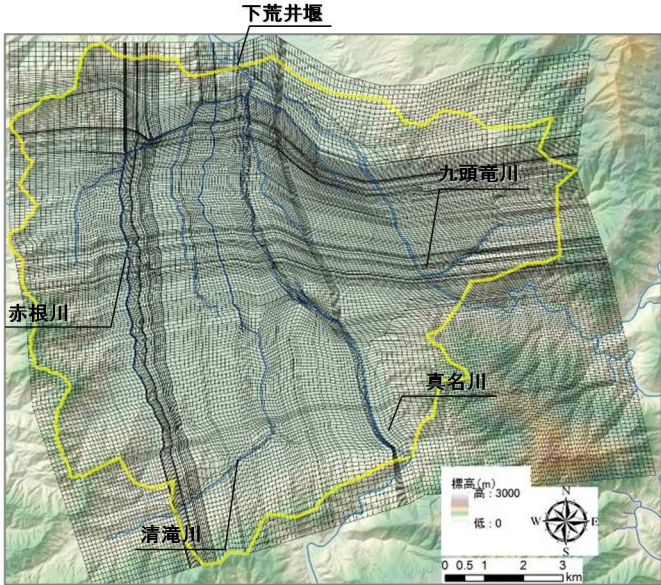
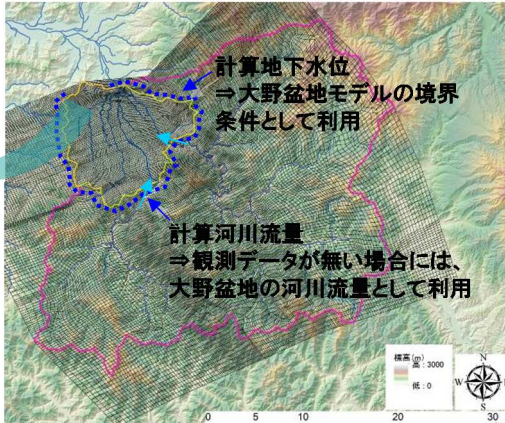


1) 水循環解析事例

対象河川・流域	福井県九頭竜川（下荒井堰上流部）
地下水解析の実施目的	<p>国土技術政策総合研究所では、地下水の適正な利用と保全に向けた取組が積極的に行われており、この一環として、地下水位・地下水採取量等のデータ整備が進んでいる福井県大野盆地を対象として平成 25 年度にモデルを構築し、平成 26 年度に再チューニングを行った。</p> <p>本検討は、水循環解析を用いて大野盆地の地下水流動特性と水循環健全化施策の特性の把握のケーススタディを行ったものである。</p>
解析モデル	<p>モデル名称 統合型水循環シミュレータ GETFLOWS (General-purpose Terrestrial Fluid-flow Simulator)</p>
	<p>空間解像度 水平（5m～150m）、深度分割数（14層）</p>
	<p>モデルの構造</p> <p>本検討では、地下水涵養施策の効果等を検討することから、特に、大野盆地において、詳細にモデル化する必要がある。そのため、大野盆地を詳細にモデル化した大野盆地モデルと、そのほかの調査地域をモデル化した広域モデルの双方を設定した。広域モデルで水循環解析を行ったのち、両モデルの境界面で地表水・地下水等のデータを受け渡し、大野盆地モデルで水循環解析を行った。</p> <p>大野盆地モデルの平面メッシュを以下に示す。河川形状や著名な湧水などの形状を表現するために、5m～150mの範囲で柔軟的に設定した（河川付近は1mメッシュ、大野盆地域は5mメッシュ）。平面格子の総数は約45,000個、全体格子は約500,000個となった。</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>大野盆地周辺を切り出し、メッシュを細分化</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>図 広域モデルと大野盆地モデル</p>

