

SOLVE/THESEO 2000 Science Team Meeting 参加報告*

中 島 英 彰*1・入 江 仁 士*2・池 田 響*3

はじめに

2000年9月25日から29日までの5日間、イタリア南部シチリア島最大の町、パレルモにおいて、SOLVE/THESEO 2000 Science Team Meeting が開催された。パレルモは、あの悪名高き「マフィア」の発祥の地で、ガイドブックなどにも治安の悪さを指摘したものが少なくなく、現地に行くまでは少々心配であったのだが、いざ現地に着いてみると、最近の治安はずいぶんよくなったとの事である。なんでも、2年前は年間約270件もあった殺人事件が、昨年は7件にまで減ったとの事である。これは画期的なことである、と会議の冒頭で挨拶にたったパレルモ市長が強調していた。ただこの市長は英語があまり達者でなく、通訳を通しての挨拶であった。そのスピーチの中で、「パレルモは“反”犯罪行為の象徴的街へと変革を遂げた」と言うべきところを、通訳が誤って「犯罪行為の象徴的街」と言ってしまう、会場内に笑いが巻き起こってしまった。通訳はすぐ誤りに気づき訂正したが、冗談では済まされない話題ではあった。

この会議は、主にアメリカを中心とする、スウェーデン・キルナをベース基地にNASAの観測用航空機ER-2及びDC-8、また大気球を用いて観測を行ったSOLVE (SAGE III Ozone Loss and Validation Experiment)のグループと、同時期にヨーロッパを中心に行われたTHESEO 2000 (THird European Stratospheric Experiment on Ozone in 2000)のグループによる、1999/2000年北半球冬季オゾン層集中観

測の初期解析結果の報告会として開催された。これらキャンペーンのホームページアドレスは以下のとおりである (SOLVE Homepage : <http://cloud1.arc.nasa.gov/solve/>; THESEO 2000 Homepage : <http://www.nilu.no/projects/theseo2000/>)。会議には、航空機、大気球、地上観測、モデルシミュレーション、室内実験グループ等、成層圏オゾン破壊に関連した研究を行っている第一線の研究者が、欧米から勢ぞろいした。日本からも、DC-8による窒素酸化物の観測を担当した東京大学のグループ4名、及び国立環境研究所から2名の計6名が参加した。会議全体の出席者は約240名と、この種の会議ではかなり大規模なものであった。会議は、各研究グループや測定器のチームの代表者による約55件の口頭発表のほかは、すべてポスター発表で行われた。また各セッションの後に総括的な討論の時間が設けられ、ここでも活発な議論が行われた。

SOLVE キャンペーンの初期の目的は、アメリカのオゾン層破壊メカニズムの解明を目指した人工衛星SAGE IIIの検証実験であった。しかし、SAGE IIIの打ち上げが遅れ、この2000年の冬までには打ち上げは行われないこととなったが、キャンペーン観測だけは行ってしまうということになって、純粋にオゾン破壊の物理・化学的メカニズムを解明しようという科学的目的のもとにキャンペーンがとりおこなわれた。この点、ころんでもただでは起きぬ欧米の研究者たちのしぶとさを感じられた。実際この冬の北極域は、ここ10数年間で見ても際立つほど成層圏が寒冷なうちに推移し、多くの極成層圏雲 (PSC) の出現と、大量のオゾン破壊が観測された。そのおかげで、キャンペーンは大きな成果をあげることができたようである。それらの成果は近いうちに Journal of Geophysical Research の特集号として出版される予定である。

* Report on SOLVE/THESEO 2000 Science Team Meeting.

*1 国立環境研究所 (hide@nies.go.jp).

*2 名古屋大学大学院理学研究科.

*3 東京大学先端科学技術研究センター.

パレルモ市長の挨拶の後、NASA/GSFC の P. Newman から SOLVE/THESEO 2000 キャンペーン全体に関する概要報告が、また IRF の U. Raffalski からキルナにおけるローカルな視点からの今回のキャンペーンの概要報告があった。それに引き続き NILU の G. Braathen から、この1999/2000年北極域の冬の気象条件に関する報告があった。その後会議は、全体を大きく5つのセッションに分けて行われた。すなわち、1. 輸送、力学及び気象 (Transport, Dynamics, and Meteorology), 2. オゾン破壊 (Ozone Loss), 3. 微粒子 (Particles), 4. ハロゲン (Halogens), 5. 化学一般及び将来の展望 (General Chemistry and Future Implications) である。また、会議の最終日には、前もって各セッションに2~3人ずつ割り当てられていた若手研究者(大学院生)たちによる各セッションのサマリー発表を元に、全体討論が行われた。今回の会議は全般的に見て、極域オゾン破壊の物理・化学的メカニズムの理解にテーマを絞った、とても密度の濃い議論が活発に行われた会議であったと感じた。以降、セッション1, 2, 3について内容まで踏み込んで報告する。(中島英彰)

セッション1：輸送、力学及び気象 (Transport, Dynamics, and Meteorology)

