

トンレサップ湖における水上生活者の位置推定とそこからの水質汚濁の解析

山形大学大学院農学研究科

学生員○米田一路

東京工業大学大学院総合理工学研究科

正会員 中村恭志

山形大学農学部

正会員 西山正晃

山形大学農学部

正会員 渡部 徹

1. はじめに

カンボジアのトンレサップ湖（図 1）は雨季と乾季で湖の面積と貯水量が大きく変わる。例えば雨季にメコン川の水位がトンレサップ湖の水位よりも高くなると、メコン川の水がトンレサップ川を經由し、トンレサップ湖へと逆流することで、湖の面積が拡大する。この特殊な水環境は、トンレサップ湖周辺の居住者の食糧源でもある豊富な生態系を支えている。

近年、トンレサップ湖はカンボジアの経済発展にともない、農地からの農薬や化学肥料の流出、工場排水や生活排水等による水質汚濁が問題視されている¹⁾。今後さらに流域の開発が進むと、トンレサップ湖の水質の一層の悪化が懸念される。トンレサップ湖には複数の水上集落があり、約 100 万人の水上生活者が暮らしている²⁾。水上生活者は自らが湖の汚染源となる一方で、汚染された湖水を日々の生活に利用している。この水上生活者の汚濁物質への曝露を評価し健康リスクを明らかにすることにより、同国における持続可能

な発展にとって重要な存在である彼らの健康問題に関する議論が可能となる。本研究では、水上生活者の分布を把握し、その存在を考慮した水質モデルを構築すること、そしてそのモデルをトンレサップ湖に適用することで水質汚濁解析を行うことを目的とする。

2. 実験方法

2. 1 水上生活者の分布推定

汚濁物質の排出源としての水上生活者の分布は、20 m メッシュの Sentinel-2A 画像（欧州宇宙機関が運用する Vega 衛星により観測）を用いて推定する。具体的には、まずトンレサップ湖下流部に位置する、水上生活者の多い Chhnok Tru 集落（計 1,745 メッシュ）とその周辺（計 5,600 メッシュ）をサンプルメッシュとして抽出する（図 1）。次にそのメッシュで植生指標としての NDVI、水域指標としての MNDWI、都市指標としての UI の値をそれぞれ Sentinel-2A 画像のバンドデータを用いて以下の式で求める。

$$NDVI = \frac{Band8A - Band4}{Band8A + Band4} \quad (1)$$

$$MNDWI = \frac{Band3 - Band11}{Band3 + Band11} \quad (2)$$

$$UI = \frac{Band12 - Band8A}{Band12 + Band8A} \quad (3)$$

ここで Band3: 緑 (560 nm)、Band4: 赤 (665 nm)、Band8A: 近赤外 (865 nm)、Band11: 中間赤外 (1610 nm)、Band12: 中間赤外 (1800 nm) である。各指標値をもとに水上家屋の抽出を行い、水上家屋数を（別に用意した）重回帰モデルで推定した。

2. 2 2次元水質モデル

トンレサップ湖の水質汚濁解析には、2次元非定常移流拡散方程式（式(4)）を移流項と拡散項に分け（分離解法）、移流項については CIP 法、拡散項については中央差分で解いた 2次元水質モデルを用いる。

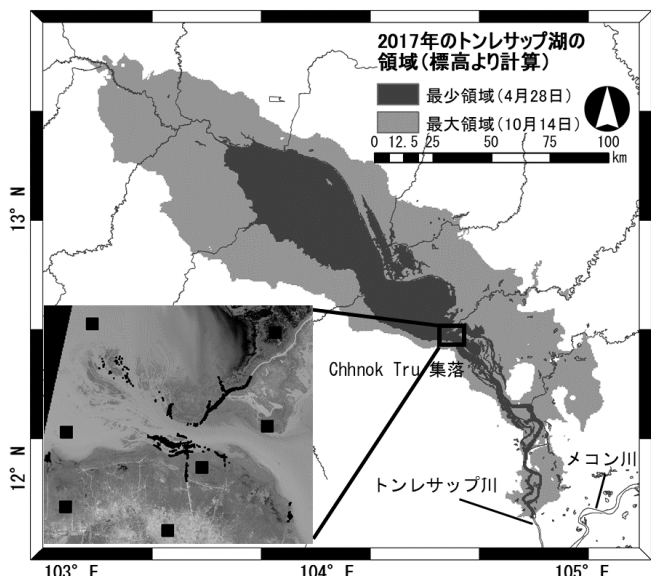


図 1 トンレサップ湖と Chhnok Tru 集落の概要図。

黒い部分はサンプルメッシュを表す。

キーワード：2次元水質モデル、水上集落、トンレサップ湖、水質汚濁

住所：山形県鶴岡市若葉町 1-23、Email: a180032m@st.yamagata-u.ac.jp

$$\frac{\partial f}{\partial t} + u \frac{\partial f}{\partial x} + v \frac{\partial f}{\partial y} = \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(Kh \frac{\partial f}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(Kh \frac{\partial f}{\partial y} \right) \quad (4)$$

ここで、 f は拡散物質の濃度（mg/L）、 t は時間（s）、 u は x 方向の流速（m/s）、 v は y 方向の流速（m/s）、 K は拡散係数（m²/s）、 h は水深（m）である。

