

福井県大野市における地下水利用実態 に関する研究

2020年3月

関西大学 環境都市工学部

教授・工博・楠見 晴重

目次

第1章	序論	
1.1	緒言	1
1.2	大野市の概要	1
1.3	大野盆地の地下水	3
1.4	本研究の内容と目的	3
第2章	工業用・公共施設用揚水について	
2.1	緒言	5
2.2	工業用・建築物用揚水量の推計	5
2.3	揚水量分布	6
2.4	結言	6
第3章	水道用揚水について	
3.1	緒言	7
3.2	水道用揚水量の推計方法	7
3.3	結果	7
3.3.1	大野市の人口分布	7
3.3.2	大野市の水道	9
3.3.3	単位使用水量の算出	12
3.3.4	水道利用による揚水量	15
3.3.5	浅井戸利用による揚水量	16
3.4	揚水量分布	17
3.5	結言	20
第4章	大野盆地の揚水量分布	
4.1	緒言	21
4.2	揚水量分布モデルの作成範囲	21
4.3	大野盆地の揚水量分布モデル	23
4.4	結言	24
第5章	地下水利用と地下水位について	
5.1	緒言	25
5.2	地下水位の変動	25
5.2.1	大野市の観測井	25
5.2.2	地下水位の変動	26
5.3	揚水量と地下水位の関係	31

5.4 結言	32
第 6 章 結論	33
参考文献	35

第1章 序論

1.1 緒言

地下水は、地球上の多くの国々において農業・工業・生活用の水資源として重要であり、さらには、人間生活・文化といったような観点においても大切な環境要素である。近年では融雪等の目的のために地下水を利用する機運も高まっており、地下水の重要性はますます増加している傾向にある。しかし、近年の人口増加に伴う人間活動の広範囲化や気候変動の影響に伴い、地下水環境は大きく変動している。有用な地下水資源の利用、管理には、正確な地下水性状の把握が必要である¹⁾。

地球上に存在する水の量はおよそ 14 億 km³ であるといわれ¹⁾、そのうちの約 97.5% が海水であり、淡水は約 2.5% である。この淡水の大部分は、氷や氷河として存在しており、地下水や河川、湖沼の水として存在する淡水の量は、地球上の水の約 0.8% である。さらにこの淡水の量は、大部分が地下水として存在しており、河川や湖沼はわずか 0.01% に過ぎない。地下水が我々の使用できる淡水資源として豊富に存在していることから、いかに地下水が貴重な資源であるかわかる²⁾。

本研究の対象地域は、福井県大野市である。大野市は、豊かで良質な地下水に恵まれた城下町として知られており、市街地では家庭用ホームポンプを用いて直接汲み上げ飲み水に利用するなど、古くから生活用水や工業用水など、さまざまな用途の水源として地下水が利用されてきた。さらに大野市には、御清水（おしょうず）や本願清水などといった「名水百選」^{3) 4)} に選ばれている湧水がみられるなど、全国的にみても指折りの豊富な水環境にあることから市民と地下水との関わりには特に深いものがある。この豊富な地下水が決して無限に存在するものではないこと、地下水が地域共有の貴重な資源であること認識し、未来永劫、保全し利用し続けていくために、大野市の地下水の現状を把握することは重要である。現に、融雪時に大量の地下水汲み上げるなどの理由から、地下水位低下による多数の井戸枯れの問題が発生した事例が存在する。しかし、地下水の揚水が地下水位にどれほど影響を与えるのか把握しているデータは皆無である。そのためこれらの把握を行い、市民に現状を理解してもらわなければならない。

このように、大野市を対象としたのは、未だに判明していない大野市の地下水の現状を解き明かすためである。

1.2 大野市の概要

大野市は福井県東部の内陸に存在する、人口約 3 万 3 千人の街である。図 1.1 は大野市の位置を示す。また、面積は 872.43km² であり、福井県で最も面積の大きい市町村となっている。さらに大野市は四方が山に囲まれ、面積の約 90% が森林であり、市内には、南から北に向かって九頭竜川・真名川・清滝川・赤根川といった 4 本の一級河川が流れ、扇状地形を成している。そのため、地形的な意味合いで「大野盆地」と称されることもあり、この「大野盆地」は市域の北西部に位置している。図 1.2 は大野盆地と 4 本の一級河川を示す。

大野市は、内陸盆地型の気候で寒暖の差が大きい。平成30年から過去10ヶ年の年平均気温は13.4℃、年間平均降水量は2429.5mmで、全国平均降水量の約1800mmを大きく上回っている。また、地形や季節風の影響から典型的な北陸山地型の気候で、夏季に比べ冬季の降水量が多く、平成30年の最深積雪が177cmに達するなど降雪量も多い⁵⁾。

また、大野市は非常に透水性の良い地層が分布し、透水した水は帯水層に地下水として蓄えられる。特徴としては、帯水層と帯水層の間に存在する難透水層の厚さが薄かったり、連続していなかったりするため、各帯水層の地下水が独立して存在するのではなく、密接に連動していることが挙げられる。九頭竜川は下流域を除く周囲を難透水層で囲まれており、市街地までに真名川をはさむことから、九頭竜川から市街地への直接の地下水涵養はほとんど見込めない状態である⁶⁾。

市街地である城下町は、織田信長家臣の金森長近により400年以上前に築かれ、大野盆地にある亀山に大野城を構築し、そのふもとに京都に似た基盤目状の城下町を建設した。今でもその街並みはかつての城下町としての風情を色濃く残し、「北陸の小京都」とも呼ばれている。秋から冬にかけ、大野盆地が雲海に包まれ亀山だけが雲に浮かんで見える時、「天空の城越前大野城」が表れ、大野市を代表する観光地となっている。

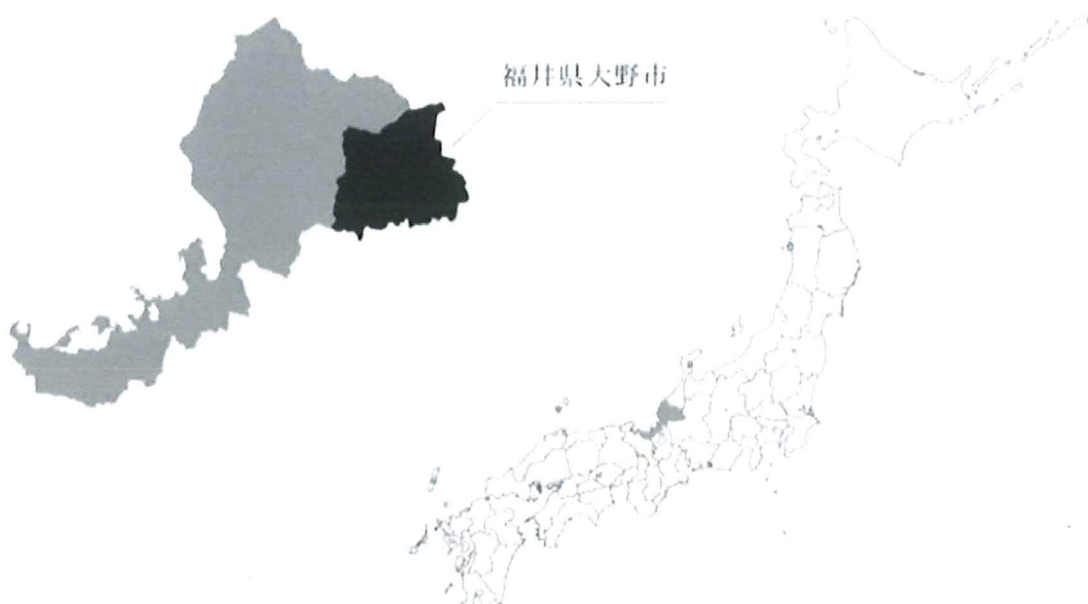


図 1.1 大野市の位置

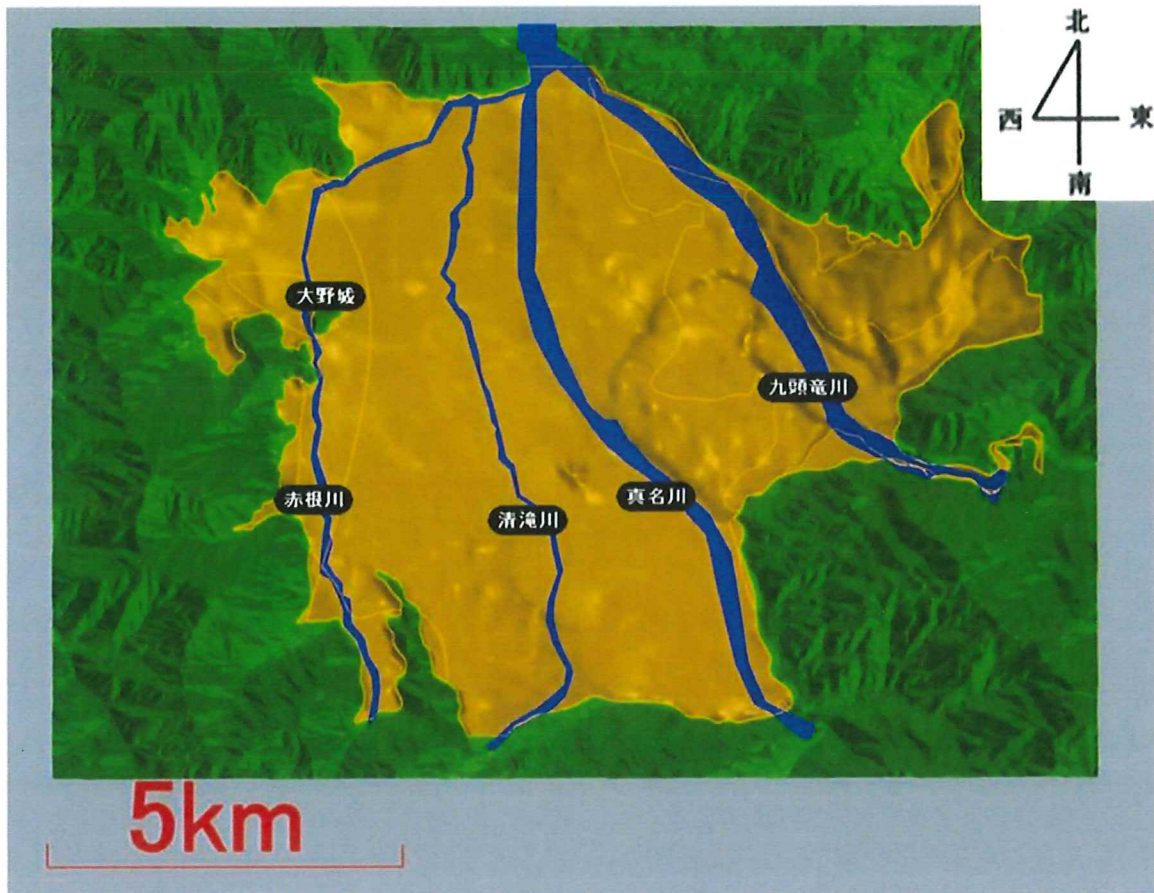


図 1.2 大野盆地と一級河川

1.3 大野盆地の地下水

1.1 にも述べたように、大野市民の生活にとって、地下水は必要不可欠な存在である。昨年までの研究では、大野盆地における地下水賦存量の推定を、大野盆地の3次元地質モデルの作成により行われ、36.57 億 m^3 の地下水が存在すると推定された。大野市の大部分の家庭や事業所は、各自でホームポンプを用いて地下水を汲み上げ利用している。そのため、大野市の水道普及率は約38%と全国平均を大きく下回っている。また、その水源の大部分を地下水に頼っているため、地下水の重要性がうかがえる。

大野市の地下水は、河川と同様に南から北に流れている。その間に河川や降雨等による自然涵養、水田灌漑による涵養、地下水揚水などにより地下水収支が成り立っている。真名川以西における地下水の収支として、平成14年から22年の9年間の平均では流入量は87,821千 m^3 /年、流出量は87,376千 m^3 /年と推計されており⁴⁾、大量の地下水の出入りがあることが分かる。

1.4 本研究の内容と目的

本研究の目的は、大野盆地での地下水揚水の現状を各用途別、地域別に考察し、地下水揚水性状実態について検討する。また地下水の揚水量と揚水場所をメッシュ地図上に示した揚水量分布モデルを作成し、市内に29カ所存在している観測井の水位変動との比較から、地下

水揚水が地下水位に与える影響についての検討も行う。具体的には、大野市が有している地下水関連資料からは、大野盆地の揚水量分布、また地下水位変動と地域別揚水分布に関するものは皆無であることから、それらを明確にすることは、永続的な地下水利用の実現において重要である。地下水揚水量モデルを作成することで、大野盆地において地下水揚水の性状を解明することを試みた。

本研究において実施する地下水揚水量モデル作成に関して、第一に揚水量の推計を行う。工業用・建築物用揚水量については、大野市が蓄積している資料を用いて推計を行う。水道用については、主に人口に一人一日あたりの使用水量を乗じることで推計を行う。これらの検討結果より、揚水量メッシュを作成し、地域別による揚水量の定量的把握を行うとともに、地域別揚水量と近傍の地下水位変動を比較検討し、大野盆地における揚水量と地下水位との関係ならびに、地下水位性状に関して地域性の観点から明らかにすることを試みた。

第2章 工業用・公共施設用揚水について

2.1 緒言

工業用・公共施設用の揚水とは事業所による揚水のこと、市内に多数存在する学校やショッピングセンター、病院、織物関係等の事業所・工場などが含まれる。

大野市では、地下水保全条例⁷⁾に基づき、吐出口の断面積が19.6cm²（直径50mm）以上の揚水施設を設置している井戸については揚水量を報告する必要がある。そのため、市の工業用・公共施設用の揚水量の推計は、各事業所から報告を受けた値を集計して使用している。

2.2 工業用・公共施設用揚水量の推計

先にも述べたように、工業用・公共施設用揚水の大部分は、条例に基づき市へ報告されている。また条件に含まれない場合でも揚水量が多いと思われる事業所は、市への揚水量の報告に協力している。本研究では、このデータを基にして工業用・公共施設用揚水量を把握することを試みた。

