

寄稿

## 東北海区の異常冷水現象の特徴とその発生要因

奥田邦明\*・武藤清一郎\*\*

### 1. はじめに

東北海区では、春先、親潮第1分枝が三陸沿岸沿いに著しく南下し、三陸・常磐の沿岸・近海が、例年に比べて、著しく低温化するという現象が数年程度の間隔で発生する。この現象は異常冷水現象と呼ばれ、古く明治の頃から、それが東北・北海道地方の気象に影響し、凶作の原因になるとの考えから、多くの気象・海洋学者の関心を集め、調査・研究が成されてきた。異常冷水現象の発生に関してこれまでにいくつかの説が唱えられ、また、この現象解明のために行われた調査は、親潮及び北洋海域に関する多くの先駆的な知見をもたらしたが、異常冷水現象の発生に係わる複雑な気象・海洋変動の仕組みは、まだ、ほとんど解明されていない。

異常冷水現象は主に漁業への影響という点で、社会的に高い関心が持たれている現象である。異常冷水年には、親潮系冷水の移流の増大に伴い漁獲対象魚種が変化し、回遊性浮魚の漁期及び漁場位置が変動し、様々な漁況の異変が現れる。また、栄養塩の豊富な親潮系水の流入量の増加は当海域の生物生産性を高め、そのこと自体としては、漁業上好ましい影響を及ぼしているはずである。その他に、異常冷水現象の影響として特筆されるものとして、親潮系冷水の沿岸域への侵入に伴う沿岸・湾内の著しい水温低下による魚貝類のへい死等の直接的な被害がある。三陸・常磐沿岸域は、通常、津軽暖水、黒潮系暖水に覆われ、水温が最も低下する2~3月でも6~7°C以上の水温が維持されているが、異常冷水現象発生時には2~3°C以下にまで低下することがある。最近では1984年にこの現象が起こり、ワカメの穴あき、アワビ・ウニのへい死等沿岸・養殖漁業に顕著な被害が現れている。

### 2. 親潮第1分枝の変動

東北海区における親潮系水の挙動、特にその短期的変動は極めて複雑であるが、より長い時間スケールで見れば、

親潮系水の流入の仕方、特に親潮第1分枝の挙動には、はっきりした一定の傾向がある。まず、親潮第1分枝の南下には顕著な季節変動が存在する(黒田, 1979; 上橋, 1980; 水野, 1984)。水野(1984)の計算した月別平均水温分布によれば、親潮第1分枝は春先から南下し始め、4月には39°N付近に達する。そして、その後徐々に後退し、秋から冬にかけて襟裳(41°30'N)付近にまで後退する。この親潮第1分枝の季節変動は、季節風の変動と符号しているようである(上橋, 1980)。もうひとつの注目すべき特徴は、春先の親潮系水の著しい南下現象が、2~3年から10年程度の間隔で発生することである。ここで問題にする異常冷水現象は、この親潮第1分枝の異常な南下に付随した東北海区の低温化現象のことである。

親潮系水の指標水温として、しばしば100m深における5°C水温が使われる。図1にこの指標水温から求めた1955~1984年までの親潮第1分枝の月別南限緯度を示す。矢印を付けた年が親潮第1分枝が著しく南下した年で、それらの年には、親潮第1分枝は、例年南下が始まる2~3月には、既に、37~38°Nまで南下している。この現象は、2~3年から10年程度の間隔で起こっており、また、80年代と60年代後半とを比較すると分かるように、20年あるいはそれ以上の長周期の変動も存在しているようである。

興味深い点は、親潮第1分枝の著しい南下はかなり頻繁に起こっており、この現象の発生そのものは決して'異常'ではないということである。このことは、今後、異常性についての海況面からのより本質的な検討が必要であることを意味している。また、親潮第1分枝の著しい南下の起こったすべての年で漁業上に顕著な影響が現れたわけではない。このことは、漁業への影響を考える際には、親潮第1分枝の南下だけでなくその他の要因も考慮しなければならないことを示している。

