ISSN **1346-7328** 国総研資料 第1283号 令和 6 年 8 月

# 国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1283

August 2024

水循環解析に関する技術資料Ⅱ

~ 気候変動による福井県大野盆地の地下水位への影響の試算と

水循環解析モデルの設定について ~

西村宗倫・竹下哲也

Technical note on basin-wide water cycle analysis II

 $\sim$  Trial calculation about the impact of climate change on groundwater levels

in the Ono Basin in Fukui Prefecture and setting up a water cycle analysis model  $~\sim$ 

Sorin NISHIMURA and Tetsuya TAKESHITA

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

国土技術政策総合研究所資料

第1283号 2024年8月

Technical Note of NILIM No.1283 August 2024

## 水循環解析に関する技術資料Ⅱ

~ 気候変動による福井県大野盆地の地下水位への影響の試算と

水循環解析モデルの設定について ~

西村 宗倫\* 竹下 哲也\*\*

Technical note on basin-wide water cycle analysis II

 $\sim$  Trial calculation about the impact of climate change on groundwater levels in the Ono Basin in Fukui Prefecture and setting up a water cycle analysis model  $\sim$ 

Sorin NISHIMURA\*

Tetsuya TAKESHITA\*\*

概要

本書は、福井県大野盆地を対象に、水循環解析を用いて、気候変動による地 下水位への影響を評価したケーススタディをとりまとめたものである。

Synopsis

This report is made up contents of a case study on the assessment of the impact of climate change on groundwater levels in the Ono Basin, Fukui Prefecture, by using the basin-wide water cycle analysis.

Key Words :

climate change, groundwater level, water cycle analysis,

- \* 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 水循環研究室 主任研究官 Senior Researcher, Water Cycle Division, River Department, NILIM
- \*\* 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 水循環研究室 室長

·研究期間:令和2年度~令和5年度

(2020年度~2023年度)

#### ・執筆者

河川研究部	水循環研究室	主任研究官	西村	宗倫	研究担当・責任著者
河川研究部	水循環研究室	室長	竹下	哲也	研究統括・共 著 者

## 目次

1章 はじめ	に
1章1節	本資料の目的1-1-
9音 ケース	スタディ流域の概要 - 4-
9音1節	インノイ (加減の) 協安
△早Ⅰ即 ○ 辛 ○ 笠	ク ハハクノイ/加坡の速定
2早2即	クーススタティ流域の特徴
3章 水循環	解析モデルの概要 12 -
4章 水循環	解析モデルの設定内容 14 -
4章1節	メッシュの設定 14 -
4章2節	境界条件の設定 16 -
4章3節	外力・入力条件・地下水利用の設定 17 -
5章 検討対	象地点の抽出と地域気候モデルを外力とした予測計算のフロー34‐
6章 検討対	象地点の抽出と再現計算結果 36 -
6章1節	検討対象地点の抽出 36 -
6章2節	検討対象地点の再現結果 46 -
7章 地域気	候モデルを外力とした予測計算結果
7章1節	地域気候モデルの概要 55 -
7章2節	地域気候モデルを外力とした予測計算結果 60-
8章 検討対	象8地点の再現性と予測計算結果のまとめ
8章1節	再現性について 113 -
8章2節	計算結果について 113 -
8章3節	予測計算結果のまとめ116-
9章 本研究	の課題等 117 -
9章1節	モデルの設定と再現性における課題 117-
9章2節	考察における課題 117 -

10 章	謝辞	- 118 -
11章	参考文献	- 119 -

#### 1章 はじめに

1章1節 本資料の目的

人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がないとされ、 気候変動による地下水への影響については、降雨形態の変化、蒸発散量の増加、積雪 水量の減少等から地下水位の影響が懸念されている。しかし、我が国において、気候変 動を踏まえた地下水位への影響評価に関する報告は限定的である。

また、このような影響の把握に、流域の複雑な水循環を計算機内で再現する水循環解析は有効な技術と考えられるが、現状、水循環解析の解析事例の報告は限定的である。 特に、設定手法や再現性を詳述した解析事例の報告は殆どない。

このため、国総研水循環研究室では、気候変動による地下水位への影響評価に資する こと及び、水循環解析のケーススタディとすることを目的として、福井県大野地域(九頭竜 川水系下荒井堰上流部)をケースタディ流域として、地域気候モデル(SI-CAT DDS5TK) の出力結果を、水循環解析モデル(GETFLOWS を使用)に入力することにより、産業革命 後の全球平均気温が2度および4度上昇した気象条件における地下水位を試算した。

本書においては、水循環解析の設定手法を詳しく記録し、試算結果と共に取りまとめた。 これは、「水循環解析に関する技術資料~地表水と地下水の一体的な解析に向けて~」 (平成 28 年 3 月、国総研資料第 883 号)<sup>1)</sup>が水循環解析の一般的な流れを示したのに対 して、これを踏まえて試算した「気候変動による影響評価」を通じての詳細な設定事例の技 術資料として位置づけている。 本書の構成

【1章 はじめに】 本書の目的、構成を記述した。

- 【2章 ケーススタディ流域の概要】 ケーススタディ流域の選定理由やケーススタディ流域の地形や地質、地下水位の経 年的変化等の概要を整理した。
- 【3章 水循環解析モデルの概要】 ケーススタディ流域で利用した水循環解析モデル(GETFLOWS を使用)の概要と水 文プロセスの基礎式及び利用したデータを記述した。
- 【4章 水循環解析モデルの設定内容】 ケーススタディ流域における水循環解析モデルの設定手法を記述した。
- 【5章 検討対象地点の抽出と地域気候モデルを外力とした予測計算のフロー】 検討対象に適した地下水位観測地点を抽出(6章)した上で、地域気候モデルによ る予測計算結果(7章)に至るフローを記述した。
- 【6章 検討対象地点の抽出と再現計算結果】 検討対象地点の抽出と再現計算の結果を記述した。
- 【7章 地域気候モデルを外力とした予測計算結果】 本研究で用いた地域気候モデル(SI-CAT DDS5TK)の概要やバイアス補正手法を 示した。また、4章で設定した水循環解析モデルに、地域気候モデルの出力結果を入 力して得られた計算結果を記述した。
- 【8章 検討対象8地点の再現性と予測計算結果のまとめ】 検討対象8地点における再現性と予測計算結果のまとめ等を記述した。
- 【9章 本研究の課題等】

モデルの設定と再現性や考察における課題を記述した。

【10章 謝辞】

本研究にご協力を頂いた方への謝辞等を記載した。

### 【11章 参考文献】

本研究で参考とした参考文献を記載した。

#### 2章 ケーススタディ流域の概要

2章1節 ケーススタディ流域の選定

本研究のケーススタディ流域は、福井県大野地域(九頭竜川水系下荒井堰上流部)とした。

大野地域の位置する福井県大野市は、福井県福井市の東南東約25 km に位置し、古 くから湧水が豊富で、地下水が生活用水をはじめ農業・工業など様々な用途に利用される など、地下水との関わりが深いと考えられる地域である。そのため、大野市は、地下水の適 正な利用と保全を継続的・積極的に実施しており、本研究に必要不可欠な地下水位と地 下水揚水量などのデータについても継続的に高い密度で観測・整理されている。

なお、大野市は、「大野市水循環基本計画」(令和3年2月)<sup>2)</sup>で「気候変動が水循環に 与える影響の調査研究と適応策の検討」を位置づけている。



図 2-1 大野市水循環基本計画

2章 2節 ケーススタディ流域の特徴

(1) 地形

ケーススタディ流域とした福井県大野地域(九頭竜川水系下荒井堰上流部)の地形を 図 2-2 に示す。下荒井堰の上流にある標高 170~230m、直径約 10km、面積 70km<sup>2</sup>の円 形状の大野盆地が、標高 1,000m を越す両白山地や越前中央山地に囲まれている。流域 面積は、960km<sup>2</sup>であり、流域面積に占めるダム流域の割合は約 55%である。

大野盆地内の主要河川は、一級河川である九頭竜川とその支川の真名川、清滝川、赤 根川が南から北へ平流し、大野盆地の末端で1本に合流する。

流域にある主要ダムは、九頭竜ダム、真名川ダム、石撤白ダム、笹生川ダム、雲川ダムとなる。



図 2-2 ケーススタディ流域の地形

(2) 地質

ケーススタディ流域の地質を、図 2-3 及び図 2-4 に示す。

地質は、中央から南部に中生層の手取層群と中古生層の丹波層群が広く分布し、北部 に第四紀の火山岩類が分布する。大野盆地周辺は堆積岩類が分布する。

大野盆地内は、地表から完新世の沖積層、更新世の洪積層が堆積している。帯水層は、 沖積砂礫層(Ag)、砂礫層(G1)、粘土混じり砂礫層(G2)などとなり、これらの地層の透水 性は高くなっている。



図 2-3 ケーススタディ地域の地質 (産業技術総合研究所地質調査総合センター20 万分の1日本シームレス地質図データベースより作成)



図 2-4 大野盆地の地質 (平成 14 年度大野市「大野市地下水総合調査業務報告書」に加筆)

#### (3) 土地利用

ケーススタディ流域の土地利用状況を、図 2-5 及び表 2-1 に示す。 土地利用は、平成21年は「森林」が約90%、「水田」が約6%、「宅地・市街地」が約2% を占め、特に大野盆地周辺では、「水田」と「宅地・市街地」が多くを占める。



図 2-5 土地利用図(左:昭和 51 年度、右:平成 21 年度) (国土交通省 国土数値情報(土地利用細分メッシュデータより作成))

81	単位:(上段)k	m <sup>2</sup> 、(下段)%
土地利用	昭和51年 (1976年)	平成21年 (2009年)
· 도 日	60.1	54.0
水田	6.3	5.6
何,用料周	4.3	0.9
冲"未倒图	0.4	0.1
*#	828.3	856.4
ጸዱ ባጥ	86.4	89.3
关系	30.3	7.8
而地	3.2	0.8
*************************************	1.8	6.0
てい他の用地	0.2	0.6
它地,古街地	8.1	15.3
七地 川田地	0.8	1.6
ភ្លាយ.អាហ្វ	25.7	18.2
/비/미·/에/검	2.7	1.9

表 2-1 土地利用面積

(※:運動競技上、野球場、学校、人工造成地の空き地等に相当)

大野盆地周辺の土地利用状況を、図 2-6 及び表 2-2 に示す。

土地利用は、「水田」が昭和 62 年から平成 21 年にかけて減少する。「畑・果樹園」は、 平成 9 年から平成 21 年にかけて減少する。「荒地」は昭和 51 年から平成 21 年にかけて 減少する。「宅地・市街地」は、昭和 62 年以降増加する。

地下浸透能が相対的に高い「水田」や「畑・果樹園」は、地下浸透能が相対的に小さい 「宅地・市街地」へ変化している。「森林」は昭和 51 年から平成 9 年まで減少したが、平成 21 年には昭和 51 年とほぼ同じ面積まで回復した。



図 2-6 土地利用図 (左上:昭和51年度、右上:昭和62年度、左下:平成9年度、右下:平成21年度) (国土交通省 国土数値情報(土地利用細分メッシュデータより作成))

土地利用     昭和51年 (1976年)     昭和62年 (1987年)     平成9年 (1997年)       水田     55.3     55.1     52.5       畑・果樹園     2.1     2.1     2.1	平成21年
水田         55.3         55.1         52.5           畑・果樹園         2.1         2.1         2.1	(2009年)
畑·果樹園 2.1 2.1 2.1	50.8
赤井 400 477 466	0.8
林介 40.0 47.7 40.0	48.2
荒地 1.5 1.5 1.1	0.6
宅地·市街地 7.2 7.4 10.7	13.8
その他の用地 1.4 1.8 2.7	1.9
河川・湖沼 5.3 5.3 5.1	4.7

表 2-2 土地利用の面積変化

(国土交通省 国土数値情報(土地利用細分メッシュデータを集計)

(4) 気象

大野気象台による気象観測データを、図 2-7 に示す。 経年変化については、1991年からの30年において、年降水量は約18(mm/10年)の増加 傾向、年平均気温は約 0.07(℃/10 年)の上昇傾向、年降雪量は約 16(cm/10 年)の減少傾 向となっている。なお、図中のオレンジ色の10ヶ年は、後述の水循環解析モデルによる再 現計算期間の10年を示す。





1991~2020年(近30ヶ年)





(5) 地下水位

大野盆地における観測井戸位置図、地下水位の経年変化および季節変動を、図 2-8 ~図 2-10 に示す。

地下水位の経年変化については、1980年から2010年の30年間の観測結果からは安 定的な推移が確認できる。

一方で、地下水位は季節的に変動しており、大野市「地下水年度報告書~令和2年度版」によると、「春日公園観測井の過去10年間の平均水位は、代かき期と梅雨及び台風時期、雪解け時期に大きく上昇し、8月中旬頃に最高水位を記録する。その後、水田が落水期を迎えると地下水位は急激に低下し、11月中旬頃に最低水位を記録する。」と記載されている。春日公園における過去10年間の平均水位の最高値と最低値の差は約2.0mと読み取れる。



図 2-8 大野盆地の地下水位観測井戸位置図 (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1号】報告書」に加筆作成)



図 2-9 地下水位の経年変化(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1号】報告書」より作成)



図 2-10 過去 10 年間の平均地下水位変化 (大野市「地下水年度報告書~令和 2 年度版~」<sup>3)</sup>より)

#### 3章 水循環解析モデルの概要

本研究では、登坂ほかが 1996 年に発表した論文「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)、pp.253-267)<sup>4)</sup>に基づき開発さ れた、多相多成分流体を対象とした汎用地圏流体シミュレータ GETFLOWS (Generalpurpose Terrestrial fluid-FlOW Simulator)を使用した。

3章においてGETFLOWSの設定概要とその基礎式及び利用データを示し、4章においてケーススタディ流域における水文プロセスの設定を記載した。

GETFLOWS で取り扱う水文プロセスの概念図は、図 3-1 に示すとおり。その基礎式及 び利用データは、表 3-1 に示すとおり。



#### 図 3-1 水文プロセスの概念図

設定項目	設定概要と基礎式	利用データ	備考
A:地形·地質	<ul> <li>・平面メッシュに標高データを設定することで 地形を再現</li> <li>・平面・鉛直メッシュに地質構造を反映することで地質構造を設定</li> </ul>	<ul> <li>・国土数値情報の標高 データ</li> <li>・既存資料から水理地 質構造を推定</li> </ul>	_
B:外力			
①降雨量·気温	<ul> <li>・ティーセン法により、各観測所の降水量・気温 を空間補完</li> <li>・降水量・気温を高度補正して算出</li> <li>・降雨量から蒸発散量(②蒸発散量参照)を差し 引いた量を有効降水量としてモデルへ入力</li> </ul>	<ul> <li>・国土交通省、気象庁、</li> <li>地方自治体の気象観</li> <li>測所の雨量とテレメータ雨量</li> <li>・気象庁の気温データ</li> </ul>	4章3節(1)、 (2)を参照
②蒸発散量	<ul> <li>・ハーモン法により、高度補正した日平均気温</li> <li>を用いて算出</li> </ul>	<ul> <li>気象庁大野観測所の</li> <li>日照時間・気温データ</li> </ul>	4章3節(3) を参照
③積雪·融雪量	<ul> <li>高度補正した日降水量と気温を用いて算出</li> <li>菅原の式より、日平均気温が融雪下限温度を 下回る場合は日降水量を日積雪へ変換し、融 雪上限温度を上回る場合は日降水量と変換し た日積雪量を日融雪量としてモデルへ入力</li> </ul>	<ul> <li>・降雨量・気温と同様の</li> <li>データを利用</li> </ul>	4章3節(4) を参照
C:表面流出•地下浸	透·水理地質構造		
④表面流出量	<ul> <li>・浅水流近似式に線形化拡散波近似を適用した式と質量保存式を基礎式として、降雨時等に発生する表面流出や河川流れを計算</li> <li>・マニング式により、土地利用毎に粗度係数設</li> </ul>	<ul> <li>・国土数値情報の土地 利用細分メッシュデータ</li> <li>・既存資料から粗度係</li> </ul>	4章3節(5)を 参照
	定して算出	数を引用	
⑤地下浸透量 ⑥地下水湧出量 ⑦農業灌漑	<ul> <li>・ダルシー則と質量保存式を基礎式として、地 下浸透・地下水湧出を計算</li> <li>・地表水と地下水の連成解析では、地表流格子 に疑似毛管圧力と疑似相対浸透率の2相流曲 線を設定することで水理ポテンシャルを計算</li> <li>・水理ポテンシャルが負の場合に地下へ浸透し、正の場合に地下水が湧出</li> <li>・土地利用毎に、透水係数、有効間隙率を設定</li> <li>・水田の減水深から日灌漑水量を算出し、水田 から灌漑用水(河川から取水)を浸透</li> </ul>	<ul> <li>国土数値情報の土地 利用細分メッシュデー タ</li> <li>既存資料から堰の取 水量データ、減水深 データを引用</li> <li>既存資料から水田の 透水係数を設定</li> </ul>	4 章 3 節(5) を参照
⑧水理地質構造	<ul> <li>・地下水の流れを再現するため地質構造を設定</li> <li>・ダルシー則と質量保存式を基礎式とし、地下 水流動量を計算</li> </ul>	<ul> <li>・既存資料から水理物</li> <li>性値を引用</li> </ul>	4章3節(6) を参照
D:水利用			
⑨地下水揚水量	・地下水揚水の対象となるメッシュ(平面、鉛直) に対して、日揚水量を設定	<ul> <li>・大野市への報告デー</li> <li>タ</li> </ul>	4章3節(7) 1)を参照
⑩河川からの取 水・排水量	・収集した情報から日取水量、日排水量を設定	<ul> <li>・ダムや堰の取水量報</li> <li>告データ</li> <li>・河川流量の観測デー</li> <li>タを放流量として利用</li> </ul>	4章3節(7) 2)を参照
①ダム貯留・補 給量	<ul> <li>・ダムの対象メッシュに対して貯留・補給を設定</li> <li>・水循環解析モデルで計算されたダム流入量、</li> <li>貯水量、ダム利水容量及びダム操作規則に基づき設定</li> </ul>	・ダム操作規則	4章3節(7) 3)を参照

