

令和 6 年 5 月 2 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K06206

研究課題名（和文）気候変動にともなう水循環の変化が日本海側沿岸域の低次生物生産に与える影響

研究課題名（英文）Impact of the climate-induced changes in the regional water cycle on the primary and secondary production of the Sea of Japan side

研究代表者

鈴木 啓太（Suzuki, Keita）

京都大学・フィールド科学教育研究センター・助教

研究者番号：80722024

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：日本海側気候に属する舞鶴湾では、冬季、強風により鉛直混合が促進されるとともに、大雨や大雪にともない陸域から栄養塩が供給される。海底から再懸濁された珪藻休眠期細胞が、発芽・復活後に豊富な栄養塩を利用して増殖することにより、珪藻ブルームが発生すると考えられる。なお、珪藻ブルームの成否を左右する硝酸の大部分は降水に由来せず、大規模な降水により押し出されるように流出する土壌水や地下水に由来し、河川を通して海域まで運ばれていた。冬季の珪藻ブルームの成否はカイアシ類密度の多寡と連動していたことから、日本海側気候が舞鶴湾のプランクトン生食連鎖を支えていると言える。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、冬季に日本海側気候が内湾域のプランクトン生食連鎖を駆動させる仕組みが解明された。大規模な降水後に陸域から海域に供給される硝酸の大部分は土壌水や地下水に由来すること、また、硝酸の供給量ばかりでなく供給時期により冬季珪藻ブルームの規模が異なることが明らかになった。近年の温暖化や少雪化にともない、冬季の降水パターンが変化すると、プランクトン生食連鎖を通し、内湾域の漁業生産にまで影響が及ぶ可能性がある。ただし、養殖マガキの成長速度は冬季珪藻ブルームの規模と直接関連していなかったことから、漁業生産への影響を予測するには、水温や塩分などの他の環境要因も含め、複合的な作用も考慮する必要がある。

研究成果の概要（英文）：Maizuru Bay is located on the Sea of Japan side of the Japanese Archipelago and characterized by vertical mixing caused by strong winds, and by rich nutrients supplied from the land after heavy rain- and snow-fall in winter. Under such weather conditions, diatom bloom likely occurs, possibly because resting-stage cells of diatoms are resuspended in the water column and then encouraged to grow by rich nutrients after germination/rejuvenation. Nitrate, which limits the scale of diatom bloom, did not derive from precipitation but from soil/ground water that was pushed out to the sea through rivers after heavy precipitation. Considering that copepod density was correlated with the scale of diatom bloom, the plankton grazing food chain of Maizuru Bay is supported by the harsh winter weather conditions in this region.

研究分野：沿岸・河口域生態学

キーワード：舞鶴湾 日本海側気候 気象条件 栄養塩 プランクトン 珪藻 マガキ カイアシ類

1. 研究開始当初の背景

冬季、日本海上において水蒸気を蓄えた北西季節風は日本列島の脊梁山脈に吹き付け、日本海側に大雪をもたらす。その融雪水が沿岸域を潤し、植物プランクトンや海藻を育み、魚介類を養う。例えば、富山湾では、融雪期に溶存態無機窒素が大量流入し、植物プランクトンの大規模ブルームが発生する。つまり、大気と陸と海をめぐる水循環が日本海側沿岸域の豊かな海を支えている。

日本海側の降雪は気候変動にともない大幅に減少すると予測されている。融雪の早期化や降雨の変調なども加わり、今後、沿岸域への栄養塩供給が量的・質的に変化する可能性が高い。したがって、水循環の変化は日本海側沿岸域の低次生物生産に影響を与え、漁業にも影響を及ぼすと考えられる。しかし、気候変動にともなう水循環の変化が陸域植生や農業に及ぼす影響は調べられているものの、沿岸域の低次生物生産や漁業への影響は調べられていない。

2. 研究の目的

本研究は「気候変動にともなう水循環の変化が日本海側沿岸域の低次生物生産に与える影響をフィールド調査にもとづき予測する」ことを目的とする。この目的を達成するため、日本海側中央付近に位置し、降雪量や融雪期の年変動が大きい舞鶴湾をモデルフィールドとして、異なる気象条件のもと高頻度観測を複数年実施する。特に冬春季の降雨と融雪に注目して、河川・沿岸域の栄養塩動態、沿岸域の植物プランクトン動態、沿岸域の動物プランクトン動態と養殖マガキの成長速度への影響を評価する。これらの結果を統合し、気候変動にともなう水循環の変化が日本海側沿岸域の低次生物生産に与える影響を予測し、漁業への影響を考察する。

