

## 日本の実用衛星用ロケットについて (05・06・18)

西 本 喜久雄 (昭22理甲)

### はじめに

ただ今ご紹介いただいた昭和22年理科甲類卒業の西本です。今日は日本の実用衛星用ロケットについてお話しします。私は科学技術庁、宇宙開発推進本部、宇宙開発事業団向けの戦後のロケットにつきまして、その最初(S-Aロケット)から、現在の主力ロケットの前身であるN-Iロケットに到るまで、通算二〇年間余りにわたり、これらの技術開発にロケット・メーカー(三菱重工)の一技術者として参加し、その間、このプロジェクトの社内取り纏めにかんする実務、ロケットの設計、電気・油圧・推進剤供給系統、全機総合機能試験、エンジン燃焼試験、発射・打ち上げ試験などに従事する機会を得ました。私の限られた経験と、多くの専門家によるロケットに就いての著書、文献、情報などを参照、引用しながら、多少の私見も交えて話をさせていただきます。

## 日本のロケットの現状

さて、日本のロケットというと、皆さんがまず思い出されるのは、今年（二〇〇五年）二月二六日に、一年三カ月ぶりに、種子島から打ち上げられたH-IIA型ロケット7号機のことではないかと思えます。これがようやく成功して、私自身もヤレヤレと思っています。

その前の6号機が、打ち上げ時の補助動力であるブースターの、燃烧終了後の切り離しに失敗し、打ち上げが不成功に終わりましたので、「日本のロケットは、よく墜ちるなあ」と多くの人達に云われ、マスコミやインターネットの記事などでは、「日本の技術は地に落ちた」とか「何百億円が宇宙のゴミになった」とか「税金の無駄使いだ」とか、さんざん叩かれて来ましたので、7号機が成功して、ヤレヤレと思いました。

しかし、本当に日本のロケットは、世界の先進諸国に比べて劣っているのでしょうか？ 表1に「ロケットの成功率」を載せておきましたが、これを御覧いただくと他の先進諸国の同種類のロケットに比べて、決して劣ってはいないことがお判りいただけると思います。開発の初期に失敗数が多いのは、他の工業製品と同様ですが、表の一番右の列「初期一〇機（or未満）までの失敗機数」を縦に見ていただくと、日本は他の先進国に比べて決し

|           | 打上げ機数 | 失敗機数 | 成功率% | 初期10機 (or 未満)<br>までの失敗機数 |
|-----------|-------|------|------|--------------------------|
| 日本 N-I、II | 15    | 1    | 93   | 1                        |
| H-I       | 9     | 0    | 100  | 0                        |
| H-II      | 7     | 2    | 71   | 2                        |
| H-IIA     | 7     | 1    | 86   | 1                        |
| 米国 アトラス   | 147   | 13   | 91   | 5                        |
| デルタ       | 301   | 17   | 94   | 1                        |
| タイタン      | 216   | 20   | 91   | 1                        |
| 欧州 アリアン   | 161   | 11   | 93   | 2                        |
| ロシア プロトン  | 300   | 34   | 89   | 4                        |
| 中国 長征     | 74    | 8    | 89   | 2                        |

表1 ロケットの成功率 (JAXA 資料等をベースに作成)

て劣ってはいないことがお判りいただけると思います。

ここで問題なのは、日本の「打ち上げ機数」がほかの先進諸国に比べて、非常に少ないということです。さらに他国には、この外に軍事衛星用ロケットがあります。国によって違いますが、米国、ロシア、中国では、公表されている数と同数ぐらい、あるいはそれ以上の非公表の軍事衛星用ロケットがあるというのが大方の見方です。欧州についても、ハッキリは判りませんが、かなりの非公表のものがあるはずです。勿論、これらの失敗機数、成功率も判りません。

日本の成功率が他国に比べて遜色が

ないと言いましても、そもそもロケットの成功率は他の工業製品、例えば自動車、航空機などに比べると非常に低いことは事実です。これでは、一般の人が乗ってみようかとは、とても思えない数字です。

ではなぜ、そんなに低いのか？ その理由の第一は、人工衛星を軌道に乗せるためには猛烈なスピードが必要だということです。

高度二〇〇km程度の低軌道衛星では、秒速七九〇〇mぐらい、高度三万六〇〇〇kmの静止衛星では、これの一・三倍ぐらいのスピードを出さないと衛星を軌道（静止衛星軌道に乗せる前の静止遷移軌道）に乗せることができません。

航空機の離陸速度は、秒速約八〇m、時速約二九〇km程度です。また、新幹線の最高速度もほぼ同じぐらいです。

ロケットでは静止衛星を打ち上げるのに、これらの一三〇倍程の速度が必要なのです。一口に一三〇倍と云いましても、これは大変な速度で、東京から大阪まで一分程度で行ける速度です。

それではこの速度を出すにはどうすればよいのか？ これは、機体を極限まで軽くすること、と、エンジン・パワーを最大限まで上げることの二つです。そのために、ロケットでは通常の工業製品では到底考えられない極限の設計をやっております。

|           | H-II ロケット   | ジャンボ旅客機 B747-400 |
|-----------|-------------|------------------|
| 機体質量      | 14. 5%      | 39. 0%           |
| 推進剤(燃料)質量 | 84. 0%      | 44. 0%           |
| ペイロード     | 1. 5%       | 17. 0%           |
| 全備質量(ton) | 100%(261トン) | 100%(395トン)      |

