

第Ⅱ部門

河川水質がマングローブ・海草複合生態系の炭素吸収・固定・貯留機能に与える影響

大阪市立大学工学部

学生員 ○両國 彰人

大阪市立大学大学院工学研究科

正会員 相馬 明郎

1. 研究の背景・目的

近年、海洋生態系が持つ気候変動緩和機能が注目されており、マングローブ生態系や海草生態系は特に高い気候変動緩和機能を有することが指摘されている¹⁾。気候変動緩和を“大気 CO_2 濃度の低下”と定義すれば、この機能は、炭素吸収機能（大気－海洋間での CO_2 ガス交換/マングローブ純生産）→炭素固定機能（吸収した炭素の生物生産による固定）→炭素貯留機能（固定された炭素の堆積物深部への貯留）という一連のプロセスに支配される⁴⁾。一方、河川流入のあるマングローブ生態系・海草生態系での炭素吸収・固定・貯留は、河川水に影響を受けることが指摘されている。Chen et al.²⁾ は、河口域では、河川流入により大気に CO_2 を放出すると指摘した。Kuwaie et al.³⁾ は、河川からの栄養塩流入が大気海洋 CO_2 ガス交換に大きく影響を与えることを指摘した。また、相馬ら⁴⁾ は、沖縄県西表島ユツン海域のマングローブ・海草複合生態系は流入する炭素のうち 69% が河川由来であることを示した。しかし、河川水質がマングローブ・海草複合生態系の炭素吸収・固定・貯留機能に与えるメカニズムは、炭酸平衡・生物生産・流動状況と密接に関連しており複雑である。したがって、そのメカニズムを支配する生物・化学・物理過程は明らかとなっていない。

本研究では、堆積物から水に渡る生態系での、炭酸平衡と生物生産に関わる生物・化学・物理過程を考慮した数理生態系モデルを、マングローブ・海草複合生態系：ユツン海域に適用し、同海域における河川水の感度解析を実施することで、河川水質がマングローブ・海草複合生態系の炭素吸収・固定・貯留機能に与える影響を明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

2.1. 数理生態系モデル

本研究では、河川水の影響を受けたマングローブ・海草複合生態系における浮遊系－底生系の包括的な炭素循環の観点から解析する EMAGIN_B.C._MG・SG⁴⁾ を使用する。図-1 に本モデルで取り扱っている炭素循環を簡略化したダイアグラムを示す。本モデルの特徴

は、河川流入、炭酸系の化学平衡と生物・化学過程の融合、浮遊系と底生系の結合、植物プランクトン、動物プランクトン、底生動物、デトリタス間の食物網、有機物成分の易分解・準易分解・難分解への区分、マングローブ・海草の生理生態がモデル化されている点である。

2.2. 炭酸平衡系と生物生産系

本研究では、海草・マングローブ複合生態系を、溶存態無機炭素（以下 DIC）、全アルカリ度（以下 TA）、pH、水中の二酸化炭素分圧（以下 pCO_2 ）の 4 項目のバランスによって成り立つ“炭酸平衡系”と生物の生命活動による呼吸や純生産などから成り立つ“生物生産系”の 2 つのシステムの視点から、河川水質が炭素吸収・固定・貯留機能に与える影響を評価する。ここで、炭酸平衡系とは、大気海洋間 CO_2 ガス交換（炭素吸収）、炭酸カルシウム溶解（炭素固定）、炭酸カルシウムの埋没（炭素貯留）に影響を与えるシステムである。生物生産系は、マングローブ純生産（炭素吸収）、海草純生産、生物生産・無機化（炭素固定）、POC の埋没（炭素貯留）に影響を与えるシステムである。河川水質のうち、河川 DIC 濃度や河川 TA は海域の炭酸平衡系に直接的に影響を与え、河川 DIN（溶存態無機窒素）や河川 DIP（溶存態無機リン）は、栄養塩流入として海域の生物生産に影響を与えるため、生物生産系に直接影響を与える。炭素吸収・固定・貯留機能は、炭酸平衡系と生物生産系の相乗効果により決定され、EMAGIN_B.C._MG・SG ではこの効果を評価している。

