

3. ブリの移動・回遊と海洋環境の関心の解明と来遊量予測手法の開発

(2) 来遊量予測手法の開発

方 法

来遊量指数の推定 アーカイバルタグによる年齢別ブリの回遊様式の解析結果（前田ら，本稿1-(1)-1))および、定置網の漁獲量データによる解析結果から（田ら，本稿3-(1)章），ブリの漁況変動について能登半島を境に，日本海の北部と西部の2海域に分けて検討を行うことが相応しい。そこで，年齢別漁獲量データから算出した日本海の北部と西部の年齢別漁獲尾数データ（渡辺ら，本稿1-(2))を用いて，その対数を取り，海域別・年齢別の来遊量指数を算出するとともに，各年齢の来遊量の海域への配分比率を算出し，来遊量指数と配分比率の変動パターンを明らかにする。

環境要因の抽出と来遊量予測モデル 海域別・年齢別の来遊量指数間の相関関係および来遊量指数と環境要因（水温・冷水域面積）との相関関係を解析し，来遊量指数に影響する諸因子を抽出する。これに基づいて，海域別・年齢別の来遊量指数を予測する重回帰モデルを作成することで，漁況を予測する手法を開発する。なお，回遊パターンの解析により，2歳以下のブリは，それぞれの海域にとどまることがわかったので，海域間の交流がないと仮定してモデルを作成した。用いたデータは西部海域については1985-2006年，北部海域については1981-2006年である。

結 果

海域別来遊量指数と環境要因の抽出 北部海域と西部海域の漁獲尾数は1990年代以降増加した。0歳の漁獲尾数は北部の方が西部より多いが，1歳および2歳以上では西部の方が多い。このことは北部への0歳魚の来遊量は特に1990年代以降増加したことを示している。漁獲尾数から算出した来遊量指数は，両海域でほぼ同様な変動傾向を示し，1990年代以降どの年齢でも増加傾向を示した。特に2歳以上の来遊量指数は，北部と西部海域ではよく一致する傾向を示した（Fig. 3-2-1）。1980年代におけるデータに限られているが，来遊量指数は両海域ともに，1987年級以降大きく増加し，1980年代末のレジームシフトに対応したものと考えられる。

年齢別来遊量指数間には概ね正の相関関係を示し，各年齢の来遊量指数はある年齢群の加入量（0歳）に大きく依存することが示唆された（Fig. 3-2-2）。海域別・

年齢別の来遊量指数と環境要因との相関解析の結果，1歳および2歳以上の来遊量は0歳の来遊量および水温に，また0歳の来遊量は水温によってそれぞれ大きく影響されることがわかった（Fig. 3-2-3）。この結果は3-1で検討した結果とほぼ一致する。

来遊量の海域配分率（西部海域対する北部海域の漁獲尾数の比率）について検討したところ，北部海域への来遊量の割合は，0歳では1990年以前と以降では大きく異なり，1990年代では低かった（Fig. 3-2-4）。寒冷期の方が，0歳魚は北部海域に多く分布していたことを示す。しかし，1歳の比率は逆に1990年代後半以降高かった。このように，海域への配分比率は年齢による違いが見られた。2歳以上の割合も北部海域では1980年代末以降大きく増加した。このことは，レジームシフトによって，北部海域での越冬が可能になり，2歳以上のブリが北部海域に留まったことを示していると考えられる。

環境因子を取り入れた漁況予測モデル 以上の検討を踏まえ，ブリの来遊量予測モデルの作成にあたり，0歳の来遊量指数は環境による影響が見られるものの，加入水準にも大きく依存する。しかし，加入量を予測することが現時点では不可能であることから，0歳の来遊量予測モデルを作成せず，1歳と2歳以上についてモデルを作成することとした。高年齢の来遊量は，同年級の若齢時の来遊量とそれに影響する水温を予測因子としてモデル化を行った。

海域別・年齢別の予測モデルの推定式はTable 3-2-1に示した。なお，モデルにおける水温とは，各年齢群が加入する年の水温で，1歳と2歳以上の来遊量指数との間にはそれぞれ1年と2年のラグがある。

西部海域の1歳における予測モデルの推定結果と観測値との比較はFig. 3-2-5に示した。0歳の来遊量と秋季の水温を予測因子とした重回帰モデルで，全分散のほぼ50%をモデルによって説明することができた。観測値に比べて予測値の変動が若干小さいが，両者の変動傾向はよく一致した。一方，西部海域の2歳以上の来遊量については，0歳と1歳の来遊量と冬季の水温による重回帰モデルは全分散の77%を説明でき，予測値と観測値はよく一致した（Fig. 3-2-6， $R^2=0.77$ ）。さらに，北部2歳以上のブリの南下回遊の効果を考慮すると，モデルの再現性がより高くなった（図略， $R^2=0.83$ ，Table 3-2-1 case 2を参照）。