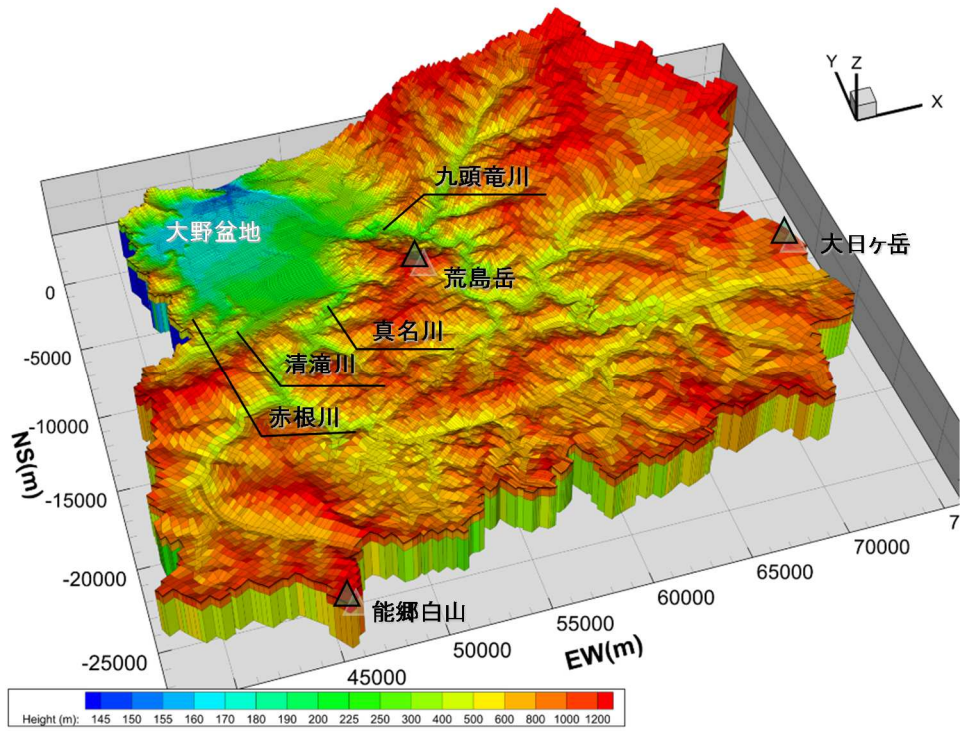


図 広域モデル鳥瞰図

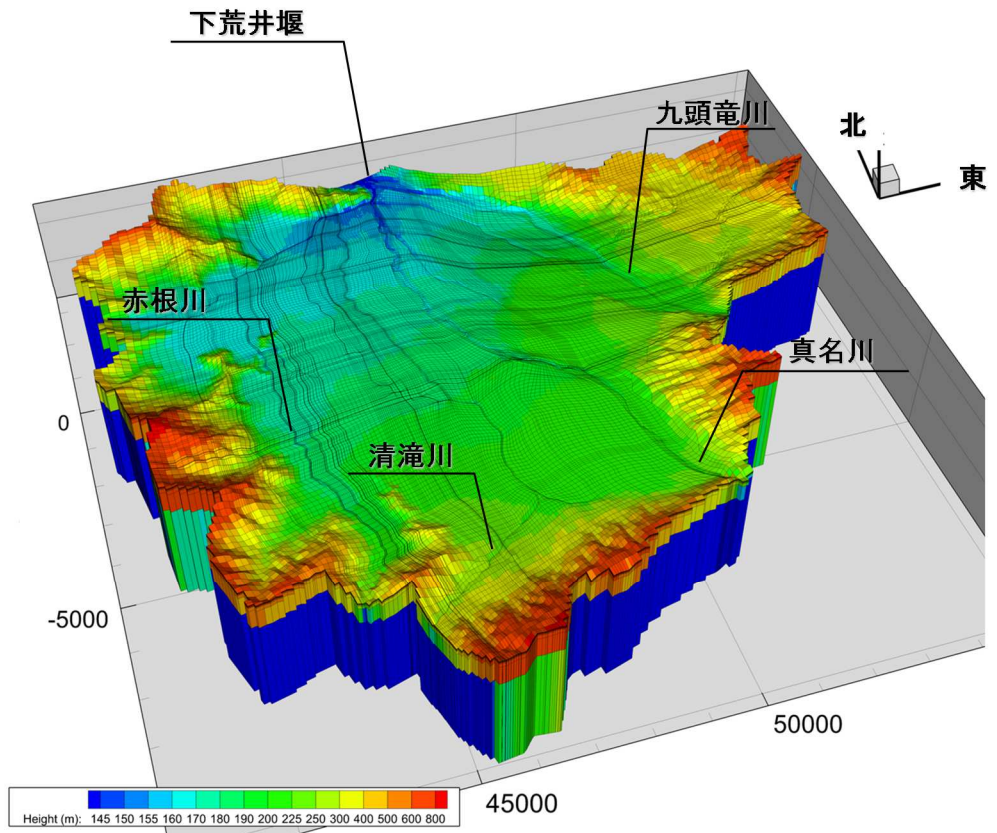


図 大野盆地モデル鳥瞰図

解析に用いたデータの種類の	気象関係	<p style="text-align: center;">表 気象データの基本諸元</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>管理者</th> <th>資料名</th> <th>データ期間</th> <th>観測点/エリア</th> <th>出典等</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>気象庁</td> <td>アメダスデータ</td> <td>S51~H24</td> <td>九頭竜、勝山、大野</td> <td>気象庁 HP</td> </tr> <tr> <td>国土交通省</td> <td>テレメータ雨量</td> <td>S51~H24</td> <td>温見、平家平、雲川、熊河、久沢、箱ヶ瀬、長野、中島、真中、大野、下荒井、上打波、石徹白、大宮、大本、勝原、妙金島、六呂師</td> <td>国土交通省</td> </tr> <tr> <td>福井県</td> <td>観測データ</td> <td>S51~H24</td> <td>本戸、秋生、上大納、朝日前坂、下山、小黒見、奥越土木、下黒谷、勝山分庁舎、伊知地、五所ヶ原、金見谷、河内、皿谷、神当部、笹生</td> <td>福井県</td> </tr> </tbody> </table>					管理者	資料名	データ期間	観測点/エリア	出典等	気象庁	アメダスデータ	S51~H24	九頭竜、勝山、大野	気象庁 HP	国土交通省	テレメータ雨量	S51~H24	温見、平家平、雲川、熊河、久沢、箱ヶ瀬、長野、中島、真中、大野、下荒井、上打波、石徹白、大宮、大本、勝原、妙金島、六呂師	国土交通省	福井県	観測データ	S51~H24	本戸、秋生、上大納、朝日前坂、下山、小黒見、奥越土木、下黒谷、勝山分庁舎、伊知地、五所ヶ原、金見谷、河内、皿谷、神当部、笹生	福井県
	管理者	資料名	データ期間	観測点/エリア	出典等																					
気象庁	アメダスデータ	S51~H24	九頭竜、勝山、大野	気象庁 HP																						
国土交通省	テレメータ雨量	S51~H24	温見、平家平、雲川、熊河、久沢、箱ヶ瀬、長野、中島、真中、大野、下荒井、上打波、石徹白、大宮、大本、勝原、妙金島、六呂師	国土交通省																						
