

## 論文

自動採水器を用いた時間別降雨採取装置の開発<sup>\*1</sup>

○壁谷直記<sup>\*2</sup>・清水 晃<sup>\*2</sup>・酒井佳美<sup>\*2</sup>・鳥山淳平<sup>\*2</sup>  
 ・釣田竜也<sup>\*3</sup>・小林政広<sup>\*4</sup>・清水貴範<sup>\*4</sup>・一柳錦平<sup>\*5</sup>

壁谷直記・清水晃・酒井佳美・鳥山淳平・釣田竜也・小林政広・清水貴範・一柳錦平：自動採水器を用いた時間別降雨採取装置の開発  
 九州森林研究 75：85－87，2022 山地小流域の流出過程を研究する上で安定同位体比や各種水質といったトレーサーの利用は欠かせない。とくに洪水イベント解析をする際には、降雨中の安定同位体比や各種水質は大きく時間変動するために、それらの時間変動を把握することは重要である。本研究では、河川水の採水に広く用いられている自動採水装置（ISCO）を改造し、任意の雨量トリガーで起動し、その後、設定した時間インターバルで、雨水を連続採取する装置を開発した。本機器のテストランを行い、1時間インターバルで連続採取した降雨サンプルの安定同位体比を測定したところ、洪水イベント時の降雨の酸素・水素安定同位体比には大きな時間変動がみられた。  
 キーワード：トレーサー、水の安定同位体比、降雨採取装置（降雨サンブラー）

## I. はじめに

降水同位体比は、水蒸気起源に関する情報を有しており（芳村ほか 2009）、台風などによる豪雨発生時の降雨メカニズム解明にも利用されるようになってきている（Fudeyasu *et al.*, 2008）。このようなことから、九州地域でもたびたび発生している線状降水帯に供給される水蒸気ソースの起源解明にも活用が期待される。また、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（Kendall and McDonnell, 1997）。とくに洪水イベント解析をする際には、降雨中の安定同位体比や各種水質は大きく時間変動するために、それらの時間変動を把握することは重要である。

これまで、降水同位体比を高い時間分解能で解析するために、Kennedy *et al.*, (1979) が提案した小型瓶の連結によって採水する方式が多く用いられてきた（例えば、Kubota and Tsuboyama, 2003）。この方法では、ロート（直径 15～21 cm 程度、受水面積 176.7～346.4 cm<sup>2</sup>）により集水された雨水が、小さなボトルに貯留され、そのボトルがいっぱいになると蓋がしまり、次のボトルへ注水される。この様式は、電源が不要という利点があるが、ボトルへの注水が、雨の降り方に左右されるために、各ボトルの採取時間間隔に大きなばらつきが生じてしまう。また、集水部分に用いるロートの受水面積が小さいため、森林地域での入力雨量としての代表性に関して、検討の余地を有する。

そこで本研究では、井川ほか（2009）を参考にして、遮断雨量観測で幅広く用いられている雨樋を受水部とし、商用電源のない山岳地でも安定した稼働実績を有する自動採水装置を採水部とした。これらを任意の雨量トリガーで起動させ、雨水を連続採取するコントロール部を組み合わせ、任意に設定した時間間隔で、

降雨の連続採水が可能となる装置を開発した。

なお、井川ほか（2009）では、自動採水器は 12 V 駆動であったが、電磁電磁弁および制御タイマーは商用電源（100 V）が必要であった。しかし、商用電源利用可能な森林水文試験地は全国でも限られている。また、豪雨時などは停電が発生する可能性もある。そこで、汎用性が高く停電時も安定した稼働が期待できるカーバッテリー（12 V）により駆動するようにシステムを改良した。今回は、システム構成を説明するとともに、テストランの結果も併せて報告する。

