

閉鎖性水域において大気から水面に吸収される CO₂ と水草による CO₂ 吸収量の関係解明

Clarification of Carbon Capture by Air-Water Exchange and Submerged Aquatic Vegetation in an Enclosed Water Basin

中山 恵 介
Keisuke Nakayama

1. はじめに

気候変動¹⁾の緩和策の一つとして、水生植物の光合成による CO₂ の貯留（ブルーカーボン）が、世界的に進められている²⁾。ブルーカーボン生態系では、まず大気から水面を通じて水中に CO₂ が吸収され、その吸収されたすべての CO₂ を、水草が吸収していると仮定している。しかし実際には、水中に存在する CO₂ も吸収している可能性が高く、ブルーカーボンによる CO₂ 貯留量は過大に評価されている可能性が高い。しかし過去の研究において、大気中の CO₂ が水草の形成どの程度寄与しているかを検討したものは少なく、その割合については未解明である。その大きな理由の一つとして、水草が存在することにより流動場が複雑化することで、正味の CO₂ の輸送量を推定することが困難となっていることがあげられる。そこで本研究では、ブルーカーボン研究で有名であり研究成果を発信しやすい北海道東部に位置するコムケ湖を対象とし、水草が光合成により成長する際、その何%を大気から CO₂ として吸収しているかを、現地観測および流動解析を用いて解明することを目的とする。

2. コムケ湖と DIC 方程式

2. 1 コムケ湖

北海道北東部に位置するコムケ湖(北緯 44° 15' 30", 東経 143° 30' 290")を研究対象地点とした(図-1)。コムケ湖には自然干潟が形成されており、シギやチドリ、冬季にはオジロワシやオオワシなど多くの野鳥が飛来する自然豊かな汽水湖である。年間 170~180 種の野鳥が観察されており、その約 9 割が渡り鳥である。干潟域に鳥類や餌となる海水性の水生生物が多く、春には干潟域に鳥類や餌となる淡水性の水生生物が多くなる。コムケ湖は、3 つの水域が連結した湖であり、1982 年までは海流の影響により海と面する部分に砂州が広がり、海と隔てられた海跡湖となっていたが、漁場開発事業による掘削により現在の湖口が形成された。



図-1 コムケ湖（国土地理院の標準地図を加工して作成）。

2. 2 DIC 方程式

DIC 方程式とは、水生植物の呼吸による DIC の放出から光合成による DIC の吸収を引いた単位時間あたりの変化量を表す式であり、式(1)のように定義されている。

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}(DIC) = \Delta DIC &= R_A \exp\left(-\frac{E_{aR}}{T_w R}\right) - P_\psi \tanh\left(\frac{\alpha_\psi I}{P_\psi}\right) R_P \exp\left(-\frac{E_{aP}}{T_w R}\right) = -NEP \\ &= NEPR - NEPP \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 DIC ：水深1 mおよび葉長1 mにおける1 m²あたり100シュートある場合の溶存無機炭素($\mu\text{mol kg}^{-1}$)， R_A ：呼吸のパラメータ($\mu\text{mol kg}^{-1} \text{h}^{-1}$)， E_{aR} ：呼吸のための活性化エネルギー($\text{m}^2 \text{kg s}^{-2}$)， T_w ：水温(K)， R ：ボルツマン定数($=1.380649 \times 10^{-23} \text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{K}^{-1}$)， P_ψ ：光合成のパラメータ($\mu\text{mol kg}^{-1} \text{h}^{-1}$)， α_ψ ：光合成のパラメータ($\text{m}^2 \text{s kg}^{-1} \text{h}^{-1}$)， I ：光量子束密度($\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$)， R_P ：光合成のパラメータ， E_{aP} ：光合成のための活性化エネルギー($\text{m}^2 \text{kg s}^{-2}$)， NEP (Net Ecosystem Production)：純生態系生産($\mu\text{mol kg}^{-1} \text{h}^{-1}$)， $NEPR$ ：呼吸の働きによるNEP($\mu\text{mol kg}^{-1} \text{h}^{-1}$)， $NEPP$ ：光合成の働きによるNEP($\mu\text{mol kg}^{-1} \text{h}^{-1}$)である。

