

狭線幅色素レーザーを利用した超高分解能レーザー分光システム

(福岡大理) ○金子 薫, 大下 淳, 御園 雅俊

【序】高分解能分光を用いて多原子分子の性質について詳しい情報を得ることは、自然科学の基礎として極めて重要であり、環境科学や生物学、天文学の発展にもつながる。多原子分子の高分解能分光を行うと、分子の構造やダイナミクスに関する情報が、スペクトル線の周波数や強度、線幅として観測される。周波数分解能の向上によって自然幅まで分解したスペクトルを測定できれば、分子のより詳細かつ正確な情報が得られるようになる。

高分解能分光を用いて分子の正確な情報を得るためには、高度な分光技術に加えて精度の高い周波数標準が必要とされる。この周波数標準として光周波数コムが注目されている。現在広く行われている光周波数コムを利用した分光計測では、原子や分子の遷移に分光光源をロックし、その周波数を光周波数コムと比較して遷移周波数の高精度測定を行っている。この方法を利用すれば、極めて高い精度の分光計測が可能となる。しかしながら、ロックのためには大きな信号対雑音比 (S/N) の誤差信号が必要なので、測定対象がヨウ素分子など信号が強いものに限定される。また、分子の詳細な構造やダイナミクスの研究には、1つのバンドのほぼ全ての遷移を測定する必要があるが、このためには数百から数千、数万本に及ぶ遷移線の測定を行う必要がある。ヨウ素分子のように十分な S/N の誤差信号が得られるような場合であっても、これだけ多数の遷移に対して、レーザー光周波数をロックし、光周波数コムと比較する操作を繰り返すのは現実的ではない。このように、とくに分子分光への応用においては、現状の分光法は対象が極めて限定されている。

我々は、光周波数コムを基準として単一モードレーザー光の周波数を掃引することにより、 1 cm^{-1} 以上の広い波数範囲にわたる連続的な掃引が可能な分光光源の開発を行っている。単一モードレーザーとして、色素レーザーやチタンサファイアレーザーを利用することにより、100 kHz 程度の狭線幅と 1 W 以上の高出力とが同時に実現できる。光周波数コムの周波数精度は 10^{17} 程度である一方、線幅 100 kHz のレーザー光というのはたかだか 10^{10} の精度である。すなわち、少なくとも現時点では広波長域にわたる掃引が可能な単一モードレーザー光と比較して、光周波数コムの精度は 7 桁程度大きい。したがって、光周波数コムによる測定精度をある程度犠牲にしても、従来よりも高精度な分光計測を行うことができる。

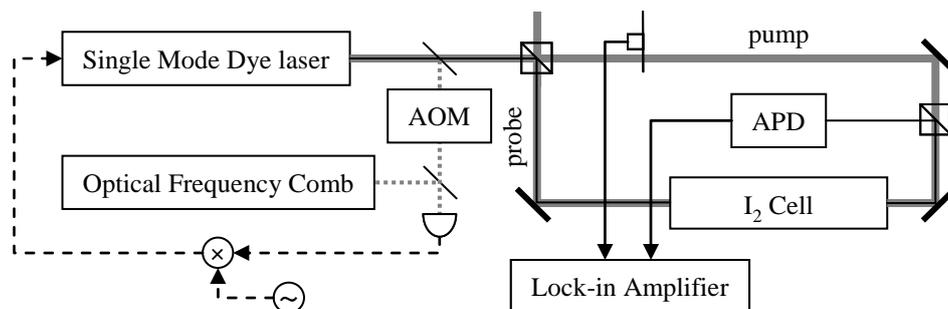


図 1

今回は、従来のものよりも 1 桁以上線幅の狭い単一モード色素レーザーの導入により、レーザー線幅に制限されない分解能で分光計測を行ったので報告する。従来の単一モード色素レーザーの周波数線幅は数 MHz と大きく、多くの分子分光において、これが周波数分解能を制限していた。

