

C-1 東アジアにおける酸性・酸化性物質の動態解明に関する研究

(2) 東アジアにおける大気動態解明のための航空機等を用いた観測に関する研究

① 航空機観測のための酸化性物質の高感度計測システムの開発及び汚染物質輸送、変質等の解析に関する研究

研究代表者

国立環境研究所

畠山 史郎

環境庁 国立環境研究所

地球環境研究グループ 酸性雨チーム 村野健太郎・畠山史郎

大気圏環境部 大気反応研究室 福山 力

化学環境部 計測技術研究室 向井人史

計測管理研究室 西川雅高

(委託先) 東京水産大学 大槻 晃

鹿児島県環境センター 宝来俊一

平成2-4年度合計予算額 81,512千円

〔要旨〕東アジア地域は現在すでに世界でも有数の NO_x 、 SO_2 の排出地域であるが、その排出量は今後も更に増え続けることが予想されている。¹⁾大陸の風下に位置する我が国に飛来する大気汚染物質や、それらが長距離輸送の過程において大気中で酸化されて生成する酸性物質は当然大きく増加するものと考えられるが、このような予測を裏付ける科学的なデータはこれまであまり得られていなかった。本研究は、東アジア・西太平洋地域における大気汚染物質の動態を航空機観測および同時に行った集中地上観測で明らかにする事を目的に行われた。平成3年度の観測では大陸性気団と海洋性気団の寄与による汚染質濃度の相異が明らかになり、4年度の観測では風向により、朝鮮半島を含む大陸からの汚染質の輸送の影響が非常に強く現れることを明らかにした。一方、大気中における酸性・酸化性物質の生成過程に関してこれまで十分な情報のなかった有機過酸化物の捕集法、高感度分析法を開発し、これを用いてオゾンと植物が放出している天然炭化水素との反応から過酸化水素や有機過酸化物が生成する過程を明らかにした。

〔キーワード〕東アジア、 NO_x 、 SO_2 、長距離輸送、有機過酸化物

1. 序

NO_x 、 SO_2 の世界の三大排出地域と言われる欧州、北米、アジアのうち、アジアは今後も人口増加と工業の発展により大気汚染物質の排出量が増加し続けるものと考えられ、将来はこの地域が最大の排出地域となるものと予想されている。アジアの最東端に位置するわが国には、その結果として大量の酸性物質が降下するものと懸念される。しかし、徒に被害者の立場に立って解

決を求めるのではなく、明確な科学的データに基づいて対策を検討し、必要に応じて技術的な援助を行うことが事態解決のために重要であると言えることができよう。

そこで、本研究ではI G A C計画（国際地球規模大気化学計画）に基づき、PEACAMPOT プログラム（太平洋上の対流圏大気に対する東アジアの大陸性気塊の影響）と名付けた航空機調査を、計画して、平成3年度には韓国、中国を含めた国際共同観測として調査を行った。平成4年度には国内のみの観測を行い、異なるいくつかの高度を飛行して、汚染質の空間分布を求めることを目的にした。

一方、人為起源および天然の炭化水素の光化学反応からはオゾン、P A N、過酸化水素や有機過酸化物等の酸化性の物質が生成し、これらは酸性雨とともに森林等の生態系に悪影響を及ぼすものと考えられている。たとえば、関東地方の杉枯れの分布と高濃度オキシダントの分布は非常によく一致している。これら酸化性の物質のうち、有機過酸化物はまだ測定手法も必ずしも確定しておらず、また生成過程も十分に理解されているとは言いがたい。

このような観点から平成2-4年度にかけて〔1〕東シナ海、日本海上空の航空機観測及び周辺地域における集中地上観測、〔2〕天然炭化水素とオゾンの反応による有機過酸化物の生成過程の研究、の2種類の研究を遂行した。

〔1〕東シナ海、黄海、日本海上空の航空機観測及び周辺地域における集中地上観測

2. 研究目的

- ①東アジア地域における一次および二次汚染物質の長距離輸送と沈着の過程を明らかにする。この目的のため、粒子状物質の定性、定量を行う。
- ②東アジア地域における大気汚染物質の輸送と化学変化過程を明らかにする。この目的のため、オゾン、P A N等の酸化性物質およびSO₂やNO_xの空間分布・濃度変化を測定する。

3. 実験方法

本観測においては航空機観測と地上における集中観測を同時に行い、大気汚染物質の立体的な分布、変化を測定した。本観測は平成3年10月5日から11日にかけて、および平成4年11月8日から12日にかけて行われた。本観測において観測の主な対象とした汚染質は表1の通りである。

平成3年度の航空機観測は長崎（大村）空港を基地として以下のルートで行った。（図1）

- 1) 長崎⇄与論島（東シナ海上空） 平成3年10月5、6日
- 2) 長崎⇄ソウル（韓国）（黄海上空） 同 7、8日
- 3) 長崎⇄新潟（日本海上空） 同 10、11日