3. 研究の方法

(1) 河川・沿岸域の栄養塩動態

舞鶴湾中央南側に位置する舞鶴水産実験所の栈橋と舞鶴湾流入河川(与保呂川、朝来川)の上流、中流、河口に計7定点を配置した(図1)。2020/2021年と2021/2022年の12月から3月にかけて毎日定時に水質(水温、電気伝導度、濁度など)を測定するとともに試水を採取した。また、同時期に集水域において雨と雪を定量的に採取した。さらに、降水、河川水、海水の栄養塩濃度、水の水素・酸素安定同位体比、硝酸の窒素・酸素安定同位体比を後日測定した。



図1: 舞鶴湾と流入河川に配置した定点。舞鶴水産実験所栈橋(N0~6)では0、2、4、6 m 深から採水した。

(2) 沿岸域の植物プランクトン動態

実験所栈橋において水深別に試水を採取し、クロロフィルa濃度を測定するとともに、沈殿・

検鏡法により植物プランクトンの細胞密度と分類群組成を把握した。(1)期間中の観測頻度は毎日1回、2022年12月から2024年3月までの16ヶ月間の観測頻度は毎週1回であった。また、植物プランクトン動態の同期性を確認するため、舞鶴湾全域に21定点を配置し、水質を不定期に測定した。

(3) 沿岸域の動物プランクトン動態と養殖マガキの成長速度

実験所棧橋においてプランクトンネットの鉛直曳きにより動物プランクトンを採集し、分類群ごとに個体密度を算出した。(1)期間中の観測頻度は毎日1回、2022年12月から2024年3月までの16ヶ月間の観測頻度は毎週1回であった。また、養殖マガキを個体識別し、11月から3月にかけて湿重量を毎月1回測定することにより、冬春季の成長速度を測定した。

(4) 気候変動にともなう水循環の変化の影響予測

2017年1月から継続している予備観測の結果も合わせ、異なる気象条件における栄養塩と植物プランクトンおよび動物プランクトンの動態を比較した。これにもとづき、気候変動にともなう水循環の変化が日本海側沿岸域の低次生物生産に与える影響を予測した。さらに、養殖マガキの成長速度への影響も踏まえ、漁業への影響を考察した。

4. 研究成果

(1) 河川・沿岸域の栄養塩動態

河川流量は降雨や融雪にともない短期的に大きく変動したが、河川水中の硝酸濃度は河川流量によらず比較的安定していた。特に、大雪と低温に見舞われた2021/2022年冬季には、河川水中の硝酸濃度はほとんど変動せず、季節を通し低下傾向を示した。また、水の水素・酸素安定同位体比と硝酸の窒素・酸素安定同位体比を測定した結果、河川水中の硝酸の大部分は降水に由来せず、降水により押し出されるように流出する土壌水や地下水に由来することが明らかになった(図2)。一方、沿岸域では、降雨や融雪の数日後に塩分の低下と硝酸濃度の上昇が認められたが、この対応関係は季節が進むにつれて不明瞭になった(図3)。これは、河川水中の硝酸濃度が季節を通し低下するためと考えられる。なお、沿岸域のリン酸は河川から供給されることもあるものの、底層から供給されることが多かった。

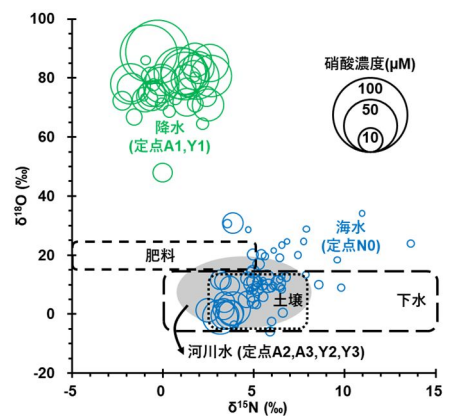


図2: 2020/2021年冬季の硝酸の濃度と窒素・酸素安定同位体比($\delta^{15}\text{N}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$)。肥料、土壌、下水の $\delta^{15}\text{N}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$ の範囲はKendall et al. (2007)にもとづく。

(2) 沿岸域の植物プランクトン動態

河川から硝酸が大量に供給された後、クロロフィルa濃度が急上昇し、高水準を維持するブルームが複数回確認されたが(図3; 2021/2022年冬季)硝酸供給後もクロロフィルa濃度がほとんど上昇しない場合や、上昇してもすぐに低下する場合も認められた(図3; 2020/2021年冬季)。

2017年1月から継続している予備観測の結果も合わせて年間比較した結果、強風により鉛直混合が促進された後、硝酸が供給されると、珪藻が増殖することが明らかになった (Suzuki and Dinh 2023)。珪藻の休眠期細胞が海底から再懸濁され、発芽・復活後、豊富に存在する硝酸を利用して増殖すると考えられる。つまり、舞鶴湾の冬季珪藻ブルームの発達には日本海側気候を特徴づける強風と降水の両方が必要と言える。

