

4-2103

高度画像解析技術を用いたプランクトンモニタリング手法に基づく湖沼生態系監視技術の開発

研究期間：2021~2023年度

課題代表者

占部城太郎

サブテーマ1

東北大・生命科学/水圏生態

urabe@tohoku.ac.jp

サブテーマ2

辻 彰洋 国立科学博物館/植物研究部

サブテーマ3

伊藤康一 東北大・情報科学/計算機構論

サブテーマ4

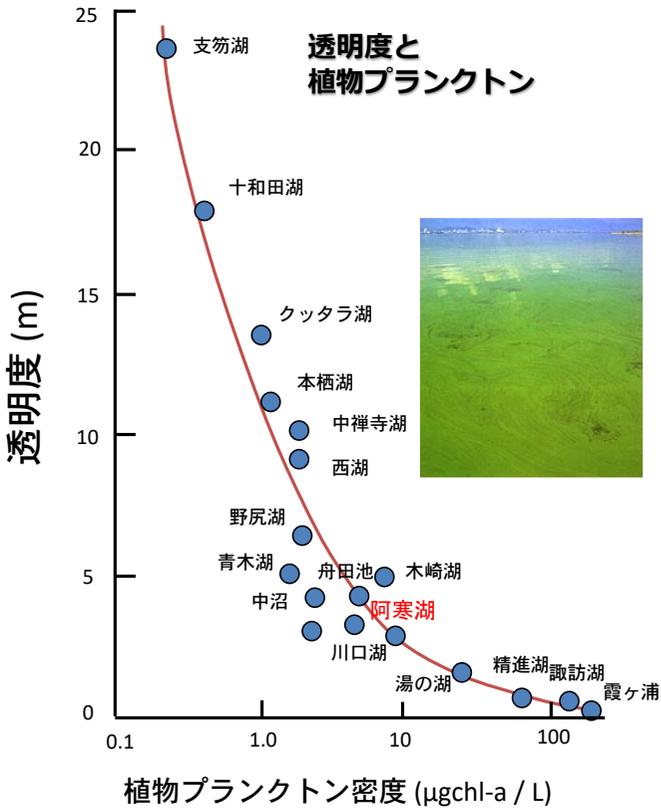
近藤倫生 東北大・生命科学/統合生態

なぜプランクトン？

プランクトンは水質決定要因であるため、指定湖沼やダム湖・浄水場で**プランクトンモニタリング**が**実施**されている。

SDGsへの貢献

	6.4 湖沼などの水に関連する生態系の保護・回復
	15.1 内陸淡水生態系およびそれらのサービスの保全



◎ 有害性（毒性・濾過障害）は植物プランクトン種により異なる

● 淡水赤潮			● アオコ		
	ウログレナ・アメリカーナ			ミクロキスティス	
	黄色鞭毛藻類の一種であるウログレナ類というプランクトンの大量発生によって起こる淡水赤潮。			ミクロキスティス、アナベナ等、藍藻と呼ばれる植物プランクトンによって起こるアオコ。	
					みずの恵みアクア琵琶より

水質監視/定点観測

温暖化に際して高まるニーズ

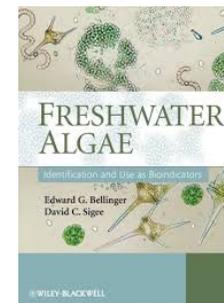
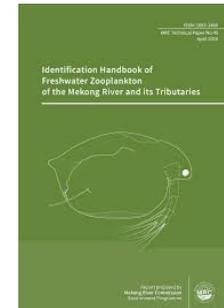
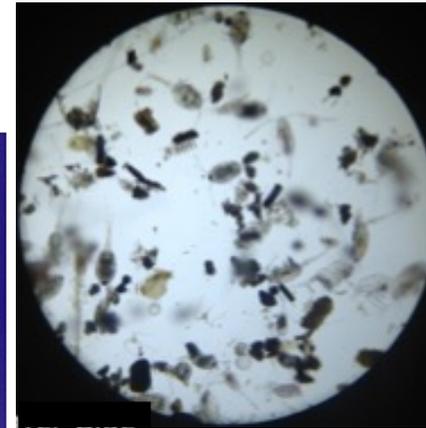
湖沼水質保全特別措置法

- 指定湖沼（都道府県）
- ダム湖（省直轄・都道府県）
- 浄水場（市町村水道局）
- 水産監視（都道府県水産試験場）

現在の問題点

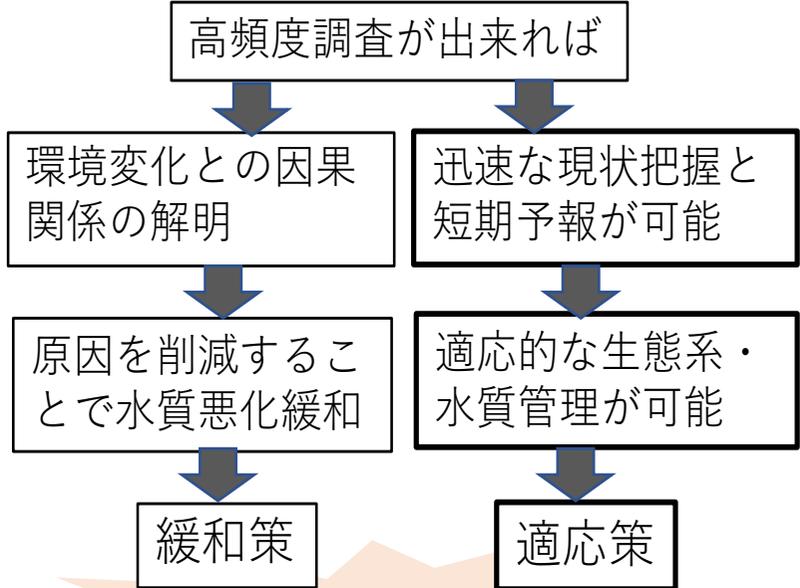
- 顕微鏡による観察
- 種類の同定
プランクトン種についての豊富な知識が必要
- 種類ごとの計数
顕微鏡作業で時間がかかる
統計に耐えるデータとして
サンプルあたり60細胞以上
しかも種類ごと
- 1サンプルに最低でも1時間以上
- ◎ **計数・同定出来る人材がない**

1部の研究機関を除き、調査機関による
モニタリングデータの低い精度は深刻
(誤同定・誤計数・誤評価)



問題を克服できれば

高い時間解像度で（毎日観測）、多地点データがあれば、天気予報のように、統計モデリングで数週間の予報と将来予測が可能になる



健全な水・淡水生態系の保全



SDGsへの具体的貢献も

SDGsへの貢献

 6 安全な水と衛生	6.4 湖沼などの水に関連する生態系の保護・回復
 15 陸の生態系	15.1 内陸淡水生態系およびそれらのサービスの保全

本研究の目的と目標

湖沼生態系の健全性を把握し適応的な水質管理を行うための**プランクトンモニタリング**実現

【第1の目標】

労力のかかるプランクトンの同定・計数を自動で行う高精度なプランクトン自動判別・計数システムの開発 ⇒ **良いデータを、安価に、高頻度で**

⇔ 画像データベースの構築、遺伝情報による正確な分類（将来の準備）

【第2の目標】

自動判別・計数システムで可能となる高頻度時系列データを用い、プランクトン動態についての短期予測（予報）が行えるようにする

⇒ **管理者が、精度高く容易に**

目標と研究計画

湖沼生態系の健全性を把握するためのプランクトンモニタリング高度化実現のため、本研究では下記4つの目標を設定する。

- 1 湖沼の生態系保全や水質管理に不可欠となる**動植物プランクトンデータベース**を構築し、都道府県やコンサルタントが業務で行う環境モニタリングで参照できるよう**公開**する。
- 2 労力のかかるプランクトンの同定・計数を自動で行う高精度なプランクトン**自動判別・計数システム**を開発する。
- 3 画像解析と**メタバーコーディング法**による**比較**を行いプランクトン自動判別・計数システムとの**補完性**を提示する。
- 4 プランクトン自動判別・計数システムで取得可能となる高頻度時系列データを用い、プランクトン**動態**についての**短期予測（予報）**が行えるようにする。

研究チーム

- 日本を代表する研究者で構成
- (サブテーマ1) 動物プランクトン
 - (サブテーマ2) 植物プランクトン
 - (サブテーマ3) 画像解析システム
 - (サブテーマ4) 変動予測システム

