

# 鹿沼市地下水調査報告書

平成 16 年 3 月

鹿沼市地下水調査専門会議

## まえがき

鹿沼市は関東地方の北端にある栃木県の中央部に位置し、東西に細長い形（東西 34.2km、南北 13.20km）をしており、面積は 313.3km<sup>2</sup>（平成元年国土地理院測量成果による）に及びます。本市の人口は昭和 23 年の市政施行以来増加を続け、平成 13 年度時点で 95,445 人となっています。

鹿沼市の上水道は昭和 29 年より給水を開始し、その後の給水人口の増加と生活水準の向上に伴う水需要に応えるべく、これまで第 1 次～第 4 次の拡張事業を重ねてきました。平成 8 年 3 月には、慢性的な冬季渇水と上水道未整備地域の解消を目指した第 5 次拡張計画が、認可されています。しかしながら、平成 13 年度時点の水道普及率は 82%と県内では未だ低い水準にあり、この要因のひとつとして水源の水量不足が指摘されています。

現在、鹿沼市の水道水源はすべて地下水となっています。一方、水道以外の工業・農業においても、主要な水源として地下水が利用されています。したがって、地下水は市民生活において不可欠な水資源であると言っても過言ではありません。

このような状況に適切に対応するため、鹿沼市では平成 13 年度より平成 15 年度までの 3 ヶ年にわたり、鹿沼市における地下水の水収支の現状と地下水利用のあり方に関する検討を目的とした「鹿沼市地下水調査」を実施してきました。

本報告書は、「鹿沼市地下水調査」の内容及び結果を、「鹿沼市地下水調査専門会議」（座長：佐藤 邦明 埼玉大学地圏科学研究センター教授）において、技術的観点から検討し、取りまとめたものです。

平成 16 年 3 月

鹿沼市地下水調査専門会議

「鹿沼市地下水調査専門会議」委員一覧

所 属	氏 名	備 考
埼玉大学 地圏科学研究センター教授	佐藤 邦明	座長
宇都宮大学 工学部 建設学科教授	長谷部正彦	
独立行政法人土木研究所 水工研究グループ 水理水文上席研究員	吉谷 純一	
栃木県 企画部 水資源対策室長	河野 廣實	平成 14 年度 ～
	高瀬 忠男	平成 13 年度 (異動に伴う)
鹿沼市助役	渡邊 南決	
国際航業株式会社 国土マシメント事業部 環境部 水環境担当部長	平山 利晶	

(平成 16 年度 3 月末)

<事務局>

鹿沼市水道部

# 目 次

1 調査概要.....	1
1-1 調査の背景と目的 .....	1
1-2 調査の手順 .....	2
1-3 調査の内容 .....	3
2 水文循環調査の結果.....	6
2-1 地形・地質（水文地質） .....	6
2-2 降水量.....	9
2-3 土地利用 .....	10
2-4 地下水利用 .....	12
2-5 地下水の流動.....	15
2-6 地下水の水質.....	19
3 水収支調査の結果 .....	27
3-1 地下水流動数値シミュレーション手法.....	27
3-2 水収支の現状.....	33
4 地下水適正利用量調査の結果.....	36
4-1 適正利用の考え方 .....	36
4-2 上水道水源の地下水適正利用量.....	39
5 総 括.....	41
5-1 鹿沼市域の水文循環の特徴.....	41
5-2 地下水の水収支の現状と適正な地下水利用のあり方.....	43

# 1 調査概要

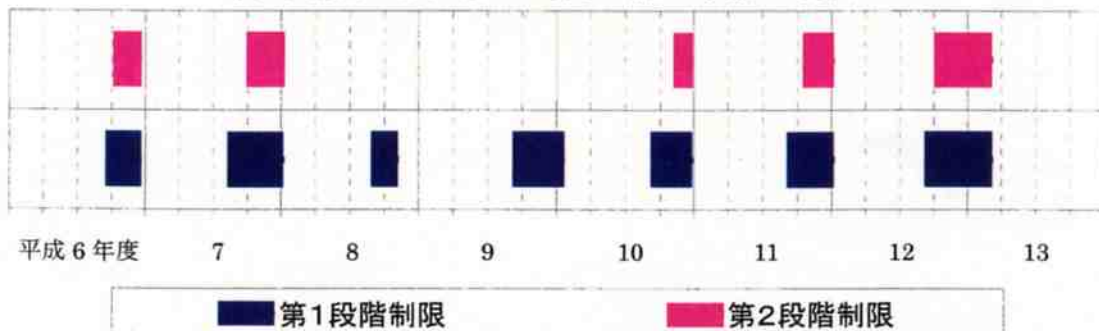
## 1-1 調査の背景と目的

鹿沼市では、地下水は水道・工業・農業などの主要な水源となっており、市民生活において不可欠な水資源である。しかしながら、上水道水源では冬季に井戸枯れを起こしており、給水制限を余儀なくされるなどの問題が生じている（図 1-1）。

そこで、市民生活にとって安全な水道水の安定的な供給を目指すため、鹿沼市域における地下水の水収支の現状と適正な地下水利用のあり方を検討することを目的として、本調査を実施した。



(a) 水源井の井戸枯れの様子（第1水源1号井）



年度	第1段階制限(配水減圧5%)		第2段階制限(夜間減圧25%)	
平成6年度	H6.12.29 ~ H7.3.15	76日	H7.1.18 ~ H7.3.15	57日
平成7年度	H7.11.27 ~ H8.4.2	127日	H8.1.14 ~ H8.4.2	80日
平成8年度	H8.12.13 ~ H9.1.31	49日	—	—
平成9年度	H9.12.25 ~ H10.4.15	111日	—	—
平成10年度	H10.12.25 ~ H11.3.22	87日	H11.2.26 ~ H11.3.22	25日
平成11年度	H11.12.23 ~ H2.4.2	101日	H12.2.2 ~ H2.4.2	61日
平成12年度	H12.12.28 ~ H13.5.31	154日	H13.1.17 ~ H13.5.31	135日

(b) 給水制限の経緯

図 1-1 上水道水源における給水制限の実態

(鹿沼市水道部資料(平成6~13年度)に基づく)

## 1-2 調査の手順

鹿沼市地下水調査では、以下の調査について、図 1-2 に示す手順で実施し、総括として調査結果を取りまとめた。

- (1) 水文循環調査
- (2) 水収支調査
- (3) 地下水適正利用量調査

各調査の内容については、1-3 節に詳細を示す。

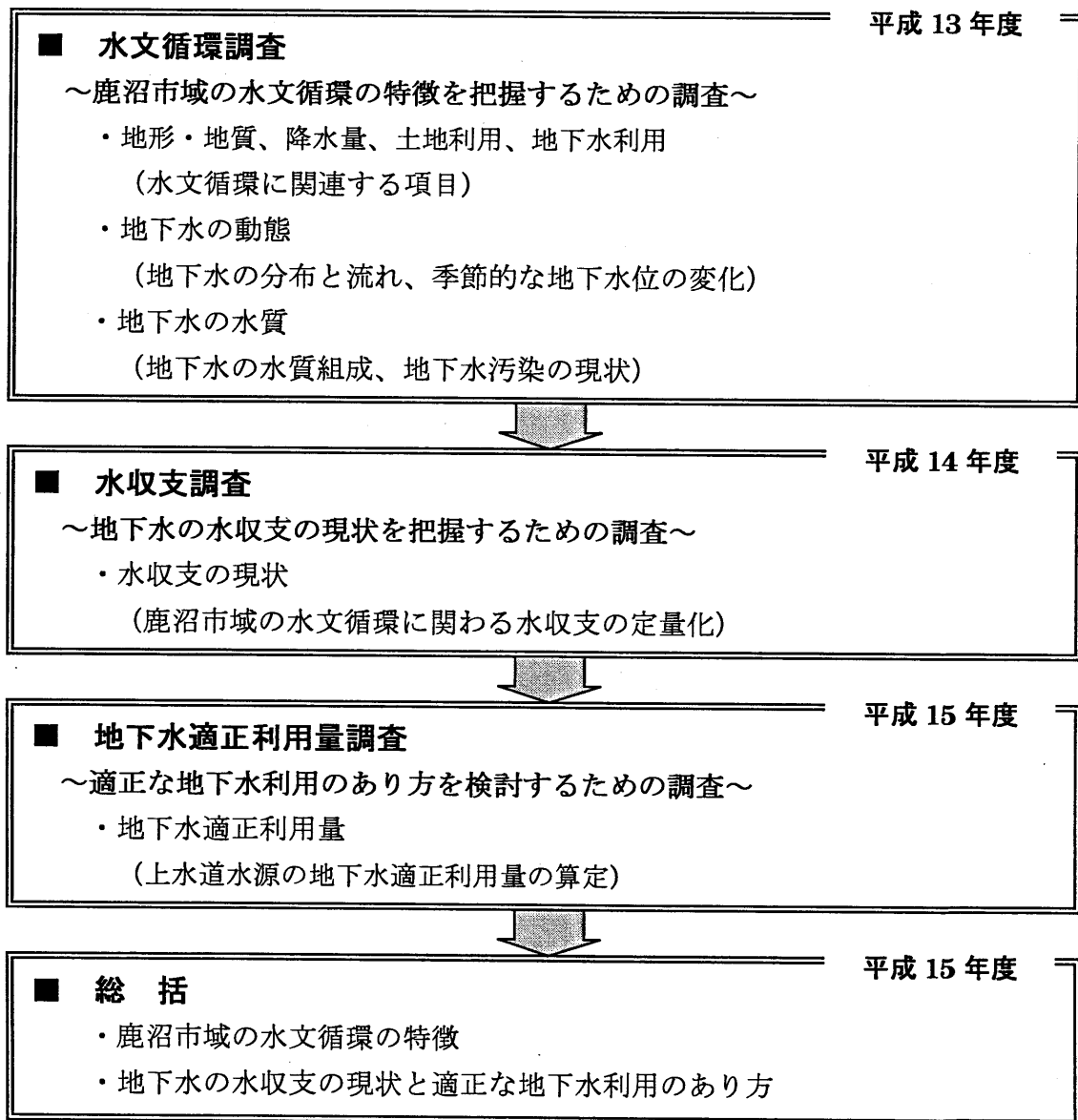


図 1-2 鹿沼市地下水調査の手順

## 1-3 調査の内容

### (1) 水文循環調査

一般に、地表面に到達した降水の一部は地表面に一時的に貯留され、残りは直接流出して河川に流れ込む。そして、地表面に貯留された降水の一部は地下に浸透して地下水となり、地下を緩やかに流れて河川や湖沼・海に流出する。一方、河川に流れ込んだ降水は河道を比較的速やかに流れて海に流出する。この間、河川・湖沼・海及び地表面からは一部の水が蒸発や蒸散（蒸発散）によって大気中に戻る。こうして大気中の水蒸気となった水は、凝結して雲となり、再び降水となる。このように、地球上の水は常に大気・地表・地下のいずれかに存在し、絶えず循環している。この循環を水文循環と言う（図 5-1 参照）。

本調査では、鹿沼市域の水文循環の特徴を把握することを目的とし、表 1-1 に示す項目の調査を実施した。

表 1-1 調査実施項目

調査項目	調査目的	調査資料・現地調査内容など
地形・地質 (水文地質)	地下水の流動する場の理解	・ 既往文献（栃木県水理地質書、他） ・ 地質柱状図（市水道部資料）
降水量	水文循環の起源である降水の実態把握	・ 鹿沼観測所（気象庁）の気象観測記録 ・ その他の周辺観測所（気象庁）の気象観測記録。
土地利用	地下水涵養量の分布を調べるための、地表面の被覆状況（水田・畑地・市街地など）の把握	・ 空中写真（平成 5 年撮影） ・ 既往文献（平成元～13 年度版 鹿沼市税務概要）
地下水利用	地下水利用の分布及び量の定量的把握	・ 既往文献（鹿沼市上水道のあらまし、他）
地下水の流動	地下水位の分布、季節的な変化の捕捉	・ 地下水位一斉測水調査 （かんがい期、非かんがい期の 2 時期、地下水位 124 地点、河川水位 71 地点を調査） ・ 地下水位連続観測調査（5 地点） ・ 河川水位連続観測調査（5 地点）
地下水の水質	地下水の水質組成の特徴、及び地下水汚染実態の把握	・ 地下水質調査 （かんがい期の 1 時期、地下水位 16 地点、河川水位 5 地点） ・ 既往文献（栃木県水質年表）





河川水位観測地点の橋

〔黒川新田橋にて、平成 13 年 8 月撮影〕

■ 地下水位・河川水位連続観測の風景



地下水位連続観測地点の井戸

〔民家井戸（Kc-6）にて、平成 14 年 2 月撮影〕



河川水位連続観測地点の橋

〔黒川平成橋下流にて、平成 14 年 2 月撮影〕

200



## (2) 水収支調査

本調査では、地下水の水収支の現状を把握するために、表 1-2 に示す項目について調査を実施した。

表 1-2 調査実施項目

調査項目	調査目的	調査手法
水収支の現状	鹿沼市域の水文循環に関わる水収支の定量的把握	・地下水流動数値シミュレーション手法 (第3章で詳述)

## (3) 地下水適正利用量調査

本調査では、鹿沼市域の適正な地下水利用のあり方を検討するために、表 1-3 に示す項目について調査を実施した。

表 1-3 調査実施項目

調査項目	調査目的	調査手法
上水道水源の地下水適正利用量	上水道水源における、地下水適正利用量の算出	・地下水流動数値シミュレーション手法 ・計算結果を用いた相関解析法。

---

### 【地下水適正利用量】

本調査では、“地下水の水収支域において、常に（地下水流入量 $\geq$ 地下水流出量）の状態に保つことができ、井戸枯れなどの地下水障害を引き起こさずに、安定的に利用できる地下水量”を意味する。

## 2 水文循環調査の結果

### 2-1 地形・地質（水文地質）

地下水は、地形・地質の影響を受けて流動する。このことから、地形・地質の特徴は、地下水の流動を調べる上で重要な情報と言える。

鹿沼市域の地形は、足尾山地、鹿沼丘陵、大芦川及び黒川沿いの低地、複数の段丘からなる鹿沼台地に大別される（図 2-1）。

足尾山地を形成する古生代（約 2 億 5 千万年前）の古い地層は台地や低地の地下にも分布し、鹿沼丘陵を形成する新生代第三紀（約 2 千万年前以降）の地層とともに水理地質基盤となっている。上位には鹿沼台地や大芦川及び黒川沿いの低地を形成する第四紀（約 2 百万年前以降）の洪積層や沖積層が分布し、地下水を賦存する主要な帯水層となっている。主に台地に分布する洪積層は段丘礫層や鹿沼土に代表される火山性の軽石及びローム層からなり、低地部に分布する沖積層は現河川の運んだ未固結の砂礫層からなる（図 2-2）。既往の文献（「栃木県水理地質書（栃木県, 2003）」、「鹿沼市西部の水理地質（鈴木陽雄・人見 功, 1970）」や地質柱状図（鹿沼市水道部資料）によれば、主要な帯水層の厚さは概ね低地部で 10~20m、台地部で 20~40m である。

帯水層の透水性を表す透水係数は、低地部の主な帯水層をなす沖積層では  $10^{-1} \sim 10^{-2} \text{cm/sec}$ 、台地部の主な帯水層をなす洪積層では  $10^{-2} \sim 10^{-3} \text{cm/sec}$  にあり、沖積層の方が洪積層に比べて透水性が良いと言える（図 2-3）。

