

1 その消毒薬は大丈夫？消毒薬が環境に及ぼす影響と対策（第2報）

倉吉家畜保健衛生所 ○山崎浩一

1 はじめに

高病原性鳥インフルエンザ（あるいは低病原性鳥インフルエンザ。以下併せて「鳥インフルエンザ」という。）が発生した地域では、発生農場又は各消毒ポイントにおいて、大量の消毒薬が使用されるに伴い飛散、流出することになるため、当該地域の関係者から消毒薬の安全性に関して質問を受けるケースがしばしば発生する。鳥インフルエンザウイルスに対する効果^{1, 2, 4, 6)}、家畜等に対する安全性の知見や金属に対する腐食性の試験等の報告^{1, 3, 14)}はいくつかあるが、内水面漁協や耕種農家に関係する魚類や植物に対する安全性に関する知見は乏しい^{2, 5, 14)}。

そこで筆者は、特に消毒薬が頻繁に使用される消毒ポイントにおける車両消毒を想定し、金属のみならず植物や魚類に対する安全性、危険性を検証することとした。

2 試験方法

(1) 調査項目

鳥インフルエンザウイルス対策用として一般的に使用される消毒薬が植物、魚類、金属に対して与える影響（毒性、金属腐食性）について検証試験を行った。

また、試験を実施する中で、逆性石鹼（塩化ジデシルジメチルアンモニウム）は魚類に対して毒性を有することが明確となったため、その毒性の弱毒化についても試験を実施した。

さらに、消毒薬を厳寒期に使用することを前提に、国のレギュラトリーサイエンス新技術開発事業において調査^{3, 4)}された凍結防止剤（塩化カルシウム）を添加した場合の影響についても併せて試験を実施した。

(2) 材料と方法

① 植物に対する毒性試験

ア 水稻苗を用いた試験

(ア) 水稻苗

容量約7ℓのバケツに、水稻苗を移植し、一般的なバケツ稲の育成方法に従って水稻苗を育苗した。移植後は23日目から試験に供した。

(イ) 消毒薬等

試験に供した消毒薬等は逆性石鹼C剤（塩化ジデシルジメチルアンモニウム製剤）、逆性石鹼A剤（主成分はC剤と同じ）、複合塩素V剤（主成分：ペルオキソ一硫酸水素カリウム、塩化ナトリウム）を中心に、比較対照として、炭酸ナトリウム（以下「炭酸ソーダ」という。）水溶液、重曹水を用い、対照区としては水道水を用いた。その濃度、希釈倍率、添加物等は表1のとおり。なお、凍結防止剤とし

て塩化カルシウムを添加した試験区における添加量は全体量の 25 % W/V とした。

表1 水稻苗に対する毒性試験で用いた消毒薬等

消毒薬等	濃度・希釈倍率	添加物等	pH
水道水	—	—	6.5
逆性石鹼C	水道水希釈 × 400	—	7.0
		0.1%NaOH	11.6
		25%CaCl ₂	6.3
逆性石鹼A	× 200	—	
		25%CaCl ₂	
複合塩素V	× 500	—	3.0
		25%CaCl ₂	
炭酸ソーダ	4%	—	11.5
重曹	4%	—	8.0
食塩水	4%	—	

注1)消毒薬の濃度は、低温時の使用を想定し、濃度を高めに設定

注2)凍結防止剤としては、CaCl₂(塩化カルシウム)を使用

(ウ)薬剤投入方法

バケツ稲の表層水約 2 ℓの 1 割量に相当する 200m ℓを 1 日 1 回表層水中に投入した(写真 1)。投入は 21 日間(21 回)継続し、その後は通常栽培を行い、完全に枯死するかあるいは結実するまで観察を継続した。

凍結防止剤(塩化カルシウム)は各試験区とも最初の 2 日間のみ添加し、その後は各消毒薬のみをそれぞれ投入した。



写真 1 バケツ稲への薬剤投入

(エ)栽培土壌の電気伝導度(EC)の測定

試験開始 22 日目(薬剤最終投入日の翌日)にバケツ稲の栽培土壌を採取し、土壌中の塩類濃度の指標である電気伝導度(EC)を測定して、それぞれの区の枯死の程度と比較した。

試験方法は、定法のとおり、サンプル土壌 20 g を採取し、イオン交換水 100 ml で希釈、震とうし、ECメーター(TOA CM-14P)により測定した。

イ ブロccoli (秋冬野菜)を用いた試験

(ア)ブロッコリー

鳥取県内でも栽培量の多い秋冬野菜であるブロッコリーを試験の対象とした。プランターに苗を定植後、48 日間育苗したブロッコリーを供試した。

(イ) 消毒薬等

試験に供した消毒薬等は逆性石鹼C剤、逆性石鹼A剤、複合塩素V剤であり、参考比較のために、消石灰粉末を散布した区も設定した。濃度、希釈倍率は表2のとおり。

表2 ブロッコリーに対する噴霧試験で用いた消毒薬等

消毒薬等	濃度・希釈倍率	添加物等	pH
水道水	—	—	6.5
逆性石鹼C	水道水希釈 × 400	—	7.0
		25%CaCl ₂	6.3
逆性石鹼A	× 200	—	
複合塩素V	× 500	—	3.0
消石灰 (工業用・農業用)	粉末	—	

