

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510256

研究課題名(和文) 降水同位体観測による台風や豪雨をもたらす水蒸気の起源解析

研究課題名(英文) Estimation of water vapor origins in typhoons and storms by using stable isotopes in precipitation

研究代表者

一柳 錦平 (ICHIYANAGI, Kimpei)

熊本大学・自然科学研究科・准教授

研究者番号：50371737

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文)：台風によって日本にもたらされる水蒸気の起源を推定するために、降水同位体比の観測データと同位体モデルを利用し、台風が日本にもたらす水蒸気の起源解析を試みた。その結果、沖縄・九州・関東の順に台風時の降水同位体比は月平均値より低下することが観測された。これは、沖縄と九州では低緯度起源の水蒸気が長距離輸送されてレインアウト効果によって降水同位体比は低くなるが、関東では日本近海で蒸発した高い同位体比を持つ水蒸気の寄与が多いため低下しないことが明らかとなった。さらに当初計画を発展させ、日本全域における降水同位体比の詳細な時空間分布を、既存データや2013年集中観測により日本で初めて明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The water vapor origins in typhoons around Japan were simulated by using precipitation isotope observations and isotopic circulation models. Oxygen-18 of precipitation observed in typhoons were depleted in Okinawa and Kyusyu regions, but same as monthly average in Kanto region. Estimated water origins in typhoons were low latitude area in the Pacific and the East China Sea for Okinawa and Kyushu regions, but middle latitude in the Pacific near Japan for Kanto region. It indicates the isotopic rain-out effect from the water vapor origin to the precipitation is important for the Okinawa and Kyusyu regions. But, fresh water vapor evaporated near Japan which has high isotopic ratio is the main source in the Kanto region. For further research, space and temporal variations of precipitation isotopes across over Japan was revealed at the first time by the collection of previous studies and the intensive observation throughout 2013.

研究分野：同位体水文気象学

キーワード：水安定同位体 水蒸気起源 台風 降水

1. 研究開始当初の背景

九州付近を通過した台風を対象として、1979年から2009年まで台風がもたらした水蒸気量と計算した結果、台風の可降水量は僅かながら増加傾向を示すことが明らかとなった(一柳, 2010)。しかし、台風や豪雨によって、異なる海域から蒸発した水蒸気が多量に流入すると考えられるが、どの海域で蒸発した水蒸気がどのような割合で混合しているのか、熱帯で蒸発した水蒸気の何割程度が日本まで到達するのかなど、基本的な疑問に答えることができる手法は確立していない。そこで、同位体大循環モデルと水蒸気の起源解析モデルを利用して水蒸気の起源を計算した結果、東シナ海起源や熱帯域から蒸発した水蒸気は増加傾向を示すが、その他の海域では顕著な変動はないことが示された。本研究では、これまでアジア熱帯域で観測されてきた降水の安定同位体比データや、空間解像度の細かい同位体領域モデルを利用し、台風が日本にもたらす水蒸気の詳細な解析を試みる。

2. 研究の目的

上記のような台風によってもたらされる水蒸気の変遷は再解析データを使った計算結果であり、水の安定同位体 (^{18}O , δ) を使って信頼性を検証する必要がある。そこで、熱帯から日本まで降水安定同位体の観測ネットワークを構築し、降水の安定同位体比の季節変動やその要因を解明することを目的とする。

また、降水の安定同位体比の観測値とモデル計算値とを比較し、同位体モデルの信頼性の検証を行うことを目的とする。さらに、鉛直多層の同位体局地循環モデルを用いて、台風や豪雨を形成する水蒸気起源の変遷を推定し、同位体から見た大気水循環の新たな知見を得ることを目的とする。