親潮第1分枝の著しい南下、及びそれに伴う冷水現象の発生原因に関しては古くより多くの研究があり、それらは赤川(1980)にレビューされている。これまでの研

\* 東北区水産研究所

\*\* 東北区水産研究所・八戸支所

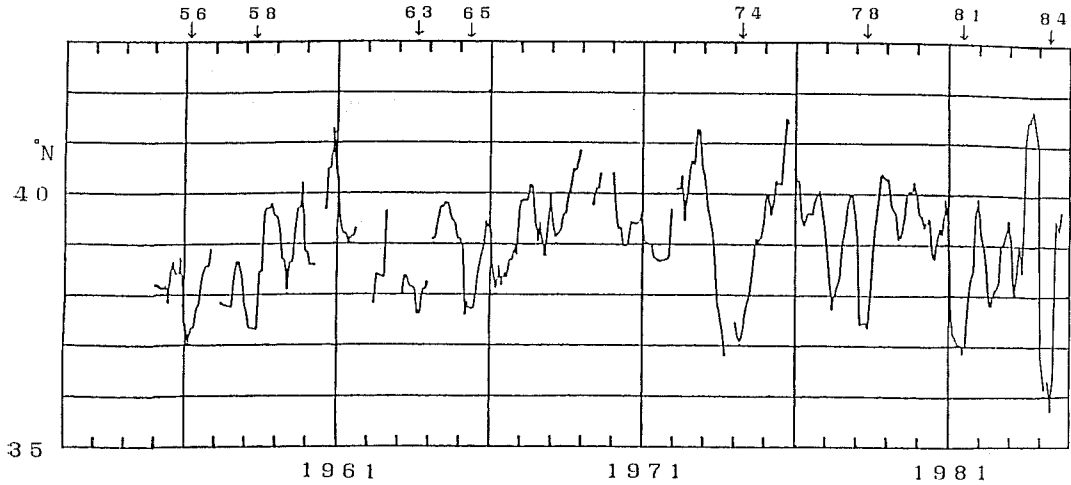


図1 100 m 深 5°C を指標水温として求めた親潮第1分枝南限緯度の変化 (異常気象レポートよりただし, '83, '84 については東北海区漁場海況概報に基づいて著者が追加した)。

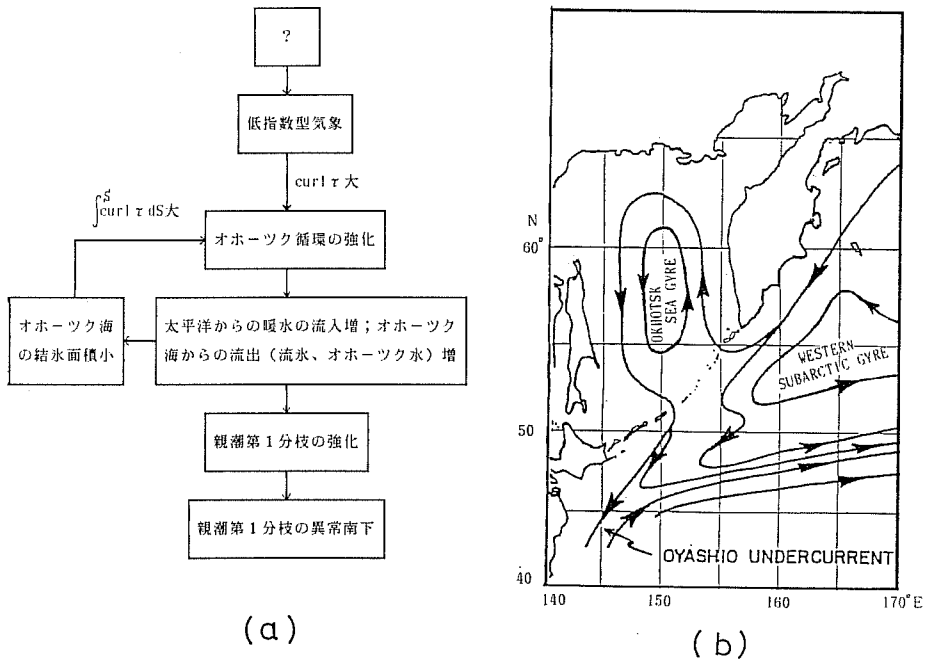


図2 (a). 推測される冷水現象の発生過程, と (b). オホーツク海および周辺海域の循環の模式図 (DODIMEAD *et al.*, 1963 より)。冷水現象は極東の低指数型気象と対応している。低指数型気象はオホーツク海における風の応力 ( $\tau$ ) の回転 ( $\text{curl } \tau$ ) を増加し, それはオホーツク海循環を強化する。それに伴って, 太平洋の暖水のオホーツク海への流入, 千島列島間からの流水の流出が増加し, それはオホーツク海の結氷面積の縮小をもたらす。結氷面積の縮小はオホーツク海全体とした風の応力の回転 ( $\int^S \text{curl } \tau dS$ ) を増加させることになり, オホーツク海循環を更に発達させる効果を持つ。このようなオホーツク海循環の強化に伴うオホーツク海からの流出の増大が, 春先の親潮第1分枝の著しい南下の原因であると考えられる。

### 東北海区の異常冷水現象の特徴とその発生要因

究の多くはその原因を親潮の源流域であるオホーツク・ベーリング海付近の気象に求めているが、最近の研究は、親潮第1分枝の異常南下と、極東域の気象及びオホーツク海の海水の状況との間に顕著な相関を見出している。松倉(1975)、赤川(1980)によれば、親潮第1分枝の異常南下年においては、極東域の東西指数は小さく、また一見直感に反するようであるが、オホーツク海の結水面積は小さく、そして南千島列島間からの流水は多いという非常に明確な相関がある。ここで東西指数は南北間の気圧差の指標であり、それが小さい年には偏西風は蛇行型で、日本付近は厳冬であるのに対して、カムチャッカ方面では逆に南よりの風が卓越し、暖冬になるといった気圧配置が現れる(赤川, 1980)。そして、このような極東域の低指数型気象は全球的な気象変動の極東域での現れであると解釈されている。この結果は、春先に起こる親潮第1分枝の著しい南下には、低指数型気象に伴うオホーツク海循環の発達が重要な役割を果たしており、この現象の発生に関して、図2に示すような筋道が

