

論文

沖縄本島北部の西銘岳気象露場における降水の安定同位体組成について*¹

○壁谷直記*²・清水 晃*²・一柳錦平*³・清水貴範*⁴・大貫靖浩*⁴・生沢 均*⁵・古堅 公*⁶
新垣拓也*⁷・中村智恵子*⁷・寺園隆一*⁷

壁谷直記・清水 晃・一柳錦平・清水貴範・大貫靖浩・生沢 均・古堅 公・新垣拓也・中村智恵子・寺園隆一：沖縄本島北部の西銘岳気象露場における降水の安定同位体組成について 九州森林研究 70：39－42，2017 沖縄本島北部の西銘岳周辺で降水を採取し、水の安定同位体組成を調べた。降水は西銘岳気象露場に設置した自作の雨水採取コレクターにより毎月採取した。それらの水素および酸素同位体比を水同位体アナライザー（L-2120 i，ピカーロ）を用いて分析した。その結果、沖縄本島北部においても日本本土と同様に、降水の安定同位体比から得られた d 値（ $=\delta D-8\delta^{18}O$ ）には、明瞭な季節変化が見られた。降水の d 値の季節変化は雨をもたらず水蒸気団が海面で蒸発する際の環境条件が季節変化していることを示していると考えられた。

キーワード：亜熱帯島嶼、水の安定同位体組成、地域天水線

I. はじめに

沖縄本島北部地域は沖縄本島の貴重な水源地域であり、その72%は森林でおおわれている（石島ほか、2000）。この森林は貴重な動植物の生息域として知られているが、その生息場を提供している森林における水文過程に関する研究は、これまでほとんど行われていない。

近年、水の安定同位体比は山地源頭部における水文過程のトレーサーとして利用されてきており、流域内部の水移動や降水の地下水涵養過程を明らかにする上で重要な役割を果たしてきている。最近では、ピカーロのCavity Ring-Down Spectroscopy (CRDS)などに代表される従来の質量分析器とは異なる新しい水安定同位体比測定方法が普及するようになり、水の安定同位体比は水循環のトレーサーとしてますます活用が期待されている。しかしながら、当地の森林流域では水の安定同位体比に関する研究は、これまで行われていなかった。

Araguás-Araguás *et al.*, (1998)によると東アジアモンスーン地域は、支配気団により、北極領域、中央アジア領域、インド洋領域、北太平洋北部領域、北太平洋南部領域の5つの領域に区分される。このうち我が国では関西より北は、北太平洋北部領域に属している。しかし、関西以南の九州および沖縄を含む南西諸島は、北太平洋南部領域の影響も受ける境界領域に当たる。したがって、水の安定同位体比を水循環のトレーサーとして利用するためには、現地の降水同位体比の季節変動要因を明らかにする必要がある。

本研究では、沖縄本島北部の森林流域における降水の安定同位

体組成を調べた。これは、当地における水循環研究のトレーサーとして水の安定同位体比を利用する上での必要不可欠な知見となる。

なお、本研究は、一柳ら（研究代表：熊本大学大学院理学部）が2013年に行った日本全国の降水同位体観測研究（一柳ほか、2016）に賛同し実施したものである。

II. 調査地および方法

1 調査地

本研究は、沖縄本島北部の西銘岳周辺において実施した（図-1）。Arakaki *et al.*, (2014)は西銘岳気象観測露場（標高300 m）における2010～2013年の気象観測結果をまとめた。それによると、月平均気温は、1月に13℃と最も低く、9月に27℃と最も高かった。年平均降水量は、2010～2012年の期間においては3,424 mmであった。なお、今回の研究対象期間である2013年は、のちで述べる通り、年降水量が2,040.5 mmと平均値より1,400 mm程度少ない寡雨年に該当した。

2 サンプリング方法と分析方法

降水の採取は、西銘岳気象露場に自作の雨水採取コレクター（ロート径18 cm，ボトル30 L）を設置して行った。雨水のサンプリングは、毎月1回行った（写真-1）。

雨水採取コレクターには、シリコンオイルによる油膜を入れてボトル内にたまった雨水の蒸発を防いだ。採取した雨水サンプル

*¹ Kabeya, N., Shimizu, A., Ichiyangi, K., Shimizu, T., Ohnuki, Y., Ikuzawa, H., Furugen, H., Arakaki, T., Nakamura, C. and Terazono, R.: Stable isotope composition of precipitation in a forested catchment in northern part of Okinawa Island.

