

令和元年6月11日現在

機関番号：17301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K17951

研究課題名(和文) 越境大気汚染が深刻な九州北部地域の樹木の葉に沈着した粒子状物質の継時的変化

研究課題名(英文) Seasonal change in the deposition of particulate matter on foliar surface of forest trees grown in the northern Kyushu region which faces the problem of transboundary air pollution

研究代表者

山口 真弘 (YAMAGUCHI, Masahiro)

長崎大学・水産・環境科学総合研究科(環境)・准教授

研究者番号：60736338

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：越境大気汚染が顕著な長崎に生育する常緑樹2種(ヒノキ、クスノキ)の葉に沈着した粒子状物質(PM)の量と金属組成の継時的変化を2017年4月から2018年11月にかけて調査した。葉面沈着PM量は、大陸からの気塊の輸送が顕著な春先に最も多く、この時期の葉面のPMには人為起源と考えられる鉛やヒ素、垂鉛などの元素が含まれていた。この鉛の同位体比は中国の石炭や鉛鉱石中のそれと同程度であったことから、中国大陸から越境輸送されたPMが長崎に生育する樹木の葉に沈着している実態が明らかになった。また、ヒノキの葉面沈着PM量はクスノキのそれよりも多かったことから、ヒノキはPMの影響を受けやすい可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、中国大陸からの微小粒子状物質(PM_{2.5})などによる越境大気汚染が問題視されている。PM_{2.5}の健康影響に関する研究はかなりの進展をみせているが、その植物影響に関する知見は非常に限られている。さらに、野外で生育する植物の葉にどのような成分の粒子状物質(PM)がどの程度沈着しているかといった、PMの植物への沈着実態も殆ど未解明である。そこで本研究では、越境大気汚染が顕著な長崎を調査地として、そこに生育する樹木であるヒノキやクスノキの葉面に沈着したPMの量と金属組成を調査した。その結果、中国大陸から越境輸送された鉛やヒ素を含むPMが長崎に生育する樹木の葉に沈着している実態が明らかになった。

研究成果の概要(英文)：We periodically collected particulate matter (PM) deposited on foliar surface of two Japanese evergreen forest tree species, *Chamaecyparis obtusa* and *Cinnamomum camphora*, grown in Nagasaki, Japan from April 2017 to November 2018. In both tree species, the amount of PM on foliar surface was high during spring when there was a high atmospheric concentration of PM with diameter less than 2.5 μm (PM_{2.5}) due to influence of outflow from Asian continent. In spring, concentrations of Pb, As and Zn, which could be originated from anthropogenic source, in the PM on foliar surface were also high. Most of the Pb isotope ratios (²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb and ²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb) in the PM were close to those observed in the Chinese coal and Pb ore. Therefore, Pb on the foliar surface could have originated from the coal combustion in China. As compared with *C. camphora*, the PM amount on the foliar surface of *C. obtusa* was high throughout the research period, indicating that *C. obtusa* could be sensitive to PM.

研究分野：植物生理生態学, 大気環境学

キーワード：越境大気汚染 粒子状物質 乾性沈着 森林 植物影響 濃縮係数 (EF値) 後方流跡線解析 PM_{2.5}

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

産業発展が著しい東アジア諸国と大気を共有する日本では、冬から春先にかけて、微小粒子状物質 (PM_{2.5}) などによる越境大気汚染が問題視されている。PM_{2.5} は地表面への沈着速度が低いため、大気中に長時間滞留し、国境を越えて長距離輸送される。しかし、PM_{2.5} の森林への沈着速度は高いことから、国土の 7 割近くを森林が占める日本においては、森林樹木に対する PM_{2.5} の影響が懸念される。特に、PM_{2.5} の排出量が著しい中国大陸に近い九州北部地域では、PM_{2.5} による越境大気汚染が顕著である。九州北部地域は気候が温暖であることから、冬季においても着葉している常緑樹が優先しているため、越境大気汚染が顕著な時期にこれらの樹木の葉に PM_{2.5} が大量に沈着している可能性が高く、その影響が強く懸念される。

