

全環研協議会 東海・近畿・北陸支部 共同調査研究情報交換会

「酸性雨問題の歴史と将来展望」

平成27年10月8日(木曜日)

法政大学 生命科学部 環境応用化学科

村野健太郎

謝辞: 講演の機会を与えて頂いた平木隆年大気環境
学会理事、岐阜県保健環境研究所 菅原吉規様、
全環研協議会東海・近畿・北陸支部の皆様を初め、
酸性雨研究会員、大気環境学会員の方々に感謝
申し上げます

目次

1. はじめに
2. 酸性雨問題の概要
3. 酸性雨問題の現状
4. 酸性雨問題の歴史
5. 酸性雨問題の展望
6. 参考文献

1. はじめに

- 酸性雨は1970、1980年代(スウェーデンの土壤学者スバンテ・オーデンの指摘により)は世界で最大の環境問題であった
- 世界各地域で酸性雨モニタリングが行われるようになった
- 世界で酸性雨問題に対する研究(ドイツでの森林被害原因、米国のNAPAP)が行われた
- 酸性雨では樹木は枯れないことが確認された
- 酸性雨原因物質(SO_x、NO_x)の削減が行われ成功を収めた
- でも、世界的には酸性雨モニタリングを止めることにはなっていない(まだ酸性雨は重要)

2. 酸性雨問題の概要

- 社会認識
- 原因物質の発生
- 原因物質の反応
- 酸性雨の観測・分布
- 酸性雨の影響
- 酸性雨に対する対策
- 社会システム

酸性雨研究の父

◆スバンテ・オーデン(1924-1986)

酸性雨の被害を最初に指摘したのはイギリスの化学者スミスで、1872年のことであったが、実際のデータに基づき酸性雨を解明したのは、スウェーデンの土壌学者スバンテ・オーデン(Svante Oden)で1967年のことであった。

彼は酸性雨の分布を広範囲にわたり調べたのち、それが遠方から運ばれてくる亜硫酸ガスと窒素酸化物に起因することをつきとめた。

オーデンはこの論文で、酸性雨が水質、土壌、森林、建造物に今後大きな被害を与え、「**人類にとって化学戦になろう**」と警告している。

オーデンはこの業績により今日では「**酸性雨解明の父**」とよばれている。

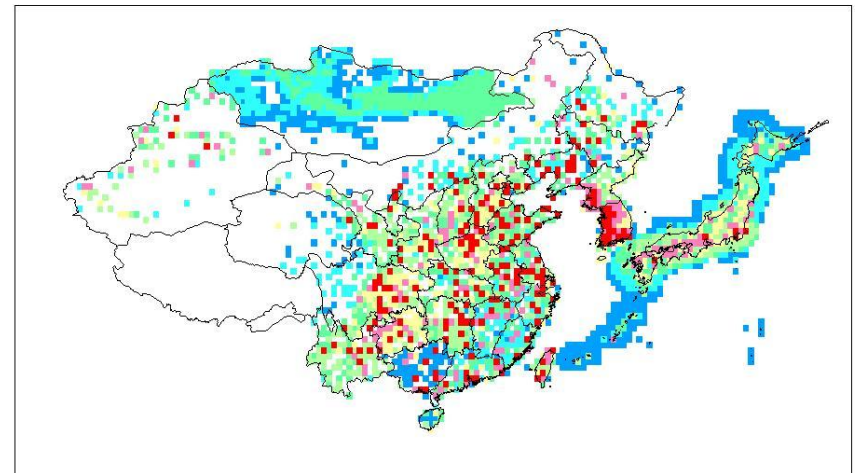
原因物質の発生

発生源インベントリー

- 発生量 = 発生係数 × 活動度
- 二酸化硫黄、窒素酸化物、アンモニア
- 発生係数
 - 各セクターでの発生係数把握
- 活動度（存在量）
 - 統計データの整備

二酸化硫黄の発生量
マップ（1995年）

Pollutant=SO2 ,Source=All Sources



酸性物質の生成反応

- 酸としての H_2SO_4 、 HNO_3 の生成
- NO_x 、NMVOCの光化学反応で生成したOHラジカルが SO_x 、 NO_x の酸化反応を起こす
- SO_2 の液相反応
- NO_2 と NO_3 から生成した N_2O_5 の水との反応
- OHラジカルと SO_x 、 NO_x の酸化反応速度の差が SO_x 、 H_2SO_4 の越境大気汚染をもたらす
- NO_x はOHラジカルとの反応が速いため長距離輸送されない

酸性雨の観測・分布

酸性雨の観測・分布

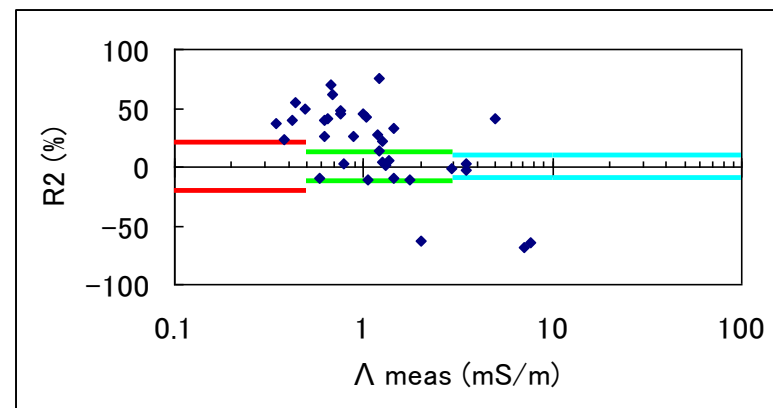
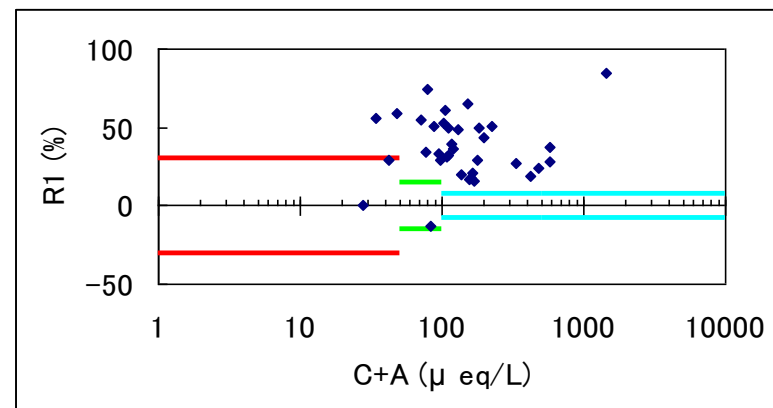
- 湿性沈着物(霧、雲、雨、雪)のみを捕集する体制が確立

$$R1 (\%) = ((C - A)/(C + A)) \times 100$$

C:陽イオン濃度和、A:陰イオン濃度和

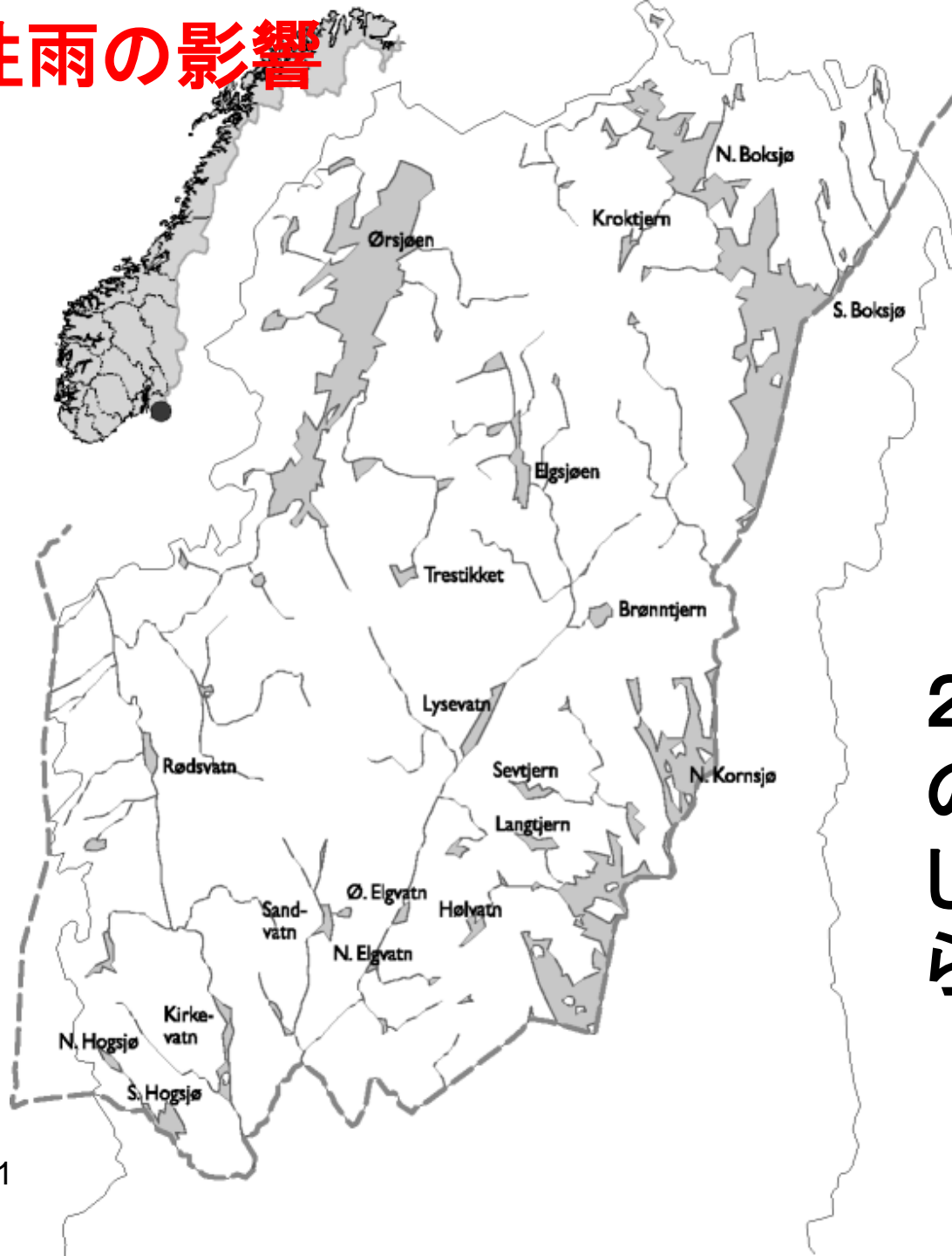
$$R2 (\%) = ((\Lambda_{\text{計算}} - \Lambda_{\text{測定}})/(\Lambda_{\text{計算}} + \Lambda_{\text{測定}})) \times 100$$

- イオンクロマトグラフィーの登場で分析精度は格段に上昇
- 精度管理(品質保証(QA)／品質管理(QC))が広く行われるようになった
- 乾性沈着物(ガス、エアロゾル)量は、濃度×沈着速度によるが未完成



ノルウェー 南部の湖沼 群の調査

2002－2004年
の調査でも酸性化
した湖沼が多数見
られる



面積 (ha)	水質	pH	アルカリ度 μeqL^{-1}	Ca mg L^{-1}
6.7	酸性, 石灰非散布	5.09	0	0.85
10.7	酸性, 石灰非散布	4.80	0	0.75
11.0	酸性, 石灰非散布	5.12	0	0.45
11.9	酸性, 石灰非散布	5.22	11	0.86
2.8	弱酸性, 石灰非散布	6.03	50	1.44
4.7	弱酸性, 石灰非散布	5.72	51	2.44
12.4	弱酸性, 石灰非散布	5.49	33	1.74
7.3	石灰散布	6.05	63	2.21
9.9	石灰散布	5.80	45	1.89
12.2	石灰散布	6.45	77	3.29
29.6	石灰散布	6.64	140	3.89
635.1	石灰散布	6.47	66	2.60

Effects of Liming on the Aquatic Fauna in a Norwegian Watershed: Why Do Crustaceans and Fish Respond Differently?

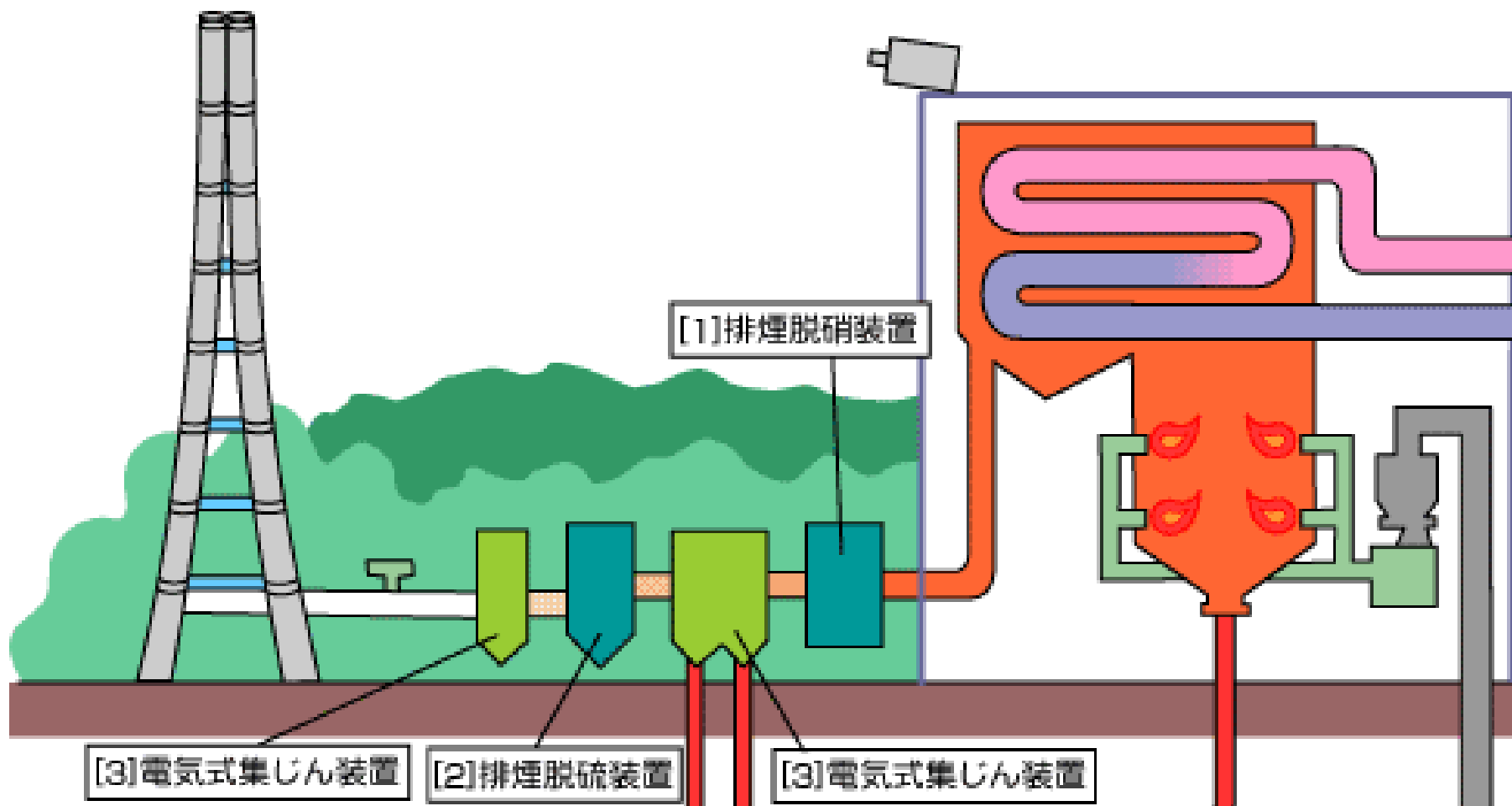
Trygve Hesthagen et al., Water, Air, & Soil Pollution: Focus, 7:339-345(2007)

