

沿岸海域における魚類の動態モデルの構築

海洋環境システム学分野 76769 白田慶一郎 (指導教員:多部田茂准教授)

Keywords: 環境選好性、資源量、マダイ、瀬戸内海東部海域、温暖化

1 緒言

現在、乱獲や気候変動、海洋汚染によって漁業資源は危機的な状況にあるとされている。魚類資源の変化は、海洋生態系を劣化させるだけでなく、世界規模で水産物消費が浸透した昨今においては食糧供給と経済の安定性を揺るがす可能性がある。

人間活動のインパクトを強く受けている魚類に対して、持続可能な資源利用と海洋環境の保全は喫緊の課題であり、生態系全体の多様性と保全を考慮した資源管理や予防的原則に基づく順応的漁業管理が求められている。これらの実現のためには、生態系モデルの枠組みの中で、広域かつ長期への適用及び詳細な時空間解析が可能な魚類の資源量推定ツールが必要となる。しかし、沿岸海域における魚類に対してこのようなコンセプトに基づくシミュレータは確立されていない。

そこで、本研究では、生活圏と生活史の大部分をカバーし、なおかつ局所的、瞬時的な環境変動に応答できる時空間解像度をもつ、沿岸性魚類の動態モデルを構築する。マクロとミクロの時空間スケールを併せ持つこのモデルは、全球的な海水温変動からローカルな環境変化まで対応でき、資源管理や環境影響評価において有効であると考えられる。

本研究の対象魚種は、マダイ瀬戸内海東部系群である。同系群は、生息環境の悪化によって資源量が大幅に減少した過去を持ち、現在においても赤潮や貧酸素水塊の影響を受けている。また、0~1歳の若齢魚が漁獲の大部分を占める成長乱獲が指摘されて

おり、資源管理の上で深刻な問題となっている。さらに、近年、瀬戸内海東部海域では温暖化に伴う環境の変化が懸念されている。そのため、同系群を対象とした動態シミュレーションを行うことは環境影響及び資源管理の両面において意義があり、本研究ではこの観点から対象魚種に選定した。

2 魚類の動態モデル

本研究で構築した魚類の動態モデルは、行動、成長、減耗のモデルから構成される。

2.1 行動モデル

行動による時間更新は次式で定義される。

$$F^{t+1} = \sum_i^I \left(F^t \cdot \frac{P_i^*}{\sum_i^I P_i^*} \right) \quad (1)$$

ここで、 F^t は時刻 t における魚類の量、 I は移動可能地点数、 P_i^* は地点 i における複合選好強度である。すなわち、魚類は複合選好強度に比例して配分される。移動可能地点は現在地と隣接 4 地点とし、移動時間間隔は年齢別の体長から決定される。

複合選好強度は次式で表す (関根 [1])。

$$P^* = \prod_j^J P_j \quad (2)$$

J は環境条件の因子数、 P_j は因子 j についての選好強度 (0~1) である。本研究では、水温、塩分、溶存酸素、餌量を選好因子とし、それぞれ以下のように選好強度を設定する。

水温 12 以下ならば 0、最適水温ならば 1、30 以上ならば 0 とし、関数型は最適化により決定する。最適水温はマダイの最終選好温度より 25.3 とする (土田 [2])。

塩分 生息適性下限塩分量 31.5 ‰未滿ならば 0、それ以上ならば 1 と定める。

溶存酸素 生残に関する実験値より、飽和度 44 % 以下ならば 0、それより大きければ 1 とする。

餌量 マクロベントス個体数の関数として設定し、関数型は最適化により決定する。なお、摂餌の温度依存性より、15 未滿では餌環境選好性はなくなるとする。

2.2 成長モデル

魚類の成長は、von Bertalanffy の式 [3] に温度応答関数を追加して次式で表す。

$$\frac{dW}{dt} = (k \cdot W_{max}^n \cdot W^{1-n} - k \cdot W) \cdot p \cdot \sigma(T) \quad (3)$$

ここで、 W は魚類の湿重量、 k は成長速度係数、 W_{max} は理論式上の最大重量、 n は重量係数、 p はフィッティングパラメータ、 $\sigma(T)$ は温度応答関数である。フィッティングパラメータは最適化によって、それ以外のパラメータは瀬戸内海東部系群の成長式 (島本 [4]) によって決定する。温度応答関数は、最終選好温度を頂点とするドーム型の関数として図 1 に示すものを使用する。

2.3 減耗モデル

減耗モデルには、次式の個体群動態モデルを使用する。

$$\frac{dN}{dt} = -(m + f) \cdot N \quad (4)$$

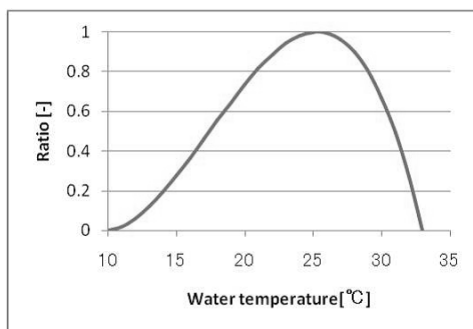


図 1 マダイの成長の温度応答関数

ここで、 N は魚類の尾数、 m は自然死亡係数、 f は漁獲死亡係数を表す。自然死亡係数は資源評価の値を使用し、漁獲死亡係数は最適化によって決定する。また、漁獲死亡係数は漁獲データによって月毎に重み付けをする。

