

### 3. ブリの移動・回遊と海洋環境の関係の解明と来遊量予測手法の開発

#### (1) 移動・回遊と海洋環境の関係の解明

##### 方 法

**ブリ長期変動特性の把握** 1894年以降の漁獲統計を用いて、海区別のブリの漁獲量の長期変動について調べた。また、日本周辺の表面水温（SST）の長期データセット（友定, 2005; 1900-2002年, 経緯度一度間隔）を用いて、ブリの生活史に関わる海域の SST 時系列を抽出し、その変動傾向を調べるとともに、海区別（日本海中北部, 山陰, 東シナ海, 太平洋北部, 房総, 太平洋中南部）のブリ漁獲量の長期変動との関係について解析を行った。また、Riodonov (2004) の STARS 手法を用いて、時系列におけるレジームシフトの検出を行った。

**来遊量変動と環境の影響** ブリの漁況変動は年齢および海域によって大きく異なることから、日本海側主要府県（長崎, 兵庫～青森）の定置網の年齢別漁獲量データ（1971～2006年, 漁業年度7-6月）を用いて、主成分分析およびクラスター分析を行い、海域別・年齢別の漁獲量変動特性を把握するとともに、海域別・年齢別の来遊量指数（漁獲量の対数値）を算出し、環境指標との関係について調べた。なお、環境指標値として日本海の50 m 深水温および冷水域面積を用いた（加藤ら, 2006）。

**水温のマッピングによる越冬域と分布域の推定** アーカイバルタグ調査によってブリが10℃以上の海域で越冬することがわかった（奥野ら, 本稿1-(1)-2)）。そこで、10℃をブリの回遊・分布を規定する最低水温をとして、日本海の水温データベース（日水研, 1963-1998年）およびGIS手法を用いて、年別・月別の水温のマッピングを行い、日本海におけるブリの越冬域および回遊・分布可能水域を推定し、その年代的变化について調べた。また、1981～2007年における旬別表面水温データ（JAFICより提供）を用いて、太平洋を含む日本周辺の水温を表示するアニメーションプログラムを作成することで、ブリの回遊・分布に関する年別・月別の水温のマッピングを行い、太平洋を含めた日本周辺海域におけるブリの越冬域および回遊・分布可能な水域の変動パターンを調べた。

##### 結 果

**ブリ漁獲量の長期変動特性と水温への応答** ブリの漁獲量は過去1世紀に上昇トレンドを示し、1990年以

降は最高水準にあるが、線形的な増加トレンドとともに、10～20年周期いわゆる十年規模の変動パターンが顕著である（Fig. 3-1-1）。なお、特に戦後におけるブリ漁獲量の増加は主にまき網によるもので、定置網による漁獲量は線形的に増加してない（田, 阪地, 2010）。海区別の漁獲量ではまき網が主体である山陰, 東シナ海・房総は特に戦後増加トレンドが顕著であるが、定置網が主体である日本海中北部, 太平洋北部および中南部の海域は、10～20年周期いわゆる十年規模の変動パターンを示し、環境の影響を強く示唆した（Fig. 3-1-2）。Riodonov (2004) の STARS 手法により、1911/12, 1931/32, 1950/51, 1973/74, 1989/90 にレジームシフトが検出された。なお、太平洋中南部以外の5つの海区は、概ね同様な変動パターンを示しているが、太平洋中南部は全体の変動傾向と異なる。

ブリに及ぼす水温の影響について Fig. 3-1-3 に示す8海域（A, C-I）の水温を抽出して検討を行った。海域および季節による変動の違いがあるが、過去1世紀における日本周辺海域の SST は、増加または減少の線形的トレンドが見られず、寒暖が繰り返す十年規模の変動の特徴を明瞭に示している。1950～1960年代および1990年代が温暖期であるのに対して、1970～1980年代は寒冷期に相当する。水温におけるレジームシフトがブリの漁獲量におけるレジームシフトと一致することが概ね認められ、ブリの漁獲量は概ね温暖期に増加、寒冷期に減少する傾向が見られた。太平洋中南部を除けば、各海区のブリ漁獲量は SST と有意な正の相関関係を示した（Table 3-1-1）。特に、漁獲努力量の変動が比較的安定している定置網の漁獲量とデータの精度が高い戦後の水温の変動パターンと良く一致した（Fig. 3-1-4）。また、ブリ銘柄（2歳魚以上）の長期変動も明瞭な周期的変動を示し、寒暖レジームに対応して増減している。これらの結果は、ブリの漁獲量は中長期的に水温に大きく影響され、水温の上昇がブリの来遊または漁況に有利に働くと考えられる。

**海域別・年齢別の来遊量指数の変動特性と環境の影響** 1971年～2006年（7～6月漁業年度）における日本海的主要府県の定置網の年齢別漁獲量は、1990年以降著しく増加した（Fig. 3-1-5）。特に1歳と2歳以上の漁獲量が大きく増加した。主成分分析およびクラスター解析の結果、日本海におけるブリの漁獲量変動は各年齢ともに、概ね北部（青森～新潟）、中部（富山～石川内浦）、西部（石川外浦～京都）と対馬（兵庫

～長崎)の4海域に分けることが出来た。また、主成分分析による第1～3主成分が各年齢ともに1980年代末に著しい変化を示し、レジームシフトの影響を強く示唆した (Fig. 3-1-6)。

以上の結果に基づいて、変動傾向が類似する4海域 (北部：青森～新潟；中部：富山～石川内浦；西部：石川外浦～京都；対馬：兵庫～長崎) に区分して、海域別・年齢別の来遊量指数を算出した (Fig. 3-1-7)。北部と西部の0歳の来遊量指数は1980年代以降増加傾向が見られたが、中部では減少した。1歳の来遊量指数は、対馬以外の海域では同様な変動パターンを示し、増加傾向を示している。また、2歳の来遊量指数は、対馬を除く海域では1980年代末を境に大きく増加し、環境レジームシフトの影響を強く示唆した。

海域別・年齢別の来遊量指数と環境指標との相関関係を解析した結果、各年齢の来遊量指数は他海域の来遊量および環境要因に関係することが明らかになった (Table 3-1-2)。0歳の来遊量は、隣接する他海域の来遊量および冬季水温に大きく関係する。中部海域の0歳の来遊量は、西部海域と負の相関関係を示した。また、1歳および2歳以上の来遊量指数は、同年齢の他海域の来遊量以外に、若齢魚の来遊量および水温・冷水域面積にも大きく関係する (例, Fig. 3-1-8,

Fig. 3-1-9)。これらの関係から、各海域の年齢別来遊量を把握することが可能になり、ブリの漁況を予測するための手がかりが得られた。

**水温のマッピングによるブリ越冬海域および分布海域の年代的变化** 10℃を指標として、日本海における1963～1998年の冬季 (3月) SSTのマッピングを行った結果、ブリの越冬可能な海域は、1965-1967年および1988年以降では能登半島以北に広がることを示されたが、1960年代末から1987年までには、殆どの年では能登半島以南に限られ、水温のレジームによって規制されることが明らかになった (Fig. 3-1-10)。但し、エルニーニョによる影響が考えられる1972年や1979年には越冬可能域が能登半島以北に達した。Fig. 3-1-11に代表年による越冬海域の年代変化の模式図を示した。寒冷化の進行に伴い、ブリの越冬可能域が能登半島以南に縮小するが、温暖の年代には能登半島以北へ越冬海域が北偏し拡大する。

また、日本海における夏季 (9月) の100 m水温によるマッピングの結果、1970年代と1980年代では、9℃以上の海域は津軽海峡に達しないうえ15℃以上の海域が狭い。これと対照的に、1990年代には9℃以上の海域が北海道に達するうえ15℃以上の海域も広い (図省略)。このことは、水温のレジームは冬にお