表 2 質量構成

先ず、軽量化ですが、表 2 に、H-II ロケットとジャンボ旅客機（ボーイング 747-400）の「質量構成」の比較を示しています。全備質量の内、機体質量が占める割合を見ていただくと、これが非常に小さいことが判りいただけだと思います。これは機体を、極力軽量化していることを意味します。旅客機自身も、空を飛ぶ乗り物ですから、当然可能な限り軽量化していますが、それに比べても、ロケットは三分の一に近い数字です。つまり H-II ロケットはジャンボ旅客機よりも、さらに三分の一ほどまでも機体を軽くしているということです。

それでは、軽量化はどの程度までやっているのかを具体例で説明しますと、H-II の燃料タンク。これは特殊な高力アルミニウム合金ですが、直径は 4m あります。（図 1、H-II ロケット参照）このタンクの壁厚の最も薄いところは 1・6mm。この壁厚を半径で割った値は 一万分の八です。

これを身近な例として缶ビールのアルミ缶と比較しますと、アルミ缶の壁厚を半径で割った値は、約一万分の三五ですから、

ロケットのこの値はビール缶の四分の一以下ということになります。カラのビール缶を手で押すとベコベコしますが、ロケットはその四分の一以下ですから大変な薄さです。こんなに薄い壁厚のタンクの中に、マイナス二五三度Cの液体水素とマイナス一八三度Cの液体酸素を合計約三七〇キロリットル（一五KL大型タンクローリー車二五両分）も充填して、秒速一〇キロメートルの超高速まで加速させるのですから、地上の乗り物の常識を遙かに越えています。ただしタンクの壁厚の全てが一・六mというのではなく、内面にはアイソ・グリッドと呼ばれる大きな網の目の凸部がワッフルの皮のように作られており、これが強度を保つ梁の役目をしています。

次にエンジンのパワーを最大限に上げることについてですが、これも本体構造と同様、現在の最先端技術を駆使して、挑戦的な設計・製造を行っております。これについては、あとで少し詳しくお話しいたします。

以上は、スピードを上げるのに不可欠な構造の軽量化とエンジンの高性能化の重要性をお話ししましたが、言うまでもなく、ロケットは、誘導・制御、航法・電気・電子システム、機構（分離）シーケンス、計測システム等からなる巨大な先端技術の集合体で、あらゆるところで極限に近い設計・製造を行っており、それぞれが与えられた役割を確実に果たさなければ打ち上げは成功いたしません。

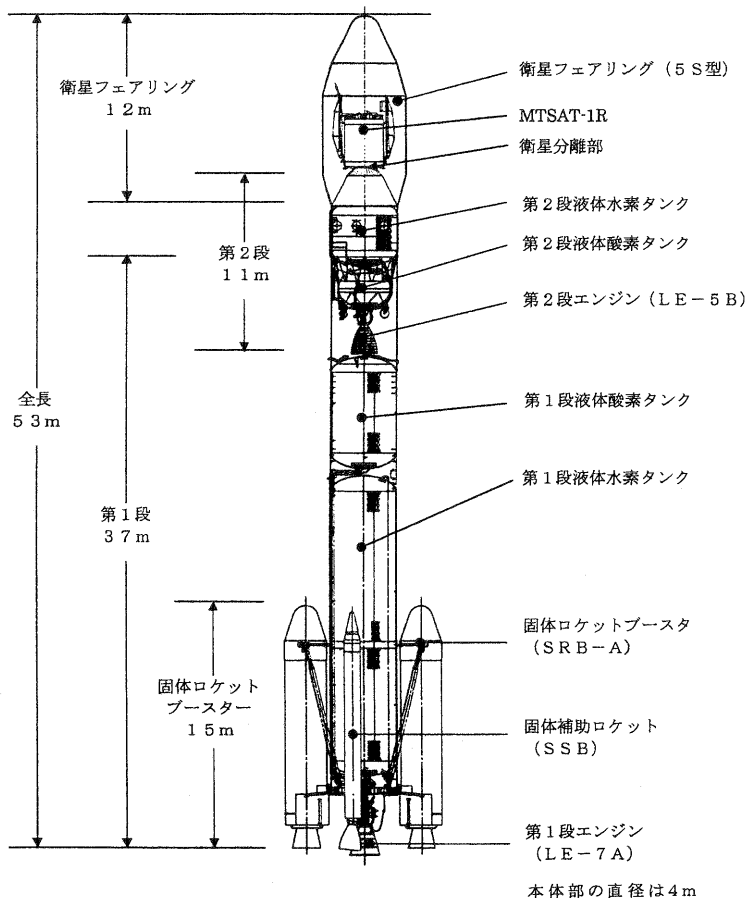


図1 H-IIA ロケット (JAXA 資料より)

