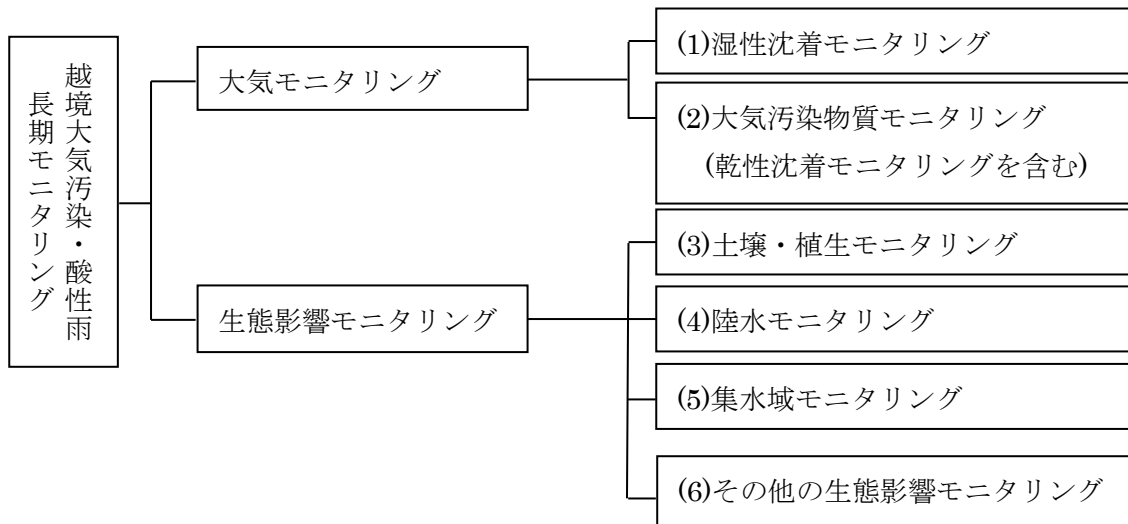


酸性雨の状況について（令和元年度）

1. はじめに

環境省(庁)では昭和 58 年度(1983 年度)から酸性雨モニタリングを実施してきたが、オゾンやエアロゾルも対象に越境大気汚染を監視することを明確にする観点から、平成 21 年度(2009 年度)に「越境大気汚染・酸性雨長期モニタリング計画」を策定し、改訂しながら、湿性沈着(降水)、大気汚染物質(ガス、エアロゾル)、土壌・植生、陸水及び集水域の各分野についてモニタリングを実施している。本計画に基づく平成 25～29 年度(2013-2017 年度)調査の結果については、平成 30 年度に「越境大気汚染・酸性雨長期モニタリング報告書（平成 25～29 年度）」として公表した。ここでは、令和元年度(2019 年度)調査データについて、長期モニタリング報告書等に示す過去データとの比較も行いながら考察した結果を報告する。



2. モニタリングの結果

2.1 大気モニタリング

2.1.1 モニタリング地点

酸性沈着の全国的な状況を把握するため、図 1 に示す北海道、本州中北部日本海側、太平洋側、瀬戸内海沿岸、山陰、東シナ海沿岸及び南西諸島に設置された 20 調査地点において大気モニタリングを実施した。なお、平成 30 年度で竜飛岬（遠隔）、越前岬（遠隔）、蟠竜湖（都市）、大分久住（田園）がモニタリングを終了し、令和元年度から新潟巻及び対馬が EANET 局となった。

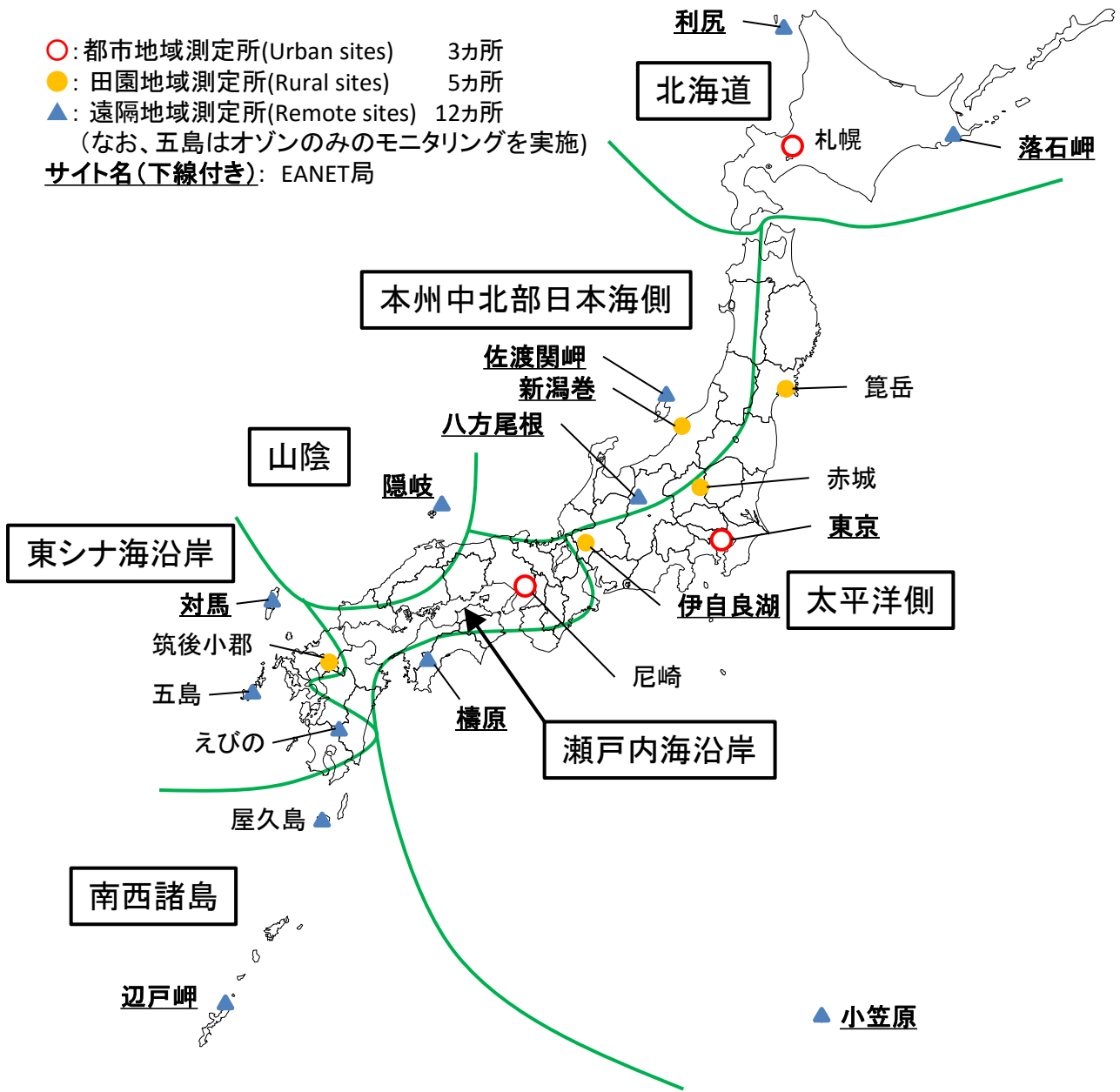


図1 大気モニタリング地点

2.1.2 大気モニタリングの結果

(1) 湿性沈着(降水)

① 湿性沈着の年平均値の傾向及び酸性沈着の季節変動

次の有効判定基準を満たした結果を解析し、地点間の比較等を行った。

- 1) 月間・年間値については、降水量の測定日数が対象日数の80%以上であり、さらに対象期間中における有効試料の割合が80%以上であること
- 2) $nss\text{-SO}_4^{2-}$ と $nss\text{-Ca}^{2+}$ については、海塩粒子の寄与率が75%以下であること

湿性沈着の過去からの変動を図 2-1 に示す。長期スパンで見た場合は変わらない地域が多いが、5年程度の短期スパンで見た場合、減少を示す地域が多い。沈着量はいずれも西側で多く東側で少ない。

ア) 降水量

年間降水量は 750.6 mm y^{-1} (利尻)～ 3788.0 mm y^{-1} (屋久島)の範囲にあり、全地点平均値は 1984.5 mm y^{-1} であった。降水量は九州以南で多い一方、北海道地方では比較的少ない傾向が認められた。季節的には南西諸島で6月、東シナ海沿岸で7月、北海道、本州中北部日本海側及び山陰で8月、太平洋側及び瀬戸内海沿岸で10月と、夏季から秋季にかけて最大となった。

イ) pH

pH の平成 27～令和元年度までの年平均値及び5年間の平均値を地点別に図 2-2 に示す。令和元年度の pH の地点別年平均値は pH 4.65 (屋久島)～pH 5.15 (小笠原)の範囲にあり、全地点平均値は pH 4.85 で前年度からわずかに低下した。

ウ) 主なイオン成分の濃度と沈着量

pH は酸と塩基のバランスで決定され、酸性に寄与する成分としては硫酸及び硝酸が、塩基性に寄与する成分としてはアンモニア及び塩基性カルシウム化合物が考えられている。このため、降水中の非海塩由来硫酸イオン($nss\text{-SO}_4^{2-}$)及び硝酸イオン(NO_3^-)は湿性沈着の酸性化に寄与した成分の指標、アンモニウムイオン(NH_4^+)及び非海塩由来カルシウムイオン($nss\text{-Ca}^{2+}$)は酸性化を抑制した成分の指標とみなすことができる。また、イオン成分の湿性沈着量は、生態系などに対する長期的な影響の把握に有効な情報である。これらの4種類のイオン成分と水素イオン(H^+)濃度の測定結果の概要を表 2-1 に、 $nss\text{-SO}_4^{2-}$ の月平均値、月間沈着量、月間降水量の季節変動について令和元年度及び対象データとして平成 26～30年度の月間値の(加重)平均値を図 2-3 に示す。

pH の年平均値、 H^+ の年間沈着量及び $nss\text{-SO}_4^{2-}$ 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 $nss\text{-Ca}^{2+}$ の年平均濃度と沈着量について、令和元年度の結果及び平成 16～30年度のモニタリング結果から各地点・項目の10%値、25%値、中央値、75%値、90%値を図 2-4 及び図 2-5 にそれぞれ示す。pH については、東京、新潟巻、伊自良湖及び隠岐の4地点で90%値を上回る結果となった。

