

環境研究総合推進費 5-1607
最終成果報告会

安全が確保される社会部会

琵琶湖における有機物収支の 把握に関する研究

研究代表 早川和秀（滋賀県琵琶湖環境科学研究センター）

研究分担

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター

佐藤祐一、岡本高弘 [サブ1]

永田貴丸 [サブ5]

滋賀県立大学

後藤直成 [サブ2]

国立環境研究所

今井章雄、富岡典子

佐野友春、小松一弘 [サブ3]

京都大学生態学研究センター

中野伸一、程木義邦 [サブ4]

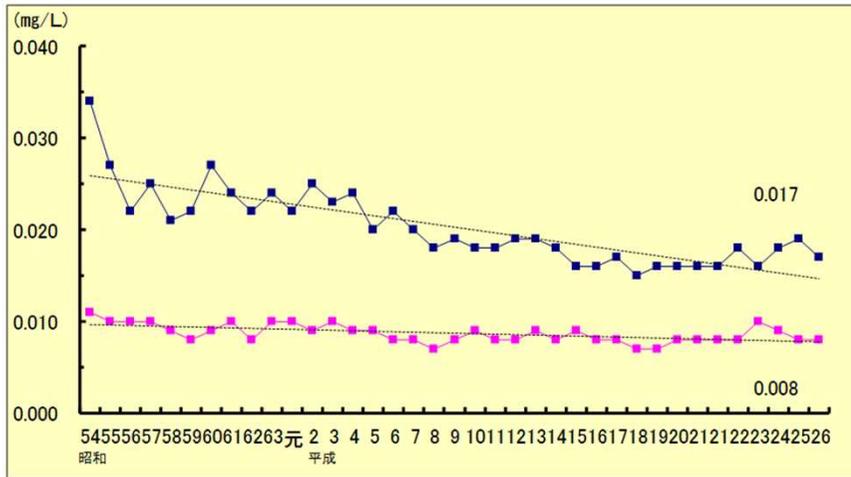
平成28～30年度 累計予算額 74,390千円



2019.3.15 環境保全再生機構

背景 湖沼水質は改善されてきたが生態系の異変が顕在化

琵琶湖の水質(TP)



