

# 水産生物栽培キットの設計・製作とSTEAM教育への展開

野毛 宏文 ・ 梶元 達也\* ・ 入江 隆  
笠井 俊信 ・ 内藤 憲二 ・ 平田 晴路

中学校技術科における水産生物の栽培では、実習的な活動はほとんど実施されていない。知識だけの習得で、思考を深めることは難しい。実社会での問題発見や解決を科目横断的に進めるSTEAM教育により、思考を抽象化させる必要があると考える。本研究では、はじめに「水産生物栽培キット」を設計・製作し、中学校技術科での教材としての適性を確かめた。次に、水産生物栽培キットをSTEAM教育へ展開するため、ファンバブル発生ノズルを水産生物栽培キットに設置し、ファインバブルがゼブラフィッシュの成長に及ぼす影響を調べた。その結果、水産生物栽培キットは中学校技術科の水産生物の栽培で、学習指導要領の取り扱い内容を満足する教材として使用できることを確認した。また、ファインバブルによるゼブラフィッシュの成長促進や高品質化に関する優位性は確認できなかったが、ものづくりに関するテーマは、STEAM教育に寄与する可能性が高いことを明らかにした。

**Keywords** : 水産生物の栽培, 水産生物栽培キット, STEAM教育, ゼブラフィッシュ, ファインバブル

## 1. はじめに

現在、社会生活で利用されている生物育成の技術は、植物、魚介類の栽培や動物の飼育に幅広く利用され、安定した人間の食生活を支えているだけでなく、環境保全や経済の発展にも大きく貢献している。そのため、中学校技術・家庭科(技術分野)では生物育成技術と生活や環境に関する知識の理解に加え、生物育成の技術に関わる問題を見いだして課題を設定し、解決する力、よりよい生活や持続可能な社会の構築に向けて、適切かつ誠実に生物育成の技術を工夫し創造しようとする実践的な態度の育成が求められている<sup>1)</sup>。

生物育成の技術では、作物の栽培、動物の飼育及び水産生物の栽培のいずれも扱うことになっているが、実習的な活動となると、「栽培又は飼育、検査等ができること」と学習指導要領には明記されている<sup>1)</sup>。これまでの中学校技術・家庭科(技術分野)「生物育成の技術」に関する実習の題材は、全国の中学校で「作物の栽培」が96.8%、「動物の飼育」が0.3%、

「水産生物の栽培」が0.5%となっており、作物の栽培以外の実習はほとんど実施されていない<sup>2)</sup>。また、令和3年度に改定された2冊の教科書を見ると、作物の栽培に関する内容が東京書籍で24ページ、開隆堂で14ページとなっているが、動物の飼育と水産生物の栽培に関する内容はいずれも1ページであり、これまでの教科書と同様に作物の栽培の内容のみが充実している。さらに、大半の中学校技術教員は生物学を専門としておらず、動物の飼育や水産生物の栽培を扱う時には、教材不足に加え、実習器材の検討から予算の計画まで、多くの懸念事項を抱えることになる。自前で実習器材を準備できない学校や、近くに専門の施設がない学校では、教科書やインターネットの知識を見聞するのみに留まり、動物の飼育と水産生物の栽培に対する思考を深めることは難しい。

新学習指導要領に示されているSociety5.0に耐え得る力を身に付け、質の高い地域社会を築いていくためには、実社会での問題発見や解決を科目横断的

岡山大学大学院教育学研究科 生活・健康スポーツ系 700-8530 岡山市北区津島中3-1-1

\*岡山市操南公民館 702-8006 岡山市中区藤崎201-4

Production of Aquatic Organism Cultivation Kit and Its Development in STEAM Education

Hirofumi NOGE, Tatsuya KAJIMOTO\*, Takashi IRIE, Toshinobu KASAI, Kenji NAITO, and Seiji HIRATA

Division of Life, Health and Sports Education, Graduate School of Education, Okayama University, 3-1-1 Tsushima-naka, Kita-ku, Okayama 700-8530

\*Okayama City Sonan Public Hall, 201-4 Fujisaki, Naka-ku, Okayama 702-8006

に進めるSTEAM教育により、失敗や成功を体験させ、思考を抽象化させる必要があると考える。

本研究では、水産生物の栽培分野で、現場の教員が教材として容易に扱え、比較的低コストな「水産生物栽培キット」を設計・製作し、予備実験を行い、中学校技術科での教材としての適性を確かめる。

