



| | |
|------------------|---|
| Title | 降雪の電気伝導度および水素イオン濃度測定による札幌市内の大気汚染の水平分布 |
| Author(s) | 菊地, 勝弘; KIKUCHI, Katsuhiro |
| Citation | 北海道大学地球物理学研究報告, 34, 67-77 |
| Issue Date | 1975-11-29 |
| DOI | https://doi.org/10.14943/gbhu.34.67 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/14055 |
| Type | departmental bulletin paper |
| File Information | 34_p67-77.pdf |



降雪の電気伝導度および水素イオン 濃度測定による札幌市内の大気汚染 の水平分布

菊地 勝弘

北海道大学理学部地球物理学教室
(昭和50年7月15日受理)

The Horizontal Distribution of Air Pollution in Sapporo Based on the Measurements of Electric Conductivity and Hydrogen Exponent of Snowfall

By Katsuhiko KIKUCHI

Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University, Sapporo
(Received July 15, 1975)

For the purpose of the investigation of the horizontal distribution of air pollution over Sapporo City, new snowfalls were collected at 15 sampling positions in Sapporo at every morning around 0900 JST from January to March 1973 and the electric conductivity and hydrogen exponent of them were measured with relation to the amount of precipitation. In general, the values of the electric conductivity and hydrogen exponent developed a tendency to decrease with the increase of the amount of precipitation. However, the tendency was divided into two groups, one of them is relatively high values of the conductivity of $20-25 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ and 5.0-5.4 of hydrogen exponent and other relatively low values of $7-15 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ and 4.2-4.8 at the intensity of $15 \text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$ of snowfall. The sampling positions appeared relatively high values were FS, KJ and IT, and their locations were central part of the city as a matter of course.

As regards the horizontal distributions of the amount of precipitation, electric conductivity and hydrogen exponent, it was recognized that there was some characteristic difference especially in electric conductivity in the cases of northwesterly monsoon wind and eastward wind.

I. は じ め に

最近特に大気汚染の問題が身近な重要な問題となってきた。札幌市の大気汚染はいわゆる典型的な都市型であるが、浮遊粉塵および硫黄酸化物、窒素酸化物等の観測は北海道公害防止研究所

および札幌市環境局公害部において行われているのみであり、実際にどのような拡がりをもっていかについての情報は現在の数ヶ所の観測だけでは到底把握できず、過去の断片的に行われてきた観測結果をもとにして各々の気象現象との対応において推定せざるを得ない。この研究では主として都市汚染の影響が顕著に現われる札幌市の冬期間の汚染の拡がりを、降水粒子が Rainout によるよりも、Washout による過程を通して大気中に浮遊している汚染物質を捕捉、沈着させることがはるかに多いことと、Dry fallout によって雪面に降下した粒子は風によって飛ばされることなく、そのままの状態に雪面に付着していることに着目し、札幌市内15ヶ所で降水(主として雪)を採集し、融解させ、それらの電気伝導度および水素イオン濃度を測定し、その時の風系によって大気汚染の水平的な拡がりを大局的に把握しようとするものである。

また今日まで雪についての電気伝導度や水素イオン濃度に関する測定値が少いのでその点にも注目した。

II. 測定方法

大気中に浮遊している汚染粒子等は雲核として、また雲中で降水粒子が成長する過程でそれ等にとり込まれるいわゆる Rainout と、ある程度成長した降水粒子によって落下途中で衝突、捕捉されるいわゆる Washout によって降水粒子に化学成分がとり込まれるものと考えられているが、その各々の機構がどの程度の割合で寄与しているかの測定は非常に少ない。今日までの数少ない観測結果、例えば Petrenchuk and Selezneva (1970) によると Rainout による効果は汚染濃度の如何にかかわらず雲中での値はほぼ一定 ($6 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) とみなされるが、それに対して Washout の効果はソ連の高濃度汚染地域ではそれ等の数倍になることが報告されている。一方菊地・遠藤(1975)は彼等の Rainout の値を使い同様な考え方に基づいて札幌での Rainout と Washout の比を計算し、Washout の値が Rainout の3倍以上であることを示した。このことから札幌市内に発生源をもつ汚染粒子の多くは Washout の効果により除去されることが明らかであり、それらの汚染物質の程度を表わす簡便な方法として電気伝導度、水素イオン濃度 (pH) を測定することにより、札幌市内の水平的な汚染の拡がりを把握できるものと考えた。札幌付近での降雪をもたらず雲の雲底高度は精々数100mから1,000mであるのと、逆転層の高さは200~300m程度であるので、Dry fallout による汚染粒子も、捕捉される粒子の位置とはそんなにかけ離れていないものと考えた。従って測定される値は主として Washout と Dry fallout の両者によるものと考えてよい。

