

札幌市内における地下水水質について

中吉 憲幸 今西 守 中村 孝臣 藤田 晃三

要 旨

平成10～13(1998～2001)年度に採水された札幌市内の地下水702検体について、金属・イオン等について短時間で一斉分析可能な項目をスクリーニング的に分析を行ない、札幌市全域の地下水水質の傾向を把握した。井戸の深度は良好な水質の帯水層が地質(地層)条件により左右されたためか、地域的に大きな相違があった。札幌市内における地下水の水質は、各項目間の相関はあまり認められず、むしろ井戸の深度、地域、季節による相違が大きいことが明らかになった。また、鉛は市内全域で高確率で検出され、環境基準を超過する事例も数多くみられた。

1. 緒 言

札幌市では約11万 m^3 /日、年間4,000万 m^3 (工事排水除く)の地下水が利用されており、札幌市の水使用量の約17%を占めている。

地下水水質はテトラクロロエチレン等の有機塩素化合物や硝酸態窒素等による人為的な汚染が全国的な問題となっており、札幌市においてもこれらの人為的汚染項目について全市的な調査を実施し、地下水汚染の状況はほぼ明らかになってきている¹⁾。しかし、人為的汚染項目以外の札幌市の地下水水質については、札幌経済協議会²⁾、伊藤ら³⁾、高野ら⁴⁾によって報告されているが、豊平川扇状地の市内中心部のデータが多く、全市的な地下水水質の傾向を表すものではない。

現在、地下水の利用者は全市域に広がっており、汚染データを含めた市内全域の地下水水質の情報が求められてきている。

そこで、環境局から依頼された地下水常時監視等の検体について、依頼項目以外の金属・イオン等について短時間で一斉分析可能な項目をスクリーニング的に分析を行ない、札幌市全域の地下水水質の傾向を把握したので報告する。

2. 材料と方法

2-1 材 料

材料は、平成10～13(1998～2001)年度に環境計画部より依頼された地下水常時監視及び地下水汚染機構解明調査の702検体(重複井戸除く)である。

この内カルシウム等は567検体、鉛等の金属類は447検体、ほう素は244検体について測定した。

2-2 分析項目

分析項目は、水温(現場測定)、pH、電気伝導度(以下EC)、硝酸態及び亜硝酸態窒素(以下N類)、有機塩素化合物等(4～12項目)の依頼項目及びカルシウム(以下Ca)、マグネシウム(以下Mg)、ナトリウム(以下Na)、カリウム(以下K)、塩化物イオン(以下Cl)、硫酸イオン(以下 SO_4)、ふっ素イオン(以下F)、臭素イオン(以下Br)、りん酸イオン(以下 PO_4)、ほう素(以下B)、鉛(以下Pb)、カドミウム(以下Cd)、クロム(以下Cr)、マンガン(以下Mn)、亜鉛(以下Zn)、銅(以下Cu)の16項目である。

2-3 分析法

上水試験方法(1993)に基づき、pHとECは電極

法で行ない、有機塩素化合物等は PT - GC - MS 法、陰イオン類は IC 法、金属その他は ICP 法による一斉分析で行なった。

2-4 解析方法

得られた水質データ等は、データ数の関係から水系が共通で地形的に類似している隣接の 2 区単位（中央・南区、北・東区、西・手稲区、豊平・白石区、清田・厚別区）を基本として整理・解析を行ない、データ数の十分な項目のみ各区単位で整理、解析を行なった。

3. 結果及び考察

3-1 井戸の深度分布

全市の井戸の平均深度は 100m で、51～100m が最多で 41%、次いで 0～50m が 28%、101～150m が 15% であった。

区別の井戸平均深度は図 1 のとおりである。南区が最も浅くて 45m、中央区 71m、西区 79m、豊平区 95m、次いで、白石・東・北区が 106～119m、手稲区 134m、清田区及び厚別区が 170m・212m と深くなっている。