福井県	観測データ	S51~H24	本戸、秋生、上大納、朝日前坂、下山、小黒見、奥越土木、下黒谷、勝山分庁舎、伊知地、五所ヶ原、金見谷、河内、皿谷、神当部、笹生	福井県																						
地形関係	<p style="text-align: center;">表 地形データの基本諸元</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>収集資料名</th> <th>測量方法</th> <th>整備範囲</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center;">陸地</td> <td>国土交通省 数値地図 10m メッシュ(標高)</td> <td>1/25000 地形図等高線</td> <td>日本全国</td> </tr> <tr> <td>平成 24 年 真名川 LP データ</td> <td>航空レーザ 測量</td> <td>大野盆地周辺</td> </tr> <tr> <td>真名川砂防管内 LP データ</td> <td>航空レーザ 測量</td> <td>真名川周辺</td> </tr> </tbody> </table>						収集資料名	測量方法	整備範囲	陸地	国土交通省 数値地図 10m メッシュ(標高)	1/25000 地形図等高線	日本全国	平成 24 年 真名川 LP データ	航空レーザ 測量	大野盆地周辺	真名川砂防管内 LP データ	航空レーザ 測量	真名川周辺							
	収集資料名	測量方法	整備範囲																							
陸地	国土交通省 数値地図 10m メッシュ(標高)	1/25000 地形図等高線	日本全国																							
	平成 24 年 真名川 LP データ	航空レーザ 測量	大野盆地周辺																							
	真名川砂防管内 LP データ	航空レーザ 測量	真名川周辺																							

解析に用いたデータの種類

地質関係

表 地質データの基本諸元

管理者	資料名	観測点/エリア	出典等
産業技術総合研究所	20万分の1日本シームレス地質図	大野盆地	産業技術総合研究所
大野市	平成14年度 大野市「大野市地下水総合調査業務報告書」 平成23年度 大野市「大野市地下水シミュレーションモデル 修正業務委託【湧水第1号】報告書」	大野盆地	大野市

