水道水および地下水の水質の季節的変動

熊　谷　孝　美

人間の社会生活にとって水の果している役割は今さらここにとり立てていうまでもない．人生と水は切っても切れない密接な関係をもっている．市や町においては，天然水を改善し水道水として各家庭に給され，なんの不安もなく水を利用しているわれわれは，水質ということについて平素ほとんど無関心に過している．しかし，最近，工場廃水による河川汚染の問題，核実験による放射能雨の問題などが新聞紙上を賑わし，さらに海水の飲料水化を実現している地域のあることなどを聞くにおよんであらためて水質の問題が再認識されている昨今である．

本学家政科において著者が担当している調理科学実験の中で水質検査（比較的簡単に定量できる数種類の項目）をあつかっているが，水道水と地下水で水質にかなりの差があることや水道水の塩素イオン濃度，硬度などがその日によりまた，季節的にもかなり変動があることに気づいたので特に２，３の水質項目を選んで，本年（S 42年）２月より11月までの約10ヶ月にわたり，ほぼ１週間ごとに水道水と地下水の水質を測定し，その季節的変動や水質におよぼす降水量の影響などについて考察を試みた．なお，降水量については札幌管区気象台の地上気象観測月原簿[(1)]のデーターを使用させてもらった．また，本学水道水の給水源が札幌市藻岩浄水場(豊平川表流水を集める）であることから，昭和41年度（41年４月～42年３月）札幌市上水道水質試験成績[(2)]から藻岩水道部分の水質データを参考に使用させてもらった．

実験材料（試験水）

水道水は，本学調理科学実験室の水道管から採水した(札幌市藻岩浄水場より配水)．水道管の停滞水をさけるため，あらかじめ数分間連続的に水を流した後，測定に要する水量をビーカーに採取した．

地下水としては，本学付属女子中高の一部で使用している地下水（約70m堀抜き井戸）を用いた．水道水，地下水いづれも採水後30分以内に水質を測定した．

水質測定方法

1.　水素イオン濃度(pH)は比色管法によった．

2.　塩素イオン濃度（Cl^-）は Mohr 法を用いた．試験水 50 ml を 200 ml 容三角フラスコにとり，クロム酸溶液(指示薬) 0.5 ml を加えた後，$\frac{N}{100}AgNO_3$ 溶液で微褐色になるまで滴定した．滴定値を a ml として次式により計算した．

$$塩素イオン濃度(ppm)=0.355\times a\times F\times\frac{1000}{50}$$

（F は $AgNO_3$ 溶液の力価である）

3.　硬度（$Ca^{++}+Mg^{++}$）は EDTA 法によって測定した．試験水 50 ml を 200 ml 容三角フラスコにとり，$\frac{N}{50}$EDTA 溶液 10 ml を加え，さらにアンモニウム緩衝溶液 2 ml と EBT 指示薬数滴を加えてから$\frac{N}{50}MgCl_2$溶液で赤色になるまで滴定した (a ml)．同時に試験水を加えない空試験を行った b ml)．硬度は次の式により計算した．

