

常磐南部から鹿島灘海域の Structure Function について

久保 治良

Structure Function of South Johban from Kashimanada,
off the east coast of Honshu.

Haruyoshi KUBO

常磐南部から鹿島灘の海域では、北から親潮系水が、南からは黒潮系水が侵入し、両者が接している。そこでは顕著なフロントが形成されている。このフロントの位置は両者のバランスにより東西南北に移動し、海況は非常に複雑で、かつ、変化に富んでいる。そのためか、当海域の海況についての研究は少なく、筆者ら(1976, 1978, 1980, 1981, 1982)の他は藤森(1969), AN(1980), 稲掛ら(1978), 水野ら(1979)の報告があるに過ぎない。

筆者らは先に当海域の海況を3つのパターンに分類し(1981), Wパターン(暖水舌型)については茨城県水産試験場発行の週報を用いて、かなり詳細な分析を行なっている(KUBO et al, 1978)。

本報告は当海域において、どの位の規模の水平的海洋構造が卓越しているかを、Structure Function (HAMON et al, 1972) を計算することにより求めたものである。

資料と方法

「海況速報」の1972年~1980年(9ヶ年分)を使用し、各年ごと及び各パターン(久保ら, 1981)ごとに海況を分類し、その中から各々3例ずつランダムに選び出した。即ち、Kパターン(黒潮分派型)27例、Wパターン27例、Oパターン(冷水舌型)24例(1972年はOパターンが出現しなかった)の計78例である。

対象とした海域は、 $35^{\circ}30' \sim 37^{\circ}00' N$ 、陸岸~ $142^{\circ}05' E$ で囲まれた範囲である。

この海域を南北には10海里ごとに分け、また、東西には、 $141^{\circ}00' E$ を基線として、10海里ごとに分けて図1のような網目を作った。しかる後にこの交点の水温等を等温線の走行状態から内挿または外

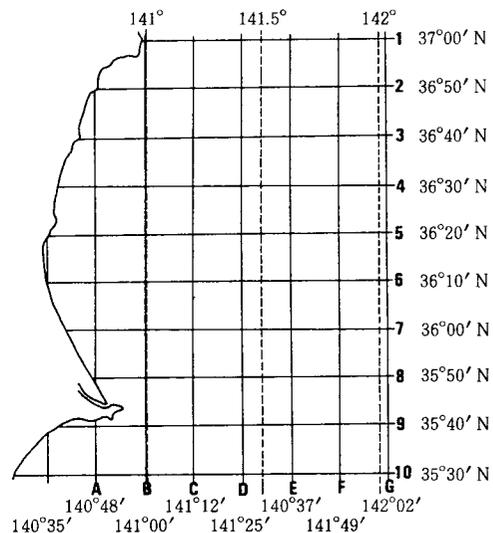


図1 調査海域を10海里ごとに区切った交点位置図

挿して読みとり、各交点の水温とした。

Hamon et al (1972) は海況の大きさの規模は Structure Function から知ることが出来る論じており、 $h(r)$ と $h(r+l)$ を間隔が l である 2 つの位置における力学的な高度であるとすると、Structure Function $S(l)$ は次の式により求められるとしている。

$$S(l) = \overline{\{h(r) - h(r+l)\}^2}$$

ここで上のバーはあらゆるステーションごとの一対のすべての平均を示し、そして、 $l = |l|$ を示している。従って $S(l)$ は間隔 (l) の関数としての平均平方差である。

図 2 に 1978 年 3 月に観測した当海域での表面水温と表面のサーモスティリック・アノマリーとの相関図を示した。この図をみると両者はかなり高い相関を示している。

