

鹿児島湾北部海域の貧酸素水塊形成に対する温暖化影響予測

鹿児島大学大学院 学生会員 ○中園大介
鹿児島大学大学院 正会員 安達貴浩 小橋乃子

1. 目的

2007年に発表されたIPCCの第4次評価報告書において、「気候システムの温暖化には疑う余地がない」との報告がなされている¹⁾。事実、1906～2005年の100年間で約0.74℃の気温上昇¹⁾が観測されており、今後もさらに地球温暖化が深刻化することが懸念されている。このため、種々の項目に対して地球温暖化による影響評価を行うことが必要であるが、我が国の沿岸環境を対象とした温暖化影響予測に関しては研究事例が限られているのが実情である。

以上のような状況を踏まえて、本研究では、地球シミュレータ（全球20kmモデル）による気候変動予測の結果を活用し、鹿児島湾北部海域（図-1）の貧酸素水塊の将来の動態予測を行った。

2. 数値シミュレーションの概要

(1) 密度成層モデルの概要

本研究では、密度成層場の再現のために、安達ら²⁾が構築した鉛直1次元密度成層モデルを用いた。基礎式は連続の式、運動方程式、塩分と水温の移流拡散方程式である（具体形は安達ら²⁾を参考のこと）。なお、適用したモデルは基本的には1次元のボックスモデルであるが、計算領域（鹿児島湾北部海域）と沖側の境界I（西桜島水道、図-1の境界Iに相当）のバロクリニック圧の勾配によって密度流が再現されることになる。このため、境界Iにおいて連続の式と運動方程式が適用される。

(2) 溶存酸素モデルの概要

溶存酸素モデルは、1) 光合成による酸素の生産、2) プランクトンの呼吸による酸素消費、3) デトリタス態有機物の分解に伴う酸素消費といった3つの内部消費過程をまとめて記述した比較的簡易的なモデル^{3,4)}を適用した（安達ら²⁾）。このモデルにより、「冬季において底層のDOが最少となる」という鹿児島湾北部海域における特徴的な底層DOの動態²⁾が定量的にも良好に再現された。

(3) 溶存酸素モデルを用いた過去の再現

将来予測の事前検討として1994年から2000年の7年

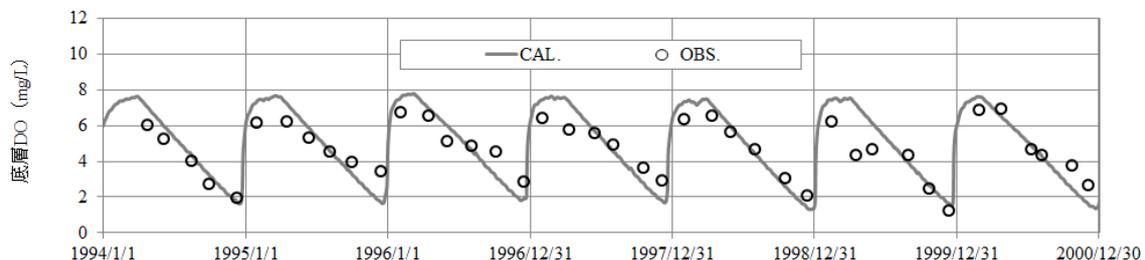


図-2 地点Aにおける底層DOの長期再現計算結果（1994年～2000年）

間を対象に、安達ら²⁾の密度成層モデルや溶存酸素モデルが、長期的なDOの動態予測に適用できるかどうかを検証した。その際、境界I（西桜島水道）での塩分・水温の条件は2009年～2010年の実測値で代用し、さらに年毎の陸域負荷の違いも考慮されていない。

このようにいくつかの仮定を設けているにも拘わらず、数値シミュレーションの結果は、過去の観測結果を比較的良好に再現できることが分かった（図-2）。この結果から、過去のDOの長期変動に対して、境界条件や陸域負荷の年毎の違いの影響は比較的小さく、密度成層の変化が支配的な要因となっていることが確認できる。このため、次に密度成層の変化のみを考慮した以下のような将来予測を行なった。

