

大気中の不均一反応

岩 坂 泰 信*

最近では、「不均一」反応、「不均一」過程、「不均一」な大気など、気象や大気汚染を解説している文章などで、不均一という言葉がしばしば登場するようになって久しい。

大気中にはエアロゾル粒子と呼ばれている粒子状物質が存在しており、固体や液体あるいは両者が混じたものから成っていることが多い。この固体や液体の粒子が周囲の気体と接している表面で多様な化学反応が進行する。互いに異なる状態の物質の境界で進行する反応であることを強調して「不均一反応」あるいは「不均質反応」などと呼んでいる。

気象学では、雲や降水は古くからおなじみの現象であった。この分野は、日本の大気科学はなかなかの活躍を見せてきた分野で、氷晶の成長あるいは氷晶の種になる（氷晶核）物質に関する研究では、中谷宇吉郎の一連の研究を始め数多くの世界的な成果が出ている。氷晶核と並んで凝結核の研究においても同様に優れた研究が多い。しかし、今になって考えて見ると、これらの研究はもっぱら「大気中の水と大気エアロゾルとの間で生じる相変化や凝結」に着目した研究で、注目している物質が水に限られていた恨みがある。世に言うではないか、「今の大きな成功が先を見る目をしばしば曇らすものだ」と。この成功のために、大気中に見られるさまざまな不均一反応を眺め渡す機会を逃がしたのではと筆者は感じている。

このような事態を招いたもう一つの背景は、これも筆者の感想であるが、長い間にわたって気象学や大気の科学の発展を引っ張ってきたのが力学分野であった

ことにもよっているのであろう。当時、力学分野においては「大気と呼ぶ物質は基本的には気体であり、その気体を理想的な気体に近いもの」として取り扱うことで大きな成果が次々に挙げられて来た。そのことに加え、多くの学術分野に共通してみられる現象であるが、その分野が発展する途上に置いては、しばしば「エッセンスを取り出して物事をすっきり考える」ことが重視され、「思考を煩雑にするだけと思われる事柄は思い切って捨て去る」ことがこの分野を体系化する上で必要であったと思われる。このため、大気組成や組成間で生じる化学反応などは思考の対象から意識的に取り除かれたのであろう。このことによって、ある程度の空間規模で、空気の運動を流体力学の基礎方程式群によって表現しコンピューターを使って数值的に解を導くことが可能になった。気象学の大きな課題である天気予報がとにもかくにもコンピューターを使って出来るようになり、予報技術はコンピューターの発達に支えられ飛躍的に向上した。日本でコンピューターを使った天気予報が気象庁で行われるようになったのは1959年のことである。もちろん、かつて捨てられた様々なプロセスや空気の性質を取り込んで、コンピューターの中の仮想的な大気を現実の大気に少しでも近づける工夫は現在に至るまで続いている。

このような天気予報の歴史やそれを支えて来た気象力学のなかで育てられた大気と言う名の物質のイメージは、この分野がおさめて来た数々の成功もあって、長い時間を経た今になっても多くの人に「(地球)大気=気体」というイメージを抱かせ続けている。

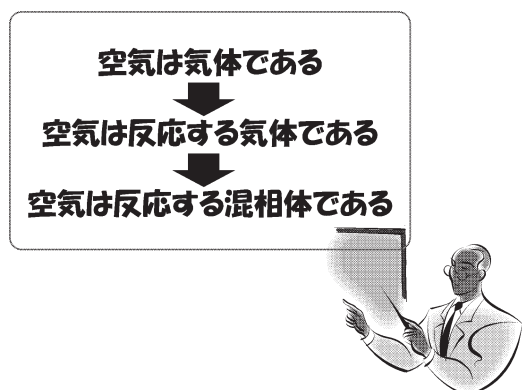
しかし、地球上の大気は

- 様々な化学組成の混合気体である
- 気体の他に様々な構造や形状を持つ粒子状物

* Yasunobu IWASAKA, 滋賀県立大学。

Iwasaka@mti.biglobe.ne.jp

© 2014 日本気象学会



第1図 気象学においては、大気取り扱いが当初は（思考対象として）極めて理想的なものを仮定していたが、時代を経るに従い次第に現実に近いものになってきている。

質が混合している

のであり、このことを、否応なしに我々に突き付ける事件が21世紀を迎えようとする頃から多発してきた。その代表的なものは、大気汚染問題であり、地球温暖化問題である。この二つの問題は、これまで我々が抱えてきた「(地球) 大気=気体」というイメージを根源的に修正する必要性を暗暗裏に示していたのである。

