

ノート

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

田邊 徹*1・藤田 海音*2・増田 義男*1

Accumulation and Temporal Changes of Paralytic Shellfish Poison in Ascidian *Halocynthia roretzi* on the coast of Miyagi Prefecture Japan in 2020

Toru TANABE*1, Mine FUJITA*2, Yoshio MASUDA *1

キーワード：麻痺性貝毒，マボヤ，減衰

麻痺性貝毒による毒化は、二枚貝等が原因プランクトンを摂食することにより起こる。本邦では、食中毒の原因物質として、食品衛生法による監視対象とされている。法的には、マウスバイオアッセイが用いられ、4 MU/gが基準値として定められている¹⁾。国内では基準値を超えた二枚貝等の流通を防止するため、各自治体や生産者団体によるモニタリングが行われており、出荷の自主規制措置がたびたびとられる。宮城県沿岸では*Alexandrium*属プランクトンを原因として二枚貝等が毒化することが知られ、規制措置がとられるのは主に初春から初夏である²⁾。宮城県では、貝種等の生産状況に応じて管理海域を設定し(図1A)、宮城県漁業協同組合と協力し、海域の生産物の貝毒検査を実施することで、様々な二枚貝類のモニタリングを行っている。

マボヤ*Halocynthia roretzi*は本邦の三陸海岸以北で主に養殖され、宮城県では2016年の農林水産統計で国内約18,000トンのうち約13,000トンを生産する重要な産業対象種である³⁾。本種はこれまで岩手県で麻痺性貝毒による毒化が報告されている^{4,5)}。本県沿岸では2020年に初めてマボヤで規制値を超える毒化が確認され、マボヤ出荷に大きな影響を及ぼした。本報では本県で初の事例となったマボヤの毒化について報告するとともに、2018年に発生した麻痺性貝毒と比較を行い、貝種ごとの毒の減衰及びマボヤの麻痺性貝毒について論

じることとした。

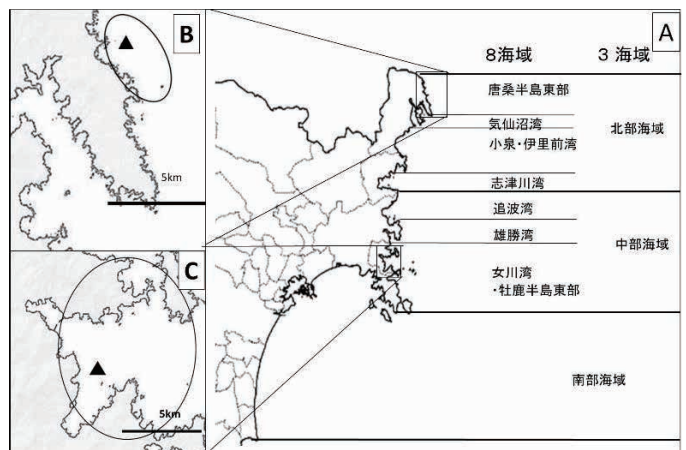


図1 宮城県内の貝毒監視海域区分(A)、唐桑半島東部海域(B)及び女川湾(C)の位置図

A：8海域区分及び3海域区分を例示，8海域区分はホタテガイ及びマボヤの監視海域区分，3海域区分はマガキ，アサリ，ホタテガイ，マボヤ，ウバガイ，アカガイを除くその他二枚貝類の監視海域区分

マボヤについては，2020年6月24日付けで3海域区分から8海域区分に変更された。

B,Cにおける円はホヤ及びホタテガイの漁場，▲はプランクトン採集地点を示す。

材料と方法

貝毒原因プランクトンの出現状況調査は、女川湾塚浜定点(図1C, 2018, 2020年)、唐桑半島東部海域大沢

*1水産技術総合センター，*2気仙沼水産試験場，

表1 解析に用いたデータの詳細

分析値については宮城県及び宮城県漁業協同組合のモニタリングデータを参照した。
マボヤの海域については、2020年6月24日付けで3海域から8海域区分に変更された。

