

沖縄県におけるへい死魚調査事例－2022年度，2023年度－

知花睦・城間一哲・安里モモ・糸洲昌子・井上豪・友寄喜貴・座間味佳孝*

Investigation of Fish Kills in Okinawa (FY2022 , FY2023)

Chikashi CHIBANA, Ittetsu SHIROMA, Momo ASATO, Shoko ITOSU,
Go INOUE, Nobutaka TOMOYOSE and Yoshitaka ZAMAMI*

要旨：2022年度から2023年度にかけて，当研究所には6件のへい死魚に係る分析依頼があり，そのうち3件は原因を推定することができた．1件目は，採水試料の溶存酸素濃度とアンモニア態窒素濃度を「水質指標を用いたロジスティック回帰モデル」に適用したところ，遊離アンモニアによる呼吸障害と推定された．2件目は，へい死魚の内臓から消毒薬の主成分が検出されたことから，化学物質による急性中毒と推定された．3件目は，ダム貯水池内で吹き寄せられたアオコの密度が高まり，夜間に溶存酸素が急激に消費されたことによる酸素欠乏と推定された．

Key words：へい死魚，遊離アンモニア，呼吸障害，消毒薬，急性中毒，アオコ，酸素欠乏

I はじめに

本県におけるへい死魚事例は，2017年頃までは年間10～20件程度で推移していたが，2018年以降は年間数件程度と減少傾向になっている．1993～2021年度の過去29年間に，本県で確認されたへい死魚事例は388件であった．その内訳は，農薬等の化学物質による急性中毒が81件（21%），遊離アンモニア等による呼吸障害が65件（17%），その他（干上がり（瀬切れ）や水温の急激な低下による魚の温度順応の不適合^{1,2)}等）が25件（6%），原因不明が217件（56%）となっている．当研究所では，へい死魚が発生した際，保健所からの依頼を受けて原因究明を図るための分析等を実施している．本報では，2022年度から2023年度にかけて，当研究所に分析依頼のあった6件のへい死魚事例について報告する．

II 調査

1. 概況調査と溶存酸素濃度等の測定

本県では，へい死魚が発生した際，通報を受けた管轄の保健所が現場へ行き，へい死魚検体のサンプリングや採水，へい死魚発生現場周辺の概況調査等を行っている．その際，簡易水質検査として，水温や水素イオン濃度（pH），溶存酸素濃度（DO）等の測定を行い，アンモニア態窒素や硝酸態窒素等のバックテストを実施している．

2. 農薬類等の分析

当研究所では，へい死魚が発生した際，主に農薬類の分析を実施している．へい死魚検体及び採水試料中の農薬類の分析には，島津製作所製 GC-MS QP2010Plus を使

用し，分析方法は，既報³⁻⁵⁾に準じて実施した．また，必要に応じて，島津製作所製イオンクロマトグラフによるアンモニア態窒素の再分析，ピーエルテック社製オートアナライザーによる全窒素，全燐等の分析も行った．

3. 消毒薬の分析

消毒薬の分析には，Agilent Technologies 製 LC/MS/MS 6460 を使用し，分析方法は，剣持らの報告⁶⁾を参考に実施した．なお，当研究所では，消毒薬成分の標準溶液を所有していなかったため，10%製剤である消毒薬の主成分濃度を 100,000 mg/L (ppm) として，消毒薬そのものを希釈して検量線を作成し，半定量分析を行った．試料の前処理方法及び半定量値の算出方法を以下に示す．

- (1) 採水試料は，固相カラム（Oasis HLB Plus）を使用して 100 倍に濃縮した後，分析を行った．
- (2) へい死魚検体は，エラ，筋肉及び内臓の各部位を 0.5 g 分取し，アセトニトリル 5 mL に一晚浸漬してフィルターろ過した抽出液を分析した．
- (3) 半定量値は，消毒薬の主成分である〔モノ，ビス（塩化トリメチルアンモニウムメチレン）〕-アルキル（C₉₋₁₅）トルエンのモノ体（C₁₁），モノ体（C₁₂）及びモノ体（C₁₃）の検量線をそれぞれ作成し，得られた各分析値の平均値とした．

