白鳳丸による東部太平洋赤道上での気球を用いた総合観測

青木周司[1]、本田秀之[2]、稲飯洋一[1]、飯嶋一征[2]、荘司泰弘[2]、松坂幸彦[2]、井筒直樹[2]、吉田哲也[2]、
森本真司[3]、菅原敏[4]、豊田栄[5]、古谷浩志[6]、植松光夫[6]、中澤高清[1]
[1]東北大学, [2]ISAS/JAXA, [3]国立極地研究所, [4]宮城教育大学, [5]東京工業大学, [6]東京大学

1. はじめに

赤道域は対流圏から成層圏への大気の主要な流入口となっているため、成層圏における大気循環や大気化学にとって重要な領域である。我々は JAMSTEC に所属する観測船“白鳳丸”の 2012 年第 1 期 Leg-1 観測航海（主席研究者植松教授）に参加し、大気微量成分の総合観測、すなわち、大気球に搭載したサンプラーよる成層圏大気の採取、水蒸気ゾンデ、CO_2 ゾンデ、GPS ゾンデによる観測および海上大気採取を行った。今回は大気球による成層圏大気の採取を中心に、初期解析結果も含めて報告する。

2. 観測海域

我々は、2012 年 1 月 27 日ペルーのカヤオ港にて白鳳丸に乗船し、同年 2 月 20 日にハワイのホノルル港で下船したが、その航路上の図 1 に示す 2˚N, 2˚S, 100˚W, 120˚W に囲まれた海域で大気微量成分の総合観測を行った。なお、この海域を含む空域は世界で唯一どの国の航空管制にも属さない特殊空域であり、大気球飛揚に付随する空域管理国との緊密な連絡や航空機衝突防止のためのレーダートランスポンダの搭載が不要となっている。

