

令和8年度 環境科学センター業績発表会

長期観測データに基づく 河川窒素負荷の成分分離： 大気由来負荷の改善余力の推定

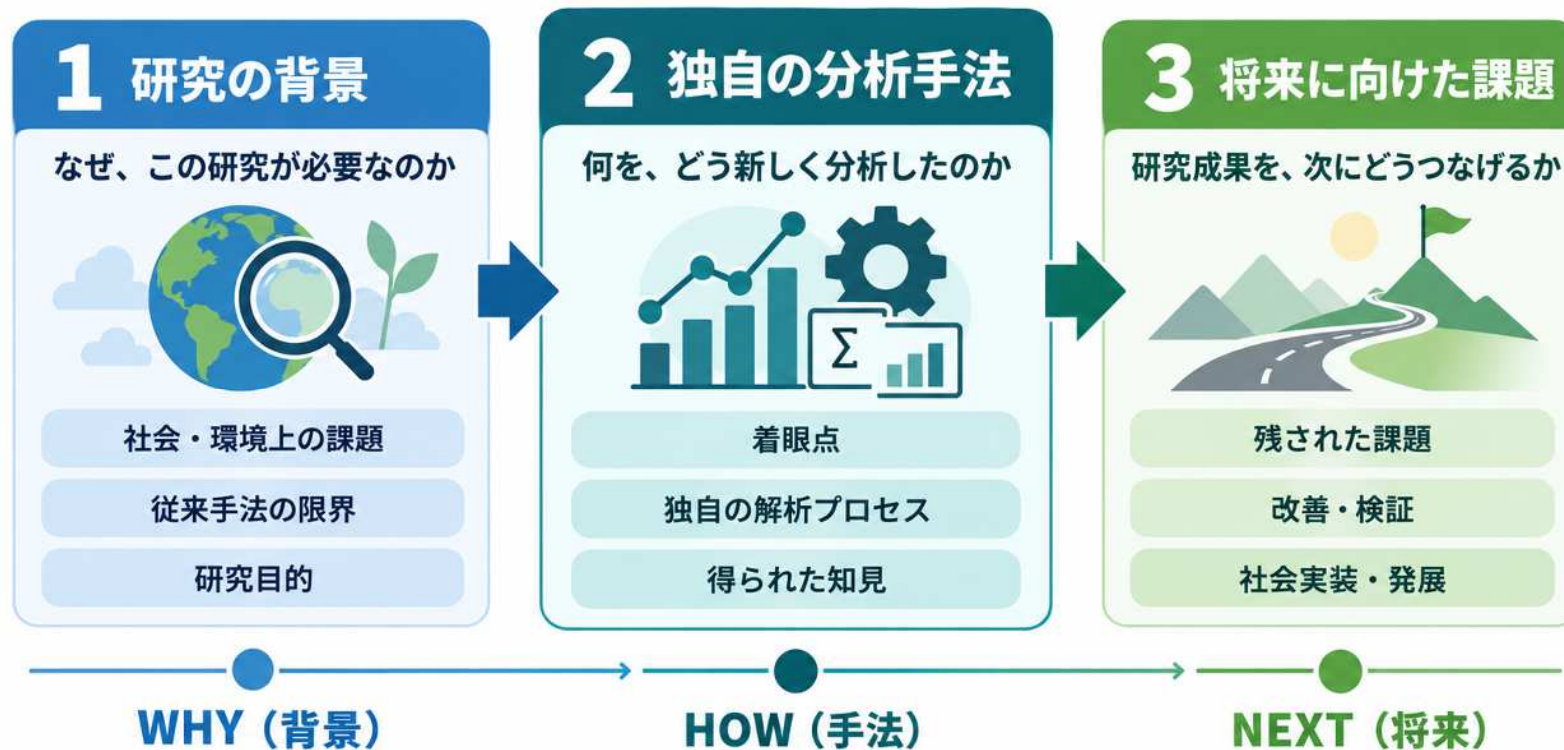
長期観測データから大気由来窒素の改善余力を読み解く新たな診断手法の提案

神奈川県環境科学センター調査研究部：主任研究員 北岡勇樹

「相模湖・津久井湖における降下窒素酸化物による水質への影響の考察（R4～R6）」
岡山大学異分野基礎科学研究所との共同研究結果より

本日のプレゼンテーションの構成

研究の背景から、独自の分析手法、そして将来に向けた課題までを3つの章で構成しています。



CHAPTER 1

研究の背景 窒素と水質の切っても切れない関係

富栄養化を防ぐためには、排水だけでなく
「空からの影響」を正しく知る必要があります。

社会・環境上の課題

県民の水がめである相模湖・津久井湖は、湖沼Ⅱ類型の環境基準が設定されている。

	水質環境基準	暫定目標・相模湖	暫定目標・津久井湖
全窒素	0.2 mg/L	0.97 mg/L	0.92 mg/L
全リン	0.01 mg/L	0.074 mg/L	0.037 mg/L

