

### 13. 地下水研究 50 年史－武蔵野台地の地下水（5）－

#### 9. 地下水はどこまで使えるか

昭和 40 年代に入ってから本格的に実施されるようになった諸種の地下水規制によって地下水位は回復に向かい、次いで地盤沈下も終息に向かうようになった。その回復の速さは、規制の拠りどころとなった当時の水収支モデルに基づく予測結果を大きく上回るものであり、被圧地下水の産出－涵養機構のモデル化に課題が残されていることが示唆された。

筆者がその中で最も重要ではないかと予想したのは、地下水層の弾性変形に支配された地下水涵養の細部機構であったが、これについては当時のモデルには組み入れられていなかったのである。このような状況は現在でもさして変わらない。脚注 16)

ところで最近地下水位の回復とともに、地下水の資源としての有効利用が再び論議されるようになり、いわゆる“地下水ビジネス”といった言葉も出回るようになる一方、これらへの歯止めも必要とする“地下水公有論”が論議されるようになったが、上記の課題を残したまま議論を進めるべきではないというのが筆者の持論であるが、如何であろうか。今回はこれらに関連するこれまでの主な情報を整理して、地下水の涵養機構について論じ、武蔵野台地では地下水はどこまで使えるのかを考えてみることにする。

#### (1) 揚水量と地下水位

南関東地域のように、堆積盆地の中心部に位置し、かつ高密度の地下水利用地帯では、盆地周辺部とは異なり、以下に述べるように縦方向の誘発涵養の方が横方向に比べてはるかに大きいといえるので、地下水の収支は細かな問題を考えなければ、ほとんどは、それぞれの地域で完結していると考えても大きな誤りはない。換言すれば、ある地域の地下水揚水量は殆どがその地域の水位低下につながるといってもよい。これに関しては前々号でも詳しく述べたところである。

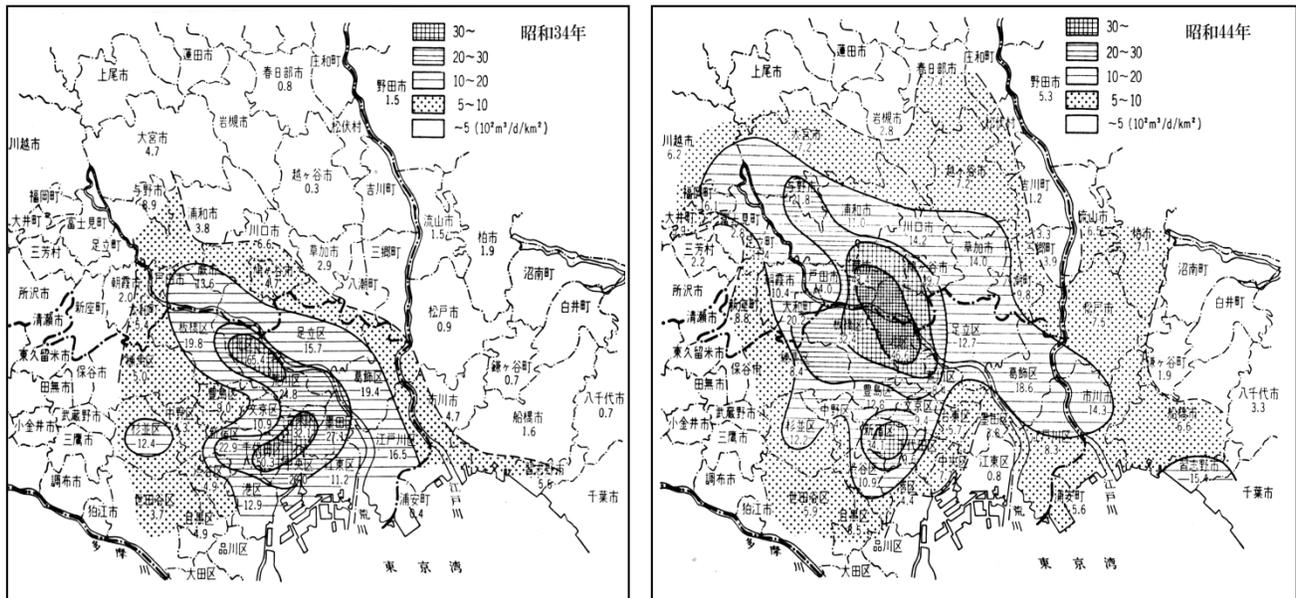


図 42 揚水強度分布図 (左は昭和 34 年時、右は昭和 44 年時のもの)

脚注 16) 帯水層の弾性挙動に関しては、かつて京都大学の速水頌一郎、赤井浩一が論じたことがある。最近になって宗包浩志等の国土地理院のグループが GPS の季節変動に注目し、これと地下水揚水との関係を追究して、被圧帯水層の弾性変形を提示している。しかし誘発涵養との関連性までは論究していない。

前頁の図 42 は南関東地方における面積 1km<sup>2</sup> 当たりの日揚水量（揚水強度と呼ぶことにする）の分布図で、左の図は昭和 34 年時の地下水揚水最盛期にあたり、特に城北工業地帯や都心部での揚水量が目立つ。右の図はこれらの地域における揚水規制が強化されてからのもので、揚水強度の大きい地区は北に移動して、城北地帯から埼玉県南地域の揚水量が目立つようになる。また武蔵野台地地域での揚水量の拡大が指摘される。これらの傾向は図 43 の地下水面の形状とよく対応していて、地下水揚水量の多いところでの水位低下が著しい。

図 44、図 45 は一辺 2 km のグリッドごとの揚水量と水位低下量を集計して、分布図として示したもので、内容的には図 42、43 と同じものであるが、この 2 つの図から、地域ごとの地下水層の“見掛けの産出率”といったものが把握できる。ここで、見掛けの、とことわった理由は揚水量には浅層不圧地下水、また深部地下水からの誘発的涵養が含まれているからである。図 44、45 から求めた“見掛けの産出率”は概ね 0.1~0.3 の範囲におさまるが、水位低下の著しい地域、すなわち揚水量の大きいところで高い値を示す傾向が認められ、これらの地域で誘発的な涵養が活発に行われていることが推察される。脚注 17)