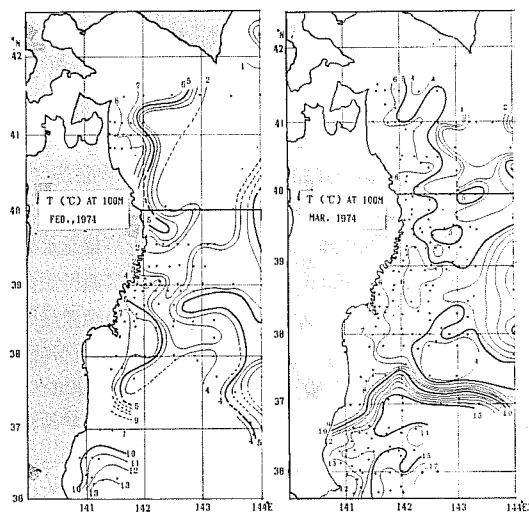


図3 1974年2、3月の100m深水温分布  
(東北海区漁場海況概報より)。

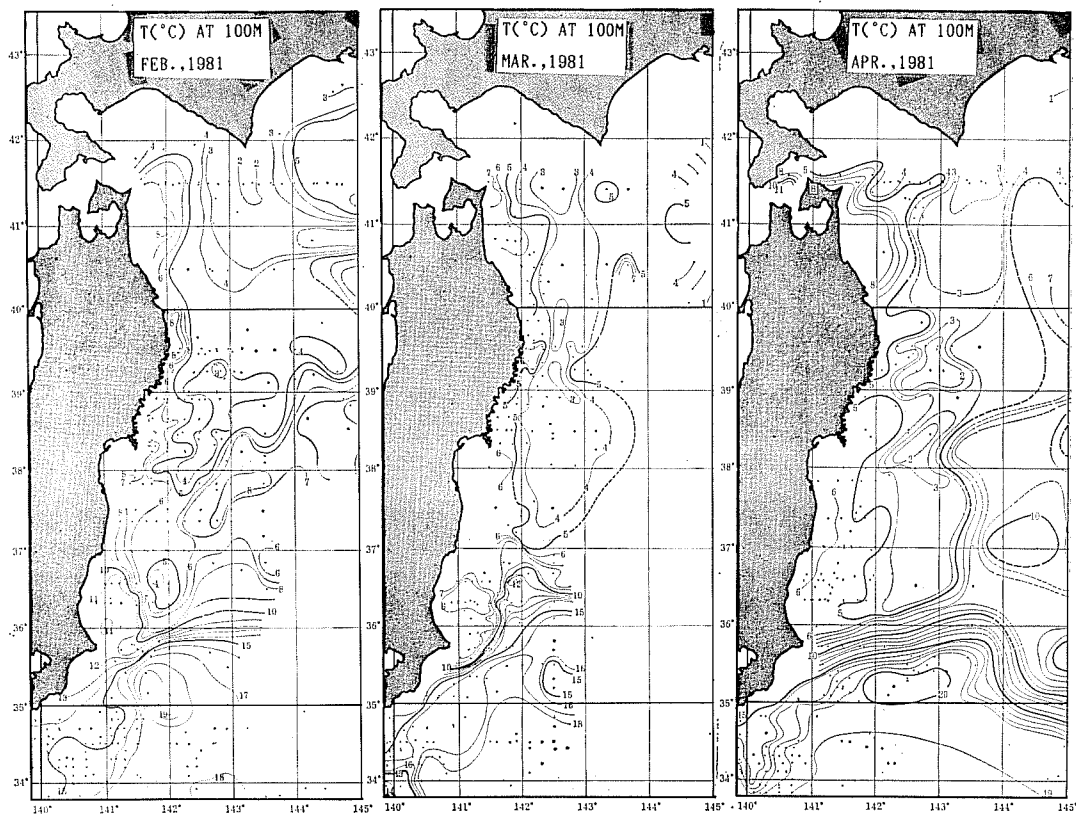


図4 1981年2、3、4月の100m深水温分布。

推定されることを示唆している。冬季から春季にかけての道東～オホーツクの綿密に計画された海洋調査が、この現象解明のために非常に重要であるように思われる。

### 3. 最近の冷水年における東北沿岸域の海況

ここでは最近の冷水年のうち 1974, 1981, 1984 年を取り上げ、それらの年の冷水現象の特徴を、東北水研が発行している月別 100 m 水温分布(東北海区漁場海況概報)に基づいて述べる。春先の東北海区での漁業活動の中心は沿岸域にあり、ここでは特に沿岸域の海況に着目する。なお、1974 年については IIDA and KATAGIRI (1974), 武藤 (1975), 松倉 (1975) らの、1984 年については武藤ほか (1984) の詳しい報告がある。