在来魚介類の減少



水草繁茂



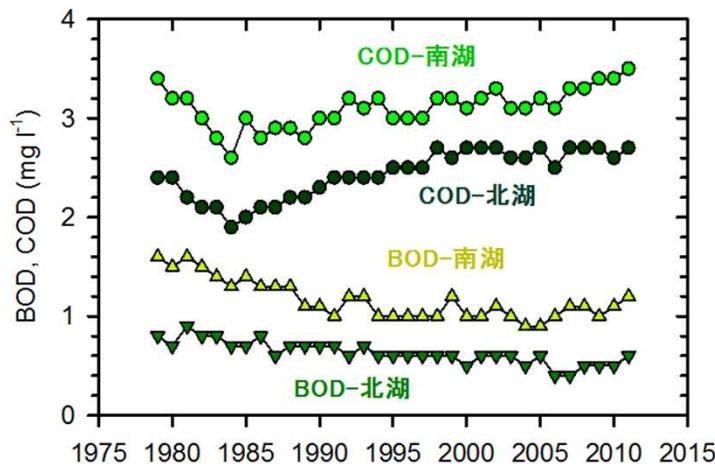
外来魚増加



プランクトン組成の変化



魚類の餌資源の不足と水質汚濁のトレードオフなど 水質と生態系のバランスが課題



有機汚濁の質の変化

CODの順守が水質管理のゴールでない

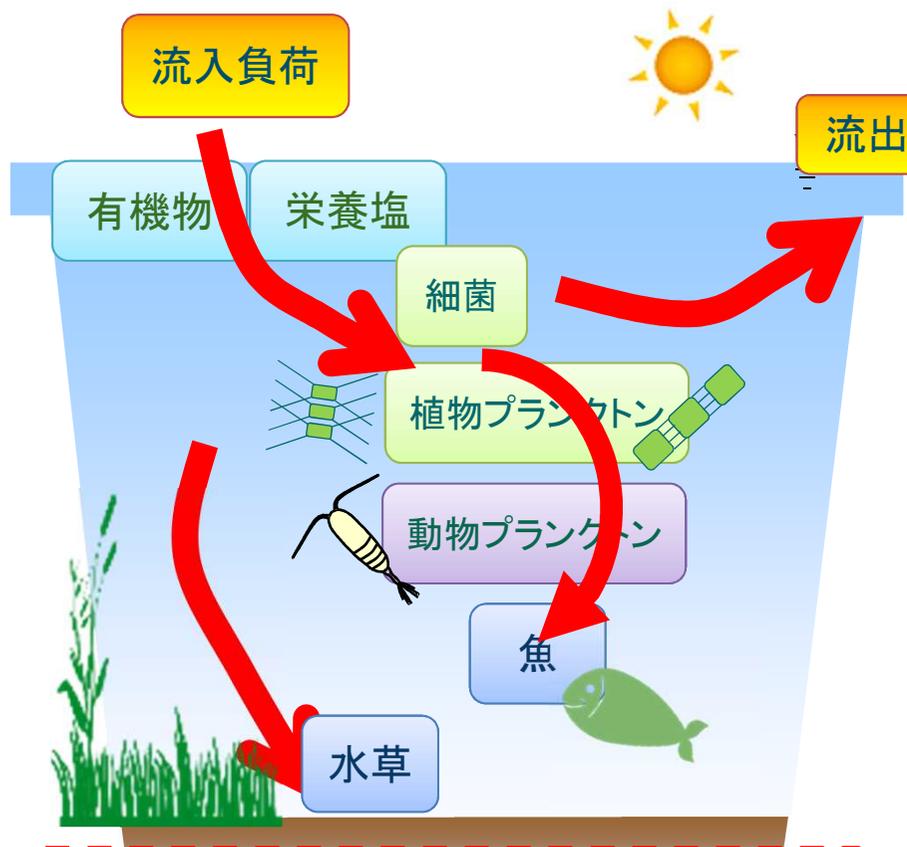
良好な水質と栄養塩バランスの回復
多様で豊かな在来生物群集の再生

滋賀県 琵琶湖総合保全計画
(マザーレイク21計画)第2期計画

琵琶湖における 新たな水質管理の枠組みの必要性

従来の考え方: 流入負荷を減らして湖内の水質を改善したい

これからの考え方: 魚類等につながる物質循環を円滑にする



栄養塩濃度は減少【水質保全】したが、魚類等の生産量も減少？

良好な水質と魚類等資源量の改善の両立を図る【生態系保全】

本研究の課題

