

# 研究報告編



# 報 文



# 長崎県における微小粒子状物質 (PM<sub>2.5</sub>) 成分濃度の特徴について (2017~2019年)

前田 卓磨, 土肥 正敬<sup>1</sup>, 田中 雄規<sup>1</sup>

1 現所属：長崎県北保健所

長崎県では2017年から2019年まで佐世保地域(大塔局・吉井局)、島原半島地域(島原局、小浜局)において微小粒子状物質(以下「PM<sub>2.5</sub>」という)の成分測定を実施した。これらの地点は互いに近傍(約16km)に位置しているが、濃度差が比較的大きく国内発生源による地域汚染の影響が推察されたことから、成分分析の結果を用いてPositive matrix factorization(以下「PMF解析」という)を用いた発生源寄与率の推定を行った。この結果、佐世保地域において、大塔局の道路交通・植物燃焼因子と硝酸二次生成因子の寄与が大きく、それぞれ季節平均で5.4-14.6%と0.1-20.7%を占めた。島原半島地域においては、島原局の硝酸二次生成因子の寄与が大きく、季節平均で1.0-32.7%を占めた。越境由来の汚染物質の影響を示す硫酸二次生成因子や石炭燃焼因子の寄与は全地点で概ね同等であったため、自動車排ガスや植物燃焼及び硝酸二次生成の因子による影響をうけて、濃度差が生じていることが示唆された。

キーワード：PM<sub>2.5</sub>成分分析、地域発生源、PMF解析

## はじめに

PM<sub>2.5</sub>は粒径が2.5 μm より小さく、器官や肺胞に到達することで人体へ悪影響を及ぼすことが知られており、欧米での疫学調査では呼吸器疾患や循環器疾患とPM<sub>2.5</sub>濃度の間に有意な相関が認められている。日本でも健康リスクの観点から2009年に環境基準が制定された<sup>1)2)</sup>ことで、全国的にPM<sub>2.5</sub>質量濃度の常時監視局の設置が進められている。本県では2012年度から整備され、2014年度からは17地点の一般環境大気測定局(以下「一般局」という)と1地点の自動車排出ガス測定局(以下「自排局」という)で観測されている。

また、2011年度に策定された成分分析ガイドラインに則り、各自治体において、成分分析を実施する体制が整備され、本県においてもこれまでの調査研究(2015年度~2017年度)<sup>3)</sup>で、五島・諫早・大村で成分分析を実施し、主に春季の高濃度日においては越境由来の硫酸二次生成物質による影響を強く受けていることを明らかにした。一方で、国内発生源の影響については未解明の部分が多く、本県では通年における採取試料の成分濃度の知見がなかった。また、佐世保地域(大塔局・吉井局)や島原半島地域(島原局・小浜局)においてPM<sub>2.5</sub>質量濃度が高濃度の地点と低濃度の地点が近在していることがわかり、これらの地域の国内発生源の影響の解明を目

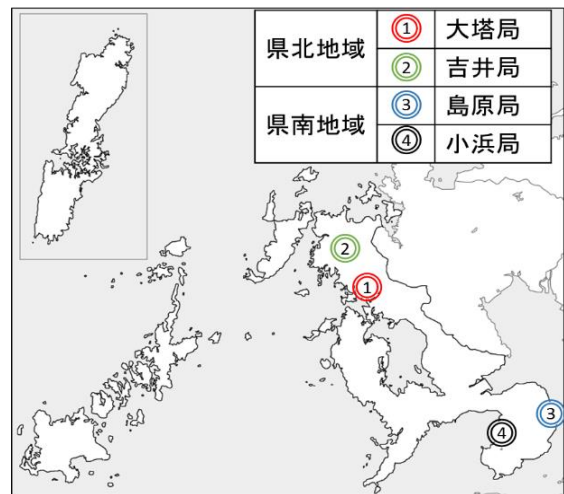


図1 試料採取地点(すべて一般局)

的として、2017年から2019年まで通年のPM<sub>2.5</sub>成分分析を実施した。

既報<sup>4)</sup>では佐世保地域のみ統計解析結果を報告したが、本稿では佐世保地域と島原地域の分析結果と本県離島地域(五島・対馬)及び九州各自治体の分析結果(環境省HP公表)とを併せて統計解析を行い、発生源推定を行った結果を報告する。

## 調査地点及び方法

### 1 調査地点

調査地点を図1に示す。大塔局は標高約3mにあり、南西約60mに針尾バイパス、北西約130mに九州自動車道等の幹線道路があり、日中での交通量が多く、自排局の福石とは距離5kmと近い位置にある。一方、吉井局は標高約75mに位置し、周辺に幹線道路又は工場等の固定発生源がない。両地点は距離約16km離れており、烏帽子岳(標高568m)等の山々に隔てられている。

島原局は標高約4mにあり、有明湾に面した島原半島の東部に位置し、南西約330mに幹線道路と私鉄がある。一方、小浜局は標高約29mにあり、橘湾に面した島原半島の西部に位置し、西部約300mに幹線道路があり、温泉資源が豊かな場所である。両地点は普賢岳(標高1359m)、平成新山(1483m)等が連なる雲仙岳(火山)に隔てられている。

## 2 調査期間及び捕集方法

表1に各調査地点の採取日数を示す。採取期間は各地域で約1年間実施した(全国統一捕集期間を除く)。捕集時間は午後0時を開始時刻とし、24時間周期で行った。捕集装置はFRM2025又はFRM2025iの4台を1地点に2台併用し、流速16.7 L/min で積算流量24 m<sup>3</sup> の大気試料をフィルタに採取した。用いたフィルタはΦ47 mm の石英繊維フィルタ(Pallflex 2500QAT-UP)及びPTFEフィルタ(Whatman 7592-104)で、石英繊維フィルタは炭素成分とイオン成分、PTFEフィルタは無機成分の成分分析に供した。

## 3 成分分析

成分分析に使用した測定機器及び測定項目を表2に示す。成分分析は、原則、環境省の「大気中微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)成分測定マニュアル」<sup>5)</sup>に準拠した。有機酸成分分析は地点間の濃度差が比較的大きい期間を対象とし、本センターで一部分析したほか、外部機関の協力を得て実施した。質量濃度は調査地点に隣接する自動測定機(大塔局・島原局・小浜局:東亜DKK製FPM-377、吉井局:紀本電子工業製PM-712)の日平均値(μg/m<sup>3</sup>)を参照した。

## 4 発生源解析

米国環境保護庁のホームページで公開されているソフトウェア EPA PMF5.0 を用いて PMF解析<sup>6)</sup>による発生源寄与率の推定を試みた。データの選定についてはマスクロージャーモデル<sup>7)</sup>を用いて通常の濃度範囲から逸脱した試料を一部除

表1 採取日数及び地点間濃度差

年 月	採取日数				濃度差Δ(μg/m <sup>3</sup> ) 日数		
	大塔局	吉井局	島原局	小浜局	Δ>5	Δ>10	
2017	10	15	14				
	11	17	17		7	1	
	12	24	11		1		
2018	1	18	11		2	1	
	2	23(1)	15(1)		2		
	3	18(3)	19(2)		5 <sup>*1</sup>		
	4	21(1)	21(1)				
	5	3	3				
	6	30	30		1		
	7	1	1				
	8	16	16				
	9	24	22				
	10						
	11			24	24	10	1
	12			27	31	8	
2019	1		6(1)	6	3	1	
	2		19	21	7	1	
	3		31(2)	31	5	2	
	4		24	24	5		
	5		3	3	1		
	6		28	28	2 <sup>*2</sup>		
	7		8	8	3		
	8		12	12	2		
	9		24	21	3		

小計 210(5) 180(4) 206(3) 209  
 ( )は高濃度日数、空欄は未実施  
 ※1 3月の5日間の内4日間は吉井が高い  
 ※2 6月の2日間の内1日間は小浜が高い

表2 測定機器及び成分測定項目

成分項目	測定機器
炭素成分 2項目 有機性炭素 (OC) 無機炭素 (EC)	炭素分析装置 (熱分離・光学補正式)
無機成分 12項目 Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Sb, Pb	ICP-MS
イオン成分 8成分 Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Na <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Ca <sup>2+</sup> ,	イオンクロマトグラフ
有機酸成分 3成分 <sup>*</sup> レボグルコサン、コハク酸、 ピノン酸	GC-MS

※地点間の濃度差が高い日のみ測定

外したが、比較的濃度が高い試料は統計的な妥当性が保たれる場合は濃度範囲を逸脱している場合でも解析対象とした。表3にPMF解析条件を示す。調査地点の成分分析結果に離島2地点(国設五島局・国設対馬局)と九州地域15地点の環境省HP公表データ<sup>8)</sup>を加えて、合計1625個のデータセットとし、検出下限値未満の測定値は、検出下限値の1/2に置換した。また、PM<sub>2.5</sub>構成成分の実測値と推定値の相関係数が0.5未満の場合は成分の重みづけをweak(不確かさが3倍)とした。PMF解析結果についてII型共同研究グループの解析方法を参考に以下の内容を確認し、妥当性が高い最終解を選択した。

- ・各発生源の因子を説明できるか
- ・Q値とQ<sub>theory</sub>値が近似しているか(2倍以下)
- ・Bootstrap結果のIQR値及びmapping値

・各因子の指標成分の四分位範囲の当てはまり

表3 PMF解析における条件

サンプル数			
本土4地点	離島2地点	九州地域15地点	
712	110	803	
合計1625			
重み付け	イオン成分	無機成分	炭素成分
Strong	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Na <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Ca <sup>2+</sup>	Al, Ti, V, Mn, Fe, As	有機性炭素(OC) 元素状炭素(EC)
Weak 不確かさ3倍	Cl <sup>-</sup>	Cr, Ni, Cu, Zn, Sb, Pb	
Factor		7	
Uncertainty		20%	
Base runs		100	
Bootstrap runs		100	
Mapping of bootstrap factors		92-100	

### 結果及び考察

#### 1 PM<sub>2.5</sub>質量濃度の経年変化等について

2014年度以降の佐世保地域(大塔局・吉井局)と島原半島地域(島原局・小浜局)におけるPM<sub>2.5</sub>質量濃度経年変化と試料採取期間を図2に示す。既報<sup>9)10)</sup>のとおり大塔局は2017年度以降、島原局は2016年度以降に環境基準を達成している。全地点で概ね冬季から春季にかけて濃度が上昇し、35 µg/m<sup>3</sup>を超過した高濃度日が見られるが、近年は観測日数が減り、年平均値も減少傾向にある。大塔局・吉井局の濃度差は2017年度後半以降に減少しているが、島原局・小浜局については依然としてみられ、国内発生源による地域汚染の影響が示唆されている。

#### 2 PM<sub>2.5</sub>成分濃度

2017年秋から2018年夏の各季節における大塔局と吉井局のPM<sub>2.5</sub>成分濃度については既報<sup>4)</sup>のとおり。

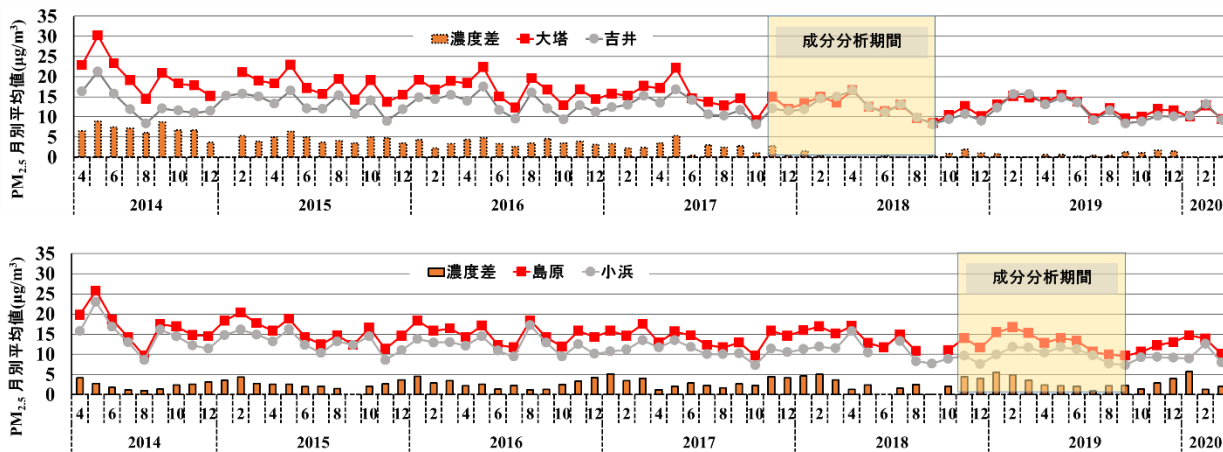


図2 調査地点におけるPM<sub>2.5</sub>月平均値の推移(網掛け部分は成分調査実施期間)

図3に2018年秋から2019年夏の島原局と小浜局のPM<sub>2.5</sub>成分濃度を示す。両地点とも各季節でSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の割合が最も高く(島原:24.2-31.8%、小浜:32.8-37.5%)、特に春季と夏季が高かった。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は微小粒子状では主に硫酸アンモニウム塩として(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>として存在し、大気中で安定に存在することから越境汚染の指標として使用される<sup>11)</sup>。長崎県は地理的に大陸からの越境汚染の影響が大きいとされ、既報<sup>3)</sup>の春季における集中観測結果で高濃度日に寄与率が高い傾向にあることが示されているため、島原局と小浜局においても同様の傾向にあると考えられる。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>は特に冬季に高く、佐世保地域と同じ傾向だったが、島原局では春季や秋季においても比較的高く全期間で地点間の濃度差が最も大きい成分だった。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>とNO<sub>3</sub><sup>-</sup>のカウンターイオンとして知られるにNH<sub>4</sub><sup>+</sup>ついて、(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>等量濃度比がほぼ1に近く(島原局:0.89-1.01、小浜局:0.97-1.07)、佐世保地域と同様にこれらの塩を多く含んでいることが示唆された。OCは年間を通して島原局の方が小浜局より高い傾向にあり、地域的な汚染の影響を受けていることが示唆された。

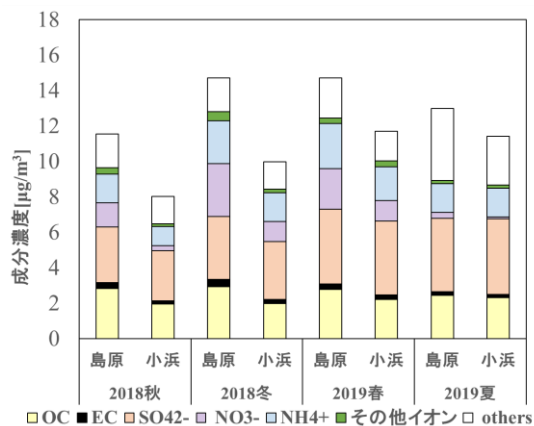


図3 各季節のPM<sub>2.5</sub>成分濃度(島原・小浜局)

#### 3 発生源種類の推定

(1) 発生源種類とその指標成分

得られたPM<sub>2.5</sub>成分濃度データに対し、PMF解析を用いて、発生源種類の推定を行った。この結果、7種類の発生源が推定された。各発生源の指標成分を表4及び図4に示す。PMF解析においてデータセットを変更することは、因子数や種類の変化をもたらすため、既報<sup>4)</sup>とは因子の種類が一部異っている。指標成分に対する各発生源の割り当ては文献<sup>12-17)</sup>や成分測定マニュアルで確認したが、全く同じ指標成分の組み合わせでない場合、解析者による恣意的な解釈も含まれている。

表4 PMF解析により推定された発生源

発生源	指標成分
1 道路交通・植物燃焼	K <sup>+</sup> , Sb, OC, EC
2 硫酸二次生成	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , OC
3 重油燃焼	V, Ni, EC
4 土壌系	Al, Ti, Fe
5 硝酸二次生成	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
6 海塩	Na <sup>+</sup> , Mg <sup>+</sup>
7 石炭燃焼	As, Pb

