

平成 27 年 6 月 6 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23401002

研究課題名(和文)半乾燥地域における地下水と地表水との交流関係に関する研究

研究課題名(英文)Groundwater and surface water interaction in semi-arid regions

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) 12,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、地下水-地表水を一体の水循環系として位置づけ、安定同位体、無機溶存成分等のマルチトレーサーを用いた解析により、チュニジア北部および中国西部の内陸流域および沿岸流域を対象とし、地表水-地下水循環系の解明を行うとともに、地下水涵養に果たす貯水池起源水成分および塩水起源水成分の寄与率を検討した。

中国西部の内陸流域においては、山地から平野への地形的境界域において、地表水から地下水への局地的な涵養が生じていることが示された。チュニジア北部の内陸および沿岸流域では、浅層地下水涵養に占める貯水池の役割が25%から50%と推定された。これを量的に評価すると、最大で1500 mm/日に相当した。

研究成果の概要(英文)：We investigated groundwater and surface water interaction focusing on groundwater recharge by reservoir in semi-arid regions of China and Tunisia.

The stream water recharged specifically at the boundary between mountainous area and alluvial plain in North China Plain. The role of reservoir water in the groundwater recharge was estimated to be 25% to 50%, corresponding to 1500 mm/day approximately. The recharge rate from the reservoir should be noted as an important part, though the phenomena occurs at specific parts.

研究分野：水文科学

キーワード：半乾燥地 水資源 地下水 貯水池 地表水 塩水化

1. 研究開始当初の背景

地下水資源は、地球上において比較的容易に利用可能な淡水資源の 95% を占めていると言われており、水資源問題解決の鍵である。とくに乾燥・半乾燥地域においては、日用水の相当部分を地下水に依存しており、その依存度は増加する傾向にある (UNESCO, 2006)。地球温暖化や人間活動が地下水に及ぼす影響は、水資源が脆弱な乾燥・半乾燥地域において、より深刻になるとの予測もある (IPCC, 2007)。したがって、地下水を含めた利用可能な水資源量を正確に評価することは、人類にとって最も重要な課題であると思われる。

水循環プロセスにおいては、様々な時空間スケールにおいて、各水体は各々水の供給側と受給側の役割を担う。水資源の観点からは、地表水と地下水の相互関係は最も重要な水循環プロセスの一つである。乾燥・半乾燥地域においては、とくに地表水による地下水涵養、ならびに地下水から地表水への流出が、重要な役割を果たすことが近年指摘されている (Vazquez-Sune et al., 2007) こうした観点から、半乾燥地域の場の条件下において、比較研究はほとんど行われていないのが現状である。中国華北平原の白洋淀流域は、白洋淀湖が流域の末端に位置し、地下水の流出により維持されている (地下水流出域湖型)。一方、チュニジアのスビバ流域では、流域中流部にあるダム湖が、堆積岩の断層上に建設され、断層を通じたダム湖から地下への漏水が、地下水への涵養の役割を果たしている (ダム湖地下水涵養型)。この種のダムは、地中海沿岸の北アフリカ地域においてみられる特徴である。

地下水流動を含めた水循環プロセスは、対象地域における気候、地質、地形、植生、人間活動等の場の条件に大きく依存する。両流域とも半乾燥域に位置するが、白洋淀流域は比較的降水量が多く夏雨型である。このため、夏期における蒸発散が顕著である。さらに中国においては政策としての造林 (退耕還林) が行われ、森林面積の増加率が 2% を超える水準で (2000 ~ 2005 年)、世界で最も高い (FAO, 2006)。こうした条件は、とくに夏期の蒸発散を促進する効果があり、地下水への直接・間接の涵養量が減少する可能性が高いが、従来造林にともなう蒸発散量ならびに地下水涵養プロセスに関する研究はほとんどない。

2. 研究の目的

半乾燥地域の水資源問題は国際的に顕在化しているが、それに対する処方箋は、夏雨型、冬雨型といった降雨特性に依存するはずである。しかし、そうした視点からの比較研究はほとんどない。そこで、夏雨型の中国内陸部と、冬雨型のチュニジア内陸部において、造林、都市化等の人間活動が、地下水の涵養

プロセスに及ぼす影響を明らかにする。どちらの流域も、都市、山林、農地が混在しており、地表水・地下水の過剰利用によって、地下水位低下、水質悪化が問題となっている。この問題に対処するため、水素・酸素安定同位体等の水文トレーサーを用い、地下水と地表水の交流関係を、地下水の涵養・流出プロセスの観点から明らかにする。そして、降雨特性ごとに半乾燥地域の地下水涵養量・さらに利用可能地下水量を維持するための方策を提案する。

