



環境科学概論 第5回

地球環境問題

酸性雨問題 & 地球規模汚染



1

酸性雨

2

3

雲と雨



4

2018年度 環境科学概論

早稲田大学創造理工学部

大河内



10種雲形と発生高度



上層雲:

巻雲, 巻積雲

- ・対流圏上層の雲
- ・ほとんど氷晶

中層雲:

高積雲

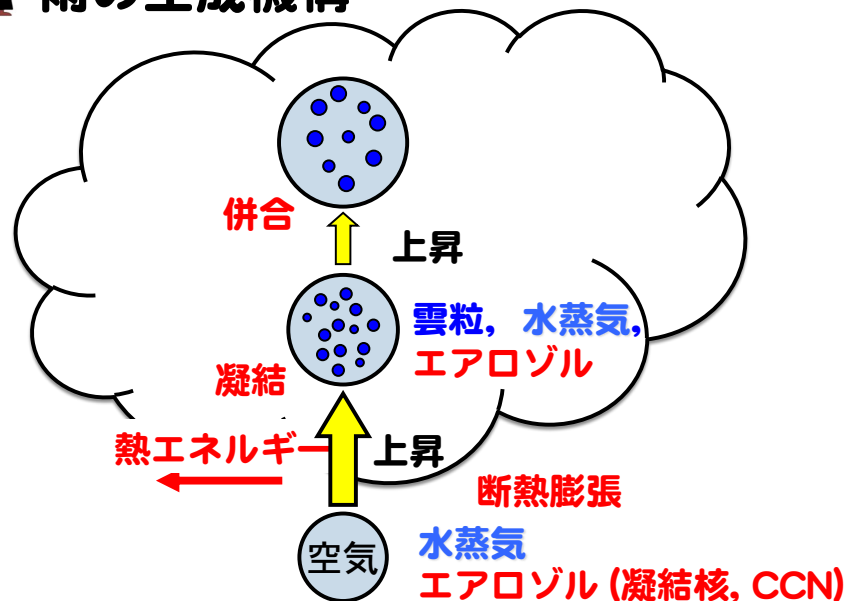
- 上層: 一部氷晶
- 下層雲を刺激

下層雲:

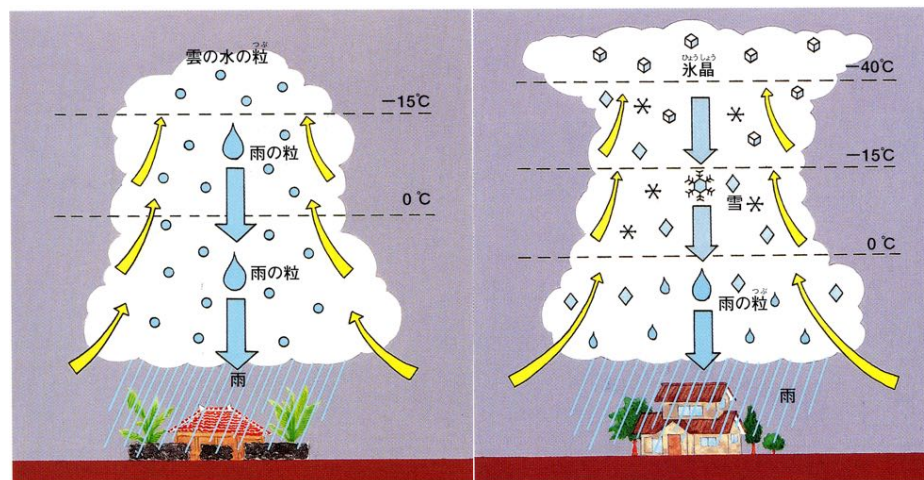
層雲(霧)

- ・雲核: 多
- ・水分量: 高

雨の生成機構



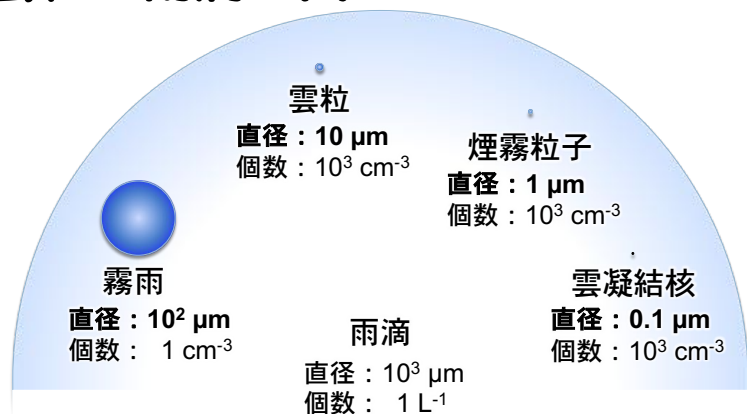
暖かい雨と冷たい雨



暖かい雨
水蒸気が大量に発生する低緯度

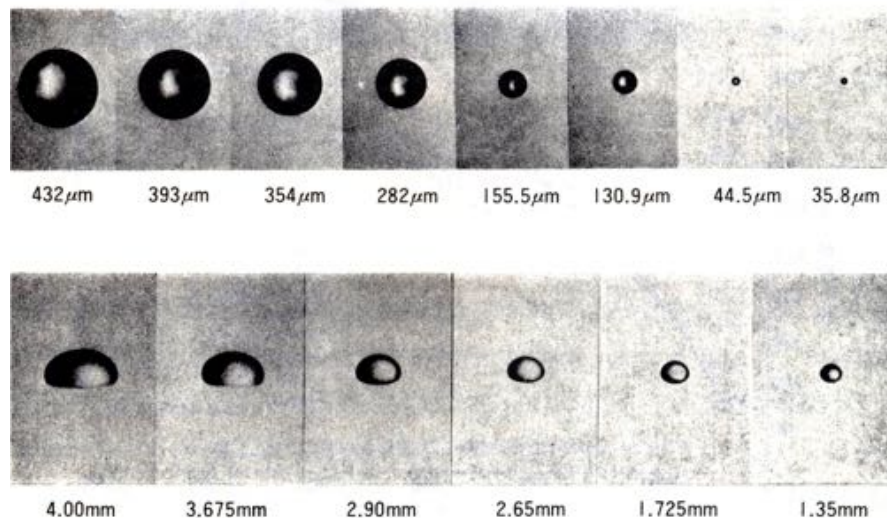
冷たい雨
中・高緯度

雲粒と雨滴の大きさ



雲粒: 半径 $0.001\ \text{mm} \sim 0.1\ \text{mm}$
雨粒: 半径 $0.1\ \text{mm} \sim 3\ \text{mm}$

静止空気中を落下する水滴

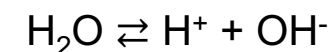


酸性雨の定義と生成機構



酸性と塩基性

水分子はわずかに解離



$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] \quad \text{水のイオン積}$$

$$= 1.00 \times 10^{-14} \text{ mol}^2 \text{ L}^{-2} \quad (25^\circ\text{C}, 1 \text{ atm})$$

セーレンセン(S.P.L. Sørensen) 1909年

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

酸性	$[\text{H}^+] > [\text{OH}^-] \therefore \text{pH} < 7$
中性	$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] \therefore \text{pH} = 7$
塩基性	$[\text{H}^+] < [\text{OH}^-] \therefore \text{pH} > 7$



