

## 沿岸域・汽水域の長期環境モニタリング

増養殖環境課 田島健司・田井野清也・荻田淑彦・石川 徹

### 1 はじめに

仁淀川では、河口から約4 Km 上流まで海水が遡上し、本県では四万十川に次ぐ大きな汽水域が形成される。ここでは、ウナギ、川エビ類などのほか、冬季にはスジアオノリ採取など各種の漁業が営まれている。また、静穏な水面は水上スポーツや川遊びなど、地域住民の憩いの場でもある。河川と海洋の接点である河口域の生態的な重要性は言うまでもない。しかし、仁淀川河口域では長期的な視野での環境モニタリングがこれまで行われたことはなく、その水圏環境に関する知見は限られている。本事業では、地域の漁業者が増産を期待するスジアオノリの生育状況を含め、仁淀川河口汽水域の現状を把握するための調査を行った。

### 2 方法

#### (1) 調査場所・調査期間

本調査の定点を図1、その概要を表1に示した。仁淀川の感潮域は河口から高知市春野町雨戸付近までと言われているが、この調査では、スジアオノリ漁場が形成される河口から波介川合流点上流までの観測を行った。表2に本年度の調査日程及び調査項目を示した。

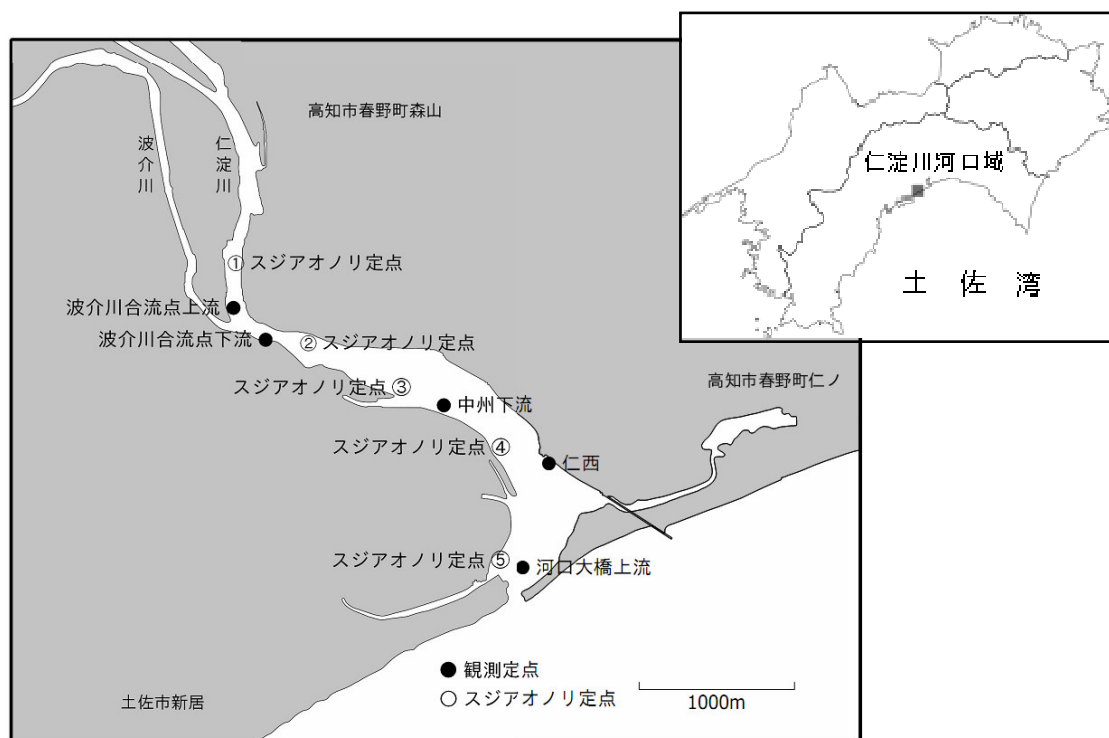


図1 調査定点

表1 調査定点の概要

| 定 点 名     | 河口からの直線距離        | 調査時の平均水深<br>( ) 内は実測範囲 | 特 徴  |
|-----------|------------------|------------------------|--|
| 仁淀川河口大橋上流 | 本流中央付近<br>250m   | 3.2m<br>(1.5~4.3)      | 最下流の定点。海水の影響を受け易い。スジアオノリ漁場は本定点から中州付近までの間に形成されることが多いが、ここより下流で繁茂することもある。河床は砂~砂利。 |
| 仁西        | 本流左岸近く<br>800m   | 5.2 m<br>(4.0~7.0)     | 水深深く河床の岩の間に泥が堆積。左岸寄りの浅場は砂泥質で、小さなコアマモ群落が散見される。                                  |
| 中州下流      | 本流右岸寄り<br>1,200m | 2.7 m<br>(1.9~3.6)     | 川幅小さく流速早い。本定点から下流では川幅が拡がり水深浅くなる。周辺の浅場でスジアオノリの生育多い。                             |
| 波介川合流点下流  | 本流右岸寄り<br>2,100m | 3.3 m<br>(1.4~5.5)     | 川幅小さく流速早い。波介川から合流した水が本流河川水のなかを筋状に流下する状態が目視できることがある。河床は礫。                       |
| 波介川合流点上流  | 本流右岸寄り<br>2,400m | 2.3 m<br>(1.4~3.4)     | 川幅が拡がり全般に浅い。スジアオノリは左岸寄りに生えるが生育量は少ない。   |

表2 調査日（平成21年度）

| 調査回次<br>(通算調査回次)※ | 年 月 日             | 調 査 項 目                   |
|-------------------|-------------------|---------------------------|
| 1 (23)            | H 2 1 . 4 . 2 2   | 水温・塩分・溶存酸素・クロロフィル・栄養塩類・藻類 |
| 2 (24)            | H 2 1 . 5 . 2 0   | 同上                        |
| 3 (25)            | H 2 1 . 6 . 2 4   | 同上                        |
| 4 (26)            | H 2 1 . 7 . 2 3   | 同上                        |
| 5 (27)            | H 2 1 . 8 . 2 6   | 同上                        |
| 6 (28)            | H 2 1 . 9 . 1 6   | 同上                        |
| 7 (29)            | H 2 1 . 1 0 . 1 4 | 同上                        |
| 8 (30)            | H 2 1 . 1 1 . 1 8 | 同上・培養試験                   |
| 9 (31)            | H 2 1 . 1 2 . 1 6 | 同上・培養試験                   |
| 10 (32)           | H 2 1 . 1 2 . 2 1 | 同上                        |
| 11 (33)           | H 2 2 . 1 . 1 3   | 同上・培養試験                   |
| 12 (34)           | H 2 2 . 2 . 1 5   | 同上                        |
| 13 (35)           | H 2 2 . 3 . 1 5   | 同上                        |
| 14 (36)           | H 2 2 . 3 . 2 4   | 水温・塩分                     |

※通算第1回調査日はH19年10月25日

## (2) 水質環境

水質調査は、表層から50cm刻みで河床までの水温、塩分及び溶存酸素濃度をYSI-650MDSで測定し、栄養塩類及びクロロフィル濃度分析用の採水は表層0mと河床上50cmで行った。栄養塩類は、メンブランフィルター（孔径0.45 $\mu$ m）で濾過した河川水をQuAAtro2-HR（BL-TEC社製）を用いて、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、(NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>)-N、PO<sub>4</sub>-P、SiO<sub>2</sub>-Siの分析を行った。DON及びDOPはメンブランフィルターで濾過した試水をペルオキソ2硫酸カリウムで加圧分解した後、QuAAtro2-HRで定量した。クロロフィルは採取した河川水をGFフィルターで濾過し、捕捉された懸濁物を90%アセトン10mlで24時間抽出した試料について、蛍光光度計10-AU Fluorometer（TURNER DESIGNS社製）で測定した。

### (3) スジアオノリ

スジアオノリ定点5ヶ所で、藻類の目視被度を水上から観察するとともに、河床の小石を採取して付着する藻類の同定を行った。糸状の藻類が付着している場合は20本程度を選んで葉長を測定した。

スジアオノリについては、河口域の塩分と生産量の関係を指摘する報告が多くあり、本事業でも河口域の淡水化により藻体が流失して葉長が短くなることを見出している。このことを実験的に確認するため、スジアオノリが付着する小石を採取地付近の表層水（淡水）と底層の塩分の高い河川水で1～2週間培養し、スジアオノリの生長を比較した。また、この試験では、培養期間中の遊走子の放出と孢子体形成の状況を見るため、試験終了時に容器壁面をこすり取って検鏡を行った。培養試験は、平成21年11月16日～12月4日、同年12月16～22日及び平成22年1月13～26日の3回行った。容器内の水温は特に調整しなかったが、試水は毎日全量を入れ替えた。試験期間中の須崎市の気温は第1回目4.9～21.0℃（期間平均12.1℃）、第2回目-0.8～15.4℃（同7.3℃）、第3回目-1.8～17.4℃（同6.1℃）で、天候は3回とも概ね晴れであった。日間生長率（%）は次式により求めた。

$$\text{日間生長率(\%)} = \frac{(\text{終了時の葉長} - \text{開始時の葉長}) / \text{開始時の葉長}}{\text{試験日数}} \times 100$$

### (4) 河口域水位と海面潮位

河口域水位と河口前面の沿岸潮位の関係を把握するため、国土交通省仁西水文水質観測所の水位記録（高知県高知市西畑字大良、零点高-0.980m。以下、仁西水位という。）と仁淀川河口に近い高知市浦戸の実測潮位（気象庁気象統計潮汐観測資料。以下、沿岸潮位という。）を次の手順で比較した。

- ①「沿岸潮位と仁西水位」及び両者の標高差の時系列での整理。
- ②時系列グラフをもとに、「仁西水位と沿岸潮位の標高差が小さく、両者が同調して上下する期間」と「仁西水位が高止まりし、仁西水位と沿岸潮位の標高差が拡大する期間」に区分する。
- ③先に区分した期間毎に沿岸潮位と仁西水位の関係について検討し、仁西水位の変動パターンの類型化を試みる。

## 3 結果と考察

### (1) 水温・塩分・溶存酸素

各定点の水深別水温・塩分の年間変化を図2、中州下流での水温・塩分及び溶存酸素濃度の月別鉛直分布を図3、塩分の河口域縦断分布の月別変化を図4に示した。

河口域のほぼ中間に位置する中州下流の年間水温は、表層では9.6～23.6℃（年平均16.8℃。以下同じ）、底層では11.0～27.8℃（19.9℃）で変化し、年平均水温は底層が表層より3.1℃高かった。年間的水温変化は、表層では1月が最も低く、9月が最も高く、また、底層では3月が最も低く、9月が最も高かった。1～8月の水温上昇期は、表層では1.8℃/月、底層では2.8℃/月で上昇し、8～12月の水温降下期は、表層ではΔ3.5℃/月、底層ではΔ2.8℃/月で下降した。底層の水温

