

ILAS で観測された 1997 年北極 PSC の解析 2

－ 気温との対応に着目して －

齋藤 尚子、林田 佐智子 (奈良女子大)、笹野 泰弘 (国立環境研究所)

1 はじめに

1996/1997 年冬季北極域で、大規模なオゾン減少が観測された。ADEOS (Advanced Earth Observing Satellite; みどり) と Earth Probe に搭載された TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) は、1997 年初春に、北極上空で記録的に低いオゾン全量を観測している [Newman *et al.*, 1997]。また Coy *et al.* [1997] は、1997 年 3 月下旬から 4 月初旬の北極上空温位 475K での最低気温が、過去 17 年の気候値をかなり下回っていたことを報告している。

ADEOS に搭載された ILAS (Improved Limb Atmospheric Spectrometer; 改良型大気周縁赤外分光計) は、北緯 57.1 度から 72.7 度にかけて、オゾンをはじめとする大気微量成分およびエアロゾルの高度分布を観測しており、この時期のオゾン破壊メカニズムを解明する上で重要なデータを提供している。

本研究では、ILAS version 4.20 データを用いて、1997 年冬季北極域で観測された PSCs (Polar Stratospheric Clouds) の時間・空間分布を示している。また、熱力学モデルをもとにした STS (super-cooled ternary solution) 理論曲線との比較、さらに流跡線解析による粒子の気温履歴に見られる特徴について解析した結果を報告する。

2 PSCs 判定基準

ILAS で観測されたエアロゾル消散係数データ ($0.78\mu\text{m}$) を用いて、通常の大気エアロゾル (バックグラウンドエアロゾル) と PSCs を区別する方法について検討した。まずデータを極渦内、外に分け (Nash *et al.* [1996] による)、それぞれ気温が 200K 以上である領域の全エアロゾル消散係数データの平均値 (ave) と標準偏差 (sgm) を 10 日ごと、高度ごとに計算した。ave をバックグラウンド値として、ave と sgm を指標とした消散係数の頻度分布を描き、それをもとに検討を重ねた結果、閾値を $\text{ave}+5\text{sgm}$ と設定することとした。その上で、消散係数が閾値以上のデータを「PSC イベント」と判定した。

3 PSCs 時間・空間分布

図 1 は、ILAS の極渦内の観測地点における月別の最低気温を経度 20 度ごとに示した経度・高度断面図に、極渦内で判定された「PSC イベント」を重ねた図である。黒丸は「PSC イベント」でかつ対応する気温が NAT (nitric acid trihydrate; $\text{HNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) 飽和温度 (T_{NAT}) 以下であるイベントを表している。 T_{NAT} は、Hanson and Mauersberger [1988] の実験値の近似式を用いて計算している。 T_{NAT} は硝酸と水蒸気の濃度に依存するが、ここでは ILAS の硝酸データ、水蒸気データをもとに計算したバックグラウンド値を用いている。

ILAS で PSCs は、1 月はグリニッジを中心に、西経 90 度から東経 90 度にわたって、広い領域で観測されていた。2 月中旬から 3 月中旬にかけては、グリニッジより東側で PSCs が観測されており、特に 3 月では、東経 120 度付近で観測されていた。どの月も、極渦内の最低気温が低い値を示している領域で、PSCs が多く観測されている。また、1 月は 22km 付近、2 月は 20km 付近、3 月は 18km 付近を中心に、PSCs が観測されており、1 月から 3 月にかけて、PSCs 観測高度がしだいに低高度に遷移していくという特徴が見られた。

