

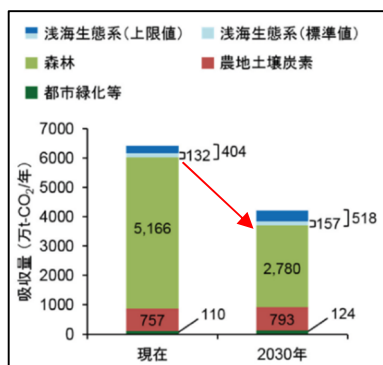
アマモ生長予測モデルによる現存量の面的評価 ～ブルーカーボンのポテンシャル検討に向けて～

エンジニアリング本部 国土創生情報部

林田 健志

1. はじめに

近年 CO₂ 吸収源対策の新しい選択肢としてブルーカーボンが注目されている。ブルーカーボンとは海草や海藻、植物プランクトンなど、海の生物の作用で海中に取り込まれる炭素のことで、今後、高齢化に伴い CO₂ 吸収量が大きく減少する森林に代わり期待されている(図 1)。



参照: 桑江ら(2019)¹⁾

図 1 日本における浅海生態系(ブルーカーボン)と
その他吸収源の CO₂ 吸収量推計値の比較

四方を海に囲まれた日本にとって、ブルーカーボンは CO₂ 吸収源としてのポテンシャルが大きいと考えられている。したがって、藻場現存量を定量的に評価することは、将来的なブルーカーボンの CO₂ 吸収ポテンシャルの評価に役立つと考える。

藻場現存量の定量的な評価には、現地調査や数値モデルでの予測による方法がある。現地調査では、坪刈りなどにより海草を直接採取することで藻場現存

量を把握することが可能であるが、調査の手間や費用などの問題から調査範囲や時期、回数には制限がある。

一方で数値モデルによる予測は、金澤ら(2006)²⁾が大阪湾の東播海岸谷八木地区地先でアマモ場を対象とした生長モデルを構築し、その生長量を定量的に評価している。また、藤崎(2019)³⁾では、東京湾など全国藻場の代表地点を対象に、アマモ生長モデルの予測を実施し、各藻場の現存量を評価するとともに CO₂ 吸収量を試算した。

上記のモデル予測事例は、水温などの生長因子や季節変化を考慮した藻場生長を定量的に予測したが、代表地点での予測評価であり、海域環境の面的な現存量評価までは実施していない。実際のアマモの生長因子である水温・光の分布は場所や水深によって異なるため、藻場現存量の評価には面的な違いを考慮することが望ましい。

そこで本稿では、沿岸生態系モデルにアマモの生長モデルを組み込み、アマモ現存量の面的な予測評価を行った。

2. モデルの概要

本稿では一般的な藻場の代表種であるアマモを解析対象とした。予測モデルは平面 2 次元多層のモデル(潮流・水質)をベースにアマモ生長モデルを組み込み、アマモ現存量を予測した(図 2)。

アマモ生長モデルは、金澤ら(2006)や藤崎(2019)を参考に、地上部(葉状部) + 地下部(地下茎、根部)で表現した。

○地上部(葉状部)の生長式

$$dS/dt = (\mu - trans - rs) \times S$$

$$\mu = MIMAX \times f(L) \times f(T) \times f(N) \times f(S)$$

$$trans = KTRANS \times \mu$$

$$rs = pu_rs \times f_dec(T)$$

$$f_dec(T) = 0.098 \exp[-4.69 + 0.2317T]$$

○地下部(地下茎、根)の生長式

$$dR/dt = trans \times S - rr \times R$$

$$rr = pu_rr \times f_dec(T)$$

地上部の生長式は、 S (gDW/m²)はアマモ地上部の現存量、 t (s)は時間、 μ (1/d)はアマモの生長速度、 $trans$ (1/d)はアマモ地上部から地下部への光合成産物の転送速度、 rs (1/d)はアマモ地上部の呼吸速度である。また、生長速度(μ)は、光制限項($f(L)$)、水温制限項($f(T)$)、栄養塩制限項($f(N)$)、空間制限項($f(S)$)で表現される。なお、栄養塩制限は知見が十分にはないことと、アマモは水中および地下から栄養塩を取り込んでいるため栄養塩制限は他の制限項よりも小さいと考えられることから、藤崎(2019)と同様に本モデルでは栄養塩制限を除外して予測した。

