

〔農工研技報 207〕  
〔35～52, 2008〕

## 井戸調査と地質資料からみた恋瀬川流域の水理地質と地下水環境

久保田富次郎\*・三浦理司\*\*・高木強治\*・松森堅治\*\*\*

目 次	
I 緒言	35
II 調査研究方法	35
1 流域の概要	35
2 地質と地質層序	36
3 地質調査	38
4 井戸調査と水質分析	39
III 結果と考察	39
1 水理地質と地下水	39
2 地下水の水環境	44
IV 結言	48
参考文献	49
Summary	50
Appendix	51

### I 緒 言

河川流量の安定化や水環境、生態系の適切な管理を主体とする自然共生型流域圏管理技術の確立が課題になっている。その中で、流域の水環境に着目すると、主に施肥や家畜排せつ物を起源とする農耕地の面源汚染問題が顕在化しつつあるが、排出者やその寄与割合の特定が困難であることなどの理由から対策が遅れてきた。しかし、環境基準の整備や家畜排せつ物法、持続農業法の制定に伴い、農村地域では素掘貯留の廃止や減肥料・減農薬など待ったなしの対策が求められている。また、2005年3月に閣議決定された新食料・農業・農村基本計画では、従来の法的規制に加えて経済的手法の導入が検討されるなど農業環境対策の本格的導入が進められる中で、今後これらの環境対策の効果発現に関する事前検討や検証作業が求められることになろう。

そのため、筆者らは農村地域を主体とした流域の水・物質循環を把握し、水資源とともに水環境における流域管理技術の高度化を進めるため農林業環境対策シミュレータの構築に取り組んでいる。このシミュレータを実行するためには、土地利用や地形、河川水文・水質の他、さまざまな入力情報や検証データを必要とする。定期モニタリングの実施やデータベースの整備が進み、比較的情報を得やすい地表水の水量・水質と比較して、地下水に関する情報は、地下水の分布や水質のみならず流

動の場である水理地質に関する情報を含めて不明な点が多い。

そこで、本研究では、茨城県恋瀬川流域を対象として、流域水・物質循環において重要な役割を果たしている地下水の分布と特性を流域規模で明らかにすることにより、農林業環境対策シミュレータの適用・検証に必要な三次元水理地質構造モデル構築のための種々の基礎情報を提供することを目的とする。そのため、既往の文献や資料の整理と現地調査により、流域規模の水理地質構造を整理する。次に、対象地に点在する井戸の多点調査から地下水賦存状況を調べ、水理地質に照らして地下水の分布を推定する。さらに、井戸水の水質を調べることにより、地下水環境の空間分布の把握を試み、水理地質特性と合わせて考察する。

なお、本研究の実施に際して農林水産省からの受託研究「流域圏における水循環・農林水産生態系の自然共生型管理技術の開発」(平成14～18)および科研費(19580288)の補助を受けた。また、現地調査にあたっては、土浦市、かすみがうら市、石岡市の行政当局と対象井戸を所有する地域住民の方々の協力を得た。さらに、地質資料の収集にあたって、上記の自治体に加えて(財)茨城県建設技術管理センター他の協力を得た。ここに記して謝意を表する。

### II 調査研究方法

#### 1 流域の概要

恋瀬川は、茨城県笠間市と石岡市の境に位置する吾国山に起源を持ち、石岡市高浜で霞ヶ浦に注ぐ、流域面積213km<sup>2</sup>、主流路長28kmの一級河川である(Fig.1)。源流部を形成する八溝山地の南端にあたる筑波山塊は、標高約150～800m程度である。これら山地に囲まれた標高

\*農村環境部水環境保全研究室

\*\* (株) 明治コンサルタント

\*\*\* 農村環境部環境評価研究室

平成20年1月16日受理

キーワード：水理地質、流域水・物質循環、地下水、硝酸性窒素、水質

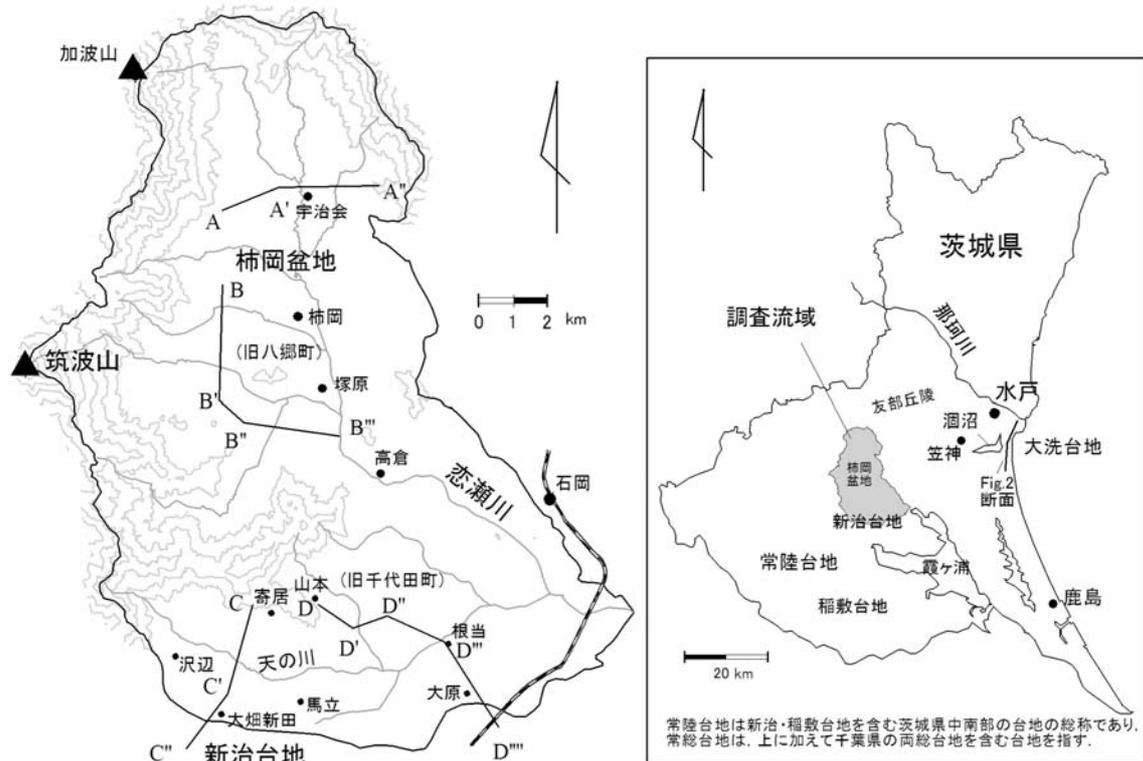


Fig.1 流域と断面位置  
Basin map and the location of cross section

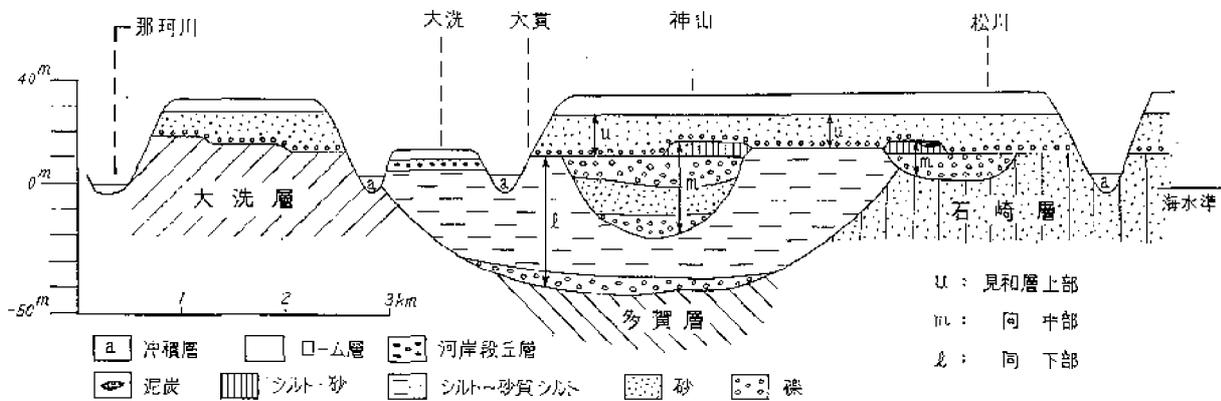


Fig.2 大洗台地の見和層概念図 (坂本, 1972)  
The concept chart of Miwa layer on Oarai plateau (Sakamoto, 1972)

30～60mの柿岡盆地と南方に接する標高30m前後の新治台地が流域の中核を形成する。旧八郷町や石岡市の市街部を含めて多くの集落が台地や段丘上に立地するとともに、畑・果樹園が広がる。また、恋瀬川とその支流の天の川の沿岸に沖積低地が発達し、主に水田として利用される。

流域における1970年代後半から1980年代前半の土地利用 (Takeuchi et al. (2005)) は、隣接する山王川流域を含めた範囲 (流域面積: 237 km<sup>2</sup>) で、森林42.8%, 水田20.1%, 畑・果樹園23.7%, 市街地8.8%, その他4.6%である。1960年代から1980年代にかけて、流域土地利用は、

都市部と果樹園が増加し、畑地と樹林地が増減するという変化が見られた (D. Spragueら, 2006)。

## 2 地質と地質層序

恋瀬川流域を構成する地質概要は次の通りである (Table 1)。

まず、流域の周辺部に位置する筑波山・加波山などの山塊は、筑波変成岩類及び筑波花崗岩類から成り、先第四系基盤を構成する。

流域の中核をなす丘陵・台地面は、主に第四紀最終間氷期の海進に伴って堆積した浅海成層で構成する一連の

Table 1 地質層序 Stratigraphy

時代	地層名		地形面	岩質・土質	年代(ka)	
	柿岡盆地	新治台地				
完新世	沖積層(a)		沖積面	礫・砂・シルト	18-	
更新世	後期	崖錐性堆積物(Dt)		礫混り砂・シルト		
		ローム層(Lm)		風化火山灰土		
		段丘堆積物(Tm)		低位段丘面	砂礫・礫混り砂・砂	
		中位Ⅲ段丘堆積物	常総層(Jo)	中位Ⅲ段丘面 中位Ⅱ段丘面	砂礫層・砂層・砂質シルト層	100- 80
	中位Ⅰ段丘堆積物	見和層(Mi)	中位Ⅰ段丘面 高位段丘面	砂層・円礫層	115 130	
	中期		笠神層(Ks)		細粒砂層・礫層	220
		友部層(To)	石崎層(Is)		砂層・砂礫層・シルト層	300
前期						
先第四紀	深成岩類(筑波花崗岩)		筑波山塊	花崗閃緑岩・閃緑岩・トータル岩	60000	
	筑波変成岩類		筑波山塊	粘板岩・片岩・片麻岩		

坂本ら(1981), 坂本(1986), 菊地(1986), 吉岡(1996), 横山(2004)を参考に作成

隆起海岸平野として形成されたものである。これらは柿岡盆地の友部層(坂本ら, 1979, 坂本, 1986), 常陸台地の石崎層(斉藤, 1959), 笠神層(坂本ら, 1981), 見和層(斉藤, 1959)を含む浅海成層の上位には非海成の常総層(小玉他, 1981)と風化火山灰層(ローム層)が広く発達し, 台地の表層を覆っている。一方, 恋瀬川沿いには段丘堆積物, 山塊縁辺部には崖錐性堆積物がみられ, 低地には沖積層が分布する。

次に, 既往の文献に基づいて地質各節に触れ地質層序を整理する。これは流域規模で水理地質を検討するにあたって各地質層位の成立環境を提示することが不可欠であるからである。

**基盤岩** 先に述べたように基盤岩は変成岩類と深成岩類から構成される。

筑波変成岩類・吾国山変成岩類は西南日本内帯に分布する領家変成岩類の東方延長と考えられており, 中生代に活動, 形成された高温低圧型の変成岩類である。構成する岩層は泥岩, 砂岩を原岩とし, 粘板岩, 片岩, 片麻岩の産状を示す(宮崎ら, 1996)。一方, 深成岩類には産状から斑れい岩である筑波岩体と筑波花崗岩と呼ばれる花崗閃緑岩, 閃緑岩, トータル岩がある。筑波花崗岩の主岩相は花崗閃緑岩である。K-Ar年代値は斑れい岩で75Ma, 花崗岩類では53~63Maである(宮崎ら, 1996)。