Table 1 および Fig. 1 に示される15ヶ所の降水採集点を設定し、毎日09時に前24時間に採雪器 (Fig.2) にセットされた採集用ポリ袋に入った雪を密封して研究室に運んで貰い、これらの試料を密封したまま融解させ、電気伝導度および水素イオン濃度を降水量との関係において測定した。電気伝導度、pH 測定にはそれぞれ東亜電波の CM-2A 型、HM-7A 型を用いた。各測定器の測定限界は $1 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$; 0.01 である。

Table 1. Collaborators and sampling positions
(*: gathered by author)

| 氏名 | 略号 | 住所 |
|--------|------|-------------------------|
| 菊地 勝弘 | (KK) | 札幌市東区北28条東4丁目 |
| 播磨屋敏生 | (HT) | 〃 西区手稲山口36の104 |
| 大川 史郎 | (OS) | 〃 北区北27条西3丁目(柴山方) |
| 上野 文男 | (UF) | 〃 東区北22条東7丁目 |
| 塩月 善晴 | (SY) | 〃 中央区北12条西23丁目 |
| 北海道大学* | (HD) | 〃 北区北10条西8丁目 |
| 白鳥 宗紀* | (SM) | 〃 中央区宮の森800 (道理科教育センター) |
| 藤田 慎一 | (FS) | 〃 中央区北2条西14丁目 |
| 北村 順子* | (KJ) | 〃 中央区南1条西21丁目 |
| 岩淵 武士 | (IT) | 〃 豊平区水車町12 |
| 加賀谷陸夫* | (KM) | 〃 白石区白石町本通り2,688 |
| 森本 巖 | (MI) | 〃 南区平岸4条13丁目 |
| 石川 照高 | (IK) | 〃 豊平区月寒東2条1丁目(永野方) |
| 有沢 雄三 | (AY) | 〃 南区澄川3条10丁目(高橋方) |
| 上田 博 | (UH) | 〃 南区北の沢1,819 |

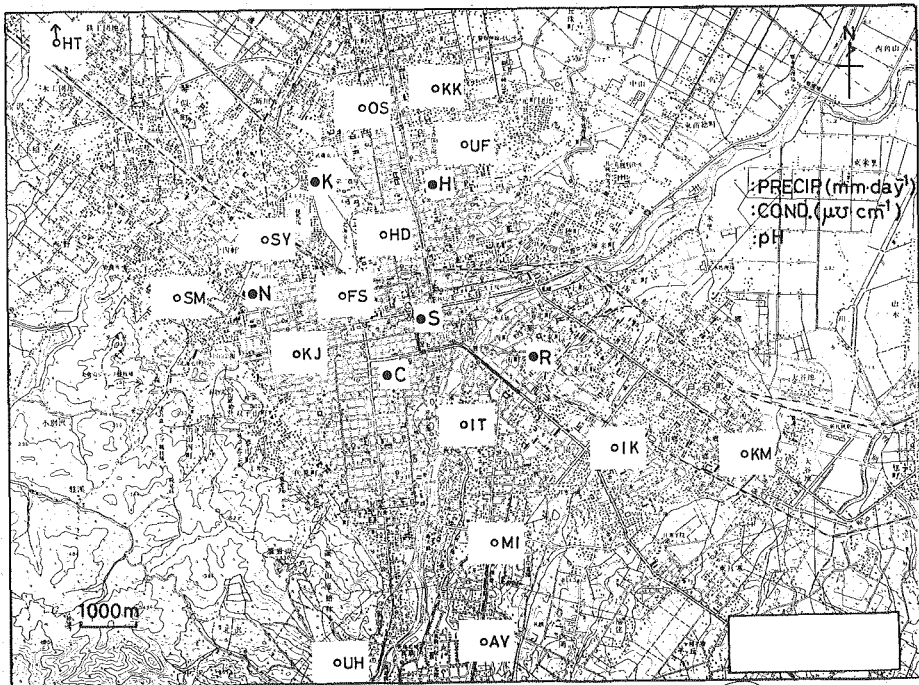


Fig. 1. Locations of sampling positions.

