

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008 ～ 2012

課題番号：20403009

研究課題名（和文）

南米最南端でのオゾン層破壊分子の総合観測によるオゾンホールの中緯度帯への影響研究
 研究課題名（英文）A study of influence on stratospheric composition in mid-latitude region by Antarctic ozone hole based on ground-based millimeter-wave measurements

研究代表者

長濱 智生 (NAGAHAMA TOMOO)

名古屋大学・太陽地球環境研究所・准教授

研究者番号：70377779

研究成果の概要（和文）：南極オゾンホール内の低オゾン濃度空気塊が中緯度地帯まで到来することにより中緯度地帯のオゾン層に与える影響を評価するために、地上ミリ波分光計を新たに南米最南端近くのリオ・ガジェゴスに設置してオゾン等の高度分布の連続観測を開始した。5分間積分で取得されるオゾンスペクトルからオゾンの高度分布を得た。また、同観測施設にあるオゾンライダー等との同時相互比較観測を通じ、ミリ波オゾンデータの信頼性を検証した。

研究成果の概要（英文）：We newly installed a millimeter-wave radiometer at Rio Gallegos, Argentina, located near the Antarctica, and started continuous measurements of the vertical distribution of ozone in the stratosphere for evaluating ozone depletion in the mid-latitude region caused by transport of the air mass inside the ozone hole. The vertical profile of ozone has been retrieved from the spectrum observed with the radiometer every 5 minutes, and has been validated by comparisons among the measurements with an ozone LIDAR and other instruments.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	7,400,000	2,220,000	9,620,000
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012年度	1,700,000	510,000	2,210,000
総計	13,200,000	3,960,000	17,160,000

研究分野：中層大気物理・化学

科研費の分科・細目：数物系科学A・気象・海洋物理・陸水学

キーワード：オゾン、オゾンホール、成層圏、大気微量分子、中層大気物理、ミリ波

1. 研究開始当初の背景

人為起源のフロン等から生じる塩素を触媒としたオゾン分子の連鎖的破壊により、20世紀末、オゾン層（成層圏オゾン）の破壊が深刻化した。その最も顕著な現われが南極オゾンホールであり、今なお深刻な状況が続いている（気象庁オゾン層観測報告2006）。一方で、オゾン層保護の取り組みの進展により、近い将来、オゾン層に回復の兆しが現われる

ことが期待されている。モデル計算によると、南極オゾンホールでは2010年以降に回復傾向が現われてくると予測されているが（WMO/UNEP 2007）、現状は気象場の影響による年々変動が大きく、回復の兆候は見られない。「期待される」オゾン層の回復を高い確度で観測的に検出するために、人工衛星（例えば、AURA/MLS）や地上観測ネットワーク（例えば、大気組成変化検出ネットワ

ーク：NDACC)によるオゾン層に関するグローバルな観測が展開されている。また、最新の観測データのフィードバックを加えた3次元シミュレーションによって、確度の高い将来予測を行う研究が国内外で進められている。

このような状況の中で最も求められている研究の一つが、南極オゾンホールが中緯度地帯のオゾン層に与える影響についての研究である。南極春期、オゾンホールは気象場の変動の影響により、頻繁に南米大陸南端まで到達する。また、初夏のオゾンホール消失期にはオゾンホール内のオゾン破壊された空気が中緯度地帯上空に入り込み、そこでのオゾン層に影響を与える可能性が指摘されている。しかし、これらの現象は観測的には十分には解明されていない。特に、中緯度地帯のオゾン層回復への影響については、中緯度地帯には多くの人間が生活するため、そのメカニズムを精確に把握し、影響を定量的に評価することが確かな将来予測を行う上でも、強く求められている。

そこで我々は、南極大陸に最も近い中緯度地帯である南米大陸最南端で、成層圏オゾンとオゾン破壊物質の高度分布を高い時間分解能で同時連続観測し、得られた高度別時間変動データから、オゾンホールが中緯度地帯に与える影響を評価することを着想した。衛星観測では実現できない1時間以下の短い時間スケールの濃度変動まで有意に検出することで、オゾンホール由来の空気塊の化学的性質と中緯度帯大気への輸送と混合・拡散等についての詳細な知見が得られると期待できる。

2. 研究の目的

本研究では、南半球春期に南極オゾンホール内のオゾン破壊分子を含んだ低オゾン濃度空気塊が中緯度地帯まで到来することによって中緯度地帯のオゾン層に与える影響を評価し、そのメカニズムに関するこれまでの知見を観測的に検証し、また新たな知見を得ることが目的である。そのために、本研究では地上ミリ波分光計を南米最南端近くのリオ・ガジェゴスに設置し、オゾン等の高度分布の連続観測を行い、得られたオゾン等の高度別時間変動データを利用してオゾンホールの中緯度地帯への影響を評価し、その力学・化学過程の検証・解明を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、名古屋大学のミリ波分光計をアルゼンチンのリオ・ガジェゴスに移設して成層圏オゾン等の高度分布を連続的に観測し、1時間以下の短い時間分解能で取得された観測データをもとに、オゾンホールが中緯度地域のオゾン層に与える影響を、気象場解

析や化学輸送モデルとの比較を通じて検証・評価することを行う。具体的には次の3つの内容で行う。

(1) 観測に使用するミリ波分光計については、名古屋大学で既設のミリ波分光計を用いる。この装置は戦略的基礎研究推進事業(CRESTおよびSORST)による可搬型小型ミリ波分光計の開発のために実験室で使用されていたもので、その後チリ共和国・アタカマ高地においてオゾンやオゾン破壊物質等の高度分布観測に用いられているものである。このミリ波分光計をアルゼンチン共和国リオ・ガジェゴス市(南緯52°、西経69°)に設置する。リオ・ガジェゴスは南米大陸最南端パタゴニア地区に位置し、春期には1-2週間に1度の割合で南極オゾンホール周縁部が上空に到来するため、本研究には最適の観測地である。観測は無人・自動で行い、インターネットを通じて名古屋より装置の状態と観測データの質を監視する。

(2) ミリ波分光計の移設に際して、装置に新たに安定性に優れ、小型で持ち運びが可能な広帯域デジタル分光計を購入し、さらにそれを組み込むために必要なハードウェア及びソフトウェアの改修を行う。

(3) 観測されたオゾン等のスペクトルから逆問題(リトリーバル)により高度分布を求める。スペクトルデータは、まず取得された直後に現地にて実時間で暫定的な高度分布解析を行う。解析したデータは観測施設内で共有し、他の観測グループや現地の一般市民へのオゾン層情報として提供を行う。観測データを名古屋に回収後、観測時の気象データ等を用いたより精確な高度分布解析を行う。さらに得られたオゾン高度別時間変動データと気象場の解析等との比較から、南極オゾンホールの影響で中緯度地帯のオゾン層はどのように変動するか、その変動メカニズムの検証と新たなメカニズムの解明を通じて、オゾンホールが中緯度地帯のオゾン層に長期的に与える影響について評価を行う。

4. 研究成果

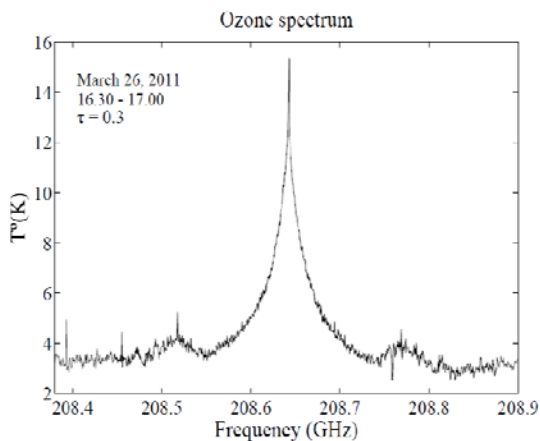
本研究においては、チリ・アタカマ高地に設置されている2台のミリ波分光計のうち1台をアルゼンチンのリオ・ガジェゴスに移設した。まず、リオ・ガジェゴスに移設するために必要となる現地の基盤整備及び既存の200 GHz帯ミリ波分光計の改修を行った。リオ・ガジェゴスにおいて当初移設を計画していた建物の建設が最終的に中止となり、また既設の建物群も電源容量が不足していて観測装置の設置には不適であったため、別途、ミリ波分光計用コンテナハウスを用意した。コンテナハウスは、Que1教授グループが既に設置しているオゾンライダー用コンテナの隣に設置し、変電設備から電源を直接引き込

んで、2010年1月にミリ波観測室を完成させた。



(図1) 右側のコンテナがリオ・ガジェゴスに設置したミリ波観測室

これと並行して、ミリ波分光計の電波分光器として従来の音響光学型分光器 (AOS) に替えてメンテナンスが不要なデジタル分光計 (アジレントテクノロジー社・U1056A) を新規購入した。また、デジタル分光計をミリ波分光計に組み込むのに必要な中間周波システムと制御・観測ソフトウェアを新たに開発した。観測室完成後にミリ波分光計をアタカマ高地からリオ・ガジェゴスへ輸送し、観測室内に設置した。同時にデジタル分光計及び必要な周辺装置・ソフトウェア等を日本から現地へ運び、装置に組み込んだ。その後、ミリ波分光計の調整及び試験観測を2010年12月末まで継続し、208 GHz帯のオゾンスペクトルの観測ができるようになった。試験観測の結果を踏まえ、2011年1月よりオゾンスペクトルの定常観測を開始した。



(図2) リオ・ガジェゴスに移設したミリ波分光計によって観測された208 GHz帯オゾンスペクトルの例

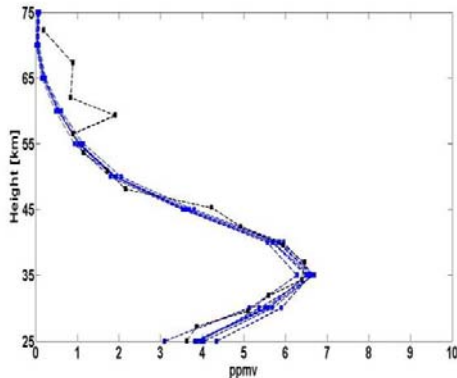
定常観測データを基に208 GHz帯での大気透過率を評価したところ、透過率が良いと期

待されていた冬季においても0.3程度と当初の予想していた値(0.1程度)よりも悪く、取得されるスペクトルのS/Nが想定よりも悪化していることが判明した。本研究では、連続して短い時間分解能でオゾン等の高度分布を連続計測することが重要な柱であることから、多少の悪天候でもS/Nの良いスペクトルデータが継続して取得できるよう、観測周波数を大気透過率がより優れていると予想される110 GHz帯へ変更した。2012年9月に、これまでの受信器に替えて110 GHz帯超伝導受信器を搭載し、オゾンスペクトル観測を継続した。その結果、観測時の大気透過率が向上し、得られるスペクトルのS/Nが以前より約20%向上した。これにより、典型的には5分間積分で成層圏オゾンの高度分布解析に必要なS/Nのスペクトルデータが得られるようになった。

また、2011年1月の定常観測開始後、定期的にアルゼンチン側のQuel所長グループと共同して同施設内のオゾンライダー及びオゾンゾンデとの同時検証観測を行い、オゾン高度分布の相互比較を行って観測精度の検証を進めた。リオ・ガジェゴスでは気候値を用いてミリ波スペクトルからのオゾン高度分布の暫定解析を実時間で行い、検証実験を行う現地研究者へタイムリーな情報提供を行った。相互比較の結果、各高度でミリ波オゾン混合比はライダーの値よりも15%程度低いことが見出された。両者の差が期間中ほぼ一定であることから、ミリ波装置の強度較正機構において冷却黒体の周りに霜が付着したことによる問題である可能性が高いと考えられる。対策として、冷却黒体の開口部付近にファンを取り付けた。これにより霜がほぼつかないことを確認した。また、これまでに取得されたミリ波データに対しては補正モデルを導入し、データの精度向上を図った。その結果、人工衛星(AURA/MLS)によるオゾン観測データと比較したところ、高度30から55 kmの範囲で両者はよく一致することがわかった。また、高度25 km以下ではミリ波の値が約20%大きい。これは装置の受信光学系で発生した定在波によりスペクトル上に生じたうねりの影響と考えられ、今後継続して装置側での対策と解析時の補正を行う予定である。

