

7. 水循環解析技術に関する研究

水循環・まちづくりグループ
研究員 石徹白伸也

本日の発表内容

1. 研究の背景
2. 研究の目的
3. 千代川流域の概要
4. 水循環解析モデルの構築
5. 千代川水系の水循環の再現結果
6. 千代川水系の水循環の将来予測
7. まとめ

1. 研究の背景 (1/2)

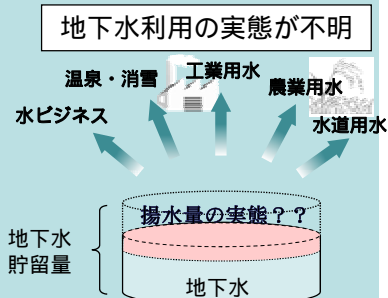
●近年の気候変動に起因する降雨特性の変化、緊急時の水源確保など、**水不足が懸念**されている



●表流水の代替水源となる**地下水の利用**に注目が集まっている

●地下水は“渇水リスク増大への適応策”“緊急時の水の確保”など、地表水の代替となる貴重な水資源であるが.....

- ・地下水の流れは目に見えない
- ・使用量の実態が不明 (土地に付随した私権という性格の制約)



地下水の保全と管理は容易でない

1. 研究の背景 (2/2)

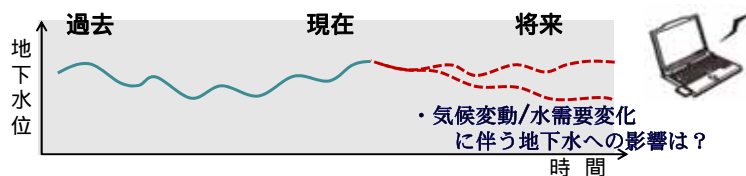
●**地下水の持続可能な保全と利用**を進める上では、従来の揚水規制による管理だけでなく、表流水と一体となった**水循環の視点による水の動態を理解した上での管理**が必要となる。



●過去～現状～将来の**水循環構造を定量的かつ視覚的に把握するための解析技術の確立**が求められている。

持続可能な地下水の保全と利用

現況～将来の動向を定量的・視覚的に捉えるための解析技術の確立



2. 研究の目的

●本研究では、**一級水系千代川流域**をケーススタディとして、表流水・地下水を一体に取り扱える**水循環解析モデル**を構築して「**現状での水循環構造を把握**」するとともに、「**将来気象での地下水位の変化を試算**」し、**モデルの有用性、解析精度に係わる課題を整理**した。

千代川流域

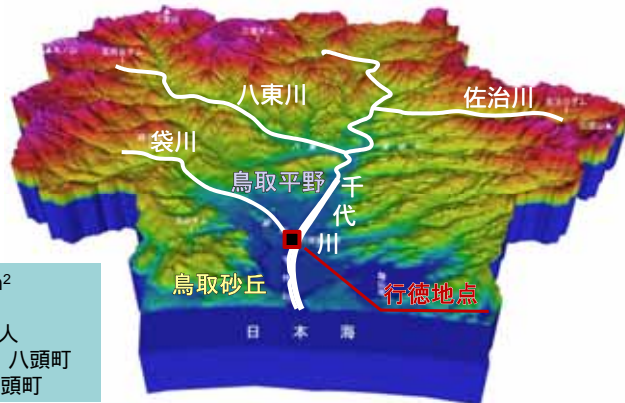


対象流域の概要

3. 千代川流域の概要 【流域概要】

●千代川は、鳥取県東部の日本海側に位置し、鳥取市で佐治川、八東川、袋川等の支川を合わせて鳥取平野を北流し日本海に注ぐ一級河川である。流域面積は1,190km²で、流域人口は約20万人に及び、鳥取県東部地域における社会・経済・文化の基盤をなしている。

急峻な標高1,200～1,500m級の山地



- ・流域面積 : 1,190km²
- ・流路延長 : 52km
- ・流域内人口 : 約20万人
- ・関係市町村 : 鳥取市、八頭町、若桜町、智頭町

公益財団法人リバーフロント研究所

P-06

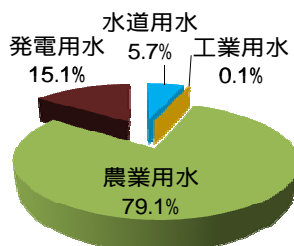
3. 千代川流域の概要 【水利用の状況】

【河川取水】水利用は、水道・工業用水で約1.4m³/s、発電用水で約3.7m³/s、農業用水として約7,400haのかんがい用水(最大約20m³/s)が取水されている。水道用水は鳥取市水道、工業用水は三洋製紙工業、鳥取地区工業用水道で利用されている。

