

第 2 回 2 限目

越境大気汚染と黄砂

講師 富山県立大学

工学部 准教授

渡辺 幸一 氏

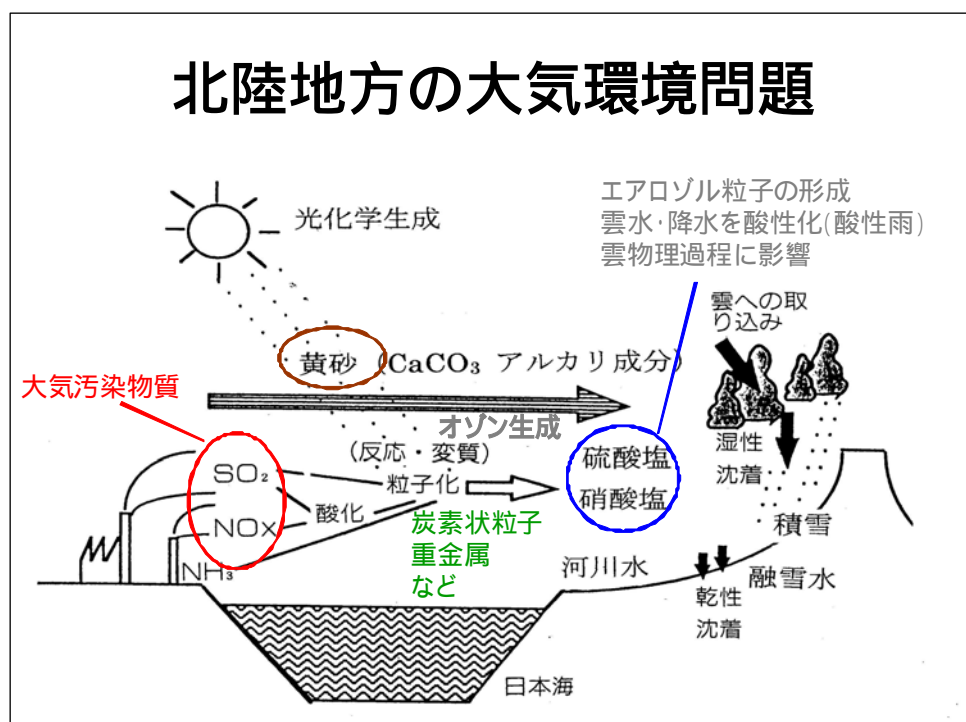
1. はじめに

地球環境問題を考える上で、今一番大きな問題になっているのは地球温暖化であろう。過去 100 年で世界の平均気温は 0.74 上昇した。

IPCC は、世界気象機関と国連環境計画により 1988 年に設立された国連の組織で、地球温暖化、気候変動、地球温暖化に関する科学的・技術的・社会的な評価を行い、政策決定者をはじめ広く一般に利用してもらうことを目的としている。IPCC の報告書の中では、もしこのまま経済発

展最優先でいくなれば、2100 年には平均気温が最大 6.4 も上昇するのではないかという評価もされている。

地球温暖化が進行すると予想されている状況下で、北陸地方には大陸からさまざまな物質が輸送され自然環境への影響が懸念される。



2. 北陸地方の大気環境問題

2-1. 二酸化硫黄と硫酸エアロゾル

北陸地方へは中国などからたくさんの大気汚染物質がやってくる。これから爆発的に増えるのではないかと見積もられており、自然環境への影響が懸念される。人間活動によって排出される代表的な大気汚染物質として二酸化硫黄や窒素酸化物が挙げられる。

