

目でみる水質表示法

永井 茂

〈1〉はじめに

大気中の水蒸気が雨水となって地上に落下すると河川水または地下水となり 地表あるいは地中を流動して最後に海洋に注ぎます。この河川水および地下水は流動する過程において種々の物質を溶解してゆきますが接触する岩石 土壌の種類および溶解度 接触時間 水温 水の性質 (pH CO₂ 含量など) によって水の中の溶解物質の量 (水質) が違ってきます。また都市周辺における都市下水 工場廃水による汚染、臨海部などにおける海水による汚染なども 水質に大きな影響をおよぼします。

水資源調査において水質調査は非常にたいせつであり通常水利地質的調査と水質調査は同時に行なわれ 水質分析の結果をもとに水質の解析がなされます。水質の解析は地形 地質 社会環境などをふくめて検討されますが この検討のために水質分析結果を種々の図表 ダイアグラムに表示するのが便利でよく使われます。そこで図表 ダイアグラムによる水質表示法についての解説と 私たちがもっともよく用いている表示法の応用例を紹介します。

〈2〉水質分析を行なう成分

水質分析を行なう成分は 当然その用途 および目的 (たとえば飲料用 工業用 かんがい用) で異なってきます。そこで現在地質調査所の水資源調査で行なっている成分を例にあげますと 右のとおりです。

第1表 ppm を epm に変える係数

カルシウムイオン (Ca ²⁺)0.0499
マグネシウムイオン (Mg ²⁺)0.0822
ナトリウムイオン (Na ⁺)0.0435
カリウムイオン (K ⁺)0.0256
第1鉄イオン (Fe ²⁺)0.0358
マンガンイオン (Mn ²⁺)0.0364
アルミニウムイオン (Al ³⁺)0.1112
アンモニウムイオン (NH ₄ ⁺)0.0554
重炭酸イオン (HCO ₃ ⁻)0.0164
炭酸イオン (CO ₃ ²⁻)0.0333
硫酸イオン (SO ₄ ²⁻)0.0208
塩素イオン (Cl ⁻)0.0282
硝酸イオン (NO ₃ ⁻)0.0161
亜硝酸イオン (NO ₂ ⁻)0.0217

- ① 水温
- ② 電気伝導度 (比抵抗)
- ③ pH および RpH (空気と平衡状態における pH)
- ④ 溶存酸素
- ⑤ 遊離炭酸ガス
- ⑥ アルカリ度または重炭酸イオン (HCO₃⁻)
- ⑦ 塩素イオン (Cl⁻)
- ⑧ 硫酸イオン (SO₄²⁻)
- ⑨ 亜硝酸イオン (NO₂⁻)
- ⑩ ナトリウムイオン (Na⁺)
- ⑪ カリウムイオン (K⁺)
- ⑫ カルシウムイオン (Ca²⁺)
- ⑬ マグネシウムイオン (Mg²⁺)
- ⑭ アンモニウムイオン (NH₄⁺)
- ⑮ 第1鉄イオン (Fe²⁺) および第2鉄イオン (Fe³⁺)
- ⑯ マンガンイオン (Mn²⁺)
- ⑰ ケイ酸 (SiO₂)
- ⑱ リン (P)
- ⑲ 化学的酸素消費量 (過マンガン酸カリウム消費量)
- ⑳ 硬度

などで そのほか 必要に応じて アルミニウムイオン (Al³⁺) 硝酸イオン (NO₃⁻) 全鉄 硫化水素 (H₂S) 蒸発残渣 などを追加したり また上記成分の一部を省略することもあります。

〈3〉測定値の表示

測定値を表示する場合 直接測定できる量 (mg) である mg/l または ppm で表示する方法と 物質を形成する分子あるいは原子の反応当量 (me) である me/l または epm (ミリグラム当量) で表示する方法があります。ふつう分析結果は ppm で表示しますが 水質の検討を行なう場合には epm の方が便利のため epm を併記することもあります。ppm を epm に換算するには ppm を各成分のミリグラム当量 (たとえば Cl⁻ 35.45 mg SO₄²⁻ 48.0 mg) で割って算出しますが 計算を簡単にするために換算係数 (ミリグラム当量の逆数) を ppm に掛けて算出します。参考までにおもな成分についての換算係数を第1表に示します。

〈4〉水中における主要成分

一般に水の中に溶解している成分は 陰イオンと陽イオンを形成し お互いに化学的に平衡関係にあります。陰イオンとしては HCO₃⁻ Cl⁻ SO₄²⁻ が主要成分であ

り陽イオンとしては Na^+ K^+ Ca^{2+} Mg^{2+} が主要成分であって それぞれ陰イオン 陽イオンの大部分を占めます。このため上記成分の陰イオン 陽イオンの epm 合計値はほぼ等しくなります。それゆえに両者の epm 合計値に差が生じた場合には 測定値のあやまりが原因することが多く 測定値のチェックにしばしば用いられます。水質の解析には ふつう上記成分と水温 pH Fe^{2+} SiO_2 を対象に行なうことが多く他の成分は特殊の場合にのみ限られます。

