

東支那海における次層水の塩分値から 黒潮流量変動を知る可能性について

茶 円 正 明*

A Possibility of Finding the Variation of the Kuroshio Transport from the Value of Salinity of the Subsurface Water in the East China Sea.

Masaaki CHAEN

Abstract

In order to find the variation of the Kuroshio transport in the East China Sea from the oceanographic elements, such as temperature or salinity, the relations between the total transport and temperatures or salinities of the different water masses constructing the Kuroshio are discussed, based on the geostrophic transport of the Kuroshio divided by every 1°C in temperature and 0.1‰ in salinity on the T-S diagram. The materials used in this study are the CSK oceanographic data along 125°E occupied by the Keiten Maru and the Kagoshima Maru in April and August of 1965 to 1970. The ratio of the partial transport of the subsurface water (thermosteric anomaly 440 cl/t-240 cl/t) to the total one is about 40% both in April and August. An instructive relation is found between the total transport of the Kuroshio ($T_t \text{ km}^3\text{h}^{-1}$) and the salinity in the center of the subsurface water ($S \text{ ‰}$): $T_t = 210(S - 34.5) + 35$, where the value of 34.5 is adopted for the standard value of salinity. This fact suggests a possibility of finding the variation of the Kuroshio transport.

1. ま え が き

東支那海において、黒潮はその流路に沿って異水系水塊と接触し、海況変動に大きな影響を与え、又、低気圧の発生、発達などの気象学的問題や水産海洋学的諸問題とも深い関係がある。東支那海についての多数の研究は、黄海冷水、陸棚水を主体にした海況変動に重点がおかれており、黒潮については、たとえば、Koizumi (1962) が表面水温の季節変化の研究において一部に論じている程度である。黒潮の変動に関しては、東支那海北端における対馬暖流について、日高、鈴木 (1950)、南日、藤木 (1967) の研究があり、黒潮の東支那海からの流出域である屋久島近海の黒潮の変動を論じた Tsuchida (1971) の研究があるが、発源域に近い黒潮の変動について特に論じたものは少ない。これは黒潮流域での組織的観測資料が少ないことによると思われる。1965年 CSK が実施され、東支那海の黒潮について、各機関により組織的な観測が多くなされ資料の蓄積がなされつつある。Takahashi と Chaen (1967, 1969, 1971) は、鹿児島大学の CSK 観測結果より、125°E 線上の黒潮について、1965年から1968年までの4年間の春季と夏季の流速、流量などを論じた。本研究は、上記の研究を契機に、東支那海へ入った黒潮の変動を、水温、塩分などの海況要素から知る手段を見出すことを目標とし、黒潮流量の変動と黒潮を構成する水塊の水温、塩分値と

* 鹿児島大学水産学部漁場海洋学研究室 (Laboratory of Oceanography, Faculty of Fisheries, Kagoshima University).

の関係を論ずるものである。

2. 資料と方法

用いた資料は、上記 高橋、茶円の研究に使われた1965年から1968年までの4月と8月(1965年は8月のみ)に実施された東支那海 125°E 線、32°N から 20°N までの観測結果(Oceanographic Data of CSK, 鹿児島大学水産学部, 1970)と1969年以降も引き続き同一観測線を4月に実施している観測結果である。本研究には、他機関の実施した資料は用いていない。Fig. 1 に示すよ

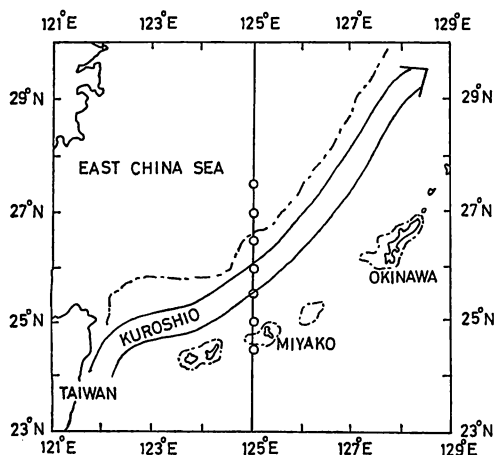


Fig. 1. Map showing the observation stations (circles). Dash-dotted line indicate the depth of 200 m.