**中期更新世~後期更新世前期** 中期更新世より後期更新世前期の堆積層は, 地球の寒暖の変化に伴って繰り返す堆積と侵食の過程で形成したもので, 後述の常総層を除くと下総層群として一括される。

これらの堆積層はそれぞれが1あるいは2つの堆積サイ

クルから成るとされており, 1堆積サイクルは一つの海進期による堆積に対応する。1堆積サイクル内では, 不整合面を基底として下位より上位に向かって, ①砂礫層, ②泥層または砂泥互層, ③貝化石を含む厚い淘汰のよい砂層, ④粘土・シルト層(泥炭を伴うこともある)というような堆積層を示すことが多い(菊地, 1980)。

**柿岡盆地** 柿岡盆地では砂泥互層を主とし最深部が海面下60m, 上限が海拔約70mに分布する未固結堆積物が広く存在する。この古期更新統は, 泥層から砂層への変化が少なくとも2回あり, そのうち最上位の砂層は友部層に連続するとされる(坂本, 1986)。

友部層は砂層及びシルト層で構成され, 堆積構造は水平で先第四紀基盤の凹凸を埋積するように分布する。層相は下部がやや不淘汰な砂層からシルト層, 中部は中粒~粗粒砂層, 上部は細粒砂層及び淘汰の悪いシルト質砂層からなる。柿岡盆地での層厚は約40mとされているが, 100m以上となる可能性も示唆されている(宮崎ら, 1996)。柿岡盆地の友部層上には広く段丘堆積物が堆積しているが, これは後述する新治台地における常総層に対応するものである。

また友部層の堆積時期について, 菊地(1986)は常総台地の石崎層と対比するとともに, 宮崎ら(1996)は30~40万年前より古いとし下総層群地蔵堂層と対比されたとした。さらに, 横山(2004)はテフラ分析からMIS7.4\*より古い海成層であることから石崎層に対比される可能性を指摘しており, いずれにせよ更新世中期の堆積層と考えられている。

一方, 柿岡盆地の友部層は内湾的環境で堆積した(吉

\*注) MIS (Marine Isotope Stage: 海洋酸素同位体ステージ): 地球史における寒暖の時期を海底堆積物中の酸素同位体比の変動に基づいて整理した数字である。偶数は水期を奇数は間氷期を表す。

岡, 1996) のに対して, 石崎層は外洋的な堆積環境にあった(横山, 2004)という違いがあることから, 友部層は後述の石崎層と同時異相の関係にあると考えられる。

**新治台地** 新治台地は, 茨城県南部を占める常陸台地の一部で, その骨格は今から12~13万年前頃に最盛期をもつ下末吉海進期までに形成された。

近年, 横山(2004)は茨城県南東部において下総層群を6層の堆積サイクルに整理できるとした。これによると, 新治台地では鹿島地域での局所的な存在が指摘されている志崎層を除き, 下位より石崎層, 笠神層, 見和層サイクル1, 見和層サイクル2, 常総層である。

石崎層(斉藤, 1959)はその後の研究において扱いがさまざまであったが, ここでは坂本(1986)に従い見和層及び笠神層の下位の第四系を一括して石崎層とする。これは上位と不整合で連なる浅海成の砂層であり, 砂礫層やシルト薄層をしばしばはさむ。堆積構造は水平で厚さは30m以上(坂本, 1986)である。中期更新世の400ka~(菊地, 1986), またはMIS9(約300ka)(横山, 2004)に堆積したとされる。また, 坂本(1986)は恋瀬川沿岸の石崎層は岩相的に笠神層に似ていることから石崎層とは区別される可能性を指摘している。

笠神層(坂本ら, 1981)は潤沼川北岸の笠神を模式地として命名された層位であり, 横山(2004)によるとMIS7.4に下刻された浅い谷にMIS7.3(約220ka)に成立した開析谷埋積システムによる浅海成堆積物層であるとされる。層相は細粒砂層を主体とし, 基底部に泥炭層や厚さ10~50cm程度の基底礫層を伴うことがある。基底礫層が欠如するところでは, 石崎層との境界は明瞭ではない。堆積構造は水平で層厚は10m程度, 見和層とはほぼ水平な不整合面で切られている。細粒砂層の多くは塊状であるが, 弱い平行葉理や斜交葉理が見られることもある。また, 石崎層と笠神層は見和層と類似した層相を示すが, 見和層に比べ固結度が高い。

一方, 山元(2007)は飯土真岡テフラの研究から笠神層(坂本, 1981)と見和層下部・中部(坂本, 1972)が異なる埋没谷に堆積した同時異相である可能性が大きいと述べている。

見和層(斉藤, 1959)は水戸市西部の見和町を模式地として命名された浅海成砂層で上位の常総層とは整合で覆われる。堆積構造は水平, 層厚は石岡周辺で10~15mとされる。上部では地域的に層相の変化があり, 千代田町高倉付近に分布する見和層は厚さ5mの淘汰のよい円礫層からなる。

坂本(1972)は那珂川以南の台地では層序的に下部・中部・上部と3分されるとした(Fig.2)。下部層は見和層基底に認められる幾筋かの細長い凹地を埋積した地層, 中部は水戸市街から大洗南方にかけて分布する河成礫層を主体とする地層, 上部は見和層の主体をなす浅海成の砂層を主とする地層であって, 茨城県中部地域の広大な台地の主部を構成する(坂本, 1986)。近年, 横山

(2004)は見和層を見和層サイクル1(以下, 見和層1)と見和層サイクル2(見和層2)に整理した。

横山(2004)の分類において, 見和層1は笠神層以下の層を凹地状に侵食する不整合を覆う砂礫層, シルト層~砂泥互層から成る下部と全域を広く分布する細~粗粒砂層からなる上部に整理している。堆積時期はMIS5e5(約130ka)に始まり海進が進むにつれて堆積環境が当初の河川環境から外洋環境に変化したものとされる。見和層2は中~細粒砂層および砂泥互層, シルト層で構成される。テフラと堆積層の対比から稲敷台地における木下層とほぼ対比される。MIS5e3(約115ka)に内湾の静穏なラグーン環境で堆積したものと考えられており, 本地域の下末吉相当層を形成する。

常総層(小玉ら, 1981)は下位層および上位層と整合的に連続し, 台地部で3~7m程度, 山麓付近で1mの層厚を有する。層相は円礫を主体とする砂礫層及び砂層を主とする陸水成の堆積物であり, 旧河道堆積物である粗粒相(竜ヶ崎砂層を含む)とその外側に広がる後背湿地の泥質相(常総粘土)とからなる(坂本, 1986)。茨城粘土層(坂本, 1972)または常総粘土層と呼ばれる不淘汰砂質シルト層が分布する。常総層の形成年代は, 約13~6万年前までの最終氷期前半(坂本, 1986), あるいはMIS5c~5a(約100-80ka)(横山, 2004)である。

**段丘堆積物~ローム~沖積層** 常総層よりも新しい堆積物は, ローム層, 低位段丘堆積物, 崖錐性堆積物, 沖積層(河床堆積物)である。

ローム層は, 本地域全体を一様に覆う風化火山灰層で層厚は1~3mとされる。本地域に分布する段丘堆積物は大きく高位段丘堆積物, 中位段丘堆積物, 低位段丘堆積物の3段が確認されている。高位段丘堆積物は, 標高80~100mの尾根部に分布し, 花崗岩や変成岩の角礫と砂で構成される。一方, 中位段丘堆積物は2段に細分され, 下位の中位Ⅱ段丘堆積物(tm2)は旧八郷町塚原付近で友部層上位に約2.5mの礫混粗粒砂として分布する。常総層に相当する中位Ⅲ段丘堆積物(tm3)は柿岡盆地と新治台地に広く分布し, 標高30~40mの平坦面を形成して分布している。層相は礫混粗粒砂及び砂質シルト層からなり層厚は1~2mである。また, 低位段丘堆積物は現河床との比高は3m以下で, 礫・砂・泥で構成される。

崖錐性堆積物(山麓緩斜面堆積物)は山麓に分布する斜面崩壊堆積物であり山地を形成する筑波変成岩類または深成岩類の崩壊物で構成される。また, 沖積層は河成の埋谷性堆積物で砂礫層, 後背湿地のシルト・粘土層からなる。沖積層の厚さは10m~30mである。

### 3 地質調査

流域の地質構造を推定・整理するため, 既往の文献・資料(例えば, 茨城県建設技術管理センター, 2006)を収集・整理するとともに, 対象地域の15箇所を補足的に

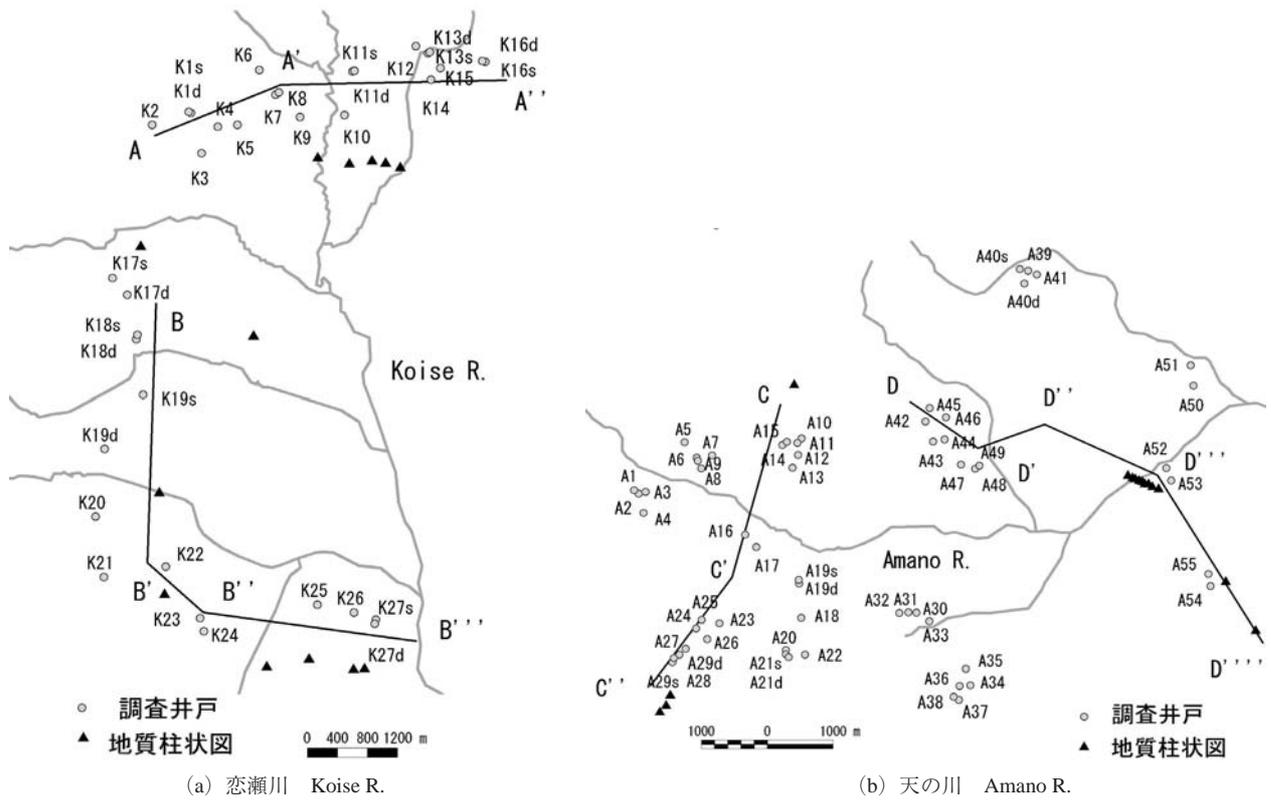


Fig.3 調査井戸と地質柱状図の分布  
Distribution of studied wells and geologic columns

地質露頭の観察を行った (Appendix参照)。これにより恋瀬川上・中流部 (柿岡盆地) と天の川流域 (新治台地) において各2断面、合計4断面 (Fig.1, Fig.3) の地質断面を推定した。