(1) 1974年 図3に1974年2, 3月の100 m 深水温分布を示す。この年、親潮第1分枝 ( $T_{100} < 5^{\circ}\text{C}$ ) は、2月中旬には既に常磐沖にまで南下し、同時に冷水が鮭ガ埼から綾里埼に至る三陸南部に接岸した。三陸南部の各湾には低塩分の冷水が流入し、ところによっては湾内水は  $2^{\circ}\text{C}$  以下にまで低下し、ワカメの穴あき、魚貝類のへい死現象が現れた。しかしながら、三陸北部では、表層冷水が尻屋埼付近に接近したものの、大部分の海域は津軽暖水に覆われ、また常磐沿岸域でも黒潮系暖水の北上が

顕著で、親潮系水の沿岸域への侵入は起こらなかった。この年は、はっきりとした漁業への被害が現れたため、冷水年として強く印象付けられているが、海況面からみると、この年の冷水現象は局所的で、かつ短期的なものであった。

(2) 1981年 図4に1981年2, 3, 4月の100 m 深水温分布を示す。この年も親潮第1分枝は2月中旬には常磐沖にまで急激に南下し、同時に表層冷水が尻屋埼付近に接近した。3月になると親潮第1分枝は鮭ガ埼付近に接近し、鮭ガ埼～綾里埼沿岸域の水温は  $4^{\circ}\text{C}$  程度にまで低下した。親潮第1分枝は4月になってもなお強勢で、犬吠埼沖にまで南下し続けたが、3月に低温化した三陸沿岸域は、津軽暖流の発達・南下に伴い昇温に向かった。この年の親潮第1分枝の南下は1974年に比べると遙かに著しかったが、親潮系冷水が沿岸域へ直接侵入することはなく、1974年のように顕著な漁業上の被害は起こらなかった。

(3) 1984年 図5に1984年2, 3, 4, 5, 6月の100 m 深水温分布を示す。この年もやはり親潮第1分枝は2月中旬に急激に常磐沖にまで南下した。同時に鮭ガ埼付近に接岸し、鮭ガ埼から綾里埼に至る沿岸域の水温は  $2\sim 3^{\circ}\text{C}$  にまで低下した。また、尻屋埼から八戸に至る下北一帯で、表層の低塩分の冷水が津軽暖水のうえにかぶさ

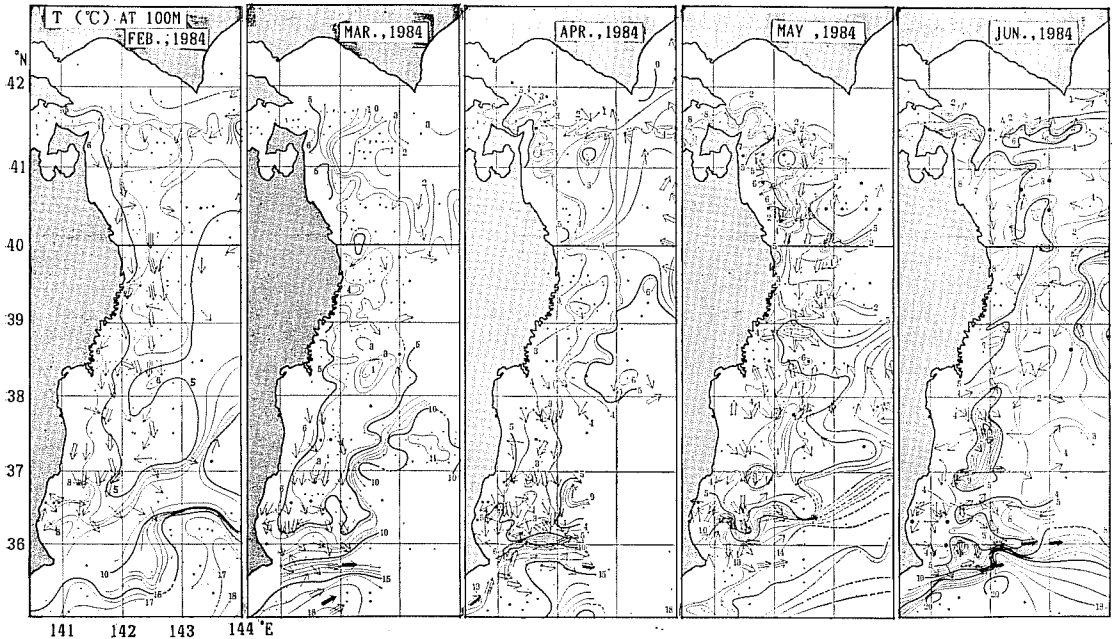


図5 1984年2, 3, 4, 5, 6月の100 m 深水温分布。

るように接岸し、例年津軽暖水に覆われているこの海域でも、表層は $4^{\circ}\text{C}$ 以下にまで低下した。3月になって三陸沿岸の低水温域は更に拡大し、尻屋埼から金華山に至る三陸のほとんどの海域が $5^{\circ}\text{C}$ 以下の親潮系水に覆われた。4月になると三陸沿岸冷水の南下、沖合の親潮系水の岸方向への移動に伴って、常磐沿岸域の低温化現象が顕著になった。5月になり、三陸の冷水現象は津軽暖流の発達・南下に伴い北から解消に向かい始めたが、常磐沿岸・近海は表層を除き依然として $5^{\circ}\text{C}$ 以下の親潮系水に覆われ、この海域の冷水現象が解消に向かったのは7月になってからであった。この年の冷水現象は、水温値、空間規模、持続時間のいずれをとっても過去に例を見ない、正に異常なものであった。