$$硬度(ppm)=(b-a)\times F\times\frac{1000}{50}$$

（F は $MgCl_2$ の力価を示す）

実験結果

表１は昭和42年２月より同年11月までの水道

表1　水道水および地下水のpH，塩素イオン濃度および硬度と降水量〔昭和42年2月〜同年11月〕

検水月日 昭和42年 月 日	pH 水道水	pH 地下水	塩素イオン〔ppm〕 水道水	平均	地下水	平均	硬度〔ppm〕 水道水	平均	地下水	平均	降水量[1]〔mm〕 月合計	平均1日量	測定前2日間の合計
2月 2日	7.2	7.0	38.3	35.1	29.8	30.5	61	55	108	108	36.9	1.3	0.9
10日	7.2	7.1	41.1		31.2		58		108				0.2
17日	7.2	6.8	40.4		30.5		64		108				2.1
24日	7.1	7.0	20.6		30.5		38		108				11.5
3月 3日	7.1	7.0	30.5	28.4	30.5	30.3	54	51	110	109	89.3	2.9	0.0
11日	7.2	7.1	20.6		30.5		40		106				6.3
18日	7.2	7.0	31.2		29.8		58		110				0.6
24日	7.1	7.1	31.2		30.5		52		112				24.9
4月 1日	7.0	7.0	23.4	16.9	30.5	30.2	38	31	110	110	63.1	2.1	1.5
8日	7.0	7.0	19.9		29.8		40		110				4.6
14日	7.0	7.2	16.3		29.8		30		110				0.0
22日	6.6	7.0	12.8		30.5		28		110				29.8
27日	6.4	6.8	12.1		30.5		20		110				0.0
5月 11日	6.6	6.8	13.4	11.5	30.5	30.7	18	19	110	113	49.2	1.6	4.3
18日	6.6	6.8	10.6		31.2		20		112				6.2
24日	6.6	7.0	10.6		30.5		18		116				0.0
6月 1日	6.4	6.8	19.9	17.5	30.5	30.0	30	29	110	111	123.2	4.1	0.0
8日	6.6	6.8	10.0		29.8		20		112				75.9
16日	6.8	6.9	16.3		29.8		30		110				3.7
22日	6.6	7.0	19.2		29.8		28		110				1.4
29日	6.6	6.8	22.2		29.8		36		112				0.1
7月 6日	6.6	6.8	20.2	21.9	30.5	30.0	34	39	106	106	100.4	3.2	22.7
14日	6.6	7.0	19.9		29.8		40		106				11.1
25日	6.8	6.8	25.5		29.8		44		106				0.0
8月 3日	6.8	6.8	36.2	38.5	29.8	30.0	48	54	106	108	92.1	3.0	0.0
11日	6.8	6.8	35.5		29.8		54		106				6.2
17日	6.8	7.0	39.0		30.5		54		110				17.9
31日	6.8	6.8	43.3		29.8		58		108				0.9
9月 7日	6.8	6.8	46.1	30.7	29.8	29.9	62	51	112	110	174.0	5.8	0.0
14日	7.0	6.8	24.8		29.8		50		110				33.1
21日	6.6	7.0	19.2		29.8		40		110				18.3
28日	6.8	6.8	32.6		30.5		54		110				0.0
10月 6日	6.8	6.8	28.4	26.2	29.8	30.1	40	44	110	109	102.3	3.3	0.0
12日	6.6	6.8	31.2		29.8		48		110				0.0
19日	6.8	6.8	25.3		29.8		41		106				9.3
26日	6.8	6.8	20.1		30.5		38		108				0.0
11月 2日	6.9	6.8	18.2	17.2	29.8	29.8	35	41	108	109	48.1[2]	2.2	6.7
9日	6.8	7.0	17.4		29.8		33		110				7.9
16日	6.8	7.0	16.0		29.8		30		108				5.1

(1) 札幌管区気象台地上気象観測月原簿よりのデータ

(2) 11月22日までの合計量

水および地下水の水質の測定結果と降水量とを示したものである．水質は非常に複雑な因子に影響されるものと考えられるが，特に水道水の Cl^- 濃度と硬度の変化が著しかったため，それにおよぼす重要な因子として降水量の変化が推定されたので，降水量の月合計，月平均一日量のほか，水質の測定日前２日間の降水量を表にまとめた．２日間の降水量を挙げたのは，検水した水道水に影響をおよぼす降水がおおよそそれぐらいの範囲にあるものと推定したからである．

1. 水素イオン濃度（pH）について

天然水の pH は水の通過してくる地質（岩石土壌の化学組成），炭酸ガス溶解による影響．台所用水・工場廃水・農業用水などの人為的影響，海岸地方であれば海水浸透による影響など種々の因子によってコントロールされるが，通常の淡水であれば pH 7.0 付近にあるのが普通である．

