

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16310

研究課題名(和文) 水蒸気の起源解析モデルを用いた梅雨期豪雨災害の規模推定に関する研究

研究課題名(英文) Study on predictability of heavy precipitation by estimating origins of precipitation and water vapor over Japan

研究代表者

田上 雅浩 (Tanoue, Masahiro)

東京大学・生産技術研究所・特任研究員

研究者番号：20735550

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、同位体領域気候モデルを用いて、日本域における降水や水蒸気の起源を推定した。モデルと観測値とを比較したところ、モデルは日本における降水の同位体比の季節変動と空間分布を良く再現しており、現実に近い大気水循環場を再現していることが示唆された。夏において解析したところ、水蒸気d-excessは梅雨前線の進行に伴う大気安定度の指標となる可能性が見出された。冬については、日本海側における降水のd-excessは冬季モンスーンの強度や日本海からの寄与率を反映しており、降水のd-excessから逆算できる可能性が見出された。

研究成果の概要(英文)：This study estimated the origins of precipitation and water vapor over Japan using a regional isotope climate model to explore a possibility of prediction of heavy precipitation region from the isotopic ratio and origins of precipitation. The model showed good spatial and temporal distributions of isotopic ratio of precipitation over Japan, indicating that the model could reproduce the real atmospheric hydrological cycle. In summer season, the model showed that the d-excess value of water vapor at surface level is a possibility of prediction of heavy rainfall region, because the values reflects atmospheric stability associated with the migration of Asia summer monsoon. In winter, we found positive relationship between d-excess value and a contribution of water vapor originating from the Sea of Japan, and the intensity of East Asia winter monsoon. The d-excess value is an index of the intensity.

研究分野：同位体水文気象学

キーワード：日本 同位体領域気候モデル 起源解析

## 1. 研究開始当初の背景

梅雨期における豪雨は熱帯や東シナ海を起源とする水蒸気が強い南西風によって持続的に梅雨前線帯に流入することにより、また冬季日本海側における豪雪は暖かい日本海から蒸発した多量の水蒸気が大陸からの北西風が日本海側の斜面による上昇気流を引き起こすことでもたらされる。しかしながら、どの海域で蒸発した水蒸気が、どのくらい降水システムに熱や水を供給しているのかは明らかにされていない。そこで、本研究課題では、水の相変化によって変化する降水の安定同位体比 ( $\delta^{18}O$  と  $\delta D$ ) を利用して、梅雨期や冬季における降水システムの水蒸気の起源 (各起源域からの水蒸気の供給量) を明らかにする。

## 2. 研究の目的

本研究課題では、2013年に日本全国で集中観測された降水の安定同位体比データや田上ほか (2013) により収集された降水の同位体比データを用いて降水や水蒸気の起源を明らかにする。また、降水の起源と同位体領域気候モデルにより推定された降水の安定同位体比とを比較し、降水の安定同位体比から降水の起源が推定できるかを検討する。

## 3. 研究の方法

### (1) 同位体領域気候モデルの設定

本研究では、水の安定同位体を領域気候モデルに組み込んだ同位体領域気候モデルとして IsoRSM を用いた。計算対象期間は2013年である。モデルの空間解像度によって、降水の同位体比の再現性が異なるかを見るため、空間解像度を 10km、30km、50km とし数値実験を行った。

冬季日本における降水の起源を明らかにするため、同位体領域モデルによるシミュレーションを行った。計算対象期間は 2000-2010 年まで、空間解像度は 30km とした。

### (2) 観測データ

降水の安定同位体比の観測値は、2013年に日本全国の 56 地点を対象に観測されたデータを用いた。観測間隔は地点ごとに異なるが、同位体領域気候モデルとの比較するために月平均値へと変換した値を用いた。降水の同位体比は緯度が高いほど高くなるため、年平均値からの偏差を地点ごとに求め、それを地域ごとに平均化して季節変化を確認した。また、本研究課題では、田上ほか (2013) により収集された降水の同位体比を用いてモデルを検証した。

## 4. 研究成果

### (1) 同位体領域気候モデルの検証

降水の安定同位体比は、大気大循環モデル

(AGCM) の水循環過程を検証するツールとして有用であり、水の安定同位体を組み込んだ AGCM (同位体 AGCM) は降水や水蒸気の安定同位体比の全球分布を十分に再現できることが報告されている。しかしながら、国単位で複数地点で同時に採水したデータが不足しているため、数 10km スケールに適応した事例はほとんどない。そこで、本研究では、2013年に日本 56 地点で集中観測した降水の安定同位体比のデータを用いて、空間解像度を 10km、30km、50km と変えた同位体領域気候モデルによって再現された空間分布や季節変動を検証した。

