

E1

水平方向に大気中伝搬する赤外光線の受信光強度変動のスペクトル Fluctuation Spectra of The Received Power of The Infrared Beam After The Horizontal Propagation in The Atmosphere

香川直己 和田修己† 古賀隆治† 佐野博也

Naoki KAGAWA, Osami WADA, Ryuji KOGA, and Hiroya SANO

福山大学 工学部 電子・電気工学科

Dept. of Electronic & Electrical Eng.

Fukuyama University

†岡山大学 工学部 電気電子工学科

Dept. of Electrical & Electronic Eng.

Okayama University

Abstract: We obtain the fluctuation of the received infrared laser beams of the different two wavelengths with high resolution, and calculate a power spectral density function for each wavelength and a co-spectrum between the two fluctuation data. As the results, the lower frequency region at which the spectral level is enhanced by the absorption lines reflects the transferring of the matters in the air.

1. はじめに

地球の大気境界層は乱流状態にあり、光・電波・音波の伝搬に影響を与えているが、この現象を逆に利用すれば、風速、大気含有物質の量変化、更には物質輸送量までリモートセンシングできる可能性がある。

我々は、特に、水蒸気および、メタン、亜酸化窒素等の温室効果ガスの吸収線を含む7 μ m波長帯の赤外レーザ光線の大気伝搬について研究しており、受光強度変動を様々な周波数帯において調べ、吸収線の存在による受光パワの変動スペクトルへの影響などを明らかにしてきた^{1,2)}。その結果、大気状態のリモートセンシングの手掛かりを得るためには、ガスの共鳴吸収の影響が顕著に現れる10²Hz以下の変動成分から散乱による影響が支配的となる数100Hz付近の変動成分に互る受信光強度変動を高分解能で調査する必要性が生じた。そこで、測定装置を広周波数帯域測定に対応できるように改良して、屋内実験を行った。

本稿では、実験結果および、それに対する考察を行う。

2. 実験装置および実験方法

レーザ光源には、波長7 μ m帯で発振するPbSnTe可同調半導体レーザ(270HV2A-3:Mütek)を用いた。レーザは連続パルス電流で駆動され、二種類の波長をくり返し交互に発振する。発振波長は、駆動電流のオフセット電流およびパルス高に依存するが、この駆動電流の制御、また波長の切替周期およびサンプリング周期は時間はすべて外部コントロールにより自由に設定できる。受光素子にはMCT赤外線検出器(PCタイプ)を用いた。受信信号は位相検波器を経た後、A/D変換されホストコンピュータ(EPSON PC386bookL)のハードディスクに記録される。

実験は自然界の乱流の影響を受けにくい屋内廊下で行った。図1に実験環境および実験装置の設置状態の概略を示す。出射・受信光学系は、三脚に固定されたアルミ合金製の定盤上に固定し、これを廊下の一方に置いた。他方にコーナーキューブ鏡を置き、光線が廊下の中央線上を床に対して平行に伝搬するように調整した。光学定盤とコーナーキューブ鏡の距離は12mとし、光線の伝搬距離を往復で24m、光軸高度が床上1mとなるように調整した。また、往路・復路の光路は分離してあり、それぞれの間の光軸間距離は0.24mである。出射光線のビーム径はアパチャーで絞ることにより、5mmに設定した。