*² 森林総合研究所九州支所 Kyushu Res. Ctr., For. & Forest Prod. Res. Inst., Kumamoto 860-0862, Japan

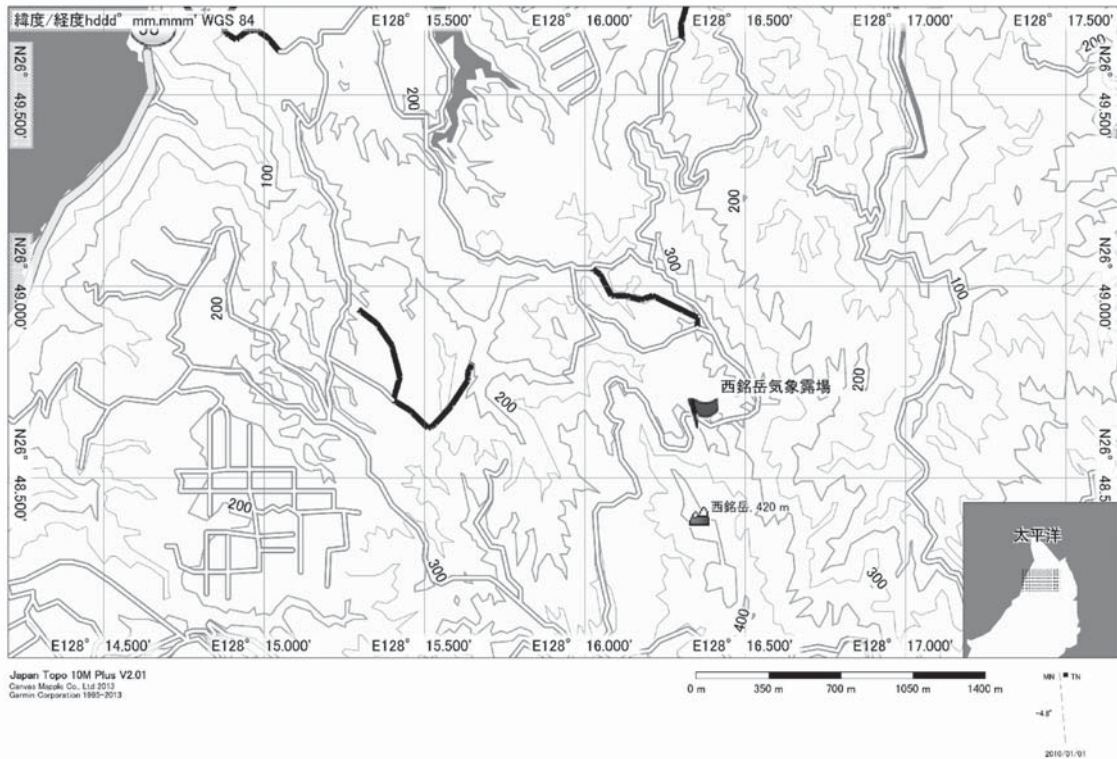
*³ 熊本大学大学院先端科学研究部 Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto Univ., Kumamoto 860-8555, Japan

*⁴ 森林総合研究所 For. & Forest Prod. Res. Inst., Ibaraki 305-8687, Japan

*⁵ 沖縄県農林水産部 Okinawa Pref. Agriculture, Forestry and Fisheries General Affair Division, Naha, Okinawa 900-8570, Japan

*⁶ 一般財団法人 沖縄県環境科学センター Inc. Okinawa Pref. Environment Science Ctr., Urazoe, Okinawa 901-2111, Japan

