

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月1日現在

機関番号：15401
研究種目：基盤研究（B）
研究期間：2009～2011
課題番号：21310023
研究課題名（和文） 大気汚染による植物の環境ストレスを活性酸素消去剤を用いて緩和する方法の検討
研究課題名（英文） Reduction of air pollution stress of plant using scavengers of reactive oxygen species
研究代表者
佐久川 弘（SAKUGAWA HIROSHI）
広島大学：大学院生物圏科学研究科・教授
研究者番号：80263630

研究成果の概要（和文）：

大気汚染物質（オゾン、硫酸、多環芳香族炭化水素）を、様々な高等植物（アカマツ、ペチュニア、トマト、イチゴ、ナス、インゲンマメ）に単独及び複合暴露する実験を数か月間温室内で実施し、暴露前後の光合成活性、可視障害、生長量の測定を行った。その際、マンニトールなどの活性酸素消去剤を併せて暴露する実験を行い、これらの汚染物質の負の影響を予防・抑制するかを検証した。その結果、マンニトールにより前処理した植物は、汚染物質の負の影響をいずれも有意に抑制することが明らかになった。したがって、マンニトールを用いる方法は、大気汚染物質から高等植物を保護するのに有用な技術であると思われる。

研究成果の概要（英文）：

Air pollutants such as ozone, sulfuric acid, nitrous acid and polycyclic aromatic hydrocarbons were exposed to Japanese red pine, petunia, tomato, strawberry, eggplant and kidney bean for 1-3 months. Single or multiple pollutants were exposed on the plants in open top chambers or greenhouse. Photosynthetic activities, visual injuries and growth rates of the plant samples were measured before and after the treatments with these pollutants. Pre-treatment with sprays of scavengers of reactive oxygen species such as mannitol has significantly mitigated negative effects of abovementioned air pollutants on plants. The use of mannitol may be a promising technique to protect higher plants from air pollutants.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
2010年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2011年度	3,200,000	960,000	4,160,000
年度			
年度			
総計	12,800,000	3,840,000	16,640,000

研究分野：環境化学

科研費の分科・細目：環境学・環境影響評価・環境政策

キーワード：大気汚染、オゾン、活性酸素、環境ストレス、植物

1. 研究開始当初の背景

大気汚染や酸性雨／霧は、森林の衰退や農作物の収量低下、生態系の破壊等、様々な植

物影響を及ぼすことが知られている。中国地方ではアカマツ (*Pinus densiflora*) やナラ類の立ち枯れがみられており、その要因の1つに大気汚染物質による影響が示唆されている。植物被害をもたらす代表的物質として、オゾン、二酸化硫黄、窒素酸化物、硫酸や硝酸などの酸性物質、そして微細粒子や多環芳香族炭化水素 (PAH) などの自動車排ガス成分などがある。特に、オゾンは、地球規模での濃度上昇が 20 世紀以降続いており、その影響が今後ますます顕著になることが懸念されている。アジア地域などで日中平均オゾン濃度が 20 から 40ppb へ増加することにより、イネ、コムギ、ダイズ等の主要穀物の収量が 5-20%低下することが見積もられており(小林和彦,資源環境対策,6,2007)、地球温暖化と同様に深刻な問題である。これらの汚染物質の植物影響を防止する研究は今日まで多く行われているが、有効な解決策を見いだせない状況にある。汚染物質に耐性をもつ遺伝子組換え植物の開発は、有効策の一つであるが、病虫害の影響、収量の低下、生態系の攪乱等の懸念がある。

一般に植物は、オゾンなどの酸化ストレス以外にも、様々な環境ストレス、たとえば、水ストレス、塩類ストレス、低温ストレス、重金属ストレスなどにおいて活性酸素(O_2 、 1O_2 、 H_2O_2 、OH ラジカルなど)を発生させることが知られている。発生した活性酸素は、植物細胞内の標的分子の酸化分解に関与することで様々な傷害が発生するとされる(浅田、蛋白質核酸酵素 44,2230,1999)。したがって、活性酸素を除去する抗酸化能力の有無が植物の環境ストレスへの耐性に特に重要である。このことから、活性酸素消去剤を植物に投与することで、環境ストレスを人為的に緩和、抑制する方法が考えられる。たとえば、アスコルビン酸などの活性酸素消去剤をあらかじめ投与することで、イネの塩類ストレスによる葉緑体の傷害を緩和できることが報告されている (Yamane et al., Plant Prod. Sci.7,292,2004)。

