

令和 2 年 7 月 2 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H03111

研究課題名(和文) マルチ・トレーサーと数値モデルによる山地源流域の地下水滞留時間時空間動態の解明

研究課題名(英文) Spatio and temporal dynamics of groundwater residence time revealed by multi-tracer and numerical model in headwater catchment

研究代表者

辻村 真貴 (TSUJIMURA, Maki)

筑波大学・生命環境系・教授

研究者番号：10273301

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：国内外における湧水・地下水において滞留時間が長いほど、その背後にある山体の地下水貯留量が多いことが示された。また、滞留時間が30年以上の湧水・地下水の全菌数は、ある程度低い一定値に収斂する傾向が示された。これらのことは、滞留時間が数十年以上の湧水・地下水が、量的・質的に安定していることを示唆している。山地源流域の湧水・地下水における滞留時間を国内外において観測した研究事例は従来少なく、水源地の水資源動態を明らかにした点、学術的に評価される。さらに、持続可能な水の保全と利用の観点からも評価される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

湧水・地下水の滞留時間および微生物情報は、持続可能な地下水資源の保全と利用の観点からも重要である。滞留時間の数十年以上の湧水・地下水は、背後にある地下水貯留量は多く流量も安定しており、硝酸性窒素が検出されず、かつ含まれる微生物も相対的に少ないことが示された。すなわち、数十年以上の比較的長い滞留時間の湧水・地下水は、量および質的に安全安心な水資源であるということができ、水の滞留時間・微生物情報が、水の安全性を示す指標として利用可能であることが示唆されたという面で、本研究成果は学術的のみならず社会的意義があると思量される。

研究成果の概要(英文)：The spring and groundwater with longer residence time tend to show larger storage volume in the headwaters. Additionally, the density of prokaryotes in the spring and groundwater with longer residence time shows lower number. This suggests that the spring water and groundwater with longer residence time seem to be safe and stable in quantity and quality.

研究分野：水文学・水資源学

キーワード：マルチ・トレーサー フロン 六フッ化硫黄 滞留時間 地下水 湧水 滞留時間 微生物

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

流域の地下水流動を含めた水循環系を把握することは、水資源の利用や開発を行う上で、もっとも基本的で重要な水文学的・水資源学的研究課題である。なかでも地下水の年代(滞留時間)推定は、地下水の流動速度や更新時間を検討する上でもきわめて重要であり、水循環プロセスの研究にとって必要不可欠な課題であるといっても良い。

近年 CFCs (フロン類)、SF₆ (代替フロン: 6 フッ化硫黄) を利用し地下水の滞留時間を推定する方法が提案され、欧米を中心に適用事例が積み重ねられつつある (Busenberg and Plummer, 1992; IAEA, 2006)。CFCs は非常に安定な物質であり、CFCs 濃度は 1990 年代まで単調に増加し、その後減少している。一方、SF₆ は CFCs に代わり 1990 年代以降も大気中の濃度が増加し続けている。このため、滞留時間 60 ~ 20 年程度の水については CFCs を、10 年未満のそれは SF₆ を用いて、年代推定を行うことが、国際的な傾向になりつつあるが (浅井・辻村, 2010)、我が国の特に山地源流域において当該手法を適用した例は、これまで申請者らを除き、ほとんどみられなかった。

一方、地下水中には、溶存成分の他に様々な微生物が生息している。地下水中の全菌数は 10³ から 10⁶ cells/mL とされており (Pedersen, 2000)、山本 (2016) は富士山麓の湧水を対象に全菌数が少ない湧水において、滞留時間が長い傾向があることを示した。このことは、湧水中の全菌数が、地下水流動の動態を反映していることを示唆しており、すなわち、湧水ならびに地下水における微生物情報が、地下水流動のトレーサーとして利用可能性のあることを示している。