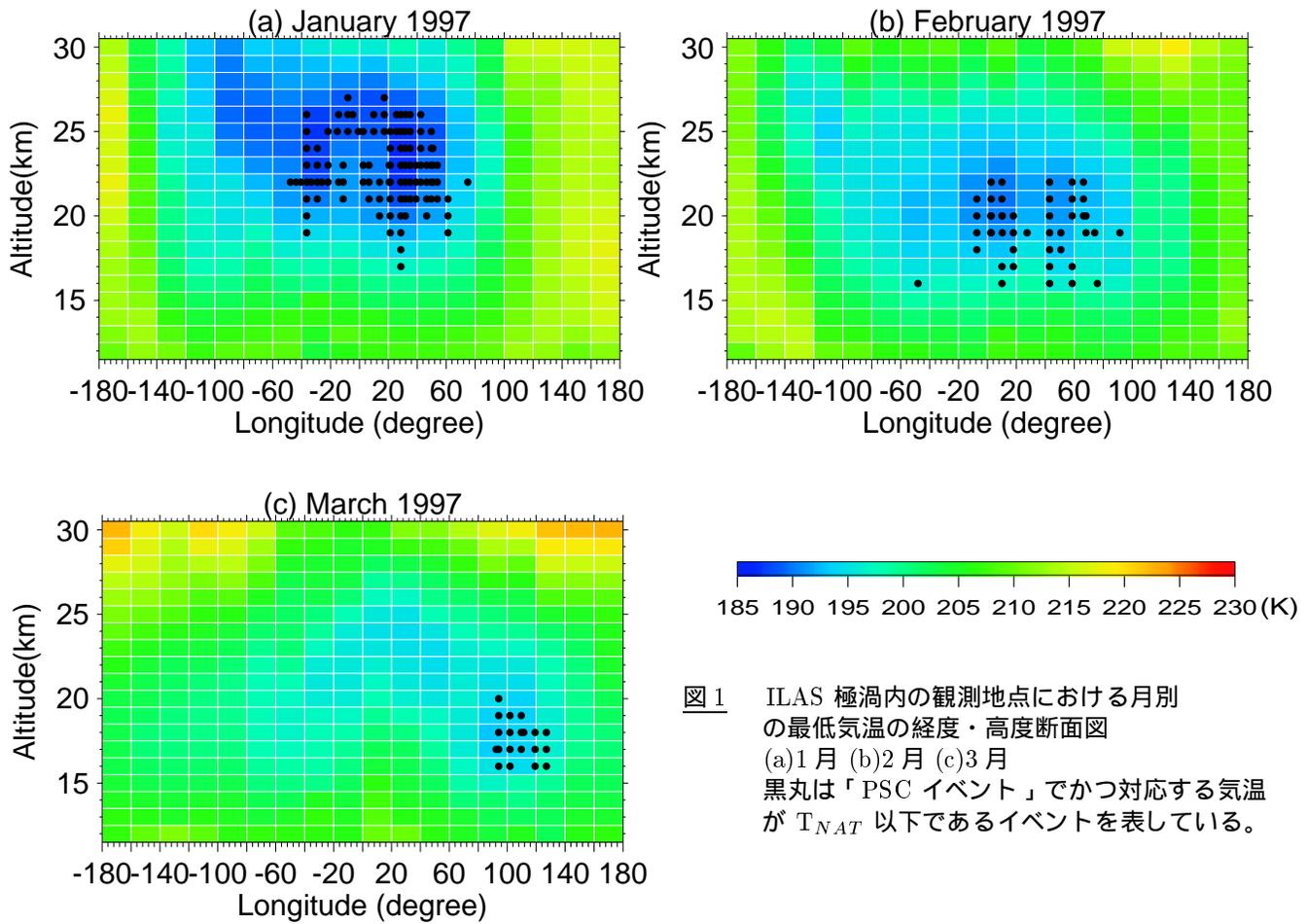


図1 ILAS 極渦内の観測地点における月別の最低気温の経度・高度断面図
 (a)1月 (b)2月 (c)3月
 黒丸は「PSC イベント」でかつ対応する気温が T_{NAT} 以下であるイベントを表している。

4 STS 理論曲線との比較

熱力学モデルをもとにした Carslaw の分析式 [Carslaw et al., 1995] を援用して、PSCs の組成を STS (super-cooled ternary solution) と仮定した時に理論的に期待される粒子体積を計算した。粒径分布を仮定し、気温依存の複素屈折率 [Luo et al., 1996; Beyerle et al., 1997] を用い、Mie 散乱理論をあてはめて、粒子体積を $0.78\mu\text{m}$ エアロゾル消散係数に変換している。計算には、ILAS データを 10 日ごと、高度ごとに平均したバックグラウンド硝酸混合比と水蒸気混合比、同期間の UKMO 気圧平均値を用いている。また、大気中の硫酸量は、それぞれの期間の消散係数バックグラウンドプロフィールに合うように推定した。