→ 全窒素も全リンも、環境基準を満足できていないことから、5年ごとの暫定目標を設定して、段階的に基準を達成できるよう施策を展開している。

※全窒素は徐々に水質改善が確認されているが、環境基準を満足するには程遠い状況である。

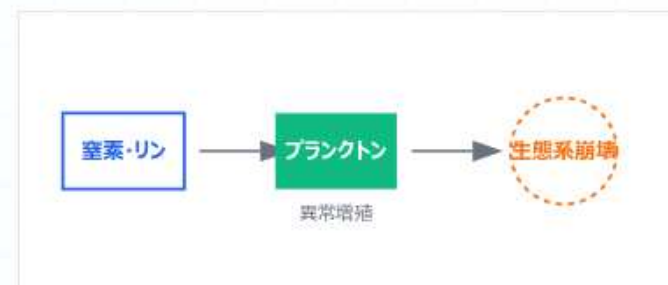
令和7年度は、相模湖では全窒素(1.1mg/L)・全リン(0.10mg/L)で暫定目標を非達成。

津久井湖では、全窒素(0.85mg/L)・全リン(0.034mg/L)で暫定目標は達成したが、環境基準は非達成。

窒素・リンと富栄養化のメカニズム

窒素やリンは生物に不可欠な栄養ですが、
増えすぎると「富栄養化」を引き起こし、水環境を悪化させます。

川や湖の生態系バランスを保つためには、これらの栄養塩の流入を適切に管理することが不可欠



藻類の異常発生

窒素やリンが過剰になると、プランクトンや藻類が爆発的に増殖し、水が濁ったりアオコが発生したりします。



生態系へのダメージ

藻類が死滅・分解される過程で水中の酸素が消費され、魚などの水生生物が住めない環境になります。



水源としての影響

相模湖や津久井湖のような水源地では、富栄養化は水道水の臭気問題や処理コストの増大に直結します。



管理の難しさ

リンは主に排水に含まれますが、窒素は排水(流域由来)と大気の両方から供給され、対策が複雑になります。

従来手法の限界について

特に、河川の富栄養化を防ぐ上で、大気由来の窒素の特定は非常に困難！

流域由来と大気由来の窒素を分離・定量することは、従来の手法では極めて困難な課題である。

流域由来

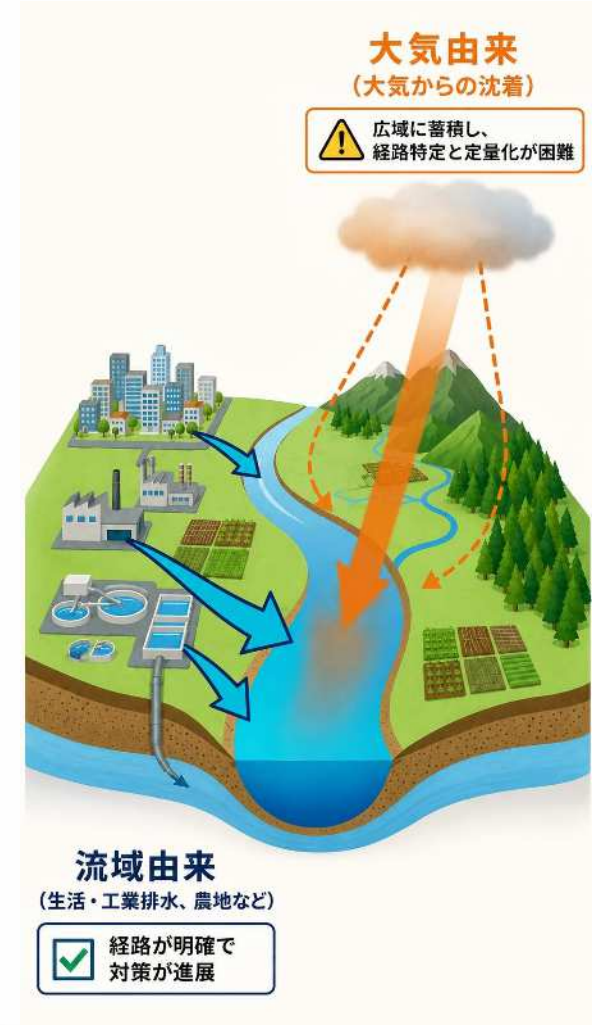
(生活・工業排水、農地等)
排出経路が物理的に明確であり、これまでに対策が重点的に進展してきた領域。

