

# 那珂川流域における水循環の実態把握に関する研究

## Research on the Status of Water Cycle in the Naka River Basin

水循環・まちづくりグループ 研究員 恵美 進一  
企画グループ グループ長 柏木 才助  
水循環・まちづくりグループ 研究員 伊藤 将文

那珂川は、那須岳（標高 1,917m）に発し、那須野ヶ原を南東に流れ、平地部で南東に流れを変え太平洋に注ぐ、幹線流路延長 150km、流域面積 3,270km<sup>2</sup>の一級河川である。河川水利用は、農業用水のほか水道用水、工業用水、水力発電用水等、多岐にわたって利用され、水需要も多い。しかし、流域には国管理の多目的ダムがないことから、流況は気象状況や水利用状況による影響を受けやすく、下流部では渇水時に塩水遡上が河口から十数 km まで及ぶことによる被害が度々発生している。上流部（那須地域）は浸透性の高い火山性の地質が卓越し、伏没した地下水が河川流況に大きな影響を及ぼしている。低水管理の検討にあたっては、流域の特徴を踏まえ、表流水・地下水全体の水循環の状況や、気象状況、水利用状況の影響を分析する必要がある。

本稿では、低水管理の基礎資料となる流量観測データの信頼性を検証したうえで、3次元水循環解析モデルを改良し、渇水時における那珂川流域における水循環の再現性を検証するとともに低水管理のあり方を検討した。

流量観測データの信頼性については、上流の小口流量観測所と中下流部の野口、下国井両流量観測所の信頼性が高いことがわかった。水循環モデルを改良し渇水の再現性を検証した結果、渇水時の流況再現においては、気象条件、湧水、河川利用、利水ダム運用等の諸条件の精度向上が寄与する事がわかり、特に那須地域の河川水利用の影響が大きいことがわかった。これは、那珂川流域で特徴的な、地下水を豊富に蓄えることができる火山性の地質構造や地形に起因していると考えられ、表流水と地下水の応答関係を把握可能な水循環解析により、水循環と水利用の係わりを捉え、低水管理に役立てることが特に重要であると結論付けた。

### キーワード：水循環モデル、低水管理、利水計画、低水流量観測

Naka River starts its flow in Mt. Nasu (elevation 1,917 m) and runs through Nasunogahara hill southerly and then changes its course south-westerly in the plain region and finally runs into the Pacific Ocean. It is the first class river with its total main river length of about 150 km and its catchment area of 3,270 km<sup>2</sup>. River water uses are diverse and include agricultural, drinking, industrial and hydrogenation and demand is high, but there are no multiple-purpose dams run nationally in the basin and therefore, flow regime tends to be affected by weather and water use and in the lower reaches, when the water level is low, there are occasions when ocean water runs up the river and damages the area of more than 10 km from the mouth of the river. The upper reaches of the river (Nasu area) is geologically volcanic, high in permeability and influent underground water affects flow regime greatly. In managing water uses, we need to understand the status of surface and underground water, weather conditions and the effects of water uses based on the characteristics of the river basin.

In this paper, we reviewed the reliability of flow measurements, the basic data for water uses and revised the 3-dimensional water cycle analysis model to review water cycle replicability when water level is low in the Naka River basin and considered approach on water use management

The reliability of flow measurements are high at Koguchi measurement station at upper stream and both Noguchi and Shimogunii measurement stations in the middle and lower reaches of the river. After revising the water cycle structure and reviewed the replicability, we found in flow regime during low flow, improving accuracy in weather conditions, spring water, river use, operations of irrigation dams would contribute replicability and that especially water uses in Nasu region have larger effects. This is probably due to the volcanic geological structure and geography that can sustain plentiful underground water, the characteristics of Naka River basin, and we conclude that the key is to apply for water use management by analyzing water cycle that incorporates the relationship between surface and underground water, hence enabling to understand water cycle and water uses.

**Key Words:** water cycle model, water use management, water use planning, low flow measurements

## 1. はじめに

那珂川は、その源を福島県と栃木県の境界に位置する那須岳（標高 1,917m）に発し、栃木県内の那須野ヶ原を南東に流れ、余笹川、箒川、武茂川、荒川等を合わせながら八溝山地の東側を南下する。その後、逆川を合わせて茨城県に入り、平地部で南東に流れを変え緒川、藤井川、桜川を、河口で沼沼川を合わせて太平洋に注ぐ。その流域は、栃木県・茨城県・福島県 3 県の 13 市 8 町 1 村からなり、流域の土地利用は、山林等が約 75%、水田や畑地等の農地が約 23%、宅地等の市街地が約 2%となっている。



図一 那珂川流域図

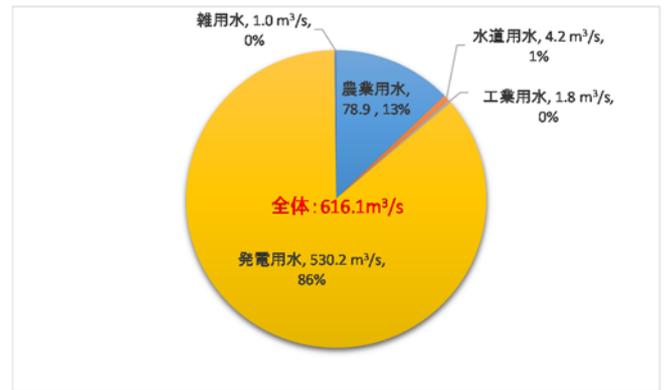
地形は、北方の那須岳、白河丘陵、東方の八溝山地、南方の喜連川丘陵に囲まれた広大な那須の扇状地が上流部に広がり、中流部の県境付近は八溝山地が南北に連なる狭窄部となっており沿川に低地が点在する。下流部には那珂台地と東茨城台地など広大な洪積台地が形成されている。

気候は、冬は乾燥していて晴天の日が多く、年間を通して降水量も少ない太平洋岸気候区に属している。平均年間降水量は、水戸で約 1,300mm、那須で約 2,000mm となっている。

那珂川上流部の那須野ヶ原は、扇状地のため地下水が深く河川では伏流が見られるが、明治時代に那珂川から取水する那須疏水が整備され、農業用水として利用されている。下流部では流量減少時に塩水遡上が河口から十数 km まで及ぶため、周辺の水戸市・ひたちなか市等の水道・工業・農業用水等の取水にしばしば障害を引き起こしている。

河川水の利用については、農業用水のほか、那須塩

原市、水戸市、ひたちなか市等の水道用水、那珂市、ひたちなか市等の工業用水として利用されている。また、13 箇所の水力発電所で、総最大出力約 160 万 kW の水力電力供給が行われている等、水資源の需要は大きい。



