

高松地域における地下水環境の観測

FIELD MEASUREMENT OF GROUNDWATER ENVIRONMENT IN TAKAMATSU DISTRICT

河原能久¹・渡邊健一²・森長和雄³

Yoshihisa KAWAHARA, Kenichi WATANABE and Kazuo MORINAGA

¹フェロー会員 工博 香川大学教授 工学部安全システム建設工学科 (〒761-0396 高松市林町2217-20)

²学生会員 香川大学工学部安全システム建設工学科 (〒761-0396 高松市林町2217-20)

³非会員 高松市水道局経営企画課水質管理センター (〒761-0312 高松市東山崎町1331)

Field measurement of groundwater level and analysis of groundwater quality were carried out quarterly to clarify the present situation of confined and unconfined groundwater in Takamatsu district. Our measured data, the groundwater data obtained by public sectors and other relevant digital data were arranged on GIS software to develop the database on hydrological cycle. It is confirmed that the contours of unconfined groundwater level run nearly parallel to those of topography and that the groundwater level has shown seasonal variation of about 1 to 2m. Nitrate nitrogen of unconfined water at several locations has exceeded the environmental standard, which may have come from the overuse of fertilizer. The level of confined groundwater has gradually increased owing to the regulation of groundwater uptake. The pH value of confined subsurface water has unchanged whereas the levels of iron and evaporation residue have decreased.

Key Words : *confined groundwater, unconfined groundwater, water level, water quality, field measurement, GIS, Takamatsu*

1. はじめに

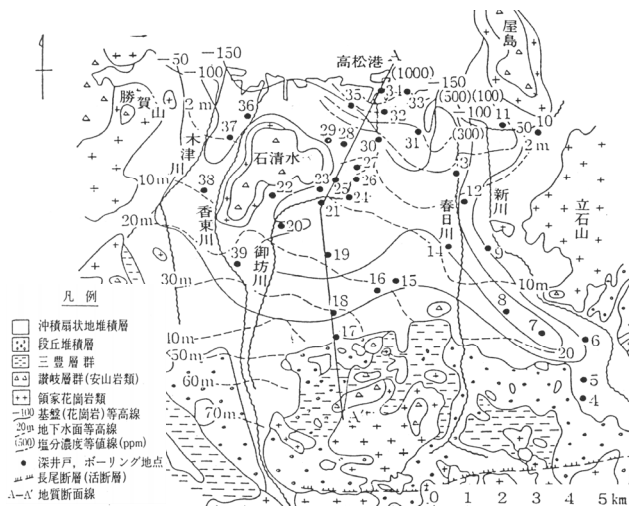
香川県は、最近20年間に8回の渇水を経験するなど利水安全度の低い地域である。そのため、多数の溜池の造成に代表されるように、古くから水資源の有効利用が図られてきた。1974年に吉野川から香川用水を導入したが、その後、県内の水利用の形態は大きく変化してきた。さらに、高松平野の中央部では市街地が拡大しており、農地の宅地への転換が進んでいる。このような変化を背景にして、健全な水循環系の保全を図りながら渇水時の水資源の確保を進めることが、高松地域の緊急の課題となっている。

地下水は水循環系の重要な構成要素であるとともに、水資源の候補の1つに挙げられる。高松地域の不圧地下水の水位については、東京教育大学¹⁾や香川県²⁾が平野部において大規模な調査を行っている。また、新見は湧水の分布と湧出量の調査³⁾を行っている。香川県は平成9～10年度にかけて51地点において水位と簡易な水質指標(水温、電気伝導度、pH)を測定している。さらに最近では、国土交通省が高速道路の建設に伴う周辺地域の