表 地質関連の参考文献

収集資料名	作成機関
20万分の1シームレス地質図	(独)産業技術総合研究所

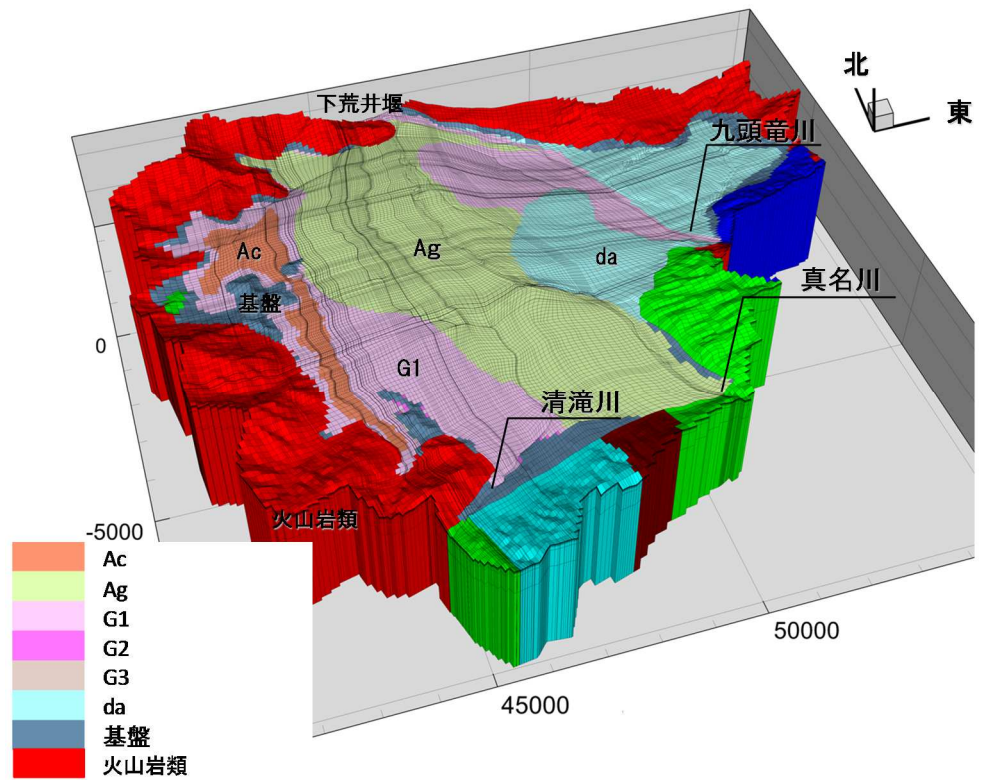


図 大野盆地 地質モデル

解析に用いたデータの種類	河川関係	<p style="text-align: center;">表 水文データの基本諸元</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>管理者</th> <th>観測期間</th> <th>観測頻度</th> <th>河川名</th> <th>観測所数</th> <th>観測所名</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>国土交通省</td> <td>1983～1988年</td> <td>日</td> <td>真名川</td> <td>1箇所</td> <td>麻生島観測所</td> </tr> </tbody> </table>	管理者	観測期間	観測頻度	河川名	観測所数	観測所名	国土交通省	1983～1988年	日	真名川	1箇所	麻生島観測所
	管理者	観測期間	観測頻度	河川名	観測所数	観測所名								
	国土交通省	1983～1988年	日	真名川	1箇所	麻生島観測所								
地下水関係	<p style="text-align: center;">表 水文データの基本諸元</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>管理者</th> <th>資料名</th> <th>データ期間</th> <th>観測点/エリア</th> <th>出典等</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>大野市</td> <td>地下水位観測データ</td> <td>S50～H24</td> <td>大野市内 27箇所</td> <td>大野市</td> </tr> </tbody> </table>	管理者	資料名	データ期間	観測点/エリア	出典等	大野市	地下水位観測データ	S50～H24	大野市内 27箇所	大野市			
管理者	資料名	データ期間	観測点/エリア	出典等										
大野市	地下水位観測データ	S50～H24	大野市内 27箇所	大野市										
土地利用関係	<p style="text-align: center;">表 土地利用データの基本諸元</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>管理者</th> <th>資料</th> <th>データ期間</th> <th>データ密度/解像度</th> <th>観測点/エリア</th> <th>出典等</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>国土交通省</td> <td>国土数値情報 (土地利用細分メッシュ)</td> <td>S51/S62/H3/ H9/H18/H21</td> <td>100m/1km</td> <td>九頭竜川流域</td> <td>国土交通省</td> </tr> </tbody> </table>	管理者	資料	データ期間	データ密度/解像度	観測点/エリア	出典等	国土交通省	国土数値情報 (土地利用細分メッシュ)	S51/S62/H3/ H9/H18/H21	100m/1km	九頭竜川流域	国土交通省	
管理者	資料	データ期間	データ密度/解像度	観測点/エリア	出典等									
国土交通省	国土数値情報 (土地利用細分メッシュ)	S51/S62/H3/ H9/H18/H21	100m/1km	九頭竜川流域	国土交通省									
各水文プロセスの設定手法	降雨	<p>シミュレーションの入力値となる降水量は、多くの観測所データを組み込むことで、面的な情報(分布状況)が密となり、解析精度の向上に繋がる。そこで、本解析では、対象流域を地点雨量が代表する面積に分割し、その面積に比例する重みをつけて平均することにより流域平均雨量を求めるティーセン分割法を適用し、標高補正も行った。</p>												

各水文プロセスの設定手法	融雪	<p>本解析では、菅原の手法を用いて実測された積雪深を再現する融雪量を推定した。</p> <p>菅原の手法では、日平均気温がある融雪温度を下回る場合、降水量を積雪とみなしてタンクに加える。反対に融雪温度より高い場合は、融雪量がタンクから差し引かれ、その水量が降雨に加算されるものとする。</p> <p>具体的な取扱いは次の算定式を用いる。</p> <p style="text-align: center;"><u>日平均気温が融雪温度を下回る場合</u></p> $(T \geq T_m) \begin{cases} r_m = mT + PT / 80 \\ h = h_p - r_m \quad (r_m \leq h_p) \\ P_m = P + r_m \end{cases}$ <p style="text-align: center;"><u>日平均気温が融雪温度を上回る場合</u></p> $(T < T_m) \begin{cases} r_m = 0 \\ h = h_p + P \\ P_m = 0 \end{cases}$ <p>ここに、T は日平均気温($^{\circ}C$)、T_m は融雪温度($^{\circ}C$)、r_m は日融雪量(mm / d)、m は積雪定数(-)、P は日降水量(mm / d)、h は融雪を考慮した後の積雪深(mm)、h_p は前日までの積雪深(mm)、P_m は融雪量を含めた日降水量(mm / d)を示す。</p>
	蒸発散	<p>本検討は、気温と可照時間のみから蒸発散量を推定可能なハーモン法を用いる。</p> <p>使用する気温データは、7~31地点(時期により異なる)の地上観測データを時間、空間的に内挿補間を行ったデータを用いた。</p> <p>なお、ハーモン法による可能蒸発散量は以下の諸式を用いて算定される。</p> $E_p = 0.14 D_0^2 p_t$ <p>ここで、E_p は日平均蒸発散量(mm/d)、D_0 は12時間を1に規格化した可照時間(-)、</p>