III. 測定結果

測定は昭和48年1月から3月にかけて行なっていたが、途中1月22日から2月12日にかけて協力者の大部分が出張したためこの間は欠測となった。15ヶ所の採集点について降水量と電気伝導度および水素イオン濃度の関連において解析を行ったが、札幌市内中心部、東、西、南、北部の代表点とみなされるFS点(中央区北2条西14丁目), KM点(白石区白石町本通り2,688), SM点(中央区宮の森800), AY点(南区澄川3条10丁目), KK点(東区北28条東4丁目)とこれらとは別に明らかな相違があると考えられる郊外の代表点として、UH点(南区北の沢1,819)の6ヶ所を選んだ。

III-1. 電気伝導度と降水量

Fig.3に前述の6点における電気伝導度($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)と降水量($\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$)との関係を示した。どの地点においても降水量 $5\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$ 以下で電気伝導度は $10\sim 100\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ と広い範囲にわたって分布しているが、降水量の増加と共に伝導度が減少していることが明らかに認められる。図中直線は今回のデータをもとにして各点で推定される降水量に対する電気伝導度の最高値を示したものである。従って郊外のUH点のように明らかに各々の測定値はかなり低いが一応この直線の勾配で電気伝導度の最高値と降水量の関係を代表させるものとした。このようにして与えた15ヶ所の採集点全てを括めたのがFig.4である。この図で明らかなのは少い降水量で特に高い電気伝導度を示すHT点(西区手稲山口)と、それを除いて降水量 $5\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$ 以上から比較的高い伝導度を示すグループ(UK, KJ, MI, IT, FS, AY)と低い伝導度を示すグループ(KK, SM, SY, UH, KM, HD, OS, IK)のあることがわかる。HT点を除けば、2つのグループの伝導度はTable2のようになる。



Fig. 2. Plastic bucket for sampling of snowfall with vinyl bag set on the snow surface.

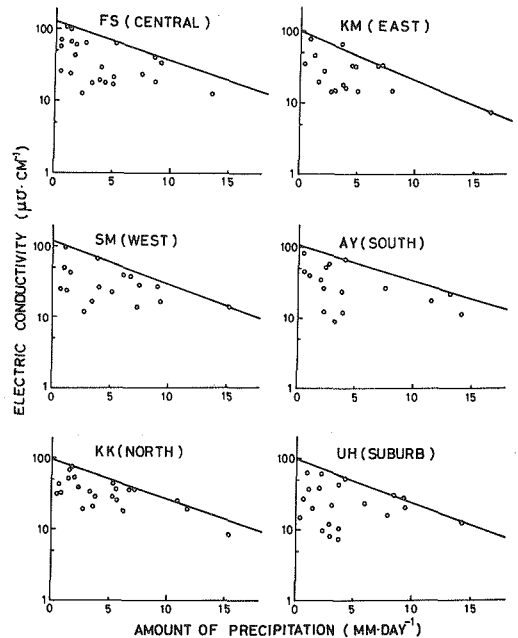


Fig. 3. The relation between electric conductivity ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) and amount of precipitation ($\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$) at typical 6 sampling positions.

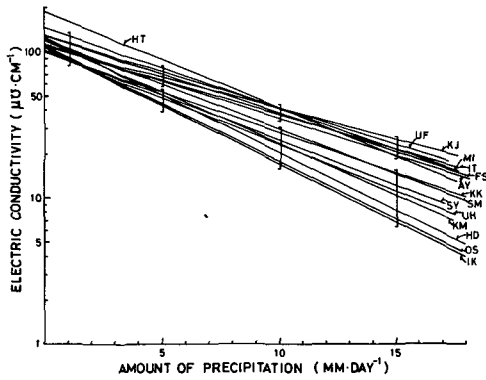


Fig. 4. The relation between the estimated maximum electric conductivity ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) and amount of precipitation ($\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$) at all sampling positions.

Table 2. The estimated maximum electric conductivity ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) and amount of precipitation ($\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$).

| Precip. ($\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$) | | 1 | 5 | 10 | 15 |
|---|---------------------------------|---|-------|-------|-------|
| Obs. Point | | | | | |
| (High) | UF, KJ, MI, IT, FS, AY, | } 88~130 ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) | 60~78 | 35~42 | 20~25 |
| (Low) | KK, SM, SY, UH, KM, HD, OS, IK, | | 42~54 | 17~30 | 7~15 |

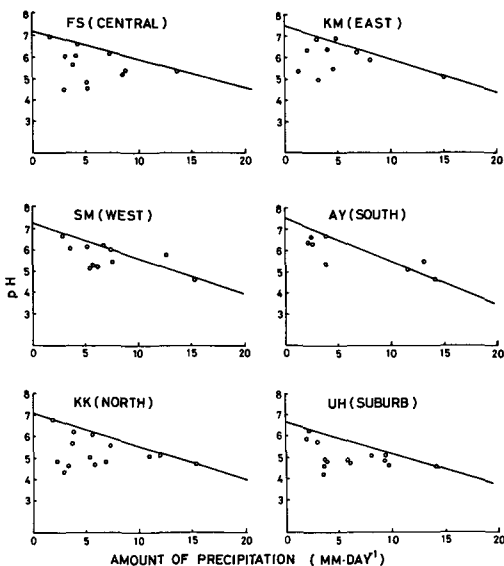


Fig. 5. The relation between hydrogen exponent and amount of precipitation ($\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$) at typical 6 sampling positions.

