

# 「気候変動がもたらす北極圏オゾン層変動の観測研究」

研究期間：H12年度～H13年度

研究代表者：牧野 行雄（気象庁気象研究所）

## 研究の概要・目標

### 1. 何を目指しているのか

#### 1. 何を目指しているのか

ライダーや赤外分光の新たな観測手法を開発し、極成層雲(PSC)と微量化学成分の変動実態の把握を行い、北極成層循環の年々変動とそのオゾン層にもたらす影響を明らかにする。

1年後の目標：極夜期のPSC生成条件と硝酸等との関連、オゾン破壊物質の活性化との関連が明らかとなり、気候変動によるオゾン層変動への影響評価がなされる。

### 2. 何を研究しているのか

ライダー装置により北極上空の極成層雲(PSC)の光学特性を高精度で測定し、極夜期を中心にPSC発現の実態を明らかにする。また、太陽光と月光を利用した赤外分光法により、硝酸( $\text{HNO}_3$ )やオゾン破壊をもたらす塩素化合物の極夜期から春季にかけての動向を明らかにする。

### 3. 何が新しいのか

ライダーのラマン散乱測定により北極上空のPSC等エーロゾル量が、従来よりも正確に求められ、かつオゾン破壊に重要なエーロゾル(PSC)表面積を推定することが出来る。また、北半球の最高緯度の観測基地で月光を利用した初めての赤外分光観測とライダーとの同時観測により、PSCとその原料となる $\text{HNO}_3$ との関連が明らかになる。

(下線部：右端欄の注を参照)

## 諸外国等の現状

### 1. 現状

EUを中心に第3次欧洲成層圏観測計画( THESE 0)が実施されている。欧洲からみて北西部のユーレカ基地は極渦ジェットの上流側にあたり、因果関係を明らかにするため相互に協力する必要がある。このため、その一環であるオゾンゾンデによる観測計画(MATCH計画)にも共同研究者(永井智広)として参加する予定である。

北極あるいは北半球高緯度地点では、スバルバル(スピッツベルゲン)等で類似の研究が実施されているが、ライダーまたは赤外分光のいずれかが中心になっており、本件のように極夜期から春季までの観測をライダーと赤外分光で同時に実行する研究はほとんどない。

一方、スカンジナビア半島から大型気球による成層圏の直接観測がなされているが、スポット観測である。また、航空機による数次にわたる観測がなされているが、いずれも短時間の観測であり毎日同じ地点で観測するものではない。

### 2. 我が国の水準

大気球による北極成層圏空気塊の直接観測では、観測チームの一員として世界をリードする研究がなされている。また、本件のような地上からの遠隔測定でも世界と同等以上の水準にある。特に、北極、日本、赤道域、ニュージーランドを結ぶライダーネットワークは他にはみられないグローバルスケールのものである。

ユーレカではこれまで極夜期のライダー観測と春季の赤外分光観測を実施しているが、極夜期の同時観測は行われていない。そのため、PSCの生成過程における微量気体の役割が明らかではなかった。

## 研究進展・成果がもたらす利点

### 1. 世界との水準の関係

ライダーによるラマン効果を利用した消散係数の測定や、月光を利用した成層圏微量成分の赤外分光観測は、気象研究所が独自に開発している測定技術であり、世界的に成功している例はまだ数例しかなく、完成すれば、大気環境測定技術の一つの重要な手法となることが期待される。