地下水流動

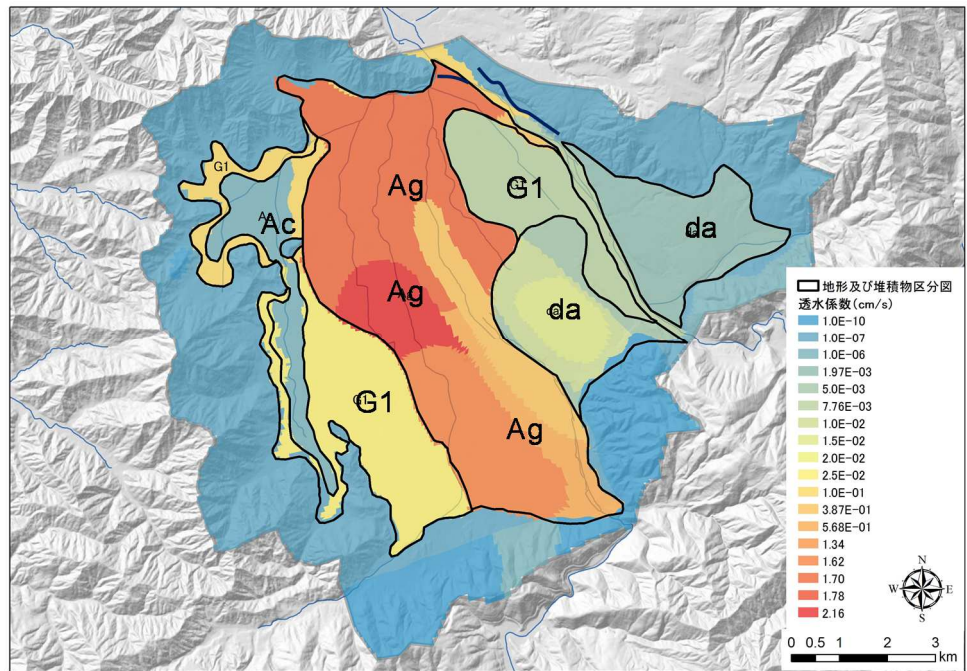


図 透水性係数等一覧

河川・
河川と地下水
の水交換

●河川流出

土地利用に対応付けた等価粗度、表層土壌および地下地質の透水係数、有効間隙率等の調整・検討を行い、実測された河川流量を適切に再現するパラメータを同定した。これらのパラメータは、既往文献等に示される一般的な幅の範囲で調整し確定した。

●地下浸透

地表面を通過する水量（地上から地下への浸透量、地下から地上への湧出量）を算出する。これらの水量は実測が難しいため、上述した等価粗度、透水係数、有効間隙率等の調整・検討を繰り返し行い、複数地点の河川流量、地下水位等を適切に再現するよう算出した。

土地利用は 100mメッシュ土地利用区分を用い、領域内の等価粗度係数の空間分布に反映した。具体的には、土地利用区分毎に定められる等価粗度係数を用い、計算格子の各メッシュに含まれる土地利用区分の面積で按分した粗度係数を算出し割り当てた。

表 年代毎の土地利用区分の等価粗度

昭和 51 年	昭和 62 年	平成 9 年	平成 18 年	等価粗度 ($m^{-1/3} \cdot s$)
田	田	田	田	0.6
畑	畑	その他の農用地	その他の農用地	0.2
果樹園	果樹園			0.2
その他樹木畑	その他樹木畑			0.2
森林	森林	森林	森林	0.4
荒地	荒地	荒地	荒地	0.1
建物用地 A	建物用地	建物用地	建物用地	0.05
建物用地 B				0.05
幹線交用地	幹線交用地	幹線交用地	道路	0.05
			鉄道	
その他の用地	その他の用地	その他の用地	その他の用地	0.1
湖沼・河川	内水地・河川	河川地及び湖沼	河川地及び湖沼	0.035
その他	その他	その他	その他	0.1

表 水田面積の設定で参考にした資料

管理者	資料名		出典等
大野市	平成 23 年度 大野市「大野市地下水シミュレーションモデル 修正業務委託【湧水第 1 号】報告書」	水田面積割合メッシュデータ	大野市

地下水揚水

●河川取水

河川取水については、発電所、水道及び農業用の水利用について考慮した。発電所については、取水口より実測データに基づき河川水を取水し、排水口地点からの排水を考慮した。下五条方堰からの農業用水、発電用取水を施設管理者の資料に基づき設定した。

●地下水揚水

地下水揚水については、上水道、簡易水道、工業用水、農業用水、温泉取水を考慮した。

解析結果

チューニング
(モデルの改良)

