

7. 那珂川流域における水循環 の実態把握に関する研究

水循環・まちづくりグループ
研究員 恵美進一

本研究の背景、目的

背景

- 関東地方北東部に位置する那珂川流域は、本川の維持流量、利水流量を補給する直轄ダムがない
- 河川流況は気象状況、水利用状況による影響を受けている
- 那珂川上流域は火山地帯で地下水利用が多く、伏没した地下水が河川流況に影響を与える可能性



低水管理を実施するにあたっては表流水・地下水全体の水循環の状況を把握した上で、気象状況、水利用状況がどのように影響しているのかを分析することが重要。

本研究の背景、目的

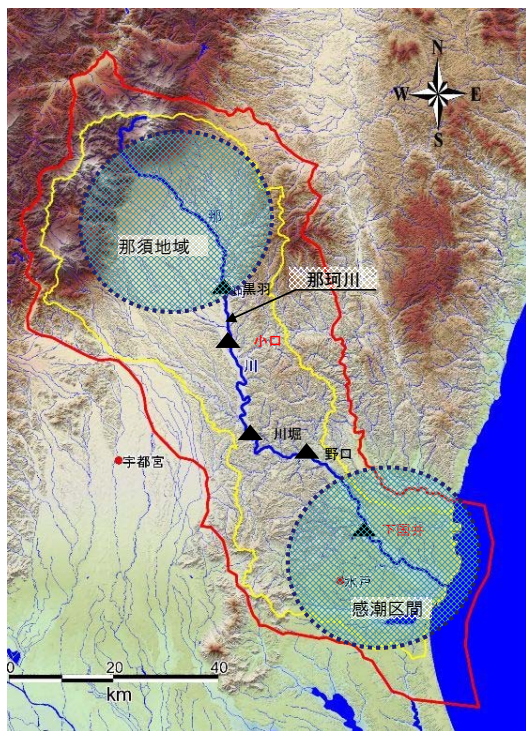
本研究の目的

那珂川流域の表流水・地下水一体となった低水管理に向けて、基礎となる観測データ信頼性の検証や河川流況の特徴を整理し、水循環モデルを改良し濁水の再現性を検証し、水利用の動向や気候変動などの変化要因を踏まえた那珂川流域における課題や改善方策を整理し、今後の低水管理のあり方についてとりまとめるものである。

本発表の構成

1. 那珂川流域の特徴
2. 既往モデルによる水循環解析の課題
3. 観測データの検証
4. 水循環再現解析
5. 低水管理のあり方について
6. 本研究で得られた結論

1. 那珂川流域の特徴



- ・流域面積 3,270km²の一級河川
- ・上流那須野ヶ原(那須地域)は保水能力が乏しく地下水が地中深くに存在
- ・下流域は感潮区間で塩水遡上の影響を受けやすい

那珂川における渇水被害

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)
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)
		8	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)
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)
		8	取水制限最大 農水15%、工水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)
H13	2001	4~5	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)

4~5月に集中して発生する傾向

1. 那珂川流域の特徴

○湧水地が多く存在(那須地域)