図一 那珂川流域内の水資源の利用状況

一方で、那珂川下流域は春先に渇水被害が頻発しており、近年では S62、H2、H5、H6、H8、H9、H13 年に発生している。那珂川下流部における渇水による取水障害は、塩分遡上によるものであるが、そのほとんどが 4 月末から 5 月初めに発生している。

表一 那珂川における近年における渇水の状況<sup>1)</sup>

年度	時期 (月)	状況	
S62	1987	4~5	取水制限最大 農水30%、都市用水20%(5/1~5/4、5/6~5/14) 千波湖土地改良区 振替取水 (5/2~5/14) 勝田市上水 振替取水 (4/22~5/14)
		8	勝田市上水15%の減圧取水 (8/9~8/10)
H2	1990	8	勝田市上水15%の減圧取水 (8/9~8/10)
H5	1993	4~5	取水制限最大 農水30%、都市用水20%(4/23~5/3) 千波湖土地改良区 取水停止 (期間不明) 那珂川工業用水道・那賀町水道 潮見運転 (4/22~5/14)
H6	1994	4~5	取水制限最大 農水15%、都市用水10% (4/28~5/6) 千波湖土地改良区 振替取水 (5/3~5/5) 那珂川工業用水道・那賀町水道 潮見運転 (4/26~5/2)
H8	1996	4~5	取水制限最大 農水15%、都市用水10% (4/28~5/2) 千波湖土地改良区 振替取水 (4/27~5/3) 那珂川工業用水道・那賀町水道 潮見運転 (4/26~5/2)
		8	千波湖土地改良区 振替取水 (8/13~24)
H9	1997	4~5	千波湖土地改良区 潮見運転 (4/17~4/25) 千波湖土地改良区 振替取水 (4/26~5/14) 那珂川工業用水道・那珂町水道 潮見運転 (4/27~29)
H13	2001	4~5	取水制限最大 農水15%、工業10% (4/27~5/9) 千波湖土地改良区 潮見運転 (4/16~4/23) 千波湖土地改良区 振替取水 (4/24~5/8) 那珂川工業用水道・那珂町水道 振替取水 (4/27~5/9)

上流部（那須地域）は浸透性の高い火山性の地質が卓越し、伏没した地下水が河川流況に大きな影響を及ぼしている。低水管理の検討にあたっては、流域の特徴を踏まえ、表流水・地下水全体の水循環の状況や、気象状況、水利用状況の影響を分析する必要がある。

本研究は、低水管理の基礎資料となる流量観測データの信頼性を検証したうえで、3次元水循環解析モデ

ルを改良し、渇水時における那珂川流域における水循環の再現性を検証するとともにその実態を把握し、低水管理のあり方を検討した。

## 2. 既往モデルにおける水循環解析結果の課題

本研究所では過年度に行った水循環の可視化に関する検討<sup>2)</sup>において、那珂川流域を対象にモデル河川として水循環解析モデルを構築している。本研究の目的である水循環機構の把握および低水管理のあり方を検討するにあたり、既往の水循環モデルの課題を整理した。

### 2-1 既往モデルの概要

水循環モデルの構築は、対象流域の気象、地形、地質、土地利用など、流域の状況また人為的な水利用を考慮した状態の取排水システムを考慮する。河川水など継続した観測データを有する表流水のほか、通常直接目に見えない地下水、地表・地下を伏没・湧出する流れを含めた対象流域全体の流況を解析する(表-2)。

解析対象範囲は、表流水流域外からの地下水流入を取り込むため、対象流域よりも広い範囲としている(図-3参照)。

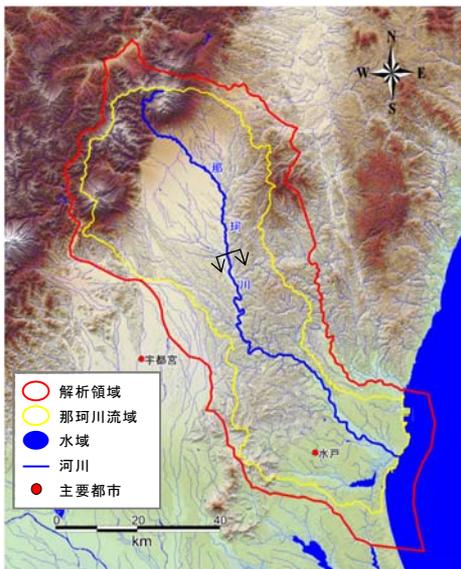


図-3 水循環解析範囲

既存の水循環解析モデルは、表流水・地下水の完全連成解析、物理的応答関係に基づいた解析などの特徴を最大限活かすことに留意し、モデルにより将来、物質輸送、熱輸送など、水循環を通じて移動する物質循環解析に発展させることが可能な統合型水循環シミュレータ(図-4)を用いている。

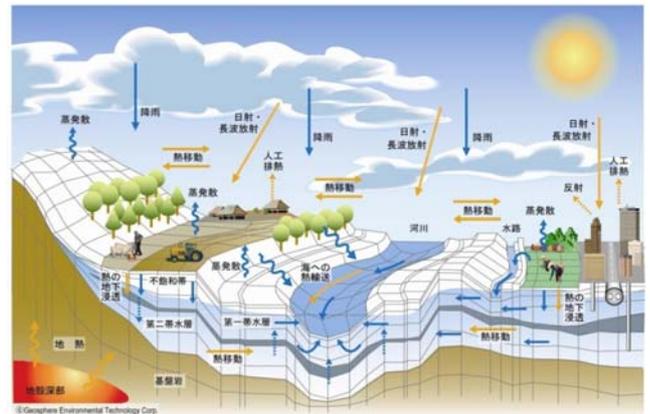


図-4 統合型水循環シミュレータの概念図

表-2 既往モデルの基本構成

項目	仕様・設定方法	
基本条件	流体システム	・水・空気2相2成分系
	表流水モデル	・マニング式による開水路流れ
	地下水モデル	・一般化ダルシー則
	時間スケール	・時間分解能は、日単位を基本とする ・検証期間は、代表的な渇水年を含む3ヵ年程度を想定
空間スケール	・解析対象範囲は、対象流域よりも広い範囲を想定 ・モデル河川の流域が山間地域と平野部等、地域特性の異なる環境を有している場合、領域を分割したモデル構築による円滑な解析も想定 ・対象流域を含む全解析対象範囲の総格子数は、おおそ80~100万を想定	
水文パラメータ	降雨	・各観測点の降水量の結果から、モデルの対象範囲の雨量分布を算出
	融雪蒸発散	・降水量・気温等を考慮して融雪量及び蒸発散量を算出
	水利用	・河川取水、地下水揚水は、実績データを使用 ・取水実態が不明の水利用(慣行農業取水等)については、水利権量等収集可能な情報を基本とし、河川流量および地下水位観測値により検証
	河川流出	・土地利用による等価粗度、表層土壌および地下地質の透水係数・間隙率から河川流量を算出 ・透水係数・間隙率は既往文献等から得た一般値を基本とし、河川流量・地下水位観測値により検証
地下浸透	・表層土壌および地下地質の透水係数・間隙率をもとに、地下浸透(湧出・伏没)を算出。係数の値は、観測値とのマッチングにより同定	

