

洋上大気の水蒸気はどこからくるのか？

○栗田 直幸（海洋研究開発機構）

海洋は、大気中水蒸気の主供給源であり、全球蒸発量の約 85% を占めている。洋上から蒸発した水は、乱流、対流活動によって大気上層に運ばれた後、大気循環に伴って大陸内部にまで運ばれ、降水として地球表層に降り注いだ後に、河川や地下水を經由して海洋に戻るといった循環を繰り返している。では、水循環の始まりである洋上では、常に周辺海域から蒸発した水で大気が満たされているのであろうか？ 本講演では、この素朴な疑問に対して、水の履歴を反映する同位体トレーサーを使って考える。

一般的に水と言うと質量数 18 をもった水分子 (H_2^{16}O) を思い浮かべるが、天然にはわずかに質量数が異なる安定同位体元素を含む 9 種類の水分子が存在している (HD0 , H_2^{17}O , H_2^{18}O etc.)。自然界ではこれらの水分子は同じように振る舞うが、物理的特性(飽和蒸気圧、分子拡散係数)がそれぞれわずかながら異なるため、蒸発、降水など、相変化時にその同位体”比” ($\text{HD0}/\text{H}_2^{16}\text{O}$, $\text{H}_2^{18}\text{O}/\text{H}_2^{16}\text{O}$ etc) が変化する。例えば、洋上から蒸発する際には、質量数の小さい分子がより選択的に蒸発するので、その同位体比は海の水の同位体比よりも低くなる。さらに雲の中で凝結が起こる際には、質量数が高い分子が降水粒子に濃縮するので、降水過程を経た水蒸気同位体比はさらに低い同位体比を持つことになる。このように、大気中の水蒸気同位体比は、洋上から蒸発した後に経験した水循環の”履歴”を反映しており、洋上大気の同位体比を調べればその水蒸気塊が周辺海域から蒸発してきた新鮮な水蒸気かどうか判別することができる(以後、同位体比は δD , $\delta^{18}\text{O}$ と表記する)。

洋上での水蒸気同位体観測は、R/V「みらい」に水蒸気捕集装置を搭載して、MR08 航海より継続して実施している。これまでに北極海から南太洋に至る広域から 2000 試料を越えるサンプルを収集し、その同位体分析を行うことで、これまでデータがなかった大洋上の同位体分布特徴を明らかにする事ができた(図 1)。

このデータを使って、洋上から蒸発してきた水蒸気同位体比 (δD) との比較を緯度毎に行ってみると、亜熱帯域から高緯度に向かってその水素同位体比が低くなるという傾向は、洋上から蒸発する水蒸気同位体の傾向と一致しているが、どの緯度帯でも大気中水蒸気同位体比組成のほうが低い値をとっている(図 2)。これは、海から蒸発した水に加えて、大気境界層上端での

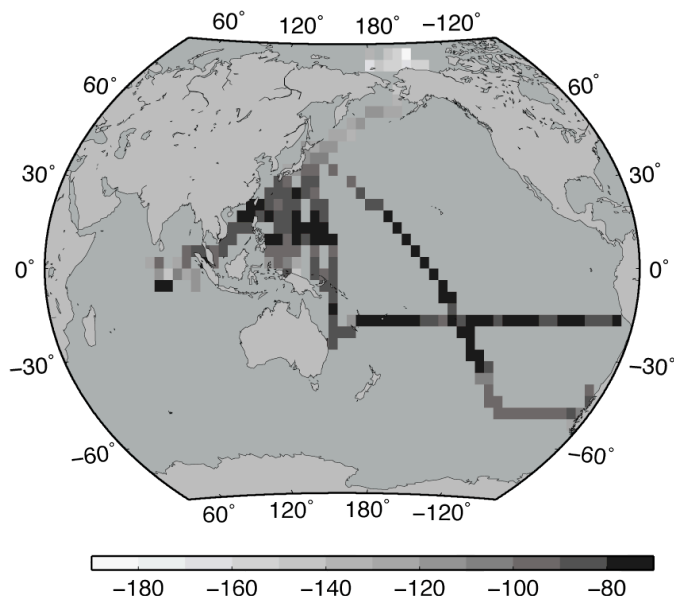


図 1 MR08-MR10 まで観測された大気中水蒸気の水素同位体比分布図 (4° x 4° のグリッド化してある)

