

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：13501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25650141

研究課題名(和文)スパイラルメトリクスのin situ計測に基づく大規模河川の栄養塩代謝機能の評価

研究課題名(英文) Nutrient dynamics in a large river estimated by in situ spiralling metric measurements

研究代表者

岩田 智也 (IWATA, Tomoya)

山梨大学・総合研究部・准教授

研究者番号：50362075

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：大河川の栄養塩代謝機能を評価する目的で、山梨県富士川を対象に窒素とリンのスパイラルメトリクスの測定を行った。特定の水塊を追跡しながら連続採水するドリフト法を富士川本流に適用したところ、単位面積あたりのNH₄とP₀₄の取り込み速度がきわめて早いことが明らかとなった。さらに、河床からNO₂とNO₃の正のフラックスが生じていることも明らかとなった。しかし、栄養塩除去効率を示すNH₄とP₀₄の鉛直移動速度および取り込み距離は先行研究と同等か低く、国内の急勾配河川では栄養塩取り込み機能は高いものの、早い流速により栄養塩の多くが短時間のうちに輸送され、下流生態系に波及効果を及ぼしているものと考えられた。

研究成果の概要(英文)：To estimate nutrient spiralling metrics in a large river, we monitored the longitudinal profiles of inorganic nutrient concentrations in the mainstem of Fuji River by tracking a specific water parcel directly along the river course. The in situ tracking of a water parcel revealed that the areal uptake rates of NH₄ and P₀₄ were much higher than those reported in previous studies. Moreover, negative fluxes of both NO₂ and NO₃ from riverbeds were observed. However, nutrient removal efficiency, expressed as uptake velocity (v_f) and uptake length (S_w), of NH₄ and P₀₄ did not differ from or was even low relative to previous findings, as a result of the high nutrient concentration and high water velocity in the Fuji River. The results suggest that anthropogenic nutrients are propagated through fast-flowing river corridors in a short period of time and eventually highly influential on distant downstream ecosystems.

研究分野：水域生態学

キーワード：スパイラルメトリクス 大河川 栄養塩 ドリフト法 硝化

1. 研究開始当初の背景

河川を經由して運ばれる過剰の窒素やリンは、沿岸域の富栄養化と貧酸素水塊の拡大を引き起こす原因となっている。これまでは、陸域からの流入負荷の抑制が沿岸域へのN・Pフラックスを減少させるために最も重要な方策とされてきた。しかし、河川生物に取り込まれる栄養塩量が少なくないことが明らかとなり、河川の生態系機能の重要性が評価されつつある。

河川生物(底生藻類や微生物)による栄養塩の除去速度と除去効率は、スパイラルメトリクス(U, v_f, S_w)で表すことができる。これらのメトリクスは、河川に栄養塩を投入し、下流地点でその減衰率を測定するトレーサー法により推定することが多い。トレーサー法の普及により、海外では多くの河川でNとPの輸送動態が明らかにされてきた。しかし、本手法は莫大なトレーサー投入量が必要となる大河川には適用できないため、流量 $12\text{m}^3/\text{s}$ 以上の中下流域でスパイラルメトリクスが観測されたことはない。

そこで研究代表者は富士川流域を対象に生物代謝を考慮した栄養塩輸送モデルを作成し、最適化により全河川(流量 $0.001\text{--}60\text{m}^3/\text{s}$)のスパイラルメトリクスを推定する手法を開発した。このモデルでは陸域から流入する窒素の78%、リンの44%が河川内で除去されているとの予測結果が得られている。現在、小中河川のスパイラルメトリクスをトレーサー法により実測し、モデルの検証を行っているところである。しかし、トレーサー法が適用できない大河川でモデルの検証を行うためには、新たな測定手法の開発が必要である。

2. 研究の目的

栄養塩輸送モデルの予測では、陸域から河川に流入する窒素やリンの44–78%が河川生物によって水柱から除去されている。そのため、単なる物質輸送の導管ではなく、栄養塩