(ウ) 薬剤噴霧方法

1日1回葉面全体に各液を噴霧し、21日間(21回)継続した。その後は通常栽培を行い、観察を継続した(写真2)。

凍結防止剤(塩化カルシウム)は、最初の4日間のみ添加し、その後は逆性石鹼Cのみを噴霧した。

消石灰は、葉面を水道水で濡らした後、葉面に散布した。

各液(消石灰は粉末)を毎日1回噴霧(散布)
噴霧は21日間継続(11月中)。その後は通常栽培
凍結防止剤(CaCl₂)は最初の4日間のみ



写真2 ブロッコリーへの噴霧試験

② 魚類に対する毒性試験及び弱毒化試験

ア メダカに対する毒性試験

(ア) 使用した魚類

市販のメダカを試験開始時に各区10～13匹程度となるよう準備し、12ℓの水槽水中で2～3日飼育後試験に供試した。

(イ) 消毒薬等

試験に供した消毒薬等は逆性石鹼C剤、逆性石鹼A剤、複合塩素V剤であり、参考比較のために、普通洗剤2種類(台所洗剤、カリ石鹼)、次亜塩素酸ソーダ、対照区として水道水を設定した。凍結防止剤(塩化カルシウム)を添加した試験区は最初の2日間のみ添加とし、その後は逆性石鹼のみとした(表3)。

普通洗剤を比較のために使用した理由は、陽イオン(カチオン)界面活性剤である逆性石鹼に対して、陰イオン(アニオン)又は非イオン(ノニオン)界面活性剤である普通洗剤自体の毒性を確認するとともに、次に設定した弱毒化試験において陽イオン界面活性剤と混合した場合の影響を確認しておくためである。

表3 メダカに対する毒性試験で用いた消毒薬等

消毒薬等	濃度・希釈倍率	添加物等
水道水	—	—
逆性石鹼C	× 400	
	× 400	25%CaCl ₂
	× 200	—
	× 4,000	—
逆性石鹼A	× 200	—
複合塩素V	× 500	—
次亜塩素酸ソーダ	200ppm	—
台所洗剤	× 200	—
カリ石鹼(液体洗剤)	× 200	—

注1)表中の濃度・希釈倍率は投入前の濃度。

水槽投入後の最終希釈倍率は、さらにその100倍希釈(ただし日々蓄積される)。

(ウ)薬剤投入方法

水槽水 12 ℓに対する 1 %量の 120m ℓを 1 日 1 回水槽水中に投入し、10 日 (10 回) 投入を継続した。最終投入日 (試験開始 10 日目) の翌日まで観察し、飼育メダカが途中で全て死滅した試験区はその時点で試験終了とした。

イ 逆性石鹼のメダカ毒性に対する弱毒化試験

(ア)弱毒化の方法

上記アの毒性試験において、逆性石鹼が魚類に対して毒性を有することが判明したため (結果は後述)、逆性石鹼の魚毒性の低減を目的に、陰イオン界面活性剤 (カリ石鹼)、非イオン界面活性剤 (台所洗剤)、並びに毒性試験において死亡魚数が少なくなった塩化カルシウムを各々混和した場合の弱毒化について検証を行った。

(ウ)投入方法

逆性石鹼C剤の 400 倍希釈液 (混合後の投入前最終希釈倍率) に対して、台所洗剤 (界面活性剤濃度 42 %) は界面活性剤自体の濃度が同程度となるように混合 (1,600 倍希釈)、カリ石鹼 (液剤) は投入前最終希釈倍率が 400 倍及び 80 倍を設定、塩化カルシウムは投入前最終濃度が 20 %と 25 %を設定した (表 4)。

各液を混合後、5 分間程度静置し、毒性試験と同様、1 日 1 回各混合液 120m ℓを水槽水中に投入し、各区のメダカが全て死亡するまで投入を継続した。

表4 逆性石鹼の弱毒化試験に用いた資材

消毒薬	弱毒化のために混合した資材	濃度・希釈倍率
逆性石鹼C (× 400希釈)	市販台所洗剤	最終× 1,600
	カリ石鹼	最終× 400
	カリ石鹼	最終× 80
	塩化カルシウム CaCl ₂	最終20%
	塩化カルシウム CaCl ₂	最終25%

注1)表中の濃度・希釈倍率は水槽投入前の濃度。水槽中の最終希釈倍率はさらにその100倍

③金属に対する腐食性試験

ア 金属を継続的に浸漬する試験

(ア)使用した金属

市販の鉄クギ（長さ 10 cm程度）を浸漬する消毒液ごとに2本ずつ準備し、そのうち1本は無塗装のまま使用、他の1本は車両塗装用の塗料を塗布し十分に乾燥後使用した。