---

#### 【水理地質基盤】

地下水の受け皿となり得る、相対的に透水性の高い帯水層の下部に位置する層のこと。岩盤を主体とする非透水層がこれに相当する場合が多い。

#### 【透水係数】

地層中の地下水の流れやすさを示す指標。地下水のおおよその流速は次式で示される。

$$\text{流速} = \text{透水係数} \times \text{地下水位勾配} \div \text{地層の有効間隙率}$$

鹿沼市街地付近における地下水のおおよその流速は、約 10m/日である。

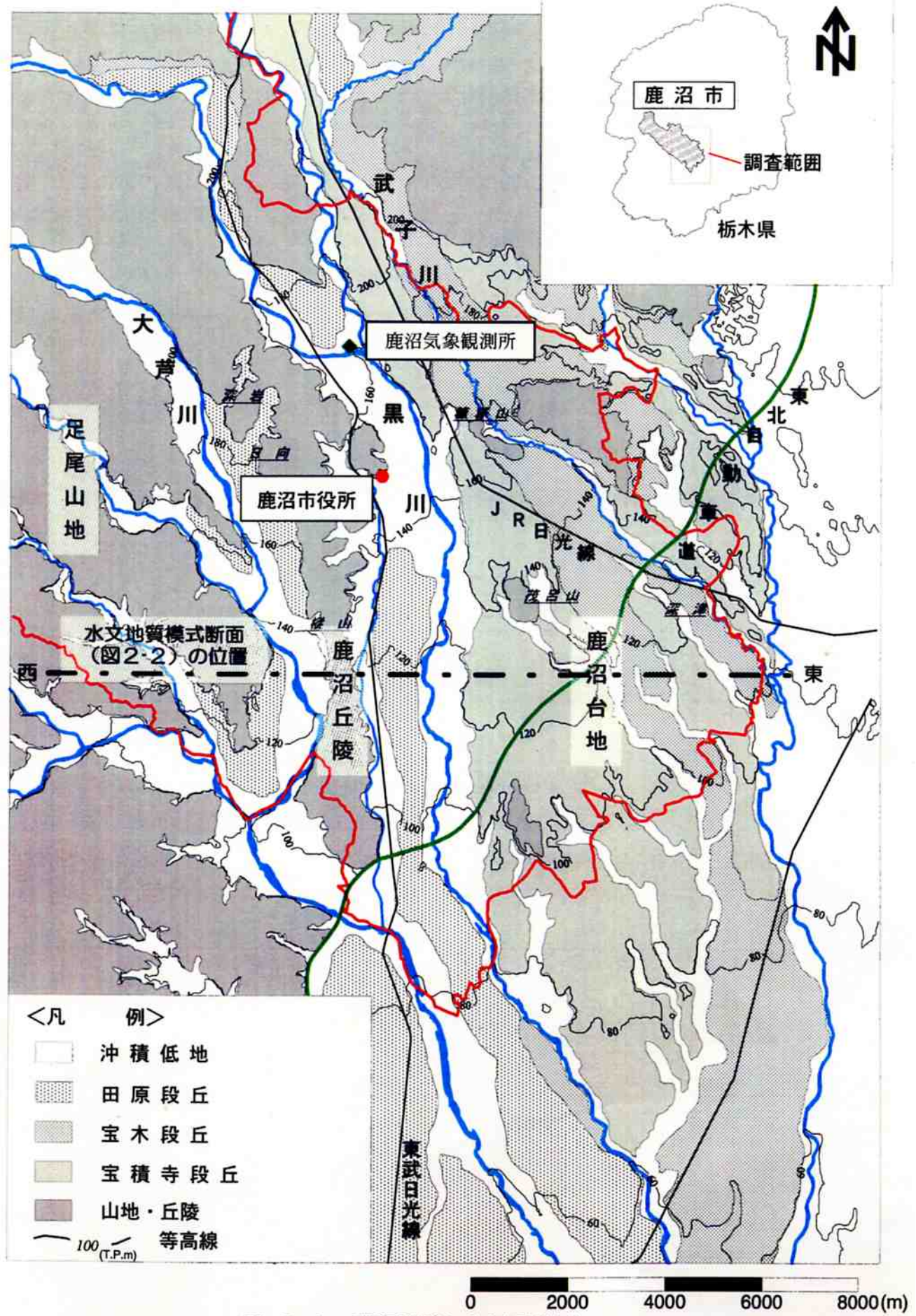


図 2-1 調査地域における地形



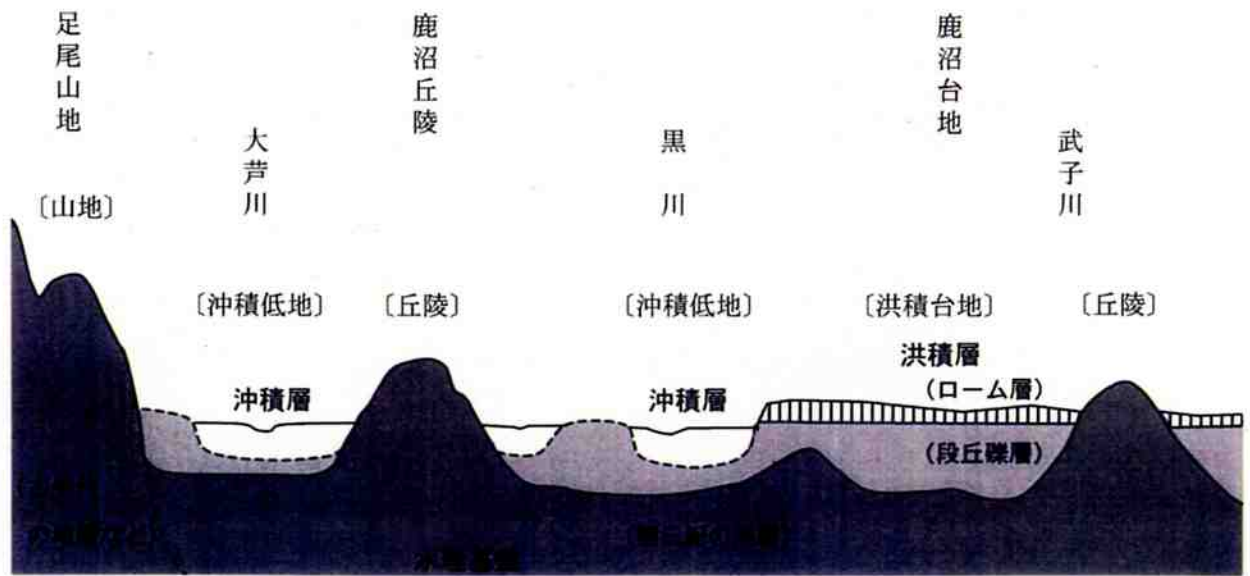


図 2-2 水文地質模式断面図

※断面位置は、図2-1 参照

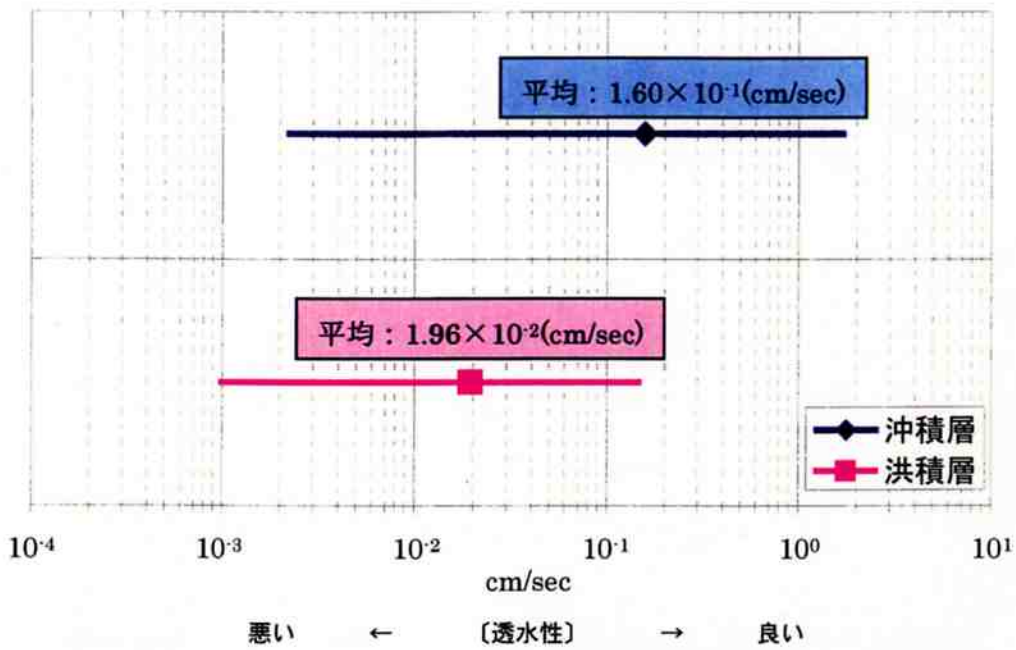


図 2-3 調査地域における帯水層の透水係数

(鹿沼市水道部資料に基づく)

## 2-2 降水量

水文循環の起源である降水の実態を把握することは、水文循環の特徴を調べる上で不可欠である。

気象庁の鹿沼観測所（図 2-1 に位置を示す）の観測記録によれば、昭和 54 年～平成 13 年の 23 年間における年平均降水量は 1,573mm である。降水量は年によって大きく変わり、渇水であった昭和 59 年には 997mm、平成 8 年には 1,141mm と少なく、平成 10 年には 2,124mm と最も多い量を記録している（図 2-4）。

主な年間降水量の確率年を、過去 25 年間の記録から算出（石原・高瀬法）すると、昭和 59 年の 997mm は 75 年に 1 回、平成 8 年の 1,141mm は 20 年に 1 回の割合で生じるような少雨であった。また、平成 10 年の 2,124mm は 42 年に 1 回の割合で生じる多雨であった。

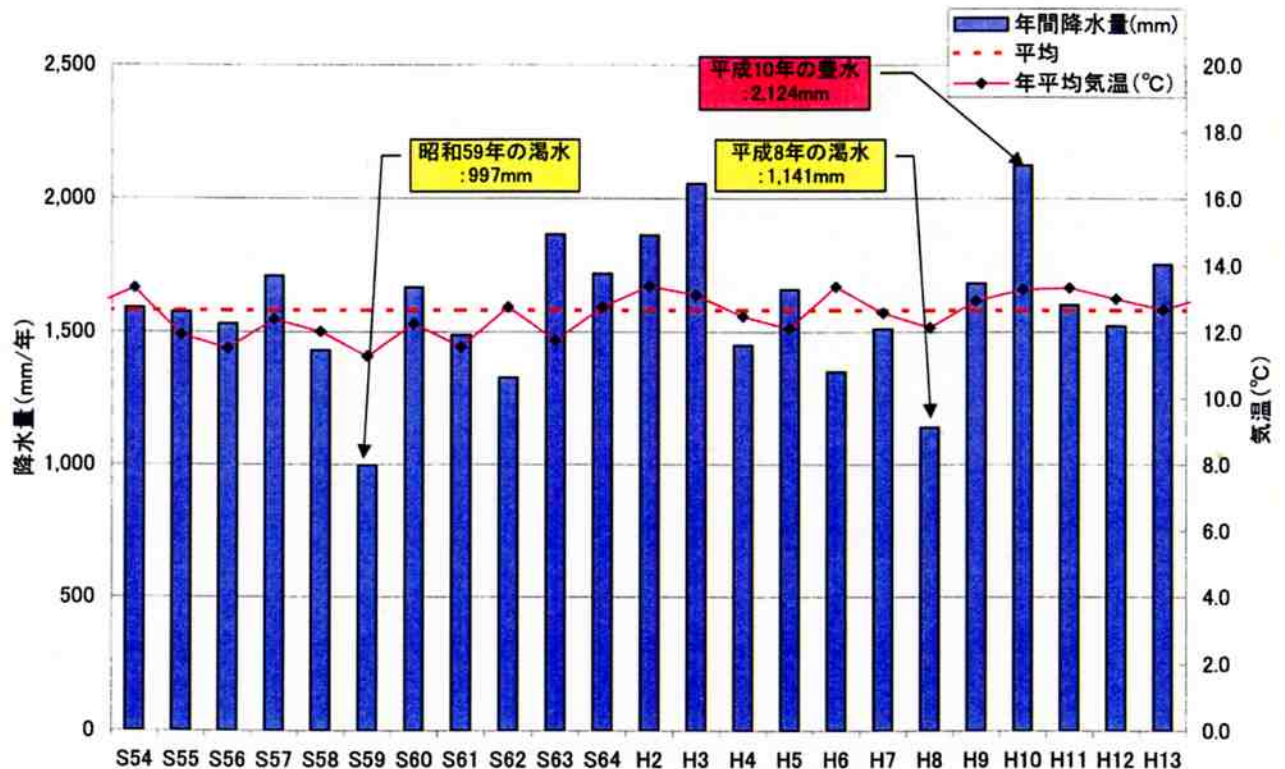


図 2-4 鹿沼観測所における年間降水量と平均気温の変化

(気象庁観測資料に基づく)

### 【確率年】

ある年の降水量が、統計的に何年に 1 回の割合で発生するかを表す指標。

### 【石原・高瀬法】

確率年を算出する手法のひとつ。その他にヘイズン法、岩井法などがある（「応用水文統計学（岩井・石黒,1970）」を参照）。

### 【周辺観測地点の平均年間降水量】

周辺観測地点の平均年間降水量は、宇都宮（年平均 1,461mm）、栃木（同 1,404mm）、今市（同 1,846mm）、日光（同 2,132mm）である。鹿沼市の年平均降水量は宇都宮や栃木より 100～200mm 程度多く、今市より 300mm、日光より 500mm 以上少ない。

### 【鹿沼における月間の平均降水量】

鹿沼における月間の平均降水量は、8 月が 252mm で最も多く、12 月が 22mm で最も少ない。



## 2-3 土地利用

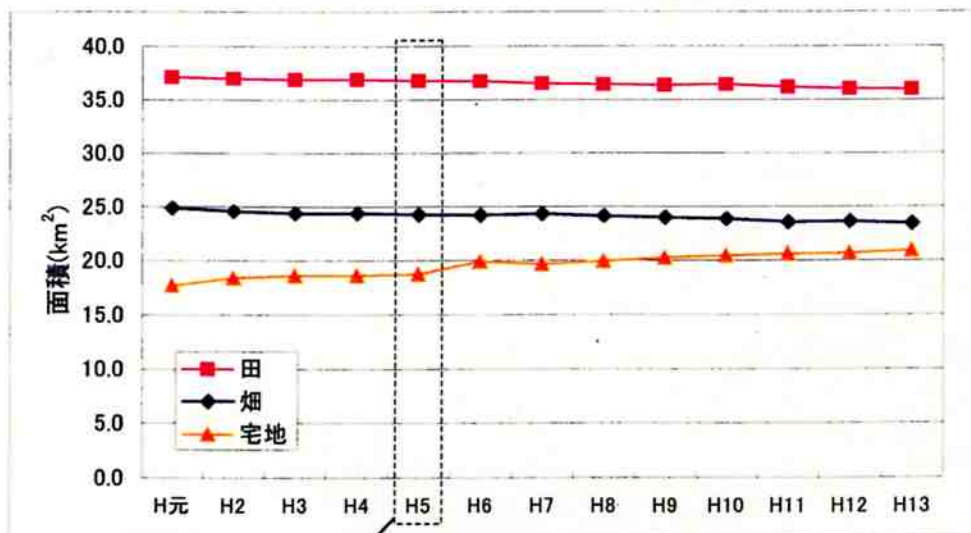
降水や地表水は、水田や畑地などでは地下に浸透しやすいが、宅地などでは浸透しにくい。このように、地下に浸透する水量は地表面の被覆状況によって異なる。したがって、土地利用の変化と分布は、地下水涵養量（図 3-4 参照）の変化と分布を調べる上で重要な情報となる。

鹿沼市の統計資料によると、市内全域では年々水田や畑地（いちご・ニラなど）の面積は減少し、宅地面積は増加する傾向にある。平成 13 年度の土地利用面積比率を平成元年度と比べてみると、水田が 1.8% 減少、畑地が 2.0% 減少しているのに対し、宅地の面積は 3.8% 増加している（表 2-1）。すなわち、都市化の進展によって、水田や畑地などの涵養域は減少傾向にあると言える。

空中写真（平成 5 年撮影）を用いて土地利用分布を判読した結果、判読地域内では水田は低地部に、畑地は台地部に多く分布していることが明らかとなった（図 2-5）。

表 2-1 鹿沼市（全域）における田・畑地・宅地面積の推移

年	面積(km <sup>2</sup> )				比率(%)		
	田	畑	宅地	計	田	畑	宅地
H元	37.14	24.86	17.70	79.70	46.6%	31.2%	22.2%
H2	37.00	24.59	18.40	79.99	46.3%	30.7%	23.0%
H3	36.90	24.38	18.61	79.89	46.2%	30.5%	23.3%
H4	36.90	24.38	18.61	79.89	46.2%	30.5%	23.3%
H5	36.80	24.27	18.74	79.81	46.1%	30.4%	23.5%
H6	36.73	24.21	19.90	80.84	45.4%	29.9%	24.6%
H7	36.52	24.31	19.66	80.49	45.4%	30.2%	24.4%
H8	36.45	24.13	19.92	80.50	45.3%	30.0%	24.7%
H9	36.37	23.96	20.22	80.55	45.2%	29.7%	25.1%
H10	36.45	23.82	20.42	80.69	45.2%	29.5%	25.3%
H11	36.18	23.54	20.58	80.30	45.1%	29.3%	25.6%
H12	36.04	23.62	20.67	80.33	44.9%	29.4%	25.7%
H13	35.98	23.44	20.91	80.33	44.8%	29.2%	26.0%



(図 2-5 土地利用状況参照)

(「平成元～13 年度版 鹿沼市税務概要 (鹿沼市)」より)



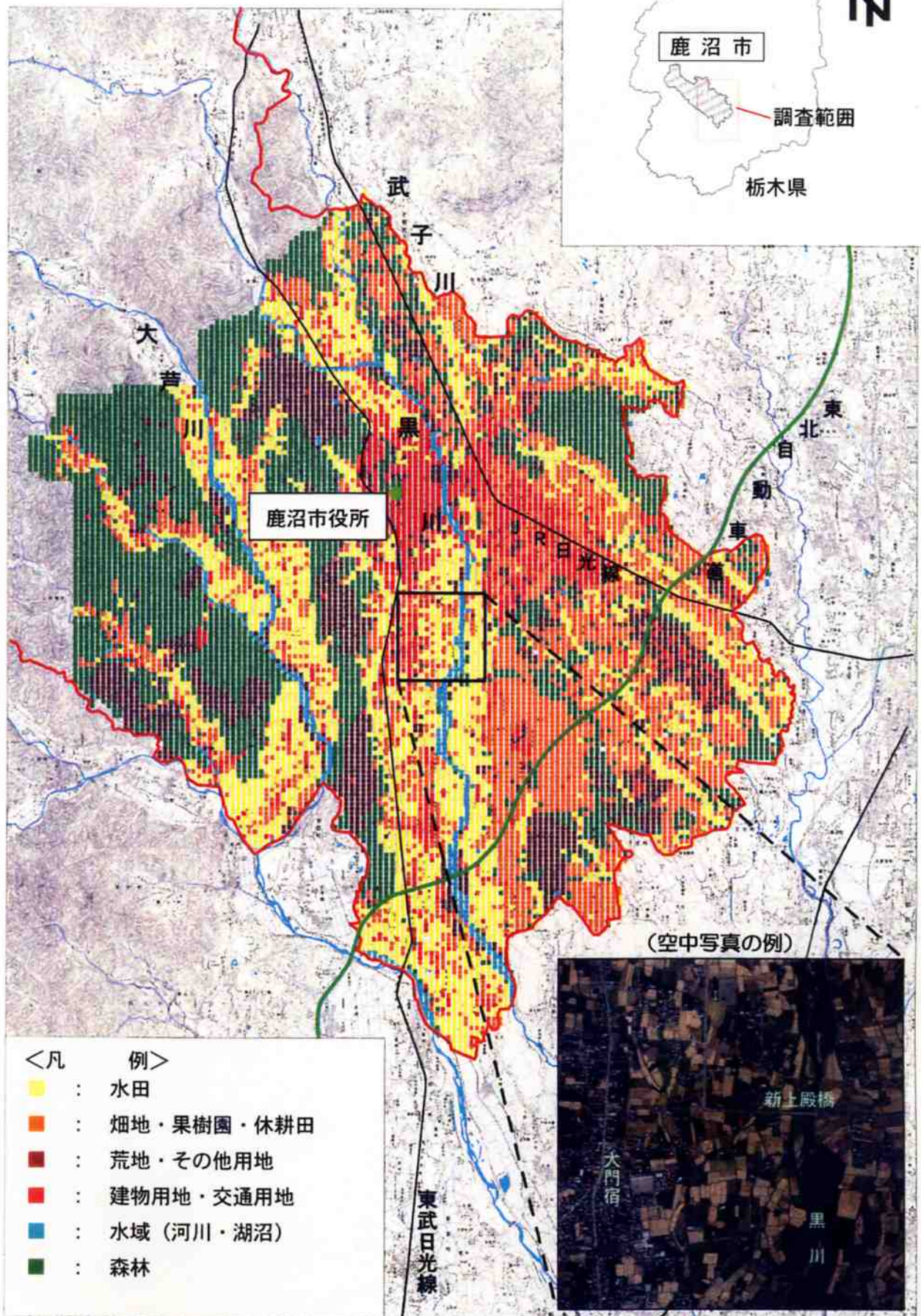


図 2-5 土地利用状況(平成5年時)

※ 空中写真(平成5年撮影)の土地利用判読に基づく

207



## 2-4 地下水利用

鹿沼市では、上水道用水と工業用水のすべて、そして上水道の未整備地域における生活用水のすべてを地下水でまかなっている。また、低地部や台地部では農業用水として地下水が用いられている。したがって、地下水利用の分布及び量の実態を定量的に把握することは、鹿沼市域の水文循環の特徴を調べる上で不可欠である。

統計資料などを基に、平成 13 年度の各用途の地下水揚水量を集計すると、年間約 3,240 万 m<sup>3</sup>となった(図 2-6)。各用途の経年変化を見ると、上水道の年間揚水量(配水量)は給水人口の増加に伴って平成 12 年度まで年々増加し、平成 12 年度には年間 1,000 万 m<sup>3</sup>を超えている。平成 13 年度はやや減少し、年間 989 万 m<sup>3</sup>である(図 2-7)。工業用の年間揚水量は推計で約 220 万 m<sup>3</sup>であり、近年はほぼ横這い傾向にある(図 2-8)。農業用の年間揚水量は実績値が平成 7 年 10 月から平成 8 年 9 月の値しかないため経年変化は不明であるが、農地面積の変化を基に推計すると、平成 13 年は約 1,800 万 m<sup>3</sup>となった。月別では水田への利用が大半を占めているため、かんがい期間である 5 月から 8 月、とりわけ、代掻き期の 5 月に集中している(図 2-9)。