#### 4 井戸調査と水質分析

2で調べた推定断面の測線近傍の集落において、井戸の諸元 (井戸深度・揚水量等) を調査し、井戸構造から調査地全体の地下水位や帯水層の分布状況を想定した。調査井戸は、恋瀬川上・中流部で11集落35井戸、天の川で15集落59井戸とした (Fig.3)。調査時期は、2006年10月下旬~11月上旬である。

調査にあたっては、井戸の設置状況や利用状況の詳細な把握を行うため、個別に聞き取り調査と調査員による目視確認、実測調査を行った。調査ではあらかじめ台帳を作成し、Table.2の項目について聞き漏らしのないように努めた。各井戸の標高は、都市計画図 (S=1:2,500) から読み取り記入した。この結果と前節で得られた地質情報を合わせてA~Dの各断面に投影することにより推定水利地質断面を作成した。

また、2007年1月15~24日に、調査井戸のうち、再訪し水質調査が可能であった49井戸において、現場観測機器による水質測定を行った。さらに、2007年1月24~25日に、そのうち45井戸においてボトルで井水を持ち帰り実験室で無機イオンの分析を行った (Table 3)。

### III 結果と考察

#### 1 水利地質と地下水

Fig.3に地質断面位置と断面作成に利用した地質柱状図および調査井戸の分布を示し、Fig.4に調査井戸の深度別空間分布を示す。また、Figs. 5~6に本調査研究で作成した推定水利地質断面図を示す。

井戸調査では調査を行った94本の井戸 (Fig.3) のう

Table 2 調査項目 Investigated items

調査項目	詳細項目
井戸属性	所在地・所有者
水源種類	湧泉、縦井戸・横井戸 他
水源形式	電動ポンプ (水中・地上)、手動ポンプ、ポンプ規格 (容量・揚程)
利用状況	利用戸数・利用人数・利用目的・水量の充足 湯水の状況・上水道の有無・他の利用水
測定諸元	地盤標高、井戸径、井戸杵高、水位 井戸深度、水面標高、水位測定の可否
その他	備考、見取り図

Table 3 水質分析項目 Water analysis items

調査項目	詳細項目
現地測定	水温、pH、電気伝導度、ORP、DO
室内分析	F <sup>-</sup> 、Cl <sup>-</sup> 、NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 、NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> 、Br <sup>-</sup> 、PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> 、SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、 Na <sup>+</sup> 、NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 、K <sup>+</sup> 、Mg <sup>2+</sup> 、Ca <sup>2+</sup> (以上イオンクロマトグラフ) HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (pH4.3アルカリ度から計算)

ち深さが測定可能であったかまたは聞き取りにより判明したものが90本、地下水位の計測ができたものは81本であり、調査井戸のうち井戸深さが10m以下の浅井戸は62本(70%)、40mを超える深井戸は14本(16%)であった(Fig.4)。

なお、ボーリング井(深井戸)のストレーナー位置の聞き取りは行っていないので地下水採取層は井戸の掘削深さから判断した。いくつかの事例から対象地区の深井戸の多くは複数のストレーナーを持っている可能性があるため、実際上深井戸の水位や水質は複数の帯水層の影響を受けている場合も含まれると考えられる。

恋瀬川上・中流域(柿岡盆地)の水理地質 はじめに柿岡盆地北部に位置し東西に横断するA測線の水理地質断面図(Fig.5)を見る。柿岡盆地下部には友部層( $T_0$ )が厚く分布し、上位に段丘堆積物(中位段丘Ⅲ堆積物( $T_{m3}$ ))や崖錐性堆積物( $Dt$ )が被覆し、最上位がローム層で覆われている。

測線に投影した既存ボーリングデータから判断すると、A断面中の友部層中はシルト層が厚く砂層と互層状に分布している。当地区の第四系堆積物は水平構造であることから、ボーリングデータから水平に連続させて表現しているが、ボーリング資料がない地域の地層の連続性については不明である。

A測線中で確認される地下水は中位Ⅲ段丘堆積物( $T_{m3}$ )や崖錐性堆積物を帯水層とするものと友部層中においてシルト層に挟まれる砂層を帯水層とする2種類の地下水が存在し、このうち前者は不圧地下水である。

一方、友部層中の地下水は段丘堆積物等の被覆層がない領域では緩い動水勾配をもつ不圧地下水となって地下水が賦存し、被覆層がある領域は被圧地下水として存在すると考えられる。被圧地下水は深井戸の地下水位から判断したが、複数の砂層とシルト層が互層状に分布し、このうちシルト層が加圧層となっていると考えられるが詳細は不明である。また、シルト層の連続性にもよるが友部層中の砂層の透水性から考えて、基本的には先第四系基盤まで飽和していると考えられ、浅部では各河川へ湧出する流動と深部では水理基盤の形状とそれに伴う広域の地下水ポテンシャル分布により基本的に南側へ、もしくは東部台地における流域境界近辺では東側に向かう流動があることが想定される。

柿岡盆地西部を南北に横断するB測線(Fig.5下)においても、A測線と同様に柿岡盆地下部は友部層( $T_0$ )が厚く分布し、上位には段丘堆積物や崖錐性堆積物( $Dt$ )が被覆し、最上位がローム層で覆われている。

測線に投影した既存地質柱状図には深いものはないが、資料から判断するとB断面中の友部層上部にシルト層が厚く砂層と互層状に分布している。これも得られた地質柱状図から水平に連続的に延長して表現したが、柱状図がない範囲における地層の連続性は不明である。

B測線で確認される地下水はA測線と同様に中位Ⅲ段

丘堆積物( $T_{m3}$ )中及び友部層の砂層を帯水層とする地下水と友部層の低位砂層を帯水層とする2種類の地下水が存在すると考えられる。このうち、段丘堆積物中の地下水は不圧地下水として、また、被覆層がない友部層中には緩い動水勾配をもつ不圧地下水が賦存しているものと考えられる。

友部層中の地下水賦存状況はA測線とほぼ同様であると考えられる。従って基本的に先第四系基盤まで飽和していると考えられ、浅部では各河川へ湧出する流動と深部では広域の地下水ポテンシャル分布に従い南側へ向かう流動が卓越するものと考えられる。

友部層の水理地質定数は柿岡盆地における4本の深井戸の検討(関東農政局, 1983)から比湧出量が $100\text{m}^3 \cdot \text{day}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 以下、透水係数は $3 \times 10^{-4} \sim 4 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ の範囲にあり後述の新治台地の下総層群と比べると帯水層としてはやや劣る(Table 4)。関東農政局(2001)によると、柿岡盆地と概ね重なる旧八郷町の農業用水への地下水利用は、受益面積ベースで約9割が深井戸(主に30~40m)、本数ベースでは浅井戸が73本、深井戸164本であり、同地域では深井戸利用が卓越している。なお、深井戸の深度は主に30~40mで15本の深井戸(関東農政局, 1983)のストレーナーの深度幅は標高で-50~50mである。

天の川流域(新治台地北部) 新治台地西部を南北に横断するC測線(Fig.6)を見ると新治台地下部は石崎層( $I_s$ )、笠神層( $K_s$ )、見和層( $M_i$ )の砂層が厚く分布し、上位に常総層( $J_o$ )や崖錐性堆積物( $Dt$ )が被覆、さらに最上位にローム層が存在することがわかる。既存ボーリングデータには限りがあるため下総層群の水平な堆積性を考慮した地質断面とした。

C測線の地下水を大別すると、常総層( $J_o$ )を帯水層とするものと石崎層( $I_s$ )、笠神層( $K_s$ )、見和層( $M_i$ )中の各砂層を帯水層として存在する地下水の2種類に分けられる。前者は不圧地下水あるいは宙水として存在するのに対して、後者の下総層群の中~下層中に胚胎する地下水は概ね被圧地下水と考えられる。図中(Fig.6)には上位の一部を除いて描いていないが、各堆積サイクルの間には礫混粘土やシルト、あるいは粘土層といった難透水層を挟んでいると考えるのが自然であり、それらに挟まれる砂層に被圧地下水が存在している。

台地開析面末端の谷津田との接点に位置する小山崎地区の2本の井戸( $A21s$ ,  $A21d$ )は、ほぼ隣接して設置されているが、前者は常総層を採取層とし水頭が標高24.6mであるのに対して、後者は石崎層を採取とし水頭は標高15.2mと約10mの水頭差が認められ、帯水層の異なる地下水の存在が容易に確認される。

常総層を取水層とする井戸水位を地区毎で比較すると天の川上流部の沢辺地区(4点)では1.3~1.7mと比較的浅いが、中流域の大畑新田(4点)、寄居地区(4点)、馬立(3点)でそれぞれ2.4~3.6m, 4.6~7.5m, 4.4~5.0m

とやや深くなる。これは上に載るローム層等の層厚の違いを反映しているものと考えられる。

またC測線では、見和層を採取層とする井戸はA19s, A29s, 石崎層を採取層とする井戸にはA21d, A22, A29d, A30, A35がある。新治台地では主に石崎層から農業用水の取水がなされているため（関東農政局, 1992）、地下水はその揚水利用に伴い複雑な流動を生じていることが推察される。

次に新治台地中央部を南北に横断するD測線（Fig.6下）では、C測線と類似し下部は石崎層（Is）、笠神層（Ks）、見和層（Mi）の砂層が厚く分布し、上位は常総層や崖錐性堆積物（Dt）に被覆され最上位はローム層で覆われている。本断面では見和層と笠神層の境界は明瞭でなかったのでそれらを一括して図示した。

D測線における不圧地下水には筑波山塊側に堆積する崖錐性堆積物（Dt）中の自由地下水と常総層の一部を難透水層とする宙水的に存在する不圧地下水がある。下総層群の中～下層に胚胎する被圧地下水は筑波山塊の近傍で基盤に沿った地下水涵養が生じているが、全般には台地上から浸透した水が砂層や砂礫層を通じ浸透し、地質構造に従って次第に深部に達するものと考えられる。

かすみがうら市山本地区では崖錐性堆積物中の浅層地下水利用（A42, A43, A46）とボーリングによる下総層群中位以深の地下水利用（A44, A45）が見られる。

根当地区の天の川沖積地と台地との境界部の深井戸（A52, 井戸深さ：40m）では降雨の後に水頭が上昇し自噴する。ストレーナー位置は分からないので帯水層毎の性質は分からないが少なくとも地下水全体として台地から沖積低地に向けた流線を形成していると考えられる。

台地上の大原地区ではA54が浅井戸、A55が深井戸であり取水層位は前者が見和層、後者は見和層・笠神層あるいは石崎層であり水頭差は約8mである。

C, D測線における地下水分布の検討からみた天の川流域における不圧地下水は、筑波山塊近傍で崖錐性堆積物中、台地上で常総層の一部に存在し、第2地下水以下は見和層・笠神層・石崎層中の砂層を中心に賦存する。先第四系基盤まで飽和しているものと考えられ、地下水は浅部で各河川へ湧出する流れと深部では天の川の流動方向に沿って東側へ向かう流動があると考えられる。

常総層中に宙水的に存在する不圧地下水の利用は、例えば今回の調査対象井戸59本のうち最大28本を占めるなど手軽な水源として開発が進む一方で、見和層以深の下総層群も良好な帯水層を形成している。常総層中の難透水層を形成する常総粘土層の水利地質定数をみると、つくば市における不攪乱コア試料の採取・分析から安原ら（1990）は $10^{-7}$ cm/sオーダーの値を得ている。一方、佐藤ら（2002）は地下水汚染調査に関連して13本の常総粘土層内の観測井における地下水位の連続性や揚水後の地下水位の回復性から常総粘土層中での地下水流動を示唆する結果を得ており、その透水性の一因としてボーリングコアで確認された植物根による小孔によるものとした。

旧千代田村の深井戸（14本）の調査データ（関東農政局, 1983）をみると取水層を示すストレーナー深度の幅はおおよそ標高-10~-170mである。これらの深井戸で得られた水利地質定数をみると、石崎層では比湧出量が $100\sim 400\text{m}^3 \cdot \text{day}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 、透水係数は $1 \times 10^{-3} \sim 2 \times 10^{-2}$ cm/sの範囲にあり前述の友部層と比べると帯水層として優れている（Table 4）。