上流域からの伏流水が湧出？

1. 那珂川流域の特徴

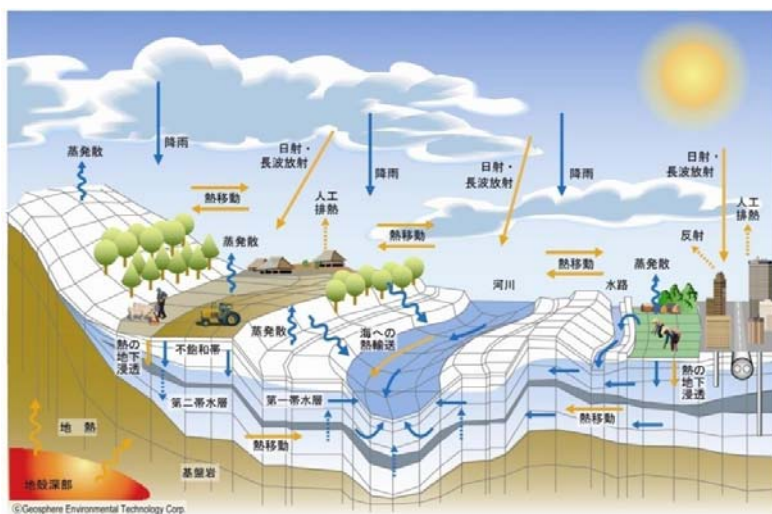
○地下水の利用



農業用水取水は4月中旬から？

2. 既往モデルによる水循環解析の課題

「統合型水循環シミュレータ」により表流水、地下水の一連解析を実施



解析の際に考慮する項目

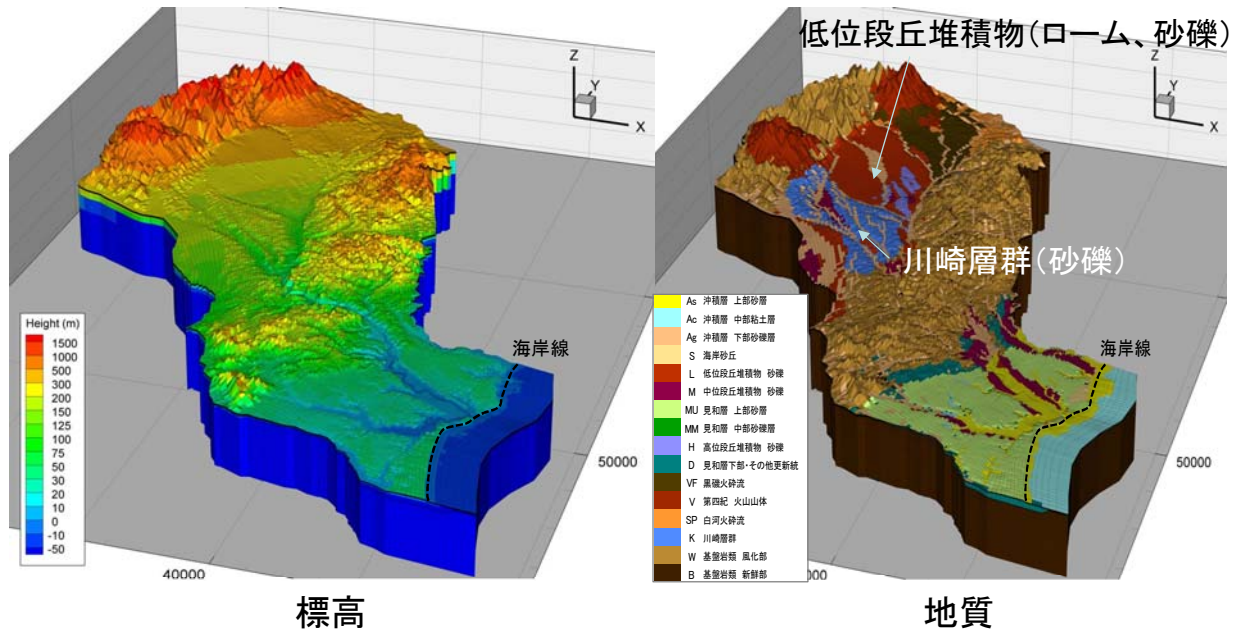
項目	考慮する(○)、考慮しない(-)
降雨	○
蒸発散	○
積雪・融雪	- (本研究では考慮)
表流水流れ	○
地下水流れ	○
海水影響(海岸部)	-
水利用	○

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	・モデルの時間分解能は、日単位を基本とするモデルの検証期間は、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、通常の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、おおよそ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する
水利用	・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)を算出する。係数の値は、観測値とのマッチングにより同定

解析年:2000年~2002年

2. 既往モデルによる水循環解析の課題

○解析モデル

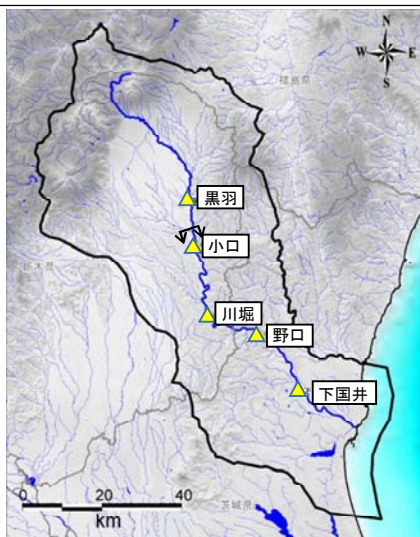


公益財団法人 リバーフロント研究所

2. 既往モデルによる水循環解析の課題

○既往モデルの検証プロセス

- ① 自然状態におけるモデルの妥当性検証
 - ② 人為的水利用を考慮したモデルの妥当性検証
- 【検証方法】: 流域内の主要な流量水位観測所5箇所において観測流量と計算流量を確認