報告者は、オゾンなどの大気汚染物質の植物影響に関する研究を行っており、その過程で活性酸素消去剤の一つであるマンニトール(糖アルコール、 $C_6H_{14}O_6$)を投与することで大気汚染物質の酸化ストレスを緩和することが可能であることを発見した。オゾン以外にも、亜硝酸のように液相中で光化学的に OH ラジカルを生成する汚染物質にも、さらに PAH にも、マンニトールは有効であることが明らかにされた。マンニトールは、アスコルビン酸などと同様に、代表的な OH ラジカル消去剤である。このマンニトールの 1 m M 溶液を植物葉面に週 3-6 回噴霧することで、オゾン暴露 (120ppb) によるアカマツやトマトの光合成活性低下や生長量減少を抑

制することが可能であった。

さらに、重要な発見として、マンニトールのみでなく、他の活性酸素消去剤、たとえばスーパーオキシドジスムターゼ (SOD) (O_2 消去剤) やカタラーゼ (H_2O_2 消去剤) などの活性酸素消去系酵素でも、植物葉面に同様に暴露することにより、その抑制が可能であったことである。したがって、植物細胞における活性酸素発生系(汚染物質暴露 $\rightarrow O_2$ 発生 $\rightarrow H_2O_2$ 発生 $\rightarrow OH$ 発生)の一つの経路のみでも遮断することで、オゾンなどの酸化ストレスを緩和することが可能であると推察される。応募者のこれまでの研究を進展させて、様々な植物種(針葉樹、広葉樹、草本植物など)においても、大気汚染物質による酸化ストレスを緩和できるかを実証することは大きな意義があると考えられる。使用する活性酸素消去剤の経済性、安全性、操作性などについても検討する必要がある。さらに、オゾン以外の様々な大気汚染物質や水ストレスなどの環境ストレスが存在する実際の現場環境においても、活性酸素消去剤の有効性が保持されるかを検証する必要がある。

亜硝酸は主な窒素酸化物の不均一反応あるいは燃焼機関からの直接排出といった人為起源由来の大気汚染物質である。大気中の亜硝酸濃度は 0.1-10 ppb、郊外で 0.01-1.0 ppb である (Lammel and Cape, Chemical Society Review, 25, 361,1996)。亜硝酸ガスはヘンリー定数が高い ($49 M atm^{-1}$) ために気相中から露などの液相中へと移動する。例えば、松枯れがみられた広島県廿日市市極楽寺山におけるアカマツ針葉上の露水中では 0.6-7.7 μM であった (Nakatani et al., Water, Air and Soil Pollution, 130, 397, 2001)。液相中では亜硝酸は光化学反応によって分解され OH ラジカルおよび一酸化窒素ラジカル (以降 NO ラジカル) を生成する。OH ラジカルの植物影響に関しては多くの知見が得られているのに対し、NO ラジカルの影響についての知見はほとんど得られていない。NO は高濃度条件で細胞膜の破壊、低濃度条件でストレス耐性の上昇・葉の成長促進といった影響があることが報告されている (Qiao and Fan, Journal of Integrative Plant Biology, 50, 1238, 2008)。一方、亜硝酸イオン自体は気孔から植物に吸収されると窒素源として利用されることはよく知られている (Rennenberg and Gessler, Water, Air and Soil Pollution, 147, 532, 1999)。したがって、亜硝酸の植物影響評価を行うには、上記の異なる作用がどのように影響するかを考える必要がある。本研究ではラジカル消去剤を用いることによって、亜硝酸による作用を分離し、アカマツおよびイチゴへの NO ラジカルの影響についての総合的な評価を試みた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、1) オゾンなどの大気汚染物質による酸化ストレスを緩和する方策として、大気汚染物質に暴露された植物種に、活性酸素消去剤の投与を行い、その有効性を検証することである。2) また、複数の大気汚染物質を同時に植物に暴露することで、実際の大気環境下でも活性酸素消去剤の有効性が損なわれないかを確認することも目的とする。3) NO ラジカルの植物影響について暴露実験により解明する。