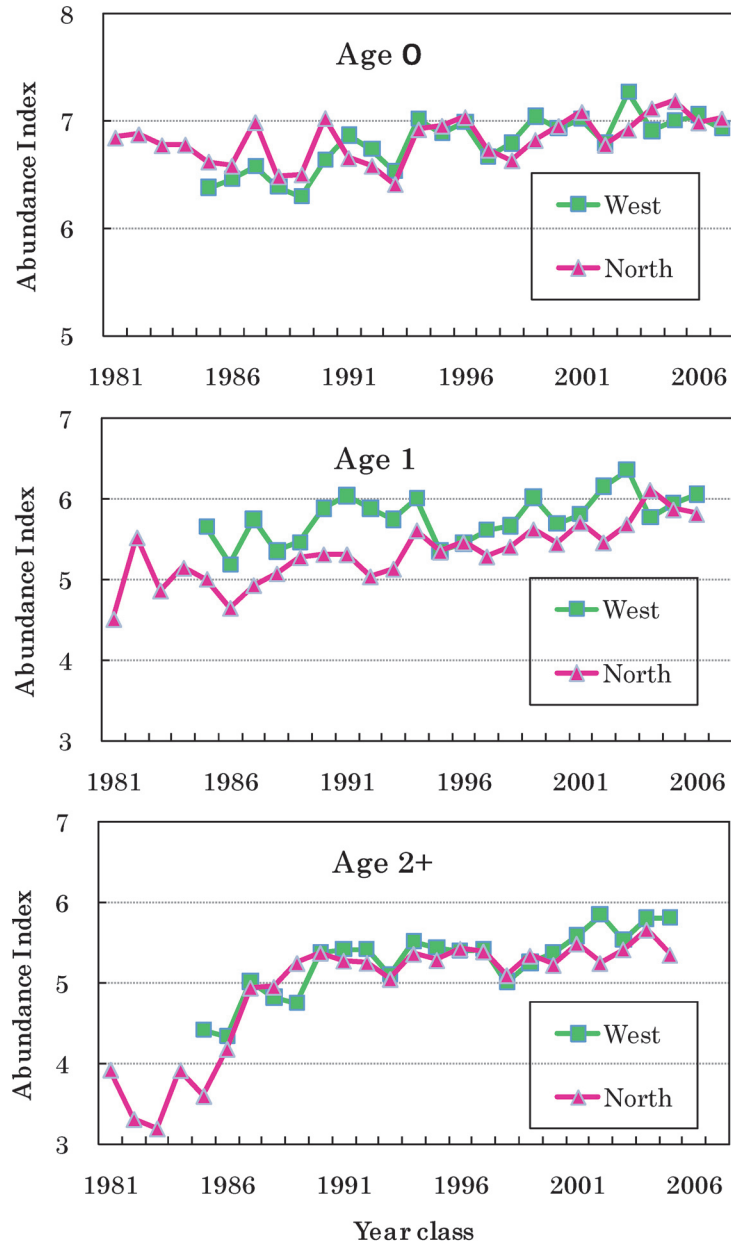


Fig. 3-2-1. 年齢別・海域別の発生年級群の来遊量指数の変化。
Changes in abundance index of yellowtail year class by age group for the western (green line) and northern (red line) regions.

北部海域の1歳について、北部の0歳の来遊量と北部の夏期水温による重回帰モデルは1980年代の後半の数年若干再現性が劣るが、それ以外の年ではほぼ観測値と一致した (Fig. 3-2-7)。また、北部の2歳以上については、0歳と1歳の来遊量および水温による重回帰モデルは全体的に観測値と傾向がほぼ一致したが、年によっては予測値の変動が大きく、観測値と乖離していることも見られた (Fig. 3-2-8)。そこで、北部の0歳の来遊量を除いたケースおよび西部の

0歳の来遊量を考慮したケースをそれぞれ検討したが (Table 3-2-1 case 2-3を参照)、モデルの再現性がよくなったものの、特に1980年代についてモデルの予測値と観測値の不一致が改善されなかった。

