

地下水温を指標とした足柄平野上部の地下水流動機構調査

横山尚秀、荻野喜作、平野富雄、大木靖衛

神奈川県温泉地学研究所 *

Process of Groundwater Recharge in the Uppre Part of the Ashigara Plain Inferred
from the Change of Groundwater Temperature
by

Takahide YOKOYAMA, Kisaku OGINO, Tomio HIRANO and Yasue OKI
Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

1. はじめに

地形図や各種の分布図から作成された地図情報をもとに計算された水涵養機能評価結果を実際の涵養

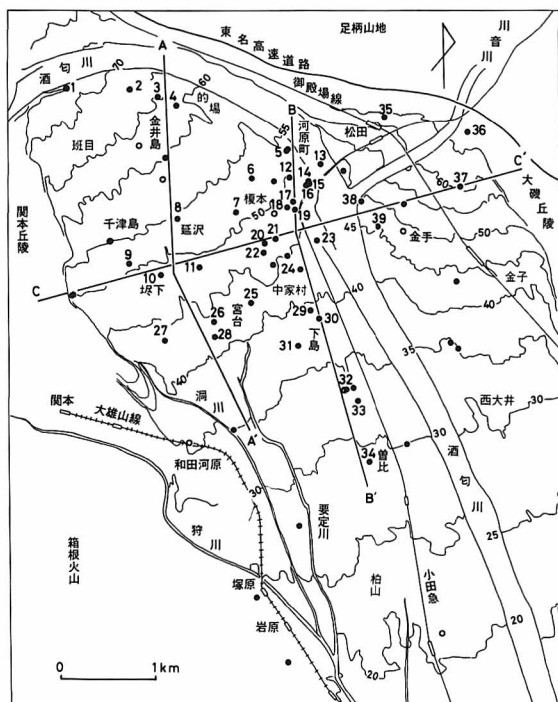


図1 調査地域と調査井位置図

状況と対比させるため現地計測調査を行った。さらに、水涵養機能に影響を及ぼすインパクトについて検討した。調査期間は昭和59～61年度の3年余りで、調査地域として地下水涵養の盛んな足柄平野上部を選んだ。調査は水温を指標とする地下水の涵養と流動機構の解析調査である。

足柄平野は扇状地性堆積物が広く堆積している。平野上部は酒匂川扇状地とそれに接する川音川扇状地で占められている。平野上部は特に浸透性が優れ、河川や用水路からの伏流浸透、水田灌漑用水の浸透が盛んで、平野地下水の主な涵養源となっている。平野上部で涵養された地下水は次第に流下し、平野の中、下流の地下水を賄っている。評価結果（荻野ほか、1988）にあるように平野上部は水涵養機能に優れ、平野の涵養域として重要な役割を果たしている。