目標 豊かな生態系を生み出す対策と水質管理との両立

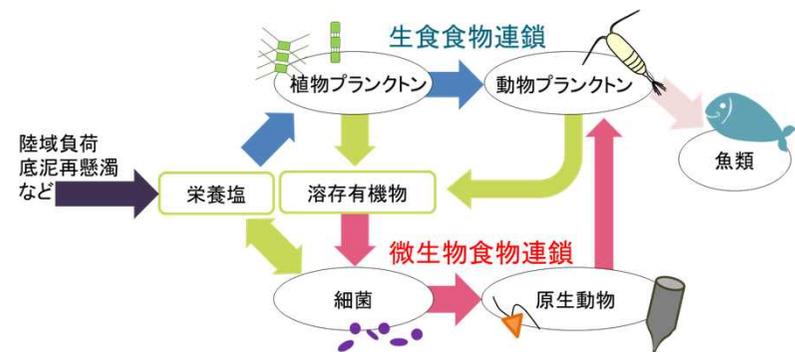


課題① 現状の食物連鎖(物質循環)の評価
一次生産と細菌生産の把握
特に微生物食物連鎖の上位への寄与

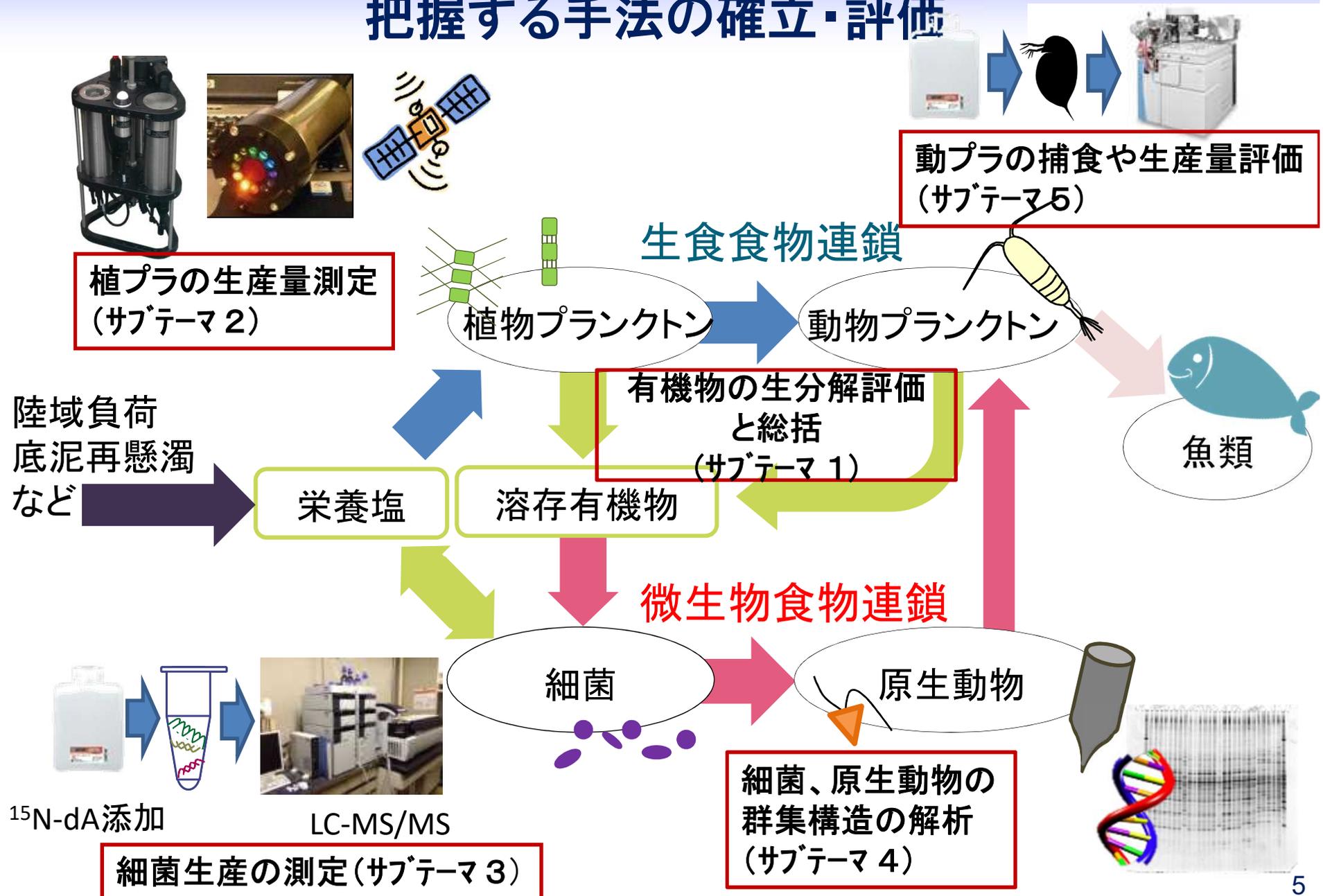


課題② 生態系の生産性を把握する指標
有機炭素の導入
生分解性有機物の正確な把握

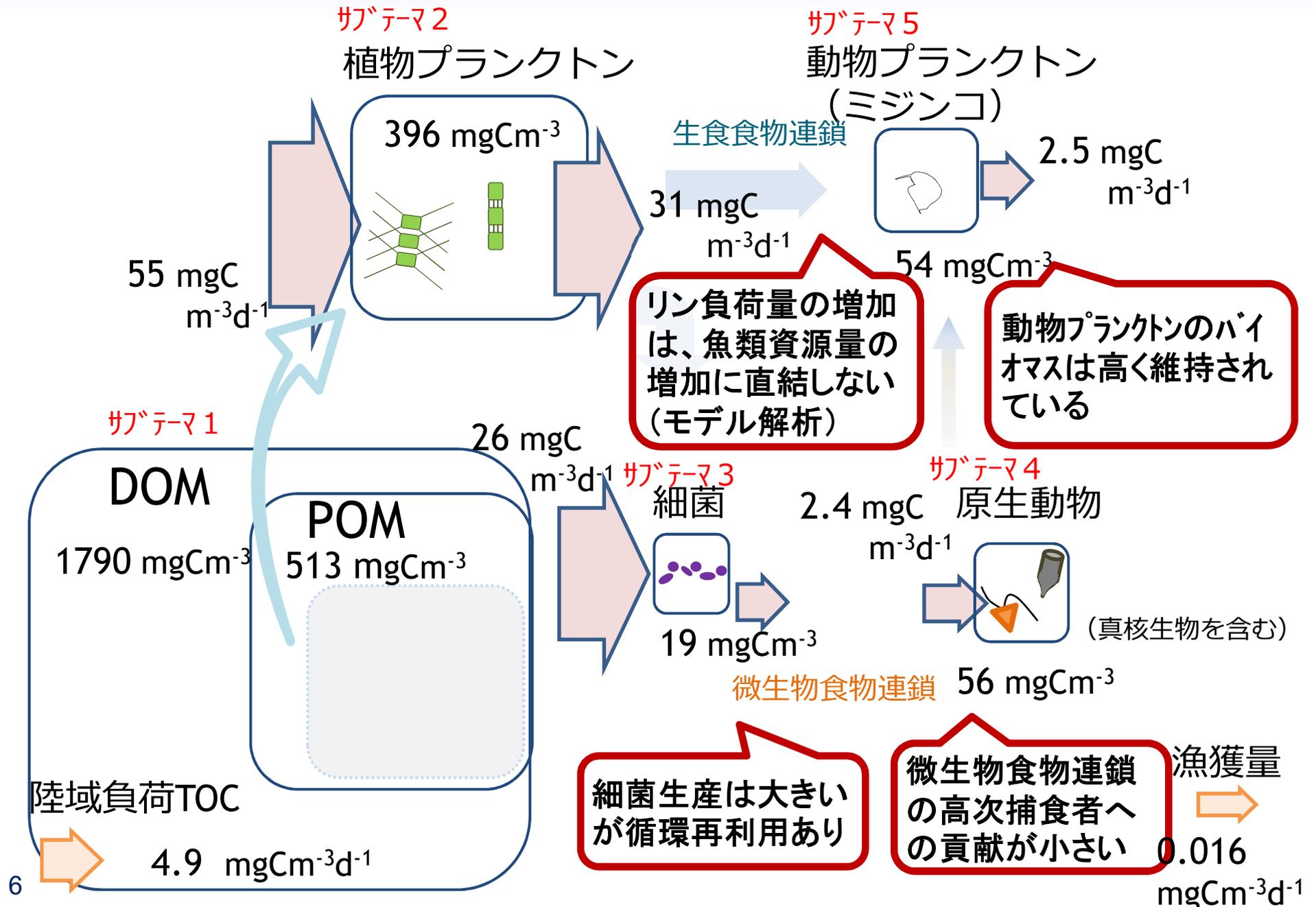
貧栄養化する湖沼では
魚類の生産性を
どう上げるのか？



目的 湖内物質循環の基礎である有機物の生産構造を把握する手法の確立・評価



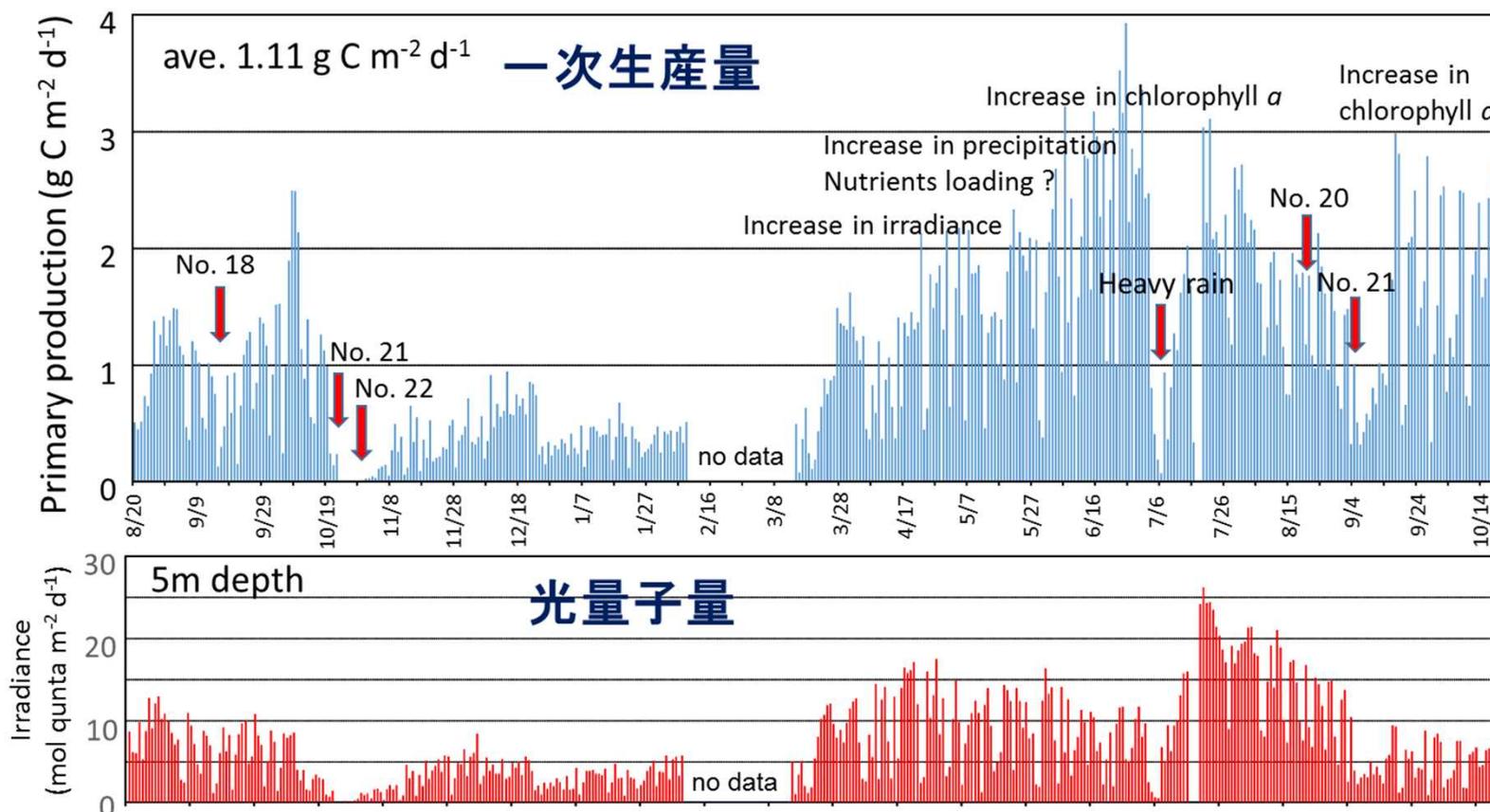
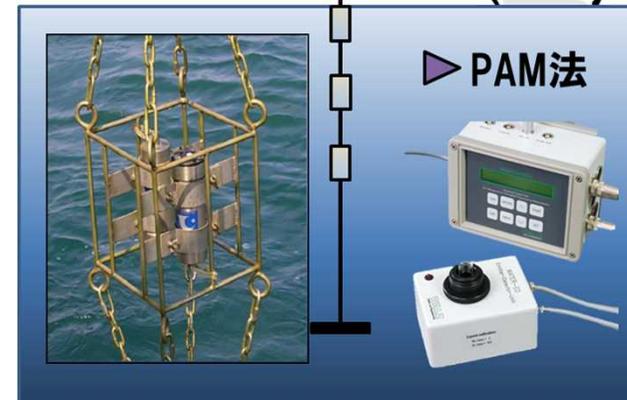
明らかとなった琵琶湖沖帯の有機物生産構造