酸性雨の定義

➤酸性雨(狭義)

a) pH 5.6未満 の雨水

大気中の CO_2 が蒸留水に溶解して平衡に達した時のpHを基準にとる考え方。

b) pH 5.0未満 の雨水

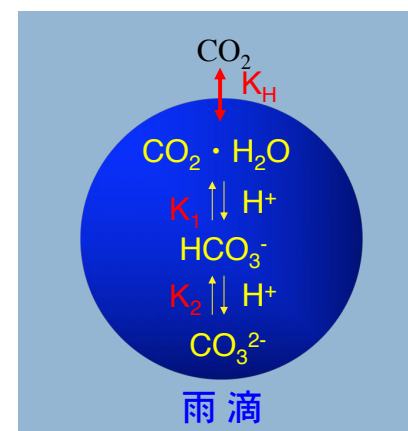
CO_2 に加え、火山活動由来の SO_2 , HCl を考慮に入れた考え方。

➤酸性雨(広義) = 酸性沈着物

雨水以外の降水(霧や雪)や、降水に取り込まれずに地表に沈着するすべての酸性物質



酸性雨の定義



雨滴に溶け込む二酸化炭素濃度 $C_{\text{CO}_2}(\text{M})$

ヘンリー則

$$C_{\text{CO}_2} = K_H \cdot p_{\text{CO}_2}$$

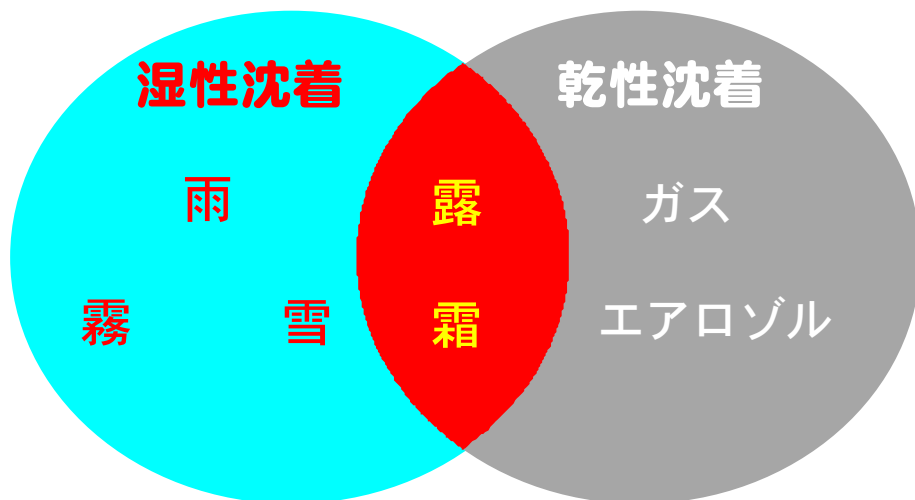
K_H : ヘンリー定数(M/atm)

p_{CO_2} : 大気中 CO_2 濃度(atm)

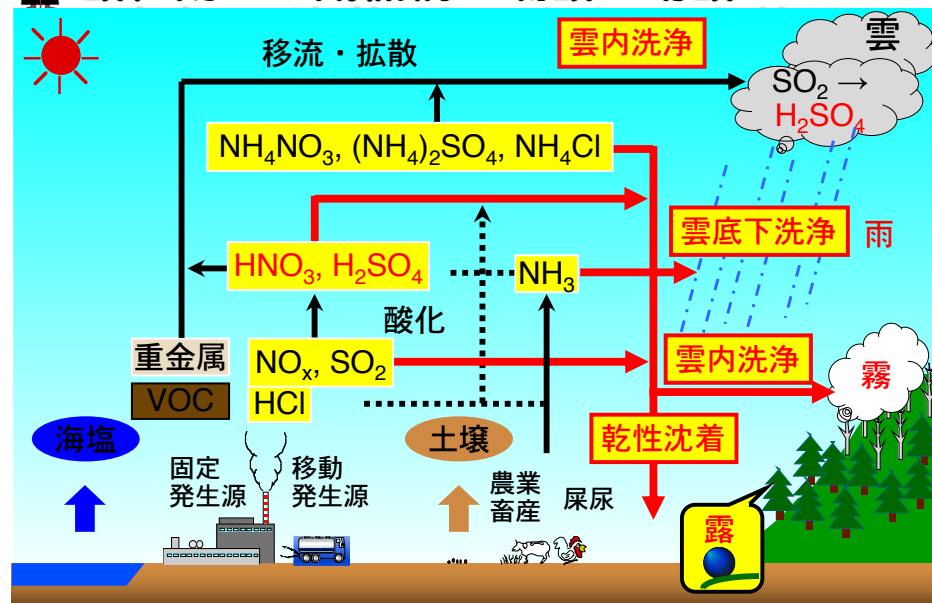
$p_{\text{CO}_2} = 360 \text{ ppm}$
 $K_H = 0.04 \text{ M/atm}$
 と $K_1 = 4.0 \times 10^{-7} \text{ M}$ } とする

$$\text{pH} = 5.6$$

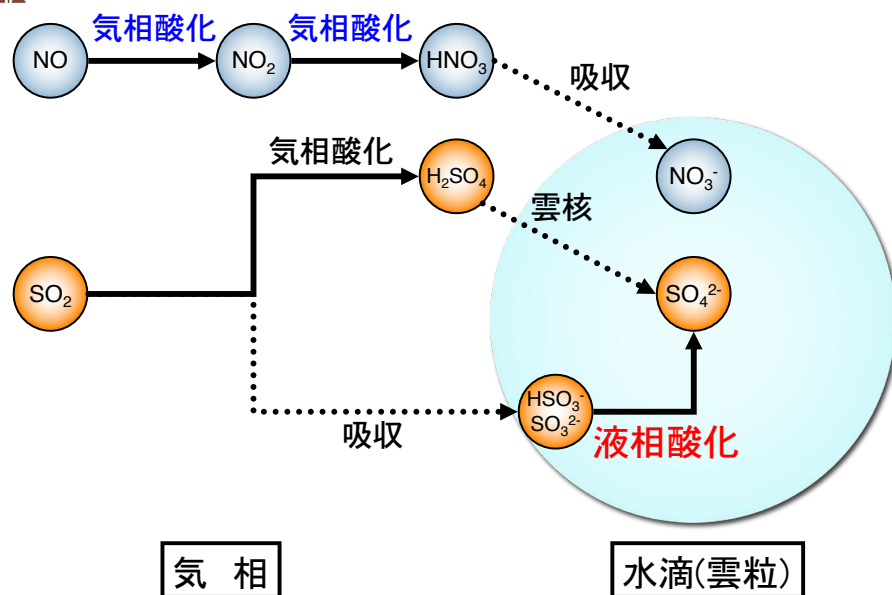
酸性沈着の分類



酸性雨の生成機構：硫酸と硝酸



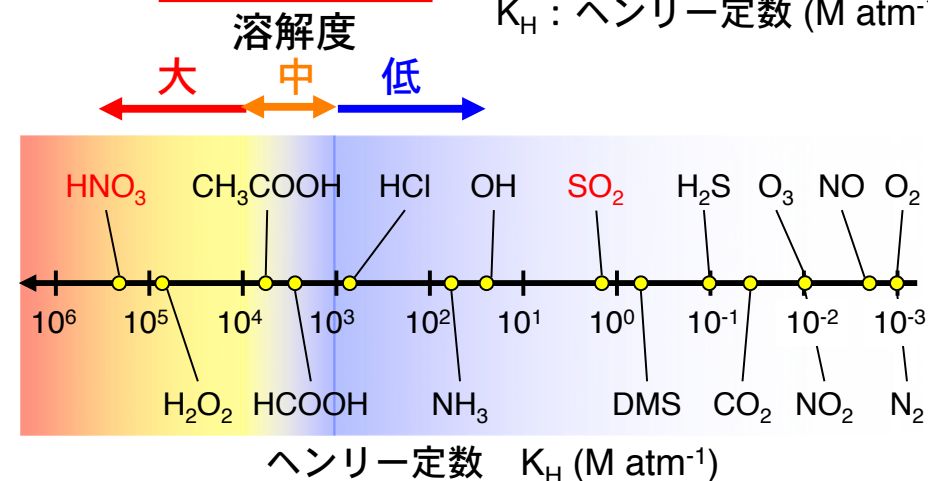
微小液滴の酸性化機構



ヘンリーの法則と溶解度

$$C_g = K_H p_g$$

C_g : 水中ガス濃度 (M)
 p_g : 気相ガス分圧 (atm)
 K_H : ヘンリー定数 ($M \text{ atm}^{-1}$)





日本全国の雨水pH分布

平成18年度～22年度
H18/H19/H20/H21/H22
(5年間平均)