4. 研究開発内容

プロジェクトアドバイザー
 津田 敦 東京大学大気海洋研究所／教授・副学長
 松田裕之 横浜国立大学大学院環境情報研究院／教授

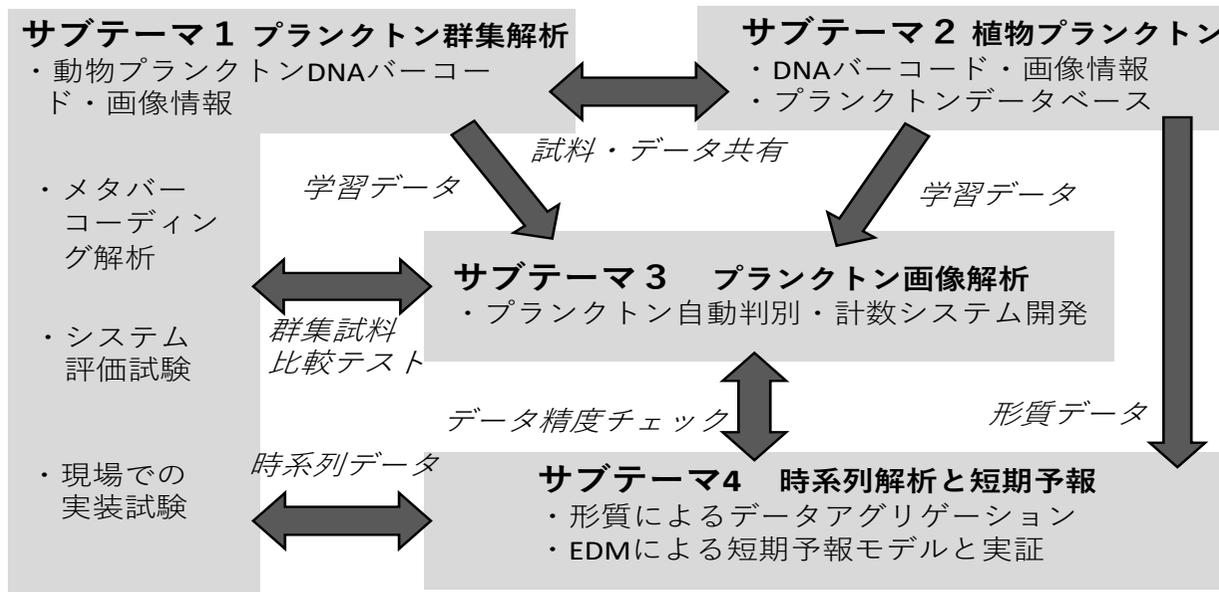
環境省
 後藤誠一 環境省水・大気環境局 海域環境管理室 室長補佐

奥田 敏統 環境再生保全機構 推進費プログラムオフィサー
 松山宗一郎 環境再生保全機構環境研究総合推進部

データ・サンプル提供・共同研究

琵琶湖環境科学研究センター・環境監視部門
 水源地環境センター（国交省直轄ダム湖）

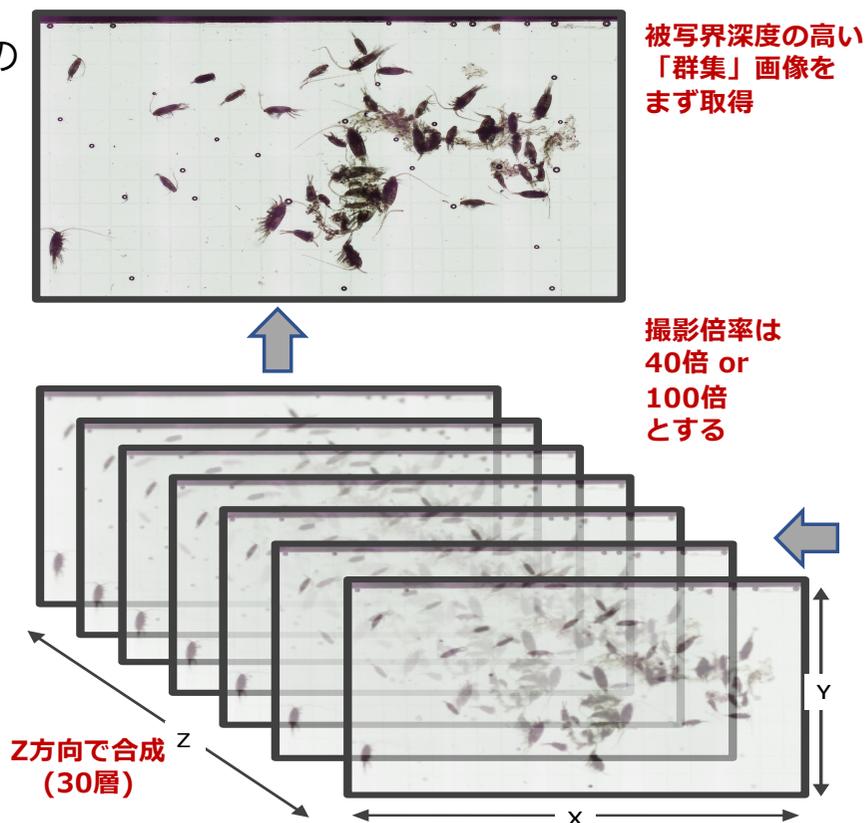
研究開発内容とサブテーマの関係



【サブテーマ1】
プランクトンのDNA・画像データによる群
集解析と画像解析システムの精度分析
占部城太郎（東北大学大学院生命科学研究科）

画像データの
取得方法

解像度
効率

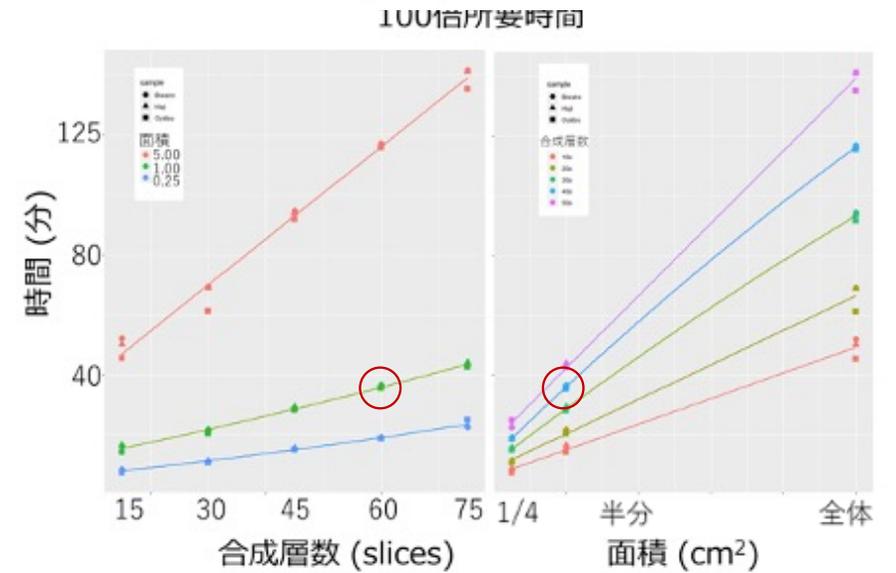
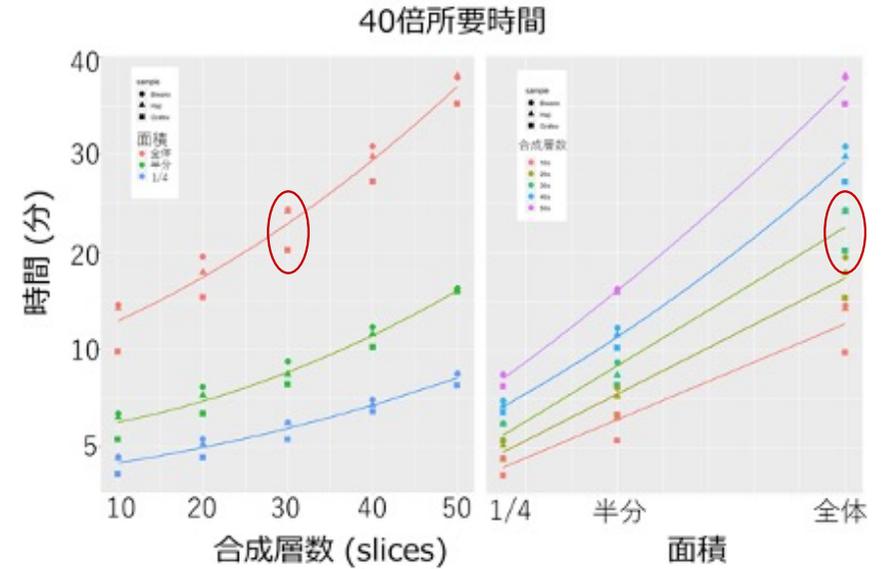
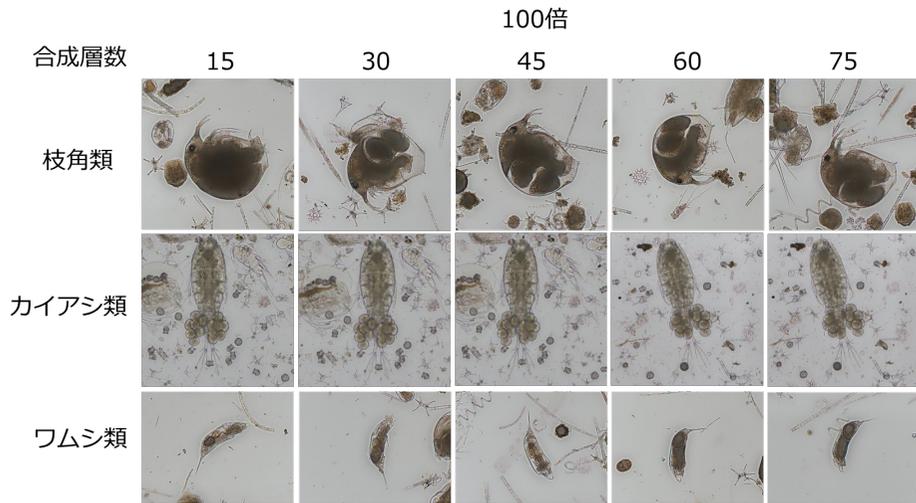
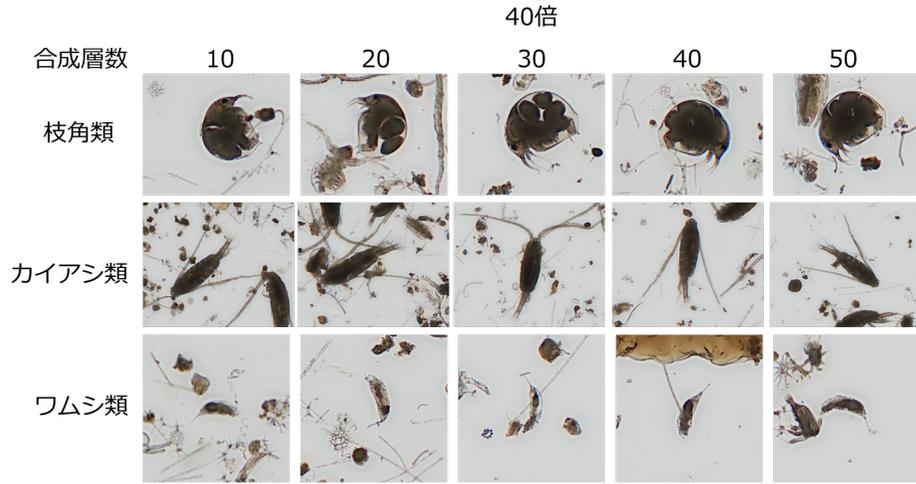


電動ステージを利用した、映像結合技術による高精細画像作成



✓ インテリジェント正立型
システム顕微鏡

画像の解像度とZ方層数及び所要時間を解析

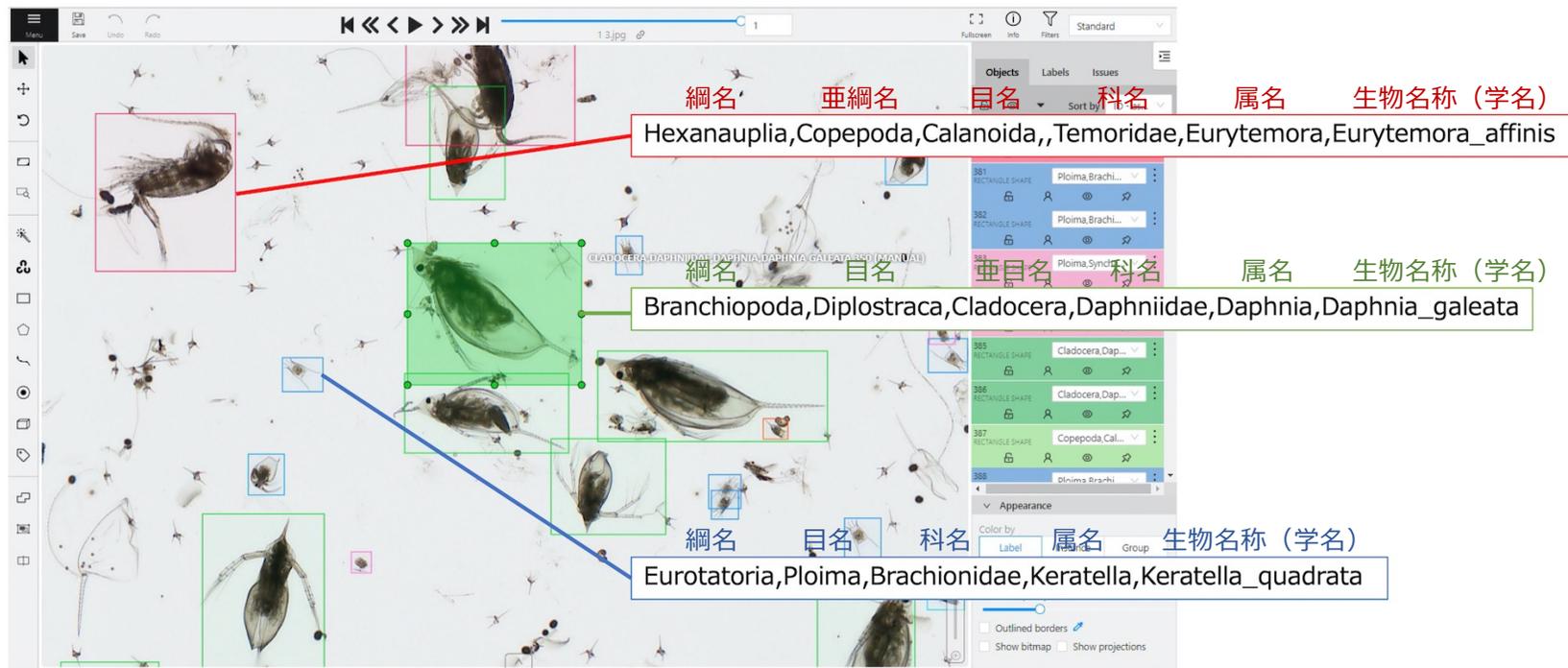


【サブテーマ1】
プランクトンのDNA・画像データによる群
集解析と画像解析システムの精度分析
 占部城太郎 (東北大学大学院生命科学研究科)

- 「群集」画像から「1個体ずつの画像」を抽出
- 高次分類階層を含めてアノテーションを行う



画像解析「教師データ」の完成



✓ Computer Vision Annotation Tool (CVAT)

【サブテーマ1】
プランクトンのDNA・画像データによる群
集解析と画像解析システムの精度分析



【サブテーマ1】
プランクトンのDNA・画像データによる群
集解析と画像解析システムの精度分析

総教師データ数 88,704 (2024年3月31日)

Data paperとして科博紀要に掲載・全画像をJ-stageに格納予定

分類群	総ラベル数	タクサ数 (種+種Sp.) 発生ステージや雌雄を除く
ワムシ類	131	130
枝角類	64	58
カイアシ類	38	31
その他	10	10
total	243	229

サンプル数371, 採集地点 81箇所
 群集画像総数 x40 648枚、x100 517枚

水辺の国調リストに対する割合

	目 (100%)	科 (100%)	属 (73.0%)	種 (60.2%)
枝角類	100% (1/1)	100% (7/8)+1	75.9% (22/29)	60.9% (39/64)+9
カイアシ類	100% (1/1)	100% (4/4)+2	86.4% (19/22)+1	58.6% (17/29)
ワムシ類	100% (3/3)	100% (17/17)+6	66.7% (40/60)	60.1% (94/153)+2