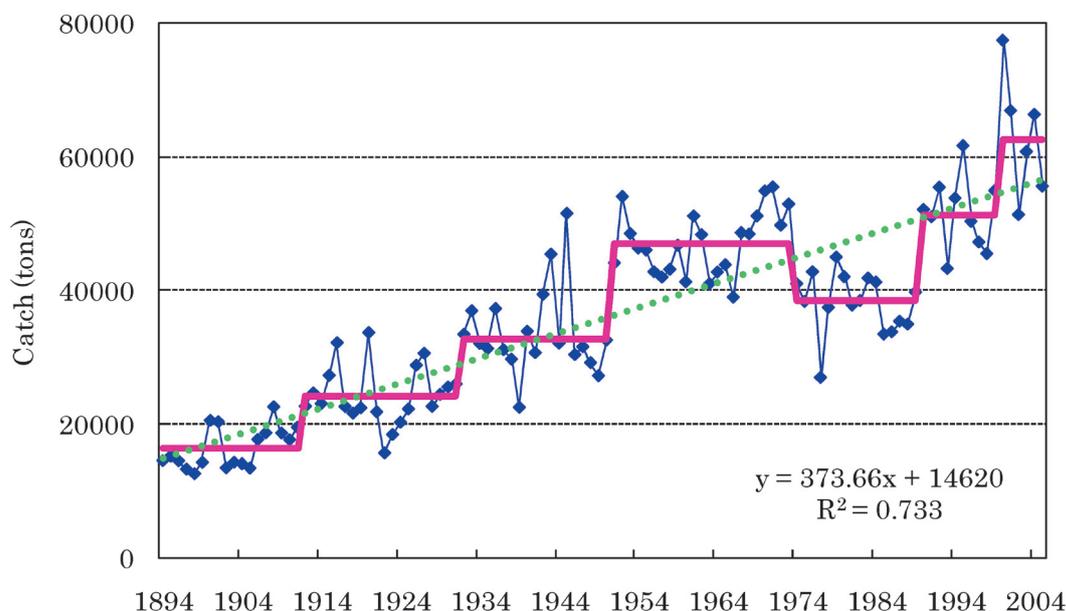
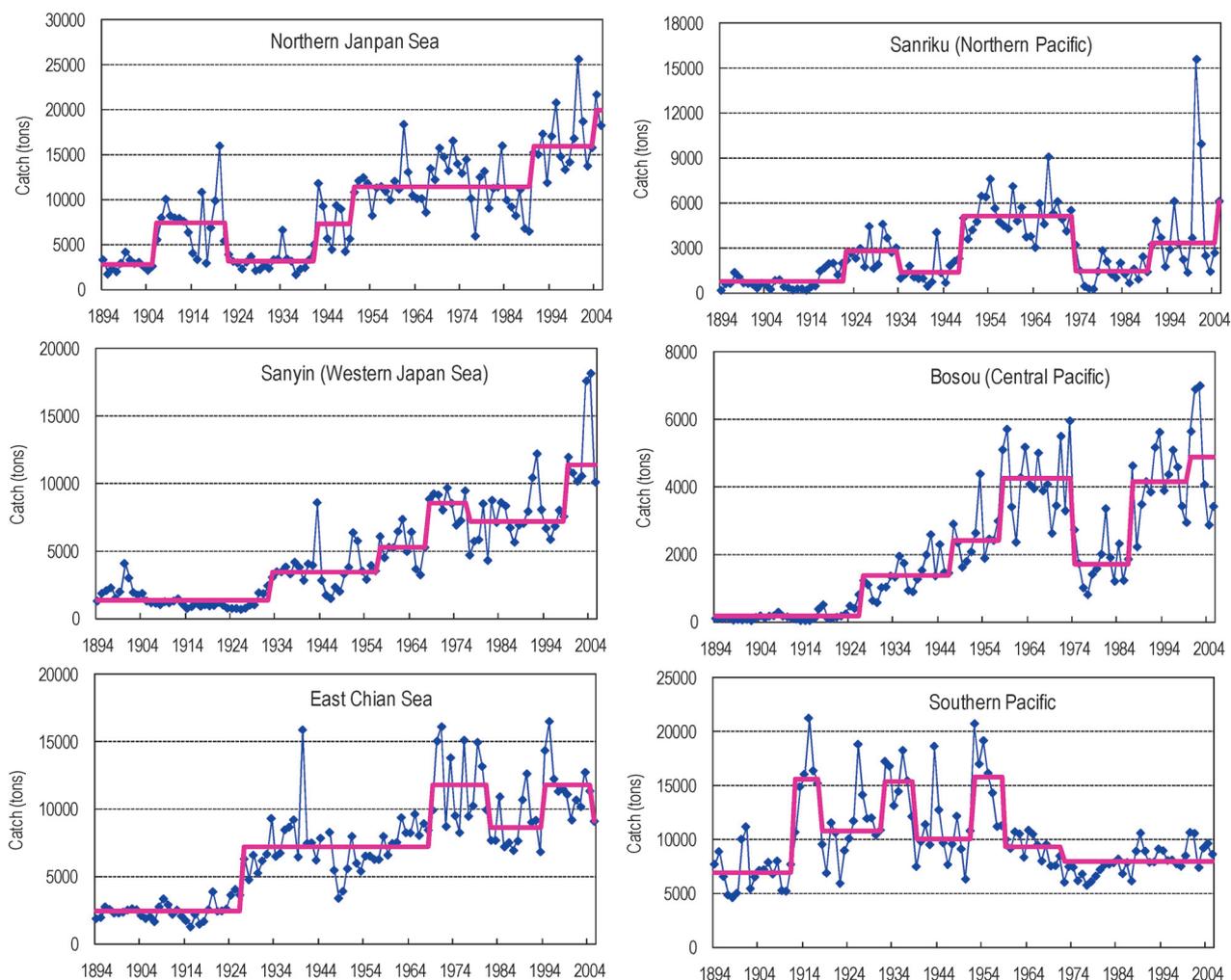


Fig. 3-1-1. ブリ漁獲量の経年変化。緑色の点線と赤色の太実線はそれぞれ線形トレンドおよびSTARSによって検出されたレジームである。

Annual changes (solid line with diamonds) in the catch of yellowtail from Japanese waters between 1894 and 2005. The linear trend and step changes identified by STARS were shown as dashed and solid bold lines, respectively.



**Fig. 3-1-2.** 海域別のブリ漁獲量の経年変化。赤色の太実線は STARS によって検出されたレジームである。  
 Annual changes (solid line with diamonds) in the catch of yellowtail for six fisheries regions (northern Japan Sea, Sanyin, East China Sea, Northern Pacific, Bousou, and Southern Pacific) between 1894 and 2005. The step changes identified by STARS were shown as bold lines.

けるブリの越冬可能域だけでなく、ブリの北上回遊、分布も制限することを強く示唆した。日本海におけるブリの漁獲量は夏冬ともに寒冷の時代は特に不漁、逆に夏冬ともに温暖の時代は特に好漁（図省略）であることから、越冬域および回遊・分布をそれぞれ規定する冬と夏の水温は、ブリの漁況を大きく左右することを強く示唆した。

また、1981～2007年における旬別表面水温データを用いて、太平洋を含む日本周辺の水温を表示するアニメーションプログラムを作成した。これにより、日本海だけでなく太平洋におけるブリの越冬域および回遊・分布可能な水域をマッピングすることが出来た。冬季（3月）水温のマッピングによって、太平洋における

越冬可能域は1980年代に比べて1990年代以降房総以北に広がったことが示された（Fig. 3-1-12）。また秋季（12月）におけるマッピングの結果、1990年代におけるブリの分布可能域は1980年代に比べて大きく北偏することが明らかになった（Fig. 3-1-13）。1990年代以降におけるブリの漁獲量の増加、特に北部海域における増加は、ブリの越冬水域と分布域が北部に拡大したことに関係することが示唆された。

