

昭 島 市 周 辺 地 下 水 流 動 調 査
報 告 書

平成17年 3 月

昭 島 市 水 道 部

はじめに

自然環境を成立させている源は水循環であり、古来より貴重な水資源として広く利用されてきた地下水は地域の水循環系の重要な一部を占めている。

しかし、今日の水循環にかかわる問題は、都市化の進展に伴って雨水の地下への浸透量が減少するなど都市構造や都市活動とも密接に関連している。湧水の枯渇などの地下水障害が発生する懸念もある中、地下水を利用しながらも健全な地下水循環を維持・保全していくことが必要となっている。

特に水道水源を100%地下水に依存している昭島市にとって、地下水流動調査は良好な水資源を将来にわたって安全に又、安定的に確保していく観点からも重要な問題である。

周辺地下水流動調査はこのような視点から、昭島市周辺の地下水の循環と水収支の実態を明らかにするとともに、地下水の流動方向を調べることを目的として行ったものである。調査は平成14年度から平成16年度までの3ヵ年で実施した。

平成17年3月

昭島市水道部

目 次

はじめに

1. 昭島市の地形と地質	1
2. 昭島市の気象	8
3. 地下水位の分布と変動	13
4. 地盤変動状況	20
5. 地下水の利用状況	22
6. 地下水の涵養と流動	25
7. 地下水位の変動特性と変動要因	33
8. 水収支	40
9. 地下水シミュレーション	44
10. 地下水の適正利用の策定	51

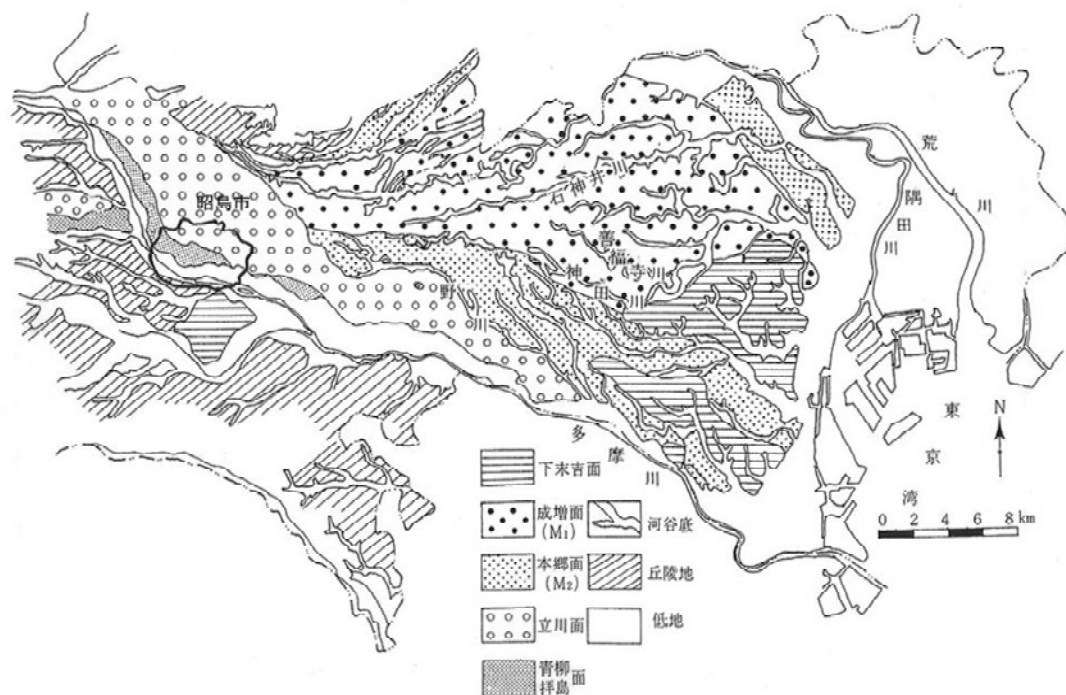
1. 昭島市の地形と地質

1-1 地形

昭島市は、東京都（島しょ部を除く）の中央部やや西より、多摩川の左岸に位置する。昭島市の大きさは、東西約6 km・南北約4 kmで、面積は17.3km²である。

図1-1に昭島市を含む東京の地形区分を示す。東京の地形は、大まかに区分すると西から東に山地、丘陵地、台地、低地と配列しているが、昭島市には、多摩川左岸の市中央部から北側にかけて広がる台地（武蔵野台地）と、多摩川沿いの低地（沖積低地）が分布している。

武蔵野台地は、青梅付近を扇の要とする扇状地状の平坦な地形で、東京の中央部から東部にかけて広く分布している。武蔵野台地は古多摩川の形成した河成段丘群と隆起海成段丘から構成されており、段丘の形成時期から、下末吉面（約10～12万年前に形成された日野台・淀橋台・荏原台等）、武蔵野面（約5～8万年前の武蔵野台・相模原台等）、立川面（約2～3万年前の立川台）、約2万年前以降の青柳面や拝島面等に区分されている。昭島市では、市の中央部から北側の地域にかけては立川面が、多摩川沿いには青柳面と拝島面が分布している。



(東京都土木技術研究所編 (1990) 東京都総合地盤図 (II) から引用)

図1-1 調査地周辺の地形区分

1-2 地質

表1-1に東京の地下地質の層序区分を示す。また図1-2には東京の地質断面の模式図を示す。昭島市の地質は、下位（古い地層）から、基盤層、上総層群、段丘礫層、沖積層で構成されている。

1) 基盤層

中生代以前または第三紀中新世に形成された地層で、粘板岩や砂岩、チャートなどの固結した岩石で構成されている。この地層は秩父帯および三浦層群相当層と推定されており、昭島市では地下380m以深に分布している。

2) 上総層群

第三紀鮮新世から第四紀前期更新世にかけて形成された地層で、半固結または未固結のシルト層、砂層、砂礫層の互層からなっている。上総層群は、シルト層を主体とする下位の北多摩層と、砂層を主体とする上位の東久留米層に区分されている。

北多摩層は、下位には半固結シルト層が分布し、上位になるほど砂が卓越する厚い地層である。昭島市では、深度130m～380mにかけて分布している。

東久留米層は、砂層を主体とする砂層・シルト層・砂礫層の互層で、全体的には比較的良く淘汰された砂からなる地層である。昭島市では、深度13m程度～130mにかけて分布しており、武蔵野台地の他の地域と比べて、砂礫層がやや卓越している。

3) 段丘礫層

武蔵野台地では、上総層群の上位に各段丘面に対応して段丘砂礫層とローム層が分布している。昭島市では、立川面、青柳面、拝島面の各段丘地形がみられ、この地形に対応した地下地質状況になっている。

立川面では、立川礫層と立川ロームが分布する。立川礫層は、層厚3～5mほどの礫層で、その上位に厚さ2m程度の立川ローム層が覆っている。

青柳面では、青柳礫層と青柳ロームが分布する。青柳礫層は、層厚2～3mほどの礫層で、その上位には立川ロームの最上位部層である青柳ロームが2m程度の厚さで覆っている。

拝島面では、上位のローム層を欠き、拝島礫層のみで構成される。拝島礫層は、層厚3～4mほどの礫層である。

4) 沖積層

多摩川中・下流の沿岸に分布する低地は、主に砂礫から構成されている。昭島市周辺では玉石を多く含んでいるが、下流に向かうにしたがって礫径が5cm程度と小さくなる。また、中流部から下流部では砂礫層の上部に砂質シルト層が1～2mの厚さで分布するようになる。砂礫層の厚さは、中上流部では数mで、下流部では10m以上に達する。

1-3 帯水層区分

東京都土木技術研究所の地質調査（平成元年）によると、昭島市の帯水層は9層に区分されている（表1-2）。このうち、第1層は立川礫層等の段丘礫層、第2層～第6層が上総層群上位の東久留米層、第7層～第9層が上総層群下位の北多摩層に相当するものと推定される。また、第1層は不圧地下水の帯水層で、第2層以深は被圧地下水の帯水層である。昭島市における主要な帯水層は、既存の深井戸の深度状況が100m～200mである場合が多いことから考えて、東久留米層に相当する第2層～第6層であると推定される。

表1-2 昭島市における帯水層区分

（東京都土木技術研究所年報（1990）、P.249-258、「武蔵野台地西部の水文地質」から引用）

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。

また、水道水源井での揚水試験結果によると、帯水層の透水係数は西部1号井が 1.4×10^{-2} cm/sec、西部5号井が 3.9×10^{-2} cm/sec、東部6号井が 1.3×10^{-1} cm/sec、東部8号井が 1.1×10^{-1} cm/secであり、東部系の井戸が西部系と比較して3倍～10倍程度透水性が良い結果であった。

1-4 土地利用

ここでは、国土地理院の細密数値情報を用いて、調査地域および周辺の土地利用とその変化について整理した。

国土地理院では、大都市圏（首都圏・近畿圏・中部圏）を対象に、宅地等の利用の現況および変化の状況を詳しく把握するために、宅地利用動向調査を1981年度より実施している。この調査で整備された、詳細な土地利用データを中心とする数値情報を細密数値情報と呼んでいる。当初は、役所等の公共機関でしか利用できなかったが、現在はCD-ROMにより一般に公表されている。

土地利用に関するデータは、都市計画基図を縮小して作成した縮尺1／1万の地図およびカラー空中写真を用いて作成されており、国土数値情報と比較してより細密な（10mメッシュ）情報となっている。

土地利用の分類は、山林・田・畑・宅地・公園緑地など16種類に分類されている。

現在公表されている細密数値情報は、1974年（昭和49年）、1979年（昭和54年）、1984年（昭和59年）、1989年（平成元年）、1994年（平成6年）の5回分で、5年おきに整備されている。

本調査では、1974年と1994年のデータを整理し、20年間の土地利用の動向について把握した。このデータを用いて被覆状況を評価し、地下水涵養量について検討を行った（第8章 水収支参照）。

図1-3(1)に1974年（昭和49年）の土地利用状況、図1-3(2)に1994年（平成6年）の土地利用状況をそれぞれ示す。昭島市の20年間の土地利用変化をみると、昭和飛行機の敷地の一部が宅地や緑地に変化し、また立川基地跡地が昭和記念公園に変わったことが大きな変化である。また、拝島駅周辺や多摩川沿いでも土地利用変化が顕著で（主に宅地化）、畑地の宅地化が点在していることも特徴的である。

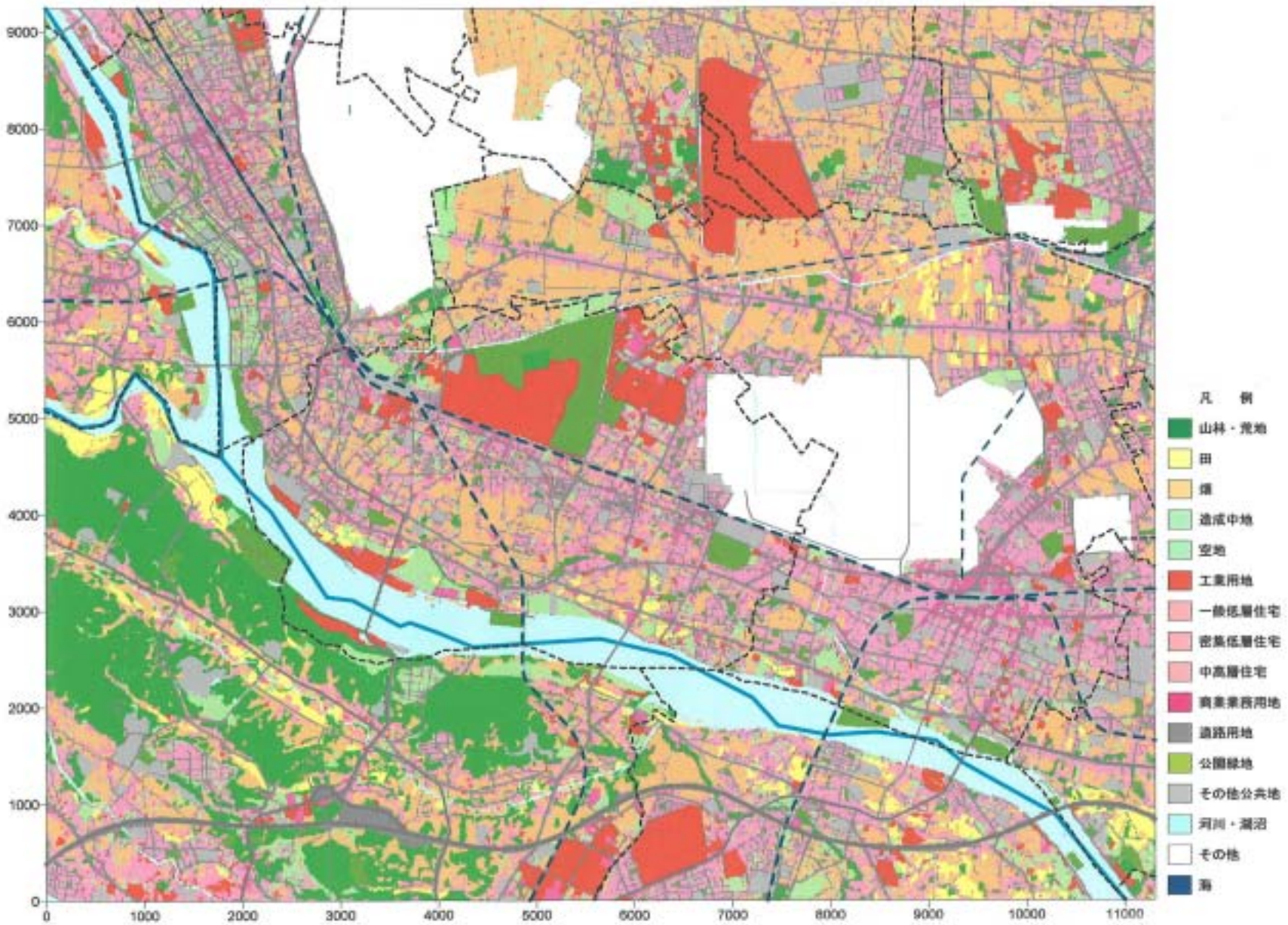


図1 - 3 (1) 細密数値情報による土地利用図(1974年(昭和49年))

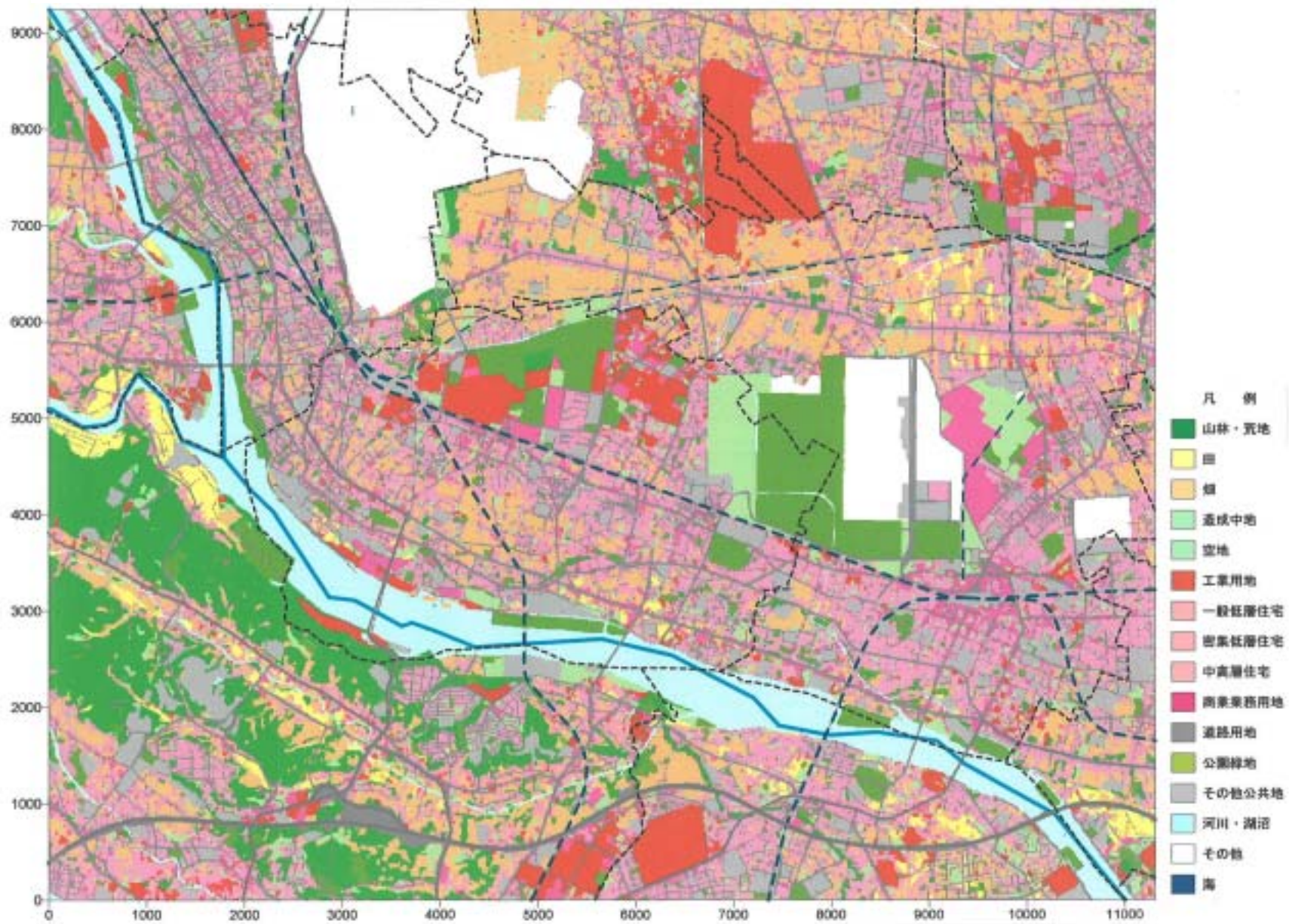


図1 - 3 (2) 細密数値情報による土地利用図(1994年(平成6年))

2. 昭島市の気象

2-1 降水量

昭島市周辺では、青梅市や所沢市、八王子市、府中市などで気象庁による降水量等の観測が行われている。

図2-1に八王子市における1951年（昭和26年）から2003年（平成15年）まで約50年間の年降水量グラフを示す（昭和40年は欠測）。年降水量が最も少なかった年は1984年（昭和59年）で945mm、最も多かった年は1998年（平成10年）で2,398mmを記録している。最多と最少の差は約1,450mmで約2.5倍の違いがあり、降水量は年により大きく変動していることが分かる。

年降水量の分布を平年値（1971年（昭和46年）から2000年（平成12年）30年間の平均値）でみると、南西部の八王子や小沢で多く、東や北に行くほど少なくなる状況となっている（図2-2）。昭島市は図2-2の範囲ではほぼ平均的な降水量を示し、平年値で1,500mm程度の降水状況となっている。

図2-3は八王子における年降水量の非超過確率である。非超過確率は「その年降水量を超えない確率」を表しており、年降水量が正規分布に従うと仮定して、次式のようにその順位をもとに計算している。

$$P = (2j - 1) / 2N$$

P：非超過確率、j：少ないほうからの順位、N：データ数

例えば、非超過確率20%の軸上に位置する年降水量は5年に1回起きる確率の小さい値で、1/5確率渇水年降水量とも呼ばれている。同様に、非超過確率10%の軸上の年降水量は1/10確率渇水年降水量、非超過確率90%の軸上の値は1/10確率豊水年降水量、等のように呼ばれる。

図2-3によれば、1/50確率渇水年降水量は960mm、1/10確率渇水年降水量は1,214mmであることが示されている。

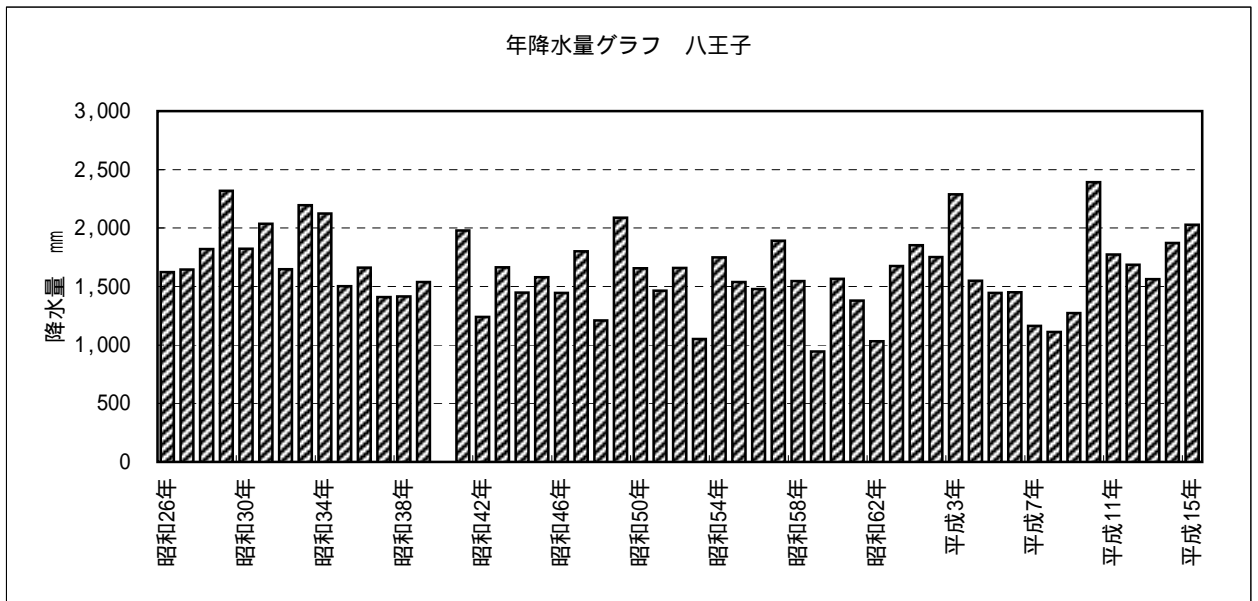


図 2 - 1 年降水量の経年変化 (八王子)