(イ)試験方法

塗装及び無塗装のクギを各消毒液に21日間浸漬し、22日目以降は水洗することなく、空气中に5か月間放置した。使用した消毒液は表5のとおり。

表5 鉄クギの腐食性試験で用いた消毒薬等

消毒液等	濃度・希釈倍率	添加物等	pH
水道水	—	—	6.5
逆性石鹼C	× 400	—	7.0
		0.1%NaOH	11.6
		25%CaCl ₂	6.3
逆性石鹼A	× 200	—	
		25%CaCl ₂	
複合塩素V	× 500	—	3.0
		25%CaCl ₂	
食塩水	4%	—	

イ 1日1回のみ浸漬する試験

(ア)使用した金属

上記アの試験同様、車両塗装用塗料の塗装クギ各1本を使用した。

(イ)試験方法

消毒ポイントにおいて車両が消毒される条件を仮想し、塗装クギを各消毒液に1日1回浸けては引き上げる作業をを21日（21回）繰り返し、22日目に水洗し、以後5か月間空气中に放置した。使用した消毒液は上記アと同様である。

3 結果

(1)水稲苗を用いた試験

各消毒薬等を投入したバケツ稲のうち、水道水（対照区）、逆性石鹼C剤、NaOH 加逆性石鹼C剤、逆性石鹼A剤はほとんど影響がなく（写真3（最終投入日の翌日の写真））、栽培開始から5か月後にはそれぞれ稲穂が結実した。

重曹水と炭酸ソーダ、食塩水と複合塩素V剤の試験区はそれぞれ同様の枯れ方を経て、消毒薬等投入終了後2～3週間のうちに全て枯死した。試験区のうち、最も枯死の速度・程度が早く重篤であったのは凍結防止剤としての塩化カルシウムを添加した区であった。塩化カルシウム添加区は逆性石鹼C、A及び複合塩素剤とも同様の枯れ方であった（写真4（最終投入日の翌日の写真））。

逆性石鹼のみ投入した区では稲は結実したが、バケツ中の水の中には、対照区（水道

水) で確認されたような微小水生動物や水生雑草は全く認められず、水生動植物への有害作用が示唆された (写真 5, 6)。



(最終投入の翌日(22日目)の左から水道水、逆性石鹼C、NaOH加逆性石鹼、逆性石鹼A)

写真 3 枯死の程度が小さい区



左から重曹、炭酸ソーダ



食塩水



複合塩素V



左から塩化カルシウムを添加した逆性石鹼C、逆性石鹼A、複合塩素V

写真 4 枯死の程度が大きい区



↑【コントロール 21日目】
水の中には、雑草や小型の水生動物が多い

写真5 対照区の水中



↑【逆性石鹼Cのみ 21日目】
水の中に雑草や水生動物は全く認められない(水稲は生育中)

写真6 逆性石鹼C区の水中

栽培土壌の電気伝導度と枯死の関係は、表6に示すとおりである。

電気伝導度は、特に炭酸ソーダ及び食塩水投入区において高い値を示したが、枯死の程度が最も強く現れたのは塩化カルシウムを添加している各区であった。塩化カルシウム添加区の電気伝導度は各区とも極端に高い値ではなく、これは添加時期が最初の2日間に限定され、電気伝導度測定日との間に時間が経過していることも影響していることが考えられた。今回の試験においては、電気伝導度と枯死の程度との間に明確に相関を示すことはできなかった。

表6 パケツ稲栽培土壌の電気伝導度(EC)と枯死の程度との関係

消毒薬等	濃度・希釈倍率	添加物等	EC値(ms/cm)	枯死の程度
水道水	—	—	0.08	—
逆性石鹼C	× 400	—	0.06	—
		0.1%NaOH	0.26	—
逆性石鹼A	× 200	—	0.08	—
		25%CaCl ₂	1.33	++++
複合塩素V	× 500	—	0.21	+++
		25%CaCl ₂	1.35	++++
炭酸ソーダ	4%	—	4.99	++
重曹	4%	—	2.19	++
食塩水	4%	—	5.30	+++

参考)水稲の一般的な耐性範囲(EC値)は、1.6ms/cm以下

(2) ブロッコリーを用いた試験

各消毒薬等を噴霧期間中及び噴霧試験終了後1か月経過した時点(写真7)においても、各試験区のブロッコリー、特に花蕾(可食部)の生育状況とも各区に差は認められなかった。

対照区(水道水)では、葉面散布をしても水は葉面で弾かれてしまうが、逆性石鹼各区及び複合塩素剤を散布した区では、界面活性剤の表面張力低下作用により、葉面の液体は弾かれず、ベッタリと濡れた様子を示したが、生育への影響は肉眼的には認められ

なかった。

消石灰散布区では、消石灰が葉面に付着した状態が継続したが、所謂「石灰灼け」に相当するような現象は認められなかった。他の区と比較して、若干葉の生育が粗に見られたが、花蕾の生育に差は認められなかった。一般的に、石灰を植物に多用し過ぎると（土中に石灰が多くなると）、土壌が固くなり易く根の養分吸収を妨げることから、葉の生長に若干影響があったことも考えられる。