モデルは、1月を除いて、どの空間解像度でも十分に降水  $\delta^{18}O$  の季節変動や空間分布を再現できることがわかった (図 1)。どの空間解像度で行った実験も、モデルは 1月における太平洋側の値を過大評価していた。これは爆弾低気圧による降水イベント時に特に顕著であった。低気圧により日本海から輸送された水蒸気は日本海側で多量に雨を降らせ、残った水蒸気は太平洋側に輸送され凝結していたが、太平洋側は乾燥していたため降水が蒸発して同位体比が高くなったためと考えられる。この傾向は空間解像度が 10km の場合により顕著であった。

空間分布については、どの空間解像度を選択してもよく再現できていたが、特に台風による降水の同位体比の空間分布は空間解像度を 10km とした実験が最も良かった。このとき、降水量の空間分布パターンも 10km 実験が最も良く観測値を再現できており、降水の同位体比の再現性は降水量に大きく左右されることがわかった。

このように、同位体領域気候モデルを用いることで、モデルが降水の同位体比の時空間変動を再現するのが得意または不得意な現象を見出すことができた。これら再現性が降水の同位体比データ同化により、どのくらい改

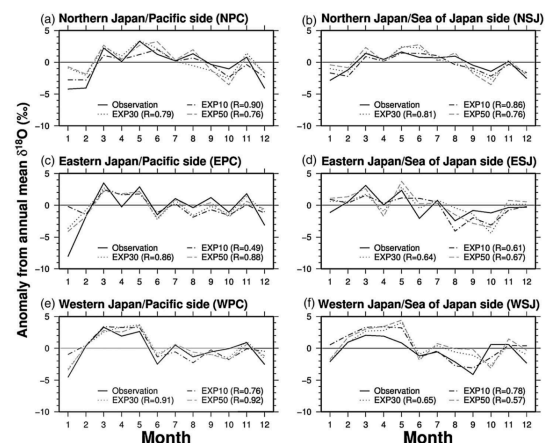


図 1 : 月降水  $\delta^{18}O$  偏差の季節変動。(a) 北日本・太平洋側 (NPC) ( $n=4$ ), (b) 北日本・日本海側 (NSJ) ( $n=5$ ), (c) 東日本・太平洋側 (EPC) ( $n=17$ ), (d) 東日本・日本海側 (ESJ) ( $n=3$ ), (e) 西日本・太平洋側 (WPC) ( $n=19$ ), (f) 西日本・日本海側

善されるかは今後の課題である。

### (2) 日本周辺域における降水の同位体比と起源の時空間変化

日本における降水の同位体比の季節変化と空間分布を把握するため、降水の同位体比の緯度-時間変化を示す。降水の同位体比は緯度帯によって季節変化が異なっていた。北緯 40 度以南では冬に高く、それ以北では夏に高い傾向を示した。北緯 40 度以南の地域では、6 月から 11 月にかけて低かった。地域によって、降水の同位体比の季節変動に違いが見られることは既往研究でも報告されていたが、モデルを使って解析することで、降水の同位体比の時空間変動特性を明らかにすることができた。

このような降水の同位体比の時空間変動が降水の起源によって引き起こされているのかを検討するため、日本周辺域における降水の起源の緯度-時間断面図を作成し、その変動傾向を調べた。降水の起源は緯度や季節によって大きく変化していた。1 月から 4 月にかけては、北緯 30 度以南では東シナ海が、北緯 30~35 度では太平洋が、北緯 35~40 度では日本海から蒸発した水蒸気が卓越していた。その一方、6 月から 9 月においては、北緯 40 度以南における降水の起源は主にインド洋を起源とし、それより以北では陸起源の水蒸気が卓越していた。6 月から 9 月において、北緯 40 度以南の降水の同位体比は低くなっていたが、それはインド洋起源の水蒸気が降水に寄与しているためと考えられる。