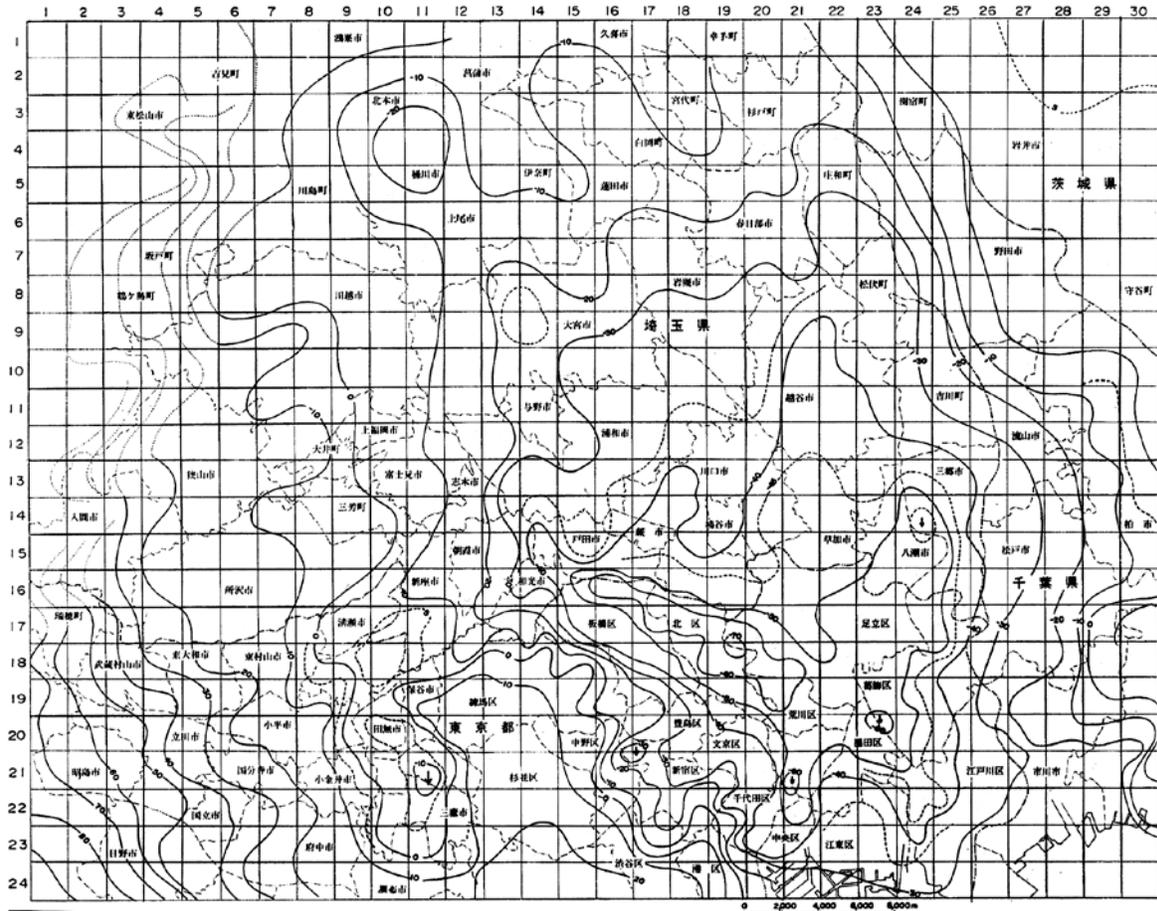


図 43 南関東地域の地下水面図（昭和 44 年）

（新藤静夫；1976，南関東地域の地下水利用と地盤沈下，地学雑誌，Vol.85, No.2）

脚注 17) 一般に未固結堆積岩の平均的な有効空隙率（≒産出率）は 0.12 から 0.15 の間にあるから、これより大きい値を示す埼玉県南地域や武蔵野台地地域は誘発涵養の大きな地域に相当すると考えられる。