今回の会議でしきりに耳にしたのは、気塊の“混合 (Mixing)”という言葉である。いろいろな種類の混合に関する議論がなされていた。すなわち、等温位面をまたいだ混合、極渦境界面を横切る混合、圏界面をまたいだ混合、また同じ極渦内の空気塊同士の混合などである。航空機や人工衛星から、さまざまな微量気体成分の空間分布の測定がなされるようになってきて、これら古典的な気象力学の教科書に載っているのとは異なった中層大気の描像が徐々に明らかになってきたものと思われる。

気塊の混合を見積もる上で頻繁に使われた手法が、二酸化炭素 (CO_2) やメタン (CH_4)、亜酸化窒素 (N_2O)、フロン (CFC) など、トレーサー気体同士の相関関係を用いた解析である。Harvard大学のA. E. Andrewsらによって、 CO_2 , N_2O , CH_4 , ハロン-1211 (CF_2ClBr)、CFCなどのトレーサーを用いた相関解析が報告された。また、これらのトレーサーをリファレンスに用いることにより、化学的なオゾン破壊を見積もる研究がとりおこなわれている。Colorado大学のL. M. AvalloneとA. G. Hallarも、CFC-11, CFC-12, CCl_4

などのトレーサーの寿命の違いを考慮した圏界面付近での相関解析を、DC-8の直接観測データを用いて行っていた。DLRのA. Dornbrackは、DLR-Falconに搭載されたライダーによって観測されたスカンジナビア上空での山岳波に伴うPSCの様子を、10数メートルにもわたる巻物状のプロットを用いて説明していた。また、CNRSのA. Hauchecorneらは、Nakamura(1996)によって最初に提唱された、極渦境界面をまたいだの混合の指標となる“有効拡散度 (Effective Diffusivity)”という物理量を用いた2000年冬季北半球での極渦の描像を示していた。また、NASA/ARCのH. JostらはER-2データから CO_2 - N_2O , N_2O - O_3 の相関を用いた解析を、DMIのB. M. KnudsenらはECMWF, UKMO, NCEPそれぞれを用いた流跡線解析とlong-duration balloon (長期観測気球)の航跡との比較を報告していた。(中島英彰)

セッション2：オゾン破壊 (Ozone loss)

1999/2000年の冬季は、北極域成層圏温度が平年よりも著しく低温であったが、その低温に伴い、PSCの生成が北極域の広い領域で観測された。特に2000年1月28日には、高度20 kmの気温がヨーロッパ大陸の面積の約1.5倍にあたる1480万平方キロメートルの広域で、PSC生成の臨界点以下に低下した (European Commission, 2000)。これは、過去40年間における北極域でのPSCが生成し得る低温域の面積として、最大規模のものであった。当ミーティングのオゾン・セッションでは、このような気象状況の下で行われたSOLVE/THESEO 2000キャンペーンのオゾン観測データから、北極域で非常に大きなオゾン破壊が観測されたという研究結果が報告された。AWIのM. Rexらは、北半球高緯度の29か所の観測基地から打ち上げられた800近いオゾンゾンデ観測と流跡線マッチ (Match)の手法を用いて、局所的に70%近いオゾンが減少したことを報告した。この値は、観測史上最大規模とのことである。FZJのR. Müllerらも、人工衛星観測 (HALOE) と気球観測 (OMS) のデータを用いて、450 K 温位面において70%に相当する2.5 ppmvのオゾンが減少したと見積もった。NASA/GSFCのM. R. Schoeberlらは、オゾンゾンデ、DC-8航空機に搭載されたDIALとAROTELの2つのライダー、ER-2航空機によるオゾンその場観測、及び人工衛星センサーPOAM IIIなど、1999/2000年冬季に行われた8万点を越えるオゾン観測データと前方流跡線解析を用いてオ

ゾン消失量を見積もり、460 K 温位面において、3 月中旬までに約1.4 ppmv のオゾンが消失したという結果を報告した。これは、一日あたり約50 ppbv のオゾン消失に相当する。以上の例のように、SOLVE/THESEO 2000 キャンペーンでは、航空機、気球、人工衛星、地上観測などの多様な手段を用いた大規模な観測に記録的な低温が合わさって、オゾン消失量およびその破壊機構に関して多くの知見が得られたことが、当セッションの発表から伺われた。(池田 響)

セッション3：微粒子 (Particles)

NASA ER-2 航空機に搭載された測定器によって、2000年の北極極渦内で粒径 8-20 μm の大きな粒子 ("Rock NAT" と呼ばれた) が高度16~21 km, 水平方向に1800 km の広範囲で観測されたことが NOAA/AL の M. J. Northway らによって報告された。この観測に基づいて推定された粒径分布から、ER-2 が捕らえた粒子の数密度は 10^{-4} cm^{-3} であったことが見積もられた。また、NO_yと N₂O の解析から高度17 km 以上 (N₂O < ~215 ppbv) で84%に達する気相中 NO_y濃度の減少、および低高度 (N₂O > 215 ppbv) での10 ppbv の NO_yの増加が NOAA/AL の P. J. Popp らによって報告された。

