

機関番号：82101

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007～2010

課題番号：19340138

研究課題名(和文) 亜酸化窒素濃度分布を介した北極域オゾン層の長期変動に関する研究

研究課題名(英文) A study on the long-term variation of the Arctic ozone layer through the N₂O concentration distribution

研究代表者

秋吉 英治 (AKIYOSHI HIDEHARU)

独立行政法人国立環境研究所・大気圏環境研究領域・主任研究員

研究者番号：80211697

研究成果の概要(和文)：北極域オゾン濃度の年々変動は、オゾンの化学破壊の年々変動とオゾン輸送の年々変動の両方の影響を受ける。そこでこれらに関係する、オゾン濃度、亜酸化窒素濃度、気温、大気大循環(子午面循環)、化学オゾン破壊率などの量の年々変動を解析した。その結果、下部成層圏の亜酸化窒素濃度や子午面循環・大気の波動活動などの力学指標を導入して各年を力学状態によって分類すると、北極域のオゾン濃度と大気中のフロンとハロン量との相関がよくなることがわかった。

研究成果の概要(英文)：Year-to-year variation in ozone amount in the Arctic area depends on not only the variation in the chemical destruction but also in ozone transport. The variations in ozone concentration, N₂O concentration, the general circulation, and ozone destruction rate are analyzed, which are associated with chemical ozone destruction and ozone transport. The results show that a high correlation between ozone concentration and halogen amount is obtained in the Arctic region when the years are classified by the dynamical indices that are represented by the N₂O concentration and the wave flux in the lower stratosphere.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2008年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2009年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
年度			
総計	12,100,000	3,630,000	15,730,000

研究分野：大気物理学

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：亜酸化窒素、オゾン、成層圏、気候変動、化学モデル

1. 研究開始当初の背景

大気中へのフロン・ハロンの放出量の増加によって、南極では大規模なオゾン破壊(オゾンホール)が報告されたが、北極では、特定の年(2000、2003、2005、2011年など)にオゾン破壊が比較的大きくなることはあるが、一方でオゾン破壊がかなり小さい年もあ

り、長期間のトレンドとして見た場合、北極で一方向的にオゾン破壊が進行している様子は見られない。南極ではオゾンホールを毎年起こすほど現在の大気中の塩素濃度は高いにもかかわらず、北極ではっきりとしたオゾン破壊のトレンドが見えないのは、もともと北極域では大気波動の影響が大きく、それに

よって北極渦の変動が大きく、低緯度からの熱輸送やオゾン輸送が活発で春期の南極下部成層圏のようなオゾンの一方的な破壊が起こりにくいためと考えられる。従って、北極のオゾントレンドを理解するためには、北極の力学場、特に北極渦のトレンドを理解する必要がある。北極渦の年々変動は成層圏および対流圏の波動の影響を受ける。しかしながら、北極渦と成層圏および対流圏波動との特に年々変動に関する因果関係を明らかにすることは簡単ではない。例えば、現在の科学知識でもって、今年の北極渦の状態から来年の北極渦の状態を予測することは難しい状況にある。

下部成層圏オゾンの場合、輸送の影響の他に化学反応の影響を同程度、時にはそれ以上受けて、その年々変動の理解はより複雑になる。現在までのところ、北極のオゾン量に関しては、下部成層圏の気温との関係がよいことがわかっている。すなわち、北極域の下部成層圏の気温の低い年に極成層圏雲の表面積が大きくなり、オゾン破壊が促進されてオゾンが少なくなる (Rex et al., 2004)。しかしながら、この気温とオゾン量との関係には、化学的なオゾン破壊だけでなく、オゾンの輸送も関わっていることに注意する必要がある。つまり、気温の低い年は大気波動の活動が小さく、従ってそれに伴う北極域の下降流も一般に小さいので、中・高緯度上部成層圏からのオゾンの輸送が押さえられ、下部成層圏のオゾン量が小さくなる。この輸送による過程がどの程度オゾン濃度の年々変動に効いているかを定量的に示した研究は今のところ数少ない (Hadjinicolaou, et al., 1997; Hadjinicolaou, et al., 2002; Hadjinicolaou, et al., 2005)。

