

白鳳丸気球実験で得られた 赤道成層圏 CO₂ 濃度と上部対流圏 CO₂ 濃度の比較

稲飯洋一¹、青木周司²、本田秀之³、菅原敏⁴、森本真司²、
町田敏暢⁵、松枝秀和⁶、澤庸介⁶、塩谷雅人¹、植松光夫⁷、古谷浩志⁷、豊田栄⁸、中澤高清²、
飯嶋 一征³、荘司 泰弘³、松坂 幸彦³、井筒 直樹³、吉田 哲也³
¹京都大、²東北大、³ISAS/JAXA、⁴宮城教育大、⁵環境研、⁶気象研、⁷東京大、⁸東工大

1、はじめに

成層圏大気の age (Hall and Plumb, 1994) は「自由対流圏との接触を最後に断ってから時間」で定義され、地表にソースがあり増加トレンドを示す長寿命化学種（二酸化炭素や六フッ化硫黄など）の成層圏における濃度を測定し、熱帯対流圏の濃度と比較することで化学的に評価される。

数値モデルによる研究によると、地球温暖化に伴う成層圏の子午面循環（ブルワードブゾン循環）の強化により、成層圏大気の age が減少することが予想されている。しかし、成層圏微量気体の観測からは age の減少は否定され (Engel et al., 2009)、争点となっている。

また近年、熱帯対流圏界層 (TTL; 熱帯上空温位約 350 K から 400 K、高度約 14 km から 18 km の高度域に存在する遷移層) の概念が導入されたことにより、成層圏大気の age の長期変動について議論するためには、TTL における中緯度下部成層圏大気との混合などに起因する長寿命化学種濃度の減少の効果を考慮する必要性が生じている (Stiller et al., 2012)。さらに成層圏流入後に熱帯域で上昇中にも緯度方向の混合過程により長寿命化学種の濃度が変化することも予想される。

本発表では、1) 2012 年 2 月に熱帯東部太平洋域において海洋研究開発機構学術研究船「白鳳丸」をプラットフォームとした気球実験で観測された空気塊の成層圏流入時期を推定する。そして、2) 上部対流圏における二酸化炭素濃度観測データを用いて対流圏から TTL へ流入する大気の大気二酸化炭素濃度を推定する。これら、1) 2) の結果から空気塊が TTL へ流入してから白鳳丸観測が実施されるまでの二酸化炭素濃度の変化量を見積もり、TTL に流入して以降の、特に緯度方向の混合過程による二酸化炭素濃度変化を見積もる。

2、方法とデータ

・前節の 1) について

成層圏大気は前述の様に化学的な age を定義できる一方で、TTL 上端付近に存在する気温極小の季節変動が水蒸気混合比の変化として記録されており（「水蒸気のテープレコーダーシグナル」）、この位相から熱帯下部成層圏の任意の高度の大気塊について TTL 上端付近の気温極小高度を通過した時期を推定できる。この熱帯下部成層圏におけるテープレコーダーシグナルを NASA の大気観測衛星 Microwave Limb Sounder (MLS) による成層圏水蒸気観測データから見積もる。得られた水蒸気テープレコーダーシグナルの位相から 2012 年 2 月に白鳳丸実験で採取された成層圏空気塊の成層圏流入時期を見積もる。

・前節の 2) について

対流圏から TTL へ流入する大気の大気二酸化炭素濃度の推定については、上部対流圏における民間航空機を用いた二酸化炭素連続観測 (Comprehensive Observation Network for TRace gases by AIrLiners; CONTRAIL の Continuous CO₂ Measuring Equipment; CME) データを利用する。さらに対流圏の大気は対流活動に伴い対流圏から TTL へと流入すると考えられるので、静止衛星赤外データから対流活動域を見積もる。得られた対流活動の時空間分布を用いてスクリーニングを行い、対流活動活動域で観測された CONTRAIL 観測データのみを抽出し、対流上部対流圏から TTL へ流入する二酸化炭素濃度を推定する。

3、結果

図 1 は MLS により観測された 2007 年から 2012 年までの熱帯成層圏のテープレコーダーシグナルを表している。対流圏界面気温の季節変動に伴い、気圧 70 hPa（高度約 18 km）付近に北半球冬季に水蒸気極小、北半球夏季に極大が形成され、ブルワードブソン循環による上昇流に伴いテープレコーダーシグナルの位相を保存しながら大気が上昇していく様子が示されている。白鳳丸による成層圏大気採取実験は 2012 年 2 月に高度 20 km、24 km、27.5 km で実施されたが、水蒸気テープレコーダーシグナルを過去に遡ってたどりそれぞれの空気塊の成層圏流入時期を推測すると、それぞれ 2011 年 9 月頃、2011 年 1 月頃、2010 年 9 月頃と見積もる事ができた。