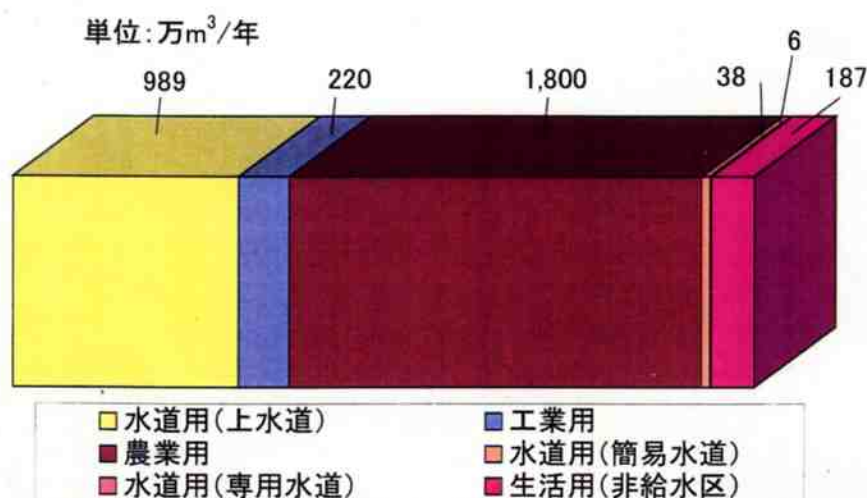


図 2-6 鹿沼市域における地下水揚水量 (平成 13 年度)

### 【地下水利用量の集計方法】

鹿沼市域の用途ごとの根拠は以下による。

上水道 ; 「鹿沼市水道部資料 (鹿沼市水道部)」に基づく。平成 13 年度実績揚水量。

簡易水道 ; 「栃木の水道 (栃木県)」に基づく。平成 13 年度実績揚水量。

専用水道 ; 「栃木の水道 (栃木県)」、「鹿沼市上水道のあらまし (鹿沼市水道部)」に基づく。平成 13 年度の専用水道給水人口と上水道の 1 人当たり消費水量より推計。

非給水区の生活用水 ; 「栃木の水道 (栃木県)」、「鹿沼市上水道のあらまし (鹿沼市水道部)」に基づく。平成 13 年度の非給水区の給水人口と上水道の 1 人当たり消費水量より推計。

工業用 ; 「栃木県の工業 (栃木県)」に基づく。平成 13 年実績揚水量 (日平均) と稼働日数 300 日より推計。

農業用 ; 「関東における農業用地下水の利用実態-第 4 回-(関東農政局, 2001)」、「鹿沼市税務概要 (鹿沼市)」に基づく。実績揚水量(H7.10~H8.9)と平成 8 年に対する平成 13 年の田畑の面積変化率より推計。

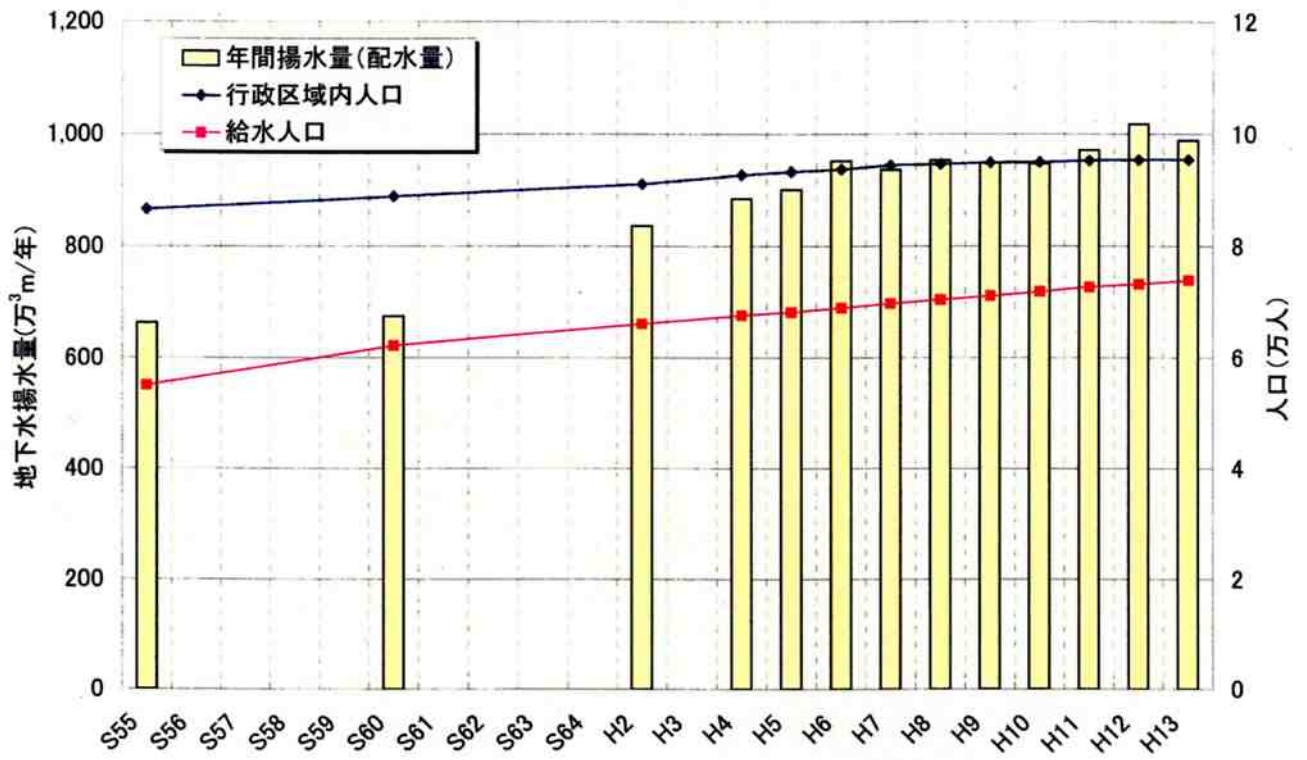


図 2-7 鹿沼市域の人口・給水人口、年間揚水量（配水量）の推移

（「平成 8～13 年度版 上水道のあらまし（鹿沼市水道部）」より）

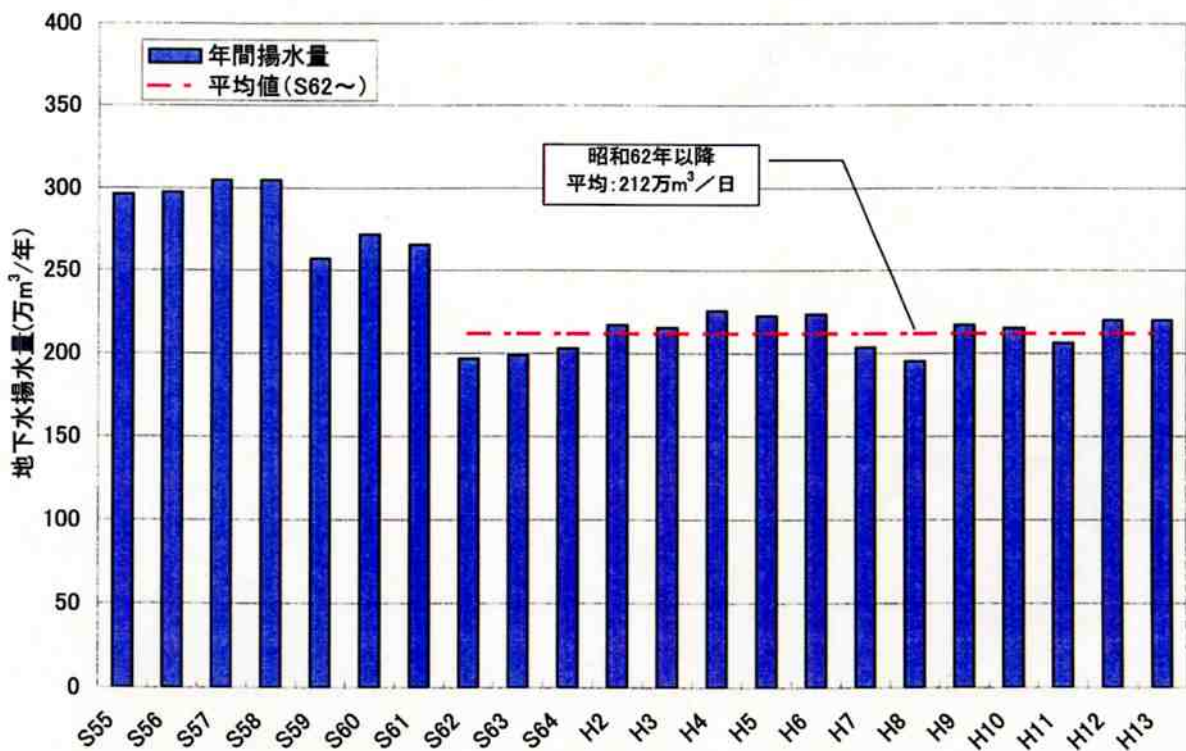
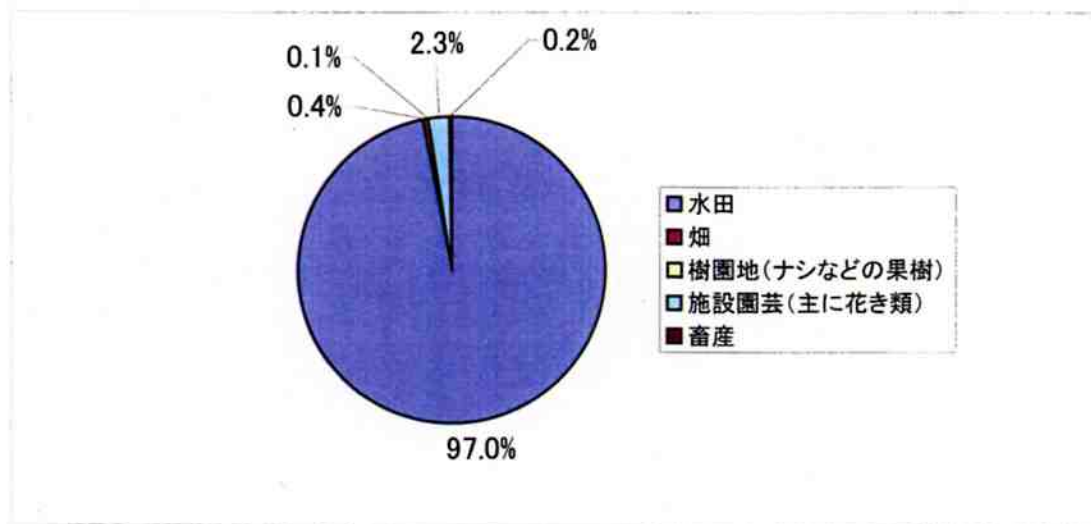


図 2-8 鹿沼市域の工業用地下水揚水量の推移

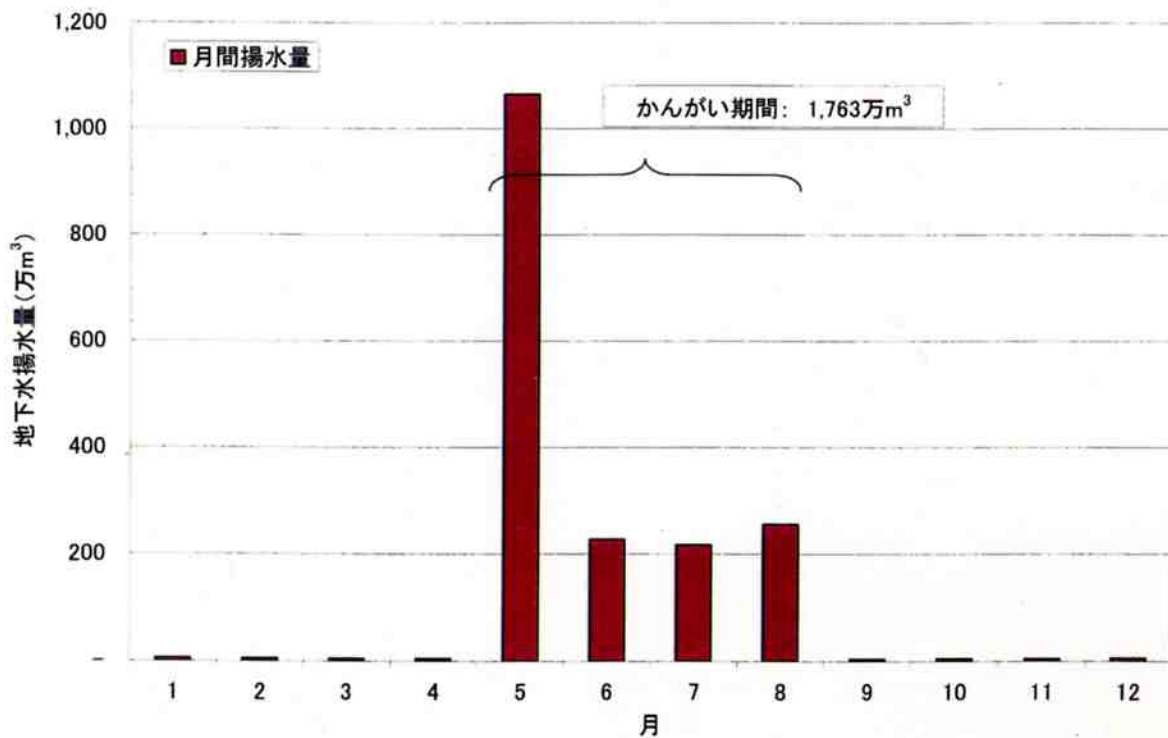
（「昭和 55～平成 12 年 栃木県の工業（栃木県）」より）

※ 実績揚水量（日平均）と稼働日数 300 日より、年間揚水量を推計。

	水田	畑	樹園地	施設園芸	畜産	合計
鹿沼市	1,746	7	1	42	4	1,800



(a) 作物別の地下水揚水量の割合



(b) 月間揚水量

図 2-9 鹿沼市域の農業用地下水揚水量 (平成 13 年)

※「関東における農業用地下水の利用実態-第4回- (関東農政局, 2001)」、「鹿沼市税務概要 (鹿沼市)」に基づき、実績揚水量 (H7.10~H8.9) と田畑の面積変化率より推計。

## 2-5 地下水の流動

地下水の流れの方向は、地下水位の分布から推定することが可能である。また、地下水涵養や流出の特徴は、地下水位の季節的な変化から推定することが可能である。したがって、地下水位の分布と季節的な変化を把握することは、地下水の流動を調べる上で必要不可欠である。

平成 13 年 8 月 15～17 日（かんがい期）と平成 14 年 2 月 6～8 日（非かんがい期）に、地下水位の分布を把握するための地下水位一斉測水調査を行った。調査結果（図 2-10）によれば、鹿沼市域の地下水は低地部では河川に沿って概ね北から南へ、台地部では概ね北から南東ないし南南東方向へと流れていることが明らかとなった。地域的な特徴としては、まず、黒川左岸の段丘崖<sup>だんきゅうがせ</sup>付近で地下水位に最大約 7m 程度の差があり、台地部の方が低地部よりも高いことが挙げられる。このことは、地下水の流れが低地部と台地部で分かれていることを示していると考えられる。次に、黒川沿いと大芦川沿いの地下水は、ともに河川沿いの厚さ 10～20m の薄い帯水層内を流れており、地下水位は地表面下 1～10m の深さに位置していることが挙げられる。黒川沿いの地下水位は河川水位よりやや高く、大芦川沿いの地下水位は河川水位とほぼ同じ高さにある。一方、台地部の地下水位は概ね地表面下 5～15m の深さに位置している。2 時期の水位分布を比べると、平成 13 年 8 月（かんがい期）の地下水位分布は平成 14 年 2 月（非かんがい期）よりも総じて高い。鹿沼市域における夏季の降水量が冬季に比べて多いことや、低地部では水田のかんがい水が地下水涵養源となっていることが、主な要因と考えられる。流れの方向に関しては、低地部・台地部ともに時期による大きな違いは認められなかった。

地下水位の季節的な変化を把握するため、平成 13 年 7 月から低地部の 2 地点、台地部の 3 地点で地下水位連続観測調査を行った。低地部を代表する Kc-27 地点と台地部を代表する Kc-35 地点での観測記録を比べると、低地部の地下水位にはかんがい期（5 月～9 月）に高くなる季節変化がみられるが、台地部ではこうした変化は認められない。また、いずれも降雨とともに地下水位は急速に上昇するが、その後の変化については、台地部では比較的緩やかに低下するものの、低地部では速やかに低下するという違いが認められた（図 2-11）。



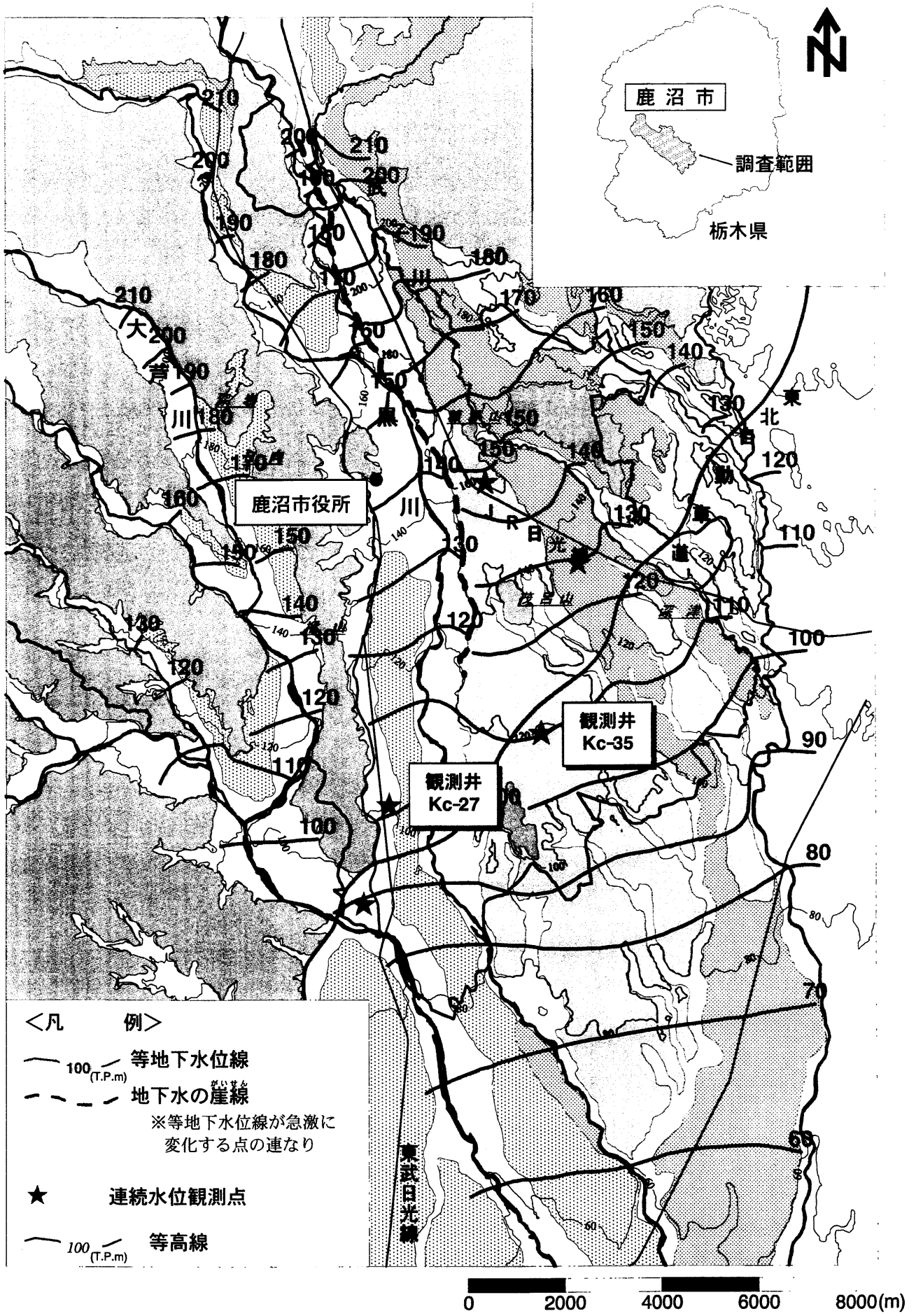


図 2-10 (1) 等地下水位線図 (平成 13 年 8 月調査)

