

都市用水の水利体系と流域の地域的条件

— 那珂川流域と鬼怒・小貝川流域を事例として —

山下 垂紀 郎*

Urban Residential Water Supply-demand Systems and Their Regional Factors on Watershed Scale: A Comparative Study of Naka and Kinu-Kokai River Basins

Akio YAMASHITA*

Abstract

The purpose of this study is to propose a method for analyzing regional factors to understand the quantitative characteristics of water supply-demand system on watershed scale. The Naka River basin and the Kinu-Kokai River basin are the study areas selected for a comparative discussion. In particular, urban residential water supply systems of Mito and Mitsukaido cities, which are located in far downstream areas of the Naka and Kinu-Kokai River basins, respectively, are surveyed. In this study, three regional factors are examined—landform, land use, and water rights. Concretely, basin form ratio and basin relief ratio by main tributary basin are calculated first. Then, land use combination types by tributary basin are clarified using modified Weaver's method. Finally, the spatial and quantitative characteristics of water demand in the Naka and Kinu-Kokai River basins are analyzed with data on water rights. As a result of the case study, the analytical indicators and methodological approach this study proposes demonstrate their utility in a discussion of problems associated with urban water resources on watershed scale.

Key words : water supply-demand system, watershed, landform, land use, water right, Naka River, Kinu and Kokai Rivers

キーワード : 水利体系, 流域, 地形, 土地利用, 水利権, 那珂川, 鬼怒・小貝川

I. はじめに

1) 従来の研究

近年、河川や湖沼といった水環境に関する研究において、それらの集水域である「流域」という視点が重要視されている。環境工学や土木工学、行政学などにおける河川管理の研究でも、河川を「線」としてとらえる従来の概念に対して、流域という「面」を念頭に置くことの必要性が強調さ

れている。例えば太田（1999）は、流域圏単位の統合的水管理システムの確立が必要であると述べ、具体的には、①各水循環経路（地表水経路・地下水経路・人工的経路）の統合的管理、②水量・水質・水辺空間の統合的管理、③治水・利水・水環境の統合的管理、④水循環に影響を与える土地利用の統合的管理、⑤流域圏内行政区画および各種水関係機関の統合的管理、という5つの統合化が少なくとも必要であるとした。

* 酪農学園大学環境システム学部地域環境学科

* Department of Regional Environmental Studies, Rakuno Gakuen University

上記のような河川管理に対して河川水利に関しても同様に、流域単位でその具体的方法や限界について考察することが不可欠である。河川水利は、農業用、水道用、工業用、発電用などに大別されるが、志村（1982）は、「流域には許容量が存在し、それを越えた人口、産業を養うことはできない」と指摘し、伊藤（1987）も、「流域の垣根を越えた導水や過剰な取水は、水利秩序を乱し、水利構造を不安定にする」と述べている。しかし現実には、横浜市や福岡市、高松市などといった大河川流域にない大都市において、流域変更や流域外導水路による河川水利用が行われている。佐藤・佐土原（2006）は、水の需要地としての都市域とその水源流域を含めた地域概念として「拡大流域圏」という語を用いている。このような流域圏という考え方は、都市の増加する用水需要を満たす上では、ある程度はやむを得ないといえるが、水需給圏の過剰な広域化は、森滝（2003）のいう「遠い水」への依存による「近い水」の荒廃をもたらすことにもなる。したがって、ある都市の水利事情を分析する場合、まず、その都市が含まれる流域という地域単位に着目して、水利体系の全体像を把握し、地理的諸条件との関係を考察することは重要である。

従来の水利体系に関する地理学ならびに関連諸学の研究を展望すると、まず、水利調整に関する一連の研究が挙げられる。これらの研究は新沢（1955, 1962）に端を発し、それまで農業用水で占められていた河川水利に都市用水が本格的に参入してくる高度経済成長期以降に盛んとなり、1980年代前半までに一定の蓄積をみた。

この当時における水利研究に関しては、秋山（1988）で詳しく展望されているが、当時の水利問題の主役は農業水利の側であり、都市用水需要の増加に対して、農業水利秩序がどのように変化してきたか、あるいは農業水利に支配されていた河川水利にどのように都市用水が参入していくかが主な議論の対象であった。これらの諸問題は現在においてすでに解決されたとはいいい難いものの、近年は当時ほど活発に議論されることが少なくなったといえる。

代わって、河川水利における現代的課題として取り上げられるようになってきているのは、渇水時における水資源の確保と水利調整であり、特に全国的な渇水に見舞われた1994年以降、切実な課題としてさまざまな分野で議論されている。例えば、志村（1996）は、ダムに依存する都市人口の増加が渇水問題を深刻化させると述べ、渇水対策として、一時的水利転用を制度化すること、都市において排水の再利用システムを日頃から整備しておくことなどを挙げた。伊藤（2001）も、木曾川水系の水利システムの問題点を検討し、渇水対策として、ダム等の水源施設をさらに整備し、渇水時にも余裕のある水量を確保する方向と、水源は拡大せず、既存水利権を調整（農業用水の一時的水利転用など）することにより対応する方向に加え、節水型都市の確立や現行の基準点流量規制に基づく水利システムの改革が考えられると述べた。

このような現代的状況をふまえた水利調整や用水の安定確保のための議論を推進するような、流域スケールでの環境情報の蓄積や分析方法論の提示が新たに求められるといえよう。

こうしたなか、流域という地域単位に着目しデータ解析を行う研究は近年盛んになっており、それは、GIS やリモートセンシングといったコンピュータ解析ツールの普及と、デジタル化された空間データの整備・公開の進展によるところが大きい。

まずDEM（数値標高モデル）を用いた流域地形解析の事例としては、中山（1998）がある。中山は阿武隈山地を対象に、DEMから抽出した流域区分ごとに11の地形特徴量を計測し、多変量解析によって類型化した。

土地利用に着目したものとしては、杉森・大森（1996）が、多摩川中下流域を対象に細密数値情報の土地利用データを用いて、1 km²メッシュごとに修正ウィーバー法によって土地利用組合せ類型を抽出し、その変化パターンを解析した。また、杉森（2004）は、多摩川水系の3つの支流を対象に、DEMと細密数値情報を組み合わせ、標高や傾斜による土地利用変化パターンを導

出した。王尾・鈴木（2001, 2002）は、那珂川流域の主要な8支流域について、国土数値情報の地形データと土地利用データを集計し、那珂川流域全体における上流から下流へのそれらの変化を把握した。

これらに加え、流域のさまざまな環境条件を包括的に扱い、総合的な流域の環境特性を解明しようとした研究もある。李ほか（1989）は、多摩川中流域を対象に、500 m メッシュ単位で地質、地形、土壌、植生、土地利用、人口密度に関するデータベースを構築し、多変量解析によって流域の地域区分を行った。王尾（2008）は、那珂川、鬼怒・小貝川、霞ヶ浦の各流域を対象に、明治期から現在にかけての土地利用変化データを作成し、標高、地形分類、地質、土壌のメッシュデータを変数とした多変量解析によって導出された類型地域や河川からの距離帯ごとに、土地利用変化の特徴を明らかにすることで、水系構造からみた流域全体の景観特性を解明しようとした。

また、山下（2004）は日本の一級河川全109流域を対象に、国土数値情報土地利用メッシュからそれぞれの流域の土地利用特性と地域的差異を相対的に考察した。

以上に挙げた研究はいずれも、景観としての流域に着目し、人間活動と自然環境との関係を客観的なデータ解析によって空間的・可視的に把握しようとしたものであり、流域の環境保全や環境管理計画への適用を意図している。

他方、河川の水質を流域の環境条件と関連づけて分析した研究も蓄積されている。井上ほか（2000）、鶴木ほか（2002）は、北海道の農地が卓越する流域において、河川の水質と流域の農地や畜産農家の分布、河畔の土地利用、融雪の水質との関係を分析した。嶋・堤（2004）は、青森県駒込川の田代集水域を事例に牛の放牧と草地の利用が河川水質に及ぼす影響を検討した。小口ほか（2004）は、関東～中部日本の主要河川の懸濁物質濃度のデータとその観測地点上流部の地形、土地利用、人口密度のデータから、懸濁物質濃度の空間分布とその規定要因を検討した。木村・岡崎（2008）は、多摩川流域を対象に、

河川からの距離により土地利用が河川水窒素濃度に与える影響が異なるかを検証した。

ここで挙げたものをはじめとする流域環境解析に関する従来の研究によって、地形や土地利用、地質、植生、水質などに関する流域スケールでのデータベースの整備や因子生態学的な類型地域構造の把握、指標間の関係解析などは、ある程度進展してきたといえる。このような流域環境特性の分析は、流域の水資源容量や水需要を推し量る手段としても有効であるといえるが、従来の研究では主に、流域の景観や水資源の「質」に関する議論はなされているものの、水資源の「量」に言及したものは少ない。

2) 研究の目的と事例地域の概要

以上の研究動向をふまえ本研究では、都市用水の水利体系やそれに関わる問題の理解の基礎としての、流域水需給の量的側面の把握に主眼を置いた地域的条件の分析手法を提案することを目的とする。事例研究の対象としては、互いに隣接し、面積も類似している那珂川流域と鬼怒・小貝川流域を選定し、両流域の下流に位置する水戸市と水海道市¹⁾については、水道用水供給の詳細な水利体系や水利事情に関する調査を行った。一般的に、河川水利用に関しては、流域の下流より上流の利水者の方が、そして後発の都市用水より既存の農業用水の方が有利といわれている。したがって、下流の都市用水事業体は最も不利であり、その水利事情の実態は、流域の水需給バランスを象徴するものと考えられる。

