

深層地下水流動調査委託

報 告 書

令和 4 年 3 月

昭 島 市 水 道 部

目 次

1 章	はじめに	1
1-1	背景・目的.....	1
1-2	本書の構成.....	1
2 章	地形・地質	2
2-1	地形.....	2
2-2	地質.....	3
3 章	地下水位の分布と変動	5
3-1	地下水位分布.....	5
3-2	地下水位変動.....	9
4 章	地下水の水質	14
4-1	水源井の孔内水質.....	15
4-2	周辺地下水・河川水の水質.....	20
5 章	地下水の涵養標高と年代	25
5-1	涵養標高.....	25
5-2	年代測定.....	28
6 章	地下水の流動機構と持続可能性	31
6-1	深層地下水の水収支.....	31
6-2	流動経路の解析.....	33
6-3	深層地下水の起源地（涵養源）.....	34
6-4	深層地下水の流動経路.....	34
7 章	まとめ	37
	用語集	38
	参考文献	42

1章 はじめに

1-1 背景・目的

昭島市は東京都のほぼ中央に位置し、面積 17.34km²、2021（令和 3）年度の人口は約 11.4 万人を有している。本市の水道水源はその 100%を深層地下水でまかなっている。

市水道水源に採用している深層地下水に主眼をおき、昭島市および周辺広域（図 1-1）を調査対象として、昭島市の深層地下水の起源地の推定や、現状の地下水涵養等を把握する。また、深層地下水 100%を維持したままでの水道事業の健全経営に資することを目的として、持続可能な地下水資源の適正利用について検討を行った。

なお、本書でいう深層地下水とは、被圧地下水※用語集のことである。

[昭島市の面積・人口については令和 2 年度水道事業年報の数値]

1-2 本書の構成

本書は、2019（令和元）年度から 2021（令和 3）年度にかけて実施した「昭島市深層地下水流動調査」に基づき、次の 7 章で構成した。

- ① はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1 章
- ② 地形・地質・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2 章
- ③ 地下水位の分布と変動・・・・・・・・・・ 3 章
- ④ 地下水の水質・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4 章
- ⑤ 地下水の涵養標高と年代・・・・・・・・・・ 5 章
- ⑥ 地下水の流動機構と持続可能性・・・・ 6 章
- ⑦ まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 7 章

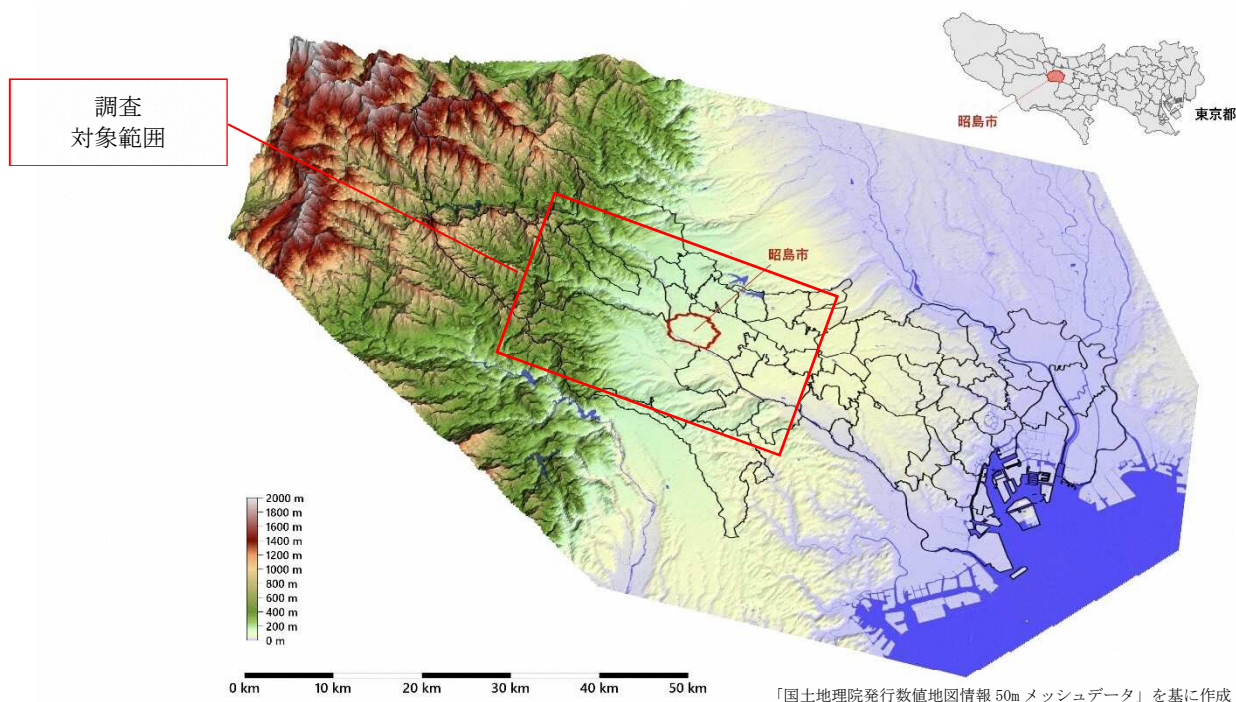


図 1-1 調査対象範囲

2章 地形・地質

2-1 地形

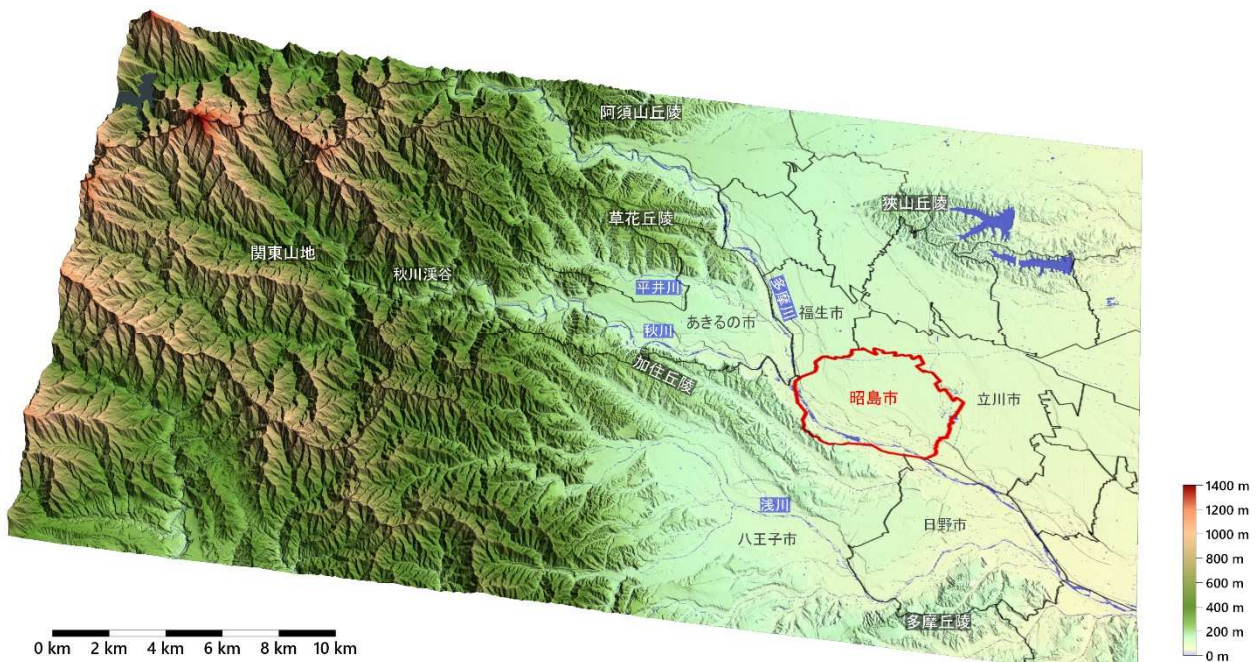
昭島市周辺の地形鳥瞰図を（図 2-1）に示す。昭島市は都心から西方約 35 km、東京都のほぼ中央に位置し、東及び北は立川市、南は多摩川を隔て八王子市と日野市、西は福生市に接している。

市の位置は、東経 139 度・北緯 35 度で、面積は 17.34 km²、地形は東西 6.06 km・南北 3.88 km で周囲 19.58 km のほぼ長円形である。地勢は北西から南東に向かって多摩川まで緩やかな傾斜があり、海拔は 170.72m から 76.68m までとなっている。

山地から丘陵地・台地・低地と西から東にかけて標高が低くなっていく東京都の中で、昭島市の地形は、大きく区分すると台地（武蔵野台地）と多摩川沿いの低地（沖積低地）で構成され、多摩川が昭島市の西縁から南縁を流れている。

武蔵野台地はかつての多摩川が形成した河成段丘群や隆起海成段丘からなり、青梅付近を扇の要として東へ向けて扇状に広がっている。また昭島市周辺には、多摩川を挟んで西側から南西側に加住丘陵が分布しているほか、やや離れて南側に多摩丘陵、北西側に草花丘陵や阿須山丘陵、北東側に狭山丘陵が分布している。

[昭島市の面積・人口については令和 2 年度水道事業年報の数値]



「国土地理院発行数値地図情報 50m メッシュデータ」を基に作成

図 2-1 昭島市周辺の地形鳥瞰図

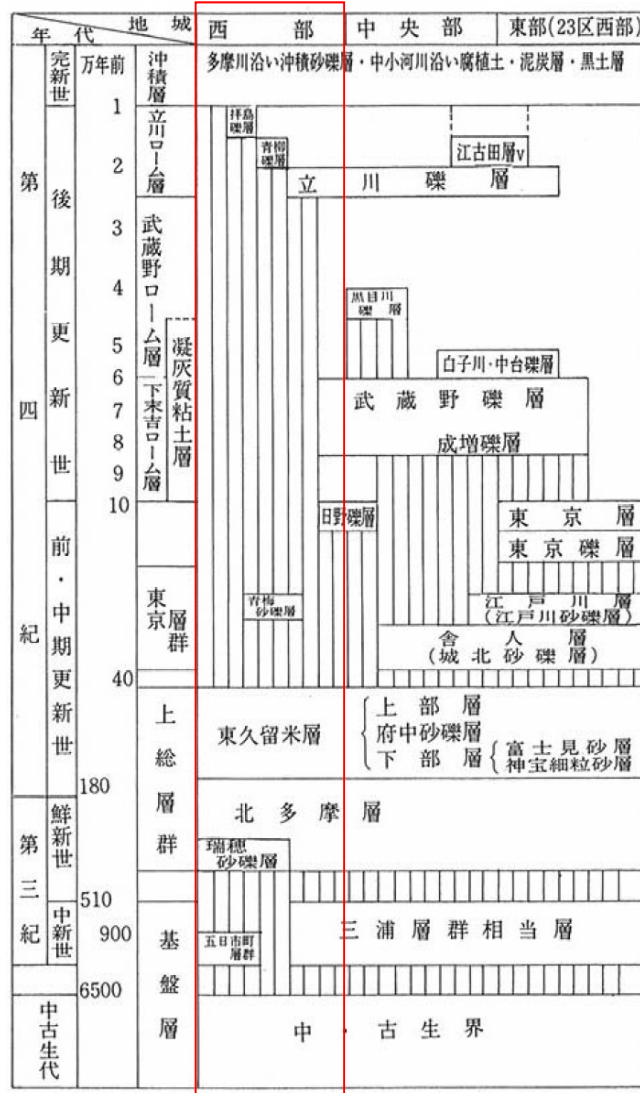
2-2 地質

東京都の地質層序を（表 2-1）に、地質断面図を（図 2-2）に示す。昭島市は、東京都西部地域に該当し、下位の古い地層から順に、中・古生層等からなる基盤岩、上総層群（北多摩層、東久留米層）、段丘礫層（立川面、拝島面）、多摩川沿いの沖積層が分布する。

東京都土木技術研究所（1990）によれば、これらの地層のうち昭島市域にて地下水を豊富に含む帯水層は9層に区分される（表 2-2）。「多摩川中上流域上総層群調査研究プロジェクト報告書, 2020年」による最新の解釈と照合すると、上層より、第1層は立川面を構成する段丘礫層（立川礫層）、第2層～第7層は上総層群上位の東久留米層、第8層～第9層は上総層群下位の北多摩層に相当すると考えられる。

水道水源（深井戸）の深度は150～300mであることから、主要な帯水層は東久留米層にあたる第2層～第7層であると考えられる。

表 2-1 東京都の地質層序



出典「東京都土木技術研究所（1990）：東京都総合地盤図（Ⅱ）、東京都の地盤（2）」に加筆

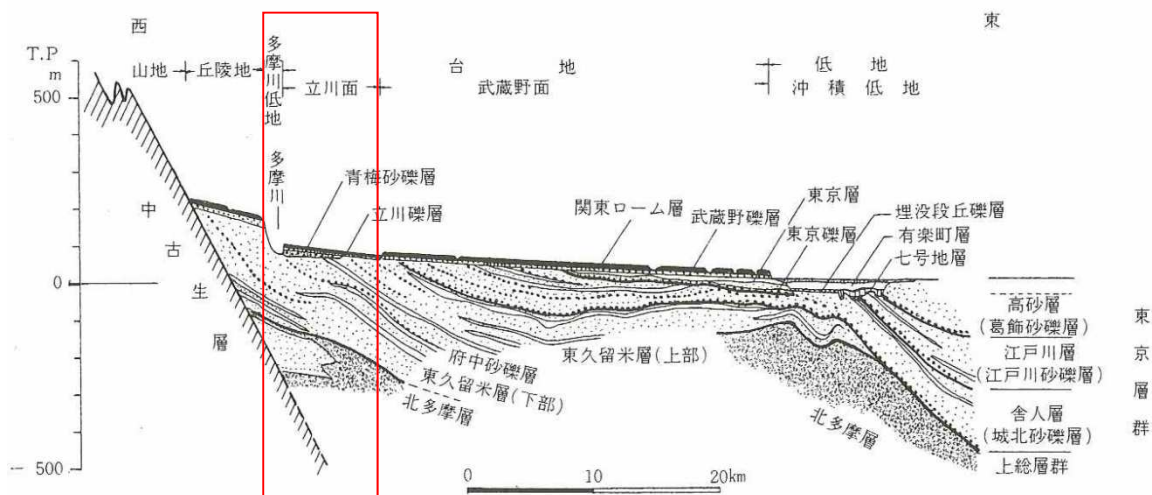


図 2-2 地質断面図

出典「東京都土木技術研究所（1990）：東京都総合地盤図（Ⅱ）、東京都の地盤（2）」に加筆

表 2-2 昭島市における帯水層区分

※深さとは、昭島観測井（東京都）の基準点標高（T.P）120.4mからの深度を示す。

昭島市の主要な帯水層

帯水層	深さ (m)	厚さ (m)	層相	最大比抵抗値 ($\Omega \cdot m$)	透水係数 (cm/sec)	地層区分	
①	2.2~12.5	10.3	砂礫層	190	—	A	立川礫層他
2	33.2~59.5	26.3	砂礫層	165	—	B ₂	上 総 層
3	67.1~82.0	14.9	砂礫層	105	—		
④	85.8~103.5	17.7	砂礫層	65	7.82×10^{-2} *		
5	105.8~114.8	9.0	砂礫層	90	—		
6	117.5~131.1	13.6	砂礫層	80	—		
⑦	192.5~229.1	36.6	砂礫層 中～粗粒砂層	110	7.53×10^{-3} * 3.40×10^{-4} **	C ₁	群
8	265.2~291.0	25.8	砂礫層 細粒砂層	205	1.76×10^{-4} **	C ₂	
9	367.4~378.6	11.2	砂礫層 細粒砂層	50	—	C ₃	

注) ○印のついた帯水層は、昭島地盤沈下・地下水位観測井でストレーナを施した帯水層を示す。

*：現場揚水試験による透水係数、**：試錐コアによる室内透水係数である。

出典「東京都土木技術研究所年報（1990）：『武蔵野台地西部の水文地質』より昭島試錐における帯水層区分に加筆

3章 地下水位の分布と変動

地下水位^{※用語集}を測定（測水）することで、地下水の流動などの情報を得ることができる。地下水位は降雨や揚水などによって変化することから、同じ箇所でも継続的に測水することで、地下水環境の変化を追うことができる。また複数箇所でも時期を合わせて測水を行うことで同じ条件での地下水位が得られ、地下水位の分布を把握することができる。

地下水位調査では、深層地下水を対象とした「地下水位分布」、「地下水位変動」に関する資料調査および現地調査を行い、昭島市および周辺広域における深層地下水の流動を検討した。

「地下水位等高線」という用語について

被圧地下水の分布は、等水頭線や等ポテンシャル線と呼ばれることもあるが、本書では「地下水位等高線」と呼ぶこととする。

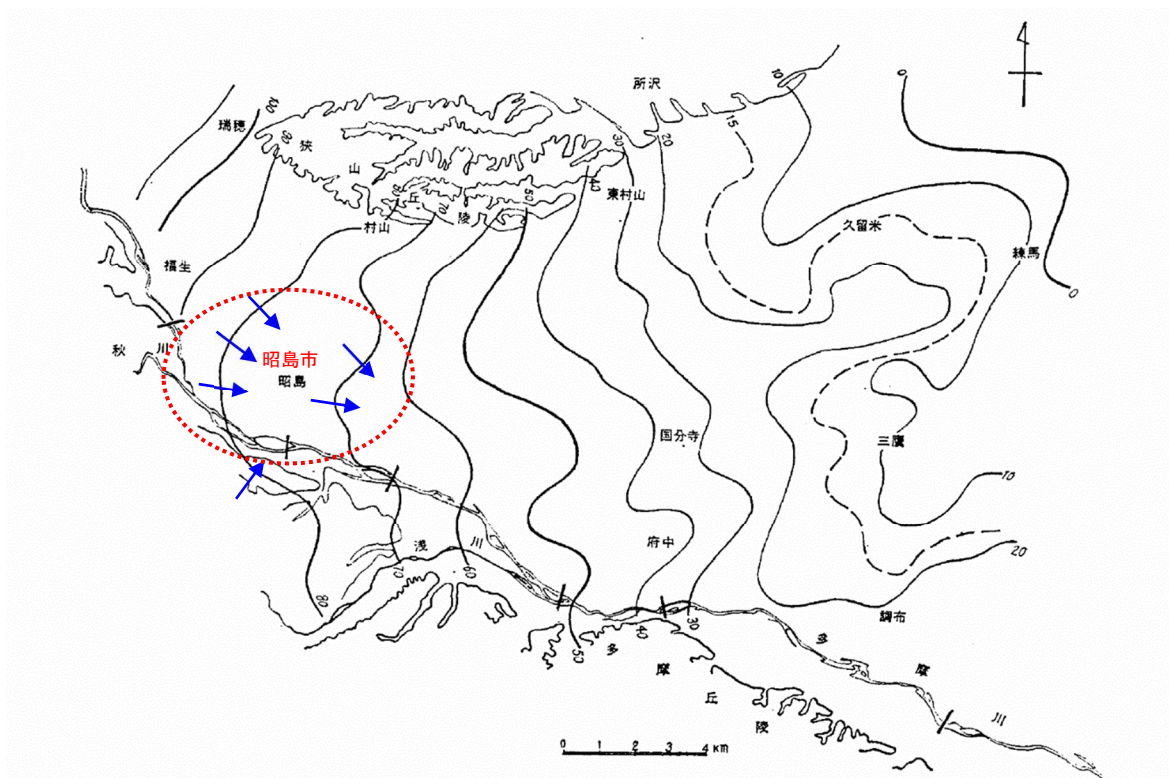
3-1 地下水位分布

東京都観測井の地下水位資料や過去の文献収集に加え、昭島市水道水源のほか、昭島市内および周辺の井戸を所有する民間事業所等の協力のもと、一斉測水調査（現地調査）を実施して地下水位分布を把握し、地下水位等高線を作成した。昭島市における一斉測水調査は、2003（平成15）年8月、2004（平成16）年1月以来の実施となる。