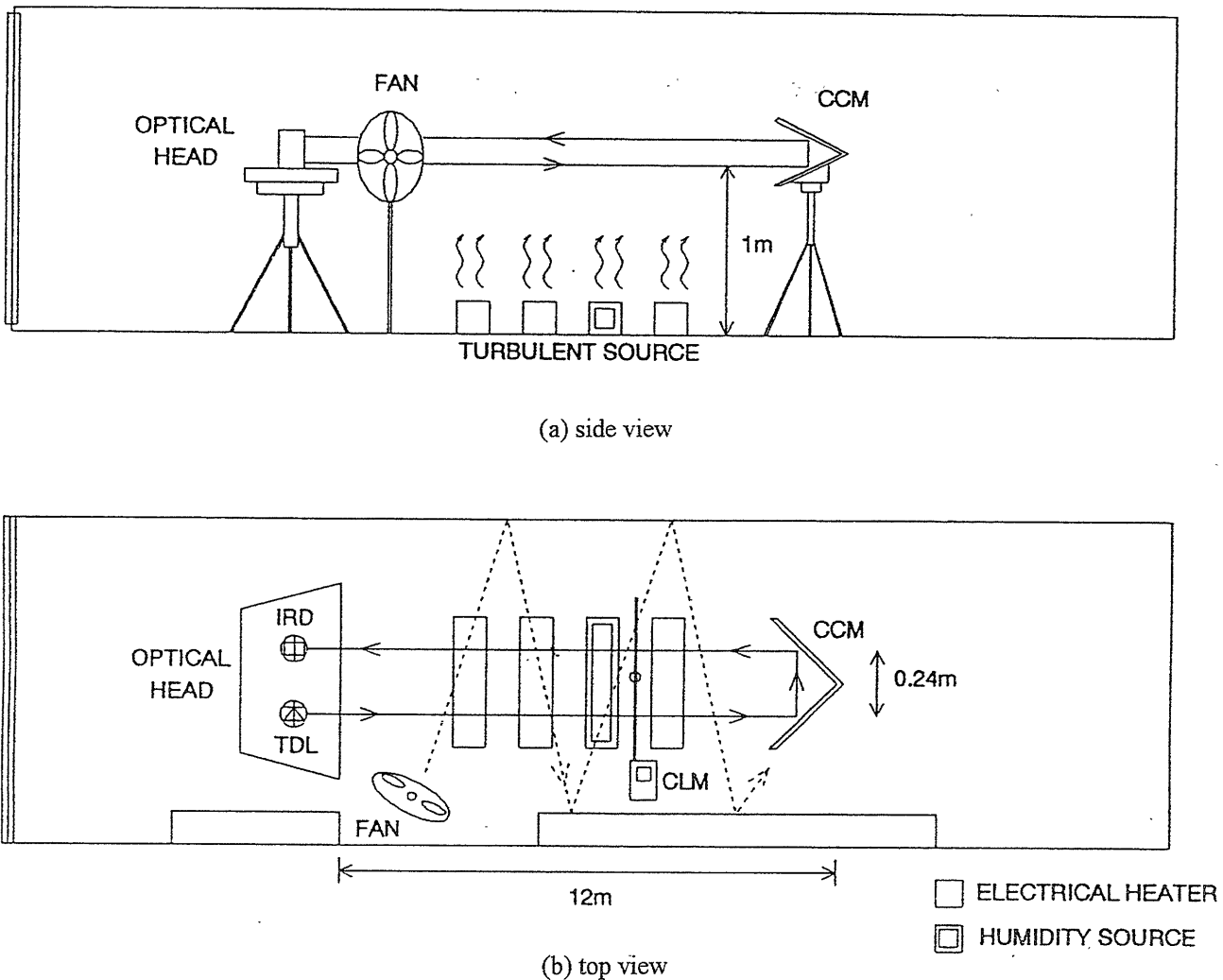


Fig.1 Set up of the in-door experiment which was held in the corridor :(a)side view, (b)top view.

光軸直下の床上に、3台の電気ストーブと、水の入った鍋をかけたカセットガスコンロを図1に示す位置に置き、それぞれにより温度擾乱、湿度擾乱を発生させた。更に、大気の力学的エネルギーの乱れを大型扇風機を用いて発生させた。

測定場の風速、気温および相対湿度は、光軸の中央に置いた風温風速計(CLIMOMASTER Model6511: 日本科学工業)で、2秒間隔で測定した。これらのデータは、別のコンピュータ(PC98LT: NEC)に記録される。

レーザの発振波長は、水の吸収線の中心波長に極めて近い $7.85950\mu\text{m}$ (1272.344cm^{-1})と、吸収線の中心波長から離れた $7.86027\mu\text{m}$ (1272.220cm^{-1})の二波長を選択した。波長の切替えは4ms毎とし、各波長に対してサンプリング周期8msでA/D変換を行い、70分間測定した。この設定で、最高周波数62.5Hz、分解能0.00025Hzで変動成分のスペクトルを得ることができる。