* 神奈川県足柄下郡箱根町湯本997 〒250-03
神奈川県温泉地学研究所報告 第19巻、第4号、21-30、1988

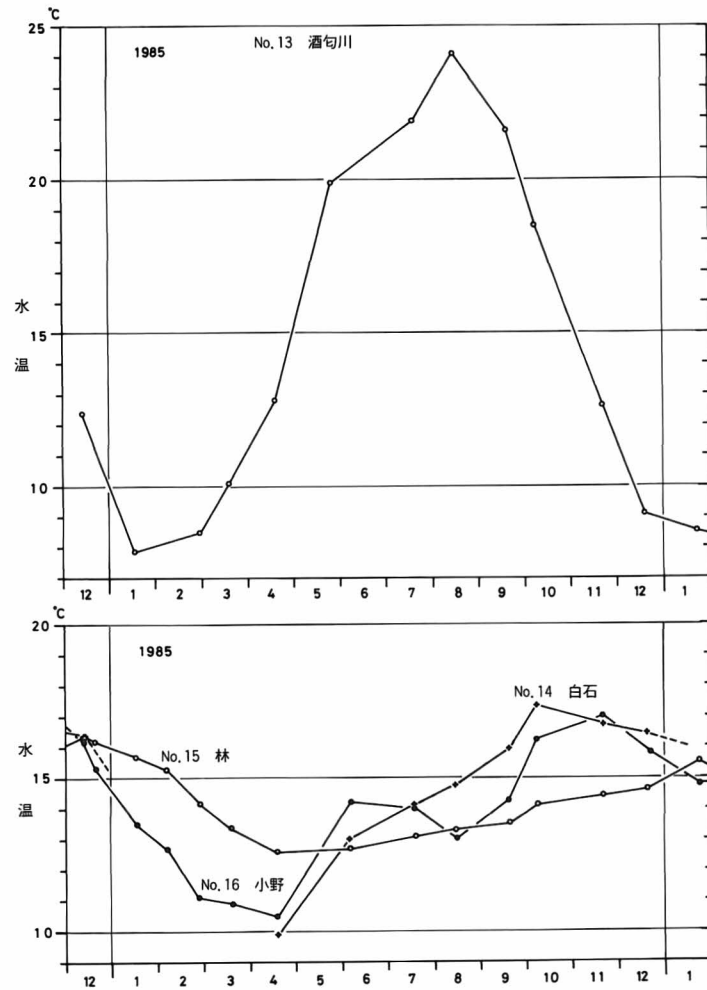


図2-1 地下水温度の観測結果（開成町河原町付近の温度変化）

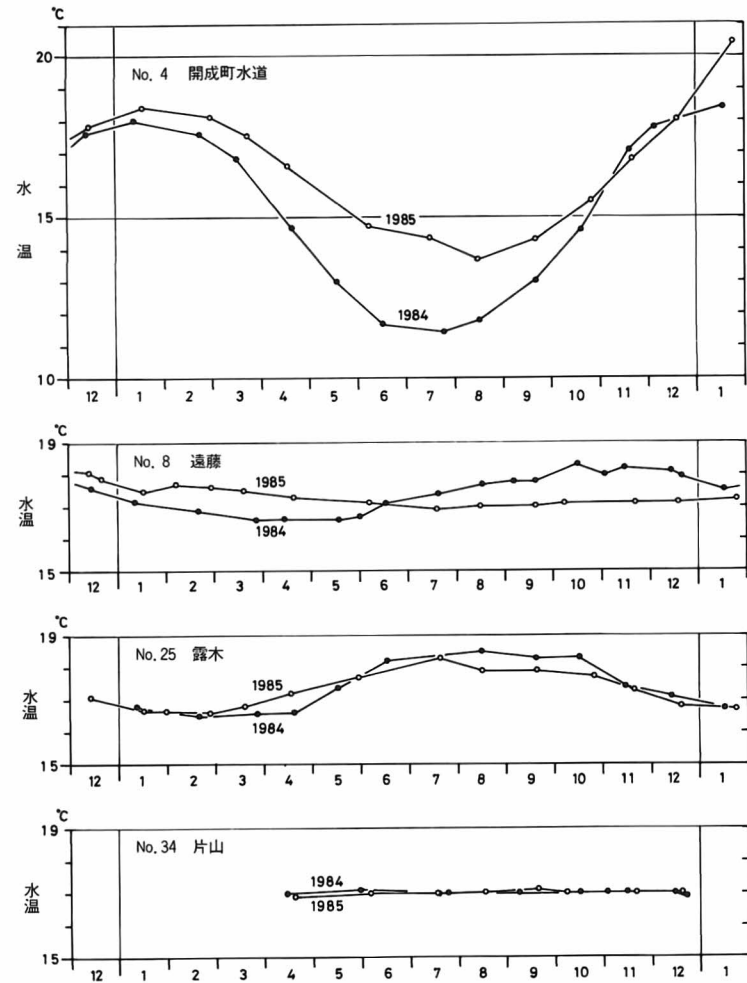


図2-2 地下水温度の観測結果（開成町宮台付近の温度変化）

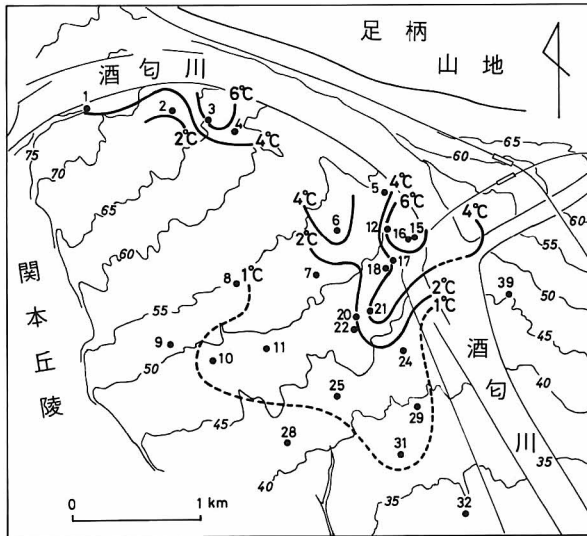


図3 水温年間変動量の分布（平面図、昭和60年）

調査井は出来るだけ使用中の井戸とし、深度とストレーナーが分かっている井戸を選んだ。使用中の井戸では水銀温度計を用い、用水施設の無い井戸では熱電対（C-C）を用いて水温観測を行った。調査期間中毎月1回の頻度で水温を測定した。調査井の位置を図1に示す。

なお、地下水の流速が十分に早く、地下水の熱移流が熱伝導を無視出来るほどであれば、温度の伝播速度は流速に等しいと見なされる。このことを利用すれば地下水の流動を追跡することが出来ると考えた。

3. 水温の観測結果

観測結果の事例（昭和60年）は図2に示すとおりである。水温は地表水に1～数カ月遅れて変化し、その年間変動量は0.5℃に満たない井戸（曾比）から12℃に至るまで様々である。地下水温は水涵養と流動機構を反映して変化するので、水温の変化から地域のこれらの機構の特色を読み取ることが出来る。そこで、観測結果について検討した。