【地下水利用】地下水の年間揚水量は水道用水と工業用水で全体の8割程度を占める。一方、かんがい期(5月)では農業用水(水田)が6割を占め、期間によって使用割合が異なる。その他、揚水量は少ないが、温泉や消雪用水にも利用されている。

河川水利用

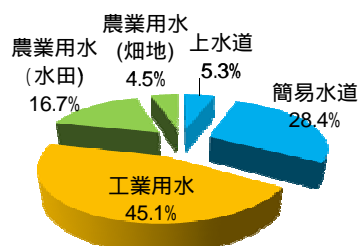
- 使用量 :
- ・かんがい期 : 24.4m³/s
 - ・非かんがい期 : 6.9 m³/s



出典: 第1回千代川の今後を考える学識懇談会資料

地下水利用

- 使用量 :
- ・かんがい期 : 0.6 m³/s
 - ・非かんがい期 : 0.3 m³/s



各種統計資料より集計、農業用水は利用実態調査の推定値

公益財団法人リバーフロント研究所

P-07

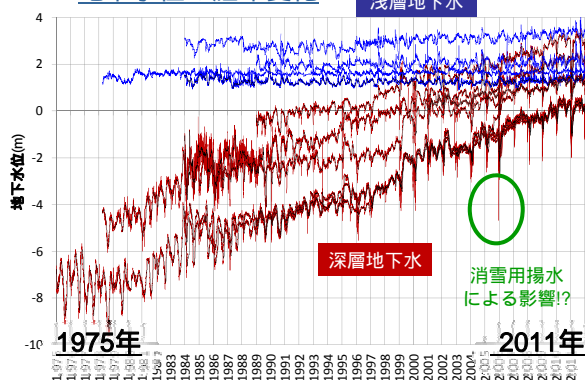
3. 千代川流域の概要 【地下水の状況】

- 鳥取平野では、国土交通省所管の**12観測井**(不圧:4地点、被圧:8地点)が整備されている。
- 地下水位は「**浅層帯水層**(不圧地下水)」、「**深層帯水層**(被圧地下水)」の各地下水位を計測している。
- 観測は古いもので**1975年(昭和50年)**から開始されている。