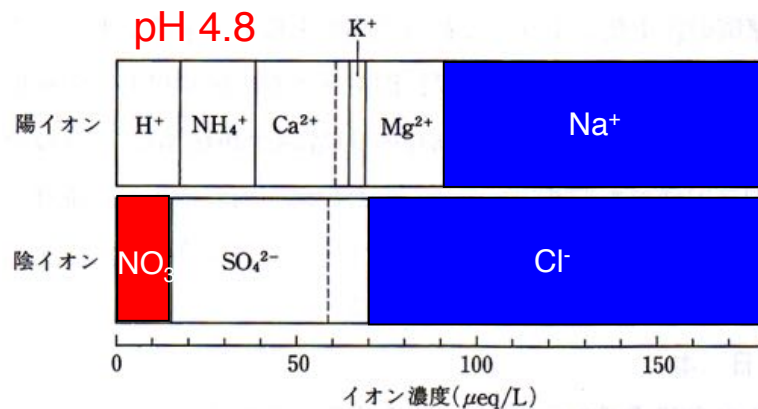
日本の全国平均
pH 4.8

欧米諸国と同程度

17 酸性雨の実態：雨・雲・露化学



日本における雨水の平均組成



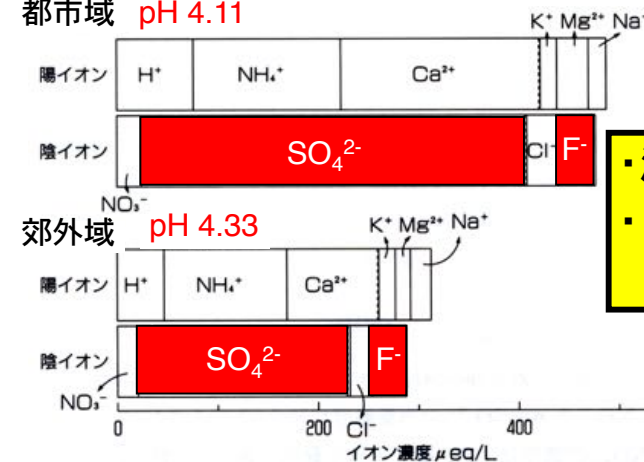
- ・上記9成分でバランス
- ・海塩(NaCl)の影響大
- ・他地域に比べて、 NO_3^- の割合高い。



中国における雨水の平均組成

中国（重慶）

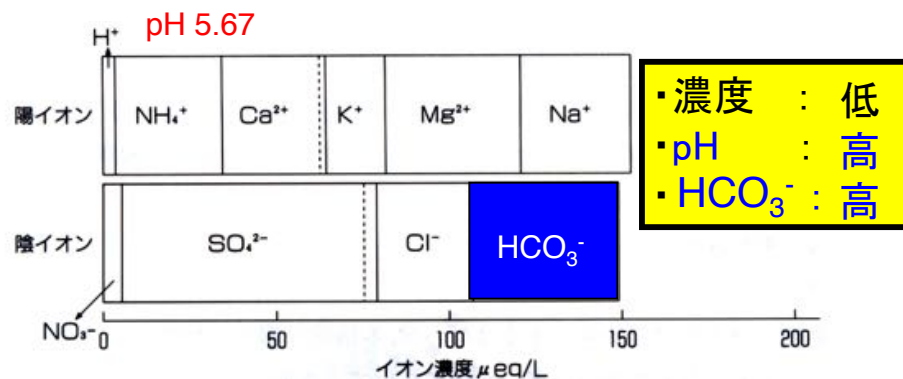
都市域 pH 4.11



・濃度：高
・ SO_4^{2-} , F^- ：高
石炭燃焼 由来



ロシアにおける雨水の平均組成



酸性物質は炭酸塩により中和

22

環境影響



酸性雨問題：酸性霧の人体影響

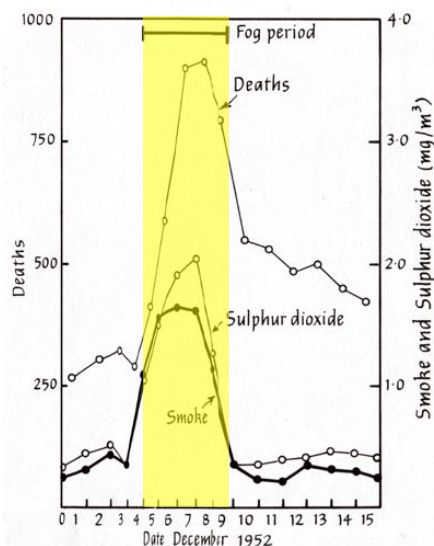


The Big Smoke

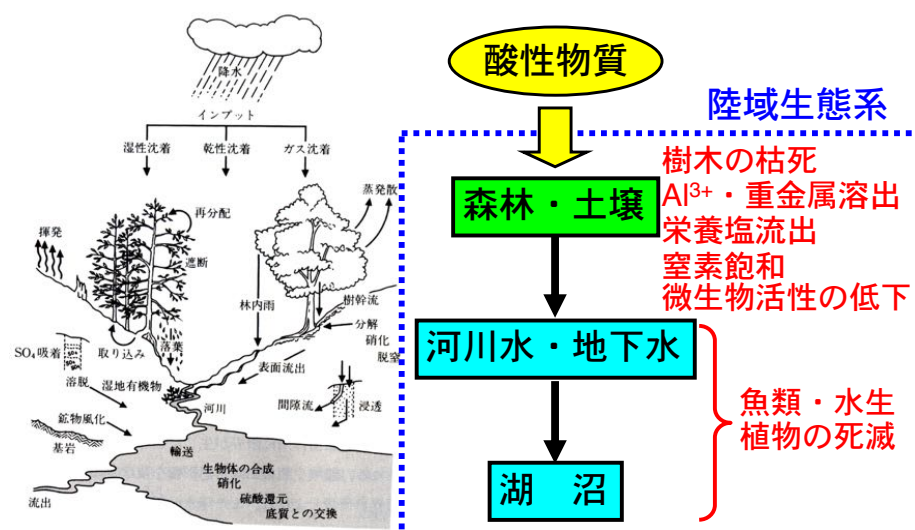
霧 : pH 1.5 ~ 1.8の硫酸酸性
死者: 4,000人以上

➡ Killer Fog (Smog)

P. Brimblecombe, "THE BIG SMOKE" (1987)



陸域生態系への影響





ヨーロッパの森林被害状況



ドイツとチェコの国境付近の森林
(2005年6月 Acid Rain2005)



日本の森林被害状況



日本における樹木の立ち枯れ



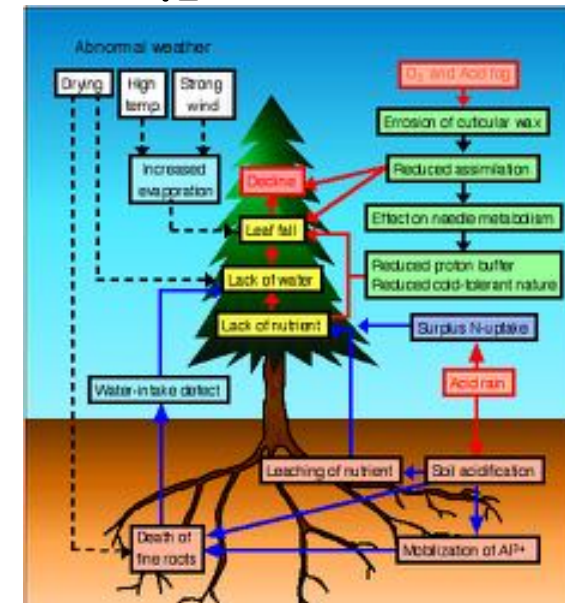
念仏平(ダケカンバ)



丹沢大山(モミ)

