

観光都市シェムリアップ周辺における トンレサップ湖の水環境に関する研究

東京大学工学部システム創成学科

E&Eコース 多部田研究室

080870 本宮佑規

発表の構成

1. 本研究の概要
2. トンレサップ湖における現地調査
3. 生態系モデル
4. 拡散モデル
5. 結論と今後への課題

1. 本研究の概要

研究背景

- トンレサップ湖の重要性
 - 多様な生物種、食料源、生活用水
- 急激な社会発展による環境汚染
 - 特にアンコール遺跡などがある
シェムリアップ周辺(右図赤丸部分)
- 水質データの不足
 - 長期間にわたる内戦や鎖国状態

本研究の目的

- 現地調査による湖の水質のデータ収集
- 栄養塩循環と人為起源物質の拡散をモデルにより検討

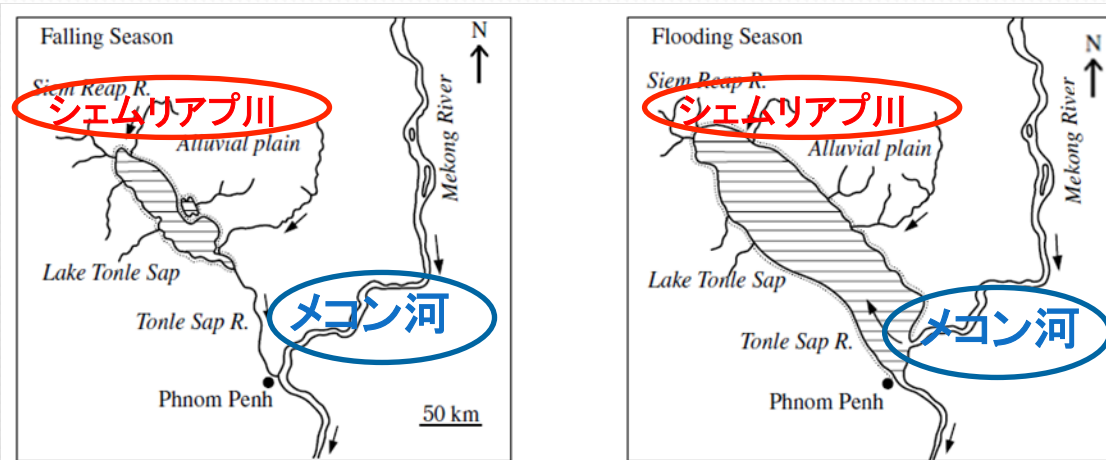
目標

シェムリアップ周辺からの負荷による湖の水質への影響の評価



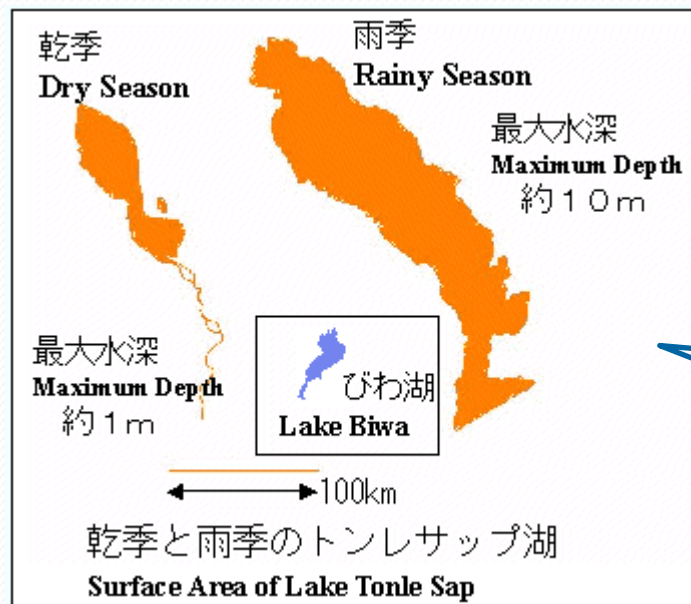
(塚脇ら, 2006)

トンレサップ湖について



(塚脇ら, 2006)

- トンレサップ湖の特徴**
- **乾季**(左図): 湖水がメコン河に流入しトンレサップ湖が縮小
 - **雨季**(右図): メコン河の水が逆流しトンレサップ湖が拡大
 - 乾季と雨季で面積は約3000~15000km²
水深は約1~9m に変化



(遠藤, 2001)

トンレサップ湖の広大さ
琵琶湖の面積と比較すると乾季で約4倍、雨季では約20倍！

2. トンレサップ湖における現地調査

- 観測時期・内容

...乾季(4月)と雨季(9月)の2回で、雨季の調査には同行した

測定方法	時期	概要	測定項目
採水	乾季 雨季	採水したサンプルを吸光度分析計で測定	栄養塩(NH_4 , NO_2 , NO_3 , T-N, PO_4 , T-P)、クロロフィルa(Chl-a)、濁度
多項目水質計	乾季	多項目水質計をボートから水中に入れて測定	水温、溶存酸素(DO)、電気伝導度(EC)、pH、水深、濁度、酸化還元電位(ORP)
流速計	雨季	流速計をボートから水中に入れて測定 表層(1.0m)と底層(5.0m)でとる	流向・流速、水温