さらに、STEAM教育への展開を図り、淡水魚の栽培に関する新たな価値を見いだすため、水産生物栽培キットを拡張し、ファインバブル (FB) が淡水魚の成長に及ぼす影響を調べた。すでに、水中に長時間滞在するFBは水中の溶存酸素 (DO) を高め、貝類、海苔、一部の海水魚、淡水魚の成長を促進することや高品質化に寄与することが報告されている<sup>3)~5)</sup>が、研究例は少ない。中でも、FB発生下における淡水魚の受精卵から成魚への成長過程を調べた研究は見当たらない。淡水魚の成長に関して、FBの効果が明らかになれば、養殖技術の発展や育成環境の改善に関しても応用が期待できる。

## 2. 使用した材料と実験条件の設定

### 2-1. 栽培対象魚と水産生物栽培キットの材料

栽培対象魚は以下1~5の選定基準により、モデル生物として豊富な研究実績を有するゼブラフィッシュ (ZF) を選んだ。

1. 世代時間が短い (約3か月)。
2. 入手が容易。
3. 比較的低コスト (¥100程度/1匹)。
4. 栽培方法が簡単でモデル生物としての研究例や飼育例が豊富。
5. 大型海水魚の餌としても利用可能。

1については、他教科に比べると格段に授業時数が少ない技術科の中で実施計画が立てやすい。2, 3については、ホームセンター等でも手頃な価格で容易に入手できる。4については、専門書や論文に頼らなくてもインターネットや書籍、報告書などでも比較的信頼性のある飼育情報が掲載されているため、栽培計画時に役立つ。5について、中学校で扱う水産生物の栽培は、すなわち養殖のことであり、養殖技術で育った魚介類は最終的に食料となる。しかし、現在の水産業では、海面漁業・養殖業が98.8%を占め、内水面漁業・養殖業は約1.2%であり<sup>6)</sup>、淡水魚を養殖する事例は非常に少ない。本研究で扱うZFは淡水魚で食用でもないが、大型魚の餌にもなる<sup>7)</sup>ため、間接的に大型魚の養殖を支えることにつながる。

予備実験用の水産生物栽培キットに用いた材料は以下1~14に示す。1~11まではホームセンターまたは100円均一店で購入し、¥15,000程度であっ

た。12~14については、すでに大学にあるものを利用した。15, 16については、STEAM教育のための実験に用いた。

1. ポリプロピレン (PP) 製の透明ハードコンテナ (45ℓ) × 1個
2. エアレーションポンプ 水槽幅120cm, 水深50cm以下推奨 (GEX e-AIR2000SB)
3. ヒーター (GEX SH220)
4. フィルター付きポンプ, 全揚程: 630mm, 流量: 8ℓ/min (GEXデュアルクリーン600)
5. ビニールチューブ
6. 取っ手付きPP製ファイルケース (縦×横×高さ: 210×145×130mm) × 3個
7. 塩ビパイプ
8. 水温計
9. タイマーコンセント
10. タップ
11. 3mm網目のプラスチック
12. ミニメタルポール
13. 電球型蛍光灯 (21W)
14. アクリル水槽 (25ℓ)

本実験用に、水産生物栽培キットへ追加した材料を以下に示す。

15. ポリプロピレン (PP) 製の収納容器 (10ℓ) × 4個
16. OKノズル (OKE-MB500mℓ-PT1/8.MO: 吐出量500mℓ/min)

### 2-2. 水産生物栽培キットの設計・製作

図1に設計・製作した水産生物栽培キットの模式図を示す。水質の悪化を防ぎ、水の交換や掃除も比較的容易に行える上下2段組の循環水槽を選定した。下段の水槽からポンプで水を吸引し、上段の水槽に導入するが、上段の水槽の水位が高くなると、ダブルサイフォン式オーバーフロー装置 (考案者・特許権保持者apiqa氏, 特許第3912612号) を経て、下段の水槽に水が戻る仕組みとなっている。

上段の水槽には、直径0.5mmの穴を両側に135個ずつ開けた取っ手付きPP製ファイルケースを3つ、または同様に穴を加工したPP製の収納容器を2つ沈め、これらの容器の中でZFの栽培を行った。また、PP製ファイルケースの底に空いた穴はスポンジで塞ぎ、卵や稚魚の流出を防止した。さらに、水中でPP製ファイルケースの取っ手に塩ビパイプを挿入し、上段の水槽に引っ掛けてバランスを保持する工夫を行った。

