



き棧橋」は、水産増殖科1年生が週に2回(月、木)、「坂下津生簀」は、水産増殖科2年生が週2~3回(月、水、金)の観測を目安に行った。また、観測は、各クラスの生徒全員が輪番で行った。

長期休業中は、生徒有志が実施できる範囲で行った。

⑤ 観測時間

「学校浮き棧橋」は、昼休み(日本時間で13:00)に、「坂下津生簀」は、放課後(日本時間16:00)に行った。なお、「坂下津生簀」は、生簀内飼育魚類(マダイ)の飼育管理も行った。飼料は、環境に配慮したEP飼料(多孔質ペレット)を給餌した。



GLOBE 観測定点でのマダイ養殖実習

(3) 観測機器などの設置状況

観測は、以下の方法と機器で行った。

- ① 気温・水温・・・棒状水銀温度計
- ② 天候(雲量)・・・目視
- ③ 比重(塩分濃度)・比重計
- ④ 透明度・・・透明度板
- ⑤ pH・・・pHメーター、パックテスト
- ⑥ 溶存酸素量(DO)・DOメーター



棒状水銀温度計      赤沼式比重計



透明度板



pHメーター      DOメーター

その他のGLOBE測定項目は、機器の整備が不十分であるため、観測しなかった。

3 研究内容

(1) グローブの教育課程への位置付け

GLOBEの活動は、教科「水産」における教育課程と密接な関係にある。特に、水産増殖科の教育課程の中にその概念や活動は含まれている。

具体的には科目と関連が深いものを下表に示した。

GLOBE 活動における教育課程との関連

| 科目   | 1年 | 2年 | 3年 |
|------|----|----|----|
| 水産基礎 | ◎  |    |    |
| 栽培漁業 | ○  | ○  | ○  |
| 水産生物 | ○  | ○  | ○  |
| 海洋環境 |    | ◎  | ◎  |
| 総合実習 |    | ◎  | ◎  |
| 課題研究 |    |    | ○  |

◎ 主科目    ○ 関連科目

実践の評価は、科目として評価を行い、1年生は、科目「水産基礎」、2年生には、科目「総合実習」において活動を評価した。

(2) グローブを活用した教育実践

GLOBE活動を通して、教科「水産」における環境分野の教育を深化させるため、本年度は、観測方法、観測場所、そして、GLOBEを活用した教育の実践法について検討した。

本年度の取組について以下にまとめた。

① 体験航海航路における海洋観測

愛媛県立宇和島水産高等学校水産増殖科では、2年次に航海実習を行っている。平成21年度は、平成21年6月27日(土)~7月4日(土)(7泊8日)で宇和島→屋久島→奄美大島→宇和島の航路で航海実習を行った。

海洋観測地点は、本航海における航路上である宇和島港・大分沖・宮崎沖・屋久島・奄美名瀬港・笠利崎沖・諏訪之瀬島沖・喜志鹿崎沖・都井岬沖の9地点で採水を行った。

海洋観測は、GPS で位置を確認し、環境メーターを用いて風向、風力を測定した。波浪・天候は目視で確認した。気温は、棒状水銀温度計を用いた。

STD (塩分水温深度測定器) にて、各水深における水温を鉛直的に求めた。水深の関係で、外洋のみ測定し、最大水深 770m まで測定した。

水色はフォーレル、もしくは、ウーレの水色標準液で、透明度は、透明度板を用い目視で観測した。

採水は、表層水を北原式採水器により採水した。

水質測定に用いる試水は、ポリ容器に 1L (2 本) を収容し、冷蔵保存した。一方は、採水後、クロロフィル量測定のため、炭酸マグネシウム ( $MgCO_3$ ) を添加し、クロロフィルのフェオフィチン化防止後、1L を船内で吸引ろ過した。ろ紙は、アルミ箔で遮光し、冷凍で保存した。

水質測定は、船内及び学校の実験室に持ち帰り行った。船内では、栄養塩類を測定した。アンモニア態窒素は、インドフェノール青法、亜硝酸態窒素は、ナフチルエチレンジアミン法、リン酸態リンは、モリブデン青法により分光光度計で吸光度を測定し、検量線から算出した。