(3) 沿岸域の動物プランクトン動態と養殖マガキの成長速度

珪藻ブルームが最も発達した 2016/2017 年冬季にはカイアシ類密度が上昇したが、珪藻ブルームが全く発達しなかった 2018/2019 年冬季にはカイアシ類密度が上昇しなかったことから、舞鶴湾のプランクトン生食連鎖は冬季珪藻ブルームにより駆動されていることが示された (Suzuki and Dinh 2023)。一方、養殖マガキの成長速度と珪藻ブルームの規模には明瞭な関係は認められず、水温や塩分などの他の環境要因の影響を強く受けていることが示唆された。

(4) 気候変動にともなう水循環の変化の影響予測

冬季舞鶴湾においては、強風による鉛直混合と降水による栄養塩供給が組み合わせさり、珪藻ブルームを引き起こすと考えられる。河川水中の硝酸濃度が比較的高い初冬のうちから強風が吹き、続いて大雨や大雪が降ると、珪藻ブルームが特に発達する可能性が高い。日本海側気候を特徴づける強風と降水の規模や時期が気候変動にともない変化すれば、珪藻ブルームの規模や時期も変化し、プランクトン生食連鎖を介して、仔稚魚の成長・生残などにも影響が及ぶと考えられる。ただし、漁業生産への影響を予測するには、珪藻ブルームばかりでなく水温や塩分などの環境要因も含め、複合的な作用まで考慮する必要がある。

[引用文献]

- Suzuki KW, Dinh HT (2023) Bottom-up effects of variable winter weather conditions on phytoplankton dynamics in an enclosed bay: implications for ecological responses to climate change. *Journal of Plankton Research* 45 (6): 815-831. doi: <https://doi.org/10.1093/plankt/fbad046>
- Kendall C, Elliott EM, Wankel SD (2007) Tracing anthropogenic inputs of nitrogen to ecosystems. In: *Stable isotopes in ecology and environmental sciences* 2nd edition (eds. Michener R and Lajtha K), pp. 375-449. Blackwell Publishing, Oxford, UK.

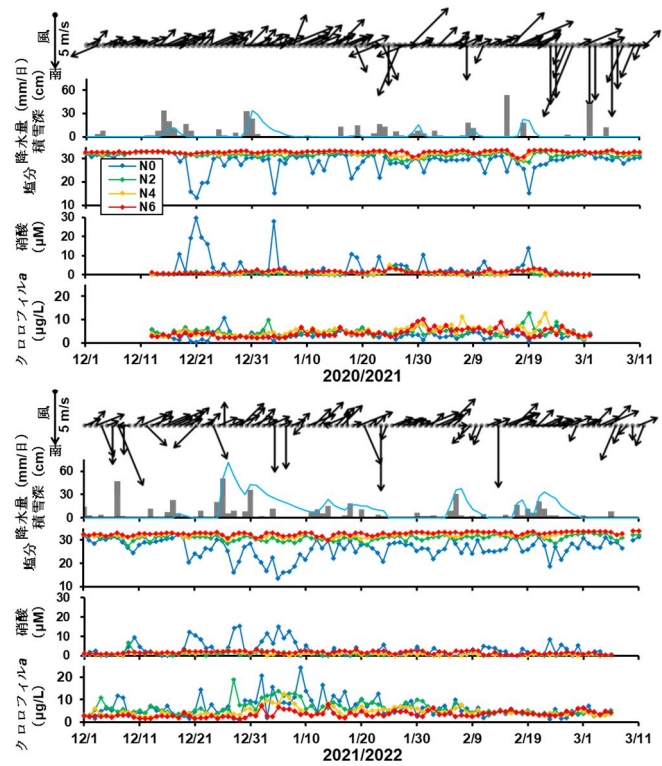


図 3 : 2020/2021 年と 2021/2022 年の冬季の風向風速、降水量、積雪深、塩分、硝酸濃度、クロロフィル a 濃度の時系列変化。N0~6 は 0~6 m 深に対応する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1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 鈴木啓太	4. 巻 87
2. 論文標題 風が吹けば 日本海側気候とプランクトン	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 水産海洋研究	6. 最初と最後の頁 50-52
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 Suzuki Keita W, Dinh Hanh T	4. 巻 45
2. 論文標題 Bottom-up effects of variable winter weather conditions on phytoplankton dynamics in an enclosed bay: implications for ecological responses to climate change	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Plankton Research	6. 最初と最後の頁 815 ~ 831
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/plankt/fbad046	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1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 鈴木啓太
2. 発表標題 舞鶴湾の冬季植物プランクトン動態 気象条件との関係
3. 学会等名 日本海洋学会2023年度秋季大会
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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------