定差别。(3) 东海黑潮流量的分布存在一定的区域性差异, 与通过G-PN断面的流量相比, 台湾东侧海域的黑潮流量较大, 而吐噶喇海峡的流量略小些。

关键词 东海 黑潮 流量

对于东海黑潮的流量, 日本学者 Nishizawa (1972)、小长俊二等 (1980) 和 Saiki (1982) 等都做过较详细的研究, 并得到了一些富有启发性和有益的结果。我国管秉贤 (1964, 1981, 1983) 对东海黑潮流量变化与地形的关系, 多年 (1955—1978) 平均情况下黑潮流量的季节变化, 以及黑潮流量变化的原因等一系列问题皆做了较深入的分析 and 研究。近几年来, 随着中、日黑潮合作调查研究的开展, 孙湘平 (1991)、袁耀初 (1991) 等使用不同的方法, 也探讨了东海黑潮流量的分布与变化。

与上述研究不同的是, 本文不仅使用了目前所能得到的最长时间系列 (1955—1990) 资料, 对东海黑潮流量的分布特征和变异做较系统的分析, 而且根据 G-PN 断面的实际观测历史, 初次比较了 G 线和 PN 线两段不同观测期间内流量的异同。同时, 还讨论了东海黑潮流量的区域性变化; 分析了1955年至今, 日本以南海域黑潮发生5次大弯曲与相应期间流量变化的关系。目的在于对东海黑潮流量的变化规律有进一步的了解。

1 东海黑潮流量的变异特征

G-PN 断面位于冲永良部岛西北 (图1)。日本长崎海洋气象台自1955年夏季开始, 至今在此断面已积累了120余航次的水文、气象和 GEK (电磁海流计资料) 同时观测资料。它是东海黑潮观测中最系统、时间系列也最长的一个断面。本文以该断面为代表, 探讨东海黑潮流量的变异¹⁾。

1955—1990年期间, G-PN 断面的观测由两段组成: 1972年春季前为G断面。此

* 中日黑潮合作调查研究项目 (1986—1992)。

收稿日期: 1992年12月9日, 接受日期: 1993年3月31日。

1) 所用 G-PN 断面流量资料由长崎海洋气象台提供。地转流的计算零面为 700m。

期间,每年基本上只进行冬、夏两季调查,只有少数春、秋的资料。1972 年夏季开始,改为

PN 断面。每年实施四季观测,站距亦逐渐有所加密。以往的一些研究常将两者合为一体进行分析。但我们发现,两段不同的观测,结果有所差别。因此,本文将在区别处理的基础上,再做统一分析。

1.1 基本特征 图 2 给出了 1955 年 7 月—1990 年 12 月, G-PN 断面 119 航次水文观测所得地转流的计算结果。其中,图 2a 为 G 断面观测期间流量;图 2b 为 PN 断面的流量。它们的流量的多年平均值分别为 20.0 和 25.3($\times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$)¹⁾。出现差异的原因,主要是由于 PN 断面的观测站距比 G 断面明显加密,尤其是在黑潮主流所流经的陡坡区。同时, G 断面和 PN 断面的地理位置亦略有差别(图 1 附图)。此外,还与调查和计算时一