Table 4 流域の水利地質定数 Hydrogeological features in the basin

層位	場所	透水係数 (cm/s)	貯留係数	比湧出量 ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ )	出典	備考
友部層	八郷町1	$2.9 \times 10^{-4}$	$2.7 \times 10^{-1}$		関東農政局 (1983)	ハンタツシュ・ヤコブ法またはヤコブ法、もしくはその平均
	八郷町2	$1.1 \times 10^{-3}$	3.3			
	八郷町3	$3.8 \times 10^{-3}$	$5.8 \times 10^{-3}$	49.7		
	八郷町4	$8.6 \times 10^{-4}$	2.5	32.71		
石崎層	千代田町1	$1.4 \times 10^{-3}$	$9.2 \times 10^{-1}$		安原ら (1990)	つくば市東および吉瀬・100cc不攪乱コアサンプルによる評価
	千代田町2	$1.2 \times 10^{-2}$	$1.1 \times 10^{-3}$			
	千代田町3	$1.8 \times 10^{-2}$	$1.9 \times 10^{-1}$			
	千代田町4	$8.1 \times 10^{-3}$	$1.4 \times 10^{-4}$			
常総層	対象層	透水係数 (cm/s)	間隙率	有効間隙率	安原ら (1990)	つくば市東および吉瀬・100cc不攪乱コアサンプルによる評価
	常総粘土層	$3.8\text{-}4.5 \times 10^{-7}$	0.60-0.77	0.03		
	砂層	$1.9\text{-}4.0 \times 10^{-3}$	0.45-0.50	0.30		
(木下層)	砂層(粗砂)	$10^2$ オーダー	0.39		安原ら (1990)	つくば市東および吉瀬・100cc不攪乱コアサンプルによる評価
ローム層	関東ローム (1.6m以浅)	$10^3$ オーダー		大間隙・0.1		
	関東ローム (2.6m)	$3.7 \times 10^{-5}$		0.1程度		

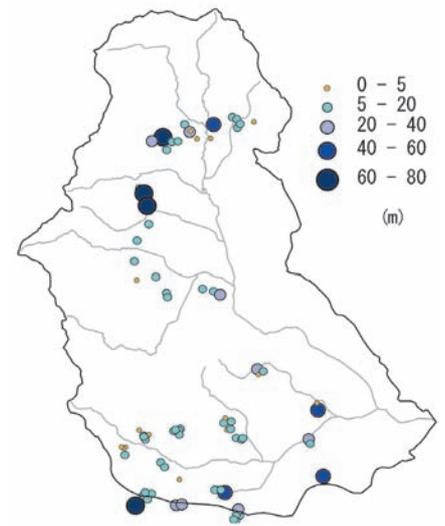


Fig.4 調査対象井戸の深さ  
Depth of studied wells

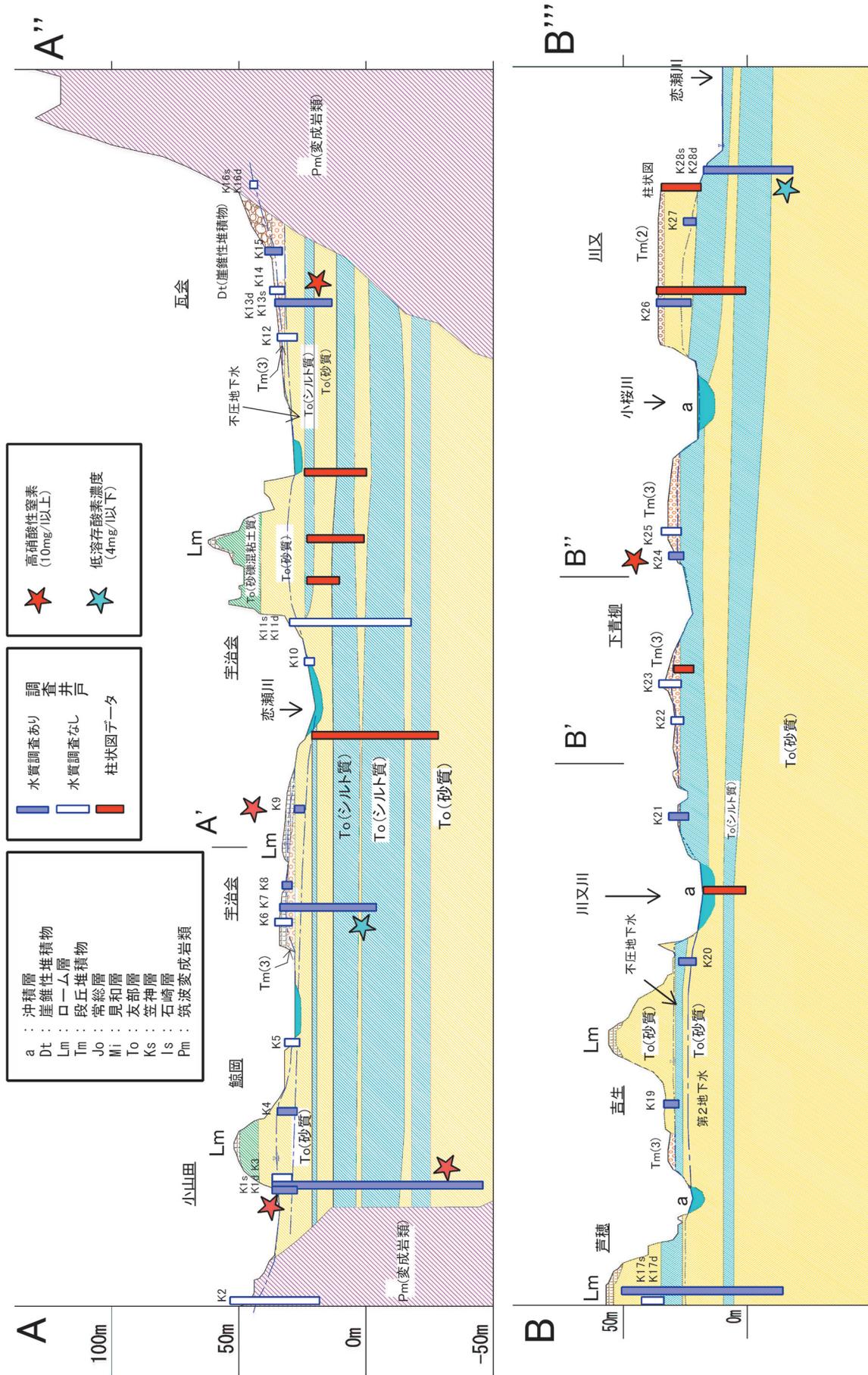


Fig.5 柿岡盆地の水利地質と地下水環境  
Hydrogeological profile and water environment of the Kakioka basin

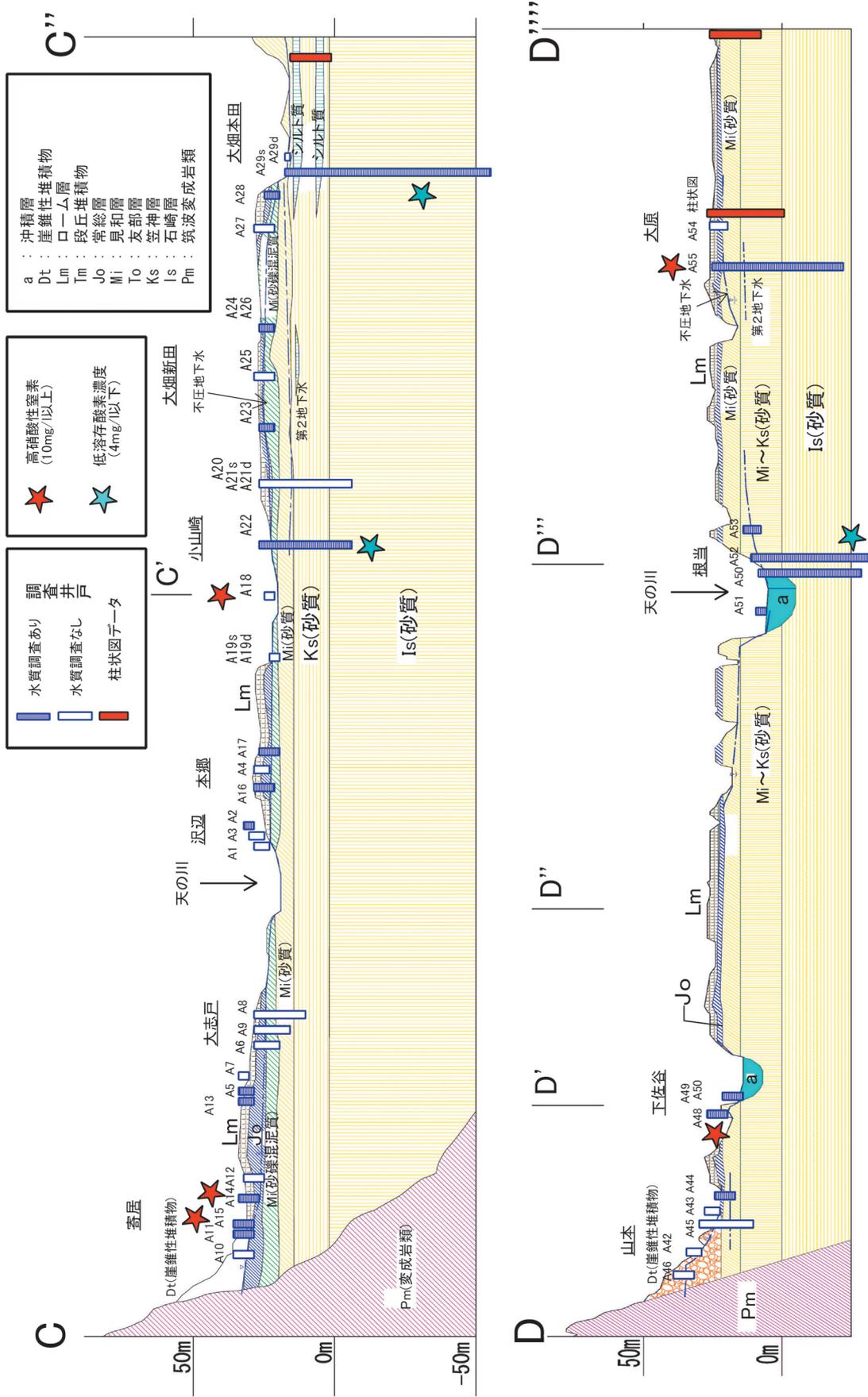


Fig.6 新治台地北部の水理地質と地下水環境

Hydrogeological profile and water environment of the northern part of Niihari plateau

