

平成 21 年 4 月 20 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18740302

研究課題名（和文） 同位体雲解像モデルの開発と台風への適用

研究課題名（英文） Development of the Isotope Regional Model and It's Application to a Typhoon

研究代表者

一柳 錦平（ICHIYANAGI KIMPEI）

熊本大学・大学院自然科学研究科・准教授

研究者番号：50371737

研究成果の概要：沖縄県石垣島において、2つの大きな台風（T0613 と T0813）の降水と水蒸気の安定同位体の詳細な観測に世界で初めて成功した。これら同位体比の短時間変動より、台風の壁雲の外側と内側では水蒸気の起源が大きく異なることを明らかにした。また、同位体領域モデル（Iso-RSM）により T0613 の同位体比変動の再現に成功したが、d-excess は再現できなかった。これは海水飛沫の影響が大きいと推定できる。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,600,000	0	1,600,000
2007年度	1,000,000	0	1,000,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	270,000	3,770,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・気象・海洋物理・陸水学

キーワード：気象

## 1. 研究開始当初の背景

これまでの台風研究では、大気大循環モデルによる統計解析や領域モデル・雲解像モデルによる再現実験が主流であった。しかし、台風によって南からの湿った空気が流れ込んで前線が活発になったり、狭い領域に集中豪雨が発生したりするなど、台風の間接的な影響を定量的に評価することは非常に難しい。

そこで、水の相変化によって同位体分別を起こし、大気循環の検証（Yoshimura et al., 2003）や水蒸気の起源解析（Ichiyanagi et al., 2005）などによく利用されている水の安定同位体をトレーサーとして利用する。

## 2. 研究の目的

本研究課題は、水の安定同位体をトレーサーとして組みこんだ雲解像モデルの構築と、その検証データ取得のために台風の降水と水蒸気の安定同位体観測を行う。つまり、数値モデルの「量的な解析」と同位体の「質的な解析」を組み合わせ、水蒸気の起源や輸送経路といったラグランジュ的な情報が既存の理論やモデルで把握・再現できているかどうかを検証する。それにより、台風の発生・発達における理論やモデルを高度化することが可能となり、将来的には台風や集中豪雨など気象災害の予報精度を向上させたり、

被害を軽減させたりすることが期待できる。

### 3. 研究の方法

研究期間3年のうち2006年と2008年の2回も台風の直接観測に成功した。2つの台風ともに、石垣島の中央に位置する国際農林水産業研究センター（JIRCAS）、熱帯・島嶼研究拠点において、降水および水蒸気のサンプリングを行った。

#### (1) 台風 T0613 の観測

2006年9月15-16日に沖縄県先島諸島を通過した台風13号（T0613）について、石垣島で台風外側の OUTER BAND から、INNER BAND の壁雲、眼の中の降水と水蒸気観測に成功し、水安定同位体比の測定を行った。降水は HORIBA のレインゴーランドを用いて、降水量1mmごとに採水した。水蒸気は屋上に大気を取り込み口を付け、そこからチューブで室内まで外部大気を引き込み、6時間ごとに液体窒素とドライアイスエタノールを用いてコールドトラップした（図1）。

これまでの研究では、台風の眼の水蒸気の  $^{18}\text{O}$  のみの観測はあるが、D（つまり、d-excess が求められる）の観測は行われていない。台風の眼の降水、水蒸気の酸素安定同位体観測は世界で2例目であり、しかも、水素同位体比、d-excess、塩分濃度の同時観測は世界初である。

#### (2) 台風 T0813 の観測

2008年9月12-15日に沖縄県先島諸島から台湾にかけて迷走した台風13号（T0813）について、石垣島で台風の降水と水蒸気の安定同位体比の測定に成功した。今回は室内で降水を連続的に測定できるようにした。今回は台風の眼には入らなかったが、台風の前面から後面にかけて、OUTER BAND の降水は10分から30分間隔で、水蒸気は6時間間隔でサンプリングに成功した。

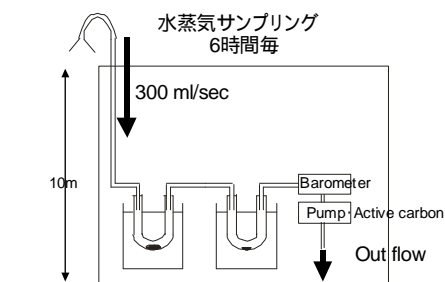


図1：真空蒸留装置の概略（上）とコールドトラップされた水蒸気サンプル（下）。

#### (3) 台風の眼の気象観測

図2にT0613のJIRCASにおける10分降水量、風速、風向の変化を示す。2006年9月16日05-06時にかけて風速は減少しており、台風の眼に入ったことが分かる。また、台風が縦断したため、風向は東から南、そして西へと円を描くように変化している。下の写真は、重い風速計が風により移動した軌跡が円形になっているのがよく分かる。また、中央の写真は台風により破壊された雨量計である。このように台風観測では常に危険が伴うものであり、経験が必要である。