地下水観測位置



地下水位の経年変化

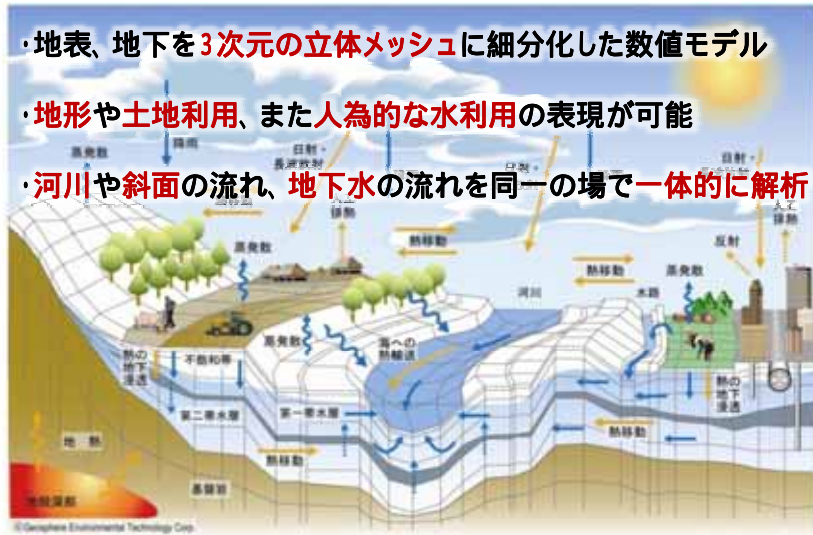


水循環解析モデルの構築

4. 水循環解析モデルの構築

本研究で用いる水循環解析モデル「統合型水循環シミュレータ」

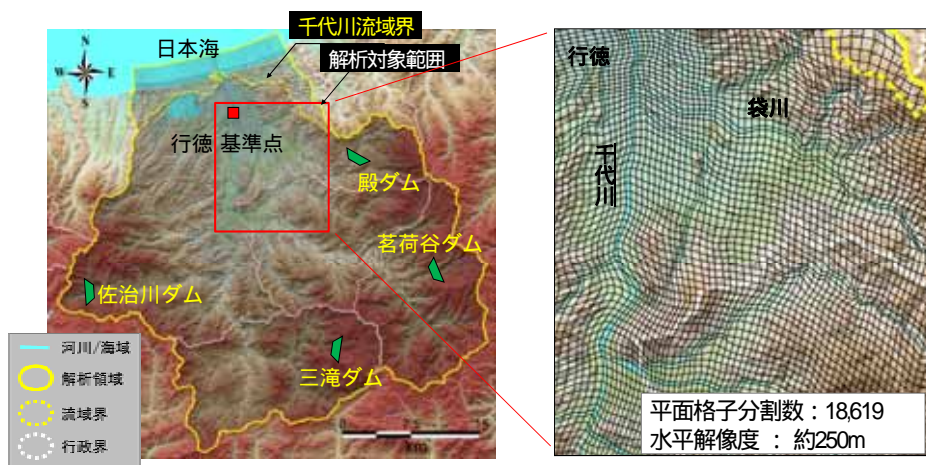
- ・地表、地下を3次元の立体メッシュに細分化した数値モデル
- ・地形や土地利用、また人為的な水利用の表現が可能
- ・河川や斜面の流れ、地下水の流れを同一の場で一体的に解析



4. 水循環解析モデルの構築 【平面格子モデル】

平面格子モデル

- 格子サイズは約250mメッシュを基本とし、鳥取平野での微地形や主要河川の流れを捉えることに留意し、必要に応じて格子サイズの細分化を実施。

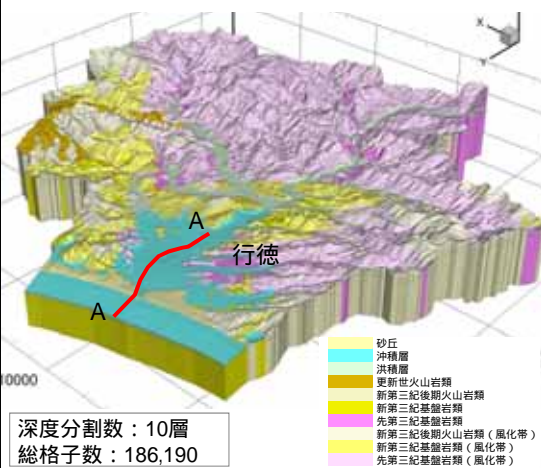


4. 水循環解析モデルの構築 【三次元格子モデル】

三次元格子モデルの作成

- 平面格子モデルを深度方向へ押し出し、三次元格子モデルを作成。深度方向の格子は水理地質区分を表現するため10層に分割。総格子数は約186,000。

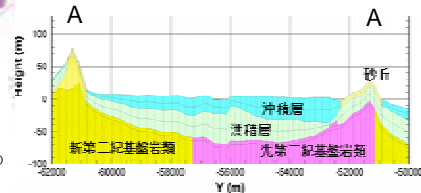
三次元格子モデル鳥瞰図（水理地質）



水理地質区分

地質年代		水理地質区分	
新生代	第四紀	完新世	表層土壌
		沖積層	砂丘
			沖積層(上部礫層)
	更新世	沖積層(下部粘土層)	
	新第三紀	鮮新世	洪積層(後期更新世堆積物)
		中新世	洪積層(高透水性)
更新世火山岩類			
中生代	白亜紀・ジュラ紀・三畳紀	新第三紀後期火山岩類	風化部 新鮮部
	古第三紀	第三紀基盤岩類	風化部 新鮮部
		先第三紀基盤岩類	風化部 新鮮部

モデル断面図（水理地質）



公益財団法人リバーフロント研究所

P-11

4. 水循環解析モデルの構築 【水利用のモデル化】

水利用『地下水揚水』のモデル化

- 地下水利用のモデル化には実績揚水量(もしくは届出値)を与えている。
- 実績揚水量が無い場合には、統計資料や過去のトレンドから推定している。

用途	揚水量の整備状況			地下水揚水量の推定			出典資料 資料名
	期間	経年 変化	深度	地点	経年 変化	深度	
水道用水	S50-H4	無し	無し	現在の水源地点を反映	水道給水人口を用いて、市町村別揚水量を推定	H5の揚水深度(浅井戸・深井戸)の割合から推定	鳥取県の水道の現状
	H5-H22	有り	有り				
工業用水	S50-H22	有り	無し	メッシュ別揚水量分布(S50・S61)	年単位 ・使用量の多いA社・B社は実測値を使用 ・その他はメッシュ別の揚水量で按分。	鳥取大学・鳥取県共同研究成果により設定。	鳥取地区地下水揚水量アンケート(S62) 鳥取大学・鳥取県共同研究報告書 工業統計調査(鳥取県・経産省)
						H2以前: 全揚水量を深層から揚水 H17以降: 全揚水量7割を深層で揚水 H3-16: 直線近似	
農業用水	-	無し	無し	耕作面積×揚水量 原単位 水田は[月別揚水量(鳥取県)]を使用	鳥取県全体の深度別井戸数を用いて推定	農業地下水利用実態調査(農林水産省)	
温泉取水	S31以降	有り	有り	取水開始以降、一定量で揚水		県提供資料	