通気に関しては、メーカー推奨の小型ポンプの水槽サイズを参考にし、本実験では1つの小型ポンプ

から空気流入通路を2つに分岐させて、下段の水槽に設置した。

ZFの生体リズムを調整するため、上段の水槽の上部に電球型蛍光灯を設置した。

FBを使用する場合、FBの発生時に生じる水流や振動が栽培に与える影響を軽減するため、下段の水槽でOKノズルによりFBを発生させた。なお、ダイヤフラムポンプ(DC12V, 60W)の出力はDC-DCコンバータで調整し、水槽の水をノズルに導入した。

ZFは産卵した卵を食べてしまうため、産卵直後の卵だけが別空間に集まるよう工夫する必要があった。そのため、図2に示すようにタッパの底をくりぬき、網を張り、卵と網が接触しないよう塩ビパイプの端材で四隅を底上げた。

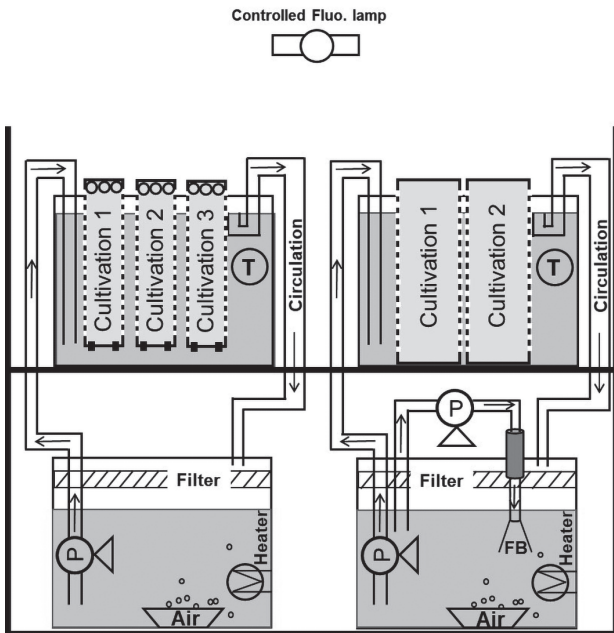


図1 製作した実験装置(左図:予備実験,右図:STEAM教育への展開を目指す実験)

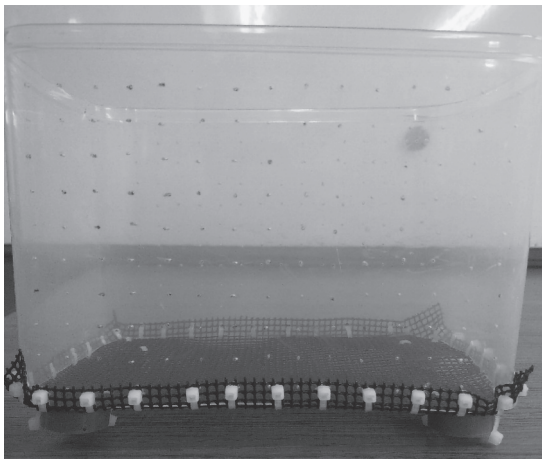


図2 製作した産卵用容器

### 2-3. 産卵条件, 栽培条件ならびにファインバブル発生条件の設定

栽培と産卵条件に関しては国立遺伝学研究所 系統生物研究センター 小型魚類開発研究室のプロトコル<sup>8)</sup>を参照した。

産卵に関しては、産卵用水槽として25ℓのアクリル水槽を用意し、その中に、加工したタッパを半分程度浸し、タッパの中に親魚5匹(雌:2,雄:3)×2セットを入れた。親魚は夕方投入し、翌朝、産卵の確認を行った。

栽培に関して、栽培期間は世代時間を参考にし、3ヵ月とした。水槽の水温はヒーターで28℃一定に保持した。ZFの生体リズムを一定にするため、周囲の電気は消して、上段水槽の上部の電球型蛍光灯で、14h照射,10h消灯を繰り返した。

給餌回数は1日2回(土日除く)とし、体長が小さいときには、ブラインシュリンプ(テトラブラインシュリンプエッグ)または粉餌(テトラミンベビー)のみを与え、ブラインシュリンプは人工海水で沸かした後、水で塩分を除去し、400mlの水に入れる。1回の給餌につき、1つの栽培水槽に100ml投入した。粉餌は1回につき、プラスチック製大薬さじの小スプーン1杯分を投入した。給餌後30分が経過して餌が残っている場合は、残りの餌を回収した。

FBを設置した水槽では、0.2MPaに設定したノズルからFBを噴射させ、AM6:00-11:30/1dayまで稼働させた。ただし、ポンプの過熱を防止するため、15min運転,15min休止とする間欠運転とした。