2015/10/5



元東京都環境科学研究所職員 小山 功撮影
2006年10月10日 ドイツ シュバルツバルト

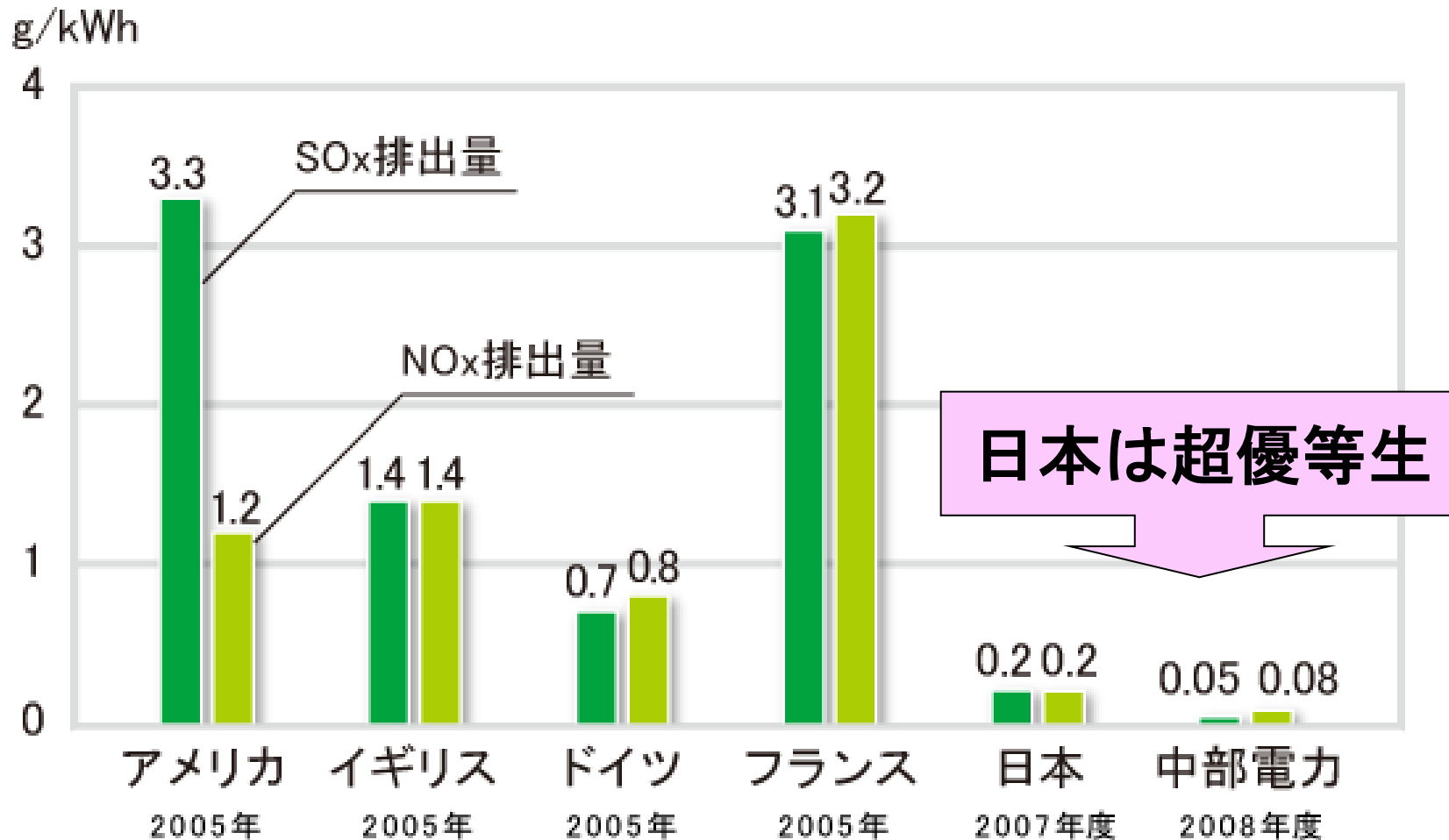
火力発電所の大気汚染対策



2015/10/5

引用: 中部電力

単位発電電力量当たりの SOx、NOx発生量の比較



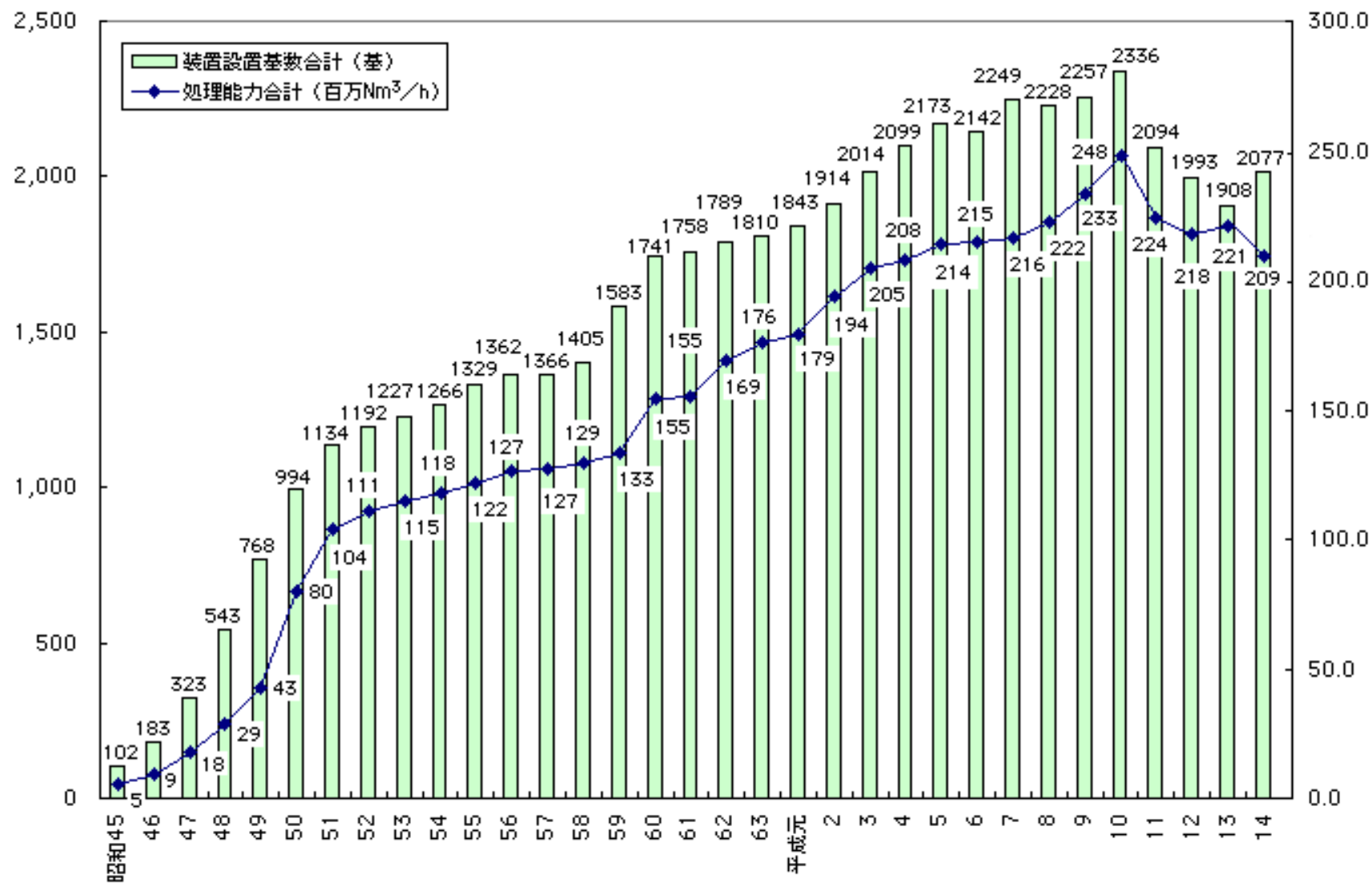
2015/10/5

引用: 中部電力

排煙脱硫装置設置状況の推移

装置設置基数合計(基)

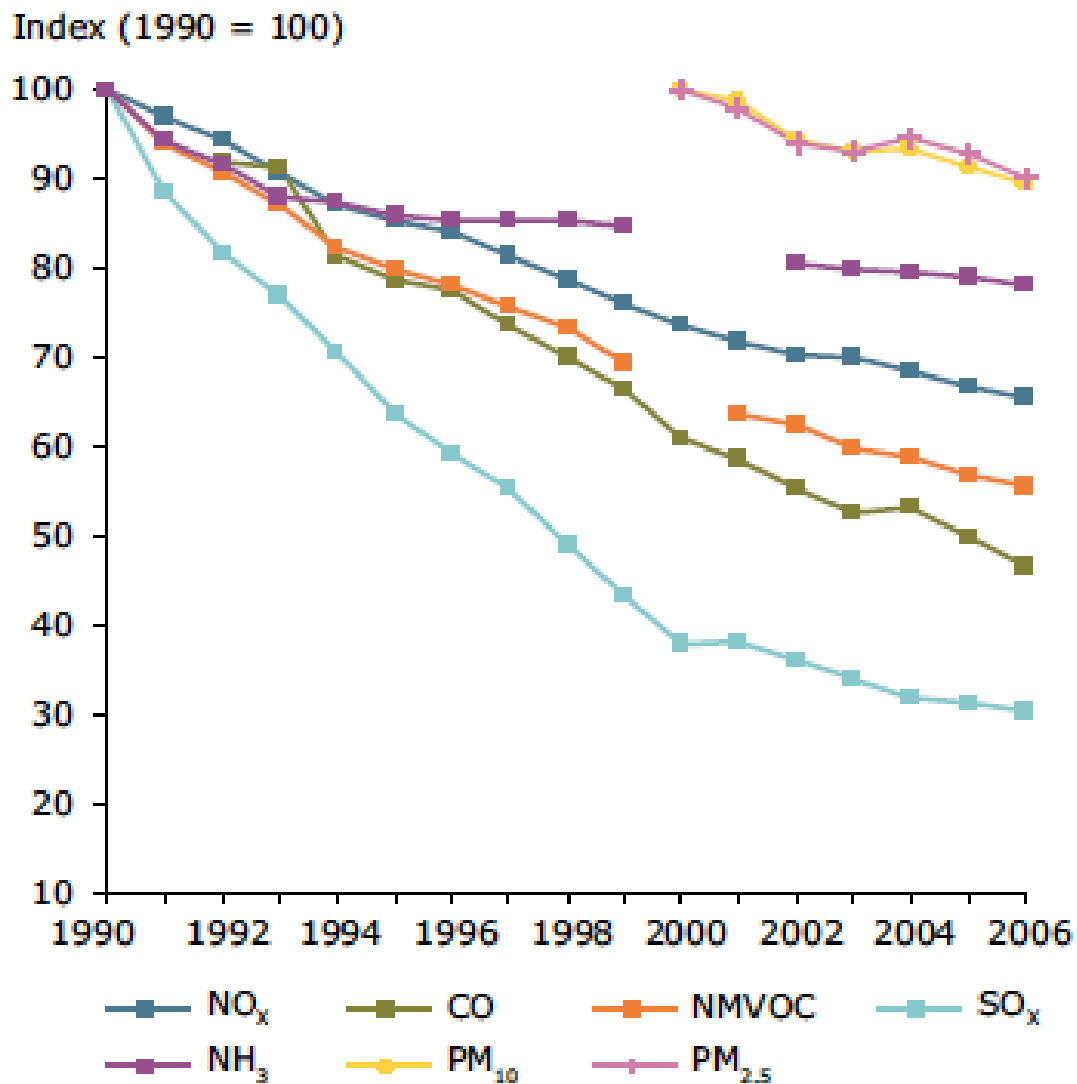
処理能力合計(百万Nm³/h)



出典：環境省「平成16年度大気環境に係る固定発生源調査」(平成14年度実績)

欧州主要国の大気汚染物質発生量の変化割合 (1990-2006)

EU-27 index



3. 酸性雨問題の現状

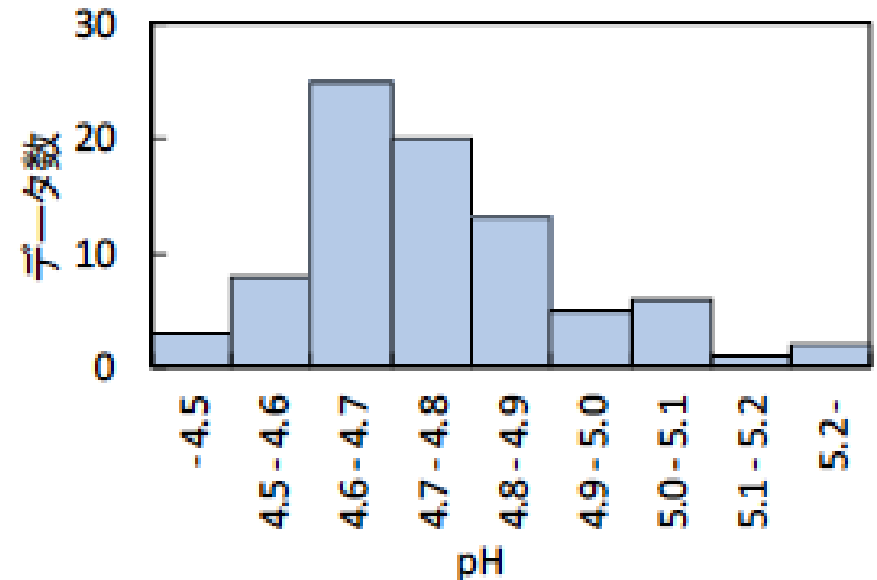
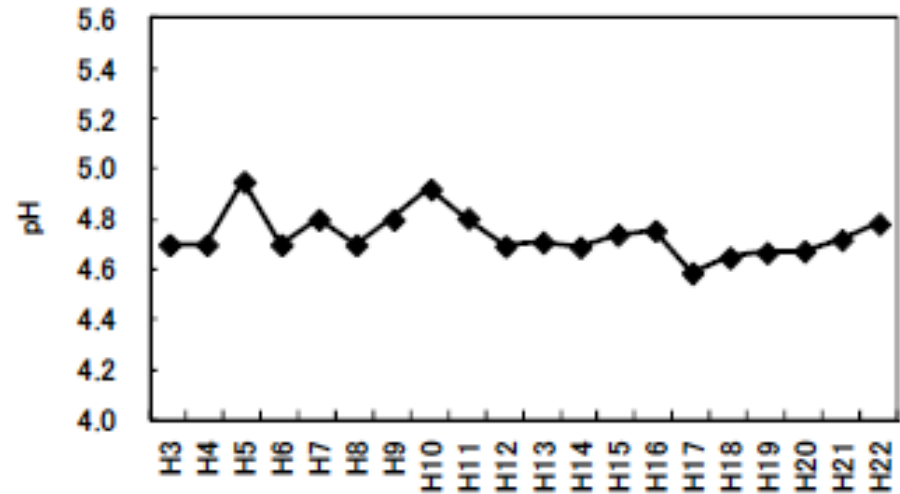
- 酸性雨被害が認定されていない。因果関係が証明されたものは無い
- 現在降っているような酸性雨、あるいはもう少し酸性度が増加したとしても木が枯れるような事はないであろうという知見が得られた
- 日本の環境省が主導して進めてきた「東アジア酸性雨モニタリングネットワーク(EANET)」が2001年1月から本格稼働を始め、現在は東アジア13カ国の参加のもとに酸性雨(湿性沈着物)に関してデータが取られ、東アジア地域の特徴は明らかになってきている

環境省の酸性雨への取り組み

- 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月発刊
- 環境省
- 「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。

酸性沈着と越境大気汚染の状況

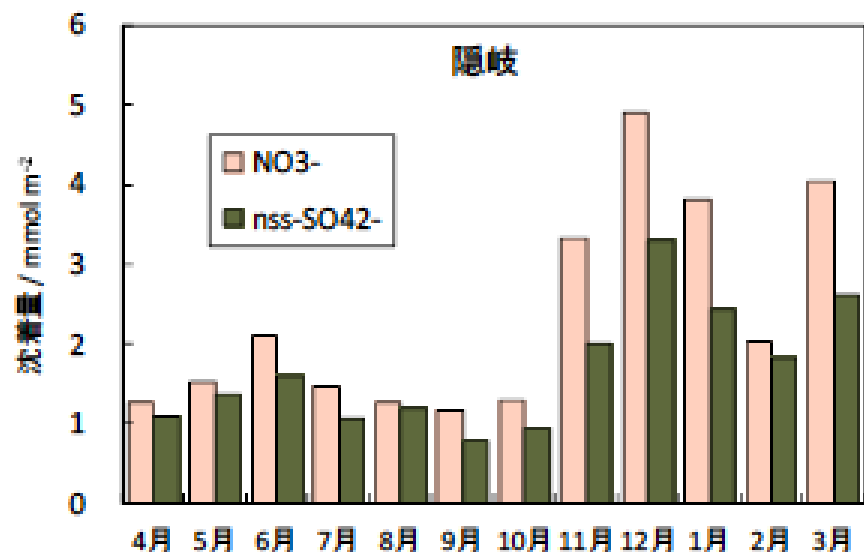
- **ポイント①: 降水は引き続き酸性化の状態にある。**
- **⇒pH の3年間の平均値は4.54～5.15 の範囲にあり、全地点の平均pH は4.72 で、降水は引き続き酸性化した状態であることが認められた。**



