



AS ニューズ

宇宙科学研究所

1997.5 No.194

特集にあたって

編集委員長 松尾弘毅

M-V型ロケットの特集です。

何回か持ち上がった企画を、まだ早いと委員長権限で抑えてまいりました。ここにこの特集をお送りできることは喜びに堪えません。自ら執筆も致しますが、永らく開発に携ってきた者として多少饒舌となった点はご容赦願います。執筆者のみならず各メーカーを含む苦労を共にした多くの仲間の思いを各稿から読み取って頂ければ幸いです。

開発

1.1 Mロケットの歴史とM-V開発の経緯

【歴史】 Mロケットは、1971年のM-4Sの成功以来改良を重ね、わが国の宇宙科学研究を支えてきた。初代のM-4Sは4段式で、尾翼とスピンによって姿勢の安定を保ち、いわゆる重力ターン方式による軌道投入が行われた。この方式を実証するためのL-4Sロケットによって、1970年わが国初の人工衛星「おおすみ」が誕生している。2代目のM-3Cは3段式で、新規開発の第2・3段を用い、第2段に推力方向制御装置（TVC）を導入することによって、軌道精度が格段に向上した。M-3Cの第1段を従来の3セグメントから4セグメントに延長したのがM-3Hで、約20%の全備重量増で約50%の軌道投入能力増を実現した。さらに第1段にTVCを導入したのが3代目のM-3Sで、これにより機体としての完成度が高まった。第4世代のM-3Sは、M-3SⅡの第2・3段を新規開発して大型化するとともに、補助ブースタを2基のラムダロケットに変更することによって能力を増強したもので、各段における質的な向上によって約20%の全備重量増で2倍を越える軌道投入能力を実現した。M-3SⅡは、1～2号機の「さきがけ」「すいせい」によるハレー彗星探査にはじまり、X線天文衛星「ぎんが」、オーロラ観測衛星「あけぼの」、工学実験（スウィングバイ技術）衛星「ひてん」、太陽観測衛星「ようこう」、X線天文衛星「あすか」と7つの科学衛星の打上げに成功し、これによりわが国の宇宙科学は世界の最先端に躍り出ることとなった。このような状況を踏まえ、1990年代後半以降の月・惑星探査を含むより高度な科学ミッションに対応すべく計画されたのがM-Vである。



L-4S-5による「おおすみ」の打上げ（1970.2.11）



M-3SⅡロケット（1985～1995）

【位置づけ】 M-Vの位置づけは、平成元年に改訂された「宇宙開発政策大綱」において明らかである。すなわちそこでは「科学研究の分野においては、これまでに国際的に高く評価されるような顕著な実績をあげているところであるが、引き続き、同分野の活動の一層の推進を図る」とあるのを承けて、Mロケットについて「・・・1990年代以降における科学ミッションの進展に対応して使用するため、M系ロケットの大型化を図る」とし、「・・・M系ロケットの開発については、宇宙科学研究所鹿児島宇宙空間観測所の射場における打上げ可能範囲及び全段固体ロケット技術の最適な維持発展等の観点を考慮しつつ、同研究所において引き続き行う」とされている。キーワードは、宇宙科学研究の一層の推進と全段固体ロケット技術の最適な維持発展、さらには付帯条件として内之浦の発射場の有効利用である。

【開発の経緯】 1995年1～2月の打上げを目標とし1990年度から始まった実際の開発は、1992年5月大きな困難に逢着する。M-Vでは、第1・2段のモータケースとして従来のHT-210に代えてより高強度の超高張力鋼HT-230を開発使用する予定であったが、予備的な要素試験を経て実施された実機サイズモデルでの耐圧試験で規定圧以下で溶接部が破断したのである。当初は非破壊検査による潜在亀裂発見の分解能をあげるこ

と等により解決できるものとやや楽観していたところ、当該材料の水素脆性が予想を越えて高いことが判明するに至り、重大な局面を迎えることとなった。結局は、1.強度を若干下げ靱性を上げる方向での素材の変更、2.熱処理方法の改良、3.非破壊検査の強化、4.燃焼圧力以上での耐圧試験による実機ケースの最終的な品質保証、によって切抜けたわけであるが、特に素材の変更はそれに応じた製造法の確立まで含めるとそれだけで1~2年を要するものであり、時間が最大の問題であった。製造メーカーを含む関係者の努力、2回予定していた第1段の地上燃焼実験の1回目を厚肉ケースを用いて燃焼特性の把握のみに絞る等の方策によって、これによる遅れを最小限に食い止められたのは幸いだったと思っている。

その後地上燃焼実験も無事終了し、1996年夏期の打上げを目指して準備を進めていたところ、同年5月の振動環境試験において新開発のFOG (Fiber Optical Gyro) に規定以上のドリフトが発見された。これは角振動環境下で、ジャイロの入出力特性の非線型性と周辺を含めたジャイロの構造特性による振動の非対称化とが結合して生じたもので、原因の同定と対策(入出力特性をソフトで線型化)のため、さらに半年遅れて今回の打上げに至ったものである。特にスケジュールに甚大な影響を与えた事件にのみ触れたが、これまでの逐次改良と異なりほとんどすべてのハードウェアが新規開発という状況のなかで様々な問題を解決しながらの成功であった。



M-V ロケット

【体制】 開発体制としては、M-3SⅡのそれを踏襲して計画主任、同副主任のもとに各サブシステム担当班を配し、所内のサブシステム(推進、構造、制御、地上系等)責任者によるM-V定例会議とメーカーと所内混成の各サブシステム検討会とを主たる検討及び意志決定の場として開発が進められた。詳細な技術的検討は後者において行われ、前者では各サブシステム間の情報の流通のほか、開発スケジュール、各サブシステムへの検討事項の指示など全体に関わることの調整ならびに主要な事項に関する意志決定がなされた。初号機打上げまでの間に定例会議は48回開催され、サブシステム検討会で最も回数の多かった制御系のそれは22回を数えている。またより広い範囲での周知また意見交換の場としては、観測ロケットをも含めた所内関係者全員参加の所内チーフ会議が活用された。松尾計画主任、雛田、廣澤両副主任で出発した体制は開発末期の1996年から小野田計画主任体制(副主任制は廃止)へと変更された。

開発に伴う大型の試験はその準備ならびに実施に責任を負う実験主任のもとに行われる。能代実験場におけるすべての地上燃焼試験は高野教授のもとで、また第1段分離機構の飛翔試験機ST-735-2の内之浦からの打上げは川口助教授のもとで行われた。M-Vの初号機の実験主任が上杉教授であったことは既報の通りである。

(松尾弘毅)

大 変

初号機のこととて細かい処置事項や手順の確認等が重なって連日10時、11時までの作業となりました(中には4日間の延期につながる細かいとは言えないものまでありましたが)。町へ下りる車の中で小野田M計画主任がポツンと“ロケットを上げるってこんなに大変でしたかね”。分る分る。ハレー探査を行ったM-3SⅡ型の1号機の打上げ前夜、私も当時の秋葉M計画主任に似たようなことを申し上げた覚えがあります。もっとも私の場合はもう少し際どい表現でしたがね。

(松尾弘毅)

1.2 全機の構成

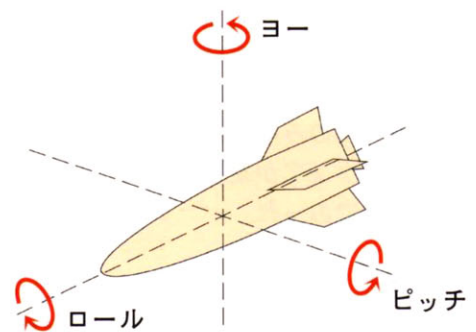
M-Vロケットの基本構成は、固体推進薬を用いた3段式ロケットであるが、ミッションによってはキックモータを第4段として搭載できるよう設計されている。その1号機も、下図に示すようにキックモータを搭載していて、全長30.7m、公称外径2.5m、発射時総重量は衛星を含めて約139tonである。M-Vロケットは、補助ロケットや尾翼を持たない点で従来のMロケットと外観上大きく異なる。

