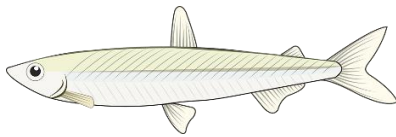


課題番号 : 5RF-1901
 体系的番号 : (J P M E E R F 2 0 1 9 5 R 0 1)
 重点課題 : 【重点課題⑮】 大気・水・土壌等の環境管理・改善のための対策技術の高度化及び評価・解明に関する研究
 行政ニーズ : (5-4) 湖沼における生態系保全を考慮した健全度を示す指標や調査研究手法の開発

ワカサギを指標とした富栄養化湖沼の生態系の健全性評価手法の提案



研究代表者 藤林 恵
 九州大学大学院工学研究院
 環境社会部門

1

1.はじめに：湖沼生態系の健全性を評価可能な指標開発の必要性

湖沼生態系の不健全化に関する様々な問題

→水質に加えて、新たな湖沼管理の指標の必要性



秋田県八郎湖の事例

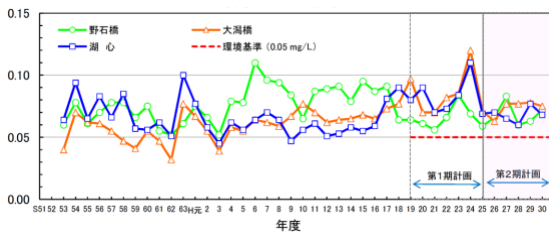
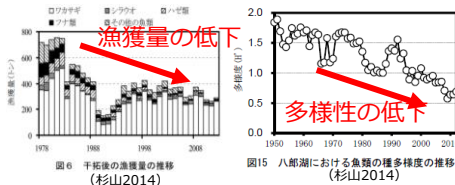


図 秋田県八郎湖における全リン濃度の経年変化

不健全化は「物質循環の滞り」が原因？

→湖沼の景気をよくするためには？

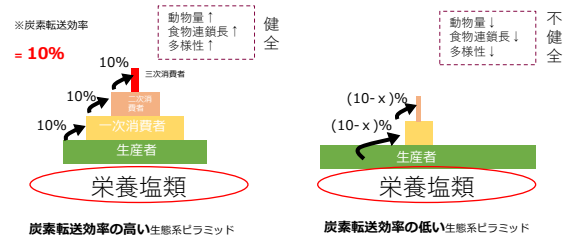


図 炭素転送効率の違いによる生態系ピラミッド

食物連鎖の炭素転送効率に影響を与えている因子として

「生産者」の質に注目

2

背景：餌に含まれる高度不飽和脂肪酸と水生動物との関係

※脂肪酸の含有率（％）は全脂肪酸に対する対象の脂肪酸の含有率（％）をあらわす

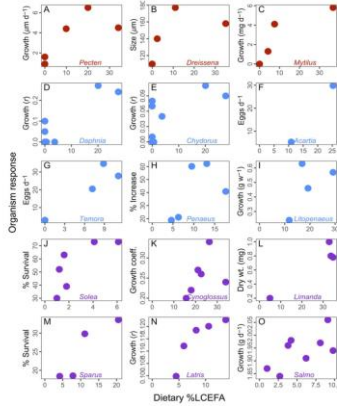


図 餌の高度不飽和脂肪酸含有率が水生動物の適応度を与える影響
(Winder et al., *Limnology and Oceanography*, 2017)

※同様の結果は水産分野を中心に多数報告されている

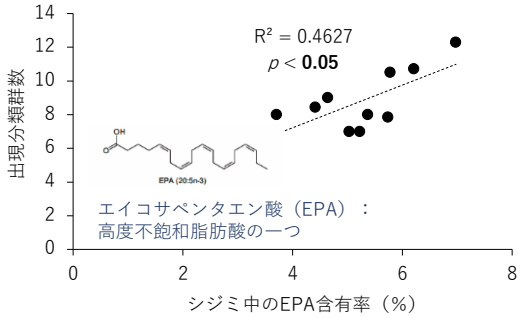


図 琵琶湖におけるシジミ体内のEPA含有率と出現底生動物種数との関係
(藤林ら、未発表)