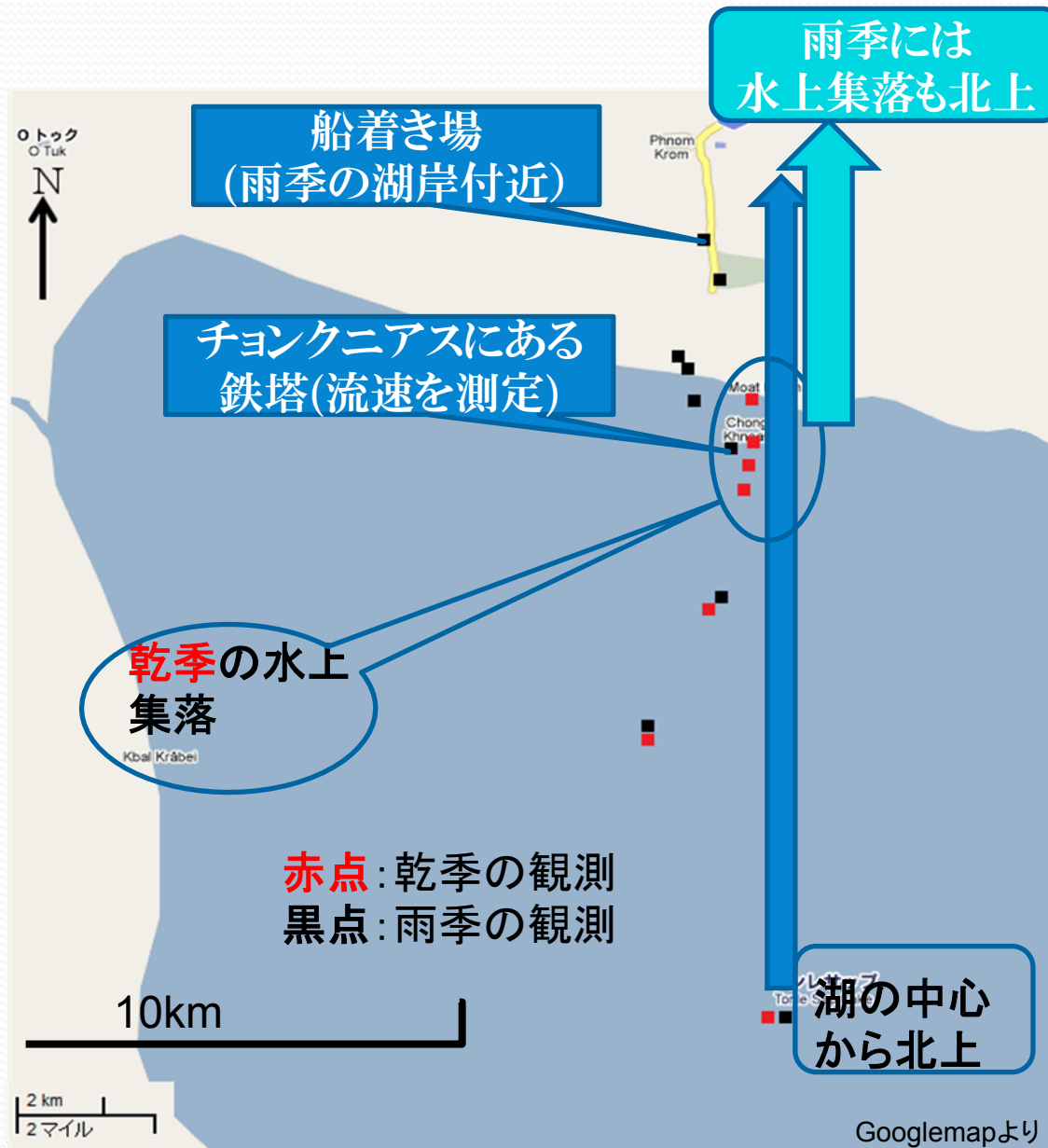
トンレサップ湖における観測地点



鉄塔

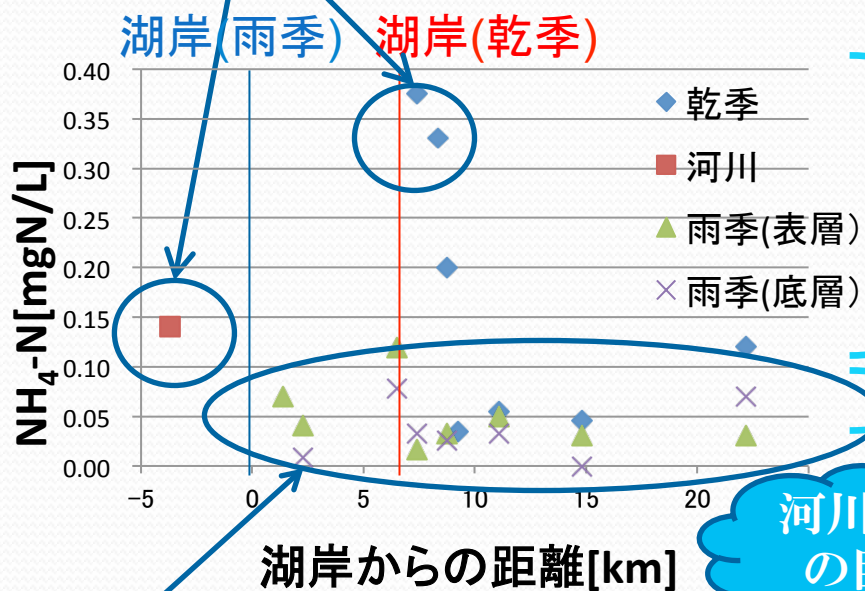


水上集落(乾季)



測定結果：栄養塩(窒素)

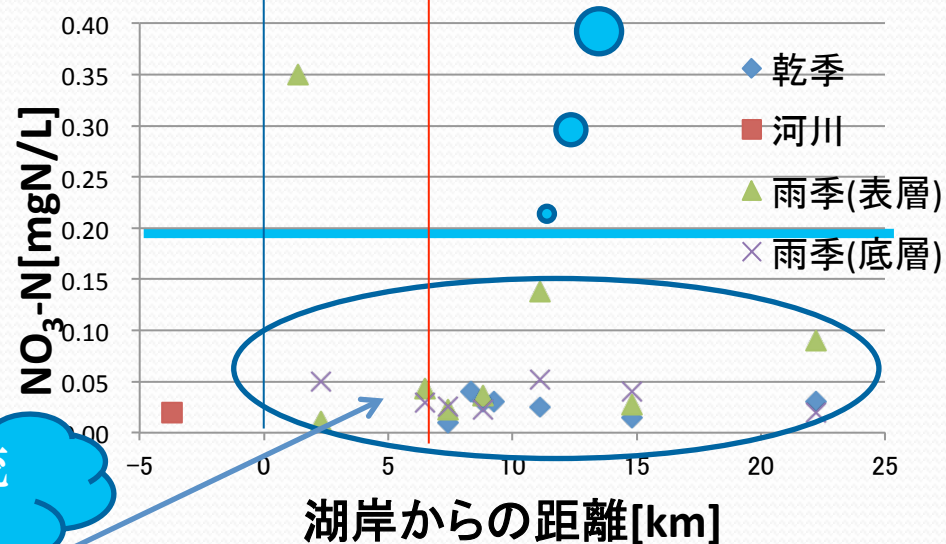
河川よりも水上集落の影響が大きい



雨水の日安

河川上流の日安
の下限ラインより
も小さい

● 湖岸(雨季) 湖岸(乾季)

