



家地川ダム (佐賀堰)

四万十川調査 大船渡湾・広田湾調査 2021年度報告書

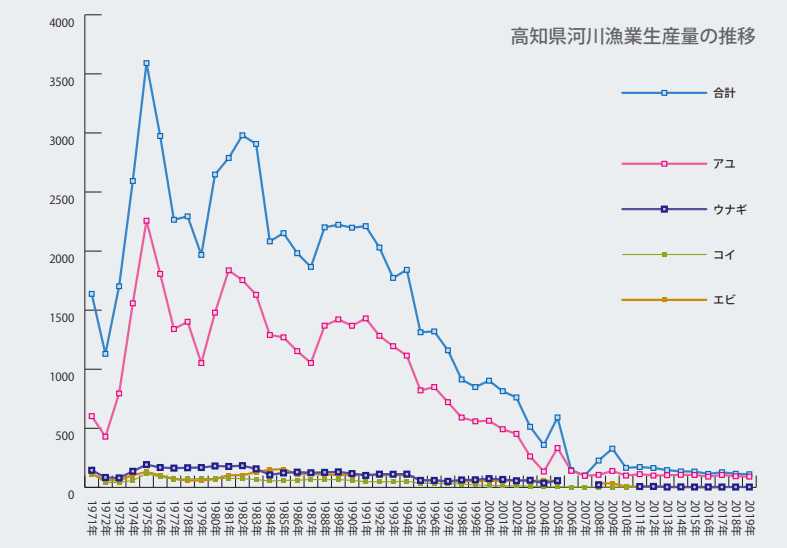
森 川 海 と 人
自然活用の水辺再生プロジェクト



津賀ダム左岸からダム湖



四万十川橋 (赤鉄橋) 付近



高岡郡四万十町七里の収穫後の生姜畑



四万十町大正地区の芽吹手の沈下橋



広見川と四万十川の合流点

四 万 十 川 調 査 大船渡湾・広田湾調査 2021年度報告書

森 川 海 と 人
自然活用の水辺再生プロジェクト

はじめに

調査活動への支援

一般社団法人生態系総合研究所は2015年度から2020年度まで“気仙川・広田湾プロジェクト”「森川海と人」を実施してきました。

地元の民間企業の支援により2015年度から開始され、2016年度と2017年度には 全国規模のNPOの支援を得ました。そして2018～2020年度は陸前高田市からの支援がありました。

現在では支援の輪が広がり、民間企業、豪州外務貿易省が支援するAJF（豪日基金）から大船渡市と四万十川漁業協同組合連合会と鹿島平和研究所からの支援を受けて実施しています。

広田湾・気仙川から四万十川へ

これまで広田湾・気仙川の流域の基本的なデータの収集と、地域住民の啓もうと普及に貢献してきましたが、2021年度からは大船渡湾と盛川を追加しました。さらに最後の清流と言われる「四万十川」を調査の対象としました。不入山（1,336メートル）に源流を発する196キロメートルに及ぶ蛇行に蛇行を繰り返す大河は、調査に取り組む相手としては大変に手ごわい自然の大河です。最後の清流といわれた四万十川も、私のふるさとの広田湾と気仙川、そして大船渡湾と盛川も汚染がじわじわと進行しています。その原因を作っているのは一人ひとりの私たちです。

米国スミソニアン環境研究所の協力

2017年6月にはスミソニアン環境研究所のハインズ博士を招待し、国際シンポジウムを陸前高田市、大船渡市、住田町及び、私の母校である岩手県立盛岡第一高等学校で開催しました。

2019年9月にはスミソニアン環境研究所のデニス・ウィグハム博士が来日、古川沼の人工的なコンクリート材質で固めた環境を、米国や世界が採用している自然の復元力を活用した湿地帯の造成（Nature Based Solution；NBS）を採用したい意向を示しました。それが2020年2月17日から19日スミソニアン環境研究所とアンダーウッド&アソシエイツの古川沼の再訪につながり、自然工法による水辺再生の事業計画のための予備・視察調査を実施しました。

2022年5月31日から6月9日には3度目の来日を果たし、具体的な実施計画の骨子の作成に入りました。

最後の清流四万十川の調査

ところで河川域が従来のコンクリート工法により大幅に改修され、また、各種；都市下水、産業排水と農業排水の汚染水が流入して、河川水が汚濁し、河川と氾濫源の土壌が劣化した結果、ウナギやアユと川えびなどの魚介類が大幅に減少し、ニホンカワウソなど水生生物が死滅しました。そして河川堤と河川床が自然の姿を残さないところが多くなった四万十川でも、これから清流を取り戻すためにできることを検討しています。

科学情報は財産；前例ない比較対照

私たちは科学的情報が重要と考えます。日本人はともすれば情報をタダと考えています。情報の価値を見出して、対価を支払うことをしません。住民が行なう政府や企業に対するダム撤去運動などの自然保護運動でも、科学根拠が不足し有効な成果を得られないことがほとんどでした。しかし海外では、原住民族、住民やNGOが各方面でデータをもとに活動し、成果を上げています。

私たちの一般社団法人生態系総合研究所の調査活動では初めてデータを本格的な計測による科学データ；深度別、地点別、季節別に、成長・生育の観察データ；写真と漁業者・住民からの直接の聞き取りデータというこれまで取ったことのない比較分析を実施しました。

科学調査活動も、データの継続性が極めて重要であることから、また広田湾・気仙川では陸前高田市からの調査支援のための資金提供はなくなりましたが、陸と河川と海洋生態系の科学計測と、現場に寄りそう調査は全く例がないので、継続予定です。また、近隣の大船渡湾・盛川との比較も実施し、四万十川との対照をしていきたいと思っています。

2022年8月
一般社団法人生態系総合研究所
代表理事 小松正之

目次

はじめに	2
調査の目的と概要	4
四万十川調査	8
2021年3月15～16日 四万十川流域事前調査	9
2021年8月1～3日 四万十川の環境科学調査	11
2021年11月7～10日 四万十川河川環境科学調査	18
2021年11月7日 仁淀川河川環境科学調査	30
2022年3月12日 四万十川河川環境科学調査；家地川ダム（佐賀堰）と津賀ダム	33
2022年3月13日 四万十川の河川環境調査 四万十川下流	36
2022年3月13～14日 四万十川の河川環境調査 中筋川、広見川と四万十川・窪川地区	40
大船渡湾・広田湾調査	45
2021年4月4日 大船渡湾と4月5日 広田湾海洋環境科学調査	46
2021年7月6日 大船渡湾と7月5日・7日 広田湾海洋環境科学調査	51
2021年9月27日 広田湾と9月28日 大船渡湾の海洋環境科学調査	56
2021年12月2～3日 広田湾の海洋環境科学調査	61
2021年12月3日 大船渡湾の海洋環境科学調査	67
2022年3月6～8日 広田湾調査の海洋環境科学調査	73
2022年3月7日 大船渡湾の海洋環境科学調査	78
将来への提言	82
あとがき	84

調査の目的と概要

1. 総論

一般社団法人生態系総合研究所（代表理事 小松正之）は自然活用型の水辺再生プロジェクトの第1年目として、四万十川、大船渡湾と広田湾並びに接続する河川で、本プロジェクトの実施に必要な基本データの収集、分析並びに、地方自治体、民間組織及び調査協力者並びに大学などへの助言を行った。

2. 目的

1) 四万十川は1980年代に日本に残る最後の清流として一躍脚光を浴びた。そして多くの観光客が押し寄せたがそれに受け入れが及ばなかった。また、長年の防災工事、工業開発、農業振興と都市化の進展で四万十川の水質と水流が悪化した。そのために、アユやウナギなど魚類の生産量はピーク時の3%に減少した。また、水質は悪化した。

2) 陸前高田市の高田松原は、東日本大震災と大津波により壊滅的な被害を受け、その後の防災を主目的とした防潮堤工事、嵩上げ事業や、住宅地の高台造成事業により、広田湾、古川沼及び気仙川流域の自然生態系への悪影響が観察されるところである。さらには、海産物の生産量減少や品質低下などがみられる。

3) 大船渡湾では2011年3月11日に崩壊した湾口防波堤が、2015年3月19日再建設された。これによって、防災の目的は一部達成されるが、大船渡湾の海洋環境も外洋とはほぼ一線を画した状況が継続されることになった。（湾口防波堤が完成する以前の大船渡湾の海洋環境と水質を計測しておくことが有益であった。）

解放的な広田湾とは異なる閉鎖海としての大船渡湾を広田湾との比較対象によって分析評価する。また、気仙川と盛川とはその分水嶺の面積が4対1程度であるが、それぞれがサケの回帰のための河川である。河川と湾の漁業、養殖業との関係に関しても分析と評価を試みる。

3. 調査項目（全体）

水温、塩分濃度、クロロフィル量、濁度（FTU）、溶存酸素量（DO）と流向と流速を主として計測する。また、計測値と近辺のカキ養殖とアオサノリ（四万十川下流）との関係を調査する

II. 調査結果の概要

(1) 四万十川流域

本調査の目的は河川環境の悪化・劣化の状態を科学的指標を客観的に表示し、科学数字の意を提供し、環境の悪化の原因を解明／推定することである。

四万十川の河川環境はこれまでの調査から：

- ①防災を目的とした河川の護岸と直流化の工事による自然の回復力の低下が濁度（FTU）など数値に表れている。
- ②四万十川下流域の国営農場、中筋川や後川を含む農業排水、中流での生姜農業の殺菌剤や稲作の代掻きなど農業排水の流入の影響がみられる。
- ③四万十市の中筋川の高知南西中核工業団地からの工場排水、後川水系の都市下水の排出による濁度と溶存酸素量などの科学数値上の反映（環境悪化）があげられる。
- ④津賀ダムや佐賀堰の建設と運用による水量、水流への遮断と取水、そして停滞が四万十川水系に及ぼす環境影響がみられる。

結果と評価

1) 濁度（FTU）は、一般に国内の他の河川よりは悪化しているとみられる。

表面（水深50センチ）でも、四万十川橋（赤鉄橋）のみが良好である。渡川大橋付近から濁度（FTU）が次第に悪化して、後川に至ると、支流である後川内に放出される排水の影響で後川と四万十川とが合流する地点では、水質が悪化する。中筋川の中流の高知南西中核工業団地と農業の排水はの四万十川大橋付近での科学指標（濁度など）の悪化の要因である。

2) 溶存酸素量（DO）は8月の調査時期に比べると11月には悪化していない。後川の佐岡橋でも90%を割り込み好ましくない。8月には70%台も目立ったが、11月で80～90%台に回復し、2022年3月では100～120%まで高くなった。しかし、3月に良くなる傾向は広田湾と大船渡湾でも計測された。

3) クロロフィル量は夏場8月には高い傾向がみられる。11月には、四万十川橋（赤鉄橋）や渡川大橋を含め不足気味であった。2022年3月の下流域では1年を通じて、後川と四万十川の合流点、中筋川と四万十川の合流点のクロロフィル量は高い傾向がある。また、下田アオサノリ養殖場では、北のヨット・ハーバー；国営農場に近いほど数値が高まる。土佐湾は、8月も2022年3月も概して高くない。

4) 竹島川の養殖場は、国営農場の果樹や生姜農家などの排水が竹島川に放出され汚染物質と農薬などが入り込むと推定され、濁度（FTU）が高い。特に国営農場付近では21.3FTU（2021年8月2日川底）でかなり汚染度（濁度）が高い。

間崎・津蔵淵川の養殖場は、中筋川からの汚濁した南下水の影響と津蔵淵川からの影響に加えて、養殖場が平坦で、河川水の動きが遅いことが原因でDOが低い。河

川環境の悪化がアオサノリ養殖の収穫量の減少につながっていると考えられる。現時点ではそれ以外の原因は思いつかない。

5) 河岸堤防工事

後背地の数件の宅地の防災のための津蔵淵川の出口と初崎の間での堤防工事がある。また、下田地区の防災のための新たな改修工事なども予定されている。この計画の環境影響評価（アセスメント）は必須である。過去の工事も四万十川では、日本全国各地と同様に河川生態系・生物の多様性の維持に配慮が払われたか否か。環境影響評価がなされたとは考えられない。

6) 排水処理施設

四万十市には右山の中央排水処理場、右山と桜町排水機場がある。2022年3月には桜町排水機場付近の後川は青白色の汚染水が観察された。四万十川の本流へは岩崎排水樋門がある。これらの排水が四万十川を汚染する。

7) 生姜農家と広見川からの代掻き汚濁水他

四万十町などの生姜農家が汚染源の一つである。中筋川の山奈排水処理場、後川水系と広見川水系などの農業排水に関する科学的データが必要である。

8) 津賀ダムと佐賀堰（家地川ダム）

両者に関しても、建設物の影響と水流・水質並びに生態系の状況を知るために早急にダムへの流砂・ヘドロなどの堆積、水力発電の将来予測と四季を通じての科学的データの収集が必要である。また両者に関わって、住民や漁業協同組合はダムの撤去が関心であり、米国のElwhar ダムやコロンビア川水系のダムの撤去に関する資料と荒瀬ダムの撤去の資料を収集することが必要である。

9) アオサノリ

2021年秋の種苗の着床率は悪かった。これは環境の劣化が問題であると考えられるが、高知県土佐清水漁業指導所他高知県の見解は採苗時の光照射に問題があるとの見解で私たちと異なる。また、代替策を検討することが重要である。

10) 他河川との比較

濁度（FTU）は極端に四万十川が高い。これは、同じ条件の大雨の直後の気仙川と比較すると気仙川の4倍以上の濁度（FTU）であり、四万十川が多くの土砂・汚染物を下流に運んでくるかを示している。仁淀川河口域の溶存酸素量は87～89%であり、下流域の左右岸側に多数あるハウス農場からの排水の農薬と過剰肥料などが原因と推定される。窪川地区の吉見川、仁井田川と四万十川の本流の水質が必ずしも、良好ではない。また、町内では、合併浄化槽の設置が進んだが、家庭からの排

水がそのまま流れており（2022年3月；新開橋）、さらにこれを推進する必要が観察された。

高知県の河川の浄化は農業の肥料、農薬の使用量の規制にかかっている。国・農林水産省は減農薬と減人工肥料の有機農業の環境重視の農業政策「みどりの食料システム戦略について」を実行中である。しかし四万十市などの小規模農家などは、その政策になかなかついていけない

(2) 大船渡湾・盛川

2021年4月と7月と9月の結果を比較すると明確に異なった結果が得られたが、2022年3月は2021年12月と類似した結果が得られた。双方とも大型の低気圧の通過直後であり、海流が早く、これに湾内の海水が流されたことが原因ではと考えられる。

クロロフィル量に関して4月はカキの収穫後であり、カキに栄養分が吸収されていたと考えられる。7月は湾内ではクロロフィル量が60～70%程度高かったが、9月はまだ高く、2～3倍程度であった。表面の水深50センチで著しいが、水深10メートルでもこの傾向は観察された。

しかしながら12月では水深50センチでも0.3～0.6 $\mu\text{g}/\ell$ で、極めて低くクロロフィル量は低下した。水深10メートルでは0.7～1.4 $\mu\text{g}/\ell$ であり、これは通常レベルであった。しかし水深が深く30メートルでは再びクロロフィル量は表面並みに低下した。

2022年3月では12月よりはその量が増大した。表面では1 $\mu\text{g}/\ell$ を超えた。また水深10メートルでは大船渡湾の中央部で2.9～4.9 $\mu\text{g}/\ell$ を記録して、通常より高い値であった。しかし湾口防波堤の外洋域では1 $\mu\text{g}/\ell$ を下回り、水深10メートルと水深20メートルでも0.3～0.4 $\mu\text{g}/\ell$ 程度であった。これは広田湾の外洋域のクロロフィル量の10分の1程度であり、大船渡湾と広田湾の外洋域ないし親潮との関係が必ずしも類似しないことがわかる。

一方、2021年12月と2022年3月では、濁度（FTU）は全般的に改善された。特に湾口防波堤付近の内側と開口部や尾崎で、水深が深くなるほど、4月、7月と9月までは濁度（FTU）は濁りが著しく高かった状態を示していたが、12月は改善がみられた。この傾向が2022年3月の調査結果でも示された。盛川河口橋、盛川河口と太平洋セメントの排水口の濁度（FTU）が1FTUを超えて高かった以外は、大船渡湾の全域でその水深の深さにかかわらず0.1～0.4FTU程度であった。4月から9月までは珊瑚島と尾崎と湾口防波堤の内側の水深30メー

トルでは、濁度（FTU）が極めて高い値を示したが、これらの調査地点でも、高い濁度（FTU）でも0.87FTU（北堤の内側）であった。

溶存酸素量もこれまで湾口防波堤附近の内側と開口部の内側、尾崎、珊瑚島の水深30メートルの海底部には貧酸素水塊（19%～32.5%）（大船渡市環境調査結果も同様の結果）が形成されたが、12月と2022年3月にはこれが殆ど存在しなくなった。

溶存酸素量についても大船渡湾の全域で100%を超えるか、低くても94.5%（盛川の河口水深10メートル）が最低である。

（3）広田湾・気仙川

1) 概況

広田湾の調査は、2015年から人文科学的調査、聞き取りと現場視察などを中心に開始し、海洋科学計測調査を2018年8月から開始した。広田湾と大船渡湾の同時並行の比較調査は2021年4月から開始し4月、7月と9月と12月と2022年3月の5回の調査を実施し、それぞれの調査回毎に調査評価・報告書を作成した。

2022年3月の調査は両湾の並行調査としては5回目であり、広田湾調査は10回を超える。2021年12月2～4日の調査は12月1日に日本海北部と北海道沖を通過する強力な低気圧（974ヘクトパスカル：12月1日15時現在）と同時期に太平洋小笠原諸島の南に発生した台風では985ヘクトパスカルの気圧を記録した。そこから三陸沖を南下する寒冷前線の通過直後であった。

2022年3月5日には大陸・沿海州で発達した986ヘクトパスカルの低気圧の影響で北海道日本海沖から前線がのび、三陸沖を通過した。翌6日15時には国後島と択捉島沖100キロ真東に低気圧の中心が移動したが、広田湾は大しけであった。そのために私たちは海洋調査を8日午前中に延期して、6日の午後は陸上の古川沼と気仙川の科学観測を実施した。

広田湾の8日の調査結果は、低気圧の通過により海洋に流速の早い海流が発生し、広田湾の全域にわたって、海洋が清浄となったことを示す値がみられた。12月の調査結果と同様の傾向を示した。

気仙川は、クロロフィル量も溶存酸素量も十分にある。しかし、経年的に見ると、人文科学的な情報では、水量が50年程度前の4分の1から10分の1に減少したといわれる。栄養も河川の環境と生態系の変化・劣化を考慮すれば、減少していると考えられる。クロロフィル量は下流域で2.5～7 $\mu\text{g}/\ell$ で、上流では2～3 $\mu\text{g}/\ell$ で若干低い。

また、陸前高田市の排水処理場の機能も十分に果たされていない時期があり、汚染水が流出するし、震災復興祈念館駐車汚染水（ストーム水）が直接古川沼に流入する度合いが高まった。台風時では、気仙川から広田湾に河川水が大幅に流入し、その分だけ平時の水量が低下している。

古川沼と旧小友浦干拓地は、三陸リアス式海岸の最大の干潟であったが、復興工事と残土処分場として、建設残土の投棄場としたので、干潟としての機能は減少し、または喪失した。

2) 古川沼

古川沼は総面積が173,995平方メートル、東西は2キロで南北は200メートル。深さは最大で2メートルである。総水量が17万トンできわめて小さい沼である。気仙川が古河沼に流入する主要河川で、加えて北から川原川と小泉川が注ぐ。もともと気仙川が東に延び砂州によって閉塞し出来上がった干潟湖である。2011年3月の東日本大震災／大津波では沿岸域に蘇生した。その後の復興工事で2キロメートルに及ぶ防潮堤が建設されて人造湖となった。

古川沼は若干の海水が流入するので、河口堰を開けることにより、海水が低層に流入し表層は淡水が卓越する。その結果海水では生息していた表層部付近の貝類が、淡水化が進んで死滅した。松原大橋から東と西ではその性質が大きく異なる。東はクロロフィル量と濁度が高く、水の流れを占める流速がほとんどなく、澱んで停滞する。気仙川から松原大橋までの水路状の部分であって、東日本震災復興記念館下は、狭い水路で、流速が早く、クロロフィル量と濁度は低い。

3) 広田湾

広田湾は、震災直後は津波によってさらわれ底質環境が改善されてアワビもよく取れ、カキなどの生育も改善した。2～3年も続かなかった。2018年11月と2019年1月でも低下したまま変わらない。2019年の10月及び12月で、カキは身入りの悪いミズガキの期間が延長し、カキの出荷期間が短縮している。2020年2月ではミズガキは出荷の前には少なくなった。しかし、1年ものカキでも沖で育成しているものはミズガキが多くみられる。

アワビは、2017年も2018年もその漁獲量は減少した。2019年と2020年は開口を禁止した。2021年には開口が再開されたが漁獲量は激減した。またウニについては、その総収穫量はここ3年間でも大幅減少し、品質も低下している。ワカメはその生産量が減少したが2021年と2022年春はいくぶん回復した。

Ⅲ．調査の実施体制

プロジェクト・リーダー 小松正之

調査リーダー 望月賢二（2021年度は不参加）

調査スタッフ 堀口昭蔵（2021年度途中まで参加）
渡邊孝一
西脇茂利（2021年度途中から参加）

岩手県現地事務所長 伊藤光男

事務サポート 中村智子

現地サポーター 大坂信悦

（岩手県） 大和田信哉

鈴木栄・美津子・晃夫

新沼敬司

（高知県） 高知銀行 田村忍常務

竹内清彦 本店地域連携ビジネスサポート部

西内景太 中村支店

溝渕文興 本店地域連携ビジネスサポート部

藤本 剛 中村支店長

泉 茂 窪川前支店長

百田幸生 窪川支店長

四万十川下流漁業協同組合

山崎明洋組合長、山崎清実理事

四万十川下流漁業協同組合

高知大学名誉教授 大野正夫

(株)明神水産 元社長 明神照男

Ⅳ現地協力

Ⅴ連携・協力機関（順不同）

①国内

四万十市、四万十町、四万十川下流漁業協同組合、
四万十川漁業協同組合連合会、四万十川西部漁業協同
組合、陸前高田市、大船渡市、一般財団法人鹿島平和
研究所、(株)鹿島 東北支店、鹿島技術研究所、首都大
学東京、広田湾漁業協同組合、(株)仙台水産、(株)東海新
報社

②海外

スミソニアン環境研究所とアンダーウッド&アソシエ
イツ社、在日豪州大使館、豪日基金

四万十川調査

2021年 3月15～16日

8月 1～3日

11月 7～10日

2022年 3月12～14日



1. 概要と目的

四万十川流域は、日本でも有数の清流として有名であった。平成14年には四万十川条例が橋本大二郎知事の下で県条例として作成され、また四万十市や四万十町が別途県条例を受けて条例を定めている。しかしながら、一方で、建設工事の土砂流入、都市下水、工業排水と稲作、しょうが農業の展開により、過栄養と過農薬の影響により汚染が進行したとみられる。そして四万十川水系に流入し、水質と水量が変化し、その環境が悪化しているとみられる。

このために四万十川水系に関する科学調査が必要との認識を有するが、基本的な情報が不足しているために現地を訪問し、次回以降、四万十川流域の科学調査と流域の陸上調査を実施するために、四万十市と四万十町などを訪問し現地調査を実施した。その結果は以下の通りである。



写真：四万十町野地の四万十川の中流域 2021年3月15日

2. 個別懇談

1) 四万十川財団 神田修事務局長

石が減った。砂防堰堤ができて石が流れてこない。河原を昔は歩けたが、現在は河原がやせた。水量も減った。漁業は全体の漁獲量が1990年代の10分の1である。アユは四万十が高知を代表しているが100分の1ではないか。ウナギ、手長えびと青のりも90%も減った。アユはほっておいても蛆虫みたいに獲れたが今はいない。アユは冷水病の病原菌がアユの体内に残って、ストレスがあると発病する。細菌性のエロモナス症もある。産卵期に大雨が降り、鏡川など河川水が冷却されたときに冷水病が発現する。昨年は50分の1の漁獲量であった。極めて悪い。アユは2021年、全然見なかった。エビも獲りすぎではないか。(環境の悪化が原因との考えもある。)

四万十の手長エビは；平手手長エビ、南手長エビと手長エビの3種がある。南手長エビは60キロ上流まで生

息する。四万十川の手長エビは減少が著しい。子供が8月に漁獲するので3か年間、9月から3月までを全面禁漁とした。その結果、様子を見ることになった。夏が産卵時期で、漁業権は設定されていない。手長エビは雑食性で肉食でもあり、何でも食べる。

以前はウナギ（シラスウナギ）が帯状をなして遡上した。ウグイ、オイカワとコイがいなくなった。

四万十川に、西土佐に石を入れてみる実験をすることになった。石が下って、河川床によい影響を与えるかどうかを確認する。

ショウガ農業が問題である。工場の消毒剤、臭化メチルは使用禁止となった。河川床にぶよぶよのものがたまる。動物的なものである。

森林については、昭和30年代に植林をして40年代から放置林である。山林が84%を占めて、杉とヒノキである。現在の価格は1.2万円から1.8万円である。

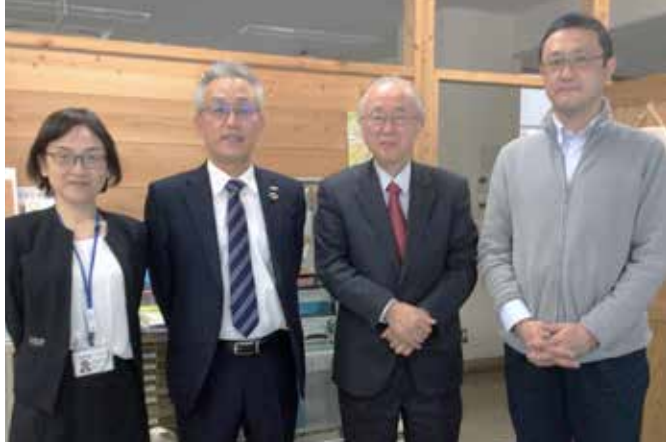
保全と振興のバランスが重要であるが、1983年にNHKで日本最後の清流として放送された。そして観光客が押し寄せた。アユ釣りだけの川だったが、何の準備もなかったので、マイカーで押し寄せてごみの問題も大きくなった。このままではだめということで、四万十川条例ができた。しかしお願い条例で罰則もなく、メガソーラーの規制もない。橋本大二郎知事が制定したが、四万十川財団もその対策の一つで2000年2月21日に出来上がったが、民間と県が出資金として半分半分の500万円を出し合った。四万十川を文化財とする県計画もあった。また県条例を読み替えて8市町村が条例を持っている。県とは相談しながらであるが、市町村に許認可権限がある。(四万十市から見ると、事実上は県に許認可権があり、市町村は形式的手続きと執行のみとの由)。西土佐町と中村市が合併して、四万十市になった。

山崎清美 四万十川下流組合理事

条例ができて、無用な工事は抑えられたが、川の中の生き物の規制に有効であったかどうかは疑問である。また改正漁業法は、シラスウナギの採捕禁止などに対する罰則が、海洋と内水面が一体とされて厳しくなったこと以外は、特に改正漁業法の特段の効果は思いつかない。

四万十川漁業協同組合連合会は4つの単協が構成員である。①四万十川下流漁協、②四万十川中央漁協（中央部と西土佐と中村）、③四万十川西部漁協と④四万十川東部漁協である。四万十川上流は四万十川淡水漁協である。(窪川など)。津野と梶原は津野山魚族保存会を建設業界の要請で設立した。漁協は設立していない。

アユは3年前に大豊漁であったが、その次の年はよくない。その後も獲れたうちに入らない。



写真：左から仁井田・高知銀行高知横浜支店長、田村高知銀行常務、小松と神田四万十川財団事務局長 2021年3月15日

組合員は高齢化している。職業はいろいろで専門者はいない。四万十川内水面漁業協同組合連合会の堀岡組合長自身も幡多信用金庫に長年勤めていた。山師、農業と漁業者の兼業である。

アオサノリの区画漁業権は、漁業法の沿岸の区画漁業権と同じ制度を適用している。一方で、竹島川などの河川占用権を取得し、その料金を国交省に支払っているが、その金額は微々たるものである。四万十川下流域の2か所に26人程度がアオサノリの養殖業を営んでいる。一枚の面積が20メートル×1.5メートルで30平方メートルで、全体で2,900面が免許されている。養殖期間が3～5か月である。

種苗は天然のアオサノリをなるべく活用するようにしているが、どうしても養殖の親からの種を利用することもある。10月に種苗を培養して、胞子を海苔網に付着させて2月から5月ごろまで河川水域内で、干出養殖をする。干出は、ノリの組織を強固にするために必要である。河川内の栄養塩も減少している気がする。30年前には青のりの生産が10トンあったが、現在はゼロである。アオサノリは30トンあったが、これも天然の生産はゼロである。養殖が2021年で4トンである。以前は桃屋の江戸紫に使われていた。経年の生産量のグラフがない。植林はなされず、皆伐がおこなわれたが、広葉樹は多少は増加していると思う。河川の濁りが取れにくくなった。1週間たっても取れない。水が腐りきって、汚れている。

東修二室長；西日本科学技術研究所

四万十川の魚類としては、アユ、ウナギとアマゴがあげられるが、最もなじみが深いのがアユであり、アユにとって向いた川としてその生産が突出していた。全国有数の河川の一つであった。河口域では、天然の青のり生産があり、最近落ち込んだ。

アユでは冷水病が問題である。90年代に問題になり、高知大農学部の中城先生が研究された。

自分はアユの生活史を中心に研究し、四万十川のアユは汽水域で生活し、その役割は重要である。

4キロ上流までが汽水域で、動物プランクトンが豊富である。高知市の鏡川でもアユは汽水域で生活し、海に

でない。汽水域はプランクトンの発生があり、十分にそこで生活していける。以前は8キロであったが、10～20キロに産卵場が上流に移行した。汽水域に到着するまでに時間がかかる。冷水病の発生が頻繁になった。発生のタイミングが20℃前後である。発生原因は、濁りとストレスとバクテリアで、発生のメカニズムはよくわかっていない。

2) 四万十川漁業協同組合連合会（堀岡喜久雄組合長と大木正行副組合長、四万十市渡邊康環境生活課長）

過去20年前後と現在の四万十川の環境や水質並びにアユやウナギの漁獲の状況などにつき、情報を提供されるが、先方によると基本的には、まとまった情報がない。平成になってから河川環境が悪くなった。砂利の採集、河床環境の悪化が原因である。砂利の採集は平成に止めた。

アユは中村の公設市場に集中する。以前は1,000トンのアユの漁獲があったが去年は60トンである。それでは漁業にならないが、価格が以前は1.2万円もしていたが、3,000～5,000円に低下した。アユを食べえなくなったのが原因である。

四万十川条例は平成13年にできたが、これは役に立っていない。強制規定がないことで、効力がないのが問題である。

その後、沈下橋や観光地の視察を経ながら高知空港に向かった。



写真：四万十川下流のアオサノリ養殖場 2021年3月16日



写真：勝間の沈下橋 2021年3月16日

2021年8月1～3日 四万十川の環境科学調査

1. 四万十川流域の概況

四万十川は、東津野村の不入山（1,336メートル）に源流を発し流程は196キロメートルで南下し、また東から西に蛇行してさらに南下する。（図1）かつては天然の魚類や甲殻類も豊富な自然が豊かな河川であった。アユやウナギ、川えびとゴリ（ハゼ科のチチブの稚魚）が豊富で、青のりとアオサノリ（養殖他）も多く獲れた。付近は森林で覆われ、林業と農業が盛んであった。また、江戸時代から後川や中筋川などの河川が氾濫し、旧中村市などが何度も水害に見舞われた。このために河岸工事やダム建設が盛んに行われた。また、1975年に起こった窪川では四国電力による原子力発電所の建設計画が、住民からの強力な反対運動で反対派市長が誕生し、1988に取り止めになった。これらの運動に刺激を受け無農薬の農業を行う農家もみられる。

最後の清流四万十川の現実と幻想

1980年代には、我が国最後の清流として一躍脚光を浴びた。1983年に「NHK特集 土佐・四万十川～清流と魚と人～」で「最後の清流」として放送されてから、観光客の訪問が著しくなった。しかし、観光地としての受け入れが十分でなく、マイカーなどで訪れる観光客が落とすごみの増加や観光地の整備などに対応できない問題が生じた。



図1 四万十川の流域図 資料：高知県ホームページ

一方で、四万十川の観光地としての人気の上昇と観光の増大や農業や開発・振興から環境の劣化への対応を求められて高知県は、橋本大二郎知事のイニシアチブで「高知県四万十川の保全及び流域の振興に関する基本条例」（略称：四万十川条例）を2001年（平成13年）に

制定した。これによれば、「水量が豊かで清流が保たれる、天然の水生植物が豊富に生息していること、天然林と人工林が連なり、人工林が適切に管理されていることなど」があげられている。

四万十川の水質と水質の悪化

しかしながら、四万十川流域の漁業者、住民やNGOなどによれば、2000年頃から急激に四万十川の水質と環境の悪化がみられ、魚類や手長エビなどの甲殻類並びに青のり・アオサノリの生産量が減少した。その結果、現在のアユやウナギの漁業生産量はピーク時の1～3%程度となり、アオサノリの養殖生産量は30トンが2020年は4トンで、2021年はわずか1.2トンに減少した。天然の青のりはゼロとなつてから久しい。

これらの水生生物の大幅な減少に加えて四万十川の水質の悪化も著しい。

かつては天然記念物ニホンカワウソが生息

ところで四万十川は天然記念物のニホンカワウソの生息地であった。毛皮を目的とした狩猟の対象になり、その後は中筋川などのダム建設の開発行為により、生息地が狭められ、えさ生物である魚類などが環境の劣化で激減し、ニホンカワウソも昭和30年代に絶滅してしまった。

また四万十川は、たびたび水害に襲われ、その水害防止のために河川工事を行い、その結果、河川流域の自然の湿地帯の喪失、蛇行河川の直進化や河岸のコンクリート張りの拡張など、自然の生態系と生産力を喪失した。

また、農業排水が四万十川に流入することが、環境悪化の大きな原因の一つであるとの見方が、下流域漁業協同組合、四万十川漁業協同組合連合会並びに四万十町にあるNGOなどからも表明された。

農業使用規制が甘い日本と使用が多い四万十川地域

また、生姜農家（千葉県や埼玉県）からのヒアリングでは、生姜は、根茎腐敗病に弱く、一時使用していた臭化メチルが使用禁止となり、現在はクロルピクリンが主流となっている。クロルピクリンは劇薬農薬として、近年タイでも使用禁止となり、日本からの農産物の輸出が禁止されかねない。日本は世界から見れば、農薬の規制が甘く、四万十川の流域の生姜農業でもクロルピクリンが使われ、残留・流出農薬が四万十川に入り込んでいる。

生姜は冬場に土壌作りを行い春先に植付け夏場に灌水を施し10～11月に収穫を迎える。高知県は日本最大のショウガ産地でその収穫量は21,400トンと全国の43%を占めており、その作付面積も445haと県内最大で、第二位にあたる茄子の347haを大きく離している

(中国四国農政局 HP より)。

ところで、連作障害による根茎腐敗病を避けるために冬場の土壌作りは必須である。以前は土壌消毒を施す際に臭化メチルが使われていたが、オゾン層保護の観点から2012年に全廃、以降はクロルピクリン／ダゾメットが主流となった。このクロルピクリンは第一次世界大戦で使用された毒ガスに起源を持ち、水生生物及び地下水へのリスクから欧州ではすでに全廃、米国や中国でも特別免許の対象とされている農薬である。

下流域の竹島川の右岸で四万十川河口から約2キロの地点に開発された国営農場からの排水、過肥料と農薬の竹島川への流入も原因とみられ、下田地区北部の河岸に大量の葦が茂っている。

また、旧中村市内には、右山に中央排水処理場があり、それが四万十川の左岸を流れる後川に注ぎ、四万十川に合流する地点での汚染が高い。旧中村市の後川水系の汚染度は排水処理場ができて大幅に改善された。以前は旧中村市内は悪臭が漂ったと言われる。しかし、それでも現在の水質の悪化を正当化する理由とはならない。

水害の歴史と河川の工事

中筋川と後川は江戸時代前半から家老の野中兼山による治水事業が行われてきた。江戸時代には岩崎堤防が決壊し中村の全村が流出したことがしばしば見られた。明治に入り9年と18年には中筋川と後川が決壊し死者多数と記録される。従って中筋川と後川の治水事業は、必須事業との位置づけをされてきたのではないか。1988年(平成元年)には中筋川のダム工事が着工し、1998年(平成10年)には中筋川ダムが完成している。最近では2016年(平成27年)に四万十川周辺で693ヘクタールが浸水した。2019年(令和1年)には横瀬ダムが稼働を開始した。

このように災害・水害の多い四万十川下流域であるが、そのために、治水工事が多数行われてきたことで自然の浄化能力を失い、四万十川の水質は悪化する。

2. 調査の目的

河川環境把握と汚染とその原因の推定

上記のように、四万十川の河川環境の悪化には大きく①河川内と護岸の工事による自然の回復力の低下、並びに土地力の低下、土砂の流入と浮遊 ②生姜農業の殺菌剤など農業排水の流入と ③都市下水の流入があげられる。しかし、このほかにも高知南西中核工業団地からの排水など数多くの要因が考えられる。森林が広葉樹林から針葉樹林に変化し、かつ、森林の手入れを怠って、土壌や樹木幹・樹葉の保水力の劣化が進行、流域に建設されたダムが適切な水流・水量と生態系を阻害していることがあげられよう(写真1)。

今回の河川環境・科学調査では、このように推量される河川環境の劣化の状態を科学的指標で客観的に表示す



写真1 四万十町大正地区の芽吹手の沈下橋
コケも水草も生えず川の底の石が丸められている 8月1日筆者撮影

ること、そしてその数字の意味することを提供すること、そして環境の悪化の原因を解明し、または推定するものである。

3. 執行体制と調査項目

1) 調査は、一般社団法人生態系総合研究所代表理事の小松正之農学博士が調査リーダーとなり、同所の渡邊孝一が調査主任を務めた。また、高知銀行本店の地域連携ビジネスサポート部の竹内清彦氏が調査補佐役を務め、流向・流速の測定を支援した。また、調査の船舶は四万十川下流漁協(山崎明洋組合長)の川船(船内エンジン、長さ23フィートで幅が5フィート)で、山崎清実理事が運行責任者で山崎明洋組合長が同行乗船した。両名が、調査地点の水深や特徴を把握し、調査地点の案内をした(写真2)。

2) 調査地点は河口域土佐湾、竹島川下田地区、津蔵淵河口の四万十川左岸、中筋川河口付近、四万十川本流の後川合流地点までとした。

調査点は、小松が原案を作成し、それに基づき山崎明洋組合長と山崎清実理事と相談して決定した。調査地点の選定の制約要因は、河川の水深が浅いことであった。四万十川と後川の合流点で、水深が3メートル程度で浅く、後川に入ることを断念した。本流でも後川以上の遡上調査は断念した。本来は、後川の上流と四万十川大橋(赤鉄橋)付近までの調査が好ましい。



写真2: 調査活動中の山崎清実理事、山崎明洋組合長(後方)と筆者(左)



写真3：中筋川下流域のコンクリートで固められた河岸 8月2日筆者撮影

①調査地点

四万十川河口域の土佐湾2か所
竹島川内の下田地区のアオサノリの養殖場（4か所程度）、津蔵淵川河口（津蔵淵川の多少上流へ調査1か所）の干潟左岸側のアオサノリの養殖場（2か所）

四万十川本流から中筋川（中筋川も上流を1か所）との合流点（1か所）

四万十川本流（四万十川橋）から後川との合流点（2か所）

合計21か所。

②調査項目

流向と流速、クロロフィル量、濁度、水温、塩分、水深などである。

4. 調査の結果

1) 塩分と外洋水の影響；後川の水深2メートルは海水

①概況

8月2日は干潮が午前7時03分で満潮が午後13時56分であり、水位は基準の水位から82センチと140センチで小潮であった。従って上げ潮時の調査である。

本調査は、四万十川の河口域からどこまで海水が達するか塩分によって判断が可能である。

土佐湾の外洋水の塩分濃度は、河口の外洋の左岸と右岸の計測結果値が32.5～32.6‰程度である。黒潮としては少し低いが通常の値である。中筋川の合流地点と四万十大橋の右岸、中心と左岸でも川底の水深2メートルでは32.0‰で、ほとんど海水と変わらない。河口から上流に7キロの地点にある四万十川と旧中村市内を流れる後川の合流地点では、水深2メートルで30‰であるので、ここまで海水が流れ込んでいる。漁業者の話では、さらに4キロ程度上流の四万十川橋（赤鉄橋）までは海水が遡上するとみている（図2）。11月調査では赤鉄橋には海水は遡上しない。

②四万十川の2メートル以浅は淡水

表面水の表面0メートルは完全な淡水である。水深0.5メートルでも四万十大橋と中筋川の合流点では0.03‰程度の淡水である。後川との合流点で、水深0.5メー

ルで1.6～3.0‰である。しかしながら水深2メートル付近ではすでに上述のように、海水が侵入して海洋と同じである。これが下げ潮時の大潮時では様相が異なろう。

③竹島川

竹島川の表面水は、本流と同様に淡水が卓越している。水深2メートルの川底ではすでに32.5‰であり、外洋水が入っている。しかし、国営農場に近い地点⑨の計測地は特異な様相を呈する。表面が7.5‰で海水の影響が少ない。川底の1.5メートルでは、26.1‰と海水の影響が大きい。

④津蔵淵川と中筋川

津蔵淵川と水門付近も特に表面は全くの淡水で、中洲に挟まれた實崎の水路も同様に本流と同じ傾向を示す。

中筋川は、河口の水深6.5メートルでは32.5‰の海水である。四万十大橋の北では、水深2メートルが3.0‰でほぼ淡水であるが、水深5メートルでは31‰である。中筋川はさらに上流まで計測する必要がある。

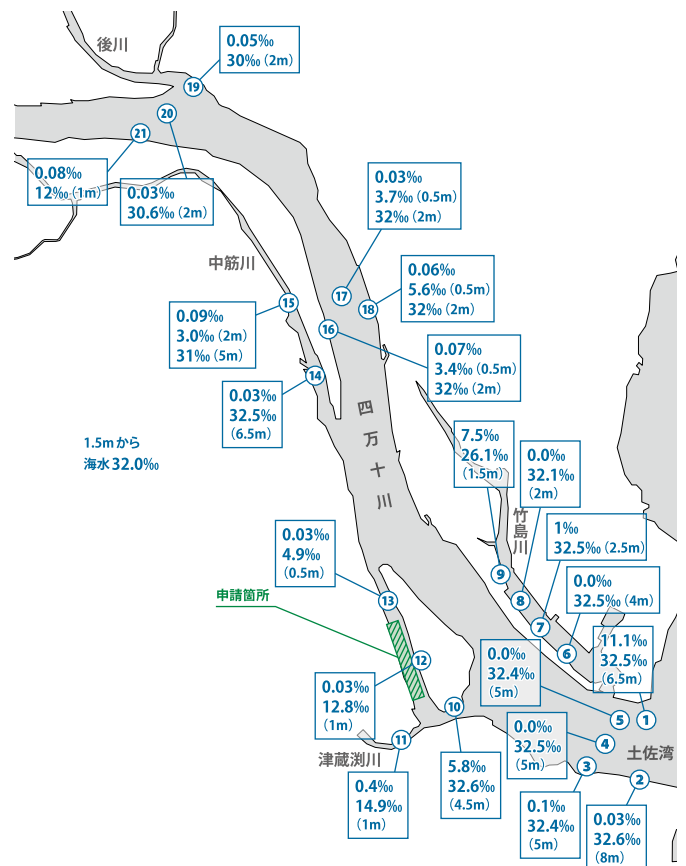


図2：四万十川の塩分濃度 上段の数字が表面、下段の数字が川底の塩分濃度

2) 流向・流速

流向と流速は、栄養塩や汚染物質（濁度）が、河川流でどのくらいの速度で流れているのかを知るのに極めて重要である。流速が停滞すると栄養塩が養殖の生物に適切に行き届かない他、河川水系での環境の変化・浄化の作用が減退する。特に、竹島川や津蔵淵川と水門付近と干潟の間の水路に挟まれた間崎水路ではアオサノリが養殖されており、その生育環境の良し悪しに影響を及ぼす要因として、極めて重要である。

①表面（水深50センチ）の流向と流速

流れが極めて正常である。四万十川河口は表面流の流向は上げ潮時であるので北上流である。しかし、一方で河口付近でも、表面流が河川の河口方向への流れの影響を受けて南下流になっているところも観察された（河口付近の地点④）。

どの地点でも上げ潮を反映して、河川の上昇する流れであった。下流域の流速が若干早く（18～40センチ／秒）、上流域が少し遅い（10～26センチ／秒）。しかし竹島川に入ると流れが緩やかになり（6～15センチ／秒）、同様に津蔵淵川付近のアオサノリの養殖場も流れが緩やかになる（5～10センチ／秒）。これらのノリ養殖場は流速が緩やかで養殖場に適したとは考えられるが、汚濁が進むとかえって環境悪化の原因となる（図3）

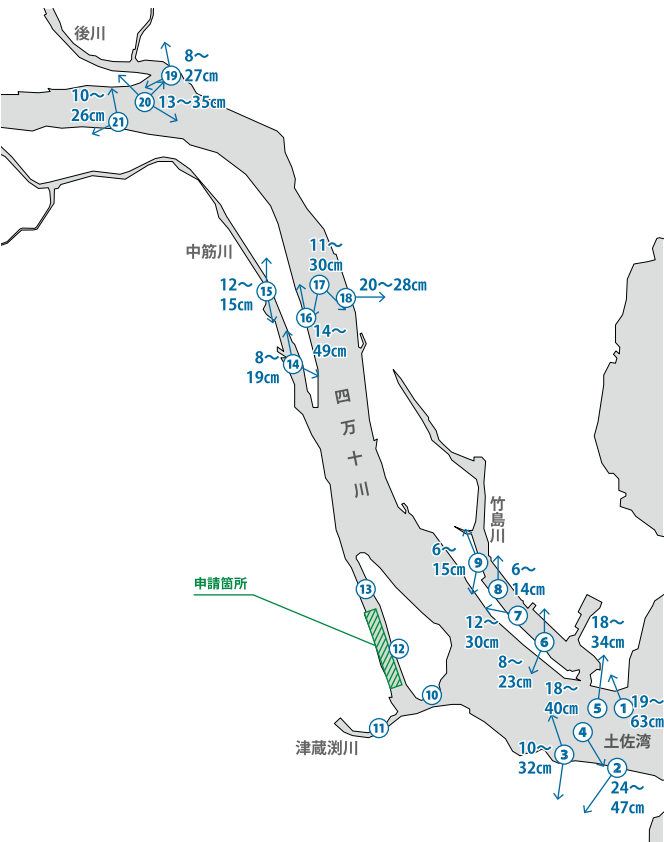


図3：8月2日午前の四万十川下流の表面の流向と流速；
→は方向を示し、数字は毎秒の流速を示す

②川底流

これは、表面流に比較して流速が遅くなる。土佐湾からの海流の影響があり、この海流が、河川流を押上げる効果があるとみられるが、表面流に比べて流速が遅い理由は川底に大量の海水の水量が停滞していると考えた方がいいのであろうか。上げ潮時であるので、川底流も上昇流である。塩分濃度は32.5‰であって海洋と変わらないのが、流れの動きが表面流より外洋の影響を受けるとみられるが流速は小さい。全方位に流れが動いているようである。（図4）後川との合流地点は水深が浅いので計測しなかった。