図-5に三次元格子モデル、図-6に水理地質モデルを表す鳥瞰図を示す。

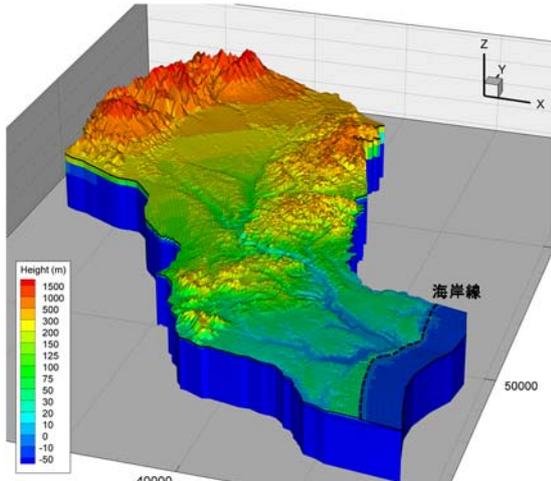


図-5 三次元格子モデル鳥瞰図

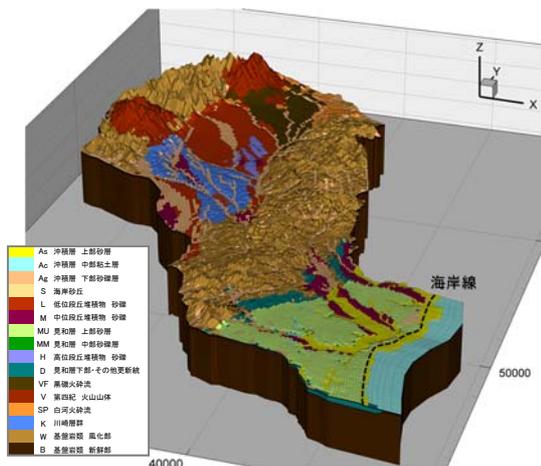


図-6 水理地質モデル鳥瞰図

水循環解析の対象期間は、表-1に示された渇水の中から直近の平成13年(2001年)を含む2000年~2002年の3カ年とした(1999年を助走期間とした)。

表-3 水循環解析モデルの対象とする時空間スケール

スケール	検討対象とする範囲	分解能	備考
時間スケール	2000年~2002年	3年平均	自然流況の復元
	2000年~2002年	3年平均及び日単位	現況再現
空間スケール	約5,088km <sup>2</sup>	約400m~500m (下流域は約100m~200m)	水平解像度

## 2-2 既往モデルの検証結果

既往モデルの検証は、図-7のフローに示す通り、

自然状態におけるモデルの妥当性を検証した上で、人為的水利用を考慮した計算によるプロセスにより実施した。なお、モデルの妥当性を確認するにあたり、流域内の主要な水位流量観測所5箇所(下国井、野口、川堀、小口、黒羽)において、観測流量と計算流量の確認を実施する。

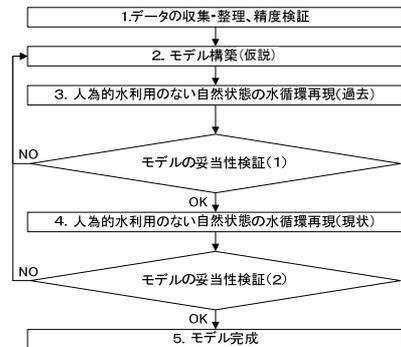


図-7 水循環モデル検証フロー

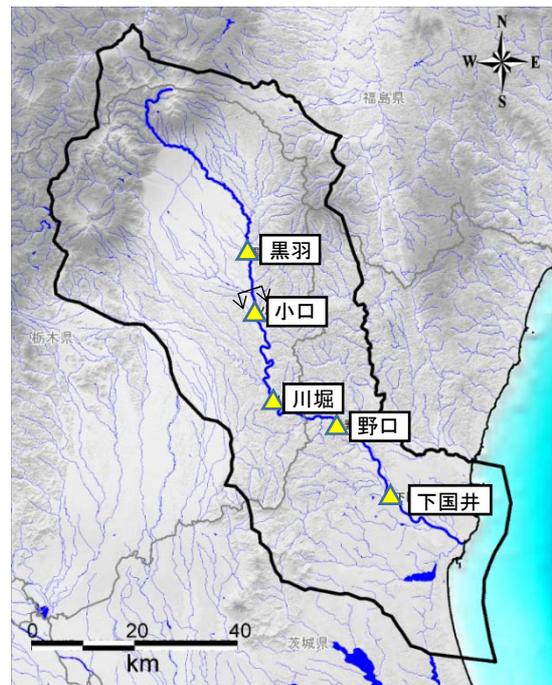


図-8 水位流量観測所位置図

表-4 水位流量観測所諸元

観測所名	河口からの距離	流域面積	零点高
黒羽	90.4 km	648.0 km <sup>2</sup>	146.611 m
小口	82.0 km	1,255.0 km <sup>2</sup>	99.783 m
川堀	57.7 km	1,941.0 km <sup>2</sup>	43.772 m
野口	38.3 km	2,181.0 km <sup>2</sup>	21.756 m
下国井	19.7 km	2,517.0 km <sup>2</sup>	-0.300 m

① 自然状態における再現結果（河川流量）

河川取水および地下水揚水を考慮しない自然状態における流量観測点における観測流量と計算流量の比較を図-9に示した。両者はほぼ一致しているとみなせ、設定した地形、地質モデルに大きな問題点はないものと考えられる。