2. 研究の目的

極域オゾン濃度の年々変動は、オゾンの化学破壊の年々変動と、オゾン輸送の年々変動の、両方の影響を受ける。特に北極域では、南極域に比べてオゾン輸送の影響が大きい。そこで、この両方の過程に関係する、オゾン濃度、亜酸化窒素濃度、気温、大気大循環 (子午面循環)、化学オゾン破壊率などの量的関係を調べ、オゾンの化学破壊の年々変動と輸送の年々変動を分離して理解することが本研究のポイントである。成層圏の大気波動活動の年々変動によって引き起こされた上述の要素の年々変動の因果関係および量的関係を数十年にわたるモデル計算結果と衛星観測データを解析し、明らかにしていくことが本研究の目的である。それによって、複雑な北極域オゾン変動に関して力学的にコントロールされている部分と化学的にコントロールされている部分とをある程度分離することが可能となり、それはまた、北極域オ

ゾン層破壊の将来予測の不確定性の縮小につながる。

3. 研究の方法

(1) 1979~2002 年について、再解析データ (ERA40) の気温、東西風速、南北風速を、化学気候モデルにナッジングという手法で同化し、北極渦崩壊時期と北半球中・高緯度下部成層圏の亜酸化窒素濃度の年々変動の関係を調べた。

(2) 1979~2100 年までの過去から将来にわたる期間について、温室効果ガスおよびハロゲンガス濃度のシナリオと化学気候モデルを用いた、気象要素 (気温、風速など)、微量成分濃度 (オゾン、亜酸化窒素濃度など)、オゾンの化学破壊速度の計算を行った。

(3) (2) の実験について、オゾン濃度と亜酸化窒素濃度の相関を、北極渦内、北極渦強化以上、北極渦外の中緯度に関して解析した。

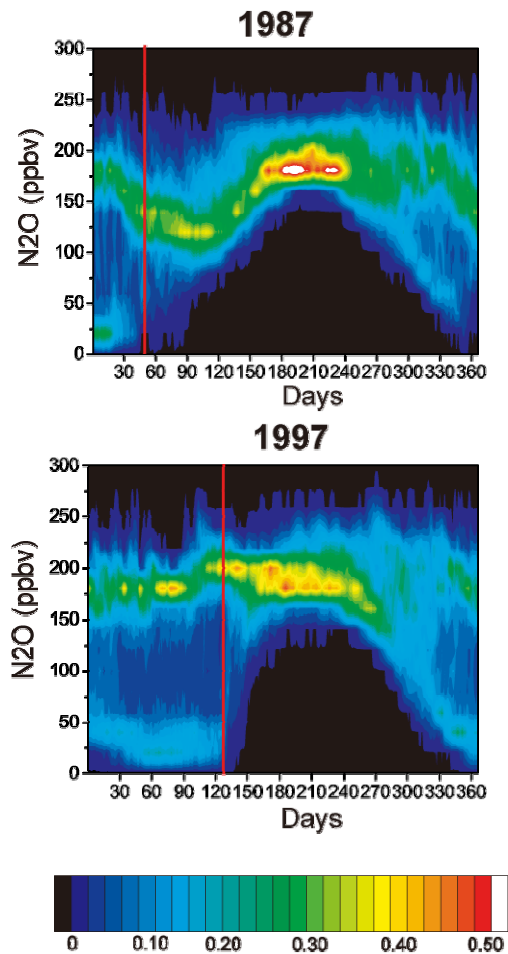
(4) (2) の実験について、平均子午面循環 (残差循環)、EP-flux、亜酸化窒素濃度など、オゾンの輸送とそれを引き起こす要因および結果に関する解析、また、気温やオゾンの化学破壊速度など、オゾンの化学的な破壊に関連する解析を行った。

(5) 北極成層圏の力学の指標と考えられる EP-flux (大気波動フラックス) と亜酸化窒素濃度によって、年を分類したときの、北極域オゾン破壊率と大気中のハロゲン濃度の相関が良くなるかどうかを調べる。

4. 研究成果

(1) 1979~2002 年について、再解析データ (ERA40) の気温、東西風速、南北風速を、化学気候モデルにナッジングという手法で同化し、北極渦崩壊時期と北半球中・高緯度下部成層圏の亜酸化窒素濃度の年々変動の関係を調べた。その結果、北極渦崩壊時期の早い年は、初冬から春にかけて北半球中高緯度で下降流が強く、この領域全体の亜酸化窒素濃度は低くなる傾向があることがわかった。一方、極渦崩壊の遅い年は下降流が相対的に弱く、亜酸化窒素濃度は高くなる傾向になることがわかった (図)。これらは、亜酸化窒素の鉛直分布 (上層ほど濃度が低い) に関係している。オゾン濃度の鉛直分布と関連づけると、オゾン濃度は下部成層圏では上ほど濃度が高いので、オゾン濃度と亜酸化窒素濃度との相関は、下降流の影響が大きい場合、負相関となる。また、領域を極渦内に限ってみると、鉛直流だけでなく、水平混合も重要になってくることがわかった。水平混合が重要な場合は、亜酸化窒素濃度とオゾン濃度の相