本小論では、空気物質としての新しいイメージを不均一反応を通して考えてみたい(第1図)。

1. 化学組成の混合体である大気

大気は「様々な組成の混合気体である」と、多くの教科書は書いてきた。例えば、1960年の正野重方の「気象力学」(正野 1960)には

… 空気は窒素 (N_2)、酸素 (O_2)、アルゴン (Ar)、炭酸ガス (CO_2)、水蒸気 (H_2O) を主成分とする混合気体である。… 地上10 km から60 km の高さにはオゾンが豊富に含まれているので、オゾン層と呼ばれる。… 成層圏における放射に対して重要な役割をなす。…

とあり、さしあたりオゾンが大気のエネルギー収支にいささか関与していることを指摘している。

また、1958年に出版された山本義一の「改訂新版気象学概論」(山本 1958; 改訂新版となっているのは戦後間もなく出版されたものをここで大幅に改訂されたからであろう)では、大気の組成について、‘大気は

多くの気体の混合物である’と冒頭で指摘するとともに、以下2ページにわたって大気組成の記述がある。炭酸ガス、オゾンや水については、

…、炭酸ガスの濃度は必ずしも一定ではない。植物は同化作用によって炭酸ガスを消費するが、動物は呼吸により排出し、また燃焼や火山作用によっても生ずるので、炭酸ガスの量は場所により、また季節により相当変化する。しかし水は炭酸ガスを溶解する性質を持っているので、地球の表面の3/4を占める海洋が過剰の炭酸ガスを溶かして、…調整作用をしている。それでも工業の発達に伴い、最近50年間に大気中の炭酸ガスの量は少しずつ増加している。

オゾンは…地表から20ないし50 km の上空にはかなり多量に含まれていて、…紫外線の吸収に重要な役目をしている。

…、水蒸気量はもちろん場所により季節により大いに変化するが、これは温度に支配されるところが大きく、…

と記している。

他の教科書も含めてだが、水蒸気量と関係して「乾燥空気」の説明があり(乾燥空気とは、とりもなおさず大気中から水分を取り除いた空気である)、「乾燥空気の組成の割合は地球上いたるところほぼ一定である」と記載されていることも多い。これらの記述からは、「混合気体であるが混合している状態は極めて安定している」と著者たちが考えていたように受け取れる。

筆者は、「乾燥空気の組成の割合は地球上いたるところほぼ一定である」ことを学習した当時、大気組成の発生源がいろいろ異なっているのに地球上くまなく拡散して組成比がほぼ一定になっているという事実におおいに驚き、そのような状態を成立させる混合・拡散とはどんな大気力学的過程によっているのか強い興味を持った記憶がある。そのことは、とりもなおさず力学分野が大きな成功を収めて来たことに筆者がおおいに影響されたことを暗に示している。

大型計算機を使った天気予報が始まった1960年代は、一方では大気汚染問題が顕在化し頻繁にメディアに取り上げられていた時期でもある。酸性雨が取りざたされ、光化学スモッグが多くの人々の関心を集めていた。これらの問題は、大気中の雨粒や雲粒が大気汚染物質とどのような関係を持つのか、大気中で進行する光化学反応とどのような関係があるのか、光化学反応

で生じた物質からどのようにして液体状の微粒子が生じるのか、などの気象学的な研究・調査課題を生み、加えて大気それ自身が反応の場でありその反応におなじみの雲粒や雨粒に加えて正体不明ながらスモッグと呼ばれる粒子状物質まで関係していることを告げていたのである。

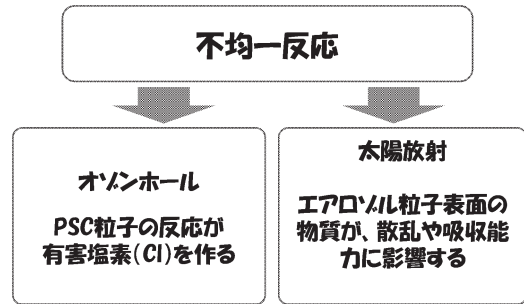
しかし、この大気汚染問題が、気象分野で一般的に持たれていた大気イメージ、「大気＝(安定な)気体」を変えたとは言いがたい。一部には(すでに本シリーズの「水蒸気と大気化学」の項で触れたように)‘湿性大気汚染’と言う切り口でこれらの問題に取り組んだ磯野や大喜多らのグループがあったが全体からみれば極めて少数の研究者の取り組みであった。

