

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：11301

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(A））

研究期間：2019～2022

課題番号：18KK0319

研究課題名（和文）内湾生態系における生体分子の動態モデリングと漁業生産環境の変動予測への適用

研究課題名（英文）Modelling the dynamics of biomolecules in inner bay ecosystems and its application for predicting changes in fishery production environments

研究代表者

坂巻 隆史（Sakamaki, Takashi）

東北大学・工学研究科・准教授

研究者番号：60542074

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,000,000円

渡航期間： 12ヶ月

研究成果の概要（和文）：カナダ東部沿岸海域の広域調査により、粒状有機物中の各種脂肪酸含有量の空間分布と、その主たる影響因子が水温・塩分・無機態窒素/リン比であることを示した。またカナダ東部3湾の調査では、無給餌養殖カキの脂肪酸組成が採取地点の餌料供給と弱いながら有意な関係を有し、モニタリング指標として有用であることが示された。さらに、海域での沈降過程における有機物の脂肪酸組成や酸素消費の変化を数値モデルとして記述した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海域での養殖漁業は、人間への重要な食料供給過程であり、栄養的に重要な生体分子の供給も担う。代表者は、カナダ東部沿岸海域で野外調査を行い、そこからのデータの統計的解析と数値モデリングを行った。それらを通じ、必須脂肪酸を含む各種脂肪酸の海域での動態に関する知見を集積し、同時に研究上の新たな課題を抽出した。また本研究を通じて、カナダ東部の研究者と国際共同研究を継続的に実施していく基盤を構築した。

研究成果の概要（英文）：Based on field data collected from costal marine systems of the Atlantic Canada (NS & PEI) during this project, I found that the variations in fatty acid compositions of particulate organic matter (POM) across the locations were attributable to the variations in water temperature, salinity and inorganic N/P. I also found that the fatty acid compositions of oysters, which is one of the major non-feeding aquaculture species in the region, were significantly related to food supply conditions of the locations (Seston Reduction Index). Furthermore, I numerically modeled the changes of fatty acid compositions of settling POM and its oxygen consumption.

研究分野：物質動態解析，環境生態工学

キーワード：内湾環境 無給餌養殖漁業 有機物動態 脂肪酸組成分析

## 1. 研究開始当初の背景

世界各地の内湾は重要な漁業生産の場となっているが、生態系を健全に保ち持続的に漁業資源を獲得するには、有機物・栄養塩などの物質動態を十分理解し、環境・漁業を適正に管理する必要がある。沿岸海域における有機物・栄養塩動態の研究では、炭素・窒素・リンの元素レベルでの解析が主である。元素レベルの調査や解析では、試料分析や保存則に基づく収支計算が容易である一方で、分解性や生物利用性など有機物の質的側面に依存するプロセスを捉えきれない。環境中・生物体内に広く分布する主要な生体分子群の一部である脂肪酸は、複数の基礎生産者分類群でそのみが生産可能な固有の脂肪酸が存在するため、有機物の生物的起源マーカーとして利用可能である。さらに、一部の脂肪酸には、生理機能等への重要かつ固有の働きが認められている。これらの特徴により、脂肪酸は、上述のような元素ベースの物質動態解析におけるもんだ点を補完しうる。しかし、海域での脂肪酸動態やその生物生産性との関連についての知見は未だ限定的である。

## 2. 研究の目的

本研究では、派遣先であるカナダ東部沿岸海域を主な調査研究対象として、1) 域内各地の沿岸海域における粒状有機物の脂肪酸組成の空間的変動要因を明らかにすること、2) 内湾海域における養殖水産種の脂肪酸組成の空間的変動とその要因を明らかにすること、3) 世界各地の主要養殖対象種であるカキの選択的摂餌特性を脂肪酸組成分析に基づいて明らかにすること、および 4) それらの知見に基づいて内湾海域における脂肪酸動態を定量モデル化すること、を目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) カナダ東部沿岸海域における粒状有機物の脂肪酸組成の空間変動の調査

2020年7～8月に、カナダ東部ノバスコシア州およびプリンスエドワードアイランド州の沿岸海域の34地点より海水のサンプリングを行った。採取時には、GPSによる緯度経度の記録と水温の測定を行った。海水中の浮遊性粒状有機物は、ガラスフィルター上をろ過により捕捉し、炭素・窒素濃度およびそれら元素の安定同位体比、脂肪酸組成、クロロフィル *a* の分析に供した。また、海水中の無機態窒素・リン濃度および塩分の測定を行った。