筆者は力学的な高度の代わりに、前述の方法により求めた各交点における水温を用いて、上式により $S(l)$ を求めた。間隔は 10 海里ごとにとってある。

図 3 に挿入図のような模擬海況を作成し、 $S(l)$ を計算して各測線（東西方向及び南北方向）における

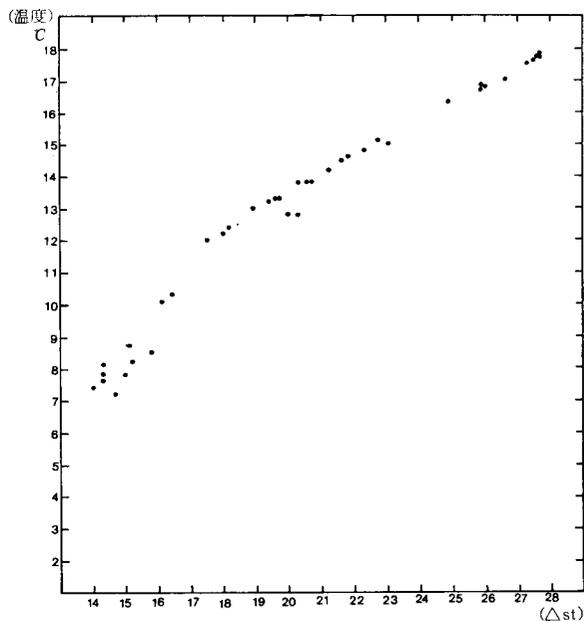
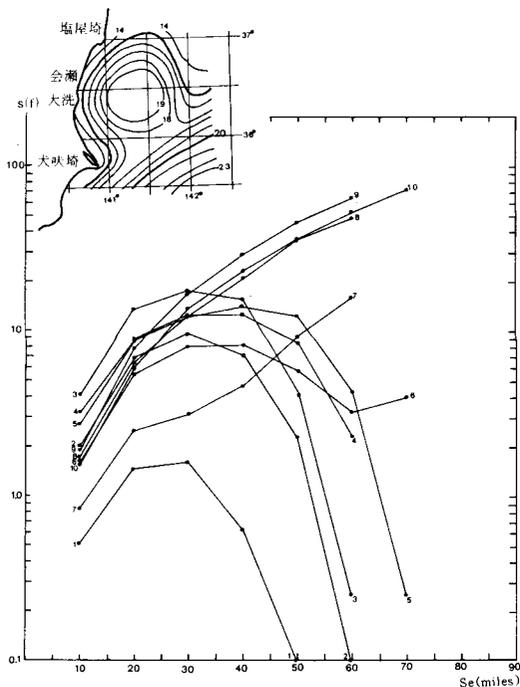
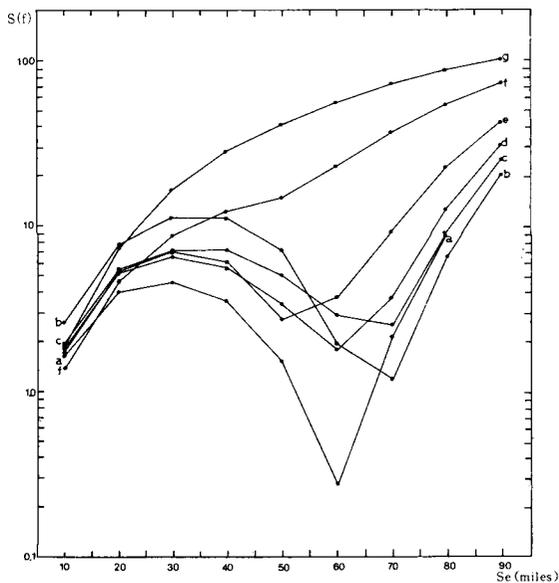


図 2 表面水温と表面のサーモスティリック・アノマリーとの関係 (1978 年 3 月, 三県合同調査より)



(a) 東西方向 (1~10 の記号は図 1 の東西線)



(b) 南北方向 (a~g の記号は図 1 の南北線)

図 3 模擬海況 (円型渦: 左上の挿入図) より計算した $S(l)$ と l との関係

結 果

る $S(\ell)$ と ℓ との関係を示した。このように円形渦を持った海況では、次のような特徴があげられる。

東西方向では① $S(\ell)$ の極大は北部海域のどのラインでも $\ell = 30$ に認められる。② 南部海域では $S(\ell)$ の極大は無く、 ℓ が大きくなれば $S(\ell)$ も漸増している。③ 極小の $S(\ell)$ 値は北側のライン程小さく、南のラインに行くに従って大きくなっている。

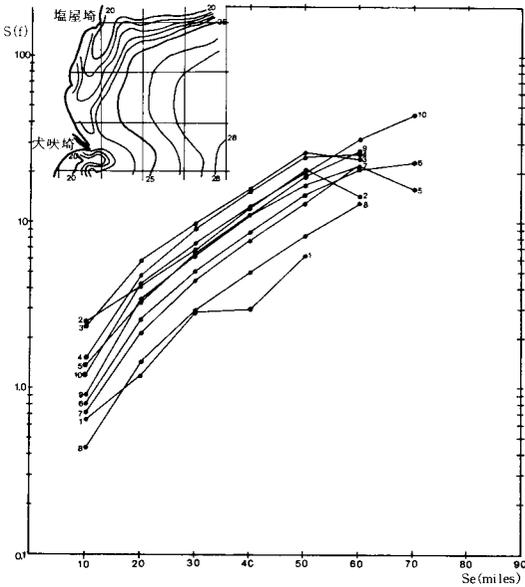
南北方向では① $S(\ell)$ の極大は沿岸海域のどのラインでも $\ell = 30$ に認められる。② 沖合海域では $S(\ell)$ の極大は無く、 ℓ が大きくなれば $S(\ell)$ も漸増している。③ $S(\ell)$ の極小は $\ell = 60 \sim 70$ に認められ、極小の $S(\ell)$ 値は沿岸側のライン程小さく、沖合側のラインに行くに従って大きくなっている。

