

令和 2 年 2 月 27 日現在

機関番号：84410

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K00523

研究課題名(和文) 降水量変動が植生の揮発性炭化水素放出に及ぼす影響の解明

研究課題名(英文) The impact of varying precipitation on biogenic volatile hydrocarbon emissions of forest tree species

研究代表者

奥村 智恵 (Okumura, Motonori)

地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所(環境研究部、食と農の研究部及び水産研究部)・その他部  
局等・主査

研究者番号：20649636

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：森林からは大気中に様々なガス成分(酸素や水蒸気など)が放出されている。そのうち、本研究では、植物葉から主に放出され、大気中汚染物質(オゾンやPM2.5など)の前駆物質のひとつである有機ガス(イソプレンなど)に注目し、複数の森林構成樹種の有機ガス放出量に降水量の変動がどのような影響を与えているかを苗木による実験とフィールド調査にて明らかにした。その結果、広葉樹であるコナラの放出は降水量にあまり影響を受けず、草本の孟宗竹は土壌の乾燥により放出量が低下することが示唆された。一方で針葉樹(杉と檜)は土壌の乾燥により低下する個体と影響を受けない個体がみられ、さらなる調査が必要であると考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で対象とした有機ガスの一種である非メタン炭化水素(Non-Methane Hydrocarbons, NMHC)は、人為起源だけでなく、樹木葉から大気へ大量に放出されている(全球では人為起源NMHCの数倍から10倍と推定)。本研究の結果は、一部の森林樹木の葉からのNMHC放出が土壌水分量の影響を受けている可能性を示しており、樹木由来NMHC放出量の推定精度の向上が期待できる。これにより、大気中汚染物質濃度の推定精度の向上や地球温暖化による降水パターンの変動が大気中汚染物質濃度に及ぼす影響の解明につながることで、大気中汚染物質による農作物の減収や健康被害の低減施策への活用が期待される。

研究成果の概要(英文)：Forests absorb and release diverse gaseous components (e.g., oxygen, water vapor) from and into the atmosphere. In the present study, we focused on organic gases (e.g., isoprene) released from leaves of plants, which contribute to the formation of atmospheric pollutants (e.g., ozone, PM2.5). We conducted an experiment and fieldwork to elucidate the impact of varying precipitation on organic gases released from various plants. The result showed that a type of broad-leaved tree, *Quercus serrata*, was less impacted by the amount of precipitation, and that a smaller amount of organic gas was released from *Phyllostachys edulis* when the soil was dry. In contrast, conifers (Japanese cedars and cypress) presented individual trees that released smaller amounts of organic gas when the soil was dry, while other trees were not impacted. Therefore, further investigation is necessary.

研究分野：大気化学

キーワード：揮発性炭化水素 イソプレン モノテルペン 降水量 土壌水分量 光化学オキシダント 対流圏オゾン 揮発性有機化合物

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

樹木から大気へ放出された植生由来非メタン炭化水素 (NMHC) は紫外線を受け窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>) を触媒としてオゾン (対流圏オゾン) を生成する。そのため、植生からの NMHC 放出は、間接的にオゾンによる稲の減収や人への健康影響、温室効果ガスとしての温暖化、PM2.5 生成に関与していると言われていた。日本では 1970 年代以降、人為起源の NMHC や工場・自動車からの NO<sub>x</sub> の排出規制が進んだにもかかわらず、未だほぼ全ての測定局で光化学オキシダント濃度が環境基準値 (60 ppb) を超えている。特に光化学オキシダントの主要成分であるオゾンの濃度は光化学反応が生じやすい夏季に高濃度となるが、その一因として夏季に活発となる植生からの NMHC の関与が考えられている。

植生由来 NMHC の多くは葉から放出されており、テルペノイドと総称される炭化水素の一種であるイソプレン (C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>、全球で 410~600 Tg) とモノテルペン (C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>、30~120 Tg) がその多くを占め (Ameth et al., 2008)、森林植生由来 NMHC の総放出量は全球の人間活動由来 NMHC の総放出量 98.2~157.9 Tg (IPCC 第 5 次報告書, 2013) の数倍から 10 倍程度と推定されている。また、植生由来 NMHC からの微小粒子状物質生成 (二次粒子生成) については十分に解明されていないが、現時点では全球で総量 20~380 Tg と推定され (Sparacklen et al., 2011) NMHC の二次粒子生成への寄与は大きいと考えられている。