流量水位観測所諸元

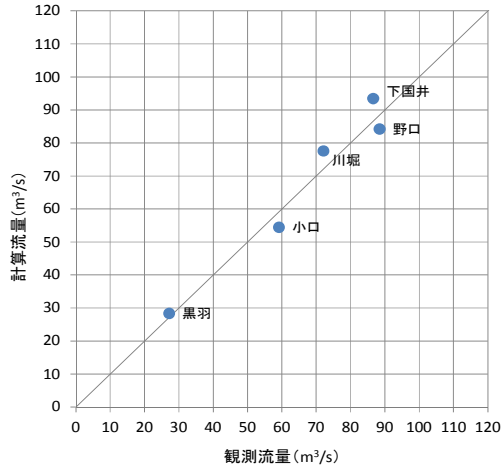
観測所名	河口からの距離	流域面積	零点高
黒羽	90.4 km	648.0 km ²	146.611 m
小口	82.0 km	1,255.0 km ²	99.783 m
川堀	57.7 km	1,941.0 km ²	43.772 m
野口	38.3 km	2,181.0 km ²	21.756 m
下国井	19.7 km	2,517.0 km ²	-0.300 m

公益財団法人 リバーフロント研究所

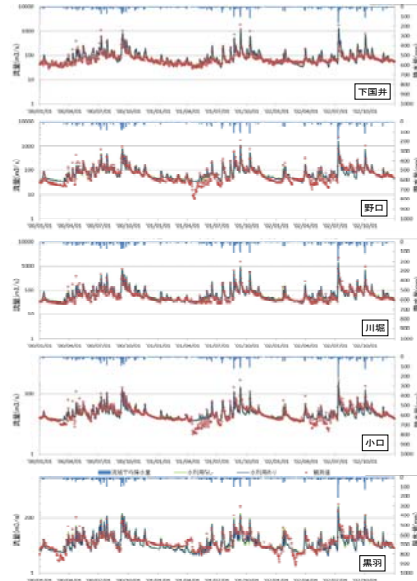
2. 既往モデルによる水循環解析の課題

○既往モデルの検証

①自然状態におけるモデルの妥当性検証



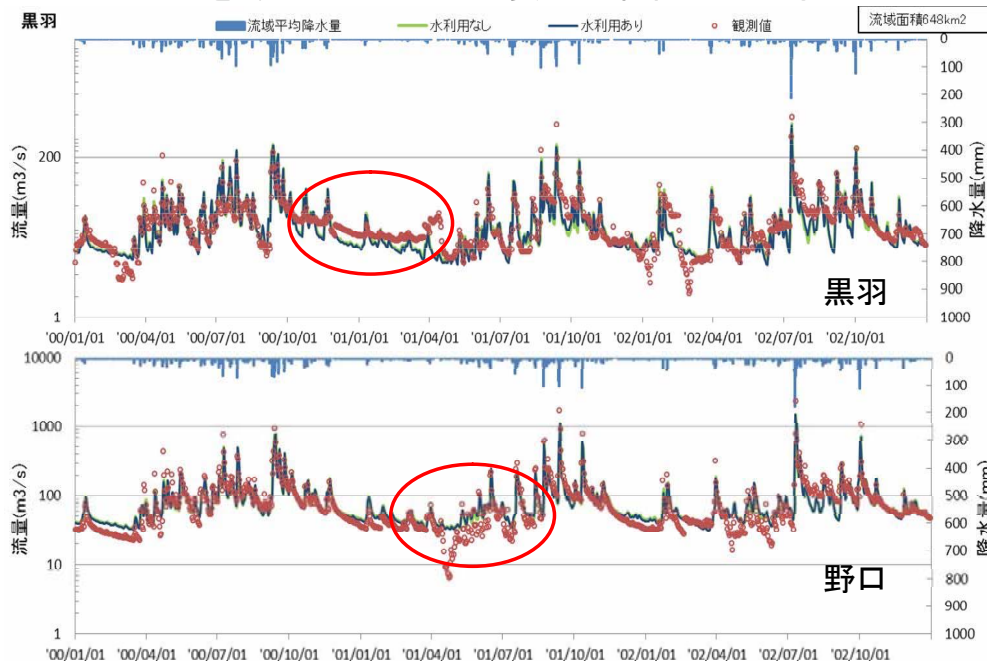
②人為的水利用を考慮したモデルの妥当性検証



観測流量と計算流量は概ね一致⇒モデル妥当性確認

2. 既往モデルによる水循環解析の課題

②人為的水利用を考慮したモデルの妥当性検証(低水時)