変化は月ごとにほぼ一律であったが、表層の水温は気温の影響で変化が大きかった。水温降下期は、上下層間の水温差は拡大し、中層に水温躍層が形成されることが多かった。

中州下流の塩分は、表層は 0.06~9.15 (2.00)、底層は 0.08~31.45 (18.07) で変化した。表層の塩分は年間を通じて低いことが多く、底層の塩分は淡水に近い状態から海水に近い状態まで変化した。底層の塩分は、年平均では沿岸海水の 60% 程度の塩分に相当すると推察できた。8~翌2月には密度躍動、即ち「塩水くさび」の形成が観測されたが、それ以外の期間の塩分は全般に低く、上下層間の塩分較差も小さかった。

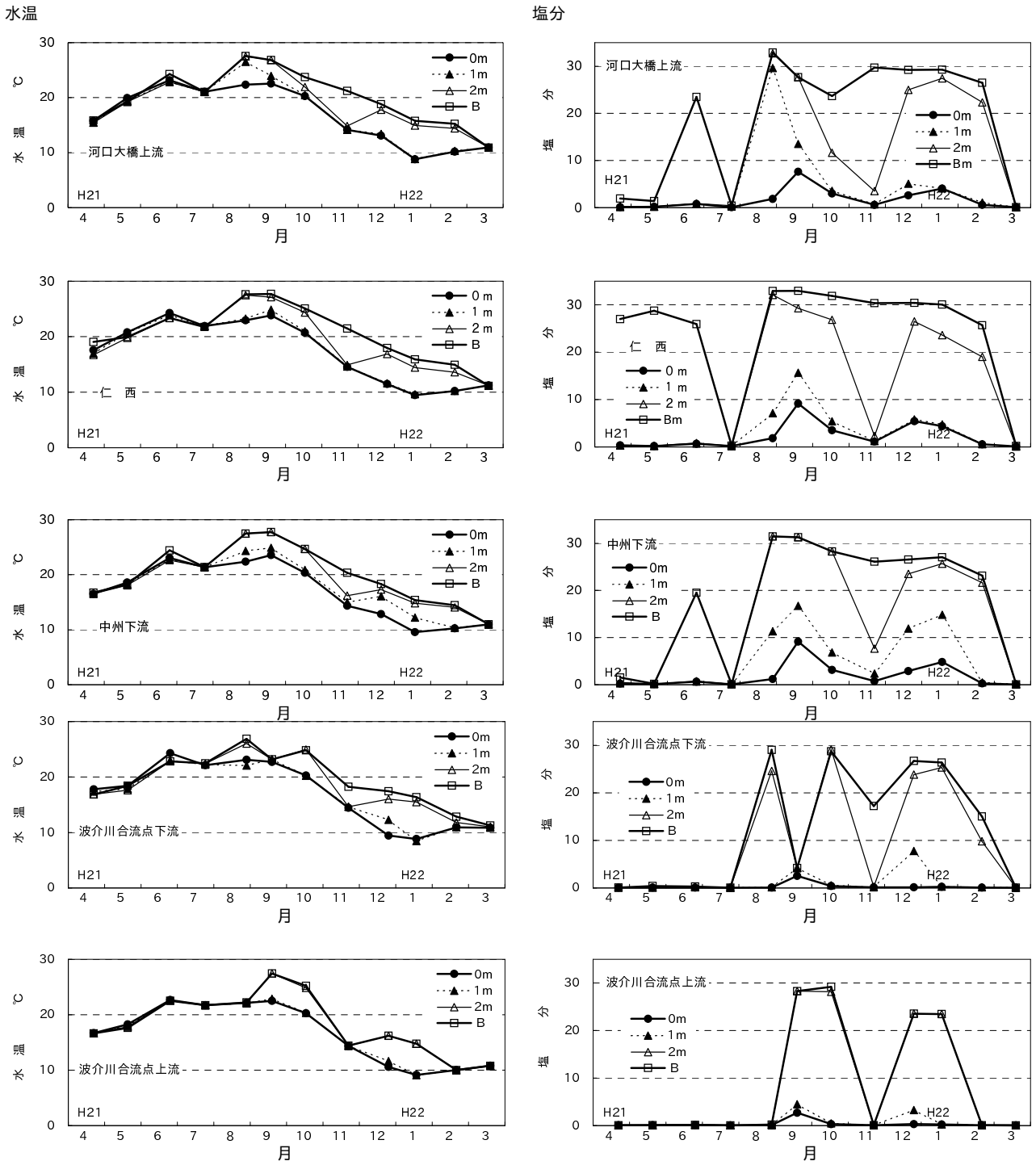


図2 水温及び塩分の定点別月別変化

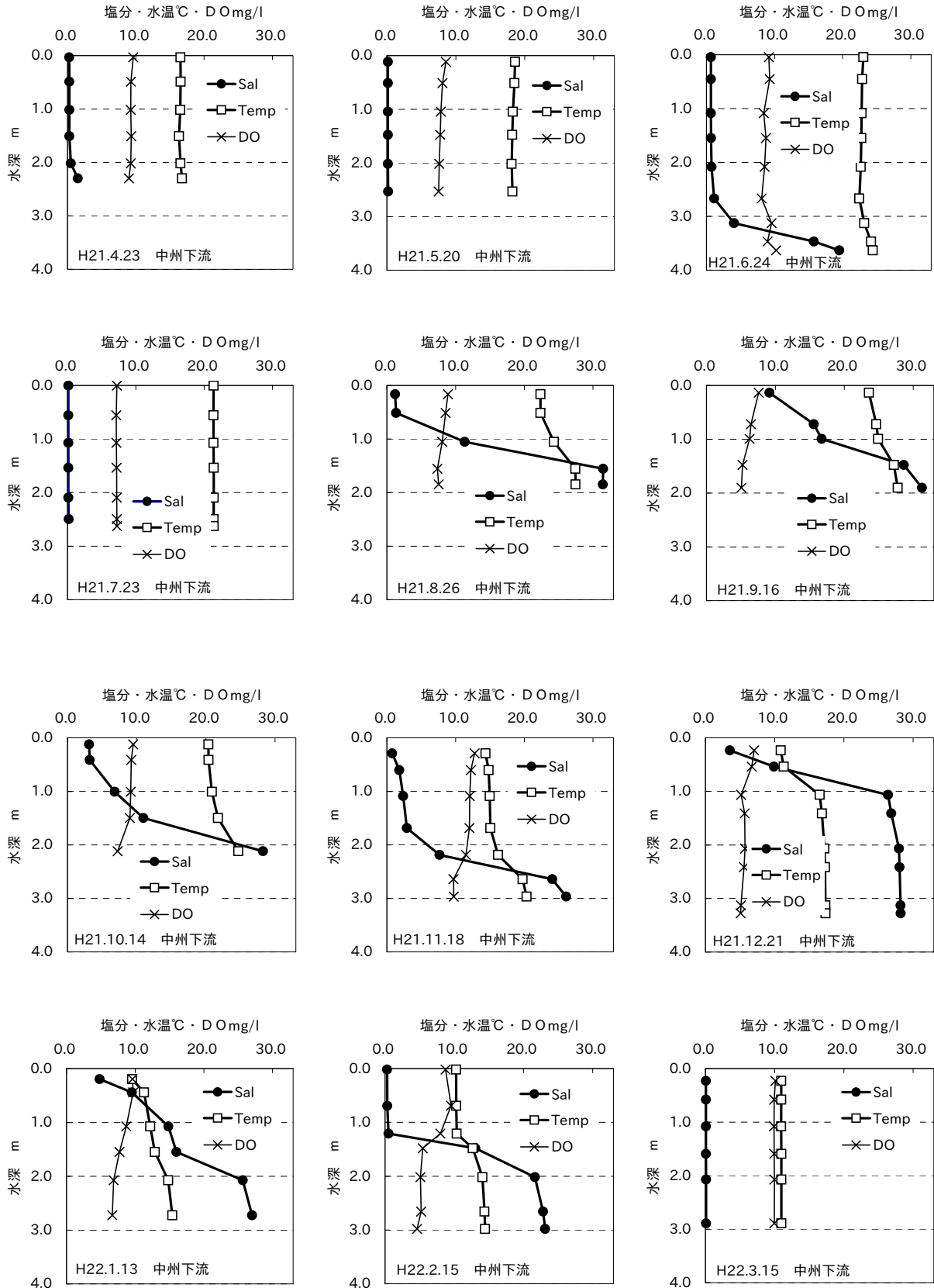


図3 中州下流での水温・塩分・溶存酸素濃度の月別鉛直分布

河口域塩分の縦断分布では、塩分は河口に近い定点ほど高く、同一定点では下層ほど高かった。密度躍層が形成された期間では、淡水が流下する層の厚さは1～2mで、それ以深の塩分は層状に

分布した。塩水くさびの強さは時期によって異なり、波介川合流点付近でも8～翌2月は海水と変わらない塩分が観測された。10月及び翌1月には、観測が干潮時に重なったため、底層の海水が上層の河川水に希釈されながら流下する「連行」が観測された（図4及び図5。図14には観測日を↓で示した）。

河口域の密度成層は河口断面積に対して河川流量が少ない場合に発生しやすいと言われている。現在、仁淀川の流量は大渡ダム等によって計画的に管理されているので、河口域の密度成層の形成と解消は、主として河口を通過する海水の増減によって決まると考えられる。即ち、河川流量が一定のとき、河口域への海水の流入が増加すると塩水くさびによる密度成層が形成され、逆に、河口が閉塞して海水の流入量が減少すると塩水くさびが解消して淡水化が進むと考えられる。