大気由来

(大気から沈着)
広域に蓄積し、環境中を循環するため、経路の特定と定量的把握が極めて難しい。

従来の方法の限界

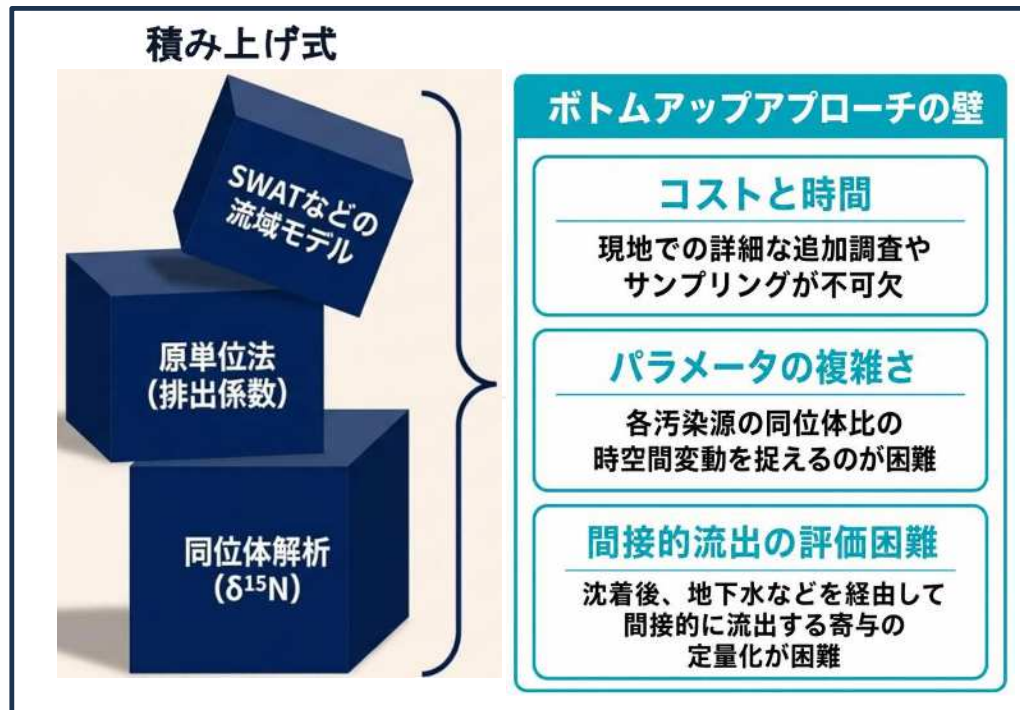
大気から降下し長期間流域に蓄積した「**レガシー成分**」を含めた寄与を完全に分離することは、従来技術の大きな壁となっている。



新たな手法の提案について

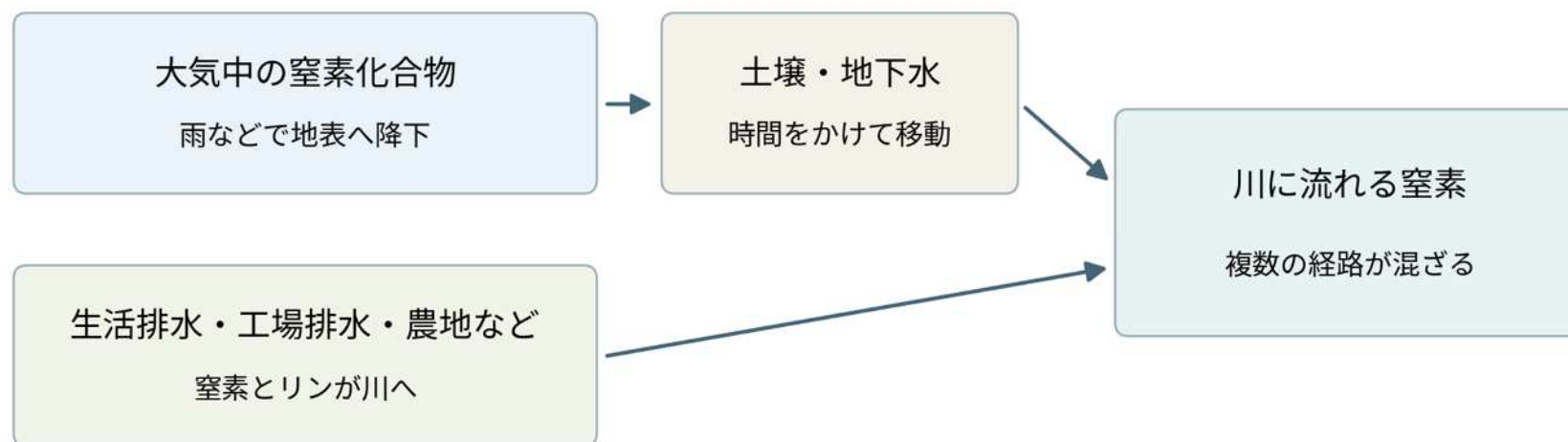
従来の手法は、ミクロな現象の積み上げの「不確実性の連鎖」を抱えている。

全ての流出プロセスを積み上げるボトムアップアプローチの限界を克服するため、
観測された結果（河川水質）から原因（汚染源）を推定するトップダウン・アプローチを採用



研究の目的①

過去の測定データをもとに、データサイエンスの手法を用いて、新たな解析モデルを作り、長期観測データを用いて、大気NO_x変動に短期的に追従する河川窒素成分を統計的に抽出し、改善余力を推定する。



