

II 資 料

気候変動適応センターの取り組み

前田 卓磨, 船越 章裕, 横田 哲朗

Efforts of Local Climate Change Adaptation Center in Nagasaki Prefecture(2024)

Takuma MAEDA, Akihiro FUNAGOSHI, Tetsurou YOKOTA

キーワード: 気候変動適応、地球温暖化、ビワ、凍霜害モデル

Key words: Climate change adaptation, global warming, loquat, frost damage model

はじめに

地球温暖化がもたらす気候変動については、世界各国が「2100年の世界平均気温の上昇を産業革命前に比べて1.5℃以内に抑える」ことを努力目標として合意(パリ協定¹⁾)しており、我が国では2030年までに2013年比で46%の温室効果ガスを削減し、2050年にはカーボンニュートラルを達成すると宣言している。一方で、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の報告書²⁾は、将来的な気温上昇を1.5℃以内に抑えることができるのは、最も温暖化対策が成功した場合(C1:2050年頃にはCO₂排出が正味ゼロ)であり、気候変動に起因する様々な悪影響は、地球温暖化が進行するにつれて増大すると報告されている。

こうした中、CO₂削減対策を継続しても回避できない気候変動に対して適応していくことが重要視されており、本県では2021年に「第2次長崎県地球温暖化(気候変動)対策実行計画」を策定し、温室効果ガス排出抑制策である緩和策とともに、気候変動の影響による被害を予防・軽減するための対策である適応策を推進している。また、気候変動適応法第13条に基づき、地域における気候変動適応を推進するために必要な気候変動影響及び適応に関する情報の収集、整理、分析及び提供並びに技術的助言を行う拠点として、2021(令和3)年10月1日、長崎県気候変動適応センター(以下、センターという。)を長崎県環境保健研究センター内に設置した。

本稿では、本県の気候変動の現状とセンターの取組内容等について報告する。

長 崎 県 の 現 状

本県の気候の特徴として、6～7月の梅雨の頃は、梅雨前線がしばしば活性化し、全県的な大雨または局地的豪雨に、8～9月にかけては、台風の接近または上陸により暴風雨、豪雨に見舞われることがある。また、7月～10月は台風、11月～3月は冬の強い季節風による高波が発生しやすく、船舶の航行に影響がでることも多い。

年平均気温は長期的に上昇傾向にある。長崎では100年あたり1.5℃の割合で昇温しており、日本の年平均気温の上昇割合(1.4℃/100年)³⁾よりも大きい(図1)。

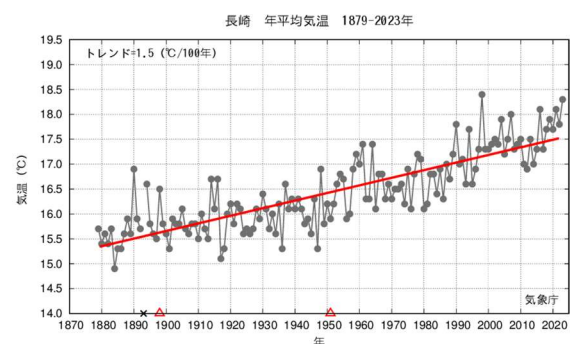
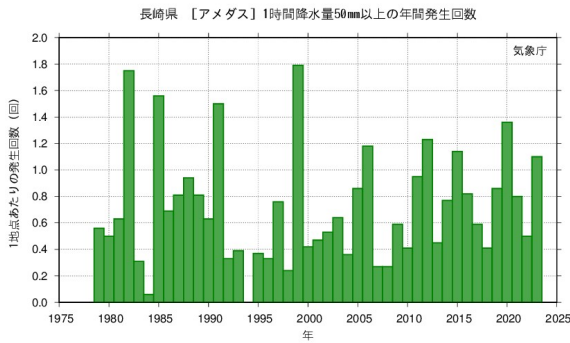
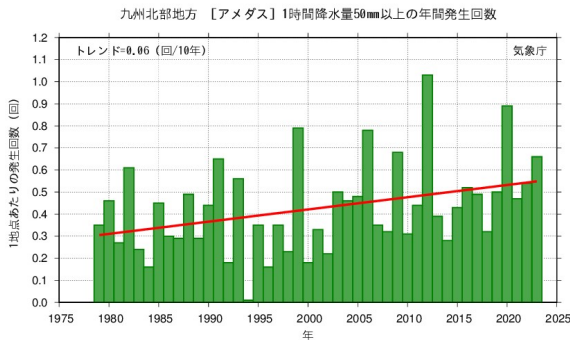


図1 長崎の年平均気温の推移⁴⁾

短時間強雨(1時間降水量50 mm以上)の年間発生回数は、県単独で有意な長期変化傾向は見られないものの、九州・山口県エリアにおける短時間強雨の年間発生回数は、増加傾向が見られる(図2, 3)。今後も気温の上昇が続くとともに、降水現象の極端化が予想される。

図2 長崎県の短時間強雨年間発生回数²⁾図3 九州・山口県の短時間強雨年間発生回数²⁾

取組内容

1 気候変動影響将来予測計算等(環境省委託)

当センターは、地域特有の気候変動影響を把握し、本県の気象・地理的条件等や地域の実情に応じた適応策を推進するため、環境省の「国民参加による気候変動情報収集・分析委託業務」を2022(令和4)年度から受託し、情報収集を実施している(既報を参照⁵⁾⁶⁾)。今回、2024(令和6)年度に実施した「びわ凍霜害における気候変動影響の将来予測計算」の概要を報告する。

(1) ビワの凍霜害

ビワは11～12月に開花し1～2月に結実して幼果となるが、幼果の状態は最も耐寒性が備わっておらず、一時的な低温(−3℃程度)に遭遇すると、寒害をうけてしまう。⁷⁾近年、地球温暖化や異常気象の影響で春先の新梢発生が早く、例年よりも開花が前進化する傾向がみられている。このため、極寒期と幼果になる時期が重なり、一時的な低温が発生した際に凍死することで、その年のビワ出荷量に大きな被害が生じる。

気候変動による将来的な影響を予測するため、平均気温とビワの生育段階の推移との関係を表す「生育モデル」と、最低気温と凍霜害被害の大きさの関係を表す「凍霜害モデル」を作成した。また、本県の主要品種で露地栽培の割合が大きい「茂木」と

「なつたより」を予測対象とした。

(2) ビワの生育モデルと凍霜害モデル

(a) 生育モデルの作成

生育モデルは、県農林部局による品種別栽培記録と県農林部局の気象観測結果及びアメダス観測データ(長崎)を用いて、出蕾、開花、幼果の各生育段階の推移と日平均気温積算値の関係を示したモデル式を作成した。解析に使用したデータの期間は、「茂木」が15年間(2008～2022年産)、「なつたより」は12年間(2010～2014年産、2016～2022年産)とした。果房進度は、10段階(1から6までを「蕾」、6から8までを「花」、8から10までを「幼果」とし、ロジスティクス回帰の基本式(式①)を用いて、日平均気温積算値から花房進度を計算する生育モデル式②を作成した。

$$\textcircled{1} \quad \cdots \log \left(\frac{p}{1-p} \right) = ax + b$$

(p : 従属変数 ($0 \leq p \leq 1$)、 x : 独立変数 (日平均気温積算値、 a : 回帰係数、 b : 切片)

$$\textcircled{2} \quad \cdots p = \frac{10 \cdot \exp(ax+b)}{1 + \exp(ax+b)} = \frac{10}{1 + \exp(-(ax+b))}$$

日平均気温積算値の起算日を決定するため、クロスバリデーション法を用いて、1日単位で起算日を変更して生育モデルを作成し、各生育段階(蕾:花房進度1、花:花房進度6、幼果:花房進度8)に達した日付の推計値と実測値の合致性をクロスバリデーション法で確認して、最も誤差が小さくなった7月4日を起算日と設定した。推計値と実測値を比較した結果、幼果の開始日の推計値の誤差として、「茂木」は平均27日間(最小1日間、最大67日間)、「なつたより」は平均28日間(最小4日間、最大71日間)であった。誤差の要因として、日平均気温積算値以外の気象条件を考慮していないこと、気象測定地点と栽培地点が離れていること、年毎の生育進度実測値のばらつきが大きいことなどが考えられた。

(b) 凍霜害モデルの作成

凍霜害モデルは、県農林部局や農協などで調査した現地凍霜害調査結果(2023年)と栽培地域における気象観測データを用いて、凍死率と日最低気温の関係を示したモデル式を作成した。

凍霜害発生気温を−3℃として閾値を設定し、式③で示すミカエリス・メルテン型計算式を用いて、最低気温が閾値を下回った超過分((最低気温が閾値を下回った時間(分)の積算)から凍死率を計算する凍霜害モデルを作成した。なお、係数 K はExcelのソルバー機能を活用し、各地域の凍死率について実測

値と推計値のMSE(平方誤差)の合計値が最小になる値を導出した。

$$\textcircled{3} \cdots y = \left(\frac{x}{x+K} \right)$$

(y:凍死率、x:超過分(時間)、K:定数)

また、将来気候データは日最低気温であるため、観測期間中の日最低気温と閾値超過時間(分)の関係性を調査した結果、負の相関が得られ、これらの線形回帰式の R^2 は0.747と良好であったため、日最低気温から超過分を推計して凍死率の計算に用いた。

(c) 気候モデルとバイアス補正の検討

気候モデルは日本域CMIP6データ(NIES2020)を用いた。また、バイアス補正の必要性を調査するため、日平均気温と日最低気温について過去再現実験(1900年から2014年)を行い、計算値と実測値を比較した。実測値は県農林部局が実施した圃場内観測結果を用いた。日平均・日最低気温について、どの気候モデルも観測結果と値が大きく異なる傾向は確認されず、バイアス補正は不要と判断した。

(3) 予測の対象範囲・期間

ビワ栽培地域に関して県農林部局にヒアリングしたところ、県内のビワ栽培地は、概ね標高200 m以下であることがわかったため、標高200 m以下を予測対象範囲として設定した。標高データは国土数値情報「標高・傾斜度3次メッシュデータ」(2011(平成23)年度版)を活用し、長崎県内の平均標高200 m以下の領域と、将来予測計算において活用する1 km × 1 kmの空間解像度である日本域CMIP6データ(NIES2020)が重なるかどうか判定し、評価対象地域を抽出した。対象範囲の面積は3,058 km²(3,058格子)で、長崎県全体の面積約4,130 km²の約74%となった。

ビワの凍霜害は年次別で平均的に発生するものではなく、突発的な寒波と幼果の状態が重なる特定の年に発生するものである。凍霜害リスク計算結果の整理にあたっては、期間が短くなれば短くなるほど凍霜害の発生事例が少なくなることが予想されたため、本調査においては将来期間(2020年～2100年)の20年毎に結果を整理した。

(4) 将来予測計算結果

(a) 日平均、日最低気温の将来変化

気候モデルMIROC6のSSP1-RCP2.6シナリオ(温暖化対策が実施されたシナリオ)における日平均気

温について、予測対象範囲におけるマップを図4に示す。現代の気候状況として2000年から2019年の平均値を設定し、将来気候の変化は、20年間毎に現代との差分で評価した。次に、20年間別の日最低気温-3℃以下日数について、図5に示す。SSP1-RCP2.6シナリオでは-3℃以下の日数が全県的に発生しており、温暖化が進行した場合でも凍霜害が発生する可能性があることが示唆された。

(b) ビワの生育段階・生育期間の将来変化

構築した生育モデル及び気候モデルの日平均気温を用いて、生育段階の進展を推計した。生育モデルの起算日である7月4日から日平均気温の累積和を各年で計算し、累積和を「茂木」及び「なつたより」の生育モデルに投入することで日ごとに花房進度を計算した。格子別・年別に算出した各花房進度に初めて達した日付について、20年間ごとに合計し、ピンを5日に設定した頻度分布図を図6、図7に示す。予測結果として、MIROC6のSSP1-RCP2.6シナリオでも、日平均気温が現代(2000年から2019年)と比較して上昇する影響で、「茂木」と「なつたより」のどちらも幼果の開始日が今世紀末(2080年から2099年)には約1か月間前進化すると予測された(図7)。

(c) 凍霜害の発生頻度・強度の将来変化の推計

予測した幼果の生育期間及び構築した凍霜害モデル並びに気候モデルの日最低気温を用いて、1格子ごとに凍死率を推計した。日最低気温-3℃以下の日が連続している場合は1回の寒波としての-3℃以下超過分×超過時間(℃・分)の積算値の合計を計算した。その後、各年の各寒波について、-3℃以下超過分×超過時間(℃・分)の積算値を凍霜害モデルに投入し、幼果の凍死率を計算した。

図8にMIROC6のSSP1-RCP2.6における地区ごとの年代平均凍死率を示す。地区は、気象庁の気象警報・注意報や天気予報の発表区域を参考に7つの地区を設定した。地区別では緯度の高い対馬・壱岐の凍死率が高く、全体的に今世紀末(2080年～2099年)においても凍死率は横ばいの傾向を示した。このことから、温暖化対策が実施されるシナリオにおいては、凍霜害被害が将来的に継続することが示唆された。このため、花房進度前進化抑制のための栽培技術活用⁵⁾や寒害耐性品種への転換、保険加入などの適応策を今後も実施していく必要があると考えられる。

(d) 将来予測計算結果等の報告

びわ凍霜害の将来予測結果については、令和7年2月のJAや自治体で構成される協議会(びわ品種

研究会)で説明し、将来的な気候変動影響に対する認識を促した。

2 啓発活動

(1) 気候変動適応セミナー開催やイベント出展

県民の方々へ気候変動の影響と適応について啓発するため、「高齢者の熱中症予防」をテーマに気候変動適応セミナー(7月11日・Web開催・参加者数90人)を開催した。また、センター一般公開や各種環境イベントへ出展、啓発した。

(2) 県教育センターと連携した教職員研修

県教育センターと連携し、環境教育研修講座の一環として、県内の教職員19人を対象に研修を行った。研修では、教育現場を通じた学生たちへの気候変動問題の啓発のため、簡単かつ低予算で授業の実施が可能であることをコンセプトとし、気候変動に関する世界情勢や県内への影響に関する座学、県内の気候変動影響を含めたクイズ形式の教材の紹介を行った。

(3) その他

ニュースレターを4回発行し、関係先にお知らせした。ホームページでは、ニュースレターや県内の熱中症救急搬送者数と暑さ指数(WBGT)の関係などについて、気候変動影響や適応に関するページを随時更新した。

今後の取組

1 気候変動影響等の情報収集

2024年(令和6年)度を実施した、ビワの凍霜害の将来予測計算の手法を活かし、今後は、熱中症による救急搬送者数の将来予測についても検討を行っていく。

2 啓発活動について

気候変動問題や適応に関してより県民の方々に理解し、適応策を実行していただくために、下記に

ついて取り組む。

- ・気候変動適応セミナー(テーマ:気候変動と災害(知っておきたい対策と備え))
- ・気候変動に関する情報発信(HP、SNS、ニュースレター)
- ・県教育センターと連携した教職員研修
- ・環境イベントへの出展 等

