

## 1. 研究背景と目的

大気中における CO<sub>2</sub> 濃度の増加が地球温暖化の原因となっており、温室効果ガスの削減策として海の CO<sub>2</sub> 吸収能（ブルーカーボン）が注目されている。特に栄養塩が豊富で基礎生産力が高い都市沿岸域は高い CO<sub>2</sub> 吸収能を有していると考えられており、都市沿岸域における炭素吸収能の把握が望まれている。遠藤ら<sup>1)</sup>は、大阪湾を対象に過去 40 年間におよび水質の統計データを基に大阪湾内の CO<sub>2</sub> の時空間変動特性について明らかにしたが、海域による CO<sub>2</sub> 吸収量の定量評価には至っていない。そこで本研究では、基礎生産力の異なる大阪湾と播磨灘による CO<sub>2</sub> 吸収能の実態を把握することを目的とし、水質の環境統計データを基に CO<sub>2</sub> フラックスを計算して海域の CO<sub>2</sub> 吸収量を推算するとともに大阪湾による CO<sub>2</sub> 削減の貢献度について検討した。

## 2. 研究内容

大阪湾、播磨灘における CO<sub>2</sub> フラックス： $F_{CO_2}$  は表-1 に示す式を用いて求めた<sup>2) 3) 4)</sup>。つまり、式(1)~(7) に示すように  $t$ ,  $S$ ,  $[H^+]$  と  $u_{10}$ ,  $pCO_{2air}$  で計算可能である。 $t$ ,  $S$ ,  $[H^+]$  については、表-2 に示す大阪湾と播磨灘の公共データを用いた。また、 $u_{10}$  は気象庁 GPV 再解析データを、 $pCO_{2air}$  は気象庁が公開しているデータを用いた。ここで、本研究では公開されているデータの都合により 2002 年以降を解析対象とした。

## 3. 研究結果

### 3.1 CO<sub>2</sub> フラックスの空間分布

図-1 に、大阪湾と播磨灘の各観測地点で計算した 2002 年以降の  $F_{CO_2}$  の平均値の空間分布を示す。ここで、正は大気への放出、負は海域への吸収を意味している。大阪湾においては全海域で CO<sub>2</sub> を吸収しており、平均  $14.9 \pm 5.7 \text{ mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$  の吸収となっていた。また湾奥部から湾口部にかけて強い勾配が見られ、北部、北西部、南東部において吸収量が小さい傾向が見られた。一方で播磨灘は吸収源と放出源いずれも確認でき、平均

表-1 CO<sub>2</sub> フラックス： $F_{CO_2}$  の計算式

$F_{CO_2} = k \cdot L \cdot (pCO_{2sea} - pCO_{2air})$	(1)
$k = 0.39 \cdot u_{10}^2 \cdot (Sc/660)^{-1/2}$	(2)
$Sc = 2073.1 - 125.62t + 3.6276t^2 - 0.043219t^3$	(3)
$\ln L = S\{0.027766 - 0.025888(T/100) + 0.0050578(T/100)^2\} - 58.0931 + 90.5069(T/100)^{-1} + 22.294 \ln(T/100)$	(4)
$pCO_{2sea} = (46.29S + 747)[H^+]^2 / [K_1([H^+] + 2K_2)] / L$	(5)
$\ln K_1 = 2.83655 - 2307.1266/T - 1.5529413 \ln T + (-0.2076184 - 14.0484/T) S^{1/2} + 0.08468345S - 0.0065428S^{3/2}$	(6)
$\ln K_2 = -9.226508 - 3351.6106/T - 0.2005743 \ln T + (-0.106901773 - 23.9722/T) S^{1/2} + 0.1130822S - 0.00846934S^{3/2}$	(7)

$k$ : ガス交換係数,  $L$ : CO<sub>2</sub> の溶解度,  $pCO_{2sea}$ ,  $pCO_{2air}$ : 海水と大気中の CO<sub>2</sub> 分圧,  $u_{10}$ : 高度 10m の風速,  $Sc$ : シュミット数,  $t$ : 水温,  $T$ : 絶対水温,  $S$ : 塩分,  $[H^+]$ : 水素イオン濃度,  $K_1$ ,  $K_2$ : 炭酸の化学平衡定数

