

# 道東における酸性霧の発生と気候システム

西尾文彦

(北海道教育大学教育学部釧路校)

## 1. はじめに

現在、地球環境問題として大きく取り上げられているオゾン層の破壊（オゾンホール）、地球の温暖化、森林破壊、酸性雨・霧・雪、砂漠化（陸地、海洋の砂漠化、乾燥化）、海洋汚染、生物種の多様性の減少などが、日常的な生活の場でいかなる係わりを持つのが明確でない、というのが人々が共通して持つ地球環境問題へのイメージであろう。煙突からの排煙、車の排ガスなどの公害問題は身近なこととして認識できても、上述した地球スケールでの問題は他人事のように感じられない。なぜならば、地球環境問題と公害問題の大きく異なる点は、公害問題に比して身近でなく、なかなか実感できない空間スケールであること。そして、人間の認識として、身近に起こる（見える範囲で起こる）ことならば、また、すぐ可視的な現象として起こるならば納得出来るが、地球上の遠くで起こっていることや、数年、数十年、ましてや数百年先に起きるであろうことを明確に認識するのはなかなか難しい。さらに、フロンガスの撤廃、二酸化炭素ガスの排出規制などが政府間レベルで交渉はされているとは云え、オゾン層の破壊と地球の温暖化の問題はどのように関連するのか、などを理解することがなかなか難しい。なぜなら環境の問題は一つの事を解決できても新たな問題が発生する的多いと考えるべきではない。地球環境の問題は発生してから始めて認識ができることが多く、あらかじめ問題の定量的な予測・予知までできないと云うのが現状である。しかし、少しずつではあるが科学的調査と予測技術が進展していると言えるのではないだろうか、また、問題解決へと進んでいると信じたいところである。

## 2. 地球の温暖化—道東の温暖化傾向 (顕著な気温の上昇傾向)

地球の温暖化と同様に、道東は顕著な気温の上昇傾向にあり、とくに最近の4～5年は著しい。冬の1～3月の気温の上昇傾向が大きく影響しており、月平均で

過去、約80年の平均より1～2℃高くなっている。とくに帯広では、1989年には平年値より4.8℃と著しく高かった。夏はむしろ低温傾向を示しており、冷夏になっている。釧路は海に近いために、帯広のような内陸型気候のように影響は顕著ではないが、同様な傾向を示している。

一方、気候の温暖化は降水量の減少をもたらすのだろうか。気温と降水量は、10～20年の時間スケールでは、正の相関を示す。つまり平年より気温が高く暖かい年には降水量が多くなっている。このことは、気温が高くなると大気中の水蒸気量が多くなって、可降水量が大きくなることを示している。しかし、過去80年の変化をみると、道東の降水量が年々減少している。日本列島も同様の傾向にある。釧路湿原を含む道東の降水量は、今後、約100年で現在の半分になり乾燥化していく可能性がある。大気循環の変動が降雨量の多少を左右することになる。

## Obihiro Air Temperature

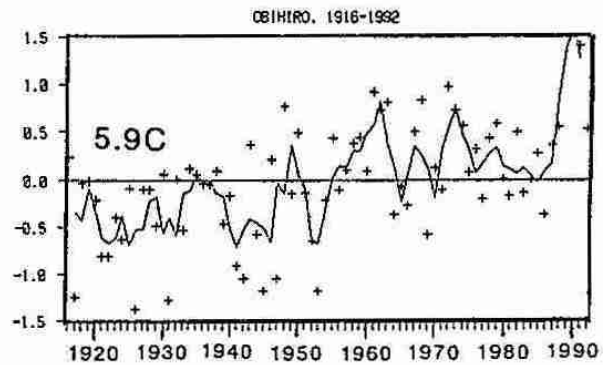


図1. 帯広における気温。最近の気温は上昇傾向を示す。とくに冬の平均気温の上昇傾向が著しい。

## 3. 湿原と地球気候システムとの関わり

釧路湿原の位置する道東は、北方圏の寒冷な気候帯に属する。極域や寒冷気候帯は地球の温暖化や、その他

のグローバルチェンジに、いち早く応答する事がモデルで指摘されている。そのために、湿原の気候環境や生態系の変化の検知は地球気候システムの変化を知る上で大変重要である。釧路湿原の気候条件として特徴的な霧の発生が、赤道太平洋の海水温度の変化であるエルニーニョ現象と密接な関係があることが明らかになった。したがって、霧の影響を受けて成長する植物などは、地球の気候システムとつながりを持っているといえる。まだ、明らかではないが湿原に生える樹木の年輪巾(樹木の生長と考える)が、気温と関連があるのかと考えていたが、霧の発生時間数(5月から9月)と関連がありそうである。今後もさらに、調査を進めたいと考えている。