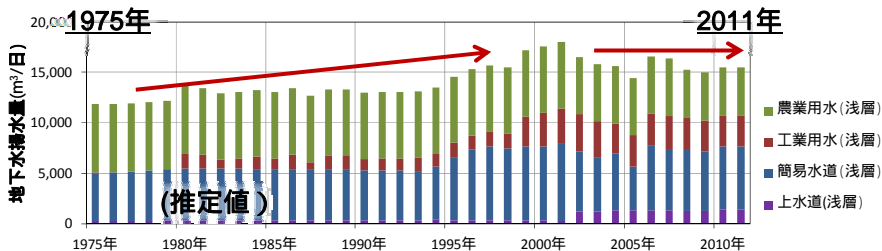
公益財団法人リバーフロント研究所

P-12

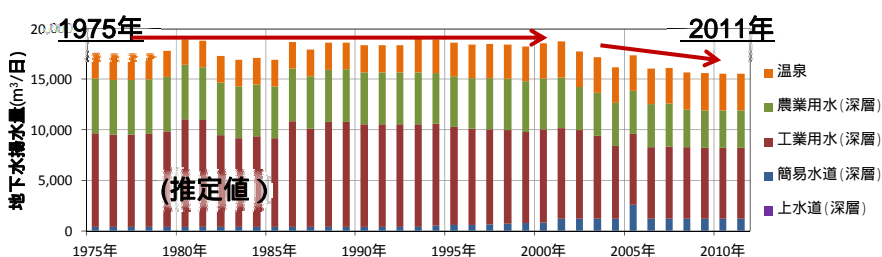
4. 水循環解析モデルの構築 【水利用のモデル化】

水利用 『地下水揚水』のモデル化

浅層地下水揚水量



深層地下水揚水量



モデルの再現結果

5. 千代川水系の水循環の再現結果

再現条件

- 自然状態(過去)の水循環を初期場として、河川取水、地下水揚水、ダム運用などの**水利用を考慮した非定常解析**

再現対象期間： **37年間(1975~2011年)**

解析の時間スケール： **日単位**

水利用：

- ・**河川取水量**：実績データ(日単位)を基本
農業用水(慣行)：水利権量を使用
- ・**地下水揚水量**：実績データ(年単位 水田は月単位)を使用

ダム運用：出水時/平常時を考慮して簡易に設定

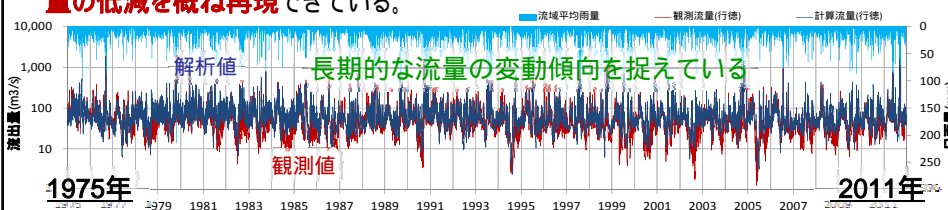
- ・出水時：貯水位がサーチャージ水位を超えた場合は、超過量を放流
- ・平常時：維持放流量および利水取水を考慮