〈5〉 図による水質表示法の概略

図表 ダイアグラムを使って水質の表示を行なうには濃度単位 (ppm) で表示する方法と 当量単位 (epm) で表示する方法とがあります。まずどんな表示法があるか 大まかな分類を行なってみますとつぎの通りです。

濃度単位 (ppm) 法

- ① 濃度単位そのまま…棒グラフ法
- ② 百分組成法…棒グラフ法 円グラフ法

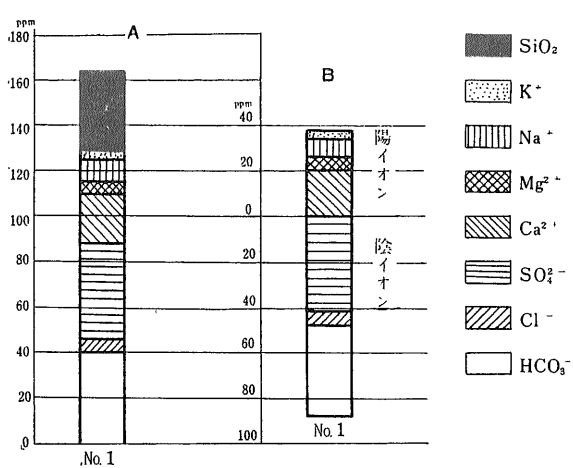
当量単位 (epm) 法

- ③ 当量単位そのまま…棒グラフ法 ベクトル法
- ④ 百分組成法…棒グラフ法 円グラフ法
- ⑤ 三角坐標法
- ⑥ Keydiagram 法

ふつう水質の解析でよく用いられる方法は ③の当量単位そのままの方法と ⑥の Keydiagram 法ですが一応各表示法について説明します。説明の材料としては 前橋市で採取した2つの地下水を用います。なお分析値は第3表の No.1 No.2を参照して下さい。

① 濃度単位そのままの方法

第1図のように棒グラフによる表示が一般的で 縦軸



第1図 ppm そのままによる表示法

または横軸に各成分の測定値 (ppm) をそのまま積み上げて作図します。この場合 SiO_2 を加えることが多くまた陰イオン 陽イオンを分けることもあります。

② 濃度単位の百分組成法

第2図のように棒グラフ 円グラフが一般的です。主要成分合計値 (SiO_2 を加えることが多い) または全固形分を 100% として各成分の濃度百分比 (%) を算出して作図します。なお 円グラフの場合は円の面積を 100% とします。また円の大きさで全固形分量を区別することもできます。

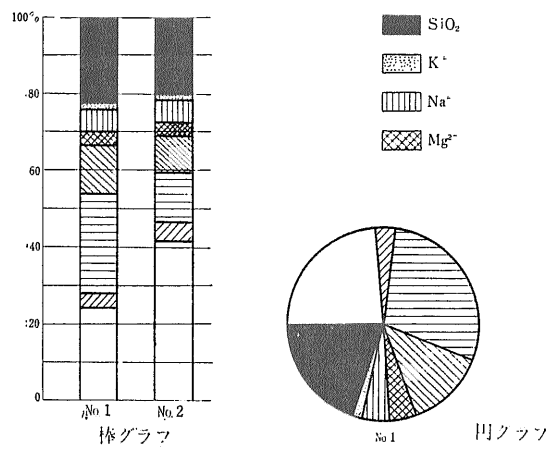
③ 当量単位そのままの方法

第3図のように棒グラフ ベクトル法などが用いられます。棒グラフ法の作図は①と同じです。ベクトル法は各成分をベクトル (矢印) で方向分けし 原点を中心にそれぞれの epm 値の長さでベクトルをとります。

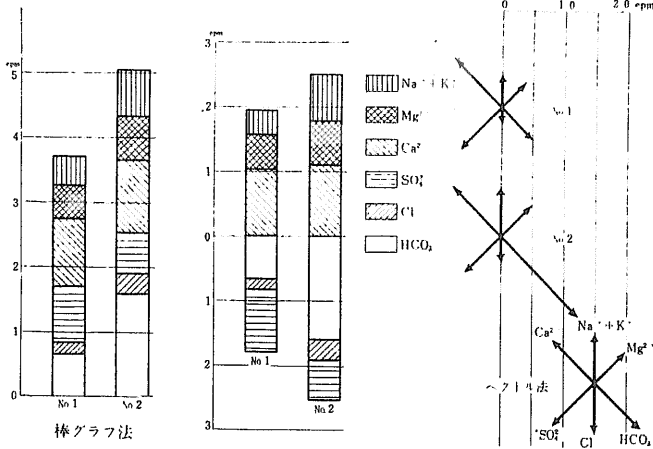
なお当量単位法の場合には SiO_2 は除外し Na^+ と K^+ は含量で表示するのがふつうです。

④ 当量単位の百分組成法

第4図のように棒グラフ法 円グラフ法が用いられます。この方法では陰イオンと陽イオンの epm 合計値はほぼ等しいために 両者は自然に分かれます。円グラフ法の場合には溶存分量によって円の大きさを変えることも多く使われます。