3. 研究の方法

試薬：溶液や試薬の調整には超純水(Milli-Q水)を用いた。フェナンスレンおよびフルオランテン(ナカライテスク株)、D-(-)マンニトール(東京化成工業株)の試薬を使用した。フェナンスレンおよびフルオランテンはアセトン(シグマアルドリッチジャパン株)に溶解させ、超純水で希釈し、 $10\mu\text{M}$ に調整した(アセトン濃度0.5%)。マンニトールは超純水で希釈し、 1mM に調整した。硫酸(片山化学工業、有害金属測定用) 0.562 mL を超純水溶解して 200 mL とし、 0.05 M 硫酸溶液を作成した。亜硝酸イオン溶液(数百 μM)は、市販の亜硝酸ナトリウム(特級)を超純水に溶解させて作成した。オゾンはオゾン発生器(ED-OG-S5、エコデザイン株)を使用して発生させ、オープントップチェンバー内濃度を 120ppb (12時間/日)に調整した。

試料：試料にはポット植えの二年生アカマツ(福岡産)を用いた。アカマツ苗木は樹脂製ポット(容量約 28 L)に定植した。ポット内にはマサ土、ホワイトローム(東邦レオ)、イソライト(イソライト工業)、および腐植土(緑産業)を体積比 $11:2:2:4$ で混合した土壌 21 L を充填した。土壌表面には広島大学構内のアカマツ林のリター 50 g を敷き詰めた。イチゴ(*Fragaria L.*, 品種名:さちのか)は、購入した苗を 8.0 L ポットにマサ土(5 mm メッシュ)と市販の土(アイリスオーヤマ社, 組成:バーク堆肥, ピートモス, ボラ, 炭, 肥料) $1:1$ に、元肥(JOYアグリ社, 組成:N 4%, P 7%, K 4%, Mg 1%, Ca 9%)約 12 g/pot を直接根に触れないように与えた。アカマツおよびイチゴを植えたポットは日当たりの良い圃場の紫外線を透過するフィルム(AGCグリーンテック社、エフクリーン®)で覆ったハウス内に設置し毎朝水道水を与えた。

ペチュニア(*Impatiens spp.*)、トマト(*Lycopersicon esculentum* Mill)、ナス(*Solanum melongena*)苗を購入し、樹脂製ポット(菊鉢10号)に定植した。ポット内には、

土(ゴールデン粒状培養土、アイリスオーヤマ株)を 12 L 充填した。圃場にて約1か月生育させ、暴露開始前にハウスもしくはオープントップチェンバー内に移動した。

インゲンマメ(*Phaseolus vulgaris L.*)苗木を購入し、樹脂製ポット(菊鉢9号)に定植した。ポット内には、土(ゴールデン粒状培養土、アイリスオーヤマ株)を 1 L 充填した。圃場にて約50日生育させ、暴露開始前にオープントップチェンバー内に移動した。

暴露実験：暴露実験は、広島大学総合科学部圃場に設置したオープントップチェンバー(6基、活性炭フィルムにより清浄空気のみをチェンバー内に導入)もしくはビニルハウス内(4基)で行った。両者の装置とも、UV透過型フィルム(AGCグリーンテック社、エフクリーン)で装置の外側を覆った。暴露実験においては処理区を以下のように設定した。硫酸(pH3)、オゾン、PAH(フェナンスレンもしくはフルオランテン)、マンニトールなどの単独で暴露する処理区、コントロール(高純水)、上記の汚染物質を複数個組み合わせて暴露(複合暴露)する処理区であった。オゾンを除く汚染物質の植物苗木への暴露は週3~5回、午前7:00~9:00に行った。各試料へは溶液が土にかからないようにカバーを掛け、噴霧器を用いて葉面に散布した。散布量は1個体につき25もしくは 50 mL とした。暴露は2009年から2011年の春季から秋季にかけてそれぞれ1~3か月間行った。

