

重回帰分析による諫早湾内の低酸素水塊の特性

九州大学大学院総合理工学府
九州大学大学院総合理工学研究院
九州大学大学院総合理工学研究院

学生会員 財前亜美
正会員 李 洪源
フェロー会員 松永信博

1. 緒言

1997年に諫早湾干拓事業によって湾奥部が締め切られて以降、有明海の環境悪化と干拓事業との関係が大きな社会問題となっている。諫早湾では夏季において低酸素水塊が頻繁に形成されており、湾内の生態系や水産資源への影響が懸念されているが¹⁾、低酸素水塊の形成要因や経年変化を総合的に調査、研究した例は少ない。本研究では、九州農政局が諫早湾内で測得した水質および風況データを解析し、低酸素水塊の経年変化を調べるとともに、重回帰分析を行うことで底層の溶存酸素（DO）濃度の特性について明らかにする。

2. データ解析

Fig. 1に、農林水産省九州農政局の常時水質観測地点（S1, S6, B3, B4, B5, B6）を示す。九州農政局は、2003年から毎正時に鉛直方向0.5mの間隔で水温、塩分、濁度、クロロフィルa(Chl.a)、溶存酸素(DO)、pHの常時観測を行っている。また、B3地点では毎正時に風向・風速の10分平均値が測得されている。重回帰分析では底層DO濃度に対して、式

$$DO(t) = a \cdot \Delta\sigma(t) + b \cdot T(t) + c \cdot Chl.a(t) + d \cdot W_{NNE-SSW}(t) + e \cdot Tur(t) + f \cdot Depth(t) \quad (1)$$

を、仮定して解析を行った。ここで、 $\Delta\sigma(t)$ は時刻tにおける表層と底層の密度差、 $T(t)$ は底層の水温、 $Chl.a(t)$ は底層のChl.a濃度、 $W_{NNE-SSW}(t)$ は風速のNNE-SSW成分、 $Tur(t)$ は底層の濁度、 $Depth(t)$ は水深を表す。ここで、底層のデータとは、海底面上と海底面上0.5mのデータの平均値を、表層のデータとは、海表面上と海表面下0.5mのデータの

平均値である。係数 a, b, c, d, e, f は各項目の回帰係数である。また、 $W_{NNE-SSW}(t)$ の正值はNNE寄りの風を、負値はSSW寄りの風を表す。水深を除くすべてのデータは、25時間移動平均を取ることで潮汐を除去し、{(測定値-平均値)/標準偏差}を用いて規格化されている。解析には2004年～2012年の6～9月のデータが用いられた。本研究では、DO濃度が4mg/l以下を低酸素と定義している。スペクトル解析では、2006年の6月～8月のデータを用いてFFT解析し、パワースペクトルを求めた。また、解析データにHanning Windowを乗じて、スペクトルの平滑化を行った。

3. 解析結果

3.1 低酸素水塊の経年変化

2004年から2012年の6月～9月において、6地点の底層DO濃度が4mg/l以下になった割合をFig. 2に示す。棒グラフは各地点が低酸素になる割合を示す（数値は左の縦軸を参照）。折れ線グラフは6地点が同時刻に低酸素に覆われた割合を示す（数値は右の縦軸を参照）。棒グラフから、B3, B4, B6地点では、低酸素水塊が頻繁に発生していることがわかる。折れ線グラフから、大規模な低酸素水塊の形成割合は、2006年に22.4%と最も大きく、2009年は最も小さく0.39%であった。また、2004年から2012年にわたって、諫早湾全域が低酸素水塊で覆われる平均値は約8%であった。