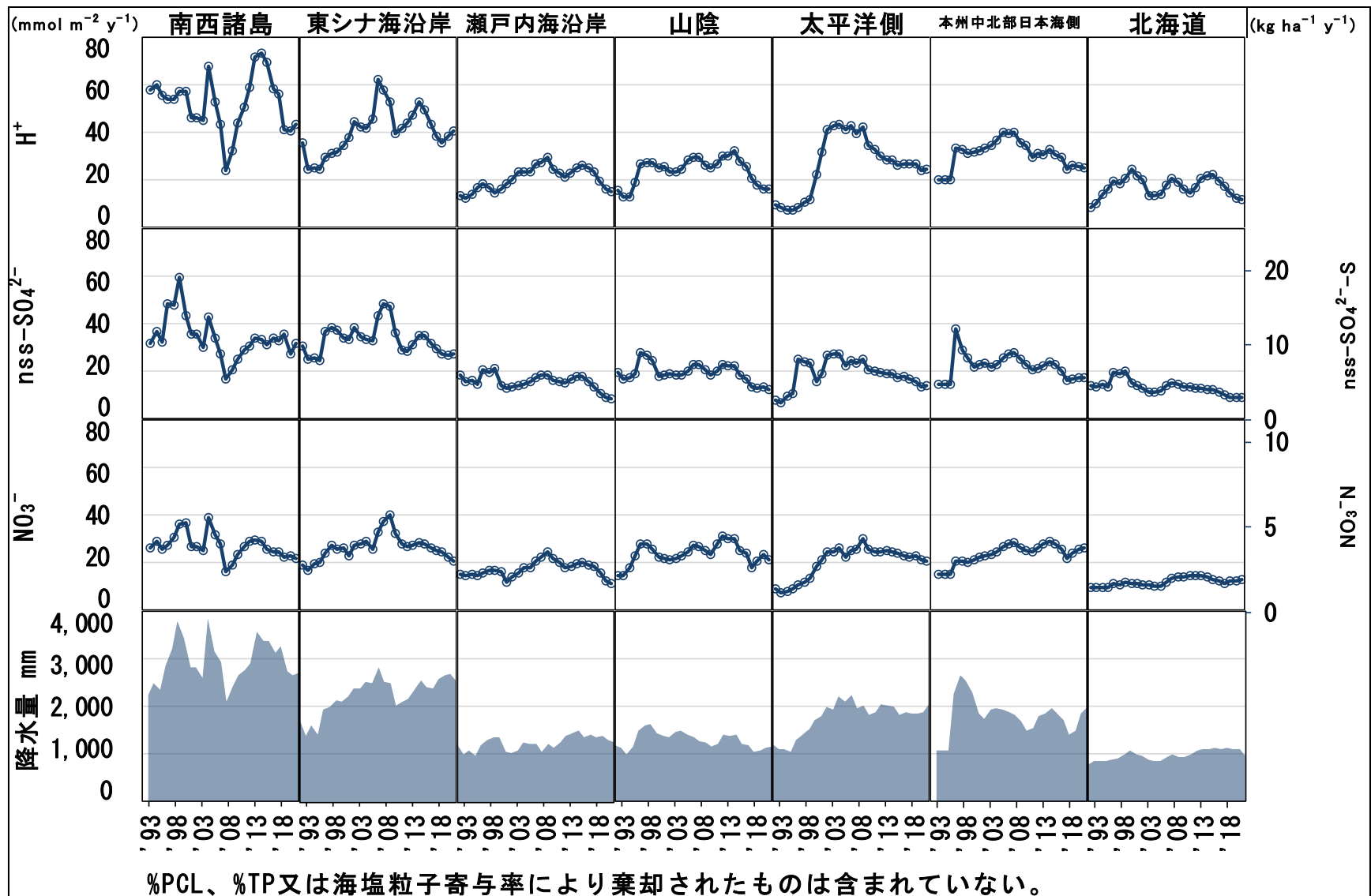


図 2-1 湿性沈着 平成 5 年度からの 3 年移動平均

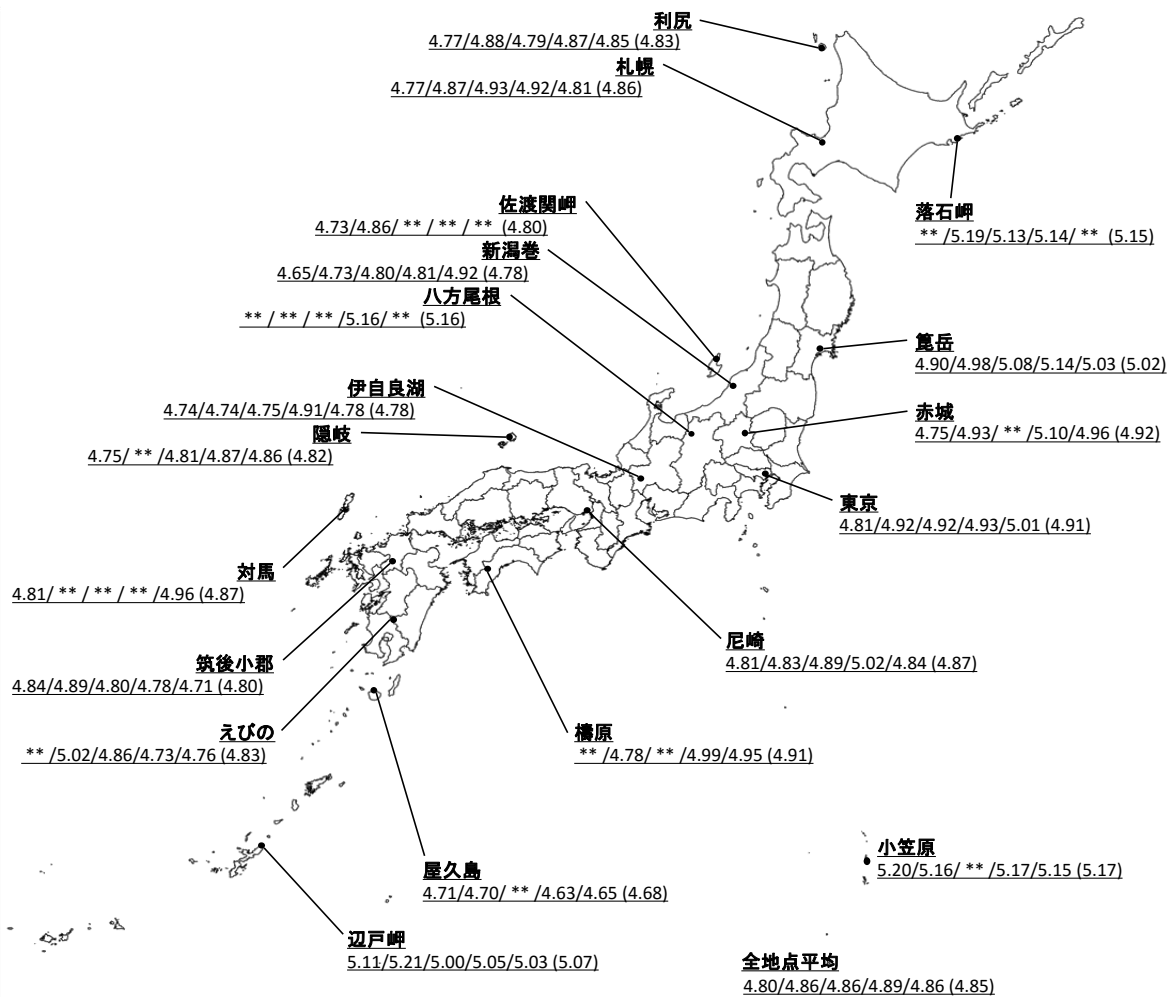


図 2-2 過去5年間の各測定局の降水 pH の推移と平均値
 平成 27 年度/平成 28 年度/平成 29 年度/平成 30 年度/令和元年度 (5 年間平均値)
 **:年平均値が年判定基準への適合判定により棄却
 注) 平均値は降水量加重平均により求めた

表 2-1 降水中の主なイオン成分の測定結果

項目	年平均値と月平均濃度・月間沈着量の変動の特徴
nss-SO ₄ ²⁻	<p>○年平均濃度（単位：μmol L⁻¹）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・年平均値の範囲：4.1（辺戸岬）～14.8（屋久島） ・年間値の全地点加重平均値：8.9 ・月平均濃度の変動：夏季に低く冬季に高くなる傾向が認められた。南西諸島では1月に顕著な濃度上昇がみられ、屋久島での月間値は54.4であった。 ・15年間パーセンタイル値との比較：篔岳、東京、新潟巻、伊自良湖及び隠岐で10%値未満であった。 <p>○年間沈着量（単位：mmol m⁻² y⁻¹）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・年平均値の範囲：7.46（利尻）～56.06（屋久島） ・年平均値の全地点平均値：18.55 ・月間沈着量の変動：本州中北部日本海側や山陰では濃度同様夏季に低い傾向がみられた。そのほかの地域では夏季は高い傾向がみられる。南西諸島の1月は5年平均と比較しても突出して高くなっており、屋久島の寄与が大きい（26.37 mmol m⁻² month⁻¹）。 ・15年間パーセンタイル値との比較：利尻、新潟巻、伊自良湖、尼崎及び隠岐で10%値未満であった。
NO ₃ ⁻	<p>○年平均濃度（単位：μmol L⁻¹）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・年平均値の範囲：2.2（小笠原）～14.7（札幌） ・年間値の全地点加重平均値：8.9 ・月平均濃度の変動：過去の5年度と同様、夏季に低く冬季に高くなる傾向が認められた。北海道では12月～1月に濃度上昇がみられ、本州中北部日本海側及び山陰には1～2月にかけて濃度低下がみられた。 ・15年間パーセンタイル値との比較：篔岳、東京、小笠原、新潟巻、伊自良湖、隠岐及び筑後小郡で10%値未満であった。 <p>○年間沈着量（単位：mmol m⁻² y⁻¹）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・年平均値の範囲：4.37（小笠原）～36.72（伊自良湖） ・年平均値の全地点平均値：18.48 ・月間沈着量の変動：各地域区分において過去の5年度と概ね同様の変動傾向が示されていた。 ・15年間パーセンタイル値との比較：利尻、新潟巻、伊自良湖、尼崎、隠岐、筑後小郡及びえびので10%値未満であった。
NH ₄ ⁺	<p>○年平均濃度（単位：μmol L⁻¹）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・年平均値の範囲：2.5（小笠原）～18.5（札幌） ・年間値の全地点加重平均値：9.7 ・月平均濃度の変動：過去の5年度と同じく、夏季に低く冬季に高くなる傾向が認められた。北海道ではNO₃同様、12月～1月に濃度上昇がみられた。 ・15年間パーセンタイル値との比較： 篔岳、東京、小笠原、新潟巻、伊自良湖、隠岐、筑後小郡及び辺戸岬で10%値未満であった。 <p>○年間沈着量（単位：mmol m⁻² y⁻¹）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・年平均値の範囲：4.97（小笠原）～34.56（伊自良湖） ・年平均値の全地点平均値：20.16 ・月間沈着量の変動：各地域区分において過去の5年度と概ね同様の変動傾向が示されていた。また、本州中北部日本海側、山陰では濃度上昇に伴い、沈着量も3月に最も高い値を示した。 ・15年間パーセンタイル値との比較： 利尻、新潟巻、伊自良湖、尼崎、隠岐、筑後小郡、えびの及び辺戸岬で10%値未満であった。

nss-Ca ²⁺	<p>○年平均濃度 (単位：μmol L⁻¹)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・年平均値の範囲：0.7 (対馬)～4.1 (屋久島) ・年間値の全地点加重平均値：1.9 ・月平均濃度の変動：nss-SO₄²⁻、NO₃⁻及びNH₄⁺と同様に夏季に低く冬季に高くなる傾向が認められたほか、南西諸島では屋久島の寄与で1月に高濃度となった。 ・15年間パーセンタイル値との比較：籠岳、尼崎、隠岐及びえびので10%値未満であった。
	<p>○年間沈着量 (単位：mmol m⁻² y⁻¹)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・年平均値の範囲：1.50 (籠岳)～15.69 (屋久島) ・年平均値の全地点平均値：3.94 ・月間沈着量の変動：nss-Ca²⁺濃度同様、夏季に低く冬季に高くなる傾向がみられ、南西諸島は屋久島の寄与で1月に高くなった。 ・15年間パーセンタイル値との比較：利尻、尼崎、隠岐及びえびので10%値未満となった。
H ⁺	<p>○年平均濃度 (単位：μmol L⁻¹)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・年平均値の範囲：5.15 (小笠原)～22.26 (屋久島) ・年間値の全地点加重平均値：13.85 ・月平均濃度の変動：過去の5年度と概ね同様の傾向であった。
	<p>○年間沈着量 (単位：mmol m⁻² y⁻¹)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・年平均値の範囲：10.62 (利尻)～84.33 (屋久島) ・年平均値の全地点平均値：28.78 ・月平均濃度の変動：過去の5年度と概ね同様の傾向であったほか、南西諸島は屋久島の寄与で1月に高くなった ・15年間パーセンタイル値との比較：利尻、新潟巻、伊自良湖、尼崎及び隠岐で10%値未満であった。

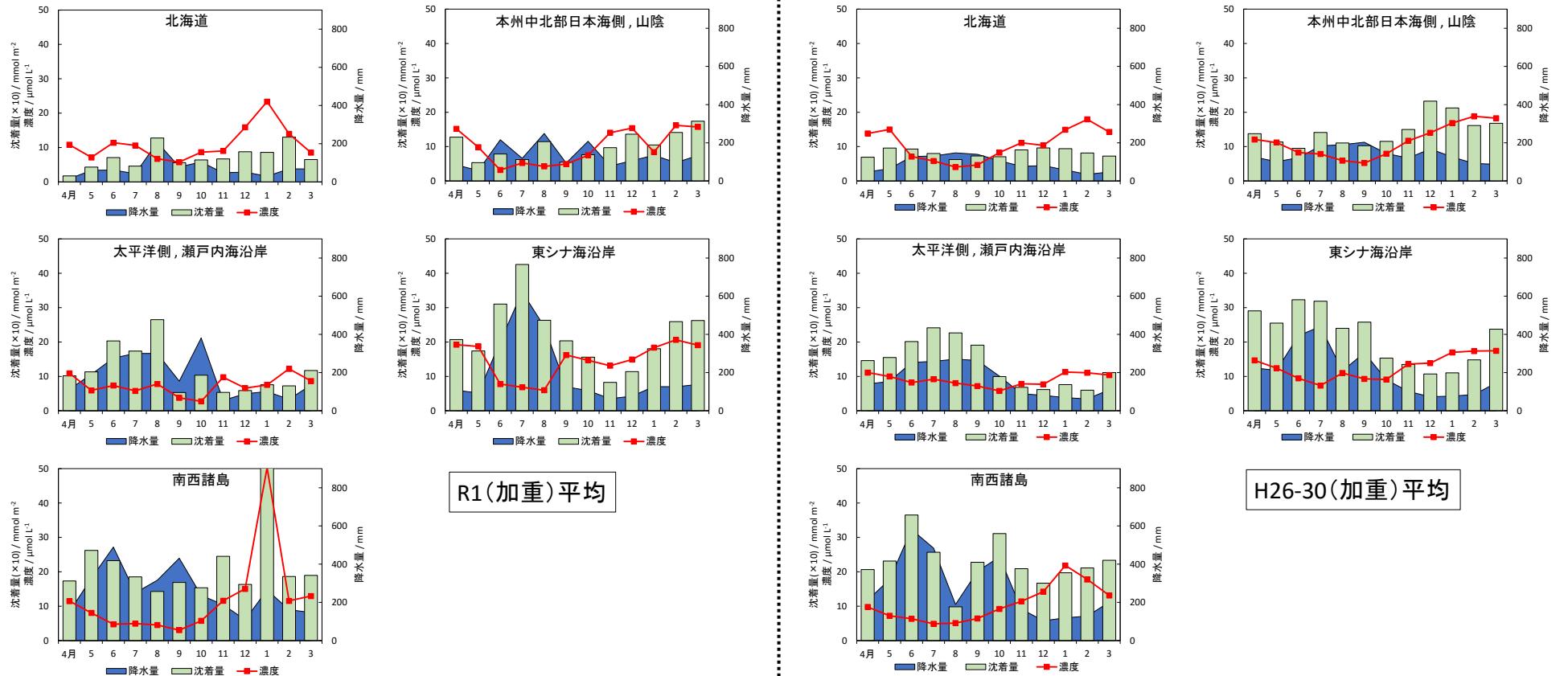


図 2-3 nss-SO₄²⁻ の月平均濃度及び月間沈着量並びに月間降水量の季節変動 (令和元年度及び平成 26-30 年度)