地下部の生長式は、 R (gDW/m²)はアマモ地下部の現存量、 rr (1/d)はアマモ地下部の呼吸速度である。生長式に含まれる各種パラメータを表 1 に示す。最適水温はアマモの分枝・伸長期、開花期にあたる10~20℃程度の範囲とし、現況検証結果が良好な

値を採用した。光量の半飽和定数についても現況検証結果が良好な値を採用した。その他のパラメータについては、金澤ら(2006)や藤崎(2019)の値を参考に設定した。

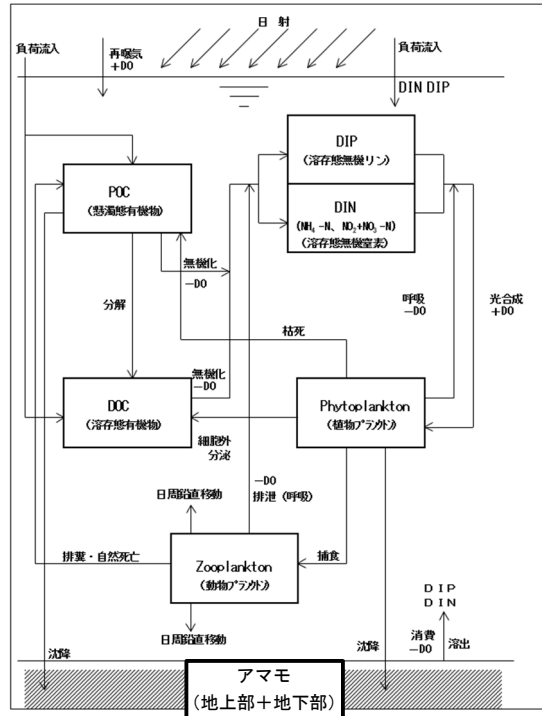


図 2 低次生態系モデルの概要

表 1 生長式の各種パラメータ

パラメータ	値	単位
MIMAX	最大生長速度	0.06 d ⁻¹
KTRANS	地上部から地下部への転送速度	0.25 d ⁻¹
KL	光量の半飽和定数	100 Kcal m ⁻² d ⁻¹
TOPT	最適水温	10 °C
ST	水温に依存する生長係数	6 °C
pu_rs	地上部の呼吸速度	0.025 d ⁻¹
pu_rr	地下部の呼吸速度	0.015 d ⁻¹

3. アマモの現況検証と面的評価

表 2 計算条件一覧

3.1 予測条件

本稿では、予測条件に必要となる潮流、水質などの観測値の公開データが多い東京湾を解析対象とした。予測モデルの鉛直分割層は 10 層、格子幅は 1km とした。予測期間は直近3年間(令和2~4年)とした。気象データは気象観測データ(気象庁)を参考にした。境界水位条件は潮汐調和定数(海上保安庁)を参考に推算潮位の時系列データを設定した。河川流入量は水文水質データベース(国土交通省)を参考にした。流入地点を図 3 に示した。水温、塩分と水質の初期値、境界値は公共用水域水質測定結果を参考に設定した。アマモの初期設定地点は、自然環境保全基礎調査(環境省自然環境局 生物多様性センター)⁴⁾の GIS データを参考に設定した(図 3)。藻場には複数種が混在しているが、本予測では全てアマモと仮定した。

項目	内容及び設定値
地形条件	海図を元に作成
格子幅	1km
鉛直分割	10 層
潮汐境界条件	「日本沿岸潮汐調和定数表:海上保安庁、平成 4 年」の潮汐観測地点(間口)を参考に主要分潮で設定
水平渦動粘性係数	1.0×10^9 (cm/sec)
鉛直渦動粘性係数	0.1(cm/sec)
海底摩擦係数	0.0026
水温・塩分初期条件	公共用水域調査の観測点データを元に設定
水温・塩分境界条件	公共用水域調査の観測点データを元に設定
気象条件	羽田地域気象観測所(気温)および東京管区气象台データ(湿度、日射量、雲量)を参考に設定。 風向・風速は4地点(羽田、千葉、江戸川臨海、木更津)の地域気象観測所の観測値を参考に決定。
計算期間	3年(令和2~4年)