平成30年度に報告にされるべき事業所数は66であったが、その中には故障中や休止中、廃止されたものが多く、実際に揚水量の報告を受けたのは38の事業所で46のメーターであった。表2.1は平成30年の大まかな工業用・公共施設用揚水量の内訳を示す。この表より、揚水量は1年間で4,248,122m³である。

表2.1 工業用・公共施設用揚水量の内訳（m³）

業種	織物関係	官公署		民間団体	その他	合計
		市立施設	その他			
1月	27,531	42,223	2,556	15,839	294,597	382,746
2月	26,829	40,308	1,898	16,600	290,030	375,665
3月	30,028	37,701	2,283	7,482	283,538	361,032
4月	0	35,397	2,588	5,519	279,947	323,451
5月	0	45,596	3,002	5,400	351,267	405,265
6月	0	44,336	2,711	5,881	279,974	332,902
7月	0	46,289	2,583	6,822	346,113	401,807
8月	0	47,769	3,199	8,634	285,969	345,571
9月	0	40,369	2,603	6,836	262,409	312,217
10月	0	45,489	2,988	5,973	330,864	385,314
11月	0	43,645	2,608	6,105	256,508	308,866
12月	0	43,113	2,393	7,200	260,581	313,287
合計	84,388	512,235	31,412	98,290	3,521,797	4,248,122

2.3 揚水量分布

揚水井の位置に関しても、大野市建設整備課が所蔵している市内工業用揚水に関する資料より求め、その住所を地図上にプロットすることで地域ごとの揚水量を把握した。なお、事業所と揚水場所の住所が一致していることがほとんどであったので、揚水場所の記載がないものは事業所の住所とした。

図 2.1 に工業用・公共施設用揚水量分布図を示す。この図のとおり、大野盆地を地図上で 500m×500m のメッシュ状に区分けし、揚水量分布を色別で表した。

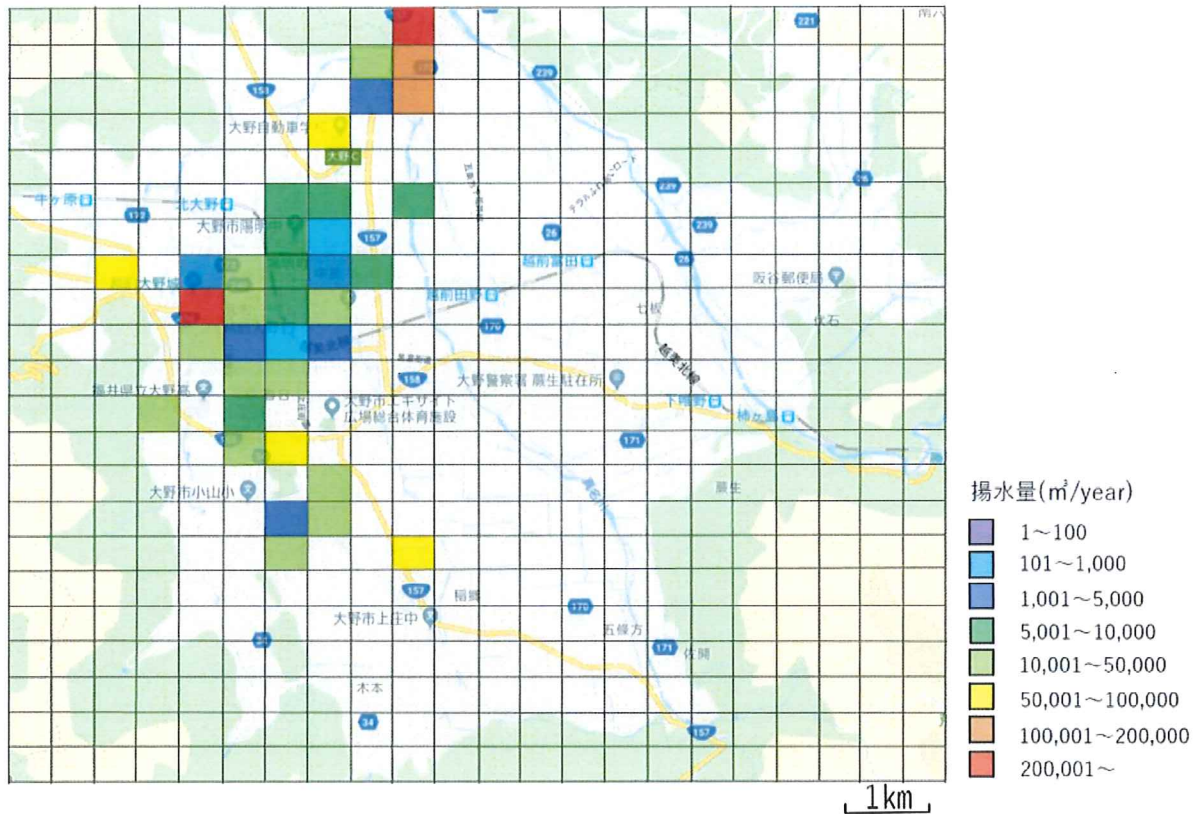


図 2.1 工業用・公共施設用揚水量分布図

2.4 結言

以上のとおり、大野市では年間 4,248,122m³ を工業用・公共施設用として揚水している。特に盆地北部の河川の合流地点周辺では大量の揚水が行われており、その中でも電気機器の工場が工業用・公共施設用揚水の 70% 以上の 3,028,391m³ が地下水を利用している。しかし、大野市の地下水は南から北に流れているため、河川の合流地点より南に位置する市街地へ与える影響は小さいと推測される。

第3章 水道用揚水について

3.1 緒言

ここでの水道用とは、市民の生活用水のことである。大野市では多くの家庭で井戸を持ち、ホームポンプを用いて地下水を生活用水に利用している。そのため市の上水道普及率は平成31年3月31日時点で20.05%、簡易水道を含めた普及率でも38.54%⁵⁾と全国的に見ても普及率は低く（平成29年度の水道普及率の全国平均は98.0%）⁸⁾、また水道の水源も大部分は地下水を利用している。

大野市も揚水量を推計で算出しているが、実際にポンプにメーターを設置し、揚水量を計測したものではない。そして、実際にポンプにメーターを設置している家庭はほとんどなく、そのようにして揚水量を把握することは難しい。本研究では揚水場所の推定を行うために、一から揚水量の推計を行う。

3.2 水道用揚水量の推計方法

大野市民の生活用水の水源は主に、各家庭で持つ浅井戸、市営水道、地区営水道の3つである。揚水場所が変わってくるため、この3つを区別して揚水量の推計を行う。実際には浅井戸と水道を併用している家庭が存在している。しかしそれぞれの水源における使用割合は家庭によってさまざまであり、それを定量的に把握することは困難であることから、本研究では併用はないと仮定した。

基本的には人口に一人一日当たりの使用水量（単位使用水量）を乗じることで算出する。また、市営水道については水源の場所と揚水量、給水人口に関する大野市のデータを、地区営水道については給水人口に関する大野市のデータを使用する。

3.3.1 大野市の人口分布

大野市の人口は、令和2年2月1日現在で32,844人である。参考に、平成31年1月1日現在では33,516人と近年、減少傾向にある。しかし、これは市の住民基本台帳によるものである。平成27年に行われた国勢調査によると、大野市の人口は33,109人で住民基本台帳によるものと差がある。

国勢調査とは、日本に住んでいるすべての人および世帯を対象とする国の最も重要な統計調査で、国内の人口や世帯の実態を明らかにするため、5年ごとに行われる。平成27年国勢調査は、全国で約70万人の国勢調査員が任命され、各世帯を訪問し、居住確認をするとともに、調査の回答を依頼。スマホやインターネットから回答が行われ、期日までに回答がない世帯を再度、調査員が訪問し紙の調査票による回答を依頼。以上のような体制で調査が行われた⁹⁾。

5年ごとに行われるため、最新のデータは平成27年のものだが、国勢調査による値の方が実際に居住している人数を把握しているため、より正確であると判断しこれを利用する。

人口分布については、e-Stat 政府統計の総合窓口、地図で見る統計（jSTAT MAP）から国勢調査の結果をメッシュ地図上に示したものがみられる。図3.1、図3.2に平成27年国勢

調査による大野盆地における人口分布図を示す¹⁰⁾。

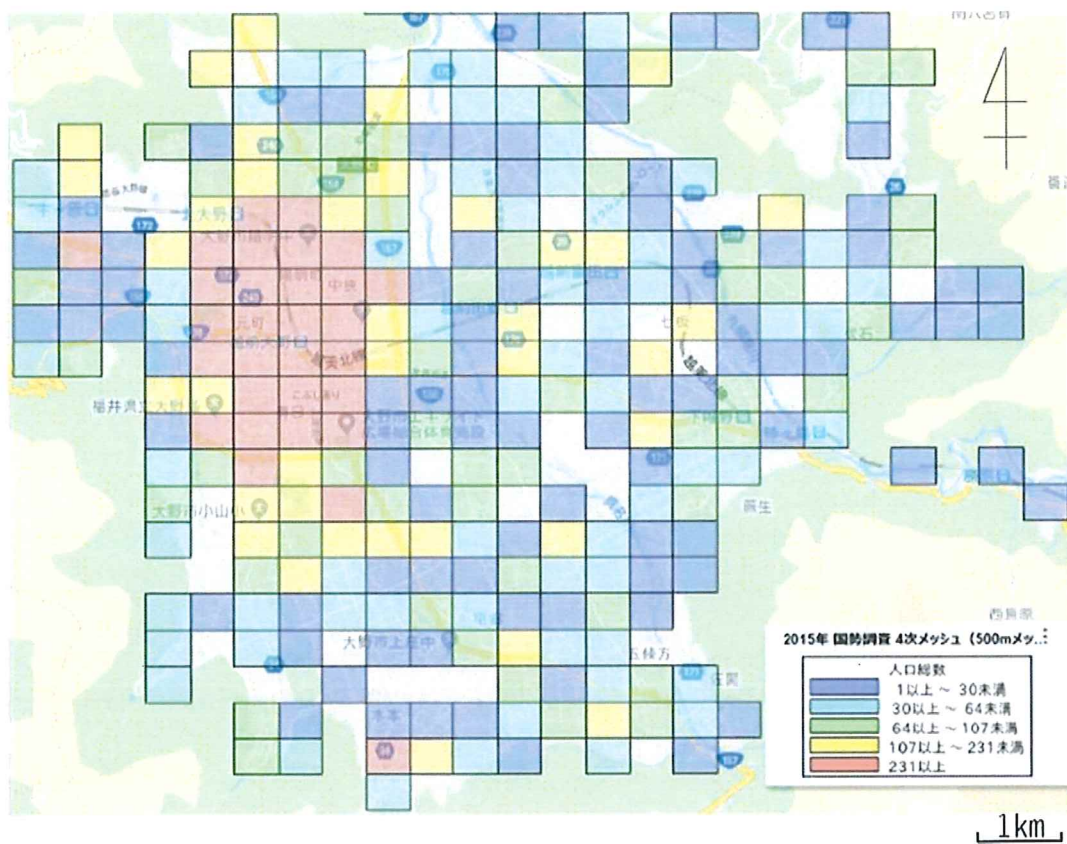


図 3.1 大野盆地の人口分布図 (500mメッシュ)

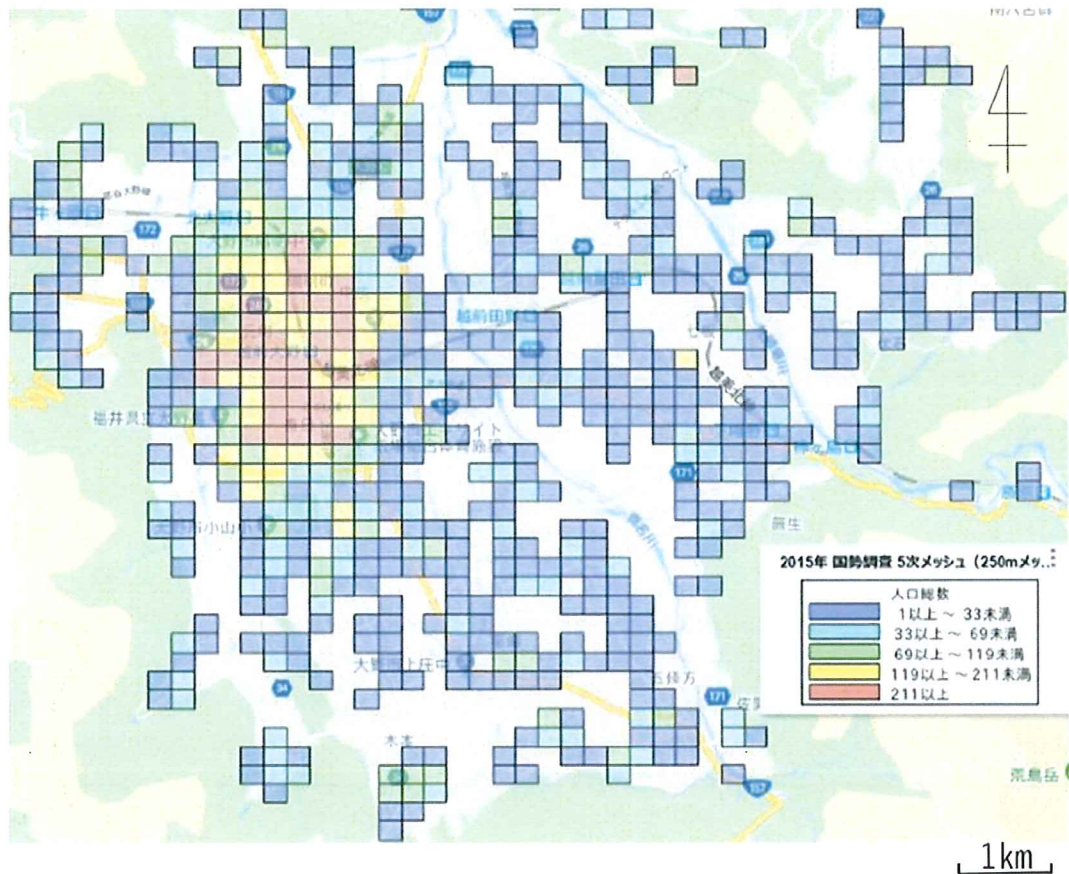


図 3.2 大野盆地の人口分布 (250mメッシュ)