学校では、冷蔵保存した試水を海水の化学的酸素要求量 (COD) 及び栄養塩類を再測定した。COD は、過マンガン酸カリウム-ヨウ素滴定法により算出した。

クロロフィル量の測定は、アセトン溶液に色素を抽出後、分光光度計で吸光度を測定し算出した。

また、プランクトンネットで 10m 鉛直曳きを行い、各地点のプランクトンを採集した。



屋久島白谷雲水峡山体験実習



屋久島 もののけ姫の森



奄美大島マングローブ原生林



マングローブカヌー実習



亜熱帯水生生物観察実習



ビーチクリーン

## ②宇和海の海洋観測実習

宇和海の海洋観測を通して、地球環境や自然について、幅広い視野で考察できる力を育成するために行った。

本年度は、観測方法や観測地点を検討する取組を行った。観測場所は、GLOBE 観測の定点である本校実習用生簀「坂下津生簀」を中心に行った。

測定項目と方法について、以下に述べる。ただし、本項では、GLOBE の測定項目は除いた。

### ア 溶存酸素量 (DO)

小型船舶「いたしま 2」で魚類養殖場にて、北原式採水器を用いて表層、5m 層を採水した。測定は、ウインクラー法・アジ化ナトリウム変法において行い、DO 固定は、船上で行い、滴定は、実験室で行った。



北原式採水による採水



DO 固定



固定の様子



ヨウ素を解離



でんぷん添加



滴定

### イ 水色

小型船舶「いたしま 2」で魚類養殖場周辺の水色をウーレ水色計で測定した。

### ウ クロロフィル量

クロロフィル量は、北原式採水器で採水した 1L を実験室で吸引ろ過した。ろ紙は、遮光保全し、Lorenzen 法で測定した。



## エ 海水の栄養塩類

栄養塩類の測定には、アンモニア態窒素は、インドフェノール青法、亜硝酸態窒素は、ナフチルエチレンジアミン法、リン酸態リンは、モリブデン青法により分光光度計で吸光度を測定し、検量線から算出した。

## オ 水の化学的酸素要求量 (COD)

採水は、北原式採水器で行い、ポリ容器に保管した。実験室にて、アルカリ性過マンガン酸カリウム滴定法で水の COD を測定した。

## カ 底泥の化学的酸素要求量 (COD)

採泥は、魚類養殖場周辺をエクマンバージ採泥器で行った。採泥後、ポリ容器に収容し冷凍保管した。

底泥の COD は、アルカリ性過マンガン酸カリウム滴定法で測定した。



エクマンバージ採泥器



船舶からの採泥

## キ 硫化水素

冷凍保管した底泥を電子天秤で正確に測定し、少量の蒸留水でガラス製ガス発生装置の中に挿入した。その後、18N (18 規定) の硫酸を 1 mL 添加し、検知管法により、硫化水素を測定した。



硫化水素を多く含んだ泥



砂泥質の泥



泥の定量



検知管による硫化水素測定

## ク 宇和海の細菌数の測定

細菌数は、BHI 寒天平板培地、TCBS 寒天平板培地、SS 寒天平板培地、NAC 寒天平板培地

にミスラ法で接種した。インキュベーターで 25℃、2 日間程度培養後、コロニー数より、cfu (コロニー形成単位) を求めた。

また、選択培地 (TCBS、NAC、SS 各培地) から簡易的に細菌叢を求めた。



火炎下での培地の分注 クリーンベンチでの無菌操作

## ケ MPN 法による宇和海の大腸菌群測定

大腸菌群は、人を含む陸上ほ乳類の腸管常在菌であるため、水や食品中に存在することは、それが、人畜の糞便などで汚染されていることを意味する。各種の消化器系病原体の代わりに、検出の容易な大腸菌群の測定を行った。

方法は、乳糖ブイオン培地を加熱溶解後、ダーラム管を入れた試験管に 10ml ずつ分注し、121℃、15 分高圧滅菌した。試水は、PBS で段階希釈し、乳糖ブイオン培地に 1ml ずつ 5 本に接種した。同様に 3 段階の希釈段階に接種した。

その後、インキュベーターで 35℃、2 日間程度培養し、各希釈段階の陽性試験管の本数から MPN (最確数) 表に基づいて試料 100ml あたりの大腸菌群数を算出した。



試水の接種



培養後の乳糖ブイオン培地

## ③生物学的視点からの海洋観測及び水質観測

### ア 来村川の水生生物による水質調査

水生生物による水質調査は、宇和島市の住宅部に位置する三島橋周辺と溪谷部の薬師谷川の岩戸橋周辺を定点とし、9 月の第 3 週前後を測定日とした。調査人数は、10 名前後、採集時間は、約 30 分とした。



指標生物：イシマキガイ



水生生物による水質判定

#### イ 宇和海の水生生物調査

宇和島湾における生物相を調査し、水産生物について学習を行うとともに、南方系の生物相から地球温暖化についても考察した。

本年度は、宇和島市吉田町貝浦海岸にて水生生物調査を行った。調査は、スノーケリングにより行い、タモ網、素手などの方法で生物を採集した。採集後、図鑑にて分類を行い、元の場所に再放流した。