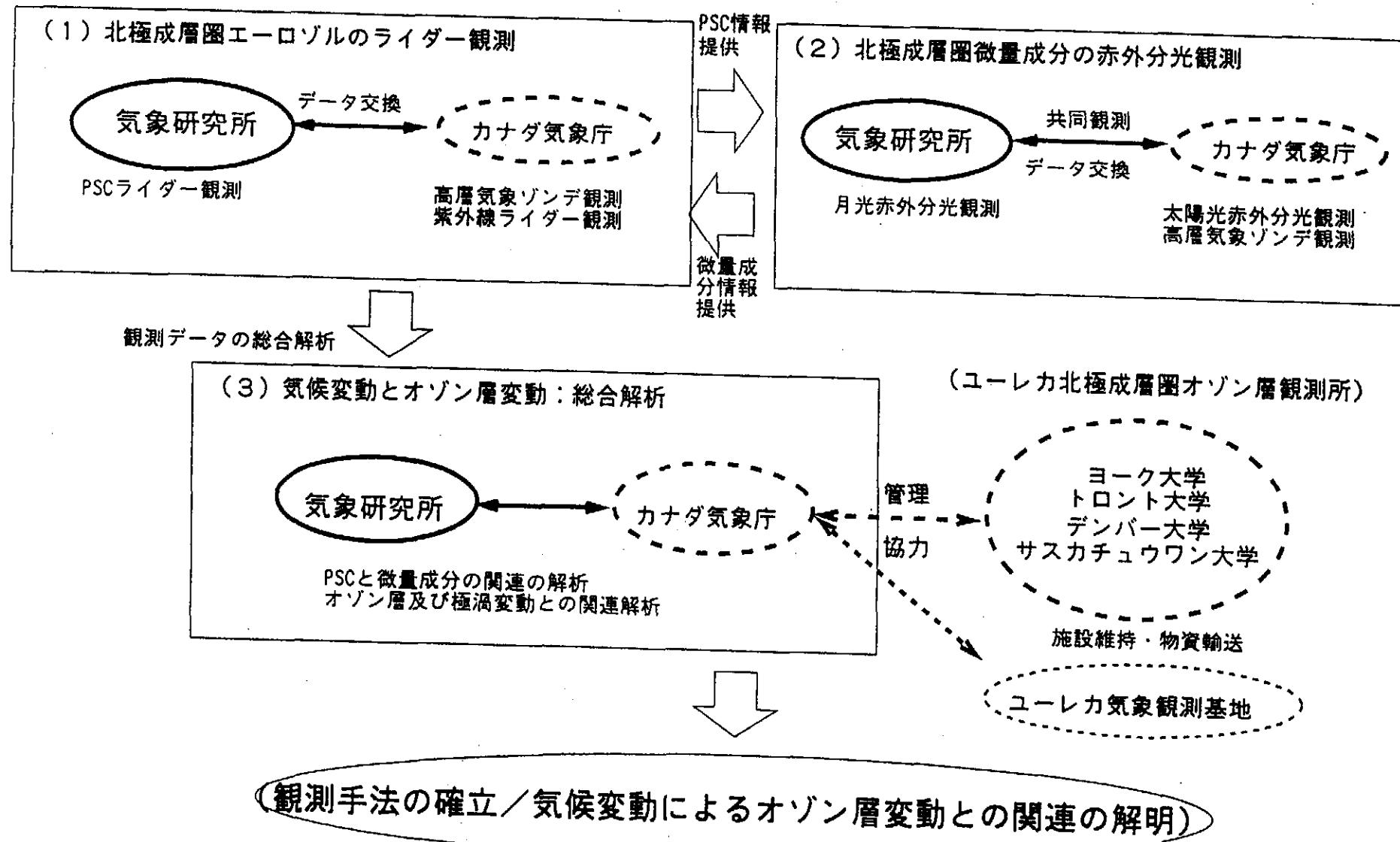
### 2. 波及効果

- ライダーや赤外分光技術を用いた高度な地球環境測定技術が確立する。
- 得られた観測データは人工衛星等からのグローバルなオゾン層等の観測のグランドトゥルースデータとして活用され、これらの信頼性を高めることができる。
- 成層圏オゾン層を中心とする地球環境の将来予測モデルの検証データとして活用されることが期待される。

(注)

- ライダーのラマン散乱測定：レーザー光の空気分子からの散乱のみを抽出することで粒子状物質からの散乱を識別できる。
- エーロゾル(PSC)表面積：粒子状物質の粒径分布から表面積を計算する。表面の化学反応の大きさが精密に計算できるようになる。
- 最高緯度：カナダ北極圏の北緯80度はライダーと赤外分光観測の行われている最高緯度であり北極点に最も近い。
- 月光：極夜期は太陽光がないため月光を利用して大気成分の遠隔測定を行う。
- 同時観測：ライダーで粒子を、赤外分光で原料となる気体分子を観測し、関連を調べる。