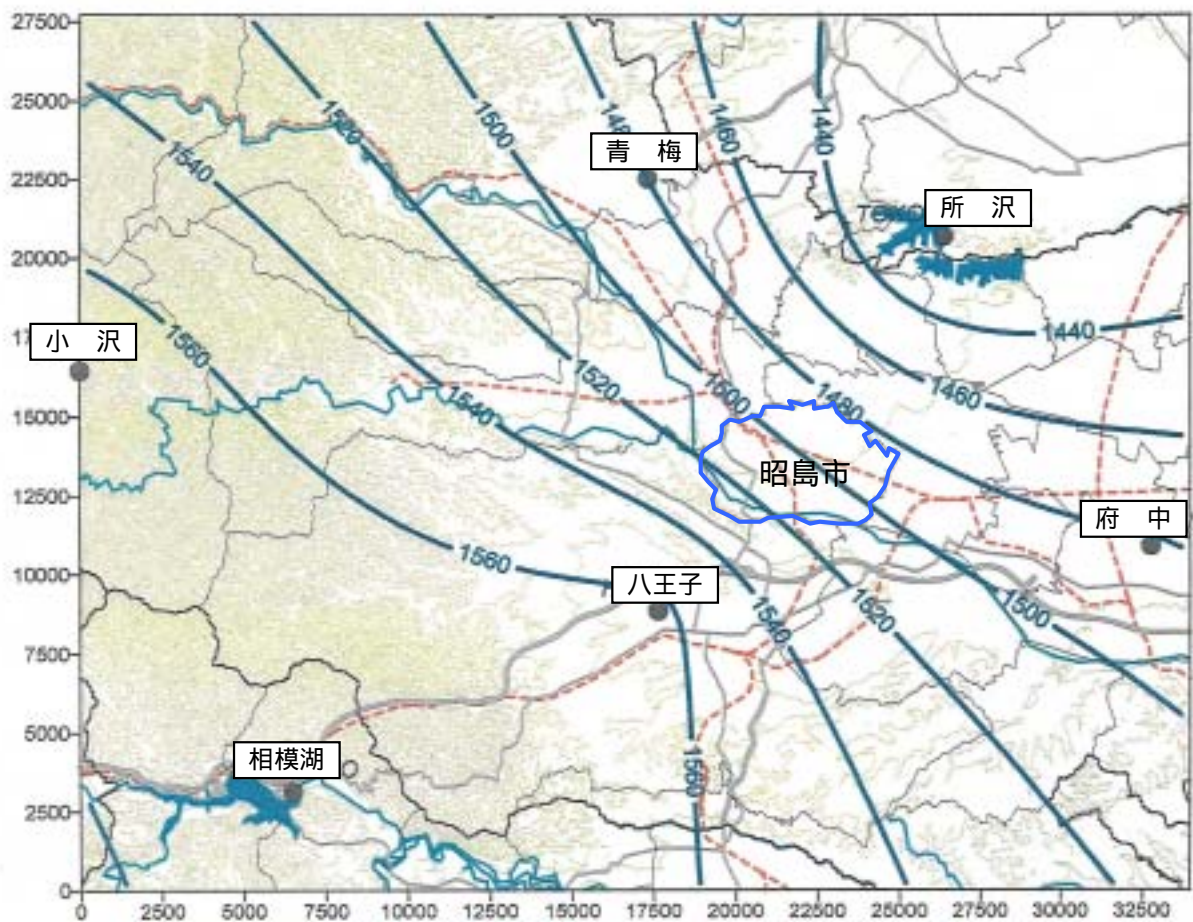
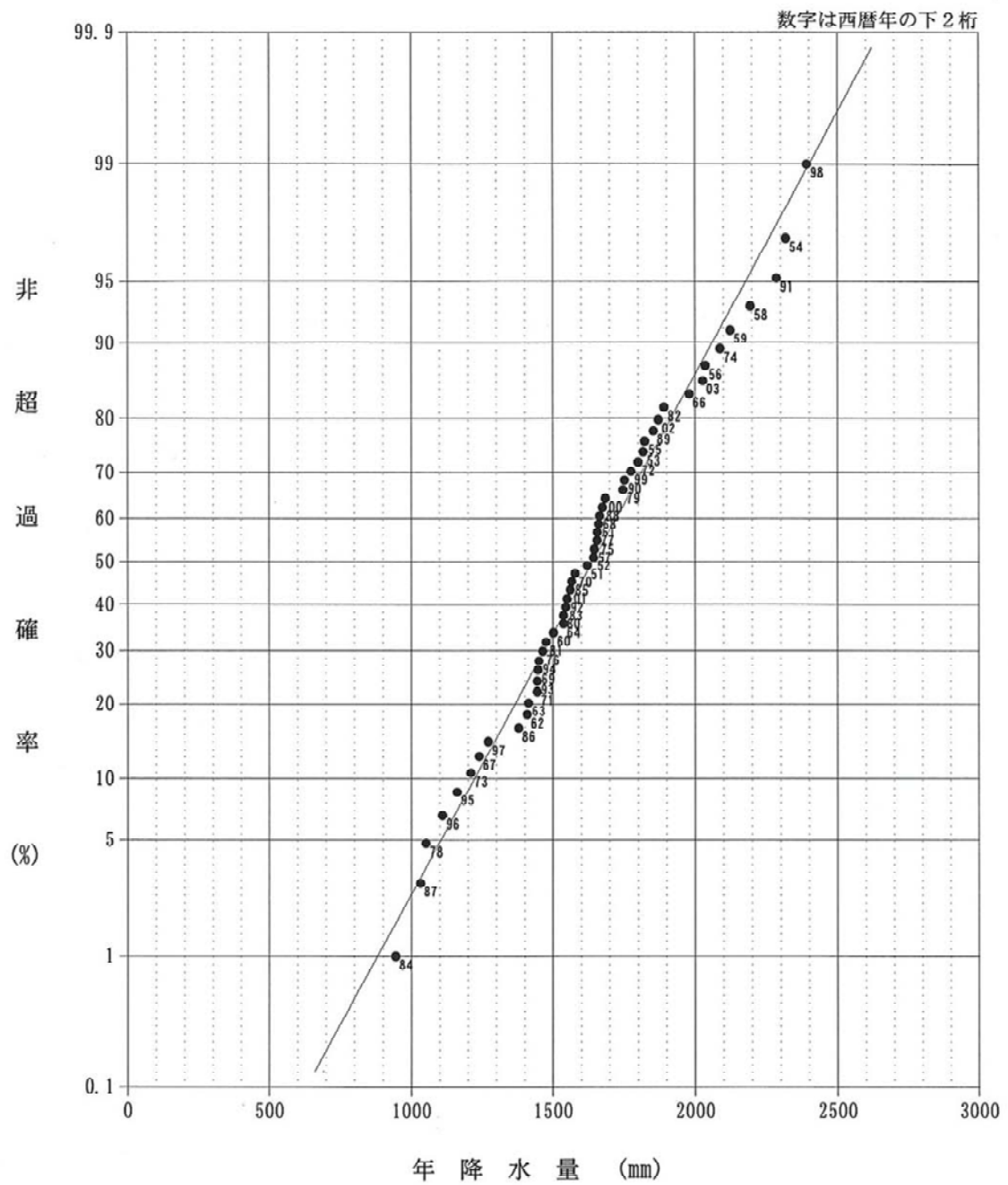


図 2 - 2 年降水量分布 (平年値)



〈 直線回帰による解析結果 〉

1/10渇水年降水量 = 1214mm

1/50渇水年降水量 = 960mm

1/10豊水年降水量 = 2057mm

1/50豊水年降水量 = 2311mm

図 2 - 3 年降水量の非超過確率 (八王子)

2-2 可能蒸発散量と可能涵養量

地上に降った雨は、一部は蒸発や蒸散（植物を通しての蒸発）して大気中に戻り、一部は表面を流れて河川などに流出する。残りが地下に浸透して地下水を涵養する。地下水の涵養量を算定する上で、この蒸発量や蒸散量は降水量とともに重要な要素となっている。これらの量を直接測る方法は現在の所まだ確立されておらず、一般に両者を併せて蒸発散量として、気象データから経験的に求める方法（ソーンズウェイト(Thornthwaite)法やペンマン(Penman)法)がよく用いられている。ソーンズウェイト法は月平均気温だけのデータで算出でき、本調査でも先ずこの方法によって可能蒸発散量を算出した。

ソーンズウェイト(1948)は、丈の低い緑草で密に覆われた地表面から、水不足が起こらないように給水した場合に蒸発散量を可能蒸発散量と定義し、それを気温だけの関数として次式のように表した。

$$E_t = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a$$

E_t : 可能蒸発散量 (mm/月)

T : 月平均気温 (°C)

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1.514}$$

$$a = (492,390 + 17,920 I - 77.1 I^2 + 0.675 I^3) \times 10^{-6}$$

(E_t に緯度に応じた月別の係数を乗じて月可能蒸発散量を算出する。)

可能蒸発散量は、気温の関数であることから夏季に多く冬季に少ない季節変動を示し、年合計では800mm前後の値となっており(図2-4)、年よる違いは降水量ほど大きくない。また、その定義から明らかなように、実際の蒸発散量は可能蒸発散量より少なく、実用的には可能蒸発散量の約7割前後の値と言われている。

このソーンズウェイト法はアメリカ合衆国の実測値に合うように経験的に定められたもので、それ以外の地域に適用する場合には注意を要する。我が国では年合計はほぼ妥当な値を示すが、季節的には冬から春にかけて過少、夏から秋にかけて過大な値になる。

図2-4には降水量から可能蒸発散量を差し引いた可能涵養量を示したが、これは最大可能な地下水涵養量を意味し、平均で約800mmとなっている。実際には、この中に表面流出量が含まれており、その量を差し引いたものが地下水涵養量となる。これらの水収支については第8章で述べる。

八王子（昭和46年～平成15年の平均）

平均気温の単位は 度の単位はmm

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年合計
降水量	50	58	104	121	115	173	180	229	257	169	96	35	1,587
平均気温	3.1	3.8	7.2	13	17.5	20.9	24.6	25.9	22	16.2	10.5	5.5	14.2
可能蒸発散量	5	6	19	50	87	115	150	152	105	62	29	10	788
可能涵養量	46	52	84	71	29	58	31	77	153	107	67	25	799

注) 可能涵養量 = 降水量 - 可能蒸発散量

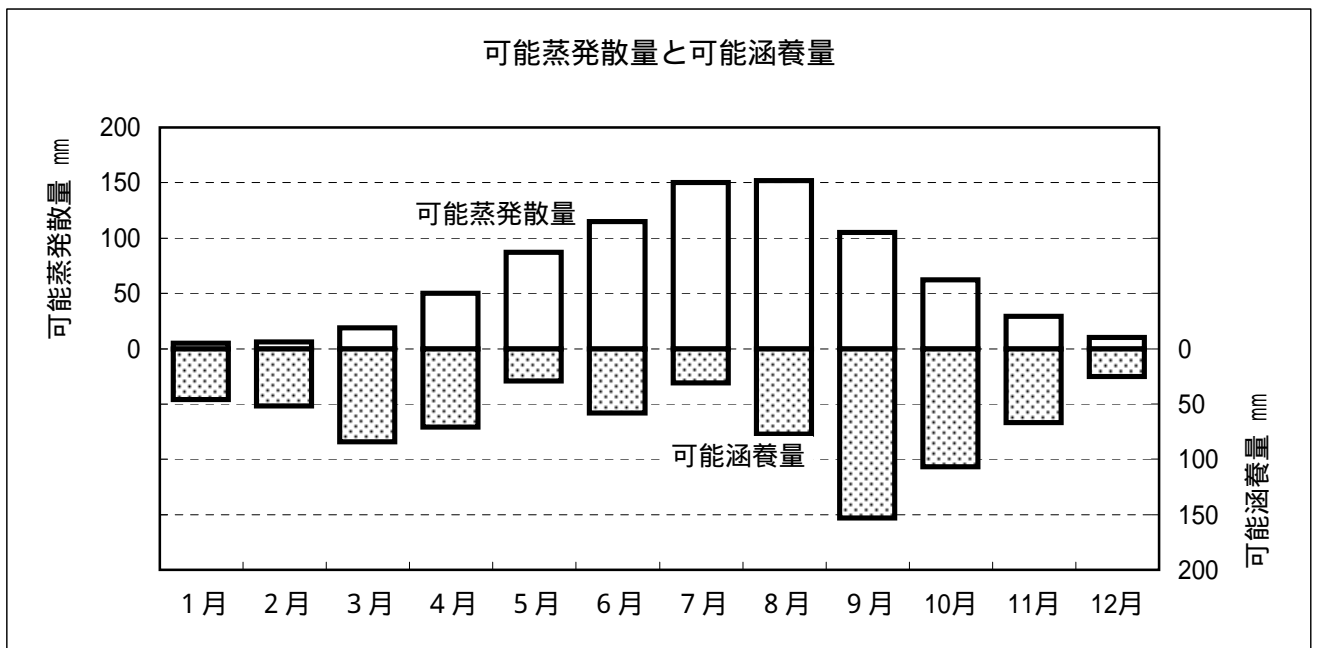
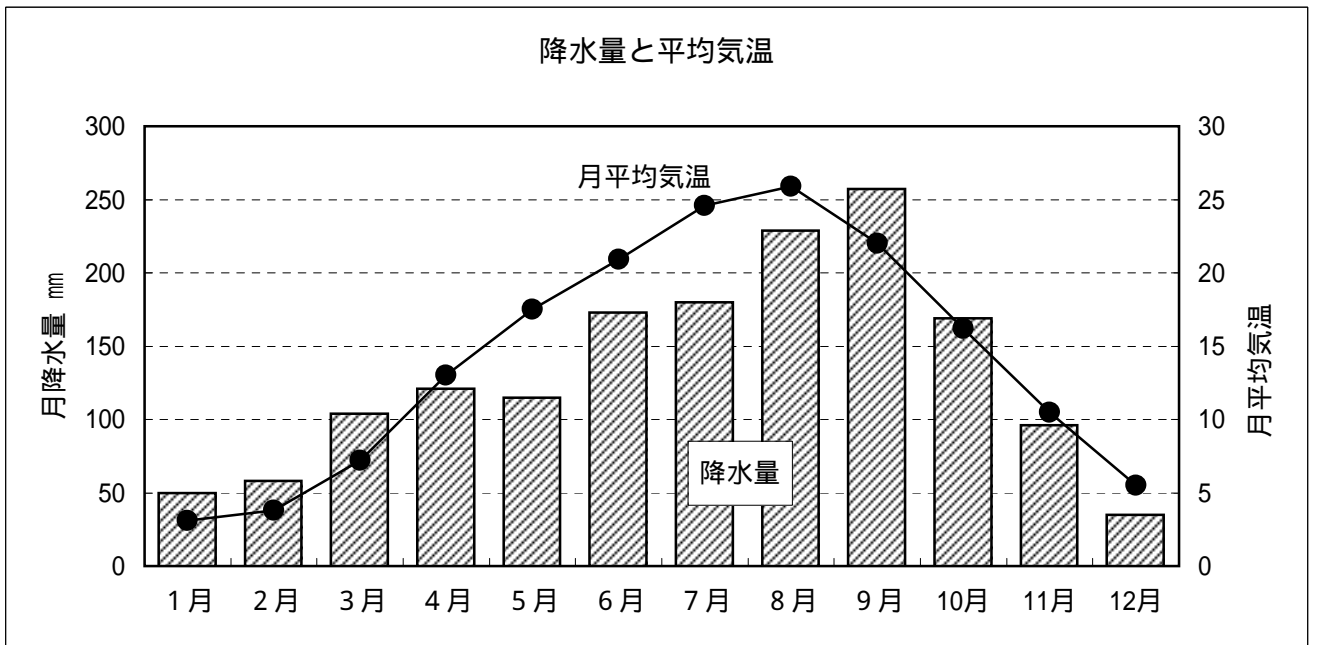


図2 - 4 可能蒸発散量と可能涵養量（八王子）

3. 地下水位の分布と変動

3-1 地下水位分布

1) 概説

昭島市の地下水は大きく浅層地下水と深層地下水に区分できる。浅層地下水は主に立川礫層や拝島礫層中に分布する地下水で、民家の浅井戸はこの地下水を利用している。また立川面と拝島面、拝島面と沖積面の地形境界の崖線沿いで湧水として地表に湧出している。

深層地下水は段丘礫層の下位に厚く分布する東久留米層や北多摩層中の地下水で、昭島市では水道水源井や企業の深井戸で利用されている。

2) 浅層地下水

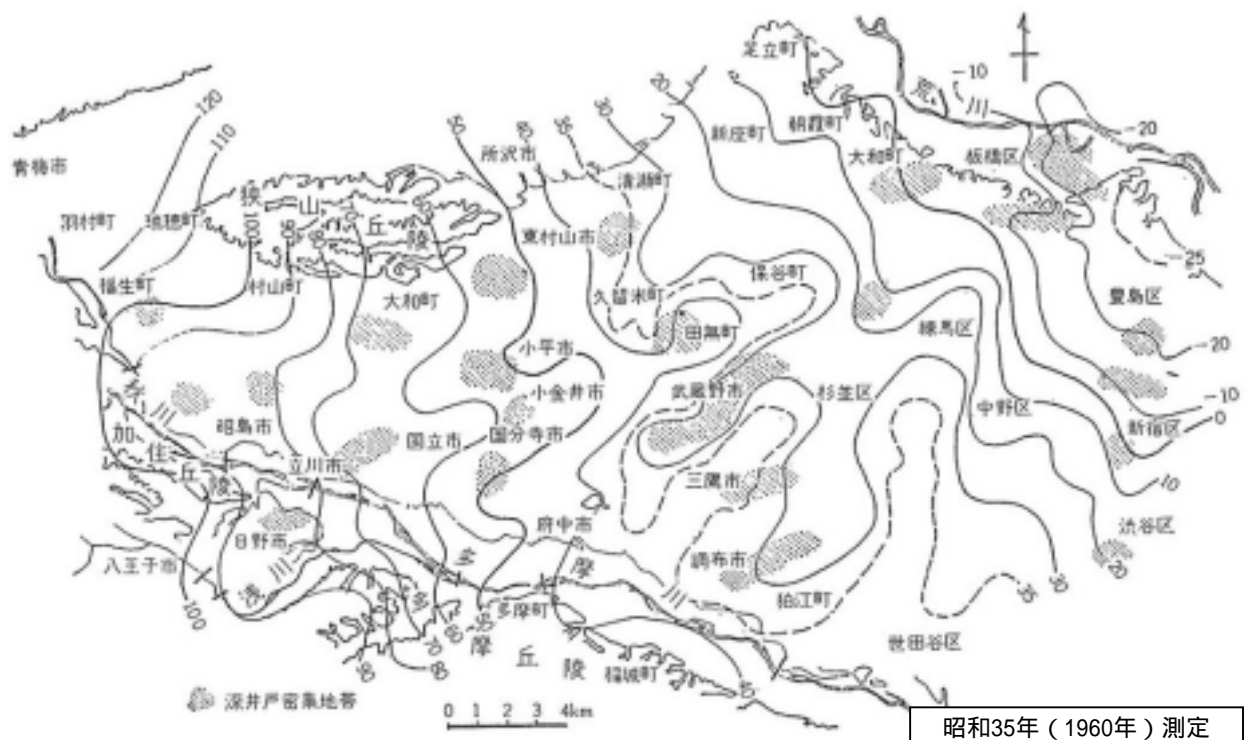
浅層地下水位の平面的な分布は、新藤静夫(1968、1980)らによって調査されており(図3-1)、それによると浅層地下水はほぼ地形に沿って流動しており、昭島市周辺では北西から南東方向に流れている。本調査でも平成15年度に約50箇所の既存の浅井戸を対象に一斉測水調査を行い、地下水面等高線図を作成した(図3-2)。本調査では昭島市および周辺地域だけであるが、既往調査の地下水面図と整合しており、北西から南東に傾斜した地下水面になっている。その中で、立川面と拝島面の地形面境界では地下水面の不連続が認められ、そのようなところでは何箇所かの湧水が確認されている。主要な湧水は龍津寺や拝島公園、諏訪神社などで、概ね $100\text{m}^3/\text{日}$ 以上の湧水量を示している。ただ、降水量の多少に大きく影響を受け、季節や年により大きく変動する状況となっている。

3) 深層地下水

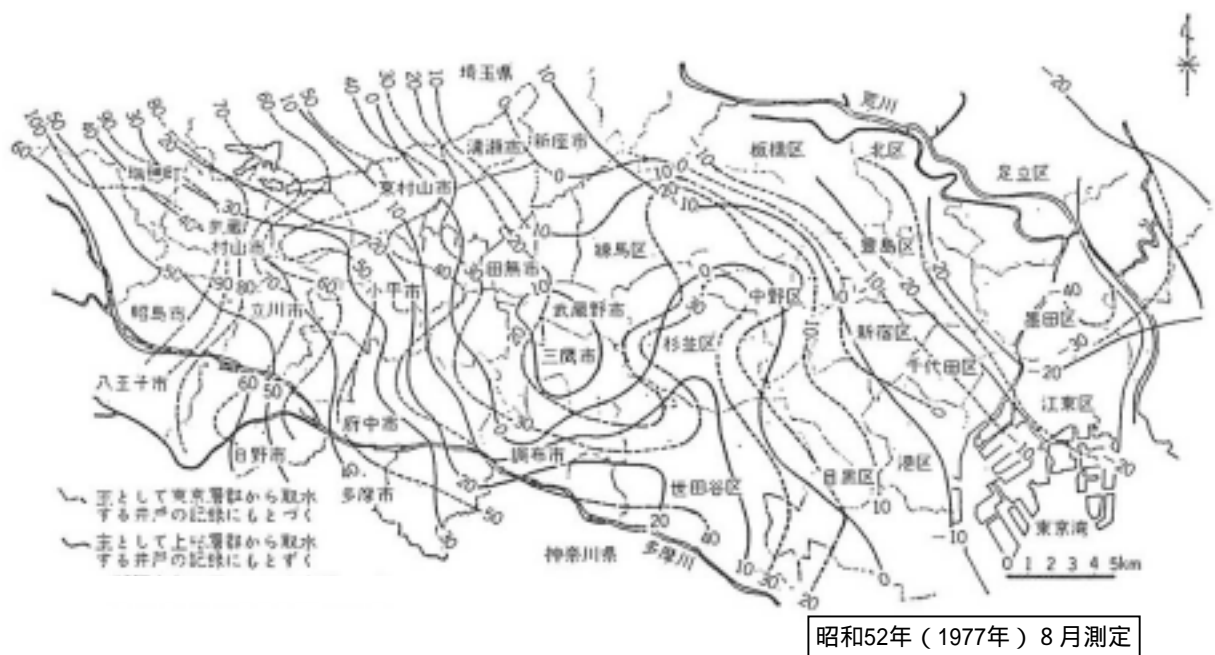
深層地下水の地下水位等高線は、東京都土木技術研究所が土木技研観測井の水位データを用いて作成している(図3-3)。昭島市周辺の深層地下水位は東久留米層の地下水位であり、南西から北東方向に流動する分布を示している。この分布は、多摩川から左岸域の地下水への涵養が行われていることを示唆するものと考えられる。