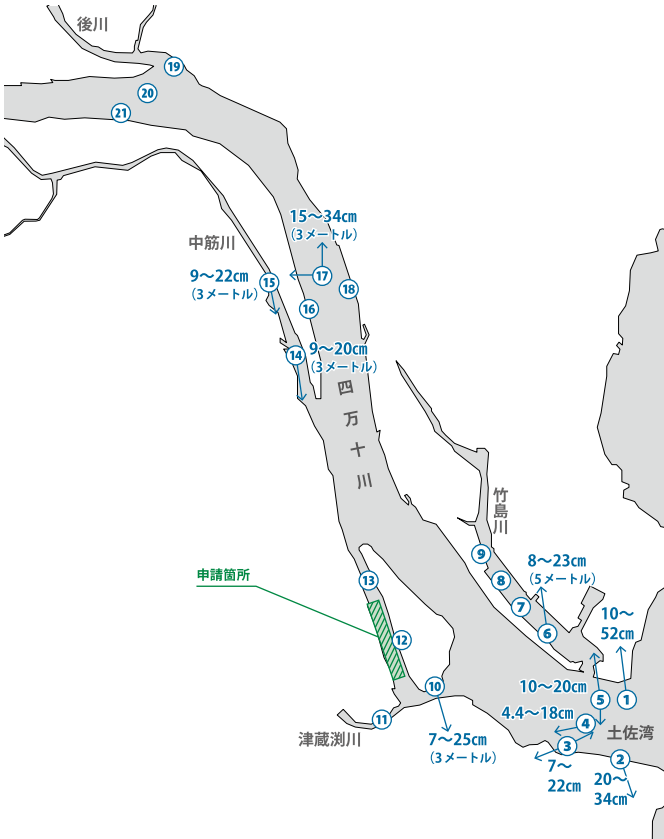


図4：川底の流向と流速 上流に行くと水深が浅く計測はできず

3) クロロフィル量、濁度（FTU）と溶存酸素量（DO）

表1：四万十川の科学調査：クロロフィル・濁度・塩分・溶存酸素量
2021年8月2日

番号	深度	クロロフィル ($\mu\text{g/L}$)	濁度 (FTU)	塩分 (‰)	溶存酸素量 (DO, %)
①	表面50cm	0.39	1.07	26	93
	6m	0.28	0.4	32	98
②	表面50cm	0.52	1.44	27	95
	7m	0.27	0.58	32	96
③	表面50cm	1.43	4.2	0.1	93
	5m	0.28	0.57	32.4	94
④	表面50cm	1.2	3.14	9.1	92
	5m	0.36	0.39	32	87
⑤	表面50cm	1.2	2.96	13	91
	4m	0.5	1.28	13	93
⑥	表面50cm	1.7	4.0	15	91
	9m	0.64	1.6	32	73
⑦	表面50cm	1.7	4.5	16	85
	2.5m	0.9	1.8	32	82
⑧	表面50cm	1.5	3.1	18	87
	2m	1.1	7.3	18	77
⑨	表面50cm	3.1	9.8	14.4	70.6
	1.5m	2.8	21.3	26.1	61.25
⑩	表面50cm	1.4	5.1	5.9	88
	4.5m	0.7	3.1	32	72
⑪	表面50cm	1.21	5.9	1.3	90.3
以上のみ、浅いため					
⑫	表面50cm	1.7	4.2	3.3	96.1
	以上のみ、浅いため				
⑬	表面50cm	1.0	3.7	4.9	92
	以上のみ、浅いため				
⑭	表面50cm	1.52	8.04	2.3	84
	6m	0.66	1.2	32	73.8
⑮	表面50cm	1.7	9.2	1.0	84.9
	5m	1.07	1.4	30.9	57.6
⑯	表面50cm	1.0	1.5	3.4	94.1
	3m	3.1	1.5	32	83

⑰	表面50cm	0.96	1.5	3.7	93
	3.5m	3.1	3.1	32	82
⑱	表面50cm	0.94	2.3	5.7	91
	2.5m	1.8	1.0	32	88
⑲	表面50cm	1.2	4.1	3.1	89
	2m	2.1	4.1	27	79
⑳	表面50cm	1.1	1.2	1.6	98
	2.5m	2.6	1.7	1.6	83
㉑	表面50cm	1.1	1.4	3.2	98

(表1：一般社団法人生態系総合研究所提供)

クロロフィル量

土佐湾に面した河口域は、クロロフィル量が極めて少ない。これは土佐湾に栄養が不足している状態を示している。左岸側が $0.39\mu\text{g}/\ell$ で、右岸側が $0.52\mu\text{g}/\ell$ である。やせた海であった駿河湾も同様に $0.5\mu\text{g}/\ell$ であり、広田湾や大船渡湾では $1.0\sim 2.0\mu\text{g}/\ell$ 程度を示す。これに比較すると土佐湾はかなり栄養状態が低いとみられる。全般に下流域ではクロロフィル量は $1.2\sim 1.7\mu\text{g}/\ell$ あり通常レベルの栄養状態とみられる。

濁度 (FTU)

しかし、特徴的なのは濁度が高海域（広田湾、大船渡湾並びに駿河湾はそれぞれ $0.3\sim 0.8\text{FTU}$ 程度）に比べて異常に高いことである。河口域でも $3.0\sim 4.2\text{FTU}$ を示している。アオサノリの養殖場では津蔵淵川と竹島川の双方で 4FTU を記録し、水が停滞水域以外の水域でこのような高い濁度を記録したのは初めてである。中筋川と四万十川の合流点でも 8.0FTU を示し極めて異常に高い値である。中筋川は河岸堤防や河川の直行化、ダムの建設の影響があろう。後川と四万十川の合流点でも 4.1FTU を記録した。これは後川の流入水が極めて濁度（都市下水などの排水の影響）が高いことを意味しよう。

溶存酸素 (DO)

コロナウイルスに感染した人間の血液中で溶存酸素量 (DO) が93%を下回ったら酸素注入が必要とされる。

溶存酸素 (DO) が極めて低いのが四万十川の下流域の特徴である。他の海域と河川域では97%から110%であるが、四万十川下流はDO値が極めて低い。竹島川でも67～82%である（川底）。また津蔵淵川では88～96%（水深50センチ）である。中筋川では58～74%で低い。また後川と四万十川の合流点でも89%と低い（水深50センチ、川底）。

溶存酸素 (DO) が一段と低くなるのが、川底である。竹島川では、61～82%と酸素が大いに不足している状態であり、さらに悪化するのが中筋川の四万十大橋の北側であり、そこでは58%で、これらの河川域では最低値である。いかに中筋川の川底の酸素が不足しているかを物語っている。後川の合流点も低い。83%である。これらの河川の底では無酸素分解が行われて、硫化水素が発生しよう。

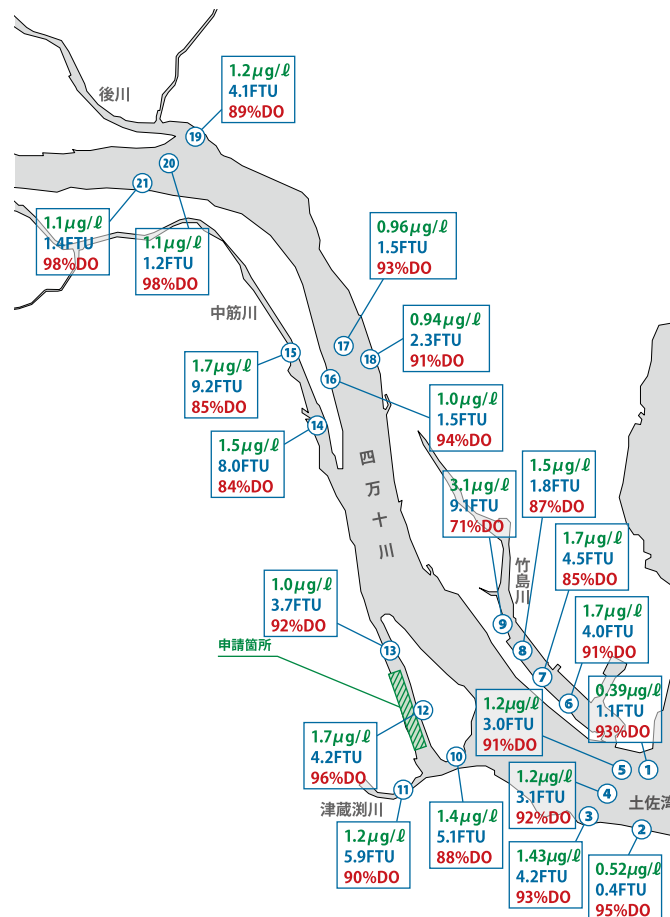


図5：四万十川の表面（50センチ）のクロロフィル量、濁度と溶存酸素 8月2日

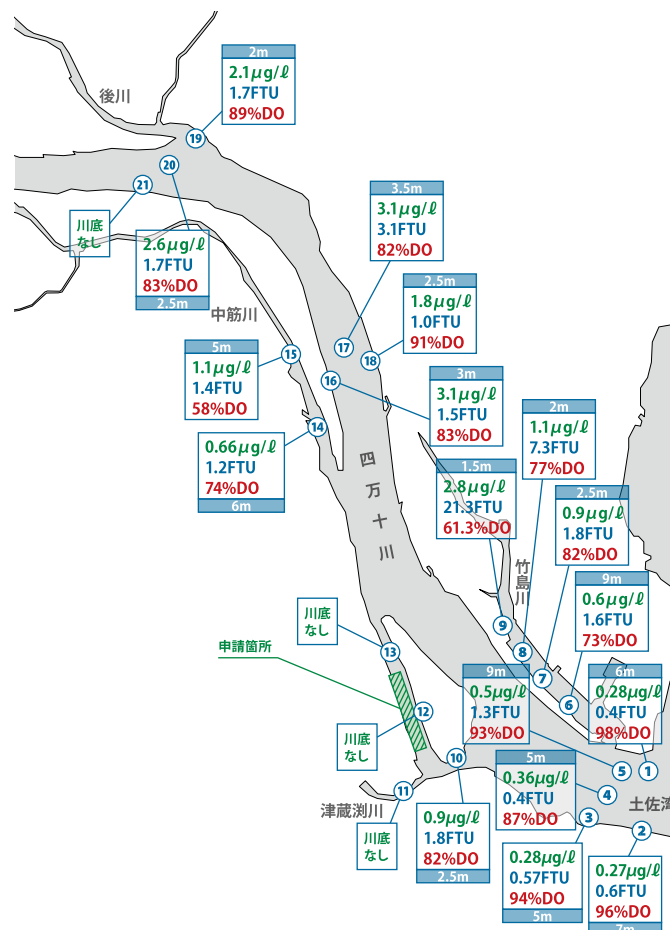


図6：四万十川の川底のクロロフィル量、濁度と溶存酸素 8月2日

4) 四万十川と各地の河川・湾との比較

一般社団法人生態系総合研究所はこれまでも広田湾・気仙川、大船渡湾・盛川、駿河湾・富士川と万石浦・北上川で同様の科学測定調査を行ってきた。それら各地の科学調査データと比較することによって、四万十川の現状と問題について考察する。

表2：四万十川水系と日本の河川水系との比較

	四万十川水系			気仙川 (陸前高田市)	盛川 (大船渡市)	北上川 (石巻市)	富士川 (富士市)
	中筋川	竹島川	後川				
濁度 FTU	1.4	1.6	1.7	1.3	0.9	2.0	2.8
溶存酸素 DO(%)	58	73	83	94	113	89	106
クロロフィル μg/ℓ	1.1	0.6	2.6	6.5	3.4	0.9	0.4
計測日 他	2021 8/2 四万十大 橋付近	2021 8/2 下田地区	2021 8/2 本流との 合流地点 の真ん中	2021 7/5 気仙川河 口で広田 湾内	2021 7/6 盛川河口 で大船渡 湾内	2020 12/5 河口三角 州、河口 の土木工 事の影響	2020 11/1 富士川橋 下、土砂 採取の影 響

資料：一般社団法人生態系総合研究所

表3：土佐湾と日本の湾との比較

	土佐湾	広田湾	大船渡湾	石巻湾の 万石浦	駿河湾
濁度 FTU	1.4	0.3	0.2	0.9	0.3
溶存酸素 DO(%)	94	101	108	93	99
クロロフィル μg/ℓ	0.5	1.0	2.3	0.6	0.4
計測日 他	2021 8/2 四万十川河 口の外側、 表面	2021 7/5 広田湾、長 部港と矢野 浦の中間点 水深10m	2021 7/6 大船渡湾の 下船渡地区 水深10m	2020 12/5 石巻湾万石 浦の中心地 点 水深4m	2020 11/1 清水港沖と 大瀬崎の中 間点 水深10m

資料：一般社団法人生態系総合研究所

上記の表からわかることは、濁度は四万十川（中筋川の四万十大橋下、後川の本流の合流点、竹島川のアオサノリの養殖場）では、他の河川と海域に比較しても高いことである。広田湾や大船渡湾の5～8倍もある。気仙川河口とはそれほど差がないが、盛川の河口よりも汚染度が進んでいる。北上川の河口は河川の土木改修工事がなされており、この工事からの土砂の流出がみられた。汚濁は進んでいると考えられる。

更に静岡県富士川でも同様に濁度が高いこと（2.8FTU；富士川橋）が観察される。しかし、富士川橋でも溶存酸素は106%ある。

問題は、このように溶存酸素量（DO）の量が低いことである。四万十川水系の中筋川、後川と竹島川のいずれも酸素量が少ないのが特徴である。58%、83%と73%は他の地区の溶存酸素量がほぼ100%前後であることに比べれば、低い値である。生物である私たち人間が、コロナ感染症で呼吸が困難になりECMOで酸素吸入が必要となるレベルが93%前後である。このことか

ら見て、58%と78%で生物が生息できるのかが生物調査と合わせて実施することによって明らかにされる。また、川底の泥を採集し、科学分析することも大切である。

クロロフィル量（μg）も他の地域と比較し、決して高くなく、むしろ他地域に比べても低いくらいである。また、土佐湾のクロロフィル量は0.3μgで低い値である。

こうしてみると8月の調査結果では、四万十川は濁度が高く、酸素が極めて低く生物の生存が危ぶまれ、そして栄養の状態は決して良くない、豊かではないことがわかる。

このように、四万十川は他の河川と湾に比べても、汚濁度（FTU）が高く、土砂、生物と化学物質由来汚染の可能性が高いこと、溶存酸素（DO）が低いことが特徴で、この現象（溶存酸素が低い現象）は、日本の他の河川では見られない現象である。クロロフィル量に関しても極端に低くはないですが、決して多い量でもなく、栄養状態が良いとも言えない。また、土佐湾と他の海域を比較しても土佐湾（海表面）は、四万十川の影響で濁度が高く、溶存酸素も低いことが観察される。

今後、これら2つの特徴的要因の原因と対応方法を探っていくことが重要で、急務である。放置すれば今後とも現状からさらに悪化することが危惧される。

5. 中流域 四万十町窪川地区での暫定調査

8月3日の昼から、四万十町窪川地区の2か所での科学測定調査を行った。（写真4）

①一か所目は四万十川の支流の吉見川にかかる新開橋から計測器を垂らして、クロロフィル量、濁度（FTU）と溶存酸素（DO）の測定を行った。しかしこの計測値は記録に残っていなかった。筆者の計測器の表示を観察した記憶に基づけば、これらの値は、その後に計測した四万十川の本流の上にかかった大野井橋（県道381号線）から計測した値とほとんど大差はなかったと思う。

②大井野橋から計測した値は塩分が0.03～0.06‰で、クロロフィル量が0.88μg/ℓで、溶存酸素（DO）が97～120%であり、通常値であった。



写真4：四万十町窪川の吉見川 8月3日

6. 幡多公設地方卸売市場

8月3日の早朝に山崎清実氏に案内してもらおう。中村魚市と幡多中央魚市場の2社の並びに中村青果市場がある。

アユ、ウナギの淡水魚のほかに黒潮町他からの海産魚が入荷した。アユは持ち込んだ漁業者は投げ網で漁獲し、上流の西土佐での漁獲であり、下流でのアユは臭くて食べられないとのことであった（写真5）。

投げ網を見せてもらった。ウナギも別の漁業者が持参した。大変に小さい。昔は石を積みそこにウナギを呼び寄せ、網で巻く伝統漁法があったが、県から禁止されたと語る。



写真5：氷蔵された天然の四万十川のアユ 8月3日 著者撮影

7. 総合評価

これらの計測値から判断されることは、四万十川水系の河川環境と水質は、日本の他の河川水系と沿岸域の海洋環境との比較を見ても、悪化している。濁度（FTU）と溶存酸素量（DO）は、悪化している。

クロロフィル量は他の水域や海域と比較しても同程度の水準であり、栄養は供給されている可能性があるが、それが有効に活用されていないと思われる。水生植物を利用するアユなどの魚介類が少ないこと、クロロフィルを利用する貝類が生存しているかどうか。また、クロロフィル量があれば、アオサノリの養殖にも必要な栄養素が提供されることを意味するが、一方で、アオサノリの養殖場は流速が遅く、栄養が運ばれてこないとみられる。酸素量が低く代謝が円滑にいかない可能性がある。また、濁度の構成要因としては①土砂、泥、②家庭・都市排水からの有機物や化学物質と③農薬由来の有害なクロロピクリンや塩素系の化学物質が考えられる。勿論、植物や動物の死骸由来の自然系の有機物質もその構成要因である。

これらは、排出地点ごとにその由来を特定し、またはその原因物質の可能性を狭めることが、間接的な手法からも可能である。また、濁度（FTU）の構成要素を計測することも機材や試薬によって可能である。

四万十川の水質の悪化の程度がこれらの科学指標値から見て、原因は複合要因であるが、その悪化の状況が高

水準であって、直ちに改善の取組をしなければ、取り返しがつかないと考えられる。なお、北上川などの日本の河川が土木工事や富士川と気仙川が川砂利採集などにより、濁度が高くなり、河川の環境が悪化している。四万十川のみの問題ではない。

8. 今後の調査予定

これまで、3月に四万十川地域を訪問し、今回の8月1～3日は初めて客観的な科学データを収集した。これによって多くの科学的計測値が得られた。四万十川の自然環境や科学的性質に関して、多くの客観的なデータが得られた。

1) 四季にわたる調査期間を設定する

基本的には1年の四季を全部調査することによって季節的な変化をカバーする必要がある。これは温度変化、気候とそれに伴う降水量などが変化して河川に影響を与えると同時に、四万十川に影響を及ぼしているのが農業であり、農業は、耕うん、種まき、作付けと育成・管理並び収穫と四季の変化が大きいのでこれをカバーすることが重要である。3年程度の継続したデータの収集が好ましい。次回の調査は11月7日から10日まで、四万十川下流域、支流、中流域の調査と農業の視察・聞き取りを予定している。また、本調査の四万十市や四万十町並びに四万十川漁業協同組合連合会などへの説明が重要と考える。

2) 支流域と上中流域の調査

また、中筋川、竹島川、後川他の支流が数多く四万十川に合流しているので、これらの支流の調査が肝要である。特に中筋川は下流域で四万十川本流に及ぼす影響が強く、歴史的に見て、ダム建設、蛇行、崖淵の改修や流路の直線化など自然の再生産力にとって、マイナスの要因を生じる工事を多数行ってきた。

今後はこれらの支流と中流と上流の調査を、四万十市、四万十町や中流漁協と上流漁協などの協力を得て実行することが適切である。

3) 農業・林業の現状調査

生姜農家などの実態調査を、農薬、肥料、土壌と水利と排水との関係を調査することが適切である。また、森林・林業に関して、森林の生育と樹林の樹木種や樹齢、下草や地下土壌の状況などに関する視察・聞き取りを調査する。

4) 河口堰・ダムの調査

支流にあるダムや河口堰が影響を及ぼす河川水の流向と流速と水質の汚濁や溶存酸素量並びに、四万十川に固有の魚種・甲殻類の挙動や資源量の調査と統計データの収集を行う。

調査の目的と概要

本調査の目的は河川環境の悪化・劣化の状態を科学的指標を客観的に示し、科学数字の意を提供し、環境の悪化の原因を解明／推定することである。

四万十川の河川環境はこれまでの調査から：

- ①防災を目的とした河川の護岸と直流化の工事による自然の回復力の低下が濁度（FTU）など数値に表れている。
- ②四万十川下流域の国営農場の肥料・農薬を含む排水、中流での生姜農業の殺菌剤など農業排水の流入の影響。
- ③四万十市の後川水系への都市下水の排出による濁度と溶存酸素量などの科学数値上の反映（環境悪化）があげられる。

結果と評価

1) 濁度（FTU）は、一般に国内の他の河川よりは悪化しているとみられる。

表面（水深50センチ）でも、四万十川橋（赤鉄橋）のみが良好である。渡川大橋付近から濁度（FTU）が次第に悪化して、後川に至ると、後川内に放出される排水の影響で後川と四万十川と合流する地点では、水質が悪化する。中筋川河口の四万十川大橋までは濁度が悪化している。

2) 溶存酸素量（DO）は8月の調査時期に比べると悪化していないが、中筋川の小市橋では好ましくない値である。後川の佐岡橋でも90%を割り込み好ましくない。

3) クロロフィル量は総じて不足気味か平均的である。四万十川橋（赤鉄橋）や渡川大橋では不足気味であった。下流域では $1.0\mu\text{g}/\ell$ を超えてくる。竹島川の養殖場と間崎・津蔵淵川の養殖場も溶存酸素量（DO）がよくない。

4) 竹島川の養殖場は、国営農場の果樹や生姜農家などの排水が竹島川に放出され汚染物質と農薬などが入り込むと推定される。

間崎・津蔵淵川の養殖場は、中筋川からの汚濁した南下水の影響と津蔵淵川からの影響に加えて、養殖場が平坦で、河川水の動きが遅いことが原因で溶存酸素量（DO）が低いとみられる。

河川環境の悪化がアオサノリ養殖の収穫量の減少につながっていると考えられる。

5) 河岸堤防工事

津蔵淵川の出口と初崎の間での堤防工事がある。また、下田漁協の防災のための新たな改修工事なども予定されている。

過去の工事も四万十川では、日本全国各地と同様に河川生態系・生物の多様性の維持に配慮が払われたか否か。環境影響評価がなされたか聞いてはいない。

6) 排水処理施設

四万十市には右山に中央排水処理場と桜町排水機場ポンプ処理施設他があり、四万十川の本流へは岩崎排水樋門がある。これらの排水が四万十川を汚染する。

7) 生姜農家と広見川からの代掻き汚濁水他

生姜農家が汚染源の一つであるので広見川水系の科学的データが必要である。また、津賀ダムと家地川ダムに関しても、建設物の影響と水流・水質並びに生態系の状況を知るために早急に科学的データの収集が必要である。

8) アオサノリ

種苗の着床率が悪かった。

9) 他河川との比較

濁度（FTU）は極端に四万十川が高い。これは、同じ条件の大雨の直後の気仙川と比較すると気仙川の4倍以上の濁度（FTU）であり、四万十川がいかに多くの土砂を下流に運んでくるかを示している。

また、溶存酸素量（DO）が低いのは四万十川の下流域（表面の淡水域）の特徴である。しかし、この付近の川底は海水であるが、同様に濁度（FTU）が高く、溶存酸素量（DO）が低い。

仁淀川河口域の溶存酸素量は87～89%であり、下流域の左右岸側に多数あるハウス農場からの排水の農薬と過剰肥料などが原因と推定される。

高知県の河川の浄化と清流への回帰は、農業の規制にかかっている。また、国・農林水産省は環境重視の農業政策「みどりの食料システム戦略」を実行中である。

1. 調査の目的と前回調査からの変更他

四万十川河川科学環境調査は1年に4回実施することが、四季の変化をとらえる上で、かつ四万十川の特性を通年にわたって捕捉し理解することが重要である。また、他海域・河川域との比較も重要である。

今回の調査は、8月1～3日から3ヶ月後の11月上旬の調査であり、夏との比較と秋の季節の特徴を捉え、かつ夏の最高気温と生物の繁殖と成長後の成熟期を捉える上で重要である。

また、今回は、これまで実施しなかった四万十川の中流域の西土佐町の江川崎での視察と聞き取り調査と四万十町（旧窪川町）の仁井田川、吉見川、並びに四万十川本流での科学計測の調査を実施した。また、四万十川の水質に影響を及ぼすとみられる竹島・鍋島国営農業団地の視察と窪川地区での生姜農家からの聞き取りと視察を行った。^(株)四万十うなぎを訪問し、養殖について聞き取った。

主要点としては、下流域での調査を繰り返し継続した。下流域での観測地点は四万十川橋（赤鉄橋）まで拡大し、かつ、後川（中央排水処理場からの排水口）と中筋川（小

市橋の下)まで入り込み調査した。

加えて、四万十川との比較のために、近隣を流れ、かつ高知県にあっては大きな河川である仁淀川の河口域と中流域の調査を行った。これらの調査結果の比較から、四万十川の科学的・社会的な特徴を明らかにすることを目指した。四万十川流域の調査結果は以下の通りである。

2. 調査の体制

1) 今回の調査も調査リーダーは小松正之並びに調査員は渡邊孝一である。

四万十川下流域の調査では、山崎明洋四万十川下流漁業協同組合長と山崎清実理事(同氏は河川調査のすべてに同行)が参加した。

2) 国営農場、香美山、中筋川、後川や野中兼山の建設した水路他の案内を四万十市役所・岡田圭一林業水産業係長の案内による支援を得た。

3) 四万十川中流の旧窪川町では、四万十川財団の神田修事務局長と泉茂高知銀行窪川支店長による河川計測の支援を得た。

3. 調査の目的

河川環境把握と汚染とその原因の推定

四万十川の河川環境は悪化している。悪化の原因は ①いち早く河川水を下流と海洋に放出することを防災の目的とした河川の護岸と直行流向化の工事による自然の回復力の低下、並びに土地力の低下、土砂の流入・浮遊 ②支流と本流へのダムと堰の建設による河川水の減少と生態系の切断、並びに発電所からのヘドロ・濁り水の放出(1997年当時;「四万十川を歩いて下る。」多田実著) ③四万十川下流域の国営農場からの肥料・農薬を含む排水、中流での生姜農業の殺菌剤と広見川と三間川並びに奈良川からの春の水田代掻きの過肥料と土壌流出など農業排水の流入と ④四万十市の後川水系への都市下水の排出があげられる。しかし、このほかにも数多くの要因が考えられる。今回の河川環境・科学調査は、河川環境の悪化・劣化の状態を科学的指標で客観的に表示すること、その数字の意味を提供すること、そして環境の悪化の原因を解明または推定するものである。そ



写真1; 2021年11月8～9日に調査に使用した小型船外機船;
写真中の乗船者は山崎清実下流組合理事。小松と渡邊の3名が乗船し調査した。

のうえで8月の調査との比較と新たに聞き取りと視察で、客観的で具体的な科学的、社会学的かつ経済的な情報を提供するものである。

4. 調査の結果

(1) 概要

1) 大雨による調査地点の順番の変更

今回は調査前日(11月7日)の夜半にかけて四万十地方は大雨が降った。また風が強く、11月8日の調査の実施が危ぶまれたが、何とか実施した。当初は下田漁港から、先回も使用した船内エンジン装着型の漁船(船長10メートル)で実施する予定であった。

①下田港から出港して竹島川に入り、国営農場に近い葦原1か所(地点①)とアオサノリの養殖場4か所(地点②から⑤)では計測を完了した。

下田漁港口からいったん船内エンジン装着漁船で四万十川へ出て、干潮時には、高波のあおりを受けて、帰港できない可能性があるので、当該漁船での調査の実施を断念した。代わりに鍋島の船溜まりから、小型の船外機船で調査を実施した。

しかし波浪と風が強く、河口付近はしけていたので、8月に実施した四万十川河口の外での土佐湾の調査と下田漁港外の下田観測所がある河口域の浅瀬での調査も断念した。

②鍋島船溜まりから出港した後、直ちに四万十川橋(通称「赤鉄橋」)で3か所(地点⑥から⑧)、その後渡川大橋で3か所(地点⑨～⑪)、後川合流点で3か所(地点⑫～⑭)、後川に入り、そこで佐岡橋下(地点⑮)と、右山の中央排水処理場の付近の右山排水機場の排水口(地点⑯)(2.5トン/秒が2台と0.5トン/秒が1台)、上流の桜町排水機場処理場(2.6トン/秒が2台と0.57トン/秒1台が設置されている)での調査を実施した。

その後、中筋川を上り小市橋(地点⑰)まで行き、下って、四万十大橋下の中筋川(地点⑱)で計測し、中筋川と四万十川の本流の合流点(地点⑲)で、12時を過ぎたのと波浪と風力が強まったので調査を終了した。

③翌9日の午前中に調査を再開して、中筋川合流点から大島の北端との中間点(地点⑳)から調査観測を再開



写真2; 2021年11月8日 四万十川橋(赤鉄橋)の下で調査

し、大島の北端の水路寄り（地点㉑）と四万十川中洲の大島の間崎水路中（地点㉒）と津蔵淵川を上り（地点㉓）、初崎と中洲大島の間（地点㉔）で計測した。最後に中洲大島と竹島川土手の間（地点㉕が大島寄り、地点㉖が竹島川土手寄りと中間点（地点㉗）を結ぶ四万十川の本流での3点を計測した。

2) 低気圧の通過と降水量の四万十川への影響

調査の初日の8日は、四万十川の上流からの河川の淡水の流入量が多くないと計測諸指標から推測されるが、9日は四万十川の本流を中心に、計測した諸指標が前日と大きく異なる結果となった。これは明らかに7日の真夜中から8日早朝に四万十市を通過した低気圧が四万十川上流にも降水をもたらして、これらが四万十川の下流域に翌日に流れ込んできて、濁度（FTU）や塩分濃度などに影響を及ぼしたと推測する。

このことから、河川の表情は春夏秋冬でも異なるが、日ごろの天気の変化によっても影響を受け、それが河川的环境とひいては沿岸域の環境にも影響するとの当たり前の傾向と特徴が科学的計測値から裏付けられる単純明快な事実である。

(2) 調査結果と8月調査からの変化

四万十川の下流域の全般にわたり、8月2日に比較してクロロフィル量は低下した。一方で濁度（FTU）と溶存酸素量（DO）は、これらも双方とも変化がみられたが、これらの値の変化は河川環境の改善というよりは、真夏から秋口にかけての植物相の変化や水温の低下などに伴う季節的な変動であるとみられる。

1) 塩分濃度

塩分については四万十川橋（赤鉄橋）の鉄橋下まで計測した。その結果は、満潮時（午前8時29分）から下げ潮時に調査を実施したものの、この地点まで海水が入り込んでいないこと（表面と水深2メートルでも0.07‰）が判明した。その下流の渡川大橋付近（橋下）でもほとんど海水は到達していない（表面から水深1メートルまで0.12‰）。四万十川と後川の合流地点

でようやく海水が到達している（水深3.4メートルで23.7‰）。

一度の調査の計測では結論は出しきれないが、漁業者が言う四万十川橋（赤鉄橋）までは海水が到達しているとの説は今回の調査では観測立証されなかった。

また、後川でも川底で6.2‰（佐岡橋）を記録し、淡水の影響力が強く、海水の遡上力が弱かった。中筋川の若干上流の小市橋でも4メートルで21.8‰であった。海水は入り込むもののそれほど大きな影響はない。ただ、中筋川と四万十川の合流点の川底では海水が卓越する。ほぼ海水に近い32.4‰であった。後川と四万十川の合流地点でも13～14‰であった。ただし右岸側だけが25.6‰であったので右岸川から海水が北上するとみられるが、これは右岸の川底が深い（3.3メートル）からである。

8月の調査時には後川と四万十川の合流点の川底でも30‰を記録した。この時は海水の流入力が11月よりは強かったと考えられる。

翌日11月9日午前中の四万十川の表面の河川水の塩分濃度は軒並み減少した。前日に計測した中筋川の四万十大橋下（地点㉘）と中筋川と四万十川合流点（地点㉙）では表面（水深50センチ）の塩分濃度が15.6‰と18.4‰であったが、それより下流の中洲大島と竹島土手間の地点㉕から地点㉗でも8.8‰（中間点）から12.7‰（左岸の竹島川土手寄り）であった。これは7日夜半から8日の早朝にかけての降雨の影響が9日の午前中から明確に表れて、四万十川の本流の流れが通常より雨水・淡水の影響が大きくなり、土佐湾からの海水の影響が結果的に薄まったとみられる。

四万十川の表情（特徴）も天候により大きく左右されることがわかる。中洲大島とこの川土手の間の川底（地点㉕）はほぼ海水と同様の塩分濃度である。

アオサノリ漁場の塩分濃度

竹島川（地点㉒～㉓）と間崎・津蔵淵（地点㉔と地点㉕）と四万十川（地点㉖～地点㉗）の比較

間崎・津蔵淵川と竹島川の養殖場とも、8月と11月の調査結果では表面は淡水の影響が卓越していたが、



写真3：2021年11月8日 渡川大橋 この橋と四万十川橋（赤鉄橋）との間に岩崎排水口があり、水質が渡川大橋で若干悪化する。



写真4：2021年11月9日、8日未明の低気圧と降雨後の間崎から鍋島方面を眺めた四万十川の濁度の状況。前日と全く異なる濁りの増加。

表1：2021年11月8日 四万十川 午前上げ潮調査 満潮8：29 干潮14：02
塩分濃度 表面50センチと川底

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
表面 (50cm)	淡水	31.3	30.4	29.8	28.6	0.07	0.07	0.07	0.12	不明
川底	28.1 (1mまで)	32.8 (9.5m)	32.8 (3.5m)	31.8 (2.5m)	30.3 (2m)	0.07 (2m)	0.07 (0.7mまで)	0.07 (0.6mまで)	0.29 (1.2m)	0.12 (1mまで)

	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰ 小市橋	⑱	⑲
表面 (50cm)	0.17	淡水	11.4	13.3	3.7	9.6	9.7	15.6	18.4
川底	0.21 (1.2m)	13.4	25.6 (3.3m)	14.0 (1m)	0.2 (1m)	23.7 (3.4m)	21.8 (4m)	22.8 (3.2m)	32.4 (5.2m)

2021年11月8日 四万十川 午前 塩分濃度 50センチと川底

	⑳	㉑	㉒	㉓	㉔	㉕	㉖	㉗
表面 (50cm)	8.9	6.8	9.7	5.8	9.6	9.7	12.7	8.8
川底	32.1 (6m)	24.0 (2.2m)	24.5 (1.3m)	22.4 (2m)	30.5 (3.4m)	32.5 (7.3m)	12.7 (1.2mまで)	32.4 (6m)

11月の竹島川の養殖場では海水が表面でも卓越しており、ほぼ海水と同じ状況であった。しかし、その竹島川養殖場も8月には表面には海水が入り込んでいた。竹島川の国営農場に近い地点（地点①）でも表面から1メートル水深までで28.1‰を示していた。間崎・津蔵淵は川底でも24‰程度であり、この点は竹島川の養殖場と全く異なる塩分の構造を示す。また、中洲大島と竹島川の土手の間では表面は塩分濃度が薄く、川底は海水と同様の32‰を超える。

2) 流向・流速

流向と流速は、栄養分（クロロフィル量）や濁度（FTU）ないしは溶存酸素量（DO）が、河川流や潮流によってどのくらいの速度で流れているのかを知るのに極めて重要である。流速が停滞すると栄養分が養殖生物（アオサノリなど）に適切に行き届かない他、河川水系での環境の変化・浄化の作用が減退する。特に、竹島川や津蔵淵川と水門付近と干潟水路で挟まれた間崎水路ではアオサノリが養殖されており、その生育環境の良し悪しに影響を及ぼす要因として、極めて重要である。

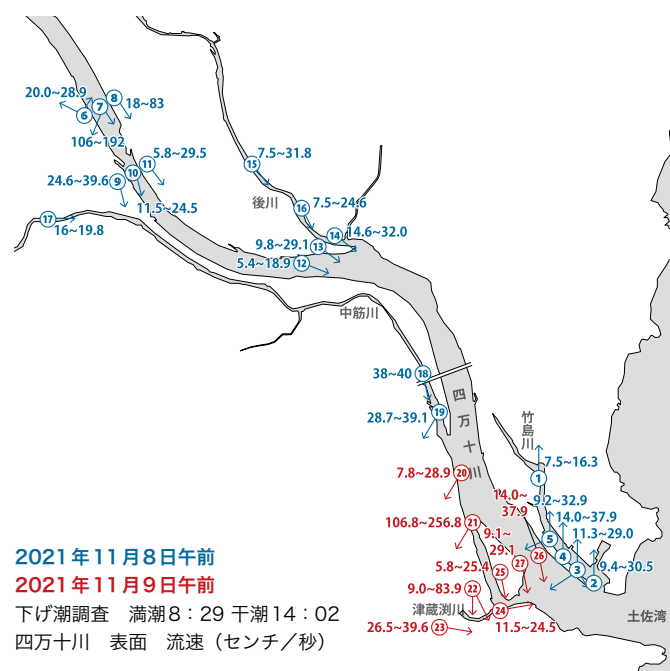
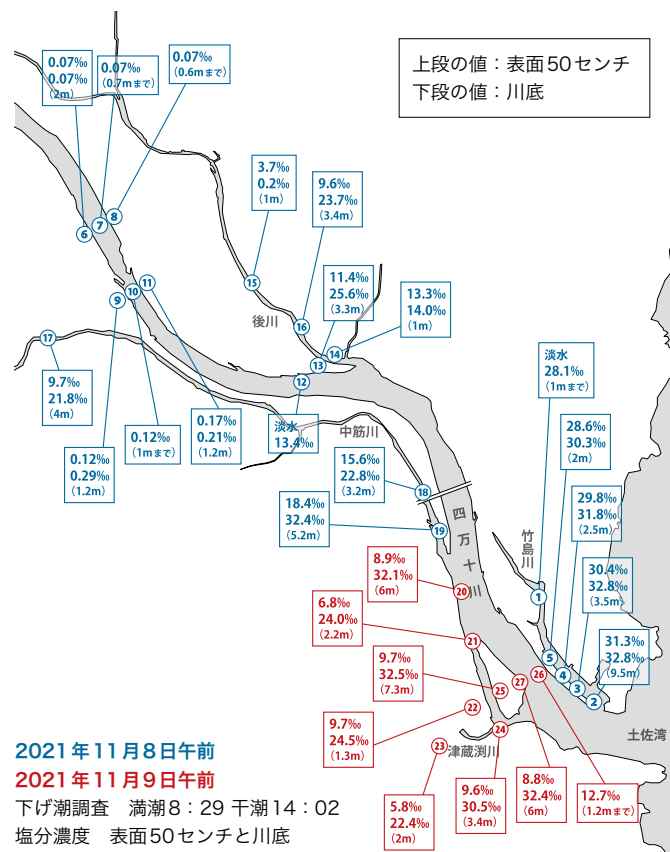
3) 表面（水深50センチ）の流向と流速

今回は満潮が11月8日8時29分で干潮が14時02分であり、下げ潮時の調査である。従って流向は四万十川本流も後川と中筋川の支流でも、基本的には、河口域の方に南下し、下流向を示した。ただ四万十川橋（赤鉄橋）の右岸側で北上流が観察された。他河川の観測から、流向はいつでも一定方向を向いているとは限らない。

四万十川本流では右岸側と左岸側では一般に右岸側が流速が早い地点が多い。渡川大橋でも、右岸側の流速が早い。（岩手県陸前高田市気仙川河口の一本松と気仙中学校（廃校後）を結ぶ線では左岸側が右岸に比べて極端

に早い。12月3日の気仙大橋からの調査でも同様の結果を示した。）

8月と比較すると流速が増しているが、8月には四万十川本流に比べて竹島川の流速は遅かったが、11月にはそのような遅い特徴は見られない。今回の特徴は、間崎・津蔵淵川の間の流速が極めて速いことである。これは低気圧による降雨の影響であるとみられる。



4) クロロフィル量、濁度 (FTU) と溶存酸素量 (DO)

クロロフィル量

表面（水深50センチ）のクロロフィル量は概ね0.5～1.3 $\mu\text{g}/\ell$ 程度であり、必ずしも豊富な量ではない。しかしアオサノリの養殖場である竹島川では、0.37～0.56 $\mu\text{g}/\ell$ であり極めて低い値を示した。一方で間崎・津蔵渚水路では、1.1～1.3 $\mu\text{g}/\ell$ であるので、クロロフィル量は間崎・津蔵渚が竹島川より多い。四万十川本流の中洲大島と竹島川の土手の間の3地点では0.8～1.1 $\mu\text{g}/\ell$ を示し、全国各地での正常値・平均値に近い。

川底のクロロフィル量は、これらも平均的な値を示した。0.6から1.6 $\mu\text{g}/\ell$ である。しかし、支流の後川では15.4 $\mu\text{g}/\ell$ （後川と四万十川合流点の左岸）（地点⑭）、右山の中央排水処理施設の排水口付近（地点⑯）では9.7 $\mu\text{g}/\ell$ の極めて高い値を示した。また、上流に桜町排水機場を抱える佐岡橋（地点⑮）では、クロロフィル量は1.5 $\mu\text{g}/\ell$ である。しかも、溶存酸素量 (DO) が89.8%と低い値である。

これらは川底で栄養が豊富に供給されてクロロフィル量が高くなったのか、または底質からの影響があるかが考えられる。継続した調査が必要である。また後述するがこれらの後川の地点⑭、地点⑮と地点⑯は濁度 (FTU) と溶存酸素量 (DO) でも、好ましくない値を示している。

濁度 (FTU)

表面（水深50センチ）

濁度 (FTU) について、一般に良好で正常値を示したのは、四万十川本流の四万十川橋（赤鉄橋）と渡川大橋である。それ以外では後川と四万十川の合流点で、後川から離れている右岸側で低い値を示した。残りの河川域では、0.8FTU～0.9FTUである。中筋川の上流の小市橋は0.91FTUであった。他の地点はすべて1.0FTUを超えている。特に高い値 (FTU) を示した地点は四万十川右岸側の津蔵渚・間崎側の中筋川の南の地点⑳、14.1FTU、中洲大島の北側の地点（地点㉑）18.7FTUと、間崎水路（地点㉒）10.7FTUであった。

また中洲大島と竹島川の土手の間の四万十川本流の3地点（地点㉓から㉕まで）と初崎沖の地点㉔もいずれも



写真5：2021年11月8日 後川の右山の中央排水処理施設の排水口；排水口に近付くと強い臭気；腐敗臭と塩素系化学物質臭とみられる臭気が漂っていた。

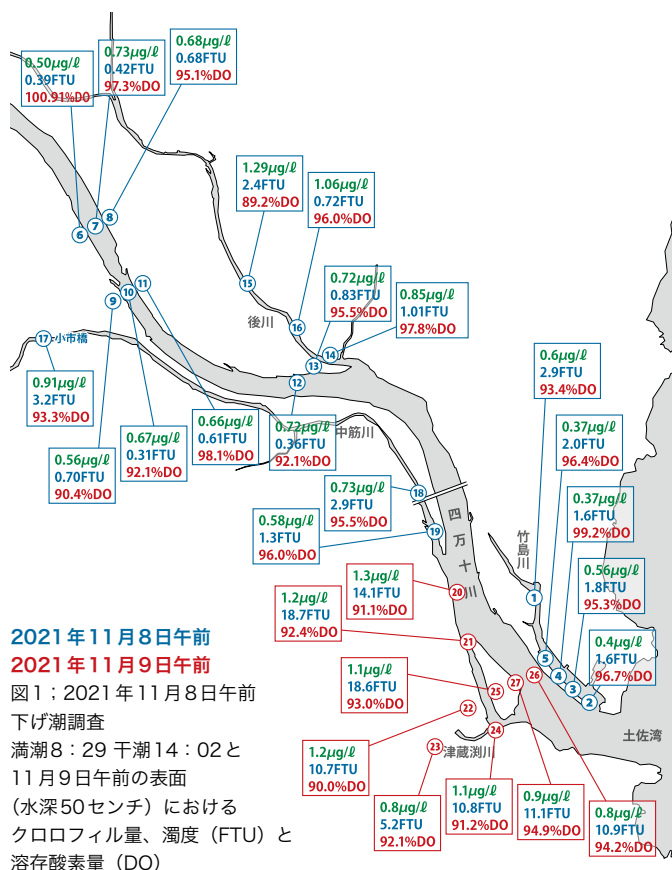
10FTUを超える濁度の高さである。これらのうち中筋川の合流点から下流での計測値はすべて11月9日に計測したものであり、これは低気圧と降雨による四万十川本流への雨水・淡水が濁りを伴って流入したことによると考えられる。

川底（水深は1.0～5.2メートルまで計測地点で異なる）

四万十川橋（赤鉄橋）の下の河川の環境指標は特段問題がない。しかしながら当該地点の環境変化が、防災工事のために大幅に変化したとの記述が過去の文献等があり、これら四万十川流域の環境の変化をレビューすることが重要である。この場所だけが川底の濁度に関する限り問題がない地点である。渡川大橋ですら、右岸側が1.4FTUを超えている。

溶存酸素量 (DO)

溶存酸素量 (DO) が多ければそれだけ動植物の呼吸・代謝が進行して、生物は生き生きと活動するし、不足すればそれだけ動物の活動は低下する。コロナウイルス感染症での入院患者の指標は血液中の溶存酸素量 (DO) が93%を下回った場合にECMOでの酸素吸入をする必要があるとされた。このことから、河川水中でも93%の溶存酸素量を下回った場合に問題水準として警鐘を鳴らす指標と考えることが適切であると判断した。



表面の溶存酸素量（DO）

特段に問題となる溶存酸素量（DO）の値、8月の中筋川や後川と四万十川の合流点で見られたような50%台や70%台の異常な低位値は見られなかった。これらは夏から秋にかけて水温が低下し、動植物の活動のレベルが低下したことが原因と考えられる。

この中で93%台を下回った地点は渡川大橋の右岸と中央、後川の佐岡橋では89%を記録した。間崎と津蔵測川は90%と92%であるので低い傾向がある。後川の中央排水処理場の排水口では96%であった。

川底の溶存酸素量（DO）

計測地点の多くの地点で93%を下回る地点が観察された。赤鉄橋でも中央では92.5%であり、決して好ましい数字ではない。渡川大橋と赤鉄橋の間の四万十市・市街地寄りには岩崎の排水門があるので、これが四万十川の本流に影響を及ぼしているとみられる。そのため、溶存酸素量（DO）などの値が赤鉄橋のそれらよりも若干悪化するとみられる。渡川大橋左岸の溶存酸素量(DO)は90.5%である。好ましい数値ではない。

竹島川の養殖場での溶存酸素量（DO）は92～93%であり、これらも決して良好な値ではないが、間崎・津蔵測川のそれと比べると若干値が高い。

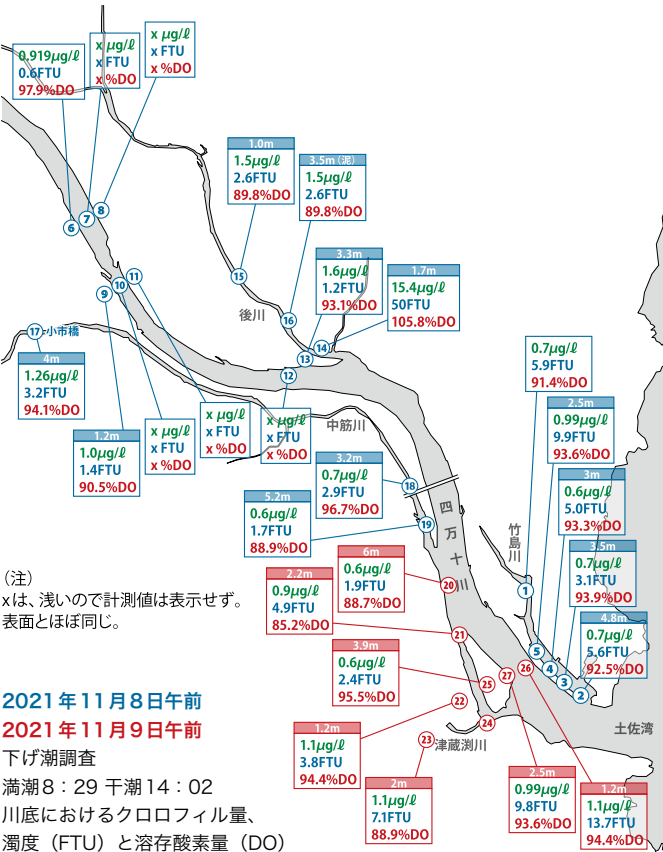


表2；2021年11月8日午前 四万十川 下げ潮調査 満潮8：29 干潮14：02
表面50センチ クロロフィル量、濁度と溶存酸素 ①～⑩

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
クロロフィル ($\mu\text{g}/\ell$)	0.6	0.4	0.56	0.37	0.37	0.50	0.73	0.68	0.56	0.67
濁度 (FTU)	2.9	1.6	1.8	1.6	2.0	0.39	0.42	0.68	0.70	0.31
溶存酸素 DO (%)	93.4	96.7	95.3	96.2	96.4	100.91	97.3	95.1	90.4	92.1