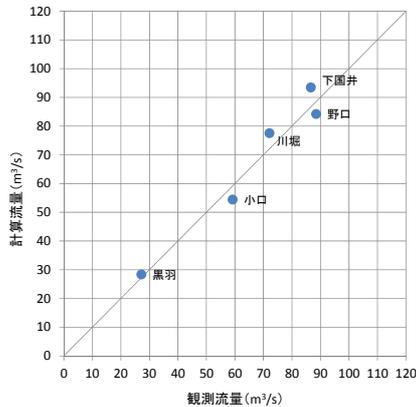


図-9 観測流量と計算流量の比較

② 人為的水利用を考慮した再現結果

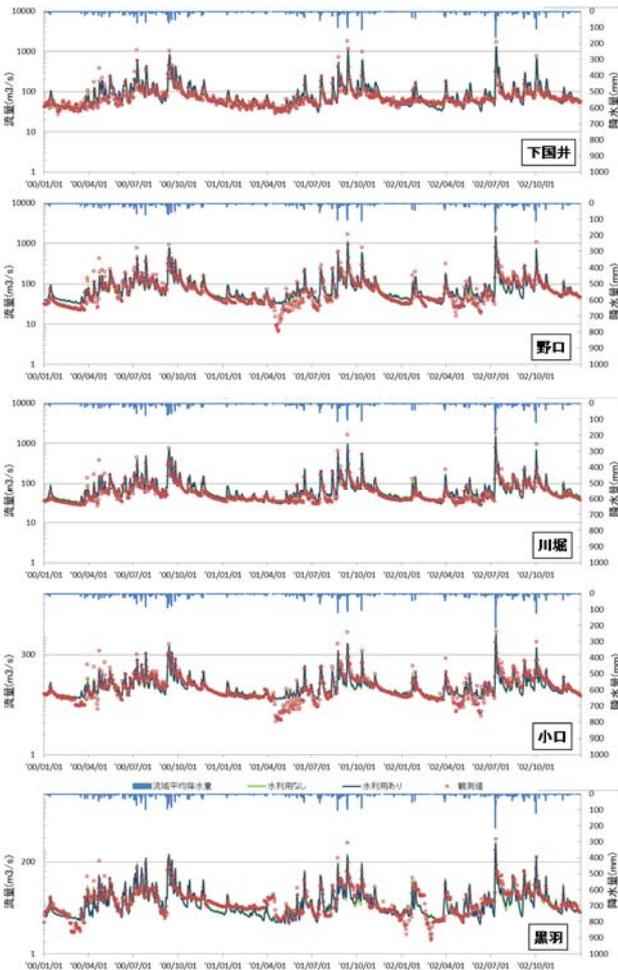


図-10 計算流量と計測値の比較(非定常状態)

次に、時系列の流量について計算値と観測値との比較を行った。図-10に2001年の解析結果と自然状態、人為的水利用を考慮した場合共に概ね計算流量と観測流量は一致する結果が得られ、水循環モデルの妥当性は確認された。

一方で、流量観測値と解析値との違いも部分的のみられる。野口、小口観測所データにおいて低水時の結果が再現できていない。また、黒羽観測所データにおいて4月上旬～中旬の流量増加を反映できていない。

2-3 既往の水循環解析結果の課題

①各観測所流量の流況変化の要因分析

渇水時の各観測所の流況は、たとえば近年の大きな渇水であった2001年4月～5月の流況を見ると、野口、小口、黒羽地点では急激な流量低減が見られるが、川堀地点では目立った流量低減は見られない。

この例のように、観測所ごとの応答が異なることから、観測資料の流況変化の要因を分析、整理した上で、再現検証の対象とする観測資料を整理、設定する必要がある。

②渇水時の急激な流況低下等の要因の抽出

既往の水循環解析で再現できていない、野口・小口両観測所の4月から5月にかけての急激な流況低下や上流に位置する黒羽観測所の4月の流量増加を再現可能かどうかを念頭に、気候、地形、水利用など観測流量の挙動に影響している可能性のある要因を抽出し、モデルに反映させる必要がある。

3. 水循環解析再現性の向上

既往の水循環解析結果からは、概ね再現性の高い結果が得られた一方で、流量観測所毎の観測データに差異が見られること、渇水時の急激な流量低下等の、観測値と解析値との相違があることから、流量観測データ挙動の相違点を整理した上で、観測データの信頼性検証および水循環解析に必要な気候、地形、水利用等の影響要因を検討し、影響の大きい要因を反映する。

3-1 流量観測データ挙動の特徴

①一般的には下流ほど流量が増大する傾向が見られるが、那珂川本川においては下記の期間等に、上流の流量観測所が下流の観測所より大きい状況が見られる。

【1999年】・3月上旬～7月上旬：黒羽流量が野口、下国井程度に大きい

・5月上旬～10月上旬：野口流量が下国井より大きい

・1～2月、11～12月：小口の流量が川堀より大きい

【2000年】1～3月：川堀の流量が野口より大きい

【2001年】1～4月：川堀の流量が野口より大きい

②川堀流量観測所において、2001年4～7月の期間に上下流の小口流量観測所及び野口流量観測所における挙動と異なり、30～40m<sup>3</sup>/sの範囲で流量が一定となる期間が見られる。

③春先の融雪による影響が黒羽に現れている可能性がある。

④2001年4月上旬～4月中旬において、黒羽の流量が小口と同程度まで増大している。その後の期間は、黒羽の流量は小口の流量よりも小さい値を記録しており、上流部（那須地域）における人為的水利用による影響が考えられる。