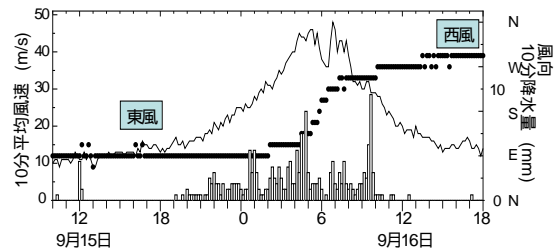


図2：T0613のJIRCASにおける10分降水量、風速、風向の変化（上）。台風により破壊された雨量計とその軌跡（下）。

### 4. 研究成果

#### (1) 台風 T0613 の観測

図3にT0613における降水と水蒸気の  $^{18}\text{O}$  の変動と、同位体から見た台風の概念図を示す（Fudeyasu et al., 2008より引用）。図より、Outer regionでは降水も水蒸気も徐々に同位体比が低くなっている。これは、レインアウト効果で説明することができ、単一の水蒸気塊から重い同位体比を持つ分子から順に凝結していき、時間が経つにつれて徐々に軽い分子が多くなることを示している。また、海面から蒸発した水蒸気の同位体比は非常に大きい（0‰に近い）ことから、海面から蒸発した水蒸気は少ないことが分かる。

しかし、Eye Wall 付近では降水も水蒸気も急激に上昇しており、海面からの蒸発によって重い分子が多く供給されていることが分

かる．また，d-excess を調べることにより海水の飛沫が多いことも推定できる．

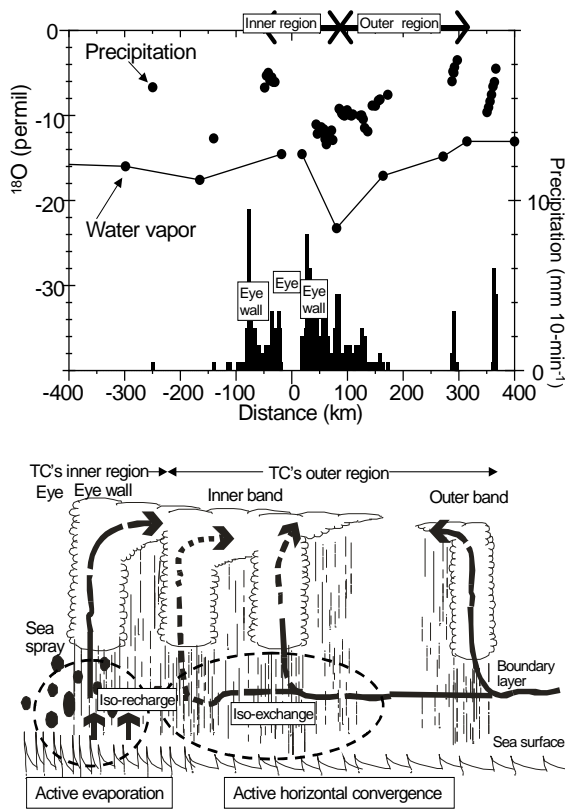


図 3 : T0613 における降水と水蒸気の  $^{18}\text{O}$  の変化 (上) と、同位体から見た台風の概念図 (下). Eye Wall 付近では、海面からの蒸発と海水の飛沫が多い．

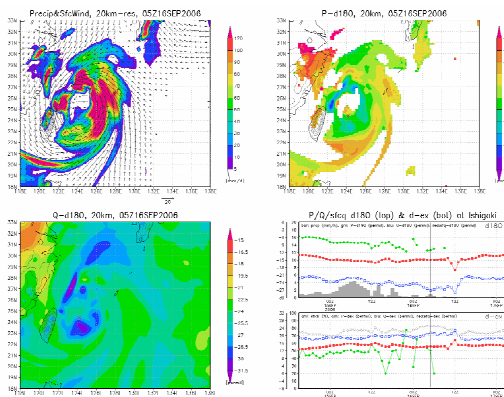


図 4 : 同位体領域モデル ( IsoRSM ) を用いた T0613 ( 台風 Shanshan ) の再現実験結果 . それぞれ 2006 年 9 月 16 日標準時 05 時 ( シミュレーションにおける石垣島での台風の目通過時 ) における、降水域と表面風速 ( 左上 ) 降水同位体比 ( 右上 ) 可降水量同位体比 ( 左下 ) 石垣島地点における台風通過前後の時系列変化 ( 右下 ) を示す .

同位体領域モデル ( Iso-RSM ) は研究協力者の芳村によって開発され、全球の同位体再解析データの結果をネスティングした、世界初の現実的な高解像度シミュレーションである . グリッドの解像度 20km で台風 13 号の計算を行った結果を図 4 に示す . アウターバンドでの同位体比の低下と、インナーバンドでの急激な上昇は再現できた . しかし、d-excess はうまく再現できておらず、海水の飛沫が考慮されていないのが原因であると推定される .

また、その後も石垣島で降水と水蒸気の観測を続けており、水蒸気の同位体比の季節変化、日変化を明らかにした . その結果、台風の同位体比は顕著に低く、冬季に北から来る同位体比が低い水蒸気よりも、さらに低いことが明らかになった .