那珂川は那須岳に端を発し、那須高原の丘陵地を流れ、八溝山地の西麓に沿って南下する。そして栃木県と茨城県の県境で八溝山地を横断し、茨城県の県庁所在地である水戸市内を経て、ひたちなか市と大洗町の境界で太平洋に注ぐ。流路延長は150.0 km、流域面積は約3,200 km²である。

鬼怒川は流路延長176.7 km、小貝川は111.8 kmで、源流をそれぞれ鬼怒沼と旧南那須町大赤根の湧水に求めることができる。鬼怒川と小貝川は1629（寛永6）年の治水事業の際に分離されて以来、別々の河川であるが、元来は現在の下妻市比毛地先で合流する1つの河川であった。両河川

は現在でも位置的に非常に接近しており、河川管理上からも1つの流域とみなされている。鬼怒川上流域は急峻な山地・火山地であるが、鬼怒川は中流以降、そして小貝川は全区間にわたって、なだらかな台地・低地部を流れる。鬼怒川は守谷市で、小貝川は取手市と利根町の境界で、それぞれ利根川に合流する。鬼怒・小貝川流域の面積は、約2,800 km²である。栃木県の県庁所在地である宇都宮市が鬼怒川の中流域に位置し、下流域には首都への通勤圏にある、守谷市や取手市などの都市が立地する。

II. 使用データと分析方法

まず、流域内水道事業者の水源別取水量のデータと水道水源に関する資料から、流域規模での水道用水需給の空間的特性を概観する。その際、両流域に関連する広域水道にも言及し、水利体系の全体像の把握に努める。そして下流に位置する水戸市と水海道市において、現地での聞き取り調査および資料収集によって、水道用水の水源と取水口的位置、水源別取水量、給水人口、普及率、給水区域、給水系統などの詳細とその時系列的変遷を明らかにする。

次に、そのような水利体系や水需給に関連すると考えられる流域の地域的条件の分析方法であるが、本研究ではまず、地形と土地利用という、汎用的なデジタルデータが公開され流域研究として多くの蓄積のある2つの指標を取り上げ、流域スケールでの定量的、空間的特性について解析する。地形データは、国土地理院発行の「数値地図50 mメッシュ標高」、土地利用データは、国土交通省の「国土数値情報土地利用メッシュ」を用いる。

地域的条件としては他にもさまざまな指標が考えられるが、その中から本研究が地形と土地利用の2つに特に着目するのは以下の理由による。地形に関しては、流域の水資源容量との相関が指摘されている。例えば田林(1990)は北陸地方の3つの扇状地において、流域の水資源容量と標高との関係を分析した。さらに、ある流域内における山地や台地、低地などといった地形特性は、森林や農地、都市的土地利用の分布とも無関係ではなからう。

本研究では、水利の空間システムとの関連性の検討を念頭に置いた指標として、流域単位の水平的な地形特徴量と垂直的な地形特徴量をそれぞれ表す代表的な指標である流域形状比と流域起伏量比を、両流域の主な支流流域単位で算出し、その地域的傾向を分析する。主な支流流域とは本研究では、両流域で本流に直接流入する、1級河川区間5 km以上の支流の流域を意味する。那珂川流域からは23、鬼怒・小貝川流域からは25の支流流域が抽出された²⁾。流域形状比とは、流域の平面形態が円形や方形に近いかな否かを表す指標であり、流域最大辺長の2乗を流域面積で割った値で示される。つまり流域形状比は、流域の長辺を一辺とする正方形の面積と流域面積の比であり、値の小さい流域ほど流路延長に対して集水面積が広いことを意味し、大きい流域ほど形状が細長い。流域起伏量比は、流域最高高度と最低高度との差を幹川流路延長で除した値である。つまり、値が大きい流域ほど急峻であり、小さいほど平坦である。この2つの指標によって、各支流流域の相対的な集水能力を推測する。

次に土地利用であるが、Buttle(1994)やWang(2001)、小口ほか(2002)などが、河川の水資源容量にとって、流域の土地利用分布が重要な規定要因であることを実証している。一方で、河川水需要の主要な部分を占める農業用水の需要地である農地や、都市用水の主要な需要地である都市の分布は、水需要の空間的な配分にも強く影響を及ぼす要素である。つまり、土地利用は、流域の水供給にも水需要にも大きく関わっていると考えられる。本研究では、分析単位は地形分析と同様の支流流域区分とし、各支流流域での代表的な土地利用組合せを修正ウィーバー法によって導出し、流域全体の土地利用の空間構造を把握する。

さらに本研究では、流域の水需要の全体像を定量的・空間的に把握できる指標として水利権のデータも分析する。河川水を利水目的で使用するためには、河川法に基づき、河川管理者へ申請し許可され水利権を得なければならない。したがって、そのような水利権のデータは、河川の流域のような広大な範囲の水利用を網羅的に分析するのに適

表 1 那珂川流域と鬼怒・小貝川流域の水道用特定水利権一覧 (2002年).

Table 1 List of specified water rights for residential use in Naka and Kinu-Kokai River basins (2002).

	水利権名	支流域名	取水口位置	最大取水量 (m ³ /s)	水利権取得年	水源
那 珂 川 流 域	水戸市水道		那珂川下流	1.6410	1958	自流
	ひたちなか市水道		那珂川下流	0.4410	1962	自流
	茂木町水道		那珂川中流	0.0622	1966	自流, 東荒川ダム
	栃木県北那須水道		那珂川上流	0.6000	1970	深山ダム
	那珂町水道		那珂川下流	0.0390	1972	自流
	大洗町水道		那珂川下流	0.0600	1981	自流
	矢板市水道	荒川	宮川	0.0010	1981	寺山ダム
	塩谷町水道	荒川	荒川	0.1100	1982	東荒川ダム
	茨城県中央広域水道	濁沼川	濁沼川	0.3000	1986	飯田ダム
	茨城県中央広域水道		那珂川下流	0.3430	1989	自流, 霞ヶ浦導水
	黒磯市水道		那珂川上流	0.2000	1990	深山ダム
	西那須野町水道		那珂川上流	0.0900	1990	深山ダム
	黒磯市水道	木の俣川	木の俣川	0.0160	1990	深山ダム
	鬼 怒 小 貝 川 流 域	日光市水道	大谷川	荒沢川	0.1390	1953
藤原町水道			鬼怒川上流	0.3752	1963	川治ダム
宇都宮市水道			鬼怒川中流	1.2440	1976	川治ダム
鬼怒水道用供水供給事業			鬼怒川中流	0.4700	1981	川治ダム
宇都宮市水道		大谷川	大谷川	0.1670	1993	自流
今市市水道		大谷川	大谷川	0.1670	1993	自流
栗山村水道		男鹿川	三河沢川	0.0347	1998	三河沢ダム

国土交通省常陸工事事務所および下館工事事務所の資料より作成.

Sources: data from Hitachi and Shimodate Construction Work Offices.

している。しかし従来の研究をみるかぎり、流域スケールで水利権データを扱い、その空間特性を分析したものはほとんどない。本研究では、水利権データにある農業用、水道用、工業用、その他の各用途別の取水量と取水口の位置から、那珂川流域と鬼怒・小貝川流域の河川水利用全体の定量的・空間的特性についても分析する。データは、国土交通省常陸工事事務所、同下館工事事務所、茨城県と栃木県の河川課から得た。

そして最後に、那珂川と鬼怒・小貝川流域全体の水利体系および下流の水戸市、水海道市における水道用水供給システムの実態と、地形、土地利用、水利権といった地域的条件との関連性を考察することで、本研究が採用した指標とその分析方法の妥当性を検証し、今後に向けたさらなる検討課題を整理する。

III. 流域内水道事業者の水道水源

本章ではまず、那珂川、鬼怒・小貝川両流域内に取水口を有する水道事業者が、いつ、どこを水源として水利権を獲得したのかをみることで、流域内の水道用水に関わる水需給体系について概観する。これについては山下 (2007) が、農業用や工業用も含めて取水規模の大きい特定水利権に関して包括的に述べているが、ここであらためて水道用水のみを取り上げ表に整理した (表 1)。

那珂川流域には 13 件の水道用特定水利権がある。那珂川本流に取水口を有するものが 9 件を占める。そのうち上流のものは深山ダムを水源としているが、下流のものは那珂川の自流を水源としている。1980 年代に支流で取得された 3 件の水利権はいずれも同支流の上流に建設されたダム

