

# チベット上空のオゾン濃度極小域の形成過程の解明

Study on Ozone Low Region  
over the Tibetan Plateau

岩坂泰信、松永捷司、柴田 隆、長田和雄

Yasunobu IWASAKA, Katsuji MATSUNAGA, Takashi SHIBATA, Kazuo OSADA

名古屋大学太陽地球環境研究所

Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

Atmospheric chemical processes including the Tibetan Ozone Valley events were observed with an ozone sonde, a lidar and others at Lhasa, Chibet, China in summer of 1997 and 1998. The measurements suggested that strong upwelling air motion largely disturbed aerosols in the lower stratosphere and upper troposphere, and showed the possible effects of heterogeneous reactions on ozone.

## 1、はじめに

高原大気という言葉は、日本に居てはさほどの感慨もない言葉である。というのは、日本にはこの言葉にふさわしい大気が存在せず、日本に住む我々にとって直接的に何かを想像させるだけの現象が見当らないためであろう。日本の南極観測においては、3000-4000メートルの南極大陸上での観測がしばしば行なわれてきたために、この方面の研究者にとっては高原大気と言うものの科学的な面白さは自明のことであるかもしれない。しかし、南極はやはり南極でありアジアとはやや異なった存在である。地図を広げれば、言うまでもないことではあるが、アジア大陸の西側は海拔4000メートルをこえる大地が広がり、その面積は日本列島が何個もはいる広さなのである。

大気力学や気候力学の分野では、この高原の存在が地球大気の力学的な振る舞いに大きな影響を与えるであろうことにいち早く気づき、1960年代から中国や日本の研究者によって精力的な研究が続けられ今日にいたっている。この高原が太古の昔大陸の移動ともなって形成され、以後の気候・気象に大きな影響を与えていることは広く認識されるようになった。しかし、大気化学の分野においてはこの高原の存在はながらく視野の外にあった。大気化学の分野での研究活動がほとんど見られなかった時期とはいえ、関連分野での観測・研究がなかったわけ

に行なわれてきている。アジア地域の高原における大気放射や水循環をめぐって、現在多くの共同研究が国際的に組織されきわめて活発に研究がすすめられてきているのは、中国で息の長い観測・研究が続けられてきた点に負うこと大であろう。

この方面にも、大気化学的なアプローチがなされる時代がようやくやってきた。

## 2、チベット高原での大気化学観測計画

1994年中国の研究者が、人工衛星のデータ解析を基に“チベット高原上空の成層圏のオゾンが夏の間にかぎって異常に濃度が低い”こと、またその“濃度の低さは年々の変動をともなっており年とともに深まる傾向もある”ことを報告した(例えば、GRL 23巻1996のHan Zouの論文など)。中国政府は、チベットのオゾン観測の重要性をみとめ中国科学院の重要な研究プロジェクトとしてチベット高原大気観測計画を策定した。一方、日本においては、おりしも、IGAC/Japanの研究計画をめぐって議論が盛んに行なわれている時期であった。IGACとは、International Global Atmospheric Chemistry Projectの略名で、日本では国際大気化学計画と呼んでいる国際的な規模で進められているプロジェクトのことである。

名古屋大学太陽地球環境研究所では、このIGA

ではない。大気の放射や水分の収支にかかわる分野である。中国では高原大気を一つの重要な研究分野として、研究組織を整備して観測的な研究が以前から地域の大気エアロゾルの大気化学や放射への影響評価にかかわる研究に従事するとともに、関連する海外での観測研究の一つとしてこのチベット高原大気の大気化学的な性質の解明を取り上げた。さいわい日産科学振興財団より、平成9-10年度にわたってチベット高原大気観測研究に研究助成を受けることが出来、平成9年度に相当の準備を進めることが出来た。

平成9年度の準備期間中は、担当研究者の現地への派遣、現地での観測環境調査（例えば電気、水道、通信連絡、食料調達、医療体制、宿泊設備などに関する情報収集）、現地の受け入れ側の体制作り（機器の設置許可や盗難防止対策、土地や家屋の借り上げ、観測支援にたづさわる人への賃金の支払い方法、観測設備の借用など）など観測を実施するにあたって事前に行なっておくべきもろもろの仕事を片付けた。

Cに対応してすすめられているこの特定領域研究（グローバル大気化学；平成10-12年度；代表、田中正之東北大学名誉教授）に参加しアジア太平洋

平成10年度は、この特定領域研究のスタートにあわせて、チベットのラサにおける試験観測がすすめられ中間的ながらもいくつかの問題を浮き彫りにすることが出来た。この小論は、その観測状況をお知らせするものである。

