

ケンブリッジ大学での10か月

—オゾン層に関する光化学モデル開発と観測プロジェクト—*

秋吉英治**

1. はじめに

1997年11月1日～1998年8月31日まで、日本学術振興会長期在外研究員として、イギリスのケンブリッジ大学大気科学センターの John Pyle 博士の研究室に滞在した。日本で立ち遅れている化学輸送モデルの開発を進め、光化学モデルを駆使した研究体制を直に学ぶのが目的であった。以下は、1998年10月に仙台で行われた日本気象学会秋季大会会期中の10月20日のオゾン研究会で帰国後の報告を行った内容をまとめ、補足を行ったものである。

2. ケンブリッジ大学大気科学センター

ケンブリッジ大学大気科学センターは、大気科学に関わる化学と力学の研究者によって、1993年に設立された。文字どおり、大気に関わる研究を行うため、大気化学サイドの研究者と大気力学サイドの研究者が協力して研究を進め、各々の研究を深めると同時に研究領域を広げていこうとするものである。とはいっても現在のところ大気科学センターのための建物が特別にあるわけではなく組織として存在するだけで、各々の研究者は、ケンブリッジ大学の化学教室と応用数学・理論物理学教室（通称 DAMTP）の建物の中に自分の研究室を構えている。第1図は、化学教室の門の前で、Lensfield Road から撮った写真である。後ろの建物が化学教室のメインビルディングである。大気科学センターは、John Pyle 博士をディレクターとし、その他にパーマネントスタッフは化学教室に Tony Cox 博士と Rod Jones 博士、応用数学・理論物理教室に Michael E. McIntyre 教授 (Co-Director) と Peter

Haynes 博士といった陣容で構成されている。特に私の仕事と関連する部分に限って言えば、近年このグループは、ヨーロッパを含む北極域のオゾン減少に関する様々な側面を、CTM (Chemical Transport Model, 化学輸送モデル) と様々な観測手段を駆使して解き明かし、成果を上げている。CTM には、鉛直座標に等温位面座標を使った成層圏用のモデル (SLIMCAT) と、対流圏も扱うことのできる圧力座標を使ったモデル (TOMCAT) がある。

3. 人物紹介

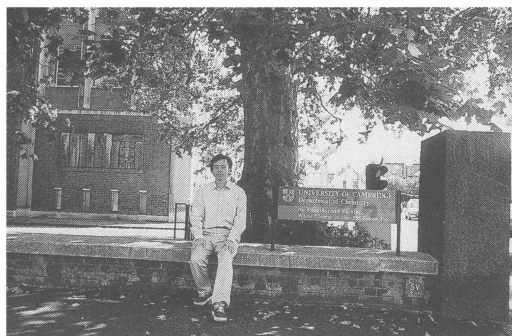
3.1 Dr. John Pyle

第2図は、Pyle 先生の自宅の裏庭で1998年7月12日に撮影したものである。写真中央が Pyle 先生である。夫人（前列右から2番目）と3人の子供と共に、Cambridge から車で約15分ほどの Dry Drayton という小さな村に住んでおられる。自宅は、元郵便局だった建物に少し改造を加えたもので、改修中の家の様子を写真撮影し、きちんと額に入れて展示してあった。Pyle 先生の左横に Cox 博士夫妻、後列左から2番目に赤ん坊を抱えた Robert MacKenzie 博士と夫人（後列右から2番目）、後列右が Dudley Shallcross 博士とその前に夫人と2人の子供がいる。MacKenzie 氏は、私が滞在中の6月に Lancaster 大学に Lectureship の職を得て、この写真を撮影した時はすでに Lancaster 大学に移っていた。彼は、PSC (Polar Stratospheric Clouds) 生成の熱力学に基づいた理論的研究を行っている。Shallcross 氏は純粋な化学屋さんで、対流圏化学全般にかなり詳しく、いろいろと論文がある。この時は、アセトンのオゾンへの影響について研究していた。参考のために、MacKenzie 氏と Shallcross 氏の論文を参考文献に挙げておく (MacKenzie *et al.*, 1995; Shallcross *et al.*, 1997)。Pyle 先生は、もともとは Oxford 大学の Houghton 教授（現在 IPCC 第1部会

* Ten months in the University of Cambridge: Photochemical model developments and observation projects on stratospheric ozone.