表１にみられるように，地下水においては２月～４月にかけて7.0～7.1のことが他の月に比較して多い傾向がみられるが，全期間を通じて pH 7.0±0.2 の範囲内にあり，ほとんど有意な変化がないと結論してよい．それに対して水道水の場合は明らかに一定の変化がみられる．すなわち，２月～３月にかけて pH 7.2 の日が多く，４月末より７月にかけて pH が酸性側に傾き平均6.6 ぐらいとなり，８月より11月にかけて再びわずかに上って6.8を示すようになる．この結果は藻岩浄水場で調べた昭和41年度のデーターのパターンとほぼ一致している．藻岩水道は豊平川表流水（白川に原水貯水池がある）を集めて飲料水に浄化しているのであるが，浄化前の原水の pH（41年度）をみると多少の振れはあるが１年間を通じどの月も平均 pH 7.1 である．したがって上記の pH の季節的変動は浄化による人為的なものであることがわかった．すなわち，浄化の一過程として原水の濁りを沈澱法により除くため硫酸バンド（硫酸アルミニウム，ケイ酸ナトリウムなどの混合物）を注入し，さらにこれの中和と他の目的とを兼えて消石灰を注入しているが，後者の注入量は季節的にそれ程大きな差がない（6.5±1.5 ppm）のに対して前者は相当な差(17±7 ppm）がみられる(図１)[3]．特に注入量の多いのは４月から８月にかけてであり，12月から２月にかけて最も少い．４月頃より雪解け水が河川に流入し，原水濁度が大きいので硫酸バンドの注入量を多くしているわけである．その結果12月～２月では pH はアルカリ側に，４月～８月にかけて酸性側にわづかではあるが傾くことになる．参考として，昭和41年４月～昭和42年３月までの月平均原水濁度，硫酸バンドおよび消石灰注入率の関係を図１に示しておく．これらのグラフのパターンは年によってある程度の変動があることは否定できないが，どの年も，大方類似したパターンを示すことは39年、40年のデータを見てもわかる．

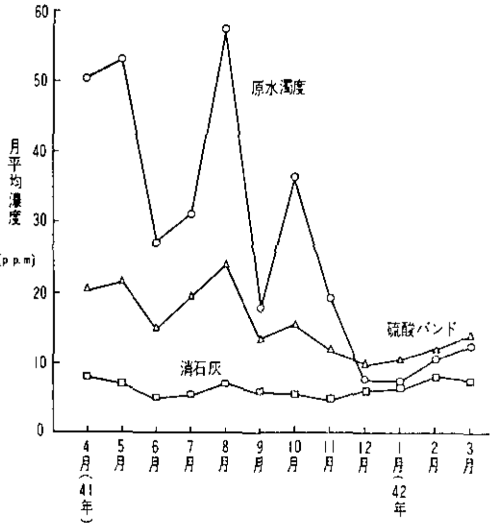

図１ 原水濁度，硫酸バンド注入率および消石灰注入率（昭和41年度，藻岩浄水場調べ）

2. 塩素イオン（Cl^-）濃度

塩素イオン濃度は水質判定の重要な一基準となる．Cl^- はすべての天然水に見出されるが，その重要な特徴は岩石風化によって供給される量が極めて少ないこと，および塩化物はそのほとんどすべてが水に溶けやすいことである．人口密度の稠密な地域や河川などに Cl^- が多く検出されることからみて，天然水中の Cl^- に最も

影響を与えているのは人的活動による汚染であろう．動物の排出物，台所廃水，さらに工場廃水などは地下に浸透して地下水に Cl^- を溶出させ地表を流れて河川に注ぐ．人間生活にとって食塩が色々な意味で密接な関係をもつことを考えれば以上のことが容易に理解できる．また，雨および風送塩による供給も見逃がせない．雨や空中塩分には常に Cl^- が含まれるが，これは主として海水のしぶきが舞いあがった海塩の供給によるものである．その影響は潮風の大きい海岸地域において特に著しい．

Cl^- 測定結果を表1でみると地下水の Cl^- 濃度が季節に関係なくほとんど一定の値(30ppm)を示していることがわかる．これに対して水道水の場合にはかなり大きな変動がみられる．これらの変動に影響をおよぼしている因子はかなり複雑で一概にいい切ることは到底不可能であろうが，雨の翌日の Cl^- 濃度が概して小さいことを経験的に知ったので，ここでは降水(雨)量にその関連性を求めてみた．浄水場における浄化の1つとして殺菌のために塩素水 (Cl_2) を注入しているが，年間を通じて1日平均量は1.25 ppmと少なく，このうち半分以上が殺菌のために消費されるし残留した Cl_2 のうちイオン化するのは割に少量と考えられるので水道水の Cl^- 濃度に対する注入塩素水の影響は無視して差支えない．事実，藻岩浄水場における41年度の原水と給水栓水(水道水)の Cl^- 濃度をみてもほとんど差がない(図4)．