また、湿原の植生分布の約20年間の変動が衛星画像の解析から判明しつつある。湿原の生物、そして地球科学的情報の時系列データはグローバルチェンジの検知を可能にするであろう。

#### 4. 釧路の霧とエルニーニョ現象との

##### 関係について

釧路を含めた北海道東部の太平洋沿岸は世界的にも霧の多い地域の一つで、エルニーニョ現象が発生すると、北海道太平洋沿岸の地域では霧が平年並か減少する傾向にある。とくに、釧路における霧の継続時間でそのような傾向が明瞭に現れ、1976年以降のエル

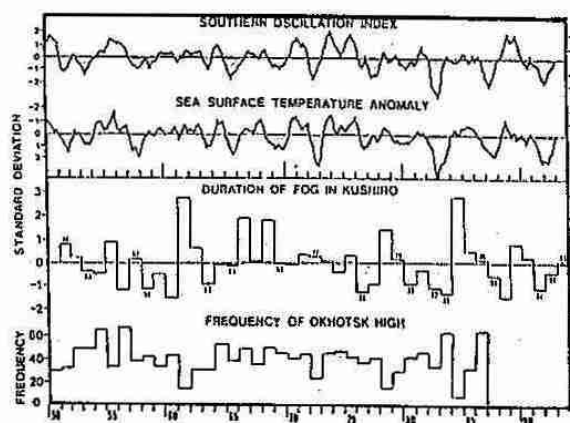


図2. 釧路の霧の発生がエルニーニョの現象と関連する。エルニーニョの年には釧路の霧の発生時間数が少なくなる。

ニーニョ年で霧の極小年との良い一致がみられる。このことは、エルニーニョ現象が発生すると、北太平洋高気圧の発達が弱くなる傾向に関連して、夏の季節風

が弱まり北海道太平洋沿岸地域の移流霧(海霧)の発生頻度が低くなるためであると考えられる。また、北海道太平洋沿岸の霧の発生は、オホーツク海高気圧の出現頻度にも影響を受ける。とくに釧路、広尾、浦河ではオホーツク海高気圧の出現率が高い年には霧の発生頻度が低く、出現率が低い年には霧の発生頻度が高くなることも明らかにされた。

#### 5. 酸性化する地球一道東に降る雨、雪、霧の年々の酸性化傾向

近年、酸性雨、酸性霧、酸性雪などに代表される地球規模の酸性化が顕在化してきている。雨、霧、雪の酸性化の影響については自然環境や生態系への被害が可視的な被害となってからでは手遅れであることから、多くの分野で調査研究が進められている。

北海道東部の釧路湿原、釧路市周辺において酸性化の詳細な調査は、いままでほとんど行われていなかった。しかし、北海道東部地域も都市化や東アジア圏の急速な工業化と無縁ではなく、酸性化の影響を受けていることが明らかになっている。なかでも釧路や根室地方の太平洋沿岸で、夏の期間、霧の発生頻度が高く、酸性霧の発生が頻発していることが明らかになっている。霧水粒子は長期間にわたって大気中に滞留するために、酸性霧は霧水粒子の中に取り込んだ酸性物質によって植物などの生態系への影響が雨以上に大きいのではないかと懸念されている。また、釧路地方は降雪期間が降雨期間と同程度であることから、降雪や積雪についても酸性化の実態の調査が必要である。雪片はその氷晶核として、また落下する途中で酸性物質を吸着し、かつ積雪として酸性物質を蓄積する働きをもつ。積雪中に蓄積された酸性物質は融雪期に比較的短期間に流出することから河川や湖沼に大きな酸性物質の負荷を与えることが予想される。

私たちはこのような雨、霧、降雪や積雪の酸性化の影響を解明するための研究として、釧路市内で雨・霧・雪を継続して採取し、酸性化の実態を明らかにするための調査を行っている。酸性霧の発生の機構についての考え、進行しつつある酸性雨のこと、及び今後の研究を積極的に進めていかなければならない。

#### 6. 霧の酸性化について

北海道の太平洋岸から、三陸沖にかけて、夏期には太平洋高気圧の湿った大気が親潮の上を移動して、海岸から内陸部にかけて移流霧の発生が頻繁に起こる。とくに、道東の釧路や根室の海霧は有名である。道東は日本のなかでも、工業活動や人間活動は比較的低いの

