

特集「新海洋データ同化システム (MOVE/MRI.COM) による海洋情報の高度化」

MOVE/MRI.COM-WNP データを用いた日本海の極前線の指標水温*

重岡 裕海** ※1

要 旨

北西太平洋海洋データ同化システム MOVE/MRI.COM-WNP の再解析データを用いて、極前線の指標水温の検討を行った。日本海の 50m 深・100m 深の北緯 38 度～42 度において、南北方向の格子間水温差が大きな格子点が多く含まれる水温帯を見出し、季節変動に応じた極前線の指標水温を定めた。定めた指標を用いて、東経 135 度における極前線の位置の検出を試みるとともに、指標水温の格子点群について格子間水温差の南北傾度を調べ極前線としての性質を満たすか検証した。

1. はじめに

日本海はアジア大陸と日本列島に囲まれており、対馬海峡により東シナ海と、津軽海峡により太平洋と、宗谷海峡・間宮海峡によりオホーツク海とつながっているが、それらの海峡はいずれも狭くて浅いため、閉鎖性が強い縁辺海となっている。

日本海の南部では、対馬海峡から流入する対馬暖流によって主として黒潮を起源とする高温・高塩分の水やそのほかに長江などを起源とする低塩分水が運ばれている。他方、日本海の北部はアジア大陸沿岸を南下するリマン海流によってアムール河を起源とする低温・低塩分水が供給されている。これにより、北緯 40 度付近には極前線あるいは亜寒帯前線と呼ばれる東西に延びる水温・塩

分の不連続線が形成されている。日本海の表層における海洋構造の模式図を第 1 図に示す。極前線は、北日本の沖合では対馬暖流域の北上域に近づくにつれて北上している。日本海に流入する表層水は、接する海峡の地形的影響により厚さは最大でも 200m 前後に過ぎず、この極前線の鉛直構造も極めて浅くなっている。

このような日本海の表層環境のうち、南部の対馬暖流についてはこれまでさまざまな研究がなされており、気象庁においては「海洋の健康診断表」の中で対馬暖流の勢力等についての診断を行っているが、北部の亜寒帯水についての知見は少ない。気候変動に関する基礎的な情報としても、亜寒帯水の勢力をとらえその変動を把握することは重要である。本調査ではその目的の一環として、亜寒

* Temperature Indices of the Polar Front in the Sea of Japan Using MOVE/MRI.COM-WNP

** Hiroumi Shigeoka

Oceanographical Division, Maizuru Marine Observatory (舞鶴海洋気象台海洋課)

現所属 ※1 地球環境・海洋部海洋気象課

帯水の南端にあたる極前線について検討した。

極前線は水産業の観点からも重要である。一般に極前線付近では生物活動が活発であることに加え、海洋生物（冷水種・暖水種）のすみ分けが行われている。たとえば、スルメイカは大型の個体が日本海沖合の極前線付近に分布し、主要な漁場が形成されており、極前線の変動によりスルメイカの分布や回遊経路に影響があるとの報告がなされている（木所ほか、2003；木所、2006）。このため、極前線の位置を把握することは各種水産資源の分布を知るうえで非常に有益であり、その位置情報は水産関係者にとって重要な情報となる。

極前線の鉛直構造については、舞鶴海洋気象台の観測船「清風丸」による観測結果で確認できる。日本海海洋観測25年報（舞鶴海洋気象台、1990）に掲載されている、舞鶴海洋気象台の観測定線であるPM線（越前岬沖線）の季節ごとの25年平均断面図では、年間を通じてPM-10付近に鉛直200m付近までの水温・塩分の前線が確認できる。一方、水平構造やその季節・年変動については、熱赤外衛星画像を用いた久保田（1990）・Isoda *et al.*（1991）・磯田ほか（1992）、WNPSSTを用いた平井（1995）の報告があるが、これらはいずれも海面での議論にとどまっているうえ、極前線について親潮前線（100m深5℃）のような明確な

定義がなされていない。

本調査では、北西太平洋海洋データ同化システム（MOVE/MRI.COM-WNP、以下MOVE）のデータを用いて極前線をどのように定義するのかを検討していく。MOVEにおける水温・塩分の精度検証については煤田ほか（2009）において報告が行われている。日本海については2002～2007年のPM線の観測データとMOVEデータとの相関係数が断面図に示されている。この結果について極前線に近い緯度においての相関係数を見ると、0.5以上の相関が水温については100m付近まで見られるが、塩分については50m程度にとどまっており、水温に比べ相関が悪くなっている。

また、極前線付近の密度場は水温場に支配されている。第2図に示した25年平均のPM線の50m深・100m深のデータのT-Sダイアグラムからは、各季節ともPM-9とPM-10の間に密度前線が確認できる。高温・高塩分の水と低温・低塩分の水では互いに密度勾配を打ち消す方向に作用するが、T-Sダイアグラムからは密度勾配に対して水温勾配の寄与が大きく、密度における前線は水温に支配されていることが確認できる。