Cl^- 濃度と降水量との関連性をまず大局的にみようとしたのが図2である．硬度の変動パターンは Cl^- のそれとほとんど平行関係にあるので図2に合せて示しておいた．図2には昭和41年4月より42年11月までの Cl^- 濃度，硬度および降水量をいづれも月平均一日量で示してある．ただし41年4月～42年1月までの水質結果は藻岩浄水場調査結果を用いており，42年2月～11月の値は表1をみればわかるように月に3～5回の測定値の平均であるからそれ程信頼度が高いとはいえないが，季節的変動のパターンが41年度のものと比較して似ていることからも大方の傾向をとらえることができたと考える．

Cl^- 濃度の季節的変化をみると，2月頃に1つの極大がありそれから急激に減少して5月に極小値を示し，そこから再び次第に増加して8～9月にかけてもう1つのピークをつくり，再び減少して11月に極小値をとり，さらに2月まで増加の傾向を示している．そのパターンの変化を降水量と比較してみると，一定した相関関係はないが，概していえば Cl^- 濃度と降水量は逆の関係にある．41年6～8月，8～10月，42年1～3月，7～9月においてその関係が明らかである．しかし3～6月，10～12月に例外的

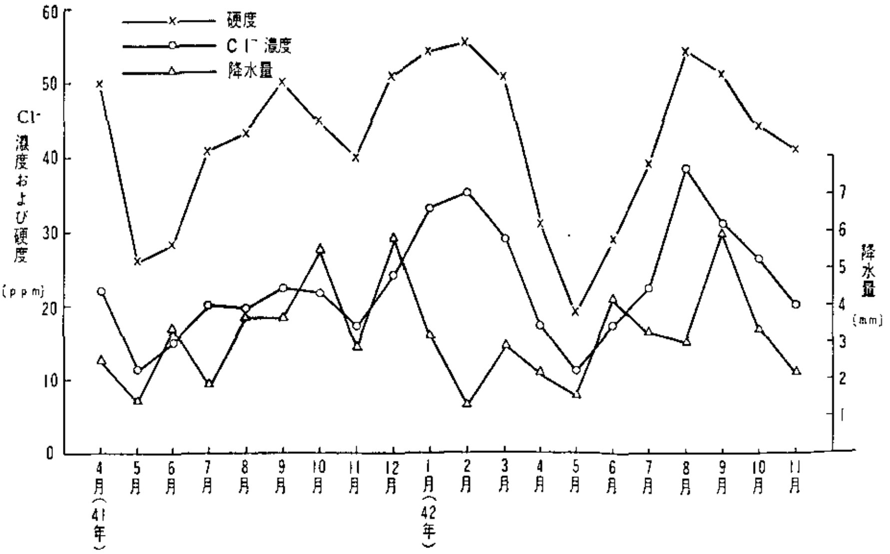

図2　水道水の塩素イオン濃度および硬度と降水量（いづれも月平均値）
〔41年4月～42年1月の Cl^- 濃度と硬度は藻岩浄水場調査結果より
降雨量は札幌管区気象台地上気象観測結果より〕

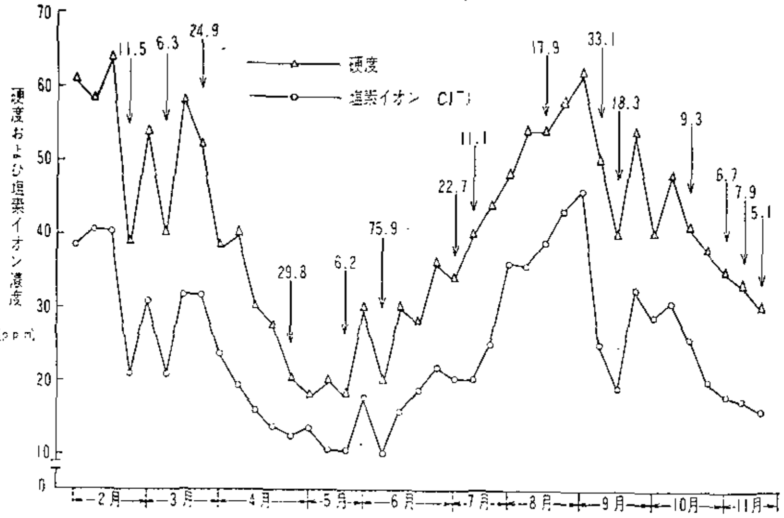

図 3 表1による水道水の塩素イオン濃度および硬度と降水量の関係(昭和42年度) 矢印の数値は，それぞれの水質測定前2日間の降水量〔mm〕を示す．降水量の比較的多い（5 mm 以上）もののみを撰択して示した．

