

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 4 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24720371

研究課題名(和文)水資源再編期における流域圏水需給システムの適正化

研究課題名(英文)Study on propriety of water supply and demand system on watershed scale

## 研究代表者

山下 亜紀郎(Yamashita, Akio)

筑波大学・生命環境系・助教

研究者番号：60396794

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではまず、日本の一級水系109流域を対象に総水需要と水資源賦存量を試算し、水需給ポテンシャルの変化からみた地域的傾向を考察した。その結果、流域特性や水需給比には明確な地域性があり、流域の水需給ポテンシャルを規定する地域的背景にはいくつかのパターンがあることが明らかとなった。

次に、東京の表流水および地下水利用の変遷と地下水保全の現状、芦田川下流域の福山市の都市用水需要の変遷、渇水対応などを調査した。これらから、公的な広域水道システムと、ローカルな水源を用いた小規模な水利用システムが併存して相互補完することで、持続可能な水利用が実現することが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：Firstly, this study tried to estimate total water demand and the amount of available water resources by the major river basin. As a result, geographical backgrounds specifying water supply and demand potential in a river basin have some regional patterns. River basins with relatively high water supply and demand ratio are widely distributed around the country, and the specifying factors are regionally diverse.

Secondly, This study organized the history of urban water use in Tokyo with focusing on two water sources such as surface water and groundwater, and also investigated the change of urban water demand and drought management in Fukuyama. For sustainable urban water use, the efforts both to avoid more water demand increase and to maintain local water resources are necessary. Sustainable urban water supply system should include both large-scale extensive water supply system and local distributed water supply system.

研究分野：地理学

キーワード：流域圏 水需給 地下水 農業用水 都市用水 水利システム

## 1. 研究開始当初の背景

日本の水資源政策は、需要増に伴う新規水源の開発から、需要の停滞(あるいは減少)に伴う既存水源の再編の時代に入ったといえる。この間、水資源問題の関心は、既存農業水利に新規都市用水がいかに参入するかから、異常渇水時の水資源の融通に移ったといえる。

水資源の融通策として以前から議論されてきたのは、農業用水から都市用水への水利転用である。しかし農業の衰退によって水田面積が減少し農業用水に余剰が生じて、日本では伝統的に既得権益としての農業水利権が強く、都市用水への水利転用がなかなか進まないのが現状であった。そのために、新しい水需要に対して、これまでは専ら新規に水源開発を行うことで対応してきた。

一方、水資源の融通に関して、もう1つの代替水源として注目すべきものが地下水である。従来水資源開発により身近な井戸や河川といった「近い水」から山間地域に建設されたダムという「遠い水」への依存を強めたが、今後はダムに依らない河川政策の必要性が叫ばれており、「近い水」としての地下水(井戸)に焦点が当てられるべきである。日本では従来、地下水は「私水」とみなされ、また過去に大都市を中心に過剰取水による地盤沈下問題を引き起こしてきた経験から、地下水は公的な水利システムの対象外とされ、地下水から河川水への水源の切り替えが行われてきた。しかしながら、地下水取水規制による地下水位の上昇が、地下構造物の浮上等の新しい問題を引き起こしており、地下環境の維持のためにはむしろ涵養量を超えない範囲で地下水を「適正に利用する」ことが指摘されはじめている。

## 2. 研究の目的

本研究課題は、水資源再編期といえる現代において、水需給がひっ迫した流域圏を対象に、効果的かつ持続可能な再編を進める方策を探ることを目的とする。具体的には、上記の背景をふまえ、日本の水資源政策においてこれまで十分に実現してきたとはいえない農業用から都市用への水利転用と水利システムへの地下水の編入の2つに着目する。

具体的な研究対象地域としては、自然的な地域単位としての河川流域にその流域の水資源の需要圏(農地や都市)も含めた「流域圏」を想定しているが、まず、流域の水資源容量や水需要量といった水需給の量的側面に関するデータ群を用いた空間解析によって、水資源の再編が必要な需要のひっ迫した流域圏を抽出する。そして、抽出されたいくつかの流域圏について、現行の水利システムの空間構造を明らかにする。

その上で、研究対象とされた流域圏において、宅地化の進展等により農業用水需要の減少が顕著な地域、および地下水の利用規制によりむしろ地下水位が上昇傾向にある地域

を事例として選定し、詳細な現地調査によってその実態や問題点を明らかにすることで、それらをふまえながら水利転用および地下水編入の可能性について考察する。

## 3. 研究の方法

### (1) 流域水需給の定量的空間解析

本研究ではまず、日本の一級水系109流域を対象とし、流域の水需給を定量的に把握しうる指標に関するデータを収集し、データベースを構築した。水資源容量に関する指標としては、国土数値情報気候値メッシュ(平年値メッシュ)の降水量などを用いた。水需要に関する指標としては、国勢調査地域メッシュ統計の人口、事業所・企業統計調査地域メッシュ統計の製造業事業所数、国土数値情報土地利用メッシュの水田面積と畑地面積を用いた。

