



## テラヘルツ波の利用に向けて

水野 麻弥

電波と光の中間に位置する電磁波（波長30  $\mu\text{m}$ から3000  $\mu\text{m}$ 程度）をテラヘルツ波と呼び、その発生や検出、増幅等に関する基盤技術の開発と、通信や非破壊検査等に向けた応用技術の検討が進められている。電波や光に比べると、いまだ十分に開拓したとは言えない電磁波領域であり、新しい発見や研究展開が望まれている。将来、生物工学分野にさらなる革新をもたらす可能性はあるのだろうか。テラヘルツ波を利用した分析法の特徴に触れながら推測してみた。

近年、テラヘルツ波の発生と検出技術等の進歩により、常温で扱いやすい装置が市販されるようになってきた。中赤外領域で一般に使用されているフーリエ変換赤外分光光度計と同原理のテラヘルツ分光装置や、テラヘルツ波の時間波形から複素誘電率等を求める時間領域分光装置などがよく使用されるが、これらの装置を利用すると、たとえば、目視できない物質の中にある測定対象物の指紋スペクトル情報を、テラヘルツ波の高い透過性により非破壊で取得できる可能性がある。テラヘルツといえば、封筒内の薬物検査が有名であるが、それもこの特徴を利用した応用の1つだ。他の周波数帯と同様に、分子の振動に必要なエネルギーや分子の配向性に応じた吸収スペクトルが得られ、また、2つの異なる物質が広い面積で接しているような場合には、分子間の弱い斥力や引力による吸収スペクトルの変化も観測できることが確認されており、これまで非破壊で検査することが困難であった物質について、1度は試してみたい分析法である。分子間相互作用の観測については、X線や光領域の分光測定においても研究が行われているが、エネルギーの低いテラヘルツ帯では、分子の振動が水素結合やファンデルワールス力等の影響を受け、抑制される様子が分光結果に顕著に現れるため、より高感度な検出が期待できる。

生体物質の物性研究では、前記のような分光や、表面プラズモン共鳴、水晶振動子マイクロバランスなど、あらゆる手法を駆使して分析が行われている。その中で、どのようにテラヘルツ分光を活用するとよいのだろうか。これまでに経験した、テラヘルツ分光によるタンパク質やDNAなどの分析例を挙げてみる。高濃度のコラーゲンを分光した場合には、塩化ナトリウムを試料に添加することによって、コラーゲンのテラヘルツ帯吸収スペクトルが大きく変化することがわかった。その変化量はゼラチン化の進行によって減少することが示されており、3重らせん構造の安定性を反映していると考えられ

る。また、DNAにおいても、1本鎖と2本鎖で吸収スペクトルが異なることがわかっており、主鎖間の水素結合を大きく反映している結果が多いことから、やはり、分子間ネットワークを探る手法としてテラヘルツ分光を利用する案が真っ先に浮かぶ。現在は吸収に関与する分子を同定せず、分光データの違いから生体試料の状態、たとえばがんと正常部位を判別する試みが世界各国で進められているが、量子化学計算等による分子シミュレーションの研究が進み、かつ、特徴的な吸収スペクトルを有する生体試料の作製が可能になれば、中赤外分光のように、どの分子の振動に対応した吸収であるか推定する手法が標準化され、特定の分子の動きをモニタリングし、いつ、どの領域で水素結合が起きているのか、高感度で観測することが可能になるかもしれない。さらには、分子間の作用による生体分子の秩序性と生体組織の構築や機能の発現との関係性を把握し、テラヘルツ波照射により分子振動を選択的に励起して生体機能を変化させるような挑戦的な研究も進むのではないだろうか。しかしながら、先に述べたように、テラヘルツ波は分子間相互作用に対して敏感であり、常にその力を受けている分子の集合体と、数の限られた分子モデルを用いた振動解析の結果を一致させることは容易ではないため、どこまでシミュレーションと実験の組み合わせによりスペクトルと分子振動の関係を特定できるか、まず検討したい。

一方、医学応用研究においては、テラヘルツ波は水に吸収されやすく、皮膚表面から生体の深部まで侵入しないという特徴を持つため、*in vitro* 研究が進む傾向にある。ここでも、分子間相互作用の観測に大きな力を発揮すると考えられることから、細胞と接着する細胞外基質の形態変化を分析するなど、再生医療に用いられる足場材料等の評価技術としても今後研究が進んでいくと推測できる。このようなさまざまな応用研究が進むことで、テラヘルツ波単独で得る成果だけでなく、他の分析法との融合により、高感度で分析することが可能となる生体組織機能の発見もあるのではないだろうか。テラヘルツ波を利用した、あらゆる応用技術の発展が期待される中で、我々はテラヘルツ波の一般化に向けて、テラヘルツ帯基盤技術や分光測定および解析技術の整備を進め、生体への安全性調査などについても、十分に検討していくことができればと思う。