## 表 3-1 水文プロセスの基礎式、利用データ

#### 4章 水循環解析モデルの設定内容

4章1節 メッシュの設定

本研究では、大野盆地内の地下水の表現を目的に、九頭竜川の下荒井堰上流域全体 をモデル化した。その際、計算時間の短縮を考慮し、以下に示す広域モデルと大野盆地 モデルに分けて構築した。

広域モデルの平面メッシュサイズは、大まかな尾根と谷地形を再現することを想定して 300m を基本とした。地形図から、300m で地形を再現できないと判断した場合は 150m に 細分した。メッシュの辺は、主要な尾根や谷を再現するために、尾根や谷に沿わせた。メッ シュ標高の設定には、国土地理院の 10m メッシュの数値地図(以下、「数値地図 10m」とい う)を利用した。この設定により、広域モデルの平面のメッシュ数は 22,623 となった(図 4-1 参照)。



図 4-1 広域モデルの地形(標高)モデル

大野盆地モデルの平面メッシュサイズは、真名川や赤根川、小河川などの河川形状を 再現することを想定して5m程度を最小とした。山地部へ向かうに従ってメッシュサイズを大 きくし、最大150m程度とした。メッシュの辺は、河川の形状を再現するために、河川に沿わ せた。赤根川支川や木瓜川等の小河道は、現地で簡易測量した結果を参考に、全川一 様で川幅(10m)、深さ(5m)を設定した(図 4-2 参照)。河川以外のメッシュ形状は、各辺を 概ね均等になるように設定した。メッシュ標高の設定には、5mメッシュの航空レーザ測量の データを利用した。この設定により、大野盆地モデルの平面メッシュ数は 47,202 となった (図 4-3 参照)。



図 4-2 赤根川付近のメッシュ設定例

鉛直メッシュは、広域モデルと大野盆地モデルともに、15層に区分した。15層の区分は、 大気層・地表水層・表層土層で3層、沖積層で2層(土質的違いから2層に分割)、洪積 層で6層(土質的違いから6層に分割)、基盤層で4層とした(基盤層の下端を山地の標 高(例:大日ヶ岳:1,709m)から深部2,000mまでモデル化)。



図 4-3 大野盆地の地形(標高)モデル

広域モデルの山地尾根部については、九頭竜川流域の分水嶺で流域外との水の出入 りがない不透水(閉)境界を設定した。

広域モデルと大野盆地モデルが重なるモデル外周部については、下新井堰下流直下 で地下水と河川水が連続していると想定して、河川水位を参考に固定水頭を設定した。

大野盆地モデルの山地尾根部については、広域モデルと同様に水の出入りがない不 透水(閉)境界とした。大野盆地モデルと広域モデルが接する箇所については、広域モデ ルで計算した地下水頭値を固定水頭(既知水頭)として設定した(図 4-4 参照)。



図 4-5 広域地形モデルでの境界条件の設定

4章 3節 外力・入力条件・地下水利用の設定

(1) 降水量の設定

ケーススタディ流域における降水量は、国土交通省、気象庁、地方自治体の気象観測所の雨量とテレメータ雨量から設定した。

降水量は、24 地点の観測地点を用いてティーセン分割を行い、分割エリア毎の値を平 面メッシュに設定した。メッシュと分割エリアが整合しない場合は、面積按分した降水量を 平面メッシュに設定した。大野盆地と山地部の標高差が1,500m以上あることから、雨量観 測地点と解析メッシュの標高差(m)に応じて、標高補正(+0.1%×標高差(m))を行った。 ティーセン分割のエリアと、エリアに与えた降水量の1例を、図4-6に示す。



図 4-6 2001 年の年降水量のティーセン分布

(2) 気温の設定

ケーススタディ流域における気温は、気象庁のデータから設定した。

気温は、気象庁観測所(大野観測所、長滝観測所、樽見観測所)の気温データを用い てティーセン分割(図 4-7 参照)を行い、分割エリア毎の値を平面メッシュに設定した。メッ シュとティーセン分割エリアが整合しない場合は、面積按分して気温をメッシュに設定した。 また、降水量と同様に標高に応じて変化することから、観測地点と解析メッシュの標高差 (m)に応じて、標高補正(-0.6℃/100m)を行った。なお、気温は、解析モデルへの直接的 な入力データではなく、降雪水量や蒸発散量の設定を行うために利用した。



図 4-7 気温のティーセン分割図

(3) 蒸発散量の設定

ケーススタディ流域における蒸発散量は、観測データの多い気温から推定可能なハー モン法により可能蒸発散量を算出し、経験的な蒸発散効率(本研究では 0.6)<sup>5</sup>を乗じた。

GETFLOWS は、図 4-8 のように第 1 層メッシュを大気層、第 2 層メッシュを地表水層、 第 3 層メッシュ以深を地層としてモデル化している。そして、蒸発散量を、表流水の計算を 行う第 2 層メッシュ、表層土層を設定した第 3 層メッシュ、地層を設定した第 4 層メッシュま でを対象として計算している。上位のメッシュから日蒸発散量を除去し、第 3 層以深の土層 水分量が 0 となった時点で蒸発散が停止する。



 第3層から第2層への地下水湧出は,第3層が飽和している場合に生じる。
 第2層から第3層への地下浸透は,第3層が不飽和の場合に生じる。
 蒸発散は,設定した計算方法により求まる蒸発散量を第2層,第3層,第4 層の順に除去する。

#### 図 4-8 GETFLOWS の表層部メッシュ水収支の概念

出典:地下水学会誌 第59巻第2号 125~158(2017)<sup>6)</sup>

(4) 積雪水量・融雪水量の設定

ケーススタディ流域における積雪水量・融雪水量は、データが充実している降水量と気 温から積雪深および積雪水量を算定できる菅原の式により設定した。

日平均気温が融雪下限温度の-0.3℃を下回る場合は日降水量を日積雪水量へ変換し、 融雪上限温度の 3.3℃を上回る場合は日降水量と変換した日積雪水量を日融雪水量へ 変換して、それぞれメッシュに設定した。

融雪温度は、大野観測所の降水量に対する日積雪水量の割合と日平均気温との関係 (図 4-9 参照)から検討し、融雪下限温度を-0.3℃、融雪上限温度を 3.3℃とした。 この設定によって、計算した融雪水量を図 4-10 に示す。



図 4-9 降水量に対する日積雪水量の割合と日平均気温との関係

(1981年1月~2010年12月のデータを利用)



図 4-10 気象庁大野観測所の融雪水量の計算結果

(5) 表面流出量、地下浸透量の設定

ケーススタディ流域における表面流出量及び地下浸透量は、土地利用毎に粗度係数、 透水係数、有効間隙率を設定した上で算出した。

土地利用データは、全国的に整備されている「国土数値情報土地利用細分メッシュデ ータ(100m メッシュ)」(国土交通省)を利用した(図 2-5、図 2-6 参照)。粗度係数は、土地 利用毎に整備されている「建設省河川砂防技術基準案同解説-調査編-」(2008 年 7 月) の数値をもとに設定した。

市街地・宅地部の地下浸透は、大野市の第一種低層住居専用地域の建蔽率が50%であることを参考に、面積の50%相当で生じる設定とした。

水田の地下浸透は、水田メッシュ(図 4-15 参照)に対し、大野市委託業務 <sup>7</sup>と大野市地 下水シミュレーション業務 <sup>8</sup>で調査された水田面積比率(図 4-16 参照)を乗じた面積相当 で生じる設定とした。土地利用調査は継続的に実施されていないため、調査の間は直線 補間した。水田の減水深は、灌漑期と非灌漑期で異なるものとし、灌漑期では田植え~落 水までの減水深を、非灌漑期では代掻き期の減水深を設定した。 1) 透水係数の設定

ケーススタディ流域における地層の透水係数を、図 4-11 のフローで設定した。これにより設定した透水係数を表 4-1 に示す。なお、大野盆地の未固結堆積層の透水係数は、地 形区分(沖積層の堆積時期の違いを表した平面的な地形区分図)に基づき図 4-12 に示 すとおり設定した。



図 4-11 透水係数の設定の流れ

地質区分		透 水 係 数 (m/s)	間 隙 率
	表 層 土 層	1.00×10 <sup>-4</sup>	0.2
	河 床	真名川 2.00×10 <sup>-5</sup>	0.2
大野	河 床	清 滝 川 1.00×10 <sup>-6</sup>	0.2
	河 床	その他河川 1.00×10-5	0.2
孟	Ag	3.87×10 <sup>-3</sup> ~ 2.16×10 <sup>-2</sup>	0.2
ле т	Ac	1.00×10 <sup>-8</sup>	0.1
т т	G 1	7.76×10 <sup>-5</sup> ~ 1.78×10 <sup>-2</sup>	0.2
アル	G 2	1.30×10 <sup>-5</sup> ~ 1.30×10 <sup>-2</sup>	0.2
	G 3	2.00 × 10 <sup>-4</sup> ~ 2.00 × 10 <sup>-3</sup>	0.2
	d a	5.00 × 10 <sup>-5</sup> ~ 3.00 × 10 <sup>-4</sup>	0.2
広	基 盤 層 (火 山 岩)	1.00×10 <sup>-9</sup>	0.05
域	堆積岩類 (海成層)	1.00×10 <sup>-12</sup>	0.2
Ŧ	花崗岩	$1.00 \times 10^{-12}$	0.05
デ	深 成 岩	1.00×10 <sup>-8</sup>	0.05
ル	変 成 岩 ・ 付 加 体	1.00×10 <sup>-8</sup>	0.2

	表 4-1	広域モデル及び大野盆地モデルの設定パラメー	-タ
--	-------	-----------------------	----

\* 基 盤 層 は 大 野 盆 地 モ デ ル と 共 有

出典:「水循環解析におけるモデルの設定および再現性の検証事例の報告 -福井県大野盆地における事例-」 (地下水学会誌 第59巻第2号 125~158(2017))<sup>6)</sup>



図 4-12 大野盆地モデルの表層地質(第3層)の設定透水係数

出典:「水循環解析におけるモデルの設定および再現性の検証事例の報告 -福井県大野盆地における事例-」 (地下水学会誌 第 59 巻第 2 号 125 ~ 158(2017))<sup>6</sup>

2) 間隙率の設定について

透水係数と(有効)空隙率透水係数

 $15 \sim 20$ 

透水係数 k

泥粘土質層 45~50

間隙率は土質試験により測定可能であるが、ケーススタディ流域においては表 4-2 に示 す既存文献から表 4-1 のとおり設定した。

$(cm/sec) \qquad 10^3 \ 10^2 \ 10^6 \ 10^{-1} \ 10^{-2} \ 10^{-3} \ 10^{-4} \ 10^{-5} \ 10^{-6} \ 10^{-7} \ 10^{-8} \ 10^{-9}$									
土砂の種類		きれいな砂 利		きれいな砂 きれいな砂と 砂利の混合		非常に細かい 砂、シルトな ど		不透水性の 土、粘土な ど	
未固結地盤									
地	層	空隙率 (λ%)	有效 (;	」空隙率 Le%)	地	層	空隙率 (λ%)	有効空隙率 (λe%)	
沖 積	礫層	35		15 洪利		砂礫層	30	15~20	
細	砂	35		15	砂	層	$35 \sim 40$	30	
砂丘	砂層	30~35		20	1	- ム 層	$50 \sim 70$	20	

#### 表 4-2 有効間隙率(空隙率)の一般値

**岩 盤**(多数の実測値を整理した)

岩 質	風化程度	空隙率 (λ%)	岩 質	風化程度	空隙率 (λ%)
花崗岩	新鮮 かなり風化の 進んだもの	0.3~5 10~25	安山岩		1~7
はん れい岩	新鮮 かなり風化の 進んだもの	0.2~1 3~18	玄武岩	割れ目がないもの 少し割れ目の あるもの	0.1~5 5~7
石灰岩	新鮮 多孔質なもの	0.5~1 10~27	<b>タ</b> フ (大谷石)	普通 多孔質なもの	$20 \sim 25$ $25 \sim 50$
頁 岩	固結度の高いもの 固結度の低いもの	0.4~3 3~10	砂岩	固結度の高いもの 固結度の低いもの	0.6~7 20~42

出典:「改訂地下水ハンドブック編集委員会, 1998」。

泥層粘土層 50~70

 $5 \sim 10$ 

3) 毛細管圧力、相対浸透率の設定

表層土層や浅層地層などの地下水位以浅では、不飽和状態の計算を行うため、全ての 地質に対して、地層の水分量(水飽和度)に対する毛細管圧力と相対浸透率を設定した。 具体な値は、図 4-13 に示すとおり、GETFLOWSの開発者から提供を受けた。



図 4-13 設定した毛細管圧力、相対浸透率

\*本図は、GETFLOWSの開発者より提供

4) 農業灌漑の設定

大野盆地では農業灌漑(水田湛水事業)が行われ、地下水位の観測が行われている (図 4-14 参照)。

農業用水は、真名川の下五条方堰の対象メッシュから実測データに基づき取水した。 下五条方堰からの取水した農業用水は、真名川以西の盆地の水田に灌漑用水として浸 透させた。灌漑用水量は、表 4-3 に示す蒸発散量を差し引いた減水深を日灌漑水量とし て水田に設定した。

水田の透水係数は、表層土層の第3層メッシュ(図 4-8 参照)に、表 4-3 に示す値を設 定した。



図 4-14 地下水位の経年変化

(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1号】報告書」より作成)8

期 別	代 か き	活着	分けつ	幼穂 形成	出 穂 開 花	登熟	備 考
かんがい日数 (日)	7	9	45	2 1	25	16	計 123
減水深 (mm/日)	130	11	13	16	17	15	
透水係数 (×10 <sup>-7</sup> m/s)	15.0	1.27	1.50	1.85	1.97	1.74	-

表 4-3 広域モデル及び大野盆地モデルの設定パラメータ (透水係数)

「水循環解析におけるモデルの設定および再現性の検証事例の報告 -福井県大野盆地における事例-」 (地下水学会誌 第 59 巻第 2 号 125 ~ 158(2017))<sup>6)</sup>



**図 4-15 平成9年土地利用** \*国土数値情報の土地利用データから100m メッシュ土地利用区分を作成



図 4-16 水田面積割合

出典:平成14年度 大野市「大野市地下水総合調査業務報告書」<sup>7)</sup>及び平成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1号】報告書」<sup>8)</sup> (6) 水理地質構造の設定

ケーススタディ流域における地下水流動を再現するため、水理地質構造を設定した。水理地質構造は、20万分の1シームレス地質図((独)産業技術総合研究所)、大野市地下水総合調査報告書<sup>86</sup>を用いて推定した。

広域モデルの地質は、シームレス地質図を用いて、地表の地質分布をメッシュに割り当 てた。地層境界は、地層の傾斜を考慮せず鉛直とした(図 4-17 参照)。

大野盆地モデルの地質は、大野市地下水総合調査報告書<sup>8)</sup>を参照して地層境界面の 等高線を作成し(図 4-19 参照)、地層境界面の高さをメッシュに割り当てるとともに、地質 分布を反映させた(図 4-18 参照)。

基盤層の高さは、福井平野で基盤面の高さが-300m であるとされていることを参考 <sup>7</sup>に 同程度と考えて設定した。山地部の断層は、水理地質構造が不明なことから考慮しなかった。



#### 図 4-17 広域モデルの地質



図 4-18 大野盆地モデルの地質



図 4-19 各地層の層厚または下面標高

(左上: Ac 層層厚、右上: G1 層下面標高、左下: Ag 層下面標高、右下: G2 層下面標高)

広域モデルと大野盆地モデルの地質の層厚は、沖積層(Ac層、Ag層)、洪積層(G1層、G2u層、G2L層、G3層)、その下位に分布する基盤層に対して以下のとおりに設定した。 大野盆地モデルでは、図 2-4 から各層が水平堆積していると仮定した。

GETFLOWS で設定が必要となる図 4-8 に示す第1層(大気層)の層厚は1m で設定し、第2層(地表水層)の層厚は50m で設定した。
■広域モデル

- ・ 表層土層の下位は2層とし、各々5m程度とした。さらにその下位は2層とし、7m程度の層厚とした。
- ・ 上記以深は、地下深部へ徐々に層厚を厚くし、深度 2000m までモデル化した。

■大野盆地モデル

- ・ Ac 層は、地域により層厚を変えて設定(図 4-19 参照)。
- Ag 層は、2 層とし各々5m 程度とした。
- ・ G1 層は、2 層として各々10m 程度とした。
- ・ G2u 層は1層、G2L 層も1層とし、各々20m 程度とした
- ・ G3 層は、2 層として各々50m 程度とした。
- ・ 基盤層は、4層を同程度の層厚で割り当て深度 2000m までをモデル化した。
- (7) 水利用の設定
  - 1) 地下水揚水量

ケーススタディ流域における地下水揚水量は、大野市地下水シミュレーション報告書<sup>8)</sup> により整理されている、「月毎の用途別(農業用、消雪用、その他の用途)の月揚水量デー タ(図 4-20 参照)」、「メッシュ毎の井戸本数データ(図 4-21 参照)」、「メッシュ毎の年揚水 量データ(図 4-22 参照)」のデータを利用した。大野市では、昭和 55 年から市条例に基 づき、吐出口の断面積が 19.6cm<sup>2</sup> 以上の井戸を対象に届出が義務化されているため、情 報の収集が可能であった。

