

平成 30 年 6 月 28 日現在

機関番号：22701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16117

研究課題名(和文)高温プラズマジェットを用いた大気エアロゾルのリアルタイム気化システムの開発

研究課題名(英文)Development of real-time vaporization system for atmospheric aerosols using high-temperature plasma jet

研究代表者

関本 奏子 (Sekimoto, Kanako)

横浜市立大学・生命ナノシステム科学研究科(八景キャンパス)・助教

研究者番号：40583399

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：大気エアロゾル質量の大きな画分を占める有機酸の大気中挙動の把握は、環境動態解析学分野の重要な課題であるが、エアロゾル相の有機酸を高感度かつリアルタイムに計測する手法の確立には至っていない。この背景を基に、本研究では、(i) 高温プラズマジェットを用いた大気エアロゾルの高感度リアルタイム質量分析法の開発、(ii) 大気中揮発性有機化合物の網羅的定量質量分析法の開発、および (iii) 北米西部のバイオマス燃焼から発生する揮発性有機化合物の化学特性評価を行った。

研究成果の概要(英文)：Understanding the behavior of various organic acids and resulting aerosols in the atmosphere is one of important topics in atmospheric chemistry. However, a methodology for high-sensitive and real-time measurements of organic acids in aerosol phase has not been established yet. On the basis of these backgrounds, the following subjects were conducted in this work: (i) development of real-time vaporization system for atmospheric aerosols using high-temperature plasma jet, (ii) development of a methodology for comprehensive quantitation of atmospheric volatile organic compounds using proton-transfer-reaction mass spectrometry, and (iii) chemical characteristics of volatile organic compound emission from western US wildfire fuels.

研究分野：質量分析学，大気化学

キーワード：質量分析 コロナ放電 プラズマジェット 揮発性有機化合物 バイオマス燃焼 プロトン移動反応速度定数 分極率 永久双極子モーメント

1. 研究開始当初の背景

様々な有機化合物によって構成される大気エアロゾル (半径 $10^3 \sim 10 \mu\text{m}$ の微粒子) は、大気環境悪化や健康被害の原因である一方、雲形成や放射強制力、気候変動の因子として知られる。エアロゾル質量の大きな画分を占める有機酸は酸性の低分子モノ・ジカルボン酸であり、これらの対流圏における挙動 (発生・輸送・変容・除去過程) の把握は、気象学や環境学、医学の観点から重要視されている。人為・自然排出源から直接放出されたカルボン酸は、大気中での光化学酸化反応を経て、さらに酸性度の高いカルボン酸に変化する。その際、気相から凝縮相に近いエアロゾル相に移行する。カルボン酸の大気中の挙動を理解するためには、気相とエアロゾル相の両方に存在する有機酸を壊すことなく、高感度かつリアルタイムに計測することが必要不可欠である。しかし、これまでに開発されてきた実大気計測手法、例えば (i) 正イオン化学イオン化質量分析法 (例えば、プロトン移動反応質量分析法)、(ii) エアロゾル質量分析法、(iii) サンプリングフィルター法には問題があった。具体的には、(i) プロトン親和力の小さい有機酸の高感度検出が困難、(ii) イオン化の際に試料が壊れてしまうため、試料の化学組成の同定が困難、(iii) 長いエアロゾル捕集時間を要するため、リアルタイム測定が不可能などの問題があり、カルボン酸類の大気中挙動を解明するための決定的な情報は未だに得られていない。

研究代表者は平成 27 年度 JSPS 海外特別研究員の内定を受け、平成 27 年 8 月より 2 年間、米国立海洋大気庁 地球システム調査研究所 (NOAA ESRL; National Oceanic and Atmospheric Administration Earth System Research Laboratory, Boulder, CO, USA) にて新規実大気計測手法の構築に取り組む予定となっていた。具体的には、代表者がこれまでの研究で確立・応用してきた「精密コロナ放電イオン化法」と NOAA ESRL が所有する可搬型の質量分析計を組み合わせ、カルボン酸を含む種々の大気中有機酸の高感度リアルタイム計測に有効な負イオン化学イオン化法の開発を計画していた。精密コロナ放電イオン化法では、大気成分に由来する気相酸性度の低い負の試薬イオン R^- (例えば O_2^- や HCO_3^-) を生成させ、気相の有機酸 (M) からプロトンを引き抜き ($M + R^- \rightarrow [M - H]^- + RH$)、有機酸を脱プロトン分子 $[M - H]^-$ として効率良くイオン化することができる。しかし本イオン源には、凝縮相の成分を脱離させる気化システムが備わっていない。よって、JSPS 海外特別研究員の研究で構築する質量分析法をエアロゾル相に含まれる有機酸の計測に応用していくためには、精密コロナ放電イオン源に適合するエアロゾル気化システムの開発が新たな課題となっていた。