このような地域的な相違は、地質構造及び良好な水質の帯水層の深さが地域によって大きく異なっていることによると推察される。

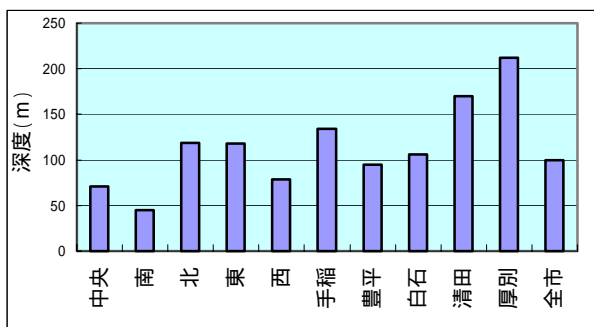


図 1 区別井戸平均深度

3-2 井戸深度による水質の傾向

井戸深度区分による各項目の平均値は図 2～7 のとおりである。一部特異的に高い井戸の影響はあるものの、pH、F、PO₄は深くなるほど高くなる傾向

がみられ、逆に EC、Ca、Mg、Na、Cl、SO₄、Br、B 及び N 類は深くなるほど低くなる（浅いほど高くなる）傾向がみられた。これらの傾向は井戸深度 100m を境に顕著に認められた。しかし、水温、K、重金属類では明確な傾向は認められなかった。

