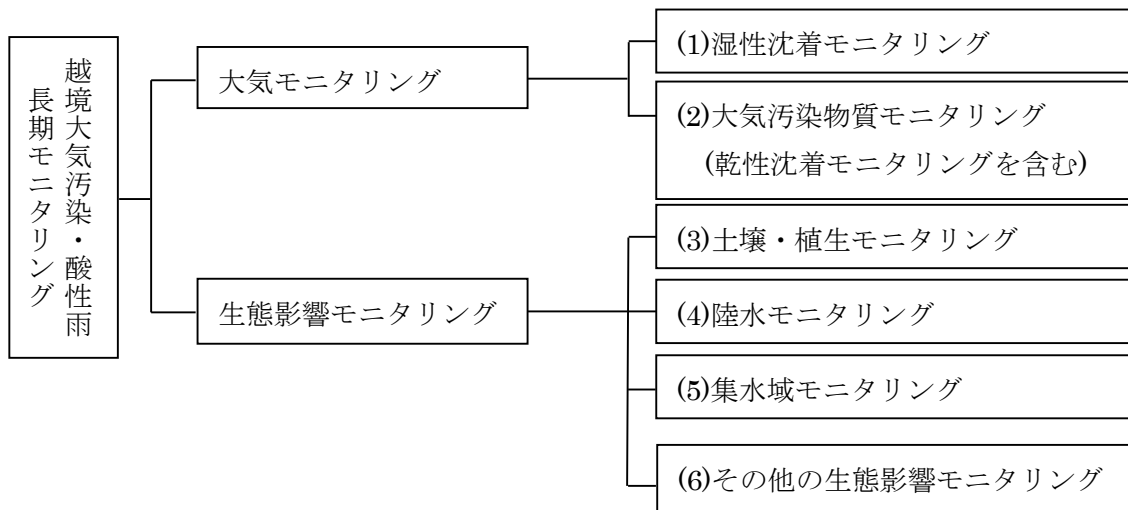


酸性雨の状況について（平成 30 年度）

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、平成 30 年度(2018 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 24 調査地点において大気モニタリングを実施した。

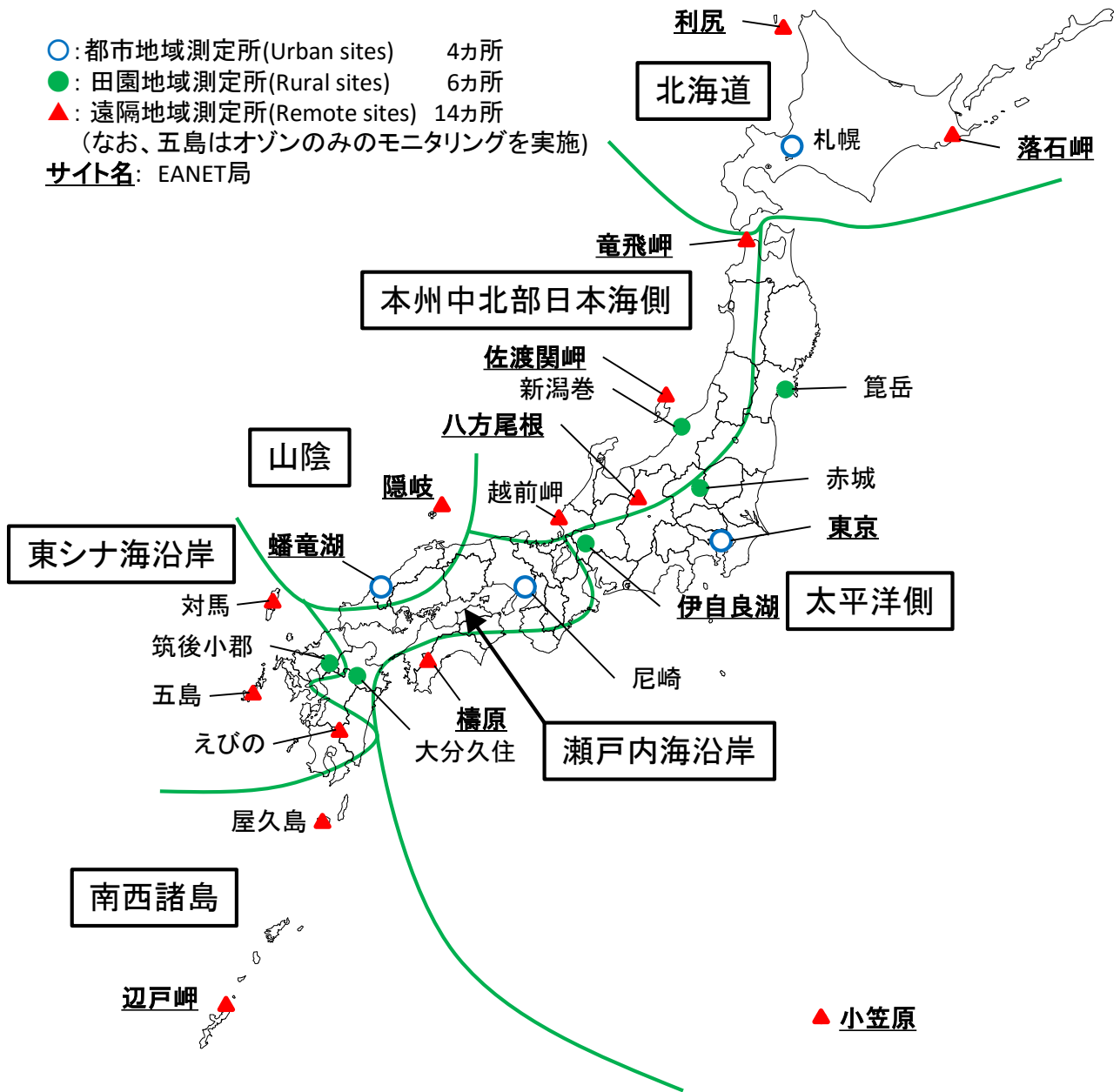


図1 大気モニタリング地点

2.1.2 大気モニタリングの結果

(1) 湿性沈着(降水)

湿性沈着の季節変動及び年間値の経年変動について検討するため、次の有効判定基準を満たしたデータについて解析を行った。

- 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-SO_4^{2-} と nss-Ca^{2+} については、海塩粒子の寄与率が75%以下であること

ア) 降水量

年間降水量の範囲は、 881.1 mm y^{-1} (小笠原)～ 4096.0 mm y^{-1} (屋久島)であり、全地点の年間降水量の平均は、 1985.8 mm y^{-1} であった。九州以南において降水量が多い一方、北海道地方では比較的降水量が少ない傾向が認められる。季節変動では南西諸島で6月、北海道、太平洋側、東シナ海沿岸及び瀬戸内海沿岸で7月、本州中北部日本海側及び山陰で9月と、夏季から秋季にかけて最大となった。特に太平洋側の構原では平成30年7月豪雨の影響により、7月の月間降水量が 1103.7 mm となり、過去5年(平成25～29年度)の同月の降水量平均値と比較すると、約4倍と高い結果であった。

イ) pH

pHの平成26～30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に示す。平成30年度のpHの地点別年平均値の範囲は、pH 4.63 (屋久島)～pH 5.17 (小笠原)であり、全地点の平成30年度平均はpH4.88であり、前年度平均からわずかに上昇した。

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-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-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1に、非海塩由来硫酸イオン(nss-SO_4^{2-})について月平均値、月間沈着量、月間降水量の季節変動を平成25～29年度の月間値の(加重)平均値とともに図3に示す。

また、 H^+ 、 nss-SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 nss-Ca^{2+} イオンの年間沈着量について、平成30年度の結果及び平成15～29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%値をパーセンタイル値として図4に示す。

表 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/μmol L⁻¹</p> <ul style="list-style-type: none"> ・年平均値の範囲：2.1 (小笠原)～12.4 (屋久島) ・年間値の全地点加重平均値：7.8 ・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41.2 μmol/Lであった。 ・15年間パーセンタイル値との比較：屋久島で比較的高く、竜飛岬、籠岳、新潟巻、越前岬、伊自良湖、尼崎、隠岐、蟠竜湖及び筑後小郡で10%値未満であった。
	<p>○年間沈着量/mmol m⁻² y⁻¹</p> <ul style="list-style-type: none"> ・年平均値の範囲：1.82 (小笠原)～50.84 (屋久島) ・年平均値の全地点平均値：15.45 ・月間沈着量の変動：本州中北部日本海側や山陰は濃度同様夏季に低い傾向がみられた。 ・15年間パーセンタイル値との比較：屋久島で高く、利尻、竜飛岬、籠岳、新潟巻、越前岬、伊自良湖、尼崎、隠岐、蟠竜湖及び筑後小郡で10%値未満であった。
NO ₃ ⁻	<p>○年平均濃度/μmol L⁻¹</p> <ul style="list-style-type: none"> ・年平均値の範囲：3.0 (小笠原)～18.6 (隠岐) ・年間値の全地点加重平均値：10.0 ・月平均濃度の変動：平成25～29年度同様、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2月～3月にかけて顕著な濃度上昇がみられた。 ・15年間パーセンタイル値との比較：利尻、札幌で50%値以上を示し、竜飛岬、越前岬、伊自良湖、尼崎、蟠竜湖、筑後小郡及び辺戸岬で10%値未満であった。
	<p>○年間沈着量/mmol m⁻² y⁻¹</p> <ul style="list-style-type: none"> ・年平均値の範囲：2.66 (小笠原)～42.89 (屋久島) ・年平均値の全地点平均値：19.73 ・月間沈着量の変動：各地域区分において平成25～29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：屋久島で高く、籠岳、小笠原、越前岬、伊自良湖、尼崎、蟠竜湖及び筑後小郡で10%値未満であった。
NH ₄ ⁺	<p>○年平均濃度/μmol L⁻¹</p> <ul style="list-style-type: none"> ・年平均値の範囲：3.0 (小笠原)～21.8 (東京) ・年間値の全地点加重平均値：9.6 ・月平均濃度の変動：平成25～29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、2月～3月にかけて顕著な濃度上昇がみられた。 ・15年間パーセンタイル値との比較：利尻と札幌で50%値以上を示し、竜飛岬、小笠原、越前岬、伊自良湖、尼崎、蟠竜湖、筑後小郡及び辺戸岬で10%値未満であった。
	<p>○年間沈着量/mmol m⁻² y⁻¹</p> <ul style="list-style-type: none"> ・年平均値の範囲：2.62 (小笠原)～37.09 (屋久島) ・年平均値の全地点平均値：19.02 ・月間沈着量の変動：各地域区分において平成25～29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：小笠原、越前岬、伊自良湖、尼崎、蟠竜湖及び筑後小郡で10%値未満であった。
nss-Ca ²⁺	<p>○年平均濃度/μmol L⁻¹</p> <ul style="list-style-type: none"> ・年平均値の範囲：0.8 (橈原)～5.2 (札幌) ・年間値の全地点加重平均値：2.1 ・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、北海道では4月にも高濃度となった(黄砂の影響と推察される)。 ・15年間パーセンタイル値との比較：利尻、札幌、籠岳、新潟巻及び越前岬で50%値