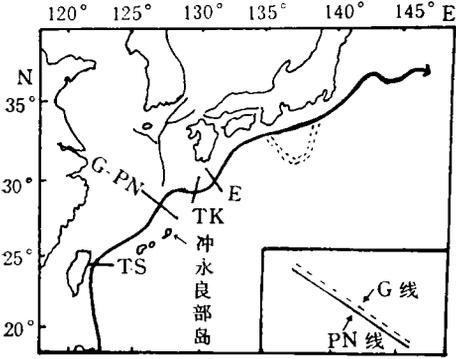


图 1 黑潮的主流路径及断面位置

Fig. 1 Mainstream path of the Kuroshio and geographical location of sections

同时, G 断面和 PN 断面的地理位置亦略有差别(图 1 附图)。此外,还与调查和计算时一

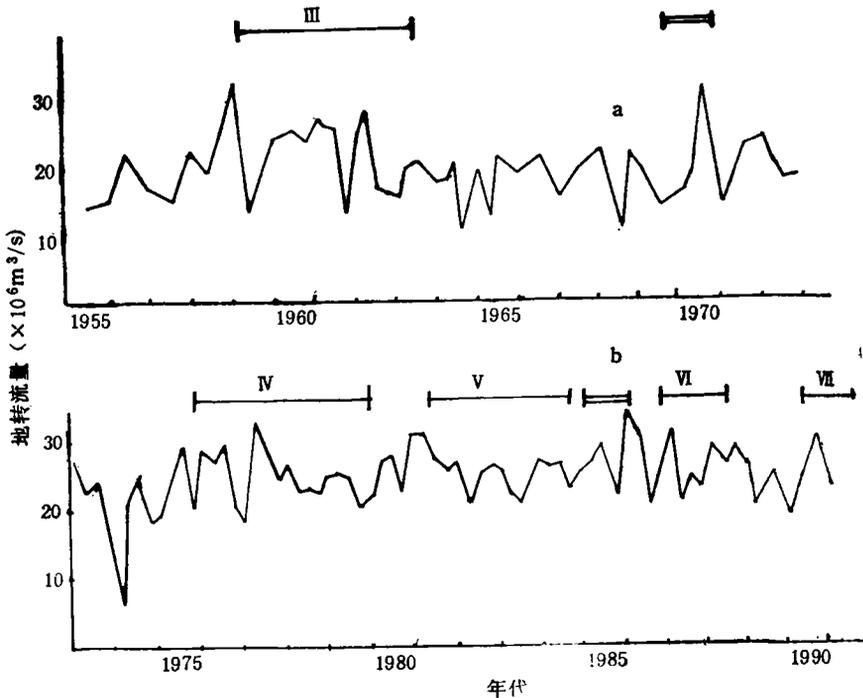


图 2 东海 G-PN 断面黑潮流量变化

Fig. 2 Seasonal VT of the Kuroshio for section G-PN in the East China Sea

- a. G 断面观测期间(1955—1972)流量变化;
- b. PN 断面观测期间(1973—1990)流量变化。

图内线段为大弯曲发生次数(罗马数)。

1) 为简便,以下的流量值均省写 $\times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$ 。为简便,Volume transport is abbreviated as VT hereafcead¹⁾

些具体处理方法有异也有关系。

在此 36 年期间,黑潮的最大流量为 35.0,出现在 1986 年冬。其次是 33.6(1970 年夏)、33.2(1959 年冬) 和 33.1(1977 年春)。最小流量为 6.7,发生在 1974 年 2 月。1964 和 1959 年春黑潮流量也很小,分别为 11.6 和 13.9。整个观测期间,东海黑潮流量多年平均值为 22.7,标准偏差为 3.9。

表 1 东海通过 G-PN 断面的黑潮地转流量

Tab.1 Geostrophic transports of the Kuroshio across section
G-PN in the East China Sea

作 者	资料时间长度与 计算零面 (10^4Pa)	流 量 ($\times 10^6\text{m}^3/\text{s}$)				
		冬	春	夏	秋	多年平均
Saiki (1982)	1955—1978 (700)					21.3
Nishizawa (1982)	1955—1980	季节变化不明显				
管秉贤 (1983)	1972—1983 (700)	弱	较强	强	最弱	21.3
浦永修等 (1986)	1972—1983 (800)	19.4	21.2	21.0	18.3	20.0
孙湘平等 (1991)	1955—1988 (700)	21.5	23.2	21.7	19.3	21.4
本研究结果 (1993)	1955—1972 ¹⁾ (700)	20.3	20.9	20.6	18.0	20.0
	1973—1990 ²⁾ (700)	26.1	25.7	26.4	22.9	25.3
	1955—1990 (G-PN)	23.2	23.2	23.5	20.5	22.7