写真7 ブロッコリー噴霧試験結果

(3) メダカに対する毒性試験及び弱毒化試験

① 毒性試験

メダカに対する毒性は、特に高濃度の逆性石鹼 C 又は A において顕著であった(表 7)。投入前最終希釈倍率が 200 倍希釈の各逆性石鹼の試験区においては、投入 3 時間後には全てのメダカが死滅する程強い毒性を示し、200ppm の次亜塩素酸ソーダの試験区よりもメダカの死滅が早かった。400 倍希釈の逆性石鹼 C においても、投入 1～2 時間後には、水面に浮いたままのメダカや浮沈を繰り返すメダカ等、異常行動を示すメダカが一部に認められ、全体的にも動きが緩慢となっていた。ただし、希釈倍率を 4,000 倍にした逆性石鹼 C の投入区においては、死亡魚数はほとんど増加しなかった。

塩化カルシウムを添加した逆性石鹼 C 区においては、逆性石鹼のみの試験区と比較してメダカの死亡数の推移が緩やかで、逆性石鹼の毒性を減弱する可能性が示唆された。

複合塩素剤投与区では、死亡メダカの数はずえず、肉眼的にはメダカへの毒性は明確には現れなかった。

台所洗剤投与区及びカリ石鹼投与区においては、他の試験区に比べ、水槽水の濁

りが顕著に進んでいったが、メダカに対する毒性は明確には現れなかった。

表7 各消毒薬等のメダカに対する毒性試験結果

消毒薬等	濃度・希釈倍率	経過日数ごとの生残匹数												
		開始時	3時間後	1日後	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
水道水	—	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11
逆性石鹼C	× 400	20	20	15	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	× 400 + 25%CaCl ₂	10	10	10	10	7	5	5	3	3	2	2	2	
	× 200	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	× 4,000	10	10	10	10	9	9	9	9	8	8	8	8	
逆性石鹼A	× 200	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
複合塩素V	× 500	12	12	12	12	11	10	10	10	10	10	10	10	
次亜塩素酸ソーダ	200ppm	13	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
台所洗剤	× 200	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	
カリ石鹼(液体洗剤)	× 200	12	12	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11	

注1)各区の生残メダカがゼロになった場合、その区の投入試験はその時点で終了とした。

注2)塩化カルシウムの添加は、試験開始時と1日後(2日目)の2日間のみ。以後は逆性石鹼のみ投入。

注3)逆性石鹼×400希釈の試験区は、開始時10匹の試験を2回実施した合計。

②弱毒化試験

陽イオン界面活性剤である逆性石鹼に対して、陰イオン界面活性剤である普通洗剤による中和を示唆する過去の報告¹⁰⁾を参考に、陰イオン界面活性剤であるカリ石鹼や非イオン界面活性剤の台所洗剤での中和、弱毒化を試みたが、メダカに対する毒性の減弱作用は認められなかった(表8)。

一方、当初は凍結防止剤として添加していた塩化カルシウムであるが、普通洗剤の混和に比較して、死亡魚数の推移が若干緩やかであり、弱毒化の方策としての可能性を残した。ただし、高濃度の添加を繰り返すことにより、水中塩分量が増加し浸透圧が高まることから、メダカへの影響は避けられず、添加割合(濃度)の検討がさらに必要であると考えられた。

表8 逆性石鹼のメダカ毒性に対する弱毒化試験結果

消毒薬等	弱毒化のために混合した資材	濃度・希釈倍率	経過日数ごとの生残匹数												
			開始時	3時間後	1日後	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
逆性石鹼C × 400	—	—	20	20	15	4	0	0	0	0	0	0	0	0	
	塩化カルシウム(最初の2日のみ)	最終25%	10	10	10	10	7	5	5	3	3	2	2		
	市販台所洗剤	最終×1,600	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	カリ石鹼	最終×400	13	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0		
	カリ石鹼	最終×80	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	塩化カルシウム	最終20%	13	13	13	12	8	0	0	0	0	0	0		
	塩化カルシウム	最終25%	11	11	11	9	2	1	0	0	0	0	0		

注1)各区の生残メダカがゼロになった場合、その区の投入試験はその時点で終了とした。

(3)金属に対する腐食性試験

①継続的に浸漬する試験

鉄クギに対して、逆性石鹼の試験区は錆の発生等は認められなかったが、塩化カルシウムを添加した各区では錆の発生が認められ、潮を吹いた状態の塩化カルシウム結晶の付着が見られた(写真8)。

複合塩素V剤においては、食塩水とは異なる腐食反応が現れた。食塩水区の無塗装クギでは明確な錆になっていないが、塗装クギにおいては塗装面から浮き出るような錆の発生が見られた一方、複合塩素剤では、特に無塗装クギの浸漬部分が酸化した状態となった。また、塩化カルシウムを添加した複合塩素剤においても酸化反