亜硝酸暴露は上記の期間に3回行った。実験1ではアカマツに $100\mu\text{M}$ 亜硝酸溶液に 1mM マンニトールおよび $20\mu\text{M}$ ヘモグロビンを加えたラジカル除去区、さらに窒素源として亜硝酸の代わりに $100\mu\text{M}$ 硫酸アンモニウムまたは $100\mu\text{M}$ 硝酸ナトリウムを噴霧した処理区を用意した。またコントロール(超純水)を含むすべての噴霧溶液はpH 5.5に硫酸を用いて調節した。噴霧は週3回の頻度で行なった。実験2ではアカマツおよびイチゴに、亜硝酸濃度を $200\mu\text{M}$ に変更し、 1mM マンニトールあるいは $10\mu\text{M}$ ヘモグロビンを含むラジカル除去区を加えた。pHは7.0である。週5回の頻度で実験1と同様に溶液噴霧を行なった。実験3では亜硝酸処理区を0から $100\mu\text{M}$ まで(0, 25, 50, $100\mu\text{M}$)とし、 $25\mu\text{M}$ 亜硝酸に 1mM マンニトールを加えた処理区を用意した。溶液のpHは3.5に設定した。週5回の頻度で実験1と同様の方法で噴霧を行なった。

測定項目と測定装置：植物苗個体葉のガス交換速度、最大光量子収率、葉内元素量は、それぞれ解放系携帯型光合成蒸散測定装置(Li-6400、Licor社)、クロロフィル蛍光測定器(MINI-PAM、Heinz-Walz社)、ICP発光分光分析装置(Optima 7300 DV、Perkin Elmer社)を用いて測定した。クロロフィル a, b 濃

度は吸光度法で測定した。葉緑素量は簡易葉緑素計 (SPAD, コニカミノルタ社) を用いて測定した。炭素・窒素元素測定はC/Hコーダー (CHNS/O 2400II, Perkin Elmer 社) を用いて測定した。また、各器官乾燥重量を測定することにより成長量を見積もり、さらに目視による葉面の可視傷害の観察を行った。いずれも暴露終了後に測定を行い、各測定項目について統計ソフト SPSS13 を用いて、一元分散分析を行った後、Tukey 法を用いて平均の差の検定を行った。

