

# 奈良盆地北部における浅層地下水の賦存特性について

## Hydrogeological Characteristics of Groundwater in Nara basin

細野 義純\*

Yoshizumi Hosono

### I. 研究目的

奈良盆地は、これまで、地域の地下水に関する研究報告例が殆ど無く、全国的な視点からみても研究の空白域と言い得るもので、都市周辺の地域としてみれば極めて異常な例と考える。

奈良盆地はかつての都であり、多くの人々が居住し、生活が営まれてきた地域であるが、往時の住民が生活用水として利用されていたと認められる程の水源を、現在の地で見いだすことが困難である。

井戸については伝説的なものも含めて古くから存在したとされるものも若干は残されているが、それらの多くは盆地縁辺部の小規模な河成段丘または基盤の大阪層群の砂質粘土ないしは凝灰質粘性土中に浅く帯水した地下水のようで、量的に取水することが可能な程の砂礫層の発達した帯水層は見だし難い。また、古墳の周濠や溜池、環濠などの開かれた水域も各所に分布するが、表層付近に滞留するこれらの水域の分布についてみても、連続性に乏しく、小規模で局限された範囲のもとに分布する、いわば特殊な地質条件を反映した地下水域ではないかと予想される。

これまで、地域の地下水が解明され難かった事情を振り返ってみると、奈良の地域は、京都と同様、古都としての歴史的遺産保存の必要性から、大規模な開発が制限され、高層建築や大深度の地下開発が控えられており、その結果、ボーリング等による地質調査等が比較的少なかった背景も指摘できるものと考えられる。

一方、人間活動は活発に展開されており、環境白書によれば、大和川の河川水質は全国でワースト・ワンと言った不名誉な評価を得ている。

この研究は、従来、明らかにされていないこの地域（奈良盆地北部）の地下水の賦存機構と動態を解明しようとするもので、過去3年間、奈良大学の助成を受け実施してきたもので、その成果は年度ごとに奈良大学研究助成概要報告として、総合研究所所報にテーマごとの資料的内容について個別に紹介した（細野；2002<sup>1)</sup>, 2003-1<sup>2)</sup>, 2003-2<sup>3)</sup>, 以下「概要報告」とする）。

これらと重複する記述はできるだけ避けたいが、重複記述のやむを得ぬ部分もあるので、その数値や説明部分に関しては、概要報告も併せてご参照いただきたい。

この報告では、これまで行ってきた井戸の構造調査、水質調査、環境調査に基づく結果を整理し、水文学、地理学、地質学、地球化学を含む、複雑系とも言える内容と手法を総合化し、将来新しい科学として発展するであろう環境地理科学分野への一資料として体系化を試みたい。

## Ⅱ. 研究方法

①基盤地質調査・帯水層調査：最初に地下水を貯留させる地質条件を把握するため、地域の地質資料と帯水層の分布、特にその連続性について解明する必要がある。換言すれば、地下水の容れ物としての性質・性状を明らかにしようとするものである。最初に述べたように、奈良を中心としたこの地域には大深度に達する地質調査の例が多くない。そのため、資料不足は致し方ないが、大和郡山市と天理市には水道用の深井戸があって地下180~350m程度までの資料が存在する。その他の深井戸の資料として、かつて経済企画庁、国土庁から刊行された全国地下水深井戸資料台帳に記載された資料。さらに個別に収集したボーリング資料。また、遺跡調査の報告書等の中には地下水の存在に関係すると思われる記載の部分が残されている資料もあるのでこれらも参考とし、さらに、工事現場等の実地視察も加え、地域地質に関する水文資料としての情報の確保に努めた。

②井戸の調査：浅井戸内に現れる水面は、地域の地下水の存在の場のポテンシャルを示すものとして、地域の流動系に関する第一義的な意味をもつものとする。

ついで地下水の動態についての水理的伝導性についての数値を得る目的で、地下水の汲み上げに伴う水面の降下と、汲み上げを停止した後の回復状態を出来るだけ精密に記録し、透水係数、透水量係数ないしは比湧出量などの諸係数を算出し、地下水の水理的伝導性から地下水の移動の速さを小単位ごとに把握して全体としての地下水の動態を明らかにする。

③水質調査：井戸から地下水を採取し、現地及び実験室で所定の項目について水質分析を実施する。分析項目とその方法については、世界的に用いられているPiper (1944)<sup>4)</sup>によって提唱されたトリリニア・ダイアグラムによる表現法を試みる。ここでは、カチオンについては  $(Ca^{2+} + Mg^{2+})$  と  $(Na^{+} + K^{+})$ 、アニオンについては  $(SO_4^{2-} + Cl^{-})$  と  $(CO_3^{2-} + HCO_3^{-})$  の4つのグループの当量の占める百分率に換算し、ダイアグラム上にプロットするもので、硬度成分の内容を知り、地下水の地中における変化の状態を地球化学的に明らかにしようとする。

この方法では、必要とする水質分析の項目は、カルシウムイオン、マグネシウムイオン、ナトリウムイオン、カリウムイオン、炭酸イオン、重炭酸イオン、塩化物イオン、硫酸イオンの8項目となる。

実際に自然界に溶存する水質成分は、この8種のイオンで殆どを占め、他のイオンは一般に微量か、または特殊な地質条件のもと（火山や温泉、大規模な鉱体の存在等）で形成されるものと考えられている。

本研究では標題のように広域に及ぶ水文地質構造と帯水層の形成条件から地域に固有な自然条件としての水質組成を捉えようとするものであり、特殊な物質による環境汚染を説明するという立場をとるものではない。したがって、原則的には上記の一般的な成分を正確・適切に把握することができれば、目的を果たすことが可能と考える。

④水質分析：従来から多くの方法が採用されてきたが、最近では高価な機器分析に依存する部分が多くなってきた。とくに、環境基本法に基づく水質汚濁防止法の規定により、各自治体等は公用水域及び地下水に関して、一定の測定項目及び測定頻度を定め、定期的に水質調査を実施することとしている。この測定項目の数量は環境省告示で定める相当規模のものであり、所要時間の上からも、高級な機器分析によらなければ処理できないと思われる内容のものが多くなっている。

この様な社会的背景のもとで、高級な機器分析の用意のない条件のもとでは、本研究で取り扱う分析方法が、これらの機器分析から得られる結果に見劣りすることなく、匹敵できる精度が得られるかという点は重要な課題である。検討の結果、以下の方法は原理においても劣るものではなく、場合によっては、むしろすぐれた面すらあることが確認された。ただし、所要時間に関しては、一層の時間と手間暇を要することは致し方ないが、結果においては、一部の成分を除けば十分に自信を持って提示できるものであることを確認した（概要報告：2003-1）<sup>2)</sup>。

本研究で取りあげる分析項目とその試験方法は、以下のとおりである。

ナトリウムイオン・カリウムイオン； 試料を都市ガス-空気炎中に噴霧し、このとき生じる波長589.0nm (Na)・766.5nm (K) の輝線の強さを測定する。機器としてヘキサ科学製・炎光光度計FP-3B形を供用した。

全硬度・カルシウムイオン・マグネシウムイオン； EDTAによるキレート滴定法による。全硬度を決定の後、カルシウム硬度を滴定によって求め、残余をマグネシウム硬度とする。カルシウムイオン・マグネシウムイオンは、それぞれの硬度(mg CaCO<sub>3</sub>/l)から濃度 (mg/l) を計算する。

Mアルカリ度・重炭酸イオン； 従来からの、メチルオレンジ・ブロムクレゾールグリーンとの混合指示薬により、N/50硫酸で滴定し、Mアルカリ度(酸消費量)を決定する。そして、Mアルカリ度(mg CaCO<sub>3</sub>/l)に当量としての分子量比1.22を乗じた値を重炭酸イオンの濃度(mg/l)とする方法をとる。