**考 察**

海区別のブリの漁獲量の長期変動は、太平洋中南部海域以外では概ね同様な傾向を示し、表面水温と

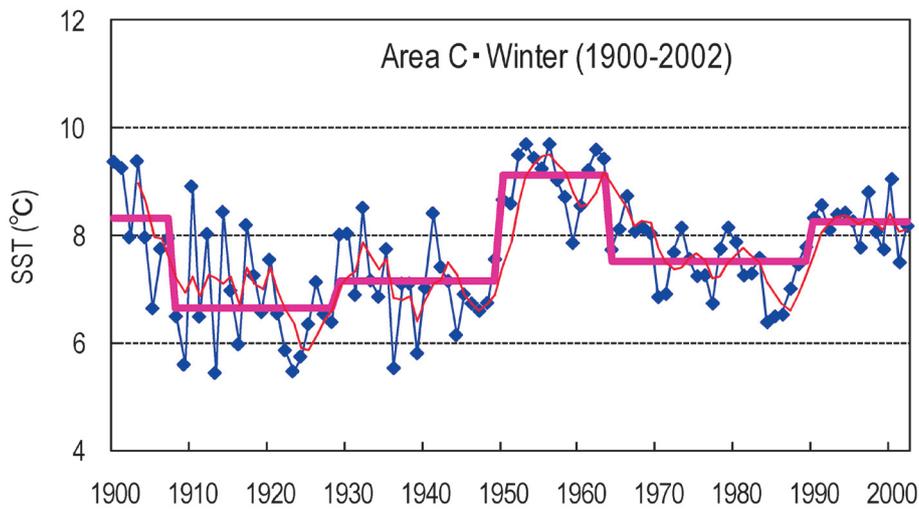
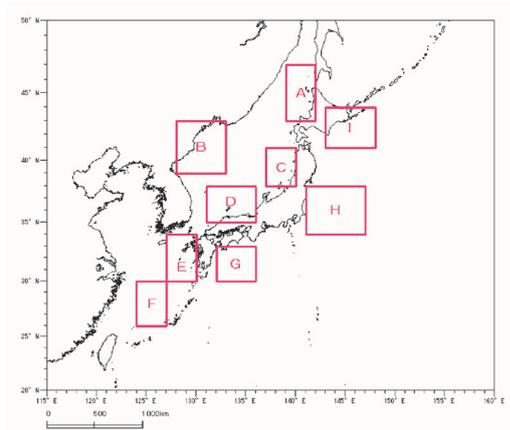


Fig. 3-1-3. C 海域における冬季表面水温の経年変化。赤色の細いと太い赤線はそれぞれ 5 年移動平均と STARS によって検出されたレジームを示す。  
Annual change (solid line with diamonds) and five years moving average (red line) in winter SST (Sea Surface Temperature) for Area C (top panel) between 1900 and 2002. The step changes indentified by STARS were shown as solid bold lines.

正の相関を示し、水温によく対応することが明らかになった。またブリの漁獲量は十年規模の周期的変動を示し、検出されたレジームは水温のレジームシフトと概ね一致することから、気候レジームシフトの影響を強く示唆した(久野, 2004)。特に定置網については温暖レジームではブリの豊漁という結果は(例, Fig. 3-1-4)、日本海能登半島の定置網の戦前の古いデータよりも支持される(伊東ら, 1959)。

定置網の年齢別漁獲量データによる変動解析から、日本海におけるブリの漁況変動は概ね北部(青森~新潟)、中部(富山~石川内浦)と西部(石川外浦~京都)の3海域に分けることが可能であることが明らかになった。中部海域は実際に富山湾に相当することから、

日本海における海域の変動は、能登半島を境に北部と西部に分けることができると考えられる。この区分はブリの標識放流実験による回遊パターンの解析結果とよく一致する(奥野ら, 本稿 1-(1)-2))。このことは、ブリの回遊パターンはブリの漁況および漁獲量変動に深く関係することを示唆し、ブリの漁況を予測するには、海域別・年齢別の漁獲量変動および回遊パターンを把握することが重要であると考えられる。

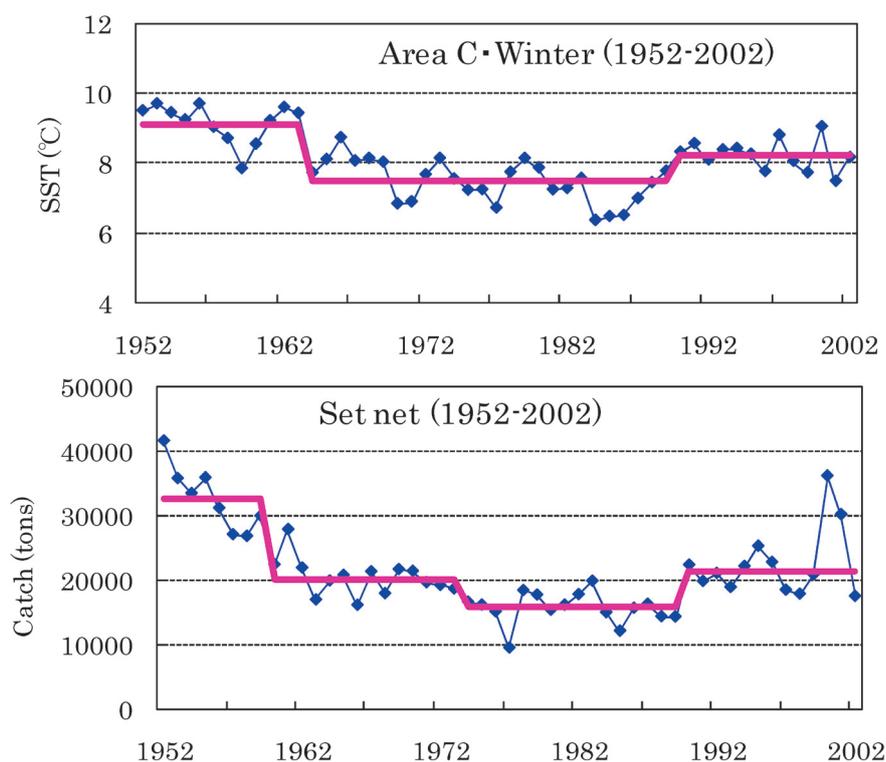
1980年代末を境に、北部と中部における2歳以上の割合が大きく増加したのに対し、西部海域特に対馬海域では2歳以上の割合が減少した(Fig. 3-1-7)。これは北部海域ほど0歳と1歳の若齢魚の割合が大きくなるという村山, 北原(1992)の報告と異なる。1990年

**Table 3-1-1.** 海区別ブリの漁獲量と海域別表面水温の相関係数

Regression coefficients between catch of yellowtail and SST by fishery region for the period of 1900-2002

	Japan Sea			ECS			Pacific	
	A	C	D	E	F	G	H	I
JS_CN	-0.42**	0.45**	0.21*	0.57**	0.59**	0.60**	0.51**	0.32**
SANYIN	-0.43**	0.44**	0.12	0.51**	0.67**	0.67**	0.38**	0.29**
ECS	-0.36**	0.28**	0.01	0.40**	0.56**	0.54**	0.30**	0.16
PO_N	-0.35**	0.48**	0.29**	0.52**	0.40**	0.49**	0.47**	0.38**
BOUSO	-0.44**	0.47**	0.21*	0.58**	0.58**	0.68**	0.35**	0.18
PO_CS	-0.02**	-0.02	-0.03	-0.02	-0.10	-0.04	0.06	-0.08
TOTAL	-0.50**	0.51**	0.19	0.63**	0.68**	0.73**	0.53**	0.32**

JS\_CN, SANYIN, ECS, PO\_N, BOUSO, PO\_CS and TOTAL represent catch of yellowtail from northern Japan Sea, Sanyin, East China Sea, Northern Pacific, Bousou, Southern Pacific and total Japan, respectively. A and C-I indicate the area for SST (See Fig. 3-1-3). Single and double asterisks represents significance at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ , respectively.



**Fig. 3-1-4.** 1952~2002年における C 海域冬季水温(上)とブリ定置網漁獲量(下)の推移。赤色の太線は STARS によって検出されたレジームを示す。  
Annual change (solid line with diamonds) in winter SST (Sea Surface Temperature) for Area C (top panel) and in catch of yellowtail from set net fishery (low panel) between 1952 and 2002. The step changes identified by STARS were shown as solid bold lines.

