

平成22年 5月 7日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19540471

研究課題名（和文） スペクトル取得型光学オゾンゾンデの開発

研究課題名（英文） Development of optical ozone sensor with spectrometer

研究代表者

村田 功 (MURATA ISAO)

東北大学・大学院環境科学研究科・准教授

研究者番号：00291245

研究成果の概要（和文）：上部成層圏オゾンを観測するためのフィルター式オゾンゾンデの光学系を小型分光器に換えてオゾンの他に二酸化窒素等も観測可能とした新たなスペクトル取得型光学オゾンゾンデを開発した。膨大なデータ量の送信方式や光ファイバー入射部の拡散板などの開発に工夫を要したが、無事開発を行い、性能試験により正常動作していることを確認した。今後これを用いた実観測を行える目処が立った。

研究成果の概要（英文）：A optical ozonesonde with lightweight small spectrometer was developed to measure  $\text{NO}_2$  as well as ozone. There were some difficulties such as huge telemetry data and incident angle dependency of optical fiber input but the instrument was completed and it passed the performance tests. The observation with this new instrument will be carried out.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・超高層物理学

キーワード：環境変動、超高層大気環境、気象学

## 1. 研究開始当初の背景

南極オゾンホールが発見以来、オゾン層破壊は広く一般の関心を集める問題となっており、またオゾン減少により紫外線強度が増加すると皮膚ガンの危険性が増すなど人類及び生命への影響が大きいことから地球規模の環境問題として注目されている。実際、人類の多くが住む中緯度においても極域ほ

どではないにしてもオゾンの減少傾向が観測されており、オゾン破壊の主な原因であるフロンを撤廃したことによるオゾン量の復活傾向が見られるかどうかという'Ozone Recovery'問題が研究者の間で話題となっている。

オゾン破壊は主に成層圏のエアロゾルの表面における不均一反応が元になって起

るが、上部成層圏においては大気中の酸素原子濃度が大きくなるため気相中の反応でもオゾン破壊が起こりうる。このような観点から我々の研究室では上部成層圏のオゾンを直接観測する光学オゾンゾンデを開発し、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部によって開発された高度 42km まで観測可能な薄型高高度気球と組み合わせて三陸におけるオゾン高度分布観測を 1994 年から行っている。

当初の目的は CFCs やハロカーボン類から放出される塩素化合物が上部成層圏オゾンに与える影響の評価であったが、太陽活動度の変動による影響が大きいことがわかってきた。また、毎回オゾン高度分布に波長 2-3 km 程度の波状構造が見られ、大気重力波によるものと考えられることから、大気重力波パラメータの導出に重要な風速測定を目的として、2002 年に観測器を改良し GPS を搭載した。また、2004 年からは超薄型気球を用いて高度 50km 前後までの観測を行っており、過去の観測例の少ない上部成層圏のオゾン観測を目的とした貴重な観測である。

しかし、オゾン破壊問題を研究する上ではオゾンのみでなくオゾン破壊物質である塩素化合物や窒素酸化物を同時に測定することが非常に有効である。これまでの光学オゾンゾンデはフィルターによってオゾンによる吸収の強い波長 (300nm) と吸収のない波長 (420nm) の 2 波長のみを測定していたため、大気微量成分に関してはオゾンのみしか測定できなかった。ところが近年非常に小型の回折格子・アレイセンサー・光ファイバーを用いた分光計 (重量 190g) が開発され、小型の気球観測器への搭載が可能となった。この分光計は 200 - 850 nm のスペクトルを同時に観測できるため、この領域に吸収のある二酸化窒素・二酸化塩素等の高度分布も観測可能である。ドイツのアルフレッド・ウェーゲナー研究所 (AWI) において我々との協力によりこの小型分光計を用いた光学オゾンゾンデを開発し、2004 年に試験観測を行った。しかしまだ性能は不十分であり、二酸化窒素の吸収は確認されたが高度分布の導出には至っていない。そこで、本研究では AWI のスペクトル取得型光学オゾンゾンデを元にさらに改良した観測器を開発し、オゾンと二酸化窒素の同時観測手法の確立を目指すこととした。

