

九州大学工学部 学生員 ○横寺 宏 熊谷博史 酒井啓範
同上 正会員 楠田哲也

1. はじめに 気象条件と栄養塩負荷は、水質予測の際に外部条件として与えられる。これらは流動や生物活動といった水質変動の根本的な部分に多大な影響を及ぼすが、日平均の実績値、あるいは緩やかに変化する値として定められているのが現況である。そのため、季節変動のような長いTime scaleに関する変動の再現には適しているが、貧酸素水塊の発生や消滅といった短いTime scaleに関する変動の再現には適していない。この局所的な変動こそが生態系に影響を与えるので、短いTime scaleでの水質を予測するためには、トレンドを考慮した上で、これら外部条件を確率的に与える必要がある。水環境保全を考える上で、この確率論的評価方法の体系化は、決定論的な評価方法が有する欠点を克服するために必要である。

そこで今回の報告では夏季の博多湾湾奥での観測結果をもとに、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検証する。

2. 研究の概要 解析で用いる観測結果は、博多湾湾奥部において96年6/22~6/23にDO、光量子量、密度などの鉛直分布を25時間連続測定したものである。博多湾湾奥では夏季になると密度躍層が形成されるため、下層にできる貧酸素水塊は密度的に安定したまま、潮汐による移動を繰り返している。そこで湾奥では各層の水塊をユニットとして扱えるものとする。このように仮定するとき、DOの保存式は物理的な移流・拡散項よりも、生物・化学変化的項に依存することになる。そこで実際に、観測結果を用いて密度躍層下のDOが、植物プランクトンの光合成活動と呼吸、底泥酸素消費によってどのように変動するのかを時間単位で追跡する。

3. 博多湾湾奥での溶存酸素変動の推察 密度鉛直分布の観測結果より、底泥直上から濃度分布の変曲点 h_d までを密度躍層下の対象水塊とし、DO鉛直分布から式(1)で密度躍層下の単位体積当たりDO濃度を求める。

$$\text{DO濃度 (mg/l)} = \frac{1}{h_d} \int_0^{h_d} C_{DO} dz \quad (1)$$

ここで、時間変動する h_d は1時間ごとに求める。このようにしてDOの実測値から式(1)で計算されるDO濃度と、生物化学的变化項で構成される推定値とを比較する。時間当たりのDO推定値は式(2)で与えられるものとする。

$$\begin{aligned} \text{DO推定値 (mg/l/hr)} = & \frac{2^{0.59 \exp(0.0633 \tau)}}{24 h_d} \int_0^{h_d} \frac{I_z}{485} \exp\left(1 - \frac{I_z}{485}\right) P_p \times 3.47 dz \\ & - (I_{0max}/100 \text{の時の光合成生産量}) \times \frac{C_{DO}}{C_{DO} + k_{CDO}} - 0.060 \times \frac{C_{DO}}{C_{DO} + k_{CDO}'} \end{aligned} \quad (2)$$

ここに、 C_{DO} : 酸素濃度 (mg O₂/l)、 I_z : 水深Z (m)の時の光量子量 ($\mu\text{E/m}^2/\text{s}$)、 P_p : 植物プランクトン濃度 (mg C/l)、 I_{0max} : 海面直下での南中時光量子量 ($=1600 \mu\text{E/m}^2/\text{s}$)、 k_{CDO} 、 k_{CDO}' : 飽和定数 ($=1.0 \text{mg O}_2/\text{l}$)である。植物プランクトンの呼吸による消費は、補償深度での光合成量と等しいものとし、SODは実験データから与えた。

こうして求められるDO濃度と推定値の計算結果を図-1に示す。いくつかのタイムラグを伴うものの、実測値と計算値には相関があり、密度躍層下におけるDOの短期的変動は光合成による生産に支配されていることが分かる。そこで光合成の変動を支配している光量子量を確率的に与え、このモデルを用いることで、短いTime scaleでのDOの予測を試みる。