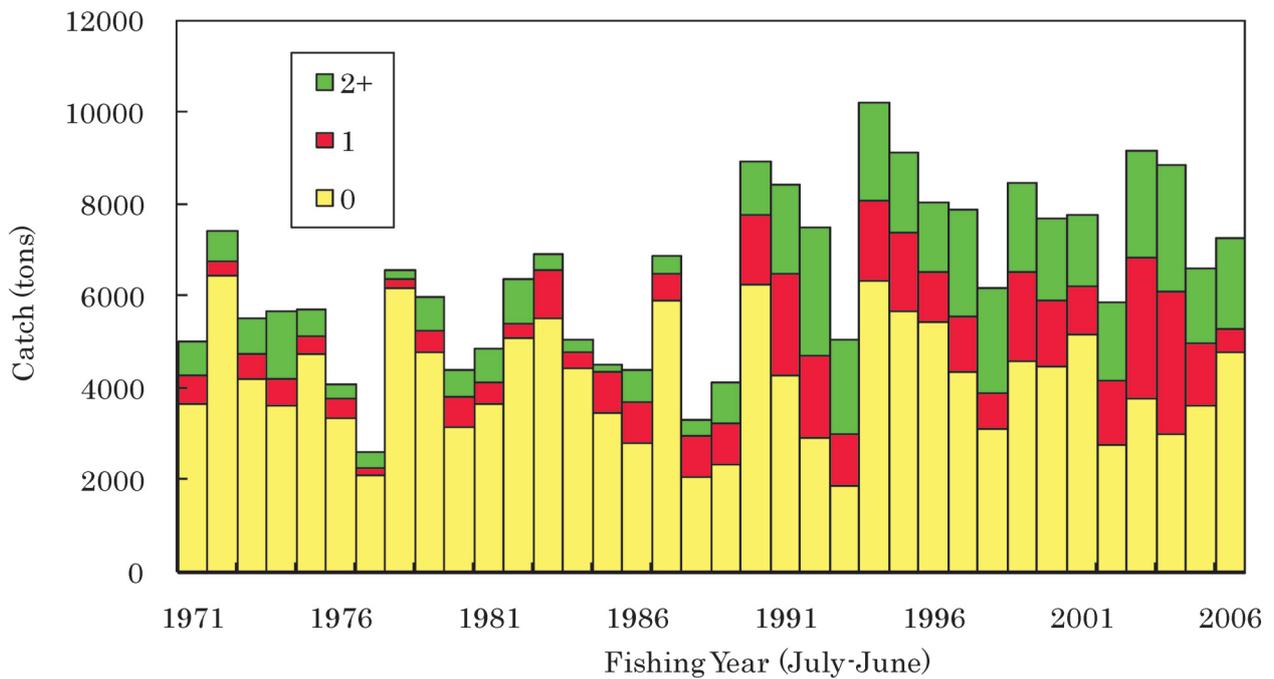


Fig. 3-1-5. 年齢別ブリ漁獲量の経年（漁獲年度）変化。

Annual changes in the catch of yellowtail by age group (0, 1 and 2+) from set net fishery in the Japan Sea during 1971-2006 (fishing year).

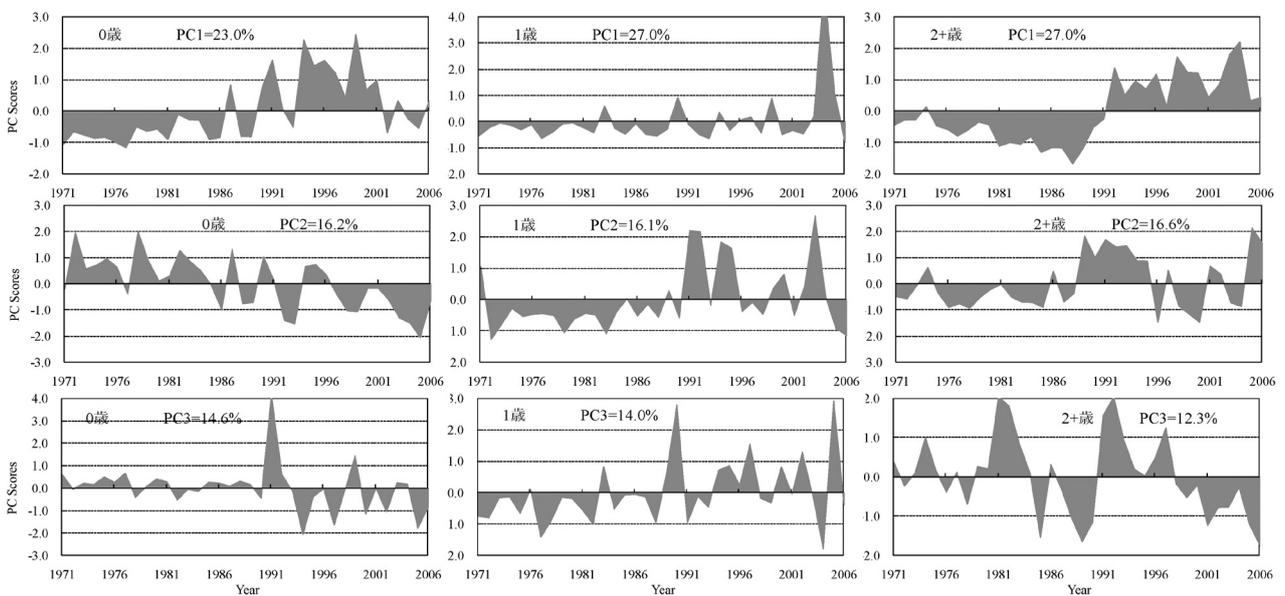


Fig. 3-1-6. ブリの年齢別漁獲量の主成分分析による第1～3主成分得点の時系列。

The first three principal component (PC1-3) scores (shaded area) from the principal component analysis for the catch of yellowtail by age group (0, 1 and 2+) from set net fishery during 1971-2006

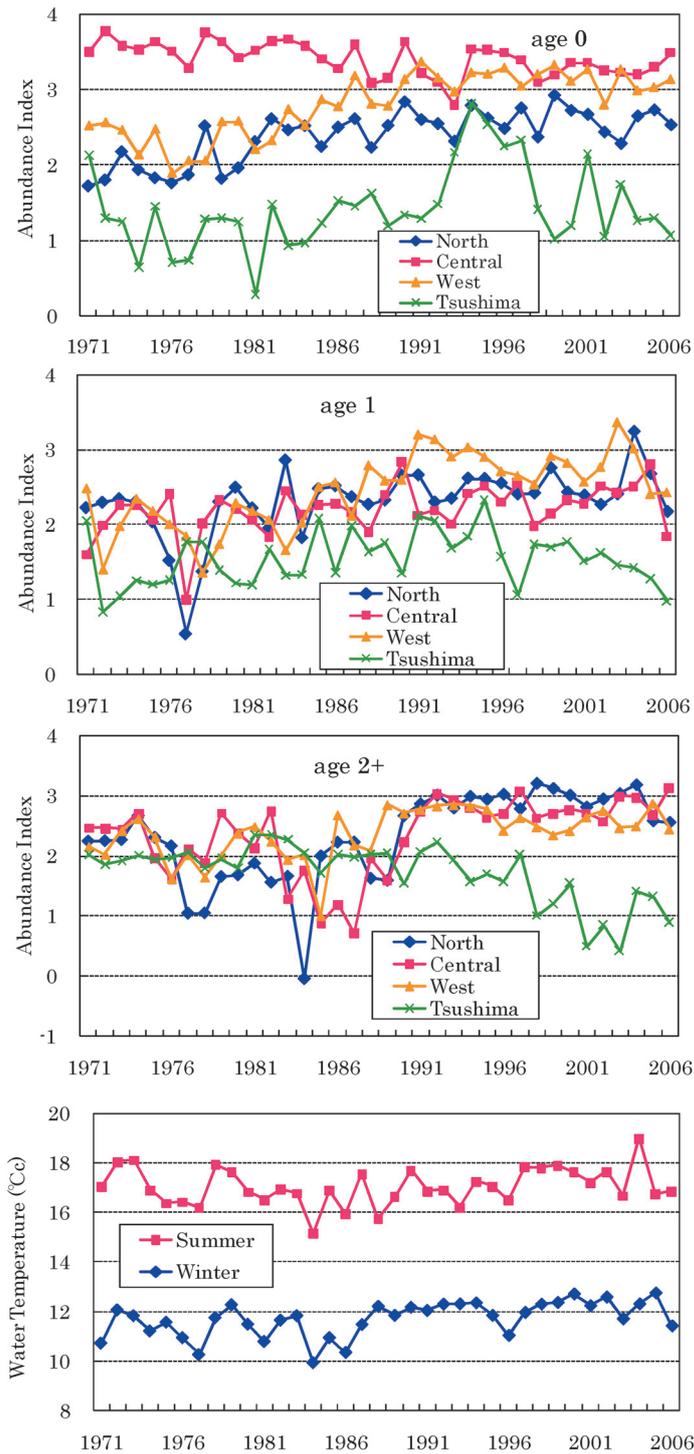


Fig. 3-1-7. ブリの年齢別来遊指数（上部3つの図）と日本海水温（下）の経年変化。

Annual changes in abundance index (top three panels) of yellowtail by age group (0, 1 and 2+) for four areas (north, central, west and Tsushima) during 1971-2006 (fishing year). The annual water temperatures in winter and summer in the Japan Sea were shown in the low panel.