水生生物調査



採集生物の分類

#### ウ 来村川河口干潟域における生物調査

干潟の生物相を調査することにより、干潟の重要性と浄化能力について考察した。

調査場所は、愛媛県宇和島市を流れる来村川河口域を調査した。

生物は、スコップなどを用いて素手及びタモ網で行い、採集した。採集後、図鑑を用いて、分類後、元の場所へ再放流した。

愛媛県レッドデータブックに記載されている甲殻類などたくさんの水生生物を確認することができた。



干潟生物採集実習



干潟生物の分類

#### IV 研究の成果と第2年次に向けての課題

本年度は、GLOBE 観測分野における「水質」の観測地点を2カ所の海域を定点に設定した。それを、定期的に観測を行う体制が整った。また、宇和海の海洋観測実習や体験航海実習の航路(宇和島-奄美大島)において海域の現状について調査した。このことにより、生徒は、海域の環境をより身近に感じ、自然環境や環境分野に対して興味・関心を喚起することができた。すなわち、GLOBE 活動を通して、教科「水産」における環境分野の教育を深化させることができた。さらに、様々な取組を通して、海や自然を感じ、世界的な規模で環境を見つめる基礎が築かれた。

しかし、本年度は、水域や地球環境について分析や解析できるだけの観測データは、揃えることはできなかった。

第2年次は、観測や研究テーマを精選し、より効果

的な実践が行えるようにしたい。

#### V 研究第2年次の活動計画

研究第2年次は、生徒に環境問題を世界規模で考えられる視野を身に付けさせるとともに、生徒の環境問題への興味・関心を向上させるために、以下のような実践及び研究を計画している。

(1) 海洋観測の継続的な実施。

① GLOBEの定点観測。

② 体験航海航路における海洋観測。

③ 宇和海の海洋観測。

(2) 海洋観測データの活用及び応用。

(3) 生物学的視点からみた環境教育の実践。

(4) 持続的養殖生産確保法に対応した環境保全型養殖の研究及び実践。

#### VII 引用文献

河合章(1988)「水族環境学実験」(河合章・杉田治男編). 恒星社厚生閣, 東京, pp. 6-37.

橋治国(1989)「水の分析」(日本分析化学会北海道支部編). 化学同人, 東京, pp. 240-249.

(社)日本水産資源保護協会(2005)「水産用水基準」. 東京

文部科学省(2004)「海洋環境」.(東京電気大学編). 東京

#### 【別記】海洋観測及び水質測定

(1) STD (塩分水温深度測定器)

各水深における水温・塩分濃度を鉛直的に測定した。

STDは、各深度の水温・塩分が同時に測定でき、水温、塩分の鉛直的に測定できる機器である。今回は、航路上の水深により、最高水深 770mまで測定した。塩分の単位は、psu を使い、実用塩分 1psu=濃度千分の1に相当する。



STDによる水温・塩分の鉛直測定

(2) 水色

外洋は、フォーレルの水色標準液、内湾は、ウーレの水色標準液で目視による観測した。

測定は、太陽を背にして、船上から見た海面の日陰の部分の色をいい、海面の色に最も近い水色標準液の番号により表される。

宇和島湾では、赤潮が発生し、ウーレの水色標準液を用いた。

### (3) 透明度

透明度は、海水等の清濁の程度を示す一つの指標である。透明板（直径 30 cm、白色の円板）を水中に沈めていき、上から見て円板が見えなくなる限界の深さと再び引き上げ、見え始めた深さの平均値である。

透明度板が底についた場合は、その深さを記録している。単位は、m（メートル）で表示している。

本校では、透明度板（セッキ板）を用い、目視により観測した。



透明度の測定

透明度板

### (4) 採水

採水は、北原式採水器を用いた。測深ロープで任意の水深までおろし、メッセンジャーによって採水器を作動させ採水した。

### (5) 水温

水温は、棒状水銀水温計により測定した。

### (6) 比重測定

比重は、赤沼式比重計で測定した。

比重は、水温と比重によって塩分および塩素量が求められる。その際、日本では、温度を 1.5℃換算した標準比重を海洋観測常用表から求め、塩分・塩素量を算出している。本校は、GLOBE の塩分濃度換算表から塩分濃度を算出した。



北原式採水器による採水



比重測定

### (7) クロロフィル量測定

クロロフィルは、植物が光合成に必須の植物色素である。水域のプランクトンの現存量を測定するのは、不可能であるので、植物プランクトン量の指標としてクロロフィル量が用いられる。

測定は、試水をガラス繊維フィルターでろ過し、植物プランクトンを含む懸濁物を集め、アセトンで色素を抽出する。これを一定の波長の吸光度を求め、クロロフィル量を算出した。