*⁷ 沖縄県農林水産部森林資源研究センター Okinawa Pref. For. Resour. Res. Ctr., Nago, Okinawa 905-0017, Japan



図－1. 西銘岳気象露場の位置図



写真－1. 西銘岳気象露場における降水安定同位体比サンプリングの様子

には、シリコンオイルが含まれている。このため、分液ロートを用いてシリコンオイルと雨水を分離し、雨水のみを密閉性の高いガラスバイアル（12 ml）に封入した。降水サンプルのガラスバイアルは、同位体分析を行うまで冷蔵庫（4℃）で保管した。サンプルの水素、酸素安定同位体比（ δD , $\delta^{18}O$ ）は、熊本大学大学院理学部の水同位体アナライザー（L-2120 i, 米国ビカーロ社）により分析した。

水素、酸素安定同位体比から、 d 値（ $d = \delta D - 8\delta^{18}O$ ）を求めた。 d 値は、 δ ダイアグラム（横軸を酸素安定同位体比、縦軸を水素安定同位体比とし水の安定同位体組成を示す図）上で傾き 8 の直線を引いた際の y 軸の切片に当たる。この値は、海面から水

蒸気団が生成する際の環境条件のうち、特に海面上の大気湿度環境の値を保存している（Clark and Fritz, 1997; Uemura *et al.*, 2008）。このため、水蒸気気団生成環境の変動指標として用いられる。

Ⅲ. 結果

1 露場の気象観測結果

2013年の月別の雨量と気温を図－2に示した。この年は、7月から9月まで3か月連続で月間雨量が100 mmを下回っていた。一方で、1月から5月までは、毎月200～300 mmと雨量が多い傾向がみられた。2013年の年降水量は2,040.5 mmとそれ以前の3年間に比べて1,400 mm程度少なかった。

気温は、8月に最も高く、27.0℃であり、1月に最も低く13.4℃であった。年間の平均気温は、20.2℃であった。このことから、気温の季節変動は、例年と同様の傾向だったと言える。

2 降雨の安定同位体比の季節変動

図－2に、2013年の降水安定同位体比の季節変動を示した。 δD は、 $-53.0 \sim -4.8\%$ の範囲で変動した。 $\delta^{18}O$ は、 $-8.3 \sim -2.8\%$ の範囲で変動した。このように変動範囲が異なるものの、 δD と $\delta^{18}O$ の変動傾向は、概ね一致していた。 δD および $\delta^{18}O$ が最も低かったのは、ともに5月で、それぞれ、 -53.0% 、 -8.3% であった。一方、 δD と $\delta^{18}O$ が最も高かった値を示した月は、異なっており、前者が2月（ -4.8% ）であったのに対し、後者は、7月（ -2.8% ）であった。