Mアルカリ度と全硬度との関係から炭酸塩硬度と非炭酸塩硬度が導びかれる。

塩化物イオン； 硝酸第二水銀による滴定法による。

硫酸イオン； 島津製作所製 分光光度計 UV1200型を用い、付属のプログラムパックと指定の共立理化学研究所専用試薬Na16による。測定原理は硫酸バリウム比濁法と記載されている。

セルの光路長10mm、測定範囲5.0~300.0mg/l。

硝酸イオン；島津製作所製分光光度計 UV1200型を用い、付属のプログラムパックと指定の共立理化学研究所専用試薬Na19（2種を混合させる）による。測定原理は「還元+GR変法」とのみ記載されている。試薬の内容は明らかにされていないが試料を赤色に発色させることにより、その透過率から濃度を得るシステムである。セルの光路長10mm、測定範囲0.20~5.0mg/l。

⑤その他：現地調査にあたっては従来通りの聞き取り調査を実施する。聞き取り調査は、井戸が造られた時期。現在の使用状況。過去において涸渇等の障害発生の有無とその時期。涸渇等発生の際、考えられた原因。井戸の構造。井戸側（地中の内壁部分）の状況、改造した事実の有無、改造の部分、改造の理由。井桁（地上の井戸枠部分）の現状、改造の時期。ポンプ設置の有無、ポンプ設置の時期、ポンプの型式と能力。などについて聴取と確認を併せて行った。また、一部の井戸については水位の変動状況を確認するため自記水位計を設置した。

### Ⅲ. 奈良盆地北部の水文地質

奈良盆地北部の表層の地質は、その地形形成史の上からも礫層の発達に乏しく、井戸に十分な水量を供給し得るような水理地質的な条件の存在は認め難い。

本研究において最初に扱ったのは、井戸の構造調査と、井戸内の水位の測定であった。その結果は概要報告2002<sup>1)</sup>の表に整理した。この表に掲げたものは、すべて手掘りの井戸であって、地形区分別に整理したものであるが、ここでは地形による相異等にこだわらず、トータルとしてみると、この地域で掘られている井戸の深さは判明しているもののうち、4m未満のものが60%に達している。また、地表から地下水面（井戸内の水面）までの落差（水位）が2m未満のものが66%となっている。井戸内に湛水する地下水の深さが2mを越えるものが50%、4mを越えるものも15%を占める。参考までに、当地に特徴的な井戸の例を写真-1、写真-2、で示す。



写真-1 井戸の造られた時代は不明であるが、所有者の話によると、土地を取得時以前から、すでに存在していたとされる井戸。比較的良好に保存されている樽式井戸。

このことから、当該地域の地下水は、きわめて浅く、地表付近に帯水し、しかも、斯程迄に

大和郡山市筒井（城跡地）  
井戸の裏込めに相当する部分には漆喰モルタルで固められ、かなりの厚さがあり、浅い部分からの流入水を防ぐ構造になっていると思われる。

地下水によって飽和された部分を、地中深く手掘りによって掘り進むことが可能であったという事実は、この地域の地質が水の伝達能力に乏しく、単位時間あたりの湧出量が小さいことを意味している。

地下水を包含している地層(帯水層aquifer)に求められる水理的能力には、水を貯蔵(貯留)する能力と、水を伝達する能力の2つがある。奈良盆地の不圧地下水の帯水層に相当するシルト質粘土ないしは細砂では、前者に相当する比保留量(specific

retention, 比残留率)は大きい値をとるが、後者に相当する比浸出量(specific yield, 比産水率)は劣っていることは、その理由とともに、既に述べた(細野;2002)”。

実際に、井戸に据え付けられている家庭用電動ポンプを動かして、継続揚水を行った例によれば、毎分20ℓ未満の揚水で水位降下は、継続時間に伴って変化はするが、10~30cm程度と確認された。この例は下位段丘の事例であり、地表から地下水面までの深さは1m前後で、井戸径は90cm、井戸底までの深さは3.5mと、この地域ではもっとも平均的な井戸である。水理定数としてみれば、透水量係数は( $\text{cm}^3/\text{min}$ )の単位で、おおむね50±と試算される。この方法では、帯水層の厚さは得られないことから、透水係数の算出は出来ない。透水係数の算出のため、直接、現場において採土器により30cm程度の深さから不攪乱試料を採取し、実験室内で変水位透水試験を実施した。多箇所から採取した試料であることから数値的バラツキはあるが、おおむね $10^{-3}\sim 10^{-4}\text{cm}/\text{sec}$ 程度の範囲に分布する。これらの結果を総合すると当該地での表層土壌は粘性土を主とするもので水を貯留することはできるが、浸透や流出などに関与する、水を移動させる能力に乏しく、水文地質の立場から評価する帯水層としての能力は相対的に小さいと判断される。

このように、透水量係数がいずれも極端に小さい場合には停滞性の強い地下水域であることを意味し、流動が不活発であることから、いくつかの課題が提起される。その一つは揚水量の量的限界であり、また、環境保全のための特別な配慮である。一旦環境が汚染された場合には、地下水の停滞によって長期間にわたり汚染状態は継続し、地下水資源としての利用が放棄せざるを得ない事態も起こり得る。

奈良盆地における深層の被圧地下水について考察すれば、盆地南部の地域にあっては都市水道の水源の一部を深層地下水に依存している地域も存在し $1000\text{m}^3/\text{day}$ 程度の揚水が可能な井



写真-2 下位段丘構成層の基盤内に井袋を掘り込んだ格式の高い井戸。

奈良市北部。  
井戸底には基盤のシルト層が見える。また、底には小砂利を敷き詰めて清浄を保っている。目地、裏込めには漆喰モルタルが使われている。

戸もあり、個々の井戸の保全と能力の改善に努力が続けられた結果ではあるが、おおむね井戸としてみれば平均的な揚水量が得られている。北部の奈良市一帯には、そのように優れた帯水層の発達はない。このことは、当然の事ながら奈良盆地の地域の地質の形成要件と関連するところであり、このような地質構造と地下水の動態とを絡ませた水文地質構造について注意が払われねばならない。

したがって、この研究では、浅層の不圧地下水が、深層の被圧地下水にどのようにして転化するか、または転化する可能性があるか等についても検討を行うこととする。このことは、水循環システムの特性を知り、不圧地下水の環境が悪化した場合に、盆地南部の被圧地下水に及ぼす影響を予測し、事前の対策を講じる必要があるからである。このように考えると、奈良盆地を一つの地下水盆と考えて浅層・深層双方の地下水の循環系を捉えるための基礎的研究の重要性が増してくるものとなる。

#### IV. 奈良盆地北部の浅層地下水の水質と流動系

水質調査のための採水は、これまで井戸の構造調査等で現地確認を行った総数164ヶ所の井戸（概要報告：2002<sup>1)</sup>）のほか、さらに新規に約50の井戸を加え、その中から研究目的に合致すると思われる条件を考慮して選別し、およそ半数に相当する106ヶ所の井戸について分析を行った（概要報告：2003-1<sup>2)</sup>, 2003-2<sup>3)</sup>）。

分析の結果は、表-1に総括したものを掲げる。ここでは、井戸の所在地（番号および町丁目、地番）と地形面区分（国土地理院発行1/25,000都市圏活断層図による。詳細は「概要報告：2002<sup>1)</sup>」参照）等によって採水場所の基礎条件を定め、ついで採水年月日とともに水質分析の結果を掲げた。個々の井戸についてはプライバシー保護の立場から所有者名は伏せてある。最近の県等の行政資料の一部には町名までも伏せている例があるが、こうなると行政担当者のみ知り得るのみで、データの意義と信憑性も失われてしまうので、本論文での資料としては、この程度までは容認頂きたいと思う。

