

平成 21 年 4 月 30 日現在

研究種目：基盤研究（A）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18254001
 研究課題名（和文） ドイツ最先端模擬大気チャンバーを用いたラジカル計測による
 大気反応機構解明
 研究課題名（英文） Atmospheric reaction mechanism studied by highly advanced German chamber
 and radical observations.
 研究代表者
 梶井 克純（KAJII YOSHIKUNI）
 首都大学東京・大学院都市環境科学研究科・教授
 研究者番号：40211156

研究成果の概要：

ドイツ最先端チャンバー内において合成された空気の OH 反応性計測や、 N_2O_5 の濃度測定を通して、1.我々の開発してきたレーザー誘起蛍光(LIF)法によるラジカル計測装置の妥当性の検証、2.未知なる OH ラジカルの反応相手の探索、3.非レーザー法による OH 反応性測定装置の開発、4. RO_2 と HO_2 の分別計測法開発、5.都心大気の集中観測と OH 反応性計測、6. N_2O_5 とエアロゾルの化学計測を行った。その結果、我々の測定装置は妥当なものとして世界の大気化学研究者から認定された。未知なる OH 反応性については大気中で光化学的に 2 次的に生成する化学物質に加えて移動、固定発生源からもかなりの量の未計測の VOC が排出されていることが示唆された。オキシダントの直接の前駆物質である過酸化ラジカル(RO_2 と HO_2)の大気中での性質の違いについてその反応性から明らかとなった。 HO_2 は水溶性が高いことから実大気中ではエアロゾルなどによる取込み過程が重要である可能性が指摘された。都市郊外でも都心部でも OH 反応性計測から、未知なる OH 反応相手が 15-50%存在しており、特に都心部では冬季においてもその寄与が大きいことが明らかとなった。首都大学東京八王子キャンパスにおいて N_2O_5 とエアロゾルの計測を行い、夜間に N_2O_5 の濃度減衰とそれに呼応したエアロゾルの成長およびナイトレートの増加が確認され、 N_2O_5 経由の硝酸生成の重要性が実証された。

交付額：

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	13,200,000	3,960,000	17,160,000
2007年度	11,100,000	3,330,000	14,430,000
2008年度	8,800,000	2,640,000	11,440,000
総計	33,100,000	9,930,000	43,030,000

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：環境動態解析

キーワード：OH ラジカル、反応性、 N_2O_5 、VOC、 NO_x 、ミッシングシンク

1. 研究開始当初の背景

都市のオキシダントは悪化の一途をたどっている。対流圏オゾンはわが国のほぼ全域において約 0.5%毎年の割合で増加している。オゾンはその毒性に加えて温室効果気体であることからその増加を強く抑える必要がある。オゾンは大気中に直接放出される汚染物質ではなく、前駆物質である窒素酸化物(NO_x)と揮発性有機化合物(VOC)の光化学反応により二次的に生成してくると考えられている。それゆえにオゾンの光化学的生成を抑制するためには化学反応機構を詳しく解

明する必要がある。一連の光化学反応においては OH- HO_2 - RO_2 のラジカル連鎖反応と窒素酸化物の動態把握が重要となる。我々は光化学反応理論検証と都市の大気質診断を行うためこれらのラジカル化学種をその場計測できるレーザー分光装置の開発を進めてきた。これらのラジカル計測装置を用い、東京郊外を代表する地域である首都大学東京(東京都八王子市)において予備的な大気観測を開始した。その結果、大気化学的に大変重要ないくつかの疑問点が明確となった。