以上述べた最近の冷水年の特徴を比較すると、冷水年の春先の海況には各年で顕著な相違があるものの、同時に、いくつかの共通した特徴を見出すことができる。

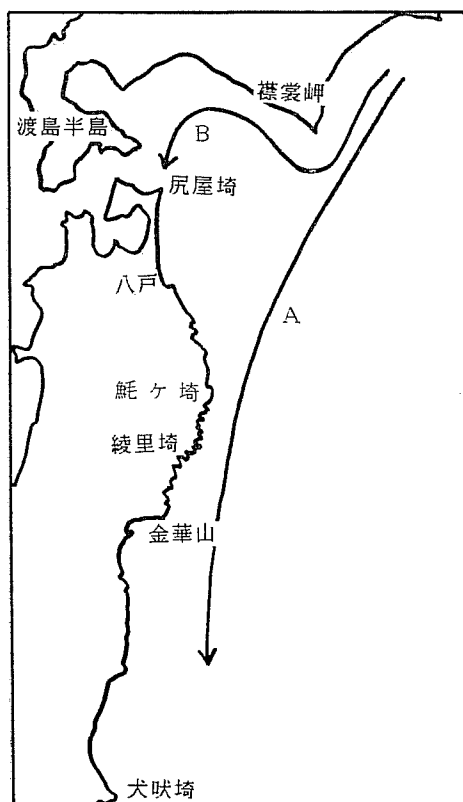


図 6 冷水年における春先の親潮系水の南下経路。Aは親潮第1分枝で、Bは沿岸親潮である。冷水は2月中旬にはA、Bに沿ってそれぞれ常磐沖、尻屋埼に達する。

また、特に印象深いのは1984年の冷水現象の異常性である。以下でこれらの点についてまとめておく。

(a) 冷水の南下経路 冷水年における春先の親潮系水の南下経路には、大きく分けて、図6にA、Bで示す二つがあるようである。Aは襟裳近海から鮭ガ埼をかすめ、常磐沖にまっすぐに南下するもので、これは親潮第1分枝である。一方、Bは十勝沿岸に沿って襟裳付近まで南下したのち、日高方面にまわりこみ、その後、渡島半島沖から尻屋埼に接近するもので、これは沿岸親潮と呼ばれている(大谷, 1971; 村上, 1984)。いずれの冷水年でも、冷水は2月中旬～下旬にはこの二つの経路に沿ってそれぞれ常磐沖、尻屋埼付近に達する。三陸北部の冷水現象はBに、鮭ガ埼以南の冷水現象はAに関係している。

(b) 冷水の水型 春先に、A、Bに沿って北海道・三陸沿岸域に南下してくる親潮系冷水には、特性がはっきり異なる二つの水型がある(大谷, 1971)。一つは、 $T < 3.0^{\circ}\text{C}$ 、 $S = 33.0 \sim 33.3$ を示す水型で(ここでは大谷にならってO水と呼ぶ)、もう一つはOi水と呼ばれている極めて低温低塩分( $T < 2.0^{\circ}\text{C}$ 、 $S < 33.0$ )のオホーツク融氷水である。親潮第1分枝(A)の水のほとんどはO水であり、一方沿岸親潮(B)の水はすべてOi水である。Oi水は、三陸南部海域を通る親潮第1分枝の岸側表層にも見い出され、襟裳付近に滞留するOi水の一部は、冷水年には親潮第1分枝の影響を受けて、三陸南部以南にまで移流されていることを示している。

Oi水の重要な特徴は、極めて低塩分であるため、その密度は、春先三陸沿岸域を覆っている津軽暖水の密度、 $\sigma_t \sim 26.5$ (赤羽・高梨, 1977)、よりも小さいことである。一方、O水は津軽暖水と同程度か、それよりも大きい密度を持つ。このことは、O水が三陸沿岸を南下し、岸に接近しても、それは津軽暖水の下に潜り、沖合に安定したフロントが維持され、沿岸域は津軽暖水にガードされたままであるが、Oi水が南下接近した場合には、Oi水は津軽暖水の表層を岸方向に拡がり沿岸域を低温化する可能性があることを示している。