なお使用航空機はCESSNA 404型（所属昭和航空（株））である。10月6日の与論島→長崎の観測飛行においては米国N A S AのDC-8観測機と同期飛行を行い、同一時間に同一地域を飛行して観測およびサンプルの採取を行って、比較・校正の可能なデータを得ることができた。飛行高度は基本的には10,000ftであるが、1)および3)の観測では途中一時1,500 ftまで降下して境界層をはさんだ上層と下層の違いについても観測した。

平成4年度の航空機調査は長崎空港を基地として済州島沖の東シナ海上空（11月8、10日）および出雲空港を基地として隠岐島西方の日本海上空（11月11、12日）で行った。前者で

表1：測定項目及び測定手法

| 測定項目 | 測定手法 | 測定年度 |
|------------------------|---------------|-------|
| SO ₂ | パルス蛍光法 | 4年度 |
| SO ₂ | 含浸ろ紙法 | 3年度 |
| オゾン | 紫外線吸収法 | 3、4年度 |
| NO _x | オゾン化学発光法 | 3、4年度 |
| PAN | 低温濃縮捕集法 | 4年度 |
| 硝酸、HCl、NH ₃ | 拡散スクラバー法 | 4年度 |
| HCl、NH ₃ | 含浸ろ紙法 | 3年度 |
| アルデヒド類 | 含浸カートリッジ法 | 3年度 |
| 非メタン炭化水素 | Grabサンプリング法 | 3年度 |
| 一酸化炭素 | Grabサンプリング法 | 3年度 |
| 無機エアロゾル | ハイボリューム・サンプラー | 3、4年度 |
| 粉塵 (Al, Si, Fe) | ローボリューム・サンプラー | 3年度 |
| エアロゾルの形態 | インパクター法 | 3、4年度 |
| エアロゾル個数濃度 | パーティクルカウンター | 4年度 |

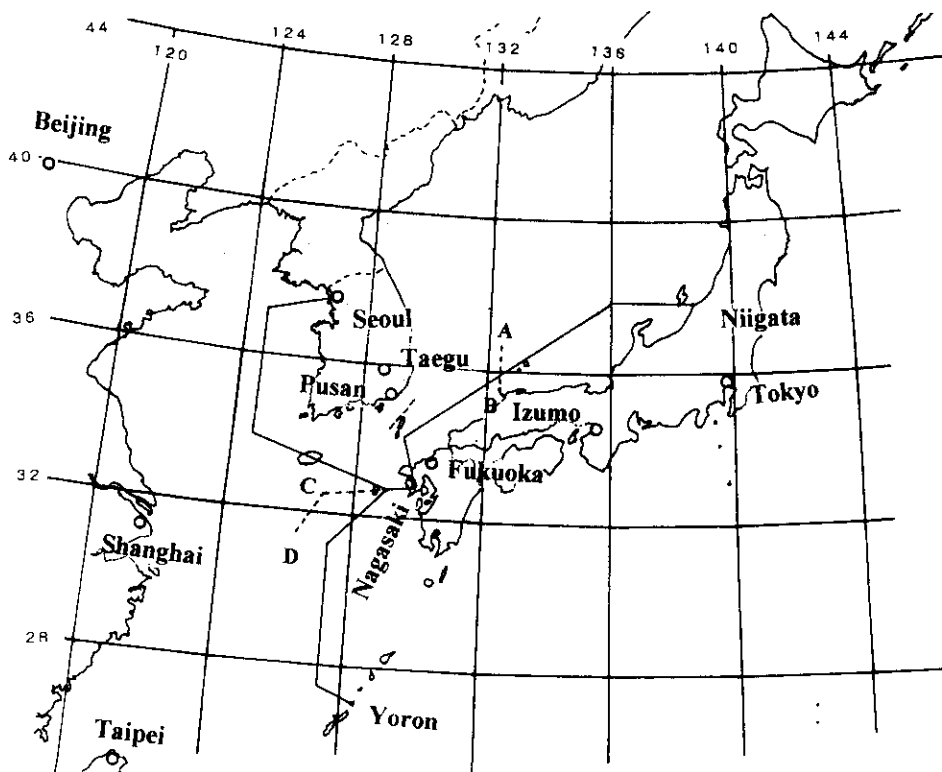


図1：航空機調査のフライトコース。平成3年度：実線、平成4年度：破線

は基本的には北緯32°15' 東経127°（C点と呼ぶ）と北緯31°05' 東経126°20'（D点）の間、後者では北緯35°20' 東経132°30'（B点）と北緯36°40' 東経132°30'（A点）の間をそれぞれ約10000、7000、4500、1500 ftの4高度で観測を行った。使用飛行機はFairchild Swearingen SA226-AT型（所属昭和航空（株））である。各汚染質の高度分布を観測した。各コースは図1に示してある。ただし雲を避けるため高度および飛行コースは場合に応じて若干の変更がある。