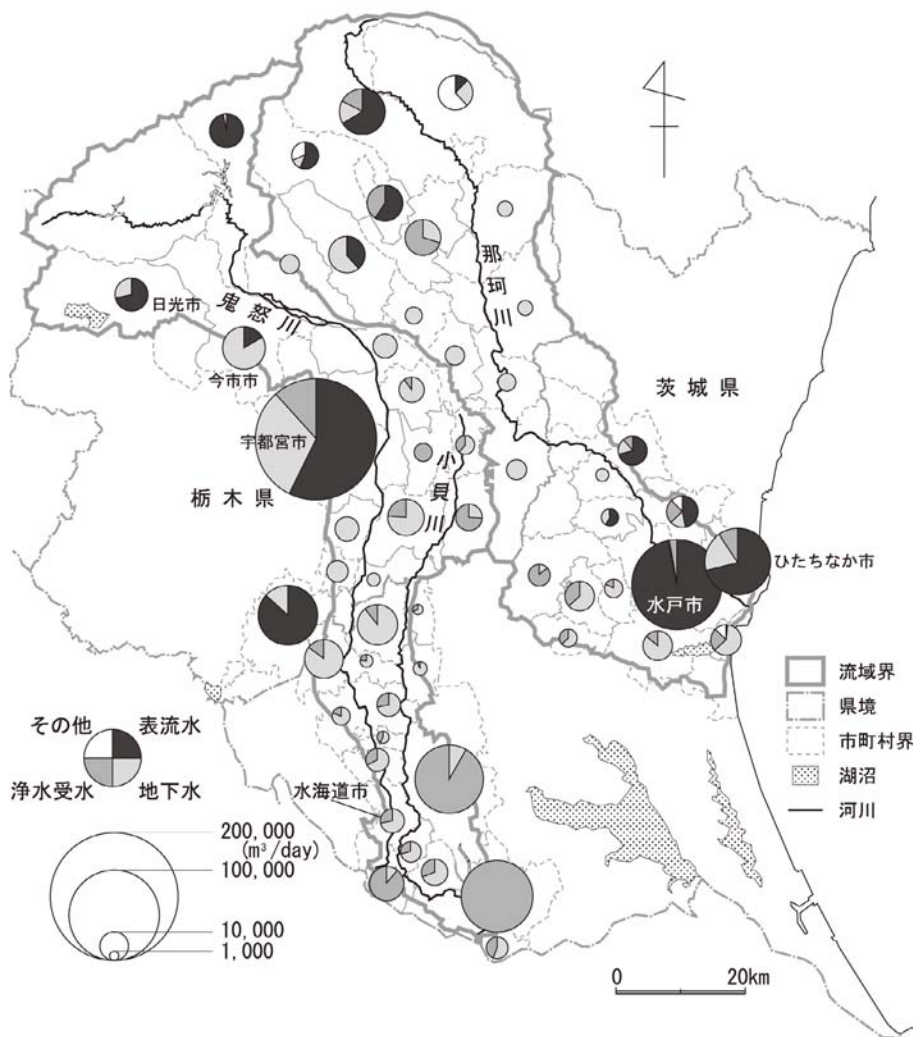


図 1 那珂川流域と鬼怒・小貝川流域の関連市町村における上水道の水源別日平均取水量（1999年度）。栃木県環境衛生課『栃木の水道』および茨城県生活衛生課『茨城県の水道』より作成。

Fig. 1 Average quantity of taken water for residential use per day in Naka and Kinu-Kokai River basins by water source for each municipal waterworks (1999).

Sources : data from sanitation sections of Tochigi and Ibaraki Prefectures.

を水源にしている。このように新規水需要を支流域での水資源開発によってまかかってきたことは那珂川流域の特色の1つといえよう。

一方、鬼怒・小貝川流域内の水道用特定水利権は7件ある。うち3件は上流域の中禅寺湖から流れる支流である大谷（だいや）川の自流を水源とする。鬼怒川上流に立地する川治ダムを水源と

するものが3件あるが、うち2件は鬼怒川中流で取水され、宇都宮市とその周辺地域に水道用水を供給している。下流の茨城県側には特定水利権のみならず、そもそも水道用水源としての表流水の取水がない。

次に図1は、給水人口5,001以上の上水道における水源別取水量を示している。浄水受水とは

県による広域水道用水供給事業からの給水を指す。那珂川流域では、取水量の小規模な市町村は地下水をもっぱら水源とするものが多く、それらは主として中流域に分布する。そして上流域の市町村では中流域より取水量が多く、水源も表流水や地下水など多様である。下流域の人口規模の大きい水戸市やひたちなか市なども那珂川の表流水を多く取水している。水道普及率も流域全体にわたって高く、現在、大半の市町村で80%を超えている。下流域の水戸市、ひたちなか市も90%以上である。

一方、鬼怒・小貝川流域では上流域の旧藤原町や日光市、旧今市市、宇都宮市で表流水が取水されている以外は、すべての市町村が地下水と広域水道に依存している。那珂川流域と比較して明確な差異がみられるのは、下流の茨城県側であり、全水道事業体が浄水受水している。これは当地域に表流水を取水する水道水利権が存在しないという先述のこととも一致する。流域市町村の水道普及率は現在も全般的に高くなく、下流の茨城県側では80%以下の市町村が多数を占める。

鬼怒川や小貝川は利根川の支流であり、当地域の広域水道事業は、利根川水系水資源開発基本計画の一環として整備されたものであるため、ここでその概要について触れておく。利根川水系水資源開発基本計画は、水資源開発促進法に基づき1962年に定められた。その計画区域は首都圏の1都6県にまたがる広大なものであり、現在も思川開発事業やハッ場ダム建設事業、霞ヶ浦導水事業、湯西川ダム建設事業等が進捗中である。すでに稼働している水源施設としては、利根川上流ダム群と呼ばれる、藤原ダム、相俣ダム、藪原ダム、矢木沢ダム、下久保ダム、草木ダム、奈良俣ダム、そして渡良瀬遊水地がある。これらは利根川上流域の群馬県内に立地し、主に埼玉県や東京都へ灌漑用水や都市用水を供給しているが、遠くは千葉県の東房総地域の灌漑用水源にもなっている。一方、主に栃木県、茨城県、千葉県へ用水を供給するために、1978年、鬼怒川上流に建設されたのが川治ダムである。川治ダムは鬼怒川上流域にすでに建設されていた川俣ダム、五十里ダ

ム、現在建設中の湯西川ダムとともに鬼怒川上流ダム群と呼ばれている。川俣ダム、五十里ダムは元々水力発電用として戦前に建設されたダムであるが、川治ダムは、鬼怒川流域内の栃木県日光市や宇都宮市に加え、流域外の成田市をはじめとする千葉県北部などにも灌漑用水や都市用水を供給するために建設された。現在建設中の湯西川ダムも同様である。

その中で、鬼怒・小貝川下流域の水道事業体が用水供給を受けている広域水道事業は、1960年に給水を開始した茨城県南広域水道と1988年給水開始の茨城県西広域水道である。前者の水源は、霞ヶ浦、渡良瀬遊水地および湯西川ダム事業に関連する暫定水利権である。後者の水源は、霞ヶ浦用水と奈良俣ダム、およびハッ場ダム事業に関連する暫定水利権である。霞ヶ浦用水とは、水資源開発公団（当時）によって1993年に建設された、霞ヶ浦から小貝川を経て鬼怒川に至る人工地下水路である。

以上、流域規模からみた両流域の水道用水需給の空間的特性をまとめると以下ようになる。那珂川流域では、下流の茨城県側に多くの水利権が設定されており、自流域内の水源で水需要を充足している。上流の栃木県側では取水量こそ少ないものの、水道用水源を最寄りの支流の上流に求めている事例もある。鬼怒・小貝川流域では上流域の大谷（だいや）川流域では河川自流水を水源としているが、中流域の市町村は上流の大規模ダムに依存している。下流には自流域内に水源を有する水利権が存在せず、流域外に水源を求める広域水道に依存している。次章では、このような流域規模での特性をふまえながら、それぞれの下流域に位置する水戸市と水海道市の水道用水供給システムの特徴とその変遷について詳しく述べる。

IV. 下流の都市における水道用水供給システムの変遷

1) 水戸市の事例

那珂川下流の水戸市で上水道が供用開始されたのは1932年であった。第二次世界大戦の空襲で水戸市の水道施設は大きな被害を受けたが、

表2 水戸市上水道における那珂川本流の許可水利権の推移。

Table 2 Change of intake amount by approved water right for residential use in Mito city.

取得年月日	新規増減 (m ³ /s)	累計 (m ³ /s)	備考
1930年7月29日	約0.116	約0.116	10000 m ³ /dayをm ³ /sに変換
1957年3月4日	約0.155	0.271	
1958年10月22日	0.255	0.526	
1968年7月8日	0.167	0.693	内、暫定水利権0.167 m ³ /s
1971年3月31日	-0.167	0.526	
1971年5月18日	0.500	1.026	内、暫定水利権0.276 m ³ /s
1976年3月31日	0.290	1.316	
1982年2月3日	0.325	1.641	内、豊水水利権0.325 m ³ /s

『水戸の水道史』ならびに水戸市水道部の資料より作成。

Sources: "History of waterworks in Mito" and material from Waterworks Section of Mito city.

1947年には普及率は60.0%まで回復した。しかし戦後の急速な市域拡大と人口増加に対し、給水人口は伸び悩んだ。そのため1952年から第一期拡張事業が実施され、当初の芦山水源地のやや上流に枝内取水塔と浄水場が建設された。引き続き1962年からの第二期拡張事業では、枝内浄水場の浄水送水施設の増強と給水区域の拡大に伴う配水管の布設が実施された。そのために那珂川からの水利権も、1958年にそれまでの0.271 m³/sから0.526 m³/sへ増加された(表2)。

1966年からの第三期拡張事業では、新たな取水口が枝内取水塔に併設された。また、市北西部の開江町と全隈町にまたがる山林に開江浄水場が建設された。この事業に併行して水利権の拡張も図られ、市は1965年に新たに0.834 m³/sの水利権の追加を茨城県に申請した。しかし県側は、河川維持用水確保の観点から取水量の増加に難色を示し、結局1968年に1971年3月までの期限付き水利権として0.167 m³/sのみが許可された。第三期拡張事業を計画どおりに完了するためには、少なくとも0.500 m³/sの取水量の増加が必要なため、市は1971年に再び水利権の追加を申請した。その結果、渡里台地土地改良区の農業水利権放棄分0.224 m³/sと、将来的な水源手当てを必要とする暫定水利権0.276 m³/sの増加が許可された。これによって、許可水利権は1.026 m³/sとなった。

1974年からの第四期拡張事業では、開江浄水

場の拡充を実施するとともに、那珂川左岸を含む市北部一帯と南東部の上大野地区に給水していた4つの簡易水道を上水道の給水区域に編入した。これらの簡易水道はいずれも地下水を水源としていたが、上水道に編入されることによって水源は那珂川の表流水に変更された。

また、第四期拡張事業期間中の1976年には、水戸市は茨城県の藤井川総合開発事業に22.5%の費用負担をすることによって、当初の暫定水利権0.276 m³/sを確保するとともに、新規に0.058 m³/sの水利権を得た。さらに、茨城県管那珂川工業用水道の余剰水0.232 m³/sも水戸市上水道の水源として振替えることができた。この結果、那珂川からの許可水利権は合計で1.316 m³/sに増加した。