浅層地下水と同様に、本調査では深層地下水の一斉測水も行っており、その地下水位分布図を作成した(図3-4)。この図は福生市や立川市の既存資料も参考にして作成したものである。昭島市における多摩川左岸の深層地下水位標高は概ね60m~65mの範囲にあり、浅層地下水に比べると平坦な分布を示す。ただし、深井戸は複数の帯水層にスクリーンを設置していることが多く、そのため地下水位にバラツキがみられる。

既往調査でみられるような広域の地下水流動方向は不明瞭であるが、多摩川の右岸地域で地下水位が高く、南から北、あるいは南西から北東方向への流動が存在するものと考えられる。



出典 新藤静夫(1968): 武蔵野台地の水文地質、地学雑誌、vol.77、449 - 470



出典 新藤静夫(1980): 武蔵野台地における深層地下水の動態、地学雑誌、vol.77、336 - 347

図3 - 1 武蔵野台地の地下水面等高線図

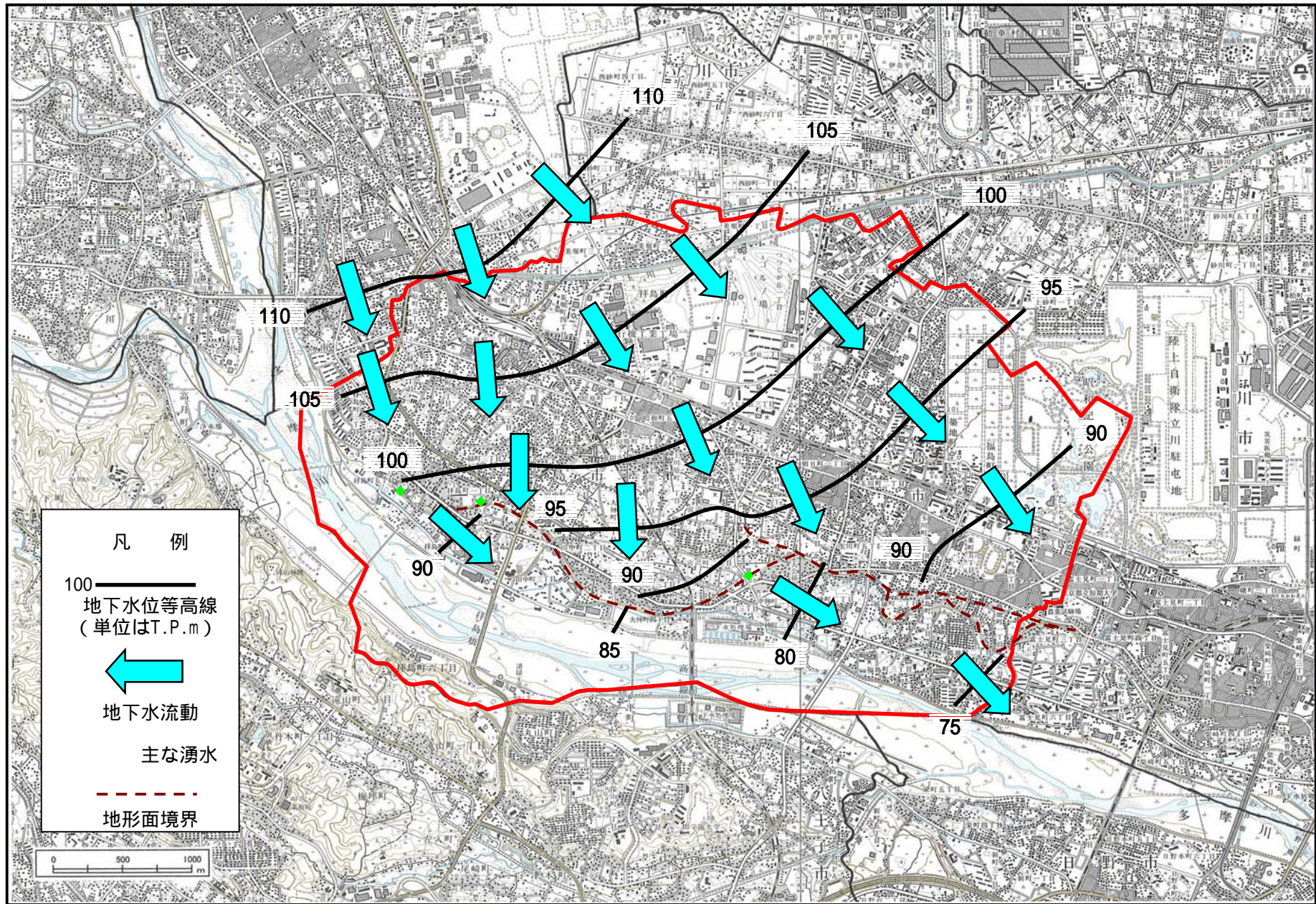
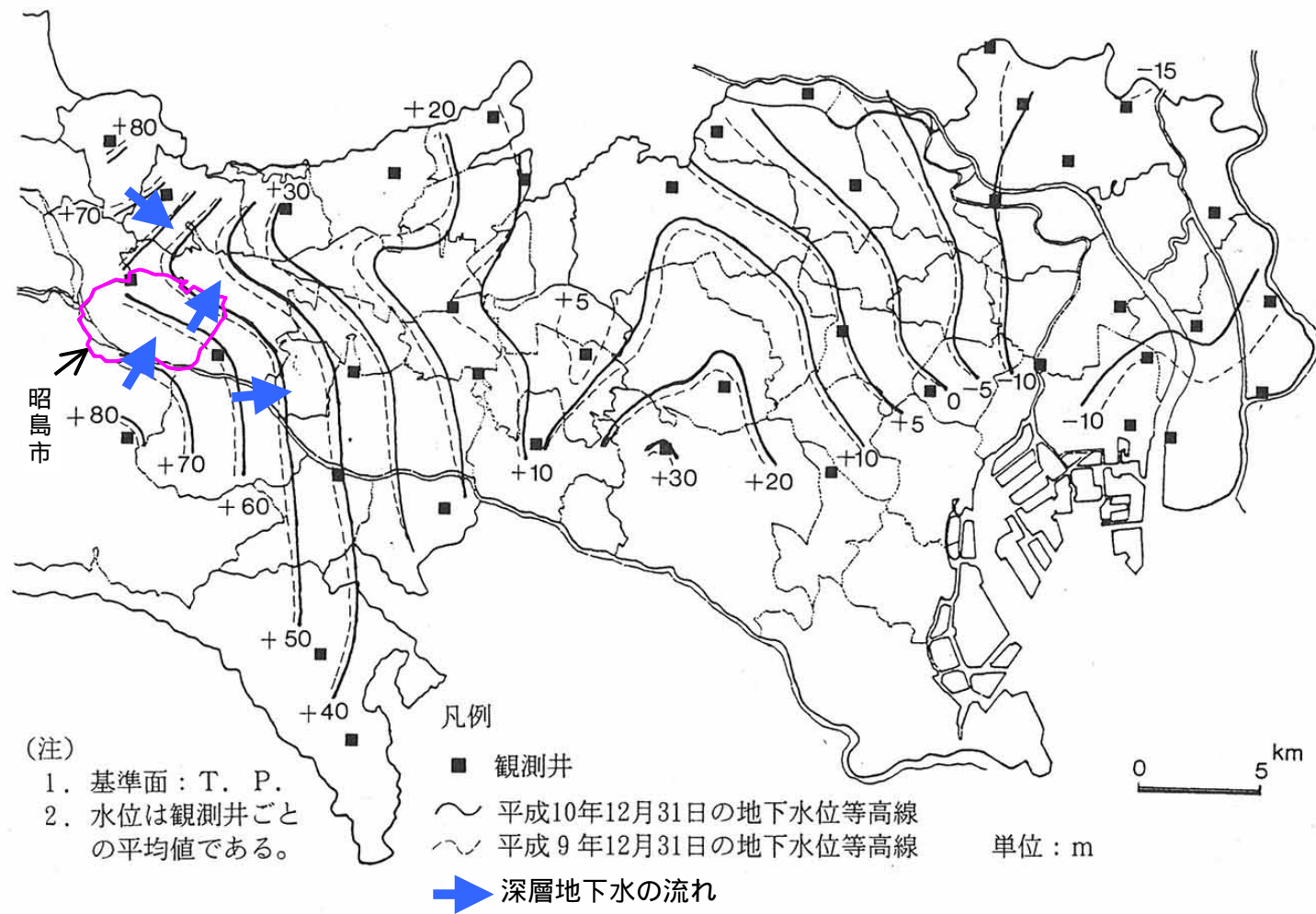


図3 - 2 昭島市および周辺の地下水面等高線図 (浅層地下水、平成15年8月測定)



出典 川島真一ほか（1999）：平成10年の地盤沈下、平成11年都土木技研年報に加筆

図3 - 3 都土木技研観測井による地下水位等高線図

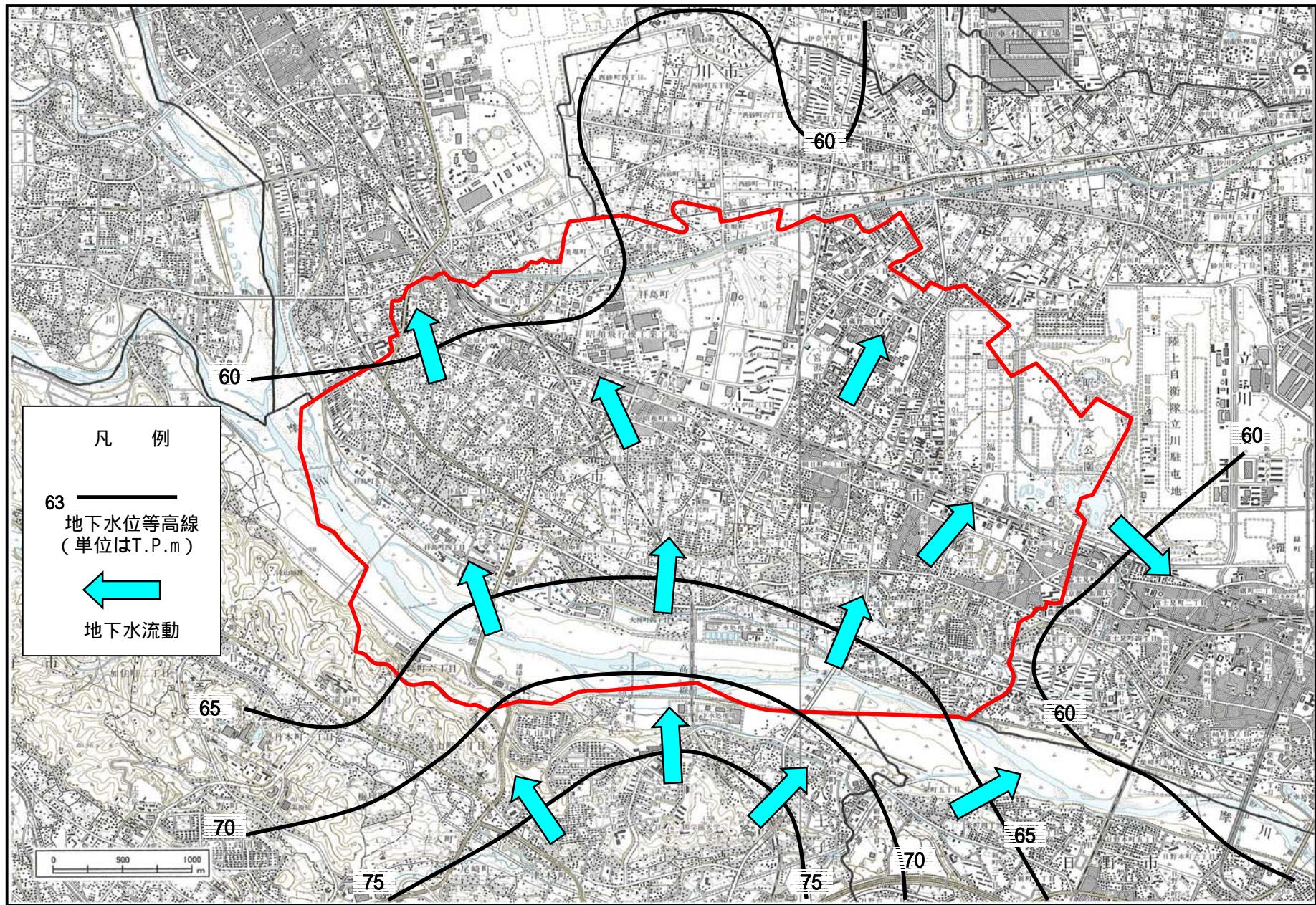


図3 - 4 昭島市および周辺の地下水位等高線図 (深層地下水、平成15年8月測定)

3-2 地下水位変動

昭島市水道部では、20箇所の水源井について、竣工当初より定期的に地下水位の測定を行っている。ここでは、それらのデータを用い地下水位変動状況を整理した。

水道水源井はいずれもJR青梅線以南に分布し、JR八高線を境に東部系と西部系に分かれ、東部系が14井（昭和29年から昭和48年にかけて設置）、西部系が6井（昭和38年から昭和44年にかけて設置）設置されている（図6-1参照）。井戸深度は150m～250mで、スクリーンは3～6箇所に設置されている。

図3-5に系統別に重ね合わせた地下水位変動グラフを示す。

水道水源井の地下水位は、数mの水位標高の違いはあるものの、いずれの井戸も互いに類似した水位変動を示している。このことは、同じ帯水層の地下水を取水していることを示すものと考えられる。経年的には昭和30年代から40年代にかけて急激な水位低下を示し、昭和48年ころに最低水位を記録した。その間の水位低下量は約40mと極めて大きな値となっている。その後は上昇傾向に転じ昭和58年ころまでに約10mの水位上昇を示した。昭和59年以降は、年により多少の変動はあるもののまた年周期の変動を繰り返しながらもほぼ横ばい状態で推移している。

これらの変動特性や変動要因については、第7章で詳述する。

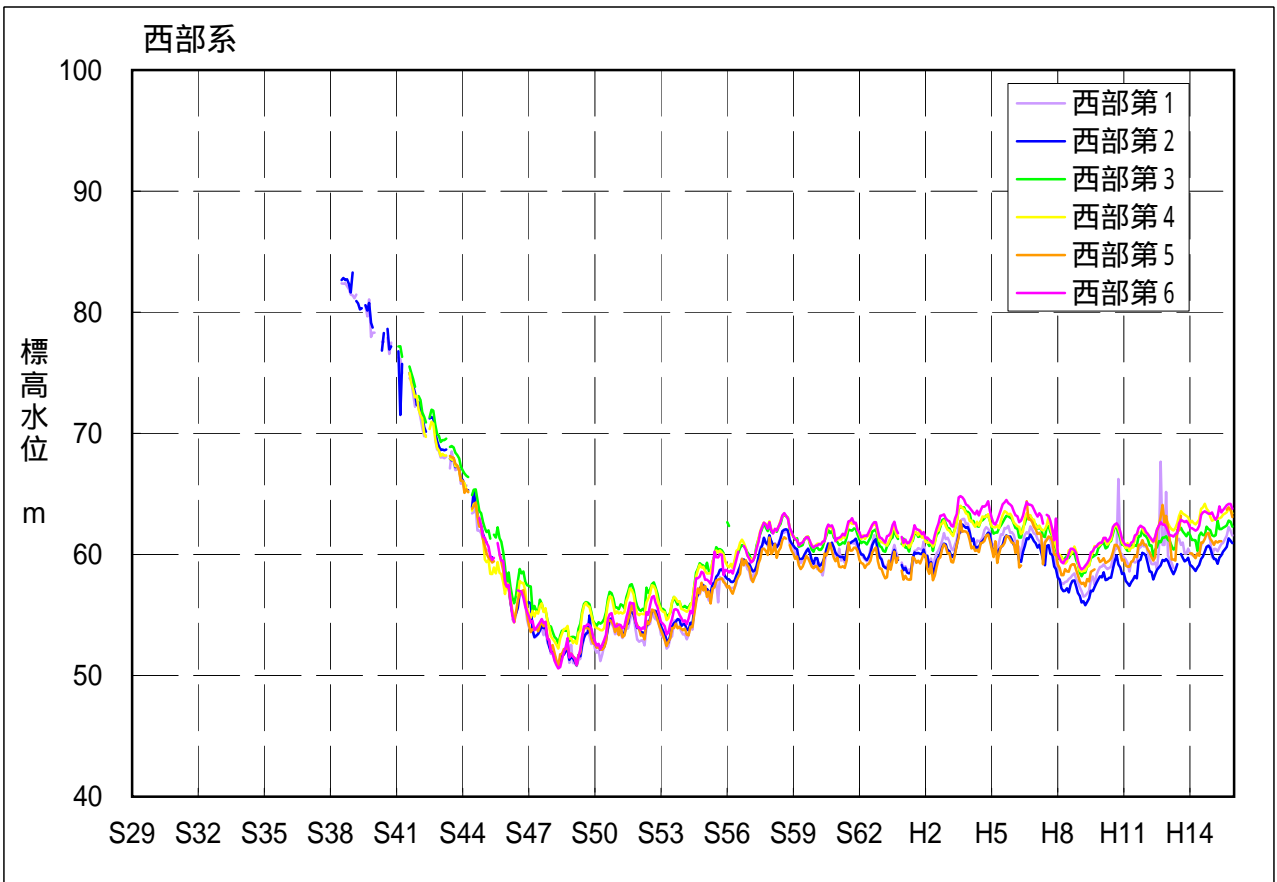
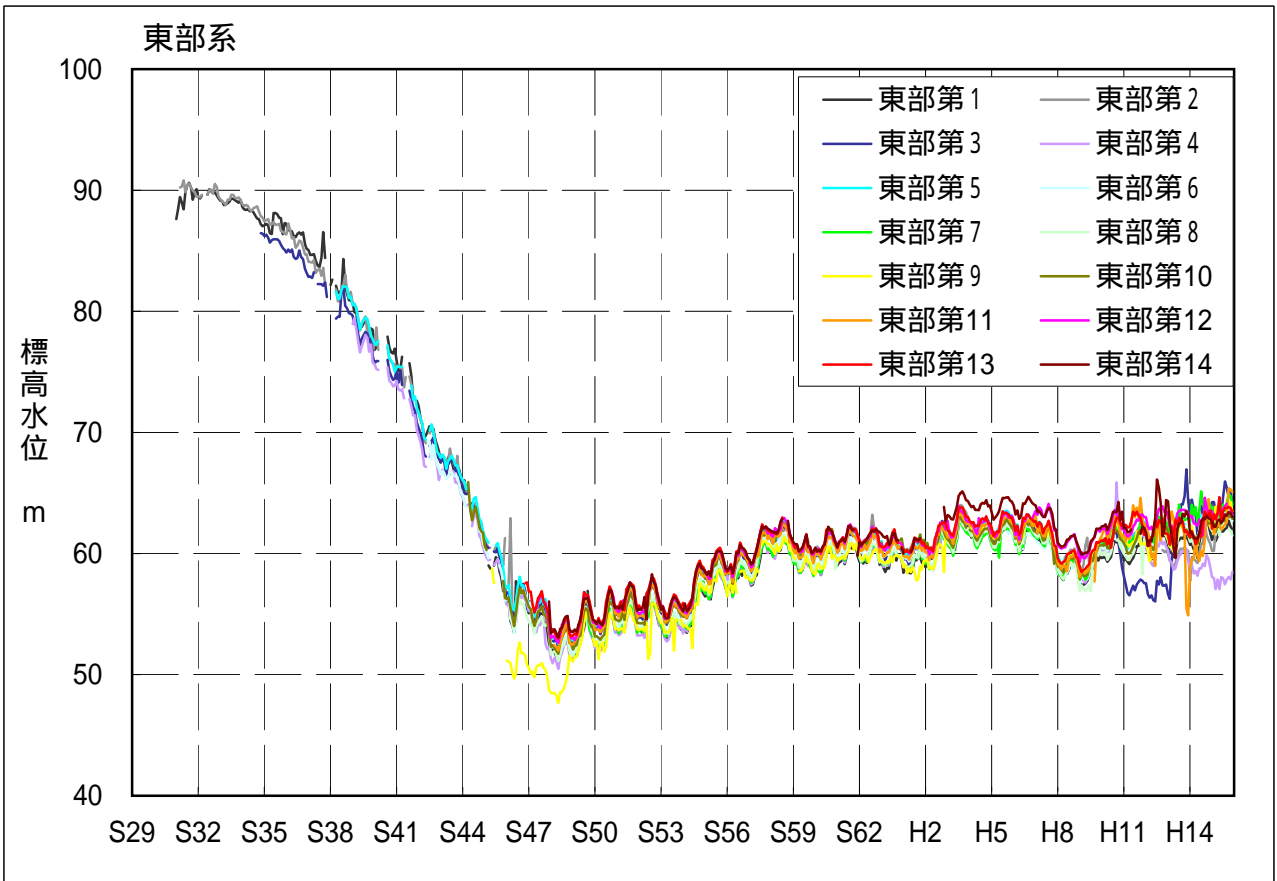


図3 - 5 系統別地下水位変動グラフ (水道水源井、自然水位)