平成 25 年度に構築した大野盆地水循環解析モデルの再現性を高めるために、平成 26 年度に、4つの項目について再チューニングを行った。

●木瓜川等の河道形状の変更

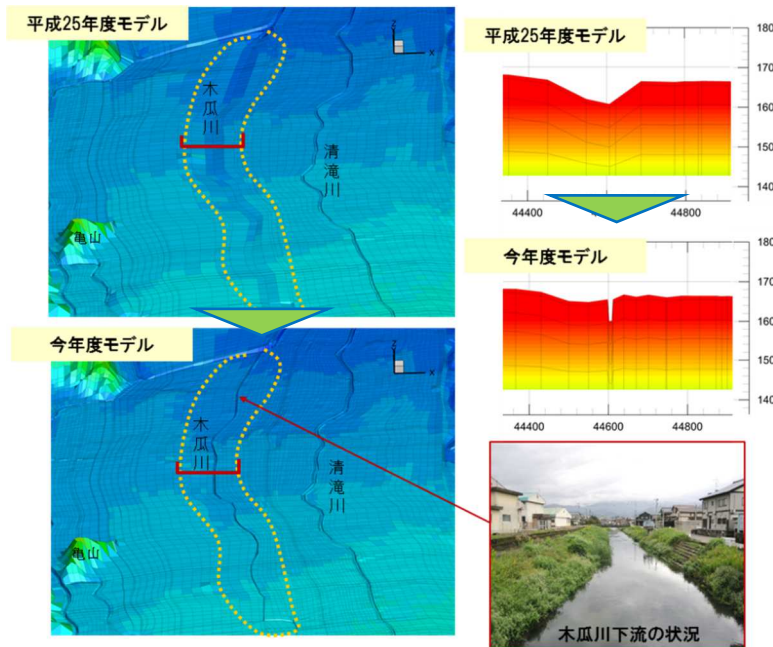
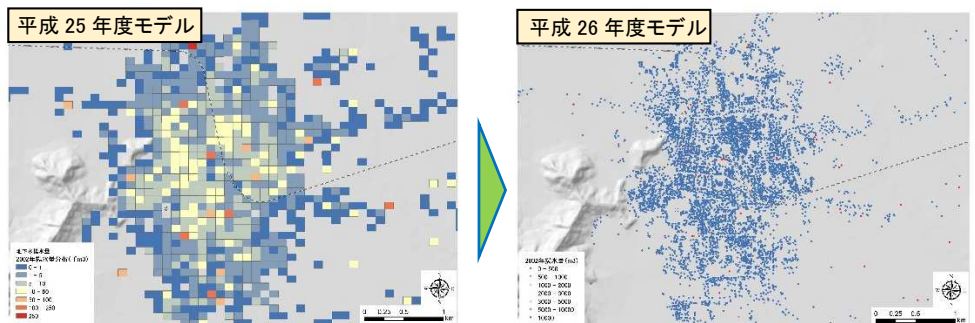


図 木瓜川の河道形状の修正

●地下水採取量の再設定

平成 25 年度は、経年的に整理された大野盆地全体の年揚水量データと、既往資料である単年度に整理された 100mメッシュの年地下水揚水量データを用いて、経月的な揚水量のメッシュデータを作成した。また、地下水採取量は Ag 層と G1 層を同量に設定した。

平成 26 年度は、入手した大野市資料に基づき、井戸毎の月地下水採取量と地下水採取深のデータを用いて、経月的な揚水量の分散データを作成した。



平成 25 年度は、2002 年の年揚水量に対する他年の年揚水量の割合を、資料の 2002 年の 100mメッシュ年揚水量データに掛けて、他年の 100mメッシュ年揚水量データを作成した。次に、年揚水量に対する毎月の揚水量の割合を 100メッシュ年揚水量データに掛けて、100mメッシュ月揚水量データを作成。

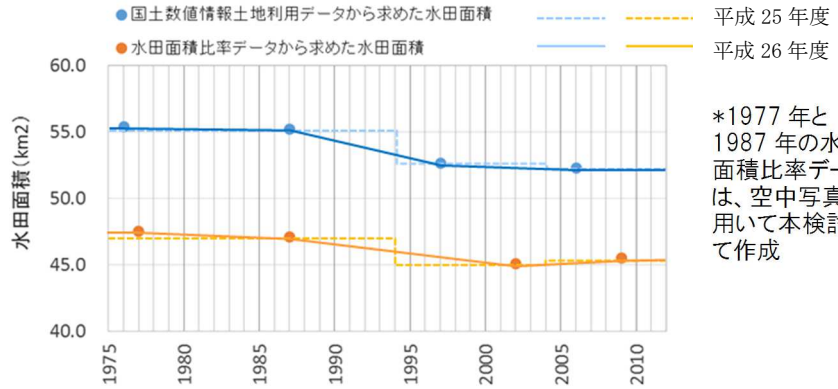
平成 26 年度は、井戸毎の月地下水揚水量データを利用。井戸の位置に、地下水揚水量と地下水採取深を設定。

図 地下水揚水データ

チューニング
(モデルの改良)

