

深層水排水の水質と再利用

Characteristics of Deep Seawater Drainage and Its Recycling

小善 圭一¹, 堀田 和夫¹, 瀬戸 陽一¹, 辰巳 勲², 本間 昭郎³

Keiichi SHOZEN, Kazuo HOTTA, Youichi SETO, Isao TATSUMI, and Akio HONMA

Abstract

In Toyama Prefectural Fisheries Research Institution, deep seawater (DSW) has been used for aquaculture of cold water/deep-sea species of fish, prawn and shellfish to be drained as various drainage. These drainage were thought to still have the basic characteristics of DSW without greatly changes, as DSW contacted with living thing only once for a short time.

In order to utilize DSW more effectively, characteristics of the drainage were examined, and experiments re- and multi-use of DSW for aquaculture were carried out. As for characteristics of the drainage, water temperature and the level of dissolved oxygen somewhat varied, and the number of microorganisms slightly rose in the drainage as compared with original DSW, but chemical oxygen demand, pH and salinity was stable. These results demonstrated that the quality of drainage wasn't hardly different from that of original DSW, and the drainage can be applied to aquaculture. The survival rate of pacific cod raised in the DSW (first use) and in the drainage (second use) for 84days was 95% and 75%, respectively.

Then survival was lower in the second and third use. In the connection, further investigation including growth rate was necessary because survival rate greatly depends on various factors and conditions during culture. When the drainage is used, great attention must be paid to infection of fish disease.

Key Words: *Characteristics, drainage, recycling, re-use, multi-use, survival rate*

1. はじめに

深層水は、環境に調和する再生循環型の大型資源として注目され、水産分野、非水産分野、エネルギー分野への利用研究が進められている。富山県では1986年から本格的な深層水研究が始まっており、1996年には水産試験場内に深層水利用研究施設が完成し、水産分野における利用研究が開始された。研究施設ではトヤマエビ、サクラマス、マダラ、ベニズワイ、バイガイなど深海性、冷水性魚介類の飼育、種苗生産を中心に生態研究にも取り組んでいる。研究施設からは飼育排水、熱交換水といった様々

な深層水排水が生じている。これら排水は深層水を一回使用しただけのものである。このことから排水は低温安定性、富栄養性、清浄性といった、深層水の三大特性を未利用深層水と比べてそれほど損なうことなく排出され则认为られる。よって排水を再利用（多段利用）することでより効率的な深層水の利用が可能とえられる。

そこで、深層水排水の水質調査を定期的に行い、その特性について検討を行った。さらに小規模ではあるが排水を再度使用し飼育を行う複次飼育試験を実施し、再利用の可能性について検討を行ったので報告する。

¹富山県水産試験場栽培・深層水課（〒936-8536 富山県滑川市高塚 364）

²清水建設(株)土木本部（〒105-0023 東京都港区芝浦 1-2-3 シーバンス S 館）

³(株) マリノフォーラム21種苗生産システム研究会（〒110-0016 東京都台東区台東4-8-7）

2. 調査内容および方法

(1) 排水水質調査

取水深層水（原水）および主要排水箇所の計 5 箇所に調査ポイントを設け排水の水質を定期的に測定した。調査は 1998 年 8 月～1999 年 7 月に実施した。各調査ポイントの特徴および調査項目を下記に示した。

(a) 深層水受水槽

取水深層水つまり原水。測定項目として、水温（深層水モニタリング施設、1 時間毎）および塩分（採水、1 回/日、サリノメーター）を連続的に測定した。pH、濁度、溶存酸素（DO）および化学的酸素要求量（COD）は採水分析（2 回/月）を行った。

(b) 屋外貯水池

未利用の余剰深層水およびサクラマス棟の熱交換水を主体とし、季節的にサクラマス飼育排水（淡水）が流入する可能性がある。水温および塩分（連続測定器、10 分毎）は連続的に測定した。pH、濁度、DO および COD 以上は採水分析（2 回/月）を行った。