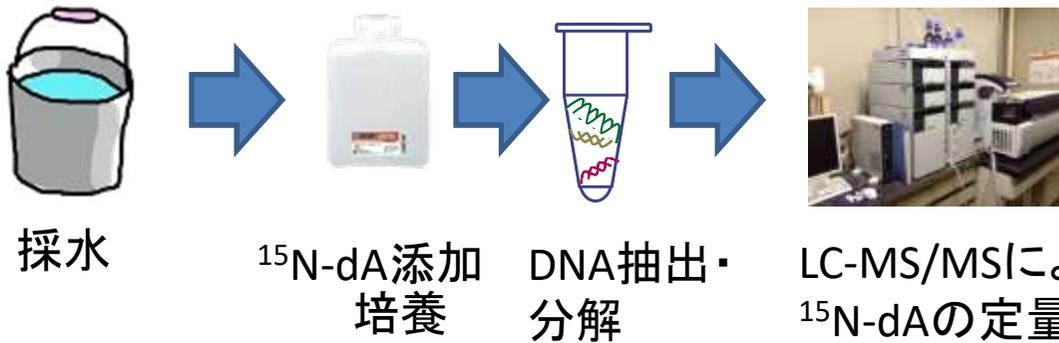
一次生産の連続測定の実現 [サブテーマ2]



光合成活性測定と光量、クロロフィル計の組み合わせによる一次生産量の連続観測を実現

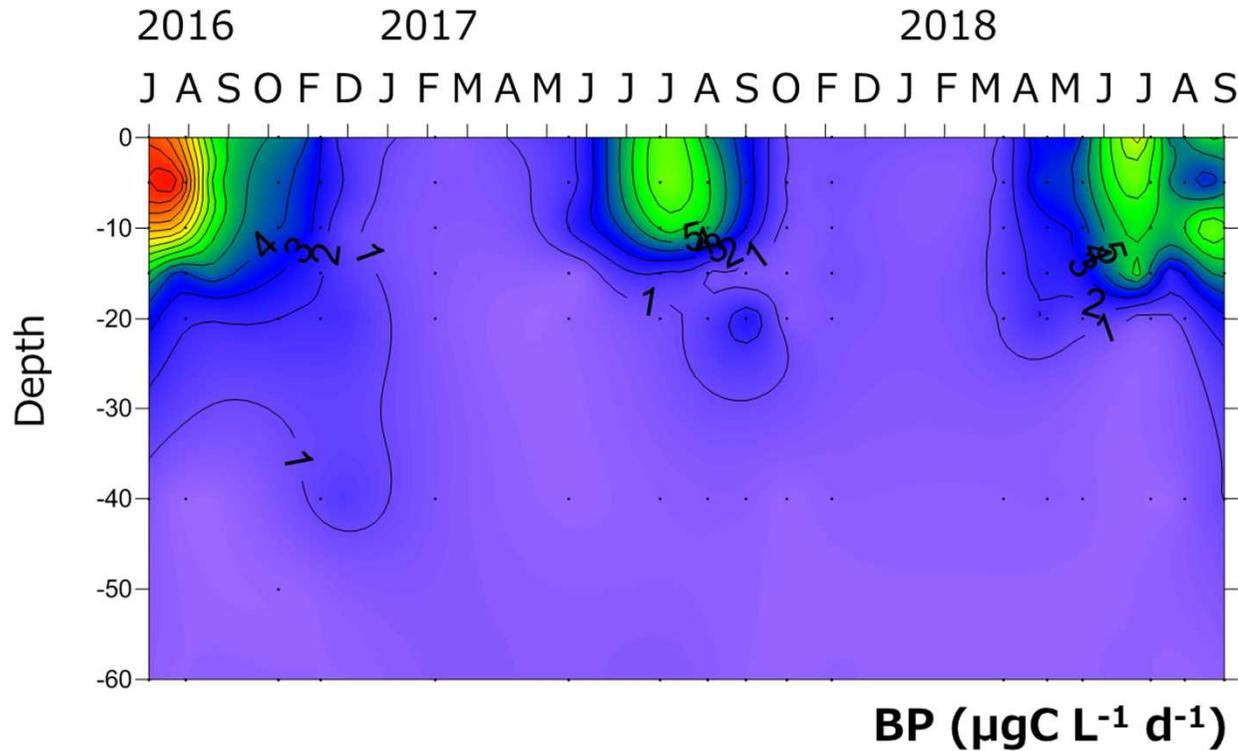


安定同位体を用いた細菌生産測定 新手法を琵琶湖に適用 [サブテーマ3より]