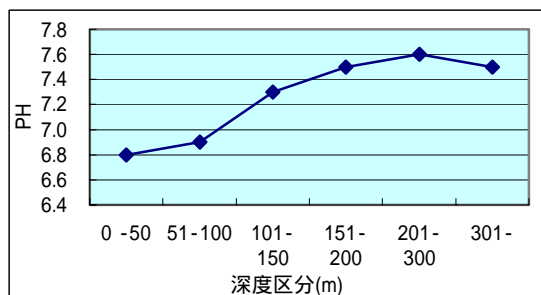


図 2 井戸深度別 pH 平均値

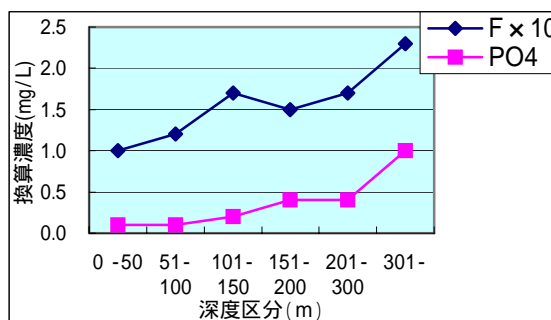


図 3 井戸深度別 F、PO₄ 平均値

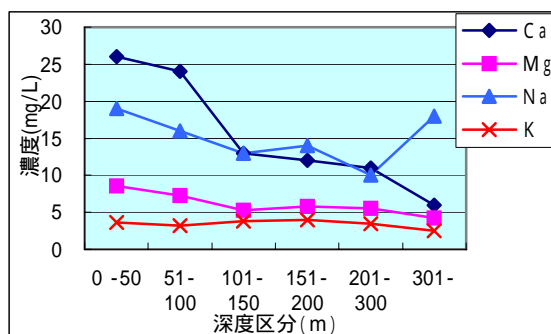


図 4 井戸深度別 Ca、Mg、Na、K 平均値

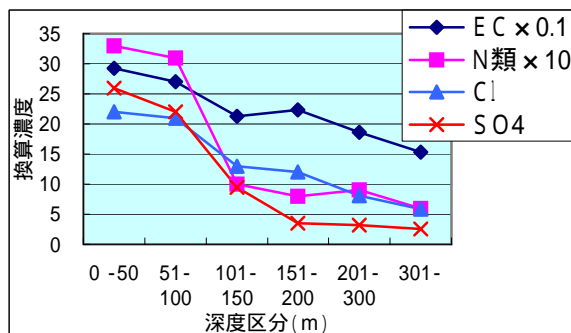


図 5 井戸深度別 EC、N、Cl、SO₄ 平均値

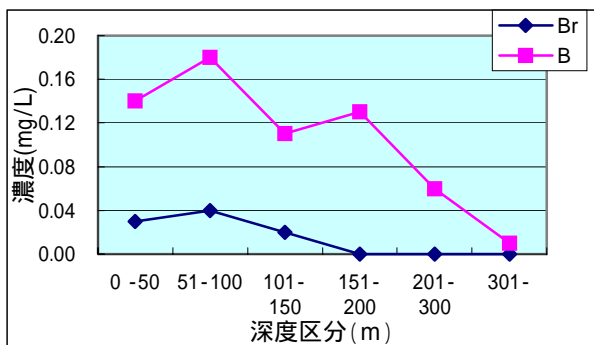


図6 井戸深度別 Br、B 平均値

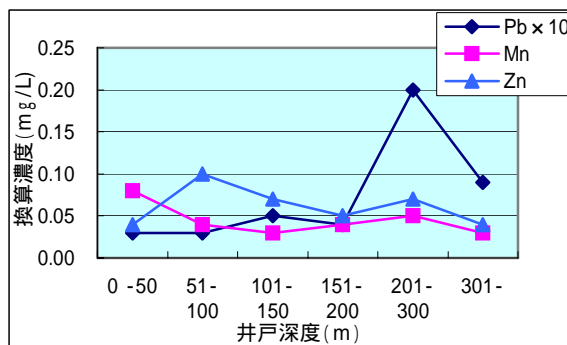


図7 井戸深度別重金属類平均値

3-3 月別の変動

季節による変動が考えられる水温、EC、N類、総硬度、Cl、SO₄、Na + K の 7 項目について全市のデータを 2 ヶ月ごとに分類整理しその傾向をみたのが図 8 である。

(1) 水温

水温は、6～10月が高く 11～4月が低くなった。しかし、201m 以上の井戸では月による変動はほとんどみられなかった。

(2) EC

EC は 3・4 月から高くなりはじめ 7・8 月に最高となって低下した。深度別にみると 100m 以下では月による変動はあまりみられず、101m 以上で 1～2 月に大きく低下する傾向がみられた。