大野市の人口の大部分は大野盆地に存在しており、そのなかでも盆地西部の市街地部分で人口が集中していることがわかる。

3.3.2 大野市の水道

大野市の水道には市営水道と地区営水道の 2 種類が存在し、市営水道は上水道の他に 11 地区の簡易水道施設、地区営水道は 25 地区の簡易水道が存在している。地区営とはその地区の住民によって管理されている水道である。簡易水道とは計画給水人口が 101 人以上 5000 人以下の水道のことである。また他にも計画給水人口が 100 人以下である飲料水供給施設も数カ所存在している。表 3.1 は市営水道の給水人口、表 3.2 は市営水道の揚水量、表 3.3 は大野市の水道の詳細を示している。

表 3.1 市営水道の給水人口 (人)

年度	上水道	簡易水道(市営簡易水道施設 11地区)										
		西富田	富田	荒島	木本	菖蒲池	北富田	阪谷第一	南富田	下庄北部	和泉	阪谷第二
H26年度	4,798	697	415	661	603	182	554	263	326	287	457	370
H27年度	4,694	675	403	656	583	173	544	258	318	284	465	350
H28年度	4,584	670	396	638	579	173	540	250	315	276	439	339
H29年度	4,572	662	386	617	580	174	520	243	313	265	436	321
H30年度	4,586	649	375	630	572	186	521	241	334	274	437	329

表 3.2 市営水道の揚水量 (m³)

年度	上水道	簡易水道(市営簡易水道施設 11地区)										
		西富田	富田	荒島	木本	菖蒲池	北富田	阪谷第一	南富田	下庄北部	和泉	阪谷第二
H26年度	494,046	74,694	104,538			6,202	17,184	17,413	13,059	12,774	56,072	32,843
H27年度	457,034	71,659	79,992			5,792	18,296	18,593	13,565	13,794	53,318	35,091
H28年度	480,142	75,560	86,535			5,500	22,004	18,979	13,868	13,768	60,900	36,507
H29年度	496,069	42,466	93,971			5,957	36,395	21,145	14,724	13,535	69,773	38,370
H30年度	533,978	85,630	94,943			5,748	28,477	23,156	15,433	12,961	65,245	35,685

※荒島・木本については水源が伏流水のため計測不能

※菖蒲池については揚水量が計測できないため有収水量で算出

※和泉については伏流水の下山を省く、揚水量が計測できないため有収水量で算出

表 3.3 大野市の水道施設状況（平成 31 年 3 月 31 日現在）

施設区分	経営区分	施設名	給水区域内人口	給水人口	給水戸数	水源種別
上水道	市営	大野市上水道	22,873	4586	1576	地下水
		西富田地区	744	649	193	地下水
簡易水道	市営	富田地区	414	375	127	地下水
		荒島地区	660	630	212	伏流水
		木本地区	624	572	187	伏流水
		菖蒲池地区	287	186	62	地下水
		北富田地区	550	521	151	地下水
		阪谷第一地区	255	241	87	地下水
		南富田地区	375	334	102	地下水
		下庄北部地区	277	274	73	地下水
		和泉地区	463	437	264	地下水・伏流水
		阪谷第二地区	375	329	115	地下水
		簡易水道	地区営	五条方地区	423	423
上据	133			133	39	地下水
西山・稲郷地区	495			495	176	伏流水
平沢・今井地区	293			293	82	地下水・伏流水
下打波地区	2			2	2	伏流水
西勝原地区	36			36	16	伏流水
友兼地区	136			136	36	地下水
森政領家地区	130			130	37	地下水
森政地頭地区	43			43	14	地下水
医王寺地区	85			85	25	地下水
猪島地区	64			64	16	地下水
吉地区	94			94	32	地下水
北御門地区	54			54	20	地下水
榎地区	90			90	30	地下水
下黒谷地区	55			55	18	伏流水
上黒谷地区	97			97	25	伏流水
上丁地区	73			73	22	伏流水
千歳地区	46			46	12	地下水
深井地区	71			71	20	伏流水
柿ヶ嶋地区	135			135	45	地下水
中据地区	200			200	54	地下水
御給地区	97			97	26	地下水
阿難祖領家地区	101			101	24	伏流水
阿難祖地頭方地区	133	133	35	伏流水		
富田(下唯野.七板)地区	334	334	117	伏流水		

上記のデータから、給水区域内人口、給水人口、市営水道の揚水量について検討した。地区営水道は市営水道と違い、給水区域内人口と給水人口が同じことが特徴として挙げられる。

伏流水とは河川敷や山麓の下層にある砂礫層を流れている、極めて浅い地下水のことである。本研究においては伏流水を地下水とは区別して考える。

3.3.3 単位使用水量の設定

一人一日あたりに使用する生活用水のことを本研究では単位使用水量とする。本研究では大野市の人口に単位使用水量を乗じることで水道用揚水量を求める。そのため単位使用水量の値は非常に重要である。

大野市は、この単位使用水量が全国平均に比べて多いと考えられる。その要因の一つとして冬期における融雪のための水利用が挙げられる。国土交通省水資源部¹¹⁾によると、2015年の単位使用水量は、全国平均が283.1(ℓ/人/日)であるのに対し、大野市が含まれる北陸地域の平均は298.7(ℓ/人/日)であった。また浅井戸を利用している家庭で単位使用水量は、料金の付加される水道を利用している家庭の単位使用水量よりも多いと考えられる。「平成9年度地域水循環改善事業推進調査報告書」によれば、浅井戸における単位使用水量の値は、水道における値より30%ほど多い¹²⁾。そのため各々違うデータを用いて、設定を行う。地区営水道は、浅井戸における単位使用水量と同じとする

浅井戸・地区営水道における単位使用水量(Y_1 とする)であるが、こちらは過去に行われた調査の「平成9年度地域水循環改善事業推進調査報告書」の結果に基づき、設定を行う。この報告書には平成5年から約2年間、30世帯139人の毎月の平均単位使用水量を、実際の計測から算出されたと思われるデータが存在した。調査年月が20年以上前であるため、現在の研究に利用するにあたってはデータの精度は低いと考えられるが、これの他に利用できる資料等がなく、実際に各世帯を訪問し揚水量を把握することも不可能であるため、これを使用する。表3.4は「平成9年度地域水循環改善事業推進調査報告書」の調査結果を示している。これによると浅井戸における平均単位使用水量は340(ℓ/人/日)であり、夏季は非常に使用水量が多いことが分かる。この結果から月平均気温 x (°C)と単位使用水量 Y_1 (ℓ/人/日)の関係をグラフ上に表すと、やや良い相関性($R=0.7$)が得られることから、この関係式と月平均気温 x (°C)から単位使用水量 Y_1 (ℓ/人/日)を設定する。図3.3に単位使用水量 Y_1 (ℓ/人/日)と月平均気温 x (°C)の関係を示し、式(3.1)はこれらの中に成り立つ関係式を示す。

表 3.4 「平成9年度地域水循環改善事業推進調査報告書」による調査結果

	単位揚水量 (ℓ/日/1人)		単位揚水量 (ℓ/日/1人)
H05.04	-	H06.04	373
H05.05	-	H06.05	300
H05.06	332	H06.06	366
H05.07	405	H06.07	405
H05.08	414	H06.08	438
H05.09	357	H06.09	316
H05.10	360	H06.10	301
H05.11	326	H06.11	253
H05.12	342	H06.12	312
H06.01	341	H07.01	375
H06.02	354	H07.02	277
H06.03	237	H07.03	291

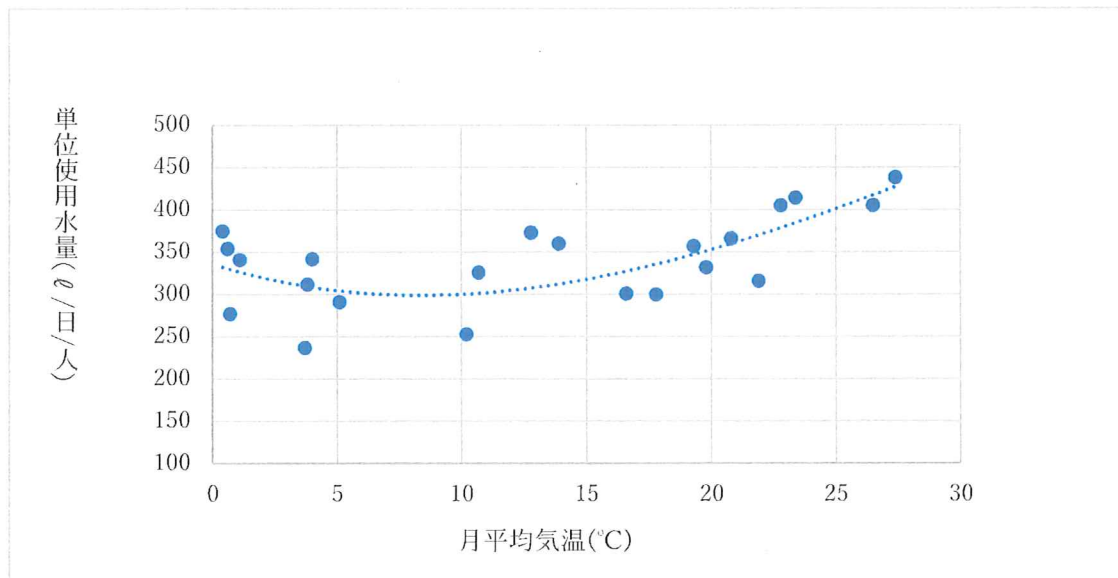


図 3.3 単位使用水量と月平均気温の関係

$$Y_1 = -0.0063 x^3 + 0.6329 x^2 - 9.2791 x + 336.06 \quad (3.1)$$

この関係式に平成 30 年の月平均気温を適用し、平成 30 年における浅井戸・地区営水道の単位使用水量 Y_1 を算出した。その結果、年平均で $Y_1 = 348.0$ (ℓ/日/人) となった。表 3.5 にその結果を示す。

表 3.5 平成 30 年の浅井戸・地区営水道における単位使用水量

H30	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
平均気温 (°C)	-0.2	-0.5	6.7	13.4	17.6	21.8	27.5	27.1	21.6	15.8	10.4	4.9	13.8
単位使用水量 (ℓ/日/人)	341.9	344.8	304.1	313.3	337.1	371.4	429.7	425.2	369.6	325.5	304.3	308.8	348.0

次に市営水道利用における単位使用水量 (Y_2 とする) に関して、これは公共下水道の加入件数と使用水量から求めること試みた。この公共下水道は平成 15 年度に供用が開始され、データとしては 2 か月に 1 回の精度で記録している。よって直線補完によって月別のデータを算出した。表 3.6 に月別の公共下水道の加入件数と使用水量のデータの例を示す。

まずは加入件数 s (件) に大野市の 1 世帯当たりの平均人員 (3 人) を乗じることで、公共下水道の利用人口を算出する。そして 1 日における下水道使用水量 w (ℓ/日) を公共下水道の利用人口で除すことで、市営水道の単位使用水量 Y_2 (ℓ/日/人) が算出できると考えた。式

(3.2) はこの計算式を示す。また、使用水量と加入件数を図 3.4 のグラフ上に示す。1 年間を通してみると、使用水量が 1 月から 3 月にかけて増加、以降、減少するも、夏季において

もう一度増加するといったように、使用水量の増減に傾向がみえるため、平成16年から平成30年までの月別の単位使用水量の平均を算出した。その結果が表3.7である。

$$Y_2 = w / (s \times 3) \quad (3.2)$$

Y_2 : 市営水道利用における単位使用水量 (ℓ/日/人)

w : 下水道使用水量 (ℓ/日) s : 下水道加入件数 (件)

表 3.6 月別の公共下水道の加入件数と使用水量のデータ

		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
H15	加入件数(件)			0	0	7	15	27	39	44	49	52	56
	使用水量(mi)			0	0	140	160	855	1234	1263	1405	1351	1454
H16		58	60	63	66	73	80	84	88	91	95	105	115
		1959	2027	1717	1799	1783	1953	2317	2428	2537	2648	2497	2734
H28		1272	1273	1279	1285	1293	1301	1311	1321	1327	1333	1345	1357
		31303	31340	26625	26750	27658	27830	29918	30147	28647	28776	26962	27203
H29		1364	1371	1377	1382	1392	1401	1408	1415	1425	1435	1447	1458
		34834	35013	28030	28141	30067	30273	31484	31641	30509	30723	28826	29056
H30		1462	1465	1470	1475	1477	1479	1485	1491	1497	1503	1515	1527
		42610	42713	34120	34236	31113	31156	32658	32789	31654	31781	28796	29024

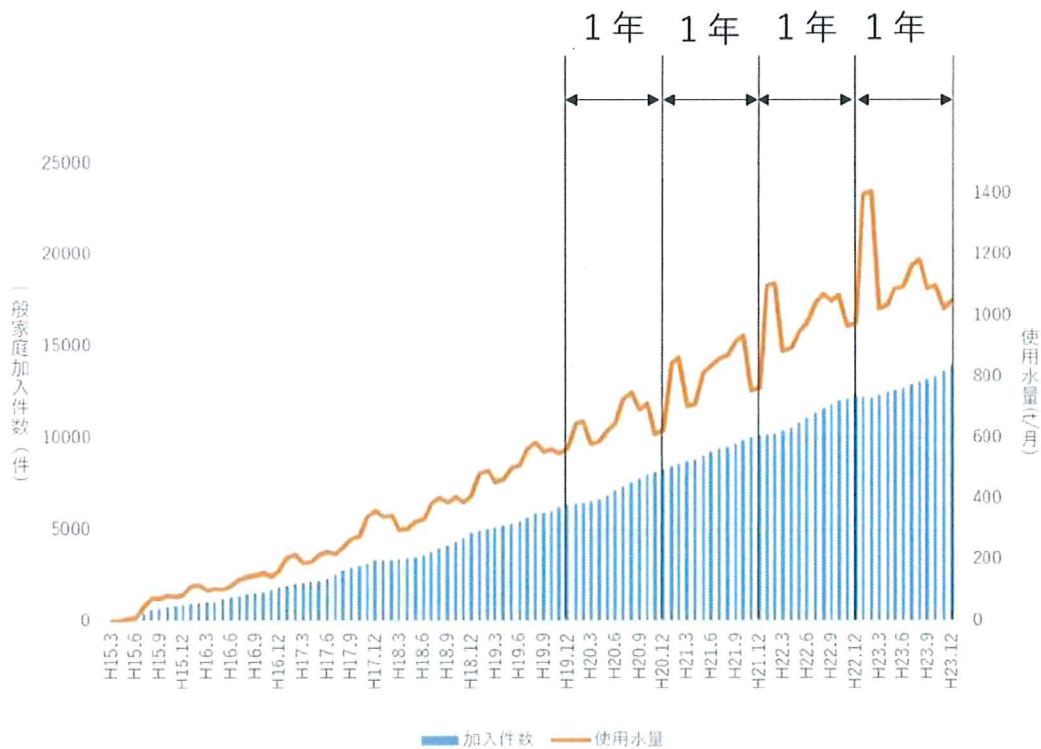


図 3.4 公共下水道の加入件数と使用水量のグラフ

表 3.7 市営水道における単位使用水量

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
H30	313.5	347.1	249.6	257.9	226.5	234.1	236.5	236.5	234.9	227.4	211.2	204.4	248.3
H16~H30 の 平均	302.8	335.3	248.5	256.7	255.0	261.0	267.5	267.5	266.6	258.0	243.8	235.6	266.5