大野盆地モデルに設定した日地下水揚水量は、月地下水揚水量を月日数で除した平均日地下水揚水量とした。地下水の採取深度は、収集した情報から以下のとおり設定した。

- ・ 地下水揚水深度(ストレーナーの設置深度)データがある場合:その深度を設定
- 地下水揚水深度が不明な場合:井戸深度が明らかな井戸の平均的な地下水揚水 深度を設定
- ・ 井戸深度および地下水揚水深度の双方が不明な場合:地下水揚水深度を10m以 下として設定







図 4-21 メッシュ毎の井戸本数



図 4-22 平成 14 年 (2002 年) 地下水揚水量

2) 河川からの取水・排水量

河川からの取水・排水量の情報は、水系の模式図(図 4-23 参照)とビアリングから、河川 流量として以下のとおり設定した(図 4-24 参照)。

#### ■九頭竜川

九頭竜川では、富田堰堤において発電用の取水が行われ、取水量が報告されているため、「(広域モデル解析流量)-(富田堰堤取水量)」を富田堰堤地点の解析メッシュへ入力した。

※取水量データがない場合には計画最大取水量とした。

#### ■真名川

真名川では、真名川頭首工の下流(五条方下観測所)において、河川流量が観測されているため、「五条方下流の河川流量」を五条方下地点の解析メッシュへ入力した。

#### ■清滝川

清滝川では、発電用の取水は実施されていないため、「広域モデル解析流量」を大野 盆地モデルの外縁の解析メッシュへ入力した。



### 図 4-23 九頭竜川水系模式図

出典:「九頭竜川水系河川整備計画」(平成19年2月、近畿地方整備局)10



図 4-24 河川流量設定地点

3) ダム貯留・補給量

ケーススタディ流域におけるダム流入量・河川流量観測地点の位置を、図 4-25 に示す。 本研究では、不特定容量を有する真名川ダム(計画基準点:五条方下流)をモデル化対 象ダムとし、水循環解析モデルで計算されたダム流入量、貯水量、ダム不特定容量及び ダム操作規則に基づき以下のとおり設定した。

- ・ 貯水量がダム不特定容量より大きい場合、放流量は水循環解析モデルで計算さ れたダム流入量とした。
- ・ 貯水量がダム不特定容量より小さい場合、放流量はダム操作規則で定められた維 持流量とした。
- ・ 貯水量が0であり、ダム流入量がダム操作規則で定められた維持流量の日合計値 よりも小さい場合、放流量は水循環解析モデルで計算されたダム流入量とした。



図 4-25 ダム流入量・河川流量観測地点

#### 5章 検討対象地点の抽出と地域気候モデルを外力とした予測計算のフロー

(1) 検討対象とする地点の抽出

図 5-1 に示すとおりに、観測データと再現計算から気候変動影響評価に適した地下水 位観測地点を抽出した上で、地域気候モデルを外力とした予測計算結果を整理した。具 体的には、地下水位観測地点全 36 地点から、①欠測日による除外、②観測データの年 地下水位変動量による除外、③Nash 係数による除外を行った後、④傾きと相関係数により 抽出を行うことで、8 地点を抽出した。

この8地点を対象に、地域気候モデルを外力とした予測計算結果を整理した。

なお、①欠測日の除外については、欠測による予測計算結果の評価への影響を考慮し、 10年間のうち欠測日が観測期間の1%を超える地下水位観測地点の除外した。②地下水 位変動量による除外については、人工的な要因等により地下水位が規制を受けている可 能性を考慮し、実測の地下水変動量が 1.0m 未満の地下水位観測地点を除外した。③ Nash 係数による除外については、再現性を担保するため、10 カ年平均の変動量のハイド ログラフを元に、Nash係数が負となった地下水観測地点を除外した。④傾きと相関係数 による抽出では、Nash係数と同様に再現性を担保するために、一次相関式の傾きと相関 係数の計算結果より抽出した。



図 5-1 地下水位観測地点の抽出と地域気候モデルを外力とした計算のフロー

(2) 季節変動を把握する観点からの期間の設定

気候変動による地下水位の変化は、年平均地下水位だけでなく季節変動を把握する観点から期間別の地下水位変動量を計算した。

変動量は、期間のうち最初に出現する最低地下水位もしくは最高地下水位と、次に出 現する最高地下水位もしくは最低地下水位の差分(「次に出現する水位」-「最初に出現す る水位」)をとり、プラスの場合は上昇、マイナスの場合は減少と定義する。

期間の区分は、大野市検討委員会の資料(図 5-2)を参考に、「2・3 月期」、「4・5 月期」、「6・7 月期」、「8・9・10・11 月期」とした。2・3 月期は雪解けの上昇期、4・5 月期は代かきの 上昇期、6・7 月期は梅雨と台風の上昇期に相当し、8・9・10・11 月期は水田の落水の下降 期に相当する。



(大野市「地下水年度報告書~令和2年度版~」3)に加筆

### 6章 検討対象地点の抽出と再現計算結果

6章1節 検討対象地点の抽出

(1) 欠測日による検討対象地点の除外

地下水位観測地点は、図 6-1 に示すとおり大野盆地内に 36 地点分布する。欠測日が 観測期間の 1%を超える地下水位観測地点を除外することで、23 地点を抽出した(ハッチ がかかっていない地点)。

	No.	地名	実測値の欠測日数
	1	御清水	1/3,653
	2	春日公園	4/3,653
	3	菖蒲池浅井戸	6/3,653
	4	下据	64/3,653
	5	木本原下	1/3,653
	6	中野	2,101/3,653
	7	幸町	7/3,653
	8	下五条方	8/3,653
	9	镶座新	2,647/3,653
水落 善井公園	10	禳座	1,006/3,653
	11	木本原中	1/3,653
中心 中 石灯籠	12	木本原上	1/3,653
MIU ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	13	木本	32/3,653
→ 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一	14	猪島	31/3,653
	15	上据	2,376/3,653
	16	中据	1,773/3,653
▲ ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	17	日吉浅井戸	14/3,653
開成保育園	18	日吉深井戸	29/3,653
· · · 下据 · · · · · · · · · · · · · · · ·	19	菖蒲池深井戸	20/3,653
除座	20	堂本浅井戸	71/3,653
篠座新 中据 ▲ 18 一 堤内地堤外地	21	堂本深井戸	31/3,653
小山公民館 💿 🔷 🔺 🖊 🧹 🖉	22	中津川	2,953/3,653
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	23	中挟	5/3,653
	24	荒井公園	2/3,653
──160 <b>下五条方</b>	25	水落	0/3,653
	26	石灯龍	12/3,653
	27	内山家	1,277/3,653
	28	清流橘	26/3,653
	29	天神町	5/3,653
	30	駅東	2/3,653
190 間汤觀測开標局(m) 局:3000	31	弥生公園	6/3,653
195 和规测开	32	本顧清水	35/3,653
低:0	33	開成保育園	740/3,653
	34	小山公民館	52/3,653
	35	堤内地	2,909/3,653
	36	堤外地	3,037/3,653
s s	*観)	創期間;2003年~	-2012年の10年間

図 6-1 大野盆地の地下水位観測井戸位置図

(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1号】報告書」<sup>8)</sup>に加筆作成)

(2) 地下水位変動量による検討対象地点の除外

地域気候モデルによる計算にあたり、5 章で設定した「2・3 月期」、「4・5 月期」、「6・7月 期」、「8・9・10・11 月期」の4つの期間で地下水位変動量を計算した。

表 6-1 に示すとおり、地下水位変動量が 1.0m 未満の地下水位観測地点を除外し、16 地点を抽出した(ハッチがかかっていない地点)。また、「4・5 月期」の変動量が他地点と傾向が異なりマイナスとなった地点も除外した。

No.	地名	年変動量	2∙3月期 変動量	4∙5月期 変動量	6∙7月期 変動量	8•9•10•11月期 変動量
8	下五条方	6.28	4.90	2.63	4.34	-5.35
14	猪島	4.99	2.86	2.04	2.10	-4.91
5	木本原下	4.37	1.70	-2.16	2.58	-3.99
13	木本	3.82	1.82	2.44	1.51	-3.17
11	木本原中	3.37	1.74	-1.73	2.26	-3.37
2	春日公園	3.09	1.72	1.01	1.03	-3.09
31	弥生公園	2.52	1.44	0.81	0.90	-2.52
32	本願清水	2.49	1.31	0.94	0.82	-2.49
7	幸町	2.37	1.58	0.75	0.87	-2.37
30	駅東	2.02	1.26	0.69	0.71	-2.02
3	菖蒲池浅井戸	1.97	1.17	0.83	0.84	-1.87
12	木本原上	1.89	1.22	1.18	1.25	-1.68
29	天神町	1.82	1.07	0.62	0.58	-1.82
17	日吉浅井戸	1.80	0.94	0.79	0.61	-1.80
23	中挟	1.46	0.98	0.49	0.59	-1.46
19	菖蒲池深井戸	1.32	0.81	0.55	0.52	-1.27
18	日吉深井戸	1.29	0.72	0.56	0.44	-1.29
26	石灯籠	1.04	0.78	0.38	0.37	-0.99
25	水落	0.90	0.70	0.33	0.35	-0.74
24	荒井公園	0.81	0.58	0.34	-0.31	-0.80
21	堂本深井戸	0.78	0.49	0.31	0.34	-0.64
1	御清水	0.71	0.43	0.24	0.20	-0.71
28	清流橋	0.44	0.35	0.19	0.13	-0.43

表 6-1 地下水位変動量の一覧

\*最低値を記録した後に最高値を記録する場合に正の値を示す。

(3) Nash 係数による検討対象地点の除外

表 6-2 に示すとおり、10 カ年平均の変動量のハイドログラフを元に Nash-Sutcliffe 係数(以下、「Nash 係数」という)を算出し、Nash 係数が負となった地下水位観測地点を除外し、13 地点を抽出した(ハッチがかかっていない地点)。

Nash 係数は、1970年に(Nash and Sutcliffe, 1970)により提唱された指標で、値が1に 近いほど精度が高いとされている。

なお、地下水位観測地点の10カ年平均の変動量のハイドログラフ及び Nash 係数を 表 6-2、図 6-2~図 6-14 に示す。

-		
No.	地名	Nash係数
2	春日公園	0.59
17	日吉浅井戸	0.59
32	本願清水	0.57
7	幸町	0.55
31	弥生公園	0.54
30	駅東	0.51
14	猪島	0.50
29	天神町	0.40
8	下五条方	0.39
3	菖蒲池浅井戸	0.29
23	中挟	0.06
13	木本	0.05
18	日吉深井戸	0.01
26	石灯籠	-0.67
19	菖蒲池深井戸	-1.02
12	木本原上	-3.36

表 6-2 観測地点における Nash 係数の一覧











図 6-4 10 カ年平均の変動量ハイドログラフ;地下水位(本願清水地点)











図 6-7 10 カ年平均の変動量ハイドログラフ;地下水位(駅東地点)







図 6-9 10 カ年平均の変動量ハイドログラフ;地下水位(天神町地点)



図 6-10 10 カ年平均の変動量ハイドログラフ;地下水位(下五条方地点)



図 6-11 10 カ年平均の変動量ハイドログラフ;地下水位(菖蒲池浅井戸地点)



図 6-12 10 カ年平均の変動量ハイドログラフ;地下水位(中挟地点)



図 6-13 10 カ年平均の変動量ハイドログラフ;地下水位(木本地点)



図 6-14 10 カ年平均の変動量ハイドログラフ;地下水位(日吉深井戸地点)

(4) 傾きと相関係数による検討対象地点の抽出

表 6-3 に示すとおり、10 年分の観測値と計算値の年平均地下水位、設定期間にお ける地下水位の変化量で散布図を作成し、一次相関式の傾きと相関係数を計算した。 年平均地下水位と設定期間の傾きが 0.5 以下及び 2.0 以上となった地下水位観測地

点、年平均地下水位と設定期間の相関係数が0.3以下となった地下水位観測地点を除 外し、8地点を抽出した(ハッチがかかっていない地点)。

抽出した地下水位観測地点を図 6-15 に示す。



図 6-15 抽出した地下水位観測地点

(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1号】報告書」<sup>8)</sup>に加筆作成)

				傾き			相関係数				
No.	地名	年平均	2•3月期	4·5月期	6•7月期	8・9・10・11月期	年平均	2•3月期	4•5月期	6•7月期	8・9・10・11月期
		地下水位	変動量	変動量	変動量	変動量	地下水位	変動量	変動量	変動量	変動量
8	下五条方	0.93	1.69	2.92	1.61	3.90	0.75	0.55	0.29	0.56	0.85
2	春日公園	0.80	1.92	1.27	0.88	0.96	0.80	0.66	0.39	0.88	0.71
14	猪島	0.79	2.20	0.96	1.32	1.11	0.79	0.78	0.19	0.79	0.83
32	本願清水	0.77	1.67	1.51	0.86	0.97	0.81	0.66	0.49	0.93	0.79
31	弥生公園	0.77	1.74	0.99	0.31	0.74	0.79	0.67	0.37	0.51	0.64
7	幸町	0.67	1.78	0.99	0.56	0.61	0.70	0.62	0.41	0.47	0.58
17	日吉浅井戸	0.67	0.67	1.11	0.33	0.74	0.78	0.28	0.50	0.60	0.54
3	菖蒲池浅井戸	0.66	1.33	1.88	0.47	0.67	0.77	0.52	0.59	0.71	0.62
30	駅東	0.64	1.69	1.05	0.32	0.60	0.77	0.68	0.45	0.67	0.64
29	天神町	0.63	1.47	0.86	0.68	0.77	0.79	0.65	0.38	0.93	0.81
23	中挟	0.51	1.48	0.98	0.35	0.37	0.72	0.81	0.58	0.59	0.46
18	日吉深井戸	0.47	0.83	0.83	0.52	0.50	0.76	0.44	0.51	0.90	0.51
13	木本	0.13	1.54	0.15	0.56	2.22	0.52	0.66	0.05	0.26	0.88

表 6-3 地下水位観測地点における傾きと相関係数の一覧

6章2節 検討対象地点の再現結果

検討対象 8 地点の相関関係の整理図および水収支ハイドログラフを、図 6-16~図 6-24 に示す。

年平均地下水位は、0.70~0.81(平均 0.77)の相関係数を示した。

期別の変動量は、2・3 月期に 0.52~0.81(平均 0.66)、4・5 月期に 0.37~0.59(平均 0.46)、6・7 月期に 0.47~0.93(平均 0.71)、8・9・10・11 月期に 0.46~0.81(平均 0.66)の 相関係数を示した。6・7 月期の相関係数が他の期間に比べて高く、4・5 月期の相関係数 が他の期間に比べて低い結果となった。

全体としては、期別の変動量の相関係数は、年平均地下水位の相関係数に比べて低 い結果となった。



□年平均地下水位 □2・3月期変動量 □4・5月期変動量 ■6・7月期変動量 □8・9・10・11月期変動量

図 6-16 地下水位再現性に関する相関係数



項目	傾き	相関係数
年平均地下水位	0.80	0.80
2•3月変動量	1.92	0.66
4∙5月変動量	1.27	0.39
6•7月変動量	0.88	0.88
8•9•10•11月変動量	0.96	0.71









項目	傾き	相関係数
年平均地下水位	0.77	0.81
2•3月変動量	1.67	0.66
4•5月変動量	1.51	0.49
6•7月変動量	0.86	0.93
8•9•10•11月変動量	0.97	0.79
6•7月変動量 8•9•10•11月変動量	0.86 0.97	0.93 0.79

2•	3月	変動量
----	----	-----

実測値

(m) 5.0

4.0

3.0

2.0

1.0

0.0

-1.0

-2.0

-3.0









図 6-18 本願清水における観測値と計算値の散布図



項目	傾き	相関係数
年平均地下水位	0.77	0.79
2•3月変動量	1.74	0.67
4∙5月変動量	0.99	0.37
6•7月変動量	0.31	0.51
8•9•10•11月変動量	0.74	0.64







# 図 6-19 弥生公園における観測値と計算値の散布図



項目	傾き	相関係数
年平均地下水位	0.67	0.70
2•3月変動量	1.78	0.62
4•5月変動量	0.99	0.41
6•7月変動量	0.56	0.47
8•9•10•11月変動量	0.61	0.58

2.	3	в	亦	勫	븖
۷.	· J	Л	夊	屴	里



計算値(m)



計算値(m)



図 6-20 幸町における観測値と計算値の散布図



項目	傾き	相関係数
年平均地下水位	0.66	0.77
2•3月変動量	1.33	0.52
4•5月変動量	1.88	0.59
6•7月変動量	0.47	0.71
8•9•10•11月変動量	0.67	0.62

2.3	月	変	動	量
-----	---	---	---	---

6.7月変動量









# 図 6-21 菖蒲池浅井戸における観測値と計算値の散布図



項目	傾き	相関係数
年平均地下水位	0.64	0.77
2•3月変動量	1.69	0.68
4•5月変動量	1.05	0.45
6•7月変動量	0.32	0.67
8·9·10·11月変動量	0.60	0.64

とう月 多 割里
----------







# 図 6-22 駅東における観測値と計算値の散布図



項目	傾き	相関係数
年平均地下水位	0.63	0.79
2•3月変動量	1.47	0.65
4∙5月変動量	0.86	0.38
6•7月変動量	0.68	0.93
8•9•10•11月変動量	0.77	0.81

2.	2	н	亦	勈	틒
Ζ.	J	я	3 <u>5</u>	割川	重







天神町



図 6-23 天神町における観測値と計算値の散布図



項目	傾き	相関係数
年平均地下水位	0.51	0.72
2•3月変動量	1.48	0.81
4•5月変動量	0.98	0.58
6•7月変動量	0.35	0.59
8•9•10•11月変動量	0.37	0.46

