

衛星画像及び栄養塩輸送モデルを用いたメコン河氾濫水の全リン濃度分布の推定

○東北大学大学院工学研究科 学生会員 山田 慶太郎
 東北大学大学院工学研究科 正会員 風間 聡
 東北大学大学院工学研究科 正会員 会田 俊介

1. 背景と目的

河川の氾濫によって生じる氾濫原は栄養塩の豊かな土壌が広がり、農業や生態系の観点から重要な場所であると言われている。東南アジア最大の河川であるメコン河の下流域、特にカンボジアにおいて、その氾濫原を利用した稲作が行われている。主要産業を農業とするカンボジアにとって氾濫原は大きな利益をもたらす、近年この洪水氾濫が農業に及ぼす影響の評価が必要とされている。天野らはメコン河氾濫原において氾濫水と氾濫原の土壌および水稻の栄養塩収支から洪水氾濫による土地の肥沃化を示した¹⁾。また、平賀らは栄養塩輸送モデルを用いて栄養塩分布の推定を行った²⁾。しかし、このモデルは広域における面的な観測情報を用いた検証が行われていない。そこで広域における観測情報として衛星画像から得られる情報に着目した。

以上より本研究の目的は、衛星画像を用いてメコン河氾濫原の全リン濃度を推定し栄養塩輸送モデルのキャリブレーションを行うこととする。

2. 対象領域

対象領域を、図-1 に示す、カンボジアの首都プノンペンを中心とした 140km×110km の領域である。領域はカンボジア国内のメコンデルタの全域を含んでいる。メコンデルタは洪水期に広範囲で冠水し、氾濫原の水深は2m以上に達する場所もある。

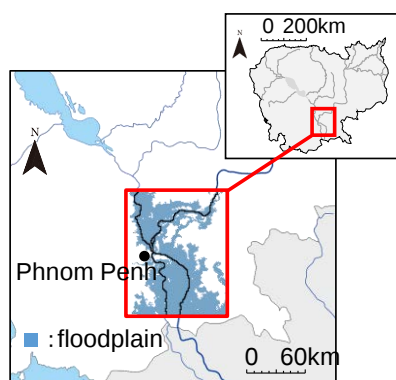


図-1 対象領域

3. 衛星画像による栄養塩濃度の推定方法

本対象領域における制限因子がリンであることから²⁾本研究においてはリンのみを扱う。水中において様々な形として存在するリンは衛星画像を用いた推定が困難である。よってまず衛星画像からクロロフィル a 濃度を求め、全リンの濃度を推定する。

(1) データセット

衛星リモートセンシングデータとして MODIS の 8 日間コンポジットデータを用いた。2017 年 9 月から 2018 年 2 月の衛星画像である。空間解像度は 500m である。

(2) クロロフィル a 濃度の推定

過去の事例に従い、以下の式を用いて氾濫原における全リン濃度を推定する³⁾。

$$\text{chl}a = 10^{37.88X^4 + 22.68X^3 - 7.701X^2 - 3.311X + 1.320} \quad (1)$$

ここで、Chla はクロロフィル a 濃度(μg/l)、X は $\log_{10}(\text{band1}/\text{band2})$ である。band1 および、band2 はそれぞれ赤と近赤外の光に対する反射率である。

このモデルは海洋において用いられてきたモデルをクロロフィル a 濃度が高い氾濫原においても適用できるように修正されたモデルである。

(3) 全リン濃度の推定

クロロフィル a 濃度を全リン濃度に変換する際に、対象領域において最も相関の高い Dillon の式⁴⁾を用いて変換する³⁾。

4. 栄養塩輸送モデルによる栄養塩濃度の推定方法

栄養塩輸送モデルは、Kazama⁵⁾らの洪水氾濫計算と、平賀²⁾の全リン輸送計算を組み合わせたものである。

(1) 洪水氾濫計算

河道に対して 1 次元 Dynamic Wave モデルを、氾濫原に対して二次元不定流モデルを用い、それらの接続に越流公式を用いたモデルである。標高には、アメリカ地質調査所の HydroSHEDS を用いた。水位および日降水量はメコン河委員会が編集したデータを用いた。水面からの蒸発量は、熱帯地方におけるおおよその値 150mm/month と