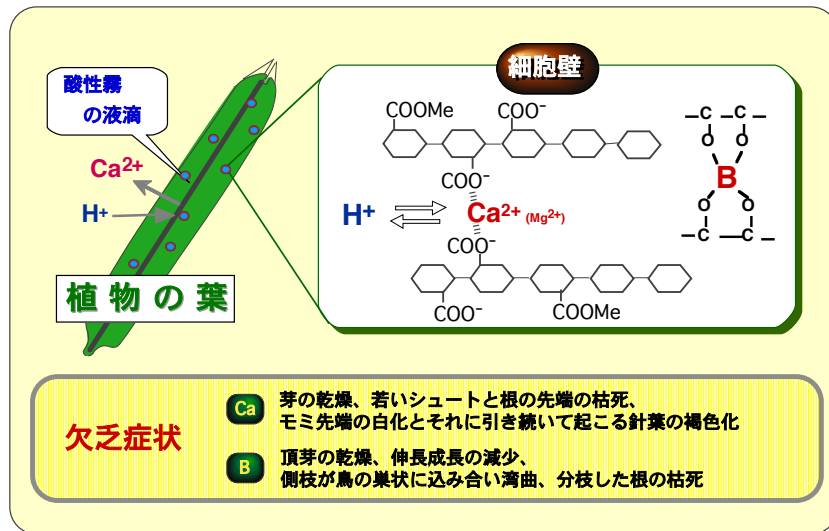


樹木が立ち枯れるメカニズム

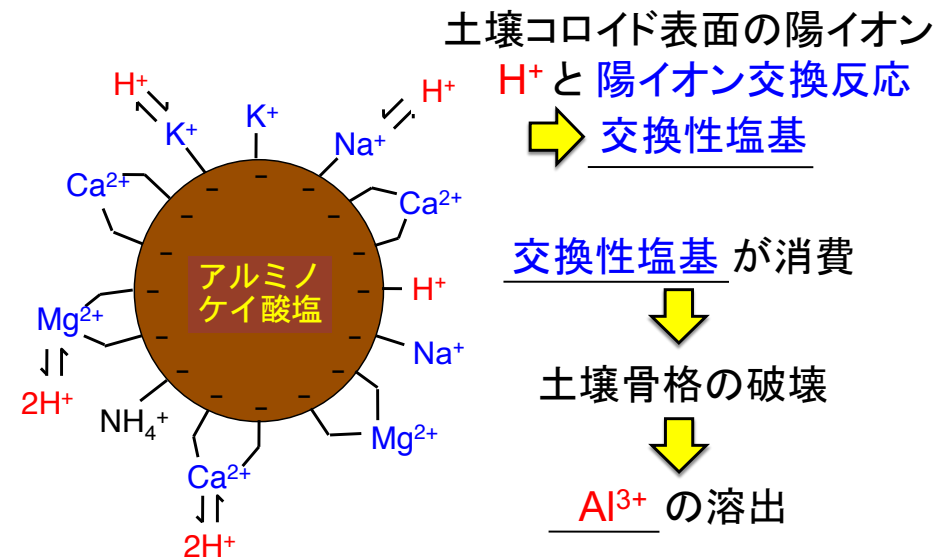




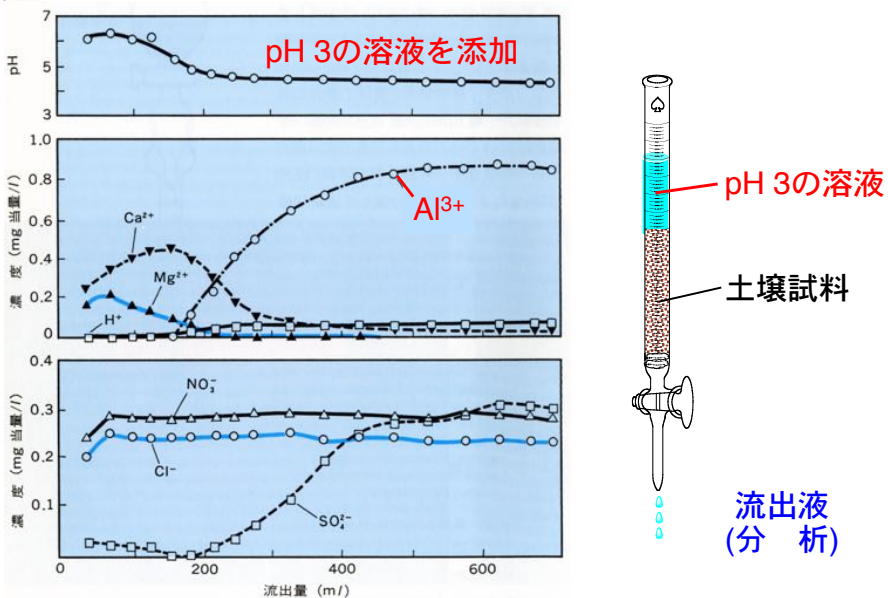
植物葉からの栄養塩類の溶脱



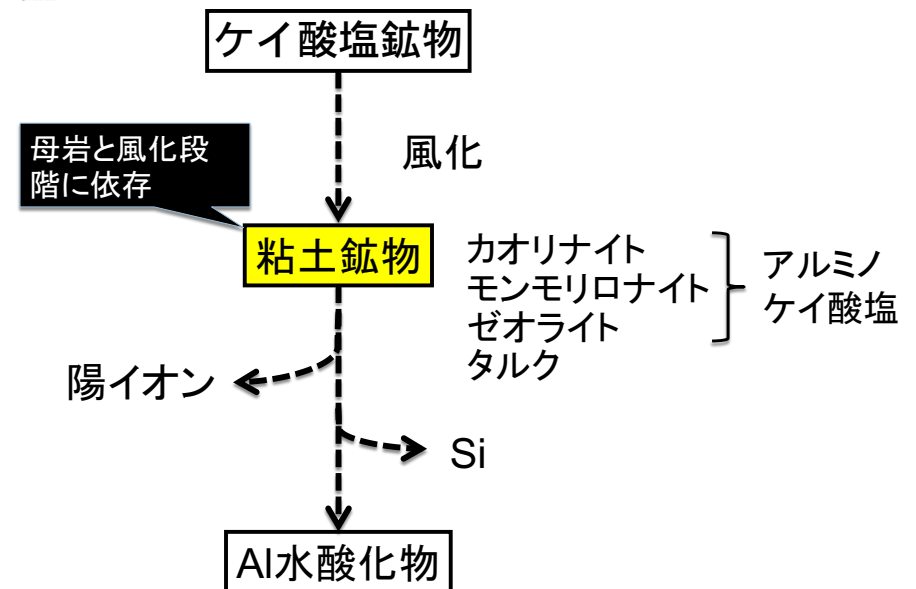
酸性雨による土壌影響



酸性雨による土壌影響



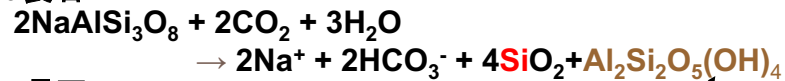
酸性雨による土壌影響



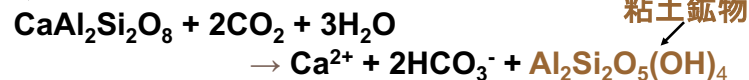
参考：鉱物の化学的風化

ケイ酸塩鉱物

Na長石



Ca長石

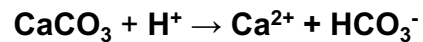


Mgカンラン石

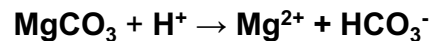


炭酸塩鉱物

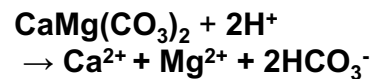
カルサイト



マグネサイト



ドロマイト



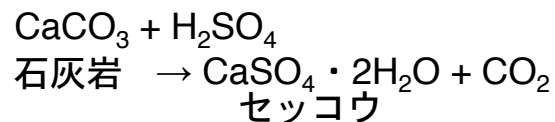
建造物への影響



ケルン大聖堂の女神像



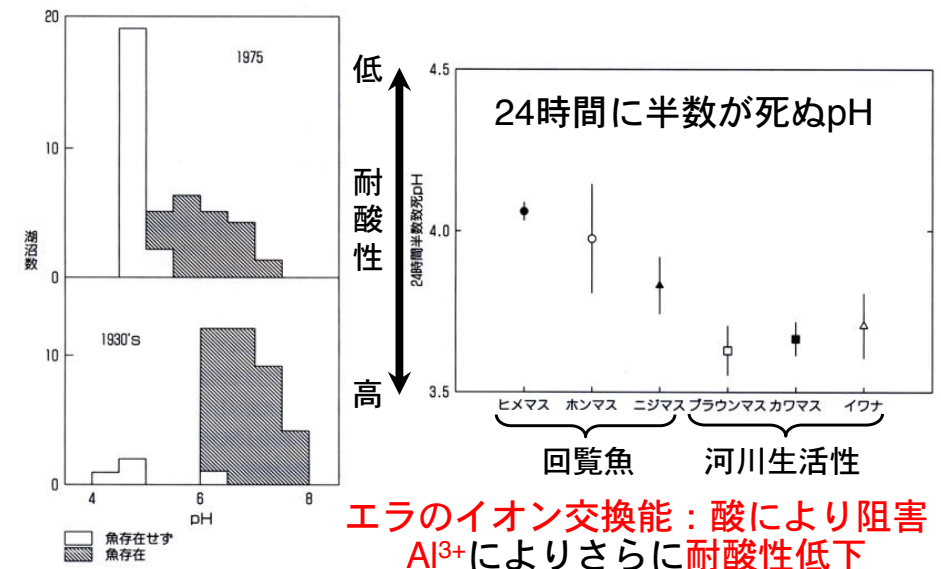
コンクリートつらら



水溶性： $\text{CaCO}_3 < \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

世界各地で大理石像や大理石製の建造物が被害
ex. パンテオン(ギリシャ), タージマハール(インド)