また平成3年度の地上集中観測は隠岐、対馬、沖縄、および青島付近（中国）で行われた。国内の観測点での観測項目は表2の通りである。平成4年度の地上観測は隠岐および長野県八方尾根で行われ、ガス状物質、粒子状物質および雨水の採取、分析が行われた。観測項目は平成3年度と同様である。

表2：集中地上観測地点と観測項目

| 測定項目 | 観測地点 | | | | サンプリング装置 | 分析法 |
|------------------|------|----|----|----|-------------------------|--------|
| | 隠岐 | 対馬 | 沖縄 | 八方 | | |
| 雨 | ○ | ○ | ○ | ○ | バケツ式 | |
| O ₃ | ○ | ○ | ○ | ○ | Dasibi O ₃ 計 | UV |
| SO ₂ | ○ | ○ | ○ | ○ | ローボリューム | IC |
| NH ₃ | ○ | ○ | ○ | ○ | 〃 | IC |
| HNO ₃ | ○ | ○ | ○ | | デニューダー | IC |
| HNO ₃ | | ○ | | | 拡散スクラバー | IC |
| NO ₂ | | | | | 拡散チューブ | |
| RCHO | | ○ | | | ミストチャンバー | IC |
| RCOOH | | ○ | | | 〃 | IC |
| PAN | | ○ | | ○ | 冷却トラップ | ECD-GC |
| CO | ○ | | | | | NDIR |
| NO _y | ○ | | | | | CL |
| S, Metal | ○ | ○ | ○ | ○ | ステップサンプラー | PIXE |
| Inorg. Ions | ○ | ○ | ○ | ○ | ローボリューム | IC |
| EC, OC | ○ | ○ | ○ | ○ | ハイボリューム | CFライザー |
| MSA | ○ | ○ | ○ | | テープサンプラー | IC |

4. 結果と考察

(1) 平成3年度観測におけるオゾンとNO_x

東シナ海、黄海日本海上空出の観測から、日本周辺海洋上の大気中濃度は、オゾンが30～70 ppb、NO_xが0.2～4 ppbという値を得た。NOはほとんどの場合検出限界以下で、高い場合でも

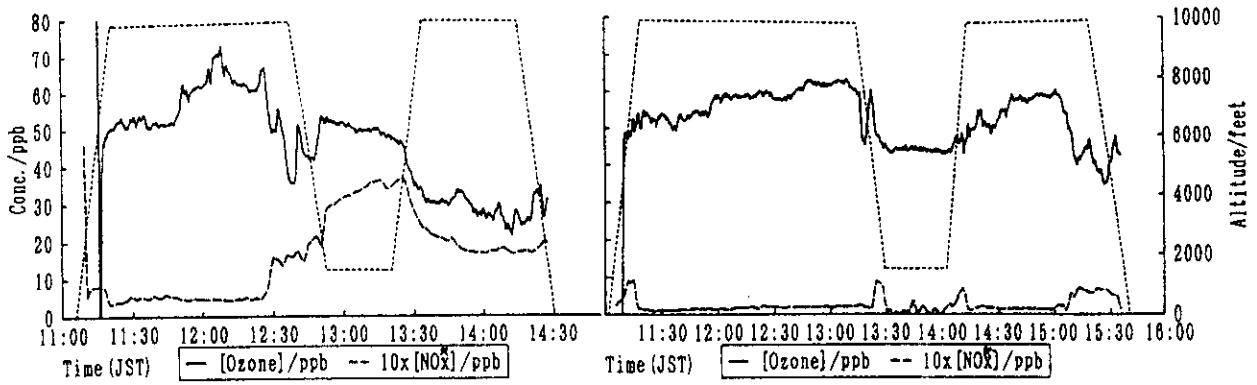


図2：長崎→与論（10/5）のO₃, NO_x

図3：長崎→新潟（10/10）のO₃, NO_x

40 ppt程度であった。測定結果の一例として図2、3に長崎→与論（10月5日）および長崎→新潟（10日）の飛行時の高度と、オゾン、NO_xの濃度変化の様子を示す。5日の測定では、前半（12時30分）までと後半で明らかに履歴の異なる気塊を捕らえている。前半の気塊は湿度も極端に低く、成層圏のオゾンを含む気塊が高度3,000m付近まで降りてきたことを示唆している。これに対して後半の気塊は、高濃度NO_xと低濃度オゾンから考えて、排出されてからあまり時間の経っていない人為的に汚染された大気を捕らえているものと考えられる。中間点付近では停滞前線を横切っており、その付近で大陸から来たオゾンに富む冷氣塊が、海洋からの暖気塊を押し上げる形になっていたものと見られ、このため下層でオゾン濃度がその後の上層のものよりも高いという通常とは逆のパターンが見られている。一方、10日の観測では、高高度、低高度ともにNO_x濃度が非常に低く、人為汚染の影響の少ない気塊が日本海を覆っていたことを示している。実際、流跡線を解析してみると、大陸北部に発した気塊が日本海上空に長期間滞在していたことが分かり、上記の推測が裏付けられた。