【実験】本研究のシステム図 1 に示す。単一モード色素レーザーと光周波数コムとのビートを取り、このビート周波数をシンセサイザーの出力周波数にロックして掃引を行う。ビート周波数によってはこの操作が困難となるので、単一モード色素レーザー光の周波数を音響光学変調器 (AOM) を用いて適宜シフトさせる。単一モード色素レーザーとしては Spectra Physics 社製 Matisse DX を用いた。この出力を利用して、ヨウ素分子の飽和吸収分光を行った。ヨウ素分子セルの長さは 30 cm、温度は 280 K とし、このセルの位置における励起光のビーム径は約 8 mm、プローブ光のビーム径は約 5 mm とした。

【結果と考察】図 2 にヨウ素分子のスペクトルの一部を示す。図 2 (a)は文献[1]所収のデータを使用して作図したものであり、(b)は本研究において測定したものである。(b)のスペクトルの測定においては、光周波数コムによる周波数校正は行わず、Matisse DX の掃引システムのみを使用した。測定した領域では 2 つの電子振動回転遷移が重なっており、それぞれが超微細構造をもつため、スペクトルが複雑になっている。(a)の測定に使用したレーザーは Coherent 社製 699-29 であった。(a)において、スペクトル線幅は約 20 MHz であり、レーザーの線幅で制限されている。(b)では、線幅は約 3.9 MHz であった。レーザーの線幅は約 150 kHz であったので、この測定においては、レーザー線幅は分解能を制限していない。このスペクトルの線幅は、圧力広がりやパワーブロードニング等によって制限されている。

(a)のように、699-29 を使用した場合でも、外部に高フィネス共振器を用意し、これに色素レーザー共振器をロックして、この外部共振器を掃引すれば、レーザー線幅を 1 MHz 程度までは狭窄化することが可能である。しかしながらこの方法は、装置が複雑になるばかりでなく、周波数掃引範囲が外部共振器で制限され、1 GHz 程度と狭くなってしまうという問題があった。

今後、光周波数コムを基準とした色素レーザー周波数の掃引を行い、これを利用して分光計測を進めていく予定である。

[1] H. Kato, M. Baba, S. Kasahara, K. Ishikawa, M. Misono, Y. Kimura, J. O'Reilly, H. Kuwano, T. Shimamoto, T. Shinano, C. Fujiwara, M. Ikeuchi, N. Fujita, Md. H. Kabir, M. Ushino, R. Takahashi, and Y. Matsunobu, "Doppler-Free High Resolution Spectral Atlas of Iodine Molecule 15 000 to 19 000 cm^{-1} ," JSPS, (2000).

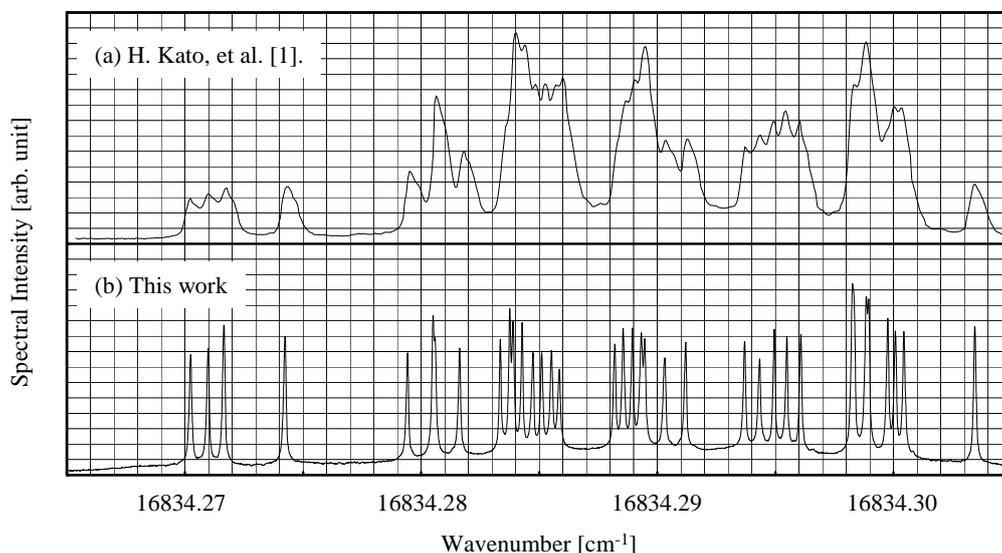


図 2