

霧多布湿原における酸性霧の地球化学的研究

～霧多布湿原にかかる霧は酸性化しているか～

第一報 ～pHを中心として～

織田伸和

北海道教育大学釧路校総合科学課程応用理学（地球惑星科学）コース

Key Words: 気圧配置、霧水量、粒径分布、化学成分

1. はじめに

現在、地球環境問題の中に酸性雨、湖沼の酸性化など雨・霧・雪の酸性化に代表される地球の酸性化問題がある。その影響が顕在化してからではすでに手遅れであるため、大学・各研究機関等で現在様々な調査研究が進められている。

一般にいわれる酸性雨の影響は、酸性の雨だけでなく酸性のガス・微粒子など酸性沈着物をも含めたものである。なかでも最近、酸性沈着物の形態として酸性霧が注目されている。しかし、雨については採取法が比較的簡単であるために各地で数年前から観測されているが、霧についてはその特異な気象現象や採取法の難しさから余り多くおこなわれていない。

特に、釧路をはじめとする北海道東部の太平洋岸は夏期にほとんど毎日のように霧に覆われ、世界的にも霧の多い地域の一つである。この霧も酸性化の影響を受けているものと考えられるが、霧に関しては、深石らをはじめとして釧路における霧の発生と気温及び風向との関係など気象学的、地理学的調査研究が多くなされているもの^{(1) - (3)}の酸性化の調査など地球化学的研究はほとんどなされておらず、特に長期に渡る継続観測はまったく行われていない。北海道東部はいまだに、自然環境が豊富に残されており、日本の中でも比較的人間活動の低いところであるが、近年の都市化により道東の霧も酸性化の影響を受けているものと考えられる。

我々は、釧路市に於て1991年5月から霧を採取し、霧の酸性化の実態とその発生機構について調査研究を開始している。その結果釧路の霧は、一時的ではあるが強酸性の霧が観測されており、緩やかではあるが釧路の霧は酸性化していることが明らかになりつつある。

霧多布湿原は、おもにミズゴケ・スゲ類を中心とした高層湿原であり、高層湿原は降水によって水分を補給するため、それが酸性化した場合湿原の植物生態系に与える影響は多大であると考えられる。

しかし、霧多布湿原周辺における降水、とくに霧についての地球化学的研究はほとんど

なされておらず、湿原への影響予測などができない状況にある。
また霧多布湿原周辺は比較的人間活動が小さいことから、道東地方における海霧のバックグラウンド・レベルを測定し明らかにできるものと考えている。

そこで、霧多布湿原において霧水を採取しpH・電気伝導度および主要化学成分の測定を行い、霧水中の化学組成と定量的な算出を行い、霧多布湿原における霧の酸性化状況を把握するため、1994年6月から霧多布湿原センターにおいて調査研究を始めた。

本報告書は、1994年6月から9月に観測された霧のpHを中心に気象との関係についてまとめたものである。なお、主要化学成分の分析結果は第二報として発表する。

2. 観測方法

1) 観測方法

霧多布湿原での霧の採取は、海岸から約4km内陸の霧多布湿原センター屋上で行った。霧多布湿原センターは、霧多布湿原を横断したところに位置し、近傍に汚染質発生源がないため海上から移流してきた霧を採取するには最適である。霧の採取には図1に示す装置を用いた。この装置の原理は、霧を含んだ大気がファンによって吸引され、ファンの前に置かれたネットにぶつかる。このとき、霧粒は縦に張ったテフロン線に慣性衝突するが、大気は衝突せずに通し大気と霧粒が分離される。ネットに捕捉された霧粒は、徐々に大きくなりある程度の大きさになると重力により落下する。落下した霧粒は下に置いたボトルにより集められる。また、比較のため雨も図1-bに示した容器で採取している。

また、霧・雨の経時変化をとらえるため、霧発生中に1回から数回とできるだけ多く採取を行っている。さらに、霧多布とほぼ同時間に発生した霧・雨との比較のため釧路においても霧・雨の採取を行っている。

2) 分析方法

雨・霧の採取後は、直ちに重量を測定し、冷蔵庫内で冷蔵保管した。保管してあるサンプルは、1ヶ月に約1度の割合で釧路から回収に出た。釧路に持ち帰った後、すぐpH・導電率を測定し、化学成分測定まで低温室で冷凍保存している。

pHの測定は東亜電波工業製の携帯用ガラス電極pH計HM-1Kに同社のpH測定用複合電極GST-152FPを組み合わせて行った。導電率の測定は東亜電波工業製の携帯用電導度計CM-1Kを使用した。

3. 結果

期間中に霧は18回、雨は7回観測された。

観測期間内に採取された霧・雨のpHの1イベント平均値を示す。月別平均値は3.48(6月)、

4.79(7月)、3.89(8月)、3.34(9月)で、観測期間内の平均は4.07であった(なお、霧・雨は前述のように1回のイベント中に数回採取しているため、1イベントの平均値とは採取された全フラクションの単純平均値を指す)。霧多布で観測された霧とほぼ同時間に釧路で観測された霧の平均は4.79(6月)4.98(7月)、4.61(8月)、6月から8月の平均は4.79と釧路市よりも浜中町の霧のpHは低いことが明らかになった(図2)。霧多布と釧路とでほぼ同時間に観測された霧のみのpH値を比較しても霧多布4.26、釧路4.87と霧多布の方が低いことがわかる。

各地の観測結果と比較してみると、吉武らは、苫小牧地域のストロームマツの異常落葉の調査のため、1979年、1980年に霧の採取を行っているが、採取した霧のpHは3.8~4.6と低い⁽⁴⁾。また、大喜多らの調査によると1963年の乗鞍岳においてpH3.4~5.9という値の霧が発生している⁽⁴⁾。各地と比較すると釧路の霧はpHが高い。

このように平均してみると各地に比べても霧多布の霧の酸性度は低く、またpH値の出現頻度は低pH値側に広がりをもっている(図3)。さらに、1994年8月6日18時30分~7日09時までに発生した霧のpH値は2.98と釧路での4年間の観測で得られたpH3.00という最低値よりも低い霧が発生している(1イベント一括採取)。

このように低pH値の出現頻度が多いことや、pH2.9台という強酸性の霧が14時間以上も発生していることにも注意すべきである。このように釧路市よりも浜中町の方がpHが低いことが明らかになった。

