

平成21年6月15日現在

研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19510019
 研究課題名（和文） 光通信用波長可変光学フィルタを用いた大気微量成分の高精度分光装置の開発
 研究課題名（英文） Spectroscopic instrument development for measuring atmospheric constitutions with high-precision using a tunable optical filter made for optical communication
 研究代表者
 森野 勇 (MORNO ISAMU)
 独立行政法人国立環境研究所・地球環境研究センター・主任研究員
 研究者番号：90321827

研究成果の概要：本研究は、光通信用に開発された安価、高精度、高安定な波長可変光学フィルタ装置を用いた大気微量成分の分光測定装置を開発した。人工光源を用いた測定系や太陽直達光を用いた室内試験測定により、スペクトルを取得し、分光装置自身の評価を行った。更に、野外観測を試み、野外での大気微量成分のスペクトルを測定し、解析を行い野外観測における評価を行った。この結果を基に、多数展開可能な実用環境モニタリングシステムの発展の可能性を探った。

交付額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2007年度 | 1,800,000 | 540,000 | 2,340,000 |
| 2008年度 | 1,700,000 | 510,000 | 2,210,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,500,000 | 1,050,000 | 4,550,000 |

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：環境分析、環境変動、リモートセンシング

1. 研究開始当初の背景

大気中の微量成分を高精度に定量的に測定することは、地球大気環境の把握のために基本的で非常に重要であることは言うまでもない。近年、その必要性がますます増してきている。

大気微量成分を測定する方法は、直接的方法として、(a)航空機搭載及びサンプリング測定、(b)気球搭載測定、(c)地上及びタワー測定等、また遠隔計測的方法として、(d)衛星搭載分光測定、(e)地上放射測定、(f)レーザーレーダー(ライダー)、(g)太陽直達光の高分解能フーリエ分光法(h)小型回折格子、

フィルタを用いた分光法等を上げることが出来る。

(a)航空機搭載直接及びサンプリング測定は、高精度測定が可能であるが頻繁に測定できることはなかなか容易でない。定期運行航空機に搭載して測定するプロジェクトが進行中であるが、大変な努力の上に成り立っている。(b)気球搭載測定もかなり高頻度で高精度測定が可能であるが、1日に12回上げるとなると大変であり回数も限界がある。(c)地上及びタワー測定は、高精度連続的観測が可能であるが、得られる情報は地表面又は数100mの高さが限界となっている(d)衛星搭載

分光測定は、同じ装置で全球観測を行うことが出来る非常に大きなメリットがあるが、分光装置が衛星に搭載されているため打ち上げ後の分光装置のハード的対処は不可能である。このため、分光装置及び取得されたデータの検証に、莫大な労力を要する。(e)地上放射測定は大気発光を観測するものであるが、電波や中赤外領域では有効な手段であるが波長の短い領域では有効な手段ではない。(f)ライダーは、多くの試行錯誤をされているが大気微量ガス測定に対しては、労力と苦勞のわりには取得されたデータの質は今ひとつであるが、測定技術の開発によって大きく発展する可能性を秘めていると言える。(g)太陽直達光の高分解能フーリエ分光法は、申請者を含めた研究者の努力により、最近かなり高精度(1%より良い精度)に大気微量成分を導出できるようになってきたが、未だ観測装置が高価すぎるといった問題が残されている。少し分解能を落とした安価版のフーリエ分光計も最近入手可能となったが、多数展開は不可能である。(h)小型回折格子、フィルタを用いた分光法は多数展開が可能であるが、精度、安定性、コストパフォーマンスにおいて問題点を残し、今後の発展が期待されている。この様に、それぞれの測定法は一長一短があり、完全無欠な大気微量ガスの測定法は無いと言える。

最近、光通信技術が飛躍的に進歩し非常に高精度・高安定で安価な技術が入手可能となってきている。前述の(h)小型回折格子、フィルタを用いた分光法において、最も問題となるのは波長可変光学フィルタが高価であるということと安定化(特に温度依存性)に莫大な労力が必要である。この問題点を解決した技術を用いた装置が、最近光通信分野で開発された。

問題点は、光通信専用で開発されているため、シングルモード光ファイバ(直径 8~10 μm)の光学系で最良の性能が得られる様になっている。このため、インコヒーレントな光である人工光源や太陽光は、シングルモード光ファイバに入らないという常識があり、この問題が最も懸念された。しかし、研究代表者らが所有している高精度レンズ光学系を用いて試行錯誤を行った結果、かなり光量をシングルモードファイバに入れることに成功した(損失:-20 dBm、わずかに二桁落ち)。