国土数値情報流域・非集水域メッシュから、一級水系109流域の流域界データを作成し、ArcGIS上で各指標のデータと重ね合わせることで、流域ごとの人口、製造業事業所数、水田面積、畑地面積、降水量を算出した。そしてこれらの値を用いて以下に示す方法で、各流域の水道用水需要、工業用水需要、農業用水需要、水資源賦存量を試算した。

各流域の水道用水需要は、流域人口に1人当たり年間上水使用量の値を乗ずることで試算した。工業用水需要は、1事業所当たり淡水補給水量に各流域の従業者30人以上の製造業事業所数を乗ずることで試算した。農業用水需要については、単位面積当たりの用水使用量を地方別に算出し、その値に流域ごとの水田面積、畑地面積を乗ずることで試算した。水資源賦存量は、各流域の降水量から、平均蒸発散量に流域面積を乗じた値を引くことで試算した。

### (2) 事例地域における水利システムの空間構造と水利用の実態調査

日本の首都として都市用水需要が最大で、過去の地盤沈下や現在の地下構造物浮上などの地下水問題を抱える東京都を1つめの事例地域とした。具体的には、東京の水道事業の拡張と表流水源の増強、および地盤沈下と地下水揚水について東京都水道局と環境局の資料をもとに時系列的に整理した上で、水道水源としての地下水利用の変遷と地下水保全の現状を、いくつかの自治体の事例調査により明らかにすることで、将来の持続可能な都市用水利用のあり方について考察した。

2つめの事例地域としては、(1)の分析によって相対的に水需給がひっ迫している流域として抽出された中から、下流域での水田の宅地化が著しく進展している、広島県東部の芦田川流域とその最下流の都市である福山市を選定した。国土交通省福山河川国道事務所、広島県、福山市の資料をもとに、流域

スケールでの水利用の空間構造および、福山市の都市用水需要の時系列的変遷と水道事業の拡大、各用途の利水者による渇水時の対応策について明らかにすることで、持続可能な水利システムについて考察した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 流域水需給の定量的空間解析

本研究の分析の結果、流域特性や水需給比には明確な地域性があり、流域の水需給ポテンシャルを規定する地域的背景にはいくつかのパターンがあることが明らかとなった。

相対的に水需給比の高い流域は、三大都市圏を中心としながらも、東北から関東、中部地方の太平洋側、さらに近畿、中国、四国地方の瀬戸内海側から九州地方北部など全国に広く分散しており、その要因についても水資源賦存量の小ささに規定されるタイプ、都市用水需要の大きさに規定されるタイプ、農業用水需要の大きさに規定されるタイプ、その中間あるいは複合的なタイプといったように地域的に多様であることが明らかとなった。

本研究の試算値は、全国スケールで同水準のデータが取得できる指標を用いた推計であり、あくまでも相対的な流域間比較をすることが目的であった。今後さらなる分析に向けた課題としては、以下のことが挙げられる。

まず、農業用水需要の試算に用いた水田と畑地の水使用比、および水資源賦存量の試算に用いた蒸発散量の値は、全国値を用いざるを得なかった。しかしこれらの値は、各地域の農業の実態や気候・土壌・土地被覆条件によって異なるはずであり、それらを反映した試算ができれば、個々の流域の絶対的な水需給特性が理解できよう。

また、本研究の水資源賦存量の試算に用いた降水量データは平年値であったが、現実に水需給が逼迫し渇水リスクが高まるのは、降水量が平年値を大きく下回るような少雨時である。したがって、各地域でもっとも少雨だった年のデータを反映した試算も、渇水問題の議論をする際には必要であろう。

いずれにしろ水需給バランスの問題は、単独の流域単位で収束するものではなく、地域ごとに事情も異なっており、その解決策の提示には、よりローカルかつミクロなスケールでのデータ解析や現地調査が必要である。とはいえ本研究のような日本全国を対象とした相対的理解は、そのような実際の現場における調査・分析や解決策の検討にとって、その基礎的データとして有益な示唆を与えるものである。

なお、この研究の成果は、研究代表者のホームページで「流域水需給データマップ」として公開している。

##### (2) 事例地域における水利システムの空間構造と水利用の実態調査

東京の都市用水利用の変遷を全体的に

みれば、上水道の水源は当初から主に表流水であり、需要の増大に対しては、水源をより遠くの表流水に求めることで対応し、その一方で地下水利用は抑制されてきた。工業用水源は、工業用水道の建設によって従来の地下水から表流水への切り替えがなされた。このことから、東京の都市用水利用に関わる水需給空間は、従来の地下空間も含めた3次元的なものから、地下空間を介さない2次元のかつ広域なものへと変化してきたと捉えることができる。