①OH ラジカルの未知なる消失過程が 3 割程

度も存在すること

②NO₃/N₂O₅の関与するNO_xの除去過程の寄与率が不明であること

③日中におけるRO₂-O₃-NO_x間に成立する光化学定常状態のずれが存在すること

これらの問題点は全てオキシダントの光化学的制御戦略に大きく影響を与えることからそれらの解決が急がれる。ここで①は約70におよぶオゾン前駆物質を考慮してもなお3割もの未考慮の化学物質がオゾンの光化学的生成に関与していることを実験的に初めて示した事例である(Sadanaga et al., 2003)。オゾンの生成プロセスは非線形であることから3割の未知なるオゾン前駆物質がオゾンの生成量としては10倍以上の違いをもたらすこととなるので未知なるOHラジカルの反応相手の同定が本質的に重要となる。不一致の度合いは春から夏にかけて顕著であることと、未知なるOHの相手とアルデヒドが良い相関を示したという事実から、未知なるOHラジカルの反応相手として植物起源の含酸素揮発性有機化合物(OVOC)や大気中でVOCとOHの反応で2次的に生成してくるOVOCなどが有力候補となる(吉野等 2005)。これらを同定するためには制御された環境下での光照射を経験した空気の実大気観測を行う必要がある。そのためには大規模なスモッグチャンバー大気の測定が最も重要となる。②の問題点は、都市域から発生した窒素酸化物が大気から除去されていく過程で従来は日中のOHラジカルによる硝酸生成のみが考慮されていたが、夜間のNO₃とVOCの反応やN₂O₅とエアロゾルの反応が重要であると考えられるようになった。実大気中でどの程度のN₂O₅がエアロゾルにより硝酸に変換されているのか、またNO₃がどの程度VOCを酸化しているのかを知ることにより、大気中でのNO_xの動態を詳しく知る必要がある。申請者等は東アジアで初めてN₂O₅の大気計測に成功した(小杉等 2005)。解析の結果N₂O₅の除去とエアロゾルの表面密度に緩やかな相関は認められたがその相関係数は予想されたものよりもはるかに小さかった。NO₃/N₂O₅が関与したNO_xの除去過程がどの程度大気中で寄与するかを実証するためには目的にかなったエアロゾルを必要な量だけ自由に生成できる施設が必要となる。またNO₃ラジカルの検量を行うためにはDOAS装置による絶対濃度測定が出来ることが要求される。③太陽紫外線によるNO₂からNOへの変換とRO₂やオゾンによるNOからNO₂への変換は平衡状態であることが大前提であるが、我々はNOからNO₂への変換が系統的に日中大きくなる(最大で50%程度まで)ことを見出した。このずれを考慮に入れると都市大気中でのオキシダント生成は加速されることになるので詳しく検討する必要がある。我々の手法ではRO₂の計測は反応槽内でRO₂をHO₂に変換して行うため、RO₂の違いについては原理的に考慮できない。本来はRがどのような官能基かにより反応性が異なるためそれぞれについて考慮する必要がある。それぞれのRを特定するために低温マトリクスに大気試料を単離し電子スピン共鳴法(MIESR)により個々のRの区別をする必要がある。

2. 研究の目的

これらの大気化学的要請に応えるための実験施設を有しているのは、ドイツ連邦共和国のユーリッヒ科学研究センターの対流圏大気科学研究グループしかない。そこで今回そこ共同研究を行うという着想に至った。我々の開発してきたOHラジカルの大気寿命測定装置は現状世界に1台しか存在しないユニークな装置であり本装置を目的の場所に搬入する必要がある。また、本装置は大気試料を大量に吸引する必要がある(30 l/min)。大量のオゾン前駆物質および窒素酸化物を自在に混入させ光反応を起こさせることが可能な巨大な反応槽が必要である。そこで我々が開発してきたポンププローブ法によるOHラジカル大気寿命測定装置を用い、オゾン前駆物質を混入した合成空気試料をチャンバーに導入し、太陽光による光化学反応を誘起させた試料のOH反応性を計測する。その間、GC-MS分析装置により前駆物質やHO_xラジカルの時間変化を追跡するとともに未知なるOHラジカルの反応相手に対する知見を得ることを第1の目的とした。