1980年からの第五期拡張事業では、水道専用の人工貯水池である楮川ダムを築造し、それに併設した浄水場も建設された。那珂川支流の田野川沿岸の谷地に建設された楮川ダムは、既存の河川を堰止めて貯水する一般的なダムとは異なり、那珂川の枝内取水塔より取水された用水を導水ポンプによって注水するという、河道外貯留による原水貯水池である。このダム建設に伴い、1982年に那珂川からさらに0.325 m³/sの豊水水利権を獲得した。豊水水利権とは河川流量が基準点流量を超えている時のみ取水が許可される水利権である。つまり楮川ダムの建設は、那珂川の豊水時の水を当ダムに誘導して確保し、渇水時において

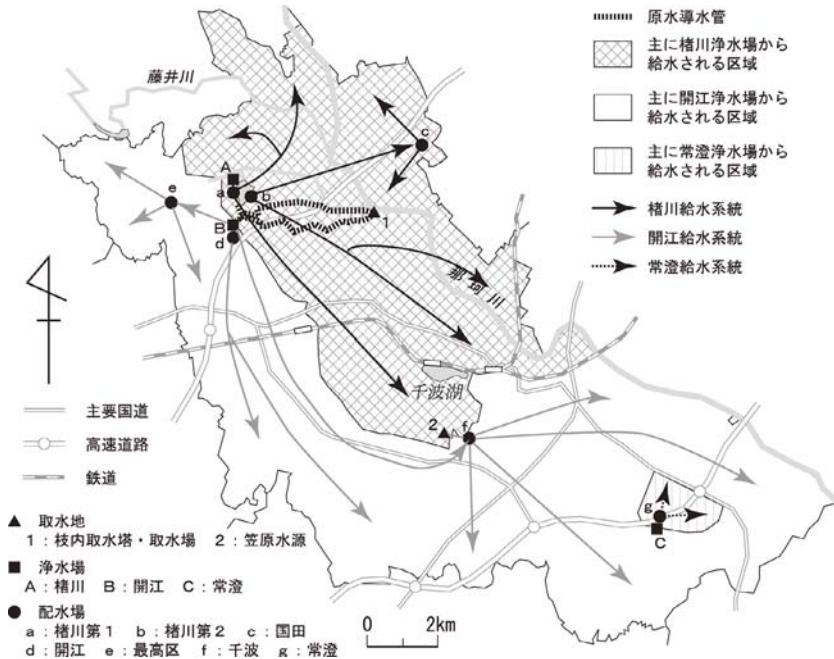


図 2 水戸市における上水道の給水系統 (2002 年)。
水戸市水道部の資料より作成。

Fig. 2 Municipal water supply system in Mito city (2002).
Sources: materials from Waterworks Section of Mito city.

も那珂川の流況に影響されず、常に安定した上水道の供給を達成することを目的としていた。

これまで述べた五期にわたる拡張事業によって水戸市の上水道は、那珂川からの水利権を拡大し取水量を増加させてきた。水道普及率も 1974 年に 90% を超え、1986 年には 99% に達し、ほぼすべての市域内人口に対する安定的な給水が実現された。現在の水戸市の上水道給水体系を示したのが図 2 である。現在では、那珂川の枝内地先にある 2 か所の取水口から取り入れられた河川水は、原水導水管によってそれぞれ楮川ダム（浄水場）と開江浄水場に送られる。楮川浄水場の主な給水区域は、水戸市の中心市街地を含む市中央部から北西部にかけての一角である。開江浄水場からは、下市地区と国道 50 号バイパス沿いの市西部から南部にかけて、さらには旧常澄村も含む区域へ給水されている。これら 2 系統と広域水道を受水する常澄浄水場とによって、全市へ量的に

安定した水道用水が供給されている。

以上のことから、水戸市の上水道は、昭和初期の創設期からの市域拡大と人口増加に伴う水需要の増大に対して、県営事業への費用負担や農水・工水の余剰分振替などにより、那珂川からの取水量を増加させることができ、自流域内の河川水を取水することでその需要を満たしてきた。水源別取水量の変遷をみても、従来から那珂川の表流水が 9 割以上を占め、地下水や近年における広域水道の受水は、あくまでも補助的な役割しか果たしていない。

2) 水海道市の事例

鬼怒・小貝川下流の水海道市において上水道が供用開始されたのは 1964 年であった。それ以前は、各戸が井戸を所有していたり、あるいは集落単位で共同の簡易水道を運営していた。それらの井戸は現在でも、上水道未設区域を中心として利用されている。

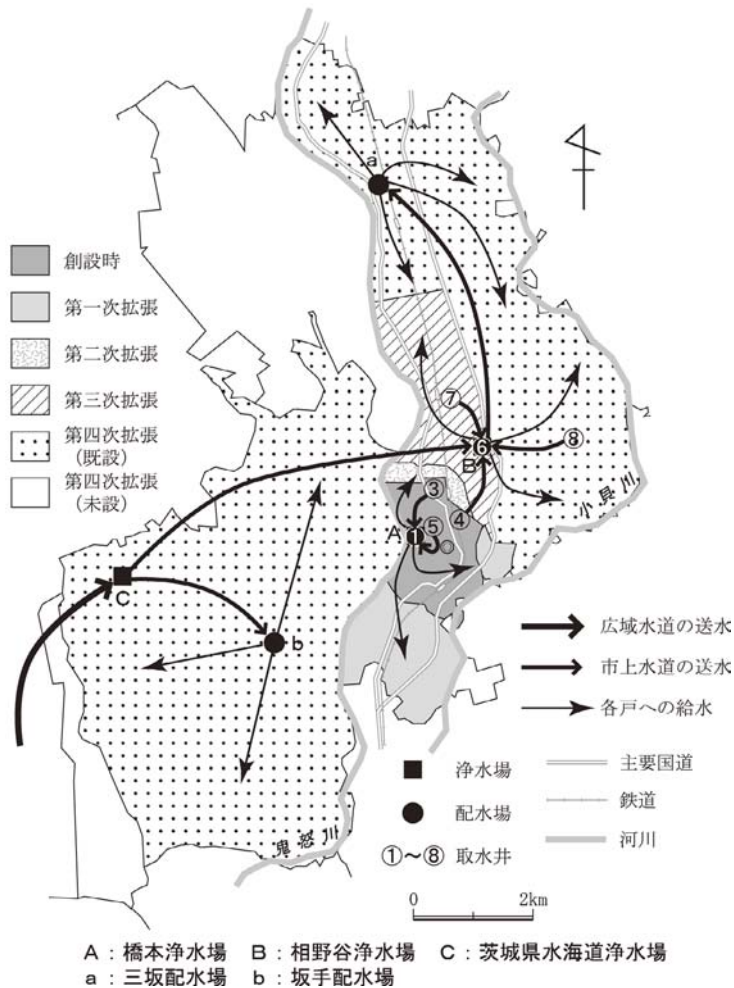


図 3 水海道市における上水道給水区域の拡大と現在の給水体系 (2002年)。

取水井1号は橋本浄水場に、6号は相野谷浄水場に併設。取水井2号は廃止されたため省略した。水海道市企画課および水道課の資料より作成。

Fig. 3 Expansion of residential water supply area and current water supply system in Mitsukaido city (2002).

Deep wells 1 and 6 are located at the water treatment plants. Deep well 2 is omitted from this figure because it was closed. Sources : materials from Planning Section and Waterworks Section of Mitsukaido city.

図3に水海道市における上水道給水区域の変遷と現在の給水体系を示した。創設期の給水区域は、諏訪町をはじめとする市中心部に限られていた。水源は取水井1号による地下水であり、隣接する橋本浄水場を経て給水された。1967年に着工された第一次拡張事業において、取水井2号が掘削されたが、数年後に水質不良のため廃止された。代わって、1971年に取水井3号、1974年

に同4号が掘削された。新規水源開発はその後にも継続され、1978年の第二次拡張事業では同5号が、1981年着工の第三次拡張事業では同6、7、8号が供用開始された。また、1983年には相野谷浄水場が新設された。その結果、給水区域も北部へと拡大した。

このように水海道市上水道は、従来、水源のすべてを地下水に求めてきた。取水井はいずれも深

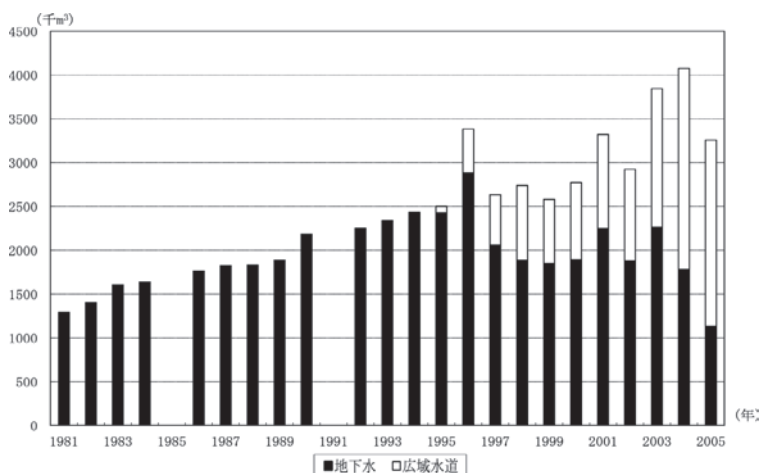


図4 水海道市における上水道の水源別年間取水量の変遷。
1985, 91年はデータ欠損。『茨城県の水道』より作成。

Fig. 4 Change in annual quantity of water taken for residential use in Mitsukaido city by water source.
Data are not available for 1985 and 1991. Source: "Waterworks in Ibaraki Prefecture".

