

PM2.5 談義—小さいことが恐ろしい!?



工学博士 西尾 宣明

元・東京ガス(株) 基礎技術研究所

PM2.5

与太郎 大家さん。中国の大気汚染は大変なものです。テレビにはよく北京の街の様子が出て来るけど、あれはひどいもんです。あの中で片側3車線、いや4車線ぐらいかな？ とに角びっしり並んで車が走ってるんですものね。

大家 日本でも1960年頃から大気汚染が問題になって、光化学スモッグで学校の校庭で授業中に高校生が倒れたり、石油コンビナートの周辺で喘息の発生が問題になったりしましたがけれども、あの霧がかかったような状態はあまりなかったと思いますが。

与太郎 あれは例のPM2.5って奴のせいなんですか？

大家 それも関係があると思いますが、あれは主に自動車の排気ガスと石炭を使った家庭の暖房の排気のせいでしょうね。

その排気ガスがPM2.5を撒き散らす原因の一つにはなっていると思いますがね。

霧がかかるというのはそれよりもずっと大きな粒子が光を反射するからだと思います。

与太郎 そうすると、PM2.5っていうのは一体何者なんですか？ 2.5ミクロとか言ってたけど。

大家 いやあ、正直言って私もあまりよく分からないんですよ。そこで、市の図書館で調べようと思ったん

ですがね。一つだけそれを書いた本が見つかりました。

「大気汚染物質の中で大きさが10ミクロン以下の微粒子をSPMと言う」とだけ書いてあるんですよ。

その中でも2.5ミクロン以下の微粒子がとくに有害で、それをPM2.5と呼んでいるということなんです。

SPMやPMという英語が何の略称かも書いていないんですね。私の推測ではSPMはSmall Particulate Material, つまり微粒子(微粒子状物体), PM2.5は2.5ミクロン以下の微粒子という意味だと思いますが、誰かに教えてもらいたいですね。

与太郎 で、ミクロンっていうのはどのぐらいの大きさなんだっけ。

大家 1ミクロンというのは1マイクロメートル、つまり100万分の1メートルということです。それよりは1,000分の1ミリメートルと言った方が分かりやすいですかね。

与太郎 1,000分の1ミリっていうとずいぶん小さいですね。目ではとても見えないですね。

でも、これって大きさのことだけを言ってるけど、有害物質っていうのかなあ、そういうのは関係ないんですか？

大家 良い所に気がつきましたね。

私もその点が気になっていました。大気の中に浮かんでいる微粒子にはいろいろなものがあるでしょう

が、例えば中国から飛んで来る黄砂のようなものは粘土の鉱物や砂粒のように無機質のものがほとんどだと思います。

その黄砂が中国大陸を横断する間に、工場や家庭の排気から生じた亜硫酸ガスや窒素酸化物が大気中の水分と太陽の光で硫酸などに変わったものに汚染されるということもあるでしょうね。

そういう化学的な物質が人体に対して悪いのは当然ですが、黄砂のほかにも石炭の暖房や自動車の排気などに含まれる炭素の微粒子なども相当に悪いようです。

だから、PM2.5が騒がれるのは、微粒子が化学的に汚染されているかどうかに関係なく、兎に角うんと小さな粒はそれだけで有害なんだということなんだと思います。

与太郎 そう言えば、昔の家で薪を燃やす囲炉裏を使っていた所は屋根裏が煤で真っ黒になってますよね。

あれをもろに吸い込んだら身体にいい訳ありませんよね。

アスベストはガラスの破片

大 家 そのとおりだと思います。

私は花粉症なども小さな粒子が悪さをする一つの例だと思いますよ。

与太郎 花粉もPM2.5みたいに小さいんですか？

大 家 花粉の大きさは30から50ミクロンというのが多いようですから、PM2.5の10倍以上の大きさです。

杉花粉とかセイタカアワダチソウとか風が花粉を運ぶ風媒花と呼ばれる花の花粉は30ミクロン以下のものが多くて、蜂などの虫が運ぶ虫媒花の花粉はずっと大きいものが多いようです。

まだ、虫も飛んでいない春先には風媒花だけが花粉をまき散らすことになります。そして、なお悪いことに、風任せで効率の悪い風媒花は花粉の量も多いわけです。花粉量が春先に多いのはこんな理由によるのだらうと思います。

与太郎 なーるほど。花粉なんて決して毒じゃないと思うけど、小さいものが鼻から入り込むからアレルギーの元になるんだ。

大 家 与太郎さんはアスベストの問題を知っているでしょう？

昔はアスベストがいろいろな所で使われていたけれども、今では使ってはいけないことになっています。

しかし、アスベストを扱う職場で働いていた人たちには肺などの呼吸器の病気が多く、しかも後遺症が長く残るので、いまでも大きな問題になっています。

与太郎 後遺症の人たちが、国に訴えたり裁判所に訴えたりしてるようだけど、いつまでも後遺症が残って、治す薬もないらしいですね。

大 家 これも小さいものが恐ろしいという例の一つだと思います。

アスベストは石綿とか岩綿とも呼ばれるように、文字通り繊維状の形をした岩石の結晶です。石英（酸化珪素＝ガラスの主成分）と同類の成分を化学構造の中心に持つ、いわばガラスの親戚です。それが非常に細く、そして長い繊維状の結晶を作っています。

