ゼブラフィッシュ胚・仔魚を用いた玉川中和処理施設での毒性改善効果の検討

秋田工業高等専門学校 創造システム工学科土木・建築系　非会員　○富野玲奈　大坂海斗　平晃綺
正会員　金主鉉　増田周平

1．はじめに

玉川温泉には大小様々な湧出口があるが、その中でも大噴と呼ばれている湧出口からは、97℃の温泉が毎分 10.000L も噴出している。しかし、この温泉は全国でも稀にみるpH 1.1 の強酸性泉で玉川毒水とも呼ばれている。昭和 14 年に電源開発や玉川疎水国営開墾事業を目的とした玉川河水統制計画が策定され、玉川毒水を希釈するため玉川の水を田沢湖に導水した。これにより田沢湖は酸性化が進んでしまい世界で田沢湖にしか生息していなかったクニマスは姿を消してしまった。これを解決するため、1991 年から玉川中和処理施設において中和処理（石灰処理）が開始されているが、依然として田沢湖のpHは 4.9～5.2 を推移している。また、pH以外にも重金属イオンやフッ素、ホウ素など水生生物にとって有害な物質が多く含まれているという問題も残っている。

そこで本研究では、田沢湖の潜在的な毒性物群の流入源である玉川強酸性泉を中和処理している玉川中和処理施設の効果に着目し、ゼブラフィッシュ胚・仔魚短期慢性毒性試験を用いた玉川中和処理施設での毒性低減効果について検討した。

2.　玉川中和処理施設

玉川酸性水の中和処理施設は、玉川ダム流入河川の渋黒川の上流に位置しており、玉川ダム建設事業の一環として建設された。中和処理は 1989 年 10 月に試運転、1991 年 4 月より本運転を開始した。中和処理施設は、安価な石灰石中和法（直接接触反応）が導入され、下流の玉川本川の pH 改善に寄与している。その効果として「玉川や田沢湖に魚や植物が生息できるようになる」が期待されていたが、毒性物質群の低減効果といった調査結果は少ない。現在の中和処理方式は、源泉（大噴）より噴出する温泉水を取水、コーン型反応槽の下部より通水し、コーン内の粒状石灰石（5～20mm）と 接触反応させた後、上部より処理水として越流させ、河川へ放流している。2003 年度からは源泉の酸度上昇のため希釈水を混合し、酸度を低下させて運転している。表 1 に玉川中和処理施設の概要と運転状況を示す。

表 1　玉川中和処理施設の概要

計画処理量	最大 18,600 L/分
接触時間	約 5 分
反応槽	コーン型 6 槽 （最大 5 槽運転 1 槽予備）
石灰石	5～20mm($CaCO_3$ 成分 96%以上) 使用量：16,170 t/年（2009 年）
pH 改善効果	原水　pH 1.2、放流水　pH 3.6 （2009 年度平均）

3.　実験方法

採水は 2021 年 10 月に玉川中和処理施設において、玉川源泉、河川水（希釈水）および処理水に対して行った（図 1）。玉川中和処理施設では、玉川源泉と河川水（希釈水）を混合して中和処理の流入原水としている。そのため、本研究では流入原水として、玉川源泉と河川水を 1：1.8 で混合したものを用いた。

図 1　採水地点

試験水は、原水、処理水、pH調整処理水（NaOH でpH 6.7 に調整）、pH調整・ろ過処理水（pH 調整処理水を 0.45 μm MF でろ過）とした。

魚類胚・仔魚短期慢性毒性試験は、OECD テストガイドラインNO.212に準拠してゼブラフィッシュ（*Danio rerio*、NIES 系統）を用いて行った。試験濃度は 0%、20%、40%、80%、100%の 5 濃度区を基本とした。希釈水は、脱塩素後の水道水に硬度添加水を加え、硬度 80 以上としたものを用いた。各試験結果の統計解析は Ecotox-Statics Ver.2.6 を用いて行った。

表 2　試験水のpH及び電気伝導度(EC)

	濃度区(%)	0%	5%	10%	20%	40%	80%	100%
原水	pH	7.8	4.8	2.9	2.4	2.2	1.7	1.5
	EC(mS/m)	35.5	42.1	103	226	485	1,000	1,298
処理水	pH	7.8	7.3	6.7	5.5	4.7	3.8	3.5
	EC(mS/m)	35.5	46.3	53.6	115	194	355	425
pH調整処理水	pH	7.8	-	-	7.5	7.3	7.0	6.7
	EC(mS/m)	35.5	-	-	114	192	342	442
pH調整ろ過処理水	pH	7.8	-	-	7.6	7.5	7.1	6.6
	EC(mS/m)	35.5	-	-	119	200	350	439

４．実験結果及び考察

試験結果を図 2～図 5 に示す。

原水では pH が強酸性だったため、試験濃度区を 0%（対照区）、2.5%、5%、10%、20%として試験を行った。その結果、10%以上で孵化率に影響が現れ、10%以上の試験区ではすべて孵化率 0%であった、試験水の pH が 1.5～2.9 と低かったため、pH の影響によるものと考えられる。

処理水では、80%以上でゼブラフィッシュ受精卵の孵化率の影響がみられたが、対照区 0%との有意な差は確認されず、100%でのみ有意差が確認された(**:p<0.01)。仔魚致死率では、20%以上の濃度区で影響が現れ、有意差が認められた。

以上より、仔魚の致死率には pH 改善の影響が大きいことが明らかであった。

pH 調整処理水では、孵化率への影響がなくなり、致死率の方でも毒性は認められなかった。80%と 100%で平均仔魚致死率は少し増加するが、対照区との有意差は確認されなかった。

