

令和 6 年 6 月 16 日現在

機関番号：10106

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12321

研究課題名（和文）森里川海をつなぐ環境負荷の高度な管理に向けた環境動態解析モデルの開発

研究課題名（英文）Development of environmental dynamic analysis model for advanced management of environmental load connecting forest-village-river-sea

研究代表者

駒井 克昭（Komai, Katsuaki）

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号：90314731

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：現在、沿岸生態系と栄養物質の循環過程は劣化し、きれいで豊かな海を取り戻すためには順応的な流域の栄養塩管理が課題となっている。本研究では森里川海にわたる流域～沿岸生態系の再生のため、MDF（Multi Dimensional Fingerprint）を用いて、効果的に汚染物質の起源を追跡する環境動態解析手法を構築することを目的としている。道東を代表する流域を対象に希土類元素や蛍光性溶存有機物の分析を行い、植生や土地利用に応じた汚染源の特定と管理モデルを開発した。その結果、流域内の物質の流出・輸送特性を明らかにし、森里川海をつなぐ流域管理に貢献できる新たな環境動態解析手法の学術的基礎が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、流域から沿岸生態系に至る物質の動態を詳細に解明し、希土類元素や蛍光性溶存有機物などのマーカーを用いて汚染源を特定する手法を確立したことにある。この手法は、異なる植生や土地利用に対応した汚染源の追跡と管理を可能にし、環境動態解析の新たな枠組みを提供した。社会的意義としては、劣化する沿岸生態系の再生と持続可能な循環型社会の構築に寄与する点が挙げられる。本研究で得られた知見は、流域管理や水質改善策の実施において有用であり、流域圏の環境保全と生物多様性の向上にも貢献するものである。

研究成果の概要（英文）：Currently, coastal ecosystems and nutrient cycling processes are deteriorating, making adaptive watershed nutrient management a critical challenge to restore clean and abundant seas. This study aims to develop an environmental dynamic analysis method using Multi-Dimensional Fingerprint (MDF) to effectively trace the origins of pollutants across forest, village, river, and sea ecosystems. By analyzing rare earth elements and fluorescent dissolved organic matter in representative watersheds of eastern Hokkaido, we developed models to identify and manage pollution sources based on vegetation and land use patterns. As a result, we clarified the runoff and transport characteristics of substances within the watershed, establishing a scientific foundation for a new environmental dynamic analysis method that contributes to integrated watershed management connecting forest, village, river, and sea.

研究分野：水環境工学

キーワード：流域管理 沿岸生態系 希土類元素 蛍光性溶存有機物 環境動態解析

### 1. 研究の背景

流域から沿岸生態系に至る保全は持続可能な社会構築に寄与する。近年、海域への過剰な栄養塩負荷対策が進み、N（窒素）やP（リン）の環境基準は改善されたが、海底に蓄積した有機泥が貧酸素水塊を引き起こし、海洋生態系の劣化が進んでいる。このため、流域からの栄養塩管理も重要となっている。流域からの負荷は、家庭や工場などの特定汚染源と、市街地や農地、森林からの非特定汚染源に分けられる。集中豪雨、過疎化、農業の大規模化、気候変動などがこれらの負荷に影響を及ぼす。こうした問題に対処するため、流域の負荷対策を評価・予測する環境動態解析モデルの構築が急務である。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、自然および人為由来の物質の起源を示すマーカー情報（MDF: Multi-Dimensional Fingerprint）を開発し、流域から海域に至る物質の動態を解析することである。この解析により流域の栄養塩の輸送経路や溶出特性を明らかにし、持続可能な循環型社会の構築に寄与する。具体的には、希土類元素（REEs）や蛍光性溶存有機物（CDOM）を用いて、流域内の面源負荷量を評価・管理する手法を開発する。

### 3. 研究の方法

現地調査とサンプリング：

流域内で水試料を採取し、栄養塩類（N, P, DOC）や40種類の金属元素、CDOMのデータを収集した。以下の分析には、2014年、2016年、2022年に採取された試料とデータを用いた。