III 事例概要，結果及び考察

へい死魚事例の概要を表1に，分析結果を表2に示す．考察では，各事例の溶存酸素濃度とアンモニア態窒素濃度を，玉城らの報告⁷⁾による「水質指標を用いたロジス

*現 沖縄県環境部環境保全課

ティック回帰モデル」に適用して要因判別を行った。

1. 2022年度のへい死魚調査事例

(1) 報得川 (河口付近)

へい死魚 (ドロクイ) のエラは淡紅色で白濁が若干進んでいたが、眼球は黒く光沢も残っていたため、死後数時間程度⁸⁾と推測された。溶存酸素濃度は 4.7 mg/L、アンモニア態窒素のバックテストは 0.2 mg/L であり、へい死魚検体及び採水試料から農薬類は検出されなかったため、へい死魚の原因は不明であった。

(2) 報得川 (与那川橋付近)

当研究所に搬入されたへい死魚 (ティラピア) は腐敗が進行していたため、死後数日以上が経過していたと推測されたが、南部保健所の概況調査では、へい死魚発生現場の少し下流の水面付近で、口をパクパク開けている生魚が確認されていた。溶存酸素濃度は 4.0 mg/L、再分析したアンモニア態窒素濃度は 7.9 mg/L であり、回帰モデルの外側 (死魚発生オッズ大) に位置したこと (図 1)、へい死魚検体及び採水試料から農薬類は検出されなかったことから、へい死魚の原因は遊離アンモニアによる呼吸障害⁹⁾と推定された。

当該へい死魚発生現場付近においては、過去にも 5 件以上のへい死魚事例が確認されている。当時の南部保健所の聞き取り調査によると、畜舎排水の臭いがする等の情報があったため、畜舎排水による水質汚濁の可能性が推測された。そこで全窒素及び全燐を分析したところ、全窒素は 10 mg/L、全燐は 2.1 mg/L であった。通常、全窒素及び全燐に関する環境基準は湖沼や海域に適用されるため河川のデータは少ないが、県自然保護課が作成したオニヒトゲ総合対策事業報告書の河川における水質測定結果¹⁰⁾ (全窒素: 0.2–3.2 mg/L、全燐: 0.004–0.4 mg/L) と比較すると高い値であった。

(3) 比謝川 (松本都市緑地付近, カフンジャー川)

中部保健所は通報を受けた当日に現場確認へ行ったが、最初にへい死魚が確認されてから 2 日が経過していた。溶存酸素濃度は 5.9 mg/L、再分析したアンモニア態窒素濃度は <0.1 mg/L であり、採水試料から農薬類は検出されなかったため、へい死魚の原因は不明であった。

当該へい死魚発生現場付近においては、過去にも 10 件以上のへい死魚事例が確認されている。過去の原因は、農薬等の化学物質による急性中毒や、酸素欠乏、呼吸障害等であったが、約半数は原因が不明であった。

(4) 港川 (名護市下水処理場付近)

名護市役所から北部保健所へ「前日に港川でへい死魚が発生し、冷凍保存している。」、「(数日前から、港川近

くの名護市下水処理場が鳥インフルエンザ発生に伴い、車両の消毒ポイントとして使用されていたため、) 消毒薬の影響が懸念される。」との通報があった。北部保健所は通報を受けた当日に現場確認へ行ったが、へい死魚は確認されず、川の異変等も確認されなかった。当研究所では、冷凍保存されていたへい死魚検体、北部保健所が現場確認の際に採水した試料、更に、名護市役所から提供された消毒薬の分析を行った。その結果、へい死魚 (ユゴイ) の内臓から消毒薬の主成分が半定量値 0.4 µg/g-wet 検出された。山崎の報告¹¹⁾では、当該消毒薬による魚毒性が示唆されていることから、へい死魚の原因は、消毒薬を摂取したことによる急性中毒と推定された。