※同様の結果は水田（長田ら、2020）や内湾（Fujibayashi et al. 2019）で報告されている

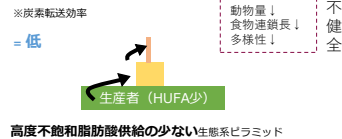
餌の高度不飽和脂肪酸含有率（全脂肪酸に対する％）が高いと、炭素転送効率が高まり、水生動物の生産性を向上させる

EPA含有率が高いシジミが採取される地点（＝餌のEPA含有率が高い？）で、出現種数が増加する傾向にある

3

2. 研究開発目的

本研究の仮説



「餌の高度不飽和脂肪酸含有率が高いと、炭素転送効率の改善を介して生態系が健全化する。」

HUFA仮説と命名

→ 湖沼におけるHUFA供給の実態を評価する新しい湖沼管理を提案

本研究の目的

HUFAを多く含む餌は食物連鎖において高い炭素転送効率を示すことに着目し、本研究では日本の湖沼に広く生息するワカサギに注目し、ワカサギの脂肪酸組成から湖沼生態系の健全性や構造を評価することができる指標の開発することを目的とした。

4

3.研究開発目標

- 1) ワカサギの脂肪酸組成から食物網の起点となる湖沼懸濁物質の高度不飽和脂肪酸の含有率が予測可能か明らかにする。
- 2) ワカサギの高度不飽和脂肪酸含有率と湖沼生態系の健全性との関係を明らかにする。
- 3) ワカサギの脂肪酸組成をもとに生態系構造による湖沼の新たな類型化を行う。そのために、国内10か所以上の湖沼を対象としてワカサギと環境要因を調査し、統計モデルを開発する。

5

4.研究開発内容

1) ワカサギの脂肪酸組成は懸濁物質の高度不飽和脂肪酸含有率を反映しているか？

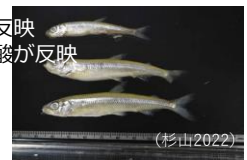


- ✓ 時間的・空間的変動が大きい？
- ✓ 本当に餌として利用されているか？

- ✓ 数週間分の餌の脂肪酸組成を反映
- ✓ 餌として同化したものの脂肪酸が反映

ワカサギに注目

- ・ 生息域は日本全国
- ・ 0~30℃
- ・ 貧栄養湖から富栄養湖
- ・ 汽水湖から淡水湖



⇒ 秋田県八郎湖を対象に懸濁物質とワカサギの脂肪酸組成との関係性を解析（2016～2019年に得られた既存のデータも解析に利用）

2) ワカサギの高度不飽和脂肪酸含有率と湖沼生態系の健全性との関係を解析

⇒ ワカサギの高度不飽和脂肪酸含有率と食物連鎖長、高次捕食者率、ワカサギ成長速度との関係を解析

3) ワカサギ脂肪酸に対する環境要因の影響と、湖沼の新しい評価指標（健全性、類型化）の開発

⇒ ワカサギ高度不飽和脂肪酸含有率と水質の関係を解析

⇒ ワカサギ脂肪酸組成に対する主成分分析を活用した湖沼生産者構造の評価指標の開発

6

5.1 成果の概要 ワカサギから懸濁物質の脂肪酸を推測可能？

研究開発目標 1)