III-2. 水素イオン濃度(pH)と降水量

電気伝導度の項で述べた6採集点に対して同様に、pHと降水量の関係を示したのがFig.5である。pHについても降水機構、風系、地域的特性など加味されて、その値も広い範囲に分布しているが、総じて降水量 $5\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$ 以下では4.0~7.0の範囲であり、降水量の増加と共にpHの値は減少することが全ての採集点で認められた。この図においても直線は今回のデータ

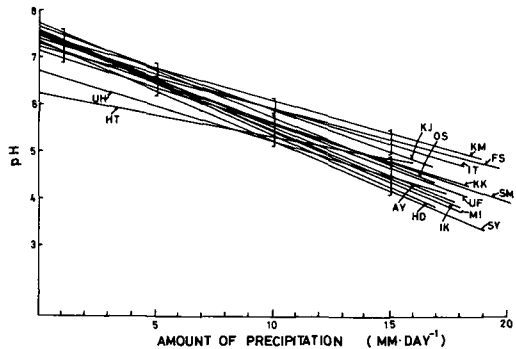


Fig. 6. The relation between the estimated maximum hydrogen exponent and amount of precipitation ($\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$) at all sampling positions.

もにして各点で推定される降水量に対するpHの最高値を示したものである。各々の直線の勾配にかなりの差のあることが認

められるが15ヶ所の採集点に対して括めたものがFig.6 に示してある。降水量の少い領域 ($\sim 1 \text{ mm} \cdot \text{day}^{-1}$) ではHT点(西区手稻山口)とUH点(南区北の沢)を除いた他の13点では7.0~7.5でほぼ同様であるが、 $5 \text{ mm} \cdot \text{day}^{-1}$ 以上では比較的pH値の高いグループ(KM, FS, IT, KJ)と低いグループ(KK, SM, OS, UF, AY, MI, HD, SY, IK)のあることがわかる。この2つのグループのpH値はTable 3のようになる。

Table 3. The estimated maximum hydrogen exponent and amount of precipitation ($\text{mm} \cdot \text{day}^{-1}$).

| Obs. Point | | Precip. ($\text{mm} \cdot \text{day}^{-1}$) | | | |
|------------|-------------------------------------|---|---------|---------|---------|
| | | 1 | 5 | 10 | 15 |
| (High) | KM, FS, KJ, IT, | } 7.0~7.5 | 6.6~6.8 | 5.9~6.1 | 5.0~5.4 |
| (Low) | KK, SM, OS, UF, AY, MI, HD, SY, IK, | | 6.3~6.5 | 5.3~5.7 | 4.2~4.8 |

これ等高いグループに属する4点の内、FS, IT, KJの3点は今回の15採集点の内ではもっとも都心部とみられる場所であり、KM点に関しては市営バス白石営業所の近くであることが、共通してpH値の高い値を示したものであろう。一方比較的低いpH値を示した9点は更に次の3グループに分けられるようにみえる。その一つはKK, SM, UF, OSで表わされる市の北部と西部の採集点であり、AY, MI, IKは同様に南東部にあり、HD, SYは都心に近い北西部であることがわかる。これらのグループ分けが地図上でそれぞれまとまっていることは興味深い。比較的高いpH値を示した4点の内、FS, KJ, ITの3点は電気伝導度においても大きな値を示したことは札幌市内の都心部の一つの典型とみなしてよいと思われる。IT点(豊平区水車町)が都心部と同じ性質を示したことは冬季節風時の主風向が北西であり、それに対するIT点が都心の直ぐ風下側であることを考えれば納得できる。今日まで積極的に雪のpHを測定した例はあまりなく、Comissot (1951)のLebanonの山岳部での最高5.8、平均4.6に比してかなり高い値を示した。また三宅(1939)の東京での値に比しても高い値を示したことは更に検討を要するであろう。