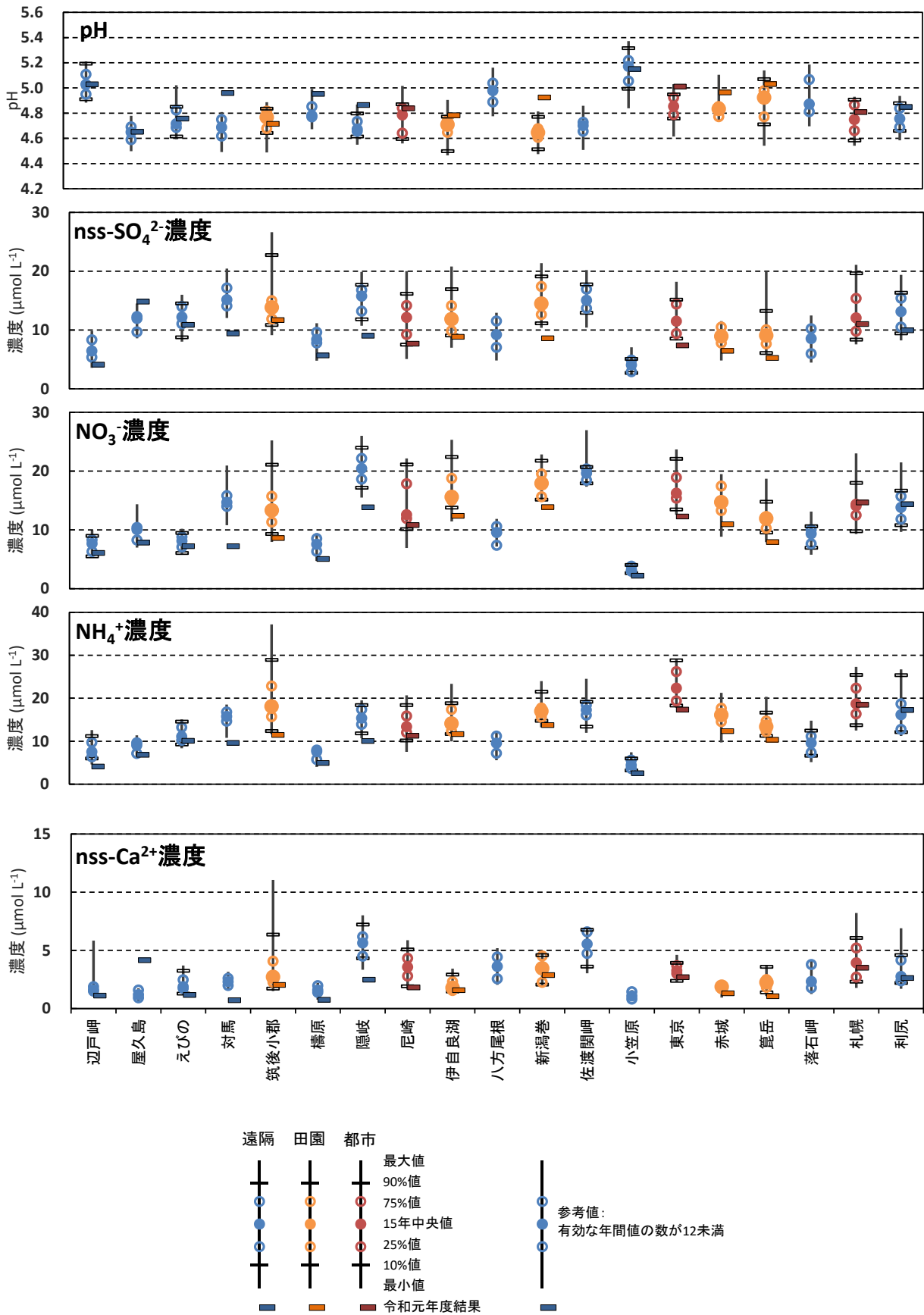


図 2-4 pH 及びイオンの年平均濃度(令和元年度及び平成 16-30 年度のパーセンタイル値)

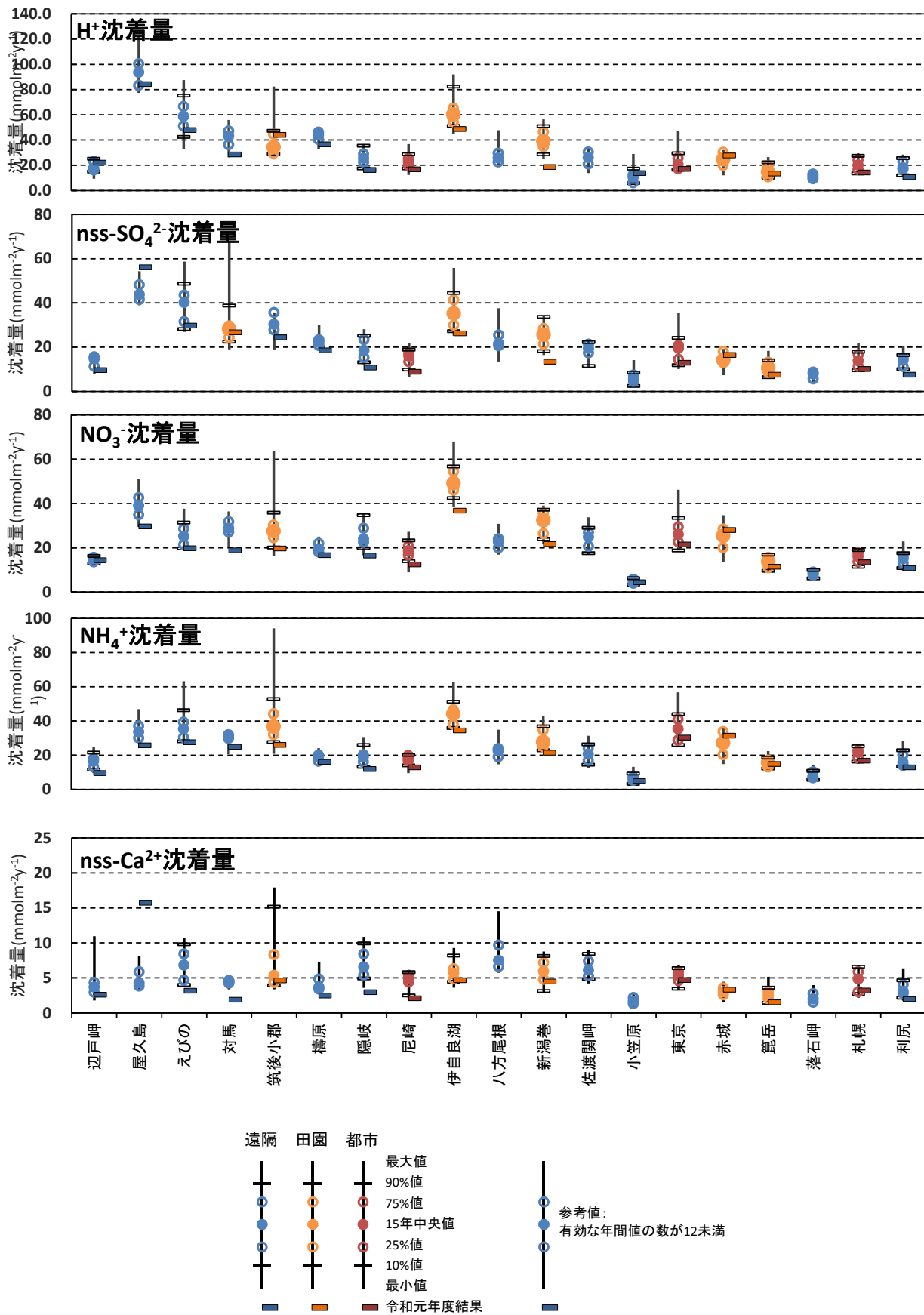


図 2-5 イオンの年間沈着量(令和元年度及び平成 16-30 年度のパーセンタイル値)

(2) 大気汚染物質(ガス・粒子)

① 大気汚染物質の年平均値の傾向及び季節変動

令和元年度における大気汚染物質(ガス・粒子)の主な測定項目についての概要を本ページ下記に、結果を表 2-2 に示す。また、図 2-6～図 2-8 にはガス・粒子状物質濃度 (O_3 、 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$) の季節変動を、図 2-9～図 2-10 にはフィルターパック法によるガス状及び粒子状成分濃度 (NO_3^- 、 HNO_3) の季節変動をそれぞれ示す。さらに、図 2-11～図 2-15 では、 SO_2 、 NO_x 、 O_3 、 $PM_{2.5}$ 及び PM_{10} について、令和元年度平均値を平成 16～30 年度の年平均値分布 (最小値、25%値、中央値、75%値、最大値) と比較した。

また、 $PM_{2.5}$ 重量濃度が長期間取得されている測定局を対象として、フィルターパック法による粒子状成分濃度 (SO_4^{2-} 、 NO_3^- および NH_4^+) と $PM_{2.5}$ 重量濃度の経年変化を 3 年移動平均値で比較した結果を図 2-16 に示す。有効データ(自動測定器: 1 時間値、フィルターパック: 2 週間値)の得られた時間が調査対象時間の 70%以上あった値のみを解析に使用し、3 年移動平均値は当該年度を含む前 3 年間の全てが有効である場合に算出した。 $PM_{2.5}$ 濃度の長期観測地点として利尻、落石岬、隠岐の 3 地点を選択し、利尻及び隠岐の $PM_{2.5}$ 濃度は本州中北部日本海側(竜飛岬[2018 年度まで]、佐渡関岬、八方尾根)及び利尻、隠岐で測定された成分濃度と、落石岬は太平洋側(伊自良湖、梶原、小笠原)及び落石岬で測定された成分濃度とそれぞれ比較した。これらの解析の結果についても表 2-2 に示した。なお、利尻及び隠岐では解析期間中に $PM_{2.5}$ 濃度の測定法が TEOM 法 (~2013 年度) から β 線吸収法 (2014 年~) に変更されたが、ここでは測定法の違いは考慮せず、全てのデータについて同じ取扱いをした。落石岬については測定開始当初から β 線吸収法により測定されていた。

[主な測定項目]

ア) 自動測定器

SO_2 (16 地点)、 NO_x^* (遠隔・田園地域) 及び NO_x/NO_2 (都市地域) (14 地点)、 O_3 (19 地点)、 PM_{10} (10 地点)、 $PM_{2.5}$ (14 地点)

イ) フィルターパック法

- ・ 粒子状成分濃度 (SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+}) (10 地点)
- ・ ガス状成分濃度 (HNO_3 、 NH_3) (10 地点)

表 2-2 主な項目の測定結果

項目	年平均値、月平均濃度の変動の特徴
SO ₂ (自動測定器) 有効地点数： 16 地点	<ul style="list-style-type: none"> 年平均値の範囲：<0.1 ppb (利尻、小笠原) ~2.8 ppb (屋久島) 年平均値の全地点平均：0.6 ppb 月平均濃度の変動：平成 26~30 年度同様、晩秋から冬季にかけて濃度が上昇する傾向がみられた。屋久島では 10 月~翌年 2 月くらいまで桜島の噴火が集中的に記録されており、11 月の月平均値は 6.7ppb となった。また、えびの局でも 12 月の月平均値は 3.2ppb と高かった。気象庁の管内月間火山状況 (令和元年 11 月^{注2)}) では、桜島と口永良部島がレベル 3 の入山規制となっており、その周辺の屋久島、えびの局では影響を受けていると考えられる。 過去 15 年間パーセンタイル値との比較：佐渡関岬及び八方尾根で 25%値未満となった。 (測定器の不具合で伊自良湖が有効データは 70%未満であった。)
NO _x *、NO _x ^{注1)} (自動測定器) 有効地点数： 14 地点	<ul style="list-style-type: none"> 年平均値の範囲：0.3 ppb (小笠原) ~17.7ppb (尼崎) 年平均値の全地点平均：3.8 ppb 月平均濃度の変動：平成 26~30 年度同様、晩秋から冬季にかけて濃度が上昇する傾向がみられた。都市地域である札幌、尼崎は他地点に比べ 10 倍程度濃度が高く、近傍の排出源の影響を受けていると考えられる。 15 年間パーセンタイル値との比較：佐渡関岬及び八方尾根 25%値未満となった。 (測定器の不具合で利尻、梶原、小笠原の有効データは 70%未満であった。)
O ₃ ^{注3)} (自動測定器) 有効地点数： 19 地点	<ul style="list-style-type: none"> 年平均値の範囲：23 ppb (伊自良湖) ~50 ppb (八方尾根) 年平均値の全地点平均：38 ppb 月平均濃度の変動：平成 26~30 年度の傾向とよく一致しており、春季に濃度が高く、夏季に低く、3 月にかけて濃度が再び上昇する地点が多くみられた。 15 年間パーセンタイル値との比較：利尻及び落石岬で 25%値未満であった。 (測定器の不具合で小笠原の有効データは 70%未満であった。)
PM ₁₀ (自動測定器) 有効地点数： 10 地点	<ul style="list-style-type: none"> 年平均値の範囲：12μg m⁻³ (梶原) ~29μg m⁻³ (辺戸岬) 年平均値の全地点平均：20μg m⁻³ 月平均濃度の変動：全体的に春季に高い傾向が認められたほか、夏季にも高くなる地点がみられた。 15 年間パーセンタイル値との比較：落石岬で 25%値未満、利尻 75%値超過となった。
PM _{2.5} (自動測定器) 有効地点数： 14 地点	<ul style="list-style-type: none"> 年平均値の範囲：6μg m⁻³ (小笠原) ~13 μg m⁻³ (尼崎) 年平均値の全地点平均：9 μg m⁻³ 月平均濃度の変動：全体的に春季に高くなる傾向がみられ、挙動は PM₁₀ と概ね一致していた。 15 年間パーセンタイル値との比較：落石岬及び隠岐で 25%値未満となった。
粒子状 SO ₄ ²⁻ (フィルターパック) 有効地点数： 10 地点	<ul style="list-style-type: none"> 年平均値の範囲：1.29 μg m⁻³ (八方尾根) ~3.82 μg m⁻³ (辺戸岬) 年平均値の全地点平均：2.46 μg m⁻³ 月平均濃度の変動：全体的に春季~初夏及び晩冬季に高くなる傾向が認められる。
粒子状 NO ₃ ⁻ (フィルターパック) 有効地点数： 10 地点	<ul style="list-style-type: none"> 年平均値の範囲：0.23 μg m⁻³ (八方尾根) ~3.26 μg m⁻³ (東京) 年平均値の全地点平均：1.00 μg m⁻³ 月平均濃度の変動：春季に濃度が高く、夏季に低くなる傾向が見られるほか、東京の濃度が他地点と比較して高い傾向にある。