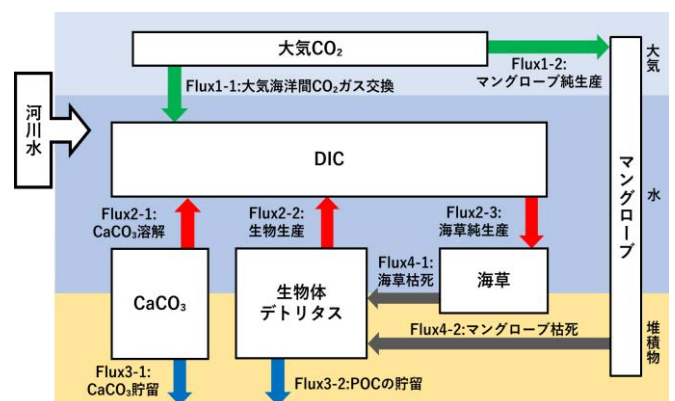


図-1 本モデルの炭素循環に関するダイアグラム
(□：生態系の各要素，→：各要素間の作用)

3. 結果と考察

3.1. モデルの適用と検証

EMAGIN_B.C._MG・SG は、マングローブ・干潟・海草生態系が複合的に存在する沖縄県西表島ユツン沿岸域に適用した⁴⁾。ユツン川における河川水流入量は、流域面積と降水量から河川流入量を計算する貯留関数法を用いて推定した。モデルの検証は、マングローブ生態系、海草生態系における重要なモデル変数とフラックスの年平均値について観測値と計算結果の比較をすることで行われた⁴⁾。検証の結果、計算値は観測値を概ね再現しており、モデルの妥当性が確認された⁴⁾。

3.2. 感度解析—河川水質が複合生態系に与える影響

河川水によるマングローブ・海草複合生態系の（炭素吸収・固定・貯留機能）への影響を評価するために、モデルにおける河川水質のうち、DIC 濃度、TA、DIN 濃度、DIP 濃度の 4 項目をそれぞれ変化させ、感度解析を行った。感度解析は base case を設定し、各項目を 1/4 倍、1/2 倍、1.5 倍、2 倍にした場合と比較することで行った（表-1）。base case の設定値は、世界の代表的な河川の値を平均化したものである。

感度解析の結果、Flux1-1：大気海洋間 CO₂ガス交換、Flux2-1：CaCO₃溶解、Flux3-1：CaCO₃埋没で変化が見られた（表-2）。これは河川水の影響は炭酸平衡系で大きかったことを示している。生物生産系で変化が見られなかったのは、マングローブや海草は堆積物中の栄養塩を主に利用しているからであると考えられる⁴⁾。河川水の影響が大きかった炭酸平衡系の解析結果（ここでは河川 DIC 濃度を変化させた場合のみ）を図-2 に示す。河川 DIC 濃度を base case と比較して高くした場合（case1-3,4）、Flux1-1：大気海洋間 CO₂ガス交換（炭素吸収）は放出の方向に働くことがわかった。また CaCO₃溶解は CaCO₃量を減少させ、CaCO₃埋没量（炭素貯留）を低下させることがわかった。なお、本モデルでは、pH が下降すると、CaCO₃溶解が促進され、TA が上昇する pH 下降の緩衝作用が働き、CO₂ガス放出を抑制することも考慮されている。図-2 において、各 case の pH 変動の幅は河川 DIC 濃度を低くした場合と比較して高くした場合の方が小さくなっている。これは河

川 DIC 濃度を高くした場合のみ CaCO₃の溶解が起こり、pH 下降の緩衝作用を示した結果と考えられる。

4. 結論

本研究の結果から、河川水質は、マングローブ・海草複合生態系の炭酸平衡系に影響を与えた。また、河川水 DIC 濃度の上昇は、海洋から大気への CO₂ガス放出を促進する一方、CaCO₃溶解が pH 低下の緩衝作用として働き、CO₂放出を抑制していた。