4. 地盤変動状況

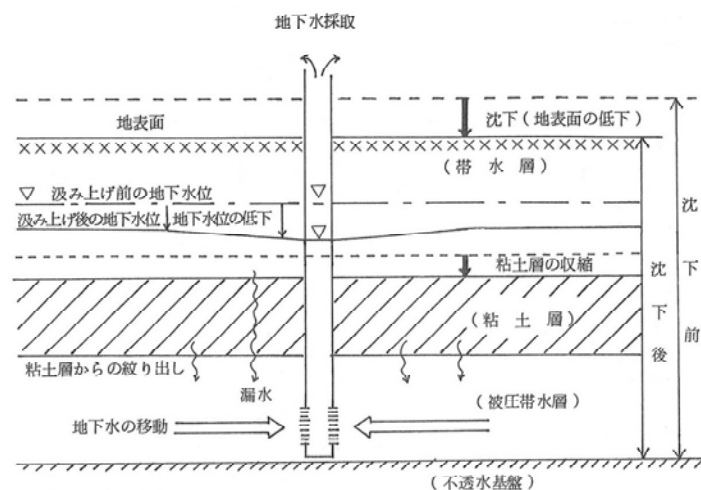
地盤沈下は、地下水や天然ガスかん水の大量採取により地層中の地下水位が低下し、これによって粘土層での圧密収縮が促進された結果生じる現象である（図4-1）。東京都では、昭和30年代から40年代にかけての高度経済成長期において、地下水の大量採取により地下水位が急激に低下し、下町低地を中心に地盤沈下が発生した。江東区や江戸川区では2mを越える沈下量を記録しているところもある。

多摩地域では昭和40年代後半から地盤沈下観測井による観測や水準測量が開始され（いずれも東京都が実施）、昭島市では昭和50年から水準測量が、平成2年から地盤沈下観測井（昭島市美堀町）による観測が開始されている。

昭島観測井における地盤変動状況は、年周期の収縮・膨張を繰り返しながらも経年的には収縮傾向で観測開始から平成15年末までに約15mm収縮した。ただし、14年間で15mmであることから、平均的には1mm/年である。

水準測量による結果でも昭島市における経年的な地盤沈下はなく、大部分の地点では±10mmの範囲で変動を繰り返している（図4-2）。この中で、昭和59年と平成8年に全地点で沈下を示している。両年とも渇水年で地下水位も全体的に低下しており、地下水位変動との関係が示唆される。

地盤沈下は、前述したように、地下水位低下に伴って粘性土層が収縮して生じる現象で、昭島市の昭和30年代から40年代にかけての水位低下に伴って地盤沈下が発生していた可能性が懸念されるが、地盤沈下被害の報告はまったくされておらず、また水準点（10581）の地盤変動状況からも昭島市においては地盤沈下は発生していないと判断される。このことは、地下水位が低下している東久留米層の層相が砂～礫層で、粘性土層がほとんど分布していないことによるものと考えられる。



（出典：環境庁（1982）：昭和56年度地盤沈下予測手法調査報告書）

図4-1 地盤沈下のメカニズム

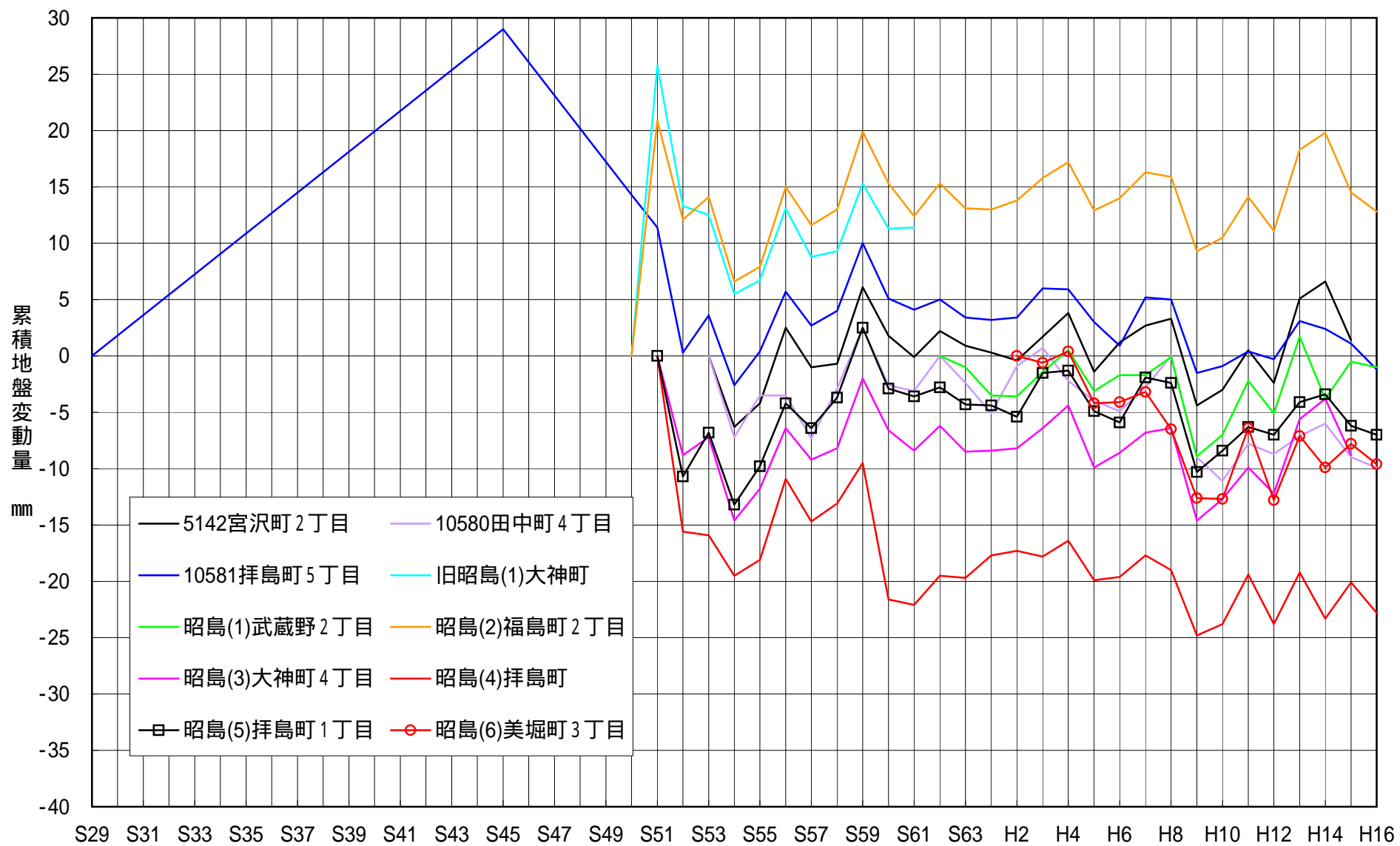


図4 - 2 累積地盤変動量 (水準測量による)

5. 地下水の利用状況

東京都では、地盤沈下対策の基礎資料を得るため、昭和46年から、東京都公害防止条例によって、揚水施設（吐出口断面積が合計 21cm^2 以上）の設置者に対し、揚水量の報告を義務づけて、地下水揚水量の実態を把握している。それらのデータは、「都内の地下水揚水の実態（地下水揚水量調査報告書）」として毎年公表されている。また、昭和34年から昭和45年までは「南関東地盤沈下対策誌」に整理されており、ここでは、これらの資料を整理した。

図5-1に周辺地方自治体も含めて地下水揚水量の経年変動図を示す。各市の揚水量は昭和45年～50年頃まで増加傾向を示し、その後は、昭島市を除き東京都公害防止条例の地下水採取規制に伴い減少傾向に転じている。昭島市は、昭和48年をピークに昭和58年頃までやや減少傾向を示すが、その後はほぼ横ばい状態が続き、現在は周辺地方自治体の中では最も地下水揚水量が多い状況にある。

昭島市の用途別揚水量は、昭和46年は工場が35%、指定作業場が13%、上水道が51%であったが、平成15年はそれぞれ11%、1%、88%となり、水道用の占める割合が大きくなっている（図5-2）。

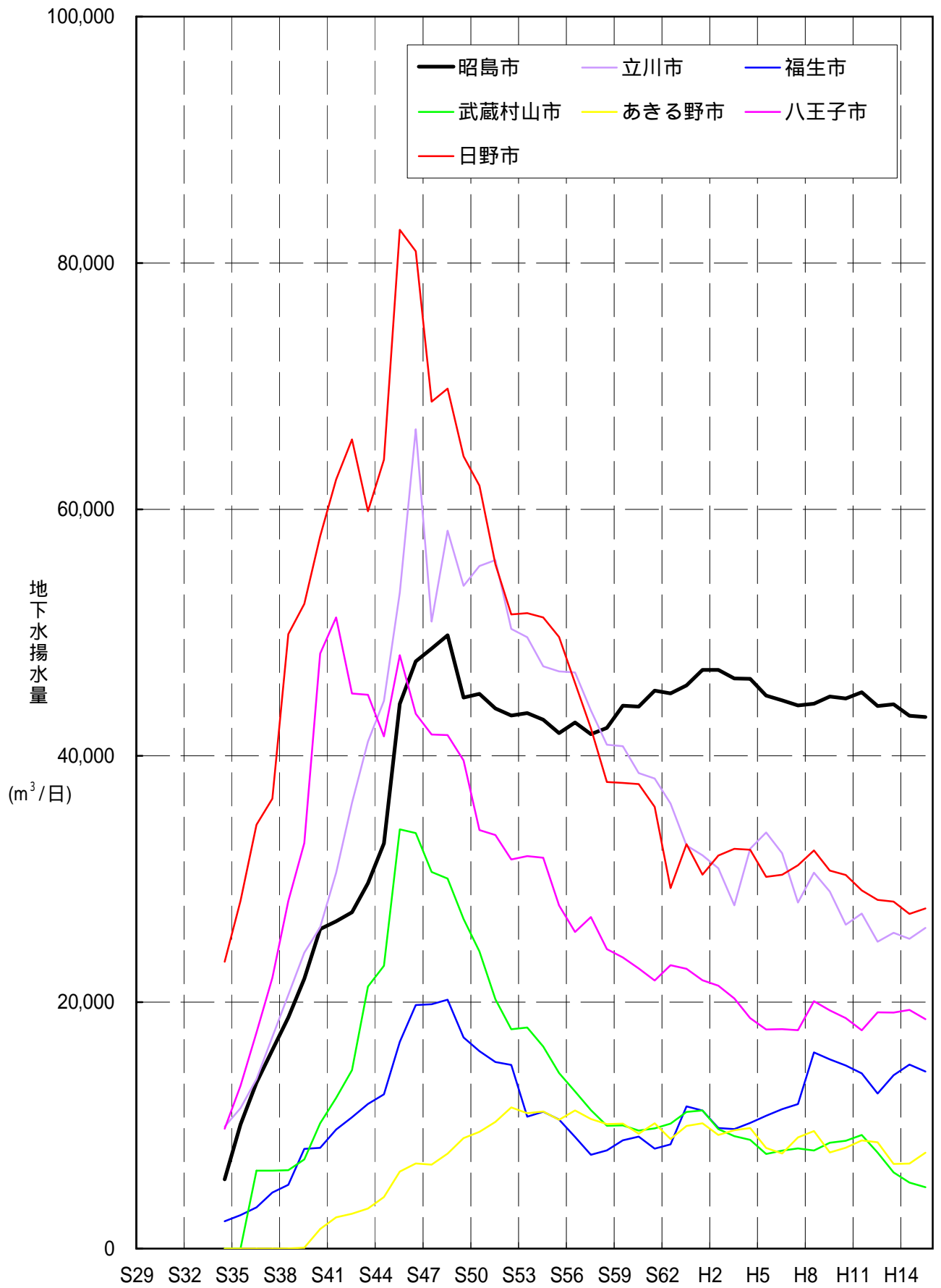


図5 - 1 市町村別揚水量経年グラフ

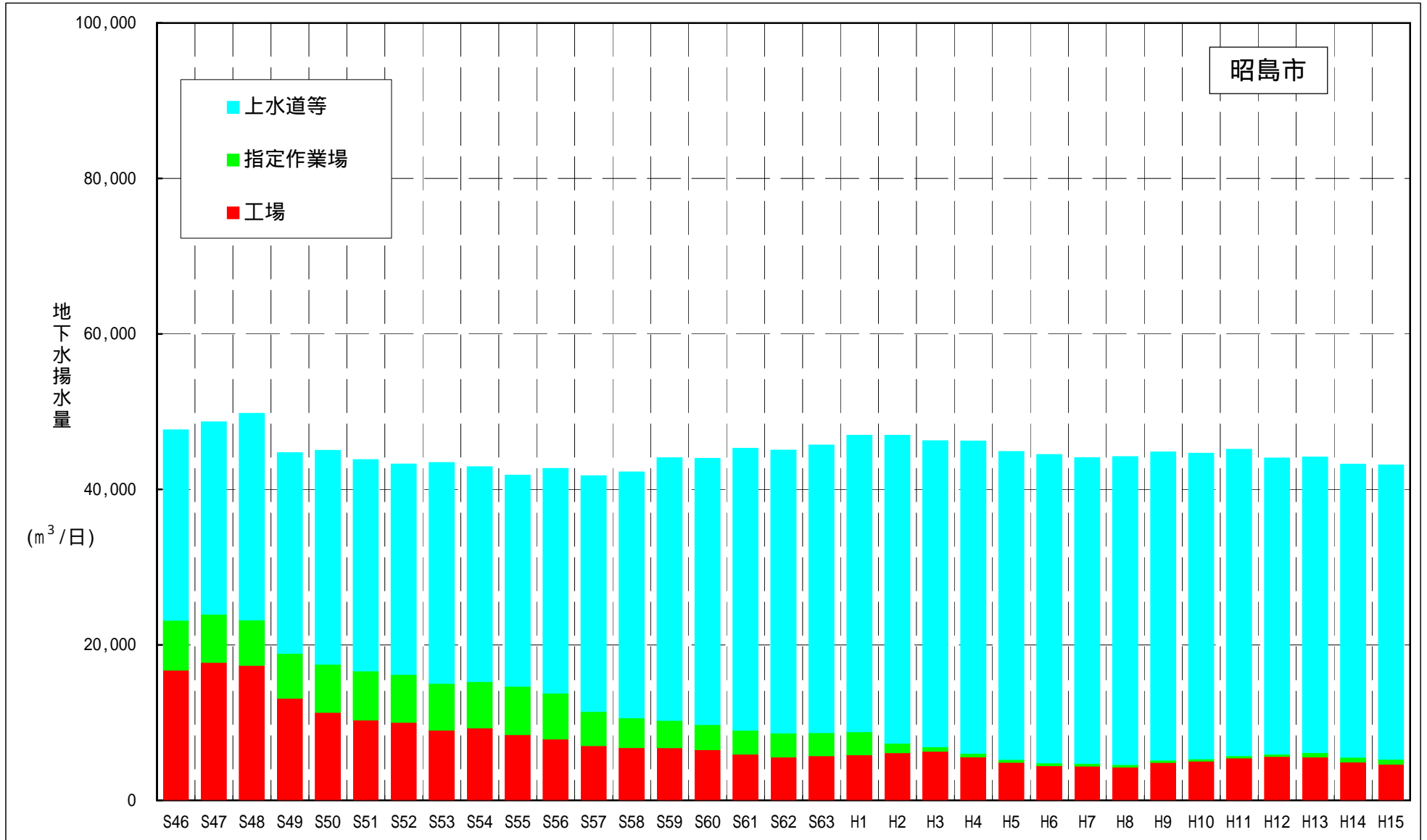


図5 - 2 年別・用途別揚水量経年グラフ (昭島市)

6. 地下水の涵養と流動

昭島市の地下水は、水収支や地下水シミュレーションで述べるように、降水や多摩川の河川水、上流（南部や西部）からの地下水流入で涵養されていると考えられる。ここでは、深度別の採水を行った水道水源井の西部1号井－西部5号井－東部6号井－東部8号井を通る断面を作成し、本調査で明らかになった調査結果から地下水の涵養と流動機構について検討した。断面の位置を図6-1に示す。

図6-2は、測定時期は異なるが、層別の地下水頭（ポテンシャル）を示したものである。西部1号井と西部5号井では、上位ほどポテンシャルが高く下向きの流動成分が存在し、涵養域の性状を示している。それに対して、東部6号井や東部8号井では、深度100m付近の主要帯水層でポテンシャルが低く、それ以深では上向きの流動成分が示唆される。深度100m付近の帯水層のポテンシャルが低い原因は、その層での地下水揚水によるものと考えられる。

図6-3は各層の溶存成分を、また図6-4は同位体（水素・酸素の安定同位体・トリチウム）の分析結果を示したものである。全体的な傾向として、東ほどpHおよび電気伝導率が高く西から東への地下水流動が示唆される。また、東部8号井の第2・第3層の地下水は水質型がNa-HCO₃型で他と異なり、トリチウム濃度も極めて小さい値を示すなど、滞留時間の長い地下水の性状を示している。

図6-5は東部12号井における地下水温の鉛直プロファイルである。この水源井の地下水温は、深度90m付近まで16.5℃前後で比較的安定している。深度95m付近で約0.3℃低下した後、深度140m付近まではまた比較的安定した水温となっている。140m以深は、ほぼ一様な増温傾向を示す。水温上昇率は100mで約5℃で、関東地方の平均的な上昇率、3℃/100mより大きな値となっている。深度95m～140m区間は主要な地下水流動層と考えられ、増温傾向を示す深度140m以深はあまり地下水が流動していない区間と判断される。

また、地下水のトリチウム濃度から滞留時間の推定を行った。東部第6水源の第1深度や第2深度から採取した地下水のトリチウム濃度は5.5T.U.と5.6T.U.とほぼ同じ値を示し、最近の降水のトリチウム濃度よりやや大きな値となっている（図6-6）。1回のデータだけで判断するのは難しいが、トリチウムの減衰率から、この地下水は涵養から30年程度経過した水であると想定される。

*水の安定同位体調査

水は水素原子(H)と酸素原子(O)が結合した水分子(H₂O)から成り立っている。水分子の分子量(分子の重さ)は、水素の質量数(原子の重さ)が1、酸素の質量数が16なので、通常18になる。ところが、自然界の水素や酸素には通常の質量数よりも重い原子(質量数2の二重水素Dや質量数18の酸素¹⁸O)があり、これらを同位体と呼ん

でいる。同位体が含まれる水分子の分子量は19または20なので、普通の水分子よりも重くなり、蒸発しにくい（普通の水分子のほうが蒸発しやすい）などの特性を持つ。

安定同位体調査は、この重い水分子と普通の軽い水分子の性質の違いを利用して水循環の機構を明らかにするもので、たとえば、標高の高い山地に降る雨は軽く、平野に降る雨は重い。また、水田に張られたかんがい水は蒸発が活発なため、次第に重い水分子の割合が大きい「重い水」に変化してゆく。

本調査地では、山地に降った雨が集まって流れる「軽い水」の多摩川河川水、調査地に降る「比較的重い水」の雨水などによって地下水が涵養されていると考えられる。したがって、地下水の起源を考えると、その水が比較的「軽い水」である場合には多摩川河川水の割合が多く、逆に「重い水」のときは地表からの雨水浸透水の割合が多いことになる。

*トリチウム調査

トリチウムは、時間の経過とともに崩壊しヘリウム(${}^3\text{He}$)になる質量数3の水素の放射性同位体(${}^3\text{H}$)で、半減期（原子が崩壊してその量が半分になる期間）は約12.4年である。

トリチウム調査は、地下水や河川水の中に極微量含まれるトリチウムの量を調べることによって、その水の降雨後の経過時間を求め、地下水の涵養源や流動機構を推測する手法である。

図6-6は、トリチウム濃度から滞留時間を推定したもので、青●が採水時のトリチウム濃度を示し、そこから伸びる直線が半減期から計算される過去のトリチウム濃度を示す。その直線と降水のトリチウム濃度曲線は1970年代前半で交差しており（赤線の移動平均曲線）、これから滞留時間は約30年と推定することができる。