(1) 水温の年間変動量の分布

深度15mより浅い井戸に限れば、水温の年間変動量（昭和60年）の分布図は図3のとおりであった。水温変動量が4℃以上と大きい地域は酒匂川右岸沿いの開成町金井島、吉田島に分布している。

酒匂川から離れた扇状地中央部では水温変動量は2℃以下と小さい。酒匂川沿いの井戸には酒匂川表流水の影響が強く現れ、水温は表流水の大きな温度変化を反映し（図2）、年間変動量が大きい。一方、扇状地中央部の水田地帯では主な涵養は灌漑期のみ行われる。浸透する水の温度はあまり冷たくないので、年間の地下水温に与える影響は酒匂川表流水ほどでない。

2. 調査地域及び調査方法

調査地域は開成町と南足柄市の東部、松田町、大井町、小田原市北部にまたがる地域である（図1）。平野には水田が多く分布し、灌漑用水路が網目状に走っている。かつて集落は水田地帯に所々島状に分布していたが、最近宅地化が進み、工場の進出も行われ、水田面積は毎年減少している。

調査地域は扇状地性堆積物が厚く堆積し、良好な帯水層が分布する。帯水層には顕著な不透水層は認められない。しかし、調査地域南端の小田原市曾比あたりから下流側では地下30m付近に泥層が挟まれ、この層が加圧層となり地下水は自噴する。