浜中町は、人口**人の漁業を中心とした町であり、工業活動による環境汚染は釧路市に比べ極めて低いと考える。このため、霧の酸性度は低いものと考えていたが、結果は逆であった。浜中町は前述のように、環境汚染の程度が低いことから、浜中町における観測結果を道東地方における霧のバックグランド値と考えると、釧路市で観測された霧は、バックグランド値に比べて高くなっている。これは言い換えると釧路の霧は中和されていることになる。釧路市に発生する霧は都市化の影響を受けて酸性化されていると考えていたが、中にはある程度中和されているものもあると考える。酸性霧がどの程度中和されているか、都市の中和能力はどの程度かなどについては、今後の課題であるが、中和物質としては NH_4^+ 、 Ca^{2+} が考えられる。これは、釧路で観測された霧の化学組成をみると Ca^{2+} 濃度が通勤時間など車の交通量が増えるとき増加する。このとき、pHも同時に上昇する。これは道路の粉塵が車の走行によって巻き上げられ、それが霧水中に取り込まれて霧を中和するものとする。このように霧は、発生時間帯や都市部での移流経路により、道路粉塵などにより中和作用を受けていると考える。

次に雨の場合であるが、霧多布では7回、霧多布とほぼ同時間に釧路で観測された雨は6回であった。霧多布での雨のpH平均値は4.32、釧路では4.66であった。各月ごとの平均pH値は6月4.18、8月3.80、9月4.77と釧路での4年間の結果と比べると若干低い、霧に比べるとそれほど差は大きくない。また、図4に釧路と浜中でほぼ同時間内に観測された雨のp

Hについて比較した図を示すが、釧路も浜中もほぼ同じような値を示している。雨は、霧に比べ滞留時間が短く一過性である。これは霧に比べ、雨は降雨の初期段階に汚染質を多く取り込むため、時間が経つにつれて大気中の汚染質濃度は減少し、（ウォッシュアウト効果）さらに霧に比べ一過性であるため汚染質の取り込みが霧に比べ小さいと考える。さらに同じ雲が雨を降らしていると考えれば地域的差はほとんどでないものと考えられる。

このように雨と霧とではpH値が違うことは霧と雨の滞留時間の粒径の違いにより起きていると考える。このことについては以後述べる。

4. 霧発生時の気圧配置と気象状態

以上のように、霧多布と釧路での霧のpH値を比較すると、霧多布の方が釧路に比べ低いことがわかった。釧路における4年間の観測から酸性霧・雨が発生するときの気象状態として、

- ①前線性の雲が本州・大陸方面からのび本道にかかり前線霧や降雨が発生するとき。
- ②北太平洋高気圧が優勢となり北太平洋気団が支配的になり移流霧が発生するとき。
- ③低気圧が北海道の北側を通り、その中心に向かって北太平洋気団から気流の移流があるとき

という3つの特徴的な気圧配置があることが明らかになった。いずれの場合にも南成分の風が支配的になると酸性度が高くなる傾向があるという特徴がある。これは本州など中緯度にある都市圏からの酸性物質の長距離輸送を示唆していると考えられることができる。

これらの特徴は北海道周辺の気圧配置という広域な特徴であるため、釧路のみならず霧多布においても見ることはできるはずである。

1994年8月6日に霧多布で発生した霧について、このときの天気図とGMS（ひまわり）の雲画像を図5に示す。このときは太平洋高気圧が広く覆い高気圧から北海道東部に気流が吹き込んでいる。このため霧多布では移流霧が発生していた。このとき観測された霧は、pH2.98と強酸性を示している。

霧多布で霧が酸性化するときの気圧配置の特徴は釧路における特徴と同様であることがわかってきた。しかし、霧多布ではこれらの気圧配置以外でも霧のpHが下がる場合があった。その一方で釧路と霧多布に共通して北太平洋気団の移流が支配的になると、霧の酸性度が高くなる傾向が観測されていることから、本州方面からの長距離輸送や霧の発生から上陸までの移流経路についても、人工衛星のデータなどから今後検討していく必要がある。

霧多布で観測された霧の化学成分分析はまだ行われていないが、釧路での霧の化学成分測定の結果、硫酸イオン中の非海塩由来硫酸イオン濃度が常に高い値を示している事がわ

かった。霧は夏期に発生するため暖房器具を使用する時期ではなく、ボイラー等の影響とは考えにくい。霧発生中の値もほぼ一定であることから、海洋での生物活動により発生するメタンが硫化ジメチルを生成しそれが大気中で硫酸へと変化し霧水中に取り込まれているものと考えられることができる。このため今後は霧多布の化学成分分析を急ぎ、釧路での結果と比較しながら、海洋からの硫酸の発生量が予想以上に多いのか、硫黄の長距離輸送によるものかを検討していく必要がある。

5. 季節変化の傾向

1994年6月から8月までの浜中町における観測結果を図6-1に示す。この図から6月から7月に一度pH値が上がり、8月にはまた下がるという傾向がある。釧路での霧・霧雨の発生頻度が最も高い6月から8月の3ヶ月間のpH値の変化を示すが(図6-2)、ここでもこの傾向をみることができる。釧路の霧の発生頻度は7月に最大となる。この時期の北海道は広くオホーツク海高気圧に覆われ、この気団の影響を受けていると考える。人工衛星の観測から、夏期のオホーツク海上の気団のエアロゾル濃度は海塩粒子、陸上起源粒子ともに低濃度であることが植松によって明らかにされており(植松 1991)⁽⁶⁾、このことからオホーツク海気団は比較的汚染が低いと考えることができる。よって、7月の霧はこの気団の支配下で発生するためpH値の月平均値が高くなるものとする。

6. 霧の酸性化機構と釧路との違い

これまで述べてきたように、霧が酸性化するときは、本州からのびる前線性の霧や移流霧など北太平洋気団が支配的となり、南成分の風が卓越するという特徴的な気象条件が明らかになった。さらに釧路と霧多布では人為的影響の比較的小さい霧多布の方が釧路に比べpHが低いことが明らかになった。ここでは釧路での観測から現在検討中の霧の酸性化機構を述べると共に、霧多布と釧路の霧のpH値がなぜ違うのか、その原因について仮説を述べる。

現在、我々が提唱している霧の酸性化機構では霧水量(単位体積中の霧水の濃度)、霧の粒径分布、霧発生前・発生中の空気塊の化学的性質の3つの因子が大きく影響していると考えられる。