ただし、ここに掲げる数字が一筆の地番や住居表示等であり、ただちに所有者名が特定されるような場合には、地番については1位および10位の数字を、住居表示による場合は住居番号の数字を伏せ記号（\*\*）で代えることにした。

井戸の所在場所については、別に図-1中に番号で示してある。この番号は表-1の番号と一致させてある。図-1に番号の付されていないものは概要報告2002<sup>1)</sup>での構造調査および測水調査で扱ったもので、水質調査は実施していないことを意味する。図-1には後述するヘキサダイアグラムによる情報その他も含まれている。

水質分析表に記載されたデータのうちEC（電気伝導度・導電率または電導度、いずれも同意）と全硬度については、概要報告2003-1<sup>2)</sup>に、硝酸イオン（NO<sub>3</sub><sup>-</sup>）については概要報告2003-2<sup>3)</sup>に一部の報告を行った。

水質分析の解釈についてはヘキサダイアグラムによる表示法と、トリリニア・ダイアグラム

表1 奈良盆地北部の浅層地下水の水質分析結果

番号	井戸の所在地	地形面区分	採水年月日	pH	EC	全硬度	Ca硬度	Mg硬度	炭酸塩硬度	非炭酸塩硬度	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	
					μS/cm	CaCO <sub>3</sub> ppm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l				
10601	奈良市秋篠町7**①	下位段丘面	1999. 5. 26	5.4	127.1	16.00	11.20	4.80	2.22	13.78	4.48	1.16	8.6	2.0	2.71	10.84	20.98	1.48		
			1999. 7. 1	4.9	99.4	20.00	12.00	8.00	0	20.00	4.80	1.94	6.0	1.2	0	19.80	16.43	2.35		
10602	奈良市秋篠町7**②	下位段丘面	1999. 6. 6	5.8	183.0	27.20	18.80	8.40	4.44	22.76	7.52	2.04	8.9	1.9	5.42	19.16	6.55	22.82		
			2002. 6. 6	5.5	137.9	30.00	14.00	16.00	4.44	25.56	5.60	3.89	4.5	2.3	5.42	21.21	6.75	29.55		ND
10603	奈良市秋篠町9**	下位段丘面	1999. 5. 26	5.4	317.2	115.60	74.00	41.30	48.84	66.76	29.60	10.11	11.4	10.0	59.58	5.91	57.50	22.93		
10604	奈良市秋篠町8**	沖積低地	1999. 5. 26	6.7	131.3	44.00	34.00	10.00	43.51	0.49	13.60	2.43	5.3	6.0	53.08	4.60	2.24	41.69		ND
10605	奈良市秋篠町9**	下位段丘面	1999. 5. 26	6.8	230.2	108.00	72.00	36.00	57.28	50.72	28.80	8.75	6.8	6.5	69.88	5.68	11.68	31.69		ND
10606	奈良市秋篠町8**	下位段丘面	1999. 5. 26	6.1	149.8	23.60	16.00	7.60	18.65	4.95	6.40	1.85	12.6	5.7	22.75	14.00	12.57	9.00		
			1999. 7. 1	6.2	104.9	29.60	20.00	9.60	23.53	6.07	8.00	2.33	7.3	2.0	28.71	15.76	ND	1.81		
10608	奈良市中山町12**	丘陵地等	1999. 11. 5	5.8	155.2	11.20	8.80	2.40	0	11.20	3.52	0.58	2.9	1.1	0	16.16	11.99	0.36		
10609	奈良市秋篠町7**	下位段丘面	1999. 7. 1	6.0	161.7	43.60	27.20	16.40	17.76	25.84	10.88	3.99	8.6	6.1	21.67	23.03	25.03	8.55		
10610	奈良市秋篠町8**	下位段丘面	1999. 7. 1	6.2	120.5	35.20	24.00	11.20	35.20	0	9.60	2.72	8.3	1.2	48.75	16.16	3.12	1.55		
10611	奈良市秋篠町8**	下位段丘面	1999. 7. 1	6.3	163.0	55.60	48.00	7.60	31.08	24.52	19.20	1.85	5.9	3.7	37.92	14.34	ND	23.35		
10612	奈良市秋篠町8**	下位段丘面	2002. 6. 6	6.6	319.0	75.60	57.20	18.40	63.49	12.11	22.88	4.47	23.2	8.2	77.46	30.91	43.32	15.07		ND
10702	奈良市歌姫町11**	中位段丘面	1999. 12. 3	5.8	336.1	40.40	24.00	16.40	4.44	35.96	9.60	3.99	24.2	19.3	5.42	47.07	46.76	22.65		ND
			2000. 2. 3	5.2	310.0	52.40	32.00	20.40	4.44	47.96	12.80	4.96	27.3	18.1	5.42	47.47	57.51	21.25		ND
10704	奈良市歌姫町13**	中位段丘面	2000. 2. 3	6.3	435.8	79.20	64.00	15.20	30.64	25.60	3.69	50.0	6.6	37.38	103.03	7.52	26.95			ND
10803	奈良市奈良阪町23**	上位段丘面	2002. 3. 4	6.0	92.3	12.40	5.20	7.20	4.44	7.96	2.08	1.75	3.6	8.4	5.42	17.98	9.75	5.13		ND
11101	奈良市三碓町3-6-①	丘陵地等	1999. 11. 5	6.2	141.6	43.20	28.00	15.20	40.85	2.35	11.20	3.69	6.1	3.4	49.84	15.15	11.23	1.60		
			2000. 2. 2	6.9	136.2	36.00	18.40	15.20	31.52	4.48	7.36	4.28	5.7	3.3	38.46	16.16	13.97	1.41		
11102	奈良市三碓町3-6-②	丘陵地等	1999. 11. 5	6.5	155.2	39.60	24.00	15.60	31.08	8.52	9.60	3.79	12.0	2.8	37.92	9.60	14.81	12.94		
11201	奈良市西大寺辻町1-1 ①	沖積低地	1999. 9. 30	6.1	96.2	28.80	16.80	12.00	22.20	6.60	6.72	2.92	2.6	4.1	27.08	10.10	11.77	1.89		
			1999. 11. 7	6.2	99.7	26.17	20.00	6.17	22.51	3.66	8.00	1.50	4.0	3.8	27.45	7.50	13.10	0.90		
			2000. 2. 2	6.5	88.3	23.20	17.20	6.00	13.32	9.88	6.88	1.46	2.7	3.3	16.25	11.52	15.43	1.07		
			2000. 2. 17	6.3	86.9	27.60	20.40	7.20	18.65	8.95	8.16	1.75	2.0	3.2	22.75	8.49	13.85	1.22		
11202	奈良市西大寺辻町1-1 ②	沖積低地	1999. 9. 30	5.8	117.5	32.00	24.00	8.00	13.32	18.68	9.60	1.94	3.2	4.2	16.25	16.16	17.18	2.05		
11203	奈良市青野町1**	沖積低地	1999. 10. 18	6.2	659.7	84.00	59.20	24.80	31.08	52.92	23.68	6.03	63.3	15.7	37.92	125.25	81.95	16.05		
11204	奈良市青野町**	沖積低地	1999. 11. 4	6.2	310.6	40.17	22.00	18.17	20.00	20.17	8.8	4.4	25.0	13.4	24.4	32.5	28.1	12.4		
11205	奈良市疋田町1-5	沖積低地	1999. 10. 21	7.4	367.8	132.00	104.80	27.20	128.76	3.24	41.92	6.61	12.8	38.1	157.09	16.16	65.27	14.59		
11301	奈良市山陵町**	中位段丘面	1999. 9. 30	5.4	110.3	28.00	21.00	7.00	8.88	19.12	8.40	1.70	3.2	4.1	10.83	13.13	14.73	13.56		
11302	奈良市佐紀西町26**	中位段丘面	1999. 10. 14	5.8	135.9	33.20	20.40	12.80	26.64	6.56	8.16	3.11	13.4	12.1	32.50	20.81	35.95	8.63		
			2000. 2. 3	5.8	207.4	40.00	22.80	17.20	19.98	20.02	9.12	4.18	14.0	13.0	24.38	23.43	38.30	11.80		
11303	奈良市法華寺北町8**	中位段丘面	1999. 10. 23	6.3	99.5	42.40	31.20	11.20	35.52	6.88	12.48	2.72	2.5	4.1	43.33	7.07	ND	2.81		
			2002. 2. 17	6.3	112.4	40.80	26.80	14.00	28.86	11.94	10.72	3.40	2.2	2.5	35.21	12.12	ND	1.84		
11304	奈良市法華寺北町88**②	中位段丘面	1999. 10. 23	5.9	231.7	88.40	51.20	37.20	55.50	32.90	20.48	9.04	6.3	6.4	67.71	23.23	48.38	1.92		
11305	奈良市法華寺北町88**①	中位段丘面	1999. 10. 23	5.8	178.6	67.20	52.00	15.20	66.60	0.60	20.80	3.69	4.6	7.4	81.25	14.14	ND	1.84		
11306	奈良市佐紀東町21**①	中位段丘面	1999. 10. 23	5.8	205.6	24.40	14.00	10.40	8.88	15.52	5.60	2.53	8.9	18.1	10.83	25.66	33.33	20.68		ND
11313	奈良市佐紀町21**②	中位段丘面	2002. 2. 17	6.0	206.0	38.40	19.60	18.80	19.09	19.31	7.84	4.57	17.0	4.1	23.29	20.00	49.18	2.16		ND
11316	奈良市佐紀東町22**	中位段丘面	2002. 2. 16	5.6	185.0	28.80	20.80	8.00	17.76	11.04	8.32	1.94	12.2	6.8	21.67	21.21	27.69	13.25		