3. 地球シミュレータのデータを活用した長期将来予測

(1) 全球20kmモデル

気象庁・気象研究所が開発した全球20kmモデルは水平解像度が20kmであり、全球を対象としたモデルの中では高い解像度をもった大気・海洋結合モデルである。

将来の気象データを算出するために想定した予測シナリオはA1B（高度経済成長が続き、世界人口が21世紀半ばにピークに達した後に減少、新技術や効率化技術が急速に導入される未来社会を描いており、化石燃料、非化石燃料のいずれのエネルギー源にも、過度に依存することなく、すべてのエネルギー供給・利用技術の改善度が

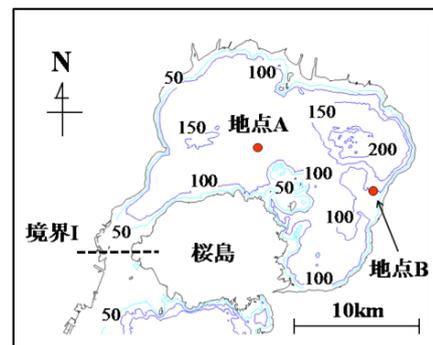


図-1 鹿児島湾北部海域と観測地点（数字は水深）

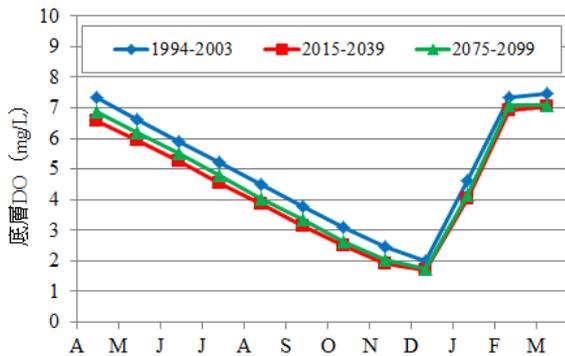


図-3 長期的な気候変動による底層 DO の変化

同じであると仮定している) である。A1B シナリオの下で 1980～1999 年との比較を行うと 21 世紀末 (2090～2099 年) の世界平均気温が約 2.8℃上昇すると予測がなされている⁵⁾。

(2) 気候変動の影響予測の概要

全球 20km モデルの鹿児島湾北部海域に合致する格子点 (1 格子分) での計算結果から与えられる 1) 降水量, 2) 潜熱, 3) 顕熱, 4) 大気放射, 5) 大気への逆放射, 6) 全天日射量の値を用いて, 河川流量と熱フラックスを推定し, 鹿児島湾の密度成層と溶存酸素をシミュレートした。対象期間は, 過去 (1994-2003 年), 近い将来 (2015-2039 年), 遠い将来 (2075-2099 年) の 3 期間である。

(3) 気候変動の影響予測の結果

上記のシミュレーションによって得られた過去と将来に対する計算結果の 1 ヶ月平均値を比較すると, 鹿児島湾北部海域では, 長期的な気候変動に伴って, 密度成層が安定化し, この結果, 底層の DO 濃度が平均的に 0.5mg/L 程度減少するとの予測結果が得られた (図-3)。また, DO 濃度の回復期はほとんど変化しないのに対して, 3mg/L 以下の貧酸素水塊の発生時期が, 将来 1 ヶ月程度早まっており, 結果的に, 貧酸素水塊の形成が長期化するという予測結果が得られた。