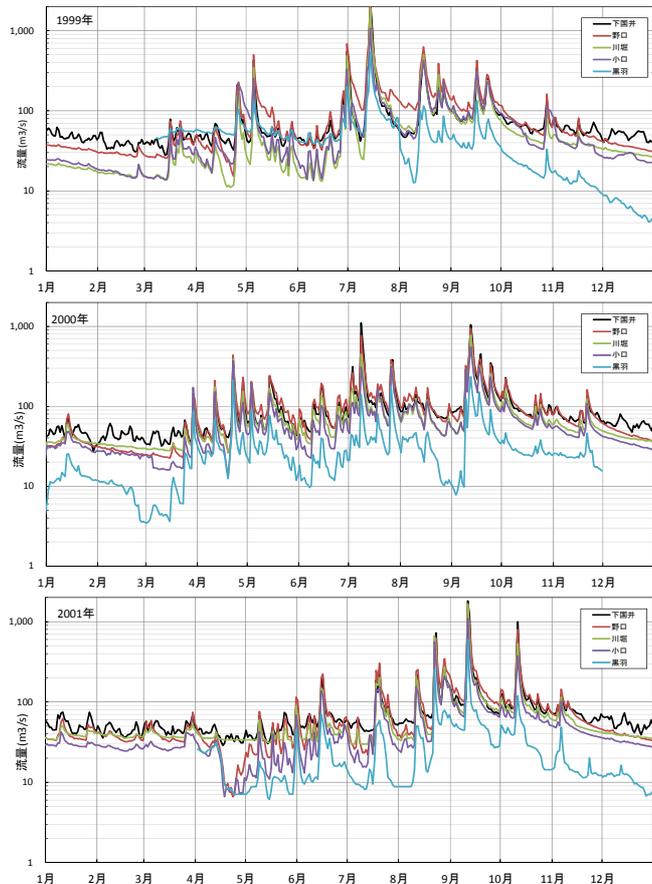


図-1-1 流量観測データ（1999年～2001年）

### 3-2 水循環再現性の検証

流量観測所のデータ挙動の特徴を踏まえ、検証方針を以下の通りとした。

#### ① 観測データの信頼性検証

再現検証の対象とする流量観測資料の整理、設定にあたっては、要因の仮説を以下の4点において検討するものとする。

【仮説1】 水位流量観測の妥当性

【仮説2】 流量観測所の上下流の河道形状（堰上げ、背水など）

【仮説3】 河道形状の変更（工事、施設設置など）

【仮説4】 水位流量曲線の適用範囲、適用時期

#### ② 水循環再現解析

低水管理を念頭に置いて、那珂川の水循環の状況を解析から把握するため、水循環解析による検討を行う。検討にあたっては気候、地形、水利用など水循環の挙動に影響している可能性のある要因として4点の仮説に基づき、それぞれの要因の影響の可能性を検討する。

【仮説1】 那須地域山間部における積雪・融雪

【仮説2】 那須地域における地下水水利用

【仮説3】 直轄区間における農業用水利用

【仮説4】 那須地域における利水ダム運用

#### (1) 観測データの信頼性検証

水位流量観測データの信頼性検証については、現地調査や縦横断面図等の図面、流量観測台帳を確認し、各観測所毎に信頼性を確認した。この結果、以下の事が判明した。

○小口、野口両観測所は低水管理上信頼度が高いと判断される。

○下国井観測所は感潮区間であるため観測データは潮汐の影響を受ける。

○川堀観測所は低水部において背水の影響を受けている可能性がある。黒羽観測所は滞筋が2列に分断されており、渇水時の観測値の信頼度に課題がある。

以上のことから、水位流量観測所として信頼性が高い観測所を、小口、野口両観測所と判断した。また、感潮区間である下国井観測所については、潮汐の影響を受けるため、これを考慮しておく必要があるが、低水管理上重要であると判断した。

表-5 流量観測所の信頼性評価結果

仮説	流量観測所				
	黒羽	小口	川堀	野口	下国井
水位流量観測の妥当性	×	○	×	○	×
流量観測所の上下流の河道形状	○	○	×	○	○
河道形状の変更	△	○	○	○	○
水位流量曲線の適用範囲、適用時期	○	○	×	△	×
評価	△ (滞筋が分か れている)	○ (低水管理 の観点から 信頼性高 い)	×	○ (低水管理 の観点から 信頼性高 い)	△ (潮汐の影 響を受ける 感潮区間の 低水管理へ の活用が期 待される)

次に、水循環再現解析を実施するにあたり、各観測所間の流量変動の応答関係を確認した。確認方法は、上流部での水位流量観測所である黒羽、小口両観測所データに対して、下流側の水位流量観測所である野口、

下国井両観測所の流量変動の応答関係を確認した。

表-6 各観測所間の流量応答確認の為の解析ケース

ケース	河川流量の 入力値
ケース1	黒羽の観測流量 (テレメータ)
ケース2	小口の観測流量 (テレメータ)

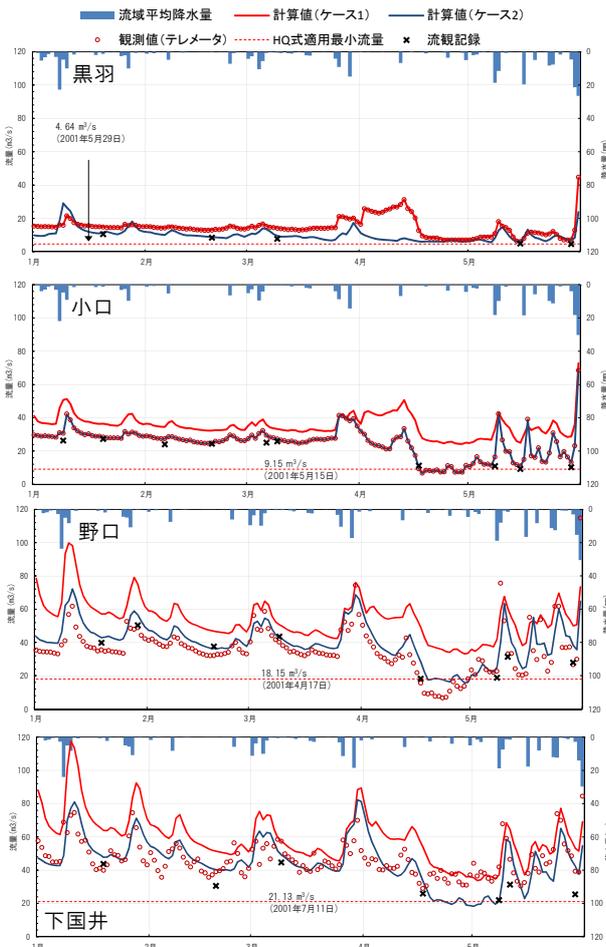


図-12 黒羽、小口の各観測所における観測流量を与条件とした流量計算値

ケース1の黒羽の観測流量を与えた場合の計算値と、ケース2の小口の観測流量を与えた場合の計算値を観測値と比較すると、ケース2は概ね野口地点の流量(流量観測値、H-Q法によるテレメータ流量)、下国井地点における流量(流量観測値)を再現しているのに対し、ケース1は大きく乖離していることから、黒羽と小口、下国井との整合性は低いことが確認された。この結果および観測データの信頼性の検討の結果を考慮して、再現性の検証は小口、野口を対象に実施する。