一般的に、河川において農薬類によるへい死魚が発生した場合、農薬類はへい死魚のエラに残存することが報告¹²⁾されている。一方、魚の体液の濃度調節のしくみは淡水魚と海水魚で異なり、海水魚は多量の海水を飲み込んで体液中の塩類濃度を調節する¹³⁾ことが知られている。今回、へい死魚 (ユゴイ) の内臓のみから消毒薬が検出されたが、その理由については、汽水域に生息するユゴイは体液の濃度調節をするために多量の海水を飲み込むと考えられ、飲み込んだ海水に消毒薬が含まれていた可能性が示唆された。北部保健所の聞き取り調査によると、へい死魚発生時、現場近くの名護市下水処理場内の道路では、当該消毒薬を使用し、屋外で車両の消毒作業が行われていたため、何らかの理由で消毒薬が周辺海域等に飛散又は流出し、それをユゴイが摂取した可能性が示唆された。そのため、このような消毒薬等を使用する際には、取り扱いに注意し、周辺環境への影響に配慮する必要があると思われた。

2. 2023年度のへい死魚調査事例

(1) サヨリ公園遊歩道横水路 (中城湾港新港地区付近)

中部保健所は通報を受けた当日に現場確認へ行ったが、へい死魚 (イセゴイ) は腐敗がかなり進行しており、腐敗臭も酷かったため、死後数日以上が経過していたと推測された。溶存酸素濃度は 5.6 mg/L、アンモニア態窒素のバックテストは 0.2 mg/L であり、へい死魚検体及び採水試料から農薬類は検出されなかったため、へい死魚の原因は不明であった。

(2) 金武ダム (ダム貯水池内)

県環境保全課から中部保健所へ、金武ダムにてへい死魚事例が発生したとの情報提供があり、中部保健所は通報を受けた当日に現場確認へ行った。へい死魚発生地点から金武ダムの幸地橋までは約 20 m の高さがあり採水道具が届かなかったため (図 2)、採水は発生地点から上

流へ約100 mの地点で行われた。溶存酸素濃度は8.9 mg/L、アンモニア態窒素のバックテストは < 0.5 mg/L であり、へい死魚検体から農薬類は検出されなかった。

後日、中部保健所が入手した分析結果速報（沖縄総合事務局 北部ダム統合管理事務所 金武ダム管理支所作成）によると、以下の考察が記載されていた。へい死魚の原因は、「南風で吹き寄せられたアオコの密度が高まり、それが夜間に呼吸することにより、幸地橋上流の湾部が急激に貧酸素化し、魚類へい死が発生した可能性が考えられる。」。へい死魚発生時の状況は、「確認したへい死個体は識別できる範囲では全て大型のティラピアであり、小型個体は確認されなかった。」、「(空気呼吸できる) プレコと思われる個体が泳いでいる姿が複数個体確認された。」、「水面のアオコはアオコレベル3程度で水面にアオコが広がっている状態であった。」。水尾らの報告⁸⁾によると、大きめの魚は絶対量として必要な酸素量が小さな魚より多いため、死亡した魚が比較的大型のもので小型のものが少ない場合は、窒息死の疑いが強いとされている。一方、急性毒性の場合は、小さい魚のほうが感受性が強く影響を受け易い場合が多いとされている。当研究所がへい死魚の連絡を受けた当初は、アオコ¹⁴⁾から生成される有毒物質（マイクロキスチン-LR¹⁵⁾の可能性も考えられたが、分析結果速報の内容と水尾らの報告⁸⁾を勘案すると、急性毒性の可能性は低いと考えられ、当研究所の見解としても、へい死魚の原因は、溶存酸素濃度の低下による酸素欠乏と推定された。

IV まとめ

2022年度から2023年度にかけて、当研究所に分析依頼のあったへい死魚事例は6件であった。1件は遊離アンモニアによる呼吸障害、1件は消毒薬による急性中毒、1件は溶存酸素濃度の低下による酸素欠乏と推定された。残り3件については、原因が不明であった。