(4) 予測結果についての考察

全球 20km モデルから, 将来, 降雨と熱フラックスが増大するという結果が得られているが, これらはいずれも密度成層の安定化の促進に寄与する。そこで, 過去の気象条件をベースとして, 遠い将来の気象条件において降雨のみを変化させた場合, 熱フラックスのみを変化させた場合についてそれぞれ数値実験を行ったところ, 熱フラックスの変化の影響が大きいことが確認できた (図-4)。さらに, 上記の結果に対してどの季節の熱フラックスの変化の影響が大きいのかを評価するために, 特定の季節についてのみ過去の熱フラックスを遠い将来の熱フラックスに変化させる数値実験を行った。その結果, 冬季 (12～3 月) の熱フラックスの増加が, 上記の結果を引き起こしていることが確認できた (図-5)。

以上の結果から, 鹿児島湾北部海域では, 将来予測されている雨季における降水量の増加よりも, 冬季の熱フ

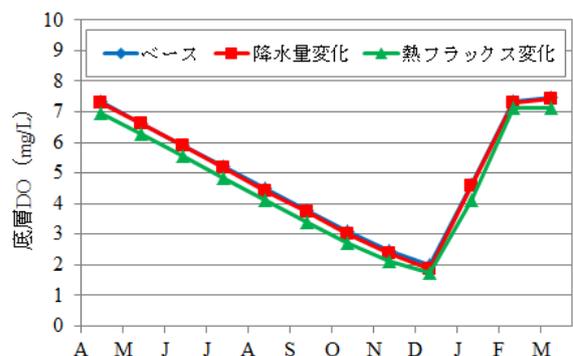


図-4 降水量と熱フラックスの底層 DO への影響

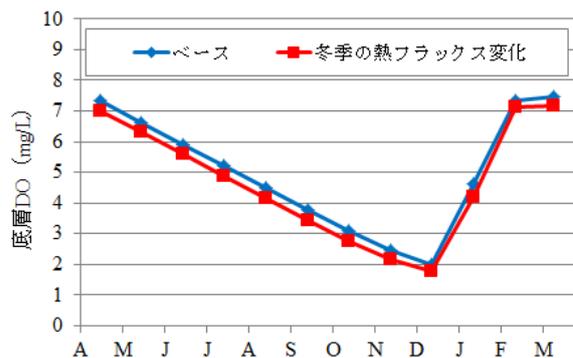


図-5 冬季の熱フラックスの底層 DO への影響

ラックスの増加が底層の溶存酸素の現象に対して大きな影響をもつことが分かった。淡水流入は表層の密度成層形成に対して大きな影響をもつが, 水深の大きな鹿児島湾では底層 DO に対して影響が小さい。一方, 冬季の熱フラックスの増加は鉛直混合能を弱め, この結果, 底層への酸素供給が減少し, 貧酸素水塊の形成が長期化していることが確認された。

4. 結論

本研究では地球シミュレータのデータを活用して, 気候変動に伴う将来の貧酸素水塊の動態について予測を行った。この結果, 冬季の海面熱フラックスが増加し, 底層 DO が減少するという予測結果が得られた。また予測結果では, 平均的な DO 濃度は 0.5mg/L 低下, 3mg/L の貧酸素水塊の発生時期は 1 ヶ月早期化・長期化し, 気候変動の影響はここ数年の年毎の変動以上に大きくなる可能性が示された。

なお, 本研究の結果はあくまでも「予測」でしかなく, しかも適用した密度成層モデルや溶存酸素モデルも改良の余地は十分にある。したがって, 今後, このような予測の精度をより高めるための検討は欠かせない。

謝辞 気象庁・気象研究所には全球 20km モデルのデータを提供して頂きました。ここに深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 環境省: IPCC第4次評価報告書統合報告書概要, 2007.
- 2) 安達貴浩ら: , 水工学論文集, 第55巻, 2011.
- 3) 川崎ら: 沿岸海洋研究, 第48巻, 第1号
- 4) 佐々木ら: 海岸工学論文集, 第40巻, pp1051-1055, 1993.
- 5) 気象庁: 地球温暖化予測情報, 第7巻, 2008.