**Table 3-1-2.** 海域別（北部，中部，西部）の来遊量指数間および環境要因との相関関係  
Correlation matrix between abundance indices of yellowtail for three areas (NJS, CJS and WJS) and between abundance index and environmental factors (EF)

Area	Age	NJS			CJS			WJS		
		0	1	2+	0	1	2+	0	1	2+
NJS	0	-	×	×	×	●	×	●	●	●
	1	-	-	●	-	●	×	-	●	●
	2+	-	-	-	-	-	●	-	-	●
CJS	0	×	×	-	-	×	×	○	○	○
	1	-	●	-	-	-	×	-	×	×
	2+	-	-	-	-	-	-	-	-	●
WJS	0	●	●	-	○	●	×	-	●	●
	1	-	●	-	-	×	●	-	-	●
	2+	-	-	-	-	-	●	-	-	-
EF	WT	●	●	●	○	●	●	●	●	●
	CWA	○	○	○	×	×	×	○	×	○

● : positive correlation; ○: negative correlation; × : no significant correlation

NJS, CJS and WJS represent the northern (Niigata-Aomori), central (Toyama-Uchiura Ishikawa) and western (Sotoura, Ishikawa-Kyoto) Japan Sea, respectively.

WT and CWA represent water temperature and cold water areas index respectively.

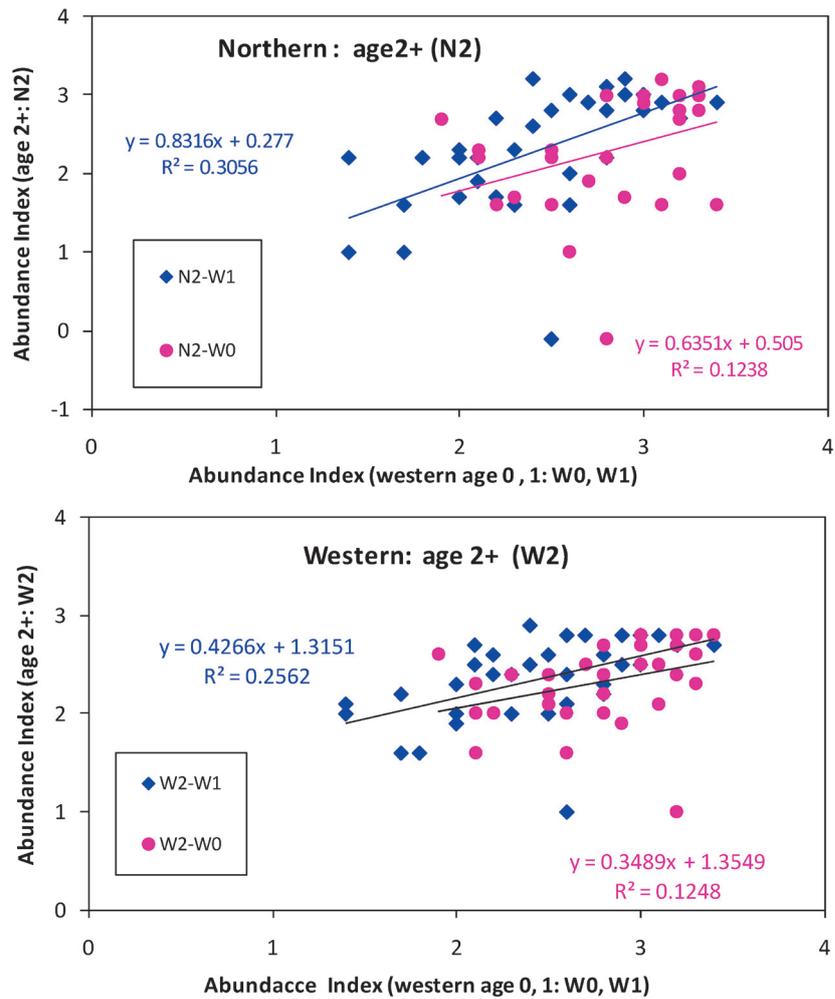
代における水温の上昇によって、中部以北の海域で越冬が可能になったことが関係すると考えられる。冬季水温のマッピングの結果も1990年代の越冬可能域が能登半島以北に広がったと示唆した (Fig. 3-1-10)。つまり、1980年代末のレジームシフトによって、能登半島以北の水域で越冬が可能になり、若齢魚が北部に留まり、西部への回遊が少なくなったと推察される。

ブリの遊泳水温を規定するパラメータを用いて、越冬海域の年代の変動を図示することができた。水温分布のパターンは、ブリの回遊パターンの年代的に変動と一致した。このことは、水温データからブリの分布・回遊水域を推定することが可能であることを示唆した。1990年代以降能登半島以北で越冬可能という結果は、青森・北海道などを含む日本海北部水域におけるブリの漁獲量の増加と一致する。また、太平洋側の水温のマッピングにより、1990年以降、ブリは房総半島以北で越冬可能であることおよび秋期の分布範囲が北海道北部に達することが可能であることが明らかになった。水温による分布パターンは、1990年以降における北部の漁獲量特に、北海道・青森・岩手での漁獲量の増加と一致する。つまり、水温のレジームシフトに

よって、ブリの回遊・分布海域が変化したことによって、ブリの漁況が変化した。三谷 (1964) は1960年代初めに北海道噴火湾におけるブリ漁場の活況は、対馬暖流勢力が強く (水温が上昇) になったことが関係することを指摘している。1990年代以降のブリの漁況は、温暖な1960年代のブリの好漁とよく似ている。

太平洋中南部以外の各海区のブリ漁獲量は長期的に水温のトレンドと一致し、特に産卵場周辺海域の水温と高い相関関係を示している。このことは、産卵場における水温変動はブリの漁獲トレンドに大きく関係することを示唆している。久野 (2004) はブリ産卵場における海洋環境の変動は、モジャコの輸送を通じて、ブリの加入に影響する可能性を指摘している。しかし、本研究でマッピングに用いた水温のデータ範囲は、ブリの産卵域をカバーしていなかったため、産卵海域における水温の年代的变化、特にレジームシフトによる変化を調べることができなかった。ブリの産卵の適水温が16~19℃とされているので (山本ら, 2007)、レジームシフトによって、ブリの産卵場が変化した可能性があるため今後の検討課題である。

海域別・年齢別来遊量指数は環境要因による影響と



**Fig. 3-1-8.** 北部（上）と西部（下）海域における2+歳と若齢魚（0歳と1歳）来遊量指数の関係。赤丸と青菱形はそれぞれ2+と0歳および2+と1歳のプロットを示し、その回帰直線と回帰式を図示した。

Relationships in the abundance index of yellowtail between large age group (2+) and young age group (0 and 1). (Top panel: northern region; low panel: western region). The red cycles and blue diamonds indicate plots between age 2+ and age 0 (N2-W0 or W2-W0), and between age 2+ and age 1 (N2-W1 or W2-W1), respectively. Regression line and equation are shown.