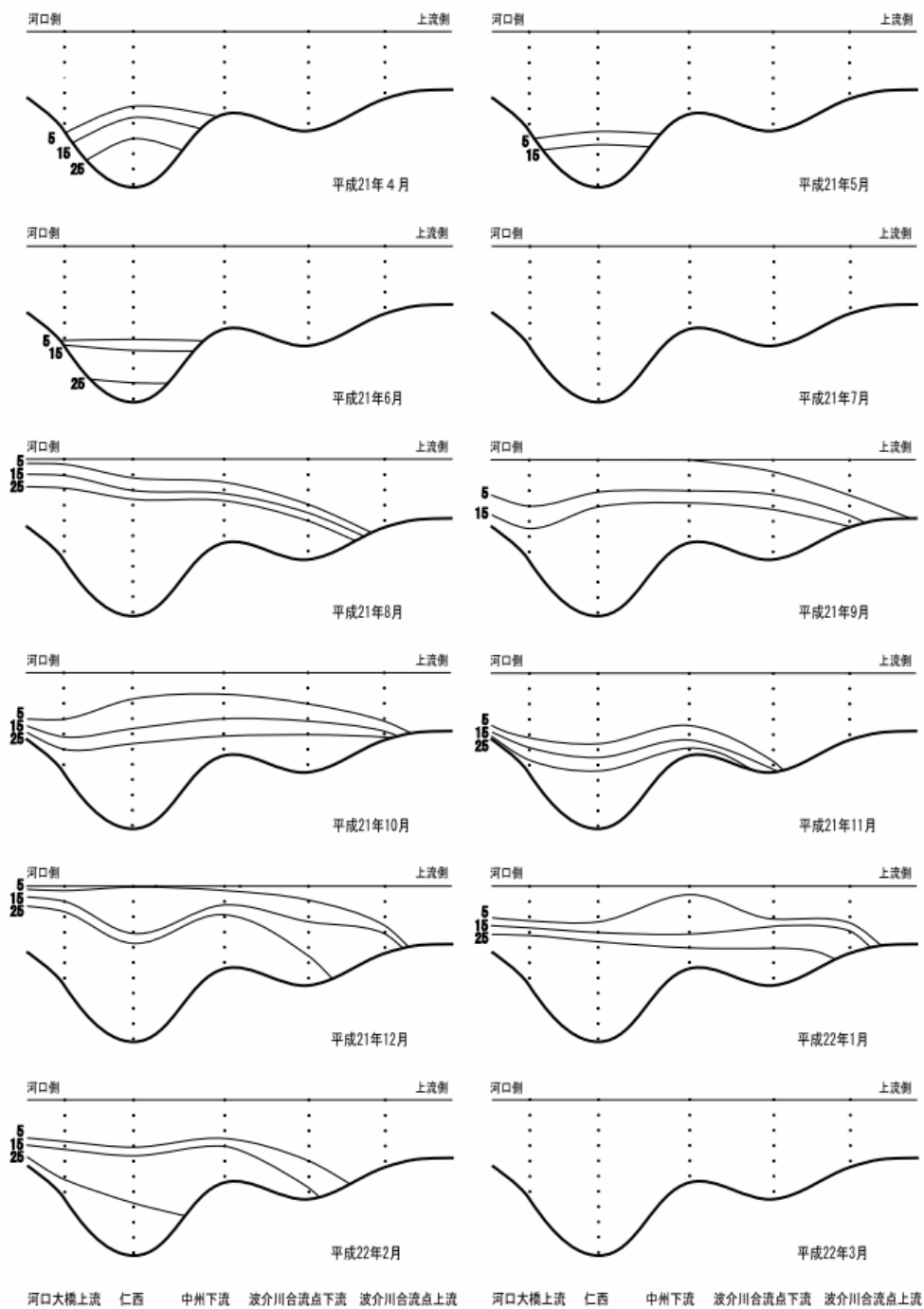


図4 塩分の河口縦断面の月別変化

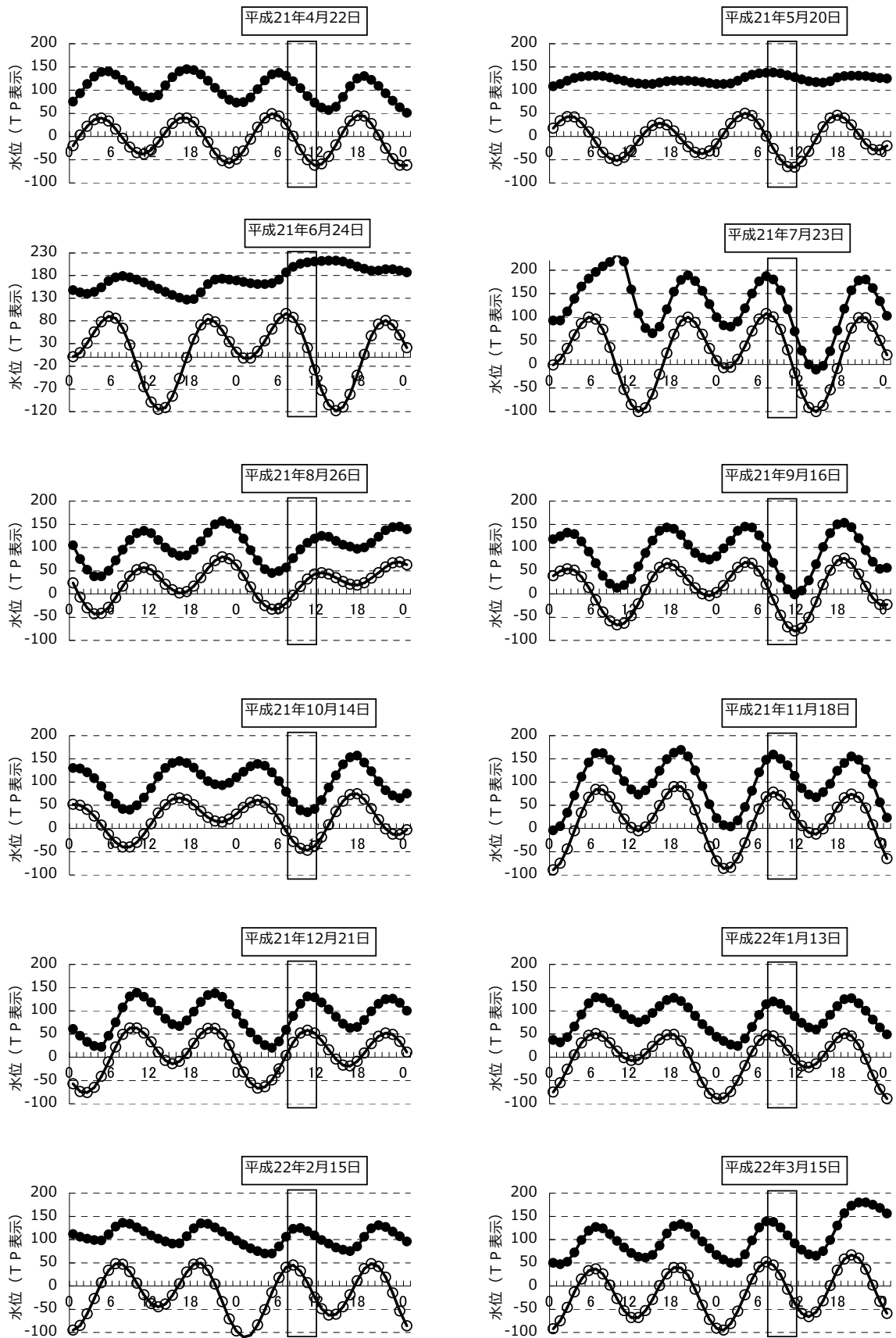


図5 沿岸潮位と仁西水位の位相差及び観測日 (○ 沿岸潮位 ●仁西水位)

溶存酸素濃度は、各観測日とも水平的な偏差は小さかったが、富栄養化した波介川の水が合流する波介川合流点下流では周辺より若干高いことが多かった。溶存酸素濃度の鉛直分布は表層より底層が低く、中州下流では、年間の変動幅は表層が7.0~9.6(8.7) mg/lであったのに対し、底層は5.1~9.7(7.4) mg/lであった(異常値を除外したので、数値は参考値)。底層の酸素濃度が表層より低かったのは塩分による酸素分圧の低下であると考えられた(図3)。

(2) 栄養塩類及びクロロフィル濃度

各定点底層の栄養塩類の月別変化を図6、クロロフィル濃度の月別変化を図7に示した。

河口域の栄養塩類の年間変化は、溶存態総窒素(TN) 7.5~49.0 μg/l (24.4 μg/l)、溶存態無機窒素(DIN) 1.4~35.6 μg/l (18.6 μg/l)、溶存態リン 0.21~2.63 μg/l (0.85 μg/l)、ケイ酸 14.3~139.3 μg/l (87.8 μg/l)であった。各定点とも栄養塩濃度の月別変化は大きく、定点間較差も大きかった。そのなかで、波介川合流点上流の変化量は他の定点に比べると相対的に小さかった。

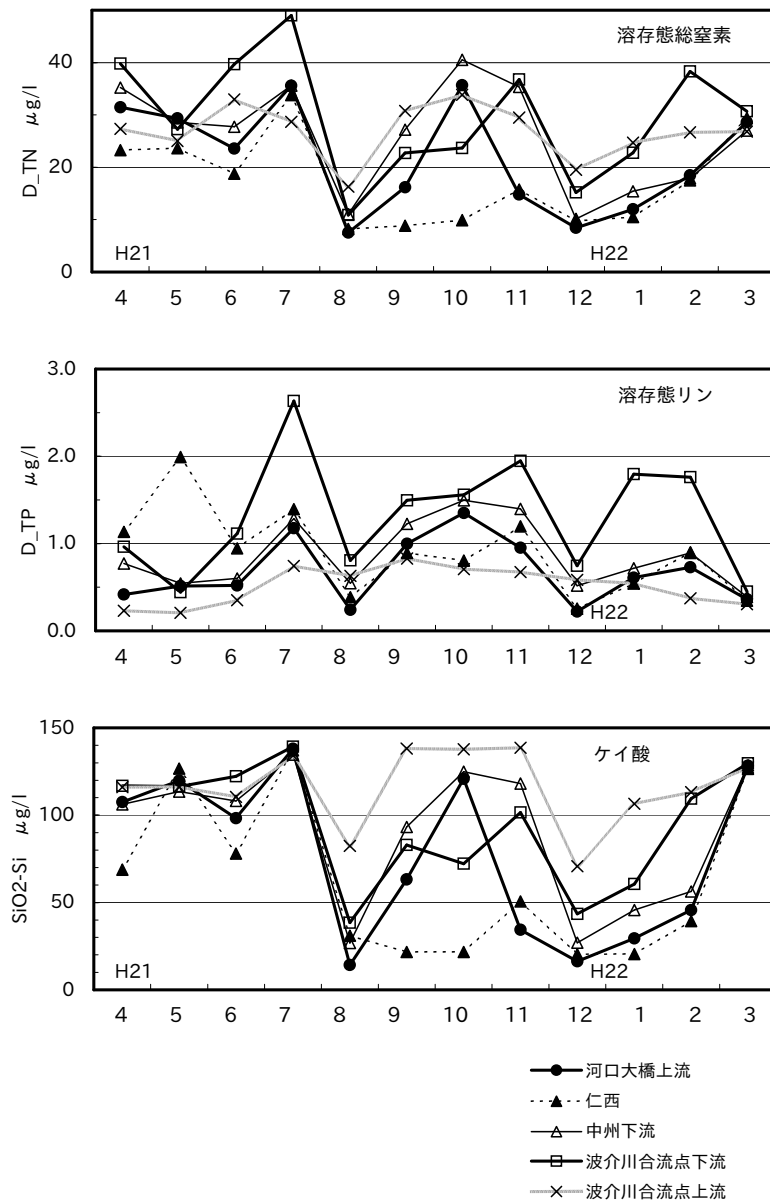


図6 仁淀川河口域の栄養塩類の月別変化



クロロフィル濃度の年間変化は、各定点の表層で 0.14~8.25 μg/l、底層で 3.2~6.65 μg/l であった。月別変化では、表層・底層ともに 5~6 月と 1~2 月に増加し、7~12 月は低水準で推移した。栄養塩濃度の高い波介川の水が合流する波介川合流点下流のクロロフィル濃度は、他の定点より高いことが多かった。仁西と河口大橋上流では、5~6 月にクロロフィル濃度が 6.2~6.8 μg/l まで増加したが、養殖漁場のある内湾のクロロフィル量（野見湾では年間 2~18 μg/l）に比べると数分の 1 程度であった。

