

平成21年6月4日現在

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007-2008  
 課題番号：19540462  
 研究課題名（和文） 衛星観測による対流圏オゾンの研究－前駆物質の影響と成層圏からの流入量の解析－  
 研究課題名（英文） Study on tropospheric ozone utilizing satellite data - analysis of the effects of ozone precursors and intrusion from the stratosphere -  
 研究代表者  
 林田 佐智子（HAYASHIDA SACHIKO）  
 奈良女子大学・理学部・教授  
 研究者番号：70180982

## 研究成果の概要：

本研究課題では、東アジアを中心に集中的に大気微量成分の衛星データ解析を行い、オゾンとその前駆物質を高度別に調べ、アジア大陸から流出する汚染空気塊の影響を調べた。オゾンについては、オゾンゾンデのデータを衛星データと平行して解析した。また、赤外観測データを駆使することで、上部対流圏・対流圏界面付近におけるオゾン高度分布を解析し、成層圏オゾンの流入と人為起源のオゾンとの切り分けを行なうことを試みた。重要なオゾン前駆物質の一つであるNO<sub>2</sub>の影響について詳細に解析し、北京や上海といった大都市では年々の増加傾向が停止しているのに対し、郊外の新興都市で増加傾向であることを明らかにした。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学 気象・海洋物理・陸水学

キーワード：大気汚染、対流圏オゾン、一酸化炭素、二酸化窒素、人工衛星

## 1. 研究開始当初の背景

近年、大気組成の気候変動における役割についての科学的興味が高まっている。WCRP（世界気候研究計画）はその計画の中で、大気化学の気候影響の重要性を強く唱っている。中でも「対流圏オゾン」は人為起源の前駆物質によって増加していることが報告されており、放射強制力としては温室効果気体である

メタンに匹敵すると考えられている。

一方、過去十年間に人工衛星からの対流圏微量成分の観測的研究は大きな飛躍を遂げた。1996年には欧州宇宙機関（ESA）が地球観測衛星ERS-2を打ち上げ、これに搭載されたセンサーGOME(Global Ozone Monitoring Experiment)はヨーロッパや中国、北アメリカから排出された汚染物質（二酸化窒素など）が広範囲で放出されてる様子を明らかにした。

中国から放出される二酸化窒素 ( $\text{NO}_2$ ) 量に増加傾向があることも報告されている [e.g., Richter et al., 2005]。また、2002 年に打ち上げられた ENVISAT 衛星に搭載された SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Chartography : SCIA と略記) が GOME の後継機として運用されている。さらに 2004 年 7 月アメリカの EOS-Aura が打ち上げられ、OMI (Ozone Monitoring Instrument), MLS (Microwave Limb Sounder), TES (Tropospheric Emission Spectrometer) の運用が開始され、すでに website でデータの公開が始まっている。衛星データを用いて対流圏微量成分の解析を行うための機が熟している。

## 2. 研究の目的

本研究課題では、東アジアを中心に集中的に大気微量成分の衛星データ解析を行い、オゾンとその前駆物質の濃度を高度別に調べ、アジア大陸から流出する汚染物質による周辺のオゾン分布への影響を解明する。オゾンの高度分布を解析し、上部対流圏・対流圏界面付近における成層圏オゾンの流入を調べ、汚染物質の影響との識別を行う。重要なオゾン前駆物質である二酸化窒素 ( $\text{NO}_2$ ), 一酸化炭素 ( $\text{CO}$ ) についても衛星データを解析し長期傾向や季節変動などの動態を明らかにする。

## 3. 研究の方法

(1) 衛星で観測された微量気体成分データの検証

地上での観測データ (大気汚染局データ、地上モニタリングステーション) やオゾンゾンデのデータと比較解析を行い、衛星のデータの信頼性を検証する。また、異なる手法で観測されたデータの相互比較を行い、それぞれの観測手法から得られる情報を明確にする。

(2) 対流圏オゾンおよびその前駆物質 ( $\text{NO}_2 \cdot \text{CO}$ ) の広域解析と気象場の解析

東アジアを中心に衛星から得られる対流圏オゾン、 $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$  の分布を解析し、空間分布とその時間変動を解析する。

後方流跡線解析によって空気塊の起源を分類し、起源毎にオゾンの濃度を解析する。

気象場を調べ、ジェット風野低気圧との関連を調べる。

(3) バイオマスバーニング情報との比較解析

MODIS で得られる hot spot のデータからバイオマスバーニングの発生地点を確認し、 $\text{CO}$  やエアロゾル、オゾンとの比較解析を行う。 $\text{CO}$  の発生源を特定すると共に、オゾンへの影響を評価する。

## 4. 研究成果

(1) 衛星で観測された微量気体成分データの検証

対流圏オゾンの衛星データとして、次の 3 つのデータセットについてオゾンゾンデとの比較検証を行った。

① NASA の研究グループによって TOMS と SBUV データから TOR (Tropospheric Ozone Residual) と呼ばれる方式で導出されたデータセット