霧水量は、単位体積中の霧の空間濃度のことを指すが、大気中の酸性物質の濃度が一定とすると霧水量が小さい(霧の濃度が薄い)ときと大きい(霧の濃度が濃い)時では霧水量が小さい方が希釈効果のために濃度が高くなる。(たとえとして、同じ量のインスタントコーヒーを入れた2つの同じカップにお湯を多く注ぐと薄いコーヒーができるがお湯の量を少なくすると非常に濃いコーヒーができることは日常生活で経験したことがあると思う。)

例として霧の粒径が一定であるとして霧水量が違うときのHNO₃ガスの霧への溶け混みの違いを示す。HNO₃はヘンリー一定数が高いため水に溶けやすく、次式で霧水中のHNO₃濃度がわかる。

$$[\text{NO}_3^-] = K_n * \text{HRT} * \text{H}^* * [\text{HNO}_3] / [\text{H}^+] * (1 + \text{WH} * \text{RT})$$

K_nはHNO₃の解離定数、Hはヘンリー一定数、H*は修正ヘンリー一定数、Rは気体定数、Tは絶対温度、Wは霧水量、[HNO₃]はHNO₃濃度、[H⁺]はH⁺濃度である。ここで[HNO₃]、[H⁺]は一定としてW₁ > W₂という霧水量が違う2つの状態でのHNO₃濃度を考えると、W₁ > W₂から[NO₃⁻]₁ < [NO₃⁻]₂という結果が得られ、霧水量が小さいとHNO₃濃度が大きいことがわかる。

粒径分布の違いについては、霧の空間濃度（霧水量）が一定としたとき粒径が変化すると表面積が変化してくる。表面積が変化するということは大気中の汚染質を補足する率が変わってくることになる。いま、霧による大気中の汚染質の洗浄率を次式によって定義する

$$k = D/C$$

ここでKは洗浄率、Dは霧が補足する量、Cは大気中のエアロゾル量とし、大気中のエアロゾル量を一定と考えると、粒径が変化することにより補足する量が変わってくるのが分かる。例えば霧水量が0.1g/m³で一定の時、粒径が10μmのとき（case A）と30μmのとき（case B）のときを考える。case Aのときでは霧の空間個数は2*10⁸個/m³、表面積600cm²であるのに対してcase Bでは霧の空間個数7*10⁶個/m³、表面積200cm²となり、空間個数で約10²、表面積で3倍の違いとなる。このためKはK(case A) > K(case B)であることがわかる。

我々は観測中、特に霧の消散期に霧の粒径が変化することを感覚的に捕らえている。

（このことについて釧路では1994年から粒径分布について、科学的に調査を開始しているが、データの解析が未だに終わっていないため経験として感じているので今後霧の粒径分布の解析を急ぐ予定である。）以上のように霧水量、粒径分布の違いにより霧の汚染質のとけ込み、補足率が変化することがわかった。さらに霧発生前後の空気塊の化学的性質も大きく影響していることが明らかになりつつある。

例として図7-1に釧路市で1993年6月2日19時から3日10時までに発生した霧のpH、化学成分を示す。pHは発生時に3.60と低く、徐々に上昇し早朝幾分低くなるが午前中には5.75と高くなっている。07時から10時までのpHが高くなっている時間帯は、同時にカルシウムイオン濃度も高くなっている。この時間帯は通勤時間帯とかさなっており、自動車による粉塵の影響を受けているものと考えられる。陰イオンと、陽イオン（特に中和作用をもたらすNH₄⁺とCa²⁺）の相対濃度を図7-2に示す（相対濃度とは各フラクションのイオン種濃度を最初のフラクションのイオン濃度で割ったものである）。これを見ても、01時から03時の一度霧水量が小さくなった期間にイオン種濃度が相対的に高くなっている。これは前述の

希釈効果のためと考えられる。またほとんどのイオン種は、霧発生から数時間で約半分に減少しているが、アンモニアイオンは、変動が少ない。これはアンモニアイオンが常に一定に放出されているものと考えられるが、その発生源については現在調査中である。今後アンモニアの発生源、年間の発生量などを調査していくことにより、霧が移流中にどの程度中和されているかを推定することが可能であると考え。また、カルシウムイオンは消散直前に相対濃度が急激に上昇していることから車の走行による影響がかなり大きいことを示唆している。これは図8に中和物質の $\text{NH}_4^+ + \text{Ca}^{2+}$ と $\text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ の比を示すが、消散期にこの比が大きく上昇していることからこのことがいえると考え。

このように霧の酸性化には霧水量、粒径分布に加え霧発生時のエアロゾル等空気塊の化学的性質に大きく影響されることが明らかになってきている。

7. 釧路と霧多布での違いについて (pHを中心として)

では、なぜ釧路と霧多布では同じ南成分の風が支配的になってもpHに大きな違いが出てくるのかを前章のことを考慮に入れ考えてみる。

霧発生時の風向と霧のpHの関係について図9に示す。この図ではpHを $\text{pH} > 5.00$ 、 $4.00 < \text{pH} < 5.00$ 、 $\text{pH} > 4.00$ と3つに分けて見ているが、霧多布の場合 $\text{pH} > 4.00$ になるときは主に南成分の風が支配的になるときであった。また、 $4.00 < \text{pH} < 5.00$ の場合は $\text{pH} 4.00$ に近くなると南西方向から、 $\text{pH} 5.00$ に近くなると東・北成分の風が支配的になっていることが分かる。さらに $\text{pH} > 5.00$ になると主に北東成分の風が支配的になるなど、霧発生時の風向とpH値には何らかの相関があることが分かりつつある。その一方で釧路における霧発生時の風向を見てみるとほとんどが南南西方向からの風であることが分かる。これは釧路の海岸の地形のため霧の進入方向が南西方向であることからこのような分布になっているものと考え。しかし釧路の場合、 $\text{pH} > 4.00$ に近くなるときは霧多布同様南成分の風が支配的になっているが南南西からの風が吹くときにはほとんどが $\text{pH} > 5.00$ になっている。南西方向には住宅地が大きく拡がり、太平洋炭坑の選炭場などもある。