川と大気の観測記録を組み合わせ、空気の改善に応じて減る分を推定

対策を立てるためには、
どのルートからどれだけの窒素が入っているのかを仕分ける必要がある。

目的②: 迅速な政策決定のための新たな選択肢を作る

従来手法を完全に代替するのではなく、既存データから政策の優先順位を導き出す「強力な診断ツール」としての位置付けを確立します。

提案手法のメリットをデータ要件、コスト、用途の観点から従来手法と比較します。

	従来のボトムアップ手法	提案するトップダウンモデル
 必要なデータ	現地サンプリング、詳細な土地利用データ	公開されている長期観測データ (水質・流量・大気NOx)のみ
 時間・コスト	膨大 (モデリングと調査に年単位の労力)	最小限 (既存データへの統計処理で即応的)
 推計の方向性	原因 (ミクロ) → 結果 (マクロ) への順問題	結果 (マクロ) → 原因 (成分) への逆問題
 実務的な強み	流域内の詳細な物理メカニズムの解明	大気・水質対策の優先順位付けに向けた 迅速な予備診断 (トリアージ)

CHAPTER 2

独自の分析手法 既存のデータから真実を読み解く

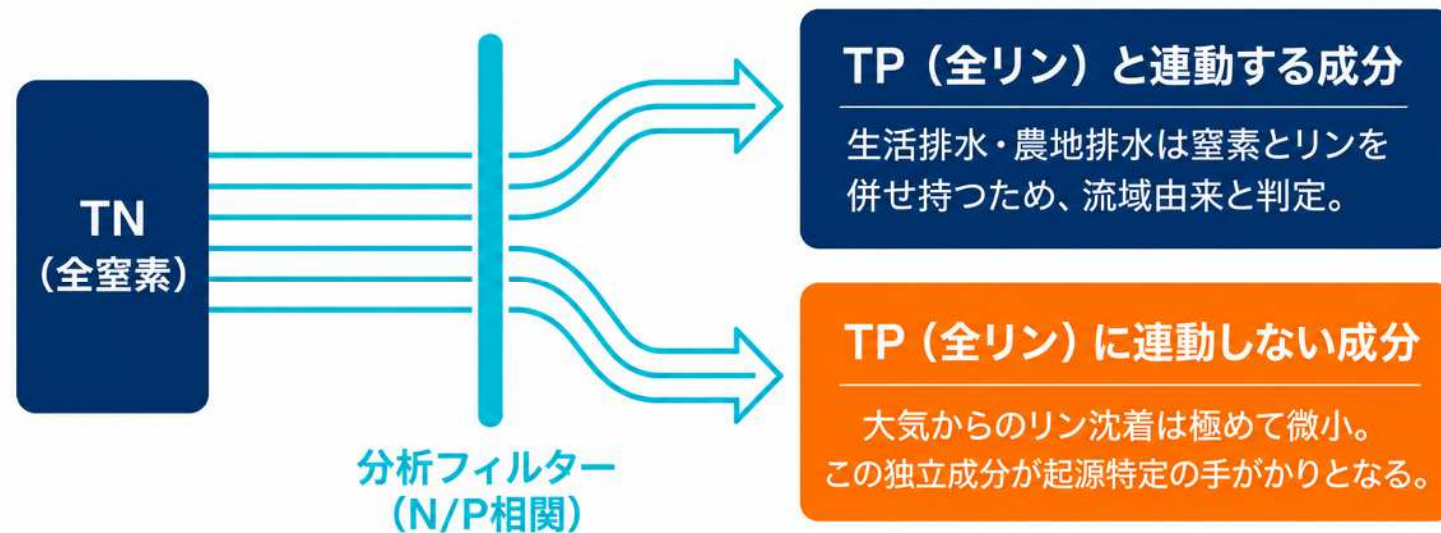
新たな調査を行わず、

21年分の公開データと統計モデルを組み合わせ、
短期応答する成分を分離推定しました。

解析の着眼点

解析の鍵は、水質安定時における全窒素と全リンの強い相関関係

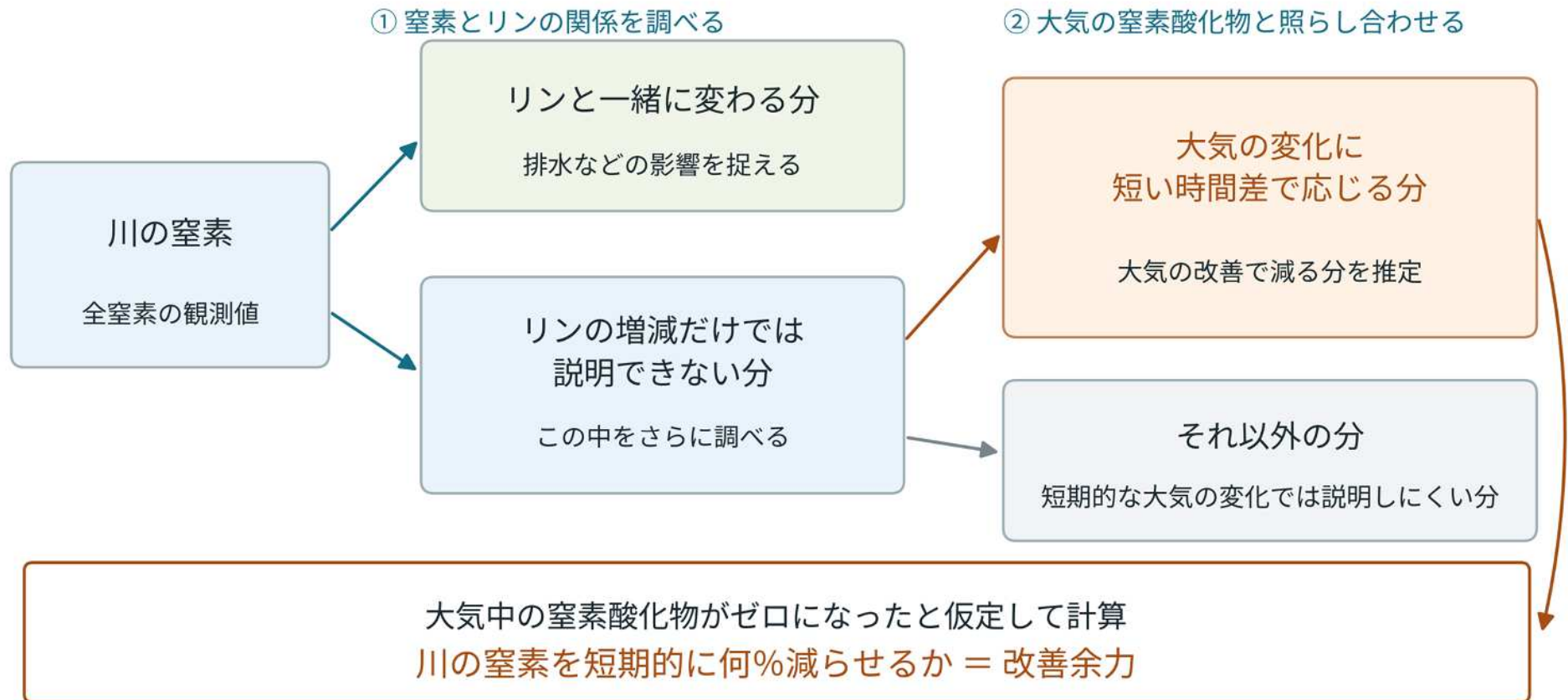
流域からの排水は、窒素とリンを併せ持つが、大気由来のリン沈着は無視できる量とした。
また、降雨直後のノイズを除去するために、水質安定時の水質調査データを使用した。