大陸からの影響を示唆

- **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。**

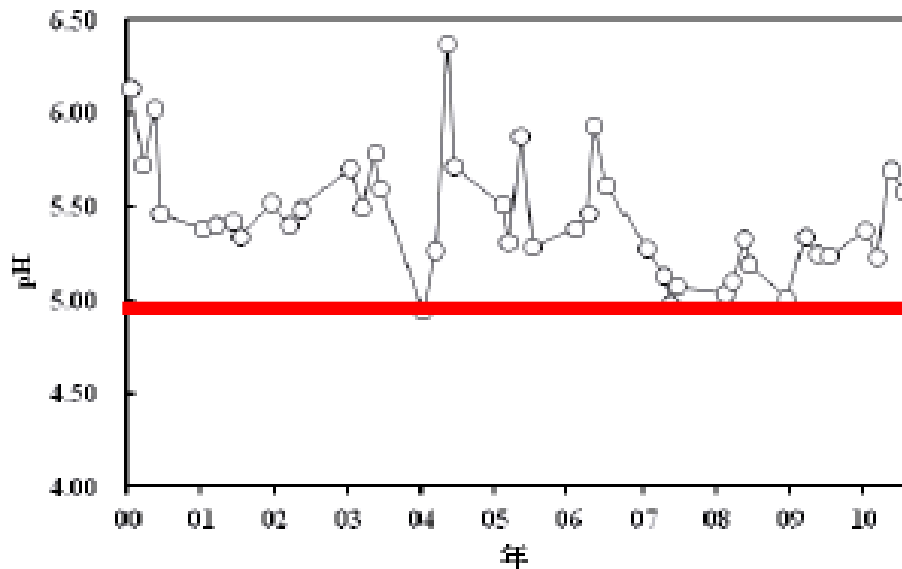
- ⇒ 非海塩性硫酸イオン (nss-SO_4^{2-}) 及び硝酸イオン (NO_3^-) 濃度は全体的に冬季から春季に上昇する傾向がみられ、特に山陰の NO_3^- 濃度に顕著な上昇がみられた一方で、太平洋側及び瀬戸内海沿岸は他地域と比較して季節的な変動は小さかった。



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**NO₃⁻ 濃度の上昇**など、**大気沈着との関連性が示唆**される

- ⇒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SO₄²⁻の、**伊自良湖集水域**ではNO₃⁻のそれぞれ有意な**上昇傾向が確認**。



夜叉ヶ池のpH変動
pH5代が長期間継続

夜叉ヶ池

- 福井県南条郡南越前町と岐阜県揖斐郡揖斐川町との境の、夜叉ヶ池山と三周ヶ岳との鞍部である標高1,099 mの稜線直下北西側に位置する。周囲は原生林におおわれている。数十万年前に起きた地滑りによってできた窪地に雨水や周辺の山からの伏流水が溜まり、池になったと考えられている。



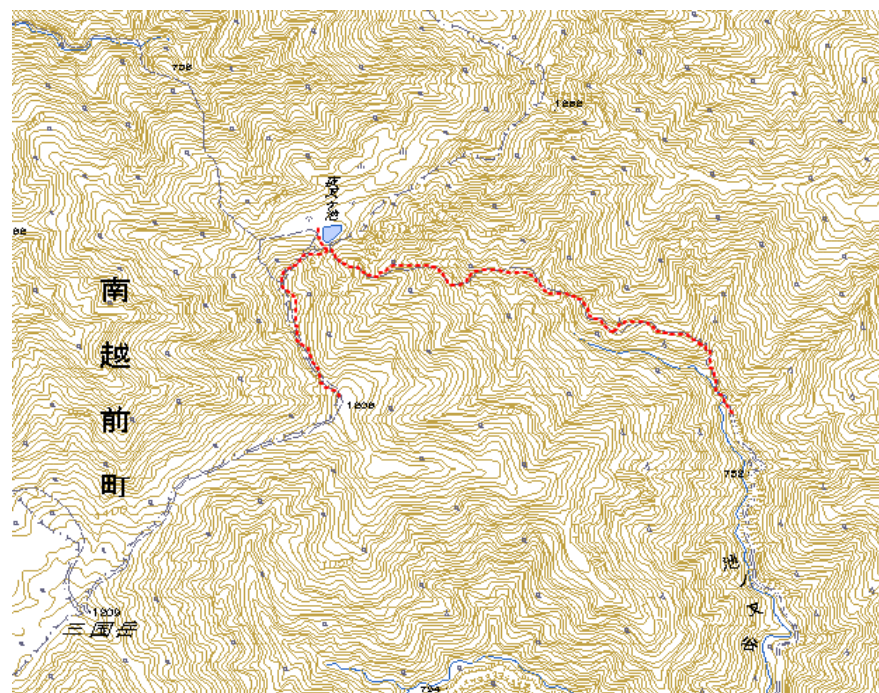
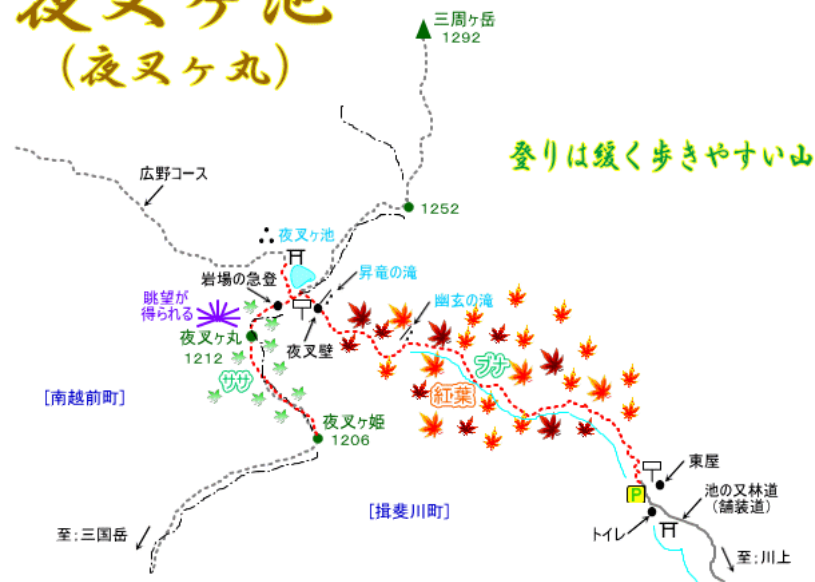
2015/10/

夜叉ヶ池山方面から望む
夜叉ヶ池と三周ヶ岳

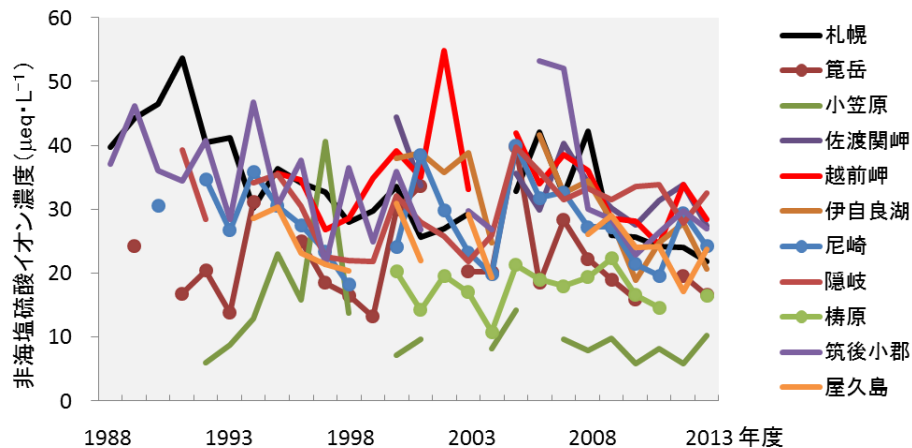
夜叉ヶ池登山

- 岐阜県揖斐郡揖斐川町の池ノ又林道終点の夜叉ヶ池登山口駐車場から約3km(徒歩約90分)。登山道には険しい箇所もあり、稜線直下名の急な岩場の斜面にはロープが設置されている。福井県側からも岩谷林道終点から登山道が整備されている。

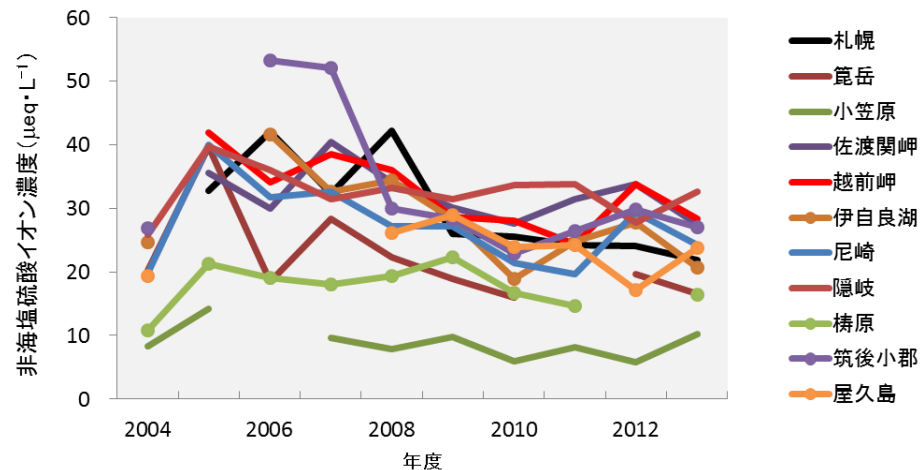
夜叉ヶ池 (夜叉ヶ丸)



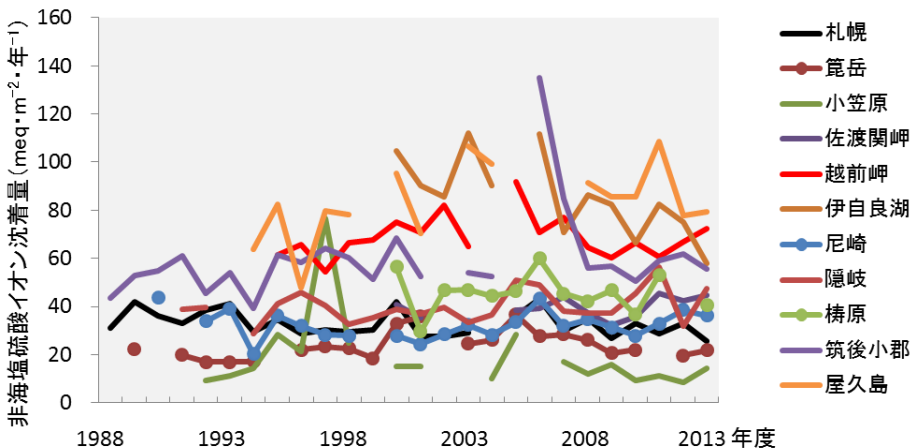
非海塩硫酸イオンの変動(環境省モニタリング)



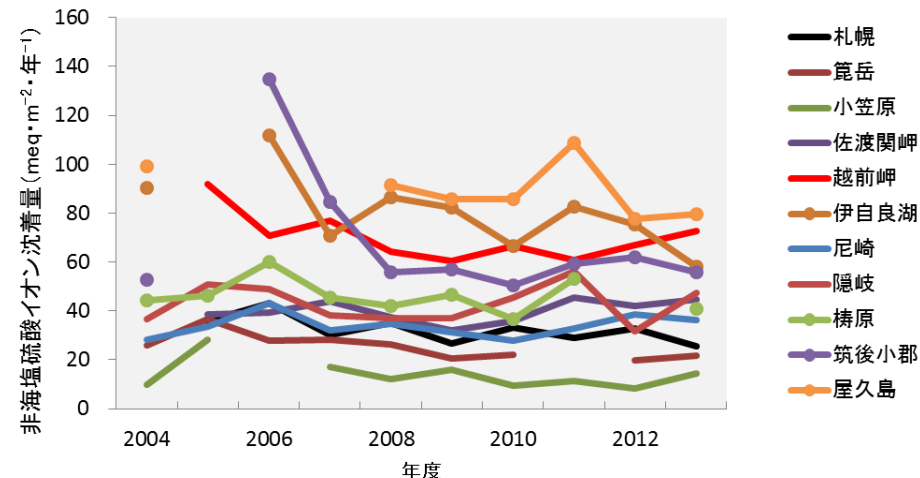
非海塩硫酸イオン濃度の推移



非海塩硫酸イオン濃度の推移



非海塩硫酸イオン沈着量の推移

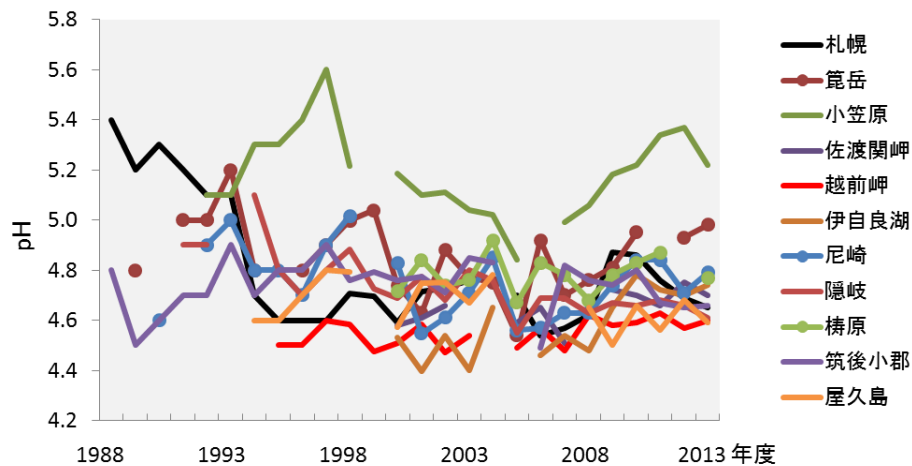


非海塩硫酸イオン沈着量の推移

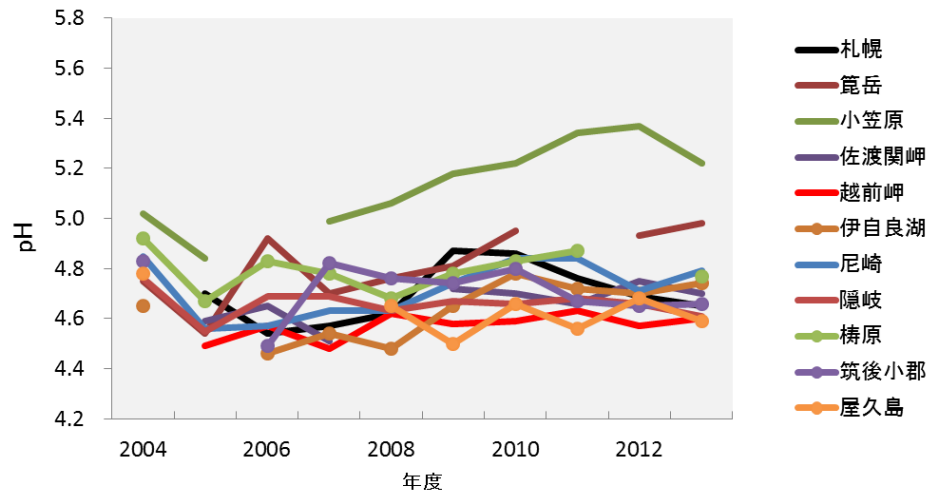
2015/10/5

大泉 毅(新潟県保健環境科学研究所)作成

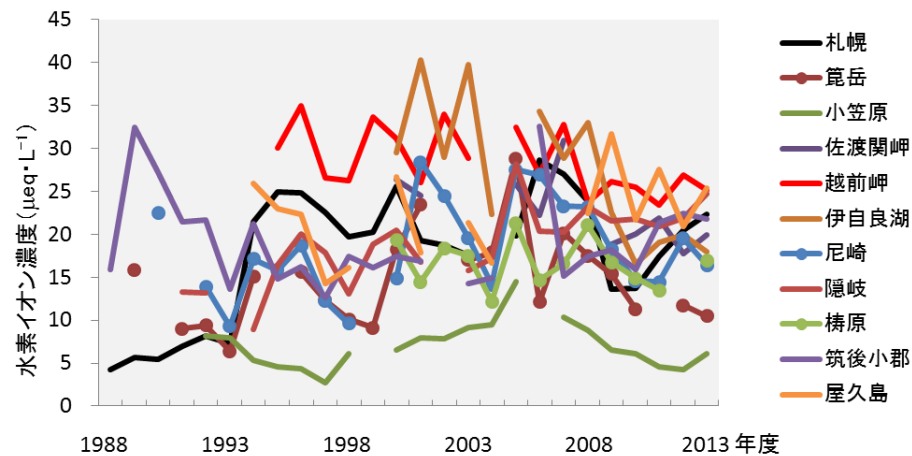
pHと水素イオン濃度の変動(環境省モニタリング)