	<p>以上を示し、竜飛岬、尼崎及び幡竜湖で 10%値未満であった。</p> <p>○年間沈着量/$\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$</p> <ul style="list-style-type: none"> ・年平均値の範囲：1.53 (落石岬) ~7.37 (新潟巻) ・年平均値の全地点平均値：4.37 ・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た。 ・15 年間パーセンタイル値との比較：利尻と新潟巻で 75%値以上を示し、尼崎及び幡竜湖で 10%値未満となった。
H ⁺	<p>○年平均濃度/$\mu\text{mol L}^{-1}$</p> <ul style="list-style-type: none"> ・年平均値の範囲：6.7 (小笠原)~23.3 (屋久島) ・年間値の全地点加重平均値：13.1 ・月平均濃度の変動：平成 25~29 年度と概ね同様の傾向であった。
	<p>○年間沈着量/$\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$</p> <ul style="list-style-type: none"> ・年平均値の範囲：5.94 (小笠原)~95.36 (屋久島) ・年平均値の全地点平均値：25.85 ・月平均濃度の変動：平成 25~29 年度と概ね同様の傾向であったほか、東シナ海沿岸では 7 月の沈着量が高い結果であった。東シナ海沿岸に分類される対馬、えびの及び筑後小郡では 7 月の同期間の降水試料で H⁺沈着量が高かった。 ・15 年間パーセンタイル値との比較：札幌、竜飛岬、籠岳、小笠原、新潟巻、越前岬、伊自良湖、尼崎、隠岐及び幡竜湖で 10%値未満であった一方、辺戸岬では 90%値を上回り、屋久島とえびのでも比較的高い値を示した。

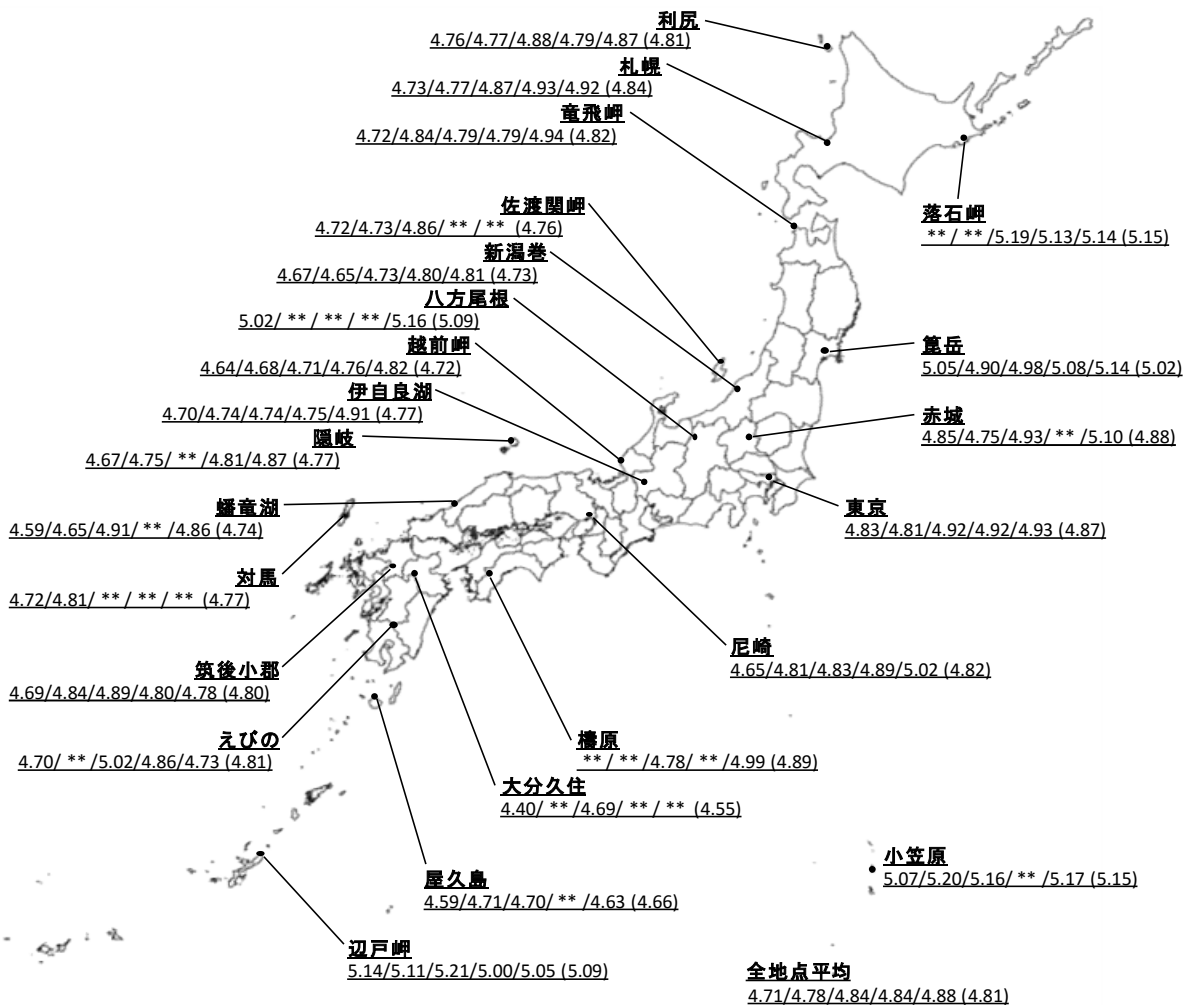


図 2 過去5年間の各測定局の降水 pH の推移と平均値
 平成 26 年度/平成 27 年度/平成 28 年度/平成 29 年度/平成 30 年度 (5 年間平均値)
 **:年平均値が年判定基準への適合判定により棄却
 注) 平均値は降水量加重平均により求めた

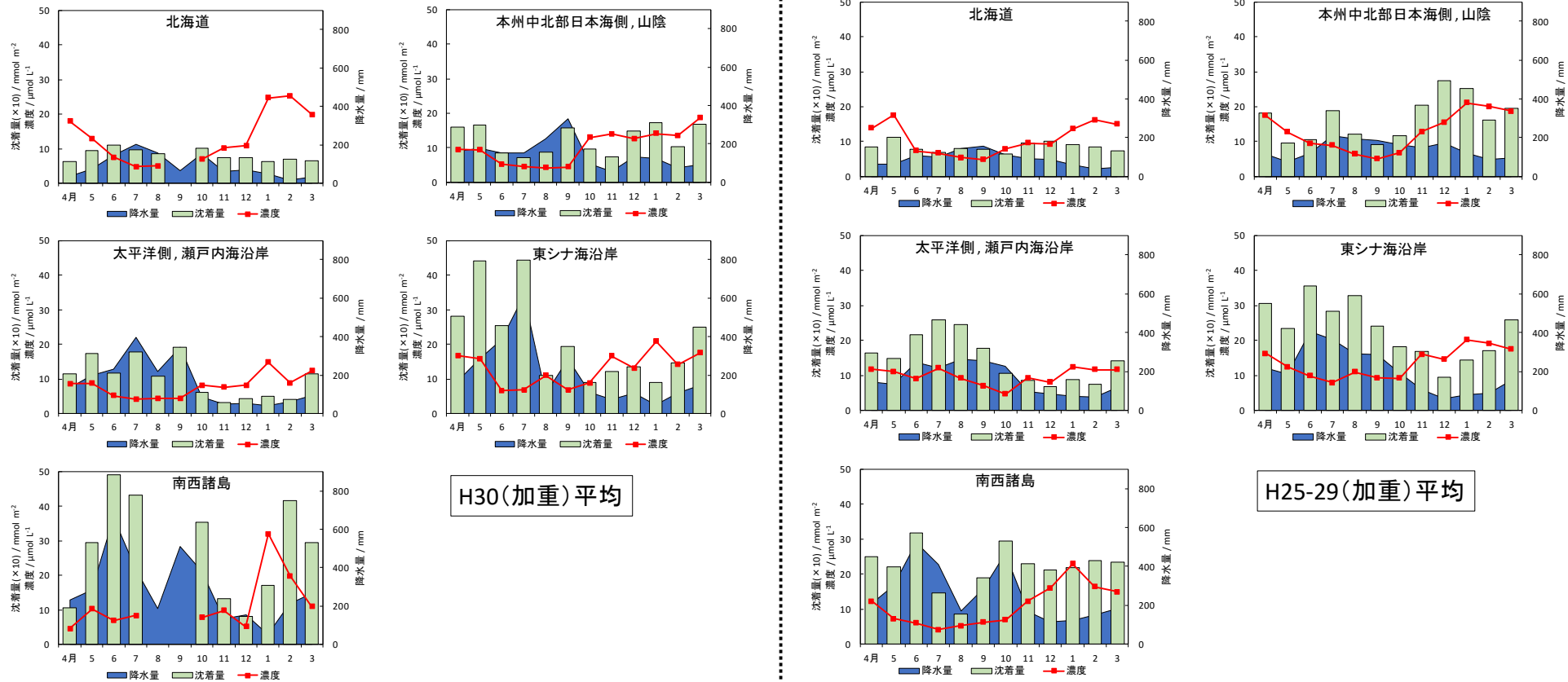


図3 nss-SO₄²⁻の月平均濃度及び月間沈着量並びに月間降水量の季節変動
(平成30年度及び平成25-29年度)