1) G断面观测时间长度; 2) PN 断面观测时间长度。

从表 1 看,不同学者所得结果大体相似,多年平均值约为 $21 \times 10^6\text{m}^3/\text{s}$ 。本研究的流量估值略高些。除具体处理方法有差别外,该情况与统计时间系列长短不一也有密切关系。尤其是,1983 年后,除 1989 年流量为 22.5 外,其余 6 年流量的年平均值皆在 26.0 以上(参看图 2)。

1.2 流量的季节变化 表 1 指出,1955—1972 年期间(G 断面观测),春季流量略强些,其次为夏、冬;而 1973—1990 年期间(PN 断面观测),夏季流量强,其次为冬、春。但两段期间内,流量最小值皆出现在秋季。而且,它与其它 3 个季节的差值皆大于 2.9。可是,夏、冬和春 3 季的流量值相差甚小,一般都在 0.7 以下。

从表 1 可知,关于 G-PN 断面地转流量的多年平均季节变化已有 3 种不同结果。一种认为(Guan, 1983; 孙湘平, 1991; 浦永修, 1986),春、夏强,其中又以春季较强。第二种意见认为(Nishizawa, 1972),流量的季节变化不明显。而本研究总的结果是,夏、春和冬流量差值甚小。其中,夏季略强点。

尽管由于不同学者所取时间系列长短不一,统计方法亦不完全相同,使之所得结论有所不同。但有两点是基本相同的:(1) 春、夏和冬 3 个季节流量差异皆很小,最大的为 1.8(浦永修, 1986); 最小的只有 0.2。(2) 流量的最小值都发生在秋季。而且,它与强流

季节的差值皆大于 2.9。

1.3 流量的年际变化 从图 2 可知, 如果分别按 G 和 PN 断面统计所得多年平均流量为标准, 那末在 1955—1990 年期间, 共有 6 段时期流量平均值分别高于其多年平均值, 即 1958—1962, 1970, 1976—1977, 1980—1981, 1986—1988 和 1990 年。显然, 高于多年平均值的持续时间长短不一。其中, 1958—1962 年, 几乎持续 5 年之久。而 1970 年, 仅因夏季流量高达 33.6, 使年平均值超过多年平均值。与上相反, 从 1963—1969 年, 几乎长达 7 年之久, 黑潮流量低于多年平均值。总趋势是, 1973 年后, 流量值高于多年平均值的频数明显增加。

为进一步分析东海黑潮流量的年际变化, 以季流量为基数, 对 G-PN 断面的流量进行了最大熵谱分析。结果如图 3 所示。它表明, 黑潮流量的主要年际变化周期为 1.8a 和 8a。这与 Nishizawa(1972)(6—7a)、Saiki (1982) (8a 和 5.5a) 以及张兴法 (1981) (3a 和 8—9a) 所得结果基本接近。

2 黑潮流量的区域分布特征

本研究选择黑潮在东海出、入口处的台湾至石垣岛断面(称 TS 断面)和横切吐噶喇海峡的 TK 断面(位置见图 1), 依据有关文献提供的流量数据, 对东海黑潮流量的区域性分布特征做初步分析。

图 4 给出了 1974—1975 年期间, TS 断面 6 航次的流量值¹⁾, 以及相对应期间内, PN 断面流量分布。比较两条曲线可知, 台湾东侧 TS 的黑潮流量明显高于同期通过 PN 断面的流量。此期间, 两断面的平均流量分别为 29.3 和 22.1。但应指出的是, 文献(Chu Tsu-You, 1976)所用计算零面为 $800(\times 10^4 \text{Pa})$, 而 PN 断面的计算零面为 $700(\times 10^4 \text{Pa})$ 。两断面流量的季节变化亦存在差异: TS 断面冬季无观测。其它三季节中, 秋季流量最大(33.4); 其次是春季(29.6); 夏季最小(25.0)。而同期 G-PN 断面流量的季节变化仍是夏、春强, 秋季最弱。

