

越境大気汚染・酸性雨長期モニタリング
(平成20～22年度)
中間報告

平成24年6月

環 境 省

越境大気汚染・酸性雨対策検討会 名簿

- 座長 秋元 肇 (財) 日本環境衛生センター アジア大気汚染研究センター 所長
- 植田 洋匡 京都大学 名誉教授
- 太田 誠一 京都大学大学院 農学研究科 教授
- 大原 利眞 国立環境研究所 地域環境研究センター長
- 小倉 紀雄 東京農工大学 名誉教授
- 加藤 久和 帝京大学 法学部 教授
- 佐竹 研一 立正大学 地球環境科学部 教授
- 戸塚 績 (財) 日本環境衛生センター
アジア大気汚染研究センター 技術顧問
- 永島 達也 国立環境研究所 地域環境研究センター 主任研究員
- 袴田 共之 浜松ホトニクス(株) 企画開発部 顧問
- 原 宏 東京農工大学 農学部 教授
- 広瀬 健二 全国環境研協議会 酸性雨広域大気汚染調査研究部会長
(川崎市公害研究所長)
- 村野 健太郎 法政大学 生命科学部 教授

越境大気汚染・酸性雨対策検討会 大気分科会 名簿

- 座長 原 宏 東京農工大学 農学部 教授
- 植松 光夫 東京大学 大気海洋研究所附属 国際連携研究センター長・教授
- 田中 茂 慶應義塾大学 理工学部 教授
- 土器屋 由紀子 江戸川大学 名誉教授
- 畠山 史郎 東京農工大学大学院 農学研究院 教授
- 藤田 慎一 (財) 電力中央研究所 環境科学研究所 研究顧問
- 永島 達也 国立環境研究所 地域環境研究センター 主任研究員
- 西川 雅高 国立環境研究所 環境計測研究センター 環境計測化学研究室長
- 松田 和秀 明星大学 理工学部 准教授
- 三笠 元 (公社) 日本環境技術協会 常務委員・技術委員会大気部会長

越境大気汚染・酸性雨対策検討会 生態影響分科会 名簿

- 座長 小倉 紀雄 東京農工大学 名誉教授
- 伊豆田 猛 東京農工大学大学院 農学研究院 教授
- 井上 隆信 豊橋技術科学大学 建設工学系 教授
- 海老瀬 潜一 摂南大学 工学部 教授
- 太田 誠一 京都大学大学院 農学研究科 教授
- 河野 吉久 (財)電力中央研究所 環境科学研究所 研究顧問
- 小林 和彦 東京大学大学院 農学生命科学研究科 教授
- 新藤 純子 農業環境技術研究所 物質循環研究領域長
- 高橋 正通 森林総合研究所 企画部 研究企画科長
- 高松 武次郎 元 茨城大学 広域水圏環境科学教育研究センター 教授
- 袴田 共之 浜松ホトニクス(株) 企画開発部 顧問
- 福原 晴夫 新潟大学 教育学部 教授

越境大気汚染・酸性雨長期モニタリング調査結果とりまとめワーキンググループ 名簿

1. 大気モニタリングデータ総合解析ワーキンググループ

座長 畠山 史郎	東京農工大学大学院 農学研究院 教授
大原 利眞	国立環境研究所 地域環境研究センター長
高見 昭憲	国立環境研究所 地域環境研究センター 広域大気環境研究室長
林 健太郎	農業環境技術研究所 物質循環研究領域 主任研究員
原 宏	東京農工大学 農学部 教授
松田 和秀	明星大学理工学部 環境システム学科 准教授
山地 一代	海洋研究開発機構 地球環境変動領域 研究員

2. 酸性沈着の生態系影響評価ワーキンググループ

座長 袴田 共之	浜松ホトニクス (株) 企画開発部 顧問
太田 誠一	京都大学大学院 農学研究科 教授
大原 利眞	国立環境研究所 地域環境研究センター長
金子 真司	森林総合研究所 立地環境研究領域長
林 健太郎	農業環境技術研究所 物質循環研究領域 主任研究員
福原 晴夫	新潟大学教育学部 教授