注 1) 分析手法上、NO_x (NO 及び NO₂) 以外のペルオキシアセチルナイトレート (PAN) 及び一部の硝酸 (HNO₃) も測定されるため、遠隔地域及び田園地域では「NO_x*」と表記する。

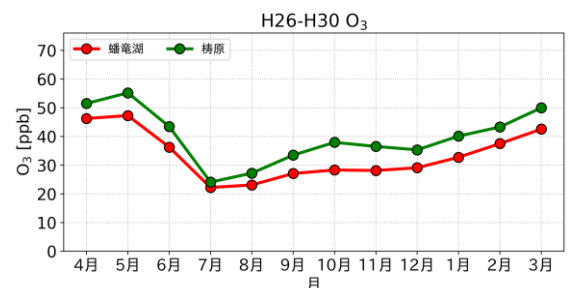
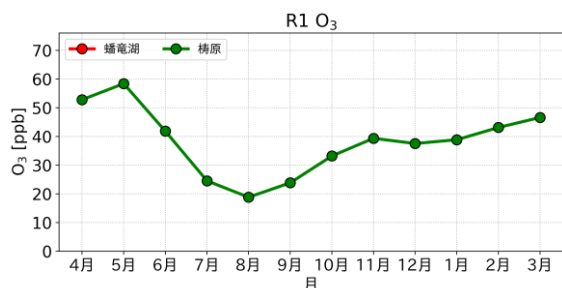
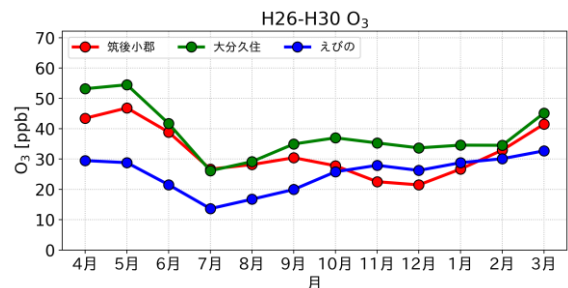
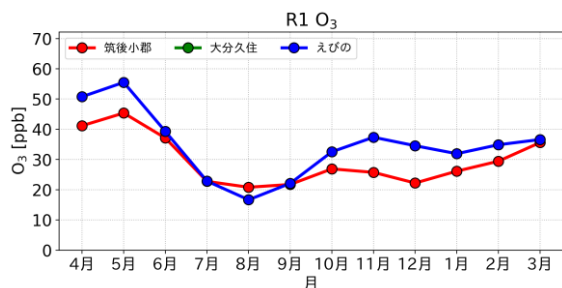
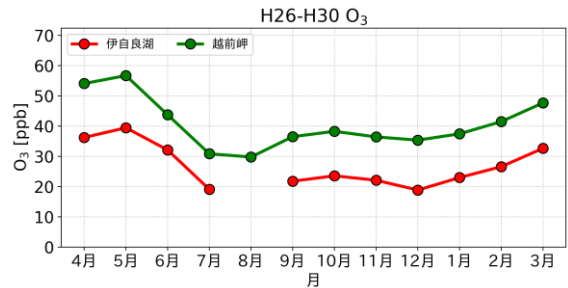
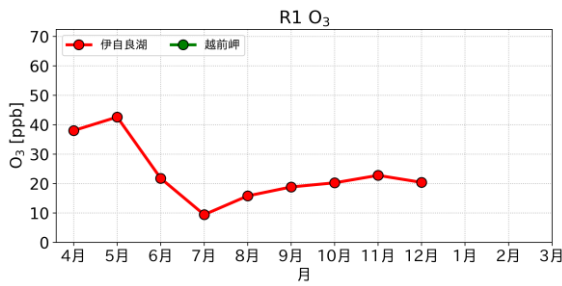
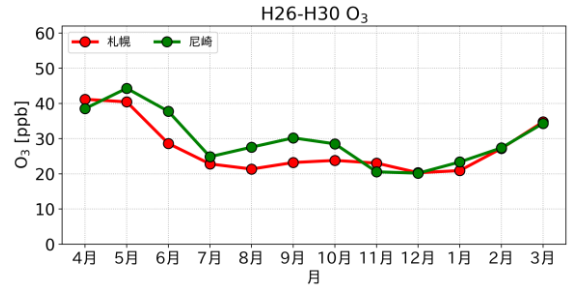
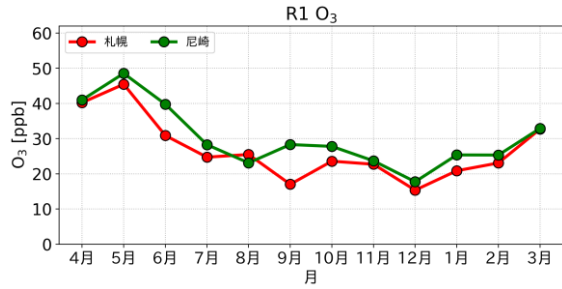
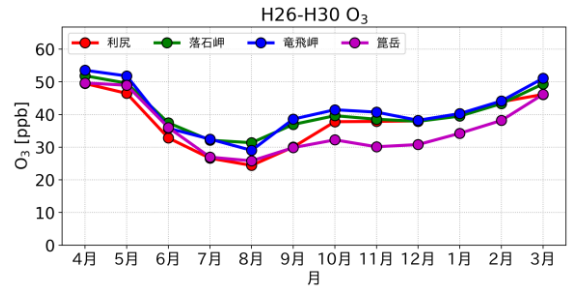
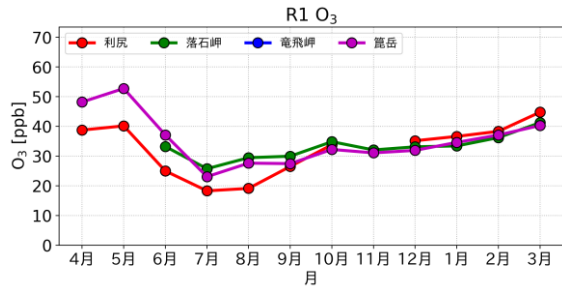
注 2) 気象庁ホームページ (管内月間火山状況 (令和元年 11 月)) より

https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_v-act_doc/fukuoka/19m11/500_19m11.pdf

注 3) 都市域の測定地点では自動車から排出される NO が O₃ と反応し O₃ 濃度が低くなる傾向にある。

表 2-2 主な測定項目の結果(つづき)

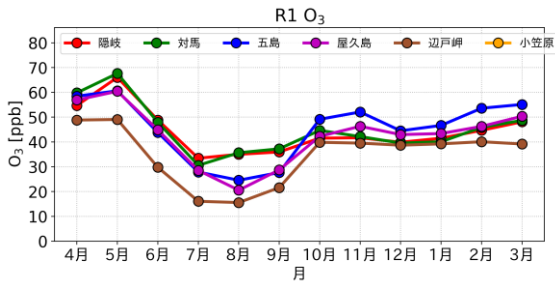
<p>ガス状 HNO_3 (フィルターパック) 有効地点数： 10 地点</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・年平均値の範囲：<math>0.1 \text{ ppb}</math> (利尻、落石岬、辺戸岬、小笠原) ～<math>0.5 \text{ ppb}</math> (東京) ・年平均値の全地点平均：<math>0.1 \text{ ppb}</math> ・月平均濃度の変動：夏季に濃度が高くなる傾向が認められるほか、春季に濃度が高くなる地点もみられた。利尻、落石岬、小笠原では年間を通じて非常に濃度が低い。
<p>粒子状 NH_4^+ (フィルターパック) 有効地点数： 10 地点</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・年平均値の範囲：<math>0.15 \mu\text{g m}^{-3}</math> (小笠原) ～<math>0.93 \mu\text{g m}^{-3}</math> (東京) ・年平均値の全地点平均：<math>0.47 \mu\text{g m}^{-3}</math> ・月平均濃度の変動：春季～初夏及び晩冬季に高くなる傾向が認められる。
<p>ガス状 NH_3 (フィルターパック) 有効地点数： 10 地点</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・年平均値の範囲：<math>0.4 \text{ ppb}</math> (落石岬) ～<math>3.8 \text{ ppb}</math> (東京) ・年平均値の全地点平均：<math>1.0 \text{ ppb}</math> ・月平均濃度の変動：東京の濃度が他地点と比較して高い。春季及び夏季に濃度が高くなる傾向が認められ、冬季の濃度は低い。
<p>粒子状 Ca^{2+} (フィルターパック) 有効地点数： 10 地点</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・年平均値の範囲：<math>0.07 \mu\text{g m}^{-3}</math> (八方尾根) ～<math>0.43 \mu\text{g m}^{-3}</math> (東京) ・年平均値の全地点平均：<math>0.19 \mu\text{g m}^{-3}</math> ・月平均濃度の変動：春季及び秋季～冬季の濃度が高く、夏季の濃度は低い。
<p>$\text{PM}_{2.5}$ 濃度の 長期トレンド (図 2-16-1、 図 2-16-2 を参 照)</p>	<p>太平洋側では 2008-2010 年以降、継続して濃度が低下していた。nss-SO_4^{2-}、NH_4^+ 濃度は $\text{PM}_{2.5}$ 濃度と同様に低下する傾向にあるが、NO_3 についてはわずかに上昇する傾向にあった。本州中北部日本海側では太平洋側と異なり二度ピークがあるが、二度目のピーク以降は低下傾向にある。nss-SO_4^{2-} と NH_4^+ 濃度は $\text{PM}_{2.5}$ 濃度に類似した変動傾向を示すが、NO_3 については太平洋側と同様にわずかに上昇する傾向にあった。</p>



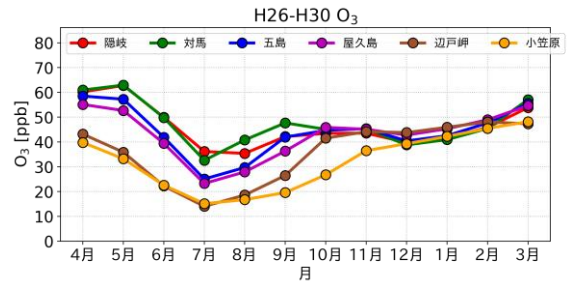
令和元年度

平成 26-30 年度平均

図 2-6-1 O₃ 濃度の季節変動(単位:ppb)
(令和元年度及び平成 26-30 年度)

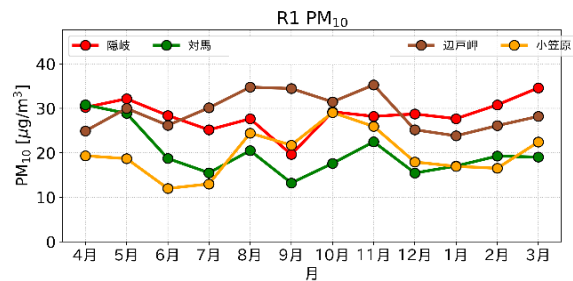
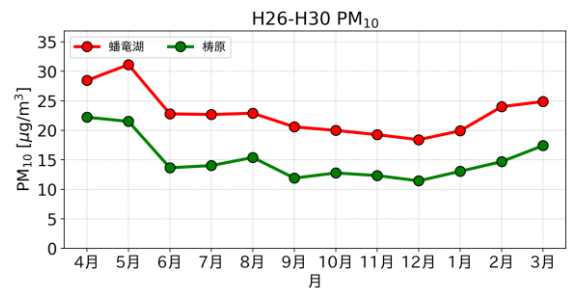
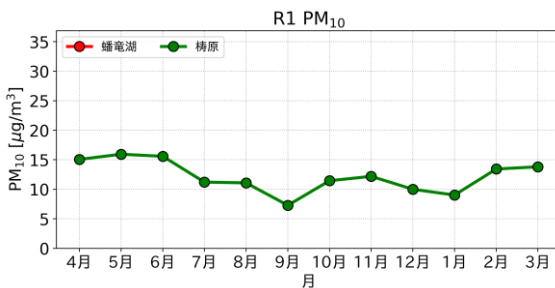
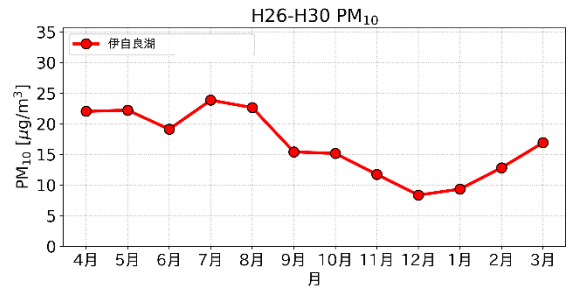
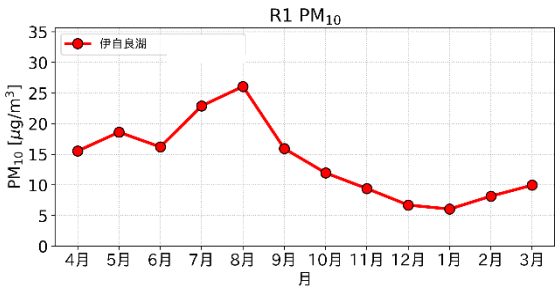
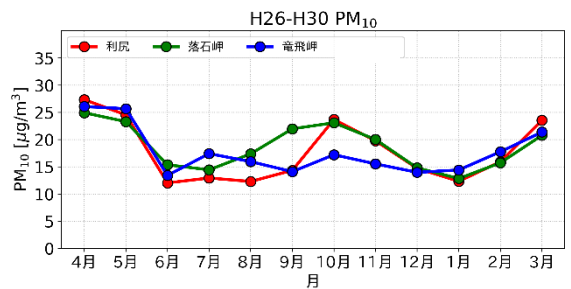
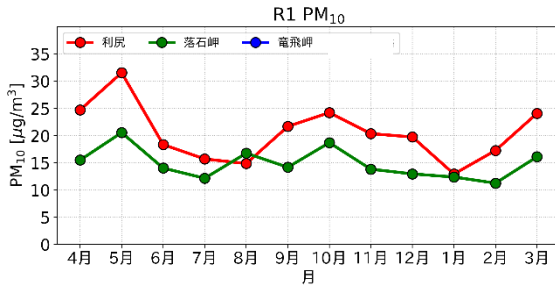