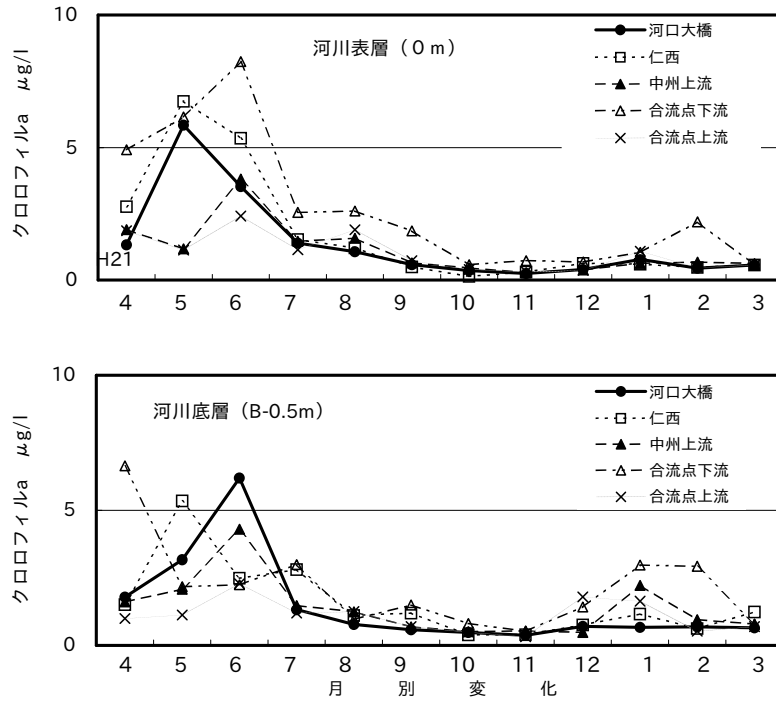


図7 仁淀川河口域のクロロフィル濃度の月別変化

底層の塩分と栄養塩類及びクロロフィルの関係を図8に示した。窒素、リン及びクロロフィルでは塩分が5以下のとき両者間に相関はなく、塩分が5以上のときに弱い負の相関が認められた。ケイ酸は、塩分に対しては負の相関が明瞭で、窒素及びリンに対しては弱い正の相関が認められた。

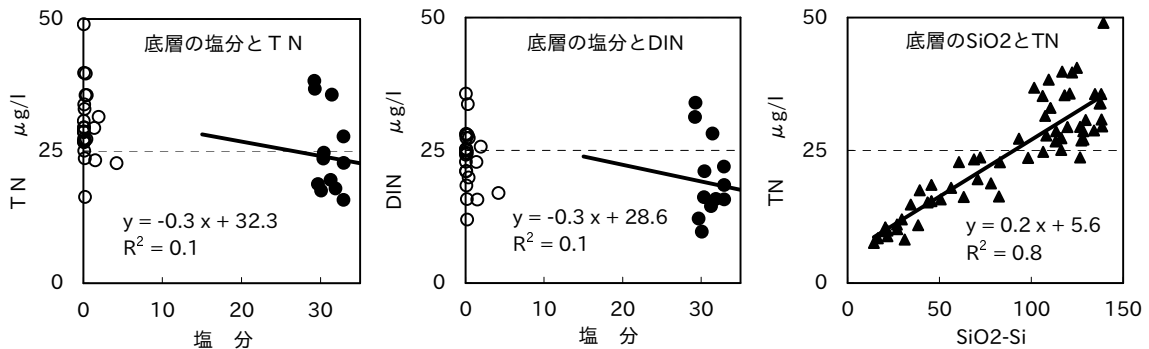


図8a 仁淀川河口域底層の塩分と栄養塩類及びクロロフィルとの関係

塩分の区分 ○塩分<5 ●塩分>5 ▲塩分0~35

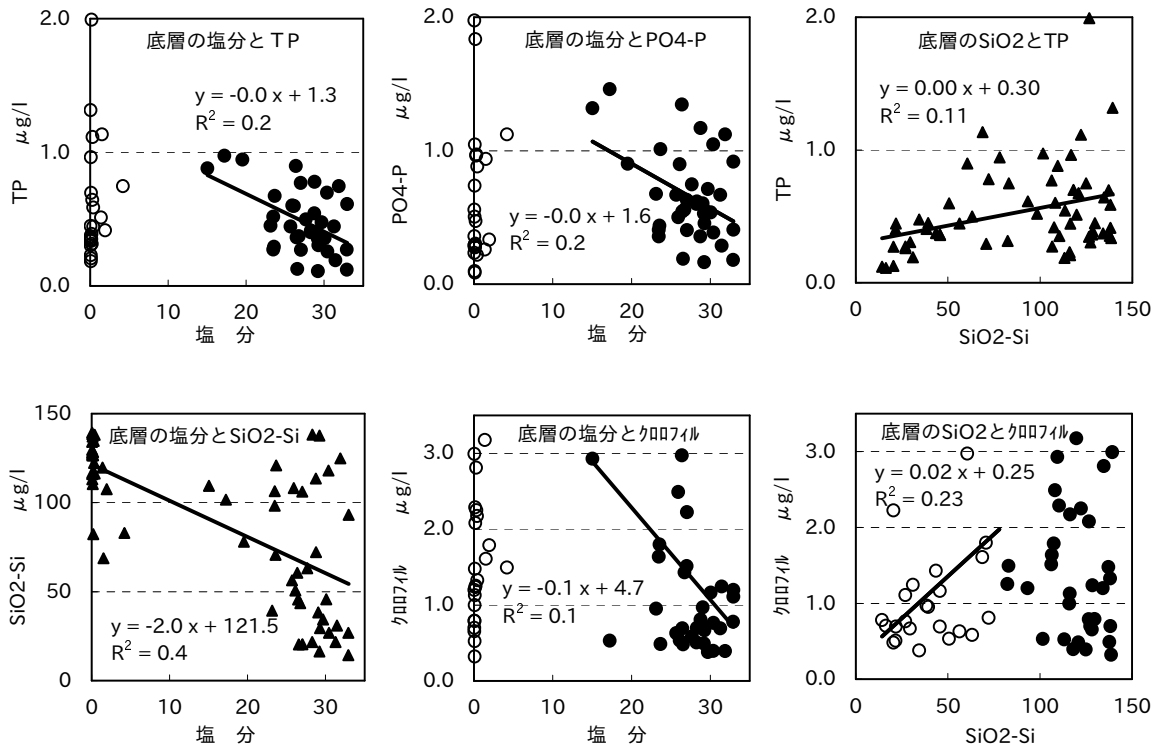


図8b 仁淀川河口域底層の塩分と栄養塩類及びクロロフィルとの関係

塩分の区分 ○塩分<5 ●塩分>5 ▲塩分0~35

### (3) スジアオノリ

#### 1) スジアオノリの生長

平成 21 年度に各定点で採取したアオノリ属の最大葉長の月別変化を図 9 に示した。仁淀川河口域では糸状に伸張する藻類は周年観察されるが、一般的には、5～9月の高水温期はシオグサ属が優占し、アオノリ属は10～翌年5月までの低水温期に出現する。

本年度のスジアオノリの生育状況は、4～5月に仁西から河口付近で「春ノリ」が増殖したあと一旦衰退し、10月から再び中州下流付近で生長が始まった。11月になると生育域は調査域内のほぼ全域に拡大し、上流側の波介川合流点下流付近では12～1月、下流側の中州下流から河口大橋付近では1～2月に最盛期となった。2月には上流側の漁場から流失が始まり、3月には下流側を含む全定点でスジアオノリはほぼ見られなくなった。

本年度のスジアオノリの「作柄」は、中州下流から河口大橋上流付近で1月に目視被度が50～70%に達したのが最高で、同時期の波介川合流点下流の目視被度は5～10%、波介川合流点より上流では目視被度は0%で、藻体は疎らにしか確認できなかった。本年度(11～翌3月)に観測した波介川合流点から河口大橋の間のスジアオノリの最大葉長は11.1～17.6cmで、昨年度の最大葉長73.8cmと比べると15～24%しかなく、漁場として利用された範囲も河口大橋付近から中州下流付近の浅場に限られた。本種の生育期である11～翌2月の河口大橋から中州下流の底層の水温は11.5～21.2℃(16.8℃)、同じく塩分は23.1～31.0(27.3)で推移し、本種の生育最適範囲(水温10～15℃、塩分20～25)より高水温かつ高塩分で推移したことが本年度の生育不良の原因と考えられた。また例年より早い3月時点での藻体の流失は漁場底層の淡水化(塩分0.07～0.08)が原因と考えられた。