観測所によっては低水時の再現性に課題が見られる

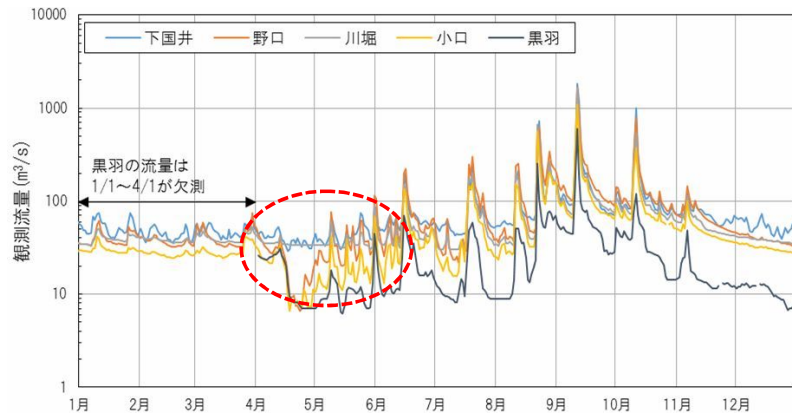
2. 既往モデルによる水循環解析の課題

○既往の水循環モデルの課題

①各観測所流量の流況変化の要因

※4月～5月流量に着目
○川堀＝下国井＞野口
○黒羽＝小口、野口

観測所毎の流量応答が異なるため、流量観測データの検証が必要。



2001年 流量観測結果

解析再現対象とする観測所の検証が必要。

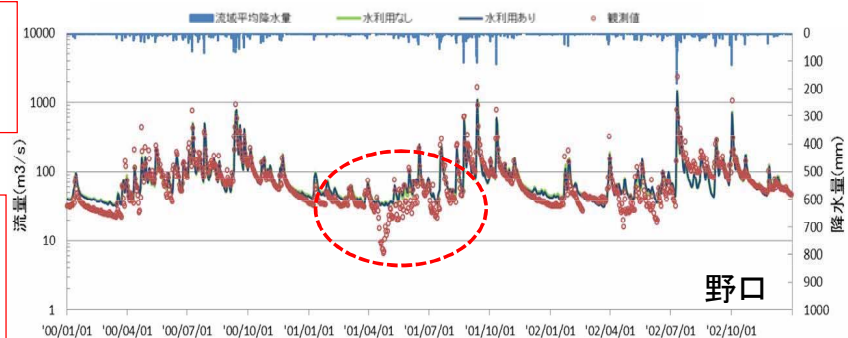
2. 既往モデルによる水循環解析の課題

○既往の水循環モデルの課題

②渇水時の流量低下時の要因抽出

渇水発生の多い4～5月における観測値と解析値に違いが見られる

気候、地形、水利用など水循環の挙動に影響を及ぼす要因を抽出し、モデルに反映



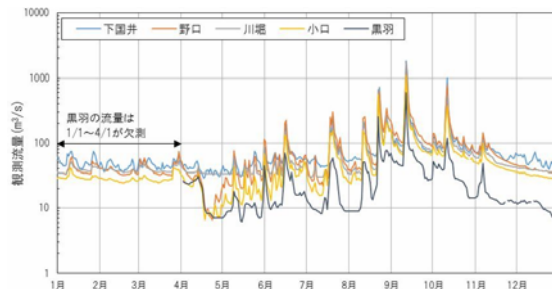
入力データの精度を確認、反映する必要がある。

3. 観測データの検証

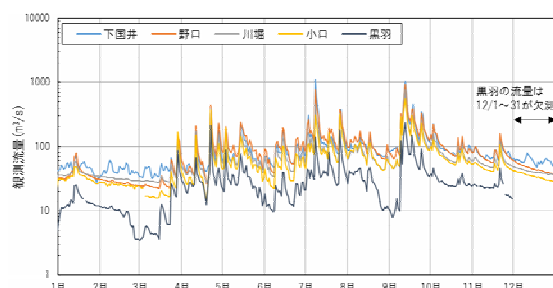
○流量観測データの特徴



1999年



2001年



2000年

- ↓
- ①上流の流量観測所の流量が下流のそれより大きい時期が存在
 - ②流量一定の観測結果(川堀)
 - ③黒羽流量観測所は融雪や人為的水利用の影響を受けていないか？

