

学位論文題名

A study of water vapor variation
in the tropical upper troposphere

(熱帯上部対流圏における水蒸気変動に関する研究)

学位論文内容の要旨

本研究では、上部対流圏から下部熱圏領域の気温、風、微量気体成分等を観測する高層大気観測衛星 UARS (Upper Atmosphere Research Satellite) に搭載されている MLS (Microwave Limb Sounder) によって得られた上部対流圏から下部成層圏の水蒸気データを用いて、そこでの水蒸気分布の主に季節内変動について解析を行なった。

水蒸気は強力な温室効果気体として知られ、特に上部対流圏の水蒸気量が外向き赤外放射量 (Outgoing Longwave Radiation : OLR) を左右しているといわれている。さらに水蒸気は雲を形成するため、雲による地球の放射収支への見積りにも欠かせないパラメーターであると言える。また最近では成層圏における水蒸気の増加傾向が高精度のゾンデ観測から指摘されており、この成層圏の水蒸気量増加傾向を説明するために、対流圏から成層圏への物質の入口として知られる熱帯対流圏界面近傍での様々な成層圏-対流圏間物質交換 (Stratosphere-Troposphere Exchange : STE) のメカニズムが議論されている。中でも、熱帯対流圏界面を面ではなく、対流圏的な性質から成層圏的な性質に徐々に遷移する、ある厚みを持った層として捉える考えが提案されている。これは Tropical Tropopause Layer (TTL) とよばれ、熱帯圏界面上下数 km の高度 14-19km に相当する。TTL 領域は強い水平風が吹き、赤道ケルビン波などの赤道波の波動が卓越してくる領域であるため、ここでの物質は季節内変動以下の短い時間スケールの大気現象に影響されていることが示唆されている。

また TTL 内の水蒸気分布を決めている脱水メカニズムがいくつか提唱されているが、その全球規模での観測データを基にした議論は少なく、TTL 内での詳細な脱水メカニズムはいまだ解明されていない。そこで本研究では、TTL を含む上部対流圏から下部成層圏領域の UARS / MLS の水蒸気データと UARS / CLAES (Cryogenic Limb Array Etalon Spectrometer) の絹雲頻度データを用いて、それらの季節内変動における特徴の記述と脱水メカニズムを解明することを目的とした。その際季節内変動に着目するので解析データに 20-80 日のバンドパスフィルターを施し、その偏差を議論した。また気温、風といった気象場に同様の処理を行なって解析に用いた。1991 年から 1993 年までの北半球冬期 (11-4 月) に見られた 5 つの季節内振動の合成解析を行なった。北半球冬季は季節内振動の振幅が大きく、また東進伝播が卓越する時期にあたる。

まず熱帯域での上部対流圏の水蒸気、絹雲、気温場の経度時間断面に着目したところ、熱帯域のインド洋から日付変更線までを対流活発域が約 5 [m/s] で東進する時、215hPa と 146hPa 面では、対流域と共に湿潤域が東進していた。100hPa 面では東進する分布は明瞭で

はないが、対流域上は乾燥していた。気温場についてみると、215hPa と 100hPa 面では対流域の東側にそれぞれ暖かい領域と冷たい領域が存在し、146hPa 面では対流域上に冷たい領域が存在していた。これは対流活動による熱源に対するケルビン波応答の構造を持っていた。TTL 近傍では絹雲は飽和水蒸気に達した時に形成されることから脱水の指標としてよく用いられる。その絹雲の分布についてみると、146hPa の絹雲は対流域上の低温域に発生し、100hPa 面では対流域東側の低温域で発生していた。これは絹雲の形成が対流活動の影響を受けた気温場に影響されることを示している。これらの結果から、熱帯域の 215hPa と 146hPa では、対流活動を反映する分布になっていること、そして 146hPa 付近から気温場に変化が見られていること、一方 100hPa では対流との相関が明瞭に見られなかったなどの特徴が見られた。

次に 100hPa 面の水蒸気分布に着目した。100hPa 面では気温場と風の場合が熱源に対する応答として現われる赤道ケルビン波および赤道ロスビー波が結合したモードの構造を持ち、その振幅が下層に比べ大きくなっていった。対流活動が活発な時に時間を固定してその特徴をみると、空気塊が東風によって対流東側の低温域を通過する際、絹雲が発生し脱水される。形成された乾燥空気塊は赤道ロスビー波応答の主に北半球側の強い高気圧高気圧性循環によって北半球亜熱帯域に運ばれ、一部は赤道域の低温域に戻り、一部は亜熱帯を東進し東部太平洋上で熱帯に戻ってくるという特徴が見られた。先程熱帯域では 100hPa での東進が明瞭でなかった理由に、形成された空気塊が高気圧性循環によって亜熱帯に運ばれ、そこを東進していたためと考えられる。

さらに対流域がインド洋から日付変更線までを約 20 日かけて東進する際の水蒸気場の時間変動をみた。対流域が東進する際、気温場と風の場合はその振幅を変化させながら、また熱源に対する赤道ケルビンと赤道ロスビー波応答の結合構造を維持しながら東進する。その振幅が大きくなるのは、対流活発域が東部インド洋と西部・中部太平洋に存在する時であった。対流域が東部インド洋上にある時、西部太平洋上に定常的に存在する低温域が、より冷たくなり乾燥した空気塊が形成される。その時インドシナ半島に中心を持つ高気圧性循環の南北風は弱く、主に赤道域を吹く東風によってインド洋上へと乾燥空気が運ばれる。対流活発域が海洋大陸上に移ると、対流活動は弱まるが、高気圧性循環によって、徐々に低温域で形成された乾燥空気と、先にインド洋上に運ばれた乾燥空気塊が亜熱帯に運ばれる。その後対流域は西部太平洋上に進入し、低温域や高気圧性循環が強化され、より乾燥した空気塊が形成される。また亜熱帯の乾燥域は背景風の西風によって、熱帯の対流活動の東進よりも早く東進するため (20-30 [m/s])、この頃東部太平洋域に乾燥域が到達する。そして対流活動が日付変更線付近で最盛期を迎えると乾燥した空気塊が亜熱帯をまわって東部太平洋上を巡る。その後対流活動は弱まるが、最盛期に生成された乾燥空気塊が高気圧性循環によって、約 5 日の遅れをとって熱帯東部太平洋上に到達し、東部太平洋上では最も乾燥した時期を迎える。