（2）平成4年度観測における日本海上空の高濃度SO₂

観測結果の一例として、日本海上空におけるSO₂とO₃、NO_xのデータを図4および図5に示した。本年の観測結果ではO₃の場所および高度による変化は非常に少なかった。一方SO₂の濃度分布は非常に興味深い変化を示した。図4の11月11日の観測ではB点付近でSO₂の濃度が最も高く、かつ非常に鋭い分布を示している。風向が南よりであったことも考え合わせると、本州のかなりローカルな汚染の影響を受けたものではないかと考えられる。一方11月12

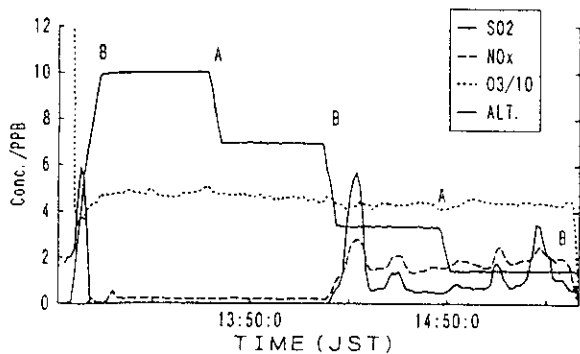


図4：隠岐西方（11/11）のSO₂、O₃、NO_x

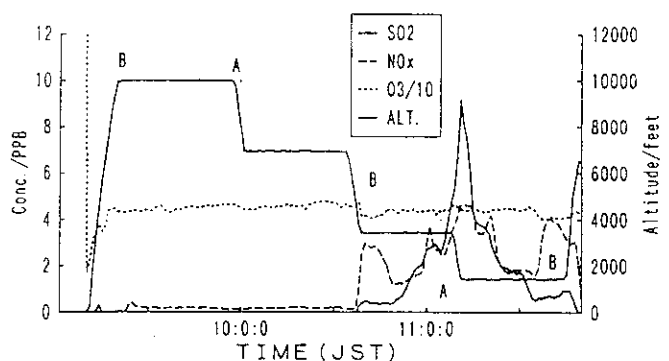


図5：隠岐西方（11/12）のSO₂、O₃、NO_x

日には逆に沖合いの海上A点で9 ppbを越える非常に高濃度のSO₂が観測され、日本に向かって徐々に濃度が低下する幅広い分布を示している。A点での風向が西ないし北西であったので、このデータは大陸からの強い影響を示しているものと解釈される。NO_xの分布もこれに近いものであった。PANの分布はNO_xに非常によく対応する興味深いものであった。流跡線解析の結果は、図6に示すように12日にはいずれの高度においても韓国のTaegu、Pusanといった大工業地帯を通過した気塊が日本海上空に到達していることを示しており、風向によって非常に高濃度の大气汚染物質が我が国に飛来することが明らかとなった。