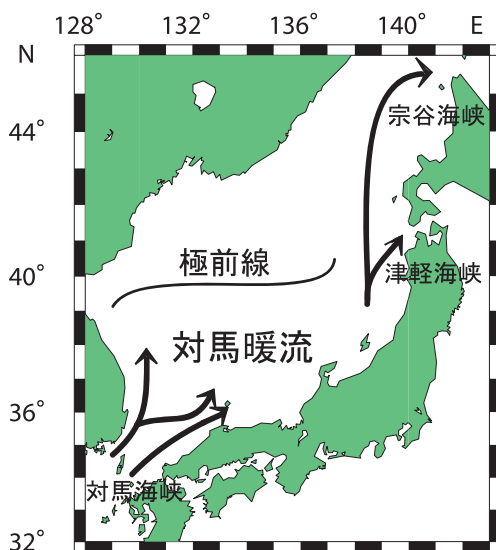
これらのことから、本調査においては水温を用いて検討を進めていく。

極前線は、おおむね北緯40度付近にあり、水温の水平勾配が大きいことが特徴である。しかし、極前線以南の対馬暖流域の内部にも強流帯や渦などに伴って水温勾配の大きいところがあり、水温勾配の大きさにより極前線の位置を判断することは難しい。そこで本調査では、MOVEのデータを用いて極前線に対応する指標水温を定めることを目標とした。なお、極前線の鉛直構造が浅いことから、水深として50m及び100mについて検討した。