(c) 低温飼育棟排水

低温飼育棟ではトヤマエビ、ベニズワイ、バイ類を飼育しており、これらの飼育排水がまとまって排出される。水温は連続測定（連続測定器、1 回/10 分）。pH、濁度、DO および COD は採水分析（2 回/月）を行った。

(d) 熱交換水排水

サクラマス棟で淡水（平均 17.8℃）を 12℃前後に冷却するために使用しており、温度調節用のみに使用した深層水排水。測定項目として水温は連続測定（連続測定器、10 分毎）。pH、濁度、溶存酸素（DO）、化学的酸素要求量（COD）以上は採水分析（2 回/月）を行った。

(e) 2 次飼育試験

屋外貯水池から取水し、屋外に設置した 2 次飼育試験水槽からの排水、最末端の排水となる。測定項目として水温は連続測定（連続測定器、1 回/10 分）。pH、濁度、DO および COD 以上は採水分析（2 回/月）を行った。調査は 2 次飼育試験に合



写真-1 二次飼育試験水槽



写真-2 複次飼育試験水槽

わせて調査を実施した。

(f) 細菌検査

平成 11 年 10 月 1 日に微生物調査を実施した。各調査ポイントに加え 2 次および複次飼育試験排水についても検査を行った。検査は一般生菌数（トリプトソイ寒天培地）、大腸菌群（デオキシコーレート寒天培地）およびビブリオ属（TCBS 寒天培地）について行った。

(2) 複次飼育試験

トヤマエビ、マダラおよびハタハタで同一種による 2 次飼育試験を行った。さらにトヤマエビ、マダラ、ハタハタおよびバイガイを組み合わせる異種間の複次飼育試験も行った。各飼育試験の方法および条件を下記に示す。

(a) トヤマエビ

飼育個体の大きさを変え 2 回試験を実施した。

また飼育水槽は低温飼育棟内に設置し、水量 350 ℓ 水槽を 2 槽使用（写真-2，上部）した。

1 回目：1998 年 9 月 1 日～1999 年 3 月 12 日に飼育試験を実施した。試験には平均体長 77 mm，平均体重 8.9 g のトヤマエビ（2 歳，全雄）を用い，各水槽に 100 個体ずつ収容した。飼育水の回転率は 20 回転／日（約 5 ℓ/分）とし，水温 2～3℃で一次，二次飼育水槽の水温差は±0.1℃とした。クルマエビ配合飼料 20 g を 1 回／週間の頻度で給餌を行った。また給餌の際，残餌と死亡個体を取り除いた。1999 年 3 月 12 日（飼育 192 日）に生残率を計算し一次飼育水槽と二次飼育水槽の比較を行った。

2 回目：1999 年 7 月 15 日～1999 年 12 月 17 日に飼育試験を実施した。平均体長 154.7 mm，平均体重 63.3 g の個体（5 歳以上，親エビ，全雌）を試験に供し，1 回目と同じ水槽に各 15 個体ずつ収容した。その他飼育条件は 1 回目と同様にした。試験終了の 12 月 17 日（飼育 155 日）に生残率を比較した。

(b) マダラ

1998 年 9 月 2 日～1998 年 12 月 25 日に飼育試験を実施した。屋外（屋根付）に FRP1t 水槽 2 槽を設置（写真-1）し，平均全長 330 mm，平均体重 400 g の個体を水槽に 20 尾ずつ収容した。飼育水の回転率は水温を 10℃以下に維持するため 9 月 2 日～11 月 6 日が 34.6 回転／日，11 月 7 日以降 16.3 回転／日とした。餌料はイカナゴとホタルイカを使用し 150g／日の給餌を行った。試験終了時（84 日）に生残率の比較を行った。