<謝辞>

当該調査を実施するに当たり、へい死魚発生現場における概況調査やへい死魚検体採取等を実施いただいた各保健所職員の方々、当研究所の分析結果等を取りまとめ、関係各機関へ周知いただいた環境保全課職員の方々、また、消毒薬の分析にご協力いただいた当研究所衛生科学班職員の方々、消毒薬の毒性に関する文献をご提供いただいた元鳥取県西部家畜保健衛生所の山崎浩一氏、更に、分析結果速報等をご提供いただいた金武ダム管理支所職員の方々に、この場を借りて深謝いたします。

V 参考文献

- 1) 玉城不二美・仲宗根一哉・渡口輝・大城洋平・井上豪・金城孝一・天願博紀・宮城俊彦（2009）沖縄県の公共用水域におけるへい死魚調査事例－2008年度－。沖縄県衛生環境研究所報，43：203－205。
- 2) 工藤幸子・福田芳生・藤代良彦・大井清（1978）塩田川における魚の大量死の事例について。千葉衛研報告，1：41－44。
- 3) 玉城不二美・比嘉榮三郎・渡口輝・大城洋平・吉田直史・金城孝一・安里直和・上地さおり・宮城俊彦（2006）沖縄県の公共用水域におけるへい死魚調査事例－2005年度－。沖縄県衛生環境研究所報，40：175－178。
- 4) 藤崎菜津子・塩川敦司・當間龍一・小渡亜紗美・玉城不二美（2016）沖縄県における魚類のへい死事故と農薬の検出状況について（2007～2015年度）。沖縄県衛生環境研究所報，50：98－102。
- 5) 城間一哲・比嘉元紀・井上豪・知花睦・座間味佳孝・比嘉彩也香・宮城真希子（2022）沖縄県におけるへい死魚調査事例－2021年度－。沖縄県衛生環境研究所報，56：102－108。
- 6) 剣持堅志・浦山豊弘・吉岡敏行・中桐基晴・藤原博一（2007）環境中超微量有害化学物質の分析，検索技術の開発に関する研究－LC/MSを用いた鳥インフルエンザ関連消毒剤の分析－。岡山県環境保健センター年報，31：45－51。
- 7) 玉城不二美・仲宗根一哉・宮城俊彦（2011）水質指標を用いたロジスティック回帰モデルによる魚類のへい死事故の要因判別。全国環境研会誌，36(4)：178－186。
- 8) 水尾寛己・二宮勝幸・樋口文夫（1991）魚の死亡事故の原因究明手法。横浜市公害研究所公害研資料，魚の死亡事故の原因究明に関する研究報告書，91：109－123。
- 9) 斎藤直己・北村雅美・藤田和夫（2005）魚のへい死事象における水質調査－とくにため池での事例について－。全国環境研会誌，30(1)：33－39。
- 10) 金城孝一・山川英治（2017）オニヒトゲ大量発生メカニズムの解明に関する調査研究業務。沖縄県自然保護課，< https://www.pref.okinawa.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/004/630/h29oni3-1.pdf >（2024年7月アクセス）
- 11) 山崎浩一，消毒薬が環境に及ぼす影響と対策（最終報）～消毒薬の毒性はこう減らす～。鳥取県倉吉家

- 畜保健衛生所, < <https://www.pref.tottori.lg.jp/secure/831113/01.pdf> >. (2024年7月アクセス)
- 12) 石原宏明・宮崎康平・齊藤弘毅・木野世紀 (2020) 魚体エラ中の農薬蓄積性について. 熊本県保健環境科学研究所報, 50 : 35-44.
- 13) 高校生物基礎「魚類の体液濃度の調節のポイント」. TEKIBO, < <https://tekibo.net/biology-88/> >. (2024年7月アクセス)
- 14) アオコってなに?ーラン藻の大発生についてもっと知るためにー. 京大大学生態学研究センター, < <https://www.env.go.jp/policy/kenkyu/suishin/gaiyou/pdf/aokobook120606.pdf> >. (2024年7月アクセス)
- 15) ミクロキスチン-LR の要検討項目設定経緯について. 環境省, < <https://61.125.139.30/content/900547887.pdf> >. (2024年7月アクセス)

表1. へい死魚事例の概要 (2022年度, 2023年度).