チベット高原は、夏の期間強い日射と希薄な大気のために、地表面付近の大気の加熱率はきわめて高く強い上昇流を発生させる。この強い上昇流は、高原のうえに広がる大気のエネルギー、質量、運動量の収支に強い影響を与えることはもちろんであるが大気中のさまざまな組成の生物地球化学的な循環や生成消滅にも影響を及ぼしているであろうことが想像できる。早い話、人工衛星の雲画像に夏の間午後になると盛んに雲が発生している様子が見受けられ、その雲頂温度からして雲の高さが圏界面付近まで達しているのではないかと想像されるものがしばしばあるのである。となると、地表面付近のもろもろの

表1 チベット高原大気の観測項目および測定器

<ul style="list-style-type: none"> <li>・エアロゾル量の高度変化</li> <li>・大気オゾン濃度の高度変化</li> <li>・大気オゾンの気柱濃度と濃度の高度変化</li> <li>・地上大気エアロゾルのサイズ-数濃度</li> <li>・太陽放射</li> <li>・波長別直達日射</li> <li>・直達日射</li> <li>・大気エアロゾル化学成分</li> </ul>	ライダー ECCタイプのオゾンゾンデ プリューワーオゾン分光器 [濃度の高さ変化はドブソン法による] 光散乱方式ターテイクルカウンター 全天放射計 分光直達日射計 直達日射計 ハイボリュームサンプラーによる採集の後化学分析（イオンクロマトグラフ、原子吸光、その他） 紫外線吸収型オゾン計 炭素分析計 PHA分析計 GCMASS 試薬含侵フィルターで採集の後化学分析
<ul style="list-style-type: none"> <li>・地上大気オゾン濃度</li> <li>・地上大気中のブラックカーボン</li> <li>・地上大気中のPHA</li> <li>・地上大気中のNMHC</li> <li>・地上大気中のSO<sub>2</sub>およびNO<sub>2</sub></li> </ul>	

ものが上昇流によって上層へ運ばれ、断熱膨張して可能性はある。冬の南極（あるいは北極も）成層圏

低温化した大気中では活発な不均一反応が進行するが比較的大気の力学的な擾乱からまぬがれたなかで進行しているのに対し、チベット上空のそれは絶えず強い上昇流の存在下で進行するものであり「力学と反応がつよく結びついた状況での大気化学」を理解する上でたいへん興味深い対象と考えられる。このような事情を考えると、オゾンはもちろんであるが今日世の強い関心をもたれている不均一反応の主役であるエアロゾルもまた測る必要があると思われる。そのような訳で、観測の対象とするオゾン、エアロゾル、その他の組成や力学パラメータは、地上から成層圏まで高度変化が見えるような観測がまず必要になった。もちろん併せて水平方向の構造も、チベット地域の特異性を浮き彫りにしようとするれば、観測する必要になる。あれやこれやを勘案し、日本と中国とでおおよそ表1にまとめたような観測項目と観測機器を準備した。

現地観測には、名古屋大学太陽地球環境研究所、中国科学院大気物理研究所、中国気象科学研究所大気化学研究所、香港理工科大学、およびチベット気象局が参加した。

### 3、チベットでの大気観測

チベットでの観測は、西蔵（チベット）自治区の首都である拉薩（ラサ）市にあるチベット気象局のキャンパスを使用して行なわれた。ここに、観測点を定めるまでには、1994年以来、研究組織の整備や研究資金調達へ向けての準備のために、中国の研究者と何回かの下打ち合せがおこなわれた。その後1996年に日本の我々の提案は、大気物理研究所の大いなる助力を受けて、中国科学院の認めるところとなり、この研究構想はようやく日の目を見るところとなった。

観測装備品のうちの主要なものの輸送についてはいくつかのルートの可能性が検討されたが、青海省の西寧の気象局に各地からの荷物を集積しそこでキャラバンを組んで陸路拉薩まで入ることになった。1998年の5月下旬に荷物の集積が完了し車をつらねて西寧を出発した。日本からは名古屋大学太陽地球環境研究所の柴田 隆助教授と田村耕一大学院みかえておく点が出てくる。もっとも、そんな上等

の不均一反応は、いわば極渦の存在によって極上空生（博士課程1年）がこのキャラバンに参加した。このキャラバンを担当した者は、途中で5500メートルにも達する地域を通過するとあつて行く前から大騒ぎであった。荷物の集積点になった西寧は交通の要所であり、しかも2000メートル以上の海拔があるためにチベット側へ入る前にしばしば高度順化する場所として使われている。ここで数日を過ごし、キャラバン隊はタングラ山脈越えて拉薩へはいった。