二酸化硫黄には、自然起源のものと人為起源のものがあり、人為起源のものは、主に化石燃料の燃焼により排出される。中でも石炭は硫黄分を豊富に含んでおり、エネルギーを石炭に多く依存している中国の二酸化硫黄排出量は非常に多く、アジア大陸は世界一の二酸化硫黄の発生源となっている。幸い、日本では今は脱硫に関する厳しい規制があり、世界に誇れるほど二酸化硫黄対策は成功している。自然起源のものとして、火山活動によって出てくるものや、太平洋のきれいなところでも、植物プランクトンから出るものもある。産業革命以前は、植物プランクトンによる二酸化硫黄が気候をコントロールしていたのではないかという話もある。

中国などから日本に運ばれてくる二酸化硫黄の多くは、大気中で酸化されて硫酸に変わったり、一部アンモニアなどに中和されて硫酸アンモニウムに変わって運ばれてくる場合が多い。これらのものは空気中ではガスではなく粒子になりやすく、それを硫酸エアロゾルと呼んでいる。硫酸は強い酸の代表的なもので、雨の中に取り込まれたり雲を作る核となったりして、酸性雨の原因物質となる。

酸性度を示す尺度として通常 pH が用いられるが、pH は水素イオン濃度のマイナスの対数を取ったもので、値が小さいほど酸が強い。空気中の二酸化炭素が水に溶け込んで釣り合ってしまうと pH が 5.6 になるので、それよりも低いものが酸性雨と定義されている。北陸地方は、日本のみならず世界的に見ても硫酸による酸性雨がよく降る地域といわれている。特に、冬期は降水量も多く、大気から降って地上に落ちる量が非常に多くなる。

また、硫酸エアロゾルは雲を作る核（雲粒核）として有効に働き、雲のでき方などに大きく影響を及ぼすこととなる。雲の量や寿命は、気候システムにも影響を及ぼすため、温暖化の将来予測に、エアロゾルによる効果を見積もることが重要となる。

辞典では、エアロゾルとは分散系の一つ、気体中に液体または固体の微粒子が分散しているものという書き方をしているが、空気中にもエアロゾルはたくさんある。霧や雲よりもさらに小さく、半径 1 ミクロンを挟んだ程度の大きさである。硫酸でできたエアロゾルは 1 ミクロンよりも小さいものが多い。

エアロゾルは、放射に影響を及ぼす。太陽や地上からエネルギーが放射されると、空気中のエアロゾルが光を吸収したり散乱したりする。雲の形成や寿命に影響を及ぼし、地球の温暖・寒冷化のコントロールをしている。また、健康的な面にも影響を及ぼすとされ、最近ではさまざまな研究が行われている。

放射によるエネルギーの流れをみると、地表面が吸収して、再び宇宙空間へ逃げていこうとする。ここで光の性質は変化し、二酸化炭素のような温室効果気体があると、出ていこうとするものをいったん吸収して、また四方八方へ跳ね返す。そのうちの一部が地表面に戻されるために地表から温まってしまう。これが、地球温暖化のメカニズムである。

大気中にエアロゾルはたくさんあるが、入ってくるエネルギーを元の方向に跳ね返してしまう効果が強くなれば、地球温暖化とは逆の効果が考えられる。また、雲が形成され、入射するエネルギーを跳ね返してしまう大きな効果があるが、この見積もりは温暖化予想の計算で非常に難しく、不確定要素の大きいところとされている。

次に雲粒核としての働きを考えてみることにする。太平洋の真ん中など清浄な地域では、エアロゾル粒子数が少ないが、大陸上の汚れた空気中ではエアロゾルの数が非常に多い。もし空気中に含まれている水蒸気が同じであるとする、清浄な地域では一つの核にたくさん水蒸気が集まることとなるので、雲粒の数は少ないが、一粒一粒が大きくなる。一方、硫酸エアロゾルがたくさんあるところでは、雲粒が小さくなってしまふ。空気のよどんだ日に、もやっと白っぽく見えるのは、このような現象が起こっていることによる。これらの効果は、雨の降り方にも影響することとなる。