第2図 ppm の百分組成による表示法



第3図 当量単位そのままの表示法

別々に表示するため 2つの三角座標で1組になります。

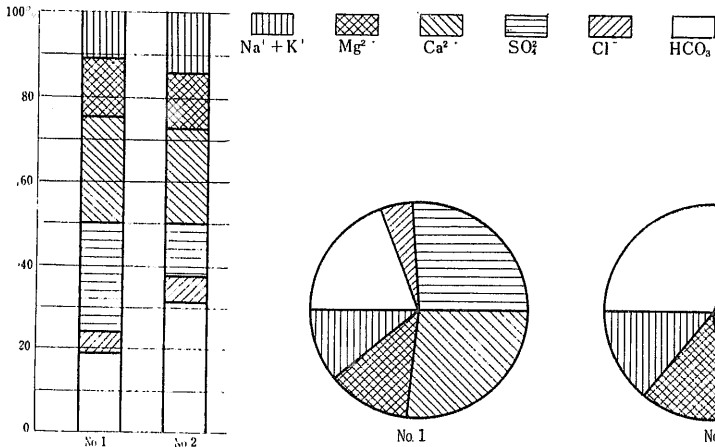
一般に陰イオンでは $\text{HCO}_3^- - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$ 陽イオンでは $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{Na}^+ + \text{K}^+$ の3成分系が用いられます。

陰イオン 陽イオン別々に ppm の合計値を100%とし 各成分の百分比(%)を算出し 2成分の百分比(%)が三角座標上で交差する点をプロットします(第5図)。

* [ふつう水中には HCO_3^- だけが存在しますが pH が 8.0 を越えた水には CO_3^{2-} が存在します。三角座標法 Keydiagram 法および Hexadiagram 法を用いる場合 CO_3^{2-} は HCO_3^- と合量で表示します]

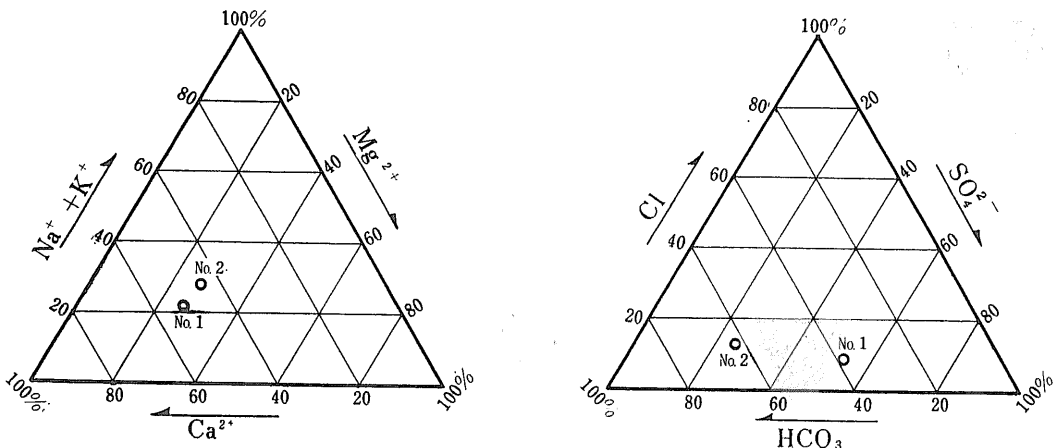
⑤ 三角座標法

Keydiagram 法が考案される以前にはよく使われましたが 最近あまり使われていません。三角座標を用いて三成分系の組成を示すもので 陰イオン 陽イオン



この方法は 陰イオンは $\text{HCO}_3^- - \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ 陽イオンは $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} - \text{Na}^+ + \text{K}^+$ の4成分系の組み合わせとし 次式によって 各成分の百分比(%)を計算し 陰イオン 陽イオンの各1成分の百分比(%)がダイアグラム上で交差する点をプロットして作成します(第6図)。

← 第4図 当量単位の百分組成による表示法



第5図 三角座標法

$$\text{HCO}_3^- \% = \frac{\text{HCO}_3^-}{\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}} \times 100$$

$$\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} \% = 100 - \text{HCO}_3^- (\%)$$

$$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} \% = \frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+} \times 100$$

$$\text{Na}^+ + \text{K}^+ \% = 100 - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \%$$

なおこの方法は水質組成を知り 水質組成による分類には非常に有効ではありますが 溶存成分量(量的関係)が不明であり また Cl^- と SO_4^{2-} の分離ができないという欠点があります。

<6> Keydiagram 法による水質の分類

Keydiagram はダイヤグラム中の位置によって5つのブロックに分けることができ 各ブロックによってつぎのような水質のタイプ(型)に分けられます(第7図)。

- ① 炭酸カルシウム型 (I)
- ② 非炭酸カルシウム型 (II)
- ③ 非炭酸ナトリウム型 (III)
- ④ 炭酸ナトリウム型 (IV)
- ⑤ その他(中間型) (V)