先にも述べた通り、「平成9年度地域水循環改善事業推進調査報告書」によれば、浅井戸における単位使用水量は、水道におけるその値より30%ほど多い。よって算出した値の確認を式(3.3)によって行う。浅井戸・地区営水道における単位使用水量 $Y_1=348.0$ (ℓ/日/人)、市営水道における単位使用水量を平成16年から平成30年の平均 $Y_2=266.5$ (ℓ/日/人) とする。

$$Y_1/Y_2=1.306 \quad (3.3)$$

Y_1 : 浅井戸・地区営水道における単位使用水量 (ℓ/日/人)

Y_2 : 市営水道利用における単位使用水量 (ℓ/日/人)

浅井戸・地区営水道における単位使用水量 Y_1 は、市営水道における値 Y_2 より30.6%多いとなり、過去の調査結果と同様の結果を算出した。

3.3.4 水道利用による揚水量

本来、水道は市民の需要に応じてその時にその量を揚水しているわけではない。ある程度の量を揚水し、配水施設で貯水され各家庭に配水される。したがって水道施設の揚水量と市民の需要水量は本来違う値になると思われる。しかし本研究では水道施設の揚水量と市民の需要水量は同じであると考え、これを水道利用による揚水量と仮定する。

地区営水道については、揚水量によるデータが無いので推計によって算出を行う。地区営水道の給水人口 a_1 と給水区域内人口 a_2 が同じであること、実際に地区営水道給水区域の市民の方々を訪問した際に、ほとんどの方が水道を利用していると回答していることから、給水区域の世帯すべてが水道を利用していると仮定し、地区営水道の揚水量 W_1 の推計を式(3.4)によって行う。

$$W_1=Y_1 \times a_1 \quad (3.4)$$

W_1 : 地区営水道の揚水量

a_1 : 地区営水道の給水人口(人)

式 (3.4) を用いて、地下水を水源とする地区営水道の揚水量 S_1 を求めた結果、 $W_1 = 165,764 \text{ m}^3/\text{年}$ と推計した。

市営水道の揚水量 W_2 については表 3.2 のとおりデータがあるため、こちらを利用し $W_2 = 901,256 \text{ m}^3/\text{年}$ と推計した。

3.3.5 浅井戸利用による揚水量

浅井戸の利用世帯は、どの水道の給水区域にも含まれない世帯の他に、市営水道の給水区域に含まれる世帯にも存在していると考えられる。なぜなら市営水道の給水人口 b_1 と給水区域内人口 b_2 の値が異なるためである。給水人口 b_1 の全員が水道を利用していると仮定した場合、浅井戸を利用している人数が極端に少なくなる。そこで市営水道の揚水量 W_2 と単位使用水量 Y_2 から揚水量に相当する市営水道の利用人口 b_1' を求め、給水区域内人口 b_2 から b_1' を引いた値を給水区域内の浅井戸利用人口 c_1 とする。式 (3.5)、式 (3.6) は上記の内容を計算式にまとめたものである。

$$b_1' = W_2 / Y_2 \quad (3.5)$$

b_1' : 市営水道の利用人口(人)

$$c_1 = b_2 - b_1' \quad (3.6)$$

c_1 : 市営水道給水区域内の浅井戸利用人口(人) b_2 : 市営水道給水区域内人口(人)

どの水道の給水区域にも含まれない世帯での浅井戸利用人口 c_2 は、大野市の全人口 A と全水道の給水区域内人口との差であり、式 (3.7) のように表される。

$$c_2 = A - (a_2 + b_2) \quad (3.7)$$

c_2 : 水道給水区域外の世帯での浅井戸利用人口(人)

A : 大野市の人口(人) a_2 : 地区営水道給水区域人口(人)

最後に浅井戸利用人口 c_1 、 c_2 と浅井戸における単位使用水量 Y_1 から浅井戸利用による揚水量 W_3 を求めた結果、 $W_3 = 2,696,508 \text{ m}^3/\text{年}$ と推計された。式 (3.8) にこの計算式を示す。

$$W_3 = Y_1 \times (c_1 + c_2) \quad (3.8)$$

W_3 : 浅井戸による揚水量

以上で算出した W_1 、 W_2 、 W_3 を足し合わせることで、平成 30 年における水道用揚水量を 3,763,528 m^3 /年と推計した。

3.4 水道用揚水量の分布

上記の 3.3 から、水道用揚水量を推計した。よって次にこの揚水量の分布について考える。

大野市では各水道の給水区域を把握している。図 3.5 は大野市の各水道の給水区域を簡略的に表したものであり、紫で囲まれた範囲がそれぞれの水道の給水区域である。この水道給水区域と図 3.1 で示した 500m×500m の人口分布メッシュの比較を行い、それぞれの給水区域に含まれるメッシュを選択していく。例として、図 3.6 に市営上水道の給水区域に含まれるメッシュを選択したものを示す。どの水道区域にも含まれなかったメッシュについては浅井戸を利用していると考え、揚水量を算出した。

市営水道の給水区域に含まれるメッシュについては、浅井戸を利用する世帯と水道を利用する世帯があるため、各メッシュの浅井戸利用と水道利用の人口をそれぞれ推計する。方法については上水道を例に挙げて説明する。

まず上水道の給水区域内における人口 b_2 は 22,873 人、式 (3.5) によって算出した上水道の利用人口 b_1' は 4,586 人である。ここで水道利用人口 b_1' を給水区域内人口 b_2 で除することで給水区域内における水道利用率 r を求める。上水道給水区域内における水道利用率 r は 20.0% であった。最後にメッシュ人口 α に水道利用率 r を乗じることで、そのメッシュにおける水道利用人口 α_1 、また浅井戸利用人口 α_2 算出できる。上水道区域内の人口 α が 941 人であるメッシュでは、188 人が上水道を利用しており、残りの 753 人が浅井戸を利用していることになる。上記の手順を計算式に表したものが式 (3.9)、式 (3.10)、式 (3.11) である。これを水道給水区域に含まれるメッシュすべてについて行い、それぞれの単位使用水量を用いて、各メッシュにおける揚水量を算出した。

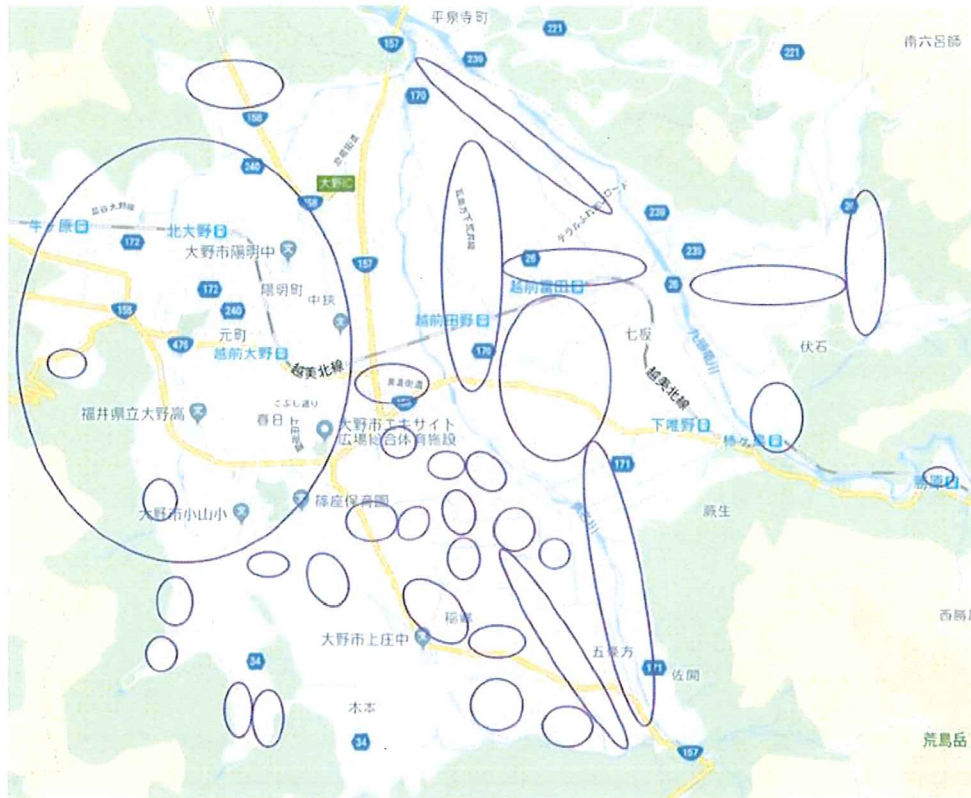


図 3.5 各水道の給水区域 (簡略化)

1km

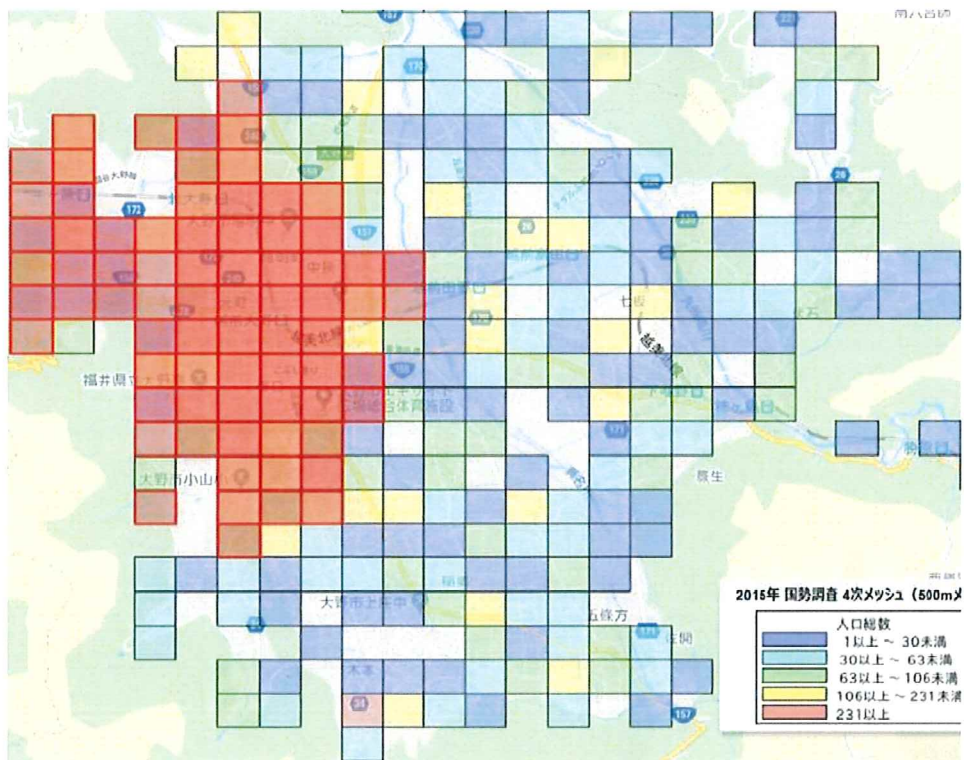


図 3.6 市営上水道の給水区域

1km

$$r = b_1' / b \quad (3.9)$$

r : 水道利用率

$$\alpha_1 = \alpha \times r \quad (3.10)$$

α_1 : メッシュ内における水道利用人口 α : メッシュ人口

$$\alpha_2 = \alpha - \alpha_1 \quad (3.11)$$

α_2 : メッシュ内における浅井戸利用人口

地区営水道の揚水場所であるが、これについては地区のみで管理している。したがって各地区において聞き取り調査を実施した。聞き取り項目としては、地区営水道の水源である揚水井の位置、家庭で浅井戸を利用しているかの2点である。これにより地区営水道の揚水井の位置を把握した。また聞き取り調査においては、ほとんどの市民が家庭で浅井戸を利用しないと回答があり、そのため地区営水道の給水区域では人口全員が水道を利用していると仮定し、水道の水源以外からの揚水はないとしている。

以上の方法から各メッシュの水道用揚水量を推計し、大野盆地の500m×500mのメッシュ地図上に水道用揚水量分布図を作成した。図3.7はその結果を示す。

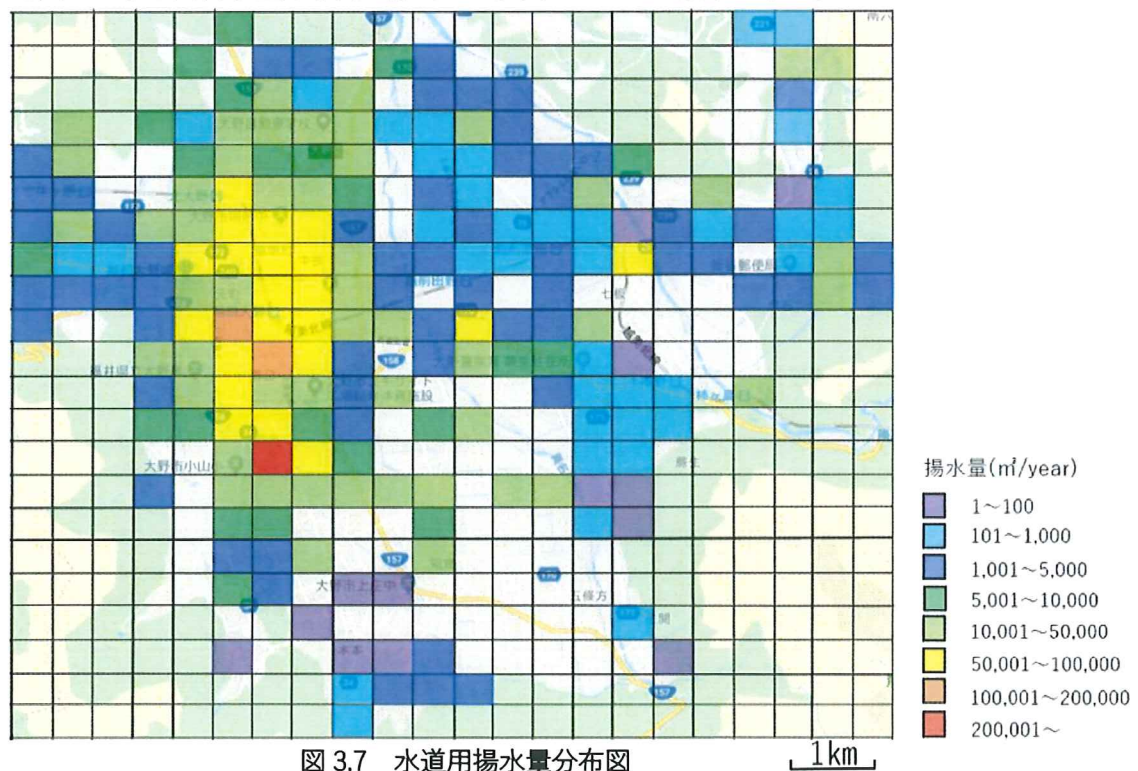


図 3.7 水道用揚水量分布図

3.5 結言

図 3.7 に示した水道用揚水量分布から、人口の集中している市街地部での揚水が多いことが分かる。唯一である赤色のメッシュの範囲は市営上水道の第 1 号揚水井が位置しており、このメッシュ範囲では 510,042 (m³/年) の地下水が揚水されている。水道の水源が位置するメッシュは比較的、揚水量が多くなっていることが、本メッシュを作成することでより明らかになった。

第4章 大野盆地の揚水量分布

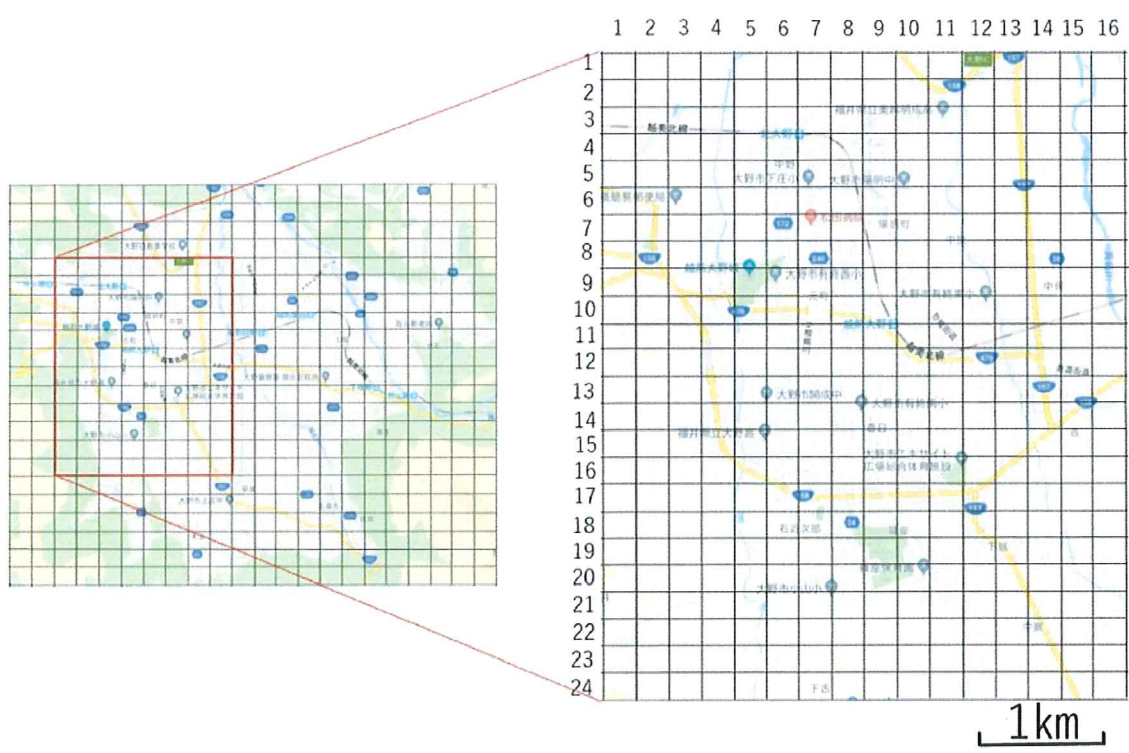
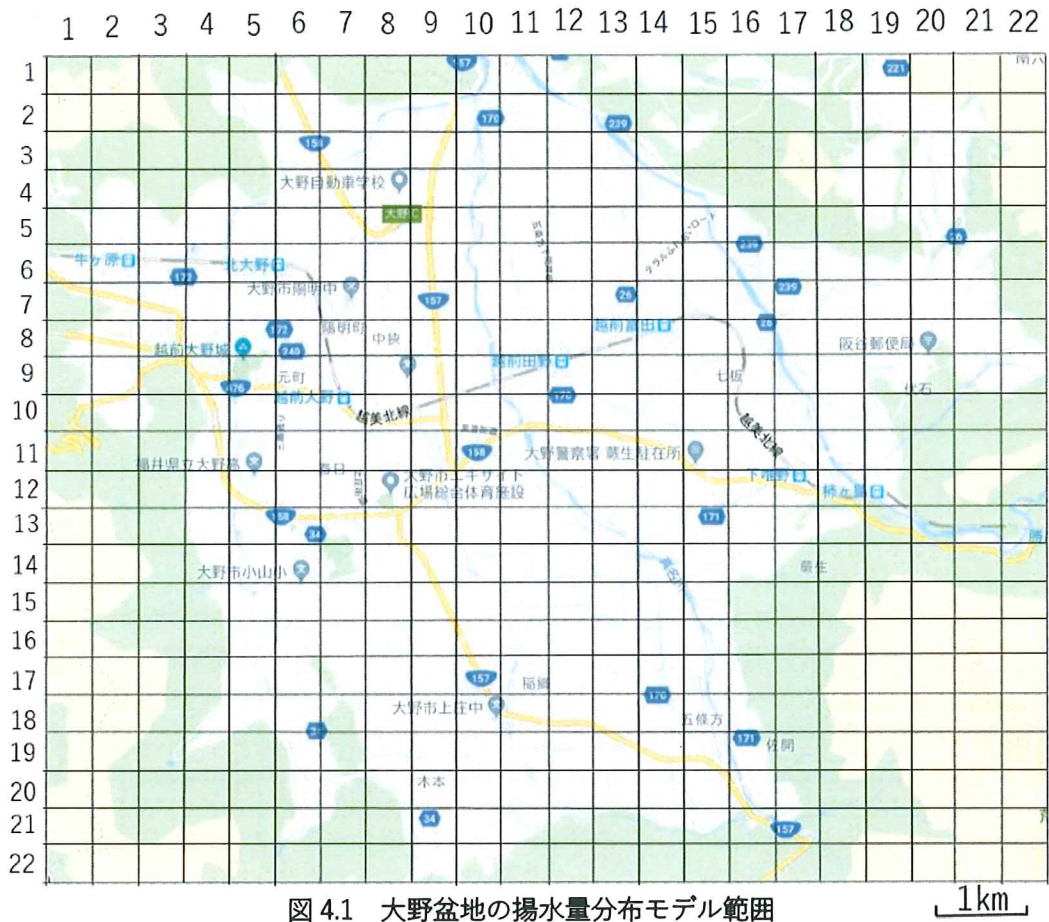
4.1 緒言

大野市の推計では、農業用揚水と消雪用揚水が存在していた。農業用揚水については、ほぼ全て河川の水を使用していることから皆無とした。また大野市では、消雪のために家庭の浅井戸から揚水した地下水の利用を基本的には禁止とされていることから、消雪用揚水は皆無とした。公共施設や道路等において消雪のための地下水の利用は認められるが、その揚水量と揚水場所の把握は難しく、本研究では考慮できなかった。そのため工業用・建築物用と水道用の地下水利用についてのみ揚水量分布モデルに反映させる。

本章では、第2章で求めた工業・公共施設用揚水量とその分布、第3章で求めた水道用揚水量とその分布を合わせることで、大野盆地の揚水量分布モデルを作成する。この揚水量分布モデルを作成することで、大野市における地下水揚水性状の把握を試みた。

4.2 揚水量分布モデルの作成範囲

揚水量分布モデルの範囲は大野盆地であり、上記で示した人口分布図や揚水量分布図と同じである。具体的には大野盆地を中心とした11km×11kmの範囲で、1メッシュ500m×500m、メッシュの数は縦22個、横22個である。図4.1に大野盆地の揚水量分布モデルの作成範囲を示す。また、揚水量が多い市街地付近をより詳しく調べるために、市営上水道の給水区域内のなかでも市街地を中心とした範囲の揚水量分布モデルを作成する。1メッシュは250m×250mである。図4.2市街地の揚水量分布モデルの作成範囲を示す。これらの図より、大野盆地における地下水揚水性状の検討が可能となる。



4.3 揚水量分布モデル

図 4.3 は大野盆地の揚水量分布モデルである。1 メッシュ内における揚水量を算出し、その量に応じてメッシュを色分けしたものである。図 4.4 は市街地である上水道給水区域の揚水量分布モデルであり、作成方法は同様である。これらの図より、大野盆地における地下水揚水の現況が明確になった。特に揚水量の多いとされる赤色のメッシュ内には、大口の揚水を行う工場や水道用揚水井が位置している。盆地南部にある地区営水道では水源が伏流水であるものが多く、そのためその近傍では地下水揚水がない地域が存在する。また市街地において揚水量が集中しており、その市街地の中でも中心部に行くにつれて揚水量が多い傾向であることが分かる。

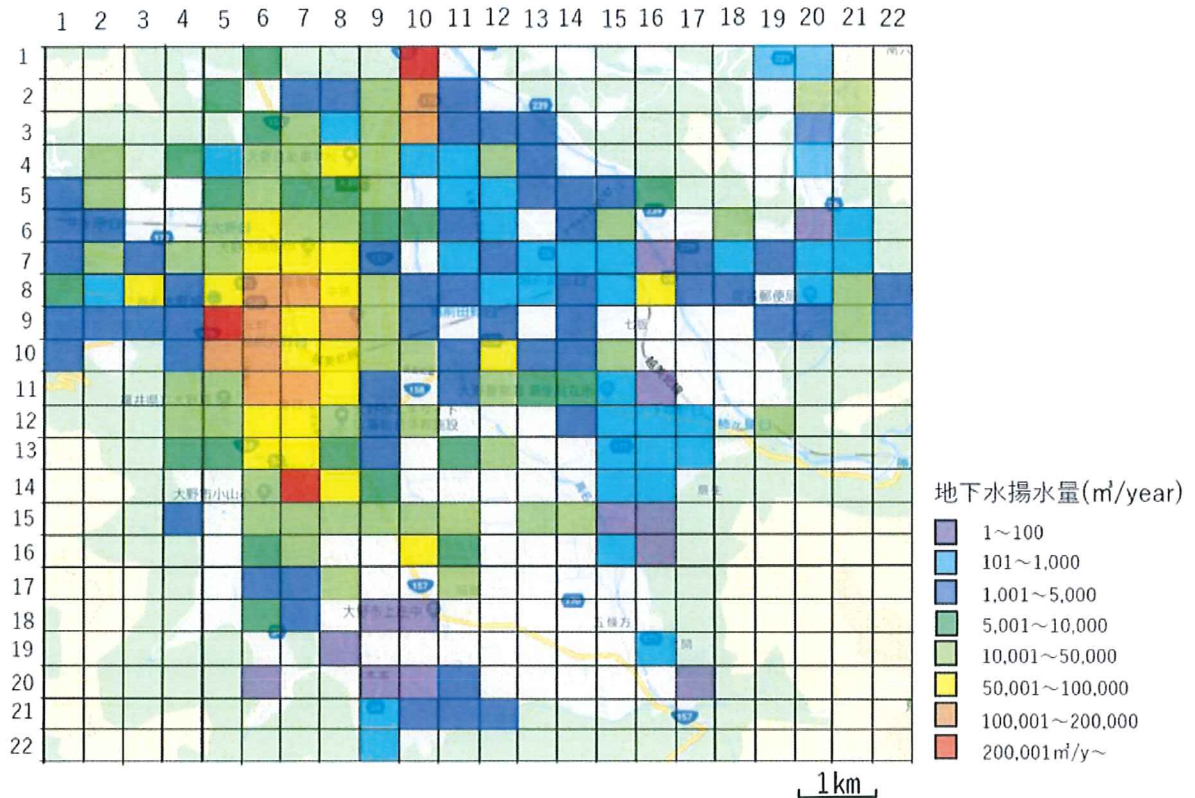


図 4.3 大野盆地の揚水量分布モデル

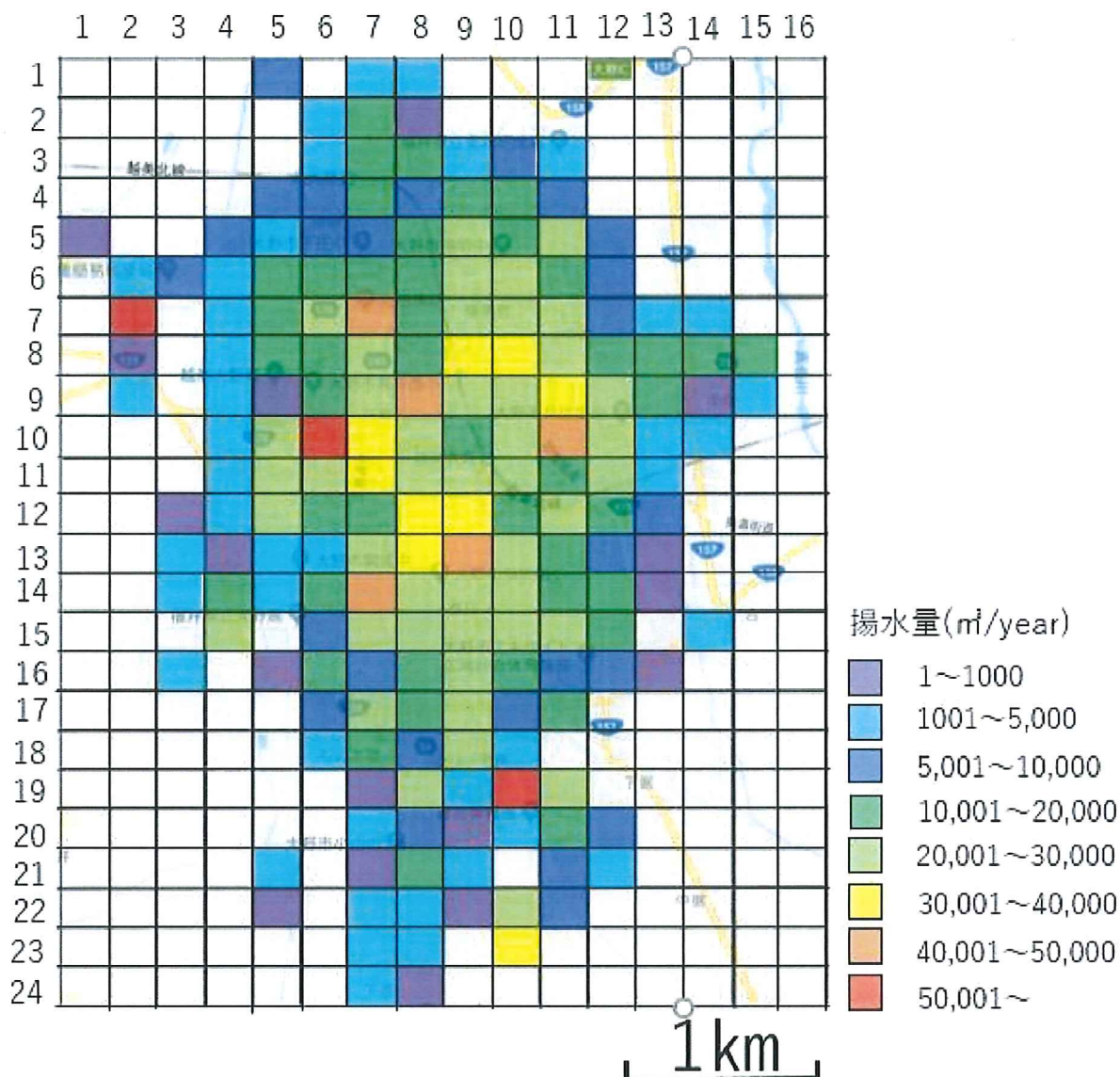


図 4.4 市街地である上水道給水区域の揚水量分布モデル

4.4 結言

上記の通り揚水量分布モデルを作成し、これによって大野盆地における地下水利用の現状を把握した。大野市全体での平成 30 年における地下水揚水量は 8,011,650 (m³/年)であった。図 4.4 で示した上水道区域内での平成 30 年における地下水揚水量は 3,762,240 (m³/年)と全体の半分近くが揚水されている。

第5章 地下水利用と地下水位について

5.1 緒言

大野市内には29カ所、32本の観測井が存在しており、これらを用いて地下水位を観測している。第5章ではこの観測井による地下水位の記録と揚水量分布モデルを用いて、大野市の地下水利用が地下水位の観点からどのように影響しているのかについて検討した。

5.2.1 大野市の観測井

大野市では29カ所、32本の観測井を用いて、地下水位の計測を行い記録している。図5.1に観測井の位置を示す¹³⁾。このうち、御清水観測井、春日公園観測井、菖蒲池(浅)観測井の3カ所を基準観測井として定め、達成すべき最終保全目標水位を設定している。表5.1に最終保全目標の値を示す。

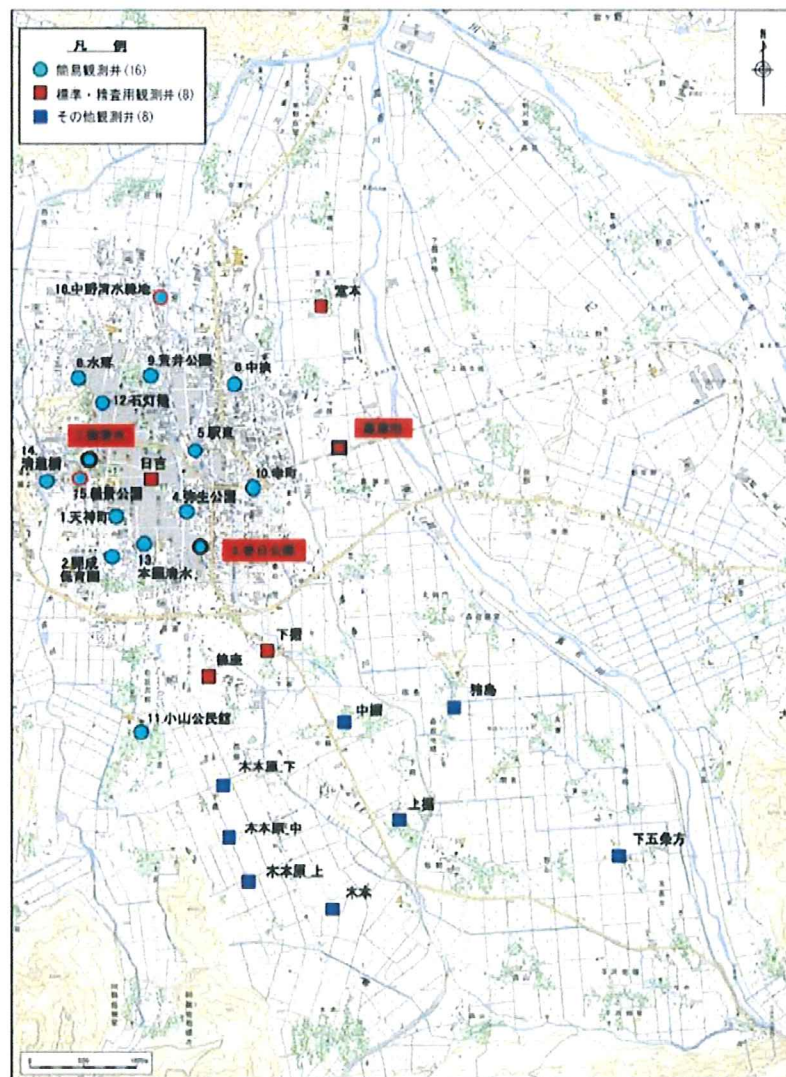


図5.1 大野市の観測井の位置

表 5.1 地下水位の最終保全目標

基準観測井名	最終保全目標
御清水観測井	1.2m未満を維持
春日公園観測井	5.5m未満を維持
菖蒲池(浅井戸)観測井	7.0m未満を維持

5.2.2 地下水位の変動

大野市の各観測井は、変位の大きさや地下水位に差はあるものの、地下水位の変動については同じような動きを示している。図 5.2 には大野市における平均的な地下水位の動きについて示したものである。図 5.3 には春日公園観測井における平成 28 年から令和元年までの 4 年間の地下水位変動を示している。図 5.4 は平成 30 年における観測井の地下水位と降水量を示したものである。

近年は降水量・降雪量の減少が目立ち、それによる影響を受けて保全目標を大きく下回っていると考えられる。また降水量が多い日には、地下水位の上昇がみられることから降雨による影響は非常に大きいとされる。

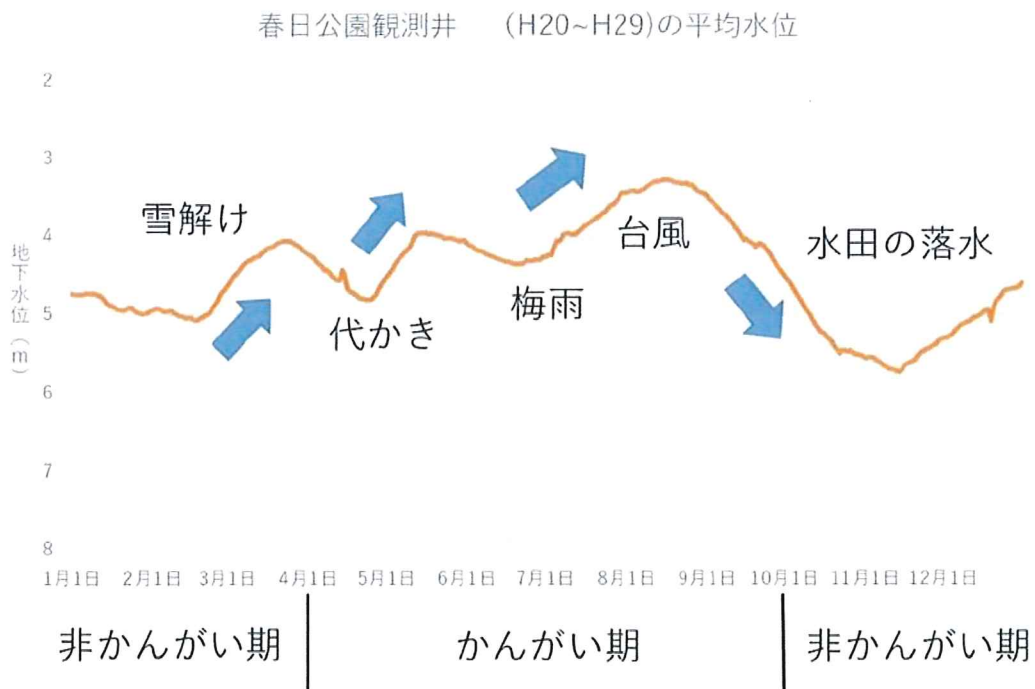


図 5.2 地下水位の動き

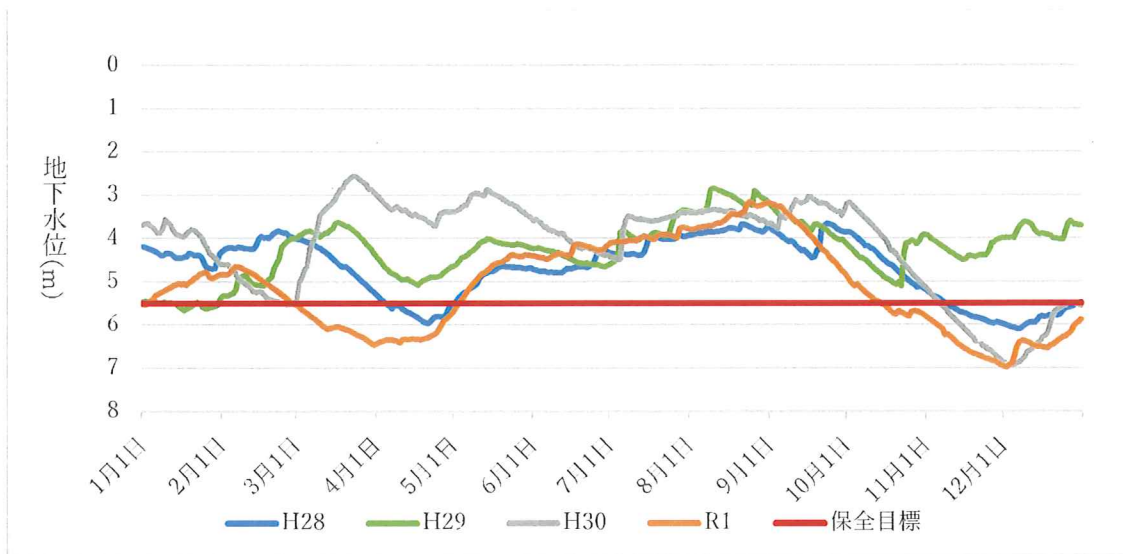


図 5.3 春日公園の地下水位変動

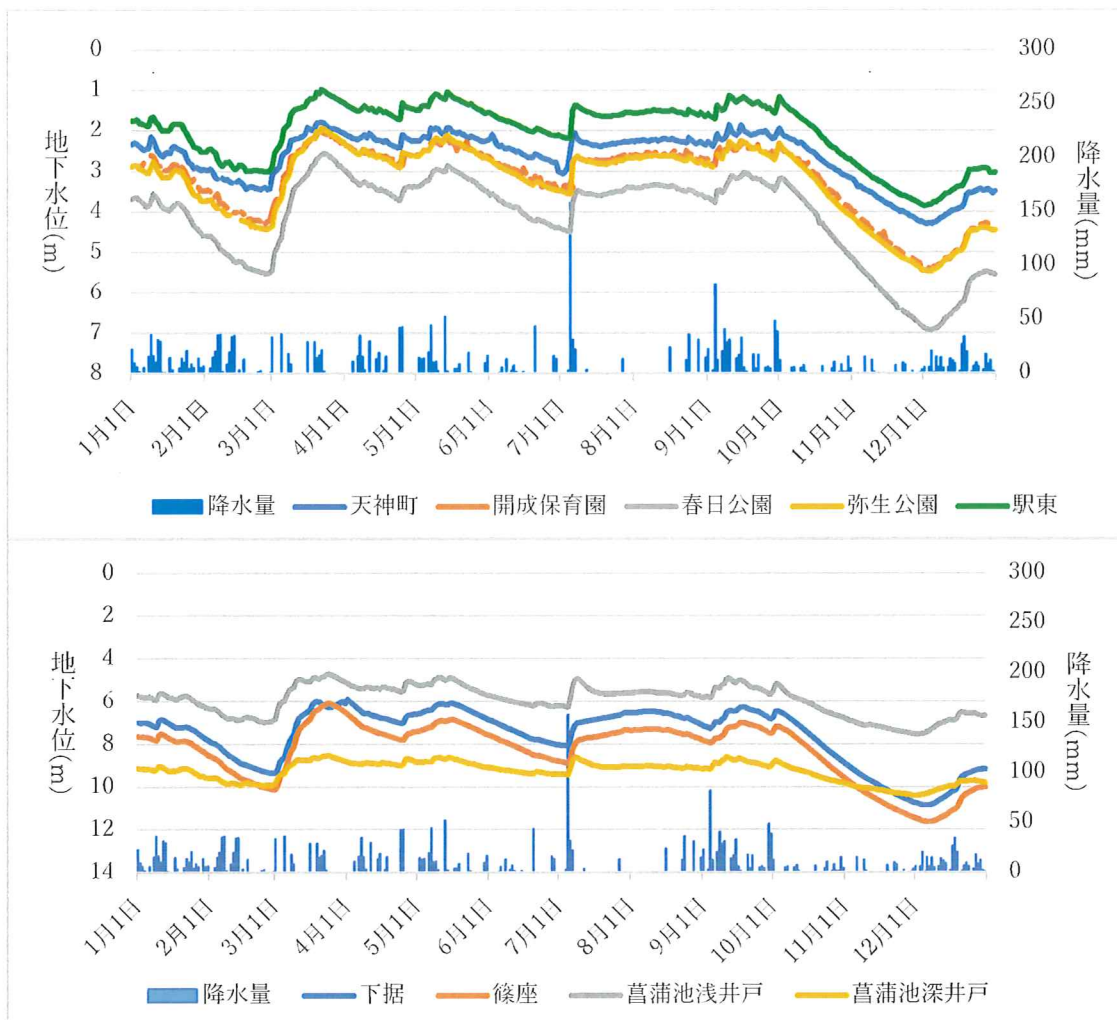


図 5.4 平成 30 年度地下水と降水量

次に地下水位の変動を図で示す。各観測井における地下水位を標高に換算し、平成30年を通して地下水位の高い日(4/1)の地下水位と低い日(12/1)の地下水面を比較する。図5.5は揚水量分布図上に観測井の位置をプロットしたものである。この図のAA'、BB'、CC'、AC、DEの5つの断面においての地下水面を図で表し比較を行う。図5.6、図5.7、図5.8、図5.9、図5.10にこれを示す。