3. 観測データの検証

○流量観測データの検証

流量観測データの特徴を踏まえ、仮説の検証を実施

【仮説1】水位流量観測の妥当性

【仮説2】流量観測所上下流の河道形状変化

【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、時期

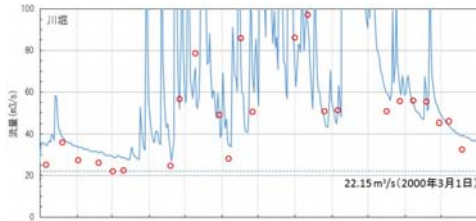
↓

流量観測所の信頼性を評価

3. 観測データの検証

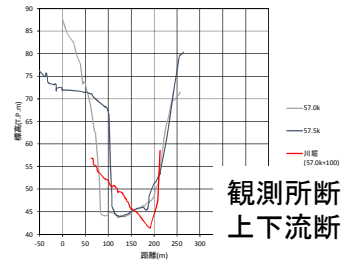
○流量観測データの検証(川堀の例)

【仮説1】水位流量観測の妥当性



流量観測データとテレメータ値に剥離

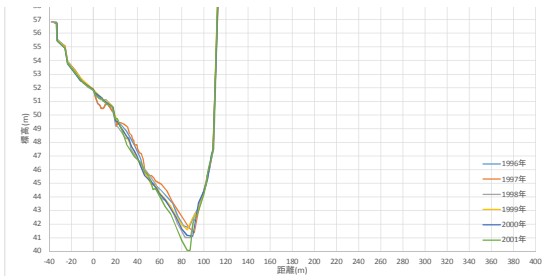
【仮説2】流量観測所上下流の河道形状変化



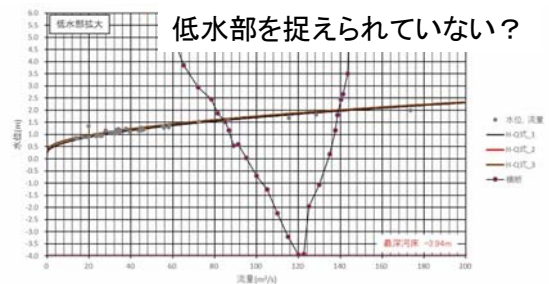
観測所断面が上下流断面と異なる

【仮説3】河道形状の変更

工事履歴、横断図を確認(経年的に大きな改変なし)



【仮説4】水位流量曲線の適用範囲、時期



3. 観測データの検証

○検証結果

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 響を受けるが 感潮区間の 低水管理へ の活用が期 待される)

- 小口、野口観測所の流量観測は信頼性が高い
- 下国井観測所は潮汐の影響を受けるが感潮区間における低水管理への活用を期待



小口、野口、下国井観測所において水循環解析結果の検証を実施

4. 水循環再現解析

○水循環再現性向上のための要因分析

仮説を踏まえて検証を実施

【仮説1】那須地域山間部における積雪・融雪の影響

⇒積雪量のデータを考慮

【仮説2】那須地域における地下水利用時期

・既往モデルでは5月1日より取水(月単位で想定)

⇒現地での取水確認より4月15日とした

【仮説3】那須地域における農業用水利用

・直轄区間 : 水利権ベース⇒実績データor水利権

・那須地域 : 考慮しない⇒実績データor水利権

【仮説4】利水ダム運用

・深山ダム : 貯水量変化による(余剰分を放流)

⇒実績放流量を入力

・塩原ダム : 考慮なし⇒貯水量変化による(余剰分を放流)

各要素の影響度合いを検証

4. 水循環再現解析

○水循環再現性向上のための要因分析

検討ケース

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

解析年: 1997年、2001年(渇水年)