(c) ハタハタ

1 回目：1999 年 7 月 5 日～1999 年 9 月 20 日に飼育試験を実施した。マダラの場合と同様に FRP1t 水槽を 2 層使用し，平均全長 55 mm，平均体重 1.2 g の個体（当歳魚）を各水槽に 500 尾ずつ収容した。飼育水の回転率は 25～28 回転／日とし，イカナゴとオキアミを 1：1 の割合で使用し 150 g を 3 回／日で給餌を行った。試験終了時（飼育 51 日）に生残率を比較した。

2 回目：1999 年 9 月 28 日～1999 年 12 月 17

日に飼育試験を実施した。平均全長 71 mm，平均体重 2.7 g の個体（当歳魚）を各水槽に 400 尾ずつ収容し，飼育水の回転率は 12 回転／日とした。イカナゴとオキアミを 1：1 の割合で使用し 150 g／日の給餌を行った。試験終了時（飼育 78 日）に生残率を比較した。

(d) 複次飼育試験

トヤマエビ二次飼育試験 ハタハタ バイガイ（四次飼育試験）：トヤマエビの 2 次飼育試験水槽（2 回目）の下に FRP1t 水槽を設置しハタハタ（平均全長 57 mm，平均体重 1.4 g）を 500 尾収容した。給餌条件はハタハタの二次飼育試験と同様とし，生残率を調べた。さらにその下に FRP170 ℓ 水槽を設置しバイガイ（カガバイ，平均殻高 59 mm，平均体重 30 g）を 45 個体収容した。餌料は冷凍カタクチイワシを過食量，1 回/2 週間で給餌を行い，生残率を調べた。飼育水の回転率はハタハタ水槽で 10～11 回転／日，バイ水槽で 63～66 回転／日であった。飼育期間はハタハタがトヤマエビ二次飼育試験と同時期であったが，バイガイは 1999 年 7 月 22 日～12 月 17 日（148 日）まで実施した。

ハタハタ二次飼育試験 バイガイ（三次飼育）：ハタハタ二次飼育試験水槽の下に FRP170 ℓ 水槽を設置しバイガイ（カガバイ，平均殻高 59 mm，平均体重 30 g）を 48 個体収容し，生残率を調べた。飼育期間は 1999 年 7 月 23 日～12 月 17 日（115 日），給餌条件は冷凍カタクチイワシを過食量，1 回/2 週間とした。

3. 結 果

(1) 排水水質調査結果

(a) 水 温（表-1）

取水深層水（原水）の水温変動を図-1 に示す。水温は 1.41℃～3.51℃の範囲で変動し，平均値は 2.37℃であった。明確な季節変動は見られなかった。9，11，12 および 3 月では他の月に比べ変動が大きかった。

低温飼育棟排水は 2.15℃～4.49℃の範囲で変動し平均は 2.78℃であった。屋外貯水槽は 1.88℃～

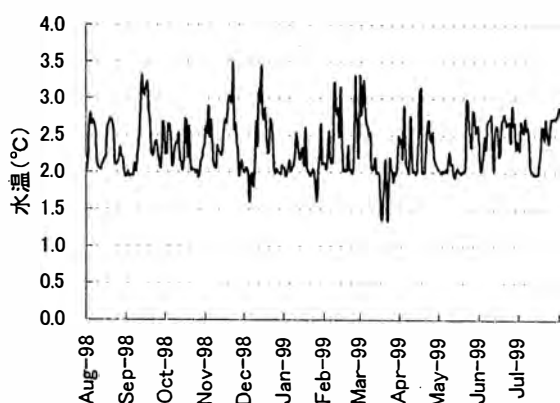


図-1 取水深層水の水温（日平均）

4.88 °Cの範囲で変動し平均は 2.68 °Cであった。低温飼育棟排水、屋外貯水池ともに原水に比べ若干の水温上昇が見られた。熱交換水は 9.43 °C～11.23 °Cの範囲で変動し、平均値は 10.97 °Cであった。