吐噶喇海峡是研究黑潮的关键区之一。近年来, 日本有关部门在此实施了大量观测, 并采用各种方法估量通过海峡的流量。根据赵保仁等(1991)的研究中提供的流量变化图, 从中摘取了 35 航次的流量值, 以年平均值的形式绘于图 5a。与同期 PN 断面流量相比, 1980 年前, TK 断面流量大于 PN 断面流量; 而 1980 年后, 情况相反。但整个观测期间, 两断面流量的变化趋势, 除 1981 年有差别外, 两者基本一致。它们的多年(1977—1984 年)平均流量分别为 24.5 和 25.4。TK 断面流量略小于 PN 断面。

与 PN 断面流量的季节变化所不同的是, TK 断面流量的最小值出现在冬季, 为 19.3。春、夏和秋季分别为 26.3, 26.2 和 26.0。3 个季节的流量变化甚小。

1) TS 断面流量值取自朱祖佑(1976)的研究。

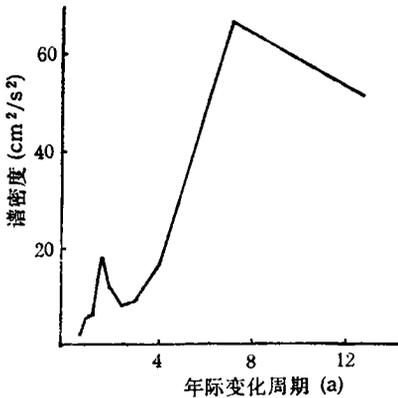


图 3 G-PN 断面黑潮流量的最大熵谱密度

Fig. 3 Maximum entropy spectral densities of VT of the Kuroshio in section G-PN

面为 $700(\times 10^4 \text{Pa})$ 。两断面流量的季节变化亦存在差异: TS 断面冬季无观测。其它三季节中, 秋季流量最大(33.4); 其次是春季(29.6); 夏季最小(25.0)。而同期 G-PN 断面流量的季节变化仍是夏、春强, 秋季最弱。

为进一步分析 TK 断面的流量变化,还引用了长崎海洋气象台 1989—1991 年的观测结果¹⁾。从图 5b 可看到,在 9 航次观测中,TK 断面的流量普遍小于 PN 断面。而且,TK 断面的流量仍是冬季最小(13.8)。春、夏和秋三季分别为 19.9,17.4 和 15.0。显然,这与以上据 1977—1984 年 KER 观测结果所得结论基本一致。在 1989—1991 年期间,PN 断面的流量分别为 21.4 (冬),25.9 (春),27.7 (夏)和 18.6 (秋)。

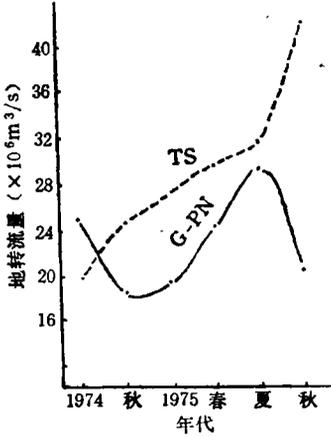


图 4 TS 和 PN 断面流量的变化
Fig. 4 Comparison of seasonal VT of the Kuroshio across sections TS (dashed line) and G-PN (solid line)
---TS断面; ——PN断面。