つぎにこのダイヤグラムを使って わが国におけるいろいろな地下水(河川水)の水質を分類し それぞれの型について説明してみます。

① 炭酸カルシウム型

$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ または $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 型の水質組成で わが国の地下水は大半がこの型に入ります。石灰岩地帯などの地下水は典型的にこの型になります。

② 非炭酸カルシウム型

CaCl_2 または CaSO_4 型の水質組成で 温泉水 鉱泉水 および化石水などがこの型に入り 一般の地下水では特殊なものです。

③ 非炭酸ナトリウム型

おもに NaCl 型の水質組成で 海水および海水に汚染された地下水と温泉水などがこの型に入ります。

④ 炭酸ナトリウム型

おもに NaHCO_3 型の水質

組成で 停滞的な環境にある地下水がこの型に入ります。したがって地表から比較的深い地下水の型といえます。

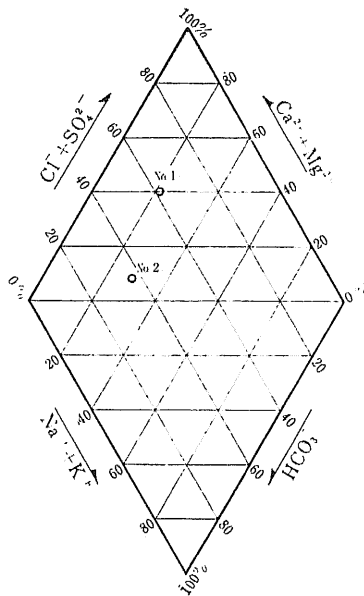
⑤ その他(中間型)

①~④の中間的な型で 河川水 伏流水および自由地下水などが多くこの型に入ります。

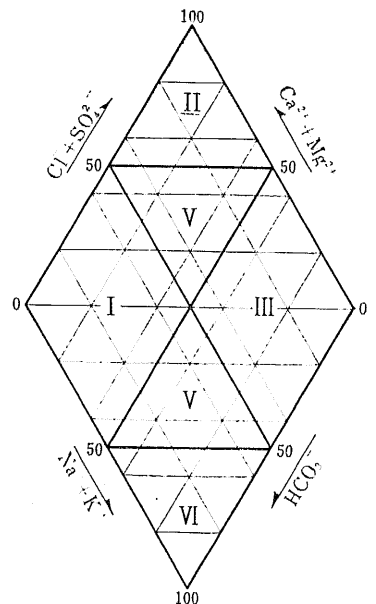
<7> Keydiagram による応用例

川崎市の地下水を例にあげます。川崎市はご存知のように京浜工業地帯の中心にあり その臨海部は工場による地下水の過剰揚水が原因で 地盤沈下と地下水の塩水化が激しく すでに「工業用水法」の適用をうけ 地下水採取が規制されているところです。この川崎市の地下水について塩水化にともなう水質変化を Keydiagram で説明してみます。まず試料採取地点を第8図に 分析結果を第3表に Keydiagram を第9図に示します。

川崎市の地下水は帯水層の深さにより 上から第1地下水(自由地下水) 第2地下水 第3地下水の3つに分かれます。第2地下水は洪積層中の地下水で 多摩川の旧河道沿いに主として多摩川より供給される地下水であり 第3地下水は第三紀層中の地下水で京浜地帯特有の黄~茶褐色の着色水です。第9図の Keydiagram をみますと 第2地下水は上流側(No.1~No.5)は④に位置しますが 中流(No.6~No.7)は⑤に移行し その下流にゆくにしたがい順次①に移行してゆきます。ではなぜこのように Keydiagram 上で変化をするかを検討してみましょう。まず④→⑤ですが 多摩川上流



第6図 Keydiagram



第7図 Keydiagram による水質の型(分類)