2•	3月	変動量
----	----	-----



4·5月変動量 実測値 中挟 (m) 5.0 4.0 3.0 2.0 y = 0.98 x - 1.70  $R^2 = 0.34$ 1.0 0.0 -1.0 -2.0 -3.0 -3.0 -2.0 -1.0 0.0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 計算値(m)



# 図 6-24 中挟における観測値と計算値の散布図

#### 7章 地域気候モデルを外力とした予測計算結果

7章1節 地域気候モデルの概要

(1) 地域気候モデルの概要

地域気候モデルについては、文部科学省の気候変動適応技術社会実装プログラム (SI-CAT)<sup>11</sup>による大気近未来予測力学的ダウンスケーリングデータの降水量・気温を用い た。このデータは、アンサンブル気候予測データベース(d4PDF))<sup>12),13)</sup>の 20km 解像度デー タを 5km に力学的ダウンスケーリングしたものである。東北から九州に至る領域をカバーし、 現在気候、産業革命時から全球 2℃上昇(RCP8.5 シナリオで近未来 2040 年ころ)、4℃上 昇時 (RCP8.5 シナリオで 21 世紀末 2090 年ころ)の気候予測データである(以下、データ 全体を SI-CAT DDS5TK、各々を過去実験、2℃上昇実験、4℃上昇実験とする)。

SI-CAT DDS5TK の概要を表 7-1 に、対象領域を図 7-1 に示す。この領域には全国 109 の 1 級水系のうち、北海道の 13 水系を除く東北から九州の 96 の 1 級水系が含まれ ている。

なお、SI-CAT DDS5TK は文部科学省の地球環境情報プラットフォームであるデータ統 合・解析システム(DIAS)<sup>14</sup>から取得した。表-1 に示す 372 年分のデータのうち、1 月~12 月の1 年間のデータが確保できる 360 年分を計算対象とした。

項目	概要
モデル	非静力学地域気候モデル(JMA-NHRCM)
水平格子間隔	5km
初期値・側面境界値	d4PDF20kmRCM
計算期間	7月24日~翌年8月30日
過去実験年数	372年分(31年×12パターン)
	(1980 年~2011 年)
将来実験年数	372年分(31年×6SST×2摂動)
	2°C上昇実験(2060年~2091年)
	4°C上昇実験(2080 年~2111 年)

表 7-1 SI-CAT DDS5TK の概要



(2) バイアス補正手法

本研究においては、S. Watanabe et al(2020)<sup>15)</sup>によって提案された Dual-Window 補正を 用いてバイアス補正を行った。この提案手法では気候モデルの過去実験と将来実験との 間の降水量に関する将来変化量とモデルの過去実験と参照データとの間のバイアスを 2 つの移動窓(moving window)を利用して求め、過去実験の順序統計量にこれらの変化量と バイアスを加えることで将来予測値の順序統計量としている。

なお、バイアス補正のための参照データは約 840 の気象庁アメダス観測データ及び国 土交通省雨量観測データを用いた。バイアス補正の時間スケールは日単位とし、観測地 点の周囲 4 点のグリッドのデータを逆距離補間法により内挿した値を補正の対象とした。 欠測期間については、近傍地点の引用もしくは線形補間を行った。

なお、本研究で用いた降水量・気温データは、西村ら(2023)<sup>16</sup>による「気候変動による非 超過確率 1/10 の少雨年の発生頻度の変化の計算」に用いられたデータの一部である。 (3) 地域気候モデルによる降水量の変化

解析領域全域と大野盆地における地域気候モデルによる降水量の平均値、標準偏差、 非超過確率 1/10 値を表 7-2 及び表 7-3 を、ハイエトグラフを図 7-2 及び図 7-4 に、年降 水量の度数分布を図 7-3 及び図 7-5 に示す。

地域気候モデルの年平均降水量は、解析領域全体において、過去実験の 3,116mm に 対して、2℃上昇実験が 3,046mm、4℃上昇実験が 2,756mm と減少し、大野盆地において、 過去実験の 3,147mm に対して、2℃上昇実験が 3,067mm、4℃上昇実験が 2,553mm と減 少した。

非超過確率 1/10(下位側)については、解析領域全体において、過去実験の 2,555mm に対して、2℃上昇実験が 2,482mm、4℃上昇実験が 2,185mm と減少し、大野盆地におい て、過去実験の 2,628mm に対して、2℃上昇実験が 2,496mm、4℃上昇実験が 2,017mm と減少した。

項目	平均值	標準偏差	非超過確率1/10 (下位側)	非超過確率1/10 (上位側)
過去実験	3116mm	445mm	2555mm	3644mm
2℃上昇実験	3046mm	490mm	2482mm	3674mm
4℃上昇実験	2756mm	451mm	2185mm	3375mm

表 7-2 年降水量の平均値・標準偏差・非超過確率 1/10 値 (解析領域全域)





図 7-3 年降水量の相対度数分布 (解析領域全域)

項目	平均值	標準偏差	非超過確率1/10 (下位側)	非超過確率1/10 (上位側)
過去実験	3147mm	443mm	2628mm	3735mm
2℃上昇実験	3067mm	458mm	2496mm	3693mm
4℃上昇実験	2553mm	425mm	2017mm	3055mm

表 7-3 年降水量の平均値・標準偏差・非超過確率 1/10 値 (大野盆地)





図 7-5 年降水量の相対度数分布 (大野盆地)

7章2節 地域気候モデルを外力とした予測計算結果

(1) 期別変動量の結果表現方法

地下水位の季節変動を把握する観点から計算した期別の変動量について、結果の表 現方法のイメージ図を図 7-6 に示す。過去実験で変動量が正の場合は上昇傾向と表現し、 その上で、将来実験で変動量が増加した場合は「変動量が大きくなる。」と表現する。一方、 将来実験で変動量が減少した場合は「変動量が小さくなる。」と表現する。

また、過去実験で変動量が負の場合は減少傾向と表現し、将来実験で変動量が更に 減少した(負の方向に増加した)場合は「変動量が大きくなる。」と表現する。一方、将来実 験で変動量が増加した場合は「変動量が小さくなる。」と表現する。



(2) 地域気候モデルを外力とした予測計算結果による地下水位の変化

各地下水位観測地点における地域気候モデルによる降水量と水循環解析モデルを用 いた地下水位の予測計算結果を表 7-4~表 7-6 に示す。なお、この予測計算において、 13 ページの表 3-1 のうち D:水利用の⑨地下水揚水量と⑩河川からの取水・排水量につ いては気候変動を加味したものではなく、実績を元に設定している。具体的には再現計算 期間の最終年である 2012 年の日データを各年同日に設定している。

予測計算結果の過去実験、将来実験の各 360 年分の度数分布図、平均値、標準偏差、 非超過確率 1/10 値(順位統計における地下水位又は変動量の上位側・下位側)を図 7-7 ~図 7-78 に示す。また、各 360 年の平均ハイドログラフを図 7-79~図 7-86 に示す。

以下に、各実験(360年)の平均年と非超過確率 1/10(下位側)について,年平均地下 水位と期別の変動量について結果を述べる。

各実験(360 年)の平均年の年平均地下水位では、4℃上昇実験で過去実験に対して-0.21~-0.07m(平均-0.15m)、2℃上昇実験で-0.02m~0.00m(平均-0.01m)となった。

4℃上昇実験の期別の変動量については、2・3 月期では、過去実験で上昇傾向である 変動量が全8地点で0.19~0.80m(平均0.39m)小さくなった。4・5月期では、過去実験で 下降傾向である変動量が4℃上昇実験で3地点で0.00~0.04m(平均0.02m)小さくなり、 他5地点で0.03~0.29m(平均0.13m)大きくなった。6・7月期では、過去実験で上昇傾向 である変動量が4℃上昇実験で全8地点で0.09m~0.31m(平均0.21m)大きくなった。8・ 9・10・11月期では、過去実験で上昇傾向である変動量が4℃上昇実験で全8地点で 0.25m~0.67m(平均0.49m)小さくなり、更に変動傾向が上昇傾向から下降傾向となった。

2℃上昇実験の期別の変動量については、2・3 月期では、過去実験で上昇傾向である 変動量が 5 地点で 0.01~0.08m(平均 0.05m)小さくなり、他 3 地点で 0.01~0.17m(平均 0.09m)大きくなった。4・5 月期では、過去実験で下降傾向である変動量が 2℃上昇実験で 全 8 地点で 0.05m~0.48m(平均 0.27m)大きくなった。6・7 月期では、過去実験で上昇傾 向である変動量が全 8 地点で 0.04m~0.37m(平均 0.17m)大きくなった。8・9・10・11 月期 では、過去実験で上昇傾向である変動量が全 8 地点で 0.09m~0.40m(平均 0.23m)小さ くなり、更に変動傾向が上昇傾向から下降傾向となった(表 7-4)。

また、各実験(360 年)の非超過確率 1/10(下位側)の年平均地下水位では、4℃上昇 実験で過去実験に対して-0.34m~-0.11m(平均-0.24m)、 2℃上昇実験で-0.03m~ 0.00m(平均-0.01m)となった。

4℃上昇実験の期別の変動量については、2・3 月期では、過去実験で下降傾向である 変動量が4℃上昇実験で7地点で0.13~0.40m(平均0.29m)小さくなり、他1地点で0.12m 大きくなった。4・5月期では、過去実験で下降傾向である変動量が4℃上昇実験で3地点 で 0.01~0.72m(平均 0.36m)小さくなり、他 5 地点で 0.00~0.30m(平均 0.12m)大きくなった。6・7 月期では、過去実験で下降傾向である変動量が 4℃上昇実験で 1 地点で 0.16m 小さくなり、他 7 地点で 0.01~0.19m(平均 0.09m)大きくなった。8・9・10・11 月期に過去実験で下降傾向である変動量が 4℃上昇実験で全 8 地点で 0.23m~0.80m(平均 0.52m)大きくなった。

2℃上昇実験の期別の変動量については、2・3 月期に過去実験で下降傾向である変動 量が 2℃上昇実験で全 8 地点で 0.10~0.55m(平均 0.29m)小さくなった。4・5 月期では、 過去実験で下降傾向である変動量が 2℃上昇実験で 1 地点で 0.05m 小さくなり、他 7 地 点で 0.02~0.18m(平均 0.08m)大きくなった。6・7 月期では、過去実験で下降傾向である 変動量が 2℃上昇実験で 2 地点で 0.01~0.13m(平均 0.07m)小さくなり、他 6 地点で 0.01 ~0.05m(平均 0.03m)大きくなった。8・9・10・11 月期では、過去実験で下降傾向である変 動量が 2℃上昇実験で全 8 地点で 0.08m~0.84m(平均 0.26m)大きくなった(表-7-5)。

		2℃上昇実験				4℃上昇実験		
	過去実験で地口	下水位変動量が	,	/	,	"	,	1
期別	上昇傾向	句の地点	下降傾向	句の地点	上降傾向	句の地点	下降傾向	句の地点
	過去実験に比べ	"	"	"	"	"	"	"
	変動量大	変動量小	変動量大	変動量小	変動量大	変動量小	変動量大	変動量小
	3地点	5地点				8地点		
2•3月期	0.01~0.17m	0.01~0.08m				0.19~0.80m		
	(平均0.09m)	(平均0.05m)				(平均0.39m)		
			8地点				5地点	3地点
4•5月期			0.05~0.48m				0.03~0.29m	0.00~0.04m
			(平均0.27m)				(平均0.13m)	(平均0.02m)
	8地点				8地点			
6•7月期	0.04~0.37m				0.09~0.31m			
	(平均0.17m)				(平均0.21m)			
		8地点				8地点		
8-9-10		0.09~0.40m				0.25~0.67m		
<ul> <li>11月期</li> </ul>		(平均0.23m)				(平均0.49m)		
		→下降傾向へ				→下降傾向へ		

表 7-4 地下水位期別変動量の将来変化(平均値)

	2℃上昇実験				4℃上昇実験			
期別	過去実験で地下水位変動量が 期別 上昇傾向の地点		パート アドア アド アド アド アド アド アド アド アド アド アド・ア・ア・ア・ア		パート 上降傾向の地点		″ 下降傾向の地点	
	過去実験に比べ 変動量大	<i>"</i> 変動量小	<i>"</i> 変動量大	<i>"</i> 変動量小	<i>"</i> 変動量大	<i>"</i> 変動量小	<i>"</i> 変動量大	<i>"</i> 変動量小
2•3月期				8地点 0.10~0.55m (平均0.29m)			1地点 0.12m	7地点 0.13~0.40m (平均0.29m)
4·5月期			7地点 0.02~0.18m (平均0.08m)	1地点 0.05m			5地点 0.00~0.30m (平均0.12m)	3地点 0.01~0.72m (平均0.36m)
6•7月期			6地点 0.01~0.05m (平均0.03m)	2地点 0.01~0.13m (平均0.07m)			7地点 0.01~0.19m (平均0.09m)	1地点 0.16m
8•9•10 •11月期			8地点 0.08~0.84m (平均0.26m)				8地点 0.23~0.80m (平均0.52m)	

表 7-5 地下水位期別変動量の将来変化(非超過確率 1/10(下位側))

# 表 7-6 各地点における平均値と過去実験との差 一覧表 (1/2)

地	年平均地下水位			2・3月期平均地下水位			2・3月期変動量			4・5月期平均地下水位			4・5月期変動量		
点	過去実験	2°C上昇実験	4℃上昇実験	過去実験	2℃上昇実験	4°C上昇実験	過去実験	2°C上昇実験	4℃上昇実験	過去実験	2°C上昇実験	4℃上昇実験	過去実験	2℃上昇実験	4°C上昇実験
春日公園本願清水弥生公園 幸町	178.55m	178.53m	178.36m	178.49m	178.68m	178.67m	0.34m	0.35m	0.05m	178.79m	178.72m	178.59m	-0.08m	-0.34m	-0.18m
	-	-0.02m	-0.18m	-	0.19m	0.18m	-	0.01m	-0.29m	-	-0.07m	-0.20m	-	-0.27m	-0.10m
	176.98m	176.97m	176.87m	176.98m	177.08m	177.04m	0.34m	0.27m	0.05m	177.12m	177.08m	176.99m	-0.10m	-0.23m	-0.09m
	-	-0.01m	-0.11m	-	0.10m	0.07m	-	-0.07m	-0.29m	-	-0.05m	-0.14m	-	-0.13m	0.00m
	176.68m	176.67m	176.55m	176.66m	176.77m	176.75m	0.32m	0.24m	0.05m	176.84m	176.79m	176.70m	-0.07m	-0.24m	-0.11m
	-	-0.01m	-0.13m	-	0.12m	0.10m	-	-0.08m	-0.27m	-	-0.05m	-0.14m	-	-0.17m	-0.04m
	176.74m	176.74m	176.55m	176.63m	176.93m	176.98m	0.49m	0.48m	0.06m	177.07m	177.01m	176.82m	-0.04m	-0.38m	-0.33m
	-	0.00m	-0.19m	-	0.29m	0.35m	-	-0.01m	-0.43m	-	-0.06m	-0.25m	-	-0.34m	-0.29m
浅 菖 井 蒲 戸 池	176.83m	176.82m	176.61m	176.69m	177.03m	177.07m	0.85m	0.94m	0.05m	177.29m	177.13m	176.87m	-0.36m	-0.84m	-0.39m
	_	0.00m	-0.21m	-	0.34m	0.38m	-	0.10m	-0.80m	-	-0.16m	-0.42m	-	-0.48m	-0.03m
駅 東	174.50m	174.49m	174.36m	174.44m	174.63m	174.64m	0.35m	0.30m	0.03m	174.72m	174.67m	174.55m	-0.04m	-0.28m	-0.21m
	-	-0.01m	-0.14m	-	0.19m	0.20m	-	-0.04m	-0.31m	-	-0.05m	-0.16m	-	-0.24m	-0.17m
天 神 町	175.13m	175.12m	175.06m	175.13m	175.18m	175.16m	0.21m	0.17m	0.02m	175.21m	175.18m	175.12m	-0.09m	-0.14m	-0.05m
	-	-0.01m	-0.07m	-	0.06m	0.04m	-	-0.05m	-0.19m	-	-0.03m	-0.08m	-	-0.05m	0.04m
中 挾	172.55m	172.54m	172.38m	172.45m	172.70m	172.68m	0.61m	0.77m	0.04m	172.99m	172.81m	172.51m	-0.33m	-0.78m	-0.31m
	-	-0.01m	-0.16m	-	0.25m	0.23m	-	0.17m	-0.56m	-	-0.17m	-0.48m	-	-0.45m	0.02m

下段は過去実験との差
## 表 7-6 各地点における平均値と過去実験との差 一覧表 (2/2)