4. 水循環再現解析

○影響度合いの検討結果

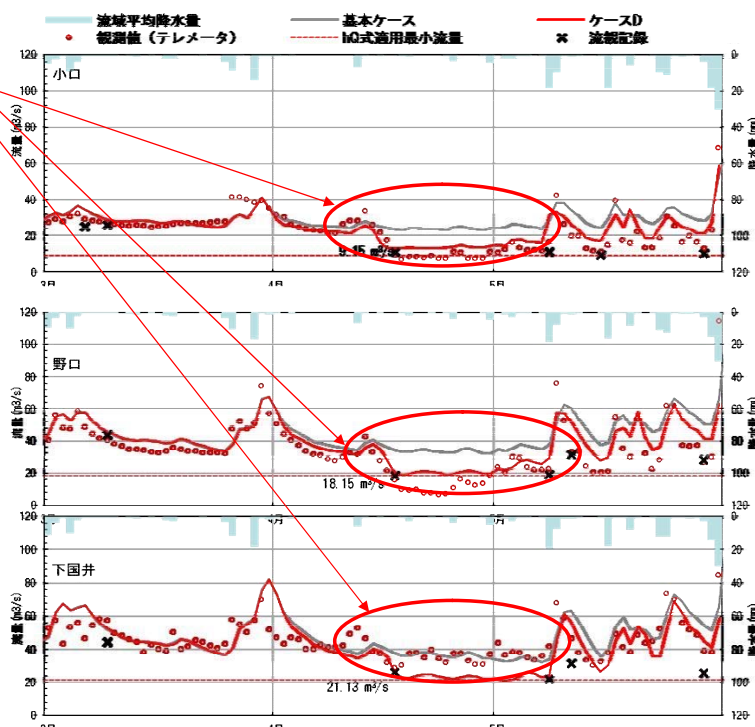
ケース	条件	評価
ケースA	積雪、融雪を考慮	4～5月流況への影響は小さい △
ケースB	地下水揚水時期を4月中旬に変更	影響は0.5m ³ /s程度と小さい △
ケースC	直轄区間:取水量を実測データに	影響は2.0m ³ /s程度と小さい △
ケースD	那須地域:取水量を考慮(4月中旬取水)	4月中旬～5月の流量が低減し観測値と近い結果になる傾向 ○
ケースE	利水ダムデータ一部精度向上	4～5月流況への影響は小さい △

○ケースD(那須地域の取水考慮)の影響度合いが大きい
 ○全要素において精度が向上する傾向を確認

4. 水循環再現解析

○影響度合いの検討結果(ケースD:那須地域の水利用考慮)

渇水時の解析
 精度が向上



4. 水循環再現解析

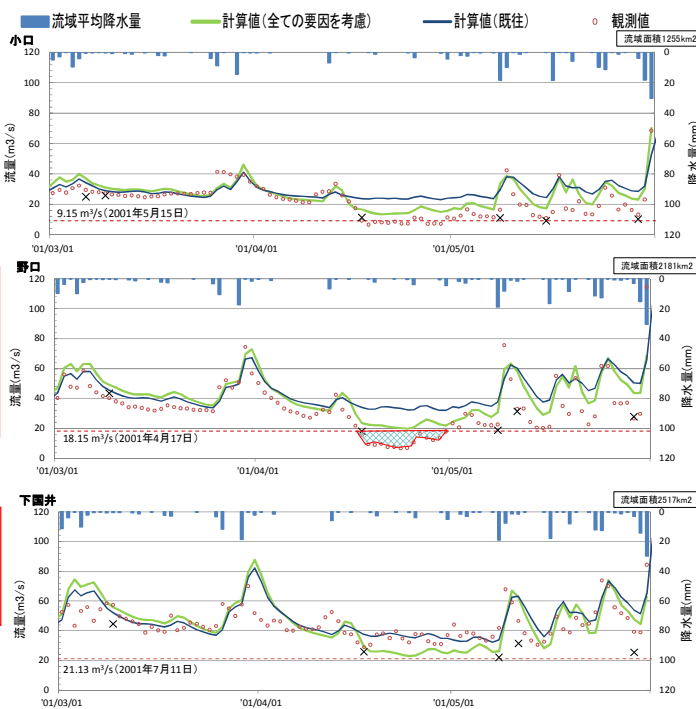
○再現解析(全要素を考慮)