考 察

原 (1990) と北原, 原 (1990) では隣接する定置網のデータを用いて、日本海に來遊するブリの來遊量指

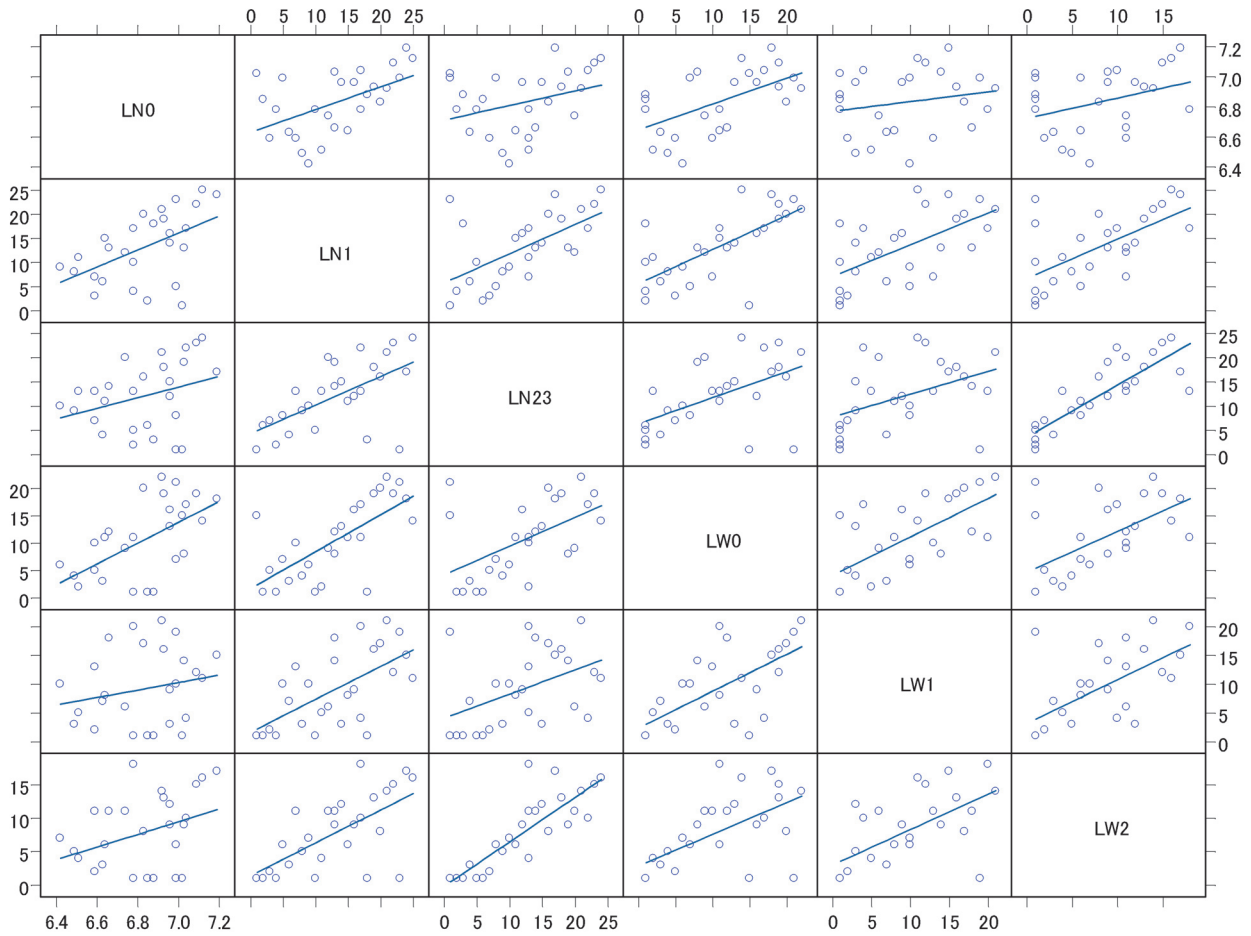


Fig. 3-2-2. 年齢別・海域別の来遊量指数間の相関行列。LN0 (LW0), LN1 (LW1) と LN23 (LW2) はそれぞれ北部 (西部) の 0 歳, 1 歳と 2+ 歳の来遊量指数を表す。

Correlation matrix between abundance indices of yellowtail. LN0 (LW0), LN1 (LW1) and LN23 (LW2) indicate abundance index for age 0, age 1 and age 2+ in the northern (western) area, respectively.