(c) 冷水の接岸 冷水年に漁業上の被害が発生するか否かは、親潮第1分枝の著しい南下が起こるかどうかにより、冷水が沿岸域に流入し、沿岸域が $2 \sim 3^{\circ}\text{C}$ 以下という極度の低水温になるかどうかに関係している。そして上に述べたOi水の移流が、この冷水の接岸という現象に支配的な役割を果たしている。

冷水が最初に岸に接近する場所は、ひとつは尻屋埼付

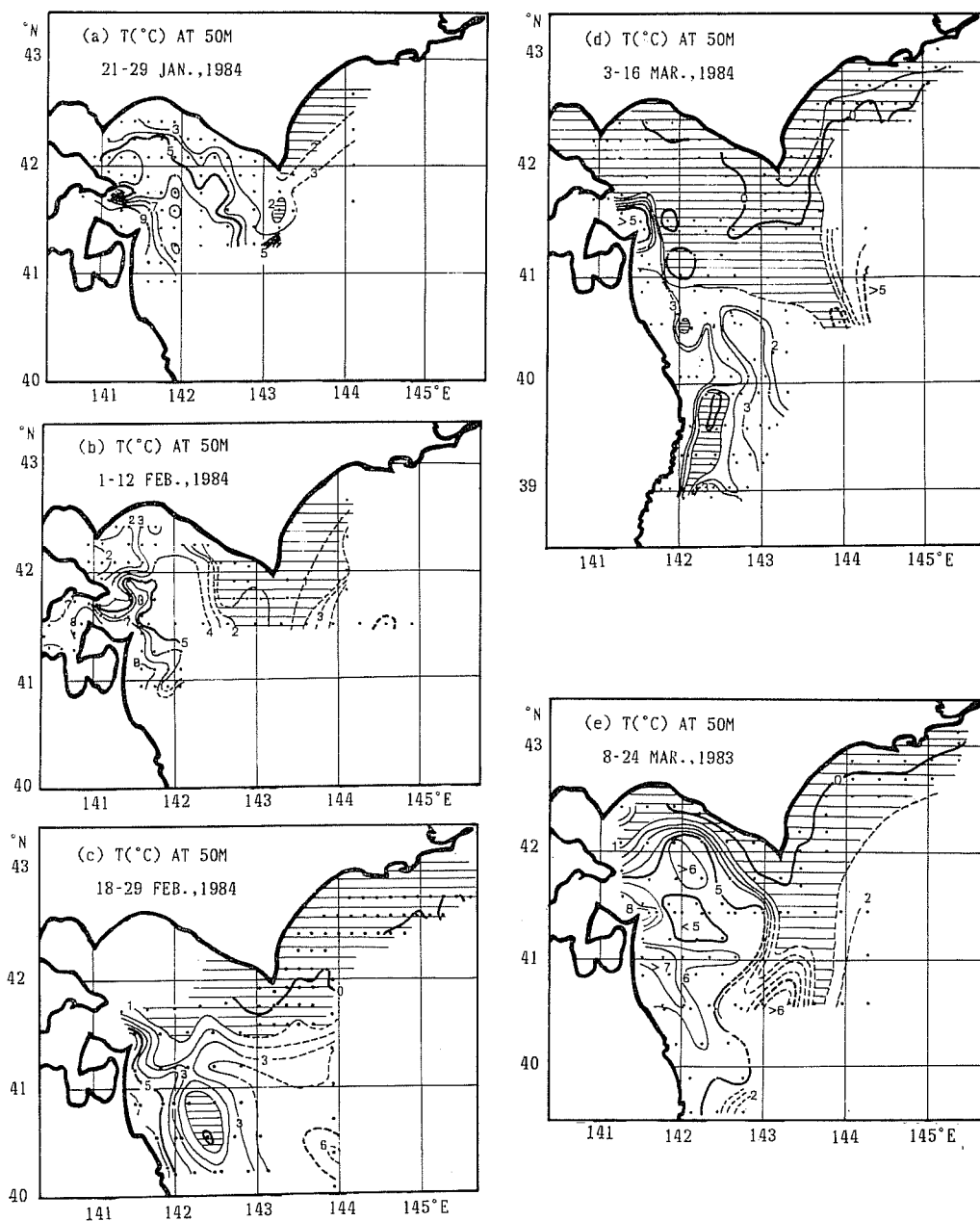


図7 1984年1~3月における道東から三陸にかけての50m深水温分布の推移。横線は $S < 33.0$ に対応する領域 ( $T < 1$  or  $2^{\circ}\text{C}$ ) で、Oi水の分布を表す。比較のために、1983年3月中旬の分布を(e)に示す。

近であり、もうひとつは鮭が埼付近である。これまでの観測データは、尻屋埼付近に接近する冷水は、沿岸親潮により運ばれ、津軽暖水の上を薄く（～50 m）広がるように南下してくる Oi 水であることを示しており、また IIDA and KATAGIRI (1974)、武藤 (1975) の報告、あるいは岩手水試の鮭が埼定線観測から分かるように、鮭が埼付近に接近する冷水もまた、先に述べた襟裳付近から移流してくる Oi 水である。尻屋埼付近への Oi 水の接近は、親潮第 1 分枝の著しい南下が起るいわゆる冷水年に限ったことではなく、ごく普通の現象であるが、漁業上の被害が顕在化するのには、1984 年のように、移流してくる Oi 水の量が多く低温化する海域が広域にわたる場合である。一方、三陸南部では、冷水年には Oi 水の移流は常に見られるが、実際に Oi 水が接岸するのはそのうちの限られた年である。