ケース	那須地域の 積雪・融雪	那須川直 轄区間 農業用水 利用	那須地域		ダム運用		
			農家用水 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
再現解析	再現ケー ス	考慮(風速に よる推定率を 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

- ・4～5月における再現性向上
- ・流量低下時の観測値と解析結果に一部違いがみられる



H-Q式による適用流量以下の
ため、外挿の可能性



5. 低水管理のあり方について

○低水管理上の課題・対応策

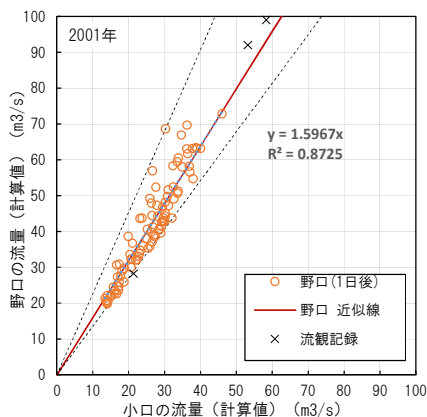
項目	現状と課題	対応策(案)
水位流量観測	<ul style="list-style-type: none"> ・観測所の基準断面は毎年異なっている ・H-Q式作成の基となる流量データは過去のものを含む ・流量算定に影響を及ぼす可能性 	<ul style="list-style-type: none"> ・冬期の横断測量により流量データと横断形の整合を図る
水利用状況把握	<ul style="list-style-type: none"> ・那須地域の水利用状況の把握が重要 ・把握が十分ではない 	<ul style="list-style-type: none"> ・渇水が懸念される時期には予め那須地域の水利用状況を把握 ・ダム運用状況を河川管理者、ダム管理者間で共有
低水管理	<ul style="list-style-type: none"> ・那須地域(小口)と中下流域(野口、下国井)の流況の推移予測が有効 ・流況の推移予測は現状では困難 	<ul style="list-style-type: none"> ・小口流量を把握(計測又は解析) ・小口流量と野口・下国井地点流量との関係を把握 ・簡易式の作成

5. 低水管理のあり方について

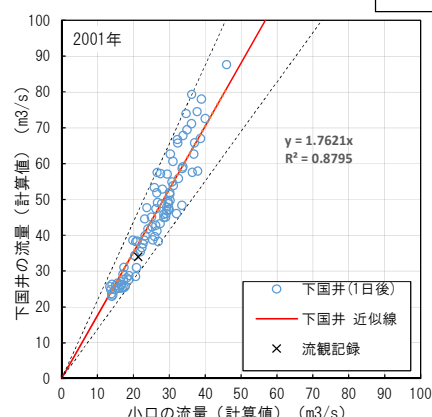
○上流流量より中下流流量観測所流量を推定(試算)

小口流量と1日後の野口、下国井の流量を相関分析

Qk: 小口流量
Qn: 野口流量
Qs: 下国井流量



$$Q_n = 1.5967 \times Q_k$$



$$Q_s = 1.7621 \times Q_k$$

正常流量を確保するための目安となる小口流量を把握

5. 低水管理のあり方について

○上流流量より中下流流量観測所流量を推定(試算)

小口流量と1日後の野口、下国井の流量を相関分析

Qk: 小口流量
Qn: 野口流量
Qs: 下国井流量

	野口(Q _n)	下国井(Q _s)	備考
小口流量(Q _k)との関係性	$Q_n = 1.5967 \times Q_k$	$Q_s = 1.7621 \times Q_k$	
r ²	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 ³ /s	13.62 m ³ /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
	(13.66~22.86m ³ /s)	(10.98~17.40m ³ /s)	
(正常流量) ⁴⁾	31m ³ /s	24m ³ /s	
非灌漑期	14.40 m ³ /s	10.78 m ³ /s	
	(10.14~16.96m ³ /s)	(8.69~13.78m ³ /s)	
(正常流量) ⁴⁾	23m ³ /s	19m ³ /s	

小口流量を把握することで野口、下国井地点の正常流量を推定可能

6. 本研究で得られた結論

結論

- 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関わりを捉え、低水管理に役立てることが望ましい。
- 信頼性の高い観測流量を参考にしたうえで、河川水利用等の諸条件を把握し、水循環解析に活用することが重要。