4. 研究成果

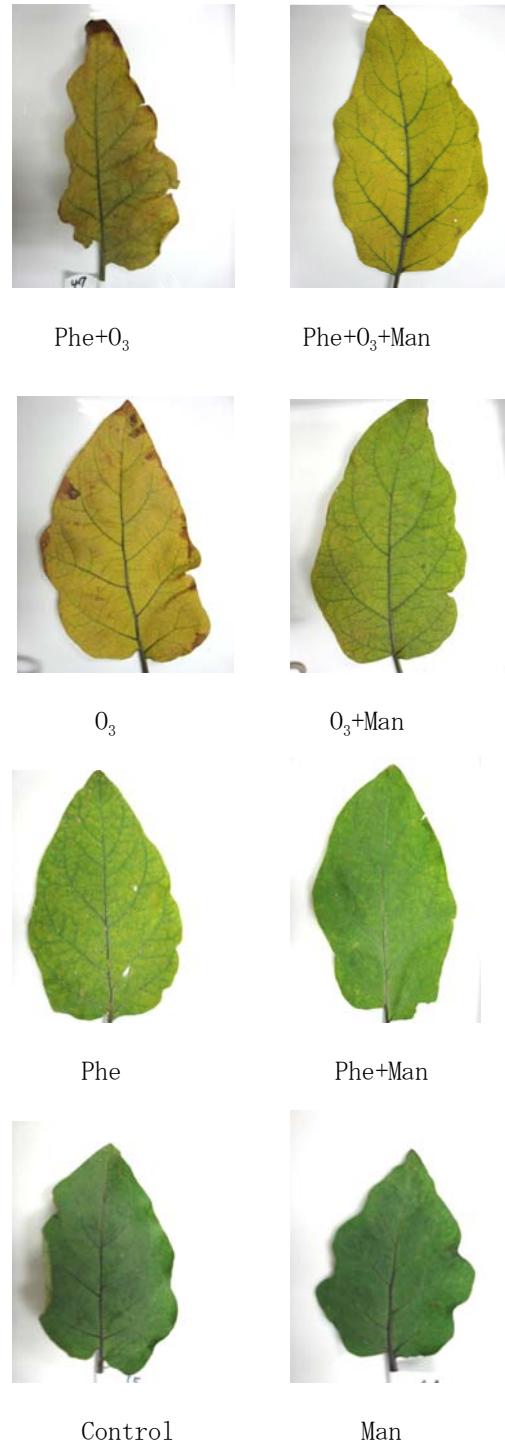
アカマツ、ペチュニア、トマト、イチゴ、ナス、インゲンマメなどの植物葉への暴露開始から 1~3 か月後の測定項目について、葉の最大光合成速度、気孔コンダクタンス、細胞内二酸化炭素濃度、クロロフィル a 濃度、クロロフィル b 濃度、カリウム、マグネシウム濃度を測定した結果、ほとんどの植物葉において処理区間に有意な差が認められた。最大光量子収率、各器官乾燥重量には差が認められなかった。有意差が認められた測定項目では、コントロールに比べて、オゾン、硫酸、多環芳香族炭化水素、オゾンのそれぞれの処理区、複合処理区で平均値の低下がみられ、単独影響および複合影響が考えられた。特に、最大光合成速度、クロロフィル濃度について、オゾン処理区と複合処理区の平均値が著しく低下しており、クロロフィルの減少が光合成速度の低下の一因と考えられた。また、葉内元素の項目では、カリウムもしくはマグネシウム濃度に有意差がみられ、最大光合成速度と同様の傾向であった。気孔コンダクタンスの平均値も減少していることから、葉から栄養元素が溶脱し、気孔開閉機能に影響を及ぼしたのではないかと考えられる。

可視障害の観察ではオゾン処理区において、全ての植物葉の脱色、茶色斑点が観察された。硫酸処理区においては、落葉、茶褐色斑点が、またフェナンスレンやフルオランテン処理区では、特徴的な褐色斑点が観察された。複合処理区では葉の脱色、茶色斑点、褐色斑点が観察され、オゾン、フェナンスレン、フルオランテンのそれぞれの影響が表れた。マンニトール処理区では、添加しない処理区より全ての測定項目の平均値が高くなっており、さらに可視障害の範囲が減少し、影響が軽減された。このことから、植物葉面付近で活性酸素種が発生し、光合成機能を中心とした生理生態的機能に影響を与えていると考えられる。

図 1 に、大気汚染物質をナス葉に 1 か月暴露した後の、葉面における可視傷害の有無 (写真) を示す。オゾン、フェナンスレンのそれぞれ単独暴露及びこれらの汚染物質の複

合暴露により、特有の可視傷害が顕著に見られた。これらの可視傷害は、マンニトールを暴露することにより顕著に減少することが確認された。

図 1 ナス葉可視傷害(1 か月暴露後)



Phe: フェナンスレン、O₃: オゾン、
Man: マンニトール、Control: 対照区 (超純水)

インゲンマメ葉の最大光合成速度、気孔コンダクタンス、葉緑素量について、暴露期間の測定の結果、平均値が徐々に低下する推移が見られた。暴露終了後の測定では、最大光合成速度、気孔コンダクタンス、細胞内二酸化炭素濃度、最大光量子収率、葉緑素量で処理区間に有意な差が認められた。しかし、クロロフィル濃度、葉内元素量、各器官乾燥重量では有意差はなかった。処理区間での平均値の低下は、オゾン、フェナンスレンそれぞれで単独影響、複合処理区では複合影響がみられ、マンニトール添加によって影響が軽減した。オゾン処理区では、複合処理区と同様に平均値が著しく低下しており、インゲンマメはオゾンに対する感受性が高い可能性がある。また、最大光合成速度の項目では、14日後の結果で既に処理区間に有意差があったことから、2週間程度の短い期間でも光合成機能に影響を及ぼすことが考えられる。可視障害についても、オゾンに特徴的な茶色斑点、フェナンスレンに特徴的な褐色斑点が観察され、マンニトール処理区では可視障害の範囲が減少した。これらのことから、大気汚染物質が植物に与える影響には、OHラジカルなどの活性酸素種が関わっていることが考えられる。