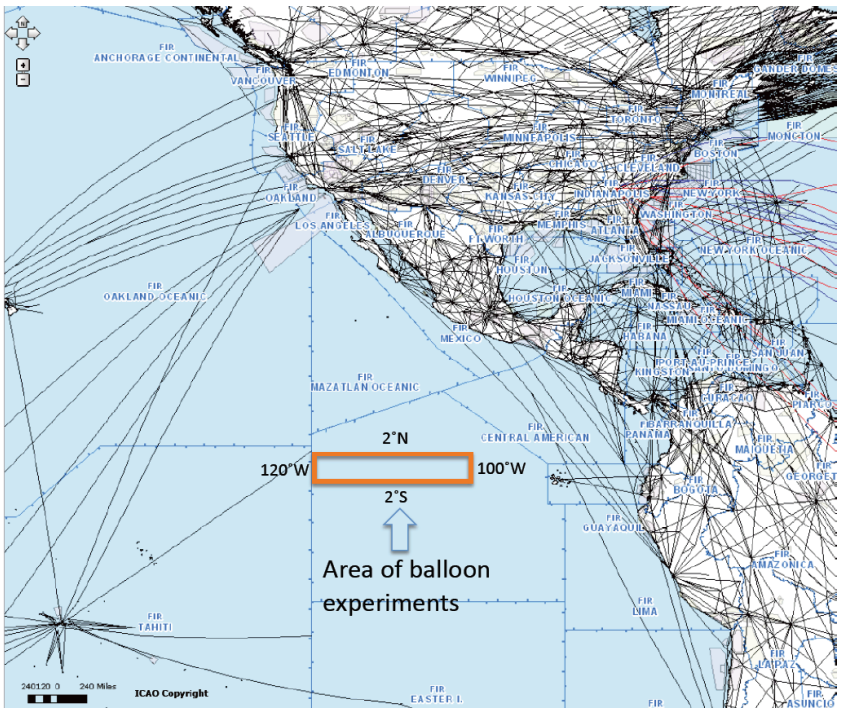

図 1. 2012 年第 1 期 Leg-1 白鳳丸観測航海の気球観測海域と主要航空路および Flight information region (FRI)。

３. 新型クライオジェニック大気サンプラー

希薄な成層圏大気を大量に採取するため、我々は長年にわたり液体ヘリウムを用いたクライオジェニックサンプラーを使用してきた。しかしこのサンプラーは、入手先の限られた液体ヘリウムが不可欠である上、サンプラー自体の自重が 250kg にもなるため、飛揚可能な場所が設備の整った地点に限られていた。我々は、高圧ネオンガスを大気に放出する際ジュール・トムソン効果により発生する寒冷を利用して成層圏大気を固化して採取する新型サンプラー（JT サンプラー）の開発に取り組み、この制限を解除することに成功した（Morimoto et al., 2009）。今回使用した JT サンプラーの概念図を図２に示す。このサンプラーは液体窒素を含む自重が 31.5kg であり、サンプラー1 台で 1 高度の大気が採取できる。採取可能な大気量は高さにより異なるが、高度 20km で 8 L_{STP} 弱、高度 30km で 5 L_{STP} 弱となっている。

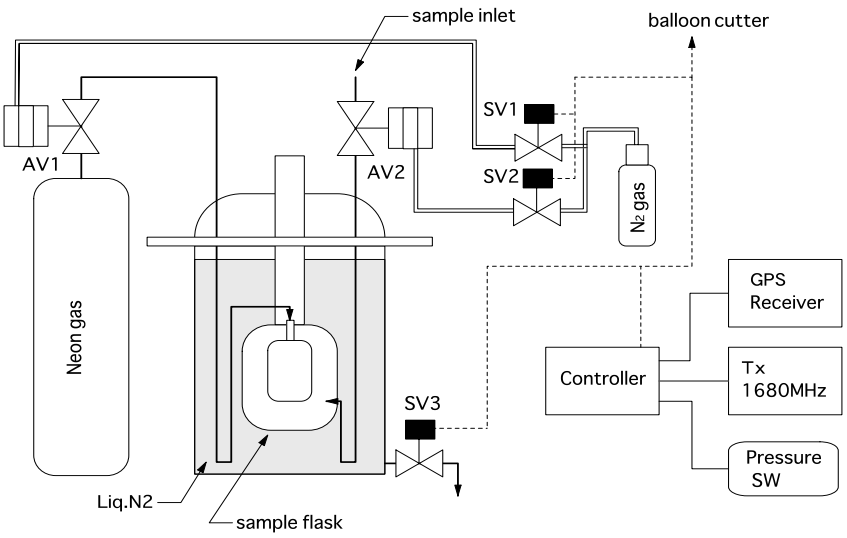

図２. 新型サンプラーの構成図。図中の略号は次の通りである。AV1:ネオンガス用空気圧作動弁、AV2:大気採取用空気圧作動弁、SV1: AV1 制御用小型電磁弁、SV2: AV2 制御用小型電磁弁、SV3:液体窒素排出用電磁弁、TX:送信機、SW:スイッチ

４. 白鳳丸による大気球観測

船舶を利用した大気球観測は世界的にみても希で、米国の航空母艦を利用した観測が知られているくらいであり、日本の船舶ではこれまでに例が無い。今回利用した白鳳丸は全長 100m、幅 16.2m、国際総トン数が 3991t の観測船であり、後部甲板で大気球飛揚に利用できるスペースは幅 7m、長さ 20m に限られているうえ、海洋観測のためのさまざまな設備が障害物となっている。この困難な状況を克服するため、JAXA 宇宙科学研究所大気球実験室のスタッフが「ウインチを使った立上げ放球法」を新たに考案した。なお、船舶を用いる場合、うまく操船することにより、船上をほぼ無風状態にすることができる点は大きな利点である。船から放球されたサンプラーは指定された高度で自動的にシーケンスが働いて大気を採取し、その後大気球が切り離され、パラシュートによって降下し着水した。大気球による上昇中とパラシュート降下中のサンプラーの軌跡は予め日本で予報風により予測を行い、船に通報する態勢を取っており、船は着水予想地点に向かって航行し、効率よくサンプラーの回収を行うことができた。今回は４回の大気採取を行ったが、放球から回収まですべて当初の予想以上に順調に進めることができた。