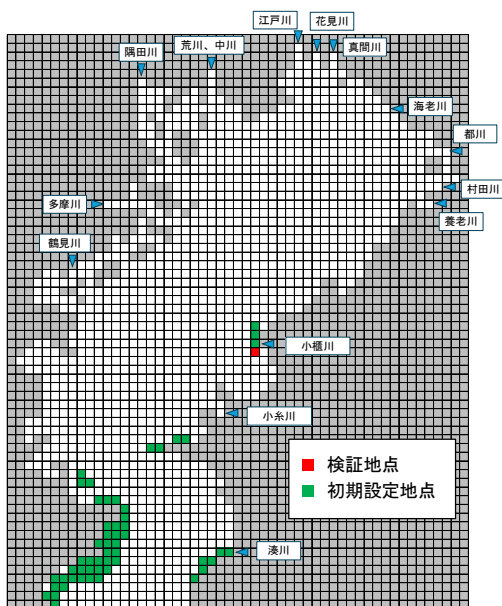


図 3 アマモ初期設定地点(現況)、河川流入地点

3.2 予測結果

まず予測モデルの妥当性確認のため、現況検証計算を実施した。アマモ生長モデルでは、現存量を乾燥重量(gDW/m²)として扱っているが、東京湾での観測値はほとんどないため、金澤ら(2006)による大阪湾沿岸・造成地点の現存量観測値を参考値として採用した。検証地点は、金澤ら(2006)の観測地点とできるだけ条件に近いことが望ましいため、同一水深(平均水深 2.5m)の地点を選定した(図 3 参照)。観測値は造成から3年目の春~夏に 80gDW/m² 程度まで増加するが、本予測でも計算から3年目で同程度の値になっていることを確認できた(図 4)。現存量の時系列結果は、冬から初夏にかけて増大し、夏の終わりから減少しており、一般的なアマモの季節変化と同じ傾向であった。

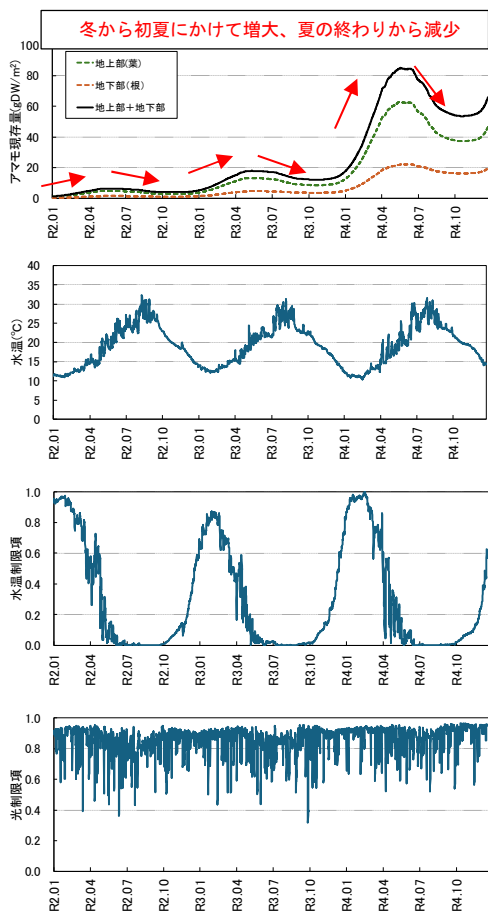


図 4 アマモ現存量、水温、制限項の時系列変化

図 4 に示す光、水温制限項は1に近いほど生長制限が小さく、0に近いほど生長制限が大きい。光制限項については天気の影響と思われる変動が見られるものの年間通して 0.6~0.9 程度であり、生長制限の季節的な大きな変化は見られなかった。一方で、水温制限項については、水温が低い冬季の1~3月頃に制限項が1に近く、生長制限が小さかった。反対に水温が高い夏季の7~9月頃は制限項がほぼ0となり、生長制限が非常に大きかった。よって、本海域のアマモ生長は夏季の高水温が大きく影響してい