ガラスの親戚ですから、高温に強く薬品にも水分にも強いので化学装置のパッキンや断熱材など広い用途に使われていました。

比較的最近では鉄骨造建築の鉄骨に吹き付けて使われていました。その目的は多分断熱と防音だらうと思います。

与太郎 ガラスの親戚じゃあ結構割れやすいんじゃないですか？

大 家 そうです、それが問題なんです。

ガラスと同じで、割れると粉々になります。目に見えない大きさの粉塵もできやすいでしょう。しかも鋭利な切り口を持っています。

そんなものが肺に入ったら。ただ、細胞を傷つけるだけで、しかも溶けることもなく肺の中に居座ったり、血液の中に紛れ込んで別な場所に運ばれたり、何しろ化学薬品にも強いぐらいだからいつまでも身体の中に残るので始末が悪いんですね。

黄砂はガラスの粒？

与太郎 さっき、黄砂は粘土や砂の粒だって言ってたけど、砂粒って浜の砂みたいなものでしょう？

大 家 そうですね。ほとんどガラスと同じ酸化珪素——石英という名が我々にはなじみ深いですが——それが主成分ですね。半導体の原料になる珪素、つまりシリコンの氧化物です。

ちなみに地球の表面の岩石——地殻と言いますが

——その成分の約半分は酸化珪素です。極々ありふれた物質なんです。黄砂にはこれがすり減ってうんと小さくなったものが含まれているわけです。

氷河時代とも言われる洪積世に氷河で削られてできた岩石の粉が風で運ばれて、タクラマカン砂漠やゴビ砂漠、そしてゴビ砂漠の南、つまり中国北西部の広い範囲に、黄土台地おうどと呼ばれる黄土地帯を形作ったものと考えられています。

与太郎 洪積世って何年ぐらい前のことですか？

大家 現在の地質年代の表し方では更新世という年代に入るんですが、160万年前から1万年前、ちょうど人類が生まれた時代が洪積世です。その時代に、何回も氷河期が来ています。

与太郎 へえー、そうなんだ。

で、その黄土って、PM2.5っていうのが多いんですか？

大家 そうですね。黄土台地というものがもともと砂や粘土の小さい粒が風で運ばれて堆積したものですから、全体として微少な粒子の土砂が多く含まれているのは間違いないでしょう。

しかし、その中でも大きい粒は早く地上に落ちてしまっ、小さい粒ほど遠くまで飛んで行くことになります。

与太郎 PM2.5っていうのはどのぐらい遠くまで飛んで行くんですか？

PM2.5は世界をめぐる

大家 どこまで飛んで行くかは粒子の大きさにもよりますが、それを運ぶ風の速さにもよります。

しかし、こんな計算をしてみると、大体の感じは分かるでしょうね。

それは静止した——と言うことは風も対流もない静かな大気の中でいろいろな大きさの粒子を落としたとき、落ちる速さがどのようになるかを計算してみるんです。

粒子は当然地球の引力によって下に向かって引かれています。真空の中ではガリレオが予想したように、大きな物体も小さな物体も、また、重い物体も軽い物体も同じ加速度で——ということは、同じ割合で時間とともに落ちる速さを増しながら落ちて行きます。

しかし、空気の中ではその抵抗を受けて加速度はう

んと小さくなります。

とくに、粒子が小さければ小さいほど空気の抵抗が効いて、加速度ゼロ、つまり一定の速度でゆっくりと落ちて行くことになります。

与太郎 そういうことか。でも、実際には風があったりするから、巻き上げられたりして、一定の速さでつてわけには行かないんじゃないですか？

大家 確かに、積乱雲や低気圧の中心の上昇気流が強いところでは粒子が落ちる速度よりも巻き上げられる速度の方が大きい場合もあるでしょう。

しかし、上昇する気流があれば必ず下降する気流もあって、大気全体で見れば上昇も下降もない、静止した状態と考えてもよいと思います。

与太郎 ああ、そうか。上昇気流があれば必ず下降気流もあるっていう話、前に聞いてましたね（本誌81号、2012年10月：「お天気談義——積乱雲と豪雨」）。

すぐ忘れちゃうんだから。大家さんの話は皆つながってるから、無駄な話はしていないってことなんだな。

大家 それが分かるっていうのは大事なことですな。

ところで、話を元に戻して、空気中を物が落ちる速さはその物体の密度と大きさの二乗とに比例します。証明は複雑だから省きますがね。

話を簡単にするため、粒子は球形とします。そうすると大きさは粒子の直径で表されます。

4つの場合について計算したのが次の表です。

砂粒（球形）の大気中の落下速度と
3,000メートル落下する時の所要時間

	直径	落下速度	落下時間
1	2.5 μ	0.53 mm/s	65 日
2	10 μ	8.5 mm/s	4.1日
3	0.1 mm	0.85 m/s	0.98 h
4	1 mm	85 m/s	—