以上のように東西方向と南北方向とは同じような特徴をもっており、ここでは北側のラインと岸側のライン、南側のラインと沖側のラインを対比することが出来る。

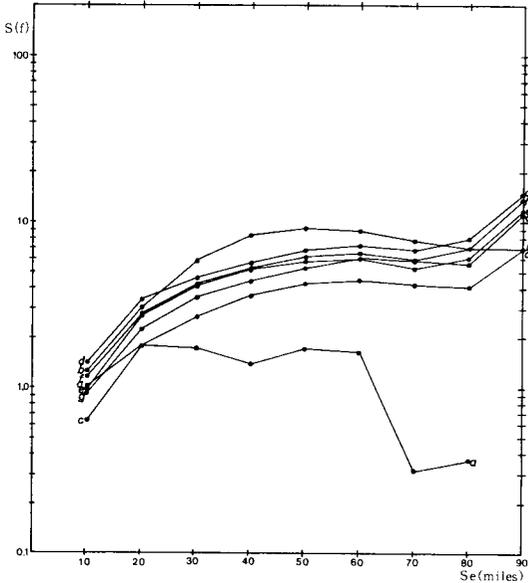
図4にKパターンの各測線（東西方向及び南北方向）における Structure Function（以下 Str. F. と記す）と間隔の関係の一例を示した。Y軸に Str. F. をとり X軸に間隔がとってある。Y軸は対数目盛、X軸は真数目盛である。挿入図にその時の海況図を示した。

この図において特徴的なことは、東西方向では① Str. F. の極大は 2, 3, 5 のラインの間隔 50 ~ 60 海里に認められるのみであり、この極大はそれ程顕著なものではない。② Str. F. の値は短い間隔においては、北のラインが大きくなっている。南北方向では① Str. F. の極大は大体すべてのラインの間隔 50 ~ 60 海里に認められ、しかも、これが急峻な極大ではなく、非常に滑らかなものである。各間隔における Str. F. の値は、東・西のどの点をとってもあまり変わらない。

図5には、図4と同じ方法で、Oパターンの一例を示した。

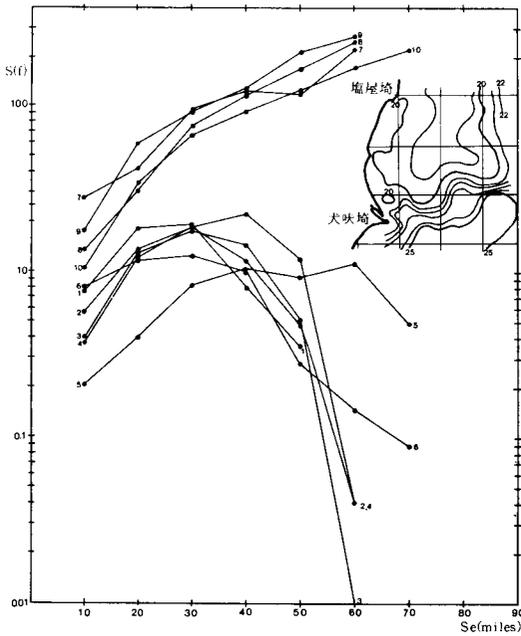


(a) 東西方向 (1 ~ 10 の記号は図1の東西線)

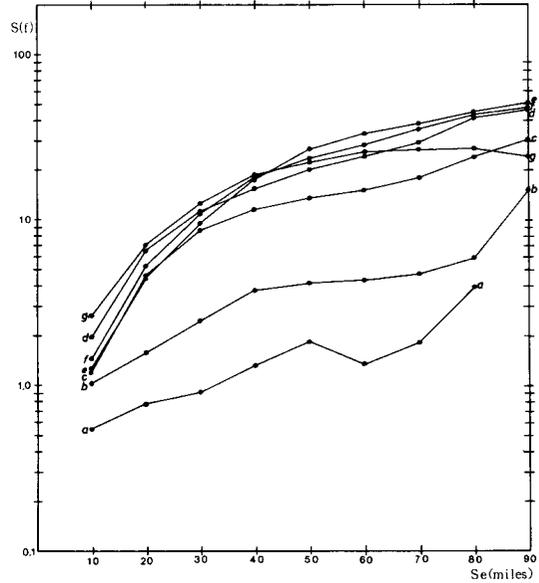


(b) 南北方向 (a ~ g の記号は図1の南北線)

図4 Kパターン海況(左上の挿入図)の各測線における Str. F. と間隔との関係の一例(1977年8月12日~8月18日)



(a) 東西方向 (1~10の記号は図1の東西線)



(b) 南北方向 (a~gの記号は図1の南北線)

図5 Oパターン海況(右上の挿入図)の各測線におけるStr. F. と間隔との関係の一例(1973年10月12日~10月18日)

この図において特徴的なことは、東西方向では① Str. F.の極大は北側の1~6のラインの間隔30~40海里にあり、特に1~4ラインの所が急峻である。② Str. F.の極大は、南側の7~10のラインでは認められない。③ Str. F.の値は、各間隔において極大が認められるライン(1~6ライン)より、極大が認められないライン(7~10ライン)の方が大きくなっている。南北方向では、① Str. F.の極大は認められない。② Str. F.の値は、西のラインが小さく、東のラインが大きい。