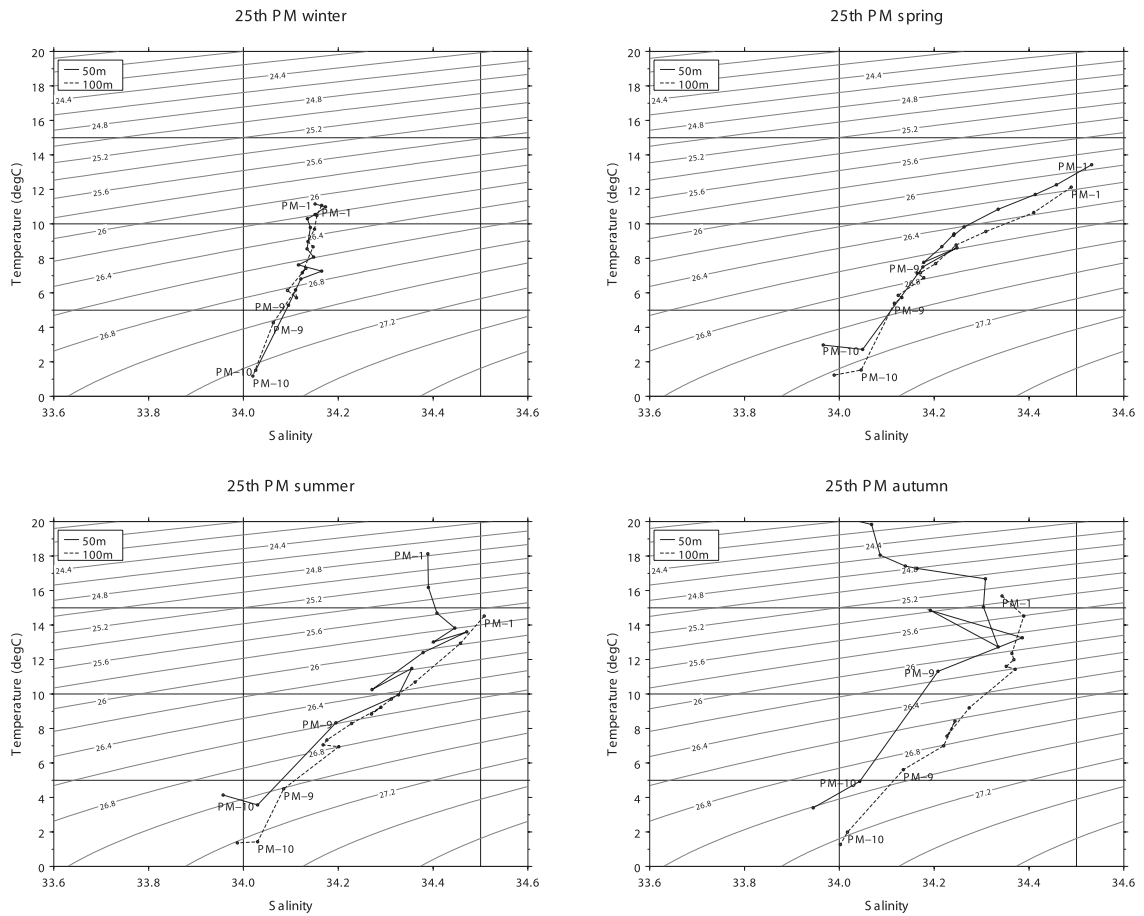
2. 方法

MOVEにより再解析された1985～2007年の5日平均の水温データ（解像度：水平0.1度）を用いて、第1表に示すデータセットを作成した。

本調査では、まず平面図で極前線の存在を確認し、解析する海域を絞り込んだ。その海域の格子点のうち、格子間水温差の大きなものを抽出して、



第1図 日本海の表層における海洋構造の模式図



第2図 25年平均のPM線のT-Sダイアグラム
等値線は密度を表す。

第1表 検討に用いたデータセット

MOVE/MRI.COMにより再解析された1985～2007年の5日平均の水温データ(解像度:水平0.1度)から計算した。

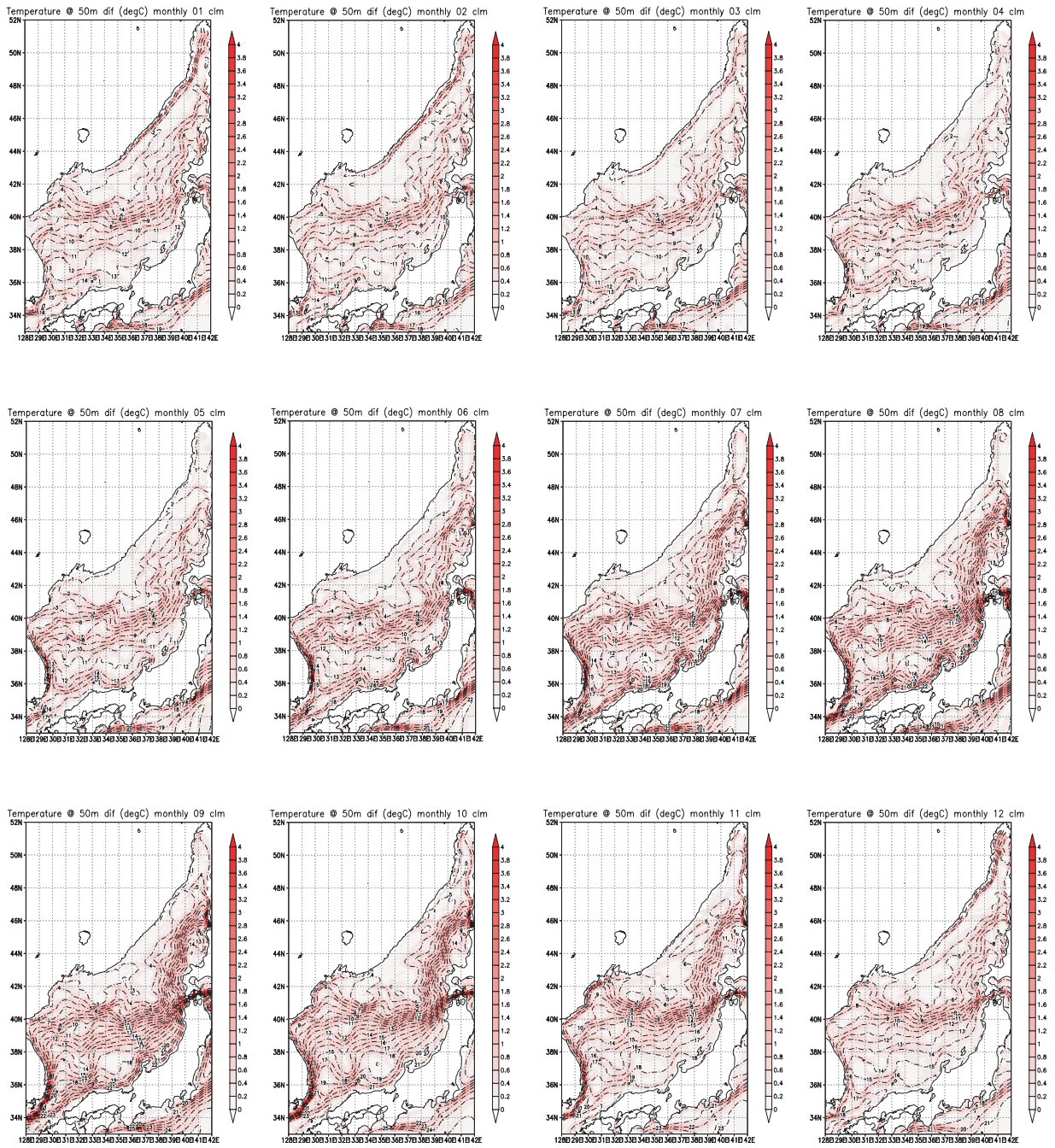
データ名	内容
水温	1985～2007年の月平均データ
格子間水温差	格子点の緯度, 経度, 水温を $i, j, T(i, j)$ として南北、東西方向の格子間水温差を $(T(i+1, j) - T(i-1, j)) / 2, (T(i, j+1) - T(i, j-1)) / 2$ と定義する。
水温勾配	南北、東西方向の格子間水温差を成分とするベクトルの大きさ
気候値	月平均データを1985～2007年の23年間で平均したデータ