3. 研究の方法

降水の安定同位体比を観測するため、インドネシア、パラオ、石垣島など日本各地において観測ネットワークを構築し、日単位での降水サンプリングを行った。さらに、日本全域における降水同位体比の空間分布と季節変動を明らかにするため、全国約50地点の既存データを収集し、さらに約60地点に降水サンプリングを依頼し2013年1年間の集中観測を成功させた。これらの観測研究によって、世界で初めて日本の降水同位体比の時空間変動が明らかとなった。

台風によって熱帯から日本にもたらされる降水や水蒸気の安定同位体比を計算し、水蒸気の起源を推定するため、同位体領域気候モデル IsoRSM (Isotopic Regional Spectral Model; Yoshimura et al., 2010) を使用し、1979年から2011年まで計算した。水平格子間隔は約30km (0.34°) である。

4. 研究成果

(1) インドネシア、パラオ、石垣島など日本各地において降水の安定同位体の観測ネットワークを構築し、日単位での降水同位体比の観測を行った。その結果、インドネシア海大陸と日本全国において、同位体比の季節変化や水蒸気起源の変遷を明らかにした。その他にもベトナム、バングラディッシュ、ジャカルタにおいて集中観測を行い、同位体モデルと比較した結果、同位体大循環モデルは降水同位体比の季節変動を再現しており、大気大循環場が適切に表現されていることが検証できた。

図1に、インドネシアとパラオで観測した降水の安定同位体比の季節変動と同位体大循環モデルの計算値の比較を示す。図より、同位体比の季節変動は半年周期型、モンスーン型、反モンスーン型に分けることができた。さらに、同位体比の季節変動は、推定された各水蒸気起源の寄与率と、レインアウト効果から説明できることが明らかとなった (Rusmawan et al., 2013)。

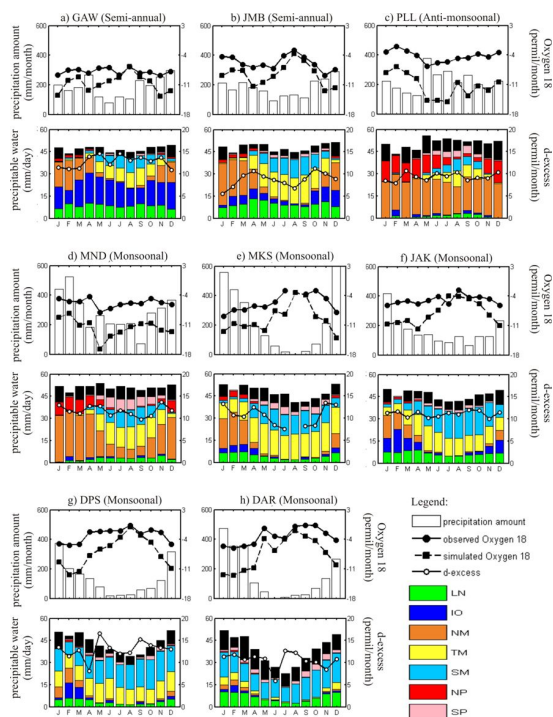


図1 インドネシア5地点およびパラオ1地点における、降水の安定同位体比の季節変動と、モデルから推定された水蒸気の起源。それぞれの上段の図は降水量(棒グラフ)と安定同位体比の観測値と計算値の季節変動(折れ線グラフ)の比較を示す。下段の図は降水のd-excess(折れ線グラフ)と、水蒸気の起源の季節変動(棒グラフ)を示す。色の違いは水蒸気の起源(どこの海域から蒸発したか)を示しており、陸域(緑)、インド洋(青)、北海洋大陸域(オレンジ)、赤道域(黄色)、南海洋大陸域(水色)、北太平洋(赤)、南太平洋(ピンク)を、それぞれ表している。