細野：奈良盆地北部における浅層地下水の賦存特性について

11321	奈良市法華寺町6**	中位段丘面	2002. 2. 18	6.4	233.0	49.60	29.20	20.40	27.08	22.52	11.68	4.96	12.0	12.0	33.04	22.22	53.48	9.94	
11322	奈良市法華寺町4**	中位段丘面	2002. 2. 18	6.7	340.0	98.40	78.80	19.60	83.47	14.93	31.52	19.60	22.8	8.8	101.83	23.64	55.22	6.20	ND
11325	奈良市法蓮町5**・2	中位段丘面	2002. 2. 18	5.7	223.0	39.20	19.60	19.60	3.55	35.65	7.84	4.76	16.2	5.6	4.33	40.40	8.70	20.47	ND
11326	奈良市佐紀町26**	沖積低地	1999. 11. 11	7.2	356.6	103.61	65.75	37.86	60.00	43.61	26.30	9.20	25.7	11.2	73.20	35.00	29.40	21.30	
11327	奈良市佐紀東町21**	中位段丘面	2002. 2. 18	6.0	97.2	26.00	19.60	6.40	16.43	9.57	7.84	1.56	3.6	3.5	20.04	16.97	15.69	5.22	
11401	奈良市法蓮佐保町6**	扇状地	2002. 2. 18	6.0	240.0	80.00	52.40	27.60	45.29	34.71	20.96	6.71	12.0	9.0	55.25	30.30	45.79	10.76	
11402	奈良市法蓮佐保町6**②	扇状地	2002. 2. 18	5.8	76.9	17.20	9.60	7.60	7.55	9.65	3.84	1.85	4.0	1.6	9.21	8.89	12.75	5.05	
11404	奈良市法蓮山添西町8**	扇状地	2002. 2. 22	5.9	277.0	80.00	47.60	32.40	36.41	43.59	19.04	11.57	9.6	2.5	44.42	39.39	32.41	16.07	
11405	奈良市法蓮山添中町7**	沖積低地	2002. 3. 4	6.6	615.0	238.80	196.40	42.40	70.60	168.20	78.56	10.30	12.6	10.1	86.13	43.43	110.40	73.88	ND
11408	奈良市阪新屋町**	中位段丘面	2002. 3. 4	6.8	261.0	84.40	49.20	35.20	47.06	37.34	19.68	8.55	8.2	13.8	57.41	24.65	44.36	17.85	
11413	奈良市北市町**	中位段丘面	2002. 2. 22	6.9	186.0	59.20	43.20	16.00	44.84	14.36	17.28	3.89	4.2	10.0	54.70	9.49	37.04	5.81	
11414	奈良市法蓮町13**	沖積低地	2002. 3. 4	6.0	210.0	83.60	65.20	18.40	69.26	14.34	26.08	4.47	3.3	3.4	84.50	11.11	21.08	10.67	
11415	奈良市多門町**	沖積低地	2002. 2. 22	6.8	175.8	68.80	56.00	12.80	66.60	2.20	22.40	3.11	3.6	3.7	81.25	12.12	17.17	2.92	
11417	奈良市法蓮町13**	沖積低地	2002. 2. 22	6.8	161.0	39.20	30.80	8.40	31.08	8.12	12.32	2.04	7.9	3.0	37.92	23.23	13.02	5.12	
11421	奈良市雜司町4**	中位段丘面	2002. 2. 17	5.2	54.3	7.20	5.20	2.00	2.22	4.98	2.08	0.49	2.1	2.6	2.71	14.14	10.99	0.89	
11425	奈良市雜司町47**	下位段丘面	2002. 3. 4	6.3	237.0	65.60	53.20	12.40	33.30	32.30	21.28	3.01	13.4	10.0	40.63	28.69	27.52	29.13	ND
11432	奈良市雜司町2**	下位段丘面	2002. 3. 4	6.3	214.0	42.40	26.80	15.60	38.63	3.77	10.72	3.79	14.4	15.0	47.13	23.03	5.15	15.73	
11435	奈良市般若寺町*	上位段丘面	2002. 3. 4	5.8	277.0	29.20	20.00	9.20	12.43	16.77	3.68	2.24	25.6	24.4	15.16	42.83	40.54	24.33	ND
11436	奈良市法蓮佐保町6**	扇状地	2002. 2. 18	5.8	73.6	13.60	10.80	2.80	12.88	0.72	4.32	0.68	4.1	1.9	15.71	13.54	7.88	4.98	
11437	奈良市雜司町2**	中位段丘面	2002. 3. 4	6.4	183.0	73.20	57.20	16.00	73.20	0	22.88	3.89	4.7	3.0	90.13	9.09	ND	0.30	
11701	奈良市中町23**	下位段丘面	1999. 10. 21	6.1	180.2	56.80	38.00	18.80	39.96	16.84	15.20	4.57	11.0	4.1	48.75	12.53	43.60	4.64	
			2000. 2. 2	6.6	198.0	60.80	38.00	22.80	41.29	19.51	15.20	5.54	10.2	4.2	50.38	13.13	30.55	2.20	