** Hideharu Akiyoshi, 国立環境研究所.

© 1999年 日本気象学会



第1図 Lensfield Roadにあるケンブリッジ大学化学教室正門にて。1998年8月。



第2図 John Pyle 博士宅の裏庭にて。Pyle 博士(中央), Cox 博士(その左), MacKenzie 博士(後列左), Shallcross 博士(後列右)と御夫人方, 子供たちが勢揃い。1998年7月。



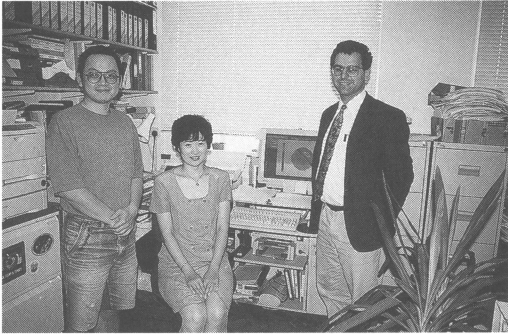
第3図 Martyn Chipperfield 博士と夫人。Chipperfield 博士の自宅にて。1997年12月。

のまとめ役)の研究室で大気放射の研究に関係していたということで、古くは例えば、成層圏突然昇温時に、Nimbus 4 衛星によって観測されたオゾン濃度と温度との関係を光化学理論と比較した論文などもある(Barnett *et al.*, 1975)。他に定常プラネタリー波によるオゾンとNO_xのケミカルエディの研究などもある(Pyle and Rogers, 1980a)。そのころから成層圏オゾンの光化学と輸送に関する2次元モデルを用いた研究を始めたらしい(Harwood and Pyle, 1975, 1977; Pyle and Rogers, 1980b; Rogers and Pyle, 1984; Gray and Pyle; 1986, 1987, 1989)。その後、成層圏光化学過程全般に研究対象を広げ、今はCambridge大学でChipperfield博士など優秀な若手研究者と共に観測プロジェクトなどをも指揮しながら、ボックスモデルや3次元モデルを用いた成層圏における物質の光化学輸送過程の研究を始めとして(Pyle *et al.*,

1995)、特に最近では、若い世代の学生と共に対流圏での物質の分布や光化学輸送過程の研究に力を入れている。

3.2 Dr. Martyn Chipperfield

第3図は、Chipperfield博士と夫人である。成層圏の大気化学関係の人なら誰でも知っている優秀な若手研究者で、JGRなどに次々と論文を発表している。フランスのCNRM (Centre National Recherche Meteorologique)に1年ほど滞在していて、その間に3次元光化学輸送モデル開発の大枠を進めたようだ。以前には2次元モデルを用いた研究も行っていた(Gray and Chipperfield, 1990; Chipperfield *et al.*, 1992, 1994a)。北半球において行われた1991/92年冬のEASOE (European Arctic Stratosphere Ozone Experiment)キャンペーンや、1994/95冬のSESAME(Second European Stratospheric Arctic and Midlatitude Experiment)キャンペーンあたりから、彼の論文をJGRやGRLに多数見ることができるよう(例えばChipperfield *et al.*, 1994b, cなど)。これまでCTMの開発と共に、主に北極域でのオゾン減少に関連した大気化学の研究を、開発したCTMを用いて行い成果をあげてきた(Chipperfield *et al.*, 1993, 1996; Chipperfield, 1994)。モデル研究だけでなく、ヨーロッパで行われている様々な観測プロジェクトにも積極的に関わっている。夫人はフランス人で、Cambridge内のPapで知り



第4図 David Lary 博士(右). 研究室にて. 1998年8月.