応は認められるものの、塩化カルシウム無添加の区とは異なる酸化状態であった。さらに塩化カルシウムを添加した複合塩素剤区の塗装クギでは、塗装面に気泡が発生した跡があり、何らかのガスが産生されたものと考えられる。



写真8（左から、対照区（水）、逆性石鹼C、逆性石鹼C+NaOH、逆性石鹼A、食塩水、複合塩素V、塩化カルシウム添加の逆性石鹼C、A、複合塩素V）

②消毒薬等に1日1回浸漬する試験

全ての試験区の塗装クギについて、明らかな腐食、錆の発生等は確認されなかった（写真9）。塩化カルシウムを添加した試験区において、若干潮を吹くような現象（クギの頭に塩化カルシウムの結晶が付着）が見られたが、5か月間経過してもその部分に錆の発生は見られず、大きな変化は認められなかった。



写真9 浸漬終了後5か月経過時

（左から対照区、逆性石鹼C、逆性石鹼C+NaOH、逆性石鹼C+CaCl₂、逆性石鹼A、逆性石鹼A+CaCl₂、食塩水、複合塩素V、複合塩素V+CaCl₂）

（錆の発生等は認められない）

4 考察

鳥インフルエンザウイルスに対して有効な消毒薬を高濃度で使用した場合、あるいは凍結防止剤等の添加物を混和した場合等の安全性試験を実施した結果、特に冬期の低温期に消毒ポイント等で大量の消毒薬を使用することを想定した場合、その安全性、経済性を総合的に評価すれば、ある程度高濃度の逆性石鹼を添加物なしで使用することが適当であると判断された⁴⁾。ただし、その使用においては、魚類等の水生生物への影響が無視できないものと考えられるので、周辺環境に影響を及ぼさない方法により、噴霧又は放出に留意し、大量に放出することがやむを得ない場合は、希釈や弱毒化等の方法を検討した方が良いと思われる。また、気象条件によりやむを得ず塩化カルシウム等の塩類を凍結防止剤^{3, 4, 7, 8)}として大量に使用する場合は、周辺の植物の生態系等環境への

配慮を心がけるべきである^{5, 11, 12)}。

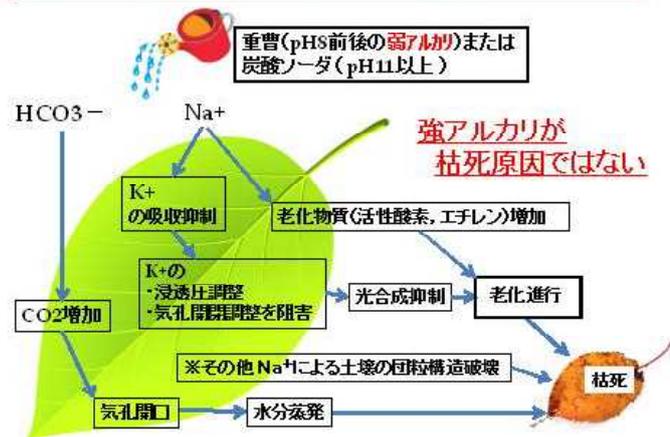
筆者は、平成 23 年度に口蹄疫対策のための消毒用資材、具体的には炭酸ソーダ、次亜塩素酸ソーダ、クエン酸、消石灰等が環境に及ぼす影響を調査し、金属を対象とする消毒ポイントの消毒薬としては炭酸ソーダが望ましいが、植物への影響を考慮し、飛散、流出時に留意することが必要であると報告した¹³⁾。

炭酸ソーダが植物を枯死させるメカニズムについては、強アルカリであるからという誤解も多いが、**図 1** の弱アルカリの重曹の例に示すとおり、ナトリウムイオンが植物体内に活性酸素やエチレンのような老化物質を増加させるとともに、カリウムイオンの吸収を抑制し、光合成の促進を阻害することによる。さらに、炭酸水素イオンが植物内に増加することにより、二酸化炭素が増加し、その排出を促すために気孔が開き、同時に水分も蒸散してしまうためでもある。

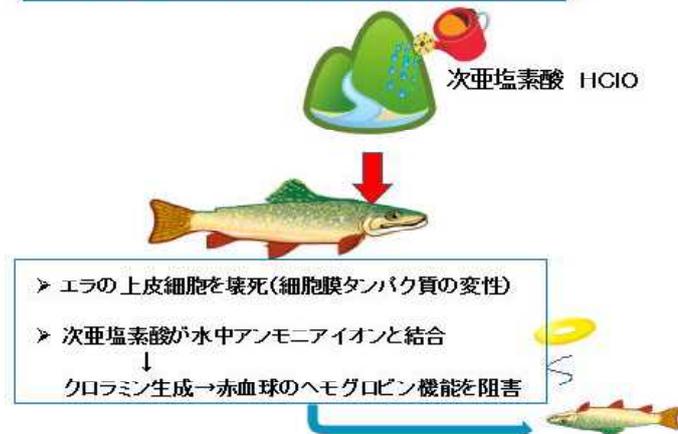
また、次亜塩素酸が水中に増加すると魚類を死亡させることがあるが、これは次亜塩素酸が魚類のエラの上皮細胞に作用し、細胞膜タンパク質を変性壊死させる直接的な作用と、次亜塩素酸と水中アンモニアイオンの結合により生じるクロロミンのヘモグロビン機能障害によることが原因とされている**（図 2）**。