また、藻類の死後分解するとクロロフィルのマグネシウムが外れ、フェオフィチンとなるので、その量か

ら植物プランクトンの遺体量を推定した。

### 【方法】

- ① 試水にフェオフィチン化防止のため  $MgCO_3$ （炭酸マグネシウム）を数滴添加する。
- ② 試水 1L をガラス繊維フィルターに吸引ろ過をする。
- ③ フィルターを遮光した状態でデシケーター内にて乾燥させる。
- ④ 乾燥したフィルターを細かく刻み、乳鉢内において色素をアセトンで抽出する。
- ⑤ 分光光度計で吸光度を測定する。  
次式でクロロフィル a 量を測定する。

$$\text{クロロフィル a } (\mu\text{g/L}) = 26.7 (E_{665} - E_{665a}) \times v/V$$

$E_{665}$  : 665 nm の吸光度から 750 nm の吸光度を引いた値

$E_{665a}$  : 塩酸添加後の抽出液について得た同上の値

$v$  : 抽出液の容量 (mL)、 $V$  : 試水の容量



アセトン溶液による色素の抽出

### (8) 栄養塩類の測定

アンモニウム塩、リン酸塩などは、海藻や植物プランクトンの繁殖・生長に密接な関係がある。

栄養塩類は、水中にわずかししか溶けていないので、測定感度の高い分光光度計による比色分析を用いた。比色分析では、標準溶液の吸光度から検量線を作成し、試水の吸光度（色の濃淡）から溶存量を求めた。

アンモニア態窒素は、インドフェノール青法、亜硝酸態窒素は、ナフチルエチレンジアミン法、リン酸態リンは、モリブデン青法により測定した。

以下に測定方法を述べる。

#### ①アンモニア態窒素（インドフェノール青法）

ア 試験管に試水 10mL を採る。

（ブランクには、蒸留水を用いる）

イ フェノール溶液 0.5mL 添加する。

ウ ニトロプルシド溶液 0.5mL 添加する。

エ アルカリ試薬：次亜塩素酸ナトリウム＝

4 : 1 で混合したものを 1 mL 添加する。

オ 1 時間後、640 nm で吸光度を測定する。

カ 以下の検量線から算出する。

$$\text{アンモニア態窒素 } (\mu\text{g/L}) = 84.55 \times \text{吸光度}$$



②亜硝酸態窒素（ナフチルエチレンジアミン法）

- ア 試験管に試水 10 mL を採る。  
イ スルファニルアミド溶液 0.2 mL を添加する。  
（2 分間放置）  
ウ ナフチルエチレンジアミン 0.2 mL を添加する。  
エ 10 分後、543 nm で吸光度を測定する。  
オ 以下の検量線から算出する。

$$\text{亜硝酸態窒素} (\mu\text{g/L}) = 20.053 \times \text{吸光度}$$

③リン酸態リン（モリブデン青法）

- ア 試験管に試水 10 mL を試験管に採る。  
イ モリブデン酸アンモニウム溶液  
希硫酸  
アスコルビン酸溶液  
酒石酸アンチモニルカリウム溶液  
上から、2:5:2:1 の割合で混合した試薬 1 mL  
を試水に添加する。  
ウ 5 分間放置後、885 nm で吸光度を測定する。  
エ 以下の検量線から算出する。

$$\text{リン酸態リン} (\mu\text{g/L}) = 47.089 \times \text{吸光度}$$



比色定量法による栄養塩類の測定

(9) 海水の化学的酸素要求量 (COD)

化学的酸素要求量は、水中の有機物や還元性物質の量により変化するので、水質汚濁の程度を比較的簡便に表す指標とされている。今回は、アルカリ性過マンガン酸カリウム-ヨウ素滴定法について水域の COD を求めた。

- ① 試水をよく振り、25 mL を採る。
- ② 0.025 N  $\text{KMnO}_4$ （過マンガン酸カリウム）5 mL と 10%  $\text{NaOH}$ （水酸化ナトリウム）0.5 mL を添加する。
- ③ 沸騰する直前の状態で 15 分間加熱する。
- ④  $\text{KI}$ （ヨウ化カリウム）1 mL と  $\text{NaN}_3$ （アジ化ナトリウム）2~3 滴を加える。
- ⑤ 18  $\text{NH}_2\text{SO}_4$ （硫酸）を 2 mL 加える。  
（ヨウ素の解離）
- ⑥ 0.025 N チオ硫酸ナトリウムで滴定する。
- ⑦ 蒸留水で空試験を行う。  
以下の式から COD を算出した。

$$\text{COD} (\text{mg/L}) = 8 \times 0.025 \times (b - a) \times f \times 1000 / V$$

a : 試水の滴定値    b : 蒸留水の滴定値

f : チオ硫酸ナトリウムのファクター

V : 滴定に用いた試水の量 (25 mL)



試薬の作成



沸騰直前での加熱



ヨウ素の解離



滴定