ここで、代表者の当初最新の研究成果に着目した。代表者は当初、精密コロナ放電に高

温のヘリウムガス流を加えるとプラズマジェットが発生し、凝縮相の試料をリアルタイム (数秒以内) に脱離させて質量分析できることを見出していた。よって、プラズマジェットの発生メカニズムを追究し、試料の脱プロトン分子の量が最大になるよう実験系を最適化することで、エアロゾル相の有機酸の高感度リアルタイム計測を可能とする気化システムを構築できると着想した。

2. 研究の目的

1 に記載した背景を踏まえ、本研究では以下の 3 課題に取り組んだ。

- 高温プラズマジェットを用いた大気エアロゾルの高感度リアルタイム質量分析法の開発
- 大気中揮発性有機化合物 (volatile organic compound; VOC) の網羅的定量質量分析法の開発
- 北米西部のバイオマス燃焼から発生する VOC の化学特性評価

(a) の研究では、気相の有機酸の高感度リアルタイム計測に有効な精密コロナ放電イオン化質量分析法を、エアロゾル相に含まれる有機酸の計測に応用するために、精密コロナ放電と高温ヘリウムガス流を組み合わせることで発生するプラズマジェットを用いたエアロゾル気化システムの開発を目的とした。

(b) の研究では、化合物の分子特性 (ここでは質量、元素組成、および官能基性を指す) のみを利用し、プロトン移動反応質量分析法で観測される VOC を校正することなく網羅的に定量する方法論の開発を目的とした。

(c) の研究では、北米西部に生息する植物の燃焼から発生する VOC の網羅的な同定・定量、およびそれらの発生メカニズムの解明を目的とした。

3. 研究の方法

2 に示した 3 課題 (a)-(c) 各々の研究方法を以下に記載する。

(a) マススペクトルの測定には、LCMS-2020 四重極型質量分析計 (島津製作所)、LCQ Deca XP イオントラップ型質量分析計 (Thermo Fisher Scientific)、Q Exactive オービトラップ型質量分析計 (Thermo Fisher Scientific)、および Synapt G2 四重極-飛行時間型質量分析計 (Waters) を用いた。精密コロナ放電イオン化法のニードル電極には、先端形状が放物面として近似されるニードル (志賀昆蟲普及社) を使用した。本ニードルの先端曲率半径は約 $1 \mu\text{m}$ であった。対向電極には、ステンレス製のグリッド電極を用いた。ヘリウムガスは 350°C のヒーターで加熱され、その流速は 2.5 L min^{-1} であった。本実

験は、実験室大気雰囲気中（室温 25°C，相対湿度 40-70%）で行った。試料にはカルボキシル基および様々な物理化学的性質を有する α -アミノ酸 (Sigma-Aldrich) を用いた。

(b) 700 種類程度の有機化合物に対する分極率，永久双極子モーメント，および H_3O^+ とのプロトン移動反応速度定数の実測値を CRC ハンドブックや他の文献より収集した。また，収集した有機化合物を質量，元素組成（炭素 C と水素 H の他にどのような原子をいくつ持っているか），官能基，および官能基以外の炭化水素の構造によって分類した。

(c) バイオマスの燃焼実験は，Fire Sciences Laboratory (Missoula, Montana, USA) で行った。バイオマス試料には，北米西部に生息する代表的な針葉樹 (poderosa pine, douglas fir, Engelmann spruce, juniper など) および低木のチャパラル (chamise, と manzanita) を含む，計 15 種類の植物を用いた。VOC の測定には，プロトン移動反応飛行時間型質量分析計 (Aerodyne Research Inc; Tofwerk AG) を用いた。測定データの数値解析には，positive matrix factorization (PMF) 法を用いた。本研究は NOAA ESRL が主導するプロジェクト FIREX (Fire Influence on Regional and Global Environments Experiment) の一環として行われた。