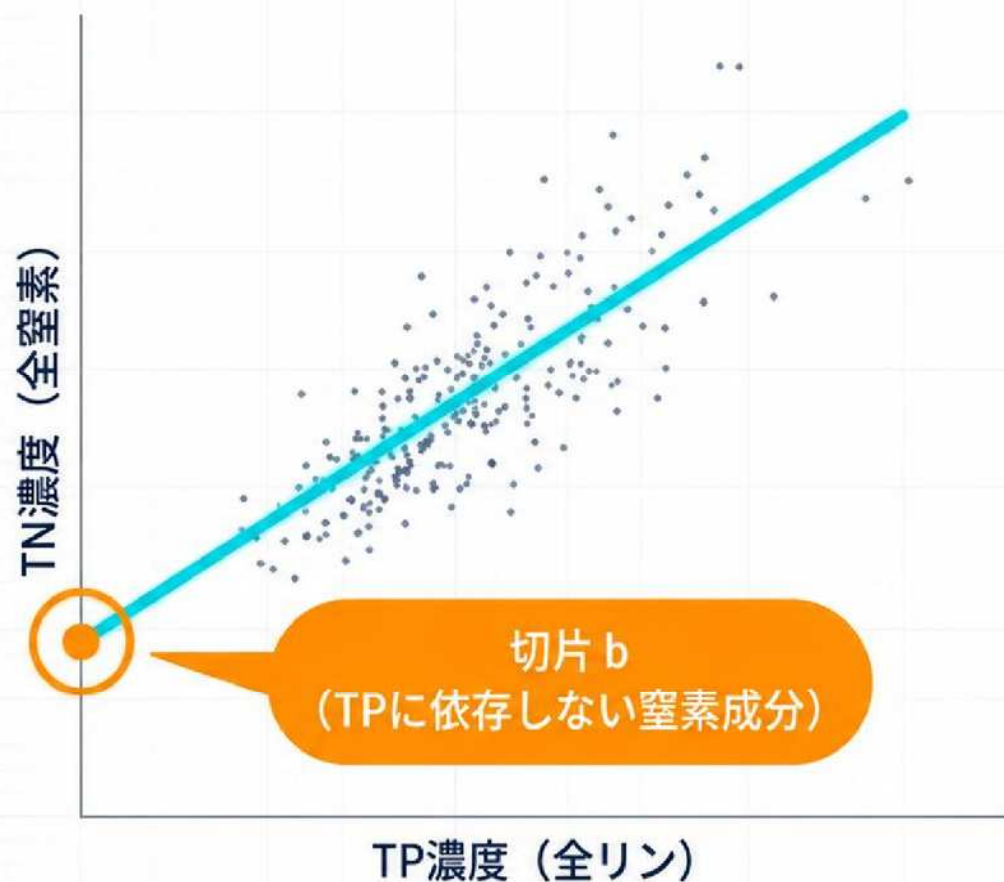
解析の着眼点

観測データから大気の改善で減らせる窒素を探す

晴天が続く、水質が安定しているときのデータを使います



グラフの傾きは、流域のN/P比、切片はリンを伴わない窒素成分を表す



$$c_N = ac_P + b$$

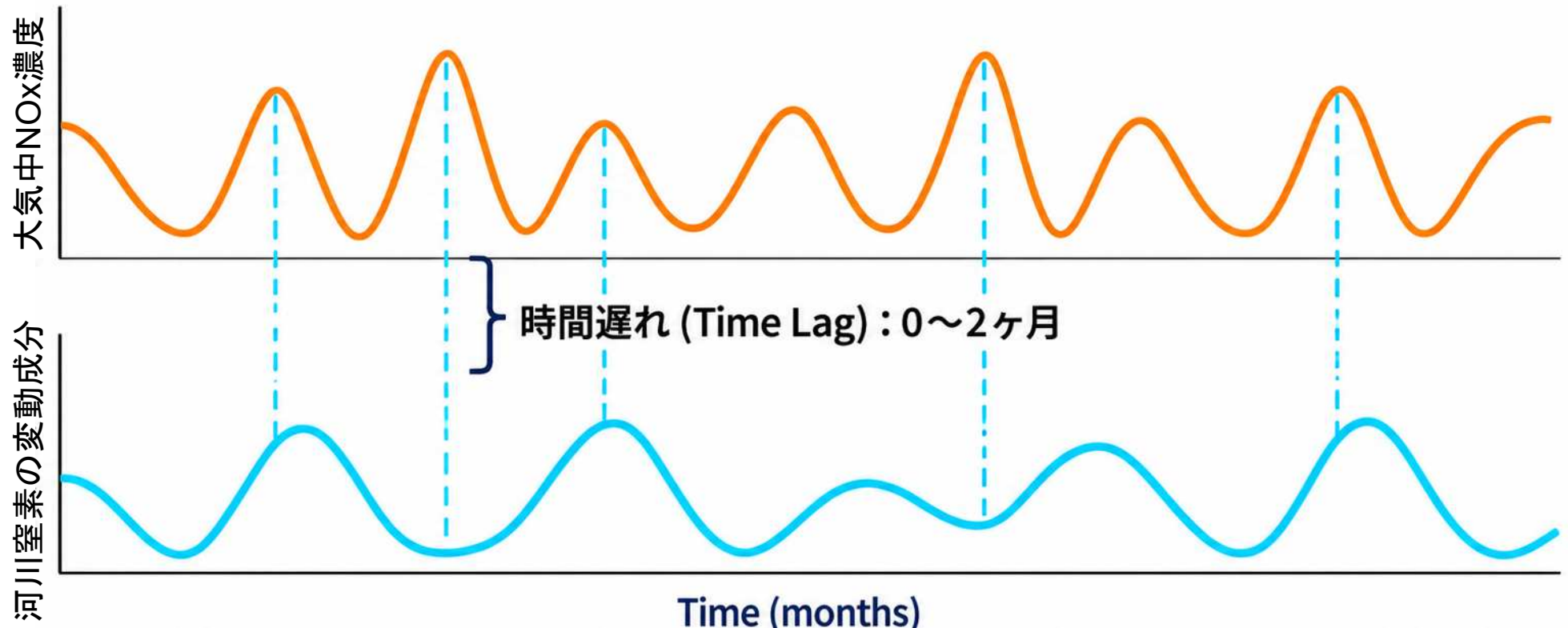
傾き a (N/P比):