合い、3年ほど前に結婚した。夫人曰く、イギリス人男性の方が誠実な人が多いのだそうだ。大学から歩いて20分ほどのアパートに住んでいて、通常は自転車通勤している。

3.3 Dr. David Lary

第4図の右に立っている人物が、Lary 博士である。私の机は、彼の机のすぐ横だった。彼はロンドンの Imperial College 卒業後、Cambridge 大学に移り、これまで、大気層の曲率を考慮した光解離係数の計算、Equivalent latitude を用いた3次元光化学モデルの初期化、臭素系物質の大気化学反応における役割、 $\text{OH} + \text{ClO} \rightarrow \text{HCl} + \text{O}_2$ 反応の影響、化学物質分布の4次元同化等に関する仕事をしてきた (Lary and Pyle, 1991; Lary and Balluch, 1993; Lary *et al.*, 1995a, 1995b, 1996; Lary, 1996)。Chipperfield 氏が90年代初めから、主に3次元CTMに直接関わる仕事をずっと行っているのに対し、彼は3次元モデルに関する仕事も行ったが (Lary *et al.*, 1994)、それよりも3次元モデルで使われる光化学過程や放射過程のスキームに関して基礎的かつ重要な仕事をこれまで行ってきた。今後は、化学成分のデータ同化解析や大気化学過程のカオスの側面を研究していきたいと言っていた。写真を撮りたいからと彼に言うと、さっと自分の研究の宣伝用の図(NOの同化解析)をモニターに出してくれた。私がケンブリッジに滞在していた昨年の6月にロシア人女性と結婚し、幸せな新婚生活を送っている。自宅は、ケンブリッジから北西に車で約30分の Huntingdon というところにあり、両親と共に住んでいる。母親が元スーダン航空の stewardess ということもあってか、世界中に知り合いがいるらしく、我々日本人に対してもとても親切にしてくれた。きっちり

とした英語をしゃべる人である。

3.4 研究室の様子など

大気科学センターのうち化学に関係するグループは、Pyle 先生を含めパーマネントスタッフが3名、リサーチフェローが Chipperfield 氏と Lary 氏の2名、ポスドクが約20名、大学院生が約20名在籍し、室内実験から、フィールド観測、観測結果の解析、数値モデルの開発と結果の解析まで、一応サポートできる体制になっている。グループのメンバーの国籍は、イギリスをはじめとして、フランス、ドイツ、ギリシャ、中国、台湾など多彩で、机についているだけで毎日いろいろな言葉や笑い声が聞けた。

ワークステーション端末は、このグループの部屋の2か所にまとめて設置してあり、Sun のものが20台位あった。それでも大学院生全員に1台ずつとまではいかず、大学に遅く来た学生が、端末がなくてうろろろする場面もあった。サーバーは2台あり、1つは外部との通信を受け持つインターフェイスとして使われており、性能は150MHz の HyperSPARC×2 プロセッサ、もう1つがメインのファイルサーバーで、性能は250MHz の UltraSPARC II×2 プロセッサだった。これらのサーバーには、Caesar と Julius という名前がそれぞれつけられていた。ファイル保存のためのディスク容量は不十分で、ディスクスペースの節約にかなり苦労していた。このほか Rutherford Appleton Laboratory に Cray の計算機があり、学生がこの計算機をよく使っていたが、かなりジョブ待ちで混んでいて、また、よくトラブルが起きて止まっていた。また、学内には日立のベクトル計算機 (S3600) とスカラー計算機 (SR2201) もあったが、こちらはこのグループのスタッフとポスドクが主に使っていた。感心したのは、モデルの計算結果や観測結果をグラフ化するための道具が、よく整備されていて、新しく研究室に入って仕事を始める学生にとって、とりあえずいろいろなデータから簡単に化学物質の分布図がいろいろと描けるのはいい環境だと思った。UARS 衛星関連のデータ、ATMOS 衛星関連のデータなども揃えてあった。Glenn Carver 博士が、このグループのコンピュータシステムの総元締めであり、コンピュータシステムやデータの使用に関してわかりやすい手引書を書いている。彼は大気科学センターのコーディネータでもあって、自宅で仕事をしていることが多く、大学ではなかなかつかまらなかった。コンピュータ利用のノウハウに関する大半の質問はメールで片づいてしまうけれど

も。

フィールド観測・室内実験・数値モデル及び理論を専門に研究している若い研究者が化学教室の3階と4階に所帯を同じくしているので、わからないことはいつでもすぐに聞ける。特に、これから新しく入ってくる学生にとっては羨ましい限りの環境である。学期中は週1回行われるグループセミナーの世話人も学生に任されていて、学会の座長の練習をやっているような感じもあった。このCenter for Atmospheric Scienceのグループセミナーとは別に、内輪のミーティングのようなものも平均すると1か月に2回ほど行われていた。だれでもそのときどきに自分の研究に進展のあった人が主役になって、最新の結果についての報告と議論を1時間ほど行うというものであった。Stratospheric MeetingとTropospheric Meetingの2種類あったが、どちらのミーティングもChipperfield氏が仕切っていた。インフォーマルな感じでおもしろかった。