3. 研究の方法

中国西北部内陸流域、チュニジア北部内陸および沿岸流域を対象に、水素・酸素安定同位体、フロン等の水文トレーサーによる、降水、土壌水、地表水、地下水等の分析・解析を実施し、地表水 - 地下水の交流を検討する。また白洋淀流域では観測プロットをもうけ、森林の有無による蒸発散・地下水涵養量の評価を行う。一方スビバ流域では、ダム地点を起点とした調査ラインをもうけ、地表水による地下水涵養量の評価を行う。こうしたデータを、GIS 上で解析し土地条件等の情報との統合化を行い自然条件、人間活動条件と、地表水 - 地下水連続系との関係性を検討する。以上により、半乾燥地域における地下水 - 地表水の交流関係プロセスに基づいた類型化と、地下水涵養機構の一般化をはかる。

4. 研究成果

中国西部の内陸流域においては、山地から平野への地形的境界域において、地表水から地下水への局地的な涵養が生じていることが示された。また流域下流部の貯水池において、地下水涵養が顕著であることが示された。

チュニジア北部の内陸および沿岸流域では、浅層地下水涵養に占める貯水池の役割が 25% から 50% と推定された。これを量的に評価すると、最大で 1500 mm/日に相当した。涵養が生じている場所が、貯水池の近傍やそこから流出した水流近傍に限られるとしても、当該地域の年平均降水量が 400 mm ~ 600 mm であることを考慮すると、地表水から地下水への涵養はきわめて重要な役割を果たしていると言える。

さらにチュニジア北部の沿岸地域では、上流側に貯水池がある流域とない流域において地下水の塩水化の程度を比較した。その結果貯水池のある流域において、地下水中の塩素イオン濃度が顕著に低く、また地下水に占める貯水池起源水の影響が高いことが示された。このことから、貯水池が地下水への海水の影響を制御する効果があることが示された。

本研究により、半乾燥域の地下水において地表水の果たす量的・質的效果が、重要であることが実証的に示された。

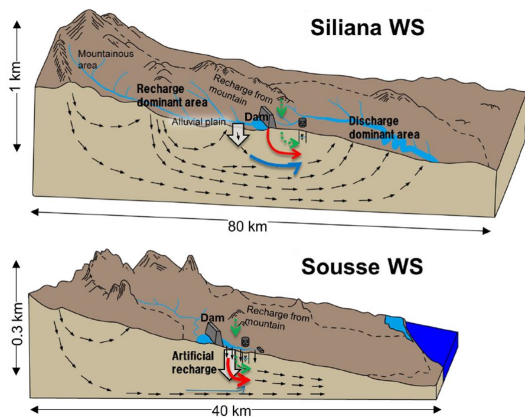


図 1. チュニジア内陸流域（上）および沿岸流域（下）における地表水 - 地下水循環系の模式図。

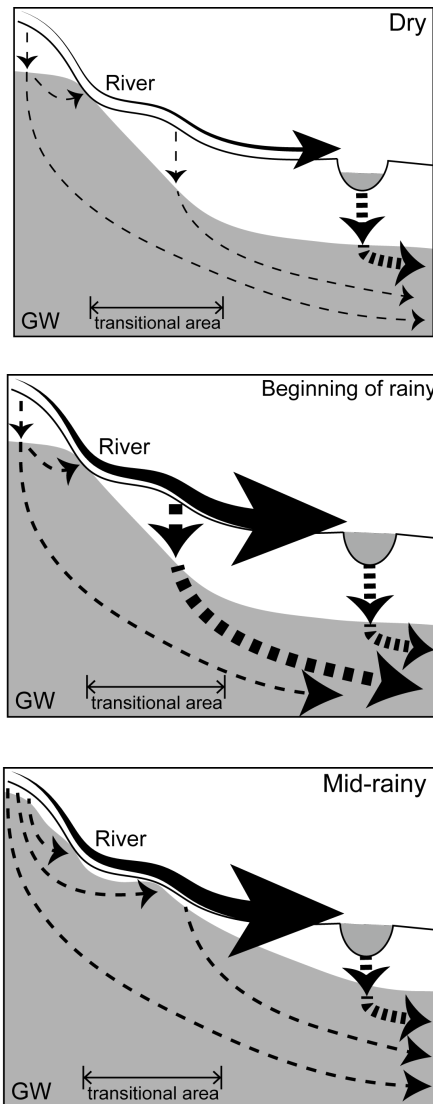


図 2. 中国西部内陸の流域における、地表水から地下水への涵養機構を示す模式図。上から順に、乾期、雨期初期、雨期中期を示す。

5. 主な発表論文等 〔雑誌論文〕(計 9 件)