大気汚染問題で登場してくる物質の多くは大気中で何らかの化学反応をし、反応相手は従来「乾燥空気」の主要な組成とされている酸素(O_2)であることもしばしばである。大気を構成する組成は化学反応するということを強調する意味で「大気は化学組成が混合している物質である」と書いてみるのも意味のないことではなかろう(第1図)。

大気中にはエアロゾル粒子が存在している。これらの粒子抜きに大気を議論することは不可能である。そして、大気中の反応においても粒子は本質的な存在なのである。

一般的に、粒子が関与する化学反応は極めて多様で、様々な分野で取り扱われている。そのような反応を一つ一つ見てゆくと、それなりに、それぞれの分野で粒子が関与する反応が取り上げられている意味はわかるのだが、視点があちこちに飛び、結局は「種々雑多、とりつく島がない」となってしまう。しかし、地球大気中の不均一反応にはそれなりの特徴がある。後で触れるように、粒子表面に水の薄い膜の存在が想定されることが多いのである。

また、エアロゾル粒子は地球にやってくる太陽放射にも重要な影響を与えていることが分かっている。太陽放射の粒子状物質による散乱を議論する上で表面の状態は大変重要な要素である。不均一反応によって粒子の内部と異なる物質で表面がコーティングされたような粒子に変わったりすると、光学的な性質は大きく変わる可能性がある。そんなわけで、大気エアロゾルの化学的な振る舞いに関する知見は、大気のエネルギー収支や地球温暖化を予測する際にも大変重要なものなのである(第2図)。



第2図 大気中の不均一反応は、反応性は高いが濃度としては微量な組成が関与してわずかに組成が変化すると言うことにとどまらず、オゾンホールのような規模の大きい地球化学的擾乱を起こしたり、地球大気中のエネルギー収支に影響したりする。

2. 大気中での不均一反応

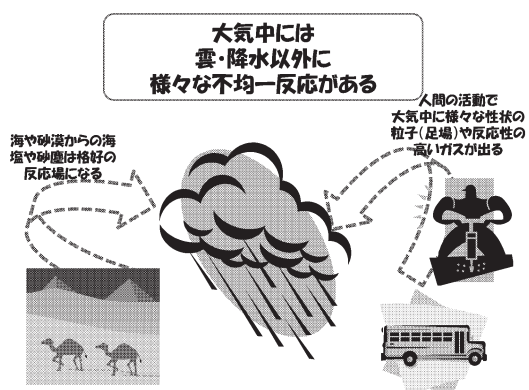
不均一反応は、化学の世界では相当古くから研究対象になっていた分野であったが、大気科学・気象学の分野では化学反応と言え(少数の先覚者はいたとは言え)気相反応をイメージする時代が続いた。

1960年当時、大気汚染物質や酸性雨の調査や研究を進めていたのは、地方自治体に設置されていた各地の保健、衛生、環境などの研究所、研究センター、であり、それに加えて一部の大学と国立公衆衛生院などであった。

そのような事情が少しはあると思われるのだが、この分野の研究を進めた研究者の代表的なバックグラウンドは、衛生学や化学であった。

ちなみに、環境庁が出来るのは1971年であり、国立環境研究所が本格的な活動をするのはさらに後になる。学会も大気環境学会(当初は大気汚染研究全国協議会)が独自に組織された。このように、気象の学術分野とは重なりを持ちつつもやや距離を置いた分野として学術・調査活動が始まっている。

現実の大気中では雲が出来るまでの様々な段階あるいは雲粒子が雨滴に成長するまでの様々な段階で、大気汚染物質が関わってくる可能性があり、それらの多くは大気中で生じる不均一反応へと研究者の目を向けさせるのに十分な面白さ(今になって思えば)を持っていたと想像される(第3図)。例えば、純水に近い水で出来た微水滴と(汚染ガス中の二酸化硫黄、 SO_2 が起源の)硫酸イオンをわずかに含んだ微水滴では同じ過冷却温度で凍結するのであろうか? また凍結し