## 2. 研究の目的

フロンが原因となったオゾン破壊は、南極オゾンホールのような特殊な条件を除けば上部成層圏で起こりやすい。我々は、この上部成層圏オゾンに直接観測するために光学オゾンゾンデを開発し、1994 年より観測を行っている。ただし、オゾン破壊問題の研究で

はオゾン破壊物質である窒素化合物や塩素化合物を同時測定することが重要であるが、この装置はフィルター式のため大気微量成分に関してはオゾンのみしか測定できなかった。近年、非常に小型の回折格子・アレイセンサー・光ファイバーを用いた分光計 (重量 190g) が開発され、200 - 850 nm のスペクトルが同時観測可能な観測器の気球搭載が可能となった。本研究では、この分光計を用いて二酸化窒素・二酸化塩素等の高度分布観測も可能な新たな観測装置を開発し、観測を実施して十分な精度で観測可能なことを実証することで、オゾンとの同時観測手法を確立することを目的とする。

## 3. 研究の方法

これまで使用してきたフィルター式光学オゾンゾンデは、オゾンハートレー帯吸収によって太陽光の 300 nm 付近の紫外線の強度が高度に対して変化することを利用してオゾン濃度の鉛直分布を得るという測定原理である。受光面にはテフロン製の拡散板を用いており、これにより太陽追尾をしなくても光を観測器内部に取り込むことができる。また、内部に取り込まれた光を石英製のビームスプリッターによって分け、オゾンによる吸収を受ける太陽紫外線の強度と同時にオゾンの吸収を受けない波長 (420 nm) の太陽光強度を測定することで、観測器の揺れによる入射光量の変化を補正する。さらに、これら太陽光強度の他に気温、気圧を測定し、GPS 位置データから風速を導出する。モーター駆動部などの可動部分がないため、扱いが簡単でトラブルが少ないことも特徴である。本体のサイズは 250 x 170 x 250mm で、重量は 2.2kg と軽量である。

新たに開発するスペクトル取得型光学オゾンゾンデは、これらの長所を生かした上で多波長観測を可能とするため、基本的にはフィルター式光学オゾンゾンデの光学系部分を光ファイバーとアレイセンサーを用いた小型回折格子型分光計に置き換えた構成とする。気温・気圧・GPS 位置測定部等はこれまでの実績のある部品を出来る限り使用することとし、光ファイバーによる太陽光受光部、分光計からの大量のデータの入力及び送信部、分光計の露出時間制御部などの開発を行う。

新たな分光計による観測の検証を行うため、これまでのフィルター式光学系も同時搭載した試作機 1 機を製作し、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部の恒温槽や真空チャンバーを用いた性能テストを行う。観測を行うために宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部の気球実験の申請を行う。

気球実験に採用されれば、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部大樹航空宇宙実験

場において試作機と超薄型気球を用いた高度 50km までの試験観測を実施する。大気重力波観測およびデータ検証のため電気化学式 (ECC) オゾンゾンデも同じ気球に搭載し、同時観測を行う。得られた結果を解析・検証し、その結果に基づいて装置の改良を行う。

なお、気球用の観測装置は観測終了後海上に落下させるが、再利用するためには防水等の加工が必要で本観測装置の場合は受光部等に特殊な工夫をする必要が生ずるうえ、回収コストも高額なため、そのような加工は行わず使い捨てとしている。そのため改良型の試作機を製作する場合は新たに部品を購入する必要が生ずる。

開発の経過や検証観測結果は国内及び国際会議にて発表する。

#### 4. 研究成果

新たに開発するスペクトル取得型光学オゾンゾンデは、既存のフィルター式光学オゾンゾンデの長所（姿勢制御不要・可動部分無し等による簡便性と高い信頼性および気温・気圧・風速の同時測定）を生かした上で多波長観測を可能とするため、フィルター式光学オゾンゾンデの光学系部分を光ファイバーとアレイセンサを用いた小型回折格子型分光計に置き換えた構成とすることとした。気温・気圧・GPS位置測定部等はこれまでの実績のある部品をそのまま使用することとし、分光計からの大量のデータの取り込み部・分光計の露出時間制御部を新たに組み込んだ基板を設計した。

