

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H05619

研究課題名(和文) インドネシア全域における降水の安定同位体マップの作成

研究課題名(英文) Development for mapping of stable isotopes in precipitation over Indonesia

研究代表者

一柳 錦平 (Ichiyangi, 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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,000,000円

研究成果の概要(和文)：インドネシア海洋大陸域における降水の安定同位体比の空間分布と季節変化を明らかにするため、2010年から2018年まで断続的に降水の安定同位体比の観測を行った。約4,300個の降水サンプルを取得して酸素・水素安定同位体比を分析した結果、42地点で12ヶ月分の同位体比データベースを作成することができた。クラスター解析の結果、ジャワ海沿岸では夏季に最大の年周期、東部では夏季に最大の年周期、赤道付近では一年を通じて変動が小さいことが明らかとなった。さらに、当初の研究計画には無いが、タイ全域にも研究地域を広げ、2013年から2015年の降水観測により、安定同位体比の時空間分布や変動要因を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

インドネシア海洋大陸ではサンゴ礁や鍾乳石から古気候変動を明らかにする研究が盛んに行われているが、気候変動の要因を推定するためには、降水量や気温が同位体比に与える影響を明らかにする必要がある。そこで、当初の計画には無いタイも含めて、膨大な降水試料から酸素・水素安定同位体比のデータベースを作成し、その空間分布や季節変動の要因について明らかにした。本研究は、古気候研究だけでなく、流域水循環研究や食品の産地偽装などにも利用することができる。

研究成果の概要(英文)：In order to investigate the spatial distribution and seasonal variation of the stable isotopes in precipitation over the Indonesia Maritime Continent, precipitation sampling was performed intermittently from 2010 to 2018. As a result, about 4,300 precipitation samples were collected and their stable oxygen and hydrogen isotope ratios were analyzed. And, precipitation isotope database for 12 months at 42 sites was created. From a cluster analysis of this database, three groups were clarified: annual cycle with summer maximum around the coastal area of the Java Sea, annual cycle with winter maximum in the eastern Indonesia, and small seasonal variation along the equator.

The research area was expanded to over the Thailand, although it was not included in the original research plan. The spatial and spatial and seasonal variability of stable isotopes in precipitation and their controlling factors were considered from the observation from 2013 to 2015.

研究分野：同位体水文学

キーワード：降水同位体 インドネシア アイソスケープ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

インドネシア海洋大陸ではサンゴ礁や鍾乳石から古気候変動を明らかにする研究が盛んに行われているが、気候変動の要因を推定するためには、現在気候下において降水量や気温が同位体比に与える影響を明らかにする必要がある。しかし、本地域では降水の安定同位体比の観測は非常に少なく、海洋大陸全域での空間分布や季節変化、それらの変動要因についての理解が圧倒的に不足している。

### 2. 研究の目的

そこで本研究では、インドネシア海洋大陸全域を対象として、降水の安定同位体比の空間分布と季節変動、およびその変動要因を明らかにすることを目的とする。そして、降水の安定同位体比を緯度、経度、標高など地理的な情報や、気温や降水量など気象的な情報を使って相関解析し、同位体比を再現し、同位体比の観測地点が無い場所でも同位体比を推定できるように、アイソスケープを作成することを目的とする。さらに、同位体循環モデルを使って、熱帯域での降水量や安定同位体比の再現が可能かどうか考察する。

### 3. 研究の方法

熱帯域における降水の酸素安定同位体比と降水量や気温など気象要素との関係を明らかにするため、インドネシア気象局に降水のサンプリングを依頼し、熊本大学水文学研究室において降水の酸素・水素安定同位体比の分析を行った。その結果、2010年から2018年まで最大65地点における約4,300個の降水サンプルを取得した。また、海洋研究開発機構(JAMSTEC)が主導したYear of Maritime Continent(YMC)集中観測にも参加し、2017年12月から2018年1月にスマトラ島ベンクル市における降水の安定同位体比を6時間ごとに観測した。モデル研究では、同位体大循環モデルや同位体領域モデルを用いて、降水量と同位体比の比較を行った。