【第1段】 第1段は、わが国最強の推進力を誇るM-14固体ロケットモータと、後部筒、1～2段接手からなる。

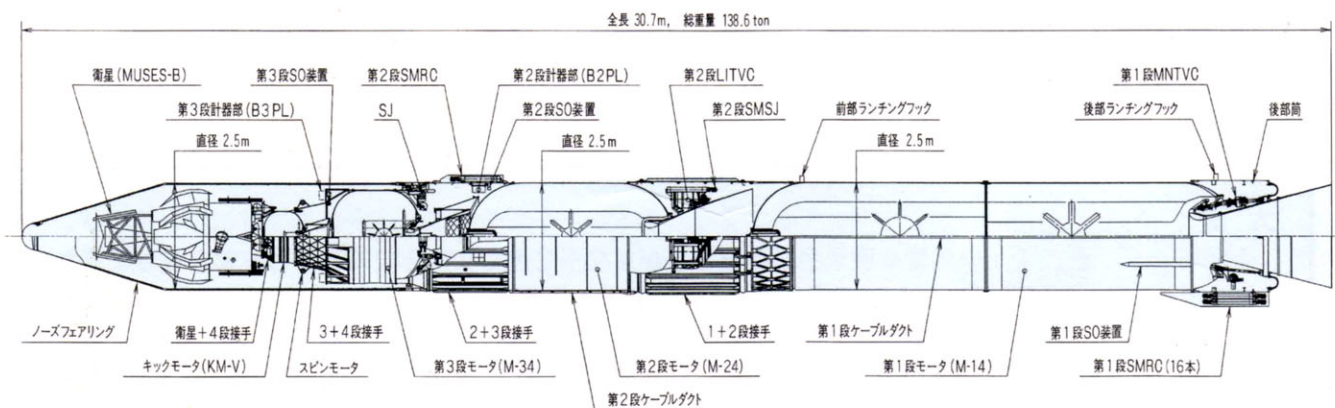
固体ロケットモータとは、モータケースと呼ばれる圧力容器に酸化剤と燃料からなる固体推進薬を充填しノズルを付けたもので、液体燃料ロケットで言えばエンジンと推進剤タンクを合わせたようなものであり、「M-14」はこのロケットモータに与えられた名称である。

M-14ロケットモータは、製造、輸送上の制約から、2分割となっている。M-14ロケットモータは、ピッチとヨー（上下、左右方向）姿勢制御のための首振りノズルによる推力方向制御（MNTVC=Movable Nozzle Thrust Vector Control）装置を備えている。また後部筒にはロール姿勢制御のための固体モータ（SMRC=Solid Motor for Roll Control）が搭載されている。M-14ロケットモータノズル周辺には、MNTVC装置の他、計測装置、テレメータ送信機等の機器が搭載されている。

1～2段接手は、第2段の点火と1～2段の分離を同時に行うファイア・イン・ザ・ホール（FIH=Fire In the Hole）と呼ばれる新技術に対応するよう設計されたものである。



【第2段】 第2段は、M-24ロケットモータ、2～3段接手、ノーズフェアリングよりなる。2～3段接手内には、タイマ、テレメータ送信機、コマンド受信機、レーダトランスポンダ、集中電源、計測器等が搭載されて、第2段計器部を構成している。第2段ロケット燃焼中の姿勢制御は、M-24ロケットモータのノズル内部への液体噴射による推力方向制御（LITVC=Liquid Injection Thrust Vector Control）と2～3段接手部に搭載されたSMRCで行い、燃焼終了後はM-24ロケットモータノズル周辺に搭載された小型固体モータSMSJ（=Solid Motor for Side Jet）により行われる。



ノーズフェアリングは、ロケットが大気層を抜けるまで第3段から衛星までの上段部を覆い保護するが、第2段燃焼終了後、新規に開発された開頭機構により分離投棄される。

【第3段】 第3段はM-34ロケットモータ、第3段計器部、ノズル周辺に搭載されたサイドジェット（SJ=Side Jet）及び3～4段接手からなる。M-34ロケットモータと後述のキックモータのノズルは、下段切り離しまでは縮めておき、点火前に伸展する仕組みとなっている。M-34ロケットモータは燃焼中のピッチ、ヨー姿勢制御のためにMNTVC装置を備えている。SJはヒドラジンを用いたスラストにより、ロール姿勢制御と燃焼終了後のピッチ、ヨー姿勢制御を行う。また、3～4段接手には4個の小型固体ロケット（スピンモータ）が搭載されており、3～4段分離前に第4段姿勢安定化のためのスピンを与える。第3段計器部には航法誘導装置、タイマ、テレメータ送信機、コマンド受信機、レーダトランスポンダ、集中電源、計測装置等多くの機器が搭載されている。なお、航法誘導装置は慣性航法機能をも持つが、1号機では電波誘導を主としている。

【キックステージ】 第4段（キックステージ）はKM-V1ロケットモータ及び衛星接手よりなる。同ロケットモータのノズルも伸展式である。衛星接手には若干の計測装置が搭載されている。第4段は姿勢制御機能は持たず、スピンにより姿勢を保持する。（小野田淳次郎）

内之浦の2大名物

廣瀬橋を渡り、実験場の方へ200m程行ったところのY字路を右へ下りて行くと「小田」と呼ばれる集落に至ります。その中程、小田公民館の裏手を流れる小田川のほとりに「小田の楠」と名付けられた大木があり、内之浦町指定文化財となっています。

一方、五運橋を渡り、実験場の方へ下りて行くとミュー台地に至ります。その中心、ミュー組立室の本部へ入ると、「小野田」と呼ばれる大人が座っています。この方はM-V-1号機の組立オペ及びフライト・オペを通じ、延べ約60日という長い内之浦滞在期間中、一日も欠かさず昼食に海苔巻を食べ続けるという偉業を成し遂げられました。

その結果、「小野田の海苔巻」には「小田の楠」と並ぶ内之浦の2大名物としての栄誉が与えられました。これを言祝い、前の文部省科学官松尾弘毅之守の詠める唄「昼や昼、小野田の海苔巻繰り返し」は、その昔、静御前が義経への告別に乗った際の唄「静や静、静のおだまき繰り返し」と対を成す名作となりました。（上杉邦憲）



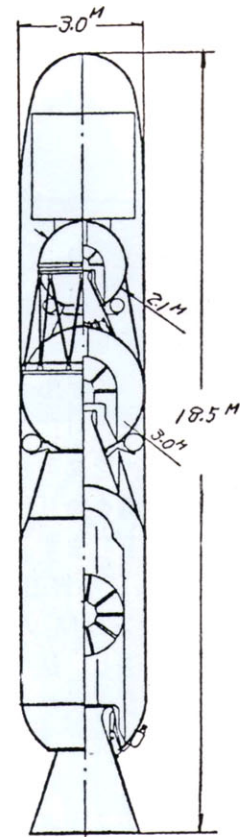
1.3 M-Vロケット推進系研究開発を振り返って

M-Vロケットの構想が検討され始めたのは、宇宙研全体が、当時開発を完了したばかりのM-3SⅡロケットの1・2号機によるハレー彗星探査機「さきがけ」「すいせい」の連続打上げ成功に酔いしれ、その余韻醒めやらぬ85年秋のことでした。ところで、81年から84年にかけて進められたM-3SⅡロケット研究開発計画は、M-3Sロケットの1段モータを継続使用しつつ補助ブースタおよび2・3段を新規開発モータに換装して打上げ性能の倍増を目指す部分改良計画でしたが、1・2号機用キックモータを含めて規模・用途の異なる4種類ものモータを同時に新規開発するのは宇宙研にとってM-4S以来10余年振り、当時の若手研究者・技術者・実務者にとっては初めてのことでしたから、今回のM-V計画に勝るとも劣らぬ大事業でした。計画途上の83年5月には推進系開発の根拠地である能代ロケット実験場（NTC）が日本海中部地震による津波の直撃によって2ヵ月間その機能を喪う、11月には同計画の総帥たる森所長を病魔によって奪われるという悲運に見舞われた上に、推進系に関しては未解決の研究課題が次々と表面化して関係者を大いに悩ませました。このM-3SⅡ計画によって習得・考案された多くの学術的知識・知見と工学的新技術、問題解決への経験と自信が、M-V計画の推進系研究開発の基盤となったのです。