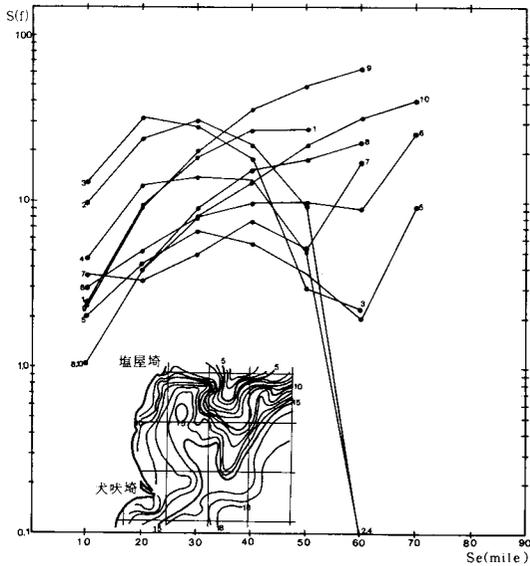
図6も図4と同じ方法で、Wパターンの一例を示した。この図において特徴的なことは、東西方向では① Str. F.の極大は北のライン(1ライン)及び南のライン(8~10ライン)では認められない。② Str. F.の極大は、2~7ラインの間隔20~40海里にあり、2~4ラインが急峻である。主体は30海里である。③ Str. F.の極小も認められ、2~6ラインの間隔60海里のところにある(7ラインは50海里)。④ Str.

F.の値は短い間隔の時は北側のラインが大きく、長い間隔になると南側のラインが大きくなる傾向がある。

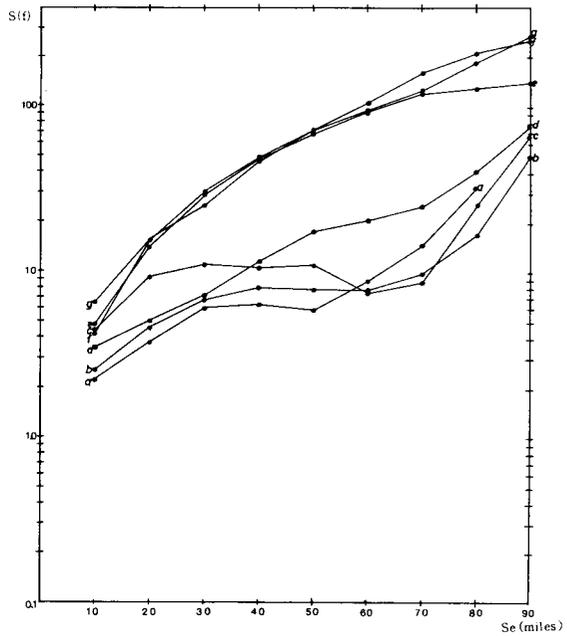
南北方向では、① Str. F.の極大は西(沿岸側)のラインの間隔30~50海里にあり、主体は40海里で、しかも、これが急峻な極大ではなく、非常に滑らかなものである。② Str. F.の値は短い間隔においては、あまり差はないが、長い間隔になると東(沖合側)のライン(e~g)が西(沿岸側)のライン(a~d)よりはるかに大きい。

図7には各パターンごとの東西のラインにおける間隔に対するStr. F.の極大の頻度分布を示した。

Kパターンの特徴は、北から南までのラインにおいて、極大が殆んどなく、間隔10海里の所からStr. F.は間隔70海里の所まで漸増していることである。しかし、北側のラインでは頻度は少ないが間隔10~40海里の所に極大があり、これが南のラインになるに従って極大の位置は長い間隔になり、5, 6ラ



(a) 東西方向 (1~10の記号は図1の東西線)



(b) 南北方向 (a~gの記号は図1の南北線)

図6 Wパターン海況(左下の挿入図)の各測線におけるFtr.F.と間隔との関係の一例(1978年3月17日~3月23日)

インでは60海里まで移り、7ラインでは70海里以上の間隔になっている。また、南側のラインでは間隔50海里にStr. F.の極大が少し認められる。

○パターンの特徴は、北側のラインではStr. F.の極大の頻度の高い間隔は最初30~40海里から南側のラインに移るに従って長い間隔になり、4ラインでは間隔70海里以上の頻度が最高となっている。しかし、5~7ラインでは特に頻度の高い間隔はなく、極大は20~70海里以上に同程度に現われ、8ライン以南は、間隔70海里以上の頻度が大多数を占めている。

Wパターンの特徴は、北側のライン(2~6ライン)でStr. F.の極大の頻度の高い間隔は、20~40海里にあり、主体は30海里にある。南のライン(8~10ライン)では、極大が殆んどなく、間隔10海里から70海里までStr. F.は漸増している。また、ライン1, 7, にも間隔70海里以上の所に頻度の高いのが認められる。

図8には各パターンごとの南北のラインにおける間隔に対するStr. F.の極大の頻度分布を示した。

Kパターンの特徴は、西側のライン(a~c)では短い間隔に頻度の高い所があり、東側のラインに行くに従って、長い間隔に頻度の高い所が移っている。東側のライン(d~g)では間隔90海里以上の所に頻度が高くなっている。西側のライン(a, b)では間隔90海里以上の所の頻度が著しく少なく、殆んどすべての間隔にStr. F.の極大が出ている。