III—3. 降雪時の大気中のSO_xと降雪の電気伝導度

大気中のSO_xやNO_xを測定することは簡単なことではない。しかし降水の電気伝導度の測定は計器を含めて容易に可能である。そこで一つの試みとして降水粒子が大気中の浮遊粒子やガスを捕捉、吸着することから降雪時の大気中のSO_xと降雪の電気伝導度の相関をとってみた。Fig. 7はKJ点をはさむ風上側の札幌西保健所(N)(●印)と風下側の札幌中央保健所(C)(○印)の位置関係と降雪を融解させた電気伝導度に対する降雪があった時の大気中の、すなわち降雪により捕捉、吸着された残りのSO_xの関係を表わしている。図中実線は風上側の(●)印に対する相関を、ダッシュは風下側の(○)印に対する相関を表わしている。一般に風上のSO_xの濃度はその風下の点での降雪の電気伝導度の一つの目安となり得ることを示している。同様な例をFig.8に示した。こ

これは札幌中央保健所(C) (○印) とその風下のIT点での相関を表わしている。Fig.7で得られた両者間の直線関係の勾配がほぼ同じであることは興味深い。

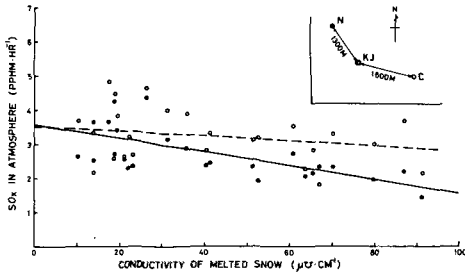


Fig. 7. The relation between SO_x in the atmosphere (pphm·hr⁻¹) during snowfall at the positions of N and C and electric conductivity of melted snow ($\mu\Omega \cdot \text{cm}^{-1}$) at position KJ.

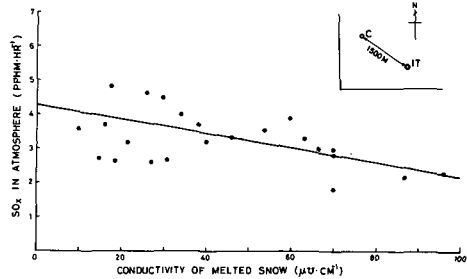


Fig. 8. The relation between SO_x in the atmosphere (pphm·hr⁻¹) during snowfall at the position C and electric conductivity of melted snow ($\mu\Omega \cdot \text{cm}^{-1}$) at position IT.

III—4. 降水量, 電気伝導度, 水素イオン濃度の水平分布

降水量, 電気伝導度および水素イオン濃度の水平分布はその時の風系によって非常にはっきりしたいくつかの型に分類されることがわかった (Figs.9~13)。図中, 風向風速のデータはK点での値をベクトルで表わし, 太線の部分の時間にわたって降雪があったことを現わしている。

- (i) 風向変動型 (1973年2月24日~25日)(Fig.9) 降水量, 電気伝導度, pHの極値がほぼ一致する場合。風向が変動し, 降水量少なく, 電気伝導度, pH値とも高い。
- (ii) 強い季節風型 (1973年3月1日~2日)(Fig.10) 3種の極値がほぼ直線上にならび, 風向は北西成分で強く, 降水量が多いにもかかわらず電気伝導度が高く, pH値もやや高い。特に海岸に最も近いHT点ではこの傾向がよく現われている。
- (iii) 弱い季節風型 (1973年3月7日~8日)(Fig.11) 3種の極値がほぼ直線上に並らぶのは前者と同様だが, 降水量多く, 電気伝導度, pH値共に低い。
- (iv) 弱い東風型 (1973年3月13日~14日)(Fig.12) 降水量多く, 電気伝導度, pH値共に低い
- (v) 強い東風型 (1973年3月12日~13日)(Fig.13) 降水量が少いにもかかわらず, 電気伝導度は低い, pH値は高い。これは強い東風により札幌市東部の清浄な空気の流れによるものであろう。

これ等のことから電気伝導度の高い場合は風が市内中心部でまわっているか (Fig.9), 北西の季節風が強い場合 (Fig.10) であり, 東風すなわち石狩平野東部の田園地帯からの風向の場合は降水量の多少にかかわらず一般に電気伝導度は低いことが明らかになった。また弱い季節風の場合は降水量の多少によって電気伝導度, pH値が低くなったり, 高くなったりするといった一般的な傾向を示すことがわかった。