## II. 方法

## 1. 採取装置の概要

本研究では、森林総合研究所九州支所構内（熊本県熊本市中央区黒髪）において装置の試験を実施した。測定システムの概要を、図-1 に示した。メインの採水システムは、商用電源のない山地小流域でも多数の稼働実績を有する米国 Teledyne 社の ISCO 6700 シリーズを利用し、任意の時間間隔で雨水採取ができるように改造を行った。森林流域で観測することを考えると入力される雨量は、樹冠通過雨を含む可能性がある。このため、受水部には、長さ 100 cm、幅 20 cm（受水面積 2000 cm<sup>2</sup>）の雨樋を用いた。この雨樋に集まった雨水は、一時的にコック付 20 L ポリボトルに貯留される。コック付きポリボトルのコックには 12 V で駆動する電磁弁（SMC 社、VXE 2260 G-02-6 G I）と制御タイマー（パナソニック社、TB 2012 K）を装着し、任意の設定時刻で開閉が可能である。ISCO の吸水ストレーナーは、コック付ポリボトルの底部に配置した。雨樋に入った雨水が、速やかに流下するように雨樋の傾斜を 5 度に調整した。また、コック付ポリボトルが満水状態から完全に排水されるまでに要する時間を

<sup>\*1</sup> Kabeya, N., Shimizu, A., Sakai, Y., Toriyama, J., Tsurita, T., Kobayashi, M., Shimizu, T., Ichianagi, K.: A development of short-interval rainfall sampler using automatic water sampler

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

<sup>\*3</sup> 農林水産省技術会議 Agr. For. & Fisheries Res. Council, Tokyo 100-8950

<sup>\*4</sup> 森林総合研究所 For. & Forest Prod. Res. Inst., Ibaraki 305-8687

<sup>\*5</sup> 熊本大学大学院先端科学研究部 Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto Univ., 860-8555

計測し、電磁弁の開放時間は10分間とした。受水部の面積と一時貯留のためのボトルのサイズは、対象とする最大降雨強度によって、変更が可能である。降雨採水プログラムの起動トリガーには、ISCO本体に接続した雨量計（ISCO, MODEL 674, 1転倒0.1mm）を用いた。今回の起動条件は、時間降雨量2mm/h以上で採水待機状態から採水稼働状態となり、次の正時から採水スタートとなる。その後、1時間毎に採水を行い、最大24本までサンプリングを行うことが可能である。採水ボトルは、ISCO専用の2000mLポリエチエンボトルを使用し、今回は採水量200mLに設定した。採水量は、必要に応じて100mLから2000mLまで任意に設定が可能である。

採取したサンプルは、回収後、直ちにpHおよびECを測定し、同位体分析のための密閉性の高いガラスバイアル（12ml）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（ $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$ ）は、熊本大学理学部の水同位体アナライザー（L2120-i, 米国ピカーロ社）により分析した。

雨量は、1時間ごとの採水時刻を基準に集計した。例えば、時刻が8時の採水サンプルの採水期間は7:00~8:00なので、雨量も、この期間の雨量を集計して表示した。

## 2. 同位体比の表示について

安定同位体比は、 $\delta$ 値という標準物質の同位体比を基準とした千分率（‰, パーミル）で示される。水素、酸素安定同位体比（ $\delta D$ もしくは $\delta^{18}O$ ）は次の式により示される。

$$\delta D \text{ or } \delta^{18}O = 1000 * (R / R_{Std} - 1) \quad (1)$$

ここで $R$ と $R_{Std}$ は、それぞれサンプルと標準物質の同位体比であり、水素の場合は $R = D / H$ （ $D$ は重水素）、酸素の場合は $R = ^{18}O / ^{16}O$ となる。水の安定同位体の標準物質は、VSMOW（Vienna Standard Mean Ocean Water；単にSMOWとも）とよばれ、世界の海水を平均した同位体比を有している。このため、海水の同位体比 $R_{sea}$ は、 $R_{Std}$ とほとんど同じであり、式1より $\delta D$  or  $\delta^{18}O \approx 0\%$ である。海水面から海水が蒸発して水蒸気へ変化する際の同位体分別により、水蒸気には元の海水にくらべて質量数の低い同位体が多く含まれる。このため水蒸気の同位体比 $R_{vapour}$ は $R_{Std}$ よりも小さくなる（ $R_{vapour} < R_{Std} \approx R_{Std} = 0\%$ ）。その水蒸気を起源として陸上にもたらされる降雨の $\delta$ 値は、負の値をとることが多い。

## Ⅲ. 結果と考察

### 1. 採水対象とした降雨の特徴

観測は2021年6月15日の16:00から6月16日の9:00までの一連の降雨を対象とした（図-2）。降雨継続時間は、17時間で、総降雨量は22.7mmであった。なお、6月16日0:00から3:00までの3時間、降雨は観測されなかった。しかし、この降雨をもたらした前線が、同一のものであることから、一連の降雨イベントと判断した。時間降雨量は、0.1から7.5mm/hの範