表1にフィルター型とスペクトル取得型の主な違いを示すが、分光器のデータは16bit

表 1. フィルター型とスペクトル取得型の主な違い

	フィルター型	スペクトル取得型
分光データ量	12bit 2ch (300nm, 420nm)	16bit 2400ch (200-680nm)
送信レート	1200bps	57.6kbps
データ取得間隔 (オゾン)	1 秒 (高度にして約 5 m)	2 秒 (同約 10 m)
観測可能成分	オゾン	オゾン、NO <sub>2</sub> 、OC10、BrO

で2400chとなるため送信データ量は膨大になる。そこで57.6kbpsの送信レートで分光器データを2秒に1回送る方式とした。また、新しい観測器の性能を検証するためには既存のフィルター式光学オゾンゾンデとの同時観測が必要であるので、最初の試作器に関しては両者の光学系部分と同じ装置内に配置し、気温・気圧・GPS位置測定部等を共用する観測器として設計することとした。

しかし、送信データ量が旧型に比べて大幅に増加したため、57.6kbpsの通信速度でもデータの送受信に工夫が必要となり、途中で設計の手直しを行った。これにより製作費用が当初予定よりも増加し、研究費の大半をこれに充てることとなったが、製作は無事終了した。

次に、太陽光の受光部に関しては分光器型は光ファイバーとなるが、ここをフィルター型と同様に姿勢制御不要とするためにはテフロンを用いた拡散板を取り付ける必要がある。拡散板は分光器メーカーによる市販品が存在したため(図1)、まずはこの拡散板の入射光角度依存性を測定した。その結果、受光部の拡散板を固定しているケースの縁の部分の厚みのため、入射角60°を超えるあたりから入射光を遮ることがわかり、入射光量の補正がうまく働かないことがわかった(図2)。



図1. 市販拡散板

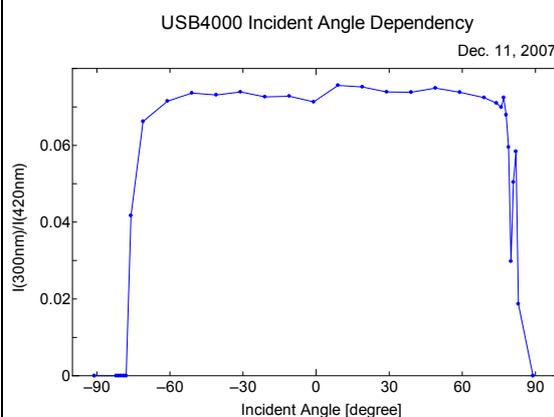


図2. 市販拡散板の入射角依存性

そこで、面積が広く縁の部分の存在しない拡散板を新たに製作し(図3)、入射角依存性を測定した(図4)。図4では若干非対称に見えるが、これにより80°程度まで補正が出来ることがわかったので、観測用にもこのタイプの拡散板を製作した(図5)。