⇒サブテーマ3へ

【サブテーマ1】
プランクトンのDNA・画像データによる群
集解析と画像解析システムの精度分析
占部城太郎（東北大学大学院生命科学研究所）

既存のどのプランクトンデータベースよりも
 タクサ数・画像数多い、解像度も高い

表3-1. 既存のプランクトン画像データベース。

	年	画像枚数	種類	種類ごとの画像枚数 (min/mean/max)	画像サイズ (min/mean/max)	場所	撮影方法	ラベル	公開 /非公開
WHOI- Plankton [1]	2006	3,272,578	103 動植	4/31,773/2,340,564	18x113 54x139 861x1,378	海 (Martha's Vineyard)	水中	非階層	公開
WHOI [2]	2007	Train: 3,300 Test: 3,300	22 動植	150	45x62 156x367 961x1,261	海 (Woods Hole Harbor)	水中	非階層	公開
ZooScan [3]	2010	3,771	20 動	28/189/427	42x114 143x154 1,294x1,766	海 (Villefranche- sur-Mer Bay)	卓上	非階層	非公開
Kaggle [4]	2015	30,336	121 動植	9/251/1,979	21x41 67x73 399x410	海 (Florida Strait)	水中	階層 (階級非 統一)	公開
BeringSea [5]	2019	Train: 14,336 Test: 3,584	7 動	Train: 2,048 Test: 512	23x23 425x411 2,045x2,445	海 (Southeastern Bering Sea)	水中	非階層	公開
ZooLake [6]	2021	Train: 12,560 Val: 2,691 Test: 2,692	35 動	Train: 7/359/2,367 Val: 1/77/510 Test: 1/77/446	40x28 123x121 1,704x2,156	湖沼 (Lake Greifensee)	水中	非階層	公開
Ours	2023	Train: 15,886 Val: 2,961 Test: 16,973	229	6/298/3,708	21x32 183x183 882x1,329	湖沼	卓上	階層	公開 準備中

88,704

【サブテーマ1】
プランクトンのDNA・画像データによる群
集解析と画像解析システムの精度分析
占部城太郎（東北大学大学院生命科学研究科）

DNAデータの取得

メタバーコーディングに適用される

ミトコンドリアDNA・COI領域について

- ・カイアシ類 22タクサ 319バーコード
- ・枝角類 103タクサ 436バーコード
- ・ワムシ類 53タクサ 173バーコード

→「教師データ」画像のタクサをほぼ網羅

メタバーコーディングの試行

既知タクサから「モック群集」を作成し

各種プライマーを用いた検証実験を実施

→ **画像補完技術的基盤の構築へ**

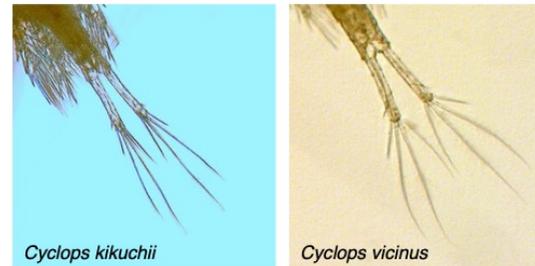
分類のアップデート

本邦での分類に疑念があるタクサについては、

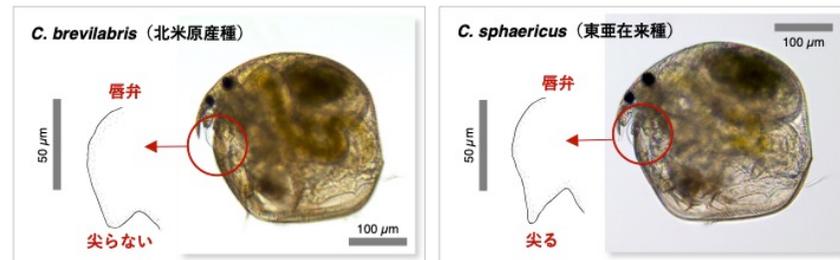
DNAバーコーディングデータを踏まえて分類を再検討

分類再検討・生物地理の知見は逐次論文を予定

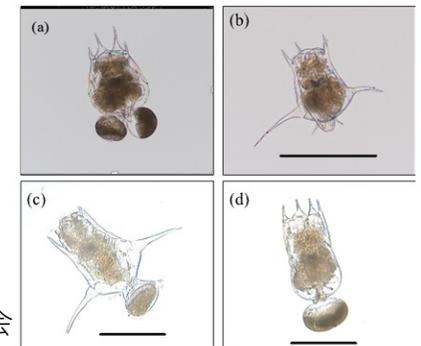
遺伝情報による分類再検討



Sioud et al. (2022)
 J. Plankton Res, 43, 974-985.



Makino et al. Limnology, 24, 151-159



Ohtake et al under review
 大竹他 2023 陸水学会大分大会

図1-11. *Brachionus calyciflorus*とされていた4

【サブテーマ2】
植物プランクトンのDNA・画像情報と形質
データを付与したデータベースの構築
辻彰洋（国立科学博物館植物研究部）

サブテーマ2の研究目標

- 1.植物プランクトンの**教師データの作成・蓄積**
- 2.培養株の確立と遺伝子解析（**系統・産生遺伝子**）
- 3.統合DBの作成と公開
- 4.モック群集を用いた評価

画像データ

7,469群集or培養写真

10,4711画像

種単位アノテーション min:10 avg:858, max:16068

ダム湖の植物プランクトン掲載数に対する達成度

	目レベル (浮遊種)		科レベル (浮遊種)		属レベル (浮遊種)		チェックリスト (浮遊種)		チェックリスト (含付着種)	
	分類群数	%	分類群数	%	分類群数	%	分類群数	%	分類群数	%
シアノバクテリア	5/5	100	5/11	45	9/21	43	12/29	41	12/37	32
珪藻	9/10	90	8/16	50	8/18	44	14/26	54	15/83	18
広義の緑藻	5/6	83	7/15	47	12/34	35	12/34	35	12/40	30
鞭毛藻類	4/10	40	6/11	55	6/15	40	8/16	50	8/30	27



5. 結果と考察

HP（ダム湖の植物プランクトン）の種群（モニタリング基準）を単位としてプランクトンとして**重要な個別分類群の約半分**について画像データを十分な画像数で教師データを構築

培養で群体の形態が崩れる分類群の対応に苦慮

【サブテーマ2】
植物プランクトンのDNA・画像情報と形質
データを付与したデータベースの構築
辻彰洋 (国立科学博物館植物研究部)

教師データの集積

撮影に必要な試料の収集
琵琶湖環境科学研究センター (琵琶湖唐橋)
琵琶湖博物館 (琵琶湖烏丸半島)
国立環境研究所 (霞ヶ浦)
他、芦ノ湖、空堀川、鳴滝ダム、十和田湖、小川原湖、浦山ダム、鳴滝ダム、印旛沼など



図2-3. *Microcystis wesenbergii* (左)と、*Planktothrix 'pseudoagardii'* (右)。

撮影手法の検討

Zeiss 倒立顕微鏡

Plan Neo Fluor NA 0.3の対物レンズ

EOS R撮影システム

水辺の国調の方法に準拠

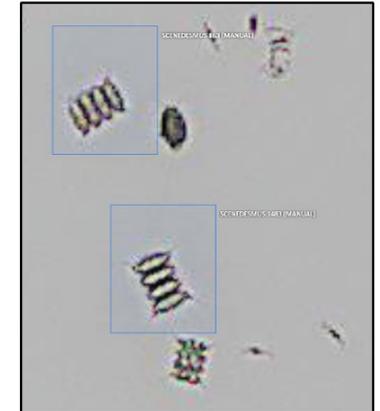
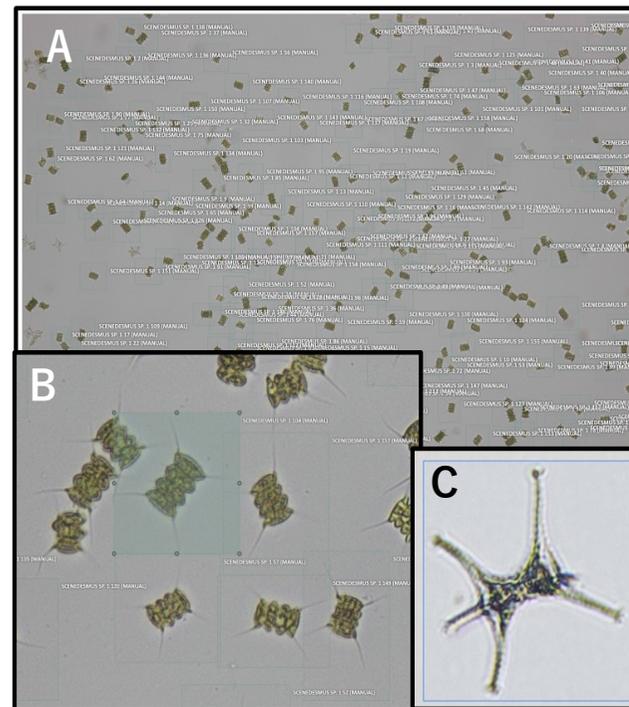


図2-2 正立顕微鏡 (対物10倍)でスタッキングシステムを用いて撮影した *Scenedesmus (Desmodesmus)* 属

図2-1. A撮影した全景。撮影対象はイカダモ (*Scenedesmus (Desmodesmus)* 属) 群体長は約100 μ m (A)

倒立顕微鏡のためN.A.が小さく解像力は1.2 μ mしかないが、比較的小型の植物プランクトンである本種の内部構造や棘まで良好に撮影できている (B)、また、立体的な種類である *Staurastrum* 属も焦点深度が深いため全体が撮影できている (C)。

【サブテーマ2】
植物プランクトンのDNA・画像情報と形質
データを付与したデータベースの構築
辻彰洋 (国立科学博物館植物研究部)

培養株の確立と遺伝子解析 (系統・産生遺伝子)

(サブテーマ3でのシステム開発後の評価 後半戦 R4~5)

- 3. 統合DBの作成と公開
- 4. モック群集を用いた評価

分類群の重複も含め約420株を分離。
 (シアノバクテリア210株、珪藻166株、緑藻46株)。
 (ほぼすべての株についてバーコード領域の遺伝子解析と
 同定のための簡易写真撮影に成功した。)

代謝産物 (カビ臭・毒) の遺伝子解析を実施

採集地	略号	シアノバクテリア				珪藻	緑藻
		ネンジュモ目 Cd	ユレモ目 右以外 Co	ユレモ目 Planktothrix属 Cp	クロオコックス目 C		
琵琶湖 (瀬田川、唐橋)	BK	37	16	1	2	10	
琵琶湖 (鳥丸半島)	LBM	90	3		13	54	
琵琶湖 (一瀬氏株)		10				38	
西の湖		2	2				
琵琶湖博物館 (生態観察池)		7					
霞ヶ浦	KS	2	2	2	4	56	
芦ノ湖						2	
浦山ダム						4	
小川原湖		11				1	
空堀川						16	
つくばため池		6					
十和田湖						6	
鳴滝ダム						3	
						18	