図2は、横軸に大気気温と T_{NAT} との差 ($T - T_{NAT}$) をとり、縦軸に消散係数をとった散布図を 10 日ごと、高度ごとに描き、各期間ごとに計算した STS 理論曲線を重ねた図である。それぞれのデータに対する T_{NAT} の計算には、対応する UKMO 気圧データ、バックグラウンド硝酸混合比、バックグラウンド水蒸気混合比を用いている。STS 理論曲線に対する T_{NAT} の計算には、平均気圧、バックグラウンド硝酸混合比、バックグラウンド水蒸気混合比を用いている。消散係数にはエラーバーもあわせて示してある。黒丸は判定された「PSC イベント」を表している。図は、1月中旬の高度 22km ~ 25km の散布図であるが、PSC と判定されているような消散係数の大きいところで STS 理論曲線とよく対応しているデータが多く、この時期、ILAS で STS が観測されていたことが示唆されている。

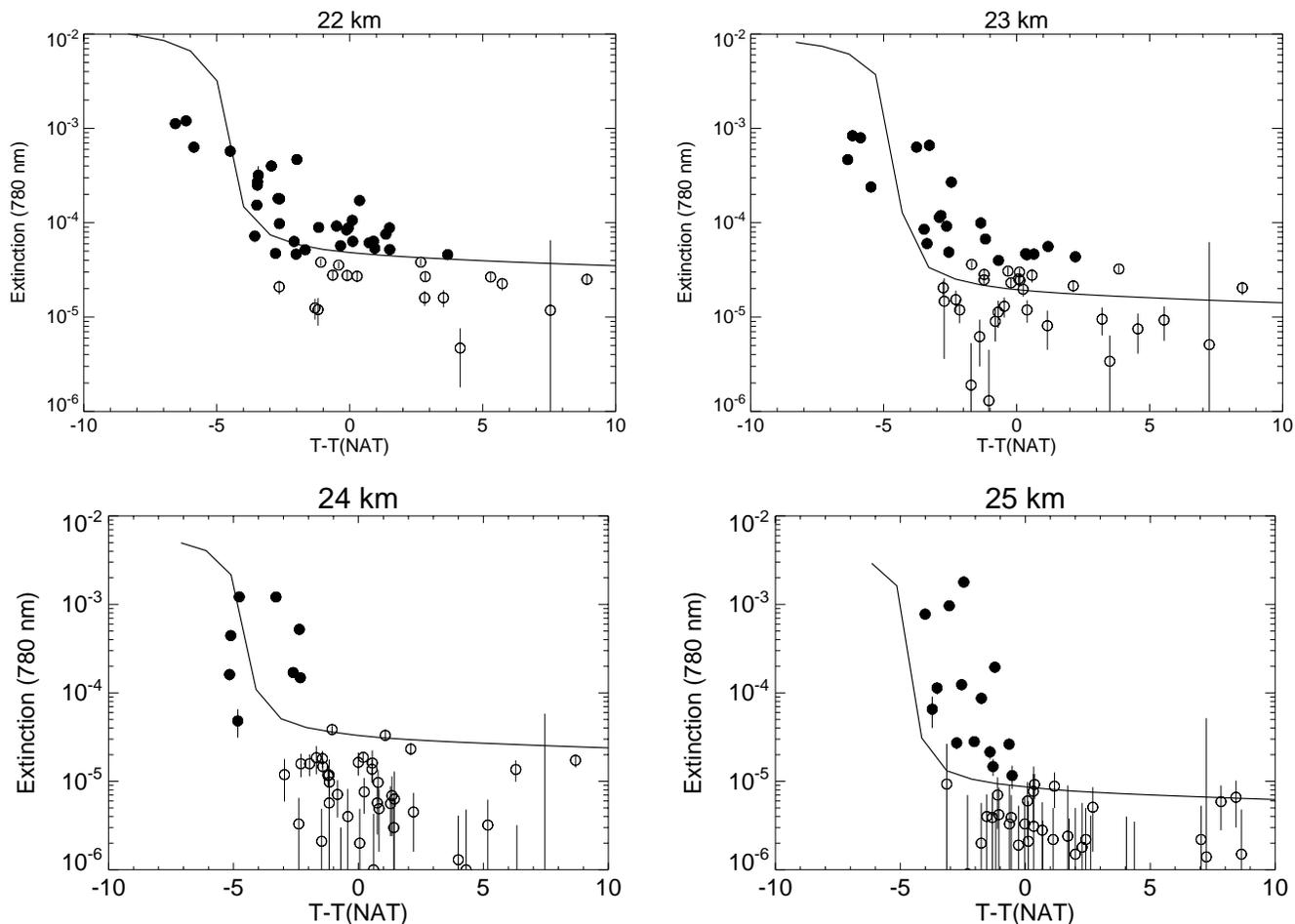


図2 1月中旬の高度22km～25kmの消散係数データの散布図
 極渦内のデータのみを対象としている。
 消散係数にはエラーバーもあわせて示している。
 黒丸は判定された「PSC イベント」を示している。
 実線は STS 理論曲線を示している。

5 PSCs 粒子の気温履歴