3.2 重回帰分析

式(1)を仮定して、重回帰分析を行った。Table 1に2004～2012年の6～9月のデータを重回帰分析して得られた重相関係数Rおよび各因子の回帰係数の値を示す。今回の解析では、独立変数間のすべての相関係数は0.3以下であった。また、F検定の結果、重回帰分析の結果は95%のレベルで統計的に有意であった。B3, B4, B5, B6地点の重相関係数Rは0.6以上を取り、観測結果がよく再現されていることがわかる。一方、S1地点とS6地点のRは0.444と0.520であり、再現性が低い。これに関しては、3.3節で述べる。回帰係数 a と b は全地点で負の値をとる。これは、密度成層により底層への酸素供給が抑えられるためである。また、DOとTの負の相関は、水温の上昇により有機物分解が進行するためと考えられる。回帰係数 c, d, e は全地点で正の値をとる。 $c > 0$ は、一次生産によるDOの増加を意味している。また、 d が正值を取る理由として、NNE寄りの風が海表面付近のDO濃度の高い水塊を、SSW寄りの風が底層付

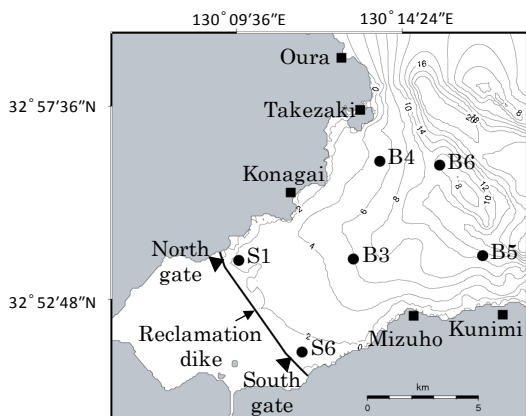


Fig. 1 諫早湾の水質観測地点

近の低酸素水塊を湾奥部へ輸送することが考えられる²⁾。DOと濁度の間の正の相関は、風等の擾乱により酸素が供給されるとともに底質が巻き上がったためと考えられる。水深の回帰係数は全地点においてほぼ0であった。これは、全地点における底層DO濃度の変動に対して潮位変動を取り除いたためである。Fig. 3は、B3、B6、S6地点の2006年6～9月の観測結果と解析結果の比較を示す。長期変動において、両者はよく一致していることがわかる。一方、S6地点における数日スケールの変動に対して、再現性は十分ではない。これに関しては、次節で述べる。

3.3 スペクトル解析

S6地点に見られた数日スケールの変動の要因を調べるため、スペクトル解析を行った。Fig. 4に、S6地点のDO濃度と風速のスペクトルの比較を示す。S6地点に見られた変動は4～5日周期と推測され、逆数 $1 \sim 0.8 \times 10^{-2}$ (1/h)に対応する。この周波数帯において、DO濃度と風速のエネルギーピークが認められる。このことから、S6地点における変動は風の影響によるものと推測される。風の因子を導入した重回帰分析にもかかわらず、風速の回帰係数が小さくなった理由として、風速とDO濃度の間のタイムラグが考えられる。今後は、遅れ時間を考慮した重回帰分析を行う予定である。

4. 結言

諫早湾内の水質及び風況データを解析し、低酸素水塊の

経年変化と底層DO濃度の変動を支配する因子について明らかにした。得られた結果は下記のとおりである。

1. 低酸素水塊の発生割合はB3、B4、B6地点で大きい値をとる。大規模な低酸素水塊の形成割合は2006年が最も大きく、2009年に最も小さい値をとった。
2. 重回帰分析によって、底層DO濃度の長期変動をよく再現することができた。また、底層DO濃度の低減には密度成層が、底層DO濃度の増加には底層のChl.a濃度が支配的である。
3. スペクトル解析により、湾奥部の底層DO濃度の変動は風の影響を強く受けることがわかった。

参考文献

- 1) 東 幹夫：有明海の生き物たち(佐藤正典編)，pp.320-337，海遊舎，2000。
- 2) 松永信博，李 洪源：諫早湾における貧酸素水塊の風応答特性，土木学会論文集B，Vol.66, No.4, pp.395-406, 2010。

Table 1 重回帰分析結果 (2004年～2012年の6～9月)

