

東京湾湾奥部における二酸化炭素収支の変動特性に関する研究 Study on specific characteristics of CO₂ exchange in the head of Tokyo Bay

学籍番号 47-106768
氏名 古屋秀基 (Hideki Furuya)
指導教員 鯉淵幸生 准教授

1. はじめに

近年、温室効果ガスの一つとされている二酸化炭素の濃度が地上で増加することによって地球温暖化が促進されると考えられている。空気中の二酸化炭素は一部海中に吸収されており、海水に溶解した二酸化炭素は植物プランクトン等により吸収され、死骸が海底に堆積することによって炭素が海に取り込まれる。炭素固定と呼ばれるその機構は、地球全体にして年間で約 2.0Gt-C の炭素を大気中から海へ取り込んでいる。これは森林の約 2 倍の量であり、大気中の温室効果ガスの濃度増加を防ぐのに寄与している。しかし、海水温の上昇によって二酸化炭素を吸収する能力の低下が懸念されており、近年では国際的にも研究が進められている。

一次生産力の高い沿岸域は、陸域から排出された二酸化炭素の受け皿になっており、海洋の中でも二酸化炭素の吸収に大きな役割を持っている。しかし、気象庁の太平洋における測定をはじめとして、外洋域における二酸化炭素吸収の監視は盛んに行われているが、二酸化炭素収支の変動が激しい沿岸域に関しては現状として研究が不足している。

本研究では、二酸化炭素収支の変動が把握されていない東京湾の湾奥部において、二酸化炭素の収支を把握、また変動を推定

することでその特徴を明らかにすることが目的である。

2. 方法

(1) 現地観測

図 1 に示す東京湾上の 5 点 (stn99, stn98, stn97, stn13, stn8) を観測点に設定した。また、特に一次生産が盛んになる 5 月から 8 月を中心に月に一度表層の水を採取し、pH、水温、塩分、全アルカリ度 A_t の測定を行った。

(2) 二酸化炭素分圧の算定

二酸化炭素収支をみるには、二酸化炭素の海水中における圧力と空気中の圧力（二酸化炭素分圧）の関係をみる必要がある。

国土地理院承印 平14研東 第149号

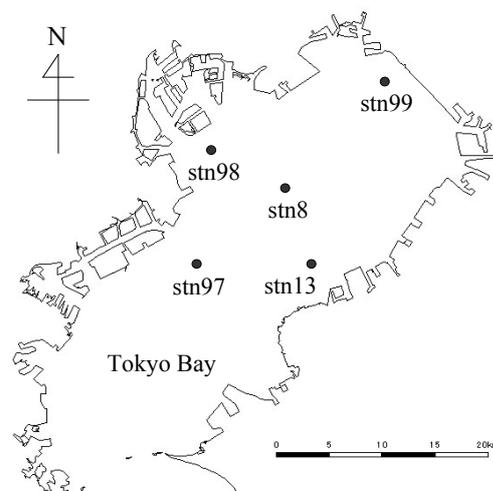


図 1 現地観測地点

以下に海洋中の二酸化炭素分圧 pCO_{2sea} を求める式を示す.

$$pCO_{2sea} = [CO_2^*] / K_o \quad (1)$$

ここに, pCO_{2sea} : 海水中の二酸化炭素分圧 (atm), K_o : 海水における気液平衡のヘンリー一定数 (mol / $\ell \cdot$ atm), $[CO_2^*]$: 海水中の遊離炭酸濃度 (mol / ℓ) である. また, 遊離炭酸濃度は, 測定した指標を用いて次式で求める.

$$[CO_2^*] = \frac{[H^+] A_c / K_1}{1 + 2K_2 / [H^+]} \quad (2)$$

ここに, $[H^+]$: 水素イオン濃度 (mol / ℓ), A_c : 炭酸アルカリ度 (mol / ℓ), K_1, K_2 : 二酸化炭素の第1および第2解離定数 (mol / ℓ) である. 炭酸アルカリ度 A_c は, 測定で求めた全アルカリ度を塩分によって補正したものである.

(3) 二酸化炭素交換量の算定

二酸化炭素交換量を求める式を示す.

$$F = k S (pCO_{2sea} - pCO_{2air}) \quad (3)$$

ここに, F : 二酸化炭素交換量 (mol / $m^2 \cdot$ day), k : ガス交換係数 (m / s), S : 二酸化炭素の溶解度 (mol / $kg \cdot \mu$ atm), pCO_{2sea} , pCO_{2air} : 海水中および空気中の二酸化炭素分圧 (μ atm) である. 式(3)中のガス交換係数 k は風速における影響を考慮した係数となっており, 報告者によって様々な係数の算出方法が提案されている. しかし, どの方法が現実的であるかは明らかにされていないのが現状である. そのため, 本論文では短期風速を用いた式(4)Wanninkhof の式, 式(5)Liss and Marlivat の式の二つを使用して k の値を計

算し交換量を算定した.