参考文献

- 1)環境省:パリ協定に関する基礎資料,<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/cop/shiryo.html>(2025.7.15アクセス)
- 2)環境省:気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第6次評価報告書の概要-統合報告書-, <https://www.env.go.jp/earth/ipcc/6th/index.html>, (2024.6.12アクセス)
- 3)気象庁:日本の年平均気温, https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_jpn.html, (2025.7.15アクセス)
- 4)福岡管区気象台:九州・山口県の気候変動の現状と予測, <https://www.data.jma.go.jp/fukuoka/kaiyo/chikyu/report/report.html> (2025.6.12アクセス)
- 5)福田祥一他, 気候変動適応センターの取り組みについて(長崎県環境保健研究センター), 長崎県環境保健研究センター所報第68号, 60-64, (2022)
- 6)前田卓磨他, 気候変動適応センターの取り組みについて(長崎県環境保健研究センター), 長崎県環境保健研究センター所報第69号, 45-49, (2023)
- 7)古賀敬一他, ビワ「なつたより」の結果枝の春季切り返しと摘らいによる寒害回避技術(長崎県農林技術開発センター), 長崎農林技セ研報第13号, 119-130, (2023)

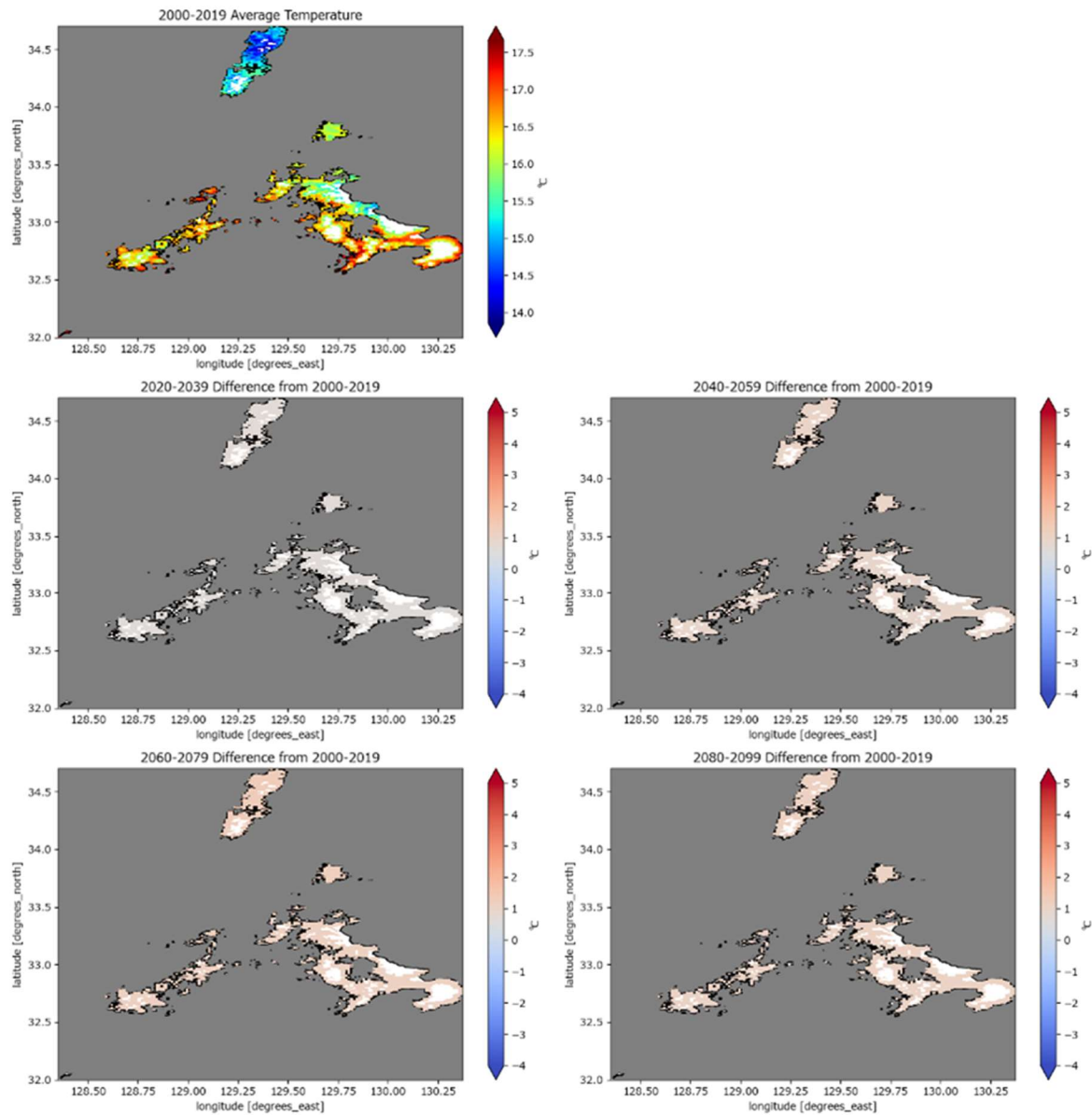


図4 MIROC6 SSP1-RCP2.6の日平均気温の将来変化

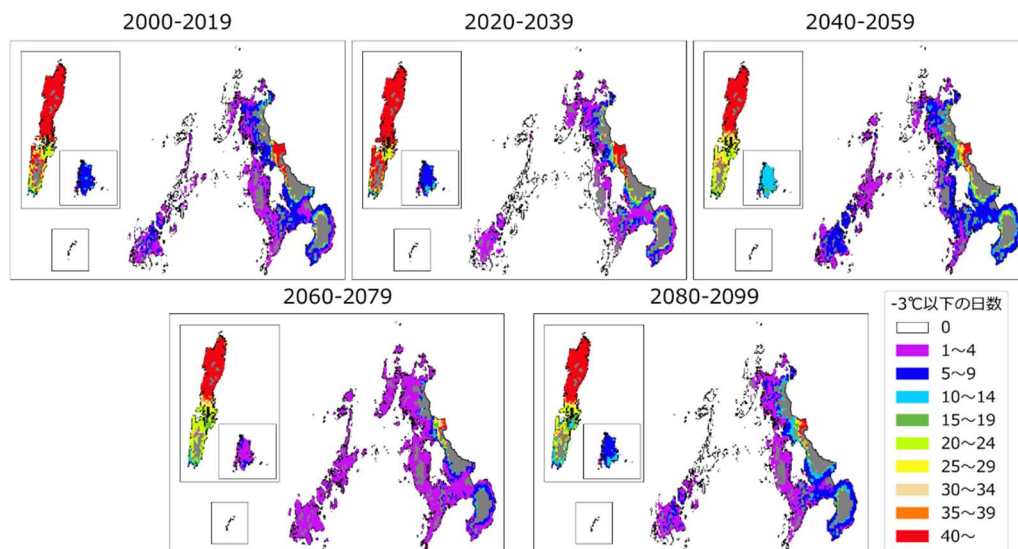


図5 MIROC6の20年間別・メッシュ別の日最低気温-3℃以下の日数

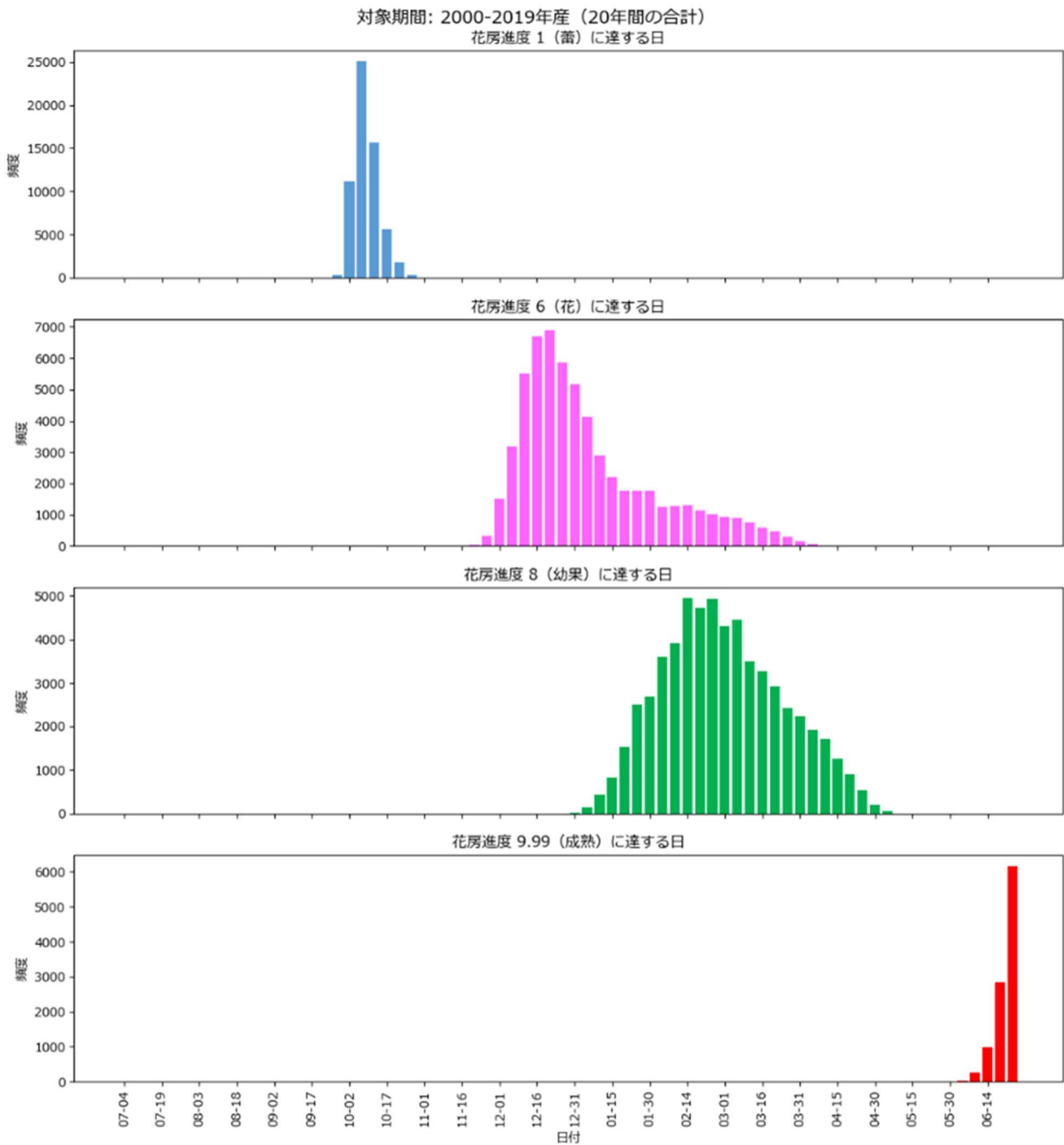


図6 MIROC6 SSP1-RCP2.6の茂木の各生育段階に達した日付 (2000-2019年産)

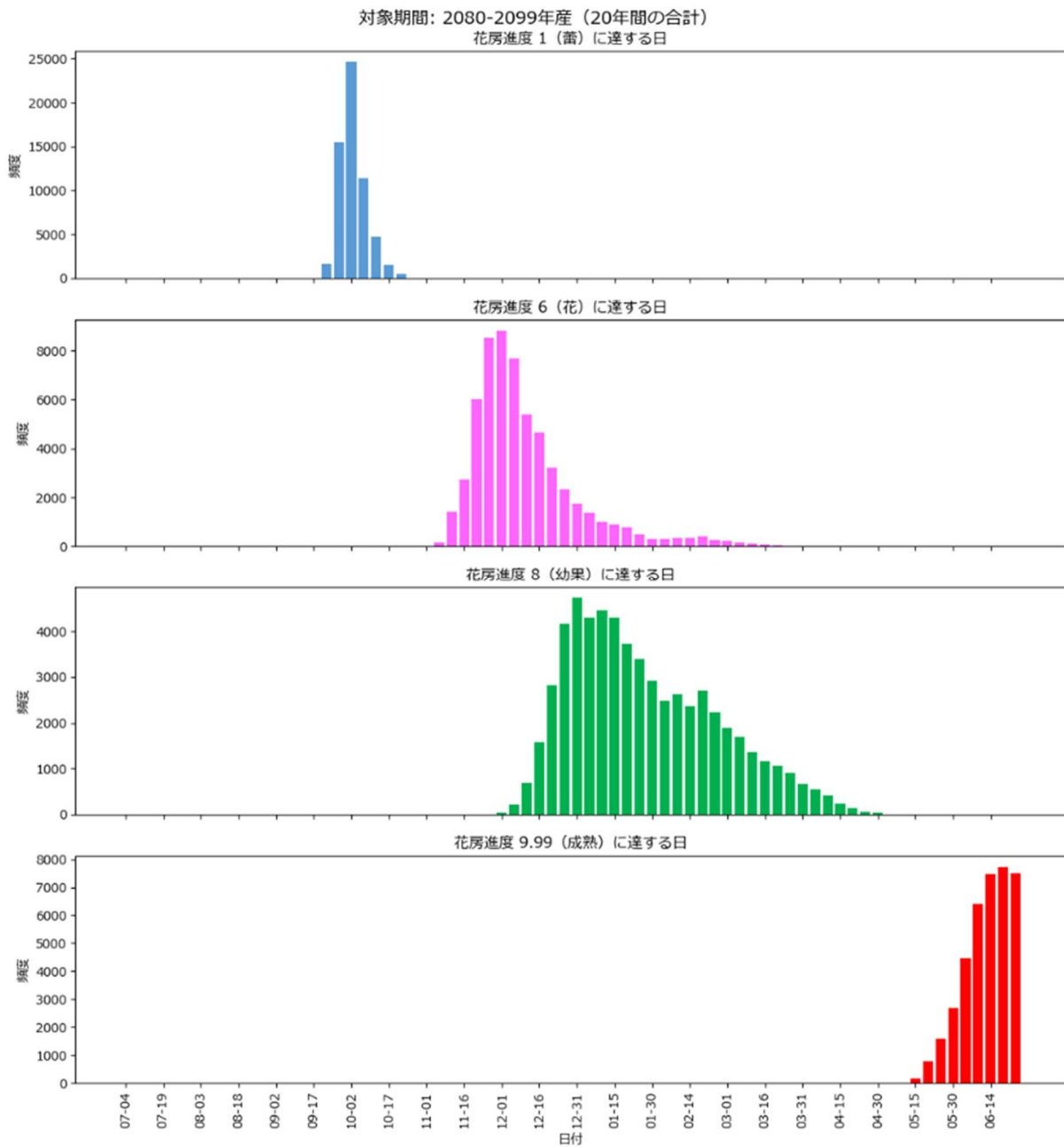


図7 MIROC6 SSP1-RCP2.6の茂木の各生育段階に達した日付 (2080-2099年産)