3 魚類の動態シミュレーション

3.1 計算条件

瀬戸内海東部系群の未成魚期 (0 ~ 2 歳) を対象とし、8 月から計算を開始する。環境条件は、観測によるマップデータあるいは物理・生態系モデルにより作成されたデータを使用する。初期分布は資源評価における 2004 年の加入量 (尾数) を幼魚成育場に均等に配分し、初期体重は同系群の成長式より算出した。

3.2 モデルの検証

行動 漁期を考慮した上で、主漁場と一致するようにパラメータを設定した。その結果、マダイ未成魚の分布と移動には水温の影響が相対的に大きいことが示唆された。また、行動シミュレーションでは、索餌回遊と越冬回遊の様子を比較的良好に再現した。

成長 体重について同系群の成長式との最小二乗評価関数を定義し、黄金分割法を用いてパラメータ最適化を行った。その結果、個体重量の経時変化は定量的に妥当なものとなった。また、温度応答関数により、観測結果に見られるような季節変動 (摂餌期の成長と越冬期の停滞) を捉えることができた。

減耗 漁獲尾数について資源評価との最小二乗評価関数を定義し、黄金分割法を用いてパラメータ最適化を行った。本研究で得られた年齢別の漁獲死亡係数は、資源評価において推定されている値の範囲に概ね収まっており、妥当性が示された。また、主漁期である秋季に強い漁獲圧を受け、資源尾数が減少する様子を再現できた。

3.3 資源量シミュレーション

行動、成長、減耗を統合して瀬戸内海東部系群の資源量シミュレーションを行った。その結果を図 2 に示す。ここで、経時変化は 2004 年加入群の資源量を追跡したものであり、月平均分布は計算開始から 2 年後における未成魚 (0~2 歳) の資源分布である。

シミュレーション結果は、資源評価の水準を捉えられており、主漁場を中心に分布していたことから、動態モデルの妥当性が検証された。また、個体成長と漁獲の影響を受けて資源量が季節変動すること、行動に伴って資源分布及び密度が夏季と冬季で変化することがわかった。

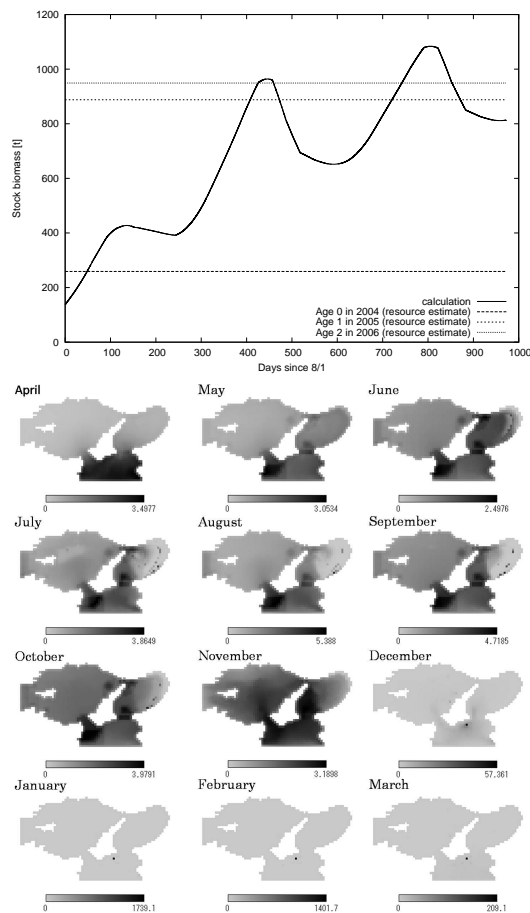


図 2 瀬戸内海東部系群未成魚の資源量
(上:経時変化、下:月平均分布(トン))

4 温暖化の影響予測

4.1 計算条件

近年における平均的な水温の下でのパラメータ値を推定するため、2000~2008 年までの水温の観測データを統計解析し、3.1 で使用した水温に補正を加えた。その後、3.2 と同様の方法でパラメータを最適化し直し、新たに設定された値を用いて、近年の平均的な水温に対して 1.0 及び 1.5 上昇した場合の動態シミュレーションを行った。なお、ここでは水温上昇の直接的な影響を予測するため、水温以外の項目は 3.1 と全く同じ条件とした。

4.2 行動に及ぼす影響予測

平均的な水温時及び水温 1.5 上昇時の行動シミュレーションの結果をそれぞれ図 3、図 4 に示す。ここでは、バイオマスに比例する相対値を使用した。水温上昇の影響として、次の結果が得られた。