この時期のM-Vロケットの基本案は、全段固体推進の3段構成、各段推進量60・30・10トン、1・2段3軸姿勢制御、3段スピン安定という、M-3SⅡから補助ブースタを除いて大型化した穏健な構想でしたが、その規模はM-3SⅡ計画に先立つ77年当時秋葉教授によって提唱された「ABSOLUTE計画」の具体化に他ならず、有志一同心躍る想いで初期検討に参加したものです。ここで、ABSOLUTEはAdvanced Booster by Solid Utilizing Technology of Extremityの略、総重量100トン、直径3m、全長18.5mの3段式でペイロード比2%以上の宇宙探査用高性能ロケットの早期実現を目標に、固体ロケット技術の最高水準を極めるべく関連分野の全てを結集した総合研究開発を進めようという壮大な夢の構想でした。

その後90年のM-V計画正式起動までの4年間に、関係各研究グループによって詳細な設計検討が進められ、機体外径が2.5mに設定されるとともに、1段推進量を10トン増やして多少大型化し、3段も3軸姿勢制御に改めて高級化したM-Vロケット最終案がまとめられ、スリムな「ペンシル」形の現役M-3SⅡと比べABSOLUTEに似てずんぐりした「クレヨン」形のM-Vが紙面上に姿を現したのです。

モータ直径が、M-3SⅡまでの1.4mからほぼ倍になるM-Vでは、推進薬の燃焼速度を同程度に高めないと、モータ燃焼時間が長くなって著しい性能劣化を来します。経験のない高燃速推進薬の開発には長期間を要する見通しであったため、計画正式起動に先駆けて87年からその基礎開発研究に着手しました。89年10月、能代ロケット実験場（NTC）で行われたTM-800TVC真空燃焼実験は、当時オゾン層破壊物質としてその使用が規制されつつあったM-3SⅡの2次液体噴射推力方向制御（LITVC）装置の噴射体フロン114B2を低公害の新噴射体に変更するための性能比較試験が主目的でしたが、その供試モータの充填推進薬に研究成果の試作高燃速推進薬を採用し、併せてその燃焼特性の調査を試みました。このことがNHKのTVニュース番組NC-9で「宇宙研、新型ロケット開発



ABSOLUTE概念図

「昭和52年度推進系シンポジウム」後刷集より

に着手！」と過大に報道されたため物議を醸し、監督省庁の誤解を解くための始末書を認めさせられたのは、筆者のほろ苦い思い出です。同実験では、同じく発癌性物質として指弾を受けていた石綿（アスベスト）を用いたケース断熱材に替わる新素材の性能評価試験も試みられ、ここで好成績が確認された推進薬、ケース断熱材および噴射体が、それぞれM-Vロケットの1・2段モータ充填推進薬、全段モータのケース断熱材および2段モータLITVCの噴射体として、後日、正式採用されたのです。この意味で、NTCに現地取材に来られた若いNHK担当記者の報道は誤っていなかったと言えます。

計画正式起動後のM-V推進系の尻上がりの開発ペースは、NTCにおける各段試作モータの燃焼試験の実施経過から一目瞭然でしょう。1号機用キックモータを含む4種類の新開発モータについて、各縮尺シミュレーション・モータ1基および実寸大試作モータ2基を基本方針として、合計8回・10基の試作モータの大気もしくは真空燃焼試験が実施されましたが、開始当初のスケジュールが間延びしているのは、松尾教授の「開発経緯」の項に既述されている様に1・2段モータのケース素材の研究開発に手間取ったためで、これが尻上がりの開発ペースと計画完了が予定より遅れて95年までずれ込むことになった主な理由です。

1段モータの燃焼試験は、M-V計画の一環として新営された大気燃焼試験棟で行われましたが、その設計・施工に関しては、建設立地条件が岩盤に届くパイルを打ち込めない日本海に面した海浜であり「砂上の楼閣」となりかねないことと噴煙によって隣接海面を汚濁しかねないことに特に配慮する必要がありました。海水汚染防止のためにモータのノズル後端から僅か28mの位置に設置しなければならなかった耐火コンクリート製の火炎偏向盤については、予め、スーパーコンピュータを用いた最先端の数値流体力学を駆使して、70トンを超える大量・優勢なノズル噴流を45°上空に偏向させて大気中に拡散させるための最適形状設計を実施しました。94年6月に行われた同試作1号機モータ大気燃焼試験の終了直後、一部黒こげになりながらもモータ推力450トンによく耐えて寸分の狂いもなく立ち続けている試験棟建屋の姿と海面を殆ど汚濁することなく火山の噴火を見るように500mを超える中天まで立ち昇る噴煙を見て、一同安堵し、かつ「してやったり」と悦にいったものです。後日、この時行われた周辺地区の土中振動計測結果から、NTC付近の白砂の堆積層は地下約50mにも達していることが明らかになりました。

2段から上の上段モータの燃焼試験は、全て、既設の真空燃焼試験棟で行われましたが、内容積450m³、総重量75トンの天蓋部が自走装置によって退避可能な独創的な構造を持つ大型真空槽を基幹とする同設備は、M-3SⅡ計画の一環として81年に設置されたものです。M-3SⅡの2段モータとM-Vの3段モータがほぼ同規模であることを考えれば、

	年 度	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
NTC	1 段		M-14SIM				M-14-1TVC	M-14-2TVC	
	2 段	TM-800TVC				M-24SIM	M-24-1TVC		
	3 段		M-34SIM		M-34-1TVC			M-34-2TVC	
	キックステージ						KM-V1-1	KM-V1-2	
KSC				M-3S-II-6 SOLAR-A 「ようこう」	M-3S-II-7 ASTRO-D 「あすか」		ST-735-2 飛行試験機 M-3S-II-8 EXPRESS		M-V-1 MUSES-B 「はるか」



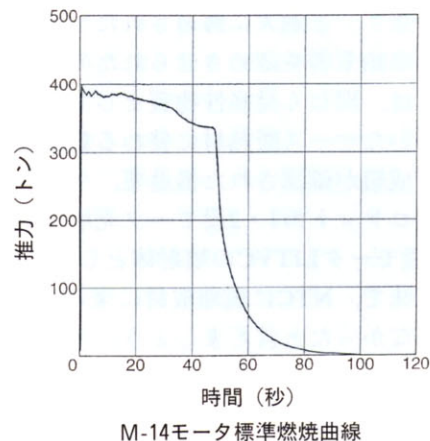
M-14TVC-1 モータ地上燃焼試験

設置当時、同設備が当面の用途に照らして如何に大規模かつ先駆的なものであったかお分かりでしょう。これも、やがて来るべきABSOLUTE計画具体化の時に備えるための先取的配慮によるもので、決して当時影も形もなかったM-V計画を直接想定したものではなかったのです。

NTCにおける一連の燃焼試験シリーズのうち、最初の大規模実験であった上記1段モータ試作1号機の大気燃焼試験では、担当者としては十分過ぎる程の予告連絡を済ませたつもりであったにもかかわらず、午前11時点火による試験直後から、不意もしくは予想を越えた轟音と地鳴りに対する一般市民の問い合わせと不満の電話が鳴り止まず、2回線しかない実験場の外線は相模原本所との連絡もままならない程のパンク状態となっていました。連絡先の筆頭であった能代市役所においてさえ、折悪しく開催中の定期市議会の議場から地元協力会の会長たる宮越市長以下少なからぬ市役員、議員が「すわ、日本海中部地震再来！」とばかり緊急避難しかけたという笑い話まであったそうです。これに懲りて、次回から鹿児島宇宙空間観測所（KSC）の慣例に倣って燃焼試験の開始と終了を音で知らせる花火の打上げと地元浅内地区へのスピーカによるリアルタイム広報車運行の励行および監督官庁や新聞・TV等報道機関への予告広報活動の徹底に努めた結果、各方面からの叱責は計画完了まで皆無となりました。この努力が逆に市民の関心を高める効果を生み、その後の燃焼試験では、従来殆ど報道関係者しか参集しなかった場外見学席に多くの一般市民が押し掛け、安全確保のための交通規制が回を重ねるごとに大変になっていきました。

安全に対する自信も万全となった95年10月のシリーズ最後のキックモータ試作2号機の真空燃焼試験では、市教育委員会のたつての要請もこれあり、実験場境界に隣接する位置にまで見学席を近づけた上、実験日を休校日にあたる第2土曜日の14日に設定して近隣の児童生徒に直視見学の機会を提供する便宜を図ることとしましたが、試験終了後の場内開放では駐車スペースが不足する程の盛況となり、能代市民あげての関心の高さとその支援のエールに実験班一同感激したものです。