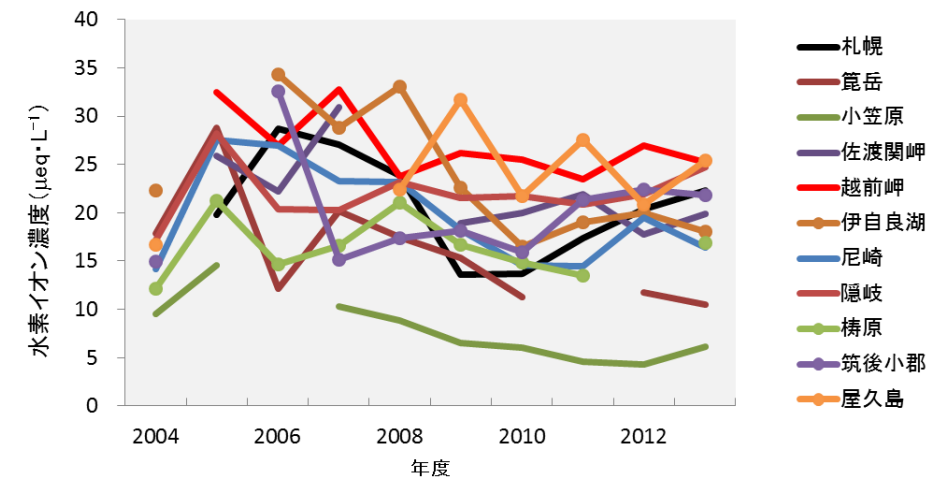
雨のpHの推移



雨のpHの推移



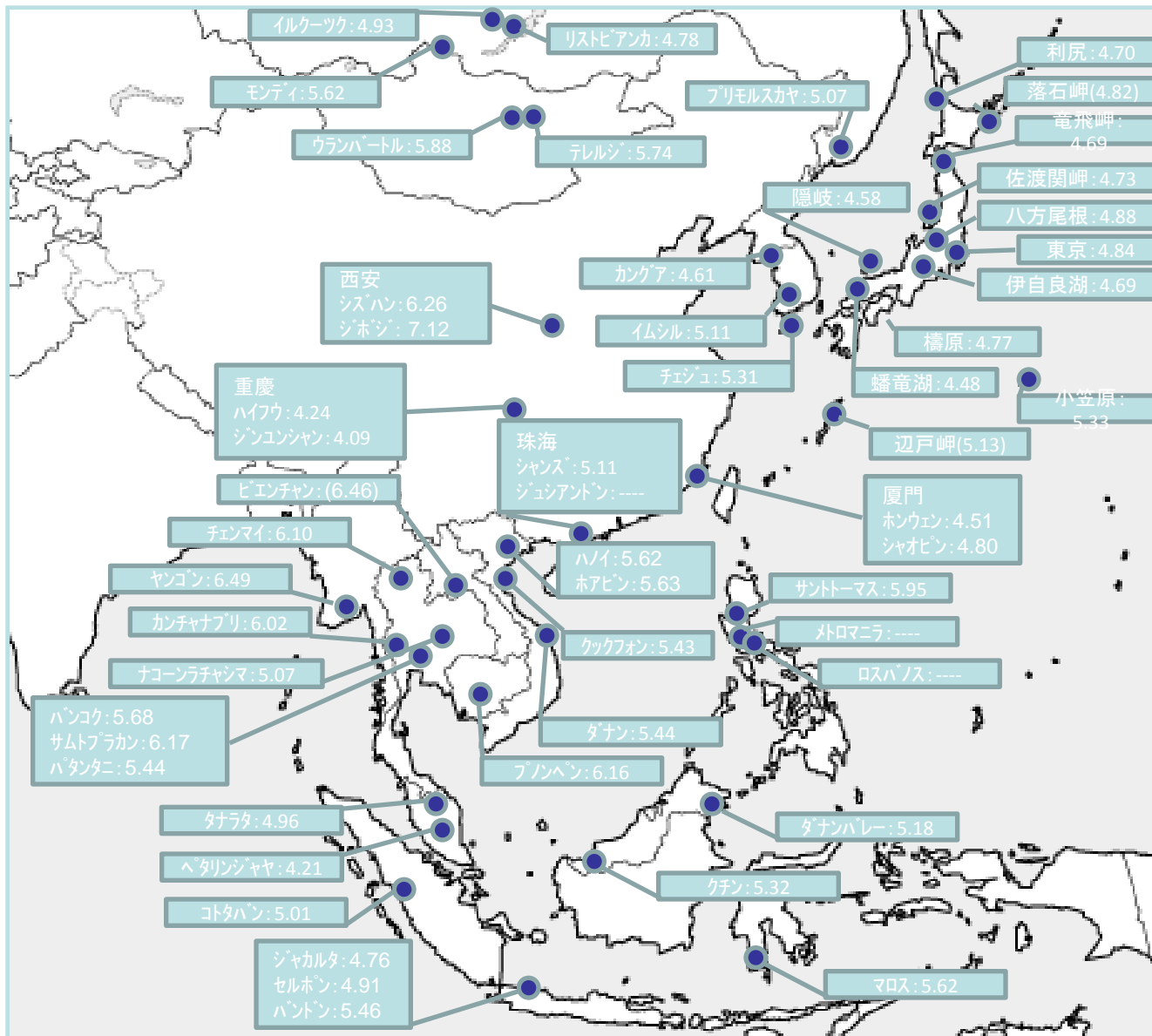
水素イオン濃度の推移



水素イオン濃度の推移

2015/10/5

大泉 毅(新潟県保健環境科学研究所)作成



東アジアの降水pH(2012年平均値, EANET)

(): 欠測期間が長く参考値、----: 欠測

4. 酸性雨問題の歴史

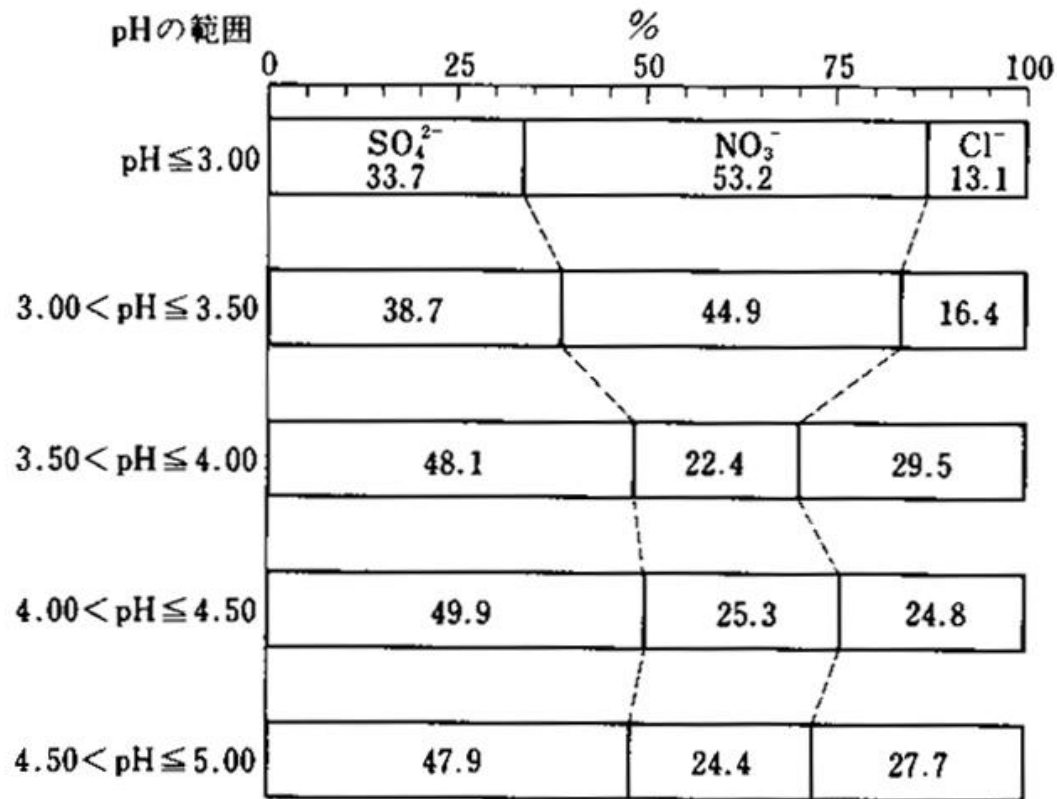
- 酸性雨問題のスタート(1970年代)
- 環境庁の全国規模酸性雨モニタリング開始(1980年代)
- 国立環境研究所の取り組み開始(1990年代)
- 全環研の酸性雨調査研究部会スタート(1990年代)
- 酸性雨問題への取り組みの完成期(2000年代)

湿性大気汚染

- 日本における酸性雨問題のスタートは1973年の「湿性大気汚染」の問題である。1973年から3年間関東周辺地域で酸性雨による人体被害や植物被害が出たが、これは酸性雨といわれずに「湿性大気汚染」と呼ばれた。
- 「湿性大気汚染」問題に関して国の調査、研究が行われ、連携して地方自治体の研究機関が酸性雨の観測を1975年に開始した。そういう意味で、酸性雨問題に真っ先に取り組んだのは、地方自治体の公害研究機関であったと言える。

関東地方における分割採取した雨水の

pH範囲別陰イオン当量濃度



pHが3.50以下の雨水はNO₃⁻の占める割合が上がり、pH3.00以下では53.2%を占めていた

図 1・8 関東地方における分割採取した雨水の pH 範囲別陰イオン当量濃度

国連人間環境会議(1972年)

- 当時、公害問題まっただ中の日本では1970年に東京都で光化学スモッグが初めて発生し、社会の関心や研究者の研究ターゲットは大気汚染や光化学スモッグに向けられていた。1972年にストックホルムで開催された「国連人間環境会議」は、スウェーデン政府が世界に酸性雨問題をアピールするという意図を持って行ったものであったが、世界的に酸性雨という問題を広めることはできなかった。日本は、この会議では水俣病の被害を大々的に訴えた。

環境庁の酸性雨モニタリング手法の確立

試料採取,成分分析とデータ整理の手引き

酸性雨調査法

環境庁大気保全局大気規制課 監修

酸性雨調査法研究会 編

2015/10 私たちはこの本に日本の酸性雨測定の英知が集中していると信じてやまない

酸性霧の観測風景（霧が発生している）





屋根

多数の細線

容器

赤城山に設置した 手動式霧水捕集装置

1984年に赤城山で観測された酸性霧

表 霧水の pH, E.C.,各種イオン成分の経時変化

1984年

サンプリング時刻	捕集量 ml	F.C. μS/cm	pH	H ⁺ μeq/ml	Cl ⁻ μg/ml	NO ₃ ⁻ μg/ml	SO ₄ ²⁻ μg/ml	NH ₄ ⁺ μg/ml
10月2日17:36~18:34	96	1,070	2.90	1.26	37.5	202	83.7	42.2
18:34~19:00	166	142	4.11	0.087	6.18	17.8	15.6	8.40
19:00~20:00	450	98	4.06	0.087	4.47	9.44	10.4	4.14
20:00~20:32	319	63	4.1					2.42
3日 4:12~5:00	413	17	4.9					1.19
5:00~5:30	207	16	4.8					0.926
5:30~6:00	54	21	4.7	0.011	0.01	0.01	0.01	1.26
10月4日10:00~11:00	555	26	4.67	0.021	1.30	1.97	3.34	1.74
11:00~12:00	540	28	4.57	0.027	1.42	2.05	2.94	1.46
))					
16:30~18:00	433	50	4.09	0.081	0.76	4.10	4.58	1.30
18:00~19:30	451	119	3.61	0.245	1.36	13.0	6.92	1.32
19:30~21:00	65	293	3.30	0.501	3.87	34.5	21.1	6.41

群馬県衛生公害研究所
故関口恭一氏測定

最低pHは2.9

~1 ~3 ~2 ~2
~2

酸性霧が北関東の山岳地帯で発生する理由

大気汚染物質が霧や雨に溶け込み、
樹木に降り注ぐ

首都圏からの大気汚染物質の流れ

風の方向(夏)



1990年は変革の年

- 1990年に国立公害研究所が組織改変され国立環境研究所に
- 地球環境研究グループが組織され、その中に酸性雨研究チームが5人のメンバーで立ち上がった
- 研究チームは環境省の地球環境研究総合推進費という大型予算を得て、酸性雨に関する大気、水質、土壌から影響対策までの広範な研究を開始した
- 全国環境研協議会酸性雨調査研究部会による全国規模の酸性雨調査も1990年からスタートした
- 1993年環境庁は「東アジア酸性雨モニタリングネットワーク(Acid Deposition Monitoring Network in East Asia: EANET)」の国際会議をスタートさせた