### 4. 研究成果

(1) 2010年から2013年までに取得した降水サンプルより、インドネシア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した。 $\delta^{18}\text{O}$ の月平均値をクラスター解析した結果(図1)7-10月に同位体比が高くなるパターン(Cluster 1)、6-11月に同位体比が高くなるパターン(Cluster 2)、1-2月と5-8月に同位体比が高くなるパターン(Cluster 3)の3つに分けることができた。とくにCluster 3は、スマトラ島とカリマンタン島西部にしか見られない。また、同位体比と降水量との相関が高く、降水量効果が卓越していることも明らかとなった。

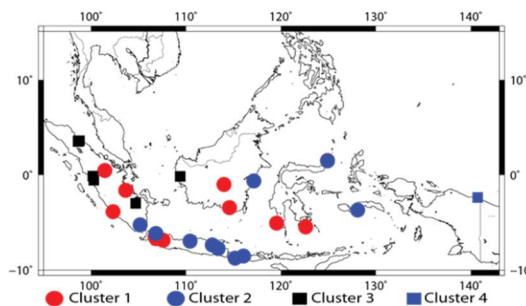


図1 降水同位体比の季節変化パターン (Belgaman et al., 2017)。

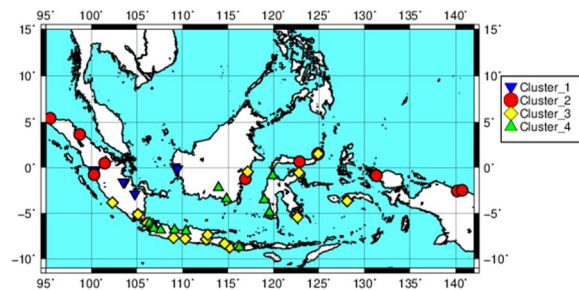


図2 降水同位体比の季節変化パターン (2010-2018年の結果)

(2) 2013年以降も降水サンプリングを継続して、2018年度末時点で65地点約4300サンプルを取得した。同様に $\delta^{18}\text{O}$ の月平均値をクラスター解析した結果(図2)1-3月と5-10月に同位体比が高くなるパターン(Cluster 1)、1-4月に同位体比が高くなるパターン(Cluster 2)、6-11月に同位体比が高くなるパターン(Cluster 3)、7-10月に同位体比が高くなるパターン(Cluster 4)の4つに分けることができた。Cluster 1、3、4は2013年までの結果と一致し、それぞれCluster 3、1、2に対応している。しかし、Cluster 2はスマトラ島と赤道沿いに分布しており、地点数が増えたため、異なる季節変動パターンが明らかとなったと言える。

(3) 2010年から2018年までの結果より、インドネシア全域の42地点において12ヶ月分の同位体データベースを作成した。各地点の $\delta^{18}\text{O}$ の年平均同位体比について、降水量、緯度、経度、標高を用いて重回帰分析した結果、以下の式を得ることができた。相関係数は0.51(有意水準5%)である。

$$\delta^{18}\text{O} = -0.0005 \times \text{降水量} + 0.015 \times \text{緯度} - 0.124 \times \text{経度} - 0.002 \times \text{標高} - 7.16$$

また、年平均値だけでなく、 $\delta^{18}\text{O}$ の月平均値についても同様に分析し、アイソスケープを作成した。最も相関のよい10月の例を図3に示す。

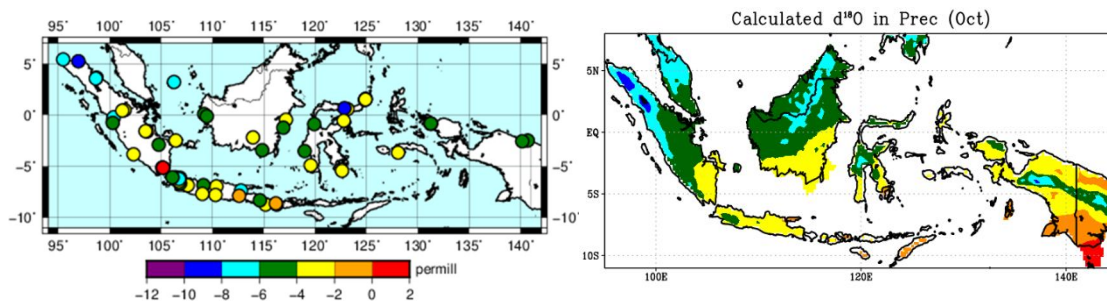


図3  $\delta^{18}\text{O}$ の月平均値の観測値(左図)および重回帰式により作成したアイソスケープ(右図)