(2) ノバスコシア州内の3湾における養殖カキの脂肪酸組成調査と餌料供給環境との関連解析  
2020年6～7月に、ノバスコシア州内東岸(大西洋側)の3湾(Sobar Island Pond, Whitehead, Wine Harbor)より、現地漁業者の協力により現地の主要養殖対象種であるカキ(*Crassostrea virginica*)を収集した。採取したカキ試料については、サイズ・重量の計測を行った後、軟体部について脂肪酸組成および炭素・窒素安定同位体比分析を行った。また、現地共同研究者が保有する同3湾における流動および懸濁物質動態の数値シミュレーションモデルに基づき、湾内の各カキ採取地点の餌料供給環境を Seston Reduction Index (SRI; 湾内各地点においてカキ養殖が無い想定での懸濁有機物濃度に対する、カキ養殖想定下での濃度減少率として定義) で定量化した。そして、カキの組成分析の結果と SRI の対応について統計解析を実施した。

### (3) カキ(*C. virginica*)の選択的摂餌特性の解明

2019年11～12月に、派遣先 Dalhousie 大学の実験施設内および Sobar Island Pond 付近の野外簡易実験施設において、連続流入系でのカキの摂食実験を実施した。野外や屋内の異なる環境下で事前に馴養されたカキ個体について、連続流入下での摂食実験を行い、餌料選択性を比較した。実験では、カキのろ過摂食前後の海水中懸濁物と、実験後のカキ個体/軟体部・排泄物の脂肪酸組成等を分析した。

### (4) 内湾海域における脂肪酸動態のモデリング

代表者の基課題のメインフィールドである宮城県志津川湾にて、粒状有機物の沈降過程での脂肪酸組成変化および酸素消費過程を調査した。浮遊性粒状有機物およびセディメントトラップによる沈降性粒状有機物の採取を行い、その酸素消費活性と脂肪酸等化学組成の測定を行った。そして沈降過程における、それらの変化パターンを解析した。そしてそれらの結果に基づき、脂肪酸組成を加味した粒状有機物の鉛直方向の輸送と組成変化を記述する定量モデルを構築した。

#### 4. 研究成果

##### (1) カナダ東部沿岸海域における粒状有機物の脂肪酸組成の空間変化

粒状有機物の脂肪酸組成は地点間で大きく異なった。地域間の比較では、ノバスコシア州東岸やファンディ湾沿岸で採取された試料については、C/N比が比較的高く、各種脂肪酸の含有率は低い傾向にあった。塩分が低くかつ有機物<sup>13</sup>Cが低い傾向を伴っていたことから、河川を通じて輸送されてきた陸域起原の有機物が多く含まれるとともに、それが低い脂肪酸含有量であったものと考えられる。プリンスエドワード島沿岸海域の粒状有機物は、BSFA、18:1 7、18:3 3といったバクテリアやシアノバクテリアのマーカ脂肪酸群の含有量が比較的高かった。そのような傾向がみられた地点では、水温も比較的高く、それらの微生物群の生産に有利に作用していた可能性もある。一方、そのような地域間の差異の傾向から外れて、各地域の中でも特異的に粒状有機物の特定の脂肪酸含有量が高い地点もみられた。特に、N9、F7、P12などの地点では、消費者生物にとって重要な必須脂肪酸である20:5 3 (EPA)が比較的高かった。塩分・無機態窒素/リン比・有機物<sup>13</sup>Cが高い地点であり、海産性の植物プランクトン(特に珪藻類)の生産が非常に活発であったものと推察される。RDAモデルのステップワイズ解析に基づくと、粒状有機物の脂肪酸組成により強く作用する環境因子は、水温>塩分>無機態窒素/リン比推定された。