第2表 主成分分析結果

	井戸深度 (m)	pH	HCO ₃ ⁻ (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	SO ₄ ²⁻ (ppm)	Ca ²⁺ (ppm)	Mg ²⁺ (ppm)	Na ⁺ (ppm)	K ⁺ (ppm)	全鉄 (ppm)	備考	
1	上水道菅1号井	—	6.4	72.2	12.4	20.3	25.4	4.3	11.9	1.7	0.04	第2地下水
2	上水道中の島1号井	—	6.1	60.5	15.6	30.3	25.3	6.7	10.7	2.3	0.04	〃
3	登戸S工場	30	6.0	56.8	19.5	25.2	27.4	2.8	13.6	1.4	0.04	〃
4	宿河原N工場	30	6.2	53.7	20.1	30.4	28.2	5.4	12.6	2.1	0.00	〃
5	二子T工場	30	6.3	81.4	29.8	56.3	36.0	8.3	61.8	1.7	4.88	〃
6	工業用水道22号	49	6.8	148	24.8	12.7	28.6	8.8	31.4	4.4	14.90	〃
7	北加瀬E工場	50	6.9	185	28.4	1.8	27.8	8.6	44.2	4.6	13.30	〃
8	工業用水道14号井	46	6.8	210	58.5	48.7	33.6	14.0	72.0	7.6	14.90	〃
9	神明A工場	62	6.8	244	121	49.9	41.4	20.0	108	10.6	15.80	〃
10	京町T工場	91	7.1	333	562	0.3	40.0	36.8	334	22.5	11.70	〃
11	小田S工場	100	7.6	586	1,159	9.4	56.0	55.7	786	49.0	1.64	〃
12	末長S工場	100	7.8	390	12.4	0.7	19.3	1.8	128	11.0	0.80	第3地下水
13	下小田中S工場	150	7.8	965	35.5	0.9	22.4	3.6	324	24.5	0.88	淡かっ色着色水
14	今井上町F工場	105	7.9	536	99.3	2.8	25.7	9.3	230	18.5	0.88	濃かっ色着色水
15	中丸子F工場	120	8.1	1,000	424	0.5	25.6	16.3	568	32.0	0.28	〃
16	川崎温泉	120	8.2	911	1,160	1.1	26.5	24.5	813	37.0	0.52	〃
17	政の湯	180	7.8	398	2,252	0.5	72.0	73.3	1,322	70.0	0.48	〃

地区は帯水層が浅く また砂礫層がよく発達しているため この地区の地下水は多摩川の伏流水の水質を持続しています。

一方多摩川中流地区より下流側は帯水層が深くなり砂礫層も粘土がまじり 還元状態に変わるために HCO₃⁻-Fe²⁺ の増加にみられるように水質が大きく変るために生じます。③→⑩は Cl⁻ 値の増加にみられるように塩水化に伴う変化で 水質組成は 漸次 NaCl 型に変化します。そして塩水化は海岸寄りほど進んでいることを示しています。

第3地下水は 上流(No.12~No.13)は 典型的な NaHCO₃ 型の水質組成を示す地下水で ①に位置しますが これも下流(海寄り)にゆくにしたがひ漸次塩水化が進行し 海水組成(◎印)に近づいてゆくのが分ります。

この例のように Keydiagram は水質組成の変化 あるいは水質の型の分類には非常に便利な方法です。

〈8〉新しい水質表示法—Hexadiagram (六成分水質図)

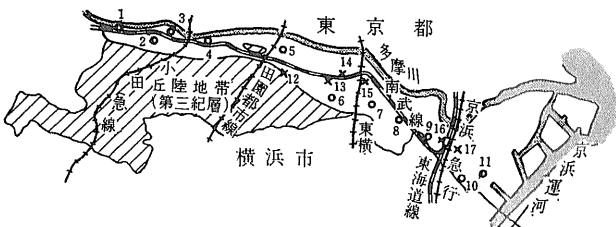
水質を図表またはダイヤグラムに表示する場合 質的關係(水質組成) 量的關係(溶存成分量)を同時に読みとれることが望まれます。しかし実際によく使われ

ている Keydiagram 法は質的關係を知るには適してはいますが 量的關係は全く分かりません。また epm そのままで表示する棒グラフ法 ベクトル法は量的關係はよく分りますが 質的關係を知るには不十分です。

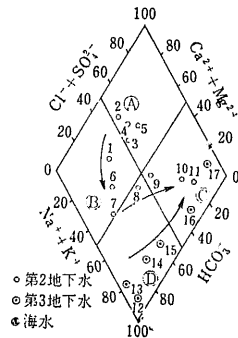
質的關係と量的關係を同時に表示する方法として 最近私たちがよく用いはじめた方法が Hexadiagram 法です。これはアメリカの地質調査所(USGS)で出している Water-Supply Paper の研究報告で用いられている方法を一部改良した方法で 第10図がその模式図です。改良した点は陽イオンの組み合わせで Water-Supply Paper では Mg²⁺-Ca²⁺-Na⁺+K⁺ ですが これを Fe²⁺*-Ca²⁺+Mg²⁺-Na⁺+K⁺に変えたことです。一般に水の中では Ca²⁺ と Mg²⁺ はともに硬度成分であり行動も似ており 水質組成を検討する場合 HCO₃⁻ と対応させることが多く 含量で表示した方が便利なためです。Fe²⁺ は一般の地下水では少量しか存在せず epm 値はほぼ0に近いが この Fe²⁺ が Hexadiagram で認められるような水は 水質の面では悪水といわれるものですので とくにこの成分をつけ加えたわけです。

* [Fe²⁺ のほかに Mn²⁺ Al³⁺ の存在する時は含量として表示する]