表-2 解析に用いた水質データの概要

海域	大阪湾	播磨灘
データ (機関)	浅海定線調査 (大阪府環境農林水産総合研究所)	広域総合水質調査 (環境省)
観測地点	20	13
採取層	表層	水下面 0~1 m
期間	2002 年~2016 年	2002 年~2019 年
観測日	年 4 回 (春, 夏, 秋, 冬)	
水質項目	水温, 塩分, pH	

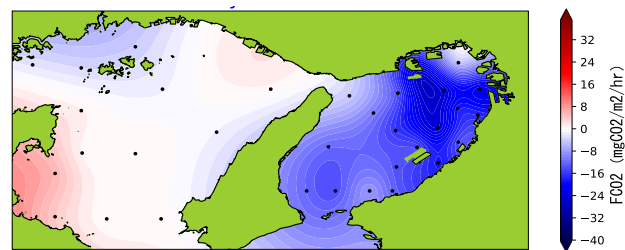


図 1  $F_{CO_2}$  の空間分布 (2002 年以降の平均値)

$0.1 \pm 2.5 \text{ mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$  の放出となっていた。

### 3.2 クラスタ分析による海域区分

大阪湾、播磨灘における  $F_{CO_2}$  の空間特性を明らかにするため、変動特性が類似する海域をクラスタ分析により類型化した。クラスタ分析の結果、図-2 に示すように大阪湾は 4 つの海域、播磨灘は 3 つの海域に

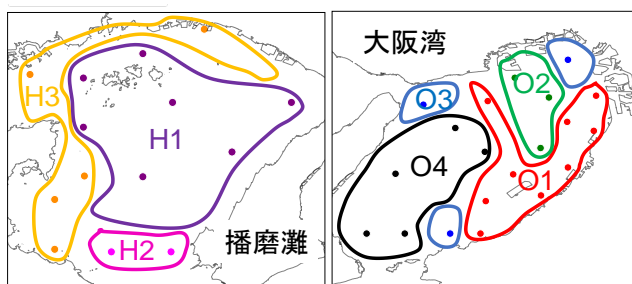


図-2 クラスタ分析による F<sub>CO2</sub> の海域区分

分けることが出来た。また、それぞれの海域で平均した F<sub>CO2</sub> の経年変化を図-3 に示す。播磨灘では海岸線付近の海域：H3 で吸収能は高くなっており、南部の海域：H2 では CO<sub>2</sub> を大きく放出していた。大阪湾では全ての海域においてほとんどの年で F<sub>CO2</sub> が負の値をとっており、湾口部より湾央および湾奥部で吸収能が高い傾向が確認できた。また、近年は吸収能が高くなっていることが分かった。

### 3.3 1日当たりの CO<sub>2</sub> 吸収量

大阪湾と播磨灘の海域区分別の年代平均 CO<sub>2</sub> 吸収量を図-4 に示す。ここで、気象庁で公開されている兵庫県、大阪府における年平均日照時間のデータを参考に、播磨灘では 6.3 時間、大阪湾では 5.6 時間と仮定して 1 日の吸収量に算出した。大阪湾は 2010 年代に 131.8 tCO<sub>2</sub>/day 吸収しており、2000 年代と比較すると 27.9 tCO<sub>2</sub>/day 吸収量が増加していた。一方、播磨灘は 2000 年代で 65.1 tCO<sub>2</sub>/day の放出であったが 2010 年代に 11.4 tCO<sub>2</sub>/day の吸収に転じていた。また、大阪湾と播磨灘でいずれにおいても外海に接している海域で最も吸収量が大きくなっていった。

最後に大阪湾の CO<sub>2</sub> 吸収能の貢献度について評価するため、大阪港で海上出入貨物の輸送に伴う CO<sub>2</sub> 排出量と比較した。大阪市による港湾統計データ<sup>4)</sup>、国土交通省による船舶の輸送量当たりの CO<sub>2</sub> の排出量原単位<sup>5)</sup>を用いて算出すると、海上輸送に伴う 1 日当たりの CO<sub>2</sub> 排出量は約 110.2tCO<sub>2</sub>/day であった。以上のことから大阪湾は、大阪港の貨物輸送に伴う船舶の CO<sub>2</sub> 排出量に相当する CO<sub>2</sub> を吸収していることが分かった。