11702	奈良市中町21**	下位段丘面	1999. 10. 21	7.0	216.5	43.20	23.60	19.60	26.20	17.00	9.44	4.76	23.0	3.9	31.96	26.66	28.24	20.85	ND
			2000. 2. 2	6.9	305.0	44.0	23.60	20.40	28.42	15.58	9.44	4.96	21.6	3.7	34.67	25.25	27.42	21.90	ND
11801	奈良市宝来町4**	中位段丘面	1999. 10. 21	6.4	136.2	10.40	4.80	5.60	7.10	3.30	1.92	1.36	12.7	8.0	8.66	14.14	29.75	5.87	
			2000. 2. 2	6.0	208.0	23.60	15.60	8.00	13.76	9.84	6.24	1.94	22.1	7.4	16.79	36.97	21.60	15.11	
11802	奈良市菅原東町5**・6	沖積低地	1999. 10. 4	6.4	103.3	24.00	21.60	2.40	22.20	1.80	8.64	0.58	2.2	3.3	27.08	10.71	ND	6.49	
			1999. 11. 4	6.4	109.7	38.05	22.00	16.05	35.00	3.05	8.80	3.90	3.5	4.8	42.70	6.20	ND	4.20	
			2000. 2. 2	6.9	104.7	28.80	24.00	4.80	26.64	2.16	9.60	1.17	2.0	3.0	32.50	10.51	ND	3.01	
11803	奈良市菅原東町5**①	沖積低地	1999. 10. 18	6.5	153.1	76.00	60.40	15.60	76.00	0	24.16	3.79	5.0	8.2	102.92	12.73	ND	1.75	
11804	奈良市菅原東町5**②	沖積低地	1999. 10. 18	6.6	198.3	60.00	41.20	18.80	53.28	6.72	16.48	4.57	4.5	4.4	65.00	11.52	ND	1.74	
11805	奈良市菅原東町4**	沖積低地	1999. 11. 8	7.2	274.6	112.00	86.00	26.00	94.57	17.43	34.40	6.32	11.3	5.2	115.38	24.85	36.65	1.29	
			2000. 2. 2	7.4	315.0	153.60	107.60	46.00	98.57	55.03	43.04	11.18	11.2	5.3	120.25	26.26	38.71	1.15	
11806	奈良市二条寺南5-6**	沖積低地	1999. 10. 20	6.8	128.5	52.00	42.80	9.20	48.84	3.16	17.12	2.24	2.0	4.5	59.58	6.06	ND	1.31	
11807	奈良市宝来3-6**	中位段丘面	1999. 10. 4	6.4	150.4	40.00	20.40	19.60	46.18	0	8.16	4.76	5.0	12.6	56.34	11.72	19.46	1.95	
11808	奈良市平松町1-13**	中位段丘面	1999. 10. 4	5.8	59.0	18.80	14.80	4.00	14.65	4.15	5.92	0.97	2.1	2.5	17.87	6.87	ND	0.55	
			2000. 2. 2	6.3	79.3	18.00	15.20	2.80	13.32	4.68	6.08	0.68	2.3	2.6	16.25	8.08	ND	1.40	
11809	奈良市平松1丁目12**	中位段丘面	1999. 11. 8	6.4	336.7	49.23	41.00	8.23	49.23	0	16.40	2.00	26.3	10.6	86.67	13.80	46.23	6.50	
11810	奈良市尼辻中町6**	中位段丘面	1999. 11. 8	6.2	203.9	56.40	36.80	19.60	33.30	23.10	14.72	4.76	7.3	11.6	40.63	21.01	12.38	16.03	ND
11811	奈良市平松町1-8**	中位段丘面	1999. 10. 4	5.8	220.6	38.00	6.00	32.00	12.43	25.57	2.40	7.78	22.4	17.4	15.16	24.65	39.52	19.96	ND
11813	奈良市五条町18**	沖積低地	1999. 10. 4	6.6	224.0	101.60	84.40	17.20	93.68	7.92	33.76	4.18	4.7	3.5	141.29	10.51	14.39	4.95	
11901	奈良市四条大路3-5**	沖積低地	1999. 10. 20	7.4	170.0	61.60	55.60	6.00	61.60	0	22.24	1.46	4.7	8.3	81.25	9.70	ND	7.98	
			1999. 11. 15	7.8	284.0	70.00	66.00	4.00	70.00	0	26.40	0.97	16.4	8.8	97.60	13.75	ND	3.59	
11902	奈良市柏木町6**・1	沖積低地	1999. 10. 20	6.9	376.3	55.20	35.60	19.60	55.20	0	14.24	4.76	24.4	9.9	113.75	44.85	37.41	1.26	
11903	奈良市柏木町**	沖積低地	1999. 10. 30	6.9	412.1	77.98	50.00	27.98	77.98	0	20.00	6.80	44.5	9.5	115.90	7.50	30.00	2.64	