観測装備品のうち気密部分を持っているものは、輸送途中で外気圧が半分程度にもなるところがあるために恐ろしく神経を使う。しかも、道は平坦なアスファルト道路ではない！時には砂塵が舞い上がり凹凸が果てしなくつづき、車からの排ガスは酸素が足りないところでエンジンをふかしているためにガソリン臭のまじった刺激性の強い匂いを撒き散らすといった状況である。振動に弱い備品には慎重のうえにも慎重を期し厳重な耐振動をこらしたとはいえ聞くのと実際に見るとではおおよそ違いである。肝を冷やしつついくつかの峠を越え拉薩入りの後、気象局のキャンパスで荷解きの後観測機器の組立と点検整備に入った。

点検の結果は、ライダーにやや危ない点もあったがどうにか観測が行なえるところにまで調整し、試験的な運用を行なった後定常的な運用に入った。初期の間は、観測をはじめるともさきながら、生活すべてにわたって観察する期間とも言うべき時期であつて、食事、睡眠、排泄、連絡、周辺の人とのコミュニケーションの取り方、現地の気象・気候、買物、医療、などについて情報集めがおこなわれた。これらの情報を集めておくことは後続部隊の活動を円滑にするためには必要不可欠のものである。

8月には第2陣が現地入りしてこれ間での観測に加えて、オゾンゾンデによる試験観測がおこなわれた。オゾンゾンデは、気象業務で広く使われているために装置としての完成度は高く心配する点は少ないのであるが、マニュアルは地上の気圧がおおむね1000hPaの場所から放球することを想定して作つてあるために地上気圧600hPaを考へてよはチベットのオゾン濃度のもっとも少ない時期であ

なことより酸素不足に陥ったオペレーターの頭に異常が発生するかどうかこそが一番の問題という人も居たが、どうであろうか。

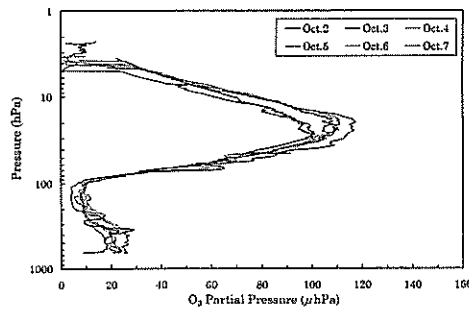
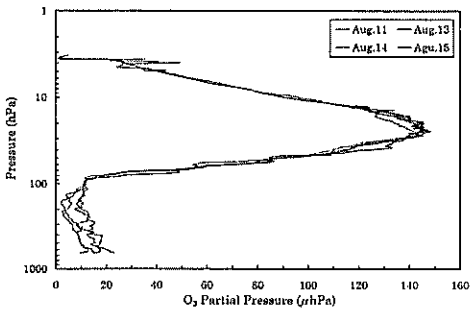
#### 4、観測で見えたチベット高原大気：オゾンが少なくなっているのは成層圏である

夕方から夜間にかけてきわめて雲がよく発生する。このことは、活発な対流運動の存在とそれとともに水蒸気輸送を暗示している。空気が澄んでいる日の観測においても圏界面近くに後方散乱係数の大きな部分が見られ、中低緯度の典型的なエアロゾル分布とちがって強い対流運動の影響が考えられる。

オゾン分布は、8月と10月に観測された。8月

り、10月は回復する時期との認識に基づいていた。しかし、今年は極小期は大幅に遅れ10月中・下旬に現われた。オゾンゾンデで得られた結果とEP/TOMSやブリューワで得られた結果との整合性は必ずしもよくなく現在その結果を精査中であるが、オゾン全量が低下した時期のオゾン層の形は、オゾン層の中心部から上部で濃度が低い。このことについても、予想を裏切るものであった。下方からオゾン濃度の低い空気が運び込まれるために‘オゾン層の下部に何かの兆候が現われる’ものと期待されたからである。

対流圏界面付近のエアロゾル層の存在とオゾン濃度分布との関係はおおいに検討が必要と思われる。



1998年8月と10月のオゾンゾンデ観測の結果。10月は8月よりオゾン層の中心部から上部で濃度が少ない。なを、ゾンデによる観測はチベット地区ではこれが初めてである。

もしも、対流圏界面付近に常に（あるいは上昇運動の活発な期間）通常では見られないエアロゾルの層が存在するのであれば、この高度で強い化学的な変質を受ける可能性はある。それらが何であるかは今後の検討を待つしかないが、手元にあるデータはチベット高原大気が常ならぬものであることを示している。

#### 5、今後の展開

1999年の初夏から、再度同様な観測を計画している。また、キャンペーン時期には中国の安徽省

の光学精密機械研究所のライダー観測グループにも助力を願い、チベット高原の東側でなるべく同時期にオゾンやライダーによる成層圏観測を共同で行なえるよう願っている。

謝辞 本研究は、2年間にわたって、日産科学振興財団からの助成を得て行なわれた。本研究が今後の大陸での大気科学研究に大きな貢献をすることが出来たと自負している。財団の関係各位に深く感謝いたします。