その水温の季節変動を調べた。また、抽出された格子点が多く含まれる水温帯を見出し、指標水温を推定した。次に、定めた指標水温を用いて、東経135度について極前線の位置の検出を試みた。

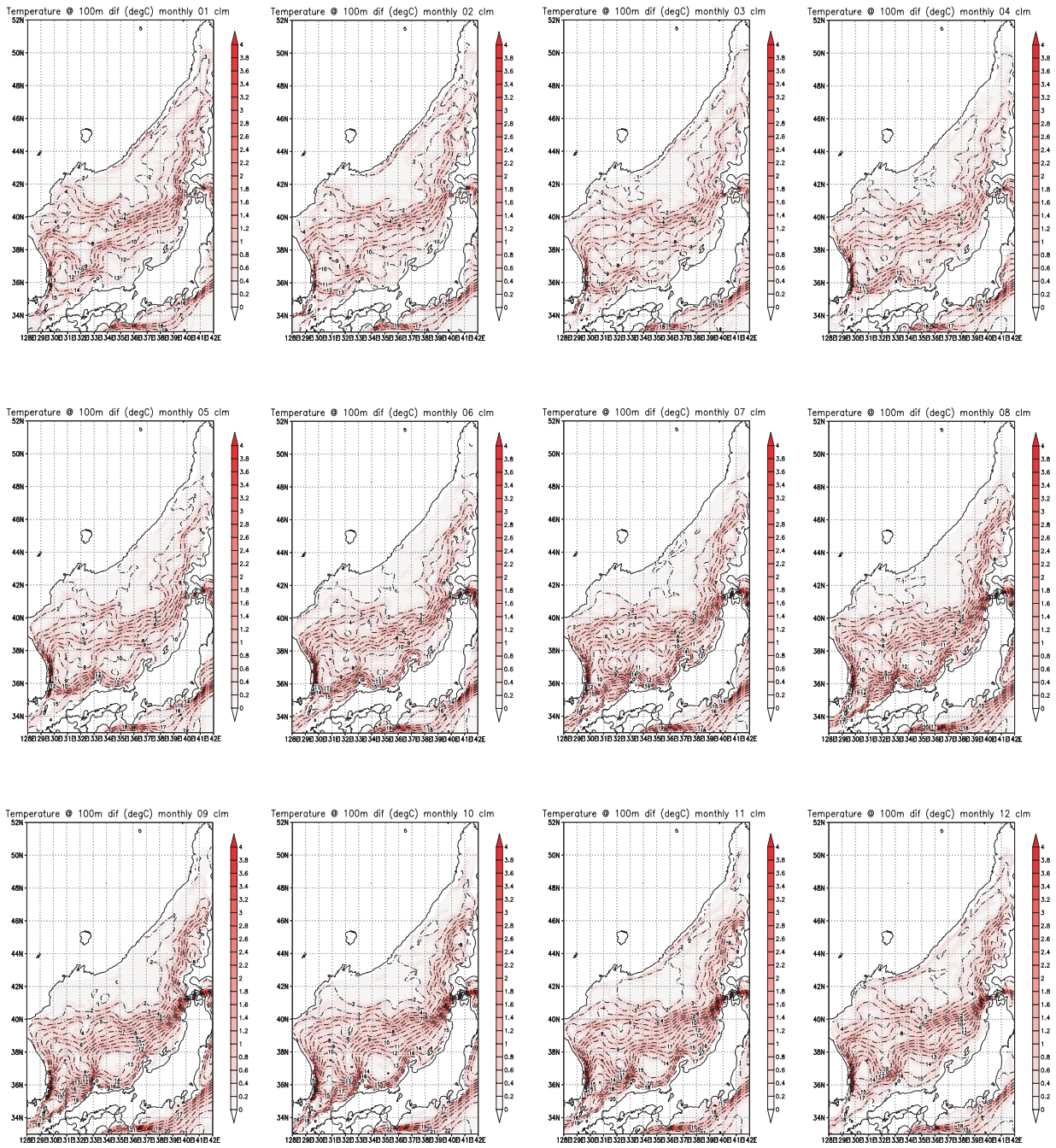
3. 気候値を用いた指標の検討

3.1 平面図で見た極前線

23年間の平均データである気候値からは、日本海の平均的な海況を読み取ることが可能で、水温の平面図などを見ても極前線が確認できる。この気候値について、極前線を的確にとらえられるような指標水温を検討していく。第3図に気候値の月平均水温及び水温勾配の平面図(50m深:(a), 100m深:(b))を示す。50m深・100m深とも北緯40度付近の東西方向に極前線とみられる水平構造が確認できる。今回の解析を行うに当たり、この東西方向に位置する極前線に着目する。図を見ると、極前線以外にも水温勾配の大きいところがあるため、以下の解析は代表性の高い指標水温を検討するために北緯38度から42度の範囲に限定して行うこととする。