(3) N類

N類は 3・4 月から高くなり、6 月に最高となって 7～10 月も高い水準を維持するが、11～2 月は急激に低下した。

浅い深度では月変動は比較的少なく高い濃度で推移しているが、深度が深くなると月変動が大きくなる傾向がみられた。

(4) 総硬度

総硬度は 1・2 月に低い。7・8 月に最高となるが他の月と大きな相違はない。

(5) Cl

Cl は 1・2 月が最低で、徐々に上昇し 7・8 月に最高となり、その後低下した。

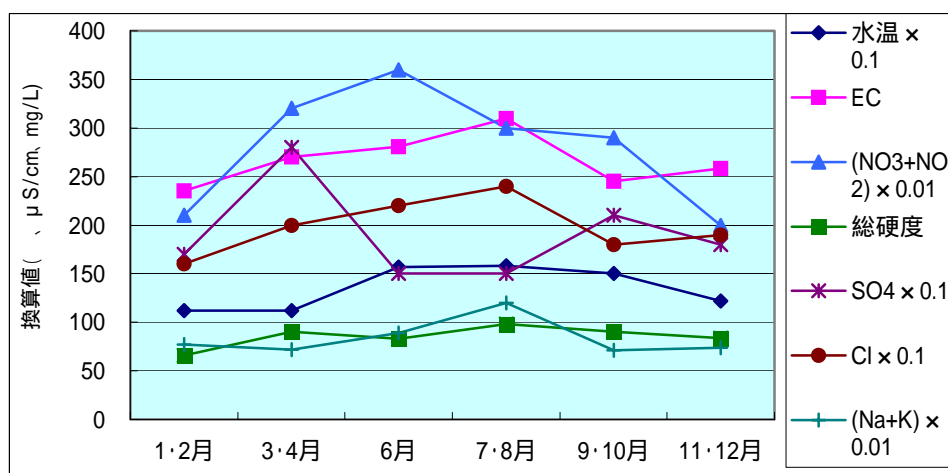


図8 月別(2ヶ月毎)の各項目平均値

(6)SO₄

SO₄は他の項目と違って、3・4月に最高となり6～8月の春から夏場が最も低く、9・10月に再び極大を迎えて低下した。

地層中の硫化物は、水位低下時に地層に空気が滲透しその中の酸素によって硫酸塩に酸化され、これらの硫酸塩が水位の上昇によって地下水に溶解されることでSO₄濃度の上昇がみられるとされている。札幌市の地下水位は春と秋に地下水位が高くなり夏と秋に低下するが、図9に示すように、

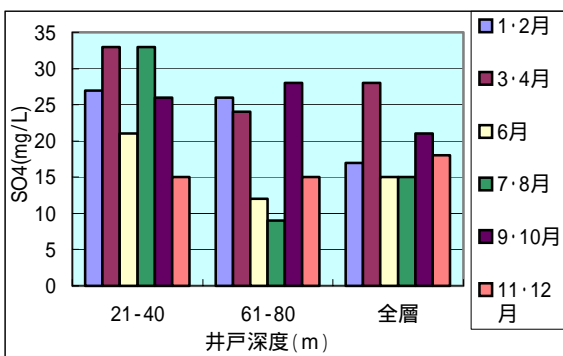


図9 井戸深度と月別にみたSO₄濃度

今回調査したSO₄濃度もある程度水位と連動している傾向が伺われた。

(7)Na + K

Na + Kは7・8月が最高で、他は6月がやや高いほかはあまり変動はみられなかった。

3-4 各項目間の相関

イオン類各項目及び重金属類各項目間の相関については表1、2のとおりである。相関係数が0.5以上(網掛け)で緩やかな相関がみられるのは、EC - Ca、EC - Cl、Ca - Mg、Cd - Crの4通り、他は0.3以上(二重下線)がEC - Mg、Ca - N類、Na - Clの3通り、他の項目間は0.3未満でほとんど相関が認められなかった。

Ca、Mg、Clは比較的地下水中の濃度が高いことが反映されてECと相関が高くなったと考えられる。一方、SO₄は同様に水中の濃度は高いが、他の項目と異なる挙動がみられたことが、低い相関係数になったと考えられる。

表1 イオン類各項目間の相関

	EC	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	F	N類	Br	PO ₄	B
EC	1.000											
Ca	0.636	1.000										
Mg	0.473	0.514	1.000									
Na	0.298	0.013	0.010	1.000								
K	0.193	0.014	0.102	0.243	1.000							
Cl	0.508	0.087	-0.034	0.366	0.048	1.000						
SO ₄	0.117	0.263	0.130	0.003	-0.001	0.074	1.000					
F	-0.046	-0.131	0.051	-0.002	-0.002	-0.034	-0.020	1.000				
N類	0.145	0.319	0.082	0.009	0.000	0.132	0.060	-0.046	1.000			
Br	0.022	0.029	0.013	0.000	0.000	0.091	0.010	0.002	0.003	1.000		
PO ₄	-0.022	-0.020	-0.006	-0.002	-0.001	-0.026	-0.008	0.074	-0.082	0.000	1.000	
B	0.127	0.042	0.006	-0.002	0.000	-0.033	0.007	0.046	-0.006	0.098	-0.004	1.000

表2 重金属類各項目間の相関

	Pb	Cd	Cr	Mn	Zn	Cu	B
Pb	1.000						
Cd	-0.001	1.000					
Cr	0.002	0.596	1.000				
Mn	0.000	0.005	0.000	1.000			
Zn	0.007	-0.002	-0.001	0.000	1.000		
Cu	0.212	0.000	-0.001	-0.002	0.013	1.000	
B	0.014	-	-	0.000	0.000	-	1.000

