

水域の富栄養化現象の対策評価 ～ボックスモデルの考察を通して～

岐阜大学工学部 学生員 小島篤司

岐阜大学大学院 学生員 加藤秀男

岐阜大学工学部 正 員 東海明宏

岐阜大学工学部 正 員 湯浅 晶

1. はじめに

本研究では、水域の富栄養化現象を評価するうえで用いられているボックスモデルの精度についての考察、ならびにボックスモデルを用いた富栄養化現象の対策評価の方法について検討する。福島らの研究をもとに、ボックスモデルの精度を、ボックスの分割数、流動条件、物質の安定性といった面から検討する。

2. ボックスモデル

ボックスモデルは構造が簡明でわかりやすく、水質シミュレーションによく用いられている。

ボックスモデルは次のようにして導かれる。

図-1の様に水域をN分割し、移流分散方程式(式①)をi番目のボックスの両端の区間で積分するとボックスの濃度 c_i に関する方程式(式②)となる。 Q は押しだし流量、 Q_0 はボックス間で交換する流量である。

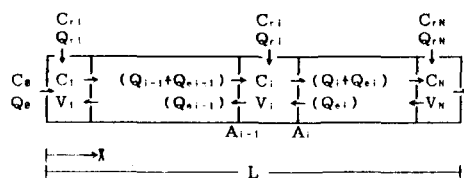


図-1¹⁾

ボックスモデルの誤差評価においては、水域を流下方向への水平一次元とし、流れは定常状態を仮定し、さらに流下方向断面積、拡散係数、流速、反応速度定数は空間的にも変化しないものとする。そして、水域はN個のボックスに等分割することにする。

①一次元移流分散方程式(定常流)

$$AE \frac{d^2 c^*}{dx^2} - Au \frac{dc^*}{dx} - Akc^* = -q_{in} c_{in} \quad (1)$$

A: 流下方向断面積 (cm^2)、E: 流下方向拡散係数 (cm^2/s)、u: 流速 (cm/s)、k: 反応速度定数 ($1/\text{s}$)、 c^* : 濃度 (mg/ml)、x: 流下距離 (cm)、 q_{in} : 単位長さ当たりの横流入量 ($\text{ml}/\text{sec cm}$)、 c_{in} : 横流入水の濃度 (mg/ml)

②ボックスモデル式(定常流)

$$Q_{i-1} c_{i-1} - Q_i c_i + Q_{0i} (c_{i+1} - c_i)$$

$$- Q_{0i-1} (c_i - c_{i-1}) - k V_i c_i + Q_{ri} c_{ri} = 0 \quad (2)$$

Q : 移流量 (ml/s)、 Q_0 : 交換流量 (ml/s)、 Q_r : 横流入量 (ml/s)、 c_r : 横流入水の濃度 (mg/ml)

3. ボックスモデルの誤差評価

1) 誤差の表現

ボックスモデルの誤差を以下のように示す²⁾。

$$\cdot \text{誤差1} \quad \max_i | \bar{c}_i - c_i | / c_{\max}^*$$

$$\cdot \text{誤差2} \quad \max_i (\max_{\text{ボックス} Q_{0i}} | c^* - c_i |) / c_{\max}^*$$

$$\cdot \text{誤差3} \quad (\bar{c} - c^*) / \bar{c}$$

ここで、 c : ボックスモデルによるボックス濃度、 c^* : 実際の濃度(移流分散方程式の解により代替)、 $\bar{}$: ボックス内平均、 $\bar{}$: 全水域内平均とする。

誤差1は、任意のボックス内において、移流分散方程式の解(以後、実際の濃度と呼ぶ)を平均化したものと、ボックスモデルによるボックスの平均濃度を比べたもので、ボックス内での平均濃度とボックスモデルによるボックス濃度が一致しているかをみる基本的な評価であり、これによりボックス分割数を決めることが出来る。

誤差2は、任意のボックスにおいて、ボックスモデルによるボックス濃度と、その値と最も差がある実際の濃度を比べたものである。これは、変動の勾配が急なところではどの程度ボックスを小さくする必要があるのかを検討するのに適しているといえる。