粒子状物質 (PM) の植物影響に関する研究例は非常に限られているが、それらの研究結果に基づくと、PM が植物に及ぼす影響はその成分によって異なることが知られている (山口・伊豆田, 2016)。また、PM_{2.5} の一種である硫酸アンモニウム粒子の樹木影響を評価した実験的研究では、粒子の葉面への沈着量が多かった樹種はその影響を受けやすいことが示されている (Yamaguchi *et al.*, 2014)。したがって、野外で生育する樹木に対する PM の影響を評価するためには、野外の樹木の葉にどのような成分の PM がどの程度沈着しているかを明らかにする必要がある。しかしながら、日本の森林において樹木の葉の表面に沈着した PM の量や成分を継続的に調査した研究例は極めて限られており (e.g., Hara *et al.*, 2014)、越境大気汚染が顕著な九州北部地域での研究例やその成分を詳細に検討した研究例は報告されていない。

2. 研究の目的

越境大気汚染が顕著な九州北部地域に生育する樹木に対する PM の影響を評価するための基礎的知見を得るために、長崎を調査地として選定し、そこに生育する常緑針葉樹ヒノキと常緑広葉樹クスノキを対象としてそれらの葉に沈着した PM の量とその金属組成の継続的変化およびその樹種間差異を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 調査対象木と葉の採取

2017 年度においては、長崎県西彼杵半島長浦岳にある長崎県民の森 (長崎県長崎市神浦北大中尾町, 標高 559 m) の敷地内に生育するヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) の成木を対象とした。測定対象としたヒノキの葉は樹冠部より採取した。対象個体数は 3 個体とし、各個体の樹冠部 3 箇所から枝葉を採取した。対象とする葉は、1 年生ないし 2 年生葉とした。採取した枝葉から対象葉を切り分け、PM の葉面沈着量と金属組成の分析に供試した。葉の採取は 2017 年 4 月から 10 月にかけて月に 1~2 回、計 9 回行なった。

2018 年度においては、前述のヒノキに加え、長崎大学文教キャンパス (長崎県長崎市文教町, 標高 16 m) 構内に生育するクスノキ (*Cinnamomum camphora*) の成木も対象とした。測定対象とした葉は両樹種とも樹冠部より採取した。対象個体数はそれぞれ 3 個体とし、各個体の樹冠部 3 箇所から枝葉を採取した。ヒノキは 1 年生葉と 2 年生葉、クスノキは 1st フラッシュ葉を対象とした。採取した枝葉から対象葉を切り分け、PM の葉面沈着量と金属組成の分析に供試した。葉の採取は、2018 年 4 月から 11 月にかけて各樹種月に 1 回、計 8 回行なった。

(2) 葉面に沈着した PM の質量測定と葉表面ワックスの定量

樹冠部から採取して切り分けた葉を超純水で 3 分間洗浄し、降水や風などで洗脱される親水性の PM 等を洗い落とし、温風で葉面を乾燥させた。その後、クロロホルムで 20 秒間洗浄し、クチクラ表層のワックスを溶解させ、葉表面のワックスに付着していた疎水性の PM を抽出した。クロロホルムに抽出された PM は QR-100 と PTFE フィルターに順次捕集した。この時の濾液はワックスの定量のために蒸発乾固させ、重量法によってワックス量を求めた。捕集に用いた QR-100 と PTFE フィルターは濾過前と濾過後、それぞれにおいて約 24 時間デシケータ内で乾燥させ、電子天秤 (410g/mg, AsOne) を用いてその質量を測定した (それぞれ、PM_{Fa} および PM_{Fb}, mg)。洗浄後の葉は十分に風乾させ、面積計 (LI-3000A, LI-COR, Lincoln, NE, USA) にて葉面積 (投影面積) を測定し、その 2 倍の値を葉の表面積とした (Leaf Surface Area, LSA, m²)。葉面に沈着した PM の量 (PM_L, mg/m²) は、単位 LSA あたりの PM の質量として、以下の式から求めた。

$$PM_L = (PM_{Fa} - PM_{Fb}) / LSA$$

(3) 葉表面のワックスに沈着した PM の金属組成と鉛同位体比の分析

QR-100 および PTFE フィルターに捕集したワックスに付着していた疎水性の PM はマイクロ波試料前処理装置 (START D, MILESTONE, Italy) を用いて、easyWAVE / easyCONTROL 標準アプリケーションのプログラムに基づいて溶解させた。金属成分の分析には誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS, P-5000, 日立製作所, 日本) を用いた。そして、PM の発生源の指標性のある元素や生物毒性が知られている元素 16 種 (Na, Mg, Al, K, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, Pb) を測定対象とし、単位 LSA あたりの質量として表した。そして、これらの元素の合計値を葉面に沈着した PM 中の全金属元素量とした。また、4 種の Pb 同位体の濃度も測定し、その標準溶液には NMIJ CRM 3681-a No. 021 (国立研究開発法人 産業技術総合研究所) を用いた。