ケンブリッジ大学大気科学センターのホームページは、<http://www.atm.ch.cam.ac.uk/cas/>に開設されているので、興味のある方は見ていただきたい。

4. 現在進行中のプロジェクト

現在、ケンブリッジ大学大気科学センターで進行中の観測プロジェクトと担当者を以下に記す。

- DESCARTES-気球搭載ガスクロマトグラフィーによる成層圏トレーサーの観測 (Dr. Francoir Danis and Dr. John Pyle)
- UVISTAR-紫外・可視分光器による成層圏NO₂、O₃、OCIO、BrOの観測 (Dr. Rod Jones and Dr. Howard Roscoe)
- TDLS-気球又は航空機搭載可変ダイオードレーザによるH₂O、CH₄の試験観測 (Dr. Rod Jones)
- ライダーによる対流圏NO₃の観測 (Dr. Rod Jones)
- SOLID STATE-対流圏O₃の観測 (Dr. Rod Jones)

以上は観測プロジェクトであるが、成層圏光化学に関しては、オゾンなどの長期的な変動に注目しているようである。モデル研究に関して言えば、これまでケンブリッジグループは、北極の冬の数か月程度にわたる比較的短期間について、CTMによる計算を行い研究を進めてきたが、最近、6年程度の長期ランを行って、中緯度オゾンなどの年々変動を議論している (Hadjinicolaou, *et al.*, 1997)。6年ランは、1991年10月から1997年12月について行われ、空間分解能は

T15 (7.5°×7.5°) である。さらにこの6年間分の計算結果を、オゾンのみならず他の化学成分についても全球にわたって年々変動を解析した結果が最近の論文に出ている (Chipperfield, 1999)。国立環境研究所のワークステーションに、この6年ランの計算結果が保存されていて、日本のグループによる大気微量成分観測値との比較にも使われている。

1991年6月に起こったピナツボ火山爆発によってオゾン減少が加速したが、その後予想に反してなかなか回復しないのが現状である。今後の温室効果気体の増加やCFCの減少に伴って、これから先オゾン層がどのように回復していくのか、その回復の兆しが観測データにどのように現れるのか、例えば、N₂O-O₃などの相関図にどのような変化として現れるかなどの議論があって、大変興味深かった。

5. 私の仕事

このような状況の中で私自身は何をすべきかと、イギリスに着いてこの研究室の状況を見ながら考えた。大枠はイギリスに来る前に考えていたが、今の私自身と環境研とケンブリッジグループに有益となり、かつ将来につながるような仕事は何か、しかも10か月間だと考えるとなかなかいい案は浮かばなかった。化学教室の最上階にある、図書館の窓際に並べられた机の1つに座って、教会の尖塔の向こうの赤く染まった夕焼け空を眺めながら、だれにもじゃまされることもなしにぼおっと考えた幸せな、だけでも少しばかり孤独な時間を覚えている。10か月間で、何か1つケンブリッジグループの仕事を分担してまとめるということはやめ、今回の滞在を出発点にして、数年の間に以下の3つの仕事を進めようと思った。

- (1) 臭素系反応と不均一反応をモデルに導入すること。ここまでやれば、現在の世界の成層圏光化学モデルに追いつく。ケンブリッジ大学のSLIM-CATモデルを参照しながら、まず1次元モデルでこれらの反応と、塩素系までの反応でまだ導入されていなかった反応を取り入れた新しいスキームをつくり、うまく働くかどうかを調べる。その後3次元モデル用に、化学反応スキームと光解離データを修正して東京大学気候システム研究センター (CCSR) と国立環境研究所 (NIES) とで共同開発しているCCSR/NIES光化学結合GCMに導入する。この光化学結合GCMは、温室効果気体増加によるオゾン変動・物質変動を予測できる