	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰ 小市橋	⑱	
クロロフィル ($\mu\text{g}/\ell$)	0.66	0.72	0.72	0.85	1.29	1.06	0.91	0.73	0.58
濁度 (FTU)	0.61	0.36	0.83	1.01	2.4	0.72	3.2	2.9	1.3
溶存酸素 DO (%)	98.1	92.1	95.5	97.8	89.2	96.0	93.3	95.5	96.0

表3；2021年11月9日午前 11：30-12：00
四万十川 表面50センチ クロロフィル量、濁度と溶存酸素 ⑳～㉑

	⑳	㉑	㉒	㉓	㉔	㉕	㉖	㉗
クロロフィル ($\mu\text{g}/\ell$)	1.3	1.2	1.2	0.8	1.1	1.1	0.8	0.9
濁度 (FTU)	14.1	18.7	10.7	5.2	10.8	18.6	10.9	11.1
溶存酸素 DO (%)	91.1	92.4	90.0	92.1	91.2	93.0	94.2	94.9

表4； 2021年11月8日午前 下げ潮調査 満潮8：29 干潮14：02
川底におけるクロロフィル量、濁度と溶存酸素量 ①～⑩

	①	② (4.8m)	③ (3.5m)	④ (3m)	⑤ (2.5m)	⑥	⑦	⑧	⑨ (1.2m)	⑩
クロロフィル ($\mu\text{g}/\ell$)	0.7	0.7	0.7	0.6	0.99	0.919	x	x	1.0	x
濁度 (FTU)	5.9	5.6	3.1	5.0	9.9	0.6	x	x	1.4	x
溶存酸素 DO (%)	91.4	92.5	93.9	93.3	93.6	97.9	x	x	90.5	x

	⑪	⑫	⑬ (3.3m)	⑭ (1.7m)	⑮ (1.0m)	⑯ (3.5m) 泥?	⑰小市 橋 (4m)	⑱ (3.2m)	⑲ (5.2m)
クロロフィル ($\mu\text{g}/\ell$)	x	x	1.6	15.4	1.5	9.7	1.26	0.7	0.6
濁度 (FTU)	x	x	1.2	50	2.6	39.0	3.2	2.9	1.7
溶存酸素 DO (%)	x	x	93.1	105.8	89.8	84.0	94.1	96.7	88.9

(注) xは、浅いので計測値は表示せず。表面とほぼ同じ。

表5； 2021年11月9日午前 11：30～12：00
川底におけるクロロフィル量、濁度と溶存酸素 ㉒～㉑

	㉒ (6m)	㉓ (2.2m)	㉔ (1.2m)	㉕ (2m)	㉖ (3.9m)	㉗ (1.2m)	㉘ (2.5m)
クロロフィル ($\mu\text{g}/\ell$)	0.6	0.9	1.1	1.1	0.6	1.1	0.99
濁度 (FTU)	1.9	4.9	3.8	7.1	2.4	13.7	9.8
溶存酸素 DO (%)	88.7	85.2	94.4	88.9	95.5	94.4	93.6

5) 調査結果の評価

河川の汚染指標；濁度（FTU）と溶存酸素量（DO）

8月と11月の下流域の調査結果を比較した場合、溶存酸素量（DO）の改善がみられた。これが直ちに四万十川水系の環境の改善には結びついていないと考える。夏から秋にかけて低水温となり、農業などの活動が縮小されてきたこと、生物の活動が不活発になってきたことがあげられる。また、濁度も同様に一時夏の間に悪化していた中筋川や後川の指標も改善がみられるが、これも生物活動や農繁期と収穫時期が終了し農業による排水が減少したためと考えられる。

一方で、後川の右山の中央排水処理施設の排水口からの排水とそれが四万十川に合流する地点では、濁度（FTU）と溶存酸素量（DO）に関して、濁度（FTU）は高く、溶存酸素量（DO）は低いという汚濁と環境の悪化を示す状況を示す値が観測された。また、間崎水路・津蔵淵川でも溶存酸素量（DO）の低下と濁度（FTU）の上昇という河川環境の汚染の悪化の可能性を示す値が観測された。

竹島川でも濁度（FTU）の悪化は観測され、溶存酸素量（DO）も良好ではない数字が観測された。この地域の上流の国営農場に近い計測地点（地点①）で、明らかに汚染の度合いがアオサノリ養殖場より悪化している指標が濁度と溶存酸素量の双方で示されたので、今後は国営農場からの排水をモニターし、必要に応じて改善策を個別事例毎に検討し、導入するべきである。国営農場は昭和60年代に農水省の方針に基づいて高知県と四万十市で開発したものである。国営農場は鍋島地区（沿岸部）と竹島地区（山間部）があり、鍋島地区ではハウス栽培と露地栽培で野菜や生姜などが栽培されており、竹島地区では果樹が中心でミカンや文旦などが栽培されている。また、竹島地区は黒潮町からの入植者が果樹栽培を営んでいる。

国営農場での排水の汚染防止対策が効果的にとられているとは聞かない。また、市役所と高知県が、農業開発と入植後に竹島川と四万十川の環境保護のための特別な農業指導を実施しているかどうかは明らかではない。

また、後川の上流の佐岡橋までの調査を実施できたので、右山の中央排水処理施設の排水口からの排水を計測することができた。また佐岡橋下でも、計測を実施したのでその上流に存在する桜町排水機場の影響も間接的に計測することができた。さらに四万十川本流に面する四万十川橋（赤鉄橋）と渡川大橋の間の岩崎排水樋門の影響も観測することができた。

今回は低気圧の通過後の調査であったので、平常時には得られない四万十川の増水時の貴重な観測データを手に入れることができた。一方で、平常時であれば操船が可能な漁船も活用して、四万十川河口域や土佐湾口を調査することが可能であったが、今回は波浪と高波の危険がありそれを断念した。

下流域調査の結果と判明した今後の課題

①11月9日の四万十川本流の濁度（FTU）の増加から見ると、増水時には河川に土砂、泥質と汚染物質が流れ込み濁度（FTU）が増大したとみられる。現在の河川では防災を主として河川堤防の建設や河川の直行化する。昔は蛇行して緩やかに流れ、氾濫原と湿地帯に水流は滞留してそこで土砂や汚濁物を沈殿させて、河川水を清浄化・分解しかつ、それらを栄養源に変化させてゆっくりと下流域に流れ込む旧来の河川の構造と機能が失われたことを示している。四万十川の清流を守り、豊かな自然を取り戻すためには、防災目的の河岸工事と河川堤防の在り方について、コンクリートによる防災一辺倒か、自然の恵みかで、包括的かつ科学的根拠に基づいた検討と意思決定が必要である。現在はあまりにもコンクリート防災に偏っている。

四万十川は、旧中村市を中心に昭和初期（1935年）の大水害を含めて、大きな水害に見舞われており、そのための防災工事は一通り完了した。しかしながら、近年の気候変動と地球温暖化による豪雨が日本各地にみられ、災害はコンクリートの堤防では防ぎきれていない。

西洋諸国はこのような判断に基づき、コンクリートによる自然を抑圧する防災から、自然を活用し調和した防災、生活と自然力の恵みを重視に舵を切って対応している。このような自然に基づく解決策（Nature Based Solution）を科学的根拠に基づいて判断する時代に入った。

②農業との関係については、中流域での生姜農家の訪問でも明らかであるが、四万十川に汚染水をそのまま垂れ流しにしているにも関わらず、特段の対策が取られていない。これと同様に下流域の国営農場でも竹島地区と鍋島地区ともに、特段に河川への排出を規制している対応・対策については説明を受けなかった。また、下田地区でアオサノリの養殖を営んでいる漁業者も国営農場の入植者との対話がない。これらの関係者間の対話についても早急に持つべきである。まずは話し合いと情報の共有から始めて竹島川の汚染対策とその防止対策について検討していくことが重要である。農林水産省は2021年「みどりの食料システム戦略について」を政策として導入した。2050年を目標に有機農業への転換を目指す。すなわち環境や健康への配慮である。この意味からも農林漁業が一体となった対策を「みどりの食料システム戦略について」は目標とするべきである。

③また、中流域の四万十町七里甲1035の佐竹ファームは、特別栽培と有機栽培を目指している。しかし、生姜は連作障害に弱く、土壌殺菌剤であるクロロピクリンを使用する。1季節で10リットル缶を100缶使用する。次世代のためにもいち早く有機農法に切り替えたいとの意欲が強かった。製品に残留農薬が少ないので、残りは側溝を経て四万十川の本流に排出される。佐竹氏は「住民からも四万十川を汚しているのは生姜農家である」と

の批判が寄せられると語る。側溝はコンクリート張りであるのでこれを土に戻し植物と水草が生えるようにすると、そこで流出したクロロピクリンの分解が進む可能性があるとの指摘を行った。

④後川水系に排出する中央排水処理施設からの排水が環境基準を満たしているかどうかの科学測定が必要である。また、BODなどは基準が定められた年限が昭和40～50年代であり古すぎることで、また、四万十市の排水処理施設が完成した年代とその際に導入した排水処理施設の機能；生物処理か活性汚泥処理か、オゾン処理かなどとその後の施設の改善と近代化が重要となる。このことは、今後の後川と四万十川の水質改善向上の検討に参考になり、現場の視察と関係者との対話が緊要である。

(3) 四万十川中流域調査

8月3日に引き続き、中流域窪川附近での科学計測調査を4地点（今回は仁井田川と東俣川合流点、東吉見川橋、吉見川橋と太井野橋からの四万十川。前は2地点（太井野橋と吉見川橋）で行った。その結果は以下の通りである。

クロロフィル量

前回8月3日の計測値は大井野橋でクロロフィル量が0.88μg/ℓであった。溶存酸素量は97～120%であった。（前回の新開橋でのデータは記録されていなかった。）今回11月10日ではクロロフィル量が0.41μg/ℓで半減していた。吉見橋では、0.42μg/ℓであった。東吉見橋（合併浄化槽が設置される）では、クロロフィル量が0.0μg/ℓ、仁井田川では0.46μg/ℓ（水深1.1メートルで0.85μg/ℓ）であった。従ってクロロフィル量が多くない。

濁度（FTU）

濁度は大井野橋で1.0FTU、吉見橋で2.4FTU、仁井田川で1.8FTUと概して高い値を示した。東吉見川（合

表6：四万十川窪川付近のクロロフィル量、濁度と溶存酸素
2021年11月10日午前11時から

	① 仁井田川		②東吉見橋 (合併浄化槽)		③ 吉見橋	④ 大井野橋
	50cm	1.1m	表面0m		50cm	0.4m
			計測器 記録	測定時の 表示		
クロロフィル (μg/ℓ)	0.46	0.85	0.0	0.72	0.42	0.41
濁度 (FTU)	1.8	2.7	0.071	8～31 (着底の可能性)	2.4	1.0
溶存酸素 DO (%)	99.6	99.3	100.5	94	95.4	100.9
	仁井田川表面水温が 18.2℃ 10cm以下は 15.07℃以下 四万十川よりも高い		表面水温は17.2℃		表面水温 は15.7℃ 10cm 以下は 15.3℃	水温は 表面が 12.04℃ 0.1～0.4m は14.8℃

表7：四万十川・窪川付近の流向・流速
2021年11月10日 午前11時から

	① 仁井田川	②東吉見橋 (合併浄化槽)	③ 吉見橋	④ 大井野橋
流速 (cm/秒)	1.9～6.7	30.3～106.3	3.9～25.7	6.1～236.7

併浄化槽が設置される）では、0.07FTUである。濁度（FTU）は高い傾向がある。今後の継続した計測が必要である。

溶存酸素量（DO）

最も低い溶存酸素量（DO）を示したのが吉見橋の95.4%である。残りの地点は100%程度であり、どこも特段の問題は見られなかった。

流向・流速

四万十川本流の大井野橋では6.1～236.7センチ/秒を記録し、時折り早い流速が観察された。また東吉見橋（合併浄化槽が設置される）では、30.3～106.3センチ/秒と極めて流速が早い。

一方で、仁井田川は1.9～6.7センチ/秒と遅い流速であった。これは測定した橋の下に堰（下写真を参照）が設置されていた影響があると考えられる。



図2：四万十川中流域；窪川地区での計測地点とクロロフィル量、濁度（FTU）と溶存酸素量（DO）計測結果



写真6：東吉見川橋から見た合併浄化槽 2021年11月10日



写真7：仁井田川と東又川の合流点；道の駅「あぐり窪川」附近
2021年11月10日

(4) 四万十川の水質に影響する重要事項

1) 四万十川の流域の生姜農家で農薬使用と四万十川への流入

生姜は冬場に土壌作りを行い、春先に植え付け、夏場に灌水し10～11月に収穫を迎える。

高知県は日本最大の生姜産地でその収穫量は21,400トンと全国の43%を占めており、その作付面積も445haと県内最大で、第二位にあたる茄子／347haを大きく離している。(中国四国農政局ホームページ)

生姜の根は病気に弱く灌水に河川水やため池の水を使うと発病する。その為地下水をポンプでくみ上げスプリンクラーで灌水を行う。

連作障害による根茎腐敗病を避けるために、冬場の土壌作りに土壌消毒を施す際に臭化メチルが使われていたが、オゾン層保護の観点から2012年に全廃し、以降はクロロピクリン／ダゾメットが主流となった。

このクロロピクリンは第一次世界大戦で使用された毒ガスに起源を持ち、水生生物及び地下水へのリスクから欧州ではすでに全廃され、米国や中国でも特別免許の対象とされている農薬である。

四万十町は標高が200メートルの地点にあり、寒暖の差が大きく、このことが生姜の栽培に適しているといわれる。高知県は全土にわたり生姜の栽培が盛んにおこなわれている。



写真8：高岡郡四万十町七里の収穫後の生姜畑。
手前の側溝から余剰肥料と農薬が四万十川に流れ込む。

佐竹ファームの佐竹専務の説明によれば、クロロピクリンは無味無臭であり、従って事故防止のために人工的に着色し着臭する。スポイトの一滴で人間1人を殺す殺生力があり、危険であることを日々認識している。小学生の子供が生姜畑に入り遊んでいるのを見ると気持ちがいたたまれない。住民らには四万十川を生姜農家が汚染しているといわれる。自分には子供がいて、将来後を継ぐかどうかは未定であるが、後を継げるような農業・農地を残したい。その場合は、無農薬で有機肥料での栽培である。簡単ではないが減農薬の特別栽培(特別栽培との表示は消費者には意味が取れないので「何%」の減農薬と表示するべきである。)と有機栽培を目指している。

生姜の場合の連作障害は発生しやすい。2～3年米を作り、生姜を休耕しても根茎病は発生する。8年の休耕は必要である。

側溝を経由して、残余のクロロピクリンや過剰肥料は四万十川に流れ込む。側溝は3面がコンクリート張りである。小松より、「200メートル以上ある側溝のうち30メートルでも土壌が表面に出る水路に変更し、そこに植物と動物や昆虫が生息する環境にし、生態系サービスを活用して、クロロピクリンなどを分解してみてもどうか、四万十川に排出される農薬量が削減される」と述べたら、佐竹専務は早速やってみたいと答えた。

2) 四万十うなぎ；高知県高岡郡四万十町見附896-6

四万十うなぎは旧窪川町の中心地から2～3キロ自動車で5分程度のところに所在する。四万十川の下流域で、漁業者の特別採捕許可で漁獲されたシラスウナギを四万十川の下流域に設置された集荷場で購入し、それを養殖種苗として育成・成長させて、その後自社で加工して販売する。四万十川のウナギの養殖施設はこのほかにもう一か所あり合計2か所である。天然の種苗からの生産金額は約8,000万円で、四万十うなぎ(株)の販売金額は2.3億円であり、差額は他の養殖場からの購入により調達している。従って社名の四万十うなぎに合致した四万十川の原産の比率は約3分の1であった。地元の漁業関係者はそれでは本来の四万十ウナギではないのではとの疑念を有しており、製品ごとに原料の調達先を明記することが望ましい。

購入したシラスウナギを養殖・育成するタンクは計8基あり、入り口から入って手前の2基が小型タンクで、ここで初期のシラスウナギを飼育し、成長させる。その後、奥の方の6基のタンクで大型に成長させる。期間は約1年程度の養殖期間であるとの説明(要確認)であった。

私が訪問した見附の養殖場は四万十川の支流である見附川(吉見川)に沿って立地しており、見附川の伏流水(ないしは地下水)を利用している。一旦使用した排水は沈殿させて浄化し排水処理施設を経由して処理していた。また、固形物(排水中からのSS;固形物)は近隣農家がそれを欲し、これを分け与えているとのことである。



写真9：四万十うなぎ株の養殖場でのウナギ養殖の状況 2021年11月9日

下流でシラスウナギを採捕して、それを養殖するのか、四万十川の下流域からの中・上流域への遡上を許し、これを天然ウナギとして採捕するのかであるが、これはどちらが環境と生態系に合致しているかである。

3) 家地川ダム（佐賀堰）と津賀ダムの撤去運動

家地川ダムは河川水を貯蔵する高さが8メートルであり、ダムの定義は15メートル以上であるので、ダムの定義には当たらない。津賀ダムは四万十川の支流の梶原川にあり、高さが45.5メートルである。四万十川の本流にはダムがないとの口実にこの2つのダムのケースが使用されてきた。河川の支流か本流かは、単に河川の総延長から決めたもので、本流の流れと支流の分水嶺としての重要性を指摘したものではない。梶原川は、その性質と延長から見れば不入山を源流とする四万十川の本流と何も甲乙の差がなく、合流点以降に対する影響（水量、水質と水流並びに生物種の多様性）は、梶原川も大きいとみられる。今後は水量と水質を科学的に計測して、彼我の差を比較することも重要である。

堰かダムかもその地形によって左右されるのであって、水深が浅いから堰であるが、河川の水量と水流停滞への影響と保水量を比較しての河川の生態系と環境及び水質に対する影響を見れば堰の方が悪影響を及ぼす可能性もあるので、客観的な科学分析が緊要である。

また、河川流量の維持も重要であるが、これも科学的に分析される必要があるし、ダムや堰は水流をせき止めている。

したがって生態系の断絶を起こしていないか。物理的に生物・魚類の円滑な遡上を阻害し、断絶し、四万十川の河川生態系と海との関係を遮断している可能性がある。データ収集と分析を実施することが必要である。そのうえで再度、家地川ダムと津賀ダムが本当に生態系保全と生活のために必要かどうかを、さらには、現在の自分達の生活の豊かさと、将来世代への豊かさのために生態系が保全された自然の継承をすべきか否かを、客観的かつ包括的に検討されるべきと考えられる。

4) 広見川と三間川並び奈良川と水田の代掻きと四万十川の汚染・汚濁

江川崎の四万十川と広見川の合流点である西土佐の林大介道の駅長；四万十川西部漁協副組合長から広見川の汚濁問題が指摘された。また本件は、広見川に加えて、愛媛県側に存在する三間川と奈良川からの白濁した水田の代掻き水の汚濁・汚染の問題でもある。これらの汚濁・汚染は水田の代掻きと水張がピークを迎える3～5月にかけて発生する。広見川と四万十川の交流地点で四万十川右岸が広見川からの汚濁水で真っ白になっている2019年4月16日の写真がある（清流通信VOL.285号 2020年7月27号）。

このような汚濁水を科学的に計測することが緊要である。濁度（FTU）の計測はもちろん、溶存酸素量（DO）やクロロフィル量を測る。

流向は、四万十川本流に沿っているが、四万十川本流の上流からの流れと広見川からの流れとの比較が重要である。さらには、本流と広見川からの流れとの間に水温に差がある可能性がある。水温の計測も重要である。

広見川上流域、三間川と奈良川も計測が必要である。また、比較対照するために、水田の代掻きが開始される以前の2月にも計測していることが好ましい。これらの科学的知見から判断と対策の材料が提供されよう。

これまで、この地域でもBOD（1970年に設定される。その後の環境基準の見直しは他の化学物質の追加はあるが、BODの基準値はその後さらに厳しくされてない。）を計測してきたが、BODは自然由来と人口由来の有機化合物を一体として認識するので、どこまでが人工的な汚染物・汚濁であるかが不明である。またBODの基準自体、設定されたのが古すぎて（1970年 昭和45年）使用薬物や生活様式の変化に伴っての水量と排出物の量と質も変化をしており、排水基準が現状にそぐわない可能性がある。また、年々環境が劣化しており生態系サービスの対応力が低下している可能性もあるので、排水基準の強化が必要ではないか。

5) アオサノリの胞子発生と海苔網への着床の不足

アオサノリの胞子の発生と海苔網への着床・付着が良くない。年々収穫量が大幅に減少し、さらに、今年は胞子の発生が悪かった2020年の半分以下で、種付けの作業も例年10月で終わるのが、後半にはよかったが11月15日まで長引いた。これは夏に高水温が持続して、胞子（配偶体）が成長障害を起こしたためではないか（大野正夫高知大名誉教授）とみられる。竹島川付近の養殖場は国営農場の開発以来、農業と肥料の流出で環境が悪化している。農林水産省が行った果樹園の国営農場（竹島地区）の開発開始（昭和63年頃）以来、20年間にわたり土砂の流入などの影響モニタリング調査を受託して実施した。（前出の大野正夫高知大名誉教授）

アオサノリの生産量は最盛期には30トンの生産が

あったが2020年は4トンで、2021年はわずかに1.2トンであった。2022年に向けた海苔網への着床は、ここ数年同じ作業者が着床作業をしているが、上記のように手間取り、また網の敷設量は、養殖業を営むことを放棄した者もあり2021年より減少した。

11月9日には、水温計を海苔網漁場に設置した。これで2月下旬の最低水温を含め今後の水温の推移が判明し、ノリの生息環境の一端が観察されうる。しかし、露出した際の水温計の読み取りが不可能であった。

また、高知県内水面漁業センター（香美市）、高知大学農学部（平岡教授）並びに高知県内で海藻養殖を営む会社（安芸市）などから技術的助言を得ながら、アオサノリの問題解決を進めたい。（後日判明するが、効果的な助言は得られなかった。）

5. 総合評価

1) 四万十川の濁度（FTU）は、一般に他の河川や太平洋の沿岸海域よりは悪化しているとみられる。

表面（水深50センチ）でも、四万十川橋（赤鉄橋）のみが良好である。渡川大橋付近から濁度（FTU）が次第に悪化して、後川に至ると、支流から後川内に放出された排水の影響で後川内（佐岡橋と右山の中央排水処理施設の排水口）では高い値が示され、四万十川と合流する地点では、水質が悪化する。中筋川河口の四万十川大橋までは悪化がさらに進行している。これは濁度（FTU）から判明する。溶存酸素量（DO）は濁度と同様の傾向を示す。8月の調査時期に比べると中筋川のように悪化ししていないが、小市橋では好ましくない値である。後川の佐岡橋でも90%を割り込み好ましくない値である。

クロロフィル量は総じて不足気味か平均的である。四万十川橋（赤鉄橋）や渡川大橋では不足気味の値であった。これが下流域に来るにしたがって1.0 $\mu\text{g}/\ell$ を超えてくる。竹島川の養殖場と間崎・津蔵淵川の養殖場も決して環境はよくないと判断される。

竹島川のアオサノリ養殖場は、果樹や生姜農家などの排水が竹島川に放出されている。これで養分、汚染物質と農薬などが入り込む。国営農場からの排出規制などについて、まずは農家と養殖業者及び漁連（漁協を含む）の話し合いが必要である。

間崎・津蔵淵川のアオサノリ養殖場は、中筋川からの汚濁した南下水の影響と津蔵淵川からの影響に加えて、間崎の水路；養殖場が平坦で、河川水の動きが遅いことが原因とみられる。

これらの河川環境の悪化と劣化がアオサノリ養殖の収穫量の減少につながっていると考えられる。アオサノリの収量の減少は、年々河川環境が悪化していることを示しているとみられる。従って、河川環境の改善が急がれる。

2) 河岸堤防と防災工事

河川の工事は現在至るところで行われている。その一つは津蔵淵川の出口と初崎の間での堤防工事である。また、下田漁協の防災のための新たな改修工事なども予定されている。

過去の工事も四万十川では、日本全国各地と同様に河川生態系・生物の多様性の維持に配慮が払われたことがほとんどない。工事の前に環境影響評価がなされたと聞いてはいない。ある一定の規模以上は、環境影響評価を行うことと義務付けられているが、防災用の河川堤防の建設はその適用除外とされているのも時代の要請にそぐわない。

3) 排水処理施設のからの排水

これも汚染源としての対応を要する検討課題である。四万十市には右山中央排水処理場と桜町排水機場他があり、四万十川の本流へは岩崎排水樋門がある。これからの排水が確実に四万十川を汚染させていることが今回の科学計測で判明した。基本的に環境基準に照らした排水処理施設の現状把握が必要である。

4) 中流域の生姜農家と広見川からの代掻き汚濁水

これらに関し早急に対策を講じるために、生姜農家（四万十川流域とは限らない支流を含む）を訪問するなどのさらなる情報の収集と広見川水系の科学的データの蓄積が必要である。また、津賀ダムと家地川ダムに関しても、建設物の影響と水流・水質並びに生態系の状況を知るために早急に科学観測データの収集が必要である（2022年3月に実施した）。

5) アオサノリへの対応

これは上記1)の記述を参照のこと。

6) 他河川；岩手県陸前高田市の気仙川と岩手県大船渡市の盛川との比較

気仙川では前日12月1日の大雨が降り、調査の当日12月2日も時化であり、広田湾での調査の範囲を大幅に縮小した。従って気仙川での水位は前日の降雨により増水し、濁度（FTU）は通常時より高かった。盛川と大船渡湾を調査した12月3日も時化であり、大船渡湾防波堤の外は大時化で調査船の船体がうねりで大きく揺れた。

表8；岩手県陸前高田市気仙川、大船渡市盛川と四万十川の比較

	気仙川	盛川	四万十川
クロロフィル $\mu\text{g}/\ell$	0.57	0.60	1.1
濁度（FTU）	3.9	0.8	18.6
溶存酸素量 （DO）%	98.0	101.1	93.0
	12月2日午後 気仙川大橋	12月3日午後 川口橋	11月9日午前中 洲大島より右岸

（注）気仙川での測定は大雨の翌日、盛川は翌々日で四万十川は翌日に測定した。

クロロフィル量は四万十川が多いが濁度（FTU）は極端に四万十川が高い。これは、大雨の直後であるので気仙川と比較すると気仙川の4倍以上の濁度（FTU）であり、洪水・水量の増加に対して、四万十川がいかに多くの土砂を下流に運んでくるかを示している。すなわち、河川がゆったりと流れれば土砂も少ないが、上流で急速に流れると一緒に土砂を運んでしまうと推測される。直行河川で河川側面がコンクリートでの3面張り（河床か、固まり伏流水が少なくコンクリート化している場合も含む）か氾濫源に水量が保水されにくい環境となっているとも推測される。四万十川の河川堤・河川環境を観察する必要がある。

また、11月に溶存酸素量（DO）が低いのは四万十川の下流域（表面の淡水域）の特徴である。しかし、この付近の川底は海水であるが、同様に濁度（FTU）が高く、溶存酸素量（DO）が低い（表；川底のクロロフィル量、濁度（FTU）と溶存酸素量（DO）を参照のこと）。

従って、これらのことから、四万十川を他の河川と比較した場合、その河川の汚染度や酸素不足の傾向がある。

仁淀川は四万十川に比較するとやせた河川である。河口域の溶存酸素量は87～89%であり、低すぎる。これは、下流域の左岸側に多数あるハウス農場からの排水に含まれる、農薬と過剰肥料などを分解するのに酸素が使用されると推定される。他方、波介川潮止堰の内側では、溶存酸素量は108%であるが、一方で濁度（FTU）が異常に高く、かつクロロフィル量は $7.1\mu\text{g}/\ell$ であり、きわめて高い。ここは水流もなく、堰による水流の停滞が水質の環境を悪化させているとみられる。

四万十川も同様であるが、高知県の河川環境保護は、農業を規制するかにかかっているとみられる。また、国は環境と健康を重視する農業政策にかじを切った「みどりの食料システム戦略について」を実行中である。そのためには農薬や化学肥料の使用の削減を含めた対応が上記のみどりの食料システム戦略に合致する。

2021年11月7日 仁淀川河川環境科学調査

1. 調査の目的と前回調査からの変更他

2021年3月15日から16日に予備調査を、8月1日から3日には第1回の四万十川河川科学環境調査を行った。本格調査は、四季の変化をとらえる上で、かつ四万十川の特性を通年にわたって捕捉し理解する上で、1年に4回実施することが極めて重要である。また、他海域・河川域との比較も重要である。

そのため今回の調査は、8月1～3日から3ヶ月後の調査であり、夏との比較と秋の季節の特徴を捉える上で、かつ夏の最高気温と生物の繁殖と成長後の成熟期をとらえる上で重要である。

また、今回は、これまで実施しなかった四万十川の中流域の西土佐町の江川崎での視察と聞き取り調査と四万十町（旧窪川町）の仁井田川、吉見川並びに四万十川本流での科学計測の調査を実施した。また、四万十川の水質に影響を及ぼすとみられる国営農業団地と窪川地区での生姜農家からの聞き取りと視察を行った

これまでの下流域での調査を繰り返し継続した。下流域での観測地点は、赤鉄橋上流まで拡大し、かつ、後川（都市下水道処理施設からの排水口）と中筋川（小市橋の下）まで入り込み調査した

加えて、四万十川との比較のために、近隣を流れ、かつ高知県にあっては大きな河川である仁淀川の河口域と中流域の調査を行った。これらの調査結果と比較から、四万十川の河川の科学的特徴を明らかにすることとした。四万十川流域の調査結果は以下の通りである。

2. 調査の体制

1) 今回の調査も調査リーダーは小松正之並びに調査員は渡邊孝一である。

四万十川下流域の調査では、山崎明洋四万十川下流漁業協同組合長と山崎清実理事（同氏は河川調査のすべてに同行）が参加した。

2) 仁淀川の調査では、(株)高知銀行の田村忍常務と本店の竹内信彦氏が参加された。また、明神水産の明神照男元会長が参加し、大野正夫高知大学名誉教授が、急遽参加した。

3) 四万十川中流の旧窪川町では、四万十川財団の神田修事務局長と泉茂高知銀行窪川支店長に御案内いただき、河川環境計測にはご支援を得た。

3. 調査の結果

1) 仁淀川調査

仁淀川は、四万十川と並んで高知県の西半分を流れる一級河川と一級水系の大河であり、その源流は愛媛県の久万高原の石鎚山に発し、流域面積が1,560平方キ

ロ（四万十川は2,186平方キロ）で流路延長が124キロ（四万十川は196キロ）である。水面が青く美しいので「仁淀ブルー」と呼ばれる「淵」や「滝壺」がある。水質は全国第1位といわれる。（何を測ったのかを知る必要がある。）そして、仁淀川は、越知町やいの町を通り、土佐市の河口付近で、土佐湾に流れ込む。

2) 調査の結果概要

今回は11月7日の午前11時頃から15時頃まで、仁淀川の河口の下流域と越知町の仁淀橋（沈下橋）までの中流域において実施した。調査地点は、仁淀川河口大橋（3地点）とその隣を流れる波介（はげ）川を塩害防止のために堰き止めた波介川潮止堰の内側と、いの町の仁淀橋、越知町の沈下橋である中仁淀橋の都合6か所において科学的測定を行った。



写真：仁淀川河口大橋から見た波介川潮止堰と堤防越しの農地
2021年11月7日著者撮影

①塩分濃度と水温

仁淀川河口付近では、塩分濃度は14～17%であり、海水の影響がかなり大きい。しかしながら、これも土佐湾に隣接したところでの値である。波介川に設置された波介川潮止堰の内側の塩分濃度はゼロに近く、全くの淡水であると言ってよい。これら地域は仁淀川の右岸（河川の上流から下流を見た場合の右側を右岸、左を左岸）はほぼハウス農業が営まれ、このための農業用の用水となっていると思われる反面、農業・農地からの排水が流れ込んで、堰の内側に入り込むものと、新堀川として農業用地を南北に通じ、南側から仁淀川の河口付近に流出し、仁淀川に合流してから土佐湾に流れ込んでいる。新堀川の水質・科学的な計測は、今回は時間の制約上行わなかった。しかしながら、仁淀川河口付近の①地点でも特段に汚染の指標を表す濁度（FTU）も0.49FTUと清浄を示す値であり、クロロフィル量は、栄養分が多いと思われるのに、予想に反して0.22 $\mu\text{g}/\ell$ とかなり低い値である。溶存酸素量が88.6%と若干低い。

河口付近では左岸（高知市寄りの東側）から海水が入り、また淡水も左岸から流れ出ている様子が塩分濃度、流向流速の結果からわかる。右岸側では流れは澱んでいる。



写真；仁淀川河口大橋から見た左岸と中央の干潟 11月7日 著者撮影

また、水温は仁淀川では17℃であるが、土佐湾は22℃と温度差が5℃程度ある。従ってこの時期では仁淀川の河川水が、土佐湾を幾分冷却すると考えられる。

河川の中流域であるいの町仁淀橋付近と越知町の中仁淀橋（沈下橋）付近では塩分濃度はほとんどなく、0.07‰である。

②流向と流速

仁淀川の中流域の流速が極めて速い。特に南下流となる「いの町」仁淀橋付近では、66～263センチ/秒と極めて速い。越知町の仁淀橋（沈下橋でも13～34センチ/秒であるが、この付近では河川の流路が蛇行しているので方向が定まらない。流向が南西を向く結果が出ているがそれでは上流に流れることになる（これは再測定する必要がある。）が、計測結果が正しく反映されているのかを次回も調査するなど検討する必要がある。

仁淀川河口大橋付近の流向・流速

仁淀川河口大橋の河口付近では、表面流では、右岸と左岸の川の流れと土佐湾からの海水の流入に特徴的な顕

著な差がみられる。すなわち、左岸では南下流で流速25～32センチ/秒と早く、河川水が土佐湾に流出する。

河口中央部では南下流であり、流れは土佐湾の外洋からの流入水と仁淀川からの流出水が衝突していると推計され、2～6センチ/秒とほぼ停滞する。他方、右岸では、流行が北向きになっており、海水が流入するとみられる。流速は11～15センチ/秒である。一方、流向流速の測定値（4メートル水深の計測値をしなかった。）ではなく、塩分濃度から判断すると、土佐湾の海水が仁淀川に左岸側から流れ込んでいると考えられる。

③クロロフィル量と濁度

波介川潮止堰の内側以外は、一般に仁淀川水系では、今回の調査の範囲でクロロフィル量はとても低い。0.22～0.35 $\mu\text{g}/\text{l}$ であり、これらの値からは、仁淀川は貧栄養といってもよい。しかし、越知町の仁淀川の中仁淀橋（沈下橋）では1.5 $\mu\text{g}/\text{l}$ と正常値が観測された。河口域では、河口左岸と河口中央部では、海水がほぼ全体を占める3.5メートルから4メートルの水深では、河川水でのクロロフィル量よりは高い値がみられたが、左岸で0.54～0.64 $\mu\text{g}/\text{l}$ 、中央部では0.54～0.58 $\mu\text{g}/\text{l}$ であった。（右岸は水深が浅いので、淡水が卓越した。）

これらの値は、四万十川河口付近や富士川と駿河湾のクロロフィル量とほぼ同程度である。黒潮系の海水でのクロロフィル量は岩手県の広田湾や大船渡湾並びに宮城県石巻湾や桃浦湾の1.0 $\mu\text{g}/\text{l}$ を超える値に比べるとそれらの値は低いのが特徴である。

④溶存酸素量（DO）

河口域の溶存酸素量は低い。87～89%であり、好ましい値ではない。これは、下流域の左岸側に多数あるハウス農場からの排水に含まれる、農薬と過剰肥料などを分解するのに酸素が使用されると推定される。他方、波介川潮止堰の内側では、溶存酸素量は108%であり特段問題は見られないが、一方で濁度が異常に高く、かつクロロフィル量の発生も7.1 $\mu\text{g}/\text{l}$ であり、きわめて高い。堰による水流の停滞が水質の環境を悪化させているとみられる。



写真；いの町の仁淀橋 11月7日 著者撮影

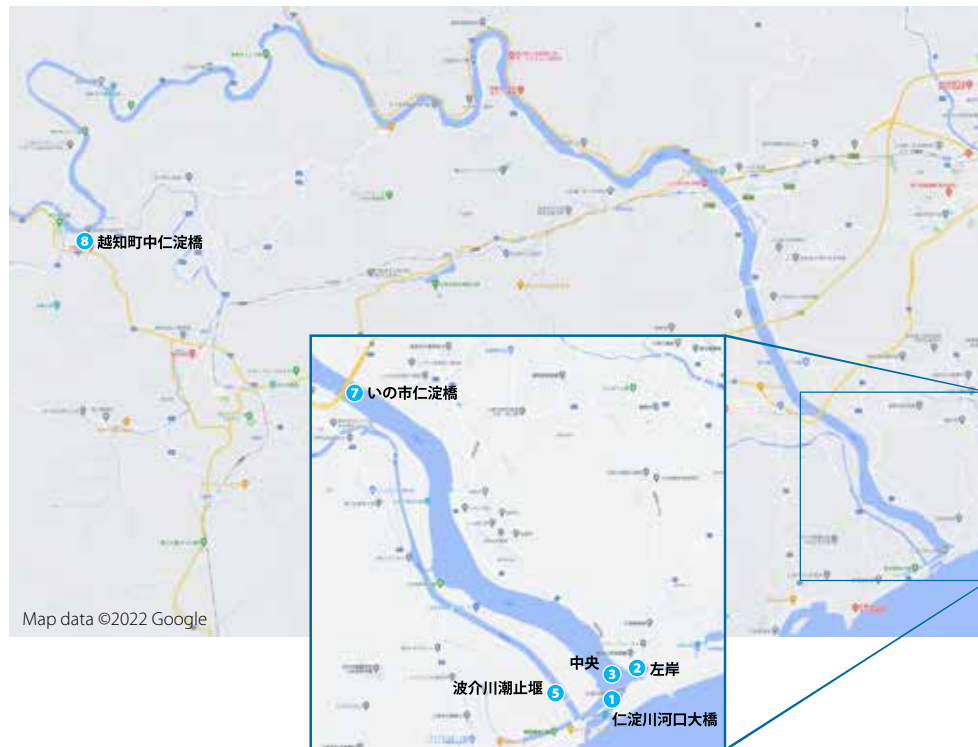


写真；越知町の中仁淀橋（沈下橋） 著者撮影 11月7日

4. 調査結果の評価

今後、11月8～10日の四万十川調査の評価が出そろい次第。評価を行う。

また、12月2日から4日まで岩手県陸前高田市の気仙川河口と大船渡市の盛川河口の科学・環境調査を実施しており、それらの結果との比較を四万十川の調査結果と合わせて行う予定である。



	① 右岸 仁淀川河口大橋 (水深0.5m)	② 左岸 (水深0.5m)	③ 中央 (水深0.5m)	④ ①と同地点 (水深0.5m)	⑤ 波介川潮止堰 (水深0.5m)	⑥ ⑤と同地点 (水深0.5m)	⑦ いの市仁淀橋 (水深0.5m)	⑧ 越知町 中仁淀橋
クロロフィル $\mu\text{g}/\ell$	0.22	0.25	0.24	0.22	7.1	7.1	0.35	1.5
濁度 FTU	0.49	0.53	0.61	0.49	6.68	6.68	0.34	0.61
溶存酸素 %	88.6	87.5	87.4	88.6	107.5	107.5	99.4	105.2
流向	北方	南西方	南～南西方	北方	波介川潮止堰 北方	波介川潮止堰 北方	南方～西方	南西方
流速 $\text{cm}/\text{秒}$	11～15	25～32	2～6	11～15	1.5～3.9	1.5～3.9	66～263	34～131

2021年11月7日 仁淀川科学環境調査

2022年3月12日 四万十川河川環境科学調査； 家地川ダム（佐賀堰）と津賀ダム

1. 概況

2022年3月12日(土)に、家地川ダム（佐賀堰）と津賀ダム並びに津賀発電所の調査を入れた。この2つのダムは一時地元民の撤去運動の対象となった。しかし、その運動は水利権を主張する四国電力などとの間で、撤去を勝ち取ることができなかった。この撤去運動も環境と水質並びに水利権のあり方に関する科学情報の蓄積があれば違った結果を迎えた可能性もある。重要なのは科学的根拠である。科学情報の蓄積のスタートとすべく今回、家地川ダム（佐賀堰）と津賀ダムの科学調査を実施した。

ところで、近年米国ワシントン州Elwharダム他、日本でも熊本県の荒瀬ダムが撤去されている。Elwharダムは古くなった上に、サケなどの生物の生息環境に悪影響を与えるのが理由である。荒瀬ダムは古くなりすぎてそれを維持する目的が喪失し、維持に経費が掛かりすぎるからである。津賀ダムは既に大量の土砂をダム湖に抱え、今後も毎年ヘドロが蓄積する。さらに津賀ダムと佐賀堰に関して、科学情報の収集と外国のダムの撤去や取り扱いに関する科学的、技術的な情報を蓄積することが大切である。

2. 家地川ダム（佐賀堰）の科学計測値

1) 家地川と四万十川の合流点にある家地川ダム（佐賀堰）での水質・環境調査を行った。これは取水堰であり重量式で、堤頂長が112.5メートル、堤高が8.0メートルである。一般にダムは堤高が15メートルを言う。従って、家地川ダムは堰であってダムではない。家地川の近辺に建設されたので、この俗称がある。ここで、四万十川の水をせき止めて、その水を黒潮町の佐賀発電所に送っている。それらの水量は最終的には四万十川水系とは別の伊与木川に流れる。佐賀堰の最大発電量は1万5,700キロワットで、使用水量が12.52トン／秒である。流域面積は377.74平方キロで総貯水量



家地川ダム（佐賀堰）2022年3月12日午後 著者撮影

は881,914トンである。

2) 貯水池の流れはほとんどなく、クロロフィル量や濁度（FTU）など計測値では堰の上流と下流では水質にほとんど差がみられなかった。また、黒潮町の佐賀発電所まで、堰からの水量が運ばれている。そこで発電がおこなわれたのちは、四万十川の水は四万十川には戻らず、伊与木川に放出される。

佐賀堰の下流から、取水口、貯水湖の左岸、家地川の橋の近辺のすべての場所において、ほぼ同レベルのクロロフィル量、濁度（FTU）と溶存酸素量（DO）が記録された。

クロロフィル量は堰の下流で $0.55\mu\text{g}/\ell$ 、取水口で $0.76\mu\text{g}/\ell$ 、貯水湖の左岸で $0.54\mu\text{g}/\ell$ 、家地川で $0.77\sim 0.60\mu\text{g}/\ell$ であって、決して高い値ではないが、低すぎる値でもなかった。濁度（FTU）は、0.3FTU（清浄水を意味する）を上回ったものの、全ての調査地点で1FTU以下であるが、水色は濁っている。

溶存酸素量は排水口での93.8%を除けば、全てが100%を超えており、酸素は十分に存在すると判断される。

流向・流速

図1の地点①では流向と流速は、測定地点の水中環境が適切ではなく、測定しなかった。排水口（地点②）ではその流速は22.3～24.2センチ／秒もあり、またその流向は南に向いていた。低地に位置する佐賀発電所に向かって流れ込んでいる。堰の貯水池の左岸（地点③）では北東の流れで四万十川上流に向いているが、流速はほとんどなく水流は停滞しているとみられる。0.2～1.7センチ／秒であった。家地川と四万十川との合流点（地点④と地点⑤）では北向きの流れであったが流速はほとんどなく、0.4～2.5センチ／秒であった。これらの地点（③、④と⑤）は貯水池に蓄積した水量が下流に堰を超えて落ちる量が少ないので上流に向かって流れていると推定される。

3. 津賀ダム

1) 日本各地で巨大なアユが獲れたとの話は良く聞く。津賀ダムの建設前は梶原川で「津野山鮎」と言われた背中が盛り上がった巨大なアユが取れたとのことである。

落差が大きいことから、梶原川にダムの場所が選定されて、1940年に軍需目的で建設されたのが津賀ダムである。堤高45.5メートル、幅が145メートルで10門のラジアルゲートを持つ。

津賀発電所とは10.7メートルの落差があり、最大で1万8,100キロ発電される。総貯水量は1,930万トンで

ある。利用水深は15メートルである。

1989年に水利権の更新時期に合わせて、枯れた川と、ダム湖内に堆積したヘドロ、遡上しなくなった魚類が問題の原点となり、梶原、津野町など流域の6市町村に津賀ダムの撤去運動がおこった。高知県は水利権を許可しないとの選択はなく、ダムの撤去は「不可能」としたことから、流域全体が条件的存続へと舵を切った。しかしながらそれで撤去運動が終止符を打つ十分な根拠となったのかどうかの検証がどこかでなされたのであろうか。

河川維持流量の修正とダム上流での魚族増殖を強化する妥協で撤去は見送られた。水利権についての使用者とその使用目的は四国電力の水力発電用とその他目的の農業用などがいかほどか。そして津賀ダムからの発電を今後堆積するヘドロと土砂の予測の下で提供する場合は、電力の供給コストが高くつき効率も低下しよう。従って津賀ダムのあり方について別の可能性の検討も今後は重要である。四国電力の発電収入とコストなどの情報収集が重要である。

四国電力のデータでも平成27年での堆砂量は計画数量の73%である。(総貯水量の25%に相当) 毎年5万トンずつ堆砂していく。

2) 津賀ダムの科学計測値

クロロフィル量、濁度 (FTU)

津賀ダムの貯水池のクロロフィル量は $1.87\mu\text{g}/\text{l}$ と高かった。津賀ダムの下流域(下流約1キロ)では $0.32\mu\text{g}/\text{l}$ で、ダム湖より植物プランクトンの発生が少ない。津賀発電所の排水口では $1.07\mu\text{g}/\text{l}$ であった。

また濁度(FTU)は、津賀ダムの貯水池では1.91FTU(しかし、水深10センチでは39.8FTU)であるので、きわめて濁度が高かった(着底の可能性は否定できない)。しかし津賀ダムの下流では0.77FTUとそれが大幅に低下する。清浄水とは言えないが、清浄度は増した。津賀



図1 佐賀堰と津賀ダムのクロロフィル量、濁度 (FTU) と溶存酸素並びに流向と流速



写真：佐賀堰の河川維持量と放流量；2022年3月12日 著者撮影

発電所の排水口では1.08FTUであり、濁度 (FTU) が増加した。また、排水口では貝殻の死滅が多数産卵状態で見つかり、これは淡水のシジミが排水ポンプ内の清掃作業で死滅したのか、または、貯水池内の淡水の貝類が運ばれて死滅したのかいずれかであろうとみられる。死滅の原因は不明である。

溶存酸素量 (DO)

溶存酸素量 (DO) に関してはすべての地点で100%を超えた。

今回の結果からは、津賀ダムの貯水池の水質は清浄ではない。また、水深10センチの濁度 (FTU) が現状を反映しているとすれば、極めて水質が悪化しているとみられる。継続した、また、複数の地点での計測値の取得が必要である。

また、貯水池の水質とダム下流の科学データの比較では、ダムの貯水池の水質が悪化していることを示唆する値が、今回でクロロフィル量と濁度 (FTU) によって示された。

流向・流速

津賀ダム(ダム堤長に隣接するダム湖左岸地点)の流向はダムへの跳ね返りにより北向きであったがその流速は遅く1.3~1.5センチ/秒でほとんど流速、すなわち水流はなかった。一方ダムの下流1キロ地点では、2.8~39.8センチ/秒(平均は約20センチ/秒)であった。これにより、ダムがなければ、ダム付近から下流と同じ速さの水流が流れて、水量と各栄養を伝達すると思われる。津賀発電所では四万十川下流方向、南方向に向かって54.0~75.4センチ/秒の流速があった。これは排水口であり、落下差があるので、速かったとみられる。



津賀ダム左岸からダム湖 2022年3月12日 午後 著者撮影



津賀ダムの下流；高岡郡四万十町大正大奈
2022年3月12日 午後 著者撮影



津賀発電所の排水口 2022年3月12日 午後 著者撮影

2022年3月13日 四万十川の河川環境調査 四万十川下流

1. 概況

2022年3月13日四万十川の河口・四万十川橋（赤鉄橋）から土佐湾までの下流域の基本的な調査を実施した。特にアオサノリの養殖の不漁の解明のためデータ収集に力点を置いた。

本調査は1年に4回実施し四季の変化と四万十川の特性を通年にわたって捕捉し理解する。また、広田湾・気仙川と大船渡湾など他海域・河川域との比較を行う。

2月下旬から3月上旬は最低水温を含む継続水温の調査を実施した。

下流域で前回を踏襲し竹島川の下流の下田地区のアオサノリの生育環境を重点的に調査した。また、後川の中央排水処理施設とその排水状況を視察・観察した。その後中筋川の中流域の高知南西中核工業団地付近の視察と科学計測を行った。

2. 調査の体制

今回の調査も調査リーダーは小松正之並びに調査員は渡邊孝一である。

四万十川下流域の調査では、山崎明洋四万十川下流漁業協同組合長と山崎清実理事が参加した。

また、高知銀行中村支店の藤本剛支店長と西内景太氏のご支援を得た。12日竹内清彦氏が調査に参加した。また、田村忍常務には本訪問でのアレンジに全幅のご支援を賜った。

3. 調査の目的

河川環境把握と汚染とその原因の推定

四万十川的环境については①河川の護岸と直行流向化の工事による自然の回復力、並びに土地力の低下、土砂の流入・浮遊②支流と本流へのダムと堰の建設による河川水量の減少と流速の低下と生態系の切断、発電所濁り水の放出③農業肥料・農薬と広見川と三間川の水田で播きの過肥料と土壌流出など農業排水の流入と④後川水系への都市下水の排出が悪化の要因と推定される。



四万十川橋（赤鉄橋）付近での科学調査 右下は山崎明洋組合長
2022年3月13日午前

河川環境・科学調査は、河川環境の悪化・劣化の状態を科学的指標で客観的に表示すること、その数字の意味を提供すること、そして環境の悪化の原因を解明または推定するものである。特にアオサノリの不漁の原因の解明に努めた。

4. 調査の結果

(1) 調査結果の概要

四万十川の下流域の全般にわたり、2022年3月では、11月に比較してクロロフィル量は増加した。一方で濁度（FTU）は増加し、汚染度・濁りは進行した。溶存酸素量が8月以降改善して11月には90%台を記録したが2022年3月では、さらに改善し概ねあらゆる水域で100%を超えた。これら改善・変化は真夏から秋口にかけて、そして冬場を越して植物相の変化や水温の低下などに伴う季節的な変動であるとみられる。

3月の濁度（FTU）は後川と竹島川のアオサノリ養殖場で悪化した。

1) 塩分濃度

塩分については四万十川橋（赤鉄橋）の鉄橋下まで計測した。その結果は、四万十川橋（赤鉄橋）までは海水が到達しているとの説は11月に続き2022年3月での調査では観測されなかった。

3月13日では干潮が9時59分で、満潮が14時22分であった。しかし干満の差（満潮位114センチから干潮位98センチ）が小さく26センチの小潮であった。海水は、先回の11月調査時と同様、渡川大橋までは淡水で、四万十川と後川の合流点で海水が到達する。合流点で塩分濃度（水深50センチ）25～27%程度である。ここでも表面（10センチ未満）はほぼ淡水である。

後川の佐岡橋付近でも25.1%であり、ここまで海水が到達する。津蔵淵川と間崎では22.8%であり、ここはアオサノリの養殖がおこなわれる。竹島川の下流の下田漁港の外側で堤防の内側では海水が入るものの淡水と入り混じる。ここでの表面の塩分濃度は30%前後である。

2) 表面の溶存酸素量（DO）

新型コロナウイルス感染症での入院患者の指標は血液中の溶存酸素量（DO）が93%を下回った場合にECMOでの酸素吸入をする必要がある。河川水中でも93%の溶存酸素量を下回った場合に問題な水準として警鐘を鳴らす指標と考えると暫定的に判断した。

11月と今回の2022年3月には8月の中筋川や後川と四万十川の合流点で見られたような50%台や70%台の異常な低い値は見られなかった。これらは夏から秋にか

けて水温が低下し、動植物の活動のレベルが低下したことが原因で溶存酸素量（DO）が増加したと考えられる。11月には溶存酸素量は90%台に回復し、そして、3月にはほぼすべての河川域と土佐湾にて100%台を超えた。100%台を割ったのは僅か6か所であった。それらは四万十川橋（赤鉄橋）の右岸、渡川大橋の3か所と後川の2か所であった。その中で80%台を記録したのは後川の佐岡橋の下での89.6%のみであった。四万十川の本流の四万十川橋（赤鉄橋）の1か所と渡川大橋は川底が掘れて、貧酸素水塊になりやすい。また、後川の2か所については、汚染水が過栄養となり、これを分解するのに、多量の酸素が必要であるとみられる。

しかし、下田地区・竹島川下流のアオサノリの養殖場は濁度（FTU）が他の地点に比べてかなり高いが、クロロフィル量が極端に高いわけではない。そうすると濁度（FTU）が植物性の由来より人工的な物質（土壌、化学物質；農薬と肥料など）と考えられる。この地区では近くに国営農場が存在する。これらからの排出される物質が原因で濁度（FTU）が高くなり、アオサノリの養殖の環境が劣化し、アオサノリの不漁の原因の一つと類推される。これらのアオサノリ養殖場5地点で溶存酸素量は11月では93～97%であったが、今回は106～109%であり、酸素には改善がみられた。

2) クロロフィル量

四万十川本流における後川の合流点では1.13～1.37 $\mu\text{g}/\ell$ である。しかし後川はクロロフィル量が高いので後川との交流で四万十川のクロロフィル量は増加する。

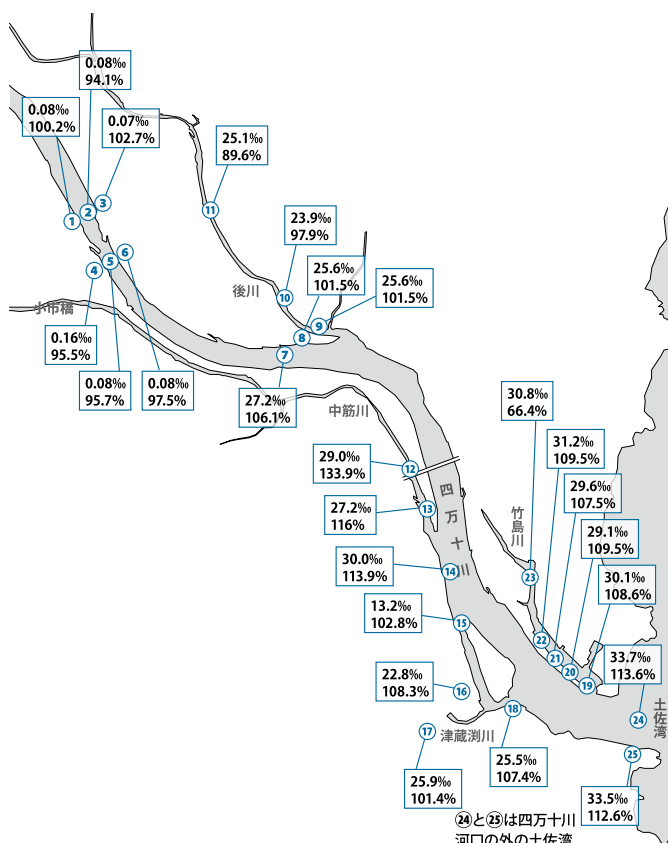


図1：四万十川下流域表面の塩分濃度と溶存酸素量（DO）
2022年3月13日午前



後川の右山排水機場の排水口 2022年3月14日

後川では2.34 $\mu\text{g}/\ell$ （佐岡橋下）で、右山排水機場の排水口付近では2.00 $\mu\text{g}/\ell$ の高い値を示したが、これらの2か所は11月の計測値よりは低い値であった。

また、桜町排水機場を上流に抱える佐岡橋（地点⑮）では、クロロフィル量は上述のように2.34 $\mu\text{g}/\ell$ であった。佐岡橋では溶存酸素量も89.2%であり、今回の調査では大幅に低い。

中村高校付近に桜町機場の排水口があり、その付近の後川を覗くと稲作の代掻きの汚染水が流れたような青白色の水色であった。しかし、この時期にはまだ付近では水田の稲作が開始された様子はなく、何が原因の青白色の濁水かが不明である。（写真）



桜町排水機場の排水口と青白色の後川 2022年3月14日

中筋川との合流で本流のクロロフィル量は増加する。表面（水深50センチ）のクロロフィル量は中筋川と四万十川の合流点では5.33 $\mu\text{g}/\ell$ に達する。

一方で間崎・津蔵淵水路では、1.8 $\mu\text{g}/\ell$ であるので、クロロフィル量は間崎・津蔵淵が竹島川より多い。

アオサノリの養殖場である竹島川では、0.41～1.68 $\mu\text{g}/\ell$ であり、平均的には0.7～0.8 $\mu\text{g}/\ell$ で低い値を示した。

4) 濁度（FTU）

表面（水深50センチ）

2022年3月の調査で最も悪化した傾向の数値を示し



アオサノリの養殖；海苔の枝葉が伸びない 2022年3月13日

たのは濁度（FTU）であった。

今回も良好な数値を示したのは、四万十川本流の四万十川橋（赤鉄橋）と渡川大橋である。それでも前回の調査時点よりは若干悪化傾向を示した。

後川では中央排水処理施設の排水口では2.00FTUであった。上流に桜町排水機場の排水口と水田を抱える佐岡橋の下では、2.34FTUと高い値を示した。

濁度（FTU）が特徴的に高い値を示したのは、竹島川河口のアオサノリの養殖場である。この場所では、下流域の下田漁港近くが1.68FTU（11月は16FTU）と最も低く下田のヨット・ハーバー近くが7.74FTU（11月は2.9FTU）と最も高かった。その中間地点で養殖場がある場所でも11月から2022年3月にかけて50％程度の濁度（FTU）の上昇がみられる。

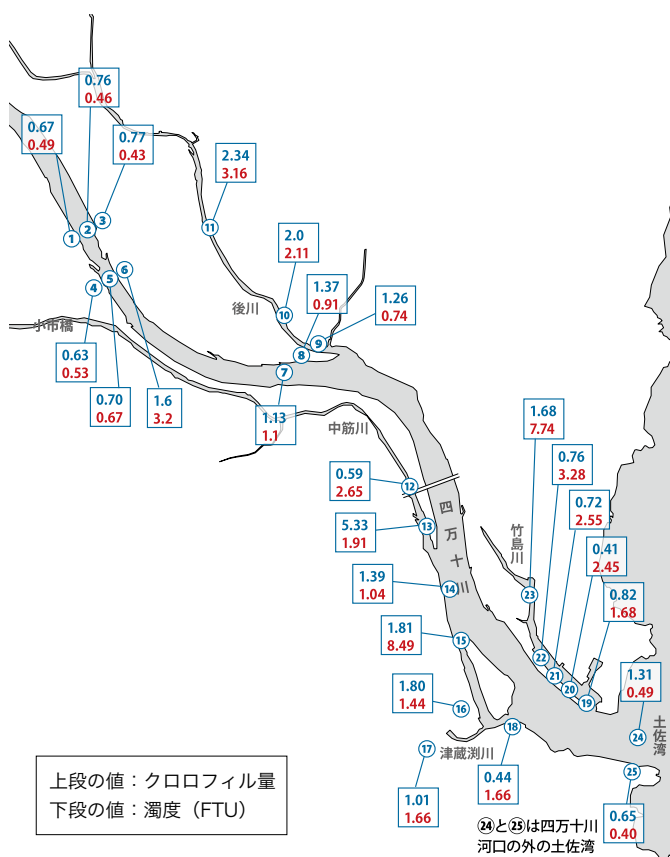


図2：四万十川下流域の表面（水深50センチ）のクロロフィル量と濁度（FTU）
2022年3月13日午前

5) 流向・流速

流向と流速は、栄養分（クロロフィル量）や濁度（FTU）ないしは溶存酸素量（DO）が、河川流や潮流の速度を知るのに極めて重要である。流速が停滞すると栄養分が養殖生物（アオサノリなど）に適切に行き届かない他、河川水系での環境の変化・浄化の作用が減退する。特に、竹島川や津蔵測川と水門付近と干潟水路で挟まれた間崎水路ではアオサノリが養殖されており、竹ヒビ自体が障害物であり、その設置で流速が減速するし、その生育環境の良し悪しに影響を及ぼす要因として、極めて重要である。

表面（水面下50センチ）の流向と流速

竹島川下流；アオサノリ養殖場

11月には本流の流れが速かったが、これは低気圧による降雨の影響で、雨水が反流域に流れ込み流量と流速を増したためとみられる。しかし3月で特徴的なのは、基本的に本流の流れが速い時には逆方向（調査時は上げ潮であり、本来、河川流は河口へ向かって流れるが、表面流は上流へ向かう）の水流れがみられる。しかし、下流向きの流れは大体5～26センチ／秒（時には122センチ／秒）の流れである。これに比べて、竹島川の河口域は7～28センチ／秒なのでそれほど大きく変わらない。

問題は、これらの流向が本流の場合は下流と土佐湾に向かうが、竹島川の下流域では北向きの流れであり、結局この流れでは濁度（FTU）は四万十川本流や土佐湾には流れ出ないことになるのではないかと。11月の調査時

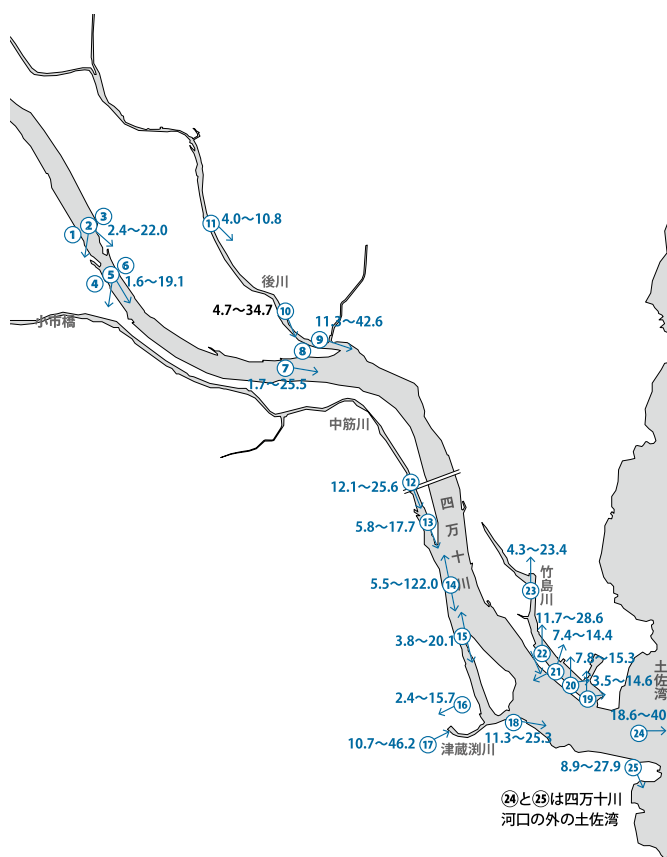


図3：四万十川下流域の表面（水深50センチ）の流向流速の調査
2022年3月13日午後上げ潮時

でも流向はやはり北向きであった。その時は上げ潮時の調査であった。

6) 土佐湾

塩分濃度は海水を反映し、33.5 ～ 33.7‰であった。四万十川河口域でも淡水の影響があるが、土佐湾ではほとんど淡水の影響はなくなる。溶存酸素量も112%を超え、極めて健全な値である。クロロフィル量は0.63 ～ 1.31 $\mu\text{g}/\ell$ であり、ごく平均的な値で四万十川の流域の値より低い。濁度 (FTU) は0.40 ～ 0.49FTUであり、清浄な水質に近い。

流向は上げ潮時ではあるが、河口から外洋に向けた流れとなっている。8.9 ～ 40.0センチ/秒の流れである。

7) 連続水温

去る2021年11月9日12時正午に設置した連続水温計から水温の動きを2022年3月13日12時正午に読み取った。

連続水温計は海面ギリギリに設置した。またアオサノリは干出によって、葉状帯にたんぱく質の栄養を蓄積しうまみを増大させる。そのために水温計は一日の内半日近く水面から干出された。これによって、連続水温計には不連続の水温が記録された。すなわち、水温計が浸水している時には、水温を測定し、干出時には空中の気温を測定する。従って不連続の気温・水温が連続水温系に記録されている。そのうちの水温を辿ることが、必要である。

11月9日11時50分の計測温度が28.2℃であった。11月にしては、高温である。水温とは考えにくい。また2022年2月18日午前1時30分頃に-0.2 ～ -0.4℃を記録したが、これは気温と考えられる。2月20日14時20分頃の5.85℃が記録される。3月4日は3.03℃ (3時40分) であった。しかし、これらが干出時の気温か水温かチェックする必要がある。3月13日正午ごろの下田養殖場の水温は、16℃程度であることはクロロフィル量の計測器から判明している。今後干出グラフとの突合せて読み取ることとする。

2022年3月13～14日 四万十川の河川環境調査 中筋川、広見川と四万十川・窪川地区

1. 概況

2022年3月13日午後、中筋川の中流域の宿毛市平田町にある高知県西南中核工業団地と水利と排水の関係並びに付近の農業・農地整備と水利と排水処理場との関係について科学計測を実施し、また施設と周辺の環境を視察した。

14日からは、後川の右山の中央排水処理施設を視察し、桜町排水機場も外周から見学した。その後は広見川と四万十川の合流点において水質調査を実施し、さらに旧窪川町で、8月と11月に引き続いた四万十川とその支流の4か所の地点での科学調査を実施した。

15日には、高知県内水面水産漁業センターを訪問し、当方の取組を紹介し意見交換を実施。春野町の土佐シーベジタブル社のスジ青ノリの養殖状況を視察した。

2. 調査の目的と前回調査からの変更他

2021年8月1～3日間、3ヶ月後の11月7～10日、そしてコロナ感染症対策で遅れ4か月後の3月12日～15日の調査であり、夏、秋と春の季節の特徴、夏の最高気温と生物の繁殖と成長後の成熟期を捉える上で重要な調査である。また、2022年3月は最低気温後（2月下旬から3月上旬）の調査であり、アオサノリの育成との関係を知る手がかりとして重要である。

また、下流域の四万十川の本流での調査に加えて、中筋川の中流域の高知県西南中核工業団地付近の科学計測の実施、後川の中央排水処理施設とその排水状況を外周からの視察を行った。

西土佐の江川崎に上り、広見川と四万十川の合流点調査を新たに実施した。

8月と11月との繰り返しの四万十町窪川地区での科学調査を行った。

3. 調査の体制

- 今回の調査も調査リーダーは小松正之並びに調査員は渡邊孝一である。
- また、高知銀行中村支店の藤本剛支店長と西内景太氏のご支援を得た。12日には田村忍常務と竹内清彦氏のご案内を得た。また、田村忍常務には前回に引き続き、本訪問でのアレンジに全幅のご支援をいただいた。
- 四万十川中流の旧窪川町では、四万十川財団の神田修事務局長と四万十町四万十川振興室の中井智之係長と泉茂高知銀行窪川支店長の御案内で河川環境計測の実施他にご支援をいただいた。

4. 調査の結果

1) 中筋川の中流域の状況と水質の科学測定

高知県西南中核工業団地は宿毛市平田町内あり昭和60年に団地造成工事に着手し、63年8月に第1期分譲を開始し、平成2年には第2期分譲を開始した。工場面積は41.1ヘクタール、総事業費91億円（国が51億円）、立地企業が22社と1グループである。



中筋川の平田地区；中核工業団地内の堰 2022年3月13日

宿毛市平田町内の中筋川堰

高知県西南中核工業団地の中心を流れる中筋川は、その水量を中筋川ダムからの提供を受けて、排水は、中筋川に再放出している。従って中筋川には、これらの汚染された工業排水が流れ込む。中筋川は大きく蛇行しているが、平田駅と工業団地駅の北に国道56号線が通り、駅と56号線の間に上記の堰があり、そこで、科学指標を測定した。溶存酸素量は111.5%であり問題はなかったが、クロロフィル量と濁度（FTU）では濁度（FTU）が1を超えて高かった。計測はしなかったが、流速は水量が少なく平板な地形で遅い。従って濁度（FTU）が改善される要因は大雨や台風などに限られよう。

工業団地の排水口

次に工業団地の排水口で計測した。ここは工場です。排水を浄化処理したと推定されるものを各工場をつなぐ排水溝に流し込む。排水溝はいったん貯水池；直径20メートル程度で回りに植物が植樹されており、この植物で汚染水の化学物質を吸収し分解しようとしているとみられるが、①規模が小さくその効果が期待薄 ②手入れと管理が行き届いていないように見えるので、植物の化学物質分解の機能が発揮されない。特に枯れ木が多く、活力のある水棲生物などの植物相を植え込む必要がある。

この地点ではクロロフィル量も増加し $2.22\mu\text{g}/\ell$ で、濁度（FTU）は3.18FTUまで上昇し、排水口では、富栄養

養化ないし、排水処理の機能が十分に作用せずに汚染された化学物質を含んだとみられる濁りの値が高かった。

山奈排水処理場

近隣の風景と地形から見て、農業排水、工業排水と家庭排水が山奈排水処理場に流れ込む。その中で最も多いとみられるのは近隣の水田の数から見て農業排水；水田からの排水と考えられる。山奈排水処理場に流入する水と排水の色は青白色ないし青黄色であり、通常の河川の透明な水色ではなく種々の物理・化学物質を含んでいることが連想される。

クロロフィル量は $4.05\mu\text{g}/\ell$ と最も高く、濁度 (FTU) は 117.0FTU であり、極端に高い。これは計測器が着底して泥に反応した可能性を排除できないが、それでも汚染が極度に進行している。この濁り・濁度 (FTU) の削減対策が必要である。

この状況がある限り、中筋川・合流点以下の下流域の四万十川の改善は不可能である。

山奈排水処理場を流れる中筋川は直行河川に代えられていた。そこにいくつかの河川内の小型島を造り、そこに繁殖した植物で浄化作用を果たそうとしているが、まず、直行河川を蛇行する河川とすること、小型島の数を増加させ、そこに移植する植物を大幅に増加することが必要である。それによって、植物と付随して繁殖する動物相によって浄化を進行させることである。

江川崎の広見川と四万十川の合流点

広見川は愛媛県鬼北町父野川に源流を発し、四万十川に江川崎で合流する延長50キロの河川で、支流として三間川、堀切川と奥野川などがある。谷底平野が発達し、稲作が盛んで、4～5月にかけては、稲作の代掻きの水が広見川に流入し、それが四万十川に更に流入する。しかしこの代掻き水は広野川の特有の問題ではなく稲作を行う高知県と愛媛県他に共通する問題である。ウナギ、川ガニ、やアユなどの水産資源も豊富であった。しかし、農業排水他の要因により大幅に河川内の水産資源が減少した。魚種・稚魚の放流では問題が解決しないのは明らかである。環境の改善が急がれる。



四万十市山奈排水処理場の排水口 2022年3月13日



排水口 2022年3月13日



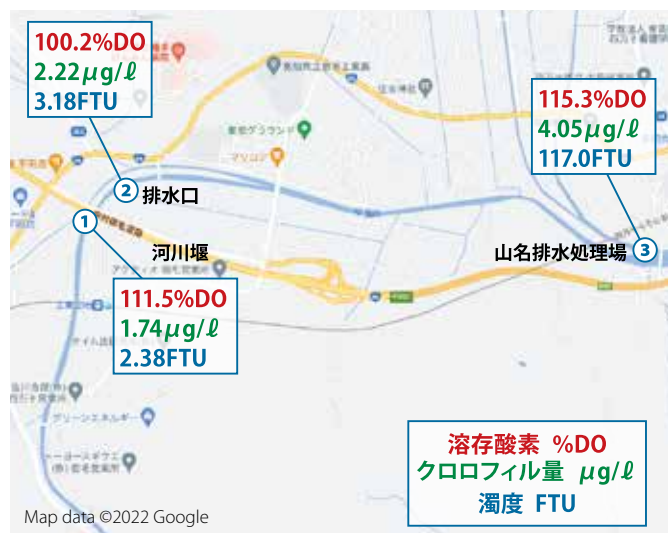
植物を活用しようとした浄化池
3月13日

2022年3月の科学調査では、代掻き水の影響を直接観察し、計測することができないが、代掻きが行われる以前の広見川と合流地点の四万十川の環境を知ることが有意義であるとの考えから、必要な計測を、合流地点付近の広見川と、四万十川の本流で行った。

水温が広見川で、 19.36°C で四万十川が 16.56°C であったので 2.8°C の差があった。広見川は山間部地帯を四万十川の流れの10倍のスピードで進み四万十川の本流に流れ込むとみられる。溶存酸素量 (DO) に広見川と四万十川の差はないがクロロフィル量は四万十川の方が10倍以上ある。植物プランクトンの光合成が行われるのであろう。濁度 (FTU) は広見川も 2.56FTU と高いが本流では 98.8FTU であった。着底した可能性があるが、数度測っても計測値は変わらなかった。

流向と流速については、広見川は南西に向かって流れ、これは下流に向かっていていることを示している。流速は平均すると25センチ/秒である。四万十川の流向の基本的流れは下流方向に向かうが、 $1.0 \sim 4.0$ センチ/秒で止まったような水流である。一部上流や左岸側に向かうものも観察された。合流地点ではいろいろな方向への流れが派生するとみられる。

今後、今回のデータは代掻きが行われた後やコメの収穫後の時期との比較に活用することになる。



高知西南中核工業団地と山奈排水処理場での科学調査の結果
2022年3月13日



広見川（手前）と四万十川の合流点（右上） 2022年3月14日午後

2) 窪川地区；仁井田川橋、吉見川橋、新開橋と太井野橋（窪川橋）からの科学計測

仁井田川では堰を河川水が超えて下流に流れない。今回の計測期間は、降雨が少なく渇水状態である。窪川町内を流れる吉見川の水量が少なく、家庭や便所からの排水がそのまま吉見川に滞留・浮遊している光景も観察された。窪川町も合併浄化槽の普及が進展したが、未だに備えていない家庭がある。そこからは直接吉見川に汚物が排出される。通常の水量であれば下流域に流れるが、本年は極端な渇水状態であり、川の流れが停滞する。

また、大井野橋（窪川橋）から、四万十川を見ると河川床が干上がっていることが明確にわかる。白色をした小石が1メートル程度河川床に干上がって存在し、この約1メートルの白色の礫石で水量が不足していることがわかる。これらの水量の不足と水質が環境に及ぼす影響についても、今後検討が必要である。

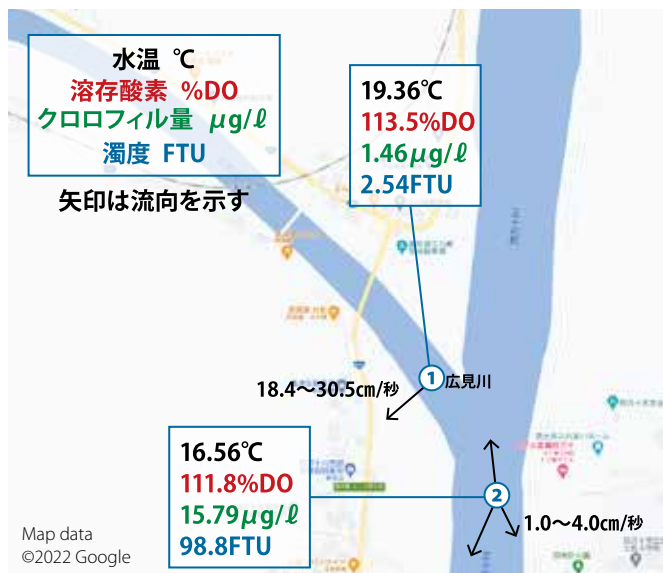
この地域の科学計測も2021年の8月、11月と2022年3月の3回継続している。従って継続的なデータが蓄積されている。

水温；支流より本流が低く、下流が低い。

今回の結果からは、先回も同様の傾向があったが、支流である仁井田川の水温が四万十川の本流より水温が高いことである。支流の吉見川でも同様に水温が四万十川よりも高い。西土佐の広見川と四万十川の本流の水温に



仁井田川の堰；渇水状態 2022年3月14日



広見川と四万十川の合流点での、水温、溶存酸素、クロロフィル量と濁度（FTU）の科学計測 2022年3月14日午後

は2.8℃広見川が高かった。下流域の四万十川の四万十川橋（赤鉄橋）では僅か12.6℃である。そしてこの水温は四万十川橋の水深7メートルを超えても変わらない。

支流と本流では支流の水温が高く、そして本流の下流ではさらに低くなる。四万十川の全流域での水温の測定は実施していないが下流に行けば行くほど水温が低下するか。今後の調査の課題であると共に、そのことの意味を分析することが必要である。

溶存酸素量

先回の11月では、8月より溶存酸素量は回復した。そして窪川附近では94%から100.5%を示していた。それが3月では103.9%から109.8%を示し、約10ポイントの向上である。このような11月や12月からの値の向上は、広田湾と大船渡湾でも同様に観察された。すなわち、日本中で自然現象で改善がみられたと推測される。

クロロフィル量

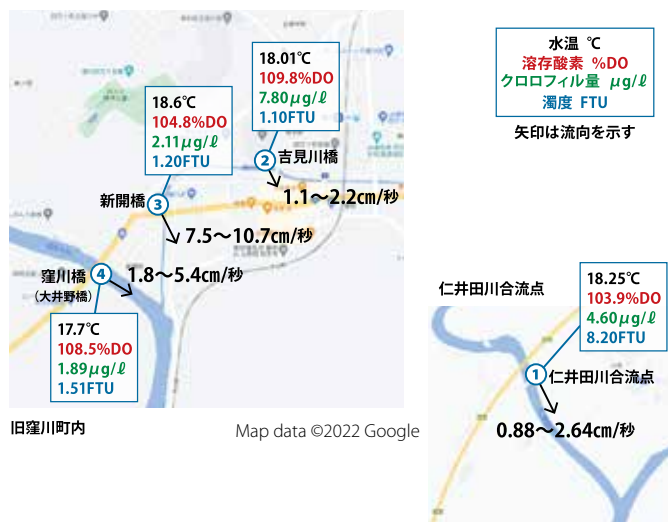
全ての観測地点でクロロフィル量は大幅に増大している。特に仁井田川では5倍に、吉見橋と新開橋でも数倍を記録している。大井野橋でも4倍である。これらの傾向は、日本全国みられる傾向で冬から春先にかけてクロロフィル量は増大する。ただ河川に水量がなく流れがなければ、ただ沈殿するだけで、クロロフィル量が無駄になり、ヘドロの蓄積となりかねない。

濁度（FTU）

濁度（FTU）は一般に悪化した。仁井田川が1.8FTUであったものが8.20FTUと大幅に悪化した。大井野橋は1.0FTUが1.5FTUと0.5ポイントの悪化である。吉見川水系は悪化と改善が入り混じっており、計測が困難で比較が難しい。しかし、現状でも1.0FTUと1.2FTUであり、1FTUを超えており、決して良い値ではない。

流向・流速

流向については、いずれも下流の方向へ向かって流れているものとみられる。問題は流速であるが、水量が少ないので結局、仁井田川のように堰を超えるだけ十分な水流がなくて、0.88～2.64センチ/秒であり、静止に近い状態である。吉見川の吉見橋と新開橋でも前者は1.1～2.2センチ/秒と流れがない状態で、新開橋では7.5～10.7センチ/秒で、少し流速がある程度である。太井野橋では、1.8～5.4センチ/秒で流れが弱い。



窪川地区;仁井田橋、吉見橋、新開橋と大井野橋（窪川橋）の科学調査の結果；
水温、溶存酸素量、クロロフィル量と濁度（FTU）並びに流向・流速
2022年3月14日

5. その他訪問先；アオサノリの不作の解決へ

15日13時30分

- 1) 合同会社シーベジタブル春野工場見学（案内は共同経営者の友廣裕一氏）蜂谷淳氏が本シーベジタブル社を2009年に立ち上げた。彼らが陸上養殖をしているのは「スジアオオリ」であって、アオサノリでも四万十下流漁協が養殖をするアオサノリでもない。スジアオオリは生産量が少なくて、価格競争力があるために、これを選択した。青ノリもアオサノリもまた全国的には生産量が多く、これを生産しても価格競争力がなくて経営上収支が合わない。スジアオノリは成長が良くて利益が上がる。
- 2) 海水は取水をして、使用する。1日に1000トンか



新開橋下；家庭からの汚物とみられる浮遊物質 2022年3月14日

ら2000トンで、これを全部検査して海に戻す。1日に3回転している。使用している餌は農業用の肥料であった。陸上の農産物を生育させるのと同様である。排水のチェックをしているとは言いが、具体的に何をしているかが筆者には理解ができなかった。将来対策を講じることが好ましい。

3) 陸前高田の理研ビタミンがシーベジタブル社と同じものを設計し制作した。理研ビタミンは挨拶には来たが、私たちが開発した養殖施設（回転式の栄養補填方式）をまねている。自分たちのスジアオオリ工場が広田町の根崎にあるので5月以降にご覧いただきたい。（小松が陸前高田市を通じて理研ビタミン高田養殖場の視察を申し込んだが、コロナを理由に断られた。排水を公共の場である広田湾に排出しており、工場は公開するべき。陸前高田工場の排水で広田湾の脇の沢の水質が悪化している。）

実験室で孢子から、種を取りそれを海水の水槽に移して成長させる。その成長段階に応じて水槽の大きさを変える。小さいうちは小規模な水槽である。次第に大きな水槽に移し変える。全部で3～4種類の大きさの水槽があるが大きいので直径が20メートル程度。

4) 種苗は人工の実験室で管理。そこでは人工海水を使用する。生育させるには水が重要である。N,P,と塩分が決め手。これで成果に差が出る。これらを常にモニタリングしている。水温は10℃程度。

現在の収入は5～6億円程度。

内水面漁業センター飯田所長と面談

四万十川下流組合のアオサノリの養殖が壊滅的な現象を小松から説明しての意見交換。

アオサノリの孢子の発生と海苔網への着床・付着が良くない。今年は孢子の発生が去年の半分以下で、種付けの作業も例年10月で終わるのが、11月15日まで長引いた。これは夏に高水温が持続して、孢子（配偶体）が成長障害を起こしたためではないか（大野正夫高知大名誉教授）とみられる。竹島川付近の養殖場は国営農場の開発以来、環境が悪化しているとみられる。

3月13日、網へのアオサノリの付着状況を視察して



太井野橋（窪川橋）から下流を眺めた四万十川
左岸側に白い砂礫が見えるが この部分が濁水で干上がってしまった部分
2022年3月14日午後

きたがほとんど成長していない。これは、種の着床の問題ではなく、その後の成長・生育と生育環境の悪化の問題と疑う。

アオサノリの生産量は最盛期には30トンの生産があったが2020年は4トンで、2021年はわずかに1.2トンであった。2022年に向けた海苔網への着床は上記のように手間取り、また網の敷設量は、養殖業を営むことを放棄した者もあり着床面積と漁業者は2021年より減少した。

ところで、2021年11月9日には、水温計を海面に、露出するところの海苔網漁場に設置した。これで2月下旬の最低水温を含め今後の水温の推移が判明し、ノリの生息環境の一端が観察されうるのでこのデータも分析している。

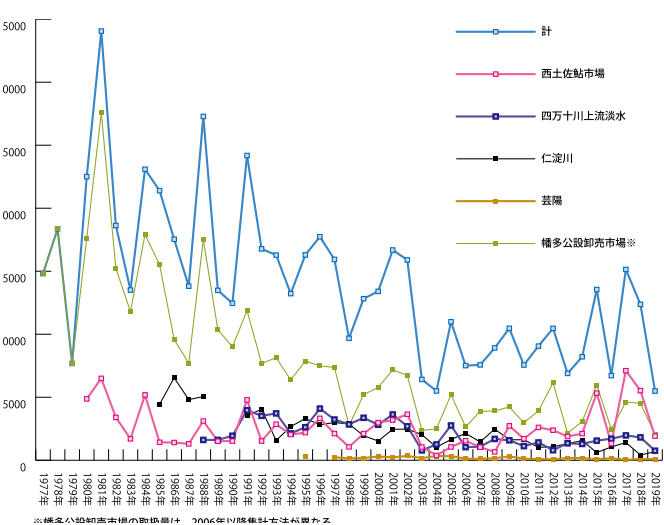
飯田所長は「本内水面漁業センターは中小河川全般に対応しており、四万十川下流組合のアオサノリの問題は高知県土佐清水漁業指導所がその対策を考えているようである。しかし、問題は採苗時の光の照射の加減などを下流組合が適切に実施できないことではないのかといわれているが、いずれにしても土佐清水漁業指導所が対応する」と述べた。

小松より、「現在の役職員はここ数年採苗を行ってきたが、その間も急激に採算が減少しているし、着床後の成長が極めて悪いのは着床の技術とは無関係であろう。また、間崎と津蔵淵の養殖場も同様の生産の急減を経験しているが、彼らの着床は、別途彼らが行っているがその理由がつかない。すなわち環境の悪化と劣化が大きな問題であろう。竹島川では下田と真鍋の国営農場からの排水、津蔵淵は中筋川からの流入の汚染水；南西中核工業団地と農業地帯からの排水の影響と考えられる。これらの排水規制が、極めて鍵になると思う」と述べた。

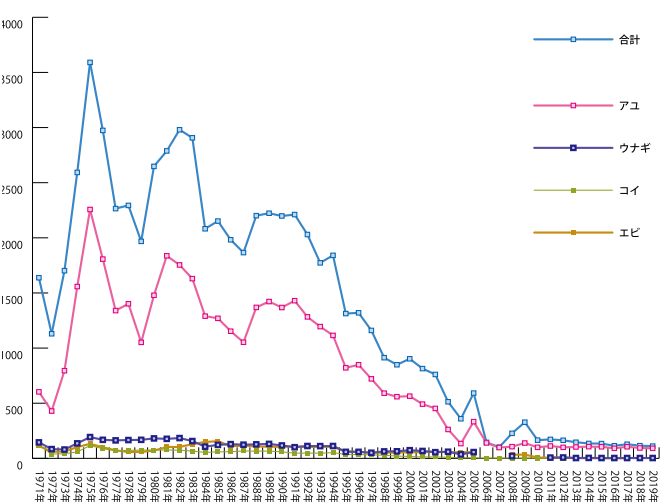
6. 参考；内水面の漁業統計

以下は高知県内水面漁業センターが作成した「令和元年度 事業報告書 第30巻」（令和3年3月）からの抜粋である。

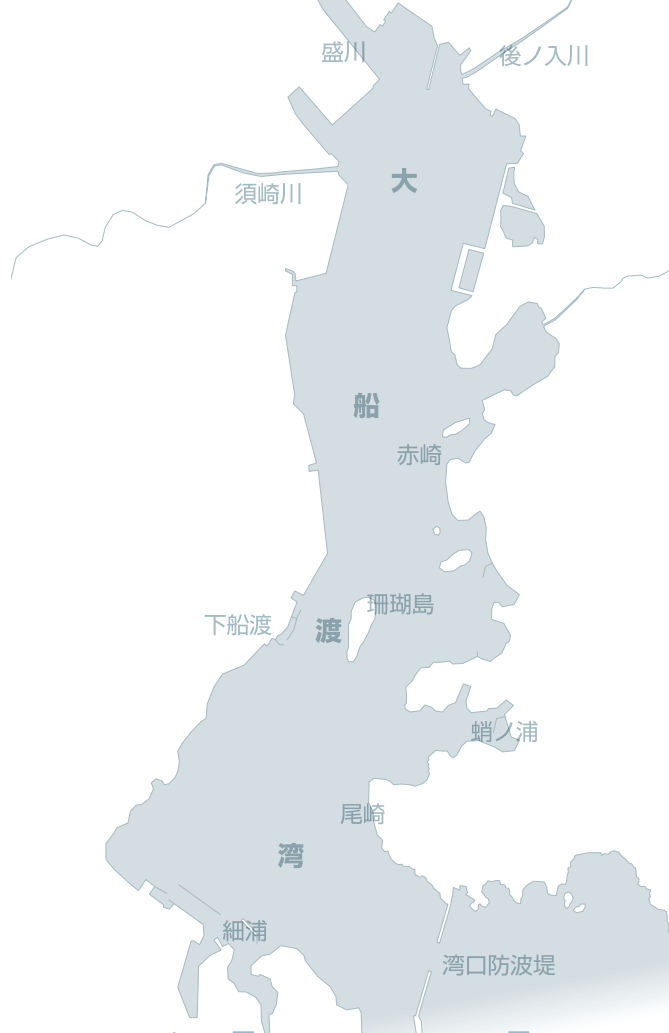
これによれば、高知県内水面漁業は過去50年間でそのピークから約3%（3,591トン（1975年）から111トン（2019年））まで落ち込んだ。また、ウナギは193トン（1975年）が1.6%の3トン（2019年）に減少した。アユの市場取扱量についても34,059キロ（1981年）から約6%の1,914トン（2019年）に落ち込んだ。四万十川の関係では、西土佐鮎市場、四万十川上流淡水と幡多公設卸売市場の3つの合計で、高知県のアユはほとんどが四万十川水系の漁獲で占められる。



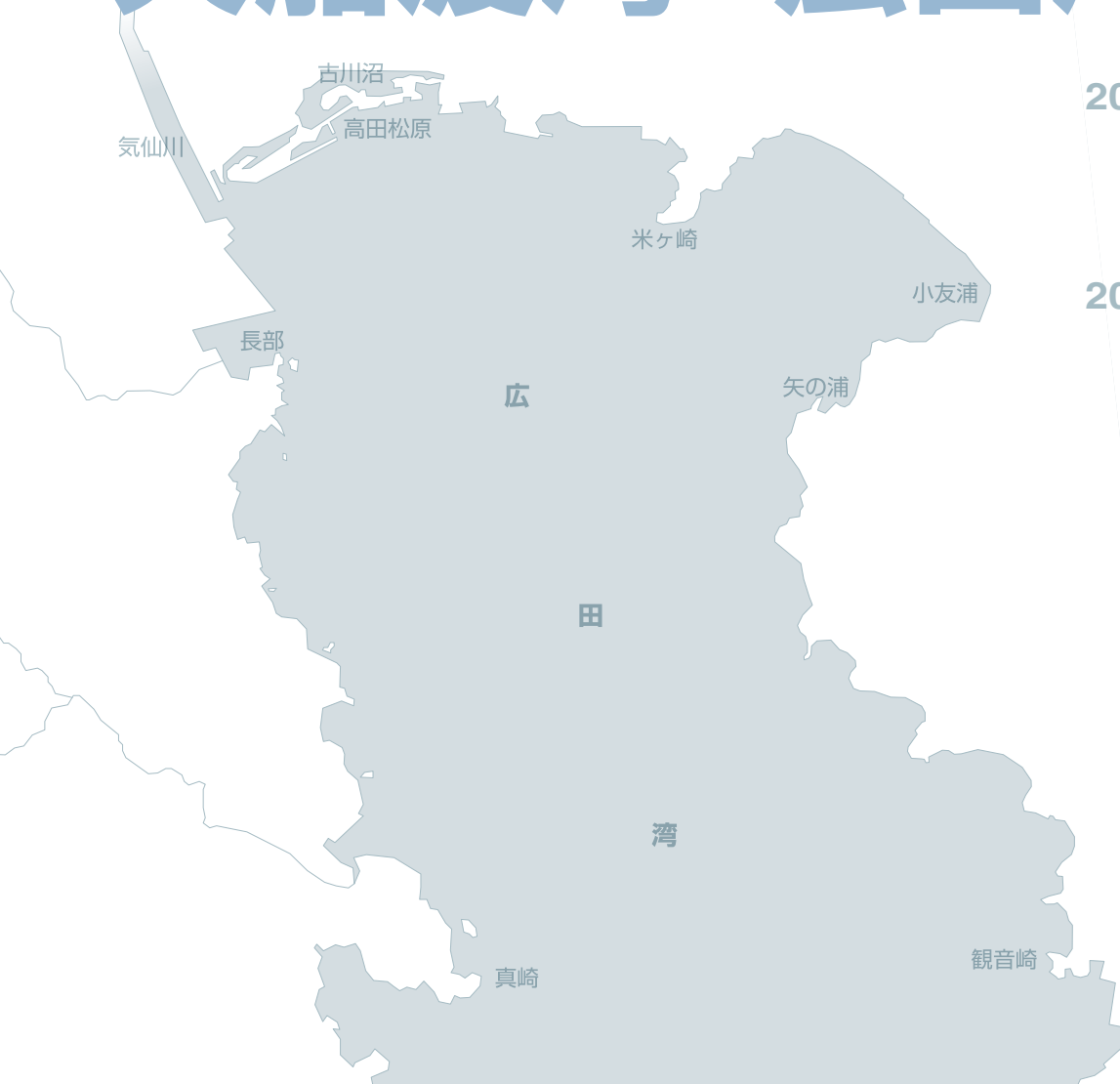
アユの市場別取扱量の推移



高知県河川漁業生産量の推移



大船渡湾・広田湾調査



2021年	4月	4～5日
	7月	5～7日
	9月	27～28日
	12月	2～3日
2022年	3月	6～8日

Ⅰ 大船渡湾の調査

1. 概況

1) 調査の目的

広田湾と大船渡湾は地理的に近い位置にありながら、その自然の形状は異なる。広田湾は外洋に向いて湾口が空いており、大船渡湾は末崎町大浜と重根の突端で湾口が大きく開くが片頭と千丸との間では湾口が狭まり、ここに湾港防波堤が建設され、設置されている。

一方で広田湾と大船渡湾共に東日本大震災後の復興工事は、環境影響評価もなされず、現状復旧という、理屈の下に、護岸堤防の建設と嵩上げ工事がなされており、その工事が両湾に影響を及ぼしている。

広田湾に関しては、2018年8月から本格的な海洋調査を実施しているので継続的データの蓄積がなされている。大船渡湾に関しては、2021年4月からの開始であり、今後調査を継続することによって、さらなるデータの蓄積を図り、大船渡湾の海洋環境を理解することを目的とする。また、近隣の地形的特徴は異なるが、一方で地理的に隣接し、かつカキ養殖業が主産業である両湾に共通すること多いと思われる。従って、両湾の海洋環境の相違点を評価分析する。

2. 大船渡湾の周辺環境

1) 盛川は気仙川の約4分の1

河川については大船渡湾には、五葉山に発し、鷹生川、立根川、中井川を合流する盛川が主たる河川であり、流域面積が129平方キロメートルで、流路延長が17キロメートルである。流域の約80%は山林で占められる。従たる河川として、須崎川と後ノ入川がある。もう一方で、盛川に並行して南下するクリーク状の水路がある。

他方、広田湾に流入する気仙川は流域面積が520平方キロメートルで、盛川の約4倍で流路延長は44キロで、約2.6倍である。このことから、気仙川は栄養を広田湾に運ぶが、大船渡湾は、それに比べて規模が小さい。

2) 湾港防波堤

昭和35年5月24日のチリ地震津波で死者・行方不明者53名で総被害額が80億円で、河口部に津波防波堤がつくられた。平成29年3月19日に大船渡湾港防波堤が完成した。北提が244メートル、南提が291メートルで、開口部が201メートルで防波堤と防潮堤を組みあわせる多重防御としている。震災前より6.3メートル高い11.3メートルで、震災前の2倍の幅の24.6メートルで、重量は震災前の4倍の3500トンである。これらの堤防施設は防災の機能は持ち合わせているが、大船渡湾の環境の維持や内湾のカキ養殖業の健全な育成並びに景

観には、マイナスの効果があろう。

3. 調査の結果

1) 大船渡湾

①一般に大船渡湾の海洋環境とカキ養殖いかだとの関係はこれまで詳細な調査がなかったことから、今回の調査は、その先駆けとして、意味があり、重要である。そして、湾口防波堤は、釜石や久慈の湾口防波堤などと同様に防災を単一目標として建設され、環境影響評価を省いて実施されている。干潟や湿地帯の喪失や潮流と海流の変化と土砂流出など環境への影響については、BODやCODないしはそれらに類似する指標程度しか得られていない。また、CODは現在世界的に使用されない指標であり、真に環境の状況やカキ養殖に必要な情報が取られてはいない。大船渡湾の内側にさらに建設された細浦漁港の前面の堤防の海洋環境やカキ養殖への影響などについては、研究や調査が行われていない。

したがって、それらのカキへの影響をも分析し評価することを目的とする。

②湾口防波堤の影響；湾口防波堤の影響が観察された。特に北提の影響は南提より大きいと判断される。湾口防波堤の外側は海流の流速が極めて速く、北提の外側で流速が堤防沿いに南に向かって、20～40センチ／秒であり、10メートル水深では少し流速が減速するが、8～14センチ／秒である。一方、南提の外側では16～26センチ／秒であり、水深10メートルでは11～14メートル／秒であった。その内側では、堤防の影響を受けて、北提では表面流で7～14センチ／秒に、30%程度まで減速した。また、南提では、3～8センチ／秒と20～30%まで減速して、南提での波浪よけの効果が高いが、波の移動を小さくし、環境悪化の要因としても高いことが示された（表面流での比較）。クロロフィル量と濁度（海水の濁りによる悪化）は同様に堤防による以下のようなクロロフィル量の減少と濁度の増加という影響を受けた。

堤防の内外でクロロフィル量は3分の1に減少し、流速は20～30%にまで低下

北提側では、外側のクロロフィル量と濁度はそれぞれ、 $1.8\mu\text{g}/\ell$ と0.32FTUであるが、内側では、クロロフィル量は $0.54\mu\text{g}/\ell$ と大きく減少するが、濁度は0.32FTUで、深さが34.5メートルの水深では増大し1.1FTUとなり、海底近くでは、さらに濁りがみられる。

一方、南提の外側では、 $1.04\mu\text{g}/\ell$ と0.33FTUが、内側では、 $0.65\mu\text{g}/\ell$ と60%に減少し、濁度も正常値であるが、0.37FTUである。

堤防の内外でのクロロフィル量と流速の調査結果から

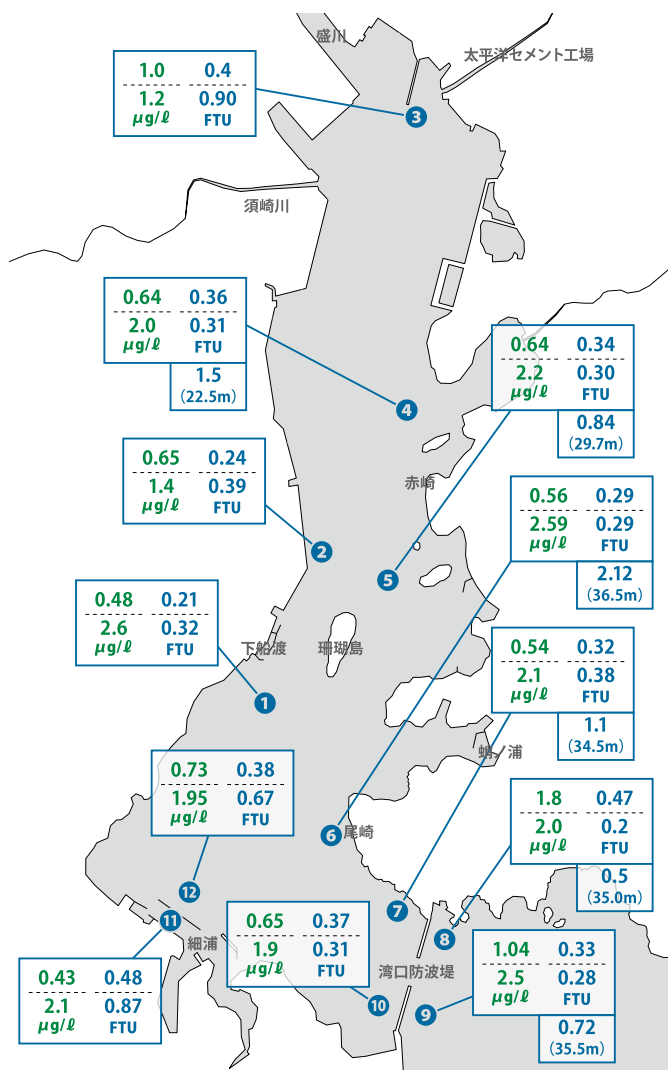


図1 2021年4月4日 大船渡湾
クロロフィル量 (μg/ℓ) と濁度 (FTU) 下げ潮時
上段：表面 (50センチ) / 下段：10メートル水深

は、4月の調査時期には、大船渡湾の外洋水は栄養分が高いがこれらの栄養分が堤防内に流入するのが阻害されて、減少する。外側の栄養は親潮がもたらすと考えられる。

③大船渡湾の海洋構造状況 クロロフィル量と濁度

大船渡湾の表面水のクロロフィル量は、いずれの調査地点でもあまり多くない。広田湾に比較すると表面水では、半分から60%程度とみられる。これもカキ養殖が栄養を吸収した結果なのか。その場合は大船渡湾と広田湾のカキ養殖の養殖総量、筏ないしはえ縄の1台の大きさ、敷設の間隔、総数と養殖の水深などを把握し、比較検討をすることが重要となる。さらには、カキの生産量と品質の関係も承知することが必要となる。

10メートル水深では2μg/ℓを超える値が、大船渡湾の各地点で見られ、広田湾の内湾である両替湾ではその程度を記録するが、広田湾の全域では0.9～1.8μg/ℓ程度であり、大船渡湾の方が高い。これは大船渡湾の地形、海洋構造と湾の地形によるものなのか、また、カキ養殖の影響で、カキが栄養分を吸収した結果なのかは、その双方が可能性として考えられる。しかし10メートル水深では、流速が低下するので、栄養分としての価値が高いか否かの分析が必要である。

濁度 (FTU：汚染度合い)

濁度は一般に海水の汚染の度合いを示し、FTU (フォルマジン・タービティ・ユニット；0.3FTUが清浄水を表す。これを超えると濁りが進行していることを示す。)で表示される。

大船渡湾の濁度は、表面ではほぼ清浄の海水と同程度の0.3FTU程度あり、特段問題が見当たらない。太平洋セメントがある工業港であり港湾である。

10メートル水深では、盛川の河口付近と細浦港の北側に位置する堤防の内側が0.9FTU程度を記録したほかは、おおむね0.3FTU程度で何ら問題は見られない。しかし、尾崎岬36.5メートル水深では2.12FTUを計測したので、海底には、海流の停滞する場所では、ヘドロが蓄積されている可能性は否定できない。また、このような海底近くの海洋環境については、次回以降の調査によってさらに調査をする。

流向・流速

流向；大船渡湾内と湾外の水量の交流量の推定

下げ潮時の調査であったので、流向はほとんどすべてが南下流で、湾外に流出する動きを示しているが、実際に湾外に湾内水が流出しているかどうかまでの詳しいデータの蓄積は今回の調査では得られていない。開口部が201メートルであるし、北堤と南堤のそれぞれの地形 (赤崎ノ鼻と細浦・門の浜から切り離されている) の間隔を承知する必要がある。

これらの開口部分からの水流と水量を、上げ潮時と下げ潮時の双方において、そして一日の周期と大潮と小潮での違いなどを斟酌し、算定・算出することが好ましい。

流速

一般に大船渡湾内の流速は11～14センチ/秒が一般的で、広田湾に比較するとかなり遅い。流速は表面流では広田湾の半分程度であると観察される。しかし、海面積が狭まる珊瑚島西の海域では表面の流速が31～70センチ/秒で10メートル水深では、30～50センチ/秒と急激に流れが速くなる特徴がみられた。

10メートル水深では、表面流に比較して流速は遅くなるが、これは、波浪や風速の影響がなくなるからとみられる。表面流が遅いので、10メートル水深の流速も広田湾に比べて遅い。

盛川の影響

盛川は、広田湾にそそぐ気仙川に比べて流域面積と流長も短く、河口域での水量も気仙川に比べてかなり少ないと考えられる。盛川の河口域における水量についても気仙川河口域での流水量 (2018～2020年広田湾・気仙川報告書：一般社団法人生態系総合研究所) と同様に推定をする必要がある。

盛川から供給される栄養の量もそれほど多くは期待で

きないが、気仙川に相当する栄養分がもたらされていないことがデータから観察される。広田湾内の気仙川河口では表面 $1.58\mu\text{g}/\ell$ 、10メートル水深 $1.69\mu\text{g}$ であるのに対し、盛川河口では表面が $1.0\mu\text{g}$ 、10メートル水深 $1.2\mu\text{g}$ である。濁度（DO）に関しては、両河川ともあまり変わらない。どちらも清浄な海水よりは若干の濁りが認められる。

科学調査の結果

水温については、表面の 11.8°C が10メートル水深では 8.5°C である。湾口防波堤の北堤の内側でも 11.3°C と 8.7°C であまり大きな差がない。しかし、南堤の表面水温が 10.8°C と北堤の内側より 0.5°C も低い。これが大船渡湾の比較的浅い湾であることによる特徴なのかどうか。

塩分については、盛川の河口域で水深0メートルでは 16.4‰ を記録し、50センチの表面では 29.8‰ であるが、水深4メートルで海水になる。水深10メートルでは、 33.6‰ である。珊瑚嶋西では表面0メートルは 28.0‰ であるが、50センチで 30.0‰ で、2.5メートルで 33‰ を超える海水となる。

特徴的なのが北堤と南堤の内側であり、表面の塩分がそれぞれ 30.7‰ と 30.8‰ である。また、3メートルと3.5

メートルで 33.0‰ を超える塩水となる。すなわち、湾口防波堤の内側に淡水の系統の流水が蓄積して、ある程度の階層を形成しているとみられる。

大船渡湾の栄養状態

しかしながら、上記の科学指標のうち、栄養分であるクロロフィル量と流速の掛け算で、カキへの栄養の供給が計測でき、その値でカキが栄養分を吸収すると考えられる。

その意味において、表面の栄養分は少なく、流速も半分程度であり、広田湾の3分の1程度の栄養であるとみられる。しかしながら、表面の栄養分がカキに吸収されたとも考えられる。そのことを次回の調査でさらに深く調査することが肝要である。さらに湾口防波堤のところで示した通り、湾口防波堤の影響でクロロフィル量は3分の1に低下し、流速は20から30%まで減少している。その掛け算をする栄養の供給量は、その積で求められるので外洋の栄養状態の約10%程度である。そしてその量は広田湾の15～20%である可能性がある。これらはカキの生産量と身の成熟度や放卵度合を見て判断することが必要である。

湾口防波堤親潮の栄養を遮断する

濁度が概ね 0.3FTU の場合は、何ら問題はないと考えられる。

（注： 0.6FTU は自然値の2倍であり、濁度の原因が、何に由来するかにもよるが、一般にプランクトンの死骸などの生物由来と工場の排水など汚染物質によるもの、さらには、土木工事による土壌流出による土砂の分子による白濁現象が考えられる。）

大船渡湾の場合、カキ養殖を行っている水深8～10メートルまではほとんど清浄な海域と判断して差支えない。ただし、尾崎岬（赤崎ノ鼻）の 2.12FTU （水深36.5メートル）と北堤の内側の 1.1FTU （水深34.5メートル）を勘案すると海底はヘドロが蓄積している可能性があり、湾防波堤の内側寄りの流速が、広田湾に比べて半分程度で特に海底近くでは流速がさらに遅くなっている。この点に注意したさらに詳細な調査データの収集が必要である。

Ⅱ 広田湾

1. 広田湾調査の目的

広田湾の全体の海洋の構造を調査するために「広田町泊の観音崎と宮城県唐桑地区の真崎のライン」以南の広田湾を継続的に調査した。

このことにより現在における広田湾の海流や栄養状況と海洋環境（濁度）を把握することを目的としている。また、これらをさらに分析することにより、気仙川、親潮の外洋水の影響を把握することを目的とする。

高田松原沖の潜堤の影響と堤防の海流の流れと強さに対する影響調査を充実させる。また、今後は気仙川の高田沼への水路（カルバート）の影響と浜田川河口と高田

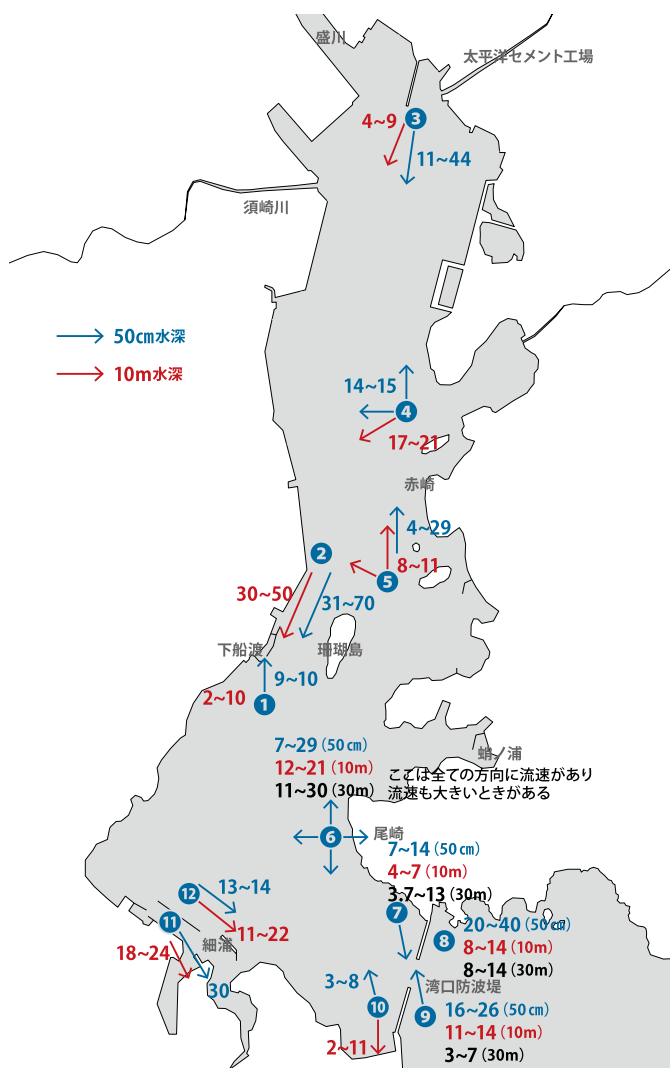


図2 2021年4月4日 大船渡湾の流向流速（センチ/秒）；下げ潮時
表面（50センチ）と10メートル水深

松原沖の関係も吟味する。脇の沢沖のヨット・ハーバー、ワタミ農園による環境影響や㈱理研による海藻類の陸上養殖場の建設予定地の事前の環境調査も実施する。海藻加工場（石巻市万石浦の海苔加工場の例2020年12月4～5日万石浦調査）からも汚染排水が排出される。

両替湾という広田湾の更なる内湾を調査して、その海洋の構造を調査する。旧三日市干潟の埋め立てと2020年9月以降（注）の残土処理によって、震災後に完成した堤防（以前の堤防より200メートル後退して建設されていたもの）の前面を干潟の再生を名目として、建設工事の残土で埋めた。これによって震災後に両替湾に発生した干潟と底生動物160種類の希少種、絶滅危機にあるベントス種が消滅しつつある。

三日市の最後に残った200メートルの干潟が埋め立てられ干満をもたらず遠浅の場所を失い、海水の流れの振り子現象が小さくなったことによる両替湾の流速低下（2020年6月30日と2021年4月5日調査の比較）と、濁度の変化を観察した。

2. 調査の結果

1) クロロフィル量、濁度と溶存酸素量

クロロフィル量は表面と10メートル水深を比較すると後者の方が20%から90%程度高い。これは、親潮の外洋水が栄養をもたらすためと考えられる。これは特に10メートル水深においては、広田の観音崎から真崎のラインで高く、次に大陽の鳥の巣崎と宮城県境が高く、内側の矢野浦と長部港の外側のラインが最も低いためである。

しかし、このような外側から栄養が入る現象の10メートル水深の傾向とは逆に表面では、最も広田湾の内湾側のラインすなわち矢野浦と長部港の内側のラインが最もクロロフィル量が高い。そして、大陽の鳥の巣崎と宮城県境がそれより少し低くなるが、外側の観音崎と真崎では、また、クロロフィル量は高くなる。

このことは、広田湾の湾奥の海域では、気仙川の栄養分の流れが多いことを示している。湾奥では気仙川の影響を受け、そのために、気仙川河口の沖に位置する気仙南の測定の地点では、表面と10メートル水深の双方とも $1.6\mu\text{g}/\ell$ と高い値を計測した。明らかに気仙川の栄養分の影響である。

濁度は広田湾全般に10メートル水深では、きわめて低く0.2FTU台である。全く濁りがないと観察される。これはどのラインでもそうである。しかし表面は濁度が高くなる。特に内側のラインでは0.5から0.78FTUである。最も高い値は矢野浦である。これは旧三日市干潟の残土処理場の工事現場に近いからであり、また、両替湾の濁度が海底（4メートル程度）で1.4から3.8FTUであり、表面でこれらのFTU値よりは低いけれども相対的に他海域に比べて高く濁りが進んでいる。溶存酸素量（DO）は特に問題はない。

2) 流向・流速

2020年6月30日の流向・流速との比較で大幅に減速

下記図表（図5）から明らかなように、流速は表面での中間地をとると6センチ/秒（10センチ/秒）、3.6センチ/秒（10センチ/秒）と3.1センチ/秒（5センチ/秒）である。（カッコ内は2020年6月30日時点の計測値）

5メートル水深（図6）では、両替湾の第1地点で3.9センチ/秒（10センチ/秒）であり、三日市干潟の前で、4.6センチ/秒（5センチ/秒）である。（カッコ内は2020年6月30日時点の計測値）

このように、流速は表面でも5メートル水深でも約50%程度減速している。

今後とも、両替湾での流向と流速、特に流速の調査は継続的に実施していく。

クロロフィル量も減少した。2021年4月3日の計測値は、別添の図の通りである。

これで見ると両替地区①の水深6メートル以外のクロロフィル量は全て60%までの水準が30%まで減少した。濁度については現在、2020年6月30日データを再度調査中である。濁度FTUは増加したと考えられる。

このように2020年の9月ごろに開始された残土処理・投入で両替湾の海洋環境は悪化した。悪化の度合いの分析と評価は暫定的であるものの以前の3分の1程度に悪化している。じわじわと両替と脇の沢地区のカキの生産量や品質に対して悪影響を及ぼすと懸念される。

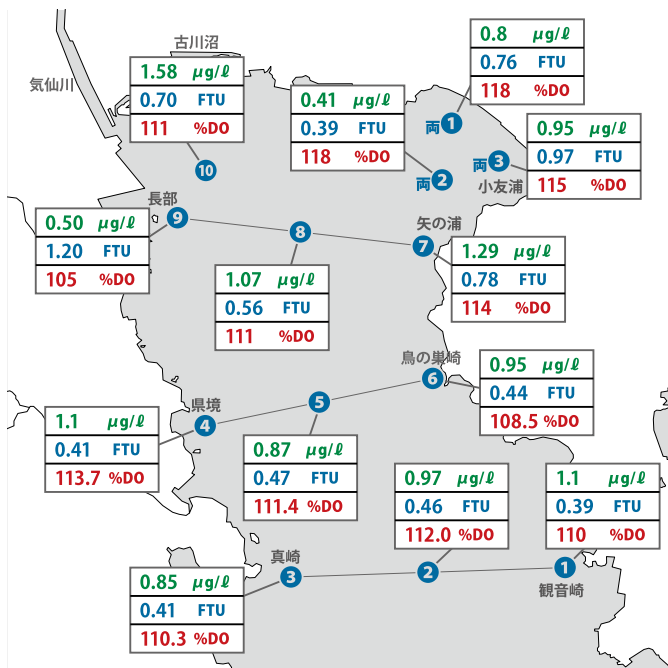


図3 2021年4月5日 広田湾の表面のクロロフィル量 (μg/L)、濁度 (FTU) と溶存酸素量 (% DO)

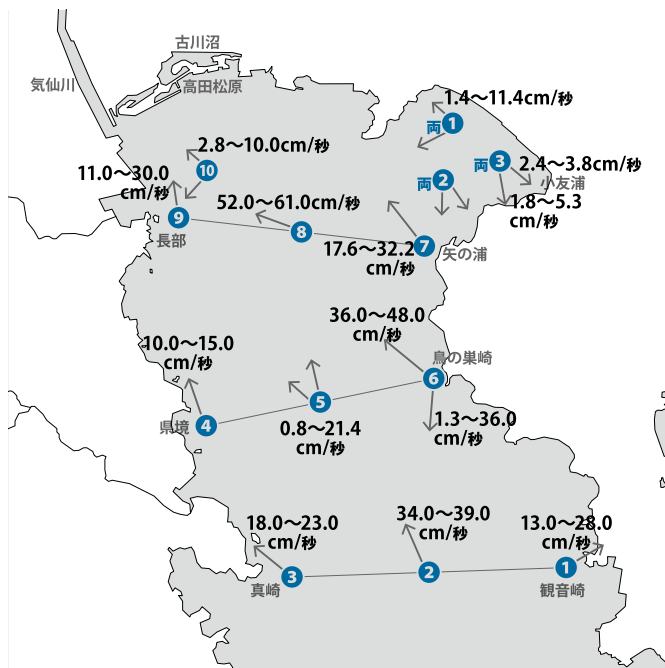


図5 2021年4月5日 広田湾の表面の流向流速

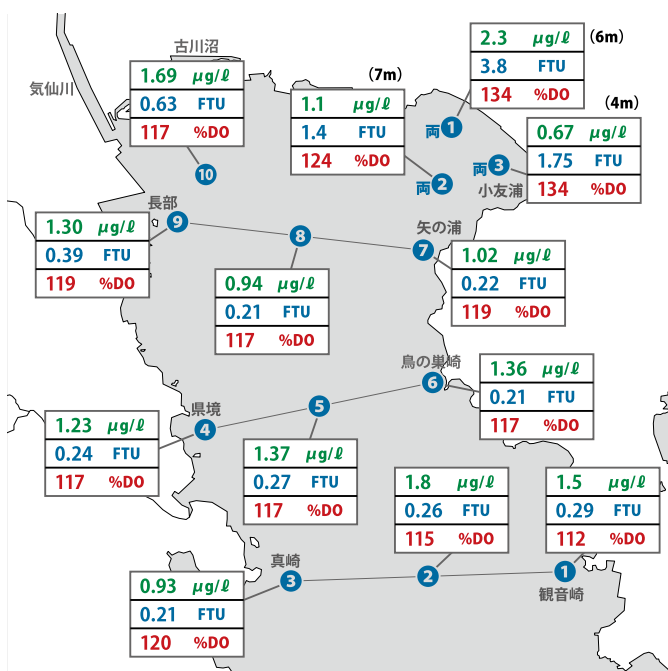


図4 2021年4月5日 広田湾10メートル水深のクロロフィル量 (μg/L)、濁度 (FTU) と溶存酸素量 (% DO)

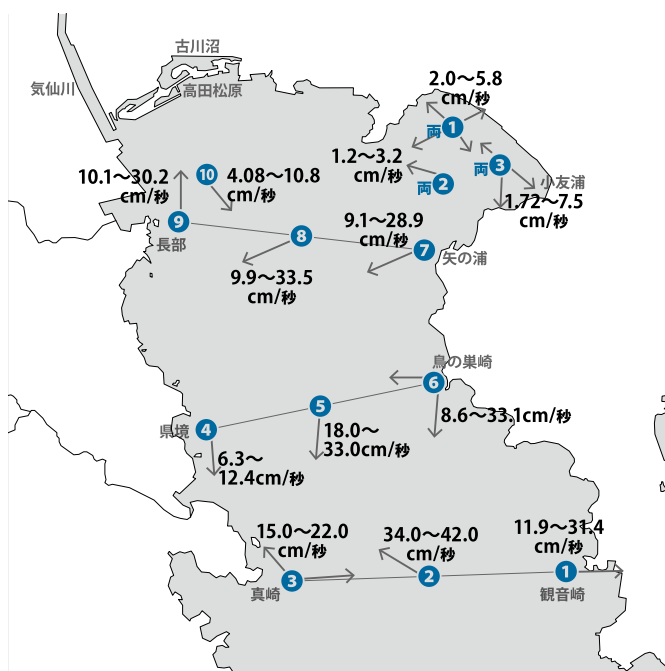


図6 2021年4月5日水深10メートルの広田湾の流向流速

2021年7月6日 大船渡湾と 7月5日・7日 広田湾海洋環境科学調査

1. 調査の日程他

7月6日大船渡湾と7月5日と7日の広田湾で海洋環境の調査を行った。

2. 調査の結果

(1) 大船渡湾

1) 概要

4月の調査の結果では湾口防波堤の悪影響が、流向流速ならびにクロロフィル量、濁度と溶存酸素量に反映し、これらが環境の悪化の指標として明らかに示された。

①盛川については、流域面積が気仙川に比較して、4分の1程度で先回の調査では大船渡湾への影響が殆ど見られなかった。今回は河口でのクロロフィル量が表面で $1.7\mu\text{g}/\ell$ であり、また海底（4メートル）では $3.4\mu\text{g}/\ell$ であったので高かった。

②クロロフィル量が4月の調査に比較して著しく増大。理由は、カキ養殖の収穫が終了したこと、夏のプランクトンのブルーミングの時期に入ったことがあげられよう。表面水深でも10メートル水深でも大幅にクロロフィル量が増大した。表面と10メートル水深を比較してみると表面が高い値を示している。2～5割程度表面が高い。濁度について、表面が高い。例えば地点⑤では1.1FTU（表面）に対して水深10メートルでは0.2FTUである。

③湾口防波堤の影響が、今回も観察された。

クロロフィル量が今回は湾内では高く、外洋ではかなり低かった。これは4月の調査時点と真逆の結果となった。濁度については、湾内が表面でも10メートル水深でもかなり高かった。

④海底付近の酸素の欠乏と濁度の悪化

調査地点⑥の尾崎岬沖と北堤の内側の海底付近で、濁度と溶存酸素量の数値が極めて悪い。濁度が2.6FTUと正常値の9倍近い。また溶存酸素量が39.8%であった。これは必要酸素量の指標基準である93%を大幅に下回る。四万十川調査で、最も悪い値を示したのが中筋川の川底での57.6%であったが、それを約18ポイントも下回る。

太平洋セメント工場の排水口付近の濁度と溶存酸素の計測値は決して良くない。

2) クロロフィル量、濁度（FTU）と溶存酸素（DO）

①クロロフィル量

クロロフィル量は4月の調査時と比較すると、湾内では60～70%程度高い。この原因としては、カキ養殖が4月では行われていたが、7月ではほぼ撤去された。このために、クロロフィル量がカキに栄養吸収されず残存したこと。7月は、光合成が4月に比較して活発で植物

プランクトンの発生量が多かったことが理由として上げられるのではないかな。

湾内の表面では盛川河口から珊瑚島や下船渡地区にかけて $1.7\mu\text{g}/\ell$ から $3.2\mu\text{g}/\ell$ で概して高く、細浦沖から湾口防波堤では $1.3\mu\text{g}/\ell$ で少し低くなる。⑩地点では $0.99\mu\text{g}/\ell$ で多少低くなる。

水深10メートルでは表面に比較してクロロフィル量は40%程度低い。例えば珊瑚島では、表面では $1.9\mu\text{g}/\ell$ が $1.1\mu\text{g}/\ell$ となる。

特異的なのは湾口防波堤の中央の開口部では表面で $2.2\mu\text{g}/\ell$ 、水深10メートル $1.2\mu\text{g}/\ell$ であり、表面だけが異常に高かった。

②濁度（FTU）

4月の調査に比較して表面の濁度が上昇して悪化した。表面の濁度上昇が、水深10メートルに比べて大きいとみられる。盛川河口では表面が1.8FTUであった。4月には0.4FTUで極めて清浄な河川水の流入であったが。7月は汚染水並みの濁度であった。今回は太平洋セメント工場の排水口でも計測を試みたが、濁度は0.97FTUであった。これは汚染が進行しているが、極端に高い値ではなかった。7月6日は工場が稼働しておらず、その分排水がなかった（新沼徹也部会長の談）。

湾口防波堤の影響に関し、湾外では表面では0.3FTUであるが、湾内では0.6～1.0FTUまで上昇する。約2倍から3倍に上昇する。10メートル水深ではその差は縮小する。湾外では0.27～0.2FTUであるが、湾内では0.3FTUであり、差はほとんど見られない。しかし問題は、堤防北堤の内側の地点⑦では水深23メートルで2.9FTUまで上昇する。また、尾崎⑥地点では水深38メートルで2.6FTUまで上昇する。

③溶存酸素量

4月に計測してはいたが分析をしていない。今回の7月では溶存酸素（DO）も海洋の健全性を示す指標として極めて有用であり、これを行うこととした。

湾外と湾内の差；湾口防波堤の影響

4月の調査では、湾内のクロロフィル量が湾外の量より30%程度低かったが、今回の調査では、逆の傾向がみられた。

湾口防波堤内の地点⑦水深23メートルでは82%まで、地点⑥の尾崎沖では水深38メートルで39.8%まで溶存酸素量（DO）が低下している。これは、海底に汚染物質や粘着性の土壌・ヘドロが堆積し、これらが分解するための酸素を消費するために酸素の減少が起こっているとみられる。流れが遅く、これらの土壌が海底に停滞したままであると考えられる。この流れのよどみは流向と

流速の分析では湾口防波堤の影響であると推測する。

濁度に関しては湾内の濁度が湾外の濁度に比較してかなり上昇して、水質の悪化を示している。湾外は表面も水深10メートルでも濁度は0.2～0.3FTUであり、湾内の濁度は水深10メートルは0.2FTU～0.3FTUであり清浄である。しかし表面の海水は盛川河口から湾口付近の尾崎岬沖まで1.8FTUから1.1FTUを示す。しかし湾口防波堤の中で防波堤附近の地点⑦と地点⑩では0.6程度まで低下するが、それでも湾外の0.3FTUに比較すると2倍程度の高さである。また湾口防波堤の北堤と南堤の両端を開けたことにより、これらの付近の濁度は0.6FTU程度で低下がみられた。

堤防開口部の海底付近の潜堤に設置された通水管が海流の交流を図ったかについては、北堤の海底付近水深23メートルの濁度2.9FTUという悪い値と溶存酸素量(DO)が82%で極めて低い値である。北堤付近の環境の改善には役に立っていない。

開口部(201メートル)の海底部分に18本通水管(直径3.5メートルで長さ87メートル)が設置された。

大船渡湾港防波堤は2017年(平成29年)3月19日に完成した(国土交通省東北整備局釜石港湾事務所)。

論文「湾港防波堤海底部の通水管の流動特性と湾内の

溶存酸素量へ及ぼす影響」(国土交通省東北整備局釜石港湾事務所)(2016年)では2015年1月と2015年7月から11月まで水深2メートル、18メートル、海底上1メートルで水温、塩分とDO濃度の鉛直分布を測定した(JFEアドバンテック社RINKO)。

湾中央部低層のDO濃度は4mg/lであった。通水管のある水深31メートルのDO濃度は6.1mg/lであり湾外のDO濃度に近い値を示した。(同論文I-503 ページ)。これは、問題の所在を示す記述である。

広田湾でも大船渡湾外でも、大船渡湾の水深10メートル以浅では、通例DOは8～9mg/lを示す。観測時(7月6日)の湾口防波堤の外の北堤と南堤の海底のDOはそれぞれ8.04mg/l(北堤沖水深15メートル)と8.3mg/l(南堤沖水深10メートル)であった。水深31メートルに近い測定値は広田湾では7.62mg/l(7月5日広田湾鳥の巣崎と宮城県境を結ぶ線の間地点)であった。6.1mg/lは極めて低い値であり、水温他の兼ね合いがあるが約8mg/lで溶存酸素(DO)が100%に対し6.1mg/lは76%程度であり、極めて酸素濃度が薄い。すなわち、湾口防波堤とその下の開口部の潜堤の影響が強いとみられ、通水管が敷設されても内側の環境は劣化した。大船渡湾の湾内の環境は悪くなったと考えられる。

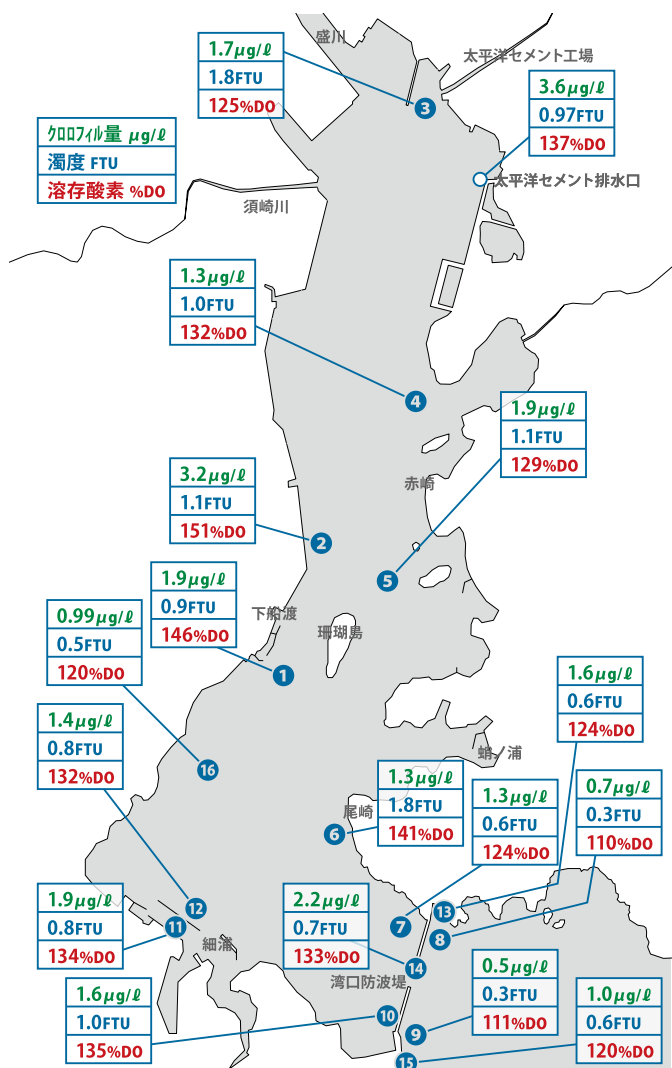


図1：大船渡湾の7月6日 表面水深50センチのクロロフィル量、濁度 (FTU) と溶存酸素量 (DO)

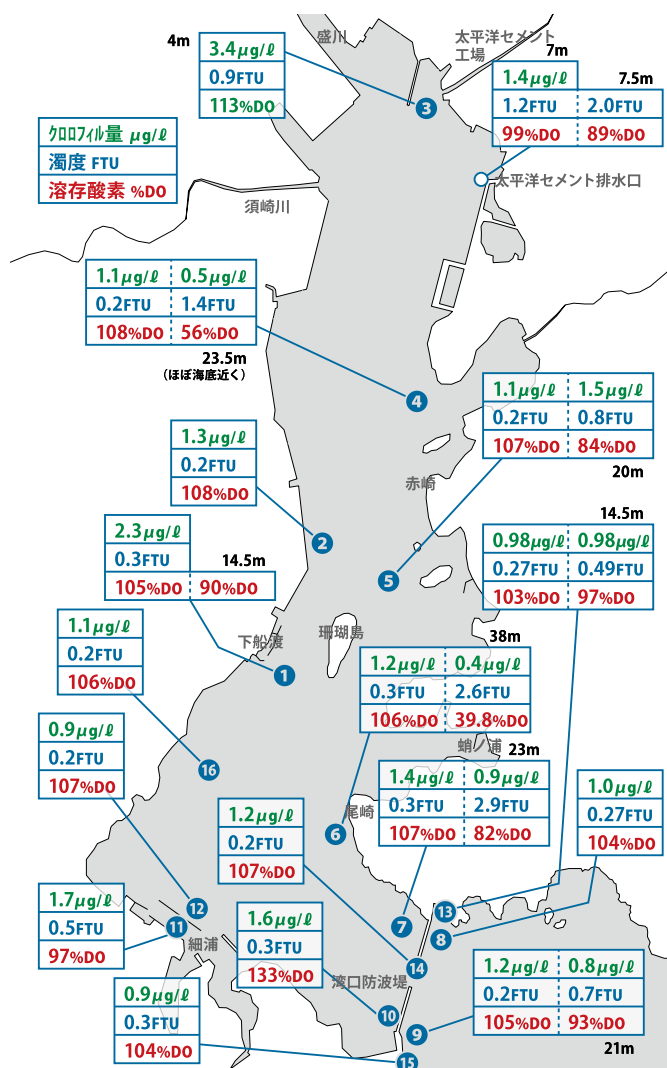


図2：大船渡湾の7月6日 表面水深10メートルのクロロフィル量、濁度 (FTU) と溶存酸素量 (DO)

3) 流向と流速

先回の下げ潮時の調査と異なり今回は上げ潮時の調査である。先回は珊瑚島付近の狭隘である部分を除いては、明確に流向が南に向かって流れ下っていた。

水深10メートルの流速は表面より20～30%程度緩やかであることが観察された。今回は湾口防波堤付近では、方向が定まらず全方位での流れのごとくに観察された。尾崎岬から、北に上がり盛川河口までは北上流であるが珊瑚島付近では北の流れと南の流れの双方が観察された。

このような傾向は表面流でも水深10メートルの海流でもあまり変わらないとみられる。同様に湾口防波堤付近では、流向が全方位を向いている。4月の下げ潮時には南下流が湾口防波堤をめがけて流れ下るが、今回の上げ潮時には堤防によって流向がかく乱される傾向がある。

表面流の速い流れがある。赤崎沖④地点や珊瑚島⑤と湾口防波堤北堤の内側でも秒速が100センチを超える流速が多数記録される。水深10メートルではそれら流れは見られなくなり、おおむね10～40センチ/秒の流速であり、表面水に比べ穏やかな流れになる。湾口防波堤の外側では流速は穏やかで、表面では15～45センチ/秒で、湾内では12～26センチ/秒で時折100センチ/秒を超える。

チ/秒で、湾内では12～26センチ/秒で時折100センチ/秒を超える。

一般に、表面に比べて水深10メートルでの減速はこの海域でもみられる。水深10メートルでは堤防内の流速は表面流に比較し10～20%程度減速している。また、100センチ/秒を超える極端な流速を記録することがなくなる。

(2) 広田湾

1) 概況

4月に比較してクロロフィル量が一般に高い。濁度と溶存酸素は、あまり変化がないように見える。

しかし長部と矢野浦、そして、宮城県境と鳥の巣崎のラインに関してはクロロフィル量が今回の調査の結果（表面）は高い。しかし10メートル水深では差があるとは観察されない。

今回追加した気仙川河口から浜田川河口までと、脇ノ沢のヨット・ハーバー沖の海域のクロロフィル量は異常に高かった。

今回7月の調査では、広田港から真崎沖の一番外洋に面した海域の定点3点の調査は割愛し、気仙川河口から浜田川河口と脇ノ沢のヨット・ハーバー沖の調査地点を

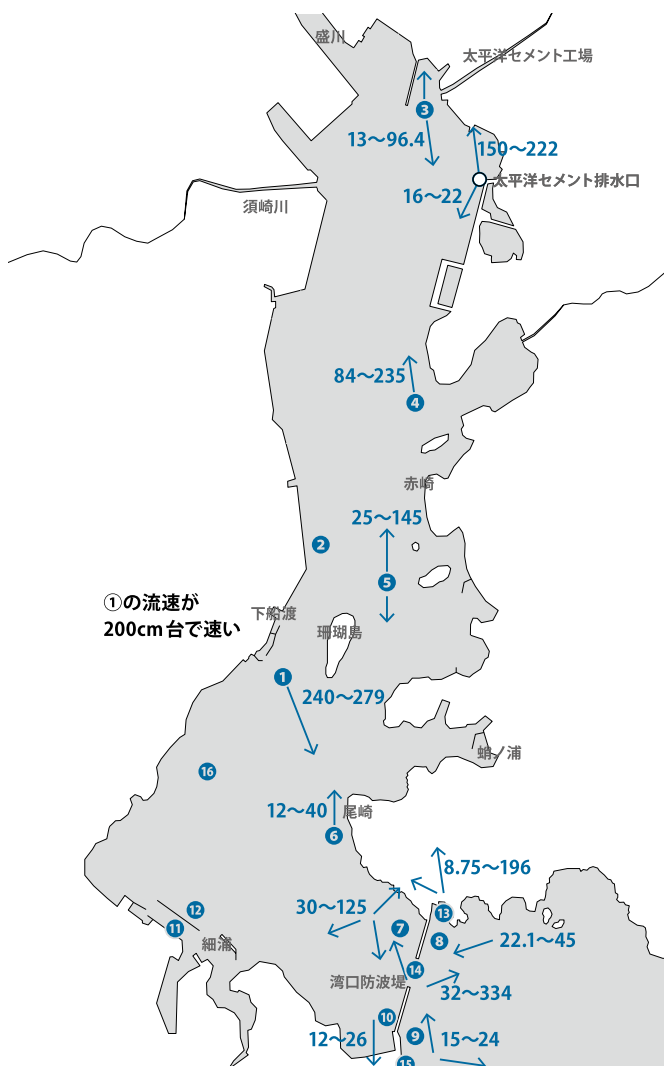


図3：大船渡湾の7月6日 表面水深50センチの流向と流速

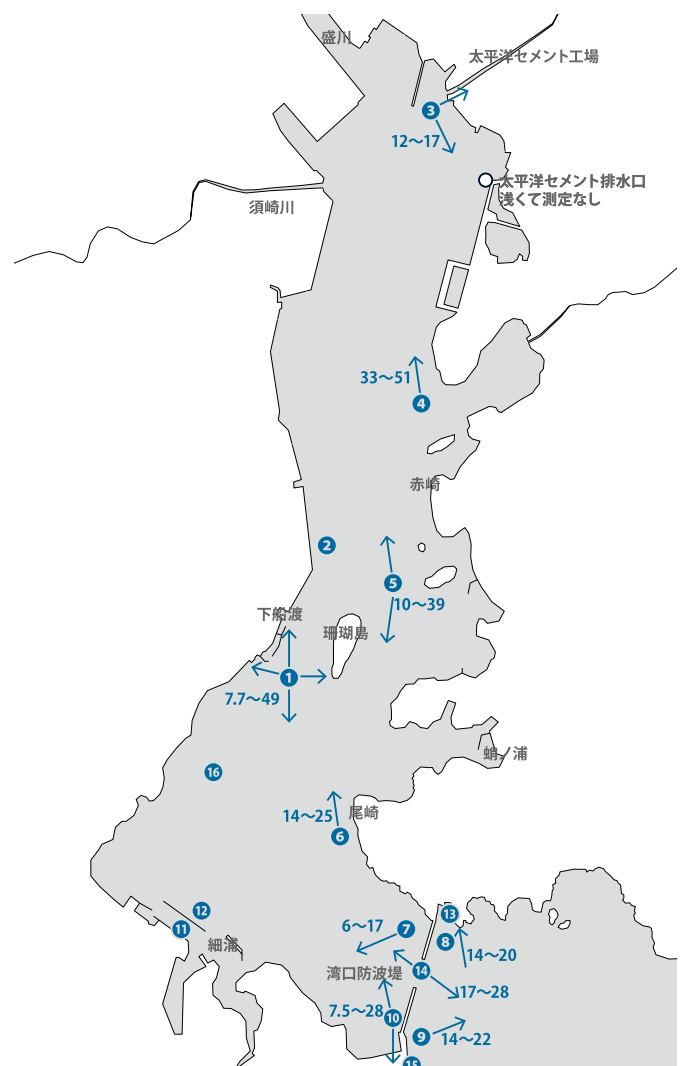


図4：大船渡湾の7月6日 水深10メートルの流向と流速

追加した。特に脇ノ沢のヨット・ハーバー沖は今後理研ビタミンが海藻工場を建設する予定があり、広田湾への排水が懸念される。海藻工場の建設前の海洋データの蓄積が必要である。

流向と流速には4月と7月を比較して大きな変化は見られない。

2) クロロフィル量、濁度 (FTU) と溶存酸素量 (DO)

①長部沖から矢野浦沖までの定点での観測値とその南の宮城県境から鳥の巣崎までの定点では特段の問題は読み取れない。4月の調査時点では矢野浦沖の1.4FTUと隣接する三日市干拓地沖の濁度1.75FTU (4月の報告書参照のこと) とともに懸念の材料であった。

②今回は追加した地点⑫第1潜堤付近、地点⑬浜田川水門と地点⑭脇ノ沢ヨット・ハーバー沖のクロロフィル量が⑬で8.9μg/l、⑭で12.5μg/lと極めて高い値を示したが、懸念材料は濁度であり、それぞれ、1.5FTUと1.76FTUである。両替のデータの値を見る必要がある。

③溶存酸素は概ねどここの観測点でも100%を超えていた。両替地区については、今後のデータ分析を待たなければならない。

特徴的なのは気仙川の流れに沿い南下する経路で、10メートルの水深の溶存酸素が90%台と低くなり、かつ濁度 (FTU) 0.9から1.3FTUと比較的に高い。表面は特段に問題はない。

3) 流向と流速

4月の調査との間で特段に大きな変化は見られない。表面流は水深10メートルの流速より20～30%程度遅いことが特徴である。下げ潮であるが、湾の外側から内湾に向かって流れる流向の流れが観察される。また、鳥の巣崎は海流が、両方向か渦を巻く傾向がある。

両替湾は流速が緩やかで概ね10センチ/秒以下である。海底流 (水深6メートル程度) は1.3センチ/秒から8.5センチ/秒で更に遅い。両替湾の流速が遅いのは、小友が浦の残土処理による干潟前面が200メートルも海側に埋め立てられ、振り子の原理による流速の低下が予測され、水流の停滞による海洋環境の悪化が懸念される。

広田湾と大船渡湾の流向と流速を比較すると、広田湾の方が流向に規則性がみられるが、他方、太平洋からの南風の影響を受けた可能性があり、上昇流が特に海面流で見られる。しかし下げ潮時の特徴である、南下流がすべてに観測地点ではっきりと観察される。その流速も広田湾の方は若干速度が速い。

3. 両湾の比較と総合判断

1) 大船渡湾

大船渡湾では湾口防波堤の影響は4月の調査でも明らかであったが、今回の7月調査でも明らかになった。

今回はクロロフィル量が湾外より湾内の方が高い、栄養塩を齎す親潮の影響は夏季であるので当然無くなった。湾内でのクロロフィル量が多くなったが、これはカキの養殖いかだがなく、カキが栄養を消化しないことが理由であろう。湾口防波堤がなければ、湾内と湾外のクロロフィル量は湾口防波堤の付近では近似値を示したものと考える。湾内はクロロフィル量が多くて流速10メートルの水深では減退しているが、これは必ずしも好ましいとは限らない。さらに問題は濁度が湾内ではかなり高いことである。湾外では0.2～0.3FTUという清浄な海水であるが、これが湾内には入り込まない。これによって湾内の汚染が進行し、海洋環境の悪化状態が停滞する。さらに問題は尾崎岬沖の海底38メートルでは濁度が高

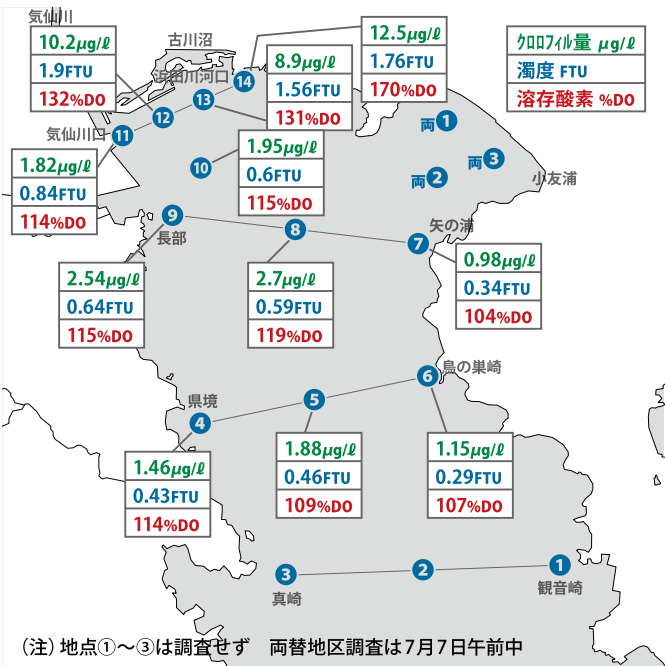


図5：7月5日 水深50センチのクロロフィル量、濁度 (FTU) と溶存酸素量 (DO)

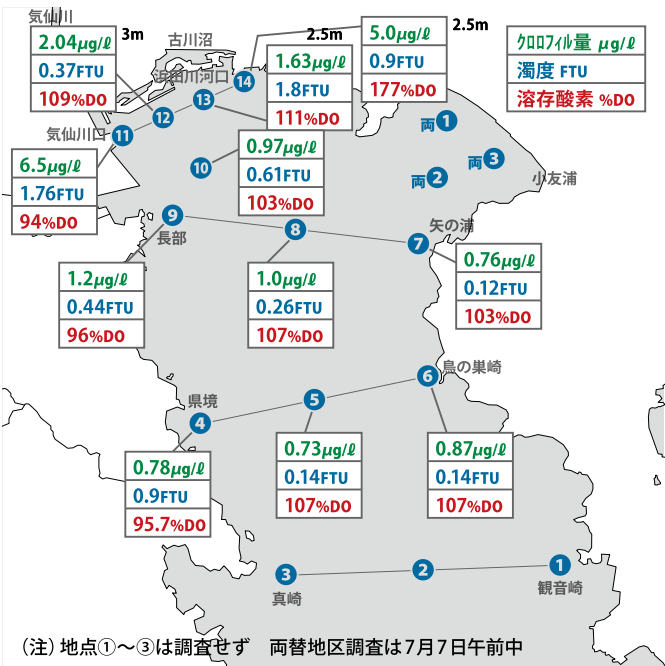


図6：7月5日 水深10メートルのクロロフィル量、濁度 (FTU) と溶存酸素量 (DO)

く溶存酸素が80%台で、低すぎる。また、北堤の内側も同様に問題を抱える。溶存酸素が低く濁度が高いことである。

通水管の効果が発揮されない。湾口防波堤が完成前の2013年（平成25年）でも溶存酸素は悪化している（国土交通省東北整備局釜石港湾事務所調査；2016年報告論文）ので、現在ではさらに悪化していよう。

データからは湾口防波堤は大船渡湾の環境の悪化に貢献していると読み取れる。

また、太平洋セメント工場の排水口付近の計測値は決して良くないが、工場が稼働していない時期の計測値であり、稼働中の計測が必要である。

2) 広田湾

高田松原の堤防の造成後に広田湾との連続が断ち切られたが、現在でも高田松原の砂浜からの砂が流出し、また、浜田川でも後背地の盛り土からの流出があり、それらが濁度の上昇に関連している可能性がある。また、気仙川も水深10メートルの南下流の濁度が高く、溶存酸素が若干低い傾向がみられる。

両替地区は流速がかなり緩やかであり、この傾向は残土処理の工事後にその傾向が悪化していると思われる。今後クロロフィル量や濁度と溶存酸素を追加分析するが、未だになぜ三日市干潟の前面を埋め立てたのかの科学的根拠が全く説明されていない。干潟は、残土処理した岩場の上に砂の盛り土をして出来上がるものではなく、干潟とは、陸域から海域までの湿地帯や泥質帯の連続で多様なベントス生物が住処とする場所であって、単にアサリが生息する場所ではない。この意味で陸前高田市の行政判断は速やかに是正される必要がある。

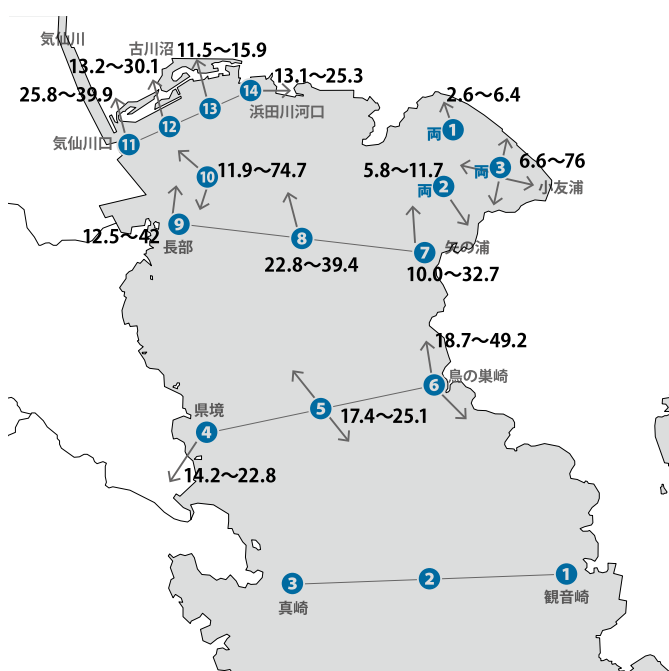


図7；7月5日 広田湾の表面水深50センチの流向と流速（センチ／秒）

2021年9月27日 広田湾と 9月28日 大船渡湾の海洋環境科学調査

1. 序文

広田湾と大船渡湾を同時に並行して比較調査するようになったのは2021年4月からであり、7月と9月で3回の調査結果の報告書を作成した。4月と7月でも多くのことが判明したが、今回9月も新たな知見が蓄積された。

2. 調査予定と計測の項目

(1) 大船渡湾調査

9月28日(火) 大船渡の下げ潮調査；満潮8時18分（潮位112センチ）

干潮12時13分（前回の7月6日は上げ潮調査）（4月4日は下げ潮調査）

9時00分 大船渡市下船渡 新沼敬司氏の漁船（約10メートル）で大船渡湾の海洋科学観測を実施した。計測の項目は前2回と同様にクロロフィル量、溶存酸素量（DO）、濁度（FTU）と塩分量と水温並びに流向と流速を計測した。調査員は、小松正之、渡辺孝一、西脇茂利（7月から参加）並びに現地調査事務所の伊藤光男氏である。

(2) 広田湾調査

9月27日(月)に大阪新悦氏、鈴木栄氏並びに大和田信哉氏の漁船に乗船して、それぞれ実施した。広田湾では連続水温計を設置していたので、その計測値の取り出しと評価を行った。

12時00分 大坂新悦氏漁船での調査；水温計測と気仙南と長部並びに高田松原堤防沖付近のクロロフィル量、塩分、濁度と溶存酸素量と流向流速調査

15時00分頃 鈴木栄氏漁船での調査；上記の大坂信悦氏と同様

16時45分頃 大和田信哉氏漁船での調査；上記と同様

(3) 調査員と使用機材

調査員は調査団長が小松正之、調査員が渡辺孝一、西脇茂利。現地調査員が伊藤光男氏である。調査船は新沼啓司氏のカキ作業漁船；10メートル程度を使用した。

使用機器

1) AAQ-RINKO AAQ170を使用した。水温、塩分、クロロフィル量、濁度と溶存酸素量を計測し、D-10 総合水質掲揚ハンデーターミナルで瞬時に表示した。後刻、データはパソコンに取り込んだ。

2) 小型メモリー流速系 INFINITY-EM AEM－USBを使用した。

3) 下船渡地区のカキ養殖いかに長期間の計測用に設置した連続水温計はDEFL-1Fである。

3. 調査の結果概要

(1) 大船渡湾

1) 総括

4月、7月比較すると明確に異なった結果が得られた。それは、クロロフィル量の詳細である。4月はカキの収穫後であり、カキに栄養分が吸収されていたと考えられる。7月は湾内ではクロロフィル量が60～70%程度高かったが、9月はもっと高かった。2～3倍程度高かった。これは表面の50センチで著しいが、10メートル水深でもこの傾向は観察された。この傾向は大船渡湾全般に観察された傾向である。一方、濁度（FTU）に関しては、9月の方が改善された値を示している。盛川河口では0.78FTUであったので大幅な低下である。7月には1.8FTUであった。尾崎岬でも1.8FTU（7月）が0.57FTU（9月）に改善された。

湾口防波堤の外では、クロロフィル量が3～4倍も7月に比べて高くなったが、濁度も若干増加したがほとんど変わらなかった。しかし、湾口防波堤の外では、4月はクロロフィル量1.8～2.1 μ gとかなり高かったが、これは親潮の栄養分ではないかと推量される。

2) 塩分と表面流と外洋水の流入

①表面流

盛川の河川水は、比重が軽いので表面を覆っている。実際の河川水の厚さは50センチ以下と計測値からは判断される。しかし、塩分濃度0.03‰の表面水が、下船渡と尾崎の沖まで到達していると考えるが、尾崎沖では28.2‰を記録し、湾口防波堤の外側でも、外部まで流れ込む勢いがある。

②湾口外からの外洋水の影響

水深50センチでも盛川の河口付近では30.9‰もあり、これは若干淡水の影響はあるが外洋水である。太平洋セメントの排水口付近でも水深50センチでは30.0‰であり、河口域とほぼ同様の状況である。

水深10メートルの塩分濃度は、大船渡湾の全域で33.5～33.8‰であり、これは大船渡湾の湾内が外洋の塩分濃度と全く変わらないことを示している。これまで海水が流入してきていることを示している。外洋水は水深10メートルでは33.8‰である。

3) 流向・流速

9月28日は満潮が8時18分で干潮が12時13分であったので、下げ潮時の調査となった。従って、流向はほとんどの地点で南向きを示した。

表面流、10メートル水深とところによって計測し

た30メートル水深も、湾口外に流れる南下流であった。盛川の河口付近で、南下流に加えて河口からの北上流が観察されたが、北上流は湾口付近の開口部の海流以外には、観察されなかった。一般に表面流に比べて水深が深くなれば流速が遅くなる傾向があるが、9月調査においてもその傾向が観察されたが、その差は以前の調査結果や他の海域の調査と比べて、それほど特徴的ではなかった。これは10メートル水深でも30メートル水深でも、表面流と比べた場合同様であった。流速は20～30センチ／秒であるが湾の奥の方が流速が早い傾向がある。湾口防波堤の付近では、湾口防波堤と湾の開口が東側に向くので、南下の流速が低下するものとみられる。湾口部と細浦港の外側では、4～10センチ／秒の流速まで低下する。

さらに特徴は地点9（湾口防波堤の開口部）の流向が東を向くことである。表面流はその傾向がみられないが、10メートル水深と30メートル水深では双方とも7～12ないし7から17センチメートル／秒の波の動きが観察された。この観測（湾口防波堤の開口部の観測）は、7月の上げ潮時にも計測したが、湾外から湾内に流入する海流がそれほど明確に観察されてはいない。4月4日は残念ながら開口部の計測を実施していなかった。

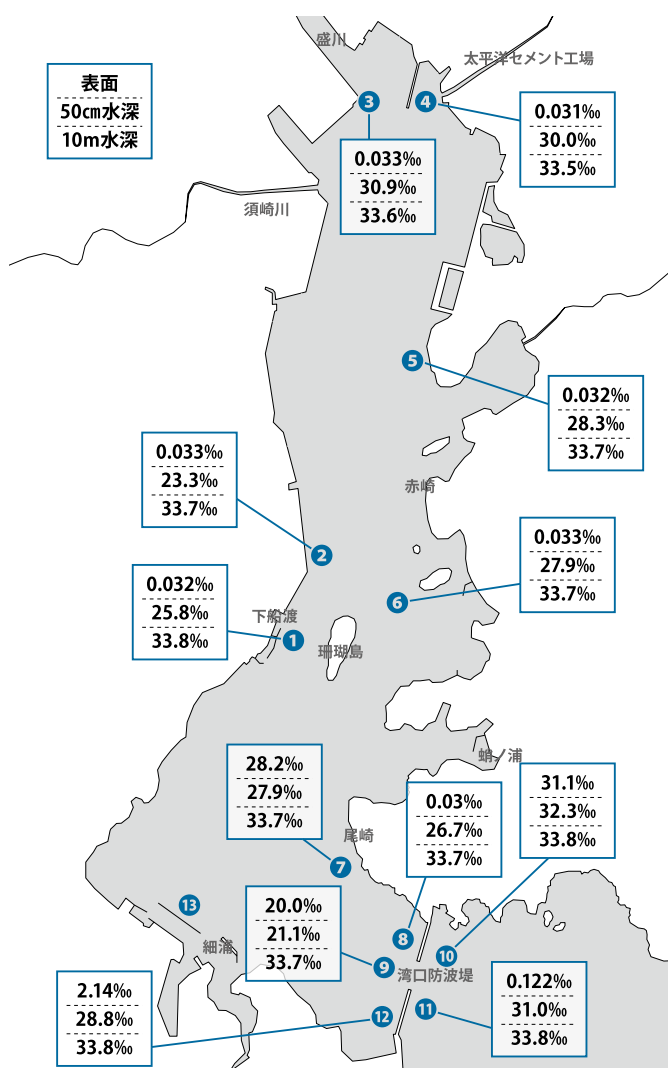


図1 塩分濃度と河川水と海水流入の動き

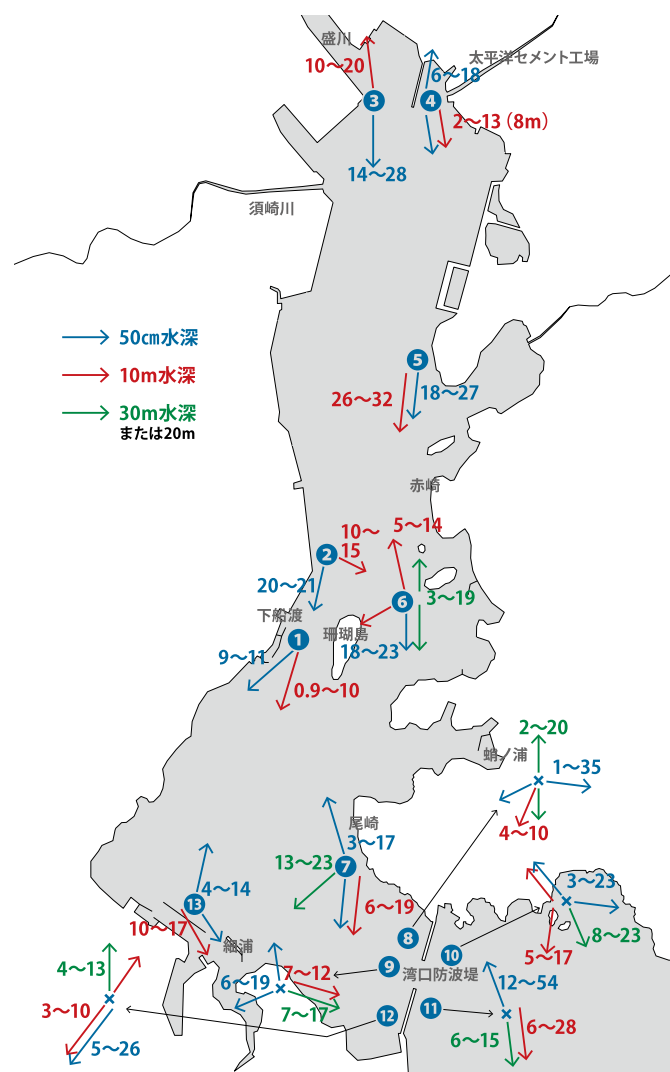


図2 9月28日の大船渡湾の流向と流速

4) クロロフィル量と濁度 (FTU)

クロロフィル量に関しては、4月よりは7月の方が高く、さらに9月の方が高い傾向がみられた。これは4月はカキの出荷シーズンの終わりに差し掛かり、カキが栄養分を吸収したためではないかとみられる。また、春にかけて今後はクロロフィル量の発生量が増加する時期に入るが、4月はまだその走りであったとみられる。7月には、クロロフィル量が次第に増大の傾向を見せている時期と考えられる。9月にはそのピークを迎えたのではないかと思います。4月のクロロフィル量が極めて低い時期と親潮の勢力が強い時期を除いて、大船渡湾外のクロロフィル量が概して湾内より低いことが観察された。従って湾内の栄養は基本的に湾内からの供給ではないかとみられる。

9月28日においても表面のクロロフィル量は湾外(1.2～1.5 μ g)より湾内(2.5～3.6 μ g)の方が高い。また、10メートル水深では0.9 μ gで湾外も湾内も同水準のクロロフィル量を記録した。

5) 濁度 (FTU)

大船渡湾の濁度 (FTU) は表面においては9月では0.5から0.78FTUであり、特に問題は見られない。最も高

い濁度でも盛川河口域の0.78である。しかし4月の方が0.2から0.4FTUで更に清浄な水質を示していた。しかし7月が問題であり、盛川河口、赤崎（永浜沖）、珊瑚島と尾崎でも1.8～1.9FTUを示した。9月にはその値が低下した。9月では10メートル水深でも30メートル水深でも濁度は0.5FTU程度であり特に問題は見当たらない。夏場だけが濁度が高くなる傾向をどのように解釈するかは、今後の計測した調査結果を見ると明らかになろう。

6) 溶存酸素量 (DO)

これまで、湾口防波堤の構造が不明であったので、当該堤防の環境への影響については、湾口防波堤の開口部の表面の流向流速とそれに付随する栄養分に焦点をあてて見ていたが、今回湾口防波堤の構造が判明したので海底部の影響についても見ることにした。

「湾口防波堤の開口部201メートルの基底部（水深23メートル）に直径3.5メートル長さ87メートルの通水管が18本取り付けられた。これは平成24年に完成（要確認）した（国土交通省釜石港湾事務所平成29年11月14日資料；国土交通省）その後、これら18本の通水管が効果を有しているか否かの検査が行われているかどうか。

か。国土交通省の釜石港湾事務所は「大船渡湾では、毎年夏季から秋季にかけて湾内の海水交換が低下し、湾内の低層において貧酸素水塊が発生していた。その要因として、もともと大船渡湾の閉鎖的な地形に加えて湾口防波堤による影響が大きいといわれてきた。」

（国土交通省釜石港湾事務所の文書「大船渡湾防波堤の概要」からそのまま抜粋）

これらの問題に関して大船渡湾の湾内と湾外の溶存酸素量を測定し分析したところである。

その結果、表面と10メートル水深までは、他の海域（広田湾、石巻湾、桃浦湾、駿河湾と土佐湾）などと比較しても特段問題はない。表面は100%を超える溶存酸素（DO）がみられ、10メートル水深でも94%程度である。しかし、細浦港の外と盛川河口と太平洋セメントの排水口付近では86.8%、78%である。これらの値は人間が緊急の酸素吸入を必要とする血液中の酸素濃度93%を下回っている。

問題は赤崎沖の地点⑤が37.5%、珊瑚島の19%（27.5メートル）、尾崎の23.8%（30メートル）とそして開口部地点9の32.5%（32.5メートル）と極めて、極端に低いことである。これらの極端に低い溶存酸素（DO）は日本の他の海域でもみられない。2015年当時でも

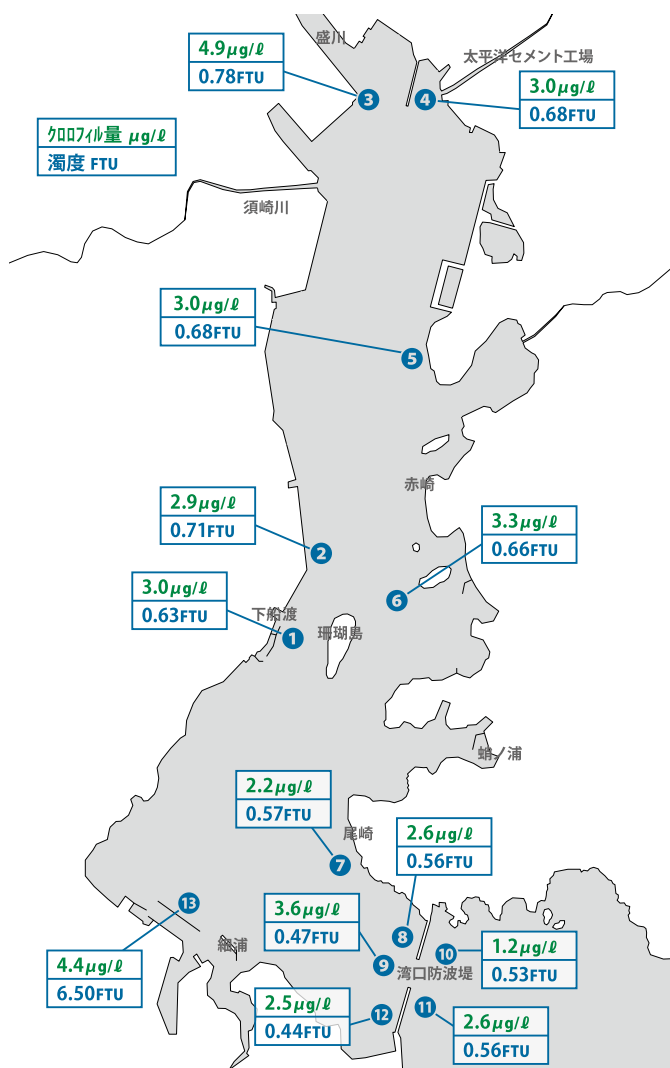


図3 9月28日 大船渡湾の表面50センチのクロロフィル量と濁度 (FTU)

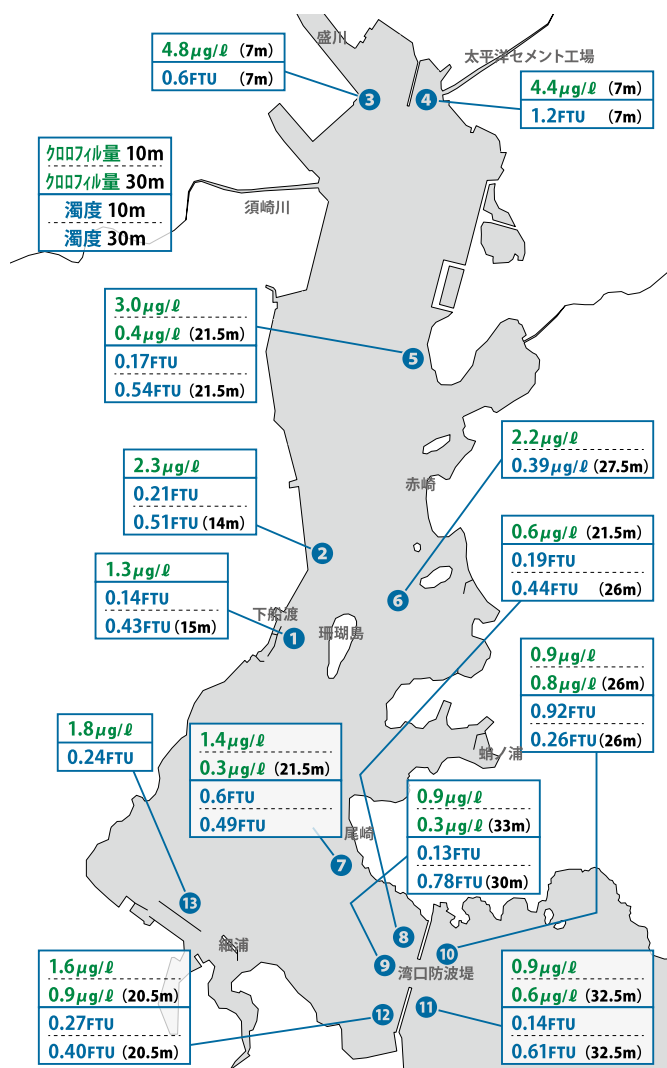


図4 9月28日 10メートル水深・30メートル水深の大船渡湾のクロロフィル量と濁度 (FTU)

76%程度の溶存酸素（DO）を記録したとの記述があり（釜石港湾事務所）、現在ではさらにそれ以上に悪化していると思われる。

このことから判明したことは、18本の通水管が役割を果たしていないと考えられるので至急その効果の点検・評価が必要である。

(2) 広田湾

1) 塩分濃度

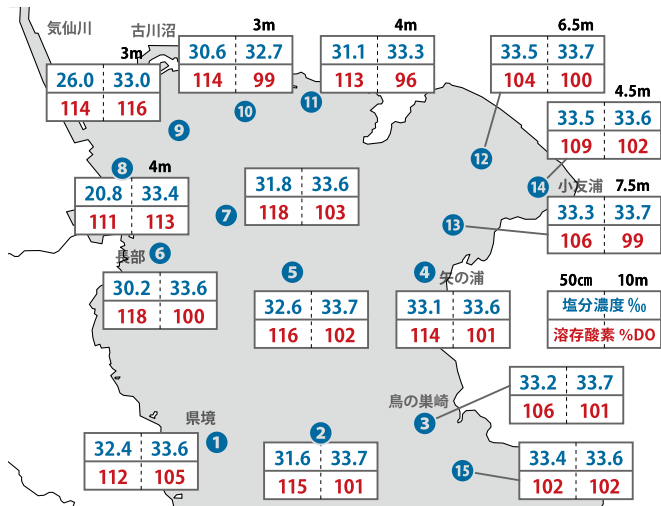


図1 2021年9月27日の広田湾塩分濃度

広田湾については、塩分濃度を分析すると気仙川の河口から①南下する淡水と②高田松原沿いを米が崎半島まで東方向に延びる流れがあることが明らかである。

気仙川の南下流は河口を南下し長部港の外側を通り、そして県境まで延びる。一方で南下流も拡散傾向を示し、気仙川河口から南東に流れる。この流れは時には大変強力な流れで、気仙川からは普段には多くの栄養分を運搬する。この流れにあたったカキ養殖場（気仙南漁場）は大変に身入りが良い。

一方わずかにではあるが塩分濃度から判断して、気仙川の淡水は表面を伝って、宮城県境と湾中央と鳥の巣崎まで到達している。これらの淡水は大陽崎まではかすかに到達している。

一方、10メートル水深では、広田湾の全域にわたって外洋水が到達している。内湾性の性格をさらに有する両替湾でも、外洋水がたまねく到達していると思われる。唯一、両替湾の湾奥の旧三日市干潟地沿いが若干淡水の影響の痕跡を見いだせるが、もともと淡水の流入量がわずかである。

2) 溶存酸素量（DO）

広田湾では、表面でも10メートル水深でも溶存酸素（DO）は特段問題が露見していない。概ね100%以上を示している。96%は脇の沢のヨット・ハーバーで現在は理研ビタミンがアオサノリの陸上養殖を開始した地点でのフロントラインの海水である。

問題があるとすれば、養殖漁場下の海底の溶存酸素（DO）と推定される。広田湾の海底には、場所によって硫化水素が発生しているところが複数箇所発見されている。（東海大学調査）これらの硫化水素は嫌気性の呼吸であり、酸素が欠けているために起こる現象である。そこにはメタンガスの発生の可能性がある。その場合地球温暖化にも悪影響を及ぼす可能性がある。これらはカキ養殖の付着物を温度処理でこれらを海底に落下させることから生じるものである。このようは温度処理もSDGsと地球温暖化対策を念頭に迅速に改善策を講じることが必要になるとみられる。

3) 流向・流速

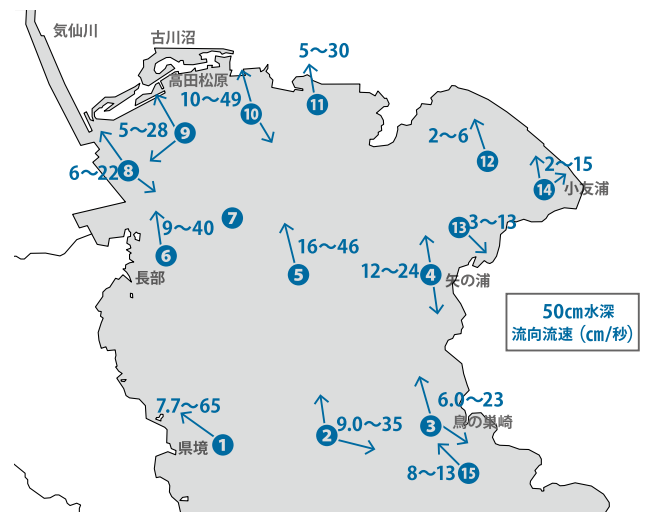


図2 2021年9月27日午後上げ潮時表面の流向と流速

①表面の流向と流速

広田湾の上げ潮時の流向は北上流である。流速も通常速度である10センチ～40センチ/秒である。これが広田半島や唐桑半島の付近となると半島の地形が流向に影響して、方角が変化することがある。

特徴的なのは両替湾であり、流速が遅くなる。三日市干潟の前面が埋め立てられてから波動振動の幅が低下したので、流速も落ち気味に見られる。両替湾は、カキの良好な生産漁場であるが、流速が減速すると栄養の循環の低下と濁度の停滞を招く可能性があり、好ましい状況ではない。通常は両替湾での流速は2～15センチ/秒であり、広田湾の流速から見れば、3分の1か4分の1程度とみられる。このような低流速のために筏式のカキ養殖が発達したのであるが、これは海水清浄度合が正常なうちはメリットである。従って、清浄な海水質を維持していくことである。

②10メートル水深の流向と流速

10メートル水深でも上げ潮時には、北上流がみられるので、基本的には表面流と同様である。しかしながら、表面流と異なるものは、流速が遅くなることである。約2分の1程度になるものとみられる。地点⑫を除いて、

両替湾では3分の1程度に低下する。これは大幅な低下であり、表面に比べて水深が深くなると、波浪や風雨の影響もなくなり、流速が低下する。上げ潮であり、外洋水の流入の影響を受ける。

4) クロロフィル量と濁度 (FTU)

①クロロフィル量

広田湾でのクロロフィル量は通常 $1 \sim 2 \mu\text{g}/\ell$ であったが、今回の調査では広田湾の内湾・湾奥域に $2.0 \sim 3.5 \mu\text{g}/\ell$ の極めて高い値が測定された。これらの高い値は高田松原沖と両替湾で特徴的にみられた。

広田湾の中央部の大陽地区や矢の浦地区並びに宮城県境地区では、 $0.7 \sim 1.3 \mu\text{g}$ で通常程度であった。

②濁度 (FTU)

広田湾の中央部の地点7・8FTU ②とカワムラ水産加工場の排水口で異常に高い値39.8FTUがみられた。これは河口排水との関係を今後も追跡する必要がある。また、浜田川河口付近でも99FTUの高い値が得られたが、その原因は不明である。

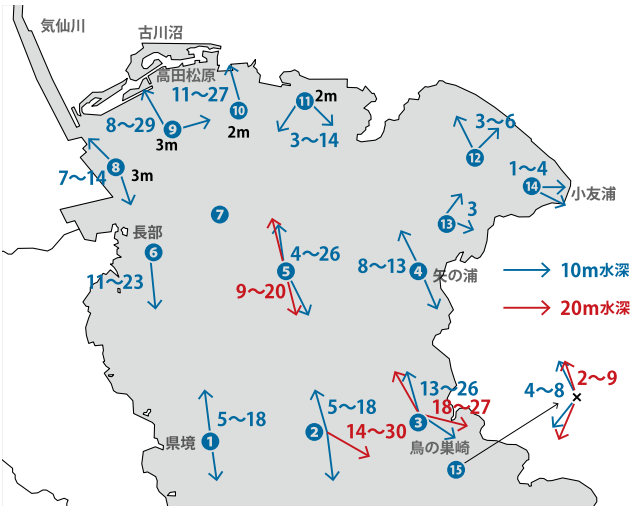


図3 2021年9月27日午後上げ潮時10メートル水深の流向と流速

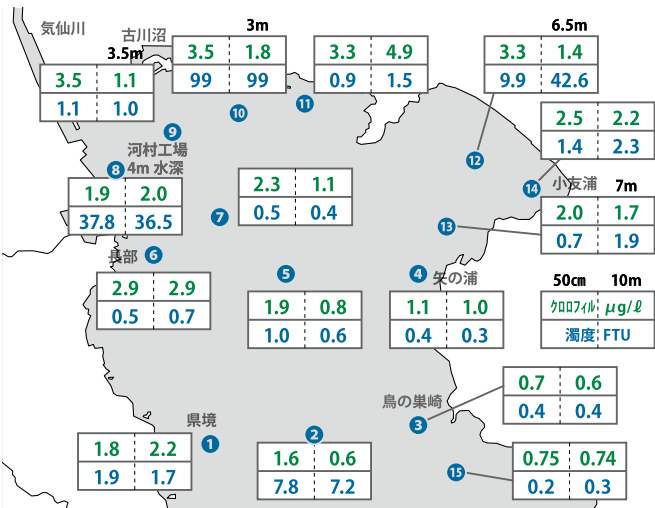


図4 2021年9月27日午後 上げ潮時
表面50センチ 10m他 クロロフィル量他

2021年12月2～3日 広田湾の海洋環境科学調査

1. 序文

広田湾の調査は、2015年から開始し、本格的な海洋科学計測調査を2018年8月から開始し、継続的なデータと分析・評価結果が蓄積されている。ところで、広田湾と大船渡湾を同時並行の比較調査は2021年4月から開始した。4月、7月と9月で3回の調査を実施して報告書を作成した。今回の12月の調査は4回目であり、その報告書である。4月、7月と9月でも数多くの新知見が判明したが、今回の12月2～4日の調査は12月1日に日本海北部と北海道沖を通過する強力な低気圧(974ヘクトパスカル：12月1日15時現在)(同時期に太平洋小笠原諸島の南に発生した台風は985ヘクトパスカルであった。)とそこから三陸沖を南下する南下する寒冷前線の通過直後であり、12月1日14時には陸前高田市では西の風で風速が6.1メートル/秒を記録した。大船渡市では北西の風で、午前9時から午後15時まで風速8メートル/秒を記録した。広田湾も大船渡湾も強風と強潮流によってかく乱・攪拌されたことにより、これまでの3回の調査の結果とは全く異なった内容を示した。

大船渡湾の構造と海洋の挙動を知るうえで新たな知見が蓄積された。広田湾も同様に強力な低気圧の通過後であったので陸域と河川域からの流入水により湾が広範にわたり汚濁されたことが計測結果から判明した。

2. 調査予定と計測の項目

(1) 広田湾調査実施の船舶・日程

12月2日の午後は満潮から干潮にかけての下げ潮時の調査であった。

広田湾全域を対象にして大坂新悦氏の漁船で実施した。12月3日午後には両替湾を対象に鈴木栄氏の漁船並びに12月4日の午前には広田湾の中ほどの大陽地区で大和田信哉氏の漁船でそれぞれ実施した。広田湾では上記の3か所でいずれも連続水温計を設置していたので、その計測値の取り出しと評価を行った。

2日は時化の直後であり、西北西の風が4.4メートル/秒(アメダスの計測)であり、強風であったので広田湾の中央部もうねりが強く、いつも実施している宮城県境から広田半島の大陽地区の鳥の巣崎を結ぶラインの調査地点3点の計測を断念し、湾奥に入った矢の浦から長部港までのラインから内側での計測を実施した。大坂新悦氏漁船での調査；水温計測と気仙南と長部並びに高田松原堤防沖付近のクロロフィル量、塩分、濁度(FTU)と溶存酸素量(DO)と流向流速を計測した。

15時00分頃 鈴木栄氏漁船での調査；上記の大坂新悦氏と同様

16時45分頃 大和田信哉氏

(2) 調査員と使用機材

調査員は調査団長が小松正之、調査員が渡邊孝一、西脇茂利。現地調査員が伊藤光男である。調査船は新沼啓司氏のカキ作業漁船；10トン程度を使用した。

使用機器

- 1) AAQ-RINKO AAQ170を使用した。水温、塩分、クロロフィル量、濁度と溶存酸素量を計測し、D-10 総合水質計用ハンデーターミナルで瞬時に表示した。後刻データはパソコンに取り込んだ。
- 2) 小型メモリー流速計 INFINITY-EM AEM-USBを使用した。
- 3) 下船渡地区のカキ養殖いかに長期間の計測用に設置した連続水温計はDEFI-1Fである。

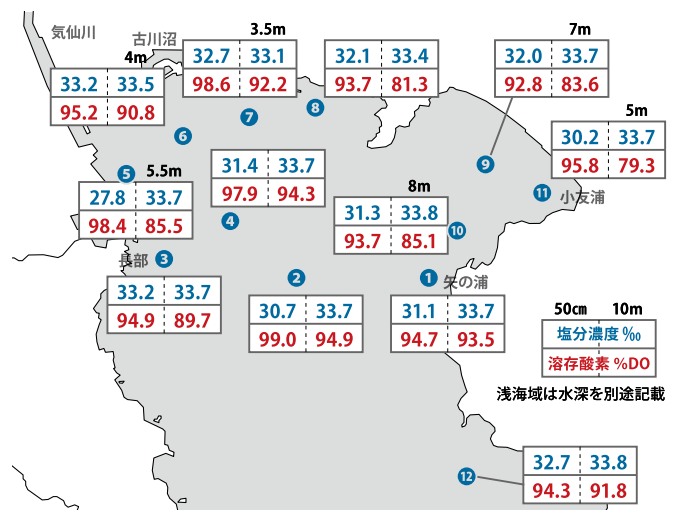
(3) 調査結果

1) 塩分濃度

広田湾については、塩分濃度を分析すると表面流に関しては気仙川の河口から①南下する淡水と②高田松原沿いを米が崎半島まで東方向に延びる流れがあることが明らかである。

気仙川の南下流は河口を南下し長部湾の外側を通り、そして県境まで延びる。一方で南下流も拡散傾向を示し、気仙川河口から南東に流れる。この流れは時には大変に強力な流れである。気仙川からは、クロロフィルなどの栄養分を運搬する。この流れにあたったカキ養殖場；気仙南漁場は大変に身入れが良い。

一方わずかにではあるが塩分濃度から判断して、気仙川の淡水は表面を伝って、宮城県境と湾中央と鳥の巣崎まで長部と矢野浦の中間点と矢野浦に到達している。また、この淡水は大陽崎までも到達している。



2021年12月2日 13:31 長部港出港 塩分濃度(‰)、溶存酸素量(%)
2021年12月3日 15:41 から両替3地点⑨～⑪を計測

一方、10メートル水深（高田松原付近では水深5～8メートル）では、広田湾の全域にわたって外洋水（塩分濃度が33.7‰から33.8‰）が到達している。内湾性の性格をさらに有する両替湾でも、外洋水（33.7‰～33.8‰）があまねく到達しているとみられる。ただ浜田川河口と脇ノ沢のヨット・ハーバーと理研ビタミンの工場立地では、淡水の影響が観察される。（33.1‰と33.4‰であり、海水が淡水により影響を受けていることが示唆される。）

2) 溶存酸素（DO）

9月より悪化した溶存酸素量の不足

広田湾では、9月の調査・計測では表面でも10メートル水深でも溶存酸素（DO）は特段問題が露見していない。概ね100%以上を示している。96%は脇ノ沢のヨット・ハーバーで、現在は理研ビタミンがアオサノリの陸上養殖を開始した地点でのフロントラインの海水である。

ところが12月の調査・計測では、表面での溶存酸素（DO）はほとんど問題を示すような値はなかった。しいて上げれば両替（地点⑨）の表面が92.8%で低いことである。水深10メートルで（浅海域では10メートル未満の海底）、悪化した地点が多く観測された。特に目立つのは理研ビタミンがアオサノリの陸上養殖を開始した地点（地点⑧）は81.3%で低い。また、両替湾の3か所の地点⑨、⑩と⑪は83.6%、85.1%と79.3%である。小友浦の埋め立て地の近くが最も溶存酸素量が低い。また、川村加工場の排水口のそばも85.5%であり、低い値である。

養殖場下の海底の貧酸素と硫化水素

養殖漁場下の海底の溶存酸素（DO）も正確に調査すると問題があると推定される。広田湾の海底には、場所によって硫化水素が発生しているところが複数箇所発見されている（東海大学調査）。これらの硫化水素は嫌気性の呼吸であり、酸素が欠けているために起こる現象である。そこにはメタンガス発生の可能性がある。その場合、地球温暖化にも悪影響を及ぼす可能性がある。メタンガスのGWP（Global Warming Potential；二酸化炭素の熱量の吸収率を1とした場合の熱の吸収率は20年後で算定すると25倍である）は大きいので、メタンガスの悪影響が大きい。カキ養殖の付着物を温度処理でこれらを海底に落下させることから生じるものである。このような温度処理もSDGsと地球温暖化対策を念頭に、海底に付着物を落下させないで迅速に処理する改善策の投入が必要になる。

海底の土質が悪化すれば、その後は海水の性質や海洋の生態系に悪影響を及ぼす。

3) 流向・流速

①流向と流速

9月の広田湾の上げ潮時の流向は、極めて明確で北上流であった。流速も極めて通常速度の10センチ～40センチ・秒である。これが広田半島や唐桑半島の付近となるとそれが流向に影響して、方角が変化することがほぼ毎回観測される。すなわち、唐桑半島寄りや広田半島の大陽の島の巣崎では、岩礁にぶつかって流向が影響を受けていることが観測される。

ところが12月の調査では下げ潮であるが、流速が早くなった。最大流速が57.8メートル/秒、64.5センチ/秒（地点⑤）が観測された。これは、既に記述した12月1日に日本海から太平洋を通過した強い低気圧（974ヘクト・パスカル）の影響であると考えられる。ところで、流速は通常は、表面の流速が水深10メートルよりも20～30%程度早いことがこれまで観測されてきた。しかし、今回の低気圧で特徴的ことは水深が深まれば流速が早くなる地点が多く観測された。例えば第一潜堤付近（地点⑥）では、水深10メートルで最大135.7センチ/秒を記録した。また長部港と矢野浦を結ぶ中間点では水深10メートルで最大61.8メートルであった。また、大陽地区では水深20メートルで最大69.7センチ/秒が観測された。今回の低気圧は、低気圧としてエネルギーが通常より大きいのではないかと想定される。すなわち、水深の深い部分も流速が早く、海洋の洗浄の効果が期待される。これは海洋でみられる特徴である。

特徴的なのは両替湾であり、流速が遅い。9月も他の広田湾の地点に比べると流速が遅かったが、今回も遅いことが観測された。表面で3～11センチ/秒で海底付近で2～10センチ/秒であった。海底が10%程度流速が遅い。三日市干潟の前面が埋めたてられてから波動振動の幅が低下したので、流速も落ち気味であるように見られる。これは経年と経月のデータで示すことが可能である。

両替湾は、カキの良好な生産漁場であるが、流速が減速すると栄養循環の低下と濁度の停滞を招き、好ましい状況ではない。通常は両替湾での流速は2～15センチ/秒である（12月の調査・計測ではさらにその値が低下の傾向がある）。広田湾の流速から見れば、3分の1か4分の1程度とみられる。このような低流速のために筏式のカキ養殖が発達したのであるが、これは海水が清浄なうちはメリットである。従って、清浄の海水質を維持していくことである。溶存酸素量（DO）は両替湾の計測地点3か所ともその値は80%前後であり、溶存酸素量が低すぎると言える。

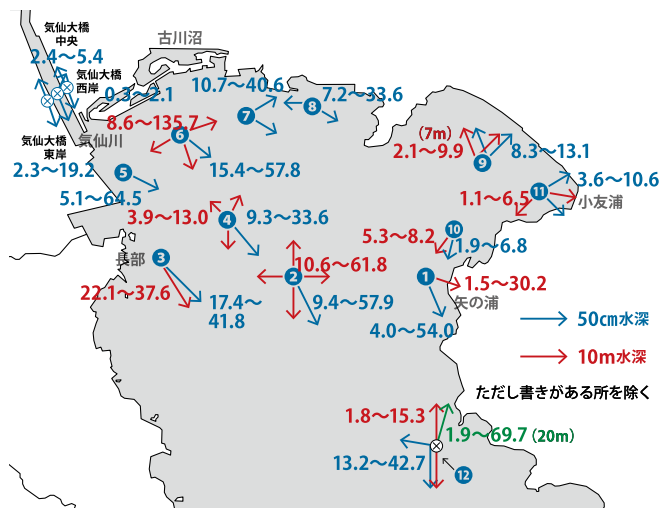
②10メートル水深の流向と流速

10メートル水深でも上げ潮時には、北上流がみられるので基本的には、表面流と同様である。しかしながら、9月では表面流が水深10メートル流より早かったが12月ではむしろ水深10メートルの方が表面流より早い地点が多かった。

通常は水深10メートルの流速が遅くなり、表面の流速の約2分の1程度になるがそのような傾向は今回は観測されない。

③気仙川の河口；気仙大橋

今回は、気仙大橋で、右岸、中央と左岸で流向と流速を観測したが、気仙川は右岸が流速が遅い傾向があるが、今回は、そのような傾向はなく、19.2センチ/秒が観測され、左岸と中央に比べても早い傾向がある。中央部は2.4～5.4センチ/秒と判定した流速を示している。必ずしも、水量が増大したのではないので、通常の流速であると考えられる。



2021年12月2日 13:31 長部港出港
流向・流速(センチ/秒) 満潮13:10 干潮20:13 下げ潮
2021年12月3日 15:41 から両替3地点の下げ潮⑨～⑪を計測

4) クロロフィル量と濁度 (FTU)

①クロロフィル量

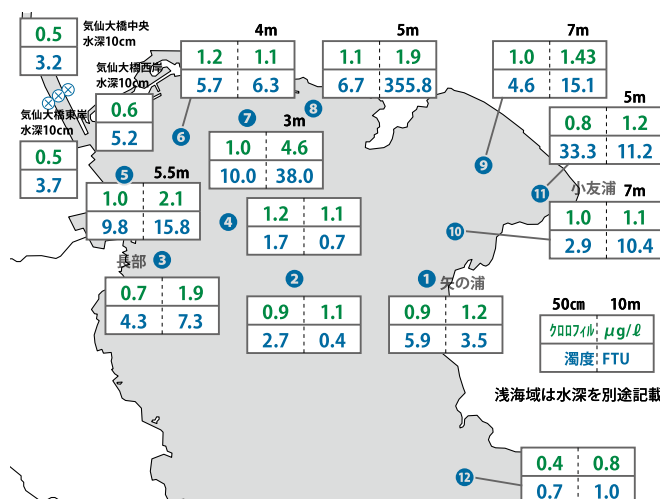
一般に広田湾でのクロロフィル量は通常1～2 $\mu\text{g}/\text{l}$ であったが、9月の調査では広田湾の内湾・湾奥域に2.0～3.5 $\mu\text{g}/\text{l}$ の高い値が高田松原沖と両替湾で特徴的にみられた。大陽地区や矢の浦地区並びに宮城県境地区では0.7～1.3 μg であった。

しかし、今回の12月の調査結果では、表面も水深10メートルでも、0.9～1.2 $\mu\text{g}/\text{l}$ であった。これは通常の値から、低下した傾向がある。冬を迎えて光合成の程度が低下したこと、カキの養殖が最盛期を迎えて、カキが栄養を吸収していることによるクロロフィル量の吸収が進んで、結果的にクロロフィル量が少ないと推測される。大陽地区は、いつものように表面のクロロフィル量が0.4 $\mu\text{g}/\text{l}$ でかなり少ない。水深10メートルでも0.8 $\mu\text{g}/\text{l}$ でしかない。

②低気圧の通過で特徴的な濁度 (FTU) の結果

9月の調査・観測値では広田湾の中央部の地点7.8FTU(高い理由が不明)②と川村水産加工場の排水口で異常な高い値39.8FTUがみられた。これは河口排水との関係を今後も追跡する必要がある。浜田川河口付近でも99FTUの高い値が得られた。

12月の調査・観測値では濁度 (FTU) は急速に増大し、海水中の濁り・汚染が進んだ状態を示した。



2021年12月2日 13:31 長部港出港クロロフィル量 ($\mu\text{g}/\text{l}$)、濁度 (FTU)
2021年12月3日 15:41 から両替3地点⑨～⑪を計測

表面での濁度 (FTU) は、高いところは、川村加工場前(地点⑤)の9.8FTU、浜田川河口(地点⑦)の10.0FTUと小友浦・三日市干潟地前の33.3FTUである。表面でかつ、海洋の濁度 (FTU) としては、以上に高い。平均的に見ても5～10FTUを観測している。

水深10メートルないし海底の濁度 (FTU) で異常に高い値は、川村加工場(地点⑤)の15.8FTU、浜田川河口の38.0FTU、脇ノ沢の理研ビタミンの加工場前が355.8FTUで特に以上に高いのが懸念される。また両替湾の三か所はいずれも10FTUを越しており、汚濁が進行していることを示している。



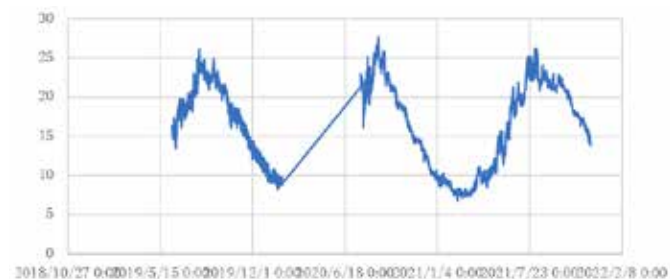
写真；理研ビタミンの工場からの排水；左。2021年12月2日15時

海洋環境の悪化原因を探る調査必要

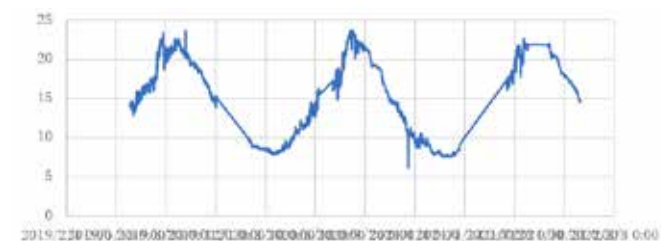
このように濁度が高いところは溶存酸素量(%)の低下と一緒にことが多い。その点についても、注意が必要である。すなわち、濁度の上昇・高い値と溶存酸素の低い値は、その地点の環境と生態系の劣化を示しているとみられるので、それが、これらの問題地点では、それぞれ問題として考えられるので、因果関係を精査する調査が今後必要となる。

5) 連続水温の継続的観察

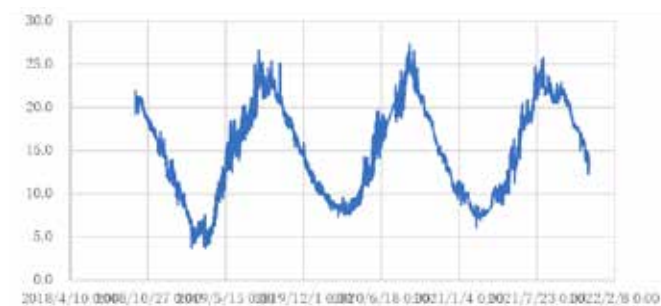
気仙南 表面1メートル



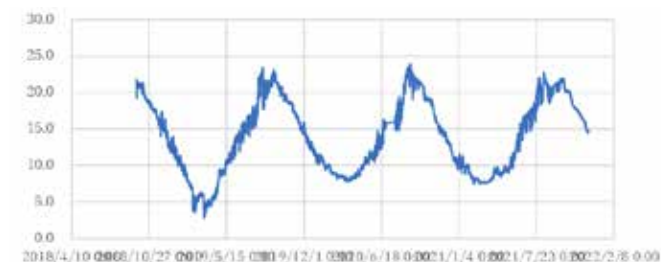
気仙南 水深8メートル



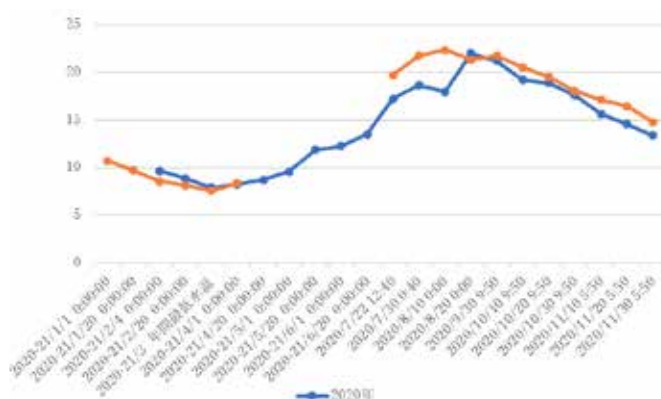
大陽 表面1メートル（下図）



大陽 水深8メートル



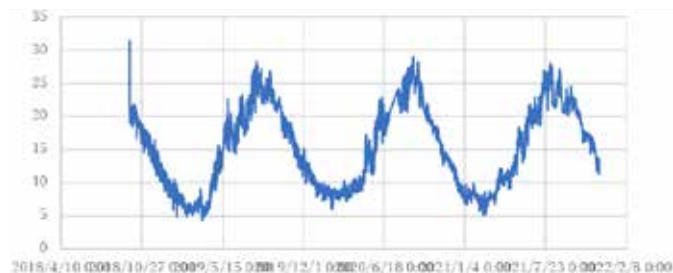
気仙南 水深8メートルの2020年と2021年の対比； 1月1日から11月30日まで



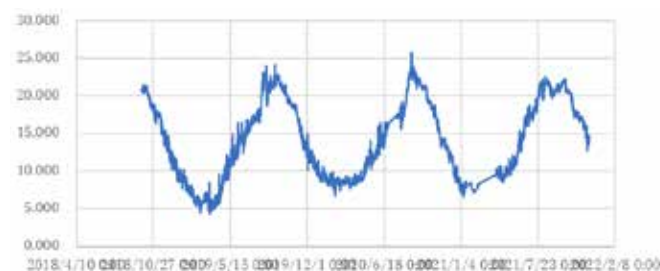
大陽 表面 1メートル2019年、2020年と2021年の 対比1月1日から11月30日まで



両替 水深1メートル



両替 水深 6メートル



両替 水深1メートルの対比 2019年、2020年と2021 年4月1日から11月30日



上記のグラフの意味するところは、2019年では最低水温も最高水温も比較的に低かったが、2020年においては最低水温が各地点においても低下せずあまり下がらなかった。2019年に比較しても4.9℃が7.5℃～8.0℃まで上昇したことがわかる。最高水温も2019年から2020年にかけては2℃程度上昇したが、2021年にかけて

てはこれがまた低下した2019年並みには低下しなかった。

水温の上昇時には各年とも規則性が見当たらないが、9月ごろの最高水温を記録してからの低下の傾向は一樣に低下する。どこまで低下するかが重要であり、これがカキ養殖にとっても、冬の最低水温が重要な要因となっているとみられる。冬はクロロフィル量が低下するが、グリコーゲンの蓄積に重要な時期であり、これが冬の低温に刺激を受けるのではないかと推測される。しかし、夏の高温は、カキ養殖にとっても、高温でエネルギーが消費され、必ずしも好ましくない。



写真：日本一の品質といわれる両替鈴木栄氏の3年物カキ2021年12月3日

6) 広田湾及び大船渡湾における付着生物について

広田湾及び大船渡湾において、養殖生物やその資材に付着する生物を指標として、外洋水の混合及び河川水の流入の状況及び内湾の程度を考察することができる。

養殖施設や養殖生物への生物付着は、施設のダメージ、餌競合やストレスなどによる養殖生物の成長鈍化等の問題を引き起こしている。両湾では、ムラサキイガイ（シウリ）の付着は大きい。

（注）養殖カキの付着生物の除去方法には、温湯処理と淡水処理がある。ムラサキイガイ及びホトトギスガイ等の付着2枚貝を除き、両者に処理効果に違いはない（宮城水産研報 第18号2018）。温湯処理は餌競合及びストレスによる成長鈍化を抑制するために行われている。

	大陽地区 広田湾-15	気仙南 広田湾-7	両替 広田湾-12	下船渡地区 大船渡湾-1
設置日	2021.9.27	2021.9.27	2021.9.27	2021.9.28
重量	260g	260g	260g	260g
付着状況	—	—	—	—
確認日	2021.12.4	2021.12.2	2021.12.3	2021.12.3
設置延日数	68日	66日	67日	66日
重量	380g	310g	295g	295g
付着状況	フジツボ多数 ワレカラ、端脚 藻類微少	フジツボ類付着 ワレカラ 藻類微少	ワレカラ 藻類微少	アズマニシキガイ ワレカラ 藻類微少

付着器の設置

広田湾では湾口、湾中、湾奥、大船渡湾では湾中の4定点で、いずれも、カキ養殖施設内にあり、水深8mの水温連続観測を実施している。水温データロガーを設置する直下にシュロ縄枠1枚とタイル枠1枚の付着器を設置した。

付着状況

付着重量が最も多いのは、大陽地区（広田湾口の定点15）の380gで、気仙南（定点7）の310gがこれに次いでいる。これらはフジツボ類の多少によるもので、外洋水の影響の程度を示すものと考えられる。

両替（広田湾の定点12）と下船渡地区（大船渡湾定点1）は同様の付着重量を示した。大船渡ではホタテガイの仲間であるアズマニシキガイの稚貝が一枚付着していた（岩礁の潮間帯以深生息）。これは、大船渡湾が岩礁性内湾であることを示している。

全地点を通じて、ワレカラ（付着甲殻類）、藻類微少が観察されることから、内湾の停滞環境を示しているといえる。

設置時期は稚貝の床あげと温湯処理後本養生であったことから、付着生物が少なかった。



投入前の付着物の誘発器



大陽地区での付着物の付着状況

7) 気仙川のサケの回帰状況（岩手県サケマス増殖協会資料）

2021年度のサケの回帰は、気仙川での捕獲が始まって以来の最悪の状況である。気仙川の回帰数のピークは9万尾（2010年頃）であったが、7,527尾（12月20日現在）で、ピーク時の8.3%まで落ち込んだ。計画数に比べて35,171尾も不足している。計画採卵数は43,760（千粒）であったが、僅か8,569千粒の採卵しか確保していない。これは採卵比率では20%であるが、回帰数が8.3%であるから、1尾からの採卵（ないしは通常採卵していないサケからの採卵を増加させているとみられる）が増大している。このことにより、サケ卵の品質が低下し、孵化率の低下や稚魚成長率の低下と放流後の生残率の低下が懸念される。

岩手県の各河川の回帰の減少に伴う実採卵数の達成の計画比を見ると、計画比5%以下の河川を見ると普代川が3%、摂持川が3%、重茂川3%、大槌川が1%、鶴住居川が2%、片岸川が2%、吉花川が2%、盛川が3%である。

岩手県全体でも4億800万粒の採卵計画に対して達成率は11%の4,576万粒である。これでは4年後の回帰がさらに低下することが予想され、抜本的な孵化放流事

業の転換（見直しではなく）が必要である。そのほか旧三陸町の浦浜川と綾里川は記録がつけられないほど低調である。私たちが観測した12月4日午前10時30分頃には、サケを捕獲する築網にサケが数尾（目視による）がかかっていたが、捕獲誘導網には一尾のサケも入っていなかった。ある程度ためてから誘導網に誘導することであった。

8) 高田松原海岸の砂浜の減少

2021年2月16日現在の広田湾・気仙川報告書（案）でも、「高田松原海岸の砂が削り取られていることを記述すること」との記述があったが、その後詳細記述を探しきれなかった。それ以降も12月4日までの間に、広田湾の海上から、高田松原方面の砂浜海岸を眺めて、その砂が削り取られていることを目視した。また、松原海岸の前面には砂質が広がっていることは明らかである。さらには、気仙川の河口；旧気仙中学校と一本松を結ぶ線と気仙川河口堰には砂の堆積がみられなかった(2021年9月と11月における海底・海中ドローン調査による映像調査)。

このことから判明するのは、気仙川からの砂の補給がなく、何らかによって砂が持ち去られており、この結果、高田松原の砂が大幅に消失してしまったと判断される。その物理的数量に関しては、高田松原にどれだけの砂を持ち込んだかとの資料（岩手県産地区土木センター資料）から今後精査に努める。

【参考資料】

一般社団法人岩手県さけ・ます増殖協会「岩手の秋さけ 捕獲採卵速報」



写真；気仙川の河口に設置されたサケの捕獲誘導網；2021年12月4日



写真；砂が波に持ち去られた削り取られた高田松原海岸
2021年12月4日午前11時

2021年12月3日 大船渡湾の海洋環境科学調査

1. 序文

大船渡湾と広田湾の同時並行の比較調査の開始は2021年4月からで、4月、7月と9月で3回の調査結果の報告書を作成した。今回の12月の報告書で4回目の報告書である。4月、7月と9月でも多くのことが判明したが、今回の12月3日の調査は日本海から北海道日本海沖を通過した強力な低気圧（974ヘクトパスカル；12月1日）の通過直後であり、大船渡湾も強風と強い潮流によってかく乱・攪拌されたことにより、これまでの3回の調査の結果とは全く異なった内容を示した。しかし、これは、低気圧の影響によって大船渡湾の正確な構造を知るうえで新たな知見が蓄積されたと言える。広田湾も同様に陸域と河川域からの流入水により湾が広範にわたり汚濁されたことは別に、大船渡湾では、外洋水が湾内の水流を促進して、停滞した汚濁層や貧酸素水塊を拡散したとみられる。また、外洋からの栄養塩の流入と湾内での栄養塩の発生状態も下火になったことが観察された。



尾崎から見た大船渡湾 2021年9月5日午後

2. 調査予定と計測の項目

(1) 大船渡湾調査

12月3日（木）大船渡の上げ潮調査；満潮13時44分（最高潮位145センチ）

干潮8時09分（最低潮位86センチ）（9月28日は下げ潮調査、7月6日は上げ潮調査、4月4日は下げ潮調査）

8時45分到大船渡市下船渡の新沼敬司氏のカキ小屋に到着し、9月の調査結果の説明をし、今回の調査の地点について打ち合わせた。先回同様にカキ作業用の漁船を使用した。計測の項目は前2回と同様にクロロフィル量、溶存酸素量（DO）、濁度（FTU）と塩分量と水温並びに流向と流速を計測した。また、2021年4月5日に設定した水温計を引き上げて水温の長期データを収集した。新沼氏から調査地点に水温の変化が大きいサン・フード加工場前（地点②）と、自分が所有する細浦寄りの漁

場（地点⑤）の計測を追加したいとの申し出があり、2か所を追加し合計15か所であった。

12月1日に強い低気圧（既述した974ヘクトパスカル）から南に下がる寒冷前線が、広田湾と大船渡湾を含む三陸沖を通過した直後であり、広田湾と大船渡湾（湾口防波堤の外は比較的大きなうねりがまだ残った。）とも12月1日に通過した大しけの影響がみられた。これらの気象と海況の変化は、計測値にはっきりと現れて、これまでに計測された通常値とは全く異なる科学計測値が得られた。

(2) 広田湾調査

広田湾調査報告書に記載。

(3) 調査員と使用機材

調査員は調査団長が小松正之、調査員が渡邊孝一、西脇茂利。現地調査員が伊藤光男である。調査船は新沼啓司氏のカキ作業漁船；約10トンを使用した。

使用機器

1) AAQ-RINKO AAQ170を使用した。水温、塩分、クロロフィル量、濁度と溶存酸素量を計測し、D-10 総合水質計用ハンディターミナルで瞬時に表示した。後刻データはパソコンに取り込んだ。

2) 小型メモリー流速計 INFINITY-EM AEM－USBを使用した。

3) 下船渡地区のカキ養殖いかだに長期間の計測用に設置した連続水温計はDEFI-1Fである。

3. 調査の結果概要

(1) 大船渡湾

1) 総括

4月、7月と9月に比較すると明確に異なった結果が得られた。

クロロフィル量に関して4月はカキの収穫後であり、カキに栄養分が吸収されていたと考えられる。7月は湾内ではクロロフィル量が60～70%程度高かったが、9月はもっと高く、2～3倍程度であった。表面の50センチで著しいが、10メートル水深でもこの傾向は観察された。

しかしながら12月では水深50センチでも0.3～0.6 $\mu\text{g}/\ell$ で、極めて低くクロロフィル量は低下した。水深10メートルでは0.7～1.4 $\mu\text{g}/\ell$ であり、これは通常レベルであった。しかし水深が深く30メートルでは再びクロロフィル量は表面並みに低下した。

一方濁度（FTU）は全般的に改善された。特に湾口防波堤付近の内側と開口部や尾崎で、水深が深くなるほど、

4～9月までは濁度（FTU）は濁りが著しく高かった状態を示していたが、12月是一部、盛川の河口と太平洋セメントの陸揚げ港付近を除いては改善がみられた。盛川河口では9月は海底で0.78FTUであったが6.4FTUであり、太平洋セメントの排水口付近では2.5FTUであった。下船渡沖では、水深30メートルで1.7FTUとサン・フード加工場でも、1.2FTUと比較的に高かった。

溶存酸素量もこれまで湾口防波堤附近の内側と開口部の内側、尾崎、珊瑚島の水深30メートルの海底部には貧酸素水塊（19%～32.5%）（大船渡市環境調査も貧酸素の結果）が形成されたが、これが殆ど存在しなくなった。低気圧で、拡散・霧消したとみられる。しかし、盛川と太平洋セメントの海底の濁度が高いこと（FTUが6.4と2.5）と溶存酸素量が少ない（70%台）ことで、環境の悪化が示される。

2) 塩分と表面流と外洋水の流入

全く淡水の流入がない海域（水深10メートル以深）は、大船渡湾では塩分濃度は33.7～33.9‰を示すが、淡水の流入がある場合では、この値が低下する。特に海表面に近いほど淡水の流入の度合いが高く塩分濃度が低下する。従って塩分の濃度を示す表から見ると、湾口防波堤まで、そして湾口防波堤の外側にも塩分濃度（北提外28.7‰）は淡水が流れ出ていることを示す。

12月3日午前では上げ潮時の調査であり、大船渡湾の流向は総じて湾奥・北の方向を向いている。これは水深が深くなっても同様の傾向を示す。しかし一方で、河口付近、赤崎と尾崎では、北上流とともに南下流も観測され、かつ湾口の開口部では、水深50センチ、水深10メートルと水深30メートルの全ての水深で、大船渡湾内から湾外への流れがみられて、湾外から湾内に入る流向が計測器では観測されなかった。それでも湾内では、湾外からの北上流とみられる流れが卓越した。

3) 流向・流速

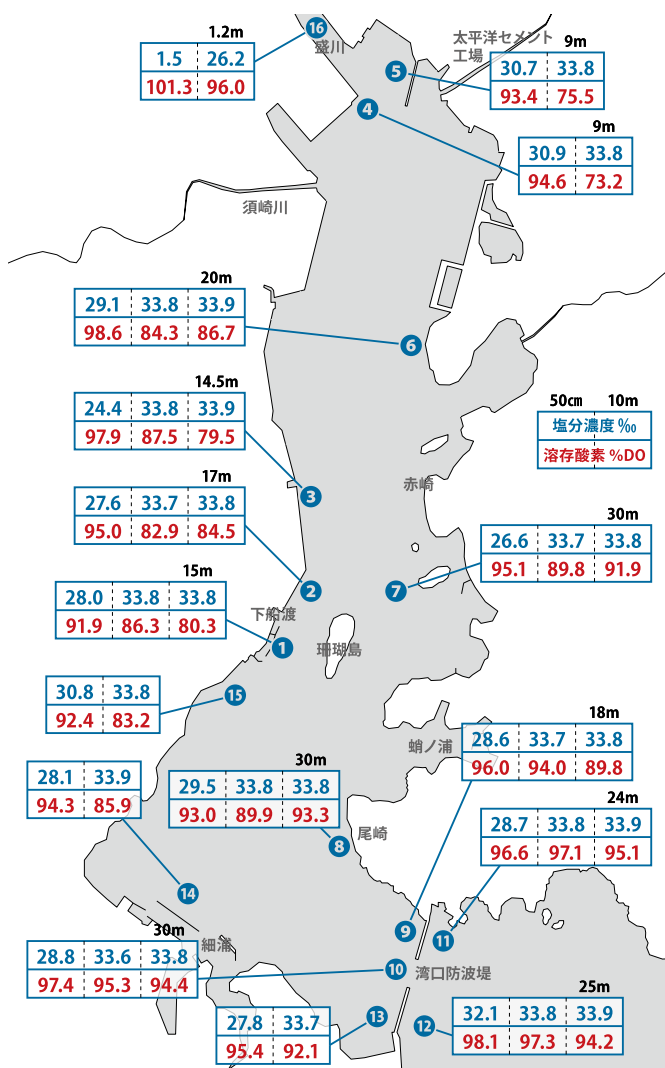
今回の流向と流速の計測で、流速に関しては特異で特徴的であった。赤崎沖（地点⑦）、尾崎（地点⑧）では130～150センチ／秒であるが、これがさらに湾外に近付くと急速な波になる。北提内側（地点⑨）、開口部（地点⑩）、北提外側（地点⑪）南提外側（地点⑫）と南提内側（地点⑬）において、突波流が観測されたことである。これらは140センチ／秒から670センチ／秒で、高速の流れである。これらの急速な流れは、それまで海底付近にたまった濁りや貧酸素水塊も洗い流したと、観測結果（濁度／FTUと溶存酸素量／%）から推測される。しかし、それらの一部は湾の奥にこれらの流れで運ばれたとも推測される。

この日は上げ潮なので、北の方向に向かって潮流が流れているが、場所によっては盛川河口域と赤崎や尾崎では、盛川の流れの影響を受けて南下流が入り混じる。た

だ水深が深まれば、北上流が卓越して、南下流は表面流と比較してその流速は減少する。しかし細浦港沖のように南下流が極端に早い場合も見られる。一般に深度が深まれば流速が低下する傾向がこれまでの各地での観測結果ではあるが、今回12月調査では、この現象が当てはまらない。極めて急速な流速（140～670センチ／秒）が観測された。これらの傾向は4月、7月と9月の調査では観測されない特異な現象である。

もう一つの特徴は、開口部（地点⑩）で、全ての水深（50センチ、10メートルと30メートル）において、流向が湾内から湾外に向かって海水が流れたことである。表面流が30.7～31.8センチ／秒で、水深10メートルと水深30メートルではほぼ16センチ／秒でその流速は変わらない。湾外では、流向は全方位を向いており、地点⑪と地点⑫の湾口防波堤の北提と南提の外の双方で、水深30メートルで急速な流速；潮流（145～615センチ／秒と187センチ／秒）を観測した。

このような急速な潮流は、宮城県石巻市桃浦で暴風の中を科学観測した際（2021年6月）に観測したことがあるが、この時は表面流が900センチ／秒であったが、水深10メートルでは、流速はその10分の1程度に下がっていた。従って、今回の大船渡湾内と湾外のケー



2021年12月3日9:00 大船渡港出港 干潮8:09 満潮13:41
上げ潮調査 最低潮位86センチ（8:00）最高潮位145センチ（14:00）
塩分（‰） 溶存酸素量（DO）（%）

スでは、それとは異なり、水深が深い方で流速が速いことを示した。

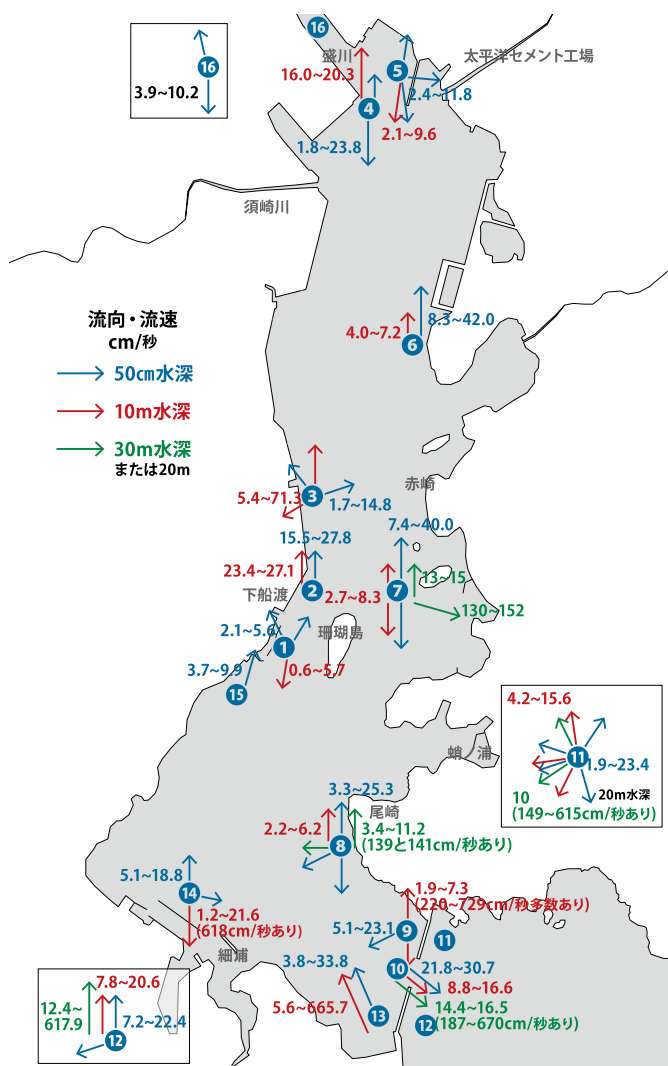
4) 溶存酸素量 (DO)

大船渡湾の溶存酸素量の特徴はこれまでの4月、7月と9月では一様に、湾口防波堤の開口部、南提の湾内、尾崎と珊瑚島の30メートルの水深の溶存酸素量が極めて悪化した状態で50～70%程度であった。

今回の調査では、水深10～30メートルでも90～95%で低い数値ではなかった。表面のそれは、尾崎の93%を除いた95～97%であり、正常値に近い。これは低気圧の通過で、通常の流速の10倍程度の流速で示されるように湾内と湾外とも大しけとなり、これらの波浪と流速で、湾内海底部の濁りと貧酸素水塊が湾内の内外に分散したと考えられる。

今回観察された急速な波浪とともに、盛川河口(地点④)と太平洋セメントの港内(地点⑤)では、溶存酸素量が大幅に低下した。それぞれの海底付近では、73%と75.5%であった。また、下船渡付近と赤崎でも80～83%を記録し好ましからざる低い値である。

盛川の中は表面では101%を記録し、酸素量は極めて良好である。



2021年12月3日9:00 大船渡港出港 干潮8:09 満潮13:41
上げ潮調査 最低潮位86センチ(8:00) 最高潮位145センチ(14:00)
流向・流速

5) 濁度 (FTU)

今回の調査結果では、濁度(FTU)もこれまでの4月、7月と9月の調査結果とは異なる結果を示した。濁度(FTU)の値が1FTUを超えたのは、わずかしかない。下船渡(地点①)の水深30メートルの1.7FTU、急きよ調査地点として追加した下船渡サンコー食品加工場前(地点②)の1.2FTU、盛川河口(地点④)の水深9メートルの6.5FTUと太平洋セメントの港内(地点⑤)の水深9メートルの2.5FTUである。

濁度(FTU)が高かった珊瑚島地点⑦、尾崎(地点⑧)、北提の内側(地点⑩)並びに湾口防波堤の開口部(地点⑩)は表面、水深10メートルと水深30メートルのどれをとってもFTU値は低かった。極めて清浄な海水の状況を示す値であった。これも低気圧の通過によって、表面では突風が吹き、海中・水中では水深30メートルの付近で、強い流速の海流を発生させたことにより、これが濁りと貧酸素水塊を運んだものと推測するのが妥当とみられる。濁度値(FTU)を見ると大船渡湾は清浄な海水の状態に戻ったと考えることができる。



大船渡湾港防波堤の開口部での調査風景 2021年12月3日11時30分頃

他方、盛川(川口橋)(地点⑩)の濁度は2.5FTUであり、太平洋セメントの港内のそれと同じ値であった。従って、気仙川のケースと同様、盛川河口(地点④)の濁度は盛川の由来であるものと付近に工場があり、それらとの因果関係を調査することが必要と考える。

6) クロロフィル量 ($\mu\text{g}/\ell$)

今回の調査でのクロロフィル量は一般的に見て低い値であった。クロロフィル量は4月からの計測期間中7月が最も高くなり、9月ではさらに高くなった。12月では低下した。1年間の正確な比較分析については、今後、可及的速やかに実施する。

一般にクロロフィル量は表面(水深50センチ) $0.3 \sim 0.8 \mu\text{g}/\ell$ 、水深10メートルでは $0.7 \sim 1.4 \mu\text{g}/\ell$ であり、水深30メートルでは $0.4 \sim 0.8 \mu\text{g}/\ell$ であった。従って、水深10メートルでは幾分クロロフィル量が一般的な他の海域と大船渡湾の他の時期に等しい値となったが、水深30メートルでの少ない量が計測された。

2021年12月3日 9:00 大船渡港出港 干潮8:09 満潮13:41 上げ潮調査 最低潮位86センチ (8:00) 最高潮位145センチ (14:00)

	①			②			③			④		⑤		⑥			⑦			⑧		
	水深 50cm	水深 10m	水深 30m	水深 50cm	水深 10m	水深 30m	水深 50cm	水深 10m	水深 19.5m	水深 50cm	水深 9m	水深 50cm	水深 10m	水深 50cm	水深 10m	水深 20m	水深 50cm	水深 10m	水深 30m	水深 50cm	水深 10m	水深 30m
クロロフィル μg/ℓ	0.4	0.9	0.7	0.3	0.9	1.2	0.3	1.4	1.2	0.4	1.4	0.3	0.7	0.3	0.7	0.3	0.4	0.8	0.6	0.4	0.8	0.4
濁度 FTU	0.6	0.4	1.7	0.5	0.3	1.2	0.5	0.5	0.6	0.7	6.4	0.6	2.5	0.6	0.3	0.7	0.5	0.3	1.0	0.5	0.5	0.8

⑨			⑩			⑪			⑫		⑬		⑭		⑮		⑯		
水深 50cm	水深 10m	水深 18m	水深 50cm	水深 10m	水深 30m	水深 50cm	水深 10m	水深 24m	水深 50cm	水深 10m	水深 25m	水深 50cm	水深 10m	水深 50cm	水深 10m	水深 50cm	水深 10m	水深 50cm	水深 1.2m
0.3	0.7	0.4	0.4	0.8	0.6	0.5	0.7	0.5	0.6	0.7	0.4	0.4	0.8	0.6	1.0	0.4	1.1	0.6	1.2
0.5	0.7	0.6	0.5	0.7	0.8	0.5	0.5	0.4	0.5	0.8	0.6								

ところで4月においては、湾口防波堤の外においては親潮の影響と推定される栄養分からクロロフィル量が湾内に比較して20～30%高い値を示していたが、12月の調査では北堤の外側（地点⑪）と南堤の外側（地点⑫）とも湾内のクロロフィル量とほぼ同等の値0.4～0.7 $\mu\text{g}/\ell$ を示した。これはこの付近の湾内の値0.3～0.8 $\mu\text{g}/\ell$ を見ると明らかである。親潮の栄養分の影響がみられる場合には、広田湾や石巻湾のケースでも1.0 $\mu\text{g}/\ell$ となるとみられる。

クロロフィル量が比較的高かったのは、砂金前（地

点③）の水深10メートルと水深19.5メートルの1.4 $\mu\text{g}/\ell$ と1.2 $\mu\text{g}/\ell$ である。盛川河口の水深9メートルも1.4 $\mu\text{g}/\ell$ で比較的高かった。盛川も1.2 $\mu\text{g}/\ell$ であった。このことから、12月には外洋性の栄養分が湾内に入ってくるとは考えられず、今後親潮の勢力が増してから、栄養分が入ってくると考えられる。盛川からの栄養が大船渡湾に補給されるが、この量も大して大きな量であるとは言えないと思われる。

4) 連続水温の傾向

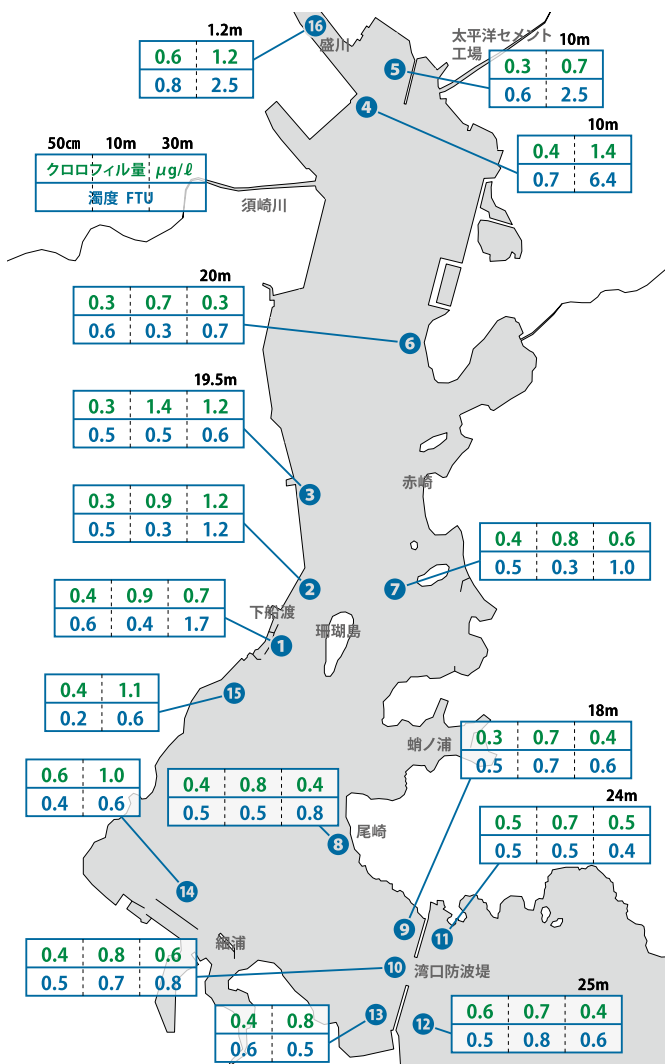


大船渡湾の下船渡地区に4月5日に連続水温計を設置した。とりあえず表面1メートルの計測結果であるが最高水温が23.4℃（2021年8月11日）であって、これは広田湾に比較すると低い値である。広田湾両替の表面では25.4℃（8月20日頃）であった。それに比較すると約2℃程度低い。また、最低水温が9.9℃（2021年4月11日）であるが、広田湾の両替ではこの日付付近では、9.1℃であった。従って2021年の両替での最低水温は5.5℃であったので、これらから大船渡湾での最低水温は5.5℃+（9.9℃－9.1℃）＝6.3℃と暫定的に推測した。しかし、両替湾は浅く大船渡の下船渡地区は30メートル水深はあるので、それほど下らない。7℃程度であることも考えられる。（今後、2022年3月の最低水温実測値が利用できる。）

7) 大船渡市の農林水統計と環境関連業務報告書

①カキの生産量

2010年（平成22年）から2019年（令和1年）までに、カキの生産者数は152人から99人に減少した。施設台数は645台から623台に減少し、生産者一人当たりの



2021年12月3日9:00 大船渡港出港 干潮8:09 満潮13:41
上げ潮調査 最低潮位86センチ (8:00) 最高潮位145センチ (14:00)
クロロフィル量 ($\mu\text{g}/\ell$)、濁度 (FTU)

施設台数は4.2台から6.3台に増加した。

一方で、カキの生産量は187トン（むき身）が162トン（むき身）に減少し、この間、殻付きが1,496千個から3,856千個に増大した。この剥き身が減少し、殻付きが急速に増大する傾向は、広田湾と同様である。それぞれの生産金額は増大しているが、合計が4億2,400万円から7億200万円に増加した。一人当たりの生産金額は279万円が723万円となった。

②天然のアワビ

震災前は54トンであったが、2011年の東日本大震災で大幅に落ち込み14トンとなった。それが2013年には一時的に72トンまで回復したが、その後急激に減少を続けている。2019年（令和1年）では僅かに11トンである。広田湾では、2019年と2020年を休漁し、2021年には開口を3年振りに実施したが、漁獲量は極めて少ない。

③天然ウニ

2010年には30トンで、1.7億円の生産があったが、これが震災で2011年は生産量が全くなかった。その後2013年には21トンで1.3億円で約60%まで回復したが、その後は生産量は横ばいないし減少し、金額は2017年に高騰し2億円を記録した。この時の単価は10,818円で前年から50%も上昇し、その後1万円の高値水準を維持している。

④大船渡市魚市場の水揚げ

大船渡市魚市場の水揚げで最も多いのは数量と金額ともサンマであった。それが過去3年ほど急激な漁獲の減少を経験しており、大船渡市の経済活動に及ぼす影響も大きい。

本年では日本全体の漁獲量が18,300トンと2万トンを割り込んだ。これは2011年の大船渡市のサンマの水揚げ量18,438トンを下回る。単価は2019年から2倍になった。

ところでサンマの漁業生産量・水揚げ量の減少を補填しているのはマイワシ、サバとブリ類である。

しかし、生産金額ではサンマの単価が上昇して、生産金額を維持ないしは増加させている。これは水産加工業にとっては原料高となり、また消費者にとってはサンマの消費を削減することにつながっている。すなわちサンマは大衆の食材から、高級品であり、ぜいたく品となってしまった。

この間、スルメイカが減少している。

大船渡市魚市場への水揚げの数量は30,731トン（2011年）が35,935トン（2020年）である。これは定置網漁業、イワシとサバまき網漁業の増加による。また金額では38億円（2011年）が61億円（2020年）に増大した。

⑤内水面サケマス孵化場

i) 佐藤組合長より、最近のサケの回帰状況と孵化場の稼働率の低下並びに今後の対応方針に関して説明を受けた。

孵化施設；タンクは20タンク（要確認）：大きさは今後聴取する；の内、僅か2つのタンクのみを使用しており、残り18タンク（要確認）についてはサケの回帰がひどく低下し、全く使われていないとのことである。内水面漁協としては、経営も成り立たずに、水産庁と岩手県を含めて対応を相談するが、下安家孵化場、盛川孵化場と釜石市にある甲子川孵化場は閉鎖をするしかないであろう。



写盛川の河口にしかけられたサケ捕獲用の罾 2021年12月3日午後

ii) 盛川の回帰遡上尾数は1,146尾（2021年12月20日現在）、採卵数は1,026千粒で、計画数14,118千粒のわずか7%であった。これは岩手県の平均値の11%を下回った。

⑥農業の動向

耕地面積の急速な減少

2010年（平成22年）から2020年（令和2年）の10年間にかけて耕地面積は田も畑も果樹園も急激に減少している。24,318アールが14,100アールに減少した。10,000アール（100ヘクタール）の減少である。もっとも減少が大きいのが畑であり、特に牧草地の減少が著しい。

⑦環境関連調査 2011年度（平成23年）から2020年度（令和2年）まで

i) 大船渡市は外部の機関に委託し2011年度から「大船渡湾水質調査」を行っている。

この報告書によれば、2011年から2017年（平成29年）までは年5回、6月から10月まで毎月調査を行っている。調査地点は大船渡湾内9か所（ST1からST5まで、そのほかST A、B、CとEの4点と湾外がST 6の1か所）である。調査項目は、透明度、水質、水温、塩分とDO（溶存酸素量）、COD（D・COD）とT-Nを含むN指標、T-Pを含むP指標である。後者の3種については

採水の上で後日計測していると思われる。調査地点のアラビア数字とアルファベット・大文字の違いがはっきりしないが、アルファベット・大文字の地点は採水のみを実施していると思われる。

ii) 一般社団法人生態系総合研究所の調査との違いがあるが、調査の結果では共通点がある。

大船渡湾の環境に関して溶存酸素量(DO%)が大船渡市調査でも50～70%を示しており、極めて悪化している。

これらについては、次回の大船渡市を訪問時に、調査内容と結果について意見交換を実施することとしたい。いずれにしても過去10年間にわたって大船渡湾の水質・環境調査を実施してきたことは、基本的で地道であり、敬意を表したい。

2022年3月6～8日 広田湾調査の海洋環境科学調査

1. 序文

広田湾の調査は、2015年から人文科学的調査、聞き取りと現場視察などを中心に開始し、海洋科学計測調査を2018年8月から開始した。

広田湾と大船渡湾を同時並行の比較調査は2021年4月から開始した。4月、7月と9月と12月の4回の調査を実施して報告書を、それぞれの調査回毎に調査評価・報告書を作成した。

2022年3月の調査は両湾の並行調査としては5回目であり、広田湾調査は10回を超える。2021年12月2～4日の調査は12月1日に日本海北部と北海道沖を通過する強力な低気圧（974ヘクトパスカル：12月1日15時現在）と同時期に太平洋小笠原諸島の南に発生した台風（985ヘクトパスカル）と、前者の低気圧から三陸沖を南下した寒冷前線の通過直後であった。

2022年3月5日には大陸・沿海州で発達した986ヘクトパスカルの低気圧から北海道日本海沖に、前線が延び三陸沖を通過した。翌6日15時には国後島と択捉島沖100キロ真東に低気圧の中心が移動したが、広田湾は大しけであった。そのために私たちは海洋調査を8日午前中に延期して、6日の午後は陸上の古川沼と気仙川の科学観測を実施した。

広田湾の8日の調査結果は、低気圧の通過により海洋に流速の早い海流が発生し、広田湾の全域にわたって、海洋が清浄となったことを示す値がみられた。12月の超過結果と同様の傾向を示した。

2. 調査予定と計測の項目

(1) 広田湾調査実施の船舶・日程

3月8日の午前は満潮から干潮にかけての下げ潮時の調査であった。

広田湾全域を対象にして大坂新悦氏の漁船で実施した。3月7日午後には両替湾を対象に鈴木栄氏の漁船で実施した。広田湾では両替地区と気仙南地区の2か所でいずれも連続水温計を設置していたので、その計測値の取り出しその評価を行った。大船地区では、今回は調査を実施しなかったため、水温計も装着したままである。

8日は時化の3日後であり、12月に比較して低気圧の強度も弱く、うねりがなかったため広田湾地区での調査対象海域を広田町泊の観音崎と宮城県真崎沖と結ぶ直線上を対象として復活させた。

大坂新悦氏漁船での調査で9時15分頃長部港を出港し9時39分に到着した広田泊の観音崎から、真崎に向かって調査を開始し、そのまま広田湾の内湾に向けて調査地点を調査した。14地点目を終了したのは12時34分の脇ノ沢の理研ビタミンのヒトエグサ養殖場沖であっ

た。

連続水温計測の読み取りは気仙南と両替地区で行った。調査地点ではクロロフィル量、塩分、水温、濁度（FTU）と溶存酸素量（DO）他と流向、流速を計測した。

(2) 調査員と使用機材

調査員は調査団長が小松正之、調査員が渡邊孝一、西脇茂利。現地調査員が伊藤光男である。調査船は広田湾全域で大坂新悦氏の漁船を、両替地区では鈴木栄氏カキ作業漁船（どちらも約10トン程度）を使用した。

使用機器

- 1) AAQ-RINKO AAQ170を使用した。水温、塩分、クロロフィル量、濁度と溶存酸素量を計測し、D-10 総合水質計用ハンディターミナルで瞬時に表示した。後刻データはパソコンに取り込んだ。
- 2) 小型メモリー流速計 INFINITY-EM AEM-USBを使用した。
- 3) 下船渡地区のカキ養殖いかに長期間の計測用に設置した連続水温計はDEFI-1Fである。

(3) 調査結果

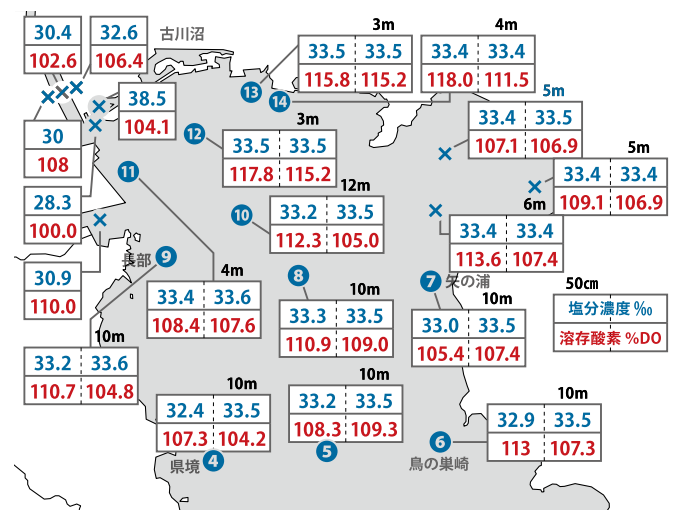


図1 広田湾、気仙川と古川沼と塩分濃度と溶存酸素量
2022年3月6日と8日

1) 塩分濃度

広田湾については、先回の12月には塩分濃度を分析すると表面流に関しては気仙川の河口から①南下する淡水と②高田松原沿いを米が崎半島まで東方向に延びる流れがあることが明らかであるとの記述があるように、明らかに塩分濃度の差がみられたが、今回はすべての海域で33.2‰から33.6‰の間である。これは表面の水深（1メートル）でも10メートル水深でも変わらない。しかし広田湾の全域において、表面に比べて水深10メートル

は塩分濃度が幾分、0.0‰から1.1‰（県境地点）程度濃いことがわかる。両替地区と高田松原沖では、表面水温と水深10メートルでは全く塩分濃度が同じであった。

2) 溶存酸素量（DO）の減少と増加

広田湾では、9月の調査・計測では表面でも10メートル水深でも溶存酸素（DO）は特段問題が露見していない。概ね100%以上を示している。96%は脇の沢のヨット・ハーバーで、現在は理研ビタミンがアオサノリの陸上養殖を開始した地点でのフロントラインの海水である。

12月の調査・計測では、表面での溶存酸素（DO）はほとんど問題を示すような値はなかった。しいて上げれば両替（地点⑨）の表面が92.8%で低いことである。水深10メートルで（浅海域では10メートル未満の海底）、悪化した地点が多く観測された。特に目立つのは理研ビタミンがアオサノリの陸上養殖を開始した地点（地点⑧）は81.3%で低い。また、両替湾の3か所の地点は83.6%、85.1%と79.3%である。小友浦の埋め立て地の近くが最も溶存酸素量が低い。また、川村加工場の排水口のそばも85.5%であり、低い値であった。

溶存酸素量が増加（3月8日調査）

溶存酸素に関し、12月2日～3日での測定結果は11地点で81.5%から99.0%であったものが、2022年3月8日では104.4%から117.8%となった。特に汚濁が進む沿岸に近いところでも110%を超えている。すなわち溶存酸素量が20%も増大していることになるが、それだけ酸素の供給量が増大する要因は、何か。

沿岸域の高田松原沖、浜田川の河口付近、脇の沢の理研ビタミンの工場沖では111.5%から117.8%を観測した。両替地区でも106.9%から109.1%であった。広田湾の外洋部の広田泊の観音崎と真崎沖でも103.7%から111.2%である。広田湾の各地点とも溶存酸素量（DO）は一般に表面では高く水深10メートルでは、低い傾向があるが、これは全国の各地でみられる傾向である。

3) 流向・流速

①3月以前の調査結果

9月の広田湾の上げ潮時の流向は、北上流であった。流速も通常速度の10センチ～40センチ／秒である。これが広田半島や唐桑半島の付近となるとそれが流向に影響して、方向が変化することがほぼ毎回観測される。すなわち、唐桑半島寄りや広田半島の大陽の鳥の巣崎では、岩礁にぶつかって流向が影響を受けている。

ところで、流速は通常は、表面の流速が水深10メートルよりも20～30%程度早いことがこれまで観測されてきた。しかし、今回の低気圧で特徴的ことは水深が深まれば流速が早くなる地点が多く観測された。例えば第一潜堤付近（地点⑥）では、水深10メートルで最大

135.7センチ／秒を記録した。また長部港と矢野浦を結ぶ中間点では水深10メートルで最大61.8メートル／秒であった。また、大陽地区では水深20メートルで最大69.7センチ／秒が観測された。今回の低気圧は、低気圧としてエネルギーが通常より大きいのではないかと想定される。すなわち、水深の深い部分も流速が早く、海洋の洗浄の効果が期待される。これは海洋でみられる特徴である。

特徴的なのは両替湾であり、流速が遅い。9月も他の広田湾の地点に比べると流速が遅かったが、今回も遅いことが観測された。表面で3～11センチ／秒で海底付近で2～10センチ／秒であった。海底は10%程度流速が遅い。三日市干潟の前面が埋め立てられてから波動振動の幅が低下したので、流速も落ち気味であるように見られる。これは経年と経月のデータで示すことが可能である。

両替湾は、カキの良好な生産漁場であるが、流速が減速すると栄養循環の低下と濁度の停滞を招き、好ましい状況ではない。通常は両替湾での流速は2～15センチ／秒である（12月の調査・計測ではさらにその値が低下の傾向がある）。広田湾の流速から見れば、3分の1か4分の1程度とみられる。このような低流速のために筏式のカキ養殖が発達したのであるが、これは海水が清浄なうちはメリットである。従って、清浄の海水質を維持していくことである。

②3月の調査の結果

表面ではおおむね20～60センチ／秒（上限値）であり、私たちの観測における平均的な流速に戻ったと考えられる。12月の調査結果のように水深10メートルの方が流速は早い傾向があるとの観測結果は見られなかった。12月と同様に低気圧の通過後ではあったが、低気圧の強度が今回の低気圧の方が弱かったせいもあったの

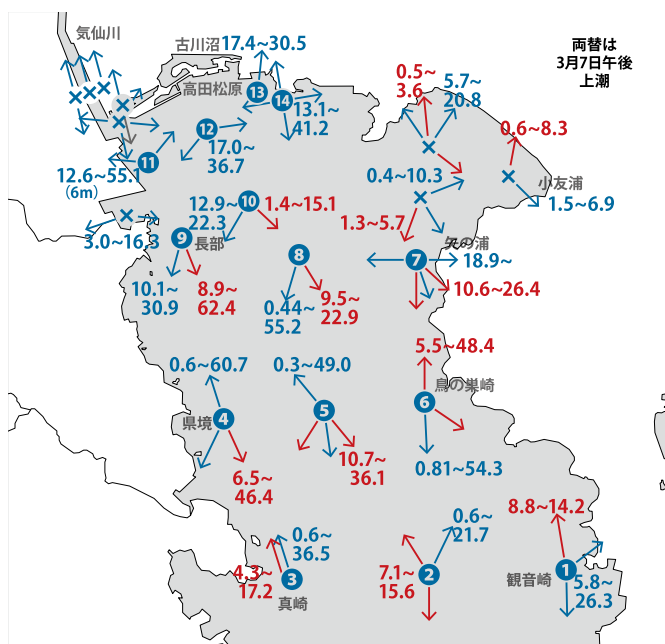


図2：広田湾、気仙川と古川沼の流向と流速 2022年3月6日と8日

か、流速に与える影響は、観測されない。しかし、表面の流速が263センチ／秒が泊の観音崎沖で、623.0センチ／秒を矢野浦沖で観測されたが、そのほかの地点では見られない。通常の表面流速が水深10メートルより20～30％程度早いことが観測された。

今回の観測時は下げ潮時であり、その傾向として、流向は南下流であった。しかし、気仙川河口と高田松原沿いでは、東方向へ向かったり、全方向であったりした。

・両替（3月5日午後）上げ潮時調査

両替地区では、北の方向の北上流と東方向への流向が観察された。また流速が遅く表面でも10.8～16.9センチ／秒であり、海底付近ではさらに流速が低下し、1.6～8.3センチ／秒程度である。

・10メートル水深の流向と流速

10メートル水深では、一般に南下流であった。そして流速も表面流に比べて20～30％程度遅いことが観察された。特徴的なのは広田泊の観音崎と真崎沖の外洋部で、下げ潮時ではあったが、北上流がみられたことである。しかし真崎と中間地点の北上流も南下流と混合流であり、流れの方向が変わることが観察された。

・気仙川の河口；気仙大橋と古川沼の西側

今回は、気仙大橋で、右岸、中央と左岸で流向と流速を観測したが、気仙川は右岸が流速が遅い傾向があるが、今回は、12月と同様にそのような傾向はなかった。上げ潮時の調査で、気仙大橋まで海岸流は流れ込むとみられるが、それでも北上流の傾向が観察された。また南下流も流速が早く、右岸と左岸でそれぞれに300～500センチ／秒と480センチ／秒が観測された。

また、古川沼では、気仙川と古川沼との接点では、流向は全方角を記録し、流速は03～107センチ／秒で、それより内側の排水処理場からの排水口では、北上流と南下流の混合で、2.0～199センチ／秒で、松原大橋では、古川沼方面に流れる水流と逆方向との混合流で、流速は全2地点から早まり、32～334センチ／秒である。上限値を見ると極めて流速が速いとみられる。従って、古川沼と気仙川をつなぐ通路は、沼の幅が極めて狭くされたので、流れが極めて速い傾向があるが、この観測時は気仙川の水も流速が早かったため、その傾向が古川沼にも影響したかもしれない。また、これらの流速によって古川沼の水量が循環し、交換が行われているのかどうかは今回の結果からだけでは不明である。しかし、その可能性は古河沼のヘドロ化の状態をみると、少ないと考える。

4) クロロフィル量と濁度 (FTU)

①クロロフィル量

過去の調査

一般に広田湾でのクロロフィル量は通常1～2 $\mu\text{g}/\ell$ であったが、2021年9月の調査では広田湾の内湾・湾

奥域に2.0～3.5 $\mu\text{g}/\ell$ の高い値が高田松原沖と両替湾で特徴的にみられた。大陽地区や矢の浦地区並びに宮城県境地区では0.7～1.3 μg であった。

しかし、2021年12月の調査結果では、表面も水深10メートルでも、0.9～1.2 $\mu\text{g}/\ell$ であった。これは通常の値から、低下した傾向がある。冬を迎えて光合成の程度が低下したことと、カキの養殖が最盛期を迎えて、カキが栄養を吸収していることによるクロロフィル量の吸収が進んで、結果的にクロロフィル量が少ないと推測される。

3月の調査結果

浜田川と脇ノ沢のヨット・ハーバーでは、1.0 $\mu\text{g}/\ell$ 以下で極めて少ない値であった。両替の三日市干潟の干拓場近くと広田湾の全域でも低い値であった。表面のクロロフィル量はほぼすべての調査地点で1 $\mu\text{g}/\ell$ を下回った。このことは、12月の調査の結果の延長で、カキ養殖がこれらの栄養を吸収してしまったことが原因と考えられる。例外は広田泊の観音崎沖である。しかし、今回の特徴は、水深10メートルのクロロフィル量が3.5 $\mu\text{g}/\ell$ から7.1 $\mu\text{g}/\ell$ を超えていることである。すなわちこれは外洋性の栄養と考えられる。しかし大船渡湾の湾口防波堤の外側でこれと同様の観測値が観測されれば、親潮の影響であると結論付けることが可能であるが、それが観測されない場合には、この広田湾の高いクロロフィル量の説明がつかない。

②低気圧と濁度 (FTU) 低下

過去の調査結果

9月の調査・観測値では広田湾の中央部の地点で7.8FTU（高い理由が不明）と川村水産加工場の排水口で異常な高い値39.8FTUがみられた。これは河口排水との関係を今後も追跡する必要がある。浜田川河口付近でも99FTUの高い値が得られた。

12月の調査・観測値では濁度 (FTU) は急速に増大し、海水中の濁り・汚染が進んだ状態を示した。

・表面での濁度 (FTU) は、高いところは、川村加工場前（地点⑤）の9.8FTU、浜田川河口（地点⑦）の10.0FTUと小友浦・三日市干潟地前の33.3FTUである。表面でかつ、海洋の濁度 (FTU) としては、以上に高い。平均的に見ても5～10FTUを観測している。

・水深10メートルないし海底の濁度 (FTU) で異常に高い値は、川村加工場（地点⑤）の15.8FTU、浜田川河口の38.0FTU、脇ノ沢の理研ビタミンの加工場前が355.8FTUで特に以上に高いのが懸念される。また両替湾の三か所はいずれも10FTUを越しており、汚濁が進行していることを示している。

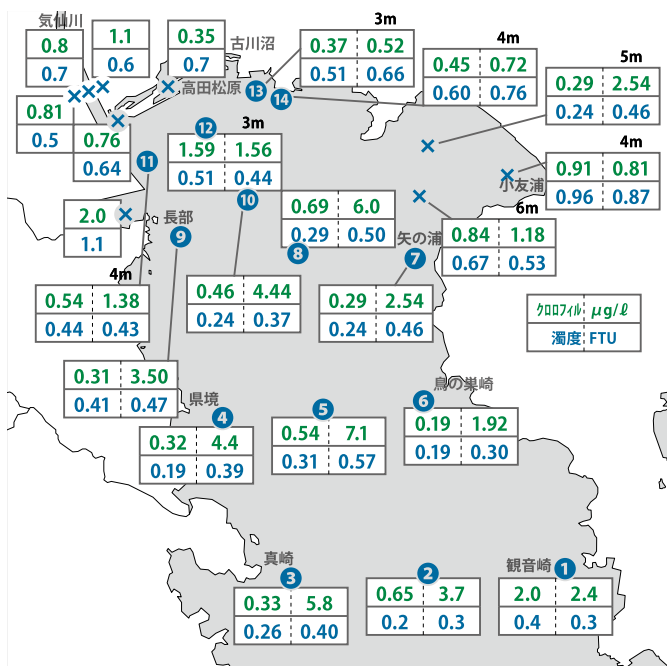
3月の濁度 (FTU) の結果

ところで、この調査結果では、高田松原、気仙川河口の川村水産加工場と浜田川並びに脇の沢のヨット・ハーバーと理研ビタミンの工場の排水口付近でも表面でも水深10メートルでも濁度はすべてにおいて1FTUを下回った。少し高い地点が脇の沢の理研ビタミンの沖で0.76FTUで、両替の三日市干拓地沖で0.96FTU（表面）と0.87FTU（水深4メートル）であった。そのほかは長部と矢野浦のラインの外側の広田湾の中心域と外洋側ではいずれにおいても0.2FTUから0.5FTUであった。とても清浄な海水であると言える。

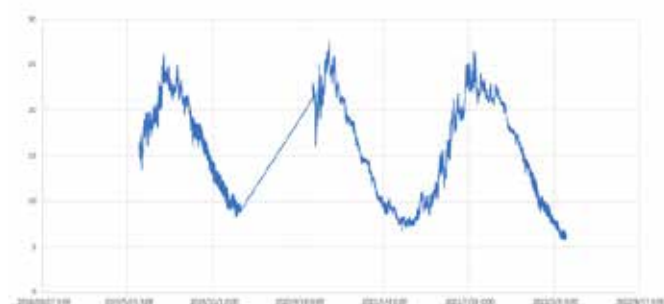
・海洋環境の悪化原因を探る調査必要

このように濁度が高いところは溶存酸素量（％）の低下と一緒に多い。すなわち、濁度の上昇・高い値と溶存酸素の低い値は、その地点の環境と生態系の劣化を示しているとみられる。

ところで、2022年3月の調査では、溶存酸素量が12月に比べて20％も改善し酸素量が増大した。また濁度 (FTU) に関しても、12月時点では、5～350FTUを示し、大変に高いFTU値を示していたが、これらがすべて1FTU以下になり、清浄の基準である0.3FTUの前後を示した。これは酸素とFTUが半比例の関係にあり、溶存酸素が増大し改善されると濁度 (FTU) が低下することを一見示している。また、これら2つの値と他のクロロフィル量との関係も分析の必要がある。

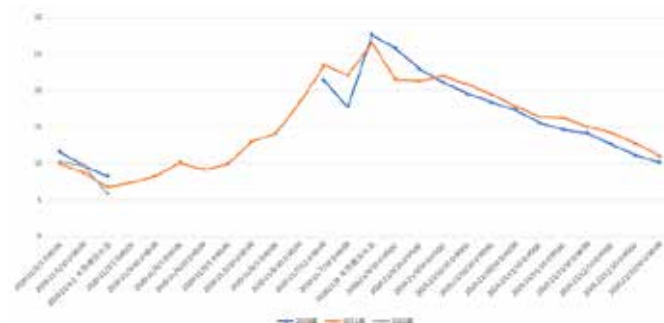


気仙南 表面1メートル

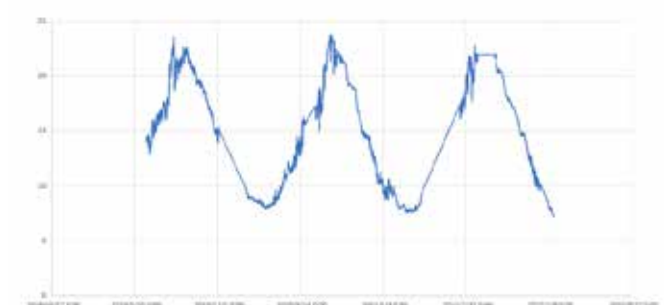


2019年5月から2022年3月8日までの連続水温；生態系総合研究所

気仙南1メートル 対比グラフ

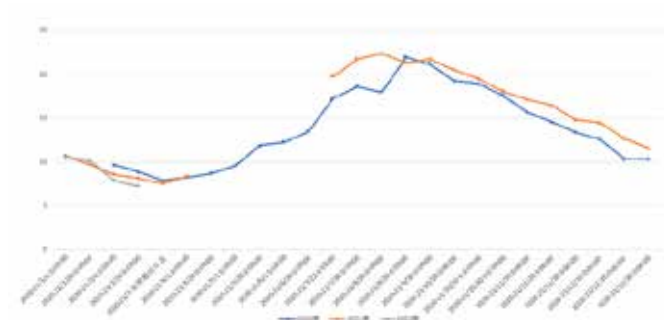


気仙南 水深8メートル



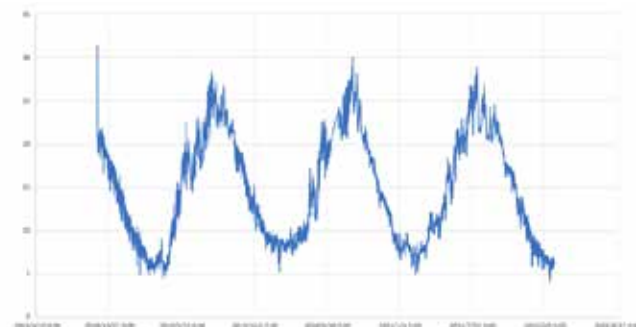
2019年5月から2022年3月8日までの連続水温；生態系総合研究所

気仙南8メートル 対比グラフ



気仙南 水深8メートルの2020年、2021年と2022年の対比

両替 水深1メートル

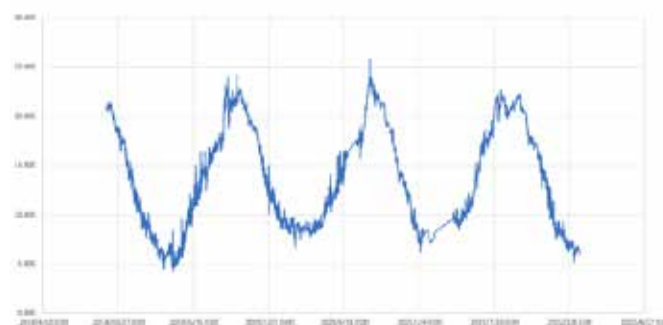


両替1メートル 対比グラフ



両替水深 1メートルの2019、2020、2021年と2022年の対比

両替 水深 6メートル



両替6メートル 対比グラフ



両替水深 6メートルの2019、2020、2021年と2022年の対比

2022年3月7日 大船渡湾の海洋環境科学調査

1. 序文

2022年3月5日には大陸・沿海州で発達した986ヘクトパスカルの低気圧で北海道日本海沖から前線が延び、三陸沖を通過した。翌6日15時には国後島と択捉島沖100キロ真東に低気圧の中心が移動したが、広田湾は大しけであった。7日の大船渡湾は時化とうねりも特段なく、湾口防波堤の外側でもうねりもなかったので順調に調査が実施・完了した。

大船渡湾での3月7日の調査結果は、低気圧の通過により海洋に流速の早い海流が発生し、大船渡湾の全域にわたって、海洋が清浄となったことを示す値がみられた。12月の結果と同様の傾向を示した。

低気圧の影響によって大船渡湾の正確な構造を知ろうと新たな知見が12月の調査に続いて蓄積されたと言える。



写真 大船渡市内から盛川下流域と大船渡湾を望む 2021年9月

2. 調査予定と計測の項目

(1) 15か所の調査地点と測定項目

3月7日(月) 大船渡の下げ潮調査;満潮5時50分(最高潮位128センチ) 干潮12時22分(最低潮位27センチ)(9月28日は下げ潮調査、7月6日は上げ潮調査)(4月4日は下げ潮調査)

8時45分に大船渡市下船渡の新沼敬司氏のカキ小屋に到着し、12月の調査結果の説明をし、今回の調査地点について打ち合わせた。先回同様にカキ作業用の漁船を使用した。計測の項目は前2回と同様にクロロフィル量、溶存酸素量(DO)、濁度(FTU)と塩分量と水温並びに流向と流速を計測した。また、2021年4月5日に設定した水温計を引き上げて水温の長期データを収集した。新沼氏から調査地点に水温の変化が大きいサン・フード加工場前(地点②)と、細浦寄りの漁場(地点⑮)の計測を継続した。合計15か所であった。9時15分頃に出航した。第1調査地点に到着したのが9時31分で、連続水温系の取り上げとデータの計測器からの取り出

しとパソコンへの移転から開始した。15か所目は12時50分から開始しその地点を終了して帰港したのは13時を過ぎた。ほぼ4時間の調査活動である。

(2) 調査員と使用機材

調査員は調査団長が小松正之、調査員が渡邊孝一、西脇茂利。現地調査員が伊藤光男である。調査船は新沼啓司氏のカキ作業漁船;約10トンを使用した。

使用機器

1) AAQ-RINKO AAQ170を使用した。水温、塩分、クロロフィル量、濁度と溶存酸素量を計測し、D-10総合水質計用ハンディターミナルで瞬時に表示した。後刻データはパソコンに取り込んだ。

2) 小型メモリー流速系 INFINITY-EM AEM-USBを使用した。

3) 下船渡地区のカキ養殖いかだに長期間の計測用に設置した連続水温計はDEFI-1Fである。

3. 調査の結果概要

(1) 総括

2021年4月、7月と9月に比較すると明確に異なった結果が得られたが、2022年3月は2021年12月と類似した結果が得られた。双方とも大型の低気圧の通過直後であり、海流が早くこれに湾内の海水が流されたことが原因ではと考えられる。

クロロフィル量に関して4月はカキの収穫後であり、カキに栄養分が吸収されていたと考えられる。7月は湾内ではクロロフィル量が60～70%程度高かったが、9月はずっと高く、2～3倍程度であった。表面の50センチで著しいが、10メートル水深でもこの傾向は観察された。

しかしながら12月では水深50センチでも0.3～0.6 $\mu\text{g}/\ell$ で、極めて低くクロロフィル量は低下した。水深10メートルでは0.7～1.4 $\mu\text{g}/\ell$ であり、これは通常レベルであった。しかし、水深が深く30メートルでは再びクロロフィル量は表面並みに低下した。

2022年3月では12月よりはその量が増大した。表面では1 $\mu\text{g}/\ell$ を超えた。また水深10メートルでは大船渡湾の中央部で2.9～4.9 $\mu\text{g}/\ell$ を記録して、通常より多い値であった。しかし湾口防波堤の外洋域では1 $\mu\text{g}/\ell$ を下回り、水深10メートルと水深20メートルでも0.3～0.4 $\mu\text{g}/\ell$ 程度であった。これは広田湾の外洋域のクロロフィル量の10分の1程度であり、大船渡湾と広田湾の外洋域ないし親潮との関係が必ずしも類似しないことがわかる。

一方、濁度(FTU)は全般的に改善された。特に湾

口防波堤付近の内側と開口部や尾崎で、水深が深くなるほど、4月、7月と9月までは濁度（FTU）は濁りが著しく高かった状態を示していたが、12月は改善がみられた。この傾向が2022年3月の調査結果でも示された。川口橋、盛川河口と太平洋セメントの排水口の濁度（FTU）が1FTUを超えて高かった以外は、大船渡湾の全域でその水深の深さにかかわらず0.1～0.4FTU程度であった。4月から9月までは珊瑚島と尾崎と湾口防波堤の内側の水深30メートルでは、濁度（FTU）が極めて高い値を示したが、これらの調査地点でも、高い濁度（FTU）でも0.87FTU（北堤の内側）であった。

溶存酸素量もこれまで湾口防波堤附近の内側と開口部の内側、尾崎、珊瑚島の水深30メートルの海底部には貧酸素水塊（19～32.5%）（大船渡市環境調査結果も同様の結果）が形成されたが、これが殆ど存在しなくなった。

溶存酸素量についても大船渡湾の全域で100%を超えるか、低くても94.5%（盛川の河口水深10メートル）が最低である。

(2) 調査項目の各論

2) 塩分濃度

全く淡水の流入がない海域（水深10メートル以深）は、大船渡湾では塩分濃度は33.7～33.9%を示すが、淡水の流入がある場合では、この値が低下する。特に海表面に近いほど淡水の流入の度合いが高く塩分濃度が低下する。従って塩分の濃度を示す表から見ると、湾口防波堤まで、そして湾口防波堤の外側の塩分濃度（北堤外28.7‰）を見ても淡水が流れ出ていることを示す。

2022年3月では、塩分濃度はほぼ33%を超える。前回（水深50センチ）と異なり、今回は表面（水深1メートル）である。しかし、表面が水深1メートルであってもかすかに水深10メートルより低いので、表面を淡水が流れて外洋に流出することがわかる。またわずかではあるが水深30メートルではさらに塩分は高くなる。

3) 溶存酸素量（DO）

大船渡湾の溶存酸素量（DO）の特徴はこれまでの4月、7月と9月では一様に、珊瑚島湾口防波堤の開口部、南堤の湾内、尾崎の水深30メートルの溶存酸素量（DO）が極めて悪化した状態で19～32.5%であった。

12月の調査では、水深10～30メートルでも90～95%で低い数値ではなかった。表面のそれは、尾崎の93%を除いた95～97%であり、清浄な海水の溶存酸素量（正常値）に近い。これは日本海に発達した986ヘクトパスカルの低気圧の通過で、通常の流速の10倍程度の流速で示されるように湾内と湾外とも大しけとなり、これらの波浪と流速で、湾内海底部の濁りと貧酸素水塊が湾内の内外に分散したと考えられる。

2022年3月5日にも大陸と日本海に発達した低気圧

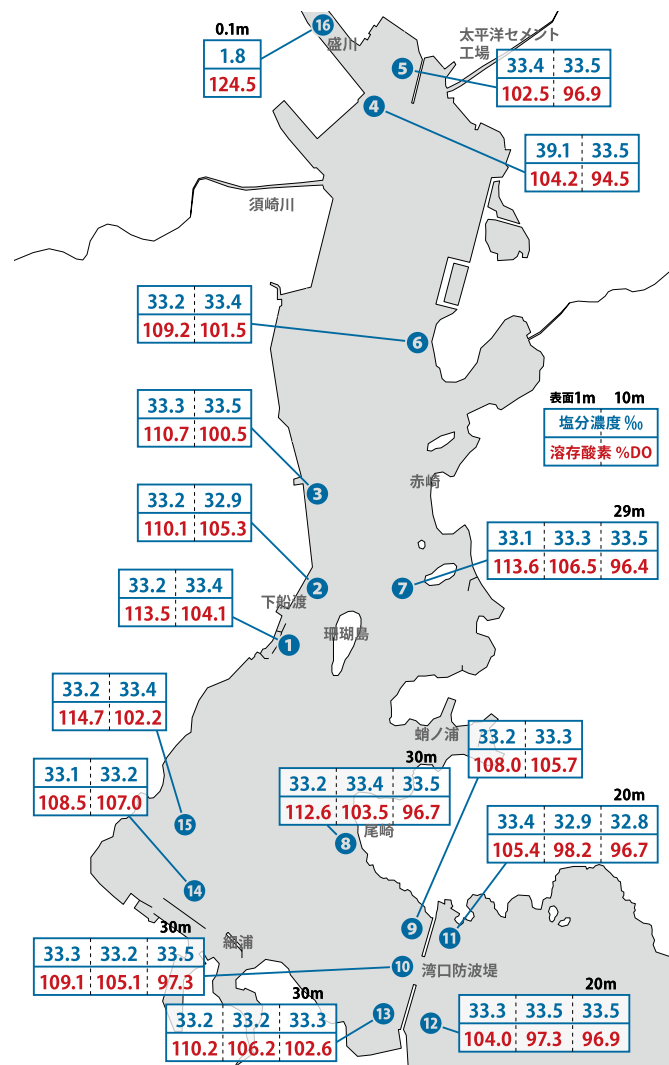


図1. 大船渡湾の塩分濃度と溶存酸素量 2022年3月7日

の影響で3月6日は大しけとなった。私たちが科学計測を実施した3月7日では大船渡湾内は穏やかな波浪であったので時化の影響はなかった。

溶存酸素についても、12月の観測値以上に大幅な改善がみられた。3月では大船渡湾内で概ね100%台を超える溶存酸素量を示し、表面（水深1メートル）で100%を下回った地点は全くなかった。水深10メートルでは、盛川河口では94.5%の値で太平洋セメント排水口で96.9%であった。また、大船渡湾の中央に位置する珊瑚島付近では96.4%であったが、これらの3地点も酸素量は十分にあることを示す。

水深30メートルでも97%の溶存酸素

水深30メートルになると尾崎と湾口防波堤の開口部の内側で、それぞれ、96.7%と97.3%である。夏場にみられた貧酸素水塊は消えている。外洋では、北堤と南堤の外側では水深10メートルと水深20メートルで90%台である。大船渡湾の溶存酸素量は、表面では、2021年7月の調査時点でも、110～140%台と一様に高かった。しかし、尾崎沖の水深38メートルでは39.8%を記録していた。

4) 流向・流速

今回は満潮5時50分（最高潮位128センチ）、干潮12時22分（最低潮位27センチ）であり満潮時を過ぎた9時以降の干潮時にかけての下げ潮時の調査で、総じて表面（水深1メートル）でも水深10メートルでも大船渡湾の北の盛川河口域から、湾口防波堤に向かって流れる南下流であるが、珊瑚島と下船渡地区との間の狭い海域では流向が北向きとなり、逆転流が観察された。

湾口防波堤の開口部においては、下げ潮であるので、表面でも水深10メートルでも湾内から外洋に流出していた。後述のように、尾崎の水深30メートルは流速が速かった。

12月の流向と流速の計測では、流速に関して特異で特徴的であった。赤崎沖（地点⑦）、尾崎（地点⑧）では130～150センチ／秒であるが、これがさらに湾外に近付くと急速な突波流になる。北提内側（地点⑨）、開口部（地点⑩）、北提外側（地点⑪）南提外側（地点⑫）と南提内側（地点⑬）において、突波流が観測されたことである。これらは140センチ／秒から670センチ／秒で、高速の流れである。これらの急速な流れは、それまで海底付近にたまった濁りや貧酸素水塊も洗い流したと、観測結果（濁度／FTUと溶存酸素量／％）から推測される。しかし、それらの一部は湾の奥にこれらの流れで運ばれたとも推測される。

2022年3月の流向と流速

このような傾向は尾崎（地点⑧）の水深30メートルで観測された。293～602センチ／秒であり、12月時点と同様の速い突波流が流れている。これが引き続き大船渡湾の海底付近の貧酸素と濁度（FTU）を洗い流したと推測される。12月に観察された北提内側と南提南側の突速流は、3月には観測されなかった。

開口部（地点⑩）では表面と水深10メートルは湾外に海流が流出する東と南東向きの流れであったが水深30メートルでの流向は南向きと南西向きであり、湾内に流れ込んでいるように観察される。

また、外洋水は、表面で最大104.8センチ／秒であったが、うねりは全くなかった。3月は低気圧の通過はあったものの、12月に比べて大きさが弱く（3月は986ヘクトパスカル、12月は974ヘクトパスカル）であったことも影響があると推測される。

5) クロロフィル量（ $\mu\text{g}/\ell$ ）

クロロフィル量は4月からの計測期間中7月が最も高くなり、9月ではさらに高くなった。12月では低下した。2022年3月ではクロロフィル量は12月に比べて表面と水深10メートルとも増加した。なお水深30メートルでは値が下がる傾向がみられた。

12月にはクロロフィル量は表面（水深50センチ）0.3～0.8 $\mu\text{g}/\ell$ 、水深10メートルでは0.7～1.4 $\mu\text{g}/\ell$ で

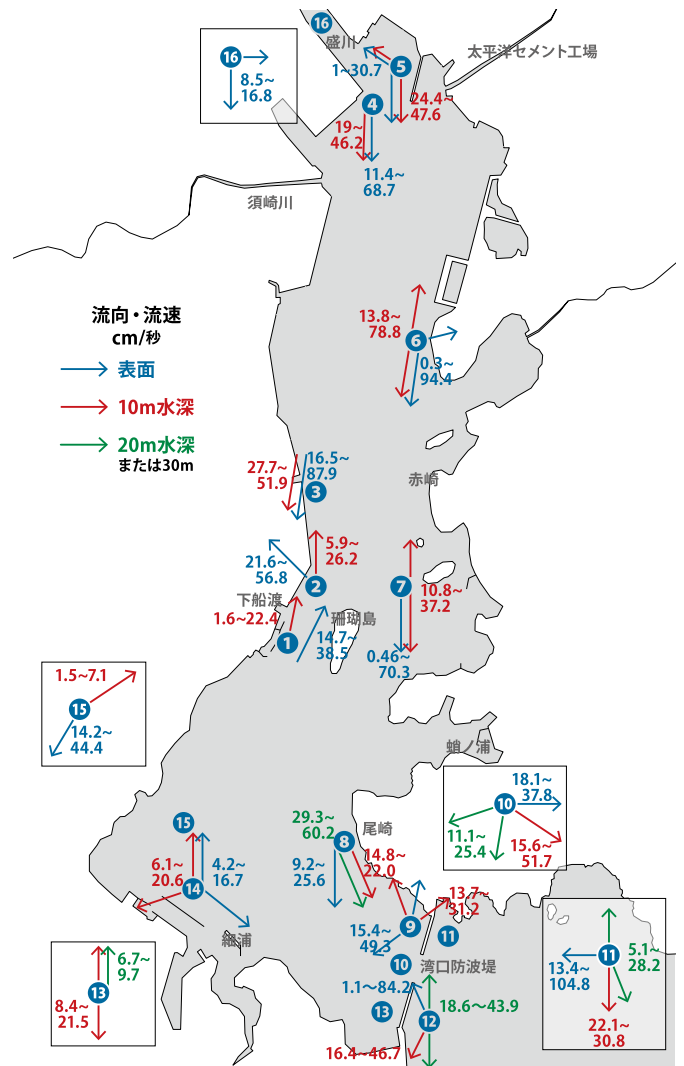


図2 大船渡湾の流向・流速 2022年3月7日

あり、水深30メートルでは0.4～0.8 $\mu\text{g}/\ell$ であった。水深30メートルで少ない量が計測された。

ところで4月においては、湾口防波堤の外においては親潮の影響と推定される栄養分でクロロフィル量が湾内に比較して20～30%高い値を示していたが、12月の調査では北提の外側（地点⑪）と南提の外側（地点⑫）とも湾内のクロロフィル量とほぼ同等の値0.4～0.7 $\mu\text{g}/\ell$ を示した。これはこの付近の湾内の値0.3～0.8 $\mu\text{g}/\ell$ を見ると明らかである。

2022年3月；12月より増加した。特に水深10メートルで。

表面では0.5 $\mu\text{g}/\ell$ ～3.4 $\mu\text{g}/\ell$ を記録した。一般的に尾崎から北側の海域で高く、細浦と湾口防波堤の内側と湾口防波堤の外側の海域は0.35 $\mu\text{g}/\ell$ ～0.5 $\mu\text{g}/\ell$ と極めて低い。これは広田湾の外洋（宮城県境と鳥の巣崎並びに観音崎と真崎を結ぶ線）の値；0.19 $\mu\text{g}/\ell$ ～0.65 $\mu\text{g}/\ell$ とほぼ同様の値である。

しかし水深10メートルではクロロフィル量は増加する。1.1 $\mu\text{g}/\ell$ から4.9 $\mu\text{g}/\ell$ （地点②下船渡地区）である。尾崎から南、細浦と湾口防波堤の内側の海域では1.37～1.91 $\mu\text{g}/\ell$ と表面と比べればこの海域でも高い値である。

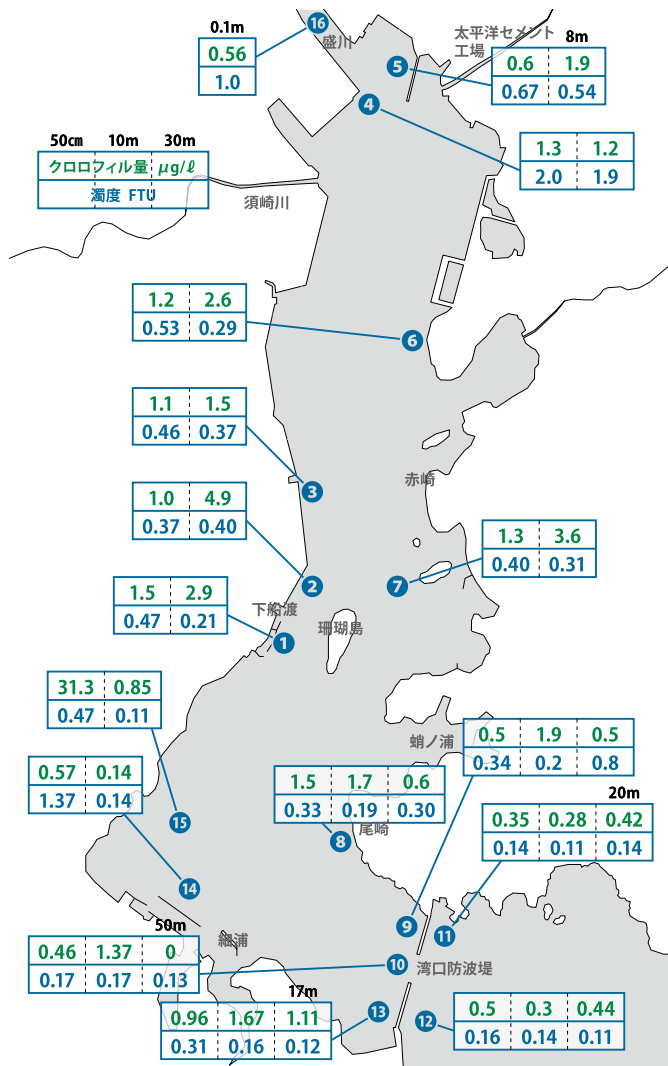


図3 大船渡湾のクロロフィル量と濁度 2022年3月7日

湾口防波堤の内外側では表面のクロロフィル量は低い。

特徴は、湾口防波堤の外側の水深10メートルと水深20メートルでは、値が $0.28\mu\text{g}/\text{l}$ から $0.31\mu\text{g}/\text{l}$ と極めて低かったことである。広田湾の外洋（上述の計測地点）では $1.92\mu\text{g}/\text{l}$ から $7.1\mu\text{g}/\text{l}$ を示した。平均的に見ても $3\sim 5\mu\text{g}/\text{l}$ を示した。これは親潮が栄養を運んできた値であろうと推計されるが、他方、大船渡湾の外洋の水深10メートル以深のクロロフィル量の低い値は、親潮の流れが大船渡湾には入り込まないのかどうか、これは大船渡湾の外洋域の調査をより沖合に拡大するか、門之浜湾、綾里湾や越喜来湾での調査の必要性を示している。

6) 濁度 (FTU)

4～9月までの濁度 (FTU) は深い水深で悪化状態。

9月までは濁度 (FTU) が高かった珊瑚島地点⑦、尾崎 (地点⑧)、北提の内側 (地点⑩) 並びに湾口防波堤の開口部 (地点⑩) は表面、水深10メートルと水深30メートルのどれをとっても悪化していた。

2022年3月は2021年12月に続き濁度 (FTU) 値が改善。

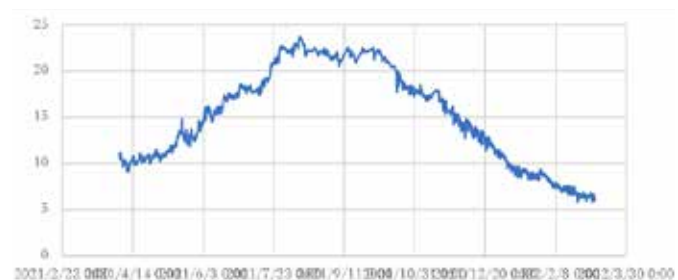
12月のFTU値は低かった。清浄な海水の状況を示す値であった。低気圧の通過によって、表面では突風が吹き、海中・水中では水深30メートルの付近で、強い流速の海流を発生させたことにより、これが濁りと貧酸素水塊を運んだものと推測される。

他方、盛川 (川口橋) (地点⑥) の濁度 (FTU) は2.5FTUであり、太平洋セメントの港内のそれと同じ値で高かった。

2022年3月では、盛川河口 (水深10メートル) で1.9FTUと太平洋セメント排水口付近で0.67FTUを観測したほかは、全ての地点で、表面と水深10メートルで濁度 (FTU) が1FTUを下回った。平均的に見れば0.5FTUを下回り、0.2から0.3FTUも多かった。

特にこれまで高い値が観測された珊瑚島、尾崎、湾口防波堤の北提の内側、湾口防波堤の開口部の水深30メートルや水深20メートルでも、0.13FTU～0.87FTUであった。従って汚濁の原因物質は、これらの海底付近から流されてしまったとみられる。(厳密に言えば海底に着底した調査を行う必要があるが、しかし、海底付近までは本調査でも到達している。)

4) 連続水温の傾向



大船渡湾の下船渡地区に4月5日に連続水温計を設置した。表面1メートルの計測結果であるが最高水温が、 23.4°C (2021年8月11日) であって、これは広田湾に比較すると極めて低い値である。広田湾両替の表面では 25.4°C (8月20日頃) であった。それに比較すると約 2°C 程度低い。また、最低水温が2022年3月5日に記録した 5.8°C であった。

将来への提言

1. 四万十川調査

本調査の目的は河川環境の悪化・劣化の状態を科学的指標を客観的に表示し、科学数字の意を提供し、環境の悪化の原因を解明する。

1) このためには1年を通じて春夏秋冬の調査を3年程度集積し、継続性があり、季節を考慮できる指標とするべきである。

四万十川の河川環境は以下のように過去30年以上にわたり悪化している。

①防災を目的とした河川の護岸と直流化の工事による自然の回復力の低下が濁度（FTU）と夏季期間の溶存酸素の低下など数値に表れている。

②四万十川下流域の国営農場、中筋川や後川を含む農業排水、中流での生姜農業の殺菌剤や稲作の代掻きなど農業排水の流入の影響。

③四万十市の中筋川の高知南西中核工業団地からの工場排水、後川水系の都市下水の排出による濁度と溶存酸素量などの科学数値上の反映（環境悪化）があげられる。

④津賀ダムや佐賀堰の建設と運用による水量、水流の遮断と取水そして停滞が四万十川水系に及ぼす環境的な影響。

2) 上記の①から③への対応としては、地道に科学データ、人文科学的データ（聞き取りと文献データ）と視察・現地調査を繰り返し、継続することにより、データの蓄積を図り、分析に足るものとするのである。この間に下記のダム対応も含めて現地のボランティア活動の充実と構築を図る。

3) 上記④に関しては、科学情報の継続的集積を果たす（四国電力との協力連携を築く）、ダム撤去運動の過去の記録を再検討する。国内・海外のダム撤去の例を調査する。米国のダム撤去例；ワシントン州ElwhaダムやグランドキャニオンにあるGlen Canyon ダムなどを視察検討する。ダムの利点（水力発電、洪水防止、灌漑）があるが他方で、第1次生産力の減少、生物多様性の喪失、固有種の減少、ダム構造の脆弱化、安全性の減退、土壌の蓄積とダム維持コストの増大があげられる。米国内では1990年から2015年で900のダムが撤去された。

2. 大船渡湾と広田湾

1) 大船渡湾

当面、地道に現在実施中の海洋環境の科学的な計測調査を1年に春夏秋冬の4回を2021年度から2023年度までの3か年間は、これを繰り返し実施することが極めて重要である。

湾口防波堤が大船渡湾の水質・環境に及ぼすとみられる影響は、現在のところ夏から秋にかけてであると推定される。秋の後半から春にかけては大船渡湾の水質・環境は良好であるが、国土交通省釜石地方事務所のデータでも夏の環境は悪化している。しかし、これらを継続した調査によって検証することが重要である。また、暫定的対応は夏場の大船渡湾への汚染物質の流入を削減することである。このため湾岸に立地する工場の排水処理能力と、盛川や須崎川の浄化能力向上の可能性を調査すること、加えてカキ養殖場の現状と課題を検討・調査することが大切である。

2) 広田湾・古川沼

陸・海洋と湿地帯の生態系研究と湿地帯の改善のための日米共同（スミソニアン環境研究所・アンダーウッド社との連携）を強化し、2022年度は具体的は湿地帯の造成の対策の第1歩とする。将来は湿地帯の回復のための調査研究所を設置して研究と日米交流と若手科学教育と国際教育を推進することを目標とする。

①古川沼への流入河川のストリーム回復と古川沼の再生

古川沼の流入河川と沼岸の湿地帯（Stream Restoration）計画。

小泉川、川原川上流はStream Restorationを実施する。浜田川は、古川沼に連結し水を流せば古川沼に水流を生じる可能性あり。

古川沼岸、古川沼岸のビーチ造成、古川沼干潟での木製遊歩道設置、祈念公園下の水路、リップラップを掘削し平らにならしてゆるいスロープを造成。沼辺の最大限の植生回復を念頭に計画を立案する。

このような湿地帯造成事業に魅力を有し、取り組む。三陸沿岸や日本の各地にも、モデルとして広がる可能性がある。

この事業は、当初の建設事業費は大きくないが、自然活用の水辺再生で、自然の機能が適切に作用しているかをモニターすること、必要に講じて、修正・改良する必要がある。これらの観点からは、堤防建設と異なり、一度の建設投資ではなく、永続的なモニターや助言・改善

の事業とする。木製の遊歩道・散策路建設や海水浴場の設計と維持管理は自然活用の再生事業で公共事業に対するイメージ・チェンジが起きる。

また、高田松原の砂浜海岸には、砂の流出が起きず、むしろ砂浜が造成される自然活用の砂の再生を目指す。

②小友浦の2つのオプション

オプション1は、Stream restoration。広い浅瀬を作り、農地から流出する肥料などを含む水を通過させ、浄化水を流す。防波堤全面の盛り土・残土処理の場に、真の干潟再生を目指す。

オプション2は、埋立地のすべての土を除去し、もともとあった干潟を再造成すること。このオプションはますます遠ざかったとみられる。

残土に有毒物質、汚染物質が含まれている可能性あり。

3. スミソニアン環境研究所 (SERC) 他海外科学機関との連携

1) スミソニアン環境研究所他との連携の継続

①2017年度にスミソニアン環境研究所のハインズ博士を招待し、陸前高田市の被災地を視察され適切な助言(環境影響評価の実施の重要性)をいただくとともに水産資源管理と自然活用の水辺再生に関する国際シンポジウムを陸前高田市で開催した。

2019年9月にはスミソニアン環境研究所のデニス・ウィグハム博士が来日。古川沼の人工的なコンクリートや材質で固めた環境を、米国や世界が採用している自然の復元力を活用した湿地帯の造成(Nature Based Solution;NBS)の採用で改善するという提案が行われた。それが2020年2月17日から19日スミソニアン環境研究所とアンダーウッド&アソシエイツの古川沼の再訪につながり、実際にNBS自然活用土木の事業を米メリー



米国におけるストリーム・レストレーション・湿地帯造成の例；
アンダーウッド社提供

ランド州で実施している経験をもとに古川沼の予備・視察調査を実施した。

2022年5月31日から6月9日には3度目の来日を果たし、古川沼、気仙川と川原川並びに小友浦の湿地帯と分水嶺を視察し、ドローンでの高次元撮影による3Dと4Dの立体地勢・地図のデータを取りながら具体的なプロジェクトの実施計画の骨子の作成に入った。

この間スミソニアン環境研究所一行はNBSの推進につき、国土交通省水資源・土地管理局長、農林水産省事務次官、環境省自然保護局長、岩手県知事及び、大船渡市長と精力的に意見交換を行った。

また、2022年6月5日には大船渡市で自然活用型の水辺の再生プロジェクトに関する米国の経験を紹介する国際シンポジウムを開催した。6月7日にはスミソニアン環境研究所一行5名と、6名の日本の国会議員との間で、自然工法による水辺再生に関する決議を採択した。

将来ともこれらのプログラムを繰り返し実施し、日本での、コンクリート；グレー・プロジェクトではなく自然活用型の水辺再生；グリーン・プロジェクトの定着を目指す。

②上記のアイデアは四万十川にも適用すべきものであり、可及的速やかにスミソニアン環境研究所の一行を四万十川にも招聘する。

2) 日米海洋河川科学・技術研究所の設置の構想

スミソニアン環境研究所の日本出張所が建設設置できないか。そこでは、スミソニアン環境研究所(SERC)が従来から研究しているNBSによる干潟・湿地帯や河川の再生や窒素排出量のコントロールによる水質の改善と生態系・生物多様性の研究を日本の地で実施する。ここで日米で生物層・海洋構造などを研究する。

また、スミソニアン環境研究所からポスドクを日本に派遣。そのために必要なプロトコルを作成する。どれくらいの期間派遣するかなど。SERC科学者；魚類学、海洋生態系・バイオダイバーシティや湿地帯などの専門家を4人ほど派遣し、現場を観察する。

その後順次、長期的な研究協力構想を樹立する。そして10年後にはスミソニアン環境研究所の日本のブランチを大船渡市に置く。

ここを起点に日米協力、日米海洋科学・技術協力、若手研究者の交流を図る。また日本の学生や若者を市民・若手科学者として当該研究所で教育トレーニングを実施する。

あとかき

私たち一般社団法人生態系総合研究所の事業も2015年から開始以来8年目に突入しました。

これまでの2020年まで6年間は広田湾と気仙川の基本調査にほぼ専念してきました。一時駿河湾と富士川そして、北上川と石巻湾そして万石浦と桃浦も対象にしました。

しかし2021年度からは大きく調査の対象を拡大しました。最後の清流といわれる四万十川を現地の人たちの要請に基づいて実施することにしました。また、大船渡湾と盛川も対象とし、広田湾と気仙川との比較としています。

最後の清流四万十川

四万十川は我が国最後の清流として一躍脚光を浴びました。1983年に「NHK特集 土佐・四万十川～清流と魚と人～」で「最後の清流」として放送されてからです。

四万十川は、東津野村の不入山（1,336メートル）に源流を発し流程は196キロメートルで南下し、また東から西に蛇行してさらに南下します。かつては天然の魚類や甲殻類も豊富な自然が豊かな河川でした。アユやウナギ、川エビとゴリが豊富で、青のりとアオサノリ（養殖他）も多く獲れましたが魚種によっては最盛期の3%まで減少しました。江戸時代から四万十川の下流域の支流である後川や中筋川などは旧中村市街を流れています。

豊かな自然の恵みを提供した半面、河川が氾濫し、旧中村市などが何度も水害に見舞われました。このために河岸工事やダム建設が盛んに行われました。また1980年代には、窪川では四国電力による原子力発電所の建設計画への住民からの強力な反対運動で、計画が取り止めになりました。

私たちは住民や四万十川を愛する方々の期待する四万十川の再生は、科学的情報と根拠に基づく四万十川の科学的評価が最も重要と考えます。そのために必要な科学情報の収集は春夏秋冬を2～3年は地道に調査することが大切です。

大船渡湾と広田湾

大船渡湾の調査を2021年度から初めて開始しました。これは広田湾に隣接して、震災の影響も受けており、2つの湾・河川を比較対照することが有益であると考えました。また、この2つの湾・河川と四万十川の比較分析も重要であると判断したからです。大船渡湾には湾口防波堤と各種工場及び都市下水処理場があり、それと大船渡湾の海洋環境・養殖への影響も調べます。また、広田湾では2キロの巨大防潮堤が完成しました。これによって失われた広域な湿地帯と残った古川沼の環境や、広田湾の海洋環境と養殖業との関係も調べます。

海外研究機関と大学との連携活動

このように一般社団法人生態系総合研究所の事業もとても発展しました。5月31日から6月9日までは米スミソニアン環境研究所の一行5名の科学者・専門家を大船渡と陸前高田市に迎え国際シンポジウムを開催し、現地調査を行いました。2022年度は「自然活用の水辺再生プロジェクト 四万十川と大船渡／広田湾」の真価を問われる年となります。また、7月24日から8月1日までは豪日基金；豪外務貿易省が支援する基金；により豪大使館の講演でタスマニア大学の専門家を迎えてサケの国際シンポジウムと中高生との対話集会を開いて日豪の親善に貢献する事業を予定しています。

敬具

一般社団法人生態系総合研究所
代表理事 小松 正之

2022年8月



＜小松正之：プロフィール＞

一般社団法人生態系総合研究所 代表理事、一般財団法人鹿島平和研究所「食料・生態系及び土地利用研究会」主査、公益財団法人アジア成長研究所客員教授。2021年～日本経済調査協議会「第3次水産業改革委員会」委員長・主査。1953年岩手県生まれ。1977年水産庁に入省。1984年米イェール大経営学大学院卒・経営学修士（MBA）取得。1991～2004年の国際捕鯨委員会日本代表代理、みなみまぐろ保存委員会代表団長、ワシントン条約や国連食糧農業機関（FAO）など国際会議に出席。国際海洋法裁判の日本代表団員、2002年FAO水産委員会議長、インド洋まぐろ類委員会議長などを務める。2004年農学博士号取得（東京大学）。2005年ニューズウィーク誌の「世界が尊敬する日本人」に選ばれる。2007年水産庁を退官。2008～11年内閣府規制改革会議専門委員。2008～12年政策研究大学院大学教授。2010～2016年新潟県参与。2015～2020年東京財団政策研究所主席研究員。2017～19年日本経済調査協議会「水産業改革委員会」主査。主な著書に『国際マグロ裁判』『日本人とクジラ』『これから食えなくなる魚』『劣勢を逆転する交渉力』『なぜ日本にリーダーがいなくなったのか？』『国際裁判で敗訴！日本の捕鯨外交』『地球環境陸・海の生態系と人の将来』『大震災後の海洋生態系―陸前高田を中心にして』（2022年7月）など。

四 万 十 川 調 査 大船渡湾・広田湾調査 2021年度報告書

森 川 海 と 人
自然活用の水辺再生プロジェクト

2022年8月1日発行

発行所 一般社団法人 生態系総合研究所

著 者 一般社団法人 生態系総合研究所



尾崎から見た大船渡湾

四万十川調査 大船渡湾・広田湾調査 2021年度報告書

森 川 海 と 人 自然活用の水辺再生プロジェクト

一般社団法人 生態系総合研究所 Ecosystem Research Institute



陸前高田松原の堤防