令和元年度

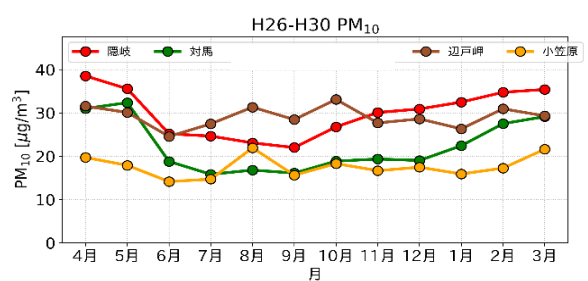


平成 26-30 年度平均

図 2-6-2 O₃ 濃度の季節変動 続き(単位:ppb)
(令和元年度及び平成 26-30 年度)

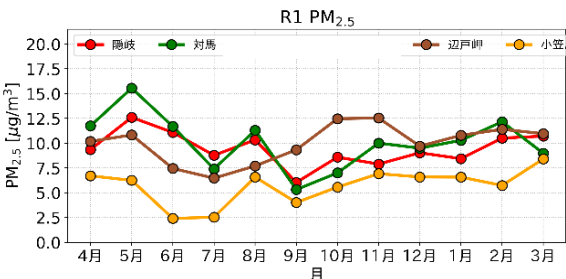
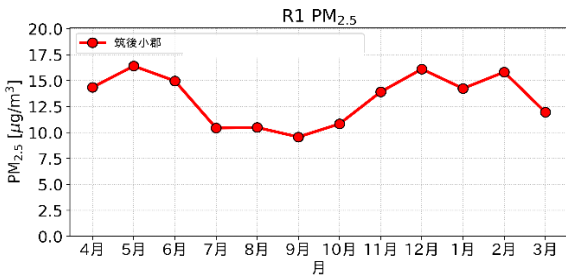
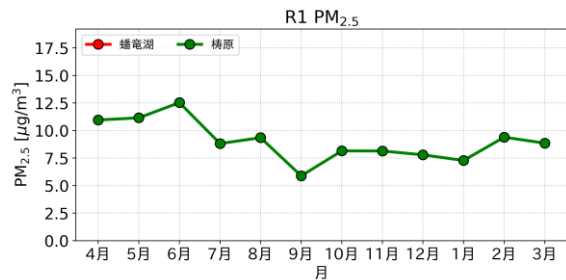
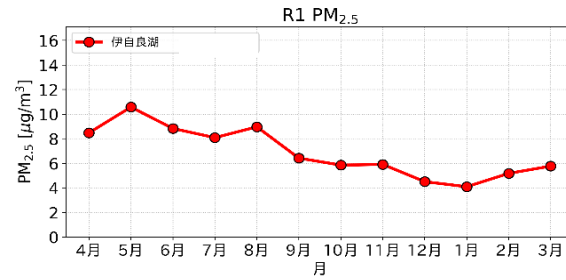
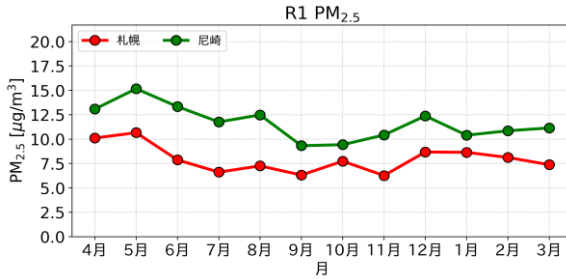
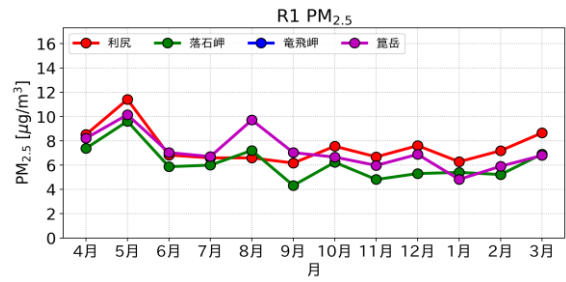


令和元年度

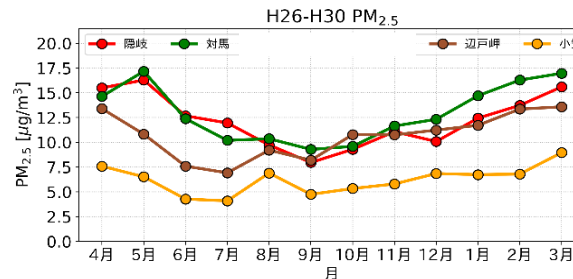
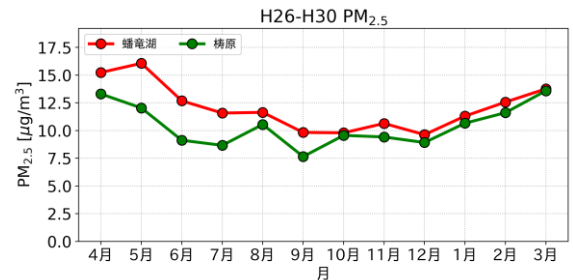
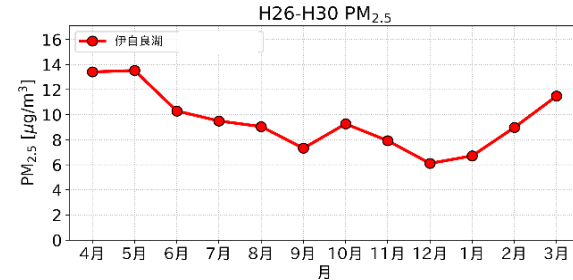
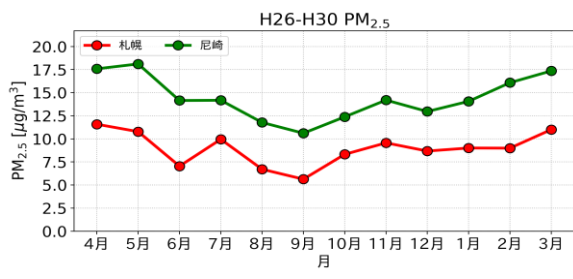
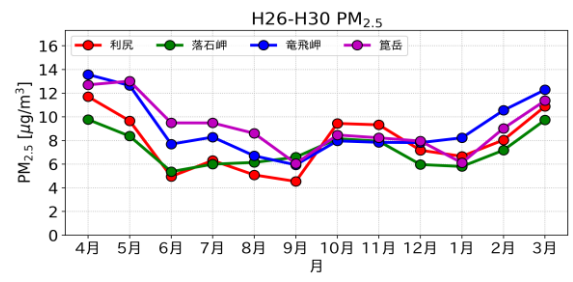


平成 26-30 年度平均

図 2-7 PM₁₀ 濃度の季節変動(単位:µg m⁻³)
(令和元年度及び平成 26-30 年度)

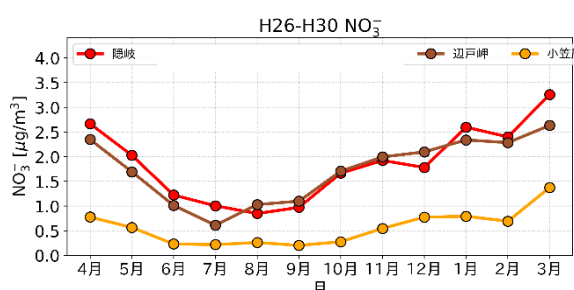
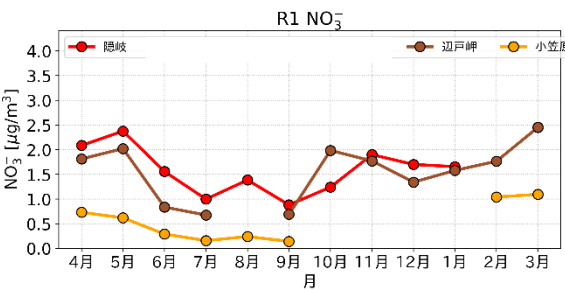
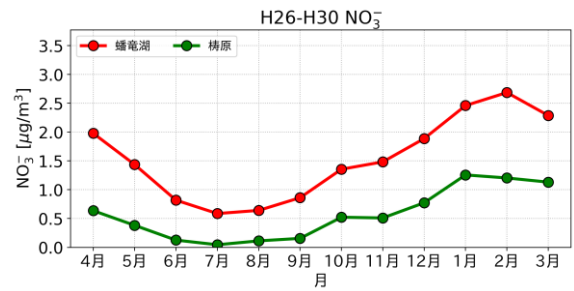
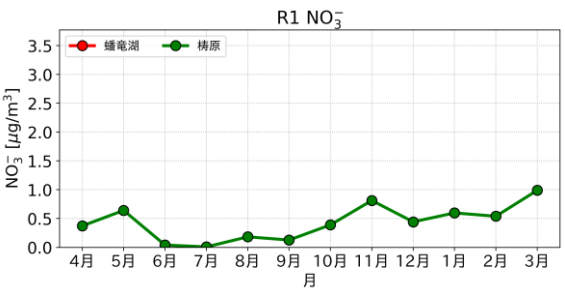
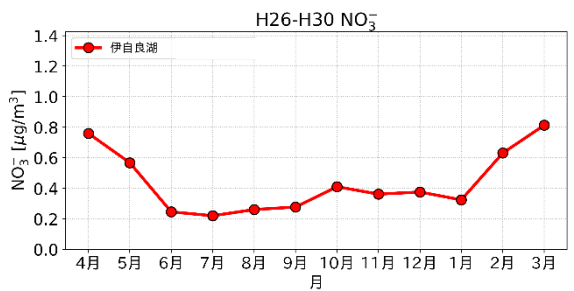
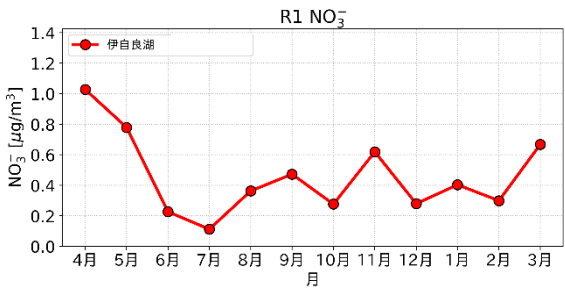
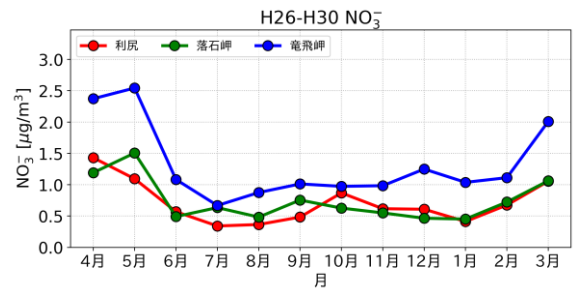
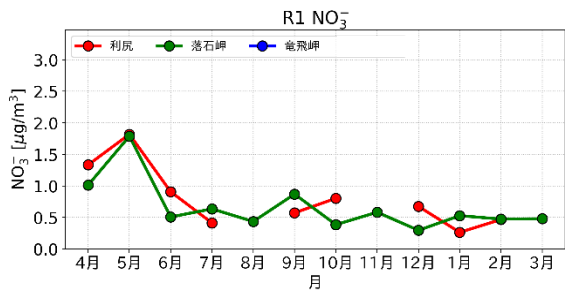


令和元年度



平成 26-30 年度平均

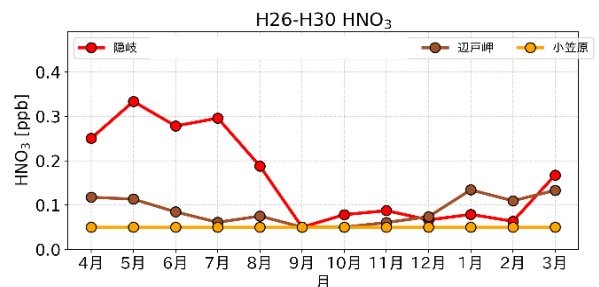
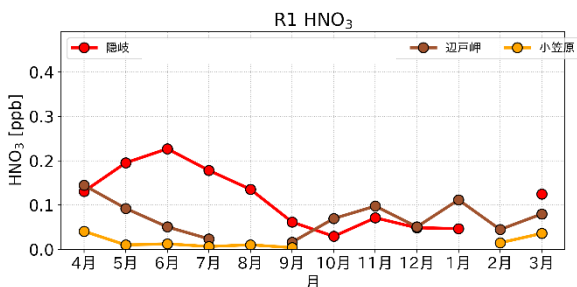
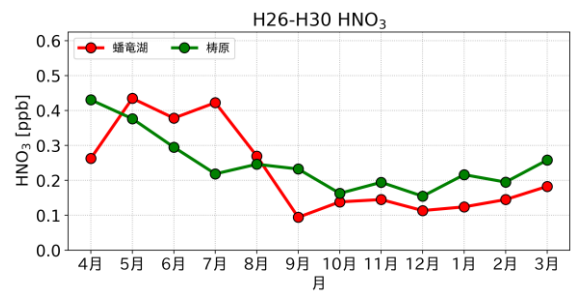
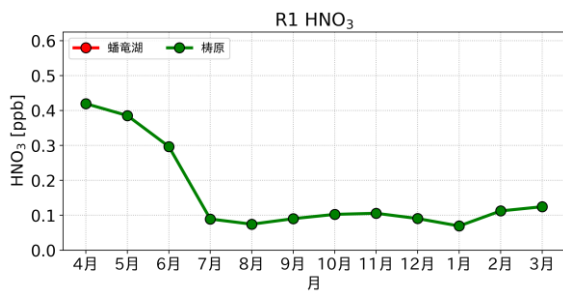
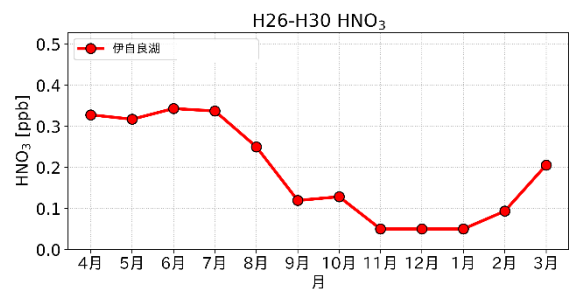
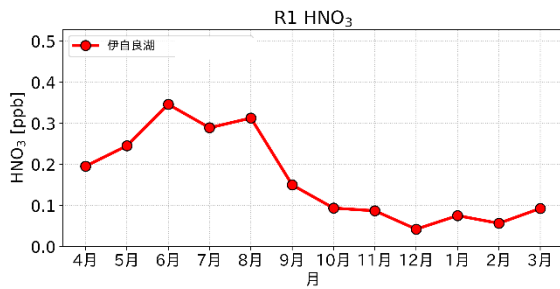
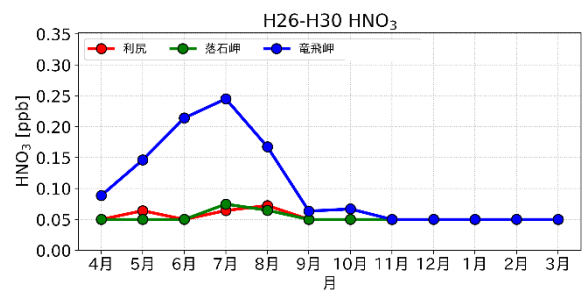
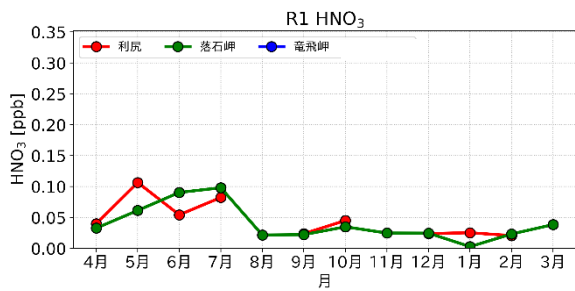
図 2-8 PM_{2.5} 濃度の季節変動(単位: μg m⁻³)
(令和元年度及び平成 26-30 年度)



