

## レーザーコンパス

## 周波数・時間標準へのレーザー技術の利用

吉村 和幸\*

Kazuyuki YOSHIMURA\*

周波数・時間標準の根幹をなすのは秒の定義である：「1秒は、 $\text{Cs}^{133}$ 原子の基底状態の2つの超微細構造準位間の遷移における放射の9,192,631,770周期の継続時間とする」(1967年国際度量衡総会CGPM)。そして、定義された秒を積算したものが(国際)原子時であり、その原点は1958年1月1日0時0分0秒UT2に定められている(1971年同)。また、標準時刻として用いられている協定世界時UTCは、原子時に「うるう秒」を挿入して世界時UT1と0.9秒以内に一致するようにしたものである。定義された秒(周波数)を実現する正確さは $1 \times 10^{-13}$ 以下であり、また原子時の長期周波数安定度は $2 \sim 3 \times 10^{-14}$ 以下である。これは、あらゆる物理量の中で桁違いに正確なものである。

このため、秒以外の単位系を周波数標準によって定めようという試みが20年以上前からなされ、先ず電圧標準がジョセフソン効果による関係( $\nu = (2e/h)V$ )から周波数測定によって行われるようになった。また、長さについては $^{86}\text{Kr}$ ランプの橙色スペクトル線の波長により定義されていたが、再現性が $4 \times 10^{-9}$ 程度であったため、光速 $c$ を定義することにより波長を周波数標準から決定する努力が久しくなされた。

筆者が米国国立標準局(NBS)に客員研究員

として滞在したとき(1971年)、 $c=f\lambda$ から光速を決定する5か年計画が最終年度になっており、 $\text{CH}_4$ 安定化He-Neレーザーの周波数(3.39 $\mu\text{m}$ )をCs周波数標準器で測定する壮大な周波数通倍チェーンを見ることができた。それは、大きな実験室一杯に設置された大出力のHCN,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ などのレーザーで構成され、ミキシング素子としてはジョセフソン素子やW-Niポイントコンタクト素子が用いられていた。

このような成果を背景に、1983年のCGPMで長さの定義が改正され、「メートルは、1秒の299,792,458分の1の時間に光が真空中を伝わる行程の長さ」とされた。これにより、長さの標準は $\text{CH}_4$ や $\text{I}_2$ 安定化He-Neレーザー周波数標準器によっておき代えられることとなり、またこれらはCs周波数標準器と結合される。

最近、レーザーの利用によって、マイクロ波帯周波数標準の性能向上に特徴的な進展が見られる。一つは、Csビーム型周波数標準器において、従来基底状態の準位選別を不均一磁場により行っていたのを、半導体レーザーにより励起状態にポンピングして行うものである。特に、2周波の偏光を組合わせたポンピングでは基底状態の $0-0$ 遷移に100%の原子を集めることができる。これにより、S/Nが向上し、また

\* 通信総合研究所(〒184 小金井貫井北町4-2-1)

\* Communications Research Lab. (4-2-1, Nukuikata-machi, Koganei, 184)

不均一磁場選別法の場合のマヨラナ遷移や近接遷移の影響が除去され、2次ドプラーの評価が容易になるなどのため、精度が1桁以上向上する可能性がある。

現在、Cs標準器に代わりうるものとして注目されているのが、イオン蓄積型周波数標準器である。これは、イオンを静電場と静磁場、または静電場とRF電場により閉込めてマイクロ波との相互作用を行わせるもので、容器閉込めの場合のような壁との衝突がなくなるため、緩和時間を日オーダーにできる可能性がある。

イオン蓄積型はかなり前から標準器の候補に上がっていたが、イオン温度が高いため2次ドプラーが大きく、またイオン個数が少ないためS/Nが小さい欠点があった。しかし、レーザー

冷却法技術が開発され、またレーザーによる信号検出(二重共鳴法)によりS/Nも改善されるようになった。イオンとしては1価のアルカリ土類金属イオン(Be<sup>+</sup>, Mg<sup>+</sup>, Ca<sup>+</sup>, Sr<sup>+</sup>, Ba<sup>+</sup>)およびHg<sup>+</sup>, Yb<sup>+</sup>などである。精度としては10<sup>-15</sup>台、安定度は $2 \times 10^{-15} / \sqrt{\tau}$ (平均化時間 $\tau \geq 100$  sec)の可能性がある。

この他、衛星による精密時刻比較においてもレーザーの利用が計画されており、ヨーロッパのLASSO計画はアリアンロケットの度重なる失敗により未だ日の目を見ないが、1 ns以下の精度を目標にしている。日本でも、当所の1.5mの宇宙光地上センターを利用して、測地衛星アジサイなどによるサブナノ秒の時刻比較を計画している。