放射強制力の値がプラスならば地球温暖化としての働きがあり、マイナスならば地球冷却効果があるが、IPCC の最新の報告書によれば、二酸化炭素によるものには大きなプラスの放射強制力があり、エアロゾルの効果はマイナス側にある。しかし、エアロゾルの効果には不確定要素が非常に大きく、二酸化硫黄をたくさん出して硫酸エアロゾルを増やすことにより、うまく気候をコントロールできるのではないかと、決して思わない方がよい。

2-2 . 窒素酸化物とオゾンの越境大気汚染

人間活動によって排出される大気汚染物質の中で、二酸化硫黄と窒素酸化物は非常に大きなものとなっている。窒素酸化物についても化石燃料の消費によって生成され、自動車の排ガスなどからたくさん出てくる。今後、中国やインドでは爆発的に自動車が増えると予測され、窒素酸化物の排出量も非常に多くなる可能性が考えられる。

また、窒素酸化物も、二酸化硫黄と同様に自然起源でも作られるものもある。森林火災や、土壌から出るようなものもある。日本の大気汚染の主要なものは窒素酸化物である。これが大気中でいろいろなものに姿を変える。例えば、大気中で酸化されて硝酸になる。硝酸は非常に冷たい環境では粒子になるが、比較的エアロゾル化しにくい。また、水に溶ければ硝酸イオンとなり、酸性雨の原因になる。日本の大都市周辺で降る酸性雨や酸性の霧は、この硝酸によって酸性化されている場合が多い。

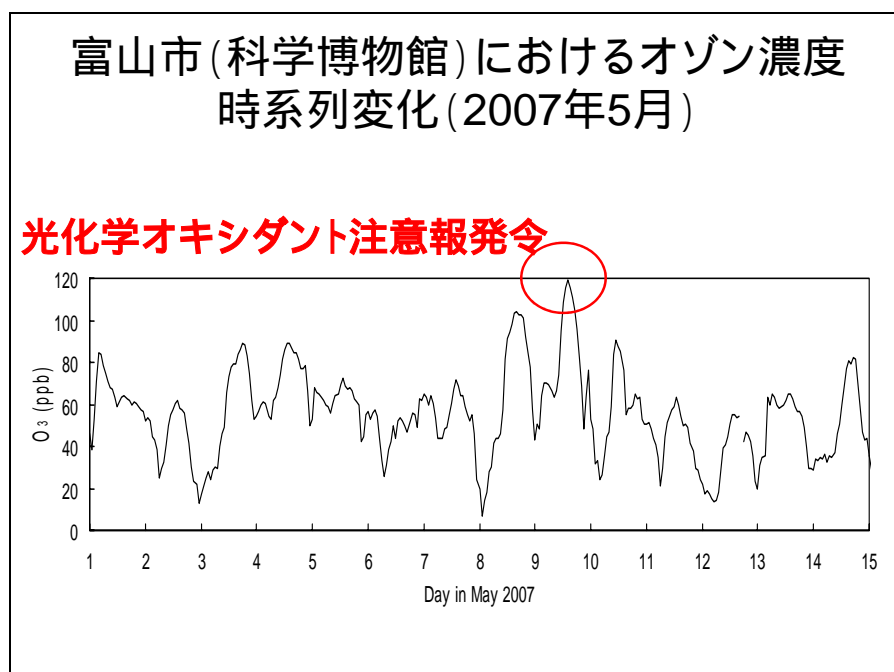
窒素酸化物はまた、光化学的に反応してオゾンを生産する。成層圏にあるオゾンは地上で生活するのに不可欠な善玉オゾンだが、我々が直接吸っている空気中のオゾンは生体にとって非常に有害な物質である。これが増える現象がいわゆる光化学スモッグである。成層圏は高度十数キロ以上にあるが、地上から成層圏との境界までを対流圏と呼んでいる。すなわち、対流圏オゾンは光化学オキシダントの主成分であり、温室効果気体の一つでもある。北半球では二酸化炭素に次ぐ地球温暖化の効果があるともいわれている。