ようなモデルに発展させていく。

- (2) ケンブリッジ大学のCTM (SLIMCAT) の計算結果と、ILAS (環境庁開発の大気微量成分観測センサー) のデータとの比較を行う (手始めに O_3 と HNO_3)。
- (3) CCSR/NIES GCM, ケンブリッジ大学CTM, ILAS データの三者の比較を行う。特にILAS データが存在する1997年1月から5月くらいまでで、光解離が関係する過程で我々の結合モデルによる結果とCTMの結果との間に違いを生じる部分があるかどうか。ILAS等の観測データと比較して、結合モデルの方が観測事実をよりよく再現している現象が見つかるかどうか。

結局10か月間では(1)と、(2)を少し始めたところまでで終わってしまった。

(1) に関しては、1次元モデルへの臭素系反応及びその他入れるべき化学反応の導入とスキームのチェックを終えた。また、臭素系反応などを新たに追加導入したアップグレード版光化学結合GCMのプログラミング作業がほぼ終了し、目下、モデルを走らせて妥当な微量成分の分布になっているかどうかのチェックを行っているところである。不均一反応に関しては、以前から知られている硫酸エアロゾルやタイプI及びタイプIIのPSC上で起こる反応は自前でプログラミング可能だが、硫酸-硝酸-水の3成分系エアロゾルやSAT上の反応など複雑なものについては、プログラミングにかなり時間を費やしてしまいそうなので、ケンブリッジ大学のスキームを使わせてもらうことにした。

(2) に関しては、ILASのバージョン3.10データから、経度-高度断面を作って、1997年1月から5月まで、北半球高緯度の O_3 , HNO_3 , H_2O , CH_4 , N_2O の分布を調べた。このバージョンのデータで定量的な議論が出来るのは、 O_3 と HNO_3 のみである。 O_3 の分布については、SLIMCAT と ILAS で定量的にもよい一致が見られた。ただ、SLIMCAT モデルでは、春先に、実際より早い時期にPSCが出来なくなってしまい、オゾン破壊を過小評価してしまうらしい。今回行った比較の中で、1997年3月9日の70N付近のILASデータではオゾン減少が見られるのに、SLIMCATモデルの計算結果ではそれが見られないのがこれに当たる。入力温度データ自体の空間分解能の不足によるものか、化学輸送計算の空間分解能の不足によるものか、或いはもっと別の原因なのかははっきりしない。

HNO_3 濃度については、1月から5月までのほとんどの期間で、SLIMCATモデルのピーク濃度が10 ppbv から12 ppbv を示し、観測値よりは高い。ILASデータの HNO_3 濃度は、4月や5月になるとだんだん低くなっていくのに、モデルではあまり変化がない。Pyle先生やChipperfield氏に尋ねてみたが、硝酸はいろいろな不均一反応も絡んで難しいからといった感じで、はっきりとした答えは返ってこなかった。硝酸の光解離に関係しているのだろうか。

1997年5月4日のデータに関しては、西経38°と東経63°の間の広い範囲でILASデータがたまたまこの日取れなかった位置に、ちょうど極渦の縁が存在しており、このような状況でそのまま観測データを空間補間して O_3 , CH_4 , N_2O などの経度-高度断面をつくると、極渦の縁の付近の濃度の急勾配が表現できず具合が悪い。SLIMCATの計算結果と比較するとその違いがはっきりとわかる。このような場合、補間方法を工夫する必要がある。ポテンシャル渦度をレファレンスとして補間する方法も考えられなくはないが、物質ごとに光化学時定数の値には差があるので、すべての物質について同じ公式を用いてというわけにはいかないだろう。それならば4次元光化学同化モデルを作って、すべての物質について観測できない場所の値を直接計算の方がより一貫性がある手っ取り早い。4次元光化学同化モデルの必要性を感じた。

6. イギリス生活あれこれ

10か月ばかりのイギリス生活であったが、日常生活の中で感じたことやエピソードを最後に書いてみようと思う。これからイギリスで生活する人に少しは役に立つかもしれないし、すでにイギリスに住んだ経験のある人には、ああそうだったとなつかしく思い出していただけるかもしれない。

イギリスは天気の変化が激しい。特に冬はそうである。朝家を出るとき快晴で、今日こそは傘は絶対いらなそうと思って出かけると、昼頃に雨が降り出したりする。何度かこの天気のだまされてずぶぬれになった。

