

論文内容の要旨

論文題目 航空機排気を模擬した NO ガスのオゾン破壊反応に関する実験的研究

氏名 芝 世式

1. はじめに

現在アメリカ・ヨーロッパ等の多くの先進国で次世代の極超音速機の開発が進んでいるが、高層大気を飛行する故に生じる大気汚染の問題は深刻である。特に大気成層圏の飛行については、低温のオゾン層中に直接反応性の高い高温の排気ガスを排出することから以前より問題視され研究が進んでいる。過去の研究において多くのものは地球規模の大スケールによる数値シミュレーションであり、この分野の研究においては気象観測が重要な地位を示している。反応性の高いと思われる排気直後の研究は少なく、実機の排出ガスサンプリングやその解析を元にするもの、独自の解析的研究を進めるものがほとんどであり、翼端渦による排気ガスの拡散に及ぼす影響等は提唱されているが、その実測にいたっていない。そもそも過去の研究による結果がまちまちであるのは実測データ不足にその原因があると思われる。そこで、本研究においてはこういった環境下における反応機構を地上における実験により解明することにより衛星、バルーン、航空機による計測や数値シミュレーションと異なった視点からの解析を主な目的とする。特に反応が迅速に進むであろうと予測される排気直後の反応機構に焦点を置く。排気直後においてはオゾンを破壊する排気ガス成分の濃度も濃く、しかも高温であるので、地上の容器内での実験が可能であると考えている。こういった繊細な高層大気環境において過去に研究されているものは地球レベルでの数値シミュレーションや日常の気象観測がほとんどであり、排気直後の高反応性領域に着目したものは非常に少ない。また、僅かにある排気直後に関するものは、数値シミュレーションによるものと航空機によるガスサンプリングが主なものである。本研究においてはこのような場を想定し、地上の容器内での環境模擬、計測を行うことを目的としている。地上での実験が可能となれば、実際に航空機による環境破壊を行うことなく実験データが得られるだけでなく、コストの問題でも非常に安価となると予測される。

2. 実験装置および方法

本研究では、オゾン層の模擬に地上に設置された大型の真空チャンバを使用している。容器内において、排気ガスを模擬した NO ガスの挙動を LIF 法（レーザ誘起蛍光法）を用いて、その空間分布を計測した。入射波長と蛍光波長の異なる NO の計測と NO₂ の計測を行い、初期のオゾンとの反応が計測された。

また、本研究においては、紫外光ランプによる太陽光の模擬も行われ、光化学反応を含む反応場における NO および NO₂ の各数密度の時間履歴も得られた。

3. 静止雰囲気の結果および考察

LIF 強度はその原理より、ある範囲内では入射レーザー強度、測定粒子数密度に比例する。本実験範囲内では入射強度に対しても数密度に対しても良い比例関係が得られることを確認した。また、圧力依存に関しては、高圧になるほどクエンチングの影響により LIF 強度が落ちることが言われており、これを確認した。本実験範囲内においては流れ場においてもさほど圧力の空間分布は存在しないと思われるため、圧力差の影響は無視し、上記の入射レーザー強度の影響に留意し、測定粒子の数密度分布（低圧化では濃度分布）の計測を行った。LIF 強度が数密度に比例していることを確認した。

次に O_3 と NO の反応の様子をとらえるために NO ガスをチャンバ内に投入したのち O_3 を投入した。LIF を撮像する圧力は 13KPa で一定にした。 NO 及び NO_2 -LIF のどちらにおいても NO の投入量が O_3 分析器の値から計算した O_3 の投入数密度を境にしてグラフの傾向が変化している。これは NO の投入数密度が O_3 分析器の値から計算した O_3 の投入数密度より少ない場合はチャンバ内に O_3 が残っており投入した NO は全て反応していること、そして O_3 分析器の値から計算した O_3 の投入数密度より多い場合には投入した NO がチャンバ内に残っており O_3 は全て反応しているためによるものであるといえる。また、 O_3 分析器の値から計算した O_3 の投入数密度に等しい NO 投入量を境にしてグラフの傾向が変化することから、 O_3 分析器の値から計算した O_3 の投入数密度と実際にチャンバに投入された O_3 が等しいことが確認された。

また、この手法により逆に初期に投入されたオゾンの数密度を計測することが可能である。使用した手法は LIF 強度が比較的強いことと立ち上がり部のみの計測で断定可能なため、 NO -LIF 法を用いた。立ち上がり部のみの考慮で十分なため、蛍光強度は相対値であり、投入ガスも予想量付近のみのテストとなる。数度のテストにより十分な精度および再現性を確認した後、投入オゾンガスが破壊することなくほぼ 100% チャンバ内に存在することが確認された。

本研究では、市販のオゾン発生装置と共に UV ランプによりオゾンの生成を試みた。大型真空チャンバ内で低圧水銀ランプを入れ、内部にて照射を行うことにより成層圏と同じ機構に基づきオゾンが生成されるものとする。水銀ランプによる代表的なオゾン生成機構については、Barry DuRon らの研究がある。これに基づくと、光化学反応の定量的な評価が可能である。推算した各光化学反応速度定数による計算結果が今回用いた実験機材の特性を良く示していることが分かった。

成層圏の模擬においては、オゾン層の生成原因ともなっている光化学反応は非常に重要である。本研究においては、大型真空チャンバ内に設置した UV ランプにより太陽光の模擬を行い、光化学反応の様子を計測した。真空チャンバ内において成層圏を模擬した光化学反応を定性的には起こさせることが可能であり、定量的な計測により確認された。異なる発光スペクトルを持つ 2 種類の UV ランプを用いることで、独立に光化学反応の速度を変化

させることが出来ることを示し、成層圏レベルの定量的な光化学反応の模擬の可能性を示した。上記に加えて、定量的な計測の信頼性の確立と、反応場の作成における壁面や各種ガスの投入手順の影響が確認されたことは今後の同様の研究において有用であると考えている。

さらに、NO-LIF 法による空間分布計測を行い、シュリーレン法による計測と比較することによりその有用性を確認した。シュリーレン法では得られない混合の様子や数密度分布といったオゾン破壊に直接影響を及ぼしうる現象の可視化が可能であった。また、NO₂-LIF 法により流れ場における反応領域の空間分布が得られ、将来的な応用の可能性を示した。