大政酸性雨
研究会会長

酸性雨研究チームのメンバー

河合 村野 溝口 畠山 佐竹



越境大気汚染研究を進める

三位一体の取り組みが必要

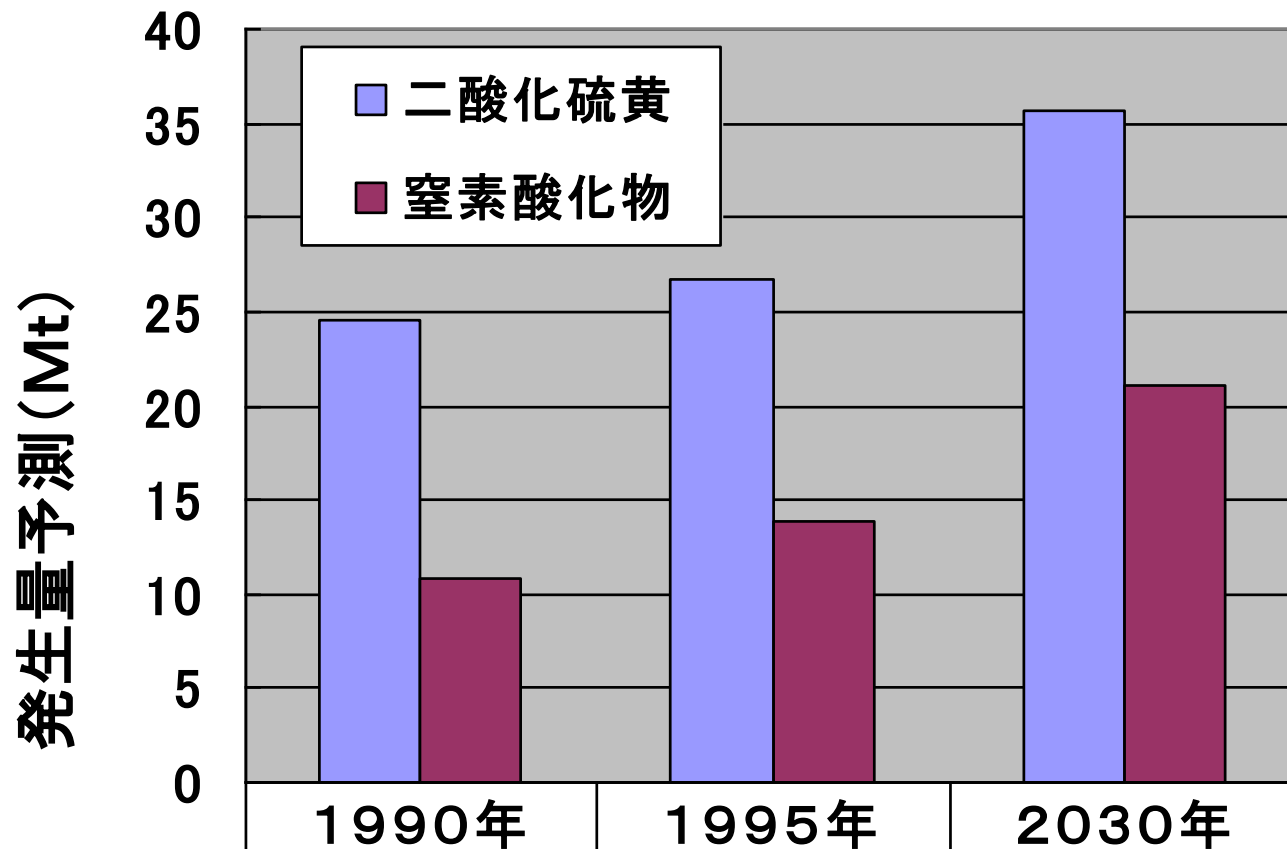
発生源インベントリー

観測
モニタリング

越境大気汚染・
酸性雨研究

酸性雨長距離輸送モデル

東アジア地域(中国、日本、北朝鮮、韓国、モンゴル、台湾)における大気汚染物質発生量予測

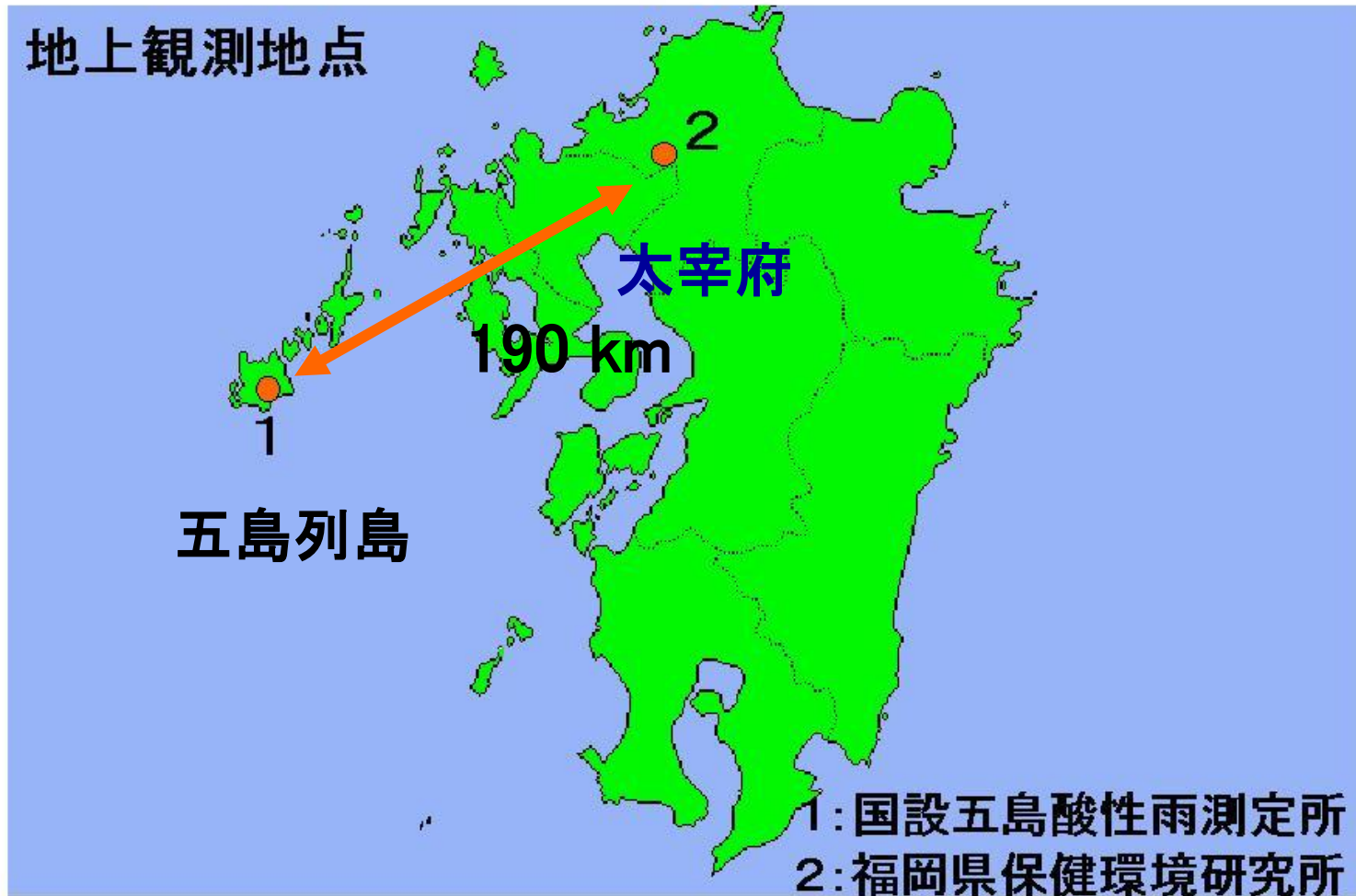


二酸化硫黄	24.5	26.7	35.7
窒素酸化物	10.8	13.9	21.1

地上観測

- ある期間の大気汚染物質の濃度変動が得られる
- 複数地点観測により汚染気塊の大きさが推定できる
 - 佐渡島、隠岐島、対馬、五島列島、屋久島、沖縄本島で実施
- 酸性雨輸送モデルの検証データとなる

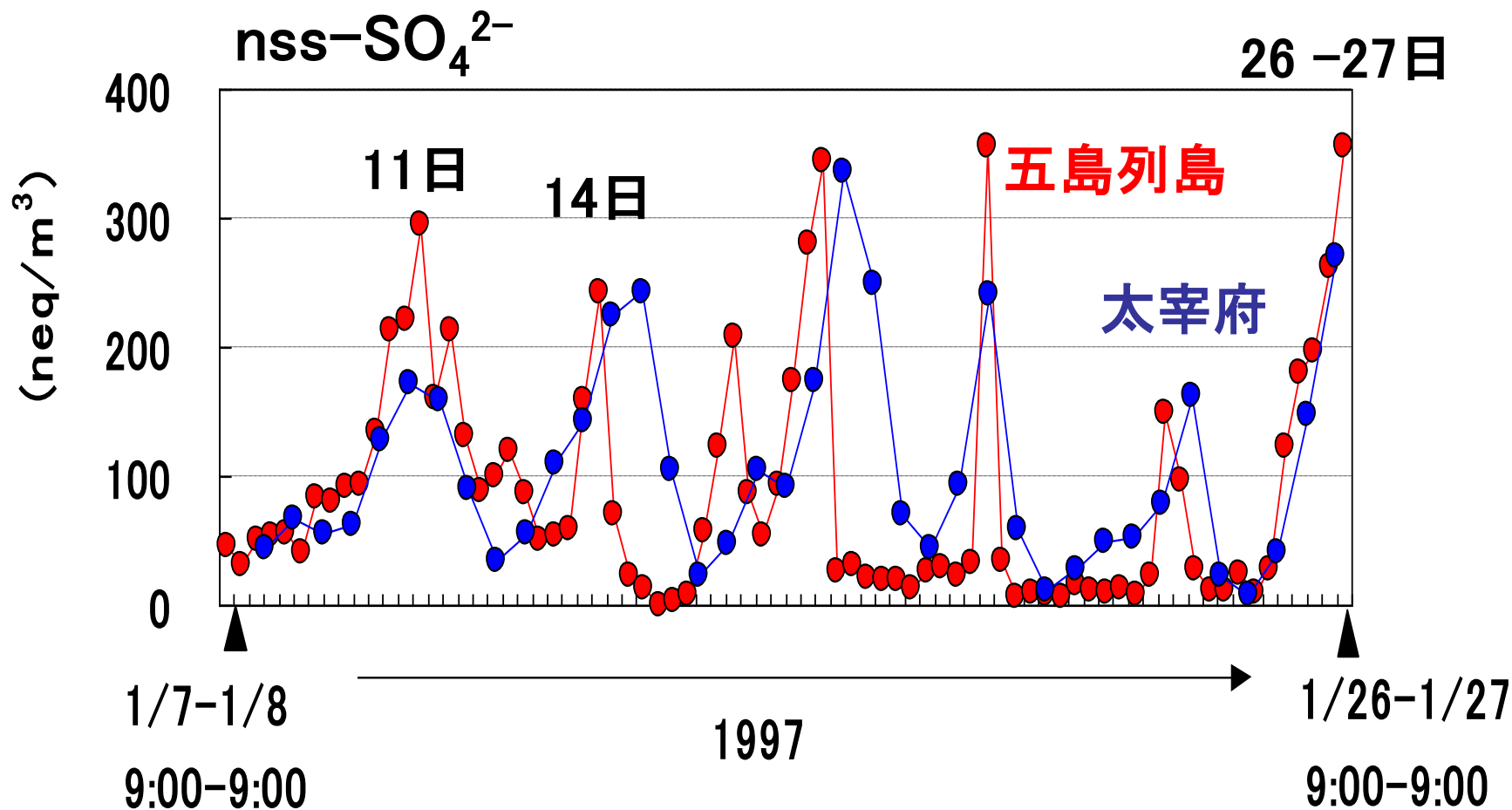
地上観測地点



五島列島の地上観測地点と 冬季の主風向



五島列島と太宰府における 非海塩硫酸塩の濃度変動



つの型の大気汚染物質の吹き出し

1.12 Start

日平均硫酸塩 (SO_4^{2-}) 濃度の
等濃度面 ($\text{SO}_4^{2-} = 9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) の日変化

1997年1月

13日

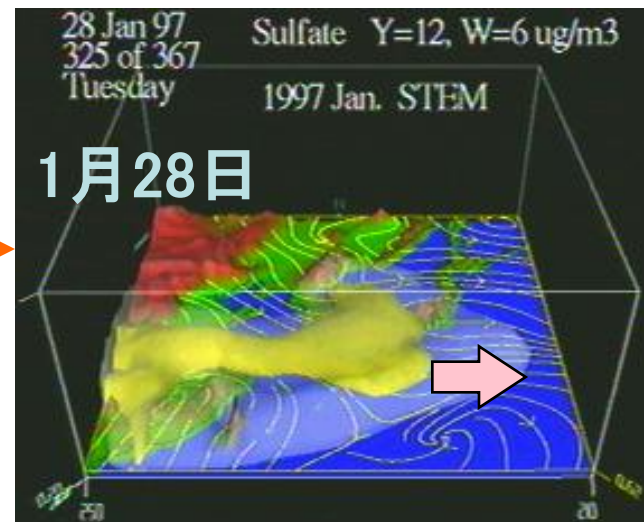
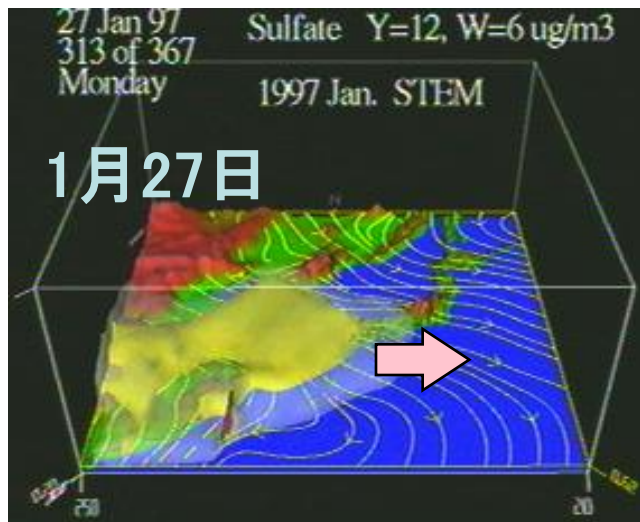
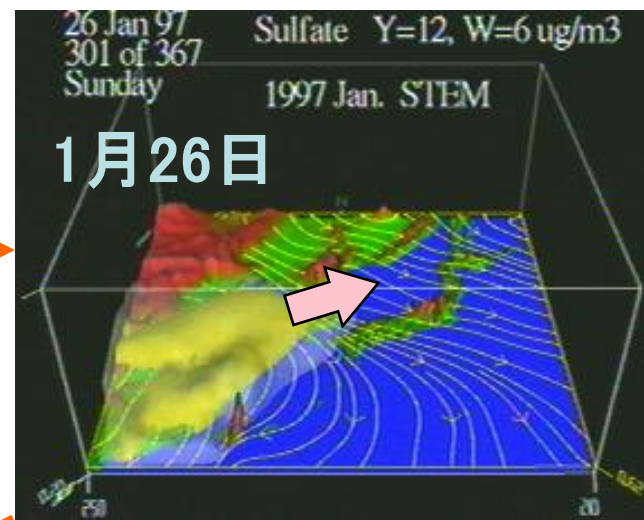
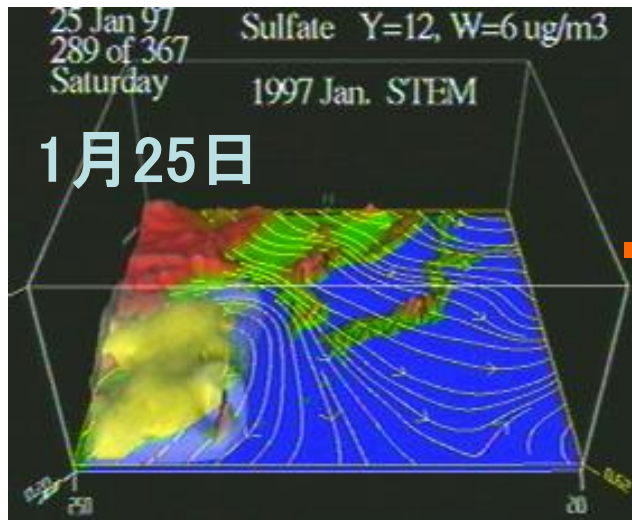
14日

15日

1.16

Next
start

巨大パフ型輸送



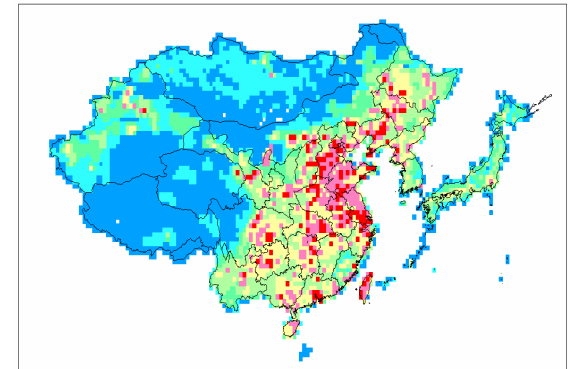
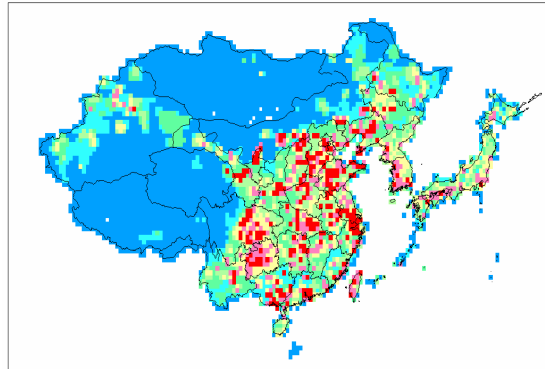
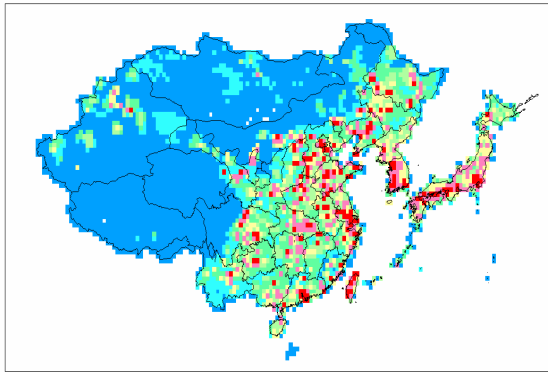
EAGrid2000

East Asia Gridded Atmospheric Emissions Inventory

NO_x

SO₂

PM₁₀



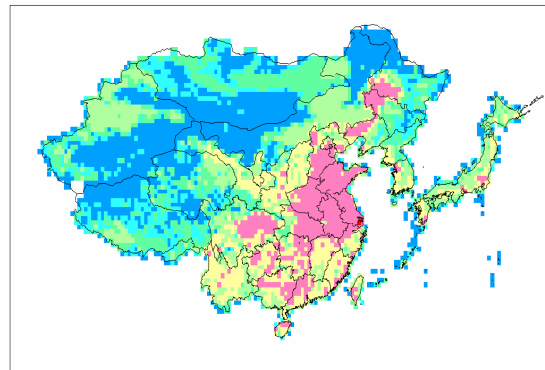
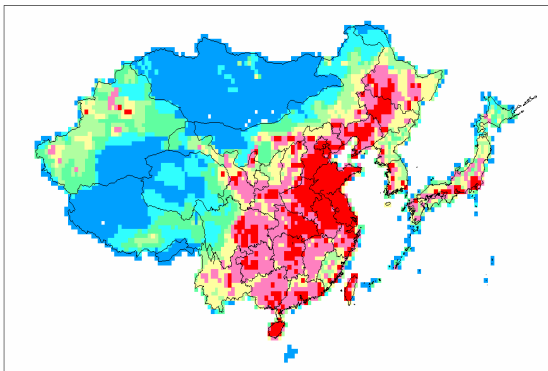
0.03 0.1 0.3 1 3 10 g/m²/y

