

噴火湾養殖ホタテガイのへい死年の気象・海洋環境について

〇はじめに

北海道噴火湾では 1970 年頃からホタテガイの垂下養殖が盛んとなり、90 年代以降は年間 10 万トン、金額で 170 億円（1991～2015 年平均）を水揚げする基幹産業となっています。噴火湾養殖ホタテガイの生産現場では生残率の著しい低下（へい死）が問題となる場合があります。馬場（2011）は噴火湾のホタテガイのへい死の特徴を「7～9 年周期で稚貝の生残低下・変形貝の増加が起き、耳吊り貝の減少・耳吊り後の生残低下が生じ、2 年後の生産量が著しく減少する」とし、青森県陸奥湾の養殖ホタテガイのへい死との同調性についても言及しています（試験研究は今 No.695）。もし、養殖ホタテガイのへい死が周期性を持つ広域的な問題であるとするれば、比較的大規模な気象・海洋環境の変動と関連している可能性も考えられます。しかし、稚貝のへい死が発生した年（以下、へい死年）に共通する気象・海洋環境についてはよく分かっておらず、いくつかの仮説は示されているものの、へい死のメカニズムの解明には至っていません。

噴火湾では 2015 年および 2017 年に再び大規模な稚貝のへい死が発生し、生産現場では深刻な問題となっています。この問題に関して各地区の生産者と意見交換を行った結果、稚貝の生残が低下する秋～初冬ではなく、夏季の海洋環境や管理方法について言及する方が多いことが分かりました。そこで噴火湾のへい死年と非へい死年の夏季の気象・海洋環境の比較を行い、へい死年に共通する条件を検討しました。

〇検討した気象・海洋環境

今回検討した気象・海洋環境は表 1 のとおりです。対象とした期間は 1993 年から 2017 年までの 25 年間です。稚貝の生残低下、変形貝の増加が問題となったとされる 1993、1995、2002、2003、2009 年（馬場 2011）に 2015、2017 年を加えた 7 か年を「へい死年」、それ以外の 18 か年を「非へい死年」としました。風向については噴火湾の湾口が南東方向に開口しており、湾内は吹送距離（風域の長さ）が長くなる湾口方向からの風の影響を強く受けると考え、南南東、南東、東南東の 3 方位の頻度の合計を検討の対象としました。ホタテガイの垂下深度の水温とクロロフィル a 濃度（植物プランクトン量の指標、以下 Chl-a 濃度）については函館水試の 8 月（月 1 回実施）の観測で得られた 5m、10m、15m 深の平均値を用いました。

表 1 検討した気象・海洋環境

1. 気温（℃）	室蘭の月平均気温（1日～31日の平均値）
2. 降水量（mm/月）	室蘭の月降水量（1日～31日の累積値）
3. 平均風速（m/s）	室蘭の平均風速（1日～31日の平均値）
4. 最大風速（m/s）	室蘭の平均最大風速（1日～31日の平均値）
5. 最大瞬間風速（m/s）	室蘭の最大瞬間風速（1日～31日の平均値）
6. 日照時間（時間/月）	室蘭の月間日照時間（1日～31日の累積値）
7. 最大風速の風向（日/月）	室蘭の最大風速の風向が南南東、南東、東南東方向の日数
8. 最大瞬間風速の風向（日/月）	室蘭の最大瞬間風速の風向が南南東、南東、東南東方向の日数
9. 海面水温（℃）	噴火湾の海面水温（1日～31日の平均値）
10. 垂下深度の水温（℃）	八雲沖3マイル定点（月1回観測）の5,10,15mの平均水温
11. 垂下深度の水温差（℃）	八雲沖3マイル定点（月1回観測）の5mと15mの水温差
12. 垂下深度のChl-a濃度（μg/L）	八雲沖3マイル定点（月1回観測）の5,10,15mの平均Chl-a濃度

検討対象は1993～2017年の8月。1～9は気象庁ホームページ（<http://www.jma.go.jp/jma/>）のデータ、10～12は函館水産試験場の観測結果。

また、夏季は水温躍層（水温が急激に変化する層）が発達することから、水温躍層の発達の強さを示す目安として 5m 深と 15m 深の垂下深度の水温差も検討対象としました。

