

湧水系の溶存酸素の三酸素同位体組成：なぜ富士山湧水系は酸素に富んでいるのか？ Triple oxygen isotopic compositions of DO in natural spring water seeping at the foot of volcanoes

角皆 潤^{1*}, 南 翔¹, 佐久間 博基¹, 大山 拓也¹, 小松 大祐¹, 中川 書子², 加藤 憲二³

Urumu Tsunogai^{1*}, Sho Minami¹, Hiroki Sakuma¹, Takuya Ohyama¹, Daisuke Komatsu¹, Fumiko Nakagawa², KATO Kenji³

¹ 名古屋大学環境学研究科, ² 北海道大学大学院理学研究院, ³ 静岡大学理学部

¹Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ²Faculty of Science, Hokkaido University, ³Faculty of Science, Shizuoka University

火山の山麓には湧水が形成されることが多い。富士山湧水系はその代表的なものの一つで、柿田川湧水をはじめとして、たくさんの湧水が山麓域に分布している。火山周辺に形成される山麓湧水系は、飲料用などに適した酸化的な水質であることが多く、富士山湧水系も、そのほとんどが大気との気体交換平衡に近い、高い溶存酸素濃度 (0.2 から 0.3 mmol L⁻¹ 程度) を示す。しかし、富士山湧水系は、溶存全炭酸 (最高 1.2 mmol L⁻¹) や硝酸 (最高 0.12 mmol L⁻¹) にも富んでおり、その炭素・窒素・酸素安定同位体組成から考察すると、これらは有機物を起源として、その呼吸反応 (再無機化反応) による分解によって形成されたことを示唆している。酸素は呼吸反応によって消費されるため、溶存全炭酸や硝酸に富んでいることと、溶存酸素に富んでいることは矛盾しているように見える。そこで本研究では、富士山麓の計7箇所の自噴湧水で大気の混入を避けながら試料採取を行い、溶存酸素の酸素同位体組成を測定することで、湧水系の溶存酸素の起源や、大気平衡に近い溶存酸素濃度を保持するシステムを考察した。なお、湧水系の溶存酸素について三酸素同位体組成を含めた酸素同位体組成の定量を実現したのは、本研究が世界で初めてであると思われる。

湧水系の溶存酸素の三酸素同位体組成は、大気酸素のそれとほぼ一致した。これは湧水系の溶存酸素は大気酸素のみを起源としており、光合成などに由来する酸素の寄与は無視出来ることを示している。しかしながら、¹⁶O に対する ¹⁸O の相対比 (以下これを酸素同位体比と呼ぶ) は大気酸素とは大きく異なり、大気に比べて 11 パーミル近く ¹⁸O が枯渇した酸素同位体比を示した。

湧水の源となっている天水中の溶存酸素は大気酸素と溶解平衡になっていると考えられ、その酸素同位体比も、大気酸素とほぼ等しいはずである。また地下水中で呼吸反応が進行して溶存酸素の一部が消費された場合、残った溶存酸素の酸素同位体比は増加することが知られている。したがって呼吸反応の進行と、大気酸素に対する酸素同位体比の減少とを矛盾無く説明するには、大きな動的同位体効果を伴う大気酸素の供給システムが、湧水系の地下水に対して連続的に稼働していたことを示唆している。そこで我々は、富士山体中の地下水は大気に対して閉鎖系とはなっておらず、土壌や岩石の間隙を経由して大気とつながっているものと結論した。土壌や岩石の間隙を経由して気体が拡散する場合には、渦拡散ではなく分子拡散が卓越することが知られており、また分子拡散は渦拡散と違って大きな動的同位体効果を伴うことが知られているからである。地下水中で呼吸反応が進行することで、溶解性が大きい炭酸系と硝酸は蓄積する一方で、溶存酸素濃度は低下する。この溶存酸素濃度が低下した地下水に対して、土壌や岩石の間隙を経由して酸素同位体比が低下した大気酸素が供給されたものと考えられる。

地下水系が大気に対して閉鎖系になっていないとすると、気体系のトレーサーを用いて年代測定や涵養環境推定を行う際は注意が必要となる。また地下水中での呼吸反応の進行に伴う酸素の同位体効果が、土壌・岩石間隙中の分子拡散の動的同位体効果で支配されている可能性があり、大気酸素の全球的な酸素同位体比マスマバランスを考察する際に、重要なファクターとなる可能性もある。

キーワード: 湧水, 溶存酸素, 同位体組成, ガス交換, 拡散分別, 土壌間隙

Keywords: natural spring, dissolved oxygen, isotopic compositions, gas exchange, diffusive fractionation, soil pore