

第Ⅱ部門

大阪湾における 40 年間の表層 CO₂ 分圧の時間変動と海域分布特性に関する研究

大阪市立大学工学部

学生員 ○中道 優

大阪市立大学大学院工学研究科

正会員 遠藤 徹

1. 研究背景と目的

産業革命以降、世界各地で石炭や石油を燃料とした消費活動による大気中の温室効果ガスの増加が地球温暖化の原因となっている。一方、大気中の CO₂ の増加に伴い海水中の CO₂ も増加しており、海洋酸性化や海域の CO₂ 吸収機能の低下などの環境への影響が懸念されるため、大気と同様、海中の CO₂ の動態を把握することが重要である。特に、海中の CO₂ は、物理、生物、化学的作用により時空間的に変動するため、水質に依存すると考えられる。そこで、本研究では水質の空間勾配が大きく、40 年間の水質の観測データが存在する大阪湾を対象として、湾内の CO₂ の時空間変動特性を明らかにすることを目的として、①水質統計データによる大阪湾内の CO₂ 分圧 (pCO₂) の推定、②クラスター解析による大阪湾の pCO₂ 変動パターンの類型化、③他の水質の変動パターンとの類似性について検討した。

2. 研究内容

2.1 解析データ

大阪湾における過去 40 年間の二酸化炭素分圧の実測値は存在しないため、大阪湾浅海定線調査により過去の水質データから pCO₂ を計算して求めた。大阪湾浅海定線調査は大阪湾の栄養塩レベルの変動と漁場環境の把握を目的として、図-1 に示すように大阪府環境農林水産総合研究所(旧 大阪府立水産試験場)が 1972 年から湾内全域 20 地点で水質調査を実施している。本研究では、大阪湾環境情報クリアリングハウスで公開されている浅海定線調査の一般項目(水温、塩分)と特殊項目(pH)の観測値を用いて海水中の pCO₂ 分圧を算出し、時間的変動と空間的分布を明らかにした。本研究では 1975 年から 2016 年の 42 年間における、春:2 月、夏:5 月、秋:8 月、冬:11 月に調査された観測値を用いた。

2.2 海水中の pCO₂ 分圧の算出方法

海水中の二酸化炭素分圧の推定に用いた式を表-1 に示す。海水中の CO₂ 分圧は炭酸化学平衡から式(1)のよ

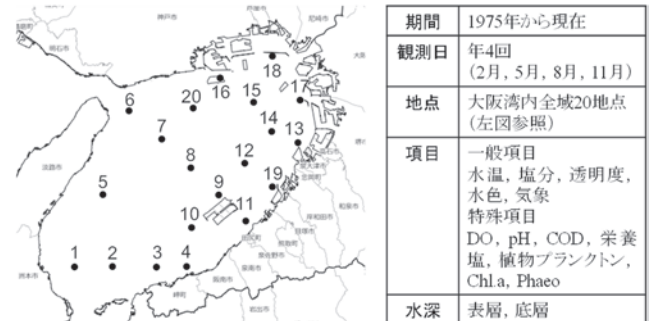


図-1 大阪湾浅海定線調査の概要

表-1 海水中のpCO₂分圧の計算式

$$[pCO_{2w}] = TA \cdot [H^+]^2 / [K_0 K_1 ([H^+] + 2K_2)] \quad (1)$$

$$\ln K_0 = -60.2409 + 93.4517(100/T) + 23.3585 \ln(T/100) + S\{0.023517 - 0.023656(T/100) + 0.0047036(T/100)^2\} \quad (2)$$

$$\ln K_1 = 2.83655 - 2307.1266/T - 1.5529413 \ln T + (-0.2076184 - 14.0484/T) S^{1/2} + 0.08468345S - 0.0065428S^{3/2} \quad (3)$$

$$\ln K_2 = -9.226508 - 3351.6106/T - 0.2005743 \ln T + (-0.106901773 - 23.9722/T) S^{1/2} + 0.1130822S - 0.00846934S^{3/2} \quad (4)$$

$$TA = 46.29S + 747 \quad (5)$$

pCO_{2w}: 水中の CO₂ 分圧, TA: 全アルカリ度, H⁺: 水素イオン濃度, K₀: CO₂ の溶解度, K₁, K₂: 炭酸の化学平衡定数, T: 絶対温度, S: 塩分