昭島市および周辺の地下水位分布から、深層地下水の流動は時期によって異なる次の傾向があった。

・昭和30年代～昭和40年代前半（図3-1）

地下水位等高線はおおよそ地形の勾配に沿って傾斜しており、昭島市付近では、概ね北西方向から南東方向へ流動していた。また多摩川の対岸では、八王子市側から昭島市へ向かう南西方向から北東方向への流動もあったと考えられる。



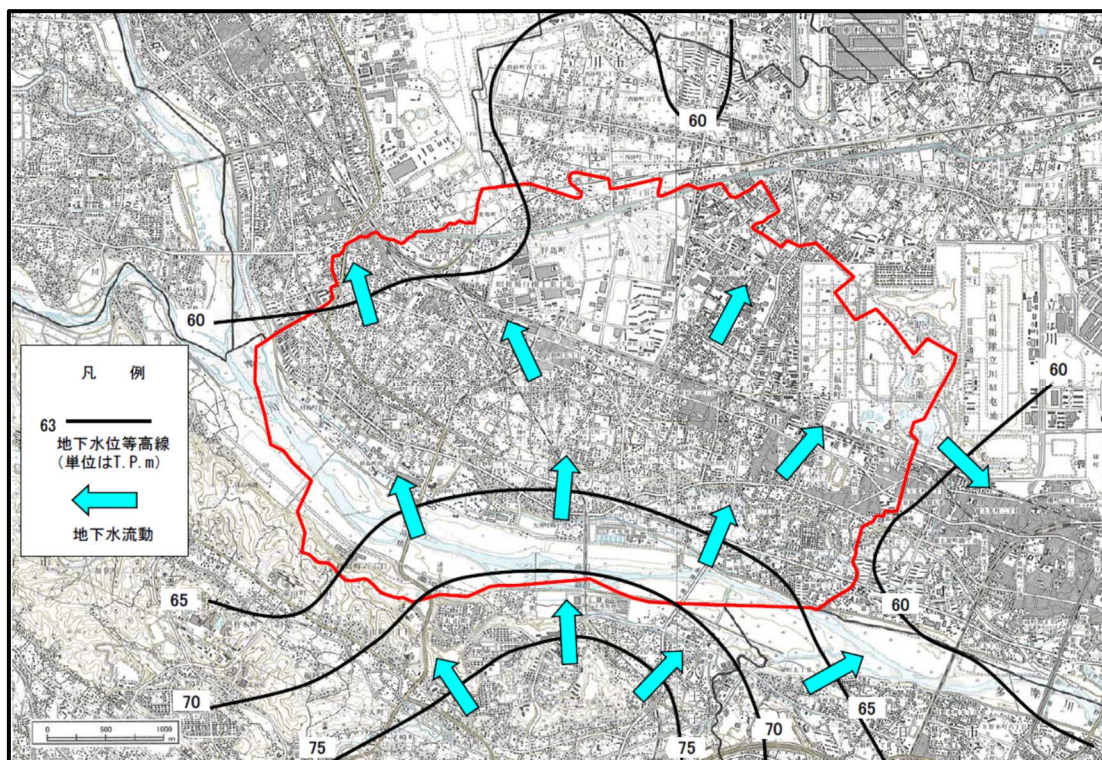
【1966（昭和41）年】

図3-1 武蔵野台地の地下水位等高線図

出典「武蔵野台地の水文地質」（新藤静夫，1968）被圧地下水の地下水位分布に加筆

・2003（平成15）年（図3-2）

地下水位等高線は、全体的に南方向から北西および北東方向にむかって傾斜しており、地下水位等高線から推察される深層地下水の流れは、おおよその地形勾配とは異なる方向となっている。このとき市城南東角付近における地下水位は標高60m程度であった。



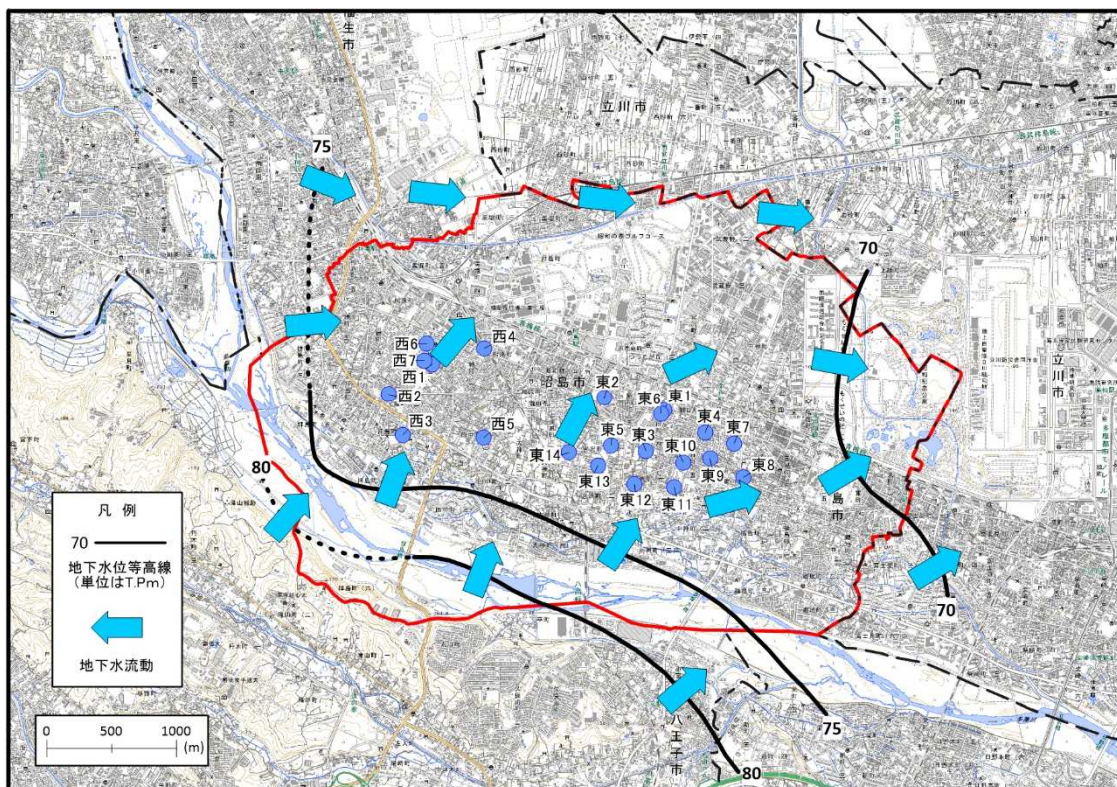
【2003（平成15）年8月】

図3-2 昭島市及びその周辺の地下水位等高線図

出典「昭島市周辺地下水流動調査, 2005年」

・2020（令和2）年（図 3-3、表 3-1）

地下水位等高線は、北西および南西方向から東方向へ向かって傾斜している。2003（平成15）年と比べると、南方向から流入していた地下水は、やや南西方向から流入するようにならずかに変化した。北東方向への流出する流れも、やや東方向となった。また、市城南東角付近における地下水位標高は70m程度であり、2003（平成15）年に比べ上昇した。



【2020（令和2）年8月】

図 3-3 昭島市及びその周辺の地下水位等高線図

表 3-1 地下水位標高（2020（令和2）年8月）調査

水道水源	水源井 深度(m)	基準点 標高 (T.Pm)	測定水位 (基準点-m)	地下水位標高 (T.Pm)	水道水源	水源井 深度(m)	基準点 標高 (T.Pm)	測定水位 (基準点-m)	地下水位標高 (T.Pm)
西部第1水源	158.0	107.56	38.18	69.38	東部第5水源	160	96.64	27.07	69.57
西部第2水源	170.0	104.93	34.38	70.55	東部第6水源	203.5	101.09	31.5	69.59
西部第3水源	159.0	102.4	30.56	71.84	東部第7水源	200.0	96.54	27.64	68.9
西部第4水源	150.0	110.58	38.36	72.22	東部第8水源	250.0	92.48	22.42	70.06
西部第5水源	200.5	99.29	27.52	71.77	東部第9水源	200.0	94.77	22.43	72.34
西部第6水源	151.4	111.27	40.47	70.8	東部第10水源	202.0	95.88	24.66	71.22
西部第7水源	160.25	107.9	37.29	70.61	東部第11水源	200.0	93.29	24.01	69.28
東部第1水源	151.0	104.02	32.96	71.06	東部第12水源	200.0	91.21	21.56	69.65
東部第2水源	150.0	105.42	33.65	71.77	東部第13水源	200.0	97.36	27.37	69.99
東部第3水源	152.0	96.05	24.75	71.3	東部第14水源	200.0	99.52	29.74	69.78
東部第4水源	150.0	98.86	28.47	70.39					

このように、昭和 30 年代ごろに北西方向から流入してきた深層地下水は、平成年代以降、南西方向または南方向から流入する流れに変わったことが確認できる。地下水揚水に伴い、地下水位が変化したことなどが考えられる。後述する周辺の地下水は、水道水源の地下水位変化によらず高い地下水位を保っている。

3-2 地下水位変動

資料分析を行い、市水道水源や東京都の観測井における地下水位の連続観測記録より、1956（昭和 31）年以降の地下水位の経年変動を確認した（図 3-4(1)～(3)、図 3-5(1)～(3)）。

「自然水位」と「揚水水位」

自然水位とは地下水を揚水しない自然の地下水位のことで、揚水水位とは地下水を揚水している際の地下水位のことである。

水道水源の地下水位は、観測開始から 1973（昭和 48）年頃まで低下傾向にあった。1973（昭和 48）年の自然水位は経年的に最も低い地下水位標高 50m 程度（揚水水位で標高 40m 程度）となった。また、周辺の東京都観測井では同時期の地下水位の低下は見られず、1971（昭和 46）年ごろの昭島観測井の地下水位標高は 60m 程度、八王子観測井の地下水位標高は 80m 程度であった。

1973（昭和 48）年以降、地下水位は上昇し続け、地下水位標高 70m 程度まで回復した。また、東京都観測井は緩やかに上昇する傾向であった。地下水位上昇後の地下水位は、水道水源と昭島観測井ともに地下水位標高 70m 程度、八王子観測井で地下水位標高 90m 程度となった。

水道水源と東京都観測井について比較したところ、水道水源の地下水位標高が低い時、昭島観測井や八王子観測井の地下水標高は水道水源に比べて 10～20m 程度高く、地下水位上昇した後も、昭島観測井が水道水源と同等の地下水位標高であったのに対し、八王子観測井は水道水源に比べ 20m 程度高かった。このように、八王子観測井の地下水位標高は水道水源の地下水位標高によらず、水道水源よりも高い傾向があった。地下水位は地下水位標高の高い方から低い方へ流動する。今回の結果は、深層地下水が八王子市側から昭島市へ向かって流れていることを示唆するものと考えられる。

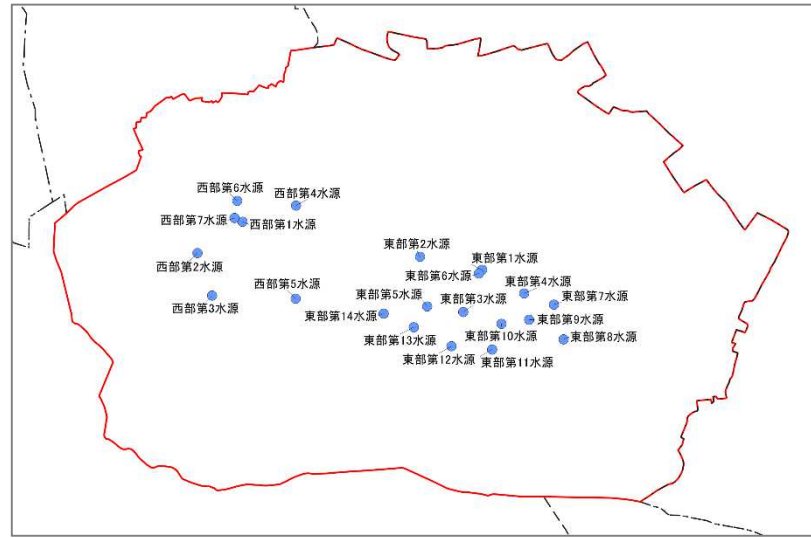


図 3-4(1) 昭島市水道水源における地下水位変動（年平均）

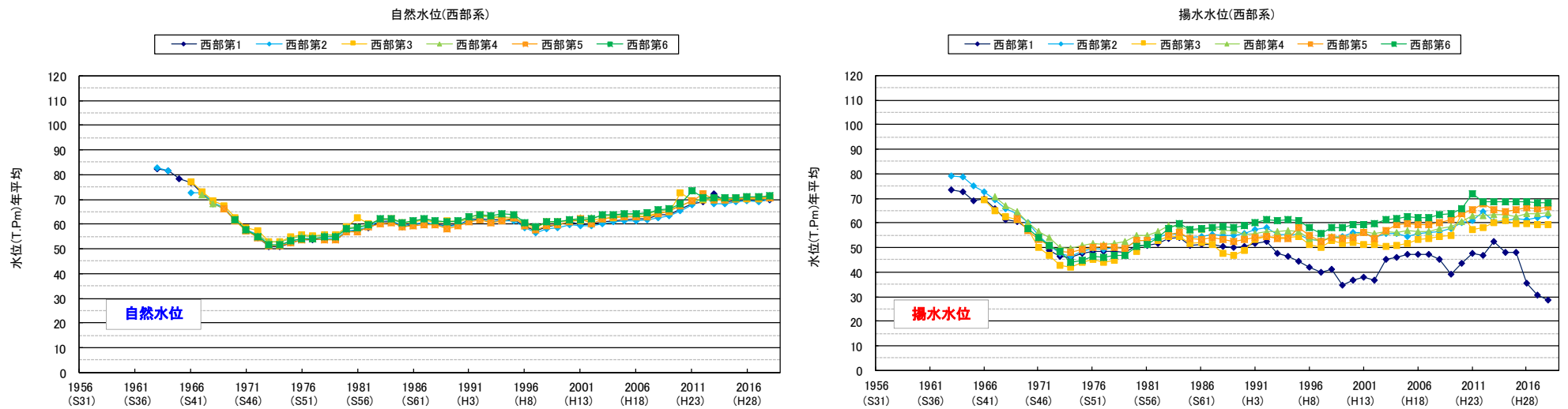


図 3-4(2) 昭島市水道水源における地下水位変動（年平均）【西部系水源】

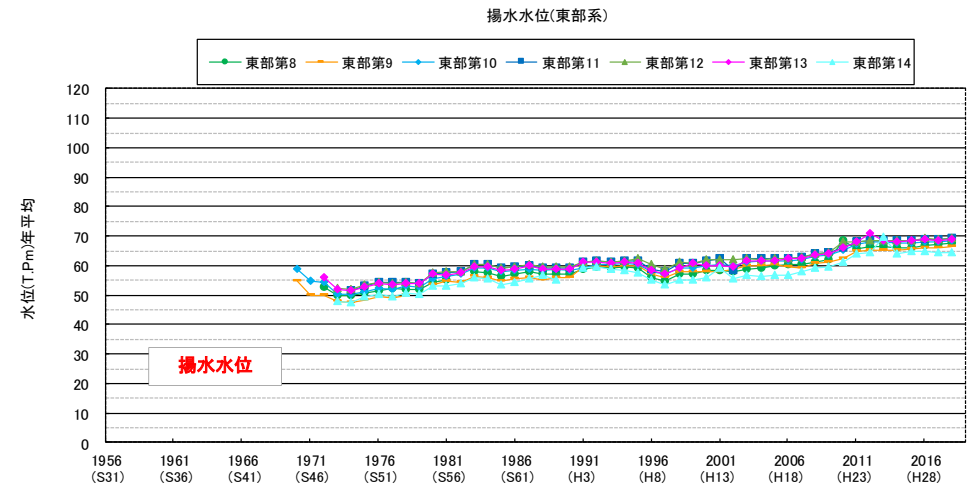
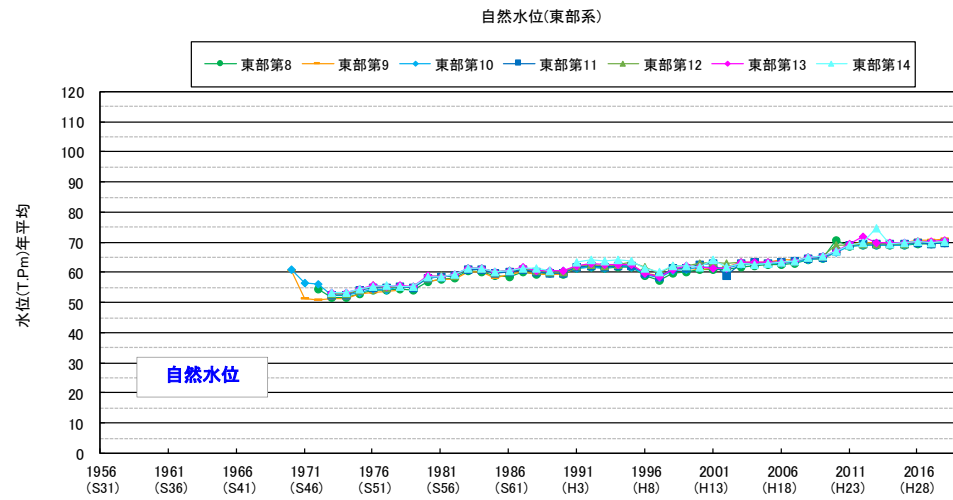
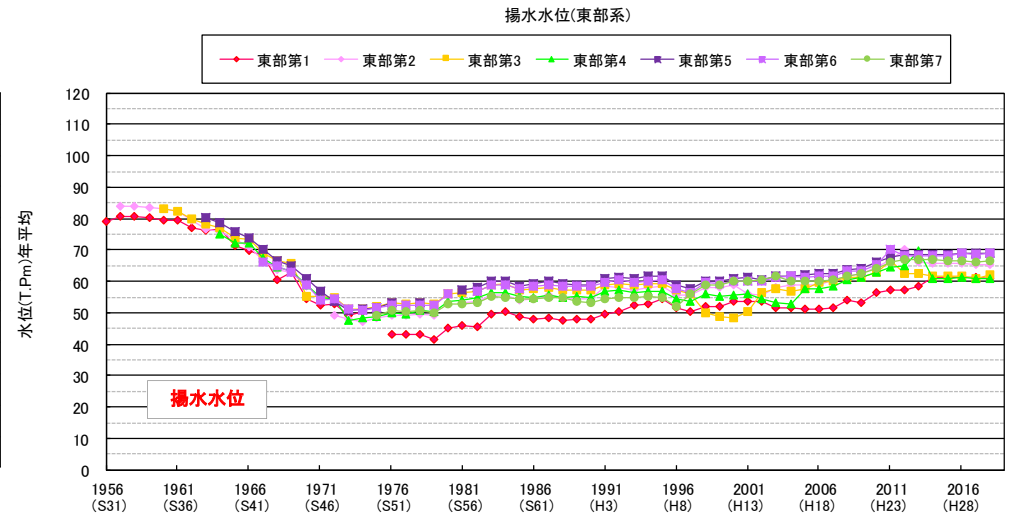
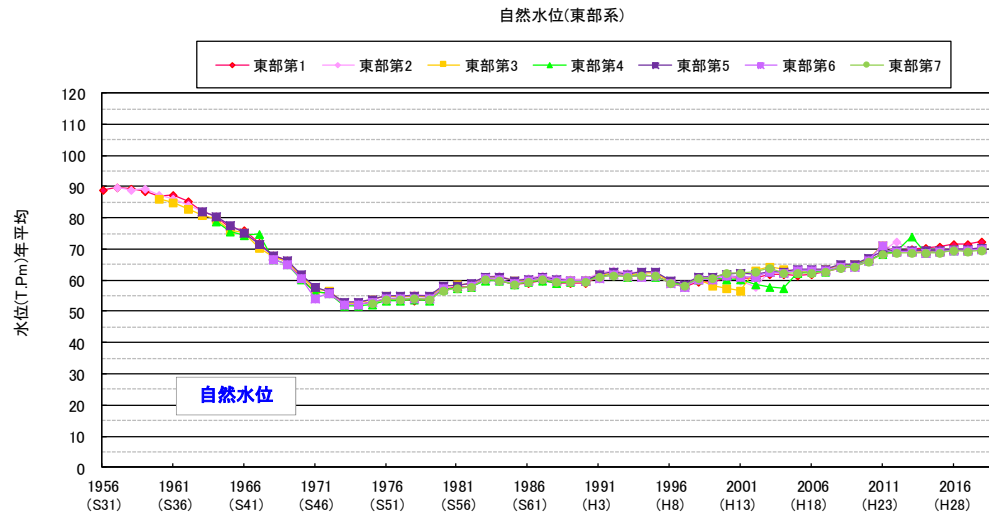