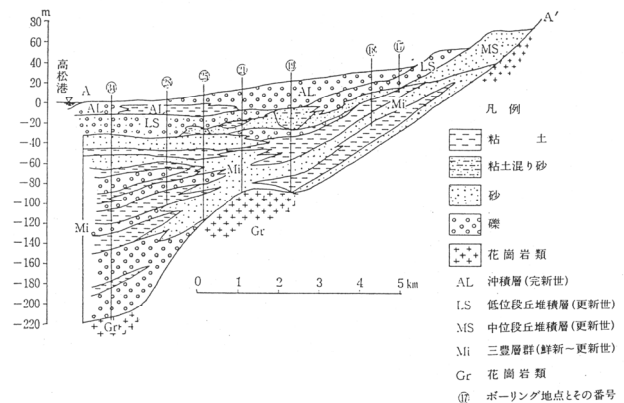
地下水への影響を検討するために地下水位と水質を継続的に調査している。しかし、不圧地下水については時間的、場所的な変動が大きく、人為的な影響も受けやすいため、高松平野全域における水位と水質の現状は必ずしも明らかではない。また、香川県は被圧地下水の水質について測定データを蓄積している。それらの結果より、近年、被圧地下水の水位が回復し、水質が改善する傾向が認められている。このため被圧地下水が渇水時の水資源として着目されている。

本研究は、水循環系の保全や合理的な地下水管理に必要な基礎データである、浅層および深層地下水の実態を把握することを目的として、学校等の公共施設が管理する井戸や私有の井戸を利用して、水位観測と水質分析を行った。また、地方自治体が管理している観測結果を許可される範囲で収集し、地下水位、水質、その他関連するデータをGIS上にてデータベース化した。

以下では、まず、観測地域の地質の概要、観測井戸の分布、観測項目と方法を説明する。次に、浅井戸を用いた地下水の水位、水質結果の報告を行う。さらに、深井戸での水位、水質の観測結果と経年的な変化について述べる。



(a) 平面図



(b) 断面図

図-1 高松平野の地質図⁴⁾

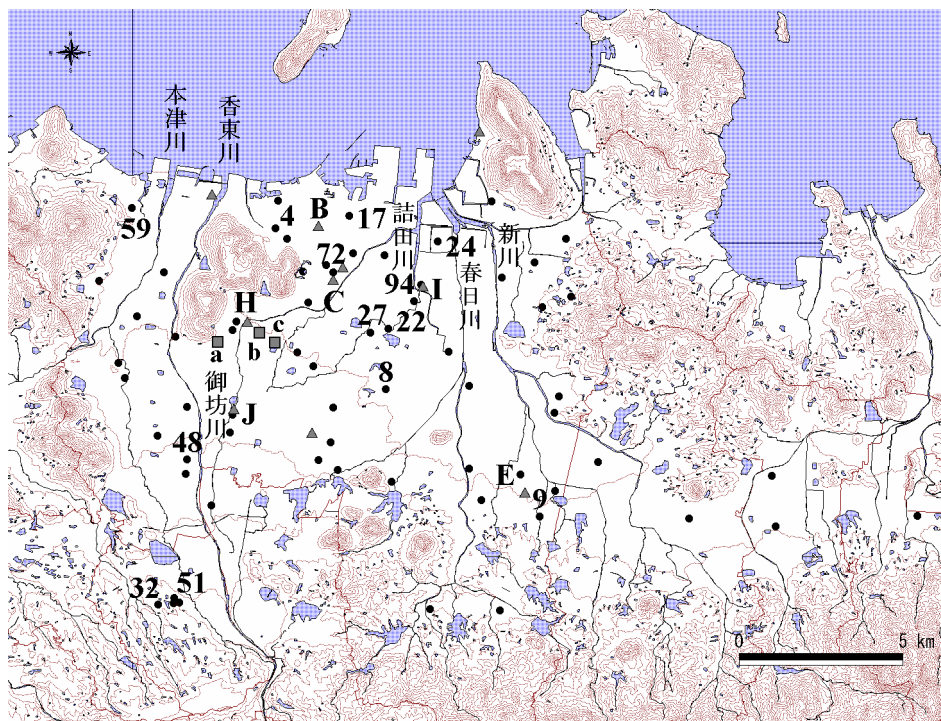


図-2 高松地域での地下水の観測地点 (●, ■: 不圧地下水, ▲: 被圧地下水)