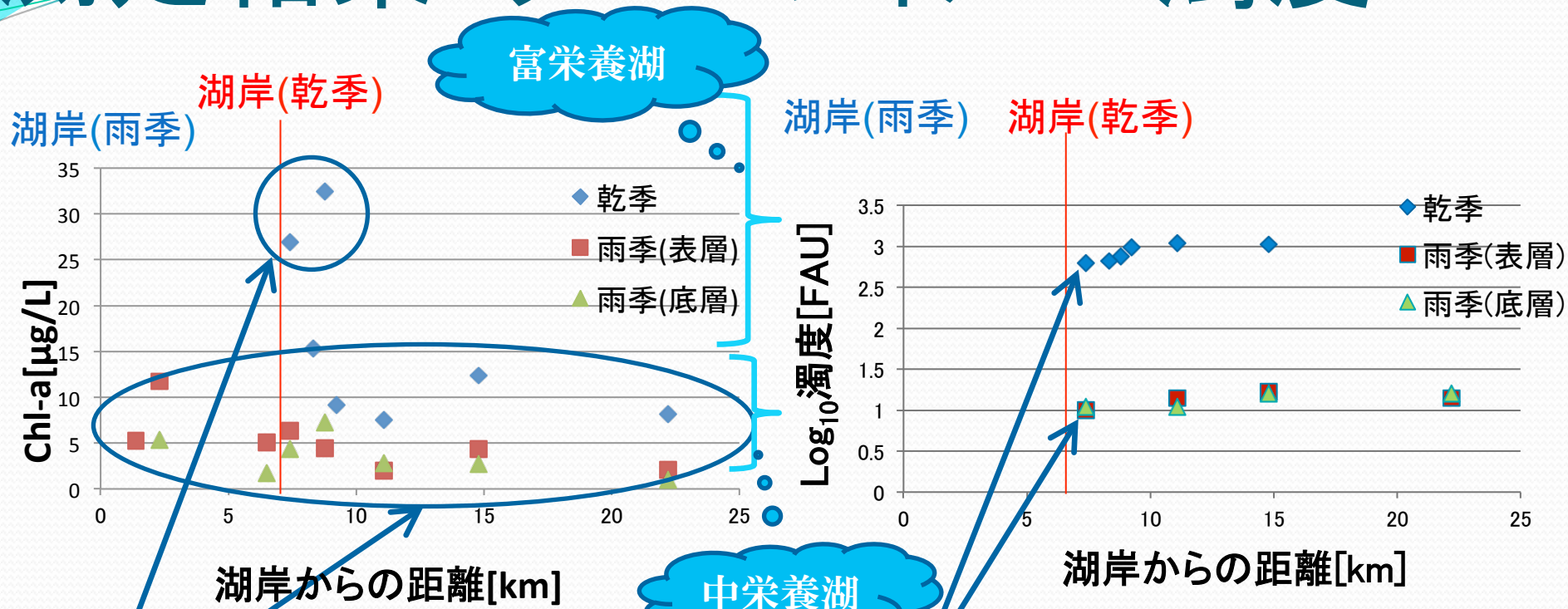


河川上流
の日安

雨季は表層と底層に栄養塩濃度の差はない
乾季と雨季も水上集落付近以外は差がない

鉛直方向に湖水がよく混合
沖にはメコン河の水が残る

測定結果：クロロフィルa・濁度



栄養塩と同じ傾向

乾季と雨季で2オーダー異なる

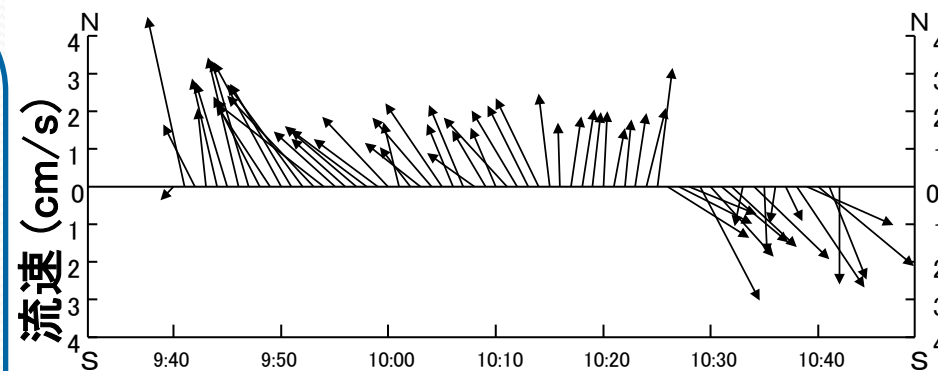
雨季に流入する
メコン河の影響が大きい

測定結果：流向・流速

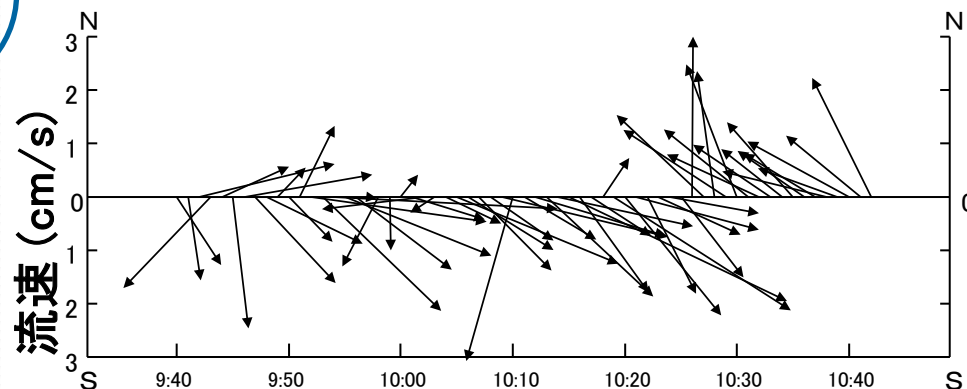
- **鉄塔**の地点における流向流速は表層と底層の流れが大きさは同じ程度で逆向き
→風によって生じた表層の流れが岸にぶつかって底層の方に戻るといふ流れが推測できる



