

屋久島における大気中オゾン、窒素酸化物、二酸化硫黄の 動態及び発生源に関する研究

佐久川 弘*・湯原 孝恵*・平川 剛**

*広島大学大学院生物圏科学研究科

〒739-8521東広島市鏡山1-7-1

**東和科学株式会社

〒730-0841広島市中区舟入町6-5

Behavior and Sources of Atmospheric Ozone, Nitrogen Oxides and Sulfur Dioxide in Yakushima, Japan

Hiroshi SAKUGAWA*, Takae YUHARA*, Tsuyoshi HIRAKAWA**

**Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University*

1-7-1 Kagamiyama Higashi-Hiroshima 739-8521 Japan

***Towa Kagaku Corporation,*

6-5 Funairi, Naka-Ku, Hiroshima 730-0841 Japan

Abstract: The concentration of ozone (O_3), nitrogen oxides (NO_x) and sulfur dioxide (SO_2) in the atmosphere of Yakushima, a remote island of southern Japan, was measured in 2000-2001. Average concentrations of O_3 were 29 and 43 ppbv at Seibu-Rindo (western area of Yakushima) and at Anbo (eastern area), respectively, in October 2000 and 49 and 46 ppbv at these areas, respectively, in February 2001 while average NO_x concentrations were 2.2 and 2.8 ppbv at Seibu-Rindo and at Anbo, respectively, in October 2000 and 2.6 and 2.1 ppbv at these areas, respectively, in February 2001. No significant diurnal variation of O_3 and NO_x concentrations were found in both areas. Average concentrations of SO_2 were 0.7 and 0.2 ppbv at Seibu-Rindo in October 2000 and at Anbo in February 2001, respectively, while a large increase of SO_2 concentration (up to 11.0 and 12.5 ppbv) was recorded at Anbo in October 2000 and at Seibu-Rindo in February 2001, respectively, when air mass was derived from Kyushu Island by passing over Mt. Sakurajima (a volcano) in October 2000 and air mass coming from the Asian Continent / the Japan Islands in February 2001. The data of air pollutant concentrations in Miyanoura (northern area of Yakushima), irregularly monitored by Kagoshima prefecture office, combined with meteorological data in Kagoshima prefecture, suggested that O_3 concentration would be higher (up to 60 ppbv) during fall to spring due to predominant northwest winds originating from the Asian Continent / the Japan Islands while, in other seasons, O_3 concentrations would be lower due to predominant south winds originating from Pacific Ocean. Higher O_3 concentrations during cold seasons could cause forest decline phenomena in Yakushima. SO_2 were suggested to

be transported from Mt. Sakurajima and from the region of the Asian Continent / the Japan Islands and its effect to forest plants needs to be evaluated by further monitoring.

Key words: Yakushima, Ozone, Nitrogen oxides, Sulfur dioxide, Air pollution

序 論

鹿児島県本土の南方約60kmに位置する屋久島は、島固有の動植物が数多く存在し、世界自然遺産に登録されている島である。その固有種の一つとしてヤクタネゴヨウ (*Pinus armandi*) がある。近年立ち枯れが確認されるようになり、個体数も減少してきた。環境庁のレッドデータリスト植物版にも絶滅危惧種IB類としてランクされており、現在も個体数は減少中である。ヤクタネゴヨウの個体数減少の原因としては、戦後建築用材として伐採されてきたこと、マツクイムシによる被害などがあるとされている(中村;秋庭, 1999)。

ヤクタネゴヨウの近年の立ち枯れについては、大気汚染物質による影響も示唆されている(永淵, 2000)。屋久島の森林域で観測される大気汚染物質は、島内に主要な発生源があるとは考えにくく、周辺地域からの長距離輸送によることが考えられている。屋久島は日本の西側に位置し、その先には東シナ海そして中国大陸が広がっていることから、特に冬季においては季節風の影響をうけて中国大陸から大気汚染物質が輸送されてくる(永淵, 2000; 森ら, 1997; 鶴野ら, 1998)。大気汚染物質の植生への影響の面から重要なのは、オゾン (O_3) および二酸化硫黄 (SO_2) である。数十ppb程度の低濃度 O_3 が樹木や作物の生育に悪影響を及ぼすことは広く知られているが、屋久島の森林域におけるオゾン濃度に関する情報が乏しく、現段階では評価が困難である。 SO_2 については、中国大陸からの飛来に加えて九州各県では桜島からの火山ガスに起因する高濃度の SO_2 による汚染がしばしば報告されている(鶴野ら, 1997; 水野, 1980; 山下ら, 1991)。したがって、屋久島においても中国大陸から飛来する SO_2 および国内の火山(桜島)による SO_2 の両方の影響について把握することが重要であると考えられる。しかし、屋久島には大気汚染常時測定局は無く、ヤクタネゴヨウの自生地付近での大気汚染物質の測定は行われてこなかった。さらに、 O_3 および SO_2 に加えて窒素酸化物 (NO_x) は、自動車排ガスの影響を評価する物質として研究がなされているが、屋久島におけるその動態は十分に明らかにされていない。

そこで本研究では、屋久島において O_3 、 NO_x 、 SO_2 などの汚染物質の動態を明らかにする目的で大気観測を試みた。一方、鹿児島県が屋久島内で定期的実施している大気観測データおよび、鹿児島県内の常時大気汚染測定局並びにアメダスのデータを解析することにより、屋久島の大気環境と他の地域のそれとの比較を行った。これらの観測データの解析とともに流跡線解析を行い、屋久島へ到達する大気汚染物質の起源の解明を試みたので報告する。

方 法

調 査 地

屋久島は、九州本土の南端佐多岬から約60kmの距離にあつて、周囲が100km程度、面積500km程度の島であり、1935mの宮之浦岳を中心に山々が連なっている。年間降水量は、数千ml以上であり、亜熱帯性気候である。屋久島での観測は、2000年10月26日～31日と2001年2月24日～3月1日の期間について、屋久島西部の西部林道周辺(標高200m)および東部の安房(標高200m)でおこなった(Fig.

1)。両調査地とも、市街地から遠く離れた森林域において、林縁から数m離れた道路脇に位置し、視界を妨げる樹木等が周囲10mの範囲に存在しない場所である。西部林道の近くにはヤクタネゴヨウの自生地があり、立ち枯れも確認されている。また、西側に位置していることから、大陸からの汚染物質の飛来を直接受けるものと考えられる。安房は屋久島の東側に位置し、大陸からの汚染物質の飛来については西部林道と対照地点となる。西部林道・安房ともに、同じ標高において観測を行った。

大気汚染物質の測定

大気汚染物質はO₃（紫外線吸収法、オキトロニクス製OZM-G21）、NO_x（化学発光法、サーモエレクトロン製42S）、SO₂（紫外線蛍光法、サーモエレクトロン製43Cトレースレベル）について測定し、温度・湿度・風向風速・日射量の気象要素の観測も同時に行った。データは1分毎にデータロガーに記録し、1時間値を解析には用いた。観測には、気象要素センサー及び汚染物質モニターを搭載した観測車を用い、電源として観測車に搭載した発電機を用いた。気象要素センサーおよび汚染物質濃度測定のための大気吸引口（テフロンチューブ）は地上高約3mに設置した。観測車による測定の方法は智和ら（2002）に準じた。

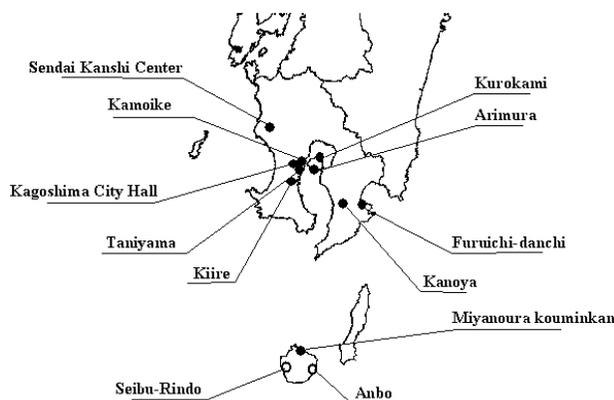


Fig. 1. Monitoring sites for air pollutants and meteorological factors in this study (○) and the sites managed by Kagoshima prefecture and Kagoshima city (●)

Table. 1. Monitoring sites and dates of air pollutants in Kagoshima prefecture

Study site	Date of measurements	Air pollutants monitored	Monitoring organization
Miyanouira (in Yakushima)	April 15-May 24, 1999	NO, NO ₂ , SO ₂	Kagoshima prefecture office
	August 30-November 9, 1999	Ox, SO ₂	Kagoshima prefecture office
	April 25-May 31, 2000	NO, NO ₂ , SO ₂	Kagoshima prefecture office
	January 27-February 28, 2001	NO, NO ₂ , SO ₂	Kagoshima prefecture office
Kiire	April 1999-March 2001	Ox, NO, NO ₂ , SO ₂	Kagoshima prefecture office
Sendai	April 1999-March 2001	Ox, NO, NO ₂ , SO ₂	Kagoshima prefecture office
Kanoya	April 1999-March 2001	Ox, NO, NO ₂ , SO ₂	Kagoshima prefecture office
Furuichi	April 1999-March 2001	Ox, NO, NO ₂ , SO ₂	Kagoshima prefecture office
Gonobara	April 1999-March 2001	Ox, NO, NO ₂ , SO ₂	Kagoshima prefecture office
Kagoshima City Hall	April 1999-March 2001	Ox, NO, NO ₂ , SO ₂	Kagoshima city office
Taniyama	April 1999-March 2001	Ox, NO, NO ₂ , SO ₂	Kagoshima city office
Kamoike	April 1999-March 2001	Ox, NO, NO ₂ , SO ₂	Kagoshima city office
Arimura	April 1999-March 2001	Ox, NO, NO ₂ , SO ₂	Kagoshima city office
Kurokami	April 1999-March 2001	Ox, NO, NO ₂ , SO ₂	Kagoshima city office

屋久島の大気観測（鹿児島県）

鹿児島県が定期的に行っている屋久島での大気観測のデータを入手し、表1の期間のデータを用いて汚染物質濃度の動態を解析した。この観測は、屋久島でも比較的人為活動が活発である宮之浦（Fig. 1）の公民館において行ったものである。尚、前述したO₃濃度は乾式法（紫外線吸収法）で得られたものであり、鹿児島県が測定したO_x濃度は湿式法（中性ヨウ化カリウム法）なので、厳密に言えば直接の比較は困難であるが、本研究では両者の値はほぼ同じであると仮定した。

鹿児島県内の大気汚染物質濃度

屋久島周辺の鹿児島県での大気環境を把握するため、鹿児島県・鹿児島市が設置した大気汚染常時監視測定局の大気汚染物質濃度データ（Table 1）を入手し、解析を行った。また、気象庁が提供するアメダスおよび高層気象データ（2000年1月～2001年2月、気象庁アメダス月報）から、鹿児島県内の気象要素（気温、日照時間、降水量、風向風速）のデータを用いて、大気汚染物質の動態の解析をした。高層気象のデータは、桜島の影響を見るため、上空1500m（850hPa）の風を主に解析に用いた。大気汚染物質の長距離輸送に主として関与する高度が1500m（850hPa）であり（溝口、1991）、桜島の火山灰の動きを予測するための風としても用いられている。

流跡線解析

米国NOAAの提供する流跡線モデル、Hysplit 4（Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model Version4）は、格子単位の大気データを用いて流跡線の計算、拡散・沈着シミュレーションなどの大気環境の予測、気候学的解析などに対応できるモデルである（Draxler、1998）。本研究では、このモデルを用いて汚染物質の発生源を推定するため、流跡線による気塊の輸送経路についての解析を行った。

流跡線解析は、定法に従って、後方へ72時間（3日間）、850KPaの等温位面で計算し、解析は西部林道および安房で観測を行った期間について3時間毎に行った。その際、西部林道もしくは安房の観測地点の地表面（標高200m）を起点として等温位面での気塊の輸送経路をプロットした。

結 果

屋久島大気観測

2000年10月26日～29日に西部林道でO₃濃度が最高42.6ppbv、最低16.0ppbv、平均29.2ppbvであった（Fig. 2）。29日～31日の安房においては最高が52.4ppbv、最低24.6ppbv、平均43.4ppbvであった。それらの日における日射量の変化と比較してみても、O₃濃度は明瞭な日周変化は示さなかった。2001年2月24日～27日の西部林道においては、最高が56.3ppbv、最低42.8ppbv、平均49.4ppbvであった（Fig. 2）。27日～3月1日の安房においては最高が56.5ppbv、最低32.5ppbv、平均46.4ppbvであった。2000年10月の結果に比べ濃度がやや高く、日射量の変化と比較すると、明瞭な日周変化は示さなかった。NO_xの濃度は、2000年10月、2001年2月の観測いずれにおいてもNO、NO₂ともに、5.0ppbv以下と低かった（Fig. 2）。

SO₂の結果をFig. 3に示す。2000年10月の西部林道で、その濃度は3ppbv以下と低く推移していたが、同月の安房における観測で最高11.0ppbvであった。2001年2月においては、西部林道で最高12.5ppbvであったが、同月の安房では、1ppbv以下であった。

風向風速については、2000年10月の観測では風速が平均1.3m/sで、最多風向は西部林道で西南西

(WSW) であり、安房で南 (S) であった。2001年2月については風速が平均2.1m/sで2000年10月に比べ強く、最多風向は西部林道で南西 (SW)、安房で南南東 (NNE) であった。

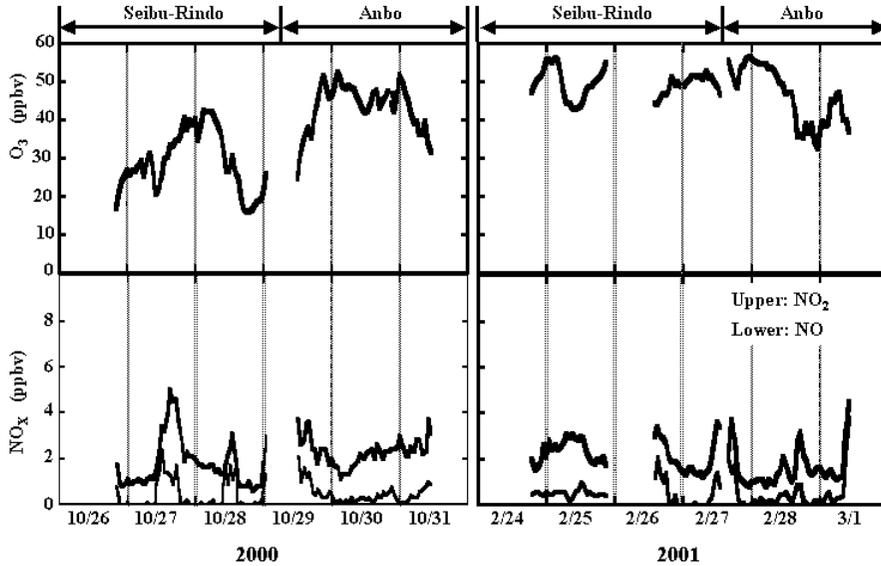


Fig. 2. Observed O₃ and NO_x concentrations in Seibu-Rindo and Anbo of Yakushima, during October 26-31, 2000, and February 24- March 1, 2001, respectively

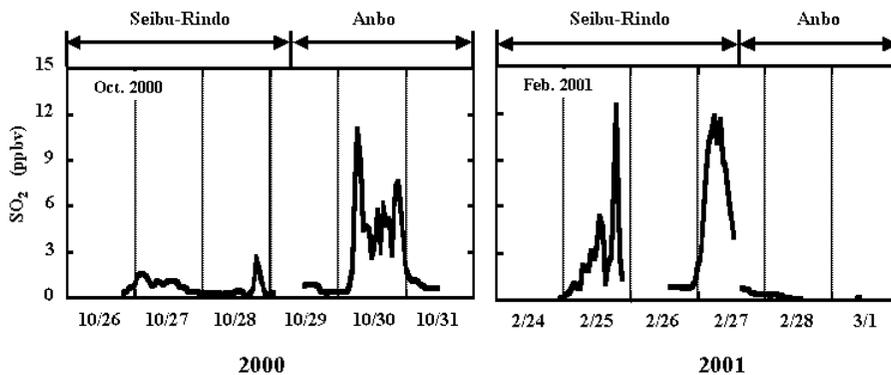


Fig. 3. Observed SO₂ concentrations in Seibu-Rindo and Anbo of Yakushima, during October 26-31, 2000 and February 24- March 1, 2001, respectively