図 2 に示すのは CONTRAIL により観測された上部対流圏、高度 8 km から 12 km における月平均二酸化炭素濃度の時間緯度断面図である。5 月に北半球側で極大が形成されその時空間分布には明瞭な季節変動が示されている。TTL の下層にある熱帯対流圏では対流活動が活発であり、対流により対流圏の空気塊が TTL へ鉛直輸送されていると考えられる。一方で対流圏は放射的に冷却されており、対流のない領域では大気は下降している。このため TTL へ流入する大気の二酸化炭素濃度を見積もるためには対流活動活発域の二酸化炭素濃度データのみを抽出して評価する必要がある。

図 3 は CONTRAIL 観測のうち時空間的に直近の雲頂温度の値が 240 K 以下であったもののみを用いて二酸化炭素濃度の時系列を表している。雲頂温度は静止衛星による赤外データから見積もられた。これらの二酸化炭素濃度の値を用いて、先に見積もられた白鳳丸実験で採取された高度 20 km、24 km、27.5 km の成層圏大気成層圏流入時期における二酸化炭素濃度を見積もると、それぞれ 391.1 ppm, 389.9 ppm, 390.8 ppm という値が得られた。高度 20 km、24 km、27.5 km で採取された空気塊の二酸化炭素濃度（それぞれ、389.70 ppm, 388.13 ppm, 387.68 ppm）は、これらの値よりも 1.4 ppm, 1.8 ppm, 2.4 ppm 低い値であった。これらの二酸化炭素の濃度差が、成層圏で採取された大気塊が TTL へ流入した後白鳳丸実験で採取される 2012 年 2 月までの間に二酸化炭素濃度の減少量であると考えられる。この減少が、熱帯下部成層圏を上昇する大気が相対的に低い二酸化炭素濃度である中緯度成層圏空気塊との混合過程に伴うものであるとは、現段階では言い切れないが、今後の解析でこれを明らかにしていきたいと思っている。

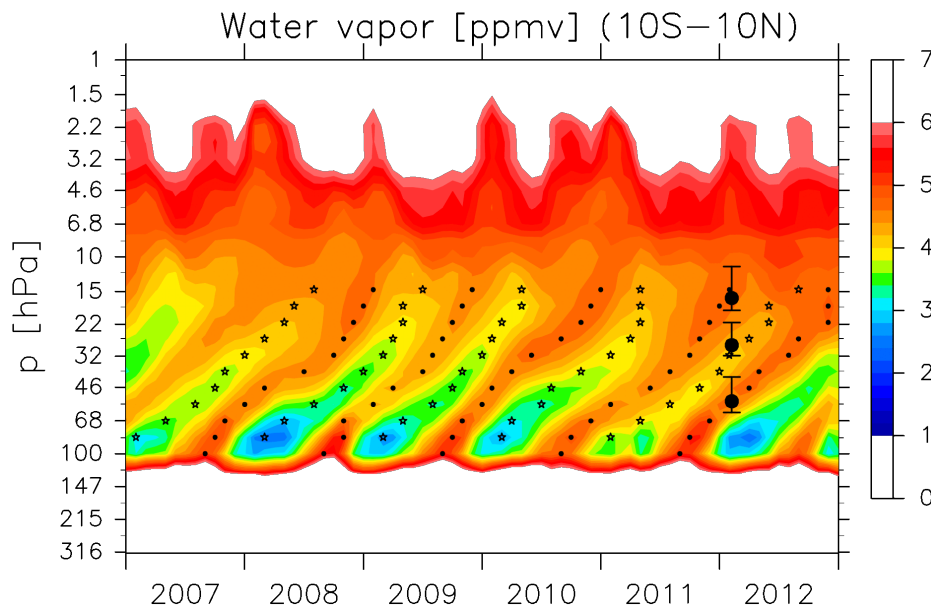


図 1：MLS により観測された熱帯（南緯 10 度-北緯 10 度）上空の成層圏における带状平均水蒸気混合比の時間高度断面。2012 年 2 月にプロットされた点が白鳳丸によって採取された空気塊（バーは採取高度域）。