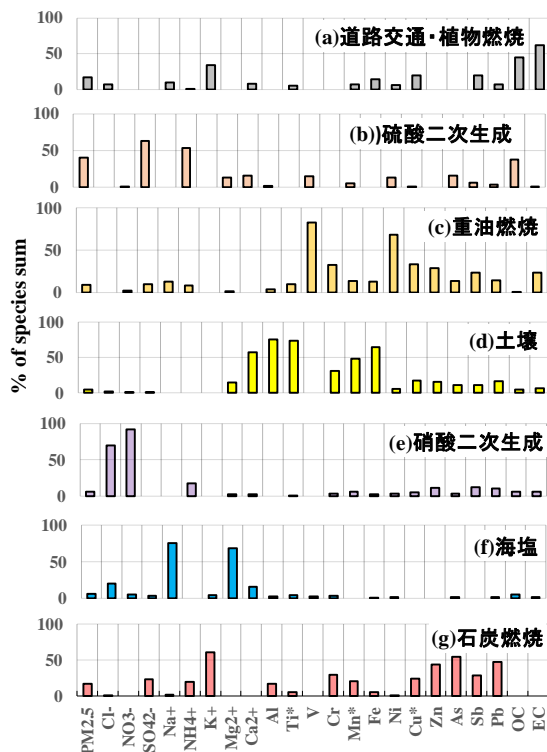


図4 発生源のプロファイル(% of species sum)

(a) 道路交通・バイオマス燃焼

OC, ECが高く、自動車排ガスの影響がみられたことや、ブレーキパッド由来のSbの寄与が比較的多いことから道路交通由来とした。また、Kが比較的多いことから、バイオマス燃焼の寄与も表す因子と解釈したが、道路交通との分離はできなかった。

(b) 硫酸二次生成

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>が高いため硫酸二次生成由来とした。本解析ではSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の当量比は1.0であり、硫酸アンモニウム塩(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>が主体的に存在していると考えられる。主に広域汚染の指標として解釈される。

(c) 重油燃焼

V, Niが高いため石油燃焼由来とした。石油や重油中に多く含まれるため、船舶や発電所等における燃焼の影響が考えられる。

(d) 土壌

Al, Ti, Feが高いため土壌由来とした。土壌粒子は風等による巻き上げで発生する他、九州地方では春季の黄砂の影響を受けて寄与が大きくなることが知られている。

(e) 硝酸二次生成

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>が高いため硝酸二次生成由来とした。また、Clも比較的高いため、半揮発性の塩化アンモニウムの負荷もみられた。

(f) 海塩

Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>が高いため、海塩由来とした。

(g) 石炭燃焼

AsとPbが高いため石炭燃焼とした。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の負荷もみられ、当量比は1.0であった。主に広域汚染の指標として解釈される。

(2) 発生源寄与

(a) 地点別の発生源寄与割合

全調査地点における発生源寄与濃度について、全調査期間と季節別の解析結果をそれぞれ図5に示す。グラフ中のothersは自動測定機のPM<sub>2.5</sub>質量濃度観測値から因子寄与濃度の合計値を差し引いた値で、未測定成分由来と考えられる。また、佐世保地域において各季節の質量濃度が既報<sup>4)</sup>の値と異なっているが、統計解析に使用するデータ数を若干変更したと、各季節の期間を春季(3-5月)、夏季(6-8月)、秋季(9-11月)、冬季(12-2月)に変更したためである。

調査期間中のPM<sub>2.5</sub>平均質量濃度は大塔局と吉井局で同程度(大塔局:13.2 μg/m<sup>3</sup>, 吉井局:12.6 μg/m<sup>3</sup>)であり、発生源寄与割合は、全調査期間平均で硫酸二次生成の寄与が最も大きかった(大塔局:31.5%, 吉井局:39.3%)。次いで、大塔局は道路交通・バイオマス燃焼と硝酸二次生成が10.7%、石



炭燃焼が10.4%であった。吉井局は石炭燃焼が9.8%、硝酸二次生成が5.8%、道路交通・バイオマス燃焼が5.6%の順で寄与が大きかった。地点間の寄与濃度差が大きかったのは、硝酸二次生成(春季: 1.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  冬季: 1.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )と道路交通・バイオマス燃焼(秋季: 0.94  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  冬季: 0.79  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )で、これらの因子により地点間の濃度差が生じたことが示唆された。

島原半島地域ではPM<sub>2.5</sub>平均質量濃度が小浜局より島原局が高く(島原局: 13.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 小浜局: 11.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )、発生源寄与割合全調査期間平均で硫酸二次生成の寄与が最も大きかった(島原局: 38.9%, 小浜局: 48%)。次いで、島原局は硝酸二次生成が21.3%、石炭燃焼が7.0%の順で大きかった。小浜局は硝酸二次生成が11%、石炭燃焼が8.0%であった。地点間の寄与濃度差が大きかったのは、硝酸二次生成(春季: 2.07  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  秋季: 1.74  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  冬季: 2.98  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )で、これらの因子により地点間の濃度差が生じたことが示唆された。

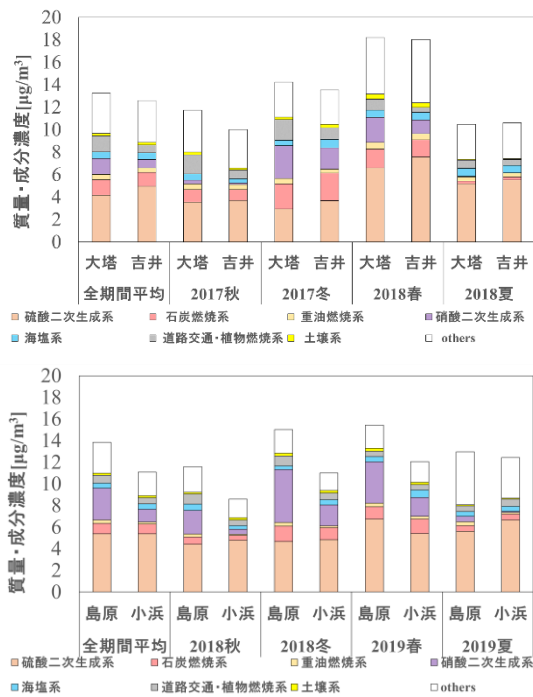


図5 全期間平均及び季節別の因子寄与濃度

(b) 植物燃焼因子の分離について

レボグルコサンは植物を構成するセルロースを熱分解することによって生成されるため、バイオマス燃焼による寄与を評価するための指標物質として用いられている<sup>16)17)</sup>。これまでのPMF解析結果では道路交通因子と植物燃焼因子が混合しており、個別の因子について影響評価ができなかった。今回、外部機

関による分析協力とII型共同研究グループの協力によるレボグルコサン測定結果の提供をうけ、県内4地点のレボグルコサン成分濃度を含めたデータセットを作成し植物燃焼因子の分離を試みた。表5に解析条件を示す。なお、本研究の目的と分析コスト等の面から、レボグルコサンについては比較的地点間の濃度差が大きかった期間に絞って分析を行った。

表5 PMF解析における条件  
(レボグルコサンを含む)

サンプル数			
本土地域4地点	全国21地点※		
180	1839		
合計2019			
※ II型共同研究グループ調査地点			
重み付け	イオン成分	無機成分	炭素成分
Strong	Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Na <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup>	Al, Ti, V, Mn, As	有機性炭素(OC) 元素状炭素(EC) レボグルコサン
Weak 不確かさ3倍	K <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup>	Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Sb, Pb	
Factor	7		
Uncertainty	20%		
Base runs	100		
Bootstrap runs	100		
Mapping of bootstrap factors	98-100		

解析の結果、7種類の発生源が推定され、植物燃焼因子と道路交通因子を分離することができた。各発生源の指標成分を表6及び図6に示す。各因子の推定については先述した方法と同様である。植物燃焼因子の成分にはレボグルコサンの他、植物燃焼指標成分であるK<sup>+</sup>も含まれた。各因子寄与濃度について、全調査期間と季節別の解析結果をそれぞれ図7に示す。各地点の寄与濃度は高濃度地点が若干高く(大塔局: 0.33-2.00  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、吉井局: 0.42-1.12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、島原局: 0.19-1.67  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、小浜局: 0.15-0.99  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )、季節別では秋季と冬季が高い傾向にあった。このため、秋季・冬季においては植物燃焼因子の寄与がPM<sub>2.5</sub>質量濃度を上昇させる要因の一つだと考えられる。ただし、今回の解析に用いたデータセットは濃度差が高い期間(高濃度地点の濃度が比較的高い期間)を抽出して用いたため、通常の期間と比較して各因子寄与濃度を過剰評価している可能性がある点に留意する必要がある。

まとめ

本研究は、長崎県におけるPM<sub>2.5</sub>の地域発生源の影響を把握することで、国内発生源の影響評価や

表6 PMF解析により推定された発生源  
(レボグルコサンを含む)

発生源	指標成分
1 重油燃烧	V, Ni, EC
2 硫酸二次生成 (+石炭燃烧)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , OC, As, Pb
3 道路交通	Mn, Zn, Sb, OC, EC
4 土壤系	Al, Ti, Fe
5 海塩	Na <sup>+</sup> , Mg <sup>+</sup>
6 植物燃烧	K <sup>+</sup> , OC, EC, LEV
7 硝酸二次生成	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>

※LEV(レボグルコサン)

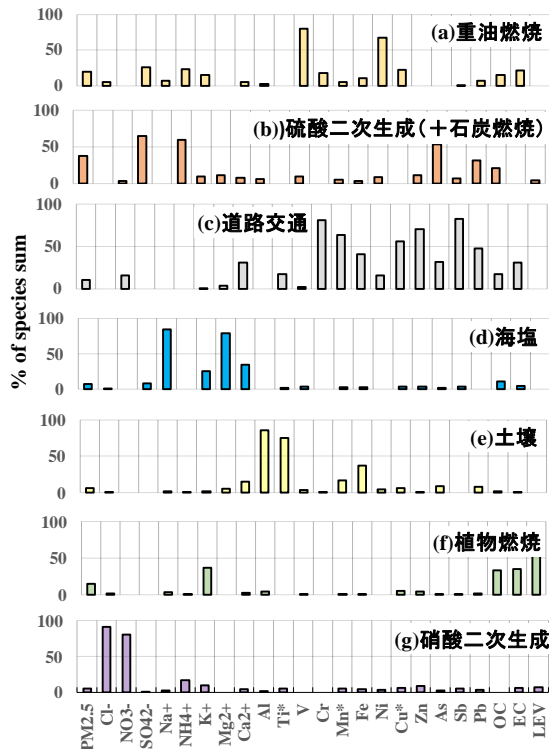


図6 発生源のプロファイル(% of species sum)  
(レボグルコサンを含む)

発生源対策の検討に資する基礎データとする目的で実施した経常研究(2017~2019年度)である。これまで、県内の近傍測定地点において継続的に成分調査を行った例はなく、各地点で年間約200試料のデータで解析を行った事例は全国的にも多くない。

PMF解析の結果として、全地点で最も大きい寄与濃度を示したのは硫酸二次生成因子で、一般的に越境汚染を示す因子とされる。ただし、近年は大陸からの越境汚染は減少傾向にあり<sup>20)</sup>、相対的に国内汚染の影響割合が上昇していることが指摘されている。佐世保地域では、秋季に道路交通や植物燃焼、冬季に硝酸二次生成の影響を受けて濃度差が生じていることが推測された。島原半島地域では春季・秋季・冬季に硝酸二次生成の影響を受けて濃度差

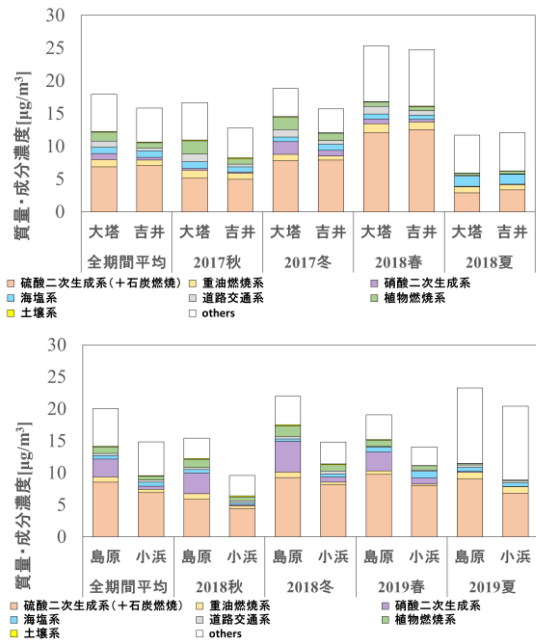


図7 期間平均及び季節別の因子寄与濃度  
(植物因子分離結果)

が生じていることが推測された。島原局の付近には大規模な発生源がなく、年間の風向は北方が支配的であることから、一部有明海の工業地帯からの流入が考えられるが、発生源位置推定には気象モデルや化学輸送モデルを用いたより高度な解析(WRF/CMAQ解析等)が必要である。

本県のPM<sub>2.5</sub>環境基準の達成状況は、2018年度に初めて全局で達成し、近年はPM<sub>2.5</sub>質量濃度が減少傾向にある。一方、本稿で示したように国内発生源の影響でPM<sub>2.5</sub>質量濃度が上昇している事例が存在することや、越境汚染による影響が依然としてあることから、県内常時監視局での測定や県内のPM<sub>2.5</sub>成分調査を継続していく必要がある。

### 謝辞

本研究を実施するにあたり、名古屋市環境科学調査センターの池盛様には有機酸分析や統計解析において、多大なるご協力及びご助言を賜りました。また、国立環境研究所Ⅱ型共同研究メンバーの皆様には平素より大気環境調査研究に係るご協力及びご助言を頂きました。ここに記してお礼申し上げます。

### 参考文献・脚注

- 1) 環境省水・大気環境局:微小粒子状物質に係る環境基準の設定について(2009).
- 2) 環境省:微小粒子状物質による大気汚染に係

- る環境基準について, 環告33(2009).
- 3) 土肥正敬:長崎県における粒子状物質の成分特徴について(2014~2016年度), *長崎県環境保健研究センター所報*, **63**, 25-32(2017)
  - 4) 前田卓磨:長崎県における微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)濃度の特徴(2017-2018年度), *長崎県環境保健研究センター所報*, **64**, 33-40(2018)
  - 5) 環境省HP:微小粒子状物質の成分分析、大気中微小粒子状物質成分測定マニュアル, <http://www.env.go.jp/air/osen/pm/ca/manual.html> (2020.8.20アクセス)
  - 6) United States Environmental Protection Agency: Positive Matrix Factorization Model for environmental data analyses, <https://www.epa.gov/air-research/positive-matrix-factorization-model-environmental-data-analyses> (2020.8.20 アクセス)
  - 7) 環境省:大気中微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)測定方法暫定マニュアル(2007).
  - 8) 環境省HP:微小粒子状物質測定データ, [https://www.env.go.jp/air/osen/pm/monitoring/data/pm25\\_29.html](https://www.env.go.jp/air/osen/pm/monitoring/data/pm25_29.html) (2020.8.20アクセス)
  - 9) 土肥正敬:長崎県の微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)環境基準達成状況等について(2014~2016年度), *長崎県環境保健研究センター所報*, **62**, 26-31(2016)
  - 10) 前田卓磨:長崎県における微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)濃度の特徴(2017年度), *長崎県環境保健研究センター所報*, **63**, 33-38(2017)
  - 11) 環境省HP: 粒子状物質の特性について, <http://www.env.go.jp/council/former2013/07air/y078-02/mat02-1.pdf> (2020.8.21アクセス)
  - 12) 豊永悟史他:Positive Matrix Factorizationモデルを用いたPM<sub>2.5</sub>の発生源解析—文献調査による解析手法と東アジア地域の現状の整理—, *大気環境学会誌*, **54**(4), 139-160 (2019)
  - 13) 東京都微粒子状物質検討会: レセプターワーキング報告書 (2011), [http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/air\\_pollution/torikumi/pm2\\_5/pm25-report\\_2011.files/9\\_Receptor\\_working\\_report.pdf](http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/air_pollution/torikumi/pm2_5/pm25-report_2011.files/9_Receptor_working_report.pdf) (2020.8.20アクセス)
  - 14) 中坪良平他:兵庫県姫路市における大気中粒子状物質及びガス状物質の並行測定(2)—PM<sub>2.5</sub>の発生源解析—, *兵庫県環境研究センター紀要*, **3**, 21-25 (2012)
  - 15) 豊永悟史他:レセプターモデルを用いた熊本県におけるPM<sub>2.5</sub>発生源寄与の推定—離島との比較による越境/地域汚染の影響の解析—, *大気環境学会誌*, **52**(5), 150-165 (2017)
  - 16) 高岡大他:PMF法による福井県内のPM<sub>2.5</sub>発生源寄与解析, *福井県衛生環境研究センター年報*, **14**, 55-60 (2015)
  - 17) 山村由貴:福岡県における微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)濃度の実態把握, *福岡県保健環境研究所年報*, **43**, 93-98 (2016)
  - 18) Simoneit, B. R. T., Schauer, J. J., Nolte, C. G., Oros, D.R., Elias, V. O., Fraser, M. P., Rogge, W. F., Cass, G. R.:Levoglucosan, a tracer for cellulose in biomass burning and atmospheric particles, *Atmos. Environ.*, **33**, 173-182(1999).
  - 19) 萩野浩之他:さいたま市における初冬季の微小粒子中のレボグルコサンと炭素成分, *エアロゾル研究*, **21**, 38-44(2006)
  - 20) 鶴野伊津志他: PM<sub>2.5</sub>越境問題は終焉に向かっているのか?, *大気環境学会誌*, **52**(6), 177-184 (2017)

## Characteristics of PM<sub>2.5</sub> components in Nagasaki prefecture (2017–2019)

Takuma MAEDA, Masataka DOI<sup>1</sup>, Yuki TANAKAI<sup>1</sup>

*<sup>1</sup> Nagasaki Prefectural Kenhoku Health Center*

We collected PM<sub>2.5</sub> samples from four sites (Daito, Yoshi, Shimabara, and Obama) in Nagasaki prefecture between 2017 and 2019 and analyzed their chemical constituents. We carried out a positive matrix factorization (PMF) analysis of the sources and found that the local source is a contributing factor to concentration differences in these geographically close sites. PMF analysis revealed that most of the local sources at Daito were vehicle and biomass burn and secondary nitrate, with a seasonal contribution of 5.4%–14.6% and 0.1%–20.7%, respectively. Most of the local sources at Shimabara were secondary nitrate, with a seasonal contribution of 1.0%–32.7%. These results suggest that vehicle and biomass burn and secondary nitrate contribute to concentration differences in these sites that are in close vicinity to each other.