気温と降水安定同位体比の季節変動の関係に関して、気温の高

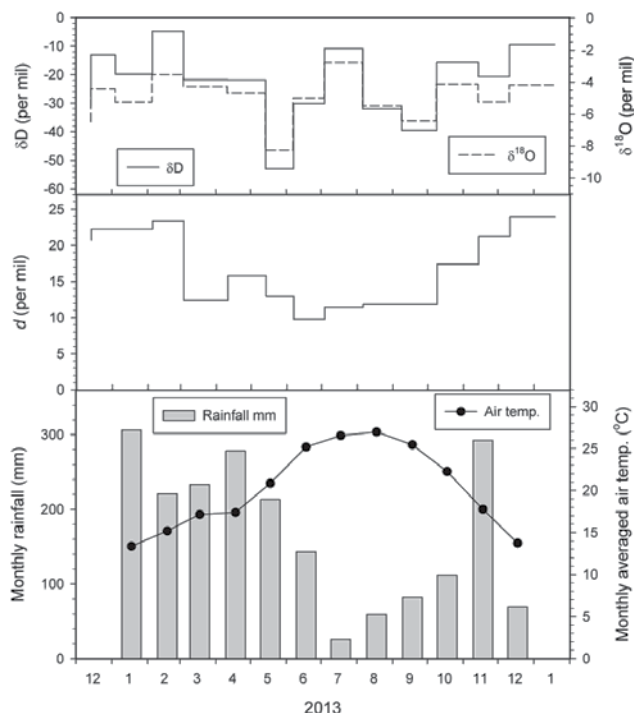


図-2. 沖縄本島北部の西銘岳気象露場における雨量，気温および降水安定同位体比の季節変動（2013年）

い7～9月の $\delta D \cdot \delta^{18}O$ 値が高くなる傾向は，見られなかった。また，気温の低い1月，11月，12月の $\delta D \cdot \delta^{18}O$ 値が低いという傾向も見られなかった。降水量と降水安定同位体比の季節変動の関係に関して，1～5月の雨量の多い月の $\delta D \cdot \delta^{18}O$ 値が低くなる傾向は見られなかった。また，雨量の少なかった，7～9月の $\delta D \cdot \delta^{18}O$ 値が，高くなる傾向も見られなかった。

一方， d 値の季節変動は明瞭であり，冬に20以上と高く，夏に10程度と低い傾向を示した。降水の d 値は，12月と2月に最も高く23.9‰であり，6月に最も低く9.8‰であった。

IV. 考察

1 降水同位体比の季節変動要因の検討

一般に，降水同位体比の季節変動要因には，大きく分けて，温度効果と降水量効果がある（Gourcy *et al.*, 2005）。降水量効果は，降水の酸素，水素安定同位体比と降水量が負の相関をもつことをいう。また，温度効果とは，降水の酸素，水素安定同位体比と地上気温が正の相関を持つことを言う。

本研究においては，図-2に示したように同位体比の季節変動は，非常に複雑な変化を示しており，雨量が多い月に，降水同位体比が低い傾向は見られなかった。また，気温の高い月と低い月の降水同位体比を比較しても，両者の間に正の相関は見られなかった。

このように，本研究で得られた降水同位体比の季節変動には，温度効果，降水量効果のいずれの効果も不明瞭であった。

2 夏季と冬季の地域天水線

図-3に，降水の安定同位体比の δ ダイアグラムを示した。

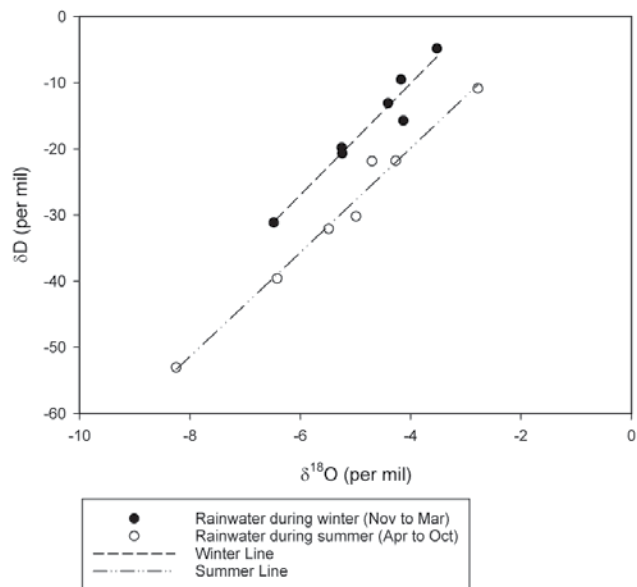


図-3. 沖縄本島北部の西銘岳気象露場における降水同位体比の水素，酸素安定同位体組成

この図では，11月～3月を冬季，4月～10月を夏として区分し季節ごとの天水線を以下に示した。

夏の地域天水線：

$$\delta D = 7.874 \delta^{18}O + 11.647, R^2 = 0.982$$

冬の地域天水線：

$$\delta D = 8.423 \delta^{18}O + 23.622, R^2 = 0.982$$

冬季の降水同位体比は，夏季のそれよりも上に分布していた。これらの式では，傾きはともに8に近いが切片は，夏が11.647で冬が23.622と異なっていた。

このように夏と冬の同位体比の d 値に明瞭な差がみられる傾向は，日本の茨城県（Kabeya *et al.*, 2009），滋賀県（Kabeya *et al.*, 2007），熊本県（Tanoue *et al.*, 2012, Kudo *et al.*, 2013）でも認められている。