一般的に、森林植生からの NMHC 放出は葉温及び日射とおおよそ正の相関があり、Guenther et al. (1993) が提案した葉温と日射とにより NMHC 放出速度を推定するモデル (G93 モデル) を基にして、葉からの NMHC 放出量の推定が行われている。申請者らも同モデルを用いて日本の主要な森林構成樹種の NMHC 放出速度やその特性を明らかにし (Okumura et al. 2008a, 2008b, 奥村ら 2008, 2013, Tani, Okumura et al. 2011, Miyama, Okumura et al. 2013 など)、日本の多くの樹種に土壤水分環境が同じ条件下での G93 モデルの適応が可能であることを確認した。一方で、申請者らは、G93 モデルでは表現できない夜間における日射を介さない広葉樹のイソプレン放出を確認するなど (Miyama, Okumura et al. 2013)、日射と気温以外の環境因子が日本の森林植生の NMHC 放出に与える影響は十分に解明されたとはいえない。近年、Peñuelas&Staudt (2010) によって土壤水分環境が植生の NMHC 放出に大きな影響を与えうるとの報告がなされた。第 5 次 IPCC 報告書においても植生からの全球の NMHC 放出量推定に重要な因子として植生や気温、日射とともに土壤水分環境があると報告されており、実際に日本のカラマツ林での同様の報告 (Mochizuki et al., 2014) がされている。しかしながら、土壤水分環境が森林植生に与える影響に関する観測例は世界的にみても数例であり、土壤水分量に応答するメカニズムも解明できていない。このことが NMHC 放出量や NMHC を前駆物質とするオゾン二次生成量や PM2.5 生成量の推定誤差を生む主要な原因のひとつとなっていると考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、降水に伴う土壤水分環境の変化が関西の主要な森林樹木の NMHC 放出に与える影響の解明とその大気中オゾン二次生成に与える影響を評価することである。NMHC は対流圏オゾンや微小粒子状物質 (PM2.5) の主要な前駆物質であることから、本研究ではこれまで詳細な調査がなされていない土壤水分環境が森林樹木の NMHC 放出に与える影響を室内実験およびフィールド調査により明らかにする。

## 3. 研究の方法

### (1) 関西の主要な森林構成樹種の NMHC 放出に与える土壤水分環境の影響観測

#### 苗木を用いた室内実験

関西の主要な森林構成樹種 (杉、桧、コナラ) の苗木 (各 3 個体) を用いて、室内実験により灌水直後から一週間後まで土壤水分量と葉からの主要な NMHC 放出速度を連続測定し、土壤の乾燥による土壤水分量の低下が各樹種の NMHC 放出速度に及ぼす影響を調査した。各樹種の対象とした NMHC としては、先行研究からコナラはイソプレン、杉と桧が  $\alpha$ -ピネンと  $\beta$ -ピネン、サビネンとした。コナラについては携帯型光合成測定装置 LI-6400 (Li-Cor 社) を用いて葉温を 30 °C かつ光合成有効放射量 (PPFD) を 1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  一定、杉と桧については恒温チャンバーを用いて葉温を 30 °C 一定に、それぞれ調整した環境下で、NMHC 放出速度に与える土壤水分量の影響を調査した。

#### フィールド調査

ポットでの管理が困難な孟宗竹については、計測気象データ (気温、日射量、降水量、土壤水分量など) を 2-3 年に渡って測定している試験地 (京都府亀岡市) において、葉のイソプレン放出速度の計測を季節毎に実施し、土壤水分量または気孔コンダクタンスとの関係を調査した。