○パターンの特徴は、各ラインにおいて、間隔90海里以上の所の頻度が高くなっている。その他の極大の出現状況は、各ラインともランダムで、一定の傾向は認められないが、東側のライン程長い間隔に頻度の高い所が集まってきている。

Wパターンの特徴は、西側のライン(a~c)ではKパターンと同じような頻度分布を示し、西側では短い間隔に頻度の高い所があり、東側のラインに行くに従って長い間隔に頻度の高い所が移っている。

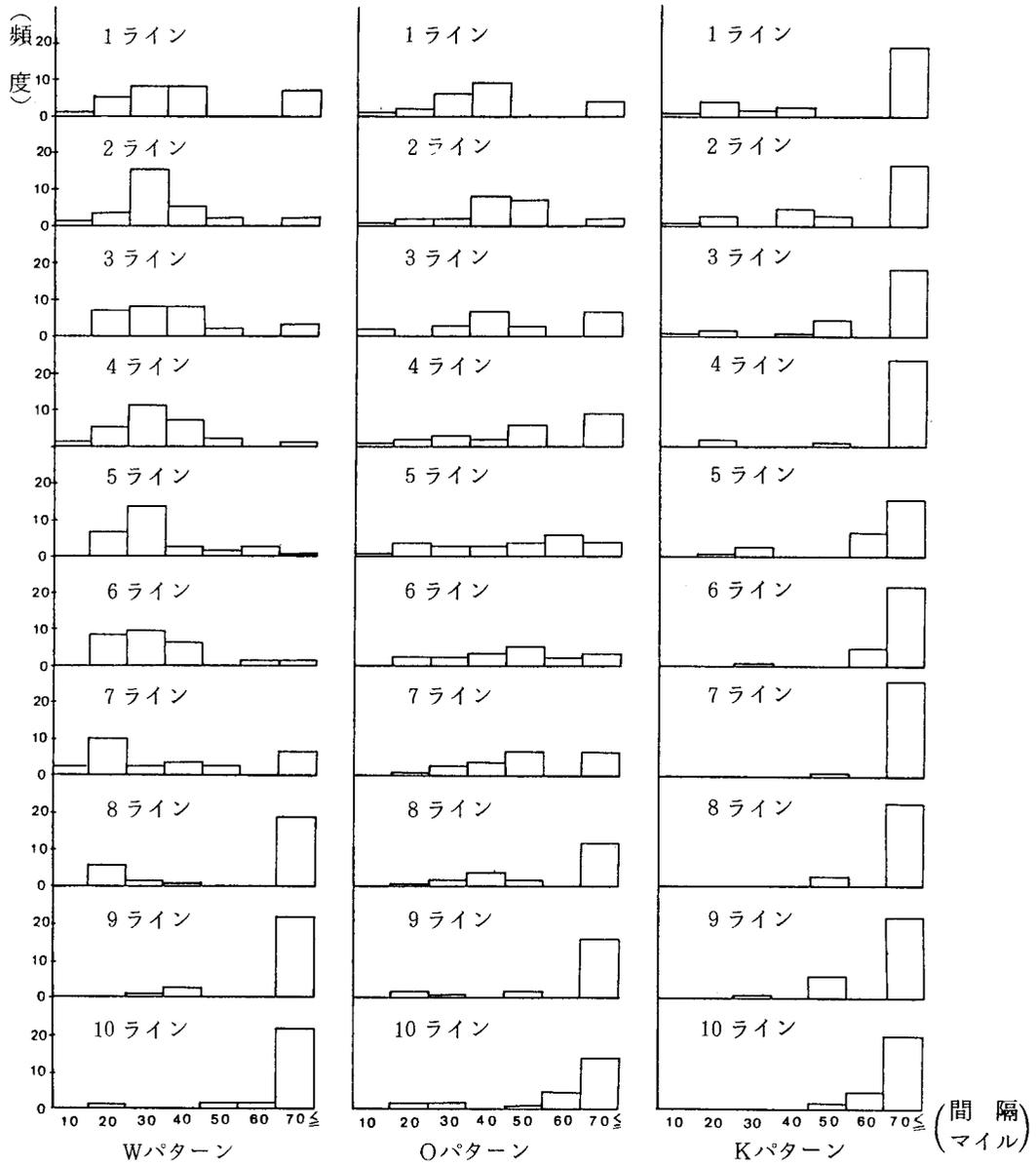


図7 各パターンごとの東西のラインにおける間隔に対する Str. E. の極大の頻度分布

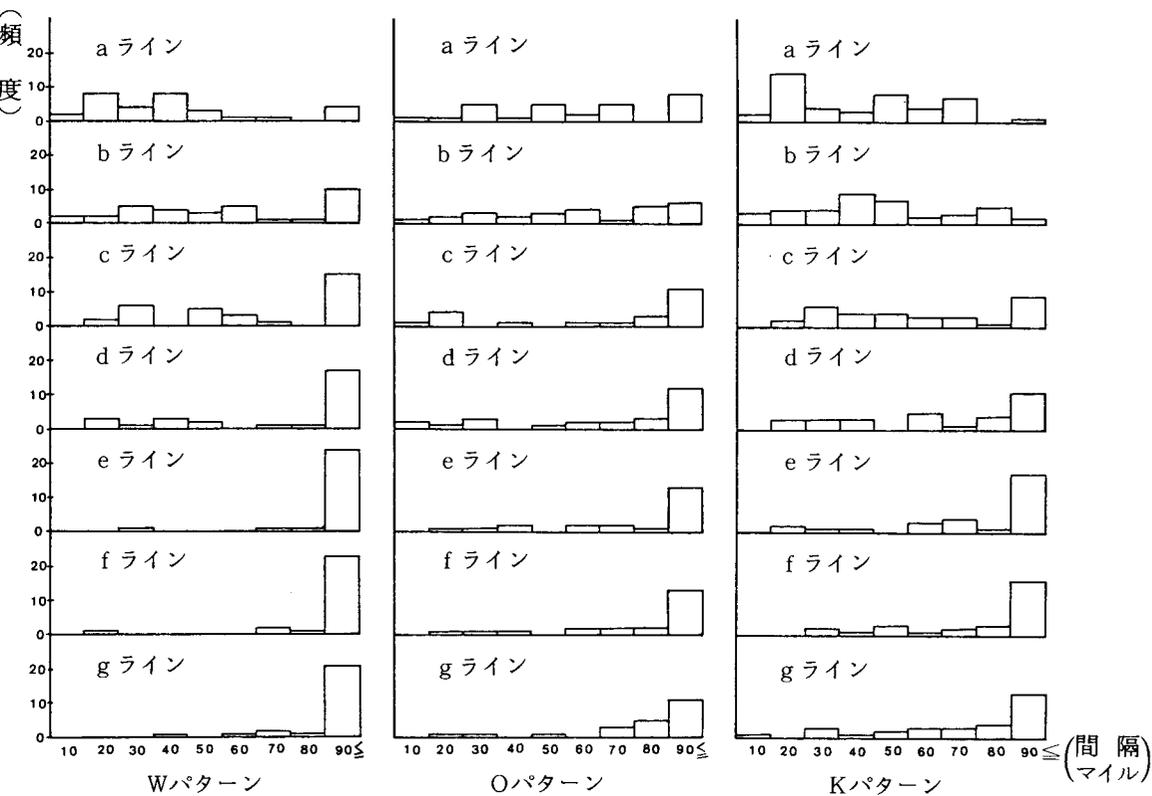


図8 各パターンごとの南北のラインにおける間隔に対する Str. F. の極大の頻度分布

東側のライン(d~g)では前述のごとく、どのパターンも間隔90海里以上の所に頻度の最高が出ており、これはこのWパターンの場合が著しい。

西側のライン(a~d)では、殆んどすべての間隔に Str. F. の極大が認められる。

論 議

Str. F. が小さいということは、間隔が θ である2つの位置における温度差が小さいことを意味し、等間隔の温度傾度であっても間隔が大きくなればなる程、水温差は大きくなり、従って、Str. F. も大きくなる。

Str. F. に極大が出るということは、極大の出る間隔以上の間隔になると、或る所に温度差が小さく