第2の目的はユーリッヒのエアロゾルチャンバーを用いてN₂O₅の取込に関する研究を行うことである。液滴状のエアロゾルによるN₂O₅の取込係数は $\gamma = 0.1$ と報告されている。しかしながら都市大気中の有機エアロゾルは表面に存在する水分が少なくN₂O₅の取込が著しく抑えられる可能性がある。そこで、実大気条件に近いエアロゾルを発生させNO₃/N₂O₅の取込を実験的に決定すること、また温度条件・湿度条件・オゾンやNO_x濃度レベルを変化させることによる取込係数の支配因子を特定することを目指す。そのためにはユーリッヒにある260 m³のエアロゾルチャンバーは静電型分級器、エアロゾル質量分析装置などの最先端の物理計測装置に加えてエアロゾルの化学分析も可能であることから本実験を遂行するためには最適である。そこで我々が開発したNO₃/N₂O₅濃度測定装置をユーリッヒに搬入しエアロゾルチャンバーに装着し測定することを計画した。

第3の目的は大気中に生成する過酸化ラジカルの個々の官能基による反応性の違いについて検証する実験である。化学増幅法と呼ばれる我々の採用しているRO₂測定手法では過酸化ラジカルは全てHO₂ラジカルとして計測されることから、過酸化ラジカルがNOを酸化する速度の見積もりが誤っている可能性がある。このことを検証するためには個々のRO₂を区別できるMIESR法で計測する以外に方法は無い。そこで、我々の開発したLIF法によるRO₂計測装置をユーリッヒに持ち込みそこで、MIESR法の装置とその場大気測定との相互比較を行い、我々の測定手法の妥当性を検証し、光化学定常状態について検証を試みた。

3. 研究の方法

上記の研究目的を実現するために

① OH反応性計測と未知VOCの探索

② 夜間窒素酸化物の動態解析

のサブテーマを設定して研究を進めた。いずれ

のサブテーマにおいてもドイツ最先端チャンパーである SAPHIR チャンパーによる大気観測結果について考察を行った。またこれらの実験に加えて本研究では、

- a) NO₃-N₂O₅ 相互比較キャンペーン
- b) N₂O₅ とエアロゾルの化学計測
- c) 非レーザー法による OH 反応性測定
- d) 都市大気の計測と OH 反応性の検討
- e) RO₂ と HO₂ の分別計測法開発を行った。

4. 研究成果

4.1 ドイツ最先端チャンパー(SAPHIR)

本実験では全長 20 m および体積 370 m³ を有するテフロンバッグで構成された世界最大級のスモッグチャンパー(SAPHIR: Simulation Atmospheric Photo chemistry In a large Reaction chamber)において一部の実験を遂行した。



図 4.1.1 SAPHIR チャンパーの全景写真

液体窒素と液体酸素を自在に充填することにより合成空気をチャンパー内に導入する。また、チャンパーの外側を覆っているルーフカバーを瞬時に開閉することにより暗状態から太陽光照射を行い、化学反応を誘起できる構造となっている。また、同チャンパーには 2 種類の長光路吸収分光(DOAS)装置が常設されており、OH ラジカル、NO₃ ラジカルおよびアルデヒド類のその場計測が可能となっている。その他、LIF 装置により OH に加えて HO₂ ラジカルおよび RO₂ ラジカルの濃度測定も可能である。チャンパーの頂点には太陽紫外線による種々の化学物質の光分解速度(J values)が測定できる。

SAPHIR gas flow scheme

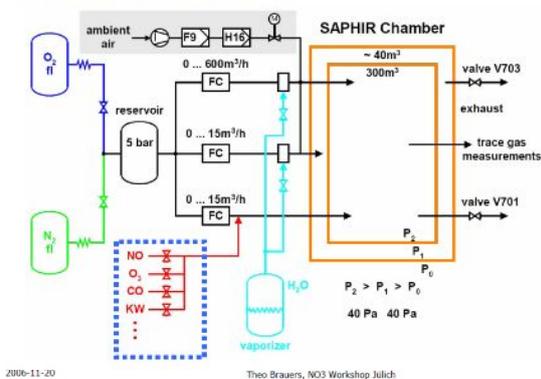
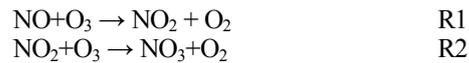