TPに比例して増減する
「流域由来」の成分

切片 b:

TPを持たない窒素成分。
ここに大気由来成分と
長期的なベースライン負
荷が含まれる。

過去2ヶ月の大気変動シグナルを抽出し、物理的制約のもとで分離する



時間遅れを考慮

地下水等を経る時間遅れを考慮して、短期応答を過去2か月のNOx移動平均で近似

移動平均の追従

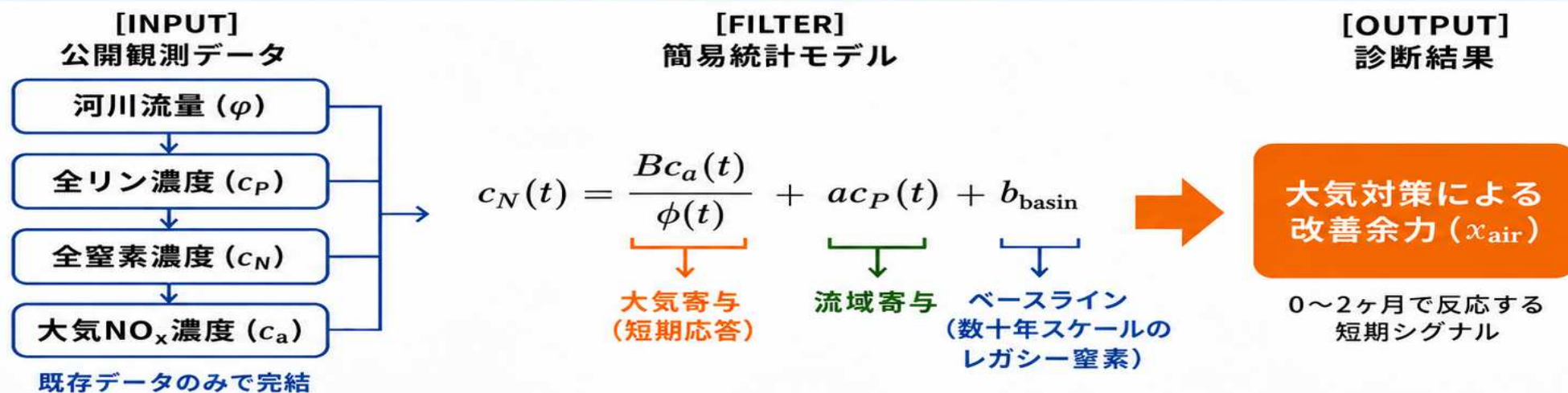
過去2か月間の大気NOx濃度の移動平均に追従する成分を直交距離回帰(ODR)で特定

非負制約 ($B \geq 0$)

大気からの寄与が物理的にマイナスにならないように制約を課し、推定の妥当性を担保

独自の解析プロセス

解析モデルの内訳



長期で蓄積する成分に分解しています。



モデルの内訳

大気寄与 (短期応答)	$\frac{Bc_a(t)}{\phi(t)}$	大気NO _x が水域へ沈着・流入し、流量で希釈される成分。0～2ヶ月で変動する短期シグナル。
流域寄与	$ac_P(t)$	流域からのリン負荷に比例して生じる成分。数ヶ月～数年で変動。
ベースライン (数十年スケールのレガシー窒素)	b_{basin}	数十年スケールで蓄積したレガシー窒素による基底成分。湖底堆積物等からの内部負荷を含む、長期的にほぼ一定の成分。