### 4. 結論

大阪湾では全海域を通して CO<sub>2</sub> を吸収していたのに対して、播磨灘では CO<sub>2</sub> を吸収している海域と放出している海域が存在することが確認された。また、大阪湾

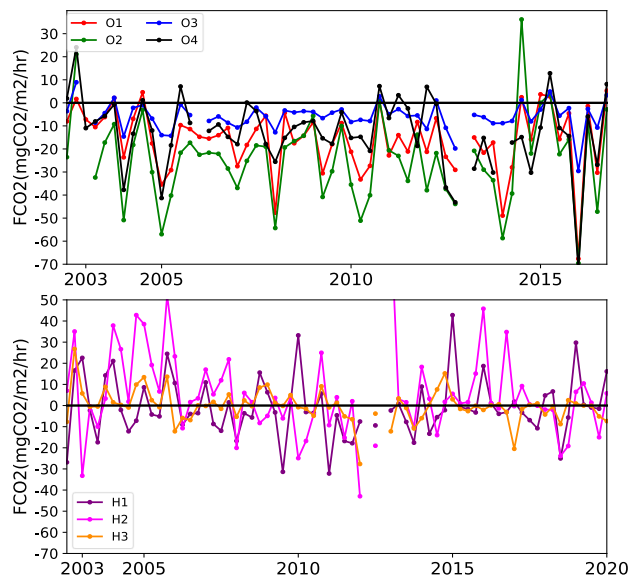


図-3 各海域における F<sub>CO2</sub> の経年変化  
(上図：大阪湾，下図：播磨灘)

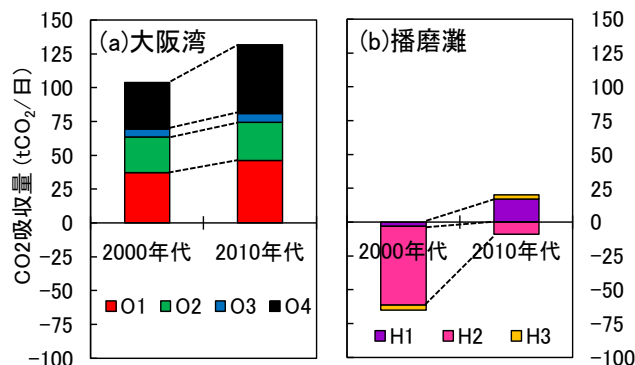


図-4 各海域の CO<sub>2</sub> 吸収量の年代平均値

と播磨灘のいずれの海域も 2000 年以降、CO<sub>2</sub> 吸収能が年々高くなっていることが確認できた。

#### <参考文献>

- 1) 遠藤徹, 中谷健二, 中道優: 大阪湾における CO<sub>2</sub> 分圧の長期変動特性に着目した海域分類に関する研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 77(2), 835-840, 2021.
- 2) 杉本裕之, 平石直孝: 太平洋における大気-海洋間の二酸化炭素フラックス推定手法の開発, 測候時報, 77, 特別号, 159-197, 2010.
- 3) Weiss, R. F. (1974): Carbon dioxide in water and seawater; the solubility of a non-ideal gas, *Marine Chemistry*, 2, 203-215.
- 4) Roy, R.N., et al. (1993): The dissociation constants of carbonic acid in seawater at salinities 5 to 45 and temperatures 0 to 45 °C, *Marine Chemistry*, 44, 249-267.
- 5) 国土交通省「運輸部門における二酸化炭素排出量」, [https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei\\_environment\\_tk\\_000007.html](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html). (参照：2022 年 1 月 24 日)
- 6) 大阪市「港湾統計(年報)」. <https://www.city.osaka.lg.jp/port/page/0000067066.html>. (参照：2022 年 2 月 10 日)