図 4.1.2 SAPHIR に供給しているガスライン

図 4.1.2 に示すとおり、チャンパーに供給しているガスラインは全自動化しており、常にチャンパー内圧、ガス流量が制御されている。このチャンパーの下部には 4 つのフランジによるポートが設置されており、それぞれの測定装置のインレットが結合できるように設計されている。

4.2 NO₃/N₂O₅ campaign

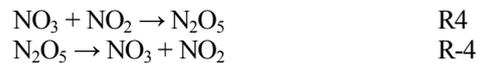
NO₃ ラジカルは窒素酸化物(NO, NO₂)と並び夜間の大気化学反応において重要な窒素酸化物である。大気中に放出される NO_x の主成分である NO は大気中の O₃ との反応により NO₃ ラジカルを生成する。



NO₃ ラジカルは太陽光により NO₂ に分解するため、NO₃ ラジカルは日没から夜明けまでに存在する化学種である。また NO 存在下では速やかに反応し NO₂ を生成する。



従って NO₃ ラジカルは夜間の NO が存在しない大気条件化でのみ存在し、また NO が多く存在する都市域より都市郊外地域や遠隔地、地表付近より上空に多く存在すると考えられている。NO₃ ラジカル大気濃度は諸条件により異なるが概ね 10² - 10³ pptv 程度であると考えられている。NO₃ ラジカルは主に大気中の揮発性有機化合物(以下 VOC)との反応により硝酸を生成し、大気中から除去されると考えられている。また NO₃ ラジカルは NO₂ との反応により N₂O₅ を生成する。



反応 R4,R-4 は熱平衡反応であるため、N₂O₅ は夏季より冬季の大気中に多く存在し、その大気濃度は 10³ - 10⁵ pptv 程度であると考えられている。N₂O₅ は主に大気中のエアロゾルに取り込まれ、不均一反応により硝酸を生成すると考えられている。NO₃ ラジカルおよび N₂O₅ は大気中の化学反応により最終的に硝酸に変換され、硝酸の乾性および湿性沈着により大気中から除去される。

上記のように NO₃ ラジカルおよび N₂O₅ は窒素酸化物の消失過程として重要な化学種であり、近年大気中の濃度測定に関する研究が盛んに行われている。アメリカの研究機関では Cavity Ring Down 分光法による両化学種の測定が行われている。また、化学イオン化法により N₂O₅ を硝酸に変換して測定する手法も考案されている。当研究室では Laser Induced Fluorescence(LIF)分光法による独自の測定方法を確立し、都市郊外地域および遠隔地における両化学種の測定を行った。ここでは 2007 年 6 月にドイツ・ユーリッヒ科学研究所で開催された NO₃/N₂O₅ campaign の概要および成果を記述する。

NO₃/N₂O₅ campaign はドイツ・ユーリッヒ科学研究所が所有する屋外型模擬大気エアロゾルチャンバー(内容量 260 m³)を用いて、理想的な大気条件化における NO₃ ラジカルおよび N₂O₅ の濃度変化を測定する目的で開催された。今回の測定には当研究室のほか、アメリカ・ドイツの大学、研究機関が参加し、各機関が独自に開発した NO₃/N₂O₅ 測定装置との同時測定を行うことで理想的な大気条件化における NO₃/N₂O₅ の濃度変化の測定だけでなく、各測定装置の性能評価を行った。またエアロゾルチャンバーには静電型分吸機、エアロゾル質量分析装置などの最先端の物理計測器に加えて化学分析装置も設置されており、エアロゾルの粒径、化学組成などの測定も同時に行われた。

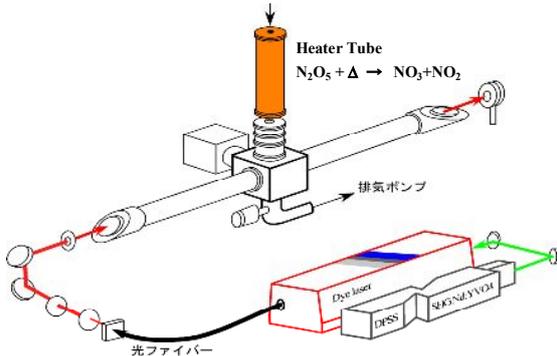


図 4.2.1 に当研究室で開発した LIF 分光法による NO₃/N₂O₅ 濃度測定装置を示す。NO₃ ラジカルは 623 nm 領域に強い吸収帯($A^2E' \rightarrow$