なる所があり、これは水温分布が極大の出る間隔を境として湾曲していることを意味しており、海況規模の半波長を示している。

Kパターンの場合には、東西方向において北から南のライン(1~10)まで Str. F. の頻度は間隔70海里以上の所で高く、これは海況スケールが当調査海域以上のスケールであることを意味し、少なくとも直径140海里(260 km)以上の海況スケールである(図9(b))。また、3ライン及び9ラインの間隔50海里の所が極大の頻度がやゝ高く、この水塊の中心は6ライン付近にあり、海況スケールは三平方の定理で求めると、 $Scale = 2\sqrt{50^2 + 30^2} \doteq 120$ 海里(220 km)となる(図9(a))。

南北方向では、海岸線が陸側に湾曲しており、等

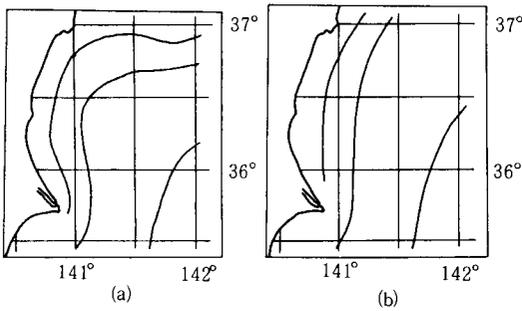


図9 Str.F. からみたKパターンの等温線の走行状態の模式図

温線も海岸線に平行に引かれているため、西側のラインでは短い間隔にStr.F.の頻度の高い所があり、東側のラインに行くに従って長い間隔に頻度の高い所が移って行き、ついには90海里以上の所の頻度が高くなっている。これは海況スケールが180海里(330km)以上であることを示している。従って、Kパターンの海況規模は東西方向で120海里以上、南北方向で180海里以上であり、調査海域内では海況スケールはつかみ得ないことを示している。このことより、等温線の走行状態を模式的に示したのが図9である。