図 3-4 (3) 昭島市水道水源における地下水位変動 (年平均) 【東部系水源】

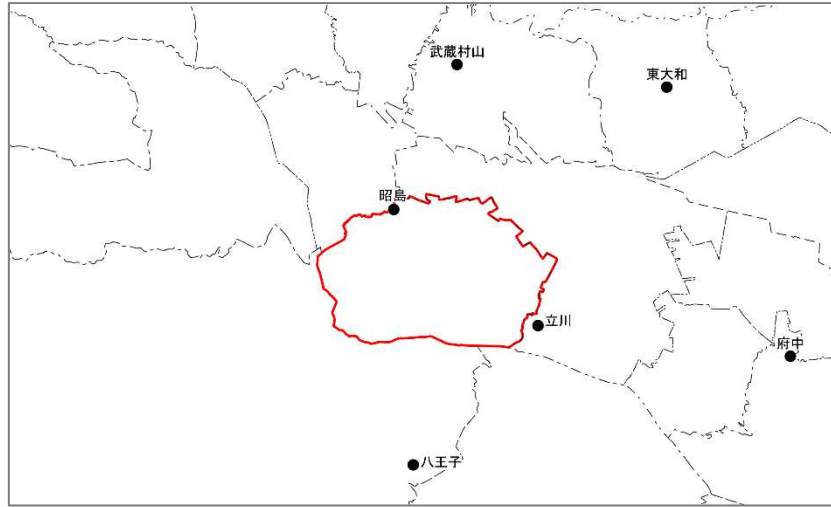


図 3-5(1) 東京都観測井における地下水位変動（月間）

出典「地盤沈下と地下水位の観測記録（平成 30 年）」（東京都土木技術支援・人材育成センター，2019）ほか

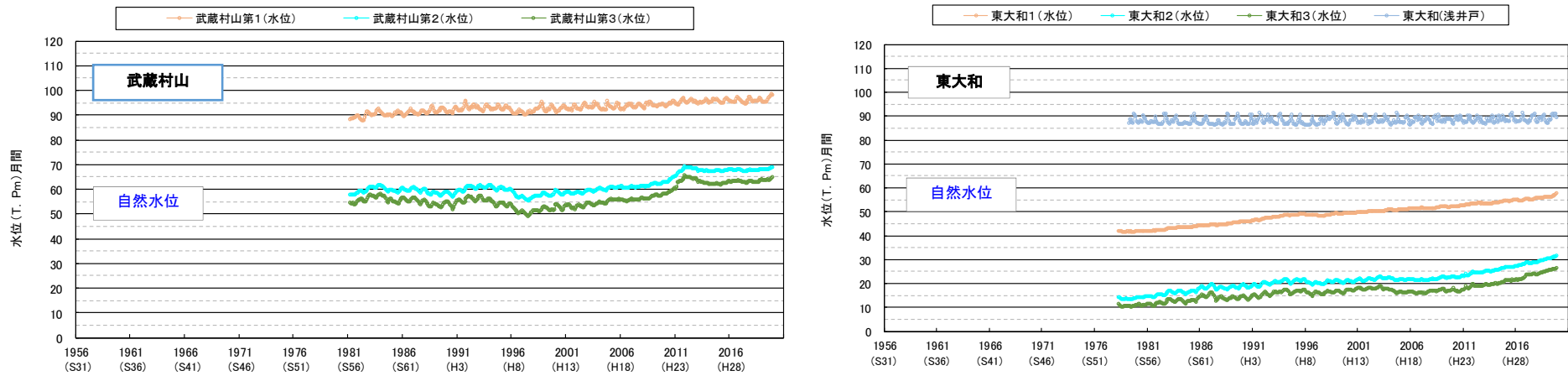


図 3-5(2) 東京都観測井における地下水位変動（月間）

出典「地盤沈下と地下水位の観測記録（平成 30 年）」（東京都土木技術支援・人材育成センター，2019）ほか

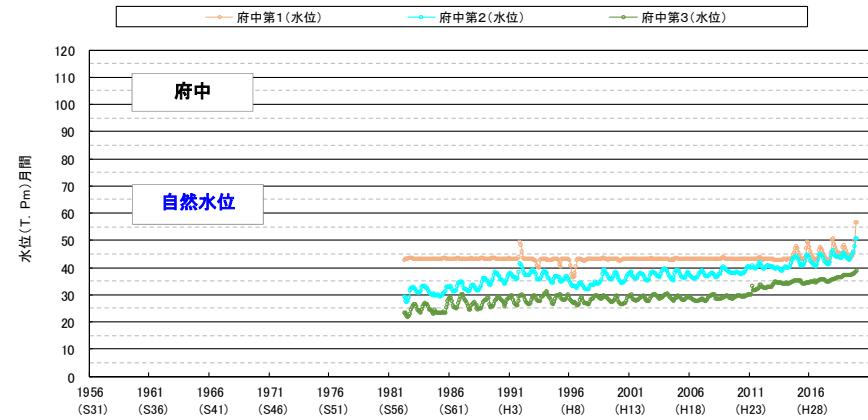
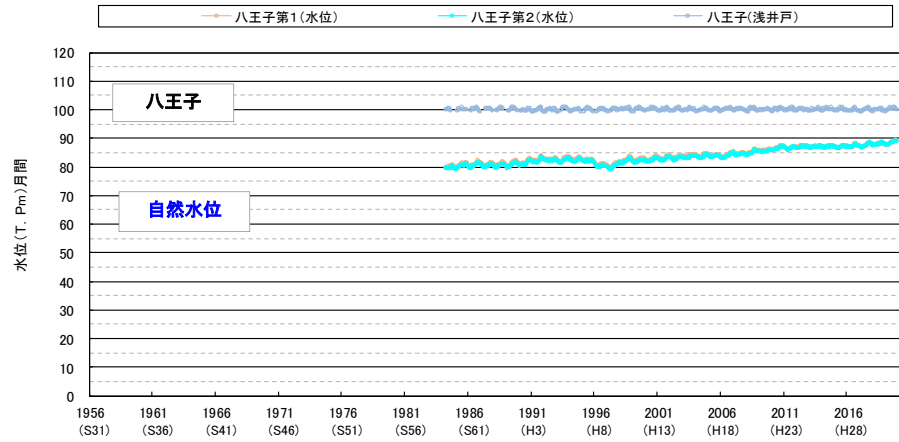
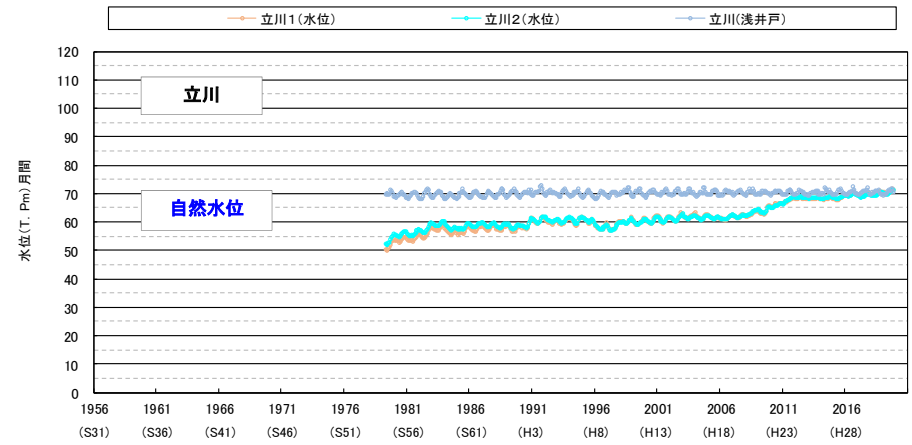
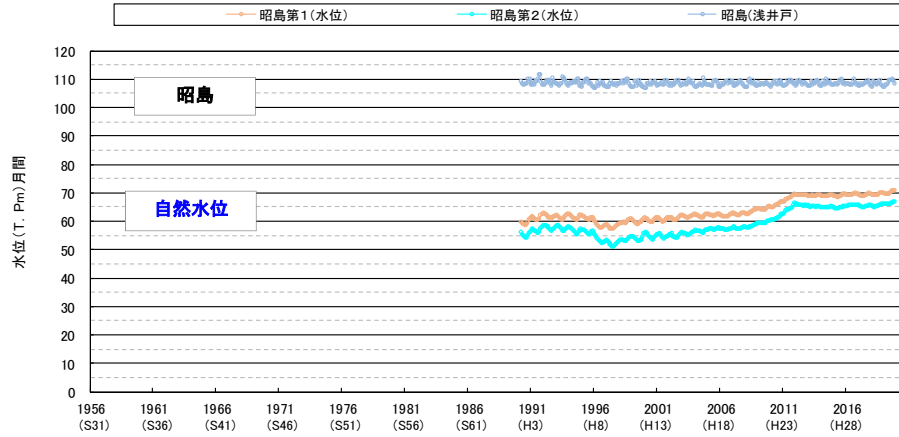


図 3-5(3) 東京都観測井における地下水位変動 (月間)

出典「地盤沈下と地下水位の観測記録 (平成 30 年)」(東京都土木技術支援・人材育成センター, 2019) ほか

4章 地下水の水質

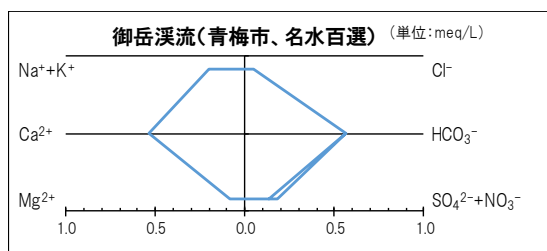
地下水は、降水や河川水の他さまざまな種類の水が変成・混成したものである〔地下水調査および観測指針(案), 1993年〕。地下水中に主要に含まれる成分(主要成分^{※用語集}、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^-)を分析することで、孔内水質^{※用語集}の特徴を把握した。

「ヘキサダイアグラム^{※用語集}」による図化表現

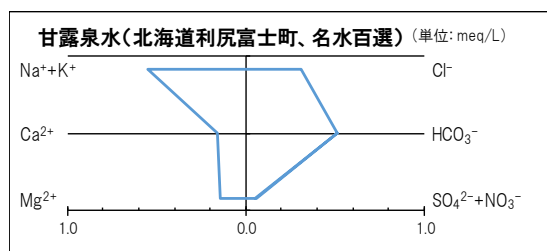
ヘキサダイアグラムとは、主要溶存成分が含まれる濃度を六角形上に図化する表現方法である。その形状や大きさから水質の特徴を把握することができる(図4-1)。

ヘキサダイアの大きさは溶存成分の多さを表すことから、ヘキサダイアグラムの形状が大きいほど、地中で様々な成分を溶存してきた水であることが判明し、流動経路の長い深層の地下水となる傾向がある。

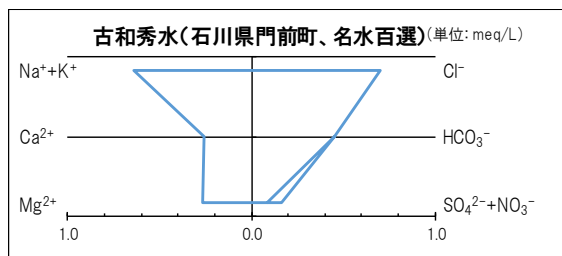
重碳酸イオン(HCO_3^-)やナトリウム・カリウムイオン(Na^+ 、 K^+)が豊富である水は、流動経路の長い深層の地下水となっていることが判明している。



(a) カルシウムイオン (Ca^{2+}) と重碳酸イオン (HCO_3^-) が豊富な水の例



(b) ナトリウム・カリウムイオン (Na^+ 、 K^+) と重碳酸イオン (HCO_3^-) が豊富な水の例



(c) ナトリウム・カリウムイオン (Na^+ 、 K^+) および塩化物イオン (Cl^-) と重碳酸イオン (HCO_3^-) が豊富な水の例

図 4-1 ヘキサダイアグラムの例

出典「地下水水質の基礎—名水から地下水汚染まで—」(日本地下水学会編, 2000年)のデータに基づき作成

4-1 水源井の孔内水質

地下水は透水性の良い地層（帯水層※用語集）を流れることが知られている。水源井流動（帯水層）調査では、水源井しゅんせつ改修工事にあわせ、帯水層付近に取り付けられるスクリーン※用語集ごとの孔内水を採水し（表 4-1）、「主要成分（主成分イオン）」を分析することで、孔内水質の鉛直分布を把握した。なお、採水作業は十分な静置期間を経て十分な排水を行った上で実施した。採水試料は後述する涵養標高の推計や年代測定にも利用した。

「水源井しゅんせつ改修工事」

水源井の湧出能力の低下防止の為、ブラッシング等で井戸内を清掃する。また、長期間使用しているモーターポンプを交換し、揚水量の確保を目的とする。

表 4-1 昭島市の水道水源と調査対象

水道水源	竣工年月	水源井深度(m)	帯水層 箇所数	水源井流動 (帯水層) 調査	水源井しゅんせつ 改修工事 年月	水道水源	竣工年月	水源井深度(m)	帯水層 箇所数	水源井流動 (帯水層) 調査	水源井しゅんせつ 改修工事 実施年月
西部第1水源	1963(S38)/8	158.0	4	○	2002(H14)/12	東部第6水源	1967(S42)/3	203.5	4	○	2003(H15)/1
西部第2水源	1963(S38)/4	170.0	5	—	2017(H29)/11	東部第7水源	1974(S49)/2	200.0	4	—	2020(R2)/11
西部第3水源	1965(S40)/9	159.0	6	○	2020(R2)/12	東部第8水源	1970(S45)/12	250.0	3	○	2003(H15)/11
西部第4水源	1965(S40)/11	150.0	5	○	2020(R2)/1	東部第9水源	1970(S45)/3	200.0	5	—	2007(H19)/11
西部第5水源	1994(H6)/10	200.5	6	○	2003(H15)/10	東部第10水源	1969(S44)/6	202.0	7	—	2020(R2)/9
西部第6水源	1969(S44)/3	151.4	6	○	2021(R3)/9	東部第11水源	1973(S48)/3	200.0	5	○	2021(R3)/11
西部第7水源	2019(H31)/3	160.25	4	—	—	東部第12水源	1972(S47)/3	200.0	4	—	2021(R3)/8
東部第1水源	1954(S29)/7	151.0	2	—	2019(R元)/9	東部第13水源	1971(S46)/12	200.0	5	○	2022(R4)/1
東部第2水源	1956(S31)/3	150.0	5	○	2020(R2)/10	東部第14水源	1973(S48)/2	200.0	5	—	2013(H25)/2
東部第3水源	1959(S34)/5	152.0	4	—	2019(R元)/10	北部第1水源	2012(H24)/12	300.0	3	—	—
東部第4水源	1960(S35)/11	150.0	4	○	2019(R元)/11	北部第2水源	2012(H24)/12	250.0	3	—	—
東部第5水源	1962(S37)/8	160.0	3	—	2018(H30)/9						