電気製品はとにかく古くさくて大きくて性能が悪い。住んでいた家の手巻き式ヒューズが初めて切れたときは、一騒動だった。

ロンドンの地下鉄に乗って家に帰った後に鼻をかむと、必ず真っ黒いすすみたいなものが出てきた。同じ研究室のギリシャ人に“I had black nose in London.” と言うと笑われた。

クリスマスは想像していたよりもずっと静かだった。ダイアナ妃が事故で亡くなった年ということもあったのかもしれない。自宅のある通りの家々には、12月半ばから1月半ばあたりまで、部屋の中や出窓にクリスマスツリーが飾られ、冬の寒々としたくすんだ色の通りを美しく変えた。イヴの夜には教会の鐘が鳴り響き、キングス・カレッジ聖歌隊の聖歌がテレビで放送された。近くに住む少年2人がこのあたりの家々を訪ね、玄関先で We wish you a merry Christmas ……と歌ってくれた。年越しの瞬間にはビッグ・ベンがテレビに大きく映しだされた。

紅茶、クッキー、サンドイッチ、フィッシュ&チップス、りんご等はおいしかったが、その他はどれも味覚が少しずれているんじゃないかと思うものばかり。チョコレートケーキを注文したら、甘ったるいチョコレートの固まりのような大きなケーキが出てきて食べてしまうのに苦労したこともあった。食べ物の見た目から想像する味と実際の味とのギャップが大きすぎて、1か月位でいやになった。それでも、テーブルに置いてある塩と胡椒をふりかけて自分で味付けをするものだと悟ってからは、いくぶん気持ちが楽になった。このような食べ物に関する事情は、イギリスで生活した人は身にしみて経験するものようである(林, 1991)。私と妻は、時々中華料理屋やインド料理屋に出かけては、納得のいくアジアの味覚を味わい不満を解消した。スーパーマーケットで買う食材も、日本の物と似ているようで違うので、家庭でもなかなか納得のいく日本の味の実現とはいかない。

スーツをきちんと着た女の人が、昼間サンドイッチをむしゃむしゃ食べながら堂々と歩道を歩いているのを最初に目撃したときはとても驚いた。

妻が行きつけのクリーニング屋のおじさんから、「Do you like ポッポー？」と聞かれて何のことかわからずに何度も聞き返したところ、football (サッカー)のことを言っているらしいことがようやくわかったという。テレビでこの単語の発音を聞いても、確かにポッポーと言っているように聞こえた。妻は、この単語の発音がすっかり気に入ったらしく、何度もそれらしく言えるよう練習した。David Lary 氏の家に招かれた時、食事中に妻が自分の発音がイギリス人に通用するかどうか試すつもりで、「Do you like football?」と、お気に入りのアクセントで尋ねてみると、「ポップコーン?」と尋ね返されて大笑いした。イギリス人の英語は、最初はとても聞き取り難いと思ったが、少し慣れ



第5図 筆者の自宅前の Hertford Street にて、1997年12月。

てくると、アメリカ英語とは違ってすっきりピシッと決まる発音がかっこよくてとても心地よく、そのうち郷愁を感じるようになった。

イギリスの郊外の風景は特に美しかった。冬はどんよりと曇りがちだが、それでも天気の良い日など、日本ではほんのちょっとしか見られない日没前の金色の陽の光に輝く光景が、太陽高度の低い冬のイギリスでは昼の間で見られる。光線を美しく取り入れた風景画がたくさんあるわけがよくわかった。

7. おわりに

まとまった大きな研究を仕上げたり、イギリス文化を深く知るには、10か月という期間は短いものではあったが、久しぶりに大学の自由な雰囲気浸りに浸れて幸せだった。ケンブリッジの街並みは、きっと100年後も大して変わらないだろうと思うと、妙に安心感があり郷愁を感じる。われわれが住んでいた Hertford Street に立ち並ぶビクトリア様式の家々も変わらないだろう(第5図)。また訪れてみたい。