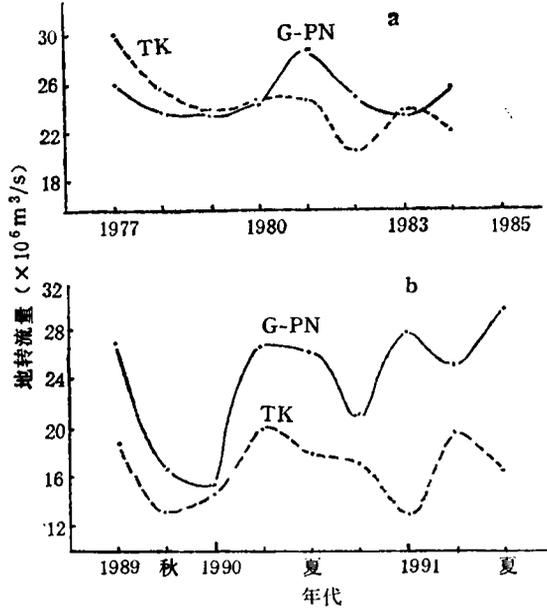


图 5 TK 和 PN 断面流量的变化
Fig. 5 Comparison of seasonal VT of the Kuroshio across sections TK (dashed line) and G-PN (solid line)
a. 1977—1984; b. 1989—1991.
---TK断面; ——PN断面。

总之,位于 3 个不同地理位置的断面流量,不仅量值随地而异,而且它们的季节变化也不相同。尤其是流量最小值出现的季节相差较大。但是,有些结果有待于使用更长时间系列的资料,做进一步的推敲。如本文引用的 TS₁ 断面流量资料,其中冬季缺测,其它季节资料的分布亦不均匀。所以,该断面流量的季节变化需进一步讨论。

3 东海黑潮流量变化与日本南部黑潮大弯曲的关系

小長俊二等(1980)、Nishizawa(1972) 和管秉贤(1981)等一致认为:当东海 G-PN 断面流量超过平均值很多而形成峰值时,黑潮在日本以南海域出现大弯曲。

然而,过去的这些研究主要集中对 1983 年前出现的大弯曲情况做了分析。而近几年来,日本南部黑潮又相继出现了几次大弯曲(孙湘平,1992)。它们分别发生在 1981.11—1984.8, 1986.12—1988.10 和 1989.11—1991.8。图 6 描绘了东海黑潮流量变化与各次大弯曲出现的对应情况。结合图 2,有几点是值得注意:(1) 从 1955—1990 年,日本南部

1) 长崎海洋气象台,海洋速报, No. 134—142。

海域的黑潮出现了 5 次大弯曲和 2 次准弯曲。在此期间,东海 G-PN 断面的黑潮流量平均为 24.6 明显高于其多年平均值(22.7)。而无大弯曲时期的黑潮流量只有 21.1,为负距平。(2) 随着东海黑潮流量增长的持续时间的变化,黑潮大弯曲持续时间亦不相同。在 1959.5—1963.6 和 1975.8—1980.8 这两段时期内,不仅流量的年平均值,而且大多数季节平均值基本上皆大于或接近多年平均值。与其相对应的是,该期间两次大弯曲持续时间都相当长,分别达 49 和 60 个月。与此相反,从 1963 年底至 1975 年 8 月,除 1970 年秋季出现大流量外(此时,日本南部出现准弯曲),整个黑潮流量基本小于多年平均值。与此对应的是,在几乎长达 12 年约 145 个月之久的时期内,日本南部黑潮未出现大弯曲。而在其后,高流量值较频繁出现,大弯曲发生的次数亦明显增多。(3) 尽管大弯曲皆发生在东海黑潮流量增大时期,但黑潮大弯曲开始形成时,东海黑潮所处的状态却不完全一样。其中,第 3,4,5 次大弯曲皆是在 G-PN 断面黑潮流量陡增以后,在较短的时间内出现的。这 3 次大弯曲持续时间都较长。但第 6 和第 7 次大弯曲却出现在 G-PN 断面黑潮流量从高值降至低值的时刻。如 1986 年 1—2 月间,黑潮流量高达 35.0。该年夏季流量降至 20.7。可这次大弯曲就是从这年夏季开始的。最近这次大弯曲始于 1989 年夏,1989 年底进入强盛期,而该年 1—2 月和春季,黑潮流量都很小,分别只有 21.8 和 20.6。至夏季才逐渐增至 25.7,秋季又减至 20.0。至 1990 年夏,流量才明显增加到 31.2。