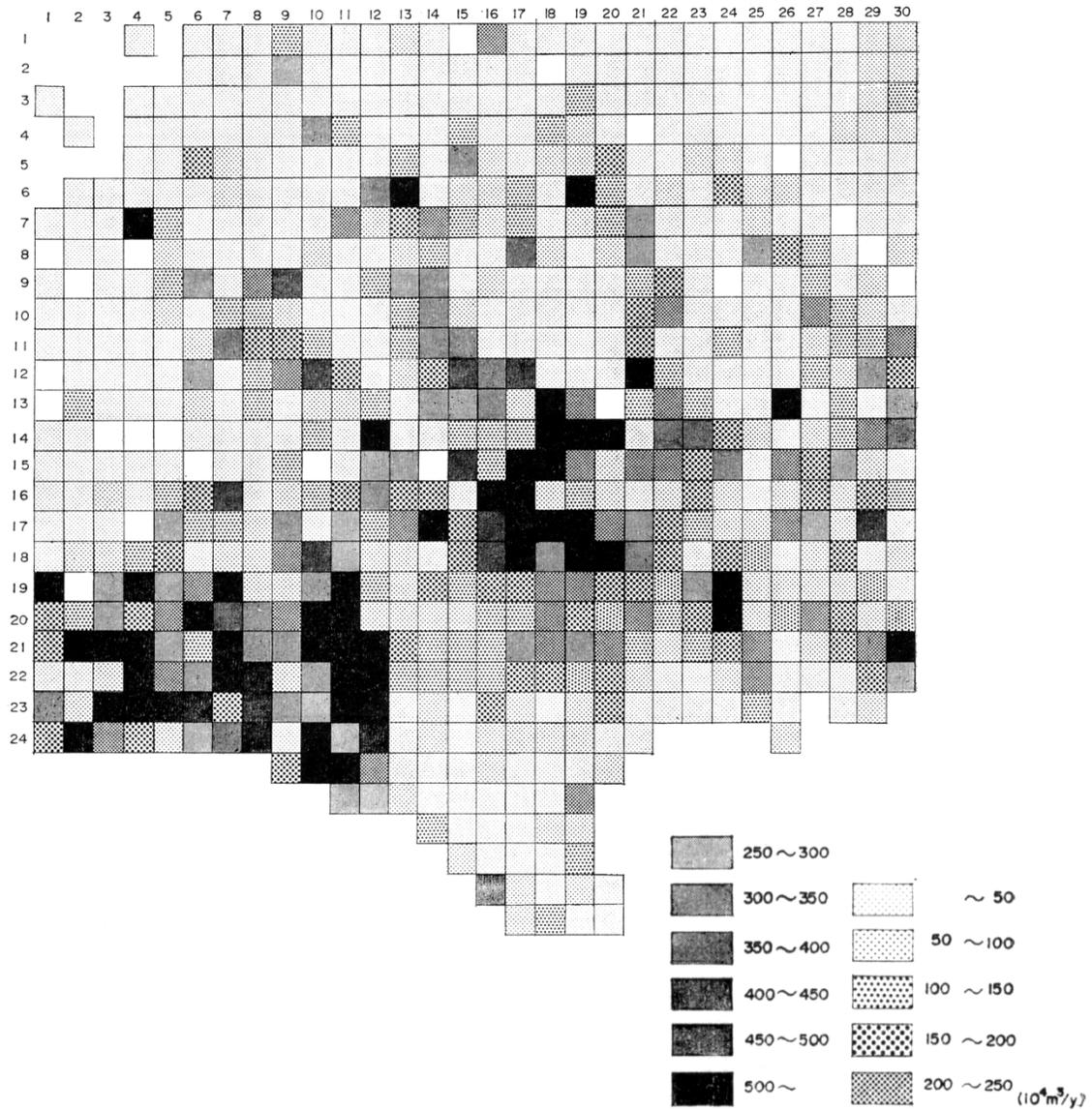


図 44 南関東地方の地下水揚水量の分布 (昭和 45 年)  
(新藤静夫 ; 1976, 南関東地域の地下水利用と地盤沈下, 地学雑誌, Vol.85, No.2)

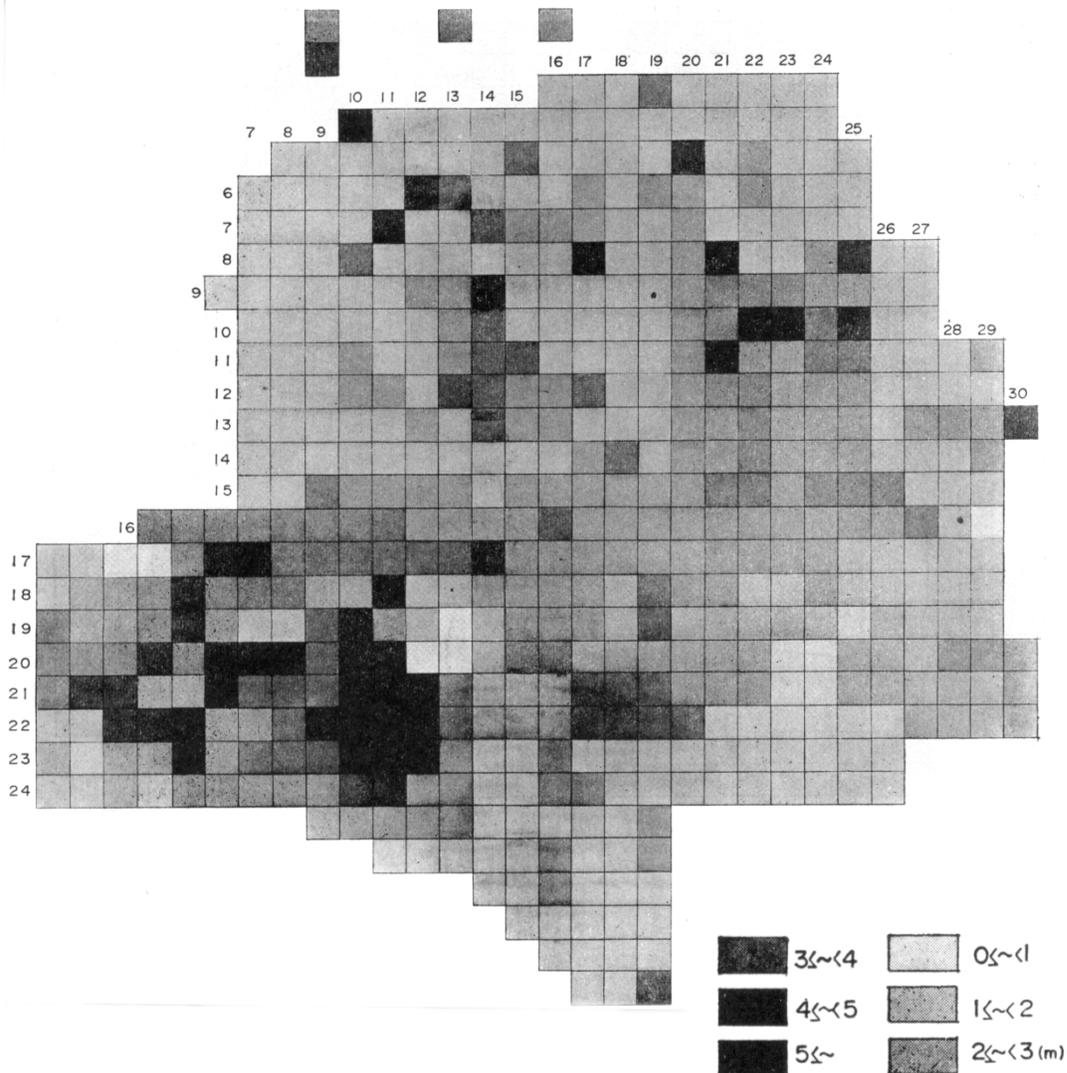


図 45 南関東地方の期間地下水位低下量分布 (昭和 44 年—昭和 45 年)  
(新藤静夫 ; 1976, 南関東地域の地下水利用と地盤沈下, 地学雑誌, Vol.85, No.2)

