

# 山岳オゾン，一酸化炭素の測定 —富士山など—

首都大学東京 都市環境学部 分子応用化学コース 准教授 **かとう 加藤** **しゅんご 俊吾**

## 良いオゾンと悪いオゾン

大気中のオゾンというと「オゾン層」を思い浮かべ、有害な紫外線を吸収する「良い」物質でありフロンガスなどにより減少してしまっていて困っている、と思われる方が多いのだが、これは地上約10～50kmあたりの成層圏に存在している成層圏オゾンについてである。地表付近に存在する対流圏オゾンは、反応性が高いため人や植物には毒として働く。そのため、対流圏オゾンは増加しては困る「悪い」オゾンである。

## オゾンによる大気汚染

日本での大気汚染というと、かつての高度成長期に問題となった過去のものであるという認識で、光化学スモッグという名前が印象に残っている方が多いかもしれない。しかし、日本では、現在アジアの他の大都市で見られるような都市域での極端な大気汚染は改善されたものの、オキシダント（そのほとんどはオゾン）だけは増加する傾向がみられており、先進国の大都市での課題となっている。

日本のオキシダントの環境基準（60ppb）は、日本に1,100ヵ所ほどある環境モニタリング地点のほぼすべてで環境基準をクリアできていない。オゾン（以下 $O_3$ ）は発生源から直接排出されるのではなく、大気中の光化学反応で二次的に生成するため、単純な排出規制のような対策が取れない。また、 $O_3$ はその都市域などの近傍で生成するだけでなく、隣

国から大気が輸送されて、日本国内に運ばれてくる際の濃度がすでに底上げされており、日本国内での努力だけでは改善が難しいと考えられている。

また、 $O_3$ は成層圏・対流圏にかかわらず温室効果ガスとして働き、二酸化炭素、メタンにつぐ温室効果があると考えられている。しかし他の温室効果ガスと違い、 $O_3$ は直接排出されるものではないため、温室効果ガス削減の議論からは抜け落ちていることが多い。

## リモート地点での一酸化炭素

一酸化炭素（以下CO）は、不完全燃焼により発生し、密閉空間で高濃度になると人体に危険をもたらす。燃焼過程で発生するため都市大気においても濃度が高くなるが、それ自身が危険なほど高濃度になることはなく、また現在の日本では都市域では十分低濃度になっている。しかし、大気研究においてはCOはととても役に立つことがある。

窒素酸化物（ $NO_x$ ）は主に燃焼で生成し、同時にCOも放出される。対流圏 $O_3$ は $NO_x$ が光化学反応を起こすことで生成される。 $NO_x$ は大気中では数日で除去されてしまうのだが、 $O_3$ は数週間、COは1～2ヵ月程度の大気中寿命がある。そのため、COを測定すれば汚染大気の影響をどの程度受けているのかを判断するのにとても役立つ。

## 山岳で測定を行う利点

多くの大気汚染物質は都市域など人為活動

がさかんな地点が主な放出源となる。その地域の住民の健康を守るというのが主な目的となるため、多くの大気汚染物質測定地点は都市域にある。一方、発生源から離れた離島など（リモート地点という）での大気観測は、ごく近傍には汚染の発生源がないため、リージョナル（地域的）な大気質の状況を見ることができる。そのため、遠くに位置する大都市などの発源地域からの汚染大気の高距離輸送があったことをみることができる。

このような観測は、日本では日本海側の沿岸地域や離島で行われ、大陸からの汚染大気輸送について調べられている。山岳でも近傍の汚染の影響を受けない大気を測定でき、特に富士山では多くの人口をかかえる関東地域に到達する大気が、その上流でどのような状況なのかを知ることができる。しかし、山岳地点では一般的に山風・谷風が存在し、夜間は自由対流圏の大気を測定できるが、昼間は混合層内に位置して、麓の汚染大気の影響をうけることがある。富士山頂は3,776mと他の日本の山岳より高く、昼間の混合層の影響を受けづらいという利点がある。

他の連続大気観測でも、電源が利用できるかどうかは大きな分かれめで、観測できる幅が大きく変わる。例えば乗鞍岳の観測所は現在では電気が来ておらず、発電機にて連続観測装置を動かすことができる。しかし、発電機は大きな汚染大気発生源であるため、発電機と大気採取口をなるべく離すなど努力をする必要があり、そのようにしても風向きなどによっては有効なデータの取得が難しくなる。

富士山頂の測候所は、かつては1年中電気がきていたが、現在では夏季の約2ヵ月間のみ電気を使うことができる。越境汚染の観測という目的からすると、偏西風が卓越する秋～冬～春に観測できず、夏季のみとなってしまうことは残念であるが、夏季でも重要な観測が行える。

## 富士山頂での測定結果

自由対流圏に位置するリモート地点とみなせる富士山頂において測定されたCO、O<sub>3</sub>濃度は、発生源が近傍にないにも関わらずかなりの濃度変動がみられた。おおよその傾向として、CO、O<sub>3</sub>は同様な濃度変動をしていたが、汚染大気の出発地域でCOが高く、その大気が光化学反応を起こしてO<sub>3</sub>を生成することを考えれば、CO、O<sub>3</sub>が同様に変動するのはリーズナブルである。

ある時点での大気がどのような経路で観測地点に到達したのか（後方流跡線）を計算して観測データを整理してみた。CO、O<sub>3</sub>とも大陸性の大気は高濃度、海洋性の大気は低濃度となる傾向がみられ、大気の起源によりおおよそ説明ができた。しかし、COが低いにもかかわらず、O<sub>3</sub>が高くなることが時々みられた（低CO、高O<sub>3</sub>）。汚染のない清浄な空気なのにO<sub>3</sub>が高くなってしまふという不思議な大気である。後方流跡線からは、このような空気は上方から輸送されてくる傾向がみられた。また、水蒸気の濃度を調べてみると、水蒸気が低いときに低CO、高O<sub>3</sub>となる傾向があることが分かった。

水蒸気は上空に行くとき冷却され凝結して雲になり除去されるので、高高度では水蒸気濃度は低い。また、COの主な発生源は地上にあるため、上空に行くにつれてCOは低濃度になる。しかしオゾン層は上部にオゾン層があり、高高度でO<sub>3</sub>が高濃度になる。これらのことより、低CO、高O<sub>3</sub>となる空気は、大気上空の成層圏の影響をうけていると考えられ、富士山頂のような高い山岳での観測によって捕らえることができた。

COやO<sub>3</sub>などの大気汚染物質は都市域などの多くの地点で観測がされているが、山岳でのこれらの観測によって他にはない有用な情報を得ることができる。