表 2 各 Flux の解析結果

○：大きな変化が見られた
×：大きな変化は見られなかった

機能		変化させた項目			
		河川DIC	河川TA	河川DIN	河川DIP
吸収	Flux1-1：大気海洋間CO ₂ ガス交換	○	○	×	×
	Flux2-1：CaCO ₃ 溶解	○	○	×	×
固定	Flux2-2：生物生産	×	×	×	×
	Flux2-3：海草純生産	×	×	×	×
貯留	Flux3-1：CaCO ₃ 貯留	○	○	×	×
	Flux3-2：POCの貯留	×	×	×	×

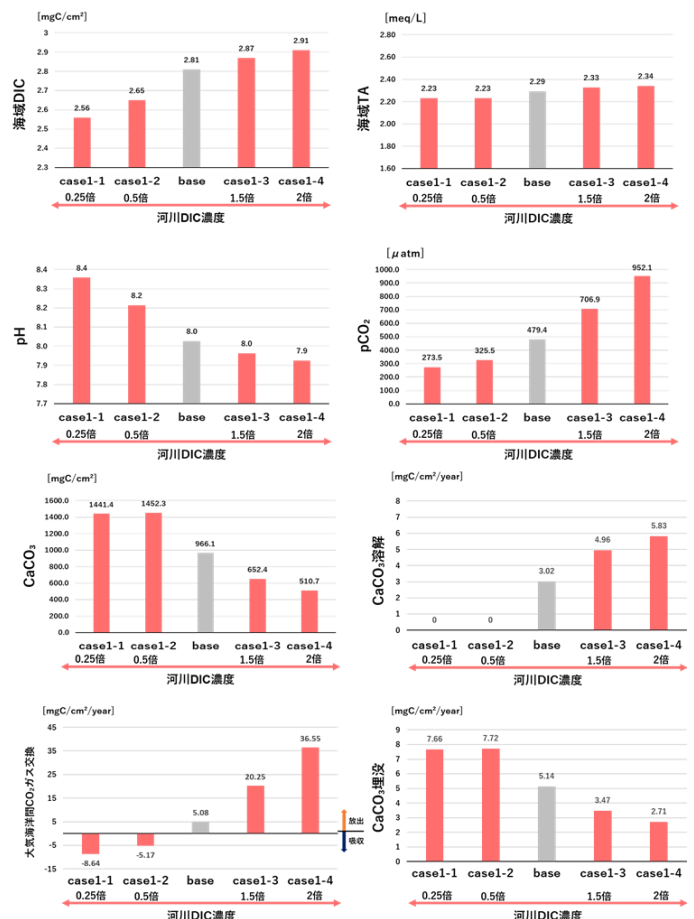


図 2 炭酸平衡系の解析結果
(河川 DIC 濃度を変化させた場合)

参考文献

- 1) Murray, B.C., Pendleton, L., Jenkins, W.A., & Sifleet, S. (2011). Green payments for blue carbon: economic incentives for protecting threatened coastal habitats. Green payments for blue carbon: economic incentives for protecting threatened coastal habitats.
- 2) Chen, C.T.A., Huang, T.H., Fu, Y.H., Bai, Y., & He, X., 2012. Strong sources of CO₂ in upper estuaries become sinks of CO₂ in large river plumes. Current Opinion in Environmental Sustainability, 4 (2), 179-185.
- 3) Kuwae, T., Kanda, J., Kubo, A., Nakajima, F., Ogawa, H., Sohma, A., & Suzumura, M., 2016. Blue carbon in human-dominated estuarine and shallow coastal systems. Ambio, 45 (3), 290-301.
- 4) 相馬明郎, 小西風人, 戸田慎治, 名倉亮太, 洗木尚, 茂木博国, 桑江朝比. 2020. マングローブ・海草複合生態系による気候変動緩和のメカニズム—数値モデル解析—.土木学会論文集 B2 (海岸工学), VOL. 76, No. 2

表-1 各 case の解析パターン

	1/4倍	1/2倍	base	1.5倍	2倍
河川DIC	case1-1	case1-2	base	case1-3	case1-4
河川TA	case2-1	case2-2	base	case2-3	case2-4
河川DIN	case3-1	case3-2	base	case3-3	case3-4
河川DIP	case4-1	case4-2	base	case4-3	case4-4