この表示法の利点をあげますと



第8図 地形および分析試料採取位置



第9図 Keydiagram による水質組成とその変化

第3表 分 析 結 果

No.	試料採取地点	井戸深度 (m)	pH	HCO ₃ ⁻ (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	SO ₄ ²⁻ (ppm)	Ca ²⁺ (ppm)	Mg ²⁺ (ppm)	Na ⁺ (ppm)	K ⁺ (ppm)	total. Fe ion (ppm)	SiO ₂ (ppm)
1	前橋市群大付属病院	80	6.7	40.2	5.7	42.4	21.1	6.3	8.7	2.5	0.09	36.6
2	“ ベプシコーラ前橋工場	80	7.3	97.6	11.0	30.5	22.5	8.0	14.5	3.1	0.05	47.0
3	利根川群馬大橋 (表流水)	6.7	9.3	16.0	46.9	14.1	3.6	8.4	1.7	0.42	24.9	
4	高崎市群南萩原簡易水道	90	7.3	107.6	13.5	34.8	27.5	9.6	13.6	3.5	0.20	48.8
5	玉村町利根簡易水道	58	7.2	128.4	13.5	46.4	36.0	10.0	18.0	4.3	0.80	47.8
6	群馬町第1水源	90	7.3	98.5	3.9	13.4	22.5	4.8	9.3	2.2	0.37	45.4
7	高崎市浜川水源	150	7.3	86.1	10.6	14.1	21.3	3.8	11.9	2.1	0.18	54.8
8	“ 東貝沢簡易水道	60	7.0	96.7	9.2	13.2	22.1	4.6	11.1	2.5	0.09	48.4
9	藤岡市千野製作所	80	7.3	74.8	14.9	42.6	33.8	6.7	9.3	1.5	0.08	20.4
10	新町鐘紡新町工場	25	6.6	71.5	15.6	38.1	25.5	9.0	8.6	1.3	0.17	25.0
11	鐘川入野橋 (表流水)	7.8	59.5	7.1	28.2	28.2	3.6	8.6	1.6	0.23	17.0	
12	蕨塚本町松本精機	98	7.2	42.4	16.7	39.7	27.4	6.3	8.4	1.3	0.20	33.0
13	“ 上水源2号井	35	7.2	44.8	24.8	31.4	30.3	7.2	9.5	2.1	0.22	33.9
14	“ 湯の入簡易水道	80	7.5	139.0	7.8	19.2	17.5	5.6	31.3	3.1	0.52	56.6
15	“ 農協でんぶん工場	180	8.9	325.7	13.5	65.6	0.0	0.0	154.6	1.8	0.21	66.2
16	渡良瀬川新築橋 (表流水)	7.2	25.6	7.9	31.3	18.2	1.4	6.5	1.9	0.15	25.0	
17	粕川村東洋防水布KK	100	7.3	94.6	7.8	7.2	15.8	5.0	17.5	2.5	0.07	45.6

- ① 作図が簡単である
- ② 図形が単純なため比較しやすい
- ③ 図形から水質組成が分かる
- ④ 図形の大きさで溶存成分量の多少が分かる
- ⑤ 図形の中を有効に利用できる

たとえば 斜線などの模様分けで地下水 湧水 河川水などの区分け 井戸深度の記入による深度別の比較 pH SiO₂ 値の記入が可能

などがあげられます。

参考までに Keydiagram の項で分類した水質の型と Hexadiagram の関係を示すと 第11図のようになります。

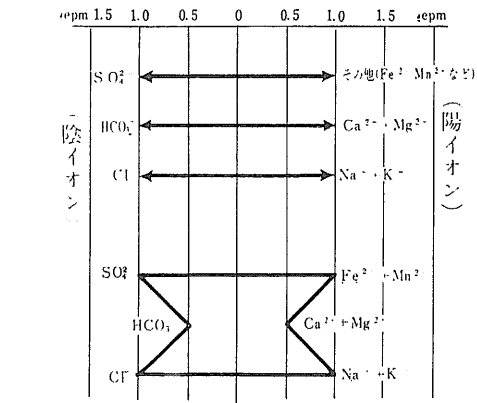
<9> Hexadiagram の応用例

前橋市 高崎市 伊勢崎市周辺の地下水を例にあげます。この地域の地下水は榛名山 赤城山の火山山麓 利根川 神流川 鐘川の各流域などで それぞれ地下水

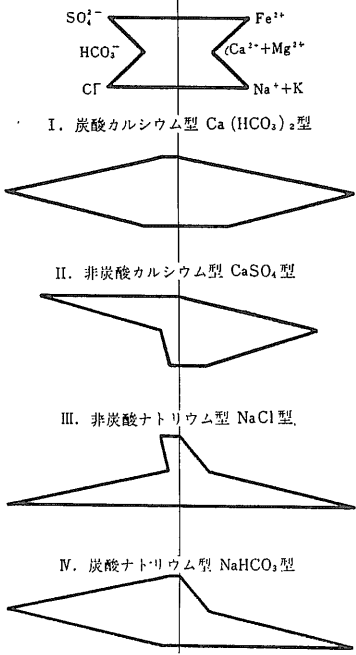
の供給源の相違もあり水質が非常に異なります。このような環境において地下水の水質をもとに地下水の水系の解明を行なう上で この Hexadiagram が非常に役立つわけですから、その一部を紹介します。