なお、感潮区間に位置する観測所である下国井につ

いては、今後超音波流速計による観測体制が整備された後に活用されることが想定されることから、併せて解析結果の検証を行った。

(2) 水循環再現性向上のための要因分析

① 那須地域山間部における積雪・融雪

本検討においては流量観測値の検証にあたり、積雪の影響を確認した。

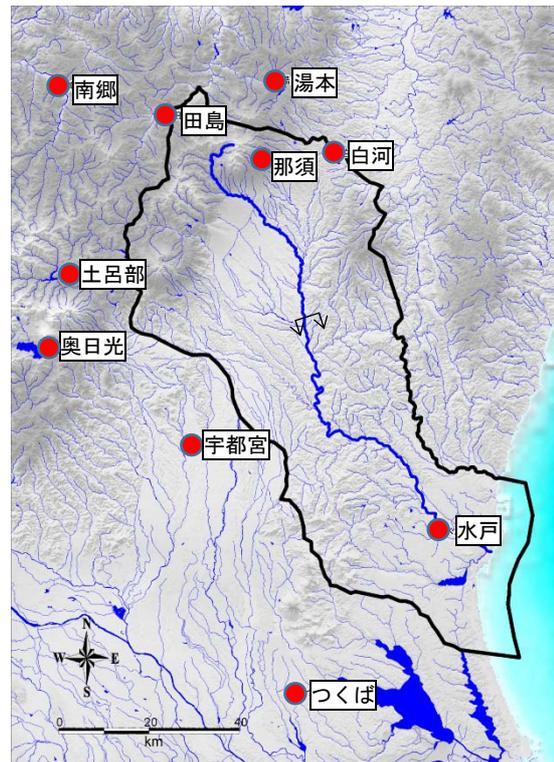


図-13 積雪深観測所位置図

② 那須地域における地下水水利用

那須地域における地下水利用としては、農業利水としての地下水揚水が大部分を占める。地下水揚水のうち農業に利用されるものについては、既往モデルでは全国の農業用水揚水パターンを参考に月単位で想定し、5月1日から利用されるものとしていたが、現地調査の結果4月15日(土地改良区での取水開始時期)から利用される井戸が確認されたため、すべての農業に関する地下水揚水の開始時期を4月15日とするケースを設定した。

③ 那須地域における農業用水利用

既往解析モデルにおいては、那珂川直轄区間の河川取水は、水利権に基づく条件を与えた解析を実施している。また、直轄区間より上流の県管理区間(那須地域)における河川取水については考慮されていない。農業用水利用が再現性に与える影響については、これらを考慮した解析を実施した。

・直轄区間：実績データに基づく取水量(不明な場

合は水利権ベース)

・県管理区間(那須地域):実績データに基づく取水量(不明な場合は水利権ベース)

※取水開始時期は、那珂川流域の代掻き開始時期が4月第5半旬~第6半旬に集中していることから、これに合わせるよう4月中旬を開始時期とした。



図-14 那珂川流域における代掻き開始時期<sup>3)</sup>

④那須地域における利水ダム運用

既往モデルにおいては利水ダムの運用は深山ダムの運用データとして、深山ダムの貯水量変化に合わせた余剰水量をダム放流の与条件として与えている。また、塩原ダムについては、貯水位変動を考慮せず、貯水位を常時満水位で固定して取り扱っている。

今回の検討では、深山ダムの運用データ(深山ダムの放流量)を与条件として与えたことに加えて、塩原ダムについても貯水量変化に合わせた余剰水量をダム放流の与条件として与えた。また、那須地域の農業利水を併せて考慮した。

表-7に、水循環の挙動に影響する可能性のある4つの要因の影響度を確認するための解析ケースを示す。

表-7 影響度を確認するための解析ケース

ケース	那須地域の積雪・融雪	那珂川直轄区間農業用水利用	那須地域		ダム運用		
			農業用水利用	地下水利用	深山ダム	塩原ダム	
既往モデル	基本ケース	考慮しない	水利権	考慮しない	5月より利用	貯水量変化で操作	考慮せず
①那須地域の積雪・融雪	ケースA	考慮(風速による捕捉率を考慮)	水利権	考慮しない	5月より利用	貯水量変化で操作	考慮せず
②那須地域の地下水揚水開始時期による影響	ケースB	考慮しない	水利権	考慮しない	4月中旬より揚水開始	貯水量変化で操作	考慮せず
③農業用水利用の影響	ケースC	考慮しない	実測データ(不明箇所は水利権)	考慮しない	5月より利用	貯水量変化で操作	考慮せず
	ケースD	考慮しない	水利権	考慮(4月中旬より取水開始)	5月より利用	貯水量変化で操作	考慮せず
④利水ダム運用による影響	ケースE	考慮しない	水利権	考慮しない	5月より利用	放流量を与える	貯水量変化で操作

⑤影響度合いの検討結果

各ケースの検討結果を表-8に示す。いずれの要因も水循環解析の流量変動への影響がある結果となったが、特に那須地域の農業用水利用による影響が大きい。農業用水利用を考慮することで、解析結果と流量観測結果との整合性が高い結果が得られた。

表-8 水循環解析の再現性に影響する要素

ケース	考察	評価
1)那須地域山間部における積雪・融雪の影響	ケースA ・水循環解析に関して積雪の有無により、積雪及び融雪による4月~5月の灌漑期の流況への影響は小さいと考えられる。 ・冬期(1~5月)については、風速による捕捉率を考慮した場合に、より河川流量の挙動を再現できていると考えられる。	△
2)那須地域(直轄区間外)の地下水揚水開始時期による影響	ケースB ・那須地域及び支川流域における地下水揚水期間を変化させる事により、上流から下流にかけて0.5m³/s以下の河川流量の変化が確認された。 ・河川の流況に顕著な影響を及ぼすほどではなく、地下水揚水の時期の変化が河川流況に及ぼす影響は小さいと推定される。	△
3)直轄区間および那須地域における河川からの農業用水利用の影響	ケースC ・直轄区間の水利権量データを実測値に替えた場合の影響は小さい。 ケースD ・農業用水の取水開始時期が変化した場合、河川流量の顕著な変化が確認された。 ・4月中旬から取水を開始した場合、4月上旬より取水を開始した場合に比べ、流量減少の時期が遅くなるが、4月下旬及び5月上旬にかけて流量がより減少することが確認された。 ・那須地域及び碓川、荒川流域(直轄区間外)の取水状況が那珂川の河川の流量に及ぼす影響が大きいことが確認された。 ・上流域及び支川流域の農業取水の取水時期が河川流量に影響することも併せて確認された。	△
4)那須地域における利水ダム運用による影響	ケースE ・塩原ダムの運用については、考慮していなかった条件を考慮(貯水量変化で操作)する条件に変更し、深山ダムの運用を、放流量変化で操作する条件から放流量データを与える条件に変更した場合の解析を実施した結果、変更前と変更後に大きな差異は見られなかった。	△

○: 流量の挙動に大きく影響する要素  
△: 流量の挙動に影響するが、影響の程度は比較的小さい要素

(3) 水循環再現解析結果

水循環再現性向上のための要因分析より、全要因が水循環再現性向上に寄与する事が示唆されたため、これらを考慮した条件で、渇水時期における再現解析を実施した。表-9に再現解析条件を示す。