長期風速の場合:

$$k = 0.39 \cdot U_{10}^2 (Sc_{20} / Sc)^{1/2}$$

短期風速の場合:

$$k = 0.31 \cdot U_{10}^2 (Sc_{20} / Sc)^{1/2} \quad (4)$$

[風速3.6m/s以下]

$$k = 0.17 \cdot U_{10} (Sc_{20} / Sc)^{2/3}$$

[風速3.6m/sより大きく13m/s以下]

$$k = (2.85 \cdot U_{10} - 9.65) (Sc_{20} / Sc)^{1/2}$$

[風速13m/sより大きい]

$$k = (5.9 \cdot U_{10} - 49.3) (Sc_{20} / Sc)^{1/2} \quad (5)$$

ここに, U_{10} : 海水面より 10m におけるの風速, Sc : シュミット数, Sc_{20} : 気温 20 度におけるのシュミット数である. 交換量の場合は, 正の値は二酸化炭素を海水から大気中へ放出, 負の値は吸収となる.

(4) 二酸化炭素収支変動の推定

各測定項目と交換量との関係を使って時間変動の推定を行った. 本研究では, 実用的に連続測定を行っていて, 交換量と関連をもつ指標として Chl-a の連続測定情報を使う. Chl-a と分圧の関係 (図2) から推定した分圧と, (4)Wanninkhof の式によって算出し交換係数 k によって交換量を連続推定した.

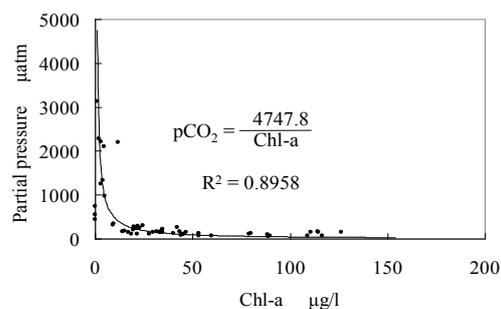


図2 Chl-a と分圧の関係

3. 結果

(1) 二酸化炭素分圧

二酸化炭素分圧の推定結果を、観測点ごとにして図3に示す。2011年の9月および10月のときに著しく高い分圧となった。また、場所ごとの明瞭な差異は見出すことはできなかった。

(2) 二酸化炭素交換量

二酸化炭素交換量の推定結果を示す。尚、算出の際に使った大気中における二酸化炭素分圧は気象庁で測定された月ごとの二酸化炭素濃度をもとに算出した。正に場合は海水中からの放出、負の場合は吸収を表す。

両者を比較した場合、(1)Wanninkhofの式を使用した場合の方が(2)Liss and Marliwatの式を使用した場合よりも交換量の数値が大きくなる。これは、それぞれの式の違いであるガス交換係数 k の違いにより交換量の違いが生じたといえる。Wanninkhofの方法で算出した交換係数は風速に応じて大きくなりやすく、Liss and Marliwatの方法によるものが小さくなりやすくなるため、結果として交換量の大きさに違いが生じた。

また、分圧が大きく出た2011年9月および10月では放出となり、それ以外では基本的に吸収となった。

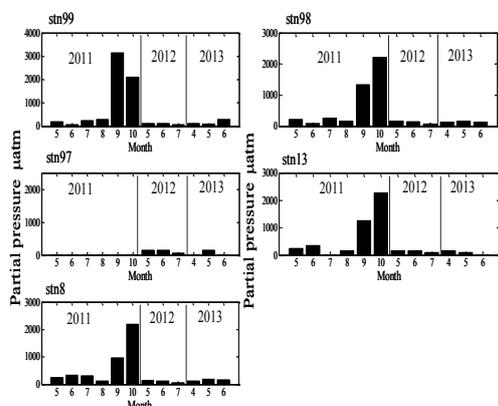


図3 二酸化炭素分圧

なお、2013年6月13日は沿岸部に青潮が発生し、青潮がみられた船橋港も含めて他の観測点においても観測を行った。

(3) 二酸化炭素収支変動の推定

二酸化炭素交換量の推定結果を図6および7に示す。推定には国土交通省関東地方整備局による千葉波浪観測塔において測定された2011年および2012年のChl-aと風速を使用した。変動をみると、全体としては吸収が続いているが、ある程度決まった時期に大きく突発的な放出が起きていることがわかる。