# 「気候変動がもたらす北極圏オゾン層変動の観測研究」の研究体制



平成13年度科学技術振興調整費課題「気候変動がもたらす北極圏オゾン層変動の観測研究」の実施体制及び所用経費

(千円)

研究項目	担当機関等	研究担当者	平成12年度 所用経費	平成13年度 所用経費
気候変動がもたらす北極圏オゾン層変動の観測研究	国土交通省 気象庁 気象研究所	柴田清孝 他	21,997	19,566
	カナダ気象局	Hans Fast		

## 研究成果の概要<課題全体>

課題名（研究代表者）：気候変動がもたらす北極圏オゾン層変動の観測研究（柴田清孝）

### 【研究成果の概要】

窒素分子からの振動ラマン散乱による散乱光を受光し、PSC や成層圏エーロゾルの消散係数を測定するための受信部の開発と設置について、平成 12 年度にライダー受信部の受信光学系の開発を国内に於いて行い、基礎的な性能の確認を行った後、観測点のユーレカに輸送し設置した。現地では好天に恵まれ、おおむね順調に設置・調整作業を行う事ができた。試験観測を行って性能の確認を行ったところ、所期の性能を持っていることを確認したが、観測で実際に使用する望遠鏡（主鏡と斜鏡）と実際に組み合わせての調整を国内で行うことができなかつたため、光学的な経路に軽微な問題があることや、設置位置が高所になることから操作性が悪い点があるなど、改善することが望ましい点がいくつか認められた。平成 13 年度には、データ処理機器へ機能を追加し平成 12 年度に増設した受信部で得られるデータを取得するため、光電子計数装置の受信チャンネルの増設の作業を行うとともに、前年度に明らかとなつた受信部の子細な瑕疵について改良・調整を行い、問題点を解消し、十分な性能を確保することができた。

ユーレカでの観測は、平成 13 年 1 月上旬から 3 月上旬にかけてと平成 13 年 12 月下旬から平成 14 年 3 月上旬にかけて行ったが、観測期間中には PSC の出現は見られなかつた。これは、平成 12 年度の冬季は、成層圏の気温が比較的高温に推移し、また、極渦が発達した際にも観測点より離れたヨーロッパやロシアに近く位置したため、観測点上空の気温が十分に低下しなかつたためと考えられる。また、平成 13 年度は、北極域成層圏全域で気温が PSC を生成するまでほとんど低下せず、北極域全域で PSC が出現しなかつたためと考えられる。

成層圏エーロゾルについては、1991 年のピナトゥボ火山噴火から時間が経過し、両年度とも火山噴火の影響を受けない静穏な状態が継続していることを確認した。平成 12 年度の冬季には、北極圏内の他のライダー観測点からは、平成 12 年 11 月から 13 年 1 月あたりにかけ、極渦内で高度 37km 付近に起源が不明のエーロゾル層が観測されていたとの報告を受けた。「Mysterious Cloud」と呼ばれたこのようなエーロゾル層はユーレカでは観測されず、極渦内での非常に局所的な現象であったことが確認できた。

平成 13 年度の観測からは、平成 13 年 12 月及び平成 14 年 1 月に、成層圏エーロゾル層の上部、高度 15km を超える高高度域に下層よりも波長依存性が小さく大粒径の粒子が相対的に多いと推定されるエーロゾルの層が観測された。エーロゾル粒子の大きさの指標となる波長依存性を見ると、高度 15km までは 2.7 程度を示しているのに対し、15km を超える高度では 2.4 程度となり、高高度でより大きな粒子が相対的に多く存在している事を示していた。この結果は、ほぼ同時に飛揚された光学粒子計数（OPC:Optical Particle Counter）ゾンデの観測結果に見られた、高度 18km から 21km 付近で大粒径の粒子が増加している現象と整合した結果であった。

赤外分光観測について、極夜期の成層圏硝酸等の動向を調べるための準備として月光スペクトル測定手法の開発を行つた。最近開発されたばかりの 2 次元位置検出用光電子増倍管（浜松ホトニクス製）を可視光検出に用い、月光反射光の一部（～5%）を使用した。気象研究所の国内観測用装置にこの追尾装置受光部を適合させ、反射鏡の追尾制御機能の確認実験を行つたのち、平成 13 年 2 月に北極基地に持ち込み、制御装置の調整等を行い、