うに、用いた資料の測点間隔は30海里である。又、資料の処理方法も、たとえば、陸棚傾斜面上の流速分布の計算方法(Groen, 1948)など同一方法によっている。従って、地衡流速、流量などの季節変化、年による差異を論じる場合、常に問題となる測点間隔、資料の精度の相異などから起る見掛上の差は考慮する必要はないと考えられる。地衡流速、流量の数値としては、観測線がFig. 1にみられるように、黒潮をほぼ斜めに横断しているため、流向に対して直角に横断して得たものに比較し、流速の値は小さいが、流量は断面積が大きくなるので直角に横断して得た流量と大差ないものと考えられる。

黒潮を構成する水塊の流量とその代表水温、塩分値を求めるために、MontgomeryとStroup(1962)が提出したT-S diagram上の流量を求める方法を用いた。実際計算には、Masuzawa(1964)が北赤道海流の流量を求めるために行ったやや簡略化された方法を用いた。本研究では、T-S diagramの水温と塩分の分割をそれぞれ1°C、0.1%の範囲で行った。地衡流速は、1,200 mを基準面にとり求めたものである。

3. 黒潮を構成する水塊の流量

得られたT-S diagram上の水温1°C、塩分0.1%の範囲で細分された地衡流量の、1966年と1967年の4月と8月のものをFig. 2に示す。図中、同一水温範囲で、塩分区分の流量が連続してなく欠けているところがあるが、これは、その水温範囲での塩分の傾度が大きいことによるためである。従って、水温、塩分の区分の範囲を1°C、0.1%より更に小さくとれば連続したものになる。表層で同一水温範囲の流量が、塩分区分で大きくかけはなれているのは(たとえば、Fig. 2(b)の水温20°C以上、Fig. 2(d)の水温25°C以上)、明らかに異水系水塊の接触を示している。各年の4月と8月の最大地衡流速、全地衡流量、部分流量(後述)をTable 1に示した。最大地衡流速と全地衡流量の年による差異は、1965年から1968年までの結果についてTakahashiとChaen(1971)により、又、1969年と1970年の4月の結果はYuwaki(1972)により論じられている。ここでは、黒潮を構成する水塊を表層水、次層水と中層水に分割し、流量構造の状態を考察する。分割された水塊の流量を全流量に対し、部分流量と呼ぶ。これらはthermosteric

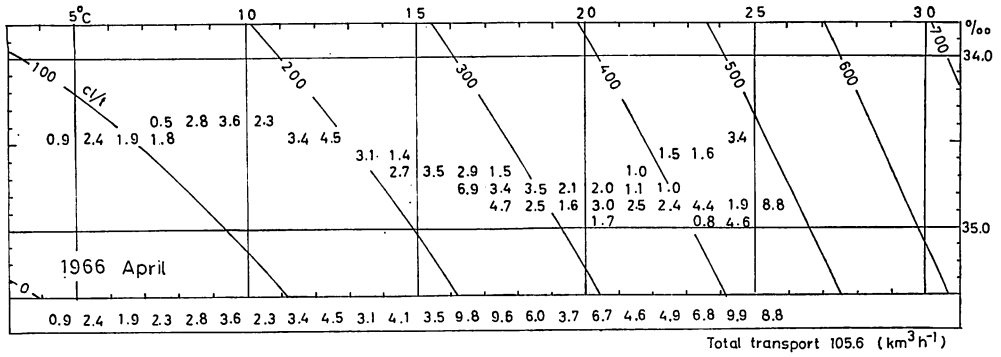


Fig. 2. Geostrophic transport of the Kuroshio ($\text{km}^3 \text{h}^{-1}$) divided by every 1.0°C in temperature and 0.1‰ in salinity on the T-S diagram.

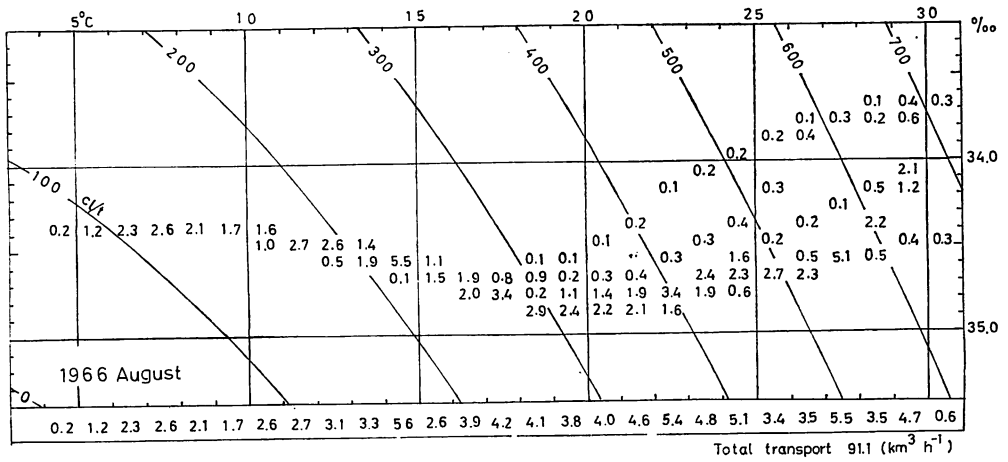


Fig. 2. (b)

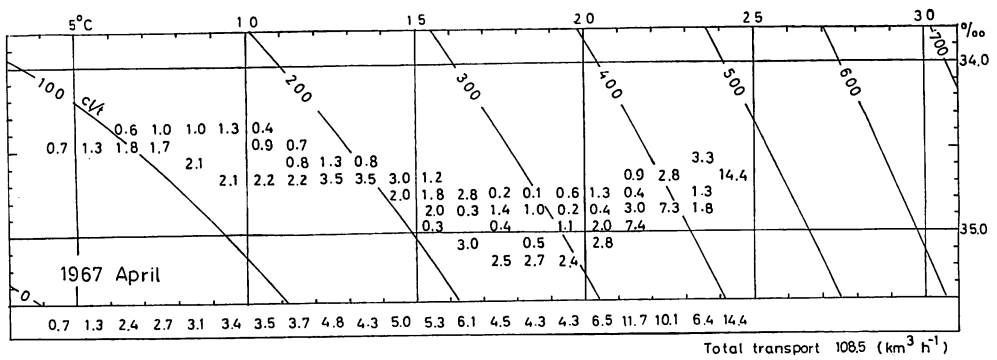


Fig. 2. (c)

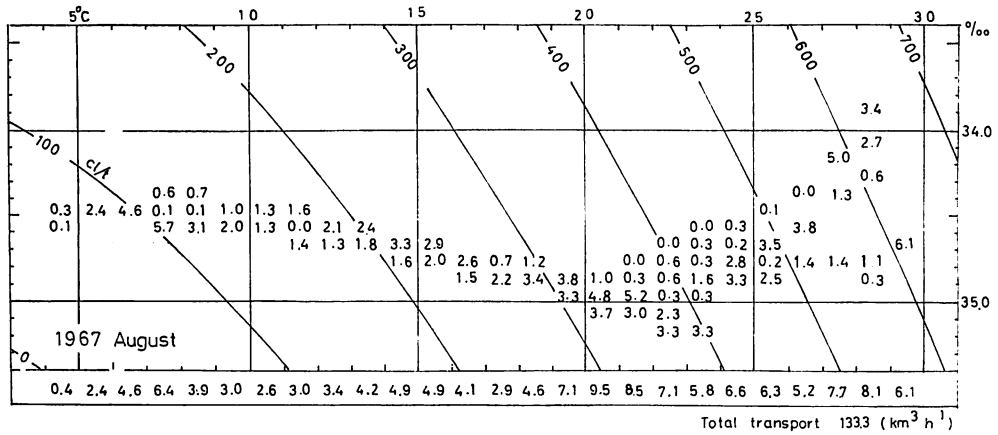


Fig. 2. (d)

Table 1. Values of maximum velocity of east component and the geostrophic transport of the Kuroshio across 125°E section. Values in parentheses are percentages of the partial transport to the total one.

| Year | Month | Max. velocity of east component (cm sec ⁻¹) | Geostrophic transport (km ³ h ⁻¹) | | | |
|------|-------|--|--|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| | | | Total transport | Partial transport | | |
| | | | | Surface water (440 cl/t<) | Subsurface water (440~240 cl/t) | Intermediate water (240 cl/t>) |
| 1966 | April | 80 | 105.6 | 20.3 (19) | 50.5 (48) | 34.8 (33) |
| 1967 | April | 77 | 108.5 | 17.7 (16) | 47.6 (44) | 43.2 (40) |
| 1968 | April | 87 | 99.8 | 16.1 (16) | 40.7 (41) | 43.0 (43) |
| 1969 | April | 109 | 136.4 | 19.6 (14) | 69.0 (51) | 47.8 (35) |
| 1970 | April | 104 | 124.1 | 21.5 (17) | 45.0 (36) | 57.6 (47) |
| Mean | | 91.4 | 114.9 | 19.0 (16) | 50.6 (44) | 45.3 (40) |

| Year | Month | Max. velocity of east component (cm sec ⁻¹) | Geostrophic transport (km ³ h ⁻¹) | | | |
|------|--------|--|--|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| | | | Total transport | Partial transport | | |
| | | | | Surface water (440 cl/t<) | Subsurface water (440~240 cl/t) | Intermediate water (240 cl/t>) |
| 1965 | August | 100 | 101.1 | 30.3 (30) | 35.1 (35) | 35.7 (35) |
| 1966 | August | 95 | 91.1 | 26.9 (30) | 36.8 (40) | 27.4 (30) |
| 1967 | August | 110 | 133.3 | 40.0 (30) | 49.6 (37) | 43.7 (33) |
| 1968 | August | 70 | 94.5 | 23.5 (25) | 49.0 (52) | 22.0 (23) |
| Mean | | 93.8 | 105.2 | 30.2 (29) | 42.6 (41) | 32.4 (30) |

anomaly 440 cl/t と 240 cl/t との線で分割された。 Fig. 2 にみられるように、 440 cl/t の水温と塩分の値は、 4月、 8月を平均的にみると、 水温約 23.5°C、 塩分約 34.65‰であり、 240 cl/t は水温約 15.5°C、 塩分約 34.65‰に相当する。 440 cl/t 以上の水塊は、 4月が表面から深さ約 50 m、 8月が約 100 m の深さまでの表層水であり、 440 cl/t と 240 cl/t 間の水塊は高塩分次層水に相当

する。塩分極大層の *thermosteric anomaly* は、4月が約 310 cl/t、8月が約 350 cl/t である。240 cl/t 以下の水塊は塩分極小を中心にした中層水である。この海域の塩分極小は琉球海嶺により数百米以深で太平洋側水塊と交流が妨げられているため、太平洋側の塩分極小にくらべ明瞭でない。又、塩分極小層より下層へ向っての塩分増加は少なく、流速算出の基準面にとった 1,200 m までの水塊を中層水に含めてよいであろう。北太平洋中央部での塩分極大の *thermosteric anomaly* は 320~390 cl/t で、水温、塩分の値は、それぞれ 21~24°C、35.3~35.5% であり、中層水の塩分極小に相当する *thermosteric anomaly* は 130 cl/t である (Masuzawa, 1964)。

3分割された表層水、次層水と中層水の部分流量の全流量に対する百分率をみると (Table 1)、4月の場合、平均値で表層水の流量は 16%、次層水と中層水はそれぞれ 44% と 40% である。8月は表層水の流量が増加し 29%、次層水の流量は 41% で4月のそれと大差ないが、中層水は 30% になり4月にくらべ 10% 減少している。T-S diagram 上で流量は、4月から8月へと上層への転移の形で現われる。これは、加熱による水温の昇温、降水による塩分低下にとまなう *thermosteric anomaly* の増加に帰せられる見掛上のものだが、Fig. 2 にみられるように、8月には、黄海系、大陸沿岸水を源とするより低塩分の水塊が黒潮の一部となって流れていることも見逃せない。

4. 全流量と黒潮を構成する水塊の水温、塩分値との関係

黒潮を構成する3水塊の代表水温、塩分値として、3水塊の部分流量の流量重心位置の水温、塩分を求めた。それを Table 2 に示す (以下述べる水温、塩分は、すべて流量重心のものを云う)。4月と8月の水温、塩分の差異は、平均値でみると、表層水では、4月の水温が8月の水温にくらべ約 2°C 低く、塩分は、4月の値が8月のそれにくらべ約 0.3% 高い。次層水と中層水では、両月の平均水温、塩分の間にはほとんど差がみられない。Tsuchida (1971) は屋久島南東海域の黒潮

Table 2. Values of water temperature and salinity in the center of the partial transport for various water masses.

| Year | Month | Surface water (440 cl/t <) | | Subsurface water (440~240 cl/t) | | Intermediate water (240 cl/t >) | |
|------|--------|-------------------------------|---------------|------------------------------------|--------|------------------------------------|--------|
| | | Temp. (°C) | Salin. (%) | Temp. | Salin. | Temp. | Salin. |
| 1966 | April | 24.9 | 34.78 | 19.4 | 34.79 | 10.9 | 34.47 |
| 1967 | April | 24.3 | 34.63 | 20.6 | 34.91 | 11.7 | 34.62 |
| 1968 | April | 25.1 | 34.62 | 19.5 | 34.82 | 11.5 | 34.55 |
| 1969 | April | 24.9 | 34.84 | 20.7 | 34.95 | 11.7 | 34.59 |
| 1970 | April | 25.2 | 34.71 | 20.1 | 34.89 | 11.0 | 34.64 |
| Mean | | 24.9 | 34.72 | 20.1 | 34.87 | 11.4 | 34.57 |
| Year | Month | Surface water (440 cl/t <) | | Subsurface water (440~240 cl/t) | | Intermediate water (240 cl/t >) | |
| | | Temp. (°C) | Salin. (%) | Temp. | Salin. | Temp. | Salin. |
| 1965 | August | 27.0 | 34.54 | 19.8 | 34.86 | 12.0 | 34.63 |
| 1966 | August | 27.0 | 34.40 | 19.8 | 34.75 | 10.9 | 34.44 |
| 1967 | August | 27.1 | 34.50 | 20.5 | 34.94 | 10.6 | 34.56 |
| 1968 | August | 27.3 | 34.21 | 19.4 | 34.81 | 11.3 | 34.53 |
| Mean | | 27.1 | 34.41 | 19.9 | 34.84 | 11.2 | 34.54 |

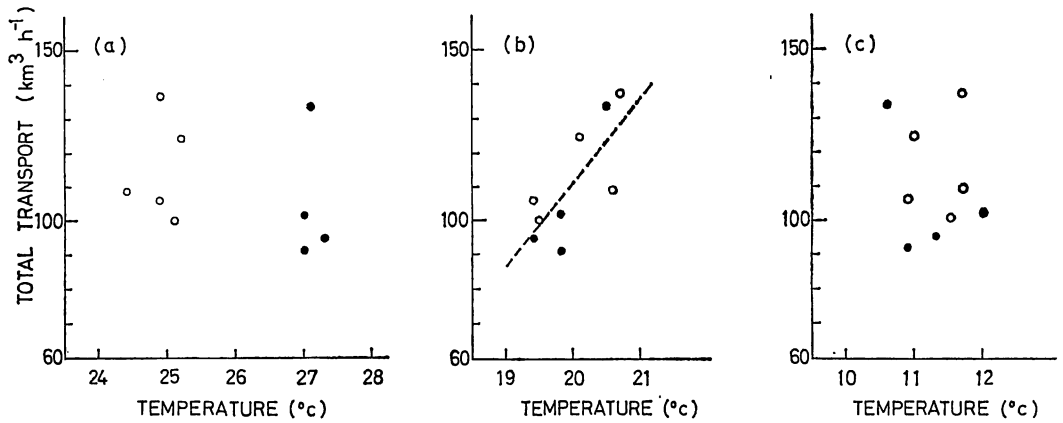


Fig. 3. Relation between the total transport and the temperature in the center of the partial transport of the surface water (a), the subsurface water (b) and the intermediate water (c). Symbols are circles in April and black circles in August.

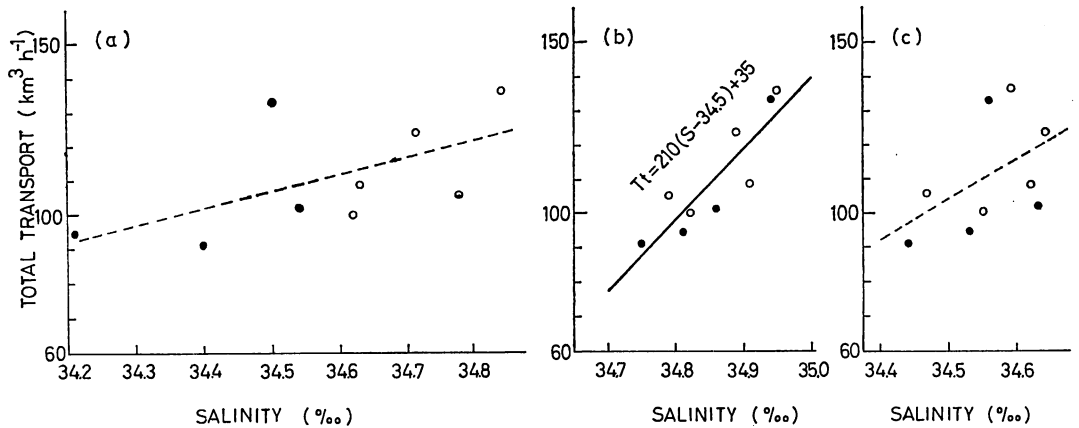


Fig. 4. Relation between the total transport and the salinity in the center of the partial transport of the surface water (a), the subsurface water (b) and the intermediate water (c). Symbols are circles in April and black circles in August.

の季節変化に関して、水温、塩分の調和分解を行った結果、年変化の振幅は表層混合水で大きく、亜熱帯モード水に相当する 150 m ないし 300 m 層付近できわめて小さいことを示した。この季節変化の小さい水塊は、本研究の水塊区分では次層水の一部に相当する。年による水温と塩分の差異は、4 月では、3 水塊とも水温は約 $1^{\circ}\sim 1.5^{\circ}\text{C}$ 、塩分は約 0.2‰である。8 月では、表層水で水温 0.3°C 、塩分 0.3‰であるが、次層水と中層水のそれらは、4 月と同程度である。年による水温、塩分の差異はごく僅であるが、全流量と 3 水塊の水温、塩分値との関係を見ると Fig. 3 と 4 のようになる。ここで各水塊の部分流量とその水温、塩分との関係は論じない。理由は、全流量が黒潮勢力を代表する量であり、その変動とそれの指標となる水温、塩分値との関係を見出すためである。Fig. 3 と 4 にみられるように、全流量と表層水、中層水の水温、塩分との間には関係が見出

されない。しかし、全流量と次層水の水温、塩分値との間には、ばらつきはあるが関係が存在することが見出され、それは水温よりも塩分との間に明瞭である。すなわち、全流量が増すと次層水の水温が高くなり、塩分が増す傾向がみられる。これは、黒潮は南より高温、高塩分水を輸送して行くため、その流量が増加するときは、黒潮水の中核をなす次層水の水温高く、かつ塩分が高いことに関係づけられる。ここで資料は少ないが、最も関係の明らかな全流量 ($T_t \text{ km}^3 \text{ h}^{-1}$) と次層水の塩分値 ($S\%$) との関係を最小 2 乗法により求めると次の式が求まる。

$$T_t = 210(S - 34.5) + 35 \quad (1)$$

ここに、塩分値として 34.5% を基準にとった。それは、Fig. 2 にみられるように、次層水に相当する *thermosteric anomaly* $440 \text{ cl/t} \sim 240 \text{ cl/t}$ 間の塩分値の最低が 34.5% であり、これ以下の塩分値はとり得ないからである。Fig. 5 に、全流量と塩分 34.7% 以上の水塊の流量との関係を示したが、全流量 ($T_t \text{ km}^3 \text{ h}^{-1}$) が増加すると塩分 34.7% 以上の高塩分水塊 ($P_t \text{ km}^3 \text{ h}^{-1}$) が増加する次式の関係が見出せた。

$$T_t = 0.8P_t + 65 \quad (2)$$

表層水と中層水の水温、塩分との間に関係がみられないのは、表層水は南からの黒潮流路に沿う海域上の気象の影響を受けるためであり、中層水は発源域が北方にあること、表層、次層水に比較し循環が不活発であり、黒潮の変動に追従し得ないこと等があげられる。

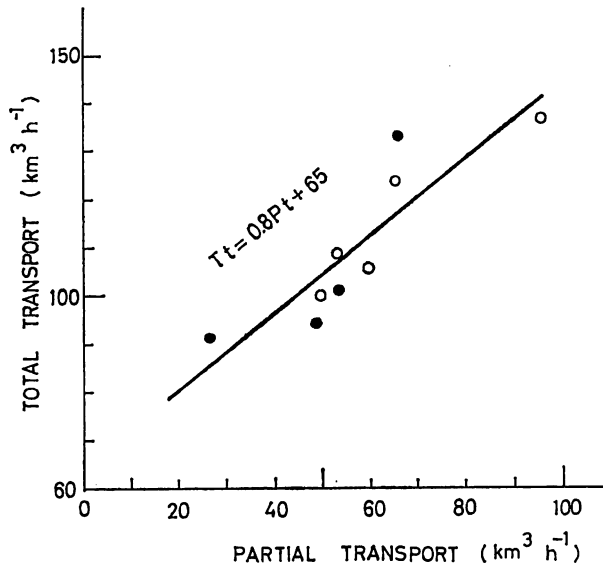


Fig. 5. Relation between the total transport and the partial transport of water mass of salinity higher than 34.7% . Symbols are circles in April and black circles in August.

5. 要約と結び

東支那海における黒潮の変動を水温、塩分などの海況要素から求める可能性を見出すため、敬天

丸とかごしま丸による CSK 観測資料より、4月と8月における 125°E 線断面の T-S diagram 上の水温 1°C、塩分 0.1‰により細分した黒潮流量を求め、流量構造の状態、全流量と黒潮を構成する表層水、次層水と中層水の水温、塩分との関係を論じた。

8月における表層水の流量増加は、加熱降水による *thermosteric anomaly* の増加に帰せられる見掛上の増加の外に、東支那海低塩分水が実質的に黒潮の一部に加わっていることによる。次層水の部分流量が全流量に占める割合は、4月、8月とも約40%で変わらない。全流量と次層水の流量重心の塩分値との間に、 $T_t = 210(S - 34.5) + 35$ なる一次式の関係が見出された。これは、東支那海南部及び発源域に近い黒潮の変動を次層水の塩分値から求められる可能性と、更に、黒潮の変動と北太平洋高気圧の消長と関連づける手がかりを与えると示唆される。

終りに、本研究を進めるにあたり、有益な助言をいただいた高橋淳雄教授に感謝致します。又、1969年以降も 125°E 線の観測を継続され、2カ年の資料を提供していただいた敬天丸船長辺見富雄助教授、計算を手伝っていただいた教育学部地学研究室竹内兼仁助手に感謝致します。

参 考 文 献

- Groen, B. (1948): Methods for estimating dynamic slopes and current in shallow water. *J. Marine Res.*, 7 (3), 312-316.
- 日高孝次・鈴木 篁 (1950): 対馬海流の永年変化について. 日本海洋学会誌, 6 (1), 28-31.
- Koizumi, M. (1962): Seasonal variation of surface temperature of the East China Sea, *Jour. Oceanogr. Soc. Japan, 20th Anniv. Vol.*, 321-329.
- Masuzawa, J. (1964): Flux and water characteristics of the Pacific North Equatorial Current, *Studies on Oceanography*, 121-128.
- Montgomery, R. B. and E. D. Stroup (1962): Equatorial waters and currents at 150°W in July-August 1952, *Johns Hopkins Oceanogr. Studies*, 1, 68 pp.
- 南日俊夫・藤本明光 (1967): 東対馬水道の海況変動について. 日本海洋学会誌, 23 (4), 27-38.
- Takahashi, T. and M. Chaen (1967): Oceanic conditions near the Ryukyu Islands in summer of 1965. *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.*, 16, 63-75.
- Takahashi, T. and M. Chaen (1969): Oceanic conditions near the Ryukyu Islands-II. —Oceanic conditions on 125°E in spring and summer of 1966. *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.*, 18, 99-114.
- Takahashi, T. and M. Chaen (1971): Oceanic conditions near the Ryukyu Island-III. Oceanic conditions along 125°E in spring and summer of successive four years, 1965-1968, *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.*, 20 (1), 31-54.
- Tsuchida, T. (1971): On the seasonal variation of the Kuroshio southeast of Yakushima Island, *Oceanogr. Mag.*, 23 (1), 1-10.
- Yuwaki, Y. (1972): Results of oceanographic observations along 125°E from 27°N to 20°N in the spring of 1969 and 1970. *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.*, 21 (1), 71-77.