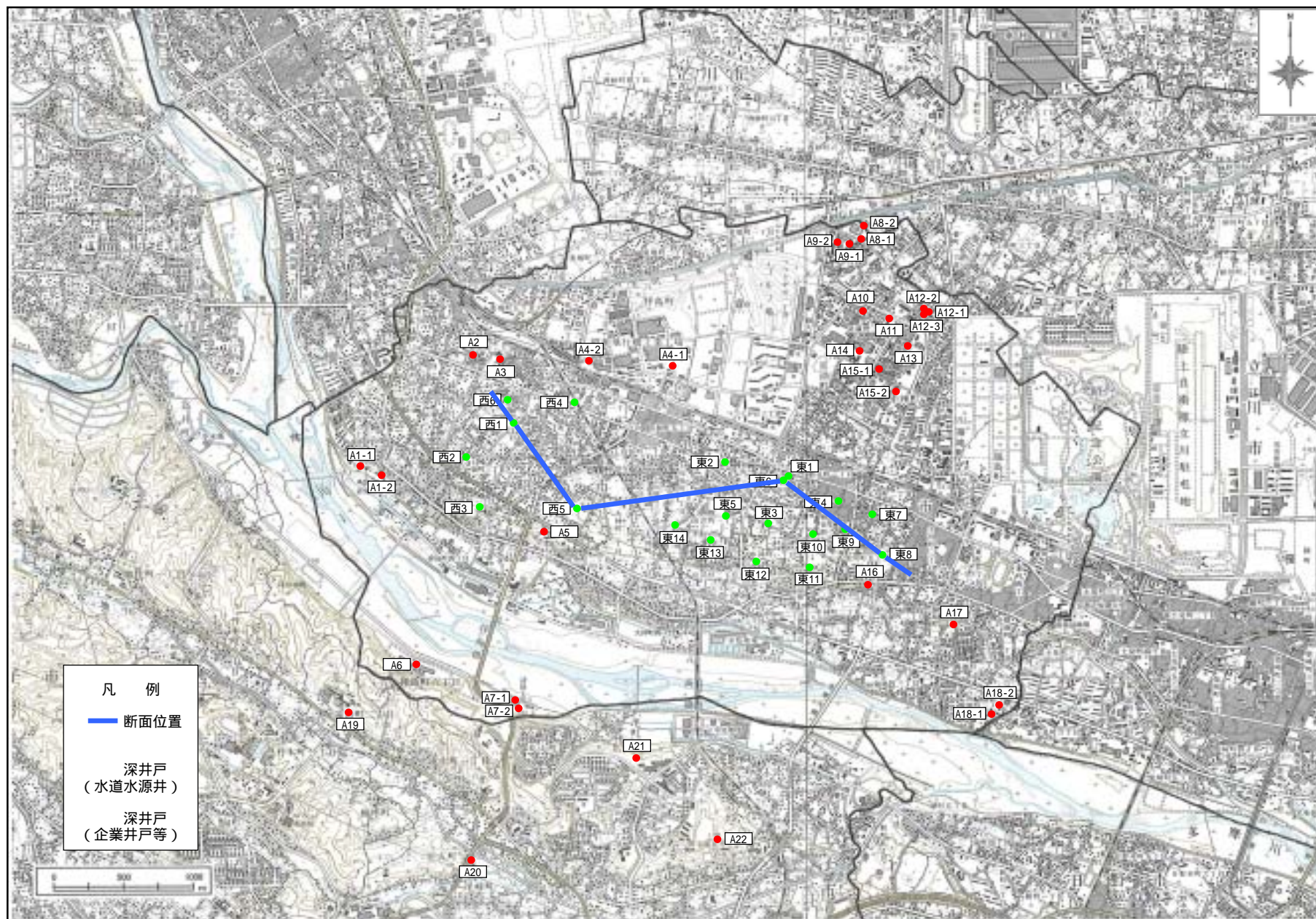


图6 - 1 断面位置图

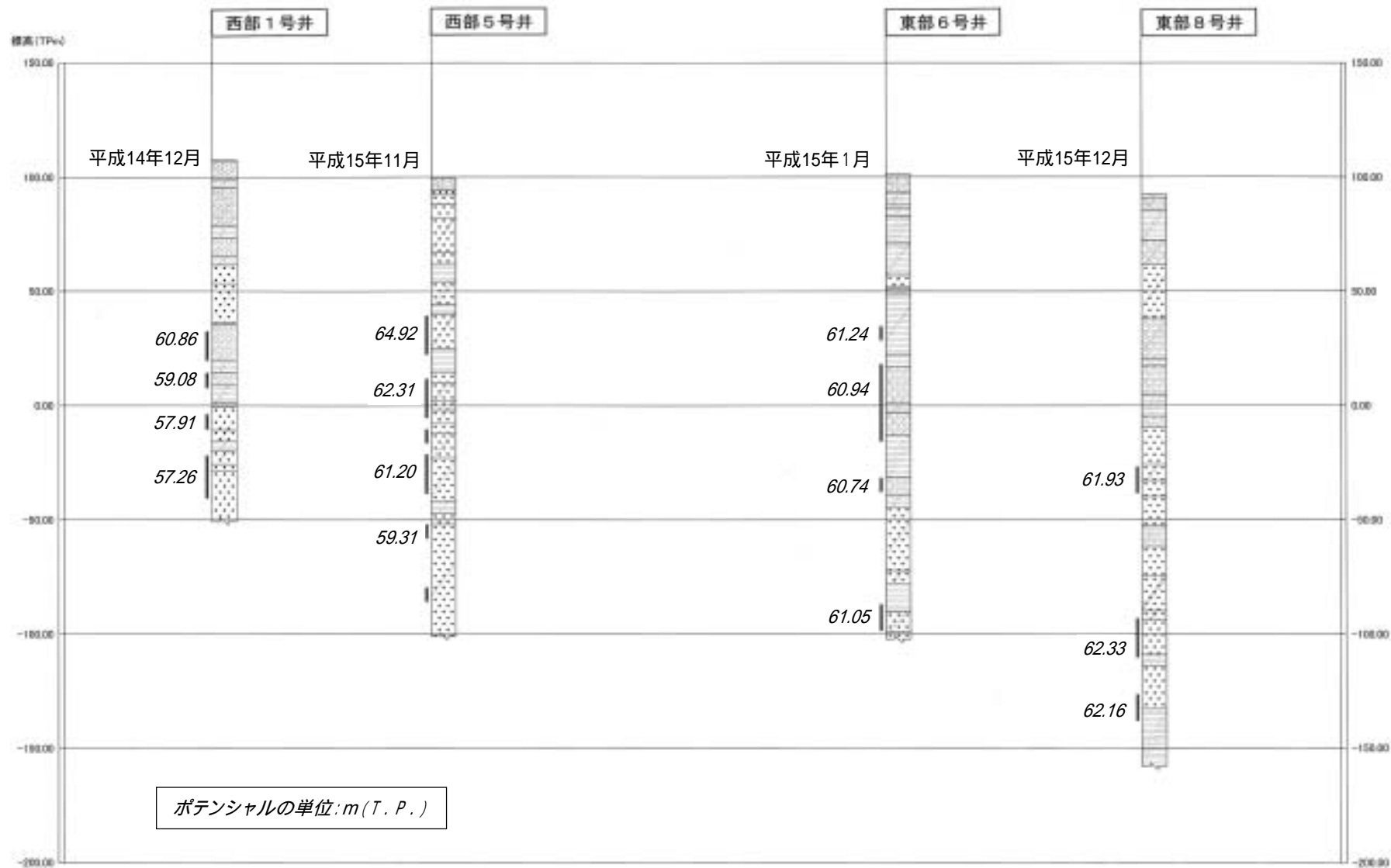


図 6 - 2 地下水ポテンシャル断面図

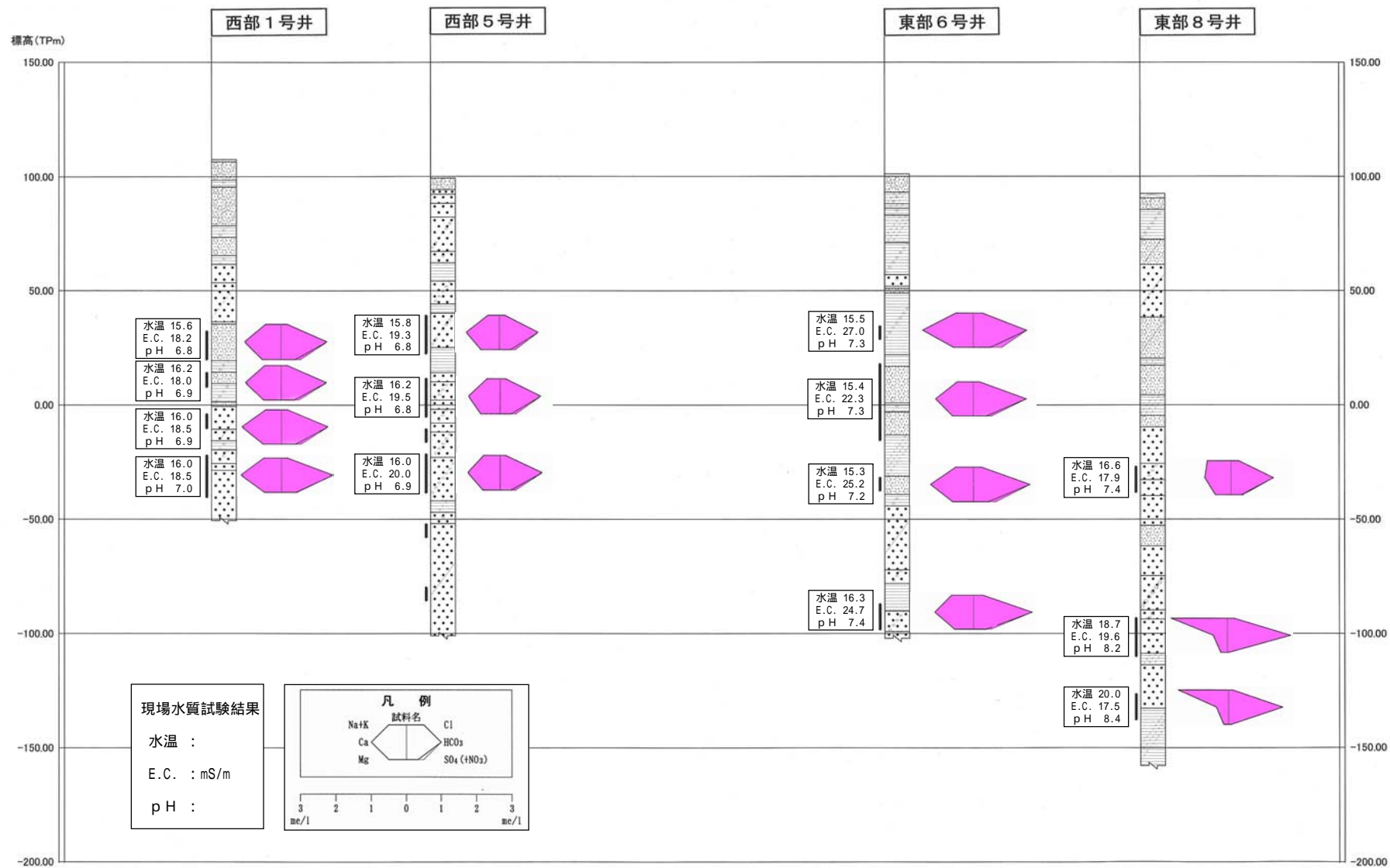


図6 - 3 水質の鉛直分布図

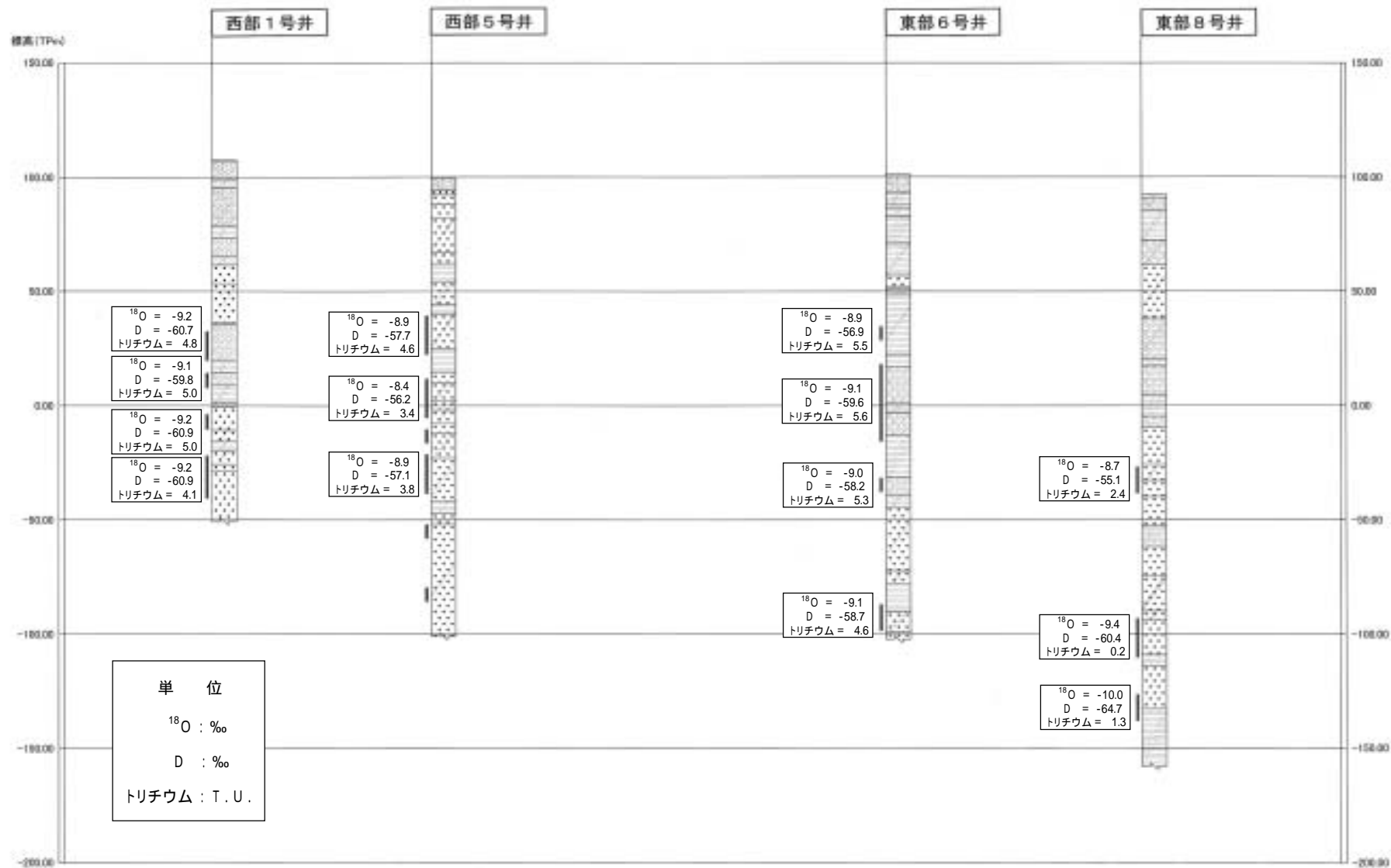


図 6 - 4 同位体分析結果の鉛直分布

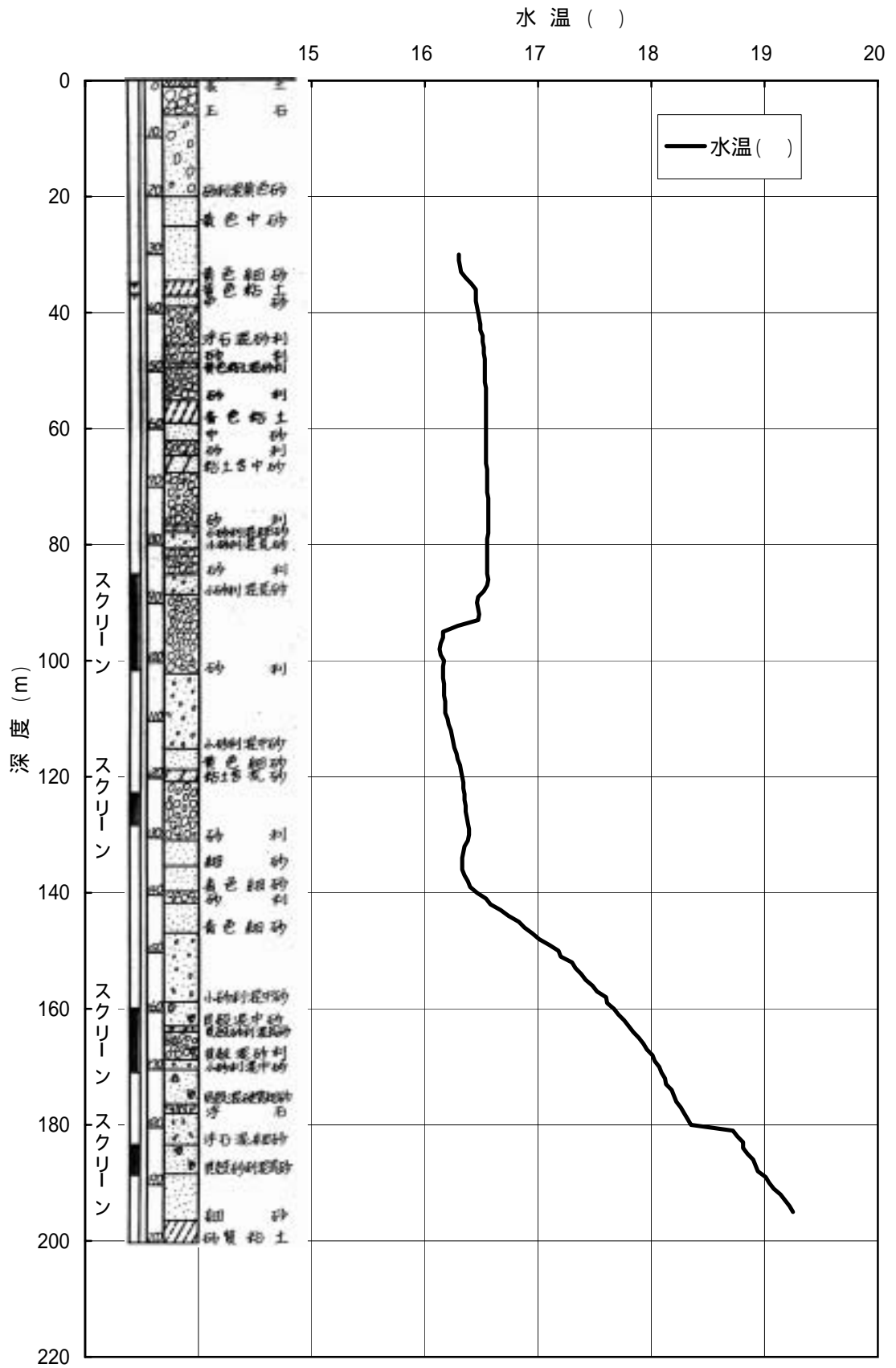


図 6 - 5 地下水温度鉛直プロファイル (東部12号水源井)

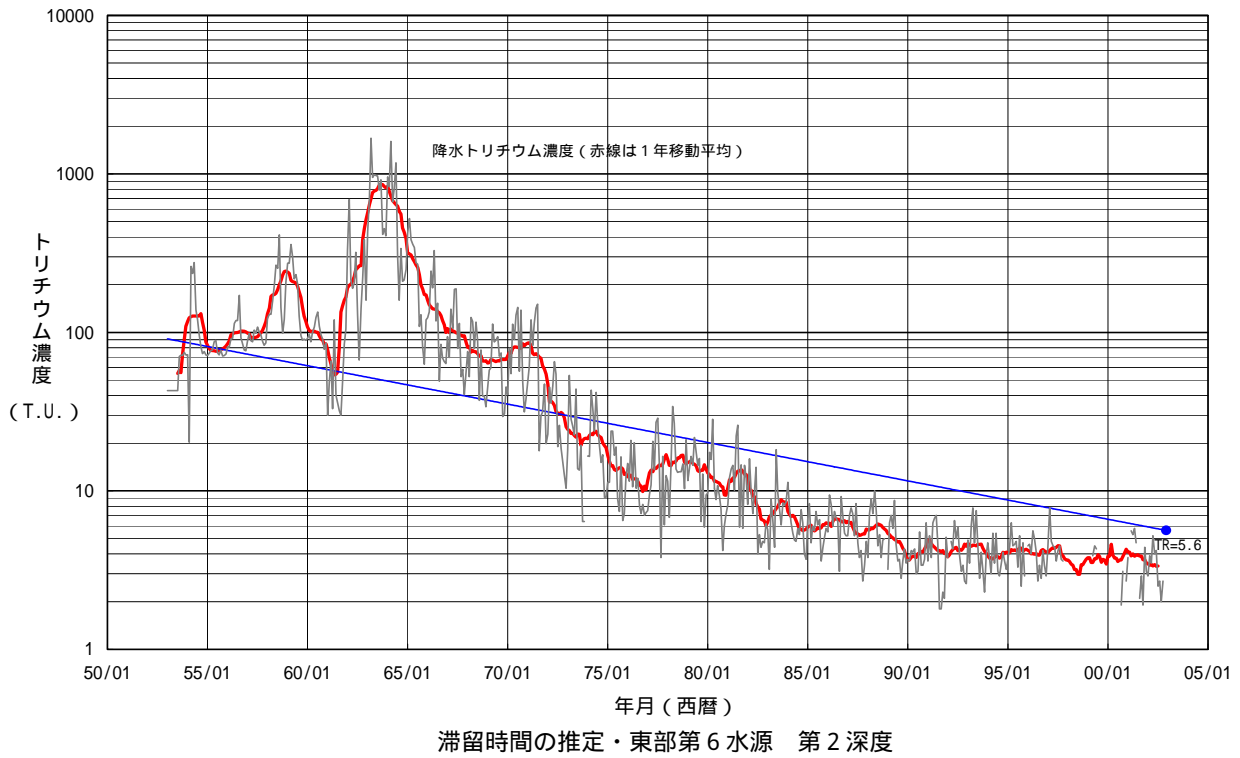
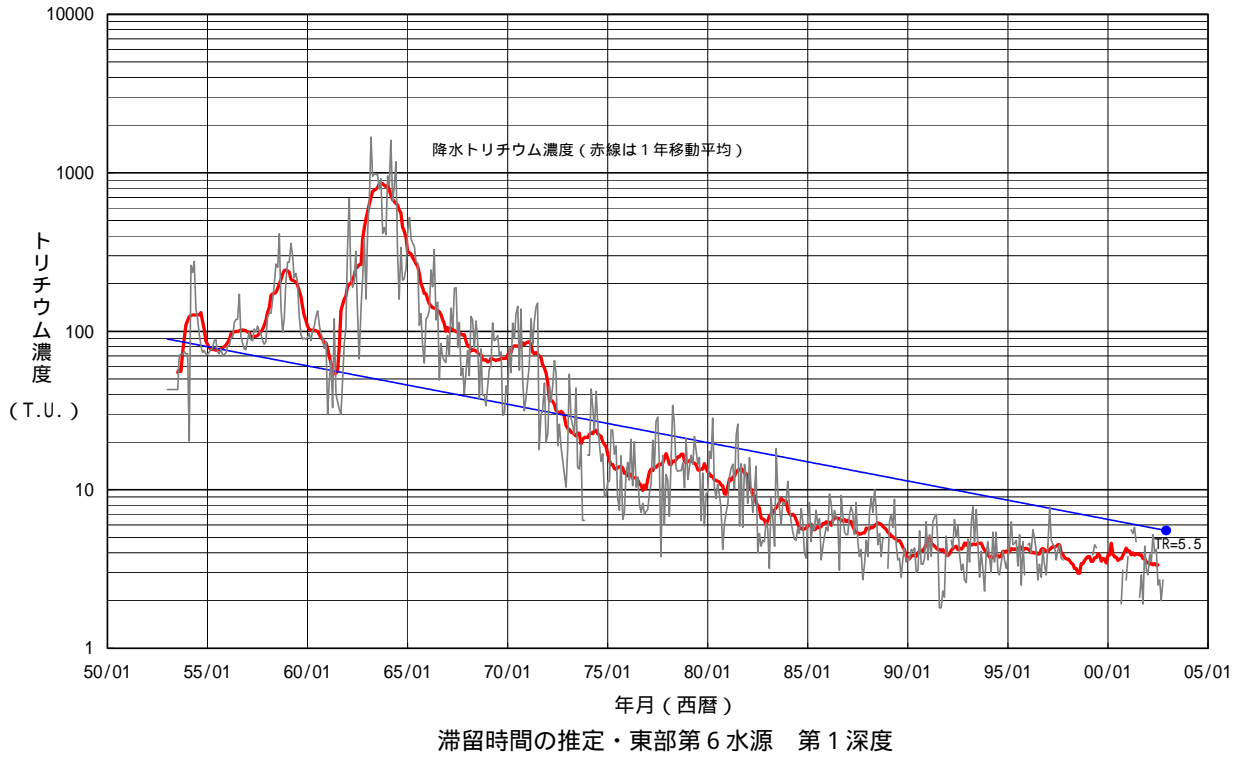