M-V-1号機飛翔実験における搭載TVカメラの映像で一躍注目を浴びた伸展ノズルも、実は、ABSOLUTE計画の中でその必要性が指摘され、多年にわたる研究開発の結果M-3S II-4号機のキックモータに初めて試



拍手が起こったKM-V1燃焼試験の見学者席

本部訛り

本部における会話、特に実験主任、保安主任を中心とした技術の話、雑談などを気をつけて聞いてみるとおもしろいことに気がついた。そのときの実験主任の出身地のお国訛りが本部の標準語になるようだ。

M-3S II-8「エクスプレス」の時には国際共同研究だけあって、英語、ドイツ語、ロシア語、日本語が飛び交っていたが、まあこれは特別として、今回のM-V-1号機組立オペレーション、フライトオペレーション時は岡山弁が本部における標準語となった。それもそのはず、M-V計画主任で、今フライトの実験主任である小野田先生は岡山県出身、その本部へ長老格の雛田先生が現われて、それに集中電源班の瀬尾さんが話に加われば立派な岡山県人会。近郷の広島県出身の的川先生も会話になじんでいる。

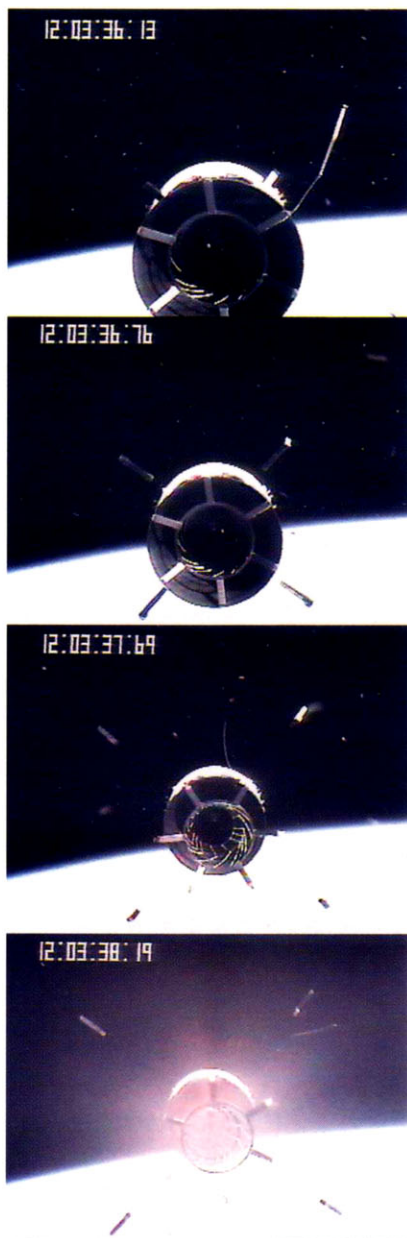
これから世代が交代して若先生たちが実験主任をやられるようになって、お国訛りのある会話、会議などが行われるならば、堅苦しい中にも、ほのぼのとしたものが感じられるだろう。（東 照久）

験的に搭載された既存技術の改良型なのです。10数本のFRP製の中空丸棒を螺旋状に巻き込み畳み込んだだけの簡単な構造の軽量バネ機構がノズル内部空間に仕込まれており、2組のマルマンバンドの拘束を順次解除することにより、これが元の長さに戻ろうとするバネ力によって、先ず2段に畳み込まれていたノズルを伸展させ、次いで自身を離脱・投棄させる仕掛けです。

ところで、あの印象的な映像が、ノズルが伸展終了し3段モータが無事着火した直後にブラックアウトしているのも、実は同モータに装備されたもう一つの新技術によるものなのです。通常固体モータの点火器はモータの先端部に固定されていますが、M-Vの3段およびキックモータには、ノズルのスロート直後に装着しておき、モータが安定に着火するとその噴流の圧力で吹き飛ばしてしまう仕組みの「投棄式後方着火点火器」が装着されていたのです。ケース軽量化と充填薬量の増加および不用重量の削減によってステージ推進性能の大幅な向上が期待できるこの新技術も、M-3SⅡ計画の途上で開発され4・5号機のキックモータでその有効性が実証済みの既存技術を改良・大型化したものです。吹き飛ばされた点火器が離脱後の第2段頭部に激突してカメラもしくは信号伝送系を破壊したのが、ブラックアウトの原因だったという訳です。

さて、M-3SⅡおよびM-V計画の推進系研究開発のいずれにもその中枢に居合わせるという幸運に恵まれた筆者にとって、これら2つの計画は連続したもので、M-V-1号機打上げ成功は、「3段飛び」に例えれば、ABSOLUTE計画を実現するためのホップ・ステップの2段の跳躍をやっとクリアしたに過ぎません。去る2月12日の打上げ成功の瞬間の偽らない実感としては、ステップよりホップの段階の方が遙かに達成感が強く、かつ熱く、その余りの順調さに対する虚脱に近い拍子抜けと「現役引退」の4文字が念頭を去来する冷めた充実感だけが記憶に残っています。M-Vは、機体規模こそABSOLUTE計画を越えたもののその質的性能は未だその目標とする水準に達していません。ABSOLUTE計画を真に極めるべき固体ロケット推進系研究開発「3段飛び」の最終跳躍・ジャンプは若い次世代の研究者・技術者にお任せして、老兵は、今後、その後方支援とこれまでに摘み残した落ち穂拾いの基礎研究に専念したいと考えています。

(高野雅弘)



ロケット搭載カメラが捉えた
3段モータノズルの伸展・点火

M-Vの成功に亡き友を偲ぶ

1997年2月12日、M-V-1号機は快晴の空に白煙と轟音を残し旅立って行った。この晴れの舞台と成功の喜びを共有したかった男達がいた。M-V開発にこだわりと情熱を燃やした男達、斎藤 敏，中田 篤である。

M-V開発途上の91年中田が、92年斎藤が病魔に侵され相次ぎ夭折した。斎藤は能代、鹿児島の計測班として、緻密で妥協を許さない職人芸と斎藤美学に支えられたこだわりの仕事を、中田は広い視野から真摯に計測班を支えた。また、中田は冷静な判断力で構造・ランチャと広い守備範囲の仕事をこなし、次代を担う若手グループのホープとして期待されていた。

彼らの仕事は計測精度の向上に結実し、特にモータ性能は燃焼試験の結果からの予測値と完璧に一致する結果を得た。軌道に載った衛星『はるか』命名者の一人に今夏七回忌を迎える中田の愛娘、詩ちゃんの名があった。

こだわりの彼らは今でも『ようこう』と『あすか』から我々の仕事を見守ってくれているに違いない。

(今澤茂夫)

1.4 構造系の開発

1.4.1 主な構造要素

M-Vロケットの構造は、モータケース、段間接手、後部筒、ノーズフェアリングに大きく分かれる。

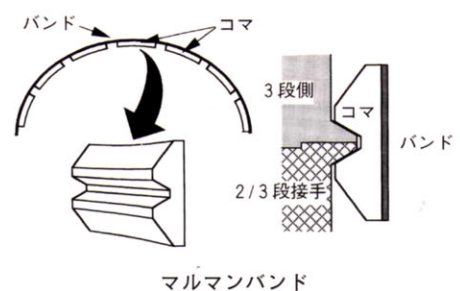
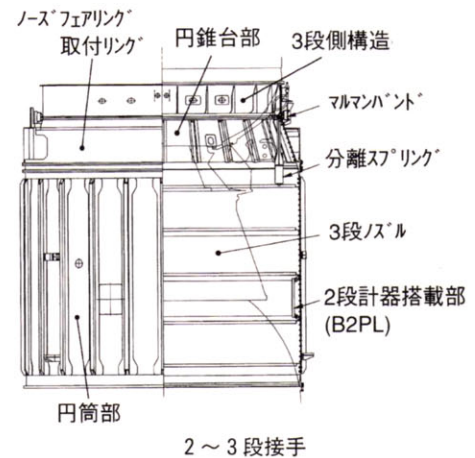
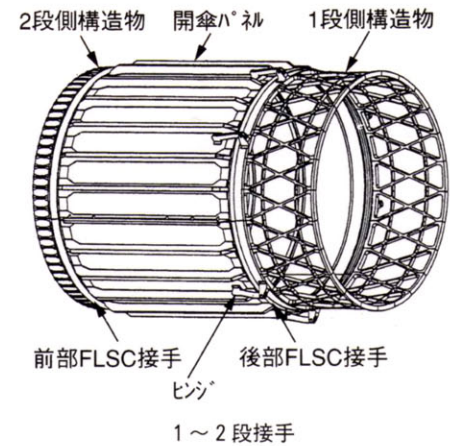
【モータケース】 M-Vは全てのモータに固体燃料を使っているが、それを入れておく容器をモータケースと呼ぶ。モータとは各段のロケットのことである。固体燃料はここで燃えてロケットの推進力となる高い圧力のガスを発生するので、モータケースは丈夫でなくてはならない。しかし、厚くすると重くなり打上げ性能を下げてしまうので、軽くて強い材料を使う必要がある。そのため、M-Vでは1段目と2段目のモータケース用に鉄を主とした合金を開発した。この合金製の直径1mmの針金は180kgのものをつくることができる。この強さのおかげで、直径2.5mのモータケースの厚さはわずか5.8mm（2段目）しかない。3段目のモータケースは、その重さが打上げ性能に大きく影響するので、更に軽くて丈夫な、炭素繊維を樹脂で固めた炭素繊維複合材料(CFRP)を使っている。