一方、鳥インフルエンザ対策用に広く使用されている逆性石鹼製剤（陽イオン界面活性剤）は、一般的には安全で扱いやすい消毒薬と考えられているが、過去の環境影響調査においては、「塩化ジデシルジメチルアンモニウム（以下「DDAC」という。）は、水生生物全般に毒性を有し、微小動物相に影響を与え、生物への蓄積が懸念される」という報告⁵⁾もあり、その毒性についてはあまり認知されていない。DDACの生物毒性のメカニズムについては、細胞膜の脂質の溶解、タンパク変性等、殺菌あるいは殺ウイルス作用に関与するメカニズムの他に、骨格筋のクラール様麻痺がある。クラール様麻痺とは、神経筋接合部においてアセチルコリンと競合し、アセチルコリン受容体を占拠することにより、神経伝達物質であるアセチルコリンの興奮伝達を遮断し、筋への神経伝達を阻害、筋の麻痺（弛緩）を惹起するものである。その結果、骨格筋は収縮せず弛緩し、最終的には呼吸筋の麻痺を起こし、呼吸不全で死に至るものである。

（図 1）植物が重曹（炭酸ソーダ）で枯死するメカニズム



（図 2）魚類が塩素（次亜塩素酸）に弱い理由



今回の試験の内、特にDDACの毒性が問題となったのはメダカを対象にした毒性についてであり、この毒性については上記のクラーレ様麻痺が関与したと疑われる現象が発現した。有効濃度の各消毒薬をメダカ飼育水槽に投入した場合、魚類には毒性が高いとされている次亜塩素酸以上の毒性をDDACは発現させた。一方、弱毒化試験においては、陽イオン界面活性剤を中和すると思われた陰イオン界面活性剤^{9, 10)}であるカリ石鹼（台所洗剤は非イオン系）では中和・弱毒化できず、塩化カルシウムを添加した場合にメダカの死亡数の推移は緩やかとなった。これはイオンの中和方法ではDDACの本来の魚毒性は減弱せず、他の毒性機構が働いたことが推察される。その他の毒性機構としてクラーレ様麻痺が考えられるが、クラーレ様作用を発現する代表的な薬物であるツボクラリンを例にとると、塩化ツボクラリンのクラーレ様作用による筋弛緩は塩化カルシウム製剤の併用によって減弱するとされている。すなわち今回の試験に当てはめれば、DDACによるクラーレ様麻痺が塩化カルシウムの添加によって減弱し、死亡魚数の増加を抑制したことが推察される。今回の試験においては生理学的な実験にまで及んでいないため、DDACはほ乳類等の高等動物だけでなく魚類にもクラーレ様麻痺による致死的作用を発現すると断定はできないが、DDACを始めとする逆性石鹼、所謂4級アンモニウム化合物は、抗コリン薬の一種であり、抗コリン薬は受容体でアセチルコリンと競合的に拮抗することから、魚類においても同様にクラーレ様麻痺が起こったと考えても不自然ではない。ただし、今回の現象はDDACのアセチルコリン受容体占拠を塩化カルシウム自体が遮断するというより、塩化カルシウム（カルシウムイオン）の濃度が上昇したことにより筋収縮（筋フィラメントの滑走）が促進され、見かけ上クラーレ様麻痺（骨格筋の麻痺）が減弱したのではないかと考えられ、DDACの神経毒性を中和するものではないと推察される。（塩化ツボクラリンのクラーレ様麻痺は塩化カリウムによっても減弱するとされており、カリウムイオンの場合にどのような機序で作用するかは不明。）

なお、塩化カルシウムの添加によりDDACの魚毒性の減弱化の可能性は判明したが、実際に消毒ポイント等の現場において実用化する場合、様々な課題が残されている。すなわち、DDACに対して反応させる塩化カルシウムの最適濃度の検討、具体的な反応方法（混和方法）の検討、塩化カルシウム自体の植物毒性（塩害）¹¹⁾の対策等である。また、塩化カルシウムを使用しなくても、DDACを大量の水により希釈すれば魚毒性は減弱するが、どの程度まで希釈すれば良いかも検討の余地がある。

本来は凍結防止剤の一つとして使用される塩化カルシウムであるが、凍結防止剤により植物が枯死や発育抑制を起こす現象はよく知られている。今回の試験において、塩化カルシウムの投入により水稻苗が最も影響を受けたが、本来植物にとって塩素もカルシウムも必須元素である。ただし、塩素イオンは濃度が高くなりすぎれば植物に発育抑制や枯死を起こすこともあり^{11, 12)}、今回の試験では短時間の内に高濃度の塩素イオンに暴露され枯死が進んだものと推察される。塩素イオン濃度は、一般的に電気伝導度と比例するとされているが、今回の試験では測定時点において電気伝導度があまり高い値ではないにも拘わらず枯死の程度が大きかった。これは、初期に大量の塩素イオンの暴露により水稻苗は影響を受けたが、塩素イオンは土壤に吸着しにくく、結果にも記載したとおり、塩化カルシウム投入終了から電気伝導度測定日までに約20日間の間隔があり、