(4) 濃縮係数 (Enrichment Factor, EF 値) の算出

大気中の PM には、土の巻き上げなどに由来する自然起源の PM と自動車や工場等から排出される人為起源の PM がある。土の由来となる地殻の元素組成は、多少の変動はあるが、概ね一定であるので、土壌由来の PM の元素組成も概ね一定である。この性質を利用し、一般的に知られている地殻中の元素組成に基づいて算出した「Al に対する各元素 (X) の濃度比 ($([X]/[Al])_{\text{crust}}$)」 (Taylor and McLennan, 1995) に対して、大気中の PM の元素組成から算出した「Al に対する X の濃度比 ($([X]/[Al])_{\text{air}}$)」を比較し、この比 (EF 値) が 1 に近ければ、その元素は土壌由来の自然起源のものと判断できる。しかし、EF 値が著しく高かった場合、その元素は土壌由来の PM に含まれていたとは考えにくいと、人為起源の PM に含まれていた元素と判断されている (Zoller *et al.*, 1974)。本研究ではこの概念を葉面に沈着した PM に応用し、その元素組成から算出した「Al に対する各元素 (X) の濃度比 ($([X]/[Al])_{\text{LS}}$)」を用いて以下の式から EF 値を算出した。

$$\text{EF 値} = ([X] / [Al])_{\text{LS}} / ([X] / [Al])_{\text{crust}}$$

(5) 調査地周辺の大气中の PM_{2.5} 濃度

大気中における PM_{2.5} 濃度は、葉面に沈着した PM 量を左右する要因の 1 つであり、また越境大気汚染の 1 つの指標となるため、その濃度を長崎県大気環境速報システム (<https://n-taiki.pref.nagasaki.jp/graph/monthly>) より取得した。なお、長崎県民の森周辺の値として村松大気測定局および雪浦大気測定局のデータ (いずれも速報値) の平均値を用い、長崎大学文教キャンパス周辺の値として時津小学校大気測定局の値 (速報値) を用いた。

(6) 後方流跡線解析

後方流跡線解析は、風向や風速、および気温等の気象データを用いて、観測された大気汚染物質がどの経路を経て観測地点まで運ばれてきたのかを時間を遡って推定する方法である。本研究では、調査対象地である長崎県民の森 (北緯 32.90649 度, 東経 129.737277 度, 高度 600 m) を出発点として等圧面流跡線解析を行なった (解析時間: 48 時間)。本解析は Air Resources Laboratory のサイト (<https://ready.arl.noaa.gov/hypub-bin/trajtype.pl?runtype=archive>) で行なった。

4. 研究成果

(1) 2017 年度の研究成果

ヒノキの葉面に沈着した PM 中の全金属元素量は春先に最も高く、夏季に低かった (図 1)。金属元素を含む疎水性の PM は葉表面のワックスに強固に付着することが知られていることから (e.g., Dzierżanowski *et al.*, 2011)、この葉面の PM 中の全金属元素量の増減の要因として、PM 沈着量の負荷源となる大気中の PM_{2.5} 濃度だけでなく、葉表面のワックス量も挙げられる。大気中の PM_{2.5} 濃度は、調査地周辺では春季に高濃度日が出現し、高い傾向が認められたが、夏季に顕著に低いわけではなかった (図 2)。一方、葉表面のワックス量は春季に最も高く、その後夏季にかけて低下する傾向を示した (図 3)。さらに、葉面 PM 中の全金属元素量とワックス量の間には有意な正の相関が認められた ($R=0.799, p<0.01, n=9$)。したがって、春季に葉面 PM 中の全金属元素量が高かった原因として、大気中の PM_{2.5} 濃度が高かったことに加えて、葉表面のワックス量が多かったことが考えられた。また、夏季に葉面 PM 中の全金属元素量が減少した原因として、ワックス量の減少が考えられた。

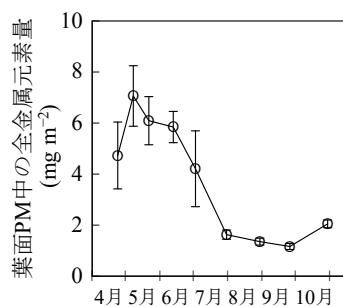


図1. ヒノキの葉面PM中の全金属元素量の継時的変化 (2017年). 各値は3個体の平均値, エラーバーはその標準偏差を示す.