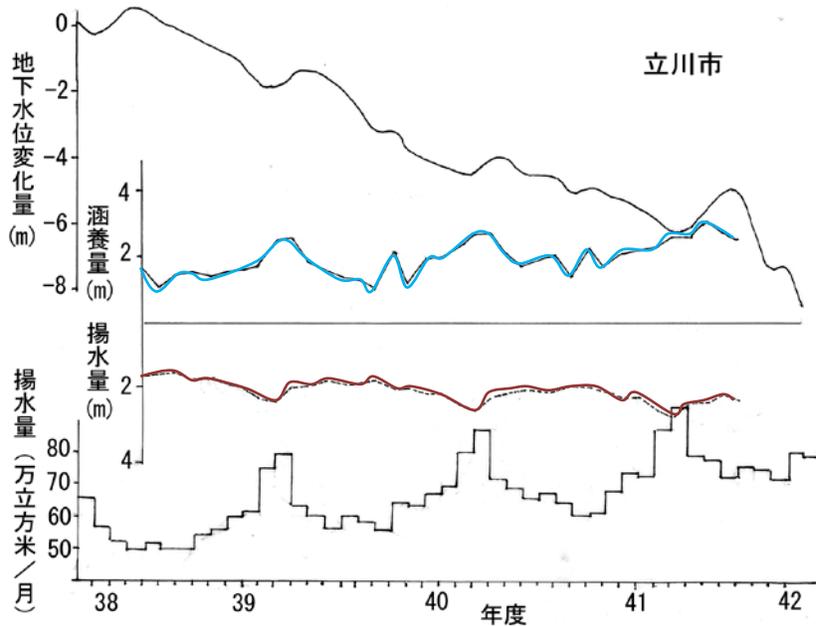
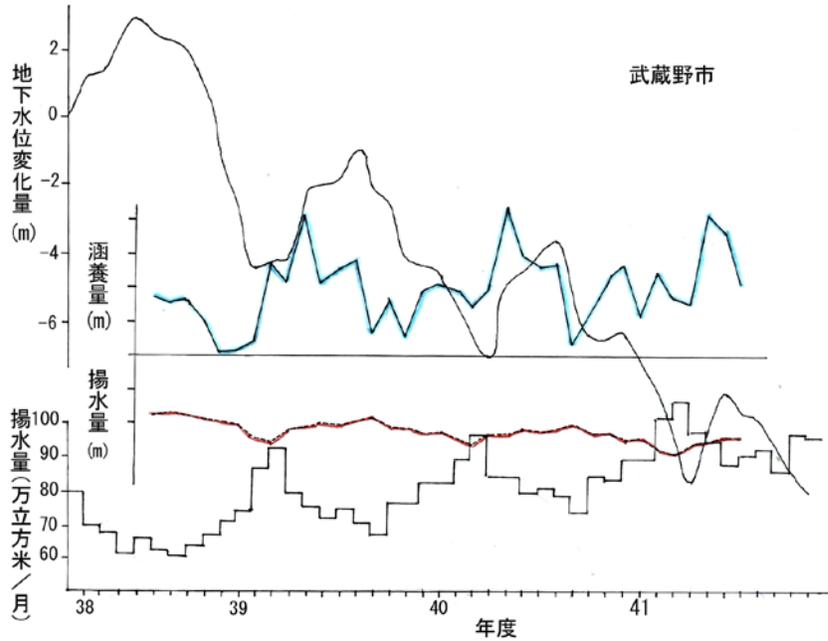
(2) 誘発涵養について

ごく大雑把であるが、誘発涵養について、武蔵野市、立川市地域を例として検討してみる。ここで重要なのは産出率であるが、第一近似として、図 44、45 から求めた“見掛けの産出率”をベースとし、これに揚水試験データから求められた貯留係数を参照として修正を加えた。

図 46 の青線が涵養量、茶線が揚水量で、いずれも水柱高であらわされている。この図で注目される点は、涵養量が揚水量に密接に関係していることで、揚水量が大きくなると、涵養量が若干のタイムラグを伴って大きくなる傾向が認められ、誘発的な涵養が生じていることがうかがえる。その割合は揚水量の 70%に達する。

しかし誘発涵養が常に地下水位の低下に追いついて行けるとは限らない。図 47 の一連の図は武蔵野台地の西部から都心地域へと配列したものであるが、地下水利用の時系列推移（昭和 34 年～44 年）をもきわめて明瞭に反映しているのが目を惹く。すなわち

- ① 揚水量と地下水位の直線関係が維持されている地域  
(立川市、小平市)
- ② 揚水量と地下水位のバランスが崩れて水位低下が目立つようになった地域  
(武蔵野市)
- ③ 揚水量が減少しているにもかかわらず、水位低下が続いている地域  
(北区)
- ④ ③の現象に続くかたちで、地下水位が回復するようになる地域  
(江東区、墨田区)



といった特徴が指摘され、まさにこの関係は地下水利用が東部から西部へと広がっていった過程を反映しているのである。

図 46 武蔵野台地における揚水量－涵養量の動向  
(新藤静夫原図)