このように、同位体領域気候モデルによる解析により、日本周辺域における降水の同位体比と起源の時空間変動特性を明らかにすることができた。

### (3) 梅雨期における水蒸気同位体比と相当温位との関係

梅雨期における対流活動は、高度 1km 以下に多量に暖かく湿った水蒸気存在が重要であ

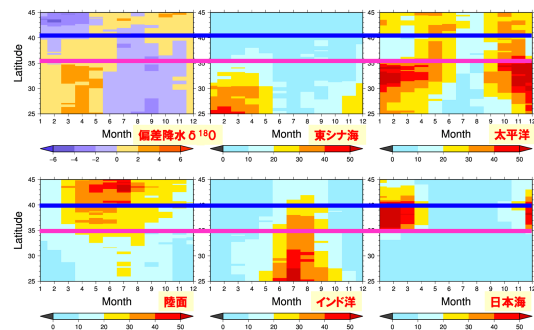


図 2：緯度-時間断面。上段の左から、z 降水  $\delta^{18}O$  偏差、東シナ海起源域からの降水の寄与率、太平洋起源域からの降水の寄与率。下段の左から、陸面起源からの降水の寄与率、インド洋起源からの降水の寄与率、日本海起源からの降水の寄与

り、対流活動の結果として梅雨前線が解析される。梅雨前線の北部は大気が安定しているため、梅雨前線による大雨はそれよりも南側で発生する。このような梅雨前線の活動に伴い、降水の同位体比がどのように変化しているかはよくわかっていない。そこで、同位体領域気候モデルによる結果を用いて、2013 年における梅雨前線の進行と水蒸気同位体比との関係を調べた。

図は 750hPa 面 (高度約 3km) における相当温位、750hPa 面と地表面における相当温位の差、地表面における水蒸気 d-excess の緯度-時間断面図である。まず、750hPa 面における相当温位は、336K を超える湿潤で温かい空気塊が北緯 20 度から 30 度に 6 月 10 日から現れ、その空気塊は 6 月 21 日以降は狭くなり、7 月 11 日までに北緯 40 度付近まで北上した。この空気塊は梅雨期に見られる湿舌に相当する。高度 750hPa 面と地表面における相当温位の差を見ると、この空気塊が位置するより南側で -20K を下回っており、対流不安定な状態であった。地表面における水蒸気 d-excess はこの対流不安定な状態である領域上では 14‰ 以上と高かった。7 月 11 日から 16 日にかけて水蒸気 d-excess が減少しているが、これは台風により d-excess が低い水蒸気が輸送されたためと考えられる。これらの結果は、地表面における水蒸気 d-excess は、暖かく湿った空気塊の流入を反映している可能性があることを示している。すなわち、地表面における水蒸気 d-excess をモデルへとデータ同化することで、梅雨期における豪雨の予測を向上させることが期待される。

### (4) 冬季における降水の起源

降水の d-excess ( $\delta D - 8 * \delta^{18}O$ ) は、蒸発時の湿度状態を反映していると考えられているため、降水の起源域を診断するトレーサーとして用いられている。田上ほか (2013) によ

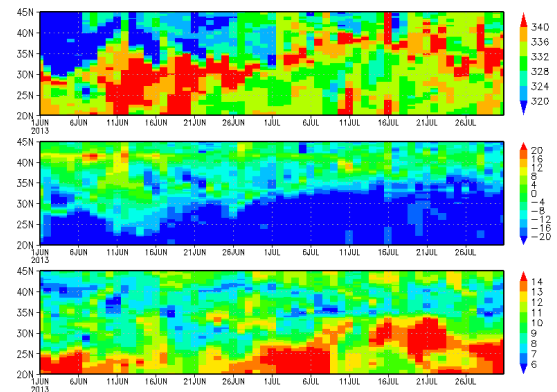


図 3：(上段) 750hPa 面における相当温位の緯度-時間断面。(中) 750hPa 面と地表面における相当温位の差の緯度-時間断面図。(下) 地表面における水蒸気 d-excess の緯度-時間断面図。すべて同位体領域モデルによる結果である。

ると、冬季における降水の  $d$ -excess は日本海側と太平洋側との地域とで異なることが報告されており、これは降水の起源域が異なることを示唆している。そこで、同位体領域気候モデルを用いて、冬季日本における降水の起源を推定した。また、降水の起源と同位体比との関係を調べ、同位体比から降水の起源が推定可能かを調べた。

冬季日本における降水は主に冬季モンスーンと温帯低気圧によってもたらされる。本研究では、モデルによって計算された日々の気圧配置を主成分分析することで、冬季モンスーン型と温帯低気圧型とに分類した。また、この分類により、冬季モンスーン型の気圧配置がどのくらい卓越しているのかを示すモンスーン指標を作成し、降水の同位体比や  $d$ -excess と比較した。

その結果、日本海側は冬季モンスーン卓越時の日本海側の降水に最も寄与していることがわかった (>50%) (図 2)。その一方、温帯低気圧型では太平洋が日本における冬の降水の主要な起源であるということがわかった。さらに、日本海起源の水蒸気が降水に寄与している割合と降水の  $d$ -excess との関係を調べたところ、日本海では両者の間に正の相関を持つことがわかった。これは、観測された  $d$ -excess から、冬季モンスーンの変動を推定できる可能性があること意味する。このように、本研究のフレームワークで、降水の起源の地域性を明らかにすることができた。