亜硝酸暴露実験は3回行ったが、実験1から3において、ガス交換速度、SPAD値、Fv/Fm、C/N比のいずれにおいても、コントロールと各処理区間に有意な差はみられなかった。硝酸およびアンモニウムの噴霧でも、亜硝酸と同様ガス交換速度、SPAD値、Fv/Fmにおいてコントロールとの違いはみられなかった。また、暴露期間後において、どの処理区の葉にも可視傷害は認められなかった。

アカマツへの亜硝酸溶液噴霧実験では、亜硝酸溶液を数カ月間噴霧したが、光合成活性への影響はほとんどみられなかった。植物は取り込んだ窒素をアンモニウム態窒素に還元して利用する。おそらく根からの窒素供給が十分であったことを示している。一方、光合成機能の低下がみられなかったことから、亜硝酸から発生するOHラジカルの影響は小さい。これは亜硝酸自体がOHラジカルの消去剤となるため、フェントン反応にくらべて定常状態濃度が小さくなるためと考えられる。結果としてNOラジカルの効果は確認できなかった。イチゴについて、亜硝酸溶液暴露による光合成機能の阻害はみられず、むしろ光合成速度は増加する傾向がみられた。これは亜硝酸がOHラジカル生成源として働くより、むしろ取り込まれて窒素源として作用したかもしれない。しかしC/N比が処理区間で変わらないことから、葉からの窒素取り込みは少なかったと思われる。アカマツの場合と同様に亜硝酸から生成するOHラジカルおよびNOラジカルの影響はみられなかつ

た。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

(1)Hiroshi Sakugawa, Nahed Hasan, Ilemobayo Oguntimehin, Elsayed Belal. Protective and curative effects of foliar-spray Fenton solutions against cucumber (*Cucumis sativus*, L.) powdery mildew. J. Environ. Sci. Health, Part A, 査読有, 2012, In press.

(2)Naomi Sonia Nomi, Hiroaki Kondo, Hiroshi Sakugawa, Photoformation rate of OH radical in atmospheric water extract of aerosol and water-soluble gases collected in Higashi-Hiroshima, Japan. *Geochemical Journal*, 査読有, 46, 2012, 21~29.

(3)Hiroshi Sakugawa, Toshihide Matsuda, Nobutake Nakatani, Automobile exhaust gas as a source of aqueous phase OH radical in the atmosphere and its effects on physiological status of pine trees. *Chemosphere*, 査読有, 85, 2011, 812~819.

(4)Oguntimehin Ilemobayo Ifedayo, Hiroshi Sakugawa, The use of Sunpatiens (*Impatiens spp.*) as a bioindicator of some simulated air pollutants. using an ornamental plant as bioindicator. *Chemosphere*, 査読有, 81, 2010, 273~281.

(5)Oguntimehin Ilemobayo Ifedayo, Fawzy Eissa, Hiroshi Sakugawa, Simultaneous ozone fumigation and fluoranthene sprayed as mists negatively-affected Cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Ecotoxicology and Environmental Safet*, 査読有, 73, 2010, 1028~1033.

(6)Oguntimehin Ilemobayo Ifedayo, Fawzy Eissa, Hiroshi Sakugawa, Negative effects of fluoranthene on the ecophysiology of tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Chemosphere*, 査読有, 78, 2010, 877~884.

(7)Olasehinde Emmanuel Folorunso, Kazuhiko Takeda, Hiroshi Sakugawa, Development of an analytical method for nitric oxide radical determination in natural waters. *Analytical Chemistry*, 査読有, 81, 2009,

6843-6850.

