

水質モデルの特徴と 令和 7 年度伊豆沼流域汚濁負荷要因調査結果 について

令和 8 年 8 月 2 7 日

令和 8 年度第 1 回宮城県環境審議会水質部会

宮城県環境生活部環境対策課（委託事業者：パシフィックコンサルタンツ株式会社）

ご説明する内容

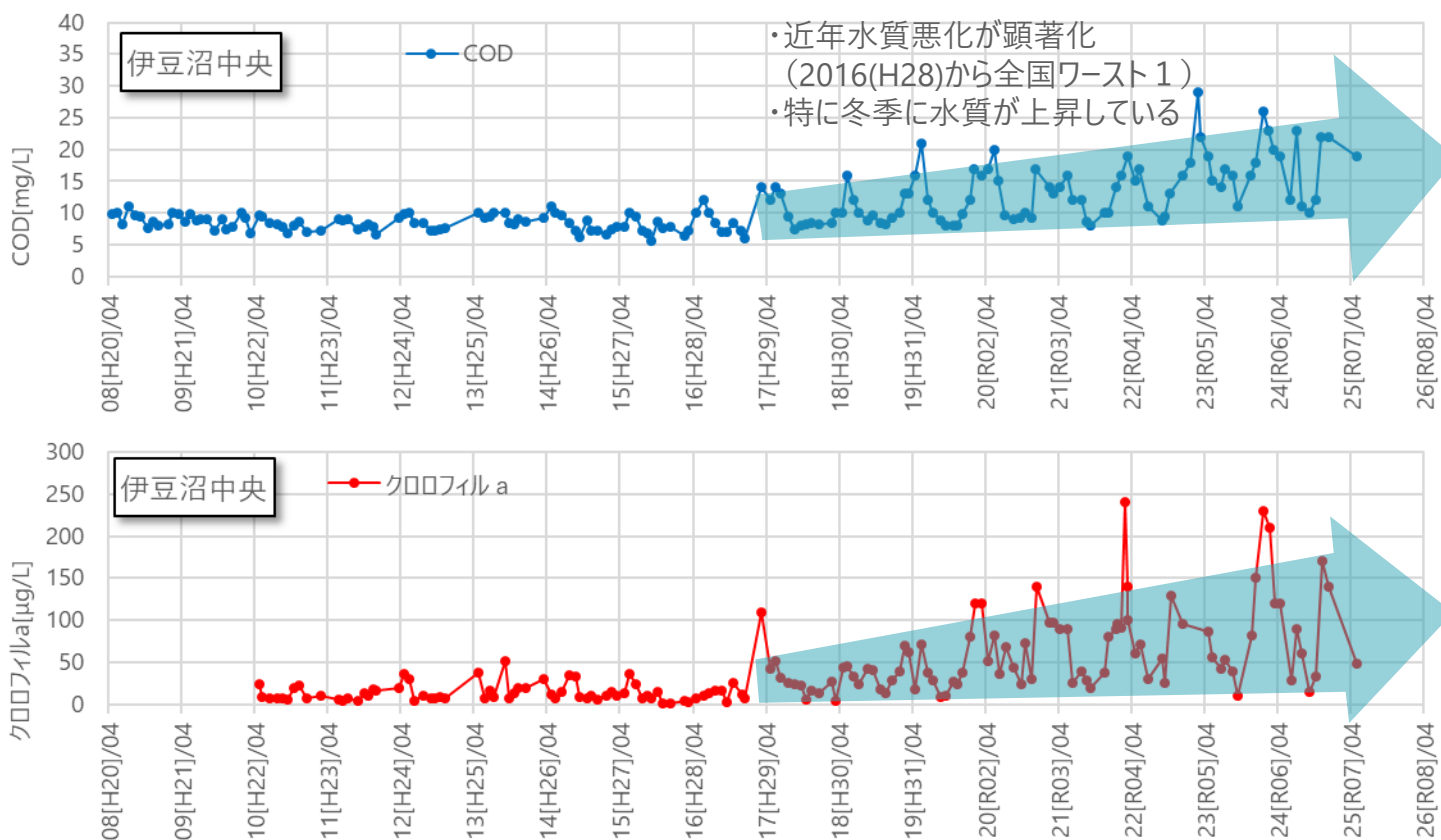
- 伊豆沼・内沼の水質状況
- R7年度調査の結果の概要
- 伊豆沼で構築する水質シミュレーションモデル

