

第15回 環境サイエンスカフェ

テーマ 中国から飛来する越境大気汚染 —黄砂、PM2.5、大気汚染—
 講師 畠山 史郎さん (東京農工大学大学院 農学研究院 教授)
 日時 2013年6月5日(水) 18:30~20:00
 会場 サロン・ド・富山房 Folio
 参加者 38名



2013/6/5 環境サイエンスカフェ
 サロン・ド・富山房 Folio(神保町)

中国から飛来する越境大気汚染—黄砂、PM2.5、大気汚染

畠山 史郎
 東京農工大学大学院農学研究院
 (農学部環境資源科学科)

《PM2.5》

大気中に浮遊している $2.5\mu\text{m}$ 以下の小さな粒子状物質

1

皆さんこんばんは。東京農工大学の畠山です。今日のテーマは既にお知らせしてあるとおりですが、今年の1月の末ぐらいから3月のあたりまで中国でPM2.5が非常に高濃度になったということで、マスクでも取り上げられまして大騒ぎになったことを思い出しておられるのではないかと思います。私もテレビやラジオにいろいろ引っ張り出されまして、2月、3月は非常に忙しい思いをいたしました。今日は私自身の研究のことはあんまり深くは触れないで、その辺の関連と、そういう周辺の話を中心にしていきたいと思います。

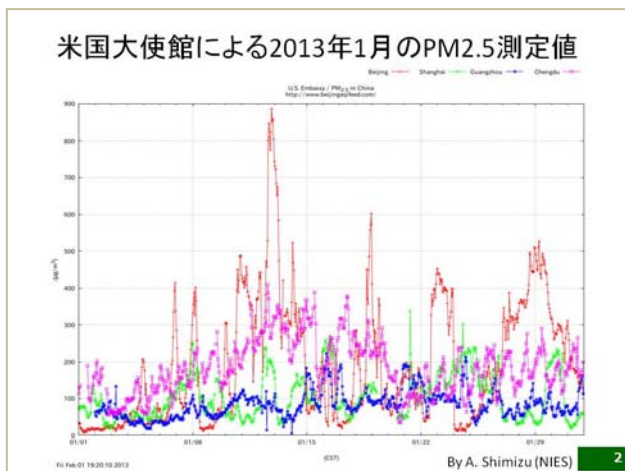
「中国から飛来する越境大気汚染—黄砂、PM2.5、大気汚染」ということで今日はお話をさせていた

だきます。今申し上げましたように、中国の北京で大気汚染、特に粒子状汚染物質の濃度が非常に高くなって、いわゆるPM2.5というものが非常に高濃度になって、視程が非常に短い、遠くが見えないという状況になっています。

衛星の写真で見ると、スモッグがかかっていた日の写真では北京の街が見えています。それに対して、非常に濃いスモッグがかかっていた日ではほとんど見えていません。北京の上空は非常に霞んでしまっているというようなことが報告されています。特に2013年1月の12日から13日辺りというのは非常にPM2.5の濃度が高くて、 $1,000\mu\text{g}/\text{m}^3$ というような値を記録したわけです。日本ではPM2.5に対する環境基準は1日の平均値で $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下です。それが $1,000\mu\text{g}$ を超えるというようなものすごく高濃度になったのです。

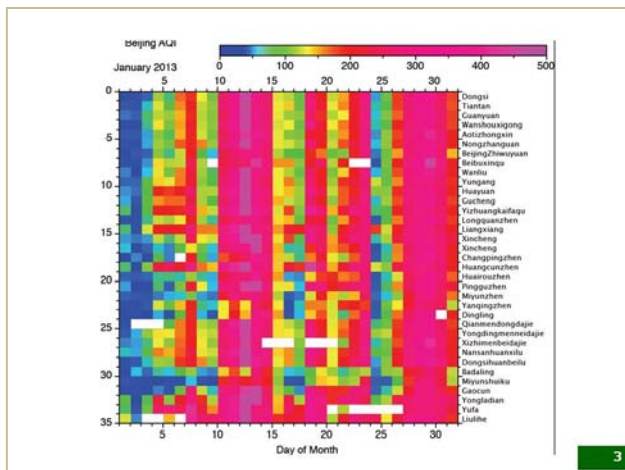
先ほど申しましたように、いろいろなマスクに引っ張り出されまして、私もいろいろ話をしてきました。ただいま日本エアロゾル学会という、エアロゾルとは大気中に浮遊している細かい粒子状物質のことですけれども、それに関連する学会の会長をやっているものですから、いろいろマスクに引っ張り出されていろいろ話をさせられました。あとでもし時間があれば、この辺も少し映像を流したいと思います。

中国では PM2.5 のデータというのははっきり濃度として公開されていないのですが、実は北京の米国大使館が PM2.5 を大使館の中で測ったデータをずっと公開しています。



こちら（図2）は、そのデータを国立環境研究所の清水さんという方が、ずっと取り続けてグラフにしてくれたものです。今年の1月13日にここが $900 \mu\text{g}/\text{m}^3$ です。ですからそれに近づくような非常に高濃度の PM2.5 が観測されたというわけです。それであと月末のほうにも高濃度が観測されているのですけれど、そういう状況になったわけです。

中国のほうではAQI値という指標となる数字で、こういうものの濃度等を報告しています。（図3、図4）それでここにスケールが書いてあるのですが、AQI値というのはのちほど別の形でもお示ししますが、アメリカ等が先にとり入れている指標なのです。いろいろな大気汚染物質があります。例えばオゾンが何 ppb を超えると体によくないとか、SO₂は何 ppb を超えると体によくない



AQI(API) 値

PM2.5

級別/類別	中国	アメリカ	level	中国 AQI	アメリカ
一級 優	0-50	0-50	Good	35	12
二級 良	51-100	51-100	Moderate	75	35.4
三級 軽度汚染	101-150	101-150	Unhealthy for Sensitive Group	115	55.4
四級 中度汚染	151-200	151-200	Unhealthy	150	150.4
五級 重度汚染	201-300	201-300	Very Unhealthy	250	250.4
六級 嚴重汚染	300以上	301-500	Hazardous	350	350.4
				500	500

とかという、そういうそれぞれの汚染物質によってしきいになる濃度が違います。そうするといちいち SO₂は何 ppb で危ないとか、オゾンは何 ppb で危ないというふうに覚えてなければいけませんから、その手間を省くためにいろいろな汚染物質について全て AQI 値というのを決めているのです。100 より下であれば健康にほとんど問題がありません。PM2.5 で AQI 値が 100 以下だったら PM2.5 も健康影響は考えなくてもいいと思います。オゾンについても AQI 値が 100 以下だったら健康には問題がないというふうに、いろんな汚染物質について全部 AQI という指標を作って、100 以下ということが分かれば、どんな汚染物質かということを考えなくてもいいように作られている指標の値なのです。

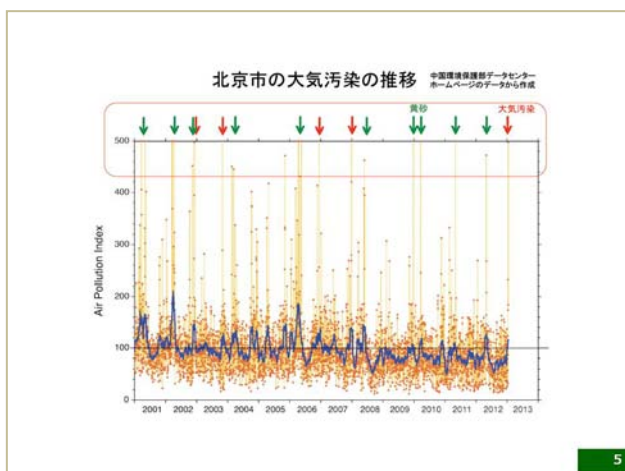
ところがそれがさっき高濃度が見えた1月13日あたりは、500 なんていう値になっています。これはどういう区分けがされているのでしょうか。100 を超えると、ぜんそくを持っていたり心臓に問題がある方とか、そういう敏感な人には注意を促すレベルです。150 から 200 だったら一般の人にもわりと健康によくないレベルです。200 から 300 になるとなるべく外に出ないほうがよいです。300 を超えると hazardous と言っていますから、非常に危ないことという状況のところを外に出るのです。先ほど見ていただいたように、500 で止まっていますからそれ以上はないのですけれど、こんなところで生活していたら非常に危険だというレベルというわけです。

ただこの下のほうはアメリカと中国で設定が違っていて、アメリカは日本の環境基準とほぼ同じなのですけれど、 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ よりも低ければ AQI 値 100 以下ですけれど、中国の AQI はこのレベ

ルが 75 なのです。だから中国で「AQI 値 100 だから健康に問題がない」という報告が出たとしても、それは 75 以下です。日本のこの前決まった暫定基準値が $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ですから、それになりそうになったら警鐘を鳴らすというのが日本の今のスタンスです。そのレベルだと中国ではまだ AQI100、つまりモデレートであり現実に影響がないというレベルの設定になっています。

ただその上のほうはほとんど同じですから、上のほうで今度は 300、500 という状況になったときは、アメリカのレベルでも中国のレベルでも非常に健康によくないというそういう状況だったわけです。

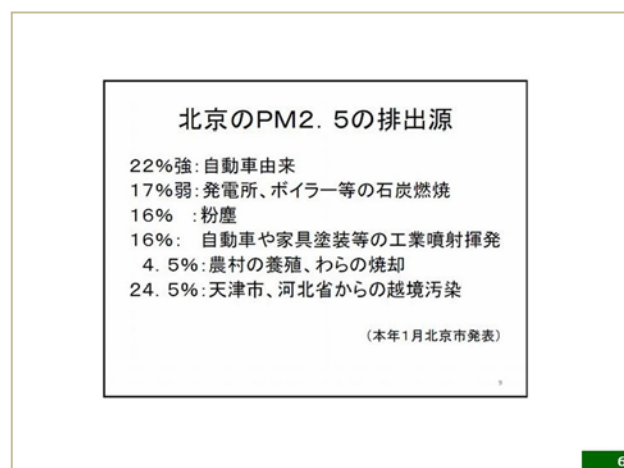
これは最近の 3 週間くらいのデータを、米国大使館がツイッターですっと紹介しているものですから、私がそれを取ってきてプロットしたものです。PM2.5 の値というのは $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ よりも少し低いぐらいです。さっきも言いましたが、日本の環境基準が 1 日の平均値で $35 \mu\text{g}$ ですから、それを下回った日はこの 3 週間ではこの 1 日だけです。それ以外は全部それを上回っているわけです。



ただ今年の北京の汚染状況というのは非常に高濃度になったのですが、今年になって急に北京でのそういう汚染物質の放出量が増えたのかと言うと、必ずしもそうではないのです。従来から 2001 年からのデータを、やはり環境研の清水さん、杉本さんのグループがずっとデータを取っているのですけれど、あまり変わってないのです。(図 5) 今年も総量としてはそんなに大きく変わらないです。ただ今年の冬は非常に気温が低い日が続いて、かつ風が弱かったのです。そのためにこうい

う汚染物質はみんな地表付近から出ますから、非常に寒かったために上下の対流が起らず、下のほうにずっとたまったままになっていました。そういうことが起こって今年のような非常に高濃度が見られたのだらうと思います。