5. 千代川水系の水循環の再現結果 【河川流量】

河川流量(行徳)の計算値と観測値の比較

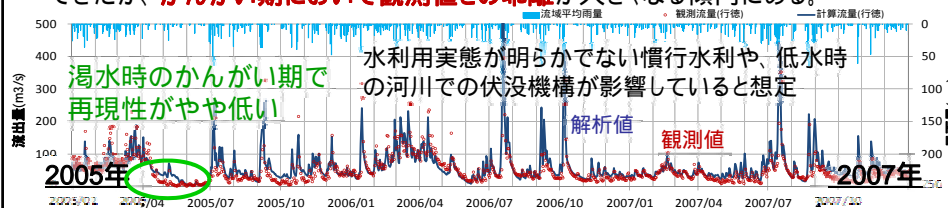
長期変化

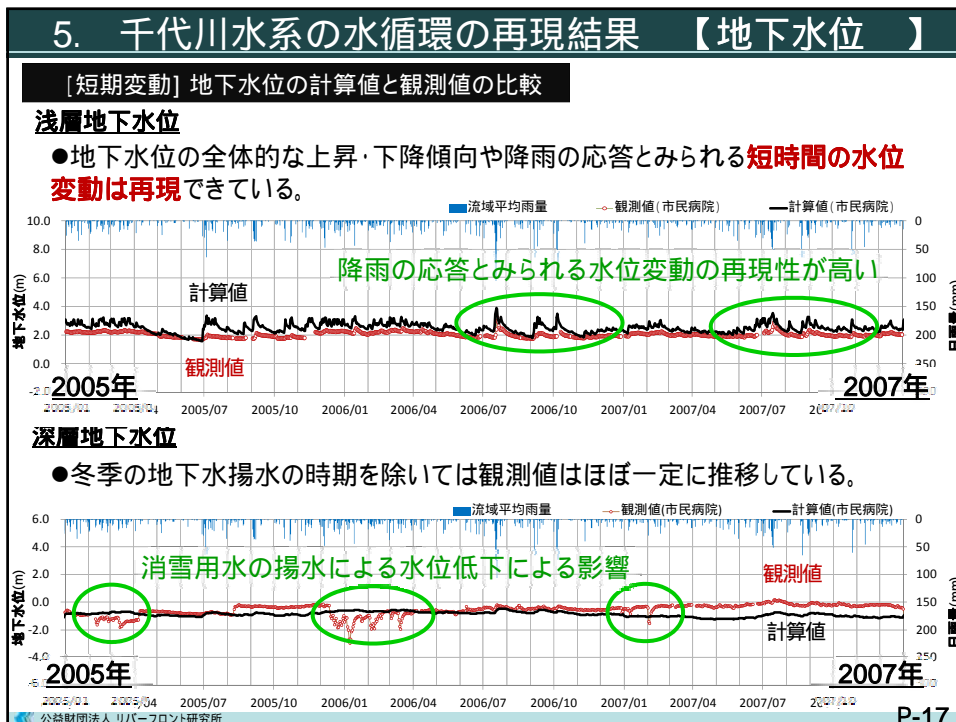
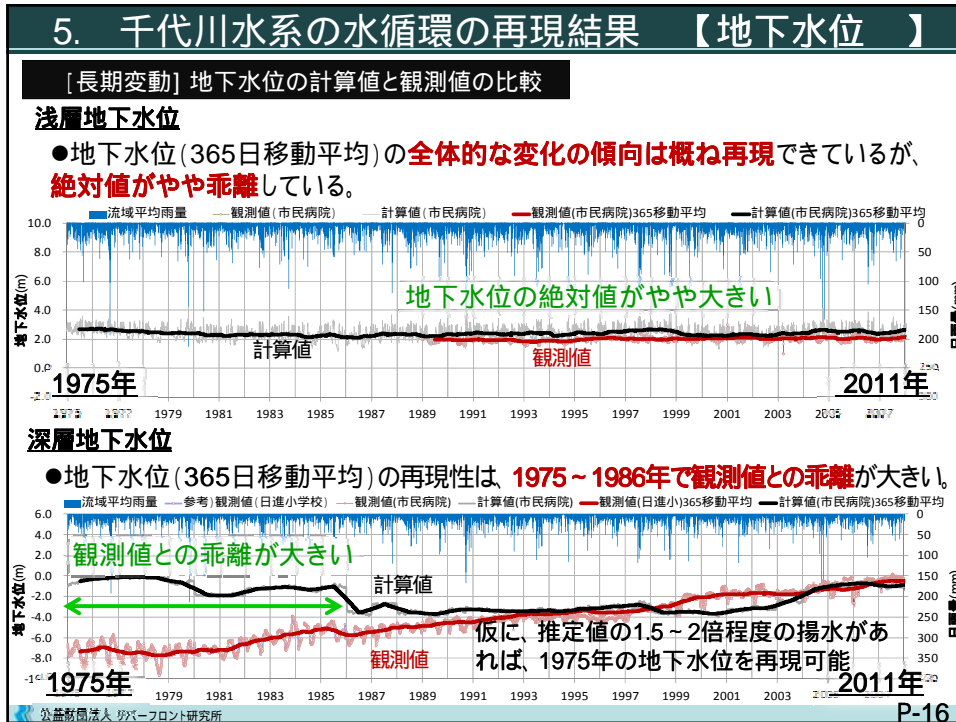
- 中長期的な河川流量(豊水から渇水まで)の変動傾向や、渇水時における**流量の低減を概ね再現**できている。