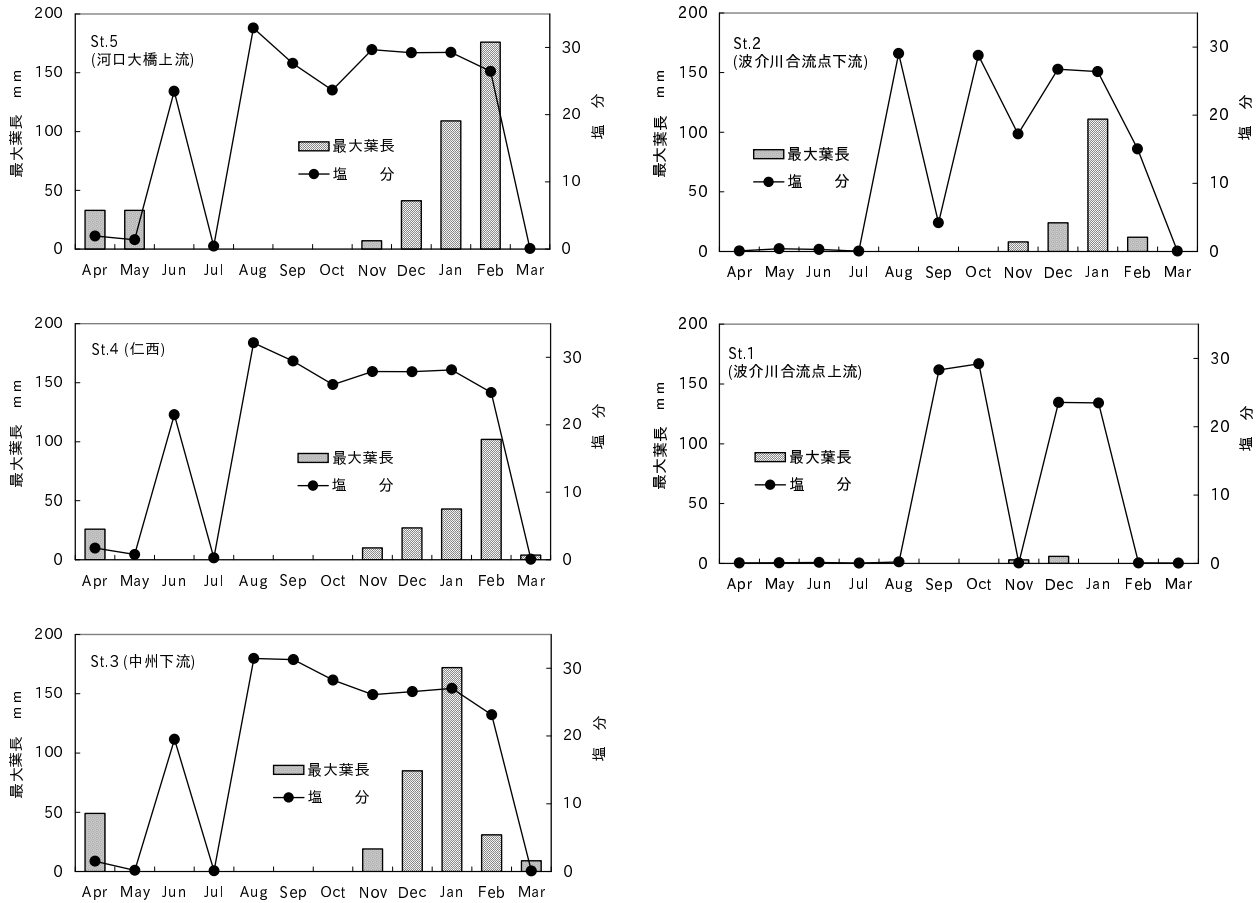


図9 各定点でのアオノリ属の葉長と底層の塩分

## 2) スジアオノリの比較培養試験

スジアオノリを塩分の高い河川水（塩水区）と塩分の低い河川水（淡水区）で培養した結果を表3に示した。第1回目の試験は葉長 7.2mm で開始し、18日後の葉長は塩水区 27.6mm（日間生長率 15.7%、以下同じ）、淡水区 25.0mm（13.7%）であった。塩水区の方が、葉長の増加量で 2.6mm 多く、日間生長率は 1.15 倍であった。第2回目は葉長 29.4mm で開始し、6日後の葉長は塩水区 45.1mm（8.9%）、淡水区 38.1mm（4.9%）であった。結果は第1回目と同様で、塩水区が淡水区に比べて葉長で 7.0mm 多く、日間生長率は 1.82 倍であった。第3回目は葉長 89.5mm で開始し、13日後の葉長は塩水区 107.7mm（1.6%）、淡水区 108.4mm（1.6%）となり、葉長、日間生長率ともに差異は生じなかった。

葉長の増加と日間生長率については、塩水区、淡水区とも第1回目が大きく、次いで2回目、3回目の順であった。第1回目試験期間中の平均気温が 12.1℃でスジアオノリの最適水温範囲（10～15℃）であったのに対し、第2回目、3回目の平均気温は 7.3℃（-0.8～15.4℃）及び 6.1℃（-1.8～17.4℃）と低かったことが、生長速度の低下につながったと考えられた。

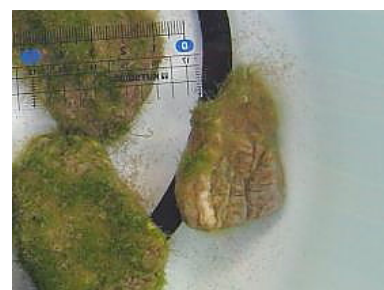
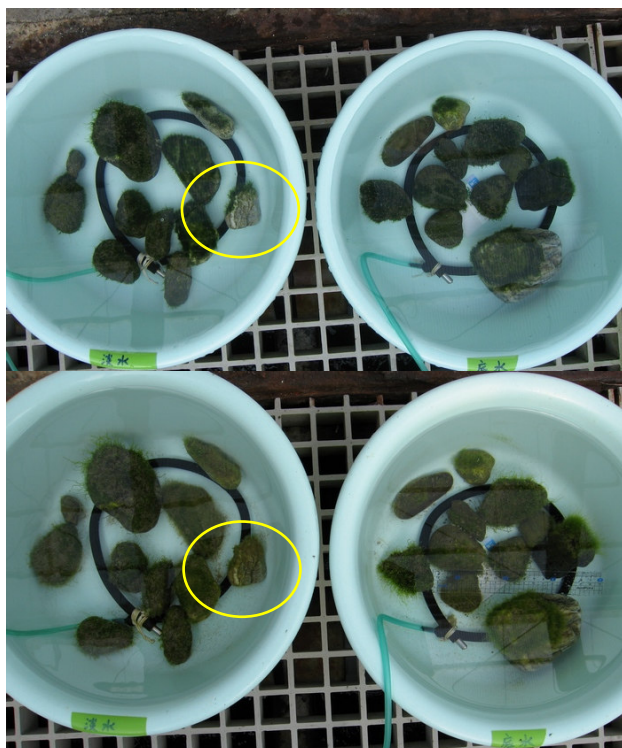
今回の試験では、塩水区では3回とも枯死は見られなかったが、淡水区では第1回目に枯死が見られた。第2回目及び第3回目では淡水区でも枯死はなかった。同年11月から翌3月にかけての河口大橋から中州下流付近の底層の水温は 11.5～21.2℃で、枯死が発生した第1回目試験の水温と重なるので、スジアオノリ生育期の淡水化、特に水温の高い期間の淡水化は、藻体の縮小と枯死並びに藻場衰退の原因になり得ると考えられた。

容器壁面付着物については、塩水区では3回の試験の全回で遊走子の集塊と孢子体形成が確認できたが、淡水区では3回の試験で遊走子の集塊を確認することはできなかった。スジアオノリが生殖細胞を放出する塩分の下限は5と言われているので、淡水区で遊走子の放出がなかったのは低塩分のためと考えられた。スジアオノリの生活史では、藻体の伸長と遊走子放出による再生産が並行して進むので、淡水化で藻体の伸長が抑えられたうえに遊走子放出による再生産が止まると、藻場は衰退する方向に向かうと考えられる。今回の試験は現場で採水した河川水を使用した単純な比較であったが、淡水区で見られた藻体の生長遅延と遊走子放出の抑制は、漁場の淡水化が本種藻場の消長に及ぼす影響が大きいことを示していると考えられた。

表3 塩水区と淡水区のスジアオノリの生長差

|     | 試験期間                      | 培養日数 | 試験区 | 塩分   | 平均葉長 (mm) |       |      |      | 遊走子放出の有無 |
|-----|---------------------------|------|-----|------|-----------|-------|------|------|----------|
|     |                           |      |     |      | 開始時       | 終了時   | 増加量  | 増加率% |          |
| 第1回 | 2009.11.16~<br>2009.12.04 | 18   | 塩水区 | 27.7 | 7.2       | 27.6  | 20.4 | 15.7 | 有        |
|     |                           |      | 淡水区 | 1.1  |           | 25.0  | 17.8 | 13.7 | 無        |
| 第2回 | 2009.12.16~<br>2009.12.22 | 6    | 塩水区 | 26.2 | 29.4      | 45.1  | 15.7 | 8.9  | 有        |
|     |                           |      | 淡水区 | 5.4  |           | 38.1  | 8.7  | 4.9  | 無        |
| 第3回 | 2010.01.13~<br>2010.01.26 | 13   | 塩水区 | 27.8 | 89.5      | 107.7 | 18.2 | 1.6  | 有        |
|     |                           |      | 淡水区 | 5.2  |           | 108.4 | 18.9 | 1.6  | 無        |

但し、日間生長率%=[(終了時の葉長-開始時の葉長)/開始の葉長]/試験日数×100



左図黄色円内の拡大(上:開始時 下:終了時)

図10 塩水と淡水でのスジアオノリの生長比較

(上:試験開始時:H21.11.18 下:試験終了時:H21.12.02 ともに左が淡水区、右が塩水区)

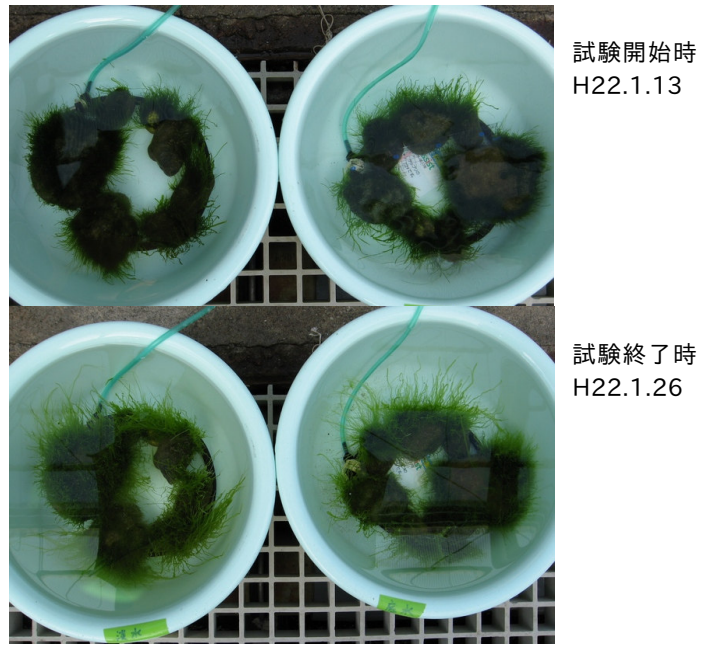


図 11 比較試験第 2 回目の結果

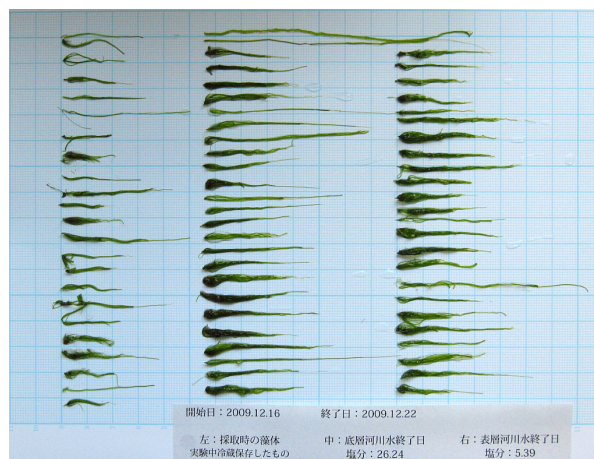


図 12 比較試験第 2 回目の結果（左：試験開始時 中：塩水区 右：淡水区）

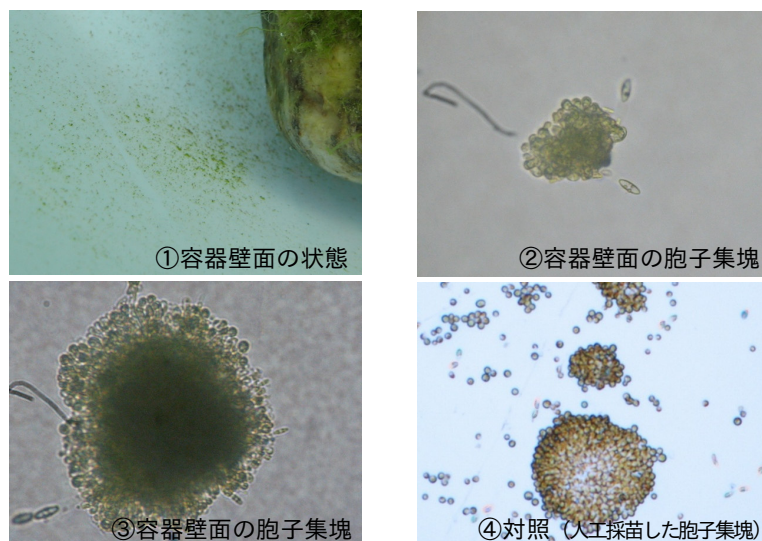


図 13 試験終了時の容器壁面の状態と検鏡結果（①②③：塩水区 ④対照 但し、撮影倍率は異なる）

## (4) 海面潮位と仁西水位

平成21年4月から平成22年3月までの仁淀川河口近くの沿岸潮位と仁西水位の月別変化を表3に示した。沿岸潮位は、年間では標高-148～126cm（最大潮位差 274cm）の範囲にあり、月平均潮位は標高-14～24cm（年平均潮位 6cm、月間の最大標高差 38cm）であった。一方、仁西水位は、年間では標高-21～403cm（最大水位差 424cm）の範囲にあって、月平均水位は標高 81～133cm（年平均水位 105cm、月間の最大水位差 52cm）であった。