伊豆沼・内沼の水質状況

伊豆沼の水質状況

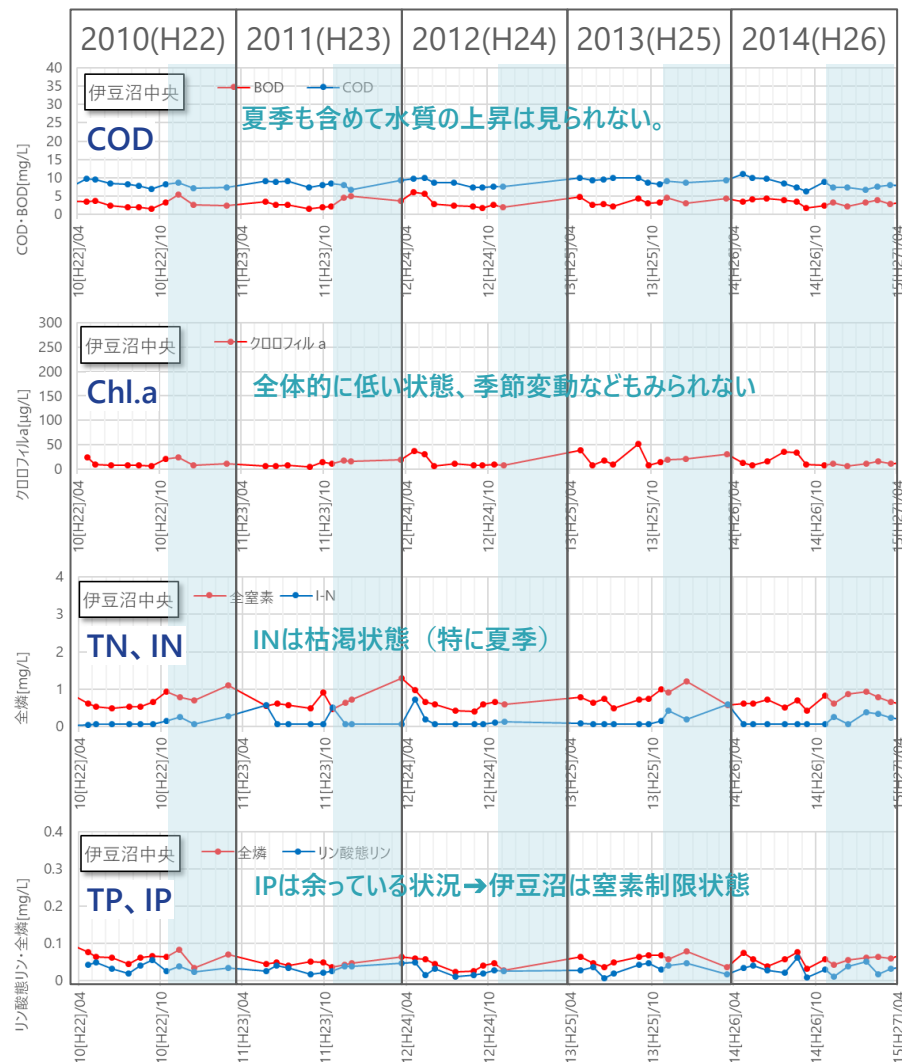
■ COD、クロロフィルaの上昇

- 近年水質悪化が顕著
- 特に冬季の水質が上昇している

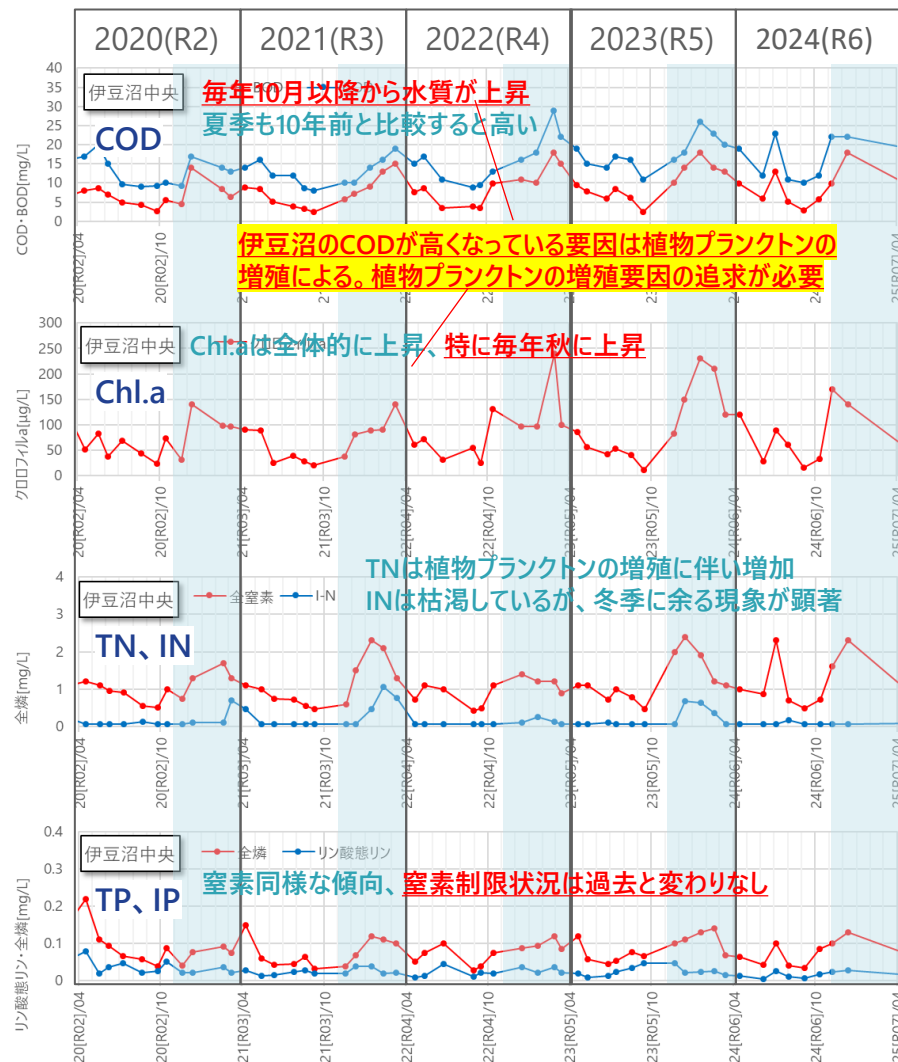


過去と現在の水質状況の比較（湖内：伊豆沼中央）

過去5年（2010(H22)～2014(H26)年度）



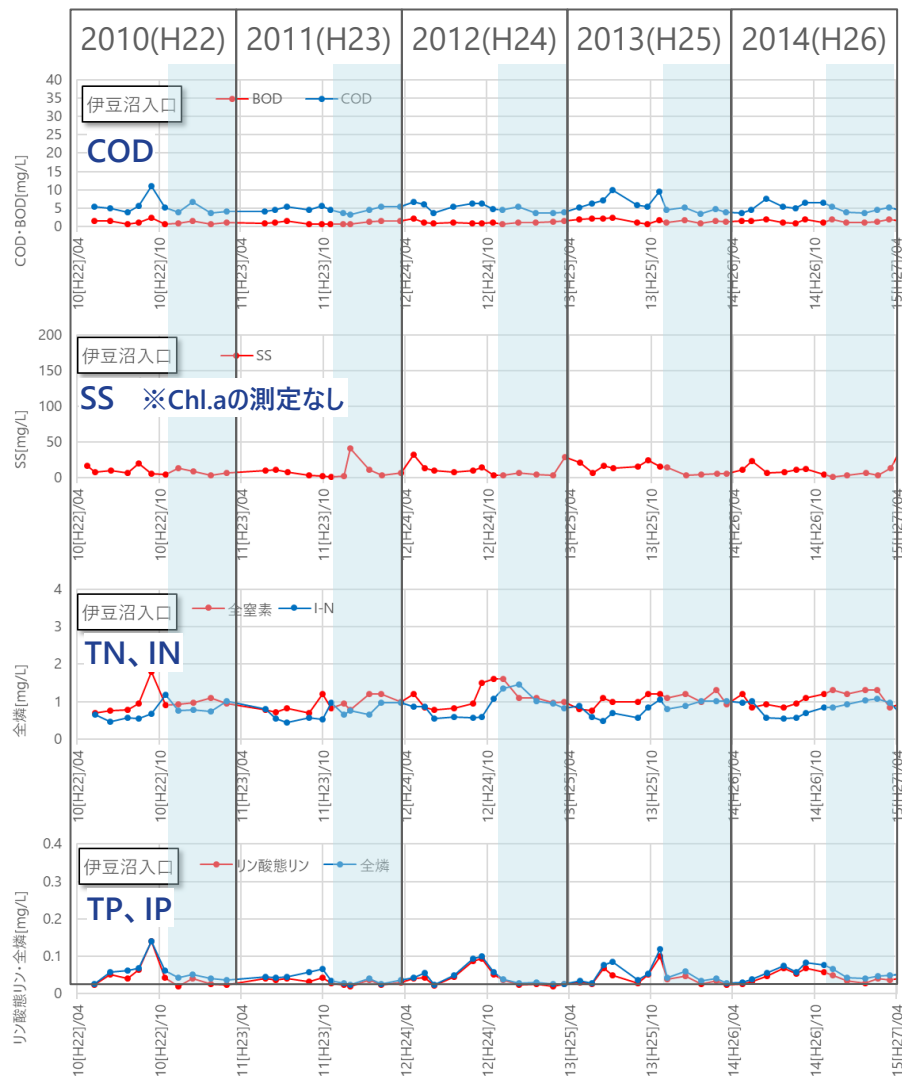
直近5年（2020(R2)～2024(R6)年度）



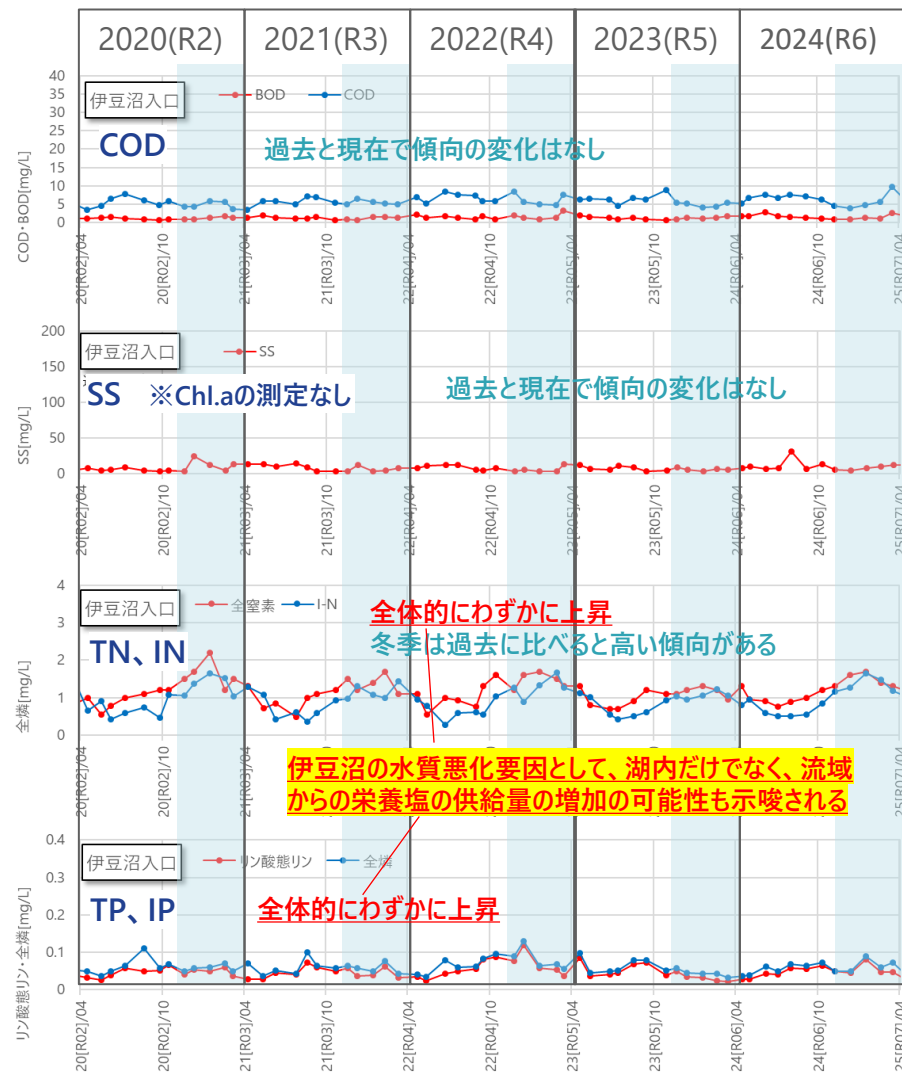
水温が概ね10℃以下になる11月～3月を示す

過去と現在の水質状況の比較（流入河川：伊豆沼入口）

過去5年（2010(H22)～2014(H26)年度）



直近5年（2020(R2)～2024(R6)年度）



水温が概ね10℃以下になる11月～3月を示す

R7年度調査の結果の概要

調査概要

■ 目的

- 伊豆沼・内沼の水質悪化要因を解明するために、公共用水域水質調査に加えて、詳細な調査を実施
- R8年度から予定している水質シミュレーションモデルの構築にも必要なデータとなるように調査を実施

■ 調査項目と実施回数

- 水質調査 平水時：年 7 回(5,7,9,11,2※,3月)、降雨時：年 1 回(10月)
※これまで調査データが少なかった、植物プランクトン調査も実施
- 底質調査 年 2 回 (8,11月)
- 底泥溶出速度試験 年 1 回 (8月)

■ 地点 (詳細次ページ)

- 水質調査 (平水時) 伊豆沼 2 地点、内沼 1 地点、流入河川 3 地点
農業排水機場 2 地点
- 水質調査 (降雨時) 流入河川 3 地点
- 底質調査、底泥溶出速度試験 伊豆沼 1 地点、内沼 1 地点

調査地点



- 公共用水域水質調査地点（月1回）
- 本業務の調査地点【平水時】（案）（年7回：5.7.9.11.1.2.3月）
- 本業務の調査地点【降雨時】（案）（1 降雨）
- 保健環境センター調査地点（提案含む）（年7回：5.7.9.11.1.2.3月）

水質調査結果の考察：植物プランクトンの増殖

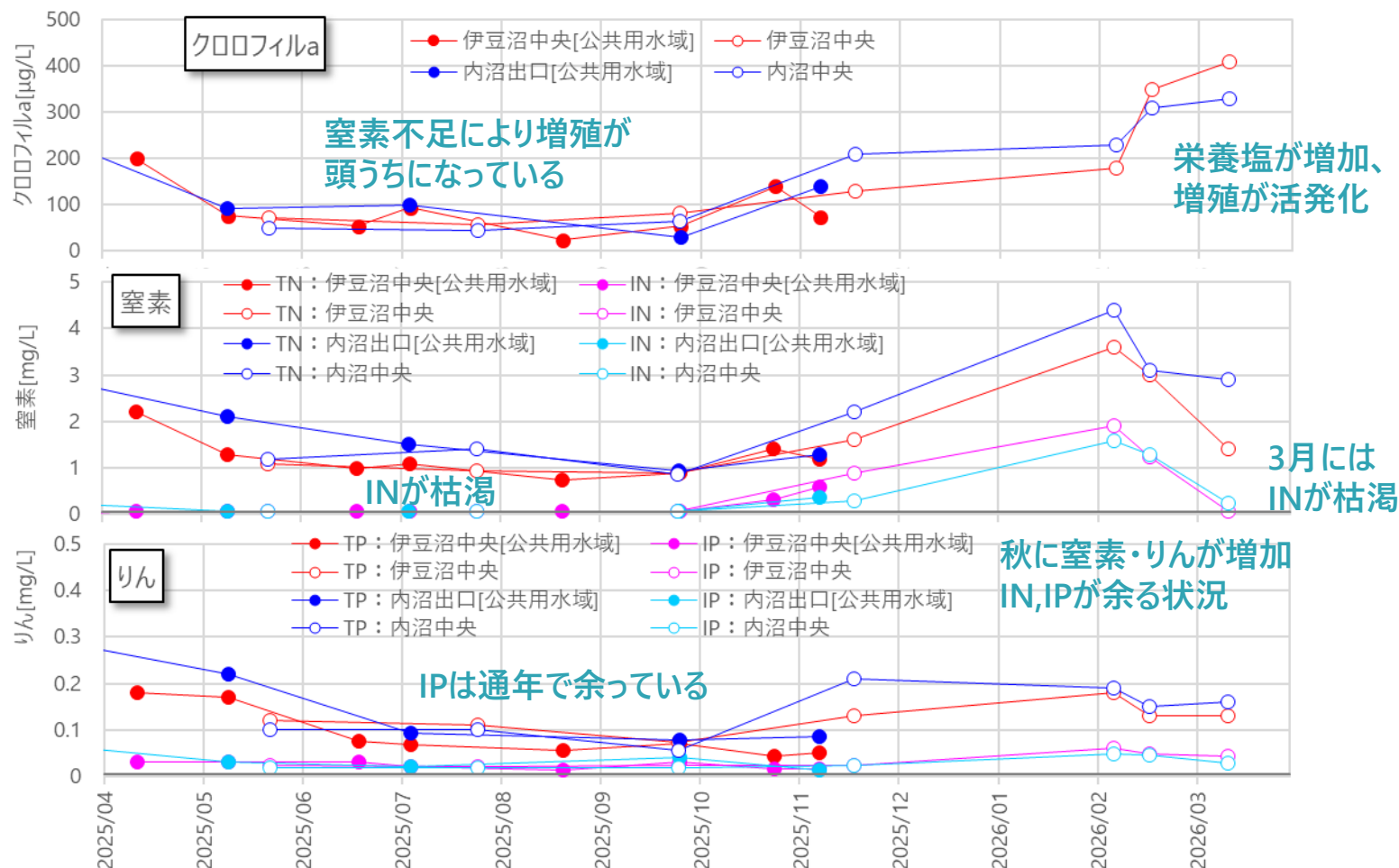
■ 夏：窒素制限状態（無機態窒素枯渇、無機態りんがある）

- 植物プランクトンは栄養塩を消費して増殖、窒素が不足して頭うちの状態
- 空気中から窒素を取り込むような藍藻類の異常増殖は確認されない（ヒシやハスとの競合影響によると考えられる）