第3図 雲降水過程は代表的な不均一反応過程であるが、大気中の不均一反応は地球表層で見られる様々な地球物理化学過程や人間の活動と深く関係しており、結果として極めて多様性に富んだものになっている。

た場合の粒子の形状は同じなのであろうか？ などの問題は、雲や雨の研究に関係する気象分野の人間なら考えたい問題であるが、大気汚染問題に対する気象研究者の関心がそれほどでもなかったことからこの種の問題は日の目を見ることはなかった。

しかし、大変興味深いことが当時起きていたのである。日本でも欧米でも成層圏エアロゾルに関心が急速に高まっていた時期で、「成層圏エアロゾル粒子はどのようにして生成されるのか」は多くの気象研究者の関心を集めた問題であった。観測から、成層圏エアロゾル粒子の組成は硫酸塩であろうと考えられており、粒子状物質になる前（つまり、気体状）の物質としては SO_2 が想定されていたのである。つまり、一方では大気汚染物質によって酸性雨がしばしば観測されるようになった原因物質として硫黄酸化物（代表的には SO_2 ）を取り上げており、もう一方では成層圏エアロゾル（層）の形成を考える上で SO_2 を取り上げていたのである。そして、その SO_2 の起源として対流圏から流入する汚染大気起源の SO_2 が想定されていた時期すらあったのである（さすがに今はそのような仮説は無くなった）。異なる学術分野でありながら [SO_2 ガス \rightarrow H_2SO_4 生成 \rightarrow 粒子（酸性雨、成層圏エアロゾル）化] という話題を追いかけていたことになる。

日の目を見なかった問題は、その後20年ほどしてオゾンホール形成に深くかかわっているエアロゾル粒子（極成層圏雲、Polar Stratospheric Clouds を略して

PSC あるいは PSCs) の生成が世界中で熱い問題になった時に「成層圏の硫酸エアロゾル粒子の凍結と PSC 粒子の発生」と言う問題として登場してくるのである。

いずれにせよ、気象分野において大気中に粒子状物質が存在していることやそれらの粒子が化学反応や放射過程で重要な役回りを果たしていることに関心もたれるようになるのは、1970年代の終わりごろからであり、オゾンホールの形成に PSC が関与していること、黄砂粒子が酸性雨原因物質を付着させていること、二酸化炭素 (CO_2) 濃度が年々増加していることなどが指摘されるようになって以降のことになる（第2図）。

3. 不均一反応の場となるエアロゾル粒子

地球環境問題としてよく知られた現象に南極成層圏に現れるオゾンホールがある。南極ばかりでなく北極の成層圏にもそれに似た現象が現れる時もある。オゾンホールと名前が付いていることから容易に想像できるように、南極成層圏のオゾン層のオゾン濃度が極度に低下しあたかも上空のオゾン層に大きな（南極大陸を覆うような）穴があいたように見える現象である。この現象を引き起こすプロセスの中で、PSC 雲粒子表面の不均一反応は本質的な役回りを演じている。

不均一反応と言うからには反応に参加する組成があり反応の結果生じる組成がある。反応が生じている場所がエアロゾルと周辺空気が接している境界であることから表面反応と呼ぶ研究者も多い。

なお、この小論では PSC 粒子と言えば硝酸 3 水和物（しばしば NAT と略してよばれる）とすることにしている。もちろんいろいろなタイプがあるが、誌面の都合上それらには触れない。

第1表に掲げてある化学反応は、オゾンホールを説明する時にしばしばなされる記述の仕方をしてしているがこれだけではどうも筆者の言いたいことが伝わらないような気がする。この反応では、大気中に塩素分子 (Cl_2) が放出され、硝酸 (HNO_3) はエアロゾル粒子 (PSC 粒子) の中に残ると考えられている。その根拠として、観測されている硝酸ガス濃度、水蒸気濃度、気温などからして、「硝酸 3 水和物」と呼ばれる水和物が南極の成層圏で熱化学的に安定して存在しうることが挙げられている。