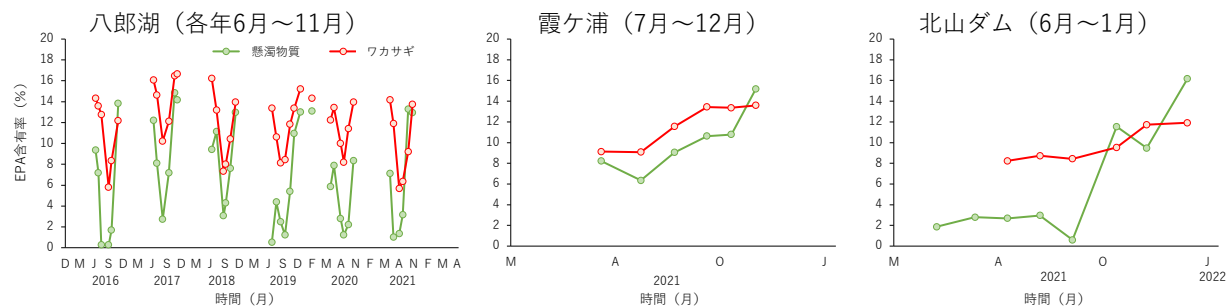


図 各湖沼における懸濁物質とワカサギのEPA含有率の経月変化

- ・ 懸濁物質、ワカサギともに夏季にEPA含有率が低い傾向
- ・ 年によってEPA含有率が異なる（八郎湖）
- ・ 各湖沼とも **懸濁物質およびワカサギのEPA含有率に連動性が見られる**

7

5.1 成果の概要 ワカサギから懸濁物質の脂肪酸を推測可能？

研究開発目標 1)

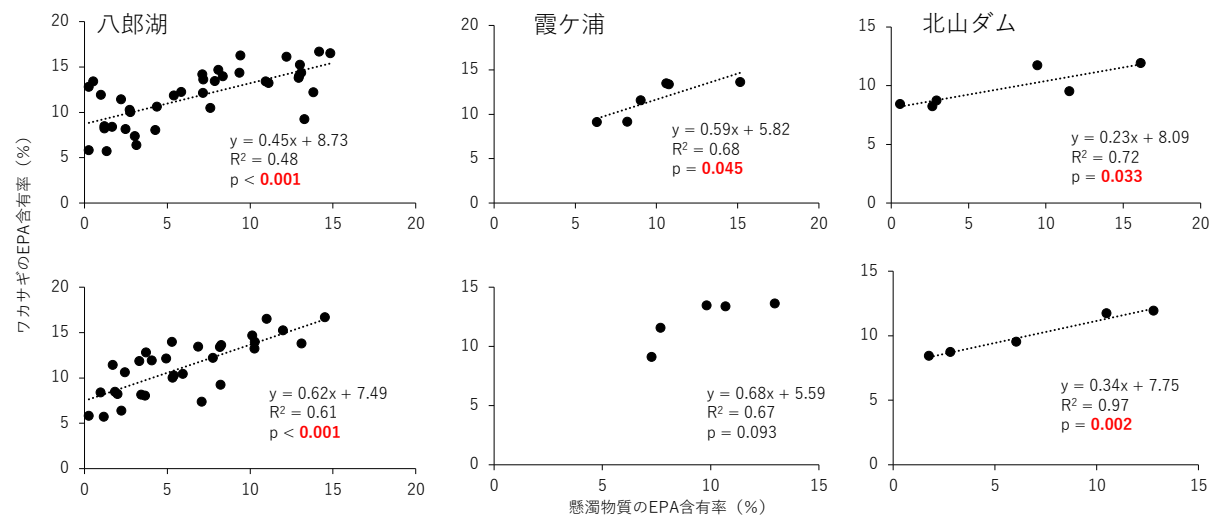


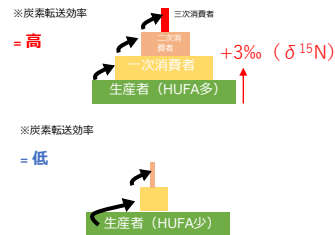
図 各湖沼における懸濁物質とワカサギのEPA含有率の関係（上段：単月、下段：1ヶ月移動平均）

各湖沼ともに有意な正の関係が見られ懸濁物質のEPA含有率をワカサギから予測できることが明らかとなった。とくに、懸濁物質1カ月移動平均値との関係が強く、**ワカサギは1カ月程度のEPA含有率平均値を反映している**と考えられた。

8

5.1 成果の概要 ワカサギ脂肪酸と湖沼健全性との関係は？

研究開発目標2)



食物連鎖長

・炭素転送効率が高い、生産者層あたりの食物連鎖長が増加する。

→ $\Delta^{15}\text{N}$ ($\delta^{15}\text{N}_{\text{ワカサギ}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{生産者}}$) で食物連鎖長を表現可能