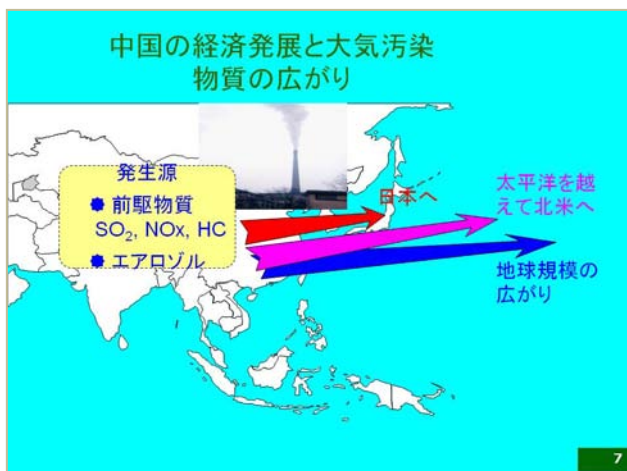
このような状況というのは実は 1952 年にイギリスのロンドンで、やはり非常に低温でかつ風の弱い気象条件というのが 1 週間ほど続きました。当時まだイギリスのロンドンは暖房にどんどん石炭を使っていたから、それで今回の北京と同じような条件になって、そのときには 1 週間でスモッグのせいで亡くなった方が数千人出たと言われています。ただイギリスの場合はそれを契機として、Clean Air Act という空気浄化法といいますか、そういう法律が 1956 年に制定、それ以降は高濃度の汚染は収まっています。そういう 1952 年のイギリスの状況が、今年の北京で再現されたと言ってもいいのではないかと思います。



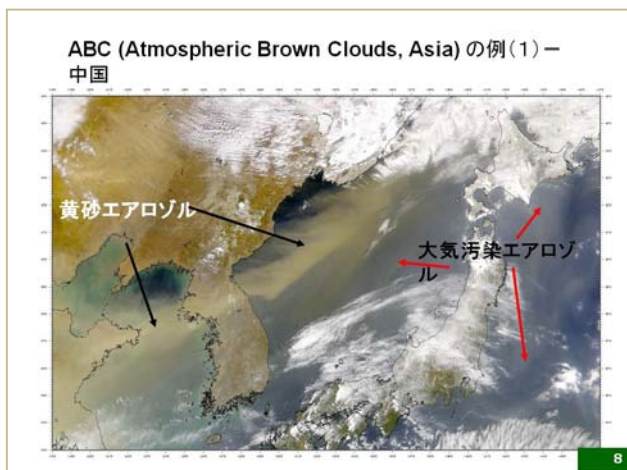
それでこれは北京市のほうで発表した北京の PM2.5 の排出源です。(図 6) 自動車、それからこういう発電所だとか工場などの石炭燃焼です。それからこれは道路粉じんとかそういうものを含むのでしょ。あまりに一般的な名称として対象がよく分かりませんが、粉じんです。自動車等、そういったもののペイントなどです。あとはわらを焼いたりそういうものが入っています。

特に中国の場合はガソリンに対する規制はまだ甘くて、脱硫率が日本などに比べるとずっと低いのです。ですから余分に硫黄分を含んでいるわけです。それで現在のように非常に車が増えていますと、ガソリンから出てくる亜硫酸ガス、二酸化硫黄などもかなりの量になるということは考えら

れます。



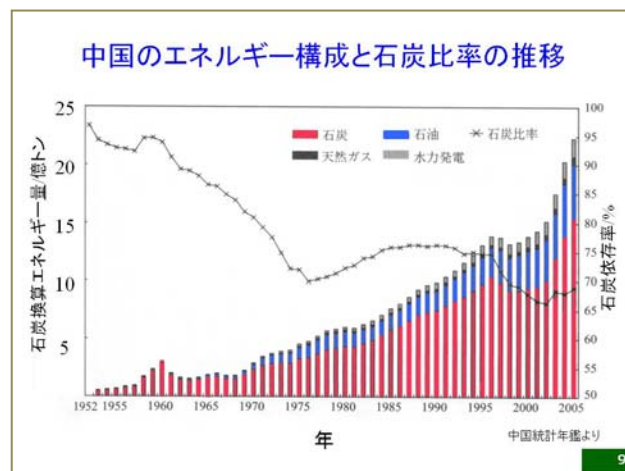
このような中国に由来する大気汚染物質は中国国内にとどまらず、日本さらには太平洋を越えて北米、さらには北半球全体にまでおよぶような広がりを持った汚染になっているのではないかというふうに考えられています。(図7)



これはNASAの研究者からもらった写真です。(図8) 黄砂とか大気汚染性のエアロゾルなどが中国から日本、さらには太平洋のほうに輸送されていく途中の衛星から撮った写真です。この辺の黄色っぽいところが黄砂です。この真っ白なところは雲ですけど、その下のぼやとした白っぽいところは大気汚染性のエアロゾルです。そのNASAの研究者が言うには、黄砂というのは水洗トイレの水のフラッシュなのだそうです。黄砂が大陸から発生すると、それがバーンと海のほうへ偏西風に乗って大体は動いてくるわけです。そうするとそれが中国の沿岸地域にはたくさん工業地帯がありますので、その黄砂を含んだ空気がこの辺の汚い汚染された空気をみんなこっちに運んで

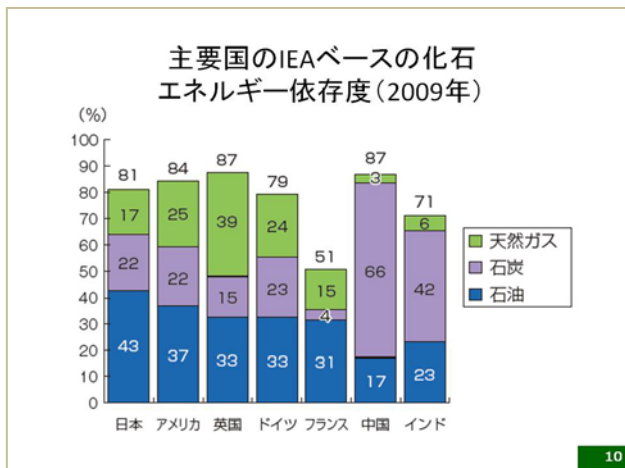
くる、というようなことを言っていました。今年PM2.5のあと今度、黄砂の問題が随分大きく取り上げられましたけども、確かに黄砂が来るときにはあまり目立たなくとも、その前にはこういう大気汚染性のエアロゾルが来ているのです。気象庁では黄砂が来たという黄砂情報を出しますけども、そのときには黄砂だけではなくて、その前に大気汚染のPM2.5、そういう大気汚染性のエアロゾルが大陸からドーンと日本にきています。「黄砂が来たぞ」と言われたら、「エアロゾルを吸ってしまった」と思ったほうがいいでしょう。

私はこういう大陸からの長距離越境大気汚染または酸性雨（最近あまり酸性雨という言葉を使わなくなってきていますが）、そういう観点から大気環境問題というのを20年少し前頃から、いろいろな形で観測をするようになりました。実は30年前ぐらいのことを考えると、中国はまだまだ経済的には発展しておらず、中国国内でいろいろな形で大気汚染物質が出たとしても、それは中国の国内のローカルな問題にとどまっていたのですが、現在ではそれが近隣諸国への影響を大きく示すような状況になっているのです。それがさらには太平洋を越え、地球環境問題にまで迫っているとんでもない過言ではありません。



実はその大きなポイントは、中国の現在のエネルギーなんですが、この×(ばってん)と黒い線が石炭の比率を示しているのですが、中国はこれだけ工業化が進んで経済発展しているのですが、エネルギーの70%近くはいまだに石炭に頼っているわけです。(図9) 欧米や日本のような先進国は、石炭から石油、石油から天然ガスというよ

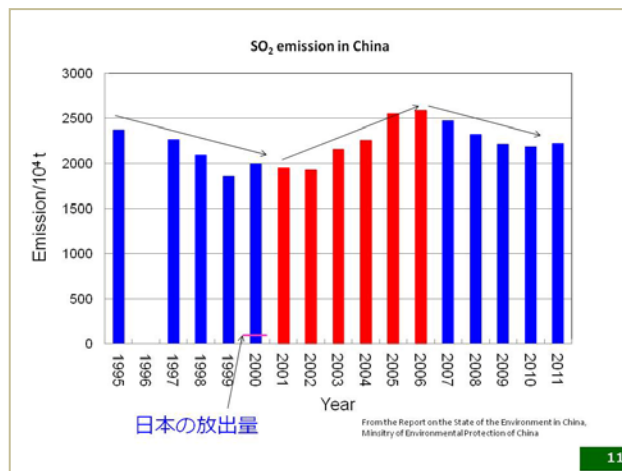
うなクリーンなエネルギーにどんどんエネルギー源を転換していった、そういった硫酸塩をかなり克服してきたのです。中国の場合、国内に大量の石炭は埋蔵しているのですが、石油はあまり出ていません。ですから安いエネルギー源として大量の石炭を使っているわけです。これだけ工業化が進んでも、まだ石炭の比率が70%近くあるというところが一番の大きな問題点です。



中国以外の他の諸国と比べてみますと、日本はこんなふうです。(図10) 石炭は火力発電所他に使っていますからまだこのぐらひはありますけれど、他の国に比べると中国は圧倒的に石炭の比率が高いです。フランスだけこのグラフが小さいのは、実はこの白いところは大部分が多分原子力発電所です。もちろんこの上の白いところは水力発電なども含んでいますから、すべて原子力というわけではありませんけれども、フランスの場合は多分原子力の割合が高いでしょう。中国の場合はご覧のとおりです。いまだに70%近くを石炭に頼っているという状況がまだまだあります。

それで中国の環境白書から私が拾いだしてきてグラフにしたのですが、中国における二酸化硫黄 (SO₂) の放出量です。(図11) 中国では1990年代に、下がってきたと宣伝していたのですが、2000年を過ぎたらまたボンと上がってしまったのです。2006年以降どうやら下がってきつつあるようですが、ただ10年、11年で見るとまた少し上がっていますから、この先どうなるかというのはまだしばらく様子を見ないといけないと思います。中国は2020年ぐらいには下がっているだろうというふうに、長期的な予想は以前にも

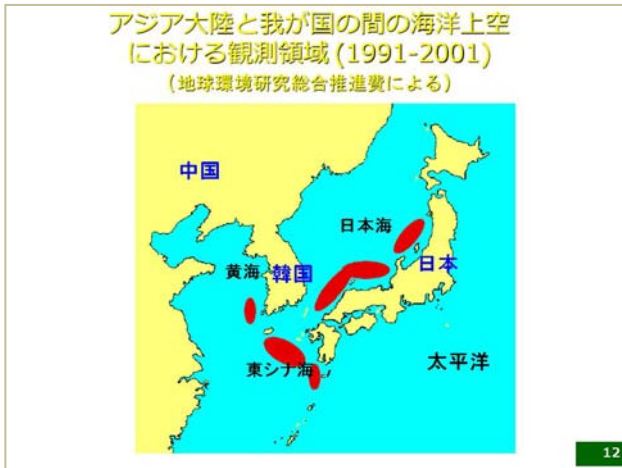
されているのですが、それがどうなるか見ておいたほうがいいです。2000年のレベルでいうと日本の放出量はこんなものです。だからもう放出量が全然違うのです。