この水和物の生成と成長は、水と言う物質の構造と水分子上の電荷分布に強く依存している。

「水分子の電荷分布に偏りがあり酸素原子が負の電荷分布の中心になっており2つの水素原子に正の電荷分布の中心がある」ことと「折れ線型の立体構造を持っている」ことによって、硝酸分子と水分子が電気的な力で結びついて硝酸3水和物を形成し同時に水素結合によって次々とその水和物同士がつながってゆくと思われるのである(第4図)。大気中で水和物が次々と繋がって次第に大きくなってゆくと言うことは水和物でできた結晶状の粒子が成長すると言うことでもある。反応が進行すると、一方では塩素分子(Cl_2)が作られ他方ではPSC粒子が成長すると言うことになる。

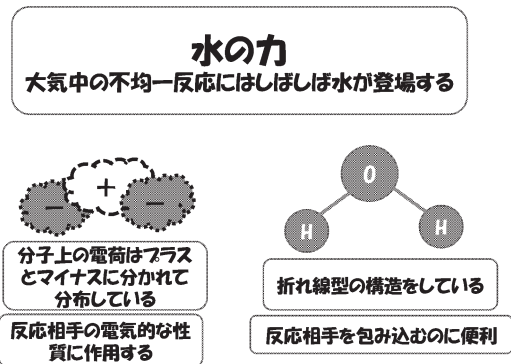
気象に関心のある人間なら、どんどん成長する結晶はやがて重力によって落下をはじめ、粒子の空間濃度にもよるが、この落下途中で粒子同士の衝突(併合)も生じ粒子の成長は一段と加速される可能性があることなどを考えたくなろうと言うものである。これらの過程は、特に目新しいものではなく、対流圏においては雲粒の成長から雨滴の落下にいたる過程で普通に見られるものなのである。

似たようなことが極成層圏で発生する雲においても生じているなら、南極成層圏では大変規模の大きい‘降水あるいは降硝酸’現象が起きている可能性があることになる。かつて飛行機観測で数 $10\ \mu\text{m}$ ほどに成長したPSC粒子が捕まったとの報告がなされている。下部成層圏でこの程度の大きさであったとすれば容易に対流圏にまで落下してくると考えられる。であるから、この‘降水あるいは降硝酸’現象は成層圏から対流圏に水や硝酸を運ぶ役目をしている可能性が高いのである。

この反応のもう一つのポイントは、生成物の塩素分子(Cl_2)は大変不安定な分子で太陽放射があるとたちまち反応性の高い塩素原子(Cl)に分解してしまうことにある。この Cl は短時間でオゾン破壊連鎖反応系を形成して急速に大気中のオゾンを破壊してゆく。オゾンホールが極の春先に生じるわけは、太陽放射が春になって戻ってきて冬の間に作られた塩素分子(Cl_2)を塩素原子(Cl)に分解するからなのである。

この塩素分子が生まれるそもそものは、成層圏で比較的安定な物質として存在していた塩酸(HCl)と硝酸塩素(ClONO_2)が反応したからであった。

安定に存在していたこれらを反応させる役割を果たしたのがPSC粒子の表面にいる水(H_2O)なのである。この水分子の電気的な性質が、この反応に大きな



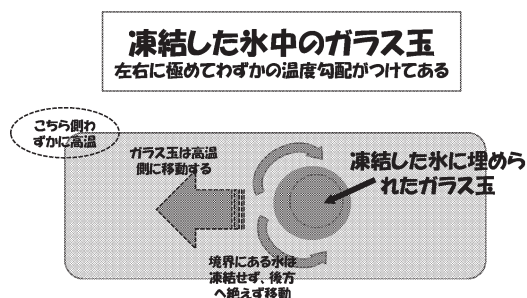
第4図 水は、大気中の不均一反応の多くに関係している。その原因の一つに水特有の物理化学的性質が挙げられる。

影響を与えているのである。塩酸(HCl)と硝酸塩素(ClONO_2)も電気的にプラスとマイナスが引き合うことで結合している分子であるためにプラスの電荷とマイナスの電荷が分布している中心部分が互いにずれている。このような分子が水分子に近づくときどのようなになるであろうか。

