

# 噴火湾における養殖ホタテガイ中腸腺に蓄積された麻痺性貝毒の消失速度の推定

夏池真史<sup>\*1</sup>, 金森 誠<sup>2</sup>

<sup>1</sup>北海道立総合研究機構函館水産試験場, <sup>2</sup>北海道立総合研究機構

Estimation of the elimination rate of paralytic shellfish toxins in the midgut glands of cultured Japanese scallops (*Mizuhopecten yessoensis*) in Funka Bay

MASAFUMI NATSUIKE<sup>\*1</sup> and MAKOTO KANAMORI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hakodate Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Hakodate, Hokkaido 040-0051*,

<sup>2</sup> Hokkaido Research Organization, *Sapporo, Hokkaido 060-0819, Japan*

In recent years, the period of self-restriction for the shipments of cultured Japanese scallops (*Mizuhopecten yessoensis*) in Funka Bay has increased owing to an increase in the occurrence of the toxic dinoflagellate *Alexandrium catenella* (Group I), and this has become a problem for planned shipments by farmers. Therefore, to predict the timing of the lifting of the self-restriction as early as possible, we estimated the elimination rate constant and biological half-life of paralytic shellfish poisoning toxicity in Japanese scallops (*Mizuhopecten yessoensis*) by analyzing data on the occurrence of *A. catenella* in Funka Bay and data on paralytic shellfish toxicity in the cultured scallop midgut glands continuously monitored in one area of the bay during 2021 and 2022. The elimination rate constant and biological half-life were estimated at 0.0219 per day (equivalent to 2.19% of the toxin eliminated daily) and 31.7 days, respectively.

キーワード：出荷自主規制, 生物学的半減期, 二枚貝養殖, 麻痺性貝毒

北海道南西部の太平洋岸に位置する噴火湾では、垂下式ホタテガイ養殖が盛んである（北海道立総合研究機構 HP, <https://www.hro.or.jp/list/fisheries/marine/o7u1kr000000ceyo.html>, 2023年5月25日閲覧）。噴火湾では麻痺性貝毒原因渦鞭毛藻である *Alexandrium catenella* (Group I) が春季から夏季に出現し、国が定めた出荷規制値（可食部1 g当たり4 MU）を超えるホタテガイの毒化がしばしば発生する。特に、1992年以前は *A. catenella* が高密度に出現してホタテガイの高毒化がほぼ毎年発生し、出荷規制が長期化した（宮園ら, 2020）。そこで、安全を担保するための合理的な検査体制や高毒化期間を避ける水揚げ、高毒化しない貝柱のみの加工利用など、貝の高毒化に適応した生産体制が構築された。他方、1992年以降、噴火湾内の *A. catenella* の出現規模は大幅に減少し、出荷規制を伴うほどのホタテガイの高毒化は数年に1度程度の発生にとどまり、規制も多くの場合2、3か月以

内に解除されるようになった（宮園ら, 2020）。このような状況において、毒化による出荷規制が生じやすかった夏～秋季の水揚げは増加し、この期間に力点を置いた出荷計画も見られるようになった。ところが、2018年以降、噴火湾における麻痺性貝毒プランクトンの出現量は再び増加し、出荷規制値を超えるホタテガイの高毒化が2019年を除いて毎年発生している（夏池ら, 2021）。特に、2021年や2022年は、*A. catenella* の出現量が顕著に多く、出荷規制も長期間にわたった。出荷規制期間が長期化すると、その時期に出荷を見込んでいた生産者は、出荷計画の見直し、さらには出荷計画の見直しに伴う管理方法の変更が必要になる。特に、出荷規制の解除時期の見通しが立たない場合、出荷計画だけでなく、収入の見通しも立たなくなるため、養殖経営における大きな不安定化要素となる。そのため出荷規制が長期化する場合に、規制の解除時期の目安を早期に示すことができれば、生産者の出

報文番号A616 (2023年6月27日受理)

\*Tel: 0138-83-2893. Fax: 0138-83-2849. E-mail: natsuike-masafumi@hro.or.jp

荷計画の見直しに活用され、養殖経営の安定化に寄与することが期待される。また、出荷自主規制期間においては、ホタテガイの毒性値によって加工利用条件が異なるため、出荷規制後の毒の消失過程を定量的に示すことができれば、ホタテガイの加工業者等も施設の稼働計画を立てやすくなると考えられる。従って、養殖ホタテガイの貝毒の消失速度を明らかとし、規制の解除時期の見通しを立てることは、ホタテガイ養殖漁業の経営安定化だけでなく市場への安定供給にも資すると考えられる。

一般に、薬物動態学分野では、生体に投与された薬物は指数関数的に減少することが知られており、消失速度定数を推定することによって薬物投与後のある時間における体内薬物量を算出することができる(灘井, 2006)。ホタテガイにおいても同様に中腸腺に蓄積された麻痺性毒成分を投与薬物とみなし、体中から指数関数的に消失すると仮定すれば、ある時点での毒性値から出荷規制値を下回るまでに要する期間を予測できる。このような仮説に基づいて、これまで様々な二枚貝類について、麻痺性毒性値の消失速度を指数関数式への近似により推定することが試みられ、岩手県や宮城県ではホタテガイに関する知見も得られている(小田・寺内, 2015; 田邊・加賀, 2020; 田邊ら, 2021)。これらの研究では、貝の種類によって消失速度が異なること(小田・寺内, 2015; 田邊・加賀, 2020; 田邊ら, 2021)、同じ貝種においても採集年や採集場所において消失速度が異なること(田邊ら, 2021)が示唆されている。北海道では、噴火湾で毒化した養殖ホタテガイの麻痺性毒の消失過程を特殊な室内飼育環境下において検討した研究(菊池ら, 1992)や、オホーツク海で毒化した地まきのホタテガイの減毒期における組織別の麻痺性毒成分の定性的な変化が報告されている(三上ら, 2017)。他にも、加工利用に関するホタテガイの毒性に関する研究は多いが(例えば, 野口ら, 1980)、生産海域におけるホタテガイの麻痺性貝毒の消失速度を定量的に明らかにした報告は乏しい。そこで本研究では、噴火湾のある地区の2ヵ年のデータを用いて、この海域の養殖ホタテガイの中腸腺における麻痺性貝毒の消失速度の推定を試みた。

### 試料及び方法

**麻痺性貝毒プランクトンの出現データ** データ解析において必要となるホタテガイ中腸腺の麻痺性毒の消失開始時期を検討するため、道南海域の噴火湾内の3地点(虻田, 八雲, 森)および湾口部の1地点(鹿部)の計4定点(Fig.1)において、2021年と2022年の4月から12月まで月に1回から2回の頻度で麻痺性貝毒プランクトンの出現量を調査

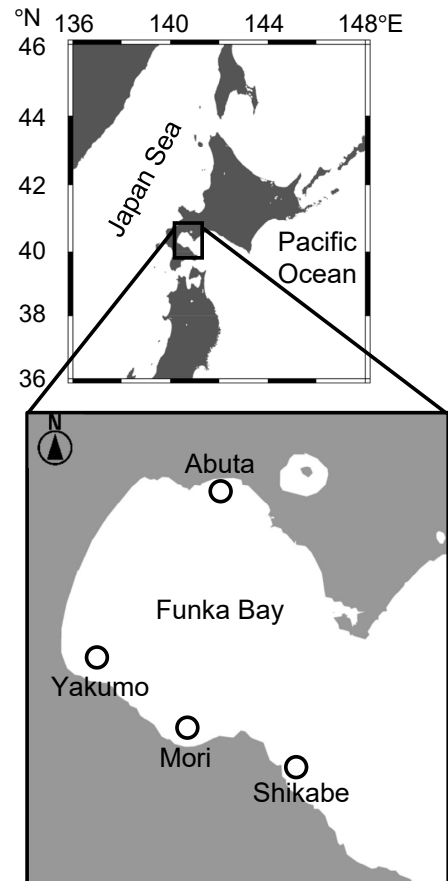


Fig.1 Location of the field observation points in Funka Bay, Hokkaido, Japan. The open circles indicate the stations of the field sampling to monitor the occurrences of toxic phytoplankton species.

した。この結果は、函館水産試験場のHP (<https://www.hro.or.jp/list/fisheries/research/hakodate/section/zoushoku/tpc05300000004y7.html>, 2022年12月31日 閲覧)で公開されている。

**ホタテガイ中腸腺の麻痺性貝毒毒性値データ** 噴火湾内において、ホタテガイは生後約1年間、養殖籠によって育成され、その後、主に貝の耳状部に小さな孔を開けてテグスやアゲピンでロープに吊してさらに半年から1年半程度養殖される。このようなホタテガイの垂下養殖手法を耳吊りと呼ぶ。この耳吊り後の貝が毒性値測定の対象となる。2021年と2022年に生産団体によって自主的に検査された耳吊りホタテガイの中腸腺の麻痺性毒性値を解析に用いた。これらの検査は概ね週に1回の頻度で噴火湾内の匿名の一地区において継続的に採取された標本について行われた。麻痺性貝毒の毒性値はマウスアッセイによって測定され、中腸腺湿重量1 g当たりの毒性値は、MUを単位として示した。

**データ解析** ホタテガイの体内の毒は(1)式のように時間の経過に伴い指数的に減少していくと想定した。この

指数関数を自然対数化した式 (2) に基づいてデータを線形回帰した。

$$C(t) = C_0 \cdot e^{-kt} \quad (1)$$

$$\ln C(t) = -kt + \ln C_0 \quad (2)$$

ここで、 $C(t)$  は麻痺性毒の消失期間開始日から  $t$  日後の中腸腺毒性値、 $C_0$  は麻痺性毒の消失期間開始日における中腸腺毒性値、 $k$  は消失速度定数である。さらに推定された  $k$  から (3) 式の通り、任意の毒性値がその 50% に減少するのに要する期間、すなわち生物学的半減期 ( $T_{1/2}$ ) を算出できる。

$$T_{1/2} = \ln 2 / k \quad (3)$$

さらに、推定された  $k$  を用いて、麻痺性毒の消失開始日から規制解除基準 ( $20 \text{ MU g}^{-1}$ ; 吉田・金森, 2017) を下回るまでに必要な日数 ( $\Delta t$ ) を次式の通り算出できる。

$$\Delta t = (\ln C_{(0)} - \ln 20) / k \quad (4)$$

解析にあたり、麻痺性毒の消失期間の開始日を麻痺性貝毒プランクトンの出現状況を基準に判断した。近年の噴火湾における麻痺性貝毒プランクトンの出現の季節消長を見ると、麻痺性貝毒プランクトンは春季に徐々に細胞密度が増加して初夏から夏に最高値に達した後、急激に減少し、翌年の春まで出現しなくなる (夏池ら, 2021)。この最高値に達する時期に毒性値は急激に上昇して最高値に達する。その後、細胞密度が減少すると毒性値は漸減傾向を示すが、麻痺性貝毒プランクトンが残存する期間は、残存する麻痺性貝毒プランクトンを摂餌することによって吸収される毒性値の上昇と、毒の消失が同時に生じるため、見かけ上の麻痺性毒の消失はより緩やかになると想定される。そこで本研究では、2021年と2022年に麻痺性貝毒プランクトンが湾内および周辺海域から検出されなくなった時期を麻痺性毒の消失期間の開始時期とみなすこととした。また、中腸腺毒性値のデータ解析対象期間は、麻痺性毒の消失期間の開始時期から中腸腺毒量が検出された期間とした (検出限界  $2 \text{ MU g}^{-1}$ )。消失速度定数を推定するため、対数化した毒性値 ( $C(t)$ ) を応答変数、経過日数 ( $t$ ) と測定年 (2021年ないし2022年) を説明変数として一般化線形モデルを作成した。なお、経過日数は連続変数として、測定年はカテゴリー変数として扱った。誤差構造は正規分布、連結関数は恒等関数とし、交互作用があるモデルを含むすべての変数の組み合わせを検討し、AIC (赤池情報量規準) が最小と

なるモデルを選択した。これらの解析には統計解析ソフト R (ver.4.2.2, R core team : URL <https://www.R-project.org/>) を用いた。

## 結果

**麻痺性貝毒プランクトンおよび毒性値の推移** *A. catenella* は、2021年、2022年の4月から1 mL当たり数十細胞の密度で出現していた (Fig.2)。その後、4月から6月にかけて徐々に増加して、2021年には6月後半に、2022年には7月前半に最高密度に達した。その後、2021年、2022年ともに7月中に麻痺性貝毒プランクトンの出現量は急激に減少し、8月から12月まで検出されなかった。従って、麻痺性貝毒の指数関数的消失期間は8月から開始されたと判断した。実際に、中腸腺の麻痺性毒性値は、2021年、

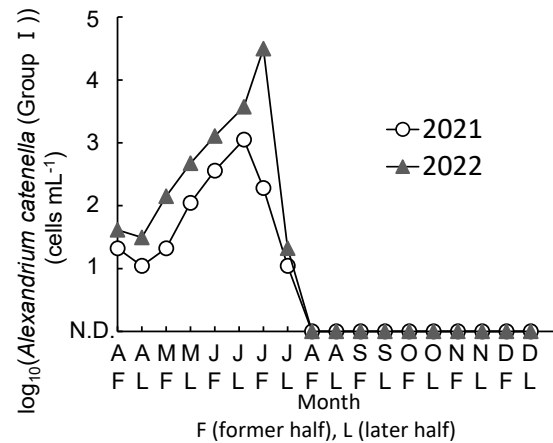


Fig.2 Seasonal changes in the cell density of toxic dinoflagellate *Alexandrium catenella* (Group I) in Funka Bay, Hokkaido, from April to December in 2021 and 2022.

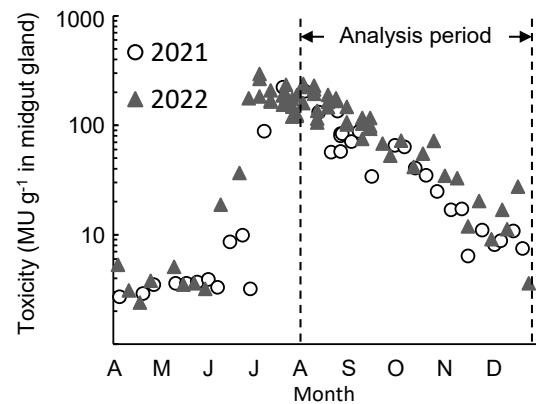


Fig.3 Seasonal changes in the paralytic shellfish poisoning toxicity of the cultured scallops collected from a fixed station in Funka Bay, Hokkaido, from April to December in 2021 and 2022.

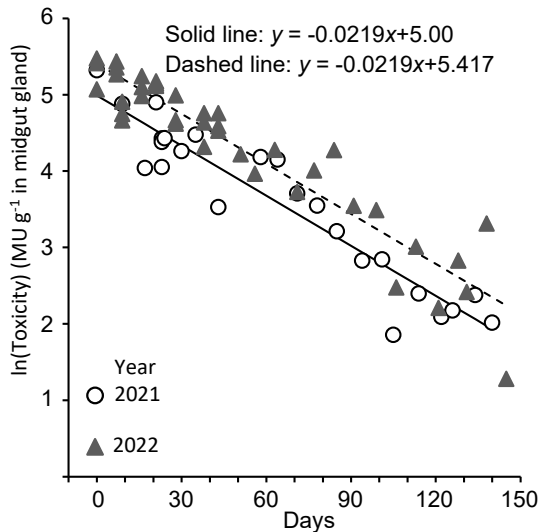


Fig.4 Relationship between elapsed day and paralytic shellfish poisoning toxicity of the cultured scallops collected from a fixed station in Funka Bay. The elapsed day is the number of days from the start date of the elimination period until the toxicity was measured. The solid and dashed lines show the regression lines from the generalized regression models with the natural logarithm of the toxicity as the response variable and the number of elapsed days and the year (year of 2021 or 2022) as the explanatory continuous and categorized variables.

2022年とも4月から6月に緩やかに増加した後、6月から7月にかけて急激に上昇して各年の最高値(2021年7月19日に223  $\text{MU g}^{-1}$ , 2022年7月4日に295  $\text{MU g}^{-1}$ )を示した(Fig. 3)。その後、2021年、2022年ともに毒性値は減少しながら12月まで検出された。したがって、解析期間を8月から12月までとし、データ解析における経過日数は8月1日を1日目 ( $t = 1$ ) としてカウントした日数を用いた。

**データ解析** データ解析に用いた毒性値の標本数は2021年の群で24、2022年の群で39であった。これらのデータセットを用いた一般化線形モデルでは、交互作用がなく両変数を含める場合のモデルのAICが最も低かった(AIC = 50.4)。このモデルには交互作用項が含まれていないことから、2ヵ年の消失速度定数(日数の係数)は共通で、0.0219と推定された(Fig. 4)。この消失速度定数から得られる生物学的半減期 ( $T_{1/2}$ ) は31.7日であった。また、麻痺性毒の消失期間開始時点の中腸腺毒量が200  $\text{MU g}^{-1}$ 、100  $\text{MU g}^{-1}$ 、50  $\text{MU g}^{-1}$ であると仮定すると、規制解除の判断基準値(ここでは吉田・金森(2017)に基づいて、20  $\text{MU g}^{-1}$ とした)を下回るまでに必要な日数は、それぞれ105.4日、73.6日、41.9日と予測された(Fig. 5)。

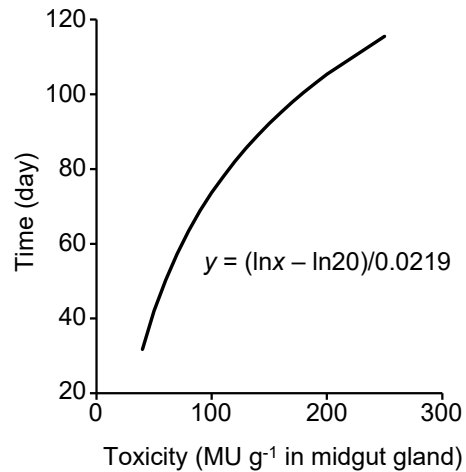


Fig.5 Relationship between paralytic shellfish poisoning toxicity at the start date of the elimination period and the estimated time required to lift the self-restriction.

## 考察

本研究により噴火湾の養殖ホタテガイについて、薬物動態学に基づく一般的な原理に従った麻痺性貝毒の消失速度が推定された。2021年と2022年の消失速度には差がほとんど無く、AICによるモデル選択においても交互作用項のないモデルが選ばれたことから、分析対象地区における2ヵ年の消失速度定数は一定と見なされた。従って、得られた消失速度定数を用いれば、ある毒性値からある毒性値に達するまでの日数を算出でき、高毒化後の早い段階で規制解除の時期を予測できると考えられる。加えて、噴火湾内における*A. catenella*の出現密度から、その後の出荷規制の有無を推定できることが報告されている(吉田・金森, 2017)。麻痺性貝毒プランクトンの出現状況に関する調査は水産試験場や行政の普及機関が実施しており、毒性値のモニタリングは生産団体が実施している。これらの機関が連携することによって、麻痺性貝毒プランクトンの出現量の増加から、その後の毒性値の上昇を予測するとともに、出荷規制後の毒性値から規制解除時期を早期に推定することで、生産者はそれらに基づいた出荷計画を早期に検討できる可能性がある(Fig. 6)。ただし、実際の解除判断では、時間間隔を空けた数回のモニタリングで毒性値が一定の基準値を下回ることを確認する必要があるため、予測日数に加えてその期間を見込む必要がある。1992年以降、2017年ころまでの25年間は、噴火湾における麻痺性貝毒によるホタテガイの出荷規制頻度は2、3年に1度、規制も3ヶ月以内に解除される場合がほとんどであった(宮園ら, 2020)。しかし、2018年以降、ほぼ毎年、噴火湾およびその接続海域である日高湾では*A. catenella*の大量出現が発生しており



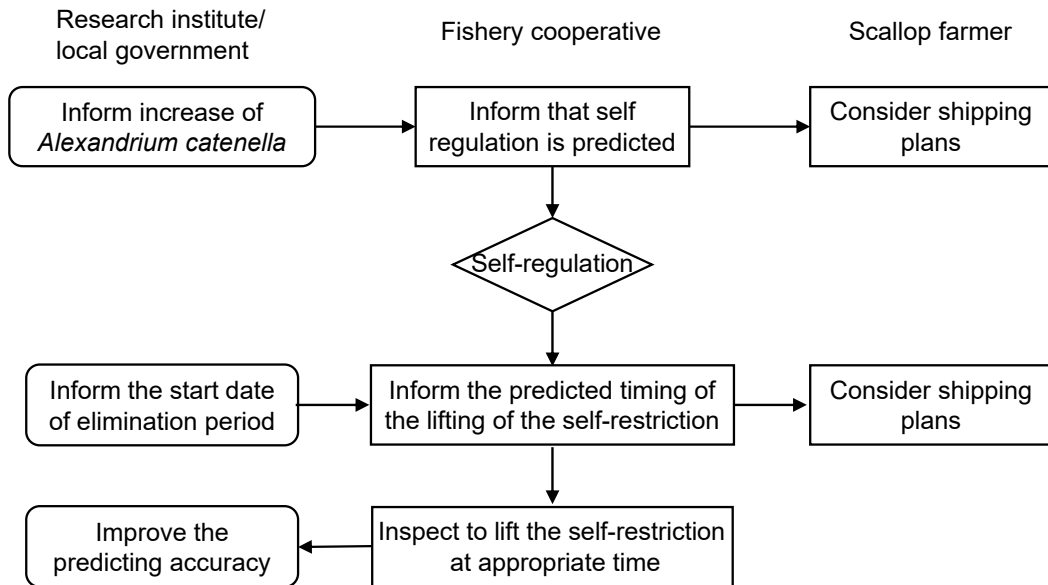


Fig.6 Flowchart of actions required from research institutes, local government, and fishery cooperative to use predictions of the occurrence of self-regulation due to paralytic shellfish poisoning and the timing of the lifting of self-restriction for planning scallop shipments.

(夏池ら, 2021), 2021年および2022年は特に出荷の規制期間が長かった。このように、今後は出荷規制の長期化が頻発する可能性もある。このような状況下において、麻痺性貝毒による出荷規制が生じるかどうか、また出荷規制が生じたとしていつごろ解除されるかを早期に予測することは、生産者が出荷計画を検討する上でより重要となる。

本研究において同一海域における麻痺性貝毒の消失速度に年ごとの差がないという結果が得られた一方、2018年と2020年の宮城県沿岸の同じ海域(小泉伊里前湾)における麻痺性貝毒の消失速度は、年ごとに変化する可能

性が指摘されている (Table 1, 田邊ら, 2021)。また、北海道、岩手県、宮城県の観測結果から得られたホタテガイの消失速度定数を比較すると、産地間において異なる数値が得られ、生物学的半減期は16.2~35.0日と、最大で2倍程度異なった (Table 1)。消失速度定数はホタテガイの代謝機能に依存し、環境条件(例えば水温)やホタテガイの生理状態(例えば、繁殖期か非繁殖期か)などの影響を受けると推測される。加えて、ホタテガイの麻痺性毒の蓄積量は、垂下水深が異なる個体や同じ採集場所・水深においても個体ごとに変動がある (Nishihama, 1982; Watanabe *et al.*, 2019)。このような生息環境や個体差に依

Table 1 Comparison of the elimination rate constants and the biological half-life of the paralytic shellfish poisoning toxicity in Japanese scallops (*Mizuhopecten yessoensis*). The elimination rate constants by other references were recalculated by the authors to meet the unit.

Area	Year	Elimination rate constant	Biological half-life	References
Isatomae Bay in Miyagi Pref.	2018	0.0253	27.4	Tanabe <i>et al.</i> , 2021
Isatomae Bay in Miyagi Pref.	2020	0.0325	21.3	Tanabe <i>et al.</i> , 2021
Onagawa Bay and the eastern Part of Oshika Peninshula in Miyagi Pref.	2020	0.0429	16.2	Tanabe <i>et al.</i> , 2021
Iwate Pref.		0.0198	35.0	Tanabe and Kaga, 2020
Funka Bay in Hokkaido	2021, 2022	0.0219	31.7	This study

存する麻痺性毒の蓄積量のばらつきも推定される消失速度を変動させる要因となるであろう。これらの要因により消失速度の地域差や経年差が生じる可能性を念頭に入れて、ばらつきを生じる様々な要因を検討し、今後さらに予測精度を高める必要がある。また、噴火湾では麻痺性貝毒原因プランクトンとして *A. catenella* (*A. tamarensis* species complex Group I) に加えて、*A. pacificum* (*A. tamarensis* species complex Group IV) が秋季にまれに確認され (夏池ら, 2022), 過去にホタテガイの毒化に関与したことも報告されている (林, 1989; Noguchi *et al.*, 1990)。2021年と2022年に *A. pacificum* は検出されなかったため (著者ら, 未公表データ), 毒性値の増減にほとんど影響しなかったと考えられるが、*A. pacificum* を含む、*A. catenella* 以外の麻痺性貝毒原因種の出現が確認された年には、その毒性値の影響も検討する必要性がでてくるだろう。

本研究では麻痺性貝毒を一つの毒物質のごとく扱ったが、麻痺性貝毒の原因物質として化学構造の似た20個程度の化学物質が知られ、物質ごとに比毒性が異なる (大島, 2008)。ホタテガイの体内に蓄積された毒成分は、総量として徐々に減少しつつ一部は体内で徐々に別の毒物質に変化することが報告されており (水田ら, 1999; 高田ら, 2004; 三上ら, 2017), この成分の変化が毒性値の変動に影響を及ぼす可能性がある。しかし、本研究における消失速度の推定では、時間のみを説明変数とすることによって、概ね毒性値の減少を説明できた。このことは、ホタテガイ中腸腺の毒性値の減少を推定するに当たって、毒成分の変化以上に総量の変動が重要であることを示唆している。毒性分の総量はその年の麻痺性貝毒プランクトンの出現量と関連すると考えられ、実際に麻痺性貝毒プランクトンの出現量が総じて多かった2022年の毒性値は、2021年よりも高い値であった。本研究で明らかにした毒の消失速度に加え、麻痺性貝毒プランクトンの出現量を説明変数としてホタテガイ中腸腺毒性値の増加速度が推定できれば、麻痺性貝毒プランクトンの出現量を基準にして、早期に解除期間を予測できる可能性がある。これまでのところ、麻痺性貝毒プランクトンが  $100 \text{ cells L}^{-1}$  を超えると高い確率でその後出荷規制が生じるという報告に加え (吉田・金森, 2017), ホタテガイの麻痺性毒の蓄積速度を培養株の給餌試験から推定することが試みられているものの (嶋田, 2018), 現場における麻痺性貝毒プランクトンの出現量と毒性値上昇の関係は十分に明らかになっておらず、今後の課題と言えよう。

近年、貝毒のリスク管理に関するガイドラインが改定された (<https://www.maff.go.jp/j/syouan/tikusui/gyokai/busitu/sizendoku/attach/pdf/index-14.pdf>, 2023年2月16日

閲覧)。その中で、今後の貝毒のリスク管理措置の適切な見直しのために、都道府県は貝毒の監視を通じて科学的知見を収集、蓄積することが求められ、その上で、これらの科学的知見が効率的かつ安全な貝毒リスク管理に活かされることが期待されている (飯岡, 2017)。本研究では、出荷自主規制の解除時期を早期に判断する目安を提供することで生産計画の一助とすることを目的とした。宮原ら (2022) で試みられたように、麻痺性毒の消失速度の推定は、データのばらつきを考慮した上で規制期間を短縮するなどのリスク管理の見直しにも活用可能と考えられるが、その変動に影響する要因や影響の大きさに関するデータの蓄積は不十分であり、本研究では議論しなかった。今後、噴火湾におけるリスク管理の適切な見直しを図るのであれば、これらのデータの蓄積と分析が必要である。

## 謝 辞

本研究を実施するにあたり、毒性値データを提供いただいた漁業協同組合の皆様にご感謝申し上げます。また、北海道立総合研究機構の武田忠明様に助言を賜りました。

## 引用文献

- 林 忠彦. ホタテガイの貝毒 (2). 北水試だより1989; 7: 8-15.
- 飯岡真子. 第2章 新たな貝毒リスク管理ガイドラインについて. 「貝毒 - 新たな貝毒リスク管理措置ガイドラインとその導入に向けた研究. (鈴木敏之, 神山孝史, 大島泰克編)」恒星社厚生閣, 東京. 2017; 27-35.
- 菊池慎太郎, 大嶋尚士, 大島由子, 竹内隆男, 中村忠司, 館脇正和. ろ過・滅菌処理海水中における毒化ホタテガイの養殖と貝毒減衰について. 食品衛生学雑誌 1992; 33: 223-230.
- 三上加奈子, 武田忠明, 嶋田宏, 木村稔. II-1. 麻痺性貝毒プランクトン給餌による毒化貝の部位別毒性と減毒期の毒組成変化. 日本水産学会誌2017; 83: 225-225.
- 宮原一隆, 妹背秀和, 堀部倭子, 中桐栄, 大石賢哉, 岩佐隆宏, 吉岡直樹, 押部智宏, 萩田堅一, 及川寛. 兵庫県播磨灘海域で麻痺性貝毒により毒化したマガキの減毒特性. 兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告2022; 5: 33-42.
- 宮園章, 嶋田宏, 品田晃良, 夏池真史. 北海道海域における麻痺性貝毒原因プランクトン発生と二枚貝毒化.