0.03 0.1 0.3 1 3 10 g/m²/y

0.03 0.1 0.3 1 3 10 g/m²/y

NM VOC

NH₃



0.03 0.1 0.3 1 3 10 g/m²/y

0.03 0.1 0.3 1 3 10 g/m²/y

フレームワーク

領域: 中国、台湾、韓国、北朝鮮、モンゴル、日本

解像度: 経緯度 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$

発生源: 人為起源

+ 植物VOC

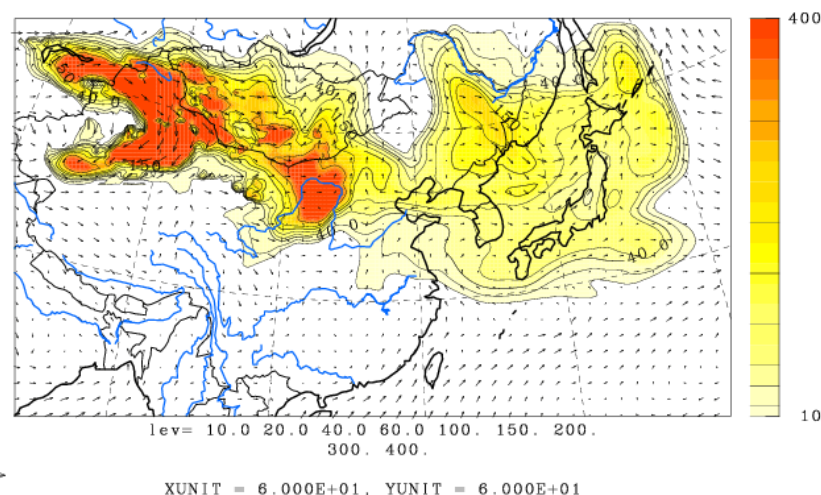
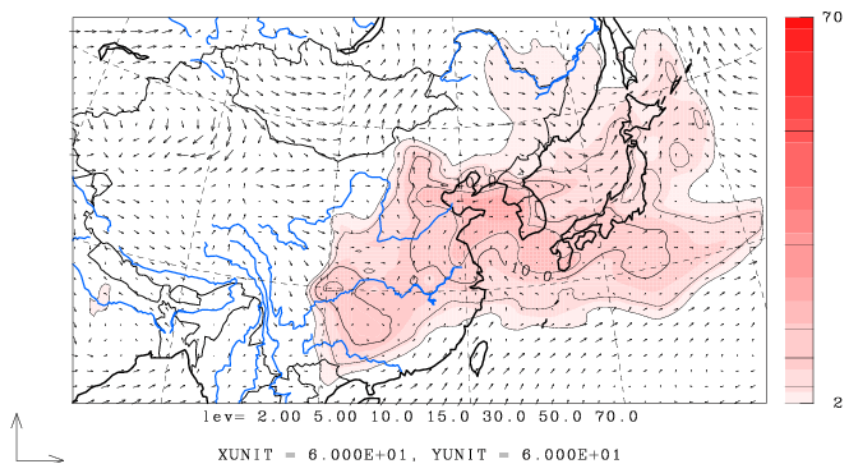
化学天気予報システムによる予測 (CFORS: Chemical weather FORecasting System)

硫酸塩エアロゾル(大気汚染物質)の予想分布
(高度0-1km平均値)

土壌性ダスト(黄砂)の予想分布
(高度0-1km平均値)

U-V&Sulfate m/s&ug/m3 JST
2013/05/22.09:00:00

U-V&Dust total m/s&ug/m3 JST
2013/05/22.09:00:00



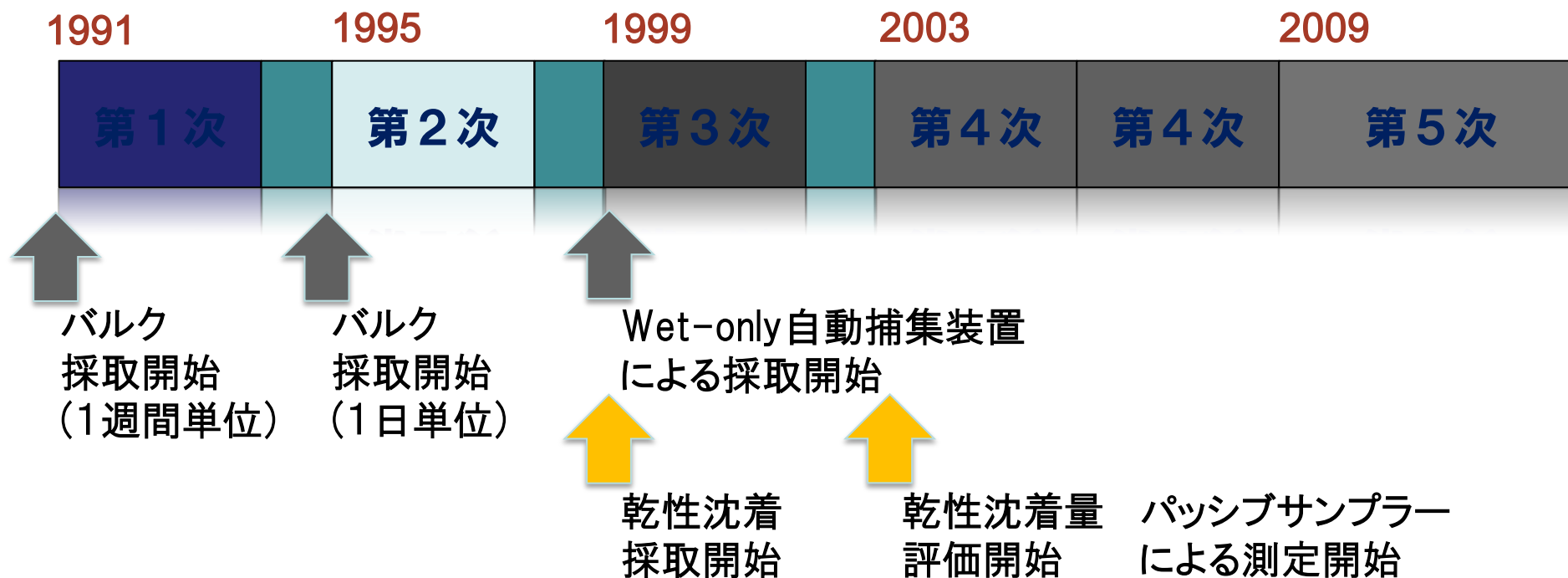
©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

汚染の来た日

全環研による全国酸性雨調査の歴史

- 1991年度から共同で解析や報告を行う、
全環研酸性雨全国調査が開始



2015/10/5

岩崎 綾(沖縄県衛生環境研究所)作成

追悼：玉置元則 酸性雨研究会の中心人物を失うとは！

玉置さんが中心人物、酸性
雨研究会の緑の旗が見える

皆
巳

玉
置

村
野

田
口

藍
川

大
石



「酸性雨」から得られる情報と 「酸性雨」で発信すべき真実 -雨の冷たさとそしてその暖かさを全身 全霊で感じた30年-

平成16年3月4日
第16回酸性雨東京講演会
兵庫県立健康環境
科学研究センター

玉置元則



以下に出てくる得体の知れない写真は菊坂周辺です



- 玉置元則
- 兵庫県立健康環境科学研究所センター大気環境部長
- 1943年7月生
- 環境科学(大気汚染,酸性雨,地球温暖化、測定法、化学反応)

自己紹介

2015/10/5

52

このような機会を与えて下さった土器屋先生や村野先生始め、関係者の方々に感謝します

はじめに

- 私たち、地方自治体の研究機関に所属する酸性雨研究者は、頬を伝って流れ落ちる大粒の雨と長靴の底を伝わって感じてきた冷たい雪の感触を大切にし、人里離れた森林の奥で見てきた樹木衰退の実態、環境・公害行政の末端の担い手としての酸性雨原因物質の監視、そして長年実験室で培ってきた分析技術と解析能力を武器として、日本の酸性雨の現状をもっともよく理解している集団(全環研)に属してきたことに誇りを持っている。

「酸性雨オールナイトミーティング」

- 「オールナイトミーティング」ではかけがえのない多くの友人と得がたい知識や技術が得られた。



酸性雨大阪講演会

田口圭介氏らと共に

回	年	場所	テーマ	主な講師
1	92	大阪	酸性雨調査研究の今日的課題	笠原、大喜多、鳥居
2	93	大阪	酸性雨調査研究の基本的視点	玉置、市民運動
3	94	大阪	生態系破壊等酸性雨現象の諸課題	宗森、前田、国松
4	95	大阪	環境の酸性化による生態系影響	玉置、小沢、佐竹
5	96	名古屋	酸性雨による森林生態系への影響	酒井、新藤、小川
6	97	大阪	酸性雨化学と森林枯損解明の科学	森、鳥居、岩坪
7	98	大阪	東アジアと日本の酸性雨の課題	村野、西山、生田
8	99	金沢	面的に見る北陸の大気・土壌環境	土器屋、長谷川
9	00	京都	環境問題での酸性雨現象の枠組	片山、都築、笠原
10	01	大阪	環境監視でのサイティングの重要性	村野、溝口、福崎
11	02	富山	酸性雨広域モニタリングの位置付け	鳥山、山川、藤田
12	03	岐阜	酸性雨調査研究における乾性沈着	村野、北瀬、井上



酒井

北村守

中橋

村野

西山

酸性雨
研究会

2015/10/5

岐阜・伊自良湖

地環研研究者を中心とする酸性雨研究者の ネットワーク化(2015年秋)

酸性雨研究会

大気環境学会酸性雨分科会

講演会

酸性雨東京講演会(26回)

関西酸性雨講演会(23回)

催し物

酸性雨オールナイトミーティング(29回)

酸性雨情報交換会(23回)

情報発信

酸性雨研究会メールニュース(360号)

酸性雨研究会HP

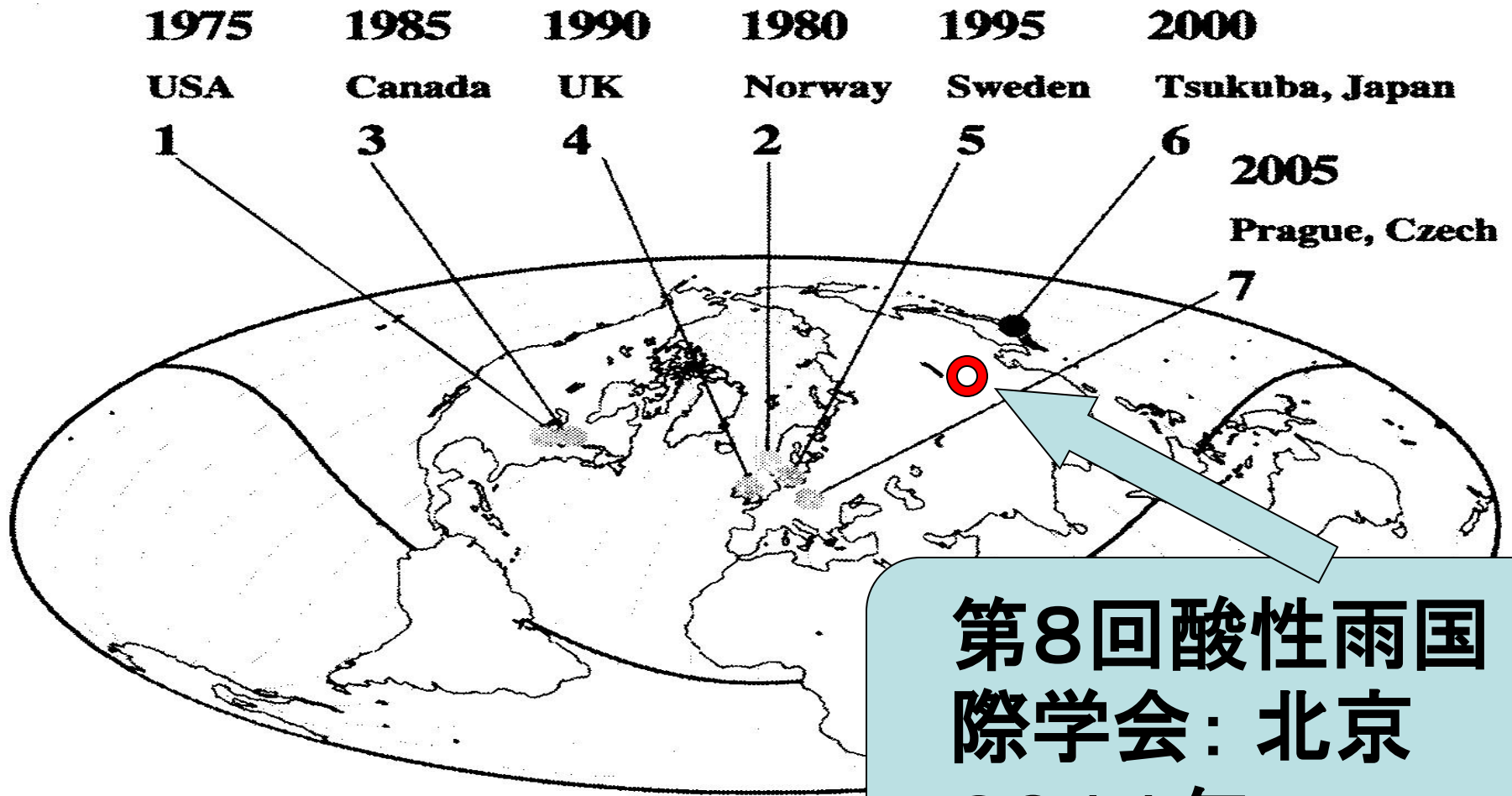
酸性雨研究会ニュース(紙版)(76号)

酸性雨情報の迅速、広
域流通を行い、酸性雨
コミュニティが完成した

第7回酸性雨国際学会 (2005年6月13日ー17日)

- 5年に1回の酸性雨に関する国際学会
- 1975年から、米国、ノルウェー、カナダ、英国、スウェーデンで開催
- 2000年は「つくば」で開催
- 2005年はチェコのプラハで開催
- 日本からは68人(第2位)の参加
- 2015年は沈着物に特化して米国で開催

第8回酸性雨国際学会：北京：2011年



国	1995年	2000年	2005年	3年合計
日本	19	7	19	45
中国	6	13	16	35
中国（香港）	10	3	93	106
中国（台湾）	42	11	19	72
中国（澳门）	5	1	10	16
韩国	40	7	31	78
泰国	5	10	6	21
印度	40	309	68	417
印度尼西亚	1	25	0	26
马来西亚	80	40	43	163
菲律宾	26	4	13	43
越南	21	6	7	34
印度尼西亚（雅加达）	237	54	67	358
尼泊尔	0	6	7	13
蒙古	2	4	0	6
老挝	23	5	5	33
柬埔寨	76	23	43	142
缅甸	51	13	26	90
2015/10/5	51	13	26	90
合計	684	573	473	1730

第5回(1995) 第6回(2000) 第7回(2005) 酸性雨国際学会 参加者数

酸性雨問題のマスコミへの登場

- 酸性雨問題は、1990年代初頭に新聞・テレビなどのマスコミで大々的に取り上げられ、当時は地球環境問題の代表格としての扱いを受けていた
- しかし2000年以降はほとんど登場することがなくなってしまった
- 朝日新聞に掲載された酸性雨関連記事は1991年がピークで69本、1992年は67本、1993年には激減して28本、1999年以降は10本以下である
- この状況に、一般市民は「酸性雨問題は解決した」と勘違いしてしまうかもしれない
- マスコミは目新しい事を取り上げる。解決した、しないは関係ない

5. 酸性雨問題の展望

- 東アジア地域(中国、韓国)の経済発展、環境対策の取りようによっては越境大気汚染問題が厳しくなる
- 酸性雨という言葉の重みが軽くなったとしても、北米大陸のカナダ、米国、欧州の全域で酸性雨のモニタリングが未だに継続されている

でも、酸性雨問題は重要

酸性雨研究

- 「東アジア酸性雨モニタリングネットワーク(EANET)」を支える
- 湿性沈着モニタリング技術・システム
- 乾性沈着モニタリング技術・システム
- 発生源インベントリー
- ソース・リセプターマトリクス
- 観測研究(地方自治体との共同研究)
- 2015/10/5
影響研究