井戸であるが、表流水と比較して、量的な限界があることは否めなかった。水海道市の人口はこの30年間停滞傾向であるにもかかわらず、給水人口の増加率は低く、普及率も1989年までは40%に満たなかった。

それに対して、1991年に着工された第四次拡張事業では、さらなる給水区域の拡大と給水人口の増加のために、茨城県西広域水道の導入が計画され、1995年7月1日から受水を開始した。これによって給水区域は市の西部や北東部へ飛躍的に拡大した(図3)。

しかしながら、水海道市のような小規模市町村における広域水道の導入は、市町村の経済的負担を増大させ給水原価の高騰を招いている。水海道市における広域水道導入以前の給水原価は、1 m³当り約230円であったが、2002年には、290円台に上昇している。これは水道料金として利用者の負担となる。鬼怒・小貝川下流域の16事業体の水道料金をみても、おおむね人口規模の小さい事業体ほど高い傾向にある。水道管の口径20 mmで1か月に20 m³使用した場合の16事業体における水道料金の平均値は4,120円であり、5,000

円を超える事業体もある。一方で那珂川下流の水戸市における給水原価と水道料金はそれぞれ、156円と2,593円であり、水海道市のように広域水道に大きく依存する鬼怒・小貝川下流域の水道事業体における水道費用の高さがうかがえる。上水道の水源別取水量の変遷(図4)からは、今後も水海道市の水道水源は、地下水の割合が減少し、代わって広域水道の割合が増加していくと推測され、住民の上水道に対する経済的負担は一層高まると考えられる。

以上、水海道市の水道用水供給システムとその変遷についてみてきた。その結果、もっぱら地下水を利用してきた市営水道から、広域水道への依存度が年々高まっている一方、自流域内の河川は従来から水源として利用されてこなかったことが明らかとなった。

V. 水道用水供給システムの差異をもたらす流域の地形的条件

1) 地形

地形特性としてまず、那珂川流域の各支流の流域形状比(図5)をみると、ほとんどが3.0か

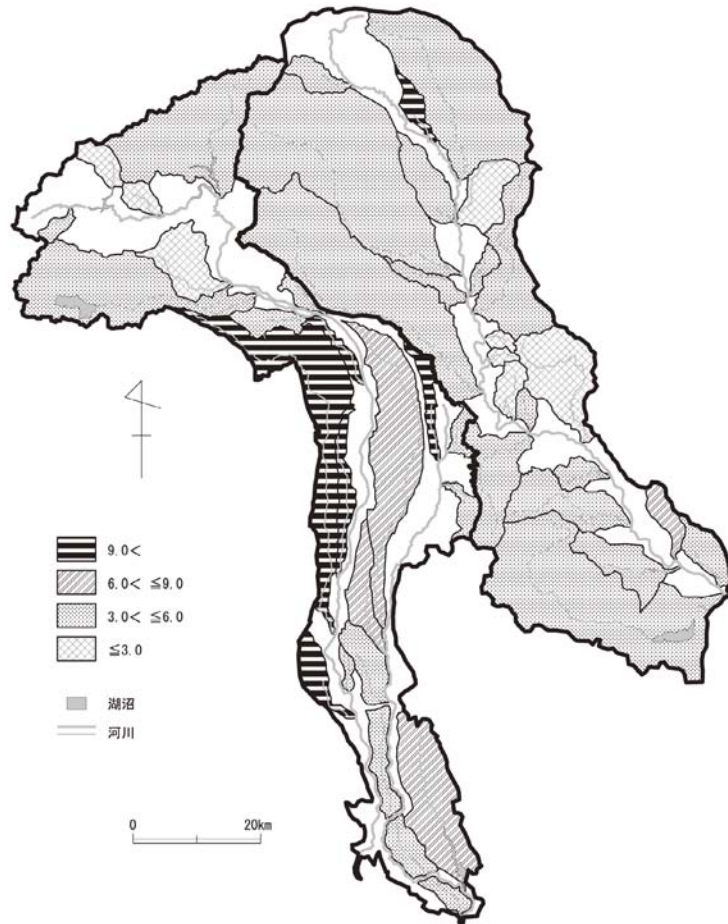


図 5 那珂川流域と鬼怒・小貝川流域における主な支流流域の流域形状比 (1997年).
 Fig. 5 Basin form ratio in the Naka and the Kinu-Kokai River basins by main tributary basin (1997).

ら 6.0 の間の値であり、6.0 より大きいのは上流域の高野川と下流の早戸川流域のみである。那珂川左岸の小支流流域には 3.0 以下の値を示すものもある。高山 (1974) によれば、日本の主要河川における流域形状比の平均値は、おおむね 5.0 前後である。したがって、那珂川流域の各支流流域は、いずれも平均的にやや流域幅が広いという特徴を有する。

鬼怒・小貝川流域の各支流流域の流域形状比をみると、値が 6.0 以下なのは鬼怒川上流域と小貝川下流域の支流流域に限られる。6.0 から 9.0 の値を示

すのは、小貝川中流域の五行川と大谷 (おおや) 川、下流域の谷田川の 3 支流流域あり、9.0 より大きいのは、鬼怒川中流域の西鬼怒川、江川、田川、山川の各流域と小貝川上流域の大川流域である。このように鬼怒・小貝川流域の支流流域の流域形状比を那珂川流域と比較すると、中・下流域の各支流流域は、いずれも細長い形状をしており、幹川流路延長に対して、集水面積の狭い流域といえる。

次に那珂川流域の各支流流域の流域起伏量比 (図 6) をみると、値が 0.01 以下を示すのは、権津川流域と下流域の 4 支流流域のみである。これらは傾

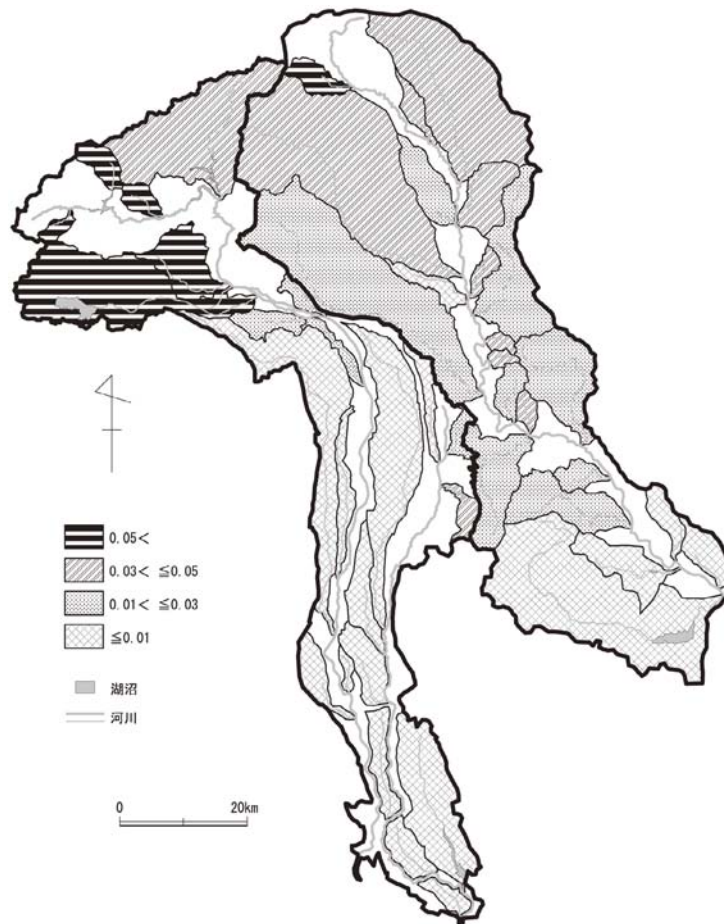


図 6 那珂川流域と鬼怒・小貝川流域における主な支流の流域起伏量比（1997年）。

Fig. 6 Basin relief ratio in the Naka and the Kinu-Kokai River basins by main tributary basin (1997).

斜が少ない平坦な支流である。その一方、中流域の支流がおおむね 0.01 から 0.03 の値を、上流域の支流と中流域左岸側の小支流が 0.03 より大きい値を示す。

鬼怒・小貝川流域では、中・下流域のほとんどすべての支流が 0.01 以下の値であり、平坦な地形である。一方、上流域の支流は、男鹿川流域が 0.04 である以外は、いずれも値が 0.05 より大きく傾斜の急峻な流域である。

2) 土地利用

まず両流域全体の土地利用について概観する

と、那珂川流域の森林面積は 1957.97 km²（面積率 55.6%）、水田面積は 602.56 km²（17.1%）、畑地面積は 416.00 km²（11.8%）、都市部面積は 247.40 km²（7.0%）である。鬼怒・小貝川流域の森林面積は 1435.37 km²（45.4%）、水田面積は 763.78 km²（24.1%）、畑地面積は 333.66 km²（10.5%）、都市部面積は 329.56 km²（10.4%）である。森林と畑地の面積は那珂川流域の方が広く、水田と都市部は鬼怒・小貝川流域の方が広い。水田と畑地の比率は、那珂川流域が 6 : 4 であるのに対して、鬼怒・小貝川流域は 7 : 3 であ