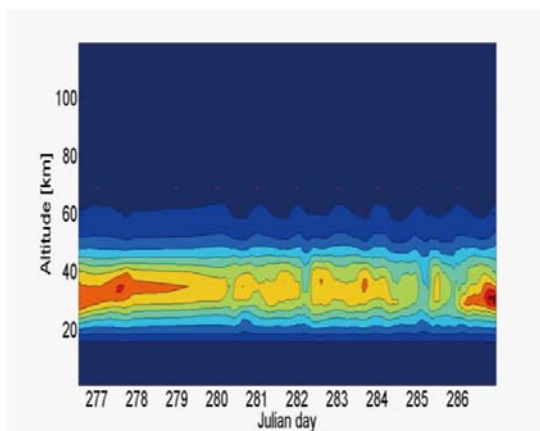
リオ・ガジェゴスで取得されたミリ波スペクトルデータに対して、その時々々の気象場データ等を利用した詳細な高度分布解析は名古屋にて行った。必要となる上空の気象データは、NCEP再解析データ及び気象庁気象データ同化システム解析データより作成するプログラムを整備して、気象データベースを作成した。しかし、アルゼンチンのネットワーク通信事情の問題のため、リオ・ガジェゴスの観測データをネットワーク経由で日本に

転送する体制が十分には確立できず、2012年10月より1か月ごとに現地研究者にデータを日本に郵送してもらうように変更した。そのため、詳細な高度別のオゾン混合比時間変動解析については、ごく断片的に解析を行うにとどまった。これらの解析結果に関しては国際学会において発表を行ったが、今後も引き続き紹介解析を進めて結果を公表していく。また、データ転送に関しても現地技術者の協力でVPN経由で実時間データを転送できるよう準備を進めていく。



(図3) リオ・ガジェゴス上空におけるミリ波観測によるオゾン高度分布(青)とAURA/MLSによる観測(黒)との比較

本研究においては、移設したミリ波分光計をアルゼンチン側研究者と共同で運用することを通じてミリ波観測の技術移転を行うことも重要な課題の一つである。これまでにアルゼンチンにおいて、現地研究者に対してミリ波高度分布解析データだけでなくオゾンスペクトルデータも実時間で提供を始めた。また、高度分布解析手法を現地研究者に教授した。これにより、現地研究者が独自にミリ波データの解析を行うことが可能となり、現地研究者の所有するライダー等による



(図4) アルゼンチン研究者による2012年10月のオゾン高度別時間変動の解析結果

オゾン・気温の観測データと組み合わせた特色あるオゾン変動解析に取り組んだ。これらの成果は、現地研究者と共同して国際学会において発表を行った。

なお2011年3月、ミリ波観測室を含むパタゴニア大気観測施設の開所式がアルゼンチン大統領を迎えて行われ、このときにアルゼンチン国内で広く本研究活動が報道された。

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 Kuwahara, T., T. Nagahama, H. Maezawa, Y. Kojima, H. Yamamoto, T. Okuda, N. Mizuno, H. Nakane, Y. Fukui, and A. Mizuno, “Ground-based millimeter-wave observation of stratospheric ClO over Atacama, Chile in the mid-latitude Southern Hemisphere”, *Atmospheric Measurement Techniques*, 査読有, 5, 2012, 2601-2611, doi:10.5194/amt-5-2601-2012.

② Kikuchi, K., T. Nishibori, S. Ochiai, H. Ozeki, Y. Irimajiri, Y. Kasai, M. Koike, T. Manabe, K. Mizukoshi, Y. Murayama, T. Nagahama, T. Sano, R. Sato, M. Seta, C. Takahashi, M. Takayanagi, H. Masuko, J. Inatani, M. Suzuki, and M. Shiotani, “Overview and early results of the Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder (SMILES)”, *Journal of Geophysical Research*, 査読有, 115, 2010, doi:10.1029/2010JD014379.

③ Kuwahara, T., A. Mizuno, T. Nagahama, H. Maezawa, A. Morihira, N. Toriyama, S. Murayama, M. Matsuura, T. Sugimoto, S. Asayama, N. Mizuno, T. Onishi, and Y. Fukui, “Ground-based millimeter-wave observations of water vapor emission (183 GHz) at Atacama, Chile”, *Advances in Space Research*, 査読有, 42, 2008, 1167-1171, doi: 10.1016/j.asr.2007.11.030.