### 2-4. 水質検査

水質を定期的かつ簡易的に評価するため、DO参考値(株共立理化学研究所)溶存酸素(DO)キットと、水素イオン濃度(pH)、炭酸塩硬度(KH)、総硬度(GH)、亜硝酸塩(NO<sub>2</sub>)、硝酸塩(NO<sub>3</sub>)、塩素(Cl<sub>2</sub>)の参考値(テトラ社テスト6in1試験紙)を1週間おきに調べた。

### 2-5. ZFの体調測定方法

1ヵ月毎にZFの体長と体重の測定を行った。1匹ずつ個体を取り出し、図3に示すように10s程度の水冷麻酔を行ったあと、プラスチック容器に移し、体長を測定した。体重はキムワイプでZFの表面に付いている水分を概ね除去した後に、電子天秤(METTLER TOREDO PB153-S)で測定した。



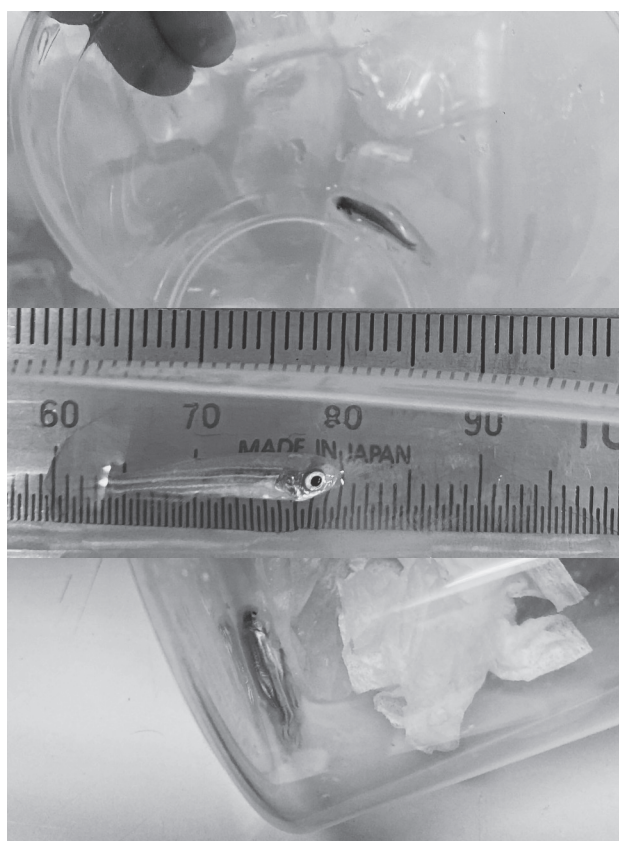


図3 氷冷麻酔と体長測定および水分除去

### 3. 実験結果および考察

#### 3-1. 産卵試験

はじめに、購入した親魚を産卵用水槽に入れ、産卵試験を行った。ZFの性別判定は、目視で腹部の大きさで見極め、腹部の小さい個体を雄、腹部が大きい個体を雌とした。最初の1回のみ、24 h以内に産卵が確認できなかったため、個体を再選別し、同様の試験を行った。2回目以降の試験では、12h以内に産卵を確認し、中には、すでに孵化した個体も確認した。松本らはZFの産卵試験において、「雌雄別々に飼育した個体を一つの水槽に入れると、13回中9回は1分以内に産卵行動を始め、確実に受精卵を得ることができた。遅くとも8分後には産卵した。」と報告している<sup>9)</sup>。本研究においては親魚が雌雄同一の水槽で飼育されている点は異なる。産卵までの正確な時間は確認していないが、もう少し早い時間内に産卵が行われていた可能性は十分考えられる。人目を避けた静かな場所で、デジタルビデオカメラ等で産卵のタイミングを撮影すると、正確な時間が記録できると考えられるが、ZFの卵径は約1 mmで、無色透明であるため、ある程度の解像度が必要となる。

なお、1回の産卵数は数十～数百個であった。

#### 3-2. FB無しでの栽培（予備実験）

はじめにPP製ファイルケース3つを栽培用水槽1～3とし、エアレーションのみでの予備実験を行った。栽培開始時期は水槽によって異なる。水槽1が始動したあと、1週間後に水槽2、1か月後に水槽3で栽培を開始した。栽培用水槽1～3には、それぞれ卵を100個、50個、147個投入して栽培を行った。孵化した稚魚は1～2日、水槽の壁面にへばりつき、動かずに餌を食べない。3日以降になると、ブラインシュリンプに接触する個体が現れた。10～14日程度で粉餌も食べるようになるため、ブラインシュリンプと併用して与えた。しかし、7～10日が経過すると、初期減耗のピークを迎え、個体数が激減する。それから徐々に個体数が減少していく。正確な個数がカウントできた水槽1と水槽3における初期減耗のピーク値は64匹、82匹であった。最終的にそれぞれの水槽で、ZFは28匹、26匹、33匹となり、予備実験では20後半～30前半個体が初期減耗を回避することができた。