(2) 台風が日本にもたらす水蒸気の起源の変遷を解析するため、空間解像度 30 km の同位体局地循環モデルで台風の降水や水蒸気の同位体比を計算した。その結果、台風中心に向って同位体比が徐々に低下する変化をよく再現した。そこで、1979 年から 2011 年までの間に沖縄、九州、関東に到達した台風を対象にして、降水同位体比と水蒸気起源の関係を考察した。台風が通過する時の各領域の可降水量と、その起源区分について複数の台風を平均した値を図 2 に示す。その結果、沖縄・九州・関東の各領域とも、台風がもたらす水蒸気の ^{18}O は、月平均値よりもそれぞれ 3.2‰・2.6‰・1.4‰低くなっている。つまり、緯度が高くなるにつれて、台風通過時の水蒸気の ^{18}O は月平均値からの低下量が小さくなっていることが明らかとなった。

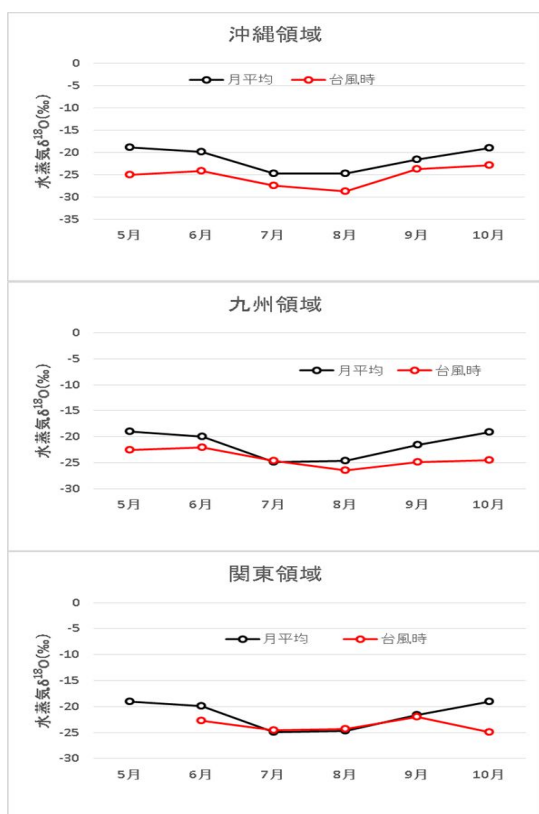


図 2 月別の台風通過時の水蒸気の ^{18}O と月平均の比較。上段は沖縄領域、中段は九州領域、下段は関東領域を示す。黒色が月平均値を、赤色が台風通過時の平均値を表す。

さらに、各領域に台風が通過した時の可降水量とその起源の平均値を図 3 に示す。その結果、沖縄・九州・関東の順に緯度が高くなるにつれて、北緯 10-20° の太平洋低緯度域（オレンジ）や東シナ海（黄）から蒸発した水蒸気の占める割合が多くなっているが、反対に北緯 30-40° の太平洋中緯度域（ピンク）の占める割合は少なくなっている。