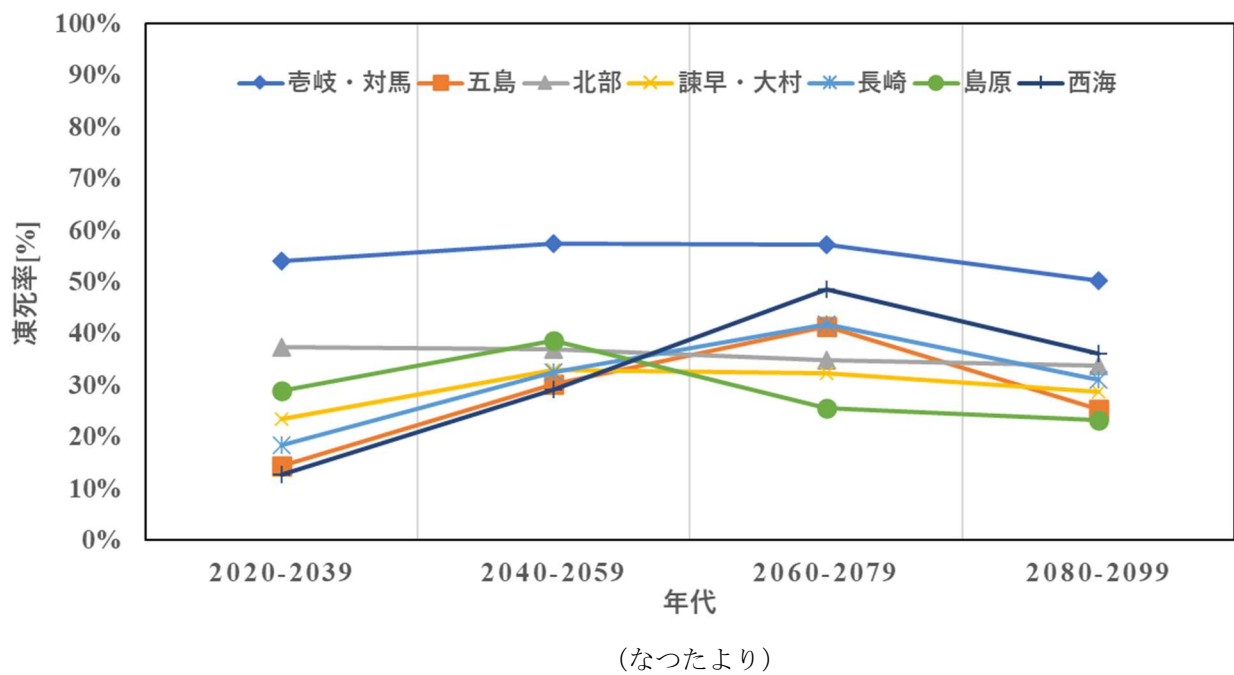
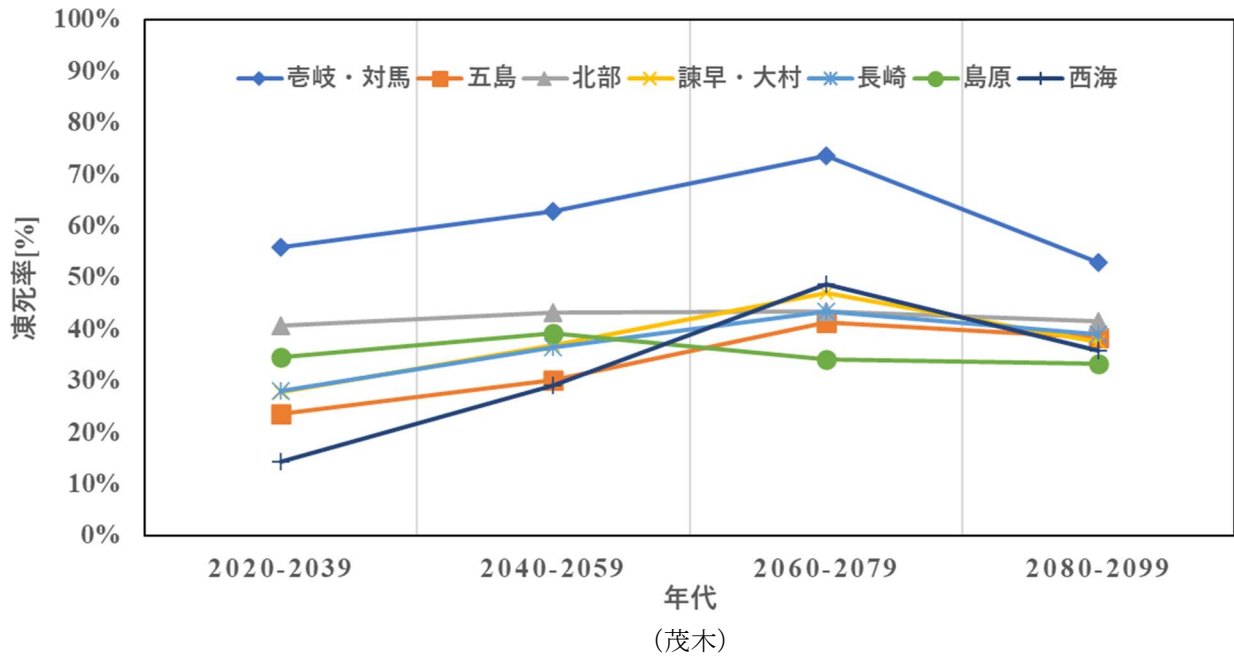


図8 MIROC6 SSP1-RCP2.6の年代別・地区別平均の凍死率（茂木となつたより）

長崎県における微小粒子状物質 (PM_{2.5}) 成分分析調査 (2024年度)

堤 清香, 横田 哲朗

Chemical composition of PM_{2.5} in Nagasaki Prefecture (2024)

Kiyoka TSUTSUMI, Tetsurou YOKOTA

キーワード: PM_{2.5}、成分分析、質量濃度季節変動、環境基準

Key words: particulate matter 2.5, component analysis, mass concentration, seasonal variation, environment standard

はじめに

微小粒子状物質 (以下、「PM_{2.5}」という。) は、粒径2.5 μmの非常に小さな粒子であるため人体に取り込まれやすく、呼吸器系や循環器系などへの健康被害を及ぼす可能性が指摘されている。このことから、2009年に環境省においてPM_{2.5}環境基準が設定され¹⁾²⁾、全国的にPM_{2.5}質量濃度の常時監視局の整備が進められてきた。長崎県においても2012年度から4局でPM_{2.5}常時監視を開始し、2014年度以降は県内18局での監視体制としている。

そして、このPM_{2.5}質量濃度の常時監視に加え、環境省が策定した「微小粒子状物質 (PM_{2.5}) の成分分析ガイドライン³⁾」 (以下、「ガイドライン」という。) に基づき、PM_{2.5}の発生源の解明及び地域独自の対策の検討を目的として、2018年度よりPM_{2.5}の成分分析を開始している。今回は、2024年度の測定結果について報告する。

材料及び方法

1 調査地点

常時監視測定局及び調査地点を図1に示す。本調査においては、県の中央部に位置する川棚局にサンプラーを設置し、試料を採取した。

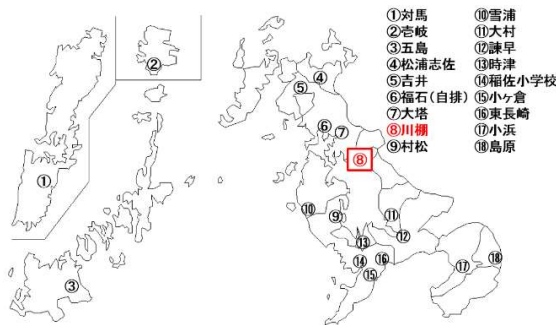


図1 県内の常時監視測定局及び調査地点

2 調査期間

調査期間を表1に示す。調査期間は環境省が定めている統一期間に基づき、季節ごとに14日間の捕集を行った。

表1 調査期間

季節	試料捕集期間
春季	令和6年5月9日～5月23日
夏季	令和6年7月18日～8月1日
秋季	令和6年10月16日～10月30日
冬季	令和7年1月17日～1月31日

3 試料採取

試料採取方法及び使用機器を表2に示す。試料採取は、原則、ガイドライン及び「大気中微小粒子状物質 (PM_{2.5}) 成分測定マニュアル⁴⁾」 (以下、「マニュアル」という。) に準拠し、使用フィルタはイオン成分及び炭素成分の分析用に石英製(2500QAT-UP 47mm φ, 東京ダイレック社製)を、無機成分の分析用にPTFE製(7592-104, ワットマン製)を用いた。

表2 試料採取方法及び使用機器

採取方法	使用機器
正午開始, 16.7L/min, 24hr	FRM2025i series

4 質量濃度及び成分分析

測定項目と使用機器を表3に示す。成分分析は、原則、ガイドライン及びマニュアルに準拠し、測定を行った。質量濃度については秤量法ではなく、調査地点である常時監視測定局(川棚局)の自動測定機の日平均値 (μg/m³) を参照した。2024年度の無機成分の分析については、ムラタ計測器サービス(株)に委託した。

表3 測定項目及び使用機器

測定項目	使用機器
質量濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	自動測定機 (FPM-377-1(S), 東亜ディーケーケー社製)
イオン成分 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	イオンクロマトグラフ (Dionex Integrion, サーマフィッシャーサイエントフィック社製 2台 Dionex AS-AP, サーマフィッシャーサイエントフィック社製 1台)
無機成分 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS Agilent 7700xG3281 アジレント・テクノロジー社製)
炭素成分 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	熱分離・光学補正式炭素計 (Sunset Laboratory社製)
測定項目 (詳細)	
炭素成分 2項目	有機炭素 (OC), 元素炭素 (EC)
無機成分 29項目	Na, Al, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Mo, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Sm, Hf, W, Ta, Th, Pb
イオン成分 9項目	Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}

調 査 結 果

季節ごとの平均質量濃度及び成分濃度を図2に、成分割合を図3に示しており、各成分は、7項目に分類している。「その他のイオン成分」の内訳は、低濃度であった塩化物イオン (Cl^-)、ナトリウムイオン (Na^+)、カリウムイオン (K^+)、マグネシウムイオン (Mg^{2+}) 及びカルシウムイオン (Ca^{2+}) をまとめて示す。また、質量濃度から各成分濃度の合計を差し引いた値を「その他」として、無機成分29項目をまとめて「無機元素」として示す。

また、図4に2018年度から2024年度までの各成分濃度を季節及び年度ごとに示す。図4中の2019年夏については、サンプラーの不具合で欠測しているため、質量濃度を「その他」として表している。2022年度は無機成分を欠測しているため、無機成分濃度は「その他」に含まれることとなる。

1 質量濃度

4季の延べ56日の日平均値は、 $3.5 \sim 28.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で推移し、1日平均値の環境基準 ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) を超過した日はなかった。また年平均値は、 $9.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、年平均値の環境基準 ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 以下であった。

2 成分分析

(1) イオン成分

各季の平均値では、質量濃度の34～62%を占め、冬季が最も高い割合を示した。

硫酸イオン (SO_4^{2-}) については、夏季が最も高い割合を示した。硝酸イオン (NO_3^-) については、冬季が他季に比べ著しく高い値を示しており、季節的な特

徴が見られた。アンモニウムイオン (NH_4^+) については、冬季がやや高い値を示した。

(2) 炭素成分

各季の平均値では、質量濃度の23～28%を占め、春季が最も高い割合を示した。また、各測定日ごとの有機炭素 (OC) /元素炭素 (EC) 比は3.8～27.0であり、各季節の平均では春季が最も高かった。

(3) 無機成分

各季の平均値では、もっとも高い割合を示した夏季でも質量濃度の7%程度と、イオン成分と炭素成分に比べて低い割合を示した。

ま と め

本年度のPM_{2.5}の成分割合は、各季節とも硫酸イオン (SO_4^{2-}) と有機炭素 (OC) が高い割合を示しており、年平均では、これらに次いでアンモニウムイオン (NH_4^+) 及び硝酸イオン (NO_3^-) が高い割合を示し、この4成分が全体の約6割を占めていた。本調査地点における経年変化について解析した結果、広域汚染(指標物質:硫酸塩)の影響を受けやすい⁵⁾ことが示されているが、2024年度もこの傾向が継続していると考えられる。

本調査は、本県のPM_{2.5}対策に向けて2018年度から開始されたものであり、経年傾向や発生源の解明に必要とするデータ収集・解析に今後も継続して取り組む予定である。

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の汚染に係る環境基準について, 環告 33 (2009).
- 3) 環境省 HP:微小粒子状物質 (PM_{2.5}) の成分分析ガイドライン, https://www.env.go.jp/air/osen/pm/ca/110729/no_110729001b.pdf(2025.5.30 アクセス)
- 4) 環境省 HP:大気中微小粒子状物質 (PM_{2.5}) 成分測定マニュアル, <https://www.env.go.jp/air/osen/pm/ca/manual.html>(2025.5.30 アクセス)
- 5) 長崎県における微小粒子状物質 (PM_{2.5}) の経年変化 (2018~2021), 長崎県環境保健研究センター所報, 67, 76-80 (2021)