2. 研究の目的

本研究では以下のような目的に研究を行った。

光通信用に開発された安価、高精度、高安定な波長可変光学フィルタ装置を用いた大気微量成分の分光測定装置を開発する。人工光源を用いた測定系や太陽直達光を用いた室内試験測定により、吸収スペクトルを取得

し、分光装置自身の評価を行う。

更に、野外観測を試み、野外での大気微量成分のスペクトルを測定し、解析を行い野外観測における精度の評価を行う。この結果を基に、多数展開可能な実用環境モニタリングシステムの発展の可能性を探る。

3. 研究の方法

(1)波長可変光学フィルタのデモ機による測定と仕様決定

本研究で購入予定の波長可変光学フィルタ装置の仕様を決定するために、デモ機(波長帯 1.55 μm 、波数分解能 1cm^{-1})による人工光源や太陽直達光の観測を行う。取得したスペクトル分解能、装置関数特性、SNRを元に、検討するし、購入する波長可変光学フィルタの仕様(使用波長帯、分解能、検出器感度)を決定する。

(2)波長可変光学フィルタを用いた分光装置の組み立て、スペクトル解析プログラムの開発

上記の仕様の波長可変光学フィルタを購入し、入射光学系、光ファイバの整備、装置の制御・データ取得系の立ち上げを行う。平行して、測定スペクトルを解析するプログラムの開発を行う。

(3)室内実験による評価試験、データ解析・結果の議論

大型太陽光導入装置を用いて太陽直達光を観測し、そこに含まれる大気吸収スペクトルを取得する。(3)で開発したスペクトル解析プログラムを用いて解析を行い、本分光装置による大気微量成分の導出精度を評価する。

(4)分光装置の改良

(2)で開発した分光装置に対して、評価試験で取得したスペクトルの解析結果をもとに、装置改良を行う。

(5)野外観測のための検討と準備

野外観測のために、人工光源による観測光学系や太陽直達光観測光学系(小型太陽追尾装置等)の検討を行い、必要備品リストを作成し、購入し、動作確認を行う。

(6)野外観測、データ解析

太陽直達光による大気微量成分の吸収スペクトルを観測する。取得したスペクトルのデータ解析をして大気微量成分の濃度を導出しその精度を評価する。

(7)本装置の発展性の検討

本装置は安価で安定・高性能であることが期待されるので、多数展開可能な実用環境モニタリングシステムの発展の可能性を探る。測定対象大気微量成分も社会的必要性から洗い直す。

4. 研究成果

(1)本研究で導入する波長可変光学フィルタ

装置の仕様を決定するために、デモ機による太陽直達光や人工光源の観測を行った。デモ機を用いた実験結果を基に購入する波長可変光学フィルタの仕様を決定し、波長可変光学フィルタ (santec 社 OTF-950) を購入し、入射光学系、光ファイバの整備、装置の制御・データ取得系の立ち上げを行った。本研究で開発する装置は光通信用光ファイバを用いて光を導くので各装置の構成や配置の自由度が高いメリットがある。室内実験により本装置の評価試験と解析を行い議論を行った。

(2) 測定スペクトルを解析するプログラムの開発を行った。太陽スペクトル線(フランフォーファー線)及び波長可変光学フィルタの装置関数をフォワードモデルに組み込み、微量大気のプロファイルを仮定し、プロファイルを定数倍することによりスペクトル算差を最小にするスケージングリトリバル法を用いた。分光パラメータは最新のHITRAN2008を用いた。このスペクトル解析により微量大気成分のカラム量を決定することが出来る。

(3) 野外観測のための検討を行い、野外観測のための太陽直達光観測光学系(小型太陽追尾装置等)の検討し、整備した。

(4) 開発した光通信用波長可変光学フィルタを用いた分光装置によって取得したスペクトルの解析結果をもとに、分光装置の改良を行った。つまり、測定制御プログラムの改良、パワーメータのソフトウェア更新、波長可変光学フィルタ装置の光学部の改良を実施した。本研究により開発した分光装置のブロックダイアグラムを図1に示す。

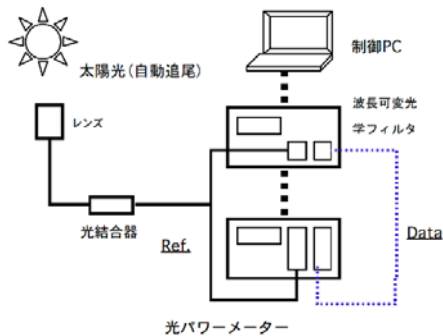


図1 本研究により開発した光通信用波長可変光学フィルタを用いた大気微量成分分光装置

(5) 改良した分光装置を用いて太陽直達光の吸収スペクトルを観測した。取得したスペクトルのデータ解析を行い、大気微量成分の吸収スペクトルが測定することに成功した。より詳細なスペクトル解析を行った。尚、測定は国立環境研究所において行った。スペクトル解析の結果を図2及び図3に示す。

