



燃 焼 雑 感*

辻 廣**

Hiroshi TSUJI

Key Words: Essay, Combustion, Turbulence

昭和21年9月に大学卒業、以後約10年間の大学院特別研究生および助手時代、空気力学、特に境界層や等方性乱れの研究を行ってきた。当時、空気力学研究のご指導をいただいていた谷一郎先生の強いお勧めもあり、昭和31年春からは、山崎毅六先生のご指導のもとに燃焼の研究をはじめることになった。山崎先生は、2年近くアメリカに留学され、戦後の新しい燃焼研究のあり方を身をもって体験してこられた。その結果、新しい燃焼研究においては、流れに関連した問題が重要になることをいち早く認識され、新設の燃焼学部門を担当されると、研究協力者として、空気力学、特に乱流研究の分野を専門とする研究者を求めておられ、結局、私が適任ということになり、以後、燃焼の研究を行うことになった。

戦前、流体力学の研究で不滅の業績を残したせき(碩)学 T. von Kármán が、戦後、燃焼問題に多大の関心を持ち、層流予混合火炎の理論、可燃限界の理論、燃焼問題の境界層理論などについて開拓者的研究を行った。von Kármán は燃焼現象の解明に果たすガス力学の役割の重要性に着目し、燃焼研究を流体力学の一つの新しい分野としてとらえ、Aerodynamics(空気力学)と Thermodynamics(熱力学)に加えて Physical Chemistry(物理化学)をふくむような化学反応を伴った反応性気体の力学(Gasdynamics of Reactive Gas)を Aerothermochemistry(日本語訳:反応性ガス力学)と命名したのが1953年のことであり、それ以降、流れを伴った燃焼の現象論的解明や、理論解析が初めて系統的に行われるようになった。したがって、私が

燃焼研究をはじめたのは、反応性ガス力学という新しい学問分野が誕生した直後であり、タイムリーで、私にとって大変幸運であった。

私が燃焼研究を始めるようになった頃、空気力学の研究の先輩や同僚から、空気力学の分野で乱流の研究は泥沼であるといわれているが、さらにもっとひどい泥沼と思われる燃焼研究に足を突っ込むとは、研究者として進む方向が逆ではないかとのコメントを耳にした。たしかに燃焼は、急激な発熱を伴う高速化学反応であり、乱流現象とは比較にならないくらい、非線形性の強い現象である。したがって、極めて複雑な様相を示す燃焼現象を対象とする研究が泥沼であるという批判は、もっともなことのように思われる。しかし私としては、泥沼のように思われる研究の中にも、何かすっきりした、単純化された研究が可能なテーマとか、実験手法があるのではないかという、はかない期待を心の隅にもって、燃焼の研究をスタートさせた。

山崎先生は、アメリカ留学中に一次元の層流予混合火炎、いわゆる Flat Flame を研究されてきた。したがって、私の研究に対する先生の最初のコメントは、平らな乱流予混合火炎をつくることにより、乱流燃焼速度のような火炎特性や、火炎帯の中で乱れの強さおよび変動温度の強さのような乱流特性の測定ができないだろうかということであった。可燃性予混合気の流れの場をいろいろ調整しながら、平らな乱流予混合火炎を形成、安定化させるための予備実験をいろいろ試みたが、いずれの方法もうまくゆかず、結局、この研究は、乱流バーナ火炎の安定性に関する研究に転進せざるをえなかった。その後、保炎器を用いた高速気流中の火炎安定化の研究をはじめ、高負荷燃焼に関係した燃焼の諸問題の研究を行ってきたが、問題の性質上、対象とした火炎は主として乱流火炎で、研究そのものもそろそろ泥沼にはまり込んだような様相を呈しはじ

* 原稿受付 昭和61年7月15日。

** 正員、埼玉大学工学部(〒338 浦和市下大久保255)。

〔著者略歴〕大正12年9月9日生。

主として境界層、等方性乱れ、燃焼および反応性ガス力学の研究に従事。昭和59年4月まで東京大学理工学研究所、航空研究所、宇宙航空研究所、工学部境界領域研究施設。昭和59年4月から埼玉大学工学部。