雨季は鉛直方向の
水の循環が活発

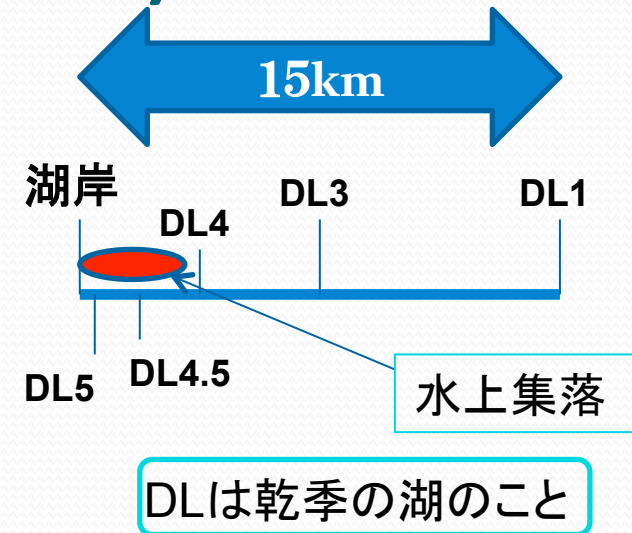
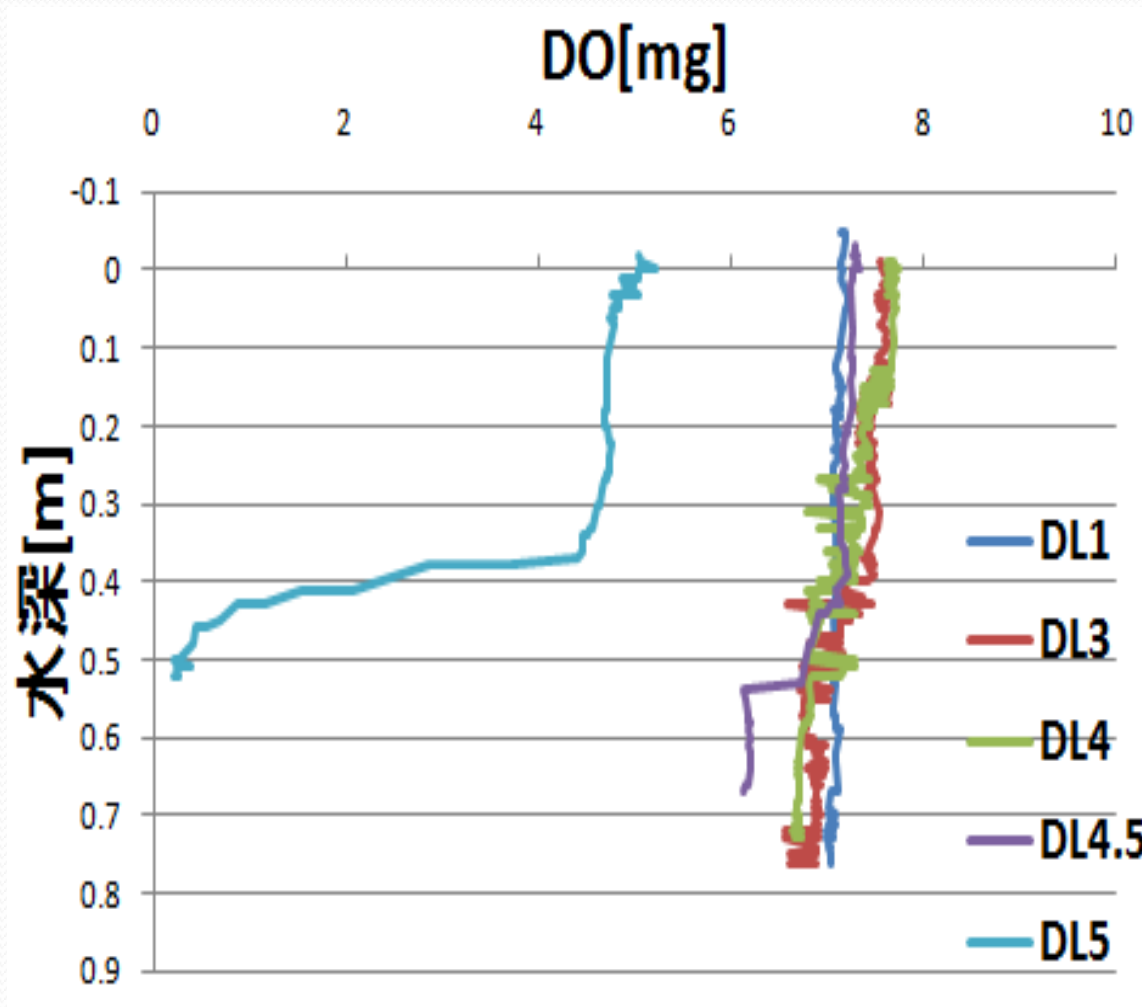


鉄塔(5.0m)



鉄塔(1.0m)

測定結果：溶存酸素(DO)



水上集落近傍では、底質で
貧酸素化
している可能性がある

観測結果の考察

- 水上集落から2km程度離れると雨季と乾季で栄養塩に大きな差異はなし
- 乾季は栄養塩濃度やChl-aが高くなる富栄養化や、底質の貧酸素化の可能性はあるが、**局所的**な水上集落による影響で雨季には消える



- 現状ではシェムリアップ起源の人為的負荷のトンレサップ湖への影響は**限定的**で広範囲に深刻な影響を示すデータは得られなかった
 - 雨季に流入するメコン河の水により、多小の汚染も**希釈**されることによると考えられる
 - 湖水の**鉛直混合**も現状の水質を保つ上で重要な要素

3. 生態系モデル

- 目的

栄養塩循環についての検討

- ボックスモデルの構築

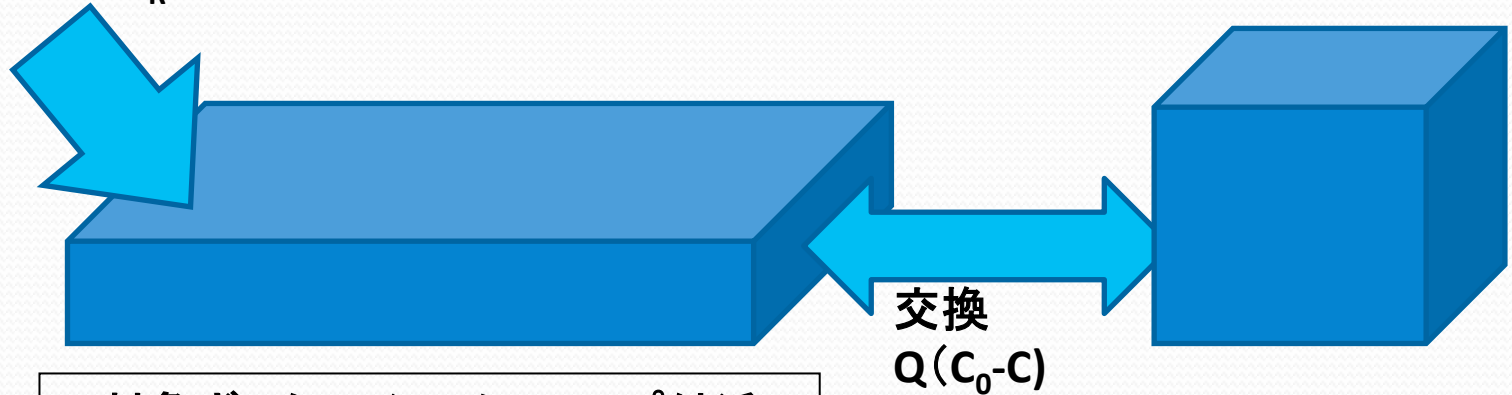
→対象領域全体の平均的な栄養塩濃度の

季節変動の特徴の再現

→生態系モデルに適合した結果から**栄養塩循環**の推定

ボックスモデルの概要

陸域(シェムリアプ川と水上集落)
からの負荷流入 Q_R



対象ボックス:シェムリアップ付近
 C :T-N濃度
 V :容積
10km四方の領域を設定

トンレサップ湖全体
 C_0 :T-N濃度

保存式:
$$\frac{d(CV)}{dt} = Q_R + Q(C_0 - C)$$

季節変動の
特徴を再現