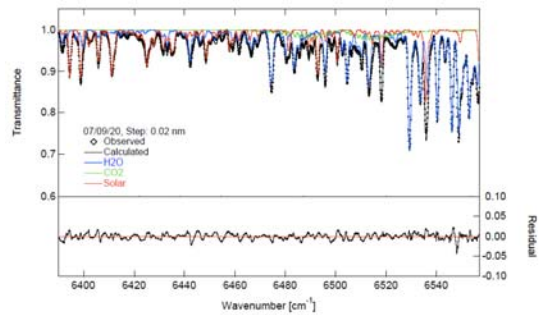


図2 6390-6557 cm⁻¹帯のスペクトル解析結果(正午時頃測定)

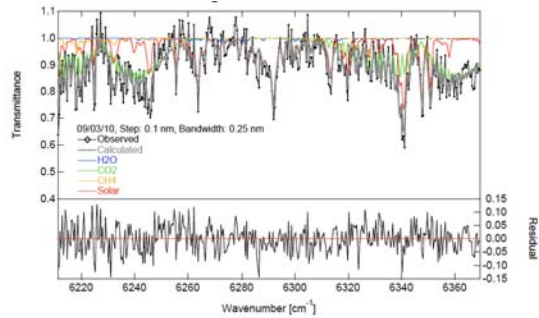


図3 6210-6370 cm⁻¹帯のスペクトル解析結果(14時頃測定)

図2は水蒸気の吸収が多く存在するところの結果である。うまくスペクトル解析を行うことが出来ず、スペクトルの残差は2%程度である。水蒸気のカラム量を $9.45 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ と決定することが出来た。高層気象台(館野)のレーウィングゾンから求めた水蒸気カラム量は $11.20 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ であり、時間の違いを考慮すると比較的良好一致を示した。

図3は二酸化炭素の吸収が多く存在するところである。XCO₂(カラム平均体積混合比(VMR)またはカラム平均濃度のこと。CO₂のカラム量を全乾燥空気カラム量で割ったもの。)は368ppmであった。この時期の平均的なXCO₂は390ppm程度であり、本解析結果は、小さな値となっている。スペクトル算差は図2より大きな値となった。これは図2と図3のスペクトル測定を行ったときのパワーメータの性能差によると考えられる。

(6) 野外観測装置としての可能性を観測実験及び解析結果をもとに検討した結果、価格的には可能性があるが、更なる基礎的研究を継続し測定精度や感度を定量化する必要があることがわかった。しかしながら、本研究によりユニークな大気微量成分を測定できる分光装置が実現できたとと言える。

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 3 件)

- ① Tomoki Nakayama, Hisato Fukuda, Akihiro Sugita, Satoshi Hashimoto, Masahiro Kawasaki, Simone Aloisio, Isamu Morino, and Gen Inoue, Buffer-gas pressure broadening for the $(0\ 0^0\ 3) \leftarrow (0\ 0^0\ 0)$ band of N_2O measured with continuous-wave cavity ring-down spectroscopy, *Chemical Physics*, 334, 196-203, 2007, 査読有
- ② T. Nakayama, H. Fukuda, T. Kamikawa, A. Sugita, M. Kawasaki, I. Morino, and G. Inoue, Measurements of the $3\nu_3$ band of $^{14}N^{15}N^{16}O$ and $^{15}N^{14}N^{16}O$ using continuous-wave cavity ring-down spectroscopy, *Applied Physics B*, 88, 137-140, 2007, 査読有
- ③ T. Nakayama, H. Fukuda, T. Kamikawa, Y. Sakamoto, A. Sugita, M. Kawasaki, T. Amano, H. Sato, S. Sakaki, I. Morino, and G. Inoue, Effective Interaction Energy of Water Dimer at Room Temperature: An Experimental and Theoretical Study, *Journal of Chemical Physics*, 127, 134302, 2007, 査読有

〔学会発表〕(計 11 件)