3. オゾン等の植物影響評価ワーキンググループ

座長 伊豆田 猛	東京農工大学大学院 農学研究院 教授
大政 謙次	東京大学大学院 農学生命科学研究科 教授
河野 吉久	(財)電力中央研究所 環境科学研究所 研究顧問
小林 和彦	東京大学大学院 農学生命科学研究科 教授
清水 英幸	国立環境研究所 地域環境研究センター 主席研究員
須田 隆一	福岡県保健環境研究所 環境科学部 専門研究員
滝川 雅之	海洋研究開発機構 地球環境変動領域 大気物質循環研究チーム チームリーダー
野口 泉	地方独立行政法人北海道立総合研究機構 環境・地質研究本部環境科学研究センター 研究主幹
村野健太郎	法政大学 生命科学部 教授
家合 浩明	新潟県保健環境科学研究所 大気科学科 専門研究員

(アジア大気汚染研究センター担当者)

副所長	伊藤 隆晃 (平成 23 年 6 月まで)
	林 誠 (平成 23 年 7 月から)
情報管理部	塩崎 卓哉
	白井 隆太
大気圏研究部	大泉 毅
	佐藤 啓市
生態影響研究部	佐瀬 裕之
	内山 重輝
	山下 尚之

越境大気汚染・酸性雨長期モニタリング（平成 20～22 年度）中間報告
目次

中間報告の概要	1
1. 越境大気汚染・酸性雨長期モニタリングの経緯	6
2. 調査の目的及び内容	8
2.1 目的	8
2.2 調査内容	8
3. モニタリングの結果	17
3.1 大気モニタリング	17
3.1.1 湿性沈着（降水）	17
3.1.2 大気汚染物質（ガス、エアロゾル）	24
3.1.3 越境大気汚染・酸性沈着に関する考察	30
3.2 生態影響モニタリング	42
3.2.1 土壌・植生モニタリング	42
3.2.2 陸水モニタリング	50
3.2.3 集水域モニタリング	55
3.2.4 生態系影響の要監視地域に関する抽出方法の検討	62
4. オゾン及び粒子状物質に係る解析	68
4.1 オゾン及び粒子状物質の長期的傾向及びトレンド解析	68
4.2 オゾン等による植物影響の可能性	79
4.2.1 樹木衰退とオゾン：丹沢山地のブナ衰退実態とオゾンの影響（レビュー）	79
4.2.2 オゾンによる植物影響の要監視地域の抽出方法の検討	85
4.2.3 オゾン植物影響に関するパイロット…モニタリングの開始	88
5. 越境大気汚染・酸性雨研究に関する国内外の主な取組	94
6. 総合とりまとめに向けて	98
参考資料	100
1. モニタリング地点の情報	101
2. モニタリング結果の参考データ	106

中間報告の概要

(1) この報告書について

- ☆ 「酸性雨長期モニタリング計画（平成 14 年 3 月）」及び「越境大気汚染・酸性雨長期モニタリング計画（平成 21 年 3 月改訂）」に基づき、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、及び集水域の各モニタリングを平成 20～22 年度にかけて実施した。
- ☆ 伊自良湖（岐阜県）における集水域モニタリングは、平成 17～19 年度の重点調査の結果を受けて、開始したものである。
- ☆ 現在の長期モニタリング計画では、いわゆる酸性雨問題だけでなく、越境大気汚染問題全般に視点を広げ、近年漸増傾向にあるオゾン等の大気汚染物質に関する解析や、オゾンによる植物影響に関する検討等もあわせて行った。
- ☆ 本報告書は、平成 25 年度末に予定している総合とりまとめ報告（平成 20～24 年度）を前に、進捗状況を記載した中間報告である。

(2) 酸性沈着と越境大気汚染の状況

ポイント①：降水は引き続き酸性化の状態にある。

⇒pH の 3 年間の平均値は 4.54～5.15 の範囲にあり、全地点の平均 pH は 4.72 で、降水は引き続き酸性化した状態であることが認められた。（図 A）

