

月例会「南極圏の気象」(第5回)の報告

第5回「南極圏の気象」月例会を昭和61年度春季大会の前日5月20日に気象庁第一会議室にて開催した。

昨今、大気微量成分の研究が、これまでになく重要視されてきている。1985年10月オーストリアのフィルラッハにおいて、大気微量成分の気候変動における役割の評価に関する国際会議が、国連環境計画、世界気象機関、国際学術連合会議、の共催で開かれたが、会議のまとめとして、気候に関連する微量成分研究が重要かつ緊急の課題であることが認識され、各国政府に対しそれ等の研究を強力に助成するよう勧告された。1969年のWMO決議によりスタートしたバックグラウンド大気汚染の国際監視網(BAPMoN)は着々と拡充され、気象庁でも岩手県の綾里において炭酸ガスの監視を開始する運びとなった。韓国では済州島に同様の観測所を設立するという話が出ている。1986年6月のWMO総会では第2次長期計画(1988~1997)の3本柱の1つとして「環境汚染監視研究計画」が提案される。一方、対流圏微量成分の地球規模の分布と変動モデルを確立することを目指した大型プロジェクト「グローバル対流圏化学研究計画(GTCP)」が米国科学財団の承認を得て国際的規模で開始されようとしている。

南極地域は大気微量成分研究にとって重要な地域である。昭和基地では長年続けてきたオゾンの観測に加えて数年前から炭酸ガスの連続観測やハロカーボンのグラフサンプリング等を行っている。またオゾンやエアロゾルの総合観測も行って来た。そこで今回の月例会では、対流圏の微量成分研究を南極から展望するため「対流圏微量成分研究と南極」と題して、4名の方に話題提供をお願いした。

約50名の参加者を得て、活発な議論がなされ予定時間を30分超過して19時30分に終わった。講演の要旨は以下の通りである。(幹事:伊藤朋之, 気象研究所)

1. 大気大循環から見た南極対流圏への物質輸送

山崎孝治(気象研究所)

オイラー的に見た対流圏の平均子午面循環は低緯度での直接循環(ハドレーセル)、中緯度での間接循環(フ

ェレルセル)および極域での直接循環、以上の3つからなる3細胞循環であることはよく知られている。一方、対流圏には中緯度を中心とした強い傾圧じょう乱、プラネタリー波が存在し、物質輸送を考える場合、平均子午面流と波動とどちらがどの程度の寄与をしているかということが重要となる。

Kida(1983)は半球大循環モデルで大気大循環の準平衡状態を再現し、その中で空気塊の運動を3次元的に長期間追跡することによって、ラグランジュ的平均流および拡散を調べた。その結果、対流圏では熱帯域をのぞいて大規模うずによる拡散が卓越し、フェレルセル的運動はほとんど見えないことがわかった。同様な実験を野田(1986)は現実的な全球大気大循環モデルの1月のシミュレーションを用いて行い、同様な結論を得ている。野田の実験では2日目でも早くも大きな拡散が見られる。拡散の小さい所がハドレーセルの中心ではなく赤道付近に存在する。

私は実況データを用いた前二者と同様の計算を行った。データはNMC解析による全球12層(50~1,000 mb)の風の場合である。水平分解能は $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ で1日2回の観測がある。期間は1983年7月21日12Z~7月31日12Zの10日間である。上昇流は水平風の発散量から上端で上昇流がないとして連続の式を用いて求めた。データを1時間ごとの値に内挿し、初期に緯度円に沿って等間隔(5° 毎)におかれた空気塊の運動を追跡した。結果は以下の通りである。

(1) 対流圏ではどこでも等温位面方向を主軸としたうず拡散が支配的である。

(2) 平均子午面循環は赤道200 mb付近に初期の空気塊があった場合、空気塊の平均的緯度の南方移動という形で認められる。南極域でも 80°S 、500 mbの空気塊の平均高度の低下が見られ、直接循環の流れが見える。

(3) うず拡散の弱い所はハドレーセルの上昇域でなく赤道付近にある。したがって物質が北半球対流圏から南半球に拡散輸送される場合に赤道域がバリアになることを示唆する。

(4) 赤道域ほどではないが、うず拡散の極小域が 70°S

にある。このことは 70°S 即ち南極大陸の縁辺が物質輸送にとって難所になることを示すものとして重要と思われる。

(5) うず拡散の程度は南北風の標準偏差(波の活動度の指標)と良い相関がある。

今後、他の季節についても計算をすすめ解析を続けていきたい。

2. 大気中のハロカーボンとメタンの分布と変動

巻出義紘(東京大学理学部)