高次捕食者比率

・炭素転送効率が高いと、諸消費者に占める高次捕食者の割合が増加する

→ 漁獲データを検証

$$\text{炭素補正食物連鎖長} = \delta^{15}\text{N}_{\text{ワカサギ}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{懸濁1カ月平均}} / \text{Log}_{10}(\text{C}_{\text{懸濁1カ月平均}})$$

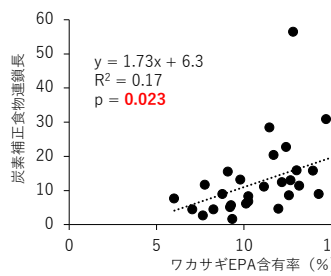


図 ワカサギEPA含有率と炭素補正食物連鎖長との関係

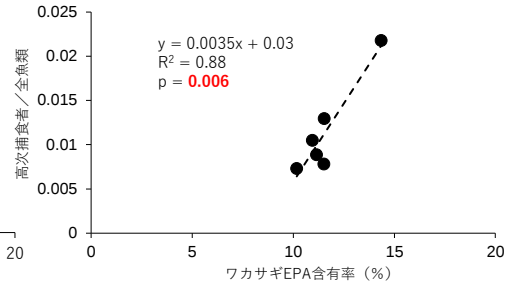


図 ワカサギEPA含有率の年平均値と高次捕食者比率との関係 (2016～2020年データ)

(高次捕食者：オオクチバス、スズキ、ナマズ、ライギョ、ウナギ)

食物連鎖長、高次捕食者比率ともにワカサギEPAと有意な正の相関

→ EPAが高いと、炭素転送効率が高くなるとの予測を支持する結果

9

5.1 成果の概要 ワカサギ脂肪酸と水質との関係は？

研究開発目標3)

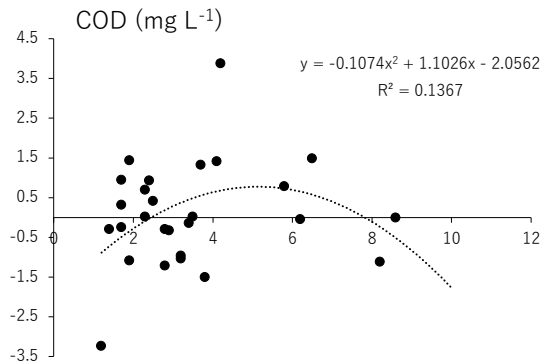
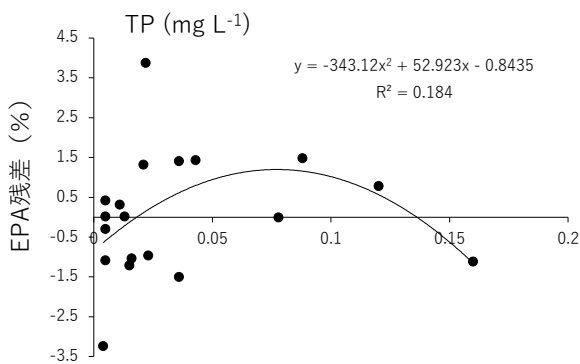


図 EPA残差と水質との関係 (左：TP、右：COD)

TP、CODともに低～中程度の濃度のところにEPA残差のピークが出現

10

5.1 成果の概要 ワカサギ脂肪酸による生産者構造の類型化

研究開発目標3)