Oパターンの場合、東西方向において北のライン(1~3)で30~40海里の間隔の所にStr.F.の極大の頻度が高くなっており、これは60~80海里の海況スケールが卓越していることを意味している。南のライン(8~10)では、70海里以上の所の頻度が高く、これは南部海域の海況スケールが当調査海域以上のスケールであることを意味している(図10(b))。また北から南のライン(1~10)まで70海里以上の所に頻度の高いのがあり、Kパターンの場合と似ているが、Str.F.の値が短い間隔でKパターンの場合より小さく出ている。この場合は海況スケールとしては当調査海域以上であるようにとられるが、実際は陸岸が関与しているのである(図10(a))。

南北方向では、西側のラインでStr.F.の極大が殆んどの間隔に出現しており、これは沿岸域に暖水

が残り、冷水の沿岸域への張り出し具合により或る時は短い間隔に極大があるのである。全ラインにおいて、間隔が90海里以上の所に頻度の高いのがあり、南北方向では等温線の湾曲がないことを意味している。以上のことより等温線の走行状況を模式的に示したのが図10である。

Wパターンの場合、東西方向において1~6ラインで20~40海里の間隔の所にStr.F.の極大の頻度が高くなっており、これは40~80海里の海況スケールが卓越していることを意味している。最も多いのが60海里である。筆者ら(1978)は先に暖水舌の波長は70海里を越えるのはまれであり、30~70海里の間にその80%が入ると述べたが、今回の方法ではそれより10海里程大きく出ている。これは前者が暖水舌の範囲を犬吠埼の南から引かれる等温線を境界として定めたのに反し、後者は全海域の等温線の湾曲部をすべて拾い込んでいるために大きく出ているものと考えられる。北のラインで70海里以上の所に頻度の高い所があるのは、暖水舌の先端がそのラインまで達せず、そのライン上では等温線の湾曲がないためである(図11(a))。南側の6~8ラインでは間隔が20海里に頻度の高い所があり、これは沿岸冷水を表わし、直径40海里の海況スケールである。南のラインに移るに従って70海里以上の所の頻度が高くなっており、このあたりの海況規模は、当調査海域以上のスケールであることを意味している。

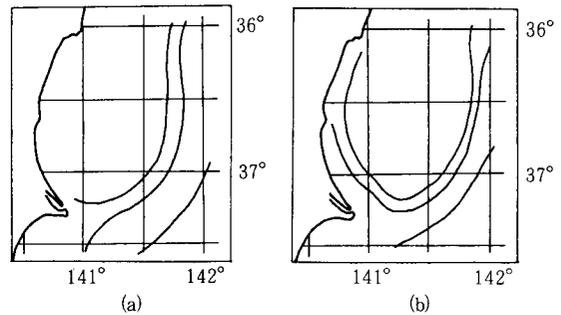


図10 Str.F. からみたOパターンの等温線の走行状態の模式図

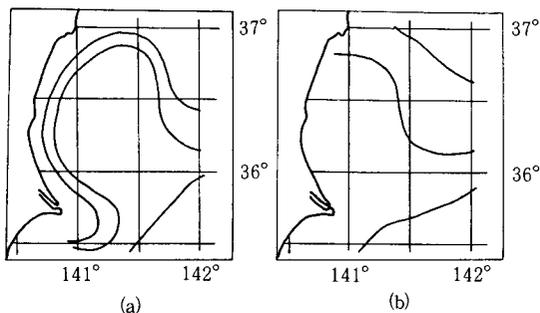


図 11 Str. F. からみた W パターンの等温線の走行状態の模式図

南北方向では、K パターンの場合と同じく、西側のラインでは短い間隔に Str. F. の頻度の高い所があり、東側のラインに行くに従って長い間隔に頻度の高い所が移って行き、ついには 90 海里以上の所に頻度の高い所が出ている。K パターンと異なるのは、e ライン似東で 90 海里以上の所のみ頻度の高い所が出ていて、他の間隔の所には殆んど出ていないことである。これは、これ等のライン上では、等温線の湾曲がなく、d ラインまでが暖水舌範囲であることを示している (図 11 (b))。筆者ら (1978) は先に暖水舌の波高は塩屋埼を越えることはまれであり、30 ~ 70 海里であると述べたが、今回の方法では d ライン以西で間隔 20 ~ 60 海里に頻度の高い所が出ており、これは 1 つは K パターンと同じく等温線が陸側に大きく湾曲しているために出ているもので、これが W パターンの波高を示しているものではない (図 11 (a))。また他の 1 つは東西方向の 6 ~ 8 ラインでみられた沿岸冷水の南北方向の規模を示すもので、間隔 20 ~ 30 海里に頻度の高い所が出ており、20 ~ 60 海里の規模となっている。以上のことより等温線の走行状況を模式的に示したのが図 11 である。

ここで、Str. F. について考えてみると、図 3 のように平坦な海域に円形渦もしくは楕円形渦が存在する時は、円形渦のスケールとして Str. F. が明確な値として求まり、この時には渦のスケールと Str. F. のスケールは一致する筈である。しかし当海域のように