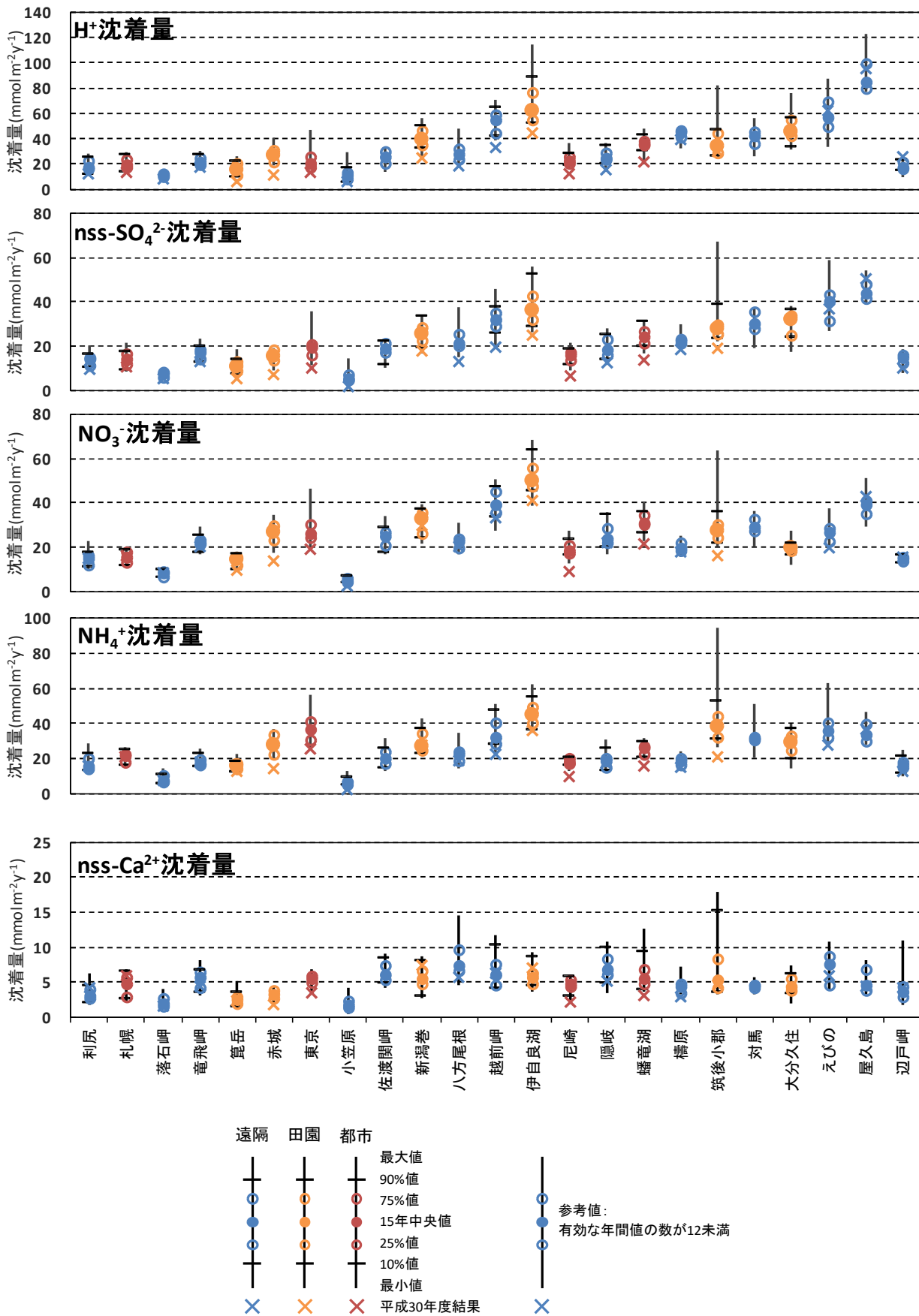


図4 イオンの年間沈着量(平成30年度及び平成15-29年度のパーセンタイル値)

(2) 大気汚染物質(ガス・粒子)

大気汚染物質の年間値の変動傾向及び季節変動について解析を行った。平成 30 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表 2 に示す。また、図 5～図 8 には、自動測定法による O₃、PM_{2.5} 濃度、フィルターパック法による粒子状 nss-SO₄²⁻、及び粒子状 NH₄⁺ とガス状 NH₃ を合わせた濃度の季節変動を各々示す。平成 30 年度の結果及び平成 15～29 年度のモニタリング結果から 10%値、25%値、中央値、75%値、90%値をパーセンタイル値として図 9、図 10 に示す。なお、解析に使用した値は、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%以上あった値のみである。

[主な測定項目]

ア) 自動測定器

SO₂ (17 地点)、NO_x* (遠隔・田園地域) 及び NO_x/NO₂ (都市地域) (15 地点)、O₃ (23 地点)、PM₁₀ (12 地点)、PM_{2.5} (15 地点)

イ) フィルターパック法

- ・ 粒子状成分濃度(SO₄²⁻、NO₃⁻、NH₄⁺、Ca²⁺) (12 地点)
- ・ ガス状成分濃度(HNO₃、NH₃) (12 地点)

なお、粒子状 SO₄²⁻及び Ca²⁺については粒子状 Na⁺を海塩粒子の指標として用い、海塩粒子に由来しない非海塩性の粒子状 SO₄²⁻及び Ca²⁺を算出して考察の対象とした。

表 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) ~2.3 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 25～29 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。えびのでは 4 月 19 日 2 時の時間値で 271.2 ppb が記録されるなど、4 月に顕著な濃度上昇が確認されており、硫黄山の噴火が影響したものと考えられる。また、屋久島でも過去 5 年と比較すると高い濃度で推移している月がみられており、口永良部島の火山活動の影響を受けたものと推察される (8 月以降は火山ガス放出量が 1 日あたり 100～1,700 t に増加^{注 2)}。 ・ 15 年間パーセンタイル値との比較: 札幌、えびの、屋久島で高く、利尻、落石岬、佐渡関岬、八方尾根、蟠竜湖及び辺戸岬で 10%値未満となった。
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) ~18.0 ppb (尼崎) ・ 年平均値の全地点平均: 3.3 ppb ・ 月平均濃度の変動: 平成 25～29 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: 小笠原、八方尾根及び蟠竜湖で 10%値未満となった。
O ₃ ^{注 3)} (自動測定器) 有効地点数: 22 地点	<ul style="list-style-type: none"> ・ 年平均値の範囲: 26 ppb (札幌) ~51 ppb (八方尾根) ・ 年平均値の全地点平均: 37 ppb ・ 月平均濃度の変動: 平成 25～29 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、佐渡関岬、蟠竜湖及び辺戸岬で 10%値未満、伊自良湖と屋久島で比較的高く、筑後小郡で 90%値超過となった。

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。

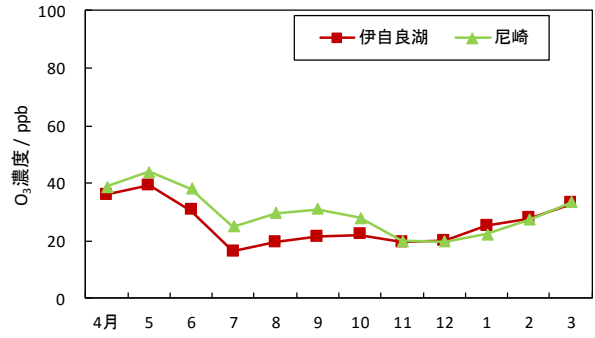
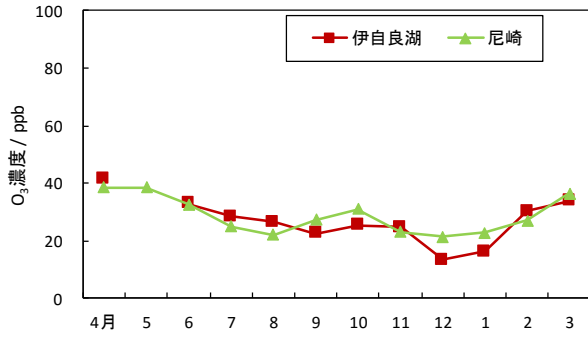
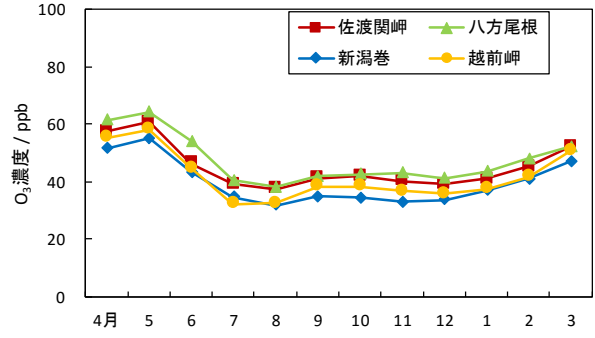
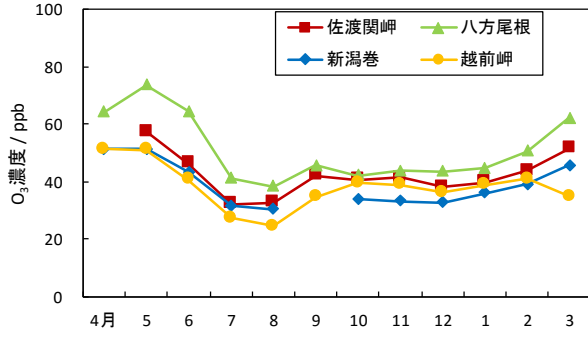
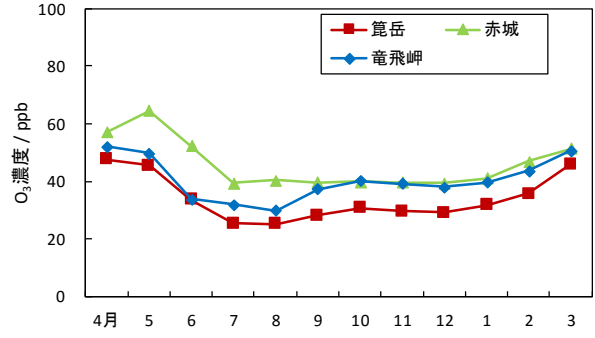
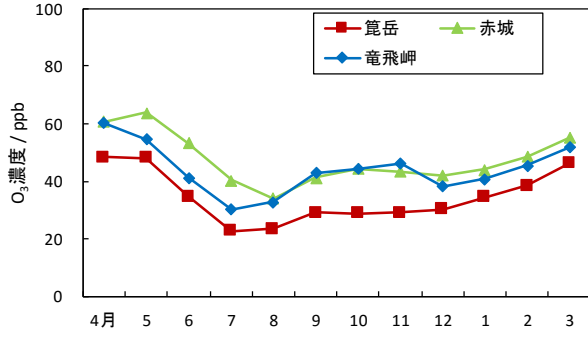
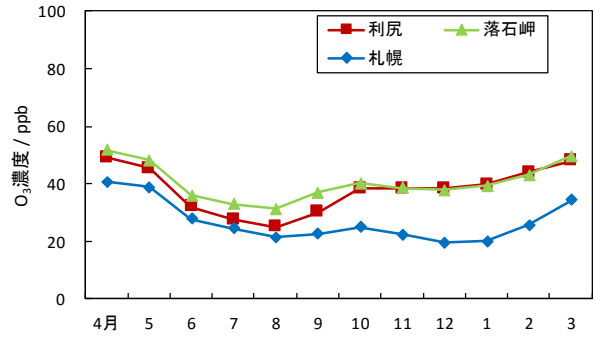
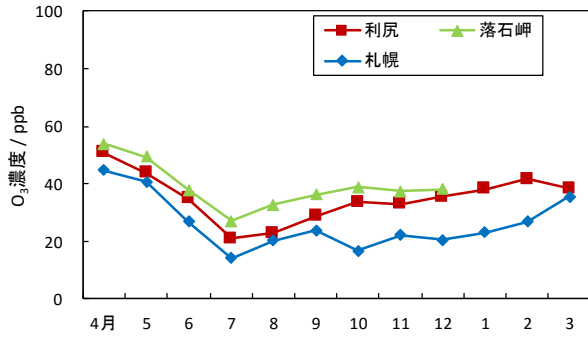
注 2) 気象庁ホームページ (口永良部島火山活動解説資料) より

https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_v-act_doc/monthly_vact_vol.php?id=509