三陸南部に Oi 水の接岸の起こった 1974 年と起こらなかった 1981 年とを比較すると、1974 年の場合、顕著なフロントを形成した Oi 水が沿岸域に侵入・接岸し、次々と湾内に流入・南下していったことがうかがえるが、1981 年の場合には、岸から 15 マイル付近に Oi 水の弱いフロントが形成され、Oi 水の沿岸域への直接的な流入・接岸は起こらなかった。1981 年の場合には、津軽暖水を薄く岸方向に侵入してくる Oi 水と、下層の津軽暖水との間の鉛直混合により、Oi 水のフロントがやや沖合に形成され、沿岸域の極端な低温化が起こらなかったものと推測される。三陸南部沿岸域において、漁業被害が顕在化するような極端な低温化現象が発生するかどうかは、Oi 水の移流量、津軽暖流の水溫・流量、そして Oi 水南下時の局所的な気象条件等が関係していると考えられる。

(d) 1984 年の冷水現象の異常性 この年の冷水現象の一般的な特徴は、既に、武藤ほか (1984) に詳しく報告されており、ここでは Oi 水の挙動に焦点を絞り、この年の春先の海況の異常性について述べる。

この年の大きな特徴は、沿岸域の著しい低温化が下北から常磐に至る広い海域で起こり、かつ、それが長期にわたり（～3 か月間）持続した事である。そして、その最大の要因は、東北海区に輸送された Oi 水の量が非常に多かったことであると考えられる。図 7 に 1 月下旬から 3 月中旬における、北海道から三陸にかけての沿岸・近海の 50 m 深水温分布から推定した Oi 水の分布域の推移を示す。図中、横線の領域は、水面での観測及びいくつかの点での鉛直分布の観測から得た T-S 関係により決めた  $S < 33.0$  に対応する水溫値を持つ領域であり、Oi

水の分布域を示している。1 月下旬 (図 7a) に道東沿岸域に分布していた Oi 水は、2 月上旬 (b) には急激にその分布域を拡大し、一部は襟裳から三陸沖に南下し、一部は日高沿岸域に流入した。2 月下旬 (c) には日高沖海域の表層 (<100 m) はすべて Oi 水で覆われ、3 月中旬 (d) には Oi 水は三陸南部以南にまで南下し、北海道から三陸南部までの沿岸・近海の広い海域に Oi 水が分布した。この時期の Oi 水の厚さは尻屋埼東方で 100 m 以上に達した。この時期、尻屋埼から三陸南部に至る津軽暖流域の水溫は、50 m 深でも、 $3^{\circ}\text{C}$  程度にまで低下し、津軽暖流そのものが殆ど消滅した状態になった。比較のため、図 7(e) に 1983 年の 3 月中旬の 50 m 深水温分布を示している。1983 年はいわゆる冷水年ではないが例年と比べると三陸沿岸域の低温化が著しかった年であるが、1984 年との間には歴然とした差があり、1984 年の冷水現象の異常性がうかがえる。

1984 年の異常な冷水現象の発生他の要因として、三陸・常磐沿岸域の暖水（津軽暖水、暖水舌等）の勢力が弱かった事に加えて、春先厳しい冬型の気象が続いた事が挙げられる。上で述べたように、三陸沿岸域の津軽暖水は 2 月中旬から下旬にかけての Oi 水の移流によりたちまちほぼ全域で  $3^{\circ}\text{C}$  程度にまで寒冷化した。これは Oi 水の移流が著しかった事に加えて、津軽海峡から流入する津軽暖水の水溫が低く、かつ流量が小さかった事にも起因している。また、常磐では 4 月以降冷水が接岸し、7 月まで極度の低水溫が続いたが、これはこの年黒潮の南偏が著しく、常磐沿岸・近海への黒潮系暖水の移流（暖水舌等）が少なかったこと、そして春先の寒冷な気候により、水溫の低下に伴って沿岸域の暖水の密度が増加し、三陸南部から移流してくる Oi 水及びその変質水の沿岸域への侵入が助長された事によると推測される。

1984 年は、大規模な大気・海洋変動、日本付近の局所的な気象及び沿岸暖水等東北海区の海況のすべての点で、異常冷水現象の発生にとって好都合な条件が揃っていたように思われる。異常冷水現象の発生機構を解明する手掛かりを得る上で、1984 年の冷水現象を今後も引き続き様々な観点から調べることが重要であると思われる。

#### 4. 予測上の問題点

異常冷水現象は大規模な大気・海洋変動に伴って発生するものであり、この現象の本質的な解明、そしてその発生長期予測は、この分野の研究の今後の進展を待たねばならない。しかしながら、漁業関係者から望まれて

