

宍道湖における3次元湖沼生態系モデルの開発と検証

鳥取大学大学院 山本 茂友・矢島 啓
首都大学東京 新谷 哲也

1. はじめに 湖沼生態系モデルは、国内外において様々な研究者や企業で開発されており、それらの多くは、手続き型言語である Fortran 言語で記述されている¹⁾。そのため、モデルの微修正であっても、その影響が広範囲にわたり、モデルの利用や管理に困ることがある。特に、水域の生態系モデリングは、モデルの発展とパラメタリゼーションに伴うモデルの修正と実行を繰り返す行うため、生態系モジュールの構築においては、ユーザーが修正とその確認を迅速に行うことが可能であると共に、モデル管理の容易さが求められる。そこで、本研究では、これらのニーズに応えられるような生態系モジュールの開発を目指した。

2. モデル構成 本研究では、Fantom3D²⁾をベースに生態系モジュールの追加を行った。流体モジュールは、計算負荷が非常に高いため、高速実行が可能なコンパイル言語(C++)で構築されている。一方、修正や試行錯誤が重要となる生態系モジュールは、修正の容易なスクリプト言語(Lua)で流体モジュールとは完全に分離して構築している(図-1)。スクリプト言語とは、コンパイル不要の言語の事であり、計算速度はコンパイル言語に比べると劣るが、モデルの修正・確認を気軽に行えるというメリットがある。

3. 生態系モデルの概要 生態系モデルで扱う変数を挙げる。水質項目としては溶存酸素(O₂)、粒子態有機物(POC, PON, POP), 溶存態有機物(DOC, DON, DOP), 溶存態無機物(NH₄, NO₃, PO₄, SiO₂)、生物項目として植物・動物プランクトンを考慮した。また、酸素の大気交換と底質での有機物の分解を考慮し、さらに、植物プランクトンの内部栄養塩も考慮した詳細な生態系モデルとなっている。図-2に構築した生態系モデルの物質循環概略図を示す。

ここで、生態系モデルの基礎式の一つである、植物プランクトンの時間変化を以下の式に示す。

$$\frac{dPHY}{dt} = f_{uptake}^{phy} - f_{resp}^{phy} - f_{excr}^{phy} - f_{mort}^{phy} - f_{sett}^{phy} - f_{assim}^{zoo} \times p^{zoo} \quad (1)$$

ここに、 f_{uptake}^{phy} : 植物プランクトンの成長速度を表し、水温や光合成有効放射などによって決まる、 f_{resp}^{phy} : 植物プランクトンの呼吸量、 f_{excr}^{phy} : 植物プランクトンの排泄量、 f_{mort}^{phy} : 植物プランクトンの死亡量、 f_{sett}^{phy} : 植物プランクトンの沈降量、 f_{assim}^{zoo} : 植物プランクトンの成長量、 p^{zoo} : 動物プランクトンの摂食速度を表す。

4. 開発した生態系モデルの宍道湖への適用 作成した生態系モジュールを用いて、宍道湖を対象とした数値計算を行った。宍道湖は島根県東部に位置し、湖水面積 79.1km²、平均水深 4.5m、最大水深 6.0m の浅い湖である。宍道湖の東部