代謝の場として河川の生態系機能を見直す必要性が生じてきた。しかし、大河川(流量 $12\text{m}^3/\text{s}$ 以上)における窒素・リン代謝速度の観測データはなく、陸-川-海間を流下する栄養塩輸送動態の全貌は未だ明らかではない。本研究は、これまで測定が困難であった大規模河川における栄養塩原子のスパイラルメトリクス(取込み速度 U 、鉛直移動速度 v_f 、流下距離 S_w)を *in situ* 観測により推定することを目的とする。トレーサーを添加しない非侵襲的手法により下流域のスパイラルメトリクスを直接計測し、大河川における河川生物の栄養塩除去速度が陸域から沿岸域への栄養塩輸送に果たす役割について明らかにする。

3. 研究の方法

野外調査は、山梨県富士川水系において2013年から2015年にかけて行った。まず、流量や河川地形の異なる複数河川においてNaClと浮子を同時投入するトレーサー実験を行い、河川水の表面流速(V_s)と水柱流速(V_c)の一般関係を明らかにした。

次いで、2014年には富士川本流(鯉沢~塩之沢区間)の調査を9~10月に行った。ゴムボートで観測者自身が流下しながら V_s/V_c 比を参考に水塊を追跡し、同時に採水と物理環境(光合成有効放射、水深、川幅、水温)の計測を行った。流程に沿った栄養塩濃度(NO_3 、 NH_4 、 PO_4)の減衰から単位河床面積あたりの取込み速度 U ($\text{mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$)、栄養塩原子の鉛直移動速度 v_f (cm/h) および平均取込み距離 S_w (km) の3つのスパイラルメトリクスを推定した。また、これらのメトリクスを空間スケールを変えて推定することで、河川の栄養塩代謝機能のスケール依存性を評価した。さらに、河川の局所環境要因(光合成有効放射、水深、流速、水温、栄養塩濃度、N/P比)が U に及ぼす影響を一般化線形混合モデルにより解析した。

2015年には、大河川の栄養塩取り込み機能の季節変化を明らかにする目的で5~12月の期間に計6回調査を行った。ドリフト法により富士川本流（鯉沢~月見橋）区間を流下しながら連続的に採水と物理化学環境の計測を行い、調査区間の最下端で流量の測定を行った。また支流の合流による濃度を補正するため調査区間内の支流（小柳川、大柳川）で採水と流量の測定を行った。得られた栄養塩濃度の流程変化からロバスト回帰を用いてそれぞれの月、調査区間のスパイラルメトリクスを推定した。推定された U と環境変数の間で相関分析を行い、環境変数が U に及ぼす影響を評価した。

4. 研究成果

富士川支流の9河川で実施したNaClと浮子の同時投入実験から、表面流速と水柱流速の比(V_s/V_c 比)は河川サイズや河川地形にかかわらず一定であることが明らかとなった(平均 = $1.49 \pm 0.035SE$)。この関係式を用いて流量 $20\sim 47m^3/s$ の富士川本流でゴムポートにより水塊の追跡(ドリフト法)を行った。

ドリフト法により富士川本流のスパイラルメトリクスを推定したところ、6次河川の本流であっても NH_4 と PO_4 の除去速度 U が高い値を示すことが明らかとなった。先行研究による小中河川の推定値と比較しても、 NH_4 で4.8~6倍、 PO_4 で6.2~18倍と高く、大河川がきわめて高い生態系機能を有していることが明らかとなった。しかし、河川水中の高い NH_4 濃度を反映し、水柱からの除去効率を示す鉛直移動速度 v_f は海外河川と同程度にまで低下した(NH_4 : 0.68~1.1倍)。また、同じく河川中の濃度が高い NO_3 では取り込み速度 U が一貫して負の値(河床から水柱へのフラックス)を示すことも明らかとなった。

栄養塩の取り込み速度 U と河川的环境要因との関係を一般化線形混合モデルで解析したところ、流速が強く影響することが明らか

となった。とくに、 NO_3 の取り込み速度 U は流速の遅い場所ほど早く、空間スケールを大きくするとその効果が小さくなる傾向がみられた。淵やワンドなどの局所的な停滞水域に嫌気環境が発達し、脱窒による NO_3 除去のホットスポットとなっている可能性がある。一方、 NH_4 や PO_4 の取り込み速度 U は流速と正の相関を示し、流速の早い瀬で溶質と河床が効率よく接触し、栄養塩の利用効率が上がっていると考えられた。