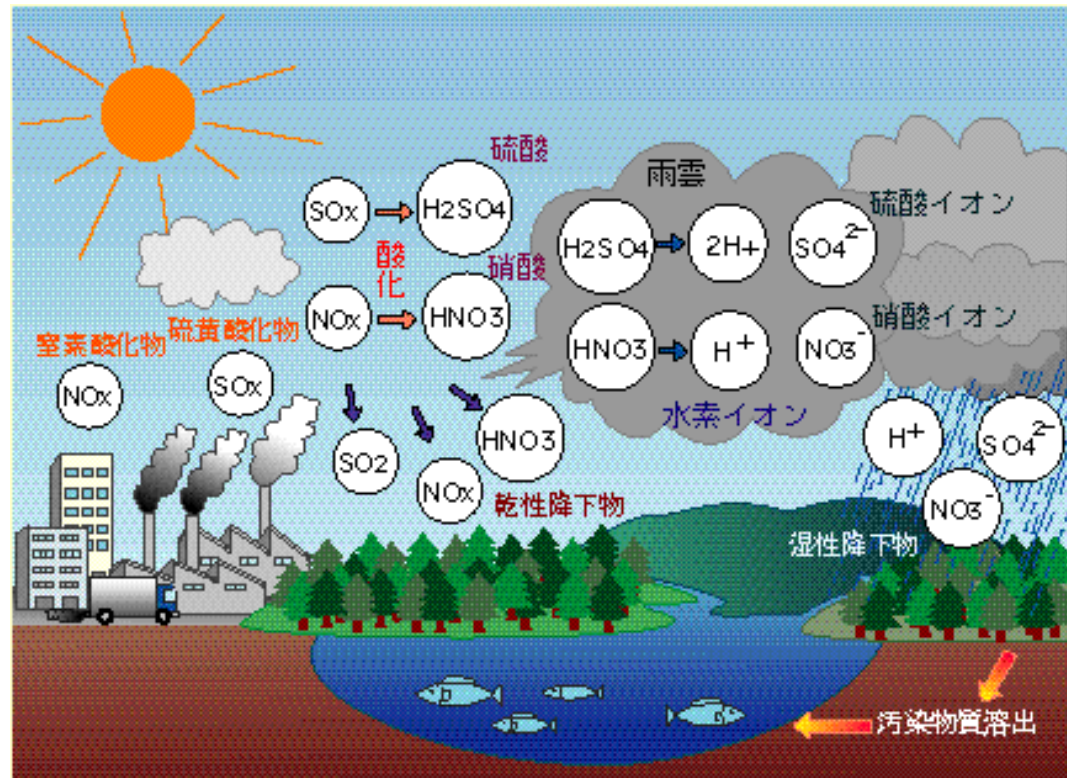
湿性沈着モニタリング

- より簡便なモニタリング技術の開発
 - 酸性雨捕集器
 - 化学分析
- より簡便なデータ処理技術の開発
- 可視化技術



乾性沈着モニタリング

- 乾性沈着速度計算技術
 - 気象データ
 - 土地利用データ
- 大気中の濃度測定技術
 - ガス
 - 粒子状物質



観測研究（地方自治体との共同研究）

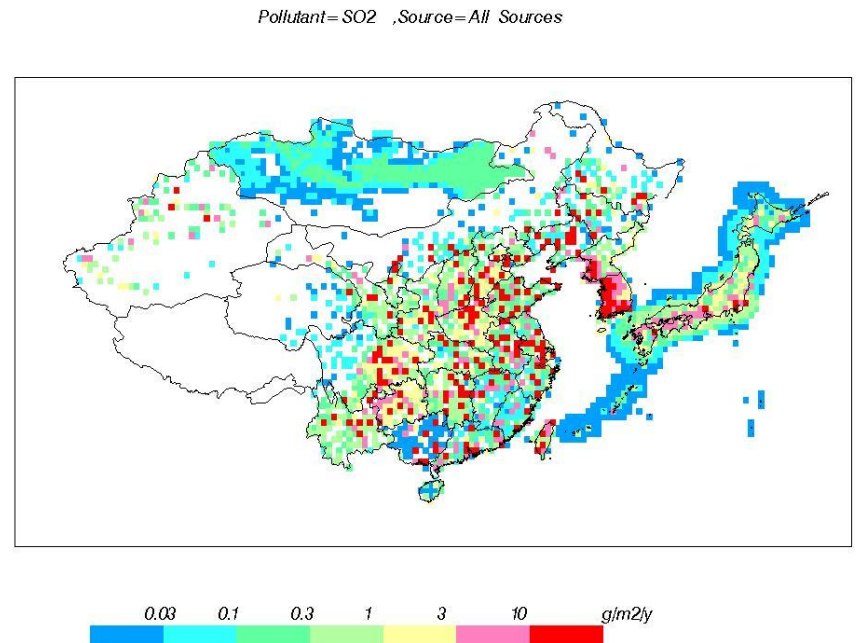
- 酸性霧研究
- 乾性沈着モニタリング
- イベント測定
- 重金属測定
- 鉛同位体比測定
- 同位体比測定



発生源インベントリー

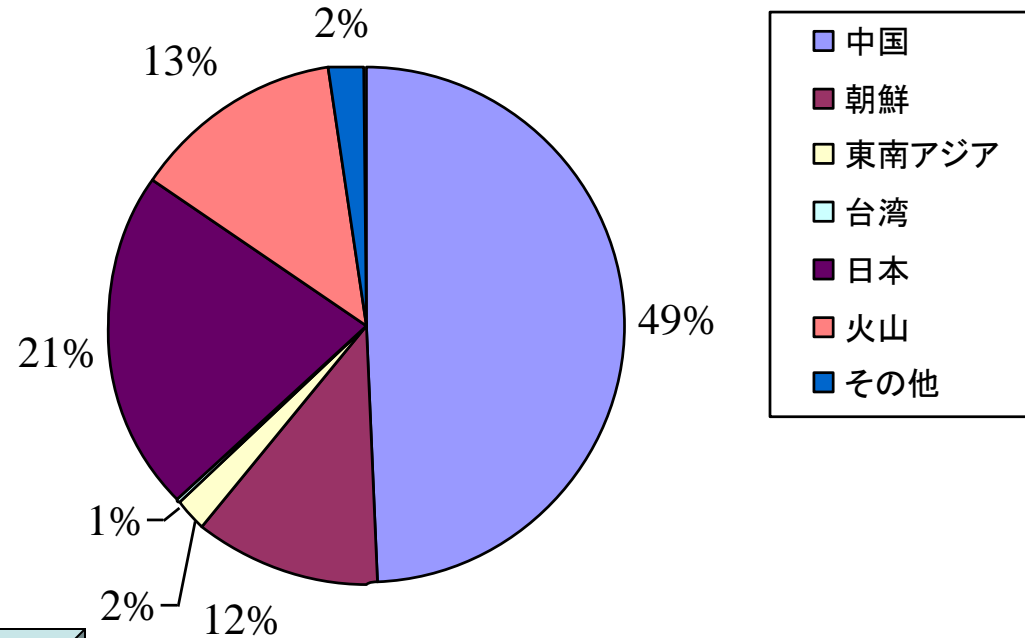
- 発生量 = 発生係数 × 活動度
- 二酸化硫黄、窒素酸化物、アンモニア
- 発生係数
 - 各セクターでの発生係数把握
- 活動度（存在量）
 - 統計データの整備

二酸化硫黄の発生量
マップ（1995
年）



ソース・リセプターマトリクス

- 計算機能力
- 計算スキーム
- 可視化技術



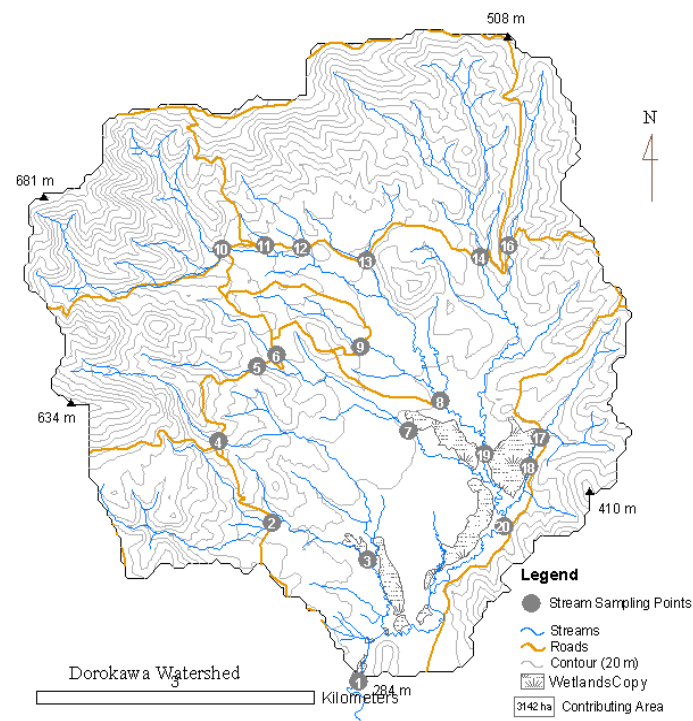
モデル比較研究

統合評価モデル

生態系影響研究

北海道大学雨龍研究林
泥川実験流域
流域面積: 31 km²

- 伊自良湖周辺の土壌酸性化
- 夜叉が池の酸性化
- キャッチメント(集水域)研究
 - やるべきか否か
 - どこで、誰がやるか
 - 予算は
- 窒素飽和
 - 窒素酸化物、アンモニアの過剰負荷による生態系の破壊



他分野との融合

- **粒子状物質（エアロゾル）**
 - 地球温暖化との共同
- **マルチスケールの大気中の物質動態**
 - 都市、国、地域、大陸
 - 酸性雨、地球温暖化、粒子状物質（エアロゾル）
- **上空（衛星）からの物質分布測定**
- **化学予報モデル（CFORS）**

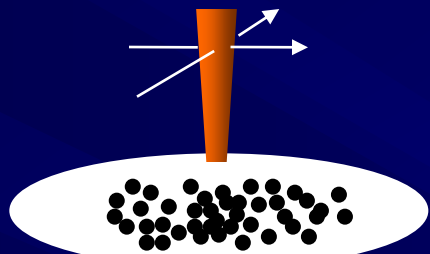
高分解能TOF-SIMSによる 微小粒子の構造解析

間山憲仁^{1,2)}, 三浦祐哉²⁾, 田形昭次郎²⁾, 吉野彩子³⁾, 三澤健太郎¹⁾, **坂本哲夫**²⁾,

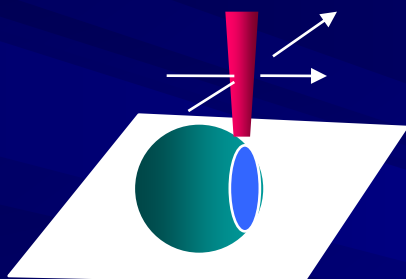
高見昭憲⁴⁾, 畠山史郎³⁾, 坂東博⁵⁾, 村野健太郎⁶⁾, **藤井正明**¹⁾

- 1) 東京工業大学資源化学研究所、2) **工学院大学大学院工学研究科**
3) 東京農工大大学院農学研究院、4) 国立環境研究所
5) 大阪府立大大学院工学研究科、6) 法政大学大学院工学研究科