- ① 森野勇、中山智喜、福田久人、上川琢磨、井上元、川崎昌博、キャビティーリングダウン分光法による N_2O $3\nu_3$ バンドの圧力幅と同位体種測定、第7回分子分光研究会、2007年5月25日、東京理科大学森戸記念館
- ② 中山智喜、福田久人、上川琢磨、天野達夫、佐藤啓文、榊茂好、S. Aloisio、森野勇、井上元、川崎昌博、 H_2O 、 CO_2 、 N_2O の二量体の相互作用エネルギー、第7回分子分光研究会、2007年5月25日。東京理科大学森戸記念館
- ③ ISAMU MORINO, TOMOKI NAKAYAMA, HISATO FUKUDA, SATOSHI HASHIMOTO, MASAHIRO KAWASAKI, GEN INOUE, FOREIGN-GAS PRESSURE BROADENING FOR THE $(0\ 0^0\ 3) \leftarrow (0\ 0^0\ 0)$ BAND OF N_2O MEASURED WITH CONTINUOUS-WAVE CAVITY RING-DOWN SPECTROSCOPY, 20th Colloquium on High Resolution Molecular Spectroscopy, Sep 5 2007, Dijon, France
- ④ ISAMU MORINO, TOMOKI NAKAYAMA, HISATO FUKUDA, TAKUMA KAMIKAWA, MASAHIRO KAWASAKI, GEN INOUE, CONTINUOUS-WAVE CAVITY RING-DOWN SPECTROSCOPY OF THE $3\nu_3$ BAND OF $^{14}N^{15}N^{16}O$ AND $^{15}N^{14}N^{16}O$, 20th Colloquium on High Resolution Molecular Spectroscopy, Sep 5 2007, Dijon, France

- ⑤ 森野勇、温室効果ガスの野外観測と実験室分光、2007 日本化学会西日本大会 ミニシンポジウム-光を利用した反応・構造研究の最前線と将来-、2007 年 11 月 10 日、岡山大学
- ⑥ 大山博史、森野勇、町田敏暢、長浜智生、中根英昭、中川和道、つくば高分解能FTSによる CO_2 カラム平均濃度の変動観測、第13回大気化学討論会、2007年11月27日、名古屋大学・東山キャンパス
- ⑦ 山農大輔、坂本陽介、川崎昌博、森野勇、井上元、キャビティーリングダウン分光法によるメタンの圧力広がり係数の計測、第13回大気化学討論会、2007年11月27日、名古屋大学・東山キャンパス
- ⑧ 坂本陽介、山農大輔、川崎昌博、森野勇、井上元、室温における H_2O ダイマーの実効的相互作用エネルギー、第13回大気化学討論会、2007年11月28日、名古屋大学・東山キャンパス
- ⑨ 坂本陽介、山農大輔、佐藤啓文、川崎昌博、中山智喜、森野勇、井上元、圧力広がり測定による NO の二量体ポテンシャル深さの推定、第8回分子分光研究会、2008年5月16日、神戸大学瀧川記念学術交流会館
- ⑩ 大山博史、森野勇、中川和道、つくば高分解能FTSで観測された $1.6\ \mu m$ 帯 CO_2 吸収スペクトルの解析: フラウンホーファー線の処理および装置関数の決定方法、日本気象学会 2008 年度春季大会、2008 年 5 月 18 日、横浜市開港記念会館・横浜情報文化センター
- ⑪ 大山博史、森野勇、町田敏暢、長浜智生、中根英昭、中川和道、つくば高分解能FTSによる CO_2 カラム平均濃度の変動観測、日本気象学会 2008 年度春季大会、2008 年 5 月 20 日、横浜市開港記念会館・横浜情報文化センター
- ⑫ O. M. Lyulin, A. V. Nikitin, S. N. Mikhailenko, V. I. Perevalov, N. N. Filippov, I. M. Grigoriev, Isamu Morino, Tatsuya Yokota, Ryoichi Kumazawa, Takeshi Watanabe, Measurements of N_2^- , O_2^- and air-broadening and shifting parameters of the methane spectral lines in the $5550-6236\ cm^{-1}$ region, The 20th International Conference on High Resolution Molecular Spectroscopy, Sep 4 2008, Prague, Czech Republic

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森野 勇 (MORINO ISAMU)

独立行政法人国立環境研究所・地球環境研究センター・主任研究員

研究者番号：90321827

(2) 研究分担者

青木 忠生 (AOKI TADAO)

独立行政法人国立環境研究所・地球環境研究センター・NIES フェロー

研究者番号：20004476

小熊 宏之 (OGUMA HIROYUKI)

独立行政法人国立環境研究所・地球環境研究センター・主任研究員

研究者番号：10342734

(3) 連携研究者

該当なし