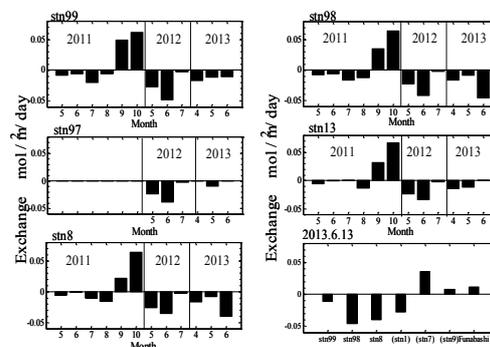


図4 Wanninkhofの式による交換量

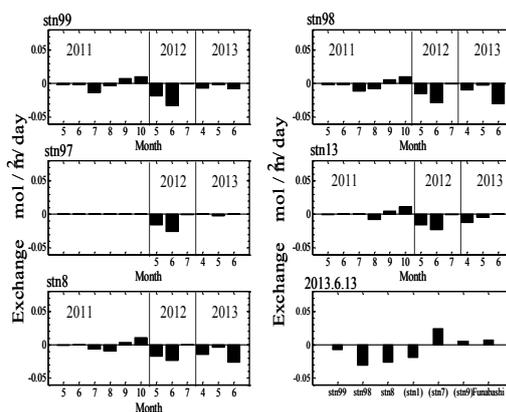


図5 Liss and Marliwatの式による交換量

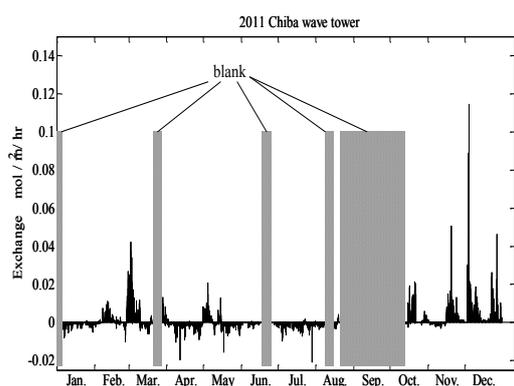


図 6 2011 年の千葉波浪観測塔

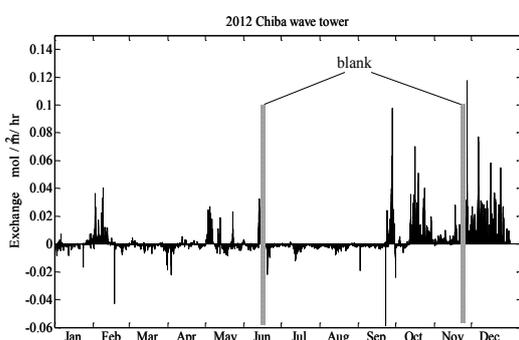


図 7 2012 年の千葉波浪観測塔

4. 考察

まず、二酸化炭素分圧と交換量を比べて、秋口には分圧が高く、放出になっていることがわかる。まず 2011 年 9 月は、その直前において北よりの風が断続的に吹いていたことから、表層の水が北風によって流されて底層の水が湧昇してきたことによるものと考えられる。表層と底層の水塊における二酸化炭素分圧の違いを図 8 に示す。傍線部はその月における大気中の二酸化炭素分圧である。底層の水は大気よりも分圧が高く、これが風の作用によってこれらがもし湧昇すると、大気への放出が起きる。

さらに、収支変動の推定について考える。放出に転じている時期は Chl-a と分圧の関係を使って推定していることから考えると、

Chl-a が著しく低くなっているときは分圧が高くなり放出になる。これは、Chl-a が低く植物プランクトンが少ない場合、光合成によって二酸化炭素濃度を下げる機構、つまり分圧を下げる機構が海水中にないことを表している。そのため低 Chl-a の場合、分圧が高くなると考えられる。

また、収支変動の推定結果から年間収支を算出すると、東京湾からは炭素換算で年間約 155kt-C/yr 放出されていることがわかった。合計の吸収量は 95kt-C/yr であり、放出量は 251kt-C/yr である。

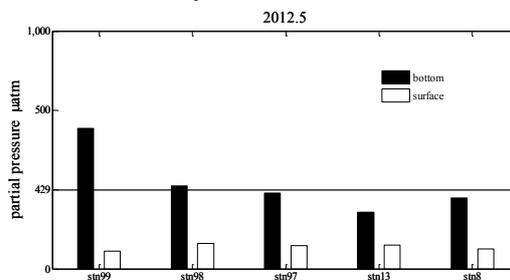


図 8 表層および底層における分圧比較

5. おわりに

年間収支は、東京湾の工業地帯の CO₂ 排出量に比べれば 50 分の 1 と微量であるが、吸収能力は海水温の上昇や放出を引き起こす気象条件の異常化により衰えることが懸念される。今後の継続的な監視が必要であると思われる。

参考文献

- ・田口二三夫・藤原建紀・山田佳昭・藤田弘一・杉山雅人(2009): 沿岸海域のアルカリ度, 沿岸海域研究, 47, pp.71-75.
- ・気象研究所技術報告(2000), 41, pp.5-7.
- ・藤井智康・駒井幸雄・藤原建紀(2011): 大阪湾沿岸域の二酸化炭素の挙動, 土木学会論文集 B2(海岸工学) 67, pp.I_911-I_915
- ・Frank, J. Millero (2006): Chemical Oceanography, 3rd ed., CRC Press, Florida. pp.249-267