このように釧路では、海岸地形により霧の進入方向が南西方向となり霧はこのような住宅地を数キロにわたり移流してくる。

霧は移流してくる間に大きな霧は建物による補足により空間個数が減り、小さい霧が観測点に移流し粒径分布が変化する。さらに霧は滞留時間が長いのも特徴である。いまStokesの法則により粒径 $10\mu\text{m}$ の霧が何分で落下するかを考えるとStokesの式より

$$\nu = gd^2(\rho_1 - \rho_2) / 18n$$

(gは重力加速度、dは粒径、 ρ_1 は粒子の密度、 ρ_2 は空気の密度、nは粘度)

$\nu=0.32\text{cm/s}$ となり10mの高さからでは52分で落下することになる。厳密には乱流による上昇下降等のため幾分ずれるがかなり長い時間滞留している。このため地理的に車の走行量の大きいところなど人間活動のため道路粉塵等中和物質を補足し、化学的に変質をおこす。このようなことから釧路では南西方向からの風の時にもpHが低くならないのではないかと考える。これは滞留時間が短い雨の場合で釧路と霧多布を比較してみるとpHにそれほど差がでないことから考えることができる。

8. まとめ

1994年6月から9月までに浜中町霧多布湿原センターで採取した雨・霧をもとに北海道東部での霧の酸性化の状態、酸性霧・雨発生時の気圧配置の特徴、釧路との比較により霧の酸性化の機構について述べた。

1 イベント平均の月平均値は3.48(6月)、4.79(7月)、3.89(8月)、3.34(9月)、観測期間内の平均値は4.07であった。ほぼ同時間帯に釧路で発生した霧と比較すると霧多布の方がpHが低いことが明らかになった。pH値の出現頻度をみると低pH値側に広がっており、また一時的ではあるが2.98と強酸性の霧も観測されている。霧多布は人為的影響が比較的小さいとすると北海道東部の霧のバックグラウンドレベルはかなり酸性度が高いことが明らかになった。これは海洋から発生する物質により霧の酸性度が高くなることを示唆しているのではないかと考え、今後海洋からの硫酸など酸性物質の発生量を詳しく調査していく予定である。

また釧路と同じく酸性霧が発生するときの気象状態として、①前線性の雲が本州・大陸方面からのび本道にかかり前線霧が発生するとき。②北太平洋高気圧が優勢となり北太平洋気団が支配的になるとき。という特徴的な気圧配置の傾向を見ることができた。いずれの場合にも南成分の風が支配的になると酸性度が高くなる傾向がみられた。また非海塩由来硫酸イオンの濃度が高いことから長距離輸送によるものと海洋から発生する硫酸が考えていたより多いのかどうか今後検討していく予定である。

また、霧はこのような大きなスケールでの汚染質の輸送による影響の他に、霧多布の観測結果と釧路との結果から、都市から排出される汚染質にかなり敏感に影響されることが明らかになりつつある。特に釧路の霧は霧多布に比べて酸性度が低いことから、都市部を移流してくる間に道路粉塵や土壌粒子により中和されている可能性が高い。このことをより詳しく調査するため、今後霧発生中及び発生前後の大気のエアロゾル濃度を霧多布・釧路両地点で測定していく必要がある。また、霧の粒径が小さくなる時酸性度が高くなる傾向があることから、霧の粒径により表面積が変化し汚染質の取り込み率が変わるため粒径分布は霧の酸性化機構に大きく影響していると考えられる。このことについては今後、釧路

・霧多布双方の化学成分分析の終わっていない試料について早急に分析を終わらせ、また霧多布において粒径の測定・解析を行いより詳しく調査していく予定である。

9. 謝辞

この研究を進めるにあたり、霧多布湿原での雨、霧の試料の採取は富沢日出夫氏をはじめとする霧多布湿原センターの各位にご協力いただいた。釧路地方气象台からは釧路と、浜中（榊町）の気象観測資料の提供を受けた。浜中での霧の観測、試料の回収には3年の谷口拓之氏、及川政江さん、佐野静さん、4年の白山恭之氏、藤田真一氏に、資料整理・グラフの作成時には1年の土田幸子さんらの協力を受けた。ここに深く感謝いたします。また、上記の方々をはじめとする応用理学コースの学生諸氏に、また西尾文彦教授に御協力、助言をいただいた。末筆ながらここに記すとともに感謝の意を表します。

参考文献

- 1, 松倉秀夫・深石一夫(1981);釧路の気象、釧路叢書21.
- 2, 深石一夫(1971);北海道東部の霧について(その1)、釧路論集 2, 17-55pp
- 3, 深石一夫(1973);北海道東部の霧について(その2)、釧路論集 4, 63-87pp
- 4, 村野健太郎(1993);酸性霧研究の現状、大気汚染学会誌28(4), 185-199pp
- 5, 村野健太郎(1993);酸性雨と酸性霧 裳華房
- 6, 植松光夫(1992);衛星画像を基にした北太平洋上の陸起源エアロソルの分布と降下量の見積、文部省科学研究費重点領域研究「衛星による地球環境の解明」平成3年度第2回シンポジウム 393-396pp
- 7, 井川学(1991);酸性霧とその環境影響 ドージンニュース No. 59 3-8pp
- 8, 気象学気候学事典

図の説明

- 図1 霧水採取器・雨採取器
- 図2 霧多布と釧路で観測された霧・雨のpH
 - a) 霧・雨のpH
 - b) 霧のみのpHの比較
- 図3 霧多布でのpH出現頻度
- 図4 霧多布と釧路の雨のみのpHの比較
- 図5 1994年8月6日の天気図。「ひまわり」の雲画像