種名及び記号	年	期間	海域	採取定点	対象結果	
ムラサキイガイ M1	2018	5/21-7/2	中部	塚浜	中腸腺分析	
	M2	2020	6/11-7/13	中部	塚浜	中腸腺分析
アカザラガイ Cf	2018	5/28-11/26	北部	母体田	中腸腺分析	
ホタテガイ P1	2018	6/5-11/27	小泉伊里前湾	歌津, 田浦, 蔵内の平均値	中腸腺分析	
	P2	2020	6/30-10/27	小泉伊里前湾	歌津, 田浦の平均値	中腸腺分析
	P2	2020	6/9-10/29	女川湾・牡鹿半島東部	女川	中腸腺分析
マガキ Cg	2018	4/23-5/21	追波湾	長面浦	可食部分析	
マボヤ Hr	2020	6/2-6/30	中部(後女川湾・牡鹿半島東部)	女川	可食部分析	

定点(図1B, 2020年)において月1-4回の頻度で行った。原因プランクトンの出現状況については、既報⁶⁾と同様に、市販の耐圧ホースの柱状採水により行った。なお、採水層については、塚浜については0-20 m、大沢については0-10 mである。このホースにより採取したホースの内部の水をバケツに移し、よく攪拌した後、500 mL採水し、この海水を既報に基づき5 mLに濃縮⁷⁾、このうち1 mLに含まれる*Alexandrium*属のプランクトンを計数し密度を求めた。過去の規制状況及び宮城県と宮城県漁業協同組合が実施しているモニタリング検査結果については、宮城県水産業基盤整備課HP (<https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/suikisei/kaidoku.html>)より入手した。このうち、*Alexandrium*属プランクトンの出現密度と毒量の比較には可食部換算値及び可食部の値を用いた。規制状況については、1992年以降の海域別麻痺性貝毒による規制件数及び、2013年以降の中・北部海域における規制品目の内訳について整理した。

減毒期間の比較について、同一の漁場及び貝種で最も高い毒量が検出された後、2回連続して減少となった検査結果について減少傾向が明確となったと判断し、2回連続した減少の起点となった日すなわち基準日の毒量を P_0 として、経過日数ごとの減少率を求め、貝種ごとに比較した。

P_0 から1日 r の割合で毒量が減少したとすると、 n 日後の毒量 P_n は以下の式で示される。

$$P_n = P_0 \times (1-r)^n$$

この式について MS Excelのソルバー機能を用い、実測値との差による最小二乗法により r を求めた。検証に用いた貝種、海域及び期間について表1に示す。なお、イタヤガイ科に分類されるホタテガイ及びアカザラガイについては、 $n=0$ の日から50日を境に前後についても同様に減毒初期の減衰率 $r_0(n \leq 50)$ 及び減毒後期の減衰率 $r_1(50 < n)$ を求め、減毒様式の差異についての考察

に供した。解析に供した貝毒の値については、ホタテガイ、アカザラガイ、ムラサキイガイについては中腸腺の値を、マガキ、マボヤについては可食部の値を用いた。

いずれの解析においても、決定係数 R^2 は残差の二乗和を標本値の平均値からの偏差の二乗和で除したものを1から減じることで求めた。

結果

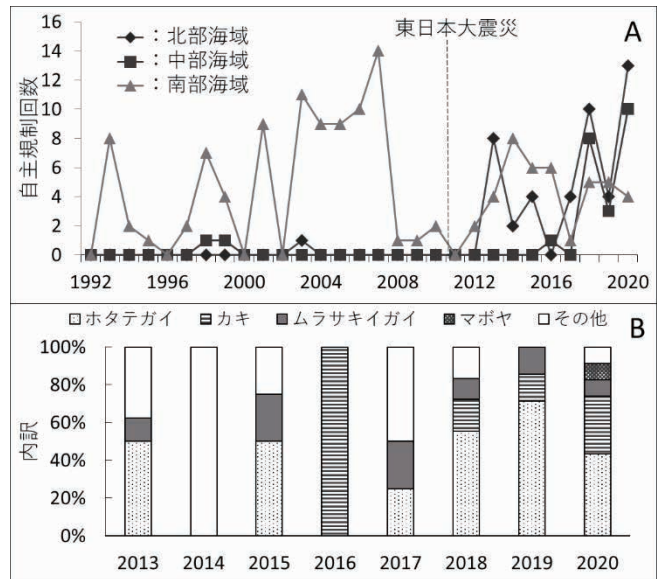


図2 1992年以降の宮城県内における貝毒の規制件数の推移(A)及び中・北部海域における規制品目の内訳(B)