いるのは、冬のうちに春先の海況がどのようになるのかという情報を提供する短期的な予測であり、また、漁業への影響という点で重要なのは、Oi水がいつ、どこに接岸し、沿岸域が低温化するのかという局所的な現象の予測である。Oi水の接岸という現象の実態を把握し、漁業への影響に重きをおく立場から、その発生の短期的な予測手法を開発することは、東北～北海道の沿岸・近海の調査・研究により、大規模な大気・海洋変動の問題の解明を待たずに可能となる課題であるように思われる。

東北沿岸域の冷水被害は Oi 水の接岸によって発生するものであり、異常冷水現象の短期予測にとって最も重要なことは、冬から春先にかけての Oi 水の分布、その挙動の特徴を把握することである。これまで観測上の困難等により、冬から春先にかけての調査が少なく、この時期の Oi 水の挙動の実態はほとんど把握できていなかった。図7に示した1984年の結果は、主として、北水研が行ったスケトウダラの資源調査に関連して得られたデータに基づくものであるが、Oi水の分布及びその短期的な変動過程がこのように詳細に捉えられたのは初めてであろう。道東沿岸域の Oi 水の南下は1月下旬頃急激に増加しており、また南下流量には、1983年の分布と比較して分かるように、大きな経年変動があるようである。東北海区にとって上流に当たる北海道沿岸域での Oi 水の分布やその流量をモニタリングし、その変動特性を把握することにより、予測に直接結びつく重要な知見が得られるように思われる。

今後推進されるべき基礎的な研究として、東北沿岸・近海の暖水の変動特性、及び海況変動に対する局所的な気象の効果を正確に把握することが挙げられる。東北海区における沿岸暖水の分布は、Oi水の移動経路に影響し、沿岸域に侵入した Oi 水が沿岸域をどの程度低温化するかは、Oi水の移流と沿岸暖水(津軽暖水、暖水舌等の黒潮系暖水)の移流とのかねあいで決定される。また過去の冷水年の海況から分かるように、冷水現象を解消する要因の一つは、暖水の移流の増大である。この意味で冷水現象の予測は、ある面では暖水の予測でもあり、津軽暖流及び暖水舌・黒潮北上分派等の黒潮から派生する暖水の変動特性を把握することは、冷水現象の予測にとっても重要である。東北・北海道付近の気象は、南下

してくる Oi 水の層が薄いこともあって、加熱・冷却及び風の効果により、Oi 水の水温値及び動きに直接大きな影響を及ぼす。また1984年の例で分かるように、沿岸暖水を寒冷化し、Oi 水の接岸を助長するという面から間接的に冷水現象の発生に影響する。東北海区のように複雑な海洋構造を持つ海域では、局所的な気象の効果を定量的に評価することは非常に難しく、このことが冷水現象の発生機構を解明するうえで大きな障害の一つになっている。局所的な気象の海況変動への効果を評価することは、冷水現象に限らず、東北海区の漁海況予測全般にとって非常に重要な課題である。

#### 文 献

- 赤川正臣 (1980) オホーツク海の流水と北海道・東北地方沖合海況との関連. 海と空, **55**, 169-181.
- 赤羽光秋・高梨勝美 (1977) 津軽海峡東西断面における海洋構造. 東北海区海洋調査技術連絡会議事録, **27**, 40-44.
- IIDA, H. and K. KATAGIRI (1974) Abnormal spreading of cold water along the east coast of Honshu Island in February. Oceanogr. Mag., **26**, 41-47.
- 大谷清隆 (1971) 噴火湾の海況変動の研究. II. 噴火湾に流入・滞留する水の特性. 北大水産彙報, **12**, 58-66.
- 黒田隆哉 (1979) 親潮第1分枝の出現状況について. 東北海区海洋調査技術連絡会議事録, **29**, 25-27.
- 気象庁 (1984) 異常気象レポート '84, 294 pp.
- 上橋 宏 (1980) 親潮第1分枝の変動. 東北海区海洋調査技術連絡会議事録, **30**, 34-36.
- DODIMEAD, A. J., F. FAVORITE and T. HIRANO (1963) Salmon of the North Pacific Ocean. Part II. Review of oceanography of the Subarctic Pacific Ocean. INPFC. Bull., **13**.
- 松倉秀夫 (1975) 昭和49年三陸から常磐沿岸の異常海況の発生と日本周辺の気象との関連について. 水産海洋研究会報, **26**, 79-87.
- 水野恵介 (1984) 東北海区の海況変動について. 東北水研研報, **46**, 61-79.
- 武藤清一郎 (1975) 昭和49年三陸～常磐の異常冷水について. 水産海洋研究会報, **26**, 68-78.
- 武藤清一郎・工藤英郎・荒井永平 (1984) 東北海区の異常冷水現象. 海洋科学, **16**, 719-726.
- 村上 敬 (1984) 沿岸親潮の道南海域への流入. 海洋科学, **16**, 697-701.