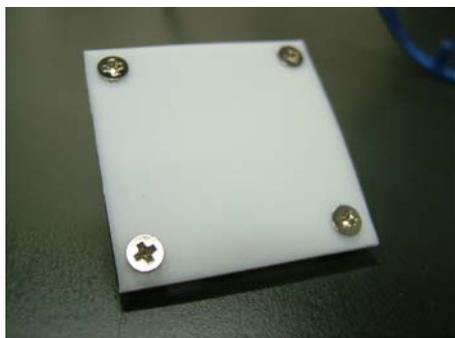


図3. 自作拡散板

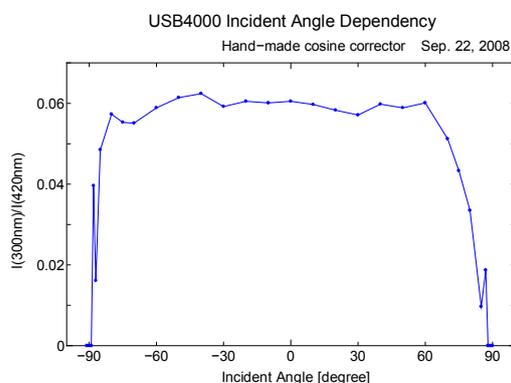


図4. 自作拡散板の入射角依存性

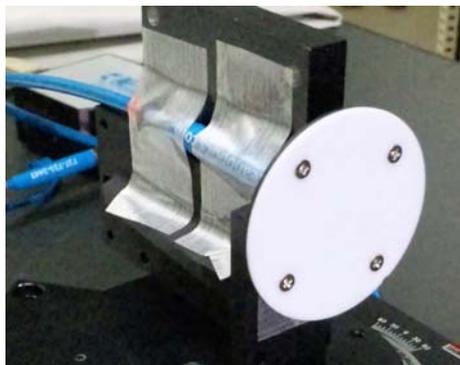


図5. 観測用拡散板

開発したオゾンゾンデの検証観測を行うため20、21年度の宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部の気球実験の申請を行ったが、ちょうど大気球観測施設が岩手県三陸町から北海道大樹町に移設される時期と重なったこともあり、残念ながら兩年とも採択されなかった。本研究終了後の22年度には実験が採択されているので検証観測は今後行うことになるが、その分十分時間をかけて検討しながら製作を進めることができた。

最終年度には完成した試作機の性能試験を宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部の恒温槽および真空チャンバーを用いて行った。図6に恒温槽で行った温度試験の様子を示す。真空試験では特に問題がなかったが、温度試験では若干測定値の変動が見られた。これは、データ取得時の基板内での切り替えタイミングに問題があることがわかり、回路を修正し再試験をしたところ出力が安定し、問題ないことが確かめられた。以上により、無事に新型の観測器を完成させることが出来た。



図6. 恒温槽内の試作機。ケースから出し上部に置いてある部分が従来からのフィルター型の光学系部分。その下の円形部分が分光器型の入射用拡散板。

これまでの光学オゾンゾンデの観測結果を含めた研究成果の発表や、開発経過の報告のため、国内のシンポジウムや国際オゾンシンポジウムに参加し発表し、また2編の論文に成果を発表した。

今後は、研究期間終了後とはなるが平成22年度の気球実験には採択されているため、5月に予定されている北海道大樹町における観測に向けて最終調整を行っており、観測後にはその結果から新型観測器の性能検証をおこなう予定である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

1. Murata, I., K. Sato, S. Okano, and Y. Tomikawa, Measurements of stratospheric ozone with a balloon-borne optical ozone sensor, *International Journal of Remote Sensing*, 30, 15-16, 3961-3966, 2009. (査読有)
2. Murata, I., K. Sato, T. Yamagami, S. Okano, and Y. Tomikawa, Development of a balloon-borne optical ozone sensor with GPS receiver, *JAXA Research and*

*Development Report*, JAXA-RR-08-001,  
57-62, 2009. (査読有)

[学会発表] (計5件)

1. 村田功, 岡野章一, スペクトル取得型光学オゾンゾンデによるオゾンおよび二酸化窒素の観測, 平成21年度大気球シンポジウム, 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部, 2009年10月2日.
2. 村田功, 岡野章一, スペクトル取得型光学オゾンゾンデの開発, 平成20年度大気球シンポジウム, 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部, 2008年9月26日.
3. Murata I., Sato K., Okano S., and Tomikawa, Y., Measurements of stratospheric ozone with a Balloon-borne Optical Ozone Sensor, Quadrennial Ozone Symposium 2008, Toromso, Norway, June 29 - July 5, 2008.
4. 村田功, 岡野章一, 佐藤薫, 富川喜弘, 堤雅基, 斎藤芳隆, 松坂幸彦, 並木道義, 山上隆正, 水田栄一, 河田二郎, 光学および電気化学式オゾンゾンデによるオゾン高度分布観測, 平成19年度国立極地研究所研究集会, 国立極地研究所, 2008年3月31日.
5. 村田功, 佐藤薫, 栗原純一, 岡野章一, 富川喜弘, 光学及びECCオゾンゾンデによる成層圏オゾン観測, 平成19年度大気球シンポジウム, 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部, 2007年12月14日.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

村田 功 (MURATA ISAO)  
東北大学・大学院環境科学研究科・准教授  
研究者番号: 00291245

### (2) 研究分担者

藤原 均 (FUJIWARA HITOSHI)  
東北大学・大学院理学研究科・准教授  
研究者番号: 50298741

笠羽 康正 (KASABA YASUMASA)  
東北大学・大学院理学研究科・教授  
研究者番号: 10295529

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: