

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：13501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16113

研究課題名(和文)水文学と水質学による水資源開発のための非火山性の山体地下水の基礎的研究

研究課題名(英文) Investigation of groundwater quality and hydrology in non-volcanic mountains for the water resource development.

研究代表者

中村 高志 (NAKAMURA, Takashi)

山梨大学・大学院総合研究部・助教

研究者番号：60538057

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：非火山性山体に囲まれているカトマンズ盆地を調査対象地域とし、山地湧水および比較対象の市街地の浅層地下水の調査を実施し、得られた各種水文・水質データの解析を行った。その結果、湧水規模(湧水量)が大きいほど、山体内部での滞留時間が長く、乾季での湧水量の低下が少ないことを明確に示すデータを得ることができ、水資源開発における湧水規模の下限を示す指標の取得に成功した。

水質については現地の既存水源より良質であるが、山間部の小規模集落から負荷する局所的な汚染も観測されたことから、今後も丹念な水質観測は不可欠であることを示すことができた。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to identify the groundwater quality and hydrological characteristics in non-volcanic mountains, using stable isotope and groundwater dating tracers. The study area selected was the Kathmandu valley in Nepal, which is surrounded by non-volcanic mountains. The positive relationship between the residence time and discharge volume in these springs were observed. These results suggested that the water budget of mountain groundwater is much affected by spring water volume and stability of annual discharges.

For the water quality in spring waters, the results suggested mountain springs have relatively less contamination by anthropogenic nitrogen compared with the groundwater in the city area. However, we detected site specific contamination by E-coli to the spring water, presumably loaded from small villages in the mountain area. This shows that the water quality surveys along with mountain groundwater are still necessary for water resource development.

研究分野：水質学

キーワード：国際研究交流 ネパール、カトマンズ盆地 安定同位体比 山体地下水 湧水

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 当初目的

地下水は、多くの国、地域にとってその経済的発展段階によらず必要不可欠な水資源となっている。近年では地球規模の水需要の高まり、地下水汚染、過剰揚水による地盤沈下などの問題から山地域の良質な水源への関心が高まっている。欧米では、基盤岩中の地下水を主要帯水層として利用している例が多い。

本研究の対象地域として選定したネパール・カトマンズ盆地はネパール中央部に位置し、2000m以上の非火山性の山々に囲まれた標高1400mの盆地都市である。都市と地方の経済格差からカトマンズへの急激な人口流入が続き、現在では、664km<sup>2</sup>のカトマンズ盆地に300万人ほどが居住しているとされている。この人口集中に対してカトマンズのインフラ整備が追いつかず、2007年の調査によれば、カトマンズ盆地における水道水の給水量は水需要の約50%にとどまっている。

水道で供給できない水需要については、市街地にある公共水場 (stone spout)、個人やコミュニティの井戸、タンクローリーの給水、宅配ボトル水など様々な方法で賄われている。しかしながら、浅層地下水は窒素や大腸菌による汚染が著しい状況である。一方、カトマンズ盆地を取り囲む山々の山腹には複数の湧水が存在し、比較的大規模な湧水も確認されているものの、これまで十分な調査・研究は行われていないため、山地水資源の有効な活用がされていないのが現状である。

### (2) ゴルカ地震

研究開始直後、(2015年)4月25日11時56分(現地時間)、ネパールの首都カトマンズ北西80km付近、ガンダキ県ゴルカ郡サウラパニの深さ15kmを震源としたMw7.8(USGS,2015)の地震が発生した。歴史的な建造物や世界遺産の寺院などの多くが甚大な被害を受け、2015年4月28日に国連は、ネパールの人口の約30%にあたる約800万人が被災したと報じた。水道施設も被害を受け、被災者らの地下水や湧水などの代替水源への依存率が高まる中、本件を実施することとなった。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、非火山性の山体の地下水を対象とし、水文観測による水量の把握と水

文トレーサー(同位体や溶存フロンガス)測定による流動経路の推定、さらに水質トレーサー(各種水質成分や同位体)測定による水質形成プロセスの解明を行い、水文学と水質学の観点から水資源としての評価を行うことである。

## 3. 研究の方法

山地湧水の有用性を把握するために、比較対象として市街地で常用されている浅井戸の地下水の水質と比較しながら検討を行うこととし、2015年7~8月の雨季に市街地の40地点の浅井戸で地下水の試料採取を実施した。山地湧水の採取は、8地点において2015年9月の雨季と2016の乾季に行った。これらにより得られた水質および同位体データを用いて解析を行った。