図6 1994年6月から8月の霧の月平均pH値

1)霧多布

2)釧路（釧路は1991年から4年間分）

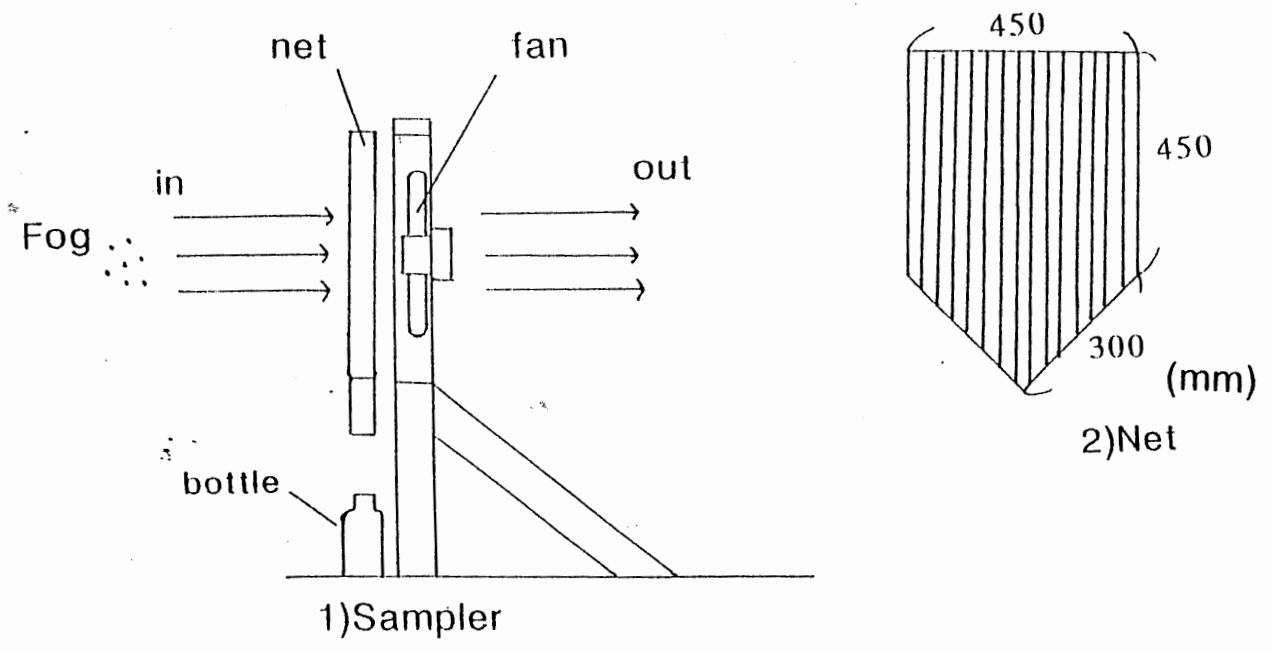
図7 1993年6月2日の移流霧

a)pH

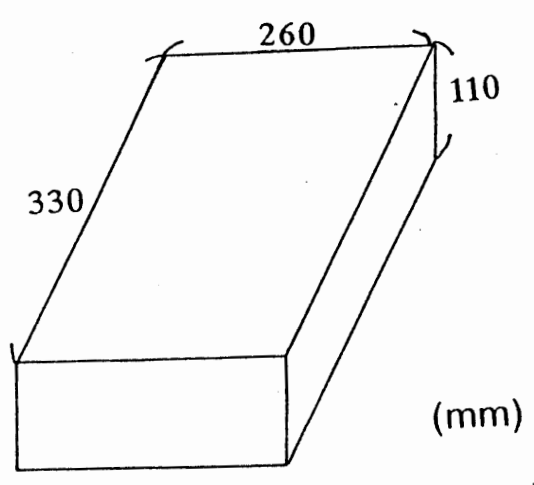
b)相対濃度

図8 $\text{NH}_4^+ + \text{Ca}^{2+}$ と $\text{NO}_3^- + \text{nss-SO}_4^{2-}$ の比

図9 霧発生時の風向と霧のpHとの関係



a) Fog Sampler



b) Rain Sampler

図1 霧水採取器・雨採取器

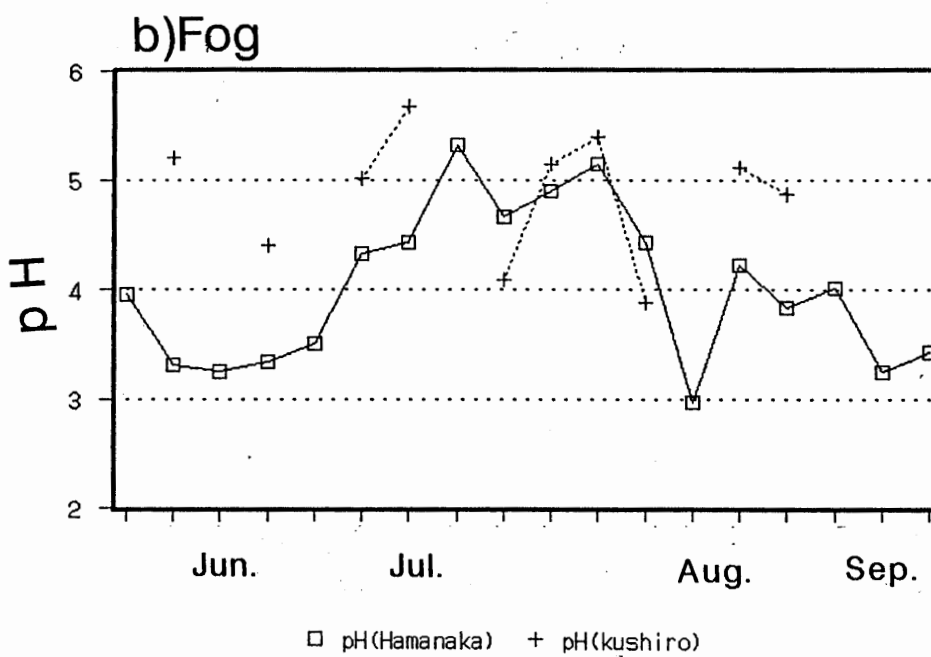
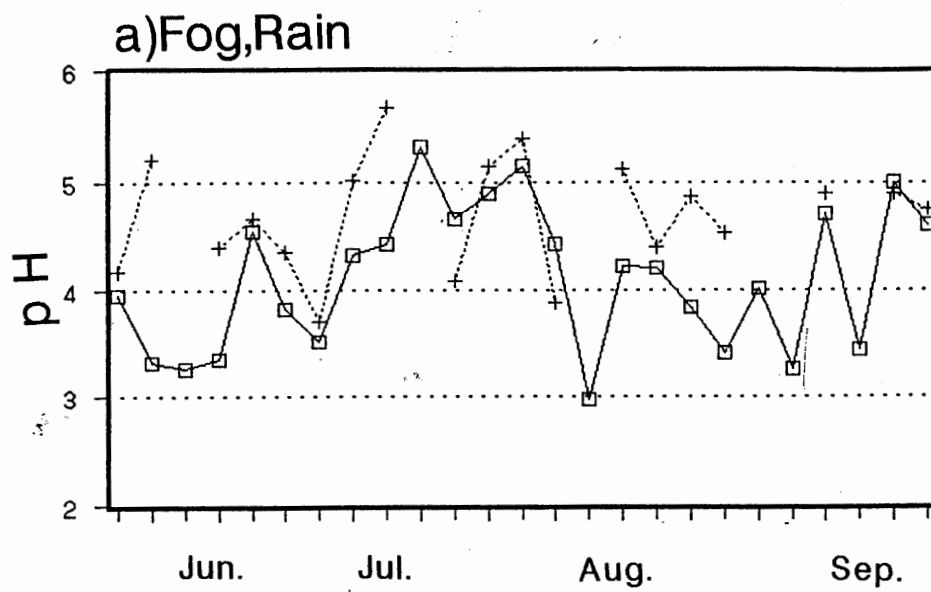