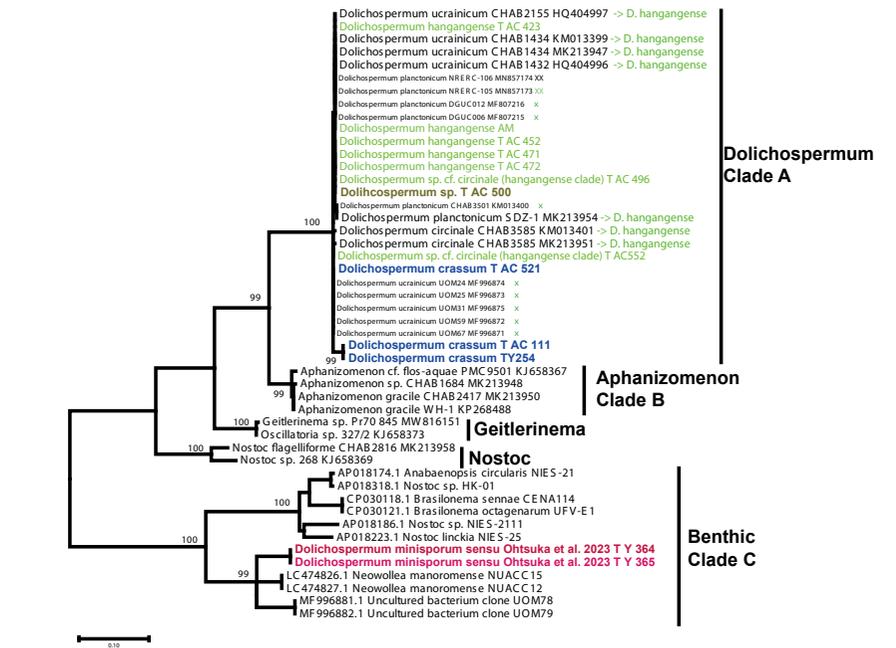
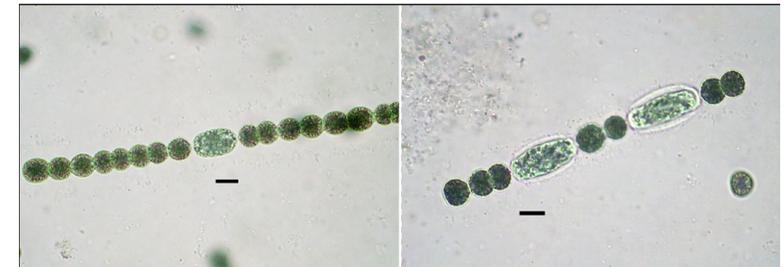
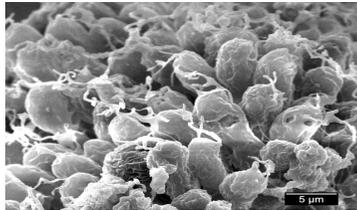


図2-8 ジオスミン産生遺伝子 (geoA) の解析結果 (ML法)

【サブテーマ2】
植物プランクトンのDNA・画像情報と形質
データを付与したデータベースの構築
辻彰洋（国立科学博物館植物研究部）

当初計画にない副次的かつ重要な成果
多数の日本新産・新種のプランクトン優占種の発見と関係機関での共有



琵琶湖の淡水赤潮
*Uroglenopsis*の新種



琵琶湖周辺で昨年からアオコを形成している

Planktothrix 'pseudoagardii' *Fragilaria saxoplanctonica*



新種候補（左：*Ulmaria* sp. *houkia*）および日本新産種（中央：*Fragilaria longifusiformis* ssp. *eurofusiformis*、右：

淡水棲プランクトン珪藻
Fragilaria longifusiformis ssp. *eurofusiformis* の
本邦における近年の出現

辻 彰洋¹・中川 恵²・溝淵 綾³・大塚泰介⁴

Diatom 38: 18–19, December 2022
DOI: 10.11464/diatom.38.18

震ヶ浦における *Fragilaria saxoplanctonica* の出現状況

辻 彰洋¹・中川 恵²

2022年6月22日 Ver.24

琵琶湖の微生物ワークショップ

第1回「琵琶湖南湖における鱗片を有する黄金藻」

近年、琵琶湖及びその集水域では、過去に報告されていない微生物が観察される事例が多くなっています。

黄金藻類の専門家である伊藤裕之氏（阪神水道企業団、元神戸市水質試験所長）に、琵琶湖で今のような鱗片を有する黄金藻が出現しているかをお話していただきます。

日時： 2022年8月10日（水） 13:00~16:00

会場： 琵琶湖博物館会議室

事務局： 伊藤裕之（阪神水道企業団、元神戸市水質試験所長）

一瀬 諭（元琵琶湖環境科学センター）

辻 彰洋（国立科学博物館）

大塚泰介（琵琶湖博物館）

根来 健（琵琶湖博物館特別研究員）

参加者： 今井一郎（琵琶湖博物館特別研究員、北海道大学名誉教授）

（予定） 鈴木隆仁（琵琶湖博物館）

藤原直樹（琵琶湖環境科学センター）

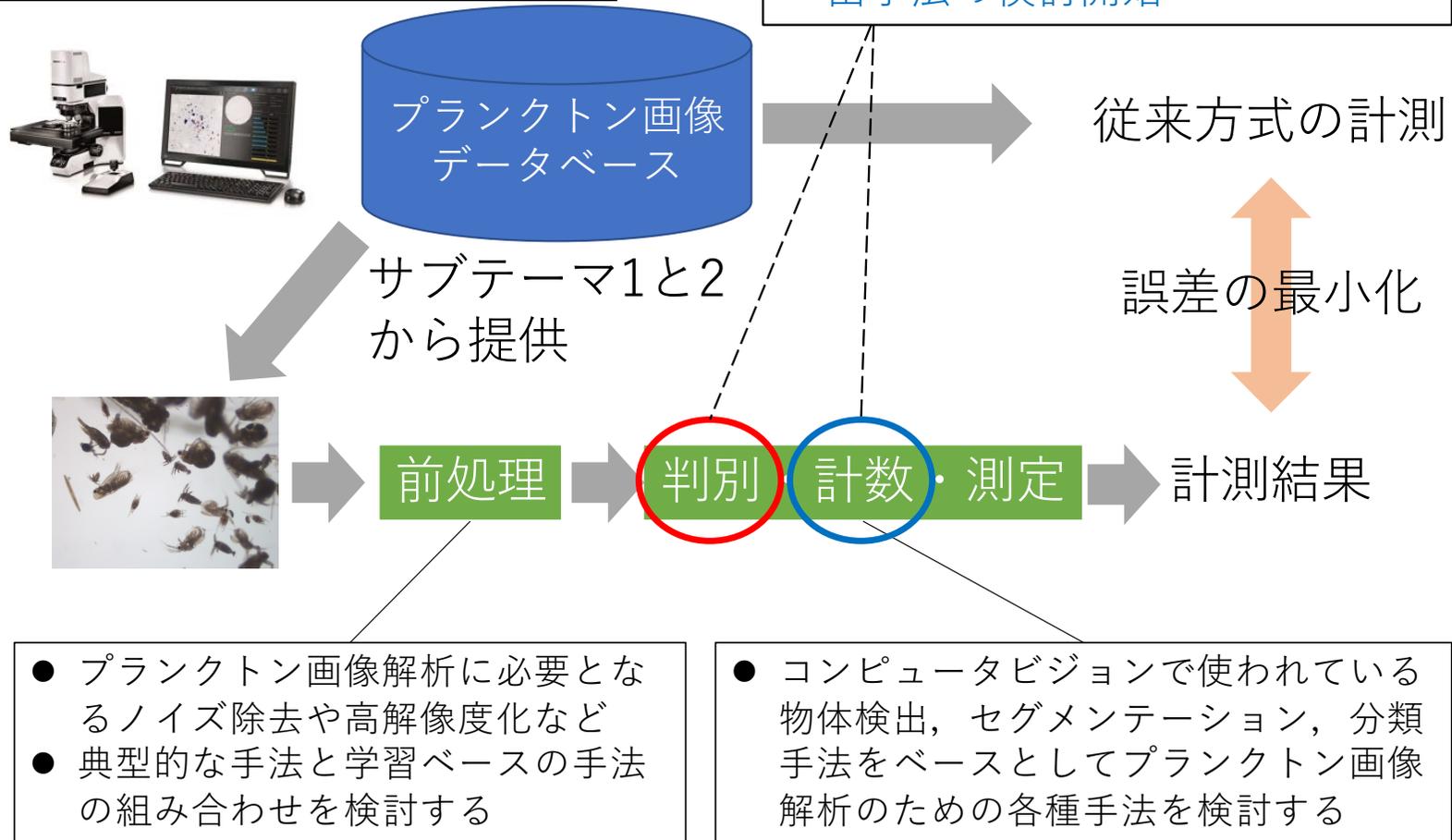
藤原俊一郎（京都市上下水道局）

橋詰和則（大津市企業局）

中村 優（滋賀県企業庁）

新産種・新種の関係機関との
共同での論文発表
およびワークショップなどでの
実務者との情報共有の実施

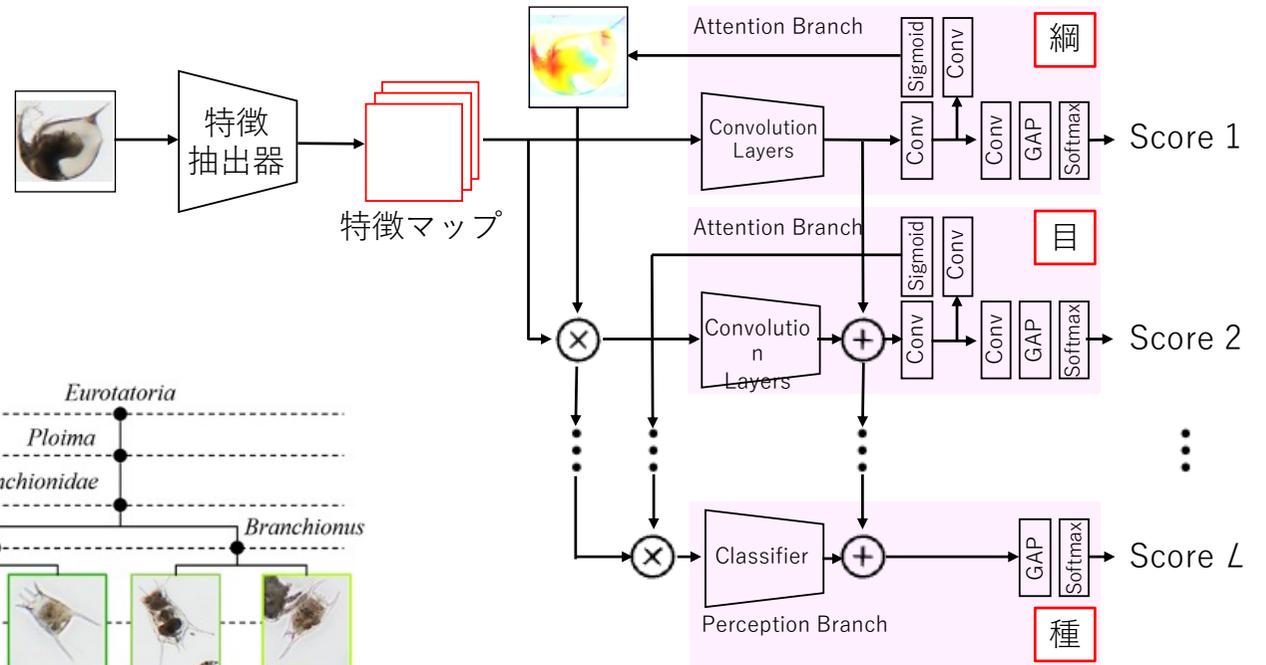
【サブテーマ3】
高度画像解析手法によるプランクトン自動判別・計数システムの構築
伊藤康一（東北大学大学院情報科学研究科）



【サブテーマ3】
高度画像解析手法によるプランクトン自動判別・計数システムの構築
 伊藤康一（東北大学大学院情報科学研究科）

● プランクトンの分類階級に基づいた新たな手法（ML-ABN）の開発に成功

- 畳み込みニューラルネットワーク（CNN）を用いてプランクトン画像から特徴マップを抽出する。
- 特徴マップに対して、**分類階級に応じた重み付け**を行うことで種類に応じた特徴を捉える。



Multi-Level Attention Branch Network (ML-ABN)