謝辞

冒頭にも述べましたが、今回の滞在のための費用は、日本学術振興会より支給されました。ここに感謝の意を表します。また、ケンブリッジ滞在を助めてくださった国立環境研究所の中根英昭氏、滞在を受け入れてくださった John Pyle 先生をはじめ、ケンブリッジ大学化学教室大気科学センターのメンバーに感謝致します。原稿執筆を助めてくださり、校正をしていただいた気象研究所の牧野行雄氏および国立環境研究所の神沢博氏にも深く感謝致します。最後のイギリス生活の部分は、妻の観察と体験によるものがかなりあります。

ここに滞在中の労と共に感謝したいと思います。

参 考 文 献

- Barnett, J. J., J. T. Houghton and J. A. Pyle, 1975 : The temperature dependence of the ozone concentration near the stratopause, *Quart. J. R. Met. Soc.*, **101**, 245-257.
- Chipperfield, M. P. and L. J. Gray, 1992 : Two-dimensional model studies of the interannual variability of trace gases in the middle atmosphere, 1992, *J. Geophys. Res.*, **97**, 5963-5980.
- Chipperfield, M. P., D. Cariolle, P. Simon, R. Ramarson and D. J. Lary, 1993 : A three-dimensional modeling study of trace species in the Arctic lower stratosphere during winter 1989-1990, *J. Geophys. Res.*, **98**, 7199-7218.
- Chipperfield, M. P., 1994 : A three-dimensional model comparison of PSC processing during the Arctic winters of 1991/1992 and 1992/1993, *Ann. Geophysicae*, **12**, 342-354.
- Chipperfield, M. P., L. J. Gray, J. S. Kinnarsley and J. Zawodny, 1994a : A two-dimensional model study of the QBO signal in SAGE II NO₂ and O₃, *Geophys. Res. Lett.*, **21**, 589-592.
- Chipperfield, M. P., D. Cariolle and P. Simon, 1994b : A three-dimensional transport model study of PSC processing during EASOE, *Geophys. Res. Lett.*, **21**, 1463-1466.
- Chipperfield, M. P., D. Cariolle and P. Simon, 1994c : A 3D transport model study of chlorine activation during EASOE, *Geophys. Res. Lett.*, **21**, 1467-1470.
- Chipperfield, M. P., A. M. Lee and J. A. Pyle, 1996 : Model calculations of ozone depletion in the Arctic polar vortex for 1991/92 to 1994/95, *Geophys. Res. Lett.*, **23**, 559-562.
- Chipperfield, M. P., 1999 : Multiannual simulations with a three-dimensional chemical transport model, *J. Geophys. Res.*, **104**, 1781-1805.
- Gray, L. J. and J. A. Pyle, 1986 : The semi-annual oscillation and equatorial tracer distributions, *Quart. J. R. Met. Soc.*, **112**, 387-407.
- Gray, L. J. and J. A. Pyle, 1987 : Two dimensional model studies of equatorial dynamics and tracer distributions, *Quart. J. R. Met. Soc.*, **113**, 635-651.
- Gray, L. J. and J. A. Pyle, 1989 : A two dimensional model of the quasi-biennial oscillation of ozone, *J. Atmos. Sci.*, **46**, 203-220.
- Gray, L. J. and M. P. Chipperfield, 1990 : On the inter-annual variability of trace gases in the middle atmosphere, *Geophys. Res. Lett.*, **17**, 933-936.
- Hadjinicolaou, P., J. A. Pyle, M. P. Chipperfield and J. Kettleborough, 1997 : Effect of interannual meteorological variability on middle latitude O₃, *Geophys. Res. Lett.*, **24**, 2993-2996.
- Harwood, R. S. and J. A. Pyle, 1975 : A two-dimensional mean circulation model for the atmosphere below 80 km, *Quart. J. R. Met. Soc.*, **101**, 723-748.
- Harwood, R. S. and J. A. Pyle, 1977 : Studies of the ozone budget using a zonal mean circulation model and linearized photochemistry, *Quart. J. R. Met. Soc.*, **103**, 319-343.
- 林 望, 1991 : イギリスはおいしい, 平凡社, 252pp.
- Lary, D. J. and J. A. Pyle, 1991 : Diffuse radiation, twilight, and photochemistry-I, *J. Atmos. Chem.*, **13**, 373-392.
- Lary, D. J. and J. A. Pyle, 1991 : Diffuse radiation, twilight, and photochemistry-II, *J. Atmos. Chem.*, **13**, 393-406.
- Lary, D. J. and M. Balluch, 1993 : Solar heating rates : The importance of spherical geometry, *J. Atmos. Sci.*, **24**, 3983-3994.
- Lary, D. J., J. A. Pyle and G. Carver, 1994 : A 3-dimensional model study of nitrogen-oxides in the stratosphere, *Quart. J. R. Met. Soc.*, **120**, 453-482.
- Lary, D. J., M. P. Chipperfield, J. A. Pyle, W. A. Norton and L. P. Riishojgaard, 1995a : Three dimensional tracer initialisation and general diagnostics using equivalent PV latitude-potential temperature coordinates, *Quart. J. R. Met. Soc.*, **121**, 187-210.
- Lary, D. J., M. P. Chipperfield and R. Toumi, 1995b : The potential impact of the reaction OH+ClO->HCl+O₂ on polar ozone photochemistry, *J. Atmos. Chem.*, **21**(1), 61-79.
- Lary, D. J., M. P. Chipperfield, R. Toumi and T. Lenton, 1996 : Heterogeneous atmospheric bromine chemistry, *J. Geophys. Res.*, **101**, 1489-1504.
- Lary, D. J., 1996 : Gas phase bromine chemistry, *J. Geophys. Res.*, **101**, 1505-1516.
- MacKenzie, A. R., M. Kulmala, A. Laaksonen and T. Vesala, 1995 : On the theories of type I polar stratospheric cloud formation, *J. Geophys. Res.*, **100**, 11275-11288.
- Pyle, J. A. and C. F. Rogers, 1980a : Stratospheric transport by stationary planetary waves-the Importance of chemical processes, *Quart. J. R. Met. Soc.*, **106**, 421-446.