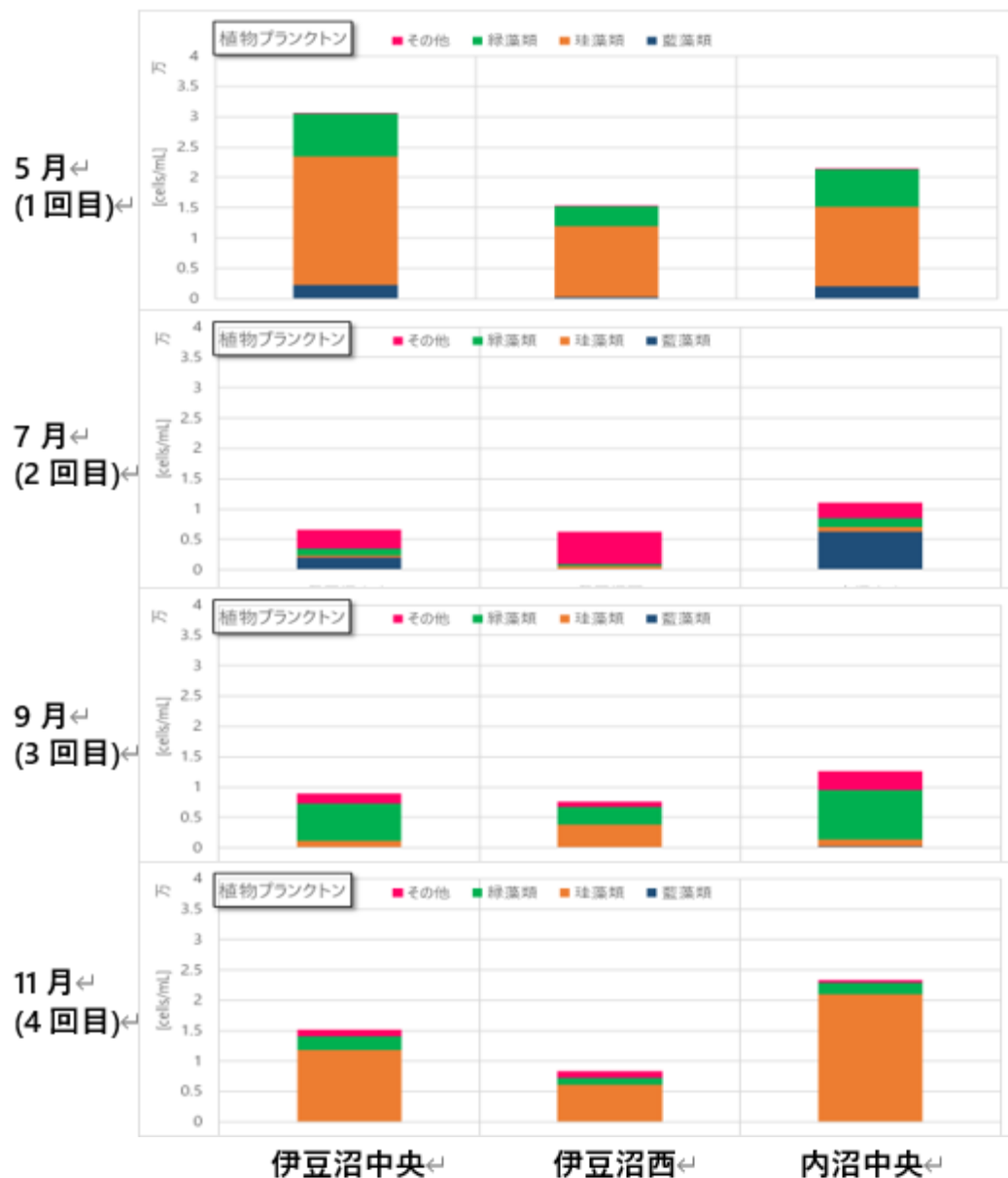
■ 秋：窒素もりんも余っている状態（日照・水温条件に応じた植物プランクトンが増殖しやすい状態）

- 湖内の窒素・りん濃度が上昇（無機態窒素、無機態りんが余る状態）
- 日照や水温の条件が合えば、植物プランクトンは増殖しやすい状態になっており、条件に応じた植物プランクトンが増殖、Chl.aが増加していると考えられる

（水温が低くても植物プランクトン（珪藻）が増殖する事例は他湖沼（多くは海洋）でも確認されている



植物プランクトンの分析結果



珪藻類が主体

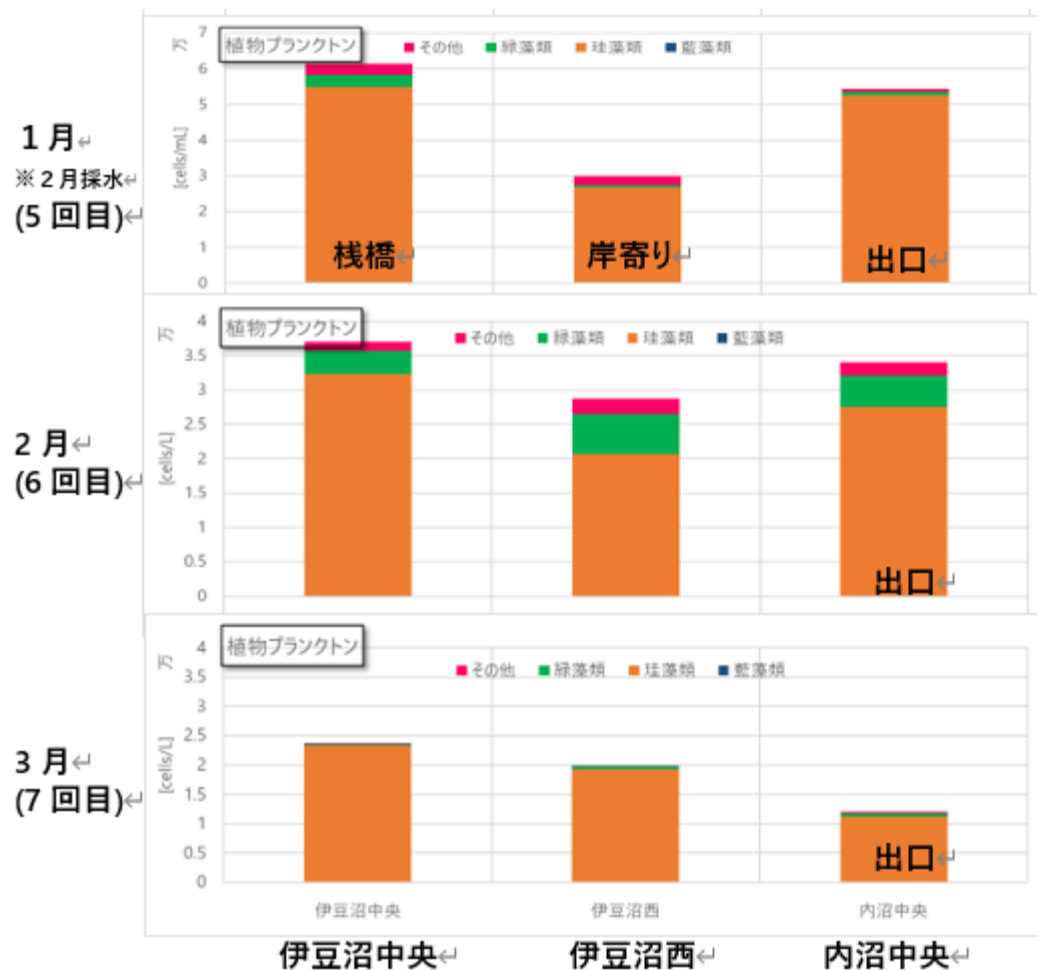
珪藻類から藍藻類とその他藻類に変化

- ※藍藻類は、*Planktolyngbya* sp.が最大
- この種類は、偽空胞を持たないため水面に集積しにくい
- アオコ形成しやすい種の発生は少ない
- その他藻類では、ミドリムシ藻綱が優占

藍藻類から緑藻類・珪藻類へ変化
総数は増加

珪藻類が増加
総数も増加傾向

植物プランクトンの分析結果



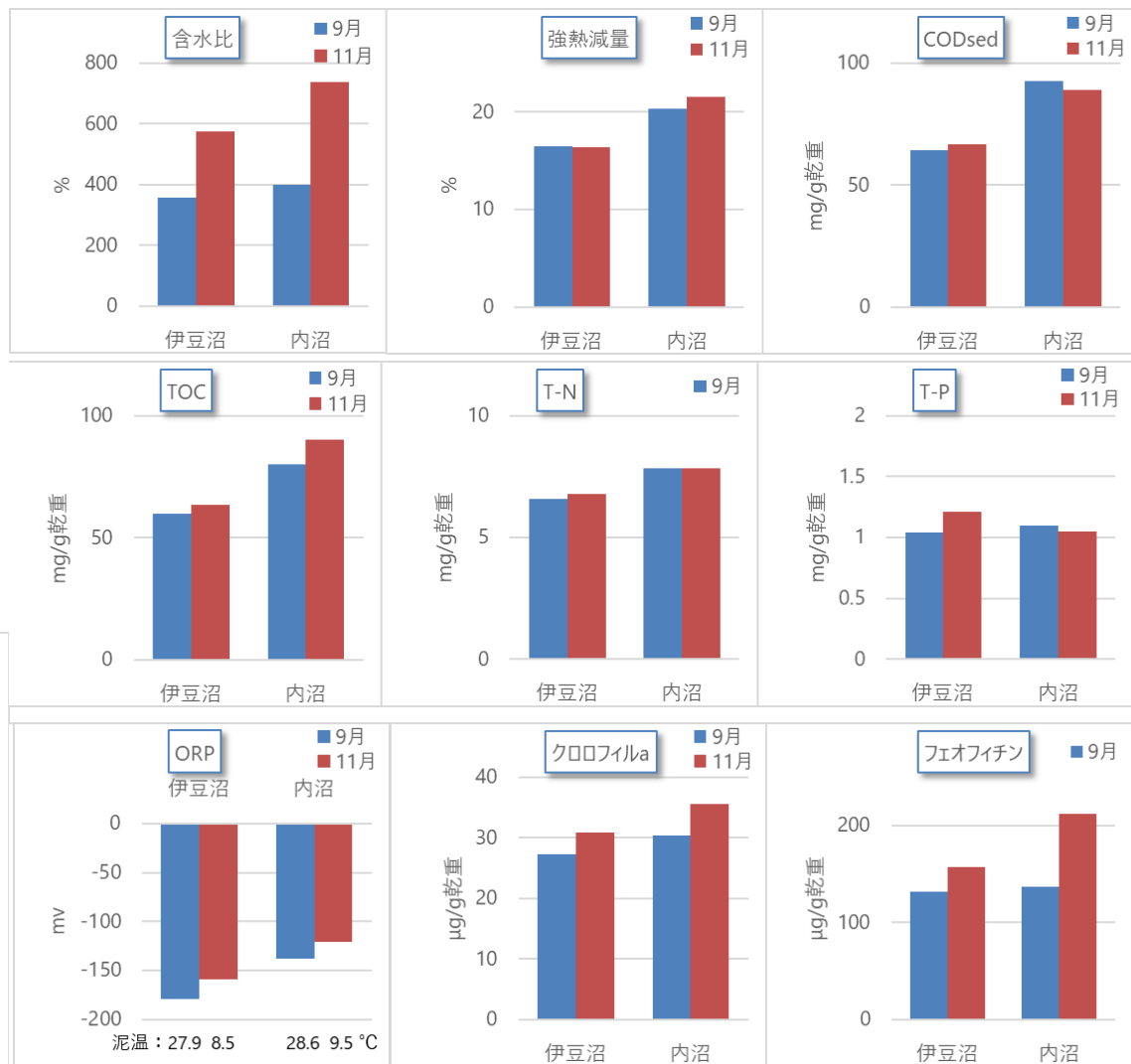
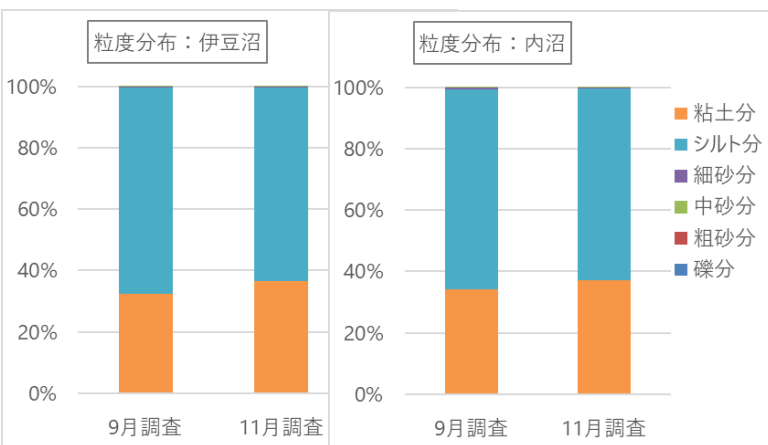
※地点が異なるので注意
※グラフレンジも変更
種組成は変化なし
総数が増加