にCl^-と降水量がほぼ平行関係にあることは注目すべき現象である．雨水は多少の溶存物質を含むが雨量が多いときは河川水がうすめられて溶存物質濃度が減少するために，溶存物質の濃度と降水量は反比例関係になるとの推論を立てていたのだが，かならずしもその関係が成り立つとは限らないことがわかった．この問題については考察のところであらためて触れることにする．

Cl^- 濃度および硬度と降水量の関係をさらに細かな視点から考えるために，水質測定日前2日間の降水量と濃度および硬度との関係を図3に示した．図3でまず注目されるのはCl^-濃度と硬度のグラフが全く平行関係を示すことである．月平均量で表わした図2でも同様な平行関係がみられたが，日々の変化においてもその関係は全く同じである．図からわかるように2, 3の例外を除いて降水量の多かったあとには Cl^-, 硬度いづれも減少していることがわかる．検水回数が少いのでまだ問題は残るが，この結果から一応降水量の水質に与える影響を認めることができる．3月中半から4月にかけて降水量が小であるのに Cl^-, 硬度共に著しく減少しているが，これは恐らく融雪による河川増水のためと考えられる．

3. 硬度

$(Ca^{++}+Mg^{++})$

硬度は水中の Ca イオンと Mg イオンの含量を示すもので水質検査には欠かせない重要な判定基準を与えるものである．水中のCa^{++}, Mg^{++} 共にその大部分は岩石土壌風化に基因するものであり，Mg/Ca の比によって地質が推定できる場合があるといわれるが，Mg^{++} の場合には，海水中に多量に含まれるため海塩の影響によるものも考えられる．日本の水は一般に硬度が小さいといわれるが，石灰岩を含む地層からなる地域では，Ca^{++} がかなり多くなって硬度が高くなる．表1を見ると明らかなように，地下水の硬度は年間を通じてほとんど一定で 110 ppm＝7.2度（ドイツ硬度）を示している．水道水ではCl^-の場合と同様，かなりの変動がみられたが，硬度は一般に小さく地下水の$\frac{1}{2}$〜$\frac{1}{3}$を示した．硬度が大部分岩石土壌風化と地質に左右されることを考えれば，地下水の硬度が河川表流水より大きいことは当然予想されることである．地下水の水質が季節的に，また降雨などによって全く左右されず一定値を示すことも，地下に相当時間停滞し，また緩慢な流動を続けていることを示唆するものである．

水道水の硬度の季節的変動および降水量との関係については，あらためてここに説明するまでもない．Cl^- 濃度のところでも述べたように，硬度の変動パターンは，Cl^- のそれにほとんど一致する．そのことは図2および図3をみれば明らかである．従って水道水の硬度に影響をおよぼす因子として降水量を第一に挙げて然るべきことは，Cl^- 濃度の場合と同様である．ただし，ここでもう一つ注意しなければならぬ

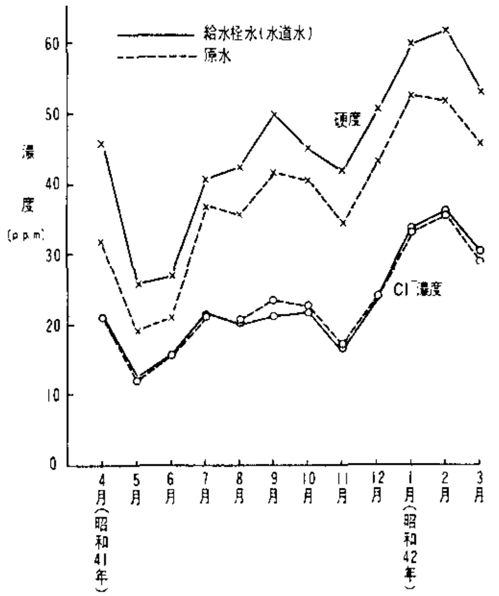

図4　原水と給水栓水の Cl⁻ 濃度および硬度
〔昭和41年度札幌市上水道水質試験成績より藻岩水道部分〕

問題がある．前述のように，Cl⁻ 濃度では浄水場に運ばれてくる原水と浄化を与えた給水栓水（水道水）で殆んど差がないが，硬度の場合には両者で相当差が見られ，給水栓水の方が原水よりも硬度が大きいことである．これはおそらく原水浄化の処理過程である消石灰注入による Ca^{++} 増加によるものであろう．図4は41年度における藻岩浄水場の原水と給水栓水の Cl⁻ 濃度並びに硬度月平均をグラフにしたものである．