令和元年度

平成 26-30 年度平均

図 2-9 粒子状 NO₃⁻濃度の季節変動(フィルターパック法、単位:μg m⁻³)
(令和元年度及び平成 26-30 年度)



令和元年度

平成 26-30 年度平均

図 2-10 ガス状 HNO₃ 濃度の季節変動(フィルターパック法、単位:ppb)
(令和元年度及び平成 26-30 年度)

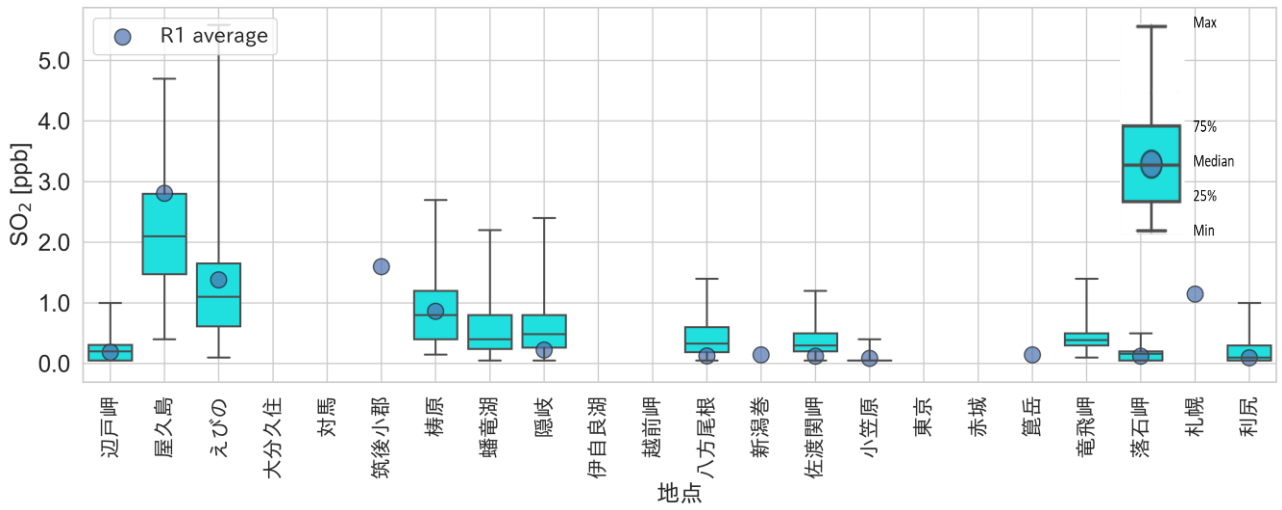


図 2-11 令和元年度平均値とH16年度～H30年度の濃度範囲 SO₂

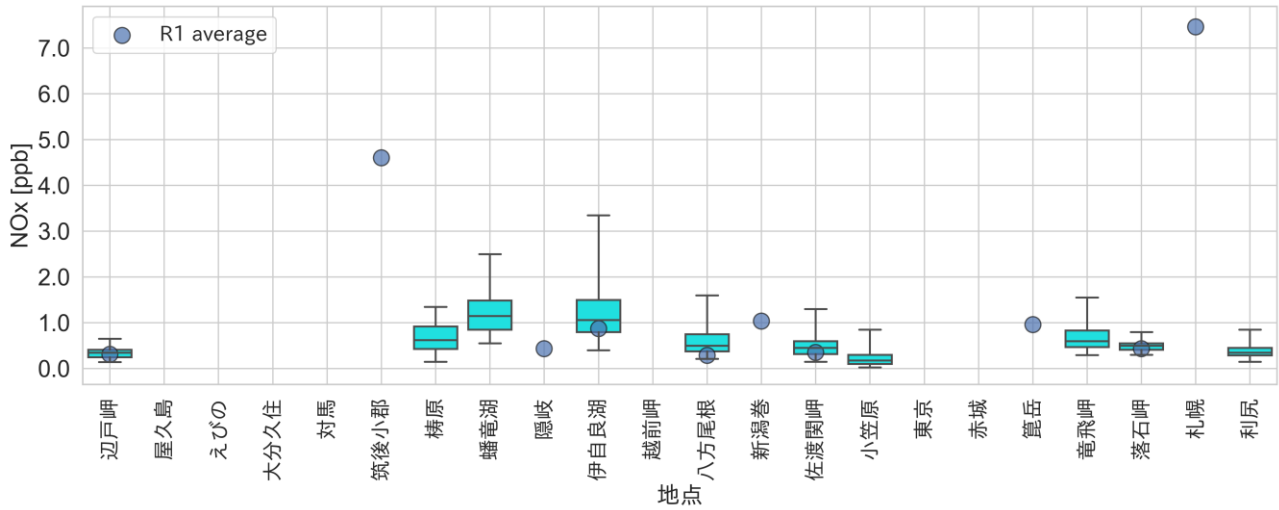


図 2-12 令和元年度平均値とH16年度～H30年度の濃度範囲 NO_x

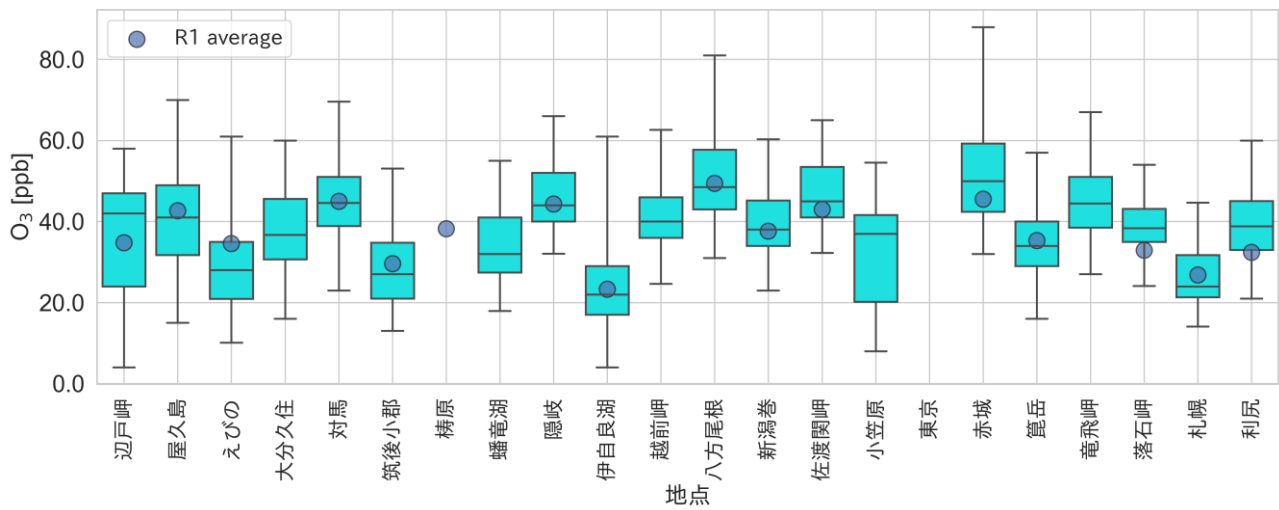


図 2-13 令和元年度平均値とH16年度～H30年度の濃度範囲 O₃

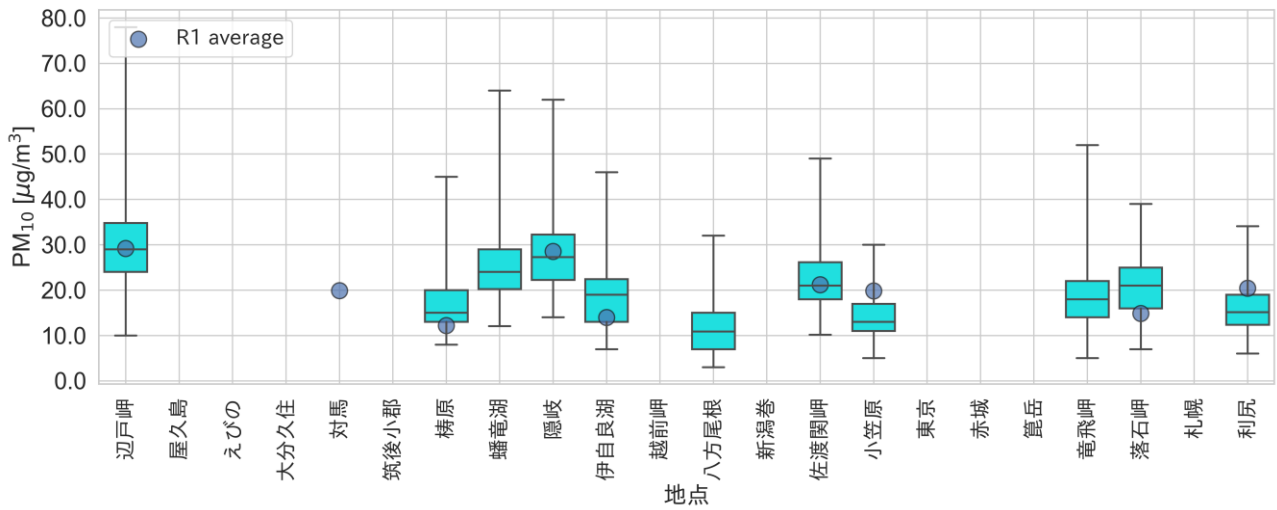


図 2-14 令和元年度平均値とH16年度～H30年度の濃度範囲 PM₁₀

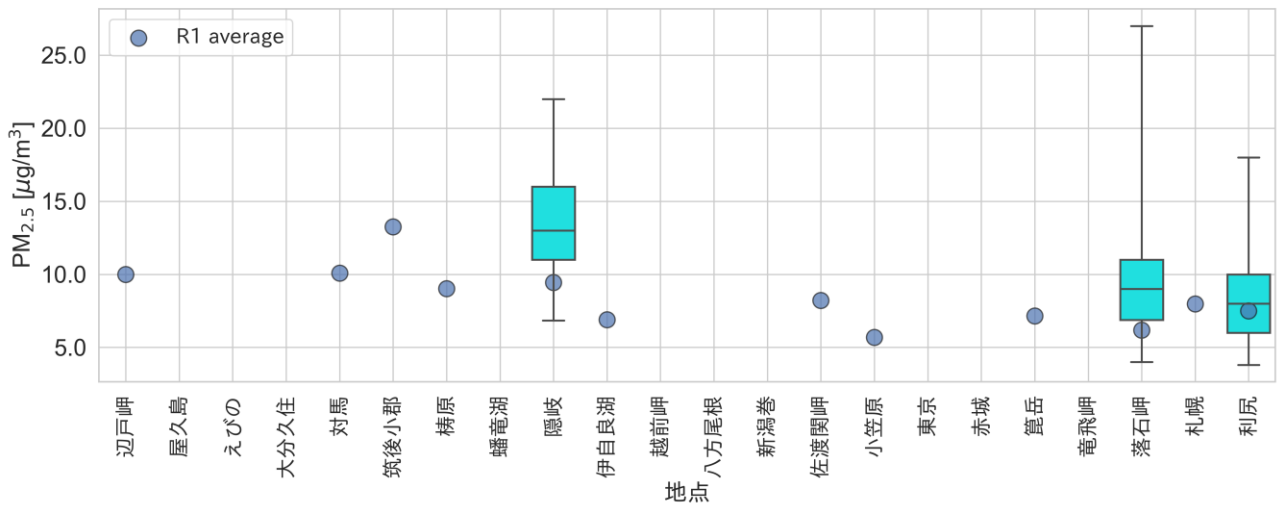


図 2-15 令和元年度平均値とH16年度～H30年度の濃度範囲 PM_{2.5}

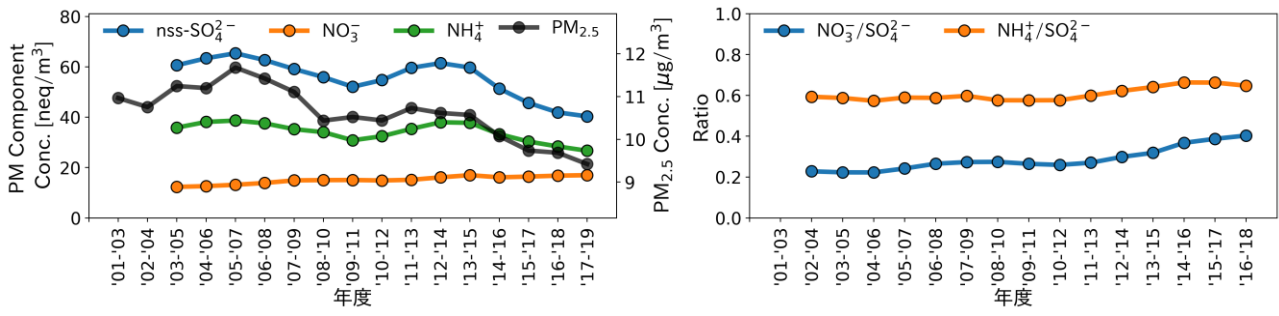


図2-16-1 粒子状成分濃度(FP法)、PM_{2.5}濃度(左)、N/S比(FP法)経年変化(右)
本州中部日本海側

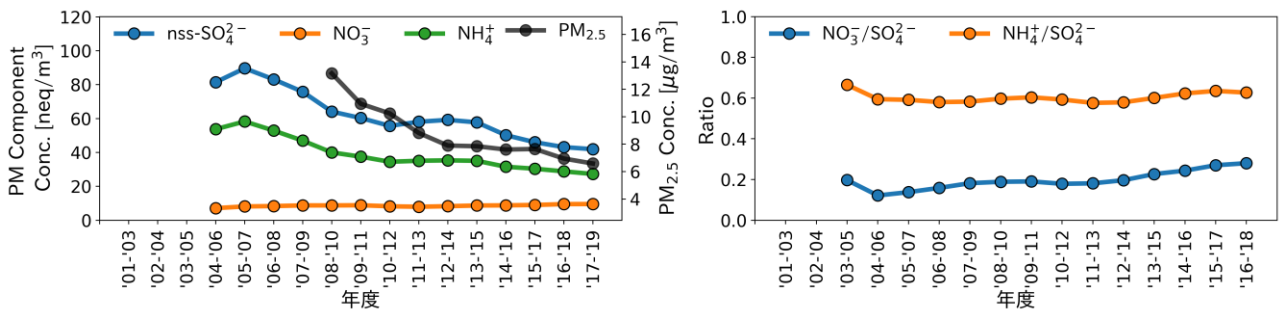


図2-16-2 粒子状成分濃度(FP法)、PM_{2.5}濃度(左)、N/S比(FP法)経年変化(右)
太平洋側

2.2 生態影響モニタリング

2.2.1 モニタリング地点

令和元年度は土壌・植生、及び陸水モニタリングは、それぞれ 19 林分及び 6 湖沼で、また集水域モニタリングは伊自良湖で実施された（図 3）。なお、要監視地域における同位体モニタリングを、沈着量が多い太平洋側の伊自良湖集水域に加え、日本海側の加治川集水域で実施した。

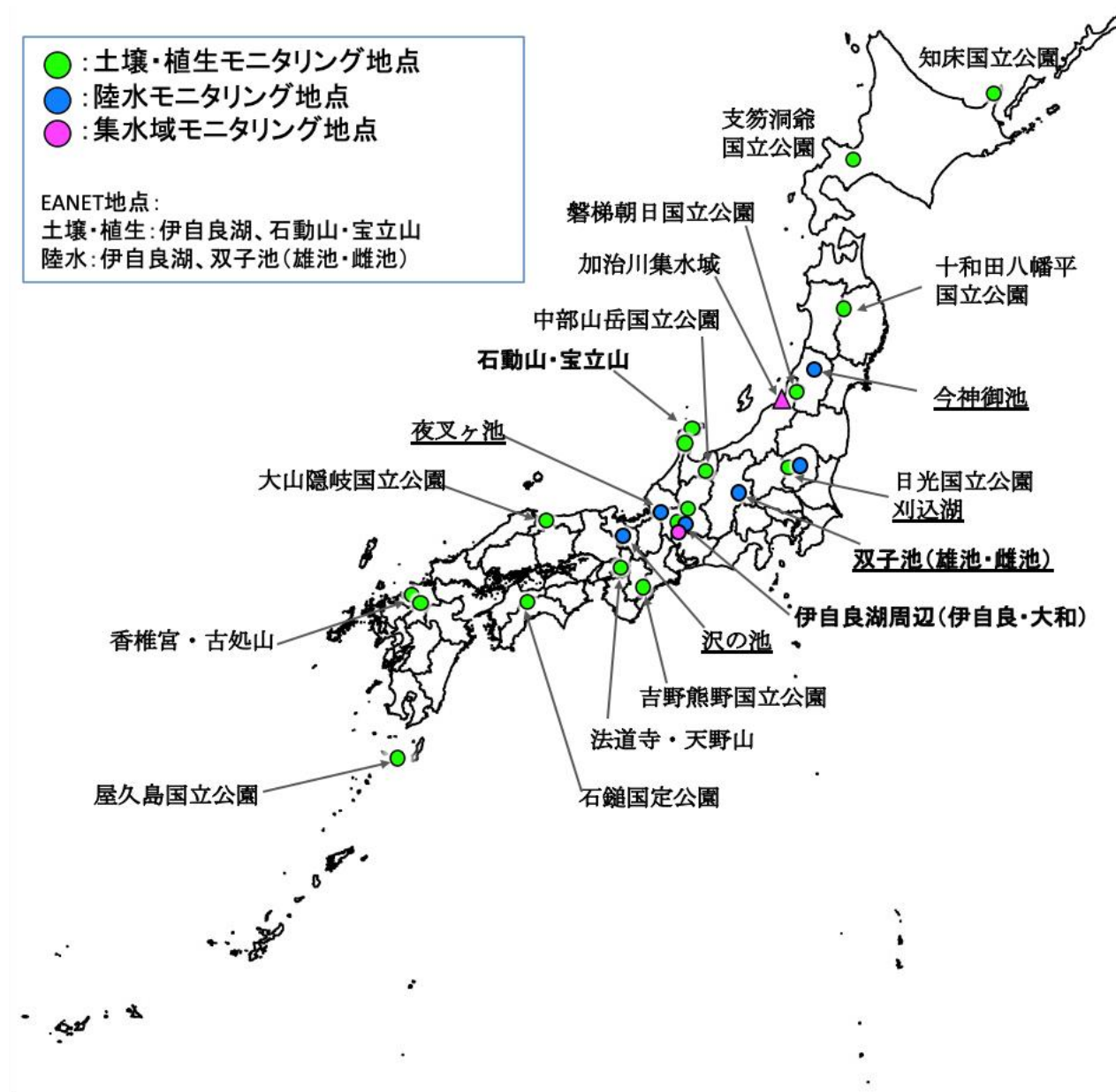


図 3 土壌・植生、陸水及び集水域モニタリング地点

注 1 : 陸水モニタリング地点は下線で示した。注 2 : 屋久島国立公園では 2 林分で実施。注 3 : 同位体モニタリングを伊自良湖と加治川の森林小集水域で実施。注 4 : 各地点における令和元年度の実施状況は、モニタリングの結果を参照のこと。

2.2.2 生態影響モニタリングの結果

(1) 土壌・植生モニタリング

土壌モニタリング及び植生モニタリングの森林総合調査（毎木調査及び下層植生調査）は、上記のモニタリング地点を5つのグループに分けて5年に1回実施されている。令和元年度（2019年度）は、十和田八幡平国立公園（岩手県）、吉野熊野国立公園（奈良県）、屋久島国立公園1、2（鹿児島県）の3地域4地点で土壌モニタリング及び森林総合調査が実施された。なお石鎚国立公園は、諸般の事情により今年度の土壌・植生モニタリングは実施されなかった。これらの地点においては、これまで5年ごとに4回の調査が実施されている。また、上記を含む16地域20地点で、毎年、樹木衰退度調査が行われている。以下に、土壌モニタリングと樹木衰退度調査の概略を記述する。

① 土壌モニタリング

- 十和田八幡平国立公園：pH(H₂O)およびpH(KCl)の10-20 cm層が5年前（2014年度）に比べて有意に低下した。交換性塩基および塩基飽和度もpH変動に連動して、2014年に比較して2019年は有意に減少した。一方、表層0-10 cmの各種化学性の経年変化は明瞭な上昇あるいは下降はみられず、2004～2019年の期間でpH(H₂O)はおおむね4.0～4.5、pH(KCl)は3.5～4.0の間で変動していた。
- 吉野熊野国立公園：pH(H₂O)が10年前の2009年に比較して2019年度は有意に上昇しており、最近10年間は上昇傾向だった。一方、交換性酸度と塩基飽和度は2014年に比較して2019年はそれぞれ有意な増加および減少がみられpH(H₂O)の上昇と連動しておらず、むしろ逆の傾向であり、その要因は不明である。全炭素濃度は全てのプロットおよび深度で2019年は、過去4回の調査で最低だった2014年より有意に増加し、2004、2009年の水準まで回復した。調査地一帯（大台ヶ原）は2005年度に防鹿柵を設置し、植生が回復していることから土壌にもその影響が表れている可能性がある。
- 屋久島国立公園1：交換性塩基、交換性酸度、全炭素・窒素濃度でサブプロット間の変動が大きく、土色から腐植蓄積量のばらつきが原因と考えられた。プロット1のpH(H₂O)およびpH(KCl)が、2004年に比較して2009、2014年に引き続き2019年も有意に低い傾向があった。同プロットでは、2019年の交換性酸度が2014年に比較して有意に低下した。プロット2では、各種化学性項目の変動は全4回の調査を通じて比較的安定していた。