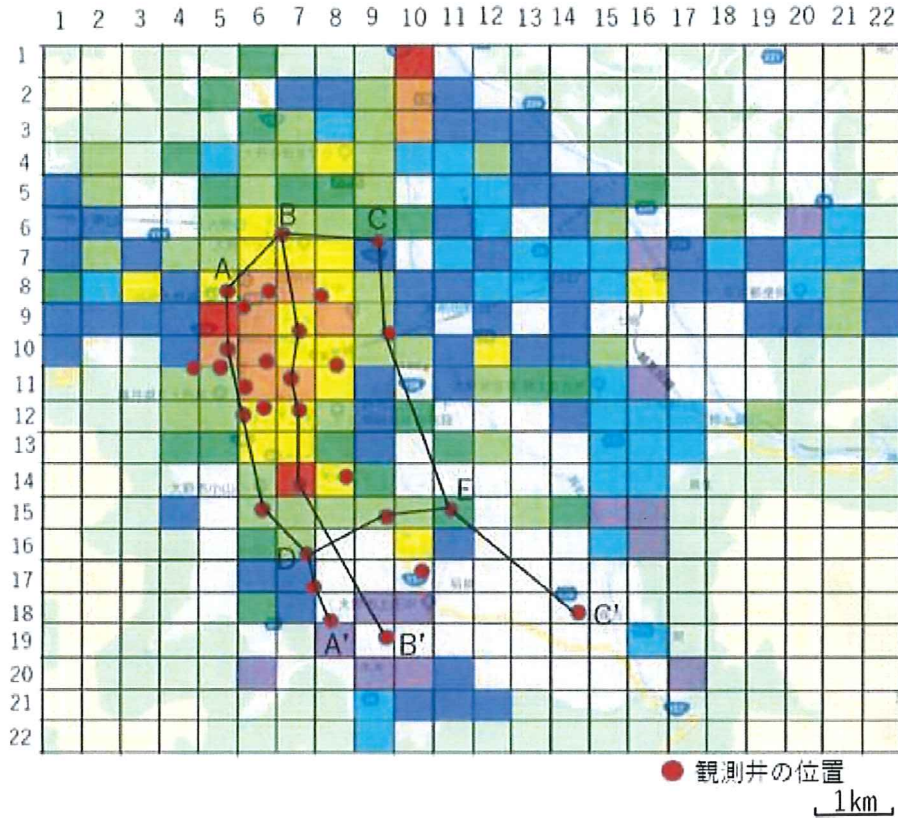


図 5.5 揚水量分布モデルと観測井位置図

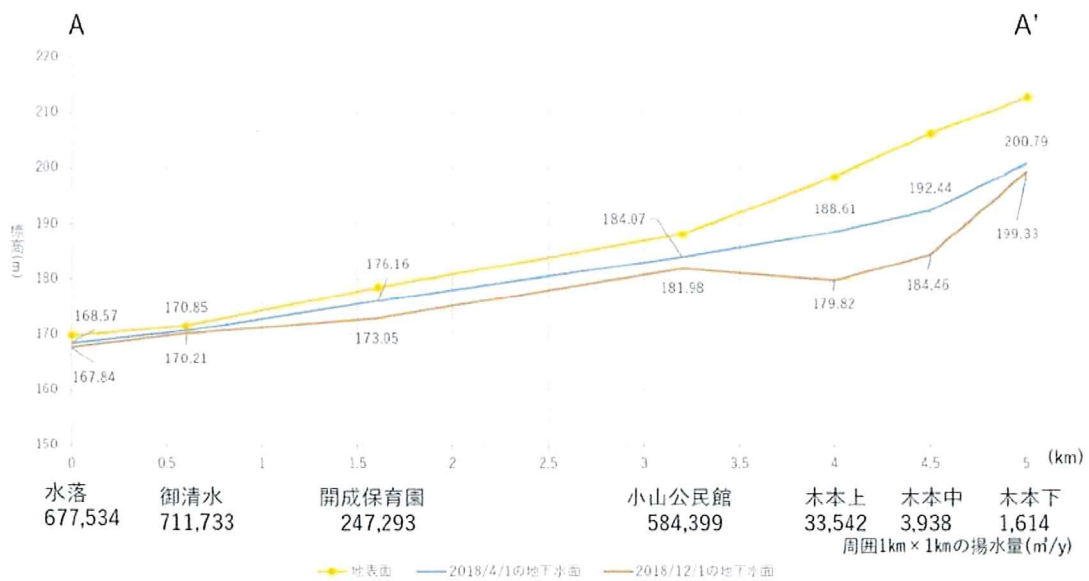


図 5.6 AA'断面の地下水面図

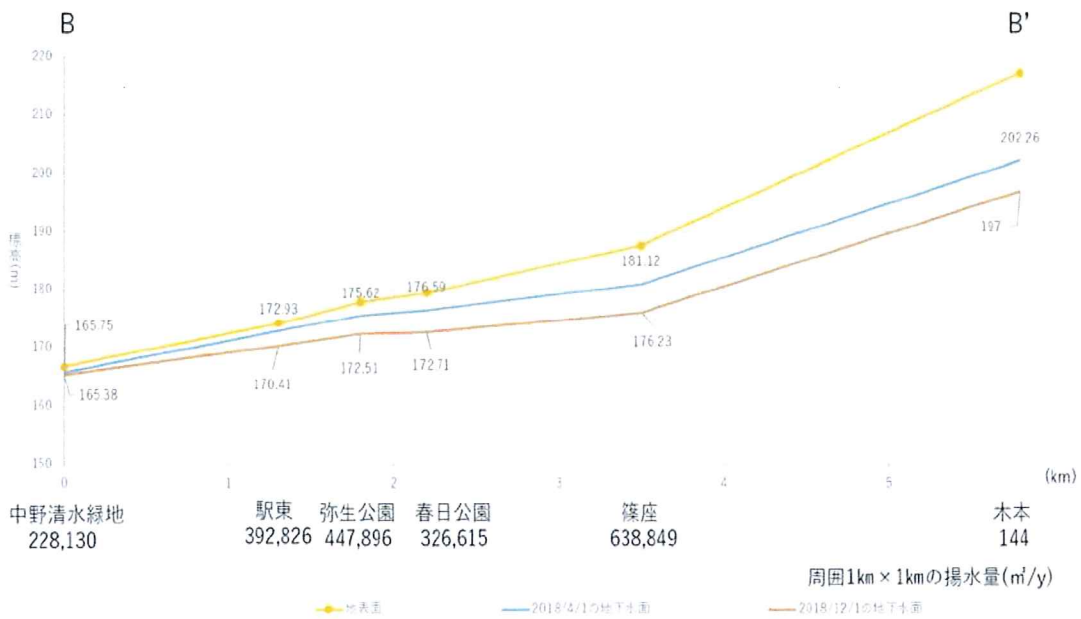


図 5.7 BB'断面の地下水面図

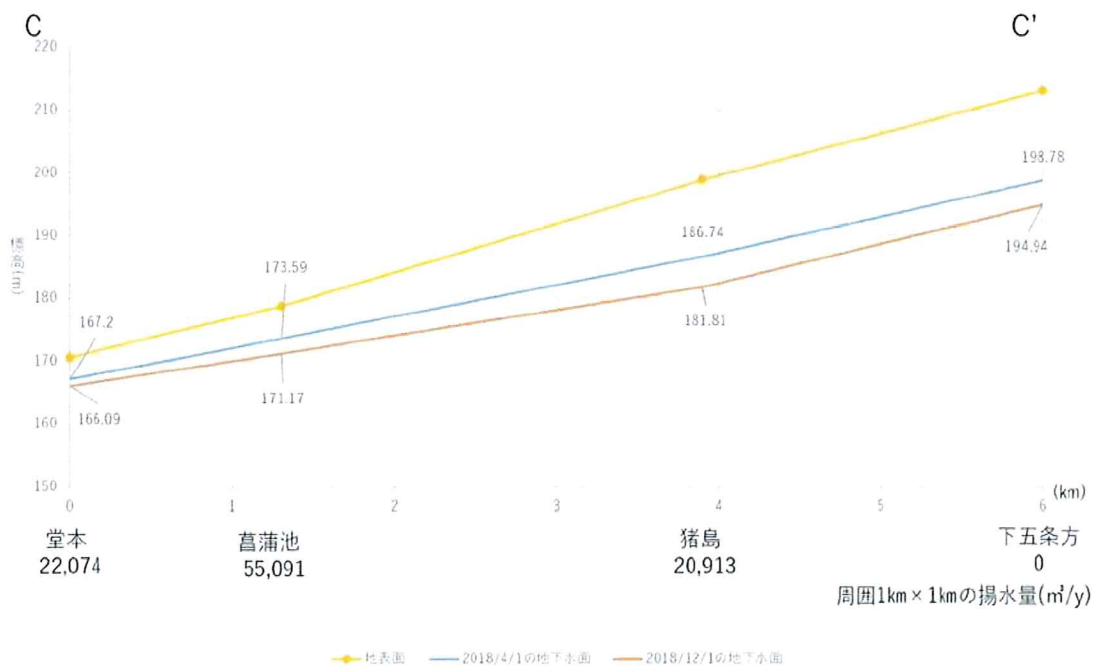


図 5.8 CC'断面の地下水面図

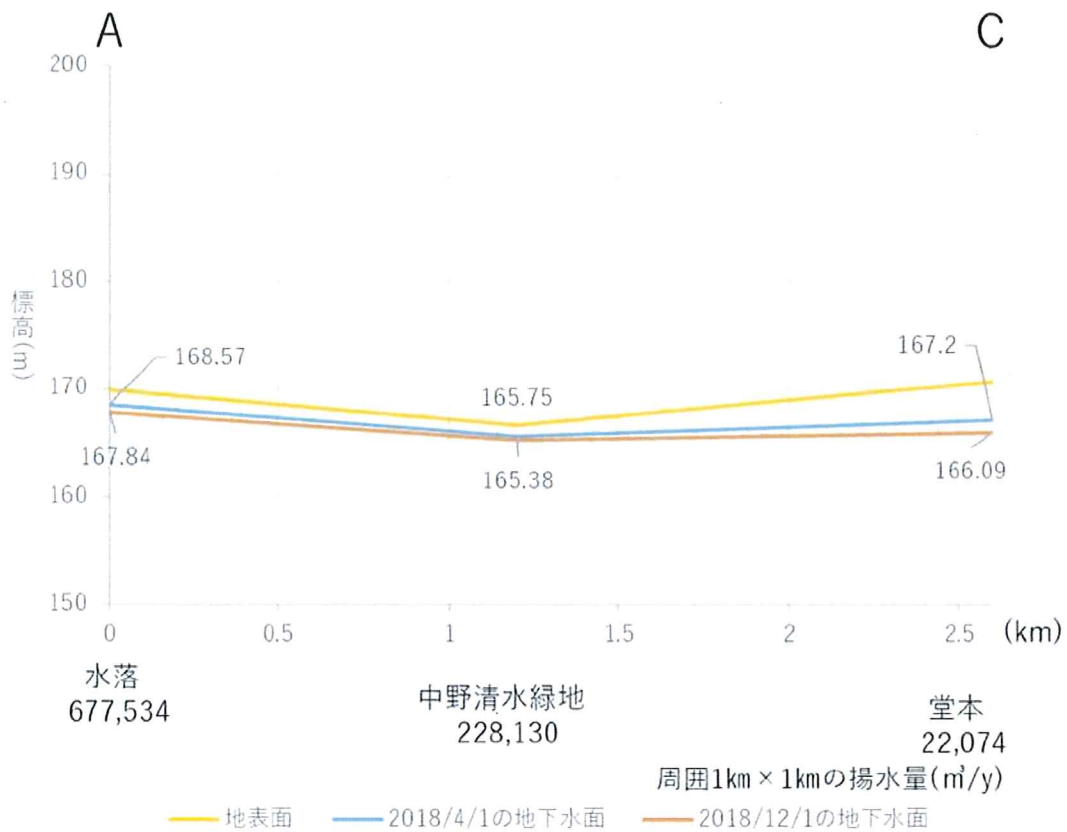


図 5.9 AC断面の地下水面図

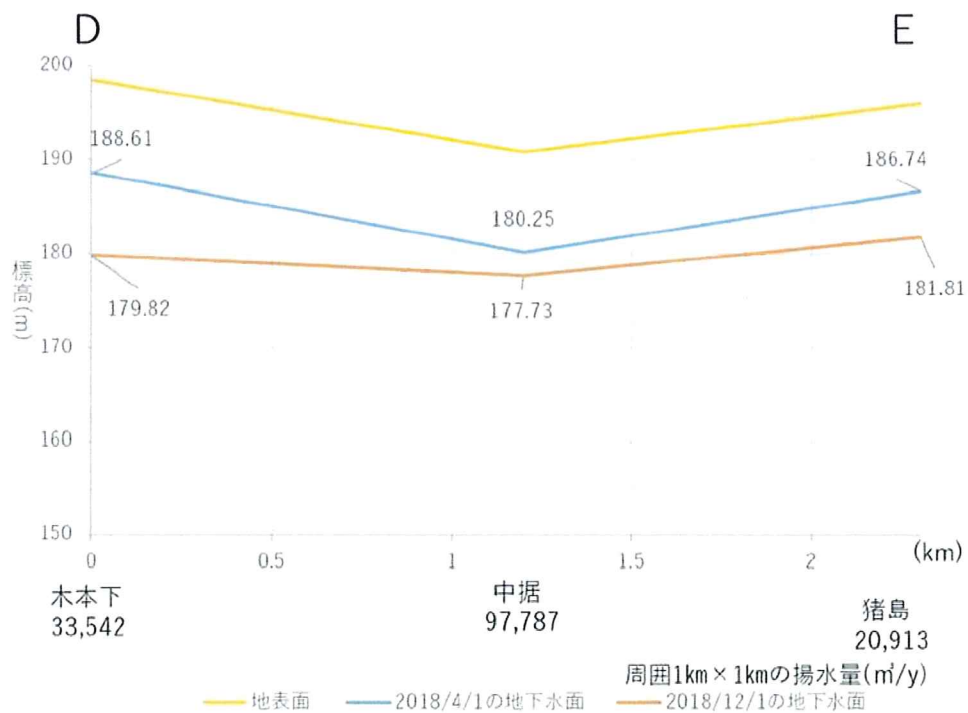


図 5.10 DE断面の地下水面図

以上の図から大野盆地の地形は南部の標高が高く北に行くにつれ標高が低くなっており、地下水面も同様に北に行くにつれて標高が低くなっていることがわかる。東西の断面で見ると中央部の標高が低くなっており、地下水面も同様である。また各観測井における地下水位は南にあるほど年間の差は小さく地下水位は安定しているといえる。付近の揚水量と水位差についてみると、北部の揚水量が小さい場所でも水位差は大きく、逆に市街地付近など揚水量が多い場所の水位差は小さく、関係性はみられなかった。そのことから地下水位の変位量については、近辺の揚水量以外の他の要因が大きく関わっていることが分かる。傾向として地下水位標高が高い場所ほど年間の水位差が大きいので、地下水標高が大きな要因であると推測した。

5.3 揚水量と地下水位の関係

揚水量と地下水位の比較のため、日別の揚水量を算出する必要がある。水道用の揚水量については単位使用水量から算出しているため、日別の単位使用水量を算出した。工業用・建築物用は月別の値しかないので、これを月の日数で除することで日別の揚水量とした。図 5.4、図 5.5 は平成 29 年、30 年の春日公園観測井の地下水位と揚水量、降水量の比較を表したグラフである。冬期に揚水量が多いのは、家庭での水道凍結防止のため夜間蛇口を緩め少量の水を出していること、やむを得ないものも含めた融雪のための地下水利用が影響している。

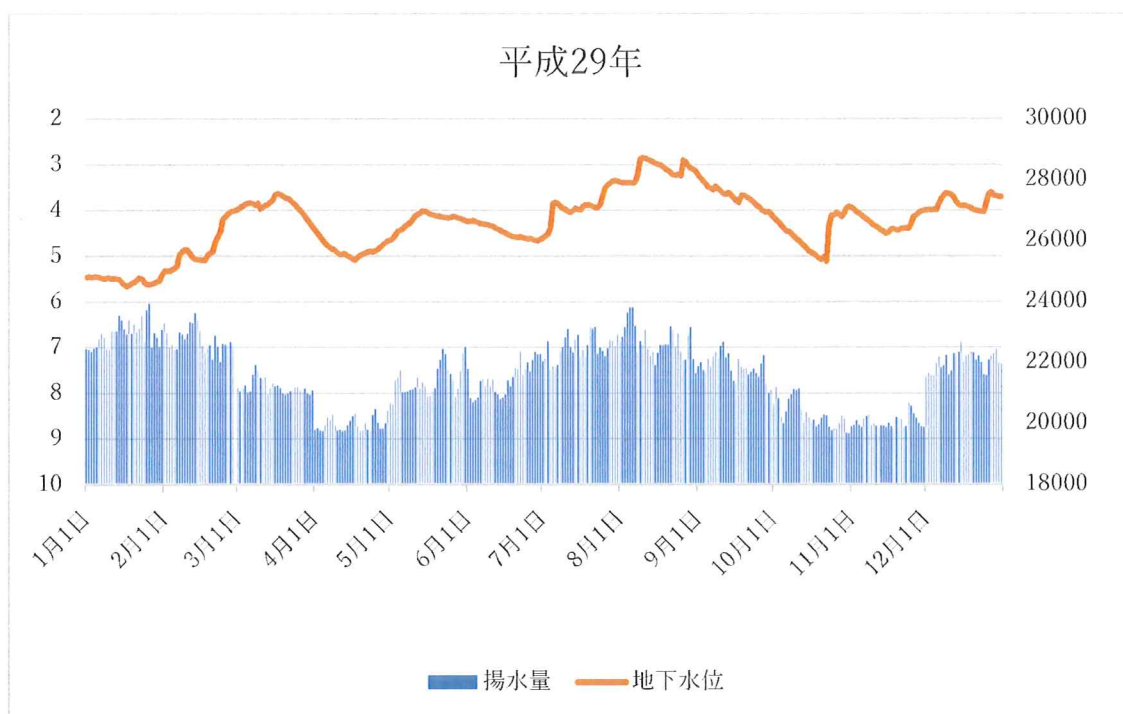


図 5.11 春日公園観測井の地下水位と揚水量の比較

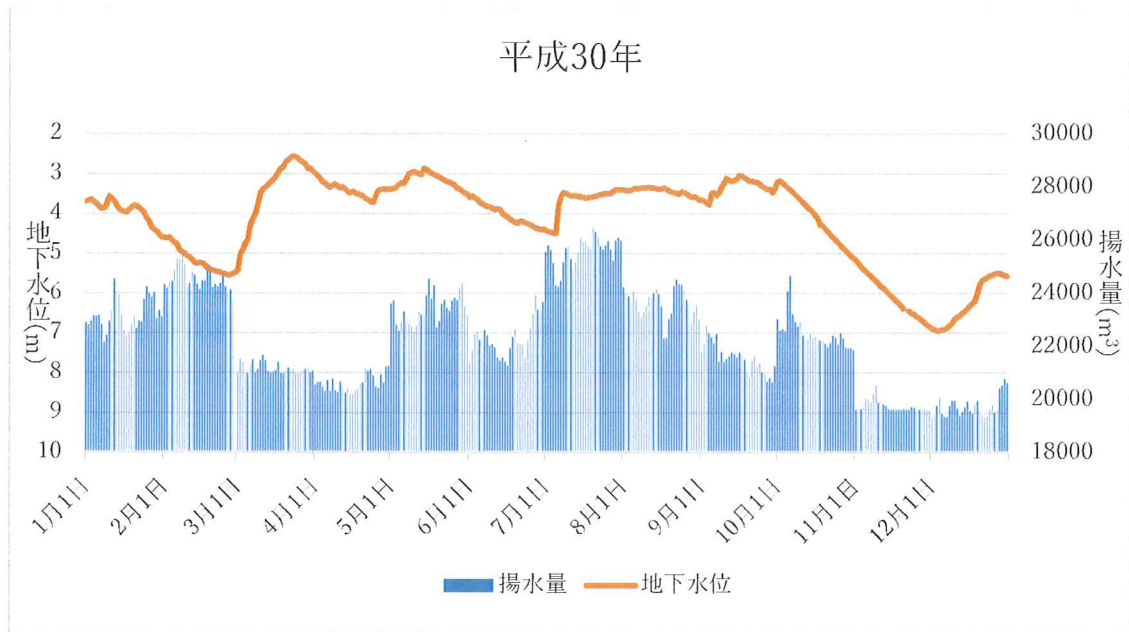


図 5.12 春日公園観測井の地下水位と揚水量の比較

1月から4月にかけては、揚水量と地下水位の間に連動性がみられる。以降は水田のかんがい期に入ることもあり、揚水量が増加しても地下水位の低下はあまり見られず、水田かんがいによる地下水位への影響の大きさがうかがえる。かんがい期を終えた10月以降はやはり降水の影響が大きい。

地下水位は年間を通して、揚水量による影響を受けている。しかし揚水量以上に降水や水田かんがいによる影響の方が大きいため、降水量のほとんどが降雪である期間や非かんがい期かつ降水量が少ない期間のみ揚水量と地下水位の連動がみられると考える。

5.4 結言

人口の集中している市街地や大量の地下水を揚水している工場が位置する盆地の北部では、1年を通して地下水位はあまり変化せず安定している。逆に比較的揚水量が少ない盆地南部では、地下水位の変化の幅は大きいという結果になった。このようになる理由としては、大野盆地における地下水は北部でせき止められているためと考えられる。また、市街地での揚水が、市街地より地下水標高が高い盆地南部における地下水に大きく影響を及ぼすと考える。また、地下水位は確かに揚水量による影響を受けるが、降水量やかんがいによる涵養に比べると、その影響はやはり小さい。そのため、揚水量が多いとされる夏期でも降水や水田かんがいのため地下水位の低下はあまり見られない。

しかしながら、地下水位の低下があまり見られない地域や期間において、むやみに地下水を利用していいわけではなく、年間をとおして市民の意識的な地下水利用は必要である。

第6章 結論

地下水が豊富なことで有名な福井県大野市では、古くから市民の生活と地下水との関係が非常に深く、生活用水を含めた様々な用途に地下水が用いられている。これにより、大野市民にとって、地下水のない生活を送ることは不可能なほどであることがうかがえる。そこで、地下水を未来永劫利用し続けるためには、現在の地下水利用の現状を把握する必要がある。本研究では、大野盆地における地下水揚水量の分布を把握するために、メッシュ地図上に地域別揚水量を表した揚水量分布モデルを作成し、それによる地下水位への影響について検討を行った結果、以下のような成果が得られた。