- Belkhamza, N., Ouattara, L., Kawachi, A., Tsujimura, M., Isoda, H., Chtaini, A. and Ksibia, M. (2015): Electrochemical analysis of Endocrine Disrupting chemicals over carbon electrode modified with Cameroon's clay. *Journal of The Electrochemical Society*, 査読有, 162 (1) B1-B8, doi: 10.1149/2.0101501jes
- Chekirbane, A., Tsujimura, M., Kawachi, A., Isoda, H., Tarhouni, J. and Benalaya, A. (2014): 3D simulation of a multi-stressed coastal aquifer, northeast of Tunisia: salt transport processes and remediation scenarios. *Environmental Earth Sciences*, 査読有, 73(4). 1427-1442, DOI 10.1007/s12665-014-3495-z
- Abe, Y., Tsujimura, M. and Nakawo, M. (2014): Groundwater recharge revealed by multi-tracers approach and EMMA in semi-arid irrigated village, Heihe River Basin, Northwest China. *Journal of Arid Land Studies*, 査読有, 24 (1), 97-100.
- Chekirbane, A., Tsujimura, M., Kawachi, A., Lachaal, F., Isoda, H., Tarhouni, J. (2014): Use of a time-domain electromagnetic method with geochemical tracers to explore the salinity anomalies in a small coastal aquifer in north-eastern Tunisia. *Hydrogeology Journal*, 査読有, 22, 1777-1794, DOI 10.1007/s10040-014-1180-7
- An, T. D., Tsujimura, M., Phu, V. L., Kawachi, A. and Ha, D. T. (2014): Chemical characteristics of surface water and groundwater in coastal watershed, Mekong Delta, Vietnam. *Procedia Environmental Sciences*, 査読有, 20, 712 - 721. doi:10.1016/j.proenv.2014.03.085
- Nguyen, T. T., Tsujimura, M. and Shibasaki, N. (2013): Groundwater flow modeling: Considering water use in Tay Island, Dong Thap Province, southwest Vietnam. *Procedia Environmental Sciences*, 査読有, 17, 211-220. doi:10.1016/j.proenv.2013.02.031
- Chekirbane, A., Tsujimura, M., Kawachi, A., Isoda, H., Tarhouni, J. and Benalaya, A. (2013): Hydrogeochemistry and groundwater salinization in an ephemeral coastal floodplain CapBon, Tunisia. *Hydrological Sciences Journal*, 査読有,

58 (5), 1097-1110, DOI: 10.1080/02626667.2013.800202.

Chekirbane A., Tsujimura M., Kawachi A., Isoda H., Tarhouni J., Yamada W., Takahashi M., Amri F. (2012): Mapping of groundwater salinization using Time Domain Electromagnetic induction in a small coastal semi-arid aquifer in CapBon, North-eastern of Tunisia. Proceedings of the 22nd Salt Water Intrusion Meeting, 査読有, 17 - 22 June 2012, Armacao dos Buzios, Brazil, 56-59 (ISBN978-85-63243-03-4).

Tsujimura, M., Ikeda, K., Tanaka, T., Janchivdorj, L., Erdenchimeg, B., Unurjargal, D. and Jayakumar, R. (2013): Groundwater and surface water interactions in an alluvial plain, Tuul River Basin, Ulaanbaatar, Mongolia. Sciences in Cold and Arid Regions, 査読有, 5 (1), 126-132. DOI: 10.3724/SP.J.1226.2013.00126

[学会発表](計16件)

古川真理子, 辻村真貴, Anis, Chekirbane, 山田航, 河内敦, 高橋瑞穂, 磯田博子, Jamila Tarhouni、チュニジア北部内陸および沿岸流域における地下水-地表水循環系、日本水文科学学会学術大会、2014年10月4日~2014年10月5日、広島大学(広島県・東広島市)

柴山直之, 辻村真貴, 河内敦, 高橋瑞穂, 内田千智, 山田航, Jamila Tarhouni、チュニジア北東部沿岸流域における地下水の時空間変動、日本水文科学学会学術大会、2014年10月4日~2014年10月5日、広島大学(広島県・東広島市)

Thu Thi Nguyena, Maki Tsujimura, Le Phu Voc、Shallow Groundwater and Mekong River Water Interaction in Tay Island, Dong Thap Province, Southwest Vietnam、日本水文科学学会学術大会、2014年10月4日~2014年10月5日、広島大学(広島県・東広島市)