2. 研究の目的

本研究では、国内外各地における水文地質的に重要な岩質からなる源流域で、従来我が国の山地源流域において適用事例がきわめて少ない、6 フッ化硫黄 (SF₆)、フロン類 (CFCs)、微生物等のマルチ・トレーサーを用い、地下水・湧水の滞留時間および山体地下水資源貯留量の空間動態を明らかにする。加えて、とともに、詳細水文試験流域では、地下水を含めた集中的な水文観測を行い、地下水の滞留時間における時空間変動をモデル化・可視化する。これを、国土全体の山地に適用することにより、我が国山地源流域の地下水年代・貯留量マップを作成し、源流域における地下水資源の持続的利用方策を検討する。

3. 研究の方法

本研究では、国内および国外各地における水文地質的に重要な岩質からなる源流域で、6 フッ化硫黄 (SF₆)、フロン類 (CFCs) 等のトレーサーを用い、地下水・湧水の滞留時間および山体地下水資源貯留量の時空間動態解明を行うとともに、福島、栃木の詳細水文試験流域では、観測井による地下水を含めた集中的な水文観測を行い、山地源流域における地下水の滞留時間および貯留量の時空間変動を数値モデル化・可視化する。これを、国土全体の山地に適用することにより、我が国山地源流域の地下水年代・貯留量マップを作成し、源流域における地下水資源の持続的利用方策を検討した。

4. 研究成果

山梨県白州の湧水における 2018 年 ~ 2019 年において、滞留時間は、7 年から 25 年の間で変動し、全菌数は 3.3×10^3 から 9.0×10^2 cells/mL を示した。2018 年度は、滞留時間と全菌数の変動が見かけ上同期している傾向がみられたが、2019 年度においてはみられていない。10 月の台風 19 号後、11 月末において滞留時間が 7 年と過去最低値を示した。

国内各地の湧水における流量と全菌数の関係を図 1 に示す。2019 年白州における全菌数は、これまで国内において測定された中で、最も低い値に相当する。一方で、流量は多くはない。すなわち、低流量における全菌数の下限値を示すデータと位置づけられると思われる。

国内およびニュージーランドにおける各湧水の滞留時間と全菌数の関係を、図 2 に示す。ニュージーランドにおいては、滞留時間が 1 年未満から 100 年以上の地下水・湧水のサンプリングが可能であったため、ニュージーランド地質調査所の Uwe Morgenstern 博士と共同で実施した。サンプリングおよび滞留時間推定を Morgenstern 博士が、全菌数の計測を当研究室が実施した。図 2 において、滞留時間が 30 年以下の地下水・湧水は、全菌数の値が 10^7 cells/mL から 10^2 cells/mL まで変動するのに対し、滞留時間が 30 年以上のそれは、一定値に収斂する傾向がみられる。我が国のデータにおいて滞留時間が 40 年以上は富士山における湧水であるが、全菌数はおよそ 1×10^3 cells/mL である。一方ニュージーランドのそれは、およそ 8×10^3 から 1×10^4 cells/mL に収斂するようにみられる。各々の値が、地質条件や地形条件を代表しているものではないが、このことは、各地域において数 10 年以上の滞留時間からなる湧水・地下水は、固有の全菌数を示す傾向があることを示唆している。Morgenstern 博士は、ニュージーランドにおいて、滞留時間が 30 年以上の地下水は NO₃ 濃度が顕著に低いあるいは検出されないことから、地下水のリスク管理に滞留時間が利用可能であることを示唆している (Morgenstern, P.C.)。滞留時間が 30 年以上の湧水・地下水における全菌数に関し、ニュージーランドと我が国の間には約 1 オーダーの差があり、このことは、地下水の安全性という観点からも興味深い。今後滞留時間と全菌数のデータを蓄積することにより、水の安全性という観点から微生物情報が利用可能であることが示されることが期待される。

さらに地下水貯留量と全菌数の関係を、図 3 に示す。貯留量について、白州のこれまでの変動

範囲内と考えられる。

全菌数のみにより水の質的特性を代表し得るものではないが、以上の結果は地下水貯留量が多い源流域においては、量的にも質的にも地下水の安全性が高い可能性を示唆するものとして興味深い。地下水貯留量と全菌数との関係を合わせて勘案すれば、滞留時間の長い湧水は、その湧水の集水域にある地下水貯留量が多く、さらに全菌数が少ない傾向がある。水の量的、質的安全性の観点から、湧水の滞留時間という指標を改めて読み解くことが可能であることが示唆される。