酸性雨による陸水酸性化の影響



ゲリラ豪雨(雷雨)による都市洪水

都市型豪雨 = ゲリラ豪雨(雷雨)
短時間に局地的に降る, 予測が難しい
激しい降雨現象

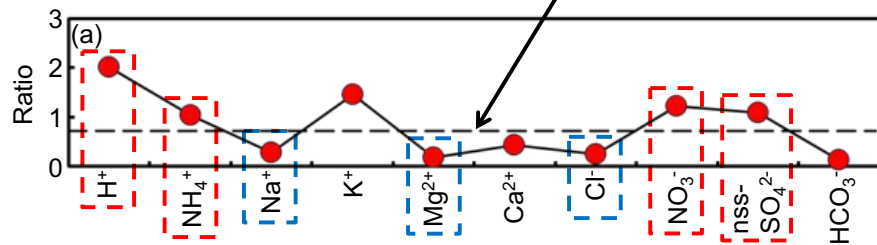


ゲリラ豪雨 (雷雨) の特徴

点線：降水量比 (降水量による希釈を補正)

⇒都市型豪雨/通常降雨比が点線を超えれば高濃度

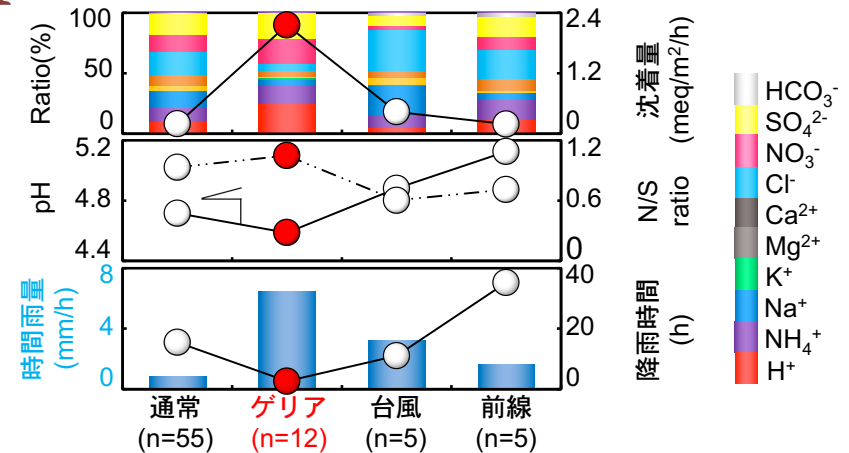
UHR/Normal rain Rainfall amount ratio (Normal/UHR)



都市型:酸性物質由来成分**高濃度**, 海塩由来成分**低濃度**

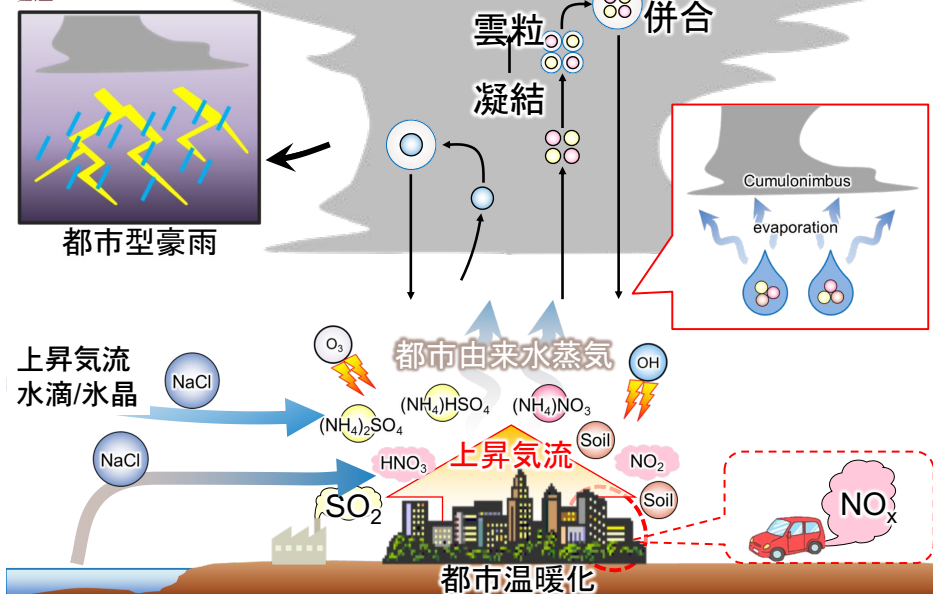
⇒都市型豪雨:酸性物質を大量洗浄⇒**大気汚染度:大**

ゲリラ豪雨 (雷雨) の特徴



□都市型豪雨の特徴
 湿性沈着量: 高, N/S比: 高(1<), pH: 低
 ⇒都市型豪雨: 硝酸の寄与が大

ゲリラ豪雨 (雷雨) の生成機構



地球規模汚染

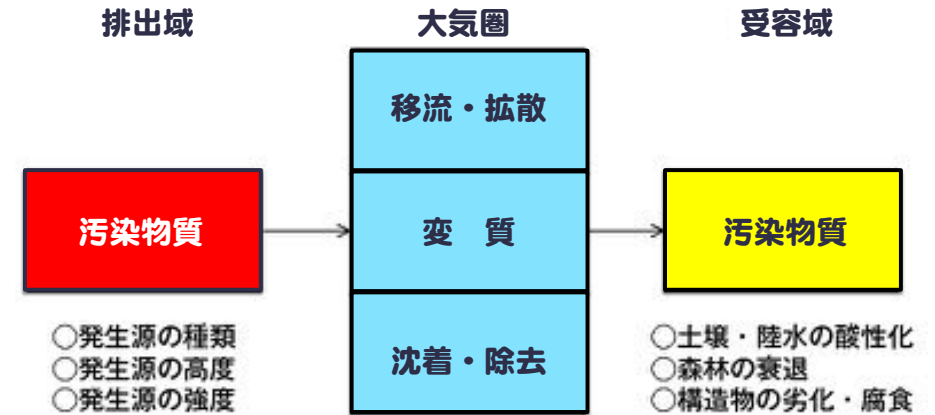
国境を越えた汚染問題



越境大気汚染とは？

越境大気汚染：

排出域 (ソース) \neq 受容域 (レセプター)