直径2.5ミクロンの粒は1秒間に0.5ミリしか落ちません。PM2.5はそれより小さい粒を含むということですから、平均としてはそれよりもっと遅いことになります。

与太郎 PM2.5より4倍大きい10ミクロンだと10倍以上も速くなるんですね。

大家 速さは直径の二乗に比例するから、直径が4倍なら速さは16倍、直径が10倍なら100倍の速さになります。

与太郎 直径が1ミリになると1秒間に85メートルもの速さになるんですか。そんな速さで落ちて来たら、当ると怪我しちゃいますね。

大家 いやいや、この例はもっと小さい粒の場合と同じ条件で計算してみただけで、実際にはそんなに速くなりません。実際の落下速度は雨粒よりちょっと大きい程度になると思います。

与太郎 そうですか。その雨粒の速度ってどのぐらいなんですか？

大家 直径1ミリの雨粒で秒速4、5メートルといった所ですね。同じ大きさの砂粒だと実際はその2倍程度になると思います。

ということは、いくら強い風が吹いたとしても1ミリの砂粒が空高く巻き上げられることはあり得ないということです。

活発な積乱雲の中の上昇気流でも数メートル以上にはならないと言われていますからね。

与太郎 そうか。風で巻き上げられるのは小さな砂粒だけなんだ。しかし、その小さいのがまた始末が悪いんだ。

ところで、この表の3,000メートル落ちる時間ってというのはどう見ればいいんですか？

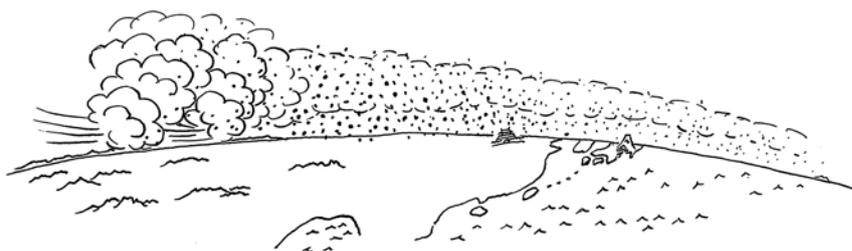
大家 小さな砂粒が黄土台地から3,000メートルの高さまで巻き上げられたとしますね。それが西風に乘って東に運ばれたときどこまで遠く飛んで行くかなどが計算できますね。

例えば、西風というか、大気の東への移動速度が毎時10kmとすれば、1,000km進むのに約4日かかります。10ミクロンの砂粒が落ちる時間も約4日です。

黄土台地から1,000kmと言えば、まだ中国大陸の内部です。10ミクロン程度の砂粒は大半が中国大陸の中に落ちてしまうと予想することができるでしょう。

一方、2.5ミクロンの砂粒は落ち切るのに65日もかかります。黄土台地の近くにある西安の辺りから日本の九州まで約2,000kmありますが、砂粒を浮かべた大気が到着する時間は約10日ほどです。

ということは、2.5ミクロン程度の砂粒は遥かハワイ辺りまで、PM2.5と呼ばれるもっと小さな粒を含む大気はアメリカ大陸にだって流れて行く可能性があるということがこの数字から分かるということです。



黄砂は小さい粒ほど遠くまで飛ぶ

その様子を漫画に描いてみたのですが、どうですか？

与太郎 なるほど、大きい粒は中国の中でほとんど落ちてしまって、遠くに行くほど細かい粒が飛んで行くってことですね？

これって、どこまで高く巻き上げられるかとか、風がどのぐらいの速さで吹いてるかによっても変わるんでしょう？

場合によっては黄砂が地球を一回りすることだってあるんじゃないですか？

大家 与太郎さんの言うとおりで。黄砂の影響は中国の足元が一番厳しいと思いますが、そういうことを考えると地球は一つという思いが増々強くなりますね。

最後にこの漫画のことを言っておきますが、これは黄砂の雲の高さをものすごく大きく誇張していることを忘れてはいけません。

この絵で、黄砂が巻き上がっている領域の東の端辺りから九州までを約2,000キロメートルとしたとき、黄砂の高さの約3キロを正しい比率で描けばどんな具合になると思いますか？

与太郎 この絵で2,000キロが5センチぐらいになってるから、3キロはえーと5センチのえーと……。

大家 2,000分の3ですね。つまり5かける3を2,000で割って、どうですか？

与太郎 0.0075センチですか。

大家 ミリで表すと0.075、1,000分の75ミリと言うことは75ミクロンです。

花粉などと同じぐらいの大きさですね。

与太郎 それじゃあこんな絵に描けないじゃないですか。

大家 そうでしょう？ 皆空は高いと思っているでしょうが、本当はこんなに低いんですね。

地震とか津波、積乱雲や竜巻などについても同じような漫画が使われていますが、多くの専門家までがそのような漫画が真実を映していると思っているのは大きな問題です。