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 主な測定項目の結果(つづき)

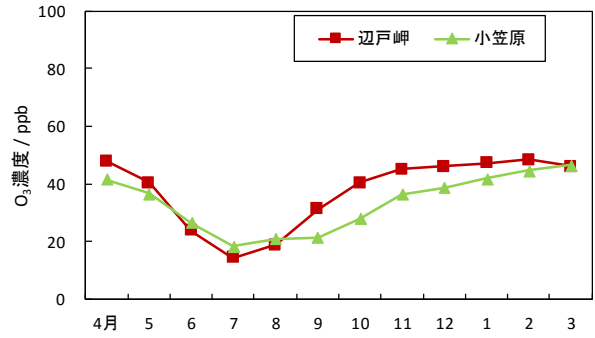
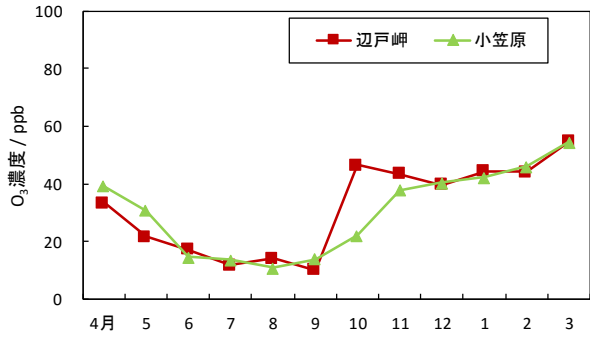
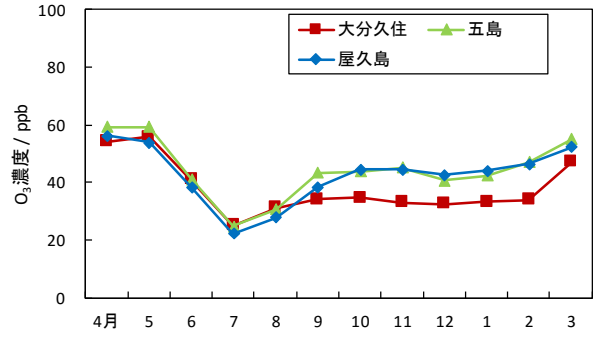
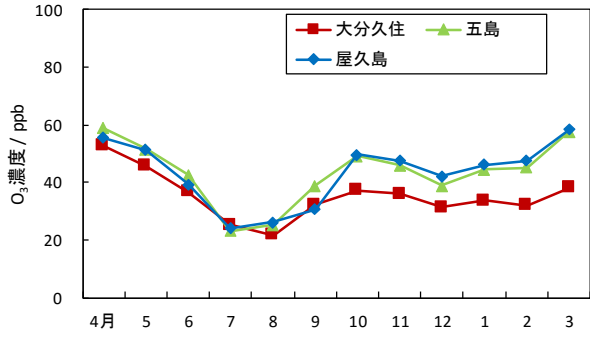
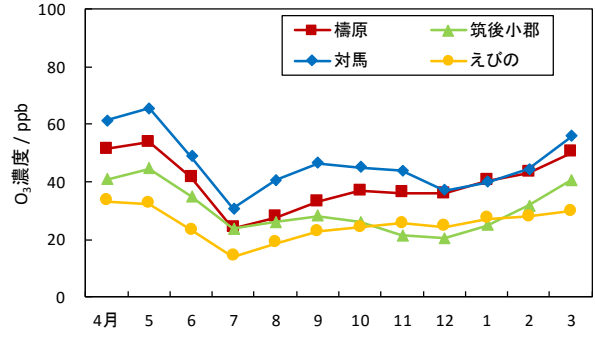
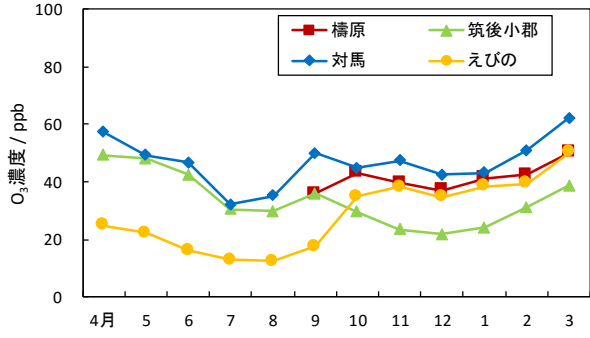
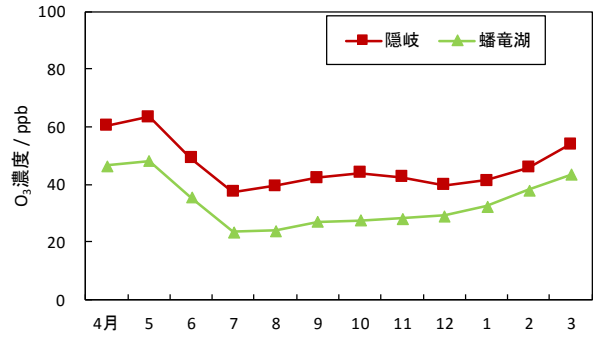
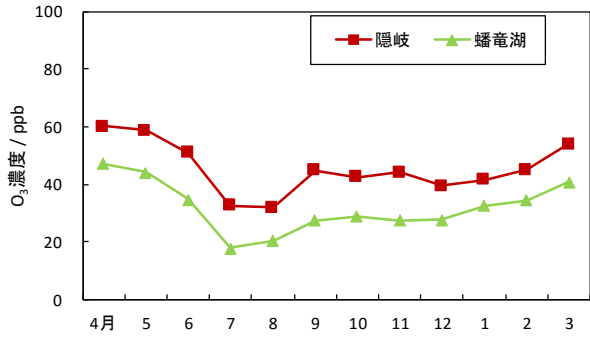
PM ₁₀ (自動測定器) 有効地点数: 12 地点	<ul style="list-style-type: none"> 年平均値の範囲: 9 μg m⁻³ (八方尾根) ~30 μg m⁻³ (辺戸岬) 年平均値の全地点平均: 20 μg m⁻³ 月平均濃度の変動: 全体的に春季に高い傾向が認められたほか、夏季にも高くなる地点がみられた。春季の濃度上昇は、Ca²⁺濃度も春季に高いことから、黄砂の影響を受けていることが示唆される。 15 年間パーセンタイル値との比較: 落石岬、八方尾根、伊自良湖及び蟠竜湖で 10% 値未満、対馬で比較的高く、利尻と小笠原で 90% 値超過となった。
PM _{2.5} (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: 6 μg m⁻³ (落石岬、八方尾根、小笠原) ~13 μg m⁻³ (尼崎、対馬) 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、隠岐で 10% 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: 12 地点	<ul style="list-style-type: none"> 年平均値の範囲: 1.28 μg m⁻³ (八方尾根) ~4.21 μg m⁻³ (辺戸岬) 年平均値の全地点平均: 2.80 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 nss-SO ₄ ²⁻ (フィルターパック) 有効地点数: 12 地点	<ul style="list-style-type: none"> 年平均値の範囲: 1.23 μg m⁻³ (小笠原) ~3.14 μg m⁻³ (隠岐) 年平均値の全地点平均: 2.25 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。 15 年間パーセンタイル値との比較: 利尻、竜飛岬、伊自良湖、隠岐、蟠竜湖及び構原で 10% 値未満となった。
粒子状 NO ₃ ⁻ (フィルターパック) 有効地点数: 12 地点	<ul style="list-style-type: none"> 年平均値の範囲: 0.25 μg m⁻³ (八方尾根) ~3.26 μg m⁻³ (東京) 年平均値の全地点平均: 1.20 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。 15 年間パーセンタイル値との比較: 利尻、佐渡関岬、隠岐及び構原で 90% 値超過となった。
ガス状 HNO ₃ (フィルターパック) 有効地点数: 12 地点	<ul style="list-style-type: none"> 年平均値の範囲: <0.1 ppb (利尻、落石岬、小笠原、辺戸岬) ~0.6 ppb (東京) 年平均値の全地点平均: 0.2 ppb 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。 15 年間パーセンタイル値との比較: 佐渡関で 75% 値程度を示し、蟠竜湖及び構原で 10% 値未満となった。
粒子状 NH ₄ ⁺ (フィルターパック) 有効地点数: 12 地点	<ul style="list-style-type: none"> 年平均値の範囲: 0.18 μg m⁻³ (小笠原) ~1.07 μg m⁻³ (東京) 年平均値の全地点平均: 0.57 μg m⁻³ 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。 15 年間パーセンタイル値との比較: 竜飛岬、伊自良湖、隠岐、蟠竜湖及び構原で 10% 値未満となった。
ガス状 NH ₃ (フィルターパック) 有効地点数: 12 地点	<ul style="list-style-type: none"> 年平均値の範囲: 0.3 ppb (落石岬) ~3.9 ppb (東京) 年平均値の全地点平均: 1.0 ppb 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。 15 年間パーセンタイル値との比較: 利尻、佐渡関岬、八方尾根及び蟠竜湖で 90% 値超過となった。
粒子状 Ca ²⁺ (フィルターパック) 有効地点数: 12 地点	<ul style="list-style-type: none"> 年平均値の範囲: 0.08 μg m⁻³ (八方尾根) ~0.48 μg m⁻³ (東京) 年平均値の全地点平均: 0.23 μg m⁻³ 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。
粒子状 nss-Ca ²⁺ (フィルターパック) 有効地点数: 12 地点	<ul style="list-style-type: none"> 年平均値の範囲: 0.04 μg m⁻³ (落石岬) ~0.44 μg m⁻³ (東京) 年平均値の全地点平均: 0.15 μg m⁻³ 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。 15 年間パーセンタイル値との比較: 利尻で 90% 値超過となった。