それで中国の30年間の大気環境の変化というものを見てみると、まずは今見たようにSO₂の放出量が大量になって、非常に大きく増加したというのが一つです。

それによってSO₂が大気中で酸化されると硫酸になりますので、硫酸エアロゾルが増加します。それが遠くまで輸送され、雨に溶けて降ってくれば酸性雨ということで長距離越境大気汚染に至るわけです。それから自動車が非常に急速に増えていますので、そこからNO_xが放出され、放出量が増加しているわけです。そうすると日本のバックグラウンド地域でこのNO_xから今度はオゾンが出てきますから、バックグラウンドのオゾンの増加が進みます。オゾンというのはもちろん光化学スモッグの中で、非常に毒性の高いガスとして知られているわけですが、対流圏の中に存在するオゾンというのは温室効果ガスとしても非常に強力なガスです。ですからそういうものは、温暖化に対しても大きな影響をもたらすというふうに懸念されます。

それで先ほど言いましたように、私は20年少し前ぐらいから、当時まだ国立環境研究所というところにおりまして、そこでずっと日本と大陸の間の海の上で飛行機を飛ばして酸性雨の研究を、大陸からどういうふうにどんな形で送られてくるのかということ調べてやろうということで、ずっと研究をやっていました。(図12)

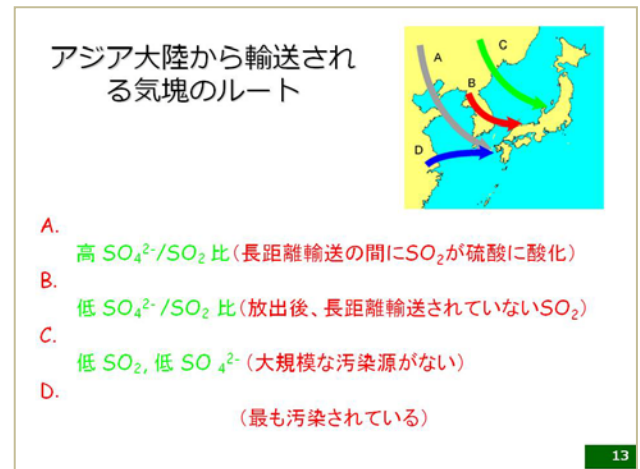


それより前は例えば日本の日本海側で降る雪が非常に酸性度が高いのは、どうも風上側からそういう酸性物質の原因物質が輸送されてくるのではないかという、その受け手側だけでそういう予想をしていたわけです。もう少し本当に海を越えてやってくるのだということをつかみたいということで、航空機観測をやってみようということに至ったわけです。このようないろいろな海の上でセスナの小さい飛行機を使いまして観測をやっていました。

それで分かったのは、当時はまだ私たちもそういう季節風に乗った動きということが一番中心に考えていました。そうすると北西の季節風が吹くと、きっと大陸からそういう汚染物質が来るのだろうと、先入観でそのように考えていました。いろいろな場所で観測をやり、例えば新潟の沖合とかさらには秋田の辺りまで飛行機を飛ばしましたが、ロシアのほうから来るときにはもう SO_2 も低いし、それから硫酸塩の濃度も低いです。つまりもともとこの空気の中にこういうものはあまり入ってなかったのです。ロシアの東アジア側というのはあまり大きな都市がなく、大きな工業地帯がありませんので、大規模な汚染源がない空気をここで捕まえたのだということです。

それから出雲沖、出雲空港というところをベースにして飛行機を飛ばしたときには、かなり高濃度の SO_2 が直接捕まえられました。これは 1992 年のデータですが、そのころのデータだと朝鮮半島でまだまだかなり石炭なども使われていて、 S SO_2 の放出量が多かったのです。 SO_2 の濃度は高いのだけでも、ここで出た SO_2 が硫酸までに変

換されないうちに飛行機で捕まえているのです。ですからこの比 (SO_4/SO_2) が小さいのです。だから長距離輸送されていない SO_2 を直接捕まえたということです。(図 13)



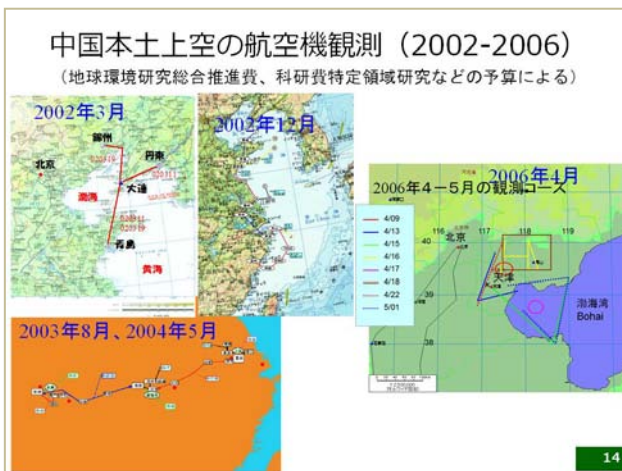
中国のほうから来る空気を九州のほうで捕まえた場合には、 SO_2 の濃度が低くて、硫酸塩の濃度が高いという、そういう状況が見えました。それは長距離にずっと輸送されてきますから、その間に酸化反応が進んで、この SO_2 が酸化されて硫酸塩に変質していつているということなのです。ですからそういう冬の季節風に乗った形で汚染物質が動いてくるときには、このような特徴を示すのだということが分かったのです。

上海のほうからは空気が来ないのだろうか？ということ一度観測したときには、非常に汚染された空気を捕まえたのですが、こちらから来る空気るときにはもう冬の季節風ではなくて、むしろ低気圧だとか前線だとかそういうものの動きが大きく影響するのだということが分かってきました。このあとまたお話ししますが、むしろ大規模汚染が来るとするのは冬の季節風に乗ってくるというよりは、前線だとか低気圧や移動性高気圧だとかそういうものの気象の動きが激しいときに、大陸からドーンと汚染物質が日本のほうにやって来るのです。さっきお見せした黄砂などもそれと非常に一致しているのです。季節風が吹いていると確かに定常的には汚染物質が流れてくるのですが、大規模に高濃度で来るという状況ではないです。むしろそういう低気圧だとか前線などの動きに沿って動いてくるときに、大きな汚染の塊が日本のほうに来るのです。

今年やはり $\text{PM}_{2.5}$ のときに、九州大学の竹村さ

んのシミュレーションモデル（SPRINTARS）というのが随分テレビでも紹介されました。シミュレーションモデルで見ると、汚染物質が日本のほうに覆うように来るといときは、低気圧や前線の動きは激しいです。こういう定常的に北西の季節風が吹いているときではないです。

それで我々も随分いろいろな航空機観測を2000年ぐらいまでたくさんやりました。今のようないくつかのタイプの輸送状況があるということが分かってきたのですが、やはり受け手側だけで観測をやっているのでは不十分です。実際に発生源側でもっとちゃんとした観測をやりたいとずっと思っていました。発源地域のデータが重要だというふうに考えていたのです。先ほど言いましたように特にコンピューターシミュレーションモデルの開発が進んで、発生源に関するデータも取得できて、空気の動きというものをコンピューターでシミュレートして、それと突き合わせて観測をするということが非常に重要になってきたわけです。それでそういう発源地域のデータを取りたい、だけど中国が外国人の観測を許すかどうかというところが大きな問題になったわけです。



中国側の対応としては、以前はもう非常にかたくなで、中国で放出される大気汚染物質のほとんどは、中国国内で沈着していて周辺には影響を与えていないという態度でした。(図14)ですから外国人が中国へ行って、航空機観測をやりたいと言ってもけんもほろろに断られていたのです。それがわりと最近になって、この前首相が代わりましたので、前々首相ということになってしまいましたけれど、朱 鎔基（しゅ ようき）さんという

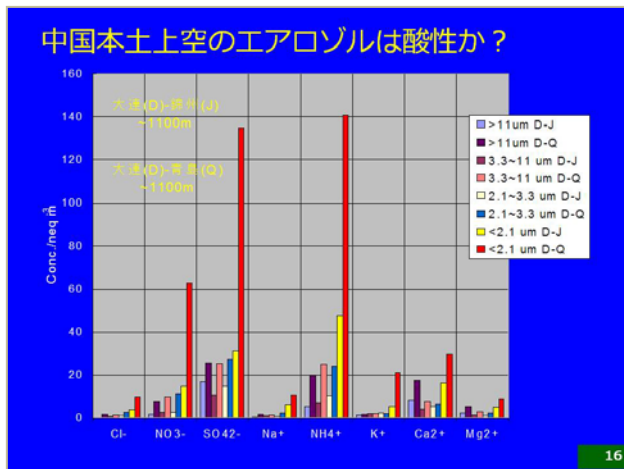
方が首相になったときに、さすがに国際的な世論に抗しきれなくなったのでしょう、砂じん(黄砂)や酸性雨などが国境を越える問題となっているということを、初めて公式に認めたのです。

そのころ我々も実は、中国に中国環境科学研究院という日本の国立環境研究所と同じような研究所があるのですが、そこをずっと長いこと共同研究などをしていました。そこを通じて中国国内、当時は「セパ」SEPA (Statewide Environmental Protection Administration) と呼んでいましたが、中国のお役所に研究所を通じて、共同研究で航空機観測をやりたいということを申し入れたら、初めてこのときに許可が下りたのです。そこで中国で2002年から2006年の間、環境省の地球環境研究総合推進費や文科省の科研費などを使って、中国本土で航空機観測を行いました。(図16) 飛行機を使ったこのような大気汚染観測は、共同研究とはいえ外国人が行ってやるのは初めてのことだったのです。最初は渤海湾の周辺、それから2002年の12月には上海辺りを中心とせずと東シナ海沿岸のほうまで、それから2003年と2004年はやはり上海の辺りからずっと西の重慶、成都の辺りまで大陸を横断するという形で観測を行いました。最後の2006年は、もうこのとき我々の共同研究者は我々と実績を積んできて、中国のどこでも飛行機を飛ばせるよと豪語していたのですけど、北京、天津の周りで行いました。



最初に使った飛行機はこんなものすごい飛行機でした。(図15) 単発の複葉機で、博物館でしかお目にかからないような非常に古めかしい飛行機だったのですが、翌年に使った少し新しめの双発機よりも、単発機でもむしろキャビンが広いです。

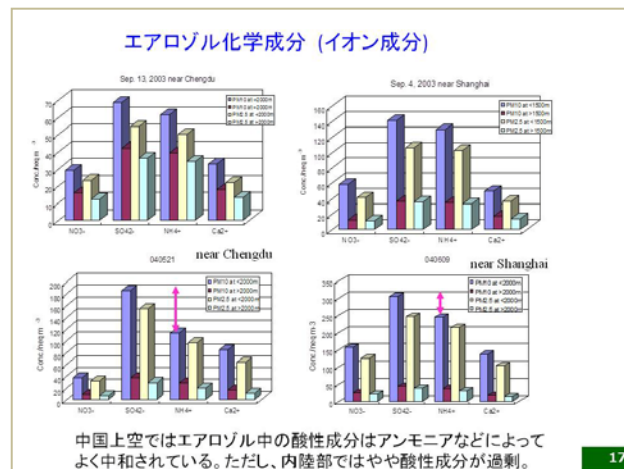
ゆっくり飛べるものですから、我々の観測には非常に都合がよかったです。あんまりビューンと飛んでしまうと、一つのサンプルを取る間に非常に長い距離を飛んでしまいますから、そうすると空間分解能が悪くなってしまいますのです。ゆっくり安定して飛んでくれるものですから見掛けは悪かったですけれど、そういう意味では、我々にとってはちょうどよかった飛行機でした。中国は酸性雨の原因の地域になっているに違いないというのは、前々から誰でも思っていることです。ですから中国へ行ってそんな観測をやり、例えばそこで粒子状物質エアロゾルを捕まえて分析すると、すごく酸性の物質が大量に取れるに違いないというふうに考えて、実は中国に乗り込んだのです。そこでエアロゾルの分析をしてみると、例えばこの赤い線は、ここで測った中では一番細かい、いわゆるPM2.5に対応する粒子です。(図16)これで見るとこちらが硫酸塩です。こちらがそれを中和しているアンモニウム塩ですけど、ほとんど同じぐらいの濃度です。大きい粒子でもあまり変わらないです。比は大体同じです。