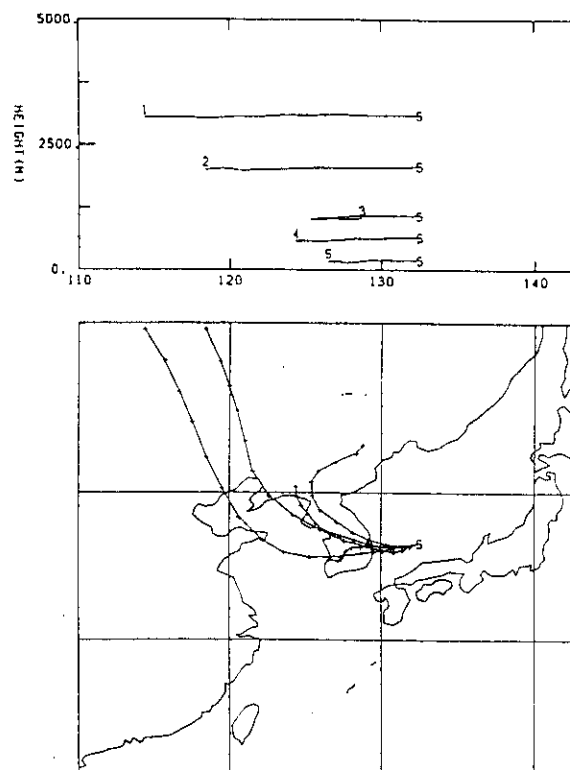


図6：11月12日にA点に到達した気塊の流跡線

[2] 天然炭化水素とオゾンの反応による有機過酸化物の生成過程の研究

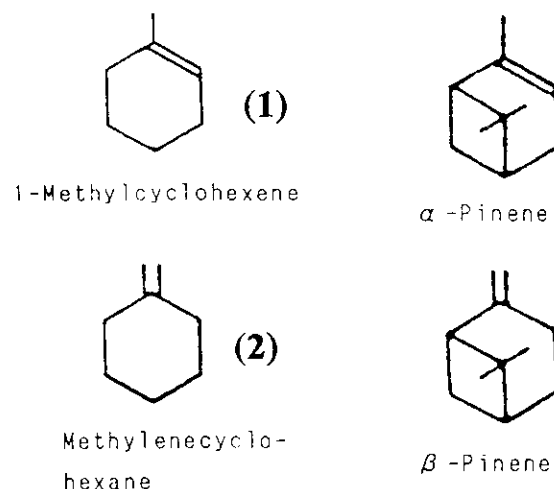
2. 研究目的

酸性雨の生成過程の一つとして、液相におけるSO₂の酸化は重要な過程である。これに関する化学種として有機過酸化物がある。有機過酸化物はこれまであまり重要視されていなかったが、最近の報告ではかなりの濃度で大気中に存在することが明らかになってきている。²⁾ これら有機過酸化物の生成過程として天然炭化水素とオゾンの反応が重要であるが、その反応機構に関してはこれまで十分な知見が得られていなかった。本研究では上記の反応で生成する有機過酸化物の有効な捕集法、高感度な分析法を開発して、有機過酸化物の定性・定量を行い、反応機構を解明することを目的とした。

3. 実験方法

実験は国立環境研究所の内容積4 m³のチャンバーを用いて行った。反応物としてイソプレン (~4ppm)、1-メチルシクロヘキセン(1) (~2ppm) またはメチレンシクロヘキサン(2) (~2 ppm)を選び、炭化水素の半分以下の濃度のオゾンと反応させた。(1)(2)はそれぞれ天然炭化水素のα-ピネン、β-ピネンの代わりに用いたものであり、これらとオゾンの反応がα-ピネン、β-ピネンとオゾンの反応に極めてよく似ていることはすでに我々が報告している。

反応で生成する有機過酸化物を有効に水溶液中に捕集する方法として、ミストチャンバーを導入した。これは図7に示すように、細いノズルから



サンプル空気を吹き出させ、霧吹きで原理でチャンバー内に霧を発生させ、空気中に含まれる水溶性の高い物質を捕集するものである。従来より用いられているインピンジャー法に比較して空気の吸引流量を3倍に上げることが可能となり、短時間で有効に有機過酸化物を捕集することが可能となった。

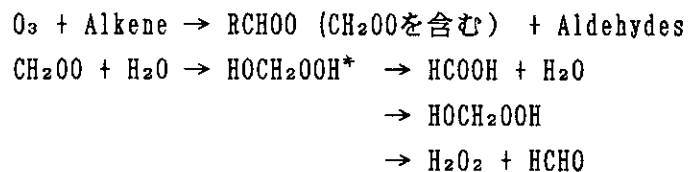
また分析には有機過酸化物に特異的に高い感度を有するシステムを作成して（高速液体クロマトグラフ-蛍光検出器）これを分析に用いた。これはp-ヒドロキシフェニル酢酸が過酸化物と反応して強い蛍光を発する二量体を生成することを利用したものである。高速液体クロマトグラフのカラムおよび配管材には分解性の高い過酸化物を扱うことを考えて、メタルフリーの全PEEK樹脂製のものを用いた。さらにカラムは1℃に冷却した低温恒温槽内に設置した。

4. 結果と考察

図8はイソプレン-オゾン反応で得られた生成物のクロマトグラムである。ピーク1~3はそれぞれ過酸化水素、ヒドロキシメチルヒドロペロキシド (HOCH₂OOH) およびメチルヒドロペロキシド (CH₃OOH) と同定された。

数回の実験からそれぞれの平均収率が0.8%、2.3%、1.8%と求められた。絶対収率としては非常に低い、森林付近において多量の天然炭化水素が存在する空間で反応が起これば、樹木等に被害を及ぼし得る量の過酸化物が生成するのではないと思われる。

(1)からは過酸化水素とメチルヒドロペロキシドのみが、また(2)からは過酸化水素とヒドロキシメチルヒドロペロキシドのみが生成した。また加湿空気中では過酸化水素の収率が顕著に増大した。これらの結果から反応機構が次のように推定された。



イソプレンや1-メチルシクロヘキセンのようなメチル基を持つ炭化水素からはCH₃OOラジカルが発生するので



の反応によってメチルヒドロペロキシドが生成する。

これら有機過酸化物も過酸化水素と同様、液相でSO₂を酸化する能力があり、よく知られている林内雨のpHが林外雨のそれより低いという現象の原因である可能性もある。今後この方面の研究を継続する必要がある。