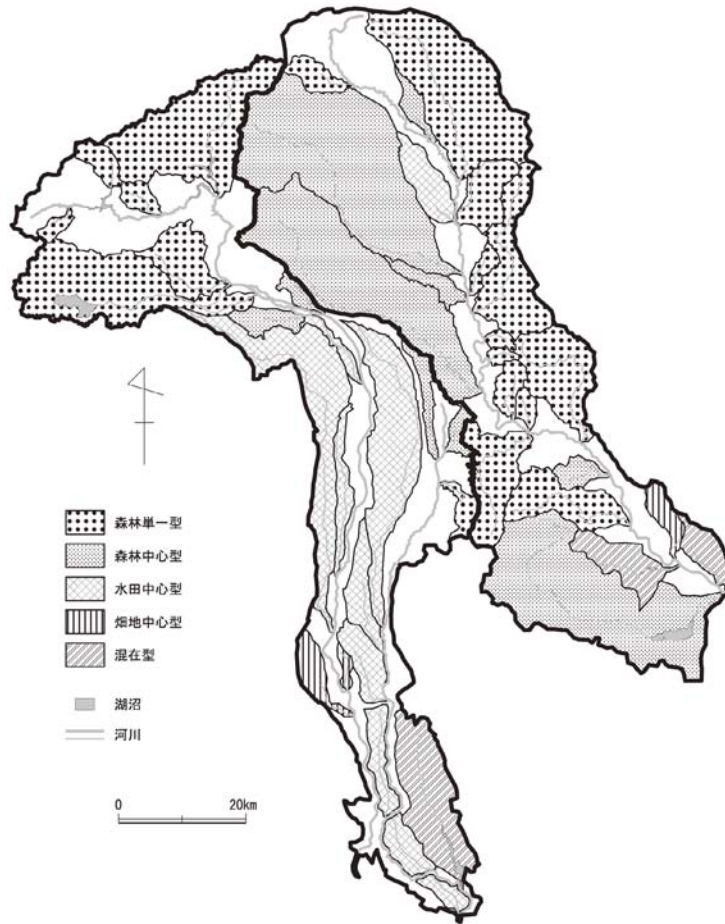


図7 那珂川流域と鬼怒・小貝川流域における主な支流の土地利用類型（1997年）。

Fig. 7 Types of land use combination in the Naka and the Kinu-Kokai River basins by main tributary basin (1997).

り、水田がより卓越していることがわかる。

次に、各土地利用面積を主な支流単位で集計し、各々の支流における土地利用組合せ類型を修正ウィーバー法によって導出した。その結果、那珂川流域、鬼怒・小貝川流域ともに、5種類の支流に区分できた（図7）。森林単一型は、森林のみが代表的な土地利用として抽出された類型である。森林中心型は、森林を筆頭として2ないしは3項目で土地利用が代表される類型である。水田中心型、畑地中心型も同様である。そして混在型は、代表的な土地利用が4項目以上か

らなる類型である。

那珂川流域では、ほとんどの支流において森林が代表的土地利用の筆頭に挙がる。とりわけ本流左岸地域の各支流は、上流域の余笹川流域から下流域の緒川流域まで、全支流が森林単一型に分類される。これらの支流の森林面積率は、余笹川流域の66.2%を除き、すべて70%以上である。右岸地域の箒川、荒川、潤沼川の各支流では、それぞれ広大な農地が分布しているにもかかわらず、森林が最も卓越する。これら3支流の森林面積率はそれぞれ、55.1%、56.6%、35.2%

である。一方、下流域の桜川流域と中丸川流域は、水戸市、ひたちなか市の市街地を流下し、畑地の割合も高い。そのため、桜川流域は、都市的土地利用が第一位で以下、森林、畑地、水田の順に組み合わされる混在型となり、中丸川流域は同様に、都市的土地利用、畑地、その他、水田という順の組合せの混在型になる。

鬼怒・小貝川流域では、森林が卓越する流域は大谷（だいや）川流域をはじめ鬼怒川上流域に位置するものがほとんどである。小貝川の源流付近の流域も森林が多いが、水田や畑地の割合も高く、森林中心型となっている。その他の流域のうち、中流域に位置し、面積も比較的大きい田川や五行川の流域、ならびに鬼怒川と小貝川に挟まれた流域は、いずれも水田が最も大きな割合を占める。具体的な数値を挙げると、田川流域と五行川流域の水田面積率はそれぞれ、33.4%、55.5%であり、鬼怒川と小貝川に挟まれた大谷（おおや）川、糸繰川、八間掘川、中通川、北浦川の各流域はそれぞれ、50.7%、34.2%、57.2%、55.6%、63.4%である。また、鬼怒川右岸地域の山川流域は、畑地面積率が40.2%と最も高い畑地中心型であるが、水田面積率も33.4%と高い。つくば市や牛久市を流れる谷田川流域は、畑地が第一位であり、これに都市的土地利用、水田、森林の順で組み合わされる混在型である。

以上をまとめると、那珂川流域は、流域単位でも、森林が卓越するものが大半であり、下流域の都市部でわずかに、水田や畑地や都市といった土地利用の卓越するものがみられる。鬼怒・小貝川流域は、森林が卓越するのは上流の流域のみであり、中～下流域にかけては水田が支配的な土地利用である。

3) 水利権

図8は、那珂川流域と鬼怒・小貝川流域の、本流と主な流域の許可水利権の最大取水量の総量を、それぞれ用途別に集計して示している。流域全体としての総取水量は、那珂川流域が57.53 m³/sで、そのうち農業用が50.91 m³/s (88.5%)を占め、水道用は4.00 m³/sである。鬼怒・小貝川流域の総取水量は171.92 m³/sと、那珂川流域の

3倍以上であり、そのうち農業用が163.86 m³/s (95.3%)を占める。水道用は2.65 m³/sと那珂川流域より少ない。

用途別・流域別に詳細をみていくと、那珂川流域の農業用水は、本流から取水するものが最も多いものの、箒川、荒川、酒沼川をはじめとする流域にも取水口が分散している。流域の中で最も総取水量が多いのは箒川流域であるが、その99.5%を農業用水が占める。同様に那珂川上流域に位置する木の俣川、高野川、余笹川の各流域でも、農業用水利用がほぼ100%に達する。また、下流域の茨城県においても、緒川、藤井川、桜川、酒沼川、中丸川といった各流域の河川水が、それぞれの取水量こそ多くないものの、農業用水として広く利用されている。水道用水利権による取水は、農業用水同様、那珂川本流からが最も多い。流域では荒川、酒沼川をはじめとして7流域で、水道用水利権が設定されている。それらは各流域内の市町村に水道用水を供給している。酒沼川流域は茨城県による水道用水供給事業の取水口の1つが設けられているため、水道用の取水量が多く、全体に占めるその割合も高くなっている。工業用水利権は7件あり、取水量の比較的多い4件が那珂川本流の最下流に取水口を有する。残りの3件は取水量がわずかであり、那珂川本流上流と武茂川、桜川の流域にそれぞれ取水口を有する。

鬼怒・小貝川流域の農業用水は、本流から取水するものの割合が非常に高く、いくつかの大規模な取水口が大量に一括取水を行うことによって広大な農地を灌漑している（山下、2007）。流域としては大谷（だいや）川や五行川などの限られた河川に水利権が集中して設定されている。一方、水道水の取水量は、那珂川流域の3分の2である。その取水口の分布は、大谷（だいや）川、男鹿川、板穴川といった鬼怒川上流域の流域と鬼怒川本流に限定される。鬼怒川本流から取水しているのは、宇都宮市とその周辺の鬼怒川中流域の市町村である。水海道市をはじめとする下流域の茨城県側の市町村はすべて、水道水源として河川水を取水していない。工業用では、2件が

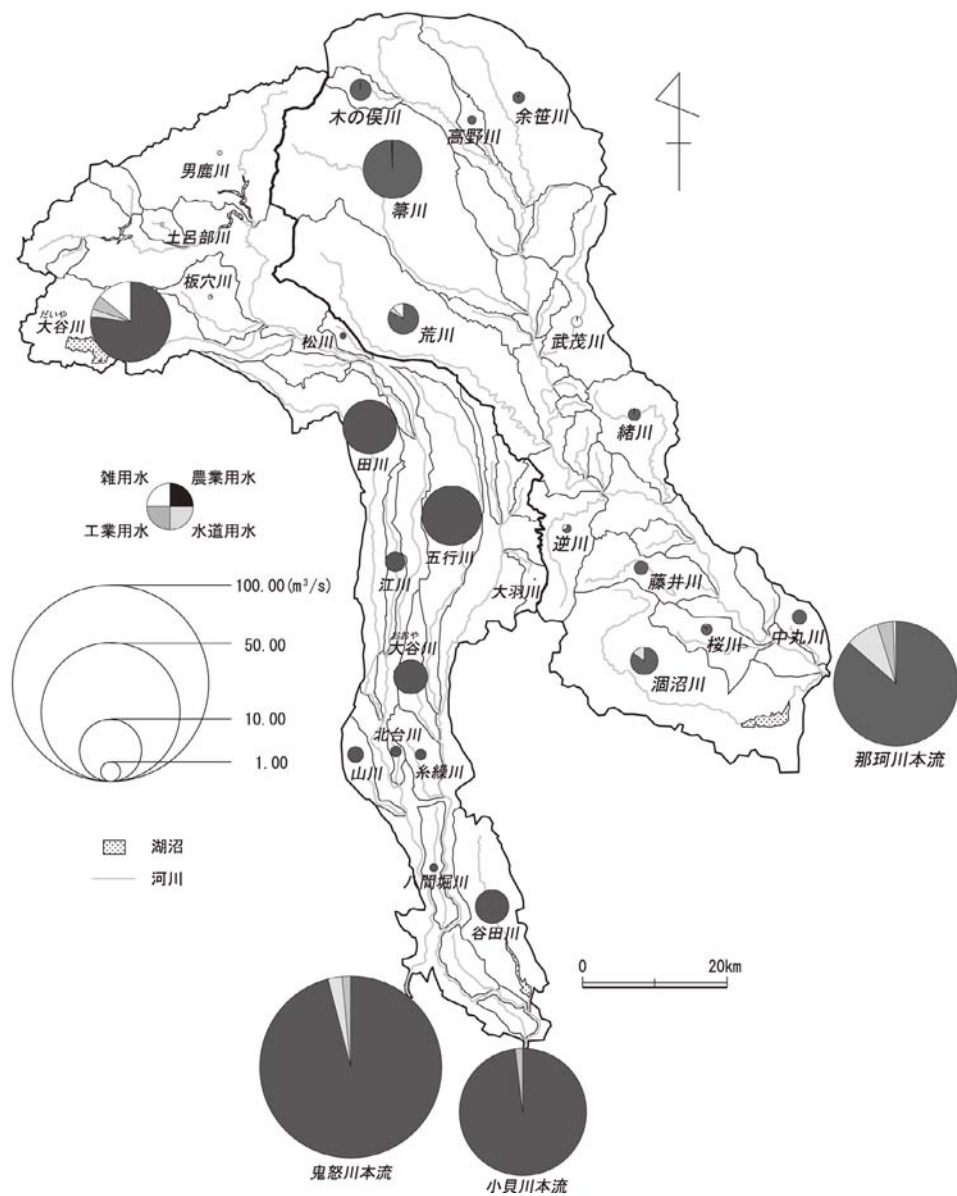


図 8 鬼怒・小貝川流域における本流と支流ごとの許可水利権 (2001年).
 発電用を除く. 国土交通省常陸工事事務所ならびに茨城県河川課, 栃木県河川課の
 資料より作成.