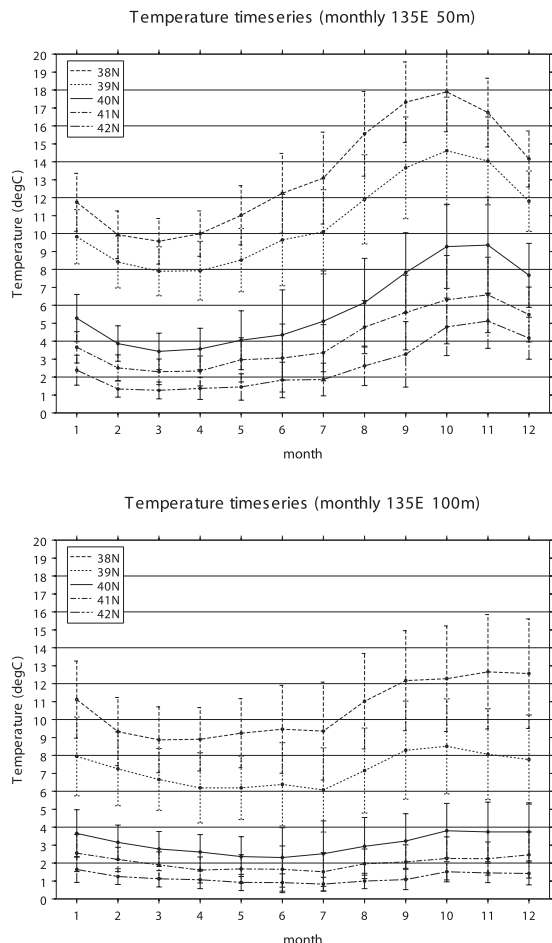
第3図 (a) 気候値の50m深における月平均水温・水温勾配の平面図
水温は等値線，水温勾配はグラデーションで表示。



第3図 (b) 気候値の100m深における月平均水温・水温勾配の平面図
 水温は等値線，水温勾配はグラデーションで表示。

3.2 極前線付近の水温の変動

極前線の指標となる水温の変動を調べるため、北緯 38 度から 42 度の格子点の水温について、気候値の季節変動を調べた。第 4 図に結果を示す。極前線の構造は東西方向には比較的安定しているため、調べた格子点は 1 本の経度線上の格子点とし、極前線の中央部にあたる東経 135 度の北緯 38 度から 42 度まで南北方向の緯度 1 度刻みの 5 点とした。図を見ると、すべての月において 50m 深・100m 深とも北緯 39 度から 40 度にかけて水温が大きく低下しており、この間に極前線があることが確認できる。また 50m 深・100m 深とも北緯 39 度～40 度の水温は春季に低く秋季には高い