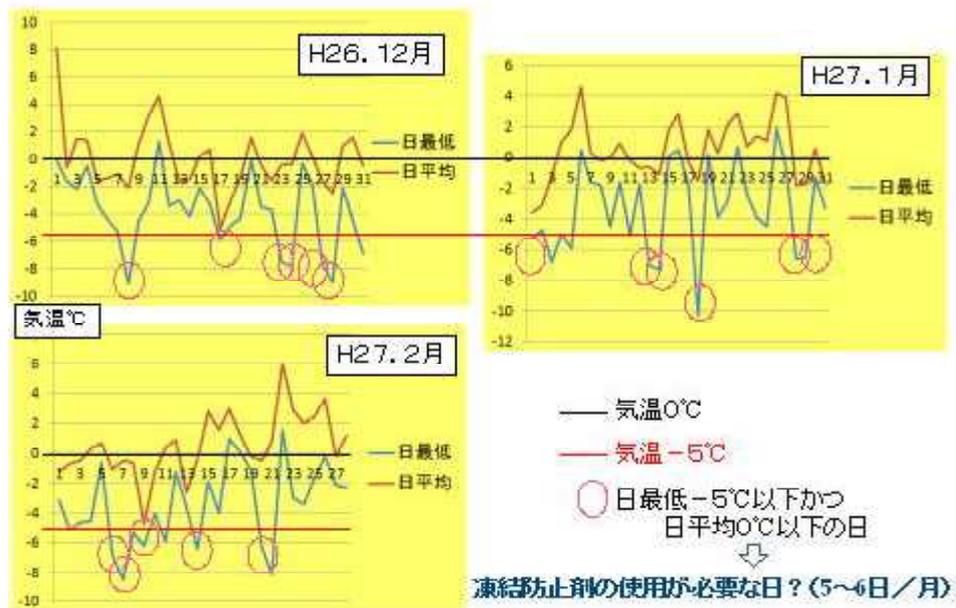
測定までかなりの塩素イオン（塩化カルシウム）が流亡したものと考えられる。いずれにしても塩化カルシウムを凍結防止剤として使用する場合は気象条件を考慮し、周辺環境に影響を及ぼさない使用方法、廃棄方法を検討するべきである。また、安全性の高い物質とは言え、塩化カルシウムは水に溶ける際溶解熱を発生するとともに、高濃度の塩化カルシウムが皮膚に付着した場合に炎症を起こすことがあるので注意を要する。一方で、上記のとおり塩化カルシウムは、大量に使用されるであろうDDAC消毒薬の魚毒性の弱毒化方法の一つとしても可能性を残している。

気象条件の面では、鳥取県中部地域の消毒ポイント候補地の内、県内のアメダス観測点で最も低温を観測するであろう日野郡日南町茶屋（標高約490m）よりも高い位置（標高520m）に1か所想定されているが（図3）、当該候補地は第2候補地でもあり急勾配の場所でもあることから現実的には消毒ポイントとして利用される可能性は低いと考えられる。



日南町茶屋における昨シーズンの日平均気温と日最低気温の推移を図4に示すが、凍結の危険性がある条件として、最低気温 -5°C 以下かつ日平均気温 0°C 以下の日と想定した場合、その条件に該当する日は各月5~6日程度であり、日南町茶屋

(図4) 日南町茶屋(県内最低気温観測点)の昨シーズン各月の日最低・日平均気温



よりも標高の低い場所においては、より凍結する危険性が低いと考えられることから、中部管内における凍結防止剤の使用はほとんど考えなくても良いと思われる（ただし厳寒期は日常的にホースの水抜き等の対策は必要であるが）。