- 月刊海洋2020；52：165-170.
- 水田満里, 山田圭一, 高田久美代, 島岡真佐子, 高山晴義, 大内晟. カキ, ムラサキイガイ, ホタテガイにおける麻痺性貝毒の蓄積と低下の相違. 食品衛生学雑誌1999；40：19-22.
- 灘井雅行. 薬物動態学の基礎と薬物投与設計への応用. 日本小児腎臓病学会雑誌2006；19：111-123.
- 夏池真史, 金森誠, 渡野邊雅道, 葛西利彦, 佐藤政俊. 近年の噴火湾および日高湾における麻痺性貝毒原因渦鞭毛藻*Alexandrium catenella* (Group I) の出現状況. 北海道水産試験場研究報告2021；99：1-7.
- 夏池真史, 金森誠, 前田高志, 嶋田宏, 坂本節子. 函館湾および噴火湾における有毒渦鞭毛藻*Alexandrium pacificum*および*A. catenella*の2018年から2020年の出現状況. 日本プランクトン学会報2022；69：1-10.
- Nishihama Y. Seasonal abundance of *Protogonyaulax* sp. causing paralytic shellfish poisoning in Funka Bay. In: Proceeding of North Pacific Aquaculture Symposium (eds Melteff BR, Neve RA). Alaska Sea Grant Publication, Anchorage. 1982. pp. 319-327.
- Noguchi T, Asakawa M, Arakawa O, Fukuyo Y, Nishio S. First occurrence of *Alexandrium catenella* in Funka Bay, Hokkaido, along with its unique toxin composition. In: Toxic Marine Phytoplankton (eds Graneli E, Sundstrom B, Edler L, Anderson DM). Elsevier Science Publishing, New York. 1990. pp. 493-498.
- 野口玉雄, 上田要一, 尾上義夫, 河野迪子, 小山絹江, 橋本周久, 妹尾芳郎, 三嶋進. PSPにより毒化したホタテガイの缶詰製造中における毒性値の変化. 日本水産学会誌1980；46：1273-1277.
- 小田新一郎, 寺内正裕. 広島県海域における二枚貝の麻痺性貝毒の消長について. 広島県立総合技術研究所保健環境センター研究報告2015；23：1-5.
- 大島泰克. 麻痺性貝毒に関する化学・生化学的研究. 日本水産学会誌2008；74：767-771.
- 嶋田宏. 北海道オホーツク海沿岸における麻痺性貝毒の発生予測に関する生物海洋学的研究. 北海道水産試験場研究報告2018；93：1-49.
- 高田久美代, 妹尾正登, 東久保靖, 高辻英之, 高山晴義, 小川博美. マガキ, ホタテガイおよびムラサキイガイにおける麻痺性貝毒の蓄積と減毒の差異. 日本水産学会誌2004；70：598-606.
- 田邊徹, 藤田海音, 増田義男. 2020年に宮城県沿岸で発生した麻痺性貝毒によるマボヤの毒化と毒の減衰特性. 宮城県水産研究報告2021；21：31-36.
- 田邊徹, 加賀克昌. 第8章 東北沿岸域の貝毒とその震災後における変化と傾向. 「貝毒 - 新たな貝毒リスク管理措置ガイドラインとその導入に向けた研究 (鈴木敏之, 神山孝史, 大島泰克編)」恒星社厚生閣, 東京. 2020；127-139.
- Watanabe R, Kanamori M, Yoshida H, Okumura Y, Uchida H, Matsushima R, Oikawa H, Suzuki T. Development of ultra-performance liquid chromatography with post-column fluorescent derivatization for the rapid detection of saxitoxin analogues and analysis of bivalve monitoring samples. *Toxins* 2019；11：573.
- 吉田秀嗣, 金森誠. 北海道, 噴火湾におけるホタテガイの麻痺性貝毒発生を予測するための*Alexandrium tamarense*細胞密度の有効性について (資料). 北海道水産試験場研究報告 2017；91：19-30.