2. 観測地域と観測項目

(1) 高松地域の地形・地質の概要

高松平野は、西部を流れる香東川により形成された扇状地、東部の春日川、新川等による氾濫平野、および河口部の三角州からなる海岸平野から形成されている(図-1, 図-2を参照)。地質は、上位から沖積層(砂礫、砂層中に粘土・シルトが不規則に重なる)、三豊層、基盤(花崗岩類)に大別される。沖積層と三豊層との境界には細粒分が卓越した層が広く広がっており、難透水層となっている。上部の帯水層の厚さは地表から深度20m程度であり、ここに多数の浅井戸が設置されている。ま

た、三豊層中の帯水層は深度40m~100m程度であり、地下水は被圧状態となっている。なお、河川の表流水が伏設する箇所は多く、流水は乏しい。

(2) 観測井戸の選定

a) 不圧地下水

香川県が調査した浅井戸(51箇所)に、民家や学校等を追加した105箇所を対象にアンケート調査を行った。その結果(井戸の有無、使用状況、観測への協力等)と事前の現地調査に基づき、65地点を観測井戸として選定した。それらの位置を図-2に丸印で示す。なお、観測井戸は4~6m程度の深さのものが多い。

b) 被圧地下水

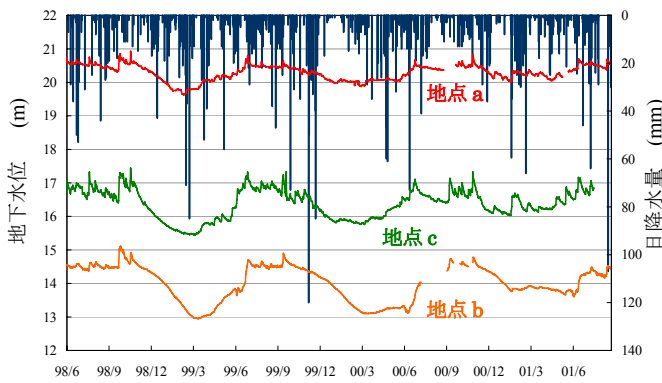


図-3 不圧地下水の季節変動

50m以上の深さを有する井戸は対象地域に15箇所が存在するが、その中から今後とも調査に協力いただけること、水位と水質の調査が可能であることを判断基準として、7地点を選んだ。また、香川県が4地点（小学校と中学校各2校）にて継続的に水位を観測している。観測井戸の位置は図-2において三角印で示されている。

(3) 観測項目・方法

浅井戸での水位と水質の調査を、2001年3月8日～10日、6月12日～13日、9月12日～13日にかけて実施した。井戸を訪問した際には次の4事項を行った。すなわち、①井戸の利用状況に関するヒアリング、②地下水の水面位置の測定、③井戸水の水質測定（現場で可能な測定項目のみ）、④持ち帰って水質分析を行うための採水、であった。具体的な測定項目と方法は次のようである。

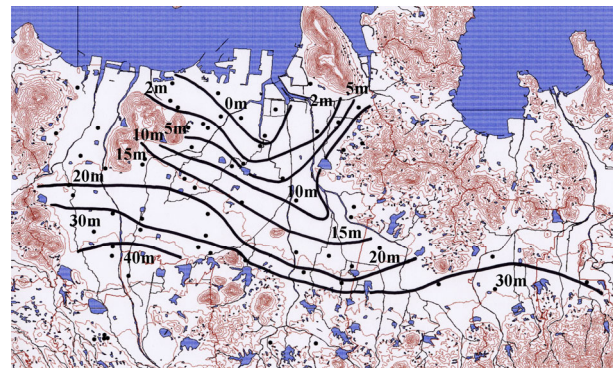
- ① 井戸の利用状況：井戸の内径、井戸枠の高さ、利用頻度、用途、井戸の状況（写真撮影）
- ② 地下水位：井戸枠から地下水面までの深さ（YAMAYOミリオン水位計）
- ③ 地下水の水質（現場）：水温、pH、電気伝導度（堀場製作所D-24）
- ④ 地下水の水質（持ち帰り分析）：NO₃-N（水質分析計：HACK DR/2010）、イオン分析（島津製作所PIA-1000）