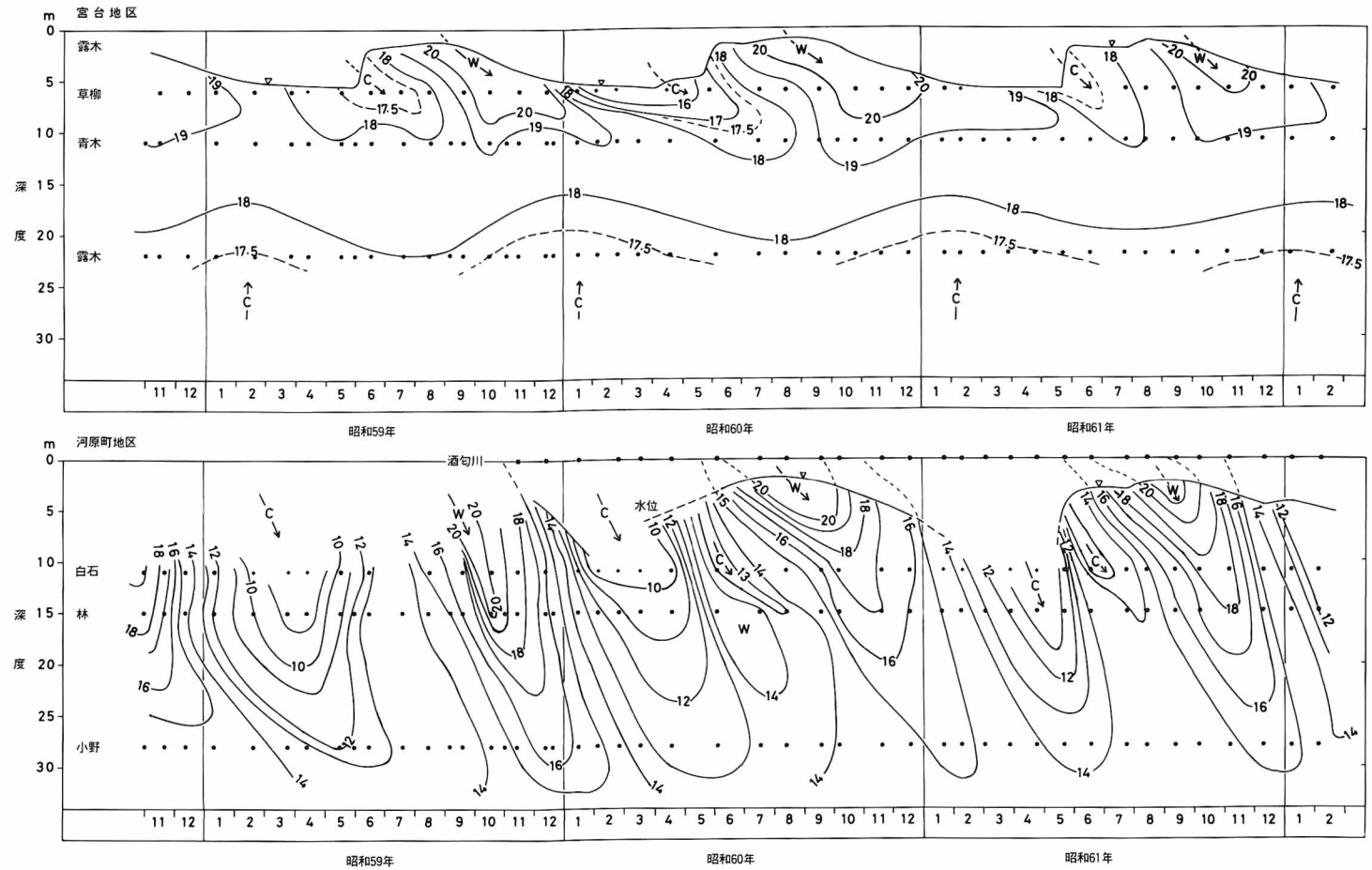


図4 開成町宮台と河原町の温度変化分布（昭和58年11月～昭和62年2月）薄い網目は温水、濃い網目は冷水の侵入を表す

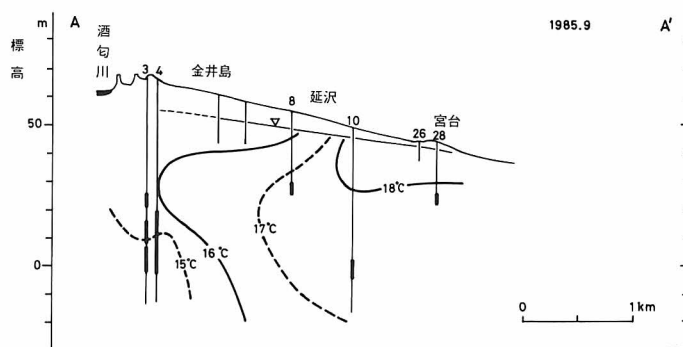


図5-1 地下水温度の垂直断面分布（A断面、昭和60年9月）

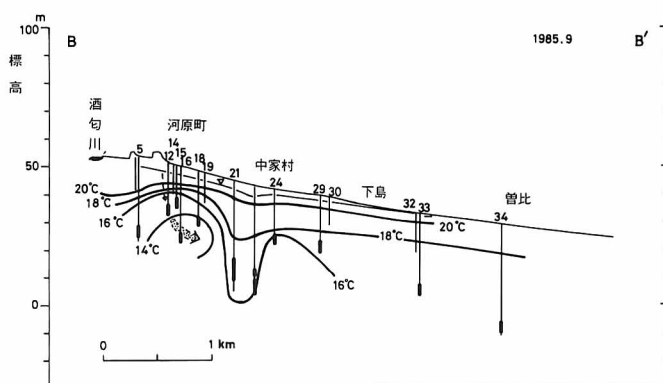


図5-2 地下水温度の垂直断面分布（B断面、昭和60年9月）

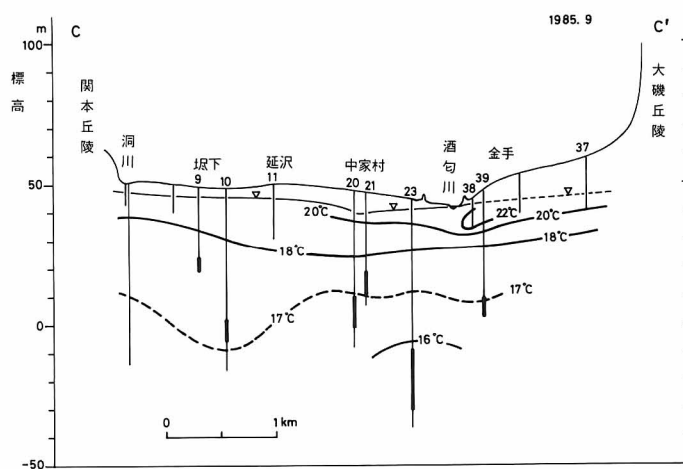


図5-3 地下水温度の垂直断面分布（C断面、昭和60年9月）

(2) 深度別温度変化

開成町河原町に位置し、互いに隣接している3井(No.14、15、16)と約150m離れている酒匂川表流水(No.13)の水温をまとめて図2-1で比較した。