屋外で実施した二次飼育試験排水はマダラ飼育時が平均 6.63 °C、ハタハタ飼育 1 回目が平均 8.77 °C 2 回目が 4.98 °Cであった。屋外では水温調節ため飼育水の回転率を変えており水温変動が大きかった。

(b) 塩 分（表-2）

取水深層水では 34.05～34.12 で変動し、平均 34.08 であった。屋外貯水槽では 34.07～34.11 で

表-1 水温の平均値、最大・最小値（°C）

	平均値	最大値	最小値
(a)深層水受水槽（原水）	2.37	3.51	1.60
(b)低温飼育棟排水	2.78	4.49	2.15
(c)屋外貯水池	2.68	4.88	1.88
(d)サクラマス棟熱交換水	10.97	11.23	9.43
(e)二次飼育試験*	5.83	12.80	2.83

* 2 次飼育試験の全期間（マダラ、ハタハタ 1 回目、2 回目）の平均、最大・最小値

表-2 塩分の平均値、最大・最小値

	平均値	最大値	最小値
(a)深層水受水槽（原水）	34.08	34.12	34.05
(c)屋外貯水槽	34.07	34.11	34.06

表-3 溶存酸素の平均値、最大・最小値（mg/L）

	平均値	最大値	最小値
(a)深層水受水槽（原水）	6.82	6.98	6.53
(b)低温飼育棟排水	7.83	8.21	7.41
(c)屋外貯水池	8.04	8.34	7.78
(d)サクラマス棟熱交換水	7.63	8.10	7.25
(e)二次飼育試験*	8.02	8.33	7.81

表-4 濁度の平均値、最大・最小値（ppm）

	平均値	最大値	最小値
(a)深層水受水槽（原水）	0.29	0.70	0.15
(b)低温飼育棟排水	0.28	0.70	0.15
(c)屋外貯水池	0.27	0.65	0.10
(d)サクラマス棟熱交換水	0.33	0.71	0.15
(e)二次飼育試験*	0.35	0.65	0.15

表-5 CODの平均値, 最大・最小値 (mg/L)

	平均値	最大値	最小値
(a)深層水受水槽 (原水)	0.16	0.22	0.10
(b)低温飼育棟排水	0.20	0.25	0.15
(c)屋外貯水池	0.20	0.30	0.10
(d)サクラマス棟熱交換水	0.25	0.34	0.20
(e)二次飼育試験*	0.18	0.25	0.10

表-6 細菌検査結果 (CFU/ml)

採水場所		一般生菌数	大腸菌群	ビブリオ属
①深層水受水槽 (原水)		4.0×10	0	1.0×10
②低温飼育棟排水		1.0×10	0	0
③屋外貯水槽		1.0×10	0	0
④二次飼育試験水槽	一次飼育水槽 (ハタハタ)	5.0×10	0	0
	二次飼育水槽 (ハタハタ)	1.6×10^2	0	9.0×10
⑤熱交換水 (サクラマス棟)		0	0	0
⑥複次飼育試験水槽	一次飼育水槽 (トヤマエビ)	8.3×10^2	0	4.0×10
	二次飼育水槽 (トヤマエビ)	7.0×10	0	0
	三次飼育水槽 (ハタハタ)	1.9×10^2	1.0×10	0
	四次飼育水槽 (バイ)	4.0×10^2	1.0×10	0

変動し, 平均 34.07 となり取水深層水とほぼ同様の値であった。

(c) 溶存酸素 (表-3)

取水深層水で 6.53~6.98 mg/L の範囲で変動し, 平均 6.82 mg/L であった。その他の定点では 7.25~8.33 mg/L で変動した。平均値は 7.63~8.04 で取水深層水に比べ値が上昇した。

(d) 濁度 (表-4)

取水深層水では 0.15~0.70 ppm で変動し, 平均 0.29 ppm であった。その他の, 調査ポイントでは 0.10~0.71 ppm で変動し, 平均値は 0.28~0.33 ppm であった。