Key words: PM<sub>2.5</sub> component analysis, local source, positive matrix factorization analysis

## 諫早湾干拓調整池に流入する有明川の水質調査結果

浦 伸孝, 前田 祐加, 森 淳子

国営諫早湾干拓事業によって造成された調整池では、県の第3期諫早湾干拓調整池水辺環境の保全と創造のための行動計画に基づき、各種の施策が実施されているが、現在まで環境基準が達成されていない。そこで、諫早湾干拓調整池に流入する河川の中でも、化学的酸素要求量（COD）、全窒素（T-N）及び全リン（T-P）濃度が高い傾向にある有明川に着目し、流域の巡回と水質調査を通じて、負荷が高まる要因を推定し、この地域で取り組むべき対策について考察した。調査の結果、負荷源としては流域の農地、事業場及び生活排水等の影響が示唆されたため、有効と思われる対策について提案する。今後は、有明川以外の調整池流入河川についても、負荷濃度が高く流量が多い主要な河川について同様の調査を行い、各河川に応じた負荷削減対策を検討していくことが重要と考えられる。

キーワード: 諫早湾干拓、調整池、環境基準、水質調査、負荷源

### はじめに

2008年に完了した国営諫早湾干拓事業によって造成された調整池の水質については、諫早湾干拓事業計画に係る環境影響評価において水質保全目標値が設定され、2009年1月16日（長崎県告示第47号）には、その利水目的を踏まえて、生活環境の保全に関する環境基準として湖沼B類型、湖沼V類型に指定されている。国、県、市などの関係機関は、2008年度以降「第2期諫早湾干拓調整池水辺環境の保全と創造のための行動計画」に基づき、連携して水質保全対策に取り組んできたが、現在も水質保全目標値及び環境基準を達成していない。特に、T-Pについては、水質保全目標値（環境基準値）の2倍を上回るレベルで推移している<sup>1)</sup>。なお、2019年8月には新たに「第3期諫早湾干拓調整池水辺環境の保全と創造のための行動計画」が策定されたが、関係機関はこれまで以上に、実効性のある水質保全対策に取り組む計画となっている。

調整池へは、周辺地域から河川が流入しており、国営諫早湾干拓事業の事業主体である九州農政局がまとめた流域ごとの負荷量によれば、有明川、仁反田川など調整池南部に流入する河川で負荷量が高い状況が見られる。本調査は、2019年度に長崎県が九州農政局の委託事業を受けて実施したもので、調整池に流入する河川の中でも、COD、T-N、

T-Pの負荷濃度が相対的に高い有明川を対象に、水質調査及び流域の巡回により、当該流域において負荷の高まる要因を推定し、取り組むべき対策について考察した。

### 事業内容

#### 1 重点監視対象河川の選定

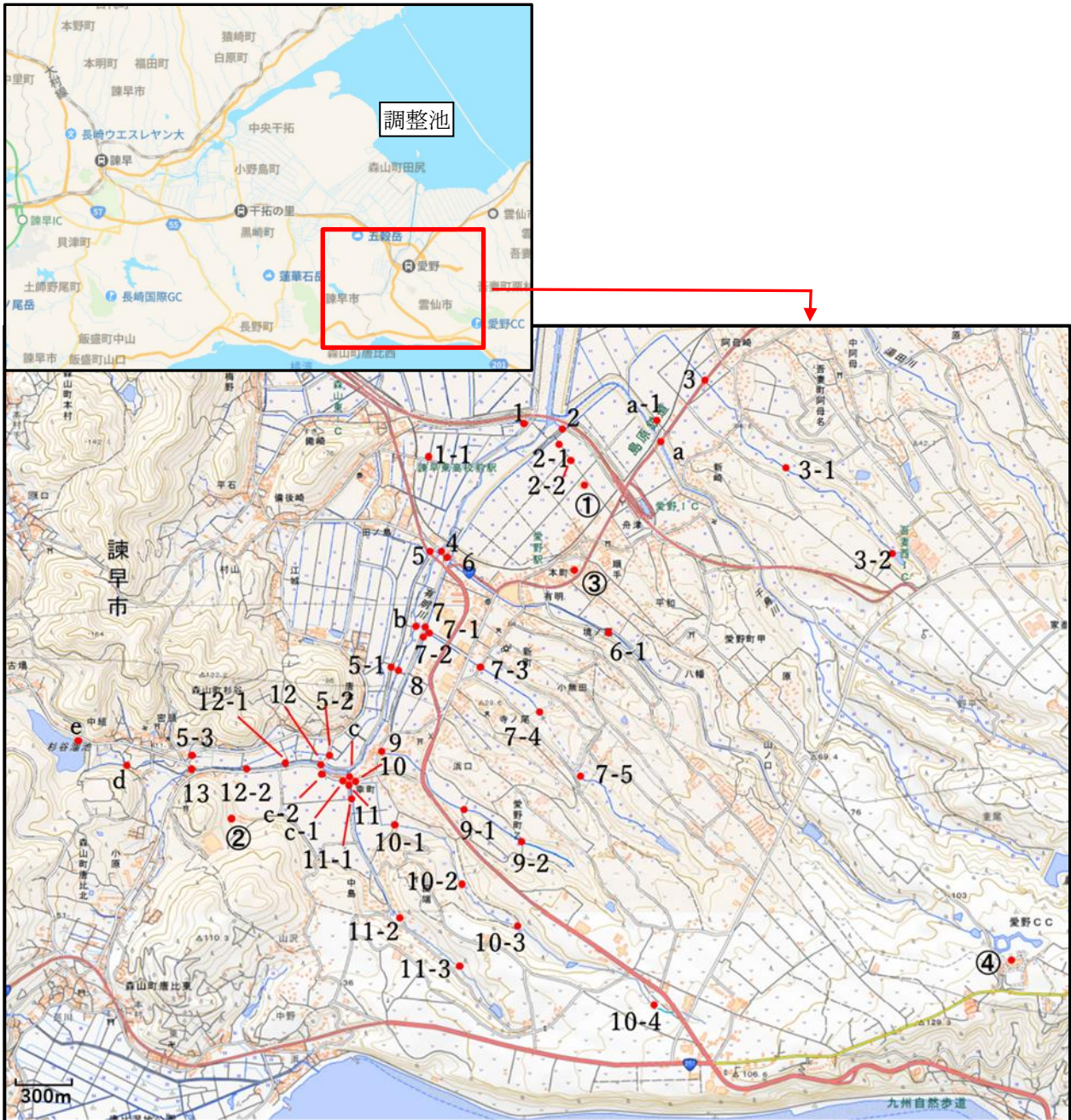
調整池に流入する河川の中でも、COD、T-N、T-Pの負荷濃度が相対的に高い有明川を、重点監視対象河川として選定した。

#### 2 有明川水質調査

##### (1) 河川概況及び調査地点

有明川は1級河川本明川水系に属し、延長は4.794 km、流域面積は9.90 km<sup>2</sup>である。諫早市（森山町杉谷）と雲仙市（愛野町宇山王）の市境を上流端とし、調整池に流入する間、市境を流れる。有明川流域では、農業が盛んに行われているが、有明川と交差する国道57号線沿いなどには、飲食店や小売販売業などの各種事業場も多い。

本調査では、まず、流域からの負荷源を推定するために、有明川流域全体の現地確認及び周辺状況調査を目的とした巡回監視を実施し、この巡回監視の結果に基づき水質調査地点を決定していった。水質調査を実施した地点を図1及び表1に示す。



\* 河川調査地点 (地点1~13) : 有明川の下流側から番号を付けた調査地点

重点調査地点 (アルファベット、枝番号または丸数字が付いた地点) : 負荷源推定のために設定した調査地点

図1 水質調査地点

### (2) 調査実施日

流域の水田で代かきを実施していた時期や、降雨時(後)といった河川への負荷流出が予想される時及び平常時に調査を実施した。実際に調査を実施した日付を図2に示す。また、河川の水質調査であるため、日降水量も重要な情報となるので併せて記載した。なお、日降水量は気象官署「諫早」<sup>2)</sup>のデータを使用している。

### (3) 水質調査項目

水質調査で測定した項目を以下に記載する。なお、調査項目の分析については、公定法により実施した。

水温、pH、透視度、浮遊物質量(SS)、化学的酸素要求量(COD)、全窒素(T-N)、硝酸性窒素(NO<sub>3</sub>-N)、亜硝酸性窒素(NO<sub>2</sub>-N)、アンモニア性窒素(NH<sub>4</sub>-N)、全リン(T-P)、リン酸態リン(PO<sub>4</sub>-P)、塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>)、クロロフィルa(Chl.a)

表1 調査地点一覧

地点番号	地点名 (施設名)	所在
1	有明川下流西側水路	諫早市森山町杉谷
2	有明川下流東側樋門	雲仙市愛野町甲
3	千鳥川東側流入水路 (水路A)	雲仙市吾妻町阿母名
4	有明橋	諫早市森山町杉谷、雲仙市愛野町甲
5	有明橋西側樋門	諫早市森山町杉谷
6	今木場川下流	雲仙市愛野町甲
7	小無田川下流	雲仙市愛野町乙
8	有明川本流中流	雲仙市愛野町乙
9	相原川下流	雲仙市愛野町乙
10	木場川下流	雲仙市愛野町乙
11	桜山川下流	雲仙市愛野町乙
12	唐津橋	諫早市森山町杉谷、雲仙市愛野町乙
13	杉谷橋	諫早市森山町杉谷、雲仙市愛野町乙
a	千鳥川下流	雲仙市愛野町甲、雲仙市吾妻町阿母名
b	有明橋上流	諫早市森山町杉谷、雲仙市愛野町乙
c	水路C下流	雲仙市愛野町乙
d	杉谷溜池下流	諫早市森山町唐比北
e	杉谷溜池	諫早市森山町唐比北
1-1	地点1南西側水路	諫早市森山町杉谷
2-1	地点2南側水路1	雲仙市愛野町甲
2-2	地点2南側水路2	雲仙市愛野町甲
3-1	千鳥川東側流入水路 (水路A) 詳細1	雲仙市吾妻町阿母名
3-2	千鳥川東側流入水路 (水路A) 詳細2	雲仙市吾妻町阿母名
5-1	有明川中流西側水路	諫早市森山町杉谷
5-2	唐津橋北側水門	諫早市森山町杉谷
5-3	杉谷橋北側水路	諫早市森山町杉谷
6-1	今木場川詳細	雲仙市愛野町甲
7-1	小無田川詳細1	雲仙市愛野町乙
7-2	地点7南側水路	雲仙市愛野町乙
7-3	小無田川詳細2	雲仙市愛野町乙
7-4	小無田川詳細3	雲仙市愛野町乙
7-5	小無田川詳細4	雲仙市愛野町乙
9-1	相原川詳細1	雲仙市愛野町乙
9-2	相原川詳細2	雲仙市愛野町乙
10-1	木場川詳細1	雲仙市愛野町乙
10-2	木場川詳細2	雲仙市愛野町乙
10-3	木場川詳細3	雲仙市愛野町乙
10-4	木場川詳細4	雲仙市愛野町乙

表1 調査地点一覧(続き)

地点番号	地点名 (施設名)	所在
11-1	桜山川詳細1	雲仙市愛野町乙
11-2	桜山川詳細2	雲仙市愛野町乙
11-3	桜山川詳細3	雲仙市愛野町乙
12-1	地点12上流詳細1	諫早市森山町杉谷、雲仙市愛野町乙
12-2	地点12上流詳細2	諫早市森山町杉谷、雲仙市愛野町乙
a-1	地点a北側水路	雲仙市愛野町甲
c-1	水路C詳細1	雲仙市愛野町乙
c-2	水路C詳細2	雲仙市愛野町乙
①	事業場1	雲仙市愛野町甲
②	事業場2	雲仙市愛野町乙
③	事業場3	雲仙市愛野町甲
④	事業場4	雲仙市愛野町甲

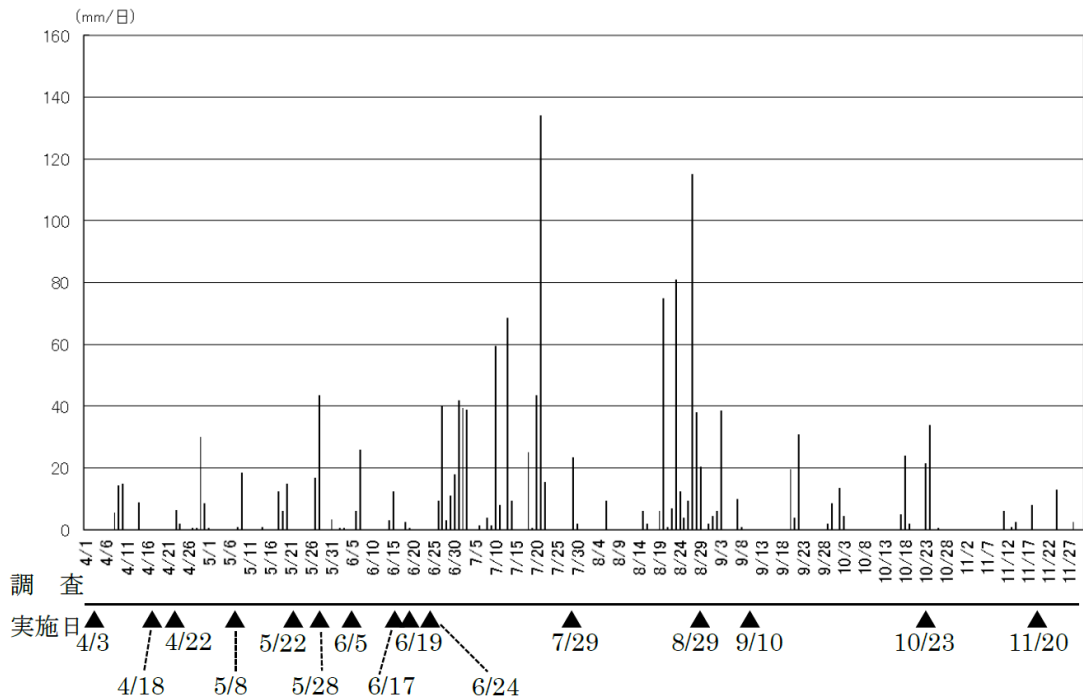


図2 調査実施日及び日降水量

## 結果及び考察

### 1 負荷源推定

本調査では、有明川へ流入する支流や主な水路を中心に、有明川流域を10流域に区分し、それぞれの流域で水質調査などによる負荷源調査を実施した。調査の結果、負荷源としては、生活排水や事業場、農地などが推察されたので、以下にこれらの負荷源推定に関する調査結果の一部を記載する。

### (1) 地点12上流域 (図3)

地点13から地点12の間は約650 mあり、流れはいつも緩やかだった。地点12-1から地点12-2付近にはヨシが密生しており、川の水面が見えないところもあった。また、川の両岸には農地が広がっており、主に米や麦が生産されている。さらに、地点12-2から地点13の南側には山があり、山の周囲や山中には住宅や、し尿処理施設、繊維製品製造業といった事業場がある。



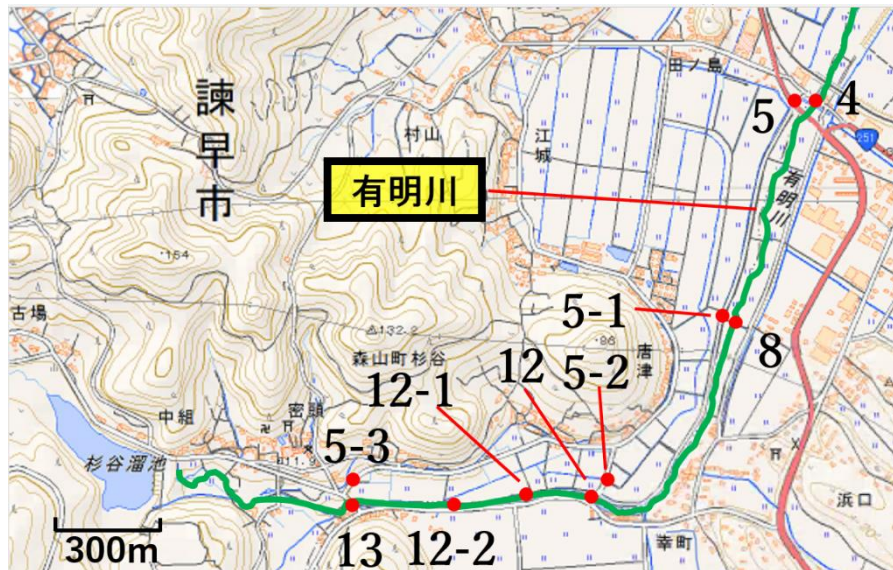


図3 調査地点の概況図

4月3日に実施した水質調査結果の内、有明川本流に設置した地点だけの結果をまとめると表2のようになる。地点間でCOD、T-N、T-P、SSの濃度の上昇幅が最も大きかったのは、いずれの項目でも地点13から地点12間となっていた。そこで、地点12と地点13間の負荷源推定のため、5月8日に、地点8、地点12、地点13、地点12-1及び地点12-2で水質調査を実施したところ表3の結果となった。この結果から、COD、T-P及びSSについて、地点13から地点12-2の間で最も濃度が上昇していたため、周辺踏査を実施した。すると、地点12-2の上流部に河川南側からの流入水路(図4)が確認できたため、地点12-2の結果は、この流入水の影響を受けたと推察される。当該水路は河川南方向の山中から続いており、山の入口付近に柵が設けてあったため(図5)、それより上流の水路の状況は確認できなかったが、周辺事業場への聞き取り情報によると、近隣の農業集落排水施設及び繊維製造業の排水が合流したものとのことだった。地点12-2の濃度上昇には、当該流入水の影響があると思われるので、負荷源としては、事業場排水や山林

からの流入水が考えられる。

さらに、表3より、地点12-2から下流の地点12-1へ至るとCOD、T-N、T-P濃度が一旦減少した後に、地点12で再度それらの濃度が上昇していることが分かる。しかし、地点12-1から地点12の間に大きな流れ込みは確認されなかったため、地点12の河川状況に着目した。地点12には唐津橋が架かっていて川幅が約20 mあり、有明川上流域から中流域においては川幅が広い箇所となる。また傾斜も少なく川の中にヨシなどが繁茂している場所なので、流れが非常に穏やかとなりコイなどが生息している。川底には、魚が泳ぐと著しい濁りが発生するほど、泥が大量に堆積しているため、この泥の影響について水質調査を試みた。地点12において、静穏時と、魚が泳いだことで泥が巻き上げられた後の水を採取し調査を行ったところ、表4の結果となった。COD、T-N、T-P、SSのいずれの項目でも、大幅な濃度上昇が見られたため、地点12の濃度上昇の要因の一つとして、地点12周囲の川底に堆積した泥の巻き上げがあると推察される。

表2 水質調査結果 (4月3日実施)

(単位: mg/L)

地点名	COD	T-N	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	T-P	PO <sub>4</sub> -P	SS
地点4	4.4	5.5	5.2	0.03	0.04	0.28	0.19	9
地点8	5.8	5.4	5.0	0.05	0.06	0.50	0.34	16
地点12	9.9	5.0	4.3	0.11	0.14	1.4	1.0	91
地点13	5.0	3.5	2.8	0.02	0.03	0.22	0.18	2

表3 水質調査結果 (5月8日実施)

(単位: mg/L)

地点名	COD	T-N	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	T-P	PO <sub>4</sub> -P	SS
地点8	7.5	3.8	3.4	0.08	0.12	0.44	0.29	31
地点12	10	2.6	1.5	0.12	0.17	0.68	0.48	67
地点12-1	7.5	1.7	1.2	0.06	0.09	0.32	0.20	25
地点12-2	8.4	2.0	1.1	0.15	0.22	1.2	1.0	12
地点13	5.3	2.9	2.7	0.02	0.04	0.22	0.18	3



図4 地点12-2上流の流れ込み



図5 河川への流入水路の状況

表4 水質調査結果 (5月22日実施)

(単位: mg/L)

地点名	COD	T-N	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	T-P	PO <sub>4</sub> -P	SS
地点12(静穏時)	9.9	3.8	2.5	0.22	0.36	0.95	0.74	25
地点12 (魚による巻き上げ後)	32	5.3	2.5	0.23	0.55	2.3	0.64	360

## (2) 地点5南西部流域 (図3)

地点5南西部には広い平地が広がっていて、主に農地として使われており、地点5-1から上流域においてやや幅は狭くなるが、地点5-3の東側まで続いている。この地域の農業用水の一つは、地点5-3を通る水を上流端とし、途中で交差する道路を暗渠などで通過して、地点5-2から地点5-1を経由した後に地点5の樋門へ至り、有明川へ流入していく。

地点5南西部流域は広いため、代かきも上流域から始まり、下流域の水田へ日にちを過ぎながら実施されていった。代かき時、用水路の水位は水田の水位と同じ高さに維持され (図6)、多くの水田では適切に止水されていたが、一部に止水が不十分な水田もあるため泥が流出し、水は茶色に濁っていた (図7)。代かきの影響を調べるために、代かきが実施された期間に、地点5及び地点5-1～地点5-3で水

質調査を実施したところ表5の結果となった。また、代かき前及び代かき後となる5月28日及び7月29日の結果も併せて表5に記載した。

まず、6月17日には地点5-3から地点5に至る用水路の水位が上昇しており、水もやや濁っていたが茶色ではなかった。当該用水路の上流となる地点5-2の周囲では、一部の水田に水が入れられ、代かき関連の作業が開始されていた (図8)。5月28日と6月17日の結果を比べると、地点5及び地点5-2の両地点で、NO<sub>3</sub>-Nの減少に伴うT-N濃度の低下が見られ、地点5-2ではPO<sub>4</sub>-Pの増加に伴うT-P濃度の上昇が見られた。SS濃度の上昇は見られないので、6月17日の時点では、溶存成分に関する影響が始まっていたと考えられる。

次に、6月19日には地点5-2周辺 (図6) で、6月24日になると地点5-1周辺 (図9) でも本格的に代かき



図6 地点5-2周辺 (6月19日)

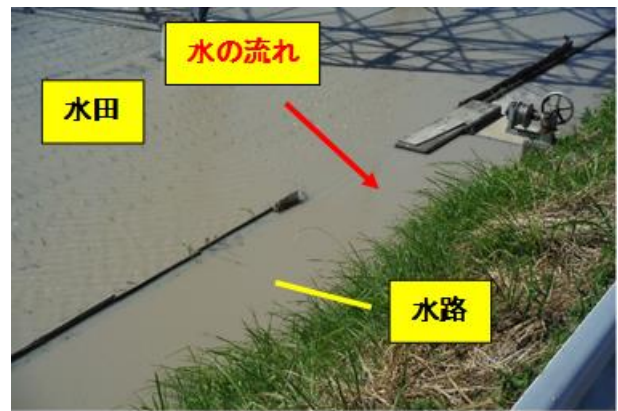


図7 止水が不十分な水田 (6月24日)

表5 水質調査結果

(単位: mg/L)

調査日	地点名	COD	T-N	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	T-P	PO <sub>4</sub> -P	SS
5月28日	地点5	8.5	3.6	2.7	0.02	0.03	0.25	0.19	9
	地点5-2	7.3	3.2	2.4	<0.02	0.07	0.24	0.14	16
6月17日	地点5	8.3	2.4	1.9	0.03	0.06	0.33	0.25	7
	地点5-2	8.5	1.8	0.80	<0.02	0.46	0.49	0.43	10
6月19日	地点5-2	28	2.5	0.36	0.04	0.12	2.0	0.47	570
	地点5-3	7.5	0.43	<0.02	<0.02	0.01	0.026	<0.003	4
6月24日	地点5	31	2.9	0.25	<0.02	0.22	2.4	0.83	320
	地点5-1	28	2.5	0.30	<0.02	0.41	1.9	0.63	560
7月29日	地点5	5.7	1.0	0.65	<0.02	0.08	0.28	0.17	31
	地点5-1	6.3	0.94	0.35	<0.02	0.05	0.42	0.25	28
	地点5-2	2.5	0.79	0.42	<0.02	0.10	0.098	0.072	8



図8 地点5-2上流 (6月17日)

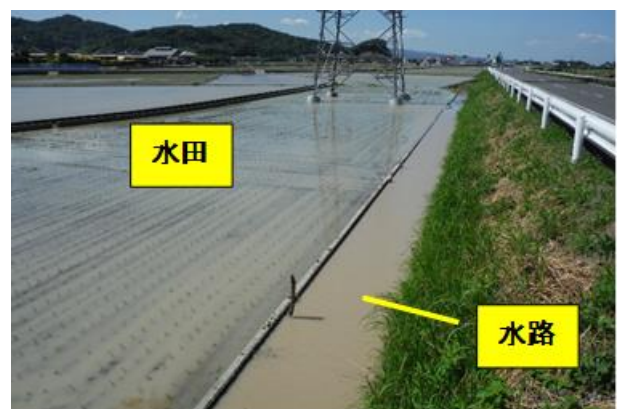


図9 地点5-1上流 (6月24日)

が実施されていた。両日の地点5、地点5-1及び地点5-2の結果をしてみると、COD:28~31 mg/L、T-P:1.9~2.4 mg/L、SS:320~570 mg/Lと非常に高濃度となっており、水田地帯よりも上流の地点となる地点5-3の結果と比較すると、代かきの影響が強かったことが推察される。

代かきが終わり、約1ヶ月後の7月29日には、当該用水路流域の水田では中干しの時期に入っており、水を抜いている水田が多く、用水路の水位も水田より低く維持され茶色の濁りも無かった(図10)。この日の水質調査結果をしてみると、地点5、地点5-1及び地点5-2では、代かき時と比べてCOD、T-N、T-P



図10 水田及び用水路の状況(7月29日)

及びSSのいずれの濃度も低下していることが確認された。なお、T-Nの濃度変化については、表5の地点5-2の結果から次のような過程が一考察として考えられる。まず、5月28日(代かき前)から6月17日(水田への水入れ時期)にかけては、用水路の水が水田を通る間に、水田内で脱窒菌による脱窒作用が起き、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が消費されることでT-N濃度が減少する。6月19日になると、さらに脱窒が進み $\text{NO}_3\text{-N}$ が消費されていく一方で、代かきが実施されることにより懸濁態T-Nが増加するため、T-N濃度としての変化は小さく見える。それから1ヵ月後の7月29日には、用水路の水位は高く維持されており水の入れ替わりが少ないことに加え、水田内を通った水は脱窒の影響を受けるので、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は低い状態が継続している。1ヶ月前との差としては、SSの低下から懸濁成分の減少が大きいことが分かるが、これに伴い懸濁態T-N濃度が減少することでT-N濃度も減少したと考えられる。なお、 $\text{NH}_4\text{-N}$ については、代かき前の施肥で濃度がやや上昇するが、代かき後には、稲への取り込みや水田内での硝化菌による硝酸化成作用、泥への吸着などにより、施肥前の水準まで濃度が低下している。

### (3) 事業場

有明川は、諫早市及び雲仙市の市境を流れており、本調査における下流域地点(地点4～地点6)付近で国道57号線と、最下流域地点(地点1及び地点2)付近で国道251号線と交差している。有明川の河川そばには、支流も含めて農地が広がっている所が多いが、流域面積が約9.90  $\text{km}^2$ と広いため、様々な規模、業種の事業場も点在している。有明川と国道57号線との交差箇所付近には、飲食店、コンビニ、郊外型の量販店、スーパー、給油所、美容所、理容所、遊技場、学校、幼稚園や病院等の事業場が集ま

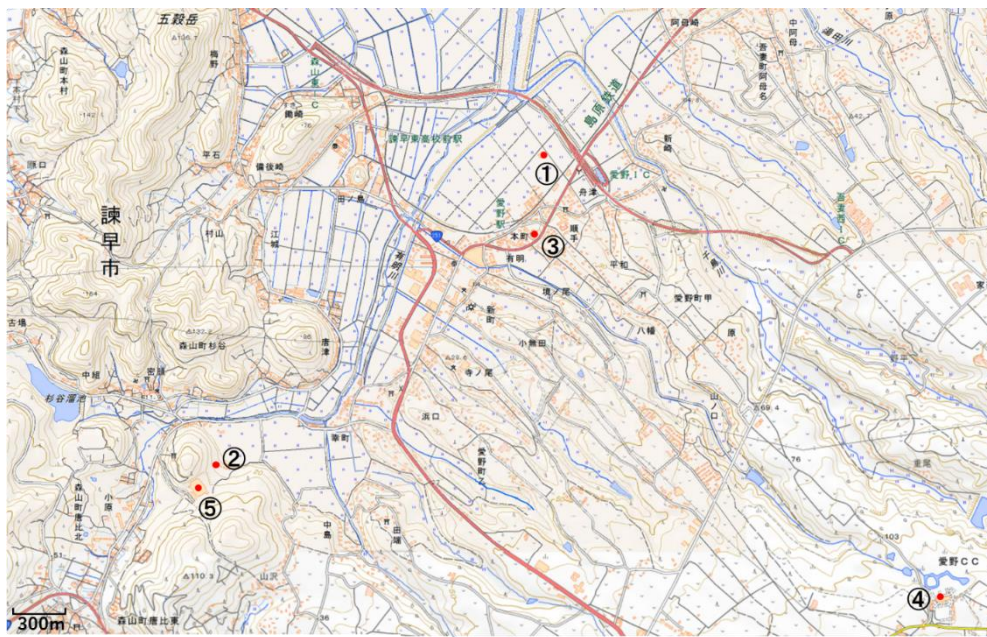
っており、それ以外のところにも、繊維製品製造業やし尿処理施設、ゴルフ場、畜産農業、保存食料品製造業等の事業場がある。これらの事業場の内、水質汚濁防止法(以下「水濁法」という。)に基づく特定事業場においては、県が実施している立入検査の結果、各事業場とも法令に規定された排水基準を満たす排水を排出していることが確認されている。

有明川(本明川水系)における水濁法のT-N及びT-Pの一律排水基準は、T-N:120  $\text{mg/L}$ (日間平均60  $\text{mg/L}$ )、T-P:16  $\text{mg/L}$ (日間平均8  $\text{mg/L}$ )であり、排水量50  $\text{m}^3/\text{日}$ 以上の特定事業場のみに適用される。また、有機汚濁の指標である生物化学的酸素要求量(BOD(有明川に排水を放流する場合BOD規制となる))及びCOD、SSについては、県独自に水濁法より厳しい排水基準(表6)を設けている。排水基準以下であれば法的には問題ないが、特に排水量が大きな特定事業場は、河川の負荷源となっている可能性があるため、有明川流域の特定事業場の内、排水量が10  $\text{m}^3/\text{日}$ 以上のものについて確認すると、図11に示すように5事業場存在する。この5事業場の排水量の合計は約2,400  $\text{m}^3/\text{日}$ あり、有明川流域で水濁法に基づき届出が行われている特定事業場の全排水量の90%以上を占めているので、これらの事業場が河川水質へ与える影響は、特に大きいと考えられる。そこで、当該事業場の内、地点番号①～④の事業場について、8月29日に県立保健所の立入調査と併せて、排水の水質調査を行ったところ、表7の結果となった。いずれの項目でも、排水基準超過は見られなかったが、主な測定項目の範囲は、COD:4.0～10  $\text{mg/L}$ 、T-N:2.4～19  $\text{mg/L}$ 、T-P:0.51～3.6  $\text{mg/L}$ となっており、これを九州農政局が2018年度に実施した有明川の水質調査結果(調査地点:鉄道橋下流)COD75%値:3.9  $\text{mg/L}$ 、T-N:4.83

表6 県で規定する本明川水系に係る排水基準

区域	区分		1日の平均的排水量 (単位 立方メートル)	許容限度(単位 1リットルにつきミリグラム)						適用の日	
				生物学的酸素要求量		化学的酸素要求量		浮遊物質			
				日間平均	最大	日間平均	最大	日間平均	最大		
本明川及び潮受堤防と本明川の下流端の間の公共用水域並びにこれらに流入する公共用水域	すべての特定事業場の	既設のもの	下水道処理区域に所在するもの	10以上	20	30	20	30	40	50	昭和59年10月1日から
			その他の区域に所在するもの	50以上	20	30	20	30	40	50	
				20以上50未満	120	160	120	160	150	200	
	新設のもの	下水道処理区域に所在するもの	10以上20未満	120	160	120	160	150	200	昭和60年10月1日から	
			10以上	20	30	20	30	40	50		
			50以上	20	30	20	30	40	50		
新設のもの	その他の区域に所在するもの	10以上50未満	60	80	60	80	80	100	昭和58年10月1日から		
		50以上	20	30	20	30	40	50			

- 1 「新設のもの」とは、昭和58年10月1日以降特定施設を設置する工場、事業場（昭和58年10月1日において既に着工されているものを除く。）をいう。
- 2 「下水道処理区域」とは、下水道法（昭和33年法律第79号）第2条第8号に規定する処理区域をいう。
- 3 生物学的酸素要求量についての排水基準は、海域及び湖沼以外の公共用水域に排出される排水に限り適用し、化学的酸素要求量についての排水基準は、海域及び湖沼に排出される排水に限り適用する。



(特定事業場の種類)

- ①：し尿処理施設      ②：し尿処理施設      ③：し尿処理施設
- ④：飲食店のちゅう房施設      ⑤：繊維製品製造業の染色施設

図11 有明川流域の水濁法に基づく特定事業場（排水量10 m<sup>3</sup>/日以上）

mg/L、T-P:0.242 mg/Lと比較すると、ほとんどの事業場の測定結果が上回っており、当該5事業場のように排水量が大きな事業場は、一定の負荷源となっていると推察される。

また、有明川及びその流域は時期や天候によって、水量が少ない箇所が発生するため、排水量が比較

的小さな事業場でも、河川水質へ影響を与える可能性がある。表8は、11月20日に実施した木場川の最上流地点10-4の水質調査結果だが、周辺事業場からの流入と思われる泡の浮いた排水（図11）の影響で、河川水の水質がCOD:170 mg/L、T-N:36 mg/L、T-P:3.0 mg/L、SS:120 mg/Lと非常に高い濃度と

表7 事業場排水調査結果 (8月29日実施)

(単位: mg/L)

地点番号	COD	T-N	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	T-P	PO <sub>4</sub> -P	SS	Cl <sup>-</sup>
①	7.7	2.4	0.74	0.09	0.81	2.9	2.8	3	41
②	6.5	8.0	6.6	<0.02	0.01	3.6	3.6	1	59
③	10	19	13	0.08	3.0	3.3	3.2	5	52
④	4.0	7.6	5.1	<0.02	<0.01	0.51	0.42	6	14

表8 水質調査結果 (11月20日実施)

(単位: mg/L)

地点名	COD	T-N	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	T-P	PO <sub>4</sub> -P	SS	Cl <sup>-</sup>
地点10	2.8	7.5	6.5	<0.02	0.02	0.088	0.066	2	18
地点10-4	170	36	8.9	0.33	2.2	3.0	0.24	120	450



図11 地点10-4 (左図) 及び地点10-4への流入水路 (右図)

なった。当該地点の周囲に排水量が大きい水濁法に基づく特定施設は無いが、菓子製造を行っている事業場などが有り、河川水が事業場排水の影響を受けた事例と考えられる。この日は、最下流の地点10で通常時の水準まで各項目の濃度は低下しているが、このような局所的な異常値が継続すれば、人の生活環境や生物相への影響が生じる可能性がある。なお、原因者が排水量の小さな事業場であれば、下水道や農業集落排水への接続が有効な浄化対策となり得る。

今後は、排水量が大きな事業場を中心に、広く流域の事業者へ啓発を行い、より高度な排水処理への転換や排水処理施設の適切な維持・管理等により、負荷が小さな排水の排出に努めてもらうことが必要と考えられる。

#### (4) 生活排水

諫早市では、一般廃棄物処理基本計画(計画期間:2011年度~2020年度)や下水道経営戦略プラ

ン(計画期間:2017年度~2026年度)に基づき下水道事業を推進しており、第2次諫早市総合計画(計画期間:2016年度~2025年度)に定める「快適なまちづくり」の施策の一つとして、生活排水対策に取り組んでいる。下水道経営戦略プランによると、有明川流域が含まれる田尻・杉谷処理区(諫早市森山町)には、農業集落排水施設である田尻・杉谷アクアリフレッシュセンター(所在地:諫早市森山町田尻)が設置されており、表9のような状況になっている。

また、雲仙市でも、雲仙市一般廃棄物処理基本計画(計画期間:2018年度~2027年度)や下水道事業経営戦略(計画期間:2017年度~2026年度)が策定されており、第2次雲仙市総合計画の基本方針の一つである「社会基盤と環境」の中の施策として、生活排水対策に取り組んでいる。有明川流域においては、農業集落排水施設として愛野東部エコ・クリーンセンター(所在地:雲仙市愛野町甲)及び愛野

表9 諫早市森山町（有明川流域）の農業集落排水施設の状況

2016年3月31日現在

供用開始	地区	施設の種類の	処理区域	処理区域内人口 ①	接続人口* ②	接続率 (②/①)
1998年	田尻・杉谷	農業集落排水施設	42.2ha	1,410人	1,255人	89.0%

\*: 処理区域内人口のうち下水道等へ接続している人口

表10 雲仙市愛野町（有明川流域）の農業集落排水施設等の状況

2017年3月31日現在

供用開始	地区	施設の種類の	処理区域	処理区域内人口 ①	接続人口 ②	接続率 (②/①)
2001年	愛野東部	農業集落排水施設	48.8ha	1,841人	1,323人	71.9%
2001年	愛野西部	農業集落排水施設	83.2ha	3,240人	2,794人	86.2%
2004年	愛野(野平・重尾)	小規模集合 排水処理施設	29ha	107人	75人	70.1%

西部エコ・クリーンセンター（所在地：雲仙市愛野町乙）が設置され、共に2001年から供用が開始されている。さらに、有明川流域の野平・重尾地区（雲仙市愛野町）には、小規模集合排水処理施設が設置されており、雲仙市一般廃棄物処理基本計画によると、各処理区域における状況は、表10のようになっている。

生活排水処理対策としては、諫早市、雲仙市共に、生活排水処理基本計画の中で、下水道や農業集落排水施設といった集合処理施設の整備や適正な維持管理を継続することが挙げられている。集合処理施設での生活排水処理が有効に機能するための前提は、処理区域の住民が下水道等への接続を行うことであり、長崎県全体で見ると、2015年度末時点における下水道等の集合処理施設への接続率は91.7%となっている<sup>3)</sup>。ところが、有明川流域においては、表9及び表10から、接続率は70.1～89.0%となっており、県全体と比較するとやや低い数字となっている。下水道等への接続を行わず、合併浄化槽も設置

していない家庭からの排水は、一軒ごとの負荷は小さいが、対象となる軒数が多いため、総量として一定の負荷源になっていると推察される。なお、九州農政局が行った推計によれば、2017年度における調整池に流入する負荷源について、図12のようになっており、生活系からの負荷が10%程度あると考えられている。

今後は、両市の生活排水処理基本計画にもあるように、集合処理施設の整備や適正な維持管理と併せて、流域住民に対して身近な自然環境保全を目的とした啓発を行うことで、下水道等への接続率を向上させていく必要があると考えられる。また、地理的な理由等で集合処理施設での処理が困難な地域については、これまで同様に合併浄化槽の普及促進が負荷削減への有効な手段となる。なお、下水道等への接続による負荷削減効果は事業場に関しても同様のことが言えるため、下水道等の普及は有明川の環境保全対策として非常に有効な手法である。

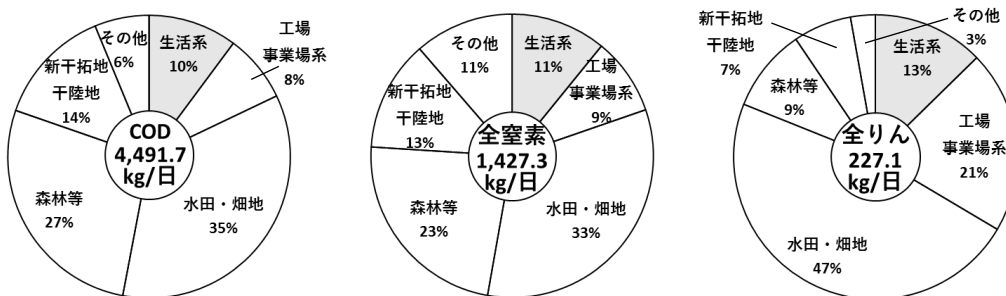


図12 調整池へ流入する1日当たりの推定負荷量及び推定負荷源 (2017年度時点)

## 2 対策のまとめ

推定した有明川流域の負荷源に有効と思われる対策について、負荷源ごとに以下に記載する。

### (1) 生活排水

- ・流域住民へ啓発を行い、河川環境保全、農業集落排水施設等への接続、浄化槽設置への雰囲気醸成する。
- ・浄化槽の設置者である住民へ、浄化槽の保守点検、清掃、検査の適正な実施に係る啓発を行い、検査結果等に基づき県立保健所などの関係機関が指導や助言を実施する。

### (2) 事業場排水

- ・事業者へ啓発や技術的助言を行い、農業集落排水施設等への接続や排水処理施設の維持、管理の徹底など、河川への負荷削減の取組を推進する。

### (3) 面源（水田、畑地）

- ・営農者へ啓発を行い、水田における浅水代かきの普及、代かき時の止水の徹底及び畑地でのカバークロープ栽培や肥料の適正使用などの環境保全型

農業を推進させる。

- ・有明川流域の用水路は、堰や水門が一定の距離に設けられており、灌がい期に水を溜める仕組みとなっている。そのため、代かき後などに見られる茶色に濁った用水路の水を堰から下流に流す前に、水路に溜まった泥などの懸濁成分を除去すれば、負荷削減効果は大きいと思われる。

## 参考文献

- 1) 九州農政局:九州農政局ホームページ 諫早湾干拓事業環境モニタリングデータ等の公表について <https://www.maff.go.jp/kyusyu/seibibu/info/20060823.html> (2020.3.24アクセス)
- 2) 気象庁:気象庁ホームページ 過去の気象データ検索, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2020.3.24アクセス)
- 3) 長崎県:長崎県汚水処理構想2017

## Water Quality of the Ariake River Basin, Isahaya Bay

Nobutaka URA, Yuka MAEDA, Atsuko MORI

Environmental standards are yet to be met in the regulating reservoir developed during the state-operated Isahaya Bay land reclamation project although various measures have been taken based on the third period action plan for the preservation and creation of a water-front environment near the regulating reservoir. Therefore, we investigated the Ariake river which has a high chemical oxygen demand (COD), total nitrogen (T-N) and total phosphorus (T-P) among the rivers that drain into the regulating reservoir. We conducted a water quality survey and patrol investigation to determine the causes of load increases in order to establish necessary measures for this area. Since the load sources include farmlands, workplaces, and domestic wastewater, we proposed measures that were applicable to all these sources. It is important to conduct similar investigations of the main rivers that drain into the reservoir with much higher flow and load concentration and consider the load reduction measures that would be suitable for each river in the future.

Key words: Isahaya Bay land reclamation, regulating reservoir, environmental standard, water quality survey, load source



# 再生砂による浅場づくり実証試験事業 平成31年度事後調査結果

## —底生生物の多様性について—

粕谷 智之

平成31年度事後調査結果を基に、大村市森園地先に再生砂を覆砂して造成した浅場の現況を生物の多様性を含めて検討した。覆砂区のアサリ生息密度は、新規加入したアサリが多数出現したことによって大きく増加した。しかし、加入する時期によっては、台風による底質攪乱などによって新規加入群が斃死する可能性があることから、安定したアサリ生息密度を維持するためには、台風通過時の波浪などに対する対策を講じる必要がある。

生物の多様度を表す指数としてRI指数に着目した。出現種全体を対象としたRI指数は、青潮発生による大量斃死の影響と思われる値の低下が見られたことから、全局的な環境変化の影響を検討するツールとして有効である。生物群別のRI指数をプロットしたレーダーチャートの形状は、対照区のような、生物の生息場として成熟している自然の浅場では大きく変化しなかった。今後、維持すべき覆砂区の状況を定めるためにも、覆砂区とほぼ同じ環境である自然の浅場を対照に加え、RI指数のレーダーチャートを比較することによって、覆砂区の成熟状態を把握することが重要である。

キーワード: 干潟、アサリ、二枚貝、大村湾、親水性

### はじめに

長崎県の本土中央に位置する大村湾では海への栄養蓄積進行にともなう水環境の悪化が問題となっている。長崎県環境保健研究センターでは、平成19年度より、アサリなどの二枚貝を増やして漁獲することによって海から栄養物質を取り上げる環境改善手法を研究してきた<sup>1, 2)</sup>。得られた成果を基にして、県環境部では平成26年度から「再生砂による浅場づくり実証試験事業」を開始した。この事業は、アサリの幼生が集まりやすいと予想される大村湾内の数カ所の海域に、廃ガラスなどを砕いた再生砂を覆砂して二枚貝の生息場とするものであり、1カ所目として平成28年6月に大村市森園地先(以降、森園)に1ha規模(200m×50m)の浅場を造成した(図1)。さらに、平成30年度には、時津町崎野自然公園地先に、森

園と同様に廃ガラスの再生砂を覆砂して、広さ、0.1haの浅場を造成した(図1)。

本事業では、県環境保健研究センターは覆砂効果の検証を担当しており、覆砂した区画(覆砂区)と覆砂しなかった区画(対照区)における、覆砂前(事前調査)と覆砂後(事後調査)のアサリ生息密度などをモニタリングしている<sup>3)</sup>。本報告では、森園における平成31年度事後調査結果を基に、覆砂区のアサリ生息密度の変動要因を把握するとともに、生物多様性について検証した。

### 材料と方法

調査日程を表1に、調査測点を図2に示す。底生生物の採集は枠取りで行った。30×30cm枠内の海底の土砂を深さ10cm程度まで採取した後、目合

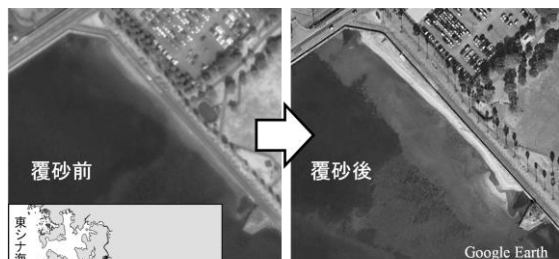


図1 「再生砂による浅場づくり実証事業」実施場所と大村市森園地先における覆砂前後の状況比較

表1 森園における調査日程

	底生生物(アサリ密度および殻長)				底質(中央粒径、強熱減量など)				
	覆砂区		対照区		覆砂区		対照区		
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.1	St.2	St.3	St.4	
事前調査	2014年10月24日	○	○	○	○	○	○	○	○
	2015年1月26日	○	○	○	○	—	—	—	—
	2015年8月13日	○	○	○	○	○	○	○	○
事後調査	2016年9月26日	○	○	○	○	○	○	○	○
	2017年1月17日	○	○	○	○	○	○	○	○
	2017年8月18日	○	○	○	○	○	○	○	○
	2018年1月10日	○	○	○	○	—	—	—	—
	2018年8月21日	○	○	○	○	○	○	○	○
	2019年1月9日	○	○	○	○	○	○	○	○
	2019年8月27日	○	○	○	○	○	○	○	○
	2020年1月16日	○	○	○	○	○	○	○	○



図2 森園の調査地点位置図

1 mm の篩にかけ、残ったものの中から目視で底生生物を取り出した。枠取りは1測点当たり3回行い、合わせて1サンプルとした。得られた底生生物は可能な限り種まで同定し、個体数を計数するとともに、アサリについては最大30個体または100個体までを無作為に選んで殻長を計測した。

底質は口径35 mm、長さ50 cmのアクリルパイプを用いて採取した。パイプを海底に深さ10 cm程度まで差し込み、金属製のヘラを使ってパイプ下部を塞いだ後、パイプ内部の底質が落ちないようにゆっくりと引き抜いた。パイプ内の海水を静かに排水した後、底質をサンプルビンに移した。採取は1測点当たり3回行い、合わせて1サンプルとした。

底生生物の生息密度に関わる項目として、中央粒径、強熱減量、泥分率を、それぞれ JISA1204(ふるい分析)、底質調査方法(平 24)II 4.2、および 4.3 に従い分析した。

生物多様性の検討には中村の RI 指数<sup>4)</sup>を用いた。RI 指数は必ず 0~1 までの値をとり、1 に近いほど種数と個体数が多い(多様度が高い)ことを表すことから、一般的な印象に近い結果が得られる。そこで、出現した底生生物の個体数を6段階に分けて、種ごとにランク値を当てはめ、次式によって RI 指数を求めた(参考資料参照)。

$$RI = \sum Ri / \{S \times (M-1)\}$$

ここで、S は種数、Ri は i 番目の種の個体数ランク、M は個体数ランクの段階数(すなわち、6段階:0, 1, 2, ..., 5)を表す。

## 結果

### 1 アサリ生息密度と殻長組成

森園におけるアサリ生息密度の推移を図3に示す。

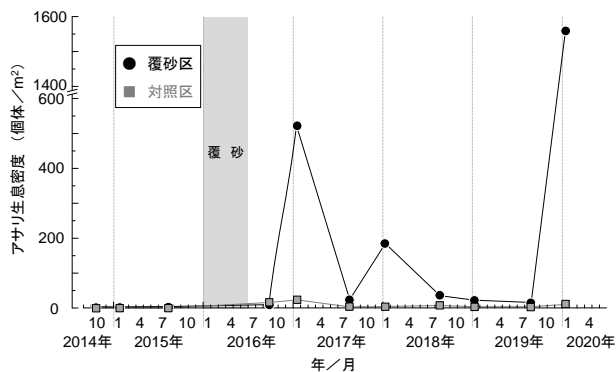


図3 森園におけるアサリ生息密度の推移

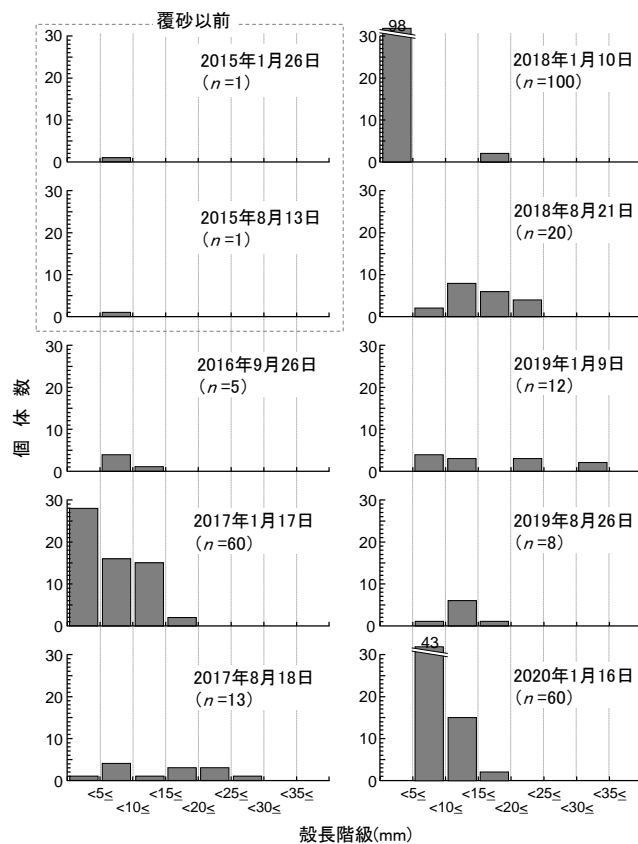


図4 森園の覆砂区におけるアサリの殻長組成図

2019年度は2019年1月に新規加入した個体数が非常に少なかったことから、生息密度は2019年8月に14個体/m²まで低下したが、2020年1月には1559個体/m²まで増加した。一方、対照区におけるアサリ生息密度は、2019年8月で2個体/m²、2020年1月では11個体/m²であり、覆砂区と比較して非常に低い結果となった。

覆砂区のアサリ殻長組成の推移を図4に示す。2019年8月は殻長20 mm以上の個体は出現しなかった。2020年1月は新規加入群と思われる殻長5~

10 mm の個体が多く出現したものの、8 月と同様に殻長 20 mm 以上のアサリは出現しなかった。

## 2 底質

森園における底質の推移を図 5 に示す。覆砂して以降、中央粒径値は覆砂区では 1 mm 前後で推移していたが、2019 年 8 月は 1.6 mm、2020 年 1 月は 1.4 mm となり、上昇する傾向が見られた。一方、対照区の中央粒径値は、2019 年 8 月および 2020 年 1 月ともに 0.2 mm であり、変化は見られなかった。

泥分率は覆砂の前後を通じて、2018 年 8 月までは覆砂区では 6%~8% の範囲であったのに対して、対照区では 4%~6% の範囲であり、覆砂区で高い傾向が見られた。しかし、覆砂区では 2019 年 1 月に 2.7% に低下し、2019 年 8 月および 2020 年 1 月調査においても、それぞれ 2.1% および 2.5% であり、対照区の 3.2% および 4.6% よりも低い状態であった。

強熱減量は、覆砂以前は覆砂区で 2.2%、対照区で 1.8% であり、覆砂区で高かったが、覆砂以降は覆砂区で 0.5%~1.1%、対照区では 1.7%~2.6% で推移し、覆砂区で低くなった。

アサリの成育に良いとされる底質環境は、中央粒径値で 0.5~4 mm、泥分率では 2~30%、強熱減量で 3.0% 未満である<sup>5,6)</sup>。覆砂区の底質はいずれもこれらの範囲内にあり、2020 年 1 月時点で覆砂効果の持続が確認された。

## 3 生物多様性

算出した森園における RI 指数の推移を図 6 に示す。覆砂区の RI 指数は、覆砂以前は 0.066 および 0.045 であったのに対して、覆砂以降は 0.087~0.143 の範囲に上昇した。同様に、対照区の RI 指数は、覆砂以前は 0.566 および 0.041 であったのに対して、覆砂以降、0.071~0.130 の範囲に上昇した。RI 指数は覆砂区と対照区で比較すると、覆砂区でやや高い傾向が見られるものの、同じ変動を示した。しかし、2019 年 1 月においては、RI 指数は覆砂区の 0.143 に対して、対照区では 0.0867 であり、覆砂区で顕著に高い結果となった。

生物群ごとの RI 指数を図 7 に示す。覆砂区では、覆砂以前は多毛類の RI 指数が 0.15 と最も高く、二

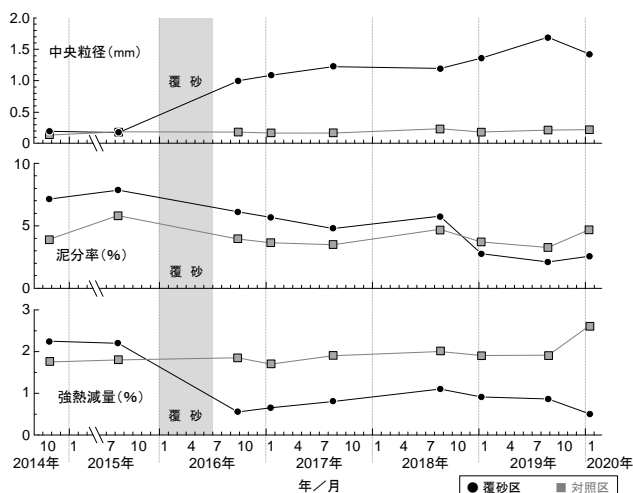


図 5 森園における底質の推移

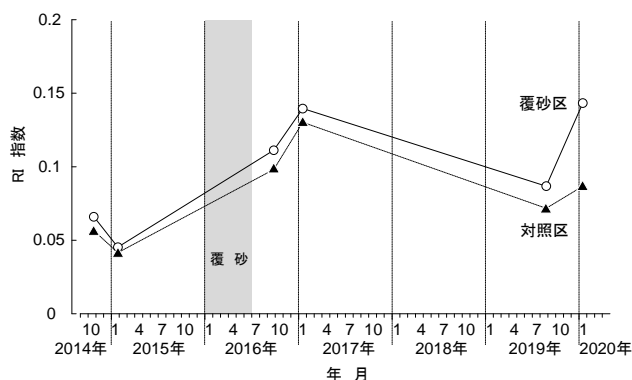


図 6 森園における生物多样性(中村の RI 指数)の推移

枚貝類や腹足類は 0.05 以下であった。覆砂以降、多毛類の RI 指数は、2017 年 1 月は 0.24 と高かったものの、その他の調査では 0.036~0.1 の範囲となり、覆砂以前より低下した。また、腹足類および二枚貝類は、覆砂以降それぞれ 0.12~0.19、および 0.11~0.21 の範囲となり、覆砂以前より上昇した。端脚類・等脚類および十脚類の RI 指数は、覆砂以前はそれぞれ 0.090 と 0.018 および 0.080 と 0.020 であったのに対して、覆砂以降は 0.036~0.12 および 0~0.10 の範囲となり、大きな変化は見られなかった。一方、対照区における生物群ごとの RI 指数は、覆砂区と異なり生物群間で大きな差は見られなかった。

## 考 察

### 1 アサリ生息密度の変動要因

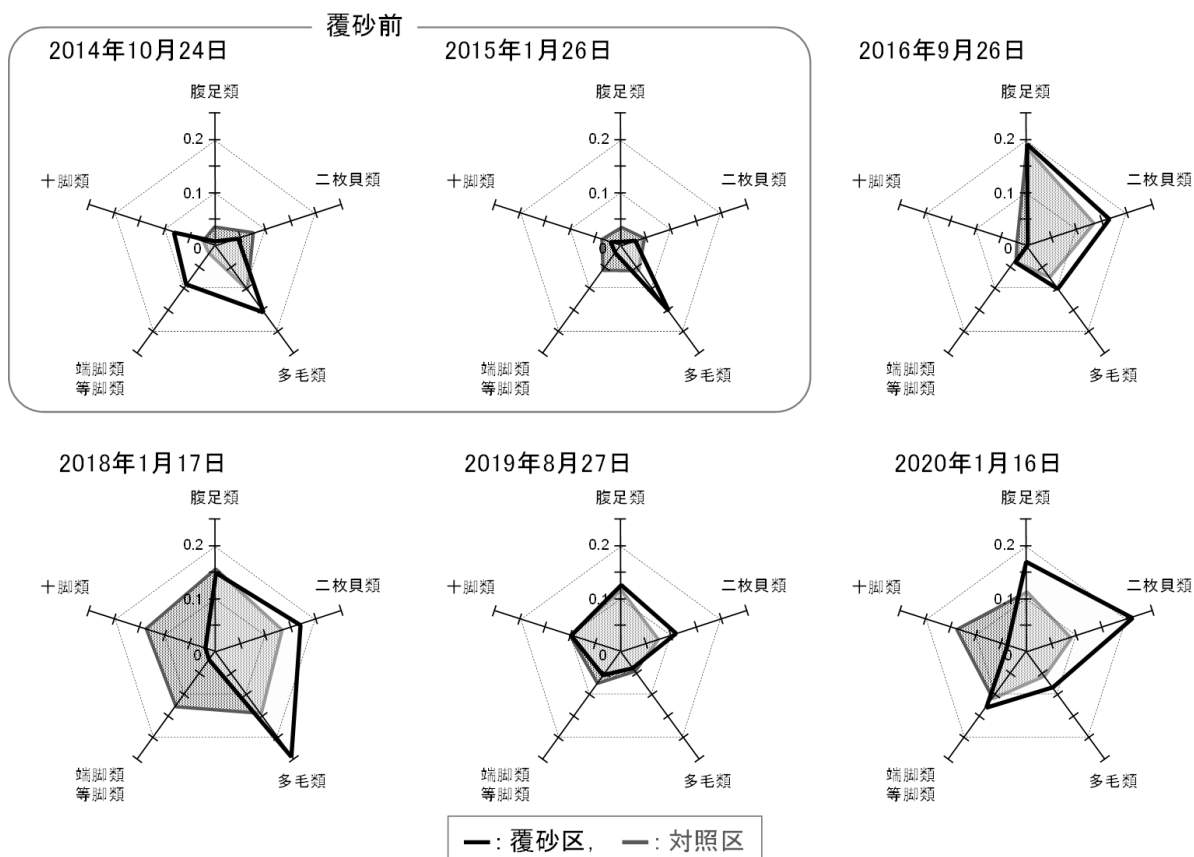


図 7 覆砂区および対照区における生物群ごとの RI 指数の比

これまでに行った事後調査結果から、①森園におけるアサリ生息密度は、アカエイなどの捕食によって夏期に大幅に減少するものの、夏期に生まれた個体群の新規加入によって冬期には回復すること、②台風による底質の攪乱は新規加入個体群の生残に大きく影響すること、などが明らかとなった<sup>3)</sup>。2020年1月のアサリ生息密度は1500個体/m<sup>2</sup>以上に達し、これまでで最大となった。これらの個体群が産まれたと予想される2019年の夏期は、2018年と同様に多数の台風が長崎県に接近または上陸し、特に9月22日～23日にかけて接近した台風17号は、県下に大きな被害をもたらした。2019年8月および2020年1月の調査では、底質の泥分率や強熱減量が2018年よりも低下していることから、森園においては底質の大きな攪乱があったと考えられる。

図4中の2018年1月と2020年1月のアサリ殻長組成を比較すると、2020年は殻長5mm未満の個体は採集されず、殻長5mm以上の個体が多く出現した。アサリは、着底後、殻長が数mmとなるまでの間は、海底のごく表面にあり、成長とともに砂中に深く潜るようになる<sup>7)</sup>。潜砂深度は波浪に対する抗堪性に係る

ことから<sup>8)</sup>、アサリが着底する時期が新規加入個体群の初期減耗に係っている可能性がある。したがって、森園において安定したアサリ生息密度を維持するためには、台風通過時の波浪などに対する対策を講じる必要がある。現在、森園で行っている環境学習では、エイの捕食防止として浅場底面をネットで覆う手法の効果を調べている(図8)。捕食防止ネットは、荒天時のアサリ稚貝の逸散防止にも効果があると思われることから<sup>9)</sup>、同手法をより広範囲で実施することが重要と考えられる。



図 8 森園覆砂区で実施した環境学習において敷設した捕食防止ネット

## 2 生物多様性

出現種全体を対象としたRI指数は、覆砂区、対照区ともに同様の変動を示し、2014年10月および2015年1月に低くなった。大村湾では2014年9月に津水湾を中心として大規模な青潮が発生し、魚介類の大量斃死が観測されたことから、図6中の2014年10月および2015年1月のRI指数は、大量斃死の影響を受けて低下したと考えられる。出現種全体を対象としたRI指数は、全湾的な環境変化の影響を検討するツールとして有効である。

2020年1月調査では、覆砂区のRI指数は対照区を大きく上回ったが、この時の覆砂区では、再生砂が波浪などで陸側に打ち上げられることによって覆砂層が薄くなり、礫が露出した箇所が散見されたことから、このような場所を好む種、例えばフジツボやヒザラガイの仲間など(参考資料参照)が加わったことにより、RI指数が上昇した可能性がある。

生物群ごとのRI指数は、覆砂以前は多毛類などで高く、二枚貝類や腹足類で低い傾向が見られた。多毛類の多くは日和見種(環境かく乱後、短期間で加入する生物)であることから、覆砂以前のレーダーチャートの形状は青潮による大量斃死の影響を反映していると考えられる。覆砂以降は、二枚貝や腹足類などのRI指数は増加しており、対照区と比較しても高いことから、覆砂区はこれら生物群の生息場所として機能していると判断できる。

一方、十脚類や端脚類・等脚類のRI指数については、対照区と比較して覆砂区で低い傾向が見られた。十脚類や端脚類および等脚類には、ヤドカリやコツブムシなど、礫下などに生息する種が含まれる。対照区は覆砂区と比較して礫が多いことから、これら生物群のRI指数の違いは、底質環境を反映していると考えられる。覆砂区では、前述のように、石が露出した状態となっている箇所が散見されることから、生物群別のRI指数は、覆砂状況の把握に利用できると思われる。

覆砂区と対照区のレーダーチャートの形状を比較すると、対照区では覆砂前後を通じて概ね5角形に近く、形状の変化は覆砂区よりも小さい。対照区は自然の浅場であり、生物生息場として成熟していることから、レーダーチャートの形状は安定していると考えられる。新たに造成した干潟などでは生物相が安定

長崎県環境保健研究センター所報 65, (2019) 報文するまでに2~3年掛かることから<sup>10)</sup>、造成後3年半経過した覆砂区では、生物相は安定してきている可能性がある。今後、成熟した覆砂区、すなわち維持すべき覆砂区の状態を定めるためにも、覆砂区と同様の環境である自然の浅場を対照に加え、RI指数のレーダーチャートを比較することが重要である。

## 参 考 文 献

- 1) 粕谷智之, 他: 大村湾における底生水産生物浮遊幼生に関する研究, *長崎県環境保健研究センター所報*, **53**, 54-61 (2007).
- 2) 粕谷智之: リサイクル材を活用した二枚貝生息場造成の可能性について -IV 底質およびアサリ出現密度の推移について-, *長崎県環境保健研究センター所報*, **59**, 80-83 (2013).
- 3) 粕谷智之: 再生砂による浅場づくり実証試験事業 平成30年度事後調査結果 -ガラスの砂浜(大村湾)におけるアサリ生息密度の変遷-, *長崎県環境保健研究センター所報*, **64**, 44-52 (2018).
- 4) 中村寛志: 昆虫群集を使った環境評価手法について -RI指数とグループ別RI指数法-, *環動昆*, **24**, 7-14 (2013).
- 5) 新保裕美, 他: アサリを対象とした生物生息地適性評価モデル, *海岸工学論文集*, **47**, 1111-1115 (2000).
- 6) 清水康弘, 他: アサリ母貝場干潟造成効果評価事業, *三重県水産研究所 平成29年度事業報告*, (2018).
- 7) 水産庁増殖推進部: 二枚貝漁場環境改善技術導入のためのガイドライン, 平成25年3月, (2013).
- 8) 越川義功, 他: アサリ初期稚貝の生息環境に与える地形変動の影響評価, *海岸工学論文集*, **53**, 1211-1215 (2006).
- 9) アサリ資源全国協議会 他: 提言 国産アサリの復活に向けて(平成21年3月改訂), (2009).
- 10) 川上佐知, 他: 人工的に生成した干潟の成熟性評価に関する研究, *海岸工学論文集*, **50**, 1231-1235 (2003).

## Population Density Changes of *Ruditapes philippinarum* in Shallow Waters created using Recycled Glass Sand in Omura Bay, Nagasaki Prefecture II

Tomoyuki KASUYA

We investigated the abundance of the clam *Ruditapes philippinarum* in an artificial tidal flat, commonly referred to as “Garasu no sunahama”, created by sand capping using recycled glass sand in Omura Bay since 2014. Many recruits of *R. philippinarum* (5–10 mm shell length) were observed in 2019, indicating an increase in the density of the clam on “Garasu no sunahama”. Depending on the timing of planktonic *R. philippinarum* larvae recruitment into the benthic population, the recruits of the clam possibly perish due to disturbance of bottom sediment during typhoons, leading to a significant decrease in their abundance. In order to maintain a high abundance of recruits, a covering net on the bottom surface would be useful in reducing the displacement of the clams because of wave action.

Using Nakamura’s *RI* index, we also investigated the macro- and megabenthic faunal biodiversity. Annual fluctuation of the *RI* index value was observed, and a decrease in the values seemed to have resulted from mass mortality due to Aoshio. This index may reflect the effects of the bay-wide environmental conditions on the benthic population of Omura bay.

Seasonal and annual changes in the radar plot of the *RI* index values calculated from each class of taxa were stable for the control area of a natural tidal flat compared to those for “Garasu no sunahama”, the artificial flat, indicating that this value might be useful for the evaluation of a suitable habitat for the benthic organisms of “Garasu no sunahama”.

Key words: Bivalves, Tidal flat, Benthos, Water park







参考資料 対照区に出現した底生生物リストとRI指数 その3

事前調査				事後調査											
検索用目	目	科	種名	H26 10	ランク値	H27 1	ランク値	H28 9	ランク値	H29 1	ランク値	R1 8	ランク値	R2 1	ランク値
節足動物- 蜘蛛動物- 多節	蜘蛛動物- カサガシ	-	NEMERTINEA sp.	1	1	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0
	節足動物- カサガシ	節足動物目	節足動物目	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0
	カサガシ		Phoronis sp.	40	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	カサガシ		Ischnochitonidae sp.	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	カサガシ		Pataloleida sp.	0	0	0	0	0	0	1	3	1	2	1	6
	カサガシ		Trochidae sp.	0	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0
	カサガシ		Turbo coronatus coreensis	1	1	0	0	25	2	3	1	7	1	2	1
	カサガシ		Batillaria spp.	1	1	0	0	258	5	268	5	206	5	168	4
	カサガシ		Dialia semistriata	0	0	0	0	9	1	0	0	0	0	0	0
	カサガシ		Scalloia sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	カサガシ		Eufanelia subpellucida	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	カサガシ		Alaba picata	0	0	0	0	17	2	1	1	0	0	0	0
	カサガシ		Stenothyra edogawensis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	カサガシ		Pseudolictia pulchella	0	0	0	0	7	1	0	0	0	0	0	0
	カサガシ		Zafra sp.	0	0	0	0	1	0	3	1	0	0	0	0
	カサガシ		Eptonitidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	カサガシ		Cerithium spp.	0	0	0	0	108	4	11	2	8	1	4	4
	カサガシ		Reticunassa festiva	8	1	21	2	29	2	179	4	64	3	72	3
	カサガシ		Nassariidae sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
	カサガシ		Bedevia brierleyi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	カサガシ		Pupa strigosa strigosa	5	1	0	0	0	0	2	1	2	1	3	1
	カサガシ		Cylindridae sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	カサガシ		Retusa sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	カサガシ		Philine sp.	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	カサガシ		Haminoea japonica	0	0	2	1	0	0	0	1	1	0	0	0
	カサガシ		Dunkeria shigezassui	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3
	カサガシ		Pyramidiellidae sp.	0	0	0	0	44	2	21	2	0	0	2	1
	カサガシ		Nudibranchia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	カサガシ		イタドリ	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0
	カサガシ		Ostreidae sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	カサガシ		Laternula marilina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	カサガシ		Pteridae sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	カサガシ		Anomia chinensis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	カサガシ		Epicodakia delicatula	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	カサガシ		Pillucina pisidium	258	5	75	3	224	5	511	5	194	4	122	4
	カサガシ		Ungulimidae sp.	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	カサガシ		Fulvia hungfordi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	カサガシ		Samelidae	50	3	14	2	15	2	66	3	8	1	25	2
	カサガシ		Montacutidae sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	カサガシ		Anomalodiscus squamosus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	カサガシ		Circe scripta	0	0	0	0	61	3	13	2	6	1	6	1
	カサガシ		Gafrarium spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
	カサガシ		Meretrix lusoria	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1
	カサガシ		Veremolpa micra	2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
	カサガシ		Phacosoma japonicum	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1
	カサガシ		Rudtaepes philippinarum	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
	カサガシ		Veremolpa micra	0	0	0	0	9	1	13	2	1	1	6	1
	カサガシ		Inus sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	カサガシ		Veneridae	0	0	0	0	7	1	4	1	0	0	0	0
	カサガシ		Solen striatus	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	カサガシ		Gari virescens	0	0	0	0	3	1	2	1	0	0	0	0
	カサガシ		Mactra nipponica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	カサガシ		Mytilus sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	カサガシ		オオノガイ科	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2

(その4)に続く)



## 長崎県における結核菌の分子疫学解析(2012～2019)

右田 雄二、蔡 国喜、田栗 利紹

Yuji MIGITA, Guoxi CAI and Toshitugu TAGURI

長崎県では結核菌の分子疫学調査事業を2012年度から開始している。本研究では開始以来2019年度まで収集してきた、県南地区、県央地区、県北地区(佐世保市含む)および長崎市由来の526株の結核菌株について、VNTR(Variable Numbers of Tandem Repeats)法による分子疫学解析を行った。遺伝系統において、北京型株が376株(72%)と非北京型株(28%)に比べて割合が高く、北京型株のうち祖先型は289株(77%)、新興型は87株(23%)であった。祖先型の割合が最も高かったのは県北地区で、79株(83%)が認められ、そのうち9株(11%)は多剤耐性菌に多い遺伝子型(ST11/26)に分類された。年齢別では若い年齢層ほど非北京型株の出現割合が高かったが、41歳未満の非北京型株10株の中に外国出生患者によるEAI(East-African-Indian)型が4株(40%)を占めていた。地域別、年齢別ともに、遺伝系統の出現割合は全国の検出状況と類似していた。地区ごとのクラスター形成性を調べたところ、高い罹患率を示す県南地区は比較的クラスター形成率(18.2%)が低かったことから、本地域では高齢者の内因性再燃と考えられる患者が多くを占めると推察された。本研究結果と実地疫学を組み合わせることにより、7事例において、患者の感染経路等の解明につながったことから、本技術は本県で高度に流行する結核菌の伝播状況の把握や感染拡大防止に寄与できると考えられた。

キーワード：結核菌、VNTR分析、遺伝系統、クラスター、分子疫学

### はじめに

結核は、結核菌(*Mycobacterium tuberculosis*)によって引き起こされる感染症で感染症の予防および感染症の患者に対する医療に関する法律において、二類感染症に指定されている。結核研究所疫学情報センターの集計結果<sup>1)</sup>によると、2018年の我が国の新登録結核患者数は15,590人、罹患率(1年間に発病した患者数を人口10万対率で表したもの)12.3で、日本の結核は国際的には中蔓延国に位置付けられている。長崎県においては、同年の新登録結核患者数222人、罹患率16.6であり<sup>2)</sup>、国内でも罹患率の高い地域となっている。

2011年5月に「結核に関する特定感染症予防指針」(厚生労働省)<sup>3)</sup>が一部改正され、自治体の取り組むべき課題としては、結核対策における分子疫学調査の積極的な実施や研究推進の必要性を、さらに2016年11月の改正では2020年までに日本の結核罹患率を低蔓延の水準(罹患率10以下)まで引き下げる目標が明記された。日本が結核低蔓延国入りするには分子疫学的手法を用いた結核菌の伝播状況の把握と結核菌の伝播を遮断する対策が必要とされている。

このような状況から本県においても感染症法第15条の積極的疫学調査の一環として、長崎県結核菌分子疫学調査実施要領を策定し、結核菌の遺伝子型別法の一つであるVNTR(Variable Numbers of Tandem Repeats)法によるサーベイランス分析を2012年に県南地域から開始した。その後、県央、長崎市、県北・佐世保市と対象地域を順次拡大し、2015年には本土地域を概ね網羅できるようになった。

本法は結核菌のゲノム上に数多く点在する数10 bpを単位とする縦列反復配列多型から菌株の識別に適した複数の領域をPCR(Polymerase Chain Reaction)法により増幅し、増幅産物の分子量サイズから反復配列回数を算定し、得られた数字の羅列を菌株固有のDNAプロファイルとするものである。国際的な標準法としてはSupplyらによるSupply's 15-mycobacterial interspersed repetitive unit(MIRU)-VNTR<sup>4)</sup>があるが、東アジア地域に位置するわが国の結核菌の7～8割は北京型株に属し、5型[祖先型(4型:ST11/26、STK、ST3、ST25/19)、新興型]<sup>5)</sup>に分類される。諸外国では新興型の分離率が高いのに対して、わが国では、逆に、祖先型の分離比率が高く、特異性が際立ってい

る。このような背景から前田ら<sup>6)</sup>は国内の結核菌株の識別に優れたJATA (Japan Anti-Tuberculosis Association) 12-VNTRを提唱し、現在では国内標準法となっている。本法は集団感染疑い事例など疫学的関連がある場合は菌株の異同判定に高い信頼性を示すが、網羅的に収集された菌株の場合は分解能が不足しているため分析領域を追加する必要がある。

また、遺伝子型別の決定方法については、VNTR各領域の傾向から最大事後確率(maximum a posteriori: MAP)推定法によっても分類できると報告<sup>5)</sup>されている。

本報告は、長崎県内の結核患者から2012年4月～2019年3月までに収集した結核患者株526株のVNTR法による分析結果と保健所の実地疫学調査結果とを合わせた解析状況について報告する。

## 対象および方法

### 1 VNTR分析の方法

2011年11月から2019年3月までの結核発生届に基づき県内の結核病床を有する医療機関から分離された結核菌株(熱処理済み: 95～105℃、10分)のうち収集可能であった526株を解析対象とした。鋳型DNAはフェノールクロロホルム処理後、エタノール沈殿法により精製した。VNTR領域ごとの反復回数の測定方法は「結核菌VNTRハンドブック」<sup>7)</sup>に準拠し、JATA12領域にJATA(15)3領域(QUB-11a, ETR A, QUB-18)<sup>8)</sup>および超可変3領域(QUB-3232, VNTR3820, VNTR4120)<sup>9)</sup>を加えた合計18領域のプライマーを使用した。PCRの反応条件は、95℃で2分加熱後、95℃30秒、60℃30秒、72℃90秒のサイクルを35回実施し、最後に72℃で7分加熱した。PCR増幅産物は0.5×TBE緩衝液を用いた2% Nuesieve 3:1 Agarose (Lonza社)のアガロースゲルを使用し、Mupid®-One (Mupid社製)を用いて、100V 60～120分間の条件下で電気泳動を行った。サイズマーカーにはO' RangeRuler 100bp+500bp DNA Ladder (Thermo Fisher Scientific社)を使用した。泳動後のゲルはエチジウムブロマイドで染色した後に紫外線照射下で撮影した。このようにして得られた各領域それぞれのPCR増幅産物の分子量サイズから反復配列回数を算定した。

### 2 遺伝系統

分析した各菌株のVNTRプロファイルを山形県衛生研究所より提供された最大事後確率(maximum a

posteriori: MAP)推定法<sup>5)</sup>による解析プログラムを用いて、北京型株5型[祖先型4型(ST11/26, STK, ST3, ST25/19)および新興型]と非北京型株に分類し、管轄保健所地域ごと、年齢層ごとに遺伝系統を考察した。

### 3 クラスタ解析

本研究では、遺伝子の変異等も考慮し、1領域の反復配列回数が異なる菌株までを同一の遺伝型(クラスター)と定義した<sup>10)</sup>。クラスター形成性については、県内4地域(県南、県央、県北・佐世保市、長崎市)の特徴について考察した。

### 4 分子疫学解析事例

同じVNTRプロファイルを示す菌株群の由来患者については、保健所による患者間の行動歴等の実地疫学調査結果と組み合わせて感染経路等の解析を試みた。その結果、分子疫学解析が有用であった事例について取りまとめた。

## 結果および考察

### 1 遺伝系統

サーベイランス解析対象4地域(県南、県央、県北・佐世保市および長崎市)520株のVNTRプロファイルを用いたMAP推定解析プログラムで解析し得られた亜種系統を地域別(表1-1)、年齢層別(表1-2)に示した。全地域では、北京型株は376株(72%)、北京型株のうち祖先型は289株(77%)であった。この解析結果は北京型株のうち祖先型が7～8割を占めるわが国の報告<sup>11, 12)</sup>とも合致していた。地域別では県北・佐世保市において北京型株のうち祖先型が79株(83%)と最も高く、多剤耐性菌に多いとされるST11/26型<sup>11, 12)</sup>が9株(11%)みられたことが特徴的であった。年齢層別にみると、41歳未満の年齢層では北京型株のうち新興型が6株(35%)と高く、41歳以上のすべての年齢層では、北京型株のうちST25/19型の分離株数が多かった。新興型は国内では若年層に多く、感染伝播および発病において祖先型よりも優れている型<sup>11, 12)</sup>、ST25/19型は最も分離頻度の高い型<sup>11, 12)</sup>と報告されている。年齢層別の遺伝子型の出現割合も全国の状況と合致していた。さらに、若い年齢層ほど非北京型株の出現割合が高かったが、41歳未満で分離された非北京型株10株中4株(40%)はフィリピン蔓延株であるEAI (East-African-Indian) 型<sup>13)</sup>であった。いずれもフィリピン出生あるいはフィリピン滞在歴のある外国出生患者であっ

表1-1 サーベイランス対象地域における遺伝的特徴

対象地域	北京型株						非北京型株	
	祖先型				合計(%)**	新興型 合計(%)**	合計(%)*	
	ST11/26	STK	ST3	ST25/19				
県南	1	8	19	27	55(71)	22(29)	77(70)	33(30)
県央	4	14	20	35	73(75)	24(25)	97(68)	45(32)
長崎市	3	17	19	43	82(77)	25(23)	107(74)	37(26)
県北・佐世保市	9	11	17	42	79(83)	16(17)	95(77)	29(23)
合計	17	50	75	147	289(77)	87(23)	376(72)	144(28)

合計(%)\*:全株内で占める割合      合計(%)\*\*:北京型株内で占める割合

表1-2 各年齢階級における遺伝的特徴

年齢区分	北京型株						非北京	
	祖先型				合計(%)**	新興型 合計(%)**	合計(%)*	
	ST11/26	STK	ST3	ST25/19				
41歳未満	1	2	3	5	11(65)	6(35)	17(63)	10(37)
41-60歳	3	3	6	16	28(80)	7(20)	35(69)	16(31)
61-80歳	4	13	20	41	78(71)	32(29)	110(70)	47(30)
81歳以上	9	32	46	85	172(80)	42(20)	214(75)	71(25)
合計	17	50	75	147	289(77)	87(23)	376(72)	144(28)

合計(%)\*:全株内で占める割合      合計(%)\*\*:北京型株内で占める割合

た。本県における41歳未満の非北京型株の増加は外国出生患者の影響が大きいと思われる。

## 2 クラスタ解析

サーベイランス解析対象地域から収集した520株のVNTRプロファイルを基に各地域のクラスタ形成性(表2)を示す。2017年の国内結核<sup>1)</sup>の新登録患者16,789人のうち80歳以上は6,726人(40%)、長崎県においては新登録患者

227人のうち80歳以上は113人(50%)であり、本県は全国平均よりも高齢者結核が多い地域といった特徴がある。県内を地区ごとにみると、県北・佐世保市はクラスタ形成率25%(31株/124株)、平均クラスタ3.4と他の地区よりも高かったが、2013年に発生した大規模な院内感染(11クラスタ)による影響と考えられる。また県南地域は継続的に罹患率の高い(2012~2017年:22.8~36.5)<sup>2)</sup>地域であり、解析した菌株の患者の平均年齢は81歳と他の地区よりも高かった。今回、県南地区のクラスタ形成性を検証した結果、高い罹患率に

表2 各地域におけるクラスタ形成性

調査地区	県南	県央	長崎市	県北・佐世保市
平均年齢(歳)	81	77	79	72
解析株数(n=520)	110	142	144	124
クラスタ形成株数	20	18	19	31
クラスタ形成率(%)	18.2	12.7	13.2	25.0
クラスタ数	7	8	9	9
平均クラスタ	2.9	2.3	2.1	3.4
最大クラスタ	5	3	3	11

反してクラスタ形成率は18.2%(20株/110株)と低かった。即ち、このことは81.8%の患者にクラスタ形成がみられなかったことを意味しており、本地域内には過去に特定菌株による流行・拡散がみられず、多様な遺伝子型が存在することが分かった。これより県南地域の高い罹患率は高齢者の内因性再燃によるものと推察される。さらに、県央および長崎市については、クラスタ形成率はそれぞれ12.7%(18株/142株)、13.2%(19株/144株)と低く、平均クラスタも小さかった。

### 3 分子疫学解析事例

全526株(サーベイランス解析対象地域外の菌株含む)を解析した結果、クラスターを形成した株は多数みられたが、保健所の実地疫学調査の結果、多くは疫学的関連性を認めなかった。患者間で疫学関連性が判明した事例を示す(表3)。その内訳は宿泊施設内感染事例(No.1)、家族内感染事例(No.2)、病院内感染事例(No.3、No.5、No.6)および高齢者施設内感染事例(No.4、No.7)の合計7事例であった。No.1は同じ飲み会に参加後、同じ宿泊施設を利用したことで感染した事例であった。No.3は2013年5月に病院内で発生した59名の集団感染事例〔確定例:22名、潜在性結核感染症(LTBI):37名〕であり、分析した10株のうち9株は18領域のDNAプロファイルは完全に一致したが、1株(S205)は超可変領域の1領域(VNTR3820)で異なっていた。その後、2019年2月に集団発生以前から同じ医療機関に長期入院していた患者(S482)からも同じ遺伝子型が検出された。この患者は30年程前に結核治療歴があり内因性再燃と考えられたが、集団感染事例と同じDNAプロファイルであったことから集団発生時に再燃し感染源となった可能性、あるいは再感染し、2019年2月になって発病した可能性も考えられる。No.6は患者間、患者から看護師間への院内感染事例感染であった。看護師は当該医療機関を退職後に他県にて発症した。患者との関連性は他県保健所からVNTR検査結果の照会を受け判明した。県境を越えてDNAプロファイルが活用された事例であった。また、No.4およびNo.7は高齢者施設内感染であり、No.4は入所者から職員へ、No.7は入所者間で感染した事例であった。

### まとめ

2012～2019年の長崎県における新登録結核患者由来526株の分子疫学解析結果を取りまとめた。県内結核菌の北京型株祖先型の出現割合は全国と同じ傾向であったが、県北・佐世保市は祖先型の中でもST11/26型の割合が高かった。41歳未満の年齢層では非北京型株10株中4株(40%)は外国出生患者によるEAI型であり、外国人結核対策にも力を入れる必要があると思われる。県南地域のクラスター形成率は18.2%と低く、本地域の高い罹患率は高齢者の内因性再燃によるものと推察される。最後に、本報告による分子疫学解析事例を通して、これまでの実地疫学だけでは推定の域を出なかった感染経路の証明、未知の感

染経路の発見、再燃・再感染の鑑別および散発事例の確認がある程度可能となった。このように分子疫学解析による事例検討を進めることで、保健所は接触者健診の適正な範囲を選択し、重点的に取り組むべき対策を明確にする根拠になり得ると思われる。

表3 分子疫学解析の有用事例

事例 No.	菌株 No.	JATA(12)												JATA(15)				超可変領域		亜種系統	疫学関連
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	QUB-1a	ETR A	QUB-18	QUB-3232	v3820	v4120		
1	S032	4	3	1	2	7	3	7	4	5	7	8	5	6	8	4	16	10	9	ST25/19	宿泊施設感染疑い
	S044	4	3	1	2	7	3	7	4	5	7	8	5	6	8	4	16	10	9		
2	S057	4	3	3	2	7	3	7	4	5	7	10	5	10	5	4	15	12	8	ST25/19	家族内感染(夫婦間)
	S090	4	3	3	2	7	3	7	4	5	7	10	5	10	5	4	15	12	8		
3	S064	4	3	2	2	7	3	7	4	5	7	10	5	10	5	4	15	12	8		
	S065	4	3	2	2	7	3	7	4	5	7	10	5	10	5	4	15	12	8		
	S066	4	3	2	2	7	3	7	4	5	7	10	5	10	5	4	15	12	8		
	S067	4	3	2	2	7	3	7	4	5	7	10	5	10	5	4	15	12	8		院内感染(2013年5月)
	S068	4	3	2	2	7	3	7	4	5	7	10	5	10	5	4	15	12	8		※入院患者ら59名
	S069	4	3	2	2	7	3	7	4	5	7	10	5	10	5	4	15	12	8		
	S070	4	3	2	2	7	3	7	4	5	7	10	5	10	5	4	15	12	8		
	S071	4	3	2	2	7	3	7	4	5	7	10	5	10	5	4	15	12	8		
	S205	4	3	2	2	7	3	7	4	5	7	10	5	10	5	4	15	14	8		
	S206	4	3	2	2	7	3	7	4	5	7	10	5	10	5	4	15	12	8		
4	S482	4	3	2	2	7	3	7	4	5	7	10	5	10	5	4	15	12	8		同じ遺伝型(H31.2発生)
	S121	2	3	1	3	3	2	5	4	3	10	4	3	4	5	3	10	5	2	NonBJ	高齢者施設内感染疑い(入所者→職員)
5	S122	2	3	1	3	3	2	5	4	3	10	4	3	4	5	3	10	5	2		
	S045	3	3	3	4	7	3	7	5	5	7	2	5	7	8	3	12	12	11	ST25/19	院内感染疑い(患者間)
6	S088	3	3	3	4	7	3	7	5	5	7	2	5	7	8	3	12	12	11		
	S158	1	2	2	3	3	2	5	4	3	6	8	3	3	20↑	3	11	1	4	NonBJ	院内感染疑い(患者間、患者→看護師)
7	S159	1	2	2	3	3	2	5	4	3	6	8	3	3	20↑	3	11	3	4		
	S492	2	4	1	4	4	3	4	3	3	8	8	4	8	8	3	5	5	4	NonBJ	高齢者施設内感染(患者間)
S493	2	4	1	4	4	3	4	3	3	8	8	4	8	8	3	5	5	4			

反復配列回数が異なる領域

## 参考文献

- 1) 公益財団法人結核予防会結核研究所疫学情報センター<http://www.jata.or.jp/rit/ekigaku/> (2020.6.5アクセス)
- 2) 長崎県：長崎県の結核（2018）：<https://www.pref.nagasaki.jp/shared/uploads/2019/01/1576223087.pdf> (2020.6.5アクセス)
- 3) 厚生労働省：結核に関する特定感染症予防指針 <http://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-10900000-Kenkoukyoku/thuuchi.pdf> (2020.6.5アクセス)
- 4) Supply P. et al. : Proposal for standardization of optimized mycobacterial interspersed repetitive unit-variable-number tandem repeat typing of *Mycobacterium tuberculosis*, *J. Clin. Microbiol.*, **44**, 4498-4510 (2006)
- 5) Seto J. et al.: Phylogenetic assignment of *Mycobacterium tuberculosis* Beijing clinical isolates in Japan by maximum a posteriori estimation, *Infect. Genet. Evol.*, **35**, 82-88 (2015)
- 6) 国内結核菌型別のための迅速・簡便な反復配列多型 (VNTR) 分析システム—JATA (12) -VNTR 分析法の実際—, *Kekkaku*, **83**, 673-678 (2008)
- 7) 地研協議会保健情報疫学部会マニュアル作成ワーキンググループ編：結核菌VNTRハンドブック (2012)
- 8) 前田伸二ら：国内結核菌を効率よく型別するための標準反復配列多型 (VNTR) 分析法, *日本細菌学雑誌*, **65**, 201 (2010)
- 9) Iwamoto T et al.: Hypervariable loci that enhance the discriminatory ability of newly proposed 15-loci and 24-loci variable-number tandem repeat typing method on *Mycobacterium tuberculosis* strains predominated by the Beijing family, *FEMS Microbiol., Lett.*, **270**, 67-74 (2007)
- 10) 田丸亜貴ら：JATA (12) -VNTR型別による結核集団発生事例の菌株異同調査, *Kekkaku*, **88**, 399-403 (2013)
- 11) 岩本朋忠：世界的感染拡大傾向が危惧される結核菌北京型株, 複十字, **329** (2009)
- 12) 岩本朋忠：結核菌北京型ファミリーの集団遺伝学的解析から推察される日本国内定着型遺伝系統群の存在と遺伝系統別薬剤耐性化傾向の違い, *Kekkaku*, **84**, 755-759 (2009)
- 13) Montoya J.C. et al.: A molecular epidemiologic analysis of *Mycobacterium tuberculosis* among Filipino patients in a suburban community in the Philippines, *Kekkaku*, **88**, 543-552 (2013)

## 謝辞

本事業を遂行するにあたり、疫学情報、解析データおよび菌株の提供等にご協力いただきました県医療策課、各保健所、長崎市保健環境試験所並びに協力医療機関の関係諸氏にお礼を申し上げます。また、遺伝系統解析ソフトを提供頂いた山形県衛生研究所の瀬戸順次先生、多大なご指導ご助言を頂いた大阪市立大学の和田崇之教授に感謝します。

## Molecular epidemiology of *Mycobacterium tuberculosis* in Nagasaki Prefecture, 2012–2019

Yuji MIGITA, Guoxi CAI and Toshitugu TAGURI

A molecular epidemiological survey for *Mycobacterium tuberculosis* was performed from 2012 to 2019 in Nagasaki Prefecture. In this study, 526 tuberculosis strains were collected in Nagasaki Prefecture from the Southern district, the Central district, the Northern district (including Sasebo city), and Nagasaki city. The strains were analyzed by variable number tandem repeat (VNTR) typing. Beijing genotype strains accounted for the majority (376, 72%) of isolates. Among Beijing strains, 289 (77%) had ancestral genotypes and 87 (23%) had emerging genotypes. The highest proportion of ancestral strains (79, 83%)



was found in the northern part of the prefecture; nine of these strains (11%) were classified as genotypes ST11/26, which are commonly associated with multidrug-resistant *M. tuberculosis*. Non-Beijing strains were more commonly detected in younger individuals. Among the 10 non-Beijing strains detected in individuals under 41 years old, four East African Indian strains (40%) were observed in foreign-born patients. The distribution of *M. tuberculosis* genotype prevalence observed in this study matched patterns at the national level, both by region and by age. Cluster formation in each district was examined and showed that the cluster formation rate (18.2%) was relatively low in the southern part of the prefecture, which had a high morbidity rate. Therefore, many patients in this area, especially elderly individuals, likely experienced intrinsic relapse. Combining our genotyping results with field epidemiology data elucidated the infection route in seven cases. Thus, VNTR typing is useful for understanding the transmission of tuberculosis in Nagasaki Prefecture and may contribute to preventing the spread of this infection.

Key words: *Mycobacterium tuberculosis*, VNTR analysis, genetic lineage, cluster, molecular epidemiology