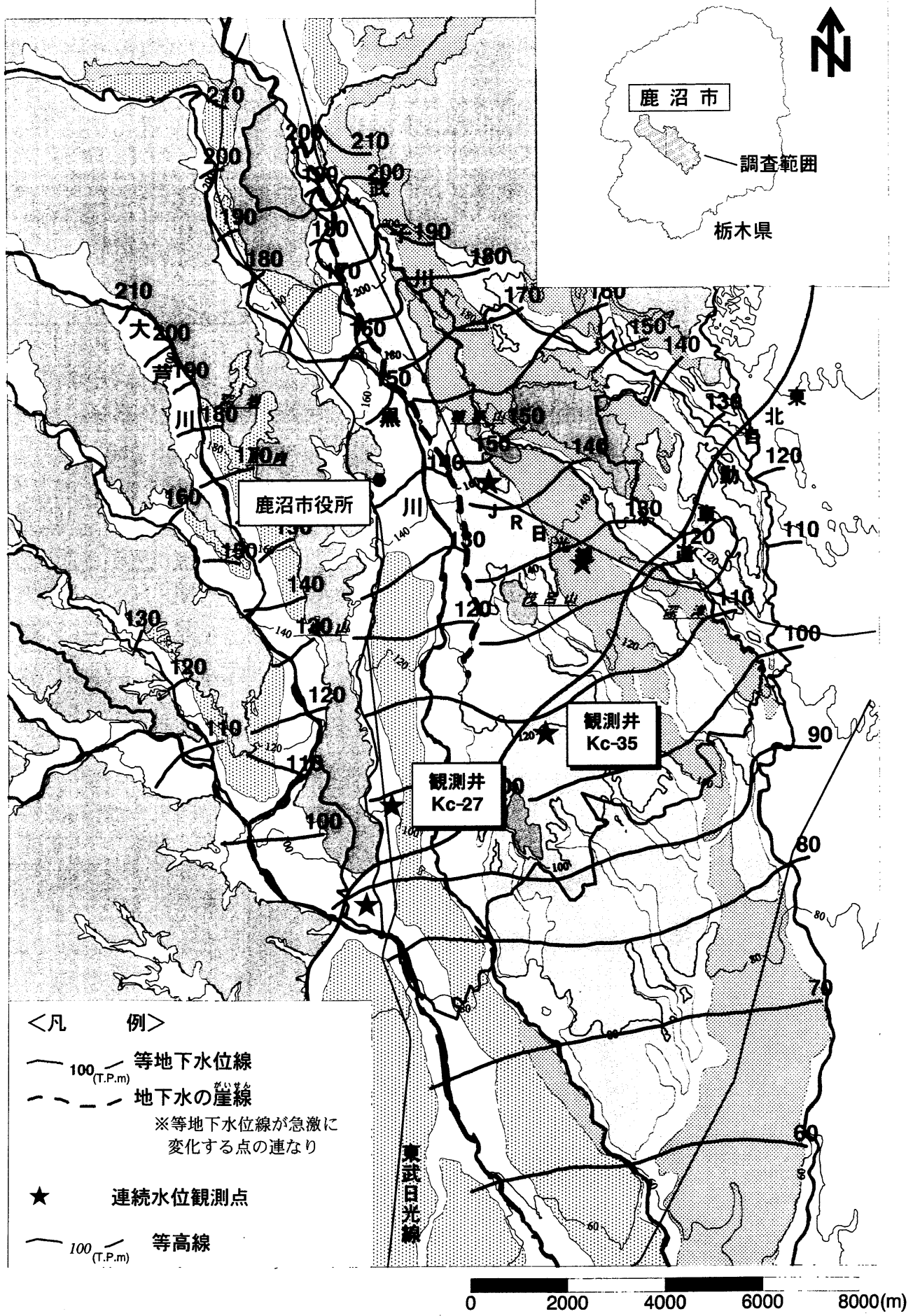
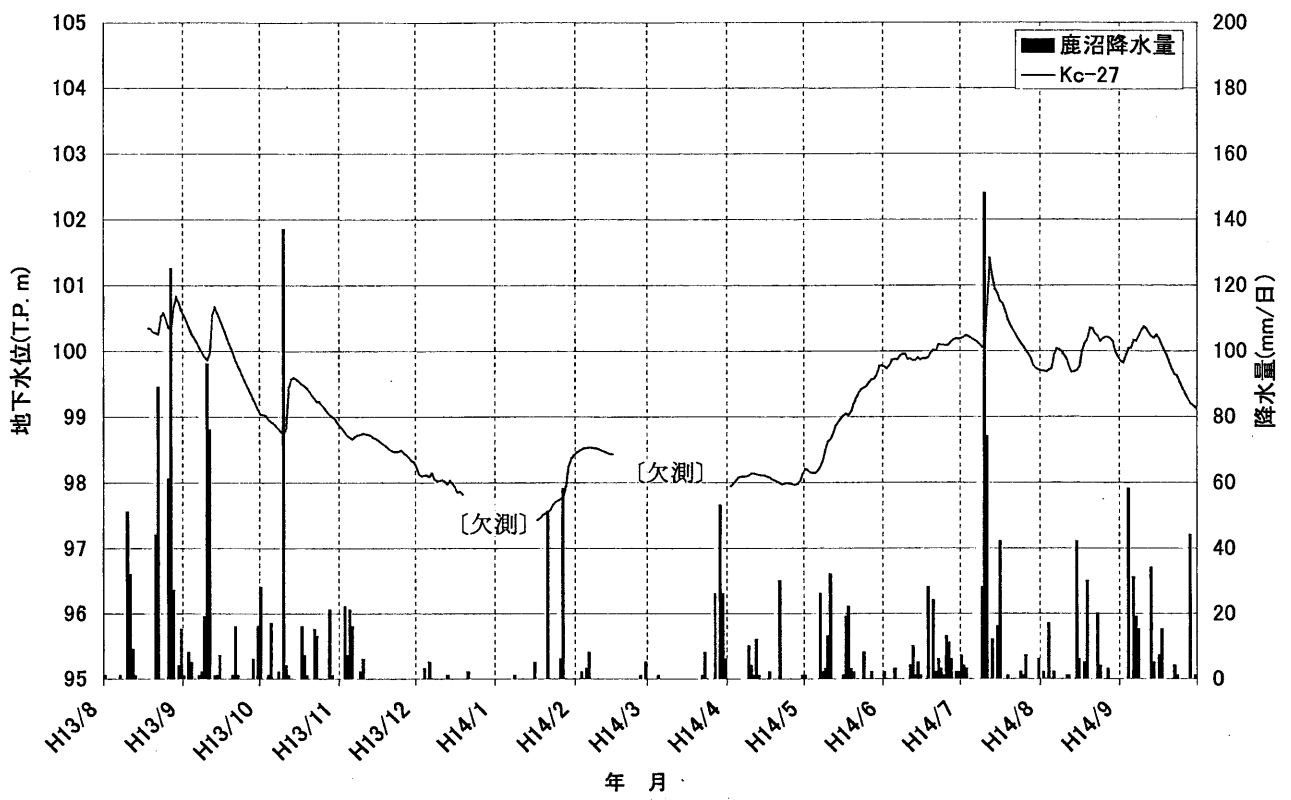
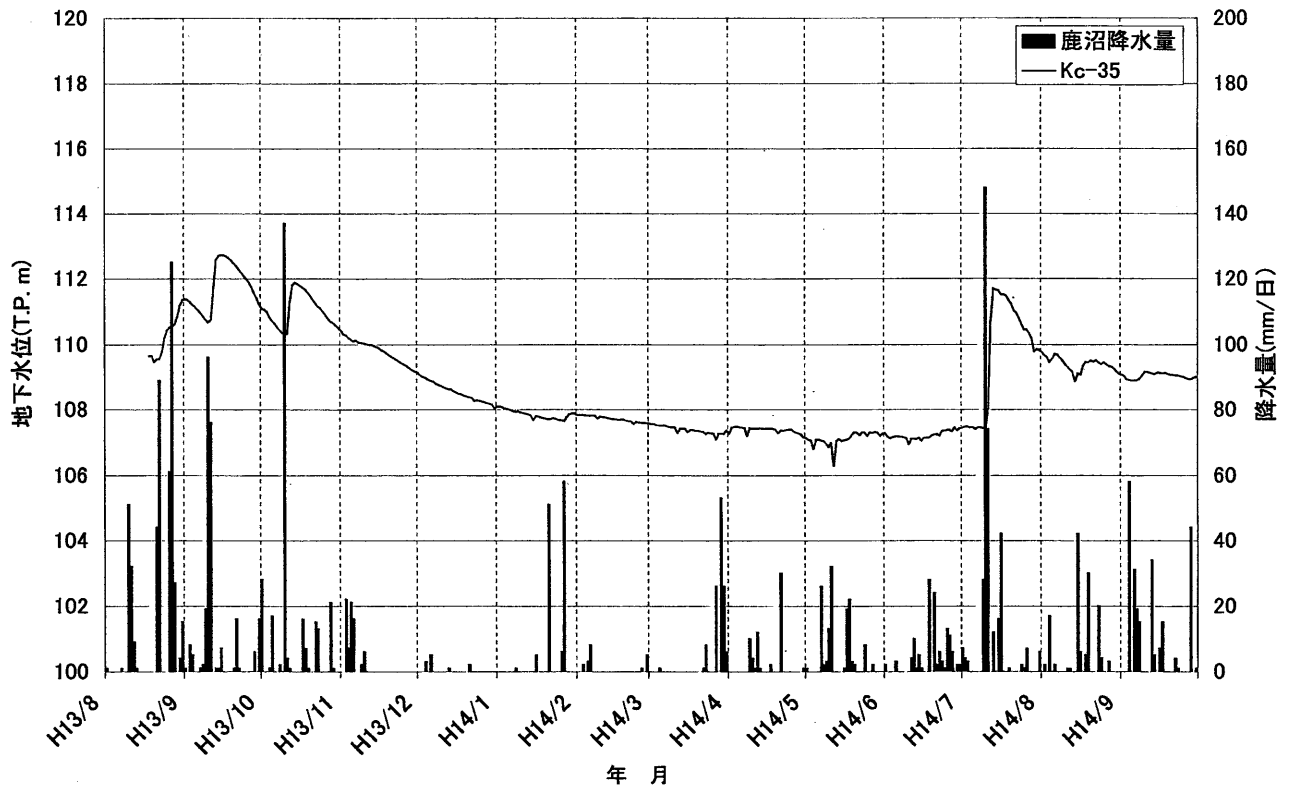


図 2-10 (2) 等地下水位線図 (平成 14 年 2 月調査)



(a) 観測地点 Kc-27：低地部



(b) 観測地点 Kc-35：台地部

図 2-11 地下水位連続観測記録

【平成 13 年の年間降水量と確率年】

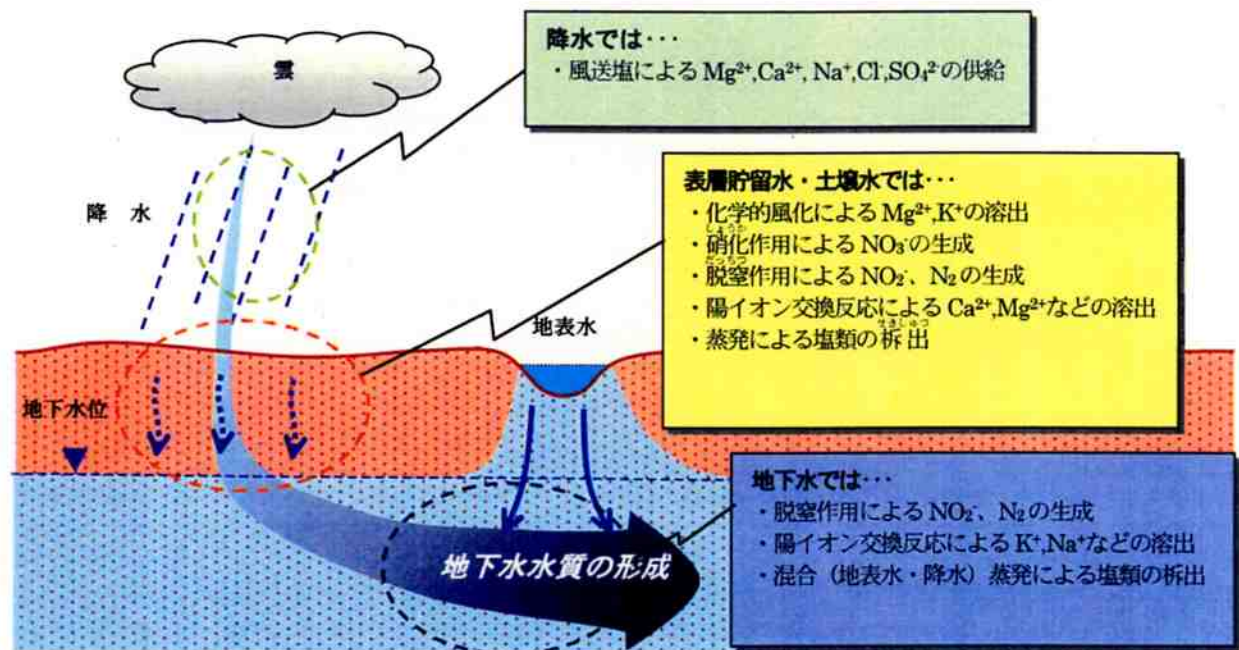
年間降水量：1,755mm、確率年：1.46 年



## 2-6 地下水の水質

### (1) 水質組成

水文循環の中で、地下水の起源となる降水には、海水から運ばれる風送塩などが含まれるものの、一般に溶存物質の量は少ない。地下水の水質を決定する溶存物質は、主に地表面に到達した降水が地表面から地下に浸透する過程と、地下水となり地中をゆっくり流れる過程で、土粒子や鉱物などとの反応によってもたらされる。このため、地下水の水質は、地質条件によって特徴的な水質を有する。また、地下水流動の過程で新たに付加された降水や地表水の混合により、水質が変化することもある(図 2-1 2)。したがって、地下水の水質組成(含まれるイオン量の組成比のこと)を知ることは、地下水の流動経路や地下水涵養の特徴を把握する上での、有効な手段である。



(陽イオン:  $Na^+$ : ナトリウムイオン、 $K^+$ : カリウムイオン、 $Ca^{2+}$ : カルシウムイオン、 $Mg^{2+}$ : マグネシウムイオン  
陰イオン:  $Cl^-$ : 塩素イオン、 $HCO_3^-$ : 重炭酸イオン、 $SO_4^{2-}$ : 硫酸イオン、 $NO_3^-$ : 硝酸イオン)

図 2-1 2 一般的な地下水水質組成の成り立ち

平成 13 年 8 月 15~17 日のかんがい期の地下水位分布調査時に、地下水 16 地点、河川水 5 地点の水を採取し、水質を構成する主な 8 つのイオン成分 ( $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ) の濃度分析を実施した。図 2-1 3 は、採水地点ごとの水質組成の違いを見るために、イオン成分の当量濃度をヘキサダイアグラムと呼ばれる 6 角形の図形で表したものである。図 2-1 4 には、一般的な降水の水質組成と東京都武蔵野台地及び鹿沼市域の浅層地下水の代表的な水質組成を比較した。これによると、鹿沼市域の地下水は東京都の地下水に比べ、溶存物質の量が少ない清澄な水であることが分かる。同時に、地下水及び河川水の水質組成には次のような特徴が認められた。

- 低地部の地下水及び河川水の水質組成は類似しており、陽イオンでは  $\text{Ca}^{2+}$ 、陰イオンでは  $\text{HCO}_3^-$  の濃度 (meq/l) が高い。
- 台地部の地下水の水質組成は、陽イオンで  $\text{Na}^{++}\text{K}^+$ 、陰イオンで  $\text{Cl}^-; \text{NO}_3^-$  の濃度 (meq/l) が高い。

低地部と台地部の水質組成の大きな違いは、鹿沼市域の地下水の涵養域や流動経路が低地部と台地部で異なることを示している。このことは、地下水の流れが低地部と台地部で分かれているという、地下水位分布調査によって得た結果と一致する。

---

#### 【ヘキサダイアグラム】

水質組成を表す方法のひとつ。特に陽イオンとして ( $\text{Na}^{++}\text{K}^+$ )、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、陰イオンとして  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  の当量濃度を取り、6角形の図形で表したものをヘキサダイアグラムといい、地下水系の解明などに使用されている。 $\text{NO}_3^-$  が多く含まれる場合は、( $\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$ ) の当量濃度を使うことがある。