下段は過去実験との差

地	6 · 7	7月期平均地下	水位		6・7月変動量		8 · 9 · 10	)・11月期平均	地下水位	8・9・10・11月期変動量		
点	過去実験	2℃上昇実験	4°C上昇実験	過去実験	2℃上昇実験	4℃上昇実験	過去実験	2℃上昇実験	4℃上昇実験	過去実験	2℃上昇実験	4℃上昇実験
春日	178.55m	178.50m	178.39m	0.05m	0.21m	0.28m	178.42m	178.35m	178.10m	0.09m	-0.16m	-0.49m
公 園	-	-0.04m	-0.16m	-	0.16m	0.23m	-	-0.07m	-0.32m	-	-0.26m	-0.58m
本 願	176.97m	176.95m	176.90m	0.19m	0.30m	0.37m	176.90m	176.87m	176.73m	0.08m	-0.11m	-0.37m
清 水	-	-0.02m	-0.08m	-	0.10m	0.18m	-	-0.04m	-0.17m	-	-0.19m	-0.45m
弥 生	176.67m	176.65m	176.58m	0.13m	0.24m	0.30m	176.59m	176.54m	176.37m	0.07m	-0.12m	-0.42m
公 園	-	-0.03m	-0.10m	-	0.11m	0.17m	-	-0.04m	-0.21m	-	-0.19m	-0.49m
幸	176.72m	176.67m	176.52m	0.04m	0.23m	0.29m	176.58m	176.51m	176.23m	0.13m	-0.11m	-0.41m
町	-	-0.05m	-0.21m	-	0.19m	0.25m	-	-0.08m	-0.35m	-	-0.24m	-0.55m
浅菖	176.78m	176.74m	176.57m	0.35m	0.72m	0.66m	176.65m	176.57m	176.27m	0.26m	-0.15m	-0.41m
<sub>开</sub> 涌 戸池	-	-0.04m	-0.21m	-	0.37m	0.31m	-	-0.08m	-0.38m	-	-0.40m	-0.67m
駅	174.49m	174.45m	174.34m	0.04m	0.20m	0.25m	174.39m	174.33m	174.14m	0.09m	-0.09m	-0.34m
東	-	-0.05m	-0.15m	-	0.15m	0.21m	-	-0.06m	-0.25m	-	-0.17m	-0.43m
天油	175.11m	175.10m	175.07m	0.12m	0.16m	0.21m	175.08m	175.05m	174.98m	0.05m	-0.04m	-0.19m
↑中 町	-	-0.01m	-0.04m	-	0.04m	0.09m	-	-0.02m	-0.10m	-	-0.09m	-0.25m
中	172.48m	172.46m	172.36m	0.26m	0.50m	0.49m	172.40m	172.36m	172.19m	0.13m	-0.14m	-0.37m
挾	-	-0.03m	-0.13m	-	0.24m	0.23m	-	-0.04m	-0.21m	-	-0.27m	-0.50m

+#1		年平均地下水位							
- - -	項目	過去実験	2°C上昇実験		4℃上昇実験				
ж.				過去実験との差		過去実験との差			
春	平均值	178.55m	178.53m	-0.02m	178.36m	-0.18m			
日	標準偏差	0.11m	0.13m	-	0.22m	-			
公	1/10確率(下位側)	178.40m	178.37m	-0.03m	178.06m	-0.34m			
園	1/10確率(上位側)	178.65m	178.66m	0.01m	178.58m	-0.07m			



図 7-7 年平均地下水位の相対度数分布(春日公園地点)

+#1		2・3月期平均地下水位						
	項目	過去実験	2°C上昇実験		4℃上昇実験			
				過去実験との差		過去実験との差		
春	平均值	178.49m	178.68m	0.19m	178.67m	0.18m		
日	標準偏差	0.20m	0.10m	-	0.07m	-		
公	1/10確率(下位側)	178.21m	178.58m	0.38m	178.60m	0.39m		
園	1/10確率(上位側)	178.70m	178.76m	0.07m	178.74m	0.04m		





+#1		2・3月期変動量							
	項目	過去実験	2°C上昇実験		4℃上昇実験				
				過去実験との差		過去実験との差			
春	平均值	0.34m	0.35m	0.01m	0.05m	-0.29m			
日	標準偏差	0.61m	0.33m	-	0.32m	-			
公	1/10確率(下位側)	-0.64m	-0.23m	0.41m	-0.24m	0.40m			
園	1/10確率(上位側)	1.01m	0.75m	-0.26m	0.31m	-0.70m			



図 7-9 2・3月期変動量の相対度数分布(春日公園地点)

+#1		4・5月期平均地下水位						
占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4°C上昇実験			
7				過去実験との差		過去実験との差		
春	平均值	178.79m	178.72m	-0.07m	178.59m	-0.20m		
日	標準偏差	0.08m	0.08m	-	0.09m	-		
公	1/10確率(下位側)	178.70m	178.62m	-0.08m	178.48m	-0.22m		
園	1/10確率(上位側)	178.89m	178.82m	-0.06m	178.68m	-0.21m		





+++1		4・5月期変動量						
~ <sup>」</sup> じ 占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4℃上昇実験			
ж.				過去実験との差		過去実験との差		
春	平均值	-0.08m	-0.34m	-0.27m	-0.18m	-0.10m		
日	標準偏差	0.58m	0.31m	-	0.34m	-		
公	1/10確率(下位側)	-0.58m	-0.64m	-0.06m	-0.57m	0.01m		
園	1/10確率(上位側)	0.76m	0.23m	-0.52m	0.31m	-0.45m		



図 7-11 4・5 月期変動量地下水位の相対度数分布(春日公園地点)

+#1		6·7月期平均地下水位							
	項目	過去実験	2°C上昇実験		4℃上昇実験				
7				過去実験との差		過去実験との差			
春	平均值	178.55m	178.50m	-0.04m	178.39m	-0.16m			
日	標準偏差	0.13m	0.17m	-	0.23m	-			
公	1/10確率(下位側)	178.37m	178.27m	-0.11m	178.06m	-0.31m			
園	1/10確率(上位側)	178.69m	178.69m	0.00m	178.63m	-0.05m			





+#1		6·7月変動量						
	項目	過去実験	2°C上昇実験		4℃上昇実験			
л.				過去実験との差		過去実験との差		
春	平均值	0.05m	0.21m	0.16m	0.28m	0.23m		
日	標準偏差	0.59m	0.67m	-	0.78m	-		
公	1/10確率(下位側)	-0.70m	-0.73m	-0.03m	-0.89m	-0.19m		
園	1/10確率(上位側)	0.74m	0.94m	0.20m	1.10m	0.37m		



図 7-13 6・7月期変動量の相対度数分布(春日公園地点)

+#1		8·9·10·11月期平均地下水位						
	項目	過去実験	2°C上昇実験		4℃上昇実験			
7				過去実験との差		過去実験との差		
春	平均值	178.42m	178.35m	-0.07m	178.10m	-0.32m		
日	標準偏差	0.28m	0.31m	-	0.48m	-		
公	1/10確率(下位側)	178.11m	177.93m	-0.18m	177.47m	-0.64m		
園	1/10確率(上位側)	178.66m	178.64m	-0.01m	178.57m	-0.09m		



図 7-14 8・9・10・11 月期平均地下水位の相対度数分布(春日公園地点)

+#1		8・9・10・11月期変動量						
- - -	項目	過去実験	2℃上昇実験		4℃上昇実験			
				過去実験との差		過去実験との差		
春	平均值	0.09m	-0.16m	-0.26m	-0.49m	-0.58m		
日	標準偏差	0.89m	1.00m	-	1.23m	-		
公	1/10確率(下位側)	-1.00m	-1.26m	-0.25m	-1.81m	-0.80m		
園	1/10確率(上位側)	1.11m	1.16m	0.04m	1.20m	0.08m		



図 7-15 8・9・10・11 月期変動量の相対度数分布(春日公園地点)

tth		年平均地下水位							
占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4℃上昇実験				
ж.				過去実験との差		過去実験との差			
本	平均值	176.98m	176.97m	-0.01m	176.87m	-0.11m			
願	標準偏差	0.06m	0.07m	-	0.13m	-			
清	1/10確率(下位側)	176.90m	176.88m	-0.02m	176.71m	-0.19m			
水	1/10確率(上位側)	177.05m	177.05m	0.01m	177.00m	-0.05m			



図 7-16 年平均地下水位の相対度数分布(本願清水地点)

+++1		2・3月期平均地下水位							
- <sup>2</sup> 6	項目	過去実験	2°C上昇実験		4℃上昇実験				
ж.				過去実験との差		過去実験との差			
本	平均值	176.98m	177.08m	0.10m	177.04m	0.07m			
願	標準偏差	0.11m	0.06m	-	0.05m	-			
清	1/10確率(下位側)	176.82m	177.02m	0.20m	176.98m	0.16m			
水	1/10確率(上位側)	177.09m	177.14m	0.05m	177.11m	0.02m			





+#1			2・3月期変動量						
- <u>- </u> - <u>-</u>	項目	過去実験	2℃上昇実験		4°C_	上昇実験			
, M				過去実験との差		過去実験との差			
本	平均值	0.34m	0.27m	-0.07m	0.05m	-0.29m			
願	標準偏差	0.52m	0.37m	-	0.31m	-			
清	1/10確率(下位側)	-0.54m	-0.39m	0.15m	-0.29m	0.24m			
7火	1/10確率(上位側)	0.84m	0.60m	-0.24m	0.36m	-0.48m			



図 7-18 2・3月期変動量の相対度数分布(本願清水地点)

+++1		4・5月期平均地下水位						
占	項目	過去実験	2°C_	2°C上昇実験		上昇実験		
7				過去実験との差		過去実験との差		
本	平均值	177.12m	177.08m	-0.05m	176.99m	-0.14m		
願	標準偏差	0.06m	0.06m	-	0.06m	-		
清	1/10確率(下位側)	177.06m	177.00m	-0.06m	176.91m	-0.15m		
水	1/10確率(上位側)	177.19m	177.14m	-0.05m	177.05m	-0.14m		





+++1			4・5月期変動量						
- <sup>2</sup> 6	項目	過去実験	2°C上昇実験		4°C_	上昇実験			
, W				過去実験との差		過去実験との差			
本	平均值	-0.10m	-0.23m	-0.13m	-0.09m	0.00m			
願	標準偏差	0.42m	0.33m	-	0.37m	-			
清	1/10確率(下位側)	-0.46m	-0.49m	-0.03m	-0.46m	0.00m			
水	1/10確率(上位側)	0.50m	0.38m	-0.12m	0.42m	-0.08m			



図 7-20 4・5 月期変動量地下水位の相対度数分布(本願清水地点)

+#1		6・7月期平均地下水位						
 	項目	過去実験	実験 2℃上昇実験		4°C上昇実験			
				過去実験との差		過去実験との差		
本	平均值	176.97m	176.95m	-0.02m	176.90m	-0.08m		
願	標準偏差	0.08m	0.10m	-	0.13m	-		
清	1/10確率(下位側)	176.87m	176.82m	-0.05m	176.71m	-0.15m		
水	1/10確率(上位側)	177.07m	177.07m	0.00m	177.05m	-0.02m		



図 7-21 6・7月期平均地下水位の相対度数分布(本願清水地点)

+#1			6・7月変動量						
~ <sup>6</sup>	項目	過去実験	2°C_	2°C上昇実験		上昇実験			
ж.				過去実験との差		過去実験との差			
本	平均值	0.19m	0.30m	0.10m	0.37m	0.18m			
願	標準偏差	0.54m	0.59m	-	0.68m	-			
清	1/10確率(下位側)	-0.53m	-0.59m	-0.05m	-0.64m	-0.11m			
7火	1/10確率(上位側)	0.75m	0.92m	0.18m	1.10m	0.35m			



図 7-22 6・7月期変動量の相対度数分布(本願清水地点)

†#h		8·9·10·11月期平均地下水位						
	項目	過去実験	2°C上昇実験		4℃上昇実験			
				過去実験との差		過去実験との差		
本	平均值	176.90m	176.87m	-0.04m	176.73m	-0.17m		
願	標準偏差	0.15m	0.17m	-	0.27m	-		
清	1/10確率(下位側)	176.73m	176.63m	-0.10m	176.37m	-0.36m		
水	1/10確率(上位側)	177.04m	177.04m	0.00m	176.99m	-0.05m		



図 7-23 8・9・10・11 月期平均地下水位の相対度数分布(本願清水地点)

+++1			8・9・10・11月期変動量						
占	項目	過去実験	2℃上昇実験		4℃上昇実験				
				過去実験との差		過去実験との差			
本	平均值	0.08m	-0.11m	-0.19m	-0.37m	-0.45m			
願	標準偏差	0.71m	0.81m	-	0.90m	-			
清	1/10確率(下位側)	-0.79m	-0.96m	-0.18m	-1.26m	-0.48m			
水	1/10確率(上位側)	0.88m	0.93m	0.04m	0.91m	0.03m			



図 7-24 8・9・10・11 月期変動量の相対度数分布(本願清水地点)

+壮			年平均地下水位						
~© 占	項目	過去実験	2°C_	2°C上昇実験		上昇実験			
				過去実験との差		過去実験との差			
弥	平均值	176.68m	176.67m	-0.01m	176.55m	-0.13m			
生	標準偏差	0.07m	0.09m	-	0.16m	-			
公	1/10確率(下位側)	176.58m	176.56m	-0.02m	176.34m	-0.24m			
園	1/10確率(上位側)	176.75m	176.76m	0.01m	176.70m	-0.05m			



図 7-25 年平均地下水位の相対度数分布(弥生公園地点)

+肋		2・3月期平均地下水位						
~© 占	項目	過去実験	2℃上昇実験		4℃上昇実験			
				過去実験との差		過去実験との差		
弥	平均值	176.66m	176.77m	0.12m	176.75m	0.10m		
生	標準偏差	0.13m	0.06m	-	0.05m	-		
公	1/10確率(下位側)	176.48m	176.72m	0.24m	176.70m	0.22m		
園	1/10確率(上位側)	176.79m	176.84m	0.05m	176.81m	0.02m		





+#1			2・3月期変動量						
- - -	項目	過去実験	2℃上昇実験		4°C上昇実験				
, M				過去実験との差		過去実験との差			
弥	平均值	0.32m	0.24m	-0.08m	0.05m	-0.27m			
生	標準偏差	0.49m	0.30m	-	0.28m	-			
公	1/10確率(下位側)	-0.49m	-0.29m	0.19m	-0.24m	0.25m			
園	1/10確率(上位側)	0.83m	0.54m	-0.28m	0.29m	-0.54m			



図 7-27 2・3月期変動量の相対度数分布(弥生公園地点)

艹			4・5月期平均地下水位						
占	項目	過去実験	2°C_	2°C上昇実験		上昇実験			
				過去実験との差		過去実験との差			
弥	平均值	176.84m	176.79m	-0.05m	176.70m	-0.14m			
生	標準偏差	0.06m	0.06m	-	0.06m	-			
公	1/10確率(下位側)	176.77m	176.71m	-0.06m	176.62m	-0.15m			
園	1/10確率(上位側)	176.91m	176.86m	-0.05m	176.76m	-0.15m			





+#1		4・5月期変動量						
》 正	項目	過去実験	2°C_	2°C上昇実験		上昇実験		
ж.				過去実験との差		過去実験との差		
弥	平均值	-0.07m	-0.24m	-0.17m	-0.11m	-0.04m		
生	標準偏差	0.41m	0.27m	-	0.32m	-		
公	1/10確率(下位側)	-0.40m	-0.45m	-0.05m	-0.44m	-0.04m		
園	1/10確率(上位側)	0.50m	0.28m	-0.23m	0.33m	-0.17m		



図 7-29 4・5月期変動量地下水位の相対度数分布(弥生公園地点)

+わ		6・7月期平均地下水位						
~© 占	項目	過去実験	2°C_	2°C上昇実験		上昇実験		
				過去実験との差		過去実験との差		
弥	平均值	176.67m	176.65m	-0.03m	176.58m	-0.10m		
生	標準偏差	0.09m	0.12m	-	0.15m	-		
公	1/10確率(下位側)	176.56m	176.49m	-0.07m	176.36m	-0.19m		
園	1/10確率(上位側)	176.77m	176.78m	0.00m	176.75m	-0.03m		





+#1		6・7月変動量						
	項目 過去実験		2℃上昇実験		4°C上昇実験			
, M				過去実験との差		過去実験との差		
弥	平均值	0.13m	0.24m	0.11m	0.30m	0.17m		
生	標準偏差	0.49m	0.54m	-	0.65m	-		
公	1/10確率(下位側)	-0.54m	-0.58m	-0.04m	-0.66m	-0.12m		
園	1/10確率(上位側)	0.64m	0.79m	0.15m	1.02m	0.37m		



図 7-31 6・7月期変動量の相対度数分布(弥生公園地点)

+#1		8·9·10·11月期平均地下水位						
	項目	過去実験	2°C上昇実験		4℃上昇実験			
7				過去実験との差		過去実験との差		
弥	平均值	176.59m	176.54m	-0.04m	176.37m	-0.21m		
生	標準偏差	0.19m	0.21m	-	0.34m	-		
公	1/10確率(下位側)	176.38m	176.26m	-0.12m	175.93m	-0.45m		
園	1/10確率(上位側)	176.75m	176.74m	0.00m	176.70m	-0.05m		





+#1		8・9・10・11月期変動量						
	項目	過去実験	2°C上昇実験		4°C上昇実験			
				過去実験との差		過去実験との差		
弥	平均值	0.07m	-0.12m	-0.19m	-0.42m	-0.49m		
生	標準偏差	0.70m	0.80m	-	0.95m	-		
公	1/10確率(下位側)	-0.79m	-1.01m	-0.22m	-1.41m	-0.63m		
園	1/10確率(上位側)	0.86m	0.96m	0.10m	0.95m	0.09m		



図 7-33 8・9・10・11 月期変動量の相対度数分布(弥生公園地点)

+#1		年平均地下水位						
占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4°C上昇実験			
777				過去実験との差		過去実験との差		
	平均值	176.74m	176.74m	0.00m	176.55m	-0.19m		
幸	標準偏差	0.13m	0.15m	-	0.23m	-		
町	1/10確率(下位側)	176.55m	176.56m	0.00m	176.27m	-0.28m		
	1/10確率(上位側)	176.88m	176.91m	0.02m	176.80m	-0.08m		



図 7-34 年平均地下水位の相対度数分布 (幸町地点)