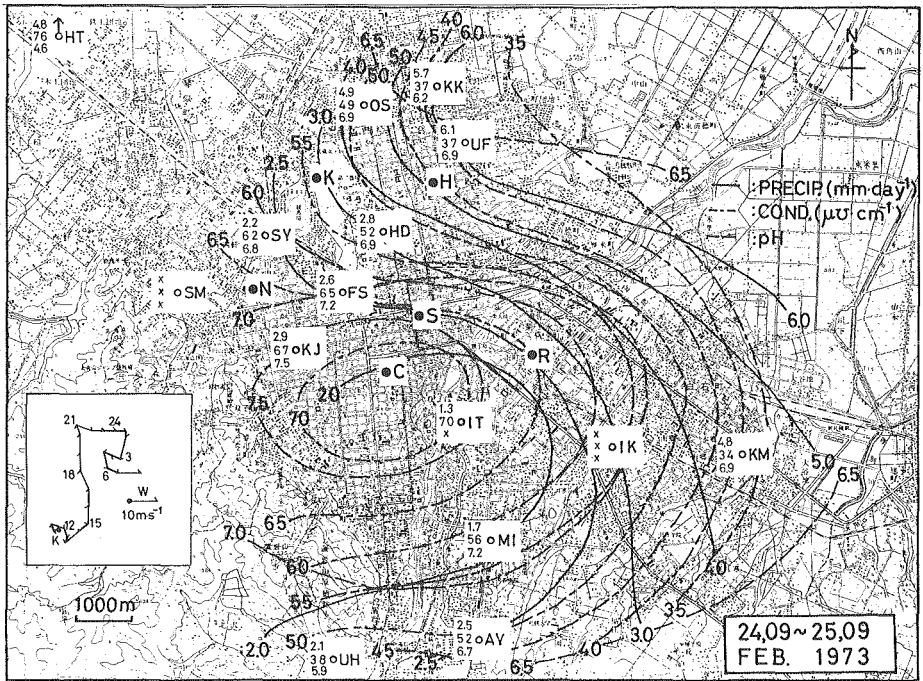


Fig. 9. The horizontal distributions of the amount of precipitation ($\text{mm} \cdot \text{day}^{-1}$), electric conductivity ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) and hydrogen exponent on February 24th to 25th, 1973. The figures at each sampling positions are the amount of precipitation, electric conductivity and hydrogen exponent from top to bottom. Time change of wind direction and velocity at position K is inserted in corner.

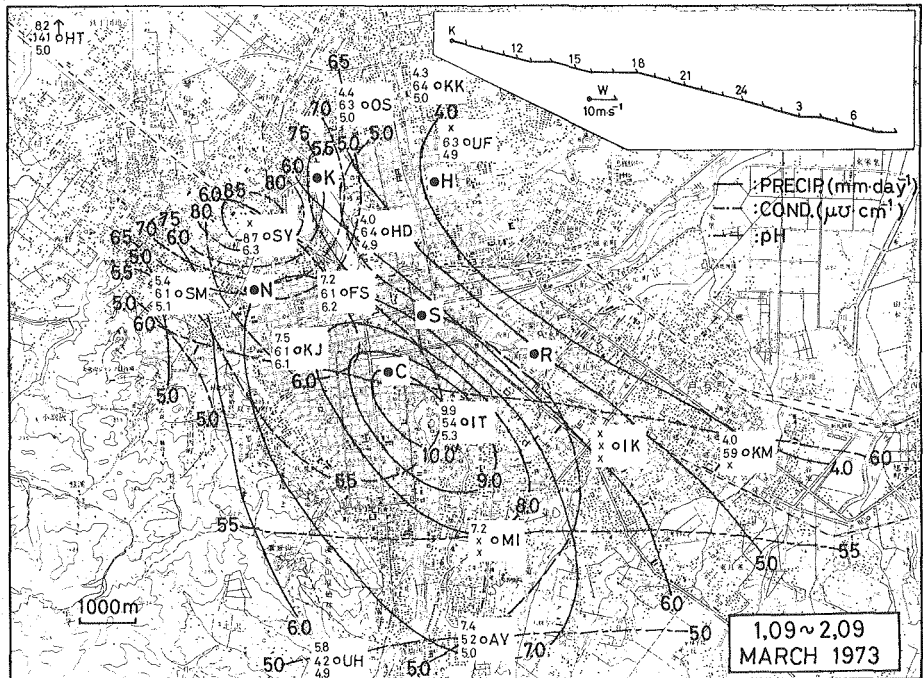


Fig. 10. Same as Fig.9 except the date, 1st to 2nd March, 1973.

