名古屋市東山地域の地下水の研究 (第II報)

小 林 重 喜 (名古屋大学理学部化学教室)

Underground Water in the Higashiyama Area of Nagoya City. II.

By Sigeki Kobayasi

名古屋大学理学部の北方、約 0.25 km^2 の地域に存在する地下水に就いて、地下水系の判別並びにその流動方向を推論し、第I報に報告したが、更に本地域地下水中の化学成分——主として陰イオン——に就きその分布状態及び地下水の流動方向との関係を考察した結果を此処に報告する。

試料採取地点は第1図に示す如くであり、試料は第I報に記した如く北原式採水器を用ひて採取した。

過剰塩基度 (EX. B) は B. C. P. を指示薬として N/100 塩酸で滴定し、1 liter 中

第1図 地形図及び観地点分布図——番号は採水点を示し、略南から北へ、東から西へ、1, 2, 3, ..., 58, と附してある。等高線の内破線で示したのは、1位の数字が5なるものである。

の milli equivalent で表はしてある。塩素イオン (Cl) は Mohr 氏法で滴定し、硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) [1], 亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$) [2], アンモニア態窒素 ($\text{NH}_3\text{-N}$), 無機態磷 (P) は全て比色法により求めた。測定結果は一括して第 1 表に示してある。

第 1 表

No.	EX. B. milli eq /L	Cl mg/L	P γ/L	$\text{NO}_2\text{-N}$ γ/L	$\text{NO}_3\text{-N}$ mg/L	$\text{NH}_3\text{-N}$ mg/L
1	0.1486	19.5	+	+	2.85	0.0
2	0.1752	2.44	+	0.0	0.42	0.0
2'	0.1888	2.26	0.0	0.15	0.0	—
3	0.2596	2.4	+	+	0.5	+
4	0.281	2.2	+	+	0.9	0.0
5	0.614	5.8	3.0	+	0.7	0.0
6	0.139	2.45	+	+	0.33	0.0
7	0.291	23.8	+	+	43.2	+
8	—	—	—	—	—	—
9	0.472	11.0	+	3.2	0.40	0.0
10	0.0818	2.0	+	0.0	0.22	0.0
10'	0.056	1.96	0.0	0.0	0.0	—
11	0.1576	2.5	0.0	—	0.33	+
12	0.083	3.69	5.0	0.0	0.01	1.0
13	0.0351	11.96	0.0	1.5	0.18	+
14	0.0187	10.06	+	0.3	3.78	0.0
15	0.0585	12.60	0.0	1.5	0.12	0.0
16	(-0.0262)	17.00	0.0	0.0	0.17	0.0
17	0.708	10.72	5.0	13.7	3.73	0.0
18	0.708	20.50	10.0	9.0	4.25	0.0
19	0.500	8.00	0.0	0.0	1.42	0.0
20	0.0374	18.67	3.0	+	14.93	0.0
21	0.112	23.8	10.0	0.4	3.71	1.0
22	0.0613	25.2	0.0	0.0	22.23	0.0
22'	0.019	24.82	0.0	0.37	0.0	0.0
23	0.0755	25.5	0.0	0.3	8.89	0.0
24	0.031	8.1	+	0.0	0.66	0.0
25	0.052	15.3	0.0	0.0	0.34	0.5
26	1.31	22.6	17.0	0.4	0.16	0.0
27	0.944	16.4	5.0	4.8	5.40	0.0
28	0.236	13.3	+	19.0	0.47	0.0
29	0.64	51.0	5.0	3.0	10.7	0.0
30	—	12.6	0.0	145.0	3.9	0.0