4. 研究成果

2 に示した 3 課題 (a)-(c) 各々の研究成果を以下に記載する。

(a) ヘリウムガス流に対してコロナニードルを垂直に配置し，正または負極性の直流電圧を印加すると，ニードル先端に点状に灯る「コロナ」の他に，ニードル先端と対向電極の間に紫色の光を帯びたプラズマジェットが発生した (Fig. 1)。ジェットの可視分光測定を行ったところ，この光は主に励起ヘリウムの脱励起 (3^1D および 3^3D の高リユードベリ状態から 2^1P の共鳴・ 2^3P の光学的許容状態への脱励起) の際に放出されるエネルギーに相当していた。各種励起状態の寿命を考慮すると，本プラズマジェットは大量の共鳴

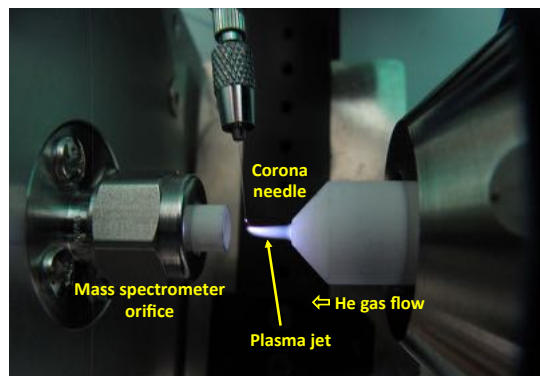


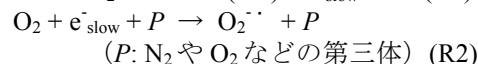
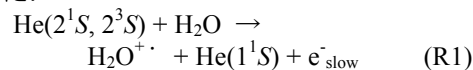
Figure 1. Plasma jet observed by combining He gas flow with corona needle.

(2^1P) および準安定状態 (2^1S , 2^3S) の励起ヘリウムを含むことが示唆された。また，ジェットの温度を測定したところ，ヒーターで加熱したヘリウムガスの温度とほぼ同等であった。このことから，ジェット内の気体温度は電子温度より低く，低温プラズマ（または非平衡プラズマ）が発生していることが分かった。

プラズマジェットの発生は，コロナニードルの先端表面で加速される電子に起因すると考えられる。この電子は 20 eV 以上の運動エネルギーを有し，ニードル先端付近に流れ出した基底状態のヘリウム $\text{He}(1^1S)$ を励起する。励起したヘリウムは，周辺の基底状態原子を自己励起する。高エネルギー電子はコロナ放電によって，ヘリウムガスはガス流出口より連続的に供給されるため，励起ヘリウムの数はニードルとヘリウムガス流出口の間で雪崩現象的に増加し，プラズマジェットが形成される。

試料の脱プロトン分子のイオン強度が最大となるようにプラズマジェットの生成条件を検討している途中，対向電極と試料導入領域に対するコロナニードルの配置によってイオン強度が大きく変化することを見出した。例として Fig. 2a には，グルタミン酸 (Glu) を 2 つの異なるニードル位置 (Fig. 2b-I と 2b-II) によって負イオン化した際に観測された脱プロトン分子 $[\text{Glu} - \text{H}]^-$ の強度を示す。ここで使用したヘリウムガス流は，質量分析計 (MS) のイオン導入孔の中心軸に平行で，ガス流上流側からグリッド対向電極，試料導入領域，MS のイオン導入孔が配置している (Fig. 2b)。イオン導入孔に近いガス流下流側 (Fig. 2b-I)，または対向電極よりもガス流上流側 (Fig. 2b-II) にニードルを配置した場合の結果を比較すると，前者で生成する $[\text{Glu} - \text{H}]^-$ の強度は後者の約 10 倍となった (Fig. 2a)。前者では，試料導入領域にプラズマジェットが発生していた。他の α -アミノ酸の場合でも，同様の結果が得られた。

プラズマジェットの発生による脱プロトン化効率の向上は，励起ヘリウムの大量発生によってもたらされる大気成分のペニングイオン化反応 (R1)，および試薬イオン (O_2^-) の生成反応 (R2) の促進に由来すると示唆された。