水温変化グラフを重ねると、水温のピークが深部へ遅れて移動する状況や、深い井戸ほど変動はばが小さく、水温変化の平滑化が認められた。開成町宮台の隣接する井戸でも同様の傾向が観測された。

図2に明らかなように、地表から浸透する水の影響が水温変化に位相のズレとして表れ、パターンの違いとして認められる。この地下水温度変化を温度変化分布図(昭和58年11月から昭和62年2月までの3年余り)に表し、図4に示した。図は縦軸が深度、横軸が時間スケールである。等温線間隔は1℃とし、井戸深度の位置に黒丸で観測時期を示した。また、冷水の侵入をCで、温水の侵入をWとして図中に表現した。

開成町河原町の場合(図4下)、冬期に冷たい表流水が、夏期に温かい地表水が深度30m付近まで進入する様子を読み取れる。とくに、深度20mまでは等温線が縦に密に描かれてお

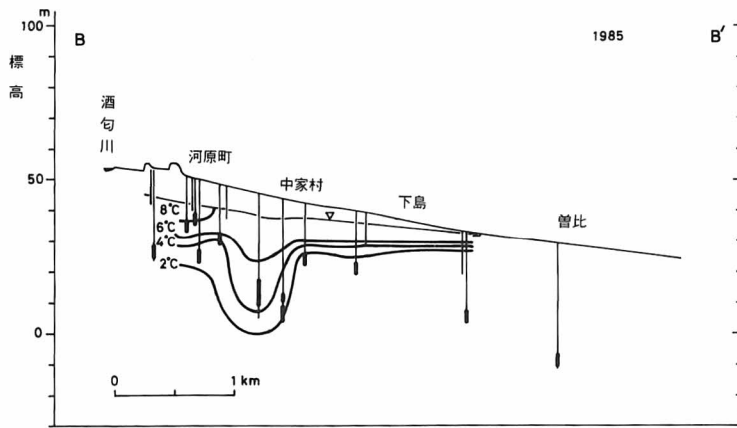


図6 水温年間変動量の分布 (B断面図、昭和60年)

