

令和 5（2023）年度ヤナギムシガレイ太平洋北部の資源評価  
ヤナギムシガレイ太平洋北部の CPUE 標準化

水産研究・教育機構 水産資源研究所  
三澤 遼、時岡 駿、鈴木勇人

概要

|                 |                                                                                                                                               |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| データ             | 太平洋北区沖合底びき網漁業漁獲成績報告書                                                                                                                          |
| 対象              | 1 網あたりの漁獲量 (kg/網)                                                                                                                             |
| データの利用可能な期間     | 1972~2022 年 1~6 月および 9~12 月                                                                                                                   |
| 標準化に使用した期間      | 1973~2022 年 1~6 月および 9~12 月<br>(ヤナギムシガレイとしての漁獲量区分がある期間)                                                                                       |
| データの抽出          | 金華山～房総海区のオッタートロール漁法による操業                                                                                                                      |
| 使用した統計ソフト・パッケージ | R (4.1.0)<br>パッケージは MuMIn (Ver 1.43.17)                                                                                                       |
| 統計モデル           | 一般化線形モデル                                                                                                                                      |
| フルモデルの応答変数      | 自然対数変換した日別船別 CPUE (kg/網)                                                                                                                      |
| フルモデルの説明変数      | CPUE モデル：<br>年、季節、海域、年×季節、年×海域、季節×海域<br>(すべてカテゴリ・固定効果)                                                                                        |
| 最終モデルの選択方法      | BIC 総当たり法                                                                                                                                     |
| 選択された説明変数       | 年、季節、海域、年×季節、年×海域、季節×海域                                                                                                                       |
| 年トレンドの算出方法      | ベストモデルの最小二乗平均 (LSMEAN) より海域別の年トレンドを算出し、それらを各海域の面積比により重み付け平均することで、標準化 CPUE の年トレンドとした。                                                          |
| 信頼区間の計算方法       | リサンプリングされたデータとベストモデルを用いての標準化 CPUE 算出を 1,000 回繰り返すことで計算。                                                                                       |
| 標準化の結果          | 標準化 CPUE の年トレンドはノミナル CPUE と概ね類似したトレンドを示したが、2018 年以降の標準化 CPUE はノミナル CPUE よりも高い値に推定されている。これらの乖離の要因としては標準化 CPUE では、海域による努力量の偏りが補正されたことの影響が考えられる。 |

1. 背景

商業船による CPUE（単位努力量当たりの漁獲量）は、資源量以外に漁獲月や海域によ

る影響を受ける。そのため、適切な資源量指標値にはこれらの要因を取り除く必要がある（庄野 2004）。

ヤナギムシガレイ太平洋北部においては、2011 年の東日本大震災以降、金華山～房総海区における沖合底曳網（以下、「沖底」という）のノミナル CPUE は大きく変化しており、近年の常磐海区の CPUE は金華山および房総海区と比べて顕著に高い状態にある（図 1）。また、1988～2010 年までは常磐海域の努力量が金華山～房総海区全体の努力量の 6 割以上を占めていたが、2011 年の震災以降、常磐海区の努力量は減少し、全体の 4 割以下となっている（図 2）。近年の金華山～房総海区のノミナル CPUE には海区ごとの努力量割合の変化といった資源の増加以外の要因も影響している可能性が考えられる。上記のような沖底 CPUE に含まれる資源の年変動以外の影響を除去するため、金華山～房総海区についてそれぞれ一般化線形モデルを用いた CPUE の標準化を行った。

## 2. 方法

解析には太平洋北区の沖合底びき網漁獲成績報告書（沖底漁績）における金華山海区、常磐海区、房総海区のオッタートロールの有漁獲データを用いた。期間はヤナギムシガレイとしての漁獲量区分がある 1973 年以降のデータを使用した。自然対数変換したヤナギムシガレイの日別船別 CPUE（kg/網）を応答変数とし、モデルの誤差は正規分布に従うと仮定した。フルモデルの説明変数は、主効果として年、季節、海域を使用した。また、経年的な漁場変化として年と海域の交互作用、経年的な漁場形成時期の変化として年と季節の交互作用、特定の時期、海域における漁場形成の影響として季節と海域の交互作用を含めた。季節はデータ欠損が生じないよう 1～3 か月（1～3 月、4～6 月、9 月、10～12 月）ごとにまとめた。海域は沖底漁績の小海区区分（金華山海区、常磐海区、房総海区）を採用した（図 3）。説明変数は全てカテゴリカル変数として扱った。