2 地下水の水環境  
 水質調査を行った49井戸の諸元の一部と水質分析結果をTable 5に示す。

水質調査を実施した49井戸のうち、井戸深度を基準としておおよそ帯水層の層位を推定できたものはTable 5の地層欄に記載した39井戸であった。なお、ここでの地

Table 5 既存井戸の諸元と水質\*

Parameter of existing wells and water quality of collected samples

No.	標高 GL m	井戸 深度 m	**	地層	水温 °C	pH	EC mS/m	ORP mV	DO mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	F <sup>-</sup> mg/l	Br <sup>-</sup> mg/l	Na <sup>+</sup> mg/l	K <sup>+</sup> mg/l	Mg <sup>2+</sup> mg/l	Ca <sup>2+</sup> mg/l
			水位 GL- m																			
Koise R.																						
K1d	36.0	80.0	-0.1	To(d)	11.8	6.4	57	262	5.9	153.5	0.0	0.0	0.0	45.9	1.7	58.7	0.1	0.2	22.9	2.4	14.0	55.1
K1s	36.0	6.9	0.5	To(s)	11.5	6.4	48	287	7.3	130.1	0.0	0.0	0.0	37.2	3.8	70.9	0.2	0.1	21.7	2.1	10.4	46.9
K4	35.5	7.1	2.0	To(s)	13.1	6.3	20	292	6.6	19.1	0.0	0.0	0.0	15.5	27.6	23.5	0.0	0.0	12.3	8.9	3.3	12.9
K7	34.0	40.0	9.0	To(d)	14.8	8.2	19	115	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	6.0	16.4	73.6	0.7	0.0	29.8	2.5	1.8	4.0
K8	34.0	4.6	2.8	Tm	13.9	6.0	16	294	5.0	21.4	0.0	0.0	0.0	29.3	17.7	28.1	0.0	0.1	14.3	15.3	4.5	9.9
K9	27.0	2.4	0.7	Tm	13.8	5.6	30	244	5.6	65.7	0.0	0.0	0.0	7.9	51.6	12.2	0.0	0.0	8.1	6.2	9.7	24.2
K13d	33.5	20.0	-	Tm	15.2	6.5	51	254	7.8	155.6	0.0	0.0	0.0	21.3	47.4	35.5	0.0	0.1	13.8	3.2	17.6	47.6
K15	39.0	6.0	2.1	Tm	14.4	6.5	31	221	7.8	64.6	0.0	0.0	0.0	26.7	18.9	27.4	0.0	0.1	16.0	12.3	5.5	20.0
K17d	46.0	65.0	-	To(d)	20.8	6.2	13	284	5.6	16.3	0.0	0.0	0.0	8.1	6.7	34.2	0.0	0.0	10.9	1.3	2.9	9.1
K19	32.5	6.1	3.1	To(s)	13.8	5.7	12	274	6.2	9.4	0.0	0.0	0.0	9.3	3.3	-	0.0	0.1	7.0	2.7	2.7	6.0
K20	27.0	5.7	3.5	To(s)	14.9	5.7	13	298	7.9	16.8	0.0	0.0	0.0	13.7	1.9	22.5	0.0	0.1	12.4	0.9	2.9	4.3
K21	33.5	10.2	6.8	To(s)	15.0	6.1	25	199	6.4	31.2	0.0	0.0	0.0	29.6	24.3	23.5	0.0	0.1	18.6	1.8	7.6	12.9
K24	31.5	7.3	3.5	Tm	16.3	5.7	39	256	7.4	127.2	0.0	0.0	0.0	15.0	32.3	10.5	0.0	0.1	8.8	2.4	17.2	27.5
K26	32.0	6.8	4.0	To(s)	14.2	6.2	10	311	8.7	9.9	0.1	0.0	0.0	4.5	11.9	13.9	0.0	0.0	4.6	0.7	3.1	6.2
K27	27.0	5.6	3.9	To(s)	13.2	6.1	16	294	8.0	32.4	0.0	0.0	0.0	10.0	7.8	15.7	0.0	0.1	8.1	1.3	5.2	7.6
K28d	23.5	40.0	6.2	To(d)	14.8	6.7	26	271	0.9	1.5	0.0	0.0	0.0	23.6	5.9	103.9	0.2	0.1	10.0	5.3	8.6	22.7
Amano R.																						
A2	30.5	3.6	1.7	Jo	13.6	6.0	20	405	4.7	27.7	0.0	0.0	0.0	13.1	17.4	23.8	0.0	0.1	11.5	9.7	5.5	7.4
A4	30.0	5.4	1.4	Jo	13.2	5.9	19	224	6.7	32.1	0.0	0.0	0.0	7.0	30.0	17.7	0.0	0.1	16.2	0.2	6.3	8.1
A5	33.5	2.8	0.0	Jo	12.0	5.9	12	250	5.3	6.3	0.0	0.0	0.0	9.2	14.5	23.1	0.2	0.0	10.8	0.8	3.1	6.1
A11	38.0	9.3	4.6	Jo	15.1	6.4	23	269	7.6	12.9	0.0	0.0	0.0	12.1	14.8	108.6	0.0	0.0	13.4	15.0	10.0	17.0
A13	25.0	-	-	-	14.4	6.5	22	210	7.0	5.2	0.0	0.0	0.0	5.8	29.2	71.7	0.0	0.0	10.3	2.1	10.3	12.7
A14	34.5	7.6	4.9	Jo	15.9	5.9	41	261	8.3	87.5	0.0	0.0	0.0	35.1	36.1	22.7	0.2	0.1	20.6	1.0	19.6	22.0
A15	38.5	10.6	7.5	Jo	13.4	6.5	31	266	8.8	68.7	0.0	0.0	0.0	27.8	17.3	36.0	0.1	0.1	26.0	1.7	9.3	19.8
A16	28.5	8.4	5.8	Jo	14.5	6.2	20	242	8.5	62.0	0.0	0.0	0.0	19.5	1.0	7.1	0.0	0.2	12.2	0.9	8.3	7.2
A17	27.3	8.0	5.2	Jo	14.5	5.6	18	253	9.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A18	27.5	-	-	-	15.8	6.1	26	211	6.8	72.0	0.0	0.0	0.0	19.5	12.1	19.9	0.0	0.1	10.0	1.4	14.8	13.8
A19d	20.0	-	-	-	14.3	8.2	16	-25	2.2	0.0	0.0	0.0	0.1	4.6	4.4	69.5	0.2	0.0	6.6	2.1	2.1	16.1
A22	28.0	40.0	12.1	Is	15.1	8.3	16	-12	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	6.9	7.4	70.1	0.3	0.1	6.6	2.1	2.8	17.5
A23	28.0	6.9	2.9	Jo	15.0	6.3	28	262	7.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A24	27.0	6.2	2.5	Jo	14.6	6.4	34	295	6.8	42.2	0.0	0.0	0.0	15.1	54.7	54.7	0.0	0.1	21.6	8.7	11.4	18.8
A25	27.5	7.8	3.6	Jo	14.5	6.4	20	288	7.1	22.6	0.0	0.0	0.0	19.2	14.4	37.4	0.0	0.1	21.9	8.4	5.4	4.0
A26	27.5	5.8	3.0	Jo	15.3	6.4	23	285	6.5	31.5	0.0	0.0	0.0	28.3	6.2	67.7	0.0	0.1	20.3	9.0	6.7	16.0
A28	24.0	5.1	2.8	Jo	13.9	6.7	37	225	7.6	59.1	0.0	0.0	0.0	21.1	36.7	48.9	0.1	0.1	17.0	1.5	12.2	25.7
A29d	20.5	80.0	-	Is	13.9	7.6	25	205	3.8	8.4	0.0	0.0	0.0	19.6	29.8	57.0	0.2	0.1	9.8	3.0	5.4	25.2
A30	26.0	60.0	-	Is	14.4	7.0	30	192	6.6	56.2	0.0	0.0	0.0	21.8	22.9	53.8	0.1	0.1	24.2	2.0	11.2	18.0
A32	27.0	7.2	4.4	-	15.3	6.3	32	227	6.8	85.1	0.0	0.0	0.0	23.2	7.1	24.5	0.0	0.1	27.1	2.8	11.0	9.3
A33	26.5	8.9	5.0	-	13.0	6.8	24	208	6.9	44.2	0.0	0.0	0.0	16.3	8.3	46.0	0.1	0.1	15.8	3.0	9.2	10.6
A34	26.0	7.1	3.5	-	15.1	6.4	58	248	6.4	40.1	0.0	0.0	0.0	105.6	37.9	32.6	0.0	0.2	77.9	7.5	10.3	8.6
A35	26.0	40.0	16.5	Is	15.1	8.3	20	-41	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	13.2	29.0	55.5	0.1	0.0	7.9	2.5	3.5	23.9
A38	26.5	5.8	2.7	-	13.8	6.1	21	213	4.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A41	30.5	6.3	1.4	-	13.0	5.9	12	592	6.2	26.1	0.0	0.0	0.0	10.9	4.1	13.2	0.0	0.0	10.4	1.9	3.0	5.9
A44	24.0	6.5	5.0	Mi	14.5	5.9	31	266	5.7	20.8	0.0	0.0	0.0	38.0	41.9	29.8	0.1	0.0	26.0	9.8	8.4	12.4
A47	27.5	7.0	3.8	-	14.0	6.6	29	276	8.6	32.4	0.0	0.0	0.0	21.0	22.1	35.0	0.0	0.1	16.9	18.4	4.5	10.0
A48	26.0	11.0	7.2	Mi	11.7	6.4	39	268	6.9	57.8	0.0	0.0	0.0	16.4	37.7	90.0	0.0	0.0	13.1	4.9	16.2	34.1
A50	23.5	53.0	17.5	Is	14.5	7.2	48	215	5.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A51	10.0	3.6	2.0	Mi~Ks	12.9	6.1	22	262	6.3	39.9	0.0	0.0	0.0	10.4	19.3	20.5	0.0	0.0	9.2	4.0	6.1	12.7
A52	7.5	40.0	-0.2	Is	13.5	8.2	10	299	2.0	0.1	0.0	0.0	0.0	3.2	7.0	65.9	0.1	0.0	8.6	5.5	4.8	7.3
A53	13.0	5.5	2.1	Mi~Ks	13.2	5.8	21	207	5.6	42.6	0.0	0.6	0.0	11.5	19.7	22.0	0.0	0.1	12.1	0.6	6.7	13.2
A55	26.0	50.0	11.9	-	13.8	7.6	31	242	7.2	100.7	0.0	0.0	0.0	14.8	0.5	48.2	0.1	0.1	11.0	1.3	14.7	20.8
average	28.4	18.1	4.5		14.3	6.5	26	244	6.1	45.1	0.0	0.0	0.0	19.4	19.2	41.5	0.1	0.1	15.9	4.5	8.0	16.5
max.	46.0	80.0	17.5		20.8	8.3	58	592	9.6	155.6	0.1	0.6	1.0	105.6	54.7	108.6	0.7	0.2	77.9	18.4	19.6	55.1
min.	7.5	2.4	-0.2		11.5	5.6	10	-41	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.5	7.1	0.0	0.0	4.6	0.2	1.8	4.0

注) \* - : 欠測, データ無しまたは判定困難, \*\*水位のマイナスは自噴を示す。

\*\*\*Tm : 段丘堆積物, Jo : 常総層, Mi : 見和層, Ks : 笠神層, Is : 石崎層, To(s) : 友部層 (浅層), To(d) : 友部層 (深層)

層区分は前述のとおり段丘堆積物 (Tm) の一部 (中位Ⅲ段丘面) は常総層 (Jo) に相当していることから、正確には段丘堆積物の一部に常総層が含まれることになるが、ここでは新治台地の常総層はそのままとし、柿岡盆地の常総層相当は段丘堆積物に区分した。

Table 5で対象井戸の水質を概観すると、例えばpHが最低5.6から最高8.3の範囲にあり平均が6.5、DOが最低0.6から最高9.6mg/l、平均6.1mg/l、さらに硝酸イオンが最低0.0mg/lから最高155.6mg/l (NO<sub>3</sub>-Nとして35.1mg/l)、平均43.1mg/l (同9.7mg/l) といくつかの水質項目については比較的値の範囲が広いことがわかる。以降、水質を見るにあたって、推定された帯水層を元に分類した、1) 段丘堆積物、2) 常総層、3) 見和層・笠神層、4) 石崎層、5) 友部層 (浅層)、6) 友部層 (深層) の帯水層区分を参考にして検討を行う。

Fig.7に上記の帯水層区分でみた井戸の深さと主な水質を示すが、これによると石崎層と友部層 (深層) は深さ40m以上の深井戸であり、その他は平均深度が6~8m程度の浅井戸であることが確認できる。そこで便宜上、