ると考えられた。

次にアマモ現存量の面的評価を行った。現存量が最大となる計算3年目6月末の現存量の平面分布図を示した(図 5)。現存量には地点間の差が生じており、湾中央部のほうが湾口部より現存量が大きくなる地点が確認できた。

湾口部と湾中央部の代表地点について、水温と各生長制限項を比較した(図 6)。湾中央部は冬季の水温が少し低いことで水温制限が小さく、また干潟域で水深が浅いことで光制限が小さかった。よって、水温と光条件の両方について、湾中央部のほうがアマモに適した環境であった。

なお、湾口部の初期設定地点でアマモの生長が見られない地点がある理由として、初期地点の参考データにはアマモ以外の優占種の地点も含まれており生長量を正確に予測できなかったことや、1km 格子幅の平均水深では湾口付近の小規模浅場を表現できていないことが原因として考えられた。

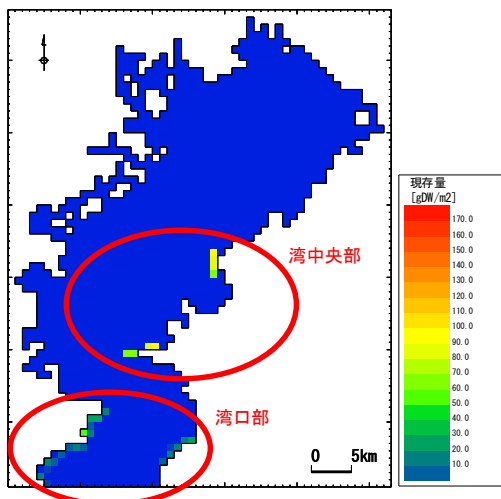


図 5 アマモ現存量の平面分布(現況)

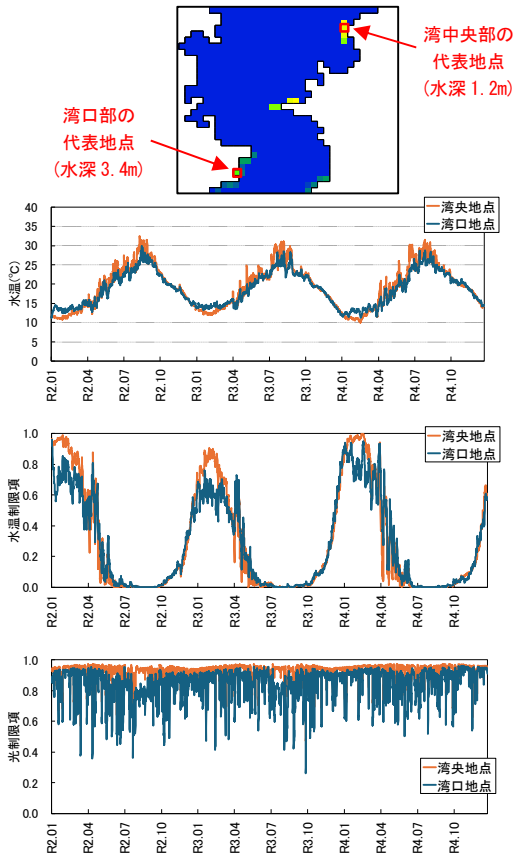


図 6 水温和制限項の地点比較

4. アマモによるブルーカーボンのポテンシャル検討

将来的なブルーカーボンのポテンシャル検討を行った。現況予測では、アマモ初期地点は現況藻場地点としたが、ここではポテンシャル検討のため、将来的な藻場造成の可能性のある適地地点も含めた初期地点を想定し、アマモ初期地点は「適地選定地点」とした。適地選定地点の条件は、赤澤ら(2004)⁵⁾や「アマモ類の自然再生ガイドライン(2007)」⁶⁾を参考に、水温、塩分、光量(水深)の条件を指標とすることで適地選定した。水温条件は8月平均 28℃以下、塩分条件は 17~34(-)が好条件とされている。光量