※内沼は地点が異なるので注意
種組成は変化なし
総数は11月に比べて増加

※内沼は地点が異なるので注意
種組成は変化なし
総数は2月に比べて減少

底質調査結果（9月,11月）

- 地点差：伊豆沼より内沼の方が値が高い項目が多いが、その差は小さい
- 季節的变化：秋に増える傾向
- 粒度組成：粘土とシルト



底泥溶出速度試験結果

■ 試験条件

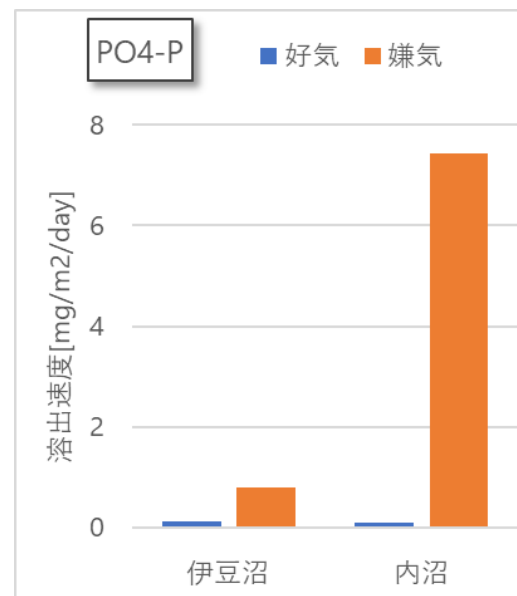
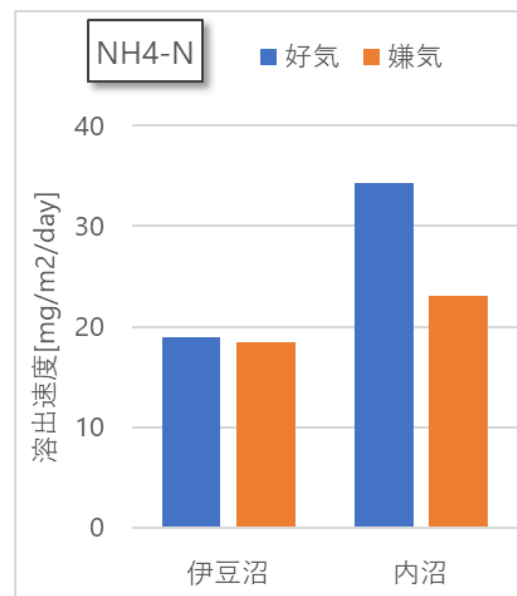
- 好気性、嫌気性条件で試験
- 項目：TOC、
窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ ）、
りん（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ）

■ 試験結果

- 溶出が確認されたのは $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ のみ
- $\text{PO}_4\text{-P}$ は嫌気条件で溶出量が多くなることを確認
- $\text{NH}_4\text{-N}$ は好気・嫌気条件で大きな違いは確認されない（内沼では嫌気条件で減少した）

■ 地点別

- 伊豆沼よりも内沼からの溶出量が多い



まとめ（水質悪化要因の整理）

近年のCODの上昇

- クロロフィルaの増加が要因
植物プランクトンの量が増えている



植物プランクトンの増殖量が増えている要因

- ・湖内のTN・TPは過去よりも増加傾向＝栄養塩の増加により植物プランクトンが増殖
- ・伊豆沼は基本的には窒素制限状態（過去から傾向に変わりはない）
 - 夏季は、窒素制限状態により植物プランクトンの増殖は頭打ちになっている
（植物プランクトンの量は過去より増えているが、窒素制限状態にあることは同様）
 - 冬季は、近年INがあまり始めていて、植物プランクトンの増殖しやすい状態
（日射、水温条件の合う植物プランクトンの増殖は止まらない状態＝水質が悪化）
- 特に冬季の水質悪化が顕著になっている



考えられる栄養塩の供給源

- 流域流入
 - 窒素は冬季に増加傾向（全体的に窒素、りんは僅かに増加傾向）
 - かんがい期は農業排水機場からの流入影響もあり
 - 降雨時の流入影響は不明
- 底泥溶出
 - 溶出速度は過去と比較すると早くなっている
 - 夏季は貧酸素化による溶出量の増加（特にりん）の可能性あり
- 底泥巻き上げ
 - 軟泥化、浅底化により多くなっている可能性あり
 - SSの観測結果より、10月以降に増加している可能性あり
- その他→降雨負荷、鳥の糞 等

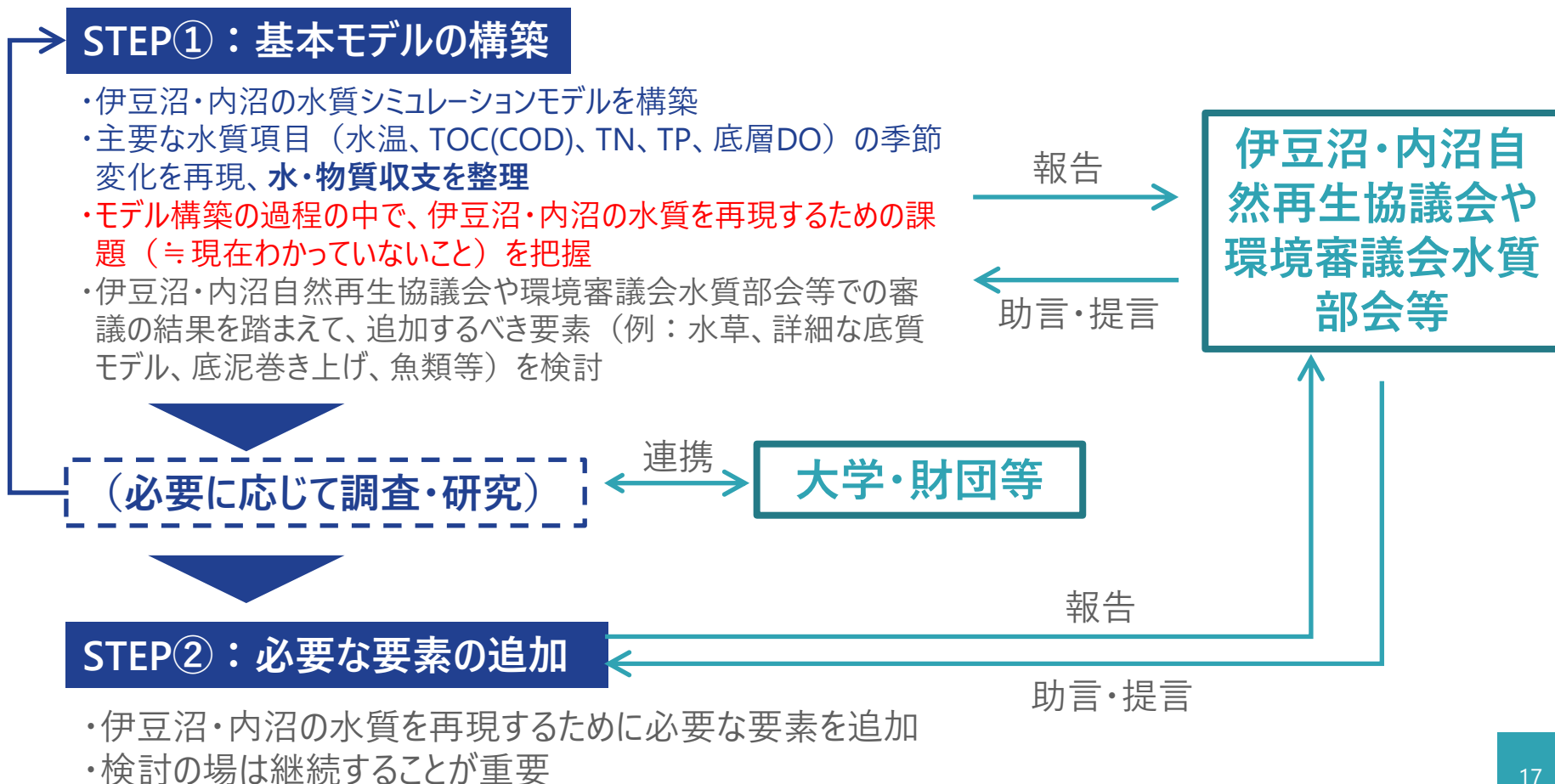
伊豆沼で構築する 水質シミュレーションモデル

水質シミュレーションモデルを用いる目的と検討イメージ

伊豆沼の水質悪化要因を解明するためには、水・物質の収支を整理し、いつ・どこから・水や物質が移動しているのかを把握することが重要となる。これを実現するために、水質シミュレーションモデルの構築を行う。

→しかしながら、現時点でモデルを構築するだけの情報や条件は揃っておらず、モデルを構築して行く過程で、伊豆沼の水質状況を再現するために必要な要素を把握しながら、2つの段階に分けた検討手順を提案する。

<検討イメージ>



水質シミュレーションモデルの概要

■ 2つのモデルを組み合わせたモデルを構築

■ 流域モデル（流域水循環モデル）

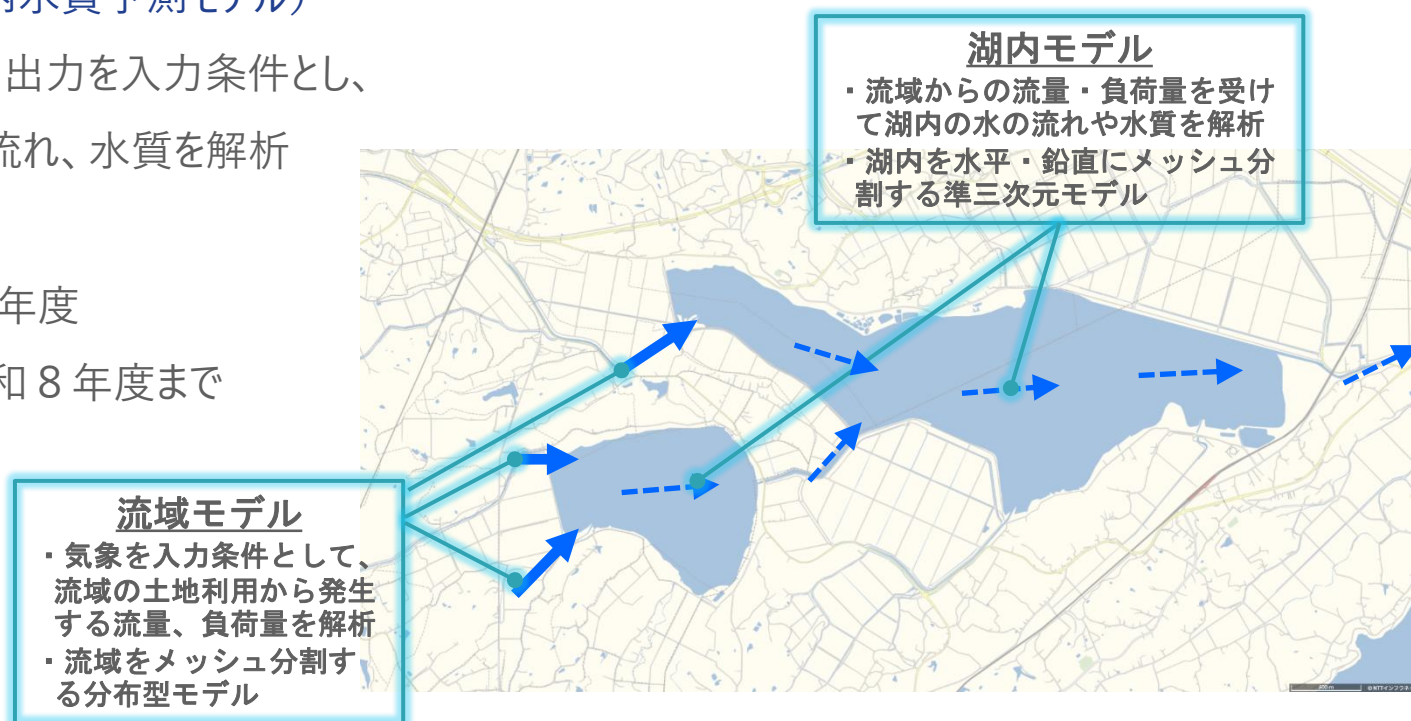
- 気象を入力条件として、流域で発生する流量、負荷量（水質）を解析
- 河川の流入量、水質を出力