はじめに試料採取地点を第12図に 分析結果を第3表に Hexadiagram を第13図に示します。

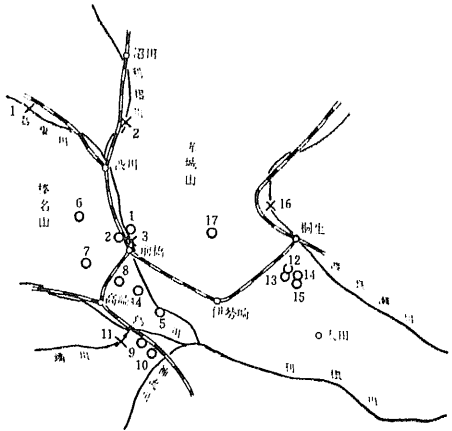
まず前橋市の地下水をみてみますと No.1とNo.2の Hexadiagram は非常に異なります。両者は利根川をはさんで左岸(海に向かって)と右岸に分かれており それぞれの地域の地下水は No.1とNo.2 に代表される水



第10図 Hexadiagram の模式図



第11図 Hexadiagram による水質の型の分類



第12図 試料採取地点

質をもって 共通点とともに SO_4^{2-} が多いという事です。

利根川流域ということから利根川の表流水(No. 3)をみますと これは草津温泉などの温泉水が流入する吾妻川の影響で 水質組成は $CaSO_4$ 型で SO_4^{2-} が非常に高い水質を示します。 No. 1 はこれから判断して利根川の伏流水(利根川系地下水)ということが分かります。

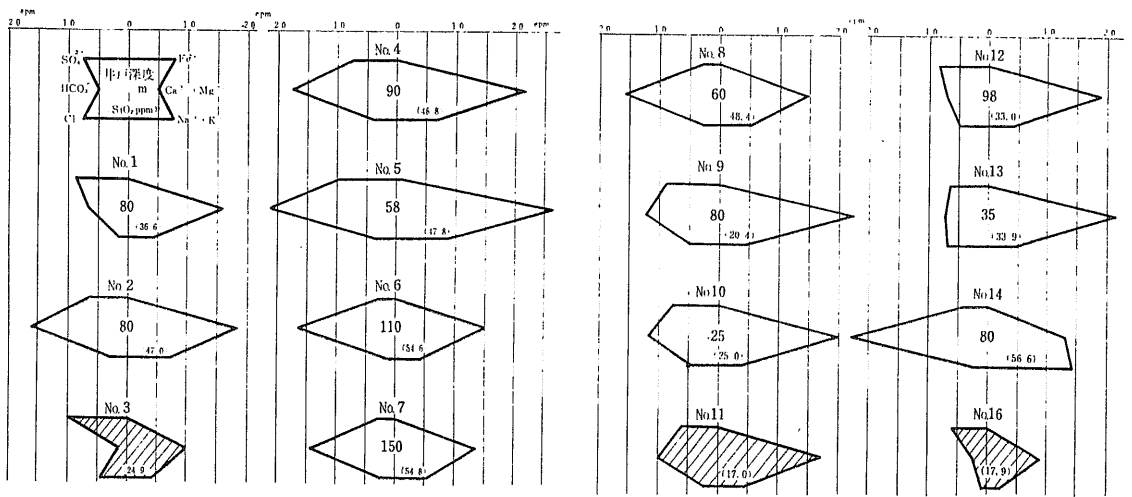
では No. 2 の地下水はどうかを考えてみます。 同じ利根川右岸で下流の地下水 No. 4 No. 5 が類似の Hexadiagram をしています。 このことから No. 2 No. 4 No. 5 は同一水系だろうと推定されます。 つぎに地形的にみて榛名山からの供給が考えられますので 榛名山系の地下水との比較をしてみます。 No. 6 がその代表的な地下水であり No. 7 No. 8 と高崎市内までこの水系は続いています。 しかし SO_4^{2-} はるかに少なく 利根川右岸の地下水とははっきり異なります。

そこでこの3つの水系を比較検討してみます。 SO_4^{2-} は利根川系に近く HCO_3^- SiO_2 pH などは榛名山系に似ています。 このことから 利根川右岸の地下水は利根川系地下水と榛名山系地下水が混合したものでだろうと判断されるわけです。

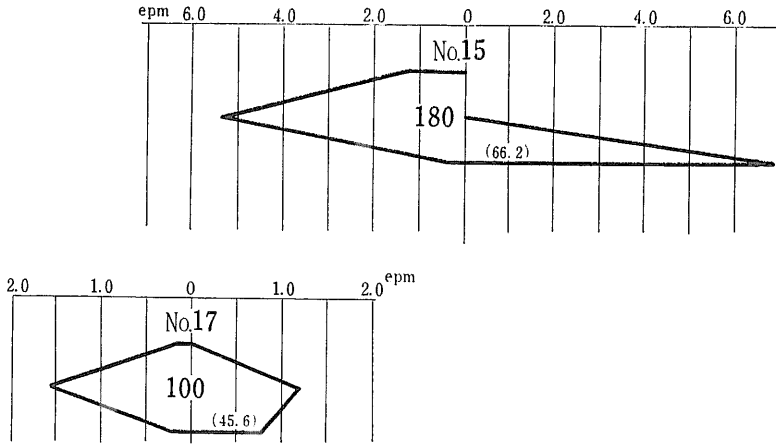
つぎに鳥川と神流川にはさまれた地域の地下水をみてみます。 No. 9 は深度80m No. 10 は 25mの井戸から採水したものです。 両者の Hexadiagram はほとんど同じであり 同一水系であることが一目で分かります。 この水系も水質と地形を考えると 河川よりの供給が予想されます。 鐮川表流水(No. 11)の Hexadiagram と比較するとよく一致しており 鐮川より供給される地下水水系であることが分かります。