Rain at Kushiro

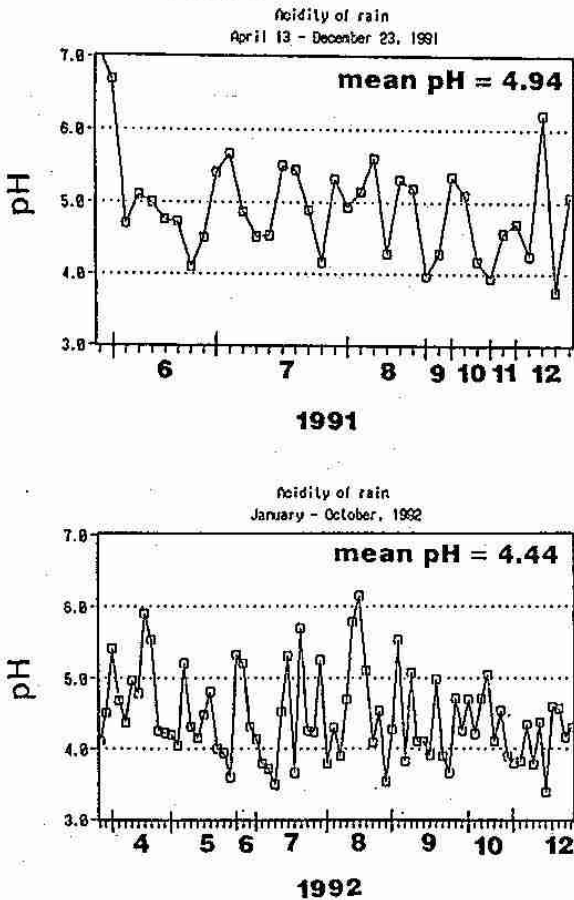


図3. 釧路における雨、霧の酸性化の傾向。年々酸性化が進んでいる。

で、雨や霧、さらに雪などの酸性化の影響は余り無いであろうと予想されていたが、観測を始めて見ると、酸性化は一時的ではあるが、かなり顕在化している。

1) 酸性霧

酸性降下物の降下形態として、酸性霧が最近注目されている。1982年、ロシアアンゼルスにおいて頻繁な酸性霧の発生が報告された(Waldmann, 1982)。しかも、その酸性度は極めて高く、最低のpHは1.7にも及んだ。

霧と雲の違いは、発生する高度によるが、霧は雨より大気中の水分量が小さいので酸性物質の希釈効果が小さい。さらに液滴径が小さく、地表近くで発生するために酸性物質を吸収しやすく、雨よりも大気汚染物質の濃度が高くなる。これまでに酸性降下物の大きな被害は霧の発生時に起こっており、1973年から1975年においてわが国で問題になった酸性雨による

人体被害の多くも霧雨が降っていたときである。1952年に一週間で4,000人の死者を出したロンドン事件の時も、高い酸性度(pHの測定値は1.5から1.8)の霧が発生していたといわれる。わが国においても大森多ら(1981)は乗鞍岳、筑波山で雲水を分析し、それぞれ3.0、2.8という最低のpH値を報告している。最近では、村野ら(1985)により、高い酸性度の霧(最低pH値は2.9)の発生が赤城山で観測されている。井川(1991)は、関東平野南西部に位置する丹沢山塊の東端、大山の霧水の分析を行い、高い酸性度の霧を頻りに観測した。関東平野で発生した汚染物質は、軽井沢付近にも長距離輸送されることが報告されているので、関東平野一円、あるいは全国的に広い地域で、高濃度に存在する汚染物質が山間部で発生した霧に吸収され、山間部における森林は酸性霧に頻りに覆われることが予想される。霧は、試料の採取が困難なためにこれまであまり研究されなかった。山岳地帯では霧が常時発生し、樹木を含めて、生物は長時間にわたって霧の中で生活を営むことから、酸性化した霧の森林や植生等への影響が危惧される。北海道の道東の太平洋岸に、とくに夏季に発生する霧も人間活動の比較的低い地域とはいえ、霧が強く酸性化していることが明らかになり、自然生態系への影響が心配されるものである。

2) 釧路における酸性霧発生の気象条件

1991年5月から1994年8月までに北海道教育大学釧路校で採取した降水をもとに釧路での霧の酸性化について気圧配置の特徴や経時変化から酸性化の機構について述べる。1イベント平均の年間平均値は4.95(1991)、4.91(1992)、5.17(1993)、5.11(1994)、4年間の平均値は5.04と比較的高かった。しかし、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3.0と強酸性の霧も観測されているため、緩やかながらも釧路の霧は酸性化が進行している。