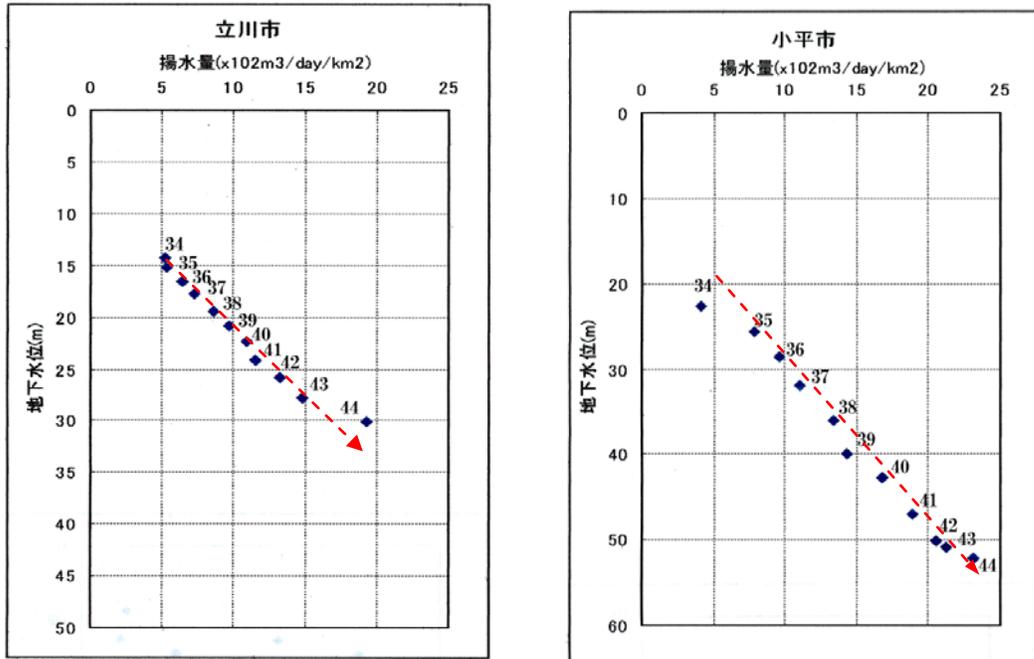


図 47-1 揚水量と地下水位の関係① (新藤静夫原図)

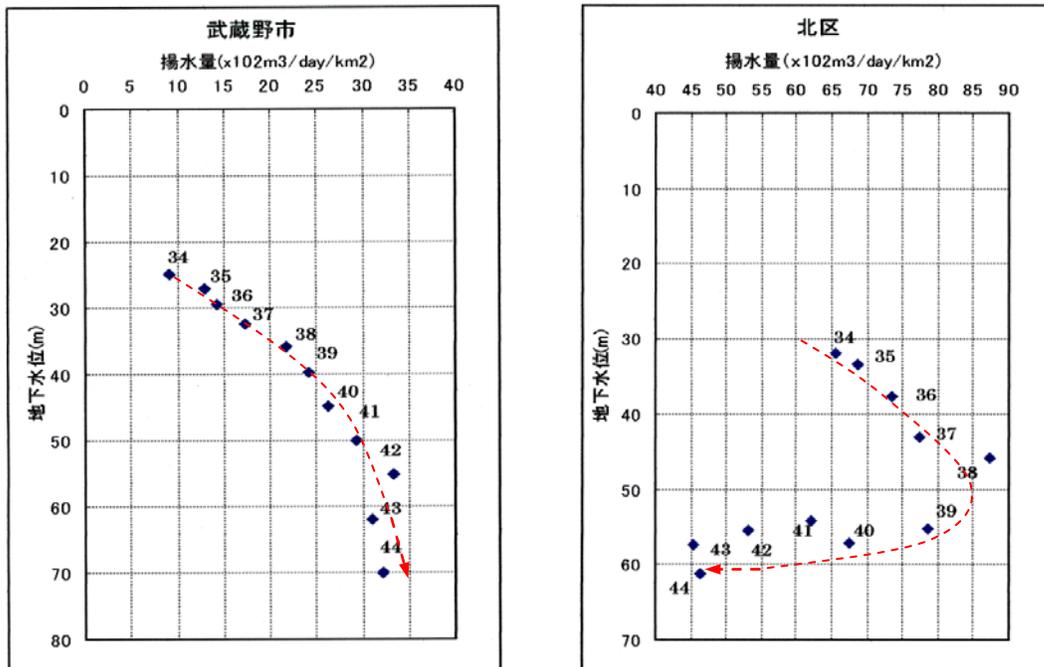


図 47-2 揚水量と地下水位の関係② (新藤静夫原図)

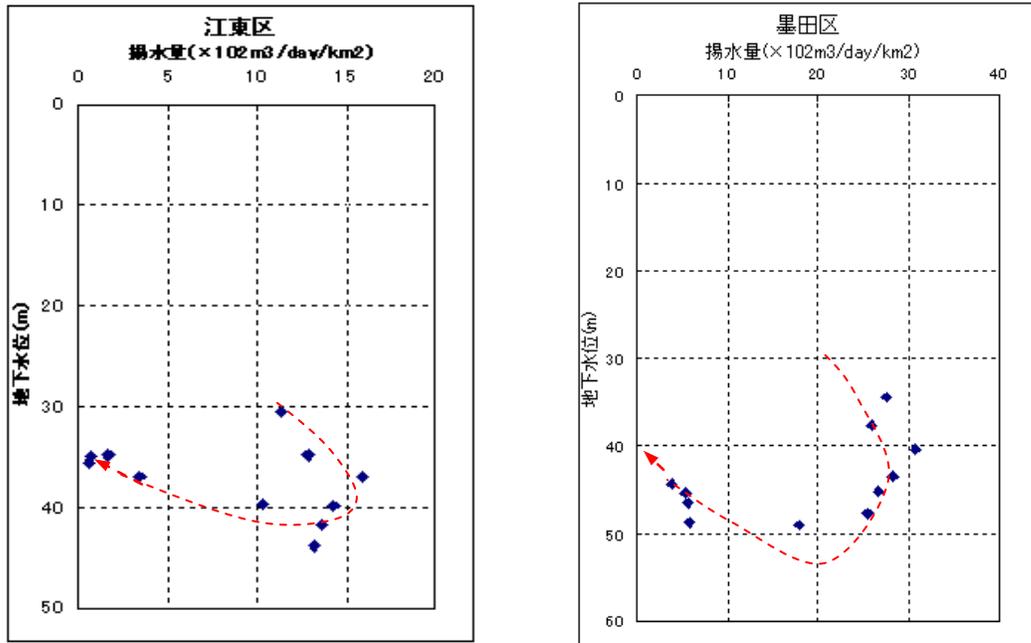


図 47-3 揚水量と地下水位の関係③（新藤静夫原図）

(3) ブラックボックスの中身

a) 重要な地下水情報

改めて言うまでもなく、地中での水の動きを直接計測・観察することは、特別なケースを除いて一般には行われていない。この分野でも多くは長期に亘る地盤沈下の観測井記録が頼りである。これらの情報は都県が公開している、“地盤沈下観測年報”などから得られるが、詳細な地下水の動向を把握し、解析するためには、これらには掲載されていない日単位、場合によっては時間単位の記録が必要になる。