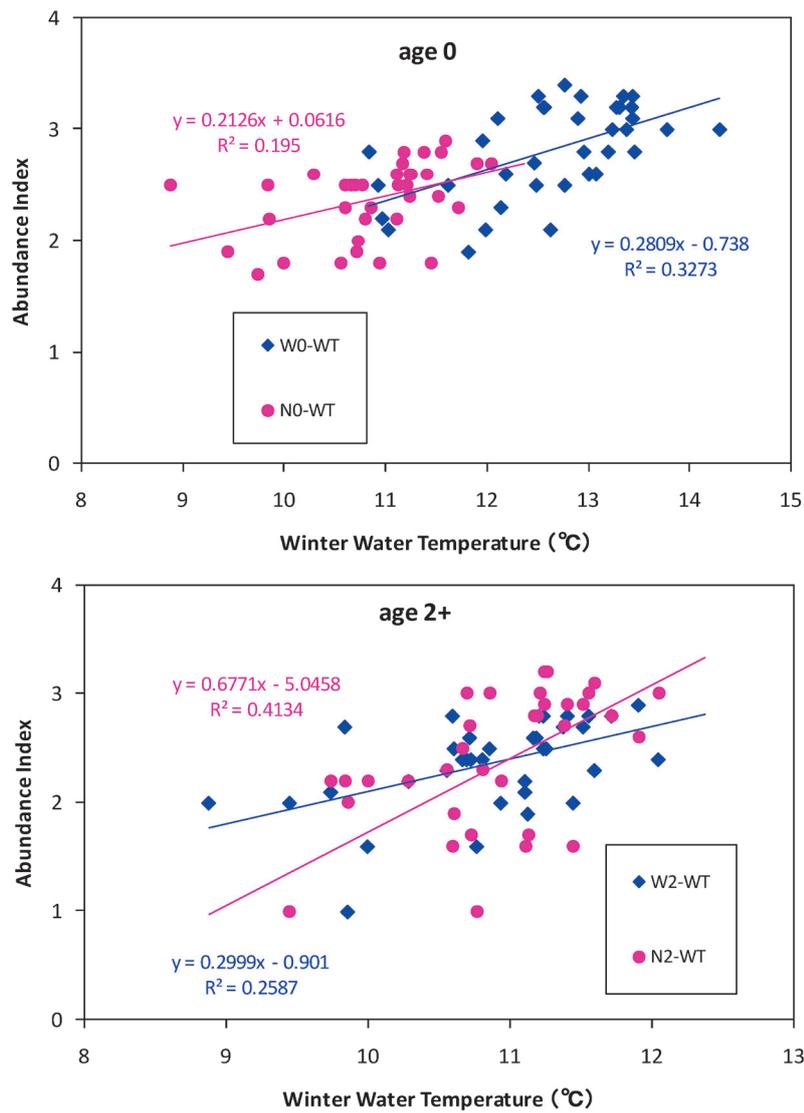


Fig. 3-1-9. 来遊量指数と水温の関係（上：0歳；下：2+歳）。赤丸と青菱形はそれぞれ北部と西部を示し、その回帰直線と回帰式を図示した。

Relationships between abundance index by age group (0 and 2+) and water temperature. (Top panel: age 0; low panel: age 2+). The red cycles and blue diamonds indicate plots between abundance index in northern (N0, N2) and western (W0, W2) areas, with water temperatures (WT), respectively. Regression line and equation are shown.

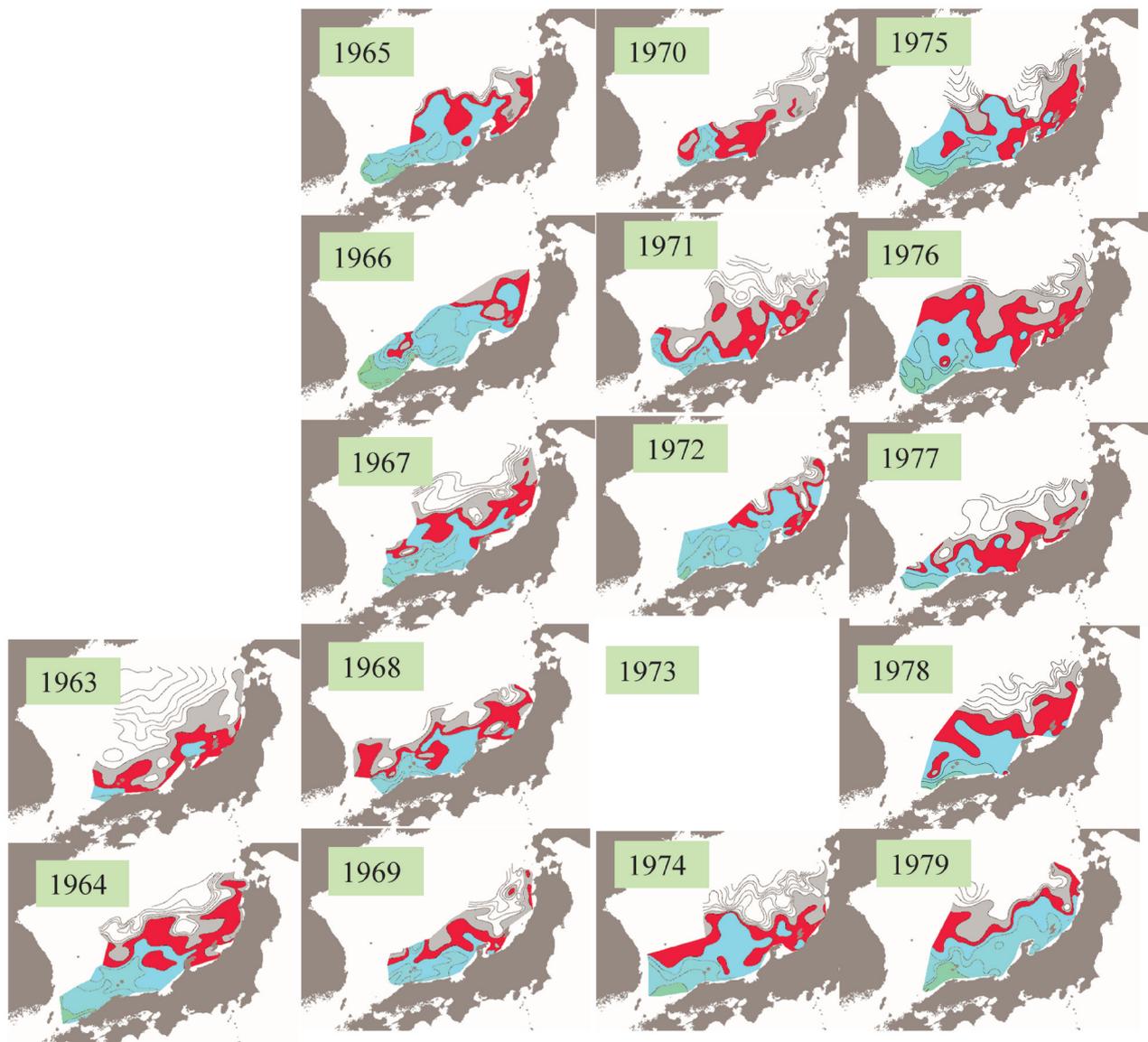


Fig. 3-1-10 (a). 日本海における冬季（3月）表面水温の分布の年変化。赤色と青色はそれぞれ9℃と10℃を示す。  
Distributions in winter (March) sea surface temperature (SST) in the coastal Japan Sea from 1963-1998. The red and blue areas indicate 9 and 10 degrees in SST, respectively.