表3 沿岸潮位と仁西水位の月別変化（TP表示。単位 cm）

| 観測月      | 沿岸潮位（高知港） |     |     | 仁西水位 |     |     | 水位標高差 ※ |     |     |
|----------|-----------|-----|-----|------|-----|-----|---------|-----|-----|
|          | 最低        | 最高  | 月平均 | 最低   | 最高  | 月平均 | 最低      | 最高  | 月平均 |
| 平成21年4月  | -123      | 74  | -14 | -13  | 177 | 81  | 59      | 187 | 96  |
| 平成21年5月  | -131      | 85  | 1   | 9    | 246 | 130 | 66      | 326 | 129 |
| 平成21年6月  | -118      | 96  | 9   | 47   | 330 | 133 | 57      | 331 | 124 |
| 平成21年7月  | -105      | 108 | 6   | -14  | 234 | 93  | 68      | 271 | 87  |
| 平成21年8月  | -89       | 122 | 24  | -7   | 403 | 117 | 71      | 323 | 93  |
| 平成21年9月  | -84       | 117 | 21  | -3   | 202 | 101 | 72      | 100 | 80  |
| 平成21年10月 | -86       | 126 | 21  | -7   | 223 | 104 | 63      | 140 | 83  |
| 平成21年11月 | -112      | 99  | 15  | -21  | 251 | 103 | 56      | 213 | 89  |
| 平成21年12月 | -109      | 100 | 12  | 16   | 187 | 100 | 52      | 166 | 88  |
| 平成22年1月  | -148      | 81  | -7  | 18   | 159 | 86  | 38      | 238 | 93  |
| 平成22年2月  | -140      | 89  | -9  | 36   | 286 | 110 | 52      | 369 | 118 |
| 平成22年3月  | -116      | 100 | -11 | 1    | 198 | 99  | 76      | 215 | 110 |
| 年計       | -148      | 126 | 6   | -21  | 403 | 105 | 38      | 369 | 99  |

※沿岸潮位と仁西水位の月平均値は小数点以下を四捨五入したので、表示の水位標高差とは必ずしも一致しない。

平成21年4月から平成22年3月までの沿岸潮位と仁西水位並びに同時刻の両者の標高差を時系列で図14に示した。

この期間の仁西水位は、4～6月は高水位で沿岸潮位との標高差は大きかった。6月30日と8月10～12日に降雨による増水で河口に堆積した砂利が押し流された結果、7～11月の仁西水位は沿岸潮位と同調するように変化し、沿岸潮位との標高差は小さくなった。しかし、平成21年12～翌3月にかけては、河口にシルが発達して仁西水位は高水位に移行し、沿岸潮位との標高差は大きくなる方向に変化した。

上記の内容と河口域縦断面の塩分等値線（図4）の特徴から、平成21年度の仁西水位は次の8期に区分できると考えられた（表5）。期間毎の特徴については、Ⅰ期（H21.4.1～5.2）は塩水くさび形成期から淡水化期への移行期、Ⅱ期（H21.5.3～6.30）は河口にシルが形成されて淡水化が進行し、Ⅲ～Ⅵ期（H21.7.1～11.30）は雨による増水で河口が開いて強い塩水くさびが形成された期間、Ⅶ期（H21.12.1～H22.1.25）はシルの再形成で海水の流入が減少した期間、Ⅷ期（H22.1.26～3.31）は河口が閉塞して仁西水位が上昇し、河口域の上下層間の塩水較差が小さくなった期間である。基本的には、河口が開いた状態から次第に狭隘化して河口閉塞に至り、その後に増水等で一挙に河口が開いて海水の流入が大きい期間に戻るといったパターンを繰り返すと考えられた。その間

の日数については、平成 21 年度の場合はⅠ期 32 日、Ⅱ期 59 日、Ⅲ期 41 日、Ⅳ期 76 日、Ⅴ期 20 日、Ⅵ期 16 日、Ⅶ期 56 日、Ⅷ期 65 日で、各モードの持続期間は不定期であった。

沿岸潮位に対する仁西水位のタイムラグを図 5 及び表 4 から-1 時間と仮定し、期間毎に沿岸潮位と仁西水位の関係について検討した(図 15 及び表 5)。図 15 は、X 軸を沿岸潮位、Y 軸を仁西水位とする直角座標に時刻毎の値をプロットし、それに対する回帰直線を求めたものである。ここでの回帰係数は沿岸潮位と仁西水位の標高比に相当するもので(以下、この回帰係数を「河口標高比」と仮称する)、河口標高比が 1 に近いほど沿岸潮位の振幅と仁西水位の振幅は同調して変化し、逆に河口標高比が 0 に近いほど仁西水位の上下動とその振幅は沿岸潮位のそれと乖離していることを表している。そのため、河口標高比の大小は河口を通過する水の出入りの容易さを示す指標、即ち河口の閉塞程度を表す指標になりうると考えられる。また、定数項は仁西水位と沿岸潮位の平均標高値の差に相当し、この値が大きいほど仁西水位は高止まり状態にあること、逆に、この値が小さいほど仁西水位と沿岸潮位の標高差は小さく、仁西水位の平均標高値が低いことを表している。

図 15 及び表 5 をもとに先に区分した 8 期の状態を概観すると、Ⅰ期の仁西水位(定数項)は低位で河口標高比は 0.79 でやや高く、仁西水位は沿岸潮位と同調して変化した。Ⅱ期とⅧ期では仁西水位は高水位に移行し、仁西水位の振幅が縮小すると同時に沿岸潮位との相関は低下した。Ⅲ～Ⅶ期では、仁西水位は標高 85～95cm、河口標高比は 0.75～0.90 で変化し、仁西水位は沿岸潮位と同調して変化した。各期間毎の河口標高比と定数項の値は、河口標高比が大きい場合に定数項は小さく、逆に河口標高比が小さい場合に定数項は増加するとともに、相関係数は低下した(図 16)。以上の結果から、河口標高比と仁西水位の期間平均値から、河口の閉塞状況はおおよそ推定できると考えられた。

表 4 仁西水位の沿岸潮位に対するタイムラグの検討

| 年・月 \ 区分     | 同時刻データセット |       |       | -1 時間差データセット |       |       |
|--------------|-----------|-------|-------|--------------|-------|-------|
|              | 回帰係数      | 定数項   | 相関係数  | 回帰係数         | 定数項   | 相関係数  |
| 平成 21 年 4 月  | 0.74      | 92.1  | 0.896 | 0.78         | 92.8  | 0.949 |
| 平成 21 年 5 月  | 0.17      | 129.8 | 0.234 | 0.23         | 129.9 | 0.320 |
| 平成 21 年 6 月  | 0.20      | 131.3 | 0.288 | 0.28         | 130.6 | 0.403 |
| 平成 21 年 7 月  | 0.90      | 87.9  | 0.926 | 0.87         | 88.0  | 0.899 |
| 平成 21 年 8 月  | 0.93      | 94.5  | 0.754 | 0.84         | 96.8  | 0.685 |
| 平成 21 年 9 月  | 0.97      | 80.3  | 0.997 | 0.87         | 82.4  | 0.891 |
| 平成 21 年 10 月 | 0.95      | 84.0  | 0.973 | 0.89         | 85.3  | 0.904 |
| 平成 21 年 11 月 | 0.88      | 89.6  | 0.860 | 0.88         | 89.5  | 0.863 |
| 平成 21 年 12 月 | 0.74      | 91.2  | 0.901 | 0.78         | 90.7  | 0.955 |
| 平成 22 年 1 月  | 0.47      | 89.2  | 0.700 | 0.56         | 89.8  | 0.834 |
| 平成 22 年 2 月  | 0.36      | 112.8 | 0.428 | 0.47         | 113.7 | 0.545 |
| 平成 22 年 3 月  | 0.71      | 106.9 | 0.853 | 0.74         | 107.1 | 0.878 |
| 平均           | 0.67      | 100.1 | 0.734 | 0.68         | 99.7  | 0.761 |
| 中央値          | 0.74      | 98.2  | 0.857 | 0.78         | 91.8  | 0.871 |

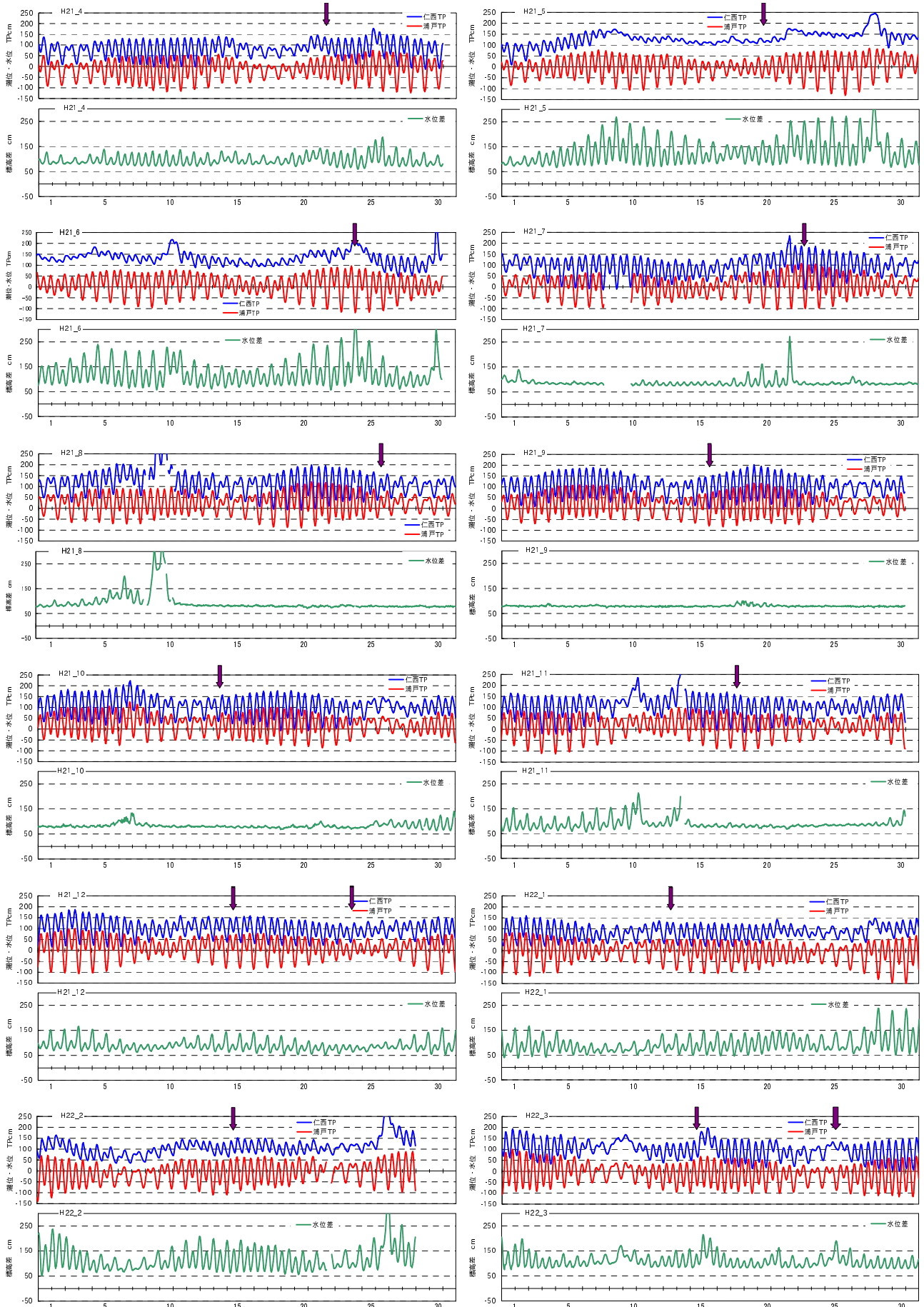


図 14 仁西水位と沿岸潮位、並びに標高差の変化 (平成 21 年 4 月から平成 22 年 3 月まで)