最後に桐生市南部の簗塚本町の地下水についてみてみます。 No. 12 No. 13 は $CaSO_4$ 型 No. 14 No. 15 は $NaHCO_3$ 型の水質で全く異なります。 地形的にみて赤城山系の地下水の供給が考えられますので その代表的な地下水(No. 16)と比較しますと 両者とも全く異なり無関係なことが分かります。 No. 12 No. 13 の Hexadiagram は利根川系に似た水質組成を示すことから 河川より供給されたものと想像され 河川水の水質をみると渡良瀬川の表流水がこれに近い水質をもっています。 このことから この地下水は以前この地域が渡良瀬川の旧河道であったか または渡良瀬川よりのかんがい用水からの滲透によるか いずれにしても渡良瀬川系の地下水であると考えられます。

一方 No. 14 No. 15 の地下水は すぐ近くに簗塚鉱泉があること No. 15 の水質が鉱泉水そのものか それに近いことから 鉱泉系の地下水であり No. 14 は鉱泉水が淡水によって希釈されたものであると考えられま



第 13 図 Hexadiagram



第13図 Hexadiagram

す。

ほんの一例だけ紹介しましたが このようにHexadiagramを用いて水質の解明を行なう方法は 非常に分かりやすく また便利であります。

<10> おわりに

以上図表およびダイヤグラムによる水質表示法の解説と 2つの応用例を紹介しましたが 皆様の参考になればしあわせと思います。(筆者は 技術部化学課)

引用文献

半谷高久 (1960) : 水質調査法 pp.366~368
 井尻正二 新堀友行 (1963) : 地学入門 pp.172~175
 John D.H.(1959) : Study and Interpretation of the Chemical characteristics of natural water pp.168~182
 池田喜代治 (1967) : 地下水の汲み上げによる水質変化 工業用水 No. 107 pp.49~50
 永井 茂 (1967) : 川崎市における地下水の水質変化について 工業用水 No. 107 pp.59~63
 永井 茂 : 水質による地下水水系の解明 未発表

(19頁からつづく)

などの理由が 考えられるがまだ明らかでない。とくに(3)については 天盤をドーム状に採掘すれば 力学的に天盤が強くなるので 昭和41年に一部の丁場で実験的に実施したが 落盤は止まらなかった(完全なドーム状ではなくて 階段状のドームではないかと思われるが 資料不足で 落盤の状況については不明である)

丁場の人たちの話では 「天盤に薄く細目を残すと落盤する」「垣根を入れた時に「もめる」(「石ハネ」「底盤落盤」「ひび割れ」等が起きる。)」「丁場は落盤する」。

「一度落盤が始まると その丁場はどこまでも落盤をする」といわれている。細目の一部に弱い部分が もし存在するならば 「垣根入れで丁場が「もめる」なら一段高くか あるいは一段低く垣根を入れて 天盤になる部分の岩質を 強い部分にして見る事が考えられる。

落盤と割れ目の関係を見ると 断裂系の発達している部分と落盤とは 直接関係はないようであるが 断裂系によって落盤の範囲は ある程度規制されているように見える 地表の陥没は断裂系に沿って 陥没地ができる。

ひび割れは採掘中か採掘後に細目の丁場に多く発生するが 時には採掘中に落盤にまで発展する例がある。

とくに採掘後 残柱に45°~70°傾斜のひび割れが 第28図のごとく入り この割目に「ズレ」「ヒラキ」が起きて(第27図)動きだすと 落盤が激しくなり(第30図)将来残柱の崩壊から 地表の陥没にまで発展する可能性が考えられる。

6 むすび

大谷石採掘は むかしに比べて機械化されたことにより 急激に大きな空洞を 丘陵地帯から田畑・時には川底にまで 広がっている。この空洞全部が 将来陥没する危険があるわけではないが 過去の採掘方法から見て将来陥没の危険のある廃坑・旧坑が一部に見られる。技術的に可能な限り廃坑を水没させるか 廃土を泥流にして埋めるとかして 陥没事故を防止することを考える必要がある。落盤防止のためには 新しいころみ(アーチ型天盤の研究) または岩盤力学の専門家の協力により 坑内での岩盤強度の実験と 各層の岩質調査などを実施して 落盤と岩質・岩盤強度の関係を明らかにして 落盤事故の防止に 関係各機関が一層の努力をする必要がある。(筆者は技術部地形課)