Fig. 8 Total quantity of water taken for each tributary basin and main river in the Naka and
 Kinu-Kokai River basins (2001).
 Hydroelectric uses are omitted. Sources: data from Hitachi Construction Work Office and
 River Sections of Ibaraki and Tochigi Prefectures.

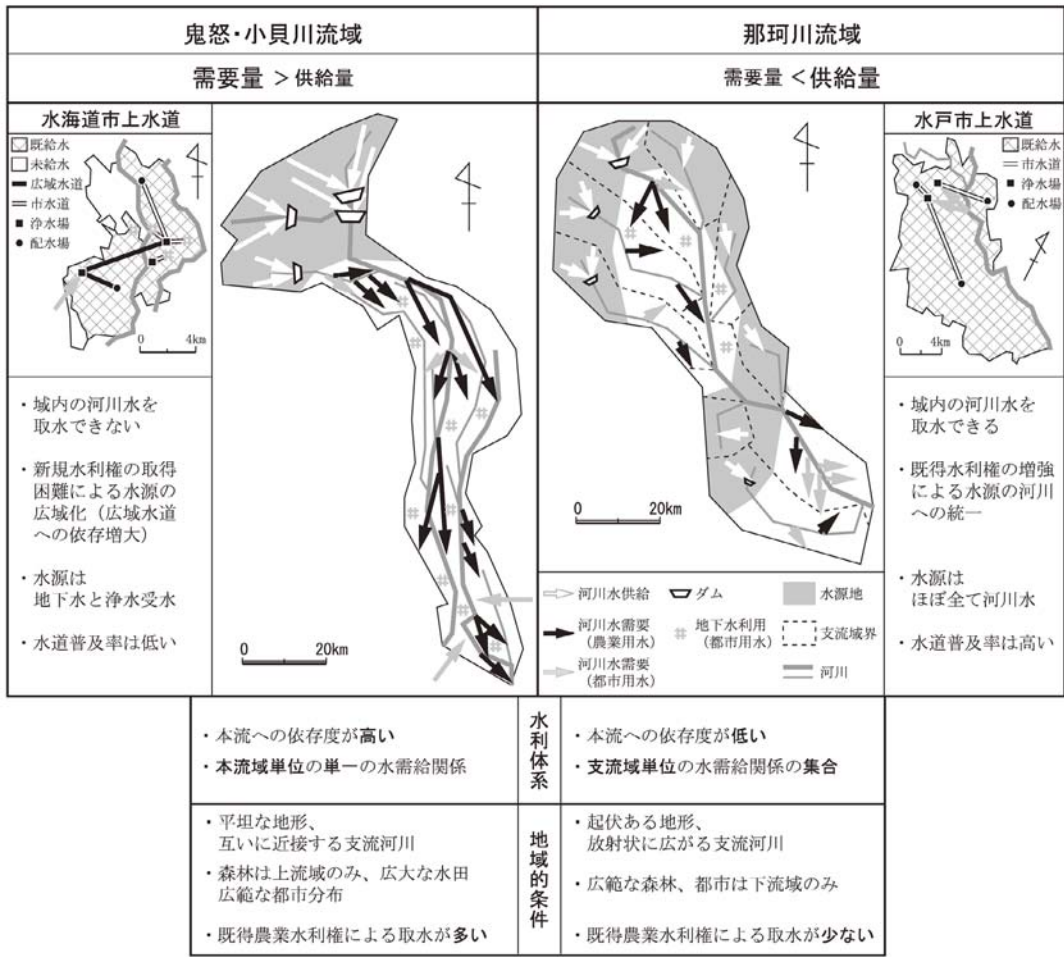


図 9 流域の水利体系とその地域的条件との関係。

Fig. 9 Water supply-demand systems and their regional factors on watershed scale.

大谷（だいや）川に取水口を有し、日光市内の企業へ用水を供給している。また、鬼怒川本流に 1 件、小貝川本流に 2 件の水利権が存在するが、小貝川の 2 件は下流に取水口が設けられているものの、流域外導水によって霞ヶ浦から小貝川へ注水した水を取水する水利権である。

VI. 考 察

以上の地域的条件の分析結果と、那珂川、鬼怒・小貝川流域全体の水利体系および下流の水戸市、水海道市における水道用水供給システムの実

態との関連性を考察する。以下の考察を模式的に図化して表現したのが図 9 である。

那珂川流域において、許可水利権による取水量の多い支流域は、箒川、荒川、澗沼川である。これら 3 支流域の土地利用類型はいずれも森林中心型である。これらはいずれも、那珂川右岸に位置し、下流域に分布する農地で多量の用水が利用されているものの、上流域にはそれぞれ広大な森林地域を擁する。さらにこれらの支流域は形状比が小さく山間部の集水面積が広く、地形的にも平坦地が少なく適度な河川勾配を有し、上流には利

水目的のダムが存在し、自流域内や周辺地域の水源となっており、それぞれの支流単位で水需要を満たしている。

また、那珂川左岸に位置する支流は、概して水需要は少なく、面積の小さい支流には、許可水利権が設定されていない。これらの支流の土地利用としては、森林が卓越しており、農地化や都市化が進んでいないため、水利用はほとんどなされていない。地形的には八溝山地の山腹に位置し、小河川の流域は傾斜が急峻である。このことが農地化や都市化が進展しない一因と考えられる。したがって、河川水は自流域内で利用も貯留もされずに、直接、那珂川本流へ放流されることになる。

一方、鬼怒・小貝川流域のうち多くの許可水利権が設定されている支流は、大谷（だいや）川、五行川、谷田川である。とりわけ大谷（だいや）川では最も多くの水利権が設定されているが、土地利用類型は森林単一型である。つまり大谷（だいや）川流域は、中禅寺湖を含む上・中流域の山地部に広大な森林地帯を有する一方、下流域できわめて集中的に河川水が利用されている。大谷（だいや）川流域以外の森林単一型を示す支流は、大羽川流域を除いてすべて鬼怒川上流域に位置し、それらの支流は許可水利権が少なく、地形的にも急峻な山地帯に含まれる。したがって那珂川左岸の支流同様、本流に水を供給する役割を果たしている。大規模な多目的ダムもこの地域に立地している。

それに対して、中・下流域の支流ではいずれも水田や都市的土地利用が卓越している。したがって、鬼怒・小貝川中・下流域一帯は、水需要が非常に多い。しかし、五行川と谷田川の流域以外では、設定されている許可水利権の取水量が相対的に少ない。この事実は、当該支流内の農地が、自流域内の河川から取水せず、鬼怒川、小貝川本流に水源を大きく依存していることを意味する。鬼怒川における三大国営農業水利事業による頭首工建設や、小貝川の関東三大堰などがその代表である。一方で都市用水に関しては、特に下流の茨城県側の市町村では、自流域内の河川を水源としていない。その理由としては、上記の既得

農業水利権の規模が膨大であることや、中・下流域の支流の形状比が大きく、起伏量比が小さいため集水能力をほとんど持たず水資源開発を行う適地に恵まれていないことによって、下流域の水道事業者が新規水利権を獲得するのが困難であったからである。

以上の比較考察を要約すると、那珂川流域は、流域全体でみると支流単位でダムや河川自流を水源とした水需給がみられ、余排水は本流へ流入する。したがって、本流への依存度は低く、都市的土地利用が卓越し人口も多い下流域における都市用水需要も、本流下流を中心とした自流域内の水源によって満たすことができる。このような那珂川流域全体の河川水需給体系が、下流域に位置し人口規模も最大の水戸市の水道用水において、市域の拡大と人口増加に合わせて、那珂川からの取水量を随時増加させ、給水能力を向上させることを可能としたのである。

一方、鬼怒・小貝川流域は、流域全体の用水需要が相対的に多く、それらの本流への依存度はきわめて高い。したがって水海道市をはじめとする下流の茨城県側の市町村はすべて、鬼怒川や小貝川の表流水を利用できず、従来からもっぱら地下水を水道水源とし、増加する用水需要に対しては、広域水道事業への参入を余儀なくされている。これらの水源は、霞ヶ浦と利根川上流域の群馬県山間部に立地するダムであり、きわめて「遠い水」に依存している。また、広域水道事業者からの用水の「購入」が自治体の経済的負担を増大させている事実もある。

VII. おわりに

本研究が分析指標の選定や結果の解釈において意図していたのは以下の2点である。(1) 水資源の「量」に着目し、供給に関わる指標と需要に関わる指標の両方を考慮すること。(2) 事例地域の水利事情の実態と照らし合わせて分析結果を解釈すること。