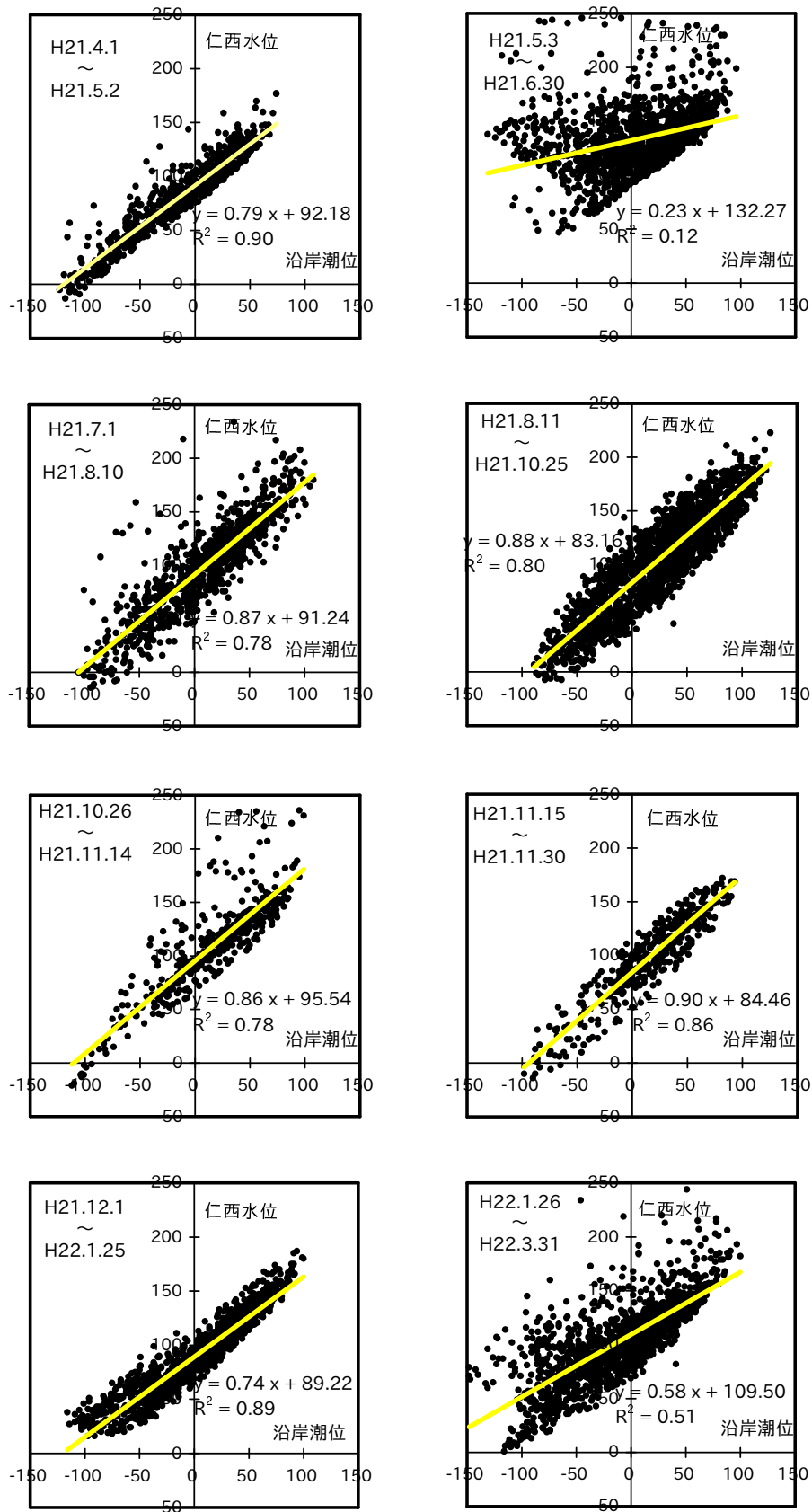
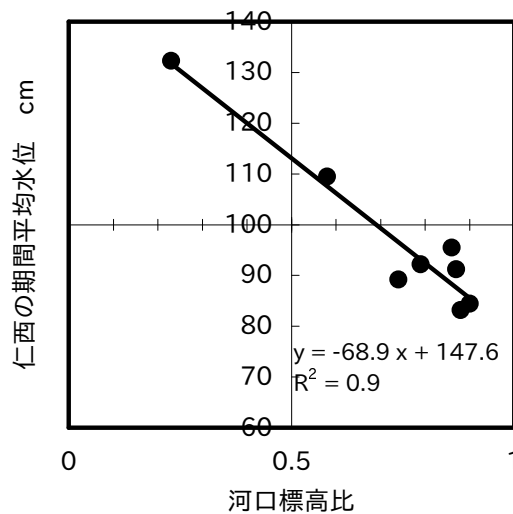


図 15 期間別の沿岸潮位と仁西水位の相関（平成 21 年度）

表5 沿岸潮位と仁西水位の変動パターンの違いによる期間区分と河口標高比

| 期間区分 | 開始年月日     | 終了年月日     | 河口標高比 | 定数項    | 相関係数 | 備考        |
|------|-----------|-----------|-------|--------|------|-----------|
| I    | H21.4.1   | H21.5.2   | 0.79  | 92.18  | 0.88 | 移行期       |
| II   | H21.5.3   | H21.6.30  | 0.23  | 132.27 | 0.35 | 淡水化進行     |
| III  | H21.7.1   | H21.8.10  | 0.87  | 91.24  | 0.88 | 水量増加。シル流失 |
| IV   | H21.8.11  | H21.10.25 | 0.88  | 83.16  | 0.89 | 増水でシル流失   |
| V    | H21.10.26 | H21.11.14 | 0.86  | 95.54  | 0.88 | 塩水くさび形成   |
| VI   | H21.11.15 | H21.11.30 | 0.90  | 84.46  | 0.86 | 高塩分続く     |
| VII  | H21.12.1  | H22.1.25  | 0.74  | 89.22  | 0.94 | 移行期       |
| VIII | H22.1.26  | H22.3.31  | 0.58  | 109.50 | 0.71 | シル形成      |

水位高く振幅小さい  
例：II期（H21年5月）



水位高く振幅大きい  
例：VIII期（H22年3月）

水位低く振幅小さい

水位低く振幅大きい  
例：IV期（H21年9月）

図16 河口標高比と仁西期間平均水位（平成21年度）

河口標高比と河口域底層の塩分との関係を見るため、中州下流の底層塩分及び観測日直前3日間の河口標高比について回帰分析を行った（表6）。また、同じデータを用いて、X軸に河口標高比、Y軸に中州下流の底層塩分をプロットしたグラフを図17に示した。平成21年度の12回の観測で中州下流の塩分は0.08～31.45、各観測日直前3日間の河口標高比は0.15～0.93で変化した。このうち底層が淡水化していたのは4回で、これを除くと、河口標高比が高い場合は底層の塩分は高く、河口標高比が低い場合は塩分も低い傾向が認められた。仁西水位が沿岸潮位に同調し、河口標高比が高い期間は河口域への海水の流入が多く、河口域底層の塩分が上昇すると考えられた。ただ、観測12回のうち、淡水化による例外回数が4回と多く、河口標高比から河口域底層の塩分を直接推測することについては、河口域底層の塩分と沿岸潮位や河川流量との関係を更に検討する必要があると考えられた。

表 6 中州下流底層の塩分と河口標高比

| 観測日       | 底層塩分<br>中州下流 | 沿岸潮位と仁西水位の関係        |      |
|-----------|--------------|---------------------|------|
|           |              | 回帰式                 | 相関係数 |
| H21.4.22  | 1.52         | $y = 0.71x + 101.7$ | 0.89 |
| H21.5.20  | 0.18         | $y = 0.15x + 120.5$ | 0.46 |
| H21.6.24  | 19.51        | $y = 0.21x + 151.8$ | 0.63 |
| H21.7.23  | 0.11         | $y = 0.72x + 106.6$ | 0.82 |
| H21.8.26  | 31.45        | $y = 0.84x + 84.1$  | 0.88 |
| H21.9.16  | 31.27        | $y = 0.93x + 78.5$  | 0.91 |
| H21.10.14 | 28.26        | $y = 0.93x + 80.8$  | 0.94 |
| H21.11.18 | 26.11        | $y = 0.89x + 83.3$  | 0.92 |
| H21.12.16 | 26.55        | $y = 0.72x + 95.9$  | 0.98 |
| H22.1.13  | 27.03        | $y = 0.75x + 83.7$  | 0.95 |
| H22.2.15  | 23.13        | $y = 0.34x + 113.4$ | 0.81 |
| H22.3.15  | 0.08         | $y = 0.64x + 102.3$ | 0.97 |

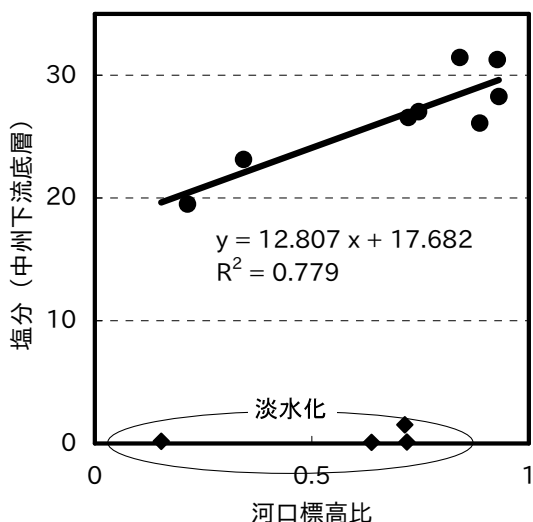


図 17 河口標高比と底層塩分（中州下流）の関係（平成 21 年度）

一般的に、スジアオノリの生育状況は水温と塩分の影響が大きいと言われている。先の検討で河口標高比と塩分に総体的な相関のあることが推定できたので、スジアオノリの生育状況と河口標高比の関係について検討した（表 7）。