- (1) 人口の集中する市街地では地下水揚水量が多くなり、その値は市街地の中心であるほど多い傾向がある。
- (2) 水道の水源である揚水井の位置では、比較的揚水量が多くなっており、特に市営上水道第1号揚水井による揚水は498,482 m³/年と大口である。
- (3) 盆地北部に大口の揚水を行う工場が位置しており、その近傍での揚水量は大野盆地全体における揚水量の約40%を占める。
- (4) 降水量のほとんどが降雪である期間や、非かんがい期間かつ降水量が少ない期間において、地下水位は地下水揚水の影響を大きく受け、この2つの間に連動性がみられる
- (5) 年間を通した地下水位の変位量においては揚水量の影響がみられず、地下水標高が高い場所ほど水位差が大きいという傾向がみられる。
- (6) 盆地の北部であるほど地下水位は高く、安定している。要因としては、北部の標高が低く地下水は南から北に流れているが、その盆地北部の地下水の進路が狭くなっており、地下水がせき止められていることが考えられる。したがって、できる限り北部での揚水が地下水位の観点から永続的な地下水利用につながるのではないかと考えられる。

最後に、この結果を踏まえた上で、今後の課題について述べる。上記にも述べたとおり、本研究では農業用揚水、消雪用揚水はないものとした。しかし、大野市の推計ではそのどちらも存在している。実際、融雪のために、やむを得ず地下水を利用している家庭は存在しているとされる。これらの揚水について実際に存在するのか、存在する場合はその揚水量を把握する必要がある。工業用・建築物用については大口の揚水量についてのみ報告を受け、その量を反映させたが、そのほかにも市内には飲食店や酒造会社による地下水利用が存在している。これらの値についても把握することでさらなる精度向上につながるであろう。水道用については、出来得る限り、最良のデータを用いて推計を行ったつもりだが、それでもやむを得ず1990年代のデータなど、古いものも使用している箇所もある。したがって、より精度の高いものにするには、これらのデータの更新は必須であると考えられる。揚水量については、やはりメーターを設置しそれによる値が最も正確であるため、各家庭でのホームポンプにメーターの設置、揚水量の報告を推進することが、より精度の高い揚水量分布の把握を可能にし、永続的な地下水利用につながると考える。地区営水道は多数の人の生活用水の水源となっており、かつ揚水井の数も多くないため、メーターを設置し、正確な揚水量を把握すべき

ではないかと考える。また揚水量分布モデルを利用した地下水位への影響について、傾向はつかめたものの、定量的な地下水位への影響の把握はできなかった。適切な地下水利用をより明確にするために具体的な数字を示すことは必要であると考え。上記の課題を克服することで、地下水揚水量とその分布はさらに実際のものに近づくことができ、適切な地下水利用につながるだろう。

参考文献

- 1) 谷口真人：気候変動と地下水、地下水学会誌, Vol.47, NO.1, pp.5-17, 2005.
- 2) 国土交通省：日本の水資源の現況、「第1章 水の循環と水資源の賦存状況」, 平成30年版, 2019.
- 3) 環境省：名水百選ポータル、「昭和の名水百選」, 1985.
- 4) 環境省：名水百選ポータル、「平成の名水百選」, 2008.
- 5) 大野市：大野市地下水年次報告書, 平成29年版, 2018.
- 6) 大野市：大野市の地下水, pp.1-2, 2003.
- 7) 大野市：大野市地下水保全条例, 1977.
- 8) 厚生労働省：水道の基本統計、「平成29年度 現在給水人口と水道普及率」, 2018.
- 9) 総務省統計局：平成27年国勢調査, 調査方法, 2015.
- 10) e-Stat 政府統計の総合窓口：地図で見る統計 (jSTAT MAP), 2016.
- 11) 国土交通省：日本の水資源の現況、「第2章 水資源の利用状況」, 平成30年版, 2009.
- 12) 大野市：大野市地下水総合業務報告書, pp.95-96, 2003.
- 13) 大野市：大野市地下水年次報告書,p8, 観測地点の位置図, 平成29年版, 2018.