■ 湖内モデル（湖内水質予測モデル）

- 流域モデルの出力を入力条件とし、
- 湖内の水の流れ、水質を解析

■ 解析期間

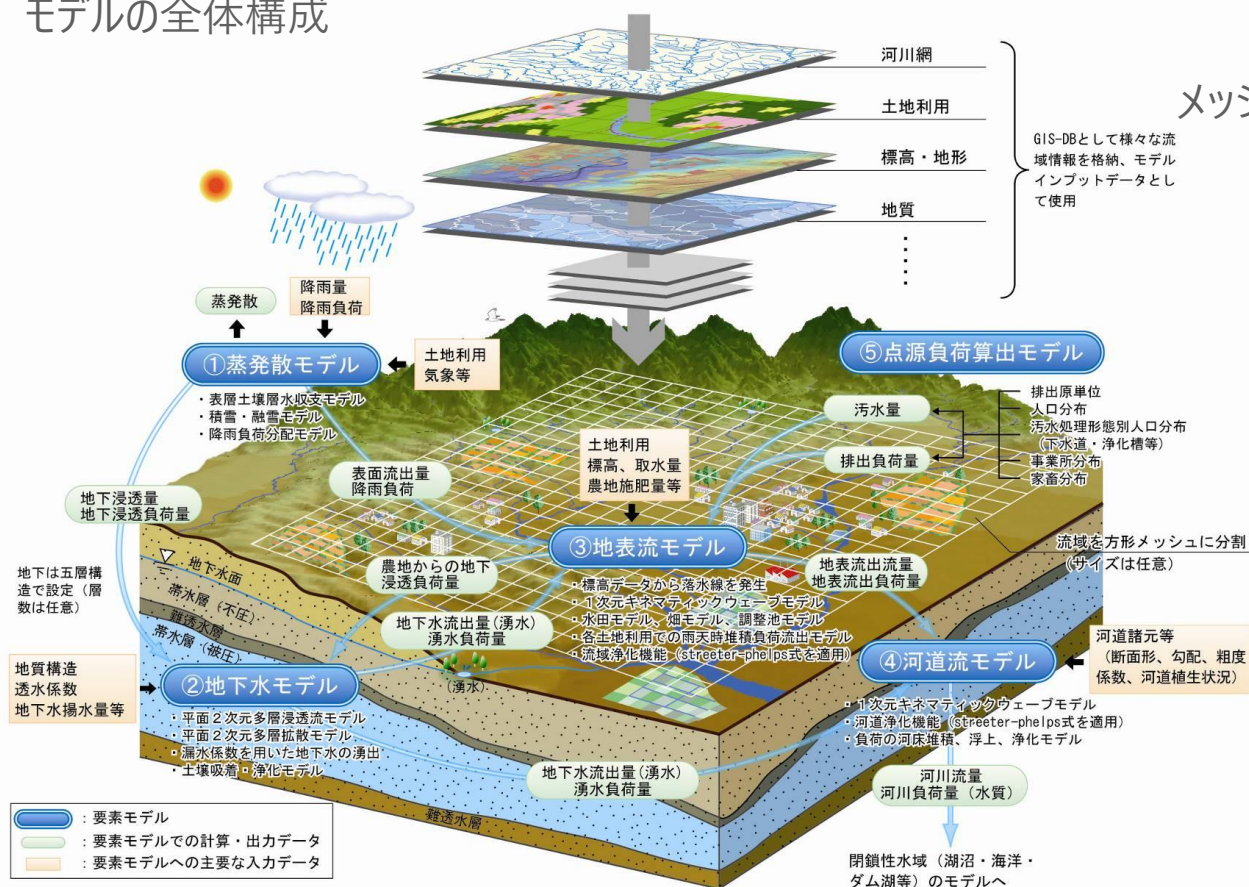
- 令和5～7年度
- 次年度に令和8年度まで延長予定



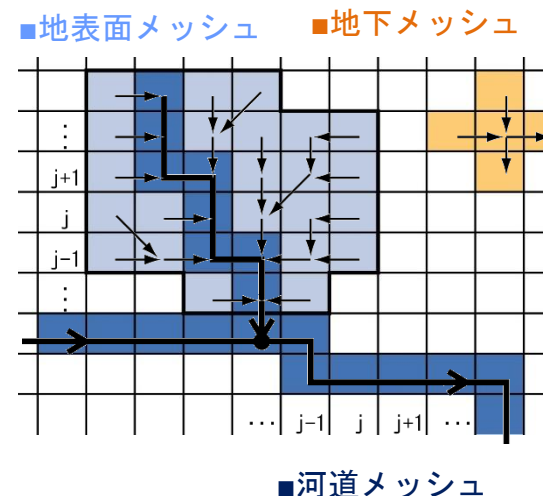
流域モデル（流域水物質循環モデル）

- 流域での水・物質の発生・挙動を解析するため、流域でメッシュを作成し、5つの要素モデル（蒸発散・浸透、地下水、点源負荷、地表流、河道流）を連成
- 地形データや気象データ（時系列）を入力条件として設定し、河川流量や水温、SS、TOC、窒素、リン（懸濁態、溶存態）の時間変化を解析

モデルの全体構成

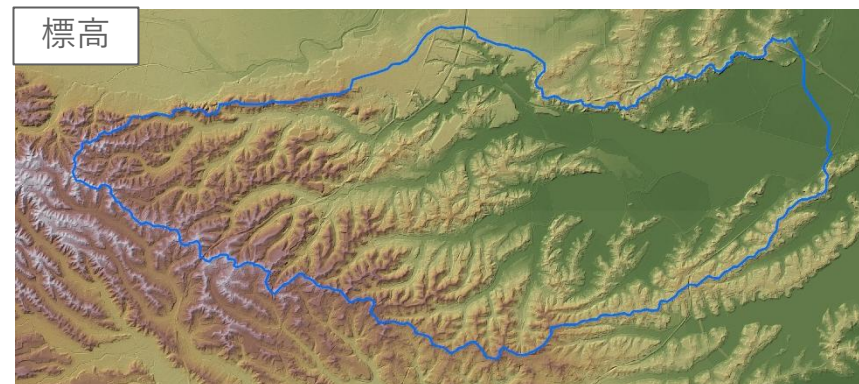


メッシュでの水・物質の流れの計算方法

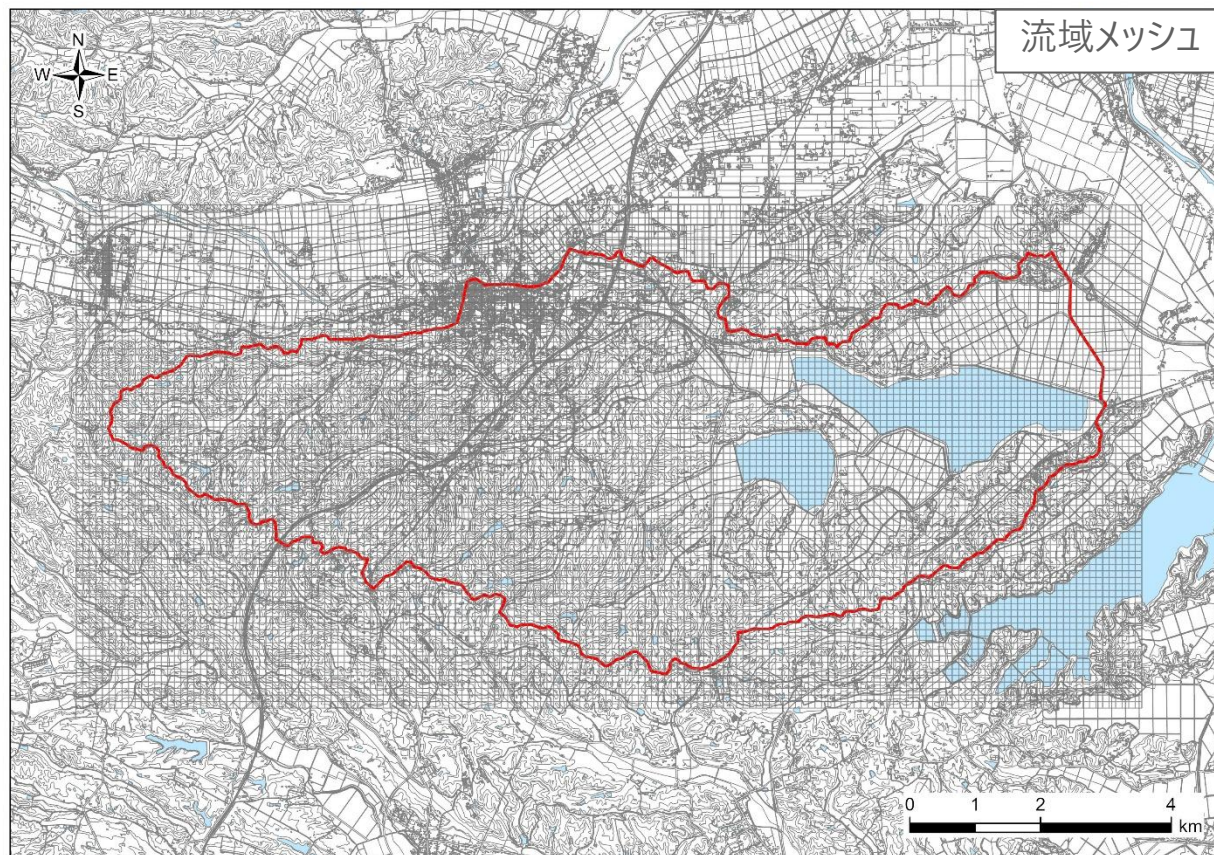


流域モデル（メッシュデータの作成）

- メッシュ：100m正方格子（約6000メッシュ）
東西方向：約160メッシュ、南北方向：約70メッシュ
- 標高：DEMデータを使用（10mメッシュ）
- 土地利用：令和3年度データ