31	—	—	—	—	—	—
32	—	—	—	—	—	—
33	0.16	19.6	+	0.0	4.22	0.0
34	1.58	12.1	5.0	3.0	0.74	0.5
35	0.0944	33.8	10.0	+	4.05	0.0
36	0.0165	17.9	3.0	0.3	9.61	+
37	(-0.1123)	19.31	3.0	0.3	0.26	0.0
37'	(-0.066)	27.5	0.0	1.3	11.89	—
38	1.416	9.4	18.0	0.8	0.535	0.0
39	0.09	43.3	13.0	+	1.00	0.0
40	0.042	20.32	+	1.24	23.70	0.0
41	0.372	19.72	12.0	+	4.82	0.0
42	0.115	19.04	8.0	0.0	3.62	0.0
43	0.278	23.36	6.0	0.3	3.10	0.0
44	0.408	23.4	16.0	14.8	4.12	0.5
45	0.288	20.9	5.0	0.3	2.86	2.4
46	0.038	27.17	7.0	0.0	5.2	0.0
46'	0.019	54.68	7.0	0.3	23.52	—
47	0.066	36.08	17.0	+	8.0	0.0
48	0.158	28.16	0.0	1.3	7.25	+
49	0.016	23.98	0.0	0.0	7.33	0.0
50	0.149	25.08	5.0	1.35	7.55	0.0
51	0.033	29.37	52.0	+	6.74	+
52	0.061	29.92	0.0	0.0	9.09	+
53	0.16	37.07	15.0	+	6.11	0.0
54	0.248	26.18	0.0	1.8	3.62	0.4
55	0.082	34.43	3.0	0.4	8.33	+
56	0.014	16.11	—	4.0	8.64	+
57	0.10	23.10	5.0	+	11.49	0.0
58	0.052	41.03	5.0	0.3	8.57	+
5'	0.685	4.23	1~2	8.0	—	0.0
15'	0.038	22.76	0.0	0.2	0.314	—

上表中符号+は痕跡程度の含量を示す。又2', 5', 6', 10', 15', 22', 37', 46'は降雨後2日目に再調査を行った際の測定である。

1. 塩 素 イ オ ン (Cl')

(1) 斜面東端の第1の丘陵に於てはNo. 1, 4, 5, 7, と増加している。No. 9, 12 はその上方に畑地が存在するが, No. 9 は地表の傾斜緩慢なるに比し, No. 12 は急傾斜をなしているため, 降雨後5日目に調査した所, No. 9 は雨水の影響を受けて かなり大きな Cl' 濃度を示したが, No. 12 は殆ど雨

水の影響を止めて居ないと思れる。此の事は水温に就て比較してみても No. 9 は 16.0°C であるのに No. 12 は 15.0°C であつてやはり上述の事を裏がきするものと思れる。緩かな同一斜面に存在する No. 21, 19, 17, 18, 27, 29 に就いてみるに、此等は第 I 報 84 で述べた如く第 1 の丘陵より流れる水に強く影響されるが、此の事は Cl' 濃度に就ても水温のときと同様の分布状態を示している。但し No. 27 が小さい値を示しているのは第 1 図, 第 2 図を参照してわかる如く、No. 17, 18 は水の流動方向に対して互に平行になる位置にあり、且 No. 17, 18 の高水位の所には廣い畑地が存在するが、No. 27 の上方には前者に比し云ふに足らぬ畑地しかないためであろう。

(2) 第 2 の陵線に就ては、No. 1, 2, 16 を連ねる高所に涵養された地下水が流れているのであるから、No. 10, 11 から No. 16, 14, 20 等と地下水流の上流から順に Cl' の度を調べてみると、次にかかげる全ての地点は畑地で囲まれているのであるが、No. 41 の例外を除いて、No. 10, 11, 24, 20, 22, 23, 46 と増大し如実に水の流れる方向性を示している。

(3) No. 50, 47, 33, 19 を連ねる線より北の低い地域に就ては、上記の場合程單純ではないが、此の区域調査の 1 週間程前に降雨のあつた事、斜面の緩急、地下水位海拔高度を考慮に入れると、やはり流水の方向性が明瞭に反映している事がわかる。即ち No. 24, 33, 35, 39 にしても、No. 28, 30, 39 にしても、共に上流より下流へ向つて Cl' 濃度が増大するのが認められる。