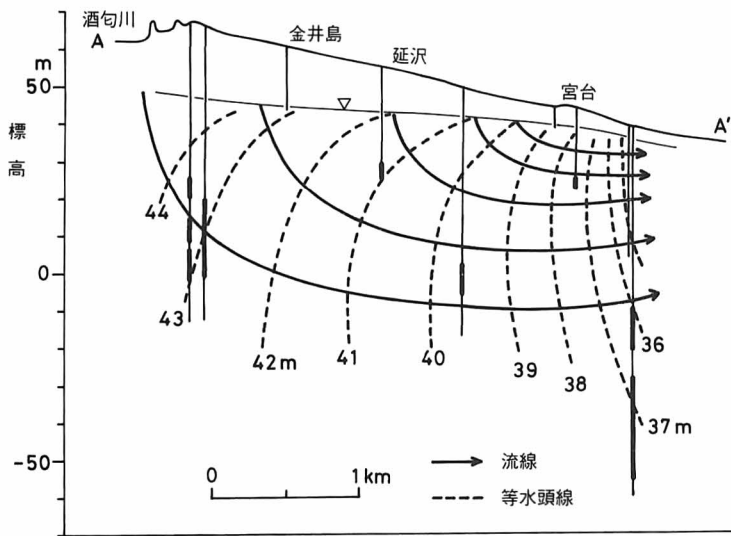


図7 A断面に沿った地下水流動系

り、この範囲は上部帯水層に相当し温度変化が著しい。上部帯水層では地表水の影響が迅速で大きい。地表水は5～10m/月の速度で深層へ伝播している。なお、6～9月には間等温線の間隔が開き、温度上昇が一時止まる。とくに、昭和60年の場合はっきりと冷水の侵入が分布図上に認められる。これは灌漑が開始されて急激に用水が浸透したことを表している。

開成町宮台の場合(図4上)、河原町に比べ等温線の間隔が疎で、年間の温度変化は比較的小さい。灌漑が始まり地下水位が上昇すると、浸透したやや冷たい地下水は下方へ移動する。18℃の等温線が示すように、その到達範囲は深度10～12mに及ぶ。夏期になると20℃以上の温水が浸透し、地下水面付近に温水層が形成される。温水層は水位低下と共に下方に移動し、やがて灌漑期の初期に形成された

冷水に取って替わる。地表の影響で形成された冷水や温水の及ぶ範囲は深度12mまでに限られる。一方、深度15m以深では、18℃の等温線が灌漑期の水位上昇中に深度20m付近まで下がり、非灌漑期の水位低下中は深度15m付近まで上昇している。地下水位(水圧)のバランスにより、水位が低下し上から加わる水圧が下がると下方から18℃以下の冷水が上昇して水温が低下する。これらの動きを図中に矢印で示した。

一般に扇状地では扇頂部、扇央部で涵養された地下水は扇状地の下を流れ、扇端部で一部湧出する酒匂川扇状地でも同様な地下水系が形成されている。扇端部近くに位置する宮台で観測された水温分布は扇状地の地下水構造を裏付け、次のように説明される。深層の温度が低い地下水は扇状地の下を流下す



写真1 田植風景（6月）

る扇状地スケールの水系を表し、浅層の温度変化が大きい地下水は付近の水田で浸透涵養されたローカルな地下水系である。

(3) 地下水温の垂直断面分布

地下水の垂直分布を断面図に表せば、水温分布の変化を利用して地下水流動系を把握することが出来る。そこで、図1に示したA、B、C断面線に沿った温度分布図を描いた。その代表例を図5に示す（いずれも昭和60年9月）。

〔A断面〕 酒匂川扇状地の縦断面図（図5-1）である。断面図には金井島の地下水面付近と標高0mに16℃以下の冷水域が認められる。一方、宮台付近には深度20m（標高30m）より浅い所に18℃以上の温水域が分布する。深層の冷水域は冬期に浸透した酒匂川表流水である。No.3、4では河川水より5～6カ月遅れて低温が観測されている。金井島の地下水面付近の冷水域は水田から浸透した灌漑用水で、水位が比較的深いため夏期になっても温まらない。宮台付近の温水域は地下水面が浅く、夏期の温かい灌漑用水や気温の影響を受け易いことを表している。

〔B断面〕 酒匂川に沿った断面図（図5-2）である。断面図には地下水面に沿って20℃の等温線が描かれ、温かい地下水が地下水面付近に薄く広がって分布している。夏期には河川や水田から温かい水が涵養されるが、温水は比重が軽いため深く潜らず、地下水面付近を流下する。河原町付近では14℃の等温線が描かれ、その中心が13℃台の冷水塊を表している。冷水塊は冬期の冷たい酒匂川表流水が浸透

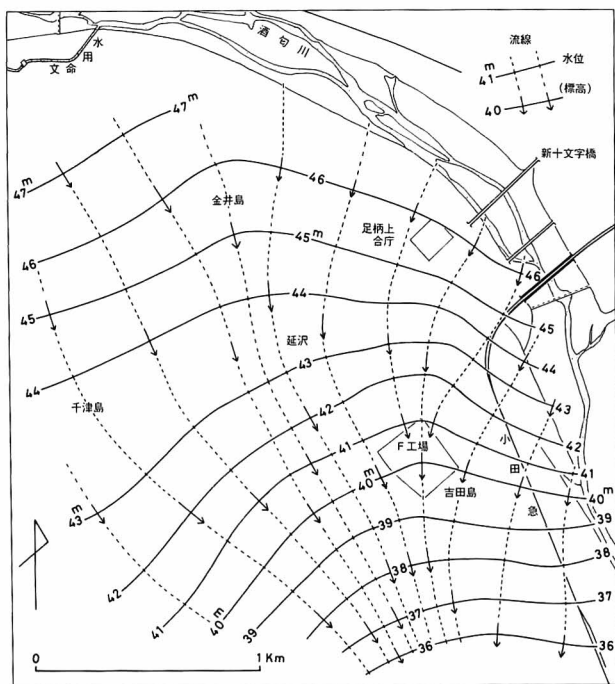


図8 開成町付近の地下水面と流線の分布
(横山ほか、1977を修正)

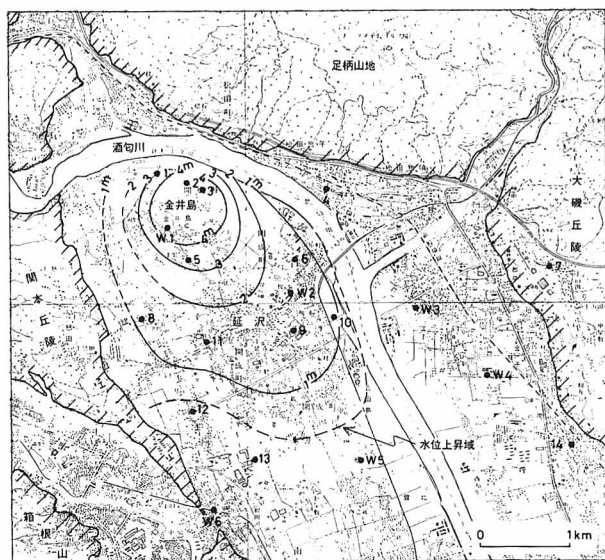


図9 足柄平野上部の地下水位上昇量分布(横山ほか、1988)
(昭和53年7月～昭和62年7月、単位m)

して形成されたもので、図中に矢印でしめした経路で、およそ2.8m/日の速度で下流へ移動する。冷水塊は中家村付近で消滅する。16℃の等温線は中家村付近の工場水源井の所で深度40mまで舌状に深く入り込み、揚水のため浅層の温かい地下水が引き込まれている。B断面の水温年間変動量分布(昭和60年)は図6のとおりで、変動量は表流水の侵入口にあたる河原町で8℃と大きい。また、中家村の工場水源井でも変動量が大きい。

〔C断面〕 足柄平野の横断面図(図5-3)で、川音川扇状地と酒匂川扇状地の両方を切っている。深度20m付近に18℃の等温線が描かれ、地下水面付近には20℃以上の温かい地下水が分布する。とくに、川音川扇状地の水温は22℃台と高い。地下水面は酒匂川扇状地の中家村付近が最も低く、温かい川音川扇状地の地下水は西方へ流下し、途中酒匂川河床から浸透する表流水と混合して酒匂川扇状地を涵養している。なお、深度20m以深の温度が低い地下水は、前節で述べた扇状地全般を支配する地下水系を反映している。

4. 地下水涵養と流動機構

水温変化を利用して酒匂川扇状地の地下水涵養と流動の状況を推定すると模式的な扇状地の地下水流動系として図7が描かれる。地下水系は圧力水頭分布から描かれる流線とマッチしている。扇状地の地下水は扇頂部から扇中部にかけて河



写真2 灌漑用水路と水田（7月）

川水や灌漑用水の浸透によって涵養される。地下水位が深く、浸透した地下水は流動系に沿って深層へ、下方へと流動する。灌漑が行われる水田は浸透の機会が多く、表層の浸透性の良さと合わせ、水涵養機能は高く評価される。

扇端部に近づくると地表から涵養された地下水は深く浸透せず流下し、やがて水路に湧出する。水涵養機能の面から見ると、扇端部は地下水位が浅く、地表水が浸透しても再び直ぐに地表に流出してしまうので涵養機能は低く評価される。