現在、大気汚染物質のなかで日本の環境基準達成が困難なのがオゾンとなっている。オゾンは直接出すものではないためであり、風上側で出された窒素酸化物が、風下側に運ばれながら作られていく物質であるため、一都道府県や一国だけで解決できる問題ではない。近年、地球全体的に、成層圏の善玉オゾンは減少し、対流圏の悪玉オゾンが増えており、

好ましい状態ではない。では、増えた分を成層圏に運んでやればいいかと思うが、成層圏オゾンは非常に高濃度である。そのような空気を吸っていたら人間は死んでしまうほどの濃度である。

オゾンの越境大気汚染問題とは、風上側で排出されたオゾンを作る物質によって、風下側の地域でオゾン汚染となることである。例えば首都圏では、公害の時代といわれた 1940～1950 年代には、夏になるとよく光化学スモッグ注意報が発令されたが、今はむしろ南風によって埼玉や群馬などで光化学オキシダントが問題になっている。また、アジア大陸で窒素酸化物の排出が増えていくと、日本でも清浄域にオゾンの汚染が広がっていく。しかも、7 月や 8 月ではなく、春から初夏にかけてによく起きており、九州で光化学スモッグが発生し、運動会が中止になったこともあり大きな社会問題となってきている。この影響は富山県にも及んでいると思われ、立山でも調べていく必要がある。

IPCC の報告では、地球温暖化が進むとさらにオゾンの生成が加速されると見積もられている。空気中の分子などは、そもそも温度が高ければ分子の運動が活発になり、衝突する確率も高くなり、化学反応が早く進んでしまう。将来、非常に増えると予想されている地域が東アジアである。光化学オキシダント（光化学スモッグ）注意報発令日数は、日本が公害の時代といわれた時期においても富山県は昭和 53 年に 1 日だけであったが、最近ではちらほら見られるようになってきている。富山市科学博物館でオゾンを選定したところ、2007 年 5 月 9 日に濃度が非常に高くなり、富山県内でも注意報が発令されている。このときの富山県の空気がどこから運ばれてきたのかを計算すると、5 日前にはモンゴルからロシアの方にあった空気がその後、中国の汚染地域を経て、運ばれてきたことが分かった。その地域は大気汚染が活発に出ている地域である。大気汚染物質が風に乗って、光のエネルギーでオゾンに変わり、高濃度のオゾンがやってきたと考えられる。もちろん、日本自体の影響も否定できない。ちなみに、この日は中部日本全体でオゾン濃度が高く、大規模なオゾン汚染であったといえる。このようなオゾンの越境汚染問題は、将来、国際政治的な問題になっていくのではないかと危惧されている先生もいる。



3. 黄砂現象

黄砂現象は春の風物詩であることはよくご実感されているだろう。これは大陸の砂漠地域で砂嵐が起き、大規模になったものが比較的上空まで巻き上げられて、風に乗って日本にも運ばれてきてしまう現象である。冬は砂漠地域に雪が積もっているので砂嵐が起きにくい。また、夏は草が茂って砂嵐が発生しない。春は低気圧が活発化して砂嵐が起きやすいため黄砂が運ばれてきてしまうのだが、もちろん条件が整うと春以外の季節でもやってくる。

黄砂粒子もまたエアロゾル粒子の一種であり、放射特性を持つ。また、黄砂粒子は氷の粒を作り、雪を降らす過程などにも影響する。黄砂は洗濯物を汚したり、車がどろどろになるという厄介者のイメージがあるが、黄砂粒子自体が炭酸カルシウム、いわゆるアルカリ成分を豊富に含んでいて、酸性雨を中和してくれるという効果もある。ただ、呼吸器等、健康面への影響があったり、黄砂が汚染物質をくっつけてくるのでアレルギーを引き起こしたり、微生物をくっつけてくるという話もある。また、きれいな洋上では植物プランクトンが育つのに不足している栄養分である鉄分の供給源になっているという効果も見積もられている。