RIを使わずに琵琶湖で細菌の増殖を測定可能に

琵琶湖北湖(12B)におけるバクテリア生産量の時空間変動

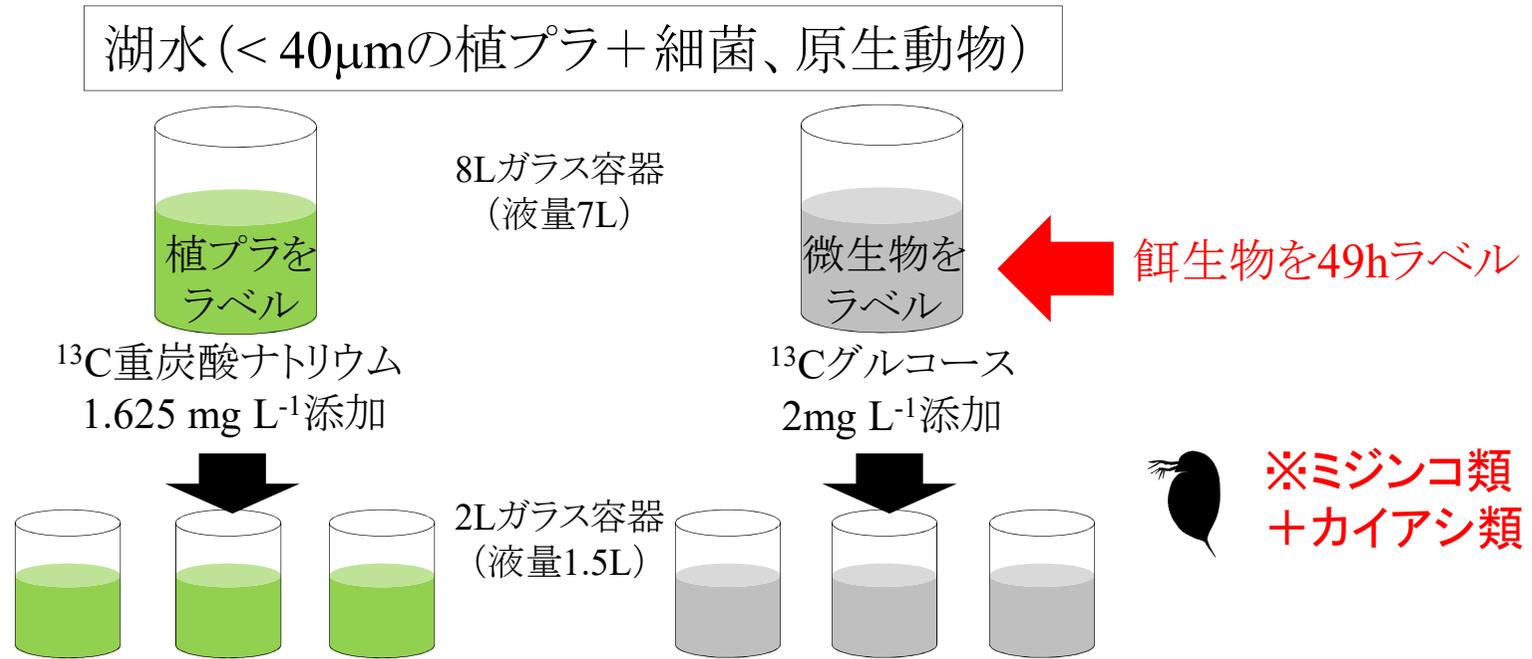


バクテリア炭素要求量は、一次生産量の約50%

バクテリア炭素要求量とBODが関係 [サブ1より]
水質とリンク

動物プランクトンの摂食実験 (植物プランクトンと細菌の取込量を比較)

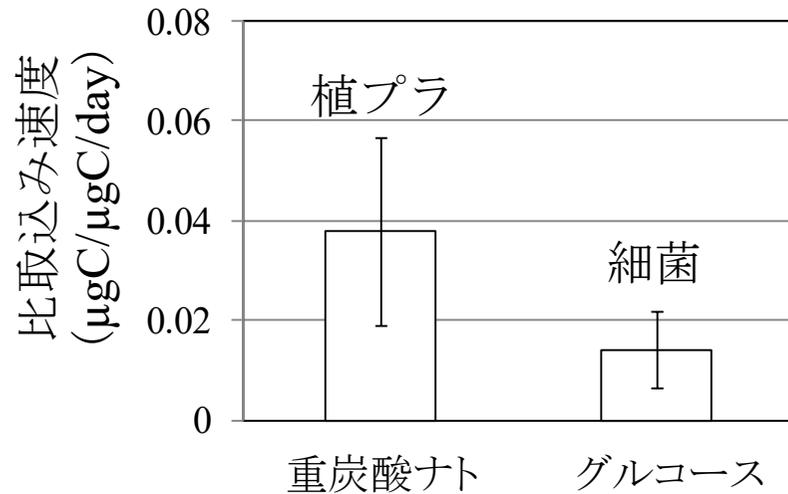
[サブテーマ5より]



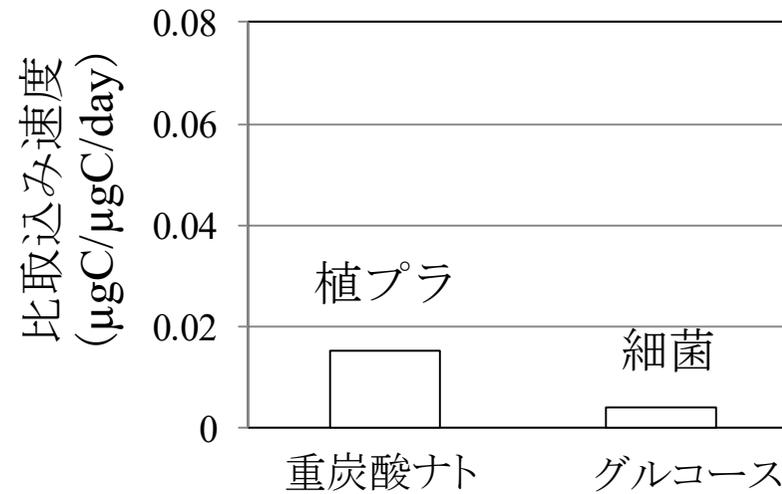
動プラを添加して暗条件で各餌を約2日間食べさせた
※炭素同位体比で取込速度を算出

結果: 動物プランクトンによる餌生物の比取込み速度

7月実験



9月実験



動物プランクトンによる

植プラの比取込み速度は、0.015~0.038 $\mu\text{gC}/\mu\text{gC}/\text{day}$

(捕食 <20 μm : 80 $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$, 20-45 μm : 35 $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$, 9月)