+#1		2・3月期平均地下水位						
~© 占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4°C上昇実験			
200				過去実験との差		過去実験との差		
	平均值	176.63m	176.93m	0.29m	176.98m	0.35m		
幸	標準偏差	0.27m	0.16m	-	0.11m	-		
田丁	1/10確率(下位側)	176.26m	176.71m	0.45m	176.83m	0.57m		
	1/10確率(上位側)	176.98m	177.09m	0.11m	177.10m	0.12m		





+#1			2・3月期変動量						
 占	項目	過去実験	2℃上昇実験		4°C_	上昇実験			
, M				過去実験との差		過去実験との差			
	平均值	0.49m	0.48m	-0.01m	0.06m	-0.43m			
幸	標準偏差	0.70m	0.41m	-	0.43m	-			
田丁	1/10確率(下位側)	-0.75m	-0.20m	0.55m	-0.40m	0.35m			
	1/10確率(上位側)	1.21m	0.95m	-0.26m	0.50m	-0.71m			



図 7-36 2・3月期変動量の相対度数分布 (幸町地点)

+#1		4・5月期平均地下水位						
占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4°C上昇実験			
				過去実験との差		過去実験との差		
	平均值	177.07m	177.01m	-0.06m	176.82m	-0.25m		
幸	標準偏差	0.08m	0.11m	-	0.15m	-		
田丁	1/10確率(下位側)	176.96m	176.86m	-0.11m	176.61m	-0.35m		
	1/10確率(上位側)	177.14m	177.11m	-0.03m	177.00m	-0.14m		





+++1			4・5月期変動量						
~© 占	項目	過去実験	2°C_	2℃上昇実験		上昇実験			
ж.				過去実験との差		過去実験との差			
	平均値	-0.04m	-0.38m	-0.34m	-0.33m	-0.29m			
幸	標準偏差	0.56m	0.37m	-	0.51m	-			
町	1/10確率(下位側)	-0.58m	-0.75m	-0.18m	-0.88m	-0.30m			
	1/10確率(上位側)	0.76m	0.29m	-0.47m	0.50m	-0.26m			



図 7-38 4・5月期変動量地下水位の相対度数分布 (幸町地点)

+++1		6·7月期平均地下水位						
占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4°C_	上昇実験		
7				過去実験との差		過去実験との差		
	平均值	176.72m	176.67m	-0.05m	176.52m	-0.21m		
幸	標準偏差	0.20m	0.24m	-	0.27m	-		
田丁	1/10確率(下位側)	176.45m	176.34m	-0.11m	176.13m	-0.33m		
	1/10確率(上位側)	176.97m	176.96m	-0.01m	176.84m	-0.12m		





+#1		6・7月変動量						
~ <sup>匹</sup> 占	項目	過去実験	2°C_	2°C上昇実験		上昇実験		
, M				過去実験との差		過去実験との差		
	平均值	0.04m	0.23m	0.19m	0.29m	0.25m		
幸	標準偏差	0.77m	0.82m	-	0.89m	-		
町	1/10確率(下位側)	-0.92m	-0.94m	-0.02m	-0.99m	-0.07m		
	1/10確率(上位側)	0.95m	1.07m	0.11m	1.18m	0.23m		



図 7-40 6・7月期変動量の相対度数分布 (幸町地点)

+#1		8·9·10·11月期平均地下水位						
占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4°C上昇実験			
				過去実験との差		過去実験との差		
	平均值	176.58m	176.51m	-0.08m	176.23m	-0.35m		
幸	標準偏差	0.31m	0.34m	-	0.48m	-		
田丁	1/10確率(下位側)	176.20m	176.03m	-0.17m	175.60m	-0.60m		
	1/10確率(上位側)	176.92m	176.87m	-0.04m	176.75m	-0.17m		



図 7-41 8・9・10・11 月期平均地下水位の相対度数分布(幸町地点)

+#1		8・9・10・11月期変動量						
占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4℃上昇実験			
				過去実験との差		過去実験との差		
	平均値	0.13m	-0.11m	-0.24m	-0.41m	-0.55m		
幸	標準偏差	1.04m	1.12m	-	1.32m	-		
町	1/10確率(下位側)	-1.16m	-1.33m	-0.17m	-1.75m	-0.59m		
	1/10確率(上位側)	1.29m	1.34m	0.05m	1.36m	0.07m		



図 7-42 8・9・10・11 月期変動量の相対度数分布 (幸町地点)

	#		年平均地下水位						
ر الا الا		項目	過去実験	2℃上昇実験		4℃上昇実験			
	TT.				過去実験との差		過去実験との差		
注	吽	平均值	176.83m	176.82m	0.00m	176.61m	-0.21m		
ルス 十	日	標準偏差	0.14m	0.16m	-	0.25m	-		
л П	油	1/10確率(下位側)	176.64m	176.63m	-0.01m	176.30m	-0.34m		
Γ	/₽	1/10確率(上位側)	176.99m	177.01m	0.03m	176.88m	-0.11m		



図 7-43 年平均地下水位の相対度数分布(菖蒲池浅井戸地点)

+	₩		2・3月期平均地下水位						
占		項目	過去実験	2°C上昇実験		4°C上昇実験			
	TT.				過去実験との差		過去実験との差		
注	吽	平均值	176.69m	177.03m	0.34m	177.07m	0.38m		
/え ++	田井	標準偏差	0.30m	0.19m	-	0.13m	-		
开 一	用	1/10確率(下位側)	176.27m	176.78m	0.50m	176.91m	0.63m		
,_	ıĿ	1/10確率(上位側)	177.06m	177.23m	0.17m	177.22m	0.16m		



図 7-44 2・3月期平均地下水位の相対度数分布(菖蒲池浅井戸地点)

	ĿНı		2・3月期変動量						
		項目	過去実験	2℃上昇実験		4℃上昇実験			
					過去実験との差		過去実験との差		
注	甘	平均值	0.85m	0.94m	0.10m	0.05m	-0.80m		
/20 ++	日	標準偏差	0.89m	0.79m	-	0.65m	-		
开	油	1/10確率(下位側)	-0.90m	-0.55m	0.35m	-0.67m	0.23m		
<i>_</i>	76	1/10確率(上位側)	1.73m	1.81m	0.08m	0.76m	-0.97m		



図 7-45 2・3月期変動量の相対度数分布(菖蒲池浅井戸地点)

+	Hı		4・5月期平均地下水位						
占		項目	過去実験	2°C上昇実験		4℃上昇実験			
7	11				過去実験との差		過去実験との差		
注	吽	平均值	177.29m	177.13m	-0.16m	176.87m	-0.42m		
/& #	世	標準偏差	0.17m	0.18m	-	0.17m	-		
<del>,</del>	用	1/10確率(下位側)	177.09m	176.90m	-0.19m	176.63m	-0.47m		
, <b>-</b>	16	1/10確率(上位側)	177.49m	177.34m	-0.15m	177.07m	-0.42m		





	±±		4・5月期変動量						
-0 -5		項目	過去実験	2℃上昇実験		4°C上昇実験			
	Ξ.				過去実験との差		過去実験との差		
注	中	平均值	-0.36m	-0.84m	-0.48m	-0.39m	-0.03m		
/X ++	日	標準偏差	1.47m	0.89m	-	0.73m	-		
ㅠ	浦	1/10確率(下位側)	-1.80m	-1.75m	0.05m	-1.08m	0.72m		
_	16	1/10確率(上位側)	2.05m	0.73m	-1.32m	0.79m	-1.26m		



図 7-47 4・5月期変動量地下水位の相対度数分布(菖蒲池浅井戸地点)

+	H		6・7月期平均地下水位						
占		項目	過去実験	2℃上昇実験		4°C上昇実験			
,	T.				過去実験との差		過去実験との差		
注	吽	平均值	176.78m	176.74m	-0.04m	176.57m	-0.21m		
/% ++	世	標準偏差	0.23m	0.27m	-	0.30m	-		
开 一	用	1/10確率(下位側)	176.48m	176.36m	-0.12m	176.15m	-0.33m		
-	/₽	1/10確率(上位側)	177.07m	177.10m	0.03m	176.95m	-0.12m		



図 7-48 6・7月期平均地下水位の相対度数分布(菖蒲池浅井戸地点)

+	141				6・7月変動量		
		項目	過去実験	2°C上昇実験		4°C_	上昇実験
5	R.				過去実験との差		過去実験との差
注	甘	平均值	0.35m	0.72m	0.37m	0.66m	0.31m
/& ++	日法	標準偏差	1.19m	1.32m	-	1.27m	-
一	油	1/10確率(下位側)	-1.11m	-1.10m	0.01m	-1.12m	-0.01m
_	16	1/10確率(上位側)	1.63m	2.36m	0.72m	2.02m	0.38m



図 7-49 6・7月期変動量の相対度数分布(菖蒲池浅井戸地点)

+	₩		8·9·10·11月期平均地下水位						
~© 占		項目	過去実験	2℃上昇実験		4°C上昇実験			
	TT.				過去実験との差		過去実験との差		
注	吽	平均值	176.65m	176.57m	-0.08m	176.27m	-0.38m		
/え ++	田井	標準偏差	0.33m	0.36m	-	0.52m	-		
开 一	用	1/10確率(下位側)	176.26m	176.09m	-0.17m	175.58m	-0.68m		
,_	ıĿ	1/10確率(上位側)	177.00m	176.97m	-0.03m	176.81m	-0.20m		



図 7-50 8・9・10・11 月期平均地下水位の相対度数分布(菖蒲池浅井戸地点)

+	Hı		8・9・10・11月期変動量						
	5 5	項目	過去実験	2℃上昇実験		実験 4℃上昇実験			
,					過去実験との差		過去実験との差		
注	甘	平均值	0.26m	-0.15m	-0.40m	-0.41m	-0.67m		
/ス ++	日	標準偏差	1.62m	1.92m	-	1.85m	-		
开	油	1/10確率(下位側)	-1.62m	-2.46m	-0.84m	-2.27m	-0.65m		
<i></i>	<u>ال</u>	1/10確率(上位側)	2.13m	2.36m	0.23m	2.03m	-0.09m		



図 7-51 8・9・10・11 月期変動量の相対度数分布(菖蒲池浅井戸地点)

+++1		年平均地下水位						
~© 占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4℃上昇実験			
				過去実験との差		過去実験との差		
	平均值	174.50m	174.49m	-0.01m	174.36m	-0.14m		
駅	標準偏差	0.09m	0.11m	-	0.16m	-		
東	1/10確率(下位側)	174.36m	174.36m	0.00m	174.15m	-0.21m		
	1/10確率(上位側)	174.60m	174.61m	0.01m	174.54m	-0.06m		



図 7-52 年平均地下水位の相対度数分布(駅東地点)

+++1		2・3月期平均地下水位						
~© 占	項目	過去実験	2℃上昇実験		4°C上昇実験			
				過去実験との差		過去実験との差		
	平均值	174.44m	174.63m	0.19m	174.64m	0.20m		
駅	標準偏差	0.19m	0.10m	-	0.07m	-		
東	1/10確率(下位側)	174.17m	174.52m	0.34m	174.58m	0.40m		
	1/10確率(上位側)	174.65m	174.71m	0.06m	174.71m	0.06m		





+++1			2・3月期変動量						
- - -	項目	過去実験	2°C上昇実験		4℃上昇実験				
				過去実験との差		過去実験との差			
	平均值	0.35m	0.30m	-0.04m	0.03m	-0.31m			
駅	標準偏差	0.53m	0.30m	-	0.26m	-			
東	1/10確率(下位側)	-0.61m	-0.16m	0.45m	-0.21m	0.40m			
	1/10確率(上位側)	0.87m	0.71m	-0.17m	0.27m	-0.60m			



図 7-54 2・3月期変動量の相対度数分布(駅東地点)

+#1		4・5月期平均地下水位						
~© 占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4℃上昇実験			
200				過去実験との差		過去実験との差		
	平均値	174.72m	174.67m	-0.05m	174.55m	-0.16m		
駅	標準偏差	0.06m	0.07m	-	0.10m	-		
東	1/10確率(下位側)	174.65m	174.59m	-0.07m	174.42m	-0.23m		
	1/10確率(上位側)	174.77m	174.74m	-0.03m	174.65m	-0.12m		





抽		4・5月期変動量						
- <sup>2</sup> C	項目	過去実験	2°C上昇実験		4°C上昇実験			
				過去実験との差		過去実験との差		
	平均值	-0.04m	-0.28m	-0.24m	-0.21m	-0.17m		
駅	標準偏差	0.41m	0.24m	-	0.35m	-		
東	1/10確率(下位側)	-0.40m	-0.58m	-0.17m	-0.65m	-0.24m		
	1/10確率(上位側)	0.53m	-0.13m	-0.66m	0.30m	-0.23m		



図 7-56 4・5月期変動量地下水位の相対度数分布(駅東地点)

+#1		6·7月期平均地下水位						
~© 占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4°C_	上昇実験		
200				過去実験との差		過去実験との差		
	平均值	174.49m	174.45m	-0.05m	174.34m	-0.15m		
駅	標準偏差	0.14m	0.17m	-	0.20m	-		
東	1/10確率(下位側)	174.30m	174.20m	-0.10m	174.05m	-0.26m		
	1/10確率(上位側)	174.64m	174.64m	-0.01m	174.58m	-0.06m		





+#1		6・7月変動量						
~© 占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4°C上昇実験			
				過去実験との差		過去実験との差		
	平均值	0.04m	0.20m	0.15m	0.25m	0.21m		
駅	標準偏差	0.56m	0.61m	-	0.67m	-		
東	1/10確率(下位側)	-0.68m	-0.69m	-0.01m	-0.75m	-0.07m		
	1/10確率(上位側)	0.71m	0.81m	0.10m	0.90m	0.19m		



図 7-58 6・7月期変動量の相対度数分布(駅東地点)

+++1		8·9·10·11月期平均地下水位						
~© 占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4℃上昇実験			
7.1				過去実験との差		過去実験との差		
	平均值	174.39m	174.33m	-0.06m	174.14m	-0.25m		
駅	標準偏差	0.23m	0.25m	-	0.34m	-		
東	1/10確率(下位側)	174.10m	173.98m	-0.12m	173.67m	-0.42m		
	1/10確率(上位側)	174.62m	174.60m	-0.02m	174.52m	-0.10m		





+#1		8・9・10・11月期変動量						
 占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4°C上昇実験			
				過去実験との差		過去実験との差		
	平均值	0.09m	-0.09m	-0.17m	-0.34m	-0.43m		
駅	標準偏差	0.77m	0.84m	-	0.97m	-		
東	1/10確率(下位側)	-0.86m	-1.00m	-0.14m	-1.32m	-0.47m		
	1/10確率(上位側)	0.94m	0.97m	0.02m	0.99m	0.05m		



図 7-60 8・9・10・11 月期変動量の相対度数分布(駅東地点)

+++1		年平均地下水位						
~© 占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4°C上昇実験			
2111				過去実験との差		過去実験との差		
Ŧ	平均值	175.13m	175.12m	-0.01m	175.06m	-0.07m		
一一	標準偏差	0.04m	0.04m	-	0.07m	-		
<u>ተ</u> ተ	1/10確率(下位側)	175.08m	175.07m	-0.01m	174.97m	-0.11m		
ЦШ	1/10確率(上位側)	175.16m	175.17m	0.00m	175.13m	-0.03m		



図 7-61 年平均地下水位の相対度数分布 (天神町地点)

+++1		2・3月期平均地下水位						
~© 占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4°C上昇実験			
				過去実験との差		過去実験との差		
Ŧ	平均值	175.13m	175.18m	0.06m	175.16m	0.04m		
一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一	標準偏差	0.06m	0.03m	-	0.03m	-		
↑Ψ 町	1/10確率(下位側)	175.04m	175.15m	0.10m	175.12m	0.08m		
	1/10確率(上位側)	175.19m	175.22m	0.02m	175.20m	0.01m		





+#1			2・3月期変動量						
~ <sup>2</sup> 0 占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4°C上昇実験				
				過去実験との差		過去実験との差			
Ŧ	平均值	0.21m	0.17m	-0.05m	0.02m	-0.19m			
一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一	標準偏差	0.30m	0.21m	-	0.19m	-			
11中 田丁	1/10確率(下位側)	-0.32m	-0.22m	0.10m	-0.19m	0.13m			
щ	1/10確率(上位側)	0.50m	0.35m	-0.14m	0.22m	-0.28m			



図 7-63 2・3月期変動量の相対度数分布 (天神町地点)

+#1		4・5月期平均地下水位						
~© 占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4°C上昇実験			
				過去実験との差		過去実験との差		
Ŧ	平均值	175.21m	175.18m	-0.03m	175.12m	-0.08m		
一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一	標準偏差	0.04m	0.03m	-	0.04m	-		
个 <sup>中</sup>	1/10確率(下位側)	175.17m	175.13m	-0.04m	175.08m	-0.09m		
Щ	1/10確率(上位側)	175.25m	175.22m	-0.03m	175.17m	-0.08m		





+#1		4・5月期変動量						
占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4℃上昇実験			
				過去実験との差		過去実験との差		
Ŧ	平均值	-0.09m	-0.14m	-0.05m	-0.05m	0.04m		
一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一	標準偏差	0.23m	0.19m	-	0.24m	-		
竹中	1/10確率(下位側)	-0.27m	-0.29m	-0.02m	-0.29m	-0.02m		
щј	1/10確率(上位側)	0.28m	0.22m	-0.06m	0.27m	-0.01m		



図 7-65 4・5月期変動量地下水位の相対度数分布 (天神町地点)

+#1	項目	6・7月期平均地下水位					
点		過去実験	2°C上昇実験		4℃上昇実験		
				過去実験との差		過去実験との差	
天 神 町	平均值	175.11m	175.10m	-0.01m	175.07m	-0.04m	
	標準偏差	0.05m	0.06m	-	0.07m	-	
	1/10確率(下位側)	175.05m	175.02m	-0.03m	174.96m	-0.08m	
	1/10確率(上位側)	175.17m	175.17m	0.00m	175.16m	-0.02m	