黄砂粒子の大きさは、通常 1 ミクロンよりも大きいものが多いが、色がついていたり、ガタガタした形をしているため、光をどう跳ね返したり吸収したりするかがよく分からない。科学的に未解明で、見積もりの誤差幅が大きく、いまだ温暖化、寒冷化のどちらに効くかよく分かっていない。

北陸地方は大陸と直面しているので、九州や山陰とともに、黄砂がたくさん運ばれてくる。私が富山県に赴任したのは 2002 年のことであり、黄砂が観測される日数が非常に多かった年でもあった。それまで太平洋側にしか住んでいなかったため、富山県の黄砂はすごいと実感した。2000 年、2001 年、2002 年は全国的に黄砂の観測が多かったが、2003 年になると減り、最近は増えたり減ったりしていて、単純に黄砂が増えているとは言い切れないような状況である。

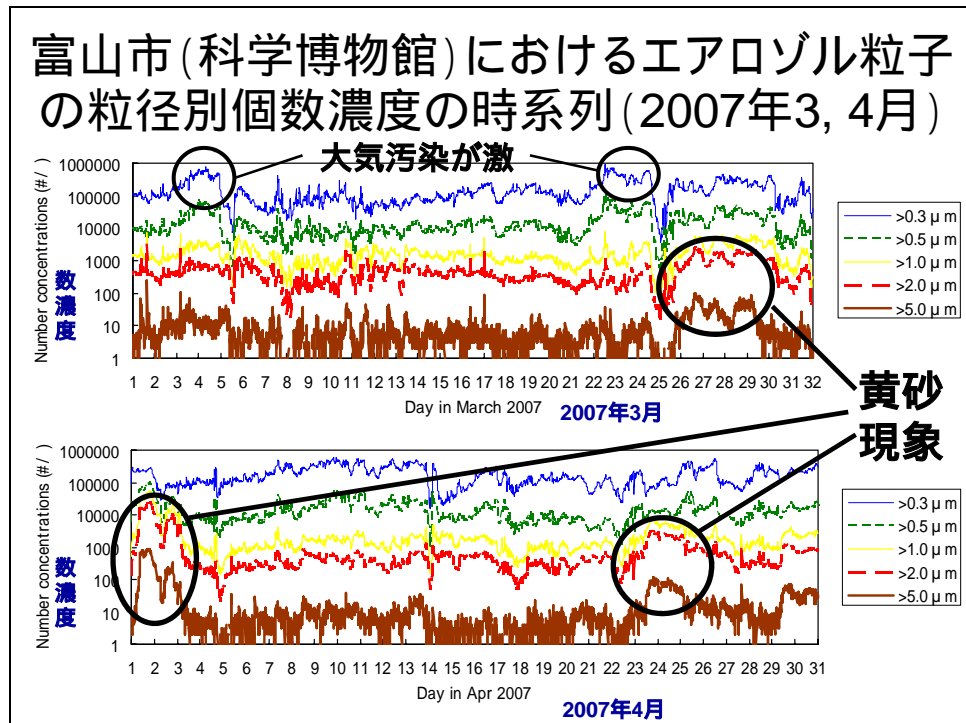
黄砂はライダーといわれているもので観測されたりしている。これは、上空にレーザーを照射し、何かが上空にあると光が跳ね返ってくることを利用したものである。射水市の富山県環境科学センターでも、それで常時観測されている。また、人工衛星など宇宙からも観測されている。パーティクルカウンターという装置は、空気を吸い込んで中でレーザー光を当て、空気中にどのような粒径の粒子がどの程度存在しているのかを測定するものである。黄砂粒子が増えると大きい粒子の数が増える。

富山市科学博物館で、2007 年 3 月や 4 月にパーティクルカウンターを用いて観測を行ったところ、3 月の終わりや 4 月 1 日に黄砂が観測された。4 月の終わりにも黄砂の影響が観測され、気象台による黄砂の発表がなくても、このようにして黄砂が来ていたことを推定することができる。