ポイント②：非海塩性硫酸イオンなどの地域ごとの季節変動から、国内の酸性沈着における大陸からの影響が推定される。

⇒非海塩性硫酸イオン($nss\text{-SO}_4^{2-}$)及び硝酸イオン(NO_3^-)濃度は全体的に冬季から春季に上昇する傾向がみられ、特に山陰の NO_3^- 濃度に顕著な上昇がみられた一方で、太平洋側及び瀬戸内海沿岸は他地域と比較して季節的な変動は小さかった。（図 B）

ポイント③：大気汚染物質（ガス、エアロゾル）の 3 年間の季節変動の傾向は、以下のように物質によって異なる。（図 C）

二酸化硫黄 (SO_2)・・・全体的に夏季に低く、冬季にかけて最大となる傾向。一部の地点では火山の影響を受けている可能性が示唆される。

窒素酸化物 (NO_x^* , p.10 脚注参照)・・・伊自良湖では夏季に高く、幡竜湖、禰原、小笠原では冬季に高くなるなど地点ごとに傾向が異なる。

オゾン (O_3)・・・全体的に冬季から春季にかけて最大で、夏季は低い。

PM_{10} 及び $\text{PM}_{2.5}$ ・・・全体的に春季に高くなる。

ポイント④：大気汚染物質濃度の長期的傾向（平成 10 年度～22 年度）を見ると、二酸化硫黄濃度は、大陸に近い地点ほどその寄与が大きいと推測される。

⇒二酸化硫黄濃度について、日本海側の遠隔地域では、西側の隠岐が佐渡関岬よりも濃度が高い傾向が見られた。

⇒窒素酸化物濃度については、全体的に遠隔地域よりも非遠隔地域の方が濃度が高い。

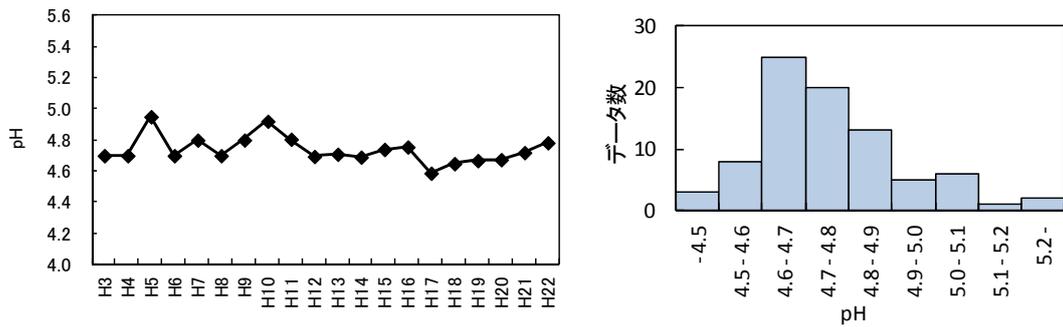


図 A 左：降水 pH の経年変化（地点別年平均値の中央値）
右：平成 20～22 年度における各地点の降水 pH 年平均値のヒストグラム

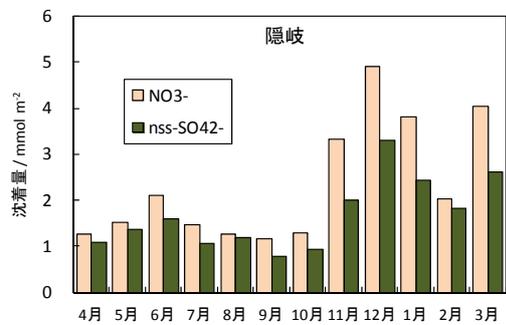