数を提案した。しかし、それが隣接する位置が同様な変動傾向を示すことが前提としており、実際には定置網の漁況は海域およびブリの年齢によって大きく異なる。ここでは、単純に年齢別の漁獲尾数の対数値をもって、ブリの来遊量を指数化した。本研究では、回遊・分布パターンを考慮して日本海を西部と北部に分けて来遊量指数を算出した(渡辺ら, 本稿 1-(2))。年齢別・海域別の来遊量指数が、海域別・年齢別の漁獲尾数から簡単に求められるので、年齢間・海域間の比較が容易で実用的であると考えられる。

各年齢の来遊指数は水温および若年齢の来遊量に大きく関係することが明らかになったことで、水温および 0 歳の来遊量指数を考慮した重回帰モデルを作成し、1 歳または 2 歳以上のブリの来遊量を環境要因および 0 歳の来遊量から予測することができることを示した (Table 3-2-1)。ブリの漁況に与える冷水の影響

については古くから指摘されている (小川, 1976)。本研究でも、来遊量指数と冷水域面積の間に有意な相関関係が見られた (Table 3-1-2) ことから、冷水域の指数を来遊量予測モデルの因子として用いることが可能だが、冷水域面積のデータが水温より入手困難である上、中長期的に冷水域の変動が水温と相関する (加藤ら, 2006) ことから、モデルの実用性を考え、環境因子として水温に限定した。

1 歳の来遊量予測モデルによる予測値は、北部西部ともに比較的良好に観測値と一致した (Fig. 3-2-5, Fig. 3-2-7)。1 歳のブリは、3 歳以上のブリと異なり、産卵場へ大規模な南北回遊をせず、加入した水域周辺に留まるので (奥野ら, 本稿 1-(1)-2)), その来遊量は、加入した 0 歳の来遊量および水温によって大きく規定されると思われる。本研究で作成した 1 歳魚の予測モデルは、0 歳の来遊量および前年の水温を指