一斉測水のため、観測班3班を編成し、所定の日時に井戸を訪ね、調査・観測を行った。

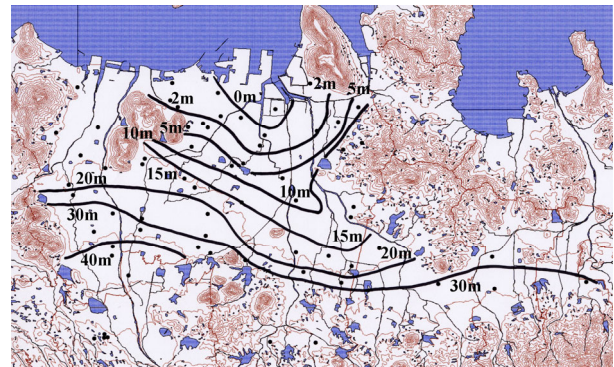
深井戸の調査は平成12年12月6日、3月22日、6月27日、9月12日に実施した。水位の測定と水質分析（分析項目は水道水質基準に関する総ての項目）を行った。

(4) 井戸の地盤高の測量

地下水位を標高で整理するために、地表から地下水面までの深さとともに井戸が設置されている地点の地盤高を求めた。今回、観測地点数が多いことと、平野部での地盤高を高精度で計測するために、RTK(Real Time Kinematic)-GPSを6台使用した。事前調査の後、3月19日～23日にかけて、6台の自動車を利用して、井戸付近の



(a) 2001年3月



(b) 2001年9月

図-4 不圧地下水位の観測結果

観測に適した地点と一等・二等水準点（合計5点）の位置において測定した。井戸の周辺には人工衛星の電波を受信するための障害物が多いため、井戸からやや離れた地点にGPSを据え付けた。各地点にてGPSを1時間程度設置し、観測データを後処理することによってその地点の位置を算出した。その地点から水準測量を行って井戸の地盤高を求めた。

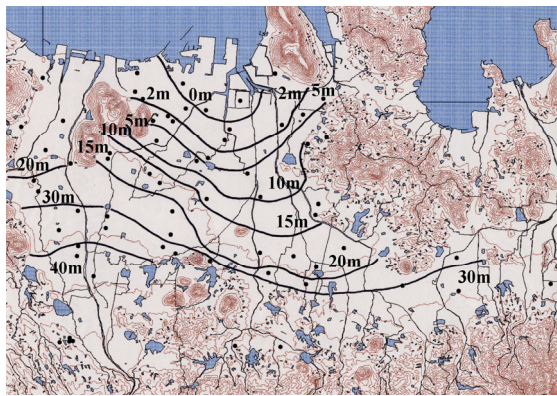
3. 観測結果と考察

(1) 不圧地下水の水位

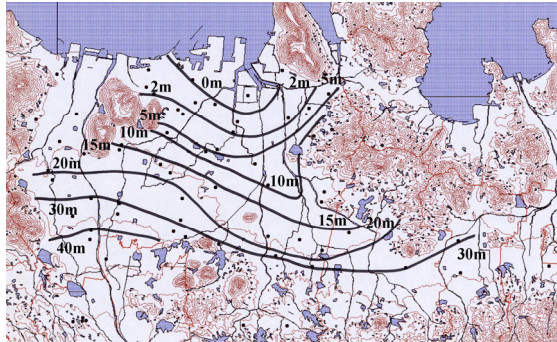
図-3は、国土交通省が観測した3地点での地下水位と日降水量を平成10年6月から平成13年7月にかけて示したものである。3地点の位置は図-1において四角印で示している。図より、不圧地下水は夏期の7～9月に最も高くなり冬期の2、3月に最低となること、その平均的な変動幅は1～2m程度であることがわかる。また、地点cでは地下水位が降水に敏感に応答していることが知られる。

図-4(a)、(b)にそれぞれ3月と9月に観測した地下水位を標高で示している。これらより、次のことがわかる。

- ① 不圧地下水の等値線はほぼ地形の等高線に沿う。
- ② 詰田川河口周辺では地下水位がマイナスとなる地区が年間を通して形成されている。3月ではマイナスの地区が拡大する。
- ③ 高松平野のほとんどの地点において、9月の地下水位は3月のものより高い。その変動幅は1～2m程度