図2 霧多布と釧路で観測された霧・雨のpH
 a) 霧・雨のpH
 b) 霧のみのpHの比較

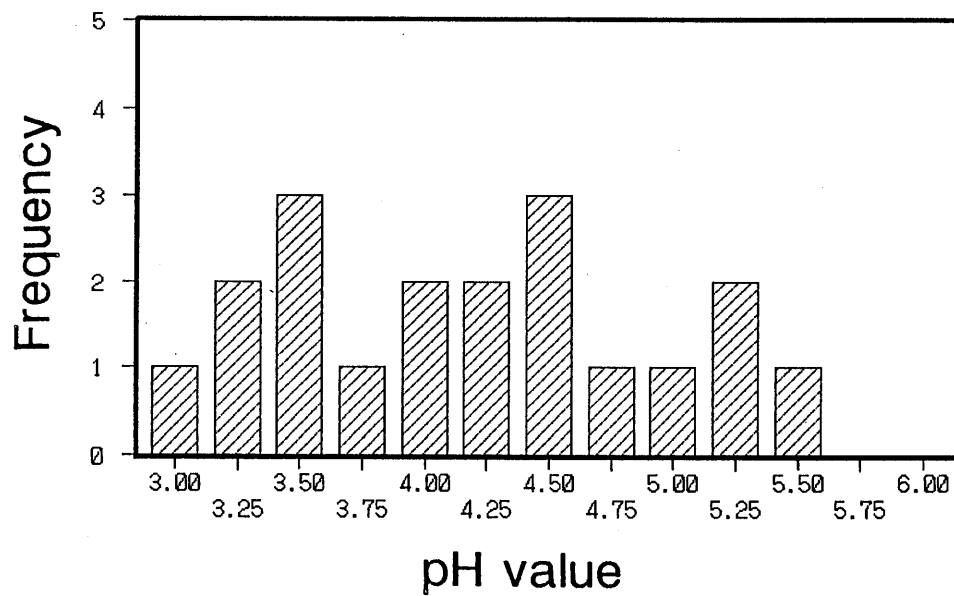


図3 霧多布でのpH出現頻度

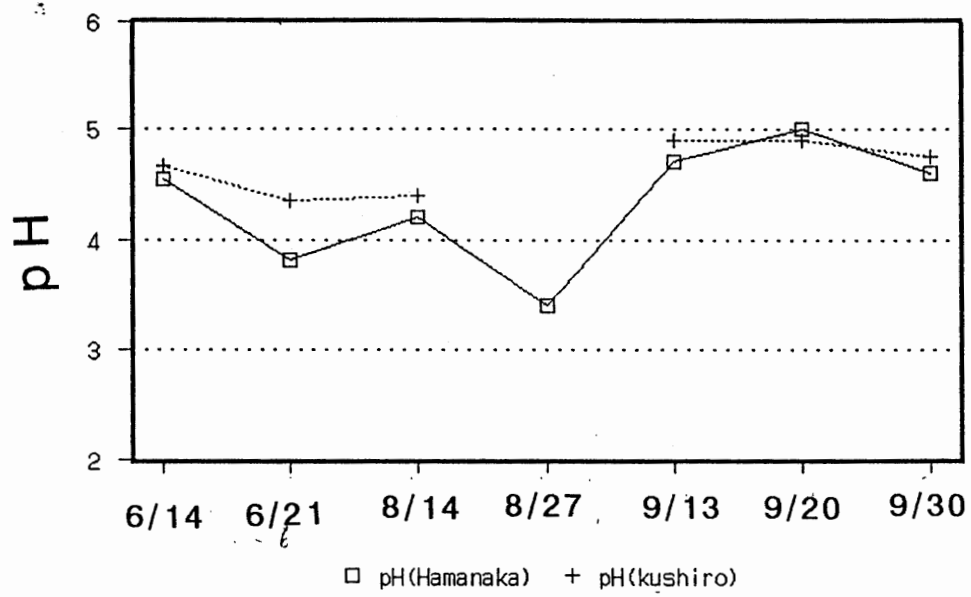
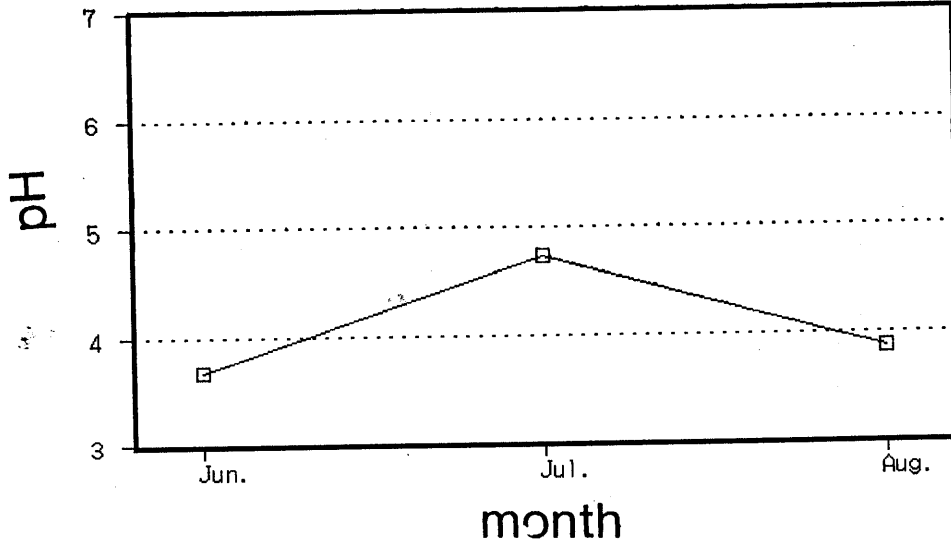