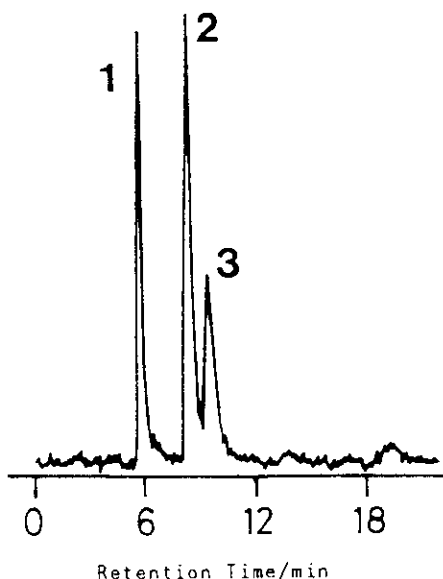


図8：イソプレン-オゾン反応で生成する過酸化物のクロマトグラム

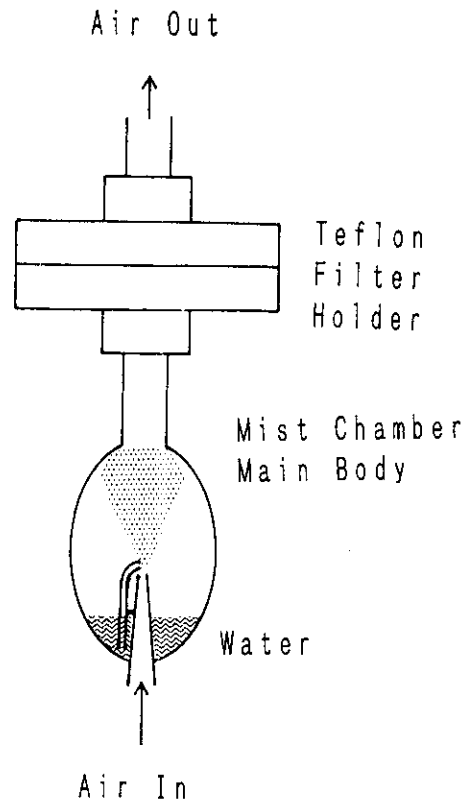


図7：ミストチャンバー概念図

5. まとめ

平成3年度および平成4年度の航空機調査と集中地上観測により、我が国とアジア大陸にはさまれた北西太平洋地域では、大陸性の気塊と海洋性の気塊によりこれに含まれる大気汚染質の濃度が明瞭に異なること、また大陸からの風が吹くときには高濃度の大気汚染物質が朝鮮半島を含むアジア大陸から飛来していることが明らかとなった。

森林樹木が放出しているイソプレンやテルペン類等の天然炭化水素とオゾンの反応により種々の過酸化物が生成することが明らかになった。過酸化物の樹木への直接的な害とともに、これらが汚染大気中に存在するSO₂を酸化して雨水のpHを低下させる原因にもなるため、森林樹木の被害に大きく関与しているのではないかと考えられる。

6. 本研究により得られた成果

- (1) 我が国をとりまく気団に含まれる大気質の組成が明らかとなり、大陸から我が国に高濃度の汚染物質が飛来していることを明らかにした。
- (2) 天然炭化水素と人為汚染起源のオゾンとの反応により植物に被害をもたらす過酸化物が生成することを明らかにし、その反応機構を解明した。

7. 参考文献

- 1) J.N. Galloway, Atmospheric Acidification: Projections for the Future, Ambio, 18, 161-166, 1989.
- 2) J.H. Lee, D.F. Leahy, I.N. Tang, and L. Newman, Measurement and Speciation of Gas Phase Peroxides in the Atmosphere, J. Geophys. Res., 98, 2911-2915, 1993.

国際共同研究等の状況

共同研究名 IGAC カウンターパート KIST (韓国)、北京大学 (中国)
連携状況 濟州島 (韓国) および沙子口 (中国) における継続的地上観測データの提供

研究発表の状況

論文

- 1) Shiro Hatakeyama, Haiping Lai, Shidong Gao, and Kentaro Murano, Production of Hydrogen Peroxide and Organic Hydroperoxides in the Reactions of Ozone with Natural Hydrocarbons in Air, Chem. Lett., 1993, 1287-1290, 1993.
- 2) 畠山史郎、頼海萍、高世東、村野健太郎、ミストチャンバーによる気相ヒドロペロキシドの捕集、日本化学会誌、1993, 998-1000, 1993.
- 3) '91IGAC/APARE/PEACAMPOT Observation of Atmospheric Pollutants over East China Sea, Yellow Sea, and Sea of Japan, 投稿準備中

報告書

- 1) 畠山史郎編、'91 IGAC/APARE/PEACAMPOT 航空機・地上観測データ集、国立環境研究所資料、F-54-'93/NIES、pp205、1993.