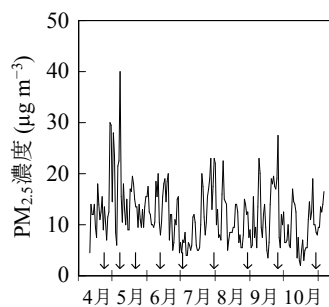


図2. 長崎県民の森周辺で観測された2017年4月から10月における日平均PM_{2.5}濃度. 矢印はヒノキの葉の採取日を示す.

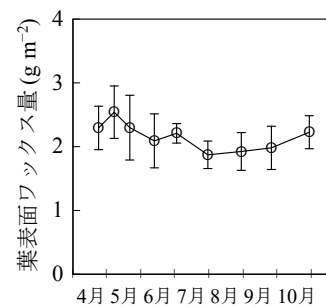


図3. ヒノキの葉表面ワックス量の継時的変化 (2017年). 各値は3個体の平均値, エラーバーはその標準偏差を示す.

葉面 PM 中の主要金属元素は K、Ca、Mg および Na であり、いずれも春先に高かったが、これらの元素は土壌粒子や海塩粒子の主要成分であり、これらの EF 値はいずれの時期においても 50 未満であったことから (データは示さず)、自然起源の元素であると考えられた。一方、微量元素元素として Pb、Ni、Cu、Zn および As も検出され、これらの葉面沈着量も春先に高かった (図 4, Pb のみ図示)。これらの EF 値はいずれの時期においても 650 以上を示したことから

(表 1)、人為発生源由来の PM 中に含まれていた元素であると考えられた。

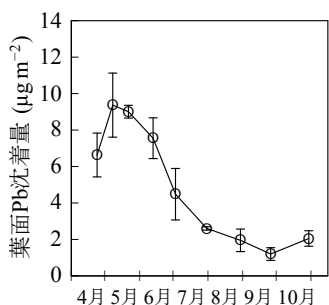


図4. ヒノキの葉面Pb沈着量の継続的変化 (2017年). 各値は3個体の平均値, エラーバーはその標準偏差.

表1. ヒノキの葉面PM中のPb, Ni, Cu, ZnおよびAsのEF値 ($\times 10^3$) の最大値と最小値および観測日 (2017年).

元素	最大値		最小値	
	EF 値	観測日	EF 値	観測日
Pb	2.27 (0.48)	6月13日	0.65 (0.23)	9月26日
Ni	6.98 (1.48)	6月13日	2.55 (0.10)	8月30日
Cu	2.85 (0.64)	7月31日	0.83 (0.19)	9月26日
Zn	3.38 (0.93)	7月31日	1.54 (0.63)	5月8日
As	6.52 (1.24)	6月13日	2.29 (0.82)	9月26日

各値は3個体の平均値, 括弧内の値はその標準偏差.

人為起源の元素であると考えられたこれらの元素の沈着量が増えた春先の期間のうち、調査値周辺の PM_{2.5} 濃度が高かった期間 (図 2) に、後方流跡線解析を行なった結果、PM 中の Pb や Ni, Cu, Zn, As の濃度が高い中国東部および北部の都市 (鄭州市, 石家荘市, 天津市) (Duan and Tan, 2013) から長崎に気塊が輸送されている可能性が示された (図 5)。PM の起源の指標として PM 中の Pb/Zn 比が用いられていることから (Kaneyasu *et al.*, 2014)、ヒノキの葉面における Pb と Zn の沈着量の関係を調べた結果、有意な正の相関が認められ、概ね Pb/Zn = 0.4 の比でそれらの量が増減していた ($y = 0.399x - 5.61, R^2 = 0.955, p < 0.001, n = 8$)。この比は、日本の PM 中の Pb/Zn 比 (0.29) よりも、中国のその比 (0.43) に近い値であった (Okuda *et al.*, 2013)。そして、発生源に依存した特徴的な値を示す Pb 同位体比を測定した結果、春季の値は中国の石炭中の Pb 同位体比 ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$: 0.850-0.876, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$: 2.07-2.16) (Hu *et al.*, 2015) と同様かそれに近い値であった (図 6)。したがって、大陸からの気塊の輸送が卓越する春先には、中国大陸から越境輸送された Pb や Zn などを含む PM が長崎に生育するヒノキの葉に沈着していることが示された。これらの結果は、長崎などの九州北部地域に生育するヒノキなどの樹木は、中国大陸からの PM_{2.5} などによる越境大気汚染の影響下にある可能性を示している。