第 4 図 東経 135 度上にある格子点における 50m 深 (上)・100m 深 (下) の水温 (気候値) の季節変動

格子点は北緯 38 度から 42 度まで緯度 1 度刻みの 5 点。バーは標準偏差を示す。

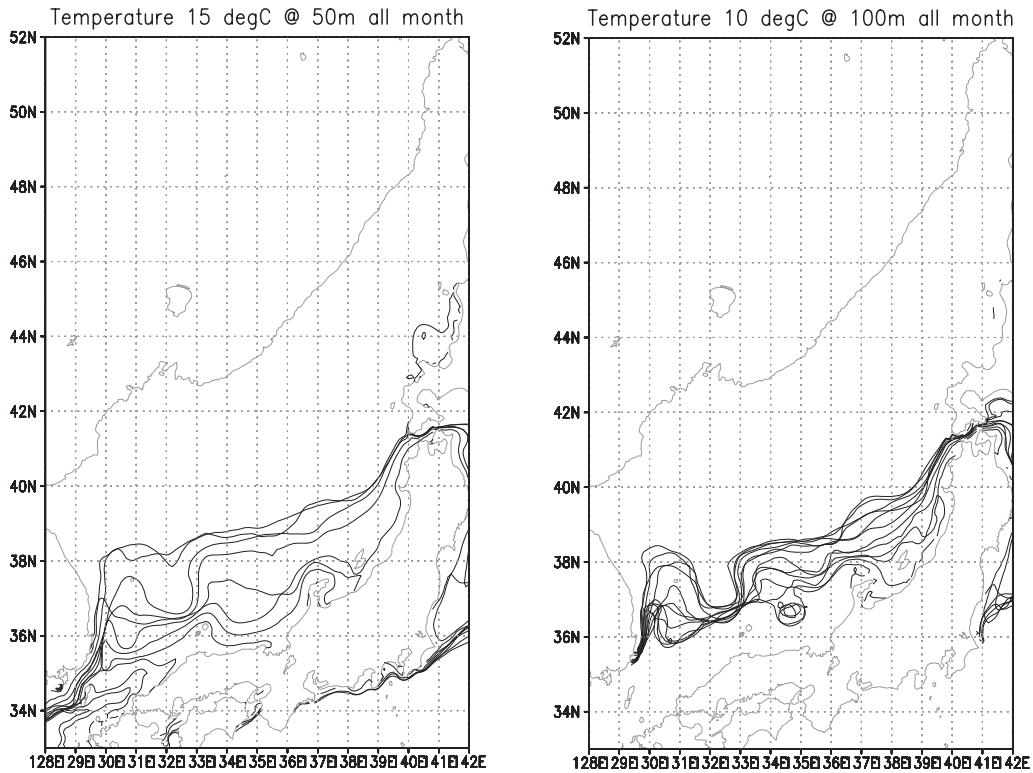
季節変動があることから、指標水温はこの季節変動に応じて定める必要がある。

3.3 指標水温の推定

指標水温を推定するため、50m 深・100m 深の各月の北緯 38 度以北 42 度以南の格子点について、南北方向の格子間水温差が大きいものを抽出する。第 5 図にすべての月の気候値について 15℃ (50m)・10℃ (100m) の等温線を引いたものを示す。北日本の沖合の海域を除き、すべての月の等温線が、極前線が位置する北緯 40 度よりも南に位置している。このため、北緯 38 度から 42 度の範囲にあってもこれらの水温を超える格子点についてはおおむね対馬暖流域に位置し極前線に位置していないとして除外した。この水温条件 (50m: 0℃以上 15℃以下, 100m: 0℃以上 10℃以下) を満たす格子点の中でさらに南北方向の格子間水温差が上位 10% のものを抽出し、これらを極前線格子点群と呼ぶことにした。

第 6 図に極前線格子点群の平均水温の季節変動を示す。1 月から 5 月までは 50m 深・100m 深ともにほぼ同じ水温となっており、これは鉛直混合によるものと考えられる。6 月以降は成層が進み 50m 深の水温が高くなっており、特に 10・11 月では大きな差が見られる。この時期は対馬暖流の勢力が強く、鉛直混合も深くまで達していないためと考えられる。

第 2 表には 1℃ごとの水温帯に該当する極前線格子点群の格子点数を示している。格子点数の最も多い水温帯は第 6 図の平均水温とおおむね合致しており、この水温帯を中心とした水温帯を極前線の指標水温として用いることができると考えられる。極前線の指標水温は、各月において格子数が極前線格子点群全体 (第 2 表の右端の列の格子点数) の 10% 以上含まれている水温帯 (斜体で表示) について、水温の階級値に格子数をかけて重み付き平均を取ることによって算出した。ただし、連続した水温帯で算出を行うため、10% に満たない場合でも採用した月もある (50m の 8～10 月)。第 3 表に算出した 50m 深・100m 深の月ごとの指標水温を示す。50m 深・100m 深とも春季に低く秋季には高くなっており、50m 深の変動



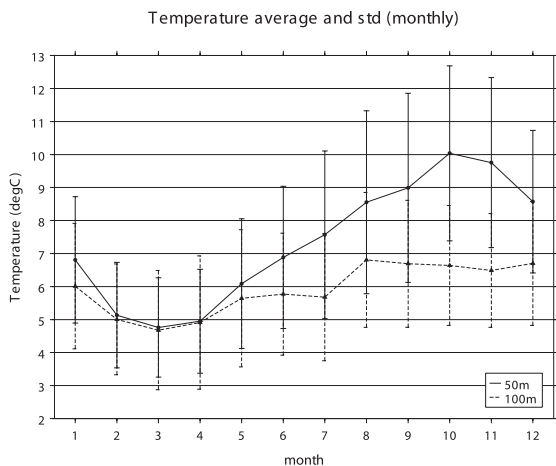
第5図 月平均水温（気候値）について各月の15°C（50m）・10°C（100m）の等温線を引いた図

幅が大きい。次節ではこれらの指標水温の検証を行う。

4. 指標水温の検証

4.1 東経135度における極前線の位置

前節で求めた指標水温を用いて、東経135度における1985～2007年の月ごとの極前線の位置を求めた。位置は、渦などがある場合に誤検出が起きるのを避けるため、水温が指標水温以上である格子点のうち最も北に位置する格子点の緯度とした。結果を第7図に示す。50m深では北緯40度付近に、100m深では北緯39度付近に分布しており、おおむね極前線帯に位置している。分布の変動は50m深のほうが大きく、海面の変動に応じた海面からの熱の影響が大きいものと考えられる。また、前後の月から不連続に位置が離れて明らかに正しく検出されていない場合がある。これらについては、各月ごとに検証を行い、原因と対処方法を検討する必要がある。