(4) 同位体大循環モデルによって、以下のことが明らかとなった。降水の  $^{18}\text{O}$  は、海洋大陸東部のほとんどの地域で ENSO と有意な相関があることが示され、一般的にラニーニャ年には水蒸気や降水の同位体比はエルニーニョ年に比べて約 2‰ 低い。この原因は、ラニーニャ(エルニーニョ)年にウォーカー循環が強化(弱化)され、水蒸気フラックスが収束(発散)し、降水量の増加(減少)によって同位体分別が強化(弱化)されることを示す(図4)。

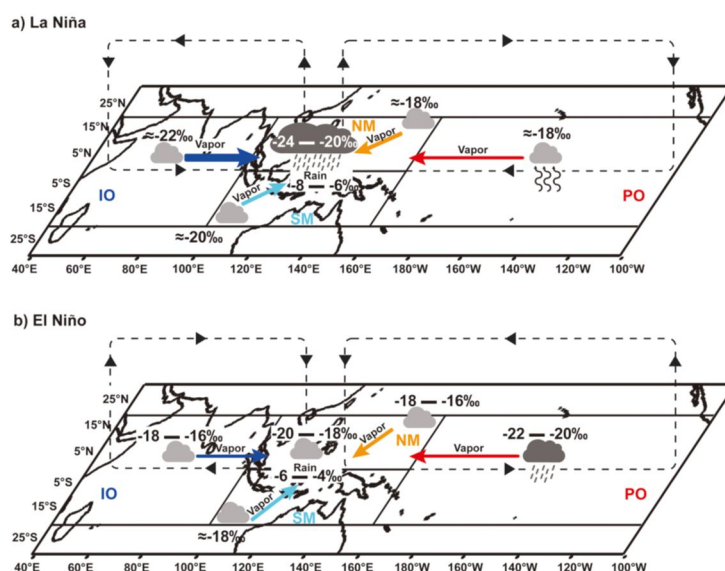


図4 ENSOによる大気循環と同位体比の変化 (Rusmawann et al., 2017)

(5) Year of Maritime Continent (YMC) 集中観測に参加し、2017年12月から2018年1月まで、スマトラ島ベンクル市において降水の安定同位体を6時間ごとに観測した。その結果、降水量や同位体比の日変化が明らかとなり、早朝から午前中の降水は d-excess が 12‰ 以上高く、午後から深夜の降水は d-excess が低いことが示された (Ichiyanagi et al., 2019)。また、衛星画像より作成した降水量の分布は、早朝から午前中にかけては沿岸海洋域で、午後から深夜にかけては陸域で降水量が多い。

(6) タイ全域における降水の安定同位体比の分布と、季節変化を明らかにした (Jeerapong et al., 2020)。2013年から2015年まで、全26地点における毎週の降水同位体観測の結果、同位体比の分布は降水量効果と内陸効果が認められた。また、雨季には高緯度ほど同位体比が低くなる緯度効果が認められるが、乾季には緯度効果と逆に同位体比が高くなるが発見された。

(7) インドネシア周辺域を対象とした同位体領域モデルによって、2010年から2018年までの降水量と同位体比を計算した結果、降水量の再現性は悪いが同位体比は半数以上の観測地点でよい再現性が得られた。そこで、グリッド内での狭い領域での降水量効果を観測データの揃っている熊本で考察した (Ichiyanagi et al., 2020)。その結果、極端気象を除いて降水量の多い月のみ降水量効果が認められたため、対流性降水の占める割合が多い熱帯域では、グリッド内での狭い領域で降水量効果を再現するのは難しいことが示された。今後は、雲解像モデルに同位体を組み込む必要が考えられる。

<引用文献>

Halda Aditya Belgaman, Kimpei Ichiyanagi, Rusmawan Suwarman, Masahiro Tanoue, Edvin Aldrian, Arika I.D. Utami and Sheila D.A. Kusumaningtyas, Intraseasonal Characteristics of seasonal precipitation isotope variability in Indonesia. *Hydrological Research Letters*, 2017, 11, 92-98, doi:10.3178/hrl.11.92.