初期減耗に関しては、サケの稚魚のように淡水から汽水や海水へと生存環境が変化することに順応できないこと<sup>10)</sup>や、底生魚類のように底質や底層環境および、卵仔魚の輸送に関わる水流の変化に馴染めないこと<sup>11)</sup>が原因と考えられている。このように、自然の中では、初期減耗の環境的な原因は不特定多数と言えそうであるが、本実験のように管理された環境下においては限定される。萱場は、マツカワの種苗生産において、初期減耗の原因を1. 卵質の良否、2. 摂餌不良、3. 減耗率が激しくなるときに見られる特有の行動に分けて考え、それぞれの原因に対して対策を施すことで、初期減耗を大幅に減らすことに成功している<sup>12)</sup>。いくつかの対策方法の中から、着手しやすそうな物理的ストレス<sup>13)</sup>の軽減と飼育密度<sup>13)</sup>の緩和について検討を行った。予備実験ではPP製ファイルケースを栽培用水槽としていたが、この面積が縦×横：210mm×145mm、体積が3.96 l、であるのに対して50個以上の卵を投入している。仔魚のサイズは約3～5 mmと小さいが、飼育密度が過密であった可能性も考えられるため、本実験では、栽培水槽の水面の面積および体積を、それぞれ縦×横：275mm×180mmおよび10 lに拡張し、卵の投入数を削減する。また、水温は28℃に設定しているが、とくに冬場は水温が下がり気味で、仔魚の動きが鈍化したため、室内のエアコンを常時稼働させ、ヒーターの設定温度も少し高くし、水温を29℃以上に保持し、本実験を行う。

定期的な水質検査では、異常値は確認されていな

いことから、水質は保全されていたと考えられる。  
 以上の予備実験より、中学校技術科の授業において、ZFの栽培初心者でも、比較的短時間で産卵から飼育を実践でき、かつ、初期減耗を端緒として魚類の習性や種苗育成あるいは、育成環境の調整についても学んで考えることができる。このため、水産生物栽培キットを用いると、中学校技術科における水産生物の栽培に関する内容の取扱いを概ね満足し、指導を行うことができる。

### 3-3. FB有りでの栽培

本実験では10ℓのPP製の収納容器を2つ用意し、A容器から実験を開始し、B容器は卵の投入時期を1週間ずらした。それぞれの容器(A, B)には25個ずつ卵を入れて栽培を行った。また、FBがZFの成長に及ぼす影響を調べた。ここでは、FB無をAir区(A, B)、FB有をFB区(A, B)とする。

最終的に、Air区(A, B)の個体は、A:10匹、B:13匹、FB区(A, B)の個体はA:10匹、B:15匹である。予備実験での生存率がおおよそ20~50%であったのに対し、本実験では40~60%に向上した。全体的に初期減耗が抑えられたため、温度保持と栽培容器の面積と体積の拡張は有意であると考えられる。また、Air区とFB区の生存率は卵の投入時期で異なるが、各回での最終個数は概ね同じであったことから、現在の実験環境や実験条件が最適化されているとすれば、投入時の受精卵の状態が初期減耗の一つの要因として考えられる。

次に、初期減耗を経て、残った個体に対して体長と体重の測定を行った結果をそれぞれ図4、図5に示す。図4の体長を見ると、1~3カ月間はいずれの栽培容器においても体長が増加している。3カ月目に測定した平均体長を100%として、1カ月目と2カ月目の割合で見ると、Air区(A, 1カ月:59.2%, A, 2カ月:88.5%, B, 1カ月:54.7%,