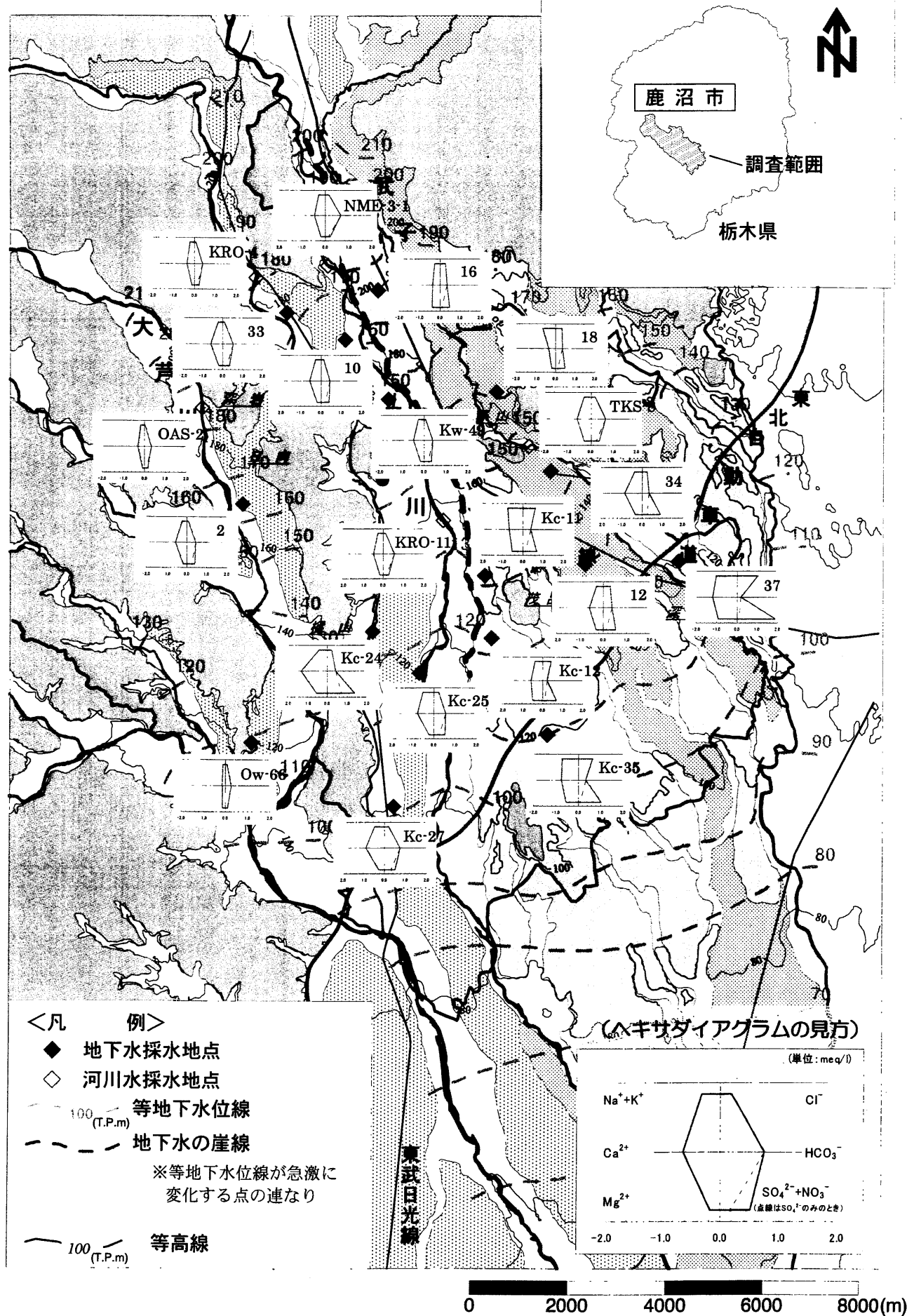
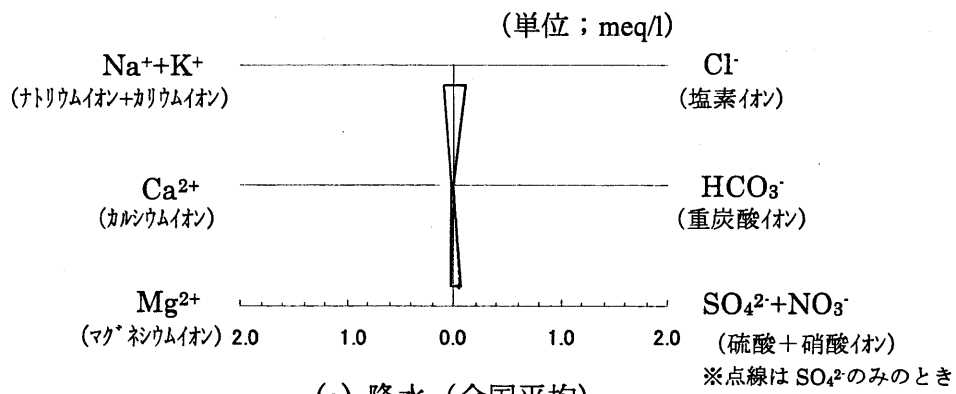
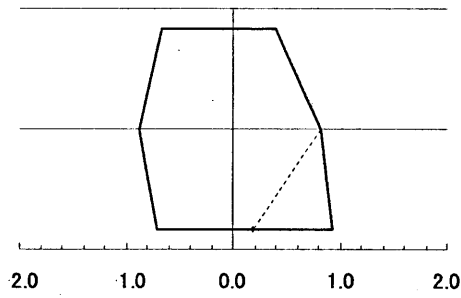


図 2-13 鹿沼市域における地下水及び河川水の水質組成分布

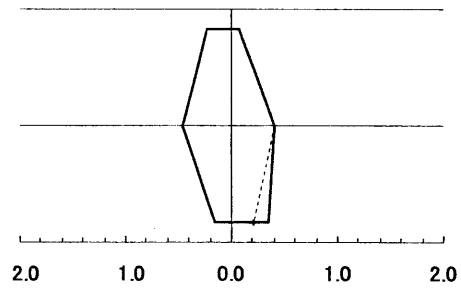


(出典 : 「陸水の科学 (日本化学会編, 1992)」)



(出典 : 「武蔵野台地の段丘崖に分布する著名湧水の湧出機構の解明とその保全ならびに環境モニターとしての機能の検討 (新藤・太田, 1993)」)

(出典 : 「武蔵野台地の段丘崖に分布する著名湧水の湧出機構の解明とその保全ならびに環境モニターとしての機能の検討 (新藤・太田, 1993)」)



(出典 : 「武蔵野台地の段丘崖に分布する著名湧水の湧出機構の解明とその保全ならびに環境モニターとしての機能の検討 (新藤・太田, 1993)」)

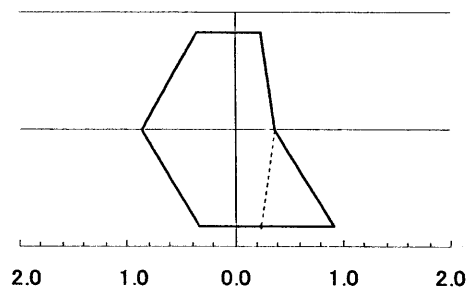


図 2-14 降水の水質組成、及び東京都武蔵野台地と鹿沼市域の地下水質組成

## (2) 地下水汚染の経緯

地下水汚染とは、地下水中の有害物質の濃度が環境基準を上回る状態を言う。地下水の現状と適正な地下水利用のあり方を検討する場合、地下水汚染の経緯に関する情報は重要な判断材料となる。

栃木県では、「栃木県公共用水域及び地下水の水質測定計画」に基づき、環境庁公示第 10 号別表に掲げる物質による地下水汚染状況について、定期モニタリング調査や概況調査が実施されている。平成 13 年度の概況調査（表 2-2）によれば、鹿沼市内で調査されたすべての地点（8 地点）では、いずれも環境基準を満たしている。しかし、過去の地下水汚染事例（表 2-3 及び図 2-15）によれば、鹿沼市白桑田では TCE（トリクロロエチレン）及び PCE（テトラクロロエチレン）がそれぞれ 0.15mg/l、0.15mg/l と、平成 13 年度時点において環境基準（それぞれ、0.03mg/l 以下、0.01mg/l 以下）を上回っている。鹿沼市白桑田の地下水汚染は平成 2 年に確認されており、過去の最高濃度はそれぞれ 1.79mg/l、7.85mg/l を記録している。さつき町、府所本町、南上野町、上石川、下田町では、現在は環境基準を満たしているものの、過去に TCE、PCE による地下水汚染が確認されている。

また、本調査で実施した地下水質調査（調査地点位置は図 2-13）によれば、台地部の硝酸性窒素濃度が高く、調査地点番号 37 及び Kc-35 では硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素の環境基準（10mg/l 以下）を上回っていることが確認された（表 2-4）。

その他、全国的に懸念の増している水道水源のクリプトスポリジウム汚染については、鹿沼市の上水道水源では現在まで確認されていない。しかし、鹿沼市域内で汚染源となり得る畜産施設（94 ヶ所）は、約 6 割が水源井の分布する黒川及び大芦川低地に位置しており、水道事業における注意すべき問題のひとつと言える（図 2-16）。

---

### 【環境庁公示第 10 号別表に掲げる物質】

環境庁公示第 10 号では、地下水の水質汚染に係る環境基準について定めており、別表には対象となる 26 項目の物質が掲げられている。主な物質に六価クロム、総水銀などの重金属、TCE（トリクロロエチレン）や PCE（テトラクロロエチレン）などの揮発性有機塩素化合物、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素などがある。

### 【概況調査・定期モニタリング調査】

概況調査では無作為に選ばれた地点の水質、定期モニタリング調査では過去の概況調査で地下水汚染が確認されたところや、モニタリング地点の水質が調査される。

### 【クリプトスポリジウム汚染】

クリプトスポリジウムは孢子虫類に属し、腸管系に寄生する原虫である。環境中では「オーシスト」と呼ばれる嚢包体の形（大きさは 4~6 $\mu$ m）で存在し、増殖することはないが「オーシスト」が人間の他、動物に経口的に摂取されると、消化管の細胞に寄生して増殖し、そこで形成された「オーシスト」がふん便とともに体外に排出され感染源となる。また、「オーシスト」は塩素に対して極めて強い耐性がある。クリプトスポリジウムに感染すると、腹痛などが発症することがある。現在、クリプトスポリジウムについての有効な治療薬は見つかっていない。平成 8 年 6 月に埼玉県越生町で水道を介したクリプトスポリジウムによる感染症が確認されて以来、全国的に懸念が増しており、厚生省では同年 10 月に「水道におけるクリプトスポリジウム暫定対策指針」を策定し、水道事業者などにおける予防対策及び感染症が発生した場合の応急措置など所要の対策を進めている。

表 2-2 平成 13 年度の地下水質調査（概況調査）の結果

（「栃木県水質年表－平成 13 年度－（栃木県生活環境部,2003.1）」より）

地域名	鉛	硝酸性窒素及び 亜硝酸性窒素	ふっ素	ほう素	調査内容
環境基準	0.01	10	0.8	1	左記の数値以下
草久		3.9	0.03	0.02	健康項目A,B
板荷		0.79	0.02		健康項目A
富岡	0.001	2.3	0.02	0.01	健康項目A
加園		6.9	0.04	0.02	健康項目A,B
深岩		0.07	0.02		健康項目A
酒野谷		1.6			健康項目A
千渡		1.1	0.02		健康項目A,B
上石川		6	0.02	0.02	健康項目A

※空欄は報告下限値未満

※その他の測定項目は、全て報告下限値未満のため記載を省略

※健康項目

A; カドミウム、鉛、砒素、総水銀、アルキル水銀、ジクロロメタン、四塩化炭素、  
1,2-ジクロロエタン、1,1-ジクロロエチレン、シス-1,2-ジクロロエチレン、1,1,1-トリクロロエタン、  
1,1,2-トリクロロエタン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、1,3-ジクロロプロペン、シマジン、  
ベンゼン、セレン、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素、ふっ素、ほう素

B; 全シアン、六価クロム、PCB、チラウム、チオベンカルブ

表 2-3 過去の地下水汚染事例

（「栃木県水質年表－平成 13 年度－（栃木県生活環境部,2003.1）」より）

地域名	汚染 判明 年月	汚染物質と最高濃度(mg/l)						備考
		TCE	PCE	MC	六価 クロム	鉛	四塩化 炭素	
環境基準		0.01	0.03	1.0	0.05	0.01	0.002	左記の数値以下
さつき町	S61.6	0.33						環境基準内に低下したため、平成7年度に調査を終了した。
府所本町	S61.9		0.018					環境基準内に低下したため、平成5年度に調査を終了した。
白桑田	H2.7	1.79	7.85					平成13年度定期モニタリング(H14.1～2)時の過去最高汚染地点では、TCE:0.15(mg/l),PCE:0.15(mg/l)
南上野町	H2.12		0.186					平成13年度定期モニタリング(H14.1～2)時の過去最高汚染地点では、PCE:0.0055(mg/l)
上石川	H3.2		0.04					環境基準内に低下したため、平成8年度に調査を終了した。
下田町	H3.9		0.024					環境基準内に低下したため、平成8年度に調査を終了した。

※空欄は報告下限値未満

※硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素を除く

※TCE: トリクロロエチレン、PCE: トリクロロエチレン、MC: 1,1,1-トリクロロエタン



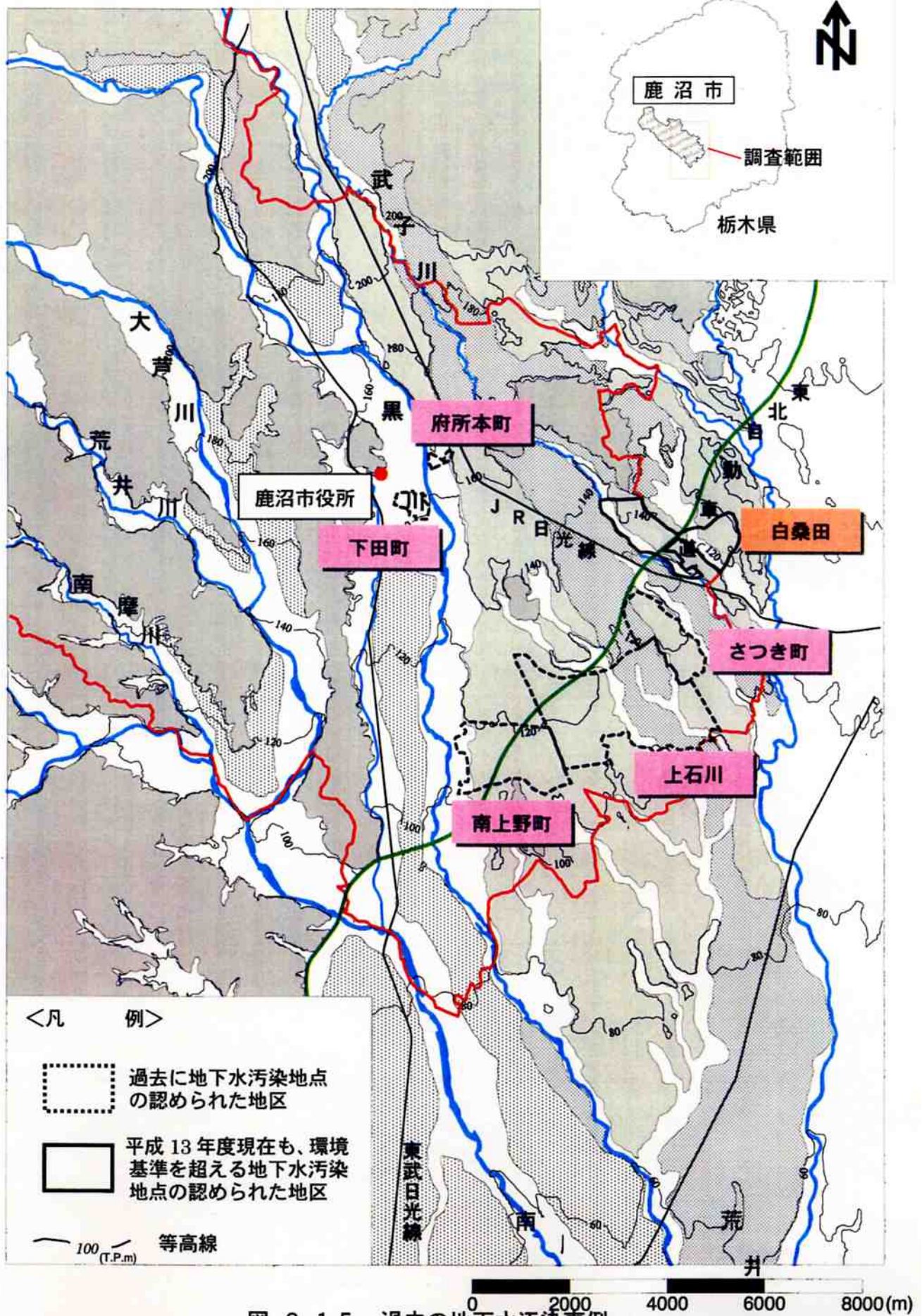


図 2-15 過去の地下水汚染事例

(「栃木県水質年表-平成13年度-(栃木県生活環境部, 2003.1)」に基づく)



表 2-4 地下水質調査に基づく硝酸性窒素濃度

単位：mg/l

採水地点	硝酸性窒素濃度	備考
2	2	低地
10	2	"
12	5	台地
16	5	"
18	5	"
33	1	低地
34	9	台地
37	25	"
Kc-11	8	"
Kc-12	8	"
Kc-24	9	低地
Kc-25	4	"
Kc-27	3	"
Kc-35	13	台地
Kw-49	2	低地
Ow-66	0	"
KRO-4	1	"
KRO-11	1	"
OAS-2	1	"
NME-3-1	1	"
TKS-8	2	"

■ ; 「硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素」の環境基準(10mg/l以下)超過地点

※一般に亜硝酸性窒素濃度は、硝酸性窒素濃度に比べて極めて低いことから、硝酸性窒素濃度と「硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素」の環境基準を比較した。

※採水地点位置は、図 2-1 3 に示す。

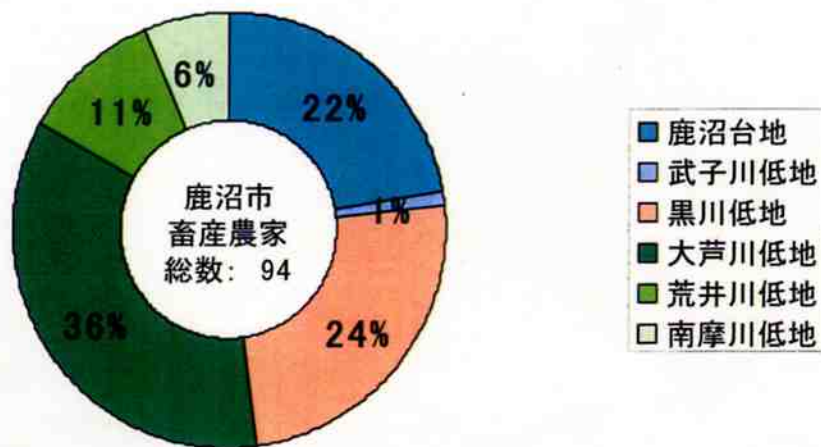


図 2-1 6 鹿沼市域の全畜産農家数と流域別比率

(鹿沼市資料に基づく)

### 3 水収支調査の結果

#### 3-1 地下水流動数値シミュレーション手法

地下水流動数値シミュレーションとは、地下水の流動を調べるにあたって、地下水の流動に関わる水文地質構造（帯水層）や水理特性、地下水涵養量、地下水揚水量、地下水と河川との関係などを数値で模擬したモデルを構築し、そのモデルで分析、予測を行う手法である。

モデルでは、四角柱や三角柱を用いて帯水層を多数の要素に分割し、要素境界値のデータを入力し、個々の地下水流動方程式（表 3-1 参照）を用いて境界内の未知数を計算する（図 3-1）。これにより、地下水位や地下水流動量及び流動方向を算出することができる。