平成30年度

平成25-29年度平均

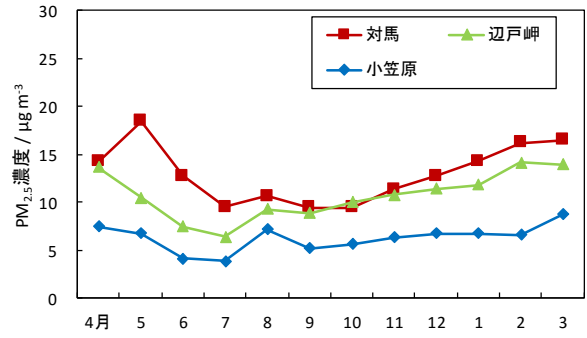
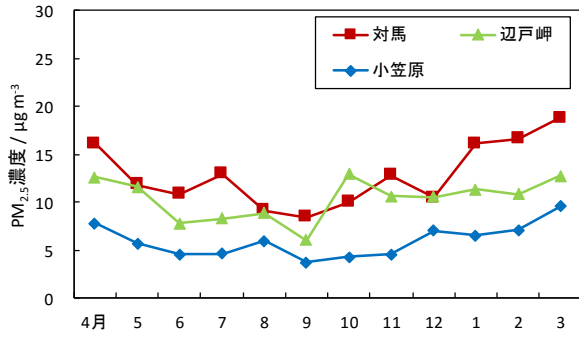
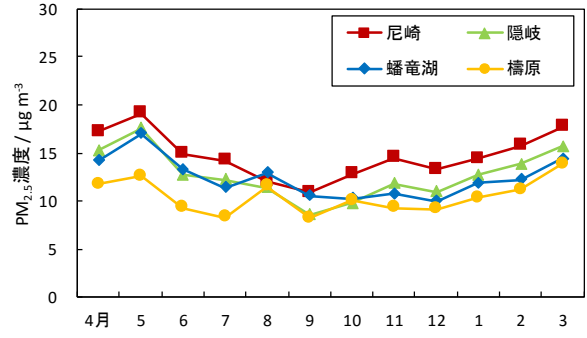
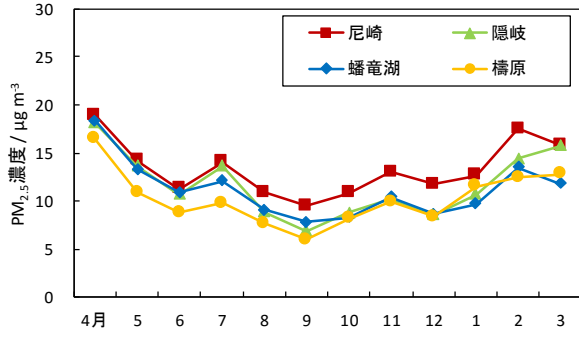
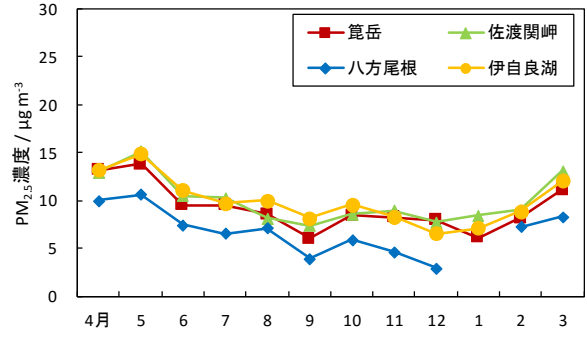
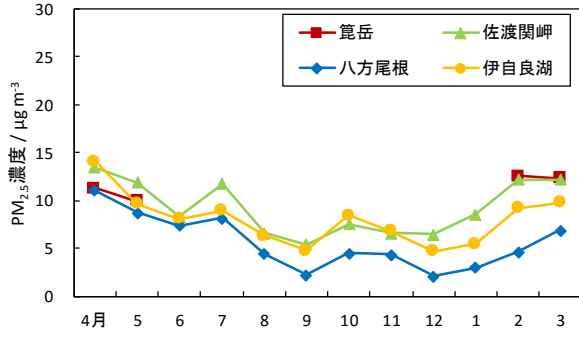
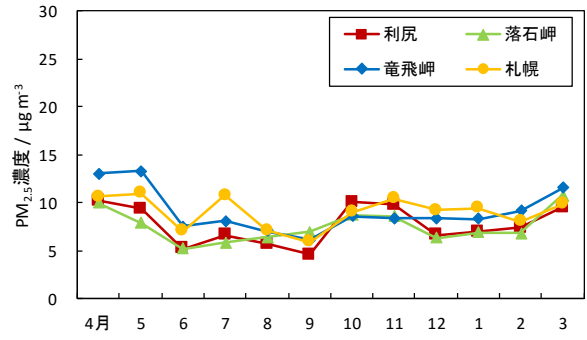
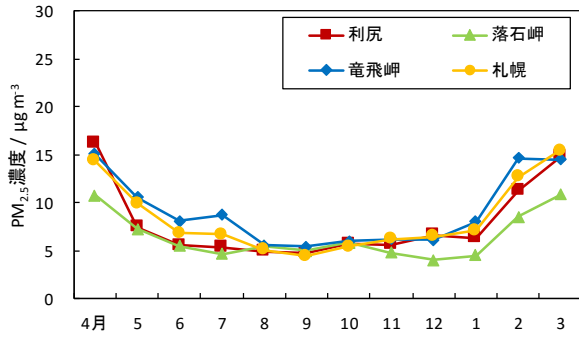
図5 O₃濃度の季節変動(単位:ppb)
(平成30年度及び平成25-29年度)



平成30年度

平成25-29年度平均

図5 O₃濃度の季節変動 続き(単位:ppb)
(平成30年度及び平成25-29年度)

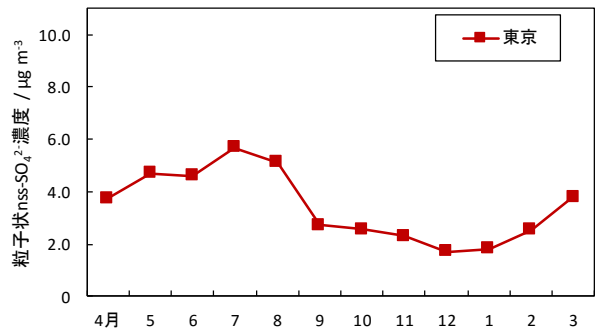
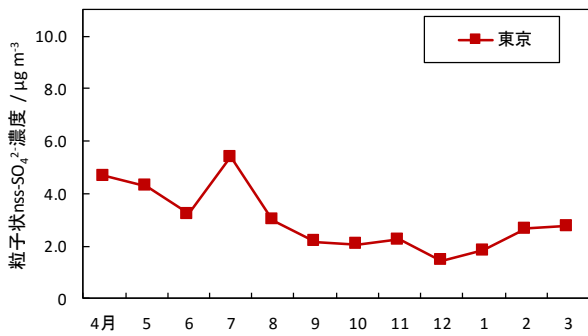
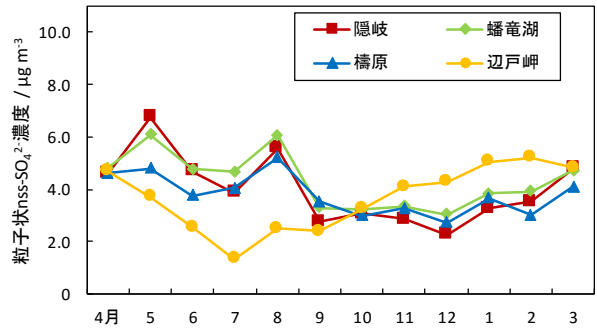
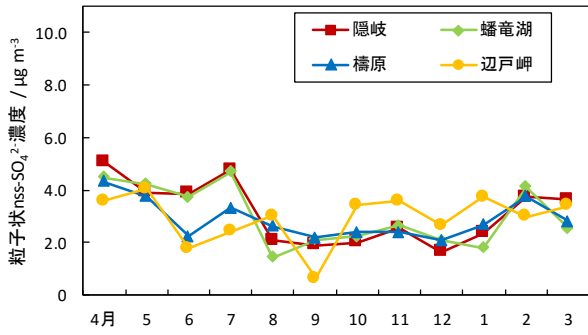
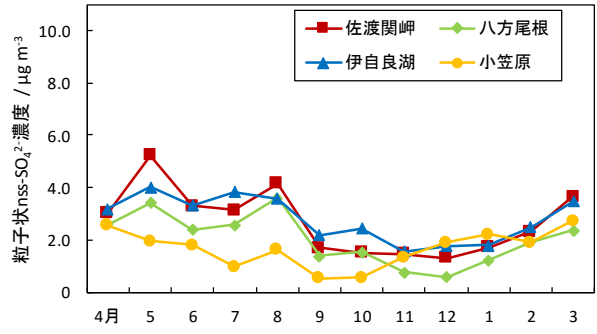
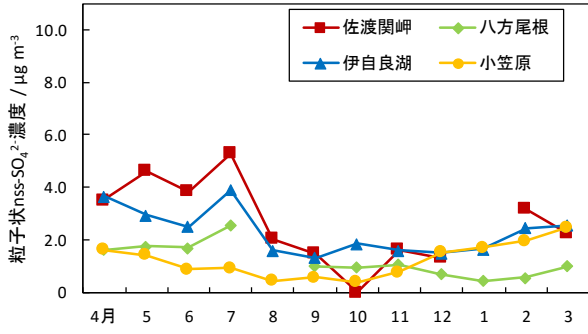
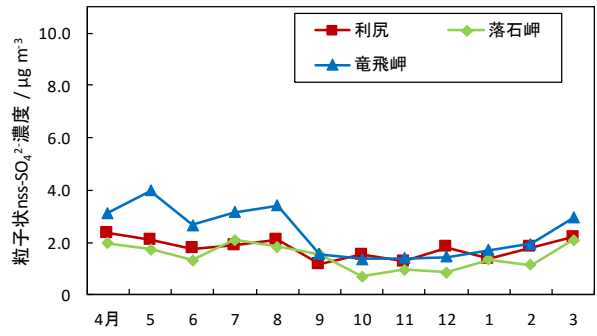
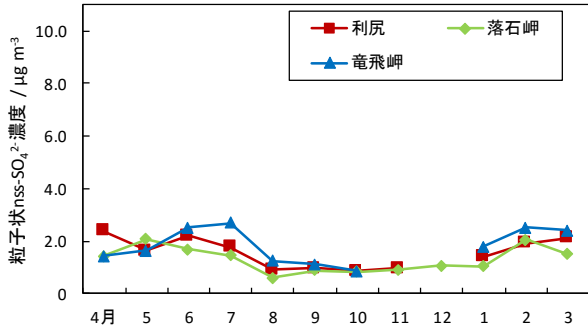