② ハーバード大学の研究者らによって GOME センサーのスペクトルから直接導出されたデータセット (1995 年～2002 年)

③ NASA/Goddard の研究グループによって OMI と MLS データから TOR 法で導出されたデータセット (2004 年以降)

三者の比較により、いずれもオゾンゾンデとよい一致をすることを確認した。その中でも、①のデータセットよりも、②のデータセットの信頼性が高いことが明らかになった (発表論文 3、一部未公表)

また、 $\text{NO}_2$  について、環境省の地上観測ネットワーク (そら豆君) のデータセットとの比較を行い、GOME および OMI で観測された衛星データは相対的に「比較的清浄な」地域との相関が高く、高濃度汚染域については過小評価されていることを定量的に確認した (発表論文 1、一部未公表)

(2) 対流圏オゾンおよびその前駆物質 ( $\text{NO}_2 \cdot \text{CO}$ ) の広域解析と気象場の解析

上記 (1) で信頼性が確認された対流圏オゾンデータ②について、オゾンゾンデの季節変化や気象場との関係を解析した。特に東アジア域上空のオゾン分布を日本のオゾンゾンデ 4 地点のデータと比較した。

図 1 は対流圏オゾン気柱量の東アジア域での分布である。6 月と 12 月で大きく値が異なっている。6 月には中国から日本の上空にかけてオゾン濃度の高い帯状の領域高濃度帯 (E-TCO belt: Enhanced Tropospheric Ozone Belt) が明瞭に観測される。6 月の高濃度はオゾンの光化学反応が活発であるためと考えられる。

経度 130 度における対流圏オゾン気柱量の緯度時間断面を図 2 (a) に示す。最大値をとる緯度を黒丸で示した。この図に示されるとおり、E-TCO ベルトの南北振動が明瞭である。

日本の4観測地点におけるオゾンゾンデデータの対流圏オゾン気柱量を図2(b)に示した。各観測地点における季節変化のフェイズの違いは、E-TCOベルトの南北振動を反映していることが明らかになった。この成果は Hayashida et al.,2008 として公表した(発表論文2)。

また、さらに気象場のデータを解析し、このE-TCOベルトの南北振動がジェット気流の位置とよい相関があることを示した(論文準備中)。

平行して後方流跡線解析によって空気塊の起源を分類し、起源毎にオゾンの濃度を解析した結果、中国大陸上空から飛来する空気塊中でオゾン濃度が高いことを確認した。しかし、長期傾向は、必ずしも中国起源の空気塊中のオゾンで増加傾向ではなかった。中国方面から飛来してきた空気塊であっても、その高度情報を詳細に調べると、中国以西から流入している空気塊が大勢を占めることが明らかになった。(論文準備中)。

オゾン前駆物質として重要なNO<sub>2</sub>とCOについては、東アジアを中心に詳細に衛星データを解析した。まず、NO<sub>2</sub>について、GOME/SCIAMACHY/OMIの3つのセンサーから時系列解析を行った。中国上空でNO<sub>2</sub>が高濃度であることがすでに知られているが、本研究で用いたOMIセンサーは空間分解能が高いため、都市毎の違いを区別して解析できる。図3はOMIで得られた冬(12月、1月、2月)の3ヶ月平均のNO<sub>2</sub>気柱量マップである。BeijingやShanghaiといった中国大都市で値が高いだけでなく、Handan,Shenyangなどの近郊の新興発展都市で、値が高いことが顕著に観測された。これらの都市ごとに時系列解析を行ったところ、2000年頃以降はBeijingやShanghaiでは増加傾向が鈍化しているのに対し、Handan,Shenyangなどでは増加傾向が著しいことが確認できた(論文投稿中)。

### (3) バイオマスバーニング情報との比較解析

MODISで得られるhot spotのデータからバイオマスバーニングの発生地を確認し、COやエアロゾル、オゾンとの比較解析を行った。ここでCOのデータはMOPITTの850hpaのデータを、エアロゾルはOMIのエアロゾルインデックス(AI)とタイプ識別情報を用いた。Hot spotとCO、AIとの関係は明瞭で、特にタイの乾季にはよい相関関係が明らかになった。