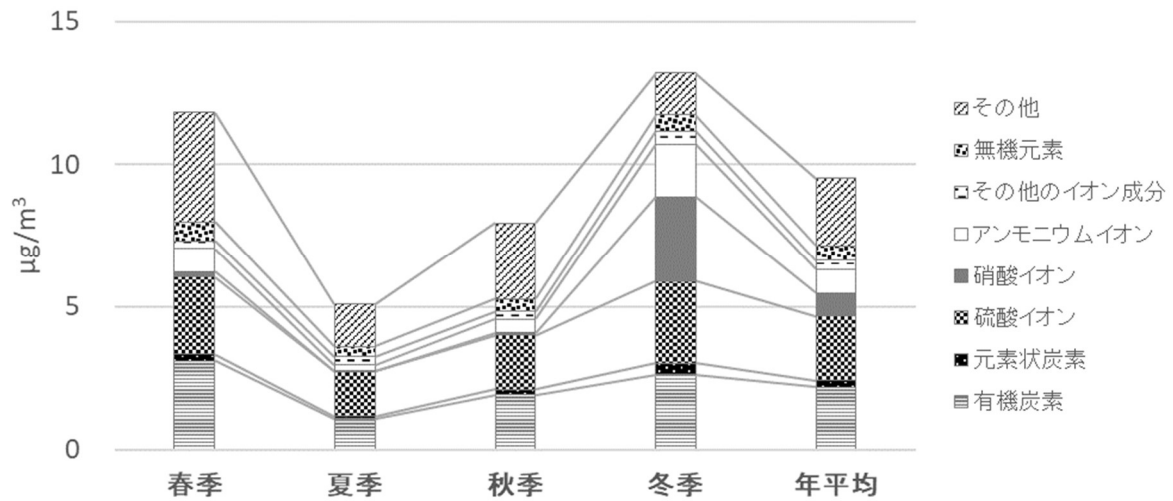


図2 PM_{2.5}平均質量濃度及び成分濃度

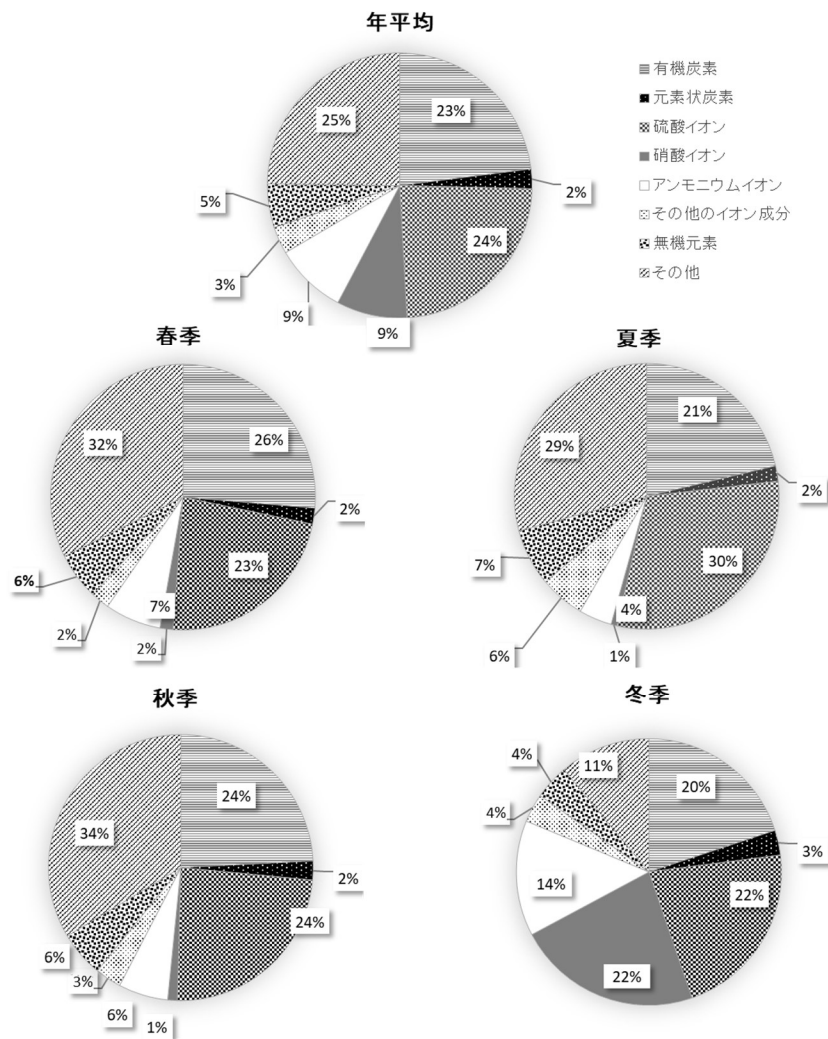


図3 各成分の割合

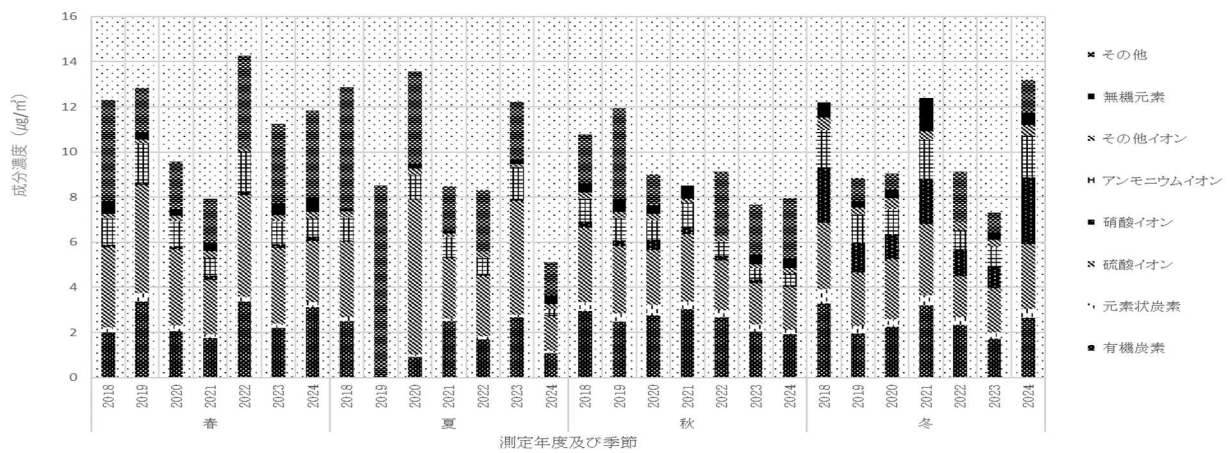


図4 各成分の季節ごとの経年変化(2018-2024)

※2019年夏については、サンプラーの不具合で欠測しているため、質量濃度を「その他」として表している。

※2022年度は無機成分を欠測しているため、無機成分濃度は「その他」に含まれることとなる。

長崎県における微小粒子状物質(PM_{2.5})に関するPMF解析

堤 清香, 横田 哲朗, 前田 卓磨

PMF analysis of PM_{2.5} in Nagasaki Prefecture

Kiyoka TSUTSUMI, Tetsurou YOKOTA, Takuma MAEDA

キーワード: PM_{2.5}、成分、PMF解析

Key words: particulate matter 2.5, component, Positive Matrix Factorization

はじめに

微小粒子状物質(以下、「PM_{2.5}」という。)の成分分析については、PM_{2.5}の発生源寄与割合の推計に資することを主目的の一つとして、平成22年3月に改正された「大気汚染防止法第22条の規定に基づく事務の処理基準について」¹⁾(以下、「事務処理基準」という。)に盛り込まれたところであり、本県においても2018年より「微小粒子状物質(PM_{2.5})の成分分析ガイドライン」²⁾(以下、「ガイドライン」という。)に基づき、PM_{2.5}の成分分析を開始している。発生源寄与割合の推計には、PMF(Positive Matrix Factorization)やCMB(Chemical Mass Balance)などの数値解析が挙げられ、特にPMFは発生源情報が不要で測定データのみで解析可能であるという利点がある。以前、2018年度から2021年度において、県内のPM_{2.5}測定データについてPMF解析²⁾を実施したが、今回は対象期間を2018年度から2023年度に拡大してPMF解析を実施し、発生源寄与割合の推計を試みた。

調査方法

1 解析対象データ

解析対象データ解析対象データは、事務処理基準及びガイドライン³⁾に基づき当センターが県大気常時監視測定局(川棚局)で試料採取及び測定したデータのうち、2018年度から2023年度のものを使用した。PM_{2.5}質量濃度は、同測定局の自動測定器のデータを使用した。また、環境省が取りまとめ公表している全国の自治体の測定データ⁴⁾から主に九州北部のデータを使用した。各測定地点を図1に示す。環境省による公表データについては、公表までのタイムラグの関係上2018年度から2021年度までのデータを使用した。

(1) 測定地点(本県測定地点)

川棚局(2018年度～2023年度)

(2) 測定地点(環境省公表データより引用した地点)

環境省の公表データから図1の測定地点のデータ(2018年度～2021年度)を使用した。



図1 測定地点

(3) 測定期間

測定期間は環境省が設定した統一試料捕集期間に合わせて年4回、各季節2週間連続で実施した。他県においても多少の測定日の前後はあるが、同様の条件でサンプリングされているデータを使用した。サンプリング時間は12:00から翌12:00までの24時間とした。

(4) PMF解析に用いた成分

イオン成分(Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺)
無機元素成分(Al, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Sb, Pb)
炭素成分(OC, EC)

2 PMFによる発生源解析

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 PMF5.0⁵⁾を用いてPMF解析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、測定日ごとの分析データについてイオンバランス (Anion/Cation比率) が0.7以上1.3以下の範囲から外れているものは除外した。加えて、川棚局のデータについては機械の故障により欠測した期間 (2019年夏季、2022年度) のデータも除外した。最終的に解析に用いたのは合計1142個のデータセットとした。表1にPMF解析の条件を示す。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_{2.5}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 (国立環境研究所と複数の地方環境研究所の共同研究) 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。

【最終解・選定条件】

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

調査結果

1 PM_{2.5}質量濃度の経年変化について

川棚局のPM_{2.5}質量濃度について、県大気常時監視測定局 (川棚局) のデータを整理し、各年度の平均

質量濃度にしたものを図2に示す。PM_{2.5}の環境基準 (平成21年9月9日、環告33)⁶⁾ は、「1年平均値が15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であり、かつ、1日平均値が35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であること。」とされている。今回は年度ごとに集計しているが、図2からPM_{2.5}の質量濃度は減少傾向にあることが示唆され、1年間の平均値も環境基準を下回っていた。

また、各年度の日別平均値について図3に示す。2018年度、2019年度、2022年度、2023年度は各1回、2020年度は2回、日別平均値が環境基準 (35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) を超過する高濃度発生事例はあったが、2021年度は環境基準を超過したものはなかった。

表1 PMF解析における条件

サンプル数			
	川棚	他県(九州地域10地点)	
	238	1455	
	合計 1693		
重み付け	イオン成分	無機元素成分	炭素成分
Strong	NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Na ⁺ , NH ₄ ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺	V, Pb	OC, EC
Weak (不確かさ3倍)	Cl ⁻ , Ca ²⁺	Al, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, As, Zn, Sb	なし
Factor		6	
Uncertainty		20%	
Base runs		100	
Bootstrap runs		100	
Mapping of bootstrap factors		99-100	

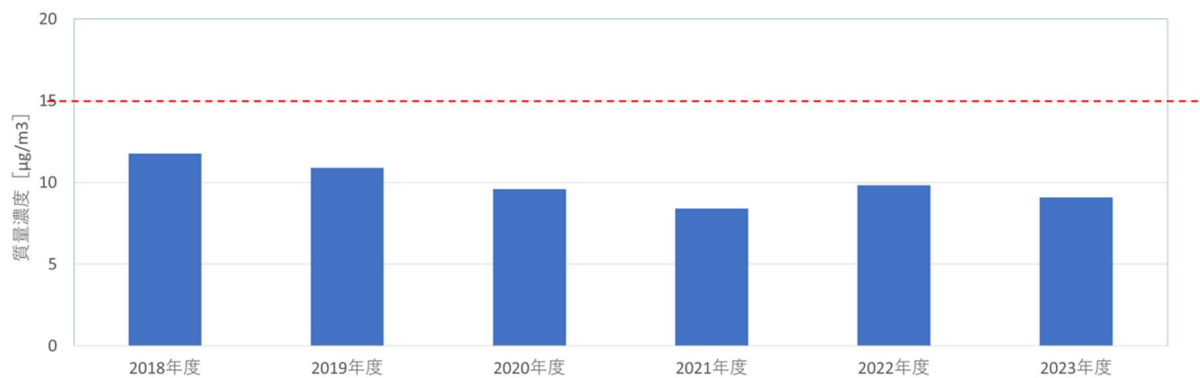
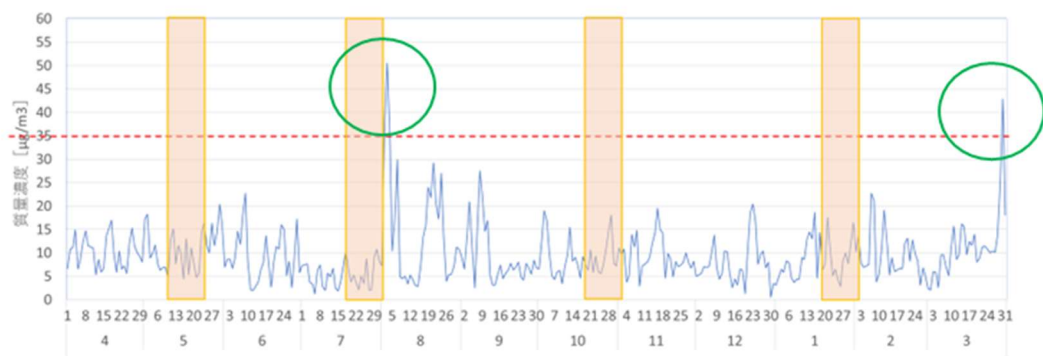
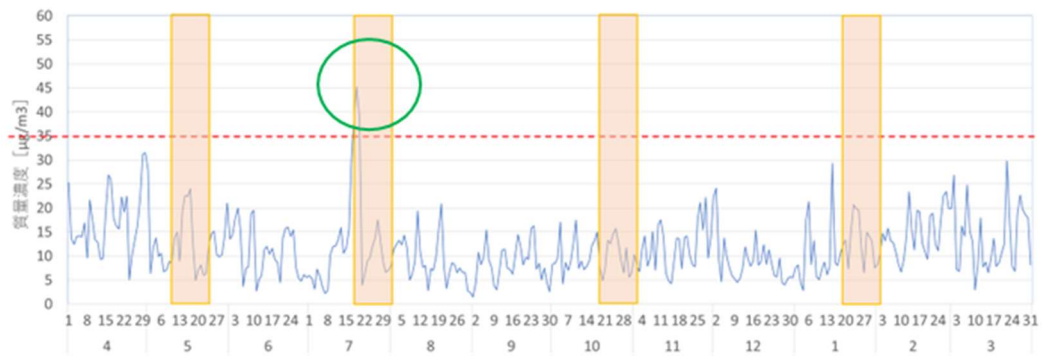
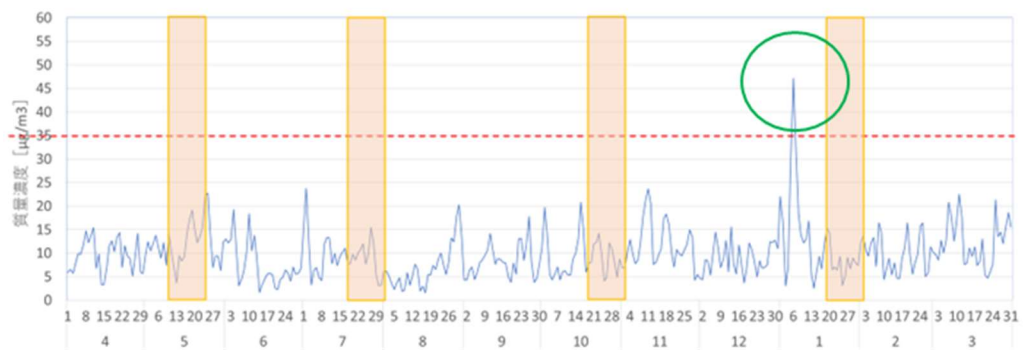


図2 川棚におけるPM_{2.5}質量濃度の経年変化
 (図中の破線は、環境基準 (年平均) 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の指標を表す。)





2022年度



2023年度

図3 川棚測定局におけるPM_{2.5}質量濃度の日別平均値

図中の破線は、環境基準（日平均）35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の指標を表す。
また、枠で囲んだ部分は成分分析のサンプリングを行ったおよそその期間を示している。

2 発生源解析

(1) 発生源の種類とその指標成分

得られたPM_{2.5}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、6種類の発生源が推定された。各発生源の指標成分を表3及び図4に示す。

指標成分に対する各発生源の割り当ては文献⁷⁾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、解析者の判断に基づく解釈も含まれている。

表3 PMF解析により推定された発生源

	発生源因子	指標成分
1	道路交通・バイオマス燃焼	K ⁺ , Sb, OC, EC
2	二次生成(硫酸塩)	SO ₄ ²⁻ , NH ₄ ⁺
3	二次生成(硝酸塩)	NO ₃ ⁻
4	石油燃焼	V, Ni, EC
5	海塩	Na ⁺ , Mg ²⁺
6	土壌・工業	Al, Cr, Mn, Fe, Zn, Pb

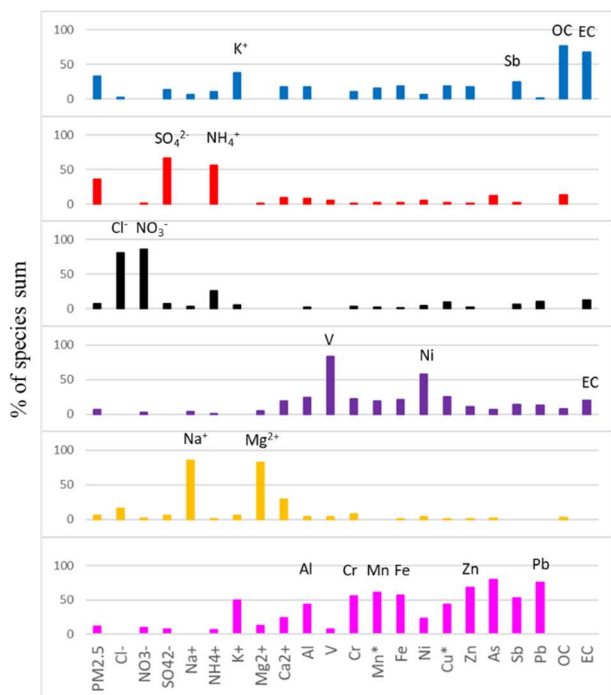


図4 発生源のプロファイル (% of species sum)