以下に初期モデルを示す。

$$\text{Ln}(\text{CPUE}) = \text{Intercept} + \text{Year} + \text{Season} + \text{Area} + \text{Year} * \text{Season} + \text{Year} * \text{Area} + \text{Season} * \text{Area}$$

ここでの記号は次の通りである。

Year: 年（1973～2022）

Season: 季節（1～3 月、4～6 月、9 月、10～12 月）

Area: 海域（金華山、常磐、房総）

上記モデルについて変数総当たり法によるモデル選択を行い、BIC 最小となるモデルをベストモデルとして標準化 CPUE 算出に用いた。ベストモデルの最小二乗平均（LSMEAN）より海域別の年トレンドを算出し、それらを各海域の面積比により重み付け平均することで、標準化 CPUE の年トレンドとした。重み付けに用いる海域面積比は各海域に含まれる

農林漁区（緯度経度 10 分メッシュ）の数により決定した。この際、操業回数が極端に少ない漁区は係数対象から除外した。

重複を許してリサンプリングされたデータとベストモデルを用いての標準化 CPUE 算出を 1,000 回繰り返し、その結果より 95%信頼区間を推定した。

### 3. 結果と考察

BIC を基準としたモデル選択の結果、ベストモデルとして上記の初期モデルが選択された（表 1）。モデルの観測値と推定値の残差は概ね正規分布に従っていた（図 4）。また、各変数の残差にも大きな偏りはみられず（図 5）、残差の正規性、等分散性に大きな問題はなかった。

標準化 CPUE の年トレンドは概ねノミナル CPUE（沖底 CPUE を平均値 1 となるよう規格化した値）と類似したトレンドを示したが、2018～2021 年では乖離がみられ、標準化 CPUE はノミナル CPUE よりも高くなった（表 2、図 6）。これは、ノミナル CPUE では近年努力量割合が相対的に低下している常磐海区（図 8）の資源動向を反映しにくいことが一因と考えられる。標準化 CPUE では、海域ごとの年トレンドは海域面積比（表 3）で重み付け平均されることで、ノミナル CPUE に含まれる各海域の努力量の違いによる影響が補正されたと考えられる。

### 引用文献

Ichinokawa, M., and J. Brodziak (2010) Using adaptive area stratification to North Pacific swordfish (*Xiphias gladius*). Fish. Res., **106**, 249-260.

庄野 宏 (2004) CPUE 標準化に用いられる統計学的アプローチに関する総説. 水産海洋研究, **68**(2), 106-120.