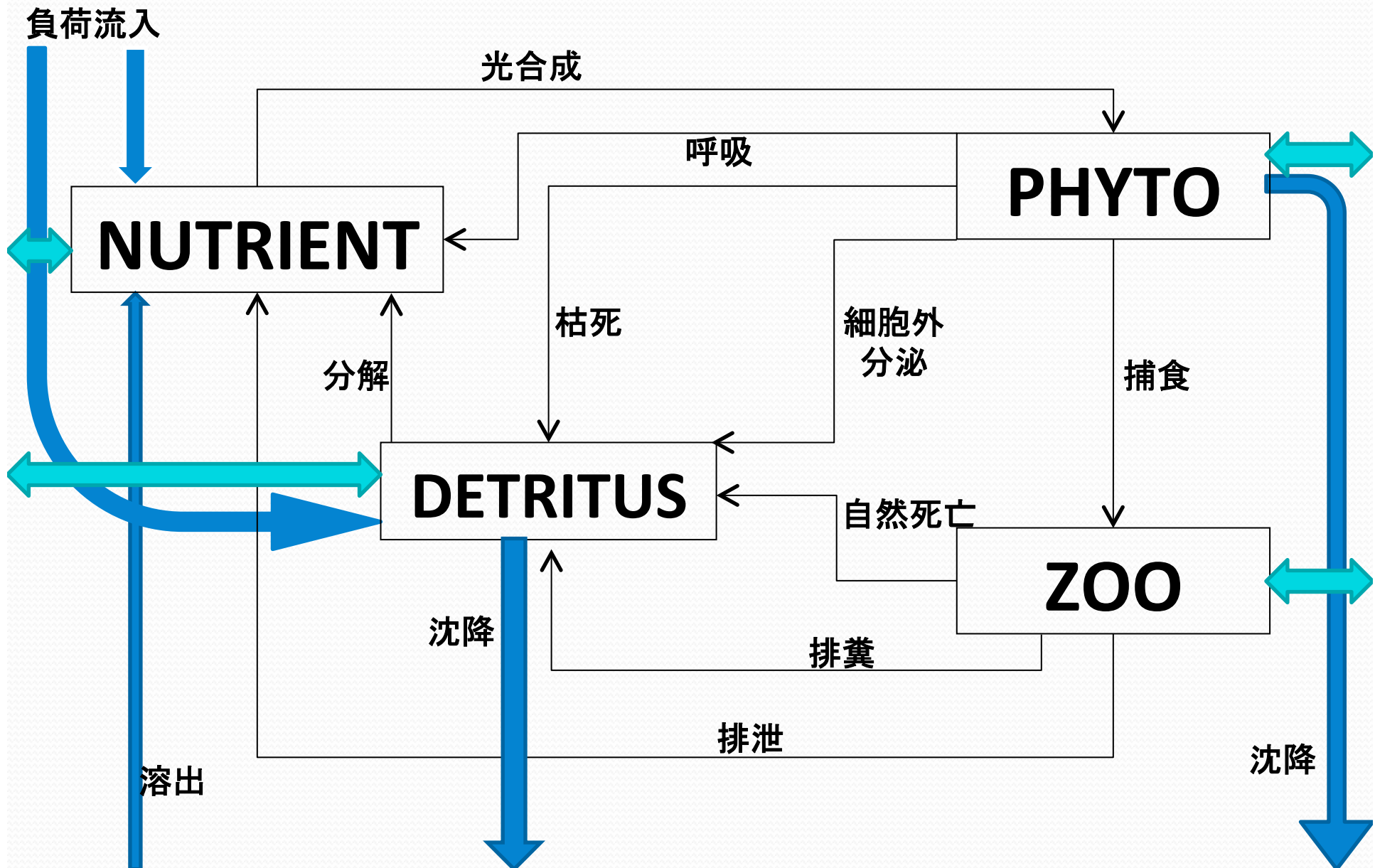
生態系モデル

- 単純な生態系モデルであるNPZDモデルを採用

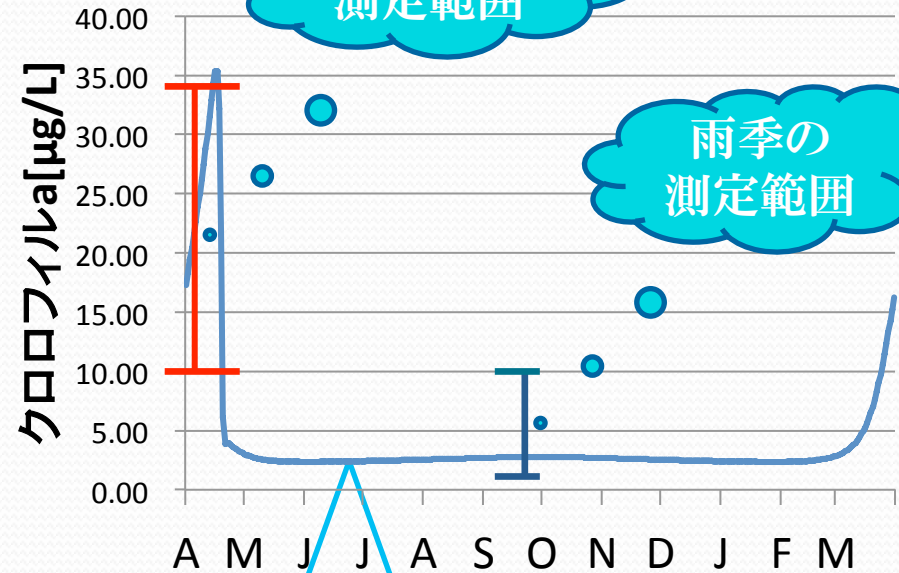
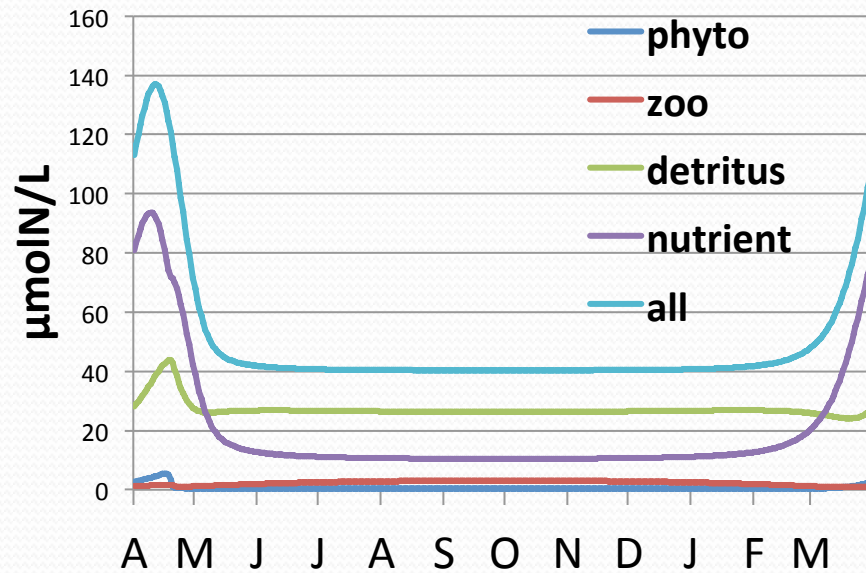
構成要素(窒素量に換算したモデル)

- N: Nutrient(無機態窒素)= $\text{NH}_3 + \text{NO}_2 + \text{NO}_3$ (DIN)
- P: PhytoPlankton(植物プランクトン)
- Z: ZooPlankton(動物プランクトン)
- D: Detritus(有機態窒素)