上から順に(a)道路交通・バイオマス燃焼、(b)二次生成(硫酸塩)、(c)二次生成(硝酸塩)、(d)石油燃焼、(e)海塩、(f)土壌・工業と解釈した。

(a) 道路交通・バイオマス燃焼

OC, ECが比較的高く、ブレーキパッド由来とされるSbの寄与が高いことから、自動車排ガスの特徴がみられた

ため道路交通由来とした。また、K⁺の寄与率が高く、バイオマス燃焼の寄与も表す因子と解釈した。

(b) 二次生成(硫酸塩)

SO₄²⁻とNH₄⁺が高いため硫酸二次生成由来とした。

(c) 硝酸塩

NO₃⁻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。硝酸塩は冬季に高濃度となるとされており、本解析においても同様の傾向が見られた。

(d) 石油燃焼

VとNiの負荷が高いため重油燃焼由来と解釈した。

(e) 海塩

Na⁺とMg²⁺が高いため、海塩由来とした。

(f) 土壌・工業

Alが高いため、土壌由来とした。また、Mn, Fe, Zn, Pbの負荷が高く、工業因子の特徴が見られた。

図5に各地域における発生源因子の寄与割合を示す。寄与割合として特徴的なものは道路交通・バイオマス燃焼が市街地に設置されていることから太宰府、市役所(福岡市)、環境総合センター(熊本市)で、石油燃焼が港付近に設置されていることから豊前で、海塩が海岸に近いことから五島で高かった。

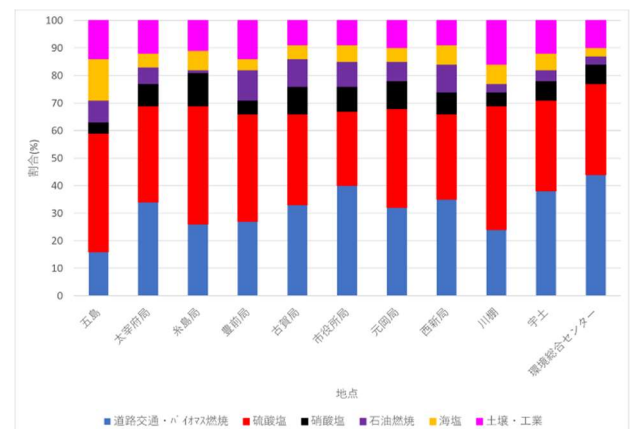


図5 地域の発生源因子の割合

(2) 川棚における発生源寄与の経年変化

川棚における発生源寄与の割合を図6に示す。各因子の寄与割合は、二次生成（硫酸塩）が最も大きく45%であった。次いで道路交通・バイオマス燃焼の24%、土壌・工業の16%、海塩の7%、二次生成（硝酸塩）の5%、石油燃焼の3%の順であった。図中の「その他」はPM_{2.5}の質量濃度から各因子の寄与成分を差し引いた残差を示す。

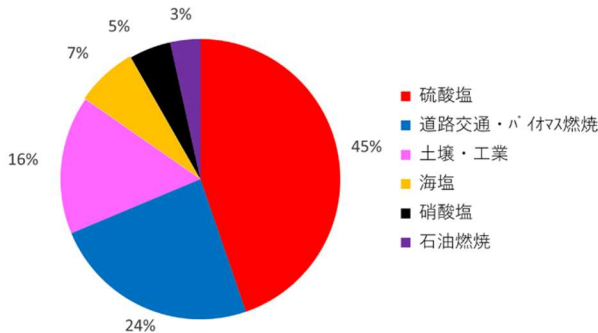


図6 川棚局における発生寄与割合

また、本解析に用いた他県の地点を含め、年度間で各因子の濃度に大きな変化は見られなかったが、石油燃焼因子については、図7のとおり2019年度の冬季（2020年1月）から大きく減少し、図8のとおり本因子の代表成分であるV濃度も同時期に減少していた。同時期は国際海事機関（IMO）が2020年1月1日から燃料油中の硫黄成分の上限を3.5%から0.5%へと大きく引き下げたことが原因の可能性のある報告⁸⁾もあり、今回の結果からも全体的に規制の影響を受けていると考えられる。

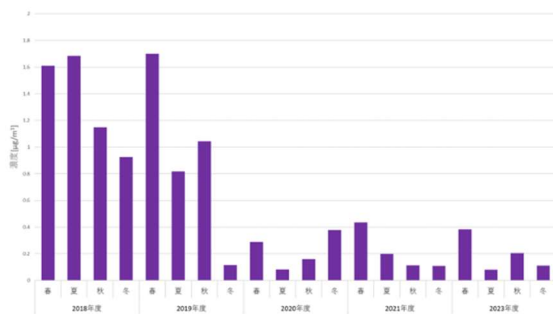


図7 石油燃焼因子の経年変化

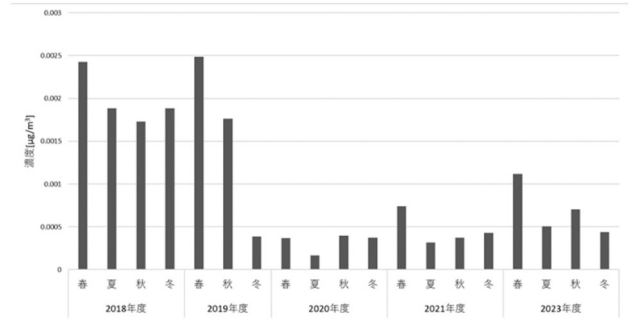


図8 V濃度の経年変化

まとめ

今回の調査により、2018年度から2023年度の川棚の測定地点におけるPM_{2.5}の質量濃度及び各成分データを使用してPMF解析を行い、発生源因子の推定及び経年変化の傾向を明らかにした。発生源因子としては二次生成（硫酸塩）が全体の約半分以上を占めており広域汚染の影響を受けやすいことが示唆された。また、各発生源因子について石油燃焼因子以外は年度間で大きな増減はみられなかった。なお、PM_{2.5}の質量濃度は本調査の対象とした6年間に於いて減少もしくは横ばいの傾向を示し、環境基準を超過する事例も年間1件程度であり、ほとんどの場合基準を達成している状況であった。

参考文献・脚注

- 1) 環境省:大気汚染防止法第22条の規定に基づく事務の処理基準について(平成22年3月31日改正関係)
- 2) 横田哲朗・前田卓磨:長崎県における微小粒子状物質(PM_{2.5})の経年変化(2018~2021年度),長崎県環境保健研究センター所報,67,76-80(2021)
- 3) 環境省:微小粒子状物質(PM_{2.5})の成分分析ガイドライン, https://www.env.go.jp/air/osen/pm/ca/110729/no_110729001b.pdf(2024.5.21アクセス)
- 4) 環境省:微小粒子状物質(PM_{2.5})の質量濃度及び成分測定(手分析)結果, <https://www.env.go.jp/air/osen/pm/monitoring.html> (2024.5.21アクセス)
- 5) 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> (2022.8.20アクセス)
- 6) 環境省:微小粒子状物質による大気の汚染に係る環境基準について, 環告33 (2009)
- 7) Positive Matrix Factorization モデルを用いたPM_{2.5}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)
- 8) 大分県におけるPM2.5発生源由来等の調査,第49回九州衛生環境技術協議会,23-24

酸性雨の傾向（2003年度から2023年度）

椿 隆幸, 堤 清香

Trend of Acid Rain(2003~2023)

Takayuki TSUBAKI, Kiyoka TSUTSUMI

キーワード：酸性雨、経年変化、湿性沈着モニタリング、pH、イオン成分

Key words: Acid RainChanges over time , wet deposition monitoring, pH, Ionic component

はじめに

酸性雨は、化石燃料の燃焼により大気中に排出された硫黄酸化物や窒素酸化物の一部が、大気中で硫酸および硝酸等の二次生成物質に酸化され、これらの二次生成物質が雨滴生成過程に核として捕捉され、降水に取り込まれることによって起こる。また、酸性雨の原因となる物質は、国内からの出現に加え、大陸からの移流も指摘されている¹⁾。

今回、環境省ホームページ²⁾に掲載された酸性雨調査結果(2003年度から2023年度)を用いて、長期的な経年変化について解析したため報告する。

方 法

環境省ホームページに掲載された長崎県対馬測定所の湿性沈着モニタリングの結果について解析を行った。解析項目は降水量の年合計値、pHの月平均値及び年平均値、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ の各年平均値の10項目及び非海塩性成分を示す nss-SO_4^{2-} 、 nss-Ca^{2+} の2項目である。

pH及び $\text{NO}_3^-/\text{nss-SO}_4^{2-}$ 当量濃度比(N/S比)の解析では、他地域の遠隔測定所5か所(利尻測定所(北海道)、佐渡関岬測定所(新潟県)、隠岐測定所(島根県)、えびの測定所(宮崎県)、屋久島測定所(鹿児島県))のデータも使用し、全国的な傾向を比較した。

なお、解析に使用したデータには、有効判定基準で棄却され参考値とされているものを一部含んでいる。

結 果 及 び 考 察

1 pHの傾向

2003年度から2023年度における対馬測定所の月平均pHの階級別の出現頻度及び酸性雨の定義をpH5.6以下とした場合の酸性雨出現率を表1に示す。

期間中の最低値は4.03、最高値は5.46となり、すべ

ての期間でpHは5.6を下回ったため、月平均での酸性雨出現率は100 %となった。

月平均のpHの経年変化の状況を図1、pHの加重平均値の推移を図2に示す。

pHは2003年度から2008年度にかけて緩やかに低下し、2009年度以降は上昇傾向に転じた。

対馬測定所と同じく遠隔測定所に区分されている利尻、佐渡関岬、隠岐、えびの、屋久島の5測定所との年平均のpHの年度別経年変化比較を図3に示す。

5測定所ともに対馬測定所と同様に緩やかな上昇傾向を示しており、全国的に降雨の酸性状態が改善傾向にあることが示唆された。

2 イオン成分濃度

2003年度から2023年度における対馬測定所のイオン成分の年平均値及び降水量の年合計値を表2、 nss-SO_4^{2-} 、 NO_3^- 及びN/S比の推移を図4~6に示す。なお、表2の網掛け部分は有効判定基準で棄却された参考値を示す。対馬測定所のN/S比は2019年度に一旦下がった後、2020年度以降は大幅な上昇を示している。一般的に SO_2 は火山活動や越境汚染の影響を受けやすく、 NO_x は国内発生源の影響を受けやすいといわれていることから、越境汚染による影響の割合が低下した可能性がある。また、国際海事機関(IMO)が2020年1月に燃料中の硫黄成分の上限を大きく引き下げたことが、 $\text{PM}_{2.5}$ 中の石油燃料因子の減少に影響しているとの報告もあり³⁾⁴⁾、今回の結果も同様に当該規制の影響が表れている可能性もある。

遠隔測定所6か所のN/S比の推移を図7に示す。えびの、屋久島は横ばい、他4か所は上昇傾向となった。

表1 月平均pHの階級別出現頻度及び酸性雨出現率

pH階級	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
3.60-3.99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.00-4.59	3	0	4	6	10	10	9	3	5	5	5	6	2	2	2	2	0	1	0	1	0
4.60-4.99	6	8	3	3	2	2	3	6	6	7	6	5	6	8	10	7	9	6	7	5	8
5.00-5.59	3	0	2	1	0	0	0	2	1	0	1	1	4	2	0	3	3	5	5	6	4
5.60-5.99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
サンプル数	12	8	9	10	12	12	12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
酸性雨出現率 (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
最低 pH	4.37	4.64	4.33	4.03	4.13	4.17	4.06	4.24	4.21	4.27	4.45	4.22	4.57	4.50	4.40	4.40	4.67	4.45	4.72	4.58	4.64
最高 pH	5.31	4.87	5.32	5.00	4.76	4.65	4.71	5.25	5.32	4.98	5.21	5.00	5.12	5.18	4.97	5.21	5.31	5.20	5.12	5.46	5.16
年平均 pH	4.83	4.78	4.62	4.59	4.51	4.49	4.53	4.77	4.65	4.66	4.75	4.72	4.81	4.81	4.86	4.82	4.96	4.91	4.94	5.04	4.91
加重平均 pH	4.80	4.80	4.68	4.55	4.38	4.38	4.42	4.75	4.63	4.59	4.63	4.59	4.88	4.80	4.71	4.84	4.92	4.96	5.00	5.00	4.96

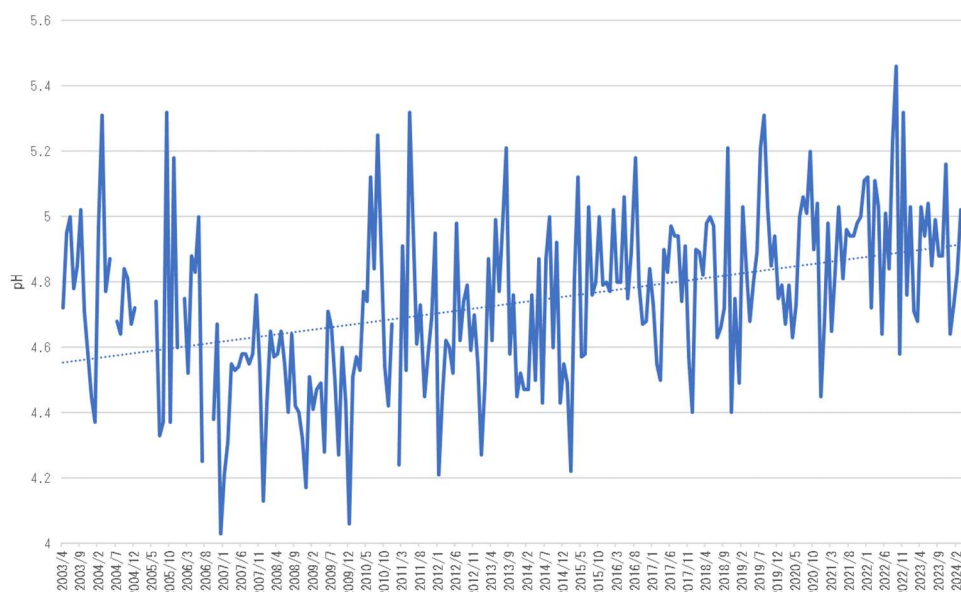


図1 対馬測定所月平均pHの経年変化

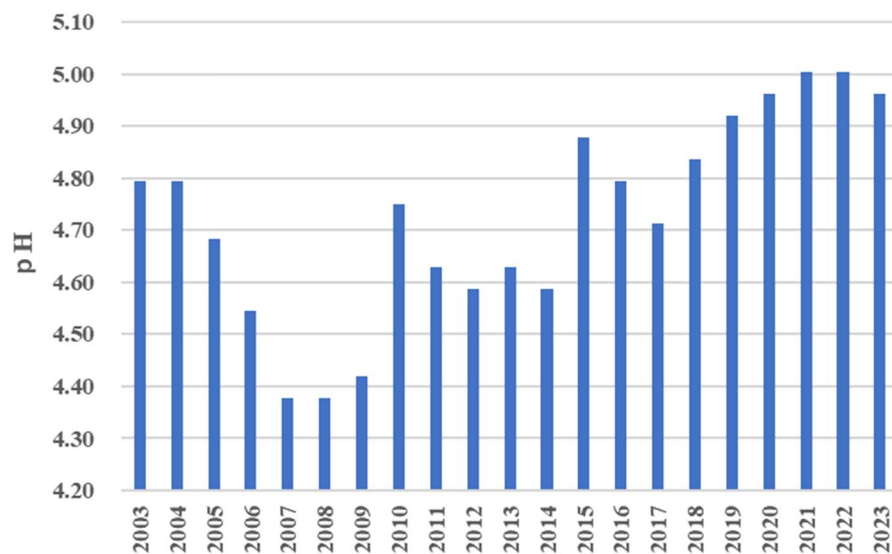


図2 対馬測定所月平均pH加重平均値の推移

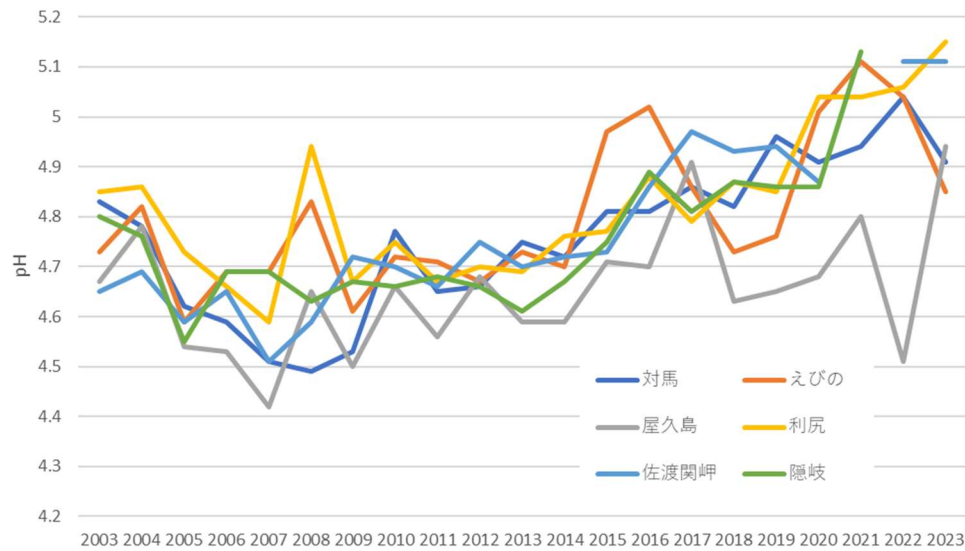


図3 遠隔測定所6か所の年平均pHの経年変化(年度別比較)

