

第Ⅱ部門

底生生態系が大気-海洋間のCO₂吸収・放出に与える影響

大阪市立大学工学部

学生員 ○岡田 大知

大阪市立大学大学院工学研究科

正会員 相馬 明郎

1. はじめに

海洋は大気 CO₂ の吸収源であり、気候変動の緩和に寄与する事が知られている。国連環境計画(UNEP)は、生物生産性の高い沿岸域は、面積が海洋全体の約 2.7%ではあるものの、堆積物の炭素貯留量は海洋全体の約 80%を占めるなど、高い炭素隔離・貯留機能を有する可能性を指摘した¹⁾。こうした中、沿岸域の炭素隔離・貯留機能に影響を与える大気-海洋間 CO₂ フラックスに関して、フラックスの大きさや向き(吸収/放出)、またそれらを決定する支配的要因の解明が、観測や数理モデルによって試みられてきた。既往研究では、大気-海洋間 CO₂ フラックスには pH, DIC(溶存無機炭素), TA(全アルカリ度)、植物プランクトンの光合成など様々な要因が影響を与えていると推察されている²⁾³⁾。また、浮遊生態系の炭素循環は底生生態系の影響を大きく受けると考えられるが、底生生態系が大気-海洋間 CO₂ フラックスに与える影響は明らかになっていない。

本研究では数理モデル EMAGIN-B.C⁴⁾を東京湾に適用し、底生生態系が大気-海洋間 CO₂ フラックスに与える影響を明らかにすることを目的とする。

2. 大気-海洋間 CO₂ フラックスのモデルでの表現

本モデルにおける大気-海洋間 CO₂ フラックスの取り扱いとは以下の通りであり、その概略を図2に示す。

1) 大気-海洋間の CO₂ 吸収・放出

大気-海洋間 CO₂ フラックスは、海洋から大気に放出される方向を正として、以下の式で表される。

$$F = kK_0(pCO_2 - pCO_{2\text{air}}) \quad (1)$$

ここで、 k は風速の関数、 K_0 はヘンリー定数、 pCO_2 は海洋中の二酸化炭素分圧、 $pCO_{2\text{air}}$ は大気中の二酸化炭素分圧を示し、 k , K_0 , $pCO_{2\text{air}}$ は実測値・文献値から設定した。

2) 炭酸化学理論

海洋の pCO_2 は、DIC, TA, pH の 3 つのうち 2 つの値が決まれば定まる。本モデルでは、タイムステッ

プ毎に DIC と TA を求め、DIC, TA から pCO_2 , pH の値が求められる。

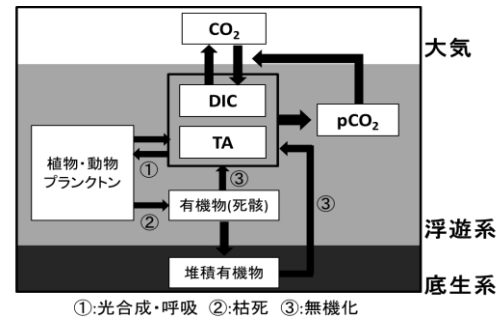


図2: 本モデルでのCO₂フラックスの取扱いの概略

3) DIC, TA の生物・化学過程による生成・消費

DIC, TA は植物プランクトンの光合成・呼吸、動物プランクトンの呼吸、有機物の無機化、硝化、還元物質の酸化等の生物・化学過程により生成・消費が行われる。

3. 底生系における DIC, TA の生成消費速度

上述した通り、海洋の pCO_2 は DIC, TA の生物・化学過程による生成消費によって変動する。ここでは、底生系における DIC, TA の生物・化学過程による生成・消費を解析し、浮遊系表層、底層における DIC, TA の生成・消費と比較を行った。また解析期間は生物代謝が活発な 8 月とした。図 3 に浮遊系表層、底層、底生系における DIC, TA の生成・消費の 8 月平均値を示す。DIC の生成・消費をみると、浮遊系表層では $0.027 \mu\text{gC}/\text{cm}^3/\text{hr}$ の消費、底層では $0.0017 \mu\text{gC}/\text{cm}^3/\text{hr}$ の生成、底生系では $0.016 \mu\text{gC}/\text{cm}^3/\text{hr}$ の生成であった。また TA の生成・消費をみると、浮遊系表層では $0.075 \text{ meq}/\text{L}/\text{hr}$ の生成、底層では $3.8 \text{ meq}/\text{L}/\text{hr}$ の消費、底生系では $5.4 \text{ meq}/\text{L}/\text{hr}$ の生成であった。これらの結果より、8 月の底生系において DIC, TA は共に生成していた。また、底生系、浮遊系の生成・消費を“絶対値”で比較すると、底生系は浮遊系と同程度の値を示した。特に TA に関しては、底生系の値が浮遊系より 1.4~72 倍程度大きいことが示された。

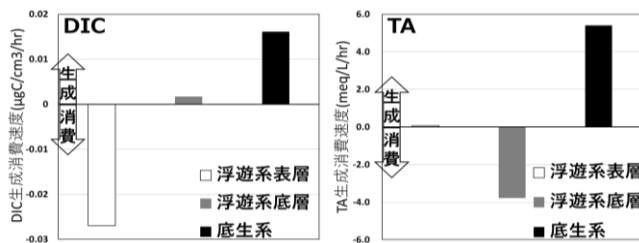


図3: DIC, TAの生成・消費の比較(8月平均値)

4. 底生系における DIC, TA の生成・消費要因

次に, 8月の底生系における DIC, TA の生成・消費の要因(内訳)を解析した. 図4に解析結果を示す. DICの生成・消費をみると, 底生系における生成 $0.016 \mu\text{gC}/\text{cm}^3/\text{hr}$ のうち, 堆積有機物の嫌氣的無機化による生成は $0.015 \mu\text{gC}/\text{cm}^3/\text{hr}$ であった. また, TA の生成・消費をみると, 底生系における生成 $5.4 \text{ meq}/\text{L}/\text{hr}$ のうち, 堆積有機物の嫌氣的無機化による生成は $5.7 \text{ meq}/\text{L}/\text{hr}$ であった. これらの結果から, 底生系における DIC, TA 生成の主要因は堆積有機物の嫌氣的無機化であることが示された.