Key words : リモートセンシング, カンボジア, クロロフィル, 全リン, MODIS

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻水環境システム学研究室

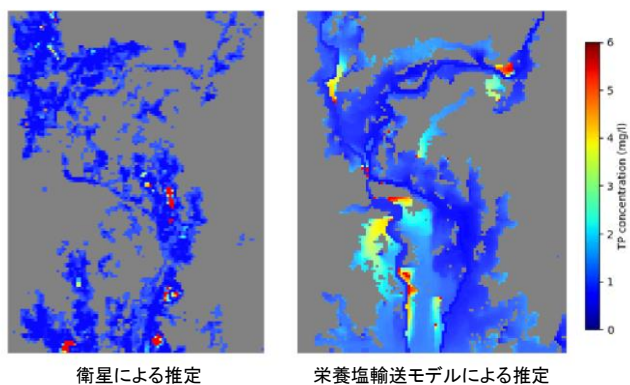


図-2 推定全リン濃度分布図

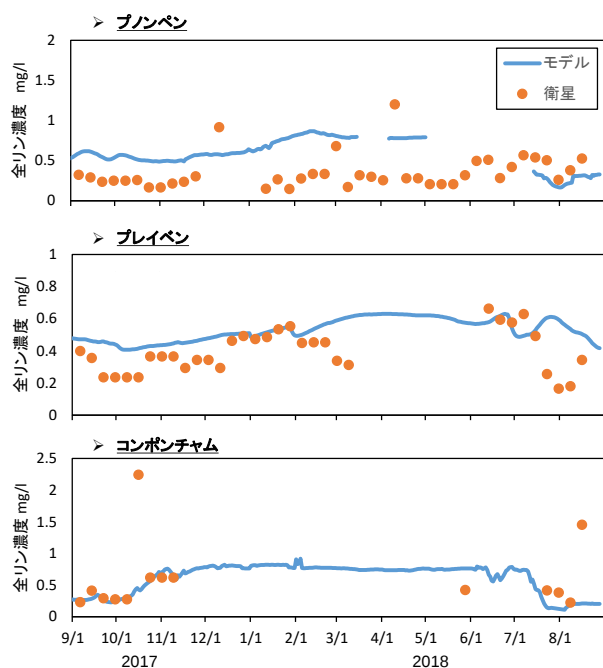


図-3 モデル間比較

し、浸透能は 10mm/hour とした。洪水氾濫計算の空間解像度は 1km、時間解像度は 2 秒である。

(2) 全リン輸送計算

全リンの輸送計算は Hiraga²⁾らの計算方法を用いる。栄養塩負荷の発生・投入、移流、沈降の三過程を計算する。時間解像度は洪水氾濫計算と同じ 2 秒である。また、全リンの発生負荷量は吉村らの全リン発生原単位を参考に、土地被覆データに対し、自然植生地帯に 340kg/ha/yr、農地に 360kg/ha/yr、都市域に 3.66×10^5 kg/ha/yr をそれぞれ割り当てたものを用いた。また、沈降速度を天野らによりキャリブレーションが行われた 0.5m/day と設定した¹⁾。

5. 結果と考察

図-2 に衛星画像と栄養塩輸送モデルから得られた 2017 年 9 月の全リン濃度分布図を示す。両推定方法とも、氾濫原の端部において高い濃度が推定された。これは降雨に伴い陸域から栄養塩が流入したためと考えられる。

また、時系列的に両モデルを比較する。図-3 にプノンペン、プレイベン、コンボンチャムの 3 地点における 1 年間の濃度を示す。それぞれの地点において衛星による推定値と栄養塩輸送モデルによる推定値の相関係数を算出した。プノンペンが 0.021、プレイベンが 0.303、コンボンチャムが 0.147 となった。プレイベンやコンボンチャムの郊外に比べ、プノンペンにおける相関係数が極めて低い結果となった。プノンペン郊外においては、土地被覆のほとんどが農地や自然植生である。したがって、全リンの発生負荷は面源負荷が支配的であるのに対し、プノンペンのような都市域においては面源負荷よりも工場排水のような点源負荷による影響が大きい。したがって、栄養塩輸送モデルにおいてこの点源負荷を再現するのが難しいために相関係数が小さくなったと考えられる。

まとめ

衛星画像と栄養塩輸送モデルを用いてメコン川氾濫原における全リンの濃度分布を推定した。2 つのモデルを比較するとプノンペンにおいて相関係数が低くなった。数値計算による都市域の濃度分布の再現には点源負荷を考慮する必要性が理解された。

謝辞

本研究の一部は、(独) 環境再生保全機構の環境研究総合推進費 (S-14) により実施された。また、本研究の公表について澤本正樹研究発表奨励金の援助を受けた。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 天野文子, 風間聡: メコン河氾濫原におけるリン輸送モデルの構築および肥沃効果と農業への影響評価, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol71, No4, I1189-I1194, 2015.
- 2) 平賀優介, 風間聡, 峠嘉哉: メコン河氾濫原の干拓が流域環境に及ぼす影響評価, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.73, No.4, pp. I283-I288, 2017.
- 3) Keitaro Yamada, So Kazama: Evaluation of Time Series Trend of Total Phosphorus Concentration in Mekong River Floodplain Using Satellite Images, the 38th IAHR World Congress, pp. 475-483, 2019.
- 4) Dillon, P. J. & Rigler, F. H.: The phosphorus-chlorophyll relationship in lakes. Limnol. Oceanogr. 19: 767-773, 1974.
- 5) So Kazama, Terumichi Hagiwara, Priyantha Ranjan and Masaki Sawamoto, Evaluation of groundwater resources in wide inundation areas of the Mekong River basin, Journal of Hydrology, Vol.340, No3-4, pp.233-243, 2007.