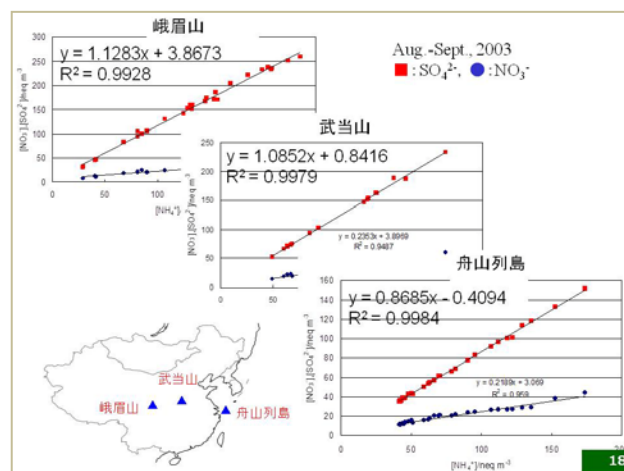
行く前はうんと酸性なのだろう、だから酸性物質の濃度のほうがずっと高いのだろうと思っていたのですが、行ってみたら、ほとんどの酸性物質はアンモニアで中和されているのです。そういうことが分かりました。

これはまた別の年に、今度はもう少し内陸のほうに入った成都です。(図17)その年に成都と上海近くで測ってみると、やはり成都で測ったほうが硫酸塩とアンモニウム塩の差が大きいです。上海の近くでは、少しこの年は硫酸塩のほうが濃度が高かったですけどこの差は小さいです。そうい

うことが分かりました。中国の上空ではエアロゾル中の酸性成分というのは、アンモニアなどによってよく中和されているのですが、内陸部と酸性成分が過剰になっているというようことが分かってきたわけです。



それで2003年の観測のときには飛行機による観測と同時に、成都のすぐ近くの峨眉山、武漢のすぐ近くの武当山、それから上海の少し海に出たところの舟山列島という島の上と、こういう3カ所で地上観測も一緒にやったのです。(図18)このグラフの青が硝酸塩、赤が硫酸塩です。横軸側にはアンモニウム塩の濃度、縦軸側にはこの二つの硫酸塩、硝酸塩の濃度をプロットしてやると、この相関がものすごくいいのです。アンモニウム塩と硫酸塩とかアンモニウム塩と硝酸塩の相関が非常によく、相関係数がほとんど1です。だから酸性物質が非常によく、綺麗にもう中和されてしまっているのです。

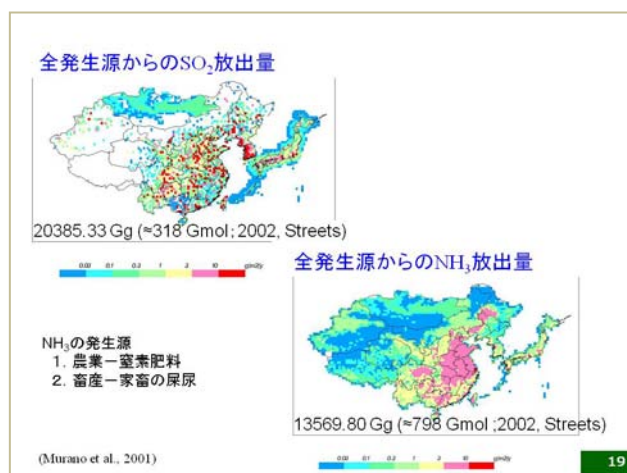


ただ内陸の峨眉山だとこの傾きが1より少し大きいです。1より大きいということは、硫酸塩の

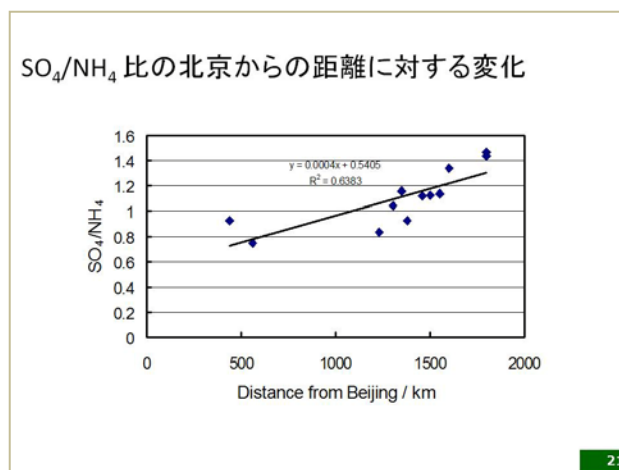
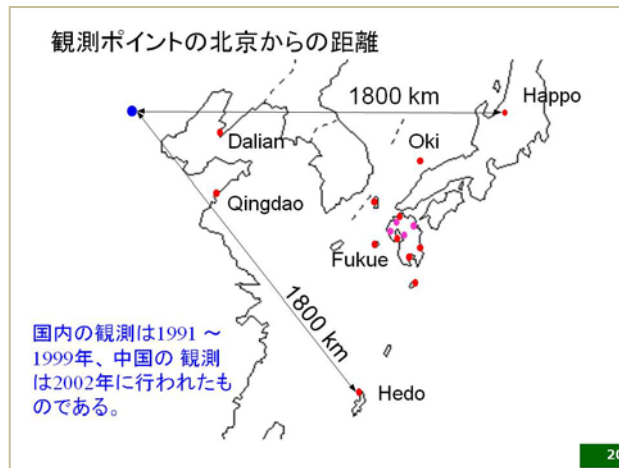
濃度のほうがアンモニウムの濃度よりも少し高いです。この真ん中辺の武当山だと、この傾きがほとんど1です。だからぴったり1対1で中和されています。これは当量濃度でプロットしてありますから、傾きが1だとアンモニウム塩と硫酸塩が同じだけ存在しているということです。それでこちらの海のほうに出てくると、むしろアンモニウム塩のほうが多くて、傾きが1より小さいです。

ですから中国へ行ったら酸性物質ばかりだろうと思ったら、実はそうではなくて、中国でもこちらの海側のほうというのは、むしろ酸性物質よりもアルカリ性物質のほうが多かったわけです。

実は中国というのはSO₂の大規模発生源だということはよく知られているのですが、それと同時にアンモニアも非常に大量に放出されているのです。これは農業による窒素肥料とかそれから牧畜による家畜の尿尿とか、そういうものから出てくるアンモニアが非常に多くて、モル数で比較するとむしろSO₂よりもアンモニアのほうが多いくらい大量に出ています。だから中国の上空で例えばNO_xが酸化されて硝酸になったり、SO₂が酸化されて硫酸になったりすると、もうすぐにこのアンモニアで中和されてしまうのです。このために中国で飛行機を使ってそういうエアロゾルを測って見たら、非常によく中和されていたのです。行く前に、うんと酸性なのではないかと思っていたのは空振りに終わりました。(図19)



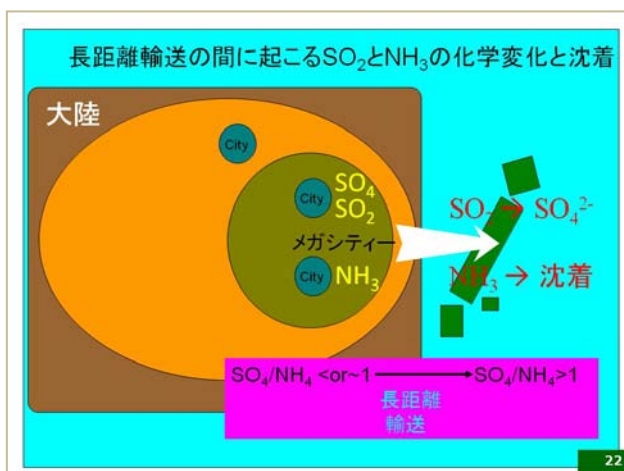
ただ、中国で中和されているから日本にも中性のものが来るのかというと、そうではなくて、日本で以前に航空機観測やったときの地上のデータと比較してみると、こんなことが分かりました。こちらの2点が大連とか青島の中国のプロットで



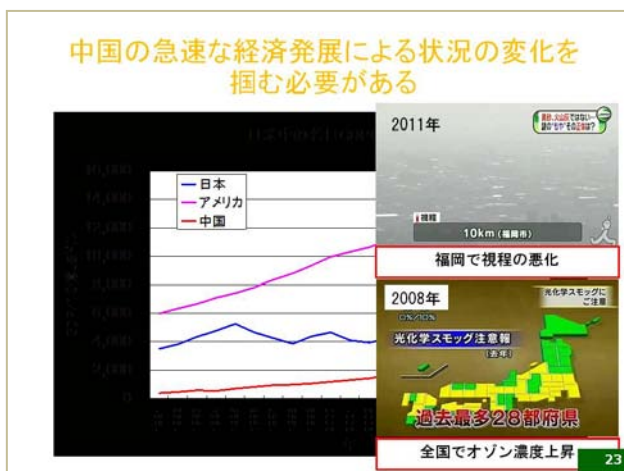
す。(図20、図21)こちらにばらっと広がっているのは、少し時期はこちらの方が早いのですけど、以前測ったときの日本のいろいろな所でのアンモニウム分のサルフェート (SO₄/NH₄) の値です。中国だとこれが1より小さいです。アンモニウムのほうが量が多いから1より小さいです。それに対して日本は、実はこの下の4点は九州のこの辺りのデータで、この辺りはやはり牧畜が非常に盛んで、アンモニアの濃度が高いのです。それでちょっとこれを除いてプロットしてみると、こんなふうに中国では1より小さいけれど、国内の点では中国からの距離が遠くなればなるほど硫酸塩が増え、この比が大きくなっています。酸性化が進んでいるということが言えるわけです。

だから中国では非常によく中和されているのだけでも、そういう汚染物質が日本のほうに長期輸送されてくると、どんどん酸性化が進むということです。それはなぜかと言うと、中国の北京とか上海とか大きな都市から大量に汚染物質が出ているからです。中国の上空では、酸性物質ができて

もすぐにアンモニアで中和されてしまうのですが、これが海を越えて輸送されてくると、海からはアンモニアが出てきませんので、ここではまだ酸化されていない SO_2 が含まれて、それがずっと日本のほうに輸送されてきます。そうすると輸送されてくる途中に、 SO_2 が硫酸に変わってくるのです。けども途中でアンモニアは出てないので、アンモニアは無くなってしまいます。そうすると遠くまで届いてくると、酸性成分のほうが量的に多くなってしまいます。それによって日本に輸送されてきたときには酸性化が進んでいて、それが雨に溶けてくると酸性雨が降るのだということが分かったわけです。(図 2 2)