- 夏季において紀伊水道の分布が増す
- 冬季の行動範囲が拡大する

冬季の行動範囲が拡大するのは、水温上昇により、行動の下限温度以下になる期間及び領域が少なくなるためである。夏季に紀伊水道の分布が増す理由は次のように考えられる。現時点で、大阪湾や播磨灘の夏季の底層水温は 25 程度であり、水温の選好強度は最大値に近い状態である。しかし、水温が上昇すると、大阪湾や播磨灘の夏季の底層水温はマダイの最終選好温度を超えることになり、選好強度が低下する。一方、紀伊水道の水温は現段階において大阪湾や播磨灘程高くないため、水温上昇によって選好強度が大阪湾や播磨灘と逆転することになる。そのため、夏季における主分布域は大阪湾や播磨灘から紀伊水道に移ることになる。

4.3 成長に及ぼす影響予測

近年の平均水温時 (default)、水温 1.0 上昇時 (TMP+1.0)、水温 1.5 上昇時 (TMP+1.5) の個体重量の変化を図 5 に示

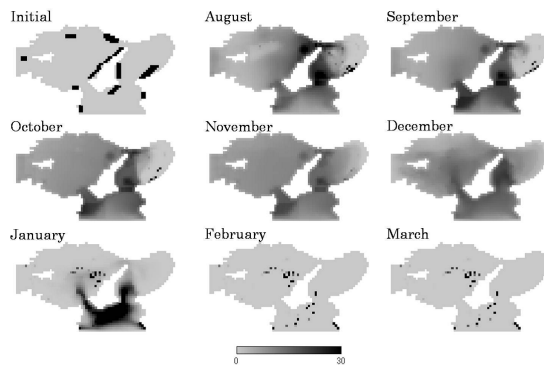


図3 平均水温時の0歳魚仮想量の分布

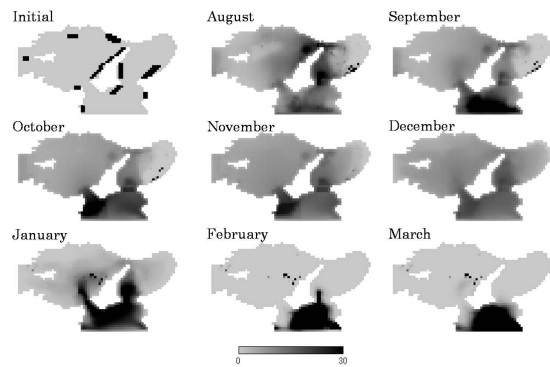


図4 水温1.5℃上昇時の0歳魚仮想量の分布

す。水温が上昇すると、個体重量は現在よりも大きくなるという結果が得られた。これは、水温上昇により冬季の成長停滞がなくなるためである。ただし、0歳魚夏季の体重は、水温上昇時には現在よりも小さくなった。水温が1.5℃上昇した場合、平均水温時と比較して、8～9月の成長率は約4%低下した。この結果は、高水温によってマダイの成長が阻害されることを意味している。

5 結言

本研究では、瀬戸内海東部系群マダイを対象として、行動、成長、減耗から構成される動態モデルの開発を行った。その結果、観測結果の特徴や資源評価の水準と合致する、妥当性のあるモデルを構築することができた。さらに、従来のモデルでは扱うことので

きない資源量の4次元推定が可能であるという本モデルの有効性を示すことができた。なお、本モデルは、選好要素やパラメータ値を変えることで他魚種に適用が可能である。用途に合わせてモデルの仕様を変えることで、幅広い応用が可能なものと考えられる。

また、構築したモデルを使用して、温暖化の影響予測シミュレーションを実施した。その結果、水温上昇は瀬戸内海東部系群の行動と成長に影響を及ぼし、その分布及び個体重量が変化する可能性が示唆された。

今後は、実験及び観測の実施によって、パラメータの推定や動態の時空間データベース化を進める必要がある。加えて、ライフサイクルへの拡張や低次生態系とのシームレスな結合といったモデルの改良も今後の課題である。

参考文献

- [1] 関根雅彦 (2002): 生態系とシミュレーション, 4.2 魚類の選好性モデル, 朝倉書店, pp.124-136
- [2] 土田修二 (2002): 沿岸性魚類の温度選好に関する実験的研究, 海生研報, 第4号, pp.11-66
- [3] Bertalanffy, L. von (1938): A quantitative theory of organic growth, Human Biology, 10, pp.181-213
- [4] 島本信夫 (1999): 瀬戸内海東部海域におけるマダイの資源変動および栽培漁業に関する研究, 兵庫水試研報, 35, pp.43-112

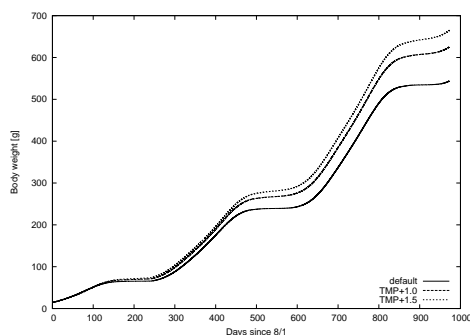


図5 マダイ個体重量の変化