まず1点目について、水利問題を議論する上で、流域の水需給バランスに関する考察は欠かせないと考えられる。言い換えるならば、流域の水

供給能力を規定する自然的な指標と、水需要に関する人文社会的な指標の両方をふまえるということである。

水需要に関しては、水道事業者の水源別取水量や水利権で許可されている最大取水量、期別取水量など実際の数値が公表されているので、それらを定量的に把握するのは可能である。さらに本研究では水利権の水源の位置に着目することで、支流流域単位での水需要の空間的な配置にも言及した。

一方で、流域の水供給能力に関しては、水文学、地形学をはじめ、地質学、土壌学、植生学など主に自然科学の分野で、降水量や蒸発散量、涵養量などの詳細なモニタリングデータから推計されているが、流域ごとに網羅された数値として公表されているわけではない。そこで本研究では、汎用的な既存データによって流域の水供給能力を推測しうる手法としてまず、地形データを用いて、流域形状比と起伏量比を支流流域ごとに算出した。その結果、各支流流域が有するそれぞれの水供給能力を相対的にはあるが把握することができたといえる。実際に両流域におけるダムは、これらの指標から判断された集水能力の高い場所に立地している。単なる地形分類の分布把握や標高・傾斜の解析よりは、このような水文地形学的な指標の方が、水利体系の実態と関連づけて水需給を論じるには有効であろう。

また、本研究では土地利用も分析指標として取り上げた。本研究では少なくとも農地や都市部に比べ人為的な水需要がほとんどない点で、森林を水供給能力のある土地利用と判断した。その上で、ある程度の空間的範囲を有する支流流域ごとに、土地利用組合せ類型を導出することでそれらの水需給バランスについて考察した。これらの分析によって、流域の水利体系が支流流域単位の水需給バランスに規定されていることが実証できた。

しかしながら、本研究が取り上げた指標はあくまでも相対的に水需給を測るものであり、絶対的な水供給可能量を示したものではない。今後は、降水量や蒸発散量、土地利用項目別の浸透量、涵養量といった指標も加味していくことが求められよう。

次に2点目についてであるが、本研究では、下

流の都市における水道事情を詳細に記述した。下流の都市用水は、先述したように河川水利において最も不利とされ、その水利事情が逼迫しているのかそうではないのかというのは、流域全体の水需給バランスを端的に映す鏡であると考えたからである。実際、本研究が取り上げた水戸市と水海道市の水利事情は非常に対照的であったが、地域的条件の分析結果からも、那珂川流域と鬼怒・小貝川流域における流域全体の水利体系や水需給バランスの対照性が実証され、既存データの解析結果と事例地域の実状とを関連づけて考察することができた。

以上のように、都市用水問題を流域スケールで議論する上で、本研究が提示した分析指標や方法論の有用性は、ある程度実証できたといえる。那珂川流域は、本研究の結果、水需要に余裕がある流域と位置づけることができるが、実際には、規模が縮小されたとはいえ、将来の水需要増加に対する過大な予測に基づく流域外からの導水計画が存在する³⁾。一方、鬼怒・小貝川流域は、水需要が逼迫している流域と位置づけることができる。そのような流域の下流における用水源の外部依存化は、ある程度やむを得ないといえるが、渇水時の水利調整の方策などの議論においては、本研究で示した方法論でもって、隣接する霞ヶ浦流域、あるいは利根川本流域全体の各支流流域の集水能力と水需要を分析し、水需給の空間構造を把握することは重要な示唆を与えるであろう。例えば、新規のダム開発や導水路建設による「遠い水」への依存を選択する前に、流域内の水需要地にできるだけ近いところでの水源開発や水の融通が可能ではないか検討することができる。あるいはそれを可能にするための土地利用計画などを提案することもできる。具体的には、一定の流域内において、農地や宅地の開発を制限し水供給能力を確保する支流流域を設定し、全体としての水需給バランスを維持するといった方策も考えられる。いずれにしろ、水資源問題を政治的・社会的側面から論じる際にも、その前提となる基礎として、流域の水需給に関わる地域的条件を定量的・空間的に理解しておくことが重要である。

謝 辞

本論文の執筆に際しましては、国土交通省ならびに栃木県、茨城県の関係各所からは、水利権などのデータを提供していただきました。水戸市水道部、水海道市水道課の方々には、聞き取り調査に快く応じてくださり、多くの資料提供を賜りました。筑波大学大学院生命環境科学研究科の田林 明教授からは終始ご指導・ご鞭撻を賜りました。また同研究科の諸先生方ならびに院生諸氏からは有益なご助言をいただきました。末筆ながら以上の方々に、記して深く感謝の意を表します。

注

- 1) 水海道市は2006年1月、結城郡石下町と合併し、常総市となったが、本研究では水道事業の時系列的な形成過程にも言及することから旧水海道市を対象とした。
- 2) 各支流域名は後掲の図8を参照されたい。
- 3) 霞ヶ浦導水事業は、那珂川と霞ヶ浦、利根川を地下導水路でつなぐことによって、水質浄化、渇水被害の軽減、新規都市用水の確保を図るものであるが、那珂川下流域においても $4.2\text{ m}^3/\text{s}$ の新規都市用水の開発が計画されている。

文 献

秋山道雄 (1988): 水利研究の課題と展望. 人文地理, **40**, 424-448.

Buttle, J. M. (1994): Hydrological response to reforestation in the Ganaraska River basin, southern Ontario. *The Canadian Geographer*, **38**, 240-253.

井上 京・宗岡寿美・鶴木啓二・山本忠男・長澤徹明 (2000): 北海道における複合型土地利用の農業流域河川の水質特性. 水文・水資源学会誌, **13**, 347-354.

伊藤達也 (1987): 木曾川流域における水利構造の変容と水資源問題. 人文地理, **39**, 319-340.

伊藤達也 (2001): 渇水対策の選択肢—河川法改正, 94年渇水の経験を踏まえて—. 愛知教育大学地理学報告, **92**, 1-14.

木村園子ドロテア・岡崎正規 (2008): 多摩川流域における土地利用と河川水窒素濃度との関係. 地学雑誌, **117**, 553-560.

李 東根・恒川篤史・武内和彦 (1989): 多摩川中流域における環境基礎情報の整備と環境構造の把握. 造園雑誌, **52**, 288-293.

森滝健一郎 (2003): 河川水利秩序と水資源開発—「近い水」対「遠い水」—. 大明堂.

中山大地 (1998): DEMを用いた地形計測による山地の流域分類の試み—阿武隈山地を例として—. 地理学評論, **71A**, 169-186.

小口 高・ジャービー, H. P.・ニール, C. (2002): LOIS データベースと GIS を活用した東部イングランドの河川水質分析. 地学雑誌, **111**, 410-415.

小口 高・Siakeu, J.・畑屋みず穂・高木哲也・早川裕一 (2004): 関東～中部日本の8流域における河川懸濁物質濃度の空間分布とその規定要因. (財)とうきゅう環境浄化財団研究助成 No.239 成果報告書, 144-162.

王尾和寿 (2008): 流域圏における水系を視点とした景観特性の分析—那珂川, 霞ヶ浦, 鬼怒川, 小貝川の各流域を事例として—. 地学雑誌, **117**, 534-552.

王尾和寿・鈴木雅和 (2001): メッシュデータによる流域を単位とした土地利用変化動向. 地理情報システム学会講演論文集, **10**, 367-370.

王尾和寿・鈴木雅和 (2002): 国土数値情報による流域を単位とした土地利用変化の解析. ランドスケープ研究, **65**, 861-864.

太田 正 (1999): 統合的水管理のランドデザイン—利排水 (上下水道) 事業からのアプローチ—. 地域経済, **19**, 65-87.

佐藤裕一・佐土原 聡 (2006): 流域環境 GIS プラットフォームの構築—神奈川拡大流域圏への適用—. 地理情報システム学会講演論文集, **15**, 391-394.

嶋 栄吉・堤 聰 (2004): 養豚地域の家畜ふん尿処理が集水域からの河川水質に及ぼす影響. 環境情報科学論文集, **16**, 245-250.

志村博康 (1982): 現代水利論. 東京大学出版会.

志村博康 (1996): 渇水問題と水利権・水利制度. 都市問題, **87-7**, 27-40.

新沢嘉芽統 (1955): 農業水利論. 東京大学出版会.

新沢嘉芽統 (1962): 河川水利調整論. 岩波書店.

杉森啓明 (2004): 流域単位での土地利用変化の把握. (財)とうきゅう環境浄化財団研究助成 No.239 成果報告書, 83-93.

杉森啓明・大森博雄 (1996): 土地利用データによる多摩川中下流域の景観動態の把握. GIS—理論と応用, **4**, 51-62.

田林 明 (1990): 北陸地方の扇状地における灌漑水利の地域差とその条件. 地域研究, **30(2)**, 23-36.

高山茂美 (1974): 河川地形. 共立出版.

鶴木啓二・長澤徹明・井上 京・山本忠男 (2002): 農業流域における融雪期の水質環境と土地利用—主成分分析による河川水質形成機構の解析—. 水文・水資源学会誌, **15**, 391-398.

Wang, X. (2001): Integrating water-quality management and land-use planning in a watershed context. *Journal of Environmental Management*, **61**, 25-36.

山下亜紀郎 (2004): 日本の主要流域における土地利用特性とその地域差. 地理情報システム学会講演論文集, **13**, 79-82.

山下亜紀郎 (2007): 流域規模の河川水利用と灌漑水利体系の比較研究—那珂川流域と鬼怒・小貝川流域を事例として—. 水利科学, **297**, 13-44.

(2007年12月21日受付, 2009年5月25日受理)