ワカサギ中のマーカー脂肪酸に基づく主成分分析

マーカー脂肪酸	起源
18:2 ω 6	緑藻・藍藻
18:3 ω 3	緑藻・藍藻
EPA	珪藻
DHA	渦鞭毛藻類 ^{*1}
BacFA ^{*2}	細菌

* 1 : 一部の珪藻にも含まれる

* 2 : i15:0, a15:0, i17:0, a17:0, 18:1 ω 7の合計

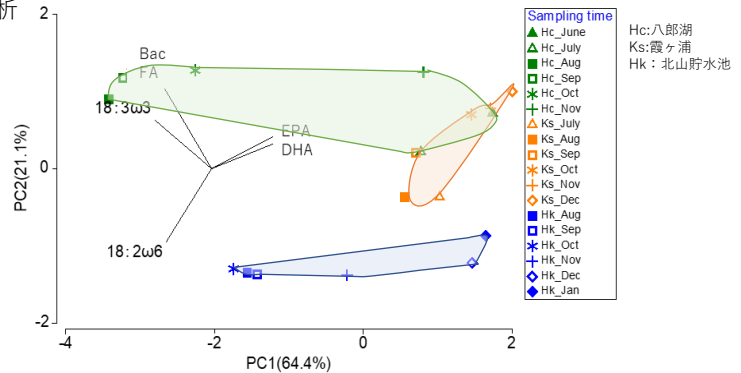


図 八郎湖、霞ヶ浦、北山貯水池で採取されたワカサギ中のマーカー脂肪酸を対象とした主成分分析

- ・調査湖沼、調査月によってプロットの位置が異なる
→懸濁物質の脂肪酸組成を反映したグループ化ができた
- ・同一湖沼でも変動が大きい
- ・湖沼内の変動幅は湖沼によって異なる

11

5-2 環境政策への貢献

ワカサギEPA含有率を指標とした湖沼管理

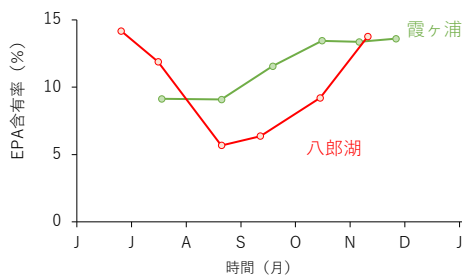


図 2021年における八郎湖と霞ヶ浦で採取されたワカサギのEPA含有率(%)

同じ浅い富栄養化湖沼の八郎湖と霞ヶ浦を比較すると、霞ヶ浦の方が全体的にワカサギEPA含有率が高く、八郎湖よりも炭素転送効率が高い生態系が形成されていると考えられる。

✓霞ヶ浦の魚類のバイオマスは増加傾向(富永ら、2013)

✓外来種の侵入・拡大に伴い漁獲量は低下(Matsuzaki and Kadoya 2015)

→八郎湖：EPAを増加させるための対策が必要

→霞ヶ浦：外来種を除去する対策が必要

ワカサギ脂肪酸組成に基づく湖沼の新しい類型化

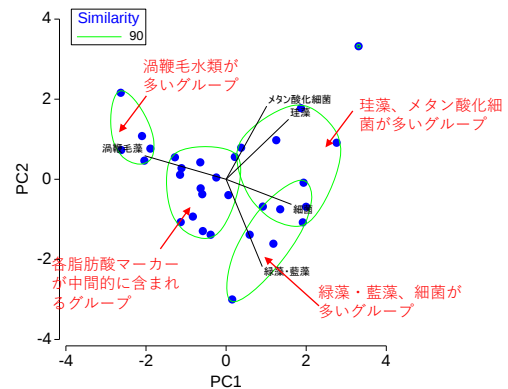


図 国内31湖沼で採取したワカサギのマーカー脂肪酸を対象に主成分分析を行った事例

クラスター分析によって、脂肪酸組成の類似度が高いワカサギ同士が4つのグループに区分できた。各湖沼の生産者構造が推定可能であるとともに、プロットが近い湖沼同士は生産者構造が類似していると判断でき、湖沼管理に役立てられる。

12

6 研究成果の発表状況

査読付き論文：1件、 口頭発表：9件、 国民との科学・技術対話：2件

※今後も成果発表を継続して行う

(1) 誌上発表

<査読付き論文>

1) 新田真弓、藤林恵、青森壮汰、岡野邦宏、宮田直幸：土木学会論文集G（環境）、76、7、III_1-III_9（2020）、八郎湖におけるワカサギのゾウミジンコに対する捕食の有無と選択性の評価