めた。

このような状況下にあつて、いつも念頭を離れなかったことは、なるべく単純な形状の火炎を用いて、火炎現象や火炎構造に関する基礎研究を行いたいということであつた。最も単純な形状の火炎は、すでに述べた平らな形状の層流予混合火炎である。しかしこの火炎は、研究当初から指摘されていたように、バーナ表面への熱損失が極めて大きい場合を除いて、一般に divergent flow 中に存在しており、中心の流線を除いて、流線は火炎帯を斜めに横切っており、したがつてこの火炎は、一次元層流予混合火炎理論で対象としているような理想的な火炎といえない。流線が常に火炎帯に垂直に横切っている火炎としては、円筒状火炎 (Cylindrical Flame) や球状火炎 (Spherical Flame) が考えられるが、1950年代後半から1960年代のはじめにかけて、これらの火炎を対象にした理論的解析が行われ、またこのような火炎を形成させるための実験的な試みが行われるようになっていた。

ちょうどその頃、われわれは吹出しを伴った円柱状保炎器による高速気流中の火炎安定化の実験を行っていたが、保炎器の一つとして、焼結金属製の多孔質円筒を用いていた。この実験中に、多孔質円筒を保炎器としてよりむしろバーナとして用いるといろいろな面白い実験ができるのではないかということに気がつき、いろいろなサイズの多孔質円筒を注文し、手はじめに円筒状の層流拡散火炎をつくるための試みを行った。形成された火炎は、絶えず大きく変動し、あれこれ無駄な試みを数多く行ったが、結局、当初目的とした、円筒状の安定な拡散火炎をつくることはできなかった。今から考えると、このような火炎が容易に形成されないことは理解できるが、当時は経験不足で、この原因を洞察するに至らなかった。

たまたま実験室内に、製作したばかりの小形の縦形燃焼風洞があつたので、上記の多孔質円筒を利用した拡散火炎の実験を諦める前に、念のため、風洞に微風速の空気を流し、多孔質円筒を挿入して火炎の観察を試みた。全く予期していなかったが、意外にも、円筒の前方に、円筒状の青色の薄い火炎が形成されており、円筒の後方の火炎が変動しているにもかかわらず、前方の火炎は極めて安定であることがわかつた。これが、以後、われわれが長年にわたつて研究をつづけることになった、多孔質円筒バーナの前方よどみ領域に形成される対向流拡散火炎の誕生で、1964年のことであつた。多孔質円筒からの燃料吹出し速度や空気流速を変

化させることにより、形成される火炎の位置や黄色の輝炎の発生、あるいは消炎を簡単に制御できそうなことがわかつたので、縦形燃焼風洞の燃焼室を改良し、この火炎についての研究を本格的にはじめることにした。円筒の前方よどみ領域は、流れが極めて安定で、乱流に遷移しにくいことは流体力学の教えるところであり、したがつて、この領域に形成された火炎も亦、極めて安定で、火炎構造の詳細な研究に適しているという利点をもっている。

実は、空気流中に置かれた多孔質円筒まわりの拡散火炎の研究は、すでに1953年、D. B. Spalding によつて、燃料液滴まわりの拡散火炎のシミュレーションとして行われていたが、Spalding の研究は、空気流速の増大による包絡形火炎から後流形火炎への遷移現象に注目して実験を行ったものである。これに対し、われわれは、多孔質円筒の前方よどみ領域に形成される火炎を、純粋な拡散火炎として注目されはじめた対向流拡散火炎 (Counter Flow Diffusion Flame) という立場でとらえ、速度こう配のある流れの場に形成された、いわゆる伸長をうけた拡散火炎について詳細な研究を行ったものである。

それ以後、対向流拡散火炎の研究を進展させ、多孔質円筒バーナから吹出す燃料の代わりに予混合気を、また一様気流の空気の代わりに予混合気を用いることにより、広い範囲の研究を行うことができ、拡散火炎の形成可能な限界燃料濃度や限界酸素濃度の研究、可燃限界の研究、燃焼速度の新しい測定法の研究、双火炎 (Twin Flames) を利用して行った予混合火炎の消炎機構を解明するための研究などを行った。さらに現在は、乱流拡散火炎中に局所的に実在する層流の小火炎片 (Laminar Flamelet) のモデルとして多大の関心を集めている部分予混合拡散火炎の研究へと進展している。

これらの研究テーマは、ほとんどすべて、その前の研究を進めてゆくうちに、その研究の中から新しく見いだされたものである。一方、こういうことを解明したいと思つていろいろ試みたが、どうもうまくゆかなかつたことも少なくない。これまでの経験を通して、ただ一つだけ共通していえることは、実験に着手しないであれこれと考えてばかりいるのではなく、むしろとにかく実験に着手してみるということが、重要ではなからうかということである。結局、研究は急がば回れということか。