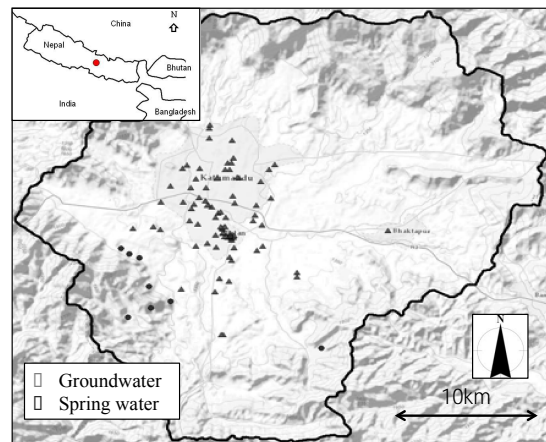


図1.カトマンズ盆地の調査地点

## 4. 研究成果

### (1) 水質情報

市街地における浅井戸のNO<sub>3</sub>-NおよびNH<sub>4</sub>-Nの濃度は、調査を行った井戸の35%および50%でWHOの水質基準および指針値を超過していた。これらの窒素汚染の起源は、生活排水等による汚染と考えられる。一方、山地湧水のNO<sub>3</sub>-NおよびNH<sub>4</sub>-N濃度は全地点で基準値以下であった。人畜由来窒素の発生源を高い感度で検出することができるNO<sub>3</sub>の $\delta^{15}\text{N}$ 値をみると、市街地の浅層地下水は高く、最低値でも+10‰以上で、人畜由来の窒素が起源である可能性を示した。一方、山地湧水中のNO<sub>3</sub>の $\delta^{15}\text{N}$ 値は+2.1~+6.1‰を示し、既往の研究で報告されている森林土壌中の窒素の同位体比と同等の値であることから、調査を行った湧水には人畜由来の窒素の負荷は少ないと考えられた。

糞便汚染の指標とされる大腸菌濃度は市街地の浅井戸で相対的に高く、NO<sub>3</sub>の $\delta^{15}\text{N}$ 値

と同様に生活排水による汚染が著しい傾向を示すことが報告されている。一方山地湧水については、数～数十 MPN/100mL 程度の地点が多いものの、山間部の小規模集落から負荷していると考えられる局所的な汚染も観測されたことから、今後も丹念な水質観測は不可欠であるといえる。

## (2) 水文学的特性

山地湧水の 2015 年の雨季の湧出量は、 $690\text{m}^3/\text{day} \sim 39\text{m}^3/\text{day}$  であった。2 地点の湧水を除き、2016 年の乾季に向かって減少し、乾季になると枯れる地点も確認できた。溶存フロンガスの観測による地下水の年代測定の結果から、湧水規模(湧水量)が大きいほど山体内部での滞留時間が長く、乾季での湧水量の低下が少ないことを明確に示すデータを得ることができた。また、湧水量の減少量と湧水規模の関係をみたところ、雨季の湧出量が少ないほど乾季に減少する傾向が見られ、当該地域における湧水の雨季の湧水量が概ね  $100\text{m}^3/\text{day}$  より少ない湧水については、乾季に枯れる可能性が高いことが明らかとなり、水源開発における湧水規模の下限を示す指標を取得することができた。以上の結果から、この地域の山地では地下水の賦存量が湧水の規模や滞留時間に大きく影響していると推察することができた。一方、上記の傾向を示さない地点については、それぞれ湧水の規模が小さく滲出水の集まりのような湧水であることや、異なる山体に位置することなどから、山体地下水の水文学的特徴は、地下水帯が分布する深度や山体の違いを反映して異なることが考えられた。

湧水の水安定同位体組成を解析した結果、乾季に枯れる地点の湧水は、特異的な組成を示した。これについては、地下水の供給源である降水の同位体にみられる季節変動が比較的地下水賦存量の大きい湧水には反映されにくく、逆に小規模な湧水には特定の季節の同位体組成が反映されたためと考察でき、同位体が水資源供給についての安定性を評価する指標として活用できる可能性を示すことができた。

## 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) Cao TTH, Nakamura T., Saiki M, Ta TT, Toyama T, Nishida K: Effect of DON contamination on  $\delta^{15}\text{N-NH}_4$  determination in water samples by modification of diffusion method with gas phase trapping. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 2018. 32, 635-638, DOI: 10.1002/rcm.8091 (査読あり)