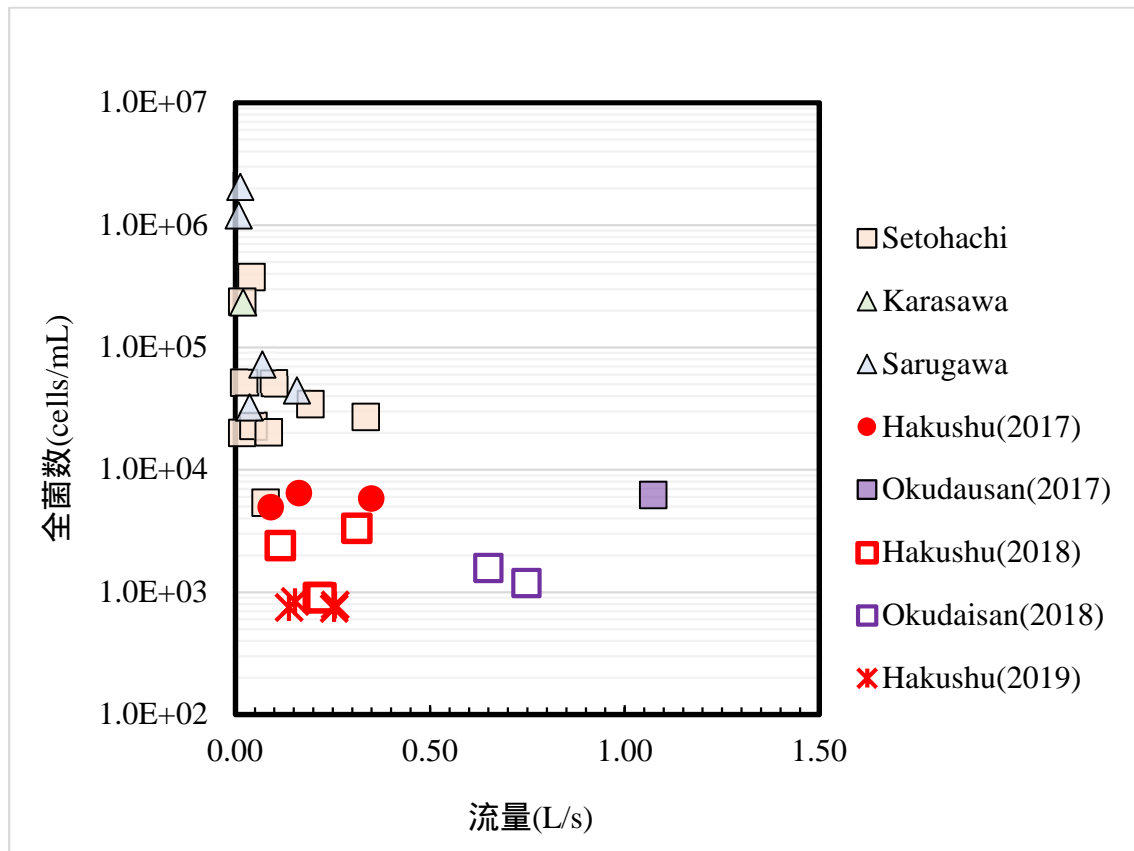


図1 全国湧水における流量と全菌数の関係

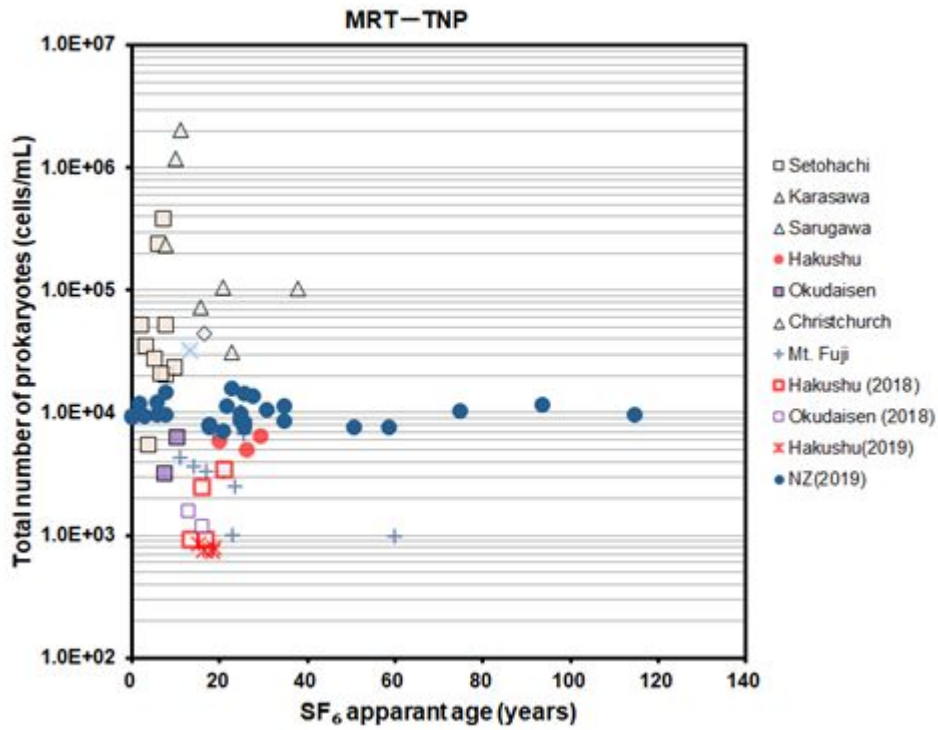


図2 各地の湧水における SF₆ 滞留時間と全菌数の関係

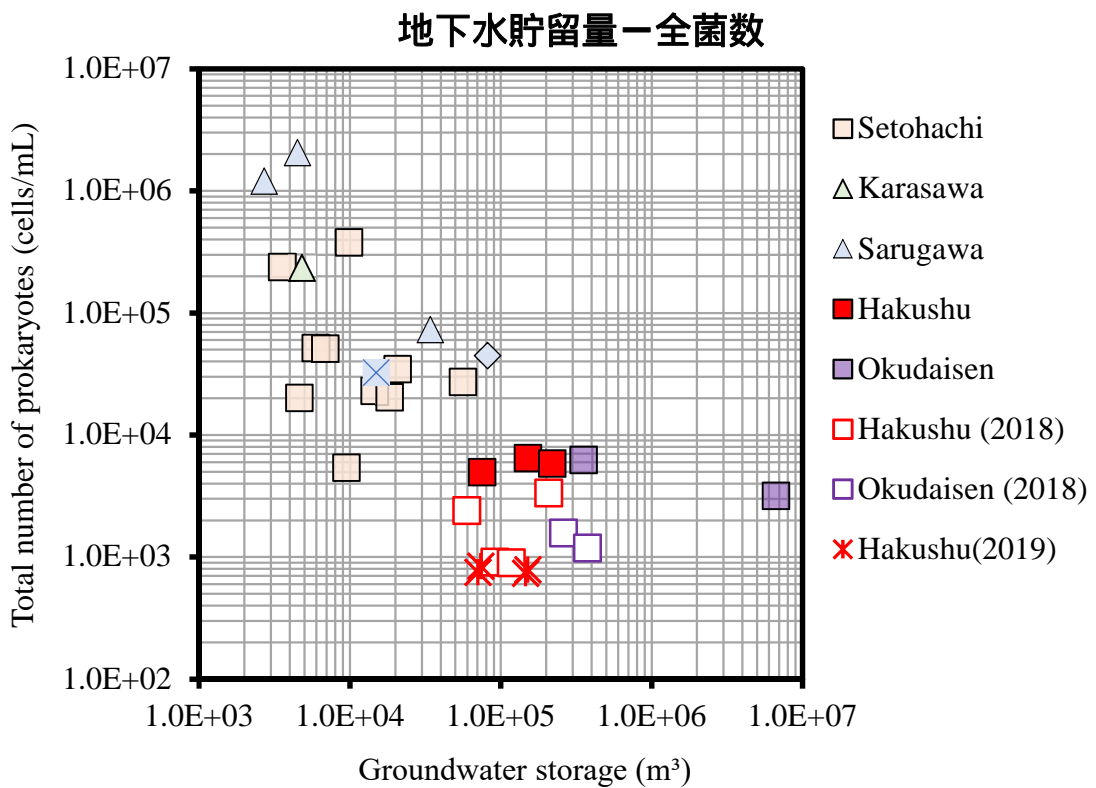


図3 全国湧水における地下水貯留量と全菌数の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 杉山 歩, 井原 哲夫, 辻村 真貴, 永翁 一代, 加藤 憲二, 丸井 敦尚	4. 巻 32
2. 論文標題 北海道幌延地域沿岸部の深層地下水における微生物分布の特徴	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 水文・水資源学会誌	6. 最初と最後の頁 245-254
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3178/jjshwr.32.245	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 -
1. 著者名 Tran, D.A., Tsujimura, M., Vo, L. P., Nguyen, V. T., Nguyen, L. D., Dang, T. D.	4. 巻 55
2. 論文標題 Stable isotope characteristics of water resources in the coastal area of the Vietnamese Mekong Delta	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Isotopes in Environmental and Health Studies	6. 最初と最後の頁 566-587
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1080/10256016.2019.1673746	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 Stewart, M. K., Morgenstern, U., Tsujimura, M., Gusyev, M.A., Sakakibara, K., Imaizumi, Y., Rutter, H., Raaij, R., Etheridge, Z., Scott, L., Cox. S. C.	4. 巻 57