【段間接手】 段間接手とは各モータをつなぐ構造のことである。使い終わったモータを切り離す仕組みが備えられている。1段目と2段目をつないでいるのが1～2段接手である。M-Vでは、1段目の切り離しと2段目の点火を同時に行うファイア・イン・ザ・ホール（FIH）という方法を採用している。そのため、この接手は2段目モータの燃焼ガスを外に逃がすために格子になったリングを下側に持つユニークな構成になっている（上図）。1段目を切り離すときには、開傘パネルの上端と下端の2カ所に巻き付けられた紐状の火薬（FLSC）で接手の金属を全周焼き切る。その後、開傘パネルが2段目のノズルとぶつからないように花びらのように開く仕組みになっている。

2段目と3段目とをつないでいるのが、2～3段接手である（中図）。この接手の上側は2つに分かれていて、外側はノーズフェアリングと結合される。内側はマルマンバンドと呼ばれる分離機構を介して3段目と結合される。マルマンバンドは、コマをいくつかつけた薄い金属のバンドである（下図）。3段目の下端とこの接手の上端は外側に張り出した形になっている。これを合わせてコマの溝をはめ込み、バンドを締め上げて接手と3段目を結合する。2段目を切り離すときは、バンドを切断して、接手に備えられたバネで3段目を押し出す。

【後部筒】 ロケットのしっぽの部分が後部筒である。M-Vの全重量140tonを打上げまで支える役目をしている。

【ノーズフェアリング】 ロケットの頭の部分がノーズフェアリング（以下NF）である。その内側には人工衛星が収められ、発射のときや飛んでいるときの空気の流れによる力や熱、そして音から人工衛星を守る役目をする。M-VのNFは、アルミ箔で蜂の巣状に形作ったハニカムと呼ばれる板を、CFRP製の薄い2枚の板ではさみこんだサンドイッチ板で作られている。そのおかげで、長さ約9m、直径2.5mの大きさで、重さは約700kgしかない。このNFは左右2つの殻で作られていて、その殻同士及び殻とロケット本体とはたくさんの数のピンでつながれている。空気の影響がなくなる高さまで飛ぶと、ロケットを軽くするために、こ



のピンの傍らに備えられた紐状の火薬で全てのピンを一瞬に切断し、バネの力でNFを左右に開いて切り離す。

【オプション】 1号機では衛星を軌道に入れるために4段目としてCFRP製のキックモータを備えた。その他に、3段目とキックモータをつなぐ3～4段接手、キックモータと衛星をつなぐ衛星接手がある。これらの接手はマルマンバンドを採用している。

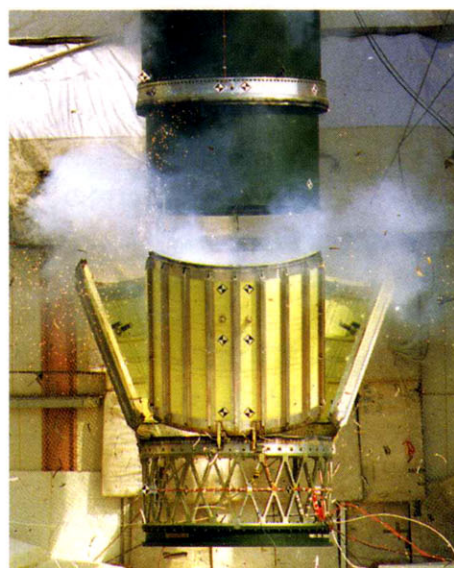
1.4.2 構造系の開発経緯

構造・材料の開発は、1990年度から始まった。

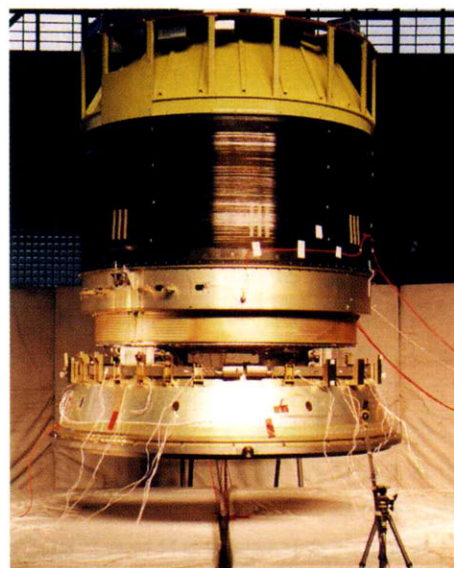
【モータケース】 1段目と2段目のモータケースは、実機サイズのモータケースが耐圧試験中に低い圧力で破壊するというアクシデントに見舞われた。原因はこのモータケース用に開発した材料や検査方法にあったため、新たな非破壊検査方法の導入や材料の組成・熱処理の見直しを行った。その後、この新しい材料製のモータケースは耐圧試験等を無事終了し、その性能が保証された。3段目のCFRP製のモータケースは、小型の試作品で試験を繰り返した後に実機サイズの試作品に取りかかったのだが、CFRP製であるが故に大きくなることによって初めて見えてきた問題に直面させられた。しかし、長年培った独自の技術力で無事、各種試験をクリアし、CFRP製としては世界最大級の直径をもつモータケースが完成した。また、わが国ではMロケットだけがCFRP製のモータケースを実用している。

【接手】 1～2段接手は、わが国で初めて採用するFIH分離方式に対応するためにユニークな設計になった。開傘パネル部の円筒は周方向に3分割されているため、荷重によって接手が予想外に変形することを心配したが、小型の試作品及び実機サイズの試作品とも、強度・剛性試験でそのようなことは起こらず、強度に問題ないことを確認した。一方、分離用の火薬の量、焼き切られる結合部の金属の種類・厚さなどは要素試験でデータを蓄積し、現在の仕様を決定した。その後、小型の試作品と実機サイズの試作品の分離試験（写真上）を内之浦で実施し、分離機能が正常に働くことを確認した。この分離試験は、周りの建物の壁に穴があいたり、カバーが突き刺さったりして、すさまじいものだった。最後にST-735ロケットの2号機に小型の試作品を搭載して、飛行下でのFIHによる分離試験を成功させ、現在の仕様を確定した。2～3段接手は、表面板を軽くするために、飛行中は大きく変形（座屈）しても構わない程度に薄く設計した。強度・剛性試験では荷重が増えるにつれてボクンという音を立てて座屈し、板にしわが増えていく様はなかなか壮観だった。この試験結果を受けて、マルマンバンドから外れないように2～3段接手と3段目の結合部のズレを抑える設計変更をした。このマルマンバンドのサイズは、宇宙研が経験したことのない大きさだったのだが、分離試験（写真下）では、コマがバンドから脱落しない対策を施して、正常に作動することを確認した。

【後部筒とフェアリング（NF）】 後部筒については、後部ランチングフックから伝わる荷重が、検討の結果当初の予測値より増加したため、一部リングを補強した。甲斐あってか、強度・剛性試験は問題なく終了