ロケットはその運用中に受ける外力や宇宙環境、例えば、発射時の衝撃、音響振動、飛行中の振動、空力加熱、極低温、極真空、太陽放射、宇宙塵などに耐えて、与えられた任務を果たさねばなりません。問題はこれらの外力や宇宙環境がどんなものかや、その影響の大きさがどの程度のものであるかは未だ充分に解明されているとは云えません。これらは実際の打ち上げ実験の経験を積み重ねて修得する以外に方法がなく、ここで打ち上げ回数が非常に重要になってまいります。前に述べましたように、打ち上げ回数が他の先進諸国に比べて少ない日本は非常に大きなハンディキャップを負っているわけです。

さらに、ロケットが他の工業製品に比べて大きく異なる点は、打ち上げ前に地上で全ての必要機能の作動を、ロケットが運用中に受けるものと同等な外力や環境のもとで、予め確認しておくことができないということです。地上で使われる工業製品、例えば乗用車では、はじめに試作車を作り、テスト・コースなどで、実用中に遭遇すると想定されるあらゆる状況に対して充分な回数の実験を行い、不具合事項を洗い出し、何回も改良を加えて設計、製造法を確定してから製品を出しますが、ロケットでは一回の打ち上げ試験に一〇億円オーダーの費用が掛かりますので、こういうことは到底不可能です。

勿論、遭遇する環境を模擬した実験も可能な限りやっております。例えば、高空真空状態を模擬した試験環境の中でエンジンの地上燃焼試験を行ったり、低温、振動環境下で搭

載機器の性能確認試験をしたり、さらには、推進系、誘導制御システム、搭載電波機器などの高空環境下での機能を確認するため、（併せて、打ち上げ作業の習熟、地上設備との整合性などを確認するために、）試験用ロケットを発射することも小規模には実施していますが、それも一回の試験にかなりの費用がかかりますので、十分なことは出来ません。例えば、N-Iロケットでは二機、H-IIロケットでは三機打ち上げておりますが、試作車の試験とは遙かにほど遠いものです。

つまり、こういう試験を重ねても、乗用車なみにリスクを最小限に押さえこんでから打ち上げるということはできません。すなわち、ロケットは、挑戦的な極限技術を集約した巨大システムであること、十分に解明されていない未知の宇宙環境の中へ打ち上げ運用させること、打ち上げ前に必要機能の全てを確認しておくことが出来ないこと、など。これらが、ロケットの成功率が未だに低い主な理由です。

しかしながら、乗用車など通常の工業製品に比べて失敗する確率は高いけれども、通信、放送、気象、観測、測地、GPS（全地球測位システム）など、得られる利益やその波及効果が遙かに大きいので、そこにロケットや人工衛星の存在価値があるわけです。勿論、信頼性を高め、成功率を上げる努力は、今後とも積み重ねてゆかなければならないことは言うまでもありません。そのため、開発現場では懸命の努力を続けております。

ここで、ロケットや人工衛星の波及効果について付言いたしますと、これはその規模が大きすぎて容易に計り知ることはできませんが、これらを専門的に研究・分析されている経済産業省製造産業局の宇宙産業化ワーキング・グループの報告書（二〇〇四年八月）に引用されているデータ（新衛星ビジネス（株）の試算）によりますと、例えば、高品質の移動体通信（携帯電話など）と測位情報（GPS）を提供できる準天頂衛星システム（三〜四個の人工衛星を組み合わせ、常にその一つの人工衛星が日本の天頂付近にあるような軌道を描かせるシステム）では、開発費総額一七〇〇億円（見込み）、開発期間五年間に対し、経済的波及効果は、サービス開始後の一二年間で二一・三兆円という試算があります。見積り内容の詳細は判りませんが、これらの数字から単純に計算しますと、開発費総額の実に一二五倍もの波及効果を生み出すことになります。

このほか、多くの技術的波及効果があります。直接的なものだけでも、太陽電池、燃料電池、ナビゲーション・ジャイロ、形状記憶合金、原子力分野用の耐放射線IC、構造解析手法、先進医療機器、等々、枚挙にいとまがありません。

## ロケットのエンジンについて

つぎに、ロケットのエンジンについて、少々説明いたします。

ロケット・エンジンは、その推進剤により、固体ロケット・エンジンと液体ロケット・エンジンに大分類されることはご存じのとおりですが、人工衛星打ち上げ用ロケットでは、固体ロケット・エンジンは打ち上げ時の補助動力として、あるいは、上段ロケット（三段目以上）の動力として使用される以外は、液体ロケット・エンジンが主流です。もともと、一九七〇年に我が国初の人工衛星「おおすみ」の打ち上げに成功したラムダ4Cロケットは、全段、固体ロケット・エンジンですが、これは世界でも稀な実例です。

ここでは、以下、液体ロケット・エンジンに限って説明いたします。まず、ロケット・エンジンのパワーを決める最も重要なポイントの一つは、推進剤に何を選ぶかということです。

推進剤には、酸化窒素／ヒドラジン系、液体酸素／石油系、液体酸素／アルコール系、などと、これらよりも遙かに高性能の液体酸素／液体水素（液酸／液水）系があります。

諸外国では、貯蔵、取り扱い、即応性が優れているために前者、例えば酸化窒素／ヒドラジン系や液体酸素／石油系を使用している例が多いのですが、日本では、これらよりも五〇％程度もパワー（比推力）が大きく、毒性も、環境汚染も少なく、早くから理想のエンジンといわれてきた液体酸素／液体水素エンジンを自主技術で開発し実用化しています。液酸／液水エンジンが技術的に難しいところは、液体水素の沸点がマイナス二五三度C