### ( 2 ) 台風 T0813 の観測

図 4 に T0813 における降水の  $^{18}\text{O}$  と d-excess および 30 分降水量と風速を示す . 9 月 13 日 00 時までには同位体比は徐々に低下しており、その後は徐々に増加している . 図には示していないが、レーダ画像を見ると、同位体比が低下している間はアウターバンドから中心に近づいており、その後、同位体比が上昇している間は逆に中心から遠ざかる方向に移動している . 今回は Eye wall を通過していないため、同位体比の急激な上昇は見られない . これは海面からの蒸発や海水飛沫の影響は少ないためと推定でき、台風の壁雲よりも外側では、海面からの蒸発や海水飛沫の影響は少なく、レインアウト効果が大いという前回の観測結果を支持するものである .

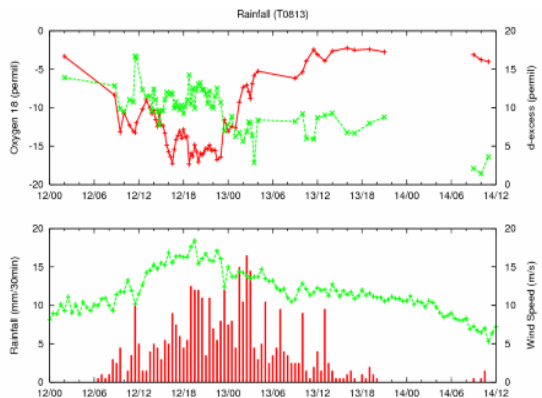


図 4 : T0813 における降水の  $^{18}\text{O}$  ( 実線 ) と d-excess ( 点線 ) の短期変化 ( 上 ) . 間隔は 15 分から数時間まで異なる . 30 分降水量と風速の変化 ( 下 ) . 横軸は、2008 年 9 月の日付 / 時間を示す .

また d-excess を見ると、9月13日00時までは -10‰より大きく、それ以降は -10‰より小さく、強制蒸発の影響(通常は20以上と大きくなる)は認められない。d-excessは海面から蒸発する気温と海面水温との差や風速などの条件により変化する、つまり、水蒸気の起源が異なると推定できる。

今後は、すでに完成している同位体領域モデル(Iso-RSM)によって今回の台風を再現し、台風前面と高面のアウトバンドの同位体比と d-excess の違いについて考察する予定である。

謝辞

国際農林水産業研究センター、熱帯・島嶼研究拠点の皆さまには、台風観測を全面的に支援して頂きました。とくに T0613 観測で停電、断水が一週間ほど続いた際には、非常用電源の使用や炊き出しを、技術支援室の高橋正史さんには雨量計や水蒸気採取の機器を設置して頂きました。また T0813 観測では、熊本大学大学院自然科学研究科の山浦剛君に、降水サンプリングを手伝って頂きました。ここに記して感謝いたします。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

芳村圭・一柳錦平(2009): 東アジアにおける降水 d-excess 季節変動に関する再考察. 水文・水資源学会誌, 掲載決定。(査読有)

Fudeyasu, H., K. Ichiyanagi, A. Sugimoto, K. Yoshimura, A. Ueta, M. D. Yamanaka, and K. Ozawa (2008), Isotope ratios of precipitation and water vapor observed in Typhoon Shanshan, J. Geophys. Res., 113, D12113, doi:10.1029/2007JD009313. (査読有)

[学会発表](計10件)

Kimpei Ichiyanagi, Hironori Fudeyasu, and Kei Yoshimura, Isotope ratios of precipitation and water vapor observed in Typhoon Shanshan. 2008年12月2-4日, Third International Workshop on High-Resolution and Cloud Modeling - Tropical Cyclones and Climate. The University of Hawaii, Honolulu.

Kimpei Ichiyanagi, Yoshiko Iizumi, and Kiyoshi Ozawa: Characteristics of stable isotopes in rainfall and stream water in Ishigaki Island, Japan. 2008年10月26-31日, XXXVI International Association of Hydrogeologists (IAH)

Congress, Toyama International Conference Center.

Kimpei Ichiyanagi, Hironori Fudeyasu, Atsuko Sugimoto, Akihiro Ueta: Stable isotopes of rain and water vapor in Typhoon Shanshan (2006) observed in Ishigaki Island, Japan. 2007年7月30日-8月4日, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 4nd Annual Meeting, Bangkok, Thailand.

Fudeyasu Hironori, Kimpei Ichiyanagi, Atsuko Sugimoto, Akihiro Ueta, Kei Yoshimura, Manabu D. Yamanaka: Isotope ratios of rainfall and water vapor observed in Typhoon Shanshan. 2007年7月2日-13日, The XXIV IUGG General Assembly, Perugia, Italy.

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

一柳 錦平 (ICHIYANAGI KIMPEI)

熊本大学・大学院自然科学研究科・准教授  
研究者番号: 50371737

##### (2)研究分担者

なし

##### (3)連携研究者

なし