2) Nakamura T., Nishida K, Kazama F: Influence of a dual monsoon system and two sources of groundwater recharge on Kofu basin alluvial fans, Japan. *Hydrology Research*, 2017. 48 (4) 1071-1087, DOI: 10.2166/nh.2016.208 (査読あり)

3) Malla R., Shrestha S., Chapagain K.S., Shakyal M., Nakamura T.: Physico-Chemical and Oxygen-Hydrogen Isotopic Assessment of Bagmati and Bishnumati Rivers and the Shallow Groundwater along the River Corridors in Kathmandu Valley, Nepal. *Journal of Water Resource and Protection (WILLIAMSBURG)*, Vol.7, 2015. pp.1435-1448. DOI: 10.4236/jwarp.2015.717117. (査読あり)

[学会発表](計9件)

1) Bijay Man Shakyal, Takashi Nakamura, Suresh Das Shrestha, Ramita Bajracharya, Nishida Kei, Source identification of serious ammonium contamination in groundwater of Kathmandu Valley : using stable isotope tracer technique. 2017, 10.28-29, The 5<sup>th</sup> international young researchers workshop on river basin environment and management, Malaysia (Swiss Garden Hotel)

2) 中村高志、細野高啓、地球化学と水文学、2017 年度日本水文科学会設立 30 周年記念学術大会、2017, 9.30-10.1、東京都世田谷区(駒澤大学)

3) Cao TTH, Nakamura T., Nishida K, Gas diffusion method: a simple and rapid method for  $\delta^{15}\text{N-NH}_4$  determination in water samples, Water and Environment Technology Conference 2017, 2017.7.23, Hokkaido Uni (Sapporo, Japan)

4) 中村高志、西田継、Suresh D.S.、山本勇生、赤羽一貴、滝本康裕、ネパール・カトマンズ盆地の地下水におけるアンモニアおよび硝酸イオンの汚染機構、日本地球惑星科学連合

大、2016.5.22-26、千葉県千葉市（幕張メッセ）

5) 山本勇生、中村高志、西田継、アンモニア性窒素安定同位体比を用いたネパール・カトマンズ盆地における地下水の汚染源の推定、日本地球惑星科学連合大、2016.5.22-26、千葉県千葉市（幕張メッセ）

6) 中村高志, Bijay M. Shakya, 原本英司, 西田継, Jeevan B. Sherchand, Sures D. Shrestha. ネパール・カトマンズ盆地における山地湧水の水質および水文学的特性～災害時の代替水源として～. 日本水文科学会学術大会, 2016.10.15-16, 東京都（法政大学）

7) 山本勇生、中村高志、西田継、アンモニア性窒素安定同位体比を用いたネパール・カトマンズ盆地における地下水の汚染源の推定、第50回日本水環境学会年会、2016.3.16-18、アスティとくしま（徳島県徳島市）

8) 中村高志、西田継、山本勇生、風間ふたば、アンモニア態窒素安定同位体比の迅速な測定方法の確立と汚染された水源への適用、2015年度日本水文科学会学術大会、2015.10.9-11.茨城県つくば市（産業技術総合研究所）

9) 中村高志, 西田継, 山本勇生, 平賀皓大, Anoj Khanal, Suresh Das Shrestha, 風間ふたば, ネパール・カトマンズ盆地の地下水中のアンモニアの起源推定、日本地球惑星科学連合大、2015.5.22-26、千葉県千葉市（幕張メッセ）

〔その他〕

ホームページ等

所属機関 Facebook ページ活動報告(調査概要)

<https://www.facebook.com/plugins/post.php?href=https%3A%2F%2Fwww.facebook.com%2FICRE.UY%2Fposts%2F729663773886600>

所属機関 Facebook ページ活動報告(調査概要)

<https://www.facebook.com/plugins/post.php?href=https%3A%2F%2Fwww.facebook.com%2FICRE.UY%2Fposts%2F661560327363612>

所属機関 Facebook ページ活動報告(相手国との研究ミーティング)

<https://www.facebook.com/plugins/post.php?href=https%3A%2F%2Fwww.facebook.com%2FICRE.UY%2Fposts%2F661572347362410>

6. 研究組織

(1)研究代表者

中村 高志 (NAKAMURA, Takashi)

山梨大学・大学院総合研究部・助教

研究者番号：60538057

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

Suresh Das SHRESTHA (Suresh Das SHRESTHA)

トリプワン大学・理学部・地質学科・教授