还有一个值得注意的现象是,当日本以南海域出现大弯曲时,九州东南 E 断面的黑潮

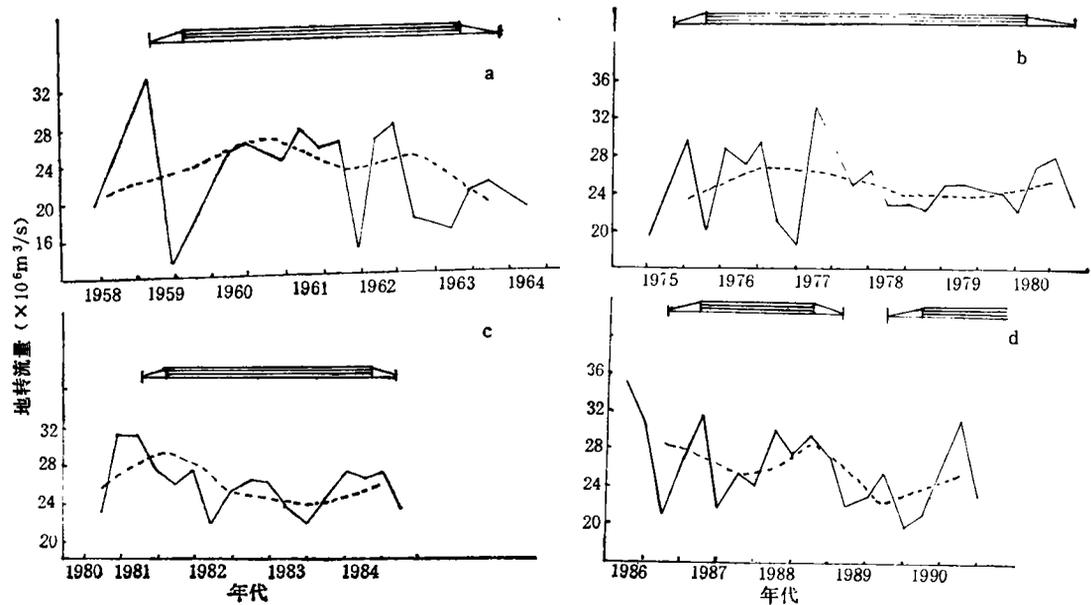


图 6 黑潮大弯曲期间 G-PN 断面流量变化

Fig. 6 Time series of seasonal VT of the Kuroshio for section G-PN during the Large Meanders of the Kuroshio (marked by bars)

a. 第 3 次大弯曲(1959.5—1963.6); b. 第 4 次大弯曲(1975.8—1980.8); c. 第 5 次大弯曲 (1981.11—1984.8); d. 第 6 次(1986.12—1988.10) 和第 7 次 (1989.12—1991.8) 大弯曲。图中虚线为年平均流量值; 图上方直线段为大弯曲出现时间; 直线段两端空白三角段分别表示大弯曲的形成和消衰期。

流量明显减小。根据小长俊二等(1980)提供的结果,绘制了图7;该图最突出的特点是: E 断面黑潮流量的变化基本与 G-PN 断面反相。如 1959—1963 年,日本以南海域黑潮发生第 3 次大弯曲期间, G-PN 断面黑潮流量明显高于其多年平均值,而 E 断面黑潮流量却处于一个大低谷,并持续数年。统计表明, 1955—1972 年 E 断面平均流量为 28.7,而发生大弯曲期间的平均流量只有 23.1,无弯曲期间平均流量却高达 30.5。与 G-PN 断面的流量变化完全相反。