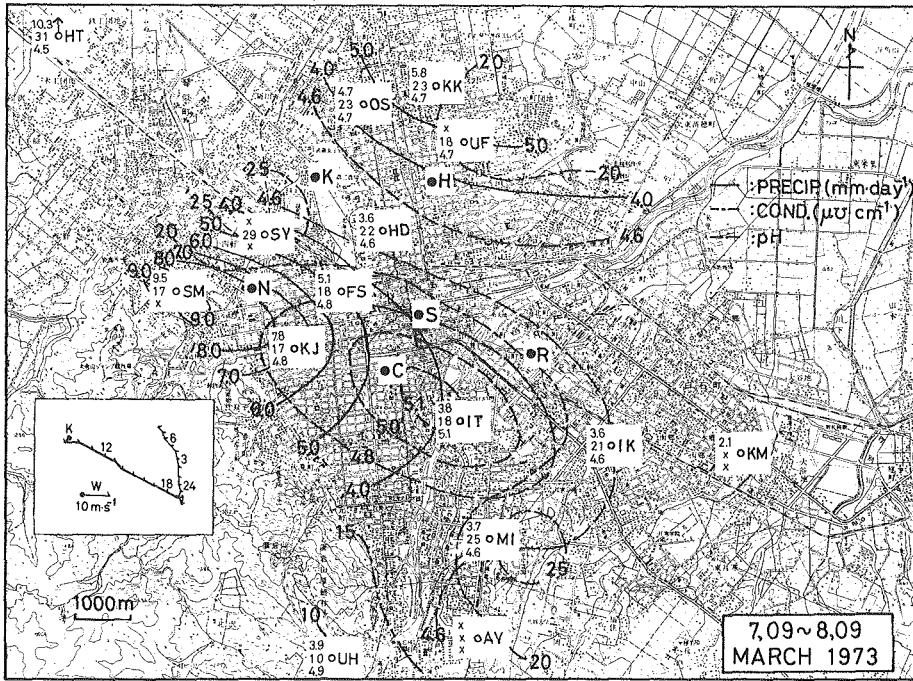


Fig. 11. Same as Fig.9 except the date, 7th to 8th March, 1973.

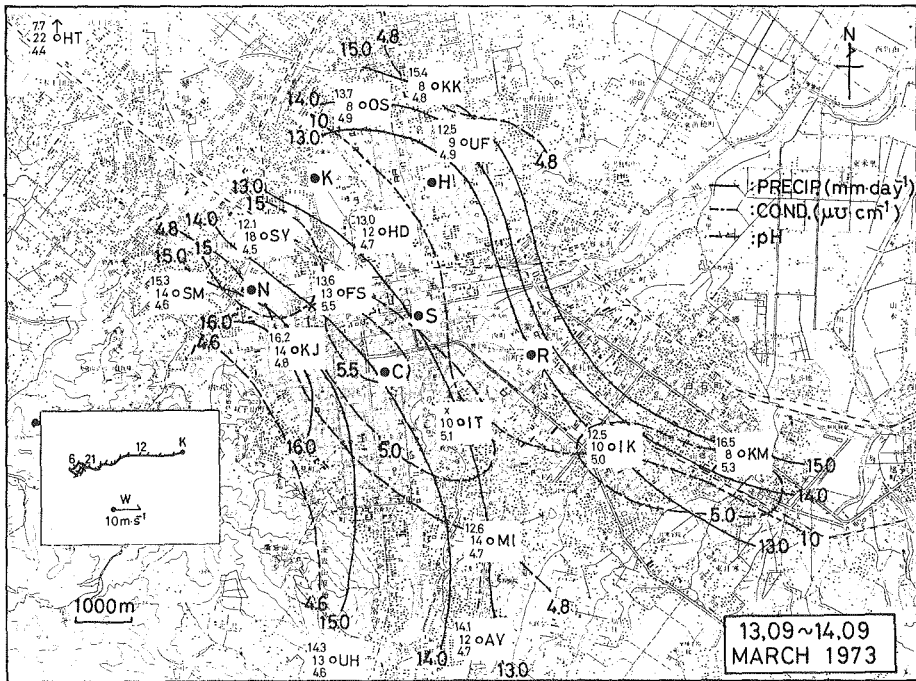


Fig. 12. Same as Fig.9 except the date, 13th to 14th March, 1973.