○へい死年と非へい死年で差が認められた項目

へい死年と非へい死年の平均値に統計的に有意な差が認められたのは、気温、日照時間、海面水温、垂下深度の水温差の 4 項目でした（表 2）。へい死年の夏は気温が低く、晴天の日が少なく、冷夏の傾向を持つことが分かりました（近年の代表的な冷夏の年とされる 1993 年および 2003 年はいずれもへい死年となっています）。統計的な差は認められず、へい死年に共通する特徴とは言えませんが、直近 3 か年のへい死年（2009、2015、2017 年）に限ると最大風速の風向および最大瞬間風速の風向が湾口方向となる日数が非常に多かったことも分かりました。直近 3 か年のへい死年の夏季は特に風による表層水の攪乱が強かったと考えられます。そして、今回の分析でへい死年は海面水温が低く、垂下深度の水温差が小さいことも分かりました。図 1 に非へい死年の 2016 年とへい死年の 2017 年の 8 月の八雲沖 3 マイル定点の水温の鉛直分布を示します。2017 年は 2016 年と比較して水温躍層の発達が弱く、表層の水温が低く、深度間での水温差が小さいことが分かります。八雲沖の水温の鉛直分布のデータが残っている 2009

表 2 気象・海洋環境の検討結果

	非へい死年（平均値±標準偏差）	へい死年（平均値±標準偏差）
1. 気温（℃）	21.2 ± 1.4	19.4 ± 1.0 ※※
2. 降水量（mm/月）	187.6 ± 95.6	168.8 ± 97.3
3. 平均風速（m/s）	3.4 ± 0.3	3.6 ± 0.3
4. 最大風速（m/s）	6.4 ± 0.5	6.7 ± 0.4
5. 最大瞬間風速（m/s）	10.4 ± 1.0	11.1 ± 1.1
6. 日照時間（時間/月）	154.5 ± 30.1	122.5 ± 24.1 ※
7. 最大風速の風向（日/月）	8.3 ± 3.9 （直近3か年のへい死年に限った場合）	11.6 ± 4.0 15.3 ± 2.5
8. 最大瞬間風速の風向（日/月）	9.2 ± 3.5 （直近3か年のへい死年に限った場合）	12.0 ± 4.5 16.7 ± 1.2
9. 海面水温（℃）	22.1 ± 1.2	20.3 ± 1.5 ※※
10. 垂下深度の水温（℃）	19.5 ± 1.7	19.2 ± 1.1
11. 垂下深度の水温差（℃）	4.0 ± 2.7	1.7 ± 0.9 ※※
12. 垂下深度のChl-a濃度（μg/L）	0.7 ± 0.3	0.8 ± 0.4

へい死年：1993、1995、2002、2003、2009、2015、2017年の7か年、非へい死年：へい死年以外の18か年。

※、※※は非へい死年とへい死年の平均値に統計的な差があることを示す（*t*-検定 ※：*p*<0.05、※※：*p*<0.01）。

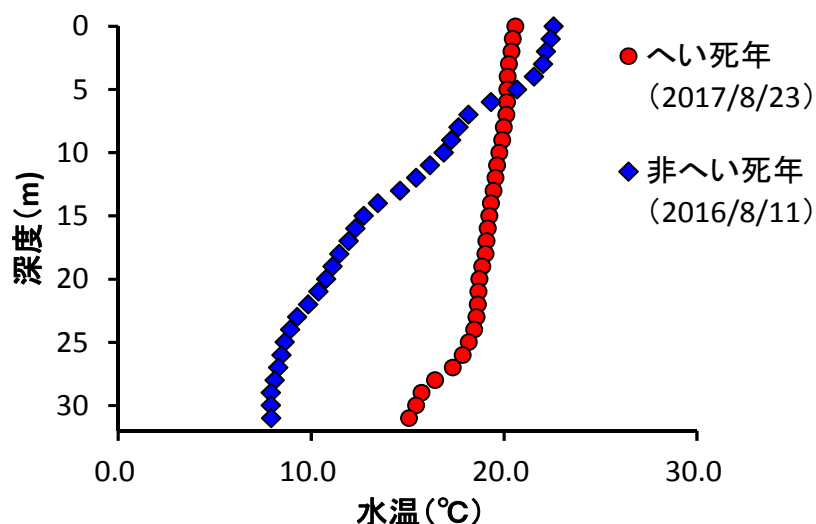


図 1 2016 年、2017 年 8 月の八雲沖 3 マイル定点の水温鉛直分布

年、2015 年のへい死年も 8 月の水温鉛直分布に同様の特徴が認められました。従って、へい死年の夏季は水温躍層の発達が弱く、海面水温が低いと考えられます。

一方、降水量、各種風速、垂下深度の水温や Chl-a 濃度にへい死年と非へい死年で差は認められませんでした。養殖ホタテガイの成育の分析には、ホタテガイの垂下深度の水温や Chl-a 濃度を用いることが一般的です。また、稚貝のへい死が秋～初冬に発生することから、これまでの研究では秋の海洋環境が注目されてきました。そのため、へい死年の夏季に共通する気象・海洋環境の特徴は見落とされやすかったのかもしれません。

○へい死年の夏季に何が起きているのか？

今回の分析結果からへい死年の夏季に起きている現象を考察することができます。まず、気温が低く、日照時間が短いことから、海面が暖められにくくなります（図 2：①）。また、直近 3 か年のへい死年のように湾口方向（南東方向）から強い風が吹く日が多い年は、表層水の攪乱強度が強くなり、鉛直混合が促進されていたと推測されます（図 2：②）。その結果、水温躍層の発達が弱く、海面水温が低くなると考えられます（図 2：③）。では、このへい死年の夏季の特徴は養殖ホタテガイにどのような影響をもたらすのでしょうか？まず考えられるのは風波による「振動」の影響の変化です。籠養殖されているホタテガイにとって籠の振動が成育に悪影響をもたらすことが報告されています。水温躍層の発達が弱く深度間の水温差が小さい場合、海洋物理学の理論的には風波の影響がより深い深度まで及びやすくなると考えられます（図 2：④）。また、水温躍層の発達が弱い原因の一つが、南東方向からの強い風による表層の攪乱だった場合、それ自体が籠に振動を与えることでホタテガイに悪影響を及ぼすのかもしれません（図 2：⑤）。もう一つ考えられるのはホタテガイの「餌」に影響を与えている可能性です。日照時間の長短、水温躍層の発達の強弱はいずれも植物プランクトン群集に強く影響する要素と考えられます（図 2：⑥、⑦）。へい死年と非へい死年では、垂下深度の Chl-a 濃度に差は認められませんでした。しかし、プランクトンの種組成に変化が生じ、例えばホタテガイの餌として適した種類が減少するなどした場合、その成育に影響を及ぼす可能性は否定できません（図 2：⑧）。いずれにせよ噴火湾のホタテガイの「へい死」は、夏季の特徴的な気象・海洋環境の下、不適な生育環境を経験したホタテ稚貝の間で、秋以降に生残低下・異常貝増加という形で問題が顕在化する現象であるという仮説が提示されます（図 2：⑨）。

○今後の課題

これまで、噴火湾の養殖ホタテガイのへい死年に共通する特徴はなかなか見つかっていませんでした。しかし、生産者の意見に耳を傾け、気象や海洋環境の専門家からも助言をいただきながら、幅広い視点で夏季の気象・海洋環境を検討することで、へい死年にはいくつかの共通する気象・海洋環境が存在することが分かってきました。今後、夏季の海洋環境に焦点をあてた研究がへい死のメカニズム解明の糸口となることが期待されます。一方、夏季の気象・海洋環境の特徴がへい死のきっかけであったとしても、その後どのような過程でホタテガイが死にいたるのかは依然としてよく分かっていません。国内外の最近の研究で養殖ホタテガイの生残低下にはある種の細菌の感染症が影響している可能性が指摘されています。また、近年の水産技術普及指導所の調査結果を函館水産試験場で分析した結果、養殖密度や中間育成を開始する時期など生産者の管理方法の中にもへい死を助長している要素があることが確認されています。噴火湾の養殖ホタテガイのへい死のメカニズムを解明し、対策を進めるためには、気象・海洋環境だけでなく、感染症や管理方法を含め、多角的な視点で調査研究に取り組む必要があると考えられます。