宮城県における麻痺性貝毒の規制回数の推移と、中・北部海域の2013年以降における規制品目の内訳を図2に示した。2012年以前については中・北部海域における麻痺性貝毒の規制件数は、それぞれ2件及び1件と非常に少なかったが、2013年以降、北部海域で麻痺性貝毒による規制が多く行われるようになった。品目の内訳をみると、ホタテガイ、ムラサキイガイ及びその他貝類では8年のうち6年で規制が実施された。このうち、その他貝類の規制についてはほとんどが北部の

アカザラガイであった。次いでマガキが4年であり、マボヤは2020年の1年のみであった。

宮城県中部海域の女川湾塚浜定点(2018及び2020年)、北部海域気仙沼湾の大沢定点(2020年)における *Alexandrium* 属プランクトンとそれぞれの定点を有する海域内のムラサキイガイ、ホタテガイ(いずれも可食部換算値)及びマボヤ(可食部)の毒量についての結果を図3に示した(大沢定点はホタテガイとマボヤのみ)。

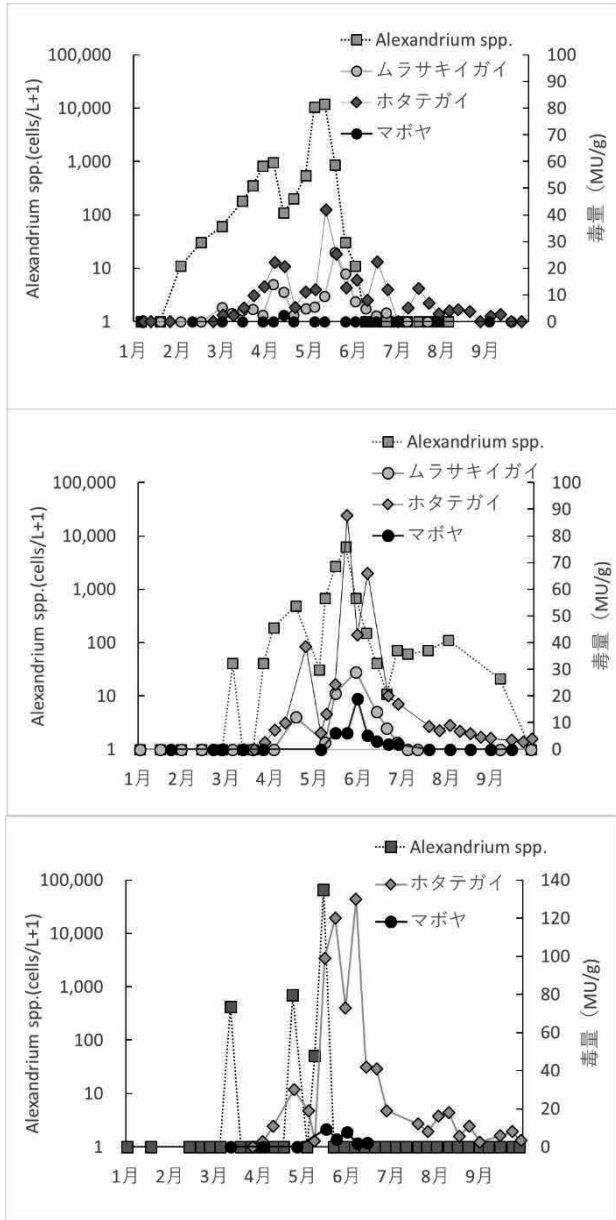


図3 塚浜における2018年(A)及び2020年(B)の *Alexandrium* 属プランクトン出現状況及びムラサキイガイ、女川定点におけるホタテガイ及びマボヤの貝毒の検出状況と、大沢定点における2020年の *Alexandrium* 属プランクトン出現状況及びマボヤとホタテガイの貝毒検出状況 (C)