12003	奈良市中院町①	中位段丘面	1999.12.24	6.6	158.0	46.80	35.60	11.20	46.80	0	14.24	2.72	6.1	7.8	65.00	18.18	16.51	0.90	
12004	奈良市中院町②	中位段丘面	1999.12.24	6.7	197.8	118.00	60.00	58.00	66.60	51.40	24.00	14.09	3.2	8.7	81.25	8.69	29.65	6.94	
12005	奈良市中院町③	中位段丘面	1999.12.24	6.6	156.0	56.00	42.40	13.60	30.19	25.81	16.96	3.30	3.3	5.3	36.83	15.15	28.84	4.22	
12006	奈良市薬師堂町**	中位段丘面	1999.11.10	7.0	285.9	62.00	44.00	18.00	35.00	27.00	17.60	4.37	15.5	11.0	42.70	37.50	18.98	36.59	ND
12007	奈良市關佃井町6**	中位段丘面	2001.7.21	5.9	224.0	55.20	24.00	31.20	25.75	29.45	9.60	7.58	14.9	8.7	31.42	24.24	29.12	17.08	
12401	奈良市石木町4**	扇状地	1999.10.30	6.7	241.0	74.00	58.40	15.60	58.40	0	23.36	3.79	13.6	9.5	119.17	12.12	11.94	1.91	
12403	奈良市六条町12**	沖積低地	1999.10.30	6.7	167.5	50.00	34.80	15.20	50.00	0	13.92	3.69	5.3	5.8	70.96	16.16	ND	2.44	
			2000.2.2	7.0	129.1	42.40	22.00	20.40	31.52	10.88	8.80	4.96	3.0	3.7	38.46	9.09	13.20	6.17	
12404	奈良市七条町1-7**	中位段丘面	1999.11.5	6.8	169.8	39.60	23.20	16.40	13.32	26.38	9.28	3.99	35.4	9.8	16.25	50.71	54.34	18.24	
12405	奈良市七条町1-24**	中位段丘面	1999.10.4	6.2	182.4	72.00	54.80	17.20	61.72	10.28	21.92	4.18	4.0	5.6	75.30	10.30	29.51	5.88	
			2000.2.2	6.9	211.2	75.60	61.20	14.40	48.84	26.76	24.48	3.50	5.5	5.9	59.58	16.57	42.96	6.84	
12501	奈良市大安寺4-3	沖積低地	2002.2.18	6.7	307.0	70.40	50.00	20.40	62.60	7.80	20.00	4.96	14.6	21.0	76.37	43.64	14.95	8.97	
12502	奈良市大安寺1-13	沖積低地	2002.2.18	6.1	487.0	128.00	80.40	47.60	76.37	51.63	32.16	11.57	25.8	3.1	93.17	69.70	65.67	2.36	
12503	奈良市大安寺2-18	沖積低地	2002.2.18	6.9	455.0	204.80	169.60	35.20	204.80	0	67.84	8.55	6.4	10.7	264.89	15.15	ND	ND	
12504	奈良市東九条町	沖積低地	2002.2.18	5.8	206.0	40.00	19.60	20.40	2.22	37.78	7.84	4.96	19.1	0.2	2.71	35.76	53.08	0.26	
20601	大和郡山市九条町6**	中位段丘面	2000.9.25	6.6	282.2	90.80	62.80	28.00	90.80	0	25.12	6.80	48.9	20.8	128.38	57.17	38.42	18.20	ND
			2002.2.26	6.6	421.0	75.20	50.80	24.40	68.82	6.38	20.32	5.93	43.5	25.0	83.96	50.10	40.63	31.15	ND
21003	大和郡山市田中町2**	沖積低地	2000.9.3	6.0	279.0	67.60	16.80	50.80	13.32	54.28	6.72	12.34	19.0	13.5	16.25	33.33	38.22	18.83	
21004	大和郡山市新木町1**	沖積低地	2000.9.3	6.4	581.0	182.00	132.80	49.20	147.41	34.59	53.12	11.96	22.9	18.0	179.84	33.33	94.81	4.62	
21101	大和郡山市材木町30	沖積低地	2002.2.18	6.7	212.0	85.20	61.60	23.60	68.38	16.82	24.64	5.73	3.0	5.5	83.42	12.32	28.64	8.62	
21201	大和郡山市上三橋町2**	沖積低地	2002.2.18	6.2	450.0	76.40	46.40	30.00	76.40	0	18.56	7.29	63.5	8.9	149.50	69.09	ND	8.05	
21202	大和郡山市美濃庄町1**	沖積低地	2002.2.26	7.1	587.0	123.20	86.00	37.20	123.20	0	34.40	9.04	63.0	22.1	211.26	68.08	ND	8.89	
21203	大和郡山市美濃庄町西	沖積低地	2002.2.26	6.1	446.0	150.40	97.60	52.80	150.40	0	39.04	12.83	23.5	9.1	185.79	10.10	10.24	0.42	
21401	大和郡山市山田町7**	下位段丘面	2000.9.21	5.8	158.8	40.00	20.00	20.00	14.21	25.79	8.00	4.86	2.8	4.4	17.33	13.13	20.56	11.05	
21501	大和郡山市満願寺町4**	沖積低地	2000.9.3	6.6	244.2	68.00	46.80	21.20	68.00	0	18.72	5.15	13.6	4.2	88.84	18.18	ND	3.95	
21601	大和郡山市丹後庄町**	沖積低地	2000.9.4	6.8	468.8	106.00	83.60	22.40	106.00	0	33.44	5.44	32.7	14.4	162.50	32.73	39.14	2.26	
21602	大和郡山市番条・野井戸	沖積低地	2001.5.5	6.5	111.2	28.50	27.55	0.95	27.21	1.29	11.02	0.23	0.9	2.5	33.20	9.60	13.23	2.06	
21603	大和郡山市若槻・野井戸	沖積低地	2001.4.18	6.1	48.3	116.00	65.00	51.00	116.00	0	26.00	12.39	38.8	3.6	148.90	68.20	ND	15.19	ND
21701	大和郡山市石川町5**	沖積低地	2002.2.18	5.9	386.0	152.00	108.40	43.60	92.80	59.20	43.36	10.59	11.4	3.4	113.22	41.21	53.88	3.06	
21702	大和郡山市白土町千束	沖積低地	2002.2.18	6.0	316.0	118.40	81.60	36.80	74.15	44.25	32.64	8.94	7.5	4.0	90.46	36.57	42.35	0.45	
21703	大和郡山市白土町6**	沖積低地	2002.2.26	6.4	366.0	113.20	74.80	38.40	40.85	72.35	29.92	9.33	18.6	3.6	49.84	46.46	54.87	4.98	
21706	大和郡山市発志院町4**	沖積低地	2002.2.26	6.7	129.4	38.00	25.20	12.80	32.41	5.59	10.08	3.11	2.8	6.2	39.54	12.12	17.29	5.34	
21707	大和郡山市大江町**	沖積低地	2002.2.18	6.4	118.2	59.20	33.60	25.60	36.41	22.79	13.44	6.22	2.8	1.9	44.42	23.23	ND	1.03	
22101	大和郡山市筒井町**	沖積低地	2001.5.5	6.8	351.0	98.00	68.99	29.01	98.00	0	27.60	7.05	10.4	23.1	140.20	20.00	40.71	3.54	
			2001.5.8	7.4	357.0	101.60	63.62	37.98	101.60	0	25.45	9.23	12.4	23.7	137.49	18.38	38.91	7.49	
22102	大和郡山市馬司町10**	沖積低地	2000.9.17	6.8	298.7	94.00	76.00	18.00	65.71	28.29	30.40	4.37	1.8	2.0	80.17	8.69	ND	43.28	ND
22103	大和郡山市伊豆七条町2**	沖積低地	2002.2.26	6.7	204.0	58.80	47.60	11.20	58.80	0	19.04	2.72	6.8	5.3	75.30	10.30	ND	2.66	
22201	大和郡山市新庄町**	沖積低地	2001.4.18	6.5	437.0	148.60	109.40	39.20	61.60	87.00	43.76	9.53	15.2	4.2	81.25	30.30	86.41	7.15	
			2002.2.26	6.7	510.0	180.80	132.80	48.00	62.60	118.20	53.12	11.66	22.0	3.9	76.37	40.40	142.00	1.22	
22203	大和郡山市新庄町3**	沖積低地	2000.8.22	6.4	265.3	162.00	116.40	45.60	59.94	102.06	46.56	11.08	15.1	4.7	73.13	28.28	86.12	54.02	ND
22204	大和郡山市横田町**	沖積低地	2000.2.26	6.6	171.8	61.60	43.20	18.40	59.50	2.10	17.28	4.47	3.0	6.0	72.59	10.51	16.45	5.52	
22301	大和郡山市額田部北町9**	中位段丘面	2000.9.21	5.4	159.7	18.00	8.00	10.00	5.77	12.23	3.20	2.43	12.6	6.8	7.04	17.17	12.43	20.88	ND
22302	大和郡山市額田部北町8**	下位段丘面	2000.9.15	6.8	695.6	242.00	193.20	48.80	170.05	71.95	77.28	11.86	24.2	3.5	207.46	41.41	76.23	40.28	ND
22402	大和郡山市宮堂町5**	沖積低地	2000.9.17	7.1	251.9	58.00	41.20	16.80	58.00	0	16.48	4.08	10.5	13.0	72.59	12.93	18.79	13.87	
22403	大和郡山市長安寺町3**	下位段丘面	2000.9.17	6.2	422.3	80.00	48.80	31.20	61.72	18.28	19.52	7.58	30.1	13.9	75.29	49.70	44.80	9.28	