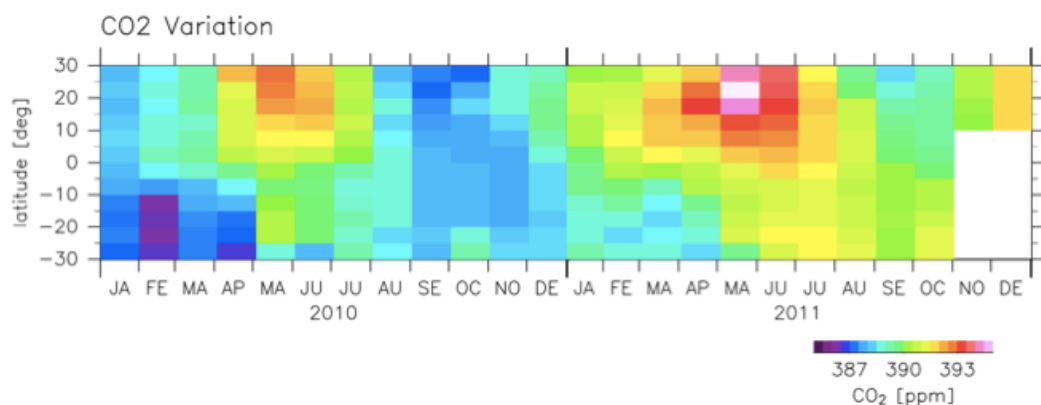


図 2 : CONTRAIL により観測された上部対流圏における二酸化炭素濃度の時間緯度断面。

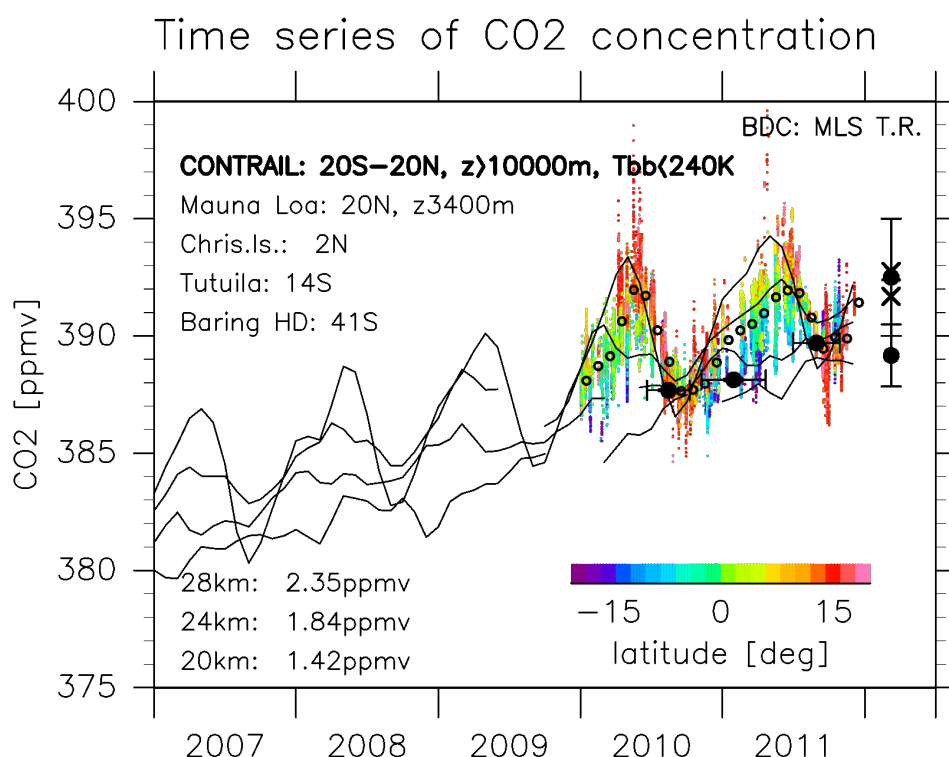


図 3 : 雲頂温度が 240 K 以下であった CONTRAIL 観測の二酸化炭素濃度の時系列。個々の値が小点、月毎の平均値が白丸でプロットされている。黒実線はマウナロア、クリスマス島、西サモア、バーリングヘッドで地上観測された月平均二酸化炭素濃度の時系列。横バー付き黒丸は MLS による水蒸気テープレコーダーから推測された成層圏流入時期にプロットされた白鳳丸実験で得られた成層圏の二酸化炭素混合比。縦バー付き黒丸および x 印は 2012 年 2 月に白鳳丸で観測された対流圏における二酸化炭素濃度（詳細は省略）。

謝辞

気球観測においては清野船長はじめ白鳳丸乗員の皆様、同乗の研究者や学生の皆様に協力していただきました。感謝いたします。