

## 成層圏大気主成分の重力分離とその物質循環研究への応用の可能性 Gravitational Separation : A New Tracer of Stratospheric Circulation

石戸谷 重之<sup>1\*</sup>, 菅原 敏<sup>2</sup>, 森本 真司<sup>3</sup>, 青木 周司<sup>4</sup>, 中澤 高次<sup>4</sup>, 本田 秀之<sup>5</sup>, 村山 昌平<sup>1</sup>

ISHIDOYA, Shigeyuki<sup>1\*</sup>, SUGAWARA, Satoshi<sup>2</sup>, MORIMOTO, Shinji<sup>3</sup>, AOKI, Shuji<sup>4</sup>, NAKAZAWA, Takakiyo<sup>4</sup>, Hideyuki Honda<sup>5</sup>, MURAYAMA, Shohei<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所, <sup>2</sup> 宮城教育大学, <sup>3</sup> 国立極地研究所, <sup>4</sup> 東北大学, <sup>5</sup> 宇宙航空研究開発機構

<sup>1</sup> AIST, <sup>2</sup> Miyagi University of Education, <sup>3</sup> National Institute of Polar Research, <sup>4</sup> Tohoku University, <sup>5</sup> Japan Aerospace Exploration Agency

大気中の酸素 ( $O_2$ ) 濃度 ( $O_2/N_2$ )、窒素 ( $N_2$ ) および  $O_2$  の安定同位体比 ( $^{15}N$  of  $N_2$ 、 $^{18}O$  of  $O_2$ ) の高精度観測から、成層圏における大気主成分の重力分離の検出が示唆されている (Ishidoya et al., 2006, 2008a, b)。本報告では、新たに分析した成層圏大気のアリウム ( $Ar/N_2$ ) および質量数 40 と 36 の Ar の同位体比 ( $^{40}Ar$ ) から示唆された重力分離検出の証拠について報告するとともに、2006 年以降に新たに採取した試料のデータを加えて得られた成層圏大気中の  $O_2$  濃度の長期トレンドと、重力分離と成層圏大気平均年代との比較から成層圏大気輸送の変動について新たな知見が得られる可能性について述べる。成層圏大気中の  $O_2/N_2$ 、 $^{15}N$  of  $N_2$ 、および  $^{18}O$  of  $O_2$  の分析は、三陸上空において 1999 年 5 月 31 日、2000 年 8 月 28 日、2001 年 5 月 30 日、2002 年 9 月 4 日、2004 年 9 月 6 日、2006 年 6 月 3 日および 2007 年 6 月 4 日に採取した試料と、大樹町上空において 2010 年 8 月 22 日に採取した試料について行った。また 1995 年 6 月 8 日の三陸上空試料に関して  $^{15}N$  と  $^{18}O$  の分析を、2007 年 6 月 4 日の三陸上空試料に関しては  $Ar/N_2$  および  $^{40}Ar$  の分析も行った。サンプラーは大気球によって打ち上げられ、圏界面直上から高度約 35km までの 11 高度の大気採取に成功した。採取した大気試料は研究室に持ち帰り、質量分析計によって  $O_2/N_2$ 、 $^{15}N$ 、 $^{18}O$ 、 $Ar/N_2$  および  $^{40}Ar$  を分析した。

三陸および大樹町上空における  $O_2/N_2$ 、 $^{15}N$ 、および  $^{18}O$  はいずれも高度増加に伴い値が減少していた。この値の減少は、 $^{15}N$  と  $^{18}O$  の変動量が分子拡散による重力分離と対流による混合を考慮した定常鉛直 1 次元モデルによる計算結果と整合的なこと、また  $^{18}O/^{15}N$  の比が重力分離から予測される 2 にほぼ等しいことから、成層圏における大気成分の重力分離によって引き起こされていることが示唆される。2007 年 6 月 4 日の三陸上空大気試料の  $Ar/N_2/^{15}N$  および  $^{40}Ar/^{15}N$  の比はそれぞれ  $11.8 \pm 1.4$  および  $4.2 \pm 0.6$  であり、重力分離から予想される値と整合的であった。本研究では、過去の研究で疑われていた、サンプラーの空気取入口が日射により加熱されることに起因する熱拡散効果で予想される両者の値が  $16.0 \pm 0.1$  および  $2.7 \pm 0.1$  であり重力分離とは異なることを実験的に確認し、 $^{15}N$  と  $^{18}O$  の観測値が純粋な重力分離を反映したものであることを明らかにした。

三陸および大樹町上空の成層圏における  $O_2/N_2$  の観測値に重畳している重力分離効果を、 $3 \times ^{15}N$  の値を  $O_2/N_2$  の観測値から差し引くことで補正し (\*本研究では  $O_2/N_2$  として質量数 32/29 の比を測定。は成層圏と対流圏の観測値の差を示す)、その高度約 20km 以上での平均値を時系列でプロットした結果から、対流圏に追従した中部成層圏での  $O_2/N_2$  の明らかな経年減少が示された。 $O_2/N_2$  と  $CO_2$  濃度の両者から推定される中部成層圏と対流圏上部の空気塊の年代差は共に約 4 年と整合的であった。

重力分離の指標として定義した値 ( $^{15}N + ^{18}O/2$ ) の、三陸および大樹町上空における観測期間平均の高度分布からの偏差 ( ) と、 $CO_2$  濃度から計算した成層圏大気平均年代 ( $CO_2$  age) の、高度約 20 km 以上での平均値は、負相関に近い関係を示した。2 次元モデル (SOCRATES) では高度に対する値の変化が緯度によって異なることが計算されており、の年々変化は成層圏における緯度方向の輸送の変動を表す可能性がある。またモデルでは緯度により値と  $CO_2$  age の関係が異なることも示されており、今後、1985 年からの三陸上空成層圏大気保存試料を分析し、両者の関係をより詳細に検討することで、Brewer-Dobson 循環の長期変動に関する情報が得られることが期待される。

キーワード: 成層圏大気重力分離, 成層圏大気輸送新トレーサー, 成層圏大気酸素濃度の経年減少, 重力および熱的効果による分子拡散

Keywords: gravitational separation in the stratosphere, a new tracer of stratospheric circulation, decrease of stratospheric  $O_2$  concentration, molecular diffusion by gravity and thermal effect