地点	項目	6・7月変動量						
		過去実験	2°C上昇実験		4°C上昇実験			
				過去実験との差		過去実験との差		
天神町	平均値	0.12m	0.16m	0.04m	0.21m	0.09m		
	標準偏差	0.31m	0.33m	-	0.37m	-		
	1/10確率(下位側)	-0.33m	-0.36m	-0.03m	-0.38m	-0.05m		
	1/10確率(上位側)	0.41m	0.46m	0.05m	0.55m	0.13m		



図 7-67 6・7月期変動量の相対度数分布 (天神町地点)
+#1		8·9·10·11月期平均地下水位						
心占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4°C上昇実験			
				過去実験との差		過去実験との差		
Ŧ	平均値	175.08m	175.05m	-0.02m	174.98m	-0.10m		
一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一	標準偏差	0.09m	0.10m	-	0.16m	-		
↑₽ 町	1/10確率(下位側)	174.97m	174.92m	-0.05m	174.78m	-0.20m		
	1/10確率(上位側)	175.16m	175.15m	0.00m	175.13m	-0.03m		





+#1		8・9・10・11月期変動量						
~© 占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4°C上昇実験			
ж.				過去実験との差		過去実験との差		
Ŧ	平均值	0.05m	-0.04m	-0.09m	-0.19m	-0.25m		
一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一	標準偏差	0.41m	0.45m	-	0.53m	-		
竹竹	1/10確率(下位側)	-0.44m	-0.52m	-0.08m	-0.72m	-0.27m		
Щ	1/10確率(上位側)	0.49m	0.53m	0.04m	0.53m	0.05m		



図 7-69 8・9・10・11 月期変動量の相対度数分布 (天神町地点)

+#1		年平均地下水位					
占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4℃上昇実験		
				過去実験との差		過去実験との差	
	平均值	172.55m	172.54m	-0.01m	172.38m	-0.16m	
中	標準偏差	0.09m	0.11m	-	0.14m	-	
挾	1/10確率(下位側)	172.42m	172.40m	-0.02m	172.21m	-0.21m	
	1/10確率(上位側)	172.66m	172.68m	0.02m	172.54m	-0.12m	



図 7-70 年平均地下水位の相対度数分布(中挾地点)

+#1		2·3月期平均地下水位						
~© 占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4°C上昇実験			
200				過去実験との差		過去実験との差		
	平均值	172.45m	172.70m	0.25m	172.68m	0.23m		
中	標準偏差	0.19m	0.17m	-	0.15m	-		
挾	1/10確率(下位側)	172.21m	172.48m	0.27m	172.49m	0.27m		
	1/10確率(上位側)	172.71m	172.92m	0.21m	172.89m	0.18m		





+#1		2・3月期変動量					
~ <sup>1</sup> <sup>1</sup> 占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4℃上昇実験		
				過去実験との差		過去実験との差	
	平均値	0.61m	0.77m	0.17m	0.04m	-0.56m	
中	標準偏差	0.67m	0.60m	-	0.63m	-	
挾	1/10確率(下位側)	-0.61m	-0.50m	0.11m	-0.73m	-0.12m	
	1/10確率(上位側)	1.29m	1.28m	-0.01m	0.78m	-0.51m	



図 7-72 2・3月期変動量の相対度数分布 (中挾地点)

+#1		4・5月期平均地下水位						
占	項目	過去実験	過去実験 2°C上昇実験		4°C_	上昇実験		
200				過去実験との差		過去実験との差		
	平均值	172.99m	172.81m	-0.17m	172.51m	-0.48m		
中	標準偏差	0.17m	0.19m	-	0.13m	-		
挾	1/10確率(下位側)	172.77m	172.54m	-0.23m	172.35m	-0.42m		
	1/10確率(上位側)	173.18m	173.04m	-0.14m	172.66m	-0.52m		





ŧł	1	4・5月期変動量					
بر ج	項目	過去実験	2°C上昇実験		4°C上昇実験		
711				過去実験との差		過去実験との差	
	平均值	-0.33m	-0.78m	-0.45m	-0.31m	0.02m	
¢	中 標準偏差	1.04m	0.61m	-	0.55m	-	
扨	图 1/10確率(下位側)	-1.20m	-1.27m	-0.07m	-0.85m	0.35m	
	1/10確率(上位側)	1.27m	0.37m	-0.90m	0.58m	-0.69m	



図 7-74 4・5月期変動量地下水位の相対度数分布(中挾地点)

+#1		6·7月期平均地下水位					
~© 占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4°C上昇実験		
200				過去実験との差		過去実験との差	
	平均值	172.48m	172.46m	-0.03m	172.36m	-0.13m	
中	標準偏差	0.17m	0.19m	-	0.19m	-	
挾	1/10確率(下位側)	172.27m	172.21m	-0.06m	172.12m	-0.15m	
	1/10確率(上位側)	172.71m	172.72m	0.00m	172.60m	-0.11m	





+#1		6・7月変動量					
~ <sup>匹</sup> 占	項目	過去実験	2℃上昇実験		4℃上昇実験		
, M				過去実験との差		過去実験との差	
	平均值	0.26m	0.50m	0.24m	0.49m	0.23m	
中	標準偏差	0.85m	0.84m	-	0.83m	-	
挾	1/10確率(下位側)	-0.87m	-0.75m	0.13m	-0.72m	0.16m	
	1/10確率(上位側)	1.23m	1.40m	0.17m	1.39m	0.16m	



図 7-76 6・7月期変動量の相対度数分布 (中挾地点)

+#1		8·9·10·11月期平均地下水位						
占	項目	過去実験	2°C上昇実験		4°C上昇実験			
				過去実験との差		過去実験との差		
	平均值	172.40m	172.36m	-0.04m	172.19m	-0.21m		
中	標準偏差	0.21m	0.23m	-	0.29m	-		
挾	1/10確率(下位側)	172.15m	172.07m	-0.08m	171.82m	-0.33m		
	1/10確率(上位側)	172.64m	172.63m	-0.01m	172.50m	-0.14m		



図 7-77 8・9・10・11 月期平均地下水位の相対度数分布(中挾地点)

+#1		8・9・10・11月期変動量						
~ <sup>匹</sup> 占	項目	過去実験	2℃上昇実験		4°C上昇実験			
, M				過去実験との差		過去実験との差		
	平均值	0.13m	-0.14m	-0.27m	-0.37m	-0.50m		
中	標準偏差	1.06m	1.16m	-	1.12m	-		
挾	1/10確率(下位側)	-1.25m	-1.45m	-0.19m	-1.48m	-0.23m		
	1/10確率(上位側)	1.40m	1.45m	0.05m	1.34m	-0.06m		



図 7-78 8・9・10・11 月期変動量の相対度数分布(中挾地点)









図 7-85 予測結果の 360 年平均ハイドログラフ;地下水位(天神町地点)

## (3) 有意差検定

気候変動に伴う地下水位変化の有意差を判定するため、予測計算結果の過去実験、 将来実験の各360年分を平均したハイドログラフを用いて、年平均地下水位と期間毎の変 動量(各期の中で最初に観測される最高・最低地下水位と次に観測される最高・最低地下 水位の差)を算出し、有意差検定を行った。有意差検定の手法については、「日本の気候 変動(2020)」<sup>17)</sup>と同様にMann-Whitney 検定を用いた。

検定においては、過去実験に対して、2℃上昇実験、4℃上昇実験との差がないという 帰無仮説を立てた。信頼度の区分は、「日本の気候変動(2020)」を参考に、信頼水準 90%以上、信頼水準95%以上、信頼水準99%以上とした。計算結果を表 7-7~表 7-9 に 示す。

表 7-7 では、年平均地下水位における、過去実験と 2℃上昇実験と 4℃上昇実験の差 を検定した。表 7-8と表 7-9 では、期間毎に 360 年分の変動量及び平均地下水位の過去 実験と 2℃上昇実験と 4℃上昇実験の差を検定した。

	過去実験	2℃上昇実験	4℃上昇実験
		統計的な有意差なし。	信頼水準 99%以上で有意
专口八国	170 55		に減少する。
存日公園	178.55m	•178.53m	•178.36m
		・過去実験に対して-0.02m	・過去実験に対して-0.18m
		信頼水準 90%以上で有意に	信頼水準 99%以上で有意
大面洼水	176.08m	減少する。	に減少する。
个顺伯小	170.900	•176.97m	•176.87m
		・過去実験に対して-0.01m	・過去実験に対して-0.11m
		統計的な有意差なし	信頼水準 99%以上で有意
	176 68m		に減少する。
加土公園	170.000	•176.67m	•176.55m
		・過去実験に対して-0.01m	・過去実験に対して-0.13m
		統計的な有意差なし	信頼水準 99%以上で有意
幸町	176.74m		に減少する。
_ ± ⊷1		•176.74m	•176.55m
		・過去実験と同じ値	・過去実験に対して-0.19m
		統計的な有意差なし	信頼水準 99%以上で有意
菖蒲池浅	176.83m		に減少する。
井戸	110.0011	•176.82m	•176.61m
		・過去実験に対して-0.01m	・過去実験に対して-0.21m
		統計的な有意差なし	信頼水準 99%以上で有意
駅東	174 50m		に減少する。
	111.00	•174.49m	•174.36m
		・過去実験に対して-0.01m	・過去実験に対して-0.14m
		信頼水準 90%以上で有意に	信頼水準 99%以上で有意
天神町	175.13m	減少する。	に減少する。
	1101101	•175.12m	•175.06m
		・過去実験に対して-0.01m	・過去実験に対して-0.07m
		統計的な有意差なし	信頼水準 99%以上で有意
中挟	172.55m		に減少する。
1 1/2	1, 2, 0,0011	•172.54m	•172.38m
		・過去実験に対して-0.01m	・過去実験に対して-0.16m

表 7-7 年平均地下水位の有意差検定結果

※過去実験の数値:年平均地下水位

※将来実験の記載:上段・・・有意差検定結果

下段・・・数値:年平均地下水位、記載:過去実験との差

# 表 7-8 期間毎の変動量の有意差検定結果

		2*3月期			4-5月期			6-7月期			8-9-10-11月期		
		過去実験	2℃上昇実験	4℃上昇実験	過去実験	2℃上昇実験	4℃上昇実験	過去実験	2℃上昇実験	4℃上昇実験	過去実験	2℃上昇実験	4℃上昇実験
春日公園	変動量	0.25	0.17	0.05	-0.28	-0.24	_	-0.13	-0.13	-0.17	0.19	-0.24	-0.45
	過去実験との差	_	-0.08	-0.20	-	0.04	_	_	0	-0.03	-	-0.43	-0.64
	検定結果	_	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなる	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなる	_	変動量(下降)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなる	統計的な有意差なし	_	信頼水準999%以上で 統計的な有意差あり	変動量(下降)が信頼水準 99%以上で有意に大きくなる	-	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が下降傾向となる	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が下降傾向となる
本願清水	変動量	0.16	0.09	0.03	-0.17	-0.16	-0.10	-0.07	0.08	0.11	0.11	-0.15	-0.28
	過去実験との差	-	-0.06	-0.13	-	0.01	0.07	-	0.15	0.18	-	-0.26	-0.39
	検定結果	_	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなる	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなる	_	変動量(下降)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなる	変動量(下降)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなる	_	変動量(下降)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が上昇傾向となる	変動量(下降)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が上昇傾向となる	-	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が下降傾向となる	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が下降傾向となる
弥生公園	変動量	0.17	0.11	0.03	-0.18	-0.17	-	-0.08	-0.08	0.11	0.13	-0.17	-0.33
	過去実験との差	-	-0.06	-0.14	-	0.01	-	-	0.00	0.19	-	-0.30	-0.46
	検定結果	_	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなる	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなる	_	変動量(下降)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなる	統計的な有意差なし	_	信頼水準999%以上で 統計的な有意差あり	変動量(下降)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が上昇傾向となる	-	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が下降傾向となる	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が下降傾向となる
幸町	変動量	0.39	0.26	0.06	-0.26	-0.31	-0.30	-0.24	-0.18	-0.21	0.25	-0.31	-0.49
	過去実験との差	-	-0.13	-0.32	-	-0.06	-0.04	-	0.06	0.03	-	-0.57	-0.74
	検定結果	_	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなる	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなる	_	変動量(下降)が信頼水準 99%以上で有意に大きくなる	変動量(下降)が信頼水準 99%以上で有意に大きくなる	-	変動量(下降)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなる	変動量(下降)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなる	_	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が下降傾向となる	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が下降傾向となる
菖蒲池浅井戸	変動量	0.54	_	-0.07	-0.60	-0.51	-0.33	-0.23	0.21	0.26	0.27	-0.38	-0.55
	過去実験との差	_	_	-0.61	_	0.09	0.27	_	0.43	0.49	-	-0.65	-0.82
	検定結果	_	統計的な有意差なし	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が下降傾向となる	_	変動量(下降)が信頼水準 90%以上で有意に小さくなる	変動量(下降)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなる	_	変動量(下降)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が上昇傾向となる	変動量(下降)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が上昇傾向となる	-	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が下降傾向となる	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が下降傾向となる
駅東	変動量	0.26	0.16	0.04	-0.18	-0.21	-0.19	-0.16	-0.14	-0.16	0.19	-0.22	-0.36
	過去実験との差	_	-0.10	-0.22	_	-0.03	-0.01	_	0.02	0.00	_	-0.41	-0.55
	検定結果	_	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなる	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなる	_	変動量(下降)が信頼水準 99%以上で有意に大きくなる	変動量(下降)が信頼水準 99%以上で有意に大きくなる	_	変動量(下降)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなる	信頼水準99%以上で 統計的な有意差あり	-	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が下降傾向となる	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が下降傾向となる
天神町	変動量	0.10	0.06	-0.02	-0.10	-0.10	-	-0.04	0.05	0.07	0.07	-0.09	-0.16
	過去実験との差	_	-0.04	-0.12	-	0.00	-	-	0.09	0.11	-	-0.16	-0.23
	検定結果	_	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなる	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が下降傾向となる	_	信頼水準999%以上で 統計的な有意差あり	統計的な有意差なし	_	変動量(下降)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が上昇傾向となる	変動量(下降)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が上昇傾向となる	-	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が下降傾向となる	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が下降傾向となる
中挟	変動量	0.43	0.45	-0.07	-0.68	-0.59	-0.24	-0.15	0.19	0.20	0.17	-0.27	-0.36
	過去実験との差	-	0.02	-0.50	_	0.09	0.44	_	0.34	0.35	-	-0.44	-0.53
	検定結果	-	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に大きくなる	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が下降傾向となる	-	変動量(下降)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなる	変動量(下降)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなる	_	変動量(下降)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が上昇傾向となる	変動量(下降)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が上昇傾向となる	-	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が下降傾向となる	変動量(上昇)が信頼水準 99%以上で有意に小さくなり、 変動量が下降傾向となる

