

熱帯・亜熱帯海洋上の係留ブイおよび衛星観測を用いた水蒸気調節メカニズムについて



*金丸 佳矢¹(kanemaru@satellite.hyarc.nagoya-u.ac.jp)、増永 浩彦² 1: 名古屋大学環境学研究所, 2: 名古屋大学地球水循環研究センター

1. 背景と目的

熱帯域海洋上では、観測事実として気候学的に相対湿度はほぼ一定で (Dai, 2006)、また気候モデルの将来予測が地球温暖化を予測しても相対湿度がほぼ一定のまま (Held and Soden, 2000) である。このように、相対湿度が一定に調節されることは未解明なメカニズムのひとつである。本研究の目的は、熱帯域海洋上における水蒸気調節メカニズムがどのように働いているかを明らかにすることである。

2. データと方法

係留ブイ (TAO, TRITON, PIRATA, RAMA) と、熱帯降雨観測衛星 (TRMM) のマイクロ波放射計 (TMI) と降雨レーダ (PR)、QuikSCAT/SeaWinds を用いた。2000 年から 2008 年までの 9 年間に係留ブイは熱帯域に分布する合計 114 地点のデータ、衛星データは $1^\circ \times 1^\circ$ の日平均化した上で $25^\circ\text{N} - 25^\circ\text{S}$ の領域で解析した。まず、水蒸気のスケールハイト H_v を CWV (Column Water Vapor: 積算水蒸気量) を地表面の水蒸気量 $\rho_v(0)$ で割ったものと定義する ($H_v \equiv \text{CWV} / \rho_v(0)$)。これに Clausius-Clapeyron の式と気体の状態方程式を組み合わると式 (1) が得られる。

$$RH_0 \times H_v = \frac{\text{CWV} \times R_v \times T_0}{e_s(T_0)} \quad \text{SST} \rightarrow T_0 \quad (1)$$

R_v は水の気体定数、 e_s は飽和蒸気圧、 T_0 および RH_0 は地表面の温度と相対湿度である。SST (Sea Surface Temperature: 海面水温) を T_0 に代入した式

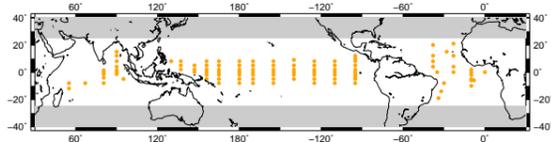


図1 係留ブイの場所

(1) と、現場観測と衛星観測から得られた SST と CWV の関係を比較した。

3. 係留ブイの結果

係留ブイが観測した SST と係留ブイの上空を通過したときに TRMM/TMI が観測した CWV から得られる頻度分布は、式 (1) を横切っていることが分かる。これは、式 (1) 中の RH_0 または H_v が変化していることを示している。SST と CWV のダイアグラム上の RH_0 と H_v の分布をとると、 RH_0 は頻度分布に沿ってほぼ一定であり、 H_v が頻度分布を横切っていた。これより熱帯域海洋上では、CWV は地表面の水蒸気だけでなく水蒸気の鉛直構造にも関連付けられることが分かった。

Moored buoys by TAO project from 2000–2008

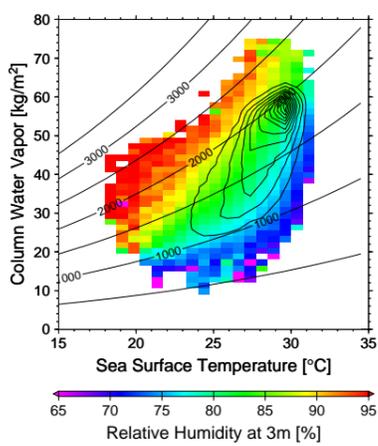


図2 地表面の相対湿度 (RH_0)

Moored buoys by TAO project from 2000–2008

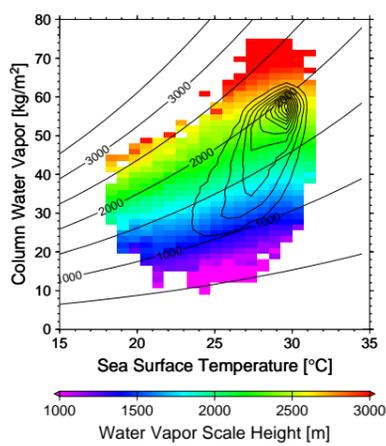


図3 水蒸気のスケールハイト (H_v)