B, 2カ月:78.9%), 一方FB区(A, 1カ月:51.2%, A, 2カ月:86%, B, 1カ月:49.6%, B, 2カ月:77.3%)となっている。3カ月経過する頃には、ZFの体長は概ね27mm前後に落ち着くが、FB区の1カ月目の成長率はAir区よりも若干低い。FB区のZFは孵化後2~3週間、主に水面に停滞し、水中深くに潜水する頻度が少ないことを目視で観察した。FBは水中に長時間滞留する。FBの水中での上昇速度は以下に示すStokesの式で表される<sup>14)</sup>。Stokesの式は通常、低レイノルズ数の条件下で水中での固体球の沈降運動を表すが、水中におけるFBの挙動もそれに近いためである。例えば $d_B=10\mu\text{m}$ のマイクロバブルでは1時間あたり、19.6cmしか上昇しない<sup>14)</sup>。FBの中には多様な微小サイズの気泡が含まれるため、潜水能力に乏しい仔魚にとってはそれらが抵抗となり、行動を阻害されたと推察される。とくに、仔魚にはシュリンプを与えるが、投入されたシュリンプは、間を置くことなく水面から水中まで幅広く分散する。その結果、FB区の仔魚は水面のシュリンプのみしか食べることができず、摂食行動が制限される。今後は、FB区における給餌方法も再検討し、出来るだけ多くの仔魚に餌が渡るよう工夫を行う。

$$u_B = \frac{d_B^2(\rho_L - \rho_G)g}{18\mu_L} \quad (1)$$

ただし、 $u_B$ : 上昇速度,  $\rho_L$ : 液体密度,  $\rho_G$ : 気体密度,  $\mu_L$ : 液体粘性係数,  $g$ : 重力加速度

図5の体重を見ると、1個体あたりの重量は数十~300mg程度であるが、体長測定結果よりもばらつきが大きい。水分を除去して電子天秤で測定を行っているが、個体を死滅させることなく迅速に処理する必要がある、完全な水分除去には至っていないのかもしれない。さらに、1個体が非常に軽いこともあり、若干の水分が残るだけでも、ばらつきが

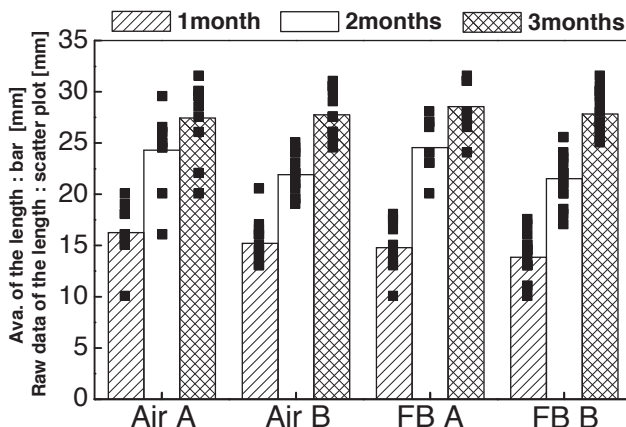


図4 ZFの体長測定 (平均と生データ)

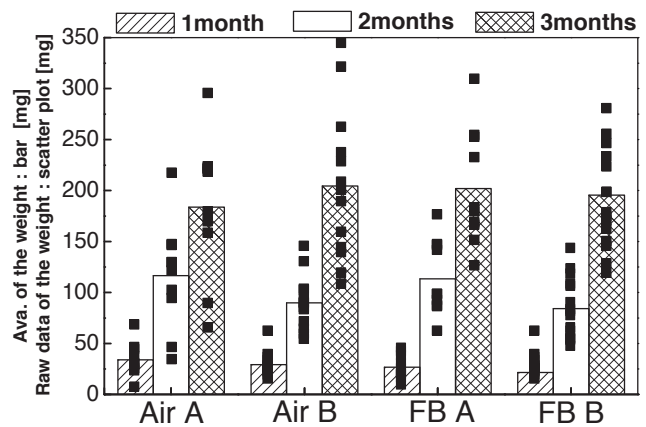


図5 ZFの体重測定 (平均と生データ)



大きくなると考える。

それから、400尾のZFの雄と雌の体長差は平均2mm程度で、体重差は平均200mg程度異なるとの報告<sup>15)</sup>が見られ、体重についてのばらつきは、雄と雌の体重差も反映されていると考えられる。

以上、1～3カ月間のAir区とFB区でのZFの栽培においては、先行研究に見られるようなFBによるZFの成長促進や高品質化に関する優位性は確認できていない。測定した個体数も少ないため、今後の研究では、個体数を増やし、体重測定を複数匹で行うことや、FB区における1回における給餌量を調整し、給餌時間のみを伸ばすなどの工夫を行うと、測定や給餌の問題解決につながり、成長の違いを確認することができるかも知れない。また、図6に示すように、FB区の水槽には、少なくとも目視では