Rusmawan Suwarman, Kimpei Ichiyanagi, Masahiro Tanoue, Kei Yoshimura, Shuichi Mori, Manabu D. Yamanaka, Halda Aditya Belgaman, and Fadli Syamsudin, El Nino southern oscillation signature in atmospheric stable isotopes over Maritime Continent during wet season. *JMSJ*, 2017, 95(1), 49-66, doi:10.2151/jmsj.2017-003.

Kimpei Ichiyanagi, Rusmawan Suwarman, Halda Aditya Belgaman, Masahiro Tanoue, Takayuki Uesugi and Warjono, Diurnal variation of stable isotopes in rainfall observed at Bengkulu for the YMC-Sumatra 2017. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, 303, doi:10.1088/1755-1315/303/1/012008.

Jeerapong Laonamsai, Kimpei Ichiyanagi and Kiattipong Kamdee, Geographic effects on stable isotopic composition of precipitation across Thailand. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 2020, 56(2), 111-121, doi:10.1080/10256016.2020.1714607.

Kimpei Ichiyanagi, Kiyoshi Ide, Masahiro Tanoue, Seasonal Variability of Stable Isotopes in Precipitation and Spring Water around Mt. Kimpo, Kumamoto, southwestern Japan. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 2020, 56(2), 149-157, doi:10.1080/10256016.2020.1745203.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Jeerapong Laonamsai, Kimpei Ichianagi and Kiattipong Kamdee	4. 巻 56:2
2. 論文標題 Geographic effects on stable isotopic composition of precipitation across Thailand	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Isotopes in Environmental and Health Studies	6. 最初と最後の頁 111-121
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/10256016.2020.1714607	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Kimpei Ichianagi, Kiyoshi Ide, Masahiro Tanoue	4. 巻 56:2
2. 論文標題 Seasonal Variability of Stable Isotopes in Precipitation and Spring Water around Mt. Kimpo, Kumamoto, southwestern Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Isotopes in Environmental and Health Studies	6. 最初と最後の頁 149-157
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/10256016.2020.1745203	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kimpei Ichianagi, Rusmawan Suwarman, Halda Aditya Belgaman, Masahiro Tanoue, Takayuki Uesugi and Warjono	4. 巻 303
2. 論文標題 Diurnal variation of stable isotopes in rainfall observed at Bengkulu for the YMC-Sumatra 2017	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1755-1315/303/1/012008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Halda Aditya Belgaman, Kimpei Ichianagi, Rusmawan Suwarman, Masahiro Tanoue, Edvin Aldrian, Arika I.D. Utami and Sheila D.A. Kusumaningtyas	4. 巻 11
2. 論文標題 Characteristics of seasonal precipitation isotope variability in Indonesia	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Hydrological Research Letters	6. 最初と最後の頁 92-98
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3178/hrl.11.92	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Masahiro Tanoue, Kimpei Ichianagi, Kei Yoshimura, Jun Shimada, and Yukiko Hirabayashi	4. 巻 122
2. 論文標題 Estimation of the isotopic composition and origins of winter precipitation over Japan using a regional isotope circulation model	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Atmospheres	6. 最初と最後の頁 11,621-11,637
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/2017JD026751	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Halda A. Belgaman, Kimpei Ichianagi, Masahiro Tanoue, Suwarman Rusmawan	4. 巻 46
2. 論文標題 Observational Research on Stable Isotopes in Precipitation over Indonesian Maritime Continent	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Japanese Association of Hydrological Sciences	6. 最初と最後の頁 7-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4145/jahs.46.7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Halda A. Belgaman, Kimpei Ichianagi, Kimpei Ichianagi, Masahiro Tanoue, Rusmawan Suwarman, Kei Yoshimura, Shuichi Mori, Naoyuki Kurita, Manabu D. Yamanaka, Fadli Syamsudin	4. 巻 12
2. 論文標題 Intraseasonal variability of 18o of precipitation over the indonesian maritime continent related to the Madden-Julian oscillation	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Scientific Online Letters on the Atmosphere	6. 最初と最後の頁 192-197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2151/sola.2016-039	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Rusmawan Suwarman, Kimpei Ichianagi, Masahiro Tanoue, Kei Yoshimura, Shuichi Mori, Manabu D. Yamanaka, Fadli Syamsudin, Halda Aditya Belgaman, Halda Aditya Belgaman	4. 巻 95
2. 論文標題 El Nino southern oscillation signature in atmospheric: Water isotopes over maritime continent during wet season	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the Meteorological Society of Japan	6. 最初と最後の頁 49-66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2151/jmsj.2017-003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Masahiro Tanoue, Kimpei Ichianagi, Kei Yoshimura, Masashi Kiguchi, Toru Terao, Taichi Hayashi	4. 巻 5:77
2. 論文標題 Seasonal variation in isotopic composition and the origin of precipitation over Bangladesh	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-018-0231-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計9件(うち招待講演 0件/うち国際学会 9件)