DICのパラメータ値は生物や場所によって異なる。本研究では、アマモのパラメータ値を室内実験から推定し、光量子束密度と水温の1時間ごとの変化、さらにアマモの現存量の季節変化を仮定して1年間のDICの変化量を推定する。

3. コムケ湖と DIC 方程式

3. 1 ボックスモデルの構築

コムケ湖に生息するアマモが湖内の DIC に与える影響と藻場において吸収される炭素の吸収量の詳細な内訳を明らかにする。コムケ湖をボックスとし、主要な3つの河川からの流入と潮汐による流入・流出によりボックス内の体積とDICが変化すると考えた（図-2）。

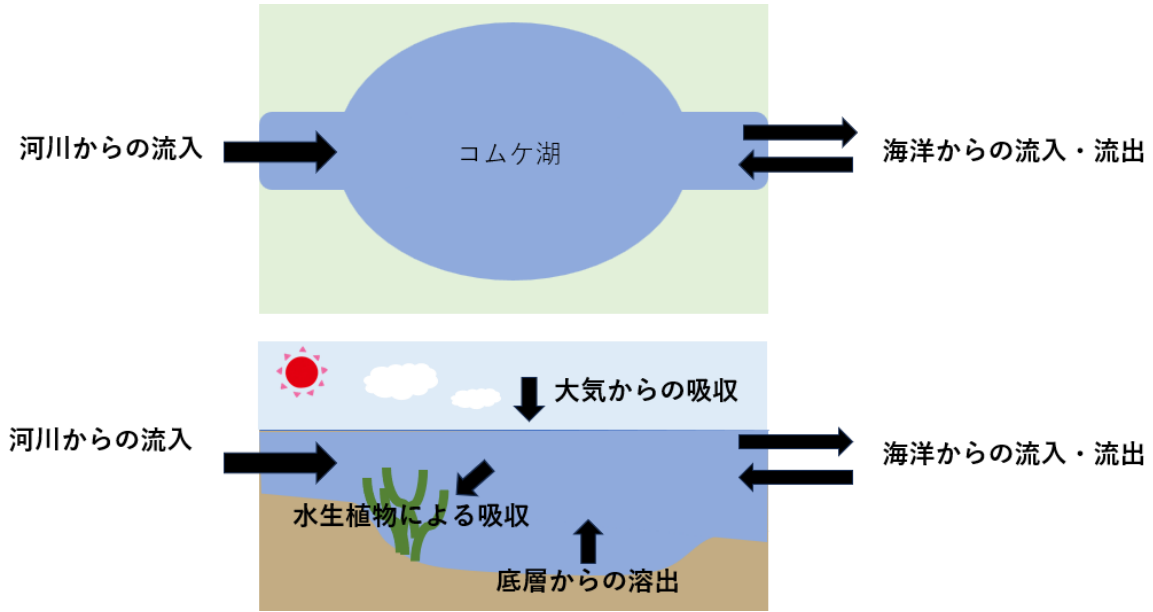


図-2 ボックスモデルの概念図.

湖内のDICの変化は式(62), (3)で示される.

$$\frac{d}{dt}(V \times DIC) = q_{river} \times DIC_{river} + q_{tide} \times \begin{cases} DIC_{ocean} & q_{tide} > 0 \\ DIC & q_{tide} < 0 \end{cases} - NEP \times V_{SAV} + B - Flux \times A_{lake} \quad (2)$$

$$\Delta DIC_{lake}^n = \frac{\frac{d}{dt}(V \times DIC)}{V_{lake}^{n+1}} + \left(\frac{V_{lake}^n}{V_{lake}^{n+1}} - 1 \right) \cdot DIC_{lake}^n \quad (3)$$