黒潮、親潮等が複雑に入り乱れている所では、等温線の湾曲部が Str. F. の極値として利用して来るので平坦な海況以外で使用する際には幾分の疑問が残る。海域内において極値の出現回数を計算し、海況の複雑さの指標をするには適当かもしれない。また沿岸域に出現する小冷水塊 (湧昇域) のスケールを知るのには W パターンで沿岸冷水のスケールが明確に求まったことから適当である。但し、前述の理由により、幾分小さく見積る必要がある。

アイソプレスがクローズされた形をとらず、暖水舌や冷水舌のように一方向が開放された海況においては、開放面に垂直な方向の Str. F. は水温が漸増または漸減するため次の不等式で表わされる。

$S(l_1) < S(l_2) < \dots < S(l_n)$ 従って極値は出現しない。このことより、当海域における暖水舌や冷水舌の波高は調査海域内では把握出来ないということが分る。

暖水舌の波長が久保ら (1978) より大きく出ているのは、久保らの場合は実際に暖水舌の波長を測定したものであり、Str. F. はあくまでも統計的な方法によっている。統計的手法では前述のように全海域を統計的に扱っており、アイソプレスが湾曲さえしていれば暖水舌水以外の黒潮系水や親潮系水をも含めて計算されてしまっているため波長が大きくなっていると考えられる。

Str. F. から出した海況スケールが実測値から出した海況スケールより大きく出るとは、オーストラリア東岸での東回り環流において、HAMON ら (1972) も認めている。

総 括

「海況速報」の 1972 年 ~ 1980 年を使用して、各海況をパターンに分け、各々のパターンについて表面水温を用いて Structure Function を計算し、次のような結論を得た。

(1) K パターンは東西方向で 120 海里以上、南北方向で 180 海里以上のスケールの海況規模であり、調査海域内では海況スケールが把握出来ない。

(2) Oパターンは東西方向で60～80海里の海況スケールが卓越しており、南北方向では、調査海域内での海況規模は把握出来ない。

(3) Wパターンは東西方向で40～80海里、南北方向では40～180海里以上のスケールの海況規模で、調査海域内では海況スケールは把握出来ない。

(4) Structure Functionはアイソプレスがクロースされるような海況においては有効であり、沿岸冷水の規模を知りたいような時にも有効であるが、実際よりは幾分か大きく出る。

(5) アイソプレスが暖水舌や冷水舌のように一方が開放されたような海況においては、開放面に垂直な方向のStructure Functionは $S(\ell_1) < S(\ell_2) < \dots < S(\ell_n)$ で表わされ、極値は出現しない。従って当海域における暖水舌や冷水舌の波高を算出するには不適当である。

(6) Structure Functionは、当海域において暖水舌や冷水舌の波長を算出するには適当であるが、実測値より大きく出るので留意する必要がある。

終りに臨み貴重な文献を賜わり、また有益な助言をいただいた北海道大学教授福岡二郎博士に心から拝謝します。なお本論文には東海区水産研究所友定彰主任研究官の懇篤な助言と技術的な援助によるところが多く、記して感謝の意を表わします。また労をおしませずStructure Functionの計算において技術的な援助をして下さった当時草野和之技師及び作図の任に当られた永倉千津子女史に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) AN, H. S., 1980; Observational Evidence of the Upwelling off Cape Shioyazaki in Fukushima Prefecture, Japan, J. Oceanogr. Soc. Japan, Vol. 36, No. 1, 85～95。
- 2) 藤森完, 1969; 房総沖に現われる黒潮系水オーバーハングの若干例, 漁場海況概報No. 38,

9～18。

- 3) ——, 1969; 関東近海における68年冬春季海況の二三の特徴, 一豆南・房総海域の黒潮を中心として一, 水産海洋研究会報, 14, 26～34。
- 4) HAMON, B. V., CRESSWELL, G. R., 1972; Structure Functions and Intensities of Ocean Circulation off East and West Australia, Aust. J. mar. Freshwat. Res. 23, 99～103。
- 5) 稲掛伝三, 本城康至, 石野誠, 鈴木秀弥, 1978; マサバ越冬期における鹿島灘低温水の性状, 1978年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集, 54～55。
- 6) KUBO H., A. TOMOSADA, 1978; Oceanography of Kashima-Nada, off the east coast of Honshu-II, On the Warm Water Tongue, Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., 96, 11～28。
- 7) 久保治良, 友定彰, 1981; 鹿島灘の海況-I, 表面水温からみた近年の海況パターンの変動について, 茨城水試創立80周年記念誌, 90～102。
- 8) ——, ——, 宮沢公雄, 西畑功, 1982; 鹿島灘の海況-III, 三県共同調査より, 東海水研報, 108, 59～133。
- 9) 水野恵介, 藤本実, 1979; 東北海区の混合水にみられる冷水について, 東北水研報, 41, 117～128。
- 10) 友定彰, 久保治良, 1976; 鹿島灘の海況-I, 海面水温の変動と黒潮系水の占有率, 東海水研報, 86, 113～125。
- 11) ——, ——, 1980; 鹿島灘の海況-IV, -GEK測流より-, 東海水研報, 103, 1～15。