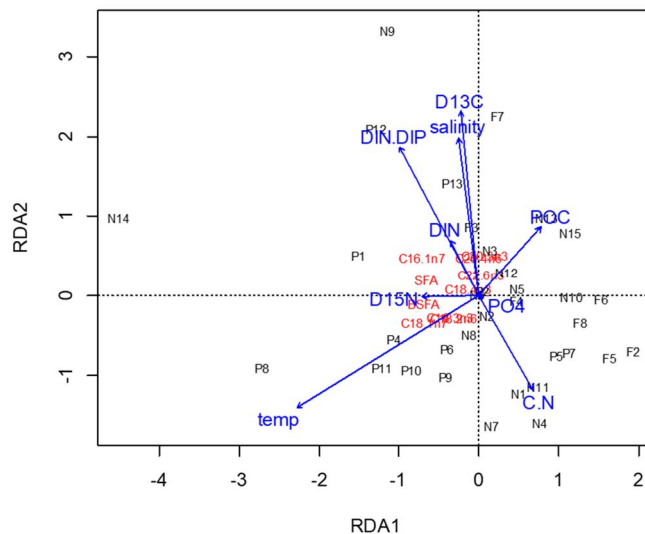


図1 粒状有機物の脂肪酸組成と採取時海水温および各種化学指標の関係に関する冗長性分析結果。N (ノバスコシア州東岸)、F (ファンディ湾沿岸)、P (プリンスエドワード島沿岸)の各採取地点を示す。

##### (2) ノバスコシア州3湾の養殖カキの脂肪酸組成と餌料供給環境との関係

ノバスコシア州内東岸(大西洋側)の3湾 Sobar Island Pond (SB), Whitehead (WH), Wine Harbor (WN)より採取されたカキの軟体部および中腸腺の脂肪酸組成は、同一湾内での差異も大きかったものの、3湾の間でも異なる傾向が示された(図2)。特に、脂肪酸濃度が全般的に高かったSBに対して、WHでは相対的に脂肪酸濃度の比較的低い個体が多かった。さらに、個体間の脂肪酸組成は、C<sub>16</sub>・C<sub>18</sub>脂肪酸が相対的に大きい個体と、C<sub>20</sub>・C<sub>22</sub>脂肪酸が相対的に大きい個体に分離される傾向も認められた。

消費者生物の生育や生殖にとって重要な必須脂肪酸である20:5 3 (EPA)のカキ軟体部含有率は、SRI(場の特性としてのカキ養殖による濃度減少の起こりやすさの指標)と弱いながら有意な負の関係を示した(GLMM: 20:5 3~SRI+個体肥満度+(1|湾)において、SRIの係数は負値で有意)(図3)。カキ軟体部の脂肪酸組成が、餌料供給環境を反映する有用な指標になりうることを示す結果であったといえる。しかし一方で、SRIとカキの状態の関係は有意だが弱く、今後さらに、数値の分布をふまえて指標の改善を試みる。

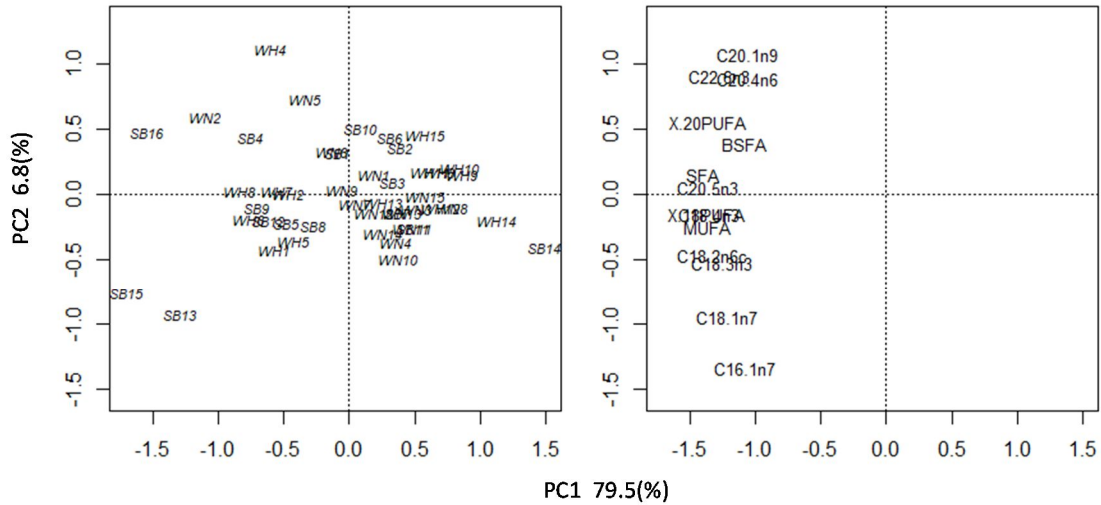
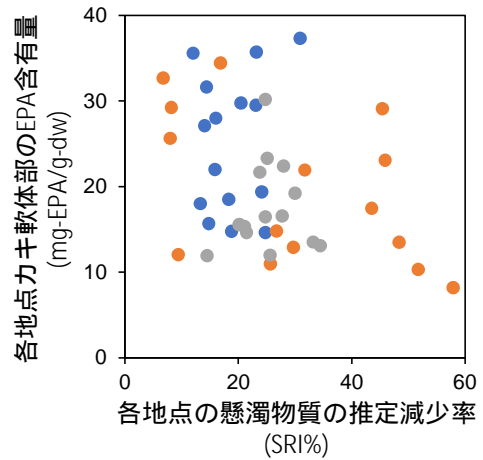