分析手法：

蛍光分光光度計（日本分光製 FP-6200）を用いて、CDOMのEEMs（励起-蛍光マトリックス）を測定した。励起波長220nmから720nmまで5nm間隔で測定し、たんぱく質、フミン酸、フルボ酸由来の物質を特定した。イオンクロマトグラフ（Thermo Fisher Scientific製 ICS-1100）を使用して、溶存イオン（Na, K, Mg, Ca）の定量を行った。誘導結合プラズマ質量分析計（Agilent Technologies製 ICP-MS 7700x）を用いて、REEsの測定を行った。

クラスター分析：CDOM, 溶存イオン, REEsのデータを用いてクラスター分析を実施し、流域内の植生分布と物質起源の関連性を解析した。

動態モデルの構築とシミュレーション：面源負荷発生サブモデルをOPDM（オブジェクト指向動態モデル）に組み込み、釧路川全域から河口域に流出する栄養塩類の集積域をシミュレーションした。モデルチューニングを行い、栄養塩の負荷量変化に対するマーカー物質の感度解析も実施した。

### 4. 研究成果

(1) クラスター分析の結果：

図-2, 図-3, 図-4に示すように、CDOM, 溶存イオン, 希土類元素を用いたクラスター分析を行



図-2 CDOMを用いたクラスター分析の結果

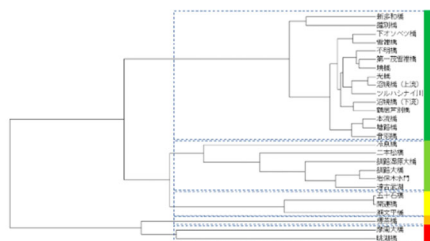


図-3 溶存イオンを用いたクラスター分析の結果

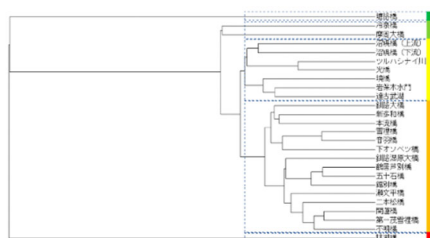


図-4 REEsを用いたクラスター分析の結果

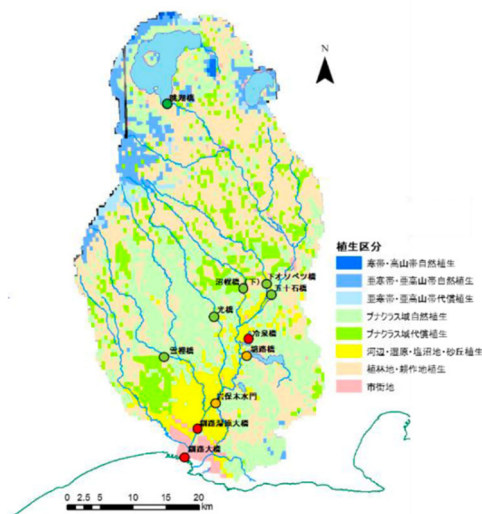


図-1 流域内の植生分布とグループ分け

った。溶存イオンの結果では緑色のグループが多く、希土類元素の結果では黄色や橙色のグループが多いことがわかった。CDOMは流域の植生の違いをよく表す起源推定の物質情報として有用であり、溶存イオンや希土類元素とは異なる特性を示すことが明らかになった。この結果から、溶存イオンや希土類元素に加えてCDOMを利用することで、流域における様々な汚染源を追跡するための汎用性の高いMDFを構築できると考えられる。

釧路川流域における希土類元素(REEs)の水質解析では、2016年と2022年のデータを用いてクラスター分析を行い、両年で同様の濃度パターンが確認された。特に、眺湖橋付近の濃度が低く、流下に伴い濃度が増加する傾向が示された。この結果は、流域内の生活排水や工業排水が希土類元素の累積に影響を与えていることを示唆している。