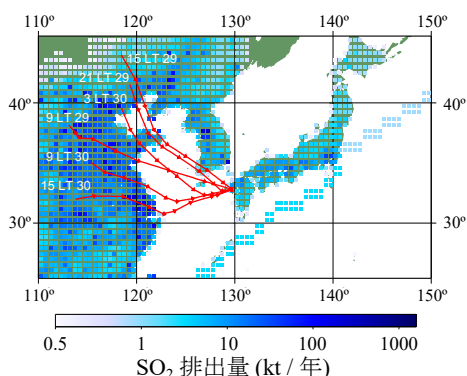


図5. 2017年4月29日9時から4月30日15時 (日本時間) における等圧面流跡線解析の結果 (48時間). 矢印は6時間毎の区切りを、スケールバーは2000年における年間SO₂ 排出量を示す (引用: REAS1.11).

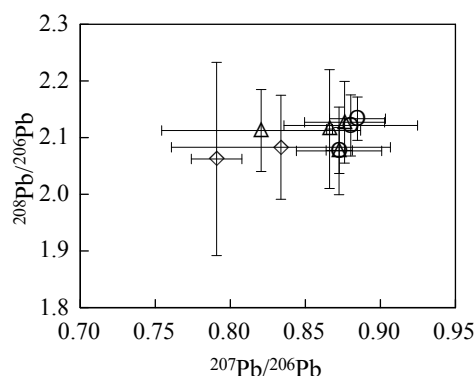


図6. ヒノキの葉面に沈着したPM中の $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ と $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ の関係. ○: 春季 (4, 5月), △: 夏季 (6, 7, 8月), ◇: 秋季 (9, 10月). 各値は3個体の平均値を、エラーバーはその標準偏差を示す.

(2) 2018年度の研究成果

長崎市の郊外に生育するヒノキと市街地に生育するクスノキの葉に沈着した PM 量の継続的変化を図7に示した。ヒノキの葉面沈着 PM 量は、いずれの時期においてもクスノキより多く、4 倍から 15 倍の値を示していた。しかし、各樹種の生育地周辺における大気中の PM_{2.5} 濃度には、沈着量ほどの顕著な差は認められなかったことから (図 8)、クスノキと比較するとヒノキの葉面には PM が沈着しやすいことが考えられる。このことは、大気中

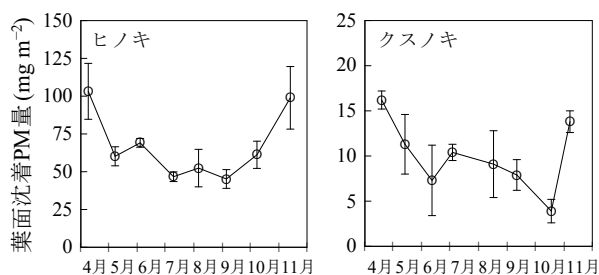


図7. ヒノキとクスノキの葉面に沈着したPM量の継続的変化 (2018年). 各値は3個体の平均値, エラーバーはその標準偏差を示す.

のPM_{2.5}濃度が同程度であっても、ヒノキにはPMが多量に沈着するため、クスノキよりもその影響を受けやすい可能性を示している。ここで、葉面に沈着したPMの量は葉表面のワックス量に左右されることが知られている (e.g., Dzierżanowski *et al.*, 2011)。2016年に予備的に行なった調査では、クスノキの葉表面のワックス量は着葉期間中0.3~0.4 g m⁻²程度で推移していたが(データは示さず)、ヒノキのそれはその5~8倍であった(図3)。したがって、葉面沈着PM量の樹種間差をもたらす要因の一つとして、葉表面のワックス量の樹種間差が考えられた。これらの結果は、大気中のPM_{2.5}濃度が同程度であっても、葉表面のワックス量が多い樹木は葉面沈着PM量が多くなり、PMの影響を受けやすい可能性を示している。