つまり、沖縄と九州では低緯度起源の水蒸気が長距離輸送されるために、レインアウト効果によって台風の降水同位体比は低いが、

関東では日本近海で蒸発した高い同位体比を持つ水蒸気の寄与が多くなるため、台風の降水同位体比は月平均値と比べても、あまり低くならないことが明らかとなった。

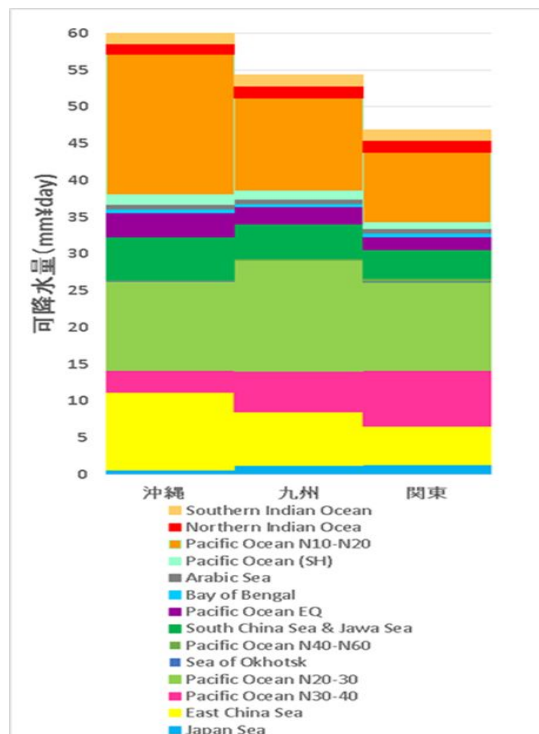


図 3 各領域に台風が通過した時の可降水量とその起源の平均値。色の違いは水蒸気の起源（蒸発した海域）の違いに対応するが、区分域は図 1 とは異なる。

(3) さらに当初計画を発展させ、日本全域における降水の安定同位体比の詳細な空間分布や季節変動を、48 地点の既存資料の収集により日本で初めて明らかにした（田上ほか、2013）。降水の ^{18}O の年平均値の分布を、図 4 に示す。図より、低緯度の -4‰ 付近から高緯度に行くに従って -10‰ まで同位体比が低くなる緯度効果が認められる。さらに、この緯度効果は、冬季と春季には認められるが、夏季と秋季には認められないことが明らかとなった。これは先述した (2) の結果によって説明することができ、台風や梅雨によって低緯度から同位体比の低い水蒸気が大量に九州付近までもたらされるため、南北の同位体差が小さくなるためと考えられる。

さらに、日本水文学会において同位体マッピングワーキンググループを組織し（一柳、2013；2014）、2013 年には日本全国を対象として、約 60 地点において降水の安定同位体比の集中観測を成功させた。これらの同位体データを発信するため、WEB データベース（<http://www.imwg.dinco.com/>）を構築した。今後、他の研究者にも呼びかけて降水同位体比の観測値を増やし、データベースを充実させる予定である。初期解析の結果、降水の安定同位体比を緯度と標高から再現する推定式を完成させた。また、冬季の北西季節風に

よる大陸からの水蒸気は太平洋側まで到達しているが、水蒸気量が少なく降水への寄与は小さいことを示している。

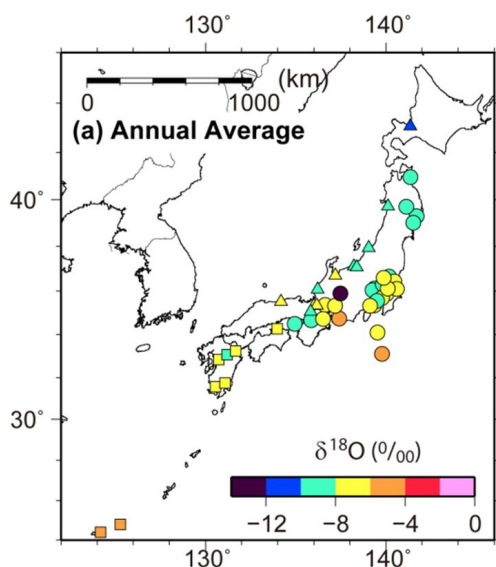


図4 降水の ^{18}O の年平均値の分布。は日本海側，は太平洋側，は四国と九州の観測地点を示す。

<引用文献>

一柳錦平 (2010), 「地球温暖化によって台風水蒸気の起源海域はどう変わったか?」, 公益信託エスブック地球環境研究・技術基金, 平成21年度助成金研究報告書, 10p. Yoshimura, K., Kanamitsu, M., and Dettinger, M. (2010): Regional downscaling for stable water isotopes: A case study of an atmospheric river event. *J. Geophys. Res.*, 115(D18), D18114. doi:10.1029/2010JD014032.

Rusmawan Suwarman, Kimpei Ichiyanagi, Masahiro Tanoue, Kei Yoshimura, Suichi Mori, Manabu D. Yamanaka, Naoyuki Kurita, and Fadli Syamsudin (2013), The Variability of Stable Isotopes and Water Origin of Precipitation over the Maritime Continent. *SOLA*, 9, 74-78, doi:10.2151/sola.2013-017.