うに TA と pH, K₀, K₁, K₂ で推定可能である。K₀ は CO₂ の溶解度で式(2)の Weiss の式²⁾を用いた。K₁, K₂ は炭酸の化学平衡定数で式(3), (4)を用いた³⁾。ただし、式(1)中の TA は観測データがないため、式(5)により塩分から TA を求めた⁴⁾。以上の計算に必要な pH, 水温, 塩分は浅海定線調査の観測値を用いた。

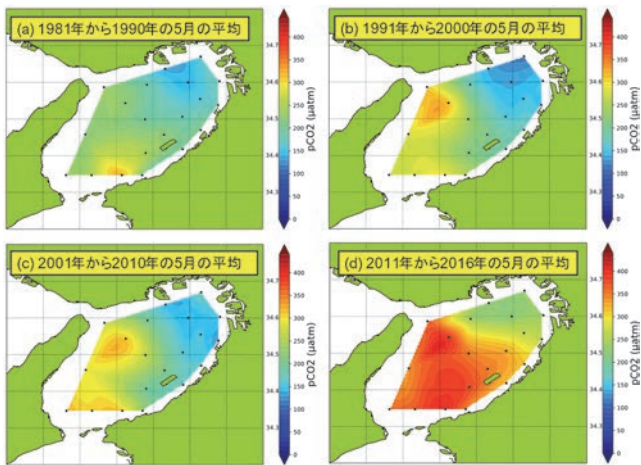
2.3 クラスター解析による海域区分

大阪湾における pCO₂ の空間特性を明らかにするため、変動特性が類似した海域をクラスター解析により類型化した。クラスター解析には、1975 年～2016 年における pCO₂ の経年変化データを用いた。また、解析手法には階層的クラスタリングを選択し、要素間の類似度を計算する際にはワード法を選択した。

3. 研究結果

3.1 各年代における pCO₂ の空間分布

図-2 に、年代ごとに平均した春の pCO₂ の空間分布を示す。大阪湾において pCO₂ は地点毎、年代毎に濃度が

図-2 年代平均した春の $p\text{CO}_2$ の空間分布

異なり 1980 年代から 2010 年代にかけて全体的に 150 ~200 μatm 程度上昇していることが確認できた。

3.2 クラスタ解析結果と海域毎の時間変動

クラスタ解析結果、大阪湾の $p\text{CO}_2$ の変動特性は、図-3 に示すように 4 つの海域 (1, 2, 3, 4) = (地点 13・17~18, 地点 11~12・14~16・19~20, 地点 1・9~10, 地点 2~8) に分けることが出来た。また、海域 1~4 における $p\text{CO}_2$ の経年変化を図-4 に示す。いずれの海域でも $p\text{CO}_2$ は上昇傾向にあるが、トレンドは海域 1 で 1.29 $\mu\text{atm}/\text{年}$ 、海域 2 で 2.12 $\mu\text{atm}/\text{年}$ 、海域 3 で 2.54 $\mu\text{atm}/\text{年}$ 、海域 4 で 2.71 $\mu\text{atm}/\text{年}$ であり、湾奥部から湾口部にかけてトレンドが大きくなっている傾向が明らかとなり、湾口部は湾奥部に比べて約 2.1 倍の速度で $p\text{CO}_2$ が増加していた。また、海域 1 の湾奥部は、他海域に比べ $p\text{CO}_2$ の年変動が大きかった。これは、都市排水の影響により水質の季節変化が大きいことが原因であると考えられる。

3.3 水質指標による海域区分との類似性

水温、pH、DO、COD、Chl.a、TP の時系列データでクラスタ解析した海域区分の結果を図-5 に示す。図-5 より、COD による海域区分が $p\text{CO}_2$ による海域区分と類似性が最も高かった。