●水田面積の再設定

平成 26 年度は、水田面積は、国土数値情報における水田に区分される水田面積と、既往資料¹におけるメッシュ別の水田面積比率を用いて、水田の実面積を算出した。



*1977 年と
1987 年の水田
面積比率データ
は、空中写真を
用いて本検討に
て作成

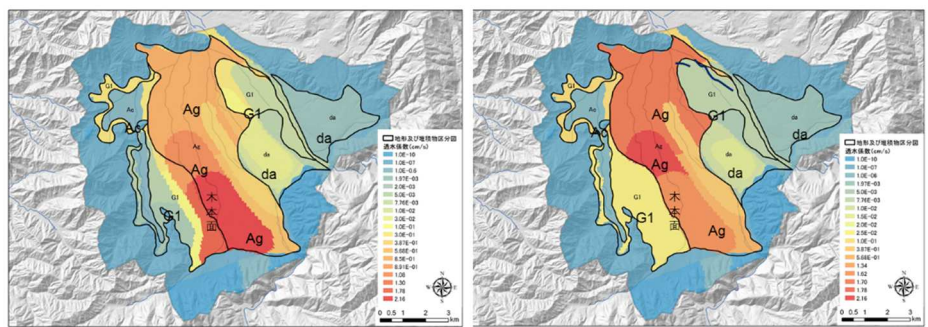
図 水田面積の割合

●地層の透水係数の再設定

平成 25 年度は、地下水位の一斉観測データの再現性を高めることを目的として地層の透水係数の設定を行った。そのため、地層区分と透水係数区分が一致しないところ(木本面付近)が生じた。

平成 26 年度は、地層区分と整合した透水係数の設定を行った。さらに、地下水位の常時観測データの再現性を高めることを目的として試算計算を繰り返し、地層区分内で透水係数のゾーンを細区分した。