平成 30 年度

平成 25-29 年度平均*

*平成 26~29 年度平均：札幌、箕岳、佐渡関岬、尼崎、対馬局
 平成 27~29 年度平均：竜飛岬、八方尾根、伊自良湖、蟠竜湖、
 禰原、辺戸岬、小笠原局

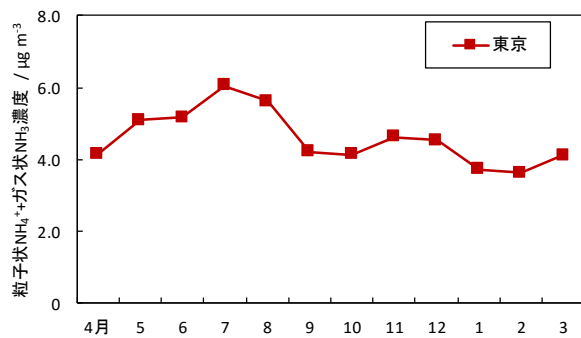
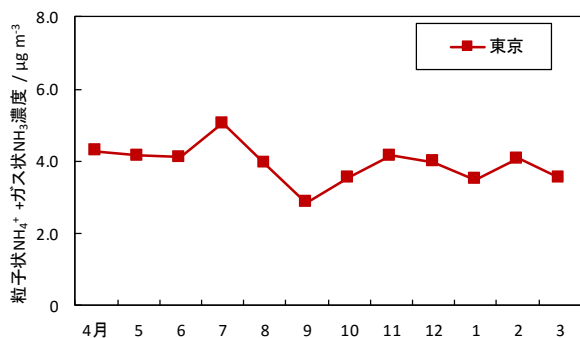
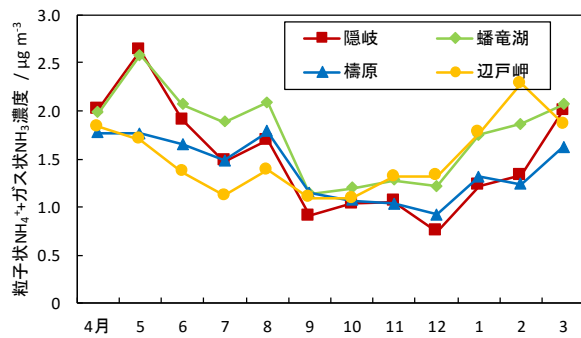
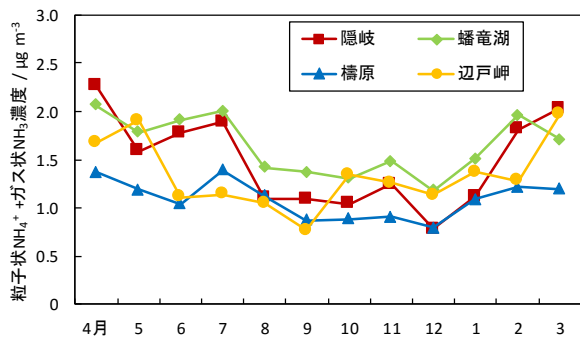
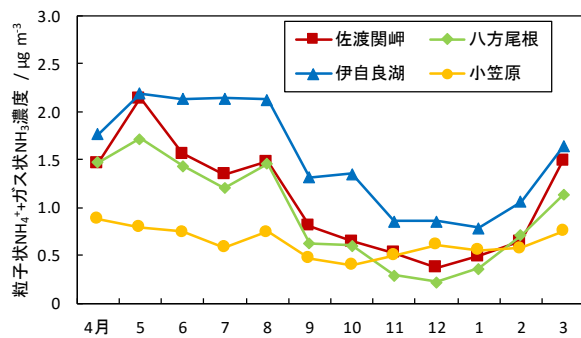
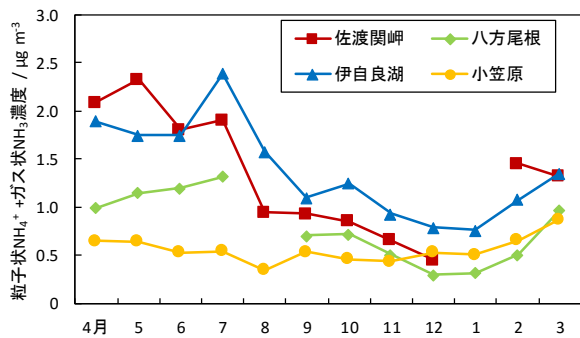
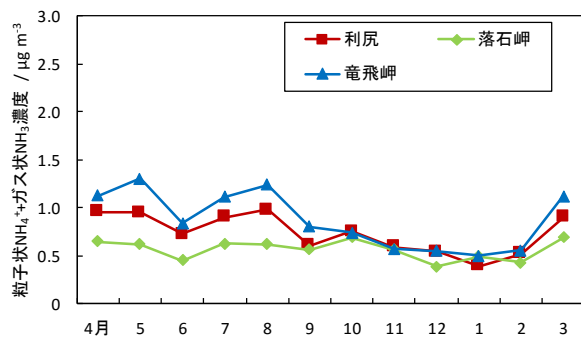
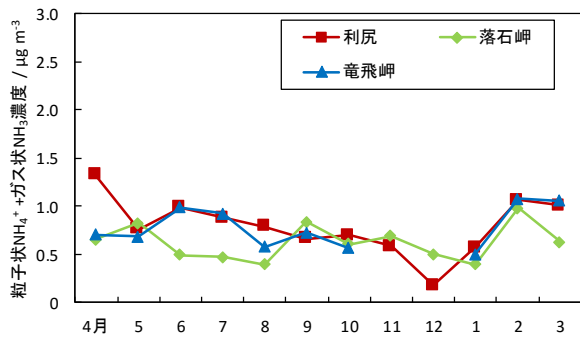
図 6 PM_{2.5}濃度の季節変動(単位:μg m⁻³)
 (平成 30 年度及び平成 25-29 年度)



平成30年度

平成25-29年度平均

図7 粒子状 nss-SO₄²⁻濃度の季節変動(フィルターパック法、単位:µg m⁻³)
(平成30年度及び平成25-29年度)



平成 30 年度

平成 25-29 年度平均

図 8 粒子状 NH₄⁺ + ガス状 NH₃ 濃度の季節変動(フィルターパック法、単位: μg m⁻³)
(平成 30 年度及び平成 25-29 年度)

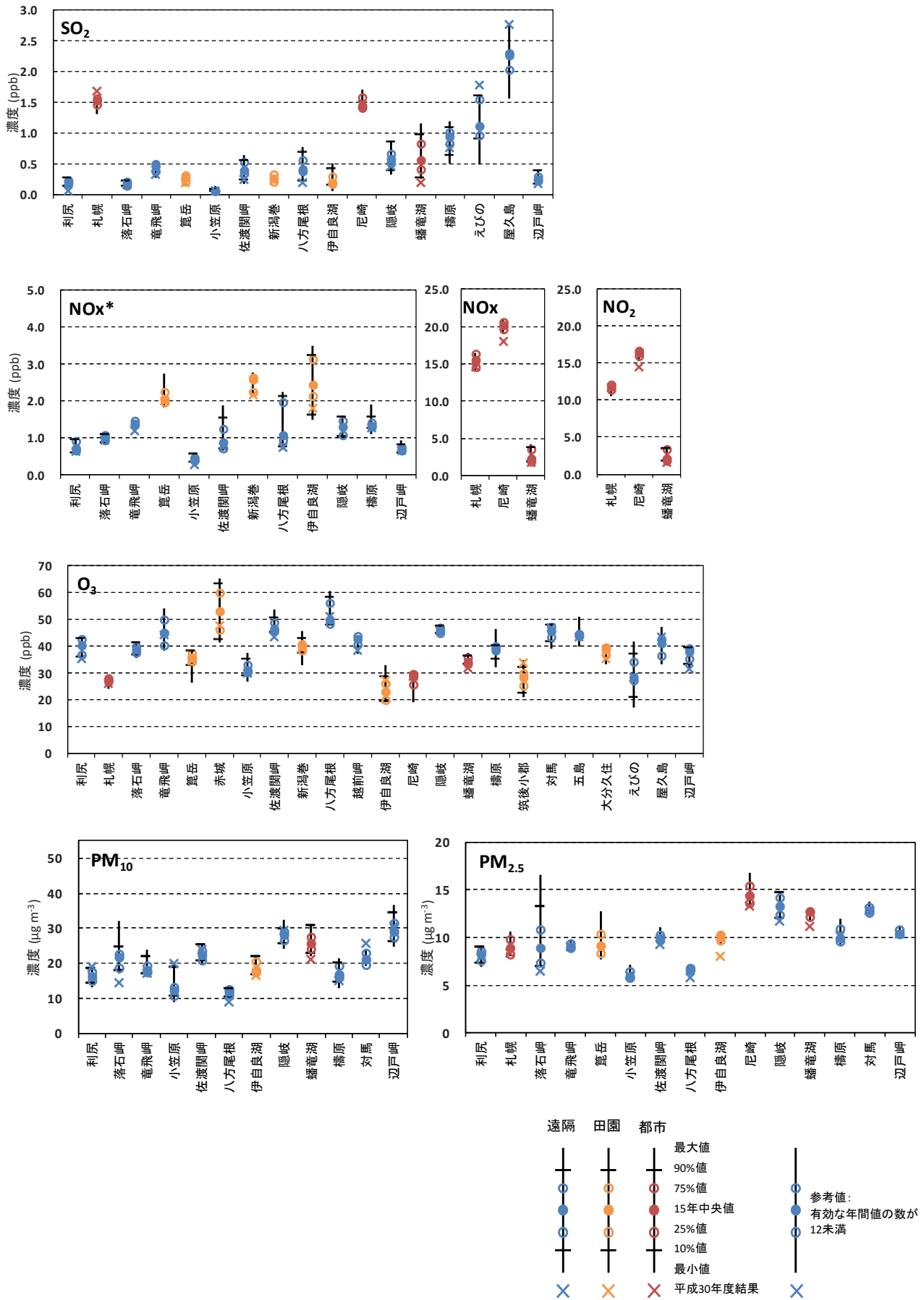


図9 自動測定器による年平均値(平成30年度及び平成15-29年度のパーセンタイル値)