[学会発表] (計19件)

① Mizuno, A., “NDACC microwave activities in Japan”, NDACC microwave radiometry workshop, 2013年1月8日, ベルン(スイス).

② Nagahama, T., “Temporal variations of ozone distribution in upper stratosphere and mesosphere measured with SMILES”, Quadrennial Ozone Symposium 2012, 2012年8月28日, トロント(カナダ).

③ Mizuno, A., “NO enhancement due to the January 2012 solar proton event detected

by the new millimeter-wave spectroscopic radiometer at Syowa Station in Antarctica”, Quadrennial Ozone Symposium 2012, 2012年8月28日, トロント(カナダ).

④Orte, P. F., “New ozone observation capability in the Atmospheric Observatory of Austral Patagonia: Millimeter wave radiometer”, Quadrennial Ozone Symposium 2012, 2012年8月28日, トロント(カナダ).

⑤棚田遼, アルゼンチン共和国リオ・ガジェゴスのミリ波大気分光装置の100 GHz化, 第12回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ, 2011年11月18日, 大阪.

⑥水野亮, 南米-南極域ミリ波観測網の現状, 第12回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ, 2011年11月18日, 大阪.

⑦ Mizuno, A., “Ground-based network measurements of stratospheric and mesospheric ozone in the Southern Hemisphere with millimeter-wave radiometers”, The 2011 NDACC Symposium, 2011年11月10日, レユニオン(フランス).

⑧ Mizuno, A., “A new millimeter wave radiometer installed in the NDACC site of Río Gallegos, Argentina”, The 2011 NDACC Symposium, 2011年11月10日, レユニオン(フランス).

⑨Kawahara, T., “Measurements of diurnal variations of upper stratospheric ClO at Atacama, Chile”, SMILES International Workshop 2011 Spring, 2011年3月15日, 京都.

⑩ Nagahama, T., “Ground-based millimeter-wave measurements of mesospheric NO₂ in Atacama Highland, Chile”, 6th Annual General meeting of Asia Oceania Geosciences Society, 2009年8月14日, シンガポール(シンガポール).

⑪長濱智生, 南米チリ・アタカマ高地における中間圏NO₂のミリ波観測, 日本地球惑星科学連合2009年大会, 2009年5月19日, 幕張.

⑫ Nagahama, T., “Measurements of mesospheric O₃, NO₂ and HO₂ with a ground-based millimeter-wave radiometer at Atacama, Chile”, Quadrennial Ozone Symposium 2008, 2008年6月30日, トロムソ(ノルウェー).

[その他]

ホームページ等

<http://skxl.stelab.nagoya-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長濱 智生 (NAGAHAMA TOMOO)
名古屋大学・太陽地球環境研究所・准教授
研究者番号: 70377779

(2) 研究分担者

水野 亮 (MIZUNO AKIRA)
名古屋大学・太陽地球環境研究所・教授
研究者番号: 80212231
前澤 裕之 (MAEZAWA HIROYUKI)
大阪府立大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授
研究者番号: 00377780

(H23→H24: 連携研究者)

中根 英昭 (NAKANE HIDEAKI)
高知工科大学・環境理工学群・教授
研究者番号: 50155777

(H22→H24: 連携研究者)

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

Eduardo Quel (QUEL EDUARDO)
アルゼンチンレーザー応用研究センター・
所長
研究者番号: なし

桑原 利尚 (KUWAHARA TOSHIHISA)
名古屋大学・大学院理学研究科・研究員
研究者番号: なし

寺田 良平 (TERADA RYOHEI)
名古屋大学・大学院理学研究科・大学院生
研究者番号: なし

東岡 宏明 (HIGASHIOKA HIROAKI)
名古屋大学・大学院理学研究科・大学院生
研究者番号: なし

児島 康介 (KOJIMA YASUSUKE)
名古屋大学・全学技術センター・
技術専門員
研究者番号: なし

棚田 遼 (TANADA RYO)
名古屋大学・大学院理学研究科・大学院生
研究者番号: なし

八嶋 信平 (YASHIMA SHIMPEI)
名古屋大学・大学院理学研究科・大学院生
研究者番号: なし

大川 勇 (OKAWA YUU)
名古屋大学大学院・工学研究科・大学院生
研究者番号: なし