PSCs の組成に関しては、観測時の気温だけでなく、粒子が経験した気温履歴も重要であるとされているので、すべての「PSC イベント」の気温履歴を計算し、それぞれの気温履歴に見られる特徴を解析した。それらの特徴を、*Tabazadeh et al.* [1995]、*Lansen et al.* [1997]、*Santee et al.* [1998]らと比較して、粒子の組成を推定した。粒子の気温履歴を調べるために、本研究で使用する流跡線解析プログラムは、UKMO で開発され、国立環境研究所 ILAS/ILAS-II DHF (Data Handling Facility) で改良されたラグランジュアンモデルである。

図3は、判定された「PSC イベント」の15日間の気温履歴を示したものである。気温履歴の図には、 T_{SAT} (気温 210K の実線) が示してある。流跡線にそって計算した気圧を用い、硝酸混合比、水蒸気混合比をそれぞれ 9.0ppbv、5.5ppmv と仮定して計算した T_{NAT} (上)、 T_{ice} (下) も示している。これらの気温履歴は、図2の散布図に示した1月中旬の高度22km、25kmの2つの「PSC イベント」に対応しているが、両者とも、観測されるまでほぼ単調に急激に気温が下降しており、最終的に T_{NAT} を数 K 下回っているという、液相粒子形成に期待される特徴を持っている。また、ここでは示していないが、これらのイベントの消散係数が非常に大きいことから、 T_{NAT} 以下数 K での Type Ib 粒子の成長が示唆されている。