条件は補償点光量(光合成量と呼吸量が等しくなる光量)となる水深より、生息限界水深は7m程度とされている。本予測では、以上の条件を全て満たす地点を適地選定地点とした(図 7)。湾奥の河口付近は光条件の適地であるが、水温、塩分条件の適地ではないため、アマモ初期地点から除外した。平面分布結果より光、水温の生息条件の地点による違いにより現存量に面的な差が生じており、特に湾中央部の干潟付近の地点は、現況結果での生長要因考察の通り光・水温条件が生長に良好なため、現存量が大きくなったと考えられる(図 8)。

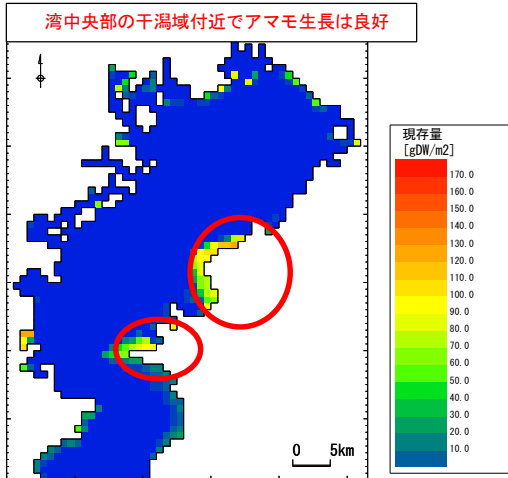
本予測は生長に適した地点を面的に把握することができ、以下の評価が可能であると考え。

- 効果が期待できる適地での生長量を把握し、藻場造成事業の実施地点の優先順位を決めることが可能。
- 同じ適地でも生長量に差が生じている主な要因が水深であるため、今後浅場造成を増やすことにより将来期待できる生長量の予測が可能。

以上のことから、本予測は今後の藻場造成事業におけるブルーカーボンのポテンシャル検討に有効であると考え。



図 7 アマモ初期設定地点(適地選定地点ケース)



5. 今後の課題

予測モデルや予測精度向上などに関する今後の検討課題を以下に示す。

- 現況藻場の現存量の観測値が不足しているため、今後もデータ収集を継続していく必要がある。予測精度向上のため、現地データを採用した現況再現を実施することが望ましい。
- 砂泥性のアマモ以外の岩礁性の大型海藻類などについてもモデル予測が可能か今後検討していく必要がある。
- アマモ生長には、水深(光量)条件の影響が大きいため、詳細検討時には対象地点水深を適切に表現できる格子幅を設定する必要がある。
- 適地選定地点が現況藻場地点となっていない理由として、アマモの種が漂着しにくいことや、底質条件が種の定着や生長に適していないことなど、別の生長制限があると考えられる。造成計画時には適地選定と併せて現地状況に応じた適切な対策(底質改善、種子放流など)を検討して実施することも重要である。

- 将来、地球温暖化による水温上昇が懸念されているが、藻場生長への影響はまだ知見が十分ではない。今後研究の進展に注意したい。

6. おわりに

本予測では、アマモ生長モデルによる現存量予測を実施し、アマモの生長に適した地点を面的に評価した。藻場造成事業の実施地点の優先順位決定や、浅場造成により将来期待できる生長量の予測評価が可能と考えられることから、本予測は今後の藻場造成事業におけるブルーカーボンのポテンシャル検討に有効であると考えられる。

<参考文献>

- 1) 桑江朝比呂ほか「浅海生態系における年間二酸化炭素吸収量の全国推計」(土木学会論文集 B2(海岸工学) 75(1), 2019年, 土木学会)
- 2) 金澤剛ほか「アマモ生長予測モデルの開発と現地検証」(海岸工学論文集 53, 2006年, 土木学会)
- 3) 藤崎実玲「日本沿岸域に分布するアマモ場による二酸化炭素吸収量の試算」(東京大学修士論文, 2019年, 東京大学大学院)
- 4) 「第5回自然環境保全基礎調査(藻場)」(1993年, 環境省自然環境局生物多様性センター)
- 5) 赤澤貴光ほか「藻場による水環境の改善に関する研究」(長崎県衛生公害研究所報 50, 2004年, 長崎県)
- 6) 「アマモ類の自然再生ガイドライン」(2007年, 水産庁)