3. 測定結果および考察

3-1 パワースペクトル

取得した時系列データの対数振幅 $\chi(=\ln[p(t)/\bar{p}])$ を求め、それをFFT処理し、パワースペクトル密度関数を求めたものを図2に示す。黒丸は水の吸収線の中心波長極近傍の波長 $7.85950\mu\text{m}$ の光の変動スペク

トルであり、白丸は吸収線の中心波長から離れた波長である7.86027 μm の光の変動スペクトルである。また、実線および破線で示したスペクトルは、それぞれ波長7.85950 μm 、7.86027 μm の理論スペクトルである。これらは、同時に観測した風速、気温、相対湿度と吸収線パラメータを用いて計算した。筆者等の以前の報告²⁾では、可視光線のシンチレーションから間接的に求めることができる温度構造パラメータ C_T^2 だけを考慮してスペクトルレベルを算出していたが、ここでは、風速、気温、相対湿度から計算した各量のエネルギー散逸率をもとに温度構造パラメータ C_T^2 、湿度構造パラメータ C_Q^2 を求め、更にKohsiekら実験結果³⁾から得られた関係式： $C_{TQ} / (C_T^2 C_Q^2)^{1/2} = 0.87$ から温度-湿度構造パラメータ C_{TQ} を算出し、これら3種類の構造パラメータを用いてスペクトルレベルを決定した。

いずれの波長においても 10^3Hz 付近より高い周波数領域で実験と理論がほぼ一致する結果が得られた。しかし、実験スペクトルは 10^3Hz より低い周波数になるとスペクトルレベルが減少しているが、これは積分スケールの寄与であると考えられる。

積分スケール(L_0)は長さ[m]の次元を持つパラメータであり、乱流場内に存在する大小様々な渦の中で、最大の乱流エネルギーを持つ渦の規模の指針となるパラメータである。 L_0 は開放大気中の接地境界層の場合、数~数十[m]の値となる。

乱流エネルギーを空間波数領域で表現すると、そのスペクトルは $1/L_0$ [m^{-1}]で最大値をとるが、この付近はエネルギー保有領域と呼ばれ、乱流エネルギーの生成に携わる渦の規模に対応する空間波数領域を表わす。この領域は空間的なエネルギーの輸送に大きく寄与する。この領域よりも高い空間周波数領域は慣性小領域となる。この領域では等方性乱流が支配的になり、運動量や熱等の輸送は行われない⁴⁾。

図中の一点鎖線は実験時に同時測定した風速データをもとに求めた L_0 に対応する時間領域周波数 f_0 であるが、実測スペクトルの極低域のピークにほぼ一致している。エネルギー保有領域と慣性小領域の境界は曖昧であるが、慣性小領域の最大渦による変動周波数は平均流風速2m/s、高度1mで1Hz程度である⁴⁾。図2のデータ取得時の平均流風速は約0.3m/sであったので、測定時の大気の慣性小領域の最大渦による変動周波数は0.15Hz付近であることになる。従って、この実験では、 $6.01 \times 10^{-4}\text{Hz} \sim 0.15\text{Hz}$ に含まれる、受信光の変動スペクトルに乱流輸送量の情報を含んでいるといえる。ところで、スペクトルの低周波領域のレベル上昇は吸収線の寄与からなることを以前報告しているが^{1,2)}、この事から考えると、この実験においては水の輸送現象が反映されていると考えられる。