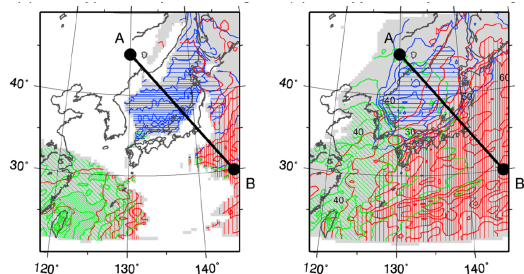


図 4 : (左) 冬季モンスーン型卓越時における降水の起源。灰色のシェードは日降水量が 1mm/day 以上であることを示す。青、赤、緑はそれぞれ日本海、太平洋、東シナ海起源域からの水蒸気が降水に 30% 以上寄与していることを示す。(右) 温帯低気圧型卓越時における降水の起源。同位体領域モデルによる結果を示す。

## 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 3 件)

1. 田上雅浩, 一柳錦平 (2016) 日本における降水の  $d$ -excess とその起源. 水文科学会誌, 46 (2), 101-115.
2. Tanoue M, K Ichianagi, K Yoshimura (2016) Verification of the isotopic composition of precipitation simulated

by a regional isotope circulation model over Japan. *Isotopes Environ. Health Stud.*, 52(4-5), 329-342, doi:10.1080/10256016.2016.1148695.

3. Tanoue M, K Ichianagi, K Yoshimura, J Shimada, Y Hirabayashi. Estimation of the isotopic composition and origins of winter precipitation over Japan using a regional isotope circulation model, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 122. <https://doi.org/10.1002/2017JD026751>.

[学会発表] (計 10 件)

1. Tanoue M, K Ichianagi, K Yoshimura, J Shimada, Y Hirabayashi. Estimation of the isotopic composition and origins of winter precipitation over Japan using a regional isotope circulation model, AGU Fall meeting, New Orleans, USA, 11-16 December 2017.
2. 石川和志, 石川勝也, 田上雅浩, 木口雅司 (2017) 東京都荒川区で観測された降水の安定同位体比の変動特性. 2017 年度日本水文科学学会学術大会.
3. 田上雅浩 (2017) 水同位体研究の現状とブレイクスルー. 2017 年度日本水文科学学会学術大会.
4. 田上雅浩, 一柳錦平, 芳村圭 (2016) 同位体領域気候モデルを用いた日本域における降水の同位体比の高解像度再現実験. 日本気象学会 2016 年度秋季大会, 名古屋大学東山キャンパス, 2016 年 10 月.
5. 田上雅浩, 一柳錦平 (2016) 2013 年日本全国で採水された降水同位体比の変動特性. 水文, 水資源学会 2016 年度総会, 研究発表会, コラッセふくしま, 2016 年 9 月.
6. Tanoue M, K Ichianagi (2015) Verification of a regional isotope circulation model throughout Japan. *International Symposium on Isotope Hydrology: Revisiting Foundations and Exploring Frontiers*, Vienna, Austria. May 2015.
7. 田上雅浩, 一柳錦平 (2015) 2013 年 冬季日本における降水の  $d$ -excess と起源との関係. 2015 年度日本水文科学学会 学術大会, 産総研, 2015 年 10 月.
8. 田上雅浩, 一柳錦平 (2015) 同位体領域気候モデルと日本全国で集中観測された降水安定同位体比との比較. AHW24-04, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会予稿集. 幕張メッセ, 2015 年 5 月.
9. 田上雅浩, 一柳錦平 (2015) 高密度降水同位体比データを用いた同位体領域気候モデルの検証. A310, 日本気象学会 2015 年春季大会予稿集, つくば国際会議場, 2015 年 5 月.
10. 日向輝, 石川勝也, 田上雅浩, 木口雅司 (2015) 東京都荒川区で観測された降水の安定同位体比の変動特性. 2015 年度日

本水文科学会学術大会.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~masatano/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田上 雅 浩 (TANOUE MASAHIRO)  
東京大学・生産技術研究所・特任研究員  
研究者番号: 20735550

### (3) 連携研究者

一柳 錦 平 (ICHIYANAGI Kimpei)  
熊本大学・大学院先端科学研究部(理)・准教授  
研究者番号: 50371737

芳村 圭 (YOSHIMURA Kei)  
東京大学・生産技術研究所・准教授  
研究者番号: 50376638