屋久島における定期大気観測 (鹿児島県)

鹿児島県による大気観測の結果をFig. 4に示す。1999年4月15日～5月24日の観測では、SO₂濃度が100ppbvを超えて観測される日があった。この高濃度が観測された日には、NO₂も高い濃度で観測された。NO₂については、SO₂の高濃度に伴い濃度が上昇する以外は、夜間低く日中高くなる日周変化が観測された。NOについても、NO₂ほど明瞭ではなく濃度も低いものの日周変化が観測された。2000年4月25日～5月31日の結果についても同じような傾向が見られた。2001年1月27日～2月28日の結果についてもSO₂とNO₂については同じような傾向であったが、NOについては他の時期に比べて濃

度がやや高く観測された。上記3回の大気観測期間中の風向風速は、春には南よりの風（SSW、S）が卓越し、冬（2月）には西風も卓越することが示された。

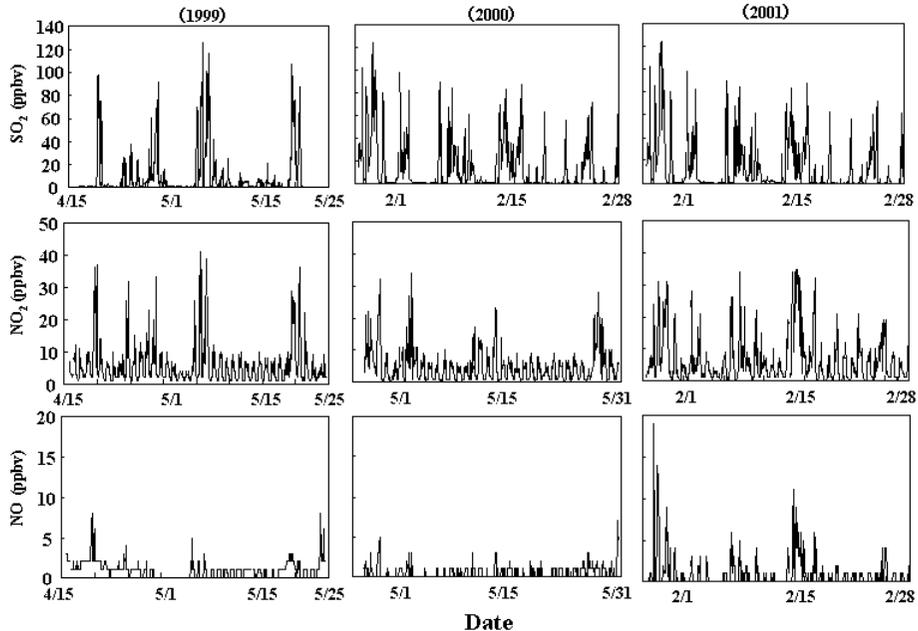


Fig. 4. O₃, NO₂ and NO concentrations monitored at Miyanoura, Yakushima during April 15-May 24, 1999, April 25- May 31, 2000 and January 27- February 28, 2001, respectively.

Fig. 5に示す1999年8月30日～11月9日における観測では、他の観測期間と測定項目が異なり、SO₂とO_xについての観測が実施された。O_xはSO₂の濃度の上昇とは相関を示さず、昼間に高くなり夜間に低くなる日変化を示した。しかし、夜間のO_x濃度が比較的高濃度で観測された。上記期間の風向風速を調べたところ、9月後半にかけては、南よりの風が卓越し、9月後半からは東から北よりの風がしばしば卓越し、時折西よりの風が卓越することが示された。この期間、風向の変化とO_x濃度の変化はよく対応しており、九州方面（北北東の風の場合が 48 ± 18 ppb）及び大陸方面（西南西の風の場合が 47 ± 14 ppb）からの風の影響によりO_x濃度が最も上昇し、太平洋からの風の場合に最小の濃度（南風の場合が 23 ± 15 ppb）になることが明らかとなった。

鹿児島県内の大気環境

鹿児島市内（市役所、谷山、鴨池）のO_x濃度は、いずれの測定局についても季節変化では春季、経時変化では昼間に高くなった。NOおよびNO₂については、経時変化で見ると、ともに6:00～8:00にかけて濃度が高くなっており、NO₂については18:00前後にも高濃度となった。季節変化では夏季に濃度が低くなり、冬季～春季に高くなった。SO₂濃度は、鹿児島市内の市役所、谷山、および鴨池において、夏季から秋季にかけて高くなる傾向があり、経時変化では昼間に高くなる傾向が見られた。桜島の南側に位置する有村では、冬季から春季にかけて濃度が非常に高くなった。また、桜島の北側に位置する黒神でも有村よりSO₂濃度は低かったものの、春季に濃度が高くなる傾向が見られた。風速については市役所、谷山において昼間にやや強くなる傾向が見られた。鴨池、有村、黒神について