3. 結果および考察

3. 1 水上生活者の分布

表1にサンプルメッシュにおける水上家屋の判別精度を示す。実測値とはGoogle Earth画像を用いて水上家屋を計数した値である。実測の水上家屋が存在するメッシュでの判別精度は73.2%であり、存在しないメッシュでの判別精度は99.4%であった。そして全体の判別精度は93.0%と高い値が得られた。

図2に2017年1月1日のChhnok Tru集落における水上生活者の分布を示す。推定値は水上家屋の位置と密集地帯をほぼ正確に再現できている。一方、河川内の裸地や浸水林地で水上家屋が存在するという誤判別もあり、現在、推定方法の改善を試みている。

3. 2 水質汚濁解析

2017年1月1日から同年12月31日の期間で、水上集落から排出される架空のトレーサー物質の挙動について水質モデルによる計算を行った。このトレーサーは、Sentinel-2A画像を用いて推定したChhnok Tru集落の家屋が存在するメッシュに、水上家屋数に関わらず毎日 $f=1$ の濃度を与えた。また計算期間中の流速と水深は、Tanaka *et al.* (2018)の結果を利用し、メッシュ幅は500 mとした。

図3には、トレーサー物質の移流拡散の計算結果を示す。水上家屋から排出されたトレーサーは1月から5月の乾季にはトンレサップ川を流れて湖の外に流されていく（図3-b、c）。その後雨季になると湖上流へと流されていき（図3-d、e）、雨季の終了とともに再び湖下流に流されていく（図3-f）。この一連の挙動は、トンレサップ湖の水の流れが乾季（1月～5月）は順流として湖下流へ流れ、雨季（6月～10月）は湖上流へ逆流し、乾季（11月～12月）に順流に戻り湖下流へ流れることに呼応している。

参考文献

- 1) Chea, R. *et al.*, 2016. PLoS ONE, 11(1), e0145527.
- 2) Keskinen, M., 2006. Water Resources Development, 22(3), 463–480.
- 3) Tanaka, T. *et al.*, 2018. Water, 10(9), 1213.

表1 水上家屋の判別精度

実測値 \ 推定値	水上家屋の判別精度	
	家あり	家なし
家あり	1278	33
家なし	467	5367
合計	1745	5600
判別精度 [%]	73.2	99.4

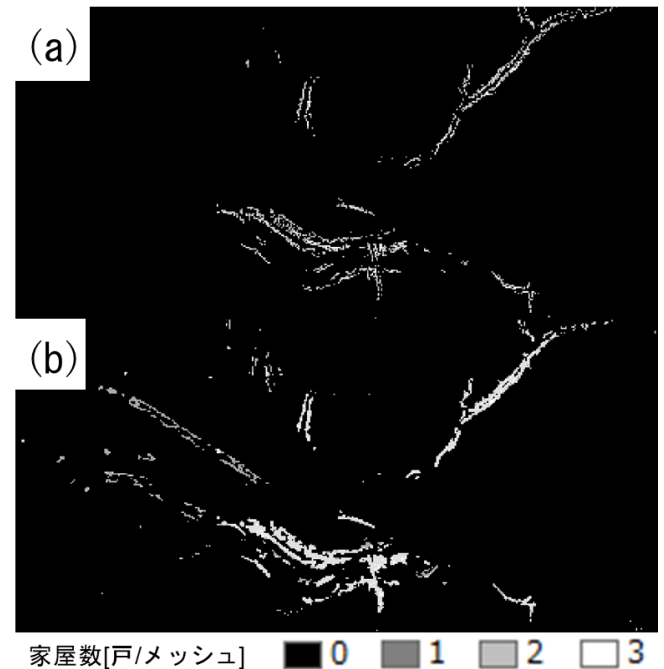


図2 水上集落の分布図：(a) 実測値、(b) 推定値

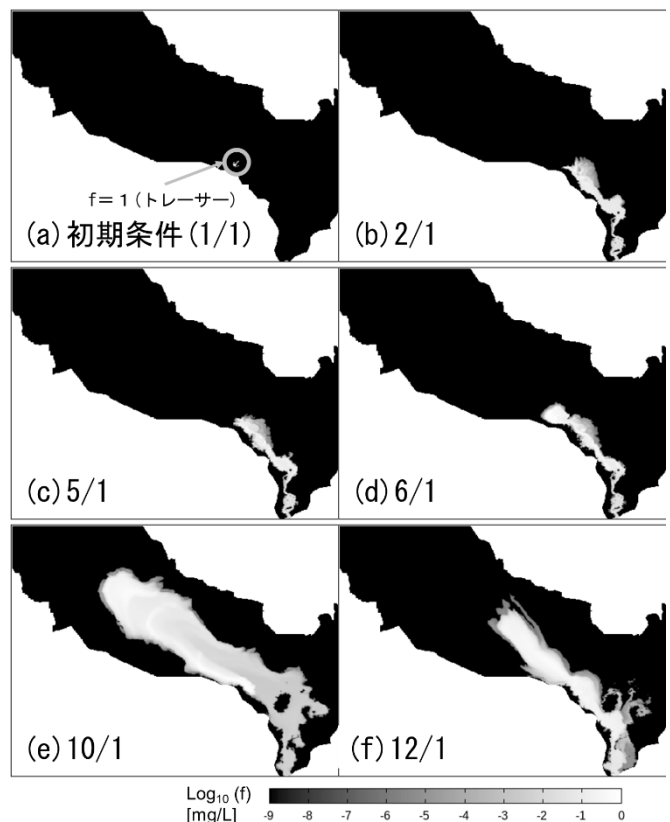


図3 2次元水質モデルによる計算の結果