図6-6 トリチウムによる滞留時間の推定

7. 地下水位の変動特性と変動要因

昭島市水道部では、20箇所の水源井について、竣工当初より定期的に地下水位の測定を行っている。ここでは、それらのデータを用い、地下水位の変動特性と変動要因について考察した。

水道水源井は、深度150～250mで、スクリーンは深度40～230mに設置されている。昭島市の地層は、表層より沖積層（段丘部ではローム・段丘礫層）、上総層群（東久留米層・北多摩層）で構成されており（前出表1-1、図1-2）、水道水源井で取水している主要な帯水層は東久留米層の砂礫層である。

図7-1に全水源井の地下水位変動グラフを系統別に示す。竣工が最も早い東部1号井の竣工当初の地下水位は約90m（標高水位、T.P.m、以下同じ）で、昭和34年ころから水位低下が始まり、昭和48年ころに最低水位約51mを記録した。その間の水位低下量は約40mと極めて大きな値となっている。その後は上昇傾向に転じ昭和58年ころまでに約10mの水位上昇を示した。昭和59年以降は、年により多少の変動はあるもののまた年周期の変動を繰り返しながらもほぼ横ばい状態で推移している。他の水源井も数mの水位標高の違いはあるものの互いに類似した水位変動を示している。このことは、同じ帯水層の地下水を取水していることを示すものと考えられる。

昭和30年以後の経年的な水位変化は、地下水揚水量の変化に伴うものと考えられる。昭和30年代から40年代の前半にかけての高度経済成長とともに地下水利用量が増大し、その結果地下水位は一様に低下した。昭和47年に東京都公害防止条例が制定され、地下水取水規制が始まった。この規制により地下水揚水量の急激な増加は頭打ちとなり、昭島市の地下水揚水量は昭和48年をピークに、以後は漸減からほぼ横ばい状態となっている。図7-2に代表として東部1号井の地下水揚水量と地下水位の関係を示す。揚水量と地下水位の間には、地下水位低下期（昭和34年～昭和48年）と地下水位回復期（昭和48年～昭和58年）では明瞭な相関関係が認められ、この図からも地下水位は揚水量によって変化していることが分かる。

水位がほぼ横ばい状態になった昭和59年以降については、地下水位と揚水量の関係は不明瞭となり、他の要因による変動が示唆される。この期間の毎年の水位変動を重ねたものを図7-3に示す。東部第1水源井と西部第3水源井を代表として示すが、両井とも概ね4m程度の範囲で変動している。その中で、いずれも平成8年および平成9年に低い水位で変動しており、西部第3水源井の方がより低くなっている。平成8年および9年はいずれも渇水年で、八王子の年降水量非超過確率（図2-3）でみると、平成8年が1/15確率程度、平成9年が1/7確率程度の渇水年に当たっている。これから、涵養量が地下水位変化に影響していることが想定され、降水量と地下水位変動量（1月と翌年1月の水位差）の関係をとった（図7-4）。いずれもやや不明瞭ながら降水量と地下水位変動量の

間に関係が認められ、降水量が水道水源井の地下水位に影響していることが示唆される。また、西部系の井戸の方が高い相関を示しており、これは西部地域が涵養域に近いことが関係していると考えられる。

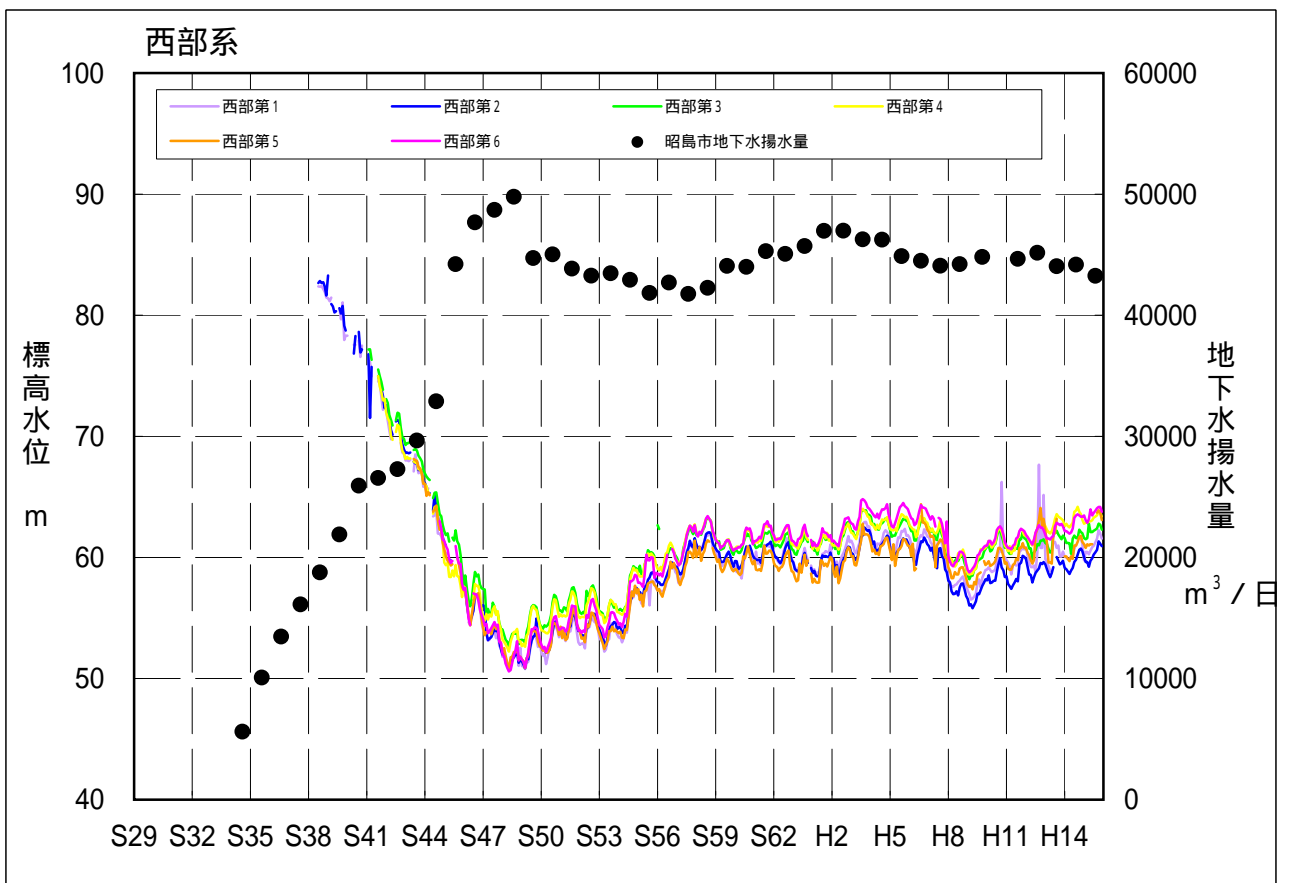
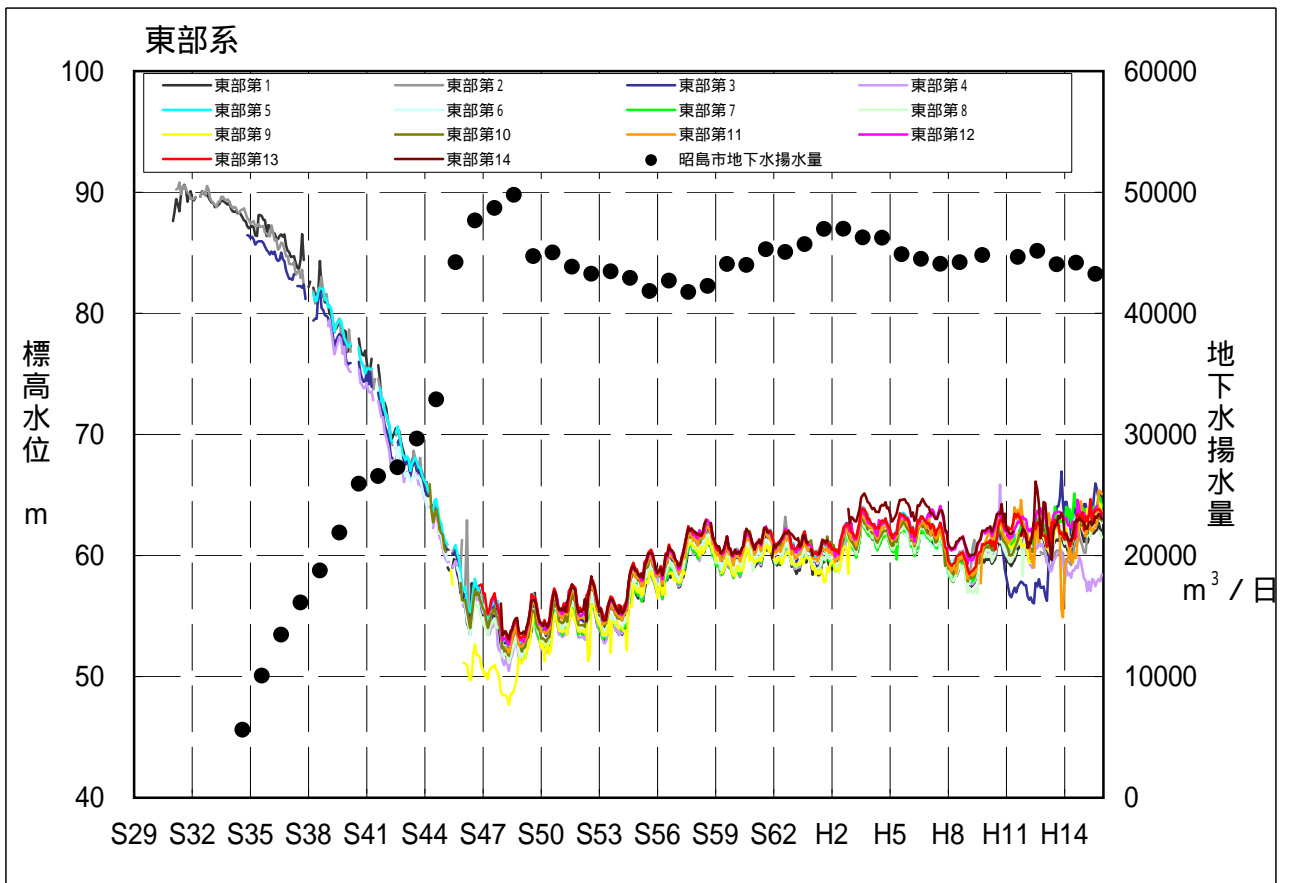
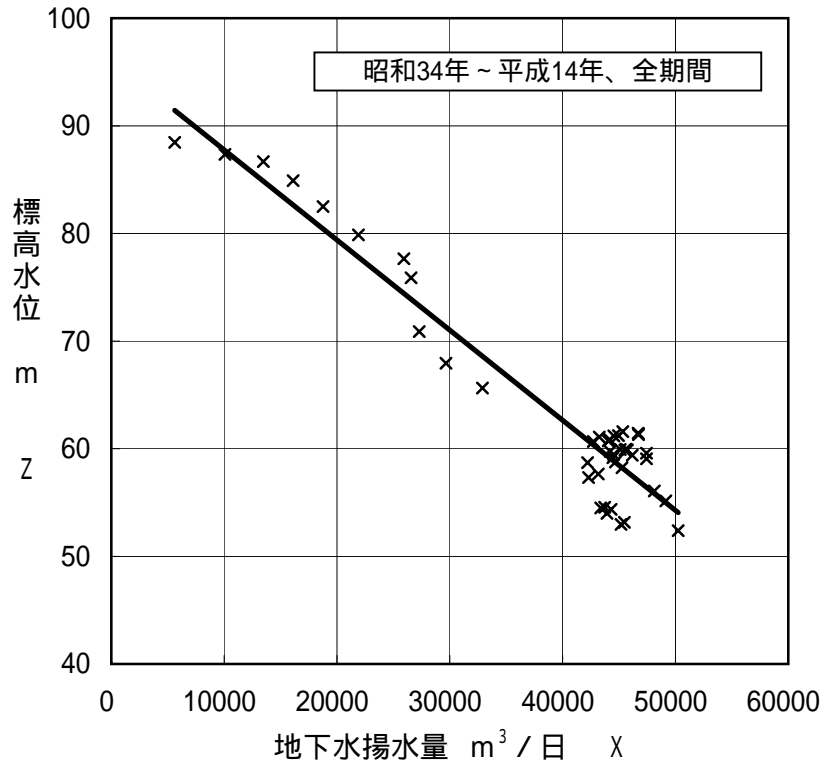


図 7 - 1 系統別地下水位変動グラフ (水道水源井、自然水位)



$$Z = -0.00090X + 96.75 \quad r = -0.98$$

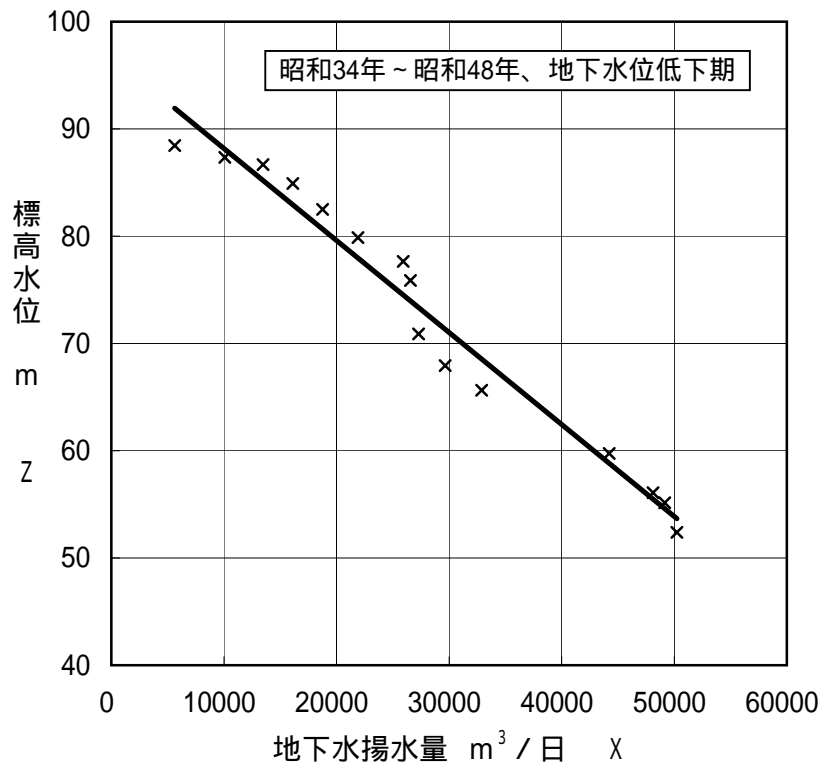
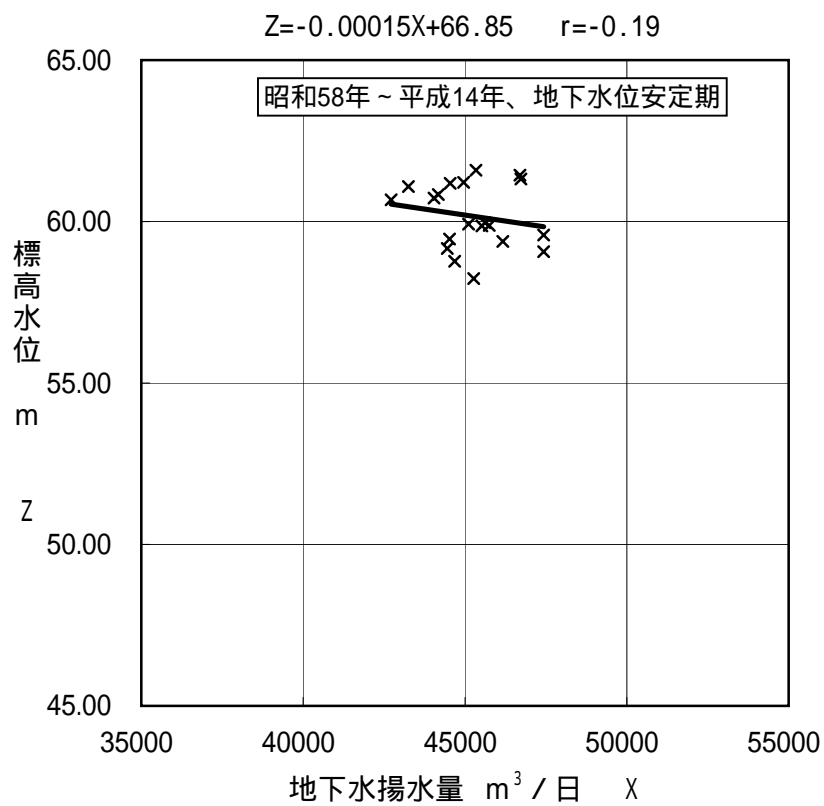
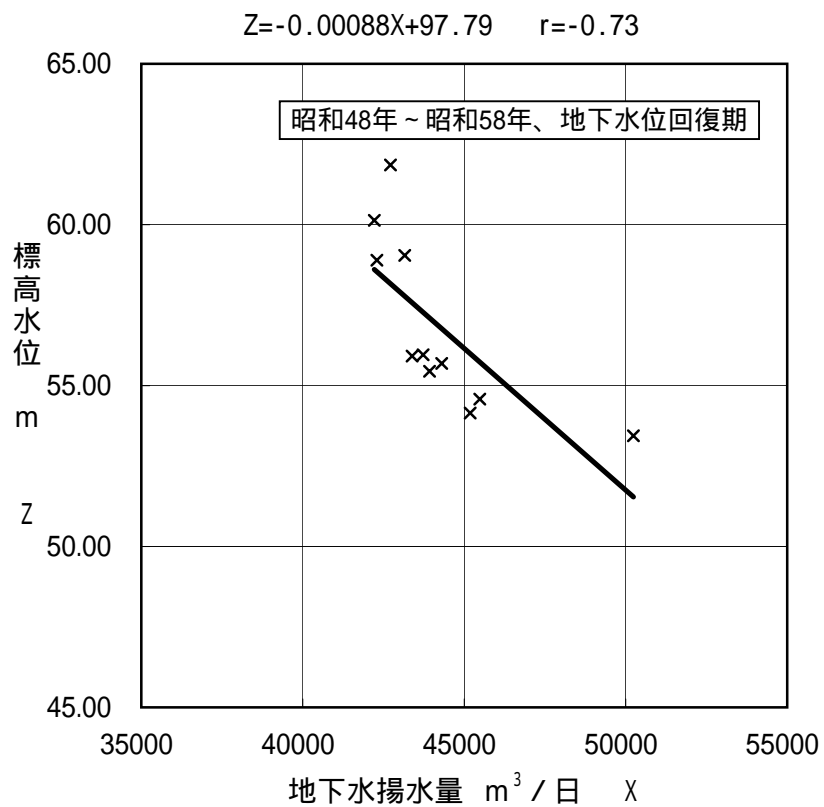


図7 - 2 (1) 地下水揚水量と地下水位の関係 (東部1号、その1)