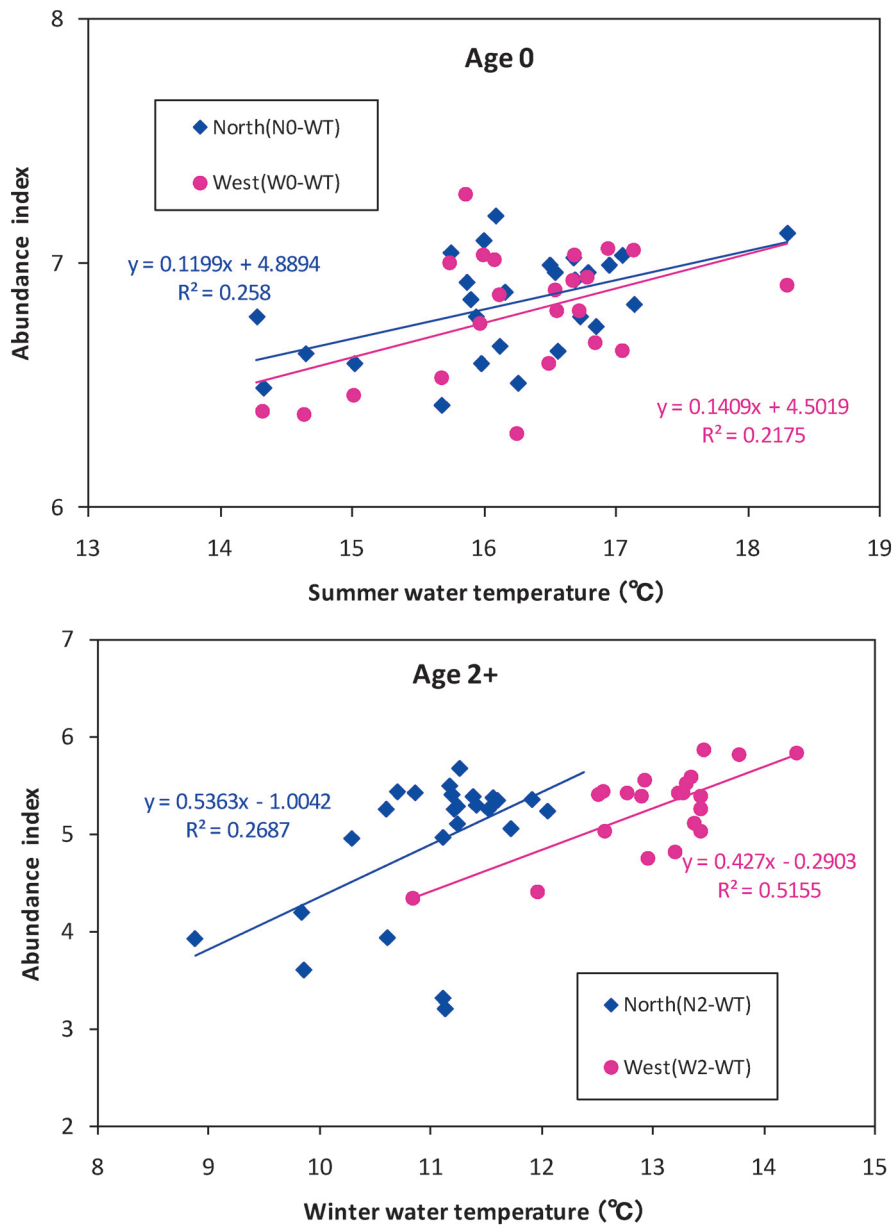


Fig. 3-2-3. 来遊量指数と水温の関係（上：0歳；下：2+歳）。赤丸と青菱形はそれぞれ西部と北部を表し、その回帰直線と回帰式を図示した。

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

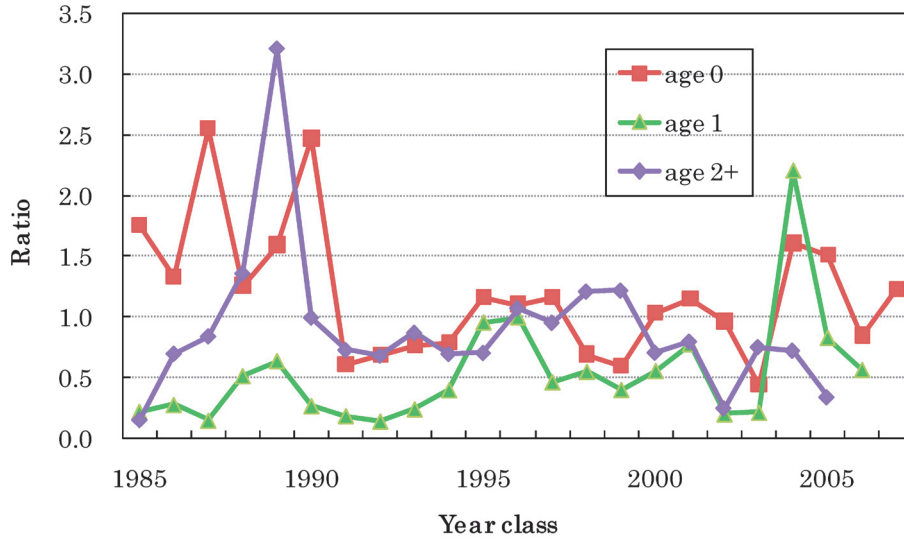


Fig. 3-2-4. 年齢別の海域配分率（西部海域に対する北部海域の割合）の変化。
Change in the ratio of northern area to the western area in the catch of yellowtail by age group during 1985-2007.

Table 3-2-1 年齢別海域別ブリ来遊量予測モデルの推定式一覧
List of estimated model equations for yellowtail by age group and area

Area	Age	Model Equations	R ²	Notation
Western	1	$W_AI_1 = 0.573W_AI_0 + 0.124WT_autT - 0.394$	0.46	
	2+	$W_AI_2 = 0.829W_AI_0 + 0.106W_AI_1 + 0.275WT_winW - 4.538$	0.769	Case 1
	2+	$W_AI_2 = 0.502W_AI_0 + 0.232W_AI_1 + 0.377N_AI_2 + 0.131WT_winW - 3.111$	0.833	Case 2 (included Age 2+ of northern area)
Northern	1	$N_AI_1 = 0.693N_AI_0 + 0.159WT_sumN - 1.963$	0.437	
	2+	$N_AI_2 = 0.422N_AI_0 + 0.891N_AI_1 + 0.382WT_yeaN - 2.254$	0.441	Case 1
	2+	$N_AI_2 = 0.739N_AI_1 + 0.389WT_winT - 3.633$	0.441	Case 2 (excluded age 0)
	2+	$N_AI_2 = 0.607W_AI_0 + 0.128N_AI_1 + 0.311WT_winW - 0.3697$	0.606	Case 3 (included age 0 of western area)

W(N)_AI_0(1,2): Abundance index in the Western(Northern) area for age 0(1, 2+) group;
 WT_autT: Water temperature at 50m depth in autumn in the Japan Sea;
 WT_winW: Water temperature at 50m depth in winter in the western Japan Sea
 WT_sumN(WT_yeaN): Water temperature at 50m depth in summer (yearly average) in the northern Japan Sea