このように GDP で言えば中国は、2 年ほど前に日本を追い抜いて世界で第 2 位になったわけです。これは 2011 年で、まだ今年みたいに $\text{PM}_{2.5}$ の大騒ぎをしていないときですけども、それでもやはり特に北九州の辺りは中国に非常に近いですから、この影響をかなり受けていました。(図 2 3)



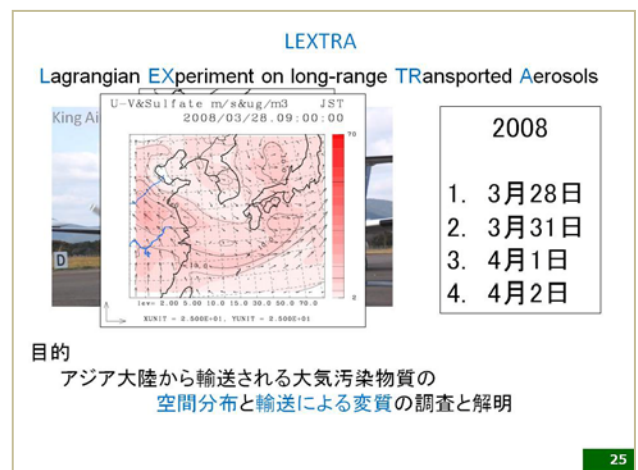
この九州の研究者から言わせると、「こんなの前か

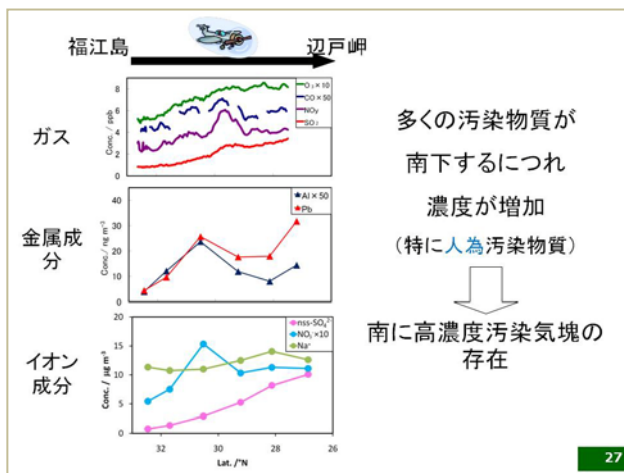
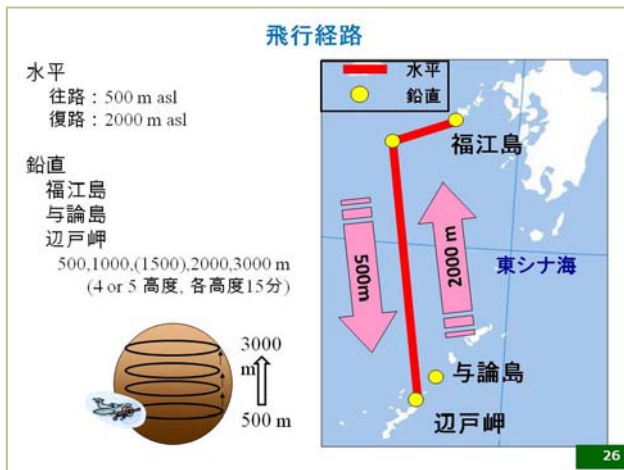
らずとだよ。今年、何でみんなこんな $\text{PM}_{2.5}$ で騒いでいるのか分からない」という言い方をしていましたけれど、九州なんかでは、そういう影響はだいぶ前から受けていたのです。

そういう $\text{PM}_{2.5}$ だけではなくて、実は光化学スモッグというのも中国の影響を受けて九州とか新潟とか、従来は光化学スモッグ注意報が出たことのない地域で、2006 年ぐらいからずっと光化学スモッグが出るようになったのです。その辺も中国の影響が非常に大きいのだというふうに考えられています。



中国での航空機観測が終わってからまたしばらくして、2008 年から文部科学省の科研費で大きな予算を頂けたので、今度は日本の近くで観測をしました。それだけ中国の経済状況が非常に発展してきましたので、この辺の状況も変化があるのではないかということで、もう一回今度は九州の西のほうで、東シナ海上空で航空機観測をやってみようということになりました。ここ数年それをやってきました。(図 2 5)



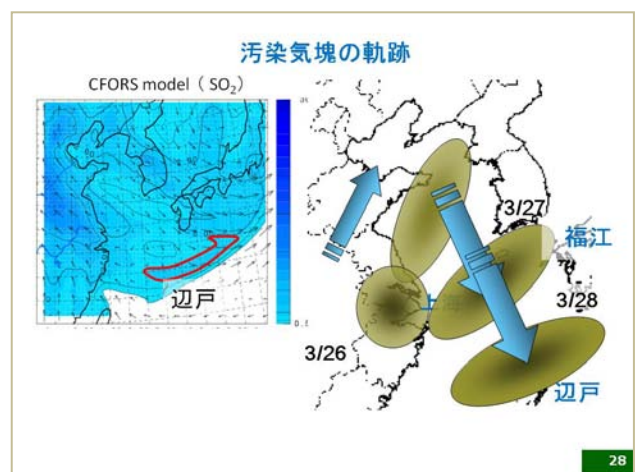


この辺は私の研究なので、あまり中身に入った詳しい話はしないことにしますが、このように例えば福江島をベースにして沖縄の北の外れに辺戸岬というところがあるのですが、そこまで行って帰ってくるという、そういうフライトをやってみたのです。(図26、図27) そうするとこんなふうに、むしろ南のほうへ行けば行くほどいろいろな汚染物質の濃度が高くなるというようなことが、このときのフライトでは出てきました。

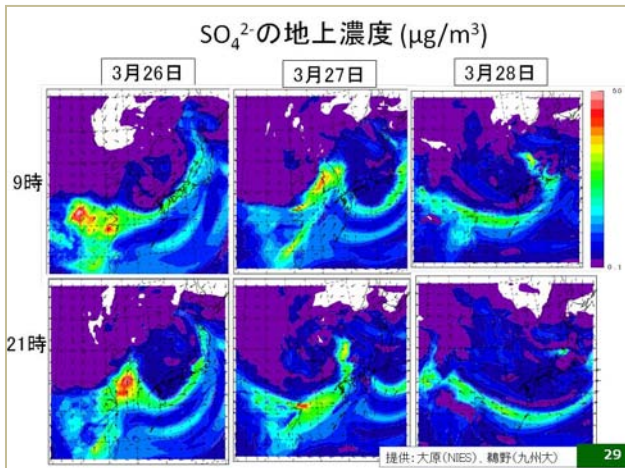
先ほど少し話しましたが、コンピューターによるモデル解析というのが非常に発達しまして、事前に大気汚染物質がどのように空間的に分布しているかというのは、今はウェブ上で簡単に解析できるようになっているのです。昔、我々が1990年代に航空機観測をやっていたときには、空を見ていて今日は天気がいいから飛行機を飛ばそうという、そういう感じの観測をやっていたのです。現在は事前にこういうモデルで全部動きを確認していて、今日はどの汚染物質がたくさん来そうだから今日は飛行機を飛ばそうと、そういう感じの

観測に20年ぐらいで変わっているのです。ですから事前にこういうモデリングでの予測を見ておいて、どうも沖縄の近くに汚染物質があって、むしろ九州のほうはそんなに濃度が濃くないので、こういう方向で飛ばせば沖縄に近づくと汚染物質の高濃度のところを通過することになる、ということが分かっていて観測をやっていたわけです。実はこの汚染物質が上海のほうからずっとこういう大規模汚染の輸送パターンがあって、それに乗って送られてきていたというわけなのです。

先ほど北西の季節風で平常的に送られてくるよりも、前線や低気圧の動きのほうが大規模汚染を引き起こすのだと言いましたが、実はこのときも、上海の辺りにあった大規模汚染がいったんずっと朝鮮半島のほうに引き伸ばされて、伸びた汚染気塊の塊がバタンと南のほうに倒れ込むような、そういう動きになっています。この汚染気塊がちょうど飛行機を飛ばしたときにはこの辺にあったということです。だからこういう上海の辺りにあった汚染気塊が最初いったんぐうっと北東の方に伸びて、だんだんこういうふう倒れ込むような形で沖縄のほうへ汚染気塊が進んでくるとい、そういう動きをしているのだということが分かりました。(図28) モデルの結果はこの人たちがモデル計算をしてくれたのですが、これ全体の地上での濃度を見ると、やはりここもこの辺にあった汚染気塊がぐうっと北のほうへ伸びて、それがバタンと倒れ込むような形で沖縄のほうへ動いてくるというのが、一つ大きな汚染気塊の動きが見られるパターンなのです。

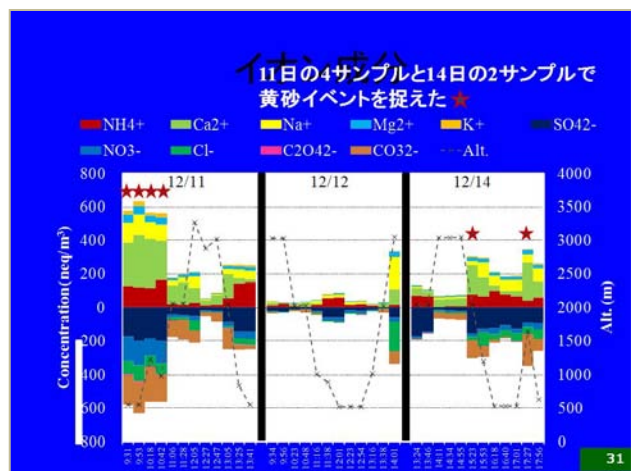
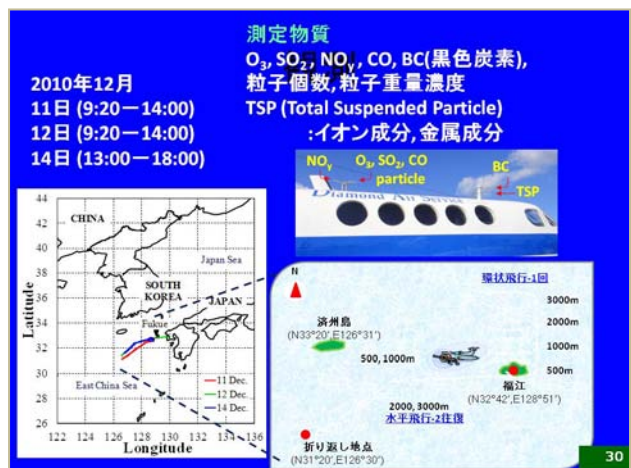


さらに模式化した、現在九州大学におられる鶴野さんという人が開発したモデルで見ると、この辺は上海の辺りですが、それがずうっと汚染空気が北東のほうへ引っ張り出されて、これからこの塊がずうっと南下してくるといいう形で、実は日本のほうに大規模汚染がやってくるのだというのを一つのパターンとして報告したのです。そういうパターンが見られたのです。(図29)