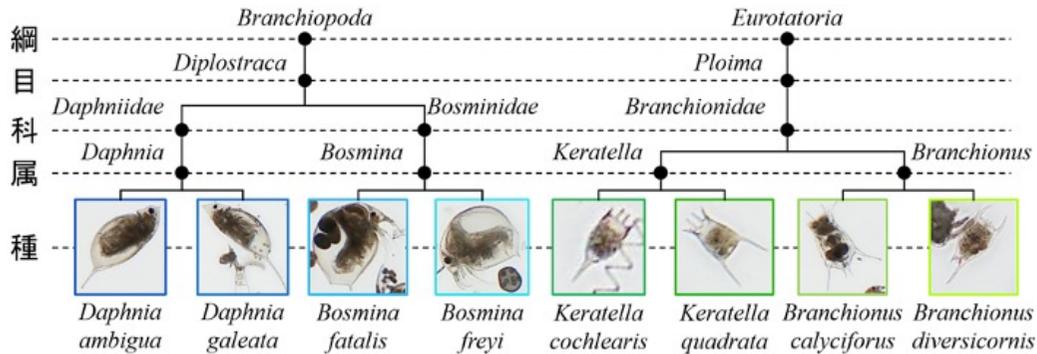


図3-3. 生物分類階級に従ったプランクトン画像のラベルの例。

【サブテーマ3】
高度画像解析手法によるプランクトン自動判別・計数システムの構築
 伊藤康一（東北大学大学院情報科学研究科）

その他、新たに検討・開発した方法
 効率の良い画像データベース構築手法
 プランクトン画像認識手法

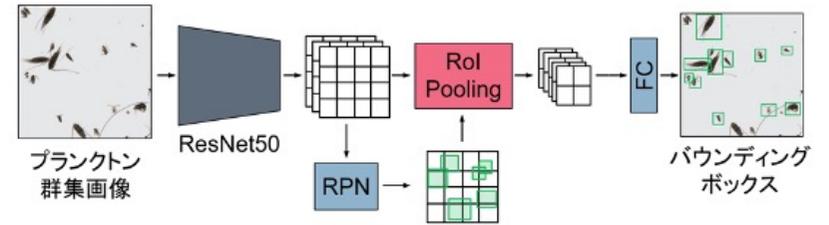
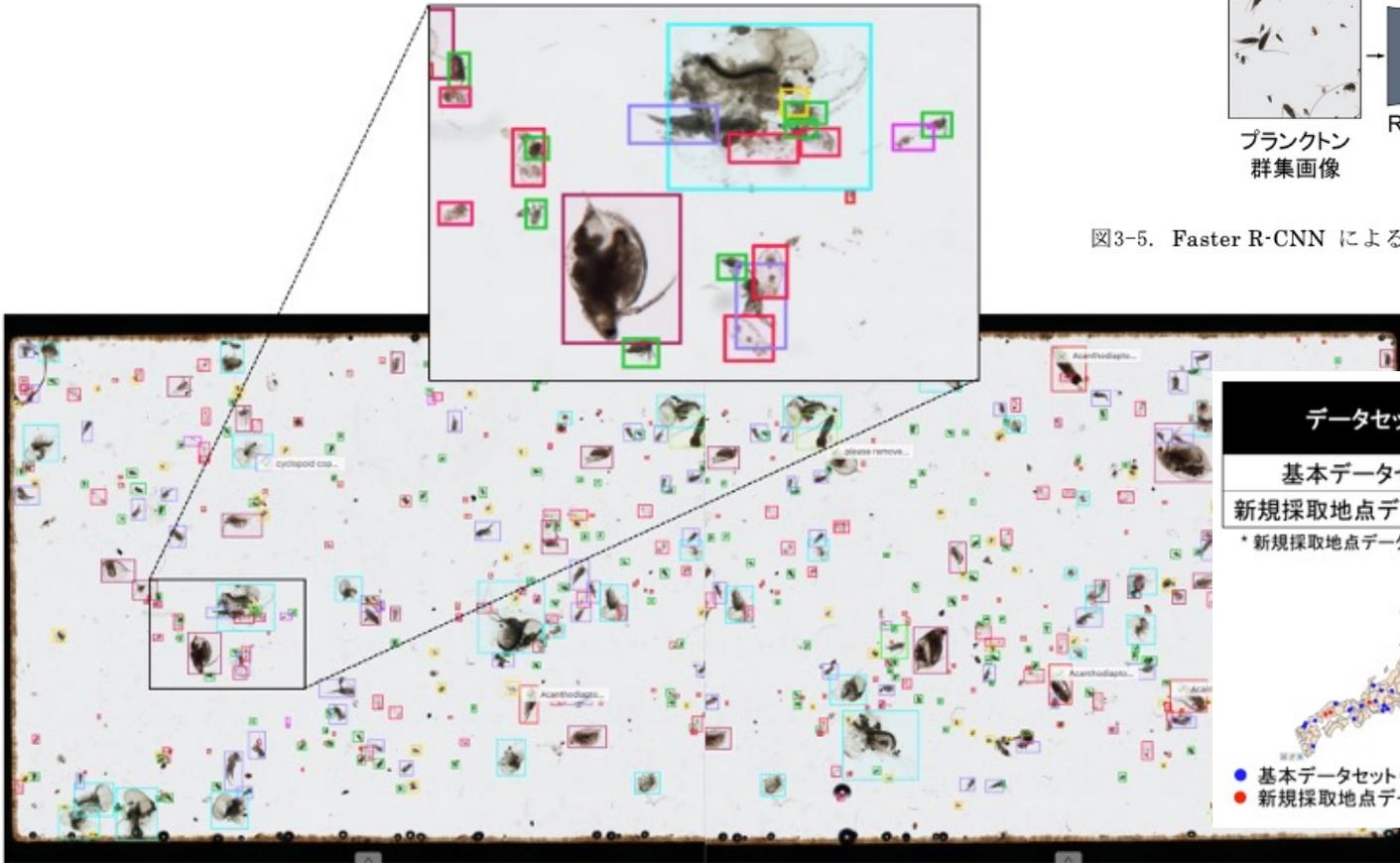
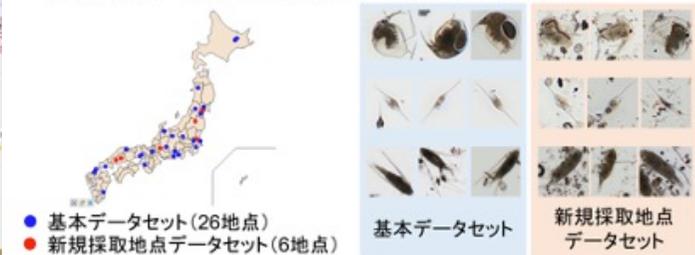


図3-5. Faster R-CNN による物体検出手法を適用した概要。



データセット	画像枚数			クラス数
	学習	検証	評価	
基本データセット	15,886	2,961	3,799	76
新規採取地点データセット	---	---	13,174	44*

* 新規採取地点データセットのクラスは基本データセットに全て含まれている



Page 21/37 図3-2. サブテーマ1 で得られた動物プランクトンの群集画像からの個体に検出枠。

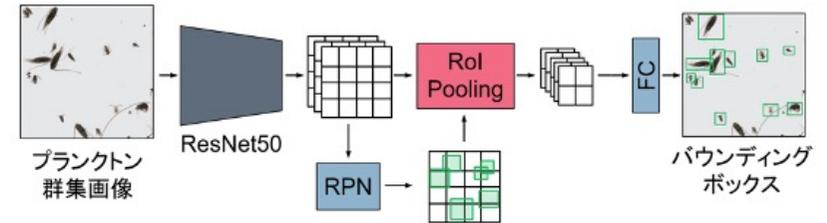
【サブテーマ3】
高度画像解析手法によるプランクトン自動判別・計数システムの構築
 伊藤康一（東北大学大学院情報科学研究科）

その他、新たに検討・開発した方法
 効率の良い画像データベース構築手法
 プランクトン画像認識手法

表3-2. 各手法による、プランクトン群集画像からのプランクトン検出（計数）とプランクトン画像の分類（自動判別）の実験結果。

手法	プランクトン数	検出数	未検出数	誤検出数	検出率 [%]	IoU
SSD	4,216	3,158	1,058	802	74.9	0.776
YOLOv3		3,324	892	1,067	78.8	0.775
YOLOv5		2,770	1,446	579	65.7	0.772
RetinaNet		2,865	1,351	488	68.0	0.803
FCOS		3,375	841	630	80.1	0.813
Faster R-CNN		3,931	285	2,371	93.2	0.781

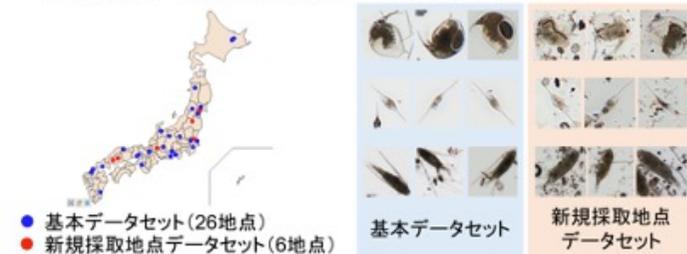
- IoU (Intersection over Union): 正解と検出結果のバウンディングボックスが重なっている割合
- IoU>0.5 の検出結果を「検出」とする



Faster R-CNN による物体検出手法を適用した概要。

データセット	画像枚数			クラス数
	学習	検証	評価	
基本データセット	15,886	2,961	3,799	76
新規採取地点データセット	---	---	13,174	44*

* 新規採取地点データセットのクラスは基本データセットに全て含まれている



【サブテーマ3】
高度画像解析手法によるプランクトン自動判別・計数システムの構築
 伊藤康一（東北大学大学院情報科学研究科）

本プロジェクトで作成したデータベースを用いて、**従来手法**と**提案手法**の分類精度を精度 (Acc.) と再現率の調和平均であるF1-Score で評価した。

表3-3. **基本データセット**のプランクトン画像を各手法で分類判別した実験の結果。

手法	綱	目	科	属	種	F1 [%]
	Acc. [%]					
ResNet50	99.3	98.6	94.1	93.1	90.5	74.9
ABN	99.5	98.8	94.2	92.9	90.5	76.6
MC	99.5	98.6	93.9	93.0	90.5	74.4
提案手法(属・種)	99.6	98.9	94.5	93.7	91.2	77.6
提案手法(科・属・種)	99.4	98.7	94.2	93.0	90.4	79.2
提案手法(目・科・属・種)	99.5	98.9	94.9	94.1	91.8	77.8
提案手法(綱・目・科・属・種)	99.5	98.8	94.5	93.4	90.8	77.0

新規性（強み）：プランクトンの分類階級に基づいた特徴を考慮することにより、従来よりも高精度に分類することができた。

Acc.: 分類結果の正解率

F1: 分類結果に対する種類ごとの正解率の平均 (Precision) と各正解クラスを正しく分類できた割合の平均 (Recall) の調和平均

【サブテーマ3】
高度画像解析手法によるプランクトン自動判別・計数システムの構築
 伊藤康一（東北大学大学院情報科学研究科）



種レベルでの平均
 正解率：95.6%

カイアシ類



種名	正解率
<i>Sinocalanus tenellus</i>	100%
<i>Acanthodiaptomus pacificus</i>	87%
<i>Eodiaptomus japonicus</i>	82%
<i>Heliodiaptomus kikuchii</i>	100%
<i>Heliodiaptomus nipponicus</i>	100%
<i>Neodiaptomus schmackeri</i>	100%
<i>Neurodiaptomus formosus</i>	94%
<i>Sinodiaptomus sarsi</i>	100%
<i>Sinodiaptomus valkano</i>	100%
Calanoida (copepodid stage)	82%
<i>Eurytemora affinis</i>	50%
<i>Cyclops kikuchii</i>	100%
<i>Cyclops vicinus</i>	100%
<i>Eucyclops</i> sp.	100%
<i>Macrocyclus</i> sp.	100%
<i>Mesocyclops dissimilis</i>	50%
<i>Mesocyclops</i> sp.	100%
<i>Thermocyclops</i> sp.	0%
<i>Thermocyclops crassus</i>	78%
<i>Thermocyclops taihokuensis</i>	80%
<i>Tropocyclops</i> sp.	100%
<i>Ergasilus</i> sp.	75%
Cyclopoida(adult male)	83%
Cyclopoida(copepodid stage)	95%
Copepoda(naupliar stage)	99%

枝角類



種名	正解率
<i>Bosmina fatalis</i>	98%
<i>Bosmina freyi</i>	100%
<i>Bosmina longirostris</i>	98%
<i>Bosmina tanakai</i>	100%
<i>Bosmina</i> sp.	80%
<i>Bosminopsis deitersi</i>	93%
<i>Alona</i> sp.	97%
<i>Chydorus sphaericus</i>	100%
<i>Ceriodaphnia cornuta</i>	50%
<i>Ceriodaphnia</i> sp2	100%
<i>Ceriodaphnia</i> sp.	94%
<i>Daphnia ambigua</i>	100%
<i>Daphnia galeata</i>	100%
<i>Daphnia longiremis</i>	100%
<i>Daphnia</i> sp.	90%
<i>Holopedium gibberum</i>	89%
<i>Leptodora kindtii</i>	100%
<i>Moina micrura</i> jpn1	100%
<i>Moina micrura</i> jpn2	100%
<i>Moina</i> sp.	100%
<i>Diaphanosoma cf. amurensis</i>	100%
<i>Diaphanosoma dubium</i>	100%
<i>Diaphanosoma orientalis</i>	100%
<i>Diaphanosoma</i> sp.	100%
<i>Sida</i> sp.	50%