### (2) 森林構成樹種の NMHC 放出量がオゾン二次生成に与える影響予測のためのインベントリ作成

最新の環境省自然環境保全基礎調査 (縮尺 1/2.5 万植生図) と本研究の一部の成果と先行研究での関西と関東での主要な森林樹木からの NMHC 基礎放出速度と、気象モデル WRF (アメリカ大気研究局) により再現した気象データ (日射量、気温など) をもとに、G93 モデルを用いて、関西と関東における森林樹木からの NMHC 放出量 (毎時データ) を算出した。作成した NMHC 放出インベントリデータと従来の NMHC インベントリデータを用いて、それぞれ大気化学輸送

モデルCMAQ(アメリカ環境保護庁)のInputデータとして大気オゾン二次生成をシミュレートした。計算結果の妥当性の確認には、各自治体が一般環境測定局で常時監視しているオキシダント(オゾン)濃度やPM2.5濃度を用いた。

#### 4. 研究成果

##### (1) 関西の主要な森林構成樹種のNMHC放出に与える土壌水分環境の影響観測

室内実験による日本の主要な森林構成樹種のNMHC放出量と土壌水分量の関係を明らかにするとともに、関西の森林において成木を対象とした測定を開始した結果、広葉樹であるコナラは、土壌水分量の低下によって気孔コンダクタンスや光合成速度は低下したが、イソプレン放出速度には顕著な低下が見られなかった。一方で針葉樹(杉と檜)は土壌水分量の低下により主要な総モノテルペン(-ピネン、 $\alpha$ -ピネン、サビネン)放出量が低下する個体(図1上図)と影響を受けない個体がみられた(図1下図)。対象とする個体数の増加、光合成速度や葉内のモノテルペン前駆物質濃度などの植物生理データを調査し、土壌水分量の低下によりNMHC放出速度が低下した個体に対してのメカニズム解明が必要であると考えられた。

フィールド調査において、孟宗竹のイソプレン放出速度の日周変化を季節毎に測定した結果、夏季(7~9月)における孟宗竹のイソプレン放出速度は、同時に計測した光合成速度と同様に気孔コンダクタンスの低下に伴い、正午付近に低下した(図2)。本研究のコナラのように気孔コンダクタンスの低下の影響を受けない樹種も報告されているなど、植生のNMHC放出に及ぼす気孔コンダクタンスの影響は樹種によって異なることが指摘されている。気孔コンダクタンスと土壌水分量の関係は単純ではないが、土壌水分量が低下すると気孔コンダクタンスが低下しやすくなるため、孟宗竹のイソプレン放出速度(量)は土壌水分量の影響を受けている可能性があると考えられた。