辻村真貴, 池田浩一, 富松幸亮, 田中正, Janchivodori, L., Erdenechimeg, B., Jayakumar, R., モンゴル・ウランバートル市のトゥール川河畔域における地下水涵養機構の解明 - UNESCO-Chairプログラムによる水文科学的地下水研究の国際貢献 -、日本水文科学学会学術大会、2014年10月4日~2014年10月5日、広島大学(広島県・東広島市)

榊原厚一, 辻村真貴, 宋献方, 張杰、中国・白洋淀湖上流域におけるマルチトレーサー手法を用いた地下水涵養・流動プロセスの解明、日本水文科学学会学術大会、2014年10月4日~2014年10月5日、広島大学(広島県東・広島市)

Tsujimura Maki、The importance of

groundwater and surface water interaction in hydrological cycle under climate change、19th Congress of the Asia and Pacific Division of the International Association for Hydro-environment Engineering and Research(招待講演)、2014年9月21日~2014年9月24日、ベトナム・ハノイ Sakakibara Koichi, Tsujimura Maki, Song Xianfang, Zhang Jie、Groundwater Recharge and Flow Regime Revealed by Multi-tracers Approach in a Headwater, North China Plain、General Assembly of European Geophysical Union 2014、2014年4月28日~2014年5月2日、オーストリア・ウィーン

辻村真貴, 古川真理子, 河内敦, Jamila Tarhouni, 磯田博子, Anis Chekirbane, 山田航, 高橋瑞穂、Surfacewater and groundwater cycle system revealed by stable isotopes and inorganic solutions as tracer in an inland and a coastal watersheds, northern Tunisia、Tunisia-Japan Symposium on Science, Society and Technology(招待講演) 2013年11月15日~2013年11月17日、チュニジア・ハマメット

古川真理子, 辻村真貴, 河内敦, Jamila Tarhouni, 磯田博子, Anis Chekirbane, 山田航, 高橋瑞穂、Groundwater Flow System Revealed by Stable Isotopes and Solute Constituents Tracers in Semi-Arid Region, Northern Tunisia、国際水文科学会・国際海洋物理科学会・国際地震地球内部物理学学会合同会議、2013年7月22日~2013年7月26日、スウェーデン・ヨーテボリ

榊原厚一, 辻村真貴, 宋献方, 張杰、Interaction between surface water and groundwater in Baiyangdian Lake Watershed, North China Plain、国際水文科学会・国際海洋物理科学会・国際地震地球内部物理学学会合同会議、2013年7月22日~2013年7月26日、スウェーデン・ヨーテボリ

張杰, 辻村真貴, 宋献方, 榊原厚一、Interaction between shallow and deep aquifers in Baiyangdian Lake Watershed, North China Plain、国際水文科学会・国際海洋物理科学会・国際地震地球内部物理学学会合同会議、2013年7月22日~2013年7月26日、スウェーデン・ヨーテボリ

Maki Tsujimura、Role of bedrock groundwater in rainfall-runoff processes in headwater catchments underlain by different lithology、US-Japan Joint Seminar on Catchment Hydrology and Biogeochemistry、2013年3月4日、Hawaii Imin International

Conference Center at Jefferson Hall
East-West Center, Hawaii
Maki Tsujimura, What kind of talent is
necessaly to solve environmental
issues ? - A challenge of
Environmental Diplomatic
Leader(EDI)Program in University of
Tsukuba-, International Conference on
“ Challenges and Opportunities for
Sustainable Development ”, (招待講演)
2012年10月4日、Ulaanbaatar, Mongolia
Maki Tsujimura、 Importance of
groundwater-surface water interaction
in hydrological cycle and integrated
water management in arid and semi-arid
regions、東大 APIEL・筑波大 EDL・熊本大
GeLK 合同国際シンポジウム、「持続可能
な発展のための統合水資源管理」(招待講
演) 2012年8月10日~2012年8月14
日、中国・甘肅省
榊原厚一、辻村真貴、宋献方ほか、中国華
北平原白洋淀流域における地下水・地表
水の交流関係、日本地球惑星科学連合
2012年大会、2012年5月21日、幕張メ
ッセ(千葉県・美浜区)
山田航、辻村真貴、チュニジア全土におけ
る安定同位体 18O 及び D の空間分布、日
本地球惑星科学連合 2012 年大会、2012
年 05 月 24 日、幕張メッセ(千葉県・美
浜区)

6. 研究組織

(1)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

(2)研究分担者

恩田 裕一 (ONDA, Yuichi)
筑波大学・生命環境系・教授
研究者番号：00221862