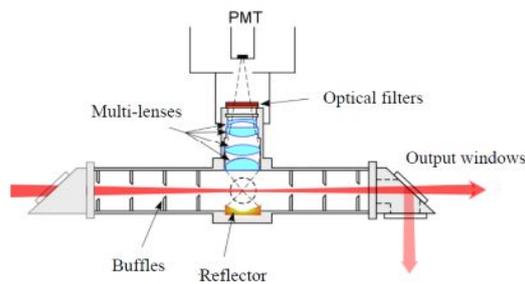


図 4.2.2 LIF セルと検出系の断面図

X^2A_2')が存在し、623nm 光で励起させることで NO₃ ラジカルからの蛍光を放出する。微弱な NO₃ ラジカルの蛍光を効率的に検出するために 4 群 5 枚のレンズ系と放物面反射鏡を用いている。図 4.2.2 に光検出部の断面図を示す。本研究室で開発した濃度測定装置は、NO₃ ラジカルが有する分光特性を利用して NO₃ ラジカルの濃度を測定する装置である。また N₂O₅ は 100°C 程度の加熱により容易に NO₃ に分解する(反応(R-4))。反応(R-4)を利用することで N₂O₅ 濃度を測定することも可能である。NO₃ ラジカルの励起光源として波長可変パルス色素レーザーを用いた。色素レーザーのポンプには Nd:YVO₄ レーザーの第 2 高調波(6.5 W@10 kHz)を用い、色素はメタノールに溶解したローダミン 640(600-700 mW@623 nm)を使用した。色素レーザーの出力は石英製光ファイバーを用い

て模擬大気チャンバーに設置された LIF セルへと導いた。チャンバー内の大気は直径 0.5 インチのテフロン管(リボンヒーターにより 100°C に加熱)を通して LIF セル上端のアルミフランジ中央のオリフィス(孔径 0.4 mm)に接続し、オリフィスを介してセル内に導入した。セル内の圧力は 8.0 Torr に保持された。NO₃ 濃度は化学的に合成した N₂O₅ を用いて感度校正を行った。本測定装置の性能は 1 分間の積算による NO₃ ラジカル検出限界は 19 pptv であった。しかし NO₃/N₂O₅ campaign 期間中は、色素レーザーの不調、光ファイバー導入口の劣化などのトラブルが発生した。本観測では検出感度の向上に努め、また NO₃ ラジカルと N₂O₅ との個別測定を放棄し、NO₃ ラジカルと N₂O₅ の同時測定を行った。その結果 1 分間の積算による NO₃ ラカルの検出限界は 63 pptv であった。

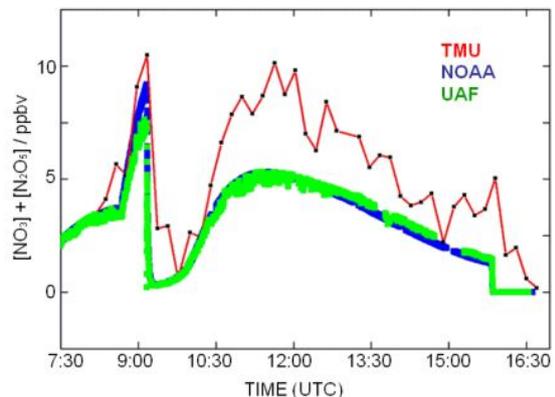


図 4.2.3 NO₃+N₂O₅ 濃度の時間変化

図 4.2.3 の観測では乾燥大気条件化で NO₂ と O₃ を導入することにより、NO₃ ラジカルと N₂O₅ を生成した。NO₃ ラジカル、N₂O₅ を生成した後、β-ピネンを投入する(9:00 ごろ)ことで NO₃ + β-ピネン反応による NO₃ ラジカルと N₂O₅ 濃度が急激に減少している様子が観測された。β-ピネンが反応によりすべて消失すると、残りの NO₂ および O₃ との反応により再び NO₃ ラジカルおよび N₂O₅ が再生した。再生後に徐々に濃度減少が観測されたが、これはチャンバー内に ZG を添加したことによる希釈の影響および大気チャンバー内壁や精製したエアロゾルとの不均一反応による減少が考えられる。

今回の観測に参加した他のグループの観測結果も同時に記載している。ここで NOAA(米国海洋大気局)および UAF(アラスカ州立大)はキャビティリングダウン(CRD)分光法を採用している。今回の観測では、濃度の絶対値では、我々の装置では観測時間帯によって 2 倍程度大きく見積もっているが、NO₃ ラジカルおよび N₂O₅ の時間変化については概ね一致した。16:00 ごろにチャンバーに太陽光を照射し、NO₃ ラジカルを光解離させる実験が行なわれたが、我々の観測では明確な濃度変化を捉えることはできなかった。

今回の観測では異なる 3 研究機関の測定方法による比較から、我々の LIF を用いた測定装置では、NO₃ ラジカルと N₂O₅ の測定が可能であ

ることを立証した。一方で濃度の不一致については、1)観測装置の感度不足による誤差、2)NO₃ラジカルの吸収波長(623.5 nm)とバックグラウンドとなる波長(618.0 nm)にロックする際の、色素レーザーの波長安定性、3)試料大気中のエアロゾルの影響、などが考えられる。2)および3)については、今回の観測により新たに発見した問題点であり、今後このような問題点を克服するための予備実験が必要となった。

4.3 大気の OH 反応性計測

OH ラジカルの反応性観測については、本研究の先行研究として 2004 年から首都大学周辺大気、ドイツのユーリッヒにある SAPHIR チャンバーでの大気計測、2006 年は苫小牧にある北海道大学演習林での森林大気観測などを行ってきた。首都大の周辺大気の観測研究により

- ① 70 種類の VOC 計測で予測した OH の反応性では説明できない未知なる OH の反応相手(Missing sink)が存在する
- ② その missing sink が顕著な季節変動を示す(Missing sink の大きさは概ね 15-50% であるが冬季はほとんど観測されない)
- ③ Missing sink と一部の含酸素 VOC(OVOC) と相関が認められる
- ④ Missing sink とエアロゾルには相関がないという事実が明らかとなっている。これらのことから、missing sink として大気に直接放出された化学物質ではなく 2 次的に大気中で生成してくる OVOC などが有力な候補となる。また我々の知らない未知なる VOC による寄与も考えられる。これらを明らかとするためにユーリッヒの SAPHIR チャンバーによる模擬大気の観測を行った。試料大気は合成空気

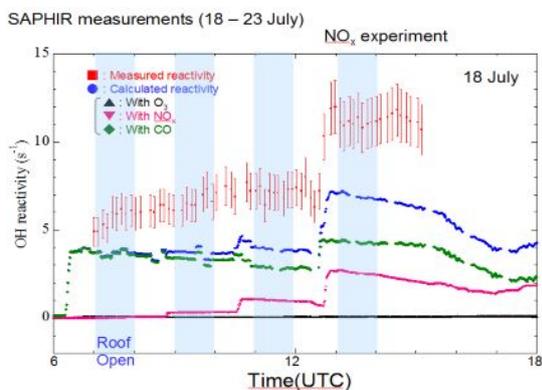


図 4.3.1 SAPHIR チャンバーにより測定された OH 反応性と O₃、CO および NO_x

にオゾンおよび一酸化炭素と NO_x を加えたものをチャンバーに導入し、チャンバーのルーバーを開き、光反応を誘起した。図 4.5.1 にその結果を示す。反応の開始時はオゾンと CO のみであり、段階的に NO_x を導入した。これらの化学種のみによる OH 反応性(k_{calc})を青線でプロットした。赤のプロット示したルーバーの解放された時点では一致を示したが、時間の経過とともにその差が拡大して

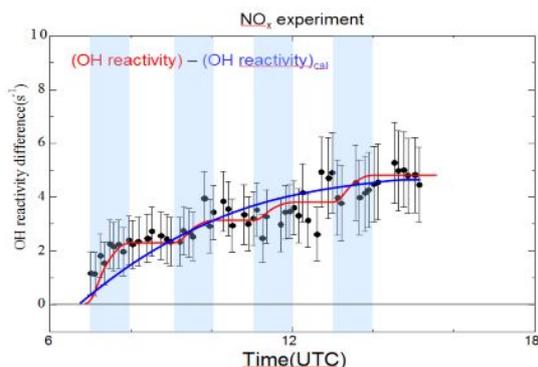
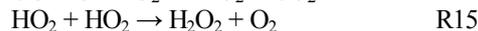
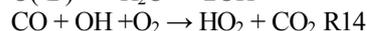
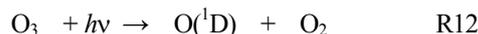


図 4.3.2 SAPHIR チャンバーにより測定された OH 反応性と計算との差($\Delta k = k_{obs} - k_{calc}$)

我々の装置で計測された OH 反応性(k_{obs})は、いくことが明らかとなった。ここで未知

$$\Delta k = k_{obs} - k_{calc} \quad R11$$

なる OH 反応性(Δk)を R11 と定義する。図 4.3.2 から明らかなように未知の反応性は光照射に応答していることが分かる。VOC の存在しない系における化学反応機構を考察すると



これらの反応が進行していると考えられる。未知の反応性は最大で $\Delta k = 5 \text{ s}^{-1}$ 程度となり、OH と最も反応の早い VOC の一つであるイソプレンに換算すると 2.6 ppb 必要となる。詳細なボックスモデル計算はまだ行っていないが、上記反応生成物(H₂O₂, HONO, HNO₃, HO₂NO₂)だけでは全く不十分であり、それ以外の未知なる物質の生成が示唆された。模擬大気の照射により確かに missing sink が生成することが明らかとなったが、チャンバーの内壁に付着した化学物質が光照射の際に脱着し OH と反応する可能性もあり、missing sink の特定には至っていない。植物起源物質の寄与を調べるため北大の演習林で観測を行ったところ、OH ラジカルの反応性の絶対値は 2 s^{-1} と比較的小さいながら missing sink が 1/3 程度存在することが明らかとなった。これらの事実を踏まえ、2007 年夏季および冬季に東京都立環境科学研究所(江東区東陽町)において都市大気の集中観測を行った。

4.4 種々の地点での OH 反応性測定結果

図 4.4.1 にこれまでの夏季の観測結果と東陽町の夏季観測で得られた結果をまとめて示す。一番右側のプロットはトータル OH 反応性であり、苫小牧 < 八王子 < 東陽町 という順番になっている。郊外地域である八王子と都心と位置付けられる東陽町の結果を比較すると、OH 反応性の差異を与えているのは主に

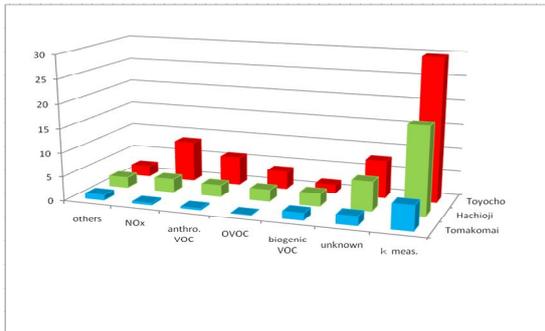


図 4.4.1 各地域での各化学成分グループによる OH 反応性の寄与

AVOC (anthropogenic VOC) と NO_x の違いで説明できる。その他の化学成分グループは比較的類似の値を示す。都心と郊外大気は大きく異なると考えられるにもかかわらず missing sink の大きさはほぼ同じであることが興味深い。また、苫小牧で観測された BVOC の OH 反応性は 1.4 s⁻¹ であり、