図 B 隠岐測定所全景及び NO_3^- 、 nss-SO_4^{2-} 湿性沈着量の経月変化（平成 20～22 年度平均値）

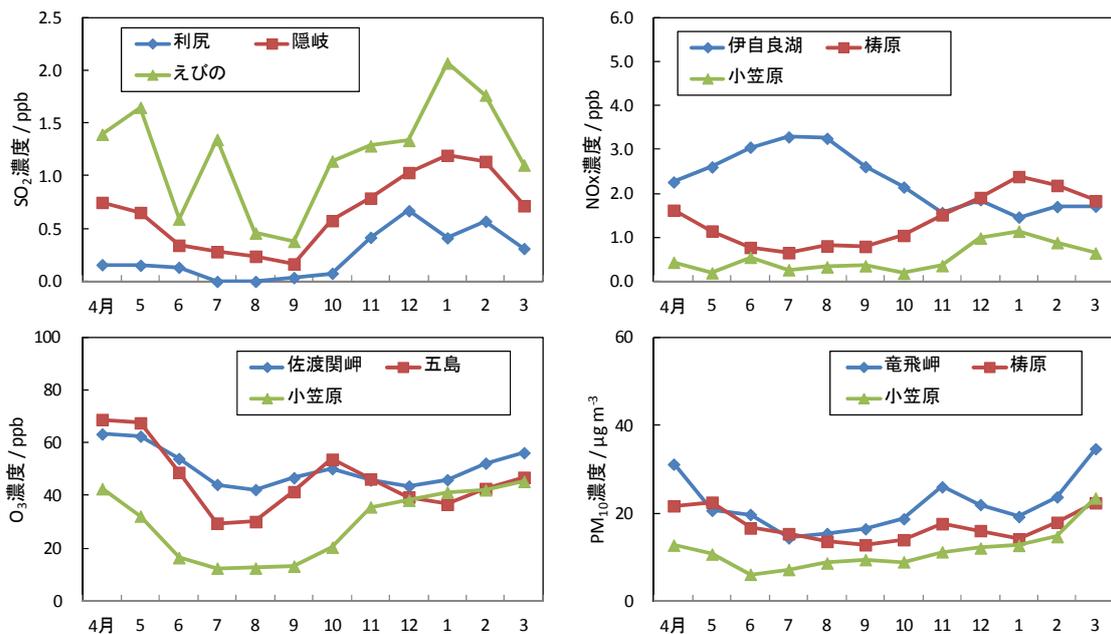


図 C ガス状及び粒子状物質濃度の経月変化（平成 20～22 年度平均値）

(3) 生態系への影響の状況

ポイント①：一部の地点で、土壌 pH 低下や樹木衰退の進行、湖沼や河川 pH の低下と NO_3^- 濃度の上昇など、大気沈着との関連性が示唆される経年変化を確認。
(図 D)

⇒表層土の pH は 8 プロットで統計的に有意な低下が、3 プロットで有意な上昇がある。
⇒樹木衰退度について、吉野熊野及び大山隠岐で、多くの観察項目の異常が報告。十和田八幡平では大気汚染との関連が示唆されている葉色と落葉率に異常が報告。
⇒陸水の調査開始時からの長期トレンドでは、夜叉ヶ池(2000~)及び釜ヶ谷川（伊自良湖流入河川）(1989~)で pH の低下傾向、夜叉ヶ池ではアルカリ度の低下傾向、双子池（雄池）では SO_4^{2-} の、伊自良湖集水域では NO_3^- のそれぞれ有意な上昇傾向が確認。

ポイント②：過去の調査で酸性化が確認された伊自良湖での集水域モニタリングでは、 SO_4^{2-} 流出量は引き続き多いが、河川中の NO_3^- 濃度は 2005 年をピークに低下を始め、pH も上昇に転じつつあり、窒素飽和からの回復傾向が示唆。
(図 E)

⇒ SO_4^{2-} は流入量以上に流出しているため、窒素循環とあわせ今後さらに注意深く監視していく必要がある。

ポイント③：土壌影響と陸水影響に着目し、酸性沈着による影響を受けやすい要監視地域を抽出した。

⇒現時点では大まかなエリアを示したのみで、今後は各地域で詳細な評価を進める。

(4) オゾン及び粒子状物質の長期傾向について

ポイント①：オゾンについて、多くの遠隔地点で年平均濃度の増加傾向が見られたが、統計的に有意ではなかった。(図 F)