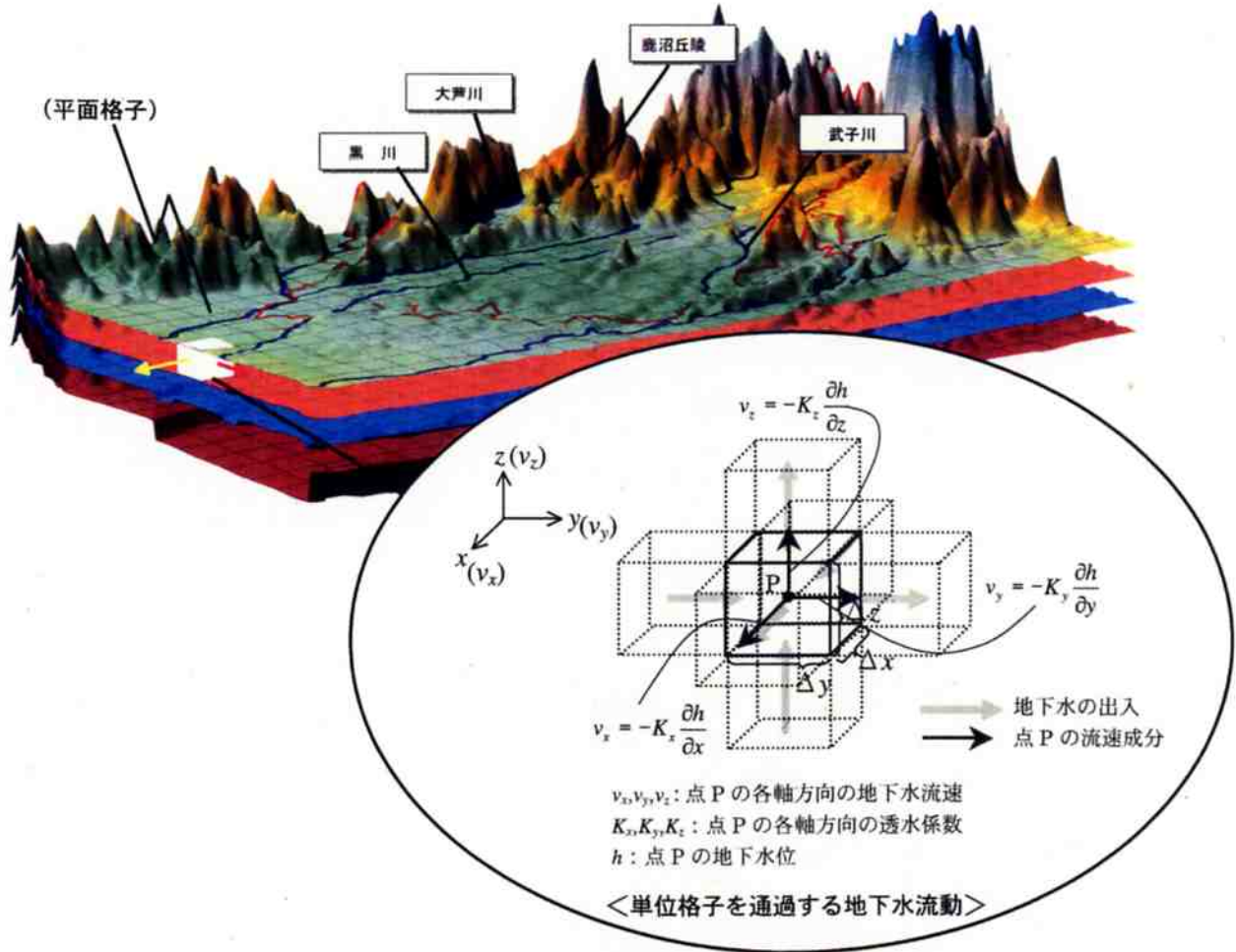


図 3-1 地下水流動数値シミュレーションモデルの概要

水収支調査及び地下水適正利用量調査では、図 3-2 に示す手順で構築した地下水流動数値シミュレーションモデルを用い、鹿沼市域の水収支の現況把握と適正地下水利用量の算出を行った。モデルの構築においては、水文循環調査で得られた結果を基本設計・境界条件・水理定数などのパラメータに反映し、実測値と計算値がほぼ一致するまで繰り返し、検討を重ねた。

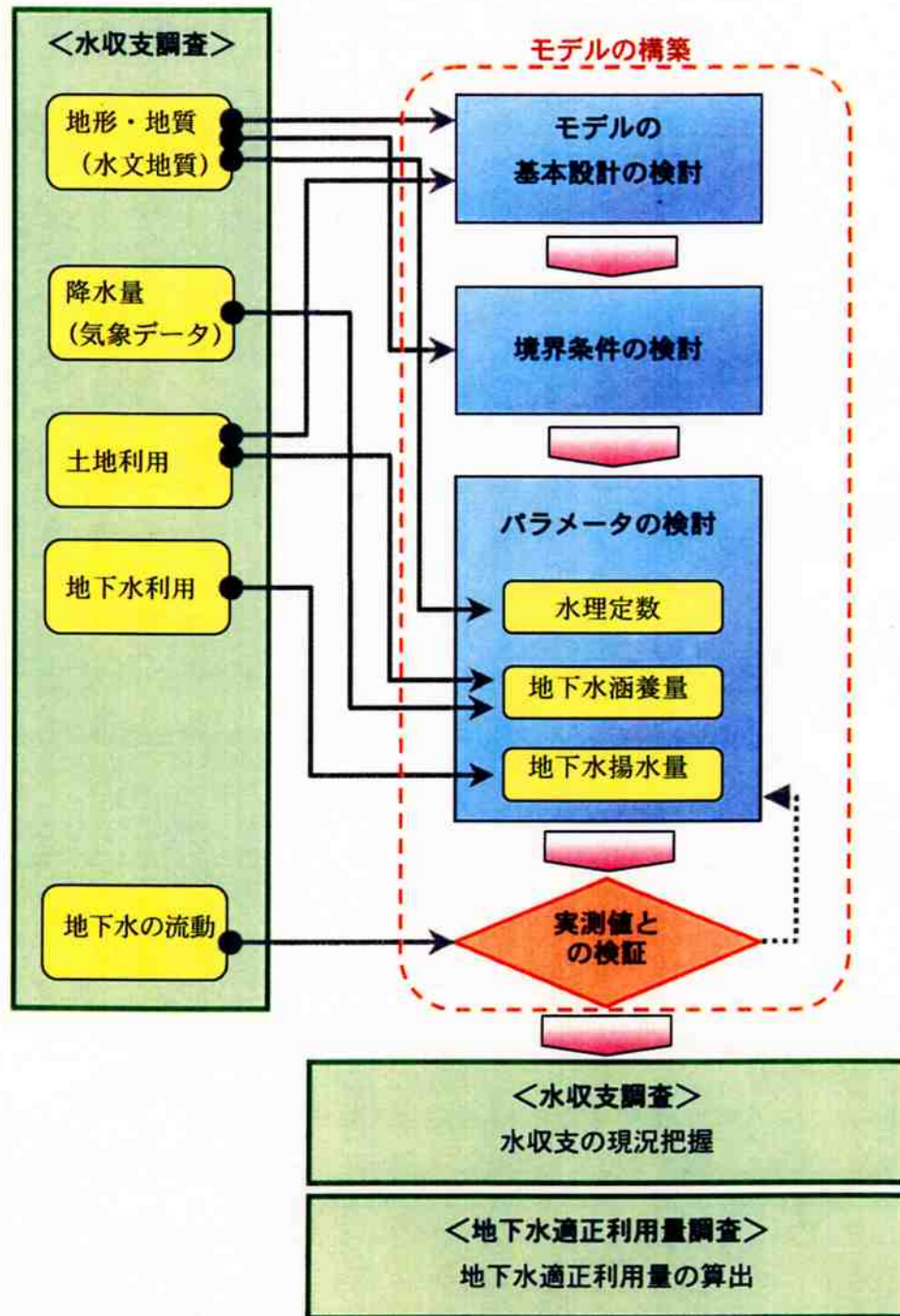


図 3-2 地下水流動シミュレーションモデルの構築手順と各調査の関係

(1) 数値モデルの概要

鹿沼市域を対象に構築した地下水流動シミュレーションモデルの基本設計は、表 3-1 の通りである。解析コードは世界的に汎用モデルとして使用実績の高い MODFLOW (モトフロー; USGS (アメリカ地質調査所) が開発した地下水流動解析コード) を使用した。図 3-3 には、モデルの要素分割、境界・涵養条件の設定状況を平面図で示した。解析の実施に当たって重要となる降水や水田からの地下水涵養量については、(2) 地下水涵養量に算出方法を述べる。

表 3-1 モデルの基本設計

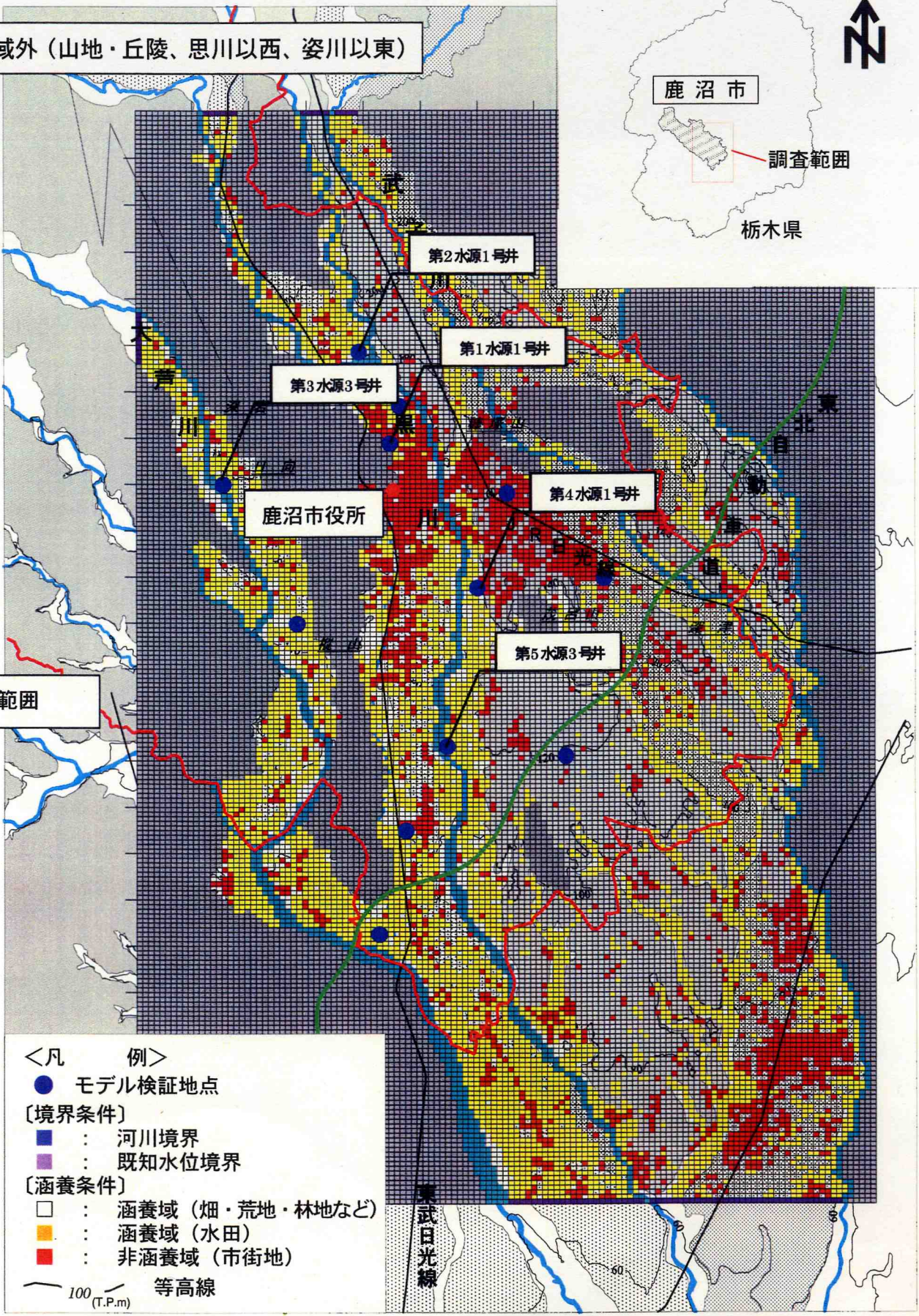
項目	内容	詳細
解析範囲	総面積 深さ	311.22km <sup>2</sup> (東西: 14.560 km, 南北: 21.375 km)。 ※東西を姿川・赤川～大芦川西部の山地部まで、南北を鹿沼台地北端から南端までを含む範囲。 低地部: 10～20m、台地部: 20～40m
格子の 大きさと数	東西方向 南北方向  縦方向 (帯水層数)  格子総数	格子数 130, 格子間隔 112.0 m 格子数 235, 格子間隔 92.5 m ※土地利用区分とも整合し、調査地域を貫流する黒川・大芦川を詳細に表現できる間隔であることから、国土地理院の定める 4 次メッシュ (100m メッシュとも言う) を、平面格子の大きさの単位とした。 4 層 ※地層の水理性状に応じ、ローム層・沖積層・洪積層に区分。洪積層については台地部で層厚が厚いため、2 層に区分した。 122,200 個 (東西 130×南北 235×4 層)
計算期間と 時間間隔	計算期間  計算の時間間隔	平成 13 年 8 月 17 日～平成 14 年 8 月 31 日 ※かんがい期一斉測水調査 (H13/8/16) 以降の 1 水文年  日単位
地下水流動方 程式と数値解 法	地下水流動方程式  数値解法	$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} - R + Q$ $K_{x,y,z}$ : 透水係数、 $h$ : 地下水位、 $S_s$ : 比貯留量 $R$ : 地下水涵養量、 $Q$ : 揚水量、 $t$ : 時間、 $x,y,z$ : 座標 差分法
境界条件	河川部 解析範囲最上流部 " 最下流部	河川境界 … 河川水位 既知水位境界 … 冬期一斉測水時 (H14/2/7) 水位 既知水位境界 … "
水理定数		透水係数(cm/s)   比貯留量(1/m)   有効間隙率(%)
	ローム層	1.0×10 <sup>-4</sup>   4.0×10 <sup>-4</sup> ~1.6×10 <sup>-3</sup>   10.0
	沖積層	8.0×10 <sup>-2</sup> ~3.2×10 <sup>-1</sup>   1.0×10 <sup>-3</sup> ~3.0×10 <sup>-3</sup>   8.0
	洪積層	4.5×10 <sup>-3</sup> ~1.6×10 <sup>-1</sup>   1.0×10 <sup>-3</sup> ~3.0×10 <sup>-3</sup>   8.0



計算領域外 (山地・丘陵、思川以西、姿川以東)



解析範囲



- <凡 例>
- モデル検証地点
  - [境界条件]
  - : 河川境界
  - : 既知水位境界
  - [涵養条件]
  - : 涵養域 (畑・荒地・林地など)
  - : 涵養域 (水田)
  - : 非涵養域 (市街地)
  - 100 (T.P.m) 等高線

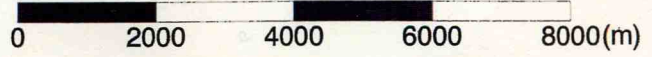


図 3-3 地下水流動シミュレーションモデルの要素分割、境界・涵養条件

26



## (2) 地下水涵養量の算出

実際の地下水流における単位時間内の単位面積あたりの地下水流出量  $Q_0$  は、地下水位  $H$  によって決まり、次式のように表される (図 3-4(a)を参照)。

$$Q_0 = cn_e(H - H_0) \quad (1)式$$

ここで、 $c$  : 定数、 $n_e$  : 有効間隙率、 $H_0$  : 基底水位

一方、タンクモデルでは流出孔のある複数のタンクを想定し、ある時刻のあるタンク内の水位を  $h$  とすると、タンクからの流出量  $q$  は次式のように表される。

$$q = \alpha(h - h_0) \quad (2)式$$

ここで、 $\alpha$  : 流出率、 $h_0$  : タンク内基底水位

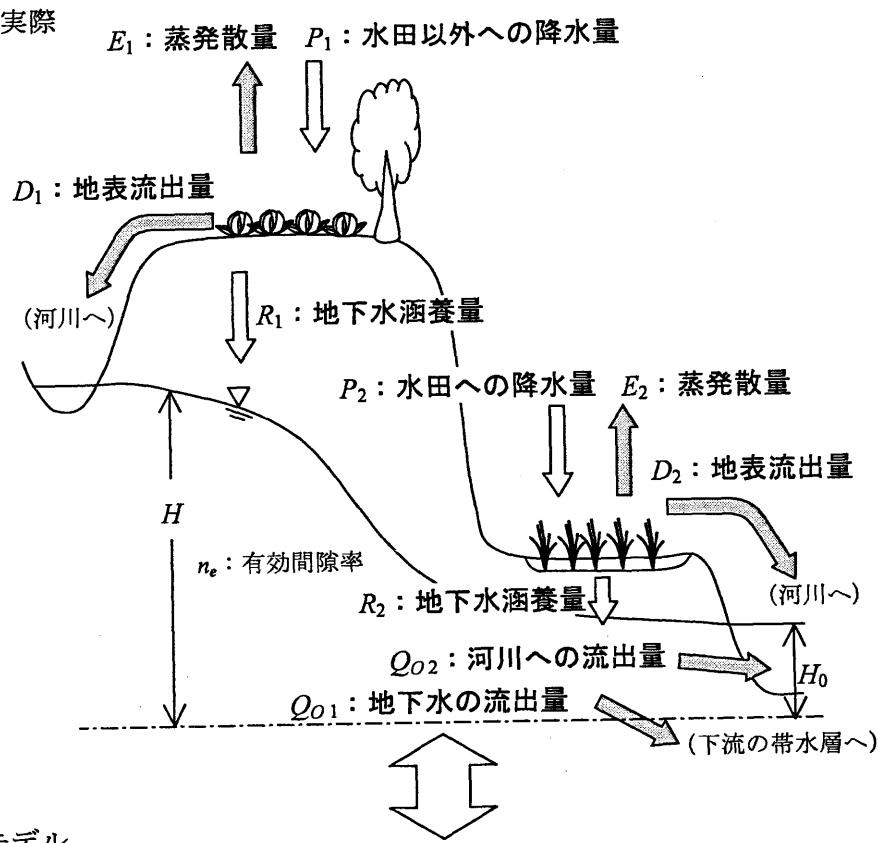
$n_e H$  を  $h$ 、 $n_e H_0$  を  $h_0$  に置き換えると(1)式は(3)式のように書き改められ、(2)式と同じ形となるので、定数  $c$  を流出率  $\alpha$  とすれば地下水流出をタンクに置き換えることが可能である。

$$Q_0 = c(h - h_0) \quad (3)式$$

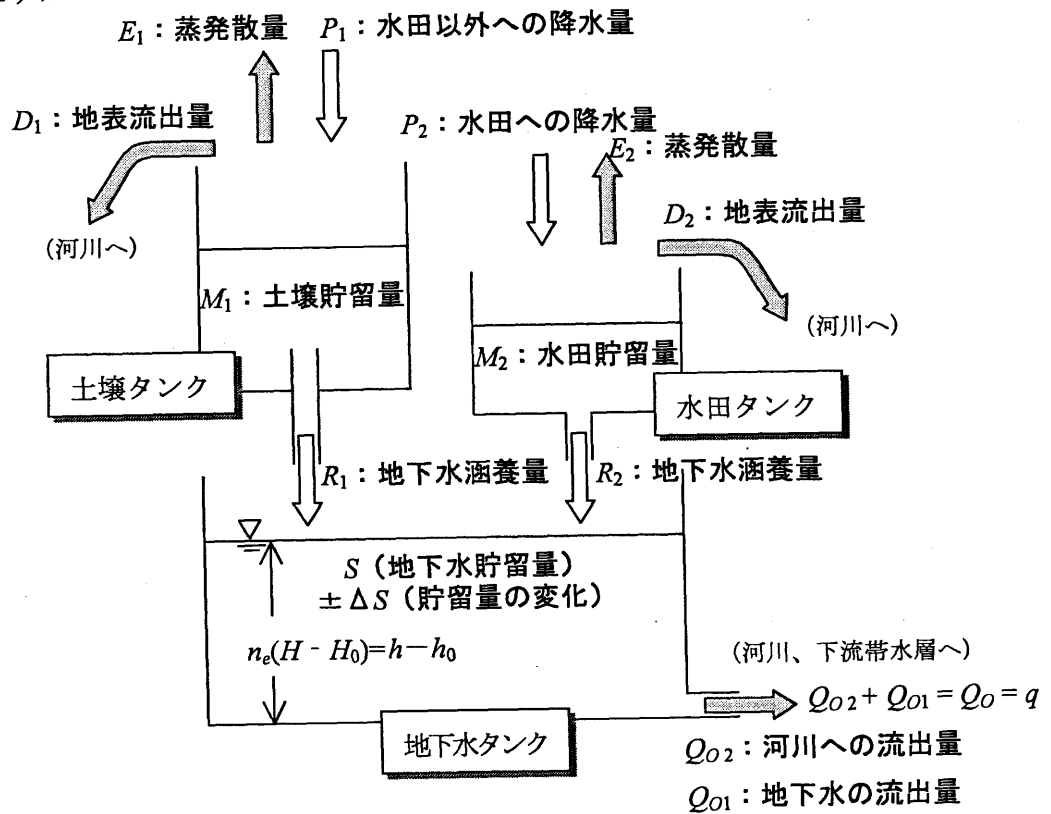
このように、複雑な地下水の流れをタンクで表したものをタンクモデルといい、地下水収支を把握するために一般に用いられている。