混合を通じて降水過程を経験した低い同位体比をもった水蒸気も洋上大気に寄与していることを示している。さらに熱帯域では、洋上から蒸発する水蒸気と同位体比は亜熱帯域と同じであるにも関わらず、時には北極海で観測されるような非常に低い同位体比が観測されている。この著しく低い同位体比は、風上から組織化した対流雲が移流してくる時に観測されており、その対流雲群の規模と持続時間が長ければ長いほど低い同位体比となっていた。逆に、風上域において晴天が数日に渡って続いた場合、その同位体比は亜熱帯域と同様に、洋上から蒸発してくる水の同位体比に近い値を示した。この結果は、熱帯域のように活発な蒸発が起こる地域でも、風に流されながら旅をしてくる水蒸気が支配的であることを示している。

また、熱帯域で低い同位体比が観測される理由は、熱帯域で起こる組織化した対流雲群内で起こる沈降流が鍵を握っている。この沈降流は、上層から降水過程を経た低い同位体比をもった水蒸気を下層に運んでおり、対流システムが持続する場合、境界層に運ばれてきた水蒸気が、再び対流活動に取り込まれるという水蒸気リサイクリングが起こっている(図3)。このリサイクリングが繰り返されることで、降水過程をさらに多く経験した水蒸気が下層に供給されることになり、結果として、他の地域ではみられないような低い同位体比が観測されることになる。

このように同位体を使った研究から、洋上の水蒸気は、対流活動に伴う鉛直循環の影響をうけながら風上から運ばれてくるという描像を明らかにする事が出来た。

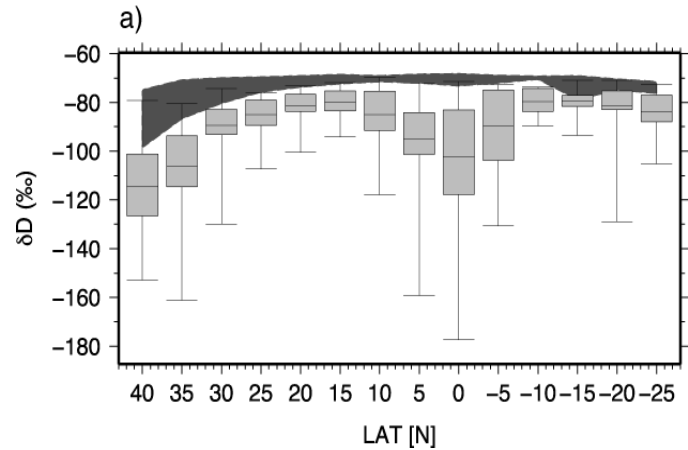


図2 大気中水蒸気の水素同位体比の緯度分布。緯度帯毎に四分位偏差で表記。黒色の帯は、洋上から蒸発してくる水蒸気同位体比(理

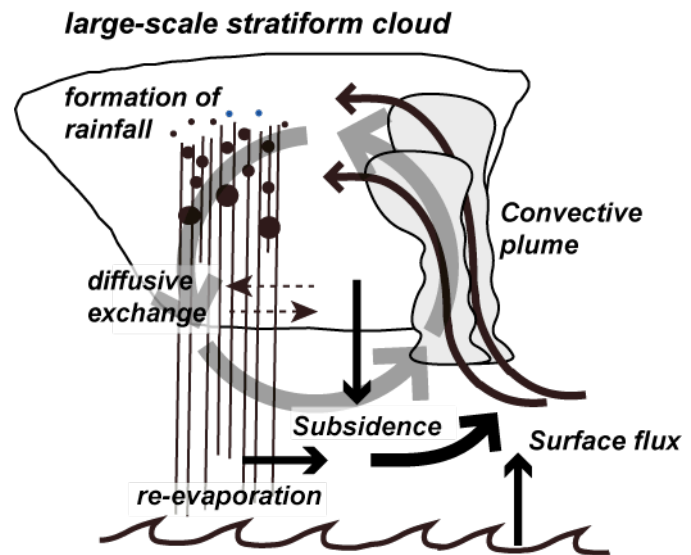


図3 組織化した対流システム内で起こる水蒸気リサイクリングの概念図。広域な沈降流が層状性降雨域で起こる。