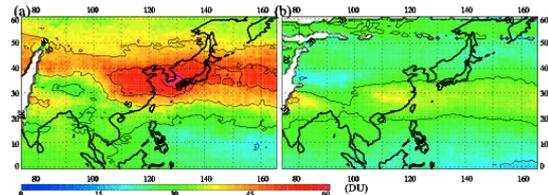


図1. 衛星から観測された対流圏オゾン気柱量の東アジアにおけるマップ1997年6月(a)、および1月(b)。

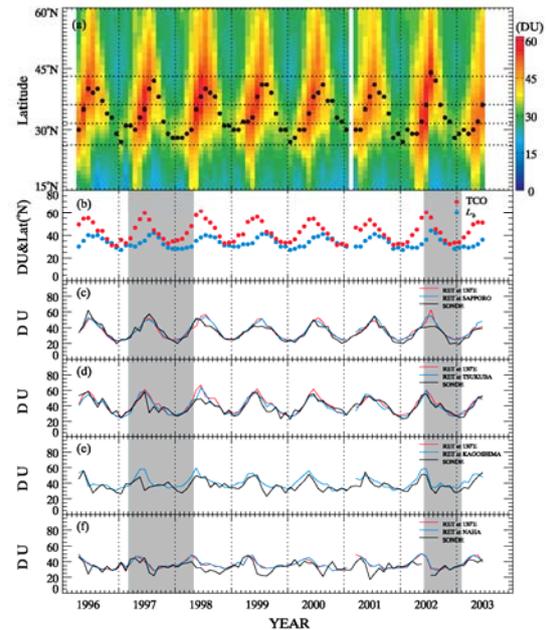


図2. (a)東経130度における対流圏オゾン気柱量の緯度時間断面図。(b)日本のオゾンゾンデ4地点(札幌、筑波、鹿児島、那覇)における対流圏オゾン気柱量の時間変化。赤線は東経130度における衛星データ、青線はオゾンゾンデ観測地点における衛星データ、黒はオゾンゾンデデータを示す。

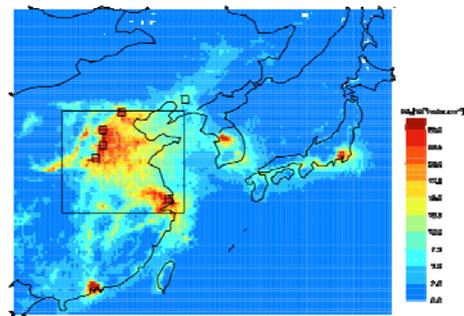


図3. OMIで観測されたNO<sub>2</sub>対流圏気柱量の中国上空における分布。2006年冬の例。

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3件)

- ① Noguchi, K., H. Itoh, T. Shibasaki, S. Hayashida, I. Uno, T. Ohara, A. Richter, J. P. Burrows, Comparison of tropospheric NO<sub>2</sub> observations by GOME and the air-quality monitoring network around Tokyo, Japan, 日本リモートセンシング学会誌, 29, 398-409, 2009, 査読有り
- ② Hayashida, S., N. Urita, K. Noguchi, X. Liu, and K. Chance, Spatiotemporal variation in tropospheric column ozone over East Asia observed by GOME and ozonesondes, SOLA, 4,117-120,2008, 査読有り
- ③ Noguchi, K., N. Urita, S. Hayashida, X. Liu, and K. Chance, Validation and comparison of tropospheric column ozone derived from GOME measurements with ozonesondes over Japan, SOLA, 3, 41-44, 2007.査読有り

[学会発表] (計21件)

- ①伊藤春奈、野口克行、柴崎登紀子、林田佐智子、鶴野伊津志(九州大学)、大原利真(国立環境研究所)、Andress Richter、John P. Burrows(University of Bremen)、関東平野における GOME 観測による対流圏 NO<sub>2</sub> と大気常時監視測定による地表 NO<sub>2</sub> の比較,日本気象学会 2008 年度秋季大会, 2008 (仙台国際センター)
- ②本多裕美子、柏原慶子、野口克行、林田佐智子、衛星観測による東南アジアにおけるバイオマスバーニングの研究, 日本気象学会 2008 年度秋季大会, 2008 (仙台国際センター)
- ③S. Hayashida, N. Urita, K. Noguchi, X. Liu, and K. Chance, Seasonal variation of tropospheric column ozone over East Asia observed with satellite and ozonesonde measurements, IGAC 10th International Conference, 2008 (フランス)
- ④K. Noguchi, H. Itoh, T. Shibasaki, S. Hayashida, I. Uno, A. Richter and J. P. Burrows, Comparison of tropospheric NO<sub>2</sub> from GOME and surface measurements in the Tokyo region, Japan, IGAC 10th International Conference, 2008 (フランス)
- ⑤林田佐智子、瓜田直美、川岸諒子、川添夕子、野口克行  
オゾンゾンデで観測された空気塊の起源と対流圏オゾンの季節変化の対応, 第4回ゼヒュロスの会(対流圏微量成分衛星解析研究会),

2008 (奈良女子大学)

6. 研究組織

(1)研究代表者

林田 佐智子 (HAYASHIDA SACHIKO)

奈良女子大学・理学部・教授

研究者番号: 70180982

(2)研究分担者

久慈 誠 (KUJI MAKOTO)

奈良女子大学・理学部・講師

研究者番号: 90260653

(3)連携研究者

野口 克行 (NOGUCHI KATSUYUKI)

奈良女子大学・理学部・助教

研究者番号: 20397839