であること、したがって貯蔵や、ロケットへ充填後の断熱、補充が重要なこと、ヘリウム以外の気体や液体に接触するとそれを氷結させ、配管内部を詰まらせたり、バルブを凍り付かせたりして作動を妨げること、また、分子が小さいために漏洩しやすいこと、金属に水素脆性を起こしやすいこと、などが挙げられます。このため、諸外国では、現在までのところ実用化している例は意外に少なく、特に、この液酸／液水エンジンを一段用大型ロケットに実用化している例は、世界でも、米国のスペースシャトル、旧ソ連のエネルギアぐらいで、ヨーロッパでは近年ようやくアリアンVになつてはじめて実用化したといふところudur。この液酸／液水エンジンは、貯蔵性、即応性を要求される軍사용ロケットには不向きといふこともあつて、実用化が遅れているといふ事情もあります。

日本が現在世界に誇れるエンジンは、H-IIAロケットの一段目に搭載している液酸／液水エンジンLE-7Aと、二段目に搭載している液酸／液水エンジンLE-5Bです。ここでは、特に開発に困難を極めたLE-7エンジン（LE-7Aの原型）についてもう少し説明いたします。このエンジンは、H-IIロケットの一段目に搭載するものですから、大気圧のある状態で作動させるために、燃焼圧力を高くし性能を良くする必要があります。また、打ち上げる種子島宇宙センターが狭いので、推進剤ができるだけ少なくてすむ高効率のエンジンにする必要があります。そのため、二段燃焼サイクルという特殊な方

式を採用しています。これはプリバーナーというところで液体水素と液体酸素を、酸素を少なくした状態で比較的低温で燃焼させ、この燃焼ガスで液体水素と液体酸素の各々のターボ・ポンプを回した後、燃焼ガスの全てを主燃焼室へ送り、追加の液体酸素を加えて二回目の燃焼をさせ、全ての推進剤を無駄なく使用するというもので、燃焼圧力が高く、燃焼効率が良く、大きいパワーが得られる方式です。この時エンジン本体は、ターボ・ポンプの高速回転による振動、二七〇気圧の高圧力、液体水素のマイナス二五三度Cから、主燃焼室の三三〇度Cまでの温度変化、自からの燃焼ガス排気による音響振動など、様々な苛酷な環境に曝されます。

また、液体水素のターボ・ポンプは、タンクからマイナス二五三度Cの液体水素を毎秒五〇〇リットル（家庭用浴槽3杯分相当の量）を汲み出し、二七〇気圧に昇圧してエンジン本体へ圧送する働きを六分間以上も継続する仕事をしますが、このときのタービン動翼とインデューサー・インペラー（遠心羽根車）を直結する回転軸は、片端はプラス五四〇度C、他端はマイナス二五三度Cという温度差の中で、毎分四万二〇〇〇回転（秒速七〇〇回転）します。これはレーシング・カー・エンジン回転速度の二倍以上、普通乗用車が高速で走っているときのエンジン回転速度の約二〇倍もの速度です。このとき、構成部材が受ける外力、即ち、圧力荷重、熱応力、熱衝撃、流体による高サイクル疲労などは想

像を絶する苛酷なものとなります。

これらの難題を解決するため、H—IIエンジンの開発は難渋を極め、爆発など多くの事故やトラブルに遭遇し、このため計画より二年も長い一〇年の歳月を要しましたが、設計、製造、検査、試験など各分野にわたる多くの専門技術者の叡智と不屈の精神、言語に絶する奮闘により、一九九三年五月に遂に完成し、翌一九九四年二月、これを搭載したH—II 1号機が打ち上げに成功しました。(一九八四年七月H—II基本構想と開発方針決定、一九九二年冬季1号機打ち上げ目標に対し、一九九四年二月四日、1号機打ち上げに成功)

さらにH—II、H—II Aロケットが2段目に搭載している液酸／液水エンジンLE—5 Bは、飛行中、極真空環境の中で、燃焼を一時停止させ、一定時間後に再び着火できるといふ非常に難しい技術を実用化しています。この技術のお陰で、三段目のエンジンが不要となり、また軌道上で柔軟な飛行経路を選択することが可能となりました。これは世界でも、アポロ計画のサターンVロケット2／3段(J—2)とセントール上段ロケット(RL—10)に使用例が見られる程度で、非常に高度な技術であり、国際的にも高く評価されております。

## 二つの制約

このように技術的には高い評価を受けている日本のロケットですが、他の国にはない二つの大きな制約があります。

その一つは、「平和利用の原則」です。一九六九年五月、「わが国における宇宙の開発及び利用の基本に関する決議」と、同年五月、「宇宙開発事業団法案に対する付帯決議」で、「わが国の宇宙の開発及び利用にかかわる諸活動は、平和の目的に限り、かつ、自由、民主、公開、国際協力の原則の下にこれを行なうこと。」と限定されています。これが厳密に解釈されて、たとえ平和利用の商業衛星用ロケットであっても、軍事用に転用される可能性があるという理由で、ロケットは勿論、エンジンなどの主要構成品は輸出できないことになっています。

例えば、先にお話しした再着火ができる液酸／液水エンジンLE-5は、一九八八年、ロケット先進国アメリカの老舗メーカーであるマクドネル・ダグラス社や、ジェネラル・ダイナミックス社から、商業衛星打ち上げ用として非公式な引き合いがありました。政府の認可がおりる見通しが立たず、商談を断念したことがあります。もしもこの商談が成立しておれば、年間十数台規模の継続的な輸出ができ、コストダウンにも大いに貢献したで

あろうと、業界では惜しまれています。他にもいろいろな実例があります。

もう一つの制約は、一九九〇年にアメリカから押しつけられた包括貿易法「スーパー三〇一条」です。これによって、政府調達は技術開発衛星に限ることとなり、通信、放送などの実用衛星は、国際市場から調達するべきことになりました。この結果、開発段階にあつて基盤が確立していなかった日本の商業衛星産業は壊滅的な打撃を受け、またこれに伴い、これらを打ち上げる予定で組んでいた日本のロケット開発計画も窮地に立たされることになりました。

身近かな例を挙げますと、先日（二〇〇五年二月二十六日）、一年三カ月ぶりにH-II Aロケットで打ち上げに成功した運輸多目的・気象衛星「ひまわり6号」は、米国製の衛星です。

ここで一言付言いたしますが、米国が日本の宇宙開発の前に立ちふさがっているというわけではありません。一九九八年の小渕首相とクリントン大統領の共同声明からはじまったGPSの無償利用協定によって、これを用いた日本製カー・ナビゲーション・システムが、その販路を世界に拡げているという事実もあり、また、後で触れますように、そもそも日本の宇宙開発が比較的短期間に世界のトップクラスと肩を並べることができるに至つたのは、日本の関係機関と産官学の関係者の熱意と尽力、就中、技術陣の奮迅の努力だけ

ではなく、多くの制約があったとはいえ、一九六九年から得られた米国の技術供与・協力のお陰でもあって、その豊富な経験の蓄積が活用できたことにもよります。

勿論、先に述べた制約は現実には存在しており、日本の人工衛星産業が多くの投資、関係者の努力にも関わらず、壊滅的な打撃をうけ、ロケットの開発にも重大な影響を及ぼしていることも事実です。

### 国の予算と市場規模の縮減

さらに、これも制約の一種とも言えると思いますが、最近では、宇宙政策が国家政策の中で余り重きを置かれなくなってきたており、国の予算も毎年減額されています。これは世界の先進諸国はいうまでもなく、宇宙新興国の最近のめざましい興隆とは逆の現象で、世界第二の経済大国とか技術創造立国とかいいますが、日本は宇宙産業に関する限り、実状は誠にお粗末です。

最近の日本のロケット市場規模について、日本航空宇宙工業会の宇宙産業実体調査報告書から抜粋したものを表3に示しますが、近年の減額は誠に憂慮すべき状況にあります。

なお、日本のロケットの開発費が高すぎるのではないかとの疑問を持たれる向きもあるかも知れませんが、これは全く逆で、一例として日本のH-IIロケットと、その基本構成

と開発要素が類似しているヨーロッパ宇宙開発機構のアリアンVロケットを比較しますと、

H—II      二七〇〇億円（うちエンジン      八〇〇億円）

アリアンV      五六六〇億円（うちエンジン      二〇〇〇億円）

で、日本のH—IIロケットの開発費はアリアンVロケットの半額以下であり、これに続く現在の主力ロケットH—IIAの開発費は、さらにその半額以下の、一一五〇億円ですから日本のロケット開発費は高すぎるどころか、むしろ安すぎるぐらいです。身内鼯鼠になります。その安い費用で、よくも立派な成果を上げているものだと思われ、評価されてしかるべきものと思います。

ついでに、日本国内の建設工事費と比べてみますと、東京湾横断道路は一兆四四〇〇億円、本州四国連絡橋（三つの橋）では、二兆八〇〇〇億円かかっています。前者はH—IIロケットの五・三倍、H—IIAロケットの一二・五倍、後者は、H—IIロケットの一〇・三倍、H—IIAロケットの二四・三倍です。業種が違うので一概に比較はできませんが、国費の使い方として、仮に本州四国連絡橋の一つを止めておれば、H—IIAロケット級の開発が、八機種もできたことになります。要するに、（繰り返しになりますが）日本のロケット開発費は決して高過ぎることはなく、むしろ安すぎるぐらいです。

また、日本のロケットの一機あたりの打ち上げ費が高すぎるのではないか、と思われる

| 年度    | 宇宙開発市場規模 |
|-------|----------|
| 2000年 | 2730億円   |
| 2001年 | 2369億円   |
| 2002年 | 2510億円   |
| 2003年 | 1852億円   |
| 2004年 | 1820億円   |
| 2005年 | 1703億円   |

表3 日本の宇宙開発市場規模

(ロケット、宇宙往還機、人工衛星、宇宙ステーションの合計)  
日本航空宇宙工業会「宇宙産業実態調査報告書」に拠る

向きもあるかもしれませんが、これも決して高過ぎることはありません。

二〇〇四年九月、総合科学技術会議で審議された「宇宙開発利用の基本戦略」の参考資料、大型ロケットの「打上げ能力・価格比較」を図2に引用しましたが、これを見ていただくと、H-IIA標準型ロケットの打ち上げ価格は、同じクラスのデルタ4M、プロトンK、アトラス5に比べて安いことがお判りいただけると思います。さらに現在開発中のH-IIA能力向上型ロケットでも、図2によると、打ち上げ能力（打ち上げ質量）当たりの価格で、さらに安くなる見込みです。

では、どんな方法で、日本では安くあげているのか、ということですが、これは諸

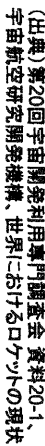
外国のエンジニアからは無謀と言われるぐらい、あらゆるところで費用を切り詰め、工夫と無理を重ねてやっており、さらに言うならば、実状は、少ない試験回数で設計を確定せざるを得ないギリギリの状況におかれているということだと思えます。

例えば、開発段階で固体ロケット・ブースター（エンジン）は、地上のテスト・スタンドに固定して、燃焼試験を行い、設計、製造法の評価、性能の確認などを行います。その試験回数を外国のロケットと比較しますと、アリアンVの固体ロケット・ブースターでは七回。スペースシャトルの固体ロケット・ブースターでは七回。さらに、一九八六年一月のスペースシャトル・チャレンジャーの打ち上げで、リフトオフの七三秒後に大爆発を起こし、七人の宇宙飛行士を失った事故の後では、原因の解明、改良の確認のためにさらに、五回の追加燃焼試験を実施しています。

それに対して、H-IIロケットの固体ロケット・ブースターでは、四回。H-IIAロケットでは、最初の計画では三回でしたが、6号機でブースターの燃焼ガス漏れによる導爆線の切断事故により、ブースターの切り離しができず、打ち上げが失敗したため、改良を施したブースターについて、二回の追加燃焼試験を実施したとのことです。

また、液体ロケット・エンジンを開発する場合、「世界標準」では燃焼試験時間の累積が二万秒は必要とされていますが、H-IIの第1段液体ロケット・エンジンの累積燃焼試

図2 打ち上げ能力・価格比較(大型)



験時間は約一万五〇〇秒です。つまり、可能な限りギリギリのところまで費用を切り詰めているというのが実状です。

宇宙開発というと言葉の響きが良いので予算がつきやすいかというと、そうではありません。政治家の中にも理解ある人は多いのですが、巷間、「宇宙は選挙の票にはならない」といわれているようで、選挙民の身近な利益に繋がるものに、政治家の目が行きやすいとのことです。勿論、これではいけないということ、昨年（二〇〇四年）三月、超党派の日本・宇宙議員連盟（会長、中川秀直衆議院議員）が発足し宇宙政策全般の検討、国民的議論の喚起を図ろうという動きもありますので、大いに期待したいところです。

### 世界における現在の日本の地位

次に世界における現在の日本の地位はどの辺かについて、簡単に触れますと、自国製のロケットによる人工衛星の打ち上げは、旧ソ連、米、仏に次いで、四番目。静止衛星打ち上げは、米、旧ソ連、に次いで三番目。有人衛星打ち上げでは、御存知のとおり一昨年（二〇〇二年）一〇月、中国が打ち上げに成功して、三番目となりましたが、日本はまだ打ち上げておりません。

もつとも、有人衛星打ち上げが、必ずしもその国の技術力を象徴しているとは言えませんが、中国がこれを行ったと言うことは、ロケットの信頼性に十分な自信がもてるようになった証拠であり、中国の最近の躍進ぶりは見逃すことができないことでしょう。もつとも中国は軍事費からも多額の資金を湯水のようにつぎ込んでいますので、日本ではとてもかなわないところです。しかし日本でも有人衛星打ち上げの計画はあり、あとで少し説明しますが、宇宙航空研究開発機構（JAXA）の「長期ビジョン」では、一〇年後に「人の乗れるロケット」を、二〇年後には「再利用可能な宇宙船」の運用開始を目指すとしておりますが、「国家財政に絡むので、今後一〇年間の成果を見て、国として決めていただきたい」（JAXA理事長談）としております。

### 日本の宇宙開発の変遷と今後の展望

それでは、ここで日本の宇宙開発の戦後の変遷と今後の展望について、簡単にご紹介いたします。

戦後の日本のロケット開発は、ご存じのように、一九五五年、東京大学・生産技術研究所の糸川英夫教授が中心となってペンシル・ロケットの発射実験を行ったことに始まります。以後、固体推進剤を使ったカップー型ロケット、次いでラムダ型ロケットが開発され

てゆきました。一九六四年四月には生産技術研究所が東大宇宙航空研究所に改組され、一九七〇年二月には、ラムダ4S型ロケット5号機により我が国初の人工衛星「おおすみ」を鹿児島県内之浦試験場から打ち上げて成功するという快挙を成し遂げました。つづいてミュー型ロケットの開発へと進み、一九八一年には、東大宇宙航空研究所は文部省・宇宙科学研究所（ISAS）に改組され、現在は、M（ミュー）―Vが主力ロケットとして活躍しております。

一方、実利用を担当する科学技術庁系のロケットは、一九六三年八月、新島試験場から発射された気象観測用S―Aロケットから始まり、一九六四年七月に発足した科学技術庁・宇宙開発推進本部、これを引き継いで一九六九年一〇月に設立された宇宙開発事業団（NASDA）が中心となり、S―Bロケット、LS―Aロケット、SB―IIロケット、（当初は新島試験場から、9号機以後は種子島宇宙センターから発射）、SB―IIIロケット……、LS―Cロケット等を経て、一九七五年九月、N―Iロケット1号機により我が国初の実用人工衛星・ETS―I技術試験衛星I型「きく」の打ち上げに成功、以後、N―IIロケット、H―Iロケット、H―IIロケットと続き、現在のH―IIAロケットに到っています。N―Iロケット以後の打ち上げ成績は、冒頭で述べたとおりです。

ここで、我が国の実用衛星打ち上げロケットの開発にあたり、特筆すべきことは、前にも話したように、一九六九年から、アメリカからの技術導入が得られたということである。一九六〇年代の初期からスタートした戦後の宇宙開発は、専ら自主技術で進められてきました。一九六七年一二月の佐藤首相とジョンソン大統領の会談に端を発し、一九六九年七月に日米宇宙協力協定が締結され、米国からソー・デルタの技術を導入する道が拓かれました。これにより、従来、我が国がそれまで開発してきた技術（主として第2段用エンジン）と米国から導入する技術とを統合させ、開発を加速させることができました。この協定は、範囲を変更しながら、H-Iロケットまで続きましたが、H-IIロケットからは、全て自主技術で進めることになり、現在に到っております。

先に話しました科学衛星打ち上げ担当の宇宙科学研究所（ISAS）と実用衛星打ち上げ担当の宇宙開発事業団（NASDA）の二機関のほかに、我が国には国立の航空宇宙研究機関として、航空宇宙技術研究所（NAL）がありました。この歴史は古く、一九一八年（大正七年）に設立された東京帝国大学航空研究所に始まります。戦前、戦中は、長距離飛行の世界記録を樹立した「航研機」、「A-26」、速度記録を狙った「研三機」などを開発し、世界のトップレベルに並ぶ成果を挙げていた研究所で、ご存じの方も多いと思い

ます。これが戦後、一九五五年に航空技術研究所として再発足し、一九六三年に航空宇宙技術研究所（NAL）と改称して、航空宇宙技術の基礎研究、開発研究を行ってきました。これら三機関は、一昨年（二〇〇三年）一〇月に統合されて、宇宙航空研究開発機構（JAXA）となり、文字通り我が国の宇宙航空研究開発の総元締め機関になりました。

ここで、我が国の宇宙開発の今後の展望はどのようになっているか、について簡単に説明いたします。我が国の宇宙政策の最高審議機関としては、内閣府直属の「総合科学技術会議」があります。この機関は、総理大臣、科学技術政策担当大臣のリーダーシップの下に、各省よりも一段高い立場から、総合的・基本的な科学技術政策の立案と総合調整をおこなうことを目的としています。勿論、宇宙開発の大綱もここで審議されます。

直近では、昨年（二〇〇四年）九月九日に、第三九回審議会が行われ、ここで、「我が国における宇宙開発利用の基本戦略」が策定されました。内容は、五〇ページを超える膨大なものですので、簡単にはご紹介できませんが、この中では、宇宙開発の意義を「国家戦略技術としての重要性」、「我が国の総合的な安全保障への貢献」、「地球・人類の持続的発展と国の矜持への貢献」にあるとして、また、目標として「国民の安全の確保」、「経済社会の発展と国民生活の質の向上」、「知の創造と人類の持続的発展」を掲げ、「人工衛星

と宇宙輸送システムを必要ときに、独自に宇宙空間に打ち上げる能力を将来にわたって維持すること」を基本方針としています。

H-IIAロケットは、輸送系の推進戦略上「基幹ロケット」と位置づけられており、今後「H-IIAロケットの標準型」は民間（三菱重工の予定）へ移行し、「能力向上型」は官民共同開発とすることとしています。

次に、文部科学技術大臣の直轄機関として、「独立行政法人・宇宙開発委員会」があります。この機関は、かつて内閣府に所属していましたが、二〇〇一年一月の機構改革により、文部科学技術省の直轄となり、「我が国の宇宙開発の長期的かつ基本的な方向を見定めながら、その中心的な実施機関である宇宙航空研究開発機構（JAXA）の中期目標の基となる『宇宙開発に関する長期的な計画』等に関し調査審議を行う機関」となりました。

この宇宙航空研究開発機構（JAXA）は、先に説明しましたように、宇宙開発事業団（NASDA）、文部省・宇宙科学研究所（ISAS）、航空宇宙技術研究所（NAL）の三機関が一昨年（二〇〇三年）一〇月一日に統合されて発足した機構ですが、この機構から今年（二〇〇五年）四月六日に「JAXA長期ビジョン JAXA 2025」が発表されました。本文と付図を併せて八〇ページに及ぶ大部作ですが、これが当面、我が国の宇宙開発に関する具体的指針の一つになるものと思われます。内容が膨大なので、これも

ここで詳細をご紹介しますが、要約すると、次のとおりです。

- まず長期ビジョンの理念として、「宇宙航空技術の活用によって、安全で豊かな社会をつくる。宇宙の謎と可能性を探索する。自在な宇宙活動ができる能力をつくる。あらたな基幹産業をつくる。これらによって国民の希望と未来を創造する。」ということを掲げ、この理念に基づいて、これから二〇年後までの長期ビジョンを提案しています。主な項目は、
- (1) 災害・危機管理情報収集システムを実現させ、アジア・太平洋地域への展開を図る。
  - (2) 政策ツールとしての観測・予測統合、地球環境監視システムの確立を図る。
  - (3) 宇宙科学のトップ・サイエンス・センターとして、その役割を果たす。(観測手段と観測の展開、小惑星、太陽、月、木星型惑星、太陽系全域の精査と太陽系外惑星、ブラックホールの探索など、多様な挑戦的科学研究ミッションを展開する。)
  - (4) 月面拠点の構築と利用のための技術の確立を目指す。
  - (5) 独自の有人滞在・活動を可能とする技術の確立を目指す。
  - (6) 世界最高の信頼性と競争力を有するロケットの実現と、独自の有人再使用型輸送機の開発開始を図る。
  - (7) 航空機製造産業を日本の基幹産業として育成することを目指し、小型旅客機、インテリジェント航空機の開発、極超音速機の技術実証と国際共同開発を図る。

という計画で、最初の一〇年間は、これらの基本的部分の基礎固めと、実現の可能性を探り、これらの成果に立って、次の一〇年間のロードマップを策定し、実現を図る、という広範、かつ、壮大なものです。これらは統合前の三機関の活動状況を見直し、合理的に延長、発展させたものと思われまふ。総花的で特色がないとの批評もありますが、新機関の意気込みが感じられます。

このほか、日本学術会議・航空宇宙工学研究連絡委員会からは、「我が国の航空宇宙科学推進に向けての提言」(二〇〇五、七、一一)があります。

また、日本経済団体連合会(日経連)・宇宙開発利用推進会議からも「宇宙開発利用推進に向けた第3期科学技術基本計画に対する要望」(二〇〇五・三・一一)などもあります。このほかにも、提言、要望などが幾つかの関係機関から出されています。

これらのビジョン、提案に盛り込まれている多くのプロジェクトを実現させるためには、必要な予算を確実に継続的に付与すること、人材を育成し効率的な開発体制をつくること、政府、産業界、学会間の連携を密にし、強力に支援することなど、総合的な活動をたゆみなく継続してゆくことが肝要と考えます。

これら関係機関、関係企業が今こそ総力を結集して強力にこれらを推進されることを念

願して已みません。

以上、かなり端折ってお話ししましたが、要約しますと、次のとおりです。

(1) 日本のロケットの成功率は、国際的に見て決して遜色はありません。打ち上げ回数が他の先進諸国に比べて、非常に少ないのが大きな問題です。

(2) ロケットの成功率は、他の工業製品に比べてまだかなり低い、これは、軽量化、高性能を実現するため、極限設計をしていること。宇宙環境が、まだ充分に判っていないこと、打ち上げ前にロケットの全ての機能を、実環境相当のなかで、確認できないことなどによります。

(3) しかし、失敗により失われる損害よりも、得られる利益の方が遙かに大きいので、ロケット、人工衛星の存在価値があります。得られる利益は、その経済的、技術的波及効果を含め計り知れないほど大きいものがあります。

(4) 日本が自力開発し実用化している液体酸素／液体水素エンジンは、世界で非常に高い評価を受けています。日本の技術力、開発力は、未だ健在です。

(5) 日本には、他国にない二つの制約があります。また、最近、国の政策の中で、宇宙開発が重要視されなくなっており、国の予算も年ごとに削減され、市場規模も減少の一途

を辿っています。これは、他の宇宙開発諸国とは逆の現象で、今のままでは、日本は世界の中で大きく取り残されてしまう懼れがあります。

(6) 戦後の歴史・変遷を簡単にお話しし、今後の展開・展望について、内閣府、宇宙航空研究開発機構の将来計画などを、要約して説明いたしました。

今後の宇宙開発が、国として強い決意のもとに、宇宙航空研究開発機構(JAXA)を中心とし、政府、関係機関、産業界、学会等の総力を結集して、文字どおり「科学技術創造立国」の一翼を担うべく、着実に大きく発展してゆくことを切に願って已みません。

最後に、今日は「日本のロケット」ということですので、殆ど触れませんでした。最近、国の主要政策として、宇宙開発に熱心に取り組んでいる「宇宙新興国」が急増しています。アジア近隣諸国に限っても、中国の目覚ましい躍進振りについてはご承知のとおりですが、韓国の熱心な取り組み、ロシアとの協力関係。インドの意欲的な計画やタイ、インドネシア、マレーシアなど新興宇宙開発国のなみなみならぬ熱意なども、注目に値することと思います。

以上で、私の話を終わります。御静聴を感謝いたします。

(元三菱重工(株)部長)