本研究で得られた沖縄本島北部の森林流域の降水にも冬季に20を超える高い d 値が観測された。この高い d 値は，冬季の水蒸気起源の海面状況を反映していると考えられた。芳村・一柳（2009）は，冬季の日本付近の d 値が高まる要因に関して，従来考えられていた，日本海起源の水蒸気のみでは，説明が難しいことを指摘した。彼らによると，冬季の日本には，大まかにシベリア高気圧が卓越する場合と南岸低気圧が卓越する場合の2つ場合が存在し，そのいずれの状況でも20以上の高い d 値をもつ水蒸気団が生成されると述べている。

このようなことから，本研究対象地において降水の d 値が冬に20以上と高くなり，夏に10程度と低くなる要因は，水蒸気団が生成する海面環境の季節変動によりもたらされていると考えられた。

V. 結論

降水同位体比の季節変動については，温度効果，降水量効果の

いずれの効果も不明瞭であった。しかし対象とした2013年には、当地に台風などの襲来がなく、夏季の大きな雨が見られず、年間雨量が2,000 mm程度と当地の平均から1,400 mm程度少なかった。このため、当地における寡雨年の結果と考えられた。

今後は、平均的な雨量の年にどのような降水同位体比の季節変動となるか調べる必要がある。また、台風などによる一定量以上の降雨が生じた際の降水同位体比について調べる必要がある。

一方、沖縄本島北部においても日本本土と同様に、降水の安定同位体比から得られた d 値には、明瞭な季節変化が見られた。このことは、降水をもたらす水蒸気団が海面で蒸発する際の環境条件が季節変化していることを示していると考えられた。

今後は、得られた d 値の季節変動を利用して流出水の通過時間推定を行う予定である。

謝辞

現地観測、測器の設置に関して沖縄県農林水産部森林資源研究センターの皆様にご多大なご協力を頂いた。本研究は、「南西諸島の環境保全及び生物相に配慮した森林管理手法に関する研究事業」の一環として行った。また、同位体分析には清水翠、清水由布両氏に補助していただいた。ここに記して謝意を表す。

引用文献

- Araguás-Araguás L *et al.* (1998) *J Geophys Res* 103:28721-28742.
- Arakaki T *et al.* (2014) *J Water Resource Prot* 6:813-820.
- Clark ID and Fritz P (1997) *Environmental isotopes in hydrogeology*. 328 pp, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Gourcy LL *et al.* (2005) In: *Isotopes in the Water Cycle: Past Present and Future of a developing Science*. Aggarwal PK, Gat JR, Froehlich KFO(eds). Springer, Dordrecht, The Netherlands, 39-51.
- 一柳錦平ほか (2016) *日本水文科学会誌* 46:69-71.
- 石島 英ほか (2000) *琉球大学理学部紀要* 70:49-62.
- Kabeya N *et al.* (2007) *Hydrol Process* 21:308-322.
- Kabeya N *et al.* (2009) In: *Lake Pollution Research Progress*. Miranda F R, Bernard L M,(eds). NOVA Science, New York, 289-309.
- Kudo K *et al.* (2013) *Proceedings of H 01, IAHS, Publ.* 359, 371-376.
- Tanoue M *et al.* (2012) *Adv Geosci Vol. 28: Atmospheric Science and Ocean Sciences*, 29-39.
- Uemura R *et al.* (2008) *J Geo Res* 113: D 19114.
- 芳村 圭・一柳錦平 (2009) *水文・水資源学会誌* 22:262-276.
(2016年11月15日受付;2016年12月15日受理)