関は、どちらも赤道方向が高濃度なので、正相関となる。



図：ERA40の気温および水平風速データを化学気候モデルにナッジング（同化）させて計算した亜酸化窒素濃度の45°N-90°Nの濃度（体積混合比）分布。高度は600Kの等温位面上（24km付近）。色は、この領域の全面積に対して、縦軸の値で示される濃度の領域が占める面積の割合を表す。横軸は1月1日からの日数を表す。右端が12月31日。北極渦崩壊の早い年（上、1987年、極渦崩壊日を赤い縦線で表す）と遅い年（下、1997年）。極渦崩壊の早い1987年は、極渦崩壊後、亜酸化窒素濃度の低い面積が占める割合が高くなっており、これは主に極渦の外に相当する領域からの寄与によって生じたものである。

(2)1979～2100年までの過去から将来にわたる期間について、温室効果ガスおよびハロゲンガス濃度のシナリオと化学気候モデルを用いた計算および解析を行い同様な解析

を行った。その結果、1980年～2100年に対しても同様な違いがみられることがわかった。すなわち、北極渦崩壊時期の早い年は、初冬から早春にかけての北極渦崩壊時期の前後を含む期間で、北半球中高緯度全体としてみると下部成層圏のN₂O濃度が大きく減少していた。これらの年は、EP-fluxや残差循環の大きさも大きくなっており、これは、北半球のプラネタリー波の活動が活発で、それに伴って、中高緯度で下降流が強まったためである。一方、北極渦崩壊時期の遅い年には、EP-fluxや残差循環の大きさが比較的小さく、従って、プラネタリー波の活動が低く、それに伴う下降流も弱いので、このようなN₂O濃度の急激な減少は見られなかった。

(3)これまでの計算結果およびその解析結果をもとに、過去から未来にかけての全期間について、亜酸化窒素濃度や子午面循環・大気の変動活動などの力学指標を導入して過去の年を力学状態によって分類した場合、力学の影響が小さい年は、北極域のオゾン濃度と大気中のフロンとハロン量との相関が、よくなることがわかった。

(4)以上の結果により、北極のオゾン濃度の年々変動は、波動フラックスおよび亜酸化窒素濃度（力学的な指標）と、大気中のハロゲン濃度（化学的指標）によって、説明できることがわかった。また、これらの指標の将来の動向を予測することにより、北極域オゾン濃度が将来どうなるかについてのより精度の高い予測が可能になることが示唆される。

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21件）

- ① Yamashita, Y., H. Akiyoshi, M. Takahashi, Dynamical response in the Northern Hemisphere midlatitude and high-latitude winter to the QBO simulated by CCSR/NIES CCM (2011), *J. Geophys. Res.*, *116*, D06118, doi:10.1029/2010JD015016, 査読有。
- ② Akiyoshi, H., Y. Yamashita, K. Sakamoto, L. B. Zhou, and T. Imamura (2010), Recovery of stratospheric ozone in calculations by the Center for Climate System Research/National Institute for Environmental Studies chemistry-climate model under the CCMVal-REF2 scenario and a no-climate-change run, *J. Geophys. Res.*, *115*, D19301(1-22), doi:10.1029/2009JD012683, 査読有。
- ③ Yamashita, Y., K. Sakamoto, H. Akiyoshi, M. Takahashi, T. Nagashima, and L. B. Zhou