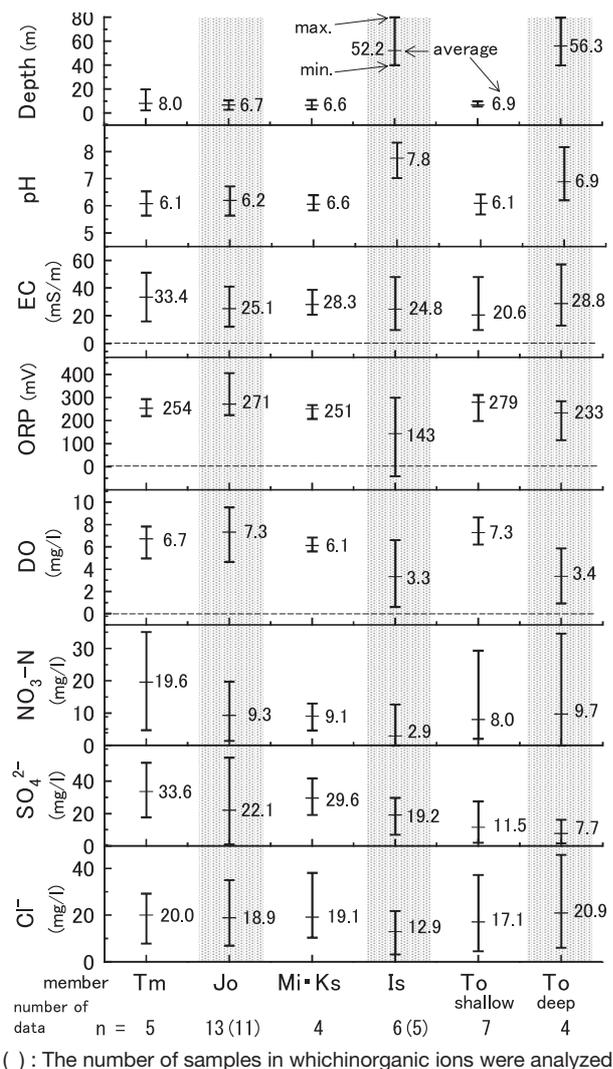


Fig.7 帯水層別にみた井戸の深さと主な水質  
The depth of well and the main water quality seen by aquifer

前者の深井戸のグループをG-d、後者の浅井戸のグループをG-sと呼ぶことにすると、平均水質においてもグループ間の差がみられる。すなわちpHではG-sでそれぞれの層平均が6.1~6.6であるのに対して石崎層が7.8、友部層 (深層) で6.9と明らかに高い。また、ORPとDOではG-dの方が低く、一方でECとCl<sup>-</sup>ではG-dとG-sで明確な差はみられなかった。また、硝酸態窒素は石崎層でやや低く、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は友部層 (浅層) と友部層 (深層) でやや低かった。

次に無機イオン組成の特徴についてパイパーダイアグラム (Piper, 1953) によりみることにする (Fig.8)。常総層や見和層・笠神層、友部層 (浅層) など比較的浅部に存在する地下水の多くは中間型に分類される。また、G-dに属する井水の多くも中間型に属するが、柿岡盆地中南部のK28dや天の川中流域に位置するA22、A52などの井水は循環性地下水によくみられる重炭酸カルシウム型に、そして柿岡盆地中北部の深井戸であるK7は停滞している地下水環境にみられる重炭酸ナトリウム型に分類される。

一方、K24やK13dなど段丘堆積物の一部は一見化石水などにみられる非重炭酸カルシウム型に分類されるように見える。しかし、これら井水の硝酸塩濃度は例えばK24で127mg/l、K13dで156mg/l (Table 5) と高く、この影響も一因となり重炭酸イオンの構成比の低下が生じてこのような分類になったものと考えられる。

以上のように無機イオン組成の検討から石崎層と友部層 (深層) には循環性地下水が賦存していることが確認され、一部には停滞性地下水が存在する可能性が示された。

次に、施肥や家畜ふん尿など農業系窒素負荷の影響を強く反映する硝酸性窒素濃度の空間分布についてみる。Fig.5 (柿岡盆地)、Fig.6 (新治台地北部) には水利地質断面に重ねて10mg/lを超える硝酸性窒素濃度が検出された井戸にマークを付けた。これをみると高い硝酸性窒素濃度が検出された井戸は浅層地下水を取水層としたものが多いが一部は深井戸でも汚染が見られた。

Fig.5のA-A'断面のK1sとK1dは隣接する浅井戸 (深さ: 6.9m) と深井戸 (深さ: 80m) である。共に硝酸性窒素濃度が30mg/l程度 (Table 7) と高いが深井戸であるK1dの方が少し高い。ストレーナー位置は不明であるためK1dのストレーナーがK1sと同じ帯水層にあるか、または深度や帯水層の違いに関係なく汚染が進行しているのか等の詳細は不明である。

Fig.9に硝酸性窒素の空間分布を示す。硝酸性窒素が環境基準の10mg/lを超える井戸は流域に広く分布している。先ほど述べたように対象とした井水中の硝酸性窒素濃度の範囲は0~35mg/l、平均値は約10mg/lであり、地下水水質基準の10mg/lを超える井水は、測定を行った45サンプル中15サンプルであった。高い硝酸性窒素が検出された井戸の周りの土地利用 (Table 6) をみると畑や樹園地、畜舎などの立地がありこれらの影響があるものと考えられる。一方、硝酸性窒素がほとんど検出されな

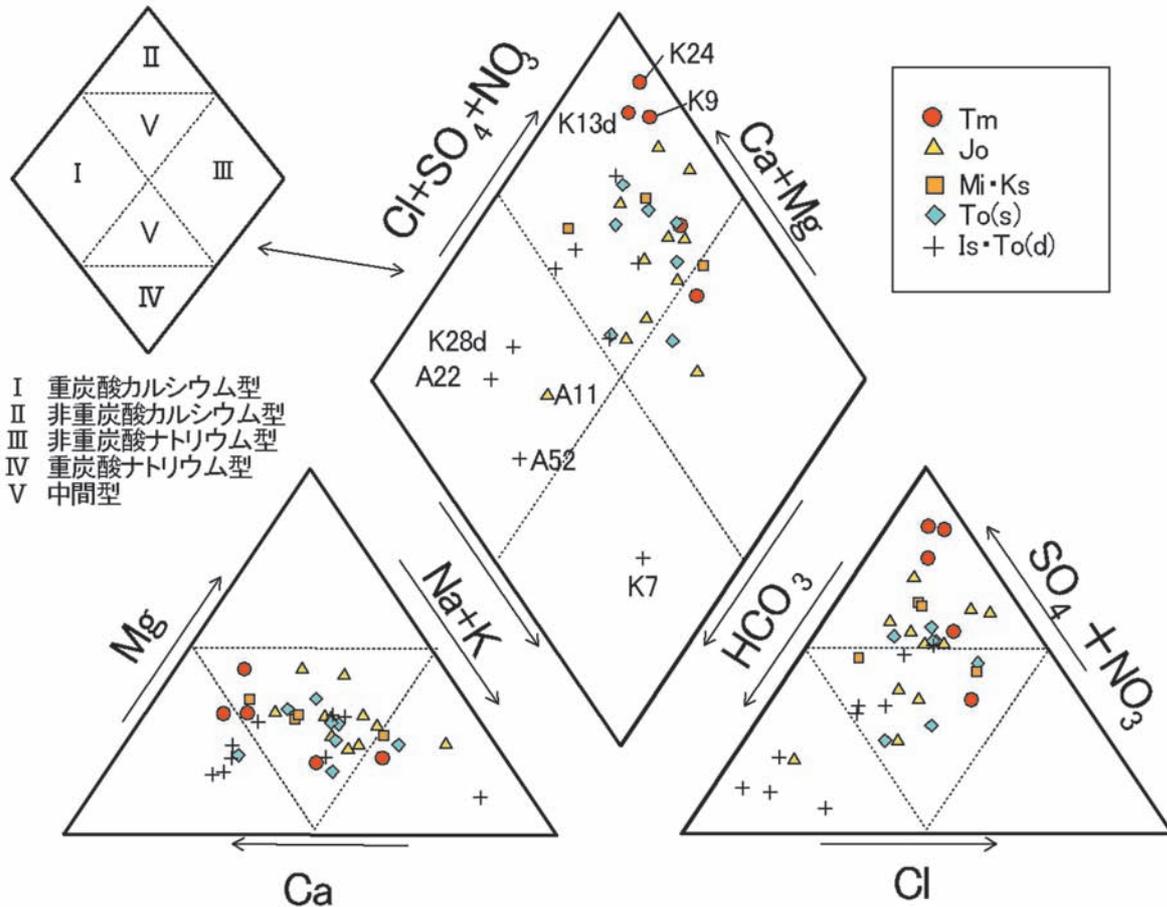


Fig.8 恋瀬川流域における帯水層別の地下水の無機イオン組成  
Inorganic ion composition of groundwater in Koise river basin by aquifer

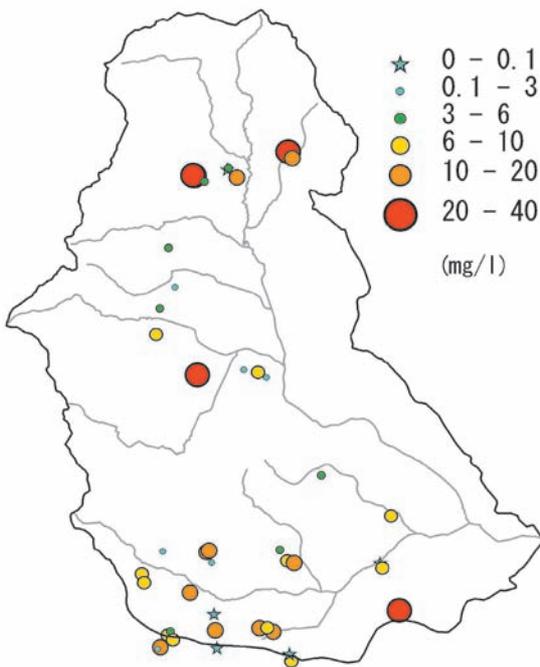


Fig.9 井水の硝酸性窒素濃度分布  
Distribution of NO<sub>3</sub>-N concentration

Table 6 高い硝酸性窒素濃度が観測された  
井戸 (10mg/l以上) の特徴

Feature of well where high concentration of nitrate nitrogen  
(10mg/l or more) was observed.

地点	NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	深度 (m)	水位 (GL,m)	推定帯水層	立地	周辺土地利用
K1s	29.4	6.9	0.5	To	集落内	牛舎・樹園地
K1d	34.7	80	0.1	To	〃	牛舎・樹園地
K9	14.8	2.4	0.7	Tm	〃	畑
K13d	35.1	20	?	Tm	〃	畑・水田
K15	14.6	6.0	2.1	Tm	〃	集落・畑
K24	28.7	7.3	3.5	Tm	〃	畑・樹園地
A14	19.8	7.6	4.9	Jo	〃	樹園地・牛舎
A15	15.5	10.6	7.5	Jo	〃	樹園地・畑
A18	16.3	(約30)	?	?	〃	畑・樹園地
A30	12.7	60	10>	Is	〃	樹園地
A32	19.2	7.2	44	Jo?	〃	樹園地・林地
A48	13.1	11	7.2	Mi	〃	林地・樹園地
A55	22.7	50	11.9	Mi-Is	〃	畑

い井戸も4本あった。

次に友部層の深層（柿岡盆地）や石崎層（新治台地北部）の地下水の特徴について述べる。Fig.5～Fig.6においてDOが4mg/l以下で検出された井戸にマークを付けている。これをみるとA測線におけるK7やB測線におけるK28d（以上は友部層の深層）、またはC測線におけるA22やA29d、さらにD測線のA52（以上は石崎層）において低いDOが検出されている。これら低DOの井水をもつ井戸のうち幾つかは、家庭用水源として使用されているため、井戸内のたまり水とは考えにくく実際の帯水層内の状態をある程度反映しているものと考えられる。

帯水層別の水質についてさらに検討を進めたい。Fig.10は帯水層別にみた深度と溶存酸素（DO）の関係をプロットしたものであるが、Fig.5～6でみたように友部層（深層）と石崎層で特に井戸底の標高が海面下に位置する井戸の一部に低DOの地下水が存在することがわかる。Table 7はDOが4mg/l以下の全井戸の水質等を見たものであるが、DOが低い井戸ではpHが概ね8以上と高く、ORPが低い井戸が多い。無機イオンの構成は先にみたように中間型（V）と重炭酸カルシウム型（I）、重炭酸ナトリウム型（IV）である。また、硝酸性窒素が検出されない井戸が多くSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>もFig.7等と比べると低めである。さらに、井水に硫黄臭があるものも少なくない。以上のような状況から、明らかに友部層（深層）と石崎層では低酸素・還元化が進んでおり脱窒や硫酸還元が推察される。