4. 結論

過去 40 年間の大阪湾の統計データから、大阪湾では 2.29 $\mu\text{atm}/\text{年}$ の速さで $p\text{CO}_2$ が上昇していることが明らかとなった。また、大阪湾内で変動特性は異なり、その特徴は 4 海域に区分でき、湾奥部ではトレンドが小さく、湾口部にかけて徐々にトレンドは増加し、湾口部では湾奥部の約 2.1 倍であることが明らかとなった。

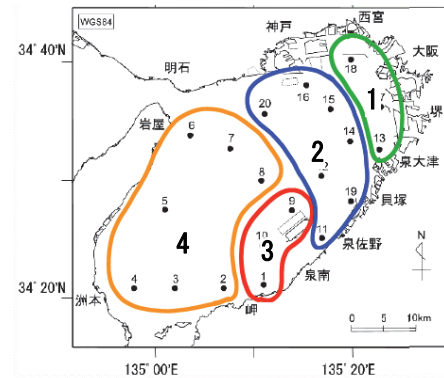
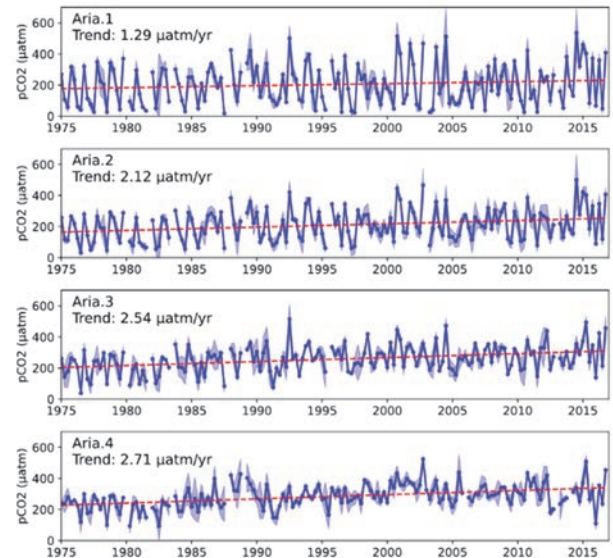
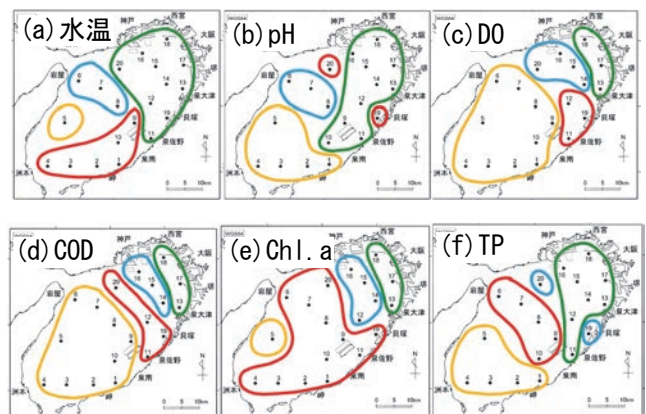
図-3 クラスタ解析による海域区分 ($p\text{CO}_2$)図-4 各海域における $p\text{CO}_2$ の経年変化

図-5 水質項目 6 種のクラスタ解析による海域区分

<参考文献>

- 1) 大阪湾環境データベース「大阪湾クリアリングハウス」, <http://kouwan.pa.kkr.mlit.go.jp/kankyodb/clearinghouse/clearinghouse.aspx>. (閲覧日: 2020-04-20)
- 2) Weiss, R. F. (1974): Carbon dioxide in water and seawater; the solubility of a non-ideal gas, *Marine Chemistry*, **2**, 203-215.
- 3) 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.
- 4) 田口二三生ら (2009): 沿岸海域のアルカリ度, 沿岸海洋研究, **45** (1), 71-75.