2001 年から 2003 年に富山市天文台でサンプリングされた雨を調べると、黄砂が来ていたときは酸性雨が中和されている傾向がみられた。先ほど申し上げたとおり、黄砂は酸性雨を中和するアルカリ成分を豊富に含んでおり、炭酸カルシウムが水に溶けると酸性雨の

元となる水素イオンを消費してくれる。

また、最近の研究から、春はもちろん夏や秋にも、上空に黄砂粒子が漂っていることが分かってきた。これはバックグラウンド黄砂といわれているが、立山などの大気環境に大きく影響している可能性もある。



4. 広域大気汚染の森林への影響と立山における現状

私たちは立山の美女平、弥陀ヶ原や室堂などでいろいろなサンプリングをし、観測を行っている。標高約 2000m の弥陀ヶ原の少し上の地点では、オオシラビソが枯れたりしている。森林衰退の原因を特定するのは難しいが、恐らく大気汚染から何らかのストレスを受けているのではないかと予想される。

霧と雲を区別することは難しく、地表にあるのが霧、上方にあるのが雲ということになる。雲や霧をつかまえているいろいろな化学分析もしている。私が最初に立山で霧をつかまえたのは 2003 年 9 月 19 日であった。この日の霧は pH が 3.3 と低く、薄い酢ぐらいの酸性度であった。化学分析を行いイオン成分を比較すると、圧倒的に硫酸イオンが高かった。日本の大都市周辺の山でも強い酸性霧が出ているが、それとは性質が全く違う。関東周辺の山は硝酸イオンが高く、硝酸によって酸性化された霧が大都市周辺の山では発生しているが、室堂で発生していた酸性霧は、硫酸によって酸性化されていることが分かった。このときの空気の流れを見てみると、上海の上空を起源としていたようであった。上海近傍は、二酸化硫黄をたくさん出す地域の一つで、その空気がダイレクトに立山にぶつかっていたのであった。越境汚染の影響を非常に大きく受けるということが実感できた。

そこで、次の年から本格的に秋を中心に調べたところ、2004 年は霧水の酸性度が平均的に pH4.5 ぐらいで、2005 年は 4.0 であった。2005 年は硫酸イオンが高く、非常に酸性化された霧がたくさん出ている。まさに酸性霧の当たり年であった。しかしながら、2006 年は

酸性化された霧はほとんど観測されず、その代わりにカルシウムイオンが高くなっていた。2006 年の秋は、酸性霧を中和する薄い黄砂の影響を大きく受けていたようである。このように、年度による大きな違いがみられることもわかってきた。昨年度も強い酸性霧が多く発生していた。硫酸イオン濃度が高い霧が多く、酸性度は平均 4.1 であった。

標高約 1000m の美女平で、二酸化硫黄やオゾンなどの大気汚染物質の濃度を測った結果、二酸化硫黄が高くなる現象がしばしば観測され、時折 10ppb を超える高濃度の二酸化硫黄も観測された。同時にオゾン濃度も高く、越境汚染の影響と考えられる。オゾンの汚染は広範囲におよんでおり、森林生態学の研究者の方との共同研究から、ブナ平でブナが衰退している原因が、オゾンの汚染による可能性が高いこともわかってきた。ブナは非常にオゾンに弱い樹木でありその影響を受けやすく、一方、スギはオゾンに比較的強く、実際のところあまり被害が健在化していないようである。

立山は、越境汚染の影響も大きく受けて、将来どうなっていくかが非常に危惧される。いつまでも美しい立山でいてもらいたいという願いは、誰にも共通すると思うが、中国に対して被害者・加害者という気持ちは決して持っていない。大気汚染物質にしても、二酸化炭素の排出量にしても、一人当たりの排出量は日本の方がはるかに大きいのである。