表2 対馬測定所イオン成分濃度年平均値($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)及び年降水量

年度	SO_4^{2-} (a)	nss- SO_4^{2-} (b)	b/a*100 (%)	NO_3^-	Cl	NH_4^+	Ca^{2+} (c)	nss- Ca^{2+} (d)	d/c*100 (%)	Na^+	Mg^{2+}	K^+	$\text{NO}_3^-/\text{nss-}\text{SO}_4^{2-}*100$ (%)	年降水量 (mm)
2003	16.6	12.9	77.71	11.9	69.1	17.6	3.3	2.0	60.61	61.5	7.0	3.6	92.25	2921
2004	17.6	14.0	79.55	13.2	68.1	15.8	4.0	2.7	67.50	60.6	7.7	2.6	94.29	2390
2005	25.9	21.2	81.85	19.4	81.1	29.3	5.7	4.1	71.93	78.9	7.8	4.8	91.51	1781
2006	29.6	26.3	88.85	22.8	59.9	25.6	6.6	5.4	81.82	54.9	6.9	3.4	86.69	2767
2007	28.4	26.3	92.61	25.9	37.5	32.5	4.6	3.9	84.78	34.9	4.7	3.2	98.48	2123
2008	22.4	20.4	91.07	21.0	36.8	17.7	3.9	3.1	79.49	33.0	4.1	2.0	102.94	1739
2009	19.6	17.2	87.76	16.6	44.8	18.5	3.3	2.5	75.76	40.2	5.0	1.9	96.51	1744
2010	14.2	12.0	84.51	13.0	38.1	13.1	3.7	2.9	78.38	35.1	4.1	1.9	108.33	1570
2011	17.0	14.7	86.47	14.9	41.2	15.1	3.2	2.4	75.00	38.0	4.5	1.7	101.36	1809
2012	20.1	17.1	85.07	15.6	57.2	15.6	3.3	2.2	66.67	50.2	5.9	1.7	91.23	2087
2013	18.8	14.8	78.72	14.0	75.8	14.8	3.5	2.1	60.00	66.6	7.7	2.3	94.59	2025
2014	17.0	15.0	88.24	14.5	38.1	16.5	2.5	1.8	72.00	33.6	4.2	1.6	96.67	1877
2015	13.7	12.2	89.05	10.8	27.7	10.8	2.1	1.6	76.19	24.0	3.1	1.6	88.52	2917
2016	14.5	12.7	87.59	12.4	34.0	13.6	2.1	1.4	66.67	30.4	3.8	1.5	97.64	2123
2017	11.3	8.8	77.88	10.5	47.1	8.0	1.7	0.8	47.06	41.3	4.5	1.1	119.32	1544
2018	13.0	10.6	81.54	10.4	51.4	10.1	1.9	1.0	52.63	47.1	4.6	1.5	98.11	2502
2019	11.4	9.4	82.46	7.2	38.0	9.6	1.4	0.7	50.00	32.7	3.5	1.0	76.60	2600
2020	10.3	8.4	81.55	11.4	35.9	11.7	1.8	1.2	66.67	31.1	3.6	1.1	135.71	2338
2021	9.6	7.3	76.04	11.0	42.8	9.2	1.9	1.1	57.89	37.2	4.3	1.3	150.68	2051
2022	12.0	6.6	55.00	10.6	105.4	9.6	3.2	1.2	37.50	89.7	10.0	3.0	160.61	1601
2023	11.7	8.9	76.07	13.2	53.8	12.4	2.5	1.6	64.00	45.7	5.2	1.6	148.31	2010

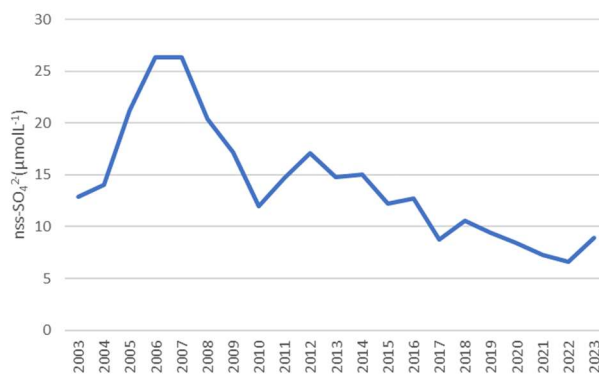


図4 対馬測定所nss- SO_4^{2-} の経年変化(年度別)

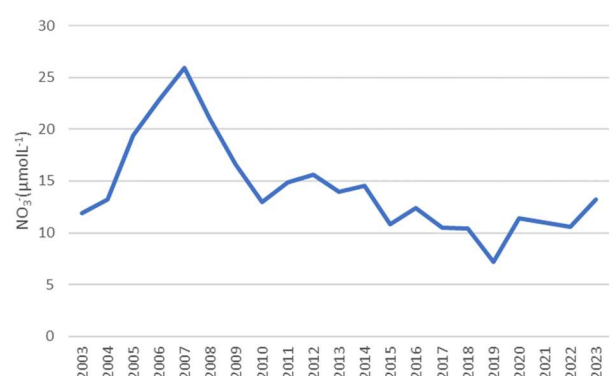


図5 対馬測定所 NO_3^- の経年変化(年度別)

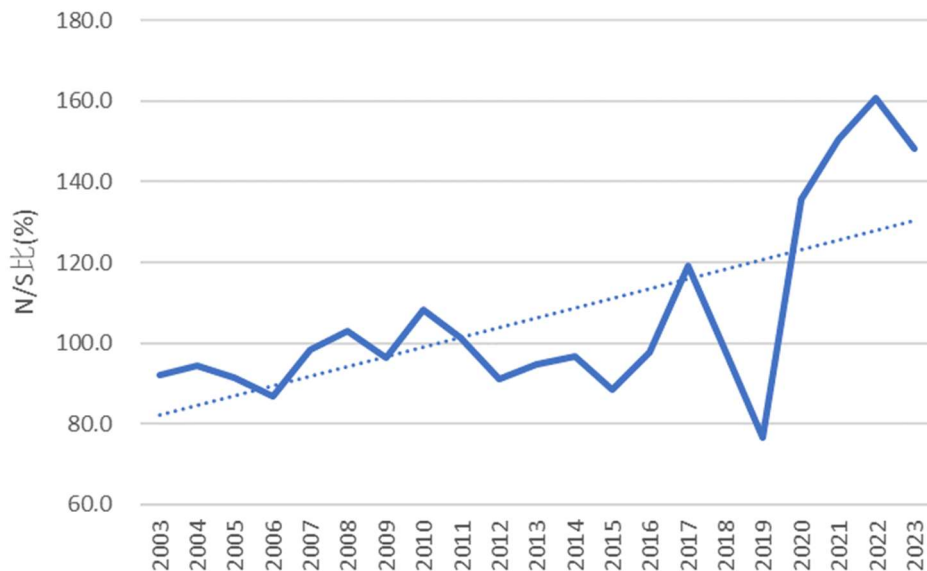


図6 対馬測定所N/S比の経年変化

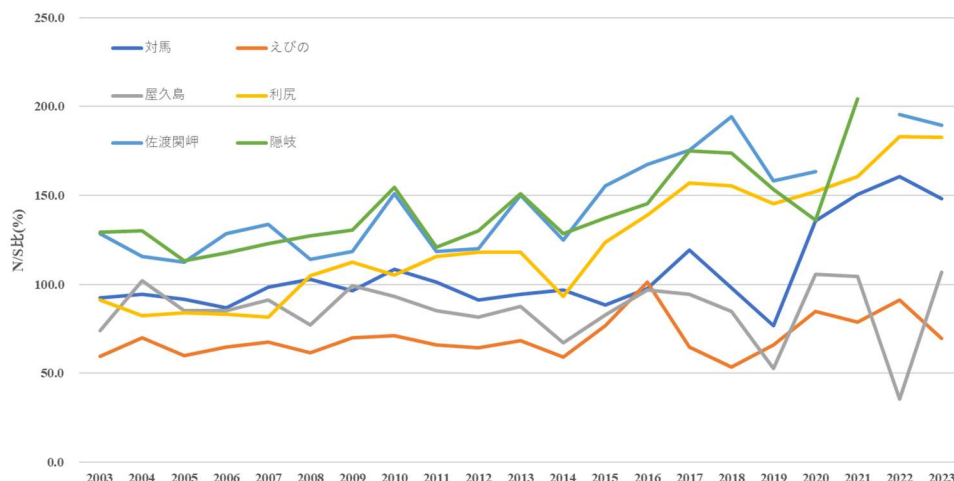


図7 遠隔測定所6か所のN/S比の年度別推移比較

ま と め

対馬測定所の2003年度から2023年度の酸性雨の傾向を解析したところ、期間中のpHの月平均での酸性雨出現率は100 %となった。一方でpHの値は全国的に緩やかな上昇傾向が見られた。

N/S比の経年変化を見ると、対馬測定所では2020年度付近から急激な上昇(nss-SO₄²⁻の減少)が見られた。これは、国際海事機関(IMO)による燃料中の硫黄成分の上限引き下げの効果が出ている可能性がある。しかし、遠隔測定所6か所のN/S比の比較では、国際海事機関(IMO)による規制強化の前後の時期ではっきりとした差が表れたのは対馬測定所のみとなっているため、より詳細な要因の分析が必要と思われる。

参 考 文 献

- 1)環境省:酸性雨長期モニタリング報告書(平成15～19年度), 101-128(2009)
- 2)環境省:越境大気汚染・酸性雨対策調査
<https://www.env.go.jp/air/acidrain/index.html>
(2025年8月4日アクセス)
- 3)大分県におけるPM2.5発生源由来の調査, 第49回九州衛生環境技術協議会, 23-24
- 4)長崎県における微小粒子状物質に関するPMF解析 第50回九州衛生環境技術協議会, 19-20

県内のマイクロプラスチックの実態調査 ―途中経過報告―

横田 哲朗, 船越 章裕, 椿 隆幸, 川野 みどり, 前田 卓磨, 堤 清香

Survey on Microplastics in Nagasaki Prefecture ―Progress report―

Tetsurou YOKOTA, Akihiro FUNAGOSHI, Takayuki TSUBAKI,
Midori KAWANO, Takuma MAEDA, Kiyoka TSUTSUMI

キーワード: マイクロプラスチック、海岸堆積物、海底土

Key words: microplastics, coastal sediments, submarine soil

はじめに

プラスチックは、その利便性から現代生活のあらゆる場面で利用されており、1950年以降に世界で生産されたプラスチックは83億トンを超え、63億トンが廃棄されたといわれている¹⁾。廃棄されたプラスチックの中には海洋に流出するものも少なからずあり、2030年までに年間最大5,300万トンが海洋流出すると予測する研究もある²⁾。中でも5 mm未満のプラスチック粒子として定義されるマイクロプラスチック(MPs)は、一度環境中へ流出した場合に回収困難であるうえ、可塑剤等の添加物や環境中で吸着する有害物質、または粒子そのものの物理的毒性により、生物の誤食を始めとする生物・生態系への影響が懸念されている。また、人体組織中からもMPsが検出されており、人体への影響についても研究が進められているところである³⁾。

国内では年間最大3.1万トンのプラスチックが海洋に流出し、その内2.4万トン(約77%)をマイクロプラスチックが占めていると推計されている⁴⁾。我が国から海洋に流出するプラスチックの多くがマイクロプラスチックとされており、新たな環境問題として対策は急務ある。

行政施策の立案においては、問題解決のために基礎的な実態把握が必須となるため、本研究では、県内の海岸を主としたMPsの分布実態を明らかにすることを主目的として、県内10地点の海岸に漂着したMPsと、大村湾の海底堆積物中のMPsの個数、重量、サイズ及びプラスチック種の分析を2023年から3か年計画で実施しているところである。

今回は、その途中経過について報告する。

材料及び方法

1 調査地点

(1) 海岸堆積物中MPs調査

海岸堆積物中MPsの調査地点について図1に示す。このうち、崎戸は海浜公園、琴ノ海は旧)琴ノ海海水浴場であり、残りの8地点は海水浴場として利用されている地点である。離島地区の4地点(井口浜、里浜、蛤浜、高浜)及び本土地区の3地点(根獅子、崎戸、白浜)は概ね北から西向きの海岸で統一した。大崎、琴ノ海は県内影響を注視する地点として大村湾内で選定しており、長浜は有明海に面する地点として選定した。なお、後述する前処理の工程で作業効率に大きく影響するため、できるだけ砂の粒度が細かい地点を選定している。

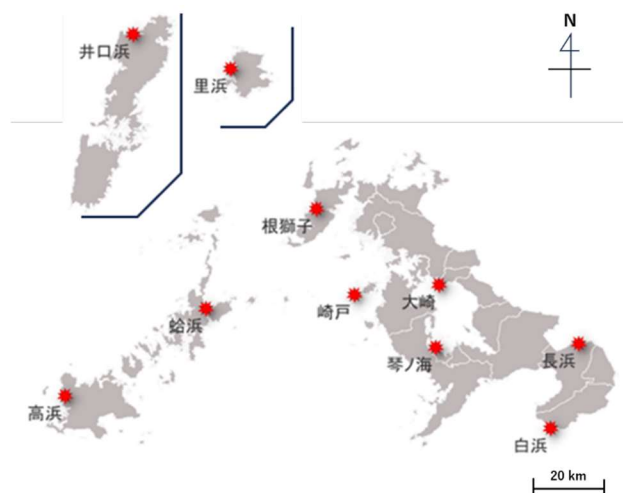


図1 海岸堆積物中MPsの調査地点

(2) 海底堆積物中MPs調査

海底堆積物中MPsの調査を図2に示す。大村湾内の2地点と対照地点として外海近海で試料を採取した。



図2 海底堆積物中MPsの調査地点

2 試料採取時期

研究計画では、海岸堆積物中MPs調査に関する試料採取は、各地点四半期に1回とし、2022年の夏季から2025年春季までの2年間とした。なお、本資料の執筆時点(2025年7月)で全ての試料採取を完了した。また海底堆積物中MPs調査に関しては、2023年度、2025年度に各1回としており、同じく本資料執筆時点において、2023年度は予定どおり実施し、2025年度も秋季に実施することを計画している。