(a)1998年2月



(b)1998年8月

図-5 不圧地下水の観測結果

である。

図-5は、香川県が平成10年2月と8月に行った51地点での観測結果を基に新たに作成した地下水位分布図である。これらの図においても上述の特徴を確認することができる。また、3年間の時差はあるものの、同時期の水位の差異は小さく、特定の傾向は認められない。

(2) 不圧地下水の水質

a) 水温

図-6は2時期の不圧地下水の水温分布を比較したものである。次のような特徴をみることができる。

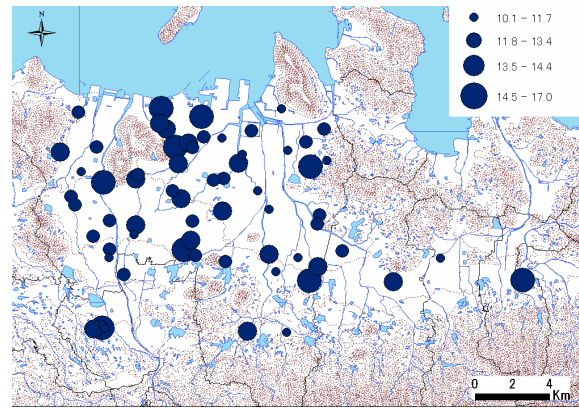
- ① 9月の水温が低い地点では3月の水温が高い傾向が認められる。これは地下水の滞留時間が比較的長く、水温が変化の少ない地温の影響を受けやすいためであると推測される。
- ② 御坊川に沿っては水温変化が小さい。これらの地点がかつての香東川の旧流路上に立地しており、比較的早い地下水流動が生じている可能性がある。

ただし、これらの特徴の原因を直接的に説明するデータはなく、今後さらに詳細な調査が必要である。

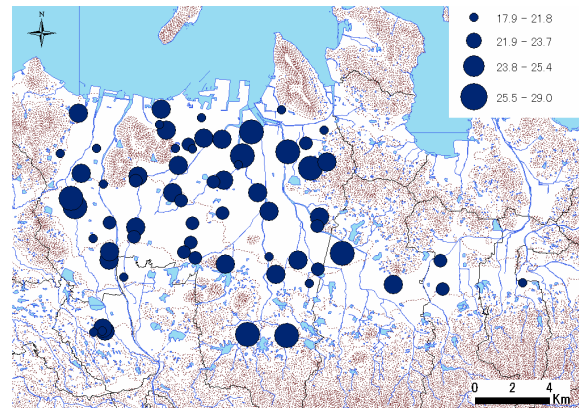
b) pH

3月と9月における不圧地下水のpHを測定した結果を図-7に示す。

- ① 3月にpHが中性に近い値をとる地点が多いが、その地点では季節的な変動が小さい。
- ② 3月では、pHが6未満の値をとる地点が香東川扇頂部付近 (No.32) と新川沿い (No.9) に存在する。

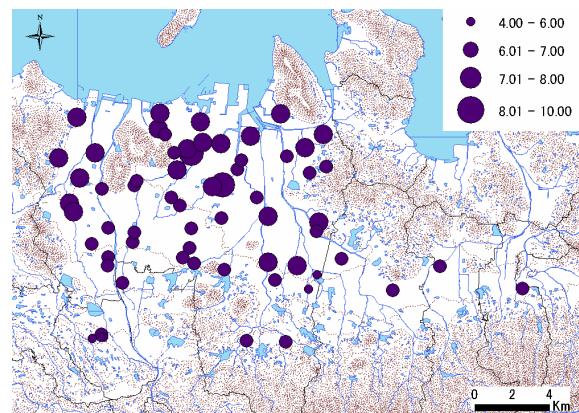


(a)2001年3月

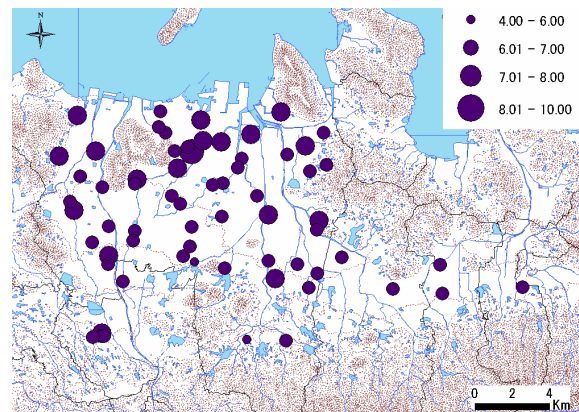


(b)2001年9月

図-6 不圧地下水の水温 (単位: °C)