酸素消失後の水田湛水土壤中で生じる脱窒・硫酸還元各反応は次式で示される（土壤微生物研究会、1966）。



これら反応の開始初期における土壌の酸化還元電位は(1)式で+0.6～+0.5V、(2)式で0～-0.19Vとされており、このような還元条件下で上式の反応が進行すると考えると、水質中の重炭酸イオンが増加するとともにpHが上

昇する。今回、友部層（深層）と石崎層を取水層とする井戸で得られた水の分析結果はこれと調和的である。今回の調査井戸の範囲では、脱窒は進行しているものの帯水層の還元化が十分進んでいないため硫酸還元の進行はA19dやA22、A35など一部に限られると考えられる。

Fig.10にDOと硝酸性窒素の関係を示す。繰り返しになるが石崎層と友部層（深層）における低DO域では硝酸性窒素濃度も低く流域の深層地質中で脱窒が生じている可能性が強く示唆される。

一方、深層地下水中の硝酸性窒素やSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の濃度が低い要因として、施肥をはじめとする人為的負荷投入が顕著に増加したのは、1950年代以降であるから深層の地下水にまだその影響が現れていない可能性も考えられる。自然条件でも地下水中に硝酸性窒素とSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は存在するが、一般には共に施肥由来により面的に広く負荷されている。従って時間の経過が十分でなく平衡状態に達していないと考えると、これら物質の濃度がより浅いG-sで高く、G-dで低くなる分布は当然考えられる。一方、人為の影響が少ないと思われるこれら物質の環境中の濃度は、例えば流域に比較的近いつくば市の降水中（伊藤ら、2003）ではNO<sub>3</sub>-Nが0.37mg/l（1995-2000平均）、NH<sub>4</sub>-Nが0.50mg/l（同）、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が2.0mg/l（同）であり、源流部（金井ら、1999）では、基盤岩（花崗岩）からの湧水（流域に隣接する加波山近傍）でNO<sub>3</sub>-Nが0.07mg/l（年平均）、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が1.2mg/l（同）、渓流水でそれぞれ1.2mg/l（同）と2.1mg/l（同）が報告されている。雨水や渓流水の水質は大気を通じて人間活動の影響を受けているとはいえ、これらの物質の濃度は、G-dにおける平均濃度と比べても十分低い。

しかし、DOの低下や還元化が進んだ深層地下水の硝酸性窒素濃度は検出限界以下まで低下しており、該当する帯水層が若しくはその地点に到達するまでの経路を含めて、どこかに脱窒ゾーンがあると考えるのが自然であろう。いずれにせよ今回得られたデータからだけでは明

Table 7 溶存酸素濃度（DO）が低い（4mg/l以下）井戸の水質と特徴

Water quality and feature of well where low DO is detected

地点	DO (mg/l)	pH	ORP (mV)	NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	無機イオン組成*	深度 (m)	水位 (GL,-m)	推定帯水層	立地	周辺土地利用	備考
K7	1.0	8.17	115	0.0	16.4	IV型	40	9.0	To(d)	集落内	畑・集落	水の出し始めに若干臭いがある（夏期）
K28d	0.9	6.74	271	0.3	5.9	I型	(40)	6.2	To(d)	〃	集落	正確な深度は不明
A19d	2.2	8.21	-25	0.0	4.4	-	?	?	?	〃	集落・水田	若干硫黄臭有り
A22	0.6	8.34	-12	0.0	7.4	I型	40	12.1	Is	〃	集落・畑	夏期に硫黄臭有り
A29d	3.8	7.56	205	1.9	29.8	V型	80	?	Is	〃	集落・水田	
A35	0.9	8.30	-41	0.0	29.0	V型	40	16.5	Is	〃	畑・荒地	若干硫黄臭有り
A52	2.0	8.17	299	0.0	7.0	I型	40	+0.17 (自噴)	Is	〃	集落・水田	降雨の後に水頭が上昇し自噴する

\* I 重炭酸カルシウム型, IV 重炭酸ナトリウム型, V 中間型

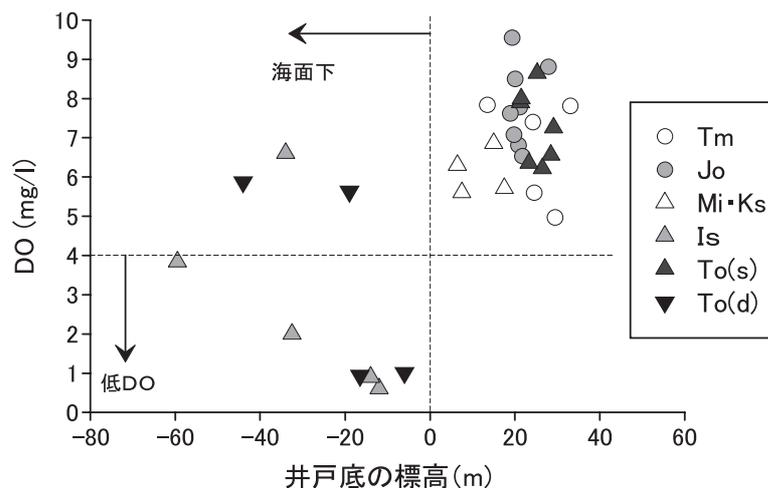


Fig.9 帯水層別にみた井戸底の深さと溶存酸素(DO)の関係  
Relationship between the depth of well and DO by aquifer

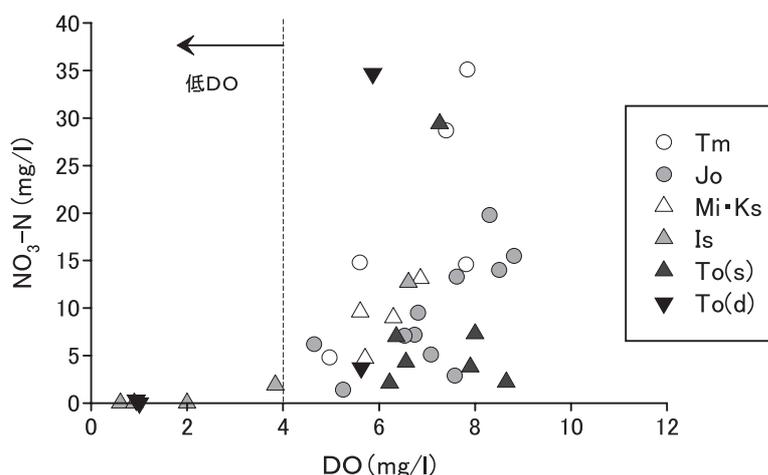


Fig.10 地層別にみた溶存酸素と硝酸性窒素濃度の関係  
Relationship between DO and  $\text{NO}_3\text{-N}$  concentration by layer

確な結論は出せない。地下水帯および不飽和帯における微生物反応を含めた物質動態の評価等に関して今後の研究の進展が待たれる。

#### IV 結 言

本研究は、農村地域を主体とした流域の水・物質循環を把握するため開発を進めている農林業環境対策シミュレータの実証データとして、対象流域の水理地質と水質環境について既往の情報を整理するとともに、データの取得を進めたものである。

得られた結果は次の通りである。

i) 流域の水理地質について地質層序に基づき整理す

るとともに、井戸調査に基づいて柿岡盆地と新治台地における地下水の賦存状況や水質について基礎的データを収集し提示した。

ii) 無機イオン組成から浅層地下水は中間型を中心に分類され、深層の地下水の一部は重炭酸カルシウム型と重炭酸ナトリウム型に分類された。また、調査流域内の広い範囲で浅層地下水を中心に硝酸性窒素濃度が高い井水がみられたが、そのような井戸の周辺土地利用は畑地や樹園地または畜舎近傍が多い。

iii) 友部層の深層や石崎層の一部など特に海面下に井戸底標高を持つ井戸において地下水の還元化が進み、低ORP、低溶存酸素、高pHなどの特徴をも

つ地下水が見られた。そのような井水は硝酸性窒素濃度が低く脱窒が生じている可能性が示唆される。

### 参考文献

- 1) 土壤微生物研究会編 (1966)：土と微生物，岩波書店
- 2) D.Sprague・田中幸一 (2006)：土地利用変化に伴う生物生息地変動モデル—トンボを対象として—，自然共生プロジェクト成果集 農における自然との共生Ⅱ，(独)農研機構 農村工学研究所，85～102
- 3) 財団法人 茨城県建設技術管理センター (2006)：茨城県地盤情報システム
- 4) 伊藤優子・加藤正樹 (2003)：関東地方の都市近郊平地林における降水中の成分濃度と負荷量—森林総合研究所構内における降水の観測結果—，森林総合研究所研究報告，388，149-155
- 5) 金井豊・上岡晃・金沢康夫・関陽児・濱崎聡志・月村勝宏・中嶋輝充 (1999)：茨城県中部地域の源流部における浅層地下水・地表水の水質変動，地質調査所月報，50 (9)，591-610
- 6) 関東農政局 (1983)：地下水位長期観測調査 霞ヶ浦西岸地区報告書 (その1)
- 7) 関東農政局 (1992)：関東における農業用地下水の利用実態 第3回農業用地下水利用実態調査報告書
- 8) 関東農政局 (2001)：関東における農業用地下水の利用実態 第4回農業用地下水利用実態調査報告書
- 9) 菊地隆男 (1986)：日本の地質3「関東地方」，共立出版，140-141
- 10) 菊地隆男 (1980)：常総粘土層の堆積環境，地質学論集，20，129-145
- 11) 小玉喜三郎・堀口万吉・鈴木尉元・三梨昂 (1981)：更新世後期における関東平野の地塊状造盆地運動，地質学論集，20，113-128
- 12) 宮崎一博・笹田政克・吉岡敏和 (1996)：真壁地域の地質 (地域地質研究報告) 五万分の1図幅，地質調査所
- 13) 斉藤登志雄 (1959)：水戸・涸沼付近の地質，茨城大学文理学部紀要 (自然科学)，10，135-143
- 14) 坂本亨 (1972)：茨城県大洗付近の第四系—とくに見和層堆積期の海進 (下末吉海進) の進行過程について—，地質調査所月報，23 (9)，7-13
- 15) 坂本亨・宇野沢昭 (1979)：茨城県中部，友部丘陵の第四系，地質調査所月報，30 (5)，269-283
- 16) 坂本亨・相原輝雄・野間泰二 (1981)：石岡地域の地質 (地域地質研究報告) 5万分の1図幅，地質調査所
- 17) 坂本亨 (1986)：日本の地質3「関東地方」，共立出版，188-191
- 18) 佐藤賢司・二平雅子・笠原豊・楠田隆・高嶋恒太・高信勝巳・本田崇・和田信彦 (2002)：常総粘土層の地下水流動について，*Proceedings of the 12th symposium on Geo-Environments and Geo-technics & International Symposium for Geological Environment*，159-162
- 19) Takeuchi M., Itahashi S. and Saito M. (2005)：A water quality analysis system to evaluate the impact of agricultural activities on N outflow in river basins in Japan, *Science in China ser. C Life Sciences 2005 Vol.48 Supp. I* 100-109.
- 20) Piper, A.M. (1953)：A graphic procedure in the Geochemical Interpretation of water analysis, *U.S.G.S. Ground Water Note 12*.
- 21) 山元孝広 (2007)：テフラ層序からみた新潟県中期更新世飯土火山の形成史：関東北部での飯土真岡テフラとMIS7海面変動の関係，地質調査研究報告，58，3/4，117-132
- 22) 安原正也・丸井敦尚・田中正・石井武政 (1990)：筑波台地浅層部の土壌物理性と地下水鉛直流動—つくば市東における事例研究—，地質調査所月報，41 (9)，507-516
- 23) 横山芳春 (2004)：茨城県における更新統下総層群の層序と堆積史，早稲田大学大学院博士論文
- 24) 吉岡敏和 (1996)：IV. 第四系，真壁地域の地質 (地域地質研究報告)，地質調査所，82-93

# Hydrogeological features and water quality studied from well survey and geological materials in Koise river basin, Ibaraki, Japan

KUBOTA Tomijiro, MIURA Hiroshi, TAKAKI Kyoji and MATSUMORI Kenji

## Summary

The purpose of this study is to arrange information on hydrogeological features of Koise river basin for the development of the agriculture environmental measures simulator. We studied hydrogeological features and groundwater quality along four geological cross sections in Koise river basin based on investigating 94 wells and past research.