細菌の比取込み速度は、0.004~0.014 $\mu\text{gC}/\mu\text{gC}/\text{day}$

微生物食物連鎖の
高次捕食者への貢献が小さい

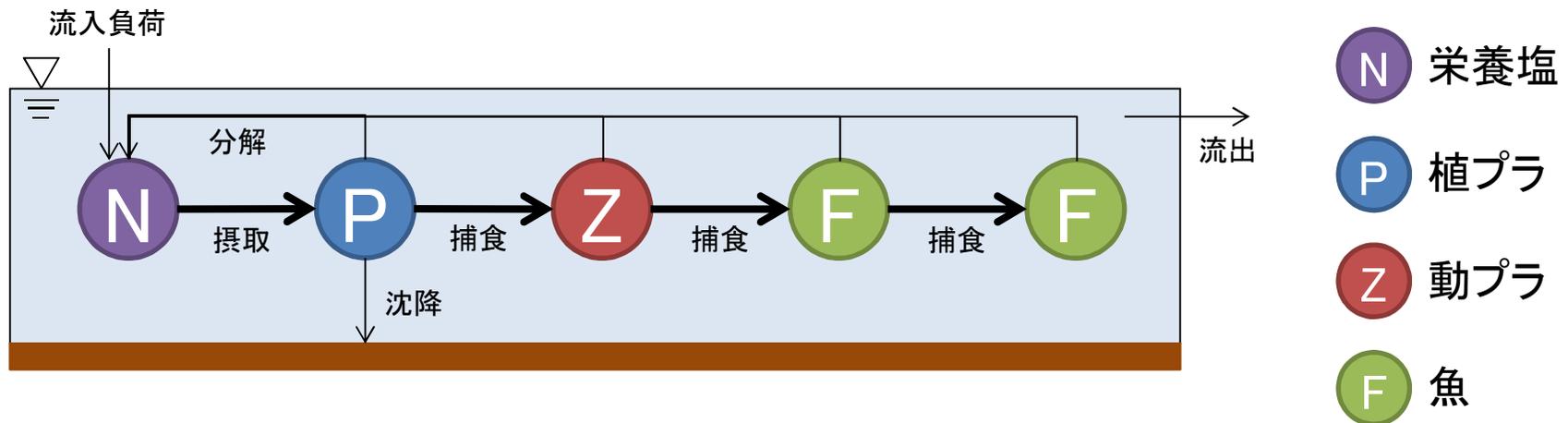
D-アミノ酸指標を用いて細菌より生成される溶存有機物フラックスを確認

[サブ1より]

有機物の循環利用

食物連鎖(NPZFF)モデルを用いた 魚介類資源量等との関連解析

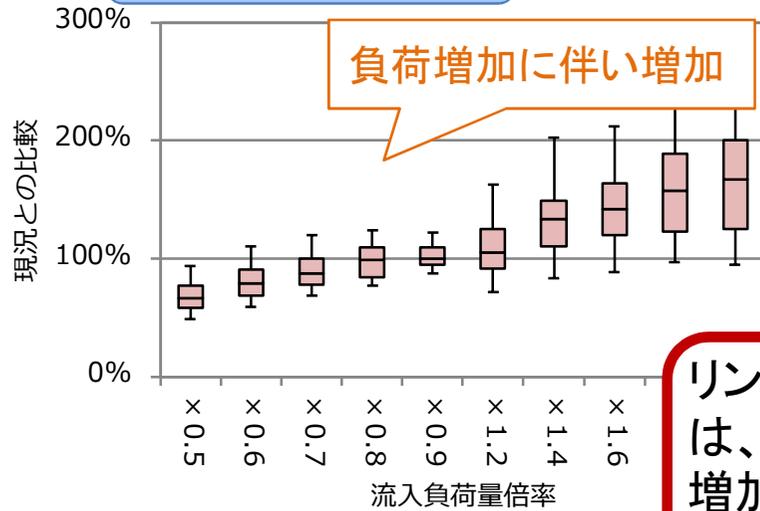
[サブテーマ1より]



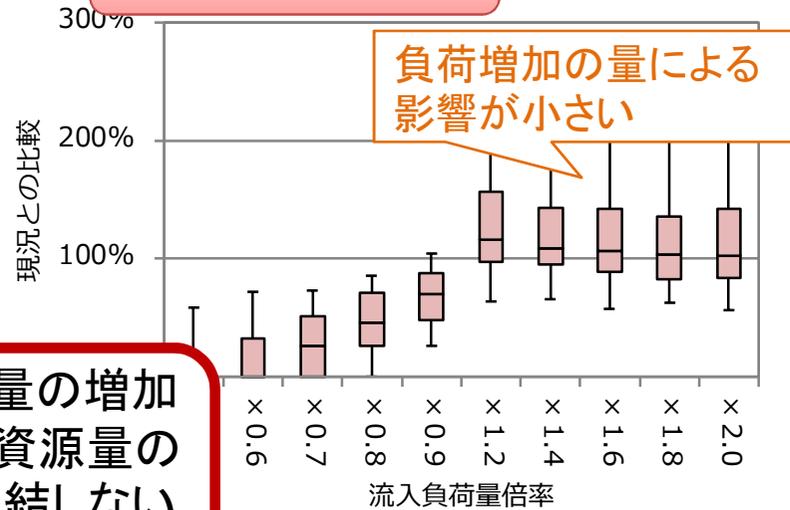
- 琵琶湖全体を**1ボックスの完全混合槽**と仮定。季節変化は考慮せず、**年間の平均的な状況**を再現。
- 栄養塩負荷は、琵琶湖の**一次生産の主な律速因子であるリン**を考慮。
- 各パラメータの幅を文献等から設定。計算される栄養塩濃度・各バイオマスが観測の範囲内となり、かつ一定程度安定な系となるようにパラメータを同定。
- モンテカルロ法を用いて100パターンシナリオを計算