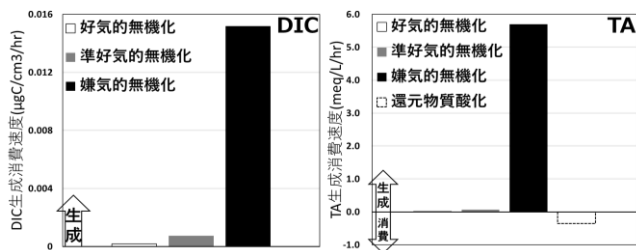


図4: 底生系における8月のDIC, TA生成・消費要因

5. 底生系における DIC, TA 生成・消費の感度解析

底生系における DIC, TA の生成・消費が, 大気-海洋間 CO_2 フラックスに与える影響をみるため, 底生系の①DICの生成・消費を0にした場合(ケース1: DIC感度解析), ②TAの生成・消費を0にした場合(ケース2: TA感度解析)の大気-海洋間 CO_2 フラックスを解析し, ③通常計算(Control ケース)と比較した. 図5にケース1, ケース2, Control ケースにおける大気-海洋間 CO_2 フラックスの1年間の変動を示す. なお, 図5に示した3ケースは, いずれも生態系全体が年周期定常状態(気象条件等の外生変数を1年周期関数で与え, 生態系が1年周期で元に戻る状態)に達するまで計算したものである.

(1)DIC 生成・消費の感度解析(ケース1)

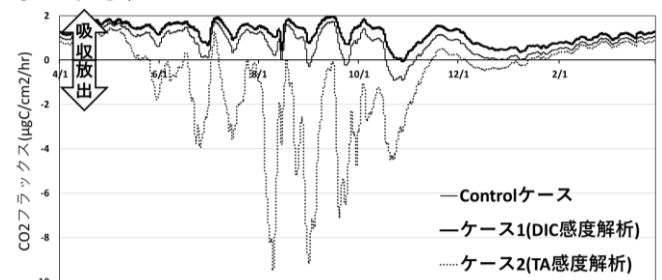
Control ケースでは, 大気-海洋間 CO_2 フラックスは年平均で $0.77 \mu\text{gC}/\text{cm}^2/\text{hr}$ の吸収に対し, ケース1では $1.14 \mu\text{gC}/\text{cm}^2/\text{hr}$ の吸収に変化した. これより, 底生系における DIC 生成は CO_2 吸収量を 32.5%減少

させると示された.

(2)TA 生成消費の感度解析(ケース2)

Control ケースでは年平均で $0.77 \mu\text{gC}/\text{cm}^2/\text{hr}$ の吸収に対し, ケース2では $0.93 \mu\text{gC}/\text{cm}^2/\text{hr}$ の放出に変化した. これより, 底生系における TA 生成は CO_2 吸収の方向に働くことが示された.

(1), (2)をまとめると, 底生系における DIC の生成・消費を0にすることで大気-海洋間 CO_2 フラックスは年平均値で Control ケースより $0.37 \mu\text{gC}/\text{cm}^2/\text{hr}$ 吸収の方向に変化し, TA の生成・消費を0にすると $1.7 \mu\text{gC}/\text{cm}^2/\text{hr}$ 放出の方向に変化した. 東京湾における CO_2 吸収速度は年平均値で $0.77 \mu\text{gC}/\text{cm}^2/\text{hr}$ であるので, 底生系は大気-海洋間 CO_2 フラックスに大きく影響していると考えられる. また TA 感度解析の際の大気-海洋間 CO_2 フラックスの変化量は, DIC 感度解析の際の変化量より 4.6 倍大きい. このことより, 底生系の中でも特に TA 生成消費は沿岸域の大気-海洋間 CO_2 フラックスを考える上で非常に重要な要因であると示された.

図5: 感度解析における CO_2 フラックスの応答

6. 結論

- ・8月の底生系 DIC, TA 生成消費を解析し, 底生系における TA 生成は, 浮遊系における生成・消費より大きいことが示された.
- ・8月の底生系における DIC, TA 生成は堆積有機物の嫌氣的無機化によるものが大きいと示された.
- ・底生系 DIC, TA 生成消費について感度解析を行い, 底生系における DIC, TA 生成が大気-海洋間 CO_2 フラックスに大きく影響を与える可能性が示された.
- ・特に底生系での TA 生成は, 大気-海洋間 CO_2 フラックスに重要な要因であることが示された.

参考文献

- 1) UNEP: Blue Carbon The Role of Healthy Oceans in Binding Carbon, 2009.
- 2) 中居瑞貴: 河口域及び湾中央域における大気からの CO_2 吸収・放出メカニズムに関する研究, 大阪市立大学修士論文, 2018.
- 3) Kubo et al: A significant net sink for CO_2 in Tokyo Bay, Scientific Reports 7, 44355, 2017.
- 4) Sohma et al: Modeling a coastal ecosystem to estimate climate change mitigation and a model demonstration in Tokyo Bay, Ecological Modelling 384, pp.261-289, 2018.