キーワード: 貧酸素水塊、DO、光量子量、

連絡先: 〒812-81 福岡市東区箱崎6-10-1 TEL 092-642-3241

4. 解析手法とその考察 ここで具体的に博多湾湾奥部の底泥直上におけるDO変動量を、8月8日9時を基準に翌日の9時の結果で推測してみる。福岡では8/8の12時20分の完全晴天時光量子量が理論的に2660 ($\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$)として求まる。これを生島の式(式(3))に代入することにより、各時刻における完全晴天時光量子量を求めることができる。実際に底泥直上に到達する光量子量は、雲量の関数(式(4))とランベルト・ビアーの法則(式(5))から求められる。

$$I_{\max} = I_{\max} \sin\left(\frac{\pi}{D_L} t\right) \quad (3)$$

$$I_t = I_{\max} \{0.29 + 0.71(1 - n)\} \quad (4)$$

$$I_z = I_0 \exp(-\kappa Z) \quad (5)$$

ここに、 $I_{t_{\max}}$:時刻tにおける完全晴天時光量子量($\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$)、 $I_{\max}$:南中時における完全晴天時光量子量($\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$)、 I_t :時刻tにおける光量子量($\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$)、 n :雲量(0~1)、 κ :消散係数($=0.9\text{m}^{-1}$)である。また I_0 は、アルベドを0.15として与える。

まず、8/8~8/9では過去5年のデータより雲量の確率密度関数が図-2のように得られるので、8/8の9時から8/9の9時までに底泥直上に注がれる光量子量を確率密度関数として求めることができる。それを図-3に示す。横軸は、この日に底泥直上に降り注がれる光量子量である。このように様々な可能性を持って海底に到達する光量子量を式(2)に代入することで植物プランクトン濃度ごとにDOの変動量が求められる。ここでは植物プランクトン濃度が1.0mg/lとしたときのDOを求める。その結果を図-4に示す。図-4は8/8、9時のDOを初期値として、翌日のこの時刻におけるDOを確率密度関数表示したものである。飽和定数項のためDOの初期値が小さいと、図に示すようにDOの変動幅は小さくなる。DOの変動幅はおよそ2.4mg/l($\pm 0.3\text{mg}/\text{l}$)であり、例えば初期値が2.0(mg/l)で、翌日の同時刻に1.0(mg/l)以下となる確率は0.084となる。

以上のように、今回は気象条件の1つである光量子量に的を絞って考察を行ったが、その他に水温や植物プランクトン濃度、また密度躍層の変動を支配する風速を自己相関を考慮した確率値として境界条件に与え、シミュレーションを行うことで、生態系にとって重要である局所的な変動を長期にわたって再現することができると思われる。

〈参考文献〉

- ・松梨順三郎編著：環境流体汚染、森北出版、p.177~178、p.203~225、1993
- ・日本太陽エネルギー学会編：太陽エネルギーの基礎と応用、オーム社、p.1~34、1978

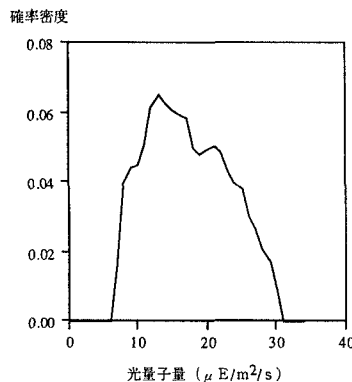


図-3 8/8~8/9での底泥直上光量子量の確率密度関数

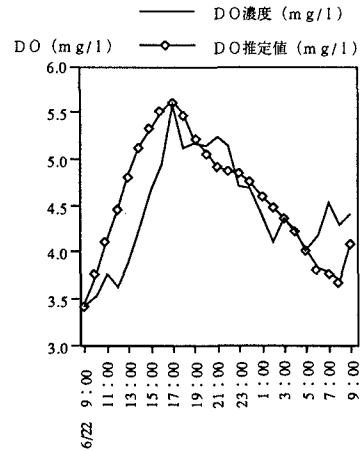


図-1 DO濃度(実測値)と推定値

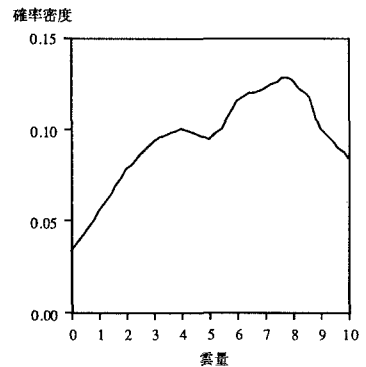


図-2 8/8~8/9での雲量の確率密度関数

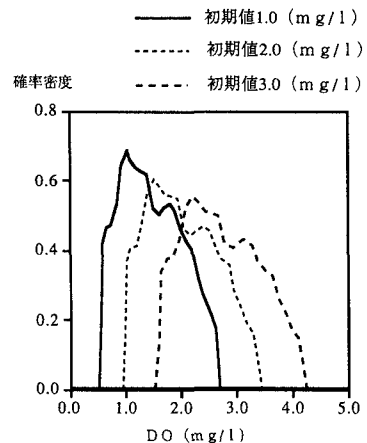


図-4 8/9、9時のDO確率密度関数