このように、先行研究で指摘されていた定常的な低温域と風系による脱水の効果に併せて、季節内変動の擾乱が低温域を通過することで、より乾燥した空気塊が形成され、その振幅によって最も乾燥した空気塊が形成される時期、場所が決まっていることがわかった。また熱帯域で形成された乾燥空気塊は高気圧性循環によって亜熱帯に運ばれ、さらに亜熱帯域を東進することがわかった。本研究によって、TTL 内部における全球規模での脱水メカニズムと、季節内振動によって形成された赤道波の構造を持つ気温と風の場合が水蒸気分布に影響を与えていることが観測データを基に初めて示された。

学位論文審査の要旨

主査 教授 山崎 孝治
副査 教授 長谷部 文雄
副査 教授 藤吉 康志
副査 助教授 藤原 正智
副査 教授 塩谷 雅人 (京都大学生存圏研究所)
副査 助教授 向川 均 (京都大学防災研究所)

学位論文題名

A study of water vapor variation in the tropical upper troposphere

(熱帯上部対流圏における水蒸気変動に関する研究)

本研究では、上部対流圏から下部熱圏領域の気温、風、微量気体成分等を観測する高層大気観測衛星 UARS (Upper Atmosphere Research Satellite) に搭載されている MLS (Microwave Limb Sounder) によって得られた上部対流圏から下部成層圏の水蒸気データを用いて、そこでの水蒸気分布の主に季節内変動について解析を行った。

水蒸気は強力な温室効果気体として知られ、特に上部対流圏の水蒸気量が外向き赤外放射量を左右しているといわれている。さらに水蒸気は雲を形成するため、雲による地球の放射収支への見積りにも欠かせないパラメータであると言える。また最近では成層圏における水蒸気の増加傾向が高精度のゾンデ観測から指摘されており、この成層圏の水蒸気量増加傾向を説明するために、対流圏から成層圏への物質の入口として知られる熱帯対流圏界面近傍での様々な成層圏-対流圏間物質交換のメカニズムが議論されている。中でも、熱帯対流圏界面を面ではなく、対流圏的な性質から成層圏的な性質に徐々に遷移する、ある厚みを持った層として捉える考えが提案されている。これは Tropical Tropopause Layer (TTL) とよばれ、熱帯圏界面上下数 km の高度 14-19km に相当する。TTL 領域は強い水平風が吹き、赤道ケルビン波などの赤道波の波動が卓越してくる領域であるため、ここでの物質は季節内変動以下の短い時間スケールの大気現象に影響されていることが示唆されている。

また TTL 内の水蒸気分布を決めている脱水メカニズムがいくつか提唱されているが、その全球規模での観測データを基にした議論は少なく、TTL 内での詳細な脱水メカニズムはいまだ解明されていない。そこで本研究では、TTL を含む上部対流圏から下部成層圏領域の UARS / MLS の水蒸気データと UARS / CLAES (Cryogenic Limb Array Etalon Spectrometer) の絹雲頻度データを用いて、それらの季節内変動における特徴の記述と脱水メカニズムを解明することを目的とした。1991年から

1993年までの北半球冬期（11-4月）に見られた5つの季節内振動の合成解析を行なった。

積乱雲を伴った大規模擾乱が季節内時間スケールで赤道域を約5m/sで東進する時、積乱雲が到達する215hPaと146hPa面では、対流域と共に湿潤域が東進していた。一方100hPa面の対流域上は乾燥し、その東進は明瞭でないが、亜熱帯域で西風に伴った乾燥域の東進が見られた。215hPaと100hPa面では対流域の東側にそれぞれ暖域と寒域が存在し、146hPa面では対流域上に寒域が存在していた。これは赤道ケルビン波応答の構造を持つ。146hPaと100hPaの絹雲はそれぞれ対流域の上空と東側の低温域で多く発生していた。これは絹雲の形成が対流活動の影響を受けた気温場に影響されることを示している。100hPa面の水蒸気場に注目すると、空気塊が東風によって対流域東側の低温域を通過する時、絹雲が発生し脱水される。形成された乾燥空気塊は赤道ロスビー波応答の高気圧性循環によって亜熱帯域に運ばれ、一部は赤道域の低温域に戻り、一部は亜熱帯を東進し東部太平洋上で再び熱帯に戻ってくることがわかった。このように季節内振動の対流活動による気温と風の応答が熱帯上部対流圏の水蒸気分布に影響を与えていることが観測データから初めて明らかにされた。

当研究の結果は、今まで個別に捉えられていたTTL領域におけるケルビン波による脱水への寄与や大気大循環モデルにより示されていた水平移流による脱水過程を相互に関連させながら、現実大気中に生起している動的脱水過程に対する新しい視点を提起するものであり、高く評価できる。また成層圏における水蒸気の増大など気候変動を考える際に重要な示唆を与えるものと期待される。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院課程における研鑽や取得単位なども併せ申請者が博士（地球環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。