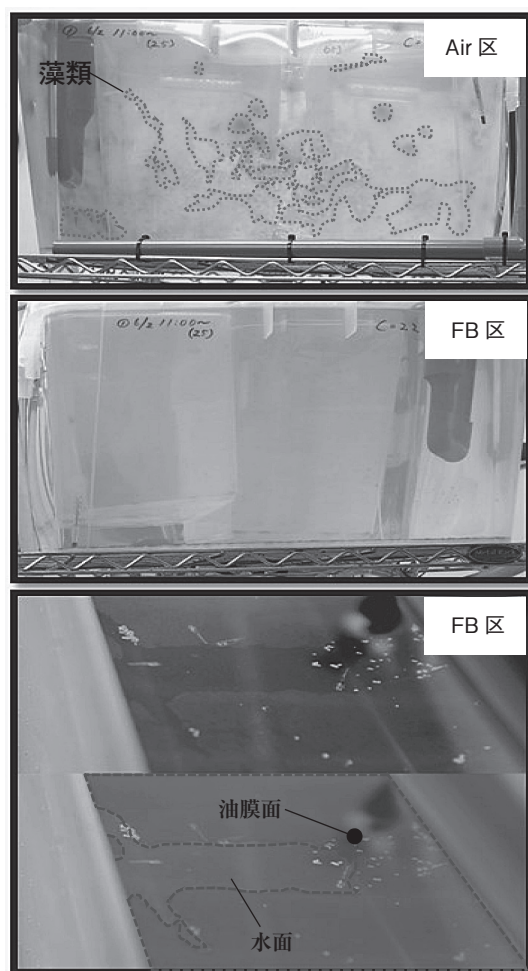


図6 藻類の発生比較（上：Air区，中：FB区）下：FB区の水面上に発生する膜（赤色加工）

藻類の発生が確認できず、粉餌の投入時には水面上に油のような膜が形成され、水質も長期間きれいな状態に保持できる効果も表れている。これは、油は疎水性で、藻類や餌は油分を含んでおり、同じ疎水性

の気泡が近づいてくると、気泡側に藻類や餌が付着し<sup>16)～18)</sup>、水面上に押し上げられた後に、フィルターで吸収されると考えられる。今後はこのようなFBの物理化学的な現象を理解し、FB区でのZFの栽培に有効活用したい。

#### 4. 水産生物栽培キットとSTEAM教育の関係

水産生物栽培キットをSTEAM教育へ展開するため、水産生物栽培キットにFB発生ノズルを設置し、FBがZFの成長に及ぼす影響を調べた。この過程において、中学校学習指導要領以外の項目となるが、FBという新たな知見を得ることができ、さらに水産生物栽培キットを用いた研究題材に発展させることができた。文部科学省によると、STEAM教育の目的は科学・技術分野の経済的成長や革新・創造に特化した人材育成や市民リテラシーの育成<sup>19)</sup>と考えられている。そのため、水産生物栽培キットやFBについて理解し、課題を発見あるいは設定し、解決を目指して行動することはSTEAM教育の目的達成に資すると言える。本研究では、水産生物栽培キットを応用するにあたり、FBのふるまいや循環方法の検討、照明の設置と制御方法や水槽の断熱方法など、設定した課題を解決するため、ハード部分の設計・製作としてエンジニアリングを実践した。また、水中におけるFBの現象の理解やZFの調査方法を検討するうえで、物理化学な知識から生物学に関する知識、すなわち教科を横断した知識を実践に結び付けた。さらに、毎日の実験を行う上で、実験器具の扱いやすさや、必要最低限の管理工程を抽出し、管理者の負担軽減につながる工夫の積み重ねは、ヤング吉原らがSTEAMで重要視する人間重視という思想<sup>20)</sup>に合致するかもしれない。

中学校学習指導要領の範囲内では、例えば、水槽を支えるメタルポールの代わりに、木材加工で、実験しやすい台の設計・製作を行うこと、木材加工により排出された木くずやおがくずを断熱材へ再加工すること、水の蒸発による水位の低下を自動的に知らせるシステムをマイコンで構築すること、あるいは、2段水槽の特性を生かし、上段は魚を、下段は植物を栽培するハイブリッド水槽などの設計・製作に取り組める可能性がある。