2019(R元)年度～2021(R3)年度調査

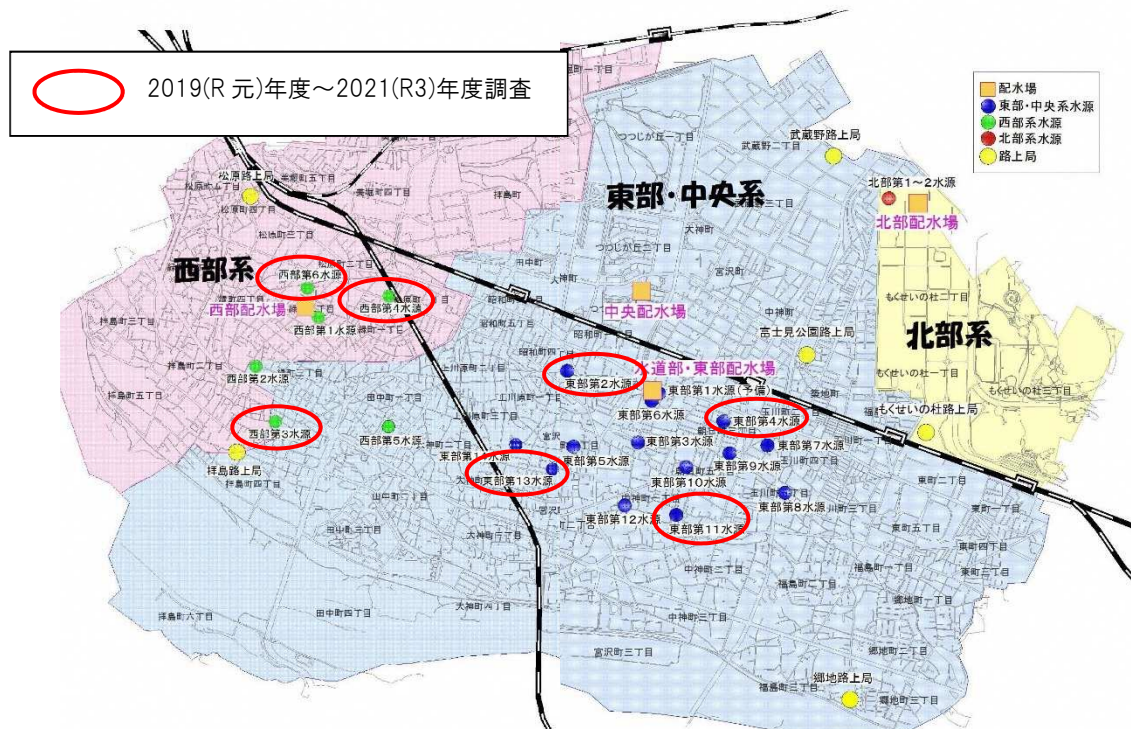


図 4-2 水源井流動（帯水層）調査の対象

出典「第二次昭島市水道事業基本計画（昭島市水道部，2018年）」に加筆

①孔内水質の平面分布

水源井孔内水質におけるヘキサダイアグラムの平面分布（最も浅いスクリーン）を作成すると、(図 4-3) のとおりとなる。西部系水源および東部系水源ともに、ヘキサダイアグラムの形状は概ね類似しており、カルシウムイオン (Ca^{2+}) と重炭酸イオン (HCO_3^-) が豊富な地下水であった。ただし、西部系水源と東部系水源を比べると、東部系水源の方がヘキサダイアグラムの形状が大きく、東部系水源の中でも特に東部第 4 水源および東部第 6 水源がカルシウムイオン (Ca^{2+}) 及び重炭酸イオン (HCO_3^-) が豊富であった。

②孔内水質の鉛直分布

水源井のスクリーンごとにヘキサダイアグラムを作り、柱状図や帯水層区間とあわせて、西部系水源の孔内水質の鉛直分布を作成すると (図 4-4) となる。西部第 6 水源第 6 層では、ヘキサダイアグラムが大きく、ナトリウム・カリウムイオン (Na^+K^+) とともに塩化物イオン (Cl^-) が多く含まれるなどナトリウム・カリウムイオン (Na^+K^+) の多い深層地下水の特徴を示した。

同様にヘキサダイアグラムを作り、東部系水源の孔内水質の鉛直分布を作成すると (図 4-5) のとおりとなる。2003(平成 13)年に調査分析した東部第 8 水源第 5 層・第 6 層では、ヘキサダイアグラムが大きく、ナトリウム・カリウムイオン (Na^+K^+) とともに重炭酸イオン (HCO_3^-) が多く含まれるなど、ナトリウム・カリウムイオン (Na^+K^+) の多い深層地下水の特徴を示していた。今回調査した東部第 13 水源第 5 層では、ヘキサダイアグラムが大きく、ナトリウム・カリウムイオン (Na^+K^+) とともに塩化物イオン (Cl^-) が多く含まれるなど、ナトリウム・カリウムイオン (Na^+K^+) の多い深層地下水の特徴を示した。

孔内水質の鉛直分布をみると、西部系水源および東部系水源いずれも、深いスクリーンにおいて、ナトリウム・カリウムイオン (Na^+K^+) の多い深層地下水が確認された。

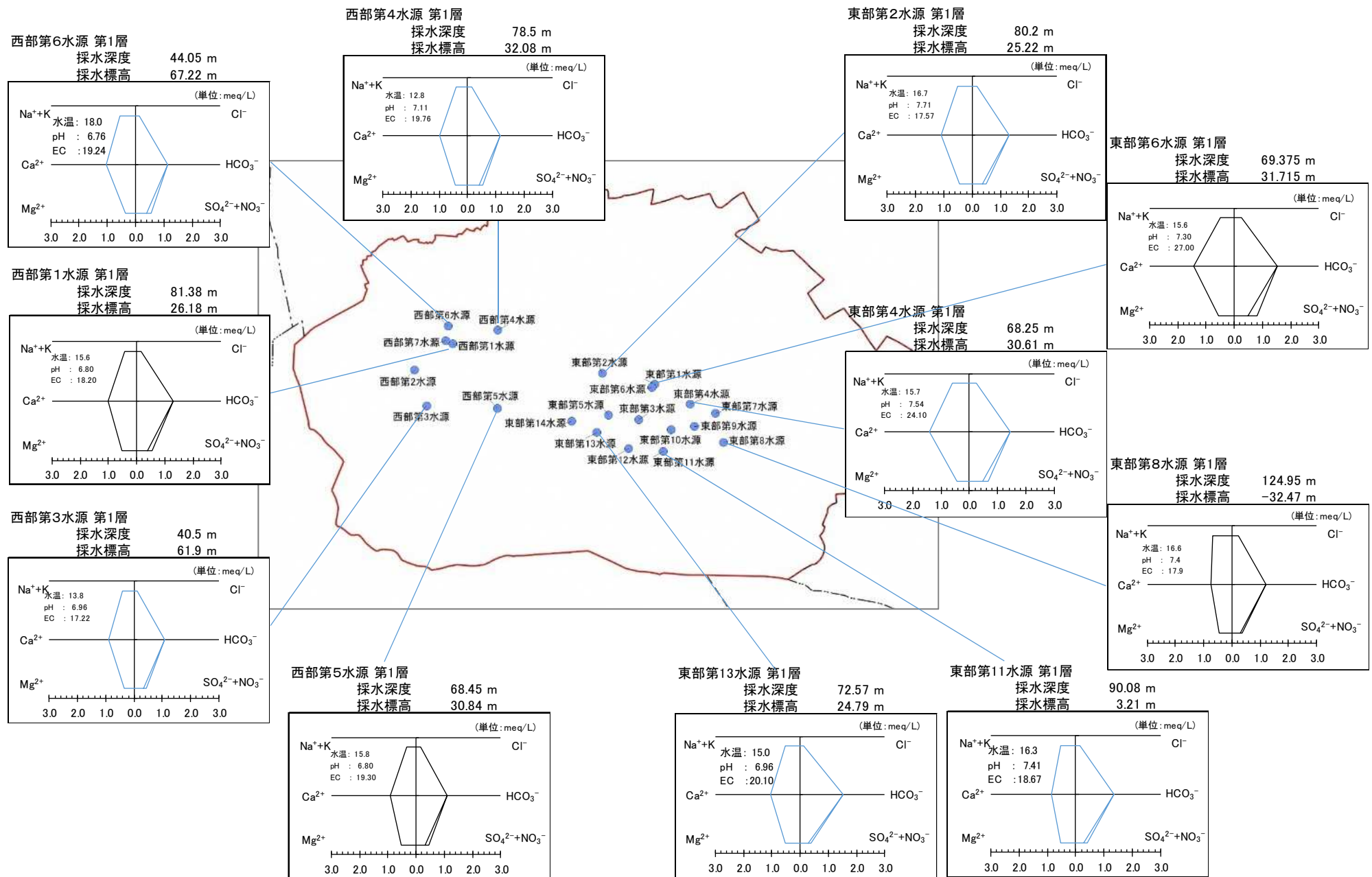


図 4-3 水源井孔内水質の平面分布

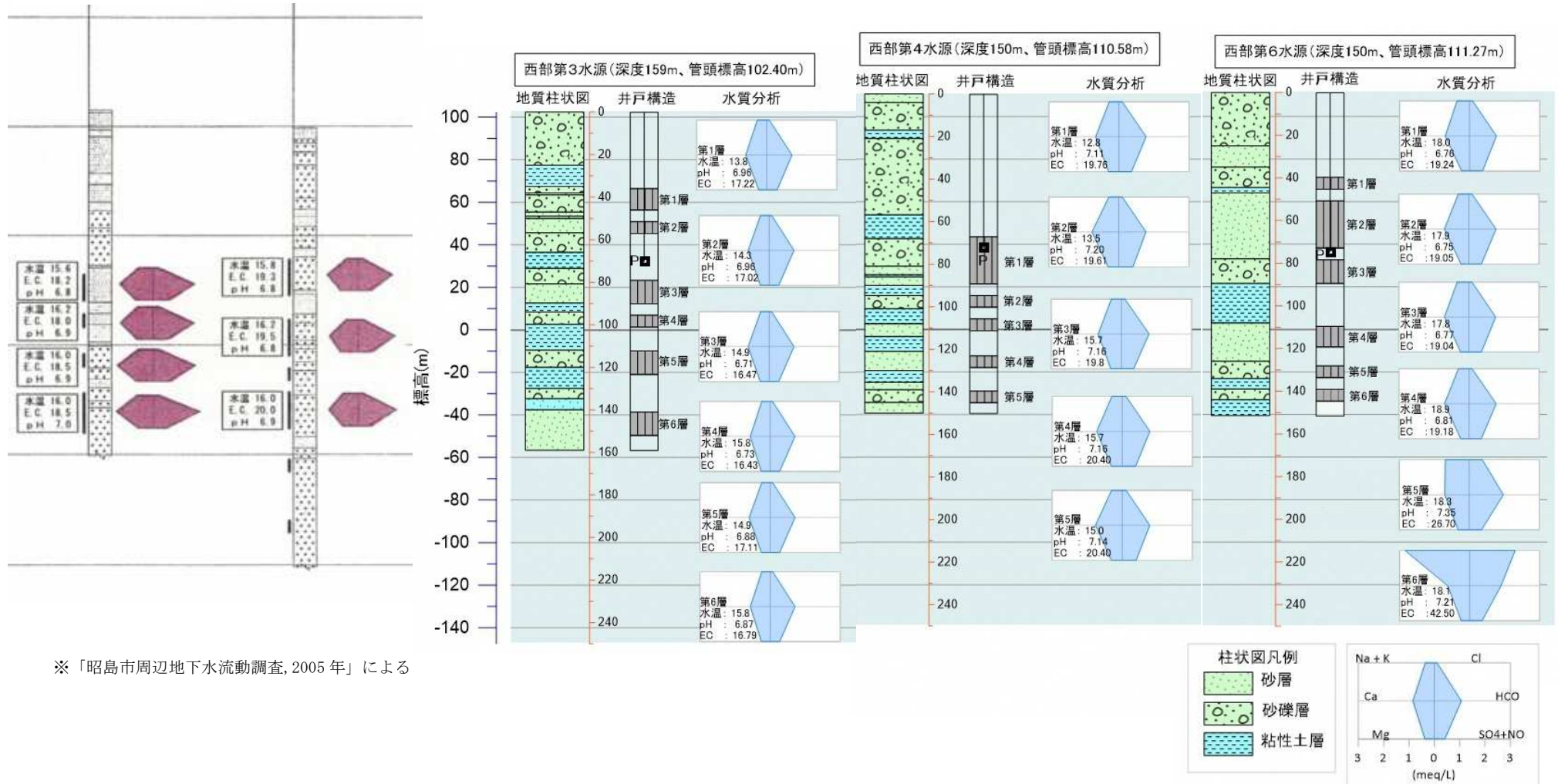
西部第1水源*

西部第5水源*

西部第3水源

西部第4水源

西部第6水源



*「昭島市周辺地下水流動調査, 2005年」による

図 4-4 水源井孔内水質の鉛直分布 (西部系水源)

東部第6水源*

東部第8水源*

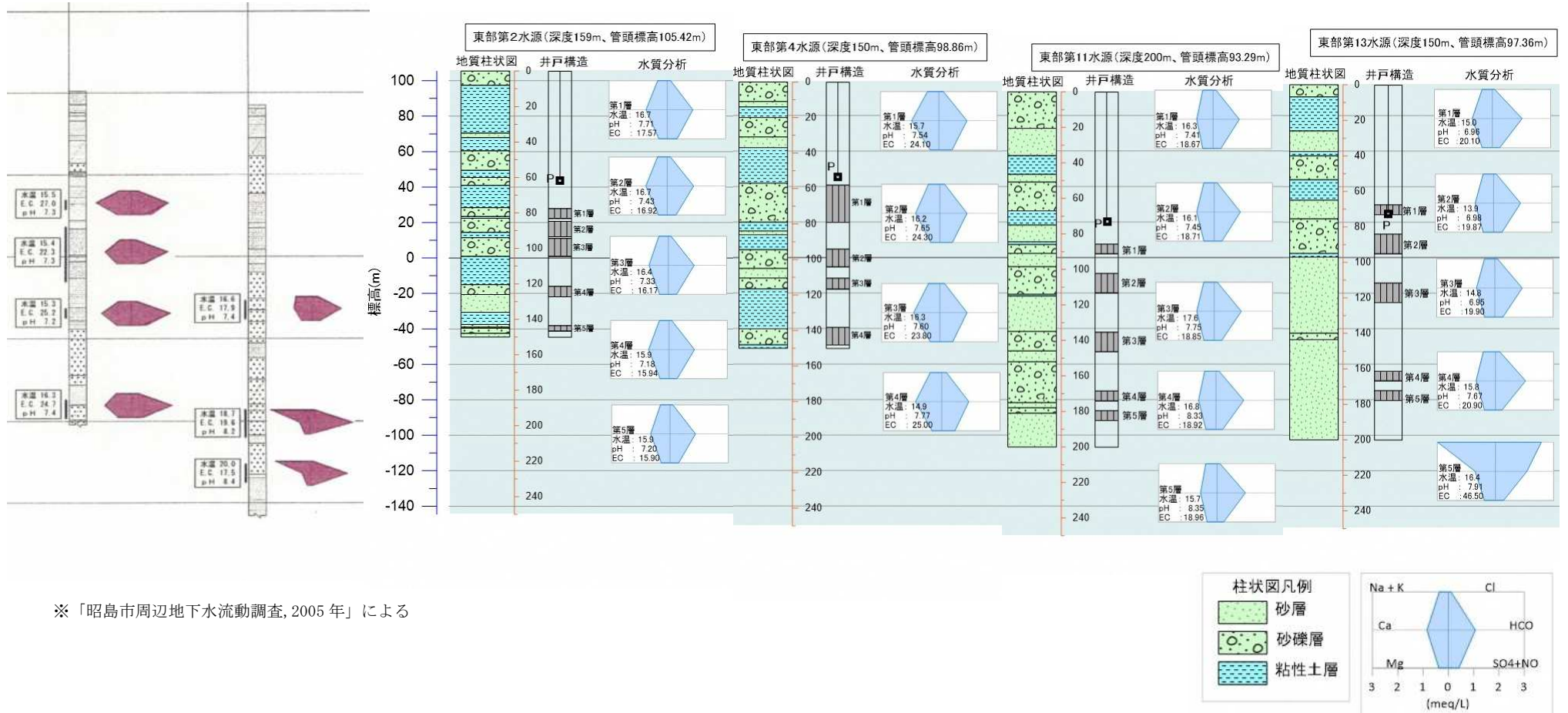
東部第2水源

東部第4水源

東部第11水源

東部第13水源

61



* 「昭島市周辺地下水流動調査, 2005年」による

図 4-5 水源井孔内水質の鉛直分布 (東部系水源)

4-2 周辺地下水・河川水の水質

地下水流動機構及び涵養^{※用語集}の調査における対象地点一覧を（表 4-2）に示す。

東京都技術支援・人材支援センターの協力を得て昭島市周辺の東京都地下水観測井から採水・分析するとともに、河川水と地下水の関係を調べるための周辺河川水の採水・分析も実施した。

表 4-2 地下水流動機構及び涵養の調査地点

区分	地点名	諸元等
周辺地下水 (東京都 観測井)	武蔵村山 第3	・地盤高 124.5m、深度 280m、スクリーン深度 254m～265m
	昭島 第2	・地盤高 119.3m、深度 236m、スクリーン深度 187m～210m
	立川 第2	・地盤高 75.0m、深度 280m、スクリーン深度 238m～255m
	八王子 第2	・地盤高 109.1m、深度 220m、スクリーン深度 148m～175m
河川水	R2	・浅川、場所：八王子市
	R3	・秋川、場所：あきる野市
	R4	・平井川、場所：日の出町
	R5	・多摩川、場所：羽村市
	R6	・谷地川、場所：八王子市

「河川水と地下水の関係」

多摩川には、下流にいくにつれて河川の流量が減少する減水区間が存在することが知られている。このメカニズムとしては、河川水が減水区間を通じて地下に浸透し、地下水となっていることが考えられる（いわゆる「多摩川からの涵養」現象）。

多摩川と同様、浅川にも減水区間が存在し、河床に上総層群が露岩することから、河川水が露岩する上総層群を通じて地下に浸透し、深層地下水となっていることが知られている（図 4-6）。

浅川や多摩川と水質が類似し、河床に上総層群が露岩するなどの背景要因が存在する場合、その水は地下に浸透して深層地下水となっている可能性がある。

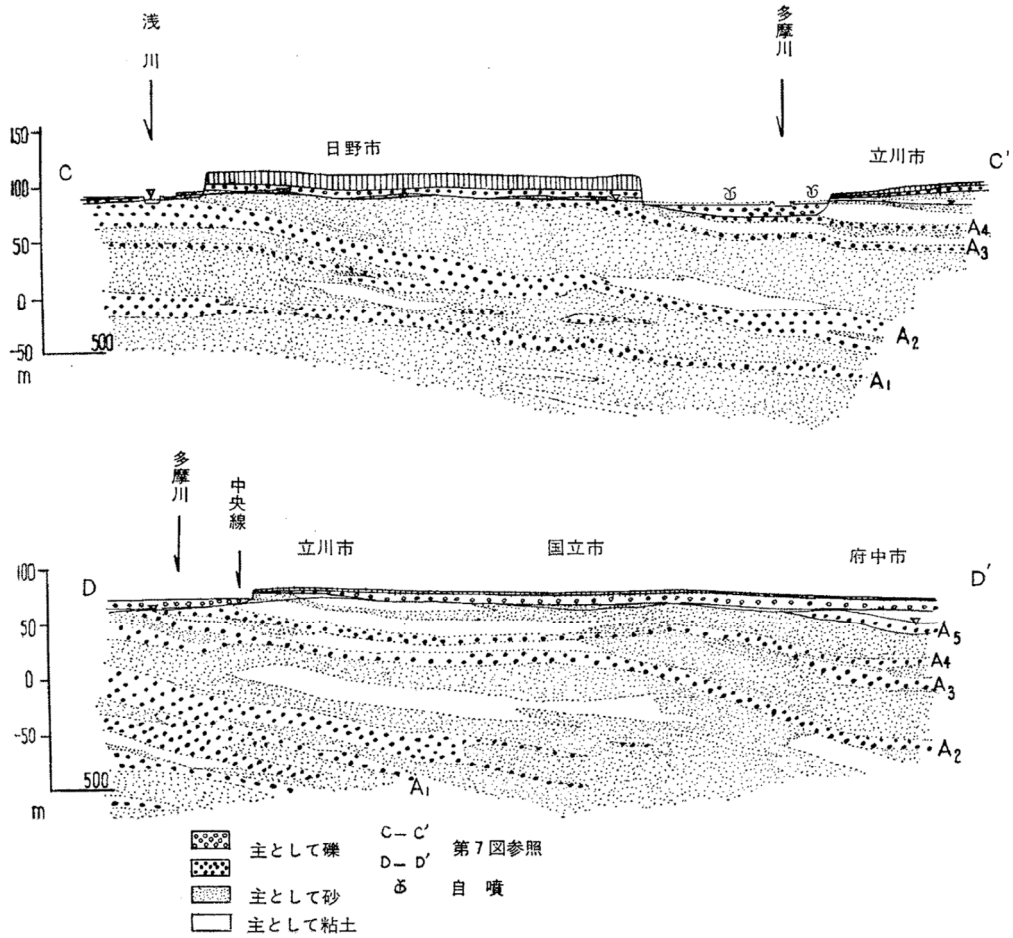
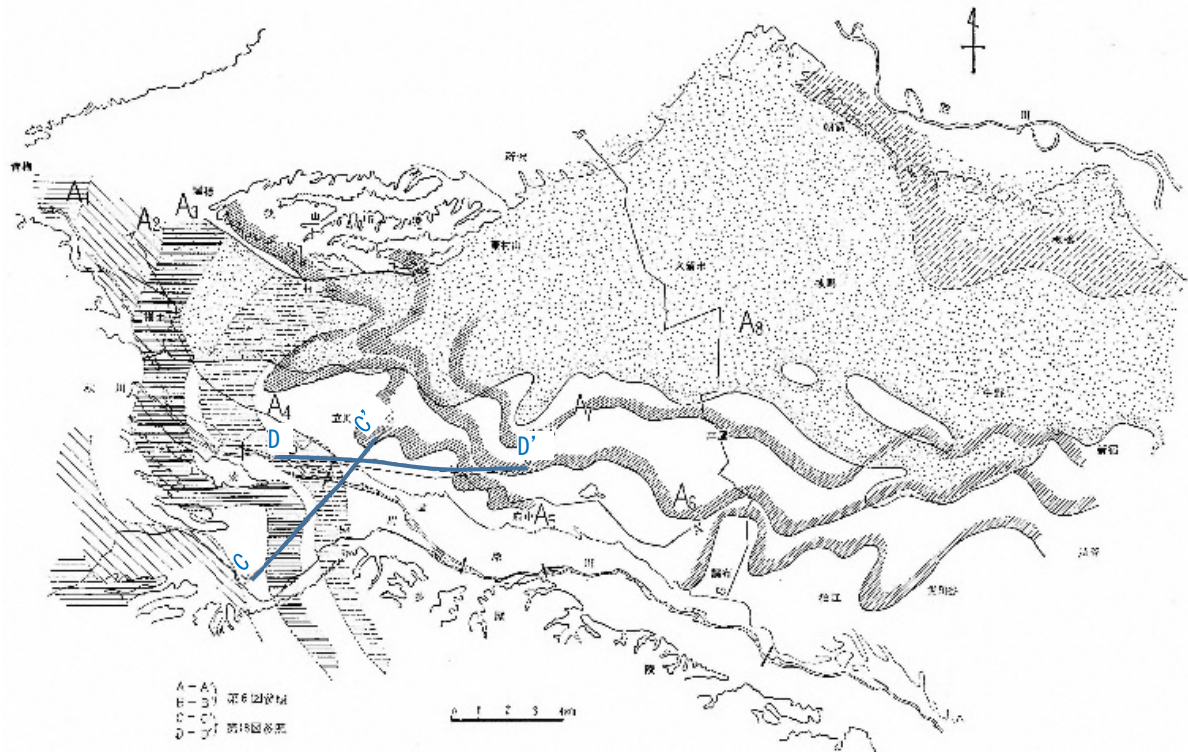


図 4-6 浅川・多摩川に露岩する地質

出典「武蔵野台地の水文地質」(新藤静夫, 1968年)

①周辺地下水・河川水の水質分布

採水した地下水・河川水について、主成分イオン分析を実施し、前節 4-1 水源井の孔内水質と同様の方法でヘキサダイアグラムを作成した。水質分布図を（図 4-7）に示す。

周辺地下水のヘキサダイアグラムは、重炭酸イオン（ HCO_3^- ）の豊富な深層地下水の特徴を示した。このうち、昭島第 2 観測井、立川第 2 観測井、武蔵村山第 3 観測井は、重炭酸イオン（ HCO_3^- ）以外にナトリウム・カリウムイオン（ $\text{Na}^+\text{+K}^+$ ）が豊富な地下水であったのに対し、八王子第 2 観測井は、重炭酸イオン（ HCO_3^- ）以外にナトリウム・カリウムイオン（ $\text{Na}^+\text{+K}^+$ ）とカルシウムイオン（ Ca^{2+} ）が豊富な地下水であった。

一方で、河川水・湧水はいずれもカルシウムイオン（ Ca^{2+} ）と重炭酸イオン（ HCO_3^- ）の比較的多い水質であり、多摩川、秋川のヘキサダイアグラムに比べて、浅川、谷地川、平井川のヘキサダイアグラムの方が大きい傾向があった。このうち、多摩川と秋川のヘキサダイアグラムは類似していた。これまで多摩川の水は涵養されて深層地下水の一部となっていることが知られているが、水質的な観点から考えて、秋川の水も涵養されて深層地下水の一部となっているものと考えられる。

平井川、谷地川、浅川のヘキサダイアグラムは類似するが、いずれの地点も上総層群を開析する河川である。浅川の採水地点付近は、河床に上総層群が露岩し、上総層群を通じて河川水が地下に浸透し、深層地下水の一部となっていることが知られている。

水質的な観点から考えて、平井川、谷地川の河川水も河床に露岩する上総層群を通じて地下に浸透し、深層地下水の一部となっているものと考えられる。

②周辺地下水・河川水の水質と地質縦断

河川水と地下水と地質との関係を推察するために、（図 4-7）に示す地質縦断図上で周辺地下水・河川水のヘキサダイアグラムを並べると（図 4-8）のとおりとなる。

地質縦断のうち東久留米層に注目すると、上流側から八王子第 2 観測井、昭島第 2 観測井、東部第 8 水源、立川第 2 観測井のスクリーンは、東久留米層の基底付近（お盆の底付近）に位置する。これらの観測井のヘキサダイアグラムは、形状が類似しているだけでなく、豊富なイオンは概ね維持したままで、上流から下流に行くにつれてヘキサダイアグラムの形状が大きくなっている。東部第 8 水源で確認されたナトリウム・カリウムイオン（ $\text{Na}^+\text{+K}^+$ ）と重炭酸イオン（ HCO_3^- ）の豊富な地下水は、東久留米層の基底の形状に沿って流動しているものと考えられる。

さらに、このタイプの深層地下水の起源を推察すると、浅川や多摩川のヘキサダイアグラムは、上述した深層地下水よりも、ナトリウム・カリウムイオン（ $\text{Na}^+\text{+K}^+$ ）と重炭酸イオン（ HCO_3^- ）が少なくなっている。東久留米層は浅川や多摩川、谷地川の河床で露岩していることから、ナトリウム・カリウムイオン（ $\text{Na}^+\text{+K}^+$ ）の比較的小さい河川水が河床の露岩部を通じて地下に浸透し、深層地下水に至る過程の中でナトリウム・カリウムイオン（ $\text{Na}^+\text{+K}^+$ ）の濃度が大きくなったのではないかと推察される。

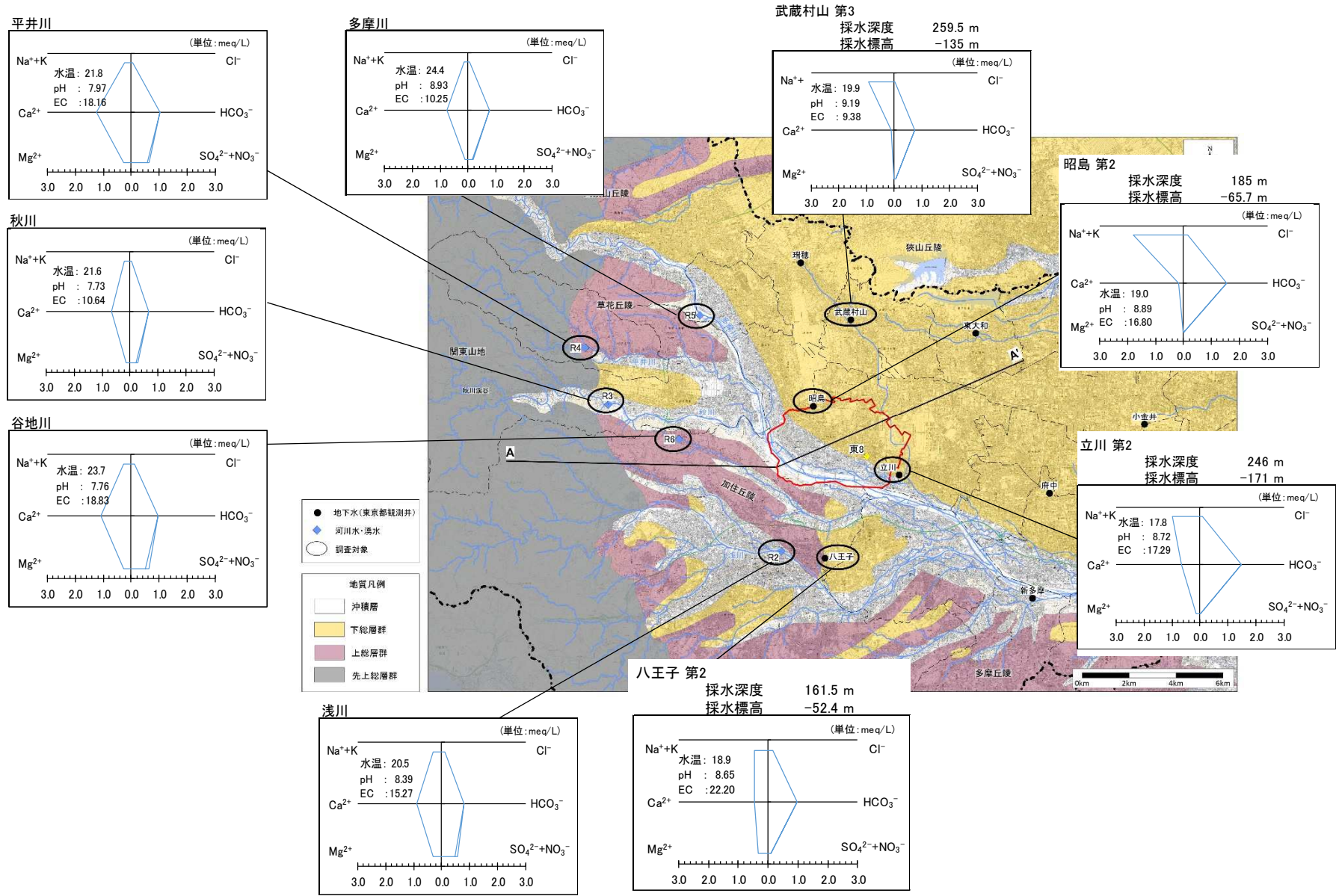
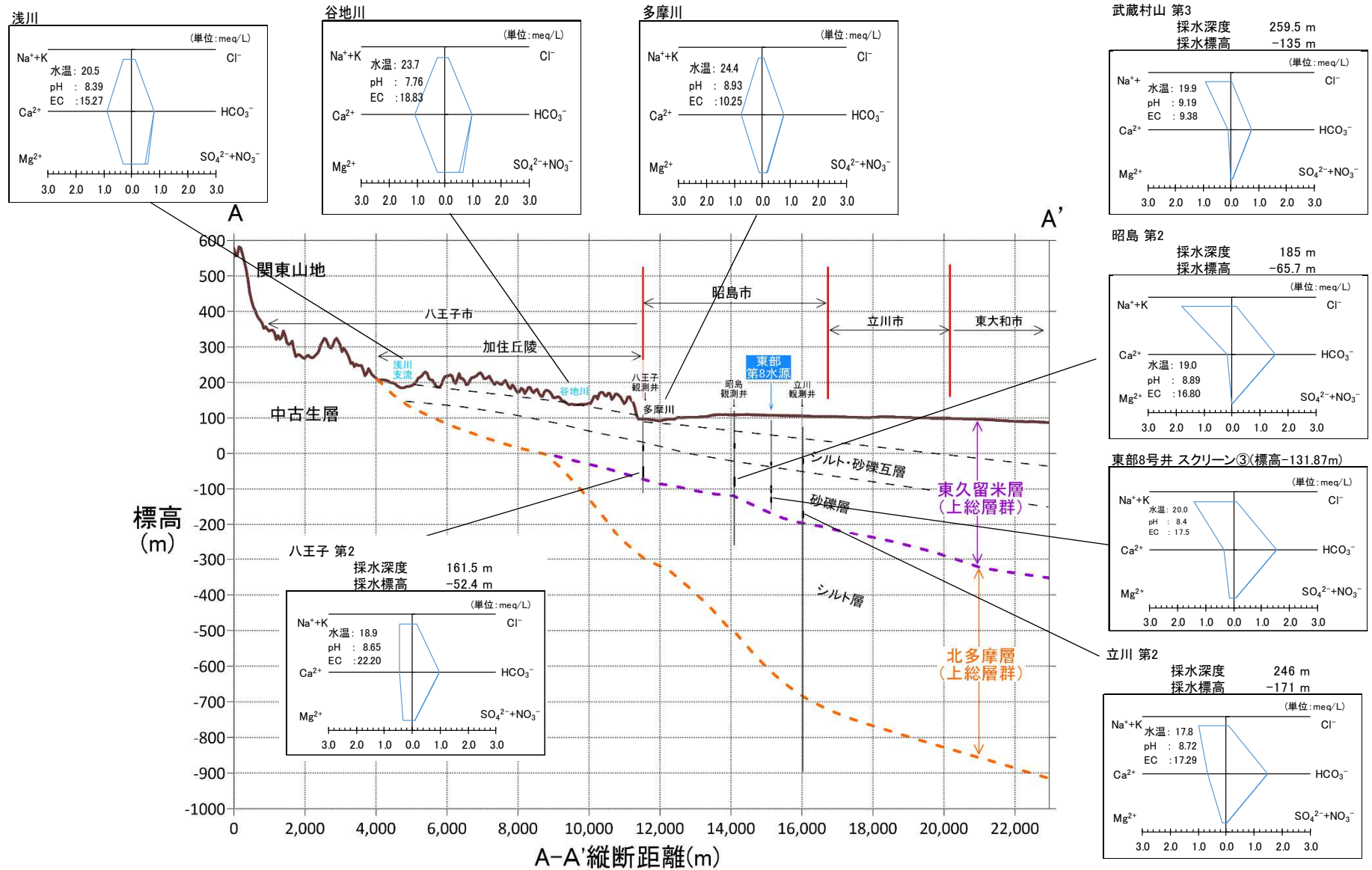


図 4-7 周辺地下水・河川水の水質分布

出典：地質は「アーバンクボタ No. 27 (1988年3月発行)」、背景地図は「数値地図 25000(地図画像) 拝島 (H19. 8. 1 発行)」による



出典：地質境界は「多摩川中上流域上総層群調査研究プロジェクト報告書（多摩川中上流域上総層群調査研究プロジェクト実行委員会, 2020年）」他に基づく

5章 地下水の涵養標高と年代

地下水の涵養標高と年代測定を行うことで、深層地下水の起源地（涵養源）を検討した。

5-1 涵養標高

地下水が降水として涵養した際の標高（涵養標高）について、「酸素・水素安定同位体比^{※用語集}」から推計した。

「酸素・水素安定同位体」による涵養標高の推計

酸素・水素安定同位体は地下水中で安定しているため、降水が地中に浸透した際の状況を保持する。

関東地方の降水に関する酸素・水素安定同位体比（縦軸に水素安定同位体比、横軸に酸素安定同位体比、単位は千分偏差[‰]パーミル）は（図 5-1）のとおりである[一柳・田上, 2016]。あわせて提供いただいた採水標高データから水素安定同位体比と標高の関係である涵養標高ラインが作成でき、例えば昭島市諏訪神社湧水の涵養標高を求めると、（図 5-2）のとおりとなる。

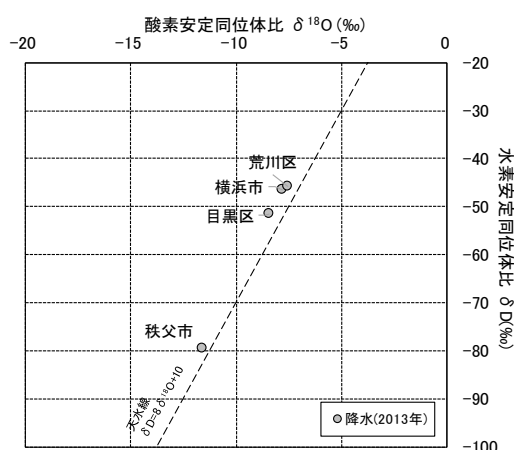
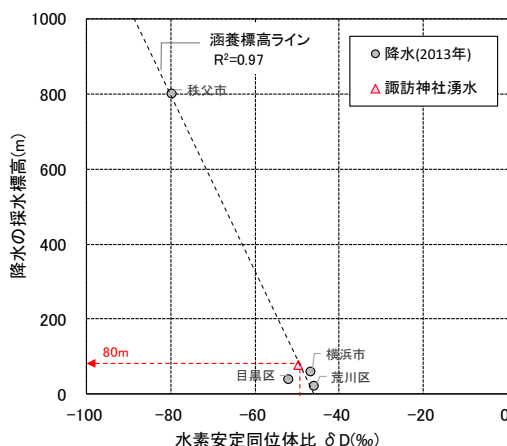


