

水蒸気matchにより評価された熱帯対流圏界層における水平移流に伴う脱水

Cold Trap Dehydration in the Tropical Tropopause Layer Estimated from the Water Vapor Match

稲飯 洋一^{1*}, 長谷部 文雄¹, 藤原 正智¹, 塩谷 雅人², 西 憲敬², 荻野 慎也³, Voemel holger⁴, 岩崎 杉紀⁵, 柴田 隆⁶

Yoichi Inai^{1*}, Fumio Hasebe¹, Masatomo Fujiwara¹, Masato Shiotani², Noriyuki Nishi², Shin-Ya Ogino³, holger Voemel⁴, Suginori Iwasaki⁵, Takashi Shibata⁶

¹北海道大学, ²京都大学, ³海洋研究開発機構, ⁴ドイツ気象局, ⁵防衛大学校, ⁶名古屋大学

¹Hokkaido univ., ²Kyoto univ., ³JAMSTEC, ⁴German Weather Service, ⁵National Defense Academy, ⁶Nagoya univ.

成層圏水蒸気は地球の放射収支や大気化学、極域におけるオゾン層破壊過程に深く関与する重要な大気組成である。その存在量および変動は、主に熱帯対流圏界層 (TTL) における大気の水蒸気水平移流に伴う脱水過程により支配される (Holton and Gettelman, 2001) と考えられている。この脱水過程は北半球冬季西太平洋領域において最も効率的に駆動されていると考えられている

(Hatsushika and Yamazaki, 2003)。本研究は、過去数年にわたり蓄積されてきた北半球冬季西部熱帯太平洋領域における鏡面冷却型水蒸気ゾンデ・オゾンゾンデ観測 (SOWER) データに対して同一大気塊が複数回観測された事例 (match) を同定する事により、観測データに基づいて水平移流に伴う脱水量および脱水効率を定量化することを目的とする。

TTLを水平移流する大気塊には断熱近似が有効であるため、脱水過程の記述には温位座標系が便利であるが、ゾンデ観測に含まれる気圧・気温の測定誤差が温位の値に誤差をもたらす。そこで、ゾンデ搭載の全球測位システムによる高度と測高公式の積分から得られる高度とを比較することにより、ゾンデ観測値に含まれる温位バイアスを評価する方法を提案し、これに基づく補正を行った。

match解析において、ゾンデ観測された大気塊は等温位条件の下で客観解析場から計算された流跡線を用いて追跡される。この際、ゾンデ観測値が十分な空間的代表性を持っている必要がある。また、移流時間の長期化に伴う流跡線誤差の蓄積、客観解析場と現実場の差異、対流に伴う大気混合による影響の少ない事例の抽出など、いくつかの注意すべき点がある。そこで、TTLにおけるオゾン混合比の保存性を利用することで、等温位条件が有効とみなされる移流時間、match温位高度におけるゾンデと客観解析との気温差、そして移流する大気塊直下の対流雲頂温度と大気塊気温との差についてそれぞれ臨界値を決定した。得られた臨界値に基づき抽出されたmatchのうち、いくつかの事例はTTLにおける水平移流に伴う脱水の証拠を初めて直接的に示すものであった。

同定されたmatchについて、ゾンデ観測された水蒸気混合比と流跡線計算により評価された移流中の飽和水蒸気混合比を対応させた解析の結果、温位370 K付近で相対湿度約135%に相当する過飽和を経験しても有効な脱水が生じなかった事例が見出された。一方、温位350 - 360 Kでは相対湿度が約130%に達するまでに氷晶形成が開始され、最終的に100%以下にまで脱水されたと解釈し得る事例が見出された。また、原因の特定は困難であるものの、水蒸気量の増加が示された事例も数例含まれていた。

脱水が示された温位高度において、match事例から脱水過程に関する統計的解析を行った。大気塊が保持していた水蒸気混合比と移流中に経験した最低飽和水蒸気混合比とを比較した結果、気

温約195 - 210 Kである下部TTLの大気塊は相対湿度 $167 \pm 54\%$ (1σ) までに氷晶形成が開始されることが示された。一方、移流後に観測された水蒸気混合比と移流中の最低飽和水蒸気混合比との比較から、大気塊は最低飽和水蒸気混合比の $84 \pm 27\%$ (1σ) にまで脱水されていた。この値は、相対湿度100%より小さい値にまで脱水されることを統計的有意性を持って示すものではないが、客観解析場で表現されていない温度変動など、現在のmatch解析では考慮されていない過程の寄与を示唆している。

水平移流に伴う脱水効率を、氷晶形成の開始される臨界相対湿度（臨界値[%]）と過飽和緩和時間（e-folding time: τ ）の値として見積もった。これらは、仮定された様々な臨界値に対し、match大気塊として観測された水蒸気量および移流中に経験した飽和水蒸気混合比の履歴から、最適な τ を数値的に定めることにより評価された。この結果、見積もられた温位高度350 - 360 Kにおける τ の値は最大でも8時間以下であり、多くの研究で報告されている過飽和の値（相対湿度130 - 200%）を臨界値とした場合、1 - 1.5時間程度であることが示された。この値は大気の水平移流の時間スケールに比べて十分短いものであり、氷晶形成が一度開始されると下部TTLにおける水平移流に伴う脱水効率がかなり高いことを示唆している。

今回の解析では、残念ながら温位高度370 - 380 Kで脱水を示す事例は見い出されなかったが、今後の観測データの蓄積と本研究で確立されたTTL水蒸気matchの適用により、成層圏に流入する水蒸気量を決定している高度域においても脱水効率の定量化が可能となるであろう。

キーワード: 熱帯対流圏界, 成層圏, 水蒸気, 脱水, マッチ, 熱帯

Keywords: TTL, stratosphere, water vapor, dehydration, match, SOWER