本研究に関する主な発表論文は，5-5 および 5-7 である。

(b) 気候変動やエアロゾル形成に影響を及ぼす大気中 VOC の化学特性評価には， H_3O^+ を試薬イオンとした化学イオン化質量分析法，すなわちプロトン移動反応質量分析 (proton-transfer-reaction mass spectrometry; PTR-MS) 法が用いられる。PTR-MS では，VOC はプロトン付加分子 $[\text{VOC} + \text{H}]^+$ として

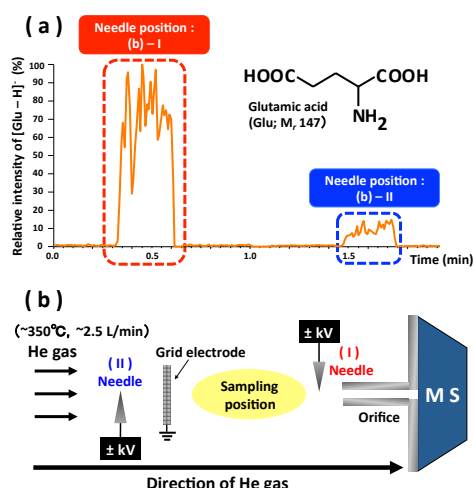


Figure 2. (a) Intensity of deprotonated glutamic acid [Glu-H]⁻ obtained under two needle positions. Mass spectrometer used was LCMS-2020. (b) Configuration of He gas flow, grid electrode, sampling position, needle, and mass spectrometer orifice.

検出される (R3).



近年, PTR-MS には飛行時間型質量分離部が導入され, 検出可能なイオンピークおよび化合物数が飛躍的に増加している. PTR-MS で VOC を定量する際, その化合物の感度が必要となる. ここで感度とは, 大気中濃度 1 ppbv 当たりの [VOC + H]⁺ のイオン強度を指す. 感度は基本的に, 対象となる VOC の標準品を用いて校正する (検量線を作成する) ことで得られる. しかし, 最近の PTR-MS によって検出される数百~数千の VOC を個々に校正していくことは事実上不可能である.

一方, PTR-MS の感度を理論的に求めることも可能である. 装置の特性により, 感度はプロトン移動反応 (R3) の速度定数に比例することが知られている. また, この速度定数は, 化合物の分極率および永久双極子モーメントを変数とする trajectory parameterization (T. Su, *J. Chem. Phys.*, 100, 4703, 1996) によって精度良く計算できることが知られている. すなわち, VOC の分極率と双極子モーメントが分かれば, 感度を求めることができる.

これらの背景を踏まえ本研究では, 種々の VOC の物理化学的性質 (質量, 元素組成, 官能基, および官能基以外の炭化水素の構造) と分極率・永久双極子モーメント・プロトン移動反応速度定数の関連性を調査し, 以下の結果を得た.

- (I) 分極率 (α [$\times 10^{-24} \text{ cm}^3$]) は, VOC の質量 (M_{VOC}) の一次関数 ($\alpha = a \times M_{\text{VOC}} + b \dots \text{Eq. 1}$) として記述される. 実測値に対する誤差は 10%以内.
- (II) 永久双極子モーメント (μ_{D} [D]) は, VOC の有する官能基性によって決まる. すなわち, $\mu_{\text{D}} = K \dots \text{Eq. 2}$ (K は官能基毎に決まる定数). 例外 (カルボン酸類) を除き, 実測値に対する誤差は 30%以内.
- (III) Eq. 1 と Eq. 2 から求められた α と μ_{D} を trajectory parameterization に代入すると, 実測値に対して 10%の誤差範囲内でプ

ロトン移動反応速度定数を計算することができる.

(I)~(III)に基づき最終的に, 10 種類程度の標準物質の PTR-MS 感度を実測するだけで, 同定される任意の VOC の感度を 20~50%の精度で予測する方法論を確立した. 本研究に関する主な発表論文は, 5-3 および 5-4 である.

(c) 近年, 日本を含む世界の様々な地域で森林火災 (山火事) が多発している. 森林火災で発生する VOC は, その地域の環境汚染や気候変動に多大な影響を与えるとされ, 二次有機エアロゾルの生成能評価や発生量の予測モデルの構築は, 大気化学における近年の重要な課題となっている. 植物が燃焼する際に発生する生成物は, 燃焼形態によって異なることが知られている. 燃焼形態として例えば, (i) 付近の熱源によって余熱され, 水蒸気やテルペン類の放出を伴う distillation, (ii) いわゆる燃焼が発生する flaming (有炎燃焼), (iii) 低酸素状態での植物の分解 (VOC の発生源) やガス化が起こる smoldering (燻った状態の無炎燃焼) がある. これらの形態は同時に現れるが, 各々の寄与率 (燃焼中にどの形態がどの程度起こるか) は時間毎かつ植物の状態によって変わる. そのため, 時間毎かつ火災毎に変動する VOC 発生量の予測は, 極めて困難とされる.

VOC の発生量の評価にはこれまで, 燃焼効率 (Modified Combustion Efficiency; MCE) がパラメーターとして使われてきた. MCE は flaming と smoldering の相対的な寄与率を示し, 各形態で主に発生する CO₂ と CO の量によって決定される (すなわち, $\text{MCE} = \Delta\text{CO}_2 / (\Delta\text{CO} + \Delta\text{CO}_2)$). MCE = 0.99 付近で flaming, 0.65~0.85 で smoldering が優勢とされる. 植物が燃え始めてから燃え尽きるまでの一連の燃焼時間内で観測される MCE の平均値と VOC の平均発生量に相関があると云われているが, ほぼ全ての VOC において, 燃焼中の瞬間的な発生量はその瞬間の MCE には相関しないといった問題があった. これはすなわち, MCE は本来, VOC の発生量の評価や予測に適したパラメーターではないことを意味している.

本研究では, 高分解能および高時間分解能を有したプロトン移動反応質量分析法と (b) の研究で開発した VOC の網羅的定量法を組み合わせて, 北米西部に生息する種々の植物を燃焼した際に一次放出される 550 種類以上の VOC を同定・定量し, VOC の全発生量の 90% 以上を説明することに成功した. さらに, PMF 法を用いてこれらデータを数値解析した結果, 燃焼中の瞬間的な VOC 発生量に関して以下の新規の事象を発見した.

- (I) 北米西部に生息する植物の燃焼に由来する VOC の瞬間的な発生量は, 2 つのプロファイル (Fig. 3) の組み合わせによって, 85%以上の精度で評価できる (Fig. 4).

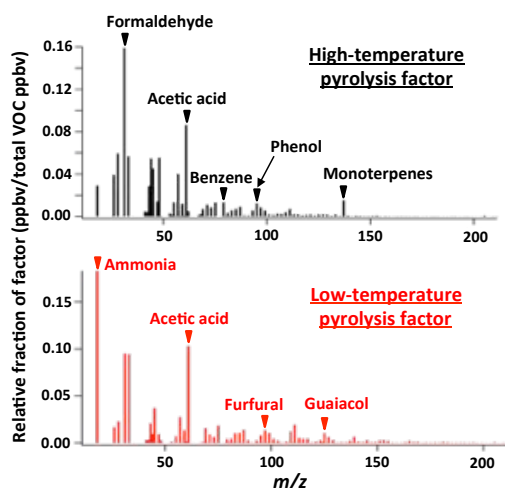


Figure 3. Average VOC emission profiles of high- and low-temperature pyrolysis factors.

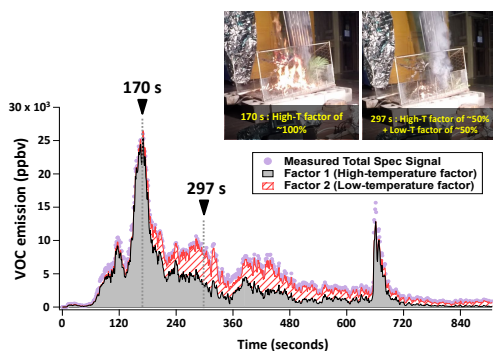


Figure 4. PMF results of two-factor solution for an example burn of ponderosa pine realistic mixture. The grey and red colors are stacked, not overlapped.

