

博多湾における水質変動の確率論的検証

九州大学工学部 ○学生員 横寺 宏 熊谷 博史 酒井 啓範
同上 フェロー 楠田 哲也

1. 緒言 水質モデルの数値計算の際に与えなければならない外部境界条件には、気圧、潮汐、降雨、風、日射、気温、物質負荷などがある。これら外部条件は水流、水質予測結果に様々な影響を与える。気象などの外部条件が与えられれば、物理変動はその因果関係より得られる。しかし、外部条件の与え方によって数値計算の結果は変化する。気象条件は年平均値のようにTime scale が長ければ予測可能性は高いが、月間平均値、日平均値というようにTime scale が短くなるにつれて予測精度は低くなる。そのため、これら気象条件は確率的に与えなくてはならないはずであるが、現在のところそのような考え方は水質予測に導入されていない。そこでこのような考え方にに基づき、予測方法の体系化を行い確率的な予測値を得られるようにすることを試みる。

本報では、博多湾において生態系に大きな影響を及ぼすDOを例にとり、光量子量との変動特性を確率論的に論ずる。

2. 研究の概要 本報で用いる観測結果は①St. a5の底泥直上における水質を96年7/23～9/30までの2ヶ月間記録したものと、②St. E-2の96年6/22、6/23におけるDO、光量子量、密度などの25時間連続測定を記録したものである(図-1参照)。

博多湾湾奥では夏季になると密度躍層が発達し、下層にできる貧酸素水塊は潮汐のため密度的に安定したまま移動を繰り返す。そこで湾奥では下層の水塊をユニットとして扱えるものとする。このように考えると、DOに関する物質保存式は式(1)のように与えられる。

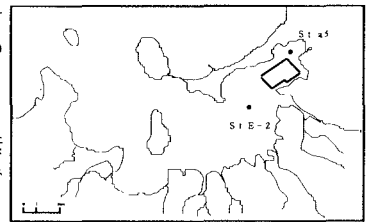


図-1 観測地点

$$\frac{dC_{DO}}{dt} = \frac{1}{V} (q_{in} C_{DOin} - q_{out} C_{DOout} + q_{ex} C_{DOex}) - \int_a f_1(\vec{u}, \text{Temp}, \text{salinity}) SOD_0 \frac{dz}{V} \\ + \int \frac{\mu_P}{C} \frac{I_z}{I_{opt}} \exp\left(1 - \frac{I_z}{I_{opt}}\right) P_P \frac{dz}{V} - \frac{1}{C} \mu_{max} \frac{C_{DO}}{k_{DO} + C_{DO}} \frac{C_{OR}}{k_{COR} + C_{OR}} X \quad (1)$$

C_{DO} : DO濃度、 V : 対象下層水塊の体積、 $q_{in} C_{DOin}$: 対象下層水塊へのDOの流入フラックス、 $q_{out} C_{DOout}$: 対象下層水塊からのDO流出フラックス、 $q_{ex} C_{DOex}$: 希釈、水温変化などによる対象下層水塊へのDO流出入フラックス、 SOD_0 : 基準SOD、 μ_P : 植物プランクトンの比増殖速度、 I_z : 水深 Z での光量子量、 P_P : 植物プランクトン濃度、 Y_P/C : 植物プランクトンのC基準のDOの収率、 Y_B/C : 菌体のC基準の酸素消費のための収率、 X : 菌体濃度、 μ_{max} : X の最大比増殖速度、 k_{DO} : DOの飽和定数、 C_{OR} : 有機物質濃度、 k_{COR} : C_{OR} に関する飽和定数。(1)式は数値計算によって解を得られるが、現有データの制約から考慮して右辺の第3項について考察する。

3. 解析手法 ②の密度鉛直分布の結果より、底泥直上から h_d (2.1～3.0m) までを密度躍層下の対象水塊としDO鉛直分布から式(2)でDO存在量を求める。

$$\text{DO存在量実測値 (mg/m}^2\text{)} = \int_0^{h_d} C_{DO} dz \quad (2)$$

次に式(1)の第3項の植物プランクトンによる光合成生産量を以下のようにして求める。

水深 Z における I_z はランベルト・ピアールの法則によるものとし、式(3)で表せるとする。

$$I_z = I_0 \exp(-\kappa Z) \quad (3)$$

κ : 消散係数(=0.9と仮定)、 I_0 : 海面からの入射光(= $(1-\alpha) I_s$)、 I_s : 海面での日射量、 α : アルベド(=0.1と仮定)、時刻 t における最強日射量 I_t は生島の式(1967)を実測値に合うように修正して式(4)とした。

$$I_t = I_{max} \sin\left(\frac{\pi}{D_L} t\right) \quad (4)$$

I_{max} ; 南中の時の最大光量子量 ($1850 \leq I_{max} \leq 2150$ $7/23 \sim 9/30$)、 D_L ; 日長、 μ_p は水温が $20^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ では一定 (Canalの報告)¹⁾とし、 0.3 ($1/\text{hr}$) を与える (Eppley,1972)²⁾。植物プランクトン濃度 ($\text{mg C}/\text{m}^3$) の増加量を酸素量 ($\text{mg O}_2/\text{m}^3$) に換算する係数となる C/Y_p は質量比で 3.47 とする。なお、最適光量 I_{opt} は 484.5 ($\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$) とする。このようにして光合成による酸素供給量を式(1)で求める。