1. 発表者名 K. Ichianagi, R. Suwarman, H.A. Belgaman, M. Tanoue, T. Uesugi and Warjono
2. 発表標題 Diurnal variation of stable isotopes in rainfall observed at Bengkulu for the YMC-Sumatra 2017
3. 学会等名 1st International Conference on Tropical Meteorology and Atmospheric Sciences (ICTMAS) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kimpei Ichianagi, Masahiro Tanoue, HaldaAditya Belgaman, RusmawanSuwarman and Kei yoshimura
2. 発表標題 Stable Isotopes in Precipitation over Indonesia Simulated by Using Regional Isotope Circulation Model
3. 学会等名 15th Asia Oceania Geosciences Society (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kimpei Ichianagi, Masahiro Tanoue, Halda Aditya Belgaman, and Rusmawan Suwarman
2. 発表標題 Spatial and temporal variability of stable isotopes in precipitation observed over the Indonesia Maritime Continent
3. 学会等名 EGU General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kimpei Ichianagi, Belgaman Halda Aditya, Rusmawan Suwarman, and Masahiro Tanoue
2. 発表標題 Stable isotopes in precipitation over Indonesia Maritime Continent
3. 学会等名 EGU (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kimpei Ichianagi, Belgaman Halda Aditya, Rusmawan Suwarman, and Masahiro Tanoue
2. 発表標題 Stable isotopes in precipitation over Indonesia observed for 2010-2013
3. 学会等名 JPGU (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Halda A. Belgaman, Kimpei Ichianagi, Rusmawan Suwarman, Masahiro Tanoue, Edvin Aldrian, Sheila D.A. Kusumaningtyas, and Arika I.D. Utami
2. 発表標題 Characteristic of Precipitation Isotope Pattern in Indonesia
3. 学会等名 The 7th International Conference on Water Resources and Environment Research (ICWRER2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kimpei Ichianagi and Masahiro Tanoue
2. 発表標題 Spatial and temporal variability of stable isotopes in precipitation in Kumamoto, southern Japan
3. 学会等名 International Symposium on Isotope Hydrology: Advancing the Understanding of Water Cycle Processes, Vienna, Austria (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Masahiro Tanoue, Kimpei Ichianagi and Yukiko Hirabayashi
2. 発表標題 Seasonal variation of the latitude effect in a mid-latitude region.
3. 学会等名 International Symposium on Isotope Hydrology: Advancing the Understanding of Water Cycle Processes, Vienna, Austria (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jeerapong Laonamsai and Kimpei Ichianagi
2. 発表標題 The latitude effect on the stable isotopic composition of precipitation across Thailand
3. 学会等名 Seasonal variation of the latitude effect in a mid-latitude region. (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

熊本大学博士後期課程に留学していたHalda Aditya Belgaman君は、本科研の研究で平成28年9月に学位を取得して、インドネシア技術評価応用庁（BPPT）の研究員を行っている。

6. 研究組織			
	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	田上 雅浩  (Tanoue Masahiro)	国立研究開発法人国立環境研究所・地球環境研究センター・特別研究員  (82101)	

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	スワルマン ルスマワン (Suwarman Rusmawan)	バンドン工科大学, インドネシア	
研究協力者	ベルガマン ハルダ アディトヤ (Belgaman Halda Aditya)	技術評価応用庁, インドネシア	