表-9 水循環再現解析条件

ケース	那須地域の積雪・融雪	那珂川直轄区間農業用水利用		那須地域		ダム運用	
		考慮しない	水利権	考慮しない	5月より利用	深山ダム 貯水量変化で操作	塩原ダム 考慮せず
既往モデル	基本ケース	考慮しない	水利権	考慮しない	5月より利用	貯水量変化で操作	考慮せず
再現解析	再現ケース	考慮(風速による捕捉率を考慮)	実測データ(不明箇所は水利権)	考慮(4月中旬より取水開始)	4月中旬より揚水開始	放流量を与える	貯水量変化で考慮

再現解析の結果、渇水時期、特に4月～5月期に着目した場合、再現性は概ね高い結果が得られた。ただし、4月中旬～5月上旬における、流量観測データの急激な低下に対して、特に小口、野口の両観測所の解析結果は高くなる傾向にある。この要因の1つに、観測流量が、流量観測データを基にして作成されたH-Q式の適用流量以下となっている点が考えられる。外挿によるH-Q式による流量推定については十分に吟味をする余地があると言える。

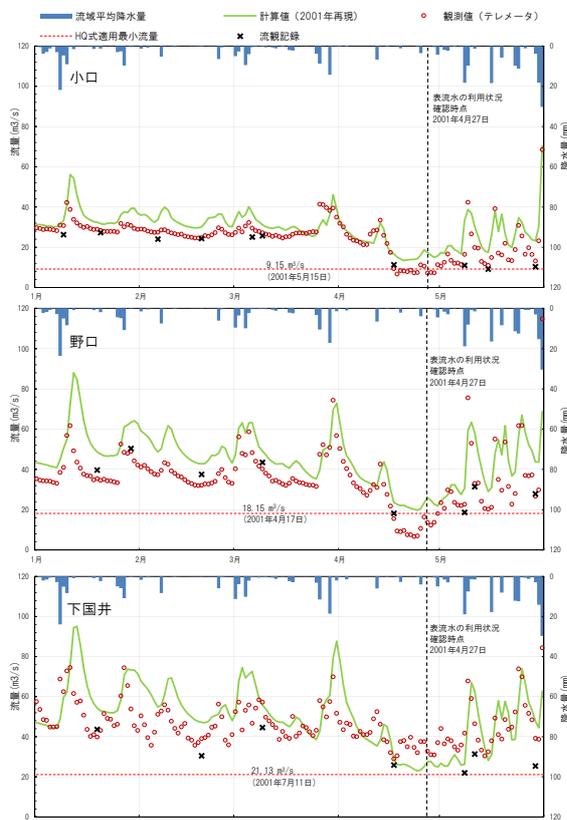


図-15 水循環再現解析結果 (2001年)

【水循環再現解析結果まとめ】

- 4月～5月期に着目した再現性について、那珂川の流況に影響の大きい農業用水の取水量を考慮することで、小口、野口の再現性は4月後半を除き概ね再現されている。
- H-Q法によるテレメータ流量の著しい低減は、小口に比べ野口がより著しい。
- 4月後半における野口の流量低下については、水循環解析結果は観測値と同程度の流量低下まで再現されていない。
- 4月後半は、那須地域の水田地帯で代掻き期にあたっていることから、水を張り始める代掻き期は、通常見込んでいる減水深以上に水田における貯留効果が働いているため、河川流量が減っている可能性が示唆される。
- 2001年4月後半においてH-Q式による実測値が小口、野口においてH-Q式の外挿部分にあたっていることから、この期間の評価については、更に吟味する必要がある。

4. 低水管理のあり方

観測資料の検証結果、及び、渇水時を対象とした表流水、地下水一体の水循環解析の結果を踏まえ、低水管理の観点から課題を整理するとともに、対応策について検討した。また、今後の低水管理のあり方について考察を加えた。

4-1 那珂川における低水管理に関わる特徴

低水管理に関わる特徴を、水循環解析より抽出した。

- ・ 那珂川上流域那須地域(直轄区間外)の水利用状況が那珂川直轄区間流域の流況に及ぼす影響が大きい。
- ・ 上流山間部の積雪、融雪は、3月までの流況には影響を及ぼしているが、渇水実績が多い4月後半から5月前半の流況に及ぼす影響は小さい。
- ・ 那須地域の地下水利用は比較的深い層からの取水が中心である。稲作灌漑の開始時期(4月15日頃)の揚水開始は、4月後半の河川流況に与える影響は小さい。
- ・ 冬季(1～3月)の流況は前年雨量の影響を受ける。

4-2 低水管理上の課題・対応策

観測資料の検証結果や低水管理に関わる特徴を踏まえ、水位流量観測、水利用の状況把握、低水管理全般における課題を整理し、対応策を検討した。

① 水位流量観測に関する課題

【課題】観測所の基準断面形状が毎年異なっているが、H-Q 式は過去数年の渇水時の流量観測データを基に作成しているため、流量算定に影響を及ぼす可能性がある。

【対応策】低水管理上重要な小口、野口地点においては、冬期に横断測量を実施する事でH-Q式の精度向上を図る。

② 水利用状況把握に関する課題

【課題】那須地域の水利用状況を把握することが低水管理上重要であるが、水利用状況の把握が十分ではない。また、深山ダムの運用状況は事後報告であり、リアルタイムでの把握が困難である。

【対応策】渇水が懸念される時期には、直轄区間外での水利用状況、河川状況の把握を河川巡視計画に組み込み、ダムの運用状況を河川管理者とダム管理者が共有できる仕組みをつくる事が望ましい。

③ 低水管理に関する課題

【課題】無降雨が継続して渇水が懸念される状況における那須地域（小口）と中下流域（野口、下国井）の流況の推移を予測できることが低水管理上有効である。

【対応策】小口流量を水循環解析により把握する事が有効である。また、小口流量より中下流の野口、下国井流量を推定する簡易式を作成する。

小口地点の日平均流量から野口地点、下国井地点の日平均流量を算定する簡易手法について検討した。H-Q法による流量及び本検討の解析結果、並びに、流量観測結果を、相関分析により整理した。

小口地点日平均流量と、野口、下国井地点の日平均流量を、当日、1日後、2日後で整理した。流量値は、観測値と解析値の2パターンを整理した結果、小口ー野口、小口ー下国井の相関ともに、小口地点と野口・下国井の1日後との流量で整理したものが相関が高く、解析値のほうがばらつきが少ない。