3-5 重金属類の検出状況

Pb、Cd、Cr については環境基準を指標として超過の有無及び定量下限値以上の検出状況を整理し、Mn、Zn、Cu については水道水質基準を指標として超過の有無を整理したのが表3である。

基準を超過したのは Pb 35 井戸（超過率 7.9%）、Mn 82 井戸（超過率 17.6%）、Zn 4 井戸（超過率 0.9%）で、Cd、Cr、Cu については基準超過はみら

れなかった。

定量下限値以上に検出したのは Pb が 186 井戸（検出率 47.2%）、Cd が 66 井戸（検出率 14.8%）、Cr が 82 井戸（検出率 18.4%）であった。

Pb は検出率に地域差はあるものの、全市域で高確率で検出され、環境基準を超過する事例も数多くみられた。

表3 重金属類の地域別検出状況

調査項目	種別	中央・南	北・東	西・手稲	豊平・白石	清田・厚別	全市	備考
	延べ調査地点数	77	143	50	190	47	507	
	重複則定井戸数	18	11	12	21	0	62	
	調査井戸数	59	132	38	169	47	445	
Pb	超過井戸数	6	8	1	17	4	36	Pb 環境基準0.01mg/L (重複井戸除く) Pb>0.001 mg/L (重複井戸除く)
	超過率	10.2%	6.1%	2.6%	10.1%	8.5%	7.9%	
	井戸深度	30-100	30-104		33-350	160-250		
	検出井戸数 検出率	32 54.2%	75 56.8%	14 36.8%	74 43.8%	15 31.9%	210 47.2%	
Mn	調査井戸数	59	132	38	168	47	444	Mn 水質基準0.05 mg/L (重複井戸除く)
	超過井戸数 超過率	8 13.6%	39 29.5%	11 28.9%	15 8.9%	9 19.1%	82 17.6%	
	調査井戸数 超過井戸数 超過率	59 0 0.0%	132 2 1.5%	38 0 0.0%	169 2 1.2%	47 0 0.0%	445 4 0.9%	
Zn	調査井戸数	59	132	38	169	47	445	Zn 水質基準 1 mg/L (重複井戸なし)
	超過井戸数 超過率	0 0.0%	2 1.5%	0 0.0%	2 1.2%	0 0.0%	4 0.9%	
	調査井戸数 検出井戸数 検出率	59 21 35.6%	132 8 6.1%	38 5 13.2%	169 28 16.6%	47 4 8.5%	445 66 14.8%	
Cd	調査井戸数	59	132	38	169	47	445	Cd 環境基準0.01 Cd>0.001 (重複井戸なし)
	検出井戸数 検出率	21 35.6%	8 6.1%	5 13.2%	28 16.6%	4 8.5%	66 14.8%	
	調査井戸数 検出井戸数 検出率	59 21 35.6%	132 12 9.1%	38 8 21.1%	169 38 22.5%	47 3 6.4%	445 82 18.4%	
Cr	調査井戸数	59	132	38	169	47	445	Cr 環境基準 0.05 mg/L Cr>0.001 mg/L (重複井戸なし)
	検出井戸数 検出率	21 35.6%	12 9.1%	8 21.1%	38 22.5%	3 6.4%	82 18.4%	

3-6 各区の特徴

(1) 中央区

井戸の多数が豊平川扇状地に位置しており、大多数が 100m 以下の井戸で不圧帯水層または第 1 帯水層から取水しており、豊平川の水質的影響が大きいと推察される。水質は、pH、F、 PO_4 が低く、Ca、 SO_4 が高い。B の高い井戸、N 類の比較的高い井戸も多数みられた。

(2)南区

豊平川上流の山地に囲まれた地形が多く、山地に降った雨水浸透水を取水していると推察される。深度は市内で最も浅く 60m 以下が多数である。水質は、pH が低く、 SO_4 、Br、Mn が高い。また、61m 以上では F が高くなる傾向がみられた。