囲にあり、最大時間降雨7.5mm/hは、6月16日の8時の採水時（サンプリング期間7:00~8:00）に発生した（図-2）。

### 2. 降雨同位体比の変動

図-2に示したように、降雨イベント中、降雨水の $\delta D$ と $\delta^{18}O$ は、大きく変化した。その変動範囲は、 $\delta D$ で-49.0%から-96.3%、 $\delta^{18}O$ で-7.2%から-12.9%であった。いずれも、降雨開始時の値が最も高く、降雨の後半になるにつれて、値が低くなった。このことは、降雨過程の安定同位体比の変化において、降雨の初期には重い同位体（ $D$ ,  $^{18}O$ ）を多く含む水蒸気からなる雨滴が地上に降下し、降雨後半には水蒸気中の重い同位体の存在割合が低下していくという一般的な降雨過程における同位体変化（たとえば、Clark and Fritz, 1997）とよく一致していると考えられた。

## Ⅳ. 結論

今回実施したテストランの結果、降雨中の降水同位体は大きく変動することが明らかになった。本研究で開発した降雨採取装置は、12Vカーバッテリー2個で動作が可能であり、商用電源の確保が難しい山地小流域でも稼働可能である。以上のように、本研究で開発した降雨採取装置を用いることで、これまで観測が困難であった商用電源のない山地や林地などにおける時間解像度の高い降水同位体サンプルの取得が進み、降雨プロセスの実態解明が進むことが期待される。

## 謝辞

本研究は、環境省・地球環境保全等試験研究費「気候変動への適応に向けた森林の水循環機能の高度発揮のための観測網・予測手法の構築」（農1942）の一環として行った。ISCOの採水プログラムの編集方法に関しては、日科器バイオス田辺雅博氏にご助言いただいた。

## 引用文献

- Clark, I. and Fritz, P. (1997) Environmental Isotopes in Hydrogeology, 324 pp, CRC Press, Boca Raton, FL  
 Fudeyasu, H *et al.*, (2008) J. Geophys. Res. 113: D12113  
 Kendall, C. and McDonnell, J.J. (1997) Isotope tracers in catchment hydrology, 829 pp, Elsevier, Amsterdam  
 Kennedy, V.C. *et al.*, (1979) Water Resources Research 15: 687-702  
 Kubota, T. and Tsuboyama, Y. (2003) Journal of Forest Research 8: 179-190  
 井川怜欧 ほか (2009) 降水の高時間分解能自動サンプリングのための装置開発, 日本水文学会誌, 38: 111-116.  
 芳村圭 ほか (2009) 気象学における水安定同位体比の利用, 気象研究ノート 220号, 128 pp, 日本気象学会, 東京  
 (2021年11月12日受付; 2021年12月13日受理)