葉面沈着PM量の継時的変化には、郊外のヒノキと市街地のクスノキとの間に顕著な違いは認められず、春季に最も高い値を示し、夏季に減少したのち、秋季に再び増加した(図7)。春季は期間を通じてPM_{2.5}濃度が高く(図8)、春季だけでなく秋季においても高濃度のPM_{2.5}が観測されており、この期間を対象に後方流跡線解析を行なった結果、中国大陸からの気塊の輸送が顕著であった(データは示さず)。そこで、春季や秋季の葉面に沈着したPMの発生源を推定するために、4月、8月および11月に金属組成の分析を行ない、そのうち、国内において発生源が著しく少ないPbに着目した。PbのEF値はいずれの時期においても著しく高い値を示したことから(553~2334)、ヒノキとクスノキの葉面に沈着したPbは人為起源のPM中に含まれていたと考えられる。そして、Pb同位体比(²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb)を測定した結果(図9)、春季と秋季におけるこの値は、中国の鉛鉱石や石炭中の範囲(2.07-2.26)(Cheng and Hu, 2010; Hu *et al.*, 2015)内の値を示した。したがって、春季と秋季においては、中国大陸で利用された鉛鉱石や石炭を発生源とするPMが越境輸送され、長崎に生育するヒノキやクスノキの葉に沈着していたと考えられる。

ヒノキとクスノキの葉面におけるPb沈着量と有意な正の相関を示した元素はAs、CuおよびZnであり(それぞれR=0.979, p<0.05; R=0.823, p<0.05; R=0.843, p<0.05。いずれもn=6)、これらのEF値も著しく高い値を示した(As: 1570~12665, Cu: 750~1966, Zn: 1531~7152)。これらの結果は、ヒノキとクスノキの葉面に沈着したAs、CuおよびZnは人為起源のPM中に含まれ、かつ、Pbと同様の発生源に由来していることを示している。したがって、両樹種の葉面に沈着したPM中のAs、CuおよびZnも、大陸における石炭燃焼や鉛鉱石の利用を起源とするPMに含まれていた元素であったと考えられた。以上の結果から、PbやAs、CuおよびZnを含むPMが中国大陸から越境輸送され、長崎の郊外や市街地に生育するヒノキやクスノキなどの葉に沈着していることが示された。このことは、長崎などの九州北部地域に生育する常緑樹は中国大陸からのPM_{2.5}などによる越境大気汚染の影響下にある可能性を示している。

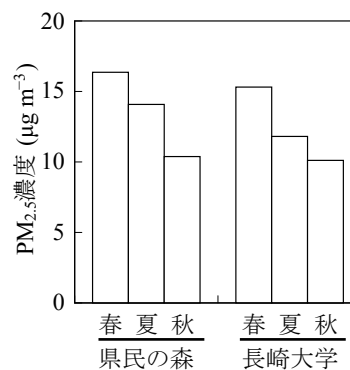


図8. 調査地周辺の平均PM_{2.5}濃度(2018年). 県民の森: ヒノキの生育地, 長崎大学: クスノキの生育地. 春: 3~5月, 夏: 6~8月, 秋: 9~11月.

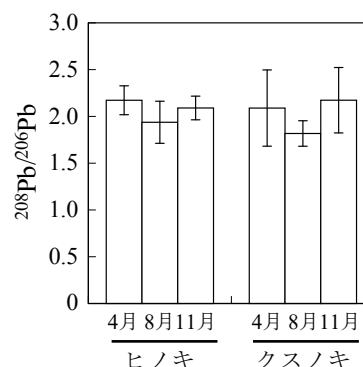


図9. ヒノキとクスノキの葉面に沈着したPM中の²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb(2018年). 各値は3個体の平均値, エラーバーはその標準偏差.