ワムシ類



種名	正解率
<i>Conochilus</i> sp.	100%
<i>Hexarthra</i> sp.	100%
<i>Pompholyx</i> sp.	93%
<i>Filinia longiseta</i>	100%
<i>Asplanchna priodonta</i>	97%
<i>Asplanchna</i> sp.	100%
<i>Brachionus calyciflorus</i>	100%
<i>Brachionus diversicornis</i>	96%
<i>Brachionus falcatus</i>	100%
<i>Brachionus forficula</i>	100%
<i>Kellicottia bostoniensis</i>	100%
<i>Kellicottia longispina</i>	100%
<i>Keratella cochlearis</i>	98%
<i>Keratella quadrata</i>	100%
<i>Keratella valga or tropica</i>	100%
<i>Eunichlanis</i> sp.	100%
<i>Ascomorpha</i> sp.	50%
<i>Ploesoma</i> sp.	100%
<i>Polyarthra vulgaris</i>	50%
<i>Polyarthra</i> sp.	97%
<i>Synchaeta</i> sp.	100%
<i>Trichocerca</i> sp.	80%

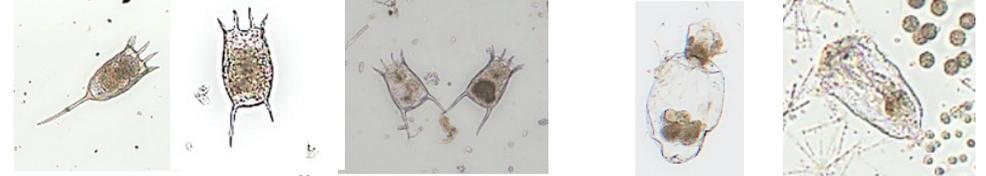
課題：ただし
 正解率の低い種
 も存在する。

【サブテーマ3】
 高度画像解析手法によるプランクトン自動判別・計数システムの構築
 伊藤康一（東北大学大学院情報科学研究科）



種レベルでの平均
 正解率：95.6%

誤同定しやすい種, 類似種など相互誤同定しやすい組合せがある



Keratella cochlearis *valga or tropica* *quadrata* *Asplanchna* *Syncaeta*



Acanthodiaptomus pacificus *Neodiaptomus schmackeri* *Heliodiaptomus nipponicus*

他カラヌスへの誤判別



Eodiaptomus japonicus
 枝角類を含む大型種への誤判別



Cyclops vicinus
 他Cyclopoidaへの誤判別

課題：ただし
 正解率の低い種
 も存在する。

【サブテーマ3】
高度画像解析手法によるプランクトン自動判別・計数システムの構築
 伊藤康一（東北大学大学院情報科学研究科）

本プロジェクトで作成したデータベースを用いて、**従来手法**と**提案手法**の分類精度を精度 (Acc.) と再現率の調和平均であるF1-Score で評価した。

表 3-4. **未知プランクトン画像**を含むデータセットに対して、各手法で分類判別した実験の結果。

手法	綱	目	科	属	種
	Acc. [%]				
ResNet50	88.4	82.2	74.2	64.3	59.1
ABN	88.4	82.5	73.2	64.8	59.5
MC	88.5	83.1	74.8	68.4	63.0
提案手法(属・種)	88.8	84.0	75.8	65.6	60.2
提案手法(科・属・種)	90.3	84.8	77.5	68.6	61.9
提案手法(目・科・属・種)	92.6	86.5	79.0	69.9	64.0
提案手法(綱・目・科・属・種)	93.4	88.8	80.7	71.6	65.4

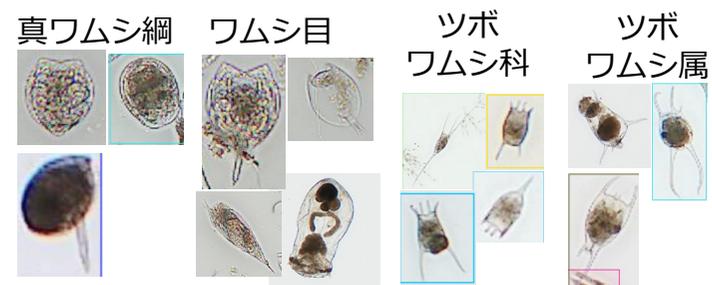
新規性（強み）：プランクトンの分類階級に基づいた特徴を考慮することにより未知種でも下位分類群で識別可能に。

Acc.: 分類結果の正解率

【サブテーマ3】

高度画像解析手法によるプランクトン自動判別・計数システムの構築

伊藤康一（東北大学大学院情報科学研究科）

*B. angularis**B. caudatus*

下位分類群での正解率低くても、上位分類階層での正解率が高い
信頼性 vs. 精度

種名	綱	目	科	属	種
<i>Bosmina longirostris</i>	100%	100%	100%	100%	0%
<i>Chydorus</i> sp.	100%	100%	100%	100%	0%
<i>Moina micrura</i> jpn1	100%	100%	100%	100%	0%
<i>Ceriodaphnia</i> sp2	100%	100%	100%	33%	33%
<i>Neurodiaptomus formosus</i>	100%	100%	40%	40%	40%
<i>Neodiaptoms schmackeri</i>	100%	100%	67%	0%	0%
<i>Cyclops vicinus</i>	100%	100%	20%	0%	0%
<i>Synchaeta</i> sp.	75%	75%	25%	25%	25%
<i>Brachionus angularis</i>	85%	82%	0%	0%	0%
<i>Brachionus caudatus</i>	60%	60%	0%	0%	0%

属以上の分類階層なら
正解率が上がる

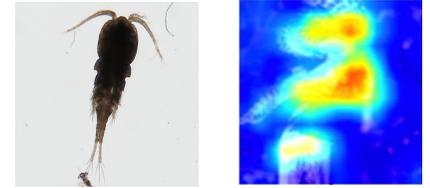
上位の分類階層で
ある程度の正解率

【サブテーマ3】
 高度画像解析手法によるプランクトン自動判別・計数システムの構築
 伊藤康一（東北大学大学院情報科学研究科）

機械学習による種判別着眼部位

人による同定時の着眼部位

異なる場合あり



⇒ 同定形質に重みづけを行った種判別：分析試行中

3. オス第一触角先端第三節に**指状・棒状突起**がある
 ・その他共通形質：オス第五胸脚末節は大きい

<p><i>Eodiaptomus japonicus</i> オス</p> <ul style="list-style-type: none"> 第五胸脚第二節外側刺は末端にあり細長い 第五胸脚内肢は大きく波状 	<p><i>Neodiaptomus schmackeri</i> オス</p> <ul style="list-style-type: none"> 第五胸脚第二節外側刺は外縁中央につき、太い
<p><i>Heliodiaptomus kikuchii</i> オス</p> <ul style="list-style-type: none"> 第五胸脚第二節外側刺は基部にあり太い 第五胸脚末節の下に突出がある (H. nipponicusにはこれがない) 	<p><i>Heliodiaptomus nipponicus</i> オス</p> <ul style="list-style-type: none"> 第五胸脚第二節外側刺は基部にあり太い

<p><i>Bosmina longirostris</i></p> <ul style="list-style-type: none"> 後腹部の下部が出っ張る 全身形態は丸目 複眼が大きい 第一触角は可塑性が高い <ul style="list-style-type: none"> 鍵状のものと、伸びたものがある 長さも多様 クルツ肢毛が <i>fatalis</i> より第一触角に遠い 	<p><i>Bosmina fatalis</i></p> <ul style="list-style-type: none"> 後腹部の下部は出っ張らず丸くなる 全身形態は上部が広い逆三角形 or 細め 複眼が小さい 第一触角に可塑性あり <ul style="list-style-type: none"> 上を向くものがある 鍵状になるものも存在 クルツ肢毛が第一触角に近い mucroは長めが多く、ささくれがない
---	---

【サブテーマ4】
プランクトン群集短期予報のための群集要素抽出と時系列解析による実証
 近藤倫生 (東北大学大学院生命科学研究科)

- (1) 琵琶湖などで公開されている既存の観測データを利用し、プランクトン群集動態予測モデルを構築し、予測範囲とその精度について検証及を行う。
- (2) 予測モデルを一般化し、他の湖沼でも利用できるアプリケーション化する。
- (3) 開発されるプランクトン自動判別・計数システムのデータを利用した予測モデルを構築、短期予報の実証を行う。予測のためのパイプラインを完成する。

予測の精度と時間スケール

分類階級により予測出来る時間スケールが異なる

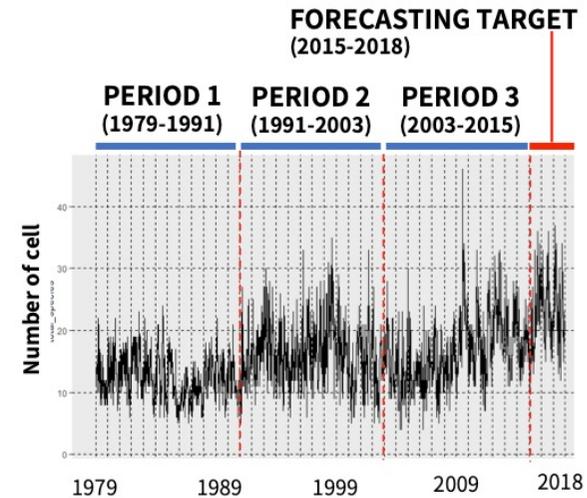


図4-3. 本研究の概念図
 1979-2018データを3つの期間 (PERIOD 1, 2, 3) に分けて予測モデルをそれぞれについて構築した上で、FORECASTING TARGET (2015-2018)の変動予測を実施する。

予測に使う情報量の比較

多種データを使うと予測向上 (ただし、例外あり)

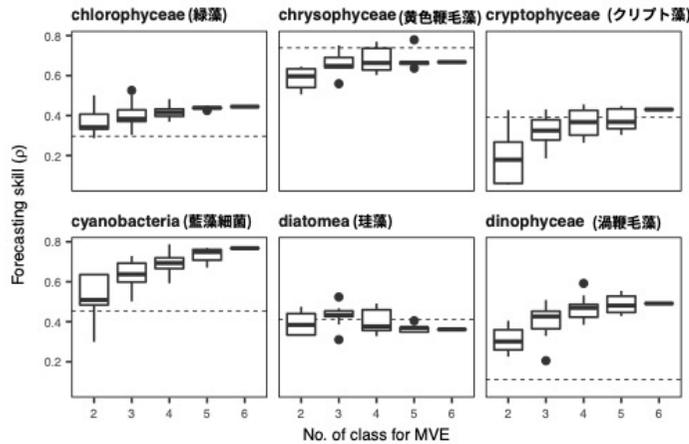


図4-2. 6つの植物プランクトンの綱について、Multi-View Embeddingを用いた1週間先の予測を行った。ターゲットとなる綱に加えて、他の1~5綱の観測データを利用した状態空間の再構成を実施し、これに基づいた予測値と実測値の予測の良さ (相関係数) を評価した。