- 屋久島国立公園2：pH(H₂O)およびプロット1の全炭素濃度で前回2014年よりも有意に低下する傾向がみられた。全窒素濃度も前回よりも低下する傾向があり、調査地付近で多数確認されているヤクシカの食害により下層植生が減少し、土壌有機物量が減少した可能性が考えられる（ただし、後述のように2019年度の下層植生種数は2014年度調査よりも大幅に増加している）。

② 樹木衰退度調査

樹木衰退度調査の概況を表3に示した。2019年度は、石鎚国立公園では諸般の事情により調査が実施されなかった。2019年度調査で確認された枯死木は、磐梯朝日、吉野熊野、法道寺でそれぞれ1本

だった。枯死の原因としては、台風による幹折れ、根返りが挙げられた。2019年度に確認された樹木衰退兆候の要因としては、隣接木による被圧と気象害が多かった。各衰退項目の経年変化をみると、十和田八幡平、吉野熊野、屋久島1において、どの項目も得点率が比較的高い状態が続いている。法道寺は2019年10月の台風によってすべての観察木に枝折れ、梢端折れ等の被害が生じ、2019年度の衰退ポイントが上昇している。

表3 2019年度樹木衰退度結果の概況(各地点及び項目の得点率)

サイト	樹形	樹勢	枝の生長量	梢端の枯損	葉の障害	葉の変形度	葉色	落葉率	ダメージクラス	枯死本数(2019新規)	衰退要因	特記事項・過去のイベント
知床	2	9	4	7				2			a,b	被圧、過去の台風被害の影響がみられる
支笏洞爺	9	13	22	9	2		4	13	2		a	老齢過熟、隣接木による被圧
十和田八幡平	47	43	38	42	22	22	22	40	28		b	全体的に強風や積雪による損傷がみられる
磐梯朝日	10	10	5	8						1	a,b	風害、ツル植物による影響がみられる
日光	8	8	8		3			7	7		a,e,f	被圧、表土流出による樹勢の衰えがみられる
中部山岳	11	8	6	6	3	3	3				a,c	被圧、虫害の影響がみられる きのこが発生している個体がみられる
白山	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-	2018年度から調査中止
吉野熊野	22	14	2	27				2	2	1	a,b	被圧、台風被害の影響がみられる
大山隠岐	22	4	22				4				a,b	被圧、雪害による被害がみられる
石鏡	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-	2019年度は調査なし
阿蘇くじゅう	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-	2019年度から調査中止
屋久島1	17	23	22	22							a,c	隣接木の被圧、シカの樹皮剥ぎの被害がみられる
屋久島2	12	10	7	2							a	ツル植物による被圧がみられる
宝立山		2	5								a	隣接木による被圧がみられる
石動山	7										a	隣接木による被圧がみられる
法道寺	50	48		30	68					1	b	2019年台風による被害がみられる
天野山			3								-	衰退はみられない
霜降岳	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-	2019年度から調査中止
十種ヶ峰	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-	2019年度から調査中止
香椎宮1		2		12							a	隣接木による被圧がみられる
香椎宮2	8	5		8							a,b,e	強風による被害、隣接木による被圧、木材腐朽菌による被害がみられる
古処山1	3	2		8				3			a	隣接木およびツル植物による被圧がみられる
古処山2	7	3	2	7				2			a,b,e	隣接木の被圧、強風による枝折れ、木材腐朽菌による被害がみられる
伊自良	23	5		8							a	隣接木の被圧による樹形の乱れがみられる
大和	12	2									c	虫害がみられる
幡竜湖2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-	2019年度から調査中止
石見臨空FP	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-	2019年度から調査中止

顕著な異常がプロット内の全個体に認められた場合を100とした割合(%)を示す。

セル中のバーは各カラムの幅を100とした得点率。空欄は得点率0を示す(衰退なし)。

衰退要因(調査者による報告) a, 被圧・競合・老齢過熟・腐朽・梢端折れ; b, 気象害(台風・雪・凍害等); c, 食害(虫・獣害); d, ブナ科樹木萎凋病; e, その他の病害; f, 表土流出等; g, 施業(間伐等); h, 不明