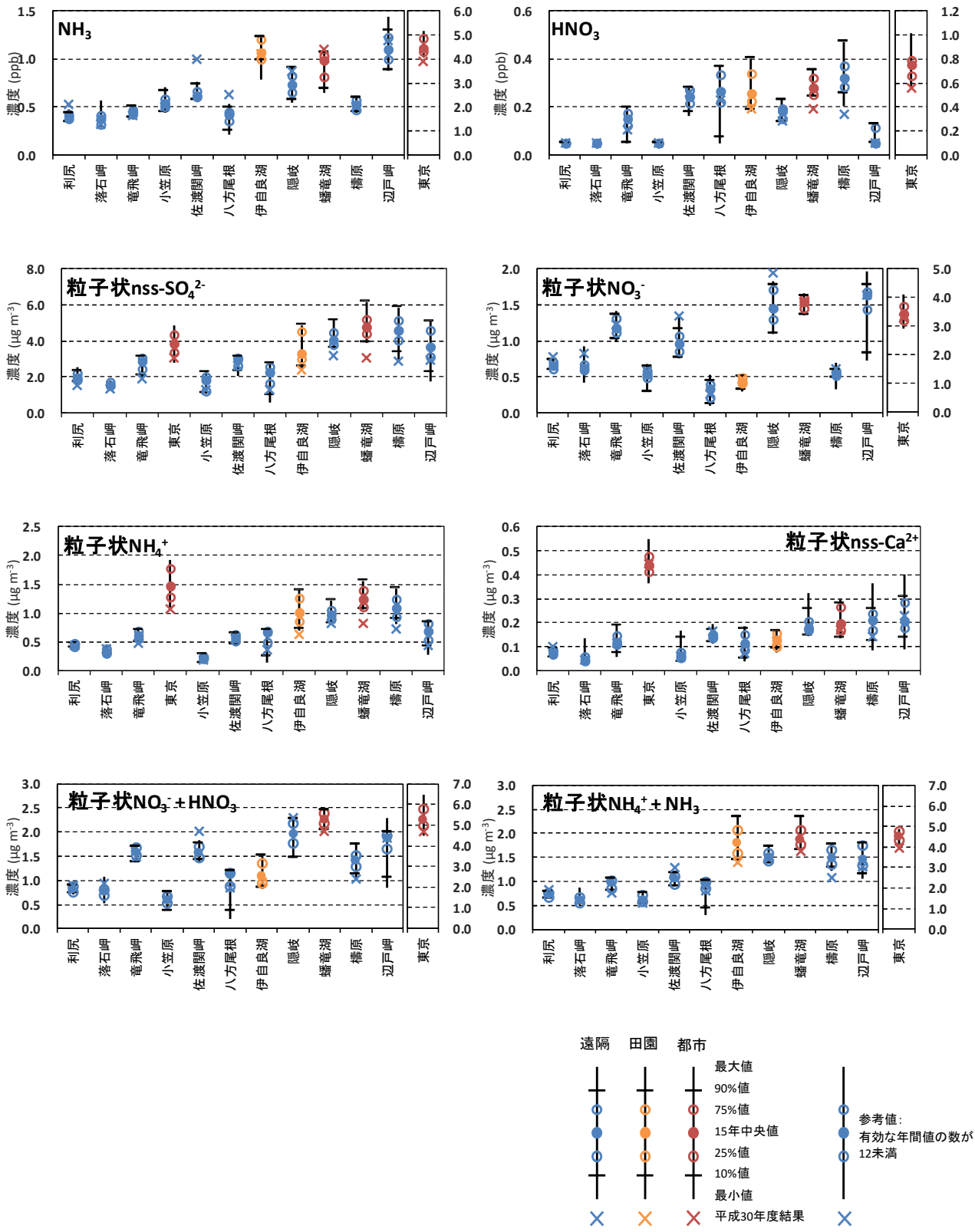


図 10 フィルターパック法による年平均値(平成 30 年度及び平成 15-29 年度のパーセンタイル値)

2.2 生態影響モニタリング

2.2.1 モニタリング地点

土壌・植生、及び陸水のモニタリングは、平成 30 年度までそれぞれ 25 林分及び 8 湖沼で実施された（図 11）。また、伊自良湖では、集水域モニタリングを実施した。なお、伊自良湖及び蟠竜湖は EANET 地点である（令和元年度から蟠竜湖に代わり、土壌・植生は石動山・宝立山、陸水は双子池）。

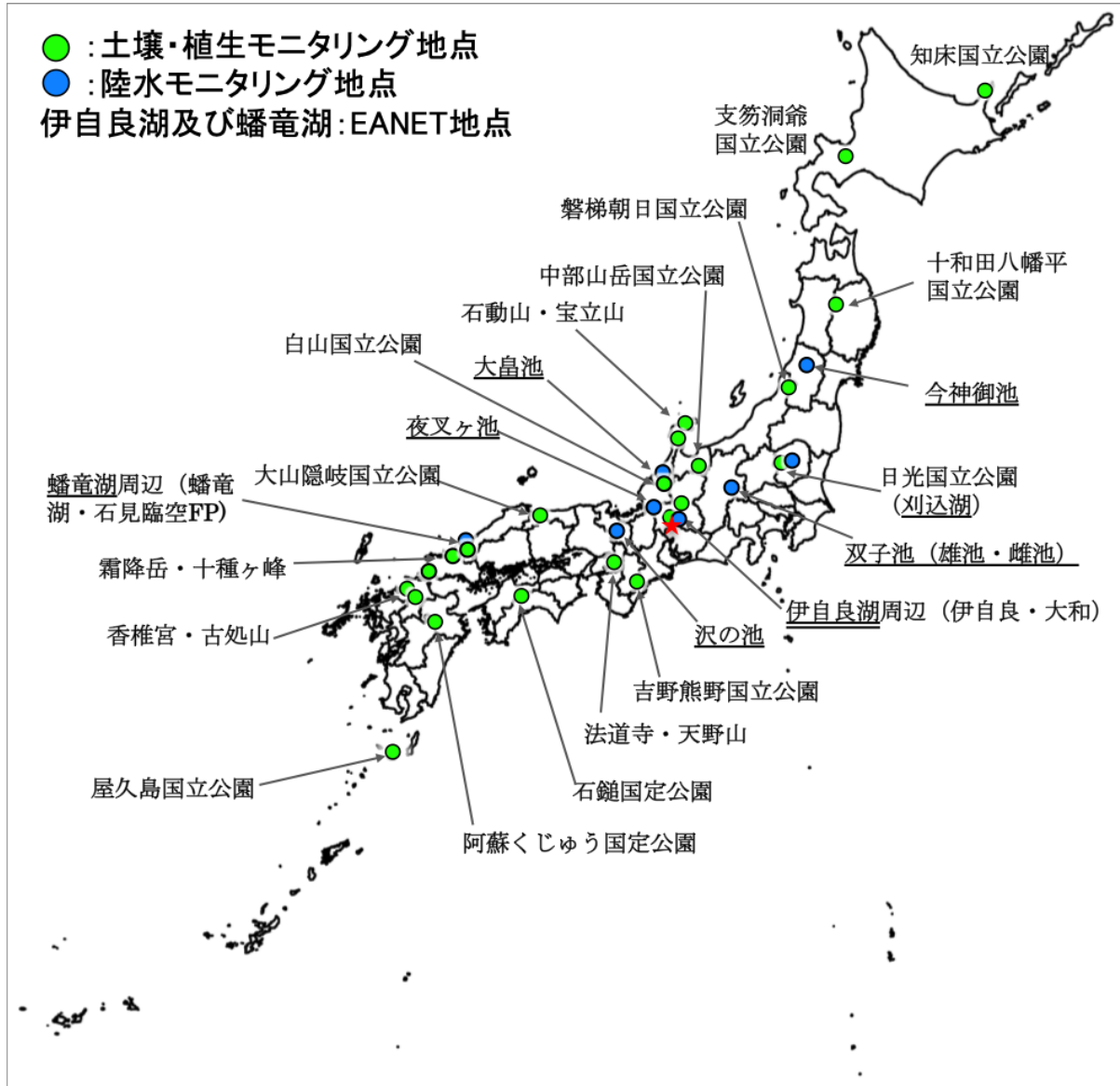


図 11 土壌・植生、陸水及び集水域モニタリング地点

注 1：陸水モニタリング地点は下線で示した。山居池、永富池及び山のロダムのモニタリングは平成 25 年度をもって終了した。注 2：二重線で示した伊自良湖（岐阜県）では土壌・植生、陸水に加え集水域モニタリングが実施されている。注 3：各地点における平成 30 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。平成30年度（2018年度）は、支笏洞爺国立公園（北海道）、日光国立公園（栃木県）、大山隠岐国立公園（鳥取県）および霜降岳・十種ヶ峰（山口県）の4地域5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（支笏洞爺国立公園は、植生モニタリングのみ）。これらの地点においては、これまで5年ごとに2回もしくは3回の調査が実施されている。また、全ての地点では、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

- 日光国立公園：pH(H₂O)とpH(KCl)は5年の調査ごとに有意に上下変動しており、前回の2013年に比較して2018年度は有意な下降がみられた。一方、交換性塩基および塩基飽和度は、pHに連動した変化は明瞭ではなかった。
- 大山隠岐国立公園：pH(H₂O)が前回の2013年に比較して有意に上昇し、全4回の調査の中で最も高い水準にあった（ただしプロット2の0-10 cmを除く）。交換性塩基と交換酸度から算出される塩基飽和度には有意な上昇はみられず、土壌酸度の低下による塩基飽和度の上昇はみられなかった。
- 霜降岳：pH(H₂O)およびpH(KCl)がプロット2の表層および次層で2013年に引き続き低い水準にあり、これに連動して交換性塩基と塩基飽和度が下降傾向、交換酸度が上昇傾向であった。以上のことから、霜降岳では部分的に土壌の酸性化が示唆された。なお、2018年度末の長期モニタリング計画の改訂により、霜降岳での土壌植生モニタリングは十種ヶ峰とともに2018年度で終了となった。
- 十種ヶ峰：pH(H₂O)およびpH(KCl)が5回の調査で有意に下降傾向だった。交換性塩基および塩基飽和度も、2008年の分析値に異常値が含まれているため統計的な有意差はないが、今回までの5回の調査で下降傾向だった。一方、交換酸度には明瞭な上昇傾向はみられなかった。

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。2018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からは、十和田八幡平、吉野熊野、屋久島1において各衰退項目の得点率が比較的高い状態が3年以上続いている。十和田八幡平は、10年ほど前から衰退度が一貫して上昇傾向で、気象害(凍害、寒風害、雪害)の被害が蓄積し続けている。吉野熊野は、2004、2005年の台風によって2008年にかけて葉の脱落が増加したことや、その後2010年にかけては食葉性昆虫の被害により衰退度が上昇した。屋久島1は4年ほど前からシカによる食害が目立つようになった。

表 3 2018 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 (2018新規)	衰退 要因	特記事項・過去のイベント
知床	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-	2018年度は調査なし
支笏洞爺	8	13	19	8				13	2	1	a,b,c	2018年の台風被害の影響がみられる
十和田八幡平	43	38	35	38	17	17	15	38	17		b	凍害、寒風害、雪害の影響がみられる
磐梯朝日	23	15	10	15							a,b	風害、雪害、ツル植物による被害がみられる
日光	14	11	7				2	4	4		a,f	被圧、老齢化、表土流出による樹勢の衰えがみられる
中部山岳	11	8	3	6	3	3		3			h	少雨、虫害の影響により樹勢の衰えている個体がある
白山	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-	2018年度は調査なし
吉野熊野	20	20	2	27			5	2	2		a,b,e	被圧、風害、ヤドリギによる被害がみられる
大山隠岐	27	11	24	7	2		2	7	7		a,b	被圧、雪害による被害がみられる
石鎚	2			3							a,b	風害、樹種特有の加齢による樹形の乱れがみられる
阿蘇くじゅう	2	3		3							h	原因不明の枝枯れがみられる
屋久島1	15	23	20	27			2	10	2		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	3							a	かかり木、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	8									1	h	原因不明の樹形の乱れがみられる
法道寺	28	22									a	原因不明の樹形の乱れ、樹勢の衰えがみられる
天野山											-	衰退はみられない
霜降岳				4							h	不明
十種ヶ峰											-	衰退はみられない
香椎宮1		2		13							a	隣接木による被圧がみられる
香椎宮2	7	5		10				2			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							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	3	2		7						1	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		7							a	隣接木の被圧による樹形の乱れがみられる
大和	12	2		2						3	a,h	台風による根返りで3本枯死、その他の被害の原因は不明
幡竜湖2				3							d	ブナ科樹木萎凋病の被害がみられる
石見臨空FP	13	9	13	13	4		4	4	7		d	ブナ科樹木萎凋病の被害がみられる