短期変化

- ピーク流量や出水後の減水傾向など、**短期の流量変化を概ね再現**することができたが、**かんがい期において観測値との乖離が大きくなる傾向**にある。



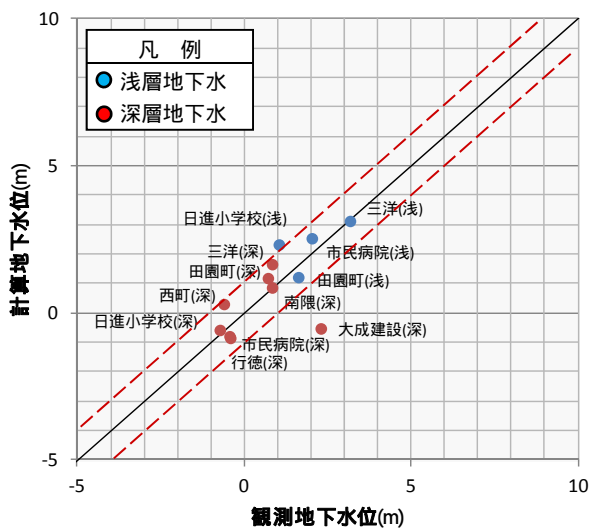


5. 千代川水系の水循環の再現結果 【地下水位】

[広域分布] 地下水位の計算値と観測値の比較

●**広域的な視点**でみた場合には、**観測値を全体的な傾向を捉えている**

地下水観測位置



解析結果から分かる水循環構造

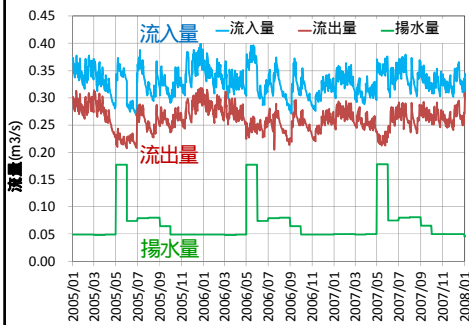
5. 千代川水系の水循環の再現結果【水循環構造】

帯水層別の地下水流動

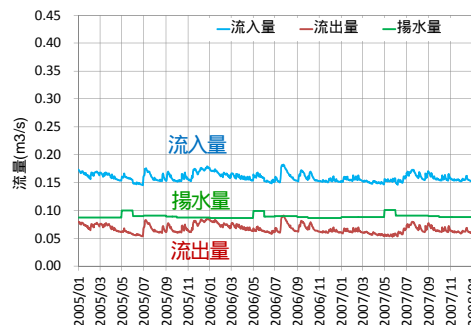
【浅層帯水層(沖積層)】沖積層の流入出の変動は洪積層に比べて大きく、その水量も大きい。これは河川からの伏没・還元など、**表流水との交流が多い**ことを示している。

【深層帯水層(洪積層)】洪積層の流入量は沖積層の約半分程度と少なく、また、揚水量は流出量を上回っている。このことから、**現在の揚水量規模が洪積層の帯水層能力の限界に近い**ものと判断される。

浅層帯水層の地下水流入量と流出量



深層帯水層の地下水流入量と流出量



5. 千代川水系の水循環の再現結果【水循環構造】

地下水揚水と地下水流動

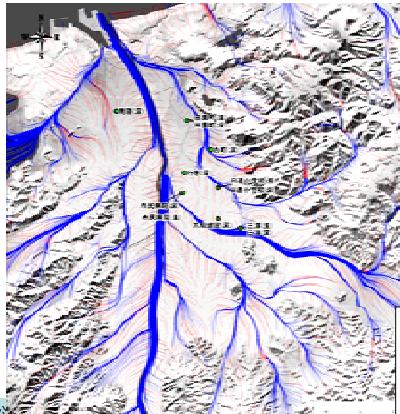
“地下水揚水が無い”と仮想した場合の深層地下水の流線

- 海に向かう地下水の流れは弱く、**近場の河川へ流出する流れ**がある。

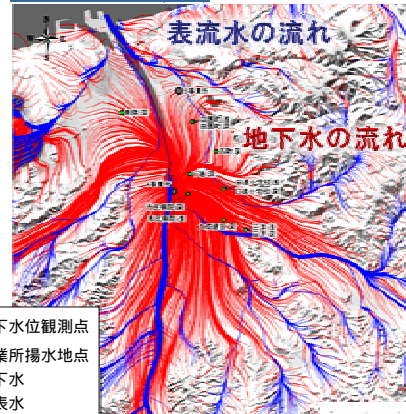
“地下水揚水がある”現在を再現した場合の深層地下水の流線

- A事業所の揚水量が帯水層規模(地下水貯留量規模)に対して大きく、揚水地点を中心に**遠方の地下水を引き寄せる流れ**がみてとれる。

揚水が無い場合(仮想)