			2-3月期			4-5月期			6-7月期			8-9-10-11月期		
		過去実験	2℃上昇実験	4℃上昇実験	過去実験	2℃上昇実験	4℃上昇実験	過去実験	2℃上昇実験	4℃上昇実験	過去実験	2℃上昇実験	4℃上昇実験	
春日公園	変動量	178.49	178.68	178.67	178.79	178.72	178.59	178.55	178.50	178.39	178.42	178.35	178.10	
	過去実験との差	_	0.19	0.18	-	-0.07	-0.20	-	-0.05	-0.16	-	-0.07	-0.32	
	検定結果	-	信頼水準99%以上で 有意に増加する	信頼水準99%以上で 有意に増加する	_	信頼水準99%以上で 有意に減少する	信頼水準99%以上で 有意に減少する	-	信頼水準99%以上で 有意に減少する	信頼水準99%以上で 有意に減少する	-	信頼水準99%以上で 有意に減少する	信頼水準99%以上で 有意に減少する	
本願清水	平均地下水位	176.98	177.08	177.04	177.12	177.08	176.99	176.97	176.95	176.90	176.90	176.87	176.73	
	過去実験との差	-	0.10	0.06	-	-0.04	-0.13	-	-0.02	-0.07	-	-0.03	-0.17	
	検定結果	_	信頼水準99%以上で 有意に増加する	信頼水準99%以上で 有意に増加する	_	信頼水準99%以上で 有意に減少する	信頼水準99%以上で 有意に減少する	_	信頼水準95%以上で 有意に減少する	信頼水準999%以上で 有意に減少する	-	信頼水準99%以上で 有意に減少する	信頼水準99%以上で 有意に減少する	
弥生公園	平均地下水位	176.66	176.77	176.75	176.84	176.79	176.70	176.67	176.65	176.58	176.59	176.54	176.37	
	過去実験との差	_	0.11	0.09	-	-0.05	-0.14	-	-0.02	-0.09	-	-0.05	-0.22	
	検定結果	-	信頼水準99%以上で 有意に増加する	信頼水準99%以上で 有意に増加する	_	信頼水準99%以上で 有意に減少する	信頼水準99%以上で 有意に減少する	Ι	信頼水準95%以上で 有意に減少する	信頼水準99%以上で 有意に減少する	-	信頼水準99%以上で 有意に減少する	信頼水準99%以上で 有意に減少する	
幸町	平均地下水位	176.63	176.93	176.98	177.07	177.01	176.82	176.72	176.67	176.52	176.58	176.51	176.23	
	過去実験との差	_	0.30	0.35	-	-0.06	-0.25	-	-0.05	-0.20	-	-0.07	-0.35	
	検定結果	-	信頼水準90%以上で 有意に増加する	信頼水準99%以上で 有意に増加する	_	信頼水準99%以上で 有意に減少する	信頼水準99%以上で 有意に減少する	Ι	信頼水準99%以上で 有意に減少する	信頼水準99%以上で 有意に減少する	_	信頼水準99%以上で 有意に減少する	信頼水準99%以上で 有意に減少する	
	平均地下水位	176.69	177.03	177.07	177.29	177.13	176.87	176.78	176.74	176.57	176.65	176.57	176.27	
菖蒲池浅井戸	過去実験との差	_	0.34	0.38	-	-0.16	-0.42	_	-0.04	-0.21	_	-0.08	-0.38	
	検定結果	_	信頼水準90%以上で 有意に増加する	信頼水準99%以上で 有意に増加する	_	信頼水準99%以上で 有意に減少する	信頼水準99%以上で 有意に減少する	-	信頼水準99%以上で 有意に減少する	信頼水準999%以上で 有意に減少する	-	信頼水準99%以上で 有意に減少する	信頼水準99%以上で 有意に減少する	
	平均地下水位	174.44	174.63	174.63	174.72	174.67	174.55	174.49	174.45	174.34	174.39	174.33	174.14	
駅東	過去実験との差	_	0.19	0.19	-	-0.05	-0.17	_	-0.04	-0.15	_	-0.06	-0.25	
	検定結果	_	信頼水準90%以上で 有意に増加する	信頼水準99%以上で 有意に増加する	_	信頼水準99%以上で 有意に減少する	信頼水準99%以上で 有意に減少する	-	信頼水準99%以上で 有意に減少する	信頼水準999%以上で 有意に減少する	-	信頼水準99%以上で 有意に減少する	信頼水準99%以上で 有意に減少する	
	平均地下水位	175.13	175.18	175.16	175.21	175.18	175.12	175.11	175.10	175.07	175.08	175.05	174.98	
天神町	過去実験との差	_	0.05	0.03	-	-0.03	-0.09	-	-0.01	-0.04	-	-0.03	-0.10	
	検定結果	_	信頼水準90%以上で 有意に増加する	信頼水準99%以上で 有意に増加する	_	信頼水準99%以上で 有意に減少する	信頼水準99%以上で 有意に減少する	_	信頼水準95%以上で 有意に減少する	信頼水準99%以上で 有意に減少する	-	信頼水準99%以上で 有意に減少する	信頼水準99%以上で 有意に減少する	
中挟	平均地下水位	172.45	172.70	172.68	172.99	172.81	172.51	172.48	172.46	172.36	172.40	172.36	172.19	
	過去実験との差	_	0.25	0.23	-	-0.18	-0.48	_	-0.02	-0.12	-	-0.04	-0.21	
	検定結果	_	信頼水準99%以上で 有意に増加する	信頼水準99%以上で 有意に増加する	_	信頼水準99%以上で 有意に減少する	信頼水準99%以上で 有意に減少する	_	信頼水準90%以上で 有意に減少する	信頼水準99%以上で 有意に減少する	_	信頼水準99%以上で 有意に減少する	信頼水準99%以上で 有意に減少する	

## 表 7-9 期間毎の平均地下水位の有意差検定結果

また、春日公園地点と菖蒲池浅井戸地点の年最低地下水位の発生月の分布を図 7-87、 図 7-88 に示す。春日公園地点と菖蒲池浅井戸地点の2・3 月期における頻度が、過去実 験では、113 回/360 年、125 回/360 年に対して、2℃上昇実験では 18 回/360 年、20 回 /360 年、4℃上昇実験では 0 回/360 年、0 回/360 年に減少している。なお、8・9・10・11 月期は、過去実験では、173 回/360 年、163 回/360 年に対して、2℃上昇実験では 237 回/360年、228回/360年、4℃上昇実験では218回/360年、216回/360年となっている。





最低地下水位発生回数(回/360年)

#### 8章 検討対象8地点の再現性と予測計算結果のまとめ

8章1節 再現性について

水循環解析モデルの再現性について、年平均地下水位は、0.70m~0.81m(平均 0.77m)の相関係数を示した。

期別の変動量は、2・3月期に0.52m~0.81m(平均0.66m)、4・5月期に0.37m~0.59m (平均0.46m)、6・7月期に0.47m~0.93m(平均0.71m)、8・9・10・11月期に0.46m~ 0.81m(平均0.66m)の相関係数を示した。

本研究において構築した水循環解析モデルは、非常に強い相関とまでは言えないも のの、一定の精度が確認されたものと考える。ただし、全体としては、期別の変動量の相 関係数は、年平均地下水位の相関係数に比べて低い結果となった。

このような結果を受けて、慎重を期する観点から、8章2節の(2)の予測計算結果について(3)の有意差検定の信頼度を確認した上で、8章3節のまとめを記述するものとし、その際、年平均地下水位では定量的な評価を行うものの、期別の変動量については定性的な評価に留めることとした。

8章2節 計算結果について

(1) 外力となる降水量について

予測計算の入力条件となる気候変動モデルの降水量(解析領域全体)は、平均年で は、年平均降水量が過去実験の 3,116mm に対して、2℃上昇実験が 3,046mm、4℃上 昇実験が 2,756mm となり、気候変動の進行による降水量の減少傾向が確認された。また、 非超過確率 1/10(下位側)の降水量(解析領域全体)は、年平均降水量が、過去実験の 2,555mm に対して、2℃上昇実験が 2,482mm、4℃上昇実験が 2,185mm と減少し、気候 変動の進行による降水量の減少傾向が確認された。

(2) 地域気候モデルを外力とした予測計算結果について

地域気候モデルを外力とした予測計算結果による地下水位の変化について、各実験 (360 年)の年平均地下水位では、4℃上昇実験で過去実験に対して-0.21~-0.07m(平 均-0.15m)、2℃上昇実験で-0.02m~0.00m(平均-0.01m)となった。具体的には、有意 差検定で 8 地点中 8 地点で、4℃上昇実験、2℃上昇実験共に変動量の有意な減少が 確認された 8・9・10・11 月期の変動量について、過去実験で上昇傾向であった変動量が 4℃上昇実験で全 8 地点で 0.25m~0.67m(平均 0.49m)小さくなり、更に変動傾向が上 昇傾向から下降傾向となった。また、2℃上昇実験においても、全 8 地点で 0.09m~ 0.40m(平均 0.23m)小さくなり、更に変動傾向が上昇傾向から下降傾向となった。 また、非超過確率 1/10(下位側)の年平均地下水位では、4℃上昇実験で過去実験に 対して-0.34~-0.11m(平均-0.24m)、2℃上昇実験で-0.03m~0.00m(平均-0.01m)とな った。非超過確率 1/10(下位側)の期別の変動量では、8・9・10・11 月期に過去実験で 下降傾向である変動量が 4℃上昇実験で全 8 地点で 0.23m~0.80m(平均 0.52m)大きく なり、2℃上昇実験で全 8 地点で 0.08m~0.84m(平均 0.26m)大きくなる。

これらの結果からは、気候変動によって年平均地下水位の低下が確認されるものの、 そのオーダーは2℃上昇実験ではごく僅か、4℃上昇実験では平均年で過去実験に対し て-0.21~-0.07m(平均-0.15m)、非超過確率 1/10(下位側)の渇水年では-0.34~-0.11m(平均-0.24m)となった。このように年平均地下水位からは気候変動の影響は限定 的であることが確認された。

一方で、期別の変動量でみると年平均地下水位の変化の幅を超える影響があることが 確認され、特に、8・9・10・11月期の変動幅(下降)が拡大し、その結果、7章2節に示す ように、最低地下水位の発生月が8・9・10・11月期に増加したことが確認された。

(3) 有意差検定について

計算結果をもとに気候変動による地下水位への影響の変動の傾向および地下水位の 変化について有意差検定を行った。第7章2節から該当する部分を抜粋した表を、表 8-1に示す。

年平均地下水位でみれば、4℃上昇実験では、信頼水準99%以上で8地点中8地点 で地下水位の低下傾向が確認された。一方で、2℃上昇実験では、信頼水準90%以上 での8地点中2地点で地下水位の低下傾向の確認に留まった。

期別の変動量でみれば、8・9・10・11 月期が顕著であり、8 地点中 8 地点で、4℃上昇 実験、2℃上昇実験共に変動量の有意な減少が確認された。

	計算結果						
	2℃上昇実験	4℃上昇実験					
年平均地下水位	<ul> <li>・年平均地下水位が信頼水準</li> <li>90%以上で有意に減少する</li> <li>地点が8地点中2地点となる(0.01mの減少)。</li> </ul>	<ul> <li>・年平均地下水位が信頼水準</li> <li>99%以上で有意に減少する</li> <li>地点が8地点中8地点となる(0.07~0.22mの減少)。</li> </ul>					
2•3 月期 変動量	<ul> <li>・変動量(上昇)が信頼水準 99%で有意に大きくなる地点 が8地点中1地点となる。</li> <li>・変動量(上昇)が信頼水準 99%で有意に小さくなる地点 が8地点中6地点となる。</li> </ul>	<ul> <li>・変動量(上昇)が信頼水準</li> <li>99%で有意に小さくなる地点が8地点中8地点となる。更に3地点は、変動量が上昇</li> <li>傾向から下降傾向へと変化する。</li> </ul>					
4•5 月期 変動量	<ul> <li>・変動量(下降)が信頼水準 99%で有意に大きくなる地点 が8地点中2地点となる。</li> <li>・変動量(下降)が信頼水準 99%で有意に小さくなる地点 が8地点中4地点となる。</li> </ul>	<ul> <li>・変動量(下降)が信頼水準 99%で有意に大きくなる地点 が8地点中2地点となる。</li> <li>・変動量(下降)が信頼水準 99%で有意に小さくなる地点 が8地点中3地点となる。</li> </ul>					
6•7 月期 変動量	<ul> <li>・変動量(下降)が信頼水準</li> <li>99%で有意に小さくなる地点が8地点中6地点となる。更に4地点は、変動量が下降</li> <li>傾向から上昇傾向へと変化する。</li> </ul>	<ul> <li>・変動量(下降)が信頼水準 99%で有意に大きくなる地点 が8地点中1地点となる。</li> <li>・変動量(下降)が信頼水準 99%で有意に小さくなる地点 が8地点中6地点となる。更 に5地点は、変動量が下降 傾向から上昇傾向へと変化 する。</li> </ul>					
8•9•10•11 月期 変動量	<ul> <li>・変動量(上昇)が信頼水準</li> <li>99%で有意に小さくなる地点が8地点中8地点となる。更に8地点は、変動量が上昇</li> <li>傾向から下降傾向へと変化する。</li> </ul>	<ul> <li>・変動量(上昇)が信頼水準</li> <li>99%で有意に小さくなる地点が8地点中8地点となる。更に8地点は、変動量が上昇</li> <li>傾向から下降傾向へと変化する。</li> </ul>					

# 表 8-1 地域気候モデルによる年地下水位と変動量の傾向

8章3節 予測計算結果のまとめ

本研究では、福井県大野地域(九頭竜川水系下荒井堰上流部)を対象に水循環解析 モデルを構築した。そして、一定の再現性が確認された地点を対象に、年平均地下水位 の定量的な評価や、期別の変動量の定性的な評価を試みた。

地域気候モデルについては、気候変動によって降水量の減少が確認された。これを 水循環解析モデルに入力した予測計算結果について、有意差検定を踏まえた評価では、 年平均地下水位では 4℃上昇実験では約 0.15m(非超過確率 1/10(下位側)では約 0.24m)の低下傾向、2℃上昇実験では必ずしも低下とは言えない結果となった。これらか ら、年平均地下水位に対する気候変動の影響は、本研究からは、概して影響の大小は 限定的と表現出来るものと考えるが、詳細は評価目的毎で解釈する必要がある。期別の 地下水位の変動では、2℃上昇実験と4℃上昇実験の双方で、8地点の変動量全てが有 意差検定によって有意に増加もしくは減少となるのは、8・9・10・11月期に留まった。

ただし、これらの影響評価は、平均年と非超過確率 1/10(下位側)の渇水年での評価 したものであり、更に極端な渇水年ではより顕著に影響が顕れる可能性があることに留意 する必要があると考える。

### 9章 本研究の課題等

9章1節 モデルの設定と再現性における課題

ケーススタディ流域は、先進的な地下水を「守る」取り組みが行われている「福井県大野 地域(九頭竜川水系下荒井堰上流部)」としており、同地域の豊富な地下水位データや地 下水揚水量データがあって初めて本研究が可能となっている。

しかし、それでもなお、山地部の地層構成や透水係数、蒸発散量などの各水文プロセスデータが不足しており、特に、慣行水利権の情報は殆ど得られなかった。また、積雪水量・融雪水量・蒸発散量の推定などの精度にも課題があるものと考えている。更に、期別の変動量の相関係数は、年平均地下水位の相関係数に比べて低い結果となり、季節的変動に対するモデルの設定や再現性について課題を有していると考えている。このように、山間部や積雪地域を含む流域ベースの非定常解析としての水循環解析の精度向上には未だ課題が多いと認識している。また、地下水位あるいは水循環には土地利用や水利用といった社会状況の将来変化も大きな影響を及ぼす。本試算では、地域気候モデルによる将来の気象状況(降水量、気温)の変化による感度分析としての地下水位への影響を取り扱っているが、確実性の高い将来予測を行うためには将来の社会状況の尤もらしい想定が必要であることに留意する必要がある。

9章2節 考察における課題

地域気候モデルによる影響は、4℃上昇実験と2℃上昇実験の降水量を入力条件とし、 過去実験及び将来実験の各360年分の解析結果から、年平均地下水位や期別の地下水 位変動量などを整理した。その際、各360年分の解析結果から平均年と非超過確率1/10 (下位側)の渇水年における影響評価をしたに過ぎない。極端な渇水年ではより顕著に影 響が顕れる可能性があり、そうした極端な渇水年での評価に本研究で構築した水循環解 析モデルが適応しているかの評価も含めて、極端な渇水年における考察における課題を 有していると考えている。 本研究においては、大野市くらし環境部 環境・水循環課水循環グループの皆様や近 畿地方整備局九頭竜川ダム統合管理所の皆様には、膨大なデータを提供いただきました。 また、文部科学省の気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT)により地球シミュレー タを用いて d4PDF を力学的ダウンスケーリングしたデータを使用させていただきました。本 研究は、地域による長期の観測データと、最新の地域気候モデルの出力があって初めて 成立したものであり、ここに深く御礼申し上げます。

本資料が、大野市水循環基本計画の推進、並びに我が国における水循環解析の社会実装の一助となれば幸いに存じます。

## 11章 参考文献

国土交通省国土技術政策総合研究所:国総研資料第883号 水循環解析に関する技術資料~地表水と地下水の一体的な解析に向けて~,平成28年3月.

(https://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0883.htm)

2) 大野市水循環基本計画

(https://www.city.ono.fukui.jp/kurashi/kankyo-

sumai/mizujunkan/mizujunkan/mizujyunkankeikaku.html, 2024年2月1日閲覧)

大野市<らし環境部環境・水循環課:大野市地下水年度報告書~令和2年度版~,令和3年.</li>

(https://www.city.ono.fukui.jp/kurashi/kankyo-

sumai/mizujunkan/chikasui/groundwater\_protect.files/R2nendohoukoku.pdf, 2024 年 2 月 1 日閲覧)

- 登坂博行,小島桂二,三木章生,千野剛司: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),pp.253-267,1996.
- 5) 塚本良則,森林水文学, pp.71 ~ 72, 1992.
- 6) 西村宗倫,川崎将生,斉藤泰久,橋本健志:水循環解析におけるモデルの設定および再現 性の検証事例の報告-福井県大野盆地における事例-,地下水学会誌 59(2), pp.125 ~ 158, 2017.
- 7) 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」
- 8) 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1 号】報告書」
- 9) 地下水ハンドブック, 1998.
- 10) 近畿地方整備局,九頭竜川水系河川整備計画,2007.
   (https://www.kkr.mlit.go.jp/fukui/kasen/2007plan/pdf/plan200701.pdf, 2024年2月1
   日閲覧)
- 11) 大気近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ(東北から九州)by SI-CAT (SI-CAT DDS5TK)の概要.

(https://www.restec.or.jp/si-cat/\_public/202003b/SI-

CAT%20DDS5TK%E6%A6%82%E8%A6%81\_200228.pdf, 2024年2月1日閲覧)

12) 地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース.

(https://www.miroc-gcm.jp/d4PDF/index.html, 2024年2月1日閲覧)

- 13) H. Kawase, T. Sasai, T. Yamazaki, R. Ito, K. Dairaku, S. Sugimoto, H. Sasaki, A. Murata, M. Nosaka: Characteristics of Synoptic Conditions for Heavy Snowfall in Western to Northeastern Japan Analyzed by the 5-km Regional Climate Ensemble Experiments, 2018, Journal of the Meteorological Society of Japan, 96(2), p161-178.
- 14) DIAS: データ統合・解析システム(Data Integration and Analysis System).
   (https://diasjp.net/, 2024年2月1日閲覧)
- 15) S. Watanabe, M. Yamada, S. Abe, and M. Hatono: Bias correction of d4PDF using a moving window method and their uncertainty analysis in estimation and projection of design rainfall depth, 2020, Hydrological Research Letters, 14(3), p117-122.
- 16) 西村宗倫,高田望,坂本光司,小池克征,越田智喜,竹下哲也:気候変動による非超過確率 1/10 の少雨年の発生頻度の変化の計算,河川技術論文集,第 29 巻, pp.551-556, 2023.
- 17) 日本の気候変動 2020, 文部科学省 環境省, 2020 年 12 月.
   (https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/2020/pdf/cc2020\_honpen.pdf, 2024 年 2 月 1
   日閲覧)

## 別記様式第10号

国土技術政策総合研究所資料 TECHNICAL NOTE of NILIM No. 1283 August 2024

編集·発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは 〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地 企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675