その結果、平成 26 年度の Ag 層の透水係数の区分は、平成 25 年度の透水係数の区分に対し、盆地中央部付近と盆地北部のほうが大きい値となった。



平成 25 年度

平成 26 年度

図 透水係数の設定

解析結果

地下水位

地下水位は、経年の地下水位の高さ、季節変動、経年変動は、大野盆地の市街地及びその周辺のほとんどの地下水観測井において再現性が向上し、引き続き高い再現性を示した。

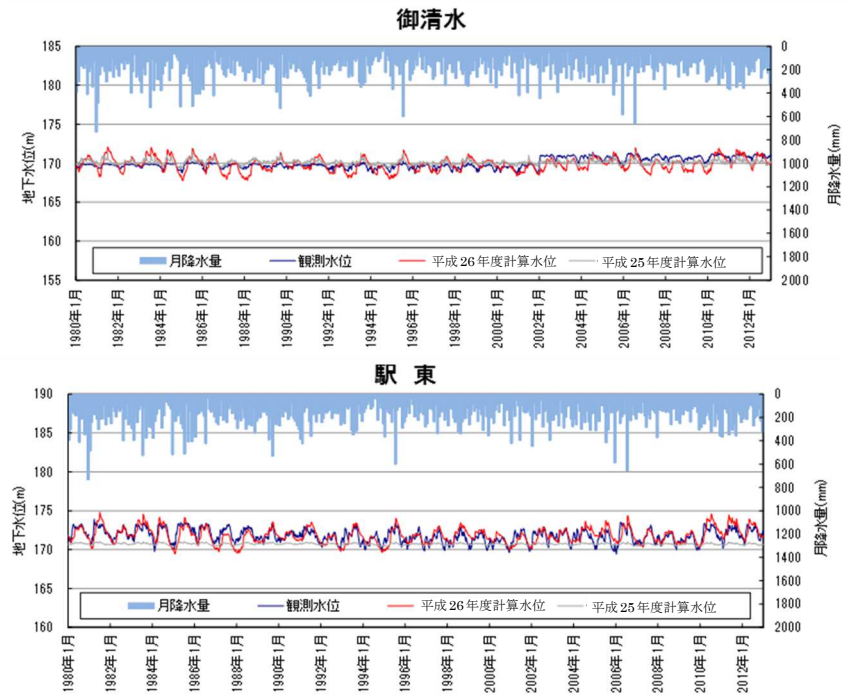


図 観測地下水位と計算地下水位

河川流量

麻生島観測所における 1983 年から 1988 年の観測河川流量と計算河川流量は、良く整合する結果となった。

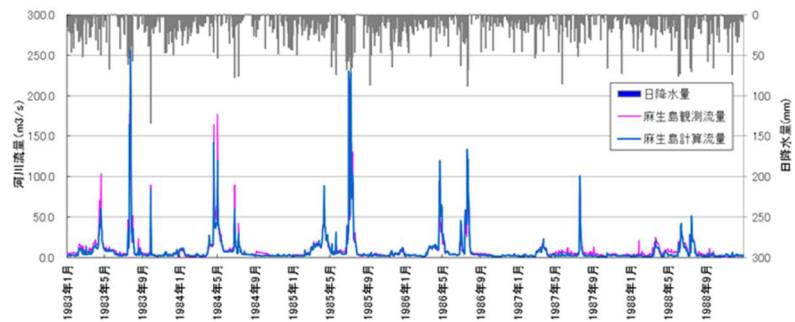


図 観測河川流量と計算河川流量

水循環解析結果を用いて、大野盆地の水収支を近10年間平均値として求めた。水収支の集計範囲は、未固結堆積層（Ag層、G1層など）が堆積する範囲とした。

水収支

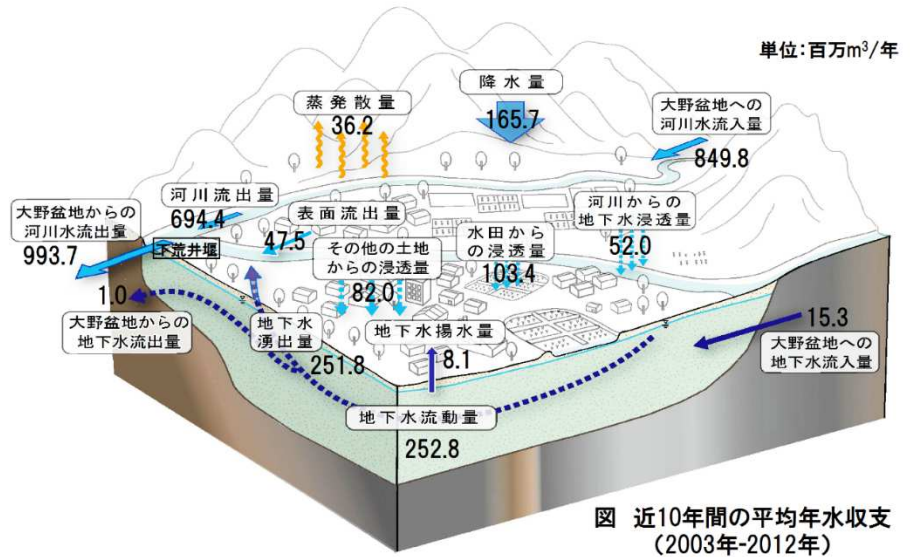


図 水収支

解析結果

水循環解析結果を用いて、地下水の流線軌跡図を作成した。地下水流線軌跡図は、300mメッシュの中央に配した粒子が、当該日の地下水圧分布の定常状態において移動する経路を記したものである。

2012年1月の流線軌跡図では、西に大きく湾曲しながら、清滝川・木瓜川に沿って流下する系統、真名川に沿ってやや西に傾きながら北流する系統、九頭竜川に向けて西流する系統にわかれる。何れの系統も、下荒井堰直上流部で地表水に合流している。

地下水流線軌跡図

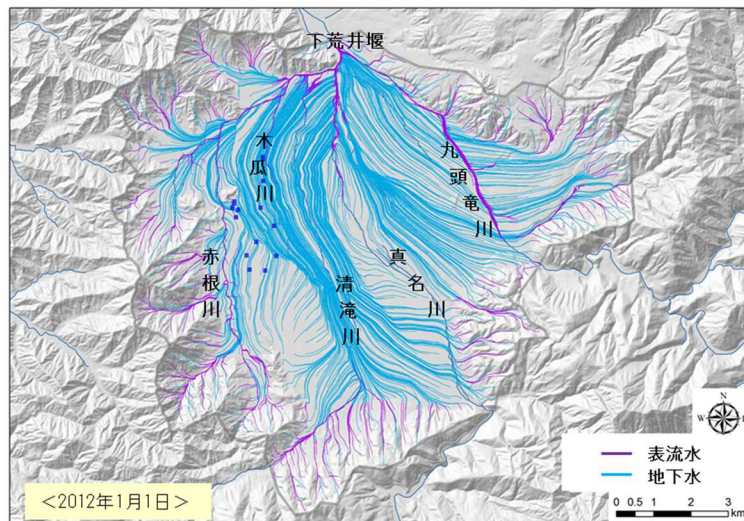


図 地下水流線軌跡図

2) 参考文献

- 1) 西村宗倫・川崎将生 (2015) : 福井県大野盆地における水循環解析、日本地下水学会2015年度秋季講演会講演予稿集、108-113.
- 2) 西村宗倫・川崎将生 (2013) : 千代川流域を対象とした地下水の長期解析、日本地下水学会2013年度春季講演会講演予稿集、26-31.
- 3) 例えば、登坂博行 (2006) : 地圏水循環の数理 流域水環境の解析法、(財) 東京大学出版会
- 4) 登坂博行・小島桂二・三木章生・千野剛司 (1996) : 地表流と地下水流を結合した3次元陸水シミュレーション手法の開発、地下水学会誌、38 (4)、253-267.
- 5) 例えば、斉藤 泰久・鈴木 章浩・伊藤 覚 (2006) : 準三次元地下水浸透流解析モデルを応用した分布型水循環モデル(WCAP)の構築、土木学会論文集B、Vol. 62(2006) No. 1、1-15.
- 6) 例えば、日本地下水学会 (2010) : 地下水シミュレーションーこれだけは知っておきたい基礎理論ー、技報堂出版(株)
- 7) 西村宗倫・川崎将生・斉藤泰久・橋本 健志 (2016) : 福井県大野盆地における水循環解析、地下水学会誌へ論文投稿中.