誤差3は、ボックスモデルによる全水域の濃度平均と、実際の濃度の全水域平均を比べたものである。全体として整合性があるかどうかを判断するのに適しているといえる。

2) 結果と考察

流域長: $L=10\text{km}$ 、平均流速: $u=3.6\text{m}/\text{hr}$ の水域

に初期流入負荷を与え、横流入はなしと仮定した。

ここではまず、ボックス数を増加させたときの誤差の変化をみた(図-2)。次に、水域の流動条件(ペクレ数)と物質の反応の程度(ダンケーレル数)をそれぞれ変化させたときの誤差の変化をみた(図-3、図-4)。

$$\text{ペクレ数} = \frac{\text{流速} \times \text{流域長}}{\text{拡散係数}}$$

$$\text{ダンケーレル数} = \frac{\text{反応速度定数} \times \text{流域長}}{\text{流速}}$$

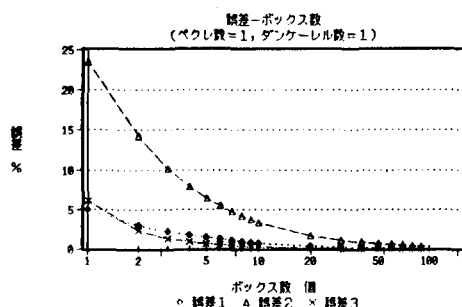


図-2

図-2より、この条件で誤差1をみると、ボックス数は3以上あれば誤差が3%程度になり十分であることが示されている。誤差2では、変動の勾配の急なところでは、ボックス数を少なくとも5以上にするようなボックスの大きさにする必要があることが読み取れる。

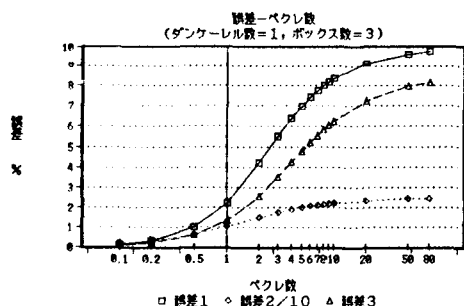


図-3

次に、水域の流速と拡散係数の比を示すペクレ数と、誤差の関係を見る。図-3に示すようにペクレ数が小さいほど誤差は小さい。つまり移流に対して拡散が大きい場合ほど、ボックスモデルではより誤差の小さい値を推定することができるといえる。

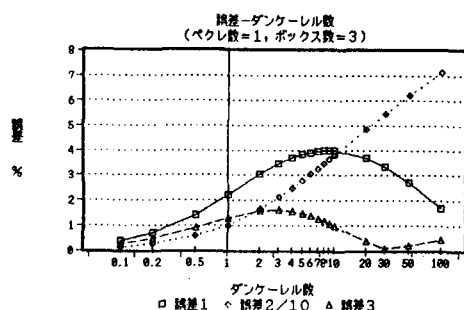


図-4

また、流速と反応速度定数の比を示すダンケーレル数と、誤差の関係は、誤差1(誤差3)と誤差2では多少異なっている。誤差1は極大値をとる変化をする。誤差2についてはダンケーレル数の増加に対して、値は単調増加する。

誤差1と誤差3を比べて、ボックス数が1の場合は誤差3の値の方が大きいボックス数が2以上では誤差1の方が大きい。しかし、2つの誤差値の差はほとんどなく、しかも、図-2、図-3、図-4より誤差1、誤差3は各パラメータの変化に対して同じ様な変化をすることがわかる。ここで、ボックス数を2以上とすれば、誤差3はより厳しい評価をしている誤差1を考えることで、省略してもよいのではないと思われる。

誤差1はペクレ数、ダンケーレル数の変化に対してわずかな変化であるため(図-3、図-4)、ある程度の水域の条件変化では大きく左右されないことがわかり、誤差の指標としてはより適当な表現といえる。

4. おわりに

今回、水域の富栄養化現象を解析するボックスモデルの誤差評価をおこなった。今後は、この結果をもとに、種々の富栄養化対策を施した場合のプランクトンや栄養塩の挙動の変化などに着目し、それらの対策の特徴を比較する予定である。

参考文献

- 1) 村岡浩爾, 福島武彦, ボックスモデルを用いた水質予測方式に関する研究, 土木学会論文報告集, 336, 85-94, 1983.
- 2) 松岡謙, ボックスモデルに関する二、三の検討, 水質汚濁研究, 第7巻, 第10号, 644-647, 1984.