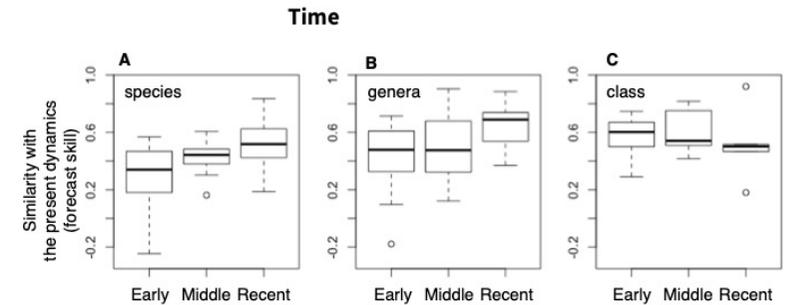
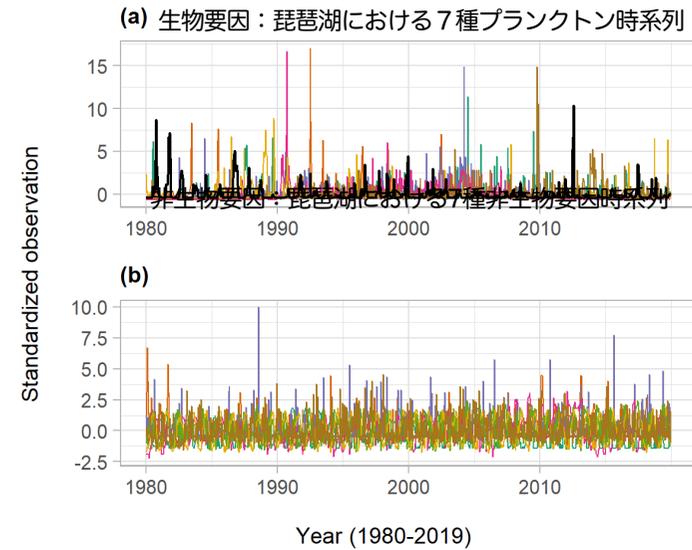
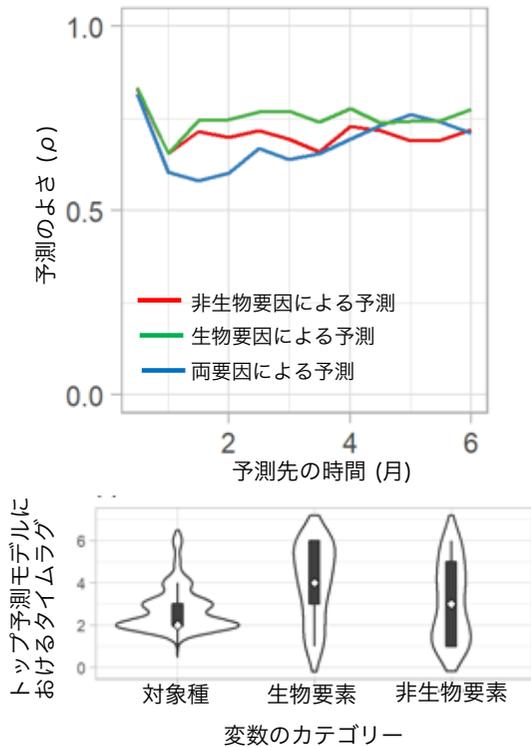


図4-4. 予測の良さの観測データ依存性 種 (A)、属 (B)のいずれの生物学的レベルにおいても、最も最近のデータ (Recent) を使った予測モデルが最もパフォーマンスが高く、ついでMiddle, Earlyの順にパフォーマンスは悪くなっていった。それに対して綱 (C)のレベルにおいては、どのデータを使っても予測の良さは変わらなかった。

【サブテーマ4】
プランクトン群集短期予報のための群集要素抽出と時系列解析による実証
 近藤倫生 (東北大学大学院生命科学研究科)

生物・非生物要因を考慮したプランクトン動態予測モデルの構築



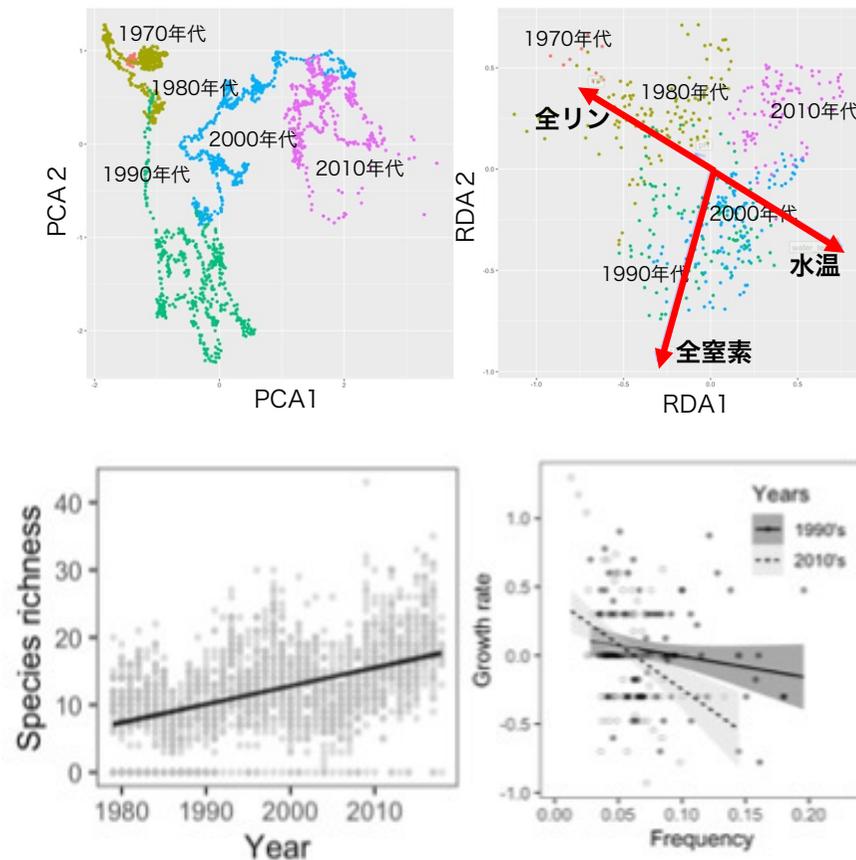
【実験条件】 Takensの埋め込み定理に基づく非線形時系列予測 (MVE) を利用して、生物・非生物要素を利用した *S. dorisdentiferum* 予測モデル構築。琵琶湖(瀬田川)における1980-2019の主要な植物プランクトン7種、非生物要素7種 (NO₃, PO₄ and SiO₂、平均気温, 降水量, 日照量, 風速) データを利用

【結果】

- ✓ 生物要因利用の予測モデルは、非生物要因利用の予測モデルよりも予測力が高く、また遠い将来の予測を可能にする (上図)
 - **短～中期予測におけるプランクトン観測データの重要性**
- ✓ 予測モデルの予測力を高めるには、非生物要因に比べてより過去の生物要因の値が求められる傾向 (下図)
 - **生物要素は種間相互作用や未観測環境要素の情報を保有**

【サブテーマ4】
 プラクトン群集短期予報のための群集要素
 抽出と時系列解析による実証
 近藤倫生（東北大学大学院生命科学研究科）

長期観測データに基づく植物プランク
 トン群集変動のパターンと要因の理解

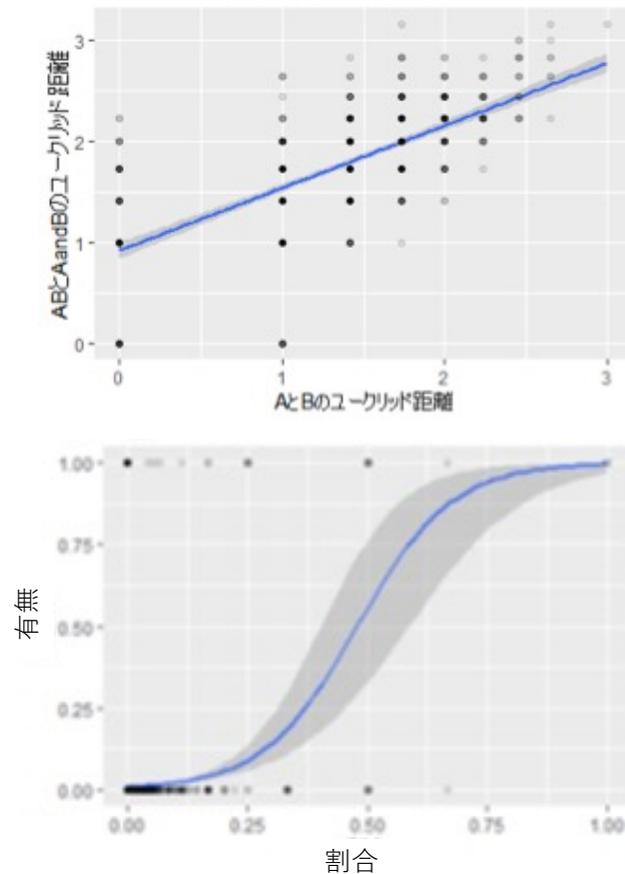


【実験条件】植物プランクトンの変動予測モデルに利用する変数候補抽出のため、過去40年間の琵琶湖における群集・環境要因時系列データを解析

【結果】

- ✓ PCAから、種組成変化は停滞と急速な推移が判明（左上）
- ✓ RDAにより、群集組成は、総リン量の減少、総窒素量の増加、水温の変化で生じていたと特定した（右上）
- ✓ 琵琶湖では、植物プランクトン種数増加トレンド（左下）
- ✓ 多くの種で、個体群成長速度は個体群密度と負に相関、その自己抑制効果の大きさ（勾配）は、時と共に強くなっている（右下）
- ✓ 琵琶湖における長期の種数増加傾向は、この自己抑制効果（負の密度依存効果）の強化によって説明できるかもしれない

【サブテーマ4】
プランクトン群集短期予報のための群集要素抽出と時系列解析による実証
 近藤倫生（東北大学大学院生命科学研究科）



適切なアグリゲーションに関する研究

複数生物種一つのまとまりとして捉える（アグリゲート）ことで、種間相互作用がどう変化するか？

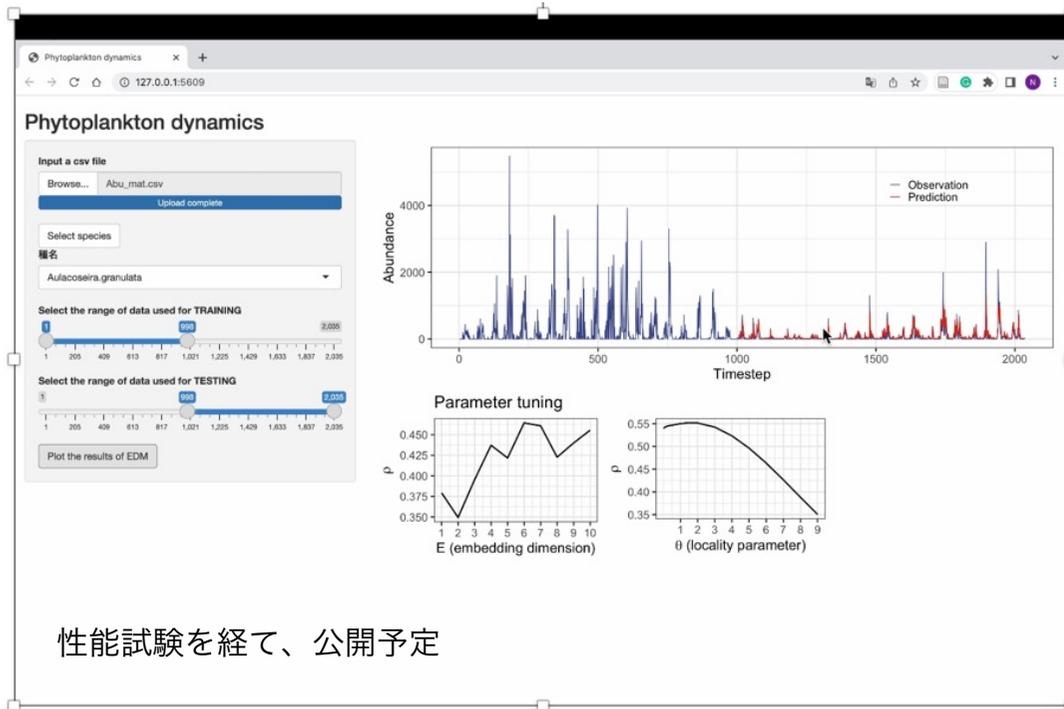
【実験条件】琵琶湖(瀬田川)における1980-2019の主要な植物プランクトン7種、

【結果】

- ✓ 2種類の植物プランクトン（AとB）の相互作用する相手種が似ている場合には、両生物個体群密度の合計（A+B）の相互作用相手は、AやBのそれと類似
- ✓ 相互作用の似た種をまとめると、その種間相互作用は保管される（上図）
- ✓ グループA（科・属）に属する種が、グループB（科・属）に属する種と相互作用している時ほど、グループAとBの間にも相互作用が生じやすい（317種・118属・70科によるテスト）
 - 似た種間相互作用の種のアグリゲーションは、相互作用網の構造を大きく変更しない
 - 因果関係のアグリゲーションによる系の複雑性を減らせる可能性を示唆