注 NDとあるのは非検出。使用した機器により、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>では5.0mg/ℓ未満。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>では0.02mg/ℓ未満に相当する。

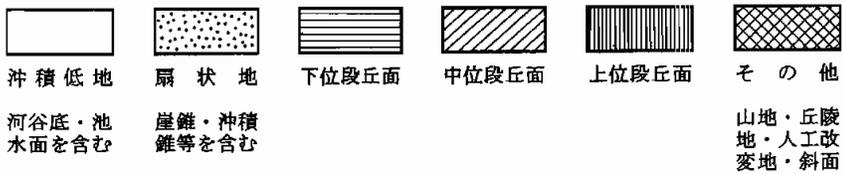
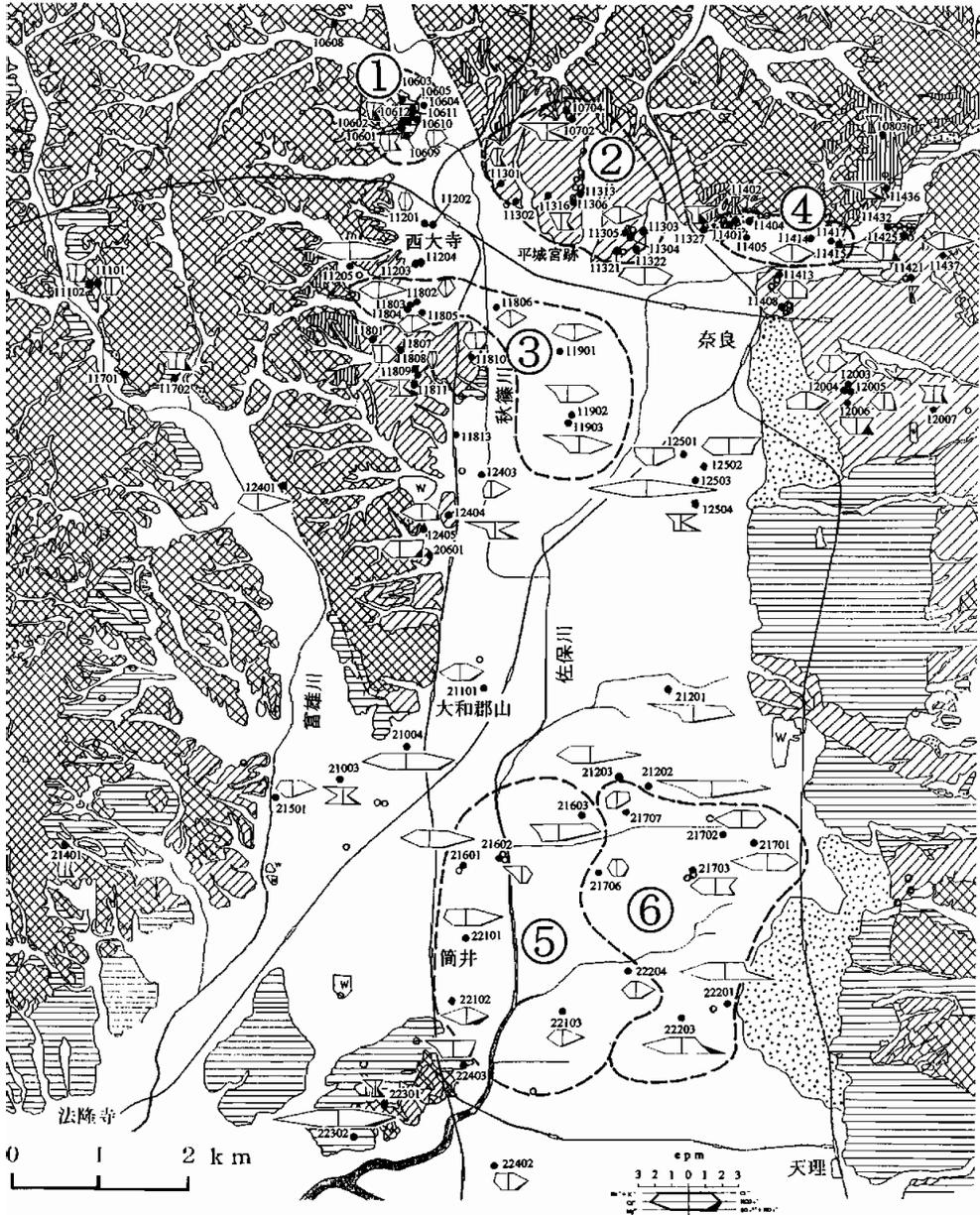


図1 水質組成のヘキサダイアグラムによる表示例

図中、①～⑥は、トリリニヤダイアグラムによる区分(図-2)の範囲

による表示法について解釈を試みた。

ヘキサダイアグラムによる表示法では、水質の組成の違いや、濃度の高低を知るのに好都合であり、一覧性の点でも優れている。ただ近年では水平軸の表示法に、研究者の意図に由来する主張の相違から、従来の配置と異なる方法をとる例がみられるのでパターンの認識には注意が必要である。従ってこの方法を用いる場合には凡例によって水平軸の配置を明示する必要がある。また、以前は問題とされることは無かったが、硝酸性窒素の増加にからんで特別な表示法が必要となり、最近では強酸の一部として単位を整え、塗色して付加表示する例が多い。本論文では $\text{SO}_4^{2-}$ の同軸上に接して $\text{NO}_3^-$ を塗色した形で示すこととする。

ヘキサダイアグラムによる表示の結果は図-1中に描き加えた。この図中には、微妙に形の異なる六角形が分布していることが読み取れる。右下に凡例を添えてあるが、地下水中に溶存するイオンを当量（単位はミリ当量：epm）で表したものである。右側がアニオン（陰イオン）で、上から塩素イオン（ $\text{Cl}^-$ ）、重碳酸イオン（ $\text{HCO}_3^-$ ）、（硫酸イオン（ $\text{SO}_4^{2-}$ ）と、その外側同軸上に硝酸イオン（ $\text{NO}_3^-$ ）を黒色塗りつぶしで表示した。左側はカチオン（陽イオン）で、上から、ナトリウムイオンとカリウムイオンの和（ $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ）、カルシウムイオン（ $\text{Ca}^{2+}$ ）、マグネシウムイオン（ $\text{Mg}^{2+}$ ）、を表示する。カチオン、アニオンのそれぞれのミリ当量（epm）の和は等しくならねばならないから、もし著しい相違が生じた場合には、何か別種のイオンが存在すると考えるか、または分析誤差についての検討が必要である。ここでは、そのように極端な問題があると予想されるデータは含まれていない。

前述のように、イオンの溶存量そのものが多くなれば六角形の形は大きくなる。

重碳酸カルシウムを主とする一般的な水質組成の場合には、 $\text{Ca}^{2+}$ と $\text{HCO}_3^-$ が、本凡例に示すように、中段に表示するものとする、ヘキサダイアグラムのパターンは算盤玉のような形状となる。また、水質の究極的な組成とも考えられる海水の場合には猪口型のものとなる。このことから水質組成の現状の過程を推察することができる。図1により、この地域の水質組成のパターンをみると、大局的にみれば、奈良市を囲む相対的な高所部分、すなわち、秋篠、歌姫、奈良阪、雑司町などには濃度の少ない、すなわち小型のものが認められるのに対し、佐保川沿いに大和郡山市以南になると大型のものが目立つようになる。すなわち、水質の濃度が高くなることである。

また、ヘキサダイアグラムを並べることにより、地下水の水系あるいは流動系を得ようとする場合があるが、この地域では、ただちにそれらから結果を導くことは困難で、別の要因が絡むものと考えられ、解釈には一工夫を要するものがある。

トリリニア・ダイアグラムによる表示法では、前述のように、カチオンについては（ $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ）と（ $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ）、アニオンについては（ $\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$ ）と（ $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ ）の4つのグループの当量の占める百分率に換算し、ダイアグラム上にプロットするもので、硬度成分の内容を知り、地下水の地中における変化の状態を地球化学的に明らかにしようとするものである。