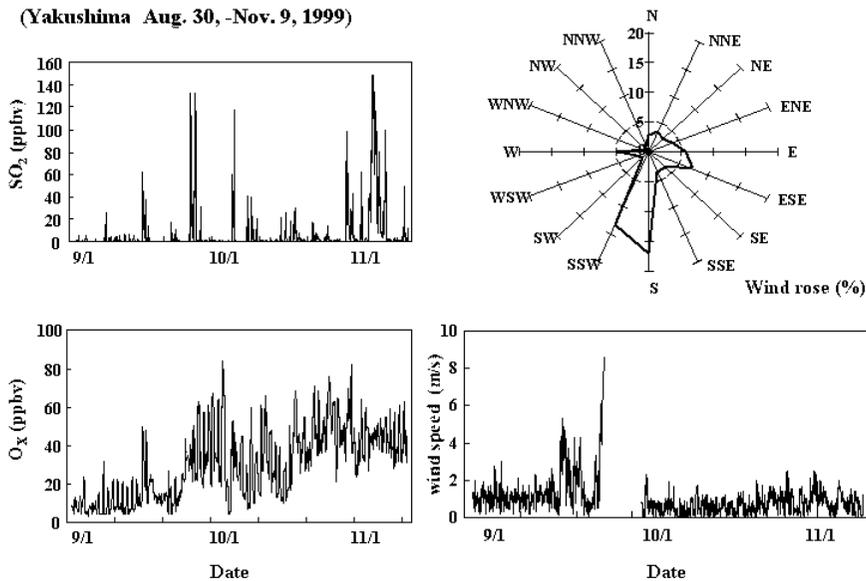


Fig. 5. SO_2 and O_x concentrations, and wind direction and speed, monitored at Miyanouira in Yakushima by the Kagoshima prefecture office during August 30-November 9, 1999

は市役所・谷山に比べ風速は弱く、経時変化では昼間の方が夜間に比べてやや強かった。

鹿児島県内の4カ所の測定局は、桜島（鹿児島市）に対して、南側（喜入総合運動公園）、西側（川内監視センター）、南東側（鹿屋、古市団地）に位置している。いずれの地域においても O_x 濃度は春季に高くなり、経時変化としては昼間に高くなった。 NO_x については、 NO は朝（8:00）と夕方（18:00）の時間帯に濃度が高くなった。 NO_2 も同様に経時変化では朝、夕に高濃度となり、季節変化では冬季に高く夏季に低くなった。喜入と古市団地についてはいずれの物質も濃度が低く明瞭な経時変化、季節変化が見られなかった。 SO_2 については、桜島の南東側に位置する鹿屋と古市団地で冬季に濃度が高くなる傾向を示し、西側に位置する川内監視センターでは、不明瞭なものの、夏季に若干高くなる傾向を示した。

2000年10月及び2001年2月の屋久島と鹿屋における O_3 および O_x 濃度を比較した（Fig. 6）。屋久島では、鹿屋に比べて昼夜を問わず比較的高濃度の O_3 が存在した。

アメダス・高層気象データ

屋久島は鹿児島や鹿屋と比べて降水量が多く、特に冬季において多くなっている。冬季の気温が3～5℃高く（月平均気温が11℃から15℃）、風速も冬季に大きい。Fig. 7に屋久島における風配図（2000年）を示す。屋久島においては南よりの風が卓越する夏季を除いて南西（NW）の風が卓越していた。これは、夏季に南南東（SSE）の風が卓越し、その他の季節に北北西（NNW）の風が卓越する鹿児島島の傾向と似ていた。鹿屋では春季と夏季に南西（SW）や西南西（WSW）の風、秋季と冬季に北北東（NNE）や北東（NE）の風が卓越していた。

鹿児島島の850hPaの風向と風速データを調べた結果、鹿児島上空では、冬季に西から北よりの風、夏季には東から南よりの風が卓越していた。

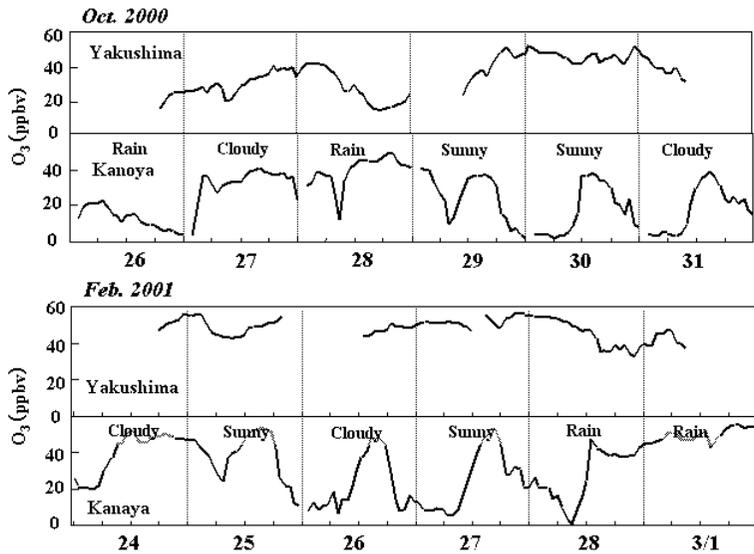


Fig. 6. Comparison of O_3 concentrations observed at between Yakushima (Seibu-Rindo and Anbo) and Kanoya, Kagoshima prefecture during October 26-31, 2001 and February 24-March 1, 2001, respectively