図4 霧多布と釧路の雨のみのpHの比較

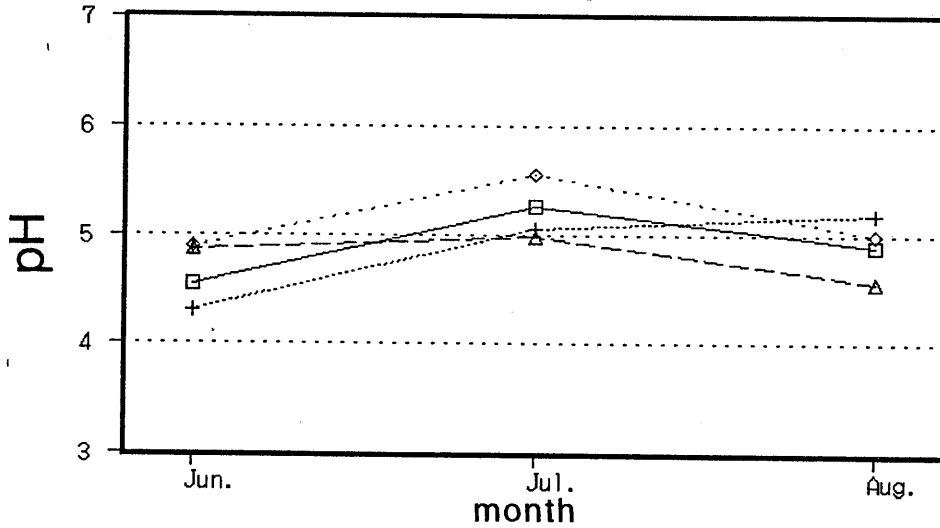
Hamanaka

pH (Fog)
Jun. - Aug.



Kushiro

pH (Fog , Fog/Rain)
Jun. - Aug.

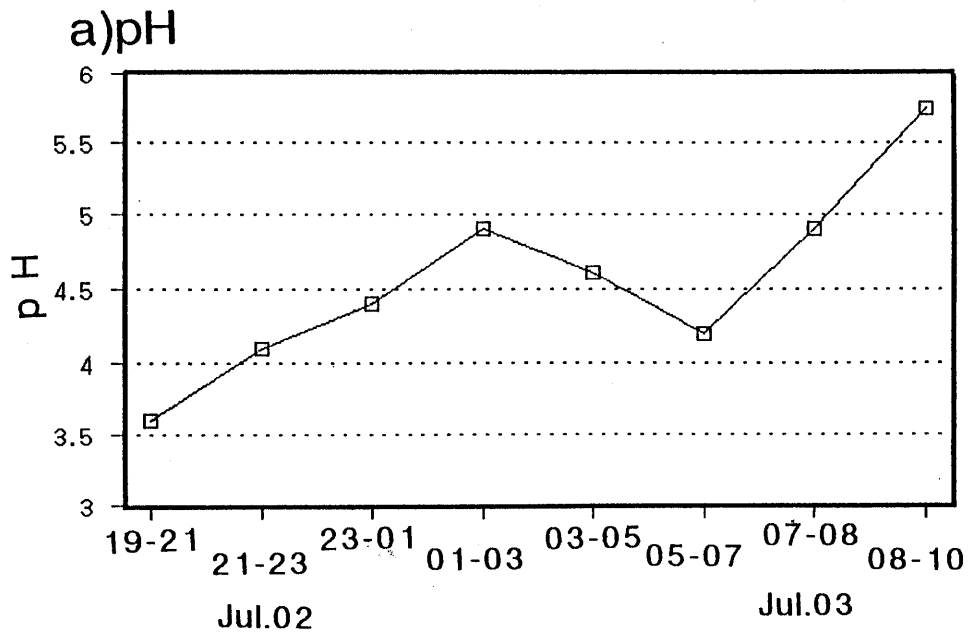


□ 1991 + 1992 ◇ 1993 △ 1994

図6 1994年6月から8月の霧の月平均pH値

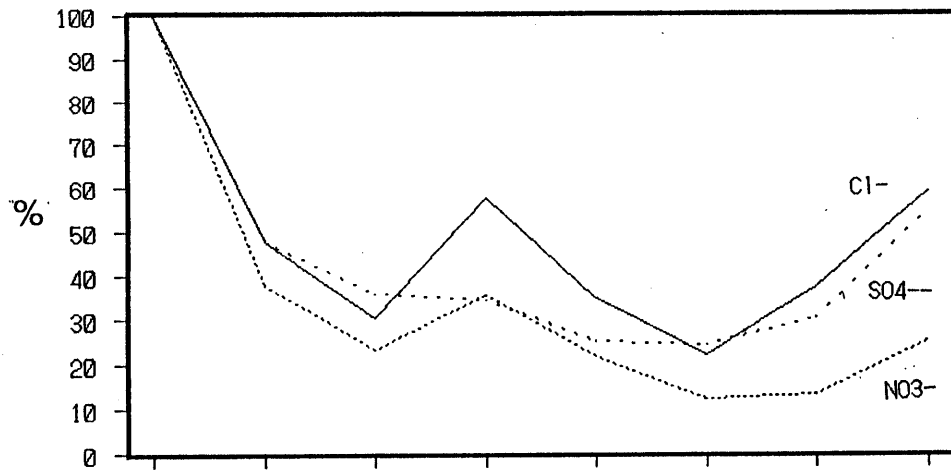
1) 霧多布

2) 釧路 (釧路は1991年から4年間分)