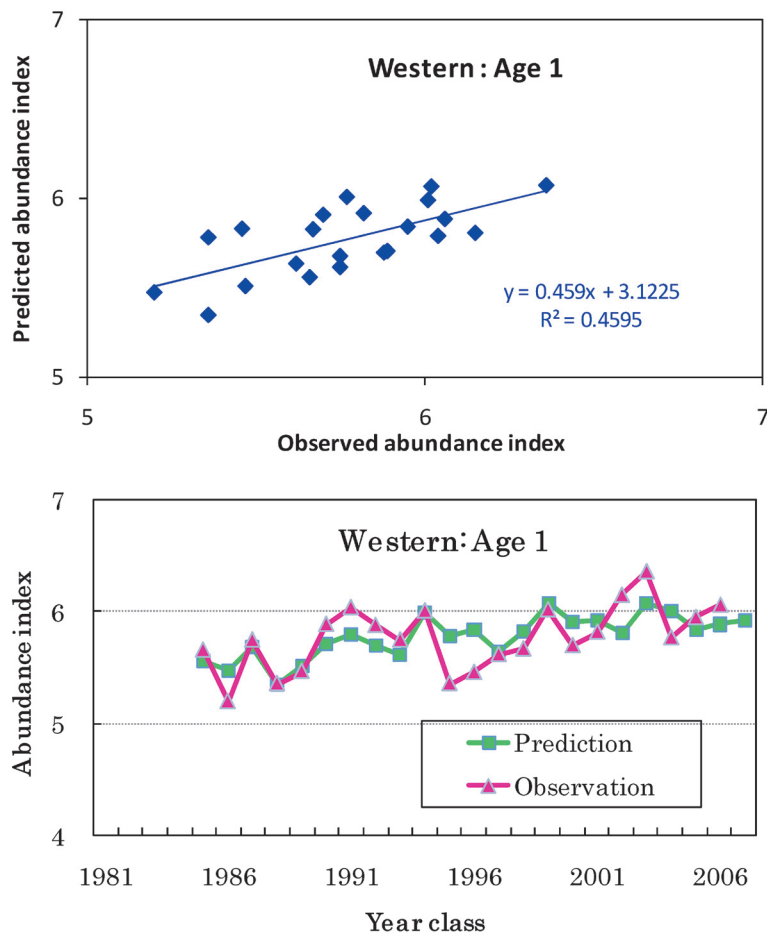


Fig. 3-2-5. 西部海域の1歳の来遊量における観測値とモデル推定値の関係 (上：プロット；下：時系列)
Relationship between (top panel), and time series in (low panel) the predicted and observed abundance index for age 1 group of yellowtail in the western part of Japan Sea.

標として、1歳の来遊量がある程度予測することができるので、漁況の予測に役立つ。一方、2歳魚の予測モデルでは、特に西部の方は、観測値をよく再現している (Fig. 3-2-6)。このことは、0歳および1歳の漁獲量および1年前の水温がわかれば、翌年の2歳以上のブリの来遊量を精度良く予測することが可能である。なお、西部に比べ、北部の2歳以上の予測モデルの再現性は低かった (Fig. 3-2-8)。その原因の一つは、西部に比べて北部の方がレジームシフトの影響をより大きく受けることによると考えられる。レジームシフトによって、能登半島を境に分布パターンが大きく異なる。寒冷レジームでは、西部海域に対する北部海域の割合は (Fig. 3-2-4) 0歳の高い値に比べて、1歳以上では低くなっている。寒冷レジームにおける越冬可能域の減少は、北部海域における1歳および2歳以

上の来遊量を影響し、モデルの再現性を妨げたと考えられる。従って、理想的には環境レジームに応じてモデルを作成すれば、再現性がより向上すると考えられるが、本研究で用いているデータは概ね温暖レジームに相当し、寒冷レジームの期間を十分カバーできていないから、寒冷レジームでの再現性が低くなった原因の一つであると考えられる。

0～1歳のブリは加入した海域周辺に留まり大きな回遊を行わないと対照に、3歳以上のブリが産卵場へ大規模な南下回遊を行うことが明らかになった (井野ら, 2008; 奥野ら, 本稿 1-(1)-(2))。西部海域の2歳以上の予測モデルでは、北部海域からの大型ブリの南下回遊の影響を考慮したケースでは、その再現性がより高くなった (Table 3-2-1, 西部 case 2を参照)。しかし、大型ブリの南下回遊が非常に速いので、実際に北

部の2歳以上のブリの来遊量をもって西部のブリの漁況を予測することが実際には困難である。なお、本研究では予測モデルにおける水温はいずれも0歳の加入時の水温としているが、実際には漁況の形成はその年の海況にも影響されることから、その年の水温を考慮したモデルも作成して検討したところ、モデルの再現性は、加入時の水温を指標としたモデルより改善されなかったため、現行モデルは加入時の水温を指標として妥当であると判断した。

環境要因を指標とした漁況の予測モデルでは、日本海のソデイカについてMiyahara *et al.* (2005)は水温、塩分および海面高度を予測指標として、日本海に來遊するソデイカのCPUEを予測する重回帰モデルを作成し、高い実用性が示唆された。ソデイカは単年性で、CPUEは加入量と海況に大きく依存する。一方、ブリの場合は、来遊量の予測には、0歳の加入量の変動以