解析モデルの実証検証

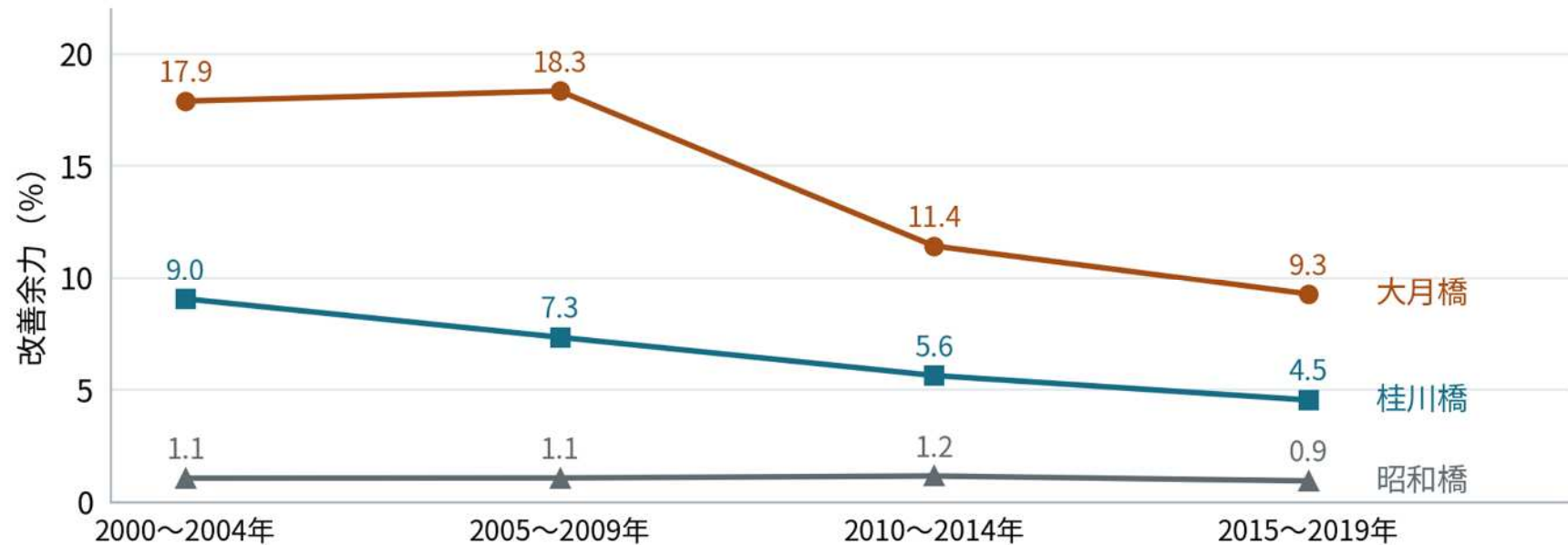
相模川水系桂川は、長期データが豊富に蓄積され、比較的水利用も単純である。
トップダウン解析の検証を行うためには理想的な河川である。



相模川水系は、神奈川県内の主要な水源として重要な河川である。水質管理が極めて重要なエリアである。

得られた知見

解析結果：大気汚染の改善に伴い、残された改善余力は最大「約9%」へ過去20年間のNO_x濃度の低下により、大気由来の窒素による改善余力は半減と推定。2021年時点において、大気中の窒素酸化物が全部除去されたと仮定しても、短期的な水質改善効果は、最大でも約9%（大月橋）にとどまると推計されました。



トップダウンアプローチが、行政に提案できること

この解析モデルから、桂川の水質改善のために、**流域対策**と**大気対策**のどちらに重きを置くべきかを速やかに提案することができた。

流域対策（生活・工業排水、農地）

中程度の負荷改善において支配的な効果を持つ

大気対策（NO_x削減）

影響は限定的（寄与割合は小さい）



解析モデルの結果

流域由来の負荷が桂川の水質に与える**影響が大きい**



行政への提案

桂川の水質改善には、**流域対策に重きを置くべき**



科学的・定量的根拠に基づき、限られたリソースを**最も効果的な対策へ集中投資**できる

CHAPTER 3

将来に向けた課題 大気対策の「改善余力」の現在地

大気汚染の改善に伴い、

さらに減らせる余地は縮小しており、流域内対策が引き続き重要です。

将来に向けた課題

<課題>

今回対象外とした「降雨時の影響」についても評価できるよう、モデルの拡張を目指す。

<改善・検証>

他の流域での再現性が確認できるかを検証する必要がある。

社会実装・発展に向けて

「9%」が意味すること・意味しないこと

数字の独り歩きを防ぐ

この「9%」という数字を正しく理解するために、
右の5つのポイントに注意が必要。
研究の限界と価値を正確に共有。

対象成分の定義

「川の窒素の9%が大気由来」ではない：
全ての大気由来成分ではなく、
短期的に削減可能な「余力」の割合を
指します。

実現可能性の解釈

実現を保証するものではない：
あくまで大気NOxがゼロになった場合の
「理論上の上限」としての評価です。

時間軸と環境条件

年間全体の割合ではない：
大雨時の流出を含まない、水質安定時
（平水時）の評価に基づいています。

時間的ラグの影響

レガシー窒素は別：
長期滞留する大気由来窒素は、
短期応答の9%には十分捉えられず、
ベースライン側に含まれると解釈される。
ただし、そのうち何%が大気由来かは
本モデルでは分離できません。

他成分（リン）の扱い

リンの扱い：
大気からのリン沈着は窒素に比べ相対的に小さいため、
本モデルでは無視できるものとして扱っています。

上記を踏まえつつ、新たな現地調査無しに
「迅速な環境診断ツール」として活用する。

ご清聴ありがとうございました

長年積み重ねてきた環境のデータを
環境を守るための判断につなげていきます。

本研究の詳細は、水環境学会誌 第49巻 89-98頁に掲載されています。

<https://doi.org/10.2965/jswe.49.89>