最近経費削減などのあおりを受け、観測井群の維持が厳しくなっており、また担当定員の削減などによって、観測資料の解析や管理が困難になっていると聞いている。しかし将来は水資源としての地下水の価値を評価し、単に保全するというだけでなく、積極的にこれを涵養して利用するといった“Water harvesting”（≒“育水”）ということもあるかも知れない。そのような場合に重要な判断材料になるのは、50年を越える観測資料である。これは世界的に見ても希であり、その活用は地下水学の発展に資するとも大きい。このような意義をぜひ行政側に理解していただきたいと願うものである。以下に示したのはこれまでは表に出なかった貴重な資料のほんの一部であるが、これらから重要な事実が読み取れる。脚注 18)

b) 地下水位と地盤変動

図 47 は埼玉県北部の利根川河畔に位置する観測井の記録の一部で、地下水位と地盤変動の関係がきわめてよく示されている例として挙げたものである。この地域は北側に隣接する栃木県野木町あたりとともに、昭和 50 年代以降になって、主として農業用水としての地下水揚水による地盤沈下が顕著になり、建物の抜け上がりや農業水路の変形などの被害が大きくなってきたため、平成 7 年に「関東平野北部地盤沈下防止等対策要綱」が適用されたところである。

脚注 18) 図 48 以下の各図は都県の関係部局のご厚意により、提供された資料を基としたものである。

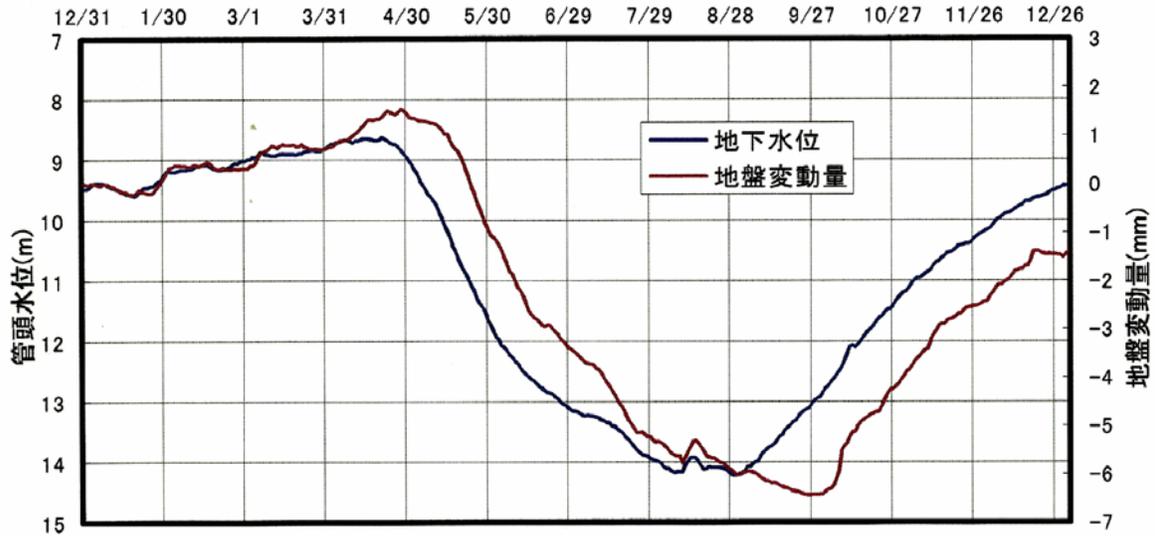


図 48 埼玉県北川辺観測井記録（深度 150m，2009 年 1 月－12 月）  
（新藤静夫原図）

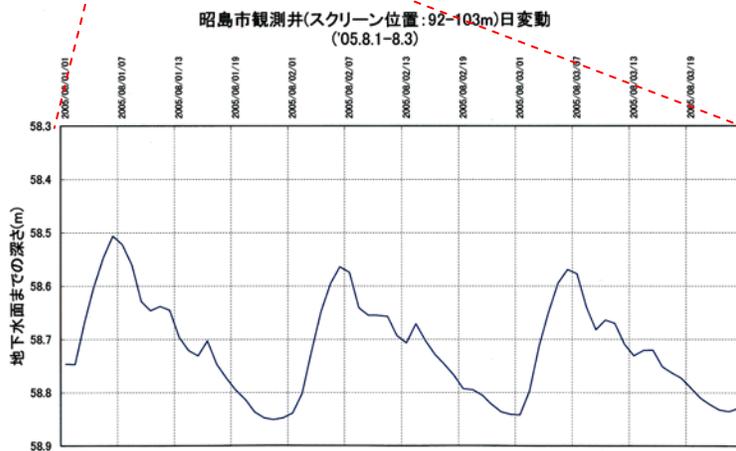
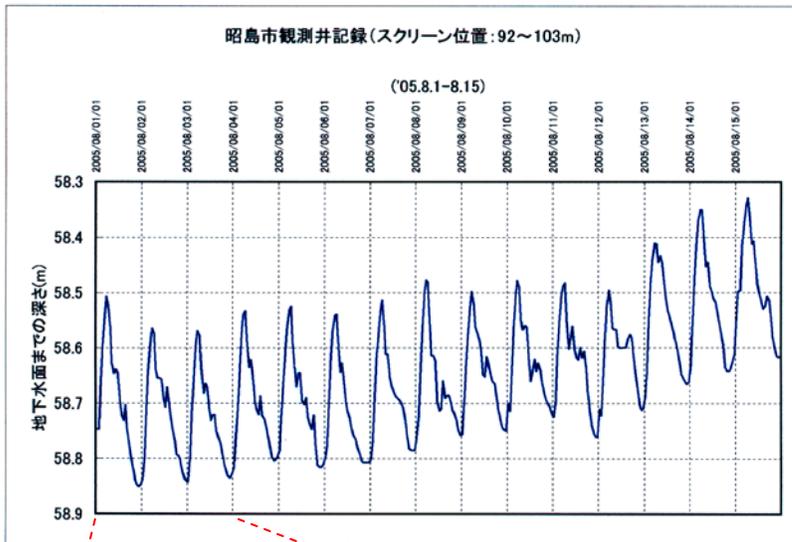
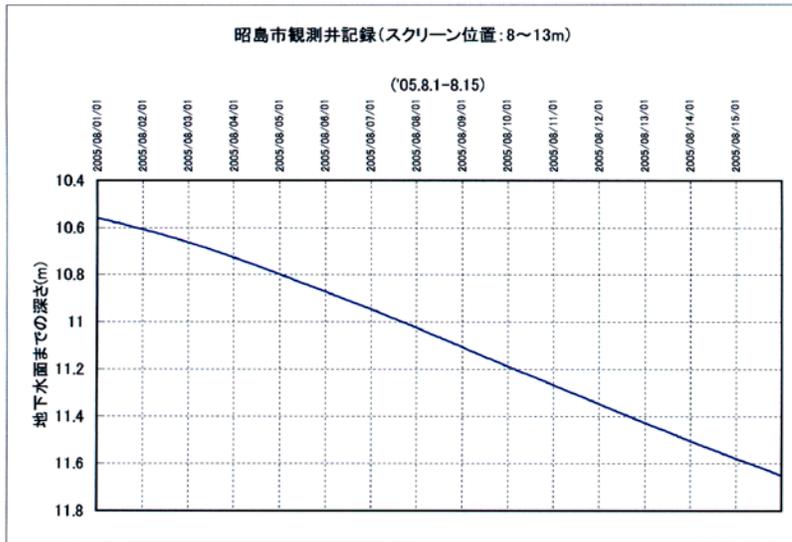
図に明らかのように、地下水位と地盤変動との間にはタイムラグがあり、その開きは水位下降時で 10 日間程度であるが、回復期で 1 ヶ月間程度と大きくなっているのが指摘される。このような現象は地下水位の変化が水の移動を伴ったもので、水圧伝播だけに依るものではないことを示している。またこの図は、地盤変動は元には戻ることなく弾性体としての帯水層の回復量との差額が地層全体の圧密による収縮量として以後に累積されることを示している。