2. 論文標題 Mean residence times and sources of Christchurch springs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Hydrology (New Zealand)	6. 最初と最後の頁 81-94
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Sakakibara, K., Tsujimura, M., Iwagami, S., Sato, Y., Nagano, K., Onda, Y.	4. 巻 20
2. 論文標題 Effectivity of dissolved SF6 tracer for clarification of rainfall-runoff processes in a forested headwater catchment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Hydrological Processes	6. 最初と最後の頁 892-904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1002/hyp.13398	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 浅井和由・辻村真貴・茂木勝郎	4. 巻 59
2. 論文標題 日本の都市域周辺における大気SF6濃度の分布 - SF6地下水年代への影響 -	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 地下水学会誌	6. 最初と最後の頁 345-354
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 榊原厚一・辻村真貴・浅井和由	4. 巻 59
2. 論文標題 六フッ化硫黄 (SF6) を用いた地下水の滞留時間推定における課題と展望	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 地下水学会誌	6. 最初と最後の頁 87-103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 Sakakibara, K., Tsujimura, M., Song, X., Zhang, J.	4. 巻 545
2. 論文標題 Spatiotemporal variation of the surface water effect on the groundwater recharge in a low-precipitation region: Application of the multi-tracer approach to the Taihang Mountains, North China	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Hydrology	6. 最初と最後の頁 132-144
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.12.030	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

〔学会発表〕 計3件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 榊原厚一・辻村真貴・恩田裕一・岩上 翔・佐藤雄太郎・長野倅介
2. 発表標題 六フッ化硫黄を用いた山地源流域の降雨流出時における湧水の滞留時間変動と流出プロセス
3. 学会等名 日本地下水学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 辻村真貴・山本千里・加藤憲二・永翁一代
2. 発表標題 地下水流動系研究における微生物トレーサー適用の可能性
3. 学会等名 日本地下水学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tsujimura, M.
2. 発表標題 Tracers approach for evaluating groundwater recharge by surface water in semi-arid regions
3. 学会等名 Expert Meeting on “Water Harvesting and Groundwater Recharge” (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

辻村真貴 (Maki Tsujimura) http://www.envr.tsukuba.ac.jp/~mktsuji/index.htm
--

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
研究分担者	恩田 裕一 (ONDA Yuichi) (00221862)	筑波大学・生命環境系・教授 (12102)	

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 分 担 者	勝山 正則 (KATSUYAMA Masanori) (40425426)	京都府立大学・生命環境科学研究科・教授 (24302)	