此外,我们还对 1955—1966 年期间 46 次观测做了统计,发现其中 39 次黑潮主轴位于 E_2 与 E_4 站间,几乎占总次数的 85%。而只有两次黑潮主轴位于 E_1 与 E_3 站间,其中,主轴最偏南的正是 1959 年 1 月黑潮大弯曲开始之时。

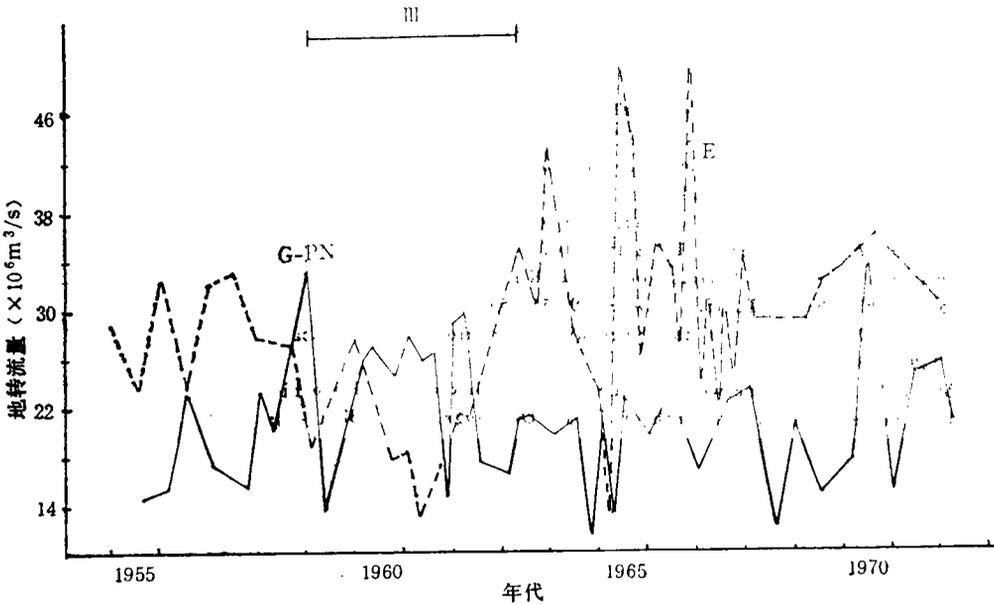


图 7 G-PN 和 E 断面黑潮流量(1955—1972)

Fig. 7 VT of the Kuroshio across section G-PN (solid line) and section E (dashed line) during 1955—1972
— G-PN 断面; --- E 断面。

4 结语

以上分析对于东海黑潮流量的分布和变化,得到如下认识。

- 4.1 东海黑潮多年(1955—1990)平均流量为 22.7,标准偏差为 3.9。流量多年平均季节变化的总体情况是:春、夏和冬 3 季相差甚少,其中夏、春略强些。但秋季流量明显小于其它 3 季节。最大熵谱分析表明,黑潮流量的主要年际变化周期为 1.8a 和 8a。
- 4.2 在 G-PN 断面两段不同观测期间内,多年平均流量和季节变化皆有一定差别。G 线观测(1955—1972)所得流量为 20.0; PN 线观测(1973—1990)为 25.3。流量最大值分别出现在春季(G 线)和夏季(PN 线)。但最小值皆发生在秋季。
- 4.3 东海黑潮流量的分布存在一定的区域性差异。与通过 G-PN 断面的流量相比,台湾东侧海域的黑潮流量略大些,而吐噶喇海峡的流量则较小些。它们的季节变化也不完

全相同。如吐噶喇海峡流量的最小值出现在冬季。

4.4 当日本以南海域的黑潮发生大弯曲时, 东海黑潮流量明显高于多年平均值。其中, 第 3, 4, 5 次大弯曲皆发生在 G-PN 断面流量陡增后不久。而第 6, 7 次大弯曲却开始于流量递减的时刻。此外, 九州东南 E 断面黑潮流量的变化与 G-PN 断面反相。所以, 日本以南海域黑潮发生大弯曲时, E 断面的流量处于低谷, 而且流轴偏南。