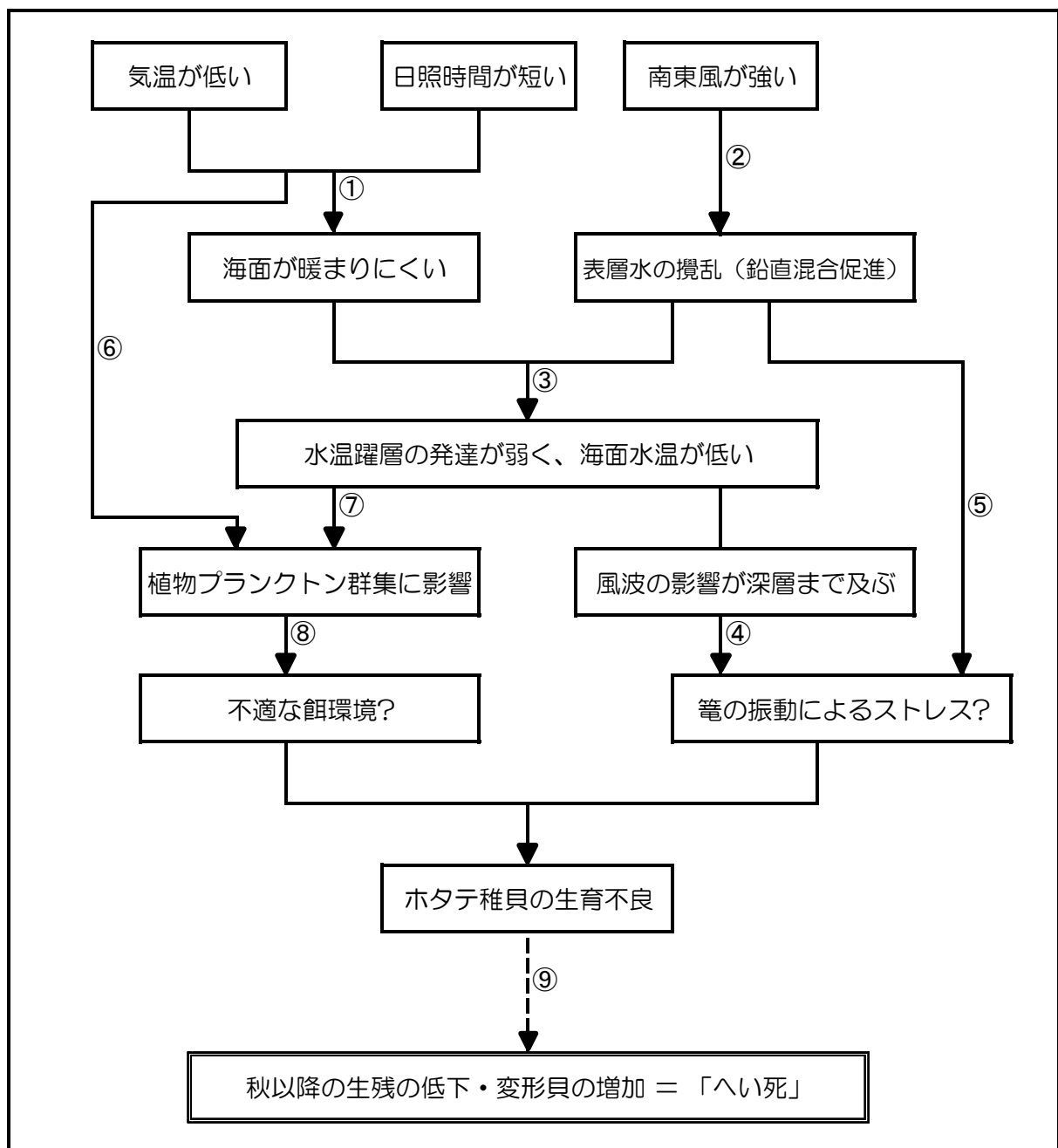


図2 噴火湾のへい死年の夏季の気象・海洋環境がホタテ稚貝に与える影響を想定したフローチャート（図中の数字は本文を参照）

本稿の執筆にあたり、札幌管区気象台気象防災部の小司晶子様、中央水産試験場資源管理部の佐藤政俊研究主任から有益なご助言をいただきました。心より感謝申し上げます。

（2019年8月16日 北海道立総合研究機構 函館水産試験場 調査研究部 金森 誠）