(3)北区

扇状地の扇端を境として泥炭、シルト、粘土、砂礫からなる軟弱地盤層で北部低地地区に位置する。深度は 12~400m と幅広く、地下水は豊平川扇状地から供給されている。水質は、Na、K、Br、 PO_4 、B、Mn が特異的に高い井戸がみられた。

(4)東区

北区と同様に北部低地地区に位置し、深度は 25~495m と幅広い。水質は、B と Zn がやや高い他は平均的である。しかし、EC、Ca、Mg、K、 SO_4 、 PO_4 の高い井戸も多数みられた。

(5)西区

琴似発寒川及び琴似川扇状地を中心に山地側と北部低地地区からなる。深度は 6~170m である。水質は B が低く、Ca が高い。また、N 類の高い井戸も多数みられた。

(6)手稲区

軽川などの小河川の手稲山麓扇状地群と北部低地地区からなる。深度は 70~270m と比較的深い。水質は N 類が低く、pH と EC が高い、他の項目は検体数が少なく評価は困難であるが SO_4 が低いのが目に付いた。

(7)豊平区

豊平川扇状地と月寒台地に位置し、深度は 150m 以下が大半である。水質は pH と総硬度が低く、N 類が高い。また、F の高い井戸もみられた。

(8)白石区

豊平川扇状地と月寒台地及び北部低地地区に位置し、深度は 10~350m と幅広い。水質は pH が低く N 類が高い。B が定量下限未満の井戸も多い。また、Pb が高濃度で検出される井戸も多く、Zn の高いところもみられた。

(9)清田区

野幌丘陵及び月寒台地に位置し、山地に降った雨水浸透水を取水していると推察される。深度は 100m 以上が多い。水質は Ca、Mg、Na、K の陽イオン類及び Cl が低く、これに伴って総硬度や EC が平均の半分以下である。また、深度が深いことから N 類と SO_4 も低くなっている。

(10)厚別区

野幌丘陵及び北部低地地区位置する。深度は 150m 以上が多い。水質は Ca、Mg、Na、K の陽イオン類が清田区に次いで低く、Cl と SO_4 も低い。これに伴って総硬度や EC も低く、深度が深いことから N 類も低くなっている。また、高濃度の Pb が検出された井戸もあった。

4. 結 語

今回の調査により、良好な水質の帯水層が地質（地層）条件により左右されたためか、井戸の深度が地域的に大きな相違があった。水質的には、各項目間の相関はあまり認められず、むしろ井戸の深度、地域、季節による相違が大きいことが明らかになった。

また、鉛は市内全域で高確率で検出され、環境基準を超過する事例も数多くみられた。自然的要因による汚染と推察されるが、最近の調査で明らかになってきたヒ素による汚染と併せ、汚染範囲の確定と原因の究明を行なっていく必要がある。

5. 文 献

1) 札幌市環境局：平成9~14年度札幌市地下水汚

染機構解明調査報告書、1997～2002

2) 札幌市水道局：豊平川扇状地地下水調査報告、
札幌経済協議会、1963

道立衛生研究所年報、31、83-37、1981

4) 高野 敬志、伊藤 八十男、上田祥久他：北海道
立衛生研究所年報、49、152-155、1999

3) 都築俊文、伊藤 八十男、内野栄治、他：北海

Quality of Groundwater in Sapporo

Noriyuki Nakayoshi, Mamoru Imanishi, Takaomi Nakamura and Kozo Fujita

The quality of groundwater was investigated to clarify the regional and seasonal characteristics in Sapporo City. Seven hundred and two samples were obtained from respective areas of city during the fiscal years from 1998 to 2001. The measured items were metals and ions which were analyzed simultaneously and quickly by modern analytical instruments.

The depth of wells varied very much in each area due to the different depth of water layer holding pure water. There was no obvious correlation between each of water quality items investigated here. The value of each items was different very much in relation to the depth of wells and the seasonal changes were noted in some items.

Lead was detected in high incidence and its value was more than each value of the environmental standard in many samples.