以上のことから、ものづくりを含んだテーマは科目横断的で、STEAM教育に直結する要素が多いことに加え、探究的かつ創造的な学びを支援する可能性が高いと考える。

#### 5. まとめ

中学校技術科の水産生物の栽培分野の教材を充実

させるため、水産生物栽培キットを製作し、試験的に運用した。また、水産生物栽培キットのSTEAM教育に関する可能性を探るため、FBがZFの成長に及ぼす影響を調べた結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 中学校技術科の水産生物の栽培で、水産生物栽培キットを教材として使用し、学習指導要領の取り扱い内容を指導することができる。
- 2) ZFの初期減耗は避けられない現象であるが、環境や給餌方法を最適化することで、死亡個体を抑えることができる。
- 3) FB区のZFの1カ月目の体長はAir区よりも若干小さいが、3カ月目にはFB区とAir区のZFの体長は同程度となる。
- 4) FB区のZFは孵化後2～3週間、主に水面に停滞する。
- 5) FB区の水槽には、少なくとも目視では藻類の発生が確認できない。
- 6) 本実験においては、先行研究に見られるようなFBによるZFの成長促進や高品質化に関する優位性は確認できない。
- 7) 水産生物栽培キットのようなものづくりに関するテーマは、STEAM教育に寄与する可能性が高い。

#### 謝辞

本実験の実施に協力していただいた横田智弘君に感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 文部科学省：中学校学習指導要領（平成29年告示）解説 技術・家庭編，pp.33-39
- 2) 平成26年度中学校 技術・家庭科に関する第3回全国アンケート調査【技術分野】調査報告書，pp.1-40
- 3) Kosuke Ebina, Kenrin Shi, Makoto Hirao, Jun Hashimoto, Yoshitaka Kawato, Shoichi Kaneshiro, Tokimitsu Morimoto, Kota Koizumi, Hideki Yoshikawa, Oxygen and Air Nanobubble Water Solution Promote the Growth of Plants, Fishes, and Mice, PLOS ONE, Vol.8, Issue 6, e65339, pp.1-7 (2013)
- 4) 堤裕昭，沿岸海面養殖漁業へのマイクロバブル発生装置の利用と将来的展望，日本海水学会誌，第64巻，第1号，pp.31-37 (2010)
- 5) 高瀬清美・末永寛太・角田出，オゾンファインバブルを用いたマボヤの高品質化，日本海水学会誌，第86巻，第4号，pp.328-334 (2020)

- 6) 農林水産省大臣官房統計部，令和2年漁業・養殖業生産統計 (2021)
- 7) Zebrafish K-12, <http://www.uoneuro.uoregon.edu/k12/zfk12.html> (最終アクセス日:2021/11/01)
- 8) model fish.sakura.ne.jp/protocol.html (2021/5/7)
- 9) 松本麻希・高橋一将・大鹿聖公，ゼブラフィッシュを用いた発生教材の開発と小学校理科における授業実践，生物教育 第52巻 第1・2号，pp.20-27 (2011)
- 10) 虎尾充，北海道におけるサケ初期減耗過程の解明と資源回復に向けて～降海後のサケ稚魚に何が起きているのか？～，北水試だより，101，pp.7-10 (2020)
- 11) 有明海・八代海等総合調査評価委員会報告（環境省），4章 問題点とその原因・要因の考察，(9) 有明海全体－ノリ養殖，魚類等 2/2, pp.389-403 (2017)
- 12) 萱場隆昭，マツカワの種苗生産技術に関する研究，Nippon Suisan Gakkaishi, 72(5), pp.815-818 (2006)
- 13) 萱場隆昭，北海道におけるマツカワ種苗生産研究，北海道水産試験場 技術資料No.5, pp.4-35 (2005)
- 14) 寺坂宏一・氷室昭三・安藤景太・秦隆志，ファインバブル入門，日刊工業社，pp.34-35 (2016)
- 15) フナコシニュース2017年7月1日号 (No.637)，[https://fnkprddata.blob.core.windows.net/domestic/news/170701pdf/170701\\_p19.pdf](https://fnkprddata.blob.core.windows.net/domestic/news/170701pdf/170701_p19.pdf) (最終アクセス日:2021/11/09)
- 16) K. Yasui, T. Tuziuti, W. Kanematsu and K. Kato, “Dynamic equilibrium model for a bulk nanobubble and a microbubble partly covered with hydrophobic material,” Langmuir, 32, pp.11101-11110 (2016)
- 17) 秦隆志・西内悠祐・坂本正興，ファインバブルを用いた洗浄・水処理技術，表面技術，Vol.68, No.6, pp.317-320 (2017)
- 18) 安永望・高田誠，ファインバブルによる洗浄技術とその応用，表面技術，Vol.68, No.6, pp.313-316 (2017)
- 19) 文部科学省初等中等教育局教育課程課作成スライド，STEAM教育等の教科等横断的な学習の推進について，pp.1-18 (2021)，【資料⑤】STEAM教育等の教科等横断的な学習の推進について (mext.go.jp) (最終アクセス日:2021/11/10)
- 20) ヤング吉原麻理子・木島里江，世界を変えるSTEAM人材，朝日新書，pp.1-255 (2019)