図 5-1 昭島市周辺における降水の安定同位体比

出典)「日本全域における降水の安定同位体比-2013年集中観測の結果より-」(一柳・田上, 2016)に基づく



<涵養標高の推計の例>

- ・ 諏訪神社の水素安定同位体比を涵養標高ラインの式に挿入すると、涵養標高は標高 80m と推計できる。

図 5-2 降水の安定同位体比による涵養標高ラインと推計の例

出典)「日本全域における降水の安定同位体比-2013年集中観測の結果より-」(一柳・田上, 2016)に基づく

出典) 諏訪神社湧水の水素安定同位体比は昭島市調査による

①周辺地下水・河川水における涵養標高の推計

酸素・水素安定同位体分析の結果から涵養標高を推計した。その結果、昭島市に流入すると考えられる周辺地下水・河川水の涵養標高は概ね 154～480m となった（図 5-3）。

なお、八王子第 2 観測井の標高は、154.0m であるが、水質分類上、水源井と同じ水質であり、水理地質的にも昭島市へ流入するものと推察する。多摩川の涵養標高は標高 479.6m であったが、6 章にて後述する水収支の結果からも多摩川の涵養は昭島市の地下水に寄与している。

②水源井における涵養標高の推計

同じように、水源井流動調査で採水した水源井の平均の酸素・水素安定同位体比を用いて涵養標高を求めると 219～296m となった（図 5-4）。

最も涵養標高が低いのは、西部第 5 水源の標高 219.2m、最も涵養標高が高いのは東部第 2 水源の 296.0m となった。

このように、周辺観測井から周辺河川水まで、湧水を除く地下水・河川水は、昭島市の深層地下水に寄与しているものと考えられる。

したがって、昭島市周辺を含む深層地下水は、概ね標高 154～480m 付近に降った雨が涵養されて、昭島市へ流入したものと考えられる。

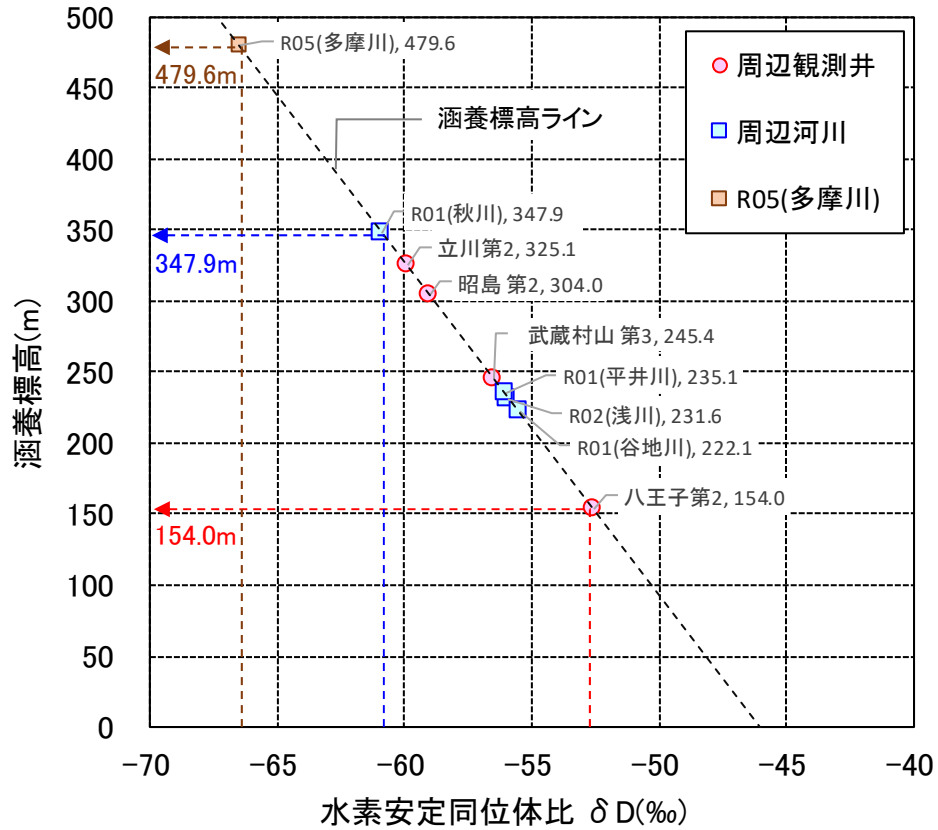


図 5-3 涵養標高の推計（周辺地下水・河川水）

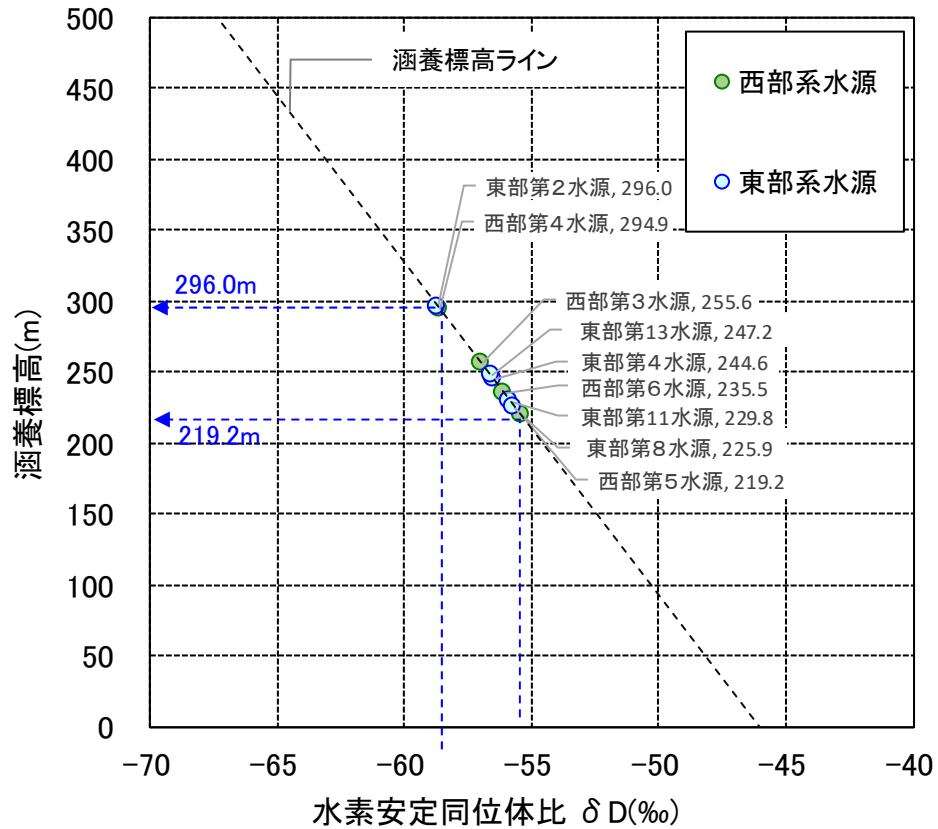


図 5-4 涵養標高の推計（水源井）

5-2 年代測定

地下水の流動経路と関係の深い滞留時間を求めるため、「トリチウム^{※用語集}」による「年代測定（滞留時間^{※用語集}の推定）」を実施した。

「トリチウム^{※用語集}」による年代測定

トリチウムは、1960年代の降水中に多く含まれる放射性同位体であり、最近までの降水中濃度が明らかになっている物質である（図 5-5）。トリチウムによる年代推定は、減衰率を傾きとする解析直線が、降水中のトリチウム濃度（降水曲線）と交わる位置を求めるものである。たとえば、採水した試料が 5.0（TU）だった場合の解析直線は 1960年代後半の降水曲線と交わることから（図 5-6）、1960年代後半の降水（すなわち涵養から 50年程度経過した水）であると推定される。なお、涵養してからの経過年数のことを地下水の滞留時間^{※用語集}ともいう。

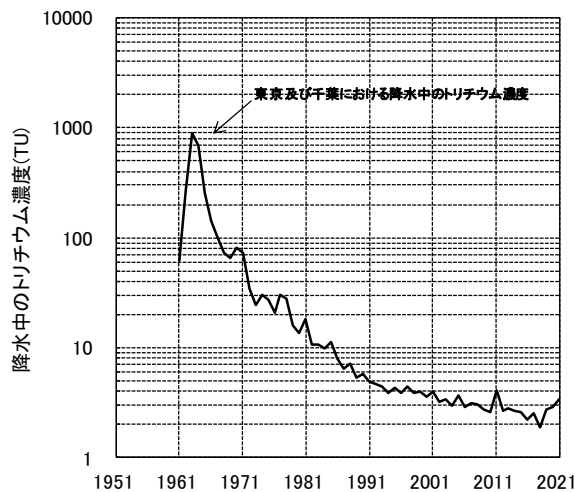


図 5-5 降水中のトリチウム濃度

出典：環境放射線データベースより

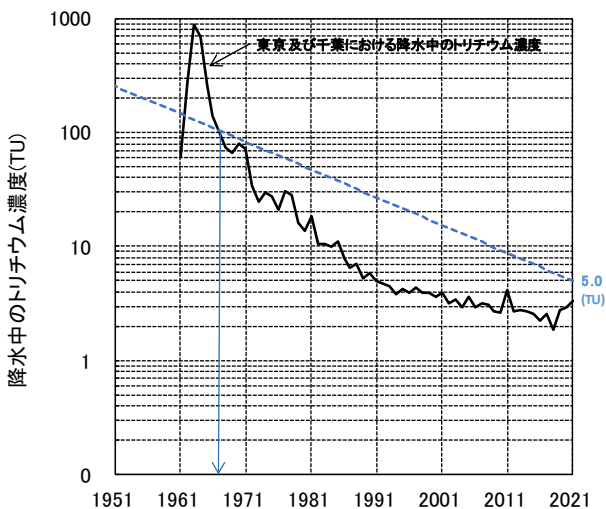


図 5-6 降水中のトリチウム濃度（降水曲線）と解析直線

＜分析値と解析直線＞

・トリチウム濃度は、次の放射壊変の式に基づき減衰する。N は分析値であり、この式から t=1、2、・・・n 年としたときの N_0 を求めると、減衰率を傾きとする解析直線が作成できる。

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{12.33}}$$

ここで、t：滞留時間、 N_0 ：初期値、N：現在の値

・仮に、分析値を 5.0（TU）とすると、解析直線は、1960年代後半の降水濃度と交差する。

①周辺地下水の年代測定

昭島市周辺の観測井を対象としたトリチウムの年代測定を実施した。

トリチウム分析の結果は、(表 5-1) のとおり 0.3 (TU) 未満から 0.82 (TU) であった。分析結果に基づき、減衰率を傾きとする解析直線を描くと、(図 5-7) となる。

この結果、0.82 (TU) であった八王子第 2 観測井の解析曲線は、1990 年あたりの降水曲線と交差し、0.3 (TU) 未満であった立川第 2 観測井、昭島第 2 観測井、武蔵村山第 2 観測井の解析直線は降水曲線と交差しなかった。

このことから、八王子第 2 観測井は涵養から 30 年程度経過した水であり、立川第 2、昭島第 2、武蔵村山第 2 観測井はいずれも涵養から 60 年以上経過した水であると推定される。

表 5-1 トリチウム分析結果 (地下水流動機構及び涵養の調査)

観測井	トリチウム濃度(TU)	誤差(TU)
八王子第 2	0.82	0.11
立川第 2	<0.3	
昭島第 2	<0.3	
武蔵村山第 2	<0.3	

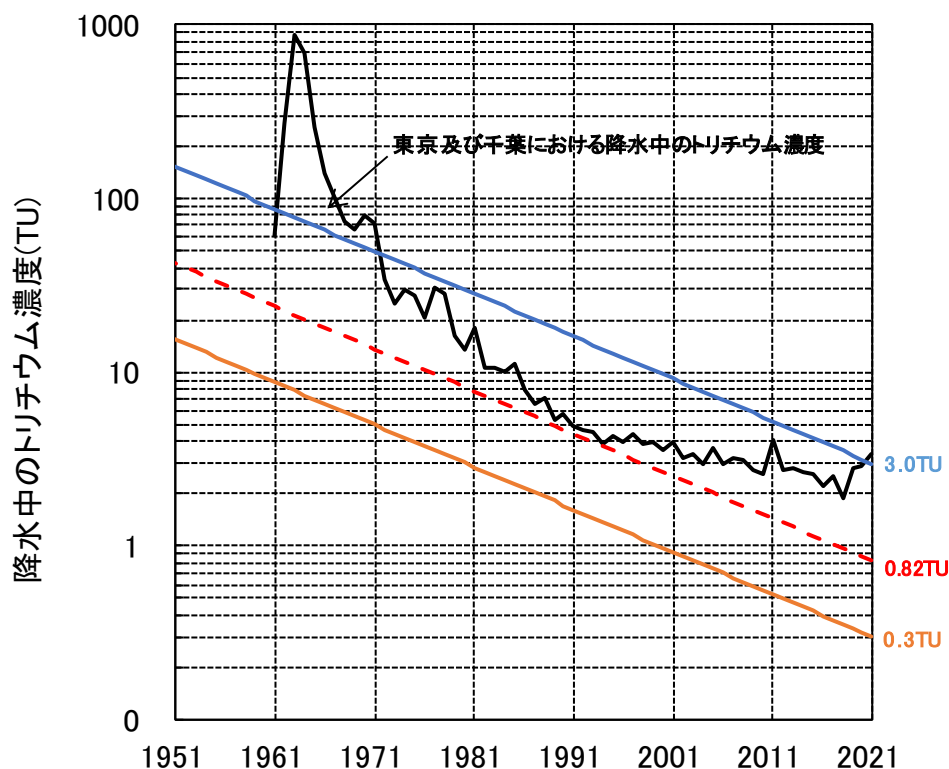


図 5-7 トリチウムによる年代測定 (周辺地下水・河川水)

②水源井の年代測定

東部第13水源第5層の孔内水を対象として、年代測定を実施した。

トリチウム分析の結果は、(表 5-2) に示すとおり 1.60 (TU) であった。分析結果に基づき、減衰率を傾きとする解析直線を描くと (図 5-8)、解析直線と降水曲線とは複数の位置で交差した。交差した年代は、大きく①2019年付近、②2011年付近、③1970年前半から1981年付近の三つであった。涵養してからの経過年数(地下水の滞留時間)に換算すると、①は数年、②は10年、③は40~50年となる。

これまでの調査でも、水源井の孔内水は涵養から10~50年程度経過した水であると推察されている[昭島市周辺地下水流動調査, 2005年]。これらを踏まえると、水源井の孔内水は、上述した三つのうち、少なくとも②(涵養してから10年程度経過した水)や③(涵養してから40~50年経過した水)といった水が混ざり合って形成されているものと考えられる。

表 5-2 トリチウム分析結果 (東部第13水源)

水源	トリチウム濃度 (TU)	誤差 (TU)
東部第13水源 第5層	1.60	0.10

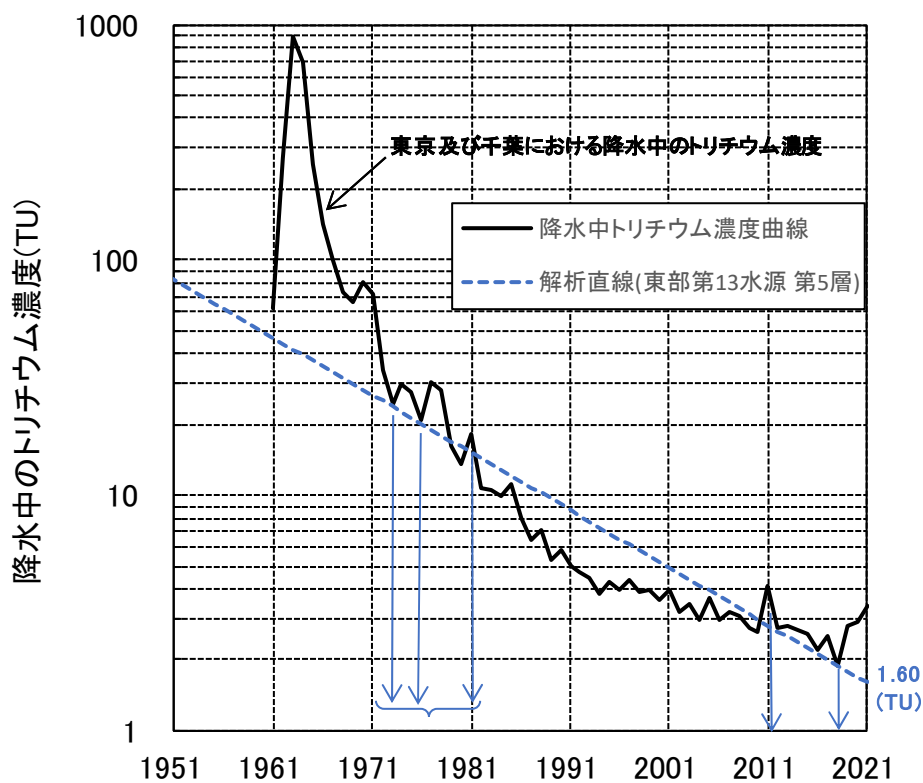


図 5-8 トリチウムによる年代測定 (東部第13水源)

6章 地下水の流動機構と持続可能性

5章までの結果から、深層地下水にかかる水循環のプロセスは極めて複雑であるため、さらなる考察を行うためには、解析的な検討が欠かせない。

解析する際の有力な方法の一つが「水収支^{※用語集}」であり、シミュレーションを基礎とする「流跡線解析」である。

水収支によって昭島市の持続可能性を検討するとともに、流跡線解析や5章までの結果を踏まえ、深層地下水の起源地（涵養源）や流動経路に関して考察した。

6-1 深層地下水の水収支

地下水や水循環を定量的に示す方法として水収支がある〔地下水水文学, 1962年〕。水収支をみることで、持続可能な地下水採取や地下水への涵養の実態を把握することができる。

昭島市における、2001（平成13）年および2019（令和元）年における水収支を（図6-1）に示す。昭島市では、降水による地下水涵養や多摩川からの涵養によって流入し、河川流出、地下水揚水、地下水流出によって流出する（式(6.1)、式(6.2)）。

$$\cdot \text{地表面の水収支式 } P - E - R = D \quad \cdot \cdot \cdot \text{式(6.1)}$$

ここで、P:降水量 E:蒸発散量 R:河川流出量（降水による直接流出量）
D:地下水涵養量

$$\cdot \text{地下での水収支式 } D + G_t + G_i - Q - G_b - G_o = \Delta S \quad \cdot \cdot \cdot \text{式(6.2)}$$

ここで、G_t:多摩川からの涵養量 G_i:地下水流入量 Q:地下水揚水量
G_b:基底流出量（湧水量） G_o:地下水流出量 ΔS:貯留量の変化量

図6-1（a）の数値を式(6.1)、式(6.2)に当てはめると

$$\text{地表面の水収支式 } 73(P) - 17(E) - 35(R) = 21(D)$$

$$\text{地下での水収支式 } 21(D) + 26(G_t + G_i - G_o) - 44(Q) - 2(G_b) = +1(\Delta S) \text{ 千 m}^3/\text{日}$$

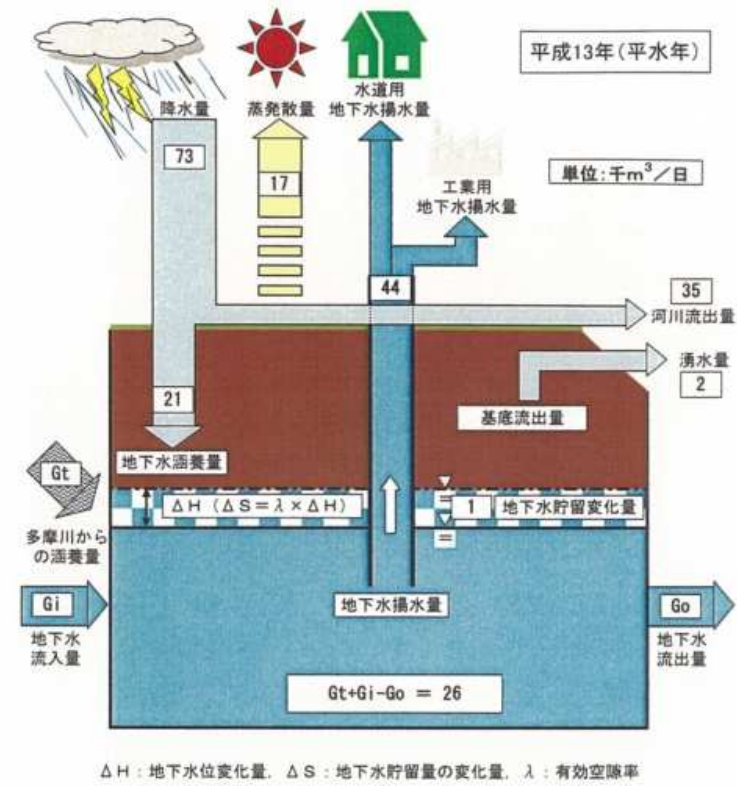
図6-1（b）の数値を式(6.1)、式(6.2)に当てはめると

$$\text{地表面の水収支式 } 77(P) - 13(E) - 50(R) = 14(D)$$

$$\text{地下での水収支式 } 14(D) + 8(G_t) + 59(G_i) - 3(G_b) - 39(Q) - 34(G_o) = +5(\Delta S) \text{ 千 m}^3/\text{日}$$

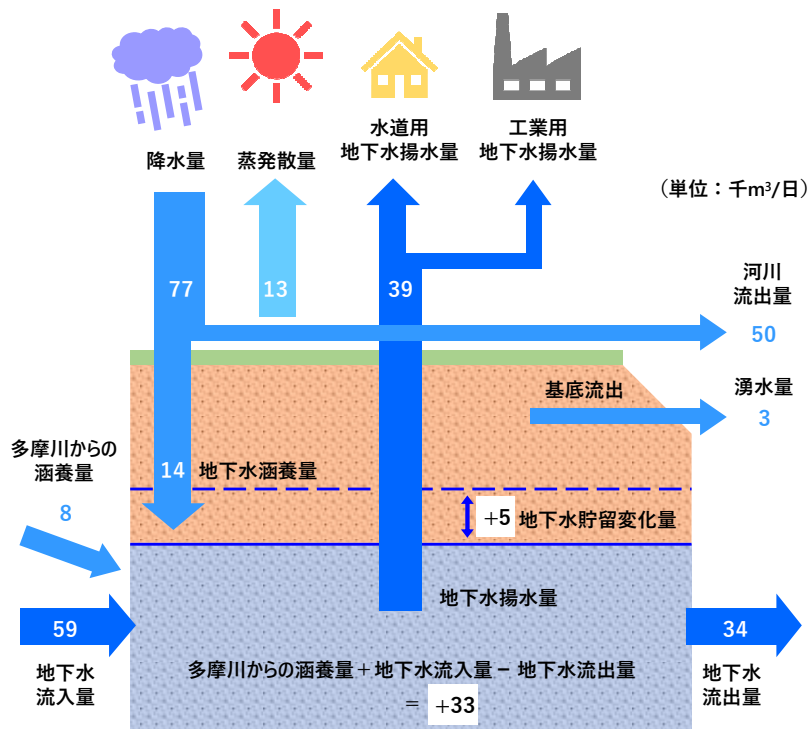
昭島市の水収支は、2001（平成13）年および2019（令和元）年のいずれも、プラス収支となっていることが分かる。

降水による地下水涵養量及び揚水量などの計画から昭島市の水収支は、「昭島市周辺地下水流動調査, 2005年」に引き続き、プラス収支である。3章で把握したとおり、地下水位は上昇傾向であることから、気候変動等に留意しつつも、地下水変動ならびに水収支の観点から、昭島市の水道事業は今後も継続的に利用できるものと考えられる。



(a) 2001 (平成 13) 年

出典「昭島市周辺地下水流動調査, 2005 年」



(b) 2019 (令和元) 年

図 6-1 昭島市における水収支

6-2 流動経路の解析

地下水の流跡線解析を用いて、深層地下水の起源地および流動経路を推定した。

「地下水の流跡線解析」

地下水シミュレーションモデルと粒子追跡法を組み合わせることで、地下水の流動経路を追跡することができる。昭島市内に設定された粒子を遡って追跡することで、地下水の流動経路が明らかとなる[地下水シミュレーション, 2010年]。地下水の流動経路は複雑なため、表現する際には3次元的な可視化表現が採用されることが多い[地下水に対する基本認識の共有を目的とした WebGL の活用, 2017年]。

WebGL を活用した深層地下水の流動 CG アニメーションを用いて、流跡線解析の結果を可視化すると、(図 6-2) のとおりである。

地下水の流動経路は、山地付近や丘陵地から昭島市内へ続いていることが確認できる。

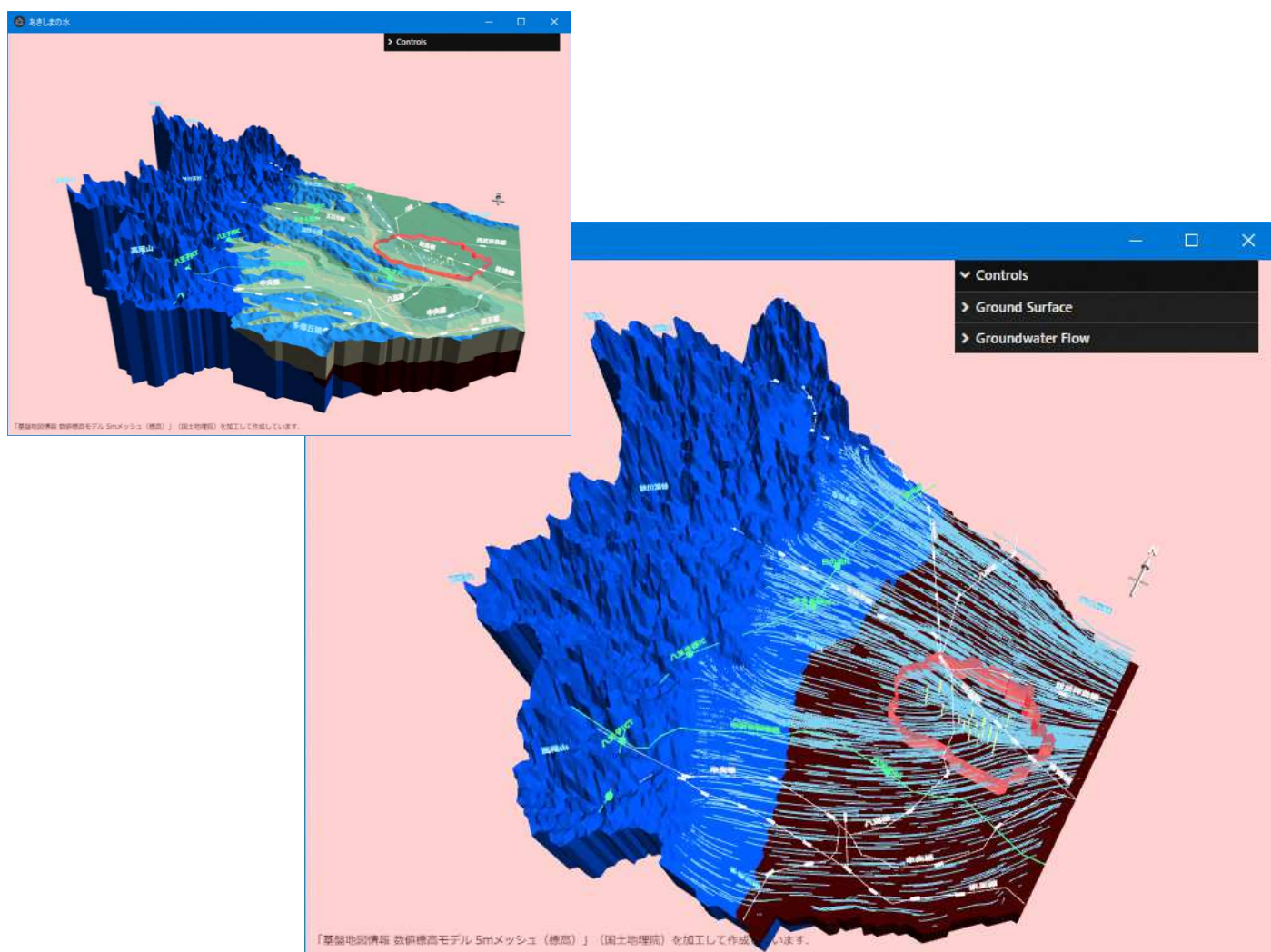


図 6-2 流跡線解析の結果 (3次元可視化による地下水)

出典「地下水流表示システム (国際航業株式会社 特許第 7102318 号)」により作成

6-3 深層地下水の起源地（涵養源）

5-1 涵養標高のとおり、昭島市水源井を含む周辺の地下水・河川水は、標高 154～480m 付近に降った雨が涵養されて流入してきた地下水であることが分かった。

おおよその標高 154～480m の範囲を、地質平面図に重ねると（図 6-3）となり、標高 154～480m に分布するのは、山地（関東山地）や丘陵地（加住丘陵や草花丘陵等）であることが分かる。関東山地は降雨が浸透しにくい（透水性の低い）地層で構成されており、加住丘陵や草花丘陵（あきるの台地含む）は、降雨が浸透しやすい（透水性の良い）地層で構成されている。降雨が浸透しにくい（透水性の低い）地層であっても、5-2 年代測定で確認したように、長い時間をかけて昭島市内へ流動してくるものと推察される。また、4-2 周辺地下水・河川の水質のとおり、河川水を通じて地下へ浸透する機構も存在する。

このように、水理地質的な観点を踏まえて考察した結果、涵養標高推計から得られた標高 154～480m は、深層地下水の起源地（涵養源）となっているものと考えられる。

6-4 深層地下水の流動経路

前節 6-2 にて上述したとおり、深層地下水の起源地（涵養源）は、標高 154～480m 付近の山地および丘陵地であるものと推察された。起源地（涵養源）とともに、4-1 水源井の孔内水質および 4-2 周辺地下水・河川の水質で確認した水質の鉛直分布を踏まえ、水理地質的に深層地下水の流動経路を推察すると、降った雨の場所によって次の 3 つの流動経路が考えられる。

①推定される流動経路 1（山地に降った雨の流動経路）（図 6-4(a)）

山地は浸透しにくいいため、山地に降った雨は山地の深部に浸透せず^{※注}、地表を流下し河川水となっているものと考えられる。河川となった水は、河床で露出する地層を通じて地下へ浸透し、浸透した地下水は、北多摩層に沿って流動し深層地下水となって水源へ至っているものと考えられる。

②推定される流動経路 2（丘陵地に降った雨の流動経路）（図 6-4(b)）

丘陵地は比較的浸透しやすいため、丘陵地へ降った雨は地下へ浸透し地下水となる。丘陵地には水源に続く地層（上総層群）が分布しており、地下水はこの地層（上総層群の特に東久留米層）中を流動して深層地下水となり、水源へ至っているものと考えられる。

③推定される流動経路 3（山地および丘陵地に降った雨の流動経路）（図 6-4(c)）

流動経路 1 と流動経路 2 では、山地に降った雨と丘陵地に降った雨を分けて考察した。東久留米層に注目すると、山地の雨とは河川を通じて、丘陵地の雨とは直接浸透を通じて、連続する機構となっている。山地に降った雨（流動経路 1）と丘陵地に降った雨（流動経路 2）は、東久留米層という地層を通じて混合し、水源へ至ることも考えられる。

※注）山地は透水性が低いとはいえ、「山地に浸透する降雨の有無」、「山地に浸透した水の流動機構」については定かではなく、今後の課題といえる。

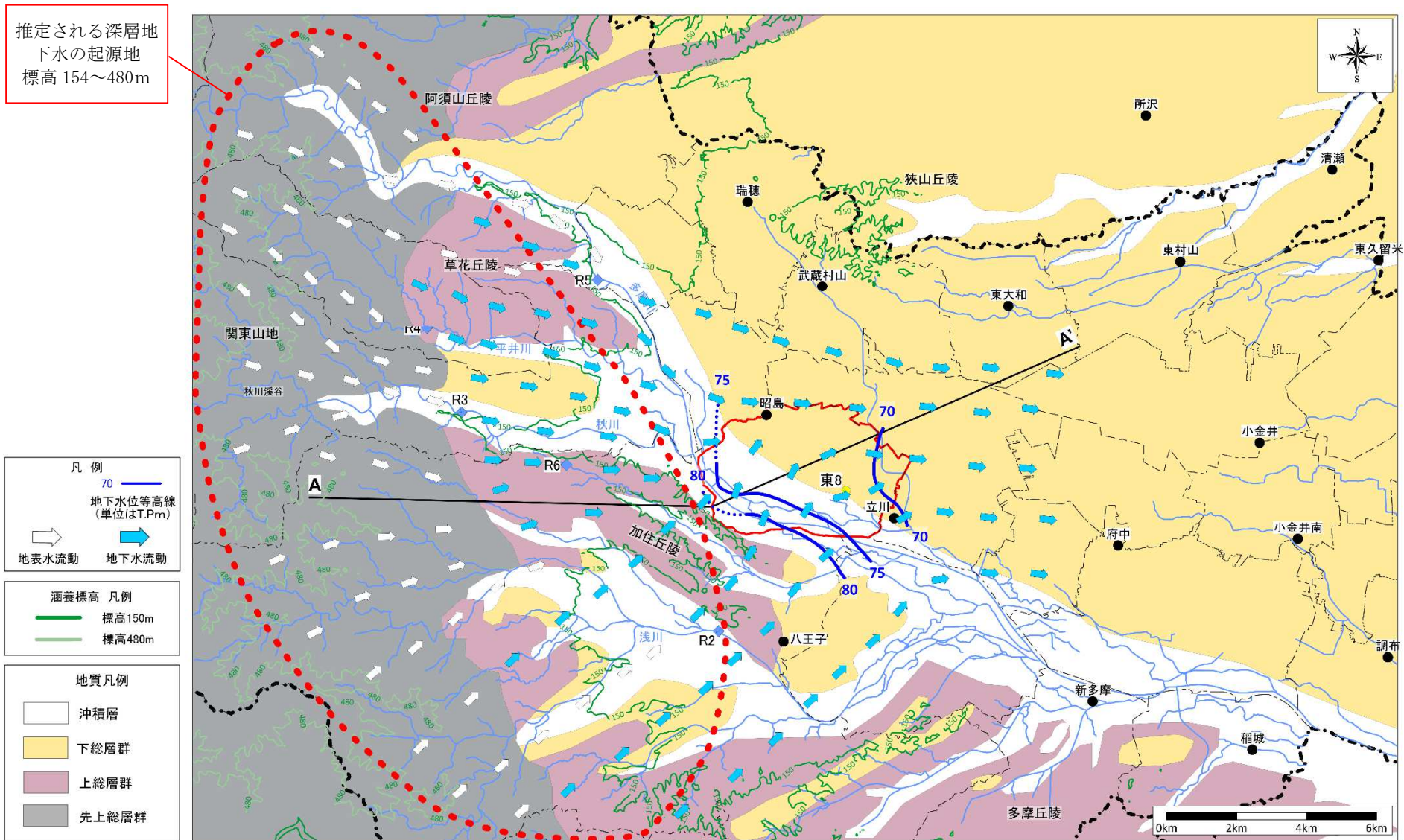
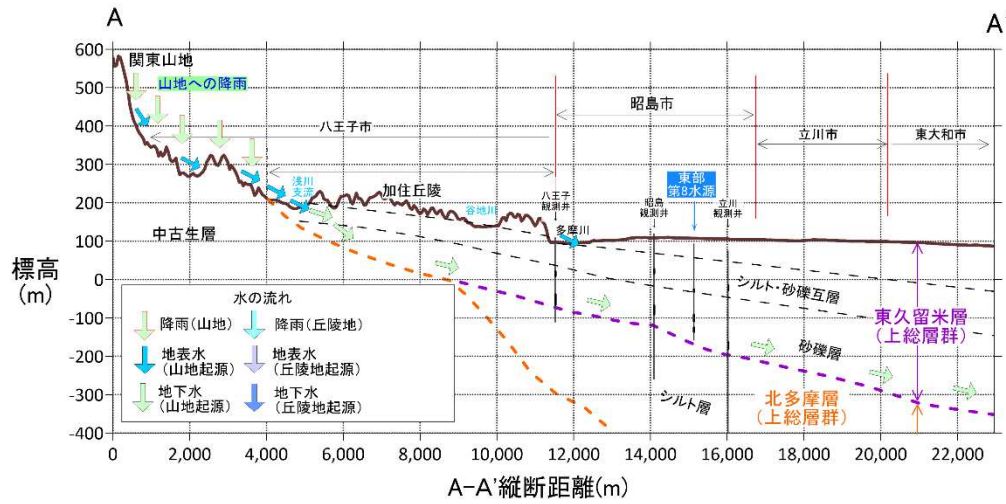
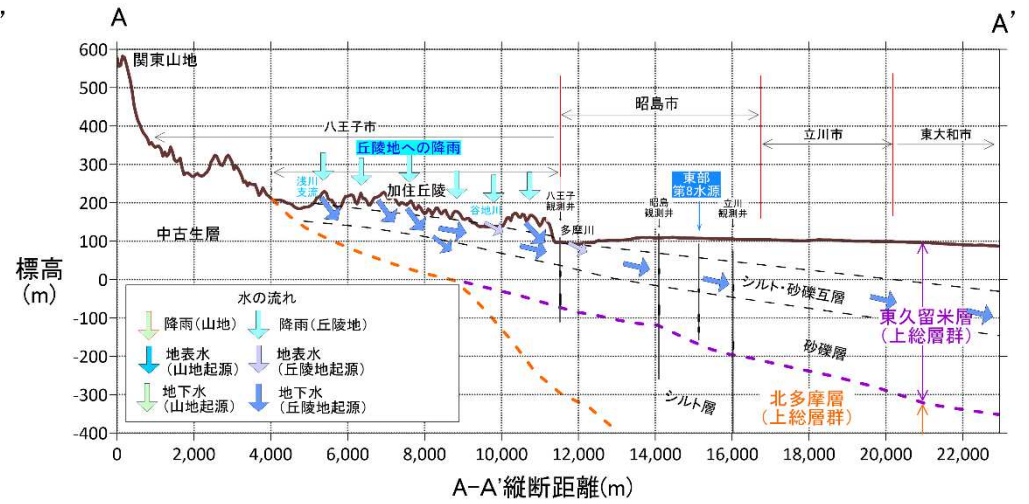


図 6-3 推察される深層地下水の起源地



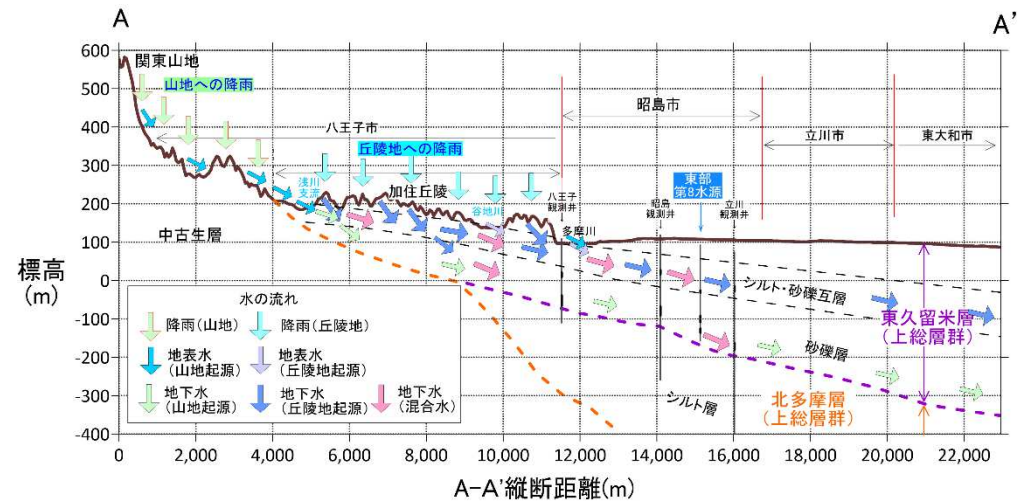
(a) 推定される流動経路 1 (山地に降った雨の流動経路)



(b) 推定される流動経路 2 (丘陵地に降った雨の流動経路)

＜推定される深層地下水の流動経路＞

- ① 山地に降った雨→流下→河川から浸透→地下水→深層地下水→水源へ
- ② 丘陵地に降った雨→浸透→地下水→深層地下水→水源へ
- ③ ①と②の混合→→水源へ



(c) 推定される流動経路 3 (山地・丘陵地に降った雨の流動経路)

図 6-4 推察される深層地下水の流動経路 (地質縦断 A-A' 上)

7章 まとめ

本書の結果をまとめると、次の5点のとおりである。本書の結果が、昭島市における深層地下水の持続可能な利用と市民の一層の発展の一助となれば幸いである。

① 地形・地質

昭島市は東京都のやや西より関東盆地の縁辺部に位置し、西に関東山地が分布する。昭島市の地形は、沖積低地と武蔵野台地からなり、市域の大部分が多摩川左岸にある。多摩川を挟んで西側から南西側に関東山地に続く加住丘陵が分布する。昭島市の地質は、時代の古い方から順に、基盤岩、上総層群（北多摩層、東久留米層）、段丘礫層、沖積層からなる。昭島市水道水源の主たる帯水層は上総層群の東久留米層である。

② 地下水位の分布と変動

地下水位分布によると昭島市の地下水は、昭和30年代頃には北西方向から南東方向へ向けて流れていたが、2003（平成15）年に南方向から北西・北東方向の流れに変化し、2020（令和2）年には、北西・南西方向から東方向へ向かって流動した。水源井の地下水位変動（自然水位）は、1973（昭和48）年を境に上昇傾向となっているが、昭島市南側の八王子観測井の地下水位は、水道水源の地下水位変化によらず、水道水源よりも高い水位を保っており、深層地下水が八王子から昭島市へ向かって流れていることを示唆した。

③ 地下水の水質

地下水に含まれる溶存成分を分析した結果、水源井の地下水は、全般に HCO_3^- （重碳酸イオン）が豊富な深層地下水の水質を示した。深層地下水は大きく、 HCO_3^- （重碳酸イオン）に加え、i) Ca^{2+} （カルシウムイオン）が豊富な地下水、ii) $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ （ナトリウムイオンおよびカリウムイオン）が豊富な地下水、iii) ii) に加え Cl^- （塩化物イオン）が豊富な地下水という、3タイプの地下水から構成された。

④ 地下水の涵養標高と年代

地下水の涵養標高を推計した結果、昭島市の深層地下水は、概ね標高154～480m付近に降った雨が涵養されて昭島市へ流入したものと推計された。地下水の年代測定の結果、昭島市の深層地下水は山に降った雨や雪がしみこんでから、10～50年経過した水であると推察された。

⑤ 地下水の流動機構と持続可能性

調査の結果、深層地下水の起源地（涵養源）は、昭島市の南から西に分布する山地や丘陵地であり、深層地下水は起源地（涵養源）に降った雨が浸透しやすい地層を通じて流動してきたものであると考えられる。また、昭島市の水収支を計算したところ、「昭島市周辺地下水流動調査, 2005年」に引き続きプラス収支であり、地下水位も上昇していることから、今後も持続的に利用できると考えられる。

用語集

あ行

か行

涵養（かんよう）

降水、湖沼水・河川水、貯水池・浸透ます（枙）などの水が地下へ浸透すること（地下水となること）を指す。また、涵養が起こる場所を涵養域と称する。なお、対比される言葉として、流出（湧出）が使われる〔地下水用語集 2011 年〕。

涵養域（かんよういき）

地表から降水の浸透が起こり、地下水が涵養されている地域。地表浅部の浸透性が良好で不飽和帯が発達する地域（山地斜面、あるいは平地で相対的に地形標高の高い場所）、水田地帯などにあたる。地下水の流れは地表から下向きで、地下水面に達すると周辺のポテンシャル分布に従い流動が起こる。流出域（湧出域）の対義語〔地下水用語集 2011 年〕。

孔内水質（こうないすいしつ）

井戸のことを孔と呼ぶことがあり、孔内水質とは水源井や観測井などの井戸内から採水された地下水の水質のこと。

さ行

主要成分（しゅようせいぶん）

地下水中に溶存する主要なイオンは、ナトリウムイオン (Na^+)、カリウムイオン (K^+)、カルシウムイオン (Ca^{2+})、マグネシウムイオン (Mg^{2+})、塩化物イオン (Cl^-)、重炭酸イオン (HCO_3^-)、硫酸イオン (SO_4^{2-}) の 7 種類であり、溶存する無機物の総量（総溶存物質質量）の 90% 以上を占めている。地下水の水質調査の場合、通常地下水に含まれる主要な化学成分を選定して実施する。地下水調査で選定されることの多い、ナトリウムイオン (Na^+)、カリウムイオン (K^+)、カルシウムイオン (Ca^{2+})、マグネシウムイオン (Mg^{2+})、塩化物イオン (Cl^-)、重炭酸イオン (HCO_3^-)、硫酸イオン (SO_4^{2-})、および珪酸 (SiO_2) 等のことを主要成分という。農業などの人間の生産活動の影響が想定される場合は硝酸イオン (NO_3^-) も加わる。主要溶存成分や主成分イオンとも言われる（「地下水調査および観測指針(案)」、1993 年）および「地下水用語集、2011 年」「地下水水文学、1992 年」に基づき加筆修正）。

元素記号	元素名	溶存イオン記号	読み方
Mg	マグネシウム	Mg^{2+}	マグネシウムイオン
Ca	カルシウム	Ca^{2+}	カルシウムイオン
Na	ナトリウム	Na^+	ナトリウムイオン
K	カリウム	K^+	カリウムイオン
HCO_3	重炭酸	HCO_3^-	重炭酸イオン
Cl	塩素	Cl^-	塩化物イオン
H_2SO_4	硫酸	SO_4^{2-}	硫酸イオン
NO_3	硝酸	NO_3^-	硝酸イオン

酸素・水素安定同位体（さんそ・すいそあんていどういたい）

同位元素のうち、放射壊変のない安定な同位体を安定同位体という。酸素の場合は質量数が16、17、18の三つの同位体（それぞれ¹⁶O、¹⁷O、¹⁸Oと書く）を指す。水素では同様に質量数が1、2、3の三つの同位体（それぞれ¹H、²H、³Hと書く。重水素²HはDと表現されることもある。）が存在するが、三重水水素トリチウム³H（T）は放射性同位体である。

ここで、酸素Oと水素Hはいずれも水分子H₂Oの構成要素そのものである。水の同位体組成は、蒸発や凝縮の過程で変化をするが、他の水系との混合がない限り地下浸透前の組成をそのまま維持する。このことは水の循環過程を知る上においてきわめて有用である。酸素、水素の安定同位体と放射性同位体は地下水のトレーサーとしてその起源、年齢の測定に大きな貢献をしている。

（「地下水用語集，2011年」および「地下水水文学，1992年」に基づき加筆修正）

酸素・水素安定同位体比（さんそ・すいそあんていどういたいひ）

安定同位体の天然における存在比はほぼ一定であるが、他の水系との混合や水の循環過程によってその存在比が変化する。そのため、安定同位体は、標準物質（SMOW）との比をとって同位体比の形で表される（式1）。安定同位体比は一般にδという文字を使って表現され、微量なことから、単位は千分偏差（‰、パーミル）が用いられる。

$$\delta^{18}\text{O}(\text{または } \delta\text{D})\text{‰} = \left[\frac{\text{R}(\text{試料})}{\text{R}(\text{SMOW})} - 1 \right] \times 1,000 \quad (\text{ここに、Rは } ^{18}\text{O}/^{16}\text{O} \text{ または } \text{D}/\text{H} \text{ を示す。}) \quad (\text{式1})$$

ちなみに、酸素安定同位体比の千分偏差（δ¹⁸O）は、天水や熱水では負値をとることが多く変動幅が大きい。堆積岩や火成岩では正值である場合が多い。天水のδ¹⁸Oは水素安定同位体比の千分偏差（δD）と相関性がある。

（「地下水用語集，2011年」および「地下水水文学，1992年」に基づき加筆修正）

スクリーン

井戸を構成する加工された管で、地下水を井戸の中に取り込むために設置されるもの。ストレーナーともいう。スクリーンには、①ケーシング管と同じ素材に丸穴ないし縦溝（スリット）を加工した丸型ないしスリット型スクリーン、②丸型ないし小判型の孔を開けた管の上に水平にワイヤを巻きつけた丸孔巻線型スクリーン（パイプベーススクリーン）、③パイプ縦方向に支柱を残した開口管にワイヤを巻き付けた巻線スクリーンなどがある。また、パイプの表面積に占める孔の開いている比率を開孔率といい、井戸の目的に応じて必要な開孔率を確保する必要がある

（「地下水用語集，2011年」に基づき加筆修正）。

た行

帯水層 (たいすいそう)

透水性と貯留性がよく、井戸での取水や湧泉として連続して地下水を供給し得る地層のことである。一般に帯水層は自由地下水面をもつ不圧帯水層と、上下を加圧層に挟まれた被圧帯水層とに分けられる。代表的な地層として、砂礫層、砂層、風化し亀裂の多い溶岩層、亀裂や節理に富む火成岩類、水による溶食孔隙や空洞のある石灰岩層などがある（「地下水用語集，2011年」に基づき加筆修正）。

滞留時間 (たいりゅうじかん)

ある着目している領域を、水、あるいはトレーサーなどが通過するのに要する平均的な時間。トレーサーとしては安定同位体、放射性同位体、水温、溶質などがある。滞留時間の見積もりには、いくつかの移流拡散モデルが利用される〔地下水用語集 2011年〕。

地下水位 (ちかすい)

ボーリング孔の中で測定される水面の標高値。被圧帯水層の場合は地表面より上になる場合もあり、一般的には飽和地層の任意の点に仮想的な管を立てたときに管内に現れる水面位置（大気圧となる位置）を標高値として表したもの。当該点の間隙水圧を計り、全水頭（位置水頭+圧力水頭）で表した値。なお、低浸透性の地層が胚胎し被圧帯水層が形成されているような地層条件では、浅部自由地下水の水位と下部被圧帯水層の地下水位は異なり、多段地下水位とよばれることがある（「地下水用語集，2011年」に基づき加筆修正）。

トリチウム

水素の3種類の同位体の一つで、 ^3H またはTと表記する。陽子1個と中性子2個の核子からなり、半減期12.43年で β 崩壊してヘリウム3に変わる。1950～60年代の水爆実験によって大量の人工 ^3H が成層圏から対流圏へ降下したことから、地下水の年代を決定するのに利用されてきた。その後降水中の濃度は徐々に下がり、現在、成層圏で宇宙線により生成された天然レベル（日本では3～5(TU))にほぼ戻っている。ここで(TU)はトリチウム濃度（トリチウムユニット）を表し、1(TU)は 10^{18} 個の水素の中にトリチウム原子が1個ある場合に相当する（「地下水用語集，2011年」に基づき加筆修正）。

な行 は行

被圧地下水（ひあつちかすい）

帯水層の上下を不透水層または難透水層によって制限され、浸透地帯からの落差およびその上位の地層の荷重によって加圧されている地下水。被圧地下水が示す水面は、地下水体の上面ではなく被圧水頭(圧力水頭)を示し、これが地表面よりも上方にあれば自噴井となる。一般に、被圧地下水は地下深部に存在する場合が多いので、深層地下水とも呼ばれるが、ごく浅層で被圧していることもあるので、深度だけではきめられない [新版地学事典, 1996 年]。

ヘキサダイアグラム

河川や地下水などの水質組成を表現する図法の一つであり、 $(\text{Na}^+\text{+K}^+)$ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 、 $(\text{SO}_4^{2-}\text{+NO}_3^-)$ 濃度の大きさを、中央鉛直線からの距離で六角形に示す。中央線から頂点までの長さが各々の成分の濃度を示しており、六角形の大きさが濃度の高低を、六角形の形が水質組成の特徴を表す。地図上の水のサンプリング地点にヘキサダイアグラムを描くことにより、水質組成の空間分布を示すことが可能になる。海外では、左側に陽イオン（上から Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 $\text{Na}^+\text{+K}^+$ ）、右側に陰イオン（上から Cl^- 、 HCO_3^- 、 $\text{SO}_4^{2-}\text{+NO}_3^-$ ）を配置しシュティフダイアグラムとよばれるが、日本では通常、左側に陰イオン（上から Cl^- 、 HCO_3^- 、 $\text{SO}_4^{2-}\text{+NO}_3^-$ ）、右側に陽イオン（上から Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 $\text{Na}^+\text{+K}^+$ ）を配置してヘキサダイアグラムと呼ばれる。6成分水質図ともよばれる（「地下水用語集, 2011 年」に基づき加筆修正）。

ま行

水収支（みずしゅうし）もしくは水文学的水収支

地球上のある流域内において、一定期間内の水の流入・流出の均衡状態を水収支という。水収支は、水文学の主体をなすもので、水文循環の過程において、他地域からの河川水や地下水の流入がなければ、降水量がその地域への収入のすべてとなり、支出分は河川、地下水として他の地域へ流出するか、蒸発散となって再び大気中に帰っていく量である。

これら自然的要因のほかに、人為的要因によっても水収支は変化する。人為的要因としては灌漑地への導水、各種用水としての地下水揚水などがある。水の収入と支出の関係は、地球上の場所や時期によって著しく異なっており、人間の生産活動が大規模になるにつれて、人為的要因の定量的な変化予測や、非定常的な現象解明が重要となっている（「地下水学用語辞典, 1986 年」および「新版地学事典, 1996 年」に基づき加筆修正）。

参考文献

- 東京都土木技術研究所『東京都総合地盤図（Ⅱ）、東京都の地盤（2）』. 1990年.
- 多摩川中上流域上総層群調査研究プロジェクト実行委員会『多摩川中上流域上総層群調査研究プロジェクト報告書』. 2020年.
- 東京都土木技術研究所『武蔵野台地西部の水文地質』. 1990年.
- 新藤静夫「武蔵野台地の水文地質」. 1968年, 地学雑誌 77 巻 4 号.
- 昭島市水道部『昭島市周辺地下水流動調査報告書』. 2005年.
- 東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下と地下水位の観測記録（令和元年度）」. 2020年, 都土木技術支援・人材育成センター年報. ほか
- 建設省河川局監修（財）国土開発技術研究センター編集『地下水調査および観測指針(案)』. 1993年.
- 改訂地下水ハンドブック編集委員会編『改訂地下水ハンドブック』. 1998年.
- 日本地下水学会編『地下水水質の基礎—名水から地下水汚染まで—』. 2000年.
- 昭島市水道部『第二次昭島市水道事業基本計画』. 2018年.
- 昭島市水道部「昭島市水道部水源井柱状図」
- 株式会社クボタ「地下水資源をめぐって」1988年3月, アーバンクボタ No. 27
- 一柳・田上「日本全域における降水の安定同位体比-2013年集中観測の結果より-」. 2016年, 日本水文科学会誌第 46 巻第 2 号
- 山本荘毅. 『地下水水文学』. 1992年.
- 東京都環境局『平成 25 年度 地下水影響解析調査委託報告書』. 2014年.
- 東京都環境局『平成 25 年度 地下水実態調査委託報告書』. 2014年.
- 日本地下水学会編『地下水シミュレーション-これだけは知っておきたい基礎理論-』. 2010年
- 坂本・三家本ほか「地下水に対する基本認識の共有を目的とした WebGL の活用」. 2017年 10 月.
- 日本地下水学会秋季講演会発表
- 国際航業株式会社. 坂本拓二・三家本史郎ほか. 「地下水流表示システム」特許第 7102318 号
- 佐藤邦明編著『地下水環境・資源マネジメント』. 2005年.
- 山本荘毅『地下水学用語辞典』. 1986年
- 地学団体研究会編集『新版地学事典』. 1996年.
- 公益社団法人日本地下水学会編『地下水用語集』. 2011年.

深層地下水流動調査委託 報告書

発行	令和4年3月
発行者	昭島市水道部
所在地	昭島市朝日町 4-23-28
電話	042-543-6111
調査機関	国際航業株式会社

本冊子は資源保護のため、再生紙を使用しています。