1～2段接手分離試験



2～3段接手分離試験

した。NFは、ロケット本体とNFとをつなぐボルトの一部に荷重集中が発生したため、その対策で強度・剛性試験を何回も繰り返した。しかし最も苦労したのは開頭機構の開発である。衝撃を小さくするために火薬の量は少なく、かつ開頭機構が正常に働く火薬の量の幅を極力大きくすることを目標にして要素試験を繰り返したが、現在の仕様に至るまで幾度となく予想外の結果に遭遇した。仕様確定後には、フルサイズの開頭機構だけのシステム試験とNF開頭試験（写真右）を実施し、開頭機構が正常に働くことを確認した。

この他にも種々の問題に直面したが、その都度対策を施し、構造・材料の開発を終了した。（峯杉賢治）



NF開頭試験

1.4.3 モータケースの開発

強い材料とは何だろうか。ガラスや瀬戸物は硬いが強いとはいわない、落とせば簡単に割れるからだ。それでは「強さ」はこの「硬さ」とは無縁かというそうでもない、強さと硬さは原理的には比例している。ガラスが割れるのは「弱い」からではなく「脆い」からである。脆さとは、きずとか欠陥がある場合の割れ易さのことであり、きずや欠陥さえなければガラスは鉄よりも強いはずである。

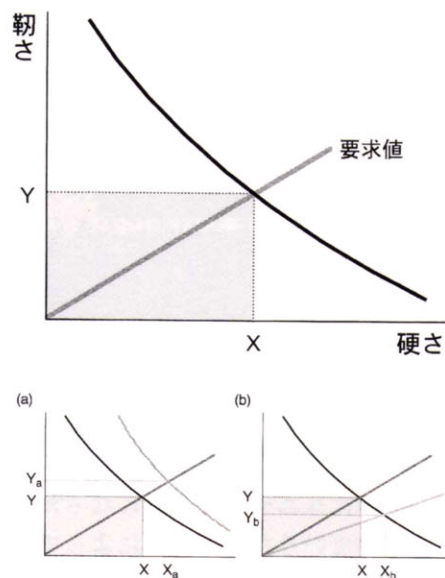
通常、硬さと脆さの関係は図のようになる（ただしここでは脆さの反対の概念の「靱さ」を用いた）。すなわち硬くなると脆くなる、つまり割れ易くなる。これは材料の宿命である。そのような宿命を背負った材料を使う場合、きずや欠陥の大きさが同じなら、図中に薄墨線で示したように、硬くなるほど要求される靱さも大きくなる。すなわち薄墨線と交わる点（ X, Y ）が、硬さの上限と靱さの下限である。 X よりも硬い材料を使うには、(a)硬さ／靱さの関係を右側にずらす、或いは(b)薄墨線の傾きを下げることが必要になる。

前者を実現するには、材料の成分を変えたりか不純物を減らす、あるいは熱処理を工夫する等によって、材料そのものの性質を変えなければならない。一方後者は、きずや欠陥を小さくすること、つまりきずや欠陥の検出能力を高めることが必要になる。M-3S IIに使ったHT-210（断面積が1mm²のワイヤーで210kgの重りをつり下げることができる鋼）は前者の例であり、ボロンという微量添加元素を隠し味にした逸品である。

HT-210を使ったときの経験から、靱さ（いい換えればきずや欠陥の検出能力）にはかなり余裕があると踏んで、M-Vではさらに(b)を実行しようとHT-230に挑んだが、ここに落とし穴が潜んでいた。まずケースの図体が大きくなったため、きずや欠陥の検査が難しくなり、さらに210から230へと材料全体の味が濃くなったため隠し味が薄くなるという、厄介な問題にぶつかった。「230は欲張りすぎたか」と思い始めた矢先、遅れ破壊という、あら手の脆さも顔を覗かせたため、230よりは若干薄味の230M(modifiedの意味、実際は220～225)まで後退することにした。

「これでいける」とひそかに感じたのは、地燃後のM-24モータケースの水圧破壊試験のときである。ケースは壊れずノズル穴の蓋をとめるボルトが切れ、離れたところで見えていた筆者も水をかぶったまさにその時、そう思った。

首筋を丹念に洗って2月12日に臨んだ。歓声のなか「おめでとう、君達の作ったロケットが飛んでいった」といって右手を差し出した秋葉先生の目に光るものを見た時、こみ上げてくるものは、すべての言葉とともにそれまでつかえていたものを一気に押し流した。（栗林一彦）



1.5 制御系の開発

1.5.1 M-V各段の制御方式

【第1段のピッチ、ヨー制御】 M-V第1段のピッチ、ヨー制御は可動ノズルTVC (Thrust Vector Control) 装置によって行われている。液体ロケットでは、燃料を柔軟性のある配管で燃焼室に導き、その小さな燃焼室を振って推力の方向を変えるが、固体ロケットでは機体全体が燃焼室といってよいので、まさにノズル部分だけを変形させて推力方向を変える方法がとられる。これが可動ノズルで、積層のゴムで作られ燃焼室の高圧、高温の環境に耐えつつも確実にノズルを変形させる技術である。わが国ではM-3SⅡロケットのサブブースタSB-735で初めて確立された。SB-735では、ノズル駆動の動力源は電動モータによる油圧だったが、このM-V第1段TVCでは、小さな固体燃料によるガス発生器を用いたターボポンプの油圧で駆動されている。打上げ直前にロケットの後端から黒い煙がもくもくと出ていたのに気づかれたと思う。これがそのガス発生器の排ガスである。同じような可動ノズルの方式は、第3段TVCにおいても採用されているが、駆動方法はもはや油圧ではなく、電動となっている。これは、第3段モータでの主な外乱がモータ自身の推力ミスアラインメントであるため、大きな振れ角は求められず、かつ振れ角の速度も大きくないため、重量を軽くできる方式を選択した結果である。



第1段TVCシステム試験

【第2段のピッチ、ヨー制御】 第2段のピッチ、ヨー制御はこれに対して、液体噴射のTVC方式が採用されている。ロケットの性能は各段の燃焼はできるだけ速い方が有利で、各段のモータはできるだけ連続的に燃えるよう工夫されている。このために、M-Vロケットでは、すでに紹介されたようにFire In the Hole (FIH) と呼ばれる方式が採用されている。FIH中は下の段とのクリアランスを確保しなくてはならないが、第2段点火初期には大きな制御力が必要になるから、ノズルは幾何学的には固定しておきたいわけである。ノズルを固定してかつ制御力を得る方法を模索した結果、この第2段のTVCが液体噴射のTVC方式となったわけである。LITVC方式は、小型の固体ロケットの制御方式として有力な方法とされてきたのだが、FIHを考慮して敢えてこの手段がとられた。

【キックステージの制御】 第4段（キックステージ）は、性能重視の極限であるスピン安定化方式を採用している。スピナップには、専用のスピンモータが用いられている。従来M-3SⅡではSide Jetによって行ってきたのだが、月・惑星探査機の打上げではより高い投入精度が求められ、このスピナップ時に発生する姿勢のずれを最小限に止めなくてはならないため、上段ステージの重心を含む面にできるだけ近い位置に新たなスピンモータが搭載されることになった。

【第1、2段ロール制御と第2段燃焼終了後】 これには、経験を重ねてきたアクチュエータであるSMRC (SMSJ) がM-3SⅡに引き続いて用いられている。第3段の燃焼終了後（3軸制御）は、ヒドラジンを燃料とするSJ装置が採用されている。同種の装置が過去のMロケットでも採用されてきたが、これは「ひてん」衛星で採用されていたものを設計変更してロケットに搭載したもので、実は全く新たな試みだった。

【姿勢、航法基準装置(ING)】 このM-Vから一新された。コンピュータ部分はすでにM-3SⅡの登場時にデジタル化されていたが、センサ

部分は、最初のMロケットの時代から一貫して1軸のスピンプラットフォームを用い、FRIGという型のジャイロを用いてきた。このM-Vの最大の特徴でもあるのは、新規に導入されたファイバジャイロによる姿勢、航法基準装置である。ファイバジャイロというのは、光ファイバの中を回転方向と順方向と逆方向に進むレーザ光の走るべき見かけの距離の長さに差が生じることを利用する。これを干渉光として検出する仕掛けで、機械的な可動部分が全くない最新型のジャイロである。21世紀には主流となると目されているが、これまでは航法演算にかなうほどの安定度を引き出すことができなかった。今回初めてM-Vロケットで登場したジャイロはこの点で画期的なものといえる。M-Vでは、搭載計算機の処理能力も格段に向上し、高速の座標変換も可能になったため、これをストラップダウンという機体に固定して取り付ける方式が採用された。