DDAC以外の消毒薬の内、鳥インフルエンザ対策用として使用される可能性があり、実際に現場で常用されている複合塩素剤についても若干記述する。

本試験結果のとおり、複合塩素剤は金属の錆の発生等の問題もあり、かつ植物への影響もあることから、車両消毒への応用は避けるべきと考える。また、複合塩素剤に塩化カルシウムを添加した場合、塩の増加、熱の発生等により塩素ガスの発生が増加するため注意が必要である。一方、今回の試験において、複合塩素剤の魚毒性は事前の想定よりもかなり低いものであった。次亜塩素酸そのものを投入した場合、24 時間以内に全てのメダカを死亡させたが、複合塩素剤は水を加えると酸化剤と塩化ナトリウムが反応し次亜塩素酸（遊離塩素）を発生させる仕組みであるにも拘わらず、死亡魚数が増加しなかった。複合塩素剤の殺菌機能は、酸化剤であるペルオキソー硫酸水素カリウムの酸化作用と、塩化ナトリウムの酸化によって生じる次亜塩素酸ソーダの酸化作用によるものである。次亜塩素酸が発生するにも拘わらず、メダカの死亡数が増えなかったのは、複合塩素剤の消毒メカニズムの主体が、次亜塩素酸によるものよりもペルオキソー硫酸水素カリウムによる酸化作用に依るところが大きいためではないかと推察される。また、平成 23 年度の筆者の試験^{1,3)}においても、次亜塩素酸ソーダだけでは植物の生育に大きな影響を与える結果とはならなかったが、今回の水稻苗を用いた試験において複合塩素剤で苗が枯死した状況は、食塩水添加区とよく似ており、複合塩素剤から発生した次亜塩素酸による影響というよりも、成分として含まれている塩化ナトリウムの所謂「塩害」によるものとも考えられる。ただし、複合塩素剤区と食塩水区の栽培土壌の電気伝導度の値に大きな差があったこと、また複合塩素剤に成分として含まれる塩化ナトリウムは製剤中の 1.5 %のみ（製剤 500 倍希釈水溶液中では塩化ナトリウム含有量は 0.003 %と微量）であることから、塩化ナトリウムのみによる影響であるとは断定しきれない。あるいはペルオキソー硫酸水素カリウム自体にも植物毒性があるかもしれない。

周辺環境への消毒薬の拡散方法という面から見れば、今回の試験で植物に対して影響のあった複合塩素剤や消毒薬に混和した塩化カルシウム等（あるいは炭酸ソーダも含めて）は、葉面等に飛散・付着する方法よりも、根から吸収された方が、植物毒性を顕著に現すのではないと思われる。本試験では、対象植物に暴露した消毒薬の絶対量が流入法と葉面散布法で差があるため、単純には比較ができないが、農産物等の高等植物においては、根から吸収された塩類等に対する反応は短時間で地上部に伝わることから、葉面散布に比較して、水稻苗の反応が顕著であったと思われる。葉面からの吸収能は植物の種類により異なり、また消毒薬を動力噴霧器等で噴霧する場合、周辺環境への飛散を防ぐことは困難であるので、最低限、消毒液が直接ほ場へ流入しないよう注意が必要である。

以上、鳥インフルエンザウイルス対策用として使用される消毒薬を中心に環境に及ぼす影響等について述べてきたが、本試験でも示すとおり、「環境に全く影響しない安全な消毒薬は無い」ことを念頭に置き消毒薬の選択や使用を心がけるべきである。鳥インフルエンザが発生した場合、大量の消毒薬の使用は避けることができない。その消毒薬の影響を被るのは、畜産関係者よりも、耕種農家や漁業者あるいは一般市民である場合が多いことを忘れてはならない。その消毒薬の安全性等について説明を求められた場合、安全性ばかりを誇張するのではなく、その危険性と対策を十分に検討した上で使用することを改めて考えるべきである。

(参考文献)

- 1) 横溝正直：高病原性鳥インフルエンザ対策における消毒，臨床獣医，29(10)，26-34 (2001)
- 2) 横溝正直：侵入防止のための消毒3，臨床獣医，28(7)，29-34 (2010)
- 3) 農林水産省：平成23～25年度レギュラトリーサイエンス新技術開発事業「口蹄疫の伝播リスクと防疫措置の評価に関する疫学的研究」
- 4) 農林水産省：平成24～26年度レギュラトリーサイエンス新技術開発事業「高病原性鳥インフルエンザの野生動物による感染の確認及び消毒方法の開発」
- 5) 一般財団法人生物科学安全研究所：動物用医薬品の環境に対するリスク（動物用医薬品等環境影響調査），公開セミナー「家畜と人と環境を守るために」（2010）
- 6) 鶏病研究会：鳥インフルエンザウイルス対策としての養鶏場における消毒，鶏病研報，50(1)，1-8 (2014)
- 7) 早川潤ら：厳寒期における消毒薬の殺ウイルス効果に関する検討，平成23年度北海道家畜保健衛生業績発表会集録
- 8) 齋藤真理子ら：凍結環境下の消毒方法の検討，第53回全国家畜保健衛生業績発表会講演要旨，24 (2012)
- 9) 横関正直：臨床獣医師のための畜産現場の消毒 消毒について1，臨床獣医，29(4)，59-63 (2011)
- 10) 横関正直：臨床獣医師のための畜産現場の消毒 消毒について3，臨床獣医，29(6)，51-56 (2011)
- 11) 国土交通省国土技術政策総合研究所：凍結防止剤散布と沿道環境，国土技術政策総合研究所資料，412，56-59 (2007)
- 12) 日本作物学会：作物の塩害の生理機構とその対策，農業及び園芸 (2012)
- 13) 山崎浩一：口蹄疫対策用消毒資材の選択に関する考察，平成23年度鳥取県畜産技術業績発表会集録
- 14) Thorup I(2000).Evaluation of health hazards by exposure to Quaternary ammonium compounds (Cationic surfactants) and estimation of a limit value in air.