NASA/ARC の E. Jensen らは、粒子の寿命と NO_y の不可逆的減少 (脱窒) の度合いの関係、および粒子の数密度と脱窒の度合いの関係を報告した。粒子の数密度が低い場合、その粒子は大きく成長することができ、その結果として脱窒が引き起こされると言われている。典型的な雲粒子 (寿命: < 2-3日) の場合、HNO₃ の減少は < 50%であった。また NAT や NAD の数密度とは無関係であった。雲粒子の寿命を長くすると HNO₃ の減少も大きくなった。低い数密度 (< 10^{-3} cm^{-3}) で粒子に長い寿命を与えると50%以上の脱窒が起きることが示された。また、NAT による脱窒の度合いは NAD のそれよりも大きいことが示された。

固体粒子の成長・落下過程は ER-2 観測値とモデル計算を組み合わせた解析を用いて Leeds 大学の K. Carslaw らにより調べられ、次の結果が報告された。

1) 固体粒子の成長に要する最大時間は NAT が飽和している高度への落下時間によって制限される。等温流跡線解析ではこの時間は過大評価されそうである。2) 成長しながら落下する粒子は一定の加速度を持ち、時間と共に放物線状に落下する。3) NAT 粒子はおよそ8日間以上、連続的に NAT が生成する臨界

温度以下に曝されると、急速に重力落下し得る粒径に成長できる。さらに Leeds 大学の S. Davies らは、以上のような微物理機構を考慮した3D モデルを用いて極渦内で脱窒が起きる様子を示した。(入江仁士)

参考文献

European Commission, 2000: Severe stratospheric ozone depletion in the Arctic, European Commission Press Release, Apr. 7, 2000.

Nakamura, N., 1996: Two-dimensional mixing, edge formation, and permeability diagnosed in an area coordinate, J. Atmos. Sci., **53**, 1524-1537.

略語一覧 (日本語訳は筆者らの便宜的な訳で、必ずしも正式名称ではない)

AROTEL: Airborne Raman Ozone and Temperature Lidar (航空機搭載型ラマン散乱オゾン・気温ライダー)

AWI: Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (ドイツ・アルフレッド・ウェゲナー研究所・極域/海洋研究部)

CFC: Chlorofluoro Carbons (クロロフルオロカーボン)

CNRS: Centre National de la Recherche Scientifique (National Center of Scientific Research) (フランス・国立科学研究センター)

DC-8 (米国航空宇宙局所有観測用航空機名称)

DIAL: Differential Absorption Lidar (差分吸収法ライダー)

DLR: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (German Aerospace Center) (ドイツ航空宇宙センター)

DLR-Falcon (ドイツ航空宇宙センター所有航空機名称)

DMI: Danish Meteorological Institute (デンマーク気象研究所)

ECMWF: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ヨーロッパ中期気象予報センター)

ER-2 (米国航空宇宙局所有高高度観測用航空機名称)

FZJ: Forschungszentrum Jülich (Research Center of Jülich, Germany) (ドイツ・ユーリッヒ研究センター)

HALOE: Halogen Occultation Experiment (ハロゲ

- ン掩蔽法センサー)
- IRF : Institutet för Rymdfysik (Swedish Institute of Space Physics) (スウェーデン・スペース物理研究所)
- NASA/ARC : National Aeronautics and Space Administration/Ames Research Center (米国航空宇宙局・エームズ研究センター)
- NASA/GSFC : National Aeronautics and Space Administration/Goddard Space Flight Center (米国航空宇宙局・ゴダード宇宙飛行センター)
- NAD : Nitric Acid Dihydrate (硝酸二水和物)
- NAT : Nitric Acid Trihydrate (硝酸三水和物)
- NCEP : National Centers for Environmental Prediction (米国環境予報センター)
- NOAA/AL : National Oceanic and Atmospheric Administration/Aeronomy Laboratory (米国海洋大気庁・大気科学研究所)
- NILU : Norsk Institutt for Luftforskning (The Norwegian Institute for Air Research) (ノルウェー大気科学研究所)
- OMS : Observations of the Middle Stratosphere (中部成層圏観測センサー)
- POAM III : Polar Ozone and Aerosol Measurement III (極域オゾン・エアロゾル観測センサーIII)
- PSC : Polar Stratospheric Clouds (極成層圏雲)
- SAGE III : Stratospheric Aerosol and Gas Experiment III (成層圏エアロゾル・ガス観測センサーIII)
- SOLVE : SAGE III Ozone Loss and Validation Experiment (オゾン破壊及びSAGE III検証実験キャンペーン)
- THESEO 2000 : THird European Stratospheric Experiment on Ozone in 2000 (2000年第3回ヨーロッパ成層圏オゾン観測キャンペーン)
- UKMO : The United Kingdom Meteorological Office (英国気象局)
-