第6図 50m深（実線）・100m深（点線）について抽出した極前線格子点群の平均水温の季節変動。バーは標準偏差を示す。

第2表 50m 深（上）・100m 深（下）において抽出した極前線格子点群について求めた各水温帯に属する月ごとの格子点数

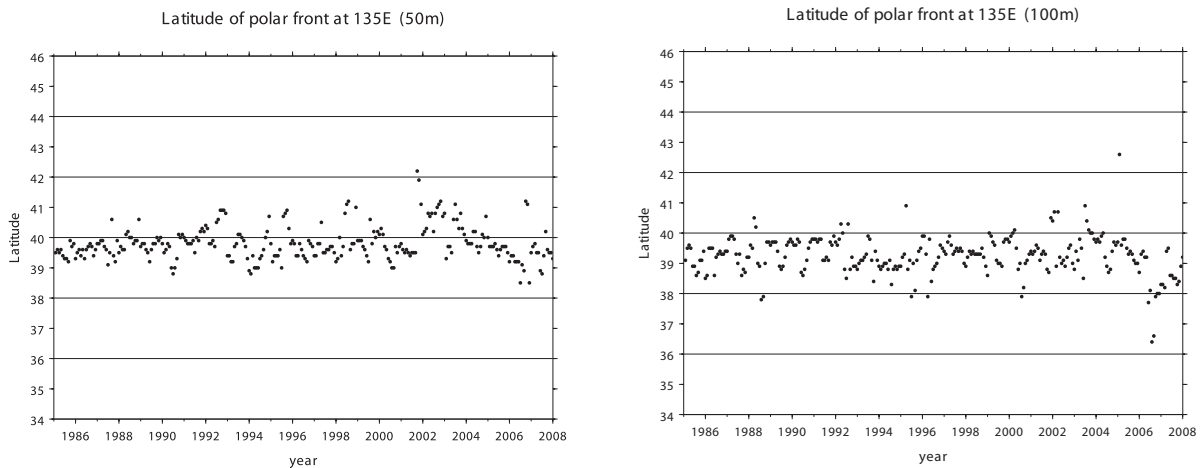
黄色はその月における最も格子点数の多い水温帯を、青色は第6図で示す月平均水温が含まれる水温帯を表している。両方が同じ月の場合は緑色で表している。斜体は指標水温の算出に用いた水温帯を示す。

50m	0-1°C	1-2°C	2-3°C	3-4°C	4-5°C	5-6°C	6-7°C	7-8°C	8-9°C	9-10°C	10-11°C	11-12°C	12-13°C	13-14°C	14-15°C	0-15°C
Jan	0	0	3	34	34	83	82	89	65	19	16	13	0	0	0	438
Feb	0	3	32	87	98	91	59	48	18	2	0	0	0	0	0	438
Mar	0	7	42	100	112	83	48	38	8	0	0	0	0	0	0	438
Apr	0	15	34	80	106	78	79	37	8	1	0	0	0	0	0	438
May	0	0	23	43	66	99	62	61	52	24	8	0	0	0	0	438
Jun	0	0	12	28	41	79	82	61	64	41	13	9	3	5	0	438
Jul	0	0	4	24	33	58	75	77	47	46	25	17	10	6	10	432
Aug	0	0	0	13	29	46	40	51	47	38	40	32	28	17	9	390
Sep	0	0	0	9	18	38	31	51	47	39	40	24	28	23	18	366
Oct	0	0	0	0	7	22	24	34	33	37	43	42	39	32	21	334
Nov	0	0	0	0	9	24	24	36	49	39	42	39	35	32	13	342
Dec	0	0	0	5	17	35	57	57	69	72	74	34	10	6	2	438
All	0	25	150	423	570	736	663	640	507	358	301	210	153	121	73	4930

100m	0-1°C	1-2°C	2-3°C	3-4°C	4-5°C	5-6°C	6-7°C	7-8°C	8-9°C	9-10°C	10-10°C
Jan	0	0	20	40	59	70	79	42	30	32	372
Feb	0	4	45	83	96	75	61	33	24	1	422
Mar	0	15	69	97	75	63	60	33	16	4	432
Apr	0	21	60	90	63	80	42	32	30	13	431
May	0	5	39	73	57	67	51	57	45	25	419
Jun	0	0	20	64	70	75	67	47	51	13	407
Jul	0	0	31	73	54	63	54	75	33	16	399
Aug	0	2	13	30	41	45	51	69	63	64	378
Sep	0	0	2	33	54	55	50	64	57	54	369
Oct	0	0	9	20	46	62	68	58	57	38	358
Nov	0	0	2	18	53	82	67	48	40	39	349
Dec	0	0	13	19	36	53	66	60	59	44	350
All	0	47	323	640	704	790	716	618	505	343	4686

第3表 50m 深・100m 深についての極前線の月ごとの指標水温（°C）

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
50m	7	5	5	5	6	7	7	8	8	10	10	9
100m	6	5	4	4	6	6	6	7	7	7	7	7



