

## C-130H 輸送機により観測された北西太平洋上空における大気中酸素濃度の時空間変動

### Time and space variations of the O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> ratio observed over the western North Pacific using a cargo aircraft C-130H

石戸谷 重之<sup>1\*</sup>, 坪井 一寛<sup>2</sup>, 松枝 秀和<sup>2</sup>, 村山 昌平<sup>1</sup>, 澤 庸介<sup>2</sup>, 丹羽 洋介<sup>2</sup>, 田口 彰一<sup>1</sup>, 中村 雅道<sup>3</sup>, 河内 太郎<sup>3</sup>, 齊藤 和幸<sup>3</sup>, 高辻 慎也<sup>3</sup>, 辻 健太郎<sup>3</sup>, 西 秀紘<sup>3</sup>, 出原 幸志郎<sup>3</sup>, 馬場 祐介<sup>3</sup>

Shigeyuki Ishidoya<sup>1\*</sup>, Kazuhiro Tsuboi<sup>2</sup>, Hidekazu Matsueda<sup>2</sup>, Shohei Murayama<sup>1</sup>, Yousuke Sawa<sup>2</sup>, Yosuke Niwa<sup>2</sup>, Shoichi Taguchi<sup>1</sup>, Masamichi Nakamura<sup>3</sup>, Taro Kawasato<sup>3</sup>, Kazuyuki Saito<sup>3</sup>, Shinya Takatsuji<sup>3</sup>, Kentaro Tsuji<sup>3</sup>, Hidehiro Nishi<sup>3</sup>, Koshiro Dehara<sup>3</sup>, Yusuke Baba<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所, <sup>2</sup> 気象研究所, <sup>3</sup> 気象庁

<sup>1</sup> AIST, <sup>2</sup> Meteorological Research Institute, <sup>3</sup> Japan Meteorological Agency

大気中 O<sub>2</sub> 濃度 ( O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> ) の高精度観測は炭素循環解明の有力な手法であり、1990 年代初頭より多数の地上基地において観測が展開されているが ( e.g. Manning and Keeling, 2006 )、航空機を用いた自由対流圏における観測例は極めて限られている ( e.g. Ishidoya et al., 2012 )。そこで本研究では、神奈川県厚木基地 ( 35.45 °N, 139.45 °E ) と南鳥島 ( 24.28 °N, 153.98 °E ) 間に就航している C-130H 輸送機により採取した空気試料の ( O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> )、Ar 濃度 ( ( Ar/N<sub>2</sub> ) )、N<sub>2</sub> · O<sub>2</sub> · Ar の安定同位体比 ( 15N of N<sub>2</sub> · 18O of O<sub>2</sub> · 40Ar ) を分析し、試料の成分分別を評価・補正することで ( O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> ) の実際大気中の変動を復元し、その 3 次元的な時空間変動を明らかにしたので報告する。

C-130H 輸送機による観測は月に一度の頻度で行われ、各観測において高度約 6 km の水平飛行中に 17-20 本、南鳥島への降下中に 4-7 本の計 24 本の大気試料を容積 1.7 L のチタン製容器に加圧採取した ( Tsuboi et al., 2012 )。また各月の C-130H 観測と同日には、南鳥島地上においても C-130H による大気採取と同じ時間帯 ( 正午±15 時 ) に 6 本の大気試料を採取した。採取した計 30 本の試料は気象庁において CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O および CO の各濃度を分析した後、産業技術総合研究所において質量分析計により ( O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> )、( Ar/N<sub>2</sub> )、15N of N<sub>2</sub>、18O of O<sub>2</sub> および 40Ar を分析した。なお質量分析計による分析は 2012 年 5 月以降に採取した試料について行った。

15N of N<sub>2</sub>、18O of O<sub>2</sub> および 40Ar は対流圏大気中ではほぼ一定であると考えられ、( Ar/N<sub>2</sub> ) は 10-30 per meg 程度のわずかな季節変化を示すことが知られている ( e.g. Casser et al., 2008 )。しかしながら C-130H による大気採取で得られた試料の ( Ar/N<sub>2</sub> )、15N of N<sub>2</sub>、18O of O<sub>2</sub> および 40Ar は対流圏大気中の値と有意に異なり、特に水平飛行中の試料では地上観測値と比較して ( Ar/N<sub>2</sub> ) で最大約 800 per meg もの高い値を示した。このような変動は対流圏大気の実際の変動では起こりえず、C-130H による大気採取において試料空気の成分に何らかの分別が生じていることを示している。そのため C-130H 試料の ( Ar/N<sub>2</sub> )、15N of N<sub>2</sub>、18O of O<sub>2</sub> および 40Ar 測定値の間の関係を調べたところ、いずれも熱拡散分別が生じた場合の関係 ( Ishidoya et al., 2013 ) と整合的な結果が得られた。このことは、C-130H では与圧外気が流出する機内各所の空気吹出口の一つから大気を採取しているために、空気流路の分岐による熱拡散的な成分分別 ( e.g. Bender et al., 2005 ) が生じていることを示すと考えられる。そのため ( Ar/N<sub>2</sub> ) 測定値と、実験的に確認された熱拡散分別による ( Ar/N<sub>2</sub> ) と ( O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> ) の変動の関係を用いて、( O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> ) 測定値に重畳している O<sub>2</sub> と N<sub>2</sub> の分別を補正した。本研究による ( Ar/N<sub>2</sub> ) の測定精度は ± 5 per meg 程度であり、熱拡散分別による変動における ( Ar/N<sub>2</sub> ) / ( O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> ) 比 ( \*16O16O/15N14N の比の場合 ) は約 4.5 である。従って補正に伴う誤差は ± 1 per meg 程度であり、( O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> ) 観測に要求される ± 1 ppm ( ± 4.8 per meg ) の精度と比較して十分に小さいことから、本手法により実際大気中の ( O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> ) の変動を再現し得ると考えられる。

補正後の ( O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> ) には、地表約 6 km のいずれの高度帯においても CO<sub>2</sub> 濃度と負相関の明瞭な季節変化が見られた。また 2012 年 5 月-12 月の期間における南鳥島上空の平均的な高度分布において、大気ポテンシャル酸素 ( APO = O<sub>2</sub>+1.1xCO<sub>2</sub> ) ( Stephens et al., 1998 ) は高度の増加に伴い値が減少しており、本観測期間において南鳥島周辺海域は O<sub>2</sub> の正味の放出源であったことが示唆される。発表では各月の観測で見られた ( O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> ) の特徴的な変動に関し、CO<sub>2</sub> 他との濃度との関係と後方跡線解析とを用いて変動要因を推定した結果も紹介する。本研究の補正法により、成分分別を最小化する大気採取 ( e.g. Keeling et al., 1998 ) の実施が困難な観測においても、( O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> ) の高精度観測が可能になると考えられる。

キーワード: 航空機観測, 大気中 O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 比, 大気ポテンシャル酸素 ( APO ) , O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub> 分別量補正法

Keywords: aircraft observation, atmospheric O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> ratio, Atmospheric Potential Oxygen (APO), correction method for fractionation of O<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>