ここで, V : 体積(m^3), DIC : 溶存無気炭素($\mu mol\ kg^{-1}$), q_{river} : 河川の流量の合計(m^3), DIC_{river} : 河川のDIC($\mu mol\ kg^{-1}\ h^{-1}$), q_{tide} : 潮汐による体積変化(m^3) (正が流入), DIC_{ocean} : オホーツク海のDIC($\mu mol\ kg^{-1}$), NEP : 2章で推定されたアマモのNEP($\mu mol\ kg^{-1}\ h^{-1}$), V_{SAV} : 水草の体積(m^3), B : 溶出される炭素($m^3\ \mu mol\ kg^{-1}\ h^{-1}$), $Flux$: 大気-海水間CO₂フラックス($m\ \mu mol\ kg^{-1}\ h^{-1}$), A_{lake} : コムケ湖の面積($= 3.8 \times 10^6$)(m^2), DIC_{lake}^n : n のときのDIC($\mu mol\ kg^{-1}$), V_{lake}^{n+1} : $n+1$ の時間での湖の体積(m^3), V_{lake}^n : n の時間での湖の体積(m^3)である. 駒井ら²⁴⁾による2018年の実測値より, 初期値として V_{lake} は $3,333,000\ m^3$, DIC_{lake} は $1800\ \mu mol\ kg^{-1}$ を与える.

3. 2 解析結果

DIC_{lake} は図-3のようになった. アマモがある場合とない場合の差は, 最大で $150\ \mu mol\ kg^{-1}$ であり, アマモがある場合の方がいない場合より DIC_{lake} の値が低いことが確認できた. 1月から6月にかけて値が小さくなり, 12月に向けて値が大きくなる傾向があり, NEPの影響が確認できた. 2018年7月末にコムケ湖内の複数地点で行われた観測では, 湖内のDICの平均値が $1736\ \mu mol\ kg^{-1}$ であった. $NEP \times V_{SAV}$ と $-flux \times A_{lake}$ の値を比較する. 1年間の合計は表-1のようになる.

表-1 $NEP \times V_{SAV}$ と $flux \times A_{lake}$

$NEP \times V_{SAV}$	$1.69 \times 10^3\ t\text{-CO}_2/\text{yr}$
$-flux \times A_{lake}$	$1.93 \times 10^2\ t\text{-CO}_2/\text{yr}$
$(-flux \times A_{lake})/(NEP \times V_{SAV})$	11.4%

大気からコムケ湖の表面に吸収される二酸化炭素の量は $1.93 \times 10^2 \text{ t-CO}_2 \text{ yr}^{-1}$ でアマモ全体の吸収量である $1.69 \times 10^3 \text{ t-CO}_2 \text{ yr}^{-1}$ のうち11.4%の炭素を吸収しており，残り88.6%の大部分の二酸化炭素は河川や海から供給される二酸化炭素であることが明らかになった．

4. おわりに

ボックスモデルを用いて計算した結果，ピークが遅れるなどの改善点はあるものの1年間の湖内のDICの変化を再現することができた．また，コムケ湖内のアマモは吸収する炭素の内の11.4%を大気から，残り88.6%の大部分の二酸化炭素は河川や海から供給していることが明らかになった．ただし，11.4%は最大に見積もった値であり，実際には限りなくゼロに近い可能性があることに注意が必要である．

参 考 文 献

- 1) IPCC: Valerie M.D., Panmao Z, Anna P., Sarah L.C., Clotilde P., Yang C., Leah G.,Melissa I. G., J.B.Robin M., Sophie B., Mengtian H., Ozge Y., Rong Y., Baiquan Z., Elisabeth L., Thomas K. M., Tim W., Katherine L., Nada C. (Eds.): Climate Change 2021 The Physical Science Basis, *Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 8p. 2021
- 2) Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C. M., Valdes, L., De Young, C., Fonseca, L., Grimsditch, G. : Blue carbon, A rapid response assessment, *United Nations Environmental Programme, GRID-Arendal, Norway*, Vol.80, 2009.

著 者

中山 恵介 所員，博士（工学），水工学