田上雅浩・一柳錦平・嶋田純 (2013), 日本における降水安定同位体比の空間分布と季節変動. *日本水文科学会誌*, 43(3), 73-91.

一柳錦平 (2014), 日本水文科学会同位体マッピングワーキンググループ (Isotope Mapping Working Group; JAHS-IMWG) 2013年度活動報告. *日本水文科学会誌*, 44(3), 1-3.

一柳錦平 (2013), 日本水文科学会同位体マッピングワーキンググループ (Isotope Mapping Working Group; JAHS-IMWG) 2012年度活動報告. *日本水文科学会誌*, 43(1), 31-32.

5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計11件)

Tadasuke Kudo, Ryuichi Kawamura, Hidetaka Hirata, Kimpei Ichiyanagi, Masahiro Tanoue and Kei Yoshimura (2014), Large-scale vapor transport of remotely evaporated seawater by a Rossby wave response to typhoon forcing during the Baiu/Meiyu season as revealed by the JRA-55 reanalysis. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119, 8825-8838, DOI: 10.1002/2014JD021999. (査読有)

Gholam Abbas Kazemi, Kimpei Ichiyanagi, Jun Shimada (2014), Isotopic characteristics, chemical composition and salinization of atmospheric precipitation in Shahrood, northeastern Iran. *Environmental Earth Sciences*, 73(1), 361-374, DOI:10.1007/s12665-014-3430-3. (査読有)

田上雅浩・一柳錦平・嶋田純 (2013), 日本における降水安定同位体比の空間分布と季節変動. *日本水文科学会誌*, 43(3), 73-91. (査読有)

Rusmawan Suwarman, Kimpei Ichiyanagi, Masahiro Tanoue, Kei Yoshimura, Suichi Mori, Manabu D. Yamanaka, Naoyuki Kurita, and Fadli Syamsudin (2013), The Variability of Stable Isotopes and Water Origin of Precipitation over the Maritime Continent. *SOLA*, 9, 74-78, doi:10.2151/sola.2013-017. (査読有)

一柳錦平・荻田泰永・田上雅浩 (2013), 北極徒歩探検によって観測された海水上の雪の安定同位体比. *日本水文科学会誌*, 43(1), 25-29. (査読有)

Masahiro Tanoue, Kimpei Ichiyanagi, Jun Shimada, and Naoki Kabeya (2012), Spatial Distribution of Stable Isotopes in Precipitation around Kumamoto, Southern Japan. *Advances in Geosciences*, 28, 29-39. (査読有)

Masahiro Tanoue, Kimpei Ichiyanagi, Toru Terao, Taiichi Hayashi, Fumie Murata, Masashi Kiguchi, Yusuke Yamane, Kei Yoshimura, Jun Shimada (2013), Seasonal variation of stable isotopes in precipitation at three stations in Bangladesh. In *Extended Abstract of the Third International MAHASRI/HyARC Workshop on Asian Monsoon and Water Cycle*, August 28-30, 2013, Da Nang, Viet Nam, 351-362. (査読無)

Rusmawan Suwarman, Kimpei Ichiyanagi, Kei Yoshimura, Manabu D. Yamanaka, Shuichi Mori, Naoyuki Kurita, and Fadli Syamsudin (2013), El-Nino Southern Oscillation Signal in Isotopic