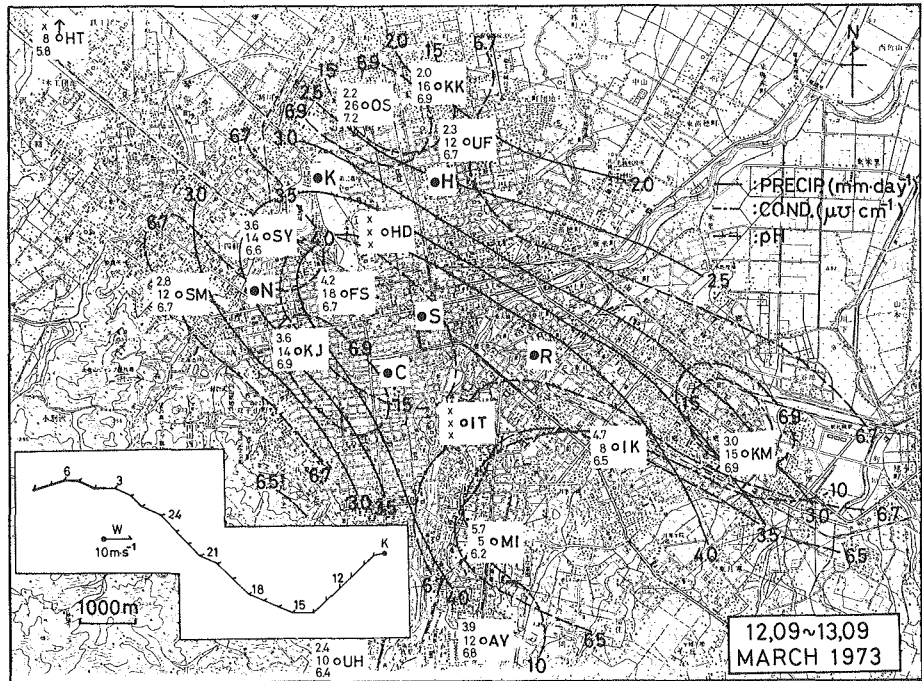


Fig. 13. Same as Fig.9 except the date, 12th to 13th March, 1973.

IV. お わ り に

札幌市の汚染粒子等の除去が、RainoutによるよりもWashoutによる方がはるかに大きいという結果に立って、降水量と電気伝導度、水素イオン濃度との関係を解析した結果、降水量の増加と共に両者とも減少することがわかり、更に降水量 $5\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$ 以上では両者とも二つのグループに分けられることもわかった。両者を比較検討した結果、降水の電気伝導度が高く、pH値も高いのはFS点(中央区北2条西14丁目)、KJ点(中央区南1条西21丁目)、IT点(豊平区水車町12)で、それに近いのがKM点(白石区白石町本通り2,688)であった。また季節風の風上側のKK点(東区北28条東4丁目)、OS点(北区北27条西3丁目)、UF点(東区北22条東7丁目)、SM点(中央区宮の森800)がほぼ同じような性質を示し、SY点(中央区北12条西23丁目)とHD点(北区北10条西8丁目)がまた同じような性質を示した。風下側のIK点(豊平区月寒東2条1丁目)、MI点(南区平岸4条13丁目)、AY点(南区澄川3条10丁目)はともに同じで、HT点(西区手稲山口36の104)は非常に高い電気伝導度と $10\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$ 以下の降水量に対して低いpH値を示した。電気伝導度の高い値は最も海岸に近いと考えられる。また期待されたようにUH点(南区北の沢1,819)は一般に電気伝導度も低く、15ヶ所の採集点の内では最も汚れの少ない雪であることがわかった。しかしpH値に対してはHT点と他の13点との間の性質を示した。札幌市全域での雪の電気伝導度は $10\sim 100\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ で、pH値は $4.0\sim 7.0$ の範囲であった。降水量の増加と共に電

気伝導度が低くなるのは稀釈効果によるものと考えられ、また降水量の増加による pH 値の減少は降水量が増すとアンモニヤは激減するが、硫酸はそれほど減らないので硫酸がいくらか過剰になり、そのため pH 値が低くなるという三宅 (1939) の説を表わしているものと思われる。また水平分布に関しては季節風と東風とで特に電気伝導度に特徴的な差のあることがわかった。今回の測定においてはいわゆる都心部とその東側の苗穂、元町方面および南西部の伏見町、山元町方面に測定点を設けることができなかつた。今後はこの方面の測定もあわせて行なうことにより、また降水の化学分析を行えば更に詳細な大気汚染の実体を把握することが可能となるであろう。

(謝 辞) 今回の研究にあたっては Table 1 に掲げた人達の絶大なる協力なくしてはなされ得なかつたものであり、深甚の謝意を表するものである。

尚、この研究は昭和47年度北海道科学研究費一般研究補助金によつた。

文 献

- Comissot, N.A., 1951. The pH of the rain at Beirut and of snow on the Mountains of Lebanon. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **32**, 24-26.
- 菊地勝弘・遠藤辰雄, 1975. 札幌における冬期間のエーロゾル濃度と降雪の電気伝導度の測定, 北大地球物理学研究報告, **33**, 1-8.
- 三宅泰雄, 1939. 雨水の化学. 気象集誌, **17**, 20-37.
- Petrenchuk, O.P. and E.S. Selezneva, 1970. Chemical composition of precipitation in regions of the Soviet Union. *J.G.R.*, **75**, 3629-3634.