トリリニア・ダイアグラムによる表示では、図-2に示したように菱形で示された図中の区

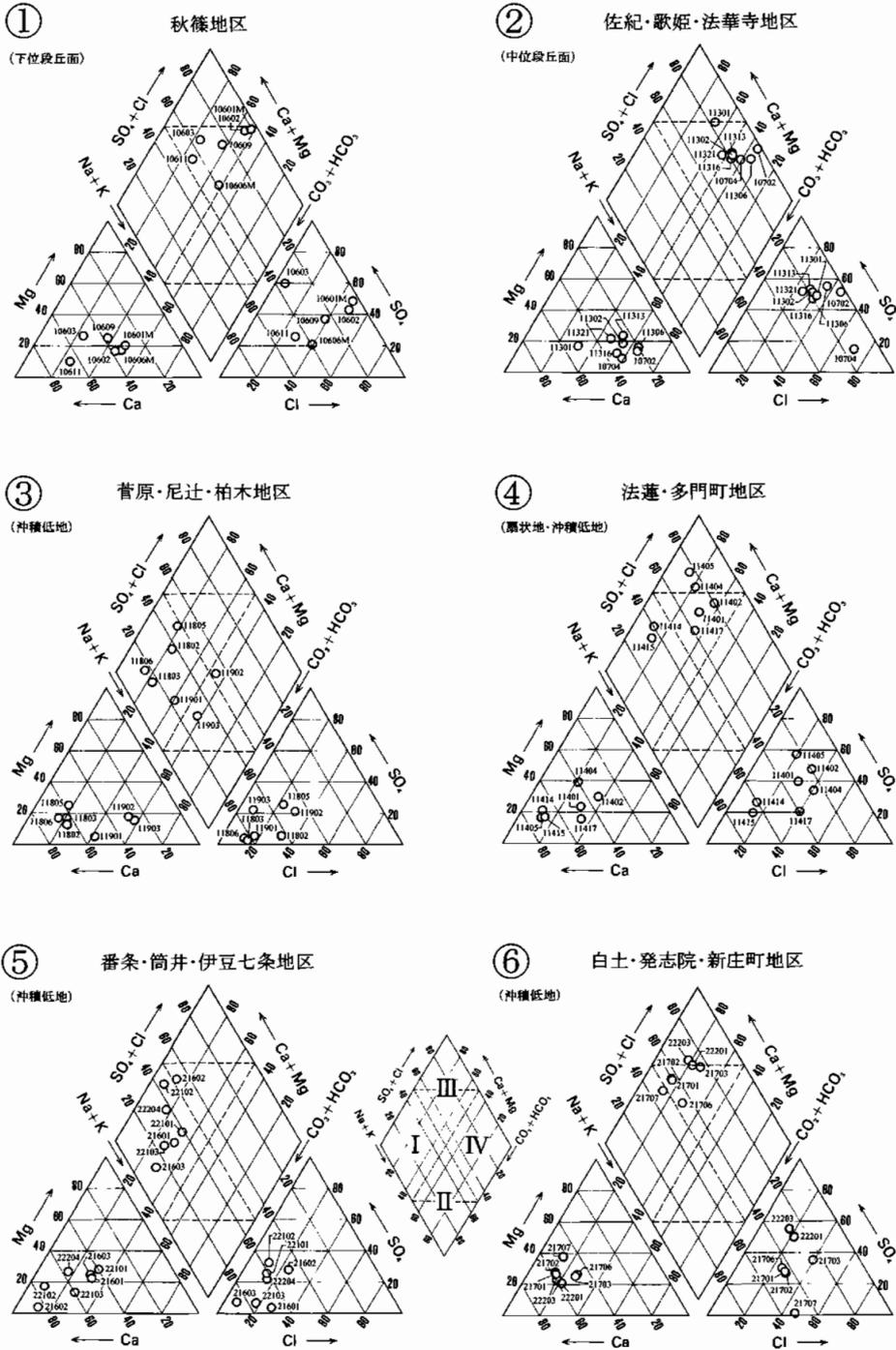


図2 水質組成のトリリニアダイアグラムによる表示例

①～⑥の地域的範囲は、図-1中に描き入れてある。

分に従って、主として硬度成分に応じて水質を区分する。すなわち、この図の内部を 50%の線で区分し、Carbonate Hardness (I型)、Carbonate Alkali (II型)、Non-Carbonate Hardness (III型)、Non-Carbonate Alkali (IV型)、に区分する。この方法によれば、いくつもの異なる水質の比較を容易にできる利点がある。

一般に知られている水質区分型に応じた水の種類(村下:1976<sup>5)</sup>)によれば、Carbonate Hardness (I型)は、地表水・地下水に分類され、もっとも一般的な水で、広い用途に利用されるとしている。Carbonate Alkali (II型)は、地下水(主に深層の被圧地下水を意識?)に分類され、盆地の中央部・臨海部の深部等に分布し、透水性が小さいので比湧出量はきわめて小さいとされ、灌漑用水としては適さないことがあるとされている。Non-Carbonate Hardness (III型)は、地下水・鉱山・火山性の水に分類され、永久硬度の強い水であることから、すべての用途に適さないとされている。Non-Carbonate Alkali (IV型)は、海水・地下水に分類され、ともに、すべての用途に適さないとされている。以上は自然状態のもとでの分類である。

水文循環の立場から水質形成について、以下のような過程を説明したく思う。大気中の二酸化炭素は雨滴に取り込まれ弱い炭酸と化して地表に到達する。この炭酸が地表付近に多く存在するカルシウムと反応して重炭酸カルシウムとなり、I型の水質が形成される。ついで地表から地下に浸透していく過程で、造岩鉱物が風化していく段階で生成された不安定な粘土鉱物中のナトリウムとイオン交換を行い、粘土鉱物はカルシウムを得て安定化し、水質は重炭酸カルシウムを主としたものから重炭酸ナトリウムを主とするII型の水質が形成される。この過程はモンモリロナイトの層間水などで顕著に認められるものである。また水の存在の場(浅所:I型→深所:II型)、相対的な滞留時間(短時間:I型→長時間:II型)などからも現象は一致する。

図-2に水質分析の結果を、地域別に仕分け、トリリニア・ダイアグラムによって表示したものを掲げる。①は奈良市西北部の秋篠地区で下位段丘面上に位置する。②は奈良市北部の佐紀・歌姫・法華寺地区で中位段丘面上に位置する。③は奈良市西部の菅原・尼辻・柏木地区で秋篠川支流沿いの沖積低地上に位置する。④は奈良市東部の法蓮町・多門町地区で佐保川上流部の扇状地および下位段丘面上に位置する。⑤は大和郡山市の中南部の番条・筒井・伊豆七条地区で佐保川沿いの広い沖積低地上に位置する。⑥は大和郡山市の東南部で⑤に隣接する白土町・発志院町・新庄地区で佐保川支流の河床勾配のやや急な菩提仙川・高瀬川からの水系を加えた沖積低地上に位置する。以上の平面的な範囲は図-1に描き入れてある。各地域別にやや明瞭な分布上の違いを読み取ることができる。ただし、トリリニアダイアグラムでは従来からNO<sub>3</sub>は対象外であったが、アニオンの量的バランスから無視できないものとなってきたのでSO<sub>4</sub>に含めた形を取っている。その結果、III型にシフトする傾向が加わる。

## V. 考察

奈良盆地北部における浅層地下水について、その賦存の特性について、地下水の位置と井戸の深さおよび構造、ならびに利用の現状と水質等について調査を行った。

その結果は自然の状態での水循環と水質の形成といった自然系に、すでに限度を超えたと考えられる人間活動系が加わって、自然系が歪められた形で変質している。

たとえば類を見ない程に異常と思われる水質のパターンにしてみても、明らかに人間活動系に由来すると思われる要素を取り除くと、そこには自然系のパターンの痕跡が残されているように思われる。

水の循環系の立場からみると、循環速度は極めて遅い自然条件（水文地質構造）のもとにある。したがって自然系のもとでは、水の利用可能量は限られたものとなる。かつては、このような利用可能量の範囲で生活が営まれ、その利用に伴う排水量は土壌による浄化の限界を超えることは無かったものと考えられる。近年の水の消費量の増加にともなって、その消費に見合う排水の管理が求められるが、それがうまく適合しないと地域の水環境の悪化を生じることになる。さらに、現状を放置すると深層の地下水に影響を及ぼす事態も考えられるので、速やかな対策が望まれる。

## VI. 謝辞

この研究の実施にあたり、平成11年度から平成13年度まで、奈良大学の助成を受けたことについて感謝申し上げます。地理学科教員の皆様からは御親切な御教示を賜りましたこと厚く御礼申し上げます。これまで奈良の知識は全く持ち合わせなかったことから、おおいに助かりました。この資料が奈良への置き土産として役立てて頂ければ幸甚です。また、本論文を御退任される奈良大学教授坂本英夫先生に捧げる機会を与えて頂いたことを光榮に存じます。

## VII. 文献

- 1) 細野義純 (2002)；奈良市および周辺における在来井戸の構造および諸元ならびに地下水層の水理的特性に関する研究、奈良大学総合研究所報 第10号、P.113~120
- 2) 細野義純 (2003-1)；奈良盆地北部における帯水層の形成機構と地下水の水質組成に関する研究、奈良大学総合研究所報 第11号、P.179~185
- 3) 細野義純 (2003-2)；奈良市周辺地域における硝酸性窒素による地下水汚染に関する研究、奈良大学総合研究所報 第11号、P.211~215
- 4) Piper, A. M. (1944)；A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis, AGU, Trans.25
- 5) 村下敏夫 (1976)；改訂地下水学要論、昭晃堂、P.178~183