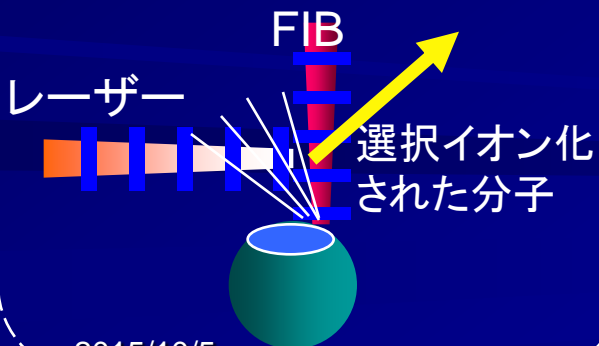
微粒子観察



FIBによる粒子切削

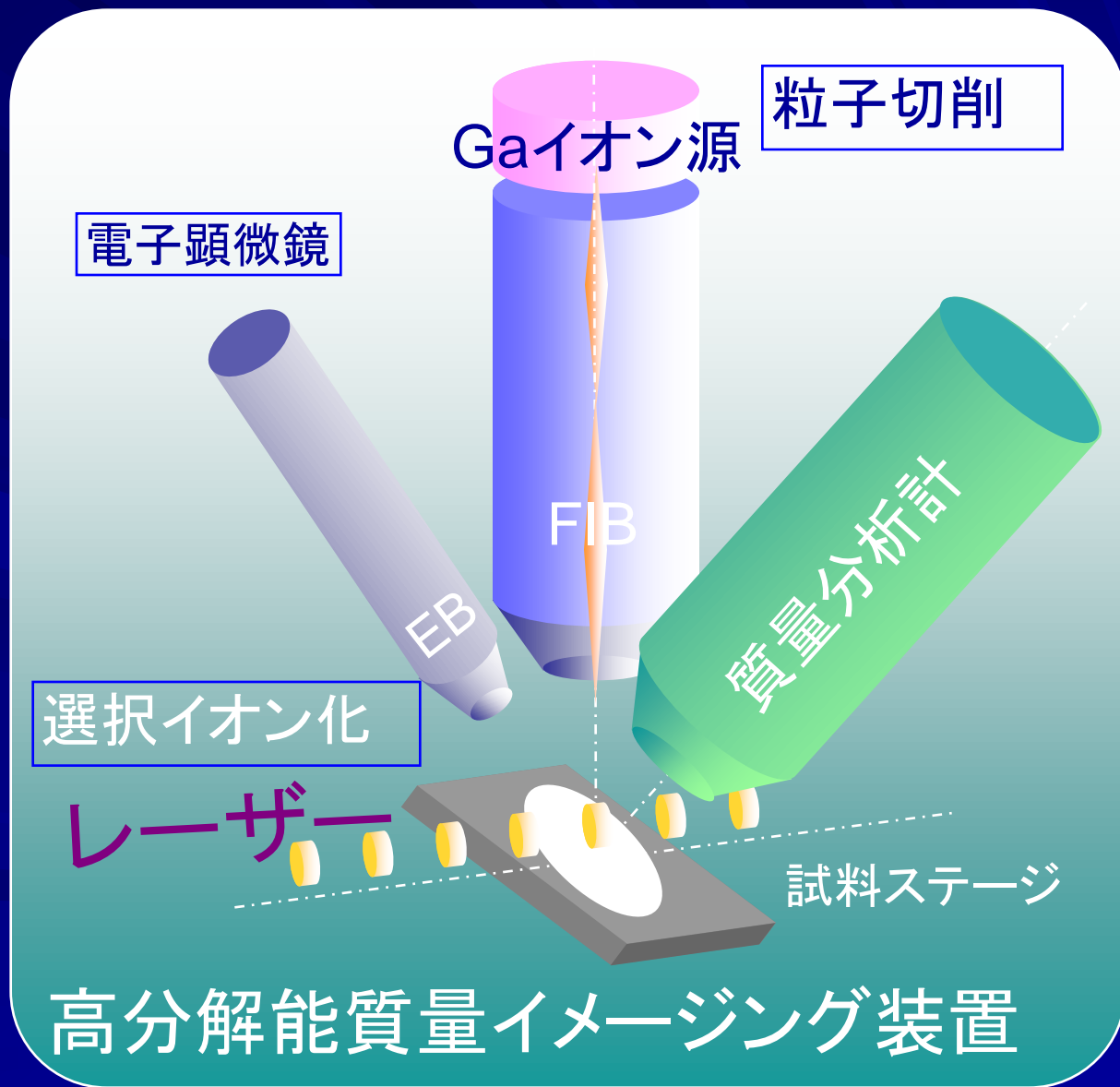


レーザーイオン化 質量分析イメージング



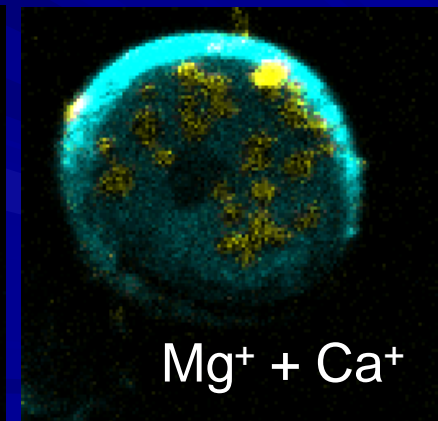
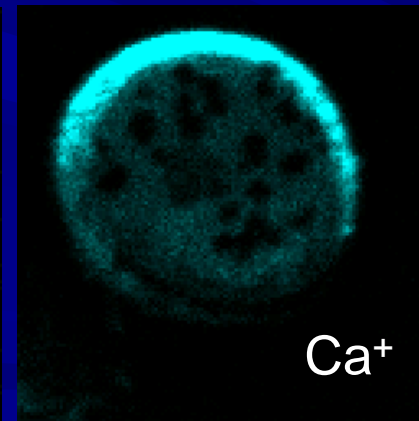
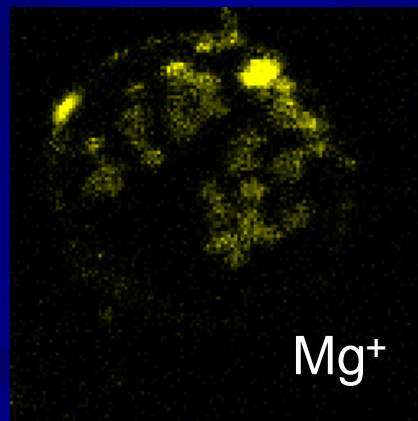
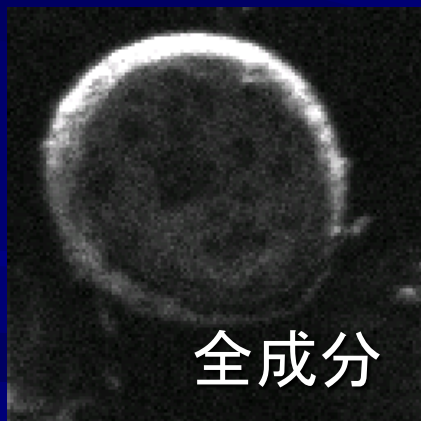
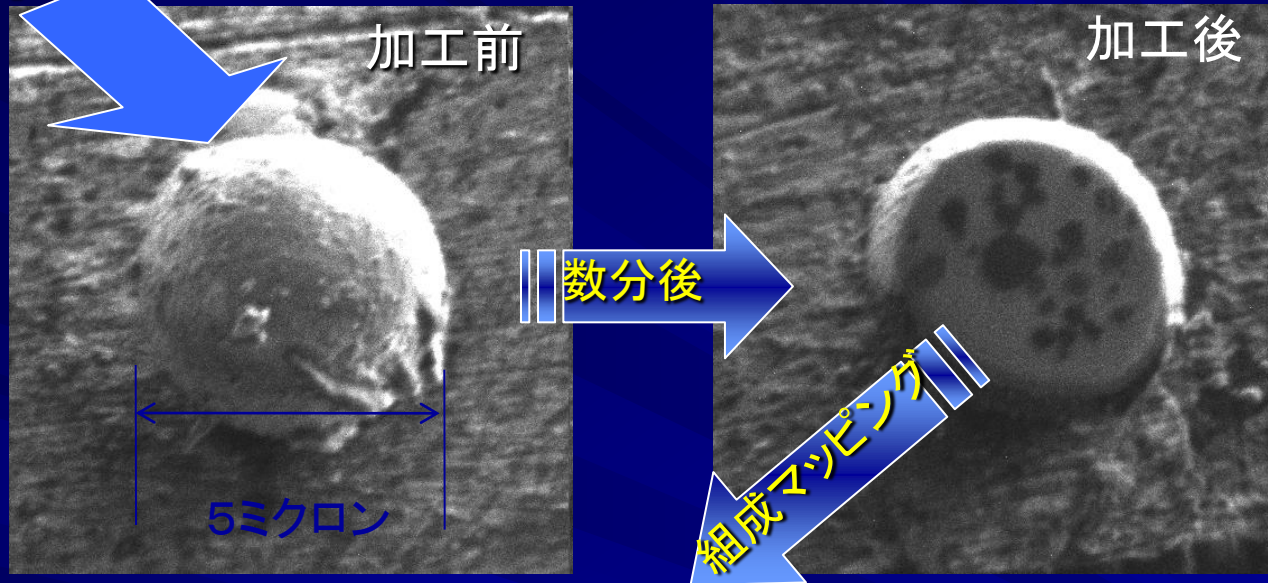
2015/10/5

収束イオンビーム／レーザーイオン化 単一微粒子履歴解析装置



応用例：大気中に漂っている微粒子の中身を分析

収束イオンビーム



10 μ m以下のSPM粒子1個を顕微鏡分析：目標達成

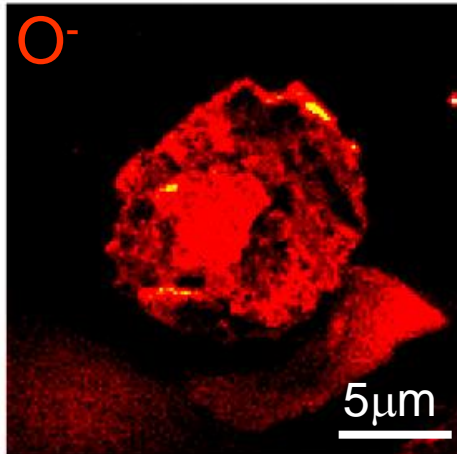
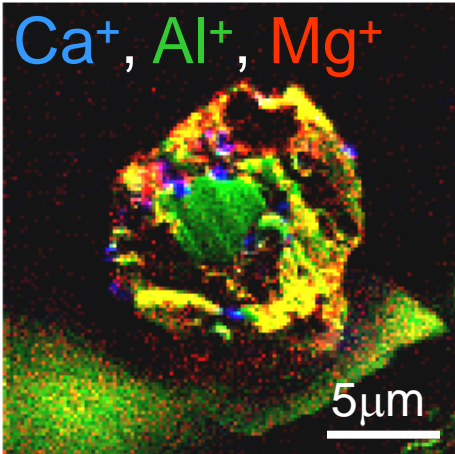
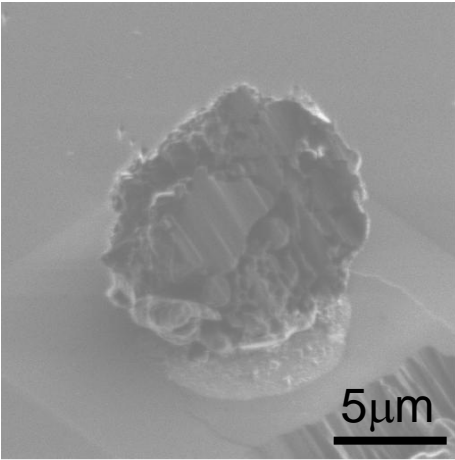
粗大粒子分析1(1土壤、2海塩粒子)

2次電子像

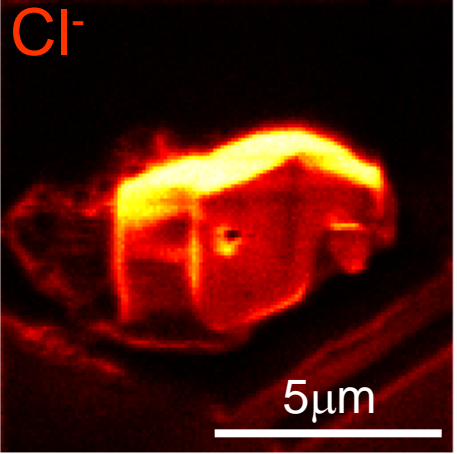
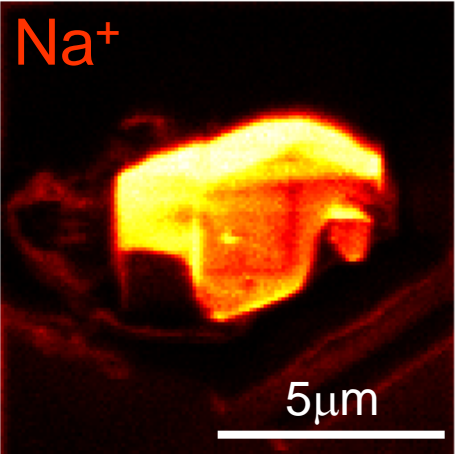
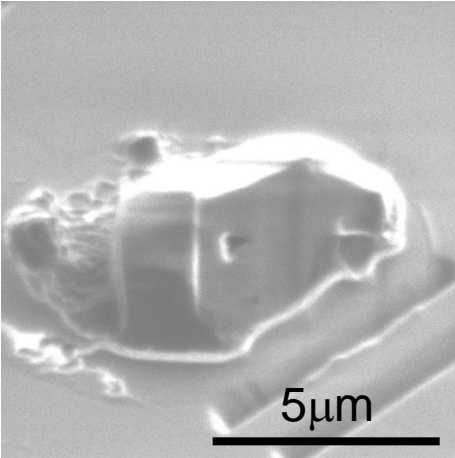
正2次イオン

負2次イオン

土壤



海塩

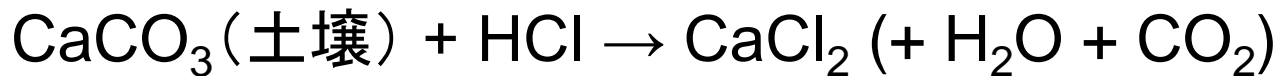
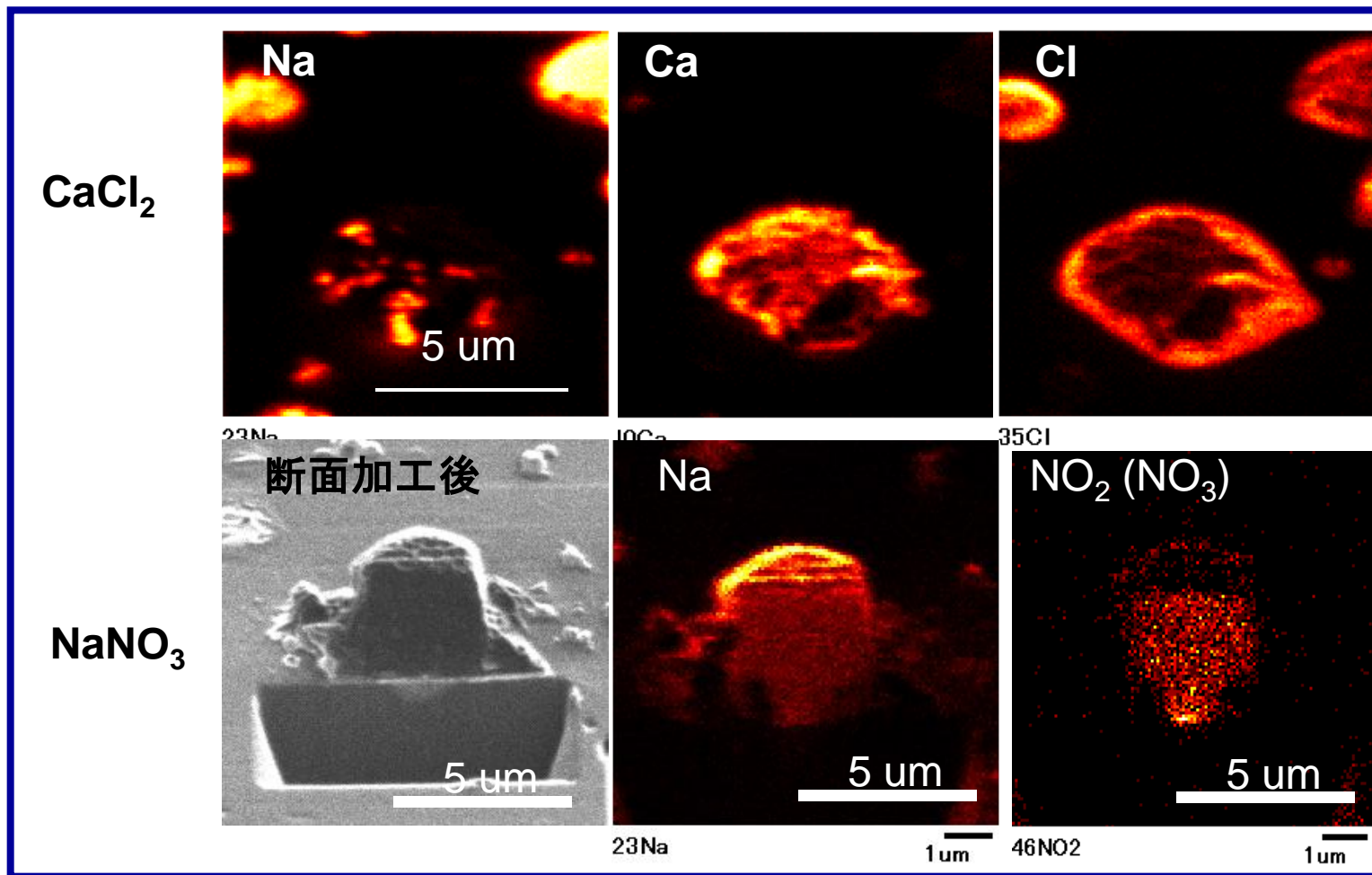


断面加工+TOF-SIMSマッピング

土壤:内部まで様々な土壤成分が含まれる。

海塩:内部まで一様。

粗大粒子分析2(反応物)



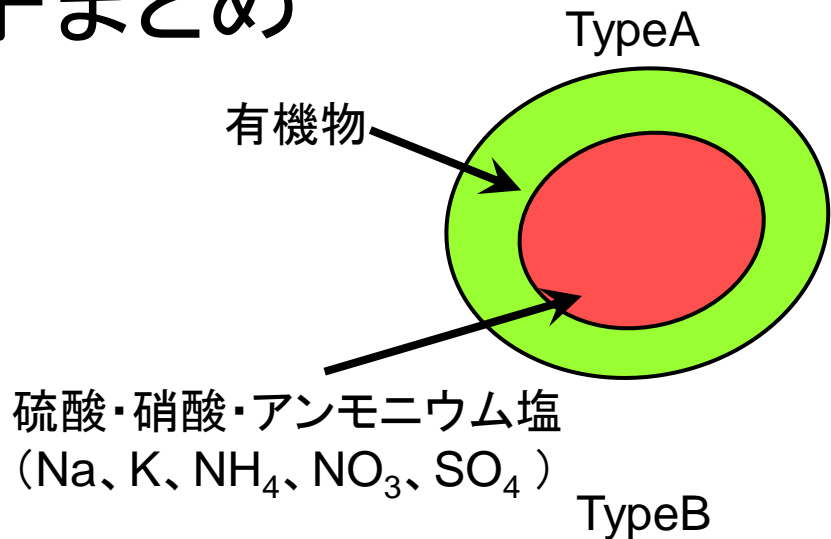
微小粒子まとめ

微小粒子タイプ分け

TypeA. 有機物 + 硫酸塩

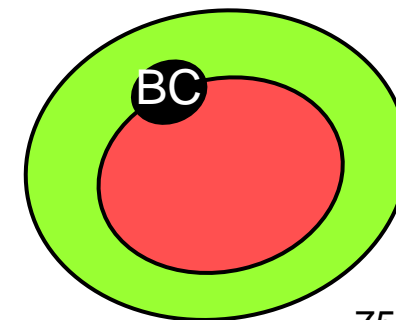
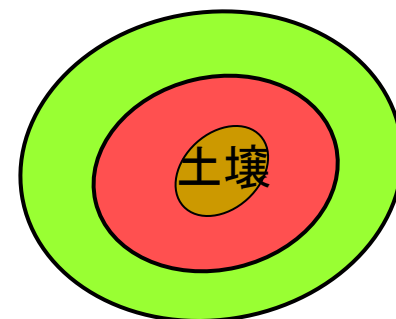
TypeB. 有機物 + 硫酸塩 + 土壌

TypeC. 有機物 + 硫酸塩 + BC



高分解能TOF-SIMSによる分析から
液状微小粒子を3つのタイプに分類し、
それぞれの構造・組成を明らかにした。

	TypeA (%)	TypeB (%)	TypeC (%)	particle number
Fukue	55	20	25	548
Tokyo	60	35	5	226



参考文献

- 酸性雨調査法研究会 (1993) 酸性雨調査法, 401pp., ぎょうせい, 東京.
- 玉置元則 (1997) 私撰日本の酸性雨研究文献リスト, 216pp., 環境技術研究協会, 大阪.
- 村野健太郎 (1993) 酸性雨と酸性霧, 179pp., 裳華房, 東京.
- 環境庁地球環境部監修 (1997) 地球環境の行方—酸性雨, 252pp., 中央法規出版, 東京.
- 畠山史郎 (2003) 酸性雨, 209pp., 日本評論社, 東京.
- 環境省 (2009) 酸性雨長期モニタリング報告書, 191., 環境省, 東京.
- 大泉 毅、村野健太郎、堀江洋佑、松本利恵 (2013) 酸性雨, 平成25・26年環境年表, 103-124, 丸善, 東京.
- 村野健太郎、大泉 毅、武 直子、友寄喜貴、山神真紀子、向井人史 (2011) 全国規模多地点における広域大気汚染物質観測—全国環境研協議会酸性雨広域大気汚染調査研究部会の活動—, 遺伝, 65, 34-39.
- 村野健太郎 (2011) 酸性雨問題の現状と全国環境研協議会酸性雨広域大気汚染調査研究部会の活動, [地球環境研究センターニュース, 2011年4月号](#).
- 佐竹研一 (2001) 西暦2000年酸性雨国際学会について, [地球環境研究センターニュース, 2001年5月号](#).
- 村野健太郎 (2005) 第7回酸性雨国際学会 (Acid Rain 2005) 参加報告, 環境技術, 34, 892-895.
- 森野 悠, 大原利真, 清水英幸, 清水厚 (2011) 「第8回酸性雨国際会議」参加報告, 地球環境研究センターニュース, 2011年9月号 [Vol.22 No.6], <http://www.cger.nies.go.jp/cgernews/201109/250001.html> (2011年11月時点)
- 村野健太郎 (2012) 酸性雨問題と越境大気汚染研究の変遷と課題, 水環境学会誌, 35, 2-5

酸性雨と酸性霧

村野健太郎 著



ホビュラー
サイエンス



裳華房

1993年発刊
古典(?)

裳華房(しょうかぼう)

1400円+税

ご静聴ありがとうございました

- 国立(公害)環境研究所で研究が出来て良かった
- 酸性雨研究を続けて良かった
- 酸性雨研究仲間と知り合い良かった
- 全ての人に感謝を「敬天愛人」

酸性霧自動捕集装置