揚水がある場合(H17)



- 地下水位観測点
- 事業所揚水地点
- 地下水
- 地表水

将来予測

公益財団法人リバーフロント研究所

6. 千代川水系の水循環の将来予測【将来シナリオ】

- 将来気候(降水量・気温)による地下水位の応答について試算
- 解析結果は、別途、**水収支モデル(簡易モデル)との比較を行い、モデルの適用性を確認**

将来外力：

- ・**降水量・気温**：MRI-AGCM3.2S(21世紀気候変動予測革新プログラムにおける後期モデル)の1kmメッシュデータを使用。
- ・**水利用(河川・地下水)**：現在(H23)の水利用で固定

将来シナリオ：**下表のとおり**

- ・ Case1：現況 / Case2：近未来(50年後) / Case3：将来(100年後)

予測期間：**25年間**

- ・ 現況(1979～2003年)
- ・ 近未来(2015～2039年)
- ・ 将来(2075～2099年)

	降水量	予測期間	降雨外力 (年平均)
Case1	現況	25年間 1979～2003	1,996 mm
Case2	近未来 (50年後)	25年間 2015～2039	2,040 mm
Case3	将来 (100年後)	25年間 2075～2099	2,090 mm

公益財団法人リバーフロント研究所

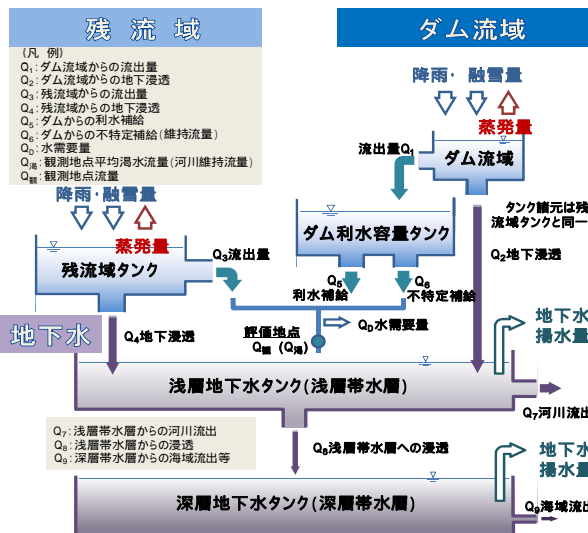
P-21

6. 千代川水系の水循環の将来予測【水収支モデル】

水収支モデルの概要

ダム流域、残流域及び帯水層(不圧・被圧)で構成される集中型のタンクモデル
 ~代表地点の地下水位、河川流量、ダム貯水量の把握を目的とした簡易モデル~

モデル概念図



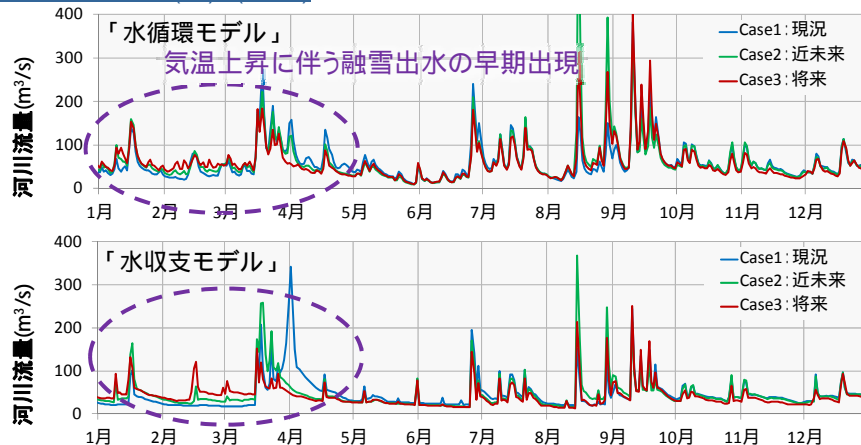
6. 千代川水系の水循環の将来予測【河川流量】

河川流出量の将来予測

【水循環モデル】【水収支モデル】

●冬季(1月から4月)のピーク流量の出現が現況、近未来、将来と徐々に早まっており、**気温上昇に伴う融雪出水の早期出現が表現**できている。

河川流量の変化(日) (m^3/s)