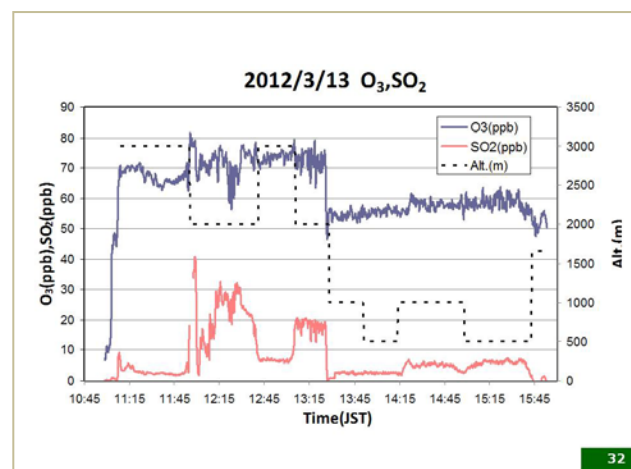


2008年からの5年間の科研費による研究では5年のうち3回、秋、冬、春という大陸から汚染物質がやってきやすい時期に、飛行機を飛ばして観測したいと考えました。2009年には10月に秋の観測を、2010年12月に冬の観測をやりました。それから2012年の3月に春の観測をやりました。春の観測のときには黄砂を捕まえられるだろうなと思って、最初3カ年の計画を立てたのですが、実は実際にやってみたら、2009年の秋と2010年の冬には黄砂がやって来たのですが、2012年の3月には黄砂を捕まえられませんでした。秋と冬だけ黄砂を捕まえて、春の黄砂を捕まえられなかったのです。これは12月のデータで、この星印の付けてあるところは黄砂がちょうど捕まえられたときです。(図30、図31)

黄砂を捕まえると、例えばカルシウムの濃度とかそういうものが非常に高いです。そうでないときには低い濃度だったのが、黄砂が来ていたときには非常に濃度が高い。それからこの辺の高濃度というのは、むしろ人為起源の汚染物質を捕まえているというようなことを、いろいろな解析をすることによってそれを捕まえることができました。データとモデルによる解析をしました。さらには、これもやはりウェブ上でできるのですが、あ



るところで飛行機で捕まえた空気というのは、その前にどこから飛んで来たのかというようなことを計算することができるのです。そういうことを解析することによって、この汚染物質がどこから飛んで来たのかとか、途中の変化がどういうふうにあったのかというようなことを解析できるわけです。



これは2012年の3月のときのガス状汚染物質

のデータですけども、ちょうどこの 2,000 メートルのところだけ、これは点線がこちらで高度を示しているんですけども、ちょうどこの 2,000 メートルのところだけ SO₂ の濃度が非常に高いのです。(図 3 2) もっと上空では低いし、普通だったら濃度が高いと思われるのに、低いところを飛んでいるときにもそんなに濃度が高くないのに、2,000 メートルのところだけ SO₂ が非常に高いというようなそういう現象が見られました。そうすると汚染気塊が非常に立体的な構造をしているということです。一様にバーンと下から上まで広がっているのではなくて、ビューッと 2,000 メートルの付近だけ何か汚染気塊が来ているということが分かるのです。それもやはり先ほどお見せしたようなモデルで見ると、そういうことは結構予測しているのです。ですから今のモデルは非常によくできていて、そういうものと突き合わせて解析ができるようになっています。

まとめ (1)

- 1991-2001 : 大陸と日本の間の海洋上空における航空機観測→風上発生源地域の違いによる汚染物質濃度、酸化反応の進行度などの違いが明確に
- 2002-2006 : 中国本土における航空機観測→大陸上でのエアロゾルの中和と長距離輸送による酸性化
- 2008-2012 : 東シナ海上空における航空機観測→中国の急速な経済発展による汚染の拡大

33

以前は北西の季節風によるのではないかとというふうに考えて観測をやっていて、風上の発生源地域の違いで日本に飛んでくる汚染物質の量だとか、それから SO₂ と硫酸塩の比だとか、そういうものが違うなということをもつつかんだのです。それから中国大陸に行って、先ほど言ったように例えば酸性ではないとか、いろいろ地域によってこういう違いがあるということをも、中国本土で初めて観測をやってそれをつかみました。最近の観測では、そういうモデルと突き合わせて非常に精密な解析ができるようになったということです。

航空機による観測の話が長くなってしまったので、少し話を変えますけれど、今日のお話のテ

マの一つに黄砂というものが入っていました。これは実は少し見にくいのですが、非常に激しい黄砂が来たときの北京大学のある建物の屋上の写真なのです。(図 3 4) ここに何か展望台みたいなものが入って、この辺に人がいますけども、こんなものすごい黄砂が来たときにはこんな状況になってしまうらしいです。

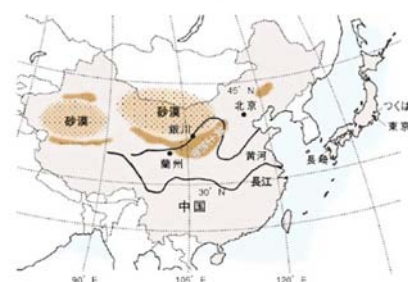
黄砂



34

黄砂というのはタクラマカン砂漠だとかゴビ砂漠だとか、その辺の砂じんが低気圧によって巻き上げられて、それがさらに中国の偏西風に乗って東のほうへ飛んでくるといふ、そういうものなのです。(図 3 5)

黄砂

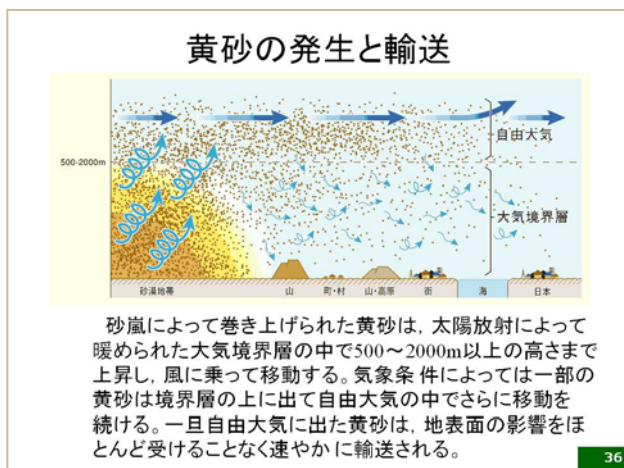


黄砂はタクラマカン砂漠、ゴビ砂漠、黄土高原などから砂嵐によって巻き上げられるもので、それが西風に乗って、特に、3~5月にかけて日本にもやって来る。

35

日本だと3月から5月ぐらいのところで非常によく見られて、春の風物詩みたいな取り扱いをされていたんですけども、昔「春がすみ」と言っていたものは、実は黄砂なのではないかと言われていました。中国または韓国辺りではそんな生易しいものではなくて、今の写真で見たようにむしろ自然災害の一つに入っているのです。

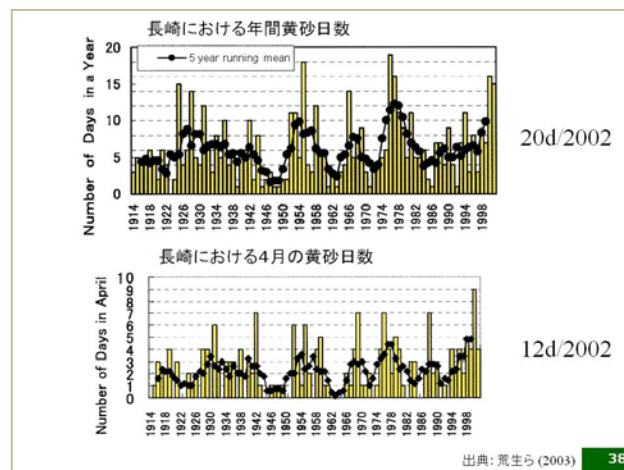
黄砂というのは砂漠地帯から発生しますが、中国の砂漠地帯というのは大体高度が 1,000 メートル以上の高地です。ですからそこから風で砂じんが巻き上げられると、既にもう高いところにあるわけです。それが西からの風に乗って、ずっと東のほうへ輸送されてくるというのが黄砂です。それがさらにはこの海岸に近い工業地域の上空も通過してきますから、そのときに先ほど見たように人為的なエアロゾルなどもずっと一緒に押し出してくるわけです。(図 3 6)



36

のときには、奥地ですごい砂嵐が巻き上がっている映像がテレビに流れていましたけど、そういう状況になり得るのです。

大体北京だと1平方キロメートルあたりで、10から20トンぐらい(一月あたり)砂じんが落ちるそうです。日本は年間で1トンから5トン(1平方キロあたり)です。ですから黄砂のシーズンになると北京辺りではものすごい量が落ちます。



これは長崎の先生がデータを取ってくれたものです。(図 3 8) 昔に比べると少し増えているのではないかなということをおっしゃっていましたが、このグラフで見るとそんなに大きく変化してないようには見えます。ですから先ほど、日本だと年間で1トンから5トンぐらいと言いましたが、大体約2トン/km²ぐらいです。その土壌の粒子の中に含まれているのは、炭酸カルシウムが多いです。ですから黄砂が日本に飛んでくるときに、途中でいろいろな酸性成分なんかを吸着してくるのですが、全体としてはまだアルカリ成分のほうが多いので、黄砂が運ぶ過剰なアルカリというのは日本に降る雨に含まれるのは硝酸の1割を中和できるぐらいです。だから一応日本では黄砂は酸性雨を中和してくれていると言ってもいいのだろうと思います。

黄砂というのはそういう意味では、もともと砂漠から巻き上げられた砂が飛んでくるのだとすれば、自然現象だから公害とか環境問題にあたらないと思うかもしれないのですが、確かに昔のままであればそうなのですが、例えば砂漠化が進んでいるとか、過放牧とか農耕地を広げたということで土地が荒廃して砂漠化が進んだとか、そ

黄砂の種類

種類	強度	視程距離	瞬間風速(参考)
浮塵	——	10km以下	8m/s以下
揚塵	——	1-10km	8m/s以上
沙尘暴	弱	3級 (500-1000m)	10m/s以上
	中	2級 (200-500m)	17m/s以上
	強	1級 (200m以下)	20m/s以上
	特強	0級 (50m以下)	25m/s以上

中国では、黄砂の度合いによって、それぞれ浮塵、揚塵、沙尘暴と呼び、その判定基準は表のように視程と瞬間最大風速とによって分けられる。日本に飛来する黄砂は、北京風といえばほとんどが浮塵。黄砂塵の沈着量で見ると、1km²当たり北京では春先の黄砂シーズンで10～20トン/月、一方日本では1～5トン/年と見積もられています。

37

中国では黄砂の種類をこんなふうに分けています(図 3 7) 特に一番甚だしい自然災害が起こるようなときのことを砂塵暴という、いかにも何かすごそうな名前が付いています。日本で観測されるようなレベルの黄砂だったら、あれが中国で見られるときには一番生易しい黄砂です。これぐらいのレベルだと思います。だから中国ではこうでも日本まで飛んでくればこのぐらいのレベルになってしまっているわけです。こういうすごい状況の黄砂が中国の場合にはあるのです。今年の黄砂

うということによる砂漠の広がりによって黄砂もひどくなっているのだとすれば、その部分というのは環境問題ということは言えるのだろうと思います。いろいろな形で、例えば栄養塩なんかを海に供給しているなんていうそういう側面もありますから、一概に黄砂がすべて環境問題で悪いものだということは言い切れませんが、いろいろな形での環境問題にはつながっているということはあると思います。

次に、エアロゾルの健康への影響について少しだけお話ししておきます。これは全く私の研究ではないです。先ほどお話した航空機観測の中で何人かの医学系の研究者にも入ってもらって、エアロゾルの健康に対する影響についての研究を進めてもらいました。