これから先の話は、誰も見たことがない話である。しかし、どうやらそのように考えたら多くのことが説明できるのである。すなわち、バルクの水と境界や表面にある水は少し性質が違うとする考え方なのである。今の場合で言えばPSC粒子の表面にある水分子は(PSC粒子が固体であるにもかかわらず)極めて液体に近い性質を示すと思われる。即ちPSC粒子に近づいて来た塩酸(HCl)や硝酸塩素(ClONO_2)にとって粒子表面はあたかも液体の水で出来ているように見えるのである。となると、これらの分子は水に溶け込み解離することになるのだが、そこにはバルクの水があるわけではなく粒子表面の分子レベルの厚さの水の層なのである。液体のように動きやすい水分子がこれらを解離してそれぞれ安定化するために化学結合の組み換えと原子などの再配置が行われる。

再配置の結果生成した硝酸は、さきほども触れたように、水分子の構造と電荷分布が働いて硝酸3水和物を作り、次々と水和物がつながって大きくなってゆく。生成した硝酸は粒子から抜け出すことなくPSC粒子の成長のために使われるのである。

「分子レベルの薄さで作られた水の膜が液体の如くふるまうと想定するとは、なんとご都合主義的な」と驚かれる向きもあろう。しかし、このような作業仮説



第5図 表面に存在する水は、我々がバルクで考えている水とも異なる物性を持つのではないかと考えられている。凍結した水中のガラス玉移動現象はそのことを示唆している事例としてよく知られている。

は広い分野で有効性を示しており、強い支持を受けている。我々としては未だ水の性質について十分な知見を得ていないと自覚するべきなのであろう。

ついでに塩素 (Cl) について触れておきたい。現行の中学校や高等学校の理科の授業の内容がどのようなものか知らないのだが、メンデレーエフの周期律表と言うのを化学の基礎で習う。塩素 (Cl) は周期律表の右端の近くに並んでおり、電気陰性度が相当大きい物質であることが分かる。いうなれば、この組成と化合物を作ると塩素側にマイナス電荷が偏った物質が出来やすいと言うことが想像できる。水にとってこの種の物質は表面において電気的な力でいろいろな組み換えがしやすい物質とも言えるのである。

PSC 粒子表面にある水分子が粒子内部にある水と違って液体的な動きをすると、いかにも見て来たようなことを述べたが、そのようなことを想像させる有名な実験がある (第5図)。土壌学や建設構造学等の分野で比較的良好に知られている実験である。薄い氷板の中にガラス粒子を入れて水平方向にわずかの温度勾配を与えてやる。温度は氷の凍結温度である。ガラス粒子は高温側に向かって移動するのである。この現象の解釈はやや込み入っているが、ガラス粒子の表面には凍結していない水分子膜があり高温側に面した膜の水が低温側の膜に移動しながら高温側から低温側に熱を運んでいることが本質的な現象と考えられている。ここには2つの暗示的なプロセスが想定してある。凍結状態におかれていても境界 (ここではガラスと氷の境界) にある水は凍っていない。しかもその水は意外にも速い速度で表面を流れている、の2つである。

大気中の不均一反応は一つ一つを挙げてゆくと一見

脈絡がなく、種々雑多で統一性がなくともわかったという気分にはなれない向きが多いかもしれない。確かに、粒子の発生源は多種多様である。しかし、大気中にある粒子表面の反応は今見たように、その初期段階は表面の水 (膜) が関わっていると考えるとうまく整理がつくことが多い。であるので、多くの場合 (少々乱暴ではあるが) 最初のプロセスとして「液体状の水と粒子を取り巻く気体との化学反応」を想定して後の推理を進めるとわかりやすくなることが多い。

ここまでくると「水惑星」と言う言葉を思い出さずにはおれない。「地球表面を覆う海の面積の広さ、あるいは地球表層を移動する海水の環境への影響」を強調し地球を水惑星と表現することがある。大気中の不均一反応における水の微妙で大きな役割を思う時、同じように「水惑星における不均一反応」と言いたくなる。

4. 大気中の不均一反応概観

大気中の不均一反応の場合はエアロゾル表面であるので、反応サイトの供給源はそのままエアロゾル粒子の供給源と言うことになる。一般的には自然起源の供給プロセスとして、火山噴火 (火山灰や硫酸液滴など)、海水表面からの巻きあげ (海塩エアロゾルなど)、森林火災 (すす粒子など)、地表面からの巻きあげ (鉱物・土壌粒子など) などが代表的なものとして挙げられる。また、雲粒や雨粒はもっとも身近な反応サイトの一つである。これらは、太古の昔から大気の性質を左右する重要な物質そして反応炉として存在してきたと考えられるが、その存在があまりにも当たり前になっているためにこれらの現象についての研究はいまだ不十分であり、それにつれてこれらの物質と関係する不均一反応についても同様に知見は限られたものではない (第3図)。