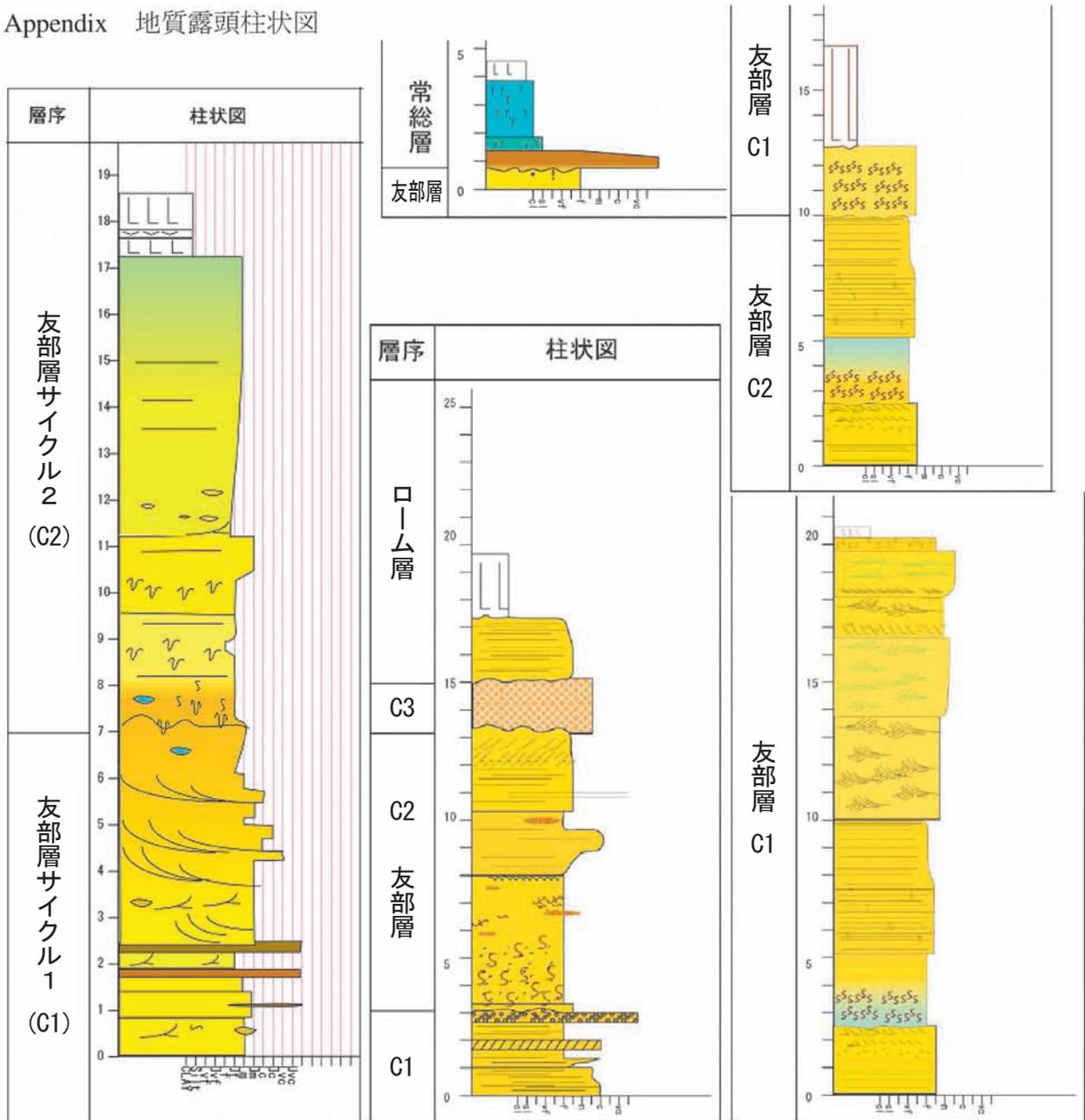
i) Hydrogeological features of the basin were arranged based on the geological features stratigraphy, and basic data such as the space distribution of groundwater table were collected for typical aquifers.

ii) Shallow groundwater was mainly classified into the middle type, and deep groundwater was classified into the heavy calcium carbonate type and the sodium bicarbonate type from inorganic ion composition. The number of wells with water containing high nitrate nitrogen concentration was over 1/3 of studied wells. The land use around such wells was mainly upland field, orchard or livestock farming.

iii) Reduced groundwater was observed with features of low ORP, low dissolved oxygen, low nitrate nitrogen and high pH in the deep part of Tomobe member and Ishizaki member. This suggests that the denitrification was caused under such anaerobic condition.

**Keywords** : hydrogeology, water and matter cycle, groundwater, nitrate nitrogen, water quality

Appendix 地質露頭柱状図



\*図の横軸は土性を示し、右側は粗く、左に行くほど細粒であることを示す。また、縦軸は露頭の高さ(m)である。

**Point 1** 旧八郷町宇治会付近  
 柿岡盆地北部八郷町宇治会付近に分布する友部層のサイクル1とサイクル2が確認できる斜交層理及び管状生痕より堆積環境の違いと判断される

**Point 2** 旧八郷町佐久付近 (上)  
 友部層 (サイクル1) と常総層との関係が確認できる

**Point 3** 旧八郷町片岡付近 (下)  
 友部層 (サイクル1~サイクル3) と見和層との性状 (粒度構成や斜交層理) が確認できる

**Point 4(1)** 旧八郷町小倉付近 (上)  
**Point 4(2)** " (下)

友部層 (サイクル1) 中の性状 (斜交層理) が観察できる

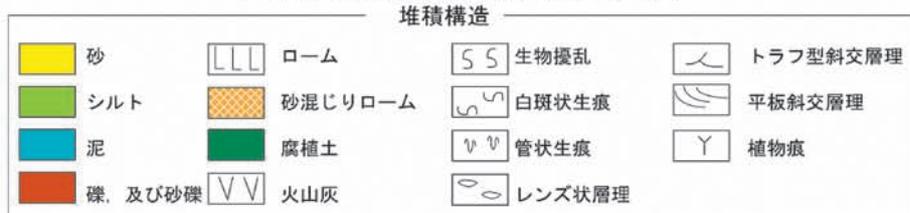
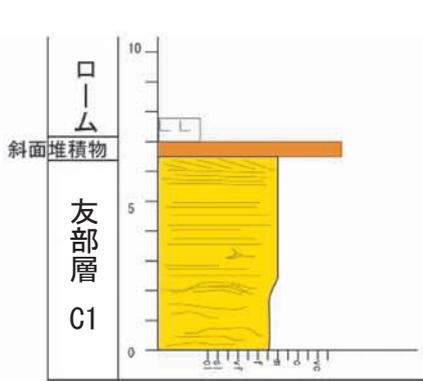
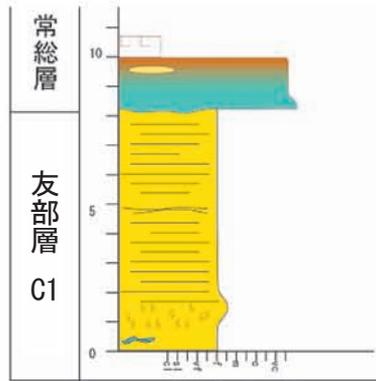


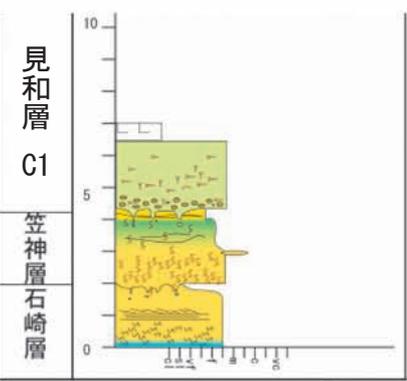
Fig. 露頭柱状図 (1) Outcrop



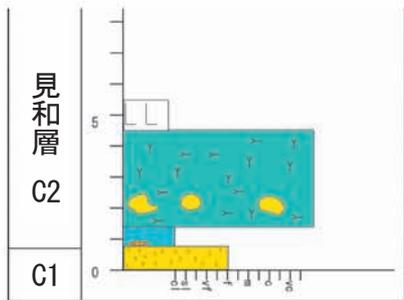
Point 5 旧八郷町小久保付近  
友部層 (サイクル 1) 中の性状 (斜交層理) が観察できる



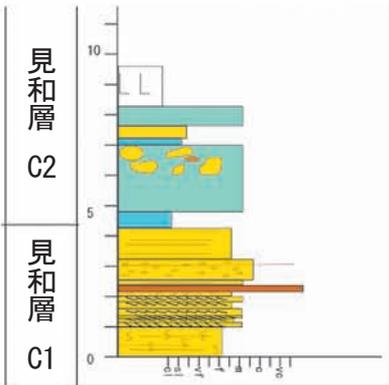
Point 6 旧八郷町加生野付近  
常総層の性状 (粒度構成) が観察できる



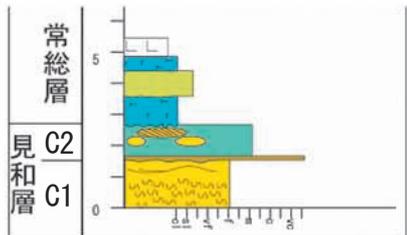
Point 7 旧千代田町西野寺付近  
見和層 (サイクル 1)、笠神層と石崎層の性状と関係が確認できる



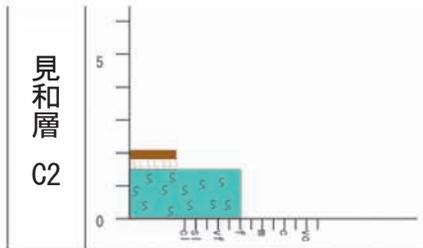
Point 8 旧千代田町下佐谷付近  
見和層 (サイクル 1 とサイクル 2) の性状が観察できる



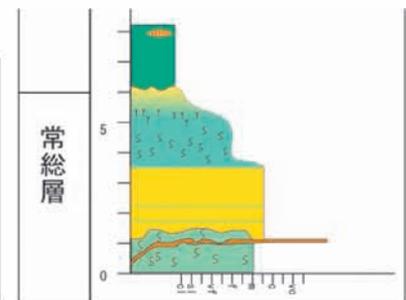
Point 9 旧千代田町永井付近  
見和層 (サイクル 1 とサイクル 2) の性状が観察できる



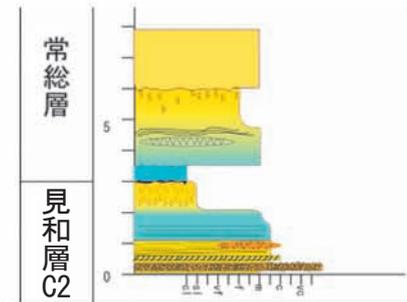
Point 10 旧千代田町永井付近  
見和層 (サイクル 1 とサイクル 2) と常総層の性状が観察できる



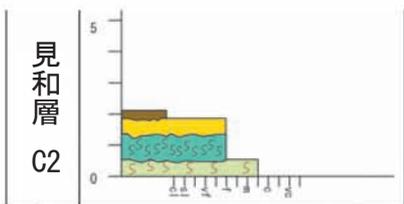
Point 11 つくば市大形付近  
見和層 (サイクル 2) の性状が確認できる



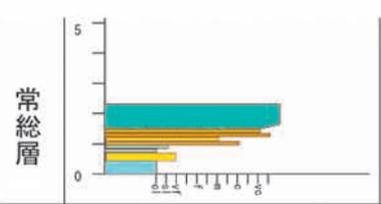
Point 12 旧新治村高岡付近  
常総層の性状 (粒度構成) が確認できる



Point 13 旧新治村藤沢付近  
見和層 (サイクル 2) と常総層の性状 (粒度構成) 及び関係が確認できる



Point 14 旧千代田町栗野町付近  
見和層 (サイクル 2) の性状 (粒度構成) が確認できる



Point 15 旧八郷町塚原付近  
友部層 (サイクル 1) と常総層の性状 (斜交層理、粒度構成) が観察できる



Fig. 露頭柱状図 (2) Outcrop