【サブテーマ4】
プランクトン群集短期予報のための群集要素抽出と時系列解析による実証
 近藤倫生 (東北大学大学院生命科学研究科)

予測モデルをアプリケーション化
 ウェブアプリケーション「Shiny」



過去40年近くにもおよぶ植物プランクトン137属348種の個体群動態データを用いて、非線形予測に必要な埋め込み次元数などの決定過程を自動化し、1週間後の個体群密度を予測するアプリケーションを作成した。

図4-10. *Uroglena*の場合を示す。図の上の数字は予測先（週間）。

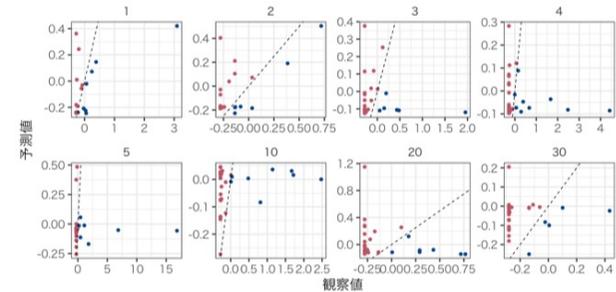
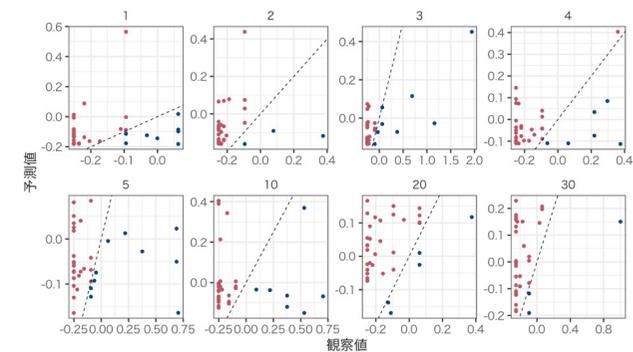


図4-11. *Synedra*の場合を示す。図の上の数字は予測先（週間）。



予測精度向上のための手法を検討中
 データアグリゲーションなど

研究目標の達成状況

全体目標 に対してほぼ予定どおりの実施と成果 (自己評価2: 目標を上回る成果をあげた)

青字部分：実施済 赤字部分：未達成部分

湖沼生態系の健全性を把握するためのプランクトンモニタリング高度化実現のため、本研究では下記4つの目標を設定する。

- 1 湖沼の生態系保全や水質管理に不可欠となる動植物プランクトンデータベースを構築し、都道府県やコンサルタントが業務で行う環境モニタリングで参照できるように公開する。
- 2 労力のかかるプランクトンの同定・計数を自動で行う高精度なプランクトン自動判別・計数システムを開発する。
- 3 画像解析とメタバーコーディング法による比較を行いプランクトン自動判別・計数システムとの補完性を提示する。
- 4 プランクトン自動判別・計数システムで取得可能となる高頻度時系列データを用い、プランクトン動態についての短期予測(予報)が行えるようにする。

今後の対応

- Data paper として公開準備中
- 植物プランクトン版未検証、汎用システムの開発を次期推進費 (4G-2401：実証研究)で行い社会実装する。
- 汎用システムの開発と平行して実施する。
- Shiny版を検証評価後に公開する。

行政等が活用することが見込まれる成果

○琵琶湖やダム湖で採集した試料から、プランクトン画像・DNAデータベースを構築（J-stage）

⇒ 公開することで、都道府県事業体やコンサル活用(ブラウザでの閲覧システム構築予定)

⇒ 生物情報データの統一と質的向上

○自動画像システムを逐次公開

⇒ 琵琶湖など指定湖沼（環境省・都道府県）での利用。

⇒ 水辺の国調（ダム湖版：国土交通省）で実施されているモニタリング事業に直接利用。

コンサルデータのチェック（水辺の国調プランクトンスクリーニング委員会）

⇒ 基礎的教師データを公開することで、国際レベルのコンペティション

○短期予報システム⇒琵琶湖で実装を進めている。

課題：広範囲の実装にあたっては、学習機能やインターフェイスの設計や画像認識の安価なハードウェア（顕微鏡システム）開発が必要（民活）

⇒ パッケージ化した環境機器の開発と商品化（汎用化）に取り組む：4G-2401で実施する。

行政等が既に活用した成果

○新規発見種には、水辺の国調プランクトンスクリーニング委員会に報告し、国立科学博物館が管理している「ダム湖の植物プランクトン」HPに反映。

○新産種・新種については、琵琶湖（滋賀県環境科学センター）、霞ヶ浦（国立環境研究所）、鳴滝ダム（岡山市水道局）等の担当者間で、有害性を含め、情報交換。

○得られた情報は、翌年度のモニタリングにも即座に活用され、日本国内の他の湖沼からの新規有害種の検出にも役立つことが期待。

○滋賀県環境科学センター、水源地環境センター、コンサル等の実務担当者と情報交換・ネットワーク

誌上発表

出版論文 (2024.5.7)

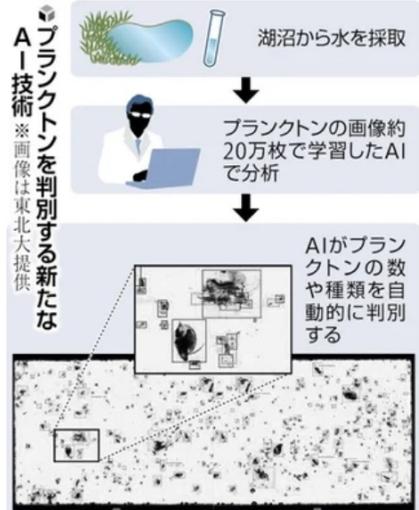
- 1 Sioud, I., W. Makino, J. Urabe. (2022) Comparative phylogeography of *Cyclops vicinus* Uljanin, 1875 and *Cyclops kikuchii* Smirnov, 1932 with implications for differences in their ecological characteristics. Journal of Plankton Research, 43, 974-985
- 2 Makino, W., H. Suzuki, Yl. Otake, S. Ban, J.Urabe. (2023) The first report of the non-indigenous *Chydorus brevilabris* Frey, 1980 (Crustacea: Cladocera) in Asian freshwaters. Limnology, 24, 151-159.
- 3 Ohtsuki,H., H.Norimatsu,T.Makino,J. Urabe. (2022) Invasions of an obligate asexual daphnid species support the nearly neutral theory. Scientific Reports. 12, 7305.
- 4 Suzuki, H., W. Makino, S.Takahashi, J. Urabe. (2024) Assessment of toxic effects of imidacloprid on freshwater zooplankton: an experimental test for 27 species. Science of the Total Environment, 927: 172378.
- 5 辻彰洋・中川恵・溝渕綾・大塚泰介：日本珪藻学会誌 第38巻（2022） [研究ノート] 淡水棲プランクトン珪藻*Fragilaria longifusiformis* ssp. *eurolusiformis*の本邦における近年の出現， 38: 14-17.
- 6 辻彰洋・中川恵：日本珪藻学会誌 第38巻（2022） [研究ノート] 霞ヶ浦における*Fragilaria saxoplanctonica*の出現状況，38: 18-19.
- 7 Tuji, A., E. Ogiso-Tanaka and H. Yamaguchi, 2024. Complete genome sequence of *Annamia dubia*, filamentous colony-making Chroococcales with the analysis of FraC gene influencing filament integrity. Journal of Genomics 12: 1-5.
- 8 Tuji, A. and M. Nakagawa, 2023. The filamentous colony-forming diatom *Aulacoseira pusilla* with a high mantle height/valve diameter ratio. Plankton and Benthos Research 18:225-227.
- 9 Tuji, A., Y. Niiyama and S. Ichise, 2023. Distribution and phylogeny of *Dolichospermum hangangense* (Nostcales, Cyanobacteria) found in Japanese lakes and reservoirs. Bulletin of the National Museum of Nature and Science, Series B 49: 83-95.
- 10 Ohtsuka, T., T. G. Suzuki and A. Tuji, 2023. Occurrence of a *Raphidiopsis raciborskii* (Cyanobacteria) Bloom in a Pond near Lake Biwa. Japanese Journal of Water Treatment Biology 59: 27-32.
- 11 Koichi Ito, Kanta Miura, Takafumi Aoki, Yurie Otake, Wataru Makino, and Jotaro Urabe, “Zooplankton classification using hierarchical attention branch network,” Proceedings of Asian Conference on Pattern Recognition (LNCS 14407), pp. 409--419, November 2023.
- 12 Mori, A. S., Suzuki, K. F., Hori, M., Kadoya, T., Uraguchi, A., Muraoka, H., Sato, T., Shibata, H., Suzuki-Ohno, Y., Koba, K., Toda, M., Nakano, S., Kondoh, M., Kitajima, K., Nakamura, M.(2023) Sustainability challenges, opportunities, and solutions for long-term ecosystem observations) Philosophical Transactions of The Royal Society B, doi. 10.1098/rstb.202
- 13 Otomo, Y., R. Masuda,Y. Osada, K. Kawatsu, M. Kondoh. (2023) Dynamics-based characterization and classification of biodiversity indicators. Ecology & Evolution, DOI: 10.1002/ece3.10271
- 14 Iwashita, G., Yamawo, A., Kondoh, M. (2022) Predator discrimination of prey promotes the predator- mediated coexistence of prey species. Royal Society Open Science, doi. 10.1098/rsos.220859

査読中論文(2024.5.7)

- Shinohara, N., R. Fukasawa, K. Kawatsu, S. Ichise, S. Ikeda,Y. Ohtake, J. Urabe, M. Kondo. Lake eutrophication collapses phytoplankton coexistence by reducing niche dimensionality.
- Shinohara, N., Y. Osada , S. Ichise, J. Urabe , M. Kondoh. Contribution of seasonal environmental fluctuations on the coexistence of phytoplankton in a lake: A field test of the paradox of plankton.
- Otake, Y., M. Kurokawa, N. Maruoka, M. Nakagawa, W. Makino, J. Urabe. Taxonomic re-evaluation of the *Brachionus calyciflorus* species complex (Rotifera) in Japanese freshwaters.
- Perera, I. U. N. Maruoka, X. Tian, W. Makino, J. Urabe. Relationship between the realized niche overlap and phylogenetic distance of rotifer species revealed by the long-term temporal dynamics in a small mountain lake.
- Suzuki, H., H. Ichiyonagi, J. Kass, J. Urabe. Differences in factors determining taxon-based and trait-based community structures: a field test using zooplankton.

7.研究成果の発表状況

成果の種類	件数
査読付き論文：	14
査読付き論文に準ずる成果発表（人文・社会科学分野）：	0
その他誌上発表（査読なし）：	0
口頭発表（国際学会等・査読付き）：	2
口頭発表（学会等・査読なし）：	30
知的財産権：	0
「国民との科学・技術対話」の実施：	8
マスコミ等への公表・報道等：	0
研究成果による受賞：	1
その他の成果発表：	1



プランクトン AIで判別

東北大など開発へ 湖沼の水質改善

東北大や国立科学博物館などの研究チームが、湖沼に生息するプランクトンの種類や量を画像から判別する人工知能(AI)の開発に乗り出している。湖沼の水質改善や生態系の維持に役立つ狙い。環境省は今年度から3年間で、計約9000万円の研究費を配分する見込みだ。

水中のプランクトンは、気温の変化や富栄養化で増殖して赤潮を引き起こした

り、悪臭の原因になったりする。水質の浄化にはプランクトンの数や種類の把握が重要だが、顕微鏡で調べるのは時間や人手がかかる。

チームは琵琶湖や霞ヶ浦などに生息するプランクトン約600種の撮影画像を約20万枚用意し、形やサイズの特徴をAIに学習させている。今後2年間でAIの性能を高め、湖沼から採取・撮影した水の画像から、プランクトンの数と種類を自動的に識別する技術の確立を目指す。

2026年度からは、調査機関や民間企業と共に全国の湖沼やダム湖で実証実験に着手する計画だ。将来的には、湖沼よりもプランクトンが格段に多い海への技術の応用も検討する。

チームの占部城太郎・東北大名誉教授(水圏生態学)

読書 5/4②

「地球温暖化によって今後、湖沼の環境が大きく変わる可能性がある。AIによる効率的なプランクトンの判別技術を確立し、全国的なデータの収集につなげたい」と話している。

ご清聴、ありがとうございました。