その少ない中でも多少は関係者の間で知られているのは黄砂の表面反応である。黄砂の表面反応の一つに酸性雨原因物質としてよく知られている二酸化硫黄 (SO_2) の吸収 (沈着、吸着などと呼ぶ研究者もいる) がある。きっかけになった出来事は「北京などの大都市で、二酸化硫黄 (SO_2) の排出量から考えられる雨の酸性化が、予想に反して進行が抑制されている」という観測事実であった。1990年代に入って坂本和彦ら (当時埼玉大学) の研究グループが精力的に行った室内実験で黄砂粒子表面が二酸化硫黄 (SO_2) をよくくっ付ける能力があることやその能力が湿度に依存す

ることを報告している (Sakamoto *et al.* 2004). 筆者は、この湿度依存性と言う点に強い関心を引かれている。乾燥した砂漠から巻き上げられた砂粒だからカラカラに乾いているだろうと想像するのは早計で、たとえ砂粒の周囲の空気がカラカラであっても砂粒表面はまた別なのである。先に述べたように黄砂粒子の表面(の一部)に水が薄い膜状に貼りついて、粒子を取り囲んでいる気体分子に対してはあたかも液体状の水が存在するように働きかけている可能性があるのである。

現在では、人間活動の拡大とともに人為起源の様々なエアロゾル発生源が登場し大きな社会的関心と呼んでいる。また、自然起源と想定されてきた発生源においても人間活動の影響が及んで(例えば、砂漠化や焼き畑の拡大など)様相が複雑になってきているが、人間活動に起因する典型的な発生源はエネルギー獲得のためになされる燃焼であろう。とりわけエネルギー消費が集中する都市部においては硫黄や窒素の酸化物から生じる様々な物質が大気中のガス状態の水とともに雨粒や雲粒表面で進行させる不均一反応は極めて多岐にわたっていると想像している。無意味な反応もあれば注目せねばならぬ反応もあろう。

燃焼に伴って出てくる物質に多環芳香族炭化水素(通常 PAH 類と呼んでいる)がある。この物質が黄砂表面で窒素酸化物と反応し発がん性の高いニトロ化した PAH になることが示されている。この反応においても湿度がどのように影響しているのかに強い関心もたれている(早川ほか 2008)。

これを書きながら、地球表層(地球の大気も含めて)で多量の水が多様な形で保持され循環していることの奥の深さに改めて感じ入っている。そのような水のごく一部が大気中にある粒子の表面に存在しており、表面での化学反応に少なからず影響しているので

ある。

5. おわりに

大気中のエアロゾル粒子は、一面では化学反応の場であり粒子表面では様々な反応(不均一反応)が進行していると思われる。この種の反応に関心が集まり始めたのが比較的最近のことで、未だに事例を個々に議論する段階のように見える。しかし、実験室や工場でのそれと違い、大気中で進行する不均一反応には粒子表面の水分が大きな役目をはたしていることが多いのではないかと思われ、新たにこの分野に関わろうとする人にとっては、そのような点をあらかじめ頭の隅に置いておくだけでも相当に見通しが良くなるのではと想像している。

なお、本小論を持って気象の ABC の筆者の分担分を終ることになる。

参考文献

- 早川和一, 唐寧, 鳥羽陽, 亀田貴之, 2008: 東アジアの有害大気汚染. *ぶんせき*, 2008, 278-284.
- Sakamoto, K., H. Takada and K. Sekiguchi, 2004: Influence of ozone, relative humidity, and flow rate on the deposition and oxidation of sulfur dioxide on yellow sand. *Atmos. Environ.*, 38, 6961-6967.
- 正野重方, 1960: 気象力学. 岩波書店, 284pp.
- 山本義一, 1958: 改訂新版気象学概論. 朝倉書店, 227 pp.
- 下記の文献には、大気汚染問題に対して、どのような視点からどのような調査研究がなされていたかがまとめてある。
- 大気環境学会史料整理研究委員会(責任編集), 2000: 日本の大気汚染の歴史. 公健協会企画, ラティス, 1160 pp.