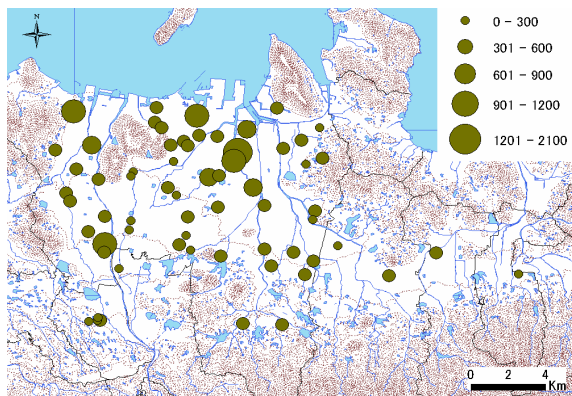


(a)2001年3月

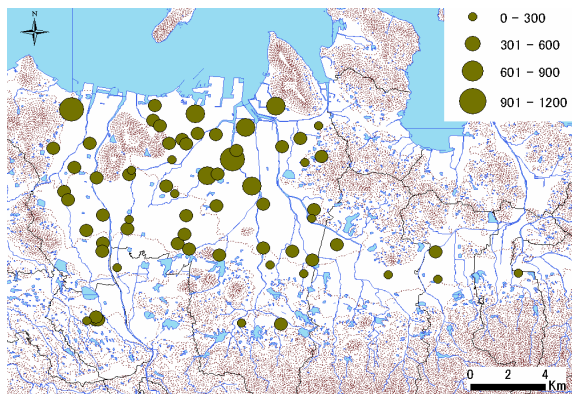


(b)2001年9月

図-7 不圧地下水のpH



(a)2001年3月



(a)2001年9月

図-8 不圧地下水の電気伝導度 (単位: μ S/cm)

一方、pHが8を越える地点が御坊川 (No.72) と詰田川下流部 (No.27) に存在する。それらの地点のpHは、9月では中性に近づいている。No.27での高いpHの値は、敷地の横を流れる排水路化した河川 (pH>8.5と測定) からの浸透水を汲み上げているためと推定される。

c) 電気伝導度

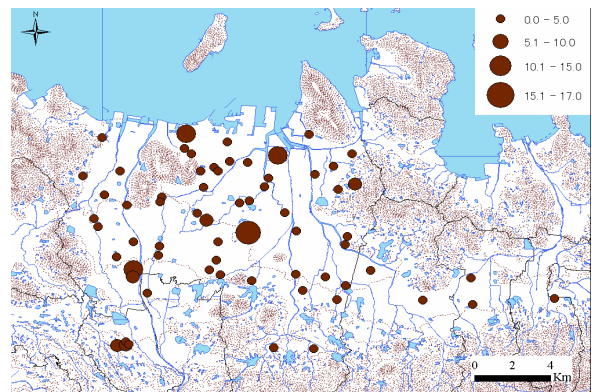
図-8は3月と9月における電気伝導度を比較したものである。これらより次のことがわかる。

- ① 電気伝導度の低い地点では季節変化は小さい。一方、電気伝導度の高い地点では冬期に高く、地下水位の上昇する夏期に低くなる傾向がある。これは夏期には水田からの地下水涵養が盛んであり、地下水流動が大きいためと思われる。
- ② 沿岸部 (No.17, 59), 詰田川下流部 (No.22, 94), 香東川中流部左岸 (No.48) に、年間を通じて電気伝導度の高い地区が存在する。沿岸部では海水浸入の影響を受けているが、No.48地点では後述の硝酸性窒素の濃度も高く、人為的な影響が推測される。