(e) COD (表-5)

取水深層水では 0.10~0.22mg/L で変動し, 平均, 0.16 mg/L であった。その他調査ポイントでは 0.10~0.34 mg/L で変動し, 平均値は 0.18~0.25 mg/L であった。

(f) 細菌検査 (表-6)

取水深層水では一般生菌数が 4.0×10 CFU/ml, ビブリオ属が 1.0×10 CFU/ml で, 大腸菌群は確

認されなかった。低温飼育棟排水, 屋外貯水池および熱交換水では一般生菌数が $0 \sim 1.0 \times 10$ CFU/ml であった。大腸菌群およびビブリオ属については確認されなかった。二次飼育試験 (ハタハタ), 複次飼育試験の一次飼育排水の一般生菌数はそれぞれ 5.0×10 CFU/ml, 8.3×10^2 CFU/ml となり, 取水深層水に比べ高い値となった。複次飼育試験の一次飼育飼育排水では一般生菌数のうち 7.9×10 CFU/ml は放線菌であった。二次飼育排水の一般生菌数は二次飼育試験で 1.6×10^2 CFU/ml, 複次飼育試験で 7.0 CFU/ml であった。さらに複次飼育試験の三次, 四次飼育排水では一般生菌数が 1.9×10^2 CFU/ml, 4.5×10^2 CFU/ml となった。また三次, 四次排水では 1.0×10 CFU/ml の大腸菌群を確認した。

(2) 複次飼育試験

(a) トヤマエビ・トヤマエビ (二次飼育)

1 回目: 試験開始 192 日目で一次飼育の生残率は 47.0 %, 二次飼育は 27.0 % となり, 二次飼育の

生残率は一次飼育の 54.8 %であった。

2 回目：飼育開始 155 日目で一次飼育は 86.7 %, 二次飼育は 100 %であった。

(b) マダラーマダラ (二次飼育)

飼育開始 84 日目で一次飼育の生残率が 95.0 %, 二次飼育で 75.0 %となった。二次飼育の生残率は一次飼育の 8 割に満たなかった。

(c) ハタハターハタハタ (2 次飼育)

1 回目：試験開始 51 日目で生残率が一次飼育で 87.4 %, 二次飼育では 18.2 %となった。二次飼育の生残率は 1 次飼育の 2 割強とかなり低い値となったであった。

2 回目：試験開始 78 日目で一次飼育, 二次飼育とも生残率は 94.5 %であった。

(d) 複次飼育試験

トヤマエビ二次飼育試験 ハタハタ バイガイ (四次飼育試験)：トヤマエビの結果については(a)の 2 回目に示した。三次飼育のハタハタの生残率は 59.8 %となり, ハタハタのみの二次飼育試験の結果に比べ低い値となった。四次飼育のバイガイは生残率 95.6 %であった。

ハタハタ二次飼育試験 バイガイ (三次飼育)：ハタハタの結果は(c)に示した。三次飼育のバイガイの生残率は 77.1 %となり, 四次飼育試験の結果と比べ低い値となった。

4. 考 察

(a) 排水の水質

原水 (取水深層水) の水温, 塩分, pH, 濁度, DO および COD は安定しており, これまでの富山水試の調査結果ともよく一致していた。いずれの排水も原水に比べ水温が上昇した。低温飼育棟排水および屋外貯水池は夏場の高気温の時期でも水温上昇がごく僅かであった。ただし屋外貯水池では, 余剰水量の減少により, 水温変動が大きくなる可能性もある。DO は全ての排水で原水に比べ上昇した。排水水温は 1.88~11.23 °Cと低温を維持しており, 低温状態で各施設においてエアレーションなどを行っていたため DO が上昇したと考えられる。pH および濁度は原水と排水で明確な差が見られなかった。