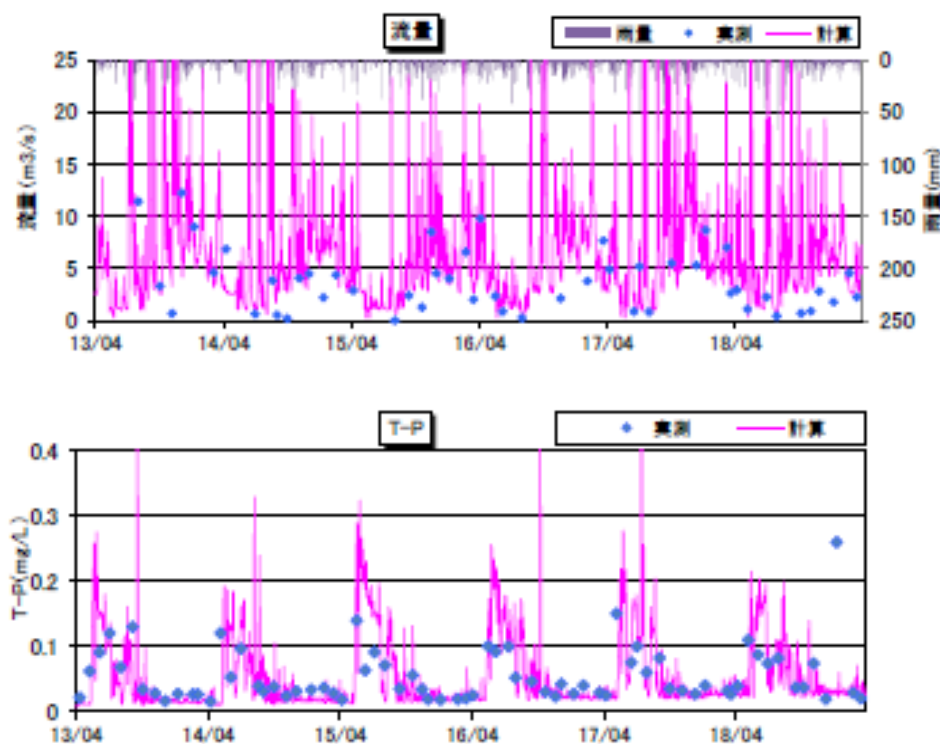
出典：国土地理院、数値標高データ



国土地理院発行基盤地図情報に伊豆沼
流域界とメッシュ図を重ねて作成

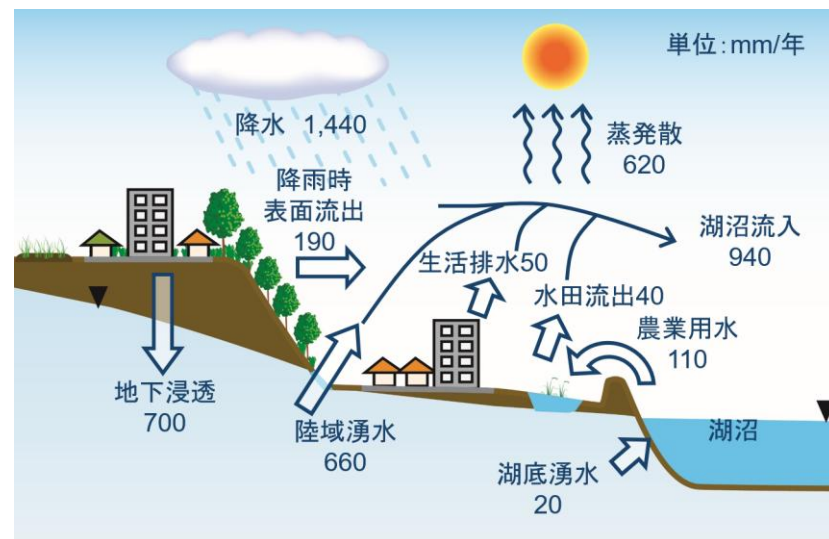
流域モデル解析結果の整理例

- 観測データを用いて再現計算結果を検証する。
- 流域から年間に、どこからどのくらいの水量、また負荷量が、水域に入ってくるのかが把握できる。

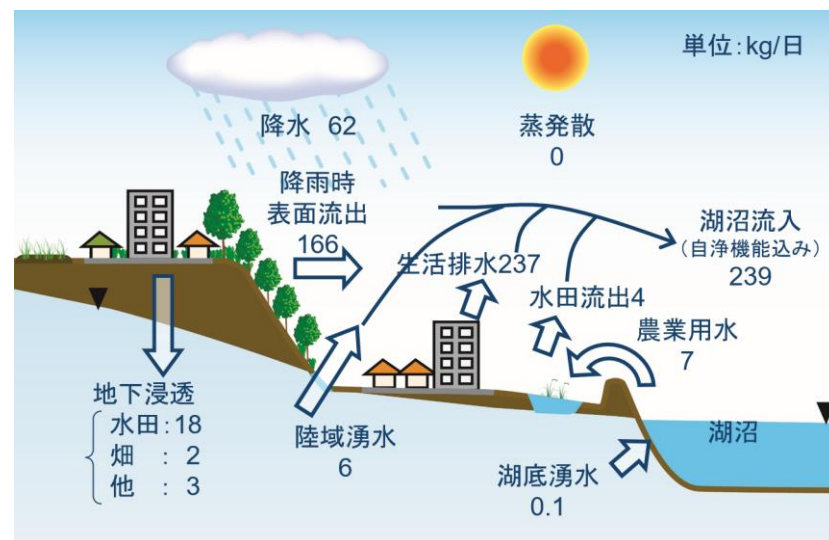


河川流量、水質（T-P）計算結果の出力（観測地点のメッシュ）
：計算結果（連続）と、観測データ（月 1 回）を比較

流域モデル：水収支の整理（年間で集計）

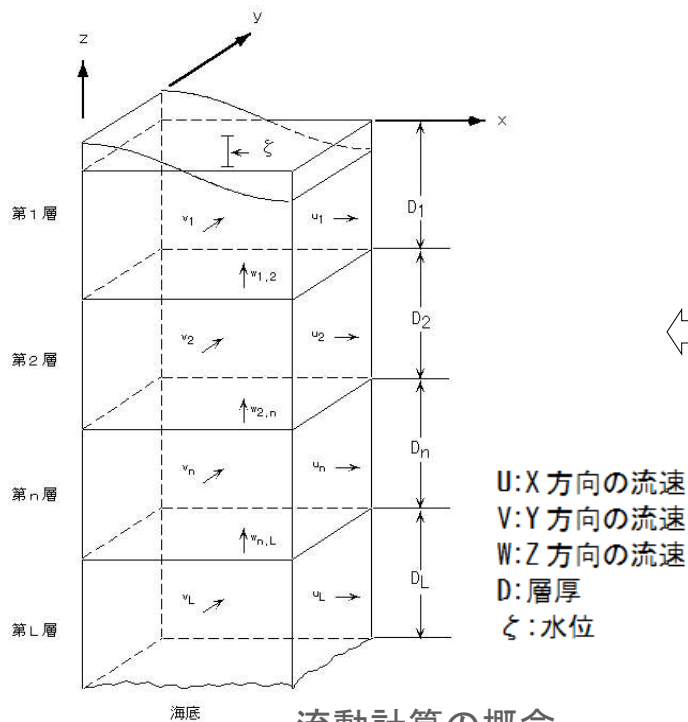
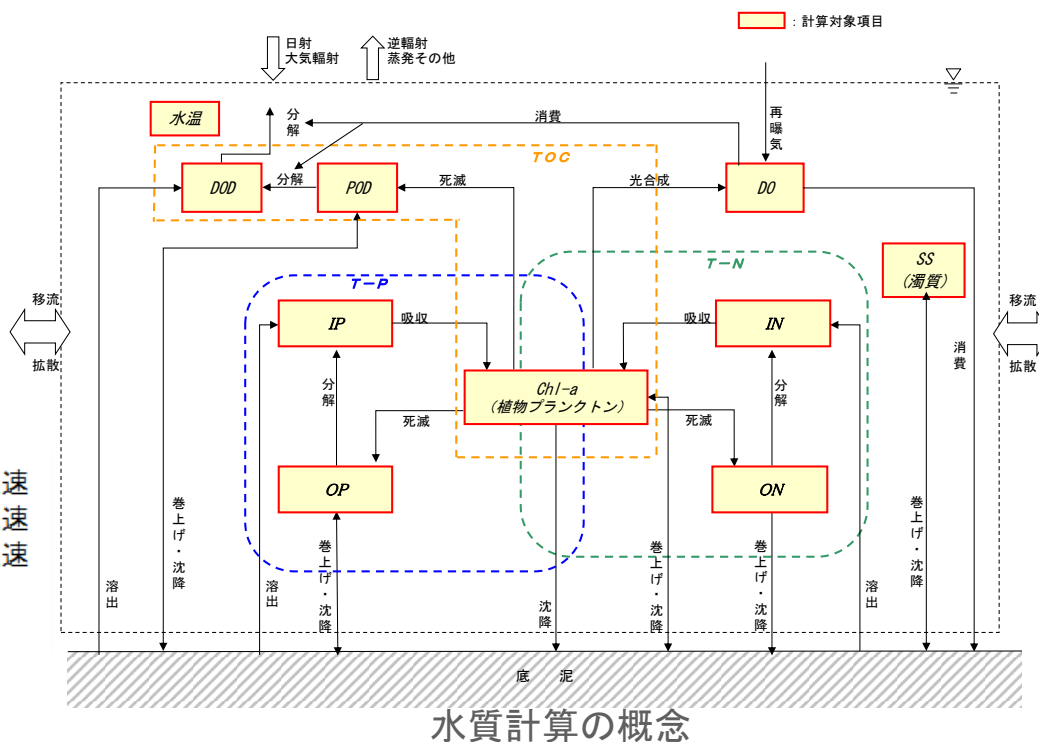


流域モデル：物質（T-P）収支の整理



湖内モデルの概要

- メッシュ：水平100m×鉛直0.5m（準三次元モデル）
- 地形条件：平成19年度測量結果（現在得られているデータとして最新）
- 流動：連続式、運動方程式（運動量保存則）、熱収支式（水温・エネルギーに関する移流拡散方程式）
- 水質：物質収支式（水質物質に関する移流拡散方程式）
- 留意事項
 - 伊豆沼は降雨時に下流からの逆流が発生することから、流域モデルの出力と湖内の水位データから流出量（流出と逆流）を水収支計算により設定し、下流端の境界条件として設定する事を想定している

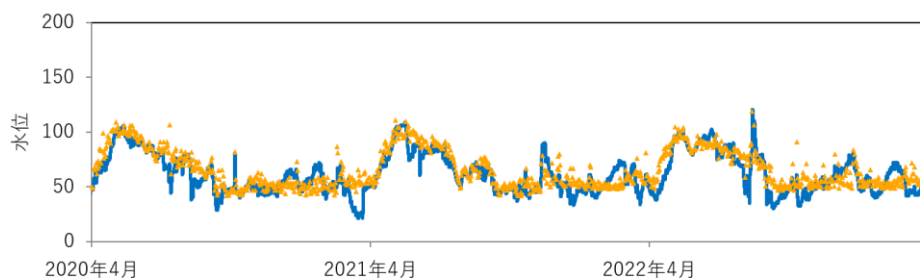


湖内モデル解析結果の整理例

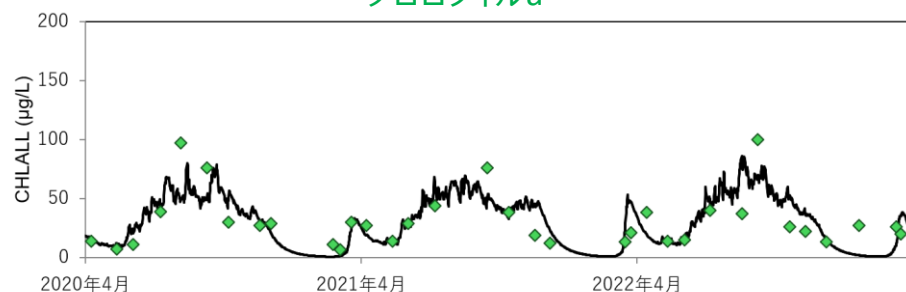
- 観測データを用いて再現計算結果を検証し、メカニズムがどの程度再現できたかを考察
- そのうえで、年間等で収支を整理し、各要素の影響を把握することで、メカニズムの解明や、対策効果の度合いを想定

水位、水質の再現計算の事例：観測データと比較

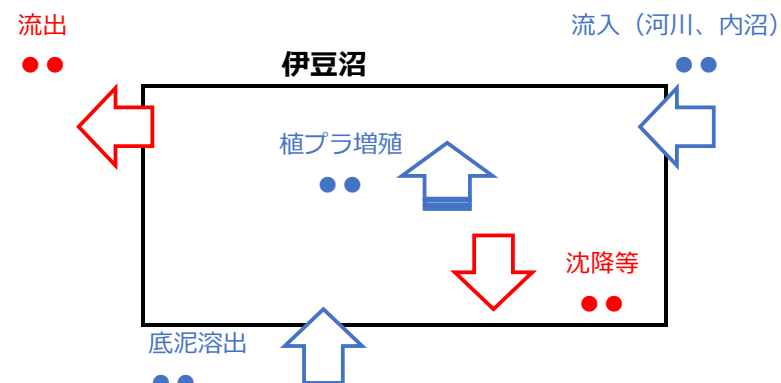
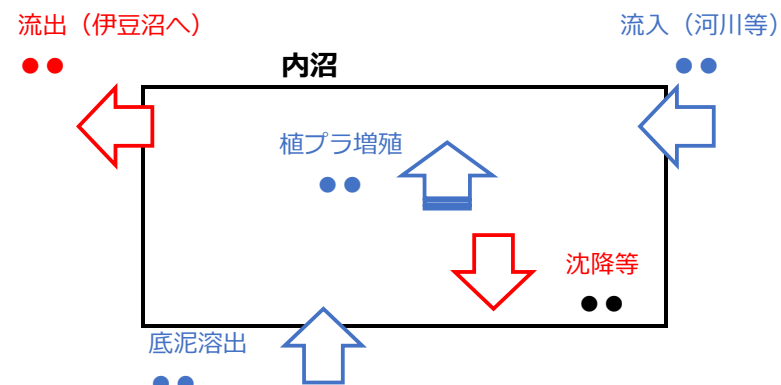
湖水位