図2 Sobar Island Pond(SB), Whitehead(WH), Wine Harbor(WN)の3湾におけるカキ軟体部の脂肪酸組成に関する主成分分析結果。

### (3) カキ(*C. virginica*)による脂肪酸同化における選択性

摂餌実験の結果、代表者が先の研究において得た *C. gigas* に関する知見と同様に、*C. virginica* も高次不飽和脂肪酸を選択的に同化する傾向を示した。しかし、馴養条件の違いによる摂餌特性への影響については、個体間のばらつきも大きく不明であった。また、季節的に低水温により摂餌実験中のカキの摂食活性が想定以上に低かった。異なる温度条件での検討などが、今後の課題として残された。



●SB-C20:5n3 ●WH-C20:5n3 ●WN-C20:5n3

図3 Sobar Island Pond(SB), Whitehead(WH), Wine Harbor(WN)の3湾における、カキ軟体部の20:5w3 (EPA)含有量とSRIの関係

### (4) 内湾海域における脂肪酸動態のモデリング

粒状有機物の脂肪酸組成を加味して、それらの鉛直方向の輸送および組成変化を記述した定量モデルを構築した。代表者が志津川湾での調査・実験からこれまでに取得した各種速度パラメータ(生産,呼吸分解,沈降等)を用いて粒状有機物の組成や酸素消費活性の再現計算を行ったところ、全般的に有機物の組成や酸素消費活性の振れ幅が現場観測値よりも小さい結果となった。そのため、実海域(志津川湾)において観測されている底層溶存酸素濃度の短期的・大幅な増減現象を再現することも難しかった。今後、各種反応過程の短期変動に焦点を当てた実海域における調査を行い、速度パラメータをよりの確に与えたうえで、更なる解析を進める必要がある。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hatakeyama Yuji, Kawahata Tatsuya, Fujibayashi Megumu, Nishimura Osamu, Sakamaki Takashi	4. 巻 254
2. 論文標題 Sources and oxygen consumption of particulate organic matter settling in oyster aquaculture farms: Insights from analysis of fatty acid composition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Estuarine, Coastal and Shelf Science	6. 最初と最後の頁 107328 ~ 107328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ecss.2021.107328	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 Fujibayashi Megumu, Nishimura Osamu, Sakamaki Takashi	4. 巻 19
2. 論文標題 The Negative Relationship between Fouling Organisms and the Content of Eicosapentaenoic Acid and Docosahexaenoic Acid in Cultivated Pacific Oysters, <i>Crassostrea gigas</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Marine Drugs	6. 最初と最後の頁 369 ~ 369
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/md19070369	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Filgueira Ramon, Guyonnet Thomas, Thupaki Pramod, Sakamaki Takashi, Grant Jon	4. 巻 288
2. 論文標題 The effect of embayment complexity on ecological carrying capacity estimations in bivalve aquaculture sites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Cleaner Production	6. 最初と最後の頁 125739 ~ 125739
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jclepro.2020.125739	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 該当する
1. 著者名 Sakamaki T, Hayashi K, Zheng Y, Fujibayashi M, Nishimura O	4. 巻 644
2. 論文標題 Effects of oyster age on selective suspension-feeding and the chemical composition of biodeposits: insights from fatty acid analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Marine Ecology Progress Series	6. 最初と最後の頁 75 ~ 89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3354/meps13359	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 Jasmine Talevi, Laura Steeves, Michael Coffin, Thomas Guyonnet, Takashi Sakamaki, Luc Comeau, Ramon Filgueira	4. 巻 in press
2. 論文標題 The physiological state of four commercially important bivalve species during a naturally occurring heatwave	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Canadian Journal of Zoology	6. 最初と最後の頁 -
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 該当する

〔学会発表〕 計0件

〔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
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	フィルギュエイラ ラモン  (Filgueira Ramon)	ダルハウジー大学・Marine Affairs Program・Associate Professor	

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		
カナダ	Dalhousie University	DF0	