近年、人間活動により大量の化学物質が大気中に放出されており、放出量が特に多い二酸化炭素や大気中寿命が極めて長いハロカーボンなどによる地球環境への影響が懸念されている。われわれは、この成層圏オゾン破壊をもたらしハロカーボン類と、最近大気中濃度の増加傾向が問題になっているメタンの、グローバルな広域分布、成層圏までの垂直分布、バックグラウンド濃度の経年変化などを調べてきた。南極を含めたこれら化合物の大気中における分布と変動の測定結果について紹介し、将来への影響について考察する。

大気試料は、高真空に排気した清浄な金属製容器を用いてグラブサンプリング法で採取し、ハロカーボン(CCl_2F_2 , CCl_3F , CH_3CCl_3 , CCl_4 , $\text{CHCl}=\text{CCl}_2$, $\text{CCl}_2=\text{CCl}_2$)およびメタン(CH_4)を精度 0.5% 以内で測定している。

対流圏内では分解されず、大気中寿命が数十年以上と極めて長い CCl_3F と CCl_2F_2 の大気中濃度は毎年 4~5% ずつ確実に増加し続けており、現在の両半球平均濃度はそれぞれ 200 および 400 pptv (pptv = 10^{-12} v/v) を超え、最近十数年の間に 3 倍以上の高濃度になっている。南極では北半球より 8~10% 低い濃度を示し、これは主として北半球で放出されたハロカーボンが熱帯収束帯を通して南半球へ拡散する遅れによる。これら化合物の放出量が現状のまま増加しないと仮定しても、将来 CCl_3F と CCl_2F_2 の濃度は 1,000 および 3,000 pptv まで増加し続ける。一方、対流圏内で OH ラジカルによって数年の寿命で分解される CH_3CCl_3 は、南極では 30% 低い濃度を示し、グローバルにも比較的低い濃度になっている。数十年前には CH_3Cl によってわずか 600 pptv 程度であった対流圏内の全 Cl 濃度はこれら人工起源のハロカーボン類によって現在すでに 3,000 pptv を超え、将来 15,000 pptv ないしそれ以上になると見積られる。その結果、成層圏、特に 30~50 km において著しいオ

ゾン破壊が進み、地表においては温室効果の影響が予想される。

大気中のメタン濃度も南北両半球において毎年 1~1.2% 増加しつつある。その原因が地表付近における微生物作用によるメタン発生量の増大によるものか、大気中 CO 濃度の増加に伴う OH ラジカル濃度の減少によるものか未だ明らかになっていないが、このまま増加傾向が続くと、二酸化炭素に次ぐ温室効果が予想されるとともに、対流圏の OH ラジカル濃度がさらに減少し、大気中における他の多くの微量成分の寿命や挙動に大きな影響を与える。

南極の上空における10月の平均オゾン濃度がここ数年急激に減少しつつあることが Halley Bay 基地におけるオゾン観測や Nimbus 7 衛星によるオゾン分布の観測から明らかになっているが、1985年の速報では、従来より 40% も低い値となっている。成層圏中の Cl 濃度増加の影響が、南極上空という特別な条件下で鋭敏に現れた前兆現象ではないのか、説明が急がれている。

3. 大気中の二酸化炭素の分布と変動

青木周司(国立極地研究所)

大気中の CO_2 には赤外領域に存在する強い吸収帯の働きによって地表面や下層の大気を保温する効果(温室効果)があるために、その濃度増加に伴う気候の温暖化という問題が多くの人々の関心を集めている。マウナロア山のデータによると、1958年には 316 ppm 程度であった年平均濃度が、その後増加の一途をたどり、1981年には約 340 ppm に達するまでに至った。その増加率も 1960年頃にはほぼ 0.5 ppm yr^{-1} であったが、最近では約 $1\sim 2 \text{ ppm yr}^{-1}$ となり年々増大している。ここ一世紀にわたる大気中の CO_2 濃度増加の主な原因は、化石燃料の消費によるものであるというのが一般的な見解である。従来の観測データから単純に計算すると、化石燃料消費によって放出された CO_2 の約半分が大気に残留したことになる。しかし、大気中の CO_2 濃度の増加率を詳細に検討すると、その増加率と化石燃料消費率が必ずしも比例関係にはない。この CO_2 濃度の経年変化の異常は Southern Oscillation、あるいはそれによって引き起こされる熱帯太平洋の変動に関係している可能性が強いと言われている。また、これまで大気中の CO_2 の吸収源とみられてきた森林が、開墾や伐採によって逆に CO_2 の放出源となっているという見解も最近多数提出されている。しかし、海洋による CO_2 の吸収量には限度がある