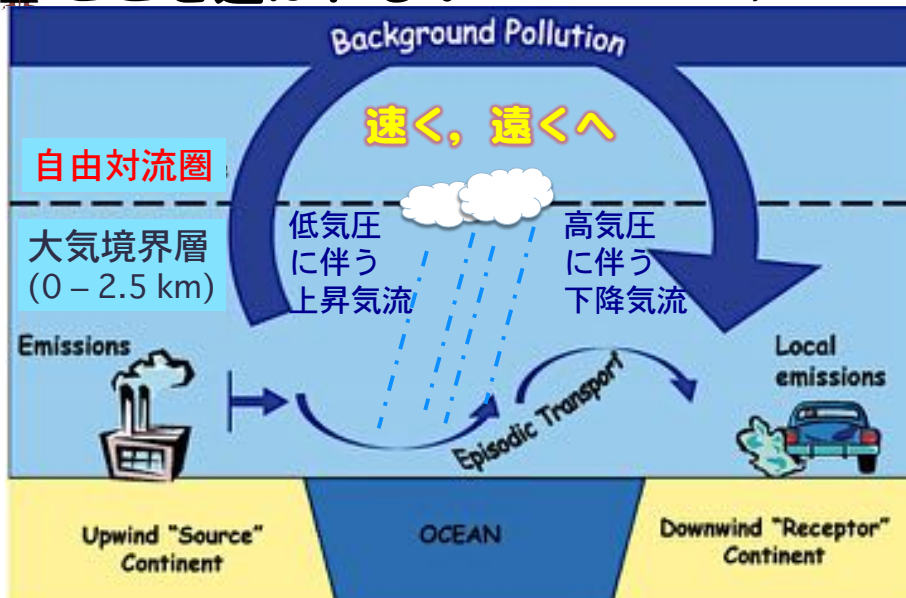


41 越境大気汚染



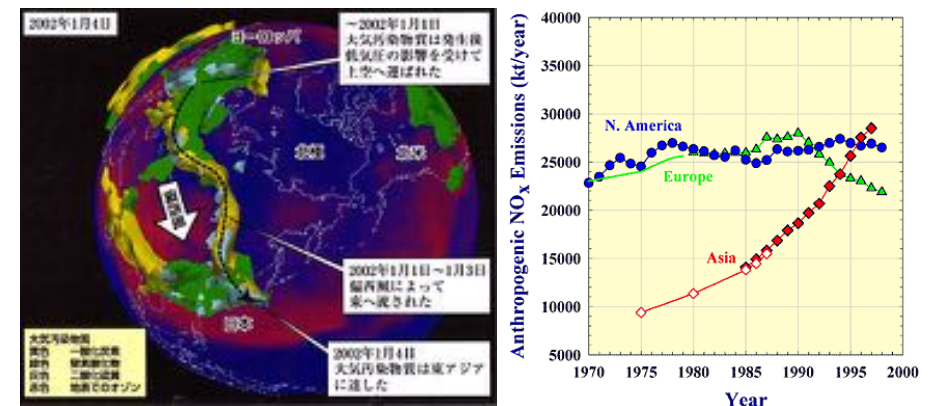
どこを運ばれる？

Holloway et al., 2003



越境大気汚染・大陸間輸送

半球大気汚染とも言われる



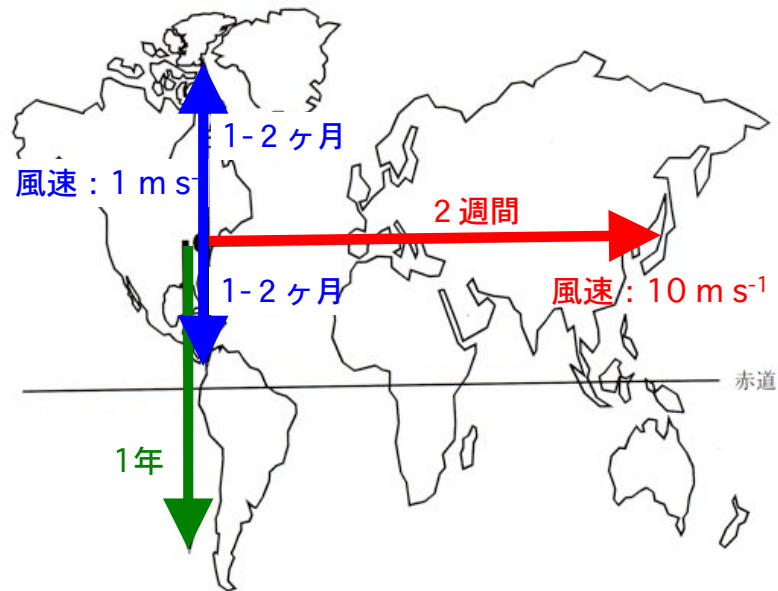
出典：地球環境フロンティア

<http://www.jamstec.go.jp/frsgc/jp/program/acrp/index.html>

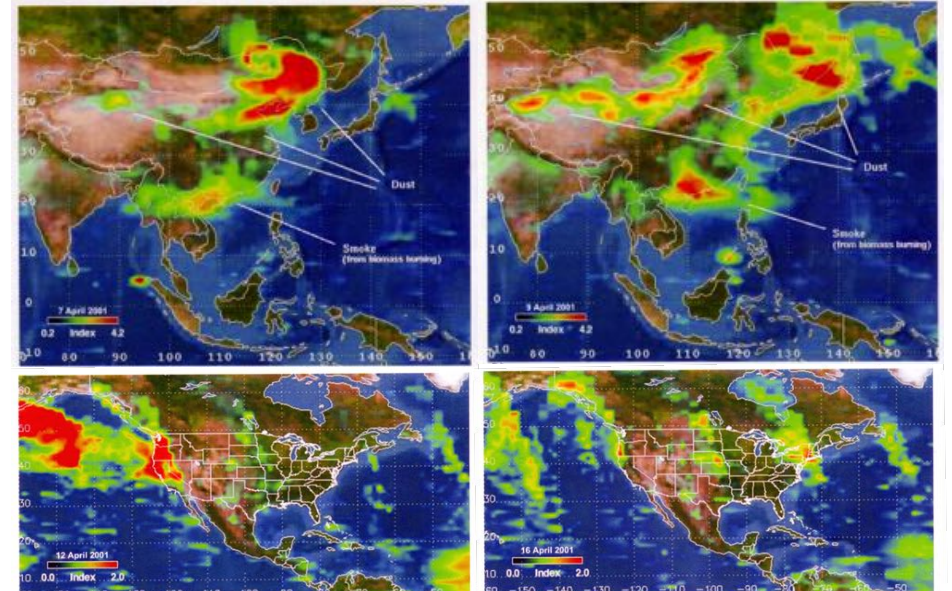
M. Naja, H. Akimoto and J. Staehelin, J. Geophys. Res., 108, 2003