入射した光量が 1% となる補償深度では植物プランクトンによる光合成量と呼吸量が等しくなるとし、この時の光合成量を植物プランクトンの呼吸量とする。与える入射光量子量は $6/22$ の 13 時における 1520 ($\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$) とする。またこれらに加え式(1)右辺第2項の SOD による消費を $S_t \cdot E-2$ の実験データを参照にして 1500 ($\text{mg O}_2/\text{m}^2/\text{d}$) として与える。

このようにして DO の実測値と P_p 濃度を $0.5, 1.0, 1.5, 2.0 \text{ mg/l}$ としたときの計算結果を図-2に示す。実際は植物プランクトンの濃度は刻々と変化し、式(1)右辺第1項の流出入フラックスと第4項の菌体や魚介類による消費が加わるので細かい箇所では計算結果と一致しないが、全体的にはその変動を再現していると言える。

4. 考察 ①の観測結果から上記のように DO についての予測値を考察することができる。次に②の観測結果を用いて光量子量を確率として与えるを試みる。 $7/23 \sim 9/30$ における完全晴天時を想定したときの I_{max} を式(4)から求め、実際に観測された光量子量と同時刻の最大光量子量の比から、光通過率を確率値として得ることができる。即ち、 I_t から I_s への変換比を確率として表す。それを図-3に示す。夜間は日射がないのでこの図には含まれていない。

ここで、この図を用いて97年8/8の16時における $S_t \cdot a_5$ 底層での DO 変動量を予測してみる。この日は $I_{max} = 2075$ ($\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$) で、日の出が5時35分、日の入りが19時12分 (日長817分) で日の出から16時まで625分であるから式(4)より、

$$I_t = 2075 \times \sin(\pi/817 \times 625) = 1397 (\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s})$$

これが図-3に示すように様々な値の可能性を持ちつつ海面に届く。底層に届く光量子量は式(3)で求まる。

一方、式(1)で DO 変動値と光量子量、植物プランクトンの量との関係を求めることができ、それを図-4に示す。これより同光量子量における DO 変動値が確率値として図-3と図-4から求められる。その結果を図-5に示す。この図は今年度の8/8の16時の DO 変動予測値を確率的に与えるものである。このようにして気象条件も含めた数値計算を確率論として扱うことにより、短いTime scaleにおける変動も推定可能となる。

最後に本研究の遂行に当たり、ご協力をいただいた福岡市港湾局、(財)九州環境管理協会、(財)日本気象協会の関係各位にお礼申し上げます。

〈参考文献〉1) 環境庁国立公害研究所：陸水域の富栄養化防止に関する総合研究 (VIII) pp. 87~88

2) 松梨順三郎編著：環境流体汚染、pp. 204

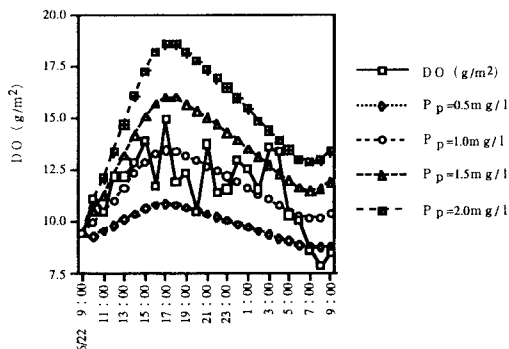


図-2 DO実測値と植物プランクトン濃度ごとと推定値

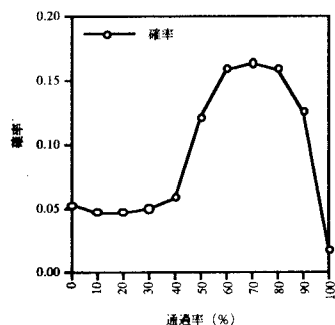


図-3 最大光量子が海面に到達する確率

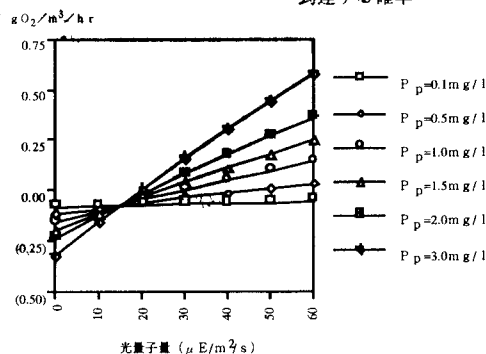


図-4 植物プランクトン濃度ごとの光量子とDO変動値

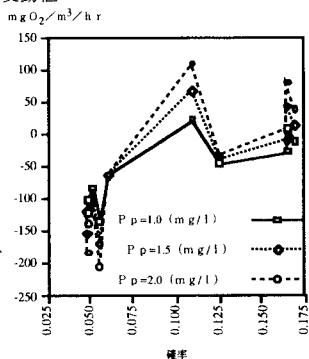


図-5 97年8/8の16時におけるDO変動推定値