各要素の関係図



季節変動の計算結果

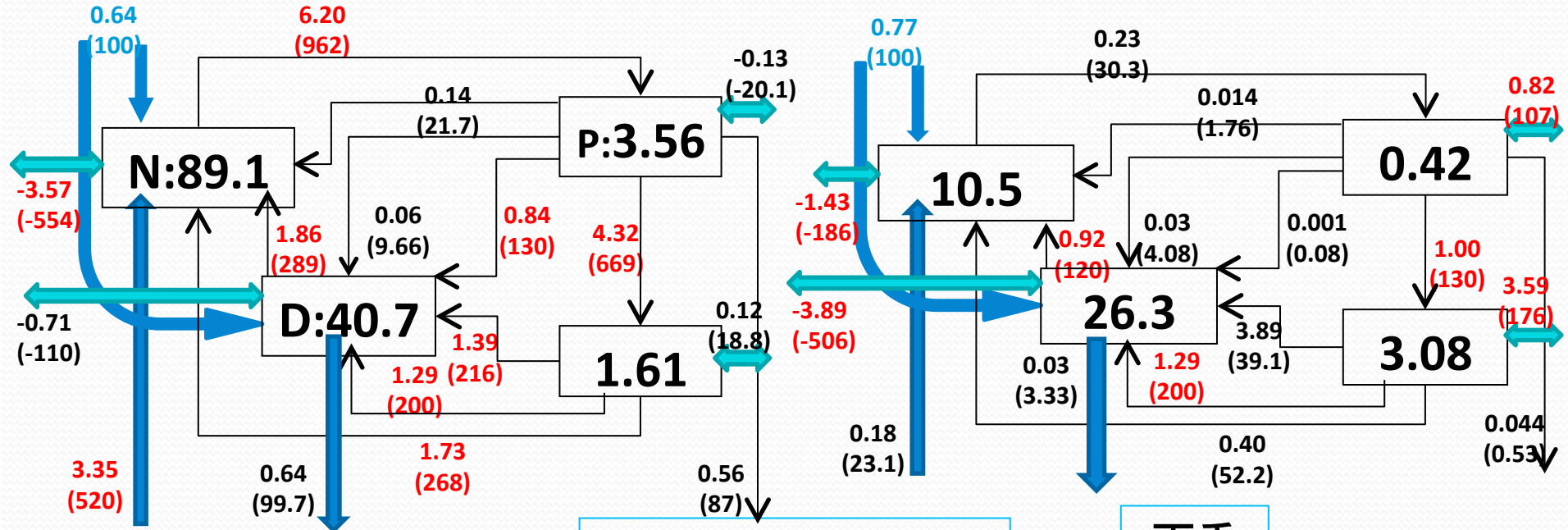


- 観測値と同じオーダーで、
乾季に濃度が上昇する傾向を再現
〔 NとD:10のオーダー
P:1のオーダー 〕

• Nの目標値は乾季で15 $\mu\text{molN/L}$ とした
⇒オーダーは同じだが若干大きい

特に植物プランクトンの季節変動の正確な再現を目指した

乾季と雨季の窒素循環



乾季

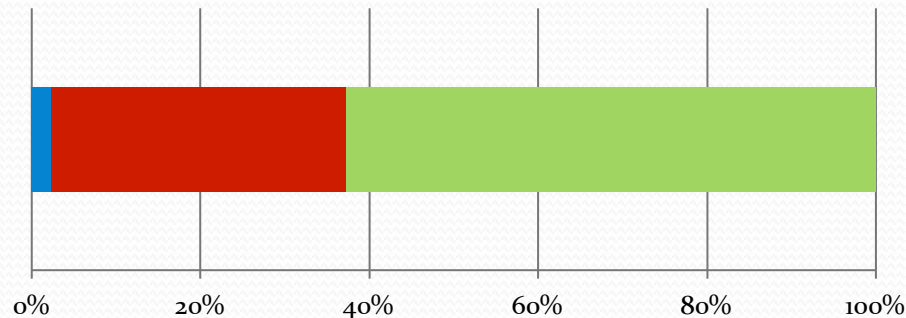
雨季

乾季は生物生産(光合成)が大きく、物質が良く循環している

ボックス: $\mu\text{mol/L}$
 フラックス: $\mu\text{mol/L/day}$
 ()の値は、陸域からの負荷を100として換算した値、100以上は赤色

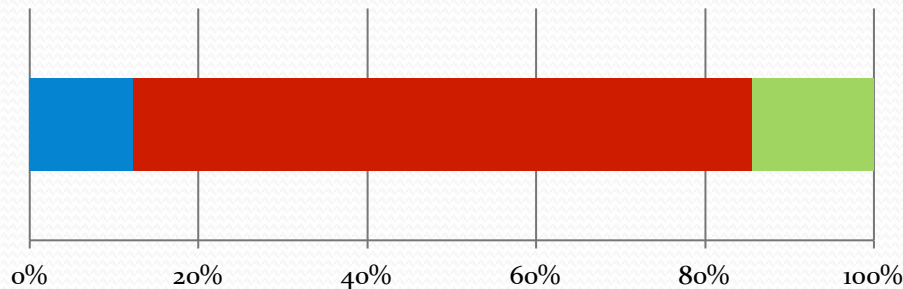
雨季は外のボックスとの水交換が大きく、循環自体は小さい

無機態窒素のフラックスの源



■ 河川 ■ 分解 ■ 溶出

乾季



■ 河川 ■ 分解 ■ 溶出

雨季

底質からの栄養塩
の溶出の影響が大きい

底質からの溶出について
より詳細な調査が必要

4. 拡散モデル

- 目的

乾季における水上集落から的人為起源物質(DIN、大腸菌)の拡散について観測結果の分布を拡散モデルで再現
→ 拡散係数の推定

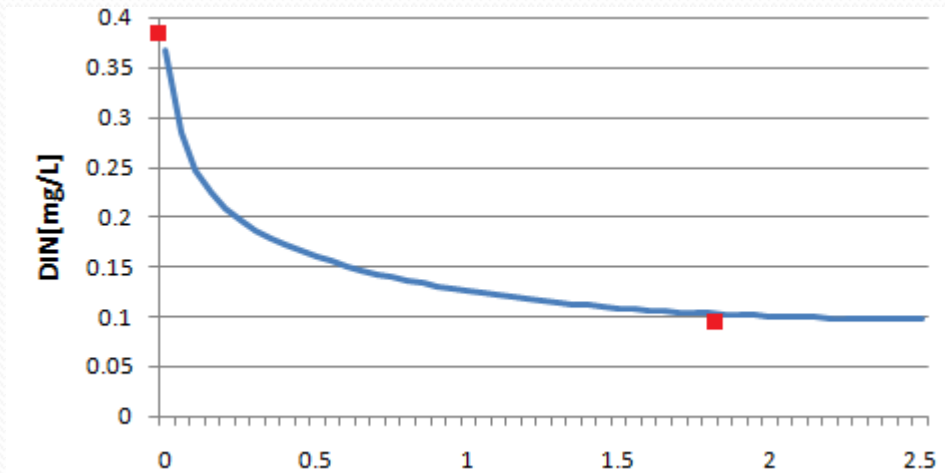
- 二次元拡散方程式

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D \frac{\partial C}{\partial y} \right) + m(51,51) - p$$

D: 拡散係数、C: 人為起源物質の濃度、m: 水上集落からの負荷、p: 大腸菌の死亡率

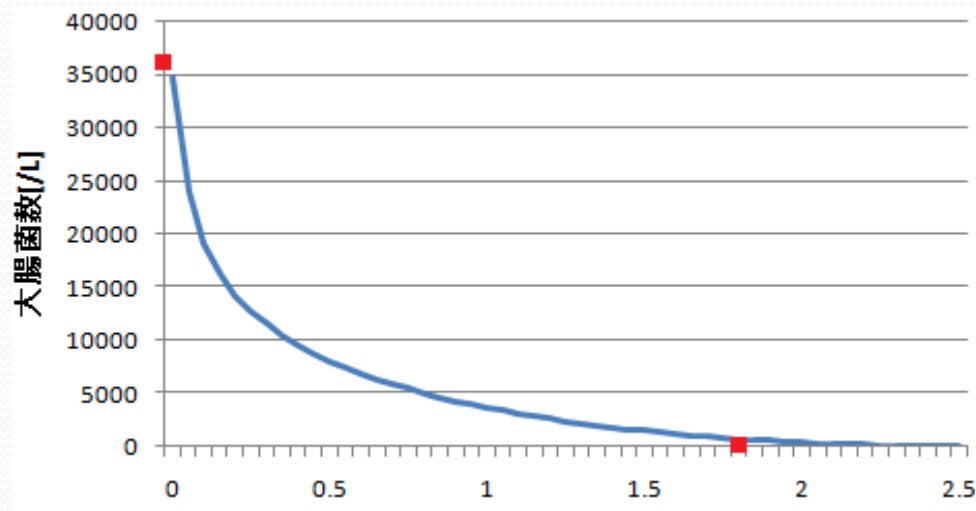
- 101×101格子の領域で計算、一つの格子は50m四方と設定
- 人為起源物質の負荷が、連続的に中心の点から出されていると仮定
- 定常状態に近づくまで繰り返し計算