### (2) 流域の解析：

特定の流域において、発生源を牧草地・畑地にした場合(図-5(a))、物質の濃度が上流部と中流部で高く集積していることが示された。一方、発生源を林地にした場合(図-5(b))、物質は上流部と中流部にかけて広く集積していた。他の流域でも同様の結果が示され、物質の発生場所の違いが集積域に影響を及ぼす可能性が確認された。主要な支川でも同様の傾向が示された。

ある流域では、TN(図-6(a))とSS(図-6(b))の両方で上流部から中流部にかけて広範囲に濃度が高く、一部で特定の植生と一致する場所が見られた。しかし、他の流域では、TPとSS、TN、TPで植生と高濃度域の一致はほとんど見られなかった。これは、SSおよびTNが牧草地からの発生率が高いためと考えられる。主要な支川の物質の集積箇所と特定の植生の位置を比較すると、TNではいくつかの支川で、SSでは他の支川で、TPではまた別の支川で集積場所が一致する傾向が見られた(図-7)。

### (3) 植生分布との対応：

図-8に示すように、特定の植生がある地点での各物質の発生率の平均値を比較すると、ある流域でSS、TNの平均値が他の支川よりも高くなっている。これは、その流域が緩勾配となり物質が集積しやすいことや、発生源となる牧草地や林地が多いことが一因と考えられる。一方、別の流域では他の支川に比べて極端に平均値が低くなっており、これは流域が大きく緩勾配で発生源が少ないためと考えられる。主要な支川の方が本研究の対象流域よりも特定の植生と一致する箇所が多く、流域の地形勾配や発生源の有無といった流域特性に依存することが示唆された。

### (4) 他流域への応用：

本研究で開発された手法は、他の流域にも応用され、希土類元素(REEs)を用いたクラスター分析を実施し、流域内の汚染源特定と物質の動態解析を行った結果、特定の地点での物質の集積傾向が明らかになった。これらのことから地域特性に応じた環境対策の必要性が示された。

以上、本研究で開発された手法により流域の環境動態の特性が明らかになり、流域全体の面源負荷対策の評価・予測が可能となることが期待される。本研究の成果は他の流域にも適用可能であり、広範な地域での環境保全と持続可能な社会の実現に貢献するものと考えられる。

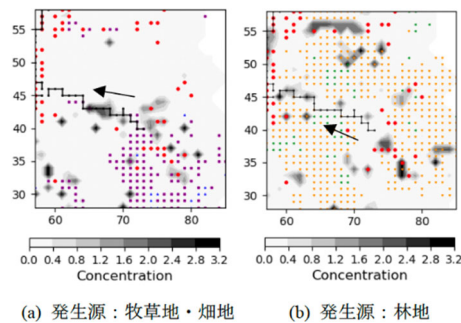


図-5 支川での流域の出水後の物質濃度の分布、背景色：仮想の物質濃度(初期濃度が基準)、●,▲,▼, : 物質の発生源(牧草地, 畑地, エゾイタヤシナノキ群落, 落葉針葉樹植林), ● : ハンノキ林, 実線 : 河川, 軸 : 500 m×500 m サイズのメッシュ番号, 矢印 : 河川の流れ

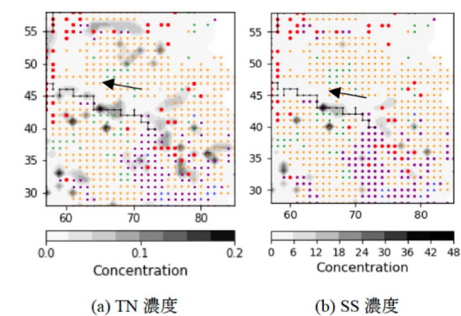


図-6 支川での出水後のTNとSS濃度の分布、背景色：物質濃度(初期濃度が基準)

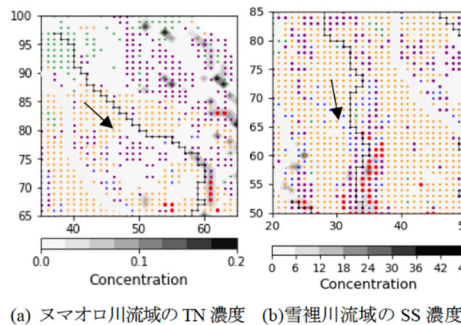


図-7 支川での別の出水後の物質濃度の分布、背景色：物質濃度(初期濃度が基準)