クロロフィルa



有機物（炭素C）の年間負荷収支

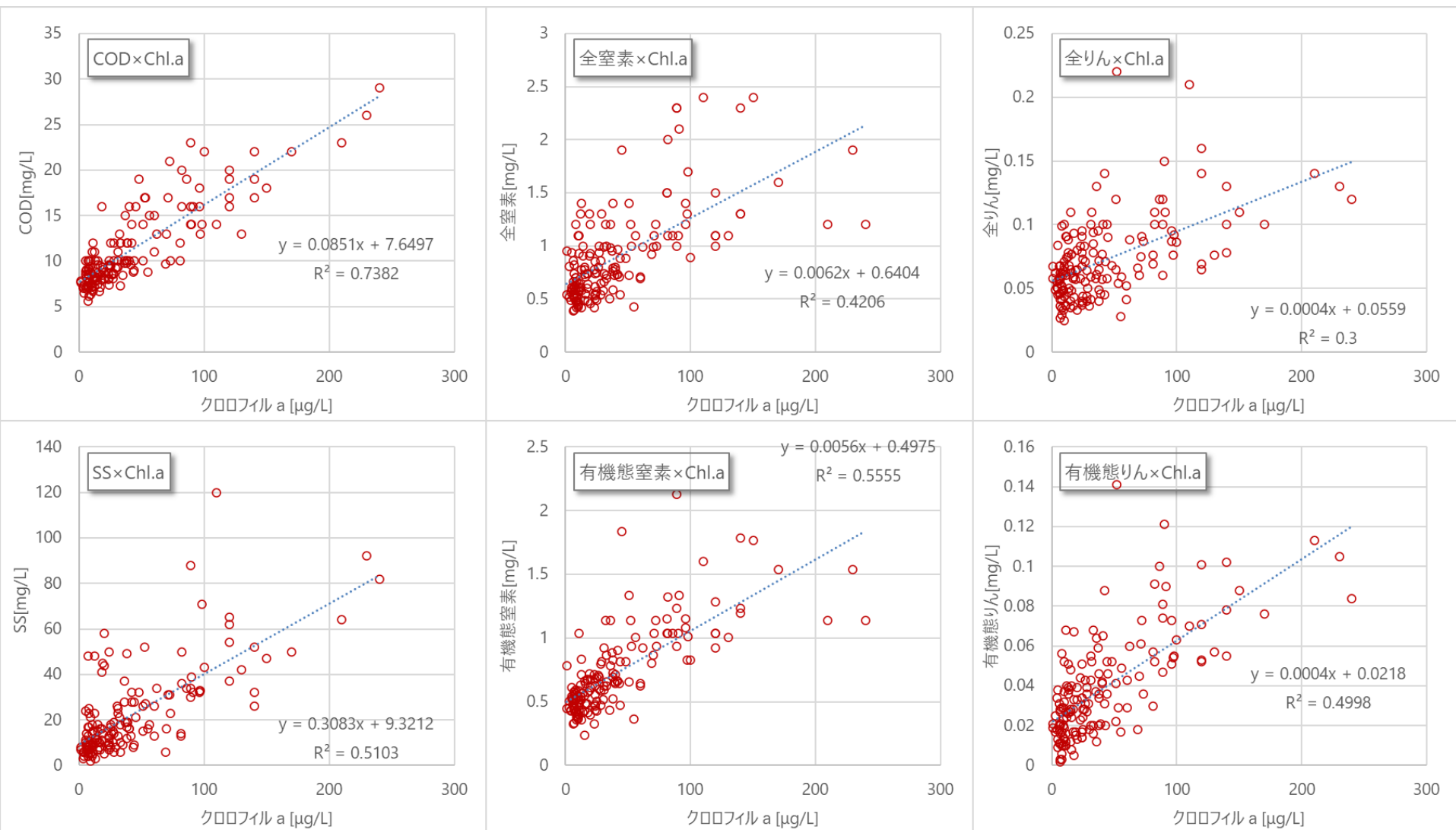


窒素やリンについても同様に整理する

參考資料

クロロフィルaと水質項目の関係性

Chl.aは各水質項目の関係性は見られる。→クロロフィルaの増加に伴い、水質が悪化している。

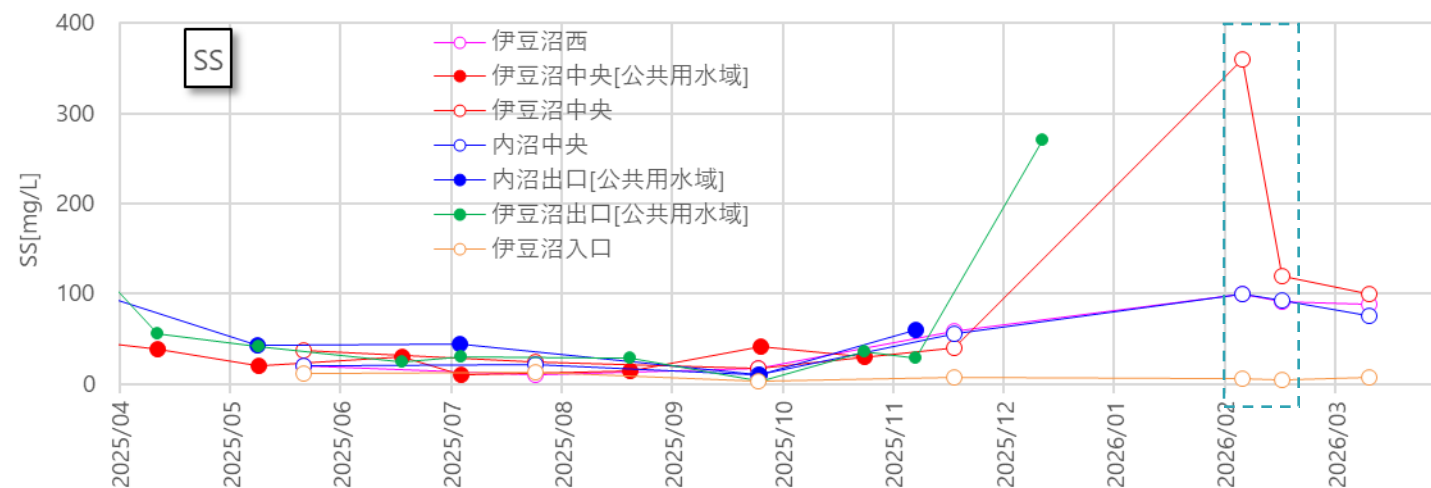


水質調査結果の考察：SSの挙動

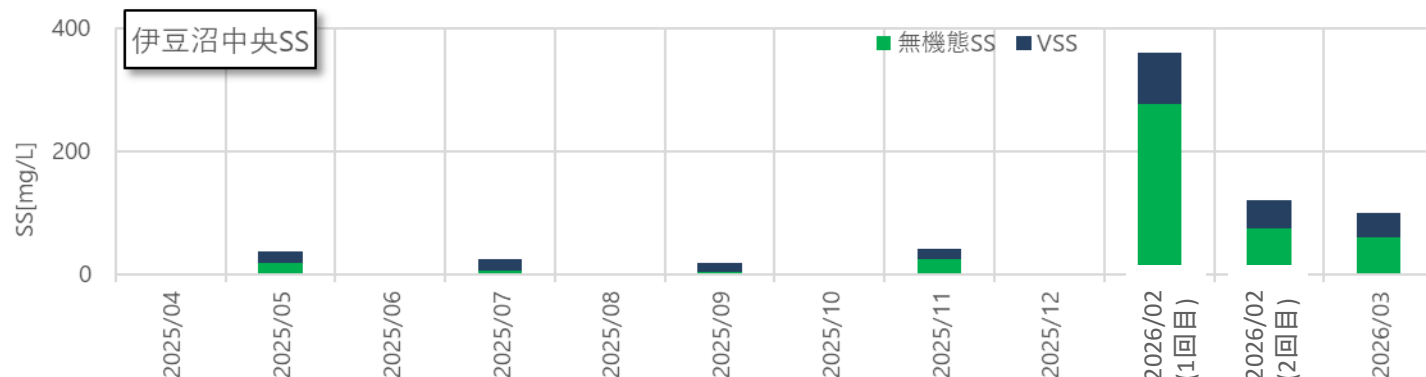
■ SSは10月以降に上昇

- 流入（伊豆沼入口）は増加していないことから底泥巻き上げ等、内部発生が要因と推定
- 主に無機態SS（土粒子由来）が増加

■ 夏季は無機態SSは少なく、VSS（植物プランクトン由来）が多い



※結氷等の関係で1月は調査が実施できず、2月に実施。2月も船が出せずに2月の1回目は伊豆沼中央→棧橋、伊豆沼西→岸寄り、内沼中央→出口で調査
2回目は内沼中央→出口で調査



底質調査結果の考察：過去との比較

■ 含有量（強熱減量）

■ 今回の調査（9,11月の平均値）

- 伊豆沼：16.5%
- 内沼：21.0%

■ 過去との比較

- 過去の強熱減量（右図）と比較すると、高くなっており、底質の有機物量は増加傾向

■ 溶出速度試験結果

■ 今回の調査結果（好気条件、20℃）

- TOC：溶出確認されず
- $\text{PO}_4\text{-P}$ ：0.11mg/m²/day
- $\text{NH}_4\text{-N}$ ：18.9mg/m²/day

■ 過去との比較

- 過去の溶出速度試験（右図）とは異なる状況であった。
- TOCは今回溶出は確認されず、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は同程度、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は3倍程度となっている