2018年の塚浜定点では、4月9日に900細胞/Lを超える *Alexandrium* 属プランクトンが確認されたが、その後100細胞/L程度まで減少した後増加傾向を示し、5月14日にシーズン最多密度となる12,090細胞/Lの *Alexandrium* 属プランクトンが確認され、その後減少傾向となった。ムラサキイガイでは5月21日に26 MU/g、ホタテガイでは5月15日に42 MU/g (いずれも可食部換算値)の最大毒量が検出された。一方、マボヤでは4月16日に2.4 MU/gが検出されたが、その後は検出されなかった。2020年では4月21日に490細胞/Lの *Alexandrium* 属プランクトンが確認され、その後一端減少傾向となったが再び増加し5月25日に6,190細胞/Lとシーズン最大密度の *Alexandrium* 属プランクトンが確認された。ムラサキイガイでは6月1日に29 MU/gが、ホタテガイでは5月26日に88 MU/gのシーズン最大毒量が検出された。マボヤでは5月18日に6.2 MU/gが、6月2日に19 MU/gが検出された後減少し、6月30日のサンプルで1.9 MU/gが検出された以降は麻痺性貝毒は検出されなかった。

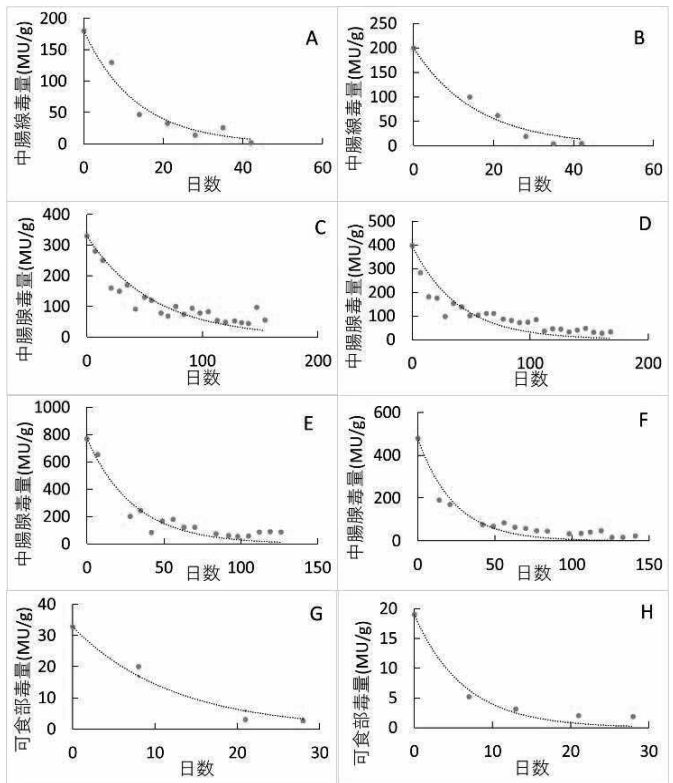


図4 各海域及び貝種別の麻痺性貝毒減衰曲線
 A: ムラサキイガイ (M1), $R^2=0.959$, B: ムラサキイガイ (M2), $R^2=0.976$, C: アカザラガイ (Cf), $R^2=0.798$, D: ホタテガイ (P1), $R^2=0.861$, E: ホタテガイ (P2), $R^2=0.934$, F: ホタテガイ (P3), $R^2=0.939$, G: マガキ (Cg), $R^2=0.919$, H: マボヤ (Hr), $R^2=0.953$

唐桑半島東部海域に位置する大沢の定点では3月以降断続的に*Alexandrium* 属プランクトンが数百細胞/L程度確認され、その後5月18日に66,240細胞/Lとシーズン最大密度が確認された。ホタテガイでは5月26日に120 MU/g(それぞれ可食部換算値)のシーズン最大毒量が検出された。マボヤでは5月20日に9.3 MU/gが検出された後減少傾向となった。