九州大学の北園先生という方が、エアロゾルが脳卒中の発症に影響するのだというようなことを研究されています。北九州福岡の辺りで幾つもの病院とか研究機関と共同で、脳卒中の患者を対象症例 7,000 人以上を使っています。その人たちの脳梗塞の状況を調べて黄砂との関連性を調べたのです。脳梗塞というのは幾つかタイプがあって、アテローム血栓性脳梗塞というのが一つあって、これは動脈硬化によって血管の内側にいわゆる脂肪みたいなのがだんだんたまっていくのですが、それをアテロームというらしいです。それがどんどんたまっていくと血管が細くなって、脳の血管の中でそれが進むと脳梗塞につながります。またその血管の中にたまっている脂肪の塊みたいなのがはがれて、脳のほうまで飛んでいくとそれも脳梗塞を起こすのです。このようなタイプのものをアテローム血栓性脳梗塞と言うのだそうです。

それから心原性脳梗塞というのは、脳塞栓と書いてありますけれども、これは長島さんなどがそうでしたけれど、心臓の不整脈なんかがあると、血液の中に血栓ができて、それが脳まで飛んでいって詰まらせてしまうと脳梗塞になります。そういうのが心原性です。

大体それぞれ 1/4 ずつぐらいの発症例を持っているのですが、実は黄砂のイベントを観測してこの脳梗塞の発症を型別に発症例を調べると、今言ったアテローム血栓性脳梗塞というのだけが、黄砂のあと 30% ぐらいリスクが上がるというこ

とを報告されています。

私はこれを聞いて最近思ったのですが、黄砂そのものよりもむしろ黄砂と一緒に飛んで来ている PM2.5 ではないかと思っています。医学の専門ではありませんのでそう断言はできないのですが、とにかく黄砂イベントがあったときにアテローム血栓性脳梗塞が増えるということを報告されました。

それから金沢大学の東先生が、ぜんそくに対する黄砂等の影響を調べられています。せきにはぜんそくのような乾いたせきと、それからたんを出すための湿ったせきがあるようですが、ぜんそくによる乾いたせきを調べます。従来こういう研究をやる時には、「黄砂が来たぞ」と言われると患者さんに連絡を取って、「どうでしたか」というそういう聞き方をしていたらしいです。そうすると黄砂が来たということを知っている人によっては、それが影響を与えてしまうのです。黄砂が来たからせきがひどくなったのではないかと自分でもそう思ってしまって、「今日はせきがひどかったです」という、そういう答えをしてしまう場合もあります。

そういう形ではなくて、最初から患者さんにアレルギー日記という日記をお渡ししておいて、毎日それをつけてもらいます。1 カ月なら 1 カ月のデータがたまってから見せてもらうという、そういうやり方でデータを取ります。そういう黄砂の期間だけのデータを取るということではなくて、そういうメンタルな影響をできるだけ除いた形でデータを取っていきました。

それと一緒に今度はライダーによるデータと突き合わせます。国立環境研の杉本さんが設置されているものです。ライダーというのは上空にレーザー光を打ち上げて、それが粒子で反射されて返ってくる光を捕まえて、上空に微粒子がたくさんあるかどうかというのを調べる装置です。4 月の 10 日から 15 日の辺り黄砂粒子が来ていました。黄砂濃度が高いです。このときのデータと、粒子が来てなかったときのデータを比較してみるということをやりました。

それから 5 月で言えば、この時期に黄砂が来ていて、こちらのほうでは粒子濃度が非常に低い、黄砂が来ていない時期です。そういう 2 つを比べ

てみると4月の場合に黄砂と花粉が来ています。4月はスギ花粉があります。5月の場合はスギ花粉はもうほとんどなくて、黄砂だけが来たという、そういう比較ができたわけです。そうすると4月の場合は黄砂が来たときと、来てないときであまり変化がなかったです。だけど5月は、黄砂期間にはずっとぜんそくの人のせきがひどくなったというデータが得られました。個人ごとに見ても、非黄砂期間ではせきがなかった人が、黄砂期間ではせきがあったという変化を示したというわけです。

一方、せきではなくて鼻水とかくしゃみでいうと、5月は非黄砂期間に増加しています。4月は変化なしだったのです。

鼻詰まりとか目のかゆみになると、5月は黄砂期間でも非黄砂期間でもほとんど変化がないですが、4月は明らかに黄砂期間に鼻詰まりとか目のかゆみが増えているということが出てきます。鼻詰まりとか目のかゆみというのは花粉症の症状なのです。ですから4月のこの黄砂期間は花粉と黄砂が合わさって、どうも花粉症の症状を悪くしたらしいということです。

ぜんそくのせきは確かに5月の黄砂のときに増えるのだけど、こういう花粉症の症状というのは4月だけ増えています。花粉と一緒にある4月だけ増えたという、こういうことを報告されています。4月のほうは花粉症をひどくしていたという、そういうことです。この辺も、私は医学の者ではないので分らないのですが。

最後に少しだけご紹介したいのですが、PM2.5に対して身近な対策と抜本的な対策を少しだけご紹介しておきます。まずマスクです。私もいろいろ聞かれて、私自身はマスクの専門家ではないのですが、エアロゾル学会の会員に専門家がいて、私も耳学問で覚えました。一般的にコンビニなどで売っている花粉症用の不織布のマスクがありますね。実はあれで十分止まるのです。私も最初、あれは駄目なのだろうと思っていました。それでN95という名前の付いている、細かい粉じん用のマスクでないと駄目なのではないかと思っていました。ガーゼマスクは通ってしまうのですが、だけどああいう不織布のマスクで、かつしっかり口の周り鼻の周りを覆って、すき間ができないよう

にしておけば大丈夫なのです。

よくマスクを買ったまま四角いままでしている人とか、ひどい人になると鼻を出してマスクをしているとか、そういう人がよくいるのですけれど、ああいうのは全然少なくとも粉じん、PM2.5を止めるのには役に立ちません。しっかりプリーツを伸ばして、かつ鼻のところをちゃんと折り曲げてすき間ができないようにマスクをしていれば、PM2.5でもちゃんと効き目はあるようです。

マスクというといつ我々は、砂をふるいでふるうときのことを考えてしまいますけども、砂の場合はふるいの網目よりも大きければ通らないし、小さければ抜けてしまうというそれだけの話ですが、こういう微粒子がマスクのフィルターを通ってくるするときというのは、うんと細かい粒子はブラウン運動と言いまして、空気の分子と衝突して微粒子は決してフィルターの中を真っ直ぐは通らないのです。空気の分子と衝突して拡散してマスクの繊維とぶつかりますので、むしろうんと細かい粒子だと捕まえられやすいのです。もちろん大きい粒子は網目で止まりますけども、うんと細かい粒子はそういうブラウン運動で止まるので、むしろマスクで止まりにくいのは0.1ミクロンから1ミクロンぐらいの間の、中間のサイズのところが止まりにくいらしいです。その辺は私の専門ではありませんので、専門家に聞きました。ですから小さければ通ってしまうのではないかというのは、実は砂のふるいとは少し違うんです。この辺のところはそうです。

そういうマスクというのは、PM2.5が飛んで来たらそれに対して自分の身を守るという身近な対策ですけども、抜本的な対策としてどういうことがあり得るかということです。当然例えば一つは脱硫技術、脱硝技術を普及させてほしいと思います。日本は世界のトップの設置率を誇っていますから、日本の空気はそういう意味では非常に綺麗です。それでそういう技術を持っていますから、もちろんそれはいつでも要望があれば提供できるそういう状態になっていると思います。

だけど中国の場合は、先ほど言いましたように大量に石炭を使っていて、その石炭は工場や発電所だけではなくて、地方へ行くと一般家庭で煮炊きに全部石炭を使っているのです。北京とか上海とか重慶とか大きい都市の真ん中は、一般的には

石炭は使えません。禁止されています。田舎へ行けば、みんなかまどで石炭をたいて煮炊きしているわけです。それから小さなボイラーもたくさんあります。そういうものもみんな石炭がエネルギー源になっているのです。そういう小さなボイラーにいちいち脱硫装置なんて高いものは付けられませんので、そうするとこれには限界があるので。

世界的には、これも先ほど言いましたけれども燃料転換は石炭から石油、石油から天然ガスというふうに転換して行ってほしいです。だけど中国の場合は、先ほど言いましたようにまだまだ石炭に頼る割合が高いと考えられます。

日本の場合は昭和45年ごろに、四日市ぜんそくとか川崎ぜんそくなど、ひどい公害問題がありました。それに対する対策がどんどん取られてSO₂の放出量がどんどん下がってきて、年平均濃度にしても今考えられる中で一番低いぐらいの濃度をしているわけです。こうなるまでに大体20年くらいかかっています。それに大きく寄与したのが脱硫装置、それから燃料転換です。

お隣の韓国はもっと急速にこれが進んでいます。先ほど私が飛行機で、韓国からの直接のSO₂を捕まえたという話をしたのは1992年ですけど、この当時まだまだ非常に濃度が高かったです。30ppbとか40ppbです。90年代初めだとソウルで50ppbというようなSO₂の濃度(年平均)で示していたのですが、それが10年ぐらいで、現在の日本とそれほど変わらないぐらいの濃度に下がっています。急速に下がっています。これはやっぱり燃料転換が一番効いているのだらうと思います。

だけど中国の場合はまず先ほども言ったように、大量に石炭を持っていて燃料転換をなかなか進められないのです。もし中国が燃料転換を進めようというふうに決意したら、今使っている大量の石炭を大量の石油に置き換えなければいけないので、大量に石油を買い込むことになります。そうすると当然世界の石油の値段というのは、ドーンと跳ね上がるはずですが、我々日本もそれを覚悟しなければいけないわけです。中国が環境改善に取り組むことになったら、石油がものすごく高くなるというのは覚悟してないといけないという、そういう状況です。(図39)

今後の見通し

- 中国ではエネルギーの石炭に対する依存度がすぐに下がるとは考えにくく、今後も石炭燃焼からの大気汚染物質が多いと考えられる。
- 中国が燃料転換による環境改善に進めば、大量の石油を輸入することになり、石油の値段は高騰するものと考えられる。

39

まだまだ中国は10年20年では、なかなかPM2.5とかその辺の環境改善は進まないのではないかというのが、今私が考えていることです。環境改善を進めようとするれば石油の値段が高騰するので、我々も耐えていかなければいけない状況になるだろうというのが、私の見通しです。以上はだいぶ雑多な話になりましたけれど、この辺で終わらせていただきます。どうもご清聴ありがとうございました。(拍手)

<質疑応答>

会場：お伺いたします。PM2.5ですから粒子状だと思うのです。これは対策として脱硫、脱硝技術の普及が抜本的な対策だと思うのですが、もともとSO_xとかNO_xはガス様だと思うのですが、それがどうして粒子状になるのですか。それがよく分からないです。

畠山さん：粒子状物質の中で細かい粒子というのは、ほとんどがガスから粒子に変わったものなのです。最初から粒子で発生しているようなものというのは、粒が大きいのです。黄砂の砂粒にしてもそうです。SO_xやNO_xはガスでまず出ます。大気中で光化学反応で酸化されるとSO_xは硫酸になります。NO_xは硝酸になります。先ほどお見せしたように周りにアンモニアガスがたくさんありますので、それが反応して硫酸塩や硝酸塩になるわけです。硫酸アンモニウムとか硝酸アンモニウムとかです。そうなるともうガスでいられなくなりますので、粒子になるわけです。そうするとガ