Precipitation during Rainy Seasons over Maritime Continent. In Extended Abstract of the Third International MAHASRI/HyARC Workshop on Asian Monsoon and Water Cycle, August 28-30, 2013, Da Nang, Viet Nam, 363-376. (査読無)
Kimpei Ichiyanagi, Jun Shimada, Makoto Kagabu, Susumu Saita, and Koji Mori (2012), Simulations of Tritium age and ^{18}O distributions in groundwater by using surface- subsurface coupling full-3D distribution model (GETFLOWS) in Kumamoto, Japan. In Extended Abstract of the 39th Congress of the International Association of Hydrogeologists (IAH), Sheraton on the Falls Conference Centre, Ontario, Canada. Abstract ID, 280, 8p. (査読無)
一柳錦平 (2014), 日本水文科学会同位体マッピングワーキンググループ (Isotope Mapping Working Group; JAHS-IMWG) 2013年度活動報告. 日本水文科学会誌, 44(3), 1-3. (査読無)
一柳錦平 (2013), 日本水文科学会同位体マッピングワーキンググループ (Isotope Mapping Working Group; JAHS-IMWG) 2012年度活動報告. 日本水文科学会誌, 43(1), 31-32. (査読無)

[学会発表](計 10 件)

2014年7月28日-8月1日, AOGS2014, Royton Sapporo Hotel, Japan. Kimpei Ichiyanagi, Masahiro Tanoue, Jun Shimada, Deuterium excess in precipitation during the winter monsoon season observed in Japan. AS30-A015.
2014年7月28日-8月1日, AOGS2014, Royton Sapporo Hotel, Japan. Rusmawan SUWARMAN, Kimpei ICHIYANAGI, Masahiro TANOUE, Kei YOSHIMURA, Shuichi MORI, Manabu D. YAMANAKA, Fadli SYAMSUDIN, Halda Aditya BELGAMAN, ENSO signature in stable isotopes of precipitation over Maritime Continent during wet season. AS38-A021.
2014年4月28日-5月2日, 日本地球惑星科学連合2014年大会, パシフィコ横浜, 神奈川. 一柳錦平, 田上雅浩, 2013年に観測した日本全国の降水安定同位体比の初期解析の結果.
2013年8月4-9日, International Geographical Union (IGU) Regional Conference in Kyoto, Kyoto International Conference Center. Kimpei Ichiyanagi, Masahiro Tanoue, and Jun Shimada, Estimation of water vapor origins by using observed stable isotopes in precipitation over Japan. 2013年5月15-18日, 日本気象学会2013年度春季大会, 国立オリンピック記念青少

年総合センター. 工藤督右・川村隆一・一柳錦平・田上雅浩, 九州北部における梅雨期・盛夏期の降水起源解析. P222.
2013年5月19-24日, 日本地球惑星科学連合2013年大会, 幕張メッセ国際会議場, 千葉. 一柳錦平, 田上雅浩, 日本全国における降水安定同位体比の2013年集中観測.
2013年5月19-24日, 日本地球惑星科学連合2013年大会, 幕張メッセ国際会議場, 千葉. Rusmawan Suwarman, Kimpei Ichiyanagi, Masahiro Tanoue, Manabu D. Yamanaka, Shuichi Mori, Water Origin over Indonesia Maritime Continent with Isotope Circulation Model.
2013年3月27-29日, International Symposium on Agricultural Meteorology (ISAM), Ishikawa Prefectural University. Naoya Seguchi, Kimpei Ichiyanagi, Atsushi Maruyama, Jun Shimada, Change of Evaporation/Transpiration contributions during maize growth based on stable isotopic measurements in water and vapor. Abstract, 128.
2013年3月2日, 第34回九州支部発表会, 長崎歴史文化博物館. 工藤督右・川村隆一・一柳錦平・田上雅浩, 福岡における梅雨期・盛夏期の降水起源解析.
2012年5月20-25日, 日本地球惑星科学連合2012年大会, 幕張メッセ国際会議場, 千葉. 一柳錦平, 田上雅浩, 嶋田純, 日本の降水安定同位体比の空間分布と季節変動, AHW26-02.

[その他]

ホームページ等

日本水文科学会・同位体マッピングワーキンググループ (Isotope Mapping Working Group)
<http://www.imwg.dinco.com/>

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