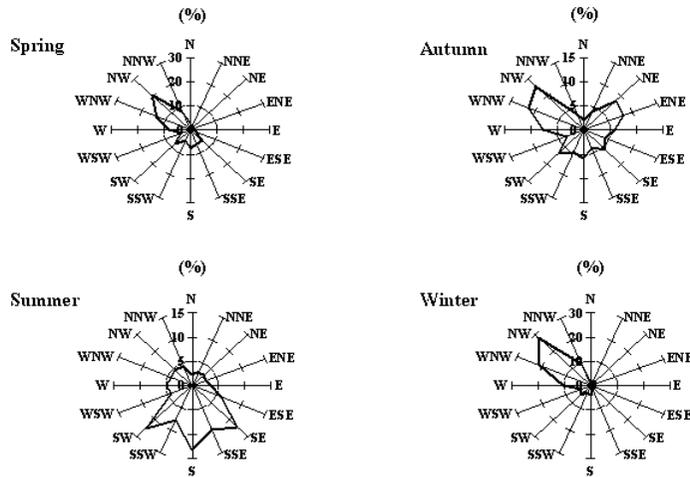


Fig. 7. Seasonal change of wind direction in Yakushima in 2000

屋久島における流跡線解析

西部林道及び安房での観測期間について、3時間毎に流跡線解析を行った。その結果、2000年10月26日から27日にかけての流跡線は中国大陸北部および朝鮮半島からの輸送が示されたが、東に膨らんで九州地方を通り、その後も徐々に東へ膨らんで関東地方を通過して屋久島に到達した。28日には黄海や日本海付近からの気塊が九州から関東地方を通過して、屋久島の東側や南側から曲がりこむように到達するようになり、29日9時までは九州地方周辺からの近距離輸送が示された。しかし、29日18時に再び中国大陸から朝鮮半島南部付近、そして九州地方を通過する長距離輸送を示すようになった。

さらに、31日15時には再び日本海付近から四国・中国地方を通過する輸送経路を示した。

2001年2月の24日から27日にかけては、中国大陸を起源とし、朝鮮半島付近を通過して、九州地方あるいは中国・四国地方を経由するような長距離輸送を示した。28日に一時流跡線が東へ大きく膨らんで、朝鮮半島および日本海から日本列島（近畿・紀伊半島）を通過する輸送経路が見られたが、28日21時には中国大陸から東シナ海を通る長距離輸送を示すようになった。

2000年10月のSO₂濃度について

屋久島においてSO₂濃度の上昇が観測された2000年10月30日における、鹿児島県の他の地域との濃度の変化を比較したものをFig. 8に示す。2000年10月30日6:00の屋久島での11ppbvに達するSO₂濃度の上昇は、有村における29日20:00 239ppbv、次に鹿屋における29日23:00 91ppbv、東串良（Fig. 1の古市団地）における30日0:00 33ppbvとよく対応していた。SO₂濃度の上昇する時刻が南の地域で遅くなり、また南下するほどSO₂濃度も低くなった。SO₂濃度の上昇が確認された2000年10月29日と30日の鹿児島県の850hPaでは西から北の風向が卓越し、風速は約10m/sであった。屋久島においてSO₂濃度が最も高くなった2000年10月30日6:00の気塊の流跡線は、気塊が桜島付近を通過して屋久島に輸送されたことを示す（Fig. 8）。

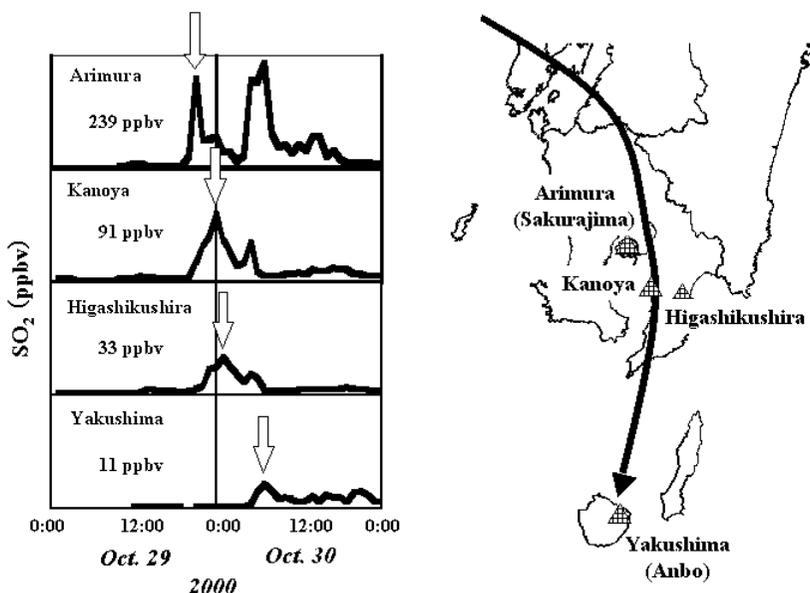


Fig. 8. SO₂ concentrations at different sites in Kagoshima prefecture during October 29-30, 2000 when air mass was coming from the Kyushu Island over Mt. Sakurajima to Yakushima

2001年2月のSO₂濃度について

屋久島においてSO₂濃度の上昇が観測された2001年2月24日から28日について、鹿児島県の他の地域（鹿屋・有村）とのSO₂濃度を比較したものをFig. 9に示す。屋久島では25日18:00に12.5ppbv、27日5:00に11.8ppbvのSO₂濃度の上昇が観測された。鹿屋においては24日22:00に39.0ppbvのSO₂濃度の上昇が観測された他には特徴的な濃度の上昇は見られなかった。また、桜島に近い有村におい

て、24日から25日にかけて断続的なSO₂濃度の上昇（25日5:00に最高260ppbv）が観測された。2001年2月24日から27日の鹿児島島の850hPa面では、屋久島で最初にSO₂濃度の上昇が見られた2月25日には北北西の風が卓越しており、27日のSO₂濃度の上昇時には東から南よりの風で、風速も弱かった。25日および27日のSO₂高濃度時における気塊の流跡線をFig. 9に示す。25日18:00の流跡線は中国大陸（北部）方面から朝鮮半島及び九州地方を経由して、気塊が屋久島に到達したことを示しており、これは24日から25日にかけての有村もしくは鹿屋でのSO₂濃度上昇と同時期なので、桜島からのSO₂の飛来が考えられる。これに対し、27日6:00の流跡線は中国大陸（北部）から日本海や日本列島（中国・四国地方）を経由して気塊が輸送されたことを示しており、またこの時の鹿屋や有村でのSO₂濃度上昇は見られないことから、大陸や桜島以外の国内地域からのSO₂の飛来が示唆されるが、具体的な発生場所は明らかではない。