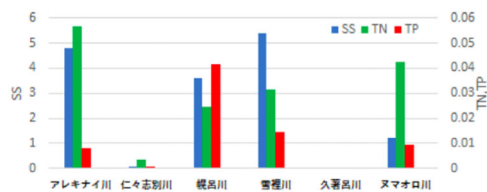


図-8 ハンノキ林がある地点での物質(SS, TN, TP)の濃度の平均値

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Syrax B. M. Alijaafar, Katsuaki Komai, Tatsuki Igusa	4. 巻 37
2. 論文標題 Pollution source analysis of the Kurhiso River basin using rare earth elements	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans	6. 最初と最後の頁 F-1
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Selline Mutiso, Tatsuya Hiram, Keisuke Nakayama, Katsuaki Komai, Kenichiro Kobayashi	4. 巻 78
2. 論文標題 Determining the source of suspended sediment at the downstream end of the river basin using structural equation modelling	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers Ser B1 (Hydraulic Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_919-I_924
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 駒井克昭, 篠原健人, 内田悠介, 園田武, 松田烈至	4. 巻 77(2)
2. 論文標題 オホーツク沿岸潟湖における汽水環境の維持機構と水理条件への応答特性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3（海洋開発）	6. 最初と最後の頁 I_595-I_600
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/jscejoe.77.2_I_595	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 中下慎也, KIM Kyeongmin, 今村悠希, 日比野忠史	4. 巻 77(2)
2. 論文標題 回転式粘度計を用いた底泥の限界せん断応力の推定	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2（海岸工学）	6. 最初と最後の頁 I_1039 I_1044
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Katsuaki Komai, Tatsuki Igusa, Syraz B. M. Alijaafar
2. 発表標題 Chemical profiling and identification of river waters at the east of Shiretoko Peninsula using heavy elements
3. 学会等名 Water and Environment Technology Conference 2022 -Online (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Komai, T. Kataoka, A. Terada, K. Nakayama, Y. Oyama
2. 発表標題 Chemical Profiling and Identification of Terrestrial Water and Biological Samples Using Rare Earth Elements
3. 学会等名 The Water and Environment Technology Conference 2021-online (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内田悠介, 駒井克昭
2. 発表標題 釧路川流域における有色溶存機物質を用いた面源負荷の特性評価
3. 学会等名 令和3年度土木学会北海道支部年次技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 灘宏太, 駒井克昭, 中山恵介, 中下慎也
2. 発表標題 釧路川支川における流出解析による面源負荷特性の比較
3. 学会等名 令和3年度土木学会北海道支部年次技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊草達貴, Syraz B. M. Alijaafar, 伊東勸多, 駒井克昭
2. 発表標題 釧路川流域における希土類元素を用いた水の挙動解析と経年変化
3. 学会等名 水文・水資源学会 日本水文科学会2023年度研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊草達貴, 駒井克昭
2. 発表標題 知床東岸河川における水中の重元素の半定量分析と特性評価
3. 学会等名 水文・水資源学会 日本水文科学会2023年度研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 灘宏太, 駒井克昭, 藤原早芙
2. 発表標題 釧路川における面源負荷量の推定モデルの検証
3. 学会等名 令和5年度土木学会北海道支部年次学研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊草達貴, 駒井克昭, 伊東勸多
2. 発表標題 釧路川流域河川水の希土類元素濃度の経年変化
3. 学会等名 令和5年度土木学会北海道支部年次学研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊東勸多, 駒井克昭, 伊草達貴
2. 発表標題 常呂川小河川における希土類元素の定量分析
3. 学会等名 令和5年度土木学会北海道支部年次学術研究発表会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	中山 恵介 (Nakayama Keisuke)  (60271649)	神戸大学・工学研究科・教授  (14501)	
研究分担者	中下 慎也 (Nakashita Shinya)  (90613034)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・助教  (15401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------