表2 貝種ごとの貝毒の減衰率と近似式及び決定係数

種名	記号	減衰率 (%)	近似式(P_n)	R^2
ムラサキガイ	M1	7.3%	$P_n = P_0(1 - 0.073)^n$	0.96
	M2	6.2%	$P_n = P_0(1 - 0.062)^n$	0.98
ムラサキガイ平均		6.7%		
アカザラガイ	Cf	1.7%	$P_n = P_0(1 - 0.017)^n$	0.80
ホタテガイ	P1	2.5%	$P_n = P_0(1 - 0.025)^n$	0.86
	P2	3.2%	$P_n = P_0(1 - 0.032)^n$	0.93
	P3	4.2%	$P_n = P_0(1 - 0.042)^n$	0.94
ホタテガイ平均		3.3%		
マガキ	Cg	7.9%	$P_n = P_0(1 - 0.079)^n$	0.92
マボヤ	Hr	14.5%	$P_n = P_0(1 - 0.145)^n$	0.95

減毒期間の比較について、それぞれの分析を行った麻痺性貝毒の近似式及び決定係数を表2に、減衰曲線については図4に示した。いずれの減衰曲線も決定係数は0.80~0.98と実測値とよく一致した。減衰率については、ムラサキガイにおいては2018及び2020年の塚浜のサンプル(M1及びM2)ではそれぞれ7.3及び6.2%/日と近い値となり、平均では6.7%/日であった。また、アカザラガイ(Cf)では1.7%/日であった。ホタテガイ(P1-P3)では2.5~4.2%/日の減衰率であり、平均値は3.3%/日であった。マガキ(Cg)では7.9%/日であった。一方、マボヤ(Hr)では14.5%/日と他の貝種と比べて高い値であった。

表3 基準日より50日以内の減衰率%/日(r_e)とその後の減衰率%/日(r_l)

種名	記号	$r_e(0 \leq n \leq 50)$	R^2	$r_l(50 < n)$	R^2
ホタテガイ	P1	3.6%	0.88	1.1%	0.78
	P2	3.2%	0.93	1.7%	0.94
	P3	5.1%	0.97	1.8%	0.82
アカザラガイ	Cf	2.6%	0.92	0.9%	0.50

減毒初期及び減毒後期のホタテガイ及びアカザラガイの減衰率を表3に示した。ホタテガイ(P1-P3)では3例とも、減毒初期の減衰率 r_e は3.2~5.1%/日、減毒後期の減衰率 r_l は1.1~1.8%/日であり、減衰率は減毒初期で高く、また減毒初期の減衰率は全期間(表2)で得られ

たものよりも高い傾向にあった。決定係数は0.78~0.97と比較的よく一致した。アカザラガイ(P)については1例であるが減毒後期の減衰曲線の決定係数が0.50であったものの、ホタテガイと同様に減毒初期で減衰率が大きく、減毒後期で低下する傾向にあった。

考 察

本県牡鹿半島以において、マボヤとホタテガイを養殖している漁場は多くが同じ区画に免許されており、使用する施設についても中層はえ縄式が用いられ、垂下物の最浅水深は概ね5~10mと共通している。

2018年は牡鹿半島以北の広い範囲でホタテガイ等が麻痺性貝毒により高毒化した年である⁸⁾。しかし、マボヤについては県内では女川湾の1例のみ麻痺性貝毒が検出されるにとどまり、その毒量も規制値未満と他の貝種と比べ極めて低いレベルであった。一方、2020年は我々がモニタリングを行っている北部及び中部のいずれでもマボヤの毒化が確認され、また、いずれも規制値を超える高い毒量が検出された。

女川湾の2020年と2018年を比較すると、いずれの年も、ホタテガイ及びムラサキガイの毒量のピークは原因プランクトンの出現密度のピークに近い時期であった。その上で、原因プランクトンの最大出現密度は2018年が高かったものの、ホタテガイの最大毒量は2020年が高い傾向にあった。しかし、ムラサキガイは両年でほとんど変わらない結果であった。一方、マボヤでは2018年についてはわずかに毒化したものの、毒が検出された時期はプランクトンの出現密度のピークではなく、むしろ前半であった。これに対して2020年は他の貝種とほぼ同様にプランクトンの出現密度のピークに近い時期に最大毒量となり、両年は非常に対照的な年であった。