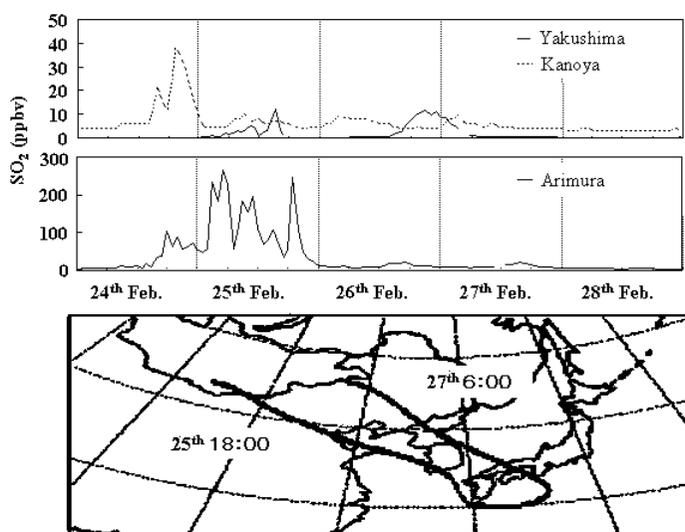


Fig. 9. SO₂ concentrations at Kanoya and Yakushima in Kagoshima prefecture during February 24-28, 2001 when air mass was coming from the Asian continents and the Japan Islands to Yakushima

考 察

屋久島における我々の観測データおよび鹿児島県が実施している定期観測データの解析結果から、O₃濃度は20-60ppbv程度であり、日周変化は不明瞭であり、夜間でも比較的高いことが明らかになった。高濃度O₃が夜間でも持続するのは、窒素酸化物の濃度が低く、O₃の分解過程が進まないためであると考えられる。流跡線解析の結果から、O₃の高濃度については長距離輸送の影響が大きいと考えるのが妥当である。また、O₃濃度が高い時期は、大陸方面からの風が卓越する時、すなわち秋から春の季節であると推定される。ただし、日本付近からの輸送の影響を示したものもあり、一概に大陸からの輸送のみでは説明ができない場合もある。

このO₃の高濃度に関しては以下の事が考えられる。植物に及ぼすO₃の潜在的な影響を表現するものとして、AOT40 (Accumulated exposure over a threshold of 40ppb) がある。樹木のCL (クリティカルレベル：大気汚染物質が植物などに直接影響を及ぼす場合の閾値) は通常4~9月の6ヶ月間で

の日照時において10,000ppb・hrと定められている(河野、松村、2001)。本研究においては、2000年10月、2001年2月の観測ともに、 O_3 の濃度が比較的高濃度(平均値で29.2ppbv~49.4ppbv、最大値で60ppbv弱)であったこと、さらに鹿児島県が1999年の夏季から秋季にかけて実施した光化学オキシダント濃度測定においても、秋季に最大60から80ppb程度の濃度が測定されていることから、屋久島においては秋季から春季にかけて少なくとも最大60ppbv程度に達することが推定された。したがって、この O_3 濃度が数ヶ月継続すると仮定するならば、 O_3 が植生に何らかの影響を与える可能性は否定できない。

鹿児島県が行った宮之浦における大気観測では、いずれの期間においても NO_2 と NO 濃度に日周変化が見られた。これらの濃度の日周変化は、観測を行った宮之浦が屋久島において人為活動の比較的高い地域であること、また鹿児島県本土からのフェリーの渡航を含めて交通量も多い場所であることが影響していると考えられる。したがって、屋久島の市街地付近では、島内発生源からの汚染物質により、例えば SO_2 の濃度に関しては、西部林道及び安房で観測された値より10倍程高い値(100ppbv前後)が観測されると考えられる。 NO_2 濃度についても、数倍以上高い濃度が宮之浦で観測されるので、島内の人為活動に起因する部分が多いと考えられる。しかし、一部の SO_2 は、アジア大陸・朝鮮半島および日本列島から長距離輸送されたものや、桜島の火山活動に起因するものであることがFig. 8、及びFig. 9から推測される。 SO_2 の植生に与える影響に関しては本研究の結果のみでは明らかにできないが、宮之浦において最大100ppbv前後に達する SO_2 濃度が観測されたことから、何らかの影響があるものと推察された。

鹿児島県の大気汚染物質濃度について、 O_x が日中において高濃度を示すのは、日射量の変化に対応したものであると考えられる。また、春季で O_x が高くなる季節変化は他にも報告例が多数あり、成層圏オゾンの沈降が大きな要因ではないかと考えられている(Monks, 2000)。 NO と NO_2 について、午前中における濃度の上昇と夕方での濃度の上昇は、ともに自動車に因ると考えられるが、本研究では確かな証拠は得られていない。昼間における SO_2 濃度の上昇の要因に関しては、桜島の火山活動により上空に排出された SO_2 が混合層の発達した日中に、地上付近において高濃度になるためと考えられている(森口ら、1990)。よって、工場からの排出など人為的な影響と、上空における桜島の噴煙の影響などから、鹿児島県の各地では混合層の発達する日中に SO_2 ピークが検出されたものと考えられる。また、夏季の鹿児島市方面における SO_2 の高濃度現象や冬季の大隅半島(鹿屋・古市団地)における高濃度現象は、鹿児島県のアメダスのデータや高層気象のデータから、夏季には南よりの季節風、冬季には北よりの季節風が卓越していることもあり、桜島による影響が大きいと考えられる。