ING（円内）の機能チェック

【制御論理】 M-Vロケットの姿勢制御論理は、高周波域におけるダイナミクスの不確定性をいかに排除できるかを焦点に設計されている。制御論理の構造そのものは、先進のH無限大制御という論理を用いて工夫されていて、地道にそのパラメータのチューニングを重ねたものである。第3段のスピンアップフェーズでは、第4段切離しまでのニューテーション発散を抑制するために、アクティブニューテーション制御論理が初めて採用された。これまでの宇宙研の衛星は比較的衛星搭載の液体燃料が少なかったが、M-Vで予定されている探査機では、かなりの燃料の搭載も予定されているため導入されたものである。機体が縦長の場合にはわずかな液体燃料の運動にともなうエネルギーの散逸も姿勢の発散につながる危険性があるが、これを抑制しようというのが、この論理の主眼である。幸いにして、飛翔前に我々が想定した種々の不確定性への対処は十分であったようで、第1号機を無事飛翔させることができた。M-Vロケットは、このように、全てが新しい要素だったが、これにも関わらず全ての段で所定の制御を達成できたことは、事前の解析作業やその内容が妥当であったことを示すものといえるだろう。（川口淳一郎）

ヤマセミ物語

小田川と広瀬川は郵便局脇の内之浦橋を合流点として出会い、わずか70m同伴しただけで内之浦湾に流れ込む。釣師だとすぐわかるのだが、河口周辺のこういう汽水域は、ルアー釣りに最適の漁場なんである。12月の組オベの休日、朝まずめの釣行がボウズに終わり内之浦橋までもどってくると、橋の上流で何かがドボンと飛び込んだ。おや？と目をやると、小魚をくわえた鳩ぐらいの大きさの鳥が川面を突き破って飛び出してきた。80円切手の絵柄、ヤマセミである。10年程前、「赤だしこそ味噌汁だ」と主張してやまな村上敏夫先生が、宿の普通の味噌汁を旨そうにすすりながら「河口あたりには、カワセミどころかヤマセミまでいるんですぜ」とつぶやいたのを覚えているが、実際に目にしたのは初めてのことだった。このあたりは、探鳥家にとってのまさしく聖域でもあったのだ。溪流の麗人カワセミに比べるとヤマセミは山賊風の出で立ちである。とはいえ、水中に飛び込んで餌をとる姿は実に勇ましく、また野生そのものの健気さにあふれている。ニワカ釣師はすぐに即興探鳥家に変身、毎朝毎朝いそいそと河口に通い、長期滞在のつれづれをなぐさめ、ストレス解消にしっかり努めたのであります。酒ばかり飲んでたんじゃつまないもんね。で、心配だったのがM-V-1打上げ時の騒音。双眼鏡を向けただけで移動してしまうほど神経質な野生には、あの凄まじい轟音はライフル以上の凶器になるのじゃなからうか。

祝酒が少々頭の隅に残る2月13日の早朝、本物探鳥家周東さんと内之浦橋にたどり着くと、おーっ、いたいた。われらのヤマセミは元気一杯ダイビングし、巧みに小魚を捕え、朝飯の真っ最中だった！ニワカ釣師は、今、せっせと双眼鏡を磨いている。

（前山勝則）

1.5.2 制御系の開発経緯

制御系レビューという今や悪名高い会議も、始まった頃は結構参加していた方も多かったと思う。当初から長い会議の代名詞で、昼1時から始まると終わるのは夜10時といった状況がずーっと、おそらく1年にもわたって続いた。会議は、大体1カ月に一度のペースで行われ、結局打上げまでに20数回ものレビューが行われた。辛抱強く参加を頂き、大変有難かった。ヤリスギとの評も風によって届いていたが、実はこうして成功した今でもまだまだと考えているのが正直なところである。

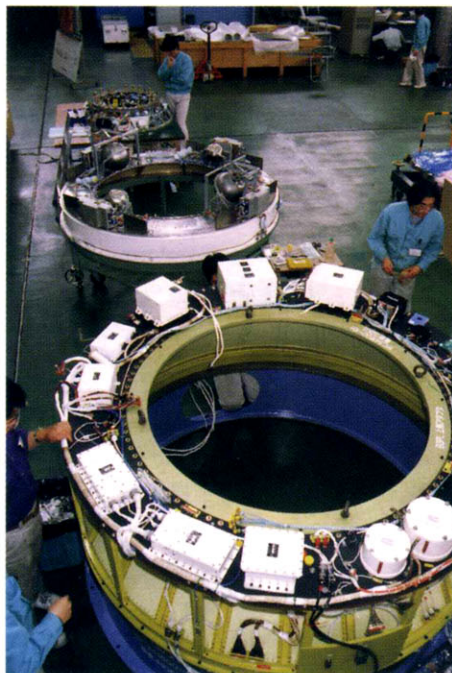
よく言われることだが、宇宙開発で最も難しいのは、試行錯誤の過程がほとんどないということである。新しいロケットを作る場合でも、事前に知りうることはほとんどが数学モデルでしかない。その数学モデルがどのくらい正しそうなのか、あるいはどのくらいの不確定性を含んでいるのかを見極めることが、この制御系レビューの主題だったわけである。全ての段が新しいロケットを打ち上げることは世界的にも少ないと思うが、どのくらい検討すると、どのくらいの完成度になるのかという感触は今回よく把握したと思う。宇宙研は、M-3S II-8号機で苦い思いをするまで、実に順調に打上げに成功してきたが、全て新しいロケットを作り上げようとしてきたのは、本当は無理をしていまいかと、あの不具合の後はずいぶん考えさせられた。この問題にも答えが出せたわけで、感慨もひとしおというところである。

どの段のアクチュエータも新しいものばかりだったから、制御系の検討はその数学モデルの構築と試験結果の整合性をとる作業がほとんど全てであったと思う。この短期間に少ない回数の試験で、よくモデルを追い込めたものだと思う。ファイバジャイロは可動部分がないため機械環境に強いといわれるが、実際の開発は皮肉にも全く振動対策そのものだった。その対応に追われ、残念ながら半年間打上げは延期されてしまったが、この半年の間に講じられたいくつかの対応によって、ようやくINGも一人前になったといえるのではないだろうか。

レビューの内容は、この他にも軌道計画から構造荷重解析まで、非常に広い範囲のテーマを扱った。そういった分類しがたい分野の検討の集合が制御系レビューの実態であったといえる。キーメンバーは最後まで減らなかったが、これも各担当者の方々の強い決意の現れだったと思う。

発射のまさにその朝まで最後のアクションの消化に追われたが、これもまさに粘りの現れだろう。発射の直前、この強い横風でも大丈夫だろうかとの問い合わせがあったが、コントローラがスタートせんとしていた段階でもなお計算をしていた人もいたくらいだから、粘りもここに極まれりといったところであろうか。発射後のテレメータデータは、それまでレビューで見なれていた何かしら問題のある場合とは違って変わって、拍子抜けのするくらい順調なものだった。こういうものなのだというのが実感であった。

(川口淳一郎)



姿勢制御装置に取り付けられた3段目計器部

告白

いくつかあるサブシステムの検討会のなかで中谷教授監修、川口助教授主催の制御系レビューは最も大変なものでした。制御系の構築のためには機体のあらゆる情報が必要とされるのでほぼ全員集合のような形で会議はしばしば深夜に及び、宇宙研の森田、石井、久保田、山川等の諸君に加えて日産の大塚、三菱プレジジョンの林、後藤といった若手が大いに鍛えられました。発射成功後の打上げパーティで、川口君をぶんなぐってやろうかと思ったことがあると白状したのは大塚君でしたが、彼だけが正直に言ったのかもしれない。

(松尾弘毅)