⇒特に八方尾根（長野県）では平成 19 年までは有意な上昇傾向（1.1 ppbv/year）が見られたが、その後減少に転じた。この原因については現在のところ解明されておらず、今後の推移を注視する必要がある。

ポイント②： PM_{10} および $\text{PM}_{2.5}$ 濃度についても、顕著な増減傾向は確認されなかった。

⇒ PM_{10} については多くの EANET 局で減少傾向が見られたが、統計的に有意ではなかった。(図 G) また、 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度については、利尻、隠岐ともに顕著な増減傾向が確認されなかった。

ポイント③：オゾンによる植物影響の実態を評価するため、代表的な樹種に対するオゾンの影響に関する要監視地域を抽出した。

⇒オゾンの AOT40（1 時間値が 40 ppb を超えた分の積分値、p82 参照）、植生分布、個体乾物成長におけるオゾン感受性の樹種間差異などを用いて、わが国の代表的な樹種に対するオゾンの影響に関する要監視地域として、北陸地方・新潟・群馬北部及び関東西部を、樹木の成長が低下している可能性がある地域として抽出。(図 H)

⇒オゾン濃度に関するパイロット・モニタリングを平成 23 年度から 3 箇所で開始した。今後、オゾン濃度の実態や樹木衰退との関連性などがより明らかになり、オゾンのモニタリング手法や植物影響の評価手法の確立に役立つことが期待される。
(図 I)

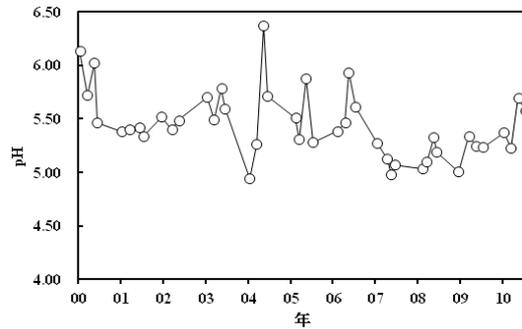
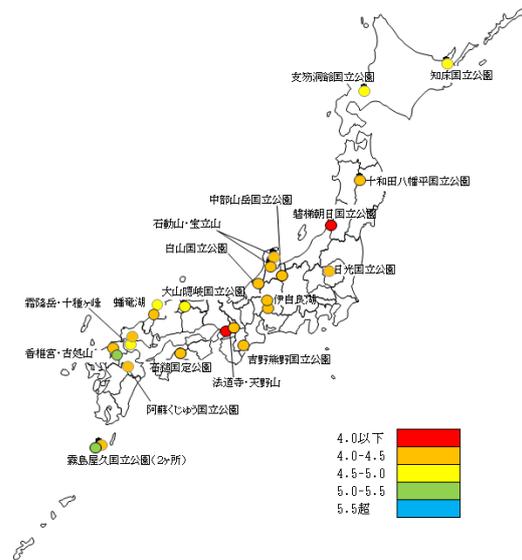