屋久島における流跡線解析の結果は、中国大陸・朝鮮半島からの長距離輸送の影響が大きいことを示唆した。しかし、 SO_2 の濃度の上昇については桜島の影響が示されたように、日本付近からの影響も考えられる。ただし、三宅島での火山活動(2000年~)による SO_2 濃度上昇に関しては、短期間の観測だったこともあるので、本研究では確認できなかった。なお、春季の移動性高気圧通過時の九州地域では、中国大陸からの長距離輸送、桜島からの SO_2 の輸送、成層圏からの O_3 の沈降が同時に進行し、汚染濃度の変化を複雑にしているという報告もあり(鶴野ら、1997)、屋久島における大気汚染物質濃度変化についても、より多面的な角度からの検討が必要である。

結 論

1. 屋久島の西部林道及び安房における観測データの解析から、 O_3 濃度は20-60ppbv程度であり、日変化をあまり示さず、夜間でも高い濃度が持続していることが明らかになった。また、鹿児島県の

- 定期大気観測の解析から、 O_3 濃度が高い時期は、大陸方面からの風が卓越する時、すなわち秋から春の季節であると推定される。この時期においては、屋久島においては秋季から春季にかけて少なくとも最大60ppbv程度に達することが推定された。この O_3 濃度が数ヶ月継続すると仮定するならば、 O_3 が植生に何らかの影響を与える可能性は否定できない。
2. NO_x に関しては、その日周変化は屋久島の森林域である西部林道および安房では見られなかった。しかし、鹿児島県が宮之浦（市街地）で行った大気観測では、 $NO_2 \cdot NO$ に日周変化が見られた。宮之浦での、午前中における濃度の上昇と夕方での濃度の上昇はともに自動車に主に因ると考えられるが、確かな証拠は得られていない。
3. SO_2 濃度については西部林道及び安房において、その日周変化は見られなかったものの、2月及び10月の特定日時に濃度の一時的な上昇が見られた。10月30日は、桜島から屋久島にかけての大気汚染常時測定局における SO_2 の濃度が時間の経過に伴い南下するほど低くなり、桜島からの輸送が示唆された。流跡線解析の結果も同様の結果を示した。2月25日に関しても、桜島からの SO_2 輸送が考えられた。一方、2月27日は、大陸や日本列島からの長距離輸送が示唆された。 SO_2 の植生に与える影響に関しては、宮之浦において最大100ppbv前後に達する SO_2 濃度が観測されたことから、今後検討する必要がある。

謝 辞

本研究を行うにあたり、助言頂きました熊本県立大学環境共生学部の古賀実氏、福岡県保健環境研究所の永淵修氏、九州大学農学研究科の久米篤氏に感謝致します。また、鹿児島県、鹿児島市の大気汚染物質濃度データを提供頂きました鹿児島県、鹿児島市に感謝致します。

引用文献

- 智和正明、平川剛、苗村晶彦、新垣雄光、佐久川弘（2002）広島県極楽寺山およびその周辺における二酸化硫黄、窒素酸化物、オゾン濃度と日変化。日本化学会誌、No.1、67-76。
- Draxler, Roland R. (1998) "An Overview of the HYSPLIT_4 Modeling System for Trajectories, Dispersion, and Deposition" Australian Meteorological Magazine, 47, 295-308
- 気象庁月報（2000）気象庁編集、(財)気象業務支援センター発行
- 河野吉久、松村秀幸（2001）「樹木への影響評価」、電中研レビュー、No43、56-70（第5章）
- 溝口次夫（1991）「地球環境保全と酸性雨」用水と廃水、33 13-19
- 水野健樹（1980）桜島から放出された二酸化硫黄が環境濃度へ及ぼす影響について（事例研究）。天気、27、479-488
- Monks, Paul S. (2000) A review of the observations and origins of the spring ozone maximum. Atmospheric Environment, 34, 3545-3561
- 森淳子、宇都宮彬、鶴野伊津志、若松伸司、大原利真（1997）九州北部地域におけるエアロゾル濃度の変動と高濃度エピソードの解析。大気環境学会誌、32(2) 73-89
- 森口實、千秋鋭夫、小川弘（1990）環境汚染と気象 環境アセスメントの技術。朝倉書店
- 永淵修（2000）屋久島における大陸起源汚染物質の飛来と樹木衰退の現状。日本生態学会誌、50、303-309
- 中村克典、秋庭満輝（1999）稀少樹種ヤクタネゴヨウの枯死とマツ材線虫病、九州の森と林業、No.51。

- 鵜野伊津志、若松伸司、植田洋匡、村野健太郎、酒巻史郎、栗田秀實、薩摩林光、寶来俊一（1997）
春季の移動性高気圧通過時の九州地方での二次汚染物質と火山性SO₂の挙動。大気環境学会誌、32
(6) 404-424
- 鵜野伊津志、森淳子、宇都宮彬、若松伸司（1998）梅雨期の東アジアスケールの長距離輸送の解析。
大気環境学会誌、33(2) 109-116
- 山下敬則、森淳子、本多雅幸、鵜野伊津志、若松伸司（1991）長崎県における高濃度SO₂汚染の解析。
大気環境学会誌、26、320-332。