3 試料採取方法

(1) 海岸堆積物中MPs

試料(砂)の採取には、縦30×横15×深さ5 cmのステンレス製型枠とステンレス製スコップを使用した。ステンレス製型枠の長辺が満潮線に概ね垂直となるように置き、枠内の砂をスコップで削りとり採取することとし、約10 m間隔の5地点で採取した砂を混合し一つの試料とした。また、1回の採取で上層(0 - 2.5 cm)、下層(2.5 - 5 cm)の2試料を採取した。採取した砂はポリエチレン製ビニール袋に入れて持ち帰った。

採取場所の選定については神奈川県環境科学センターの試料採取法を参照し、目視による最大ベース調査とした⁵⁾。

なお、採取日は、前回の大潮の時に海岸堆積に残留しているMPsの影響を強く受けることが懸念されたため小潮の日を含む前後2日間とした。

砂試料の採取器具及び採取状況を 図3に示す。



図3 海岸堆積物中MPsの試料採取の様子

(2) 海底堆積物中MPs

海底堆積物中MPsの試料採取にあたっては、スミスマッキンタイヤ採泥器を用いて採泥した。採泥した泥はステンレス製容器に入れて持ち帰った。

採泥器及び採泥した試料の様子を図4に示す。



図4 スミスマッキンタイヤ採泥器(左)と採泥試料(右)

4 分析方法

(1) 前処理

砂試料については、採取した全量を60℃の恒温器で乾燥させ、目合い4.75 mmの篩に掛け、通過したものを目合い800 μmの篩に掛けた。800 μmの篩に残ったものを、水道水で洗浄し60℃の恒温槽で乾燥させたのち、5.3M-ヨウ化ナトリウム水溶液(比重1.5)を用いて比重分離を行った。なお、砂中のMPsを効率的に分離するため、図5に示す特注のガラス器具を使用した。比重分離後の処理については、河川・湖沼マイクロプラスチック調査ガイドライン(環境省)⁶⁾を参照し、過酸化水素による有機物分解処理後、目視によるピッキングを行い、MPsを分離した。なお、貝殻などの炭酸カルシウム系の不純物が多い場合は必要に応じピッキング前に2M-塩酸水溶液を用いて溶解・除去した。

泥試料については、脱水や乾燥を行うと篩掛けが非常に困難となることや含まれるMPsにダメージを与える可能性があることから、湿式篩掛けを行った。まず、ステンレス容器内の泥試料を良く攪拌し均質化したものを湿重量で約5 kg分取した。これを目合い214 μmの篩を用いて湿式で篩掛けを行った。篩に残ったものについて、砂試料と同様に処理を行った。

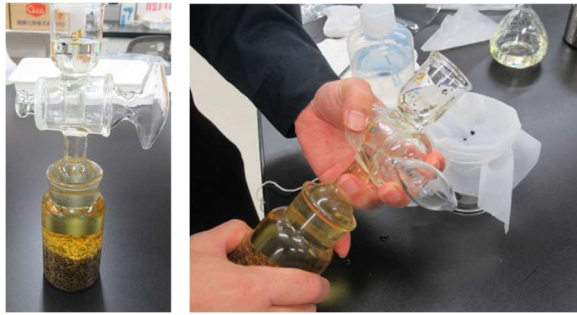


図5 比重分離用のガラス器具

(2) MPsサイズ等測定

分離したMPsは、タブレット付き実態顕微鏡を用いて観察し、形状、色、画像データ(JPGファイル)を記録した。画像データから、投影面積、長径、短径を測定した。投影面積等の測定にはNIHが開発した画像解析ソフトであるImageJ¹⁾を利用した。また、ここでいう長径及び短径とは、ImageJ上のフェレート径である。

MPs調査に関しては、河川・湖沼マイクロプラスチック調査ガイドライン(環境省)を参考としているが、本ガイドラインは2023年3月に改訂されており、改定前後で繊維状MPsの長径の測定法が大きく変更されている。改定前の2021年3月版ガイドラインは環境省HPから削除されたため閲覧できないが、端的に説明すると、改定前のガイドラインでは繊維状MPsの測定に関して明確に指定は無かったが、改定後のガイドラインでは繊維状MPsの長径は「繊維の長さ」、短径は「繊維の幅」と指定されている。このため、MPsの判断基準である長径5 mm未満のラインについて、ガイドライン改定前に測定した2022年夏季の試料とそれ以降では繊維状MPsの測定法が異なる。なお、海底堆積物中MPsに関しては、改定後のガイドラインに基づいて測定した。

(3) プラスチック種類の同定

プラスチック種類の同定には、フーリエ変換赤外分光光度計の全反射測定法(FT-IR ATR法)により実施した。機器はアジレントテクノロジー製Carry 630を使用し、プリズムの結晶はダイヤモンド結晶を使用した。測定条件は、保存波長領域が4,000 cm⁻¹から650 cm⁻¹とし、サンプルスキャン回数は8回とした。

得られたIRスペクトルは、基本的には解析ソフト(Know It All)を用いて、自作を含む表1のライブラリと照合し、既知のポリマー種スペクトルとの一致率を参照した。しかし、ライブラリに含まれる既知ポリマーのスペクトル(自作を除く)は、測定条件、例えばプリズムの結晶の種類、測定波長域などが異なり、また、サンプルのMPsは環境中や前処理における熱や酸化により劣化し、劣化由来のピークが存在する場合があるため、

一致率のみで判断することはせず、ポリマーの主骨格由来のピークや側鎖に由来するピークを考慮し、総合的に判断した。

基本的に全サンプルを測定することとしているが、試料数が膨大であり効率化を図る必要があったため、数サンプル(最低でも3サンプル)測定したもので、目視で同一と判断可能なサンプルについては、測定を省略した。測定を省略したものとしては、主に人工芝(ポリエチレン製、ナイロン製)や特徴的な文様があるプラスチックとした。また、FT-IRでは赤外線吸収が大きい黒色のサンプルはスペクトルの取得が困難であるため測定を省略した。その他、発泡スチロールに関しては、目視で判別可能であると判断し、FT-IRによる分析の対象から除外した。

表1 プラスチック種類判別に使用したライブラリ一覧

1	IR - Standards (Organic & Polymeric Compounds Subset) - Bio-Rad Sadtler
2	IR - Polymers, Hummel - Bio-Rad Sadtler
3	IR - Standards (Organic & Polymeric Compounds Subset) - Bio-Rad Sadtler
4	Multi-Technique Demo Database - Bio-Rad Sadtler
5	MPs-ATR(自作ライブラリ)

調査結果・考察

MPsは「5 mm未満のプラスチック粒子」と定義され、下限はない(ナノサイズはナノプラスチックと区別されることもあるが割愛)が、本調査では目視でMPs分離作業を行っていることから精度担保のため、河川・湖沼マイクロプラスチック調査ガイドライン(環境省)を参照し、1 mm未満のサイズは報告の対象外としている。また、繊維状MPsに関しては、検体数が膨大になり研究に支障をきたすことが懸念されたため、海岸漂着物の調査では基本的に対象外としている。一方、海底堆積物の調査では想定より検体が少ないこともあり、可能な範囲で繊維状MPsを調査した。

1 海岸堆積物中MPs

(1) 添加回収試験結果

試料の砂は地点ごとに質(粒度、密度、貝殻の有無など)が様々であるが、それらが砂中のMPsの回収率に影響を与えないか評価することが必要である。今回、2022年秋季の全試料(10地点、上層・下層の計20試料)について添加回収試験を実施した。方法は、前処理の最初の工程である乾燥前にポリエチレン製粒子(コスフェリクス社製 グリーン蛍光ポリエチレン粒子

(粒子密度:1.00 g/cc) ϕ 850 – 1,000 μ m)を100個投入し、前処理を進めピッキングにより回収した個数を計測した。結果を表2に示す。回収率の平均は95%と良好な結果が得られた。実際のMPsは様々な色や形状を示しているため、この結果がほとんど全てのMPsに対して同様の結果となることを担保することは不可能であるが、少なくとも本報告の前処理法は、直径1 mm以上の粒子状MPsであれば9割程度の回収が可能であった。

表2 添加回収試験結果(上層・下層の平均)

地点名	添加回収率(%)
井口浜海水浴場	93.5
里浜海水浴	91.0
蛤浜海水浴場	92.5
高浜海水浴場	95.5
根獅子海水浴場	98.5
崎戸海浜公園	98.5
大崎海水浴場	91.5
旧)琴ノ海海水浴場	96.0
長浜海水浴場	97.5
白浜海水浴場	98.0

(2) MPs個数分布

MPs個数分布に関しては、2022年夏季から2022年冬季の結果について報告する。なお、冬季の結果はプラスチック種類未同定であるため、暫定値である点に注意が必要である。

図6に調査地点及び季節ごとのMPs個数分布(発泡スチロールは除く)を示す。10地点全てでMPsを確認しており、県内全域に分布していることが確認された。個数に関しては里浜海水浴場(壱岐市)が3季節のトータルで1,454個と特に多く、続いて蛤浜(新上五島町)の447個、琴ノ海(時津町)の305個であった。発泡スチロールの分析は現在実施中であるが、分析が済んでいる2022年夏季の井口浜(対馬市)では5,000個超、蛤浜では1,600個超の発泡スチロールを確認した。どちらの地点も前日又は数日前に比較的強い降雨イベントが発生しており、雨で陸域から流出したものが再漂着したものである可能性が高い。

現段階でMPsが少なかった地点としては、高浜(五島市)と白浜(南島原市)が挙げられる。MPsの多寡については、海流や風の影響等が考えられるが、現状では明確ではないため、今後のデータの積み重ねと気象条件等により解析を進めていく予定である。

(3) プラスチック種類

図7に2022年夏季(左図)と秋季(右図)の地点別及びプラスチック種類別割合の調査結果を示す(発泡スチロールを除く)。全体的な傾向として、ポリエチレン(PE)とポリプロピレン(PP)の割合が多い結果となった。PEとPPはプラスチックの中で最もメジャーなポリマーであり、この2種で2023年の国内生産量の約5割を占めている⁸⁾。また、比重が0.9 – 1.0程度と比較的軽く、水に浮きやすいことから、海岸への漂着量が多くなったと考えられる。比重が1前後の主要なプラスチックとして、ポリスチレン(PS)、ポリウレタン(PU)、ポリアミド(ナイロン)(PA)があるが、PE及びPPと比較すると割合は少ない(PSに関しては発泡スチロールを除いている点に注意が必要である)。一方、特徴的な事例として、琴ノ海(時津町)と長浜(雲仙市)ではポリ塩化ビニル(PVC)の割合が他の調査地点と比較して突出しており、その多くがシート状であった。2022年夏季に琴ノ海で見つかったシート状MPs(PVC)の一例を図8に示す。PVCはPE、PPに次いで国内生産量が多い(2023年の生産割合は約17%)ポリマーであるが、比重は1.3程度と、理論上では海水には沈むため、PVC製のMPsが単体で海面付近を漂いながら輸送される可能性は低いと考えられ、排出源(発生源)は調査地点近傍であることが疑われるが、詳細は不明である。他にも、琴ノ海(時津町)の夏季及び秋季と根獅子(平戸市)の秋季では弾性があり、かつ、FT-IRで測定できない黒色のMPs粒子が見つかっている。

(4) 特徴的なMPs(ペレット、人工芝、肥料殻)

MPsは、そのサイズ故に排出源の推定が困難であることがほとんどである。しかし、中には形状(見た目)で排出源の推定が可能なMPsも存在しており、本報では特にペレット、人工芝、肥料殻について報告する。

ペレットの調査結果について、図9に示す。冬季はプラスチック種類が未同定であるため個数のみ表示している。ここでいうペレットとは、見た目の形状からプラスチック製品の原料ペレットであると推定したMPsを指す。3季節分の結果から、外海に面した調査地点で発見されており、ほとんどが離島の調査地点であった。プラスチックの種類としては、概ねPE、PPであり、PS、エチレン酢酸ビニル(EVA)も少量ながら存在を確認した。

続いて人工芝の調査結果を図10に示す。

人工芝に関しては外海、内海に関わらず発見された。プラスチックの種類はPEがほとんどだったが、琴ノ海(時津町)ではPA製(図10右側写真下段)のものを多く確認した。1回の発見量としては大崎(川棚町)と琴ノ海で比較的多くの人工芝を確認した。両地点には大

村湾内という共通点があるが、発見されている人工芝には明らかな違いがあり、琴ノ海については前述したとおりPA製が多いが、大崎では細長い人工芝を多く確認した(図10右側写真中段)。人工芝は用途により材質や形状が様々であるため、各地点で発見された人工芝の特徴から排出源(施設)を推定できる可能性がある。

最後に肥料殻の調査結果を図11に示す。

肥料殻に関しても人工芝と同じく、外海、内海に係らず発見された。プラスチックの種類はPE、PU、EVAであり、これらは被覆肥料でよくみられるプラスチックである。被覆肥料は全国的にも環境流出が問題となっており、代表的なのは稲作(水田)で使用された被覆肥料由来の肥料殻である⁹⁾。水田から肥料殻が流出するタイミングで最も多いのが代掻き時期であり、その後は降雨のタイミングで水田外に流出するため、県内では5月から6月頃の代掻きから始まり、梅雨及び台風シーズン(秋季)にかけて主要な流出時期と推察される。図11でも夏季の発見地点数、個数共に多い。なお、図には示していないが冬季は少なかった。前述の推察を検討するには更なるデータの積み上げが必要である。

2 海底堆積物中MPs

図12に海底堆積物中MPsの地点別個数及びプラスチック種類を示す。図12に関してはピックアップした全てのMPs候補粒子を集計した。また、ピックアップしたMPs候補粒子のうち、MPsであることが確定したものに関し、図13に海底土の単位重量あたりのMPs個数を示す。

プラスチックの種類としては、PP、PEの割合が多くPA、PS、PUなども見られた。一方、海水より比重が大きく海底に堆積することを予想していたPVCやポリエチレンテレフタレート(PET)などは発見されなかった。なお、図12の「測定不能」又は「ロスト」の検体は全て繊維状であった。これらは短径(繊維幅)が概ね20 µm程度と細く、その形状のため当センターのFT-IRでは良好なスペクトルが得られなかった。

海底土の単位重量当たりでみると、大村湾奥部が最も多い結果となった。大村湾奥部は他の地点と比べても陸地に近く、また県内でも人口が集中している地

域に近いことが影響している可能性がある。このため、2025年度の調査では、陸地に近い地点での採取を計画している。

ま と め

今回は、2022年度から3か年計画で実施している県内のMPs分布実態調査の途中経過について報告した。調査を行った海岸、海底の全ての地点でMPsを確認し、MPsは全域的に分布していると考えられる。