b) Relative Concentration

1) anion



2) cation

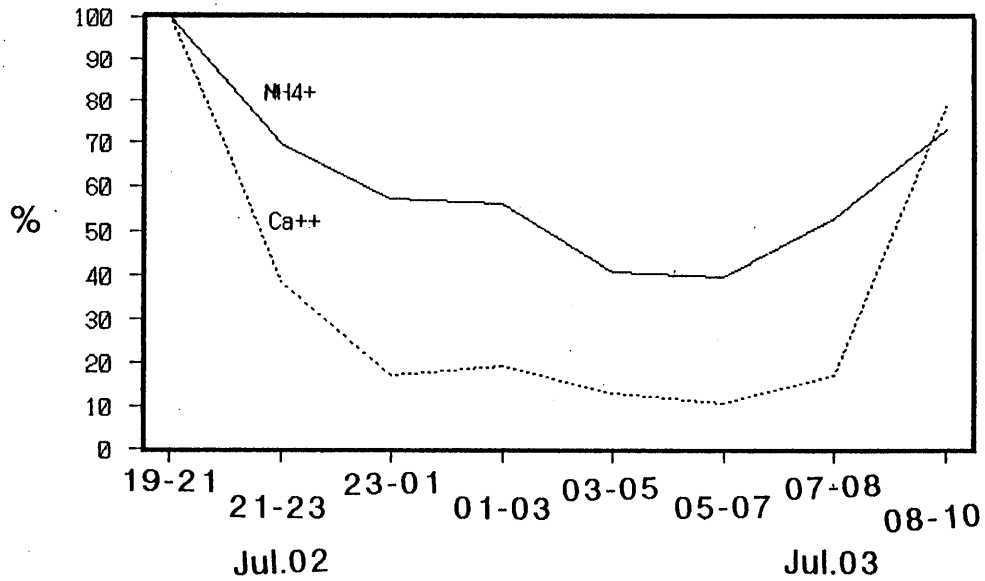


図7 1993年6月2日の移流霧

a) pH

b) 相対濃度

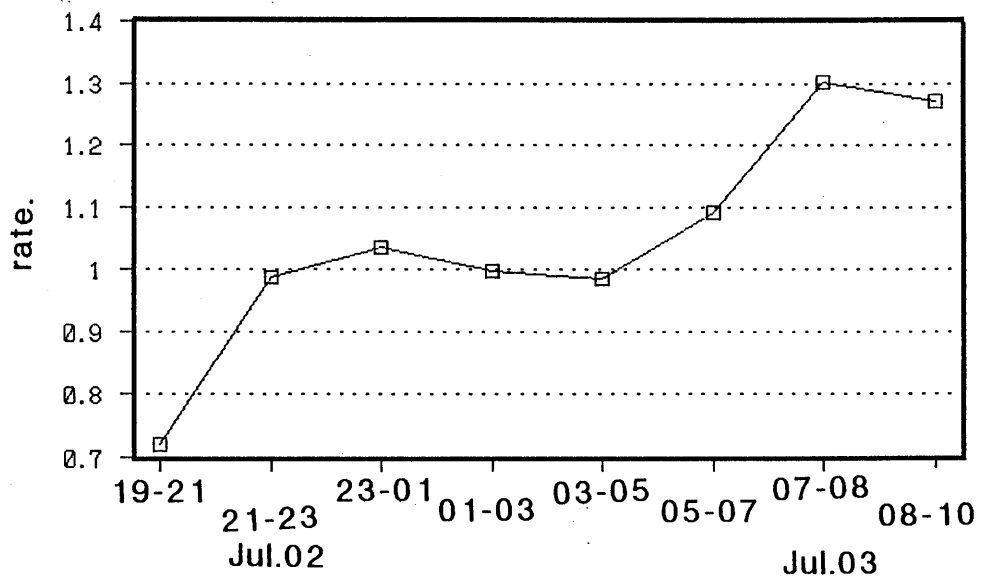
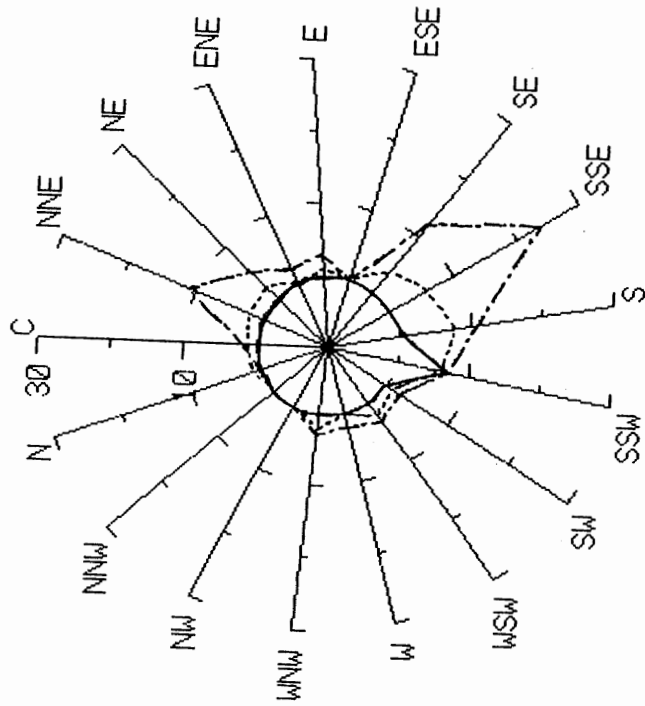
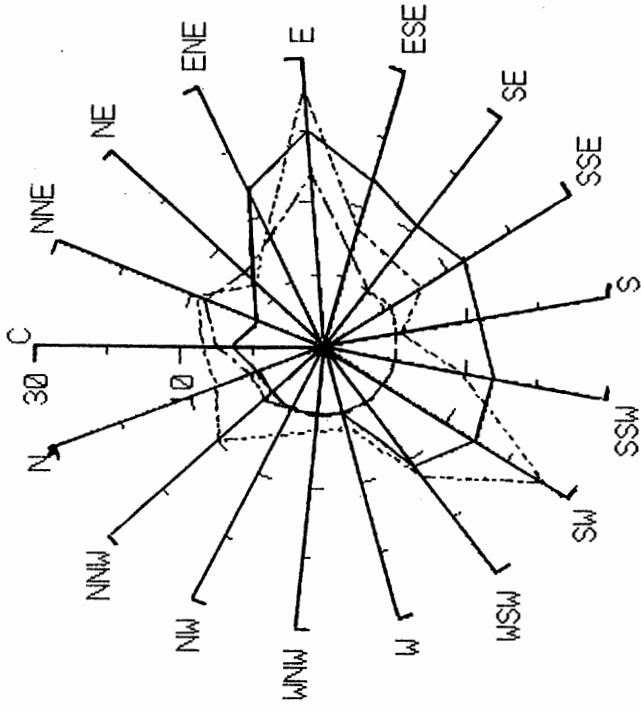


図8 $\text{NH}_4^+ + \text{Ca}^{2+}$ と $\text{NO}_3^- + \text{nss-SO}_4^{2-}$ の比

Wind Direction



Kushiro



Hamanaka

— pH>4.00 - - - - 4.00<pH<5.00 ···· pH>5.00

Fog

図9 霧発生時の風向と霧のpHとの関係