

持続可能社会の実現に向けた分光法による 大気環境計測の進展

東京大学
戸野倉賢一

1. はじめに

持続可能社会を実現には、我々を取り巻く様々な環境問題を解決していく必要がある。大気環境においては、温室効果ガスの増加による地球温暖化問題¹⁾、世界全体で年間 700 万人以上の死亡原因となっている PM_{2.5} などの大気汚染の問題²⁾やいまだなお続くオゾン層破壊の問題³⁾等がある。これらの大気環境問題を解決していくには、原因となる大気中微量ガス等の濃度変遷を把握することが重要である。近年大気中微量ガスの濃度計測を行うための種々の方法が開発されており、特に吸収分光法を基盤とした計測装置の開発が著しく、低濃度の大気中微量ガスを高感度で計測できる装置が市販化されている。本稿では、筆者らが開発を行っている大気中微量ガスの高感度計測を可能にする多重反射光学セルを用いた分光計測と二酸化炭素(CO₂)等の温室効果ガスのカラム濃度計測について紹介する。

2. 多重反射光学セルを用いた大気中微量ガスの計測

2021 年における世界の温室効果ガスの平均濃度⁴⁾を表1に示す。CO₂については、2021年において年間 2.5ppm 以上、メタン(CH₄)については年間 18 ppb、亜酸化窒素(N₂O)については年間 1.3ppb の濃度上昇が観測されている。これらの濃度変遷を追うには、サブ ppm からサブ ppb レベルの精度での濃度測定が求められる。他の大気中微量ガスの濃度はほとんどが ppm 以下であり、これらの濃度を把握するには更なる高感度な計測技術が要求される。大気中微量ガスの濃度計測を可能にする方法として吸収分光法がある。吸収分光法では以下の式(1)に示す Beer-Lambert 則により、ガス種の濃度を測定する。

表 1 2021 年における世界の温室効果ガスの平均濃度⁴⁾

温室効果ガス	濃度
CO ₂	415.7 ppm
CH ₄	1908 ppb
N ₂ O	334.5 ppb

$$A = \ln \frac{I_0}{I} = \sigma c \ell \quad (1)$$

ここで、 A は吸光度、 I は光吸収前の光強度、 I_0 は光吸収後の光強度、 σ は吸収断面積、 c は濃度、 ℓ は光路長である。ppm 以下の低濃度の大気中微量ガスを高感度に測定するには、吸収断面積が大きい吸収線の選択と光路長を伸ばすことにある。前者については、赤外域の分子の基本振動に帰属される吸収線や近赤外域の倍音に帰属される比較的大きい吸光断面積を有する吸収線が選ばれる。後者については、数十 m の実効光路長が得られる多重反射光学セルを使用すればよい。数十 m の実効光路長の多重反射光学セルとしては、White 型、Herriott 型等があり、それぞれ市販品が世に出回っている⁵⁾。

最近では、従来の多重反射光学セルと同程度の光路長であるが、小型化が図られた多重反射光学セルの開発が行われている^{6,7)}。ここでは、シリンドリカルミラーを用いた非焦点型多重反射光学セルの原理について説明する。その概略図を図 1 に示す。