５. 総合観測から得られた CO_2 濃度の鉛直分布

図３に JT サンプラー、CO_2 ゾンデおよび海上大気採取によって求められた海面から高度 30km までの CO_2 濃度の鉛直分布を示す。この図から対流圏の CO_2 濃度は均一となっており、一方成層圏の CO_2 濃度は高度とともに低下していることが分かる。CO_2 濃度から大雑把に見積もったこれら４高度の空気の age は、下からそれぞれ 1.5, 2.0, 2.4, 3.5 年 である。

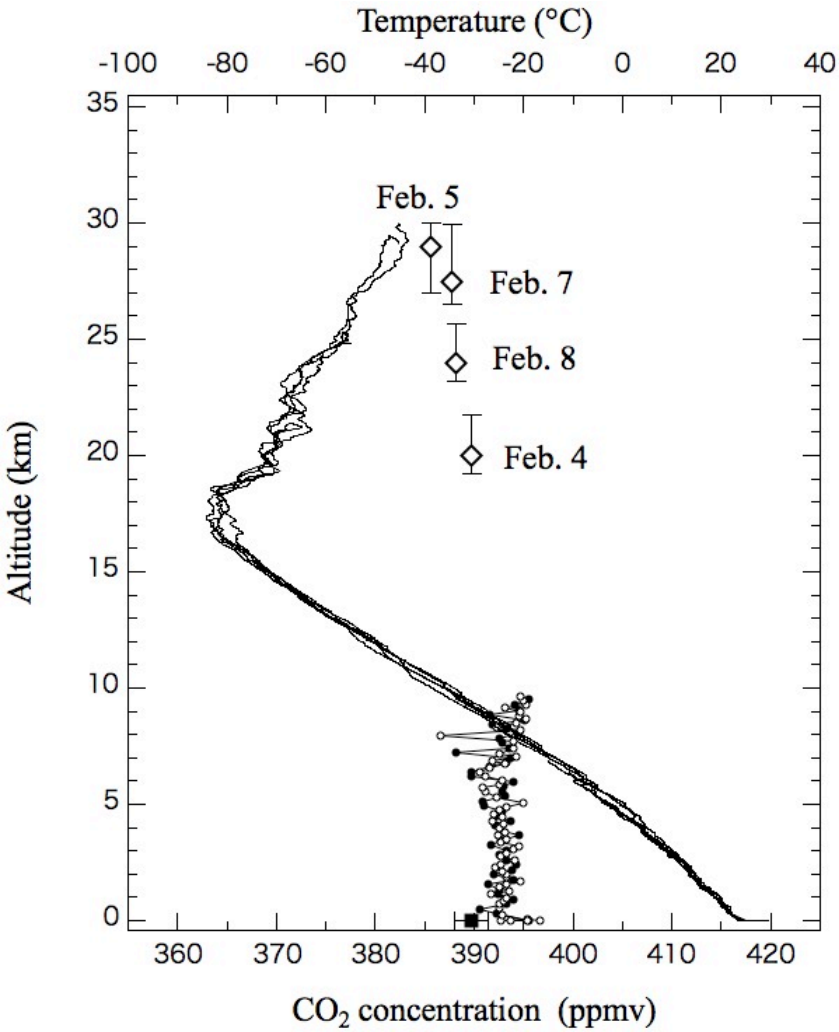

図 3. 2012 年２月２日から 13 日にかけて東部太平洋赤道上で観測された CO_2 濃度の鉛直分布。ダイヤ印は JT サンプラーによって採取された大気の分析結果（採取日を併記）、黒丸と白丸は CO_2 ゾンデによって２月６日と２月８日に得られた結果、黒四角は１日１回の頻度で船上にて採取された大気の分析結果の平均値を表している。実線は JT サンプラーとともに飛揚された GPS ゾンデの気温データで、それぞれの分布が極めてよく似ているため、あえて観測日を区別しなかった。

謝辞

今回の観測では白鳳丸の清野船長をはじめとした乗員の皆様、本航海に参加された教職員および学生の皆様、宇宙科学研究所大気球実験室のスタッフの皆様には多大な協力をいただきました。また、本観測に対し専門の立場でご支援いただいた JAMSTEC の酒井氏、東大大気海洋研の稲垣氏、国土交通省航空局および海上保安庁海洋情報部の係官の方々にも謝意を表します。