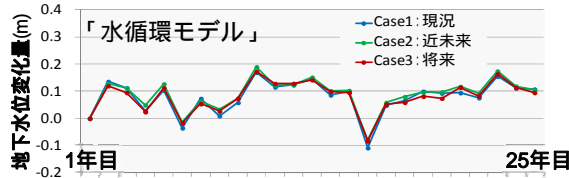
6. 千代川水系の水循環の将来予測【浅層地下水位】

浅層地下水位の将来予測

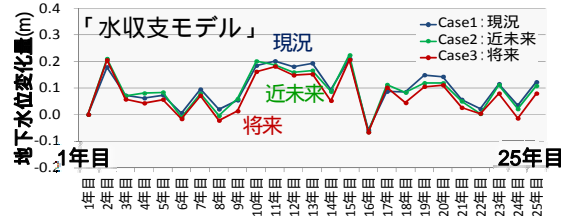
【水循環モデル】【水収支モデル】

- 現況、近未来、将来における浅層地下水位の25年間平均値の差はなく、気候変動による**降雨・気温の変化量が浅層地下水へ与える影響は殆どみられない。**

地下水位の変化(年平均) (m)



	水循環モデル		
	Case1	Case2	Case3
降水量	現況	近未来	将来
最高水位	0.17m	0.19m	0.17m
最低水位	-0.11m	-0.08m	-0.08m
平均水位	0.09m	0.09m	0.09m
25年間水位差	0.11m	0.10m	0.09m



	水収支モデル		
	Case1	Case2	Case3
降水量	現況	近未来	将来
最高水位	0.21m	0.22m	0.21m
最低水位	-0.08m	-0.07m	-0.07m
平均水位	0.10m	0.09m	0.07m
25年間水位差	0.12m	0.11m	0.08m

公益財団法人リバーフロント研究所

P-24

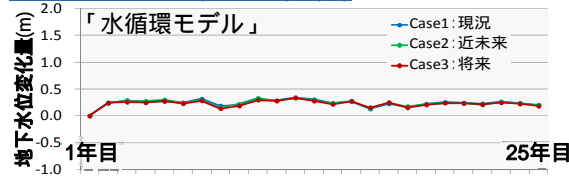
6. 千代川水系の水循環の将来予測【深層地下水位】

深層地下水位の将来予測

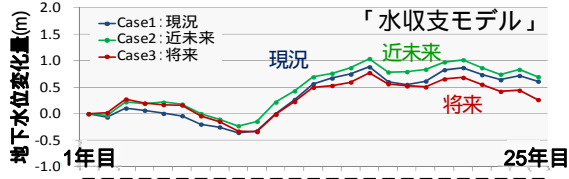
- 【水循環モデル】現況、近未来、将来における浅層地下水位の25年間平均値の差は数cmであり、降雨の変化量が**深層地下水へ与える影響は殆どみられない。**

- 【水収支モデル】現況、近未来、将来における浅層地下水位の25年間平均値の差は数十cmであり、過去の水位変化量10mからすれば小さく、**影響は殆どみられない。**

地下水位の変化(年平均) (m)



	水循環モデル		
	Case1	Case2	Case3
降水量	現況	近未来	将来
最高水位	0.34m	0.34m	0.33m
最低水位	0.00m	0.00m	0.00m
平均水位	0.24m	0.24m	0.22m
25年間水位差	0.20m	0.19m	0.18m



	水収支モデル		
	Case1	Case2	Case3
降水量	現況	近未来	将来
最高水位	0.88m	1.04m	0.77m
最低水位	-0.35m	-0.23m	-0.34m
平均水位	0.33m	0.47m	0.29m
25年間水位差	0.61m	0.70m	0.27m

公益財団法人リバーフロント研究所

P-25

7. まとめ

1. モデルの有用性

(1) 現況再現

●降雨や地下水揚水による河川流量・地下水位の敏感な応答、空間的な地下水の流動を表現することができ、“平常時と湧水時の地下水の流動の違い”や、“揚水による周辺地下水への影響”といった、**観測では捕捉しにくい広域的な水循環系での定量化や可視化の推定が可能**となる。

(2) 将来予測

●将来の降雨パターン変化や気温上昇による河川流量、地下水位の応答関係を表現することができ、**現在から将来にわたっての長期的な水循環構造の変化、湧水時等の地下水位の変化といった、管理に有用な基礎情報**になりうる可能性がある。

2. 今後の課題(解析精度に関する課題)

●水循環解析は、地下水の管理を進めていく上で有用なツールであり、**地下水解析の精度向上に資する揚水量の把握と地質構造の解明**が望まれる。