No.	へい死魚発生日 (発生推定日)	通報日 (= 試料採取日)	へい死魚発生場所	魚種 (死魚概数)	原因
1	2022/8/26	2022/8/26	報得川 河口付近 (糸満市西崎)	アシチン (ドロクイ), 5-15 cm, 100匹以上	不明
2	2022/8/29	2022/8/30	報得川 与那川橋付近 (八重瀬町東風平)	ティラピア, 15-30 cm, 20匹	遊離アンモニアによる呼吸障害
3	2022/9/11	2022/9/13	比謝川 松本都市緑地付近 (沖縄市松本, 美里)	ティラピア, 小~大, 50-100匹	不明
4	2022/12/21	2022/12/22	港川 名護市下水処理場付近 (名護市港)	ミジユン, 100匹以上 ユゴイ	消毒薬による急性中毒
5	2023/9/24	2023/9/25	サヨリ公園遊歩道横水路 (沖縄市古謝)	ティラピア, 15 cm, 10匹以上 イセゴイ, クロホシマンジュウダイ	不明
6	2024/2/21	2024/2/22	金武ダム ダム貯水池内 (金武町金武)	ティラピア, 25 cm, 100匹以上	溶存酸素濃度の低下による酸素欠乏

表2. へい死魚事例の分析結果 (2022年度, 2023年度).

No.	各保健所の測定結果									当研究所の分析結果										
	水温 (°C)	pH	BOD	COD	DO	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N		農業類				消毒薬				T-N (mg/L)	T-P	
										採水試料	エラ	筋肉	内蔵	採水試料	エラ	筋肉	内蔵			
1	35.0	8.0	4.0	5	4.7	0.2	0.05	0.5		不検出	不検出	不検出	不検出	-	-	-	-	-	-	-
2	30.0	7.8	13	5	4.0	>10 ^{*1}	0.2	5		不検出	不検出	不検出	- ^{*3}	-	-	-	-	10	2.1	
3	30.0	7.5	3.6	5	5.9	0.5 ^{*2}	0.5	6		不検出	-	-	-	-	-	-	-	3.0	0.35	
4	21.0	6.9	-	0.5	6.8	<0.2	0.005	<0.2		-	-	-	-	不検出	不検出	不検出	検出	-	-	0.4 µg/g-wet
5	30.5	7.3	3.4	5	5.6	0.2	0.05	1		不検出	不検出	不検出	不検出	-	-	-	-	-	-	-
6	25.0	8.6	-	0	8.9	<0.5	<0.005	<1		-	不検出	不検出	不検出	-	-	-	-	-	-	-

「-」は、未測定、未分析を表す。

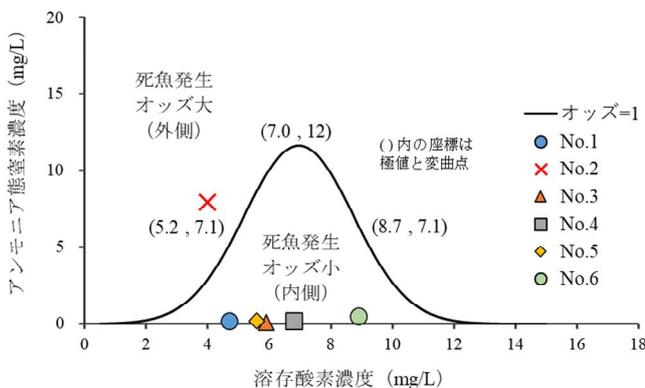


図1. 事故時 (農薬等を含む) の溶存酸素・アンモニア態窒素値の分布 (玉城らの報告⁷⁾に適用). 図1中のNo.は, 表1, 2中のNo.と一致.



図2. へい死魚発生時の金武ダムの写真. (提供: 中部保健所)