

産学官連携共同研究

下水処理施設の季節別運転管理による  
ノリ養殖海域への効果

報 告 書

令和2年12月

一般財団法人佐賀県環境科学検査協会  
国立大学法人佐賀大学  
佐賀市上下水道局



## はじめに

有明海では、佐賀市の重要な産業であるノリ養殖が行われており、佐賀市下水浄化センターはノリ養殖の漁場と非常に近い場所にあるため、建設当時から地域の漁業と共存することが重要でした。

昭和 53 年の佐賀市下水浄化センター運転開始以降、下水道の普及とともに処理水量も年々増加してまいりました。また、平成 17 年及び平成 19 年の市町村合併においても、下水処理場の建設計画が合併調整において協議され、建設が計画中の処理場は効率化のため建設を取りやめ、佐賀市下水浄化センターに統合することになりました。

そこで、佐賀市下水浄化センターが地域の産業と共存するための方策として、平成 19 年から、運転方法を季節ごとに変更することで、ノリ養殖期間に通常より多くの栄養塩を処理水として供給する「季節別運転管理」を開始しました。

全国でも事例が少なかった季節別運転管理の取組は、既に 10 年以上が経過し、佐賀市と同様の取組を行う下水処理場が増加しています。現在は、30 件以上の処理場が同様の運転管理を実施し、環境の保全と産業振興の両立を目指しています。

また、国土交通省においても、「きれいで豊かな海の確保」は下水道も取り組むべき課題と認識し、平成 27 年には「下水放流水に含まれる栄養塩類の能動的管理のための運転方法の手順書（案）」をまとめ、地域の実情を考慮した運転を促進しています。

本共同研究は、このような背景において下水浄化センターの処理水について、放流後の挙動を把握するとともに、ノリ養殖場の海域における水質的なデータを調査し、その結果をまとめることで、処理水が有明海の水環境へ与える影響を科学的に分析し、評価するために、(一財)佐賀県環境科学検査協会、佐賀大学、佐賀市上下水道局の産学官が連携して 4 年間行いました。

本共同研究により処理水に含まれる栄養塩は、ノリ養殖の海域で拡散し効果的に供給が行われていることが確認できたことから、今後も引き続き季節別運転管理を実施することで、地域産業の下支えになるよう努めてまいります。

最後に、佐賀県有明海漁業協同組合の皆様をはじめ、海域調査等へ多くの方からご協力いただきましたことに、心から感謝申し上げます。

令和 2 年 12 月

佐賀市上下水道事業管理者 田中 泰治

## 内 容

用語の説明	1
1. 佐賀市下水浄化センターの季節別運転管理について	2
1.1 佐賀市下水浄化センターの概要	2
1.2 運用管理の方法	5
1.3 処理水量の推移	6
1.4 処理水の水質	7
<参考文献>	8
2. 有明海の環境特性	9
2.1 流入河川の特徴	9
2.2 有明海の特徴	11
2.2.1 閉鎖性について	11
2.2.2 干満差について	13
2.2.3 高濁度海水について	13
2.2.4 干潟について	14
2.3 受水域の水質環境	15
2.3.1 地点別における各水質項目の経年変化	17
2.3.2 地点別における各底質項目の経年変化	23
2.3.3 受水域の水質・底質環境のまとめ	28
<参考文献>	28
3. 有明海湾奥部における流入河川及び処理水の流況	29
3.1 目 的	29
3.2 衛星画像解析による流入河川の流況解析	30
3.2.1 調査内容	30
3.2.2 解析結果と考察	36
3.3 現地調査による下水浄化センター処理水の流況	38
3.3.1 調査内容	38
3.3.2 調査結果と考察	40

3.4	まとめ	42
	<参考文献>	43
4.	ノリ養殖海域への窒素供給及び処理水の影響	44
4.1	目的	44
4.2	ノリ養殖海域における無機態窒素等の平面分布調査	45
4.2.1	調査内容	45
4.2.2	調査結果と考察	47
4.3	ノリ養殖海域における潮汐に伴うNH <sub>4</sub> -N等の挙動調査	56
4.3.1	調査内容	56
4.3.2	調査結果と考察	58
4.4	まとめ	64
4.4.1	季節別運転管理によるノリ養殖海域への無機態窒素の供給	64
4.4.2	ノリ養殖海域への水温・比重・残留塩素の影響	65
	<参考文献>	66
5.	処理水によるノリ養殖海域の低比重化への影響	67
5.1	目的	67
5.2	処理水の流下に伴う比重・水温の挙動調査	69
5.2.1	調査内容	69
5.2.2	調査結果と考察	71
5.3	本庄江河口における比重及び水温の挙動調査	75
5.3.1	調査内容	75
5.3.2	調査結果と考察	77
5.4	本庄江河口からノリ養殖海域境界における表層水の比重及び水温の挙動調査	78
5.4.1	調査内容	78
5.4.2	調査結果と考察	82
5.5	ノリ養殖海域における表層水の比重及び水温の挙動調査	87
5.5.1	調査内容	87
5.5.2	調査結果と考察	91
5.6	まとめ	94

<参考文献> .....	96
6. ノリ養殖時期における窒素供給の効果と妥当性 .....	97
6.1 目的 .....	97
6.2 解析方法と解析結果 .....	97
6.2.1 計算対象の範囲設定 .....	98
6.2.2 下水浄化センターと河川からの窒素供給 .....	100
6.2.3 移流量の計算 .....	102
6.2.4 ノリ養殖による栄養塩添加量および窒素取上げ量について .....	104
6.2.5 受水域におけるノリの色落ち頻度について .....	106
6.2.6 解析結果 .....	107
6.3 季節別運転管理による副次的効果：エネルギーの削減 .....	109
6.3.1 曝気量 .....	109
6.3.2 送風機の電気使用量 .....	109
6.4 まとめ .....	111
<参考文献> .....	111
7. 総括 .....	112

## 用語の説明

本報告書で用いる用語については下表の説明のとおりである。

用語	説明
COD	化学的酸素要求量のこと。水中の有機物を酸化剤で分解する際に消費される酸化剤の量を酸素量に換算したもので、海水や湖沼水質の有機物による汚濁状況を測る代表的な指標。
NH <sub>4</sub> -N	アンモニア性窒素のこと。硝化抑制運転（ノリ養殖期）で対象としている主な栄養塩である。
NO <sub>2</sub> -N	亜硝酸性窒素のこと。栄養塩の1つである。
NO <sub>3</sub> -N	硝酸性窒素のこと。栄養塩の1つである。
DIN	無機性窒素のこと。NH <sub>4</sub> -N、NO <sub>2</sub> -N 及び NO <sub>3</sub> -N の合計である。
T-N	全窒素のこと。窒素化合物の総量をいう。窒素は、動植物の増殖に欠かせないもので、リンとともに栄養塩と呼ばれる。硝化抑制運転時期（ノリ養殖期）の処理水中の T-N のほとんどを NH <sub>4</sub> -N が占める。
T-P	全リンのこと。リン化合物の総量をいう。リンは、動植物の増殖に欠かせないもので、窒素とともに栄養塩と呼ばれる。
T-S	全硫化物のこと。硫化物は、有機性浮遊物等が底泥上に沈降し、その分解によって酸素が消費されて還元状態になると、硫酸塩還元細菌の増殖によって硫化水素が発生し、これによって底質中に金属等とともに生成される。
比重	<p>一般的には、同じ体積における「基準の物質」と「ある物質」の質量比である。本報告書では、淡水に対する海水の質量比となる。ノリ養殖では、慣例で 1.0 の部分を省略するため、比重が「1.015」の場合は「15」と表す。</p> <p>比重の計算には、以下に示す佐賀県有明水産振興センターで使用されている換算式を用いて、塩分計による塩分の測定結果を基に換算した。</p> $\text{比重} = -0.8368250533 + 0.7713553731 \times S - 0.000361814 \times S^2 + 0.0000063579 \times S^3$ <p>S : 塩分 (psu)</p>
潮位	<p>佐賀県有明海漁業協同組合から発行されている六角川観測塔の潮汐表に記載されている潮高を潮位として取り扱った。</p> <p>六角川観測塔潮位については、大浦港の観測潮位（気象庁）を次の式※にて換算したものである。</p> $\text{六角川観測塔潮位 (cm)} = (\text{大浦港潮位} - 268) \times 1.058 + 314$ <p>※梅田智樹・伊賀田邦義：有明海湾奥部における潮位偏差とノリ養殖のための潮汐表の見直し，佐有水研報，27号，pp.45-54，2014.</p>

## 1. 佐賀市下水浄化センターの季節別運転管理について

### 1.1 佐賀市下水浄化センターの概要

佐賀市下水浄化センター（以下、下水浄化センター）は、図 1.1.1 に示すように佐賀市南西部に位置し、処理水は有明海に接続する本庄江を経て、同海北西部の湾奥部へ放流される。放流先である有明海湾奥部には、全国有数のノリ養殖場が広がっており、ノリ養殖期である冬季には、海水中の栄養塩濃度の低下に起因するノリの色落ちが問題となることがある。佐賀県では漁業者による栄養塩添加<sup>1)</sup>を行い、色落ちを回復させ海苔の品質を向上させるための取り組みを行っている。そこで、下水浄化センターでは、地域産業のニーズに応えるべく季節別運転管理を行い、ノリの養殖時期である冬季には栄養塩濃度を高めた処理水を放流している。



図1.1.1 佐賀市下水浄化センターの位置



表 1.1.1 に下水浄化センターの施設概要を示す。下水浄化センターは昭和 53 年 11 月から供用が開始された。平成 21 年に汚泥堆肥化施設、平成 23 年に消化ガス発電施設の運用を始めるなど、汚泥や消化ガスの有効活用にも取り組んでいる<sup>4)</sup>。図 1.1.2 及び図 1.1.3 の衛星画像に示すとおり反応槽と最終沈殿池は 3 系 7 系列（第 1 系および第 2 系は 3 系列、第 3 系は 1 系列）となっている。

表1.1.1 下水浄化センターの施設概要<sup>2) 3)</sup>

項目		内容
排除方式		分流式
計画処理面積 (ha)		全体計画 : 4,326.4 事業計画 : 4,299.9
現有能力 (m <sup>3</sup> /日)		67,000
供用開始		昭和 53 年 11 月
計画処理人口 (人)		全体計画 : 164,700 事業計画 : 179,800
水処理方式	流総計画※	循環式硝化脱窒法+凝集剤添加
	事業計画	標準活性汚泥法
	実運用	・標準活性汚泥法 (4 系列) ・担体投入標準活性汚泥法 (3 系列)
計画放流水質	BOD (mg/L)	15
放流先		本庄江→有明海
季節別運転管理開始年度		平成 19 年度

※流総計画：有明海流域別下水道整備総合計画



図1.1.2 佐賀市下水浄化センターの衛星画像



図1.1.3 排水処理施設の衛星画像

## 1.2 運用管理の方法

栄養塩を高めた処理水を放流する期間は、ノリ養殖期及び有明海流域別下水道整備総合計画を勘案して設定している。運転期間の区分は、通常運転期間が4月～9月、硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）である10月～3月である。硝化抑制運転期間中は、法定基準値を遵守できる範囲で可能な限り高い栄養塩濃度を水質目標として放流している。

通常運転と硝化抑制運転については、図1.2.1に示すとおりであり、通常運転期間が反応槽の初め1/4を嫌気槽、硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）が反応槽の前半1/2を嫌気槽として、各反応槽の状態を切り替えながら運転を行っている。

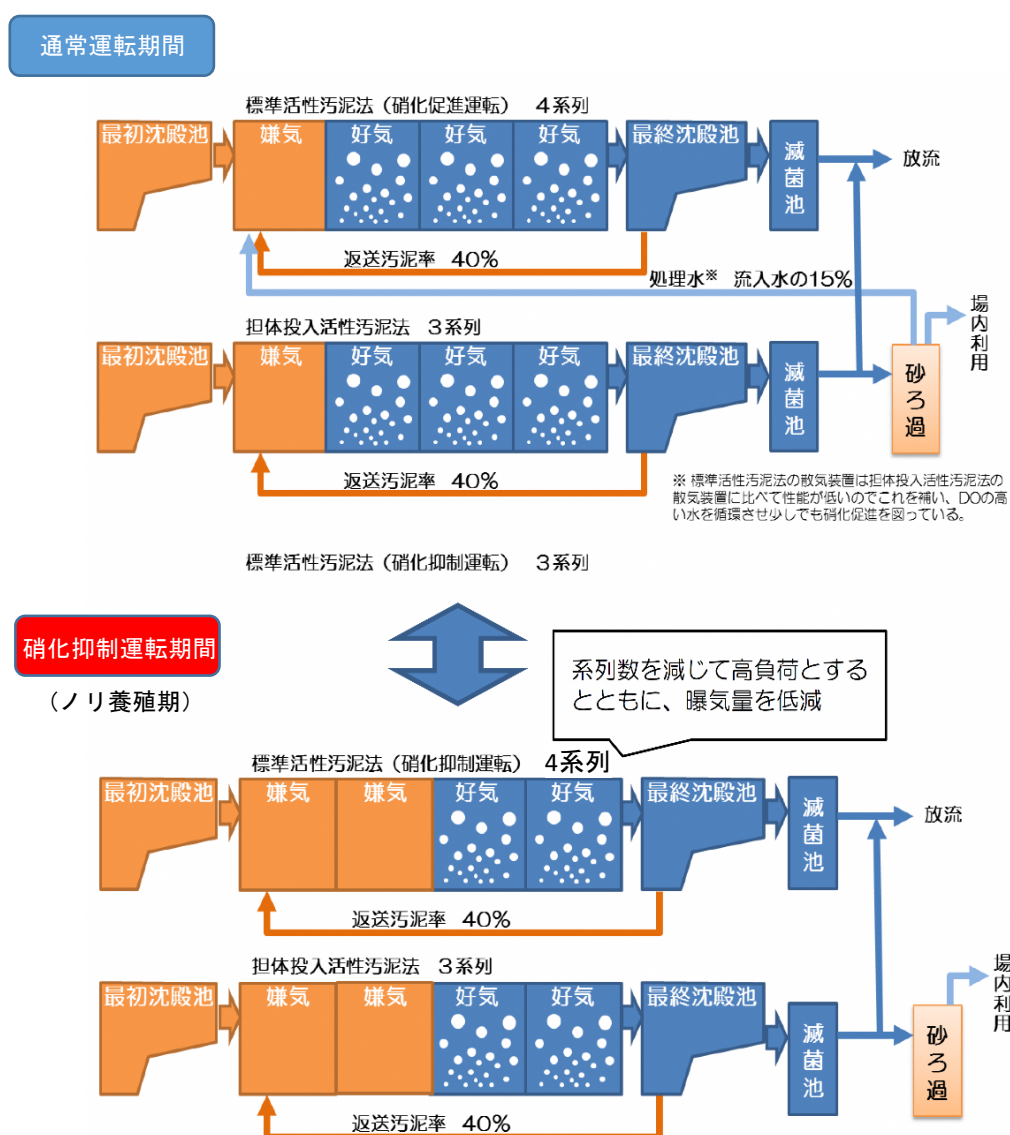


図1.2.1 通常運転から硝化抑制運転への切り替え<sup>2)</sup>

### 1.3 処理水量の推移

図 1.3.1 に干潮時の放流口の状況を示す。放流口は本庄江の河口から 0.8km 地点の左岸に位置している。河道内にはガタ土が堆積し、高水敷ではヨシ原が高密度に繁茂している。

図 1.3.2 に日平均放流量の経年変化を示す。昭和 53 年 11 月の供用開始後、下水道接続率の増加に伴い、放流量は徐々に増加し、現在では日平均では約 50,000m<sup>3</sup>/日に達している。



図1.3.1 干潮時の放流口の状況

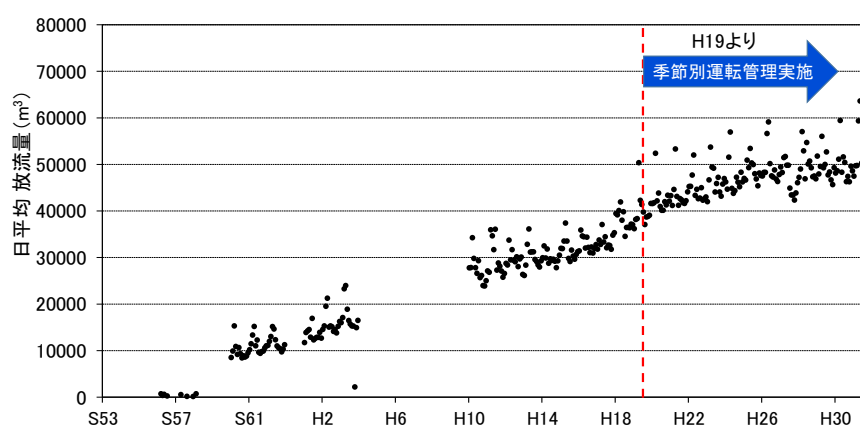


図1.3.2 日平均放流量の経年変化

## 1.4 処理水の水質

図1.4.1～図1.4.3にBOD、T-N及びDIN、T-Pの平成27年度から令和元年度の5年間平均値の経月変化を示す。通常運転期間が4月～9月、硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）が10月～3月である。

BODとT-Pの年間を通じた濃度の変動幅は、それぞれ5～10mg/Lと1～2mg/L程度である。

一方、NH<sub>4</sub>-N濃度は、通常運転期間が10～25mg/Lに対して、硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）には、T-Nの80～90%を占め、20～35mg/Lまで高めて放流され、ノリ養殖への寄与が期待される。

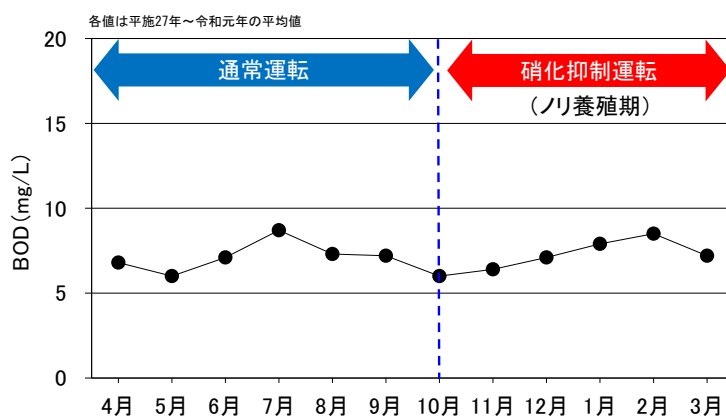


図1.4.1 BODの経月変化

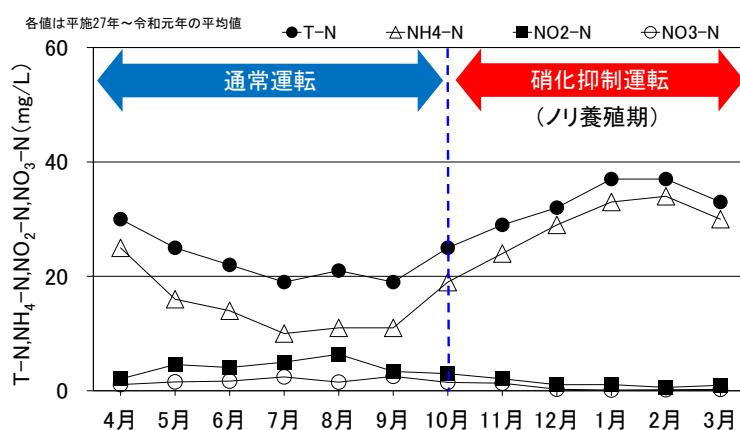


図1.4.2 T-N及びDINの経月変化

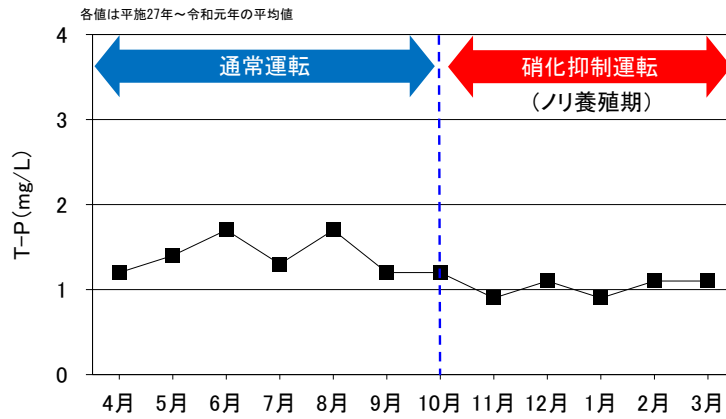


図1.4.3 T-Pの経月変化

<参考文献>

- 1) 川村嘉応, 久野勝利, 横尾一成: 佐賀県有明海で実施されている栄養塩添加の現状, 佐有水研報, 25号, pp.81-87, 2011.
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部: 栄養塩類の循環バランスに配慮した運転管理ナレッジに関する事例集, pp.38-41, 2014.
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部: 下水処理水に含まれる栄養塩類の能動的管理のための運転方法に係る手順書(案), pp.83-86, 2015.
- 4) 山口徳雄: “宝の海”有明海に根ざした下水処理を目指して, 下水道協会誌, Vol.50, No.603, pp.47-50, 2013.

## 2. 有明海の環境特性

### 2.1 流入河川の特徴

有明海に流入する河川は 112 河川あり、流域面積の合計は約 8,420km<sup>2</sup>である。図 2.2.1 に示すとおり、有明海に流入する一級河川は、有明海の南西端の島原半島より時計回りに、本明川、六角川、嘉瀬川、筑後川、矢部川、菊池川、白川、緑川の 8 河川である。2 級河川は 104 ある。流入河川の流域面積は合計で約 8,000km<sup>2</sup>と、有明海の海域面積 (1,700km<sup>2</sup>) の 5 倍近くにも上る。これらの河川によって湾内の塩分が低下し、特に夏の湾奥部では海域の表層部に淡水域が形成されることもある。干満差が大きいため一日のうちでも塩分が大きく変化する特徴がある<sup>2)</sup>。その中でも本節では、佐賀市下水浄化センターが位置する有明海湾奥部において主要な流入河川である筑後川、嘉瀬川、六角川、そして下水浄化センター処理水の放流先である本庄江についての概要を以下に示す。



図2.1.1 九州の一級河川<sup>1)</sup>

### ○筑後川の特徴

筑後川は、その源を阿蘇外輪山に発し、高峻な山岳地帯を流下して日田市に至り、途中、玖珠川などの数々の支川と合流しながら山間盆地や肥沃な筑後・佐賀両平野を貫流して、有明海に注ぐ、幹川流路延長 143km、流域面積 2,860km<sup>2</sup>の九州地方で最大規模の一級河川で、流域面積を占める平地の割合は約 34%である。年総流出量は、45.04 億m<sup>3</sup>で有明海に流入する 8 つの一級河川の中で最も多い (図 2.1.2)。

### ○嘉瀬川の特徴

嘉瀬川は、その源を佐賀県佐賀市三瀬村の背振山系に発し、神水川、天河川、名尾川等の支川を合わせながら南流し、石井樋で多布施川を分派したのち、下流で祇園川を合わせて佐賀平野を貫流し、有明海に注ぐ、幹川流路延長 57km、流域面積 368km<sup>2</sup>の一級河川で、流域面積を占める平地の割合は約 27%である。年総流出量は、7.32 億m<sup>3</sup>である (図 2.1.2)。

### ○六角川の特徴

六角川は、その源を佐賀県武雄市山内町の神六山 (標高 447m) に発し、武雄川等の支川を合わせて低平な白石平野を蛇行しながら貫流し、下流部において牛津川を合わせて有明海に注ぐ、幹川流路延長 47km、流域面積 341km<sup>2</sup>の一級河川で、流域面積を占める平地の割合は約 39%である。六角川の特徴は、非常に河床勾配が緩慢な河川であり、感潮区間が約 29km まで及ぶ。年総流出量は、4.96 億m<sup>3</sup>である (図 2.1.2)。

### ○本庄江の特徴

本庄江は佐賀市西部のクリーク網が接続されているのみで、山地の水源がなく流域はすべて平地となる。幹川流路延長 8.1km、流域面積 30km<sup>2</sup>の二級河川である。嘉瀬川の流域面積の約 1/12 である。なお、本庄江の公式な流量データはないが、流域面積から考えて非常に少ないと考えられる。

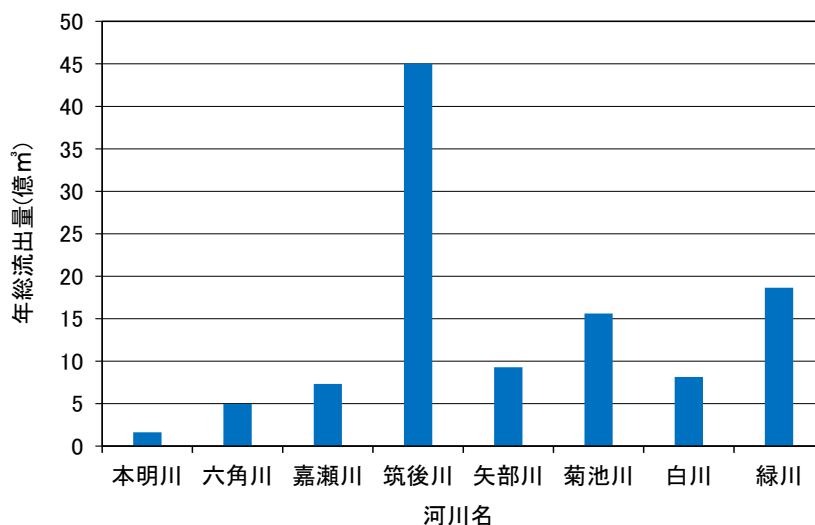


図2.1.2 各一級河川からの年総流出量<sup>3)</sup>



## 2.2 有明海の特徴

有明海は、東京湾などの他の閉鎖性海域と比べて、①閉鎖性が高い、②大きな干満差、③高濁度海水、④広大な干潟等の特徴がある。これにより、湾奥部浅海域において独特の生態系が発達し、高い生物多様性と豊かな生物生産性を有している等、希有な生態系を有した水産資源の宝庫である<sup>4)</sup>。以下に各々の特徴について述べる。

### 2.2.1 閉鎖性について

有明海は福岡・熊本・長崎・佐賀の4県に囲まれ九州西部に南から深く入り込んだ大きな内湾であり、その規模では、東京湾・伊勢湾・大阪湾等にも匹敵する(図2.2.1)。胃袋型に湾曲した形状をもつこの湾は、湾軸の延長96km、平均幅18km、水面積は約17万haの水面を有するが、平均水深は約20mに過ぎない。潮汐に伴って出入りする海水の99.5%以上は早崎瀬戸(他海域との連絡部の幅:5km)を通じて行われている<sup>5)</sup>。三角、柳、本渡の各瀬戸で八代海と連結しているが、八代海自体が奥深い内湾であり、有明海の内湾としての性格にほとんど影響を及ぼしていない<sup>6)</sup>。表2.2.1に日本国内の主な閉鎖性海域の諸元を示す。この表からも有明海は八代海に次いで閉鎖性が高いことが分かる。

また、有明海では海水交換におよそ54日要し、更に基本的に潮汐残留差流が反時計回りであるため、東岸沿いから湾奥にかけて物質が移動・蓄積する傾向にある<sup>5)</sup>。

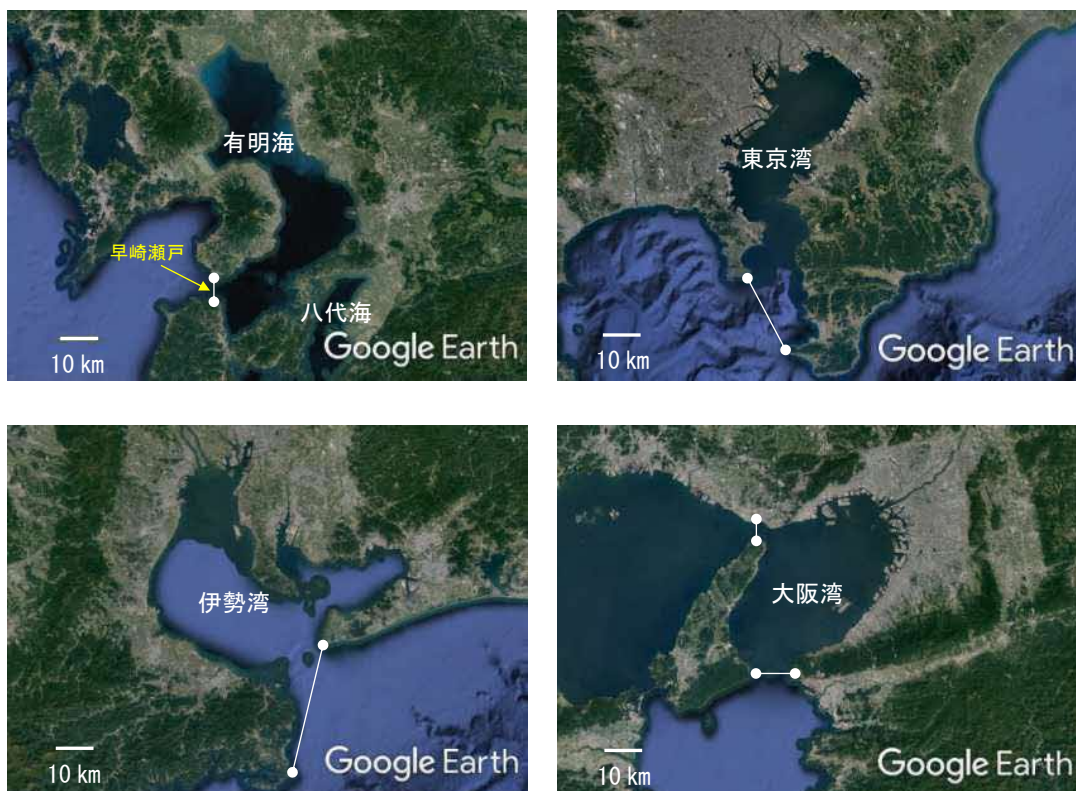


図2.2.1 主な閉鎖性海域の衛星画像

表2.2.1 有明海・八代海等及び他の閉鎖性海域の諸元<sup>4)</sup>

項目	有明海	八代海	橘湾	牛深町 周辺	東京湾	伊勢湾	大阪湾
水域面積 (km <sup>2</sup> )	1,700	1,200	745	—	1,380	2,342	1,447
容体積 (km <sup>3</sup> )	34	22	34	—	62	39	44
平均水深 (m)	20	22	48	—	45	17	30
藻場面積 (ha)	1,599	1,141	1,661	388	1,428	2,278	110
干潟面積 (ha)	18,841	4,085	406	0	1,734	2,901	79
平均潮位差[大潮時] (m)	5.4 (住ノ江港)	3.7 (八代港)	2.9 (荅北)	2.3 (阿久根)	1.9 (東京港)	2.4 (名古屋港)	1.4 (大阪港)
閉鎖度指数	12.9	32.5	1.3	—	1.8	1.5	1.1 (瀬戸内海)
一級河川の流入水量 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /年)	10,049	4,992	—	—	6,256	23,232	8,898
流域面積 (km <sup>2</sup> )	8,420	3,409	342	28	7,597	16,191	5,766
流域内人口 (千人)	3,293	453	124	5	28,643	10,941	15,489

1. 伊勢湾とは伊勢湾と三河湾を含む。
2. 大阪湾の藻場面積、干潟面積は、「第5回自然環境保全基礎調査海辺調査」の海域区分である大阪湾北と大阪湾南の合計である。
3. 藻場と干潟面積は1993～1995年度までの調査結果である。なお、有明海の干潟面積は諫早湾の干拓事業で減少した面積分(1,550ha)を差し引いている。
4. 閉鎖度指数の値が高いと海水交換が悪く、富栄養化のおそれがあることを示す。牛深町周辺では開放された水域であることから閉鎖度指数は算出していない。
5. 流入水量は、各海域に流入する一級河川の年総量である。有明海・八代海は2012年度(矢部川のみ2012年の値)、東京湾・伊勢湾・大阪湾は2009年度の値である。なお、橘湾及び牛深町周辺の海域には一級河川は流入していない。
6. 流域内人口について、有明海と八代海は2013年度現在の流域内人口であり、東京湾、伊勢湾及び大阪湾は2013年度現在の総量規制指定地域内の人口である。橘湾及び牛深町周辺の流域内人口は2010年度である。
7. 牛深町周辺の水域面積、容体積及び平均水深は、文献等がないことから記載していない。

### 2.2.2 干満差について

有明海の大きな特徴は、干満差が大きいことであり、大潮時の潮位差は湾口の早崎瀬戸で3~4m、湾奥にいくほど更に大きく佐賀県側では5m近くなる。この干満差の原因は、太平洋を東から西に伝播する潮汐波が東シナ海に入ると水深が浅くなるため波高を増すこと、湾口部から伝播した波が湾奥部まで達し、再び湾口部まで帰ってくる周期（約11時間）と一日二回の干満を引き起こす半日潮の周期（約12時間）が近いといわれる<sup>5)</sup>。

図2.2.2に本庄江河口における満潮時と干潮時の状況を示す。干潮時には干潟が広がっている様子が確認できる。



図2.2.2 本庄江河口の状況（左：満潮時、右：干潮時）

### 2.2.3 高濁度海水について

有明海湾奥部海域の大きな特徴として、大きな干満差に起因する速い潮流によって、「ガタ土」と呼ばれる細粒土の巻き上げが発生し、一般的な海域と比べ、比較的高濁度の状態にあることが挙げられる。有明海の濁りについて、伊藤（2004）<sup>7)</sup>は、「筑後川を中心とした大小100あまりの河川から、有明粘土と呼ばれるモンモリロナイト系の微細な粘土粒子が有明海には流れ込んでいる。この粘土粒子は海水中のナトリウムやマグネシウムなどの塩類イオンと反応して凝集する性質をもつ。このとき水中の懸濁性有機物や栄養塩（アンモニウム、硝酸、亜硝酸、リン、ケイ酸など）を吸着して綿状の肥沃な懸濁物質となり、堆積し干潟を形成する。また、この懸濁物質は、有明海特有の干満による速い潮流で常に巻き上げられ「浮泥」と呼ばれる濁りのもとになる。浮泥は栄養塩に富み、動物プランクトンだけでなく、二枚貝や多毛類など多種多様なベントスの貴重な餌となっている。さらに、食物連鎖を通して魚類や甲殻類とも密接に関係しており、有明海の高い生産力を支えてきた。また、この浮泥は強い潮流により常に懸濁しているため好氣的に分解されやすく、酸化層に富んだ有明海独特の物質循環を成り立たせていた。また、佐賀県中西部から諫早湾にかけての泥干潟は、植物プランクトンの繁殖の場であり、浮泥とともに有明海の高い生産力を支えてきた源であった。」（p.70）と述べている。

## 2.2.4 干潟について

干潟面積は我が国最大の約 188km<sup>2</sup> あり、全国の干潟の約 4 割を占める。干潮時には干潟が海岸線より 5~7km 沖まで広がる。この広大な干潟は地域により性質が異なる。そのことには流況が大きく関係する。潮流は、島原半島の南端と天草下島の間の早崎瀬戸では約 7~8 ノットであり、奥ほど弱くなるものの、大きな潮位差や河川での入退潮によって比較的速い。早崎瀬戸から流入した海水は、天草下島・大矢野島をかすめて島原半島沿いに北上、筑後川河口部まで遡り、更に下げ潮に乗って佐賀県の沿岸に南下し、一部は諫早湾に流入しながら島原半島沿岸に沿って早崎瀬戸へ戻る。このような流況は、流域の各河川から運び込まれた土砂の沈殿堆積を場所によって異にし、熊本沿岸までは荒尾市まで砂分、大牟田市から佐賀県太良までの沿岸と諫早湾の湾奥部には泥分（シルト・粘土）が多いといった干潟の地域差を形成している<sup>5)</sup> (図 2.2.3)。

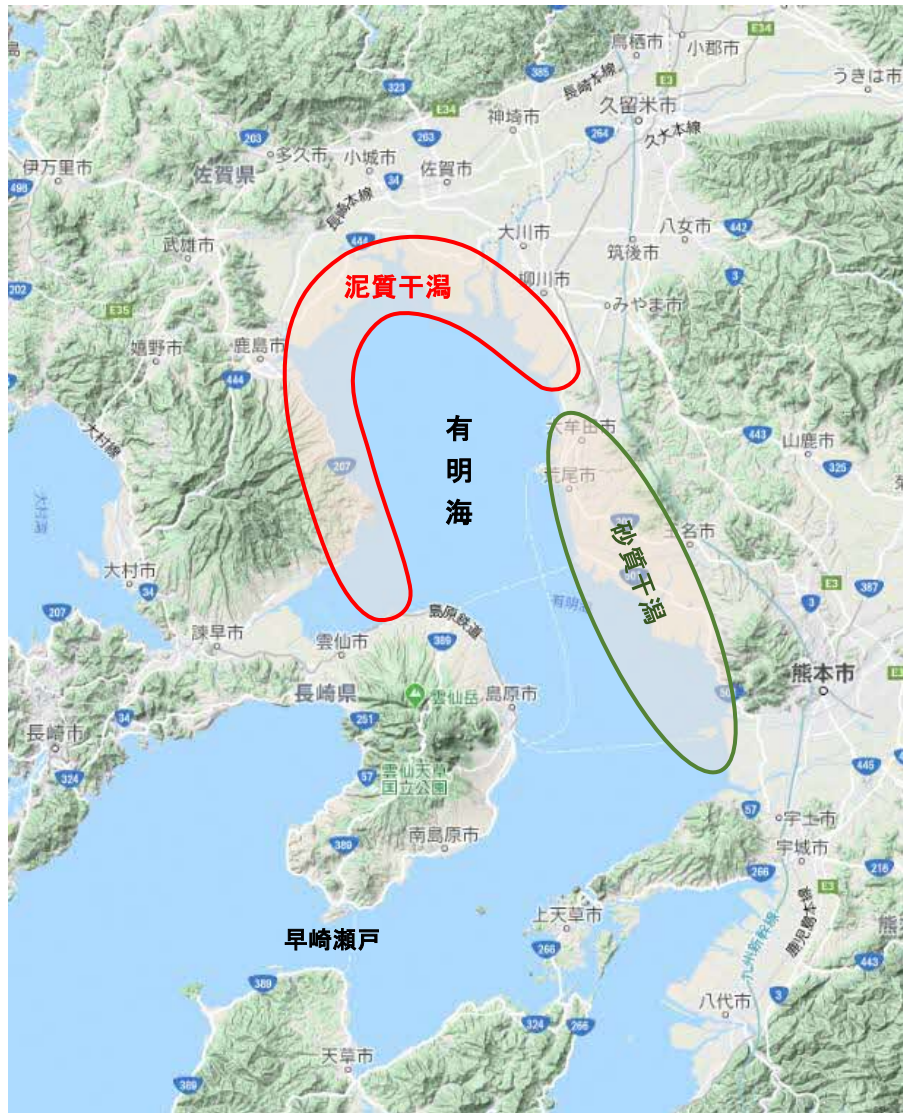


図2.2.3 有明海の干潟分布図

## 2.3 受水域の水質環境

佐賀県では水質汚濁防止法第 16 条の測定計画に基づき、水質測定を行い、環境基準等と照らし合わせ、公共用水域及び地下水の水質環境の監視を行っている。また、その結果は「公共用水域及び地下水の水質測定結果」として、公表している。これらのデータを用いて、放流水受水域における水環境の特徴について説明する。調査項目は生活環境項目、健康項目およびその他の項目とさまざまな項目であるが、表 2.3.1 には本節での説明に関する内容のみを示す。

### 1) 調査地点

下水浄化センターの放流水受水域における水環境を述べるために、公共用水域及び地下水の水質測定結果から、必要な調査地点を選定した。選定した調査地点を公共用水域及び地下水の水質測定結果の表記に基づき述べる。河川の調査地点は嘉瀬川水系本庄江の本庄江橋と六角川水系六角川下流の住之江橋の 2 点である。また、有明海の調査地点は C（有明海 C：六角川地先）、B-3（有明海 B：東与賀地先）、A-2（有明海 A：沖合）および S-5（有明海（二）：沖合）の 4 点である。

本節では上記の河川および有明海の調査地点を表 2.3.2 に示すように、調査地点名の呼び名を決めた。調査した地点の位置図を図 2.3.1 に示す。

表 2.3.1 水質調査の内容

項目	調査時期	測定項目※
水質	平成 12~28 年 月 1 回。 海域については大潮時で満潮付近で採水。 感潮河川については引潮時（干潮時刻の約 3 時間前から干潮時刻との間）	COD、T-N、NH <sub>4</sub> -N、 NO <sub>3</sub> -N、T-P

※測定項目は本節で述べた項目のみである。

表2.3.2 調査地点

本節における調査地点表記	(佐賀県) 公共用水域及び地下水の水質測定結果における調査地点表記
A	嘉瀬川水系本庄江の本庄江橋
B	六角川系六角川下流の住之江橋
C	C (有明海 C : 六角川地先)
D	B-3 (有明海 B : 東与賀地先)
E	A-2 (有明海 A : 沖合)
F	S-5 (有明海 (二) : 沖合)



図2.3.1 調査地点の位置図

## 2.3.1 地点別における各水質項目の経年変化

### 1) COD の経年変化

各地点における COD の経年変化を図 2.3.2 に示す。下水浄化センター上流の地点 A の COD 濃度は概ね 5~15mg/L、六角川下流の地点 B は概ね 5~10mg/L で推移している。地点 A において、著しい COD 濃度の上昇が一部見られるが、SS 濃度上昇の影響を受けており、底泥の巻き上げ等の SS 由来に起因するものである。後述する T-N および T-P の著しい上昇も SS 濃度上昇によるものである。一方、海域（調査地点 C,D,E,F）の COD 濃度は調査地点が沖合へ移動するにつれて低くなる傾向にあり、平均濃度 3~5mg/L 程度である。

### 2) T-N の経年変化

各地点における T-N の経年変化を図 2.3.3 に示す。下水浄化センター上流の地点 A の T-N 濃度は概ね 1~3mg/L、六角川下流の地点 B のそれは概ね 1~2mg/L で推移している。COD と同様に、海域（調査地点 C,D,E,F）の T-N 濃度は調査地点が沖合へ移動するにつれて濃度が低くなる傾向にあり、2mg/L 以下程度である。

### 3) T-P の経年変化

各地点における T-P の経年変化を図 2.3.4 に示す。下水浄化センター上流の地点 A の T-P 濃度は概ね 0~1mg/L、六角川下流の地点 B のそれは概ね 0~0.5mg/L で推移している。COD、T-N と同様に、海域（調査地点 C,D,E,F）の T-P 濃度は調査地点が沖合へ移動するにつれて濃度が低くなる傾向にあり、0.3mg/L 以下程度である。

### 4) NH<sub>4</sub>-N の経年変化

各地点における NH<sub>4</sub>-N の経年変化を図 2.3.5 に示す。下水浄化センター上流の地点 A の NH<sub>4</sub>-N 濃度は、概ね 0.3mg/L 以下を示している。また、六角川下流の地点 B の NH<sub>4</sub>-N 濃度も概ね 0.3mg/L 以下である。海域（調査地点 C,D,E,F）の NH<sub>4</sub>-N 濃度は調査地点が沖合へ移動するにつれて濃度が低くなる傾向にあり、0~0.2mg/L 程度である。

### 5) NO<sub>3</sub>-N の経年変化

各地点における NO<sub>3</sub>-N の推移を図 2.3.6 に示す。下水浄化センター上流の地点 A の NO<sub>3</sub>-N 濃度は概ね 0~1mg/L、六角川下流の地点 B のそれは概ね 0~2mg/L で推移している。海域（調査地点 C,D,E,F）の NO<sub>3</sub>-N 濃度は調査地点が沖合へ移動するにつれて濃度が低くなる傾向にあり、0~0.3mg/L 程度である。

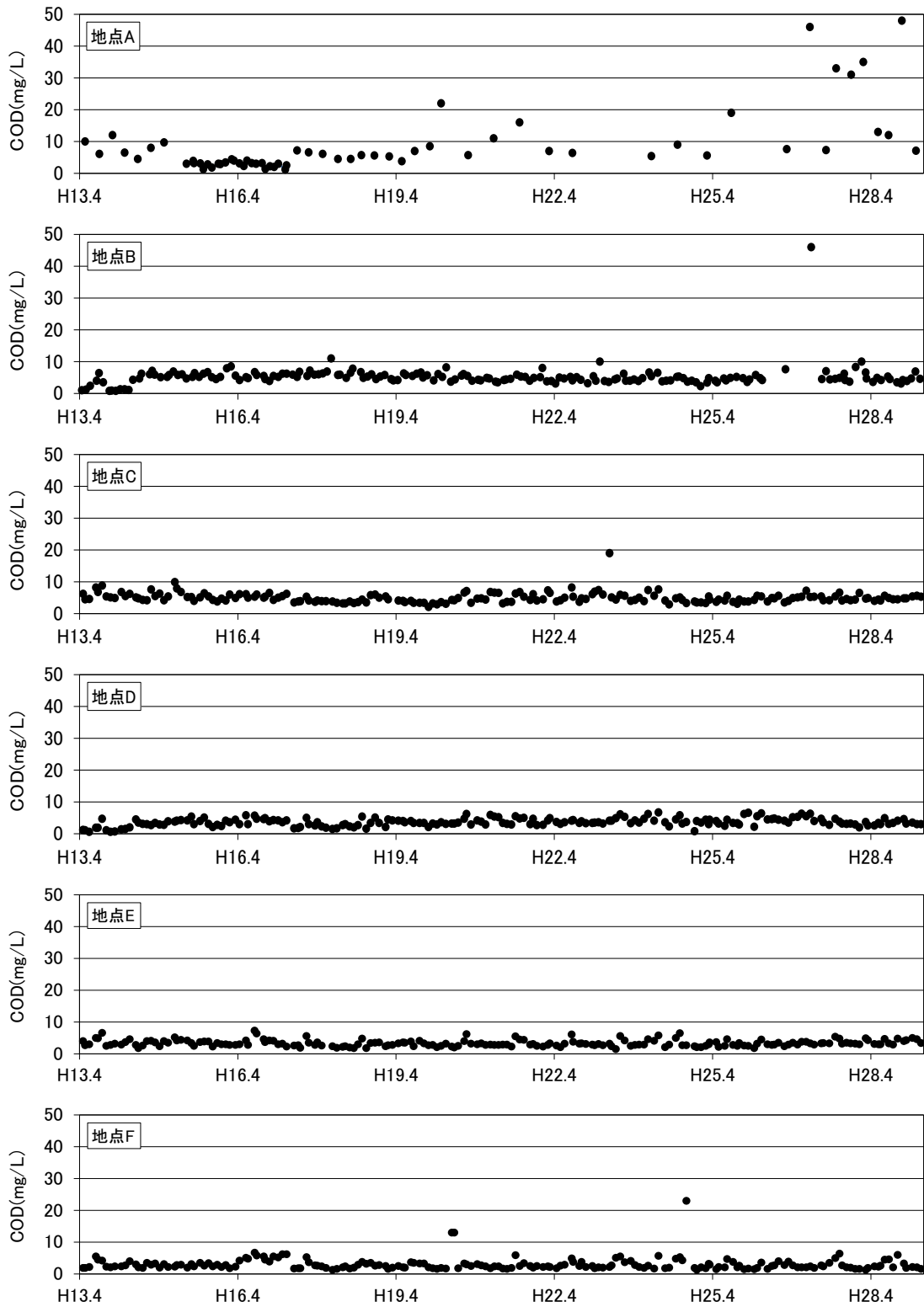


図2.3.2 各地点におけるCODの経年変化



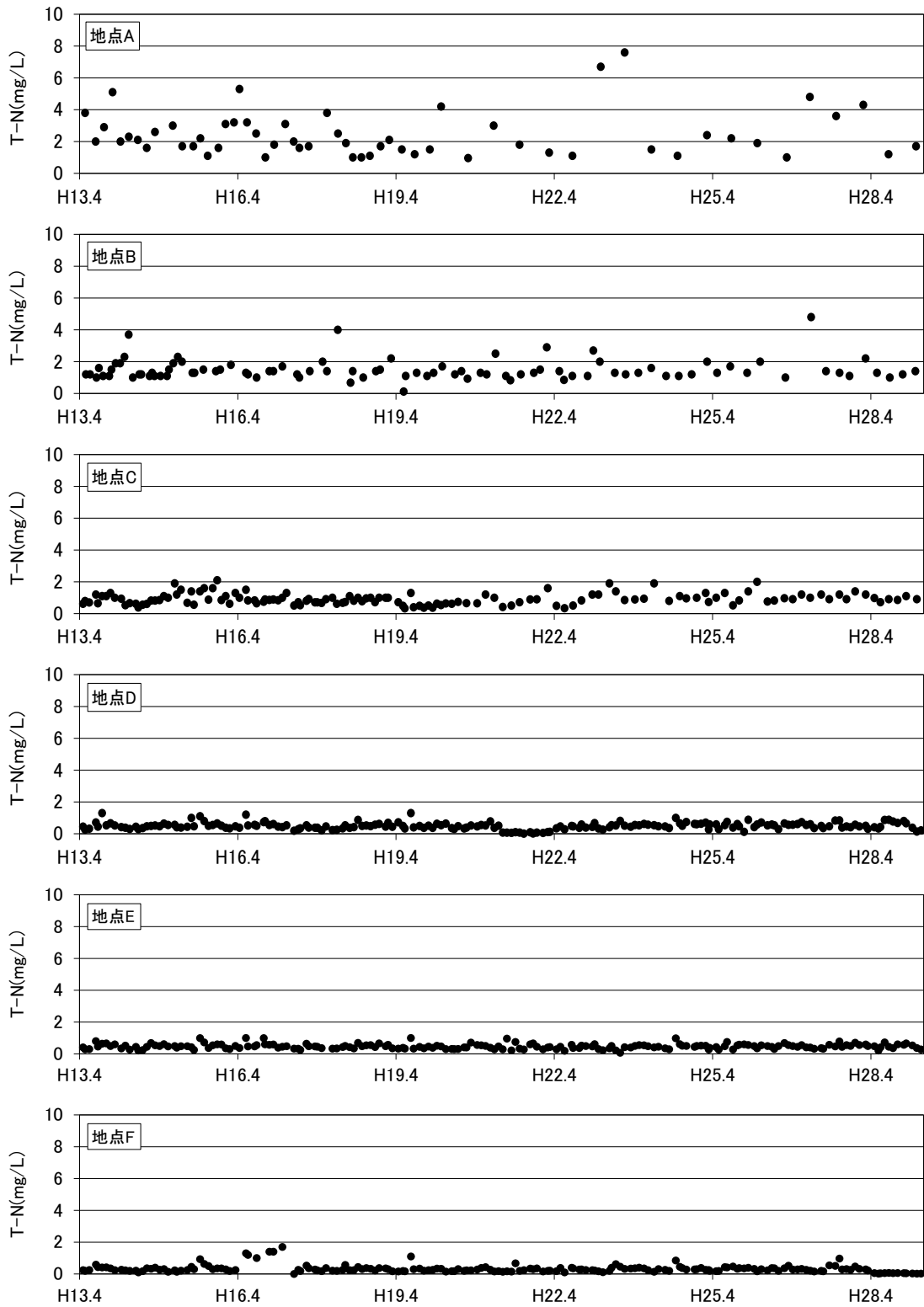


図2.3.3 各地点における T-N の経年変化

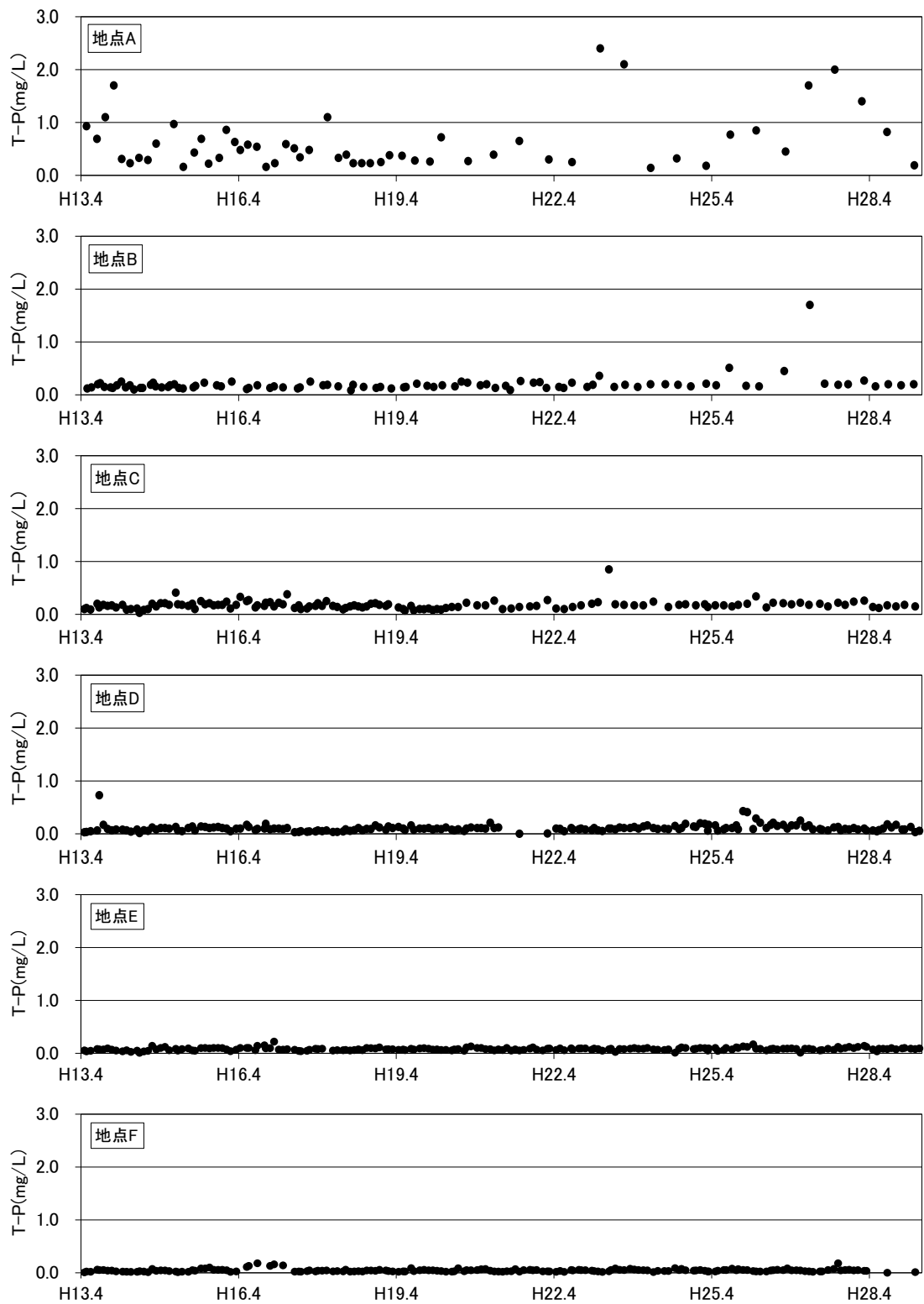


図2.3.4 各地点における T-P の経年変化

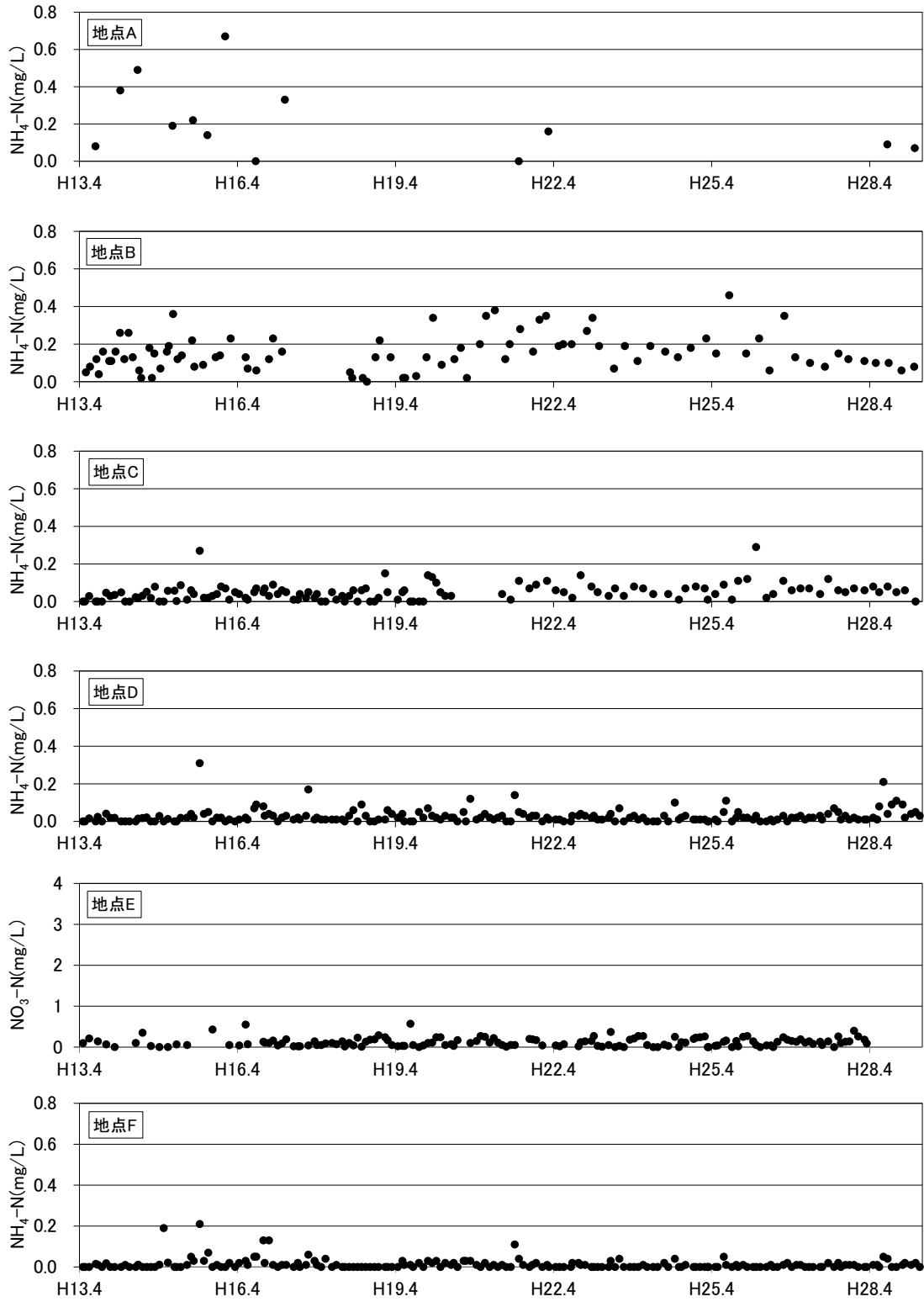


図2.3.5 各地点における  $\text{NH}_4\text{-N}$  の経年変化

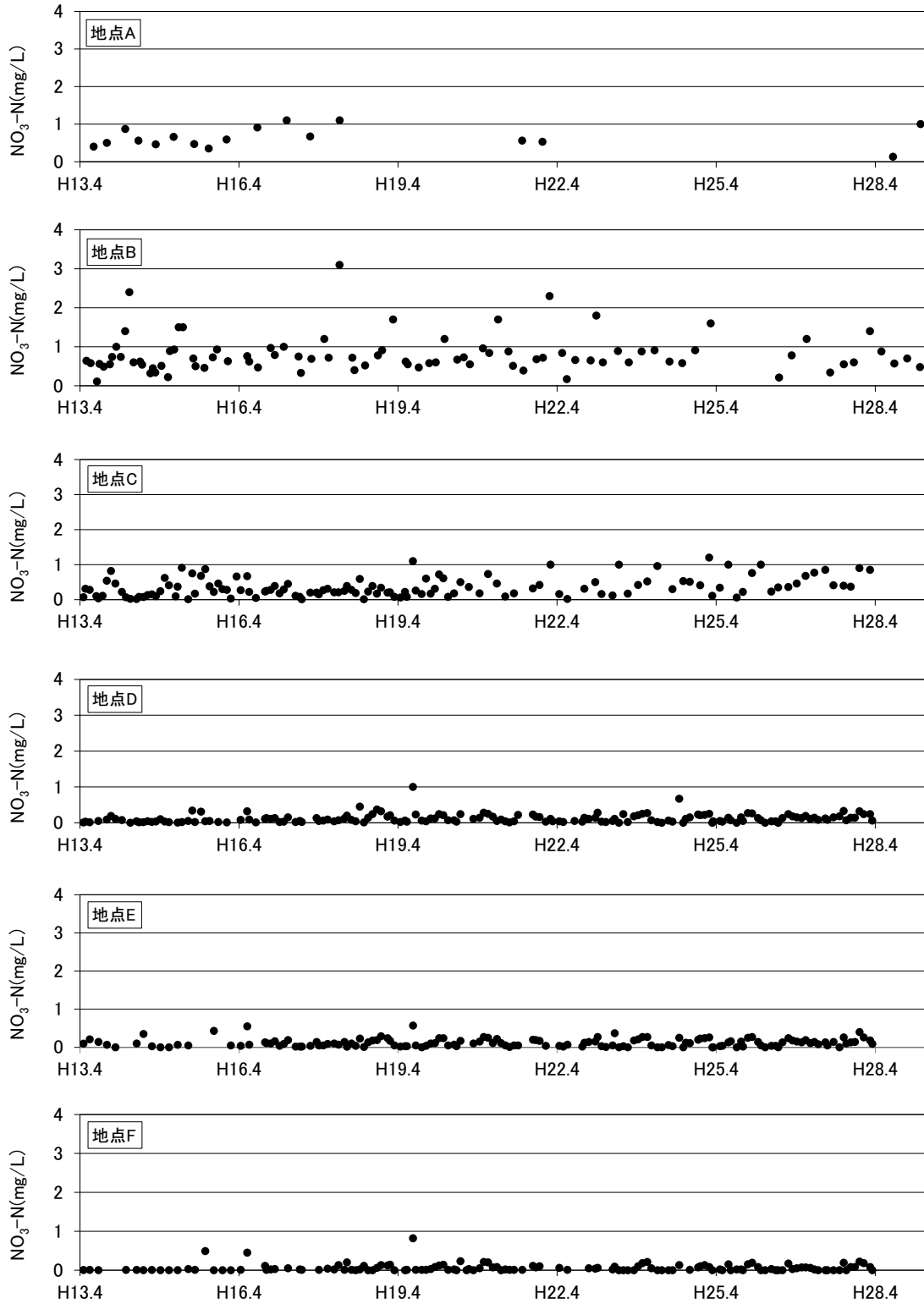


図2.3.6 各地点における NO<sub>3</sub>-N の経年変化

### 2.3.2 地点別における各底質項目の経年変化

平成13～28年に下水浄化センターで行われた底質調査結果から、本項では底泥中のCOD、T-NおよびT-S含有量の経年変化について述べる。

底質調査の内容を表2.3.3に示す。また、調査地点は図2.3.7に示す地点2、4、5、6、7、9、10の7地点である。

表2.3.3 底質調査の調査内容

項目	調査時期	測定項目
底質	平成13～28年6月、11月における大潮と小潮で地点2、4、5、6、7、9、10から採泥	COD、T-N、T-S

※測定項目は本節で述べた項目のみである。

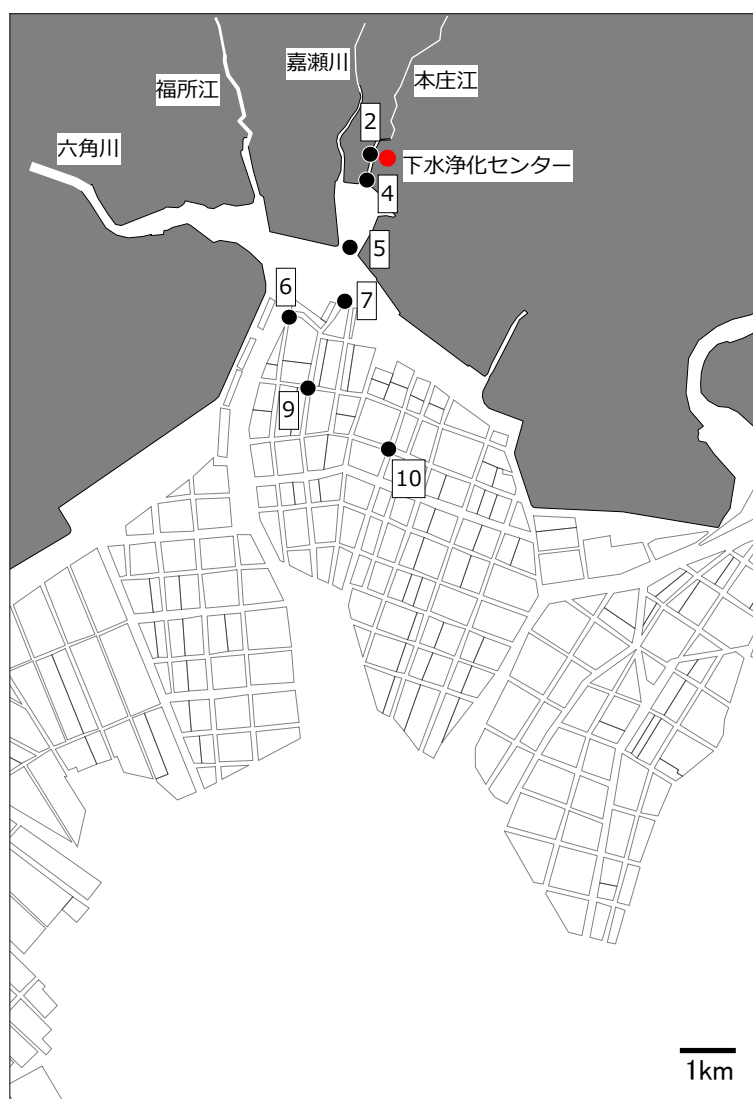


図2.3.7 底質調査地点の位置図

### 1) COD 含有量の経年変化

図 2.3.8 に地点別の底質の COD 含有量の経年変化を示す。すべての調査地点で同様な傾向を示し、平成 21 年までは 5~10g/kg-乾泥を示していたが、平成 22 年からは 10~15 g/kg-乾泥を示すようになり、増加している。しかしながら、水産用水基準（20g/kg-乾泥以下）と比較すると、すべての調査地点で水産用水基準以下である。

### 2) T-N 含有量の経年変化

図 2.3.9 に地点別の底質の T-N 含有量の経年変化を示す。すべての調査地点の T-N 含有量は 1~3 g/kg-乾泥の範囲で推移しており、大きな変化は見られない。

### 3) T-S 含有量の経年変化

図 2.3.10 に地点別の底質の T-S 含有量の経年変化を示す。地点 4 を除く調査地点で平成 22 年までは 0.1~0.6g/kg-乾泥を示していたが、平成 23 年からは安定して 0.2 g/kg-乾泥を示すようになり、減少傾向にある。地点 4 では他の地点と同様に平成 23 年から平成 26 年 6 月まで、0.2 g/kg-乾泥を示していたが、それ以降は、変動幅が大きくなってきている。近年では地点 4 を除いた調査地点で、概ね水産用水基準（0.2g/kg-乾泥以下）以下である。

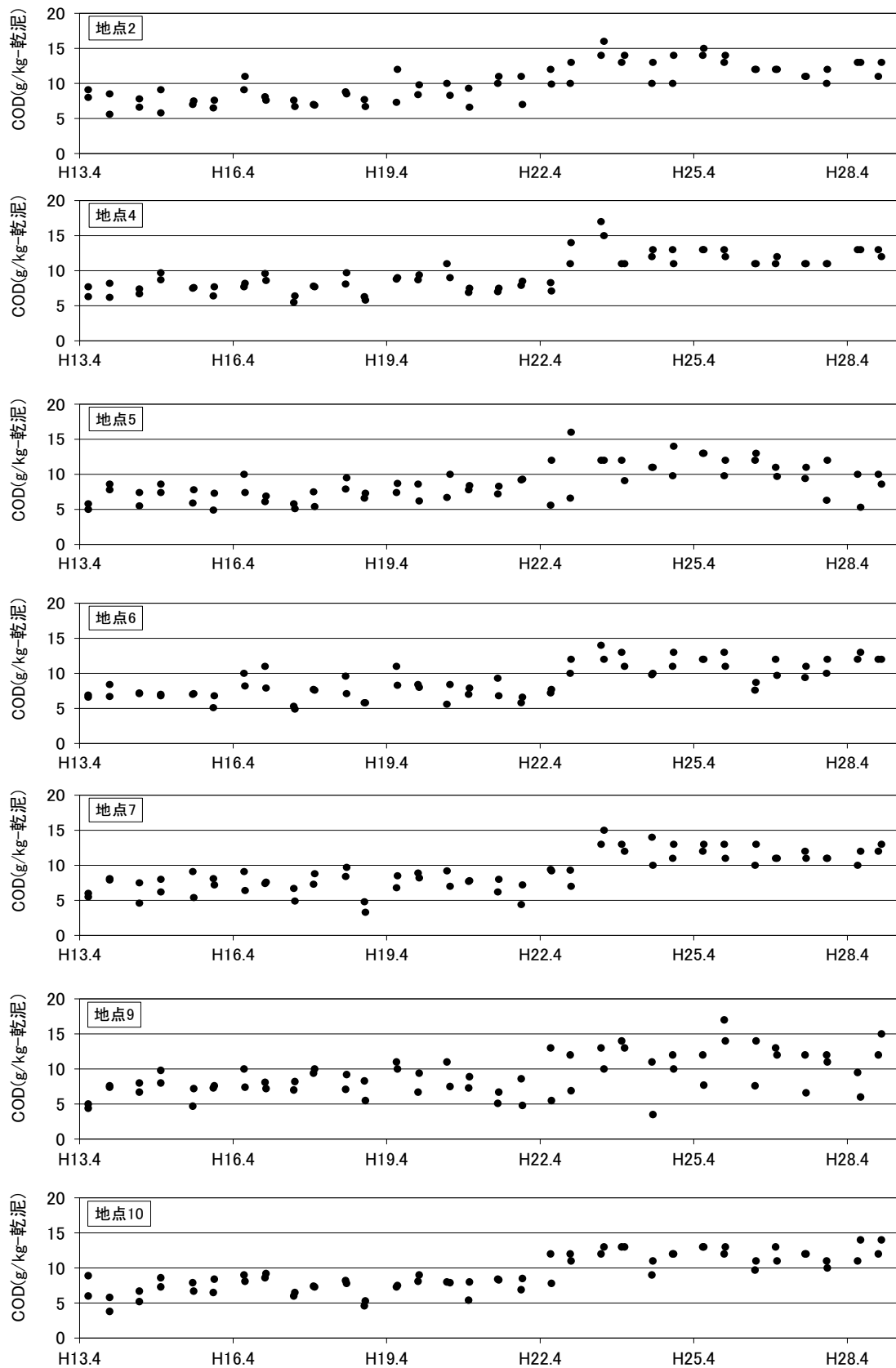


図2.3.8 底質のCOD含有量の経年変化

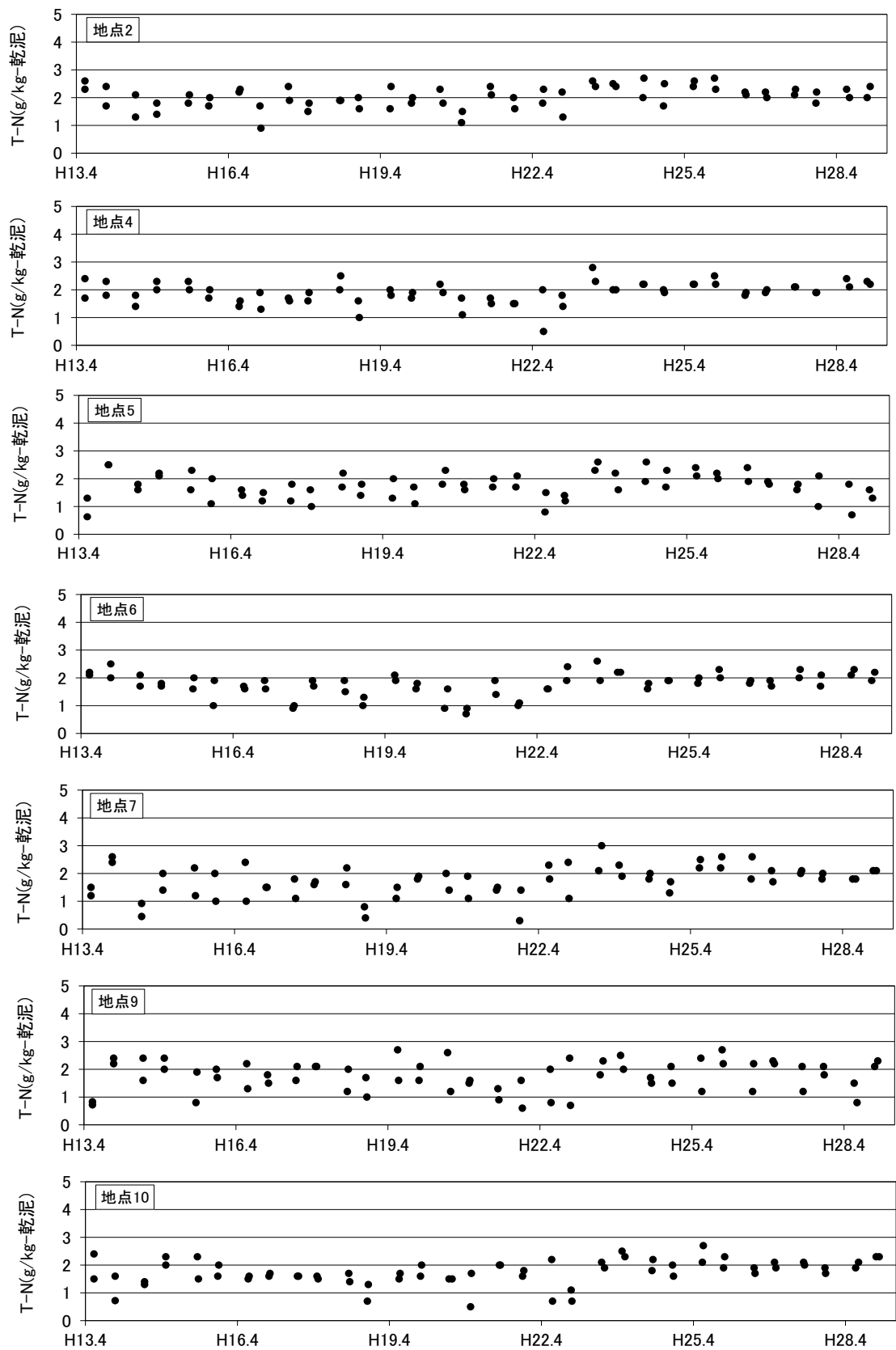


図2.3.9 各地点の T-N 含有量の経年変化



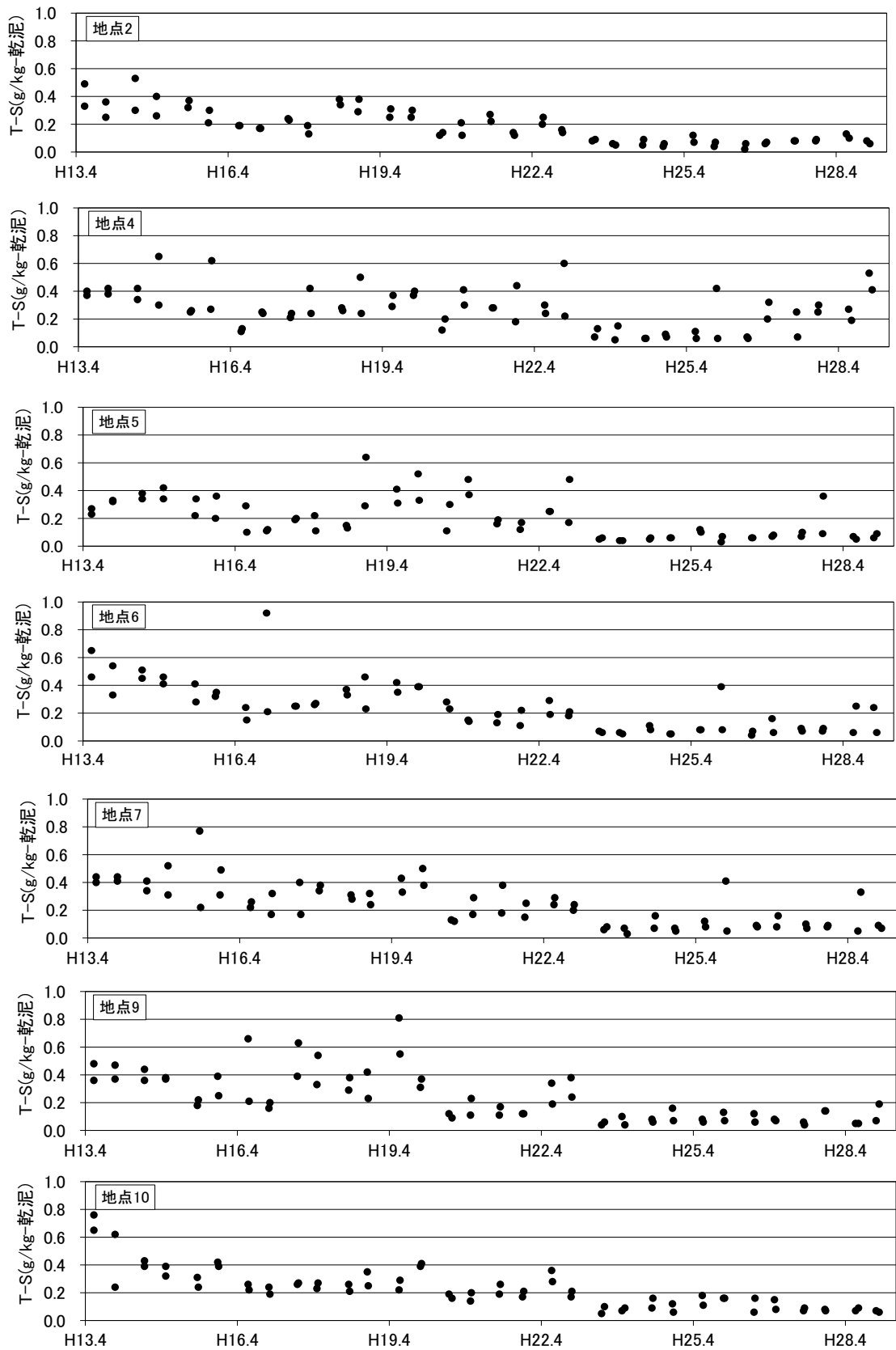


図2. 3. 10 各地点の T-S 含有量の経年変化

### 2.3.3 受水域の水質・底質環境のまとめ

放流水受水域における水質・底質環境として、受水域周辺における基本的な環境特性を以下に示す。

- 下水浄化センター放流先の本庄江は、潮汐の干満による底泥の巻上げ等から SS 濃度上昇の影響を受け、COD、T-N、T-P の著しい上昇が起きていると考えられる。
- 一方、本庄江、嘉瀬川、六角川からの流れで、沖合の海域へ移動するにあたり、COD、SS、T-N、T-P、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N の濃度は低くなる傾向にある。
- 底質の COD 含有量は、水産用水基準以下となっているが、全ての調査地点で平成 22 年から増加傾向にある。T-N 含有量については大きな変化は見られず、T-S 含有量は、概ね減少傾向にある。

#### <参考文献>

- 1) 国土交通省：九州の一級河川，水管理・国土保全，  
[https://www.mlit.go.jp/river/toukei\\_chousa/kasen/jiten/nihon\\_kawa/09\\_kyushu.html](https://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen/jiten/nihon_kawa/09_kyushu.html)（参照 2020-10-14）
- 2) 特定非営利法人 有明海再生機構：有明海のこと，みんなの有明海，<http://www.npo-ariake.jp/ariakekai/about/>（参照 2020-10-14）
- 3) 福岡捷二：第 13 回 有明海・八代海 総合調査評価委員会 資料 有明海・八代海における河川の影響について，有明海・八代海総合調査評価委員会  
<https://www.env.go.jp/council/20ari-yatsu/y200-13b.html>（参照 2020-10-14）
- 4) 環境省：有明海・八代海等総合調査評価委員会報告，2017.
- 5) 楠田哲也：蘇る有明海―再生への道程，恒星社厚生閣 pp.37-40，2012.
- 6) 町田史子：有明海の潮流に関する基礎的研究，佐賀大学卒業論文 p.10，1997.
- 7) 伊藤史郎：有明海における水産資源の現状と再生，佐有水研報 22，pp.69-80，2004.

### 3. 有明海湾奥部における流入河川及び処理水の流況

#### 3.1 目的

有明海湾奥部における河川水の流入状況や処理水の流況についての基礎的知見を得るために、表 3.1.1 に示す 2 つの調査を行った。

表3.1.1 調査一覧

節※1	調査名	調査概要
3.2	衛星画像解析による流入河川の流況解析	<p>&lt;目的&gt;</p> <p>有明海湾奥部における河川水の流入状況を現地調査よりも広範囲に可視化するため</p> <p>&lt;調査方法&gt;</p> <p>衛星画像の画像解析を行った。</p>
3.3	現地調査による下水浄化センター処理水の流況の把握	<p>&lt;目的&gt;</p> <p>処理水のノリ養殖海域における流れを把握するため</p> <p>&lt;調査開始地点&gt;</p> <p>「下水浄化センター放流口」、「嘉瀬川地点」、「福所江川・六角川合流地点」の3地点</p> <p>&lt;調査方法&gt;</p> <p>満潮時に各調査開始地点に調査ブイを投入し下げ潮に伴い移動するブイを備船にて追跡しながら 10 分毎に GPS により緯度・経度を記録した。</p>

※1 調査内容の詳細は各節で述べる。

## 3.2 衛星画像解析による流入河川の流況解析

### 3.2.1 調査内容

現地観測結果などの点情報では、海域の面的な海苔ひび状況、河川水流入状況、海水流況を視覚的に表現することができない。そこで、面的に可視化することを目的として、衛星画像処理を行い、今回の有明海湾奥部の流況解析の利用可能性を検討した。衛星画像は、国立研究開発法人 産業技術総合研究所から無償で提供されているデータを用いた。

人工衛星 Landsat は、地球の変遷を 40 年以上にわたって撮影してきており、その保存データは大変貴重なものである。このように長年継続して観測が続けられてきた衛星は他になく、Landsat による地球観測データは、森林や農業のモニタリング、水資源管理、土地利用の変遷研究など、幅広く利用されている。

#### 1) 衛星リモートセンシングとは

リモートセンシングとは、直接手を触れないで、対象物や現象に関する情報を収集し、対象物や現象の識別、分類、判読および分析を行う技術である。収集される情報は、対象物から反射または放射される電磁波に関する情報である（図 3.2.1）。

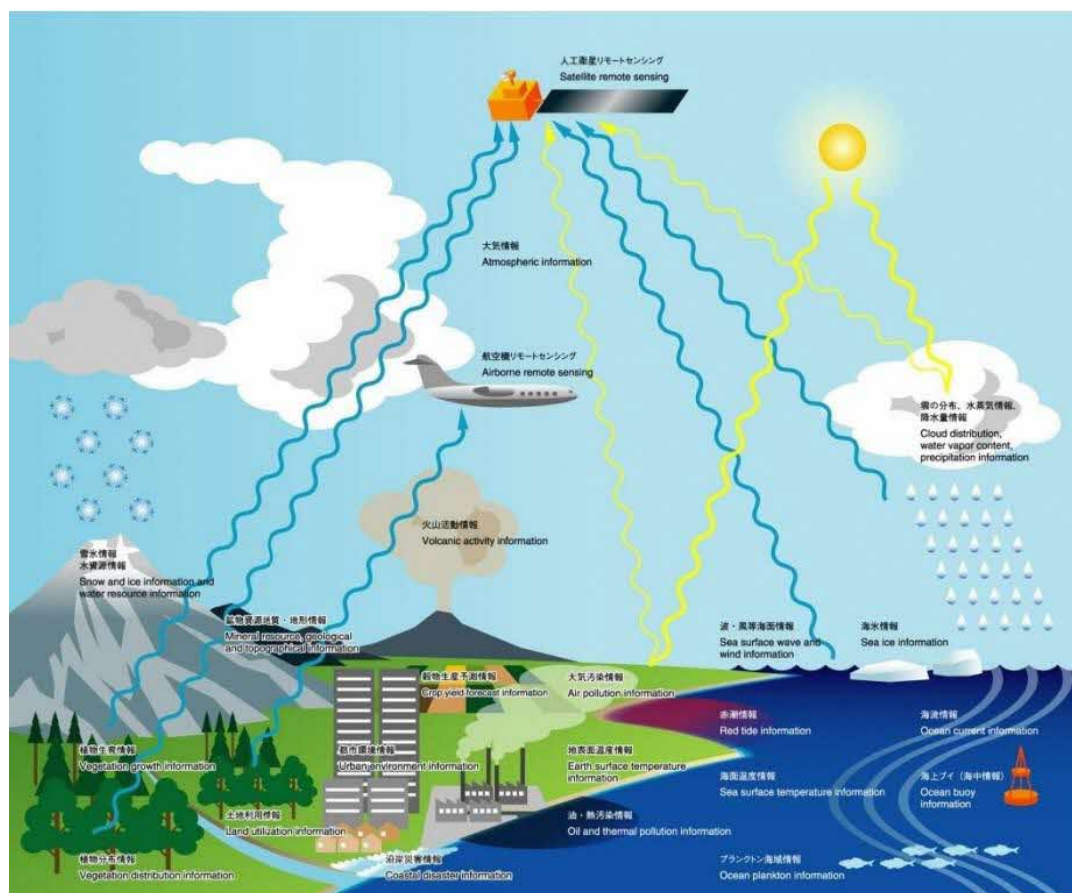


図3.2.1 リモートセンシングのイメージ<sup>2)</sup>

## 2) リモートセンシングにおける電磁波

リモートセンシングにおける電磁波の種類は、図 3. 2. 2 に示すように電磁波を複数の波長帯域に分けて、その電磁エネルギーを収集する方式がとられる。

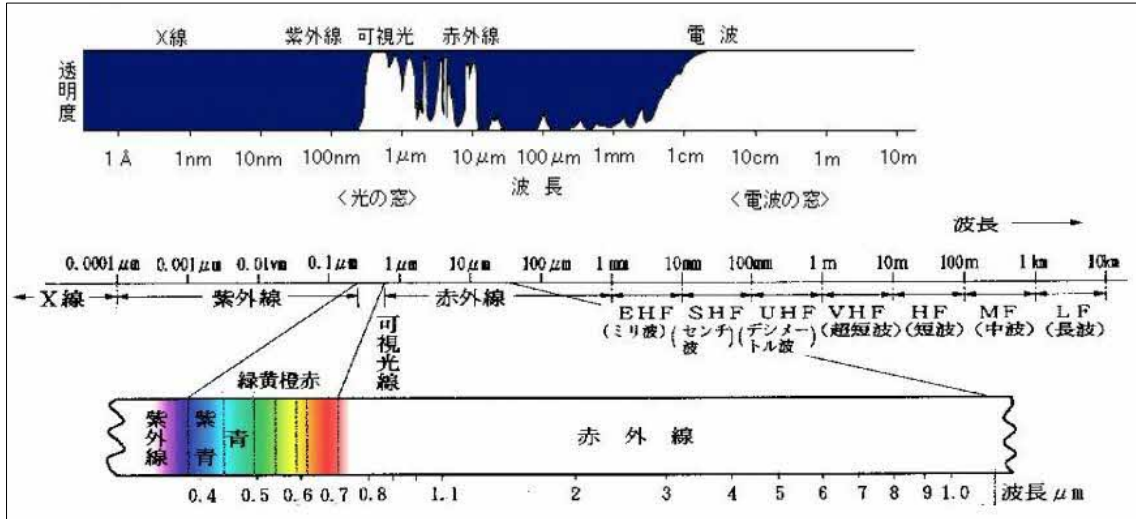


図3. 2. 2 リモートセンシングにおける電磁波の種類<sup>2)</sup>

地表対象物の太陽光分光反射特性を、図 3. 2. 3 に示す。すべての物体は、種類および環境条件が異なれば、ことごとく異なる電磁波の反射または放射の特性を有するとされている。多くの観測波長帯 (バンド) を持ち、現在活躍している Landsat8/OLI センサ (ランドサット 8 号) を例にして、各種対象物の分光反射特性と観測バンドの配置を図 3. 2. 4 に示す。

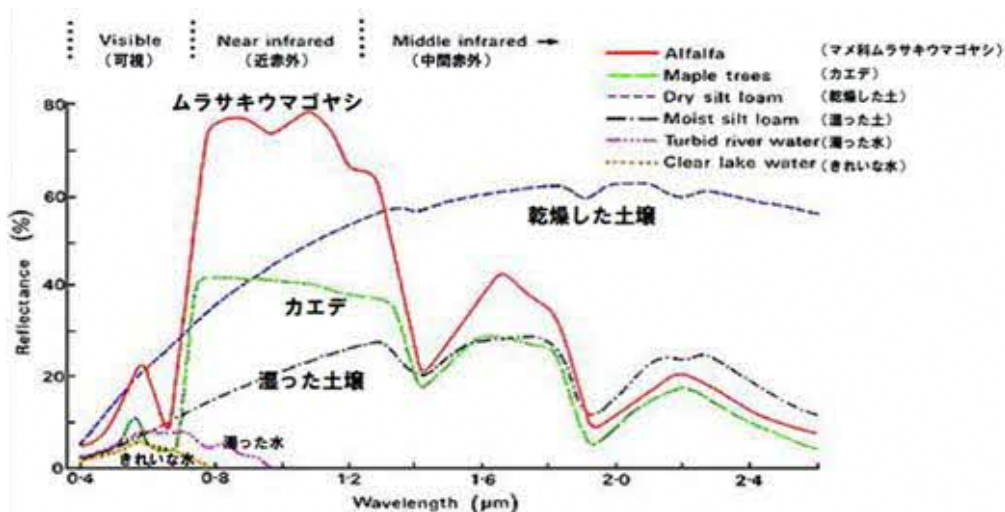


図3. 2. 3 地表対象物の太陽光分光反射特性<sup>2)</sup>

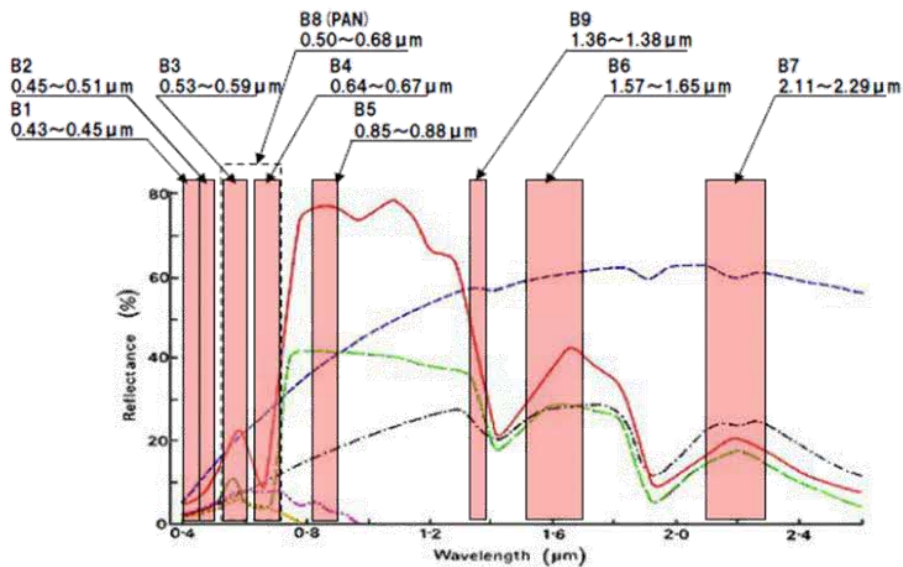


図3.2.4 各種対象物の分光反射特性と観測バンドの配置 (Landsat8/OLI) <sup>2)</sup>

Landsat は、アメリカ航空宇宙局 (NASA) などが打ち上げている人工衛星である。種類としては、地球観測衛星にあたる。複数の波長における光学観測により、地球環境を観測することを目的としている。1972年に1号機が打ち上げられて以来、8号機まで打ち上げられており、非常に多くの画像を撮影してきた。それらの画像は、一般科学のみならず、農業や都市計画、安全保障分野にまで活用されている <sup>2)</sup>。

観測センサは、データの継続性を保つため、ランドサット8号に搭載されているセンサとランドサット7号のものは、ほぼ同一の観測能力を持つ (表 3.2.1)。

表3.2.1 ランドサット8号と7号の観測センサの比較 <sup>3),4)</sup>

ランドサット8号				ランドサット7号				波長の波長と用途	
観測機器	バンド	波長域 (μm)	解像度	観測機器	バンド	波長域	解像度	種類	用途
OLI	1	0.433-0.453 μm	30m	ETM+				可視	エアロゾル/沿岸域
	2	0.450-0.515 μm	30m		1	0.45-0.52 μm	30m	可視	(青) 顔料/散乱/沿岸域
	3	0.525-0.600 μm	30m		2	0.53-0.61 μm	30m	可視	(緑) 顔料/沿岸
	4	0.630-0.680 μm	30m		3	0.63-0.69 μm	30m	可視	(赤) 顔料/沿岸
	5	0.845-0.885 μm	30m		4	0.78-0.90 μm	30m	近赤外	葉/沿岸
	6	1.560-1.660 μm	30m		5	1.55-1.75 μm	30m	中間赤外	葉
	7	2.100-2.300 μm	30m		7	2.09-2.35 μm	30m	中間赤外	鉱物/残物/無散乱
	8	0.500-0.680 μm	15m		8	0.52-0.90 μm	15m	緑から近赤外	画像先鋭化
	9	1.360-1.390 μm	30m						シーラス
TIRS	10	10.60-11.19 μm	100m	6	10.40-12.50 μm	60m	熱赤外	地表面温度	
	11	11.50-12.51 μm	100m					熱赤外	地表面温度

一般的に澄んだ水は、可視青～可視緑波長域 ( $0.40\ \mu\text{m}\sim 0.6\ \mu\text{m}$ ) で良く反応するため、綺麗な水ほど青く見える。しかし、いったん水中に懸濁物、藻類や有機物、無機の汚染物質が混入すると、そのスペクトルのパターンもそれぞれ大きく変化する。数ある水質項目の中でも単なる水の濁りの度合いの尺度である「濁度」は、その濃度変化が最も顕著にスペクトルに表れるということが、既往の研究成果により明らかにされている。図 3.2.5 は、茶系の染料を利用し汚濁水を作製し、人為的に濃度を変化させ可視青～近赤外波長域 ( $0.4\sim 1.05\ \mu\text{m}$ ) のスペクトルパターンを計測した結果を示したものである。この結果からも、定説どおり濃度の増加に伴い可視赤 ( $0.6\sim 0.7\ \mu\text{m}$ ) のスペクトルレスポンスが大きくなることが分かる。

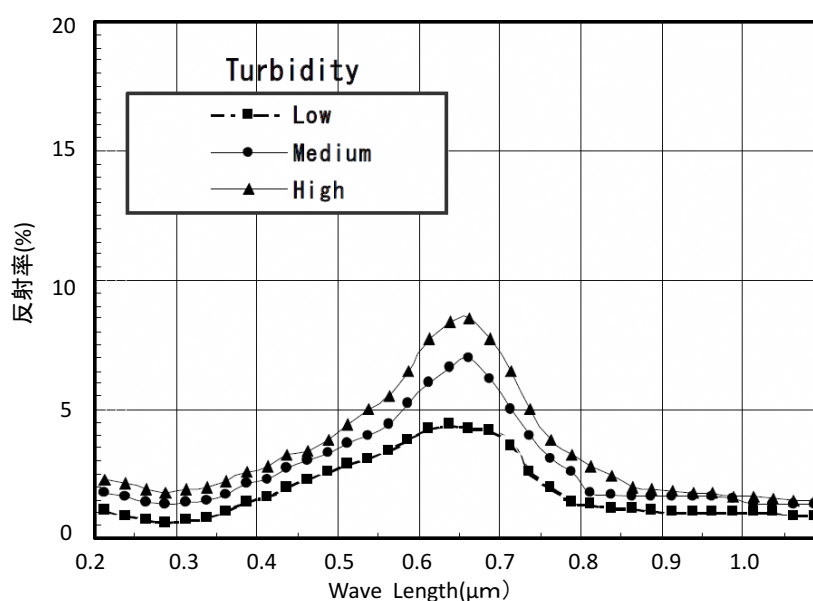
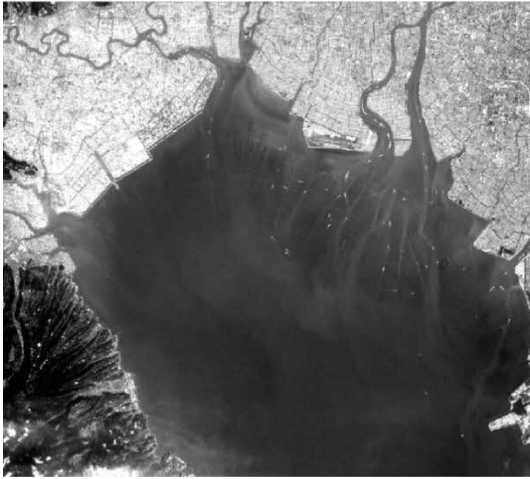


図3.2.5 異なる濁度によるスペクトルレスポンス<sup>5)</sup>

ノリ養殖期の衛星画像解析の OLI データのうち 1 つのシーン (平成 29 年 1 月 25 日) について各バンドの画像を図 3.2.6 及び図 3.2.7 に示す。異なる日時に解析をする場合は、太陽高度、大気の状態に関連した補正が必要となるが、ここでは 1 つのシーンで解析したので、補正等は行っていない。

これから明らかなように、Band1、2、3、4、8 には海域情報が多く含まれており、特に懸濁物質などの水中情報の抽出に有効である。Band5、6、7 には海岸地形や干潟に関する情報が含まれている。熱近赤外波長の Band10 には地表での熱情報が含まれており、陸域および海域での温度分布、さらにはこの温度分布の利用により、湾内における流況の把握が可能である。



Band 1 (0.43-0.45  $\mu\text{m}$ )



Band 2 (0.45-0.51  $\mu\text{m}$ )



Band 3 (0.53-0.59  $\mu\text{m}$ )



Band 4 (0.64-0.67  $\mu\text{m}$ )



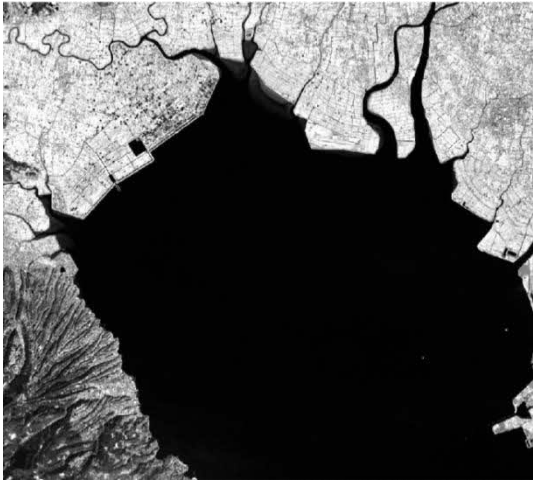
Band 5 (0.85-0.88  $\mu\text{m}$ )



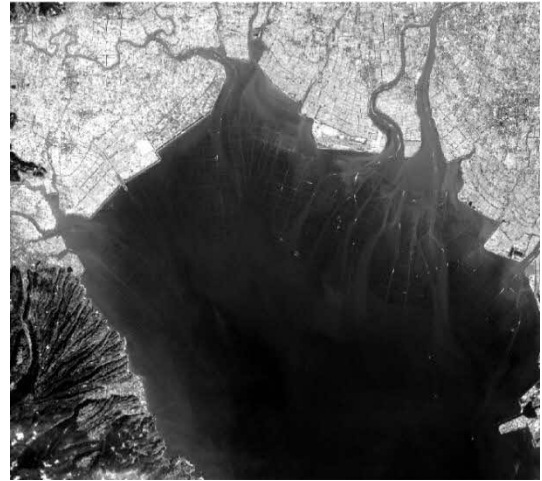
Band 6 (1.57-1.65  $\mu\text{m}$ )

図3.2.6 OLI データ (平成 29 年 1 月 25 日)

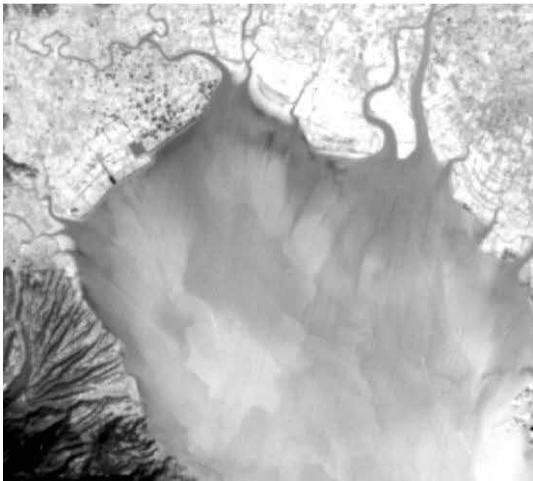




Band 7 (2.11-2.29  $\mu\text{m}$ )



Band 8 (0.50-0.68  $\mu\text{m}$ )



Band 10 (10.60-11.19  $\mu\text{m}$ )



TRUE-COLOR IMAGE

図3.2.7 OLI データ (平成 29 年 1 月 25 日)

### 3.2.2 解析結果と考察

#### 1) 地形情報について

図 3.2.8 は、平成 29 年 1 月 25 日の Landsat8 の Band5 の Pseudo color 画像<sup>\*</sup>である。平成 29 年 1 月 25 日は、中潮で満潮 7:53 (潮位 4.5m)、干潮 13:49 (潮位 1.8m)、撮影時刻は 10:53 で下げ潮 5 割程度の時刻である (図 3.2.9)。この画像から、海苔ひびや潮通しの間隔、方向などがかなり識別されることが分かる。六角川、早津江川、筑後川沖の海苔ひびは、滞筋を潮通しにして配置されていることが分かる。特に、早津江川、筑後川沖は、放射状に海苔ひびが配置されている。

※Pseudo color (シュードカラー法) : 単一バンド画像の濃度値 (CCT カウント値) の範囲を複数個の区分に分解、その区分の濃度レベルをそれぞれの色に対応させて (濃度レベルごとに色を割り当てる)、白黒の濃淡の代わりに色彩区分画像として表示する。

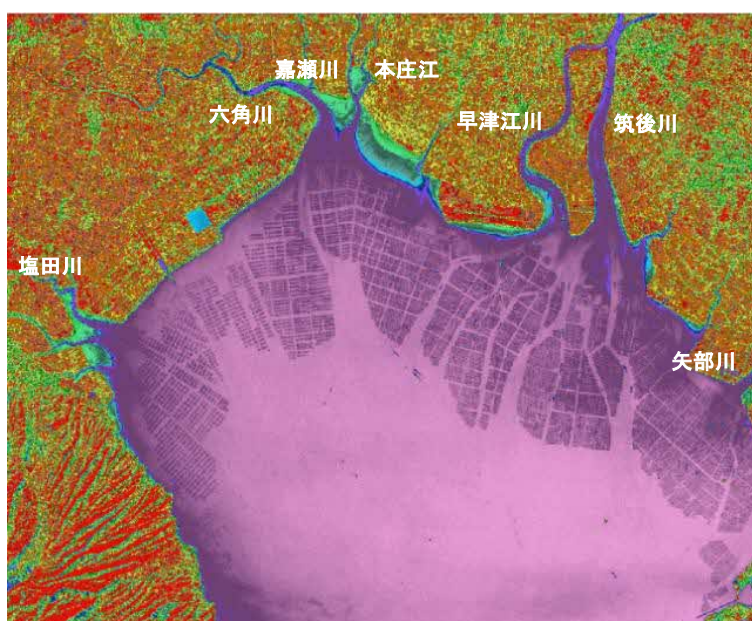


図3.2.8 Landsat8 Band 5 (0.85-0.88 $\mu$ m) (Pseudo color)

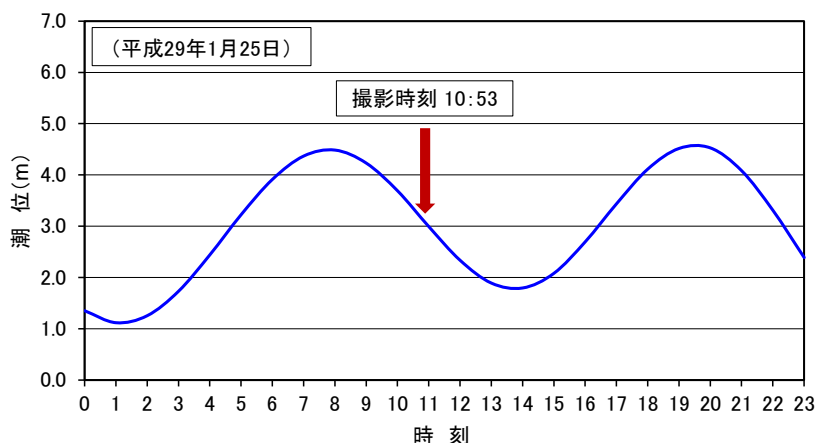


図3.2.9 六角川観測塔の潮位変動 (平成 29 年 1 月 25 日) --中潮

## 2) 海域情報

図 3.2.10 は、図 3.2.8 と同日、同時刻に撮影した Band4 の Pseudo color 画像である。Band4 の波長は、 $0.64\text{--}0.67\ \mu\text{m}$  で、水の濁りを顕著にスペクトルとして表現するとされる。ここで、河川から流れ込んでいる河川水は黄緑色を示しており、海域に流れ込んで水色を示している。紫色の部分は、河川水の混入率が低く、塩分の高い部分を示している。さらに、スカイブルーの部分は、それらの中間域に属している。

Landsat8 の OLI センサの Band4、5 のデータからは、現地観測結果などの点情報では得られない流れやノリ養殖漁場内における河川水の拡散などの詳細な状況が視覚的に把握された。図 3.2.8 の地形情報及び図 3.2.10 の流況と対比して見ると、下げ潮においては、筑後川からの河川水は、下流側に位置するノリ養殖場内のノリ小間の間を放射状に拡散している。嘉瀬川及び六角川の河川水は中央部の滞筋を流下しながらノリ小間の間を拡散している。塩田川の河川水は、鹿島市から太良町の海岸に沿いながら南下している。六角川と塩田川との間には、河川水の流入が少なく、この間に位置するノリ養殖場への拡散が少ないと考えられる。今回の解析結果は、渡辺ら (1988) <sup>9)</sup> が衛星画像解析で得られた知見とほぼ一致した。

ノリ養殖場内の河川水の流況は、潮流などの自然条件のほかに、ノリ網やノリ網を支える支柱による流体抵抗などの物理的な影響を受けるものと考えられる。

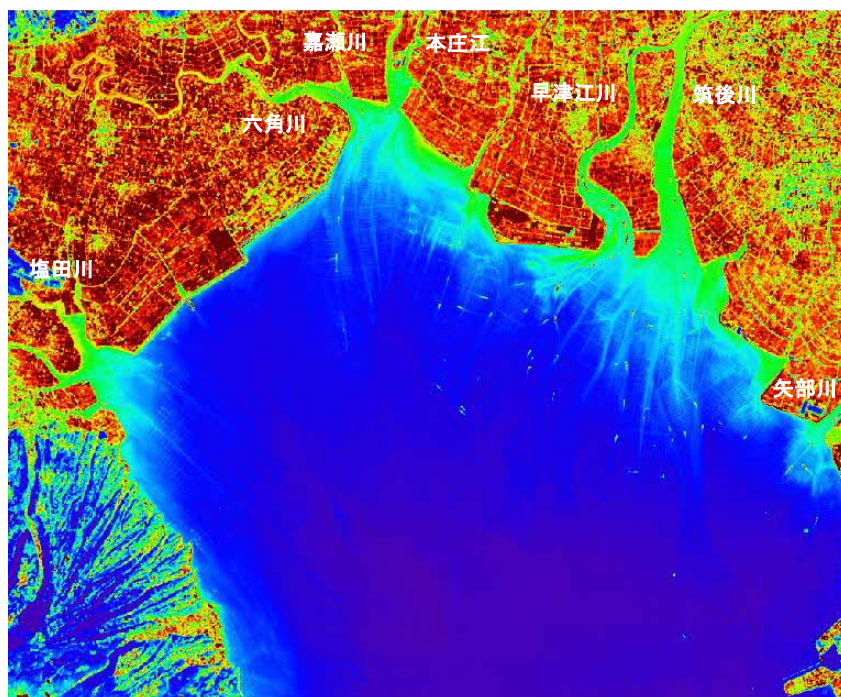


図3.2.10 Landsat8 Band4 ( $0.64\text{--}0.67\ \mu\text{m}$ ) (Pseudo color) (平成 29 年 1 月 25 日)

### 3.3 現地調査による下水浄化センター処理水の流況

#### 3.3.1 調査内容

##### 1) 調査地点

調査開始地点の位置を図3.3.1に示す。下水浄化センター放流口(S1)、嘉瀬川地点(S2)、福所江川・六角川合流地点(S3)の3地点とした。なお、嘉瀬川の調査開始地点(S2)は、本庄江の結果と比較・検証することを目的として、本庄江の河口～放流口と同じ距離(0.8km)とした。



図3.3.1 調査開始地点

## 2) 調査日

調査は平成 29 年 8 月 20 日の 7 : 49 ~ 15 : 49 に実施した。調査日の潮汐は表 3.3.1 のとおりである。

表3.3.1 調査日の潮汐<sup>7)</sup>

年月日	潮区分	満潮		干潮	
		時刻	潮位(m)	時刻	潮位(m)
平成 29 年 8 月 20 日	大潮	7 : 49	5.3	14 : 13	0.7

## 3) 調査方法

図 3.3.2 に調査日（平成 29 年 8 月 20 日）の潮位変動と調査時間帯を示す。満潮時刻に図 3.3.1 に示す各調査開始地点（3 地点）に調査ブイを投入し、干潮に伴って移動するブイを備船にて 8 時間の追跡を行い、10 分毎に GPS により緯度・経度を記録した。

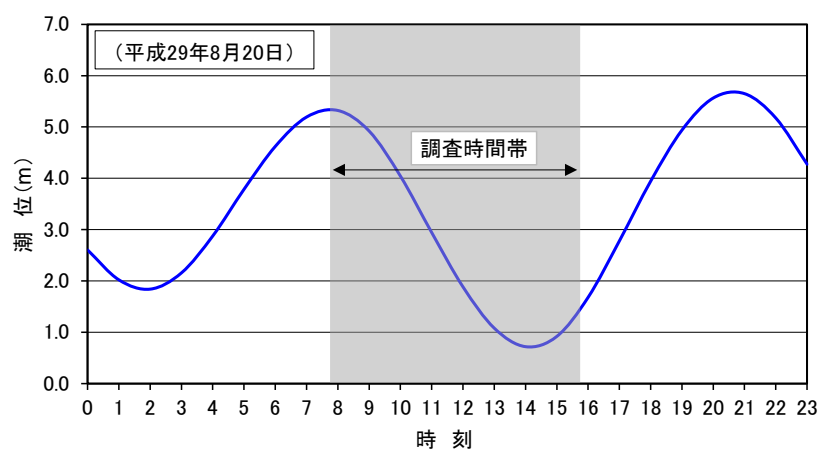


図3.3.2 六角川観測塔の潮位変動と調査時間帯（平成 29 年 8 月 20 日）

### 3.3.2 調査結果と考察

図 3.3.3 に平成 29 年度の嘉瀬川河口における調査ブイの漂流状況を示す。図 3.3.4 に平成 29 年度の本庄江・嘉瀬川・六角川からの流況調査の結果と過年度の本庄江と六角川からの流況調査の結果を示す。平成 29 年度の調査開始地点からの移動距離は、本庄江が 11.7km、嘉瀬川が 13.5km 及び六角川が 11.2km であり、本庄江、嘉瀬川及び六角川からのブイは、それぞれの滞筋を流下してノリ養殖場に到達していた。流れの方向については、六角川からのブイが本庄江及び嘉瀬川からのブイと比べて西側に流れる傾向であった。調査開始地点からノリ養殖場までのブイの到達時間は、概ね、本庄江が 2.5 時間、嘉瀬川が 2 時間及び六角川が 1 時間であった。

過年度の調査については、平成 20 年度より下水浄化センター放流口（図 3.3.1 の S1 地点）を調査開始地点として、下水浄化センター処理水を含む本庄江の河川水の流況を把握するために調査を開始した。平成 22 年度からは福所江・六角川合流地点（図 3.3.1 の S3 地点）を調査開始地点として追加し、本庄江及び六角川からの流況の調査を実施している。図 3.3.4 から分かるように、平成 29 年度の調査結果は、移動範囲及び各河川からの調査ブイの流れの方向についても過年度の調査結果と同様の傾向を示した。



図3.3.3 調査ブイの漂流状況（嘉瀬川河口）

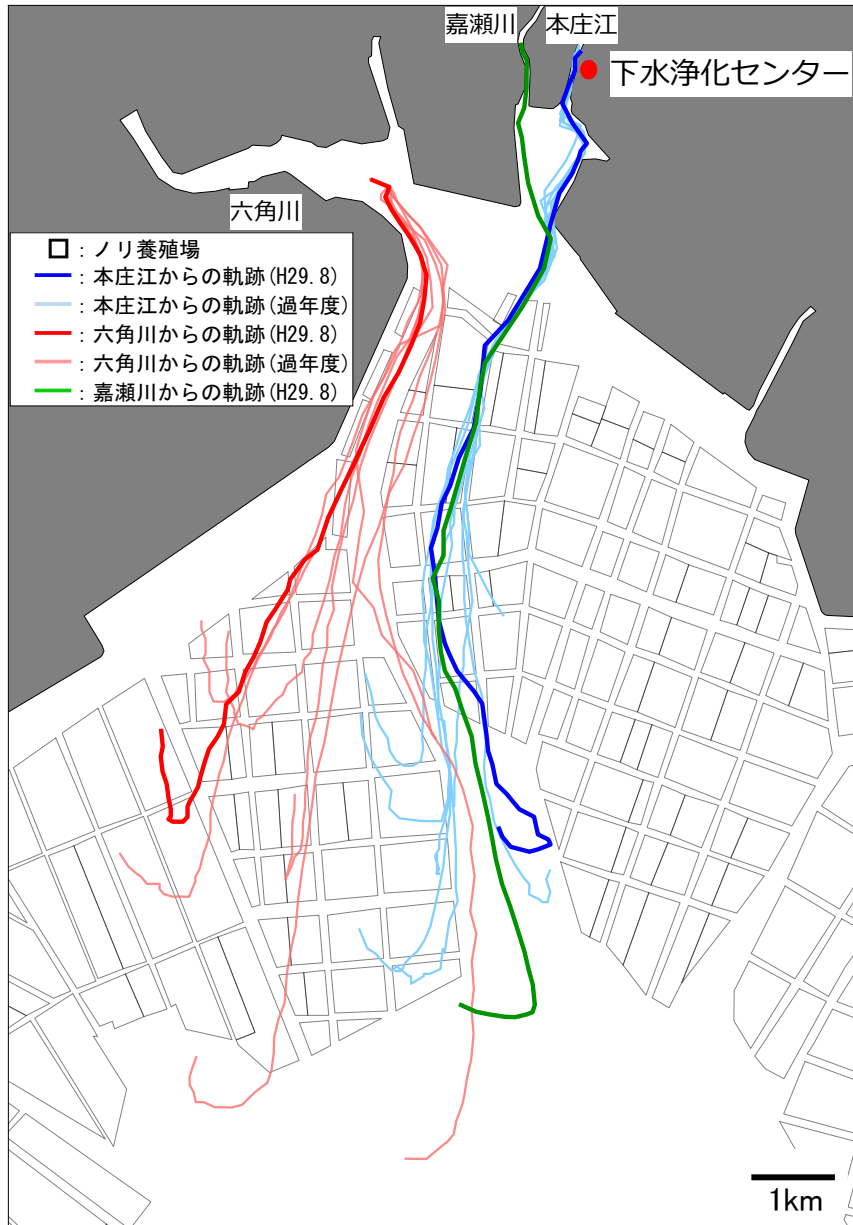


図3.3.4 本庄江・嘉瀬川・六角川からの流況（平成29年度・過年度）

### 3.4 まとめ

衛星画像解析により、有明海湾奥部に位置するノリ養殖場は、全体的に河川水の影響を受けていることが確認された。ただし、六角川と塩田川との間に位置するノリ養殖場への河川水の流入が少ないことが分かった。現地調査により本庄江、嘉瀬川及び六角川からの流れは、それぞれの滞筋を流下してノリ養殖場に到達していることを確認した。六角川からの流れの方向は、本庄江及び嘉瀬川からの流れと比べて西側に流れる傾向であった。

#### 【衛星画像解析】

- Landsat8 の OLI センサの Band4、5 のデータからは、現地観測結果などの点情報では得られない流れやノリ養殖漁場内における河川水の拡散などの詳細な状況が視覚的に把握された。
- 下げ潮においては、筑後川からの河川水は、下流側に位置するノリ養殖場内のノリ小間の間を放射状に拡散している。嘉瀬川及び六角川の河川水は中央部の滞筋を流下しながらノリ小間の間を拡散している。塩田川の河川水は、鹿島市から太良町の海岸に沿いながら南下している。
- 六角川と塩田川の間には、河川水の流入が少なく、この間に位置するノリ養殖場への拡散が少ないと考えられる。
- ノリ養殖場内の河川水の流況は、潮流などの自然条件のほかに、ノリ網やノリ網を支える支柱による流体抵抗などの物理的な影響を受けると考えられる。

#### 【現地調査】

- 平成 29 年度の調査開始地点からの移動距離は、本庄江が 11.7km、嘉瀬川が 13.5km 及び六角川が 11.2km であり、本庄江、嘉瀬川及び六角川からのブイは、それぞれの滞筋を流下してノリ養殖場に到達していた。
- 本庄江、嘉瀬川及び六角川からの流れの方向については、六角川からのブイが本庄江及び嘉瀬川からのブイと比べて西側に流れる傾向であった。
- 平成 29 年度の調査結果は、移動範囲及び各河川からの調査ブイの流れの方向についても過年度の調査結果と同様の傾向を示した。



<参考文献>

- 1) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所：LandBrowser,  
<https://landbrowser.airc.aist.go.jp/landbrowser/> (参照 2017-8-8)
- 2) 独立行政法人 森林総合研究所：衛星データの種類と入手の際の留意点, 平成 25 年度 REDD プラスに係わる森林技術者講習会テキスト 基礎講習  
[https://www.ffpri.affrc.go.jp/redd-rdc/ja/reference/03/201311\\_basic\\_chap06.pdf](https://www.ffpri.affrc.go.jp/redd-rdc/ja/reference/03/201311_basic_chap06.pdf) (参照 2017-8-8)
- 3) 一般財団法人リモート・センシング技術センター  
<https://www.restec.or.jp/satellite/landsat-8>, <https://www.restec.or.jp/satellite/landsat-7.html>
- 4) JAXA 第一宇宙技術部門 衛星利用運用センター, [http://www.sapc.jaxa.jp/use/data\\_view/](http://www.sapc.jaxa.jp/use/data_view/)
- 5) 森幹高：衛星画像で判読した江戸川の濁度分布とその分析, 土木学会第 60 回年次学術講演会 (平成 17 年 9 月), 4-267, 2005.
- 6) 渡辺潔・瀬口昌洋：リモートセンシングによる有明海浅海域の海象の研究 (II), 佐賀大学農学部彙報, 第 65 号, pp.53-59, 1988.
- 7) 佐賀県有明海漁業協同組合：平成 29 年潮汐表 (六角川観測塔), 2017.

## 4. ノリ養殖海域への窒素供給及び処理水の影響

### 4.1 目的

季節別運転管理における「ノリ養殖海域への窒素供給」及び「処理水によるノリ養殖への影響」についての基礎的知見を得るために、表 4.1.1 に示す 2 つの調査を行った。

表4.1.1 調査一覧

節※1	調査名	調査概要
4.2	ノリ養殖海域における無機態窒素等の平面分布の把握調査 (分布調査)	<p>&lt;目的&gt;</p> <p>ノリ養殖海域への窒素供給については、季節別運転管理における DIN※2 の平面分布の違いを把握する。</p> <p>処理水によるノリ養殖への影響については、ノリ養殖への影響が懸念される水温、比重及び残留塩素の平面分布を把握する。</p> <p>&lt;調査地点&gt;</p> <p>河口からノリ養殖海域の 26 地点</p> <p>&lt;調査日&gt;</p> <p>平成 31 年 1 月 9 日：硝化抑制運転期間（ノリ養殖期） 令和 元年 8 月 5 日：通常運転期間</p> <p>&lt;調査方法&gt;</p> <p>表層水の採水・測定・分析を行った。</p>
4.3	ノリ養殖海域における潮汐に伴う NH <sub>4</sub> -N 等の挙動の把握調査 (挙動調査)	<p>&lt;目的&gt;</p> <p>ノリ養殖海域への窒素供給については、4 章 4.2 節の調査より更に潮位が低い時間帯までの調査を行い、処理水に含まれる主な栄養塩である NH<sub>4</sub>-N※2 の潮汐に伴う挙動及びその到達範囲を把握する。</p> <p>処理水によるノリ養殖への影響については、ノリ養殖への影響が懸念される水温及び比重の潮汐に伴う挙動を把握する。</p> <p>&lt;調査地点&gt;</p> <p>河口からノリ養殖海域の 33 地点</p> <p>&lt;調査日&gt;</p> <p>令和元年 12 月 10 日：硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）</p> <p>&lt;調査方法&gt;</p> <p>表層水の採水・測定・分析を行った。</p>

※1 調査内容の詳細は各節で述べる。

※2 底泥の巻き上げによる NH<sub>4</sub>-N の供給<sup>1)3)</sup>が考えられるため、併せて SS の調査を行った。

## 4.2 ノリ養殖海域における無機態窒素等の平面分布調査

### 4.2.1 調査内容

硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）と通常運転期間の DIN の平面分布の違い、及び処理水のノリ養殖への影響が懸念される水温、比重及び残留塩素の平面分布を把握するために調査を行った。

#### 1) 調査地点

調査地点は、各調査項目の面的な濃度分布を把握するために、本庄江、嘉瀬川及び六角川の河口からノリ養殖海域の範囲において図 4.2.1 に示す 26 地点 (N1～N26) を調査地点として設定した。「満潮 2 時間後」の調査では水深が浅くなり、調査船が調査地点まで接近できなかった箇所については、調査可能な地点に変更した。

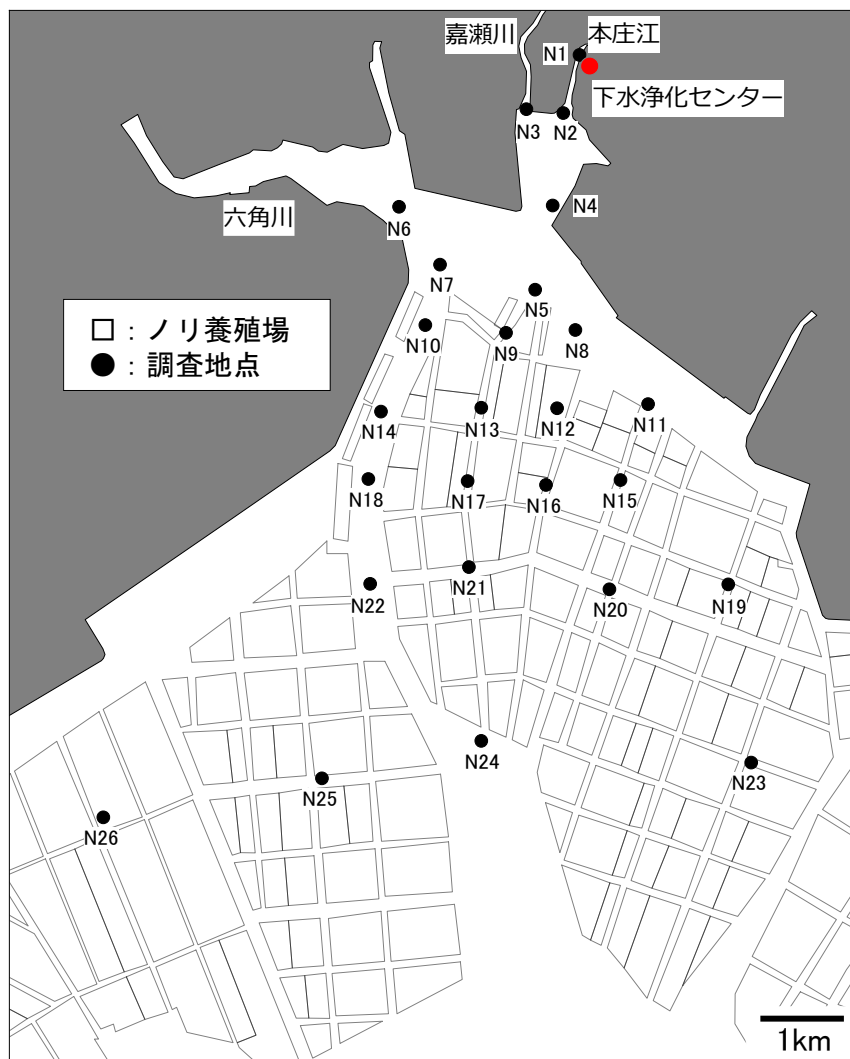


図4.2.1 調査地点

## 2) 調査日

硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）の調査は平成31年1月9日、通常運転期間の調査は令和元年8月5日に行った。調査日の潮汐は表4.2.1のとおりである。

表4.2.1 調査日の潮汐<sup>4)</sup>

年月日	潮区分	満潮		干潮	
		時刻	潮位(m)	時刻	潮位(m)
平成31年1月9日	中潮	11:17	4.9	17:12	1.5
令和元年8月5日	中潮	12:05	5.5	18:20	1.0

## 3) 調査方法

採水日の潮位及び採水時間を図4.2.2に示す。硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）及び通常運転期間のそれぞれの調査日において、潮位による平面分布の変化の有無を把握するために、「満潮時」と「満潮2時間後」について採水を行った。なお、採水層はノリ養殖が海面表層で行われることから表層とした。

水質の調査項目及び分析方法を表4.2.2に示す。調査項目はDIN、残留塩素、水温、比重及びSSとした。現地測定を行わない分析項目については、採水された試料を速やかに分析室に持ち帰り、分析をおこなった。残留塩素は孔径0.45 $\mu\text{m}$ のメンブランフィルターでろ過し、残留塩素測定器（柴田科学社製）、塩分は塩分計（YSI社製、YSI Pro30）による測定を行った。

調査時の雨量については、アメダス川副観測所データにおいて、平成31年1月9日の調査では調査14日前に2mm、令和元年8月5日の調査では4日前に7mmの降雨となっている。

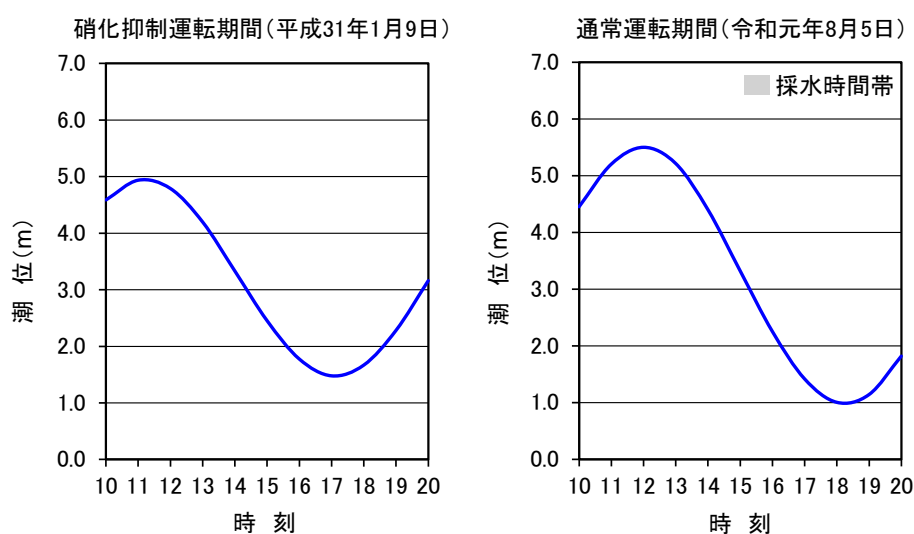


図4.2.2 六角川観測塔の潮位変動と調査時間帯

表4.2.2 調査項目及び分析方法

区分	調査項目	分析方法	備考
栄養塩	NH <sub>4</sub> -N	JIS K 0102 42.2	
	NO <sub>2</sub> -N	JIS K 0102 42.1.3	
	NO <sub>3</sub> -N	JIS K 0102 42.2.6	
その他	残留塩素	比色板を用いる DPD 法	現地測定
	水温	JIS K 0102 7.2	現地測定
	比重*	塩分計による測定	現地測定
	SS	S46 環境庁告示 59 号付表 9	

※「用語の説明」に記載する換算式を用いて塩分から比重を計算した。

#### 4.2.2 調査結果と考察

##### 1) 栄養塩の供給について

図 4.2.3 及び図 4.2.4 に硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）及び通常運転期間の DIN の海域平面分布を示す。ノリ養殖海域（河川から河口に位置する N1~N4、N6 を除く）における DIN 濃度は、硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）が満潮時で 0.094~0.85mg/L 及び満潮 2 時間後で 0.036~0.71mg/L、一方、通常運転期間が満潮時で 0.02mg/L 未満及び満潮 2 時間後で 0.02 未満~0.18mg/L となっており、硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）の方が全体的に高い値を示した。

水産用基準においてノリ養殖に最低限必要な DIN 濃度は 0.07~0.1mg/L とされている<sup>5)</sup>。佐賀県での栄養塩添加は、ノリ養殖海域において DIN 濃度が 0.1mg/L（以下、ノリ養殖の生育に必要な DIN 濃度）に不足する量を添加して実施されている<sup>6)</sup>。よって、この値を参考にノリ養殖の生育に必要な DIN 濃度と比較した。その結果、硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）では、満潮時の N26 地点、満潮 2 時間後の N25 地点及び N26 地点を除くほとんどのノリ養殖海域の地点でその濃度レベルを達していた。一方、通常運転期間では、満潮時がノリ養殖海域の全地点、満潮 2 時間後がノリ養殖海域で最も河口に近い地点である N5 地点及び下水浄化センターより約 4km 下流に位置する N9 以外のすべての地点でその濃度レベルを達していなかった。

次に硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）の処理水に含まれる主な栄養塩である NH<sub>4</sub>-N について述べる。図 4.2.5 及び図 4.2.6 に硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）及び通常運転期間の NH<sub>4</sub>-N の海域平面分布を示す。処理水を含む河川水がノリ養殖海域に到達する N5 地点における NH<sub>4</sub>-N 濃度は、硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）が満潮時で 0.49mg/L 及び満潮 2 時間後が 0.24mg/L、一方、通常運転期間では、満潮時が 0.004mg/L、満潮 2 時間後が 0.013mg/L であり、硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）の方が顕著に高い値を示した。

ノリ養殖海域における  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度は、硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）が満潮時で  $0.002 \sim 0.49\text{mg/L}$  及び満潮 2 時間後で  $0.001$  未満 $\sim 0.28\text{mg/L}$ 、一方、通常運転期間が満潮時で  $0.001 \sim 0.006\text{mg/L}$  及び満潮 2 時間後で  $0.002 \sim 0.014\text{mg/L}$  となっており、硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）の方が全体的に高い値を示した。

参考にノリ養殖の生育に必要な DIN 濃度と比較すると、通常運転時期間では、ノリ養殖海域においてその濃度に達している地点はみられなかった。一方、硝化抑制時期間（ノリ養殖期）では、満潮時及び満潮 2 時間後のノリ養殖海域において、 $\text{NH}_4\text{-N}$  のノリ養殖の生育に必要な DIN 濃度  $0.1 \text{ mg/L}$  に達している地点がみられた。

SS については、既往の文献<sup>14)3)</sup>により底泥の巻き上げによる  $\text{NH}_4\text{-N}$  の供給が考えられ、調査項目に選定したが、 $\text{NH}_4\text{-N}$  との関連性はみられなかった。参考に図 4.2.7 及び図 4.2.8 に硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）及び通常運転期間の SS の海域平面分布を示す。

以上の DIN 及び  $\text{NH}_4\text{-N}$  の結果より、硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）にはノリ養殖海域への栄養塩の供給に寄与していると考えられる。

## 2) 処理水の影響について

図 4.2.9 及び図 4.2.10 に硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）及び通常運転期間の水温の海域平面分布を示す。下水浄化センター処理水の水温は、硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）で平均  $20^\circ\text{C}$ 、通常運転期間で平均  $28^\circ\text{C}$  程度である。硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）の調査における水温は、河川水の影響が大きい河口付近で  $9^\circ\text{C}$  程度、海水の影響が大きい下流海域における地点で  $10^\circ\text{C}$  程度であった。放流口付近の N1 地点では処理水の影響と考えられる水温上昇がみられた。しかし、本庄江の河口まで流下すると、ほぼ他の地点と同程度の水温となっていた。また、通常運転期間の調査における水温は、全地点において  $30^\circ\text{C}$  程度であり処理水の影響と考えられる水温の低下はみられなかった。以上より、下水浄化センター処理水はノリ養殖海域の水温に直接影響を与えるものではないと考えられる。

図 4.2.11 及び図 4.2.12 に硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）及び通常運転期間の比重の海域平面分布を示す。比重は、育苗期において、ノリ養殖網が干出前に浸漬する海水の比重が 15 未満と低比重の場合には、幼芽に障害率が高くなるという報告がある<sup>7)9)</sup>。そこで、比重 15 を低塩分海水の目安濃度として測定結果を比較した。その結果、ノリ養殖海域における比重は、両期間の「満潮時」と「満潮 2 時間後」において低比重海水の目安濃度とした 15 を下回ることはなかった。嘉瀬川と本庄江の河川水が、流下に伴い、海水と十分に希釈・混合されたためと考えられる。なお、処理水によるノリ養殖海域の低比重化への影響についての詳細は 5 章で述べる。

図 4.2.13 及び図 4.2.14 に硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）及び通常運転期間の残留塩素の海域平面分布を示す。下水浄化センター処理水の残留塩素が確認された地点は、両期間で N1 地点（下水浄化センター放流口付近）のみであり、通常運転期間では満潮時及び

満潮 2 時間後で 0.1mg/L、硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）では、満潮時で 0.05mg/L、満潮 2 時間後で 0.1mg/L であった。N1 以外の地点はすべて定量下限値未満（<0.05mg/L）となった。以上より、ノリ養殖海域における残留塩素は、測定不可能な微量な濃度レベルであることが確認された。

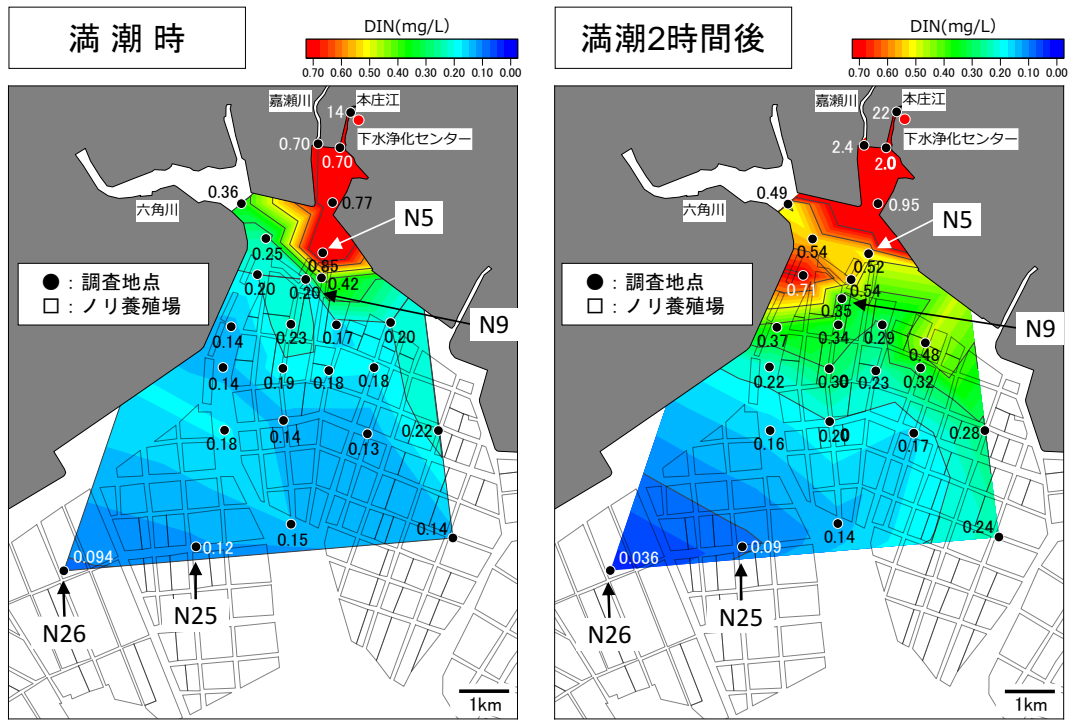


図4. 2. 3 硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）のDINの海域平面分布

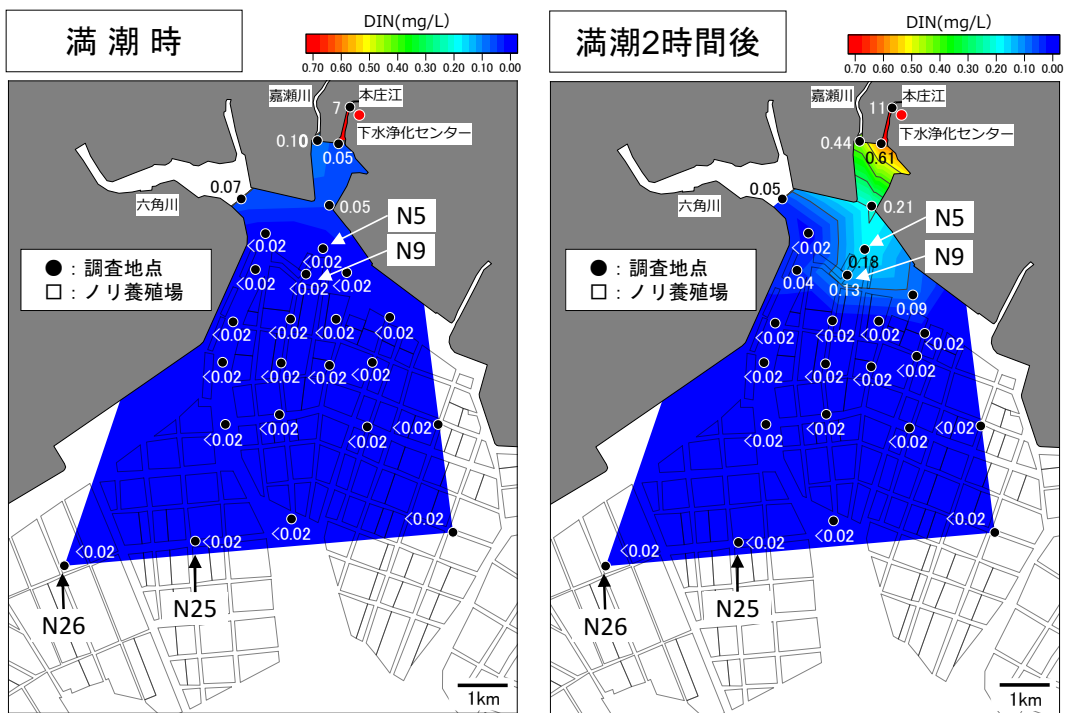


図4. 2. 4 通常運転期間のDINの海域平面分布



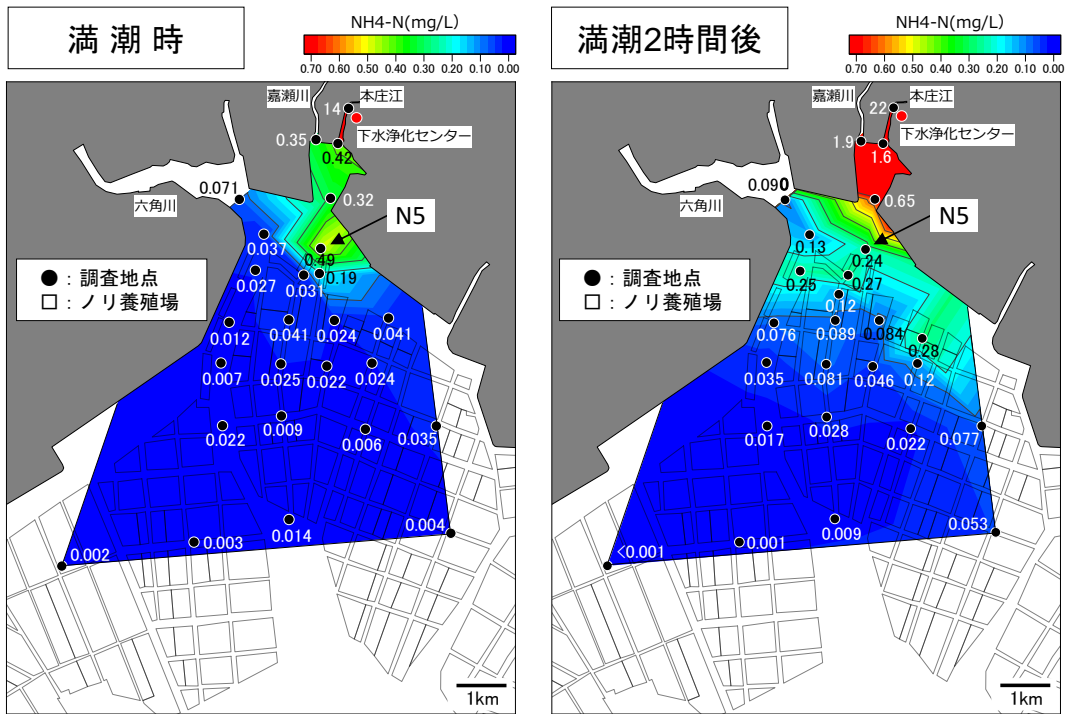


図4.2.5 硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）のNH<sub>4</sub>-Nの海域平面分布

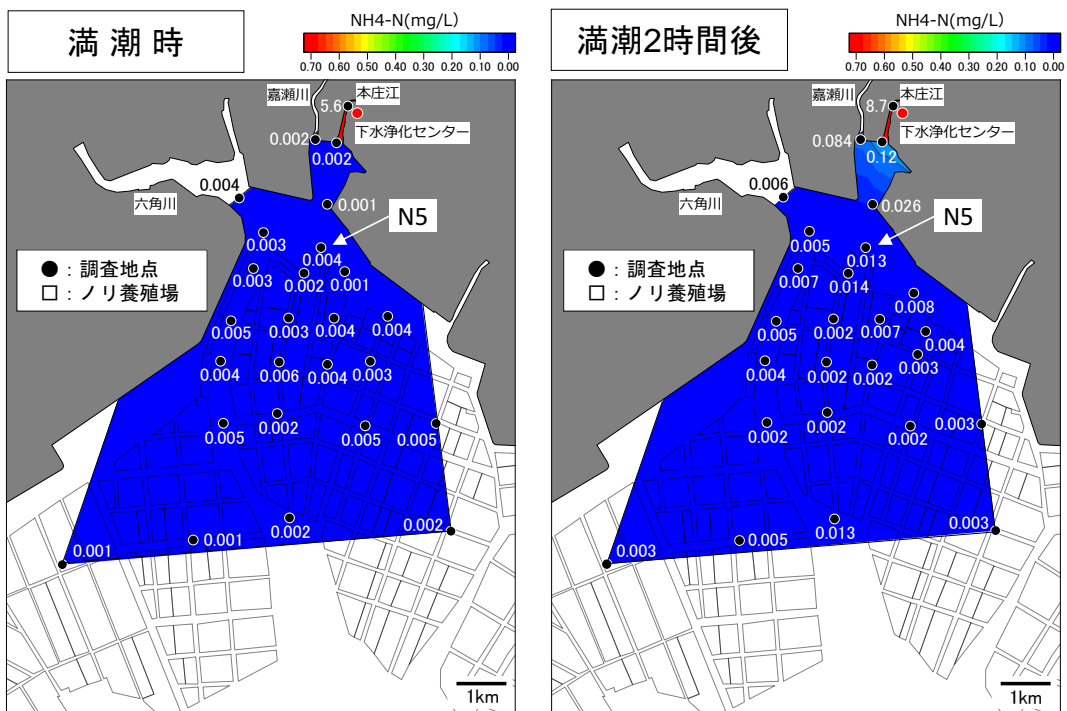


図4.2.6 通常運転期間のNH<sub>4</sub>-Nの海域平面分布

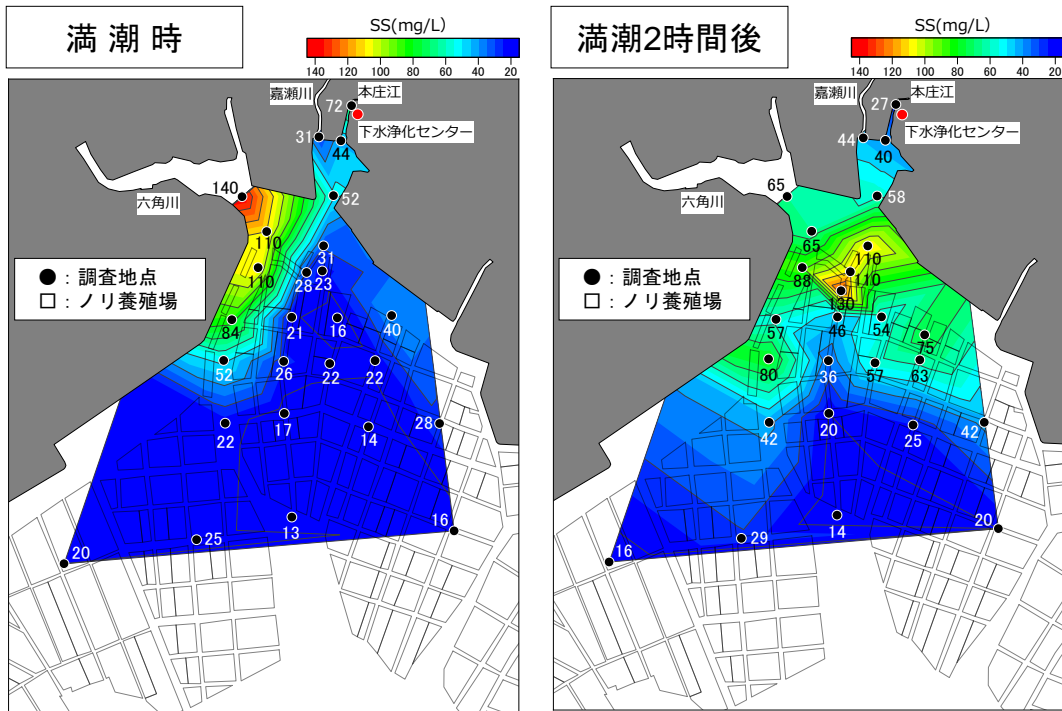


図4.2.7 硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）のSSの海域平面分布

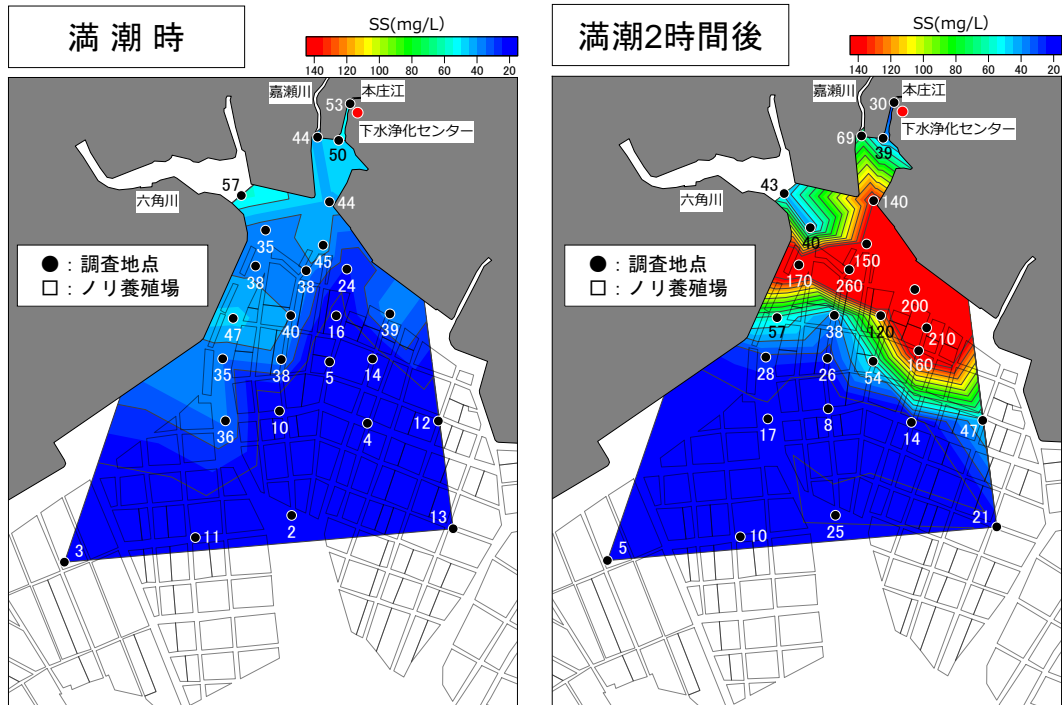


図4.2.8 通常運転期間のSSの海域平面分布

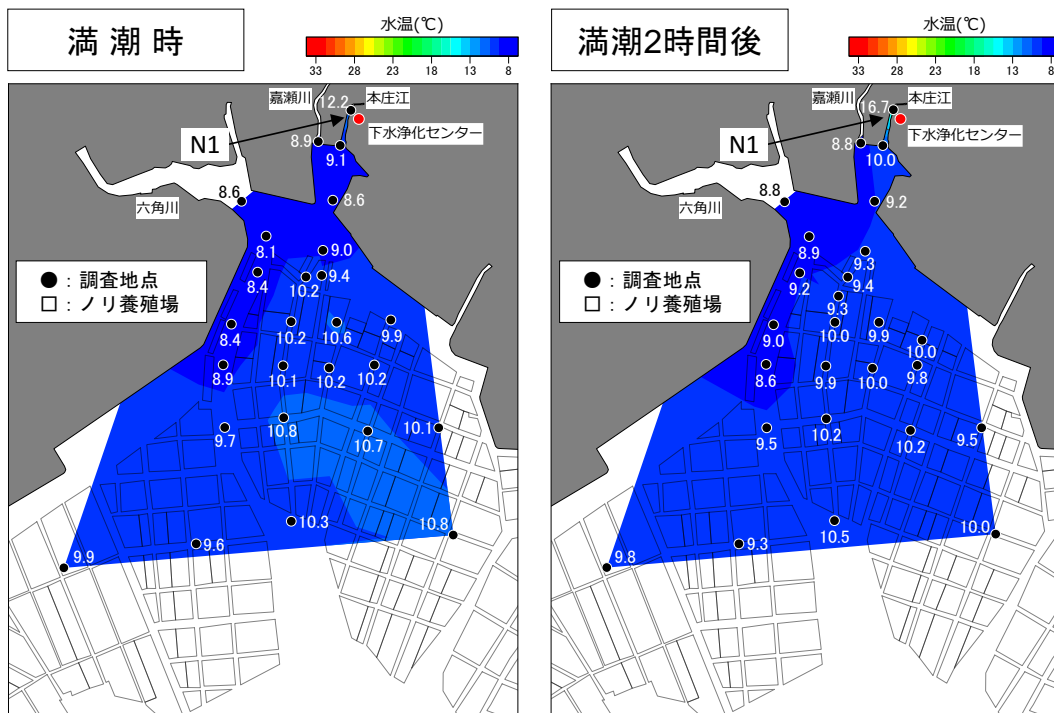


図4.2.9 硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）の水温の海域平面分布

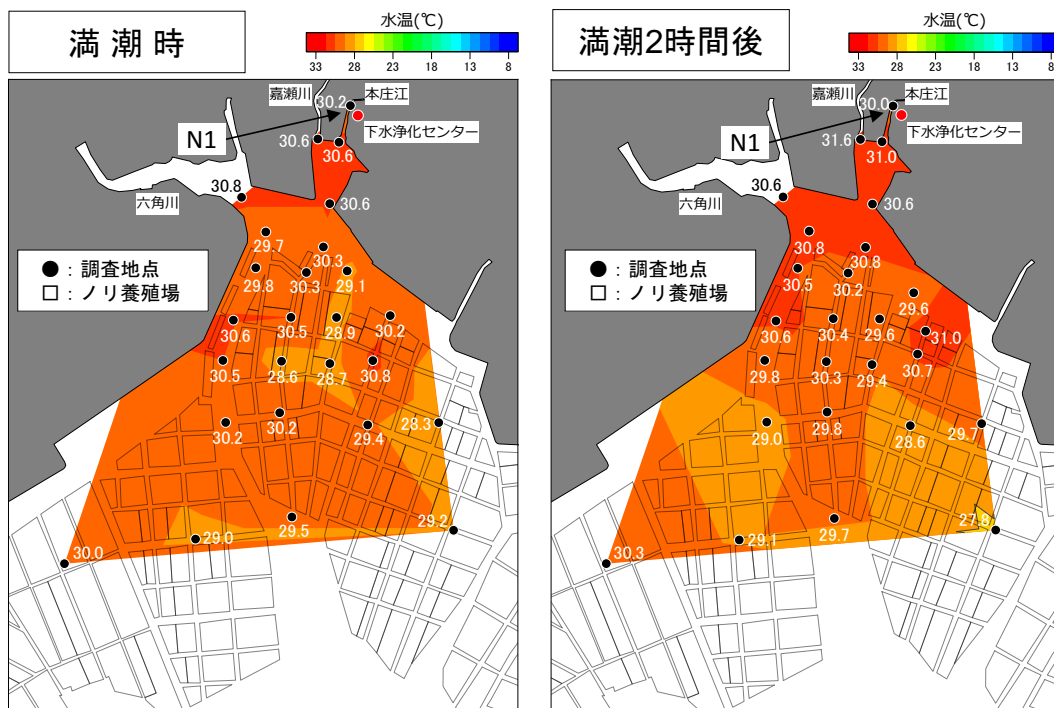


図4.2.10 通常運転期間の水温の海域平面分布

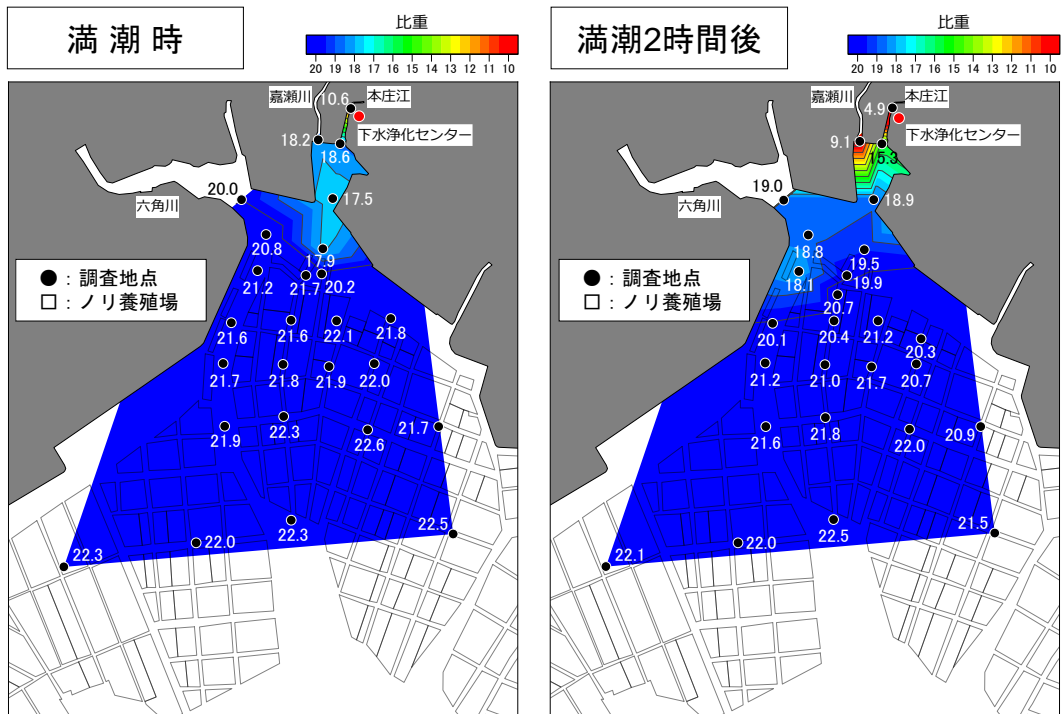


図4.2.11 硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）の比重の海域平面分布

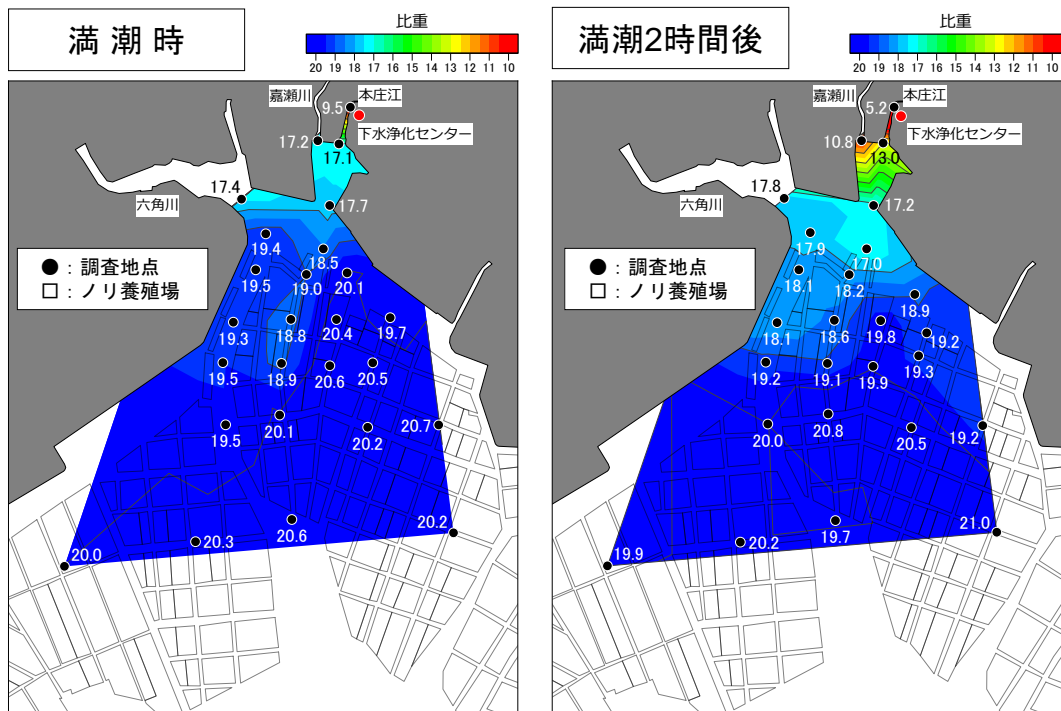


図4.2.12 通常運転期間の比重の海域平面分布

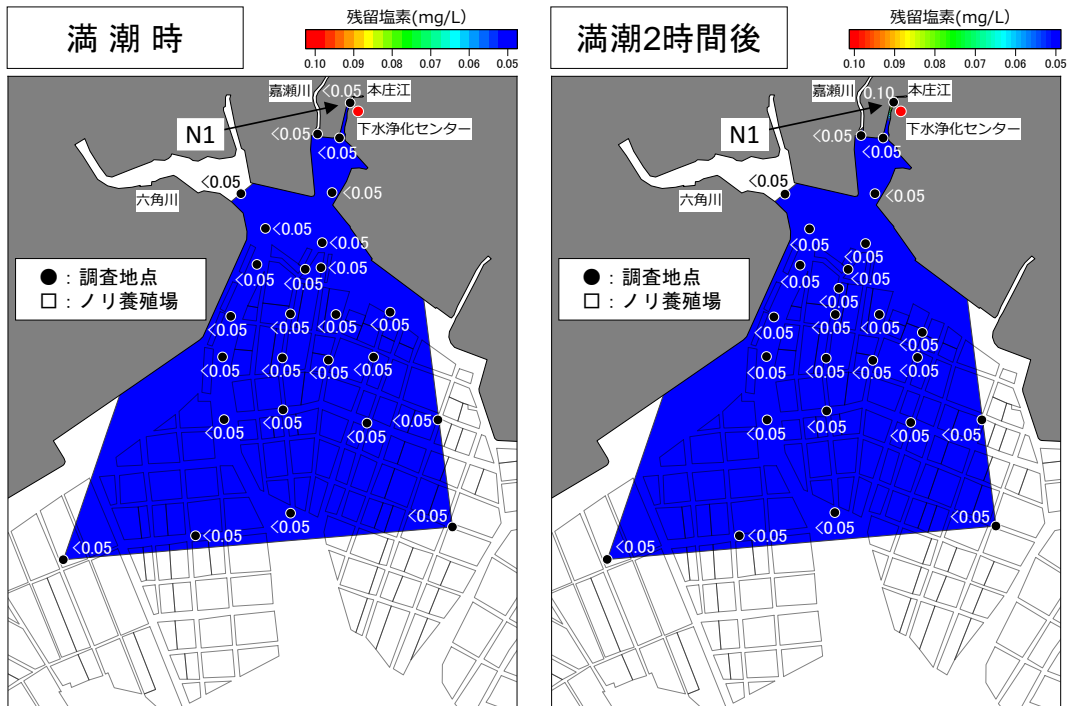


図4. 2. 13 硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）の残留塩素の海域平面分布

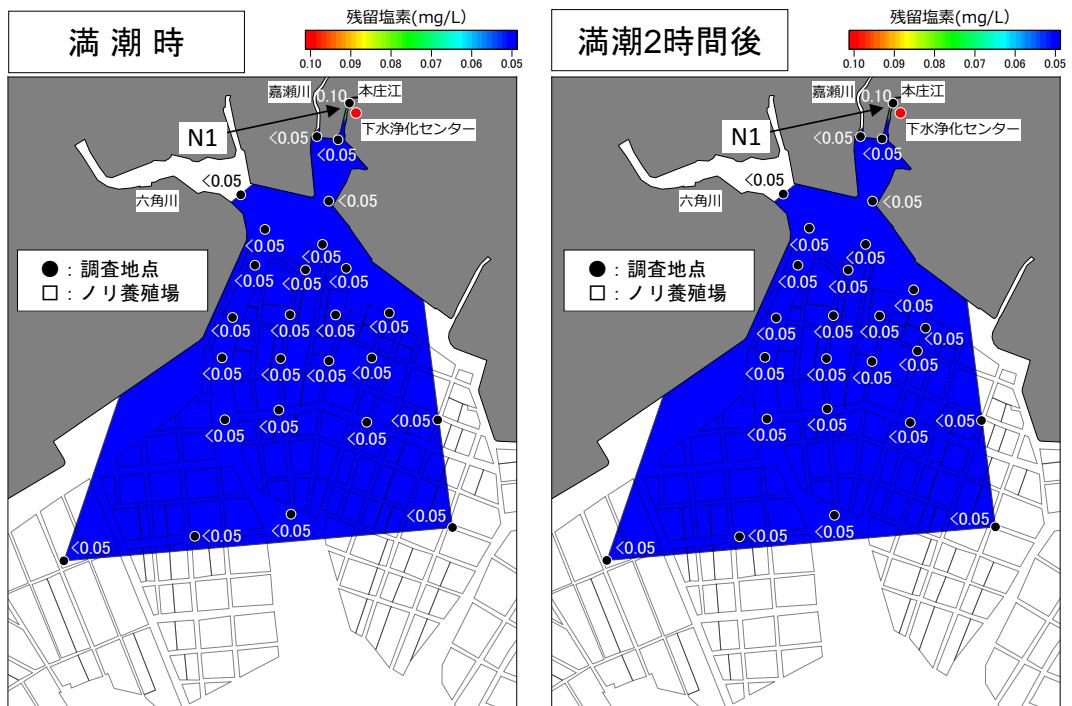


図4. 2. 14 通常運転期間の残留塩素の海域平面分布

### 4.3 ノリ養殖海域における潮汐に伴う NH<sub>4</sub>-N 等の挙動調査

#### 4.3.1 調査内容

栄養塩を高める硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）において、「分布調査」より更に潮位が低い時間帯までの調査を行った。処理水に含まれる主な栄養塩である NH<sub>4</sub>-N の潮汐に伴う挙動及びその到達範囲、及び処理水のノリ養殖への影響が懸念される水温・塩分の潮汐に伴う挙動を把握するために調査を行った。

##### 1) 調査地点

調査地点は、栄養塩の下流海域における到達範囲が「分布調査」よりも更に沖側になると考えられた。よって、図 4.3.1 に示すように「分布調査」の 26 地点（N1～N26）に流下方向の 7 地点を追加し、計 33 地点（N1～N33）を調査地点とした。なお、満潮時以外の調査では水深が浅くなり、調査船が調査地点まで接近できなかった箇所については、調査可能な地点に変更した。

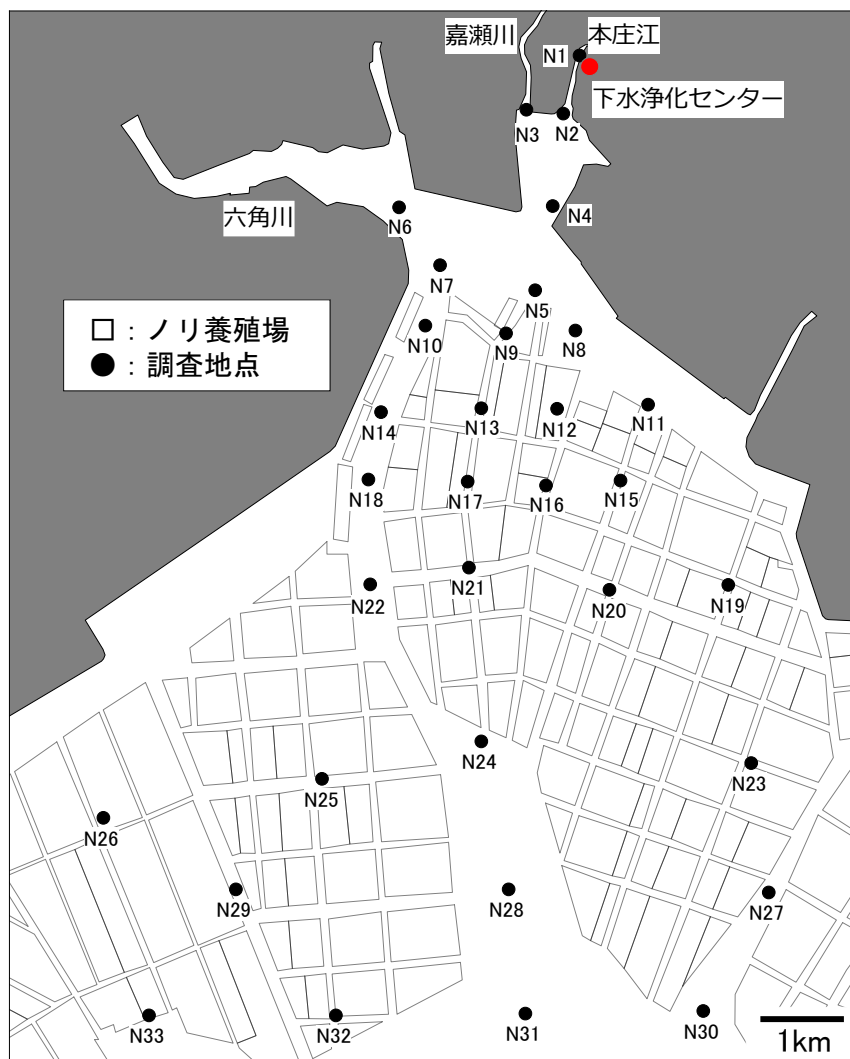


図4.3.1 調査地点

## 2) 調査日

調査は令和元年 12 月 10 日に行った。調査日の潮汐は表 4.3.1 のとおりである。

表4.3.1 調査日の潮汐<sup>4)</sup>

年月日	潮区分	満潮		干潮	
		時刻	潮位(m)	時刻	潮位(m)
令和元年 12 月 10 日	中潮	7 : 55	4.9	13 : 54	1.5

## 3) 調査方法

採水日の潮位及び採水時間を図 4.3.2 に示す。漁業者は、干出時間表<sup>10)</sup>（基準点：六角観測塔）を参考にノリ網の高さを設定しており、日中は3~4時間程度（育苗期では3時間を超えない）の干出時間を目安にしている。ただし、ノリ小間がある場所の地盤高によって干出時間が異なるため、基準点との地盤高の差を考慮し、各ノリ小間の場所に応じてノリ網の高さを設定している。各調査地点により干出する時間帯に差があると考えられるが、今回の調査では、基準点で干出時間が2時間59分となる六角川観測塔の潮位（2.0m）を干出潮位の目安とした。そして、潮位による平面分布の挙動を把握するために、「満潮時」、「下げ潮時（ノリ網が干出する前の時間帯）」、「干潮時」及び「上げ潮時（ノリ網が浸漬する直後の時間帯）」について採水を行った。採水には、各時間帯で約1時間を要した。採水層はノリ養殖が海面表層で行われることから表層とした。

水質の調査項目及び分析方法について表 4.3.2 に示す。調査項目は水質の調査項目は、NH<sub>4</sub>-N、水温、比重及びSSとした。現地測定を行わない分析項目については、採水された試料を速やかに分析室に持ち帰り、分析をおこなった。比重は、「用語の説明」に記載する換算式を用いて塩分から比重を計算した。調査時の雨量については、アメダス川副観測所のデータにおいて、8日前に4mmの降雨となっている。

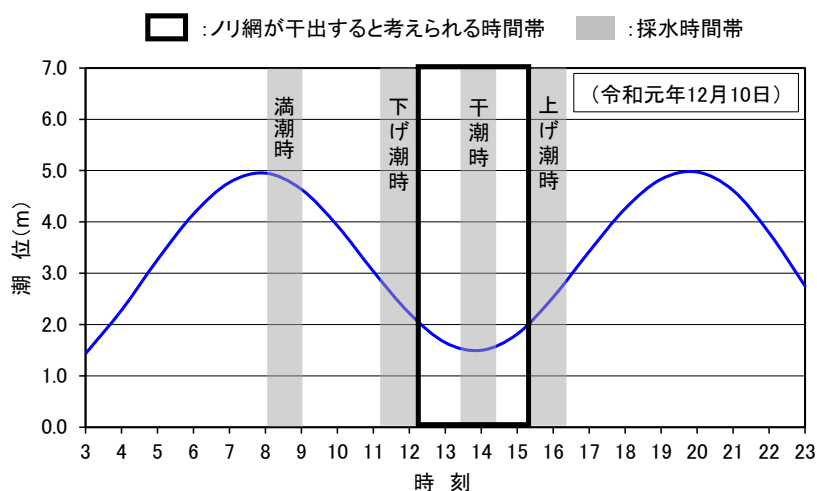


図4.3.2 六角川観測塔の潮位変動と調査時間帯（令和元年 12 月 10 日）

表4.3.2 調査項目及び分析方法

区分	調査項目	分析方法	備考
栄養塩	NH <sub>4</sub> -N	JIS K 0102 42.2	
その他	水温	JIS K 0102 7.2	現地測定
	比重*	塩分計による測定	現地測定
	SS	S46 環境庁告示 59 号付表 9	

※「用語の説明」に記載する換算式を用いて塩分から比重を計算した。

#### 4.3.2 調査結果と考察

##### 1) 栄養塩の供給について

図 4.3.3 に潮汐に伴う NH<sub>4</sub>-N の海域平面分布の変化を示す。満潮から干潮にかけて、本庄江・嘉瀬川からの滲筋に沿って、沖側（流下方向）地点の顕著な NH<sub>4</sub>-N 濃度の上昇がみられた。到達範囲については、ノリ養殖の生育に必要な DIN 濃度である 0.1mg/L を参考として比較すると、その濃度レベルまで達した最も沖側の地点は、下水浄化センターから約 9km 下流に位置する N24 地点であった。同地点の濃度の変動は、満潮時 0.005mg/L、下げ潮時 0.004mg/L、干潮時 0.12mg/L、上げ潮時 0.052mg/L となり、干潮時にノリ養殖の生育に必要な栄養塩濃度 0.1mg/L に達していた。また、本庄江・嘉瀬川からの滲筋より東側に位置する N19 の干潮時と上げ潮時、及び N23 の上げ潮時においてノリ養殖の生育に必要な DIN 濃度 0.1mg/L の濃度レベルまで達していた。本庄江・嘉瀬川からの滲筋から東側に位置し、直接的な処理水の影響が少ないと考えられる地点であるため、東与賀浄化センターからの放流水の影響や底泥の巻き上げによる供給が考えられたが、因果関係を把握するには至らなかった。

SS については、既往の文献<sup>1)-3)</sup>により底泥の巻き上げによる NH<sub>4</sub>-N の供給が考えられ、調査項目に選定したが、NH<sub>4</sub>-N との関連性はみられなかった。参考に図 4.3.4 に潮汐に伴う SS の海域平面分布の変化を示す。

以上より、処理水に含まれる NH<sub>4</sub>-N は、干潮時には、最も沖側まで到達し、上げ潮に転じると海水の流れに伴い、岸方向に戻されるという挙動を繰り返しながら、ノリ養殖海域で拡散していると考えられる。よって、下水浄化センターから N24 地点までの本庄江・嘉瀬川の滲筋に沿ったノリ養殖海域は、多くの栄養塩を供給しているエリアであることが推測される。

##### 2) 処理水の影響について

図 4.3.5 に潮汐に伴う水温の海域平面分布の変化を示す。調査時の水温は、全体的に 11～14℃程度で、河川水の影響が大きい河口付近は 11℃程度、海水の影響が大きい下流海域における地点は 14℃程度であった。調査時期の下水浄化センターからの処理水は 20℃程



度であるが、放流口に最も近い N1 地点をはじめ、全地点において、処理水の影響と考えられる水温の上昇や潮汐に伴う変動はみられなかった。

図 4.3.6 に比重の潮汐に伴う海域平面分布の変化を示す。ノリ網を干出の目安とした水位（六角川観測塔の潮位 2m）では下げ潮時と上げ潮時の潮位の時間帯については、ノリ養殖海域の河口に近い調査地点において、低比重海水の目安である 15 を下回るものの、満潮時にはノリ養殖海域において 15 を下回ることはなかった。なお、処理水によるノリ養殖海域の低比重化への影響についての詳細は 5 章で述べる。

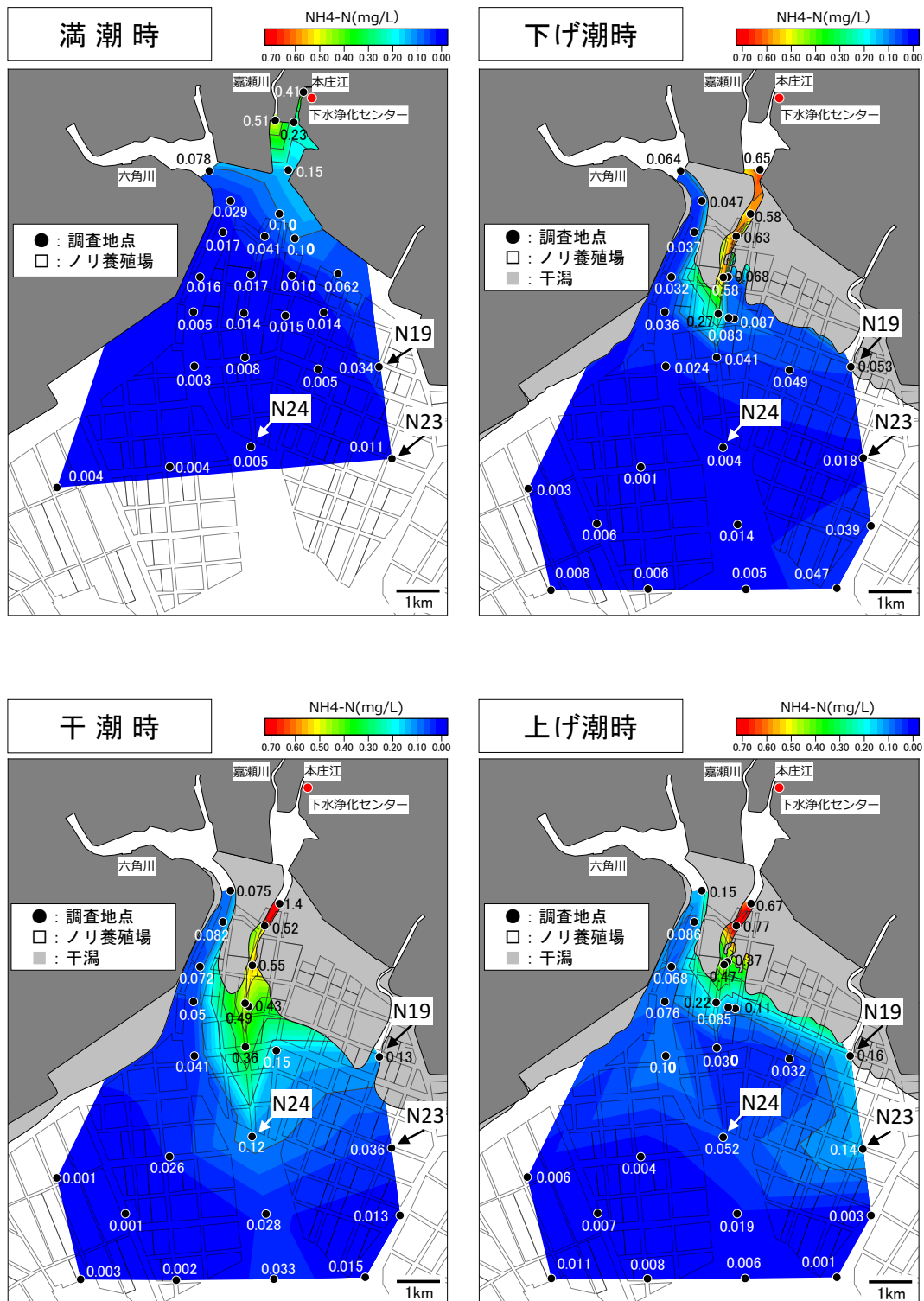


図4.3.3 潮汐に伴う  $\text{NH}_4\text{-N}$  の海面平面分布の変化

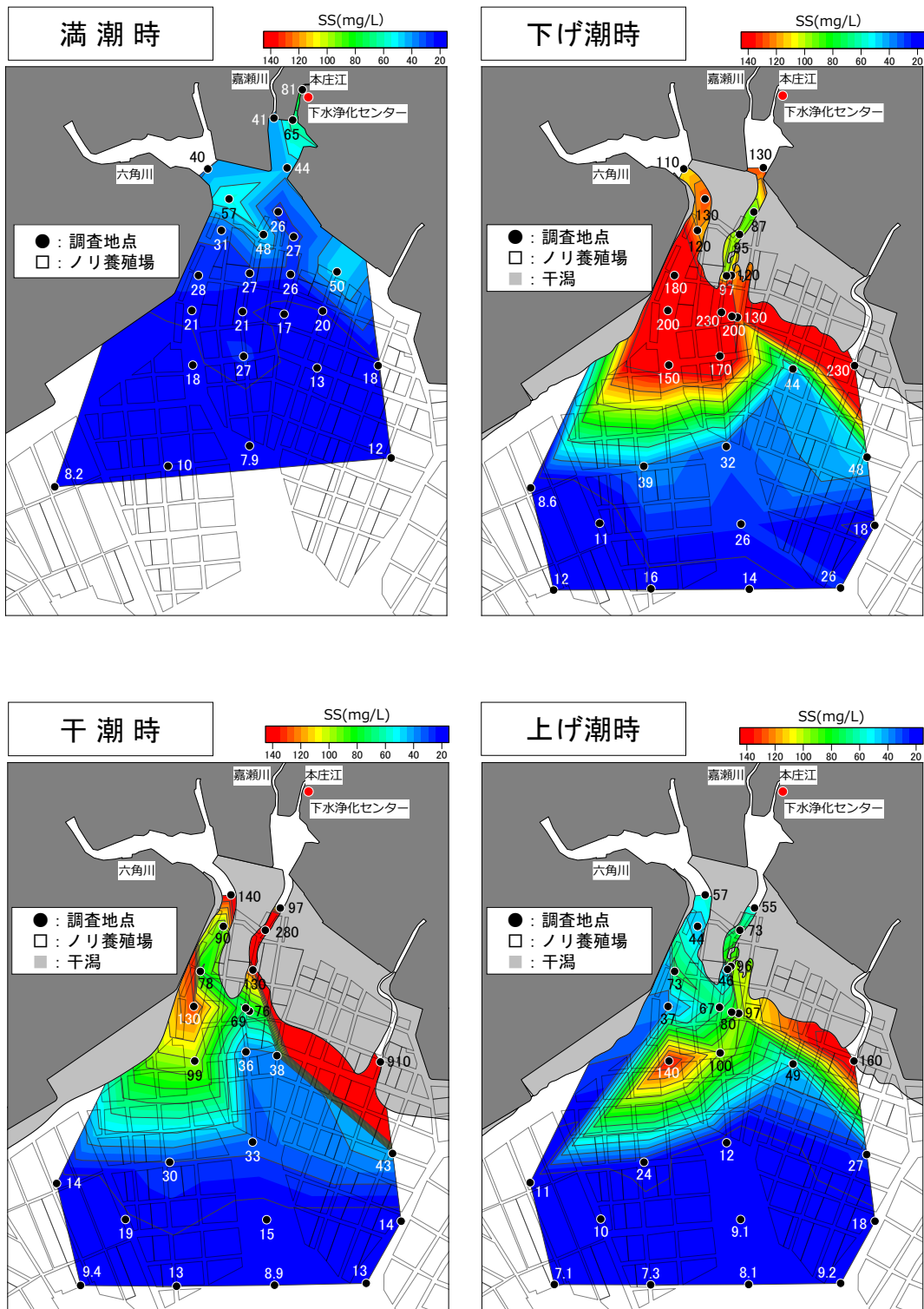


図4.3.4 潮汐に伴うSSの海面平面分布の変化

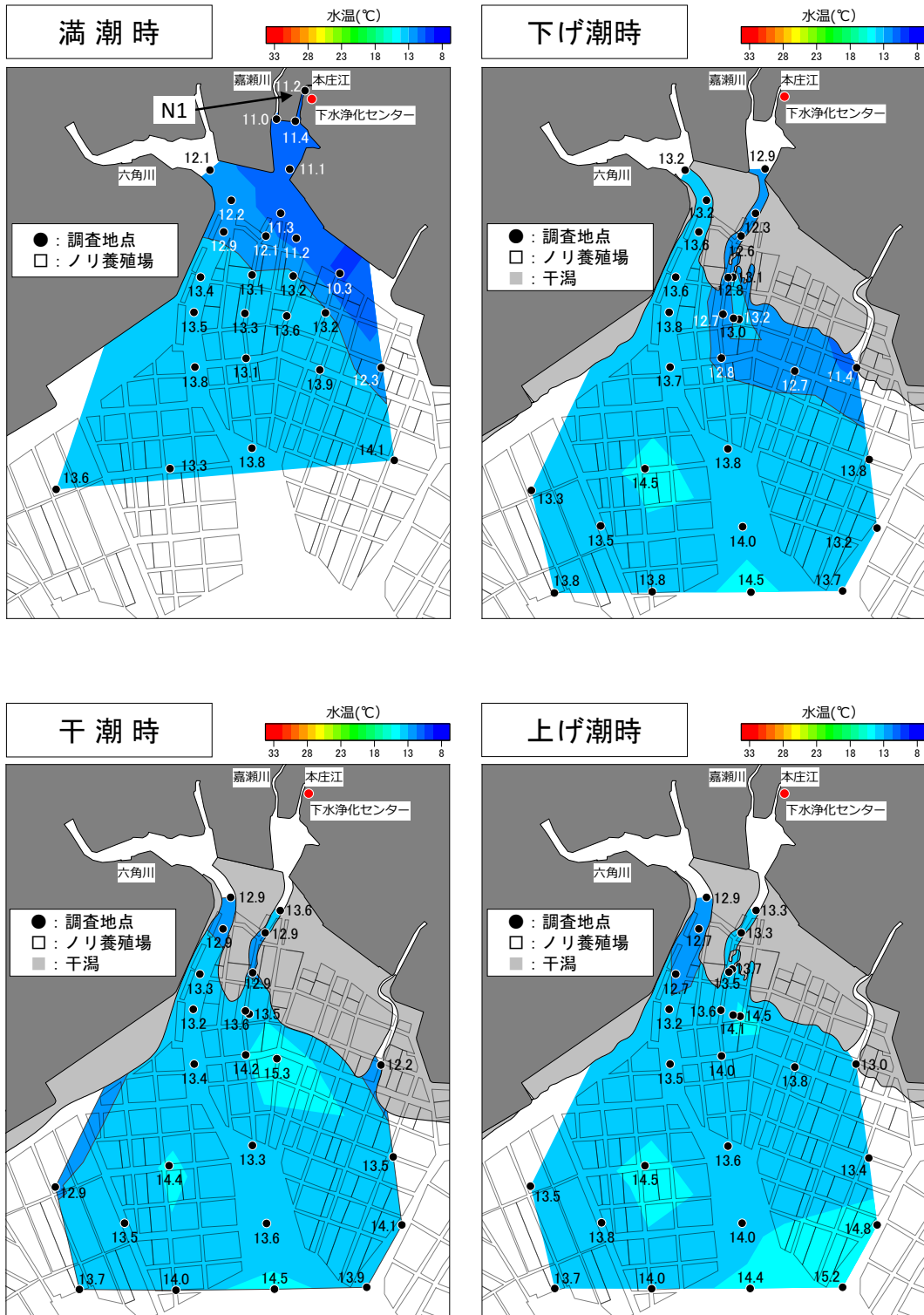


図4. 3. 5 潮汐に伴う水温の海面平面分布の変化

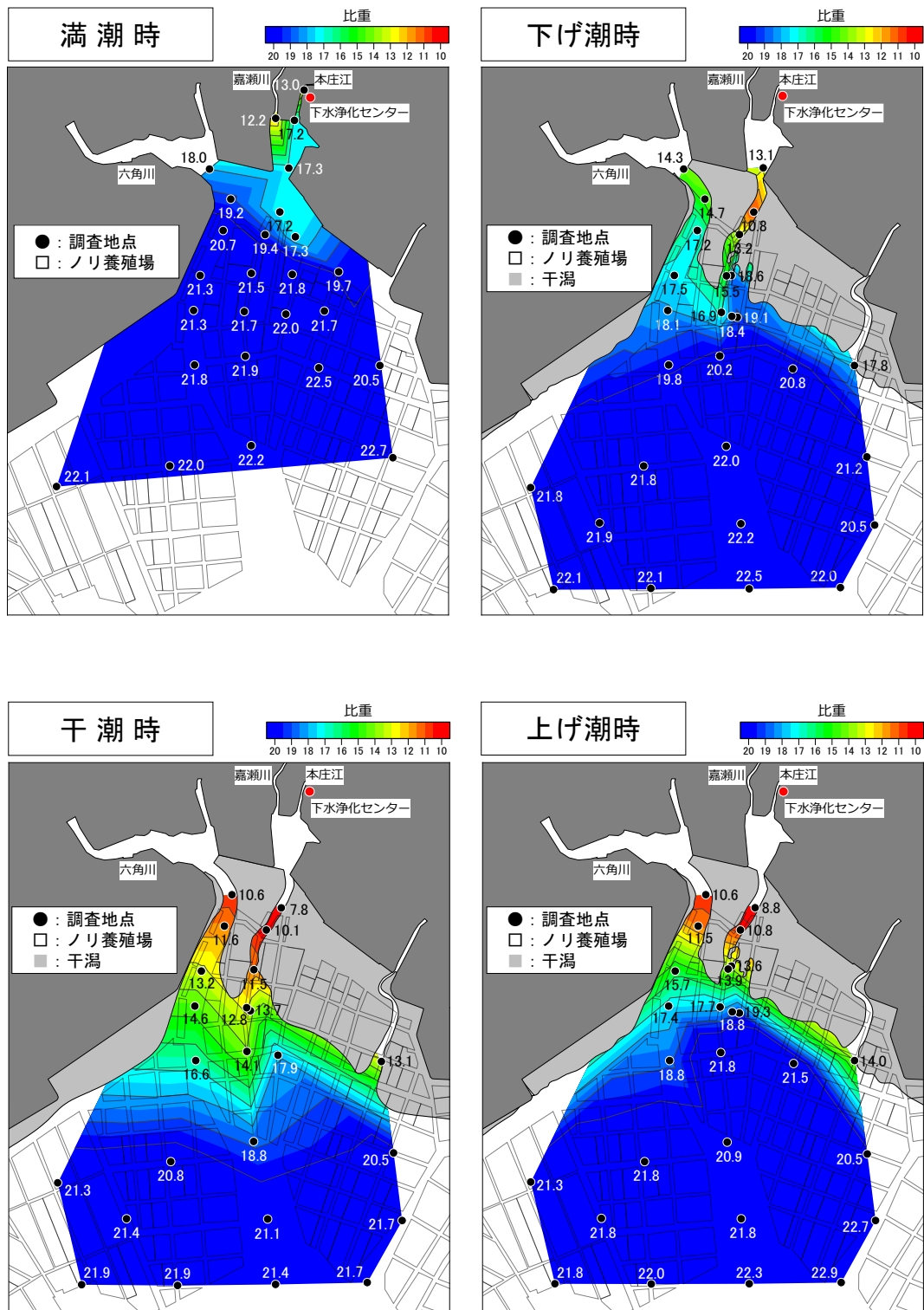


図4.3.6 潮汐に伴う比重の海面平面分布の変化

## 4.4 まとめ

### 4.4.1 季節別運転管理によるノリ養殖海域への無機態窒素の供給

硝化抑制運転を行うノリ養殖期において、ノリ養殖海域での  $\text{NH}_4\text{-N}$  の濃度上昇が確認され、特に下水浄化センターから約 9 km 下流までの滞筋に沿ったノリ養殖海域にはノリの生育に必要な栄養塩が供給されていた。ノリ養殖期における硝化抑制運転は、ノリ養殖海域への栄養塩の供給に寄与していると考えられる。

各調査項目の詳細は以下のとおりである。

#### <DIN>

- 分布調査のノリ養殖海域における DIN の平均濃度（河口に位置する調査地点を除いた地点の平均値）は、通常運転期間と比較して硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）の方が全体的に高い値を示した。
- 分布調査の硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）では、「満潮時」及び「満潮 2 時間後」において、西側に位置する N25、26 地点を除いて、概ねノリ養殖場内の地点はノリ養殖の生育に必要な DIN 濃度である 0.1mg/L に達していた。
- 分布調査の通常運転期間では、満潮時がノリ養殖海域の全地点、満潮 2 時間後がノリ養殖海域で最も河口に近い地点である N5 地点及び下水浄化センターより約 4km 下流に位置する N9 以外のすべての地点でその濃度レベルを達していなかった。

#### < $\text{NH}_4\text{-N}$ >

- 分布調査において、処理水を含む河川水がノリ養殖海域に到達する N5 地点の  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度は、通常運転期間と比較して硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）の方が顕著に高い値を示した。
- 分布調査のノリ養殖海域における  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度は、通常運転期間と比較して硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）の方が全体的に高い値を示し、特に下水浄化センターに近い範囲の濃度が高い傾向にあった。
- 挙動調査において、満潮から干潮にかけて、本庄江・嘉瀬川からの滞筋に沿って、沖側（流下方向）地点の顕著な  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度の上昇がみられた。
- 到達範囲については、ノリ養殖の生育に必要な DIN 濃度である 0.1mg/L を参考として比較すると、その濃度レベルまで達した最も沖側の地点は、下水浄化センターから約 9km 下流に位置する N24 地点であった。
- 本庄江・嘉瀬川からの滞筋より東側に位置し、直接的な処理水の影響が少ないと考えられる N19 及び N23 地点においてもノリ養殖の生育に必要な DIN 濃度 0.1 mg/L の濃度レベルまで達していた。原因として、東与賀浄化センターからの処理水の影響や底泥からの供給が考えられたが、因果関係を把握するには至らなかった。

#### <SS>

- NH<sub>4</sub>-N との関係性はみられず、底泥の巻き上げによる NH<sub>4</sub>-N 供給の有無については把握できなかった。

#### 4.4.2 ノリ養殖海域への水温・比重・残留塩素の影響

水温、比重及び残留塩素についてノリ養殖に影響が考えられるような調査結果はみられなかった。ノリ養殖への直接的な影響は比較的少ないと考えられた。

各調査項目の詳細は以下のとおりである。

##### <水温>

- 分布調査の硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）における水温は、放流口付近の N1 地点では処理水の影響と考えられる水温上昇がみられたが、本庄江の河口まで流下すると、ほぼ他の地点と同程度の水温となっていた。
- 分布調査の通常運転期間における水温は、全地点において 30℃程度であり、処理水の影響と考えられる水温の低下はみられなかった。
- 挙動調査における水温は、放流口に最も近い N1 地点をはじめ、全地点において、処理水の影響と考えられる水温の上昇や潮汐に伴う変動はみられなかった。

##### <比重>

- 分布調査では、ノリ養殖海域における比重は、両期間の「満潮時」と「満潮 2 時間後」において低比重海水の目安濃度とした 15 を下回ることはなかった。嘉瀬川と本庄江の河川水が、流下に伴い、海水と十分に希釈・混合されたためと考えられる。
- 挙動調査では、ノリ網を干出の目安とした水位（六角川観測塔の潮位 2m）では下げ潮時と上げ潮時の潮位の時間帯については、ノリ養殖海域の河口に近い調査地点において、低比重海水の目安である 15 を下回るものの、満潮時にはノリ養殖海域において 15 を下回ることはなかった。

##### <残留塩素>

- 分布調査では、残留塩素が確認されたのは、N1 地点（下水浄化センター放流口付近）のみであり、0.05~0.1mg/L の濃度レベルであった。N1 以外の地点はすべて定量下限値未満（<0.05mg/L）となった。

#### <参考文献>

- 1) 郡山益実・西山修司・石谷哲寛：有明海奥部底泥の巻き上げに伴う懸濁層における栄養塩濃度の変動特性，佐賀大学農学部彙報，第 101 号，pp.25-32，2016.
- 2) 中菌孝裕・阿部千雅・鈴木穰：霞ヶ浦の底泥表層の巻き上げ時における栄養塩類と鉄・マンガンの溶出特性，EICA，14 卷，2・3 合併号，pp.45-52，2009.
- 3) 首藤俊雄・吉本宗央：有明海湾奥部における底泥からの栄養塩類の溶出－I－溶存態窒素－，佐有水研報，19 号，pp.9-16，1999.
- 4) 佐賀県有明海漁業協同組合：平成 31 年潮汐表（六角川観測塔），2019.
- 5) （公社）日本水産資源保護協会：水産用水基準第 8 版，pp.4-5，2018.
- 6) 川村嘉応・久野勝利・横尾一成：佐賀県有明海で実施されている栄養塩添加の現状，佐有水研報，25 号，pp.81-87，2011.
- 7) 切田正憲・松井敏夫：ノリ幼芽の生育に及ぼす乾燥と浸漬海水の比重の影響，水産増殖，41 卷，3 号，pp.281-286，1993.
- 8) 千々岩行典：ノリ幼芽の水いたみと海水比重，干出時間との関係，佐有水研報，17 号，pp.23-28，1996.
- 9) 三根崇幸：低比重環境下におけるノリ網の乾燥条件が幼芽の生育に及ぼす影響，海苔と海藻，No.86，pp.24-28，2017.
- 10) 佐賀県有明海漁業協同組合：平成 31 年度干出時間表，2019.



## 5. 処理水によるノリ養殖海域の低比重化への影響

### 5.1 目的

淡水である処理水によるノリ養殖海域の低比重化への影響についての基礎的知見を得るために、表 5.1.1 に示す 4 つの調査を行った。これらの調査は、4 章で述べた調査よりも比重と水温について更に詳しく、特に、流入河川からノリ養殖海域境界までの比重の変動特性を把握するために実施した。

表5.1.1 調査一覧 (1/2)

節※1	調査名	調査概要
5.2	処理水の流下に伴う比重及び水温の挙動調査	<p>&lt;目的&gt; 処理水の流下に伴う比重と水温の変動特性を把握する。</p> <p>&lt;調査開始地点&gt; 「下水浄化センター放流口」、「嘉瀬川地点」、「福所江川・六角川合流地点」の3地点</p> <p>&lt;調査日&gt; 平成29年8月20日：通常運転期間</p> <p>&lt;調査方法&gt; 第3章3.3節に記載する流況調査に併せて、水質調査を実施した。下げ潮により移動するブイを備船で追跡しながら直読式総合水質計を用いて目的に示す調査項目について測定を行った。測定間隔は20分、測定水深は海面から海底とした。</p>
5.3	本庄江河口における比重及び水温の挙動調査	<p>&lt;目的&gt; 処理水を含む本庄江河川水の潮汐に伴う比重と水温の変動特性を把握する。</p> <p>&lt;調査地点&gt; 本庄江河口の1地点</p> <p>&lt;調査日&gt; 平成29年11月12日：硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）</p> <p>&lt;調査方法&gt; 本庄江河口に備船を係留し、直読式総合水質計を用いて目的に示す調査項目について測定を行った。測定間隔は20分、測定水深は海面から海底とした。</p>

表 5.1.1 調査一覧 (2/2)

節※1	調査名	調査概要
5.4	本庄江河口からノリ養殖海域境界における表層水の比重及び水温の挙動調査	<p>&lt;目的&gt; 5章5.3節に記載する調査よりも比重と水温の広範囲、かつ長い時間変動特性を把握する。</p> <p>&lt;調査地点&gt; 「本庄江河口」、「合流点」、「ノリ養殖海域境界」及び「嘉瀬川河口」の4地点</p> <p>&lt;調査日&gt; 平成30年12月10日～平成30年12月26日（17日間） ：硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）</p> <p>&lt;調査方法&gt; 各調査地点に、塩分計を設置して目的に示す調査項目について連続測定を行った。測定間隔は2分、測定水深は表層とした。</p>
5.5	ノリ養殖海域における表層水の比重及び水温の挙動調査	<p>&lt;目的&gt; 低比重海水の影響が考えられるノリ養殖場におけるノリ網が浸漬する時間帯の比重と水温の挙動を把握する。</p> <p>&lt;調査地点&gt; バリカン症が多発しているノリ養殖場の1地点 ※毎年、漁協のヒアリング結果に応じて調査地点を変更</p> <p>&lt;調査日&gt; 硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）において、3年間に渡り、以下に示す調査日に調査を行った。 平成30年1月2日～平成30年1月16日（15日間） 平成31年1月6日～平成31年1月20日（15日間） 令和2年1月12日～令和2年1月26日（15日間）</p> <p>&lt;調査方法&gt; 調査地点に、塩分計を設置して目的に示す調査項目について連続測定を行った。測定間隔は1分、測定水深は表層とした。</p>

※1 調査内容の詳細は各節で述べる。

## 5.2 処理水の流下に伴う比重・水温の挙動調査

### 5.2.1 調査内容

3章 3.3 項で述べた流況調査に併せて調査を実施し、本庄江に放流された処理水の流下に伴う比重、水温の変動特性を把握するために調査を行った。

#### 1) 調査地点

調査開始地点（図 3.3.1 と同地点）の位置は図 5.2.1 に示すとおりであり、「下水浄化センター放流口（S1）」、「嘉瀬川地点（S2）」、「福所江川・六角川合流地点（S3）」の3地点とした。なお、嘉瀬川の調査開始地点は、本庄江の結果と比較・検証することを目的として、本庄江の河口～放流口と同じ距離（0.8km）とした。



図5.2.1 調査開始地点

## 2) 調査日

調査は平成 29 年 8 月 20 日の 7 : 49~15 : 49 に実施した。調査日の潮汐は表 5. 2. 1 のとおりである。

表5. 2. 1 調査日の潮汐<sup>1)</sup>

年月日	潮区分	満潮		干潮	
		時刻	潮位(m)	時刻	潮位(m)
平成 29 年 8 月 20 日	大潮	7 : 49	5.3	14 : 13	0.7

## 3) 調査方法

図 5. 2. 2 に調査日（平成 29 年 8 月 20 日）の潮位変動と調査時間帯を示す。3 章 3.3 項で述べた流況調査に併せて、干潮に伴って移動するブイを備船にて 8 時間の追跡を行い、20 分毎に直読式総合水質計（AAQ-RINKO、JFE アドバンテック）を用いて、海面から鉛直方向に塩分及び水温を測定した（図 5. 2. 3、図 5. 2. 4）。

調査時の雨量については、アメダス川副観測所データにおいて、調査 4 日前に 2.5mm の降雨となっている。

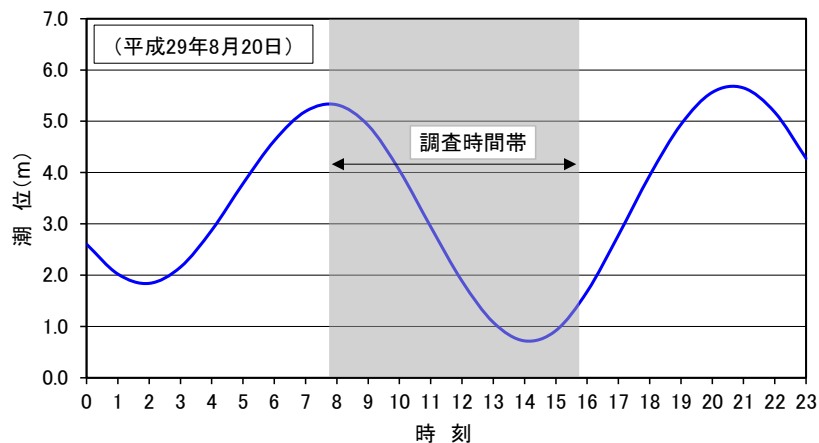


図5. 2. 2 六角川観測塔の潮位変動と調査時間帯（平成 29 年 8 月 20 日）



図5. 2. 3 直読式総合水質計



図5.2.4 直読式総合水質計による測定状況（六角川）

### 5.2.2 調査結果と考察

図5.2.5に本庄江、嘉瀬川及び六角川からの流下に伴う水深方向の比重のコンター図を示す。図上の①河口、②合流点、③ノリ養殖海域境界は、図5.2.6の各地点に相当する。河口においては、表層の比重が低くなっており、本庄江と嘉瀬川でその低比重水の目安とした15の塊の到達距離を比べると、本庄江より処理水を含まない嘉瀬川からの到達距離が長かった。本庄江の公式な流量データはないため、流域面積から比較すると、嘉瀬川の流域面積は本庄江の約12倍である。また、山地の水源を持っていない本庄江に対し、嘉瀬川は山地の水源を持っている。よって、嘉瀬川の河川流量が本庄江のそれよりも多いため、本庄江と比べて低比重水塊の到達距離が長くなったと推察される。六角川の比重は、本庄江及び嘉瀬川と比べて全体的に高い傾向にあった。六角川は、河口域の面積が本庄江や嘉瀬川と比べて広く、海水の影響が大きいためと考えられる。表5.2.2に各河川からの流下に伴う各地点での表層と下層の比重を示す。河口の鉛直方向の比重の差は、本庄江は7、嘉瀬川では6であった。その後、合流点まで流下すると、表層と底層の比重の差は小さくなり、本庄江からの流れで比重差は1、嘉瀬川からの流れで比重差は0となった。以上のことより、合流点まで流下する過程において鉛直方向にほぼ混合していると考えられる。

図5.2.7に本庄江、嘉瀬川及び六角川からの流下に伴う水深方向の水温のコンター図を示す。水温については、処理水が下流海域に影響するような現象は確認されなかった。

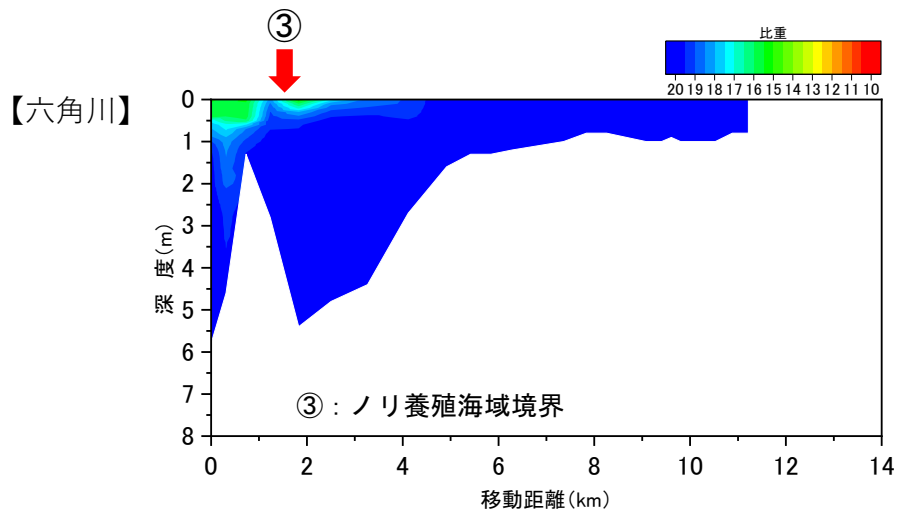
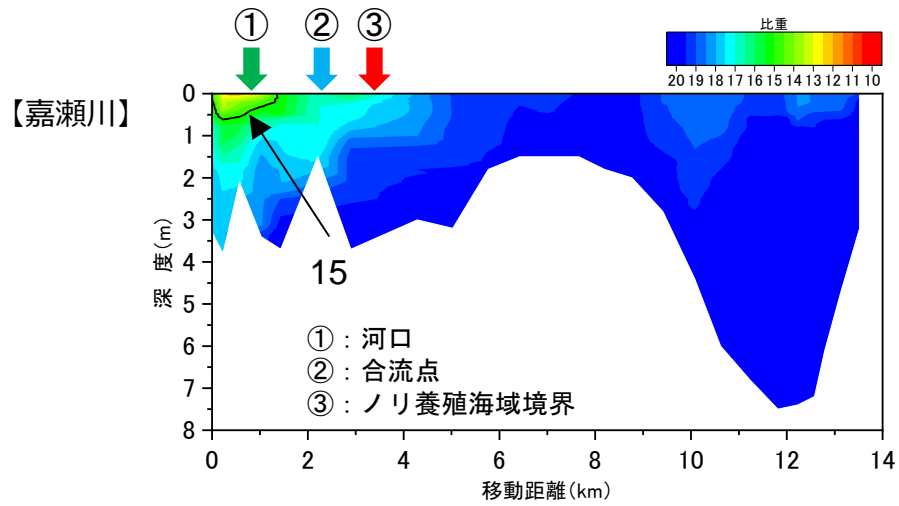
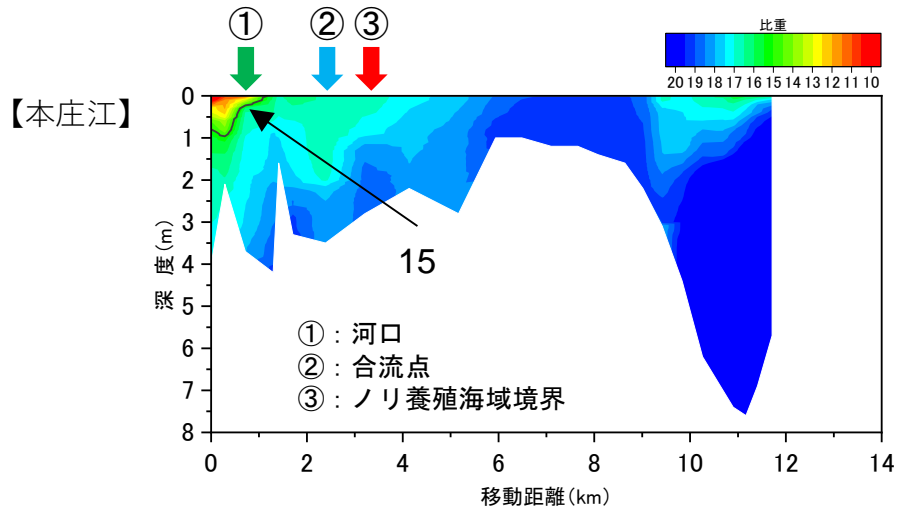


図5.2.5 各流入河川からの流下に伴う比重の変化

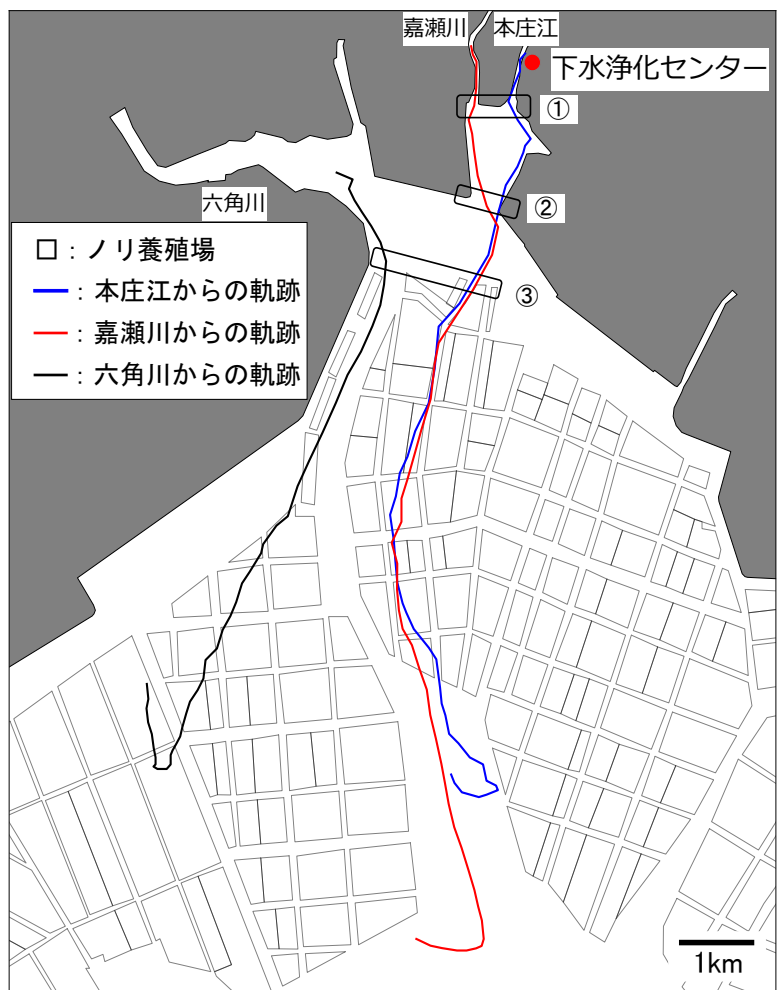


図5.2.6 評価地点の位置

表5.2.2 評価地点における表層及び下層の比重

評価地点	本庄江		嘉瀬川		六角川	
	表層	下層	表層	下層	表層	下層
河口	11	18	13	19	—	—
合流点	17	18	17	17	—	—
ノリ養殖海域境界	17	19	16	20	18	20

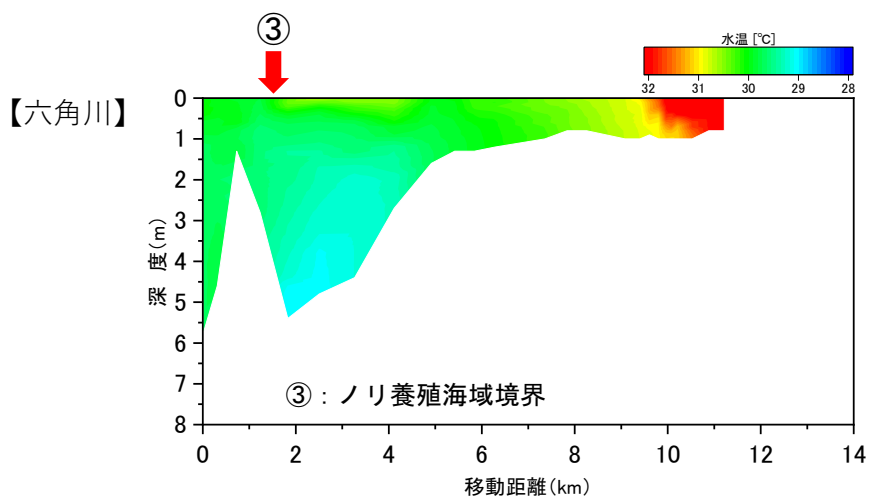
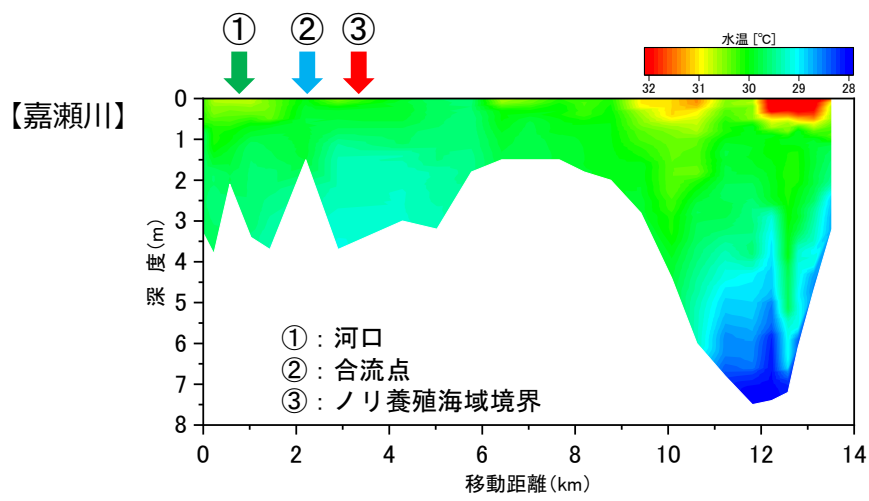
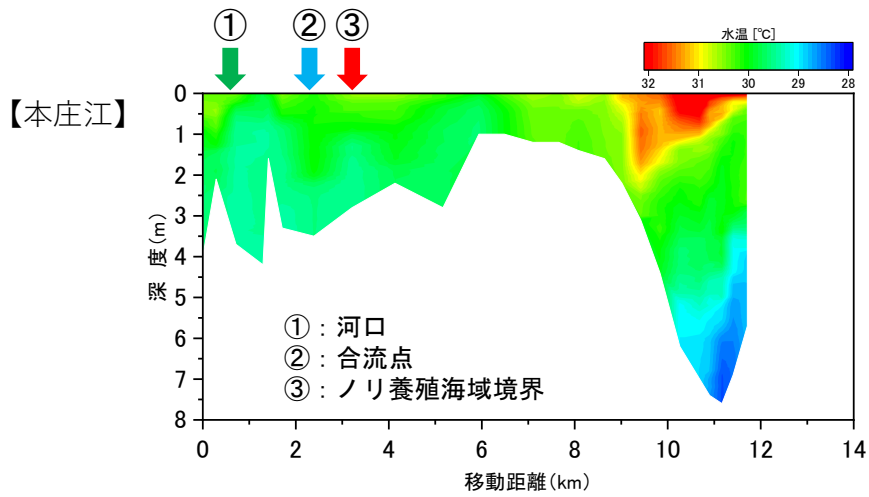


図5.2.7 各流入河川からの流下に伴う水温の変化



## 5.3 本庄江河口における比重及び水温の挙動調査

### 5.3.1 調査内容

処理水を含む本庄江河川水の潮汐に伴う比重及び水温の変動特性を把握するために、本庄江の河口において、経時的に水温及び塩分の測定を実施した。

#### 1) 調査地点

調査地点の位置は、図 5.3.1 に示すとおりであり、「本庄江河口 (S4)」の 1 地点とした。



図5.3.1 調査地点

## 2) 調査日

調査は平成 29 年 11 月 12 日の 7:00~17:00 に実施した。調査日の潮汐は表 5.3.1 のとおりである。

表5.3.1 調査日の潮汐<sup>1)</sup>

年月日	潮区分	満潮		干潮	
		時刻	潮位(m)	時刻	潮位(m)
平成 29 年 11 月 12 日	小潮	16:24	4.4	9:48	1.9

## 3) 調査方法

図 5.3.2 に調査日（平成 29 年 11 月 12 日）の潮位変動と調査時間帯を示す。調査地点である本庄江河口（S4）に備船を係留し、調査開始時から 20 分毎に直読式総合水質計※（JFE アドバンテック社製、AAQ-RINKO）を用いて、海面から鉛直方向に水温及び塩分を測定した。

調査時の雨量については、アメダス川副観測所のデータにおいて、調査 2 日前に 2.5mm、6 日前に 3.5mm の降雨となっている。

※機器の外観については、図 5.2.3 を参照のこと

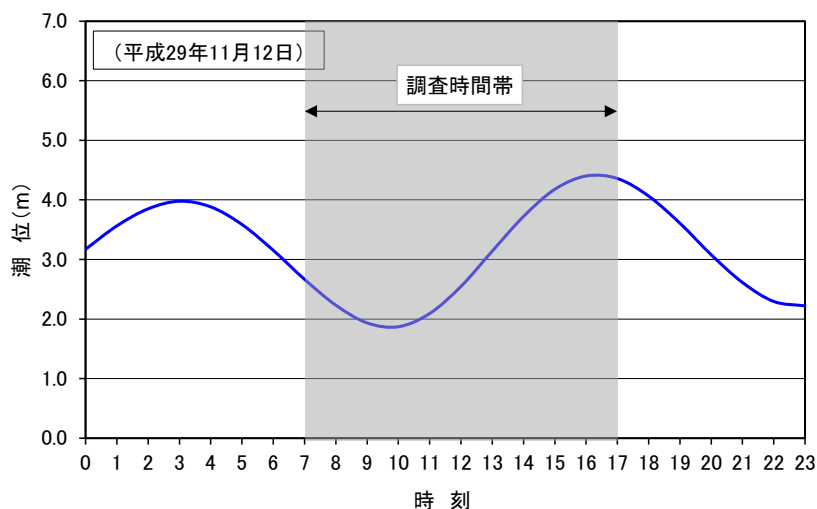


図5.3.2 調査日の潮位変動と調査時間帯

### 5.3.2 調査結果と考察

図 5.3.3 に本庄江河口における比重の経時変化をコンター図に示す。比重の測定範囲は、0～17 であった。干潮時刻の前後約 2 時間（8：00～11：20）の間は比重が 0 であり、その時間帯は河川水の影響が大きかった。鉛直方向の差を見ると、潮位が高いほど表層と下層に僅かな差が観られ、2m 程度の潮位差がある場合には十分に河川水と海水が混合されていることが分かった。ただし、干潮前約 2 時間半までの時間帯（7：00～7：20）と満潮時刻付近から干潮にかけての時間帯（16：20～17：00）では表層の比重が低くなっていることが確認された。これは処理水を含む本庄江の河川水は、下げ潮時には海水の表層を流下しながら海水と希釈混合されることを示している。また、上げ潮時には海水とほぼ混合した状態で河川を遡上していると考えられる。

図 5.3.4 に本庄江河口における挙動調査において、本庄江河口の水温の範囲は、14.5～17.6℃であった。河川の影響が大きくなる干潮時が 14℃程度と低くなり、上げ潮により海水の影響を受けて上昇し、満潮時には 17℃程度を示した。鉛直方向の温度差はすべての時間帯で 1℃未満であり、鉛直方向の顕著な差は確認されなかった。

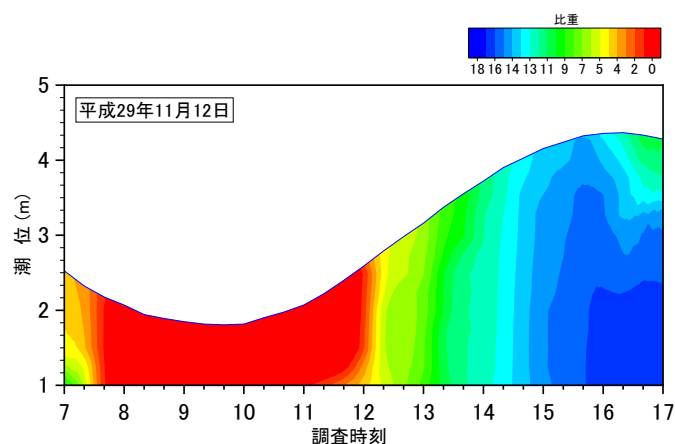


図5.3.3 本庄江河口における比重の経時変化

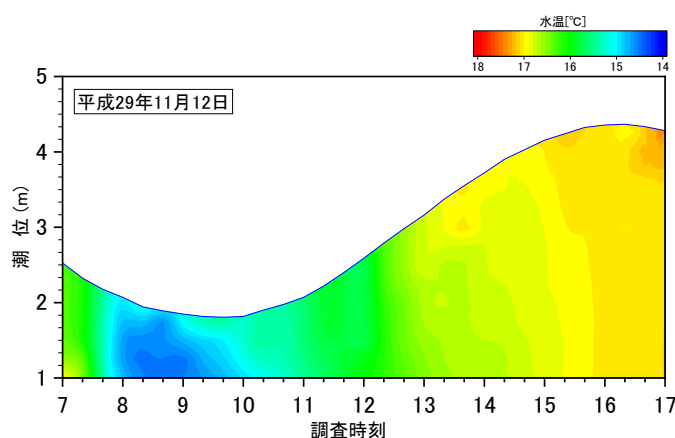


図5.3.4 本庄江河口における水温の経時変化

## 5.4 本庄江河口からノリ養殖海域境界における表層水の比重及び水温の挙動調査

### 5.4.1 調査内容

比重及び水温について、5章 5.3 項で述べた本庄江河口における調査よりも面的に長い時間的変動を把握するために、調査地点を追加し、河口からノリ養殖海域における一潮回りにおける現地調査を行った。

#### 1) 調査地点

調査地点の位置は、図 5.4.1 に示すとおりであり、処理水を含む「本庄江河口 (S4)」、本庄江と嘉瀬川の滞筋の「合流点 (S6)」、「ノリ養殖海域境界 (S7)」、及び本庄江河口の対照地点として処理水を含まない「嘉瀬川河口 (S5)」の計 4 地点を調査地点とした。なお、「本庄江河口 (S4)」、「嘉瀬川河口 (S5)」と「合流点 (S6)」に囲まれた特に閉鎖性の高い水域を便宜上“たまり場”と称する (図 5.4.2)。



図5.4.1 調査地点



図5.4.2 たまり場の航空写真<sup>3)</sup>

## 2) 調査日

調査は平成30年12月10日～平成30年12月26日に実施した。調査日の潮区分は表5.4.1のとおりであり、潮位の大小による調査項目の変動を把握できるように、調査期間内に全ての潮区分を含むように設定した。

表5.4.1 平成30年12月の調査期間の潮区分

日	月	火	水	木	金	土
						1 小潮
2 長潮	3 若潮	4 中潮	5 中潮	6 大潮	7 大潮	8 大潮
9 中潮	10 中潮	11 中潮	12 中潮	13 小潮	14 小潮	15 小潮
16 長潮	17 若潮	18 中潮	19 中潮	20 大潮	21 大潮	22 大潮
23 大潮	24 中潮	25 中潮	26 中潮	27 中潮	28 小潮	29 小潮
30 小潮	31 長潮					

■ : 調査期間

### 3) 調査方法

図 5.4.3 に調査期間の潮位変動を示す。測定は、図 5.4.4 に示す小型メモリー付塩分計（JFE アドバンテック社製、COMPACT-CT）を用い、水温及び塩分について、2 分間隔で連続測定を行った。なお、測定水深はノリ養殖が海面表層で行われることから表層とした。

塩分計の設置概要を、図 5.4.5 に示す。塩分計は、表層に浮くように浮子で固定後、更にプラスチック製リングとロープを用いてコンポジットポールに取り付けることにより、潮位に伴い上下に稼働できるようにした。図 5.4.6 に各地点における塩分計の設置状況を示す。

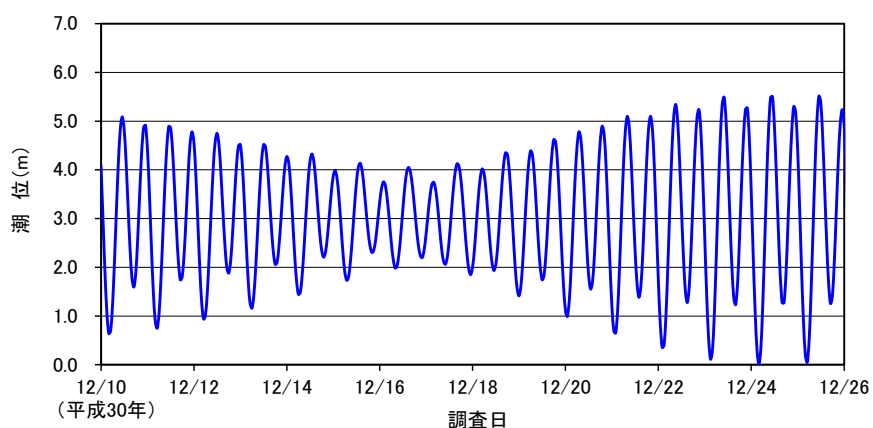


図5.4.3 調査期間の潮位変動



仕様		
測定項目	水温	電気伝導度
センサタイプ	サーミスタ	電磁誘導セル
測定範囲	-5~+40℃	0~60mS/cm
分解能	0.001℃	0.001mS/cm
精度	±0.05℃	±0.02mS/cm
メモリアイプ	2MBフラッシュメモリ	
メモリ容量	178,439データ (1分インターバルで123日)	
A/D変換	16ビットデジタル変換	
測定インターバル	1秒、1分、2分、10分	
電源/容量	リチウム電池 (CR2) /750mAh	
消費電流	42mA	
ケース材質	チタン2種	
質量	空中約350g、水中約175g	
耐圧性能	200m水深相当	

図5.4.4 小型メモリー付水温塩分計

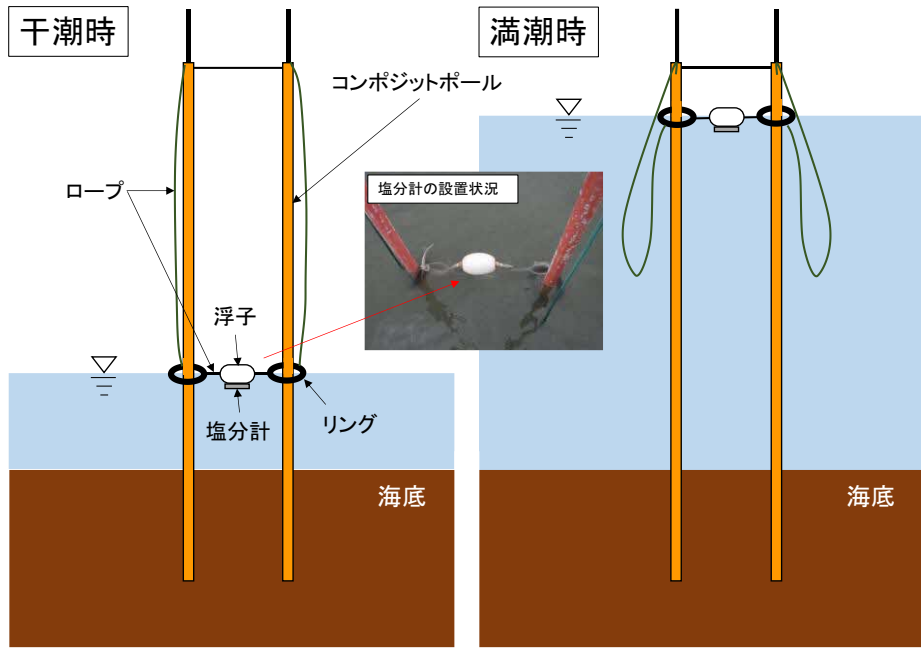


図5.4.5 塩分計の設置概要

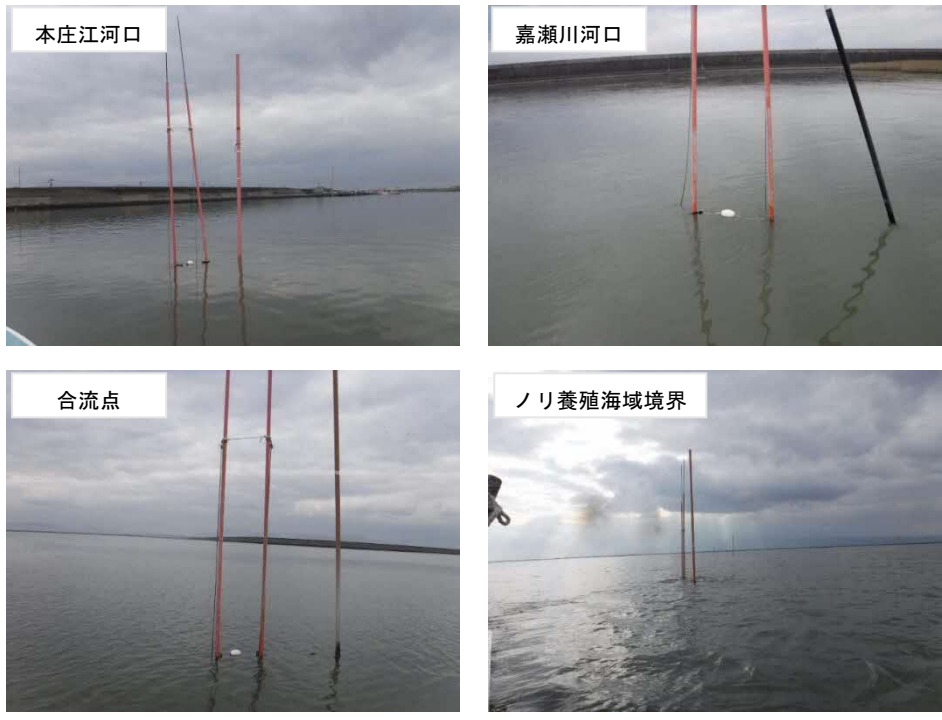


図5.4.6 各地点における塩分計の設置状況

#### 5.4.2 調査結果と考察

調査期間中の雨量を図 5.4.7 に、各調査地点の比重と六角川観測塔潮位の経日変化を図 5.4.8～図 5.4.11 に示す。

ノリ養殖海域境界の比重の経日変化をみると、満潮時前後は、低比重海水の目安とした 15 より概ね超えていたが、それ以外の潮位が低い時間帯では下回っていた。その部分を詳しくみるために、図 5.4.8～図 5.4.11 のグラフを部分的に拡大し、全地点における潮位差が小さい小潮での比重の経時変化を図 5.4.12 に、潮位差が大きい大潮での比重の経時変化を図 5.4.13 に示す。

流下方向における調査地点間の比重差は、大潮と小潮ともに、「両河川の河口～合流点」より「合流点～ノリ養殖海域境界」のほうが小さい傾向を示した。この傾向は、全調査期間において同様であった。すなわち、“たまり場”で潮位に伴い、河川水量に対する海水量の割合による濃度の違いはあるものの、概ね、合流点付近までに河川水と海水は希釈・混合されていると考えられる。

また、一潮回りの長い時間的変動において、下水浄化センター放流口の下流に位置する本庄江河口と嘉瀬川河口では、概ね同じ比重挙動を示しており、特に処理水を含んでいる本庄江河口の比重が低いという傾向はみられなかった。このことは、下水浄化センター処理水によるノリ養殖海域の低比重化への影響は、河川水の流入という自然的要因による比重変動の範囲内に含まれていることを示している。

各調査地点の水温と六角川観測塔潮位の経日変化を図 5.4.14～図 5.4.19 に示す。下水浄化センター処理水の水温は、硝化抑制運転期間（ノリ養殖期）で 20℃、通常運転期間で 28℃程度である。本庄江河口と嘉瀬川河口の水温は、10℃前後を変動を示し、特に放流先である本庄江の水温が高いという傾向は確認されなかった。また、合流点及びノリ養殖海域境界地点においても 10℃前後を推移した。

以上より、一潮回りの長い時間変動においても、下水浄化センター処理水の流入によるノリ養殖海域の低比重化や水温上昇を助長するものではないと考えられる。



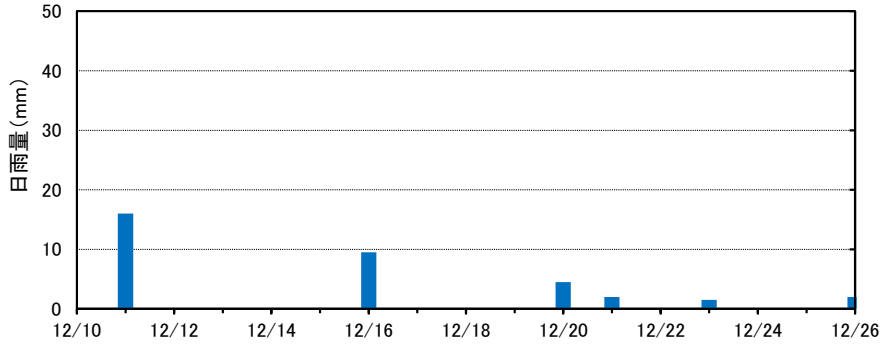


図5.4.7 調査期間中の雨量

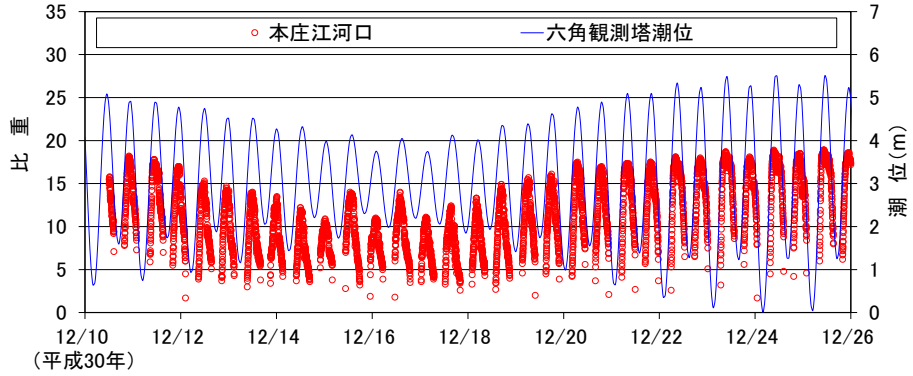


図5.4.8 本庄江河口の比重と六角川観測塔潮位の経日変化

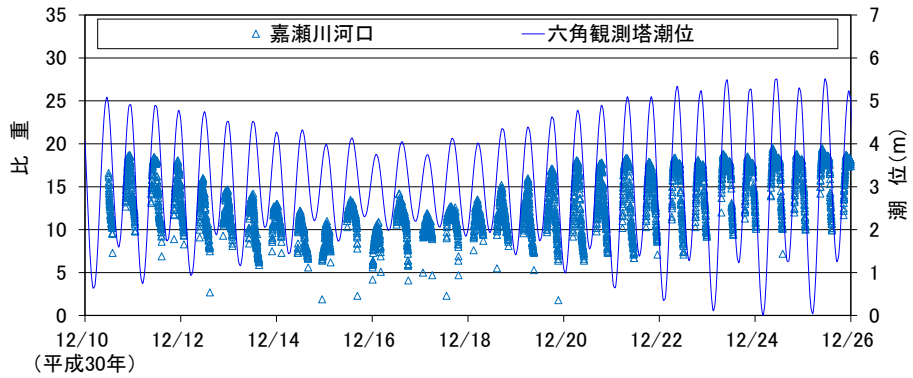


図5.4.9 嘉瀬川河口の比重と六角川観測塔潮位の経日変化

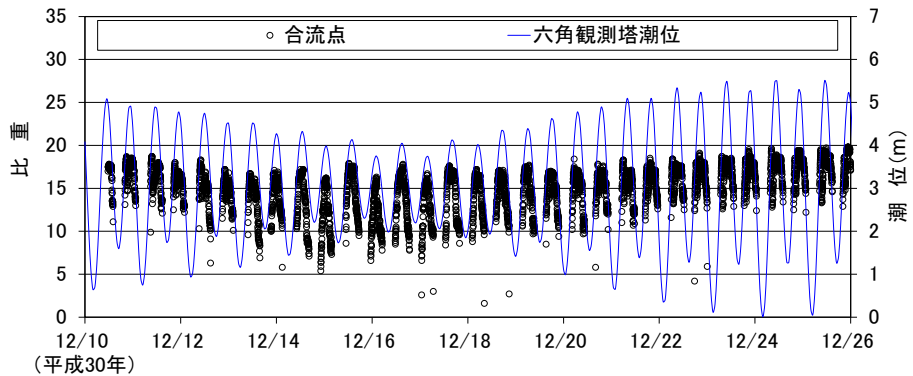


図5.4.10 合流点の比重と六角川観測塔潮位の経日変化

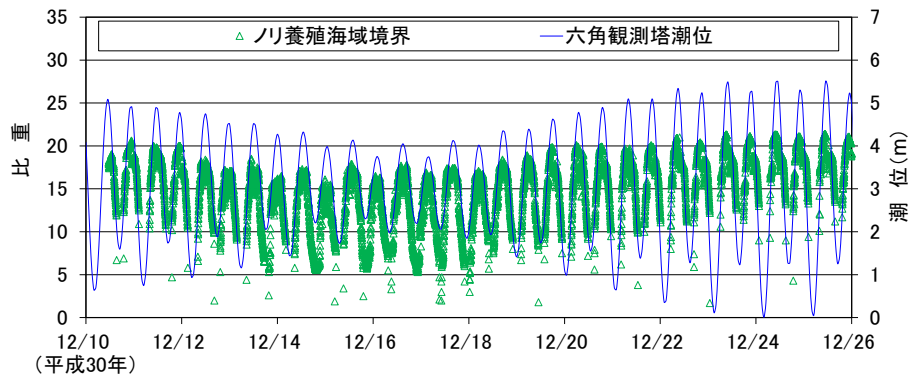


図5.4.11 ノリ養殖海域境界の比重と六角川観測塔潮位の経日変化

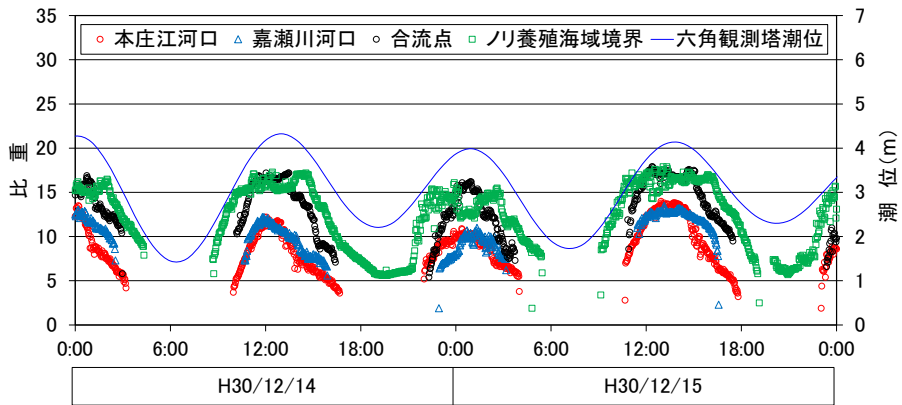


図5.4.12 各調査地点の比重と六角川観測塔潮位の経日変化（小潮）

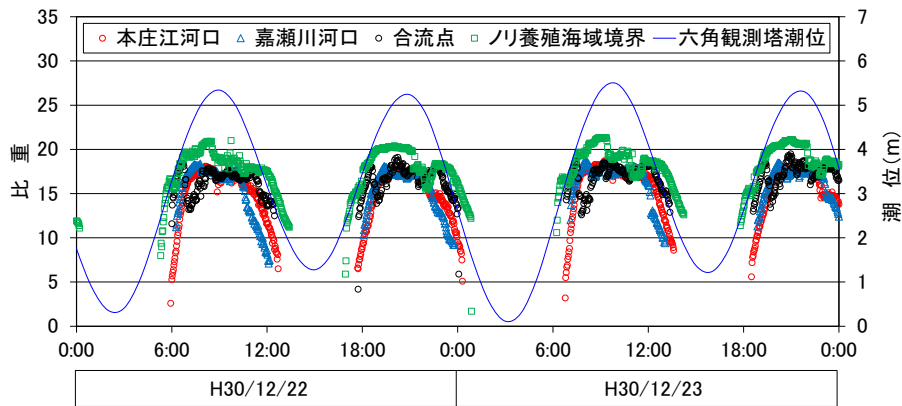


図5.4.13 各調査地点の比重と六角川観測塔潮位の経日変化（大潮）

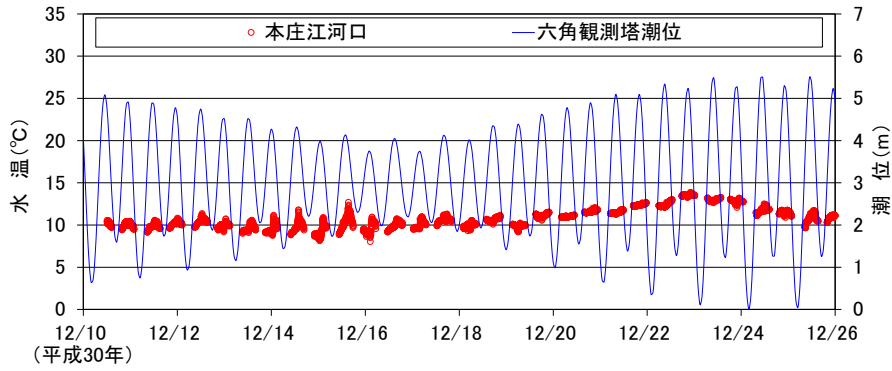


図5.4.14 本庄江河口の水溫と六角川観測塔潮位の経日変化

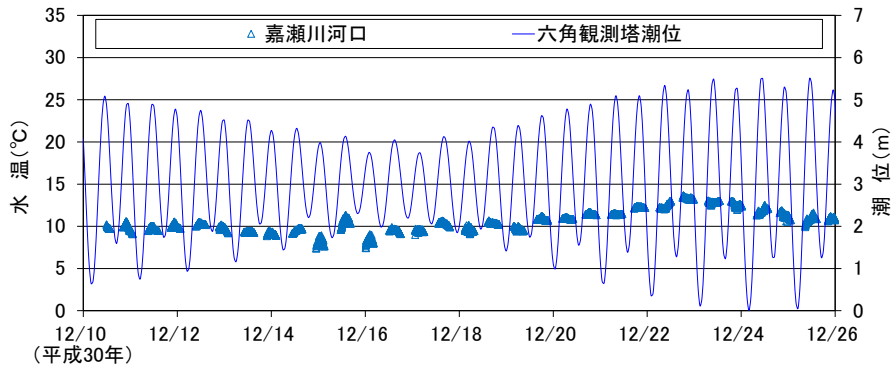


図5.4.15 嘉瀬川河口の水溫と六角川観測塔潮位の経日変化

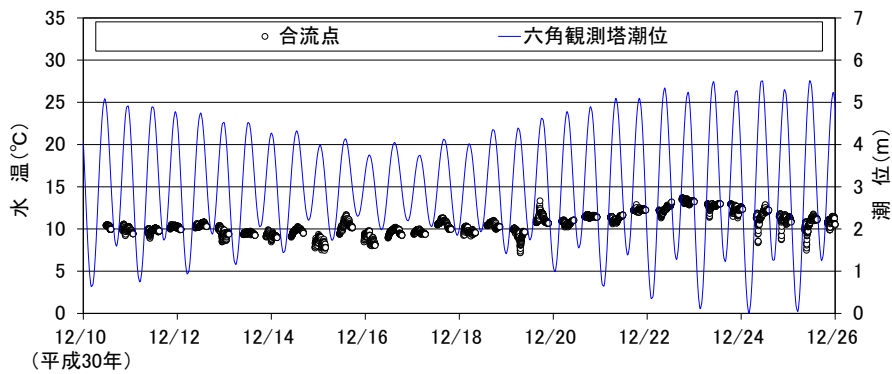


図5.4.16 合流点の水溫と六角川観測塔潮位の経日変化

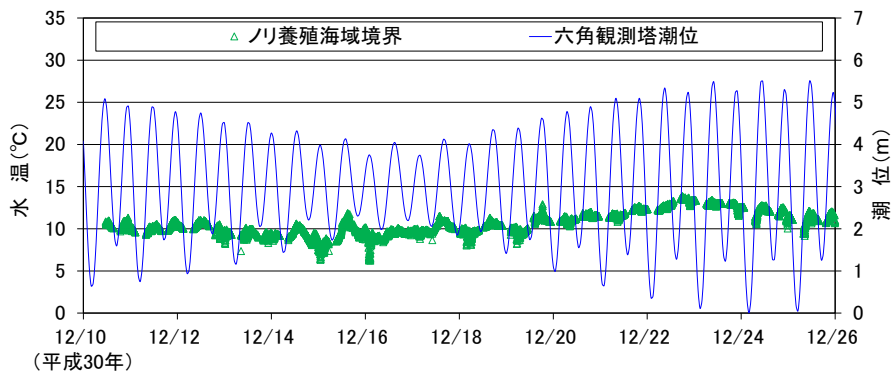


図5.4.17 ノリ養殖海域境界の水溫と六角川観測塔潮位の経日変化

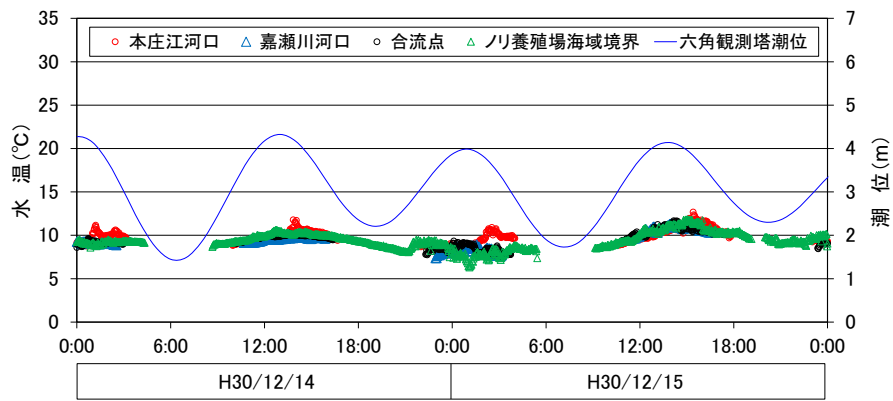


図5.4.18 各調査地点の水温と六角川観測塔潮位の経日変化（小潮）

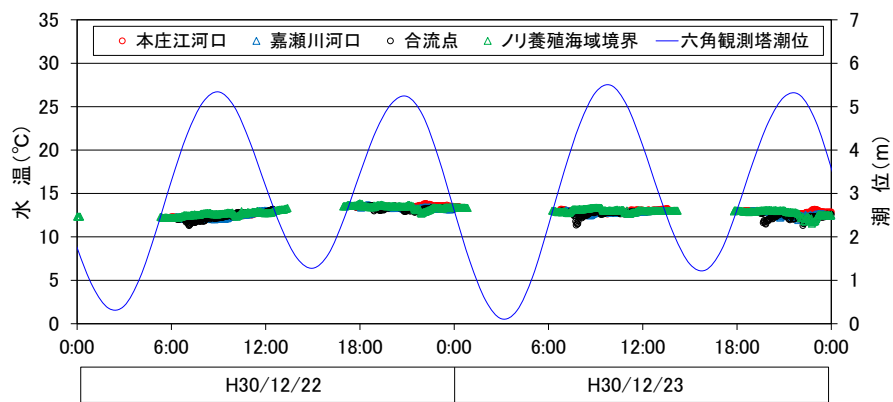


図5.4.19 各調査地点の水温と六角川観測塔潮位の経日変化（大潮）

## 5.5 ノリ養殖海域における表層水の比重及び水温の挙動調査

### 5.5.1 調査内容

ノリ養殖においてノリ網に付着したノリ葉体が数日で消失し、ノリの生産が困難になる現象が発生しており、バリカン症という名称で呼ばれている<sup>4)</sup> (図 5.5.1、図 5.5.2)。この原因として低比重海水やカモ等による食害等が考えられている<sup>5)</sup>。育苗期において、ノリ養殖網が干出前に浸漬する海水の比重が 15 未満と低比重の場合には、幼芽に障害率が高くなるという報告がある<sup>6)-8)</sup>。

今回の調査では、バリカン症が多発しているノリ養殖場において3年に渡り、ノリ網が浸漬する時間帯、すなわちノリが直接的に海水の影響を受ける時間帯の比重及び水温を調査した。



図5.5.1 正常なノリ網

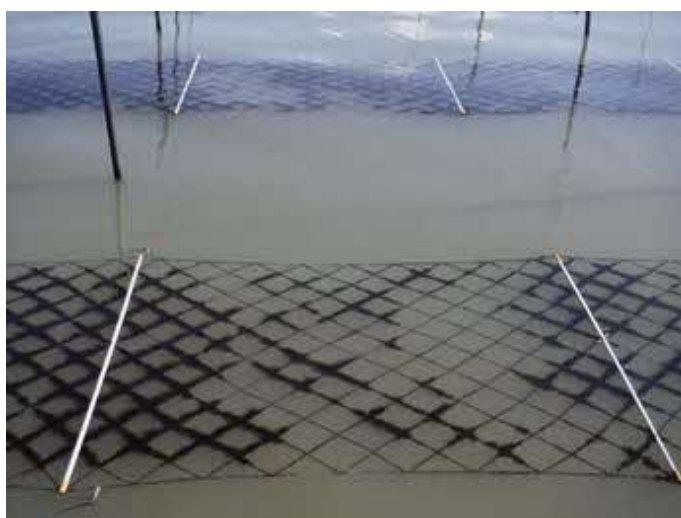


図5.5.2 バリカン症が発生したノリ網

## 2) 調査地点

調査地点の位置を図 5.5.3 に示す。佐賀県有明海漁業協同組合 久保田町支所にヒアリング調査を行い、バリカン症が発生する可能性が高い地点について各年度に 1 地点を選定した。



図5.5.3 調査地点

## 3) 調査日

調査日の潮区分は表 5.5.1 のとおりであり、潮位の大小による調査項目の変動を把握できるように、調査期間内に全ての潮区分（小潮・長潮・若潮・中潮・大潮）を含むように設定した。

表5.5.1 各年度の調査期間

調査年度	調査期間
平成 29 年度	平成 30 年 1 月 2 日～平成 30 年 1 月 16 日 (15 日間)
平成 30 年度	平成 31 年 1 月 6 日～平成 31 年 1 月 20 日 (15 日間)
令和元年度	令和 2 年 1 月 12 日～令和 2 年 1 月 26 日 (15 日間)

#### 4) 調査方法

測定は、小型メモリー付水温塩分計（JFE アドバンテック社製、COMPACT-CT）を用い、水温及び塩分について、1 分間隔で連続測定を行った。なお、測定水深はノリ養殖が海面表層で行われることから表層とした。

調査地点における塩分計の設置状況を、**図 5.5.4** に示す。塩分計の調査地点における設置は、5 章 5.4 項の本庄江河口からノリ養殖海域における調査と同様の方法であり、塩分計を浮子に固定した状態で潮位に伴い上下に稼働できるように設置した。

ノリ網は潮の満ち引きにより、干出と浸漬を繰り返す。そこで、調査地点におけるノリ網が浸漬する時間帯を把握するために、**図 5.5.5** に示すように調査地点に舟を係留し、3 台の調査カメラを設置してノリ網の状況を撮影した。船上でのカメラの設置状況を**図 5.5.6** に示す。鉄製の L 型アングルで作成した架台に、波揺れによる画像のブレを軽減するためのスタビライザーを取り付けたカメラを設置した。

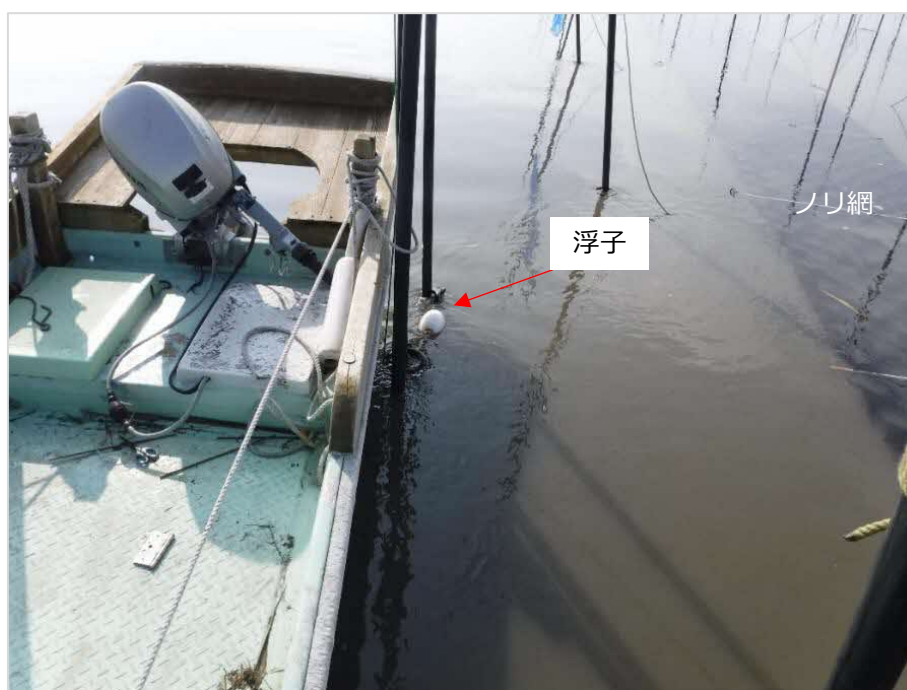


図5.5.4 調査地点における塩分計の設置状況



図5.5.5 調査地点における舟の係留状況

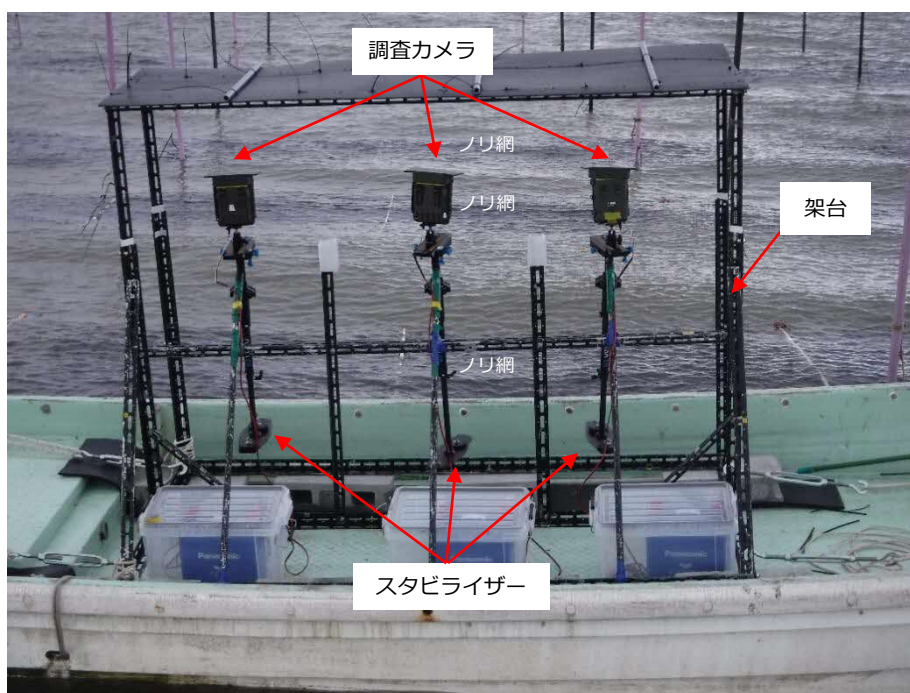


図5.5.6 船上での調査カメラの設置状況



## 5.5.2 調査結果と考察

図 5.5.7～図 5.5.12 に各調査年度の水温と比重の経日変化を示す。グラフに採用したデータは、撮影画像を確認して、ノリ網が海水面に浸漬しているときのデータを採用した。

比重については、ノリ網が低比重海水に浸漬後に、長時間干出すると、ノリ幼芽が障害を起こして枯死したり、網への付着力が弱くなり網から脱落することが経験的に知られている。令和元年度の調査において 1/23 以降に比重が低比重海水の目安である 15 を下回ったが、3 年間の調査の他の調査日においては、ノリ網が低比重の状態から干出する状況はほとんど確認されなかった。令和元年度の調査時の調査地点の低比重化については、図 5.5.13 に示すアメダス川副観測所の雨量グラフを見て分かるように降雨による影響であると考えられる。

水温については、上げ潮時に上昇し、満潮時付近で最も高くなり、下げ潮時に下降するという変動を繰り返した。3 年間の調査での満潮時での水温は 5～13℃程度を示した。調査時期の下水浄化センターからの処理水は 20℃程度であるが、下水浄化センターからの処理水の影響が考えられる下げ潮時には、水温が上昇する現象はみられなかった。

以上より、ノリ養殖場において、処理水による海水の低比重化や水温の影響はほとんどなく、海水の低比重化は降雨による影響が大きいと考えられる。今回の調査ではバリカン症の原因を特定するまでは至らなかった。

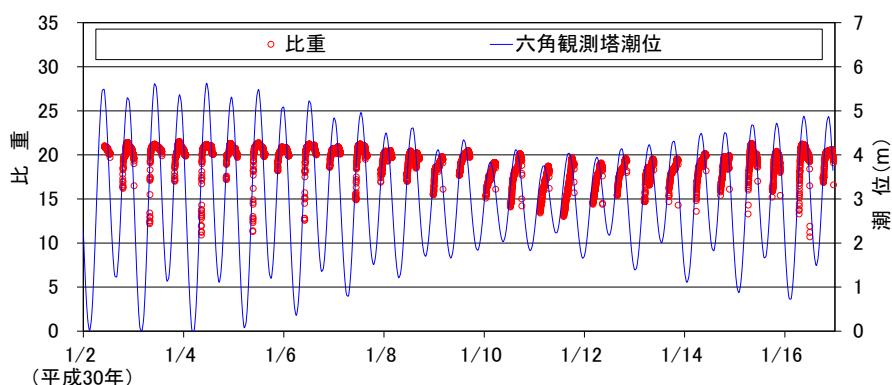


図5.5.7 調査地点の比重の経日変化（平成 29 年度）

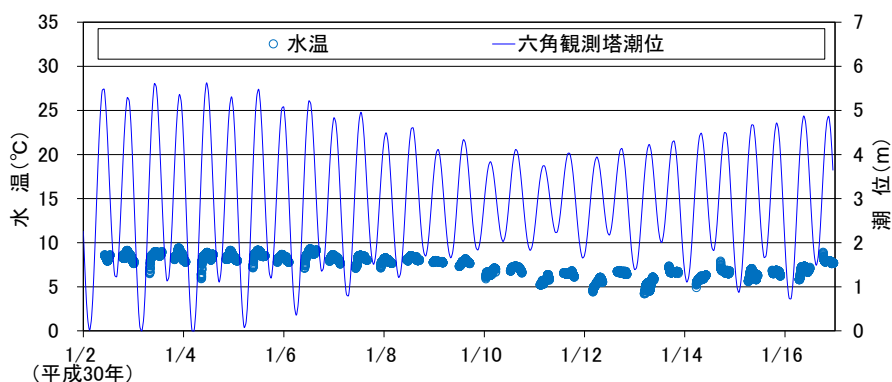


図5.5.8 調査地点の水温の経日変化（平成 29 年度）

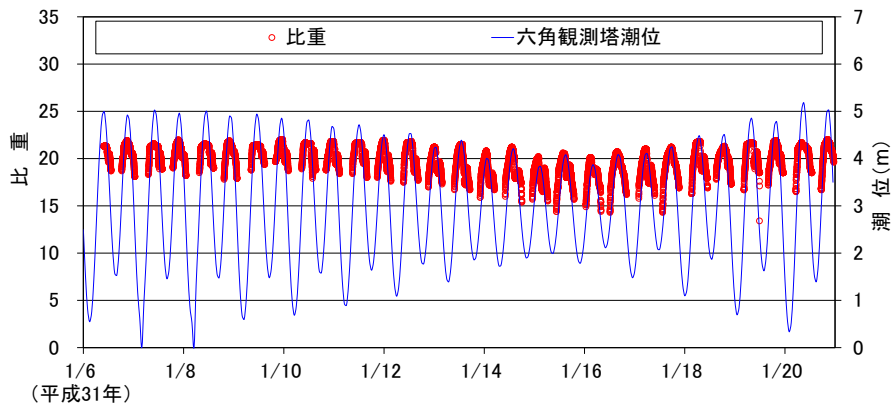


図5.5.9 調査地点の比重の経日変化（平成30年度）

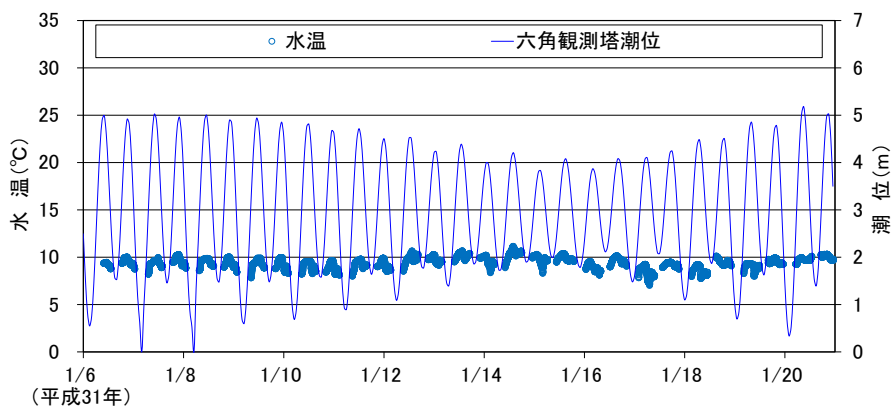


図5.5.10 調査地点の水温の経日変化（平成30年度）

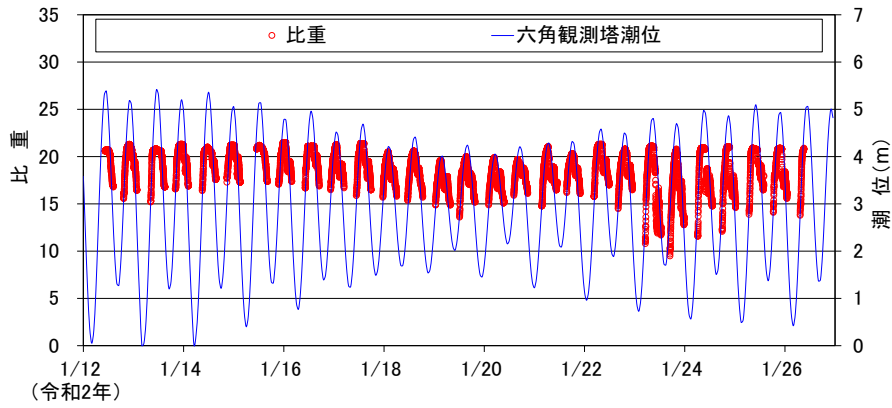


図5.5.11 調査地点の比重の経日変化（令和元年度）

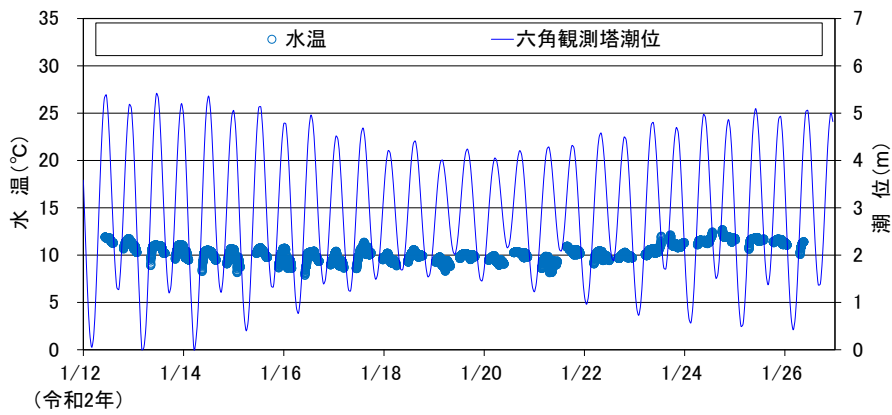


図5.5.12 調査地点の水温の経日変化（令和元年度）

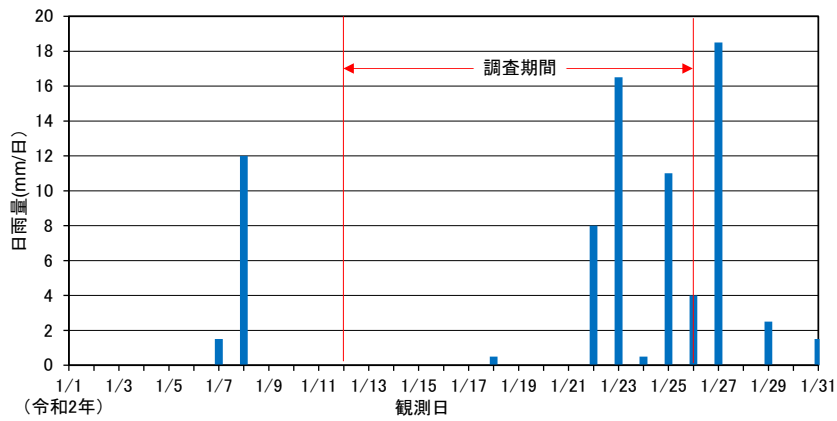


図5.5.13 アメダス川副観測所 雨量（1月）

## 5.6 まとめ

処理水を含む河川水は、下げ潮時には海水の表層を流下しながら、鉛直方向にほぼ混合していると考えられた。下水浄化センター処理水によるノリ養殖海域の低比重化への影響は、河川水の流入や降雨という自然的要因による比重変動の範囲内に含まれており、処理水によるノリ養殖海域の低比重化への直接的な影響は比較的少ないと考えられた。

各調査項目の詳細は以下のとおりである。

### <比重>

- 流下に伴う挙動調査において、本庄江と嘉瀬川でその低比重水塊の到達距離を比べると、本庄江より処理水を含まない嘉瀬川からの到達距離が長かった。嘉瀬川の河川流量が本庄江のそれよりも多いために、本庄江と比べて低比重水塊の到達距離が長くなったと推察される。
- 流下に伴う挙動調査において、河口の鉛直方向の比重差は、本庄江は7、嘉瀬川では6であった。その後、合流点まで流下すると、表層と底層の比重の差は小さくなり、本庄江からの流れで比重差は1、嘉瀬川からの流れで比重差は0となった。以上のことより、合流点まで流下する過程において鉛直方向にほぼ混合していると考えられる。
- 本庄江河口における挙動調査において、比重の測定範囲は、0～17であった。干潮時刻の前後約2時間の間は比重が0であり、その時間帯は河川水の影響が大きかった。鉛直方向の差を見ると、潮位が高いほど表層と下層に僅かな差が観られ、2m程度の潮位差がある場合には十分に河川水と海水が混合されていることが分かった。ただし、干潮前約2時間半までの時間帯と満潮時刻付近から干潮にかけての時間帯では表層の比重が低くなっていることが確認された。これは処理水を含む本庄江の河川水は、下げ潮時には海水の表層を流下しながら海水と希釈混合されることを示している。また、上げ潮時には鉛直方向の比重の差は小さいため海水とほぼ混合した状態で河川を遡上していると考えられる。
- 本庄江河口からノリ養殖海域境界における挙動調査では、流下方向における調査地点間の比重差は、大潮と小潮ともに、「両河川の河口～合流点」より「合流点～ノリ養殖海域境界」のほうが小さい傾向を示した。この傾向は、全調査期間において同様であった。すなわち、“たまり場”で潮位に伴い、河川水量に対する海水量の割合による濃度の違いはあるものの、概ね、合流点付近までに河川水と海水は希釈・混合されていると考えられる。
- 本庄江河口からノリ養殖海域境界における挙動調査では、下水浄化センター放流口の下流に位置する本庄江河口と嘉瀬川河口では、概ね同じ比重挙動を示しており、特に処理水を含んでいる本庄江河口の比重が低いという傾向はみられなかった。このことは、下水浄化センター処理水によるノリ養殖海域の低比重化への影響は、河川水の流

入という自然的要因による比重変動の範囲内に含まれていることを示している。

- ノリ養殖場における挙動調査において、ノリ養殖場における調査では、降雨の影響による以外は、ノリ網が低比重の状態から干出する状況はほとんど確認されなかった。

#### <水温>

- 流下に伴う挙動調査において、処理水が下流海域に影響するような現象は確認されなかった。
- 本庄江河口における挙動調査において、本庄江河口の水温の範囲は、14.5～17.6℃であった。河川の影響が大きくなる干潮時が14℃程度と低くなり、上げ潮により海水の影響を受けて上昇し、満潮時には17℃程度を示した。鉛直方向の温度差はすべての時間帯で1℃未満であり、鉛直方向の顕著な差は確認されなかった。
- 本庄江河口からノリ養殖海域境界における挙動調査では、本庄江河口と嘉瀬川河口の水温は、10℃前後を変動を示し、特に放流先である本庄江の水温が高いという傾向は確認されなかった。また、合流点及びノリ養殖海域境界地点においても10℃前後を推移した。
- ノリ養殖場における挙動調査において、上げ潮時に上昇し、満潮時付近で最も高くなり、下げ潮時に下降するという変動を繰り返した。3年間の調査での満潮時における水温は5～13℃程度を示した。調査時期の下水浄化センターからの処理水は20℃程度であるが、下水浄化センターからの処理水の影響が考えられる下げ潮時に、水温が上昇する現象はみられなかった。

<参考文献>

- 1) 佐賀県有明海漁業協同組合：平成 29 年潮汐表（六角川観測塔）、2017.
- 2) 梅田智樹・伊賀田邦義：有明海湾奥部における潮位偏差とノリ養殖のための潮汐表の見直し，佐有水研報，27 号，pp.45-54，2014.
- 3) 国土交通省：嘉瀬川，水管理・国土保全，  
[https://www.mlit.go.jp/river/toukei\\_chousa/kasen/jiten/nihon\\_kawa/0917\\_kasegawa/0917\\_kasegawa\\_00.html](https://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen/jiten/nihon_kawa/0917_kasegawa/0917_kasegawa_00.html)（参照 2020-10-15）
- 4) 谷田圭亮・増田恵一・高瀬博文：兵庫県明石浦地先ノリ養殖漁場におけるバリカン症の発生要因について，兵庫水試研報，31 号，pp.41-46，1994.
- 5) 兒玉昂幸・白石日出人・淵上哲：有明海区河口域漁場におけるノリ葉体の消失原因について，福岡水海技セ研報，第 24 号，pp.13-23，2014.
- 6) 切田正憲・松井敏夫：ノリ幼芽の生育に及ぼす乾燥と浸漬海水の比重の影響，水産増殖，41 巻，3 号，pp.281-286，1993.
- 7) 千々岩行典：ノリ幼芽の水いたみと海水比重，干出時間との関係，佐有水研報，17 号，pp.23-28，1996.
- 8) 三根崇幸：低比重環境下におけるノリ網の乾燥条件が幼芽の生育に及ぼす影響，海苔と海藻，No.86，pp.24-28，2017.

## 6. ノリ養殖時期における窒素供給の効果と妥当性

### 6.1 目的

窒素供給量の妥当性を検討するための一手段として、受水域を中心とした供給量と消費量の差異を明示することは適当である。そこで本章では、下水浄化センターと各河川からの窒素供給といった入力項と、ノリ養殖による窒素取上げと海域における移流成分といった出力項などを算出し、窒素供給の妥当性を評価した。

### 6.2 解析方法と解析結果

ノリ養殖海域の窒素供給の妥当性を評価するために、海域内の窒素物質収支の概念図を図 6.2.1 に示す。窒素供給量としては、下水浄化センターからの供給、嘉瀬川と六角川からの供給、ノリ養殖に伴う栄養塩添加量としての供給が主に挙げられる。河川からの供給は国土交通省水文水質データベースを利用した。下水浄化センターからの窒素供給は第 4 章における測定値、養殖に伴う栄養塩添加量は文献値を用いることとした。出力項としては対象範囲のノリの生産枚数から算出した窒素取上げ量、水域からの流出量を簡易計算により求めた。また、季節別運転が開始される平成 19 年度以前と以降に分け、硝化抑制運転期間中（10 月～3 月）における接続海域の窒素収支を計算した。

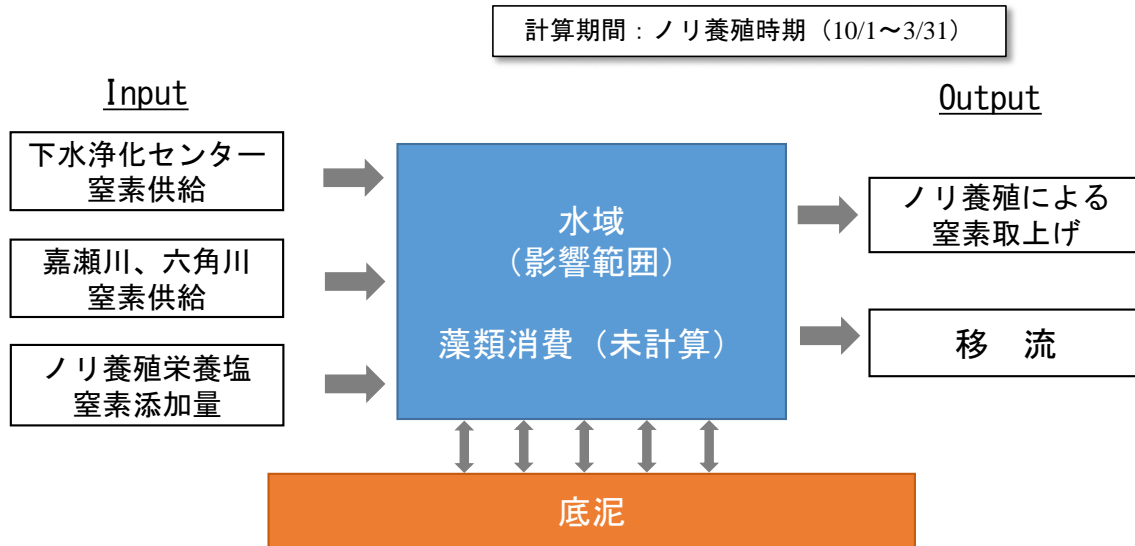


図 6.2.1 窒素収支の概念図

### 6.2.1 計算対象の範囲設定

下水浄化センターからの放流水が影響する対象範囲として、これまで行ってきた流況調査から得られたブイの到達点と養殖場の区画割りから計算対象範囲を決定した。第3章でも述べた過年度の流況調査結果と最小潮位時におけるブイの位置図を図6.2.2に示す。

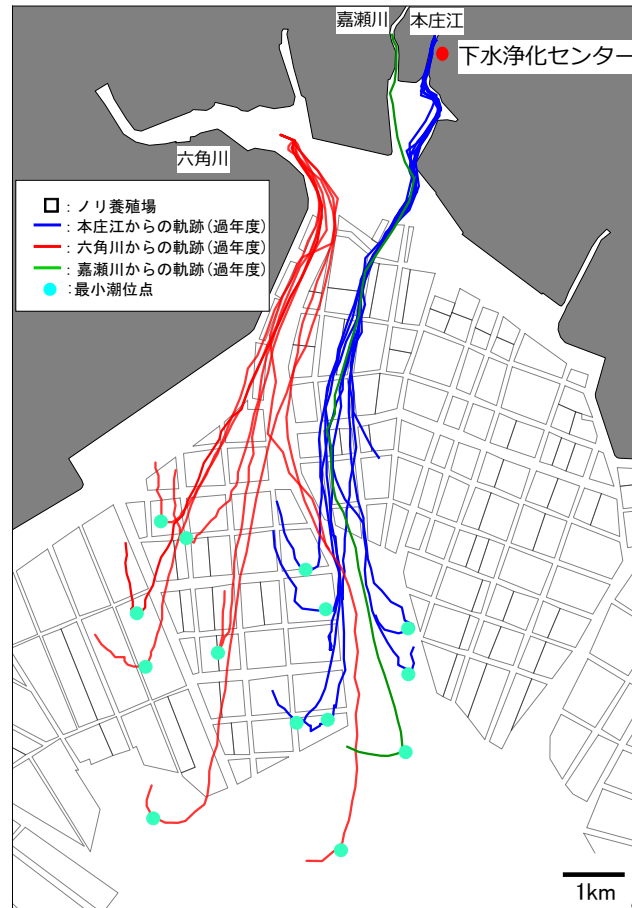


図 6.2.2 過年度の流況調査結果と最小潮位時におけるブイの位置



今回の解析では、栄養塩添加量も重要なインプット量として算出していくため、実際の栄養塩添加状況を把握することは必要不可欠である。栄養塩の添加は、図 6.2.3 のような区画割りごと（①～⑭区画割り）における無機態窒素濃度が、ノリの色落ちの下限値  $7\mu\text{g-atm/L}$ （ $100\mu\text{g/L}$ ）を限度に有明水産振興センターのモニタリング結果に基づき佐賀県有明海漁業協同組合が指示するとされている<sup>1)</sup>。そのため、解析ではこの区画割り図と流況調査の結果に基づいて、下水浄化センターの影響が及ぶ範囲（⑤～⑨区画割り）を設定した。ここで、⑤～⑨の区画割りは、佐賀県有明海漁業協同組合の佐賀市支所、芦刈支所、久保田支所、福富支所が管理する“中部地区”に概ね相当する。

因みに、佐賀県全体のノリ養殖漁場を①～⑭の区画割りの総面積を  $150\text{km}^2$ 、放流水が影響する解析対象範囲の区割り⑤～⑨の面積を  $36.7\text{km}^2$  とした<sup>1)</sup>。

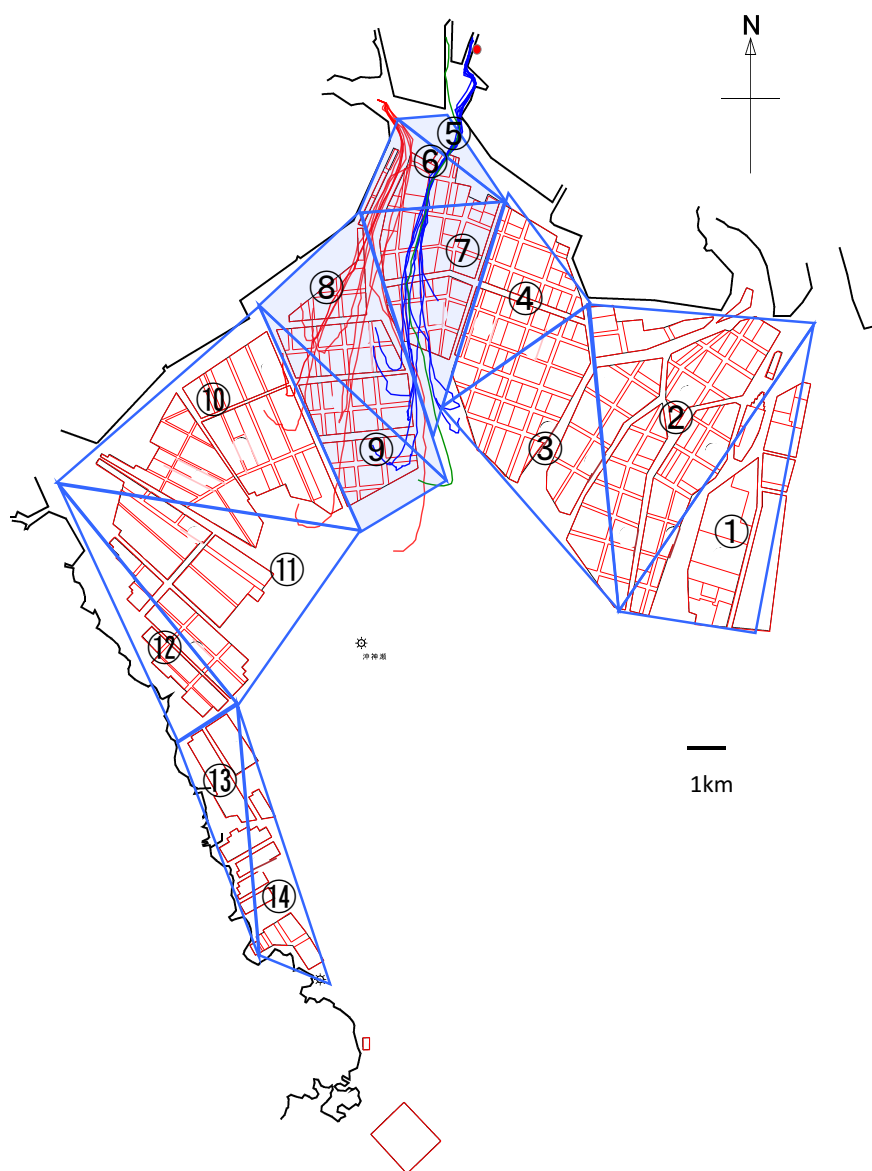


図 6.2.3 ノリ養殖漁場における栄養塩添加漁場区割り<sup>1)</sup>

## 6.2.2 下水浄化センターと河川からの窒素供給

図 6.2.4 に処理水量の年間推移を示す。図から分かるとおり、供用開始から下水道への接続率が上昇したことから、それに伴い下水処理水の処理水量も増加した。ただし、近年では接続率は平衡に近づきつつあるため、処理水量の増加も同様に緩やかになっており、現在の処理水量に季節変動はあるものの概ね 50,000m<sup>3</sup>/日となっている。

図 6.2.5 に処理水中における COD、T-N 濃度の年間推移を示している。COD、T-N ともに供用開始時と比較すると、僅かではあるものの濃度が増加傾向にある。また、平成 19 年以降は T-N の変動が大きくなった。これは季節別運転による処理水のアンモニア性窒素濃度の差異が T-N の変動として現れた。

処理水量とこれらを併せて考慮すると、図 6.2.6 に示すように当然ながら処理水量増加によって COD、T-N 供給量が増加となる。

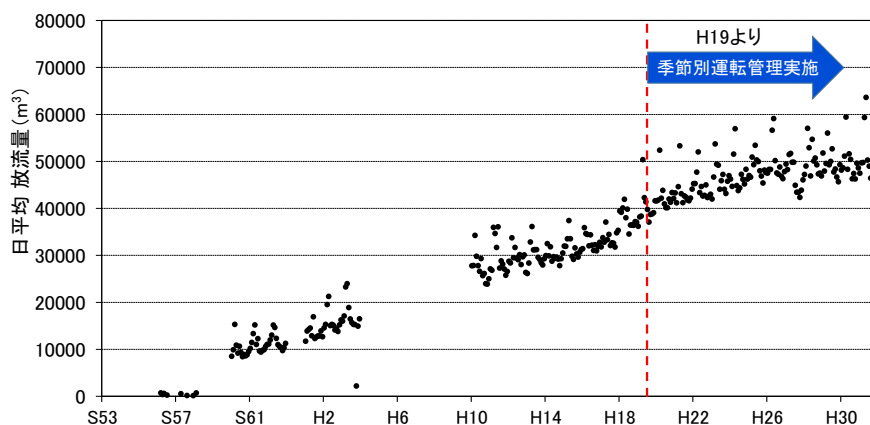


図 6.2.4 処理水量の推移

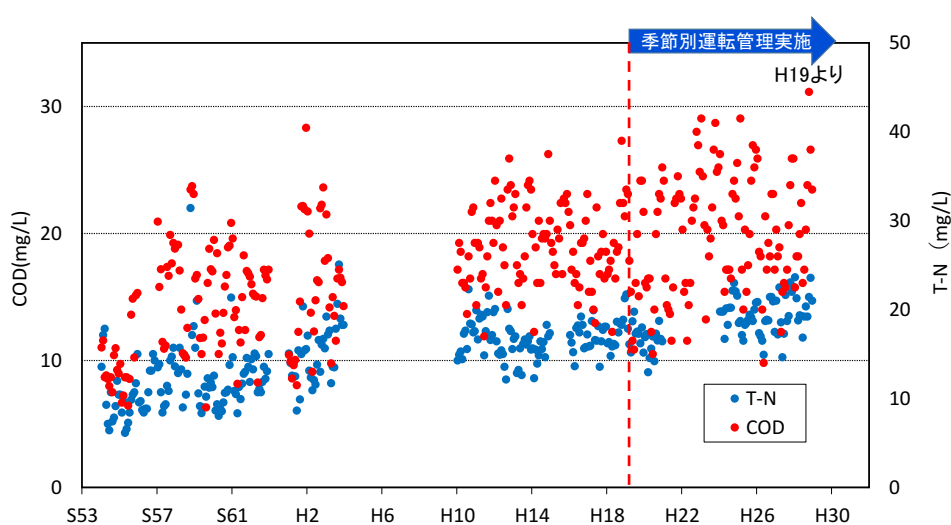


図 6.2.5 処理水中における COD、T-N の年間推移

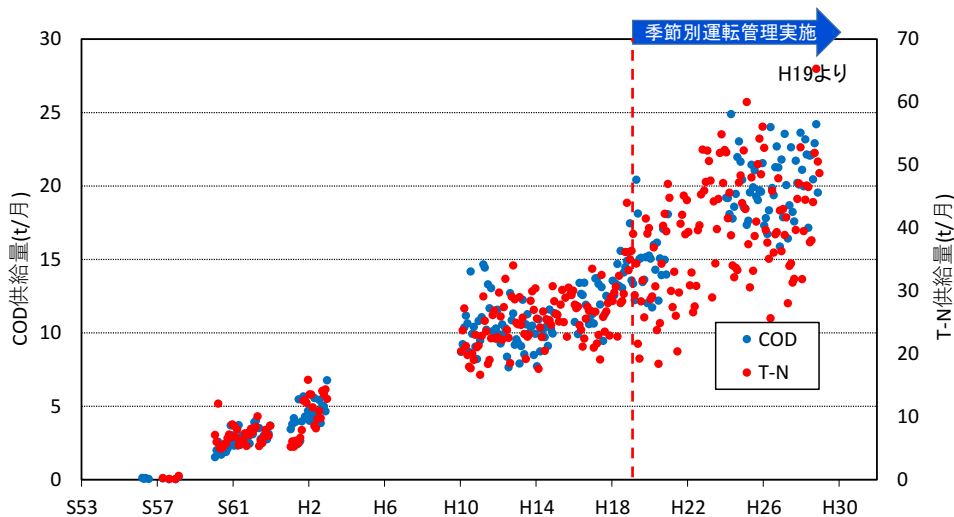


図 6. 2. 6 処理水中における COD、T-N 供給量の年間推移

以上のデータに基づいて、下水浄化センター処理水の効果があると考えられる 3 か月ごとの接続海域への窒素供給量を算出し、近隣河川である嘉瀬川、六角川、筑後川と比較した。各河川の窒素供給量は、国土交通省水文水質データベースから入手した流量および T-N 濃度に基づいて算出した。表 6. 2. 1 に各河川の窒素供給量の算出のために用いた観測点を示す。なお、嘉瀬川、六角川は同海域に接続する河川であり、筑後川は同海域の東側から影響を与える九州最大の河川である。処理水の放流先である本庄江は、クリークが接続された河川であり、硝化抑制運転が実施される時期は非灌漑期にあたるため、淡水の流入は少なく、下水浄化センター処理水の窒素供給量が極めて大きいと判断されたため、本庄江からの窒素供給量としては考慮していない。

表 6. 2. 1 河川からの窒素供給量の算出元データ一覧

	嘉瀬川	筑後川	六角川
水質観測所	嘉瀬橋	瀬の下	住ノ江橋
流量観測所	池森	瀬の下	妙見橋
			溝の上
			武雄川

図 6. 2. 7 に平成 19 年～30 年の近隣河川と下水浄化センター処理水の T-N 供給量の過年度平均値(3 か月ごと)を示す。流量が多い筑後川からの窒素供給量は、620～1,967 (t/3month) と他の窒素供給源と比較して極めて大きいことが分かった。筑後川河口は、良好なノリ養

殖の場として知られていることから、有明海湾奥部において重要な存在であるといえる。しかし、下水浄化センターの効果が考えられる接続海域は、筑後川河口部から 10km ほど離れており、なおかつ有明海の大きな干満差により河川水は十分に攪拌されていることから、接続海域へ筑後川の河川水がどれほどの影響を与えているかは本報では言及できない。そのことから、図 6.2.7 の直接影響を及ぼす近隣河川の窒素供給量としては、嘉瀬川および六角川のそれを示している。河川流量が多くなる 7～9 月の 3 か月間においては、六角川の窒素供給量は下水浄化センターのそれよりも大きいことが分かる。7～9 月以外の 3 か月ごとの期間では、下水浄化センターからの窒素供給量は、嘉瀬川および六角川のそれよりも大きく、安定的な値であることが示された。硝化抑制運転期間で最もその効果が出る 1 月から 3 月では、窒素供給量が一年の中で最大となった。一方で、同時期には河川流量が極めて小さくなるため、河川からの窒素供給量は小さくなっている。そのため、下水浄化センターは接続海域周辺のノリ養殖にとって重要な窒素源であるといえる。

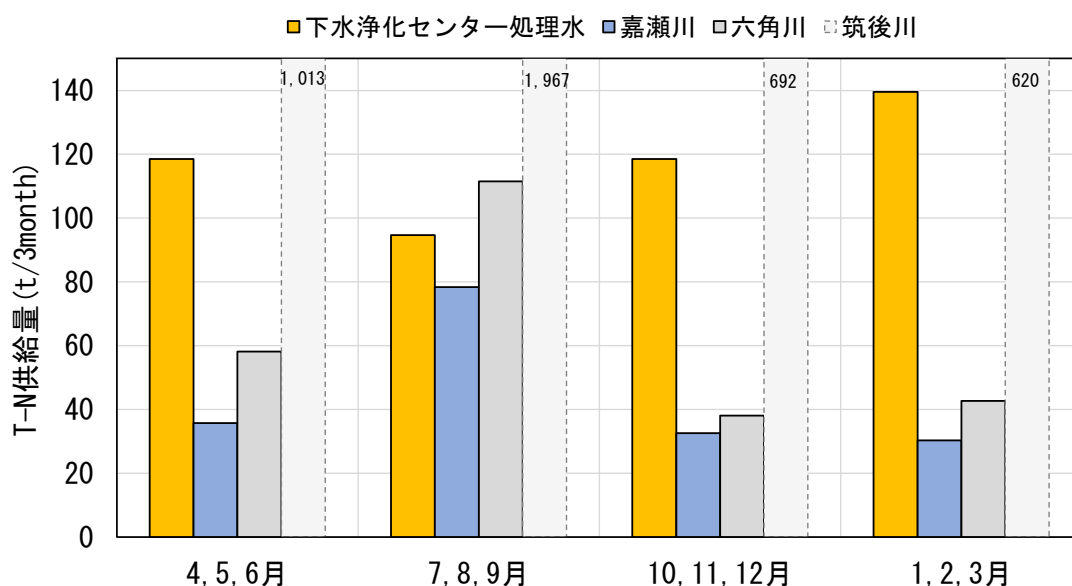


図 6.2.7 近隣河川と下水浄化センター処理水からの窒素供給量の比較

### 6.2.3 移流量の計算

有明海からの移流量の計算の際には、第 4 章の令和元年 12 月 10 日に実施された栄養塩分布調査結果を用いた濃度を境界値とした。この調査は満潮時、満潮から 3 時間後、干潮時、干潮から 2 時間後にそれぞれ採水されている。

今回の移流量の計算では、満潮から 3 時間後の値を下げ潮時の濃度、干潮から 2 時間後の値を上げ潮時の濃度、として計算を行った。また、T-N の測定は行われていないので、計算範囲からの移流量は  $\text{NH}_4\text{-N}$  として算出することとした。

計算範囲の海水の出入りは、簡易的な方法である点高法によって求めた。海域からの水

量としては有明海の海図から得たに大浦港からの潮位を与え、1 時間ごとの水位差を算出し計算した。下げ潮により下流部に流出する量を正の数、上げ潮により上流部に流出する量を負の数として、上げ潮により下流から流入してくる量、下げ潮により下流へ流出する量を各々合計し、その差を算出することで収支を出した。

点高法 (spot levels system) とは、広い地域の整地、埋立てなどの土量を求める場合に、その地域全域に等面積の区間に分割し、その交点の標高より体積を求める方法である。今回は長方形公式を用いて算出した。

長方形公式は、面積を長方形に分割する点高法である。分割した長方形の体積 $V_1$ は、

$$V_1 = \frac{S_1}{4}(h_a + h_b + h_c + h_d) \quad \cdots \text{式 (6.1)}$$

となる。したがって、全体の体積 $V$ は次のようになる。

$$V = \sum_i^n V_i = \frac{S_i}{4} (\sum h_1 + 2 \sum h_2 + 3 \sum h_3 + 4 \sum h_4) \quad \cdots \text{式 (6.2)}$$

ただし、 $h_1$ 、 $h_2$ 、 $h_3$ 、 $h_4$ は1、2、3、4個の四角柱に共有される高さを表す。

(測量学より引用)

## 6.2.4 ノリ養殖による栄養塩添加量および窒素取上げ量について

### (1) 計算対象区の栄養塩添加量

表 6.2.2 にこれまでの計算対象区（佐賀市支所、芦刈支所、久保田町支所、福富町支所管理の中部地区）の栄養塩添加による窒素供給量を示す。中部地区の窒素添加量は、季節別運転施行前の平成 13 年～平成 18 年の年平均値で 45.0t、施行後の平成 19 年～平成 30 年の平均値で 36.7t と、施行後の方が減少となっている。

表 6.2.2 ノリ養殖による栄養塩添加量

	区画	中部地区（計算対象区）	
	区画面積(km <sup>2</sup> )	36.7	
	年度	添加窒素量 (t)	期間平均値 (t)
季節別 運転 施行後	平成30年度	65.9	36.7
	平成29年度	53.3	
	平成28年度	78.6	
	平成27年度	0	
	平成26年度	38.9	
	平成25年度	52.6	
	平成24年度	0	
	平成23年度	80.2	
	平成22年度	16.5	
	平成21年度	42.2	
	平成20年度	12.7	
平成19年度	0		
施行前	平成18年度	0	45.0
	平成17年度	32.2	
	平成16年度	55.4	
	平成15年度	61	
	平成14年度	121.2	
	平成13年度	0	

### (2) 計算対象区のノリ取上げ窒素量

ノリ生産量における取上げ窒素量を表 6.2.3 に示す。ノリ養殖場全区域のノリ取上げ窒素量は、施行前の平成 13 年～平成 18 年の年平均値で 378.6t、施行後の平成 19 年～平成 30 年の平均値で 389.8t となっている。

因みに、生産枚数から求めた取上げ窒素量は、ノリの 1 枚当たり重量を 3.3g/枚<sup>1)</sup>、窒素含有量を 6.208%<sup>1)</sup>として換算している。

例えば、平成 30 年度 生産枚数 1,634 百万枚の場合、

$$1,634,000,000 \text{ 枚} \times 3.3\text{g/枚} \times 0.06208 = 334,748\text{kg} = 334.7 \text{ トン}$$

となる。

計算対象区のノリ取上げ窒素量は、計算対象区におけるノリ生産枚数のデータが入手できなかったことから、ノリ養殖場全区域の取上げ窒素量を面積按分したものである。今回

の対象範囲中におけるノリ養殖の区画面積はおよそ 36.7km<sup>2</sup> で、全体のノリ養殖場区画面積はおよそ 150 km<sup>2</sup> であることから、計算対象区のノリ取上げ量は以下の計算となる。

<季節別運転施行前の対象区のノリ取上窒素量>

$$\text{ノリ養殖場全区域ノリ取上窒素量 } 378.6(\text{t}) \times \frac{\text{対象区面積}(36.7\text{km}^2)}{\text{ノリ養殖場全区域面積}(150\text{km}^2)} = 92.6(\text{t})$$

<季節別運転施行後の対象区のノリ取上窒素量>

$$\text{ノリ養殖場全区域ノリ取上窒素量 } 389.8(\text{t}) \times \frac{\text{対象区面積}(36.7\text{km}^2)}{\text{ノリ養殖場全区域面積}(150\text{km}^2)} = 95.4(\text{t})$$

これらの計算については区画ごとで収穫量に差異はあるため、厳密な取り上げ量ではないことに注意することが必要である。

表 6.2.3 ノリ養殖による窒素取上げ量

	区画	佐賀県ノリ養殖区画全体			中部地区(計算対象区)
	区画面積(km <sup>2</sup> )	150			36.7
	年度	生産枚数 (百万枚)	取上げ窒素量 (t)	期間平均値 (t)	期間平均値 (t)
季節別 運転 施行 後	平成30年度	1,634	334.7	389.8	95.4
	平成29年度	1,828	374.5		
	平成28年度	1,728	354.0		
	平成27年度	1,886	386.4		
	平成26年度	1,899	389.0		
	平成25年度	1,744	357.3		
	平成24年度	2,136	437.6		
	平成23年度	1,826	374.1		
	平成22年度	2,256	462.2		
	平成21年度	1,788	366.3		
施行 前	平成20年度	1,965	402.6	378.6	92.6
	平成19年度	2,145	439.4		
	平成18年度	2,130	436.4		
	平成17年度	2,157	441.9		
	平成16年度	1,927	394.8		
	平成15年度	1,645	337.0		
	平成14年度	1,425	291.9		
	平成13年度	1,803	369.4		

※中部地区：佐賀市支所、芦刈支所、久保田町支所、福富町支所

### 6.2.5 受水域におけるノリの色落ち頻度について

ノリ養殖期間には、佐賀県有明海水産振興センターから海況速報が発表されており、養殖業者からのノリの生育状況を知ることができる。病害の他、栄養塩過不足を示す間接的指標となるノリの色落ちも報告されていることから、各養殖区画における平成19年以降の色落ち報告の発生頻度を取りまとめた。

海況速報では正常、色が浅い、軽度、中度、重度と表現されており、これに1～5の評価点を与え、発生頻度を加味して加重平均をとることで1～2が正常、2～3が軽度、3～4が重度として地図上にマッピングした。

図6.2.8に色落ちの報告頻度を示すように、筑後川河口から嘉瀬川、六角川河口にかけては色落ちの報告頻度は低く、沖合で軽度が見られた。さらに西側を見ると、六角川の滞筋の西側に隣接する区画では正常の報告が見られるものの、それよりも西側の白石沖は軽度の報告が多くなり、白石から鹿島、太良沖の南部へ進むほど色落ちレベルが重度になりやすいことが分かった。

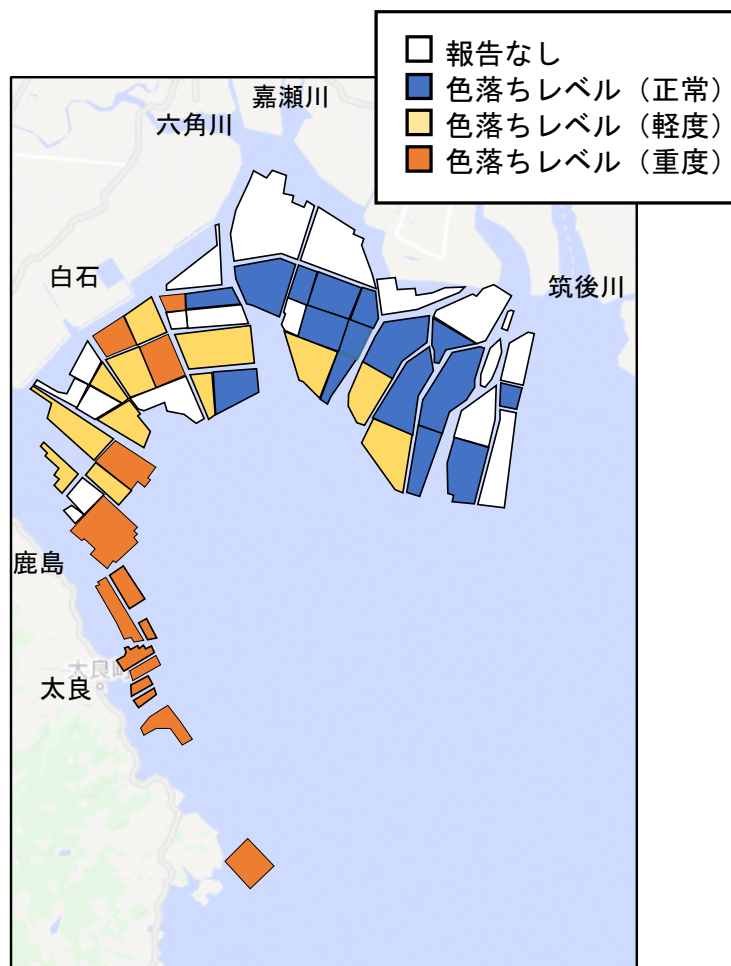


図6.2.8 受水域におけるノリの色落ちレベル



## 6.2.6 解析結果

季節別運転管理施行前（平成13年～平成18年）、季節別運転管理施行後（平成19年～平成30年）それぞれにおける、ノリ養殖に伴う栄養塩要求量と下水浄化センターからの供給量の計算結果を図6.2.9、図6.2.10に示す。なお、本来は受水域における藻類の栄養塩消費や底泥とのフラックスなども算出しなければならないが、限られた調査環境を考慮して、計算結果だけでなくこれまでに示したデータも併用することを前提として、窒素供給の妥当性を示すを試みるものであり、以下の点に注意しつつ計算結果を考察する。

計算対象区のノリ養殖による窒素取上げ量は、6.2.4項で述べたように面積按分で算出したものであるため、空間的な差を正確には表せていない。本庄江、嘉瀬川、六角川の河口近海は良好な養殖場として、南西部ほど窒素が不足する養殖場として知られている。そのため、各区画のノリ収穫量のばらつきも計算に考慮すべきではあるものの、そのようなデータは取得できなかったため、県内の区画の収穫量が一律という前提で計算した。窒素の収支計算は、ノリ養殖期間である10月～3月の6か月間を対象とした。

施行前ではノリ養殖期間に170tの窒素を下水浄化センターから放流している。年間を通して一定の濃度で窒素が放流されており、ノリ養殖ではさらに施肥による栄養塩添加が行われている状況であった。また、河川からの窒素供給ならびに底泥からの溶出分もノリ養殖にとって重要な栄養塩源である<sup>2)</sup>。その上で、ノリ養殖の最盛期である1月では海水中の窒素が極めて低くなり、窒素が一時的に不足する状態が報告されていた<sup>2)</sup>ことから、海域では栄養塩不足が生じていることが十分に推察され、窒素の追加供給の余地は大いに残されているといえよう。

季節別運転管理施行後では、河川からの窒素供給が制限される10月～3月において、従前よりも約90t多い窒素を海域へ供給できている。一方で、河川からの栄養塩供給量が171tから144tと減少していることや、栄養塩添加量が45.0tから36.7tと減少しているにもかかわらず、ノリによる窒素取上げ量は92.6tから95.4tと現状維持が出来ている。底泥の窒素含有量は季節別運転施行前後でほとんど変化していないことから、底泥からの溶出分も同様の状態が続いていると考えられる。また、第4章で示したNH<sub>4</sub>-Nの分布から、濃度は上げ潮の方が下げ潮よりも低いことから、陸域から排出されたNH<sub>4</sub>-Nは沖合へ移動する成分が卓越しているといえる。以上のことから、下水処理場からの栄養塩供給がノリ養殖へ寄与していることは十分に言える。

供給量の妥当性を述べるために、第2章で示した水質と底質の変化を合わせて考慮する。水質の経年変化から、上昇の傾向は見られなかった。また底質はCODが高くなる傾向があるものの、T-NやT-Sの含有量は横ばいか減少していた。このことから、下水浄化センターや近隣河川から海域へ流入した窒素は、底泥に蓄積することなくノリや珪藻類に消費され、その増殖がCODに反映されているといえる。よって、下水浄化センターから放流された栄養塩の量は、現時点では妥当であるといえる。底質のCOD増加については下水浄

化センター由来だけでなく、ノリ養殖における栄養塩添加の影響など、複合的な要因が考えられる。また白石町沖合にて冬期にケイ藻赤潮が発生することも報告されていることから<sup>3)</sup>、今後も水質をモニタリングする必要があると言える。

～季節別運転施行前（平成13年～平成18年）～

ノリ養殖期間6か月(10～3月)の窒素収支

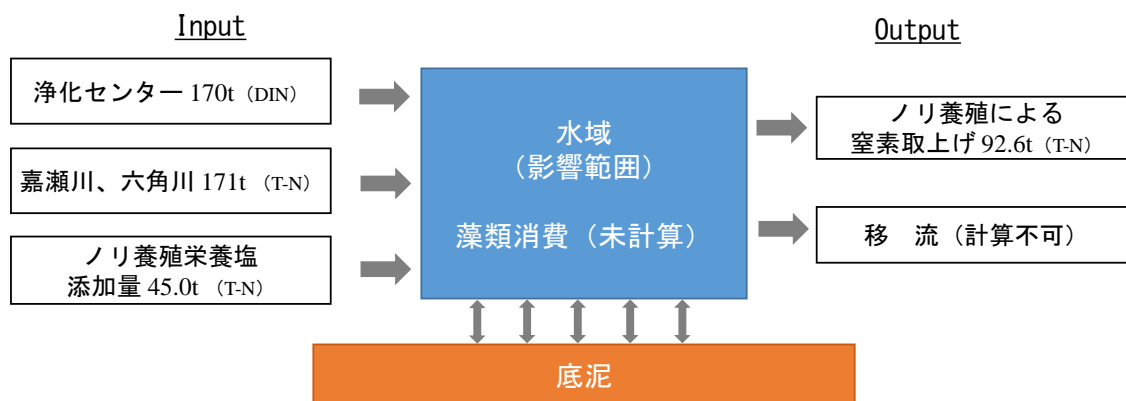


図 6.2.9 季節別運転管理施行前の窒素収支

～季節別運転施行後（平成19年～平成30年）～

ノリ養殖期間6か月(10～3月)の窒素収支

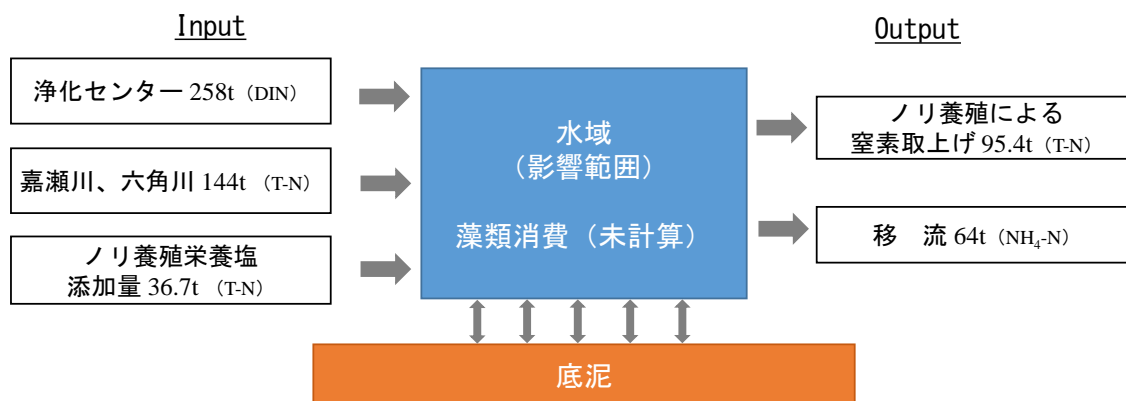


図 6.2.10 季節別運転管理施行後の窒素収支

## 6.3 季節別運転管理による副次的効果：エネルギーの削減

### 6.3.1 曝気量

図 6.3.1 に各月の一日曝気量平均値の変動を示す。通常運転下では一日の曝気量が 5 月に最大に、硝化抑制運転時には 12 月から 2 月の間が最小値となっており、15%から 20%の送风量削減効果が得られている。下水浄化センターでは曝気量には反応タンク中の散気管への供給分だけでなく、3 池の反応槽で利用されている担体の返流のためのエアリフト分も含まれているため、SRT が短くなる硝化抑制運転下においては、エアリフト分も削減されている。

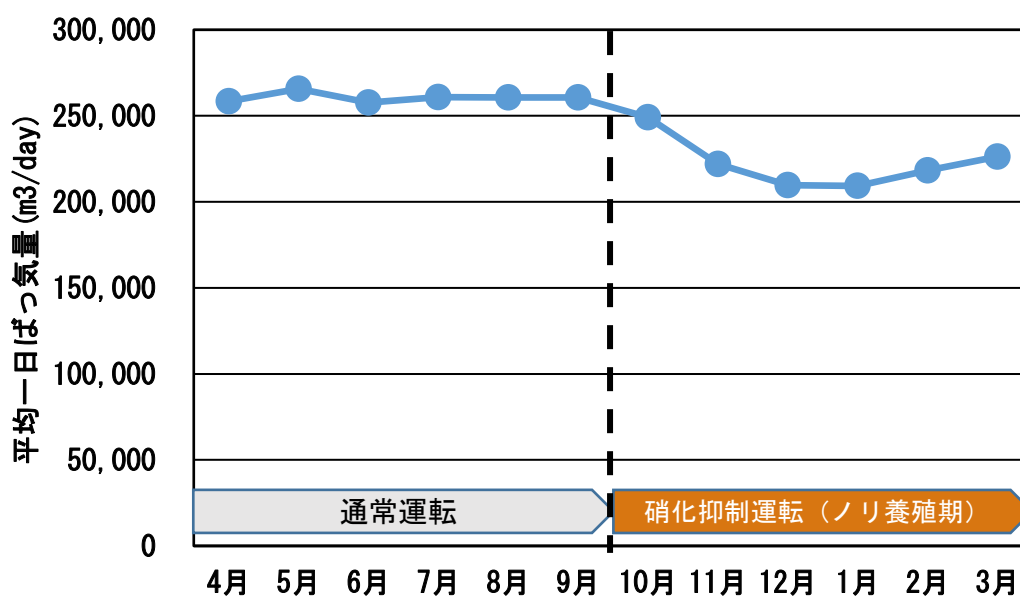


図 6.3.1 各月の曝気量

### 6.3.2 送風機の電気使用量

図 6.3.2 に各月の送風機の一消費電力の平均値を示す。平成 28 年度までは硝化抑制運転によって消費電力は削減されていたものの、効果は改善の余地があった。これは、送風機が旧式であるため回転数制御で曝気量を制御できず、定値運転の下でのインレットバーン操作による曝気量調整という方式が採用されていたからである。平成 27 年度から 28 年度には送風機が更新され、現在は季節別運転に最適化された運転条件の確立へ向けた調整を行っており、今後は最適な運転条件による送風機の消費電力の削減が期待される。

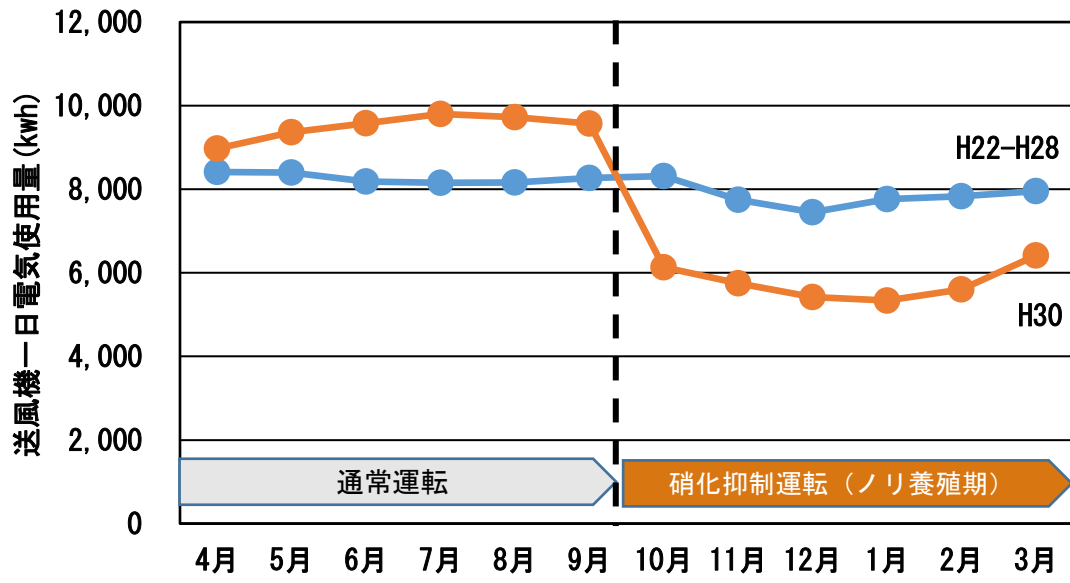


図 6.3.2 各月の一日消費電力量

## 6.4 まとめ

下水浄化センターの接続海域を中心として、栄養塩供給量や取り上げ量、移流について簡易な物質収支を算出した。季節別運転施行により、その以前よりも下水浄化センターからの栄養塩供給量は河川よりも多くなり、栄養塩添加量も減少し、なおかつ取り上げ量は現状維持できていることから、季節別運転がノリ養殖へ貢献していることが示された。その量も周辺海域へ大きな環境変化は起きていないことから、妥当であると考えられる。

また、季節別運転管理による副次的効果として送風量抑制によるエネルギー削減効果が期待される。

- 下水浄化センターならびに近隣河川からの栄養塩供給量と、処理水と嘉瀬、六角両河川水の影響を受けるノリ養殖海域を設定したのちに、養殖に伴う窒素供給と取上げ量と移流について計算を行い、それぞれを比較して簡易的な物質収支算出を可能とした。
- 季節別運転管理によって、以前よりも下水浄化センターからの窒素供給量を増加することができた。さらに処理水の窒素はノリ養殖にとって最適な  $\text{NH}_4\text{-N}$  であり、周辺河川よりも多くの量を供給できており、質・量ともに利点のある窒素供給源となっている。
- 季節別運転管理前後に関わらず 1 月頃に海水中の窒素枯渇が発生していると推測されるが、第 2 章で述べた底質の状態から、底質の COD 含有量は近年上昇傾向にあるものの、T-N や AVS の含有量は一定レベルならびに低レベルで推移していることから、放流された栄養塩は海域におけるノリ養殖等の一次生産に十分に利用されていると考えられ、下水浄化センターからの窒素供給量は現時点では妥当と判断される。
- 季節別運転管理による副次的効果として 15% から 20% の送風量削減効果が得られており、エネルギー削減効果も期待される。

### <参考文献>

- 1) 川村嘉応、久野勝利、横尾一成：佐賀県有明海で実施されている栄養塩添加の現状、佐賀県有明水産振興センター研究報告、Vol.25、81-87、2011.
- 2) 郡山益実、荒木啓輔、伊藤祐二、片野俊也、石谷哲寛：有明海湾奥部底泥における栄養塩フラックスの季節変化、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、Vol.68、No.2、I\_1056-I\_1060、2012.
- 3) 片野俊也、吉野健児、伊藤祐二、速水祐一：有明海湾奥部の植物プランクトンの季節変化：特に夏期、冬期の有害赤潮と環境要因の関連について、沿岸海洋研究、Vol.51、No.1、54-64、2013.

## 7. 総 括

本報告書は、佐賀市下水浄化センターの季節別運転管理における「ノリ養殖海域への窒素供給」及び「処理水によるノリ養殖への影響」を確認した。

本共同研究で得られた主要な結果を要約して以下に示す。

第1章においては、佐賀市下水浄化センターによる季節別運転管理について、水処理の運転管理方法、処理水量の推移及び処理水の水質について取りまとめた。

第2章においては、有明海湾奥部における基礎的な環境特性について、流入河川の特徴、有明海の特徴及び受水域の水質及び底質環境について取りまとめた。

第3章においては、有明海湾奥部における河川水の流入状況や処理水の流況についての基礎的知見を得るために衛星画像解析及び現地調査を行った。衛星画像解析により、有明海奥部に位置するノリ養殖場は、全体的に河川水の影響を受けていること、六角川と塩田川との間に位置するノリ養殖場への河川水の流入が少ないことを確認した。現地における流況調査により、本庄江、嘉瀬川及び六角川からの流れは、それぞれの滞筋を流下してノリ養殖場に到達していること、六角川からの流れの方向は、本庄江及び嘉瀬川からの流れと比べて西側に流れる傾向であることを確認した。

第4章においては、季節別運転管理におけるノリ養殖海域への窒素供給及び、処理水によるノリ養殖へ影響についての基礎的知見を得るために、河口からノリ養殖海域において面的に調査を行った。硝化抑制運転を行う10月から3月において、ノリ養殖海域での $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度上昇が確認され、特に下水浄化センターから約9km下流までの滞筋に沿ったノリ養殖海域には、ノリの生育に必要な栄養塩が供給されていることを明らかにした。また、ノリ養殖への影響という観点より選定した水温、比重及び残留塩素については、ノリ養殖に影響が比較的少ないことを確認した。

第5章においては、淡水である処理水によるノリ養殖海域の低比重化への影響についての基礎的知見を得るために、河口域からノリ養殖海域における現地調査を行った。処理水を含む河川水は、下げ潮時には海水の表層を流下しながら、鉛直方向にほぼ混合していることを確認した。処理水によるノリ養殖海域の低比重化への影響は、河川水の流入や降雨という自然的要因による比重変動の範囲内に含まれており、処理水によるノリ養殖海域の低比重化への直接的な影響は比較的少ないことを示した。

第6章においては、接続海域における周辺河川からの窒素供給量と下水浄化センターからの窒素供給量との比較結果について述べ、接続海域へ与える季節別運転の効果の可能性を示した。窒素供給量の比較結果から、季節別運転期間において下水浄化センターからの窒素供給は接続海域周辺のノリ養殖にとって重要な窒素源となることを示した。また、こ

れまでの成果を踏まえた上で、ノリ養殖に伴う栄養塩要求量と下水浄化センターからの供給量の収支を確認するために、対象範囲における物質収支を作成した。周辺河川や養殖における栄養塩施肥と比較よりも、下水浄化センターが質・量的に優れた窒素供給源として機能していることを示した。また、季節別運転施行後では、河川からの栄養塩供給量も減少傾向にある状況下でも、ノリ養殖による窒素取り上げ量は現状維持が出来ていることから、下水浄化センターから放流された栄養塩が十分に養殖へ効果を与えているを示した。また、季節別運転管理による副次的効果として送風量抑制によるエネルギー削減効果が期待されることを示した。

【本研究に関連して発表した研究業績】

- 1) 第 52 回水環境学会、下水処理施設の能動的管理が下流海域へ及ぼす影響、2018.3.
- 2) 第 55 回下水道研究発表会、佐賀市下水浄化センターの能動的な水質管理による受水域への影響、2018.8.
- 3) 第 56 回下水道研究発表会、下水処理施設の季節別運転による下流海域へ及ぼす影響、2019.8.
- 4) 第 56 回下水道研究発表会、佐賀市下水浄化センターにおける季節別運転の実績とその効果、2019.8.
- 5) 第 27 回日環協・環境セミナー全国大会 in くまもと、下水処理施設の季節別運転による下流海域へ及ぼす影響、2019.10.
- 6) 日環協「環境と測定技術」、下水処理施設の季節別運転によるノリ養殖場への栄養塩等と塩分の影響について、2020.6.
- 7) 第 57 回下水道研究発表会、下水処理施設の季節別運転によるノリ養殖場への栄養塩供給について、2020.8.



## おわりに

これまで下水道は、公共用水域の水質保全を目的に整備が進められ、生活環境の改善に寄与してきました。環境改善や公害対策のために、窒素・リン・有機物の低減を図ってきた下水道に、現在では新たに持続可能な水産活動に配慮した水環境という視点から、健全で豊かな水産資源をはぐくむ水環境を目指す必要が求められています。

本共同研究の内容である季節別運転管理は、平成19年に開始した当初、窒素を下水浄化センターから排出することが、下水道に求められる水質保全の理念と相容れないものとの考えがありました。しかしながら、長年にわたる調査や地元漁業関係者との勉強会等を継続した結果、地元から一定の理解を得ることが出来ていると考えており、新たな下水道施設のあり方となっております。

豊かな水環境を求める要望は各地で見られるようになり、国土交通省は下水道施設による能動的水質管理の取組みとして、季節別運転管理を推進するようになりました。その季節別運転の切換え時には高度な水質管理が要求されることから、十分な水質モニタリングが必要となってきます。

今後も、時代の変化とともに下水道に求められる役割を把握するとともに、地域との共存を図り、これからも快適で豊かな環境を守る下水道施設のあり方を目指す必要があると考えています。

最後に、本研究報告書が、漁業関係者をはじめ、市民の皆様や関係各位の参考となれば幸いです。

## 産学官連携共同研究従事者一覧

研究題目：下水処理施設の能動的管理が下流海域へ及ぼす影響

所属機関・職名※	研究従事者	従事期間
佐賀大学・ 低平地沿岸海域研究センター・教授	荒木 宏之	平成 29 年 7 月 26 日 ～平成 31 年 3 月 31 日
佐賀大学・ 理工学部・都市工学科・講師	三島 悠一郎	平成 29 年 7 月 26 日 ～令和 2 年 12 月 28 日
佐賀大学大学院・工学系研究科・ 都市工学専攻	福吉 晴生	平成 30 年 4 月 1 日 ～令和 2 年 3 月 31 日
佐賀大学 理工学部・都市工学科	西村 知夏	平成 30 年 4 月 1 日 ～平成 31 年 3 月 31 日
佐賀市上下水道局・ 下水プロジェクト推進部・下水道施設課長	江頭 聖司	平成 29 年 7 月 26 日 ～平成 31 年 3 月 31 日
佐賀市上下水道局・ 下水プロジェクト推進部・下水道施設課長	花島 勲	平成 31 年 4 月 1 日 ～令和 2 年 12 月 28 日
佐賀市上下水道局・ 下水プロジェクト推進部・下水道施設課係長	牟田 英司	平成 29 年 7 月 26 日 ～令和 2 年 3 月 31 日
佐賀市上下水道局・ 下水プロジェクト推進部・下水道施設課副課長	江口 和宏	令和 2 年 4 月 1 日 ～令和 2 年 12 月 28 日
佐賀市上下水道局・ 下水プロジェクト推進部・下水道施設課主任	陣内 聖太	平成 29 年 7 月 26 日 ～令和 2 年 12 月 28 日
(一財) 佐賀県環境科学検査協会・ 環境事業本部長	野本 晋児	平成 29 年 7 月 26 日 ～平成 31 年 3 月 31 日
(一財) 佐賀県環境科学検査協会・ 企画室長	松尾 保成	平成 29 年 7 月 26 日 ～令和 2 年 12 月 28 日
(一財) 佐賀県環境科学検査協会・ 企画室・企画開発課長	不動寺 正臣	平成 29 年 7 月 26 日 ～令和 2 年 12 月 28 日
(一財) 佐賀県環境科学検査協会・ 業務部・調査課長	水町 真也	平成 31 年 4 月 1 日 ～令和 2 年 12 月 28 日
(一財) 佐賀県環境科学検査協会・ 企画室・企画開発課係長	田中 健太	令和 2 年 4 月 1 日 ～令和 2 年 12 月 28 日

※所属機関・職名は従事期間終了時とした。

下水処理施設の季節別運転管理によるノリ養殖海域への効果

---

令和2年12月 発行

<問合せ先>

- ・一般財団法人 佐賀県環境科学検査協会

TEL : 0952-22-1651

E-mail : [info@sakankyo.net](mailto:info@sakankyo.net)

- ・国立大学法人 佐賀大学 理工学部都市工学科 三島悠一郎研究室

TEL : 0952-28-8694 (直通) E-mail : [sk9822@cc.saga-u.ac.jp](mailto:sk9822@cc.saga-u.ac.jp)

- ・佐賀市上下水道局 下水プロジェクト推進部 下水道施設課

TEL : 0952-22-0181

E-mail : [gesushisetsu.sui@city.saga.lg.jp](mailto:gesushisetsu.sui@city.saga.lg.jp)