外に、年齢による回遊分布のパターンの違いおよび海況を考慮することが不可欠であるので、予測モデルは複雑になりがちである。しかし複雑なモデルには、必要なデータとパラメータ数が多くなり、実用性が乏しくなる。本研究で示したブリの予測モデルは、ブリの生活史特性、特に近年明らかになったブリの年齢別回遊・分布の最新知見を考慮しながら、必要な予測因子を水温と若年齢の来遊量に限定し、実用性を示した。今後は、このモデルの改良と検証をすることが必要である。また、太平洋側のブリの漁況モデルの開発は今後の課題である。

謝 辞

本研究で用いられた日本周辺海域のSSTデータセットは海洋情報センター（MIRC）の友定彰博士によ

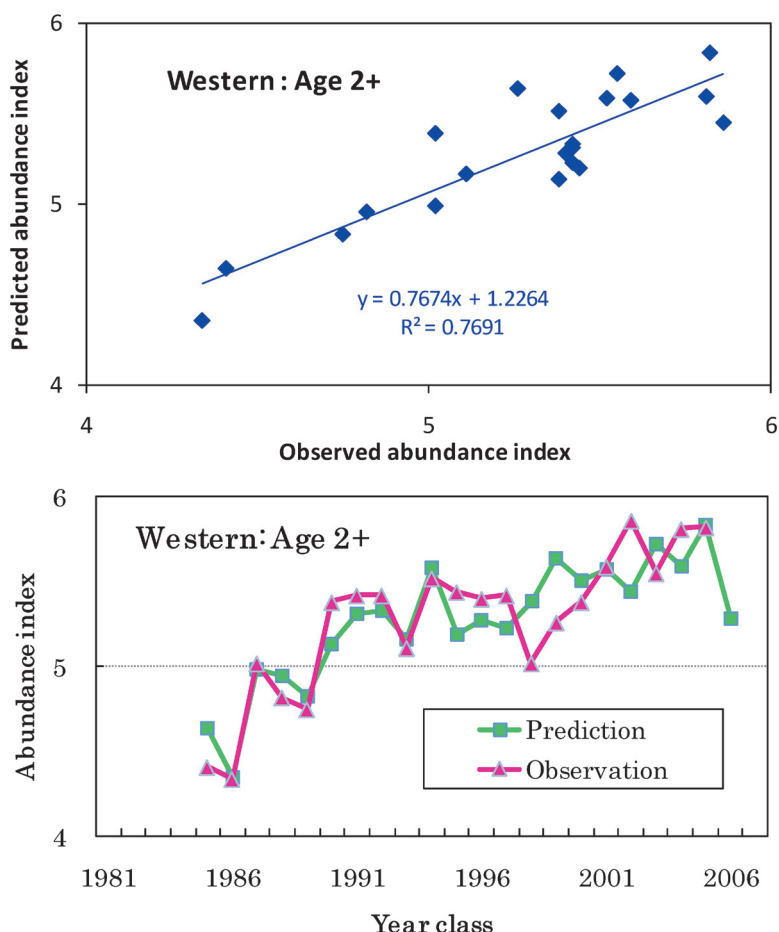


Fig. 3-2-6. 西部海域の2+歳の来遊量における観測値とモデル推定値の関係（上：プロット；下：時系列）

Relationship between (top panel), and time series in (low panel) the predicted and observed abundance index for age 2+ group of yellowtail in the western part of Japan Sea.

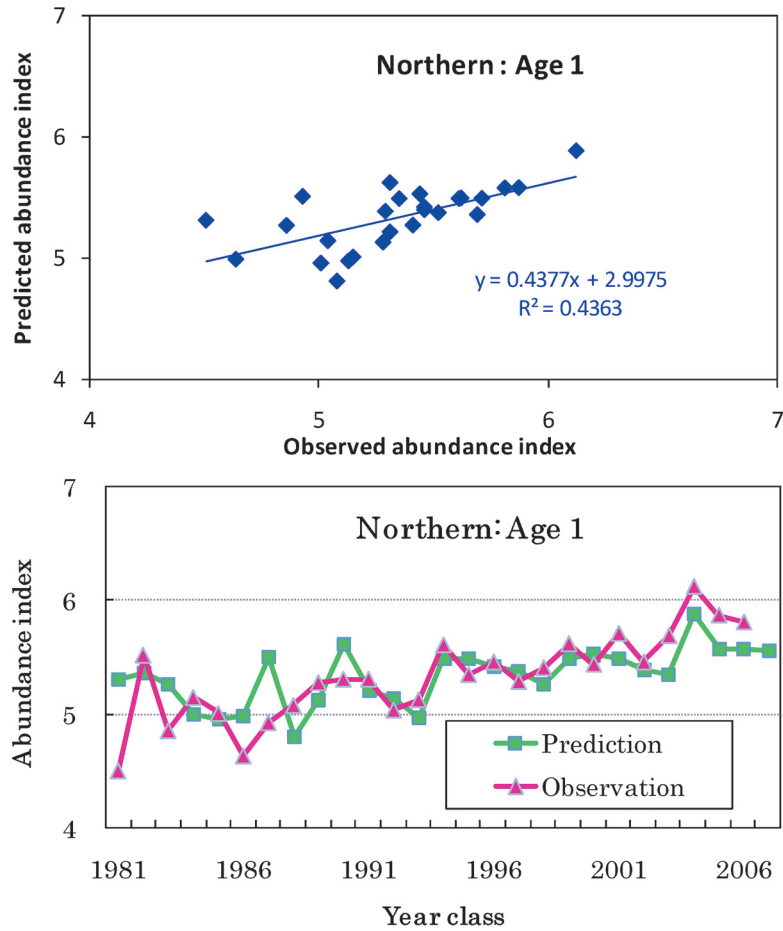


Fig. 3-2-7. 北部海域の1歳の来遊量における観測値とモデル推定値の関係（上：プロット；下：時系列）
Relationship between (top panel), and time series in (low panel) the predicted and observed abundance index for age 0 group of yellowtail in the northern part of Japan Sea.

り提供されたものである。また日本海の水温 GIS マッピング作成については日本海区水産研究所の木所英昭博士から多大な協力と助言をいただきました。
(田 永軍, 渡辺 健, 井野慎吾, 奥野充一, 前田英章, 阪地英男)

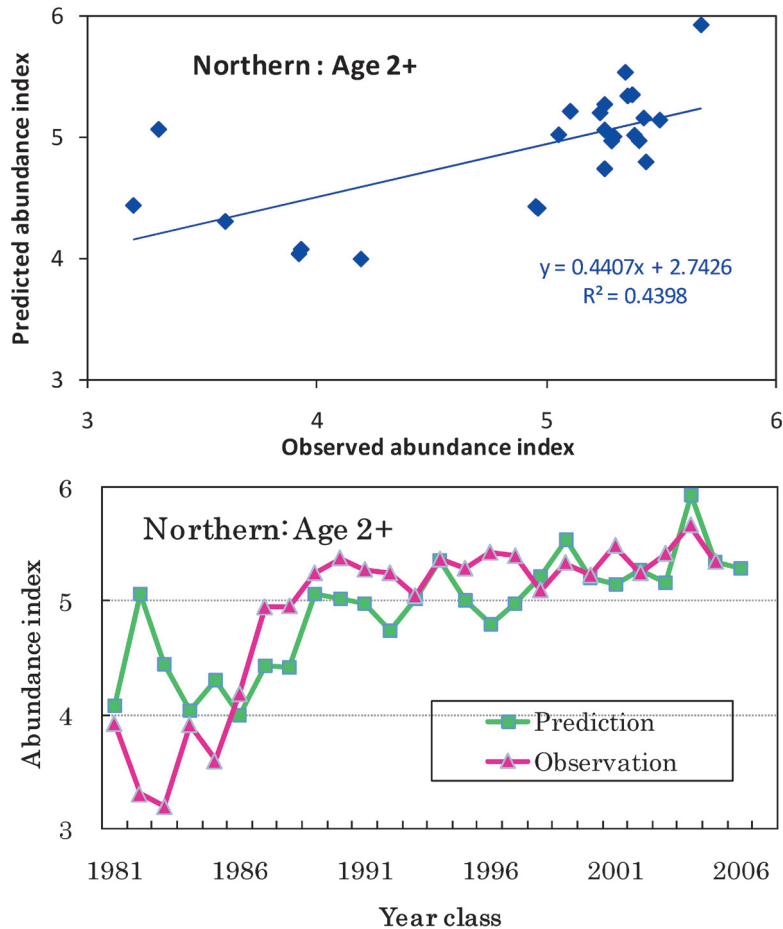


Fig. 3-2-8. 北部海域の2+歳の来遊量における観測値とモデル推定値の関係 (上:プロット;下:時系列)
Relationship between (top panel), and time series in (low panel) the predicted and observed abundance index for age 2+ group of yellowtail in the northern part of Japan Sea.

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. Devison, 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)