北部海域では2018年には、ホタテガイでいずれの海域でも過去最高の毒量を記録したが⁸⁾、気仙沼湾の大島、志津川湾の志津川、小泉伊里前湾の歌津を定点として行われたマボヤの検査では麻痺性貝毒は検出されなかった(date not shown)。一方、2020年の大沢の結果ではプランクトンのピークの密度が女川よりも遙かに高く、ホタテガイの毒量も女川の値の1.5倍以上と非常に高毒化した。しかし、マボヤの毒量はプランクトンの密度のピークやホタテガイの毒量の変化と同調的であったものの、女川の値よりも低くなった。

2020年にマボヤが毒化した要因については他の貝種と同様に*Alexandrium*属プランクトンによるものと考えられるが、同じ海域の、漁場、施設、垂下水深など共通点の多いホタテガイとマボヤにおいて、ホタテガイでは比較的プランクトンの密度に依存して毒化レベルが変わったのに対し、マボヤではプランクトンの密度に大きく影響を受けなかった。関口⁹⁾は、飼育実験で、マボヤ及び数種の二枚貝について培養した*Alexandrium tamarense*(旧名)を給餌し、同量の餌料を摂取した貝類はほぼ同量の毒を蓄積し、フィールドでの種による蓄積量の差は有毒渦鞭毛藻の摂餌量の差に起因していると推察している。しかし、これら実験室レベルと比較し、遙かに細胞密度の低いフィールドでは、このようにマボヤと他の貝種との毒化傾向に大きな差が生じており、マボヤの毒化はプランクトンの出現密度だけでない何らかの要因があるものと考えられる。本県ではマボヤの麻痺性貝毒による毒化例が少なく、毒化に影響を及ぼす要因の探求は今後の大きな課題と言える。

毒化後、どの程度で出荷が可能となるかを推定することは生産計画を検討するうえで非常に重要である。これまで、近隣では岩手県で麻痺性貝毒の減衰率を求めた結果があり、マガキで13.5 %/日、ムラサキイガイで4.2 %/日、ホタテガイ及びマボヤで2.4 %/日と報告されている¹⁰⁾。毒量がピークとなり、減少に転じた時を境に完全に原因プランクトンがいなくなることはなく、また漁場内の分布による個体差など、不確定要素が高い漁場で毒量の減衰を観察することは難しい。また、多くの場合モニタリング期間は週1回程度の検査を行っているが、減衰が早い種では十分な結果が得られないうちに毒が検出限界以下となることも多い。加えて、出荷自主規制期間中であることから検査を行わないことによる経費節減を図ることもある。従って2018年や2020年のように全県的に麻痺性貝毒が発生し、また高毒化した年でも減衰曲線を推定できるにたるデータはそれほど多くない。それでも、今回、ムラサキイガイで2例、ホタテガイで3例、アカザラガイ、マガキ及びマボヤで1例の減衰曲線を得ることができた。ホタテガイについては既報¹⁰⁾よりもやや高い3.3 %/日の減衰率を得た。また、ムラサキイガイでは2例が概ね近い値で、既報と比べるとやや高い6.7 %/日であった。マガキについては、1例のみであるが、7.9 %/日と既報よりも低い値であり、マボヤは既報よりもかなり高い値の14.5 %/日、また、アカザラガイは、今回得られた種類の中で最も低く1.7 %/日であっ

た。ホタテガイについては先行研究¹⁰⁾と同じく毒が減衰しにくい種類であると言え、同じイタヤガイ科のアカザラガイもホタテガイと同じく毒が減衰しにくい種類であると考えられる。一方、ホタテガイと比較するとマボヤの貝毒では過去の報告と比べてもかなり高い減衰率が得られた。しかし、今回、マボヤの毒化では時によっては、必ずしも他の二枚貝類のように*Alexandrium*属プランクトンの出現密度と同調的に毒化するわけではないことが明らかとなっていることから、おそらく減衰の速度についてもその毒化した状況が大きく反映されるものかもしれない。