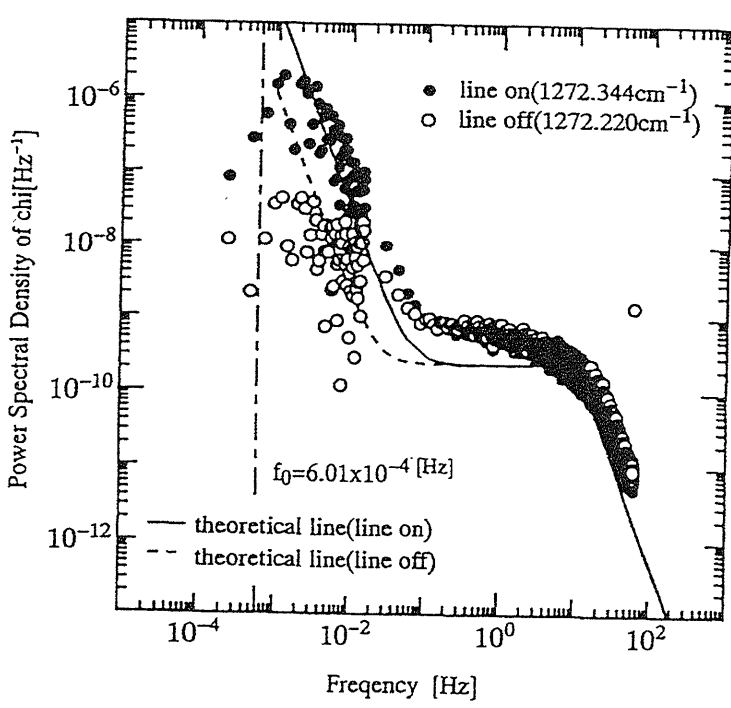


Fig.2 Power spectral density function of χ : Symbols show the experimental results and lines are theoretical ones.

3-2 コスペクトル

水の吸収線からの寄与が異なる、それぞれの波長の変動成分の間で、どの周波数成分が最も相関が強いかわかるために、前節と同じ測定データを用いて、コスペクトルを求めた。結果を図3に示す。この図より、前節で説明したエネルギー保有領域に対応する周波数付近の変動成分の相関が強く、逆に10Hz以上の高い周波数では急激に相関が弱まっており、図2に示したように、変動レベルにおいては全く相違なかった二波長の10Hz以上の変動が、実際には独立した変動をしていることを示している。この結果より、本実験における測定条件では、10Hz以上の変動は完全に慣性小領域に含まれるスケールの渦に起因していると考えられる。また、低周波領域での相関が強いことから、エネルギー保有領域に対応する非常にゆっくりした変動に物質輸送量の情報があると言える。

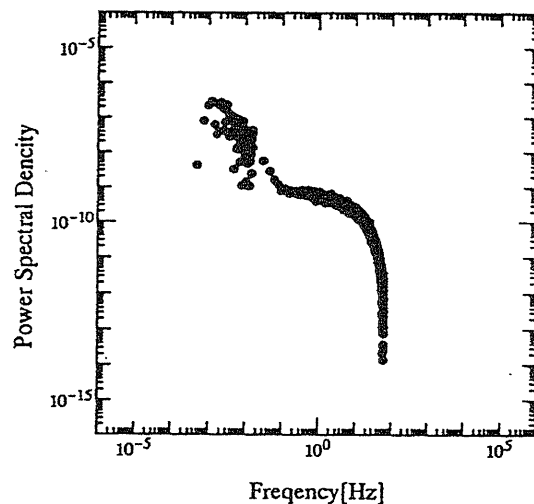


Fig.3 Co-spectrum between two wavelengths' fluctuation data.

4. まとめ

水吸収線からの寄与が異なる2波長の赤外光線を大気伝搬させ、それぞれの受信光強度変動を同時刻に高周波数分解能で測定した。更に、それぞれの波長の変動成分の対数振幅のパワースペクトルおよびコスペクトルを求め、風速データから算出した積分スケールと比較することにより、吸収線の影響が現れる低い周波数領域の変動に物質輸送量の情報が含まれることを示した。今後、同様の実験を屋外で行い、自然界のデータを取得する予定である。

謝辞

本研究を遂行するにあたっては、小島能成 氏、磯部善充 氏、大須賀将志 氏の多大な尽力を得た。ここに謹んで謝意を表す。

参考文献

- (1)N.Kagawa, O.Wada, and R.Koga: *Wave in Random Media*, 3, pp.317-324(1993).
- (2)香川直己ほか: 第16回レーザセンシングシンポジウム予稿集, pp.45-48(1993).
- (3)W.Kohsiek, M.H.A.J.Herben: *Appl. Opt.*, 22, pp.2566-2570(1983).
- (4)島貫陸: "乱流と気象", 東京堂出版, pp.146-164(1982).