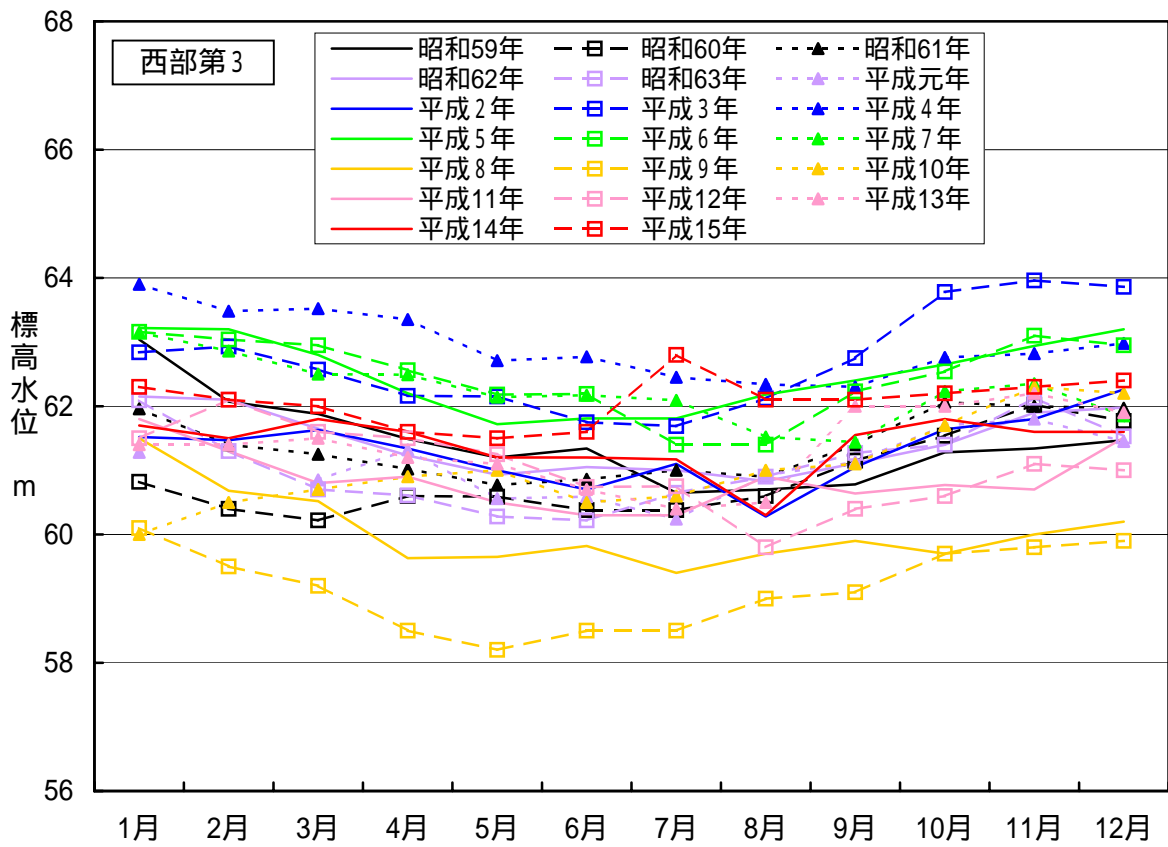
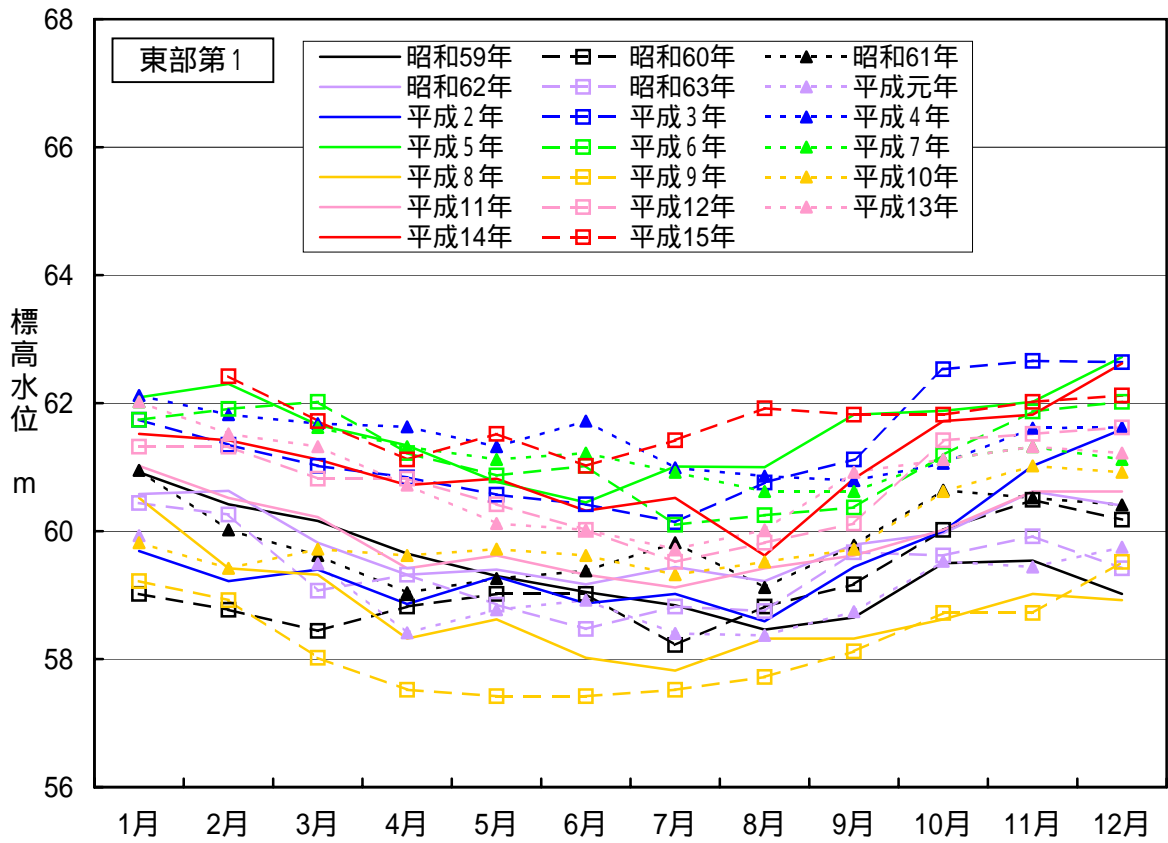


図7 - 3 地下水位の年別変化（東部第1・西部第3水源井）

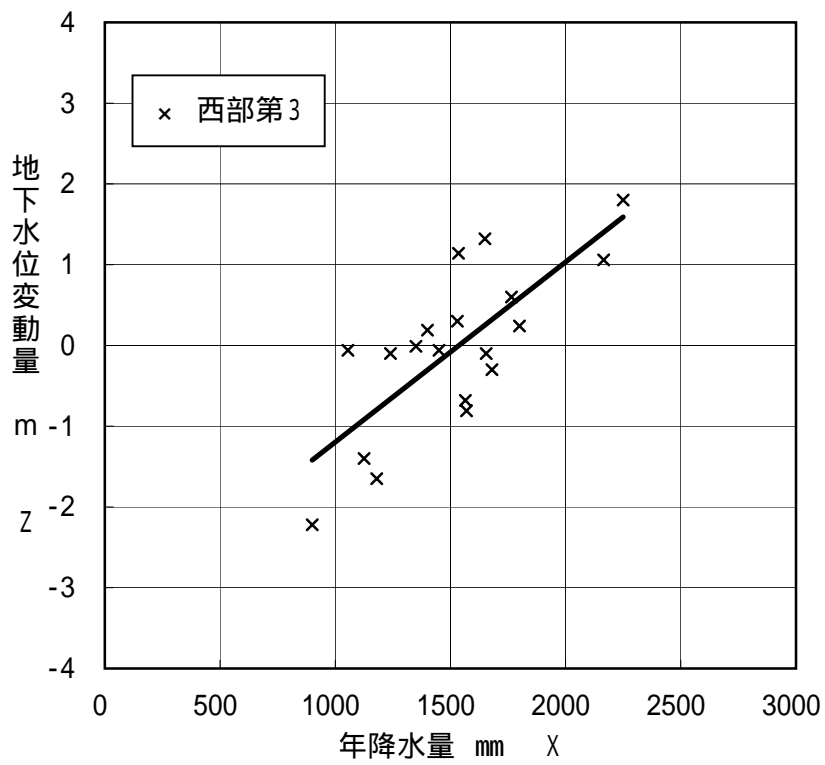
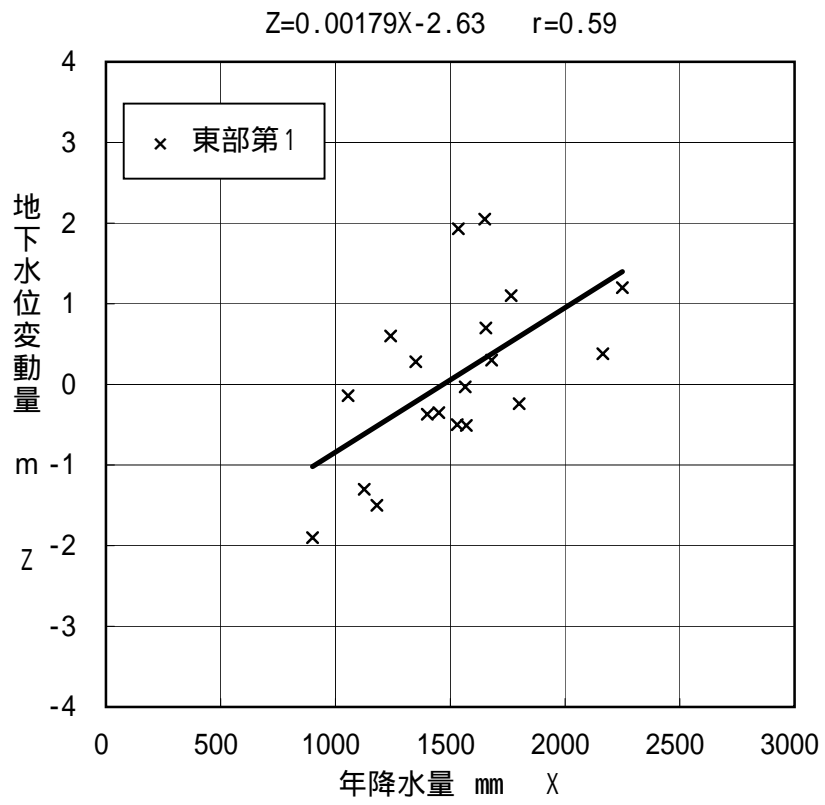


図7 - 4 年降水量と地下水位変動量の関係 (東部1号・西部3号)

8. 水収支

降水量・蒸発散量・河川流出量などの水収支諸要素を明らかにした上で、昭島市における水収支解析を行い、地下水涵養量を検討した。さらに、地下水揚水量・基底流出量（湧水量）・地下水貯留変化量などを定量化し、他地域からの地下水流入量や多摩川からの涵養量を評価した。

1) 水収支式

地表面の水収支式は、以下の式が考えられる。

$$P - E - R = D \quad (\text{式1})$$

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

また、地下での水収支式は、以下の式が考えられる。

$$D + G_t + G_i - Q - G_b - G_o = \Delta S \quad (\text{式2})$$

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

2) 水収支の検討

(式1) および (式2) の各水収支要素の算定結果をもとに昭島市における水収支を試算した。水収支期間は1年（1月～12月）とし、各要素のデータが整備されている昭和52年から平成15年までの27年間とした。

水収支結果を表8-1に示すが、主な項目の水収支量は以下のとおりである。

① 降水量

最少は昭和59年の900mm、最多は平成10年の2,250mm、その差は2.5倍となっている。平均は約1,520mmである。

② 被覆率（昭和記念公園を除いた値）

都市化により被覆率は増加し、26年で約7%の増加を示している。平成15年の被覆率は60%程度と想定される。

③ 流出率

被覆率の増加に伴い流出率も増加し、26年間で約6%増加している。平成15年次では降水の約半分が降雨時に流出することになる。

④ 蒸発散量

年間300~400mmで推移し、年による変動は大きくない。被覆率の増加に伴い漸減傾向にある。

⑤ 地下水涵養量

降水量の変動により年による差が大きい。最少は昭和59年の約110mm、最多は平成3年の約780mmで、その差は約7倍と降水量より大きな変動となっている。

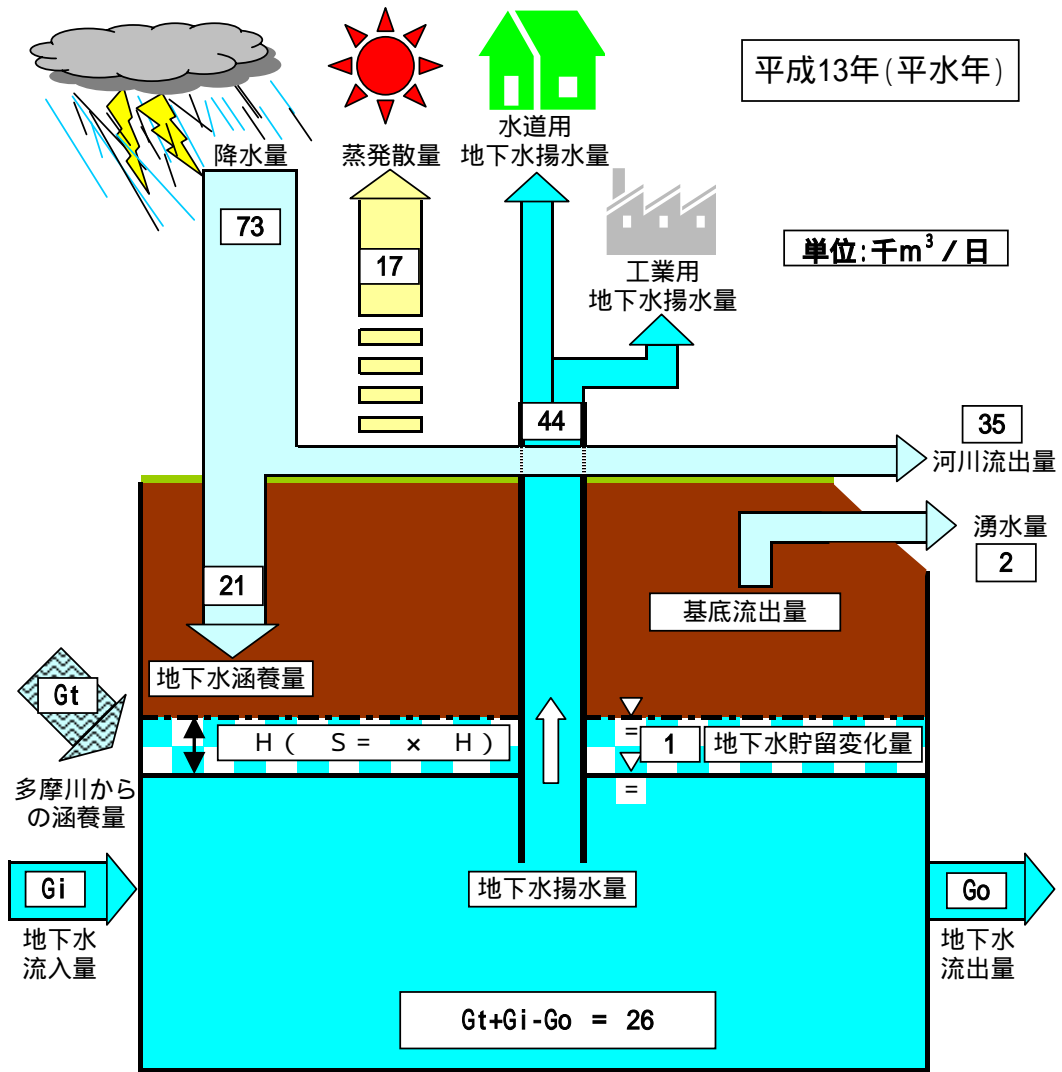
⑥ 地下水位変化量

-1.8m~+3.1m（各年1月と翌年1月の水位差）で変化し、全期間をとおしてはわずかに上昇する傾向を示している。-1m以上低下した年（昭和53年、昭和59年、平成7年、平成8年）はいずれも渇水年であり、地下水涵養量の減少と対応した変動となっている。

⑦ 水収支

水収支の残余の量は平均約570mmの流入で、日量に換算すると約27,000m³となる。この量は多摩川からの涵養や、西および南に分布する丘陵部からの地下水流入によるものと考えられる。

図8-1に平水年相当の平成13年における昭島市の水収支図を示す。それによると、1日当たりの平均で、73,000m³の降水があり、そのうち17,000m³は蒸発散として大気中に戻り、35,000m³が表面流出として河川に流れる。残りの21,000m³が地中に浸透して地下水を涵養する。地下では、降水による涵養に加え多摩川や上流域からの地下水流入があり、地下水流出量を差し引いた正味の涵養量が26,000m³である。降水による涵養と合わせると、正味の地下水涵養量は47,000m³となり、このうち44,000m³が水道用水や工業用水として利用され、2,000m³が湧水として地表に湧出している。地下の収支は+1,000m³で、貯留量の変化量となる。



H : 地下水位変化量 , S : 地下水貯留量の変化量 , : 有効空隙率

図 8 - 1 昭島市における水収支 (平成13年、平水年)

表 8 - 1 昭島市における水収支結果

		P	可能蒸 発散量	E ₀	C ₀	R ₀	R	r	E	D	地下水 揚水量	Q	基底 流出量	G _b	H	S	G _t +G _i -G _o
		降水量	mm	実蒸発 散量	被覆率	流出率	河川 流出量	被覆地の 蒸発割合	蒸発散量	地下水 涵養量	地下水 揚水量	地下水 揚水量	基底 流出量	基底 流出量	地下水位 変化量	貯留量 変化量	水収支
		mm	mm	mm			mm		mm	mm	m ³ /日	mm	m ³ /日	mm	m	mm	mm
1977	昭和52年	1,595	727	582	0.534	0.429	684	0.14	390	521	43,269	911			0.27	27	417
1978	昭和53年	970	805	644	0.537	0.432	419	0.19	397	154	43,470	916			-1.17	-117	645
1979	昭和54年	1,665	743	594	0.541	0.435	724	0.16	417	524	42,927	904			3.07	307	687
1980	昭和55年	1,475	664	531	0.544	0.438	646	0.17	379	450	41,838	881			0.83	83	514
1981	昭和56年	1,380	703	562	0.548	0.441	609	0.15	367	404	42,704	899			0.63	63	558
1982	昭和57年	1,750	707	566	0.551	0.444	777	0.15	399	574	41,760	880			1.86	186	492
1983	昭和58年	1,410	692	554	0.555	0.447	630	0.19	395	385	42,262	890	2,636	56	0.31	31	592
1984	昭和59年	900	738	590	0.558	0.450	405	0.24	381	114	44,070	928	4,935	104	-1.81	-181	737
1985	昭和60年	1,535	738	590	0.561	0.452	694	0.16	397	444	43,997	927	4,024	85	1.24	124	692
1986	昭和61年	1,400	723	578	0.563	0.454	636	0.16	379	385	45,293	954	3,546	75	0.13	13	657
1987	昭和62年	1,055	783	626	0.566	0.456	481	0.20	391	183	45,066	949	2,370	50	-0.05	-5	811
1988	昭和63年	1,570	621	497	0.568	0.458	719	0.16	357	494	45,716	963	5,697	120	-0.88	-88	501
1989	平成 1 年	1,800	648	518	0.571	0.460	828	0.15	376	596	46,974	989	3,905	82	0.27	27	502
1990	平成 2 年	1,650	696	557	0.574	0.463	764	0.16	389	497	46,976	989	2,932	62	1.33	133	687
1991	平成 3 年	2,165	640	512	0.576	0.465	1,007	0.13	379	779	46,273	975	3,281	69	0.93	93	358
1992	平成 4 年	1,565	648	518	0.579	0.467	731	0.15	354	480	46,246	974	1,358	29	-0.49	-49	474
1993	平成 5 年	1,450	593	474	0.581	0.469	680	0.15	325	445	44,884	945	3,909	82	0.19	19	601
1994	平成 6 年	1,350	671	537	0.584	0.471	636	0.20	381	333	44,501	937	3,118	66	0.00	0	670
1995	平成 7 年	1,180	657	526	0.587	0.474	559	0.18	342	279	44,087	929	1,727	36	-1.45	-145	541
1996	平成 8 年	1,125	659	527	0.589	0.476	536	0.16	323	266	44,225	931	1,206	25	-1.37	-137	553
1997	平成 9 年	1,240	703	562	0.592	0.478	593	0.17	354	293	44,812	944	2,713	57	0.35	35	743
1998	平成10年	2,250	621	497	0.594	0.480	1,080	0.18	442	728	44,654	940	1,709	36	1.89	189	437
1999	平成11年	1,680	711	569	0.597	0.482	810	0.14	370	500	45,158	951	2,476	52	-0.45	-45	458
2000	平成12年	1,655	718	574	0.600	0.485	803	0.14	369	483	44,044	928	1,512	32	0.16	16	493
2001	平成13年	1,530	705	564	0.602	0.486	744	0.14	353	433	44,178	930	1,801	38	0.22	22	557
2002	平成14年	1,765	712	570	0.605	0.489	863	0.18	417	485	43,250	911	2,794	59	0.76	76	561
2003	平成15年	1,875	642	514	0.607	0.491	921	0.15	373	581	43,148	909	3,206	68	0.53	53	449
平均		1,518	691	553	0.573	0.462	703	0.16	378	437	44,288	933	2,898	61	0.27	27	570

注 1) 実蒸発散量 = 可能蒸発散量 × 0.8

注 2) 昭島市の面積 : 17.33km²

注 3) 有効空隙率 : 0.1

9. 地下水シミュレーション

1) 地下水シミュレーションの概要

新たに地下水源を開発したり、地下水流を遮断する形で地下構造物を構築するなど、帯水層に負荷を与えることによって生じる影響は、ごく単純なケースをのぞいては物理的な実験をおこなって予測することは不可能であり、数学的な予測手法を用いることになる。この数学的な予測手法をシミュレーションと呼ぶ。地下水シミュレーションでは、地下水の分布や変動を再現する帯水層モデルを作成し、将来予想される帯水層への負荷を入力条件として与え、地下水に対する影響を量的に検討することが目的となる。

地下水シミュレーションは一般に次のように行われる。

- ① 対象領域における帯水層モデルを構築し、地下水の流動を数値方程式で表す。
- ② 入力条件（涵養量や揚水量）や境界条件を与えて出力変数を求め、既知の出力変数（地下水位分布や地下水位の時系列変化）と比較する。
- ③ 既知の出力変数に十分近い値が得られなければ、モデル（透水係数分布や涵養量・境界条件など）を逐次修正する（モデルの同定）。
- ④ モデルの同定が終了後、将来の入力条件に対する予測計算を行う。

なお、地下水シミュレーションの数値解析プログラムは、差分法による三次元地下水流動シミュレーションプログラムであるMODFLOWを用いた。

2) シミュレーションモデルの作成

地下水シミュレーションの解析範囲は、昭島市全域およびその周辺地域とした（図9-1）。

地下水シミュレーションでは、現実の地質構造のすべてをモデルに組み込むことは困難であり、主要な帯水層を中心にある程度単純化して数値モデルを作成する。

昭島市の水道水源井および企業井は、主に東久留米層から地下水を取水している。これまでの水道水源井における層別揚水試験等の調査結果によると、東久留米層の中には、透水性が他の部分と比べて大きい部分が存在し、その部分は昭島市の全域に比較的良好に連続していることが想定されている。このことから、東久留米層の中の透水性の大きい部分については東久留米層の他の部分と分けてモデル化する必要がある。また北多摩層については、井戸のスクリーンが設置されているものの、透水性が東久留米層よりも1桁程度小さく、地下水取水量も小さいと考えられる。

以上のことから、①ローム層・段丘砂礫層と東久留米層は区分せず一体のものとする、②東久留米層については層厚分布を考慮する、③東久留米層中の透水性のよい部分は個別の層とする、④北多摩層については全域で均一とする、として、地下地質のモデル化を行った。

