

汚染物質をリアルタイムで測定する 広帯域UVデュアルコム

サリー・コール・ジョンソン

新しいタイプの分光計は広いスペクトルをカバーし、取得時間が短く、高いスペクトル分解能を持つよう設計されている。1回の測定で電子励起、振動励起、回転励起を捉える。

オーストリアのグラーツ工科大 (Graz University of Technology) 実験物理学研究所のビルギッタ・ベルンハルト教授 (Birgitta Bernhardt) が率いる研究チームは近年、大気汚染物質をリアルタイムで検出・測定する広帯域紫外線 (UV) デュアルコム分光計を世界で初めて開発した。

ベルンハルト教授がポストドク時代に行っていた極紫外線 (XUV) 過渡吸収研究から着想を得たものだ。当時は、回折格子分光計のスペクトル分解能に限界があった。相対分解能は10-3程度で、高リユードベリ状態のような長

寿命励起の光誘導電子ダイナミクスを研究するには不十分だったのである。

ベルンハルト教授は、「もともと周波数コム分光法の分野が出身の私にとって、より高いスペクトル分解能がスタンダードだった。少なくとも10⁻⁷だ」と説明する。「次の論理的なステップは、広帯域周波数コム分光法とXUV領域の吸収研究を組み合わせることだった」。

デュアルコム分光法をXUVへ

広帯域技術の中で、デュアルコム分光法は赤外スペクトル領域でよく実証

されている。この方法は、広いスペクトルをカバーし、取得時間が短く、スペクトル分解能が高いことを兼ね備えている。これらの特徴をXUVに転用することは、XUV吸収分光法の興味深い第一歩を意味する。

ベルンハルト教授は、「広帯域近紫外 (NUV) デュアルコム分光計を初めて製作することは、今ではこの重要な発展へのマイルストーンとなっている」と話す。

このチームの分光計は、フーリエ変換の分光法の原理をベースとしている。干渉用のフォトダイオードに、わずかに離調した繰り返し率を持つ2つの光周波数コムを重ねることで実現する。従来のフーリエ変換分光計のスキヤニングミラーの代わりに離調した繰り返し率を用いることで、測定時間が100万分の1に短縮される。

その結果、デュアルコム分光法は、周波数領域における定規のようなものとなる。デュアルコム分光法の精細なスケールは、従来の定規のミリメートル刻みのように等距離の周波数を示す。これを実現するために、分光計には特殊なレーザー光源が使用されている。このレーザー光源は、広範囲にわたって異なる波長からなるパルスのペアを同時に放出する。この光がガス状の試料物質を通過すると、その物質の性質に応じて分子が光を吸収する。



研究室にある分光計を設定するビルギッタ・ベルンハルト教授(提供:Lunghammer/NAWI Graz)

吸収する間、レーザ光パルスは試料ガス分子を励起し、回転・振動させる。その結果、レーザのスペクトル振幅が変化する。つまり、関連する分子に特徴的な透過スペクトルとなり、試料の組成と光学特性を明らかにする。

ベルンハルト教授は、「UV領域の吸収断面積が大きいので、シングル・インターフェログラムの検索が可能であるという私たちの仮説が実現したことには大変満足した」と話す。「これにより、地球環境と非常に関連性の高いさまざまなガスサンプルのガス濃度変化をリアルタイムでモニターするという、私たちの分光計の性能を証明できた。私たちは、実験室にあるチャンバー内のホルムアルデヒド濃度の変化を1秒という時間分解能で追跡できた。これは、通常、大気中のガス濃度変化をモニターするには十分すぎるほどだ」。

環境モニタリング

チームの分光計の最も直接的な用途



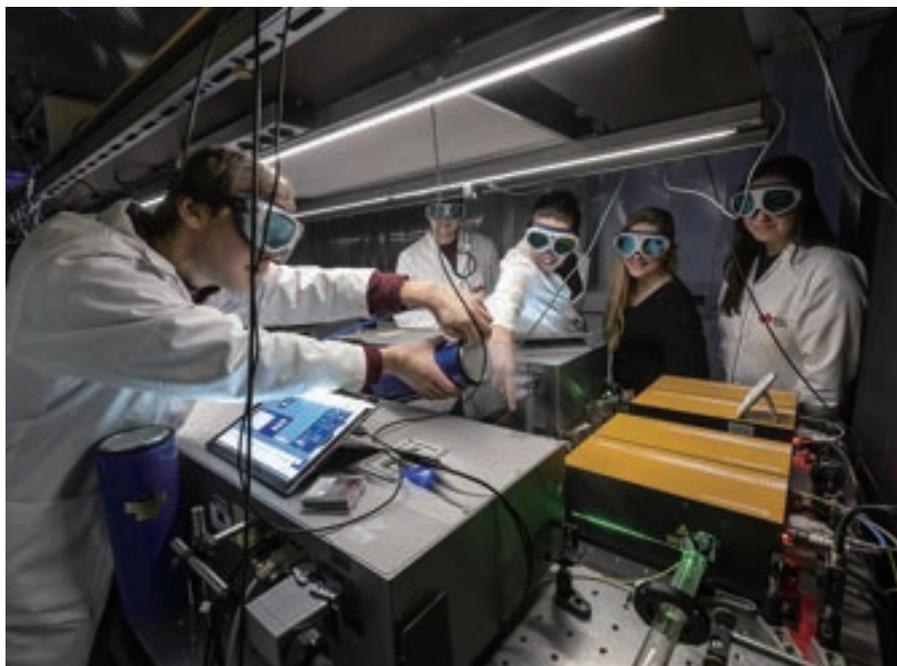
ベルンハルト教授(中央)のチームと広帯域UVデュアルコム分光計(提供: Lunghammer/NAWI Graz)

は環境モニタリングである。本装置は、ホルムアルデヒドを検出可能であることがすでに示されている。ホルムアルデヒドは、家具に使われる接着剤から作られたり、化石燃料や木材の焼却時に発生したりする大気汚染物質だ。

ベルンハルト教授は、「私たちの分光計は、繊維産業や木材加工産業、またはスモッグ濃度が上昇した都市におけるホルムアルデヒド排出をリアルタイムで追跡できる。そのため、人材と環境の両方を保護するために利用できるだろう」と話す。

また、「窒素酸化物、オゾン、その他の気候関連微量ガスの追跡にも使用できる」とも述べる。「本装置により、大気におけるこれらのガスの影響について、新たな知見が得られるだろうと望んでいる。これに基づいて、大気の質を改善するための新たな戦略が導き出されるだろう」。

次のステップについてベルンハルト教授は、「最初の『スナップショット』測定では、XUV回折格子分光計と比較して、私たちが達成できたのは分解能を1ケタ上げるのみだった。しかし、位相安定化によってレーザの安定性を向上できれば、スペクトル分解能は 10^{-8} 程度にまで改善できるだろう」と話す。



分光計の設定を行うベルンハルト教授のチーム(提:NAWI Graz)