海岸に漂着するMPsは季節変動が大きいものの、漂着量や一部のプラスチックに関する地点別傾向が出つつあるため、今後のデータ蓄積が重要となる。

海底に堆積するMPsについては、人の生活圏に近い地点でMPsが多くなることが示唆されたため、2025年度調査では、より陸地に近い地点での試料採取を行う予定である。

参 考 文 献 ・ 脚 注

- 1) Geyer, Jambeck, Law, Production, use, and fate of all plastics ever made, *Sci. Adv.* 2017; 3:e1700782
- 2) Borrelle et al., Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution, *Science* **369**, 1515–1518 (2020)
- 3) R. Marfella et al., Microplastics and Nanoplastics in Atheromas and Cardiovascular Events, *N Engl J Med.* **390**, 900-910 (2024)
- 4) 環境省, 2023 年度検討結果 日本の海洋プラスチックごみ流出量の推計, <https://www.env.go.jp/content/000320690.pdf>(最終アクセス:2025 年 8 月 5 日)
- 5) 池貝隆弘, 長谷部勇太, 三島聡子, 小林幸文, 海岸漂着量の評価のためのマイクロプラスチック採取方法, *全国環境研会誌*, **42**, No.4 (2017)
- 6) 環境省, 河川・湖沼マイクロプラスチック調査ガイドライン(2023 年 3 月版)
- 7) ImageJ, <https://imagej.net/ij/index.html> (最終アクセス:2025 年 8 月 5 日)
- 8) 塩ビ工業・環境協会 HP, https://www.vec.gr.jp/statistics/statistics_4.html (最終アクセス:2025 年 8 月 5 日)
- 9) 農林水産省, プラスチック被覆肥料の被膜殻の流出防止について, https://www.maff.go.jp/j/seisan/sien/sizai/s_hiryo/hihuku_hiryo_taisaku.html (最終アクセス:2025 年 8 月 5 日)

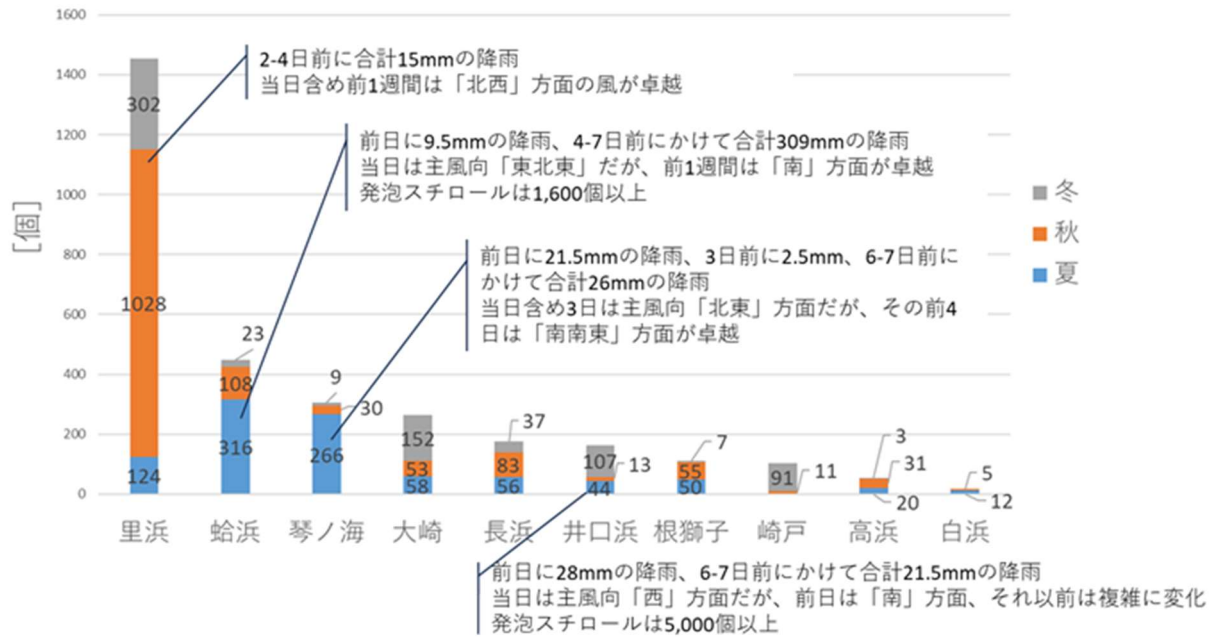


図6 MPs個数分布(発泡スチロールを除く)

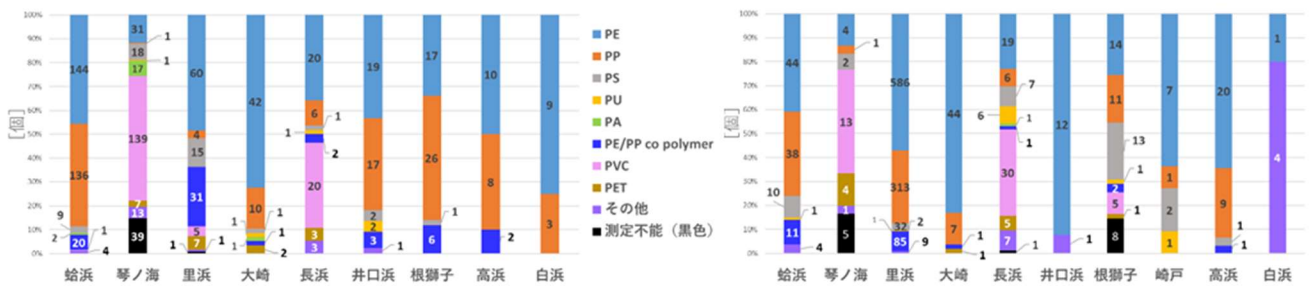


図7 各地点のプラスチック種類別割合(左図:2022年夏季、右図:2022年秋季)

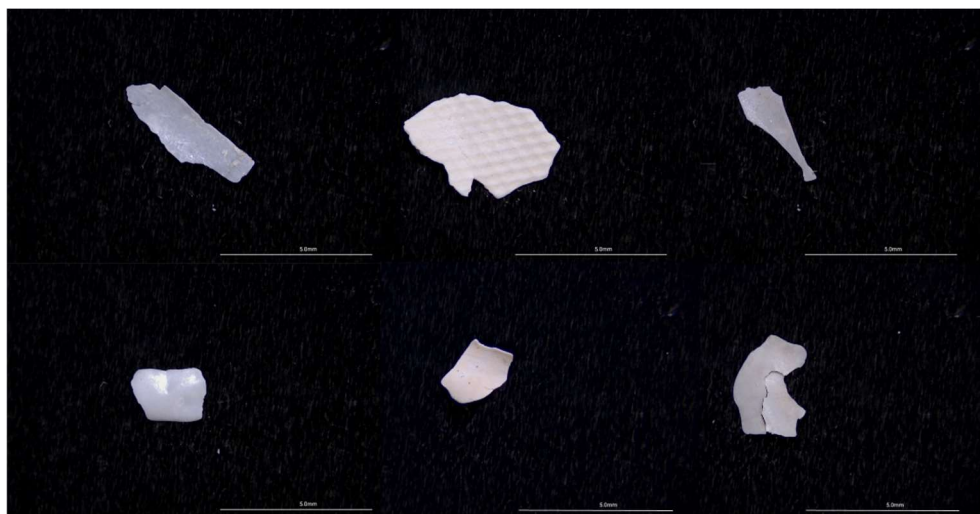


図8 シート状のPVC製MPs粒子の一例(2022年夏季_琴ノ海から発見したものを抜粋)

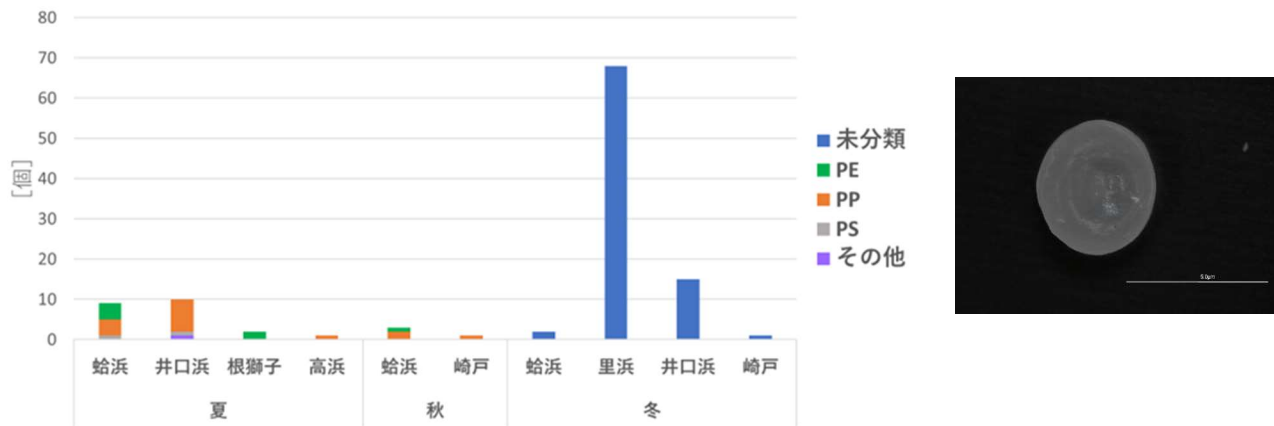


図9 ペレット状MPs個数とプラスチック種類(左図)とペレット状MPs写真(右図)

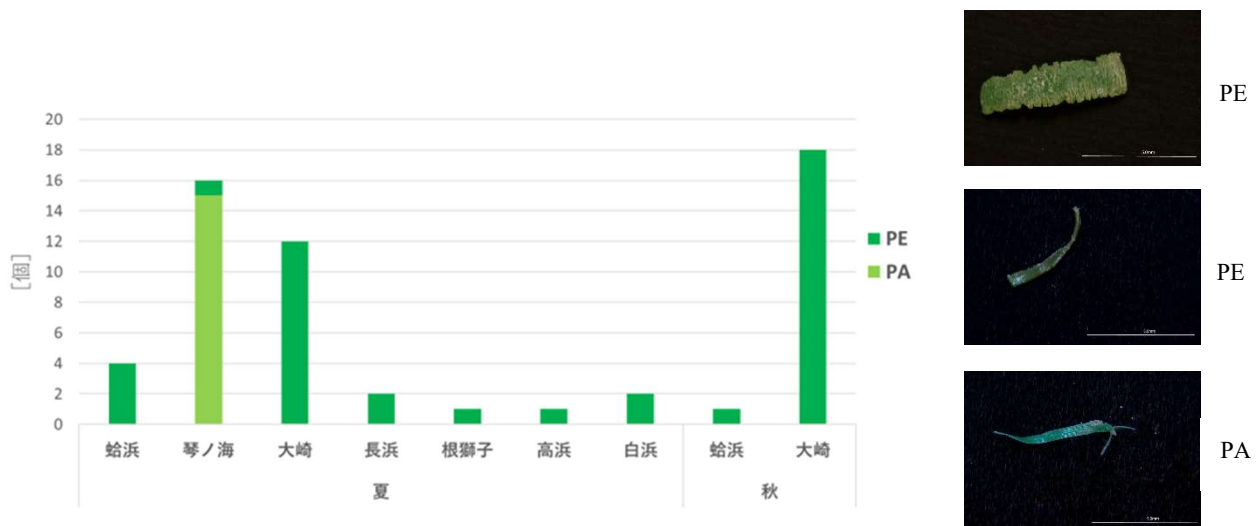


図10 人工芝疑いのMPs個数とプラスチック種類(左図)と人工芝疑いMPsの写真(右図)

右図上段は比較的の厚みのあるPE製で、発見場所の偏りは見られない。右図中段は細長い形状が特徴的なPE製であり、大崎海水浴場でよく見られる。右図下段は細長く厚みもないタイプのPA製で、本報執筆時点では琴ノ海からのみ見つかった。

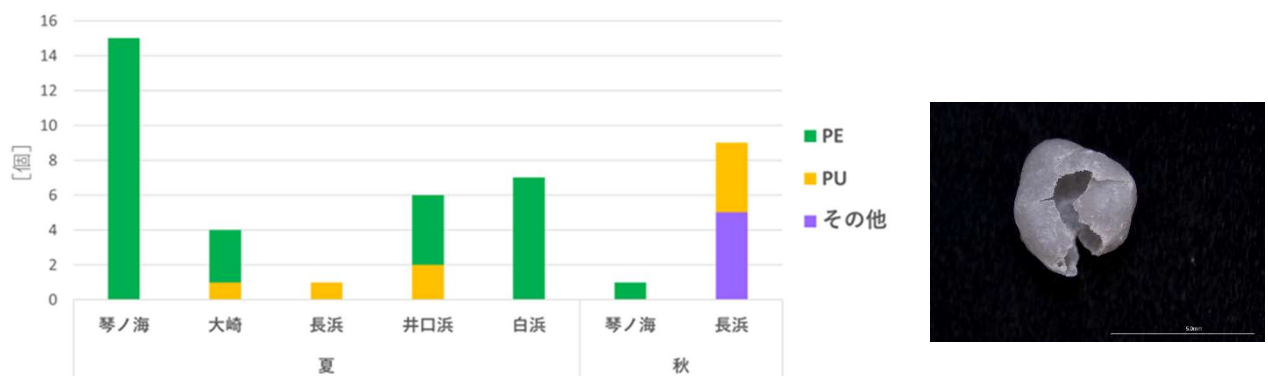


図11 肥料殻疑いのMPs個数とプラスチック種類(左図)と肥料殻疑いMPsの写真(右図)

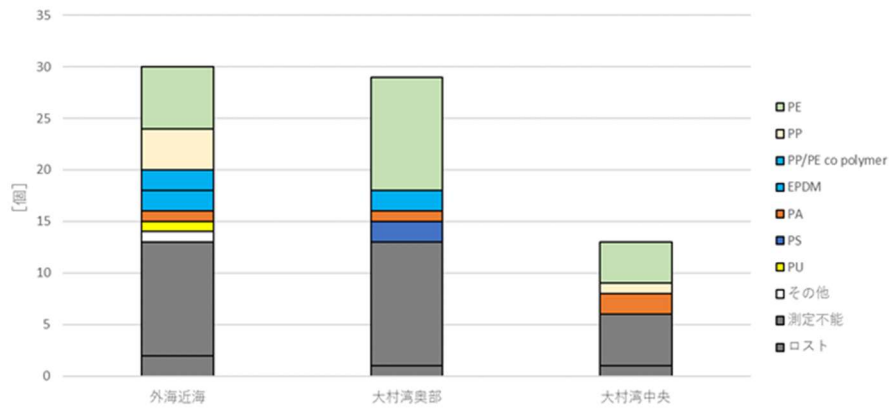


図12 海底土中MPs個数とプラスチック種類

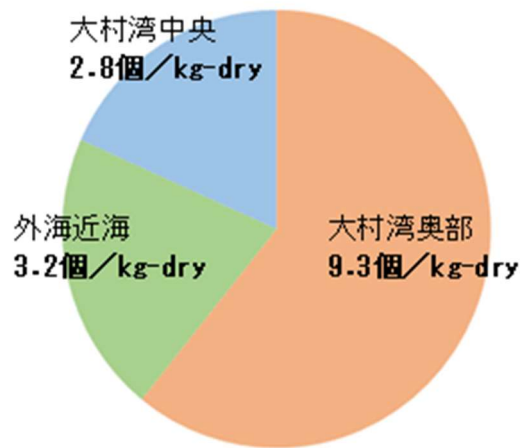


図13 海底土中MPsの個数(乾燥土単位重量あたり)