c) “帯水層ポンプ”

図 49 の下の図は深井戸からの揚水による地下水位の規則的な日周変動を示していて、その影響は同図の上の図にあるように、浅層地下水位の一方的な水位低下をもたらしている。この時の被圧帯水層の挙動は恰も“帯水層ポンプ”といった表現が当てはまるように機能して、浅層地下水を引き込んでいるものと考えられる。これは地下水の駆動力が位置のポテンシャルだけではなく、もっとダイナミックなものであることを意味する。ただしこの際、最も重要な前提条件となるのは、浅層地下水と深層地下水の水理的な連続性である。一般に理解されている不圧地下水、被圧地下水の区分や、それを限る不透水層の存在を文字通りに捉えていては上記の発想は受け入れがたいものかも知れない。しかし武蔵野台地の場合、昭島市や八王子市地域のような盆地周辺部の涵養域ではこの固定的な概念は取り払った方が良くかも知れない。次にこの点について考えてみる。

d) 深層地下水の降雨応答

図 50 は昭島市と八王子市地域の浅層地下水、深層地下水の水位変動と降水量の関係を示したものである。図をよく見ていただければ、長い説明は要しないであろう。当然のことながら浅層地下水の降雨応答は殆ど同時的であるが、深層地下水の応答は 4~5 ヶ月の遅れを伴っている。さらに注目されるのは、深層部では深度が異なっても殆ど同時的に応答していることである。浅層地下水と深層地下水の水位応答のタイムラグを 60 日とすれば、降水の浸透速度は 1.5m/日程度となり、かなり速い数字といえ、上述のように位置のポテンシャル以外の駆動力を考える必要があるであろう。



午前 7 時頃から水位が低下し始め、午後 12 時までこれが続いたのち、上昇に転じるという規則的な日変動パターンを示す。



図 49 深層地下水と浅層地下水の水位変動パターン (昭島市) (新藤静夫原図)