講演

- 1) Shiro Hatakeyama and Hajime Akimoto, '91 IGAC/APARE/PEACAMPOT Aircraft Observation of Gaseous and Particulate Pollutants over East China Sea, Yellow Sea, and Sea of Japan. 1992 Western Pacific Geophysics Meeting (Hong Kong) (Aug. 1992)
- 2) 畠山史郎、村野健太郎、坂東博、秋元肇、大和政彦、'91 IGAC/PEACAMPOT航空機調査における O_3 、 NO_x の濃度、日本気象学会1992年度秋季大会（札幌）（1992年10月）
- 3) 畠山史郎、森林被害に関連する光化学反応生成物—テルペン系炭化水素—オゾン反応によるヒドロペロキシドの生成、中日大気汚染防止対策シンポジウム（重慶）（1992年10月）
- 4) 畠山史郎、村野健太郎、坂東博、酒巻史郎、溝口次夫、秋元肇、田中茂、鶴田治雄、大和政彦、'91 IGAC/APARE/PEACAMPOT航空機観測、第33回大気汚染学会（大阪）（1992年12月）
- 5) 佐々木一敏・薩摩林光・鹿野正明・鹿角孝男・太田宗康・溝口次夫・畠山史郎
八方尾根におけるガス・エアロゾル成分濃度との特徴、第33回大気汚染学会（大阪）（1992年12月）
- 6) 畠山史郎・村野健太郎・坂東博・酒巻史郎・溝口次夫・秋元肇・田中茂・鶴田治雄・大和政彦
'91IGAC/APARE/PEACAMPOT航空機観測、第33回大気汚染学会（大阪）（1992年12月）
- 7) 大和政彦・畠山史郎・秋元肇・村野健太郎・今井勝俊、航空機で採集された東アジア上空の対流圏自由大気エアロゾル、第33回大気汚染学会（大阪）（1992年12月）
- 8) 向井人史・村野健太郎・畠山史郎・秋元肇・大和政彦、航空機観測による大気中の粉じん成分の分布、第33回大気汚染学会（大阪）（1992年12月）
- 9) 村野健太郎・畠山史郎・向井人史・西川雅高・秋元肇・溝口次夫・金城義勝・薩摩林光・福崎紀夫・田中茂、地上強化観測の概要とオゾン粒子状物質濃度、第33回大気汚染学会（大阪）（1992年12月）
- 10) 坂東博・大和政彦・村野健太郎・畠山史郎・秋元肇、PEACAMPOT航空機観測による日本周辺のアゾール・窒素酸化物の分布観測結果、第33回大気汚染学会（大阪）（1992年12月）
- 11) 秋元肇・畠山史郎・村野健太郎、IGAC/APARE/PEACAMPOTプロジェクトについて、第33回大気汚染学会（大阪）（1992年12月）
- 12) 鶴田治雄・太田正雄・畠山史郎、IGAC91年航空機観測結果（6）アルデヒドの測定、第33回大気汚染学会（大阪）（1992年12月）
- 13) 坂東博・大和政彦・村野健太郎・畠山史郎・秋元肇、日本周辺海洋上の大気中窒素酸化物濃度—1991年PEACAMPOT航空機観測の結果—、第3回IGACシンポジウム（名古屋）（1992年12月）
- 14) 畠山史郎、村野健太郎、坂東博、秋元肇、渡辺征夫、大和政彦、田中茂、1992航空機調査の概要、第3回IGACシンポジウム（名古屋）（1992年12月）
- 15) 畠山史郎、坂東博、村野健太郎、秋元肇、1992航空機調査における日本海上の高濃度 SO_2 、日本化学会第65春季年会（東京）（1993年3月）
- 16) 畠山史郎・村野健太郎・坂東博・渡辺征夫・大和政彦・秋元肇、'92IGAC/APARE/PEACAMPOT航空機調査—日本海上空の高濃度 SO_2 、日本気象学会1993秋季大会（仙台）（1993年10月）
- 17) H. Akimoto, S. Hatakeyama, K. Murano, H. Bandow, A. Shimizu, H. Mukai, N. Nishikawa, F. Sakamaki, T. Mizoguchi, M. Yamato, S. Tanaka, I. Watanabe, H. Satsumabayashi, D.

- Jaffe, X.-Y. Tang, D. Blake, F.S. Rowland, and J. Merrill, Overview of the Trace Species Measurements over the Pacific Rim Region of East Asia during PEACAMPOT, Int. Conf. Regional Environ. Climate Changes East Asia, (Taipei) (Nov., 1993)
- 18) S. Hatakeyama, K. Murano, H. Bandow, H. Akimoto, I. Watanabe, S. Tanaka, and M. Yamato, '92 PEACAMPOT Aircraft Observation of Pollutants over East China Sea and Sea of Japan, Int. Conf. Regional Environ. Climate Changes East Asia, (Taipei) (Nov., 1993)
- 19) M. Yamato, S. Hatakeyama, H. Akimoto, K. Murano, H. Bandow, and K. Imai, Aircraft Measurement of the Chemical Composition of Individual Aerosol Particles over the Pacific Rim Regions of East Asia during PEACAMPOT, Int. Conf. Regional Environ. Climate Changes East Asia, (Taipei) (Nov., 1993)
- 20) F. Sakamaki, H. Akimoto, S. Hatakeyama, D. Blake, and F.S. Rowland, Measurement of Light Hydrocarbons during PEACAMPOT Campaign, Int. Conf. Regional Environ. Climate Changes East Asia, (Taipei) (Nov., 1993)
- 21) 頼海萍、畠山史郎、村野健太郎、オゾン-オレフィン反応による過酸化水素と勇氣加算かぶつの生成、環境科学会1993年会 (筑波) (1993年11月)
- 22) 畠山史郎、村野健太郎、向井人史、渡辺征夫、田中茂、大和政彦、坂東博、薩摩林光、鶴田治雄、秋元肇、'92 IGAC調査(1) - '92年度調査の概要 -、第34回大気汚染学会、(千葉) (1993年12月)
- 23) 畠山史郎、村野健太郎、坂東博、渡辺征夫、大和政彦、'92 IGAC調査(2) - SO₂、NO_x、O₃の観測 -、第34回大気汚染学会、(千葉) (1993年12月)
- 24) 渡辺征夫、中西基晴、松浦章良、溝口次夫、'92 IGAC調査(3) - 五島列島沖東シナ海および出雲沖日本海の上空におけるPANsの観測 -、第34回大気汚染学会、(千葉) (1993年12月)
- 25) 坂東博、畠山史郎、村野健太郎、大和政彦、秋元肇、'92 IGAC調査(4) - 日本周辺の海洋上大気中における窒素酸化物の高度分布 -、第34回大気汚染学会、(千葉) (1993年12月)
- 26) 田中茂、柳沢健司、毛塚真基、'92 IGAC調査(5) - 航空機観測による大気中微量ガス成分の濃度分布 -、第34回大気汚染学会、(千葉) (1993年12月)
- 27) 向井人史、畠山史郎、村野健太郎、坂東博、'92 IGAC調査(6) - 日本海及び東シナ海上でのエアロゾル成分の高度分布 -、第34回大気汚染学会、(千葉) (1993年12月)
- 28) 向井人史、村野健太郎、'92 IGAC調査(7) - 隠岐島における大気中ガス、エアロゾル成分の挙動 -、第34回大気汚染学会、(千葉) (1993年12月)
- 29) 田中茂、柳沢健司、桜井清之、石川恒、'92 IGAC調査(8) - 拡散スクラバーによる離島(津島、隠岐)の大気中微量ガス成分(HCl、HNO₂、HNO₃、SO₂、HCOOH、CH₃COOH、NH₃)濃度の連続測定 -、第34回大気汚染学会、(千葉) (1993年12月)
- 30) 中西基晴、松浦章良、渡辺征夫、溝口次夫、'92 IGAC調査(9) - 隠岐における大気中PANsの観測 -、第34回大気汚染学会、(千葉) (1993年12月)
- 31) 鶴田治雄、太田正雄、'92 IGAC調査(10) - 遠隔地域における大気中のアルデヒドの測定 -、第34回大気汚染学会、(千葉) (1993年12月)
- 32) 薩摩林光、佐々木一敏、内田英夫、鹿角孝男、鹿野正明、太田宗康、村野健太郎、畠山史郎、

- 向井人史、植田洋匡、'92 IGAC調査(11)－中部山岳地域における大気中酸性物質の挙動－、第34回大気汚染学会、（千葉）（1993年12月）
- 33) 佐々木一敏、薩摩林光、村野健太郎、溝口次夫、'92 IGAC調査(12)－内陸地域における大気中PAN濃度－、第34回大気汚染学会、（千葉）（1993年12月）
- 34) 鹿野正明、薩摩林光、内田英夫、鹿角孝男、佐々木一敏、太田宗康、溝口次夫、村野健太郎、畠山史郎、向井人史、西川雅高、植田洋匡、'92 IGAC調査(13)－中部山岳地域における降水成分と粒子状物質の経月変化－、第34回大気汚染学会、（千葉）（1993年12月）
- 35) 金城義勝、与儀和夫、比嘉尚哉、村野健太郎、畠山史郎、溝口次夫、秋元肇、'92 IGAC調査(14)－沖縄・辺戸のオゾン濃度について－、第34回大気汚染学会、（千葉）（1993年12月）
- 36) 大和政彦、畠山史郎、村野健太郎、坂東博、秋元肇、'92 IGAC調査(15)－東アジア上空の対流圏エアロゾルの性質－、第34回大気汚染学会、（千葉）（1993年12月）