デュアルコム分光法におけるスパース性と圧縮センシング

Sparsity and compressive sensing in dual-comb spectroscopy

東大理 [1]，阪大院情 [2]， JST さきがけ [3]

○川合 暁 [1]，堀崎 遼一 [2,3], 井手口 拓郎 [1,3]

The Univ. of Tokyo[1], Osaka Univ.[2], PRESTO[3]

○Akira Kawai[1], Ryoichi Horisaki[2,3], Takuro Ideguchi[1,3]

E-mail: kawai@gono.phys.s.u-tokyo.ac.jp

デュアルコム分光法は繰り返し周波数の異なる光周波数コムを二台用いて分光を行う手法であり、他の手法では難しい高速・高分解能・広帯域なスペクトル取得を実現できることから、気体分子計測への応用研究が進んでいる[1]。しかし、デュアルコム分光法では一スペクトル取得のデータ点数は時に数十万点にも及び[2]、長時間連続計測・イメージングを目的とした測定では測定データの保存や通信に大きなコストがかかってしまうという問題がある。

ここで、測定対象として想定している気体分子のスペクトル吸収線は細く、吸収スペクトルはほとんどの周波数で 0 である。このようなスパース性を対象が持っている時、圧縮センシング[3]という手法を用いれば測定データ点数が本来線形演算から要求される数より大きく少ない場合でも目的の情報を復元できることが知られており、上記問題にソフトウェアの観点から解決策を与える可能性がある。

我々は、数値実験によってデュアルコム分光法における圧縮センシングの適用可能性を検討した。分光系としては実際に行われた中赤外デュアルコム分光実験と似た状況を仮定した[2]。また、数値処理過程にはデュアルコム分光の性質を生かしたバックグラウンド処理とサンプリング処理を組み込んだ。その結果、2 種分子系において、ノイズを仮定した上で測定データ点数を本来の 1/100 以下にしても、本来の結果とのずれが 3%程度という高い精度で分子の濃度を定量できることを見出した。加えて、分子種を 10 種とした複雑な系でも 1/10 以下の測定データ点数でスペクトルをうまく再構成できることがわかった。データ処理の問題解決のほか、この結果は適切なハードウェア実装との組み合わせによる測定プロセス自体の高速化可能性を示唆している。

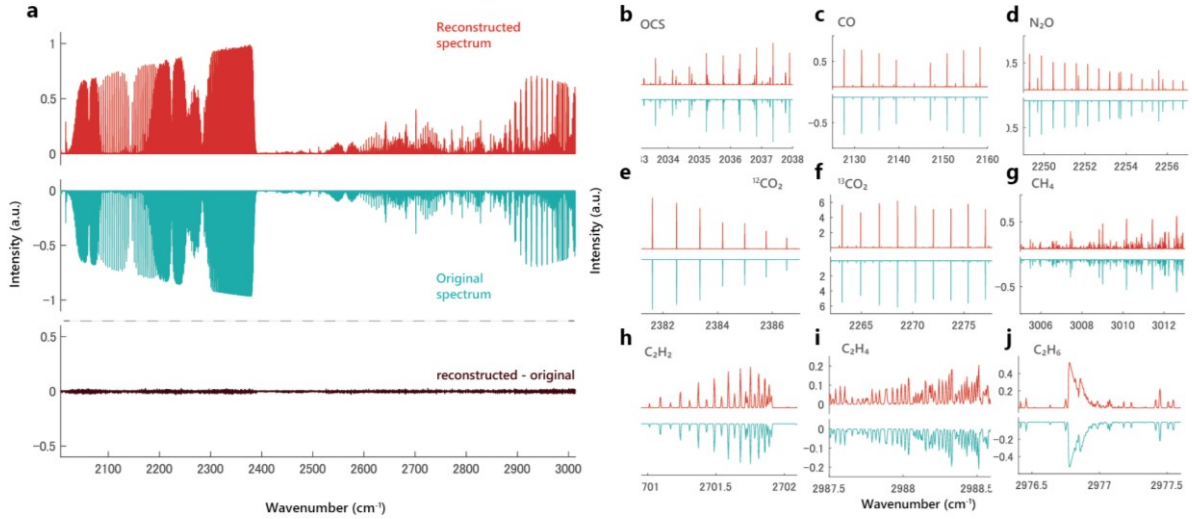

Fig. 1. Reconstructed absorption spectrum of ten gas molecular species from 50,000 out of 524,286 measurement points compared to the original spectrum. (a) Entire spectrum. (b-j) characteristic signature of each species.

[1] Coddington, I., Newbury, N., & Swann, W. *Optica*, 3(4), 414-426. (2016) [2] Muraviev, A. V. *et al. Nat. Photon.*, 12(4), 209–214. (2018) [3] Candès, E. J., & Wakin, M. B. *IEEE signal processing magazine*, 25(2), 21-30. (2008)