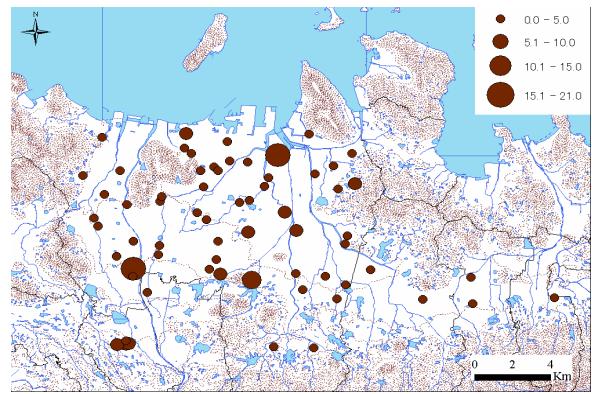
d) 硝酸性窒素

採水した試料を水質分析計とイオンクロマトグラフィーにより分析した。イオンクロマトグラフィーでは主要な陽・陰イオン濃度を検出したが、ここではその中で硝酸性窒素に着目した。その結果を図-9に示す。図から以下の特徴を読むことができる。

- ① 地下水の環境基準である10mg/lを越えている地点が



(a)2001年3月



(a)2001年9月

図-9 不圧地下水の硝酸性窒素 (単位: mg/l)

複数存在することがわかる。

- ② 高濃度を示す地点は、一部を除き季節的な変動も小さい。特定の人為的な汚染源が存在することが唆される。

香東川中流部左岸の地点 (No.48) では、ハウス栽培や家畜の飼育を行っており、過剰な窒素分が地下水に供給されていると推定できる。なお、この地点では磷酸イオンが検出されている。また、扇状地中央部の地点 (No.8) や香東川上流部の地点 (No.51) には畑地や果樹園があり、高濃度の結果は施肥の影響であると推測される。一方、沿岸部の地点 (No.4, 24) での原因は今の段階では推定できておらず、今後の詳細な調査が必要である。

(3) 被圧地下水の水位

被圧地下水の観測地点は少ないため、ここでは香川県内の観測している4地点の特徴を述べる。図-10に桜町中学校 (図-2の地点C), 鶴尾小学校 (地点H), 一宮中学校 (地点J), 木太小学校 (地点I) における1994年4月から2001年3月までの水位変動を示す。この図より、次のことを指摘することができる。

- ① 4学校の水位は漸増あるいは微増の傾向がある。
- ② 鶴尾小学校と一宮中学校とは同時期に水位が大きく上昇している。

ちなみに、1980年4月初めの水位は、桜町中学校で-30.4m、鶴尾小学校で-48.5m、一宮小学校で-41.4m、木

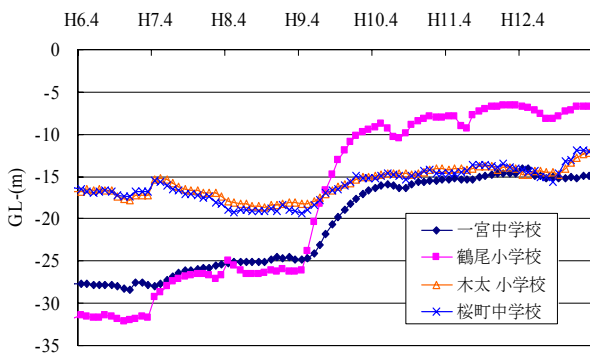


図-10 被圧地下水の水位の経年変化

太小学校で-28.3mと低い水位を示していた。したがって、地下水位は今も回復途上にあると考えられる。水位上昇の原因としては、揚水の規制、多量の揚水を行う企業の移転（鶴尾小学校と一宮中学校の付近）が考えられる。揚水の規制や水源の振替を可能にした背景には香川用水による吉野川からの大規模導水があると推測される。

(4) 被圧地下水の水質

図-11は長い期間の分析結果が得られている地点B（高松市業務中心地）での水質項目の中からpH、鉄分（懸濁態、溶存態の両者を含む）、塩素イオン、蒸発残留物を選び、それらの濃度の経年変化を表したものである。これらより次のことがわかる。