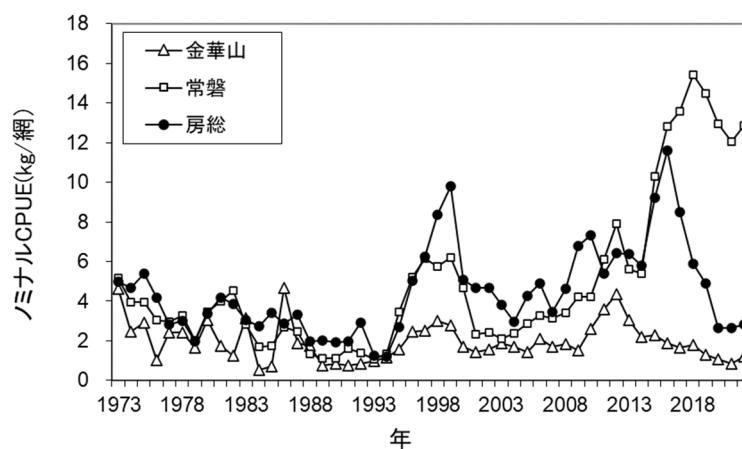


図 1. 金華山～房総海区における海区別の沖底ノミナル CPUE（年間漁獲量／有漁網数）の推移

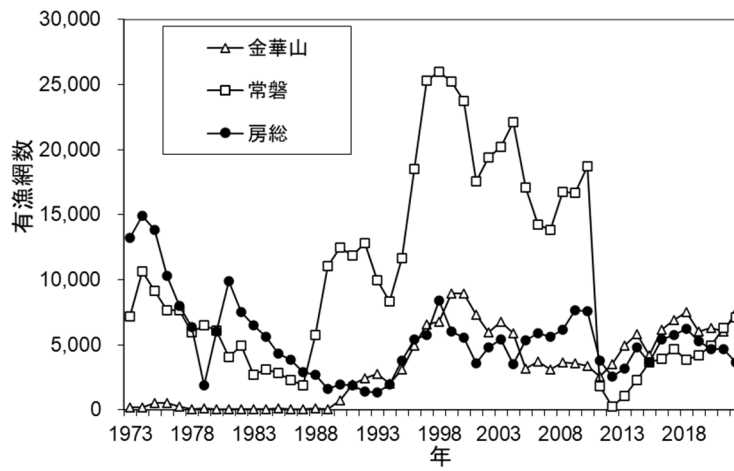


図 2. 沖底の海区別漁法別努力量（有漁網数）の推移

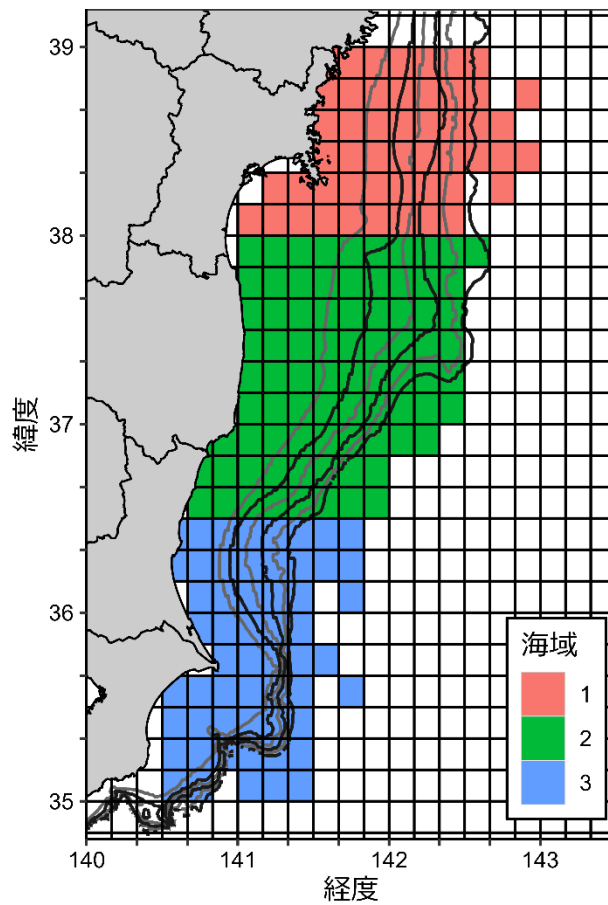


図 3. 説明変数として用いた 3 海域区分（金華山海区、常磐海区、房総海区）海域 1、2、3 と各グリッドの色分けはそれぞれ金華山海区、常磐海区、房総海区を示す。