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 青森壮汰、藤林恵、新田真弓、高田芳博、岡野邦宏、宮田直幸：第54回日本水環境学会年会（2020）「八郎湖の食物網における藍藻由来有機物の移行経路の特定」
- 2) 新田真弓、藤林恵、青森壮汰、岡野邦宏、高田芳博、宮田直幸：第54回日本水環境学会年会（2020）「湖沼の餌環境がワカサギの脂肪酸組成に与える影響」
- 3) 橋本晃一、藤林恵、岡野邦宏、宮田直幸：第54回日本水環境学会年会（2020）「秋田県沿岸域の食物網における陸域由来有機物の餌としての寄与」
- 4) 新田真弓、青森壮汰、藤林恵、高田芳博、渡邊美穂、岡野邦宏、宮田直幸：第55回日本水環境学会年会（2021）「湖沼生態系の健全性評価指標の開発に向けたワカサギ脂肪酸組成の解析」
- 5) 藤林恵：日本生態学会第68回全国大会（2021）「水域生態系における脂肪酸濃度・炭素同位体比の利用」
- 6) Megumu Fujibayashi, Mayumi Nitta, Sota Aomori, Takashi Sakamaki, Kunihiro Okano, Hideki Sugiyama, Naoyuki Miyata: SIL2021(2021)「The relationship between fatty acid profiles of aquatic consumers and basal dietary sources: Can aquatic animals be used as an indicator of EPA and DHA supplies in Lakes?」
- 7) 新田真弓、青森壮汰、藤林恵、高田芳博、渡邊美穂、岡野邦宏、宮田直幸：日本水学会第85回大会（2021）「湖沼生態系におけるω3脂肪酸供給量の評価指標の開発に向けたワカサギ脂肪酸組成の解析」
- 8) 高島航太、藤林恵、久場隆広：令和3年度土木学会西部支部研究発表会（2022）「ワカサギを指標とした湖沼懸濁物質中のエイコサペンタエン含有率の評価」
- 9) 新田真弓、藤林恵、高田芳博、渡邊美穂、岡野邦宏、宮田直幸：第56回日本水環境学会年会（2022）「ワカサギを指標とした湖沼間の高度不飽和脂肪酸供給量の比較」

(3) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 一般公開セミナー：秋田県の水圏生態系を対象とした脂肪酸および同位体を用いた食物網解析～物質循環を考慮した生態系管理に向けて～（主催：秋田県立大学生態工学研究室、カレッジプラザ、令和元年7月27日）
- 2) 令和元年度日本水環境学会東北支部セミナー：指定湖沼八郎湖の現状と課題（演題：八郎湖におけるアオコの動態につて）（主催：水環境学会東北支部、秋田県総合保健センター、令和元年11月30日）

13

まとめ

・ワカサギは餌源のHUFA含有率を反映しており、ワカサギから懸濁物質のEPA含有率を予測することが可能であることが明らかとなった。

・ワカサギのEPA含有率が高いと、食物連鎖長や漁獲に占める高次捕食者の割合が有意に高かった。

・水温で補正したワカサギEPA含有率と水質（全リン、COD）との関係をプロットすると、低～中濃度付近にピークを持つ山型の分布が見られた。

・ワカサギのマーカー脂肪酸を対象とした主成分分析から、湖沼の生産者構造が判定できた。

→ワカサギの脂肪酸組成に注目した新しい湖沼管理手法の提言に資する知見を得ることができた。

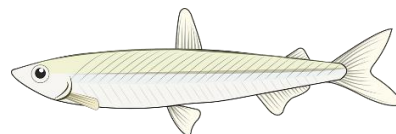
謝辞

本研究は、環境研究総合推進費の支援を受けて行われました。

本研究にご助言いただきました、プログラムオフィサー小野雅司様、小山次朗様、行政推薦課題ご担当者、兼平正樹様、藤尾隆様、アドバイザー杉山秀樹先生、坂巻隆史先生に御礼申し上げます。

また、八郎湖の現地調査にご協力いただきました宮田直幸先生はじめ秋田県立大学生態工学研究室内の皆様に御礼申し上げます。

そして、全国のワカサギ採取にご協力いただきました皆様に御礼申し上げます。



14