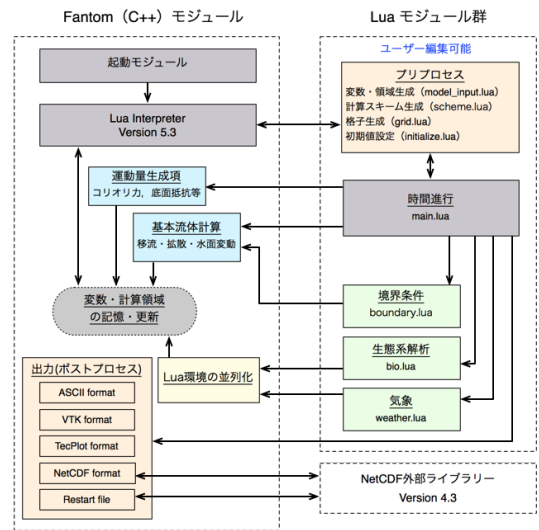


図-1 モデル構成の概要

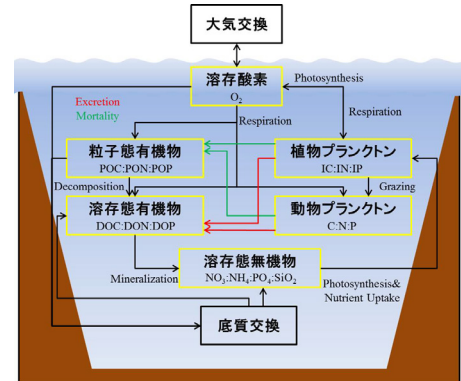


図-2 生態系モデルの物質循環

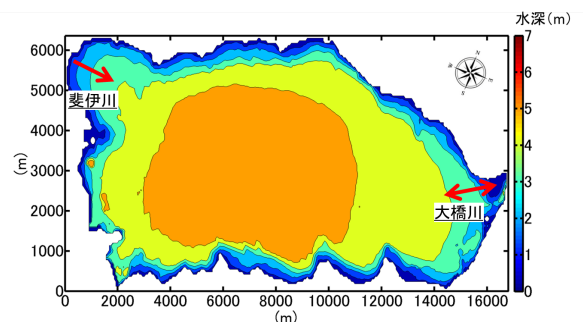


図-3 宍道湖概略図

の日本海から、中海、大橋川を通じて、海水が流入し、西側からは斐伊川からの淡水が流入していることで汽水条件が維持されている汽水湖である（図-3）。

①湖の形状データは水平方向に 240m 格子で分割し、東西 72 メッシュ、南北 28 メッシュ、鉛直方向 23 メッシュの 0.3m 間隔で設定し、計算間隔は 20 秒とした。

②水理部分の境界条件として設定したデータは流入量、流入水温、気象データである。流入量と流入水温は、出雲河川事務所より提供されたデータを使用し、斐伊川と大橋川を設定した。気象データは松江地方気象台の 1 時間毎のデータを使用した。また、雲量データについては 3 時間毎のデータとなるため、1 時間毎のデータに線形補間して使用した。

③計算期間は、出雲河川事務所より提供された、大橋川出張所巡視日誌のアオコが実際に発生した記録がある 2012 年 8 月 1 日～8 月 11 日を対象に行った。

④植物プランクトンは藍藻類を対象とするため、植物プランクトンの成長速度に関する最適水温は 28℃、限界水温は 35℃に設定した⁴⁾。また、表-1 にシミュレーションに用いた、植物プランクトンに関するパラメータを示す。

5. シミュレーション結果 出雲河川事務所より提供されたアオコの発生記録によると、2012 年 8 月 6 日の 14 時頃に宍道湖北岸にアオコが発生した記録がある（図-5）。モデル計算による同時刻の Chl.a(μg/L)を見ると（図-6）、北岸に約 7.5μg/L の Chl.a が発生することを確認できた。しかしながら、図-6 に示す、宍道湖南西部においては、アオコが発生したという記録はなかったため、精度を向上させるために、更なる改良を行う必要がある。

6. おわりに 本研究では、Fantom3D をベースに生態系モジュールの追加を行い、宍道湖において検証を行った。その結果、スクリプト言語である Lua を用いて、柔軟な修正を行うことができ、かつ、モデルの適切な分離によって管理の容易な設計を実現できた。しかしながら、従属変数の多さから、生態系モジュールの計算負荷が相対的に大きくなったため、修正の必要がなくなったスクリプトは C++に移行する事も視野に入れている。また、生態系モデルの精度に関しては、不十分なところが多く、より精度をあげるため、更なるモデルの改良が必要である。

参考文献 1) Trolle, D., et al.: A community-based framework for aquatic ecosystem models. *Hydrobiologia*, 683.1, pp.25-34, 2012. 2) 新谷哲也, 中山恵介: 環境流体解析を目的としたオブジェクト指向型流体モデルの開発と検証, 水工学論文集, 土木学会, 第 53 巻, pp.1267-1272, 2009. 3) 資料提供: 出雲河川事務所（河川巡視日誌）, 4) 有賀祐勝: 水界植物群落の物質生産Ⅱ, 共立出版, pp.51, 1973.

表-1 植物プランクトンに関するパラメータ

パラメータ	定義	値
T_{opt}	植物プランクトンの最適水温	28 (°C)
T_{max}	植物プランクトンの限界水温	35 (°C)
I_K	光の半飽和定数	130 (μE/m ² s)
R_{growth}	水温 20℃における成長速度	2.0 (/day)
k_{NF}	窒素固定最大速度	0.7 (/day)
$R_{nuptake}$	窒素取り込み速度	0.02 (mmolN/m ² day)
$R_{puptake}$	リン取り込み速度	0.001 (mmolP/m ² day)



図-5 8 月 6 日 14 時のアオコ発生状況³⁾

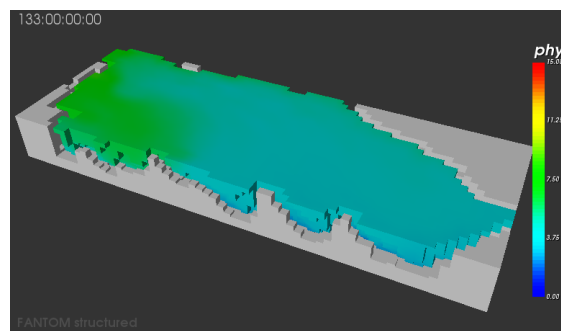


図-6 モデル計算による 8 月 6 日 14 時の Chl. a (μg/L)