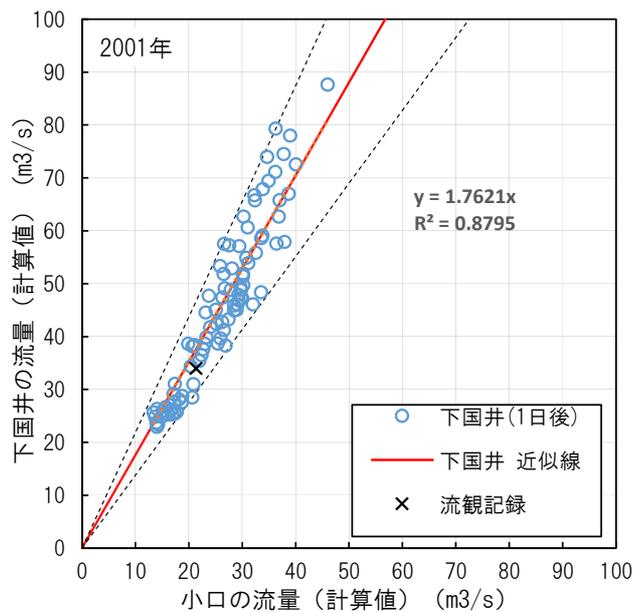
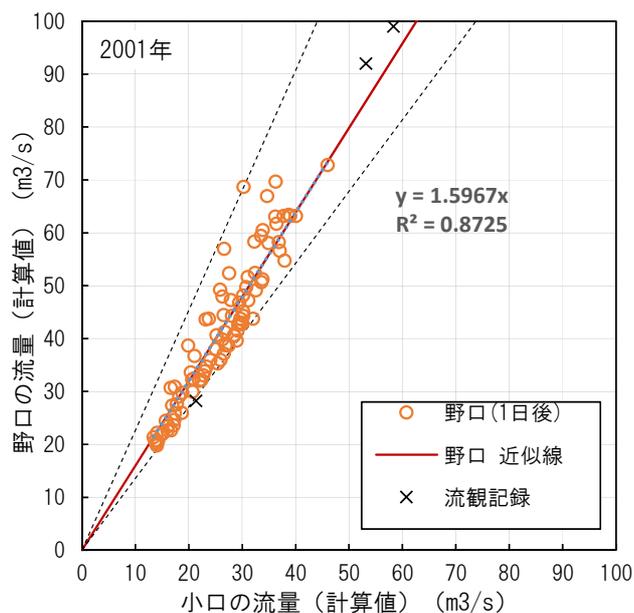


図-16 小口流量と野口・下国井流量 (1日後流量) の関係性 (解析値)

相関分析結果を基に、上流の小口観測所流量値と1日後の野口、下国井観測所流量値との関係を推定する試算式を整理したものを表-10に示す。

なお、今後の低水流量観測は、小口地点観測の1日後に野口地点の観測を行うことも、両観測所の関係性を推定する上で、ひとつの有効な手法になると考えられる。

表-10 小口に対する1日後の野口、下国井流量関係式

	野口(Q <sub>n</sub> )	下国井(Q <sub>s</sub> )	備考
小口流量(Q <sub>k</sub> )との関係性	Q <sub>n</sub> =1.5967×Q <sub>k</sub>	Q <sub>s</sub> =1.7621×Q <sub>k</sub>	
r <sup>2</sup>	0.8725	0.8795	
流水の正常な機能を維持するために小口に必要な流量			
灌漑期	19.42 m <sup>3</sup> /s (13.66~22.86m <sup>3</sup> /s)	13.62 m <sup>3</sup> /s (10.98~17.40m <sup>3</sup> /s)	カッコ内の数値は、相関の分散を考慮した最小値~最大値
(正常流量) <sup>4)</sup>	31m <sup>3</sup> /s	24m <sup>3</sup> /s	
非灌漑期	14.40 m <sup>3</sup> /s (10.14~16.96m <sup>3</sup> /s)	10.78 m <sup>3</sup> /s (8.69~13.78m <sup>3</sup> /s)	
(正常流量) <sup>4)</sup>	23m <sup>3</sup> /s	19m <sup>3</sup> /s	

#### 4-3 那珂川流域における低水管理のあり方

那珂川水系は、直轄区間外である上流部(那須地域)の水利用が盛んである一方で、上流部に那珂川本川の正常流量の補給を目的とする水資源開発施設は未整備であり、気象状況、水利用の結果がそのまま那珂川の流況に現れる状況となっている。

従って、那珂川の低水管理にあたっては、水利用に左右される河川流況をいかに適切に把握し、渇水状態が懸念される時期の流況を推定・予測できるかが重要となる。

那珂川下流部は河床勾配が緩やかで、潮汐の影響を受け、塩水遡上による影響を度々受けてきた。このため、河川整備基本方針では、厳しい渇水時には利根川水系からの導水により塩水遡上を抑制し、那珂川の流水の正常な機能の維持・増進を図ることとされている。渇水の進行状況を見通し、上記の対応を円滑に行うためには、直轄区間外の上流域(那須地域)における流況を見通した上で、上流域の流況見通しから中下流域における流況の推移を推定し、下流部における正常流量補給を適切に行う運用、管理体制を検討整備していくことが重要と考えられる。

#### 5. おわりに

那珂川流域を対象とした本研究では、那珂川流域の表流水・地下水が一体となった低水管理を実現するために、検討の基礎となる観測データ信頼性の検証を実施した。その結果、上流の小口流量観測所と中下流部の野口、下国井両流量観測所の信頼性が高く、低水管理上重要であることがわかった。水循環モデルを改良し渇水の再現性を検証した結果、渇水時の流況再現性については、気象条件、河川利用、利水ダム運用等の諸条件の精度向上が再現性向上に寄与する事がわかり、特に那須地域の河川水利用の影響が大きいことがわかった。これは、那珂川流域で特徴的な、地下水を豊富に蓄えることができる火山性の地質構造や地形に起因していると考えられ、表流水と地下水の応答関係を把

握可能な水循環解析により、水循環と水利用の係わりを捉え、低水管理に役立てることが特に重要であると考える。

なお、本研究は、現時点での収集データを基に分析を試みたものであり、農業用水の利用状況など実態把握が十分ではない要因が多数あることから、今後更なるデータの蓄積や検証を深めていく必要がある。また、下国井水位流量観測所については、超音波流速計等の設置が進められており、今後、その資料を蓄積、活用していくことが期待される。

最後に、研究にあたり関東地方整備局常陸河川国道事務所調査第一課の皆様には、多大なるご協力とご指導を頂いた。ここに厚く御礼申し上げる。

#### <参考文献>

- 1) 関東地方整備局：那珂川水系河川整備基本方針(H18.4)
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局：平成25年度水循環可視化システムの活用等による多様な水源確保の検討調査業務(H26.2)
- 3) 農林水産省：第4回農業用地下水利用実態調査の概要(H15.3)
- 4) 関東地方整備局：那珂川水系河川整備計画(H28.1)