COD の値も原水と排水の間で明確な差は見られなかったことから, 魚の飼育による有機物の負荷は, それ程大きくないと考えられる。

細菌検査では, 原水でビブリオ属が確認されたが, 排水の検査結果と考え合わせると採水時に混入した可能性が高い。低温飼育棟排水, 屋外貯水池および熱交換排水の生菌数は原水と変わらず, 施設および配管内での菌増殖はほとんど無いと考えられる。複次飼育試験では利用の段階が進むにつれて生菌数が増加する場合があった。三次, 四次飼育排水からは大腸菌群も確認された。供給源として飼育生物から出てきたもの, 給餌作業により混入したものが考えられる。排水調査の結果から, 低温飼育棟排水, 屋外貯水池, 熱交換排水は取水深層水と比較して, 水質が極端に悪くなることはなく, 再利用できる可能性が高い。

(b) 二次, 複次飼育試験

トヤマエビの二次飼育試験の 1 回目 (2 歳魚) では生残率が一次飼育 47 %, 二次飼育 27 %と低い値になった。今回の試験では飼育密度が通常よりやや高めになっており, 共食いも見られたが生残率は通常飼育のものとはほぼ同様の値であった。しかし, 二次飼育の生残率がより低くなった原因は今回の排水調査データを見る限り明らかでない。2 回目 (5 歳以上) では一次飼育, 二次飼育ともに通常飼育と変わらないものであった。今回, 5 歳以上の個体は年齢が明確ではなかった。トヤマエビの寿命は 10 年程度といわれており, 死亡原因として個体寿命の可能性もある。

マダラの二次飼育試験では, 一次飼育に比べ二次飼育の生残率が低かった。排水の調査データからは原因の推定が困難であった。ただし屋外貯水池の深層水を使用し飼育したハタハタから, サケ科魚類由来のものに近い非定型 *Aeromonas. salmonicida* が分離されている。本菌はマダラに対し弱いながらも病原性を示すことが確認されており, その影響も懸念された。

ハタハタの二次飼育試験では 1 回目の二次飼育で生残率が低かった。ハタハタはその生息水深から飼育適温が 4~6 °Cと考えられる。二次飼育水槽

では平均水温が 8℃台となっており、低生残率の原因として高水温によるストレスが考えられる。2 回目の飼育試験では平均水温が 4.98℃で一次、二次飼育とも生残率が 94.5%となっており、適水温を維持できたことが好結果につながったと考えられる。逆に三次飼育試験水槽では平均水温が 2℃台で、生残率が 59.8%となっており低水温の影響があったと思われる。バイガイは三次と四次飼育試験水槽で飼育を行ったが、平均水温が 9℃台となった三次試験水槽で生残率が低くなった。やはり高水温の影響が考えられる。

以上、飼育試験の結果から水温管理、換水率、飼育対象魚などの条件が合えば複次飼育の可能性は十分にあると考えらる。一方、複次飼育において細菌による感染症、特に一次飼育でそれが発生した場合、二次、三次飼育魚に与える影響も大きいと予想され

る。よって今後、各段階における詳細な細菌検査が必要と考えられる。

参考文献

- 1) 伏見克彦・奈倉 昇 1990. 海洋深層水の実態解明研究. 科学技術庁研究開発局, 海洋深層資源の有効利用技術の開発研究に関する研究 (第 I 期) 成果報告書. 31-58.
- 2) Ohtu, J. 1997. Characteristics of deep sea water of Toyama Bay and its use In experimental breeding and seed production. Conf. Proc. IOA 97: 119-126.
- 3) 忠鉢孝明 1991. 山形県沖合いにおけるハタハタの分布特性. p.11-16. 第 4 回ハタハタ研究協議会報告書, 日水研.
- 4) 反町稔・堀田和夫・大津順 1999. ハタハタに発生した非定型 *Aeromonas salmonicida* 感染症. 富山県水試研報, 11:1-7.

(2000. 2. 29受付)