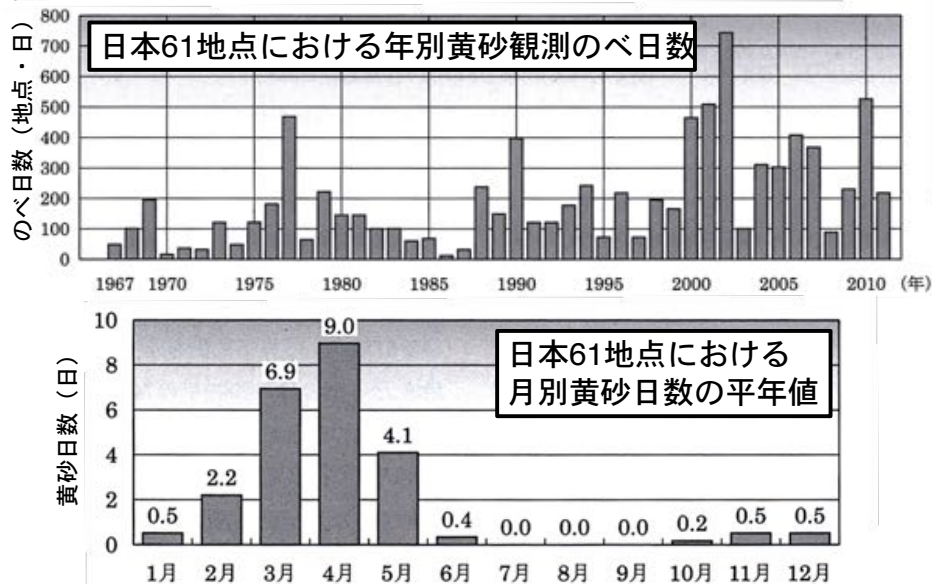
対流圏での水平輸送



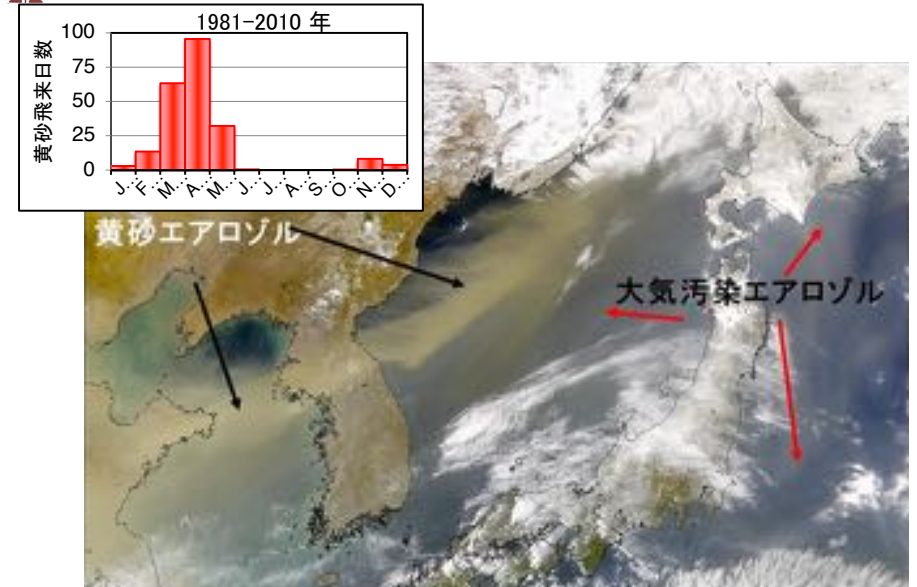
越境大気汚染：黄砂



越境大気汚染：日本における黄砂日数

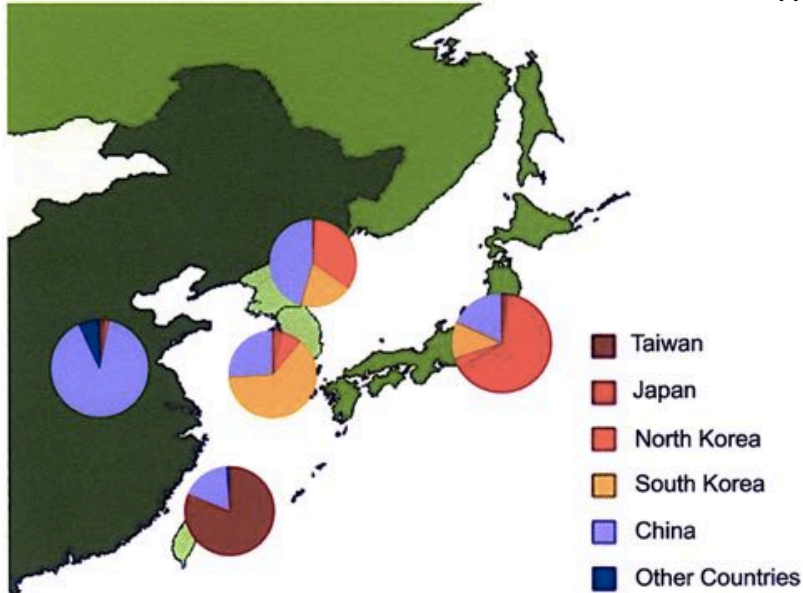


黄砂・人為起源粒子が日本に飛来

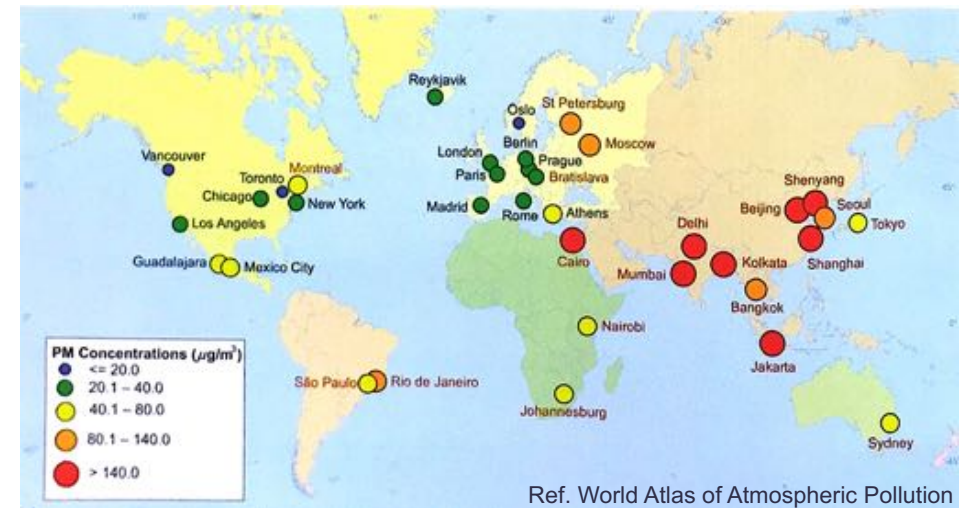




越境大気汚染：東アジアのNO_x



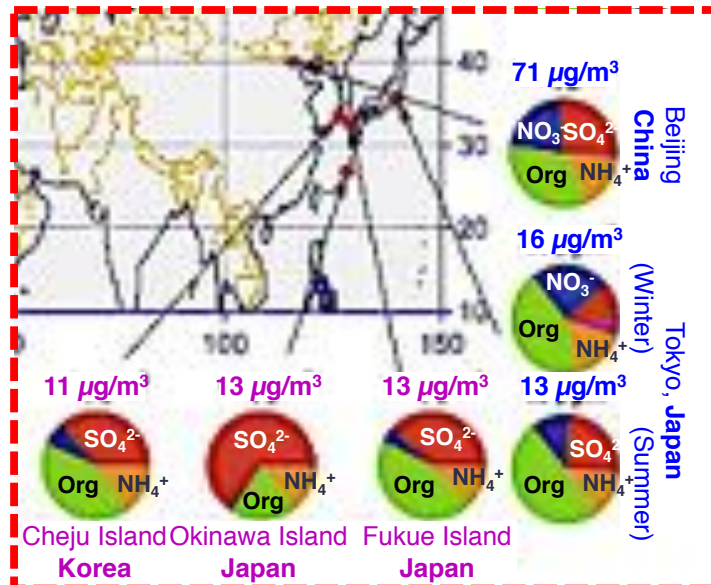
粒子状物質濃度の世界分布



粒子状物質汚染：アジアで顕著！



粒子状物質濃度：東アジアのPM2.5

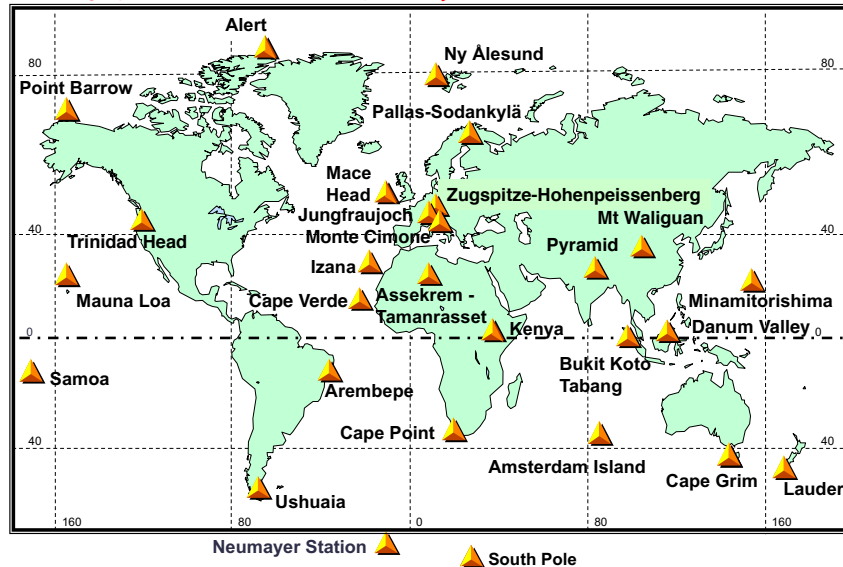


地球規模の汚染

有害化学物質による全球的な汚染



地球大気の監視：全球大気監視計画(GAW) 大気質の変化を早期発見，将来の地球環境を予測