酒匂川表流水の影響はA、B断面の温度分布をはじめ、開成町河原町の温度変化分布に顕著である。酒匂川沿いでは表流水の伏流浸透が行われているが、年間水温変化量の分布に示された6℃の等量線にあるように、この地域で盛んと推定される。おそらく表流水が浸透し易い酒匂川の旧河道があると予想される。水涵養機能評価では土地利用因子の河川が最も高く評点付けされ、機能評価結果も一番高く計算されている。図8の流線に示されるように、河川で流況変化が発生するとその影響は流線に沿って下流側に伝播する。横山ほか（1988）によれば、三保ダムの影響で酒匂川流況が安定化したため、平野上部、開成町付近の地下水位が最高4 mも上昇した（図9）。

B断面上では冷水塊の移動と消滅、表層付近の温水の引き込みが工場水源井を中心に認められ、揚水が地下水系へ影響している状況が明らかになった。すなわち、工場水源井で大量の揚水が行われるため水位が低下し、周囲から地下水が水源井を中心として集まる地下水系が形成されている（図8）。これ

らは今回の調査で認められたインパクトの影響の代表例である。

5. おわりに

地下水の温度を指標とした調査の結果、地下水涵養と地下水系、流動機構を定性的に明らかにすることが出来た。足柄平野上部の酒匂川扇状地、川音川扇状地では水田灌漑用水の浸透、表流水の河床からの伏没浸透が主要な涵養源となり、平野上部の地下水はこれらの浸透水によって賄われている。地下水調査結果によって足柄平野上部の水涵養機能を現地計測したところ、評価式によって高く評価された水涵養機能を裏付ける調査結果を得ることが出来た。また、地下水に影響するインパクトについても検出出来た。

なお、本調査にあたり、現地調査に協力いただいた井戸所有者の方々、事業所、市町の担当者に厚くお礼申し上げます。農業環境技術研究所、結田康一氏、農業土木試験場、小前隆美氏からは有益な助言をいただいた。温泉地学研究所諸星忠義管理課長をはじめ所員の方々には調査結果のとりまとめや調査の円滑な進行に協力いただいた。以上の皆様に深く感謝いたします。

6. 参考文献

- 荻野喜作、横山尚秀（1987）、足柄平野の地下水、「水」、Vol.18、No. 4、22-28.
- 荻野喜作、横山尚秀、結田康一、小前隆美（1987）、水かん養機能の評価の整理、「農林水産業のもつ国土資源と環境の保全機能及びその維持推進に関する総合研究」研究報告（第2集）、34-37.
- 荻野喜作、横山尚秀、平野富雄、大木靖衛、結田康一（1988）、酒匂川流域の水涵養機能調査、神奈川温地研報告、Vol.19、No. 3、印刷中
- 小前隆美、木村重彦（1987）、同位体による水かん養機能関連要因の抽出と計測、「農林水産業のもつ国土資源と環境の保全機能及びその維持推進に関する総合研究」研究報告（第2集）、13-22.
- 小沢清、荻野喜作、横山尚秀（1982）、足柄平野の地質（その1）、神奈川温地研報告、Vol.13、No. 5、83-90.
- 山本莊毅（1983）、新版地下水調査法、古今書院.
- 横山尚秀、荻野喜作（1987）、酒匂川流域における水かん養機能関連要因の抽出と計測、「農林水産業のもつ国土資源と環境の保全機能及びその維持推進に関する総合研究」研究報告（第2集）、23-33.
- 横山尚秀、荻野喜作、加藤浩、大木靖衛（1975）、足柄平野の地下水（その2）、神奈川温地研報告、Vol. 6、No. 3、133-140.
- 横山尚秀、荻野喜作、大木靖衛（1977）、足柄平野の地下水（その3）、神奈川温地研報告、Vol. 8、No. 3、115-124.
- 横山尚秀、荻野喜作、大木靖衛、結田康一（1985）、足柄平野上流部の地下水流動機構と水温変化（足柄平野の地下水 その8）、神奈川温地研報告、Vol.16、No. 4、77-90.
- 横山尚秀、荻野喜作、大木靖衛、結田康一（1986）、足柄平野上流部の地下水温変化と地下水涵養機能（足柄平野の地下水 その10）、神奈川温地研報告、Vol.17、No. 5、141-158.
- 横山尚秀、荻野喜作、大木靖衛（1988）、足柄平野上部の地下水位上昇について、神奈川温地研報告、Vol.19、No. 3、印刷中