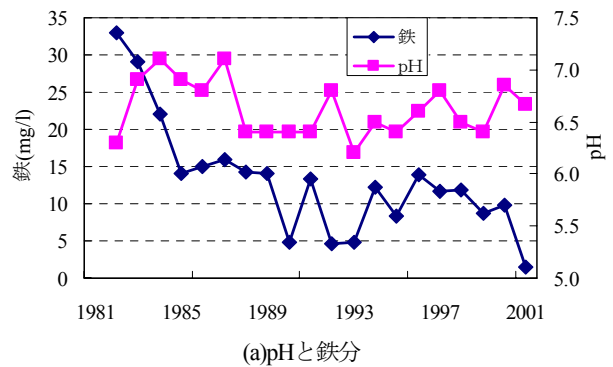
- ① pHは大きな増減を示してはいない。
- ② 鉄分、塩素イオン、蒸発残留物は1980年代に大幅に低減した。鉄分、蒸発残留物は現在に至るまで減少の傾向を示している。塩素イオンは最近やや増加する気配がある。

なお、この地点での地下水位は、平成13年3月時点で、地表面から13m程度下方にまで回復している。水質の改善と水位上昇の間には密接な関係があると推定されるが、それは未解明である。

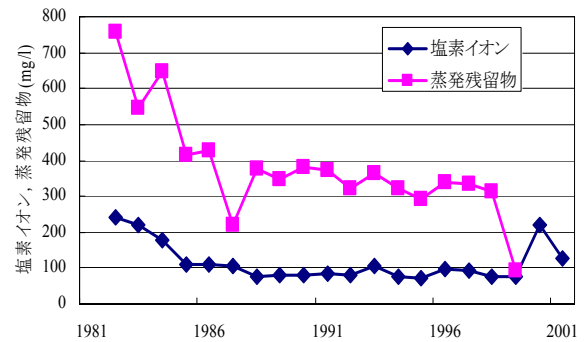
平成13年6月の測定結果を、水道水基準と照らし合わせてみると、地点B、地点C、地点Eでは、鉄の水道水基準 (0.3mg/l) とマンガンの基準 (0.05mg/l) のどちらも満たしていない。

4. データベースの整備

地下水の観測結果とともに高松地域の水循環系に関連するデータを収集し、GISソフトウェア（ArcView）上でデータベース化を進めた。国土数値情報（土地利用）、数値地図（標高）、AMeDASおよび県土木事務所の観測結果（降水量、日射、風向風速）、ため池の基本緒元、香川用水の導水量などのデータは収集済みである。現在、高松地域における多数のボーリングデータのデジタル化とそれに基づく水理地質データの作成を進めている。



(a)pHと鉄分



(b)塩素イオンと蒸発残留物

図-11 被圧地下水の水質の経年変化（地点B）

5. まとめ

高松地域の井戸を用いて不圧地下水と被圧地下水の水位と水質の現況を調査し、データベース化を図るとともに、地下水の特徴を整理した。今後、地下水のみならず、水循環系の解析に必要な河川流量、人工系の給排水、ため池の管理方法等のデータを収集する予定である。また、解析モデルに基づく水循環系の実態の把握と地下水の利用可能性の検討を進める予定である。

謝辞：本研究の実施に際して、（財）香川県科学技術振興財団の産学官共同研究開発事業（代表者：吉野文雄）および科学研究費補助金基盤研究(C)(2)（代表者：河原能久）の援助を受けた。ここに記して謝意を表します。データを提供いただいた国土交通省香川工事事務所と香川県企画部水資源対策課、ならびに調査に協力いただいた安全システム建設工学科の学生諸君に感謝します。

参考文献

- 1) 東京教育大学地理学教室：高松平野および綾川流域における水の賦存量に関する地理学的研究，p.229，1965。
- 2) 香川県：地下水利用等基礎調査報告書（昭和54年度国土庁委託），p.108，1970。
- 3) 新見 治：泉と地下水，地学雑誌，Vol. 98，No.2，pp. 111-127，1989。
- 4) 農業用地下水研究グループ：日本の地下水，p. 653，1984。
(2001. 10. 1受付)