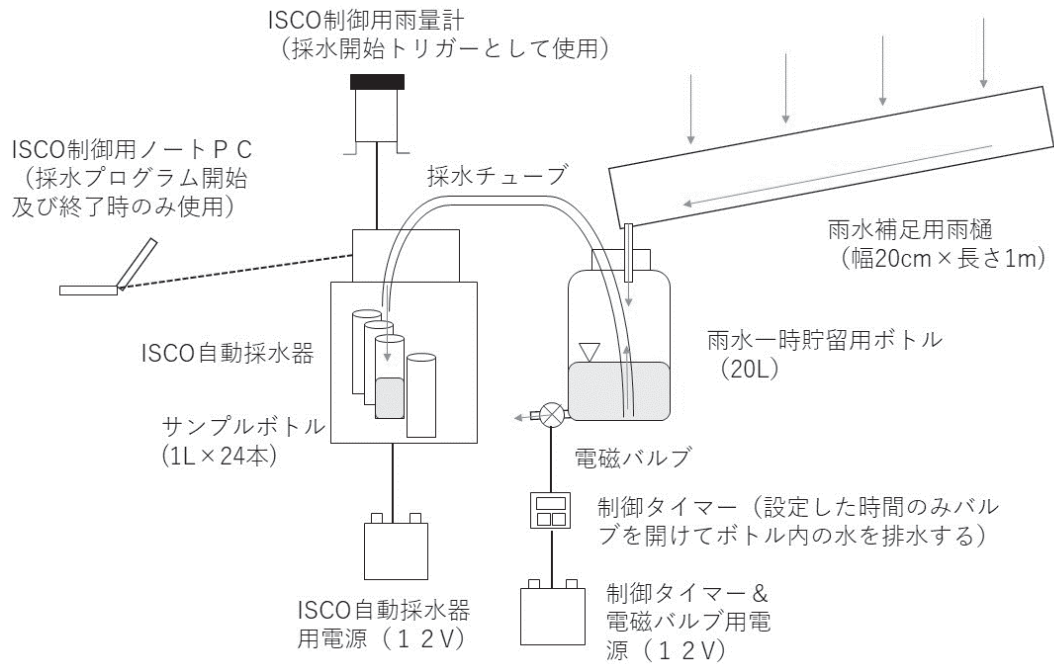


図-1. 降雨採水装置の模式図

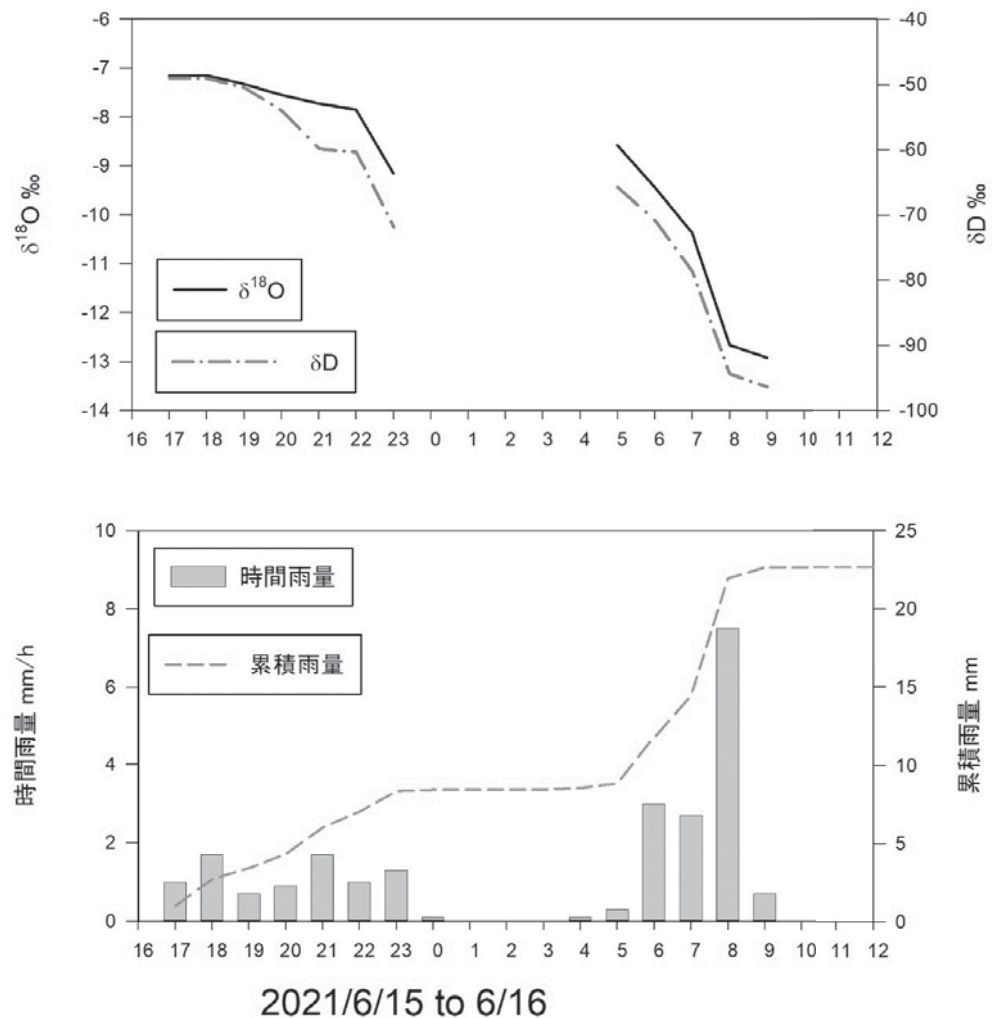


図-2. 降雨採水装置により採水した降水サンプル同位体比の時間変化