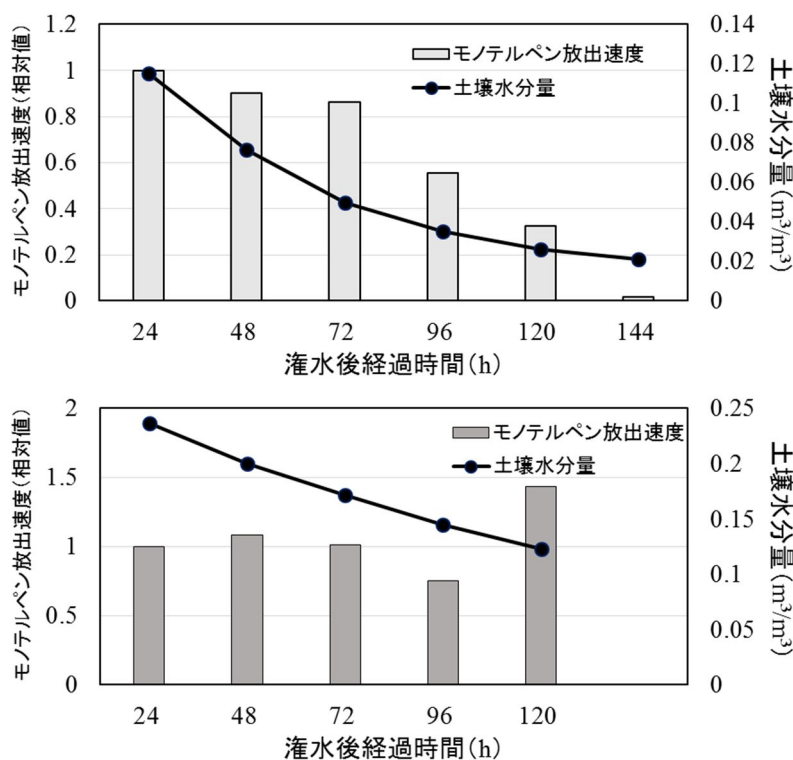


図1 桧(苗木2個体)における土壌水分量と主要モノテルペン放出速度の関係

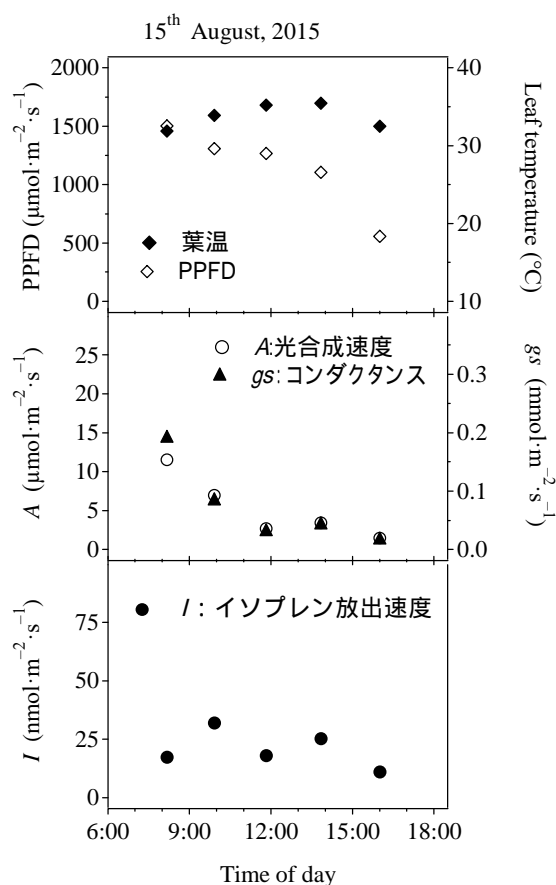


図2 夏季(8月)における孟宗竹のイソプレン放出速度の日周変化

(2) 森林構成樹種の NMHC 放出量がオゾン二次生成に与える影響予測のためのインベントリ作成

シミュレーションによるオゾンや PM2.5 などの二次生成への影響を推定するためには、大気化学シミュレーションなどによる手法が用いられている。本研究では、本州における最も森林構成割合が高い杉と桧のモノテルペン放出速度と土壌水分量との関係が明確とならなかったために、土壌水分量の影響は考慮せずに、最新の森林植生図と本研究の一部の結果と先行研究の NMHC 放出量の結果をもとに、森林由来 NMHC インベントリ作成を行った。環境省植生データはポリゴンデータであるため三次メッシュレベルに加工した。加工した植生データと気象データ、先行研究および(1)で得られた結果の一部(苗木を用いた実験により個体差が大きかったため、土壌水分量による影響は考慮せず)を用いて、森林由来 NMHC インベントリを作成した(Chatani et al., 2018)。作成したインベントリデータを用いて、大気化学シミュレーションによって従来のインベントリを用いた場合のシミュレーション結果と比較した結果、従来の NMHC インベントリを用いた場合よりも、今回、構築した NMHC インベントリを用いたシミュレーション結果の方がより実測値に近い値を示しており(Chatani et al., 2018)、NMHC インベントリの精度が向上できたと考えられる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計7件)

Tingwei Chang, Tomonori Kume, Motonori Okumura, Yoshiko Kosugi, Characteristics of isoprene emission from moso bamboo leaves in a forest in central Taiwan, Atmospheric Environment, 査読有, 211 巻, 2019, 288-295

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.05.026>

Motonori Okumura, Yoshiko Kosugi, Akira Tani, Biogenic volatile organic compound emissions from bamboo species in Japan, Journal of Agricultural Meteorology, 査読有, 74 巻, 2018, 40-44

DOI: <https://doi.org/10.2480/agrmet.D-17-00017>

Satoru Chatani, Motonori Okumura, Hikari Shimadera, Kazuyo Yamaji, Kyo Kitayama, Sou N.Matsunaga, Effects of a detailed vegetation database on simulated meteorological fields, biogenic VOC emissions, and ambient pollutant concentrations over Japan, Atmosphere, 査読有, 9 巻, 2018, 179

DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/atmos9050179>

Jun Tsuruta, Motonori Okumura, Naoki Makita, Yoshiko Kosugi, Takafumi Miyama, Tomonori Kume, Susumu Tohno, A comparison of the biogenic volatile organic compound emissions from the fine roots

of 15 tree species in Japan and Taiwan, Journal of Forestry Research, 査読有, 23 巻, 2018, 242-251

DOI: <https://doi.org/10.1080/13416979.2018.1483129>

井田 明、岡島 美咲、岸本 伊織、呉 偉嘉、Ramasamy Sathiyamurthi、中嶋吉弘、加藤 俊吾、茶谷 聡、横内 陽子、奥村 智憲、梶井 克純、スギから放出される揮発性有機化合物の OH 反応性測定および化学分析、大気環境学会誌、査読有、51 巻、132 - 143

Kenji Tsuruta, Motonori Okumura, Tomonori Kume, Ryuji Ichihashi, Yoshinori Shinohara, Yoshiko Kosugi, Insignificant effects of culm age on transpiration in a managed Moso bamboo forest, Kyoto, Hydrological Research Letters, 査読有, 10 巻, 2016, 1 - 7

DOI: 10.3178/hr1.10.1

深山 貴文、森下 智陽、奥村 智憲、宮下 俊一郎、高梨 聡、吉藤 奈津子、アカマツ林床における  $\alpha$  ピネン放出量の空間分布特性、日本森林学会誌、査読有、2 巻、2016、100 - 125

#### [学会発表](計7件)

Motonori Okumura, Jun Tsuruta, Yoshiko Kosugi, Kenji Tsuruta, Tomonori Kume, Akira Tani, Diurnal and Seasonal patterns of isoprene emission from Moso bamboo in a bamboo plantation, International symposium on agricultural meteorology 2019, 2019

Tingwei Chang, Motonori Okumura, Tomonori Kume, Yoshiko Kosugi and Linjie Jiao, Isoprene emission flux from bamboo leaves, International symposium on agricultural meteorology 2019, 2019

茶谷 聡、奥村 智憲、嶋寺 光、山地 一代、北山 響、松永 壮、高解像度植生・植物起源 VOC 排出インベントリデータベースの構築と気象・大気質シミュレーションへの影響、大気環境学会第 58 回年会、2017

山本 勝彦、奥村智憲、西村理恵、浦西克維、小松宏昭、清水 厚、菅田誠治、化学輸送モデルとライダー観測データを用いた大阪上空のエアロゾルイオン成分鉛直分布の把握について、大気環境学会第 58 回年会、2017

田和佑脩、奥村智憲、西村理恵、大阪府における大気中揮発性有機化合物の地域特性、第 44 回環境保全・公害防止研究発表会、2017

Motonori Okumura, Yoshiko Kosugi, Biogenic volatile organic compound emissions from fourteen bamboo species in Japan, International symposium on agricultural meteorology 2017, 2017

山本 勝彦、奥村 智憲、西村 理恵、浦西 克維、小松 宏昭、菅田 誠治、大阪盆地における夏季の PM2.5 汚染メカニズムの研究、第 57 回大気環境学会年会、2016

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：小杉緑子

ローマ字氏名：Yoshiko Kosugi

所属研究機関名：京都大学

部局名：農学研究科

職名：教授

研究者番号(8桁)：90293919

研究分担者氏名：山本勝彦

ローマ字氏名：Katsuhiko Yamamoto

所属研究機関名：大阪府立環境農林水産総合研究所

部局名：環境研究部

職名：技師

研究者番号(8桁)：70574101

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：久米 朋宣

ローマ字氏名：Tomonori Kume

研究協力者氏名：茶谷 聡

ローマ字氏名：Satoru Chatani

研究協力者氏名：鶴田 健二

ローマ字氏名：Kenji Tsuruta

研究協力者氏名：張 庭維

ローマ字氏名：Tingwei Chang

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。