これらの成果により、富士川本流の NH_4 と PO_4 の取り込み速度はこれまで報告されてきた小中河川の値より高いことが明らかとなった。このことは、下流への栄養塩輸送における大河川の機能的役割を再検討する必要があることを示している。また、河川を流下しながら高解像度にスパイラルメトリクスの空間パターンをとらえることで、流速の遅い局所環境における高い NO_3 除去効率を明らかにすることができた。従来の研究手法のような粗い空間解像度での栄養塩代謝機能の推定では、見過ごされてきた事実である。河床の均一化や流路の単調化をもたらす河川改修は、大河川における栄養塩取り込みの局所的なホットスポットを喪失させる可能性があると考えられた。

また、2015年に実施した調査から、富士川の窒素循環には硝化が大きく関わっており、 NH_4 濃度の高い調査区間では硝化による NH_4 の消費と NO_2 および NO_3 の生成が活発に生じていることも明らかとなった。海外の5次河川と本研究のスパイラルメトリクスを比較したところ、 NH_4 の取り込み速度は文献値より本研究の結果が高く、 NO_3 の取り込み速度は本研究の結果より文献値のほうが高かった。これは海外河川よりも富士川では硝化が活発に起きていることを示しており、窒素循環における硝化の高い寄与を示すこれまでにない発見である。さらに、富士川本流の栄養塩代謝機能は基質濃度や流量の変動と相

関しながら季節的に変化することも明らかとなった。とくに、NH₄、NO₃およびPO₄の取り込み速度は5月に高く、夏に低下し、冬に高くなる傾向がみられた。

本研究により、これまで測定が困難であった大規模河川における栄養塩原子のスパイラルメトリクスの推定手法を確立し、それによって国内河川の高い生態系機能を明らかにすることができた。しかしながら、急峻な地形と高い栄養塩濃度を反映し、高い栄養塩取り込み速度にも関わらず栄養塩原子の回転距離（スパイラルレングス）は長くなる傾向にあり、陸域から負荷された栄養塩原子の多くは大川中で除去されることなく沿岸域にまで輸送されていることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 1 件)

(1) 岩田智也, 青山隼人, 水系ネットワークのリン輸送動態, 地球環境, 査読有, Vol.20, 2015, pp. 27-34,

http://www.airies.or.jp/journal_chikyukankyo_LbDJPhsA.html

〔学会発表〕(計 5 件)

(1) Tomoya Iwata, Syo Ishikawa, Hayato Aoyama, Nutrient uptake in river networks controls N and P transports along the river to ocean continuum, 第61回日本生態学会大会、2014年3月16日、広島国際会議場(広島県・広島市)

(2) 岩田智也, 河川生態系のリン循環、平成25年度生態学研究センター研究集会、2013年11月17日、京都大学農学部(京都府・京都市)

(3) 小林勇太、岩田智也、スパイラルメトリクスの in situ 計測に基づく大規模河川の栄養塩代謝機能の評価、第62回日本生態学会大会、2015年3月21日、鹿児島大学郡元キャンパス(鹿児島県・鹿児島市)

(4) 小林勇太、岩田智也、スパイラルメトリクスの in situ 計測に基づく大規模河川の栄養塩代謝機能の評価、日本地球惑星科学連合2015年大会、2015年5月27日、幕張メッセ(千葉県・千葉市)

(5) 小林勇太、岩田智也、大川における窒素・リンのスパイラルメトリクスの推定、日本陸水学会第80回大会、2015年9月28日、北海道大学水産学部(北海道・函館市)

〔その他〕

研究室ホームページ

<http://www.js.yamanashi.ac.jp/~iwata/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

岩田 智也 (IWATA, Tomoya)

山梨大学・総合研究部・准教授

研究者番号：50362075

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし