

超音速輸送機に係わる環境問題と流体力学

海老原 正 夫*

Fluid Dynamics in Relation to the Environmental Issues Inherent in the Supersonic Transport Operation

Masao EBIHARA

National Aerospace Laboratory

ABSTRACT

Brief description is given of the two environmental issues related to the operation of SST, viz. ozon depletion due to the engine emission and community annoyance caused by the sonic boom. The importance of the aircraft weight reduction is stressed in alleviating the impact of the environmental concerns upon the development of the second generation SST. It is hoped for that fluid dynamicists will contribute in either the weight reduction process or bringing about effective solutions to the environmental issues themselves.

Key Words: supersonic transport (SST), environmental issue, ozon depletion, sonic boom

1. はじめに

空の旅が大衆化して久しいが、現在この大衆化を支えているのは約1万のファンジェット機と約5千のターボプロップ機で、全て亜音速機である。超音速の民間輸送は、コンコルドが特定の顧客層に支えられて孤塁を守っているが、僅か14機のフリートでは旅客輸送の一翼を担う存在からは程遠いと言わなければならない。

コンコルドは、技術的には傑作の名に恥じないが、経済性の無さ（高過ぎる運賃）と環境適合性の悪さ（大き過ぎる騒音）とが普及を妨げた。そのコンコルドの耐用年数がそろそろ尽きかけて来ようという昨今になって、第二世代超音速民間輸送機を開発しようとする動きが活発になってきた。その背景となっているのは、推進や空力の技術分野での進歩がもたらした航空旅客輸送の相対的な低価格化と、通信技術を中心とする情報伝達手段の発達もたらした国際交流の促進気運とであり、又、前景には、経済性や環境適合性の問題に対処する場合の足場となる技術の進歩がある。

コンコルド以降のこの技術の進歩は著しいけれども、それをもってしても、第二世代超音速民間輸送機の運賃はか

なり高いものになりそうであるし、環境適合性の方は騒音もさることながらエンジン排出物が地球大気、特にオゾン層に及ぼす影響が重大問題となっていて、その解決については予断を許さない状況にある。

これら経済性や環境適合性の問題に対処する最良の処方方は、何と云っても機体重量の軽減を図ることである。そして機体重量を減らす最も有効な途は、空気抵抗を小さくすることである。この意味で、第二世代超音速民間輸送機開発の鍵は流体力学にあると言ってよい。その働らきを期待し、本稿では超音速民間輸送機に係わる環境問題を簡単に紹介する。

2. 環境問題(1)－オゾン層への影響

図1に示すように、超音速民間輸送機の巡航高度はオゾン高濃度層と重なると考えられている。このために、既に1960年代において超音速民間輸送機のエンジン排出物がオゾン層に及ぼす影響が懸念され、コンコルドと同時期にすすめられた米国の超音速民間輸送機開発計画が凍結される一因ともなった。その後CFC(フロンガス)によるオゾン層破壊が衆知の事実となり、第二世代超音速民間輸送機の開発にとっては、エンジン排出物のオゾン層への影響を地球環境上支障ないレベルに抑えることが何よりも重要な課題となっている。これを解決するためには、a)エンジン排

* 航空宇宙技術研究所

Atmospheric Ozone (Mid-Latitudes)

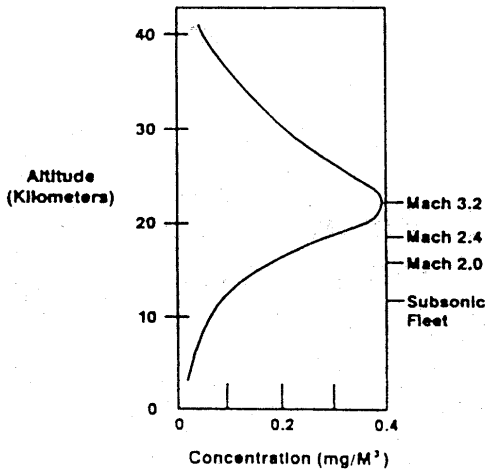


図1 大気におけるオゾンの高度分布¹⁾

出物がオゾン層に与える影響を正確に評価すること、b)許容できるエンジン排出物の量につき全地球的なコンセンサスを得ること、の二つがまず前提となる。この前提が満たされて始めて、これと一機当りの排出量を組み合わせて地球上の総機数や飛行頻度などが定まり、機体開発が経済的に引き合うかどうかの検討が可能となる。

この二つの前提のうちのbは、aの次のステップであるから、何よりもまずaを解決することが全ての出発点であるが、これが難しい。図2は影響の評価に際して考慮すべき要因を模式的に示しているが、基本的にはオゾンの生成と消滅に係わる諸反応と、反応に与える諸物質の分布を左右する大気運動との組み合わせの問題である。大気運動それ自体が難問であることは周知であるし、反応の方も不明な点が数多くある。例えば気相の間の反応だけでも百以上存在するが、それだけでは済まず、エアロゾルのような不均質物質の表面における周囲気体との反応も極めて重要であることが判明している。これは、地球北側の上空のオゾン分布に関する予測が不正確である原因を調べる試みでピナツポ火山の爆発によるエアロゾル増加を反応要因として予測に加えてみたところ、観測との一致が著しく改善された経験によるものである。予測は数値シミュレーションにより行うが、この場合、エアロゾルの量によってオゾン増減の程度が一桁違って来るという例もあり、予測の精度は十分でない。精度を検証するための観測データも決定的に不足している。従って課題aへの取り組みの前途は極めて厳しいが、問題の重要性から、オゾン層に対する影響評価のための研究は国際的に力を集めつつある。流体力学の立場から貢献が期待される面が少なくない。

現時点で利用できる理論モデルを用いて超音速輸送機の就航がオゾン層に及ぼす影響を試算した一例を図3に示す。これは、飛行マッハ数又はそれによって決まる最適巡航高度とエンジン排出深数(消費燃料1kg当りの酸化物排出量

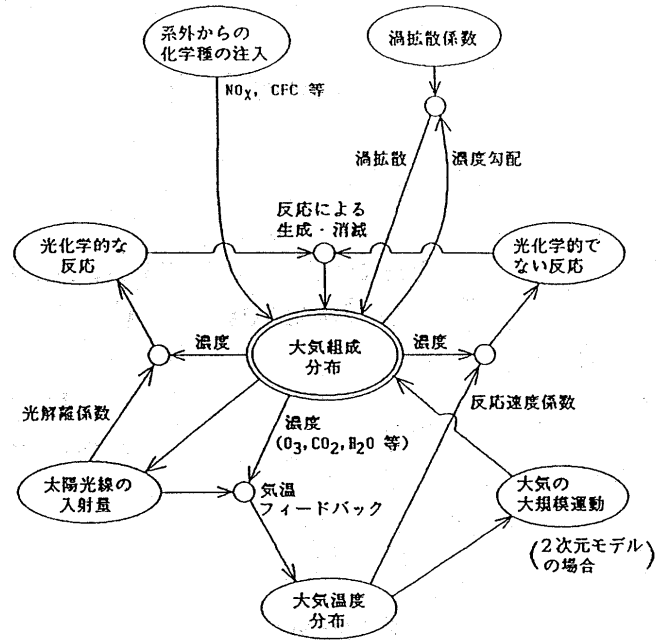


図2 オゾンの生成と消滅に関わる諸要因²⁾

600 HSCT FLEET (70 BILLION KG FUEL PER YEAR)
40 TO 50 DEGREE NORTH LATITUDE, YEAR 2015

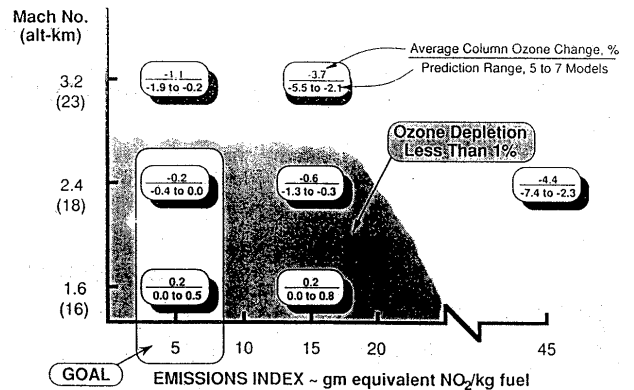


図3 飛行高度とエンジン排出指数がオゾン層に及ぼす影響³⁾

グラム)との組み合わせに対してオゾン全量の変化(負号減少)の割合を示したもので、現在のエンジン特性は排出指数(EI)が15~20であるから、飛行マッハ数が2.4以下ならば減少量は1%以下に止まると主張している。EIを小さくする努力も精力的にすすめられており、実験段階ではEI~5の水準が達成されている。実エンジンでもこの水準を保つことができるようになれば、前記課題のbについても明るい見通しをもつことができよう。

3. 環境問題(2)-ソニックブーム

ソニックブームの強さは、機体の重量、飛行マッハ数、飛行高度のほか、機体断面積や揚力の分布にも依存する。コンコルドの場合は、その発生するソニックブームが近雷に相当する不快感を与えると言われており、米国を始め多

くの国で民間機の陸上での超音速飛行が一般に禁止されているのは、このソニックブームが我慢の限界を越えるからである。第二世代超音速輸送機は、大型化して重量がコンコルドの2倍以上になると想定され、このままでは、陸上は亜音速飛行 (subsonic overland) とならざるを得ない。

ソニックブームは、機体のまわりの流れの擾乱が遠方場で前後二つの衝撃波に集約される事実によるもので、航空機形態の超音速飛行においてはまず不可避の現象である。ブームの強さは衝撃波における圧力上昇の大きさによって表わされ、コンコルドの場合はこれが約10Paの値をもつ。大衆が我慢できる水準はこの半分以下であると言われ、ブーム軽減の研究は、圧力上昇を5Pa程度に抑えることが一つの目標になっている。

ブーム軽減は1950年代からの研究課題であるが、機体重量(つまり揚力)を減らさずにブーム強さを小さくする方法はなかなか見つからず、現在のところ唯一有望とされているのは、擾乱の遠方場における集約をできるだけ遅らせ、機体から発生したそれが地上に到達する時点でもなお分布して、到達した瞬間の圧力上昇が全体の圧力上昇の一部であるように工夫するものである。図4にその概念を示す。図は機体の下方における近傍場、中間位置、地上の三ヶ所での飛行方向の圧力分布を概念的に描いたもので、右側は特に工夫を行わない場合、左側は擾乱の集約を遅らせるようにした場合に対応している。集約が遅れるような性質の擾乱およびそれを作り出すような機体形状は、超音速線形理論を擾乱の伝播速度に関して修正したWithamの理論の範囲内で取り扱うことができ、機体形状は鈍頭を特徴とするものであることが導かれている。鈍頭は抵抗を大きくするから、低ブーム性は空力特性と相容れない要因となり、揚抗比の低下を受入れて陸上も超音速で飛べるようにするか、陸上は亜音速飛行に限定するかのどちらかを選ぶしかない。

現在のところ、ブーム問題の解決については悲観的な見方が多く、subsonic overland やむなしの考え方が大勢を

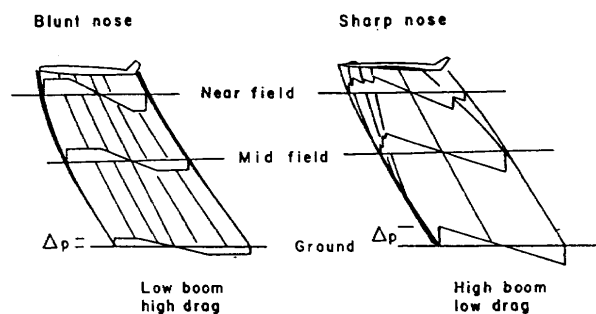


図4 ソニックブーム軽減のための機体形状設計概念⁴⁾

占める状況である。しかしながら、空力特性を損わずにブーム強度を小さくするような方策が絶対にならないということもできない。そのような方策に近づくために、理論と実験との両面から現象を調べていかなければならないが、理論の面では、擾乱の集約過程はCFDにうってつけの課題である。この場合、機体近傍から遠方場までの擾乱の変化を十分な精度で追跡できるような格子系を確立することが第一歩となる。大気の不斉性がブームの伝播に与える影響などは実験的アプローチが難しく、CFDの独壇となろう。

参考文献

- 1) Swadling, A. B. ; Prospects for a Second Generation Supersonic Transport, Paper presented at a Seminar held at Univ. Tokyo, April, 1993
- 2) 日本航空宇宙工業会 ; 環境分野のうちオゾン層, 超音速輸送機開発調査報告書, 平成2年3月
- 3) Williams, L. J. ; NASA High Speed Research for Future HSCT Aircraft, Paper presented at the International Aerospace Symposium '92 Nagoya, December, 1992
- 4) Brown, J. G. & Haglund, G. T. ; Sonic Boom Loudness Study and Airplane Configuration Development, AIAA Paper 88-4467, December, 1988