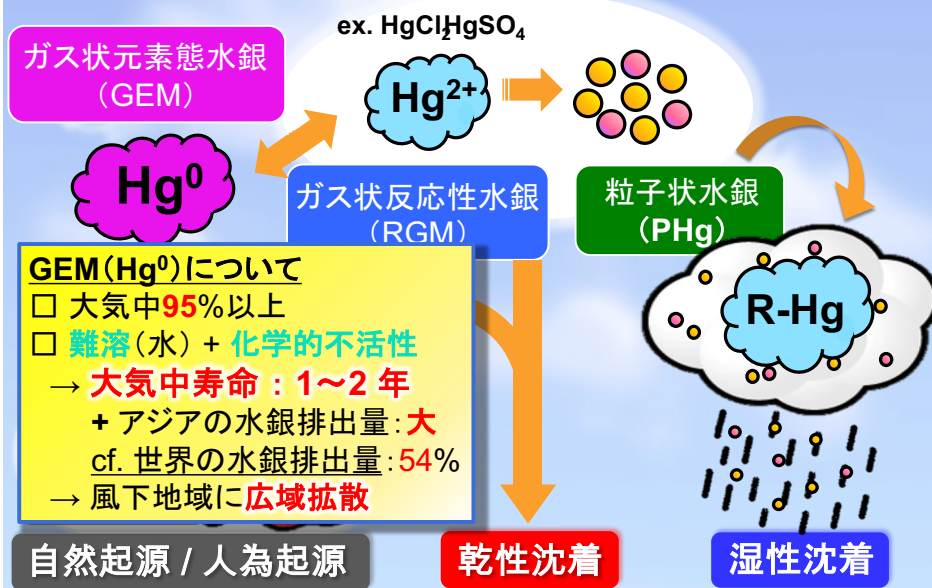
世界的の高所大気化学研究施設



高度3000 m以上の高所大気観測拠点



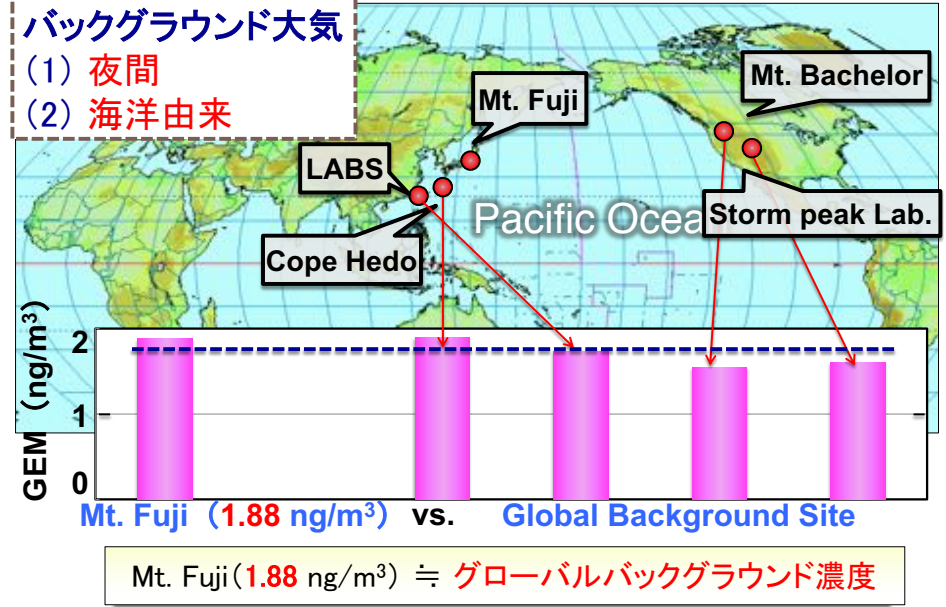
水銀の地球規模汚染



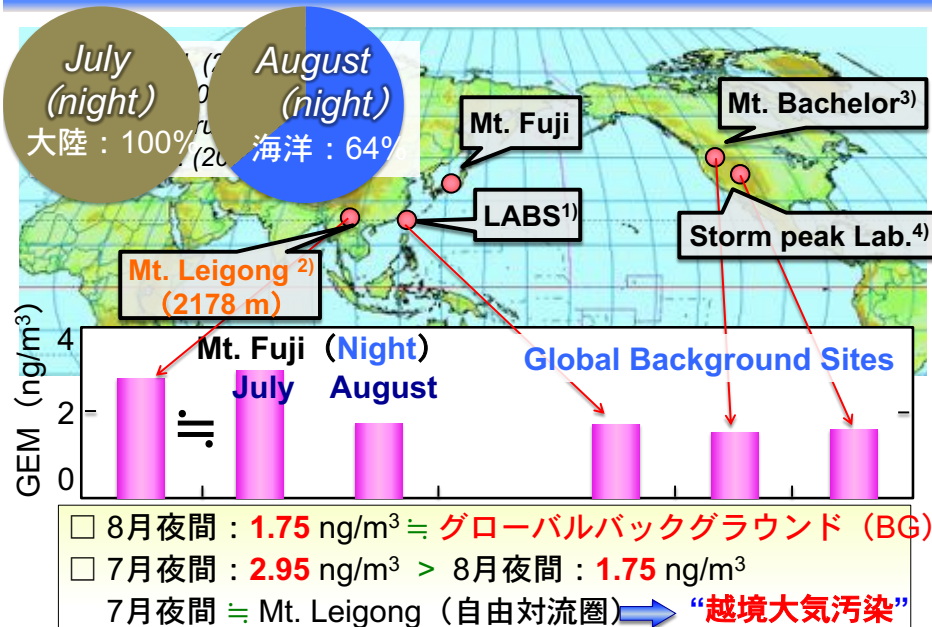
バックグラウンド濃度 (2014 - 2015)

バックグラウンド大気

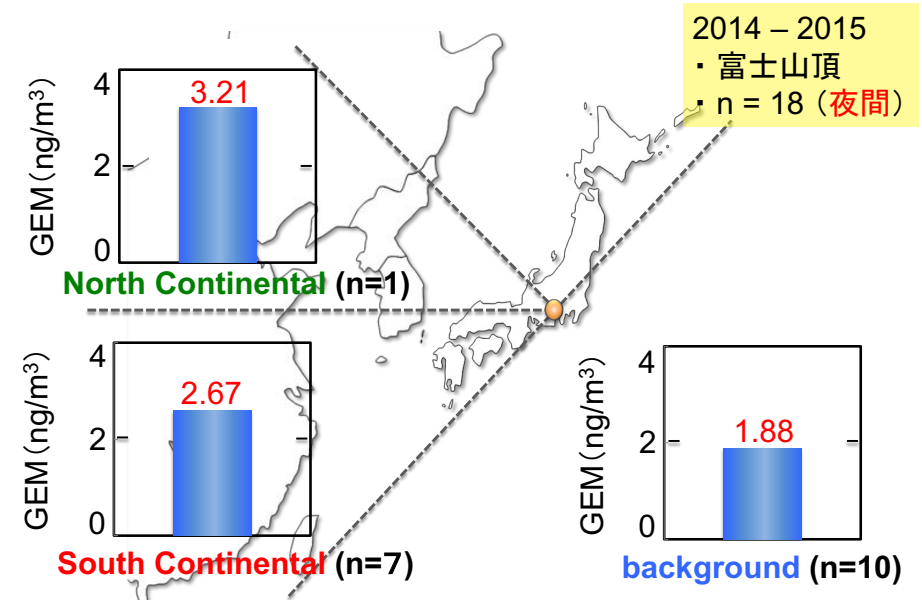
- (1) 夜間
- (2) 海洋由来



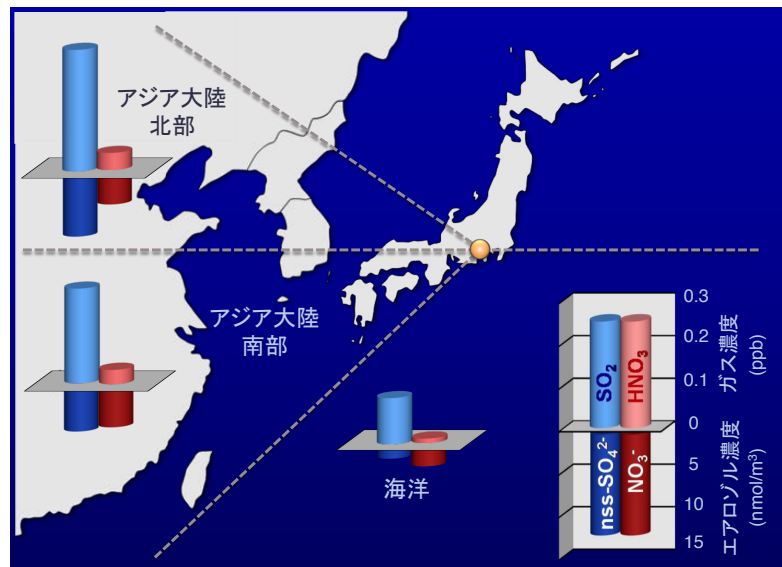
水銀：バックグラウンド汚染 2014年



水銀：越境大気汚染 2014年 - 2015年



■ 酸性物質：越境大気汚染



62

2018年度 環境科学概論

早稲田大学創造理工学部

大河内



富士山頂：越境汚染による雲水酸性化