第7図 50m 深（左）・100m 深（右）において求めた1985～2007年の東経135度における月ごとの極前線の位置（緯度）

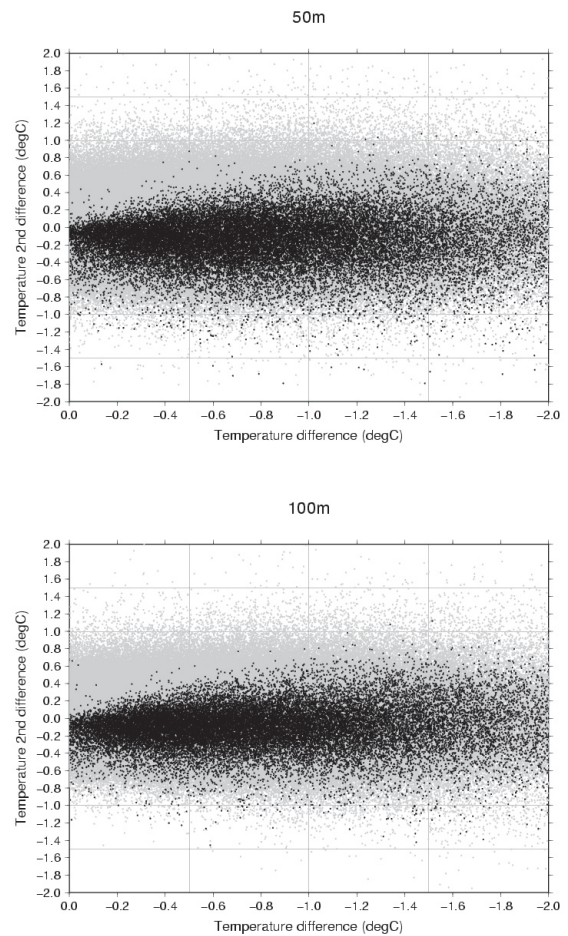
4.2 格子間水温差の南北傾度を用いた指標水温の検証

水温水平分布では、極前線付近の格子点の（南北方向の）格子間水温差はその付近でのピークであり、その微分に相当する格子間水温差の南北傾度は0に近くなっているはずである。そこで、日本海を通る各経度線（東経127.1度から140.2度、0.1度間隔）における1985～2007年の月ごとの極前線に該当する格子点群を求め、その格子点群について格子間水温差の南北傾度を調べた。第8図に結果を示す。横軸に格子間水温差、縦軸に格子間水温差の南北傾度を取り、求めた極前線に該当する格子点群のデータを黒色で、日本海の1985～2007年のすべての月の全格子点について灰色でプロットした。全格子点の格子間水温差の南北傾度はその数値分布が大きく広がっているのに対して極前線に該当する格子点群は格子間水温差の南北傾度が0付近にまとまっており、極前線としての性質を満たしているといえる。

5. まとめ

50m深・100m深の気候値の水温分布を基に、極前線の指標水温の検討を行った。MOVE再解析データにおいて極前線の位置する格子点を抽出することにより、各月の指標水温を見出すことができるのと同時に、求めた指標水温を用いることで東経135度における極前線の位置をおおむね検出することができた。また日本海全域においても、指標水温の格子点群は格子間水温差の南北傾度が0に近いという極前線としての性質を満たした。

今後はさらに正確な極前線の指標の検討（日本海東部の南北方向の極前線を考慮した検討など）を進めるとともに、極前線以北の亜寒帯水域の面積を求め、その勢力をとらえ、気候変動との関連について解析を行っていきたい。



第8図 50m深（上）・100m深（下）における格子間水温差と格子間水温差の南北傾度の散布図
灰色は1985～2007年のすべての月のデータ、黒色は極前線に該当する格子点のデータを表している。

参 考 文 献

平井光行（1995）：日本海における海面水温の時空間変動の特徴。日水研報告，45，1-23。
 ISODA, Y., S. SAITOH, and M. MIHARA (1991): "SST structure of the polar front in the Japan Sea". Oceanography of Asian marginal seas. Takano K. ed., Elsevier, 103-112, (Elsevier Oceanography Series, 54) .
 磯田豊・齊藤誠一・三原正裕（1992）：日本海表面水温場の季節変化。海と空，68，113-124。
 磯田豊（2003）：熱輸送経路からみた日本海の深層水と極前線の形成。海の研究，12，69-84。

- 鹿島基彦・伊藤進一・笈茂穂・清水勇吾 (2006) : 親潮前線の指標水温の推定. 第 55 回東北海区海洋調査技術連絡会議事録, 44-47.
- 木所英昭・後藤常夫・笠原昭吾 (2003) : 日本海におけるスルメイカの産卵場の変化と海洋構造の変化の関係. 平成 15 年度イカ類資源研究会議報告, 89-99.
- 木所英昭 (2006) : スルメイカの分布回遊と系群仮説の整理. 平成 18 年度イカ類資源研究会議報告, 105-114.
- 久保田雅久 (1990) : 日本海における極前線の変動. 航水研ノート, 空と海, 12, 35-44.
- 舞鶴海洋气象台 (1990) : 日本海海洋観測 25 年報. 51pp.
- 楳田貴郁・菅野能明・今泉孝男・石崎士郎・木村未夏・大森正雄・吉岡典哉・服部宏之・斉藤幸太郎・倉賀野連 (2009) : 日本近海における MOVE/MRI.COM-WNP の検証. 測候時報, 76, 特別号, S17-S36.