考　　察

天然水の水質には，様々な外的因子が影響するであろう．特に地質との密接な関連性は欠くことのできない調査対象であると思われる．しかし，ここで取扱った問題は専門的な立場ではなく，初歩的問題として，本学園で使用している地下水および水道水の水質三項目のみに焦点をしぼって，それらの水質に季節的変動があるかどうか，もしあるとすればその変動におよぼす外的因子は何であるか，などを推論しようとして実験を試みたのである．本学園女子中高でボイラーその他に使用している地下水（地下70～80m掘抜き井戸）は，水素イオン濃度（pH），塩素イオン（Cl⁻）濃度，および硬度いづれも年間を通じてほとんど有意な変動はみられず，また測定値から判断して非常に良質な水であると結論することができる．一方，豊平川上流の表流水を集め藻岩浄水場で改善されて配水されている水道水の水質は，その日により，また，季節的にかなり一定したパターンの変動がみられる．水道水の pH は原水そのものの性質でなく，浄化改善の過程の人為的影響によって微かではあるが季節的にかなり明瞭な変化がみられた．Cl⁻ と硬度は測定した限りにおいては，かなり一定した平行関係がみられ，そのことが水道水水質の変動におよぼす外的因子として降水（雨）量が推定されるひとつの根拠となった．図2，図3のグラフをもとにして，Cl⁻ 濃度および硬度の変動におよぼす因子が降水量であると推論して差支えないと考えられるが，さらにこの連関性を明らかにするためには，降水量よりむしろ河川の流量にその関係を求めるべきであることに気付いた．殊に雪に閉される期間の長い札幌においては，冬の降水量はすなわち降雪量であり，雪は降ってもすぐに河川水とはならないし，3～5月頃の融雪期には降雨はなくても，雪解け水が河川水となって大量の水を送ることになる．Cl⁻ 濃度，硬度ともに，降水量は少なくても3月から5月にかけて急激に減少するのは，融雪による河川水の増量のためそれらの物質が稀釈されて濃度をおとすためであり，冬期12月～2月では逆に，降った雪が大部分河川水とならず，河川水中に地下水の占める割合が増すために水質濃度が増大するものと考えられる．夏期に濃度が増すのは渇水期の故と人的活動の影響によるものであろう．

上述のように，水道水水質の変動におよぼす因子を河川水流量に求めてその関係をみればおそらく，より明確な相関関係をとらえることができたと考えられる．そのためには，藻岩浄水場の原水供給源である白川貯水池の水位の変動を知ることが一つの手段となるが，今回は残念

ながらそのデータを入手することができなかった．

要　　約

1. 水道水（札幌市藻岩浄水場給水）と地下水（本学園女子中高のボイラー用水）の pH，塩素イオン濃度および硬度を測定し，その季節的変動を観察した．

2. 地下水の水質は年間を通じてほとんど有意な差がみられなかったが，水道水では季節的にかなりの変動がみられた．

3. 水道水の pH は冬期には微アルカリ性 (7.2)，夏期には微酸性 (6.6) に傾く一定した変化がみられたが，その主な原因は浄化過程における人為的影響によるものであることがわかった．

4. 水道水の Cl^- 濃度と硬度の季節的変動は全くの平行関係にあり，その変動におよぼす主要な因子は，降水量というよりむしろ河川水の流量であることが推論された．

終りに本研究の実験に際してご協力をいただいた本学家政科副手，伊藤三枝子さんおよび伊藤彰子さんに深く感謝の意を表する．

文　　献

1. 札幌管区気象台：昭和41年，42年地上気象観測月原簿(乙)．
2. 札幌市水道局拡張部工務課：昭和41年度札幌市上水道水質試験成績．
3. 札幌市水道局拡張部工務課：昭和41年度札幌市上水道浄水関係統計書．