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 12 に示し、2018 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 は低下しており、明確に pH が上昇したのは夜叉ヶ池のみであった。

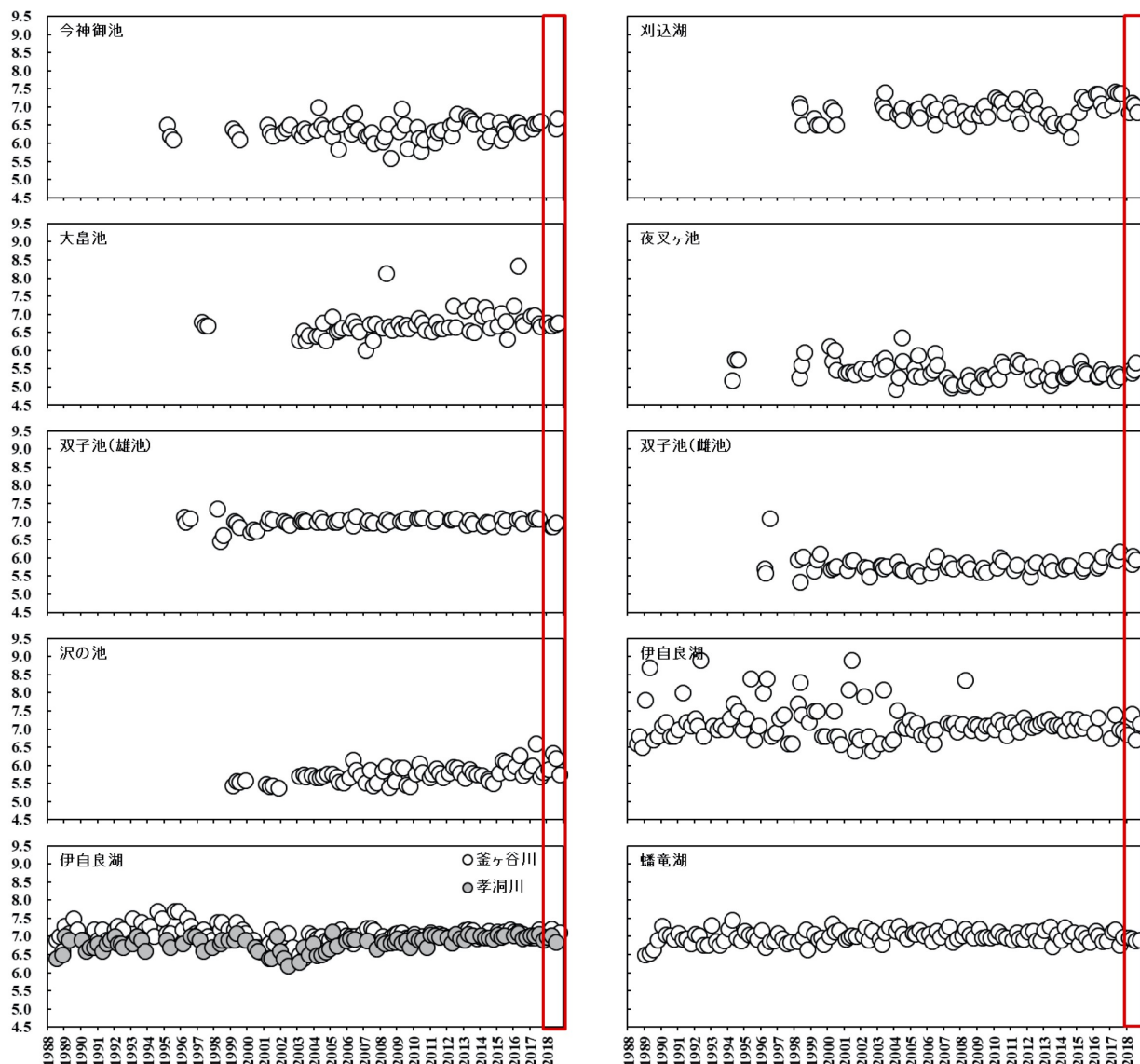


図 12 各調査地点における表層水の pH の経年変動(赤枠内は 2018 年度)

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、夜叉ヶ池、雌池、蟠竜湖では前年度より高く、大畠池、雄池、釜ヶ谷川、孝洞川では前年度より低かった。夜叉ヶ池のアルカリ度は 2013 年度頃から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より低い値となった一方、伊自良湖集水域内の釜ヶ谷川では前年度より高い値も見られた。夜叉ヶ池、雄池、雌池、沢の池では低下傾向が見られている。
- 硝酸イオン濃度は、多くの地点では増減は明確ではなかったが、夜叉ヶ池では前年度より低下した。1990 年代半ばに窒素飽和したとされる伊自良湖では、2000 年代初頭をピークに低下傾向が明瞭であった。

(3) 集水域モニタリング

- 7/5-7/7 の 3 日間における総雨量が 500 mm を超えるなど、記録的な降水量が観測された（平成 30 年 7 月豪雨）。降水量、河川流出量はともに前年度より上昇し、特に流出量が大きく上昇したことに伴い流出

率も上昇した（過去3水年の降水量：3,216→3,070→3,596 mm；流出量：1,867→1,896→2,818 mm；流出率：58→62→78%）。

- 2017-2018 水年における年総沈着量と河川からの流出量を図 13 に示した。当該集水域における総沈着量に占める乾性沈着の寄与率は非常に低い。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）における乾性沈着の不確実性に関する検討によると、伊自良湖局の大気データは中京地域全体を代表するデータとして利用するのは適当でないが、伊自良湖集水域が位置する谷間周辺の、限られたローカル範囲の大気データとしては利用ができるということが示された。
- 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 4 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、別途、平成 30 年度まで実施された「要監視地域における重点モニタリング」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、大気由来の硫黄に加え、地質由来の硫黄が大きく寄与していることが示唆されている。

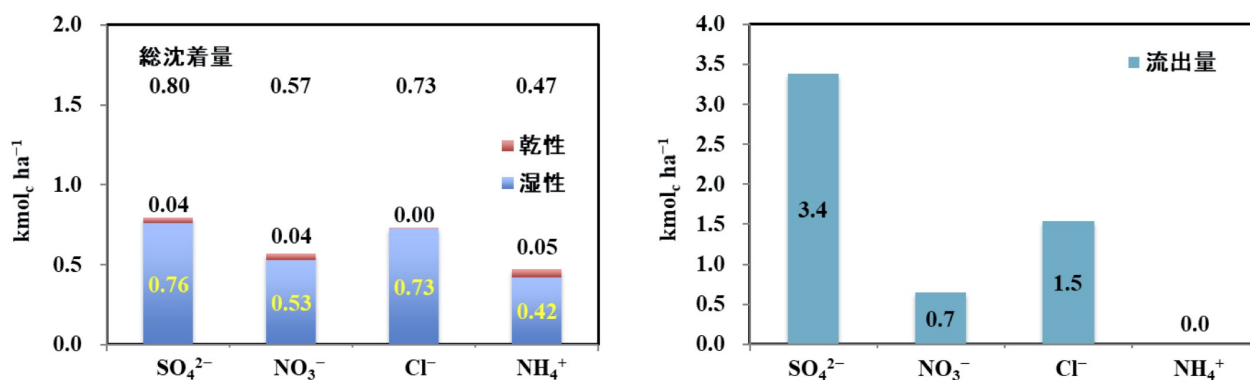


図 13 2017-2018 水年における釜ヶ谷川集水域の年総沈着量(左)及び年流出量(右)。

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 2017 年 11 月から 2018 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。

(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（福岡県）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。

- 摩周湖のオゾン濃度は、6 ヶ月間の AOT40（40 ppb の臨界値を超える濃度の積算値）は樹木成長に影響を与えるレベルではないが、春先に高いことが指摘されており、常緑樹への年間を通じた影響（年間 AOT40 : > 10 ppm・h）を考慮すべきと報告されている。
- 八海山における AOT40 は、欧州における樹木への臨界値（Critical level）である 10 ppm・h を超えており、樹木成長への影響について注視する必要がある。
- 英彦山の AOT40 は欠測期間を考慮すると、近隣局の太宰府（12 ppm・h）に近い値であったと推

定された。

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)	36	45	35
中央値 (ppb)	35	45	35
95パーセンタイル値 (ppb)	54	75	63
5パーセンタイル値 (ppb)	20	21	12
AOT40 (ppm・h)	3.5	17	7.7

注. 英彦山では5/15-6/1まで欠測。

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。

- 平成30年度までの重点モニタリングでは、日本海側の加治川集水域だけでなく太平洋側の伊自良湖集水域においても、冬季に起源の異なる硫黄酸化物の流入により、同位体比が著しく上昇し、越境大気汚染の影響を受けていることが示唆された(図14)。河川の同位体比は年間を通じ安定しており、大気由来の硫黄は一旦生態系内で循環・保持されていることを示した。
- Inomata et al. (2019, Science of the Total Environment) による発生源寄与率は、伊自良と加治川で、それぞれ、越境大気汚染が50%と48%、国内発生源が40%と30%であった。今後、越境大気汚染の影響が低下するに従い、相対的に国内発生源の寄与率が増大していくため、生態系の応答(回復)状況を見つつ、さらなる国内対策の必要性を論じるための基礎データとなり得る。

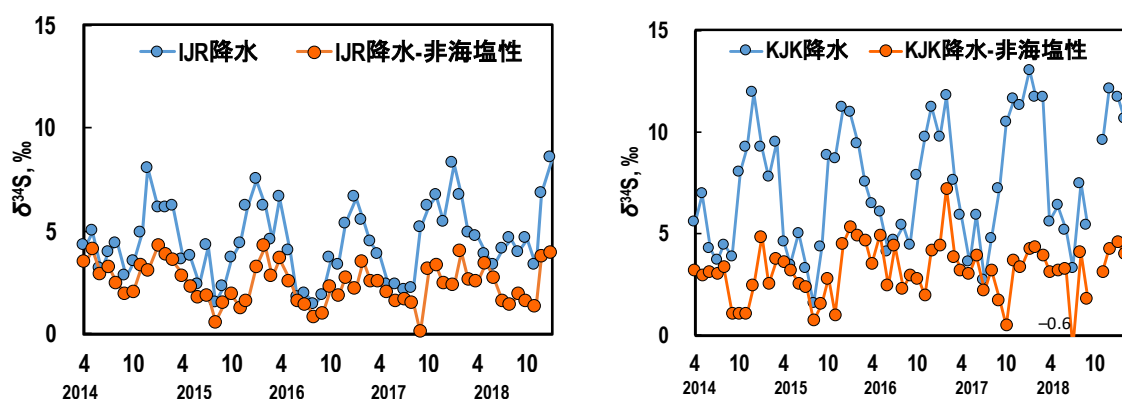


図14 伊自良湖集水域（IJR：左）及び加治川集水域（KJK：右）における降水の硫黄同位体比。