4. TRMM/TMIの結果

TRMM/TMI で熱帯域全体を均一に観測した場合の SST と CWV の頻度分布は、式 (1) に沿った「逆転層海洋領域」と式 (1) を横切った「亜熱帯海洋領域」と「熱帯海洋領域」の3つの特徴の違いがあることが分かる (詳しい違いは「議論」にて)。この3つの海洋領域の水蒸気の鉛直構造 (H_v) の違いに着目して、相対湿度の調節メカニズムの仕組みの違いを検討する。

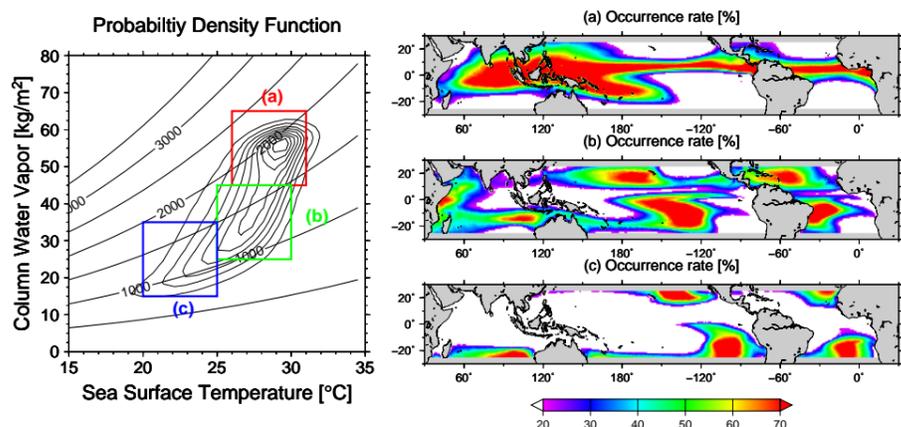


図4 SST と CWV の頻度分布の指定範囲から抽出した、地理分布の発生確率。

5. 議論

SST と CWV のダイアグラム上で熱力学場 (降水量、蒸発量) と力学場 (風の収束量) の分布をもとめ、違いを比較した。

TRMM and QuikSCAT ($25^\circ\text{N} - 25^\circ\text{S}$) from 2000–2008

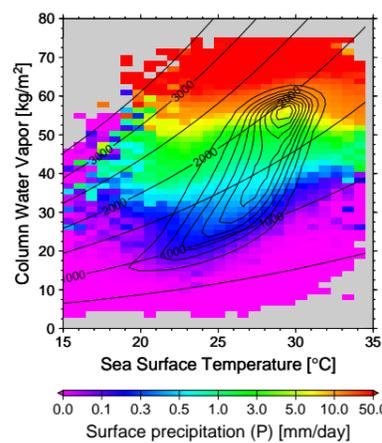


図5 地表面降水量 (P)

TRMM and QuikSCAT ($25^\circ\text{N} - 25^\circ\text{S}$) from 2000–2008

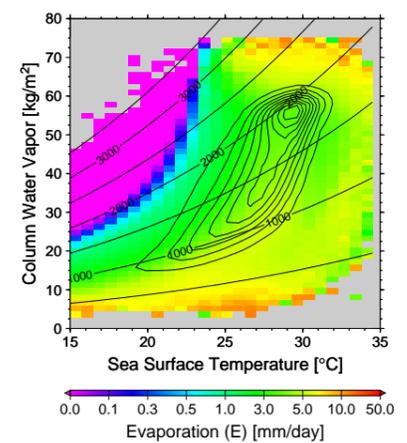


図6 バルク公式による蒸発量 (E)