<引用文献>

- Cheng, H., Hu, Y. (2010) Lead (Pb) isotopic fingerprinting and its applications in lead pollution studies in China: A review. *Environmental Pollution* **158**, 1134-1146.
- Duan, J., Tan, J. (2013) Atmospheric heavy metals and arsenic in China: Situation, sources and control policies. *Atmospheric Environment* **74**, 93-101.
- Dzierżanowski, K., Popek, R., Gawrońska, H., Sæbø, A., Gawroński, S.W. (2011) Deposition of particulate matter of different size fractions on leaf surfaces and in waxes of urban forest species. *International Journal of Phytoremediation* **13**, 1037-1046.
- Hara, H., Kashiwakura, T., Kitayama, K., Bellingrath-Kimura, S.D., Yoshida, T., Takayanagi, M., Yamagata, S., Murao, N., Okouchi, H., Ogata, H. (2014) Foliar rinse study of atmospheric black carbon deposition to leaves of konara oak (*Quercus serrata*) stands. *Atmospheric Environment* **97**, 511-518.
- Hu, N., Huang, P., Zhang, H., Zhu, A., He, L., Zhang, J., Liu, J., Shi, X., Ma, D. (2015) Tracing the Pb origin using stable Pb isotope ratios in sediments of Liaodong Bay, china. *Continental Shelf Research* **111**, 268-278.
- Kaneyasu, N., Yamamoto, S., Sato, K., Takami, A., Hayashi, M., Hara, K., Kawamoto, K., Okuda, T., Hatakeyama, S. (2014) Impact of long-range transport of aerosols on the PM_{2.5} composition at a major metropolitan area in the northern Kyushu area of Japan. *Atmospheric Environment* **97**,

416-425.

- Okuda, T., Takada, H., Kumata, H., Nakajima, F., Hatakeyama, S., Uchida, M., Tanaka, S., He, K., Ma, Y. (2013) Inorganic chemical characterization of aerosols in four Asian mega-cities. *Aerosol and Air Quality Research* **13**, 436-449.
- REAS (Regional Emission inventory in ASia) 1.11 (<http://www.jamstec.go.jp/frsgc/research/d4/emission.htm>)
- Taylor, S.R., McLennan, S.M. (1995) The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics* **33**, 241-265.
- Zoller, W.H., Gladney, E.S., Duce, R.A. (1974) Atmospheric concentrations and sources of trace metals at the South pole. *Science* **183**, 198-200.
- Yamaguchi, M., Otani, Y., Li, P., Nagao, H., Lenggono, I. W., Ishida, A., Yazaki, K., Noguchi, K., Nakaba, S., Yamane, K., Kuroda, K., Sano, Y., Funada, R. and Izuta, T. (2014) Effects of long-term exposure to ammonium sulfate particles on growth and gas exchange rates of *Fagus crenata*, *Castanopsis sieboldii*, *Larix kaempferi* and *Cryptomeria japonica* seedlings. *Atmospheric Environment* **97**,493-500.
- 山口真弘, 伊豆田 猛 (2016) 大気環境と植物 -第1講 植物に対するエアロゾル (PM_{2.5}) の影響-. *大気環境学会誌* **51**, A30~A36.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

- ① Yamaguchi, M., Tsuji, S., Ogata, K., Ide, H., Matsushita, T. and Murao, N. (2019) Deposition of long-range transported particulate matter on the needle surfaces of Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*) grown in Nagasaki located in the western region of Japan. *Journal of Agricultural Meteorology* **75** (1), 30-38. (査読あり)

〔学会発表〕 (計 4 件)

- ① 山口真弘, 辻 彩加, 緒方佳澄, 村尾直人. 長崎に生育するヒノキの葉に沈着した粒子状物質の量と金属組成の継時的変化. 第 130 回日本森林学会大会. 新潟県新潟市, 2019 年 3 月 20-23 日. 一般講演 (口頭発表).
- ② Yamaguchi, M., Tsuji, S., Ogata, K. and Murao, N. Deposition of long-range transported particulate matter on the needle surfaces of Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*) grown in Nagasaki located in the western region of Japan. 4th Asian Air Pollution Workshop. Nanjing, China, 20-22 Oct. 2018. 一般講演 (ポスター発表).
- ③ 山口真弘. 長崎における大気汚染の植物影響評価. 第 59 回 大気環境学会年会. 福岡県春日市, 2018 年 9 月 12-14 日. 招待講演 (口頭発表).
- ④ 山口真弘, 辻 彩加, 緒方佳澄, 村尾直人. 長崎県の主要針葉樹ヒノキの葉に沈着した粒子状物質の量と金属組成の継時的変化. 第 59 回 大気環境学会年会. 福岡県春日市, 2018 年 9 月 12-14 日. 一般講演 (口頭発表).

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

特になし

6. 研究組織

(1)研究分担者: なし

(2)研究協力者

村尾 直人 (MURAO, Naoto)、緒方 佳澄 (OGATA, Kasumi)、辻 彩加 (TSUJI, Sayaka)、坂井 真唯 (SAKAI, Mai)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。