地表には風送塩が存在する事は、菅原博士等〔3〕の研究により既に明にされている。此の事から地表を流れ下る水は、直接地表に人爲的汚染がなくとも、地表を流れる時間が永い程、單位体積の水が塩素化合物と接する機会が多いから、水は段々 Cl' を増大して行く、まして畑地があればその増加の割合は大変大きいものであろう。かかる水が地下水水中に入り込むと、当然上述の如く地下水流の下流のもの程、 Cl 濃度を増加する事になるであらう。

此処に注意すべき事は、雨量が非常に多いときは、数日おきに相当多量の降雨があつたときには、降雨の初期にはやはり地下水の Cl' 濃度は上記の理由で増大するが、全雨量が或程度以上大きくなる時は、地表の易溶性塩素化合物は洗ひつくされるため、逆に雨量と共に地下水の Cl' 濃度は減少する事である。此の事実は当研究室の方々により屢々認められている事である。

又地下水中の Cl' は大部分地表よりもたらされるものであらうと云ふ事は No. 6, 13, 15, 33 等の深井と考へられるもの、 Cl' が大体小さな値を示している事、又 No. 33 の Cl' の小さい事を第 I 報 §3 で考へた如く、 Cl' に対する遮蔽幕としての本井の属する透水層があるためと解釈すれば、よく納得出来る。

2. 過 剰 塩 基 度 (EX. B)

地下水の EX. B. は水温、ガス溶解量、水が通過した土壤の厚さ、地質等に左右されるから、地下水に於て何等かの單純な關係を見出す事は普通の場合には困難である。唯地下水の示す EX. B. はその殆んど全てを通過して來た土壤そのものに負うのであるから、水中化学成分の或物に就き、その幾らが土壤自身から溶出したか或は外から來たのか判断を下す目安に用うる事が出来る。先述の Cl' の増加に於ても、又次の隣に於ても、各々試料の示す Cl' 濃度や磷含量を EX. B. と比較して、本地域地下水中の Cl' 或は P の由來を考へる根拠とした。

第 2 図 地下水位等高線と Cl' 分布図——图中数字のみのものは Cl' 濃度 (mg/l) を示す。

第2表 濾過浸出水及び湧水の分析値

	Na		Ca		Mg		Cl		SO ₄		SiO ₂		Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	
	mg/L	millieq/L	mg/L	millieq/L	mg/L	millieq/L	mg/L	millieq/L	mg/L	millieq/L	mg/L	millieq/L	mg/L	millieq/L
濾過浸出水	3.44	0.1495	1.33	0.0664	0.67	0.0551	6.87	0.1936	2.08	0.0433	6.99	0.184	—	—
湧水 (I)	3.24	0.141	0.72	0.036	0.54	0.0443	5.48	0.1544	0.51	0.0106	12.44	0.327	—	—
湧水 (II)	4.84	0.210	0.80	0.0398	0.52	0.0428	5.36	0.151	—	—	13.96	0.366	0.582	—

3. 磷 (P)