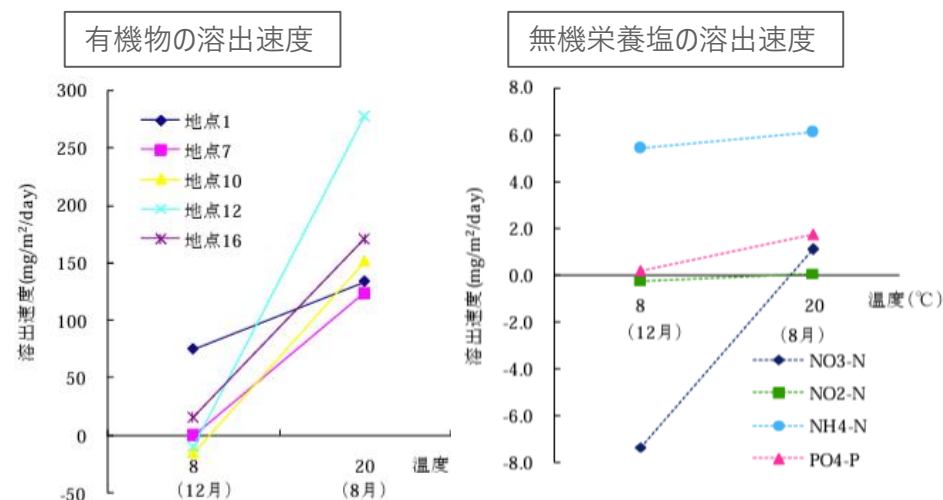
■ 他湖沼との比較

- 文献値（次スライド）比較では、窒素は事例の中程度、りんは遅い速度となっている



図 2.3-10 底質（強熱減量）の経年変化

出典：伊豆沼・内沼自然再生事業実施計画書 平成22年11月 宮城県



出典：伊豆沼底泥からの有機物および栄養塩溶出に関する研究
平成21年度 小浜ら

※好気条件の試験結果

底泥溶出速度 参考例

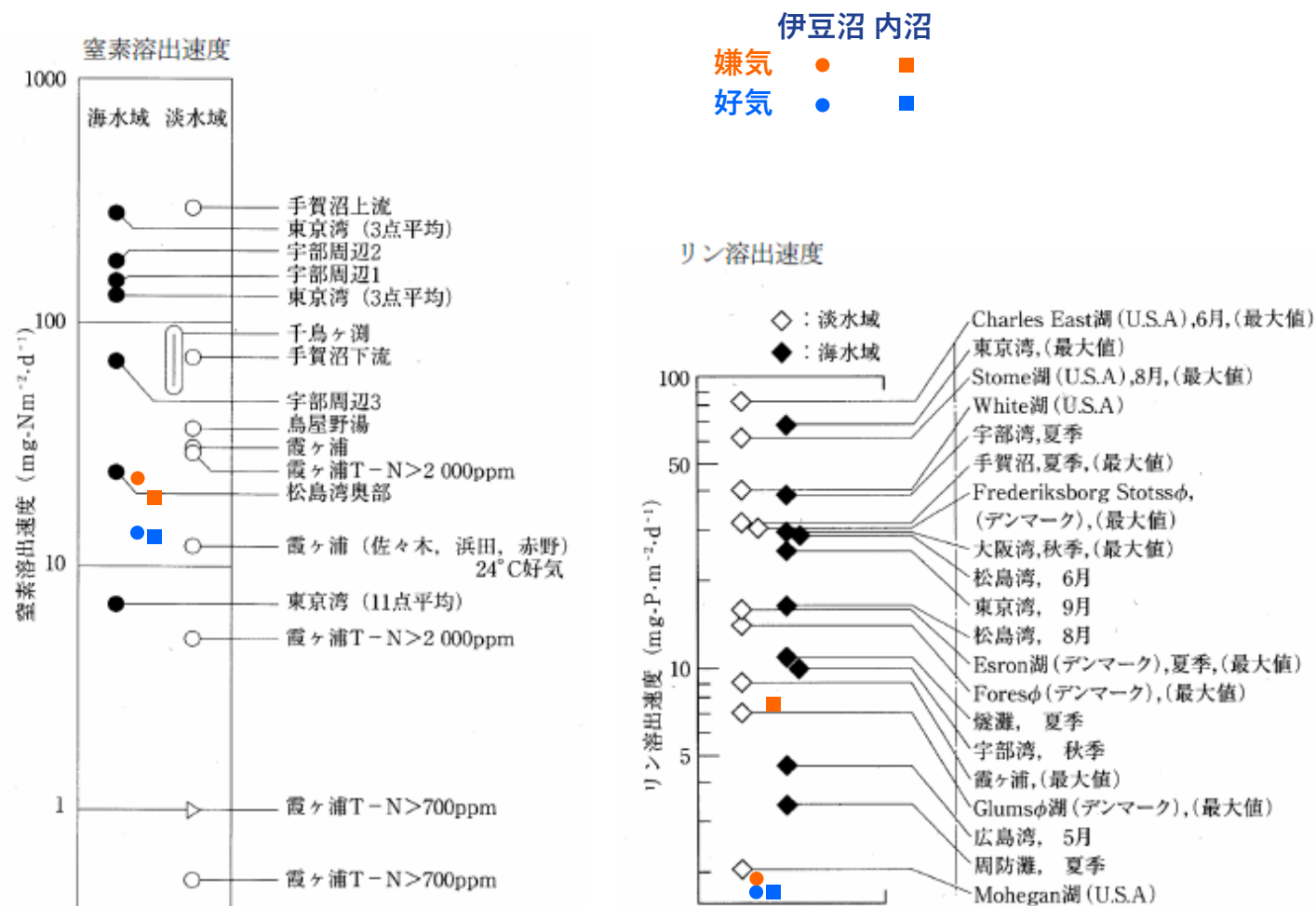


図 1.2.5 底泥からの溶出速度¹⁾

出典) 底質に係わる技術資料 平成21年3月 湖沼技術研究会底質ワーキング

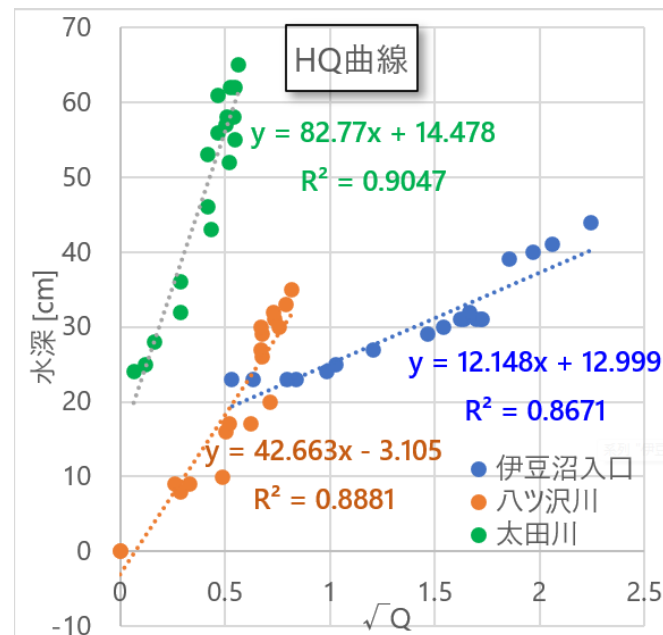
降雨時調査結果

■ 流量

- 水位の上昇と共に流量が増加
- HQ式は右図のとおり

■ 水質（グラフは次スライド）

- 有機物（TOCやCOD）、りんは流量の増加と共に水質濃度が上昇
- 窒素は流量が増加しても濃度が一定
- SSは初期段階に高く、その後低下
- 流入する形態としては主に溶存態（無機態）

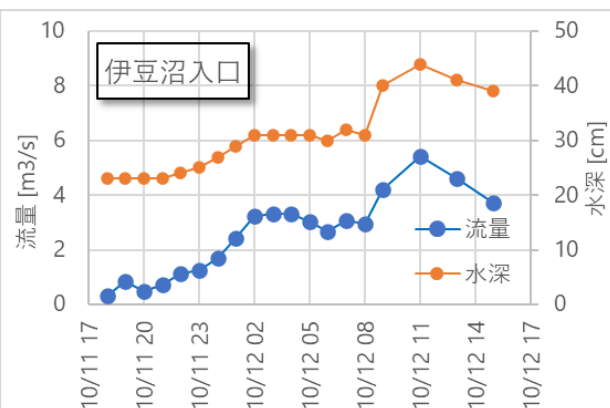
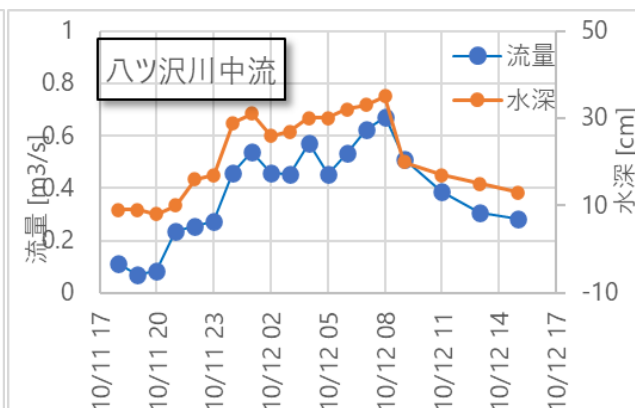
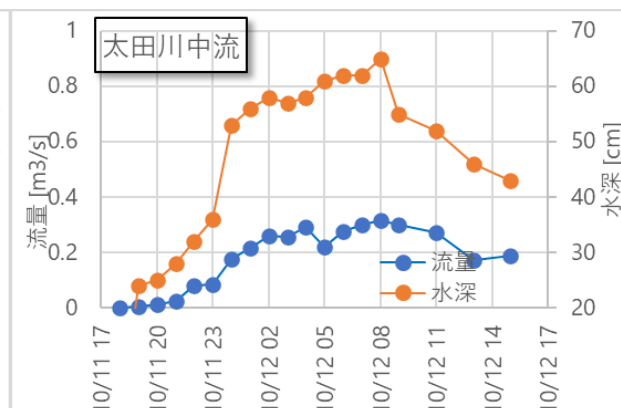


[HQ式]

伊豆沼入口 : $Q = 0.0068 \cdot (H - 13.00)^2$

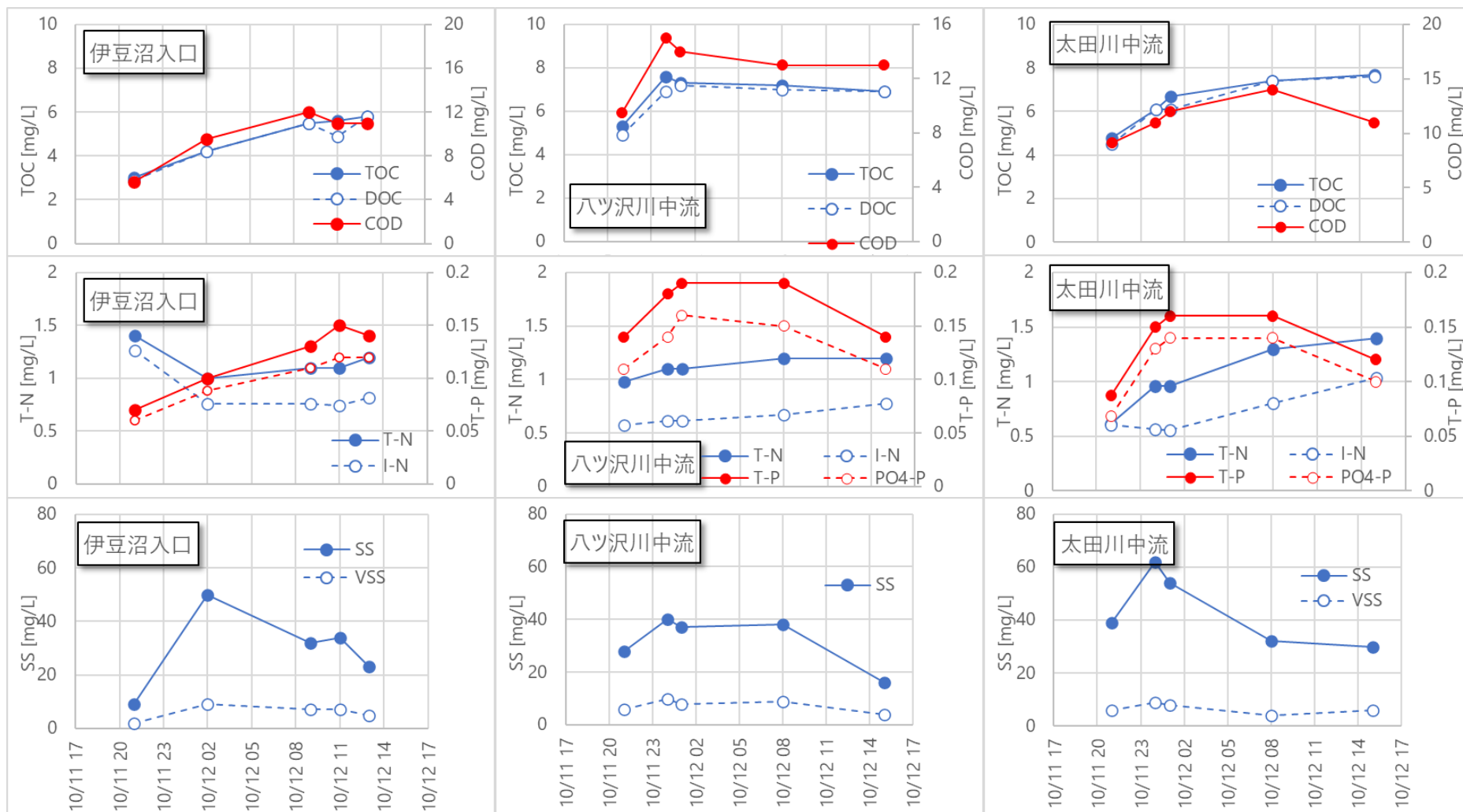
ハツ沢川 : $Q = 0.00055 \cdot (H + 3.10)^2$

太田川 : $Q = 0.00015 \cdot (H - 14.48)^2$



降雨時調査結果（主な水質項目）

・VSSの変化は少ない（ほとんど土壌由来のSSが流入）



降雨時調査結果（流入負荷量の比較）

・負荷量が多いのは伊豆沼（流入量が多いため）、ハツ沢川、太田川は同程度