	R	a	b	c	d	e	f
S1	0.444	-0.207	-0.143	0.280	0.180	0.200	-0.008
S6	0.520	-0.156	-0.093	0.330	0.280	0.133	0.000
B3	0.688	-0.494	-0.254	0.150	0.195	0.241	-0.011
B4	0.758	-0.499	-0.328	0.172	0.268	0.242	-0.003
B5	0.693	-0.492	-0.464	0.192	0.185	0.010	-0.004
B6	0.668	-0.495	-0.464	0.152	0.183	0.026	0.000

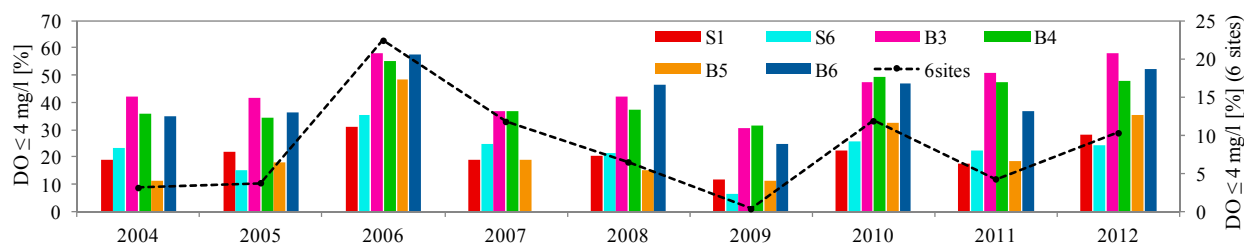


Fig. 2 2004年から2012年の6～9月において6地点の底層DO濃度が4mg/l以下になった割合

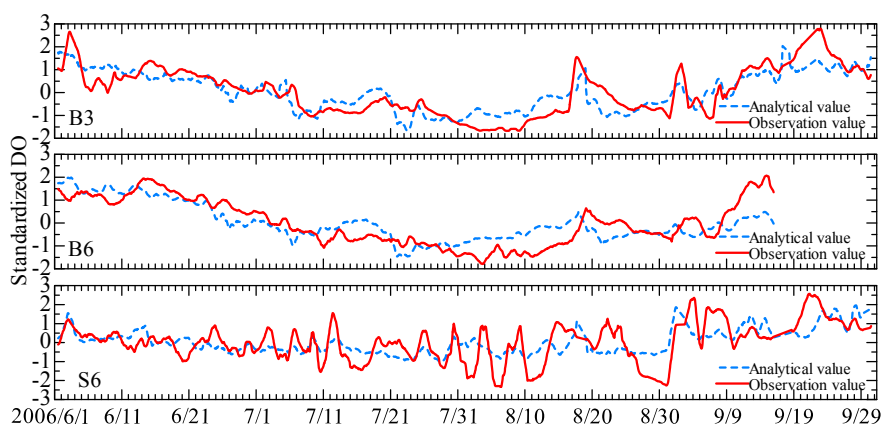


Fig. 3 B3、B6、S6地点の2006年6～9月の観測結果と解析結果の比較

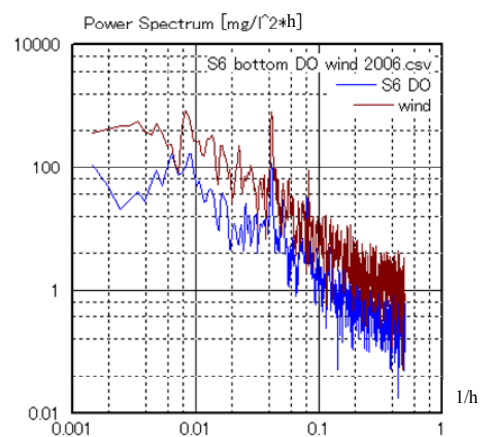


Fig. 4 S6地点のDO濃度と風のスペクトル