参 考 文 献

- 孙湘平等, 1991, 1986—1988年黑潮的路径、流速和流量, 黑潮调查研究论文选(三), 海洋出版社(北京), 48—59。
- 孙湘平等, 1992, 七次黑潮大弯曲的比较, 黑潮调查研究论文选(四), 海洋出版社(北京), 303—317。
- 张兴法, 1981, 东海黑潮强度的长周期变化与西北太平洋副热带高压关系的研究, 海洋研究, 1: 26—29。
- 赵保仁、方国洪, 1991, 东海主要水道的流量估算, 海洋学报, 13(2): 169—178。
- 浦永修等, 1986, 1972—1983 年期间东海(PN 断面)的黑潮流况, 海洋学报, 8(1): 14—20。
- 袁耀初等, 1991, 东海黑潮与琉球群岛以东海流的研究, 黑潮调查研究论文选(三), 海洋出版社(北京), 220—234。
- 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。
- 管秉贤, 1981, 苏澳-与那国岛断面上黑潮流速结构的特征及其季节变化, 海洋科学集刊, 18: 1—18。
- 小長俊二、西山勝暢、石崎廣等, 1980, 屋久島南東線の地衡流, ティム(Lamer), 18(1): 1—16。
- Chu Tsu-You, 1976, Study of the Kuroshio current between Taiwan and Ishigakijima, *Acta Oceanographica Taiwanica*, 6: 1—24。
- Guan Bingxiang, 1983, Analysis of variation of volume transport of the Kuroshio in the East China Sea, *Chin. J. Ocean. Limn.*, 1(2): 156—165。
- Nishizawa, J. et al., 1972, Estimation of the Kuroshio mass transport flowing out of the East China Sea to the North Pacific, *Lamer*, 20: 55—59。
- Nitani, H., 1977, Beginning of the Kuroshio, *Kuroshio—Its Physical aspects*, Tokyo Univ. Press, pp. 129—163。
- Saiki, M., 1982, Relation between the geostrophic flux of the Kuroshio in the eastern China Sea and its large meanders in south of Japan, *Oceanogr. Mar.*, 32(1—2): 11—18。

ANALYSIS OF SOME FEATURES OF VOLUME TRANSPORT OF THE KUROSHIO IN THE EAST CHINA SEA

Tang Yuxiang, Lin Kui

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

Tomosi Tashiro

(*Nagasaki Marine Observatory, Nagasaki, Japan*)

ABSTRACT

Some features and variations of the Kuroshio volumn transport (VT) in the East China Sea are analysed mainly according to the observational results in section G-PN during 1955—1990. Main results are as follows.

1) The multi-year mean value of VT is $22.7 \times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$, $\sigma_n = 3.9 \times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$. The values of VT are very close in spring, summer and winter, of which the VT in spring and summer are rather strong. The VT is the smallest in autumn. Maximum entropy spectra analysis indicates that the main periods of interannual variations of VT are 1.8a and 8a.

2) Observational results are somewhat different in two different observatonal periods, i.e. sections G(1955—1972) and PN(1973—1990). Their VT were 20.1 and $25.3 \times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$, respectively. The strongest VT occurred in spring for section G and in summer for section PN.

3) VT of the Kuroshio in the East China Sea has certain regional differences. Compared with the VT across section G-PN, the VT is larger across section TS and a little smaller across section TK. In addition, the smallest VT occurred in winter for section TS.

4) The large meanders south of Japan are often accompanied with large VT across section G-PN. The third, the fourth and the fifth large meanders began to occur soon after the VT increased suddenly. However, the sixth and the seventh large meanders began to appear at the time when the VT decreased.

Key words The East China Sea The Kuroshio Volumn transport