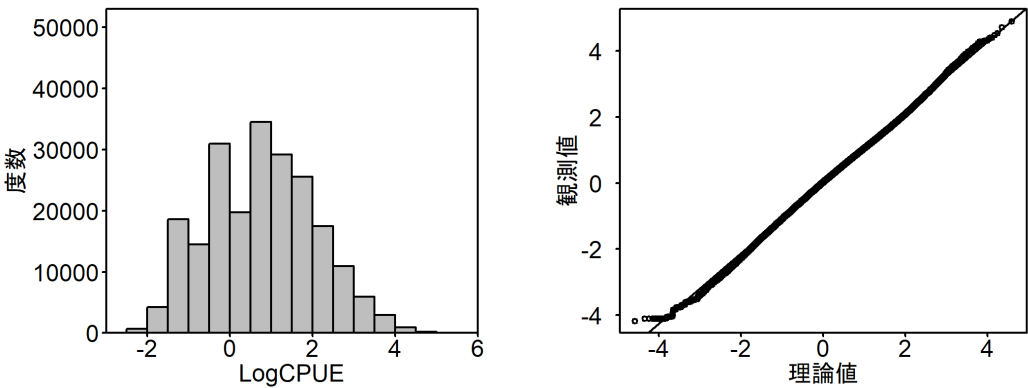


図 4. モデルの予測値と実測値の残差ヒストグラム（左）および正規確率プロット（右）

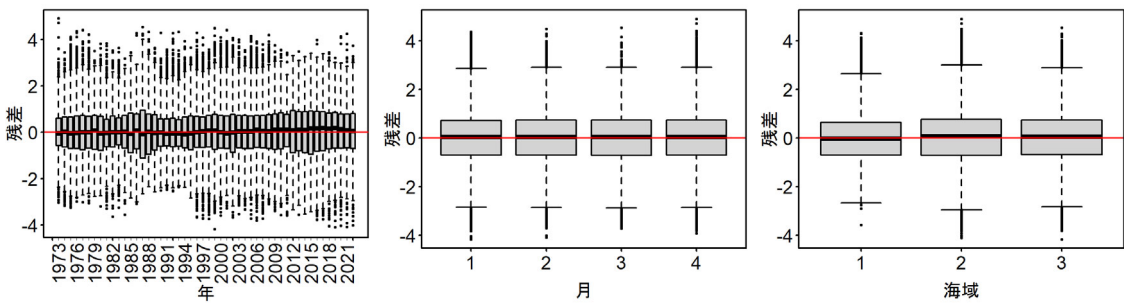


図 5. 各変数における残差の箱ひげ図

月 1、2、3、4 はそれぞれ 1～3 月、4～6 月、9 月、10～12 月を示し、海域 1、2、3 はそれぞれ金華山海区、常磐海区、房総海区を示す。

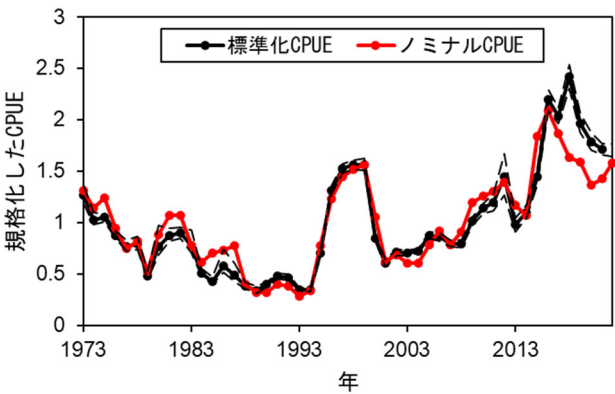


図 6. 金華山～房総海区の標準化 CPUE（黒）と沖底 CPUE（赤）の比較  
それぞれ、平均値で除すことで規格化した。破線は 95%信頼区間を示す。

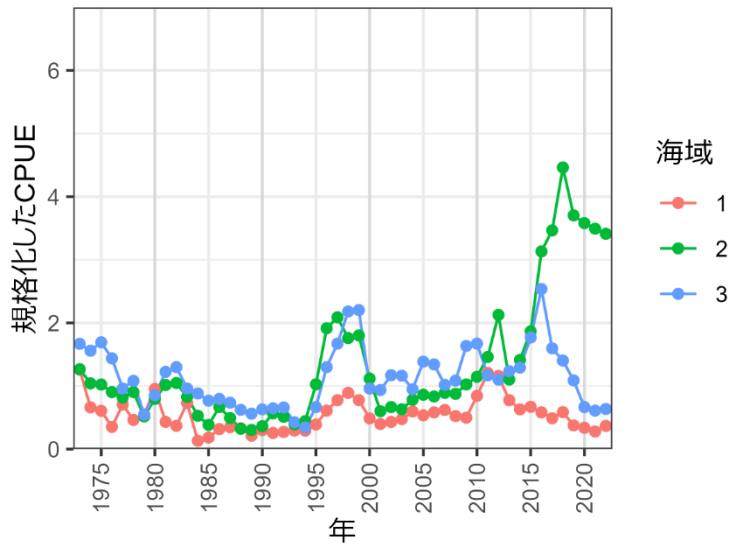


図 7. 金華山～房総海区におけるベストモデルについて最小二乗平均（LSMEAN）より算出した海域別の年トレンドの推移  
海域 1、2、3 はそれぞれ金華山海区、常磐海区、房総海区を示す。

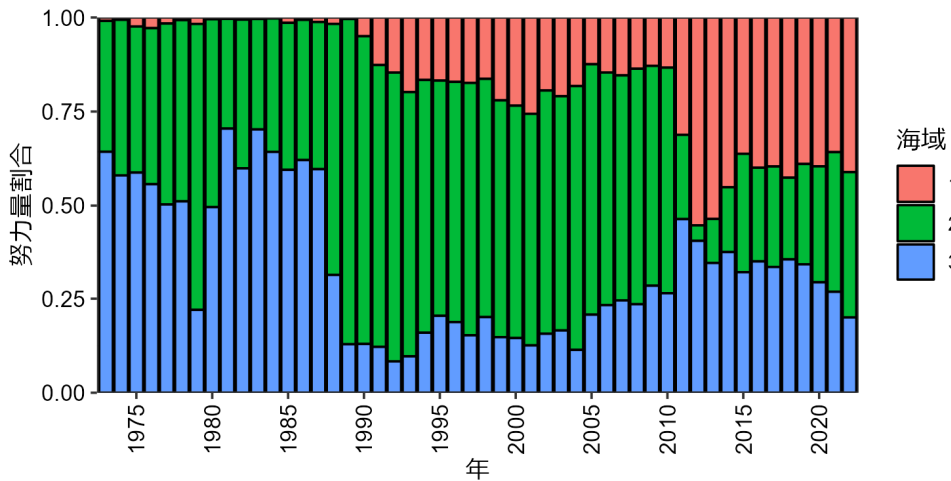


図 8. 金華山～房総海区における年別海域別努力量割合  
海域 1、2、3 はそれぞれ金華山海区、常磐海区、房総海区を示す。

表 1. BIC におけるモデル選択の結果（上位 10 モデル）

| (Int)  | f(Ar) | f(Sn) | f(Yr) | f(Ar):f(Sn) | f(Ar):f(Yr) | f(Sn):f(Yr) | df  | logLik     | BIC      | delta    |
|--------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|-----|------------|----------|----------|
| 0.225  | +     | +     | +     | +           | +           | +           | 307 | -324532.09 | 652835.7 | 0.00     |
| 0.872  | +     | +     | +     |             | +           | +           | 301 | -325637.67 | 654973.2 | 2137.45  |
| 0.955  | +     | +     | +     | +           | +           |             | 160 | -328029.24 | 658024.1 | 5188.38  |
| 1.278  | +     | +     | +     |             | +           |             | 154 | -328629.02 | 659150.0 | 6314.23  |
| 1.305  | +     |       | +     |             | +           |             | 151 | -328773.36 | 659401.8 | 6566.05  |
| -0.530 | +     | +     | +     | +           |             | +           | 209 | -333873.12 | 670313.8 | 17478.10 |
| -0.083 | +     | +     | +     |             |             | +           | 203 | -335082.14 | 672658.2 | 19822.45 |
| -0.022 | +     | +     | +     | +           |             |             | 62  | -337759.47 | 676280.6 | 23444.88 |
| 0.186  | +     | +     | +     |             |             |             | 56  | -338413.84 | 677515.6 | 24679.90 |
| 0.179  | +     |       | +     |             |             |             | 53  | -338528.93 | 677709.0 | 24873.23 |

f()はカテゴリカル変数を示す。Ar、Sn、Yr はそれぞれ海域、季節、年を示す。

表 2. 各年のノミナル CPUE および標準化 CPUE

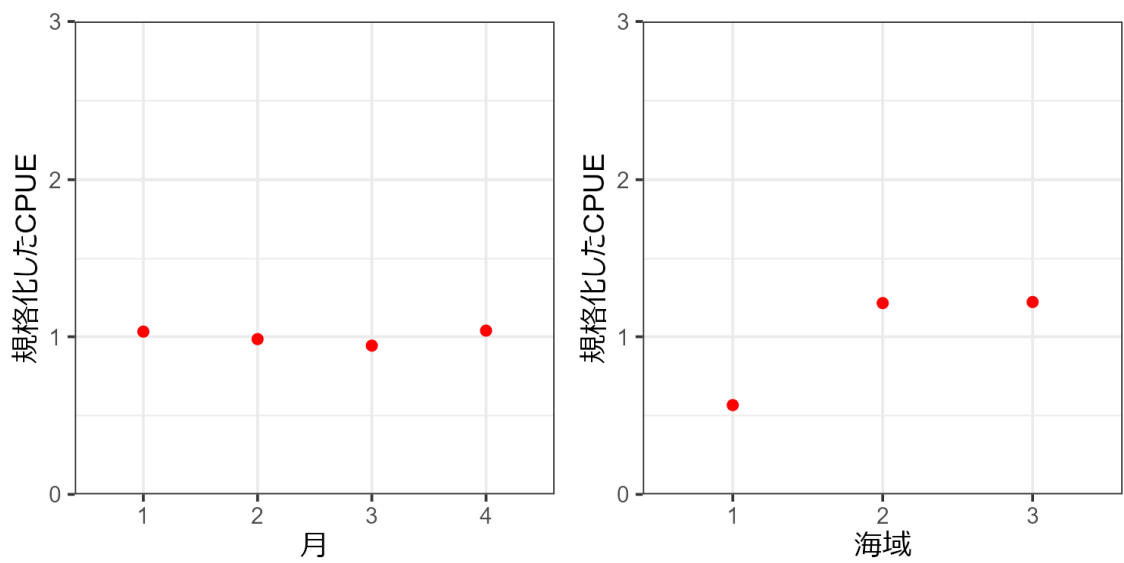
| 金華山～房総海区 |          |         |      |          |         |
|----------|----------|---------|------|----------|---------|
| 年        | ノミナルCPUE | 標準化CPUE | 年    | ノミナルCPUE | 標準化CPUE |
| 1973     |          | 1.315   | 2000 | 1.049    | 0.849   |
| 1974     |          | 1.138   | 2001 | 0.624    | 0.606   |
| 1975     |          | 1.243   | 2002 | 0.681    | 0.710   |
| 1976     |          | 0.945   | 2003 | 0.603    | 0.701   |
| 1977     |          | 0.750   | 2004 | 0.607    | 0.724   |
| 1978     |          | 0.814   | 2005 | 0.780    | 0.876   |
| 1979     |          | 0.524   | 2006 | 0.914    | 0.859   |
| 1980     |          | 0.886   | 2007 | 0.785    | 0.795   |
| 1981     |          | 1.070   | 2008 | 0.904    | 0.790   |
| 1982     |          | 1.066   | 2009 | 1.191    | 1.012   |
| 1983     |          | 0.777   | 2010 | 1.257    | 1.138   |
| 1984     |          | 0.613   | 2011 | 1.299    | 1.190   |
| 1985     |          | 0.705   | 2012 | 1.393    | 1.444   |
| 1986     |          | 0.730   | 2013 | 1.170    | 0.978   |
| 1987     |          | 0.771   | 2014 | 1.069    | 1.099   |
| 1988     |          | 0.399   | 2015 | 1.838    | 1.441   |
| 1989     |          | 0.320   | 2016 | 2.089    | 2.191   |
| 1990     |          | 0.315   | 2017 | 1.869    | 2.037   |
| 1991     |          | 0.402   | 2018 | 1.632    | 2.421   |
| 1992     |          | 0.378   | 2019 | 1.585    | 1.966   |
| 1993     |          | 0.283   | 2020 | 1.362    | 1.782   |
| 1994     |          | 0.336   | 2021 | 1.430    | 1.717   |
| 1995     |          | 0.773   | 2022 | 1.578    | 1.706   |
| 1996     |          | 1.226   |      |          |         |
| 1997     |          | 1.441   |      |          |         |
| 1998     |          | 1.516   |      |          |         |
| 1999     |          | 1.557   |      |          |         |

ノミナル CPUE、標準化 CPUE は平均値が 1 となるよう規格化した値。

表 3. 金華山～房総海区のベストモデルにおける各海域の面積比

| 金華山  | 常磐   | 房総   | 全海区計 |
|------|------|------|------|
| 0.20 | 0.47 | 0.33 | 1.00 |

各海域に含まれる農林漁区（緯度経度 10 分グリッド）数を集計し海域面積とした。この際、有漁網数が極端に少ない農林漁区は集計から除外した。



付図 1. ベストモデルの最小二乗平均（LSMEAN）より算出した季節、海域ごとの標準化 CPUE のトレンド

縦軸は平均値で除すことで規格化した。月 1、2、3、4 はそれぞれ 1～3 月、4～6 月、9 月、10～12 月を示し、海域 1～3 はそれぞれ金華山、常磐、房総海区を示す。