スは一箇一箇の分子ですから、それから粒子に変換したときには、非常にわずかな分子で粒子ができていますので非常に細かい粒子ができるわけです。ですから PM2.5 と言われるような微粒子はそういうガスから変換してできた粒子が主成分です。

会場：よく分かりました。そしたら測定場所によって、履歴というのですか、もともとガスだったものが途中で固体様になるとすれば、場所によって PM2.5 で単に測っただけでは実際の濃度が分からないような気がするのです。

畠山さん：ですから PM2.5 という名称は、中身は何も規定していません。硫酸塩であろうが硝酸塩であろうが、それ以外の金属粒子であろうが、砂の粒子であろうが、みんな 2.5 ミクロン以下のものは全部 PM2.5 というふうに規定されていますので、実際にはもっと細かく中身まで分析しないといけないと思っています。

私たちはですから沖縄とか福江とか東シナ海に面したところで、粒径別に粒子を捕集して、その中に何が含まれているのかということ进行分析しています。それによってもっと細かいほうには、やはり今申し上げたような硫酸塩とか硝酸塩が入っていて、大きい方にはさっきの黄砂粒子とか、それから海塩粒子と言って、海の海水の飛沫が乾いてきたような粒子が入っていて、だから Na と Cl がすごく多いです。大きい粒子のものです。そういうふうに粒径別にちゃんと分けて化学成分を測ることによって、その発生源というものもかなり推定ができるようになってくるわけです。そういうことをやっています。

会場：今の質問と少し似ているところもありますけれど、オゾンの場合はやはり粒子になってしまうのですか。

畠山さん：いえ、オゾンは完全にガスです。

会場：高度差でオゾンと SO₂ と NO_x を測定されているときは、あれは気体の中のガスを測っているのですか。

畠山さん：そうです。全部オゾンとは別です。

会場：PM2.5 とは違う。

畠山さん：別です。

会場：分かりました。あと、低気圧が来るとき、あるいは前線が来るときに実は来るのだというのは、少し驚いたのですけれども、それは低気圧が中国で発生するときに上昇気流かなんかに巻き上げられて、それで一緒に持ってきてということですか。

畠山さん：そうです。

会場：低気圧が来るとき雨が降りますけれども、雨でたたかれたりして落ちていくということは。

畠山さん：ですから雨が降っているときには、その雨の中に溶け込んだものは落ちてしまいますから濃度は下がります。

会場：2つ伺います。1つは何で 2.5 なのですか。何で 3 でなくて、何で 1.8 ではないのですかというのが第 1 の質問です。第 2 の質問は、4 番目のスライドにあった中国にあるアメリカ大使館で測った 1 月 13 日、これが 1,000 近くですね。その前後が半分以下です。この急激な変化というのは何によるのでしょうか。この 2 点お願いします。

畠山さん：前のほうは、私もよくは分かりません。それ以前は 10 ミクロンというサイズがあって、日本の SPM という環境基準は現在でも残っているのですけれども、それは 10 ミクロン以下の粒子というふうに規定されています。それでかなり環境基準ができていたのですけれども、先ほどちょっとテレビでも言っていましたように、大きい粒子というのは鼻などで止まってしまって、健康に対する影響はあまりないのです。細かい粒子を規制しなければならぬということになって、特に欧米などでそういう研究が進んで、鼻から肺まで入ってくる粒子のサイズとして、2.5 ミクロンというその辺がしきい値になっているということで、その辺の値が取られたようです。

最近はずっと細かい PM1 なんていうものも、規制

の対象にするべきではないかというふうに言われていますけれども、まだそこまで規制というところまでは言ってないです。そういう細かい粒子のほうが健康には影響が大きいのだということで、そちらのほうにだいたい目が向いてきています。ですからなぜ3ではなくて2.5なのかというのは、私はそのところはよく分かりません。

それから2つ目のご質問ですけれども、確かにああいう汚染物質の変化というのは非常に激しく起こりますので、1,000 マイクログラム近く出た前後はドンと下がっていますけれども、多分風の影響だとか、そういうもののほうが影響は大きいと思います。だからあのおきに1,000 マイクログラムぐらいつとたまっていて、上がって風が急に吹き出したとか、そういう気象の影響が多分大きかったのではないかと思うのです。濃度以外のいろいろなデータというのは手に入っていないので、そのときどういう状況の変化があったのかというところまではよく分かりません。そういうことだったのではないかと思っています。

会場：質問です。今日の先生の発表の結論というふうに聞いたのですけれども、酸性の仕方が例えば北京とそこからの距離で中和されているというお話を伺ったのですけれども、それは平たく言ってしまうと、中国ではあまり影響は少なくなくてかえって日本のほうが、例えば人体に対する影響がないというふうに理解していいのですか。

畠山さん：PM2.5の健康影響というのは、酸性であるかどうかということではなくて、そういう細かい粒子を量的に吸ってしまうと、ぜんそくだとかそういうものに結び付くので、それでPM2.5というのは中身まで規定していないのです。ですから、そういう意味での健康影響というのは、PM2.5の濃度が高ければぜんそくが出たり、先ほどの脳梗塞が出たりというようなことにつながりますので、そういう意味ではあれだけ濃度の高い中国で当然影響が出ていると思います。

ですからそれがさらに酸性であるか、中和されているかというのでは、少しまた影響は違ってくると思います。ただ、今PM2.5が規制されているというのは、化学的な中身は何も考えずにとにかく粒子状物質が多ければ危ないということです。

昔の鉱山でけい肺という病気が多かったのですが、鉱山の中で大量に粒子状物質を吸い込んだことによって肺に障害が出たのです。粒子の中身は考えてなくて、粒子状物質をたくさん吸い込むということによって健康に影響が出るということがあったわけです。PM2.5の規制というのは、それと同じことなのです。

それであと、中国で酸性ではなく日本に送られてくると酸性化するのです。中国では中和されてしまっているわけです。ですからそういう意味では酸性、アルカリ性とかという意味で言えば、少しましなのです。だけどPM2.5の濃度としては非常に高いです。

それとあと例えば酸性雨もそうですけれども、中和されていても主にアンモニアで中和されています。そういうものは雨が降って地面に入ると、土の中で微生物の働きでアンモニアが硝酸に変わるのです。ですから空気中に浮遊しているときは中性だけでも、雨が降って地面に落ちると、地面に対しては酸性雨と同じような働きをしてしまうのです。そういう影響は中国には出るはずですよ。

会場：先生、いろいろ貴重な情報をありがとうございました。図面で10ページぐらいに、エアロゾルと黄砂と大気汚染の非常に鮮明な絵があったのですが。

それを見ると、黄砂が来る前に大気汚染が来るというのは見たイメージとして分かるのですが、黄砂の中にも汚染度は同じぐらいあると思っていいのですか。

畠山さん：そうですね。全く人為起源のエアロゾルと黄砂がぴったり2つに分かれてということはあり得ませんから、黄砂をたくさん含んだ空気がずっと流れてくるときに、それはこちらのほうにある汚染性のエアロゾルをずっと押し出されてきますけれども、そこで一部は混ざってくるわけです。ですから完全に分離されているわけではないですけど、最初に押し出された大気汚染性のエアロゾルがまず到着して、それから混ざったエアロゾルと黄砂のエアロゾルがやってきて、さらに、汚染物質が流されたあとだったら大部分黄砂のエアロゾルがやってくるという、そういう段階的にやってくると思います。

会場：大気汚染のほうが先に来るとするのは、どのぐらいの時間で先に来るのですか。

畠山さん：我々この辺でいつも観測しているときにチェックするのですが、もちろん風の強さとかそういうものにもよるのですが、2～3時間から半日ぐらいの違いですぐ来てしまいます。

会場：以前テレビで黄砂が来ないと日本の農作物はできないなんていう話しして、いや、できないではなくて成長なくなりますから、肥料のような形になっているというように聞いたのです。そういうわけで黄砂は悪い点だけではないと思ったのですが、それは本当なのでしょうか。いかがでしょうか。

畠山さん：江戸時代とかそのころまでだったらいざ知らず、現在の日本の農業で人工的に肥料をまかないで農業をやっているなんていうところは、ほとんどないのではないかと思います。ですからそういう意味では、黄砂が来なければ日本で農作物ができないなんていうことはないと思います。昔のそういう化学肥料なんてものがない時代だったら。それだってやはり江戸時代だったら家畜のし尿をまくとか、人間の排せつ物を肥料としてまくとかやっていたわけですから、黄砂の影響で、黄砂が来なければ農作物が取れないということはないと思います。

逆に黄砂や何か came ときに、農作物に影響があるのではないかと言う人もいるのですが、自然の森林などは酸性雨とかそういう黄砂とかの影響を受けやすいですが、農作物というのは、もし何か酸性物質が来るのだったら少し石灰をまくとか、そういう人間の手を加えることができるわけですから、自然の森林に対する影響よりはだいぶ農作物に対する影響としては小さいのではないかと、私は思っています。

会場：先ほどの話で、SPM よりもさらに小さいPM2.5のほうが体に影響があるというお話なのですが、そうするとよくきくナノ粒子ですけども、あれはさらに体に影響を及ぼすというふうに考えたほうがいいのでしょうか。よく洗剤とかで、「ナ

ノ粒子が入っている洗剤ですからとてもよく落ちます」。あれというのは大丈夫ですか。

畠山さん：ナノ粒子ぐらいになると、例えば皮膚を通して体の中に入ってしまうものもあるらしいです。だから呼吸だけの問題だけではなくてくるような気はするのです。私もこういう大気のほうが専門なものですから、粒子そのものの健康への影響とか、その辺についてはそれほど詳しくないのですが、ナノ粒子というのは、先ほどの例えばマスクでもうんと細かい粒子は、ブラウン運動などの影響によってかえって止まりやすいのです。

ですから本当に肺の中まで入っていきやすいのは、中間の2.5ミクロンから1ミクロンとか、その辺のサイズの粒子がむしろ肺の中にも入っていきやすく、うんと細かくなるとまた止まってしまうということが多分あるのだというふうには推測しています。すみません、私はその辺のところは確信をもってそうだというふうには、なかなか言い切れない部分がございます。

会場：越境大気汚染で黄砂とPM2.5を同列に扱われたのですが、先ほどの方の話にもあったのですが、人間が作った汚染物質は確かに人間にとっては非常に劣悪ですし、黄砂もそうだと思うのですが、生態間のバランスから言ったら、黄砂は人間さえいなければ非常に生態系上はプラスに働いているのではないかと私は思ったのですが。

畠山さん：人間が大気汚染物質を出していなければ、そういう人為的な汚染物質は黄砂に含まれてこないわけですから、例えば北太平洋というのは黄砂が鉄分などの補給源になっているのです。黄砂があって黄砂が海に落ちるとそれで鉄分が補給されるので、プランクトンがわーっと繁殖するというようなことは報告されているのです。だから大陸から海への栄養塩の供給というのは、川からの供給が通常が一番分かりやすいのですが、それだけではなくて、そういう黄砂なども結構効いているのだという、そういう説もあるのです。実際に北太平洋に船で出ていってあそこに鉄の塩を溶液でまいて、プランクトンがどのぐらい増殖

するのかというようなことを研究している人たちもいまして、黄砂がそういうことにも役に立っているということは報告されています。

ですから人間がそういう汚染物質を出してなければ、何万年も昔からそういうものはずっとあったわけです。それに対処した生物が多分長いこと生き残ったはずですから、それは決して悪いものではなかったと私は思います。

以上