一方、pH 調整ろ過処理水の結果も pH 調整処理水の結果と同様で、毒性が確認できなかったことから、pH 調整過程で形成される金属錯体等の懸濁物の影響は少ないと考えられる。

以上の結果より、現状の中和処理の効果は孵化率の改善に寄与するが、仔魚の致死率を減少させるには不十分であり、中和処理による適正な pH 管理の必要性が確認できた。

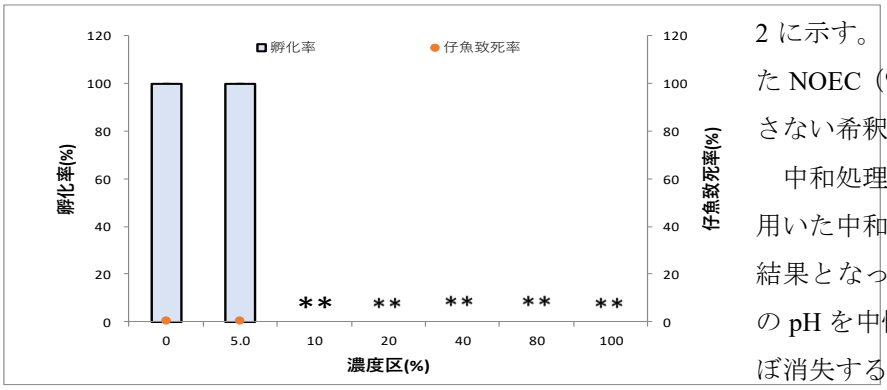

図 2　原水に対する試験結果

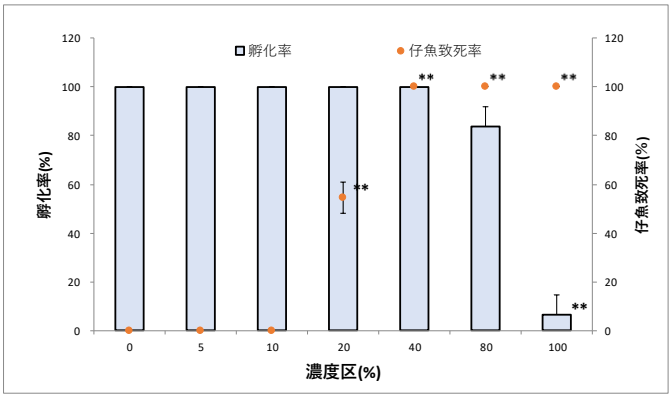

図 3　処理水に対する試験結果

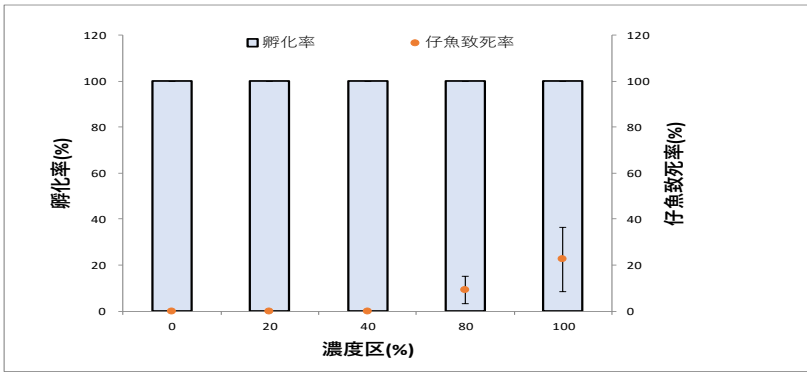

図 4　pH 調整処理水に対する試験結果

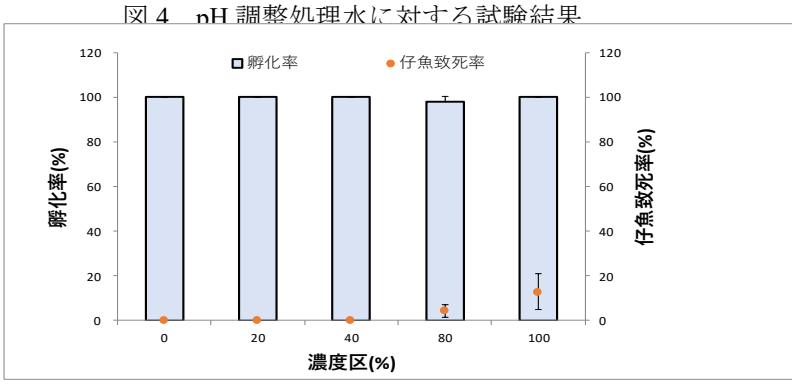

図 5　pH 調整・ろ過処理水に対する試験結果

次に本試験で得られた各試験水の毒性改善効果を表 2 に示す。ここで TU（毒性単位）とは各試験で算出した NOEC（%）の逆数で、水生生物に対して影響を及ぼさない希釈倍率のことである。

中和処理施設の流入原水の毒性単位 TU は、石灰石を用いた中和処理により 20 から 1.25 と 16 倍改善される結果となった。中和処理対策をさらに強化し、処理水の pH を中性にすれば、魚類胚・仔魚短期慢性毒性はほぼ消失することが予測される。

表 2　各試験水の毒性単位

試験水	原水		処理水		pH調整処理水		pH調整ろ過処理水	
	孵化率	致死率	孵化率	致死率	孵化率	致死率	孵化率	致死率
EC_{50}(%)またはLC_{50}(%)	7.1	-	87.4	19.1	-	-	-	-
NOEC(%)	5	5	80	10	>100	>100	>100	>100
TU	20	20	1.25	10	<1	<1	<1	<1