毒量の減衰については、期間の取り方が重要であると推察される。減衰曲線を見てみると(図4)、特にホタテガイ、アカザラガイ及びマボヤでは減毒初期では推定される曲線よりも実測値が低い傾向を示し、その後減毒後期には曲線よりも実測値が高い傾向にあった。実際、ホタテガイ及びアカザラガイでは減毒初期の50日と、それ以降の減毒後期では減衰率に2ポイント程度の大きな差が見られた。マボヤでも、減毒後期では推定される減毒曲線よりも実測値が高い傾向を示しており、今回よりも遙かに高毒化した場合、減衰率はより低下し、減毒期間はかなり長くなる可能性も推察される。麻痺性貝毒については、公定法ではマウス試験が用いられている。しかし、麻痺性貝毒はそれぞれの成分で比毒性が異なっており¹¹⁾、アカガイのように比毒性の高いsaxitoxin(STX)の割合が増加することによりマウス毒性の増強が確認されたと考えられる事例も報告されており¹²⁾、毒量の減衰が必ずしも毒成分の総量とは限らないことから、今後、マウス毒性だけでなく、毒成分の代謝も含めた検討が必要となるだろう。

要 約

2020年に本県において初めてマボヤで規制値を超える毒化が確認された。2018年にも本県の広い範囲で麻痺性貝毒が発生したが、マボヤの規制値を超える毒化は確認されなかったことから当時の状況との比較を行った。

- 1) 女川湾では原因プランクトンの出現密度は2020年よりも2018年で高かったが、二枚貝類の毒量の増加はプランクトンの出現と同調的で、ムラサキイガイではほぼ同程度の毒量、ホタテガイでは2020年が高い毒量であった。
- 2) 2018年の女川湾ではマボヤは高毒化に至らず、また、

- 毒量の増加もプランクトンの出現状況や他の二枚貝類の毒化と同調性は見られなかったが、2020年の女川湾でのマボヤの毒化はムラサキイガイやホタテガイとほぼ同調的であった。
- 3) マボヤの毒量の減衰率は既報よりも大きく、また、毒量の減衰率は、減毒初期と減毒後期で変わる可能性が考えられた。
- 4) 以上より二枚貝類と比較してマボヤの毒化は特徴的であり、詳細な検討については今後の課題である。

参考文献

- 1) 飯岡真子(2017) 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, 27-35, 恒星社厚生閣, 東京都
- 2) 田口滋之, 星合愿一, 伊藤章 (1994) 東北沿岸域における貝毒問題, 沿岸海洋研究ノート, 32, 55-67.
- 3) 農林水産統計 (2017) 農林水産省, 東京
- 4) 神山孝史 (2017) 第7章我が国の二枚貝の毒化と貝毒原因プランクトンの海域による特徴. 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, 109-126, 恒星社厚生閣, 東京
- 5) 加賀新之介, 関口勝司, 佐藤繁, 児玉正昭 (2003) 大船渡湾における二枚貝及びマボヤの麻痺性貝毒による毒化状況、岩手水技セ研報, 3, 63-70
- 6) 田邊 徹, 千葉 美子, 澁谷 和明, 庄子 充広, 大内 亜沙子, 佐藤 智子(2020) 下痢性貝毒によるマボヤ*Halocynthia roretzi*の毒化と毒の器官偏在, 日水誌, 86, 476-482
- 7) Genich Hoshiai, Toshiyuki Suzuki, Takashi Kamiyama, Makoto Yamasaki and Kazuhikko Ichimi (2003) Water temperature and salinity during the occurrence of *Dinophysis fortii* and *D. acuminata* in Kesenuma Bay northern Japan. *Fish. Sci.*, 69, 1303-1305
- 8) 田邊徹, 加賀克昌 (2020) 三陸沿岸海域における麻痺性貝毒の発生及び宮城県沿岸における原因プランクトンシストの残存状況, 月刊海洋, 52(4), 171-181
- 9) 関口勝司 (2003) 麻痺性貝毒による貝類の毒化機構に関する研究, 岩手水技セ研報, 3, 25-61
- 10) 田邊徹, 加賀克昌 (2017) 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, 127-139, 恒星社厚生閣, 東京
- 11) 鈴木敏之 (2017) 第1章貝毒原因プランクトンによる二枚貝の毒化と監視体制. 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, 9-26, 恒星社厚生閣, 東京
- 12) 山本圭吾, 及川寛(2017)大阪湾で麻痺性貝毒により毒化したアカガイ, トリガイにおける毒量及び毒成分の経時変化と種間の差異, 83, 589-598