- (II) 当該2つのプロファイル (Fig. 3) にはそれぞれ、植物の葉や茎、幹、枝等を構成する高分子 (セルロースやヘミセルロース、リグニンなど) の高温分解で発生する VOC (500~800°Cの分解で発生するベンゼンなど) または低温分解由来の VOC (500°C以下の分解で発生するグアイアコールなど) が主に含まれる。
- (III) 当該プロファイル (Fig. 3) を構成する VOC の種類とその相対量は、北米西部の植物の種類 (例えば、針葉樹のマツ科や低木のチャパラル) に依存しない。
- (IV) VOC の瞬間的発生量は、燃焼場の雰囲気温度の変動に相関する。
- 以上より、植物の燃焼から発生する VOC 量を評価・予測するにあたり、植物が分解する時の温度が MCE に代わる、より精度の高いパラメーターとなる可能性が示唆された。本研究に関する主な発表論文は、5-1 および 5-2 である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 13 件)

1. **K. Sekimoto**, A. R. Koss, J. B. Gilman, V. Selimovic, M. M. Coggon, K. J. Zarzana, B. Yuan, B. M. Lerner, S. S. Brown, C. Warneke, R. J. Yokelson, J. M. Roberts, and J. de Gouw, "High- and low-temperature pyrolysis profiles describe volatile organic compound

emissions from western US wildfire fuels", *Atmospheric Chemistry and Physics*, in press (2018). DOI: 10.5194/acp-2018-52

2. A. R. Koss, **K. Sekimoto**, J. B. Gilman, V. Selimovic, M. M. Coggon, K. J. Zarzana, B. Yuan, B. M. Lerner, S. S. Brown, J. L. Jimenez, J. Krechmer, J. M. Roberts, C. Warneke, R. J. Yokelson, and J. de Gouw, "Non-methane organic gas emissions from biomass burning: identification, quantification, and emission factors from PTR-ToF during the FIREX 2016 laboratory experiment", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18, 3299-3319 (2018). DOI: 10.5194/acp-18-3299-2018
3. B. Yuan, A. R. Koss, C. Warneke, M. Coggon, **K. Sekimoto**, and J. de Gouw, "Proton-transfer-reaction mass spectrometry: Applications in atmospheric sciences", *Chemical Reviews*, 117 (21), 13187-13229 (2017). DOI: 10.1021/acs.chemrev.7b00325
4. **K. Sekimoto**, S.-M. Li, B. Yuan, A. R. Koss, M. Coggon, C. Warneke, and J. de Gouw, "Calculation of the sensitivity of proton-transfer-reaction mass spectrometry (PTR-MS) for organic trace gases using molecular properties", *International Journal Mass Spectrometry*, 421, 71-94 (2017). DOI: 10.1016/j.ijms.2017.04.006
5. **関本 奏子**, 「リアルタイム直接分析 (DART) 法のイオン化特性とコロナ放電による高感度化」 *Journal of the Mass Spectrometry Society of Japan*, 65, 102-106 (2017). DOI: 10.5702/massspec.S17-21
6. **関本 奏子**, 「化学イオン化法 - 定性的・定量的イオン化に適したイオン分子反応系 -」 *Journal of the Mass Spectrometry Society of Japan*, 65, 2-6 (2017). DOI: 10.5702/massspec.S16-57
7. **K. Sekimoto**, M. Sakakura, T. Kawamukai, H. Hike, T. Shiota, F. Usui, Y. Bando and M. Takayama, "Improvement in ionization efficiency of direct analysis in real time-mass spectrometry (DART-MS) by corona discharge", *Analyst*, 141, 4879-4892 (2016). DOI: 10.1039/C6AN00779A
8. **K. Sekimoto**, R. Gonda and M. Takayama, "Effects of H_3O^+ , OH^- , O_2^- , NO_x^- and NO_x^+ for *Escherichia coli* inactivation in atmospheric pressure DC corona discharges", *Journal of Physics D: Applied Physics*, 48, 305401 (2015). DOI: 10.1088/0022-3727/48/30/305401

[学会発表] (計 8 件)

1. **○K. Sekimoto**, A. R. Koss, J. B. Gilman, V. Selimovic, M. M. Coggon, K. J. Zarzana, B. Yuan, B. M. Lerner, S. B. Brown, C. Warneke, R. J. Yokelson, and J. de Gouw, "Unravelling the chemical complexity of

- biomass burning VOC emissions via H_3O^+ ToF-CIMS: Separation of high- and low-temperature pyrolysis products”, 2017 American Geophysical Union Fall meeting, **Oral presentation** (New Orleans, LA, December, 2017).
- K. Sekimoto**, S.-M. Li, B. Yuan, A. R. Koss, M. Coggon, C. Warneke, and J. de Gouw, “Calculation of the sensitivity of proton-transfer-reaction mass spectrometry (PTR-MS) for volatile organic compounds”, *The 64th ASMS Conference on Mass Spectrometry*, **Poster presentation** (Indianapolis, IN, June, 2017).
 - 関本 奏子**, S.-M. Li, B. Yuan, A. R. Koss, M. Coggon, C. Warneke, and J. de Gouw 「揮発性有機化合物の分子情報を用いたプロトン移動反応質量分析法の感度計算」第 65 回質量分析総合討論会 **ポスター発表** (2017 年 5 月, つくば).
 - K. Sekimoto**, S.-M. Li, Bin Yuan, A. R. Koss, M. Coggon, C. Warneke, and J. de Gouw, “Calculation of average-dipole-orientation rate constants for proton transfer reactions between H_3O^+ and organic compounds using molecular mass and elemental composition”, *The 64th ASMS Conference on Mass Spectrometry*, **Poster presentation** (San Antonio, TX, June, 2016).
 - 関本 奏子**, S.-M. Li, B. Yuan, A. R. Koss, M. Coggon, C. Warneke, and J. de Gouw 「質量・元素組成・ADO 理論を用いた H_3O^+ および大気中微量成分間のプロトン移動反応速度定数の計算」第 64 回質量分析総合討論会 **口頭発表** (2016 年 5 月, 大阪).
 - K. Sekimoto**, M. Sakakura, H. Hike, T. Kawamukai, T. Shiota, and M. Takayama, “Improving ionization efficiency of direct analysis in real time-mass spectrometry (DART-MS) by using DC corona discharges”, *The 63th ASMS Conference on Mass Spectrometry*, **Poster presentation** (St. Louis, MO, June, 2015).
 - 関本 奏子**, 芦澤 ゆりの, 高山 光男「大気圧コロナ放電イオン化質量分析法を用いたペチュニア花卉の香気成分のアンビエント分析」第 63 回質量分析総合討論会 **口頭発表** (2015 年 6 月, つくば).
 - 関本 奏子**, 坂倉 幹始, 川向 孝知, 比毛 浩, 塩田 晃久, 碓井 史彦, 板東 泰彦, 高山 光男「直流コロナ放電を用いたリアルタイム直接質量分析法 (DART-MS) の高感度化」第 63 回質量分析総合討論会 **ポスター発表** (2015 年 6 月, つくば).

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

- 名称: 大気圧イオン化方法
 発明者: **関本 奏子**, 高山 光男, 比毛 浩, 坂倉 幹始
 権利者: 公立大学法人横浜市立大学, エーエムアール株式会社
 種類: 特許
 番号: 特願 2015-165952 (国内), PCT/JP2016/74609 (米国)
 出願年月日: 2015 年 8 月 25 日 (国内), 2016 年 8 月 24 日 (米国)
 国内外の別: 国内および海外 (米国)

○取得状況 (計 2 件)

- 名称: イオン化装置及び質量分析装置
 発明者: **関本 奏子**, 高山 光男, 奥村 大輔
 権利者: 株式会社島津製作所, 公立大学法人横浜市立大学
 種類: 特許
 番号: 特許第 6091620 号 (国内), US9691598 B2 (米国), ZL201380078641.2 (中国)
 取得年月日: 2017 年 2 月 17 日 (国内), 2017 年 6 月 27 日 (米国), 2017 年 8 月 25 日 (中国)
 国内外の別: 国内および海外 (米国, 中国)
- 名称: 大気圧コロナ放電イオン化システム及びイオン化方法
 発明者: 高山 光男, **関本 奏子**
 権利者: 公立大学法人横浜市立大学
 種類: 特許
 番号: 特許第 5822292 号
 取得年月日: 2015 年 10 月 16 日
 国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

- 大気中揮発性有機化合物の計測手法「プロトン移動反応質量分析法」の最新総説
https://www.yokohama-cu.ac.jp/news/2017/20171016_Sekimoto.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

関本 奏子 (KANAKO SEKIMOTO)

横浜市立大学・大学院生命ナノシステム科学研究科・助教

研究者番号: 40583399