(2) 陸水モニタリング

表層水の pH の経年変動を図 4 に示し、2019 年度のデータは赤枠で囲った。多くの地点で前年度より pH は上昇していた。

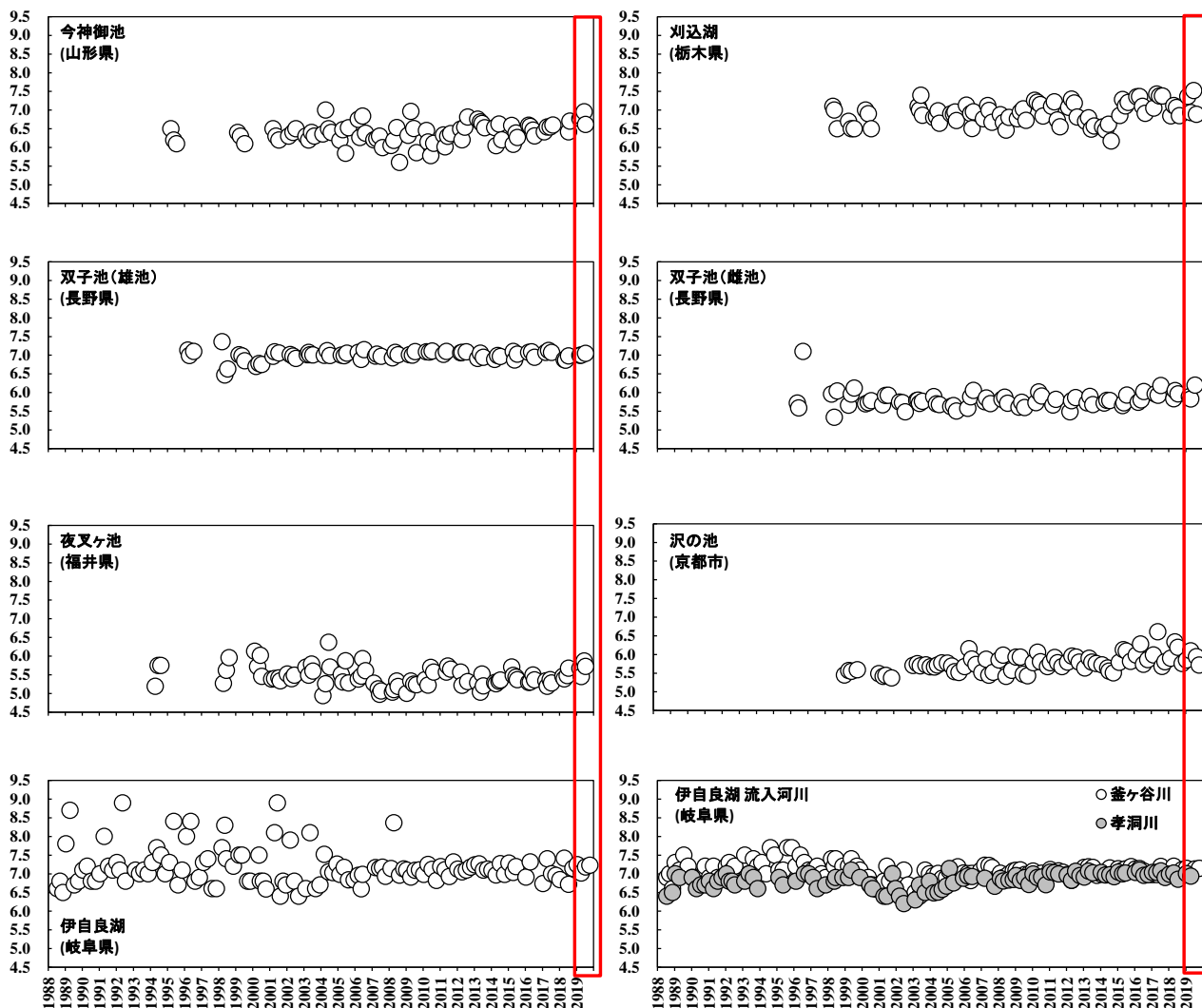


図 4 各調査地点における表層水の pH の経年変動(赤枠内は 2019 年度)

その他の項目の傾向は以下のとおり。

- アルカリ度（酸中和能）は、刈込湖、雄池、伊自良湖では前年度より高い傾向が見られ、その他の地点は前年度と同程度であった。刈込湖のアルカリ度は 2005 年度以降、雄池のアルカリ度は 2014 年度頃から、夜叉ヶ池のアルカリ度は 2013 年度頃から、それぞれ上昇傾向が見られている。
- 硫酸イオン濃度は、多くの地点で前年度と同程度の値であった。雄池、雌池、沢の池では 2010 年以降、夜叉ヶ池では 2013 年以降、低下傾向が見られている。
- 硝酸イオン濃度は、多くの地点で前年度と同程度の値であったが、伊自良湖流入河川では前年度より上昇した。

(3) 集水域モニタリング

- 降水量は、記録的な多雨が観測された前年度と比較すると例年並みであった。一方、流出量は前年と同程度であったこともあり、流出率は上昇した。
- 2018-2019 水年の伊自良湖流入河川（釜ヶ谷川）においては、流量で加重した年平均 pH 及び加重平均 SO_4^{2-} 濃度は例年並みで推移したが、この数年減少傾向にあった加重平均 NO_3^- 濃度は大きく上昇した。
- 地質の影響が大きい SO_4^{2-} 濃度は流量を反映して夏季に低く、冬季に高めの値となった。また、2000 年代以降、窒素飽和からの回復が示唆されてきたが、 NO_3^- 濃度が前年度以来高めの傾向が続いており、回復傾向が止まってしまうのか注視する必要がある。
- 2018-2019 水年における年総沈着量を図 5 に示した。河川からの流出量が大气からの流入量を上回っていることが指摘されている SO_4^{2-} は、著しい流出水量を反映し、流入量の 6 倍以上が流出していると推定された。この流入・流出の矛盾に関しては、後述する「酸感受性に係る要監視地域における同位体モニタリング」での硫黄同位体比分析により、降水（4.2‰）と河川水（-13‰）は大きく硫黄同位体比が異なることが明らかとなっている。河川水の同位体比は、伊自良湖集水域周辺に分布する堆積岩中の硫黄同位体比（-30 から -15‰）に比較的近いことから、河川からの SO_4^{2-} の流出には、地質由来の硫黄が大きく寄与している一方で、大气由来の硫黄は土壌に蓄積していることが示唆されている。
- また、溶存無機窒素（ $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ ）の流入量（ $0.84 \text{ kmol}_c \text{ ha}^{-1}$ ）のうち、かなりの割合で NO_3^- として流出しており（ $0.76 \text{ kmol}_c \text{ ha}^{-1}$ ）、物質収支からも窒素飽和の回復について慎重に見る必要があると考えられた。

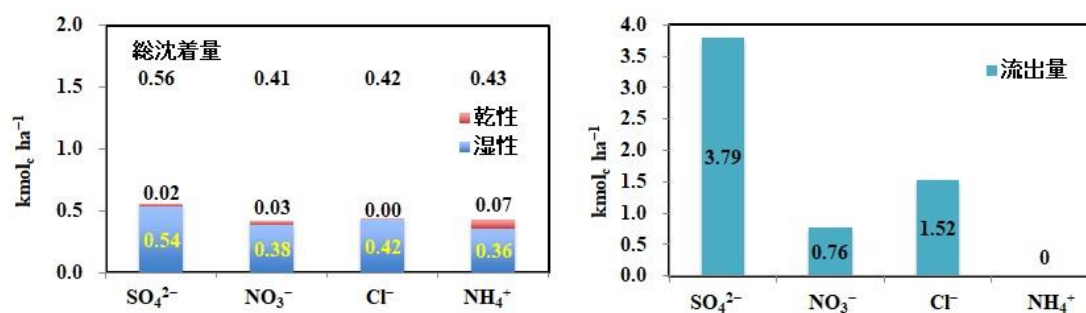


図 5 2018-2019 水年における釜ヶ谷川集水域の年総沈着量(左)及び年流出量(右)

注 1：総沈着量は、伊自良湖酸性雨測定所における湿性沈着モニタリング及び大気汚染物質モニタリング（フィルターパック法及び自動測定装置による）の 2018 年 11 月から 2019 年 10 月までの月データを用いて、年間値を推定した。注 2：乾性沈着の土地利用は森林とし、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、及び NH_4^+ の乾性沈着にはそれぞれ、ガス状の SO_2 、 NO_2 と HNO_3 、及び NH_3 を含む。注 3： SO_2 のガス測定が 9 ヶ月間の長期欠測があったため、 SO_4^{2-} の乾性沈着量は参考値であり例年以上の低い値となった。

(4) その他の生態影響モニタリングの結果

① オゾンによる植物影響のパイロットモニタリング

高濃度オゾンや樹木衰退が報告されている摩周湖外輪山（北海道）、八海山（新潟県）、及び英彦山（福

岡山) の山岳地域において、植物成長期間の少なくとも3ヶ月間以上、可能な限り6ヶ月間程度(例えば5-10月)、オゾン自動測定を実施した。

表4に、5月から10月におけるオゾン観測結果をまとめた。これまでと同様に、八海山、英彦山で、植物影響指標であるAOT40値(Accumulated exposure Over a Threshold of 40 ppb: 40 ppbを閾値としてこれを超える濃度の積算値)が高く、欧州における樹木への臨界値(Critical level)とされる5 ppm・h(ブナやカンバの5%バイオマス低下を基礎とした値: UNECE 2017)を大きく超えており、樹木成長への影響について注視する必要がある。

表4 各地点のオゾン濃度の概況(5月から10月の観測データによる)

	摩周湖	八海山	英彦山
平均(ppb)	30	46	37
中央値(ppb)	29	44	36
95パーセンタイル値(ppb)	48	74	68
5パーセンタイル値(ppb)	17	22	10
AOT40(ppm・h)	2.3	15.6	11

② 要監視地域における重点モニタリング

酸性化のリスクが高い地域(要監視地域)を考慮し、湿性沈着モニタリング地点(八方尾根、佐渡関岬、辺戸岬)での降水、陸水モニタリング地点(大畠池、夜叉ヶ池、双子池、沢の池、蟠竜湖)での湖沼水、及び伊自良湖集水域(岐阜県)及び加治川集水域(新潟県)での降水及び河川水の各試料の硫黄同位体分析を実施した(令和元年度以降は、同位体モニタリングとして2つの森林集水域のみ実施)。追加的に、総合地球環境学研究所(京都市)の協力を得て、黄砂の影響評価に有用なストロンチウム(Sr)、代表的な汚染重金属として鉛(Pb)、及び降水起源や水循環を評価に有用な水の水素(H)及び酸素(O)の各同位体比について測定を進めた。

降水中のS同位体比及び非海塩性(nss)S同位体比の2019年2月から2020年1月までの季節変化を2014年から2018年までのデータの季節性と比較した(図6)。日本海沿岸に位置する加治川集水域でも、中部太平洋側に面している伊自良湖集水域でも、夏季に低く冬季に高い傾向が、令和元年度も明瞭であった。加治川集水域では、nss-S同位体比が12月には例年より高い値を示したが、1月には急激に低下した。COVID-19に伴うロックダウンの影響も含め、越境大気汚染の寄与が低下した可能性もあり、今後精査する必要がある。COVID-19によるイベント的な低下だけでなく、越境大気汚染の寄与が長期的に低下した場合、nss-S同位体比も下がってくると考えられるため、地上観測によるエビデンスの一つとして注視していく必要がある。

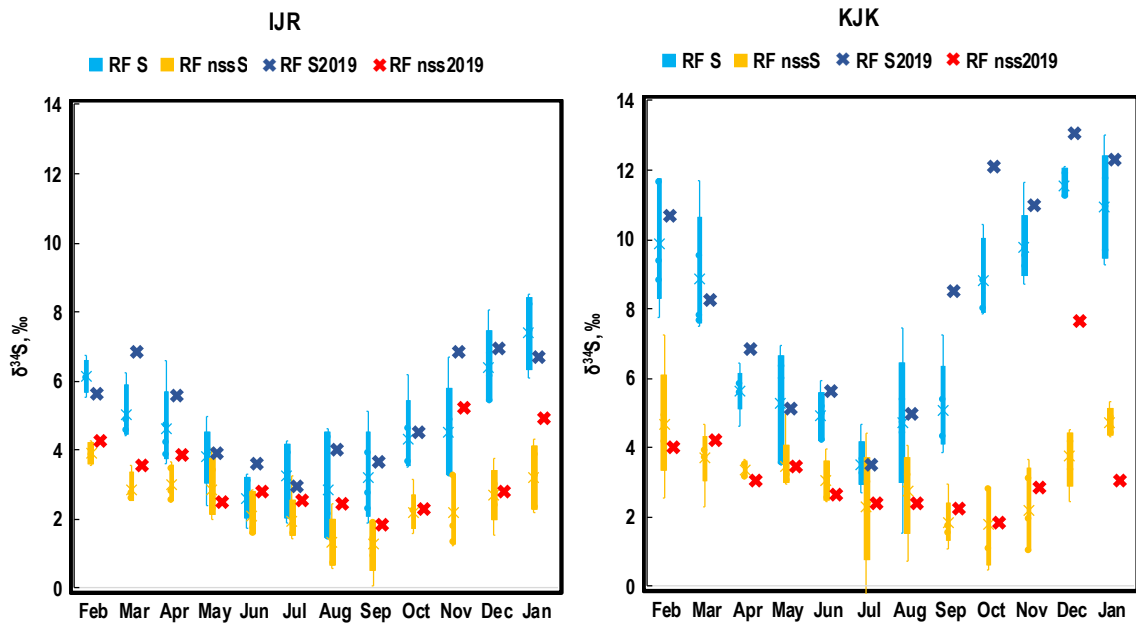


図6 伊自良湖集水域（IJR：左）及び加治川集水域（KJK：右）における降水の硫黄同位体比
 箱ヒゲ図で示した RF S 及び RF nssS は、それぞれ S 同位体比及び非海塩性 S 同位体比の 2014-2018 年デ
 ータの季節性分布を示す。