Pyle, J. A. and C. F. Rogers, 1980b: A modified diabatic circulation model for stratospheric tracer transport, *Nature*, **287**, 711-714.

Pyle, J. A., M. P. Chipperfield, I. Kilbane-Dawe, A. M. Lee, R. M. Stimple, D. Kohn, W. Renger and J. W. Waters, 1995: Early modelling results from the SESAME and ASHOE campaigns, *Faraday Discuss.*, **100**, 371-387.

Rogers, C. F. and J. A. Pyle, 1984: Stratospheric

tracer transport: a modified diabatic circulation model, *Quart. J. R. Met. Soc.*, **110**, 219-237.

Shallcross, D. E., P. Biggs, C. E. Canosa-Mas, K. C. Clemmshaw, M. G. Harrison, M. Reyes Lopez Alanon, J. A. Pyle, A. Vipond and R. P. Wayne, 1997: Rate constants for the reaction between OH and CH₃ONO₂ and C₂H₅ONO₂ over a range of pressure and temperature, *J. Chem. Soc. Faraday Trans.*, **93**, 2807-2813.



Fog Newsletter 発刊される

第1回霧と霧水捕集に関する国際会議の参加報告(山本・大河内, 1999)の中で紹介した“Fog Newsletter”の第1号が1999年5月に発行された。編集者は同会議で組織委員長をつとめたカナダ環境局のRobert S. Schemenauer 博士である。第1号はレターサイズ・オールカラー4ページ、内容は発刊のことば、関連新着文献、トピックス、2001年7月にカナダでの開催が決まった第2回会議の情報などである。霧・露関係分野の研究者・実務者であればどなたでも無料で配付を受けることができる(ただし印刷・郵送等の経費として年間10米ドルの寄付金を歓迎)。送付を希望される方は、氏名、肩書(Mrs., Dr., Prof. 等)、郵送先住所と申込者の霧・露に関する研究分野・関心分野に関する簡単な説明文を添えて、下記宛申し込またい。

記

電子メール: Robert. Schemenauer@ec.gc.ca

郵便: Fog Newsletter

P. O. Box 81541

1057 Steeles Avenue West,

Toronto, Ontario,

Canada M2R 2X1

なお、第1号のPDFファイルや第2回会議の情報は <http://www1.tor.ec.gc.ca/armf/Fog Water.html> (URLは1999年7月7日現在)で参照可能のようである。(気象研究所・山本 哲)

参考文献

山本 哲, 大河内 博 (1999): 第1回霧と霧水捕集に関する国際会議参加報告, *天気*, **46**, 377-383.