本調査では、地下水涵養量を求めるために、降水が地表に到達してから地下水に至るまでの水収支(蒸発散量、地表流出量、中間流出量など)を表したタンクモデルを用いた(図 3-4)。このタンクモデルでは、地下水涵養量が土地利用状況によって異なることを考慮し、地表部のタンクを土壌タンク(畑地や林地に相当)と水田タンク(水田に相当)に分けた。市街地の地下水涵養量はゼロであるので、図 3-4 に表記していない。タンクモデルへの入力データは、基礎調査で得られた降水量や気温、土地利用面積などのデータを用いた。

(a) 水収支の実際



(b) タンクモデル



注) 蒸発散量は、気温からゾーンズウェイト法を用いて算出

図 3-4 タンクモデルによる地下水涵養量過程の表現



### 3-2 水収支の現状

水文循環を定量的に把握しようとするとき、まず水収支を算出することが基本となる。水収支とは、ある水収支域におけるある期間の流入した水量と流出した水量の関係であり、(4)式で示すように、流入量と流出量の差は水収支域内の貯留量変化として表される。

$$(\text{流入量 } I) - (\text{流出量 } O) = (\text{期間 } \Delta t \text{ における貯留量変化 } \Delta S) \quad (4)\text{式}$$

図 3-2 に示す手順にしたがって構築した地下水流動シミュレーションモデルを用い、鹿沼市域の地表・地下水の水収支を算出した(図 3-5)。地下水の水収支(表 3-2)について詳述すると、平成 13 年 9 月から平成 14 年 8 月までの 1 年間に流入した水量( $I$ )は、上流域からの地下水流入量( $Q_i$ ) 2,547 万  $\text{m}^3$  と河川からの地下水流入量( $F$ ) 912 万  $\text{m}^3$ 、地表系からの地下水涵養量( $R$ ) 11,888 万  $\text{m}^3$  の合計 15,348 万  $\text{m}^3$  であった。一方、流出した水量( $O$ )は、地下水揚水量( $Q_p$ ) 3,039 万  $\text{m}^3$ 、下流域への地下水流出量( $Q_o$ ) 4,953 万  $\text{m}^3$ 、河川への地下水流出量( $D$ ) 8,322 万  $\text{m}^3$  の合計 16,314 万  $\text{m}^3$  であった。この結果より、鹿沼市域の地下水の水収支は河川への地下水流出が大きく、このために河川への地下水流出量を除いた正味の地下水流入量は 7,026 万  $\text{m}^3$  と、すべての地下水流入量の 46% 程度に過ぎないことが明らかとなった。また、地下水流入量と地下水流出量の差は 966 万  $\text{m}^3$  のマイナスであり、平成 13 年 9 月から平成 14 年 8 月の間に、鹿沼市域の地下水貯留量( $\Delta S$ )が減ったことを表している。

このことは、上水道水源施設において冬季に水不足が発生する現状を裏付けており、鹿沼市域の地下水貯留量が不足気味であることを意味している。

---

#### 【水収支期間中の降水量】

水収支の対象期間とした平成 13 年 9 月から平成 14 年 8 月までの年間降水量は、1,670mm と過去 23 年間の年平均降水量 1,573mm に近いことから、解析から得られた水収支は鹿沼市域における平均的な水収支と考えることができる。

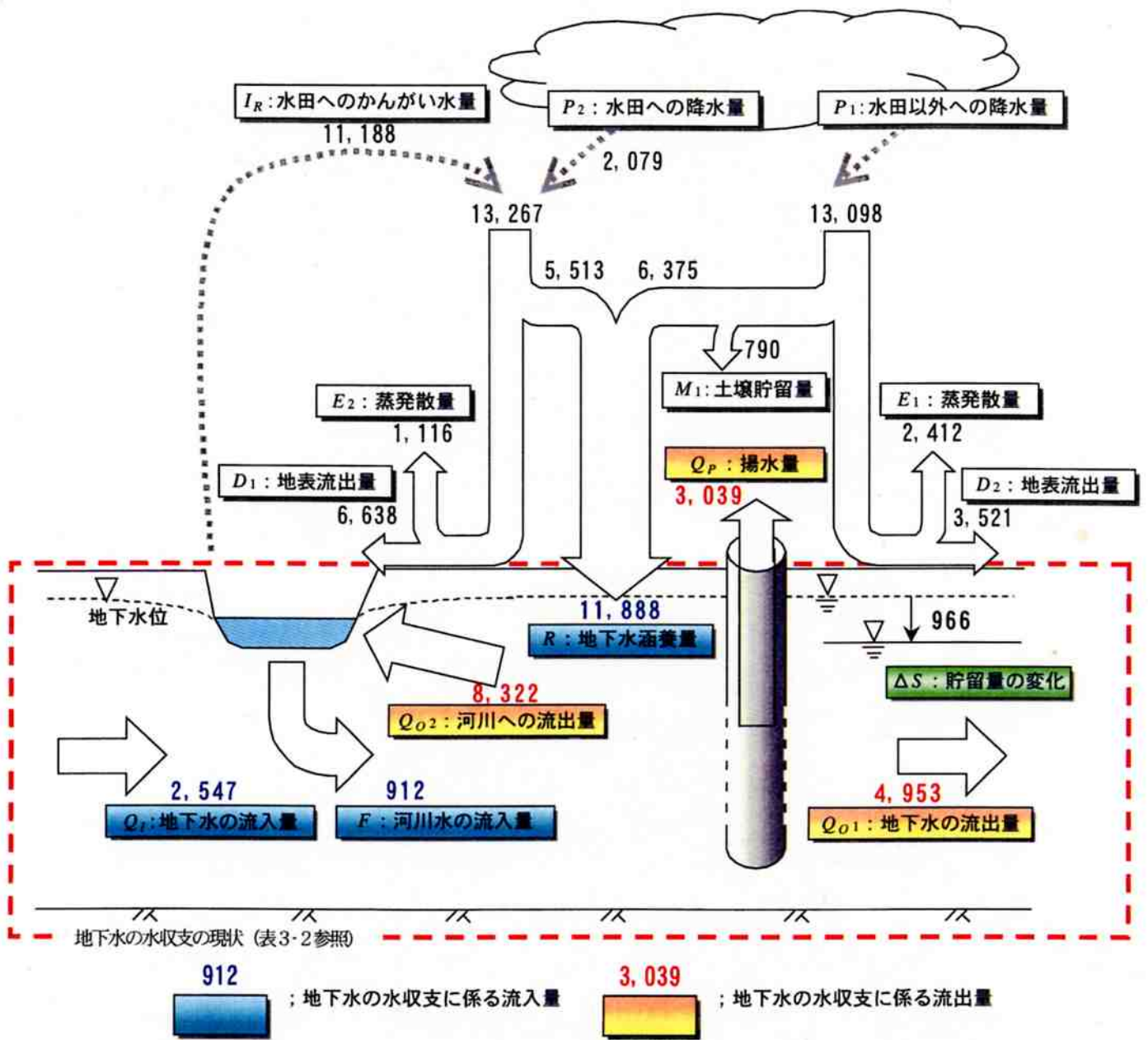


図 3-5 鹿沼市域における水収支の現状

(本調査で解析した平成 13 年 9 月～平成 14 年 8 月の 1 年間の量)

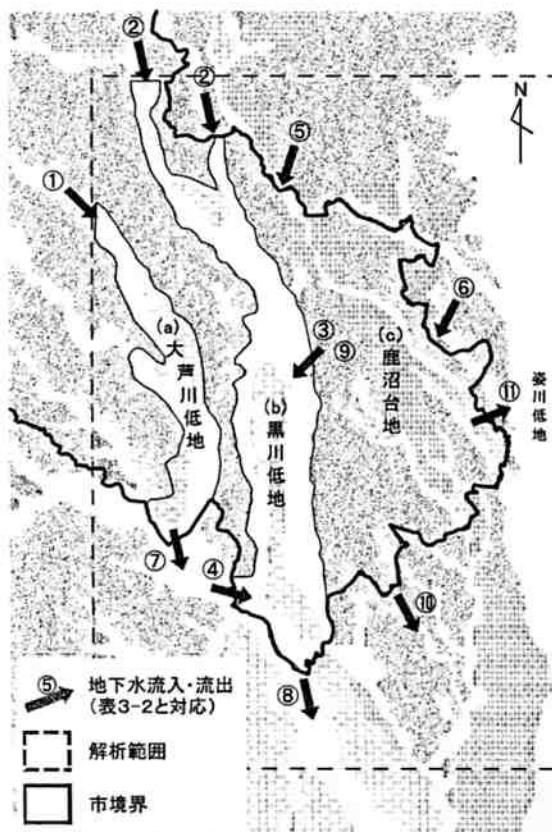
※ 地下水揚水量は、集計期間の違いや一部の簡易水道及び上水道の非給水区などが解析範囲外に位置するため、図 2-6 に示す値と異なる。

表 3-2 鹿沼市域における地下水の水収支の現状

単位:万m<sup>3</sup>/年

	水収支項	水収支域周辺	市内水収支域			合計
			(a)大芦川低地	(b)黒川低地	(c)鹿沼台地	
流入 (I)	地下水涵養量(R)		2,263	4,334	5,292	11,888
	地下水の流入量(Q <sub>I</sub> )	大芦川低地上流	① 855			855
		黒川低地上流		② 241		241
		鹿沼台地		③ 770		770
		大芦川低地下流		④ 33		33
		鹿沼台地北部			⑤ 53	53
		鹿沼台地北東部			⑥ 597	597
	小計	855	1,043	650	2,547	
	河川水の流入量(F)		67	779	66	912
	流入量合計(Q <sub>IT</sub> )		3,184	6,156	6,008	15,348
	正味の地下水流入量(Q <sub>n</sub> )		880	2,323	3,823	7,026
			(27.6%)	(37.7%)	(63.6%)	(45.8%)
流出 (O)	河川への流出量(Q <sub>O2</sub> )		2,304	3,832	2,185	8,322
	地下水の揚水量(Q <sub>P</sub> )		408	1,445	1,185	3,039
	地下水の流出量(Q <sub>O1</sub> )	大芦川低地下流	⑦ 1,108			1,108
		黒川低地下流		⑧ 841		841
		黒川低地			⑨ 770	770
		鹿沼台地南部			⑩ 1,852	1,852
		姿川低地			⑪ 382	382
	小計	1,108	841	3,004	4,953	
	流出量合計(Q <sub>OT</sub> )		3,820	6,119	6,375	16,314
貯留量変化(ΔS)						-966
地下水流入量合計に対する比率						(6.3%)
正味の地下水流入量に対する比率						(13.7%)

※ 正味の地下水流入量(Q<sub>n</sub>) = 地下水流入量合計(Q<sub>I</sub>) - 河川への地下水流出量(Q<sub>O2</sub>)



[市内水収支域一周辺域間の地下水流出入]

## 4 地下水適正利用量調査の結果

### 4-1 適正利用の考え方

一般に、水資源を適正に利用しようとするとき、ある水収支域におけるある期間の流入した水量と流出した水量が、(5)式のような関係を保つこと、すなわち水収支域内の貯留量変化を0以上の状態に保つことが要求される。

$$(\text{流入量 } I) \geq (\text{流出量 } O)$$

すなわち

$$I - O = (\text{期間 } \Delta t \text{ における貯留量変化 } \Delta S) \geq 0 \quad (5)\text{式}$$

地下水適正利用量とは、地下水の水収支域における地下水流入量と地下水流出量の関係を、常に(5)式の状態に保つことができ、井戸枯れなどの地下水障害を引き起こさず、安定的に利用できる地下水量のことを意味する。

鹿沼市域の場合、工業用、農業用、簡易水道などその他の水道用水源における地下水障害は、年間を通して認められない。しかし、近年の上水道事業はほぼ毎年冬季に井戸枯れが生じ、給水制限を実施していることは既に述べた通りである(図 1-1)。したがって鹿沼市域で適正な地下水利用を図るには、上水道水源において適正な地下水利用を図ることが不可欠である。本調査では、給水制限が各水源井に定められた警戒水位を指標として実施されていることから、上水道水源の地下水適正利用量を、警戒水位を下回らない地下水揚水量とみなした。

図 4-1 は、上水道水源の地下水適正利用量の考え方をまとめたものである。算出は次の手順で実施した。

- ① 地下水揚水量の異なる3種類の検討ケース(表 4-1)について、地下水流動シミュレーションモデルを用い、渇水期の最低井戸水深を予測する。
- ② 地下水揚水量を横軸、井戸水深を縦軸にとったグラフ上に、地下水揚水量と渇水期の予測最低井戸水深との関係をプロットする。
- ③ 地下水揚水量と渇水期の予測最低井戸水深との関係に回帰する直線と、上水道水源井の運用上定められている警戒水位との交点を求める。
- ④ 交点に相当する地下水揚水量を上水道の地下水適正利用量とする。

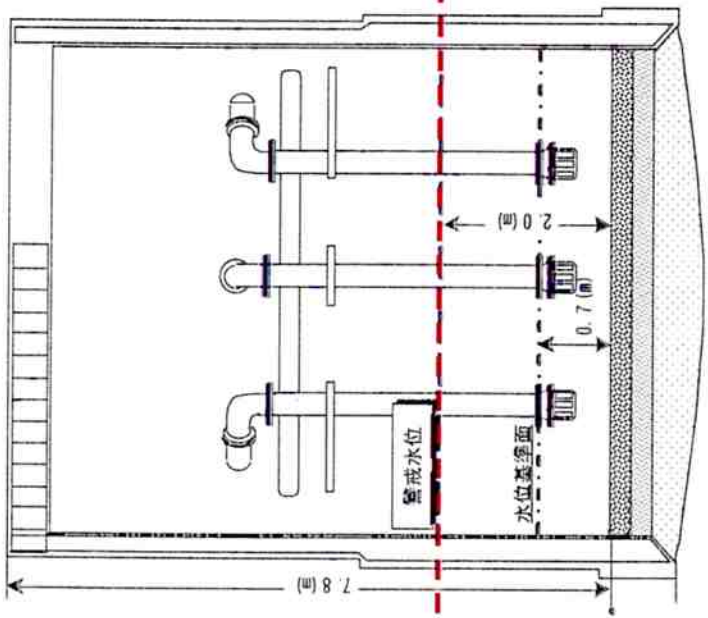
なお、地下水揚水量には水源合計揚水量を、予測最低井戸水深及び警戒水位には各水源における代表水源井(各水源において最も計画給水量の多い水源井)の値を用いた。

---

#### 【警戒水位】

給水制限実施の指標水位で、鹿沼市ではほぼ井戸の集水管(スクリーンなど)の位置及び運用時の実績を基に警戒水位と定めている。地下水位が低下して警戒水位を下回ると、第1段階給水制限として配水減圧5%、第2段階給水制限として夜間減圧25%が実施される。





- ※ 予測最低井戸水深及び警戒水位は、代表水源井の値。
- ※  $Q_{pij}$  は、第  $i$  水源の検討ケース  $j$  の地下水揚水量。
- ※  $H_1, H_2, H_3, H_4$  は、異なる揚水条件のもとで、計算された井戸水深。

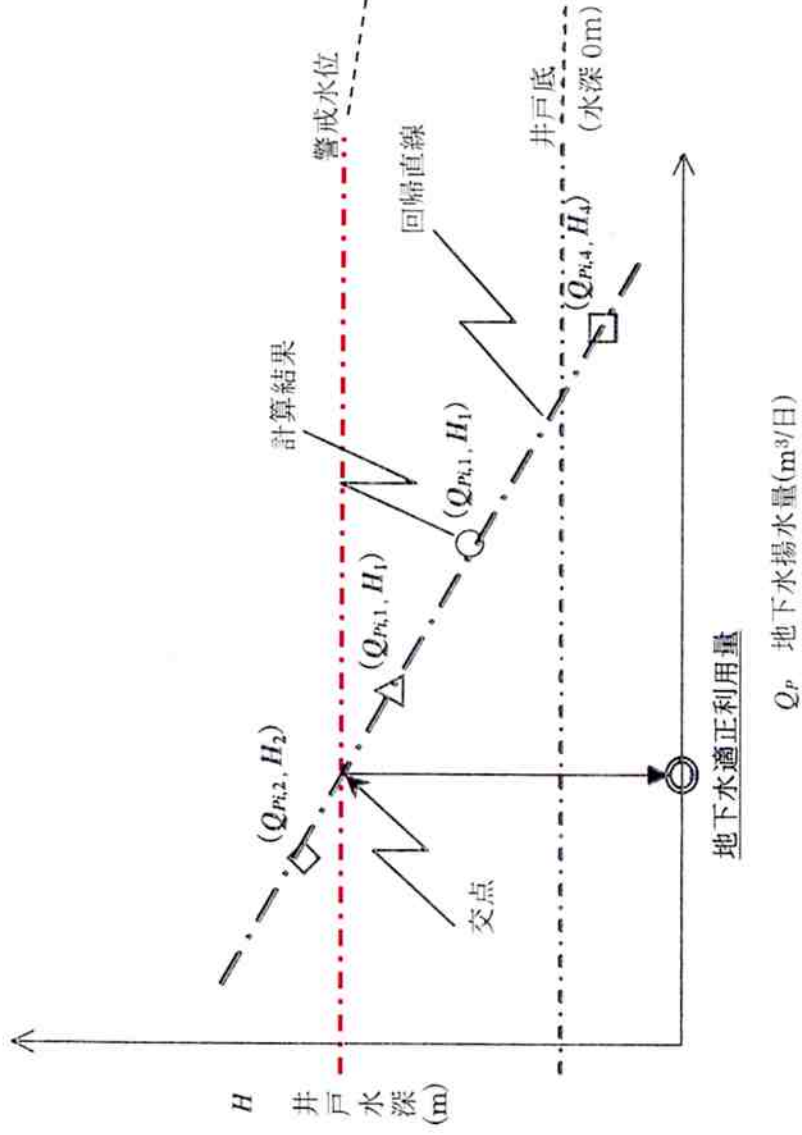


図 4・1 上水道水源の地下水適正利用量の考え方

表 4-1 検討ケースごとの地下水揚水量

j : 検討ケース		0:現 状 ( $Q_{PI,0}$ )	1:第4次拡張計画 ( $Q_{PI,1}$ )	2:第5次拡張計画 ( $Q_{PI,2}$ )	3:第5次地下水依存 ( $Q_{PI,3}$ )	備 考
用途	i : 水 源					
水道 (上水道)	第1水源 ( $Q_{P1j}$ )	5,655	7,000	4,000	7,240	現況揚水量(26,948 $m^3$ /日)から得られる年間揚水量(984万 $m^3$ /年)は、集計期間の違いにより、平成13年度実績値(図2-6、989万 $m^3$ /年)と若干異なる。
	第2水源 ( $Q_{P2j}$ )	4,338	4,700	3,200	6,440	
	第3水源 ( $Q_{P3j}$ )	7,352	11,200	5,100	6,720	
	第4水源 ( $Q_{P4j}$ )	6,427	8,500	4,200	7,440	
	第5水源 ( $Q_{P5j}$ )	3,176	6,700	6,700	9,940	
	既設水源計 ( $\sum Q_{PI,j}$ )	26,948	38,100	23,200	37,780	
	第3水源(増設) ( $Q_{PN3j}$ )	-	-	11,100	12,720	
	全計 ( $\sum Q_{PI,j} + Q_{PN3j}$ ) (表流水)	26,948	38,100	34,300	50,500	
工業		-	-	(16,200)	-	上水道拡張事業に関わらず、揚水量は一定
農業		6,030	6,030	6,030	6,030	
水道 (簡易・専用)		49,323	49,323	49,323	49,323	"
		1,422	1,422	1,422	1,422	
生活 (非給水区)		4,932	4,932	1,260	1,260	検討ケース2, 3は第5次拡張に伴い、給水範囲が広がるため、非給水区揚水量は減少する。
		88,655	99,807	108,535	108,535	
日あたり総揚水量		88,655	99,807	108,535	108,535	
年間揚水量(万 $m^3$ /年)		3,236	3,643	3,962	3,962	現況の年間揚水量は、計算期間の違いにより平成13年度実績値(図2-6、3,240万 $m^3$ /年)と若干異なる。