平成 19 年 11 月から平成 22 年 3 月までの各年のスジアオノリ最大葉長は、平成 20 年は 3 月 4～18 日で 221～582mm、平成 21 年は 1 月 13 日～2 月 6 日で 431～738mm、平成 22 年は 1 月 13 日で 172mm であった。この期間の水温はそれぞれ 15.7～15.8℃、9.1～14.8℃及び 15.4℃、塩分は 21.19～24.84、0.18～24.78 及び 27.03、河口標高比は 0.80～0.86、0.44～0.58 及び 0.71 であった。概略的には、水温 15℃、塩分 20～25、河口標高比 0.6～0.85 程度の期間に生育が良いと考えられた。また、水温が低い場合は塩分や河口標高比が若干低くても生長は良く、生育への影響は少ないと考えられた。平成 21 年 4 月には、河口大橋付近で「春ノリ」が好漁であったが、収穫期終了直前の 4 月 22 日の水温、塩分及び河口標高比はそれぞれ 16.8℃、1.52、0.81～0.88 で、塩分の観測値は低かったものの、河口標高比は 0.8 台で、漁場周辺には適度に海水が流入し、スジアオノリの生育に適した環境条件が揃っていたと推察された。

以上から、仁淀川河口域でスジアオノリの繁茂が期待できるのは、スジアオノリ生育期において河口標高比が0.6~0.85の条件で海水が出入りする場合であると考えられた。仁淀川河口域の塩分をスジアオノリの生育に適した環境に近づける方策のひとつとして、河口標高比を水温が15℃以下の場合は0.6~0.85、水温が15℃より高い場合は0.8~0.85程度になるよう、河口の開口度を調整する方法が有効ではないと考えられた。

表7 スジアオノリの生育状況、底層塩分及び河口標高比の関係

| スジアオノリ<br>測定期間      | スジアオノリ<br>最大藻長 (mm) | 水 温<br>(中州下流) | 塩 分<br>(中州下流) | 河 口 標 高 比 |
|---------------------|---------------------|---------------|---------------|-----------|
| H19.11.26~H19.12.25 | 23~32               | 18.4~20.2     | 27.40~30.01   | 0.42~0.82 |
| H20.1.8~H20.1.21    | 162~193             | 16.1~16.2     | 23.08~25.23   | 0.80~0.86 |
| H20.2.5~H20.2.18    | 46                  | 11.7~15.3     | 11.74~26.96   | 0.42      |
| H20.3.4~H20.3.18    | 221~582             | 15.7~15.8     | 24.84~21.19   | 0.80~0.86 |
| H21.1.13~H21.2.6    | 431~738             | 9.1~14.8      | 0.18~24.78    | 0.44~0.58 |
| H21.4.22            | 49                  | 16.8          | 1.52          | 0.81~0.88 |
| H21.11.18~H21.12.21 | 19~85               | 17.3~20.4     | 26.11~28.21   | 0.79~0.88 |
| H22.1.13            | 172                 | 15.4          | 27.03         | 0.71      |
| H22.2.15            | 31                  | 14.5          | 23.13         | 0.42      |
| H22.3.24            | 0                   | 10.8          | 0.07          | 0.73      |

#### (5) 仁淀川河口形状の変遷

図18に昭和37年5月から平成15年2月までに撮影された仁淀川河口付近の航空写真の一部を転載した(国土地理院撮影)。一連の航空写真からは、河口の位置が左岸側から右岸側に移動するとともに河口の幅が年とともに狭くなっていくのが判別できる。河口の形状が変化すれば河口域への海水の流入様態が変化し、その結果、河口域の水質環境も変化すると考えられる。

仁淀川河口域で実施してきたこれまで3年間の調査結果からは、スジアオノリなど感潮域に生息する動植物には不適な環境条件、即ち河口域の表層から底層に至る全層が淡水化する状況が不定期に出現することが明らかになってきた。河口域の環境、特に塩分勾配など海水の流入によって形成される環境条件は、河口閉塞による影響を直接的に受けると考えられる。河口閉塞については、これまでも開削工事などが行われているが、これまで3ヶ年の観測結果を見る限りでは、それらの対策は感潮域という特殊な環境を維持し、そこでの生態系を保全するという観点からは必ずしも成功していないのではないかと考えられた。そのため、今後の河川管理においては、河川流量や河川水位の管理とともに、河口域に形成される感潮域環境の質的側面も含めた検討が必要になるのではないかと考えられる。

平成19年10月25日から平成22年3月26日までの観測記録(36回分)、平成19年11月26日から平成22年3月26日までのスジアオノリ漁場の記録(25回分)及び平成20年4月2日から平成22年3月26日(12回分)までの栄養塩類分析値は、表8に示した書式のデータベースに整理した。



図 18 仁淀川河口の変遷 (国土地理院撮影の航空写真による)

## 4 要約

- (1) 平成 21 年 4 月から平成 22 年 3 月まで、観測定点 5 ヶ所の水温・塩分・溶存酸素濃度・栄養塩類・クロロフィル濃度並びにスジアオノリ観測定点 5 ヶ所の藻類の目視被度及び葉長の定期調査を行った。
- (2) 中州下流での水温は、表層 9.6~23.6℃（年平均 16.8℃）、底層 11.0~27.8℃（19.9℃）塩分は表層 0.06~9.15（2.00）、底層 0.08~31.45（18.07）であった。水温・塩分ともに海水の流入により変化し、流入量が増えると上下層間の較差は大きくなった。塩分の河口縦断分布では塩分躍層の形成や流入海水が河川水と混合しながら流下する「連行」などが観測された。
- (3) 栄養塩濃度は月別変化が大きく、海水との混合による影響が大きいと考えられた。クロロフィル濃度は、季節性の変化が認められたが、内湾での分布量と比較すると低濃度であった。
- (4) 平成 21 年度のスジアオノリは、4~5 月に「春ノリ」が増殖したものの、10 月以降の生育状況は不良で、平成 22 年 3 月には藻場は消失した。生育期の高水温・高塩分が生育不良の原因と考えられた。また、3 月の流失は漁場周辺の淡水化が原因と考えられた。
- (5) スジアオノリを塩分の高い河川水（塩水区）と塩分の低い河川水（淡水区）で培養したところ、塩水区の生長が淡水区の生長を上回った。また、淡水区では枯死する藻体もあり、生育期の淡水化は藻体への影響が大きいことが確かめられた。試験容器壁面付着物の検鏡では、塩水区では遊走子の集塊と孢子体形成が確認できたが、淡水区では遊走子の集塊は見られなかった。スジアオノリは藻体の伸長と同時に遊走子放出による再生産が併行する生態があるため、生育域の淡水化はスジアオノリ藻場の衰退に影響すると考えられた。
- (6) 仁西水位が沿岸潮位に同調する期間とその同調が乱れる期間が不定期に出現する現状が明らかになった。仁西水位の平均振幅は沿岸潮位の平均振幅に比べると相対的に大きかった。河口標高比が大きい期間の仁西水位は沿岸潮位に同調し、平均水位は低位であった。逆に河口標高比が小さい非同調期間の仁西平均水位は高止まりする傾向があった。
- (7) 河口標高比と河口域底層の塩分は、河口標高比が大きい期間は総じて高く、河口標高比が小さい期間は総じて低かった。河口標高比が高い期間は河口域への海水の流入が多く、河口域底層の塩分が上がると考えられた。河口標高比と河口域底層の塩分には総体的な相関があると推測できたが、淡水化に伴う例外もあり、河口標高比から河口域の塩分を直接推測するには沿岸潮位や河川流量との関係を更に検討していく必要があると考えられた。
- (8) スジアオノリの生育が良かったのは、水温 15℃台、塩分 20~25、河口標高比 0.6~0.85 の期間であった。このことから、仁淀川河口域の塩分をスジアオノリの生育に適した状態に近づける方策として、河口の開口度を河口標高比で 0.6~0.85 程度に調整する方法が考えられた。
- (9) 昭和 23 年以降、仁淀川河口の位置は左岸側から右岸側に移動するとともに河口幅は狭くなる傾向が見られた。河口閉塞に対しては開削工事が行われているが、これまで 3 年間の調査では河口感潮域の環境保全という観点からは、開削工事の効果は必ずしも十分ではないと考えられた。河口域の環境保全については、生物学的な視点を含めて検討される必要があると考えられた。

表 8 調査結果データベースの書式

| 環境調査データベース |          |          |          |       |
|------------|----------|----------|----------|-------|
| フィールド      |          |          |          | レコード  |
| No.        | 名 称      | 単位       | フォーマット   | レコード数 |
| 1          | 回次       |          | ###      | 1,581 |
| 2          | Date     | Y/M/D    | ##/##/## |       |
| 3          | Time     | hh:mm:ss | ##:##:## |       |
| 4          | Temp     | ℃        | ##.##    |       |
| 5          | Salinity |          | ##.###   |       |
| 6          | DO%      | %        | ##.#     |       |
| 7          | DO Conc  | mg/l     | ##.##    |       |
| 8          | Depth    | m        | ##.##    |       |
| 9          | Location |          | Text     |       |

| スジアオノリ・データベース |             |       |          |       |
|---------------|-------------|-------|----------|-------|
| フィールド         |             |       |          | レコード  |
| No.           | 名 称         | 単位    | フォーマット   | レコード数 |
| 1             | 回次          |       | ###      | 137   |
| 2             | 調査日         | Y/M/D | ##/##/## |       |
| 3             | Location    |       | Text     |       |
| 4             | 葉長(average) | mm    | ###.#    |       |
| 5             | 葉長(max)     | mm    | ###.#    |       |
| 6             | 葉長(min)     | mm    | ###.#    |       |
| 7             | 目視被度        | %     | ##       |       |
| 8             | 生育種 1       |       | Text     |       |
| 9             | 生育種 2       |       | Text     |       |
| 10            | 備考 1        |       | Text     |       |

| 栄養塩分析データベース |          |       |          |       |
|-------------|----------|-------|----------|-------|
| フィールド       |          |       |          | レコード  |
| No.         | 名 称      | 単位    | フォーマット   | レコード数 |
| 1           | 調査海域     |       | Text     | 116   |
| 2           | 回次       |       | ###      |       |
| 3           | 調査日      | Y/M/D | ##/##/## |       |
| 4           | Location |       | Text     |       |
| 5           | 現場水深     | m     | ##/##    |       |
| 6           | 採水層      | m     | Text     |       |
| 7           | TN       | μg/l  | ###.##   |       |
| 8           | TP       | μg/l  | ###.##   |       |
| 9           | NH4      | μg/l  | ###.###  |       |
| 10          | NO2      | μg/l  | ###.###  |       |
| 11          | NO3      | μg/l  | ###.###  |       |
| 12          | PO4      | μg/l  | ###.###  |       |
| 13          | SiO2     | μg/l  | ###.###  |       |
| 14          | DIN      | μg/l  | ###.###  |       |
| 15          | DON      | μg/l  | ###.###  |       |
| 16          | DOP      | μg/l  | ###.###  |       |