〔学会発表〕(計 13 件)

- (1) 近藤宏壮, 片上麻衣子, Sarangaraja Balakrishnan, 竹田一彦, 佐久川弘, 光フェントン反応を用いた効率的な有機物分解に関する研究. 日本化学会第 92 春季年会, 2012 年 3 月 25-28 日, 慶應義塾大学(横浜市)
- (2) 万代小百合, 佐久川弘, ナス苗木へのオゾンおよび多環芳香族炭化水素の複合影響. 日本化学会第 92 春季大会, 2012 年 3 月 25-28 日, 慶應義塾大学(横浜市)
- (3) Sonia Naomi Nomi, Hiroaki Kondo, Hiroshi Sakugawa, Photoformation rate of OH radical in water-extract of atmospheric aerosol and water-soluble gases collected in Higashi-Hiroshima, Japan. AGU Fall Meeting 2011, 5-9 Dec, 2011, San Francisco, USA
- (4) 万代小百合, 佐久川弘, アカマツ苗木への酸、オゾンの複合影響に関する研究. 第 52 回大気環境学会年会, 2011 年 9 月 14-16 日, 長崎大学(長崎市)
- (5) 近藤宏壮, 佐久川弘, 亜硝酸溶液噴霧によるイチゴの光合成活性機能への影響. 第 52 回大気環境学会年会, 2011 年 9 月 14-16 日, 長崎大学(長崎市)
- (6) 近藤宏壮, 森山友絵, 佐久川弘, 亜硝酸を含む露水がアカマツ針葉の光合成活性に与える影響. 日本化学会西日本大会, 2011 年 3 月 27 日, 神奈川大学(横浜市).
- (7) Sonia Naomi Nomi, Hiroshi Sakugawa, Photoformation rate and source of OH radical in atmospheric water-extract of aerosol and water-soluble gaseous collected at Higashi-Hiroshima, Japan. 大気環境学会中国四国支部講演会, 2011 年 1 月 22 日, 産業技術交流センター(広島市)
- (8) Oguntimehin Ilemobayo Ifedayo, Hiroshi Sakugawa, The selection and use of two higher plants as bioindicators of some simulated air pollutants in chamber conditions. 大気環境学会中国四国支部講演会, 2011 年 1 月 22 日, 産業技術交流センター(広島市)
- (9) Ilemobayo Ifedayo Oguntimehin, Hiroaki Kondo, Hiroshi Sakugawa, The responses of *Petunia* to simulated pollutants in chamber conditions and its

uses as bioindicator of pollution. American Geophysical Union Fall Meeting, 16 Dec 2010. San Francisco, USA.

- (10) 王瑞, 近藤宏壮, 佐久川弘, Ilemobayo Oguntimehin, 大気汚染による植物の環境ストレスを活性酸素消去剤を用いて緩和する方法の検討. 日本化学会西日本大会, 2010 年 11 月 6 日, 熊本大学(熊本市).
- (11) Oguntimehin Ilemobayo Ifedayo, Hiroaki Kondo, Hiroshi Sakugawa, The use of Sunpatiens (*Impatiens spp.*) as a bioindicator of some simulated air pollutants. 第 51 回大気環境学会, 2010 年 9 月 10 日, 大阪大学(大阪府豊中市)
- (12) Sonia Naomi Nomi, Hiroshi Sakugawa, Photoformation rate and source of OH radical in atmospheric water-extract of aerosol and water-soluble gaseous collected at Higashi-Hiroshima, Japan. 第 51 回大気環境学会, 2010 年 9 月 10 日, 大阪大学(大阪府豊中市)
- (13) Olasehinde Emmanuel Folorunso, Hiroshi Sakugawa, Method development for nitric oxide radical determination in natural water. American Chemical Society, 17 Aug 2009, Washington D.C. USA

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
佐久川 弘 (SAKUGAWA HIROSHI)
広島大学・大学院生物圏科学研究科・教授
研究者番号: 80263630
- (2) 研究分担者 0 人
- (3) 連携研究者 0 人