図 D 左：土壌表層(0-10 cm)の pH(H₂O) (平成 13-22 年度の平均値)
 右：夜叉ヶ池における表層水の pH 経年変化

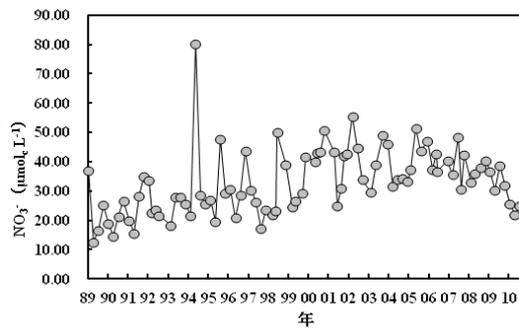


図 E 釜ヶ谷川 (伊自良湖流入河川) における採水風景及び NO₃ 濃度の経年変化

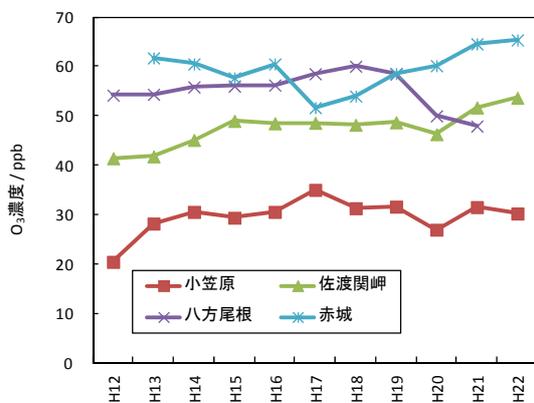


図 F オゾン濃度の経年変化

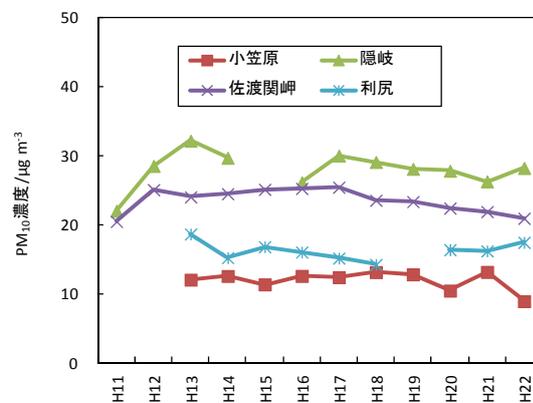


図 G PM₁₀ 濃度の経年変化

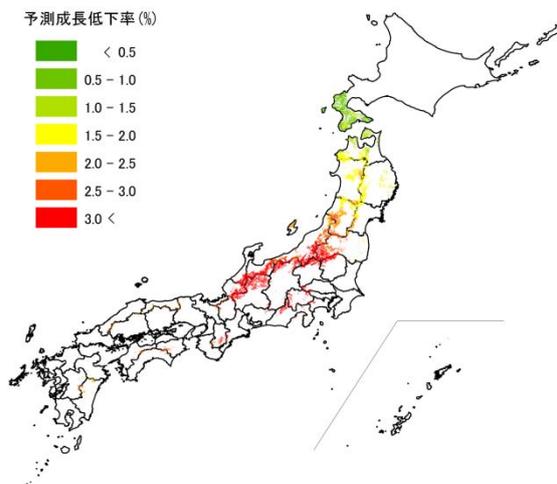


図 H オゾンによるブナの予測成長低下率の分布



図 I 八海山（左）及び英彦山（右）パイロットモニタリング地点付近

(5) 総合とりまとめに向けて（今後の重点課題）

- ☆酸性沈着と越境大気汚染について、地点別・地域別の総沈着量の解析、酸性化に寄与する因子の解析及び地域毎の特性・類型解析を進め、酸性沈着のメカニズムをさらに明確にする。
- ☆モニタリングデータと大気輸送モデルを効果的に活用した解析により、酸性沈着に加え、オゾンや微小粒子等の大気汚染物質の我が国への越境移動による影響についての考察を深める。
- ☆生態影響モニタリングでは、全ての地点で10年以上のデータによる解析が可能となり、大気沈着との関連を含めた長期的傾向についてより明確な考察を行う。
- ☆伊自良湖における集水域モニタリングでは、窒素飽和からの回復の兆候がこのまま継続するのか、今後の経過を注意深く監視する必要がある。
- ☆今回土壌影響及び陸水影響に着目して抽出した要監視地域に関し、乾性沈着量や大気シミュレーションの結果も考慮するなど、更に検討を進める。
- ☆オゾンの植物影響に関しては、パイロット・モニタリングの結果を受け、定常モニタリングに向けた検討や、オゾン影響に関する要監視地域に関する検討を引き続き行う。