概括的には本地域地下水のP含量は非常に小さいと云へるが、磷に就ても低い地域程含量が大きくなる大勢を示している。

第2表は本地域附近にある湧水及びその傍の土壤の濾過浸出水の分析値であるが、此の中の SiO₂ は殆んどが膠質状になつて洗ひ出されて来る。一方濾過浸出液を作る時、FeやAlが多量膠質状態になつて洗ひ出されて来る。即ち本地域の土壤に於て Fe, Al はイオンとして溶出されるのは、第2表に例を示した如く極めて僅で大部分は膠質状態で存在していると考へられる。又本地域土壤の分析結果は Ca や Mg は殆んどなく、SiO₂ が 60~65% を示し、土壤の風化が非常に進行しているものと考へられる。第1表と、第3表に示した筆者の行つた名古屋市内の沖積層に属する井戸水の分析値を比較してみると、EX. B の大きい沖積層の井戸水の方が P 含量も桁違ひに大きく、NH₃-N, NO₂-N 等を考慮に入れると、明かに此の磷は土壤自身に由來するものと云ひ得る。即ち本地域に於ては地下水への重要な磷供給源の一つである土壤自身が P を僅かしが含有しない事が、本地下水の P 含量が此の様に小さい一つの重要な原因であると思はれる。併しながら本地域の井戸の大半は附近に畑地を有し且その畑地には人肥が施されているから、当然それから Cl と同様地下水へ P の補給があつても良いと考へられるが別表の如く 54 個の資料中 87% に相当する 47 個は 0~7γ/L の様に極めて小さい値を示し更にそれ等の内 62% に当る 33 個は 0γ/L 又は痕跡にすぎない。是は恐らく P が土壤中の Fe や Al と不溶性化合物を作つたり或は Al や Fe の膠状的に吸着されて土壤中に留り、地下水には極めて僅かしが混入しないのであろう

第3表 名古屋市内沖積層に属する井水の分析値の1例

成分 試料No.	EX. B.	Cl ⁻ mg/L	P γ /L	NO ₂ -N γ /L	NO ₃ -N mg/L	NH ₃ -N mg/L
K ₁	1.829	5.41	1223	0.0	0.0	0.0
K ₂	1.784	5.79	1037	0.0	0.0	0.0
K ₃	1.840	4.31	1433	0.0	0.0	0.0
K ₄	2.798	20.72	990	0.4	6.0	—

と考へられる。A. F. Heck は土壤に加へられた可溶性磷酸塩は、その土壤が強酸性のときには表面数mm以内の部分にその殆んどが難溶性の形で残っている事を実験的に確めているが、本地域の土壤の pH は B. T. G. により KCl 溶液を用ひて測定した。それに依ると No. 6 附近の崖及び No. 3 附近畑地で採取せるものは 4.0, No. 11 附近及び No. 37 附近の畑地で採取せるもの 4.1, No. 37 の傍の崖で採取せるもの 4.0, No. 6 附近の畑地で採取せるもの 4.2 の如く略 4.0 の強酸性土壤である。又 W. B. Ellet や H. H. Hill や鴨下博士の実験結果は地質系統の古い土壤は、新しいものより、P の吸着力が著しく大きい事を確めている。是等の事は先述の予想を強く支持するものと考へられる。No. 51, 50, 41, 47, 26, 21 より北の方に P 含量の大きい井戸があるが、此等は全て雨後調査され、しかも流水の下流にあるから、EX. B., Cl⁻, NH₃-N 等を考慮に入れると、明かに No. 51, 39, 43, 47, 50, 55, 53, 18, 27, 57, 53, 21 は雨の爲に周囲の汚染を受けたものとみなしうる。此処に No. 38 が 18 γ /L と云ふ特に大きい値を示しているのは、第 I 報 §3 で述べた如く、No. 38 が深井に属し且その末端にある事及び EX. B も割に大きい事より、水井の水が涵養される帯水層土壤に由來すると考へられる。

以上の事より本地域の地下水は土壤によつても又人爲的汚染によつても、普通の状態では極めて僅かしか P としての影響を蒙らないと考へて良いであらう。

4. 窒素化合物

地下水中の窒素化合物は通常その大部分は土壤微生物を媒介として空中より、或は人爲的汚染等から土壤中に蓄積されたものが滲透水と共に混入し

たものである。土壤に蓄積される窒素化合物は植物や微生物の生活に密接な関係があるため、その地下水中の分布は、其等植物や土壤微生物の種類、分布、繁殖力等に大きく左右され、又窒素化合物相互間の循環も考へるとき、中々複雑なものであらうと想像される。

別表に示された如く、 $\text{NH}_3\text{—N}$ は試料の殆ど全てに於て 0 とみなし得る。唯降雨後調査した若干のものに少量定量されただけである。 $\text{NO}_3\text{—N}$ は全ての試料に実測可能な量存在する事がわかる。そして 54 個の試料中痕跡以上の $\text{NO}_2\text{—N}$ を含有するものは、全体の 76% に当る 41 個、定量可能な量以上に存在するものは 31 個で、全体の 57% に相当する。此の事は衛生上非常に注目すべき事である。

本調査地域の土壤の pH は先述の如く 4.0 前後とみなしうる故、此の pH 値と土壤微生物の生存或は活動可能の pH 範囲を考慮するときには、本地域に於ては、窒素固定菌、脱窒素細菌、硝化細菌は生存し得ないかその生活力は概して弱いものと考へられる。

今 $\text{NO}_3\text{—N}$ の分布をみると、第 1 図に示した畑地の分布及び第 2 図から明かな如く、畑地を通過する滲透水の影響を蒙らないが、或は僅かしか蒙らないと考へられる井水は $\text{NO}_3\text{—N}$ 0.5mg /L 前後の極めて小さい含量を示している。例へば No. 5, 4, 2, 10, 11, 16 や 2, 25, 24, 23, 34 等である。更に其等の内第 2 図に於て高水位の所に位し、未だ他の地下水系と混合されていないものは、明かに $\text{NO}_2\text{—N}$ の含有量は 0 γ/L 又は辛じて測定にかかる程度にすぎない。是等の事実及び $\text{NO}_2\text{—N}$ は殆んど土壤に吸着、吸収されない事より、本地域地下水中の $\text{NO}_2\text{—N}$ は殆んど全て畑地に、人為的に施された人肥中に蓄積されていたものであると考へて良いものと思はれる。

表中 2', 5', 6', 10', 15', 22', 37', 46' は雨後2日目に再調査したときの値を示す.

No.	地表より 水面迄の 深さ(m)	水 深 (m)	標 高 (m)	不透水層 海拔高度 (m)	地下水位 海拔高度 (m)	EX. B. milli/L eq.	Cl ⁻ mg/L	水 温 °C
1	8	5	59	46	51	0.1486	19.50	15.0
2	8	2	58	48	50	0.1752	2.44	14.0
2'						0.1888	2.26	15.5
3	7	2	57	48	50	0.2596	2.4	15.5
4	14	1.5	55	39	40.5	0.281	2.2	15.5
5	14	3	55	38	41	0.614	5.8	15.5
6	約 21m と称す		55	34	—	0.1392	2.45	15.0
6'						0.094	2.55	15.5
7	10	2.5	50	38	40.5	0.291	23.8	14.0
8	8	4.5	43	30	34.5	—	—	15.5
9	8	2	41	31	33	0.472	11.0	16.0
10	6	3	43	34	37	0.0818	2.0	15.5
10'						0.056	1.96	15.0
11	7	1	40	32	33	0.1576	2.5	15.0
12	9	4	40	27	31	0.083	3.69	15.0
13	約 20m と称す		51	30	—	0.035	11.96	15.5
14	14	2	51	35	37	0.0187	10.06	15.5
15	—	—	50	...	—	0.0585	12.60	14.75
15'						0.038	22.76	16.0
16	10	3	48	35	38	(-0.026)	17.00	13.75
17	2.5	4.5	36	29	33.5	0.708	10.72	18.0
18	3	4	36	29	33	0.708	20.50	17.5
19	4	2.5	37	31	33.5	0.500	8.0	16.5
20	12	0.5	50	37.5	38	0.037	18.67	16.0
21	4	4	36	28	32	0.112	23.8	17.0
22	12.5	1	50	36	37	0.061	25.2	15.0
22'						0.019	24.8	
23	—	—	48	...	—	0.075	25.5	16.5
24	5	2	43	36	38	0.031	8.1	15.5
25	5	2	42	35	37	0.052	15.3	14.75
26	2.5	3	39	33.5	36.5	0.31	22.6	16.0
27	2.5	3	34	30	33	0.944	16.4	18.5
28	—	—	42	—	—	0.236	13.3	17.5
29	4	1	33	28	29	0.64	51.0	17.5
30	2.5	1	35	31.5	32.5	—	12.6	17.5
31	8	0.5	52	43	43.5	—	—	15.5
32	7	3	51	41	44	—	—	16.0
33	2	3	35	30	33	0.16	19.6	15.5
34	2.5	4	34	26.5	30.5	1.58	12.1	18.5

35	3	1.5	32	27.5	29	0.094	33.8	13.5
36	7	3	50	40	43	0.016	17.90	15.5
37	8	2	40	30	32	(-0.1123)	19.31	16.0
37'						(-0.066)	27.50	16.0
38	4	2	31	25	27	1.416	9.4	15.0
39	3.5	2.5	33	27	29.5	0.09	43.3	16.25
40	4	3	48	41	44	0.042	20.32	14.0
41	7	3	44	34	37	0.372	19.72	14.75
42	3.5	2.5	33	27	29.5	0.115	19.04	13.3
43	3	2	34	29	31	0.278	23.36	13.5
44	2	3	32	27	30	0.408	23.4	18.5
45	1.5	2	30	26	28	0.288	20.9	18.0
46	6	1	34	27	28	0.038	27.17	14.0
46'						0.019	54.68	16.0
47	5	2	38	31	33	0.066	36.08	14.0
48	3	2	33	28	30	0.158	28.16	14.5
49	5	1.5	36	30.5	32	0.016	23.98	14.5
50	7	2	39	30	32	0.149	25.08	14.2
51	7	10	35	18	28	0.033	29.37	15.0
52	5	2	33	26	28	0.061	29.92	14.5
53	3.5	2.5	31	25	27.5	0.16	37.07	15.0
54	1.5	5	33	26.5	31.5	0.248	26.18	14.0
55	4.5	9	31	17.5	26.5	0.082	34.43	14.25
56	3	1.5	32	27.5	29	0.014	16.17	15.0
57	2	3	27	22	25	0.10	23.10	15.5
58	2	2.5	25	20.5	23	0.05	41.03	14.5
5'						0.685	4.23	18.0

摘 要

- (1) 化学成分の分布は明瞭に地下水の流動方向と一致している。
- (2) Cl^- 濃度は水溫と共に水系の判別に有効な資料であり、且上流から下流へ段々と大きくなつていく。
- (3) P含量は土壤そのものに少い事及び地表附近で吸着固定されるため非常に小さい。
- (4) $\text{NO}_2\text{—N}$ が多数の井戸に定量可能以上に存在し、衛生上感心出来ない。
- (5) $\text{NO}_2\text{—N}$ はその殆んどが畑地に施された人肥中に蓄積されていたものである。

本研究の実施に当り終始御指導を給つた菅原健教授、小穴進也助教授、森田良美理学士及び試料採取の際種々便宜を計られた本調査地域の方々に深く感謝の意を表するものである。

文 献

- (1) 三宅泰雄 (1988) : 水の化学分析法検討 (第9報). 氣象集誌, **16**, 1~4.
- (2) 三宅泰雄 (1936) : 水の化学分析法検討 (第6報). 氣象集誌, **14**, 559~560.
- (3) 菅原 健 (1948) : 降水の化学, 科学, **18**, 485~492.

S u m m a r y

The distribution of the chemical quality of water agrees well with the direction of flow of underground water. In passing along from upper to lower flows the temperatures of water become higher and the chlorine content increases markedly. Nitrite-nitrogen which seems to be derived from manure given on the surrounding farms is considerable, while phosphorus content is very scarce.