同 7 日に月追尾に成功した。本追尾装置受光部は高感度であるため、100万分の 1 の減衰光学フィルターを用いると太陽の追尾にも使用可能で、従来よりも高感度かつ安定した追尾を実現することができるようになった。この結果、太陽が半分程度地平線に隠れても追尾することが可能となった。

赤外分光観測キャンペーンは、2000 年 9 月～10 月にカナダ側共同研究者による極夜前観測が実施されたが天候に恵まれず、測定日数は 9 日であった。極夜期は 2001 年 2 月に月光観測を試みて、満月を中心に 6 日分のスペクトルを取得した。同時期に太陽光観測を 7 日間実施した。その他、光学系および大気からの赤外放射観測実験を実施した。さらに 3 月一杯はカナダ側が観測を継続した。この期間の成層圏微量成分の重要な気体の 1 つである硝酸( $\text{HNO}_3$ ) について 3 月に行った太陽光源と月光光源の比較観測では両者から得られた濃度は系統的にズレがあった。その後、解析方法等の改良を行って一致度を高める作業を行い、次年度の観測に活かすことになった。

2001/2002 年の冬季観測は 10 月下旬の極夜の少し前から観測を開始した。月光観測は光量を充分に確保するため満月の前後 4 ～ 5 夜の期間に行い、この観測を極夜が明ける 3 月末まで行った。窒素化合物のリザボアである硝酸について 2001 年 10 月から 2002 年 3 月までの全期間のコラム量を算出した。算出法は国際的な成層圏変動検出網 (Network for the Detection of Stratospheric Change : NDSC と略する) の活動の中で、成層圏オゾン層関連微量成分監視のための赤外分光観測の比較実験に使用されている解析プログラム(SFIT) を使った。その結果、2001 年 10 月、2002 年 3 月の太陽光源のときの値とその間の極夜の月光源の値はコンシスティントであり、特に、3 月の両方の値の一致度は極めて高い。これは解析法の改良によるもので、前年度の冬季観測のときの不具合は完全に解消されたことを示している。またこの結果は、PSC の発生しない北極成層圏では硝酸は僅かではあるが増加することを示している。

3 次元オゾン層化学輸送モデルは、客観解析の気象場への復元項を付け加えることで輸送の改善を行い、その結果、人工衛星(TOMS)で観測されたオゾン全量のおおまかな分布を再現することができた。

今回の観測研究期間中は PSC が発生しなかったため、当初目標としていた PSC 発生時の硝酸や塩素化合物の変動を調べることができなかった。しかし、PSC の原料となる硝酸や、オゾン層破壊をもたらす塩素化合物の変動を詳細に測定する手法を確立することができた。今後、PSC 発生時にこれらの物質の観測を行うことができれば、PSC の光学的特性や発生状況の実態把握を行うことができ、数値モデルによる解析結果を合わせて、PSC のオゾン層に与える影響を解明することができると考えられる。

## 研究成果公表等の状況<課題全体>

課題名（研究代表者）：気候変動がもたらす北極圏オゾン層変動の観測研究（柴田清孝）

### 【研究成果発表等】

	原著論文による発表	左記以外の誌上発表	口頭発表	合計
国内	0 件	0 件	10 件	10 件
国外	3 件	0 件	4 件	7 件
合計	3 件	0 件	14 件	17 件

（注：既発表論文について記載し、投稿中の論文については括弧書きで記載のこと）

【特許出願等】 0 件 （国内 件、国外 件）

【受賞等】 0 件 （国内 件、国外 件）  
・〇〇〇賞（平成 年 月）〇〇大〇〇

### 【主要雑誌への研究成果発表】

Journal	Impact Factor	サブテーマ 1	サブテーマ 2	サブテーマ 3	合計
J. Geophys. Res. Advances in Laser Remote Sensing Proceedings of SPIE's Lidar Remote Sensing for Industry and Environment Monitoring					1 1 1
主要雑誌小計					3
発表論文合計					3