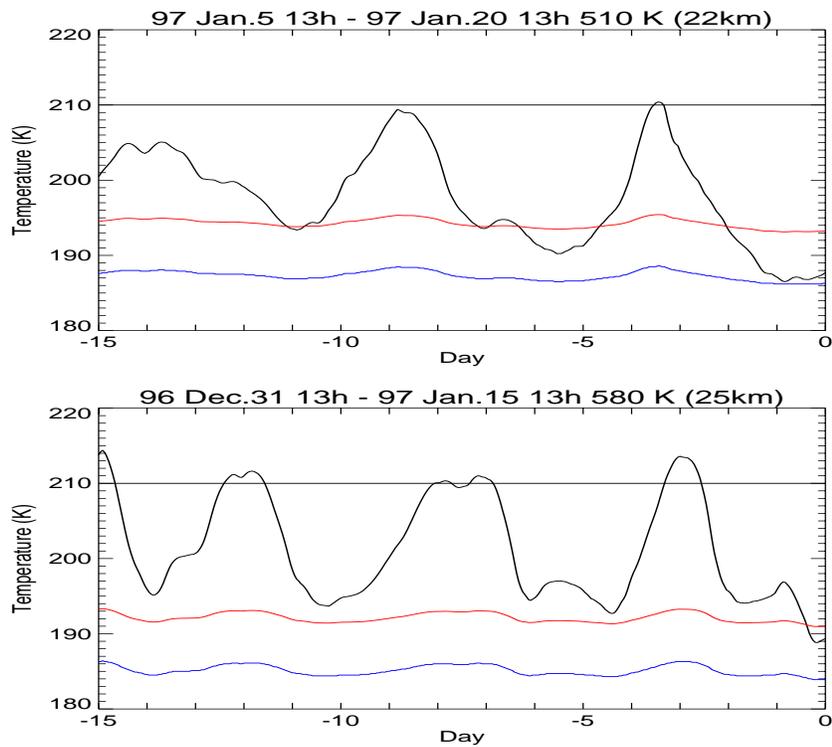


図3 図2に示されている「PSC イベント」の15日間の気温履歴
 (上)1月中旬高度22kmのイベント (下)1月中旬高度25kmのイベント

6 まとめ

本研究では、ILAS のエアロゾル消散係数データを用いて、1997年冬季北極域に観測されたPSCsの時間・空間分布を示した。また、熱力学モデルをもとに計算したSTS理論曲線とILASデータとを比較することで、ILASでSTSが観測されていた例を示した。さらに、それらの粒子が理論的に液相粒子形成が示唆される気温履歴を持つことがわかった。

参考文献

- Beyerle, G., B. Luo, R. Neuber, T. Peter, and I.S. McDermid, Temperature dependence of ternary solution particle volumes as observed by lidar in the Arctic stratosphere during winter 1992/1993, *J. Geophys. Res.*, 102 (D3), 3603-3609, 1997.
- Carshaw, K.S., B. Luo, and T. Peter, An analytic expression for the composition of aqueous HNO₃-H₂SO₄ stratospheric aerosols including gas phase removal of HNO₃, *Geophys. Res. Lett.*, 22 (14), 1877-1880, 1995.
- Coy, L., E.R. Nash, and P.A. Newman, Meteorology of the polar vortex: Spring 1997, *Geophys. Res. Lett.*, 24, 2693-2696, 1997.
- Hanson, D., and K. Mauersberger, Laboratory studies of the nitric acid trihydrate: Implications for the south polar stratosphere, *Geophys. Res. Lett.*, 15 (8), 855-858, 1988.
- Larsen, N., B.M. Knudsen, J.M. Rosen, N.T. Kjome, R. Neuber, and E. Kyro, Temperature histories in liquid and solid polar stratospheric cloud formation, *J. Geophys. Res.*, 102 (D19), 23,505-23,517, 1997.
- Luo, B., U.K. Krieger, and T. Peter, Densities and refractive indices of H₂SO₄/HNO₃/H₂O solutions to stratospheric temperatures, *Geophys. Res. Lett.*, 23 (25), 3,707-3,710, 1996.
- Nash, E.R., P.A. Newman, J.E. Rosenfield, and M.R. Schoeberl, An objective determination of the polar vortex using Ertel's potential vorticity, *J. Geophys. Res.*, 101 (D5), 9,471-9,478, 1996.
- Newman, P.A., J.F. Gleason, R.D. McPeters, and R. S., Anomalously low ozone over the Arctic, *Geophys. Res. Lett.*, 24 (22), 2689-2692, 1997.
- Santee, M.L., A. Tabazadeh, G. L. Manney, R.J. Salawitch, L. Froidevaux, W.G. Read, and W. Waters, UARS Microwave Limb Sounder HNO₃ observations: Implications for Antarctic polar stratospheric clouds, *J. Geophys. Res.*, 103 (D11), 13285-13313, 1998.
- Tabazadeh, A., O.B. Toon, and P. Hamill, Freezing behavior of stratospheric sulfate aerosols inferred from trajectory studies, *Geophys. Res. Lett.*, 22 (13), 1725-1728, 1995.