NPZFFモデルによる各バイオマスの計算結果例

植物プランクトン

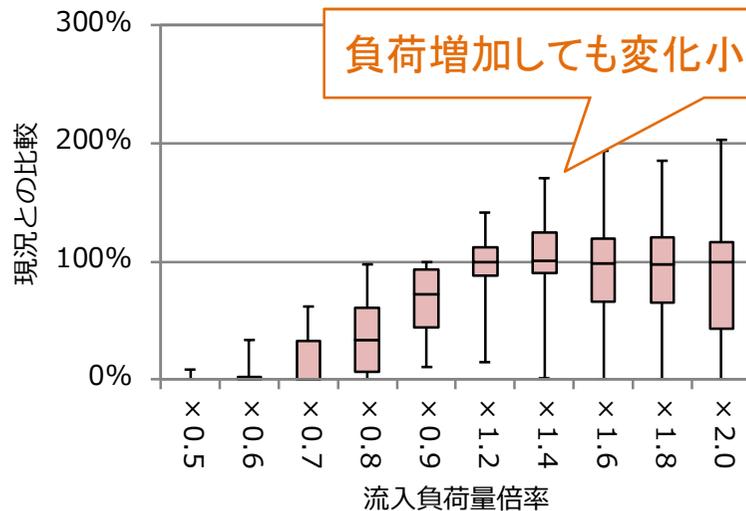


動物プランクトン

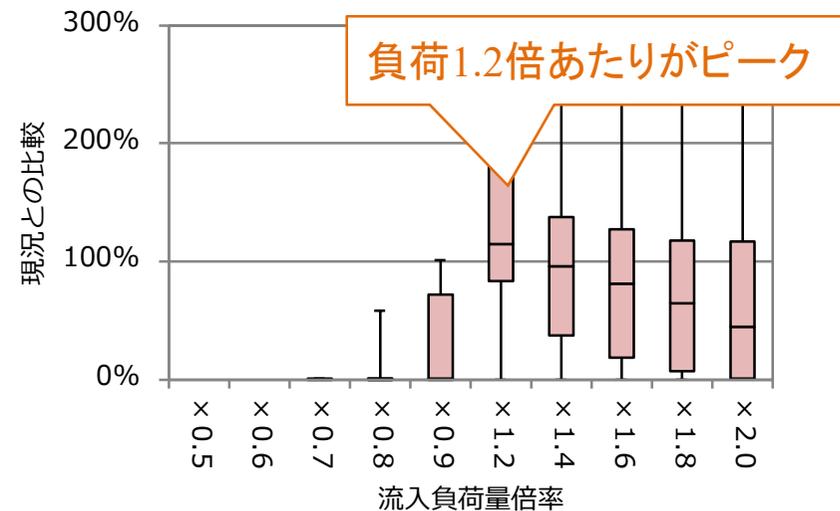


リン負荷量の増加は、魚類資源量の増加に直結しない (モデル解析)

プランクトン食性魚

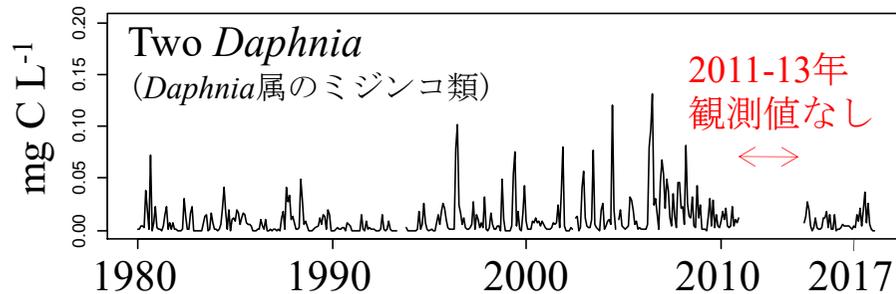
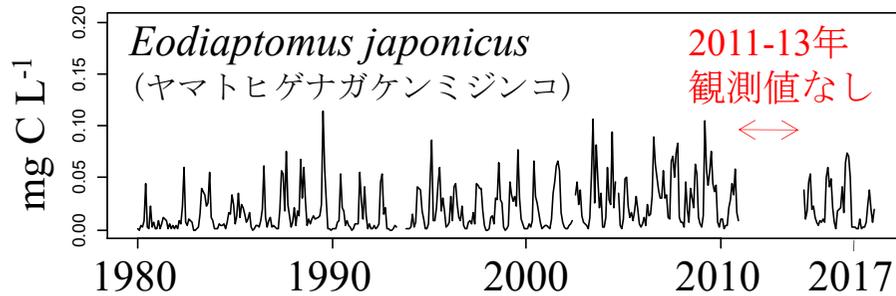


魚食性魚

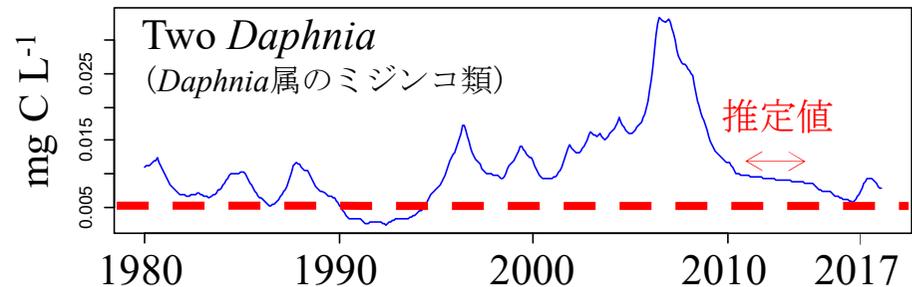
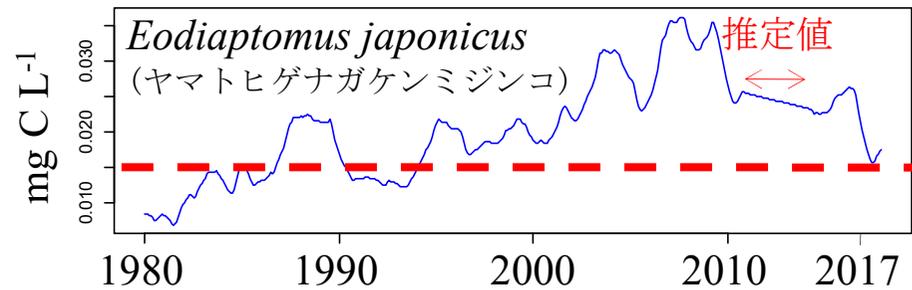


動物プラ(甲殻類)の現存量の増減傾向 (北湖, 水深0~20m層, Data: 1980-2010年伴ら, 2014-2017年は永田)

現存量



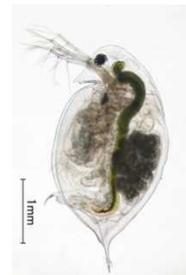
標準値+トレンド (状態空間モデルでみた傾向)



ヤマトヒゲナガ
ケンミジンコ



+



*Daphnia*属のミジンコ
(カブトミジンコ+プリカリア)