また1994年6月からの浜中町霧多布湿原での観測により、釧路市よりも浜中町の霧の方が酸性度が高いことが明らかになり、北海道東部の霧のバックグラウンド値はかなり低いことが明らかになりつつある。

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が今後検討していかなければならない。

また、釧路の霧は浜中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。今後霧発生中及び発生前後の大気のアロゾル濃度を測定していく必要がある。また、霧の消滅期は霧の粒径が小さくなると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える。

### 3) 霧の酸性化機構

これまでに述べてきたように、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。また前述のように、霧の発生初期と消散期にpHが低下する傾向がみられた。また、その時期には霧の粒径が減少する傾向にあるのが感覚的にはあるがとらえている。このことから霧の酸性化に関して霧の粒径分布は大きく関わっているものと考え。ここでは日変化における霧の酸性化機構について考察する。

釧路における霧の発生・消散機構は、霧の発生は19時から21時頃と夕方から夜にかけてが多い。これは日中内陸に侵入した霧は、都市による気温上昇・乱流拡散・補足等により、下層から消散する。しかし、上空ではそれらの効果がないため、層雲として残る。これが夕方になり、日射量が減少し気温が下降すると、上空の層雲は雲底を下げて、地表に達する霧になる。このとき層雲が降下してくるが層雲の粒径は10~15 $\mu\text{m}$ と比較的小さい。このため表面積が大きくなり汚染質の補足率が増加する。また時間的に車の走行量が増加など人間活動の大きい時間のため大気汚染物質が増加すること、希釈効果も加わり酸性度が増加すると考える。

層雲が低下し霧となると、海上から都市部にも霧が侵入しやすくなり、移流霧の侵入が始まる。移流霧は大粒の海塩核をもとに成長するため、一般に平均的粒径は10~25 $\mu\text{m}$ で最大粒径は40~60 $\mu\text{m}$ だが、霧の下層には80~100 $\mu\text{m}$ のものも混在する。移流霧の粒径はこのように比較的大きいため表面積も減少し、汚染質の補足も少なくなる。また常に新しい霧が移流してくるため、酸性度はあまり高くない。

霧の消散期は早朝、日の出の前後に多い。この時期、放射冷却が起きると規模の小さな放射霧が発生し、移流霧と放射霧が混在する状態になる。放射霧は移流霧に比べ粒径が小さい。このことはこの時期、粒径が比較的小さくなり表面積が大きくなる。また、人間活動も始まり汚染質も増加し始め、それを取り込み酸性度が高くなると考える。

### 5) 酸性霧の環境への影響

霧の洗浄効果は、霧の発生が降雨と同様に空気を清浄にすることを示しているが、これは逆に言えば、地表や植物表面に汚染物質を高濃度で負荷していることになる。霧と雨の負荷量の違いは、霧を柱状に切り取ったモデルにより次のように概算される。霧が10mの高さで発生し霧水中に含まれている成分の全てが1回の霧発生の際に沈降したとする。このときの霧の初期塩素濃度を1mMとし、霧水量を0.1 $\text{cm}^3/\text{m}^3$ とすると、単位面積当りの地表への負荷量は1 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ となる。これに対して、10mmの降雨の時にその塩素濃度の平均値を0.11mMとすると、この降雨による単位面積当りの地表への負荷量は100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ となる。このことから、霧による汚染物質の負荷量の絶対値は雨に比してかなり小さい。しかし、霧発生後短時間の間に、高濃度の汚染物質が葉に沈降し、しかも雨のように洗い流されることもほとんど無いまま葉に付着するので、きわめて大きな植物への影響が予想される。植物の葉へ酸性溶液を塗布すると、pH4以上の酸では影響が無いが、pH3以下で影響が出る植物はきわめて多い。酸性度の高い霧が何日も森林を覆うことで、その影響が非常に大きいと思われる。酸性雨と霧について述べたが、未だ明らかになっていないことは非常に多い。例えば、酸性化機構、ガス成分と液滴成分の関連、経時変化の速度論的解釈、汚染源からの長距離輸送に及ぼす気候、地形の影響、エアロゾル及び液滴核成分と液滴組成との関連、液滴径の取り込み量に及ぼす影響等があるが、これらを説明するためにはまず、霧と雨に関する詳細なデータを蓄積することがその第一歩である。酸性雨及び霧の植物影響については、実際にわが国でも大気汚染によるとみられる立ちがれが各所で起こっているが、水源、気候の問題、病虫害等きわめて複雑な要因が植物影響に影響するために、なかなか原因を特定できずそのために有効な対策が取れない状況である。