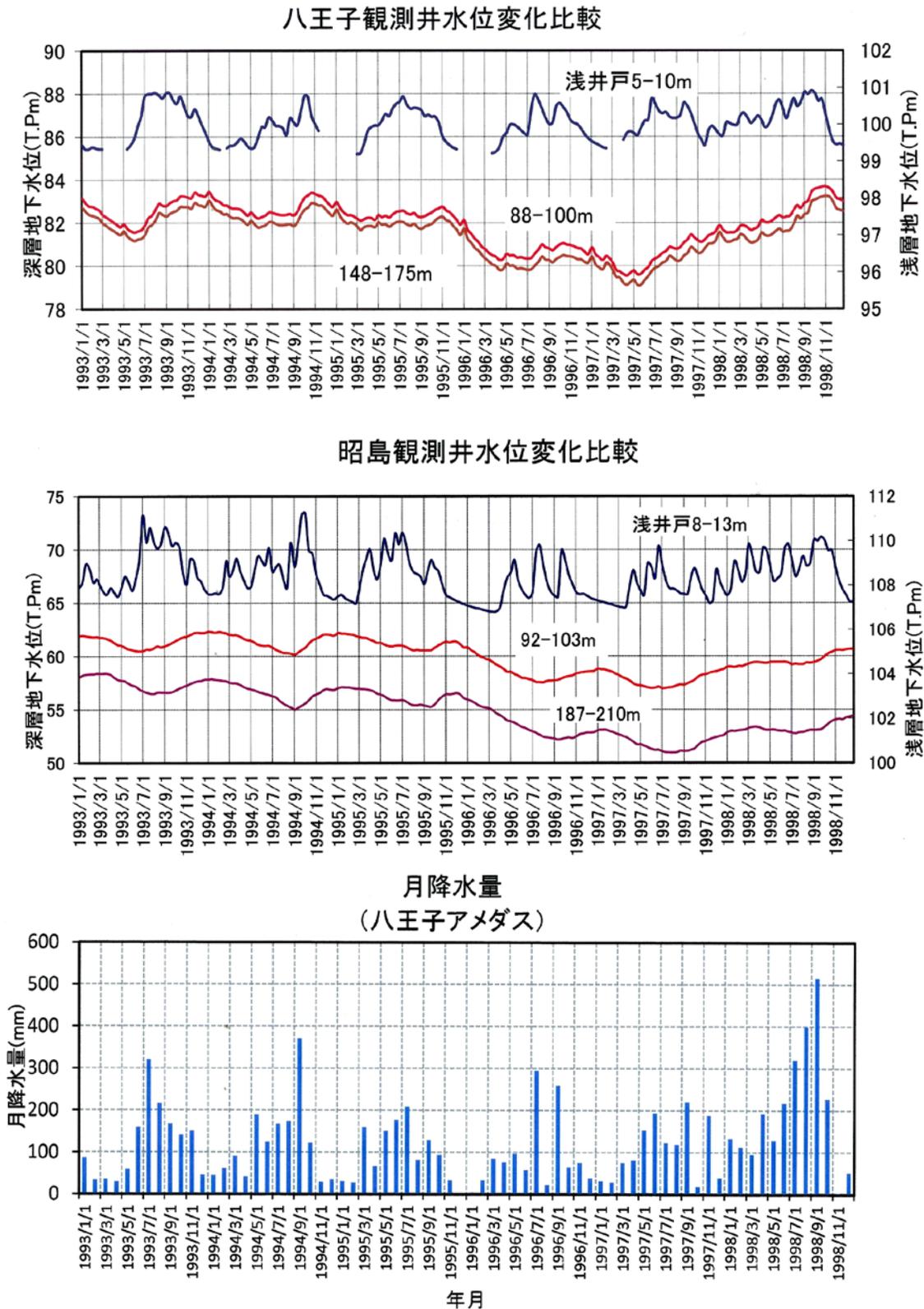


図 50 昭島市、八王子市地域の浅層地下水、深層地下水の水位変動と降水量の関係 (新藤静夫原図)

e) 決め手となる降水量

武蔵野台地の深層地下水の涵養源の多くは降水にあり、しかもその涵養速度は比較的速いものであることはこれまでの展開からお分かり頂けたものと思う。なお涵養機構についてはまだ構想の段階にとどまるが、これまでの地下水収支論では納まりきれないファクターが存在することは否定できない。そのような段階で本題の「地下水はどこまで使えるか」に論及するのはいささか気が退けるが、そのほんの一端を述べてみる。

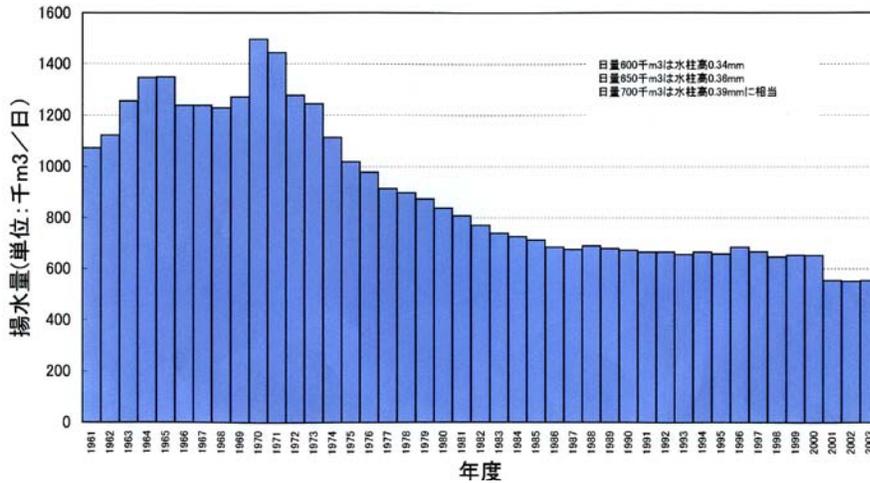


図 51 東京都における地下水揚水量の推移  
(東京都土木技術支援・人材育成センターによる)

東京都の地下水揚水量は図 51 のように 1970 年代から減少の経過をたどり、現在は日量 60 万 m<sup>3</sup> 程度で推移している。この量は図 52 に示した水位変動の一例から見て過剰なものでないことが推察できるが、年降水量が 1,200 ~ 1,300mm 程度になると地下水位が低下し始めるようである。

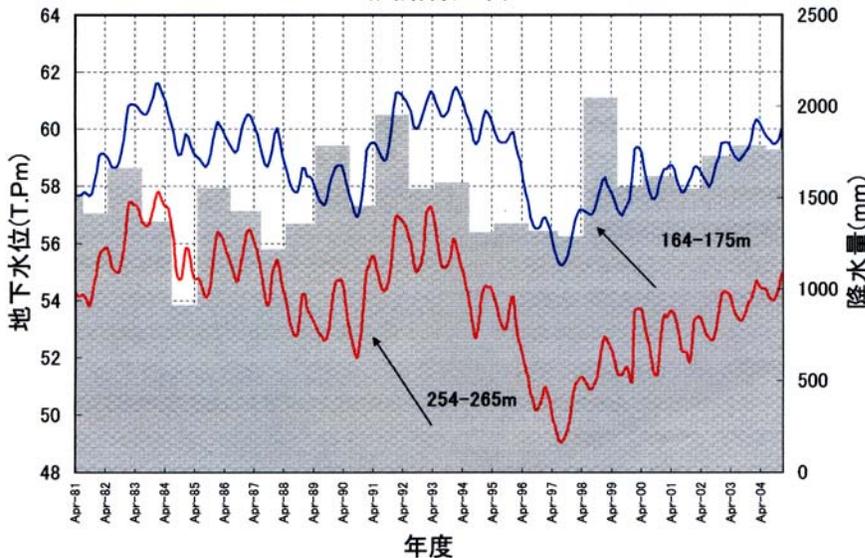


図 52 降水量と深層地下水位の関係 (武蔵村山市)  
(新藤静夫原図)

その影響は他地域での同様の資料からみて武蔵野台地全体にわたって数年後に一斉に現れると見てよい。  
(追記)

武蔵野台地では国分寺市や小金井市などをはじめ、各地で雨水浸透を進めているが、筆者のこれまでの持論からみて、武蔵野台地の地下水資源の増強手段としても極めて有効なものといえ、今後も続けてゆくことを推奨する。