3) 入力条件の設定

① 水理定数

透水係数は、水道水源井の揚水試験結果や、帯水層別の調査等の結果を参考に、以下のとおり設定した。

- ・東久留米層（通常の部分） : 1×10^{-2} cm/sec
- ・東久留米層（透水性の大きい部分） : 1×10^{-1} cm/sec
- ・北多摩層 : 2×10^{-3} cm/sec

② 境界条件

領域の外縁には水位一定条件を与えた。

なお、境界に設定する水位はモデルの検証の過程で各々の年次の水位をもっともよく近似するように試行錯誤して最適値を決定した。

多摩川については、現地踏査や既存資料から河川水が地下水を涵養していることが確実であり、その浸透量は日量数～10万 m^3 程度と推定されている。ただし、この数値は多摩川の河道堆積物の伏流水や浅層の不圧地下水への浸透量をも含めた値であり、解析対象である被圧地下水に対する涵養量は不明である。また、一斉測水の結果から、多摩川の水位は浅層の不圧地下水の水位を規定しているが、東久留米層以深の被圧地下水の水位は直接的には規定していないことがわかった。

以上のことから、多摩川については水位一定条件は用いず、河川水の浸透量を涵養条件として考慮することにした。河川からの浸透量は、シミュレーション領域全体では20,000 m^3 /日、昭島市の範囲内では9,000 m^3 /日とした。

③ 揚水条件

昭島市内の井戸については、水道水源井および企業井の個別の揚水量情報を与えた。

なお、水道水源については昭和48年、企業井戸については昭和52年以降は実績の揚水量を用いた。それ以前の揚水量については、各種資料から年別の揚水量比率を求めて、実績の揚水量にその比率を乗じた推定値を用いた。

昭島市以外の周辺市の揚水量については、井戸の分布や個別の揚水量が分からないことから、以下のように簡略化してシミュレーションに用いた。

- a 立川市：水道水源井の柴崎12本、中部2本、北部2本に対し、市全体（企業井を含む）の揚水量の合計値を等分して与えた。
- b 福生市：水道水源井の12本に、市全体（企業井を含む）の揚水量の合計値を等分して与えた。
- c 日野市：領域内にある5本の水道水源井（日野市全体では19本）に対し、市全体（企業井を含む）の揚水量の合計値の25%を等分して与えた。

④ 涵養条件

降水による涵養量は、前章の水収支で求められた平均値である437mm/年とした。

多摩川からの地下水涵養量については、境界条件の項で示したとおり、シミュレーション領域全体で20,000m³/日（100メッシュに等分）を与えた。昭島市の範囲内では9,000m³/日（45メッシュ）となる。

4) シミュレーションモデルの検証

シミュレーションモデルの検証として、現在（平成15年）および昭和48年（地下水位が最も低下した年）の地下水位分布図を作成し、シミュレーションのなかでうまく再現できるかどうかを検証した。

実測水位とシミュレーションによる計算水位を比較した分布図を図9-2および図9-3に示す。

平成15年の地下水位の再現結果（図9-2）によると、この時期の地下水位は南ないし南南西側が高く、領域の北および東に向かうに従って低くなっており、このような状況がシミュレーションで再現されている。昭島市の水道水源がある区域では、地下水位が標高60～65mの範囲にあり、地下水位等高線の間隔が広く、他の領域と比較して地下水位の勾配がゆるやかになっていることが読みとれる。

昭和48年の地下水位の再現結果（図9-3）によると、この時期の地下水位は領域の南南西側で高く、領域の北および東に向かうに従って低くなっており、このような状況がシミュレーションで再現されている。地下水位の分布形状は、平成15年の再現結果に近いものとなっている。昭島市の水道水源がある区域では、地下水位が標高50～55mの範囲にあり、平成15年の再現結果と比較して10mほど低く、また等高線の間隔がやや狭くなっている。このことから、昭和48年当時は昭島市から北方の福生市や東方の立川市への地下水流出が現在よりも多かったことが推定される。

5) 予測シミュレーション

前節のシミュレーションモデルの検証で求めた平成15年の条件設定値（境界条件）を用いて、水道水源の揚水量を将来の計画量（日最大50,100m³/日、現状平均揚水量の1.32倍）まで増量した場合の影響を予測した。なお、増量分の配分比率は、現状の揚水量の比率を比例配分した。

予測結果は、図9-4に水位変動量（現状揚水量との比較で低下）の分布図として示した。

将来計画量を水源井全体で配分して揚水する場合は、昭島市の全域で0.5m以上、水道水源井の分布する区域では1～1.5m程度の水位低下量が見込まれる結果となった。

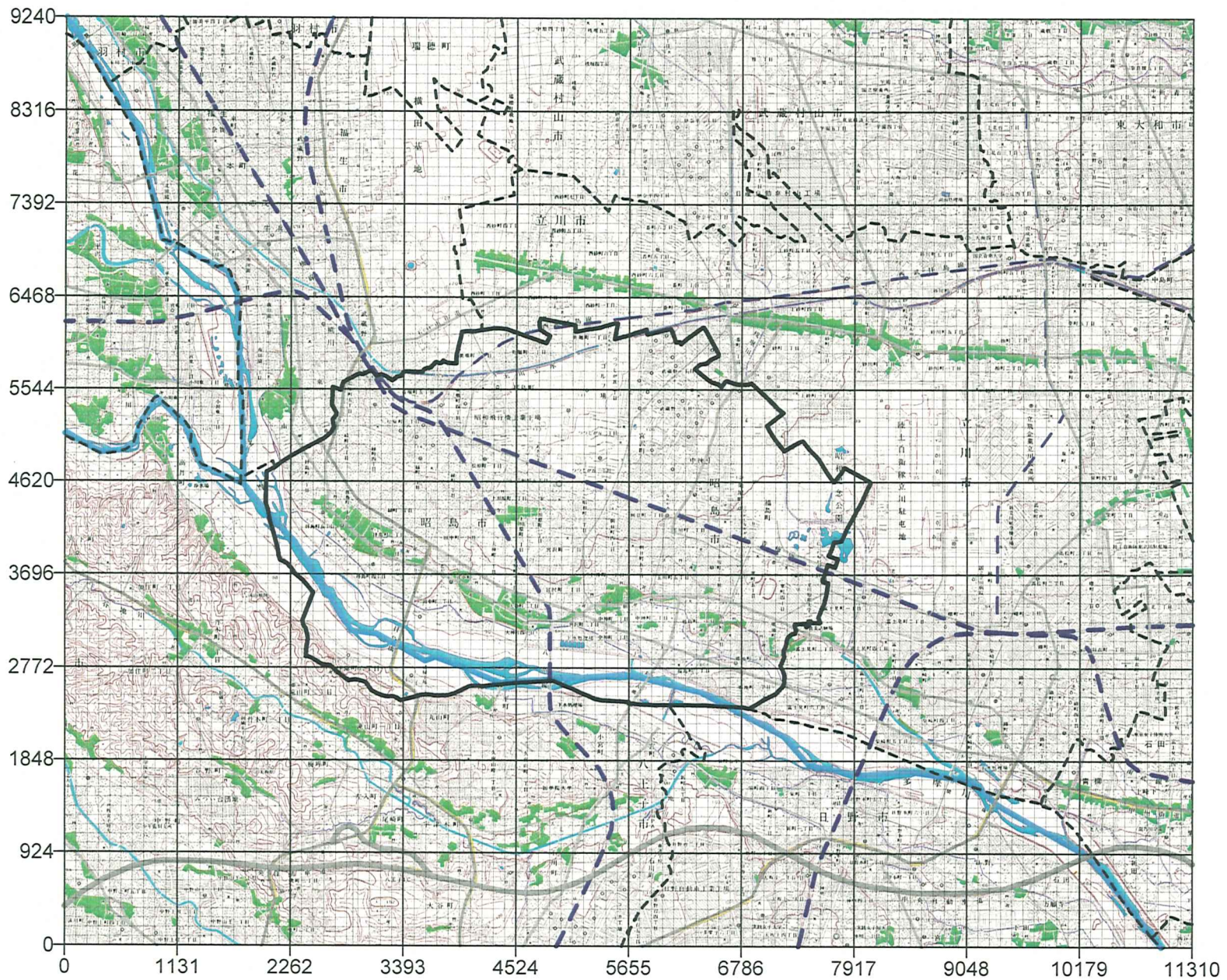


図 9 - 1 地下水シミュレーション範囲図

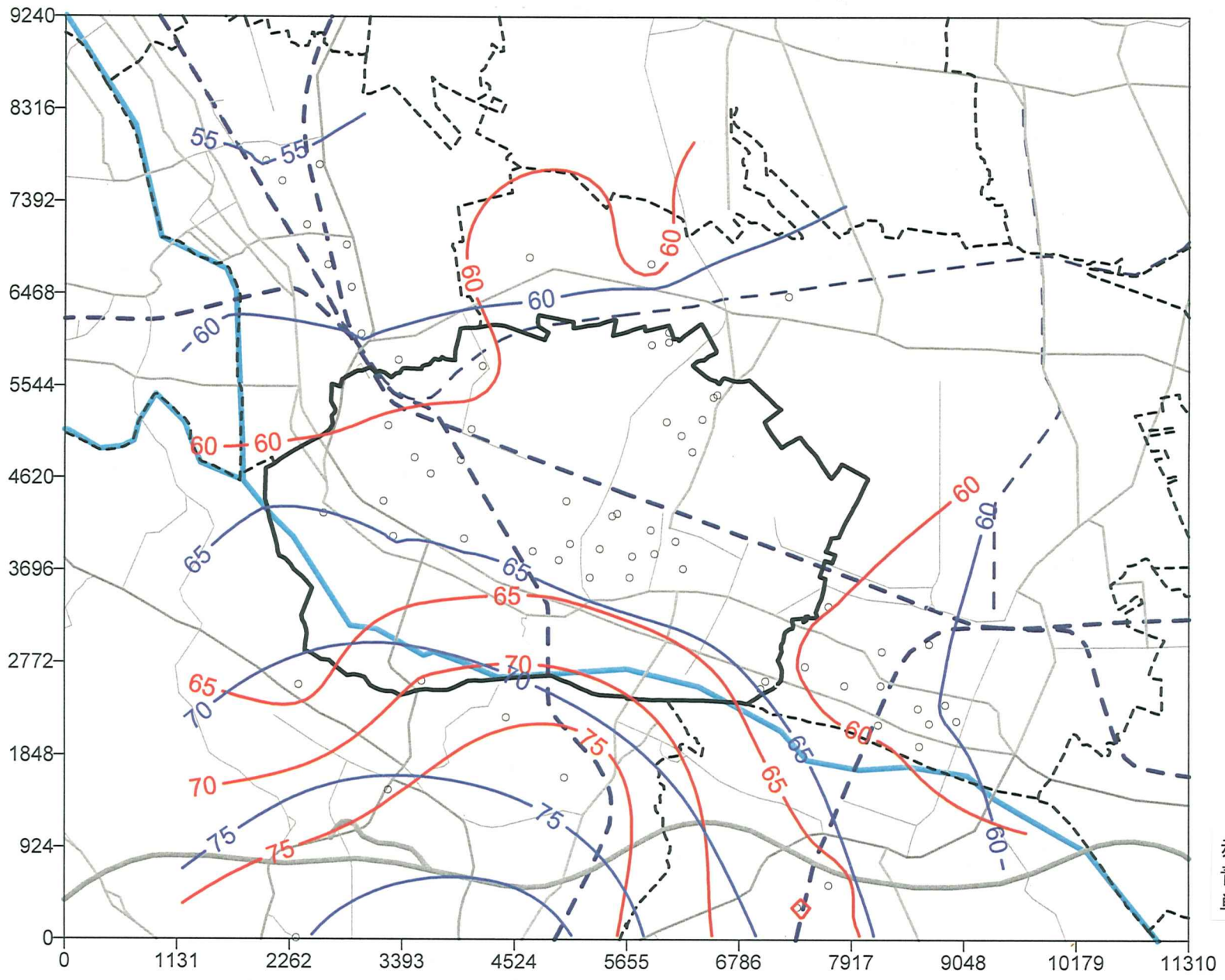


図 9-2 シミュレーションによる地下水位の再現 平成15年

赤線：実測水位
青線：計算水位
単位：T. P. m

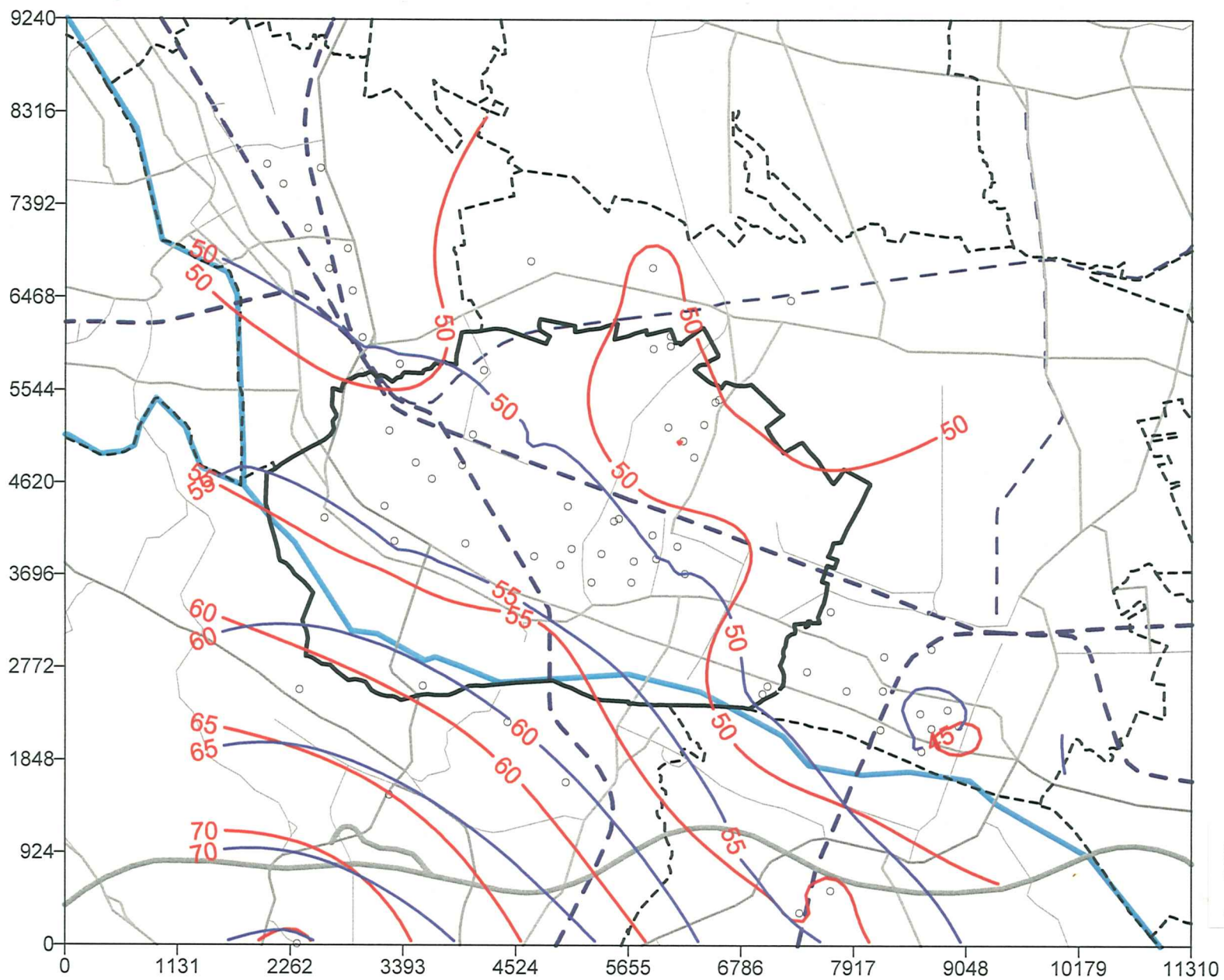


図9-3 シミュレーションによる地下水位の再現 昭和48年

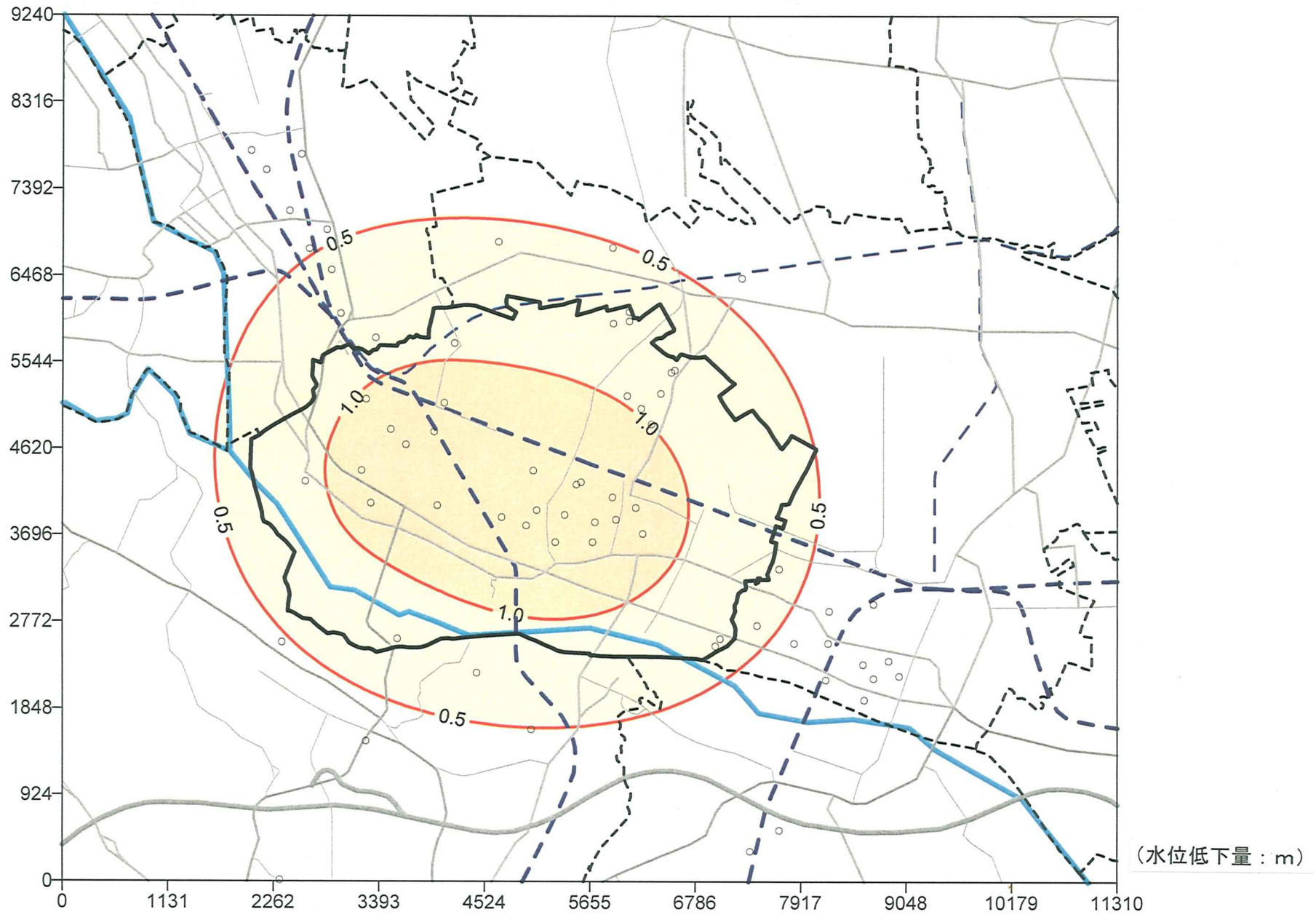


図 9 - 4 予測結果 (水道水源の揚水量を1.32倍)

10. 地下水の適正利用の策定

本調査では、既存資料や現地調査により昭島市および周辺地域の地下水の実態を明らかにした。その結果を整理すると以下のようにまとめられる。

- ① 昭島市の地下水は、立川段丘礫層や沖積層など表層の帯水層に分布する浅層地下水と、東久留米層など上総層群に分布する深層地下水に分けられる。
- ② 浅層地下水は、ほぼ地形傾斜に沿って北西から南東方向に流動し、段丘崖など地形の変換点では湧水として地表に流出している。
- ③ 深層地下水は、GL-35~40m程度、標高にして60m (T.P.) 程度に地下水水面を有し、昭島市内だけではそれほど傾きはないが、広域的にみると南~北あるいは南西~北東方向に流動しているものと考えられる。
- ④ 深層地下水の涵養源は、降水による涵養や多摩川からの浸透、上流域からの地下水流入などが考えられる。
- ⑤ 深層地下水の水位は、昭和30年以後、揚水量の増加に伴い低下し、昭和48年ころまでに約40m低下した。その後、揚水規制に伴う揚水量の減少により水位は上昇し、昭和60年ころ以降はほぼ横ばいで推移している。
- ⑥ 昭和30・40年代の水位低下で地盤沈下は発生していない。
- ⑦ 深層地下水の水質は極めて良好で、現在のところ水源井における地下水汚染問題は発生していない。また、多摩川からの涵養域と考えられる秋川との合流点~拝島橋区間の河川水もBODと大腸菌群数から判断して清廉な水質となっている。
- ⑧ 将来の最大揚水量 (50, 100m³/日) を想定したシミュレーション計算では、現況からの水位低下が最大でも1.5m程度に留まり、過去に経験した最大水位低下 (現況-約10m) より小さく、過剰揚水による著しい水位低下は発生しないと予測される。

以上のように、昭島市の地下水は多摩川の河川流量、周辺地域からの地下水流入量、地表面からの涵養量に大きな変化がなければ、将来にわたって量的には問題ないと考えられる。しかし、地下水量および良好な水質の確保のためには、都市化に伴う降水による涵養量の減少や、多摩川の水質、上流域の地下水汚染状況など、水環境の保全に注視していく必要があるものと考えられる。

昭島市周辺地下水流動調査報告書

発 行 平成17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 株式会社日さく

本冊子は資源保護のため、再生紙を使用しています。