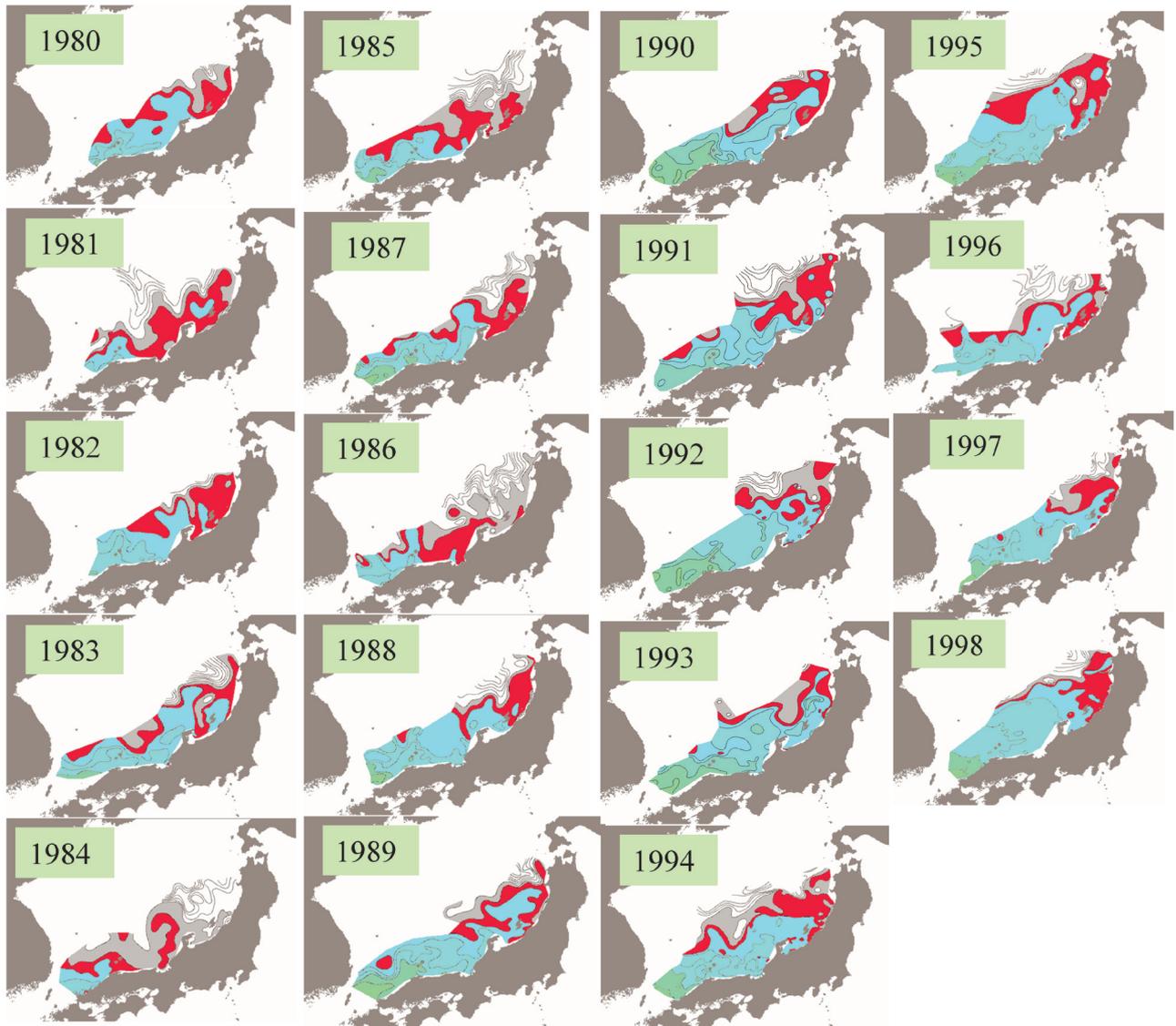


Fig. 3-1-10 (b). 日本海における冬季（3月）表面水温の分布の年変化。赤色と青色はそれぞれ9℃と10℃を示す。  
 Distributions in winter (March) sea surface temperature (SST) in the coastal Japan Sea from 1963-1998. The red and blue areas indicate 9 and 10 degrees in SST, respectively.

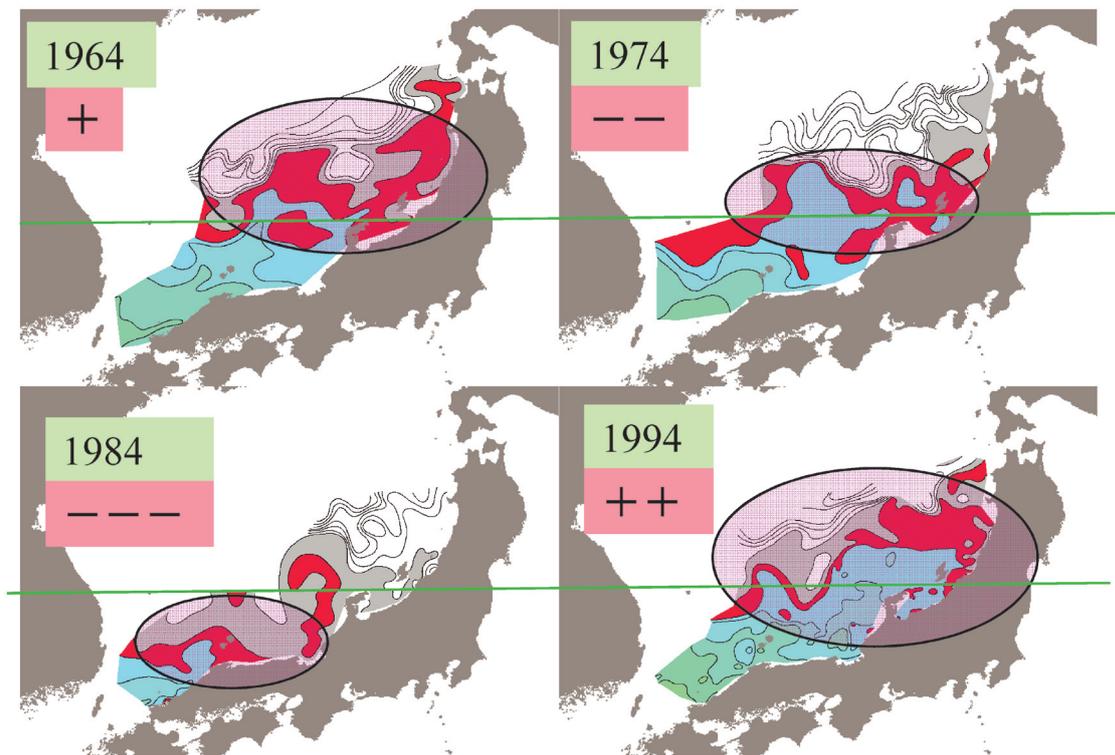


Fig. 3-1-11. 代表年による日本海の冬季水温の年代的変化の模式図。プラス (+) とマイナス (-) はそれぞれ高温と低温年, プラスとマイナスの数は高温と低温の程度を表す。能登半島の位置は緑色の細線で示している。

Schematic diagrams to show the typical years in the distributions in winter sea surface temperature in the coastal Japan Sea from 1960s to 1990s. The red and blue areas indicate 9 and 10 degrees in SST, respectively. The single (double) cross (slash) indicate the strength of warm (cold) year. The location of Noto Peninsula was marked by green lines.