ため、地球規模での CO₂ の収支は今のところ説明がついていない。

人間活動から大気に加えられる CO₂ によって大気中の CO₂ 濃度が今後どのように増加していくかを予測するためには、大気中の CO₂ のバックグラウンド濃度の監視を強化するとともに、CO₂ のリザーバーである大気、海洋および生物圏間の交換量を正確に把握しておく必要がある。南極は CO₂ の放出源や吸収源から遠く離れているため、バックグラウンド濃度の観測にとっては最適な場所である。昭和基地における連続観測およびグラブサンプリングによってこれまで得られた結果を要約すると次の通りである。

(1) 規則的な日変化は全く認められなかった。

(2) 数日から十数日スケールで振幅 0.1~0.2 ppm の不規則変動が見られた。この変動は昭和基地周辺のシノプティックスケールの気象擾乱に伴う空気の大規模混合によるものと推定されている。

(3) 小振幅ながら規則的な季節変化が検出された。濃度の極小は4月中旬に、極大は10月中旬に見られ、振幅は 1.2 ppm であった。

(4) 年平均濃度は 1983 年に 341.2 ppm であったものが 1984 年には 342.6 ppm となり、1.4 ppm の年増加率が得られた。

4. 対流圏微量成分研究の現状と将来展望

小川利紘(東京大学理学部)

対流圏の化学過程をグローバルな観点から研究するには、国際的な協力が不可欠である。全米科学アカデミーの GTCP(グローバル対流圏化学研究計画)はアメリカの科学者が作りあげたものであるが、この計画パネルの議長である R. Duce は IAMAP/CACGP(国際気象学・大気物理学協会傘下の大気化学及び地球規模汚染委員会)の会長でもあることから、同委員会を通じて国際協力の呼びかけを行っている。このために CACGP は 1986年9月22~24日にストックホルムでワークショップ

を開く予定である。GTCP のヨーロッパ版もすでにできあがっており、オーストラリアもこれまで研究実績のある CSIRO のグループがこの計画に参加するであろう。わが国のおかれている地理的位置からみて、われわれがこの研究プログラムに参加して、国内、わが国周辺および南極域で研究・観測を行うことは、国際的にも期待されているところである。これを機に、われわれの研究活動をより一層活発にしたいものである。それに伴って、対流圏の化学をやっている研究者の交流の場、コミュニティを作っていくことも必要で、それによって今後組織的な研究を展開していくことも可能になる。1990年代に ICSU(国際学術連合)が“Global Change”というテーマで実施しようとしている IGBP(国際地球圏生物圏研究計画)の中でも、大気化学(大気微量成分の研究)は重要な位置を占めることになる。このように対流圏の化学は、10~15年位のタイムスケールでじっくり取り組むに価するテーマといえるのである。

こうした計画が策定されるようになった背景には、次のような諸問題がある。(1) 大気汚染の広域的な拡がりや酸性雨、(2) 二酸化炭素に加えてメタン、クロロフルオロカーボン、一酸化炭素、酸化二窒素などの温室効果を持つ気体の経年増加傾向、(3) 対流圏オゾンの増加傾向、(4) 火山の大噴火によってもたらされるエアロゾルの気候影響。これらはすべて、グローバルな対流圏生物化学サイクルに対する人的および自然界の擾乱であり、この擾乱に対する応答性を予測するには、大気中に生じる物理的・化学的諸過程を正しく理解する必要がある。その諸過程というのは次のカテゴリーに分けられる。(1) 大気への供給、(2) 大気内での長距離輸送およびグローバルな分布、(3) 化学種の変換過程、(4) 大気からの消失。水素酸化物、窒素酸化物、炭素化合物、硫黄化合物、塩素化合物などについて、上記の諸過程を、野外測定、室内実験および数値モデルの3つの手法を使って解明していくこと、これがわれわれに課せられたテーマである。