DINと大腸菌の拡散の再現



- 拡散係数
 $D=0.035[\text{m}^2/\text{s}]$
- 中心の負荷濃度
 $m=4.0[\text{mg}/\text{L}/\text{day}]$

水上集落の中心からの距離[km] 赤い点は観測のデータ



上で求めた拡散係数から大腸菌の分布の再現

- 中心の負荷濃度
 $m=5.2 \times 10^5[/math>[/L]$
- 死亡数
 $p=48.5[/math>[/day/L]$

推定した拡散係数・負荷の妥当性の検討

拡散のスケールの推定による検討

リチャードソンの4/3乗則：水平方向の渦動拡散係数は $10^{-3} \sim 10^4 \text{m}^2/\text{s}$ の範囲で変化し、一般にスケールの4/3乗に比例して大きくなる

⇒スケールは約100m～1kmと推定された

水上集落の人口の推定による検討

・窒素負荷量(原単位法)より

$$12 \times \text{人口} = 4.0 \times 10^{-3} \times (50 \times 50 \times 1 \times 10^3)$$

窒素排出量[gN/人 day] m[gN/L day] 1格子の容積[L]

・糞便から排出されるによる大腸菌数より

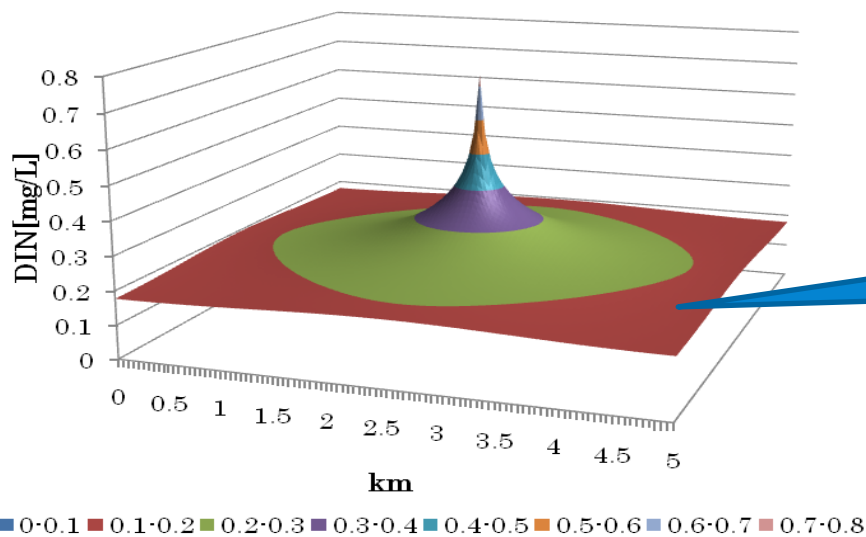
$$10^{11} \times \text{人口} = 5.2 \times 10^5 \times (50 \times 50 \times 1 \times 10^3)$$

大腸菌排出数[/人 day] p[/L day] 1格子の容積[L]

⇒人口=10～1000人のオーダーの範囲内と推定

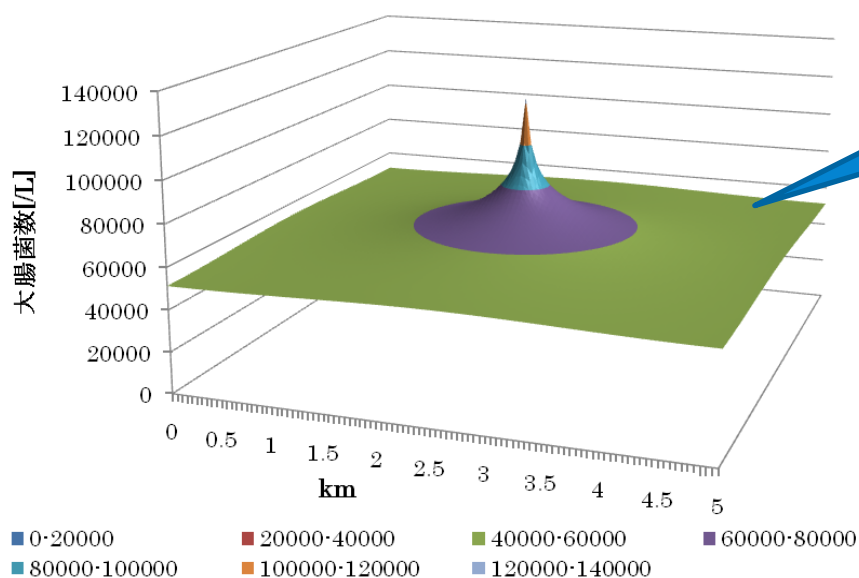
モデルの対象領域
は5km四方
水上集落の人口の
オーダーは100人
であることから
妥当

負荷倍増時のシミュレーション結果



定常時の濃度が
2倍

目安
水道原水としての限界値が5000/100mL
水浴上の基準は1000/100mL
共に基準値を超えてしまっている



• 栄養塩は濃度が全体的に増加
• 大腸菌は集落の中心から距離が離れても無くならない
→ 濃度上昇の影響がより広範囲になり、
将来的に**汚染の影響が深刻になる可能性**を示唆

5. 結論と今後への課題

- 乾季と雨季に2回の現地調査
→ 深刻な汚染を示すデータは得られなかった
→ しかし、陸域からの負荷変化やメコン河からの水の流入変化により**環境悪化の可能性**

⇒ 環境変化を見逃さないための現状の水質の把握と、継続的な観測によるデータの蓄積が重要

- モデルを用いて物質循環の推定
→ 乾季の**底質からの栄養塩溶出**の重要性の示唆

⇒ より詳細なデータを集めることによるモデルの精度の向上