表 4.5.3 各地域における各化学成分グループの OH 反応性

	都心部 (東陽町)	郊外 (南大沢)	森林 (苫小牧)
NO _x /s ⁻¹	8.0	2.7	0.3
AVOC /s ⁻¹	5.9	2.3	0.3
BVOC /s ⁻¹	1.8	2.5	1.4
Total /s ⁻¹	30	18	5

全体の 28% である。苫小牧の missing sink は全体の 33% もあり 2 s⁻¹ であった。絶対値として比較すると BVOC に対して 1.43 倍の missing sink が存在することになる。その主な要因については現在解析中であるが、missing sink と植物由来の Isoprene が強い相関を示すことから missing sink も植物由来の 1 次発生源あるいは Isoprene などのテルペノイドの 2 次酸化物の可能性が大きいと考えている。苫小牧の結果を直接都心大気にあてはめることは難しいが、都心の BVOC の反応性が 1.8 s⁻¹ であることから、植物由来の missing sink として 1.8 × 1.43 = 2.6 s⁻¹ と大雑把に推定される。この値から植物由来の missing sink の重要性は疑う余地がないが、今回観測された東陽町での missing sink は 8 s⁻¹ であり、その他の化学物質の寄与も大きいものであった。今後はその原因物質の特定を急ぐ必要がある。

表 4.5.4 地域別の OH ラジカル反応性の missing sink

	都心部 (東陽町)	郊外 (南大沢)	森林 (苫小牧)
絶対値 /s ⁻¹	8	6	2
寄与率	26%	33%	33%

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (すべて査読有り)

(1) OH ラジカル寿命観測による都市大気質の診断 II— 東京都心部における総合観測 —, 中嶋吉弘, 松田裕明, 井出滋雄, 宮崎洗治, 山崎晃司, 岡崎創, 長田拓也, 田島洋介, Jeeranut Suthawaree, 加藤俊吾, 下紳郎, 松永壮, Eric Apel, James Greenberg, Alex Guenther, 上野広行, 佐々木啓行, 星純也, 横田久司, 吉野彩子, 石井康一郎, 梶井克純,
大気環境学会誌, Vol.44, No.1, 33-41 (2009).

(2) (3) Development of Atmospheric NO Analyzer by Using a Laser-induced Fluorescence NO₂ Detector, Koji Miyazaki, Jun Matsumoto, Shungo Kato, Yoshizumi Kajii, Atmos. Environ., 42, 7812-7820, doi:10.1016/j.atmosenv.2008.05.056 (2008).

その他 19 件

[学会発表] (計 28 件)

(1) "Validation of the 3-D air quality simulation based on OH reactivity over Tokyo metropolitan area", Satoru Chatani, Nobuo Shimo, Sou Matsunaga, Yoshizumi Kajii, Shungo Kato, Yoshihiro Nakashima, Koji Miyazaki, American Meteorological Society, 89th Annual meeting (January, 2009, Phenix)

(2) "Comparison of Total OH Reactivity Measurement Methods in Ambient Air between a Comparative Reactivity Method using PTR-MS and a LASER Technique", Hajime Okazaki, Takuya Osada, Yoshihiro Nakashima, Shungo Kato, Yoshizumi Kajii, American Geophysical Union, fall meeting, San Francisco (December, 2008, San Francisco)

その他 26 件

[産業財産権]

○取得状況 (計 1 件)

名称: レーザ誘起蛍光法による大気中の窒素酸化物濃度測定方法及び装置

発明者: 梶井克純, 宮崎洗治

権利者: 公立大学法人首都大学東京

番号: 特開 2008-292220

出願年月日: 平成 19 年 5 月 23 日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梶井 克純 (KAJII YOSHIKUNI)

首都大学東京・都市環境科学研究科・教授

研究者番号: 40211156

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

加藤 俊吾 (KATO SHUNGO)

首都大学東京・都市環境科学研究科・准教授

研究者番号: 20381452

金谷 有剛 (KANAYA YUGO)

地球環境フロンティア研究センター・研究員

研究者番号: 60344305

(4) 研究協力者

中嶋 吉弘 (NAKASHIMA YOSHIHIRO)

首都大学東京・都市環境科学研究科・助教

研究者番号: 20419873