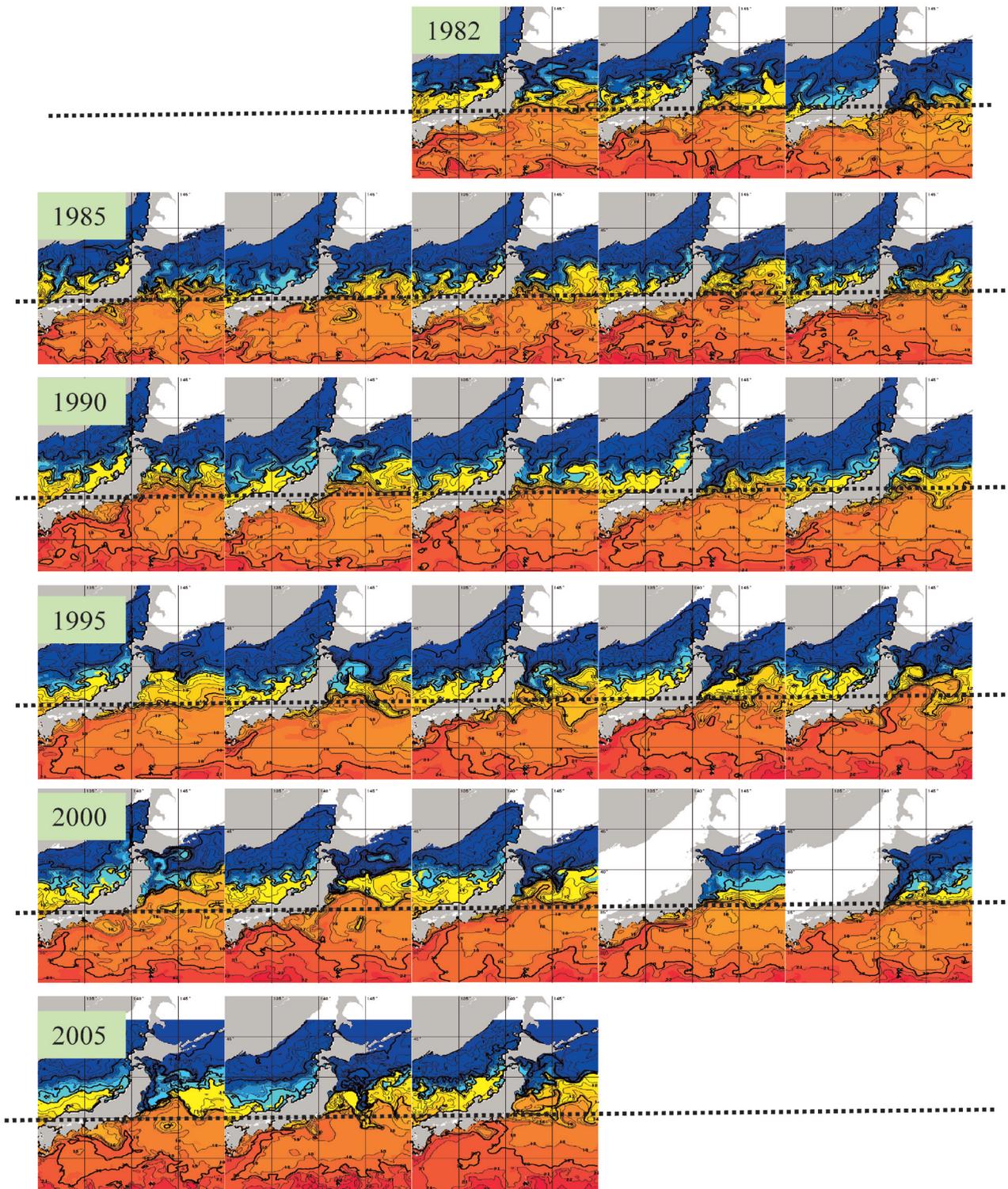


Fig. 3-1-12. 日本周辺海域の3月の表面水温分布の年変化。黄色は9℃を表す。点線は房総半島の位置を示している。  
 Distributions in sea surface temperature (SST) in March around in the Japanese waters from 1982-2007. The yellow areas indicate 9 degree in SST. The location of Bosou Peninsula was marked by dotted lines.

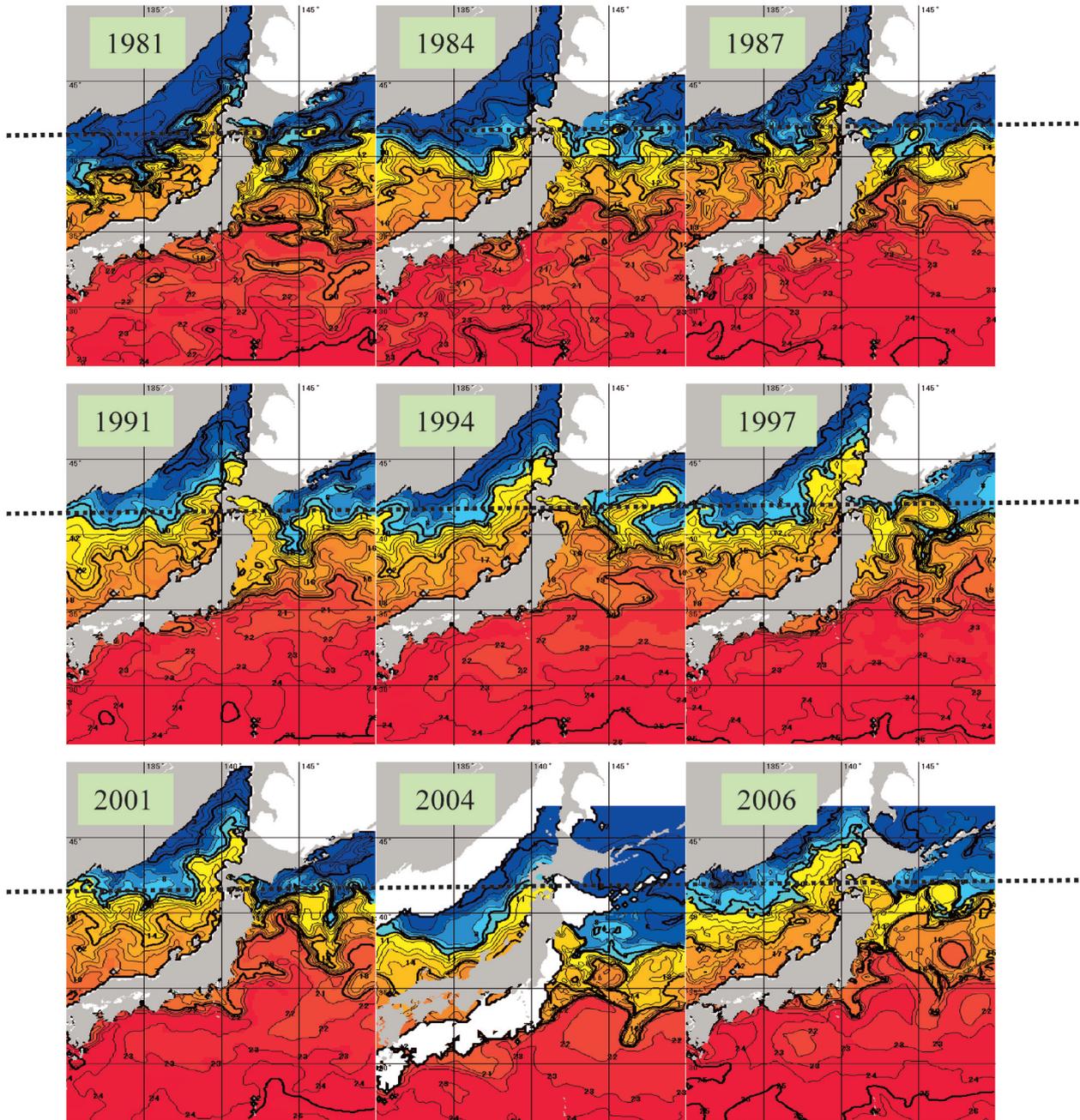


Fig. 3-1-13. 代表年による日本周辺海域の12月の表面水温分布の変化。黄色は9℃を表す。点線は津軽海峡の位置を示している。

Distributions in sea surface temperature in December around in the Japanese waters for typical years from 1980s to 2000s. The location of Tsugaru Strait was marked by dotted lines.

ともに、他海域の来遊量および若齢魚の来遊量と深く関係することが明らかになった。このことは、ブリの来遊量予測手法の開発に大きく寄与するものである。ブリの漁況変動について環境の影響を指摘されているが(小川, 1976), それをどのように予測に用いるかの研究はほとんどなかった。本研究では、ブリの年齢

別・海域別の来遊量の変動特性ならびにそれに及ぼす環境要因を明らかにしたことは、ブリの漁況予測手法の開発に繋がるものと期待される。

(田 永軍, 渡辺 健, 井野慎吾, 奥野充一, 前田英章, 阪地英男)

### 執筆者連絡先

田 永軍 (Yongjun Tian) 日本海区水産研究所 〒951-8121 新潟市中央区水道町1-5939-22 (Japan Sea Natl Fish. Res. Inst., Suido-cho, Chu-ou, Niigata 951-8121 Japan)

渡辺 健 (Ken Watanabe) 富山県農林水産総合技術センター水産研究所 〒936-8536 滑川市高塚364 (Toyama Pref. Agri. Forest. Fish. Res. Center, Fish. Res. Inst., Takatsuka, Namerikawa, Toyama 936-8536 Japan)

井野慎吾 (Shingo Ino) 富山県農林水産総合技術センター水産研究所 〒936-8536 滑川市高塚364 (Toyama Pref. Agri. Forest. Fish. Res. Center, Fish. Res. Inst., Takatsuka, Namerikawa, Toyama 936-8536 Japan)

現所属: 富山県農林水産部 (present address: Toyama Pref. Agri. Forest. Fish. Division, Shin-Sougawa Toyama, Toyama 930-8501 Japan)

奥野充一 (Jun-ichi Okuno) 石川県水産総合センター 〒927-0435 石川県鳳珠郡能登町字宇出津新港3-7 (Ishikawa Pref. Fish. Res. Center, Ushitsu-shinko, Noto, Housu, Ishikawa 927-0435 Japan)

前田英章 (Hideaki Maeda) 福井県水産試験場 〒914-0843 敦賀市浦底23-1 (Fukui Pref. Fish. Exp. Station, Urazoko Tsuruga, Fukui 914-0843 Japan)

阪地英男 (Hideo Sakaji) 中央水産研究所 〒236-8648 横浜市金沢区福浦2-12-4 (Natl Res. Inst. Fish. Sci, Fukuura, Kanazawa, Yokohama 236-8648 Japan)