#### 4-2 上水道水源の地下水適正利用量

4-1節で述べた①～④の手順に従い、地下水適正利用量を算出した結果（表4-2、図4-2）、水源別の地下水適正利用量は、第1水源で3,078m<sup>3</sup>/日、第2水源で2,109m<sup>3</sup>/日、第3水源で4,544m<sup>3</sup>/日、第4水源で3,736m<sup>3</sup>/日、第5水源で9,720m<sup>3</sup>/日となった。したがって、鹿沼市域の既設の上水道水源における地下水適正利用量は、5つの水源を併せて合計23,187m<sup>3</sup>/日、すなわち年間846万m<sup>3</sup>となる。平成13年度の上水道水源における年間地下水揚水量989万m<sup>3</sup>と比べると、143万m<sup>3</sup>少ない。

表 4-2 地下水適正利用量の算出結果一覧

水 源	検討ケース	解析結果		年平均揚水量 (m <sup>3</sup> /日)	予測最低井戸水深 (m)	地下水適正利用量 (m <sup>3</sup> /日)	地下水適正利用量 (万m <sup>3</sup> /年)
第1水源 〔1号井〕	1; 第4次拡張計画 ( $Q_{P1,1}$ )			7,000	1.21		
	2; 第5次拡張計画 ( $Q_{P1,2}$ )			4,000	1.85		
	3; 第5次地下水依存 ( $Q_{P1,3}$ )			7,240	1.12		
	0: 現 状 ( $Q_{P1,0}$ )			5,655	1.49	3,078	112
第2水源 〔1号井〕	1; 第4次拡張計画 ( $Q_{P2,1}$ )			4,700	1.59		
	2; 第5次拡張計画 ( $Q_{P2,2}$ )			3,200	1.85		
	3; 第5次地下水依存 ( $Q_{P2,3}$ )			6,440	1.37		
	0: 現 状 ( $Q_{P2,0}$ )			4,338	1.66	2,109	77
第3水源 〔3号井〕 ※増設水源は除く	1; 第4次拡張計画 ( $Q_{P3,1}$ )			11,200	-0.09		
	2; 第5次拡張計画 ( $Q_{P3,2}$ )			5,100	0.69		
	3; 第5次地下水依存 ( $Q_{P3,3}$ )			6,720	0.48		
	0: 現 状 ( $Q_{P3,0}$ )			7,352	0.40	4,544	166
第4水源 〔1号井〕	1; 第4次拡張計画 ( $Q_{P4,1}$ )			8,500	-0.47		
	2; 第5次拡張計画 ( $Q_{P4,2}$ )			4,200	0.58		
	3; 第5次地下水依存 ( $Q_{P4,3}$ )			7,440	-0.22		
	0: 現 状 ( $Q_{P4,0}$ )			6,427	0.05	3,736	136
第5水源 〔3号井〕	1; 第4次拡張計画 ( $Q_{P5,1}$ )			6,700	2.58		
	2; 第5次拡張計画 ( $Q_{P5,2}$ )			6,700	2.59		
	3; 第5次地下水依存 ( $Q_{P5,3}$ )			9,940	2.06		
	0: 現 状 ( $Q_{P5,0}$ )			3,176	3.16	9,720	355
合 計 ※既設水源合計						23,187	846

[ ]: 水源の水位を代表する井戸。各水源に複数ある水源井のうち、取水量の多い井戸を代表井とした。

(代表井の位置は図3-3を参照)

( $Q_{Pij}$ ): 第*i*水源の検討ケース*j*の地下水揚水量

予測最低井戸水深: 地下水流動数値シミュレーションにより得た値

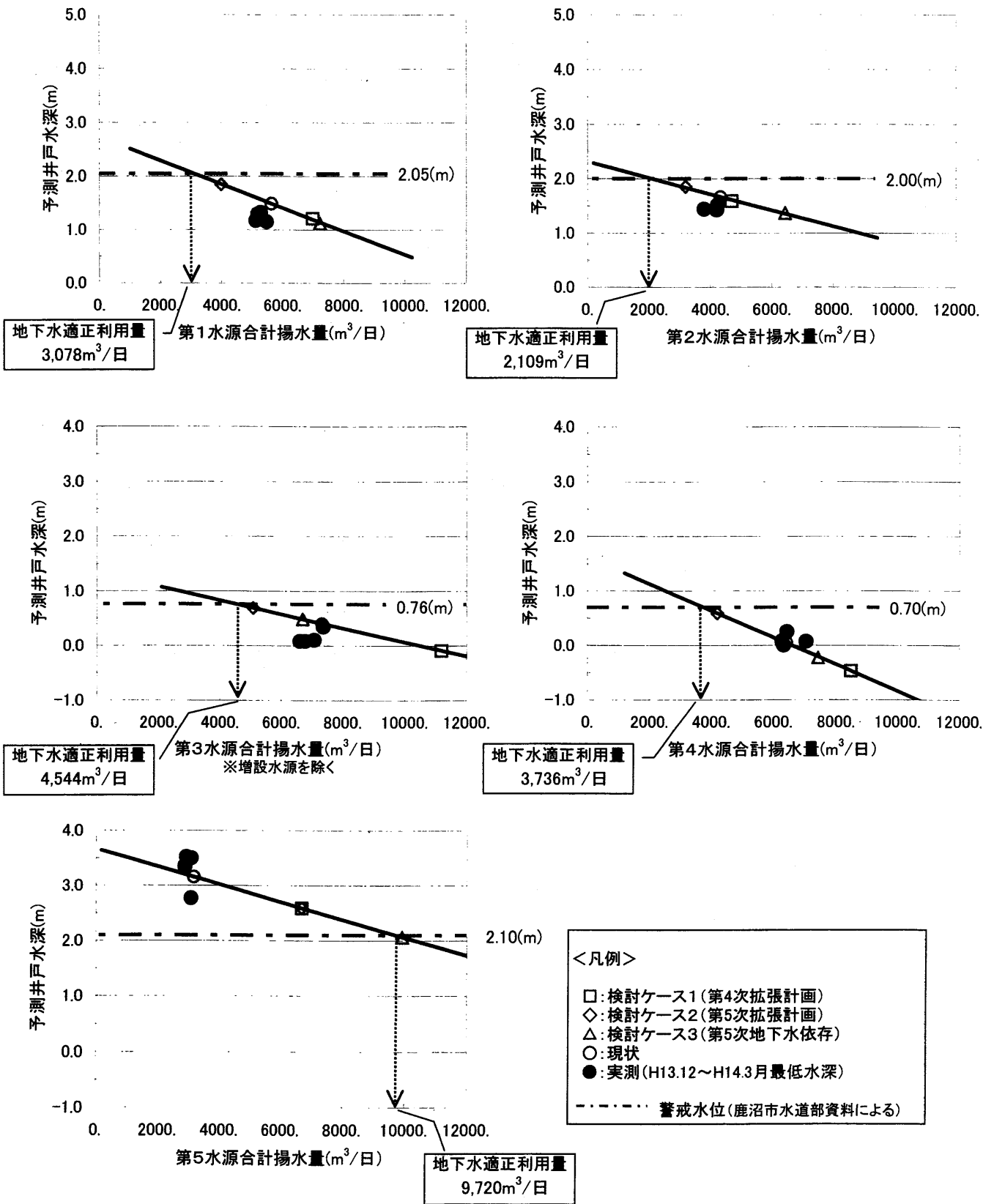


図 4-2 上水道水源の地下水適正利用量の算定図

942



本調査は、鹿沼市域における地下水の現状と適正な地下水利用のあり方を検討することを目的として、平成13～15年度の3ヵ年にわたり、①水文循環調査、②水収支調査、③地下水適正利用量調査を実施した。これらの調査の結果、次のことが明らかとなった。

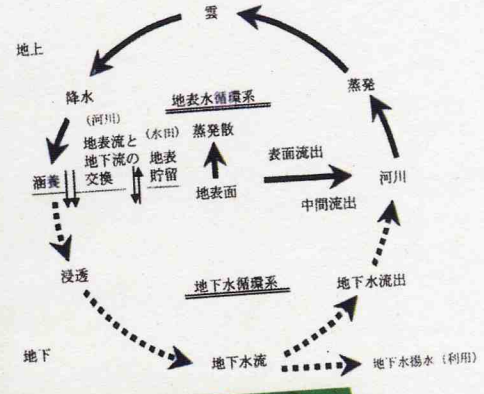
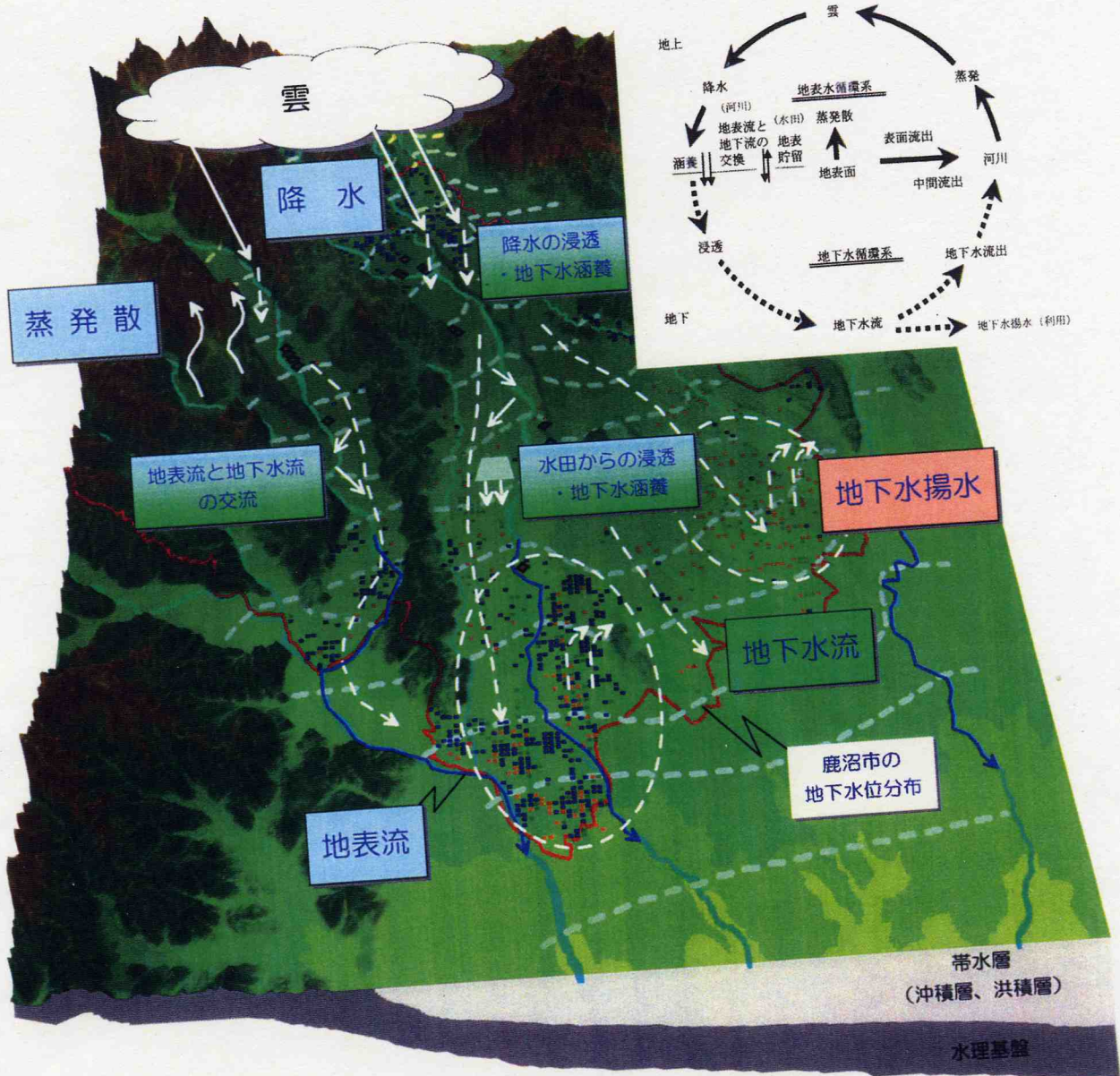
### 5-1 鹿沼市域の水文循環の特徴

#### 【水文循環の特徴】

- 鹿沼市域の場合、降水は季節的な量の変化と地表面の土地利用状況に応じて一部は直接河川へ、一部は蒸発散により再び大気へと戻り、残りが地表面から地下に浸透して地下水を涵養している。
- 低地部では河川やかんがい水も地下水の重要な涵養源となっている。
- 降水やかんがい水などの涵養を受けた地下水は、台地では厚さ20～40mの帯水層中を南東ないし南南東方向へ傾斜する地形に沿って流下し、一部は武子川や姿川へと流出する。低地では厚さ10～20mの帯水層中を南方向へ傾斜する地形に沿って流下しており、流下の途中で大芦川・黒川に出入りしている。帯水層の透水性は、台地部より低地部の方が良い。
- 鹿沼市内では年間約3,240万 $\text{m}^3$ （平成13年）の地下水が揚水され、市民生活や生産活動に利用されている。
- 鹿沼市域の地下水は、降水や河川・水田などの土地利用、市民の地下水利用状況と密接に関連し、鹿沼市域の水文循環を形成している（図5-1）。

#### 【地下水質の特徴】

- 鹿沼市域の地下水は、溶存物質の量が少ない清澄な水である。
- 台地部では、鹿沼市白桑田などで揮発性有機塩素化合物による地下水汚染が認められている。また、硝酸性窒素の濃度が、環境項目のひとつである「硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素」の環境基準を超えている地点もある。
- 畜産施設の分布から、低地部では上水道水源に対するクリプトスポリジウム汚染が懸念される。



**【地下水の水収支の現状と上水道水源の地下水適正利用量】**

- 平成13年9月から平成14年8月まで1年間の水収支を解析した結果、鹿沼市域の地下水流入量は年間で15,348万 $m^3$ あるものの河川への地下水流出量が8,322万 $m^3$ と多く、正味の地下水流入量は7,026万 $m^3$ に過ぎないことが明らかとなった。
- 年間の正味の地下水流入量7,026万 $m^3$ に対し、地下水揚水量と下流域への地下水流出量の合計は7,992万 $m^3$ あり、地下水流入量を上回る。したがって、この期間の鹿沼市域の地下水貯留量は不足気味であることが明らかとなった。
- 鹿沼市域における既設上水道水源の地下水適正利用量は、23,187 $m^3$ /日（年間846万 $m^3$ ）という結果を得た。

上述までの結果から、鹿沼市域における適正な地下水利用のあり方として、次のことが考えられた。

**【適正な地下水利用のあり方】**

- 第5次拡張計画の計画地下水利用量が34,300 $m^3$ /日（年間1,252万 $m^3$ ）であるのに対し、既設上水道水源の地下水適正利用量は23,187 $m^3$ /日（年間846万 $m^3$ ）と、11,113 $m^3$ /日（年間406万 $m^3$ ）不足する（図5-2）。水収支の観点からは、年間の地下水貯留量が不足気味であることから、新たな地下水の開発では周辺への影響に配慮し、慎重な対応が望まれる。

239



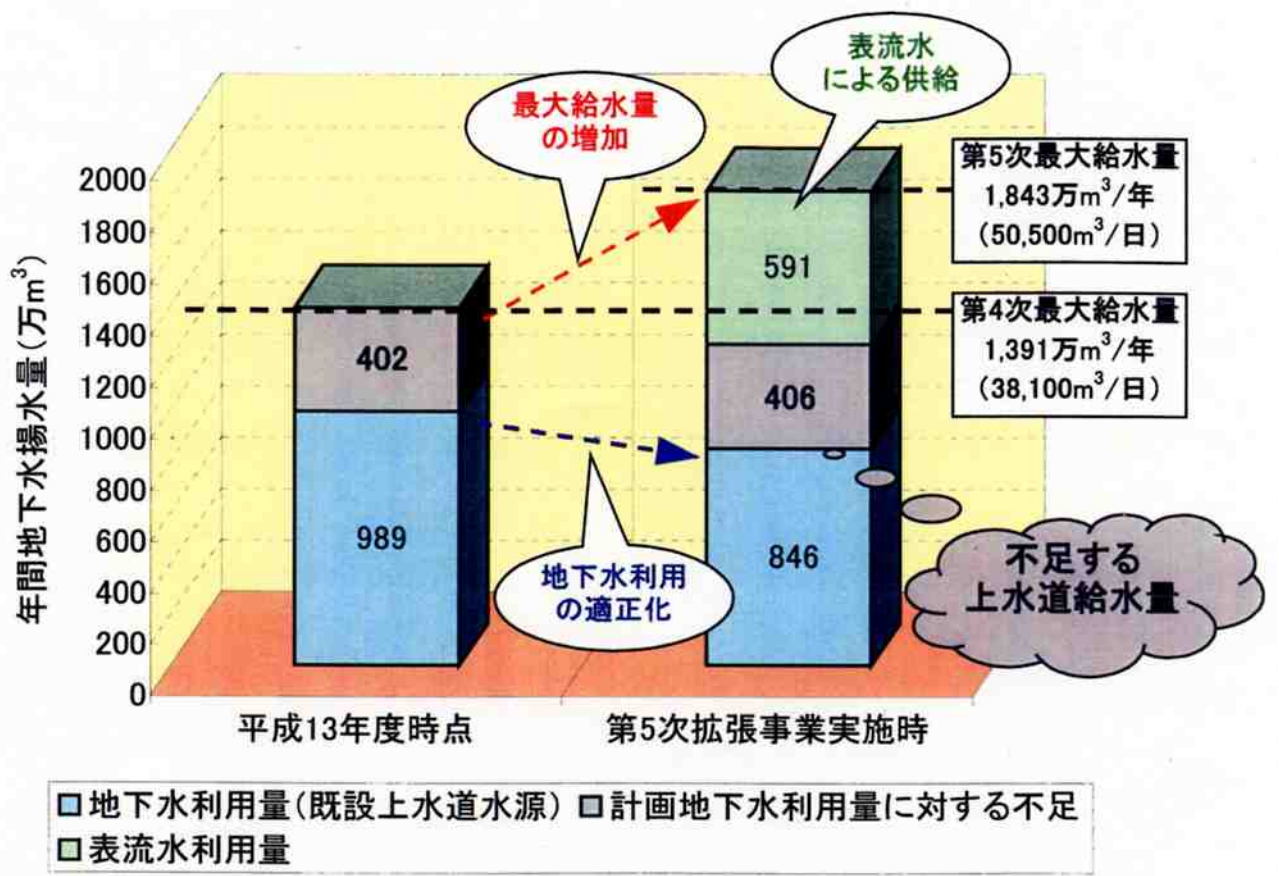


図 5-2 平成13年度時点と第5次拡張事業実施時の水需給