栄養塩が低下した現在でも、動プラ(甲殻類)は、
激減する訳ではなく、一定の現存量を維持している

課題への回答

① 現状の食物連鎖(物質循環)の評価

一次生産、細菌生産の正確な測定が可能

⇒湖の基礎生産の評価

動物プランクトンの現存量と生産性の評価

⇒上位への寄与の把握

② 生態系の生産性を把握する指標

⇒ 有機炭素の現存量とフローによる把握

CODは生分解性と対応していない

有機物の生分解性評価にBOD₂₈を用いる

<対策につながる成果>

- 微生物食物連鎖による捕食者への貢献は小さい
- 安易なリンの増加では魚類の生産性は上がらない
- <20 μmの小型の植物プランクトンから動物プランクトンを経て高次捕食者へ至るパスの強化が必要

行政への貢献

<活用済>

- 公共水域のモニタリングに、現状のCODに併用して**有機炭素 (TOC) の計測**を行うことを政府提案した
- 第7期琵琶湖に係る**湖沼水質保全計画**に従来のCODによる水質計画の提示に加え、**TOCによる水質計画**が提示された
- 滋賀県庁のアユの不漁原因解明にかかる検討会に資料提供した

<活用の見込み>

- 生態系保全施策において総合的な視点から成果を測る指標として、**有機炭素ベースによる環境評価**の活用
- 今後の湖沼水質保全計画における水質と生物生産に関する**正確な予測と施策立案**
- 本研究で確立した一次生産や動物プランクトン測定法の水質および水産資源管理のための**モニタリングへの応用**
- **COD水質指標の見直し**における資料提供

研究成果の発表状況

本課題の成果に係る「査読付」論文（国際誌・国内誌）の発表

	執筆者名	発行年	論文タイトル	ジャーナル名等
1	Okazaki, Y. <i>et al.</i>	2017	Ubiquity and quantitative significance of bacterioplankton lineages inhabiting the oxygenated hypolimnion of deep freshwater lakes.	The ISME Journal, 11, 2279-2293 IF=9.664
2	Mukherjee, I. <i>et al.</i>	2017	Seasonal dynamics of heterotrophic and plastidic protists in the water column of Lake Biwa, Japan	Aquat. Microb. Ecol. 80, 123-137 IF=2.024
3	Mehrshad, M. <i>et al.</i>	2018	Hidden in plain sight—highly abundant and diverse planktonic freshwater Chloroflexi.	Microbiome 6, 176 IF=9.133
4	早川和秀ほか	2018	低濃度有機汚濁水域における有機物指標の特性把握:琵琶湖流域におけるCOD(Mn), BOD, TOCの比較から.	水環境学会誌、41(6), 193-203
5	永田貴丸ほか	2018	ミジンコの生存、成長および再生産に対する従属栄養性鞭毛虫の餌としての影響	日本水処理生物学会誌、54(3), 73-82
6	塚本浩貴ほか	2018	衛星リモートセンシングを用いた琵琶湖におけるクロロフィルa濃度の推定.	日本リモートセンシング学会誌、39(2), (印刷中)

国民との科学・技術対話等

大学・研究機関の一般公開での研究成果の講演（シンポジウム企画）

実施日	主催者名	講座名	開催地	参加者数	講演した「研究成果」、「参加者との対話の結果」等
2016.6.22	滋賀県琵琶湖環境科学研究センター	びわ湖研究セミナー	滋賀県大津市	60名	水環境保全に向けた新たな視点～物質循環(つながり)の観点から～
2017.2.19	京都大学生態学研究センター	シリーズ公開講演会	京都府京都市	56名	つなぐ・つながる生物多様性－大学共同利用・共同研究拠点による生態学が捉えた地球生物圏の変化、第8回「琵琶湖研究の最先端にふれる」
2017.9.7	京都大学生態学研究センター	瀬戸内海研究フォーラム in 京都	京都府京都市	80名	川と海のつながりが育む豊かな文化と生態系、第4セッション「豊かな生態系の琵琶湖との共生を探る」
2019.3.1	滋賀県琵琶湖環境科学研究センター	びわ湖セミナー	滋賀県大津市	170名	生態系保全をめざして-湖の水質と生き物のつながり～

大学・研究機関の一般公開での研究成果の講演（招待講演）

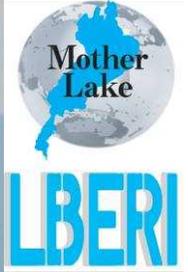
招待講演数 計 12

マスコミ発表（プレスリリース、新聞掲載、TV出演、報道機関への情報提供等）

種類	年月	概要
NHK	2017.4.4	NHKおうみ発630 しがりサーチ 研究の概要について1分程紹介
京都新聞	2017.11.19	「より正確な水質汚濁測定 県、新指標を国に提案へ」研究の概要について紹介
中日新聞	2018.12.18	「よみがえれ琵琶湖 世界湖沼会議を振り返って」研究の概要について紹介
京都新聞	2019.1.31	「植物プランクトン湖魚増減の鍵？」研究の概要について紹介
環境新聞	2019.2.6	「水と生き物のつながりを探る 琵琶湖の挑戦(上)」研究の概要について紹介
環境新聞	2019.2.13	「水と生き物のつながりを探る 琵琶湖の挑戦(下)」研究の概要について紹介
京都新聞	2019.3.2	「水清ければ魚棲まず」本当？プランクトンの質で左右」研究成果報告セミナーを報道

謝辞

本研究の遂行にあたり、研究協力やご助言、ご支援をいただいた
以下の方々に深く御礼申し上げます。(順不同 敬称略)



山田匡・谷昌史・藤原務・林誠・渡邊康正・熊谷和哉(環境省水環境課)

小松直樹・奥田一臣・田仲輝子・三和伸彦・松田みなみ・重森俊一・川崎竹志
(滋賀県琵琶湖環境部)

小野雅司(国際環境研究協会) 近藤竜二(福井県大) 津野洋(京大名誉教授)

森田将義・泉和子・黒川ひとみ・齋藤達雄(環境再生保全機構)

廣瀬佳則・尾原禎幸・山口保彦・焦春萌・田中明夫・海東聡・七里将一・古田世子・

川畑正信・網本博幸・木村斗示夫・平松真美・中野敬二・大滝浩美・上野光・

井上晴絵・他センター職員(滋賀県琵琶湖環境科学研究センター)

ムカルジ インドラニル・岡崎友輔・寺尾恵美・小島和宏・大槻貴美子

(京都大生態学研究センター)

土屋健司・高津文人・澤田史哉・佐藤恭子(国立環境研地域環境研究センター)

鷺田亨・岸本明子・岩木真穂(滋賀県大)

増田貴則(鳥取大)