- (2010), Ozone and temperature response of a chemistry climate model to the solar cycle and sea surface temperature, *J. Geophys. Res.*, *115*, D00M05(1-15), doi:10.1029/2009JD013436, 査読有。
- ④ Nakamura, T., H. Akiyoshi, and Y. Yamashita (2009), Influence of lower stratospheric ozone variation on tropospheric temperature and mean meridional circulation in the Northern Hemisphere summer, *Geophys. Res. Lett.*, *36*, L14701, doi:10.1029/2009GL038563, 査読有。
- ⑤ Akiyoshi, H., L. B. Zhou, Y. Yamashita, K. Sakamoto, M. Yoshiki, T. Nagashima, M. Takahashi, J. Kurokawa, M. Takigawa, and T. Imamura (2009), A CCM simulation of the breakup of the Antarctic polar vortex in the years 1980-2004 under the CCMVal scenarios, *J. Geophys. Res.*, *114*, D03103, doi:10.1029/2007JD009261, 査読有。
- ⑥ Son, S.-W., L. M. Polvani, D. W. Waugh, H. Akiyoshi, R. Garcia, D. Kinnison, S. Pawson, E. Rozanov, T. G. Shepherd, K. Shibata (2008), The impact of stratospheric ozone recovery on the southern hemisphere westerly jet, *Science*, *320*(5882), 1486-1489, doi:10.1126/science.1155939, 査読有。
- ⑦ Akiyoshi, H. and L. B. Zhou (2007), Midlatitude and high-latitude N₂O distributions in the Northern Hemisphere in early and late Arctic polar vortex breakup years, *J. Geophys. Res.*, *112*, D18305, doi:10.1029/2007JD008491, 査読有。
- ⑧ Sugita T., N. Saitoh, S. Hayashida, T. Imamura, K. Saeki, H. Nakajima (2007) Temporary denitrification in the antarctic stratosphere as observed by ILAS-II in June 2003. *SOLA*, *3*, 137-140, 査読有。

[学会発表] (計 13 件)

- ① 岡本 功太、佐藤 薫、秋吉英治、Brewer-Dobson 循環の形成に対する放射加熱率と波強制の影響、日本気象学会 2010 年度秋季大会、京都テルサ (京都)、2010 年 10 月 27-29 日(発表 2010 年 10 月 27 日); 2010 年度秋季大会講演予稿集 (96)、198.
- ② 秋吉英治、山下陽介、中村哲、CCSR/NIES 化学気候モデルを用いた CCMVal-2 オゾン層将来予測実験とその感度実験、日本地球惑星科学連合 2010 年大会、千葉 (幕張メッセ国際会議場)、2010 年 5 月 23 日-28 日(発表 2010 年 5 月 27 日); 日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集 CD-ROM、AAS003-08.
- ③ 杉田考史、寺尾有希夫、林田佐智子、笠井康子、香川晶子 (2010) Partitioning of inorganic chlorine species inside/outside the Antarctic vortex in Nov. 2009. SMILES Fall Workshop 2010.
- ④ Akiyoshi, H., Y. Yamashita, K. Sakamoto, L. B. Zhou, and T. Imamura, Ozone and halogen recovery times in the future stratosphere calculated by CCSR/NIES CCM under the CCMVal-REF2 scenario and a no-climate-chnage run, IGAC-SPARC Joint Workshop, The One Atmosphere: Integration, Interface, and Impact, October 25-26, 2009, 京都, 16.
- ⑤ 秋吉英治、L. B. Zhou、下部成層圏における亜酸化窒素濃度、オゾン全量、極渦崩壊時期の年々変動とその相関関係、日本地球惑星科学連合 2008 年大会、千葉 (幕張メッセ国際会議場)、2008 年 5 月 29 日; 日本地球惑星科学連合 2008 年大会予稿集 CD-ROM、F207-008
- ⑥ 秋吉英治、L. B. Zhou、北半球中高緯度および北極渦内下部成層圏 N₂O 濃度と北極渦崩壊時期、日本気象学会、東京、2007 年 5 月 14 日; 2007 年度春季大会講演予稿集(91)、p.145

[図書] (計 1 件)

- (1) 秋吉英治、Q8 オゾン層破壊が温暖化の原因?、気象ブックス 026 ココが知りたい地球温暖化、(独) 国立環境研究所地球環境研究センター、成山堂書店、182p.p.、ISBN978-4-425-55251-1

6. 研究組織

(1) 研究代表者

秋吉 英治 (AKIYOSHI HIDEHARU)
独立行政法人国立環境研究所・
大気圏環境研究領域・主任研究員
研究者番号: 80211697

(2) 研究分担者

杉田 考史 (SUGITA TAKAFUMI)
独立行政法人国立環境研究所・
大気圏環境研究領域・主任研究員
研究者番号: 90312230

(3) 連携研究者

該当なし