20世紀の100年で東京の水道事業が推進した広域化と表流水源の増強および施設拡張は、水需要増大期においては用水の安定供給と地盤沈下問題の鎮静化に大きな貢献を果たした。しかし、水需要停滞・減少期といえる現代においては、これまでの広域化、拡大化とは異なる方策が求められる。そのような中、多摩地区では水道水源としての地下水利用が現在でもある程度維持されており、地下水保全のためのさまざまな取り組みがなされている。水需要増大期が終わり、持続可能な水利用を目指した水資源の再編期に入った現代において、このような取り組みは、環境保全という観点からだけでなく、身近な水資源としての地下水を持続的に利用する趣旨からも再評価されるべきである。保全を担う地域社会にとっても、生活水源や水環境問題に対する住民意識の向上や水文化の醸成につながる。

したがって、水道事業の経営や管理は東京都に集中・一元化しても、水源施設に関しては、大規模な遠くのダム等に全面的に依存するのではなく、小規模分散型でそれぞれの地域の身近な地下水源も、その供給能力を確保し水使用量を増やさない工夫をすることで、水需給のバランスを維持しながら利用していくことが望まれよう。

地下水揚水は確かに地盤沈下を引き起こす恐れがあるものの、かといって遠くの源流域や河口部における水資源開発が安易に容認されるものでもない。したがって、水道水源が表流水であろうが地下水であろうが、持続可能な水利用のためには、需要を増やさない工夫と身近な水源を再評価し保全する取り組みの両方が必要である。災害時の緊急水源の確保や、渇水時のリスク分散という観点からも、遠くの表流水を水源とする大規模な広域水道システムと、近くの地下水源を活用した小規模な分散水道システムが併存して相互補完することによって、持続可能な都市用水利用システムが実現するといえる。

芦田川流域は、全国的にみて相対的な水需要の大きい流域であり、それは相対的な降水量の少なさと、下流域の都市用水需要および上流域の農業用水需要によるものである。

流域全体の河川水利としては、主な支流や上流域の支流なども農業用水などに利用されているものの、特定水利権も含めると芦田

川本流への依存度が非常に高い。

最下流の都市用水としての福山市上水道は、八田原ダムの供用開始によって、かつてより利水安定度が増したとはいえダムへの依存度が高い。一方で、福山市上水道を含む下流域の利水者は、それぞれ渇水対策としてさまざまな取り組みをしている。農業用水利用者は、取水制限がある場合、田植期や出穂期が重ならないように調整したり、用水路自体に水を貯留し有効活用したりしている。水道事業者は、浄水場内に緊急水源としての井戸を整備したり、市内各地に配水池を整備したりしている。このようなローカルな水資源を補完的に活用する工夫は、水需給の逼迫した地域における持続的な水利用にとって重要なことである。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

山下亜紀郎・金 延景・石坂 愛(2015)  
「GISとメッシュデータを用いた日本の一級水系の流域特性分析」『人文地理学  
研究』35, 1-14. 査読無.  
<http://www.geoenv.tsukuba.ac.jp/~chicho/pub/WWW/Hugeo/35/01.pdf>

山下亜紀郎 (2013) 「水需給ポテンシャルの変化からみた日本の一級水系流域の地域的傾向」『GIS 理論と応用』21, 107-113. 査読有.

山下亜紀郎 (2013) 「東京の都市用水利用の変遷 水源としての表流水と地下水に着目して」『地学雑誌』122, 1039-1055. 査読有.  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jgeography/122/6/122\\_122.1039/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jgeography/122/6/122_122.1039/_pdf)

中尾浩子・孫 鳴澤・細谷美紀・山下亜紀郎 (2013) 「飯田市松尾地区における伝統的井水と大規模農業用水路の役割」『地域研究年報』35, 105-119. 査読無.  
<http://www.geoenv.tsukuba.ac.jp/~chicho/pub/WWW/nenpo/035/07.pdf>

〔学会発表〕(計 2 件)

山下亜紀郎 「芦田川流域における水需要の変化と水需給特性」2015 年日本地理学会春季学術大会, 日本大学(世田谷区), 2015 年 3 月 28 日.

山中博希・山下亜紀郎 「神戸市・兵庫運河における運河利用の変化と地域活性化の取り組み」水資源・環境学会 2013 年度研究大会, 飯田文化会館(飯田市), 2013 年 6 月 22 日.

〔図書〕(計 1 件)

山下亜紀郎 (2015) 『水環境問題の地域

的諸相』古今書院, 186p.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.geoenv.tsukuba.ac.jp/~akio/project.html>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

山下 亜紀郎 (YAMASHITA, Akio)

筑波大学・生命環境系・助教

研究者番号: 60396794