TRMM and QuikSCAT ($25^\circ\text{N} - 25^\circ\text{S}$) from 2000–2008

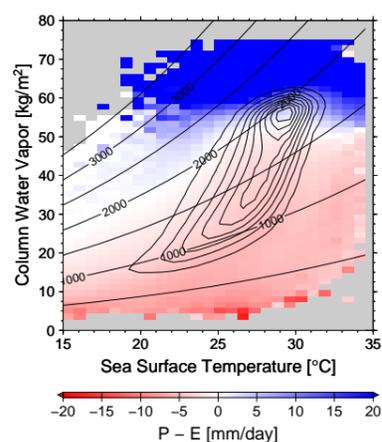


図7 $P - E$

TRMM and QuikSCAT ($25^\circ\text{N} - 25^\circ\text{S}$) from 2000–2008

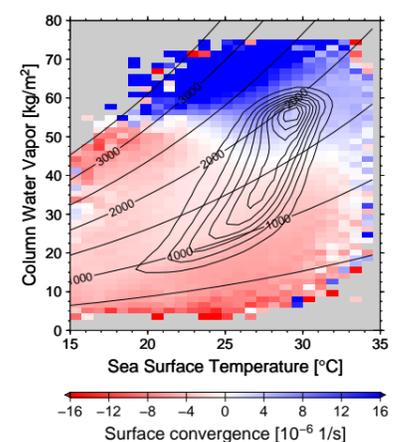


図8 地表面付近の収束量

降水量 (P) は、SST よりも CWV に強い関連があり、CWV $50 \text{ [kg/m}^2\text{]}$ を越えると急激に強まっている。蒸発量 (E) は一部をのぞいて、SST と CWV に関わらずほとんど $4\text{--}5 \text{ [mm/day]}$ で一定である。 $P - E$ と地表面の収束場の分布は予想通りよく対応していた。

6. まとめ

水蒸気の鉛直構造の違いと $P - E$ と収束場の対応関係から、熱帯域海洋上では3つの異なる水蒸気調節メカニズムが働いていることが提示できる。「逆転層海洋領域」は、貿易風帯逆転層が水蒸気を境界層に閉じ込める役割をし、降水活動はほぼ発生せず水蒸気の鉛直構造と降水活動の高さは低いままで、蒸発と水蒸気の水平輸送がバランスする。「亜熱帯海洋領域」は逆転層海洋領域とバランスの形はほとんど同じだが、降水活動の発生が水蒸気を境界層から自由大気へ直接換気し、水蒸気の鉛直構造の変化と降水活動の高まりをもつ形でバランスする。「熱帯海洋領域」は、地表面の収束が貿易風帯逆転層を突き破って、境界層の水蒸気を効率的に自由大気へ換気し、水蒸気の鉛直構造の大きな変化とともに降水活動の高さもさらに高まり、水蒸気の鉛直輸送と降水量がバランスしている。以上のように、水蒸気の鉛直構造を手がかりとして熱帯域海洋上では異なる水蒸気調節メカニズムが働いて相対湿度が一定に調節されている、という仮説を提示することが出来た。

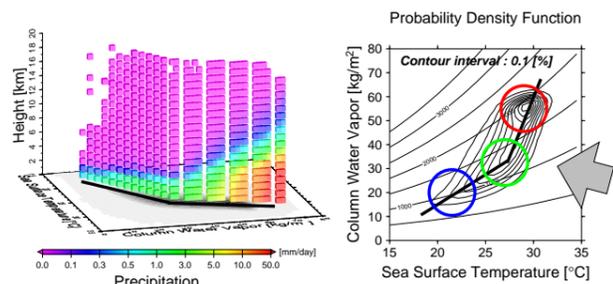


図9 SST と CWV に対する降水活動の高さの違い

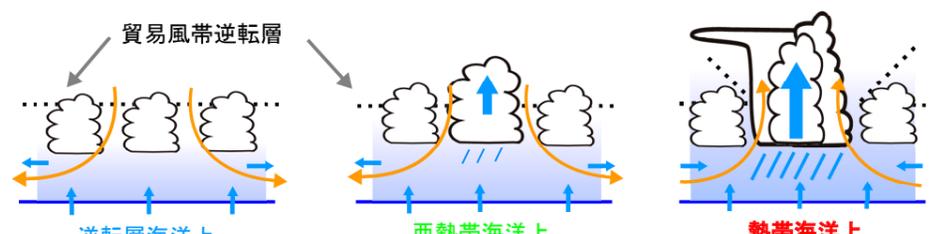


図10 熱帯域海洋上における水蒸気調節メカニズムの違い