準備

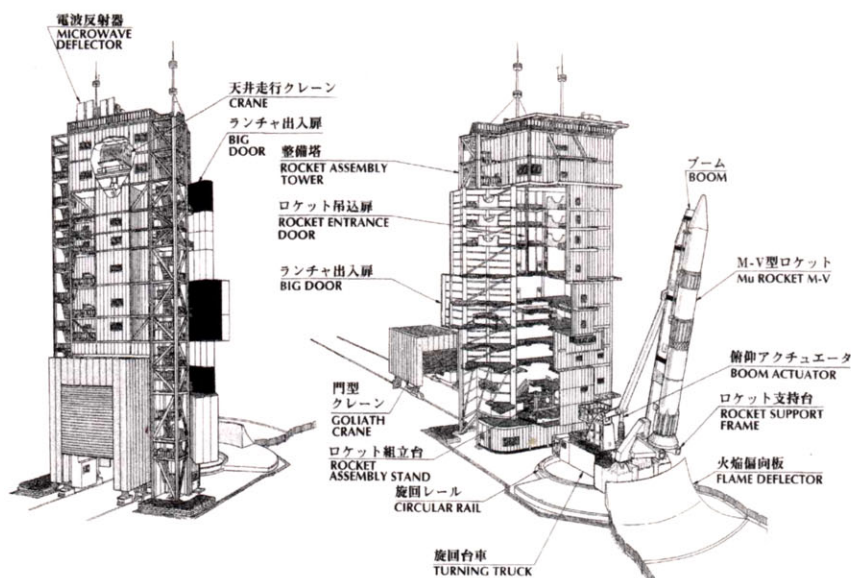
2.1 ランチャ

ロケットを実験場で全段組立て、打ち上げる設備を総称してランチャと言ひ、整備塔とランチャで構成される。M-Vは従来のM-3S IIに比べ重量が2倍以上にも大型化し、既設ランチャでは容量不足のため、新設するか否か、関係者により大いに議論された。

既設ランチャは、昭和57年にM-3S及びM-3S II ロケット用として新設され、ハレー彗星探査機を含む10機のロケット打上げに使用されてきた。このランチャは宇宙研の豊富なロケット打上げ経験により得た技術を反映して、諸外国にも類例の無い独自性のあるユニークな「ガイドレール・傾斜発射」と云う打上げ方式を採用している。また、ランチャの設計仕様として、直径2.2m、重量100tまでのロケット打上げ用に改修して使用可能なものとして開発整備された。

前述の通り、ランチャを新設するか、あるいは既設のものを改修して運用するか、構想計画段階で関係者により鋭意検討・協議された。結論としては、新設すると費用が嵩むし建設スケジュールに無理が生じるのに対し、技術的な課題は多々あり大がかりにはなるけれども、費用と工期等でメリットのある既設ランチャ改修方式で対応する事とした。

改修に伴う課題として「大型ロケットの組立作業性」「ランチャの俯仰能力不足」が挙げられるが、種々検討し、打開策を捻出して関係者と綿密に調整し、最適方法を選択した。Mロケット用発射装置全体を右図に示す。



2.1.1 主要改修内容

【ロケットの収納と組立作業スペースの確保】 ロケットの収納と組立作業面積の確保は、作業の安全性・信頼性の点から必要不可欠である。そこで整備塔の大きな柱に影響しない方法として、ロケット組立中心をM-3S II より海側へ500mm移動した。

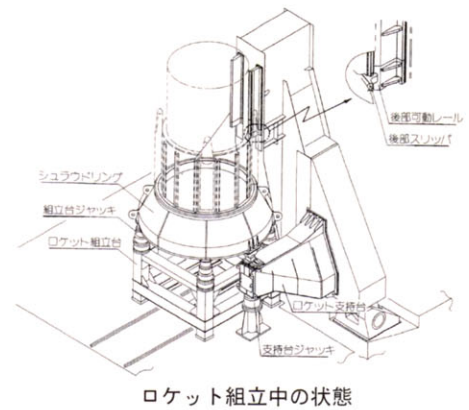
また、ランチャブームを大改造してブームを海側へ1m後退させた。これにより大口径のロケットを塔内に収納可能となり、周囲の作業スペースも十分確保できるようになった。ロケット作業床との関係を右の2枚の図に示す。



【ロケット組立台の新設】 M-3SⅡまでは、ランチャ上にロケットを垂直にし、組立て作業を行ったが、M-Vでは大幅な重量増加を伴い、ランチャが撓みの影響を受けて垂直姿勢の確保が困難となるため、専用のロケット組立台を新設して、全段組立完了後にランチャへ装着する合理的な方法を採用した。ロケット組立中の支持状態を右図に示す。

【ロケット俯仰角設定仕様の変更】 M-3SⅡではランチャの俯仰角を $85^{\circ} \sim 65^{\circ}$ としていたが、M-Vでは、重量が大幅に増加したので俯仰角設定能力（油圧アクチュエータ最大出力400t）範囲内とするため、関係者と調整の上 $85^{\circ} \sim 78^{\circ}$ の仕様に変更した。

その他、ロケット組立用天井走行クレーンの仕様を20 t から50 t に能力アップし、ノーズフェアリング専用の空調装置を新設した。



2.1.2 改修工事

ランチャの改修は、M-Vロケット1号機を平成8年夏期に打ち上げることを前提にスケジュールが設定され、M-3SⅡ最終機（8号機）の打上げ（平成7年1月）直後から現地工事を着工して、同年12月末に完工する必要があった。

当時（平成7年1月17日）は、ランチャ改修の担当メーカー三菱重工神戸造船所の本拠地神戸に於て大震災が発生し、現地着工時期を遅らせることも検討したものの、ランチャの完工時期が遅れる可能性があり、M-Vの打上げ延期にもつながる懸念もあったため、計画通り着工に踏み切った。

この工事に従事された関係者の中には、自宅が全・半壊された方も数名おられたようである。同社の誠意ある姿勢に感動した。

ランチャ改修の総仕上げとして、平成7年12月にM-Vの実機と同じ形状のダミーロケットを使用して荷重試験を行い、ランチャオペレーションとして「ロケット組立作業性及びランチャセット操作性」の確認を主体に各種データを取得し、ランチャ単体としての信頼性・安全性の検証を行い、良好な結果を得た。



2.1.3 運用実績

改修を完了したランチャは、翌年の平成8年5月より、総合・地上・組立・フライトの各オペレーションを実施し、この間特別の不具合も無く終了した。打上げ後のランチャ点検結果については、大型化した排気フレームの高温高圧の影響でロケットに相当の損傷が懸念されたが、整備塔一階壁部（軽量コンクリート）が全面的に破損したほか、ランチャブームインシュレーション、ノーズフェアリング空調ダクト破損等が確認され、いずれも予想外に軽微であったと思われる。

上記の如く改修により新装されたランチャは、従来の打上げで得た経験と実績を多く取り入れ、特に整備塔内でのロケット組立作業が能率良く行えることに原点をおいて改修整備した結果、M-Vロケットの各オペレーションに効率良く使用できるものとなった。このランチャも、着工してから換装・改修を繰り返しながら16年の年月が経過し、今後とも有効活用して行くための課題として、今回の改修で手を加えなかった電装系・ランチャ旋回系・油圧装置系等についても、機会をみて更新等の実施検討が必要にならうと思われる。

（橋元保雄）

2.2 ロケットの輸送

M-V-1ロケットの輸送は、モータの重量制限による道路交通法および火薬類取締法から大きな制限を受けることとなった。これらの法規を守るため陸上輸送を出来る限り短距離とすることとし、運搬計画を立案した。陸上輸送を短距離とする理由は、大型トレーラを使用するため夜間走行および時速10km程度の速度しか確保できないこと、道路上にある橋の重量制限があること等である。これらの理由から陸上輸送を短距離、その大部分を船舶輸送に頼ることとなった。船舶輸送にも大きな問題点はある。船舶輸送はすべて国際法の取り決めにより許可申請を行う。これらの手続きには許可申請書提出から約半年の月日を必要とする。道路通行許可と併せて申請書だけで24カ所の許可を取り付けることとなった。

いざ輸送となって最初の難関は橋である。国道上にある殆どの橋は最大30トンクラスの重量物が通過するのがやっとで、それ以上の重量物が通過する場合、オーバブリッジ（橋の上に橋）を架けることにより許可となる。岸壁でモータを船積みする荷役作業では、大型クレーンの重量に耐えられるように岸壁に鉄板等の養生も必要となる。船積みするモータは危険物接岸荷役許容量が火薬類20トン（推進薬換算で40トン）までという法律があり、外洋を走る大型船にM-14セグメント（火薬量約36トン）1個しか搭載して輸送することが出来ない。M-14、M-24で3隻に船を分け、かつ別の日に輸送することとなる。

内之浦港は漁港である。内之浦港の港長は鹿児島県知事であるが内之浦町長にこれを委託している。漁港である関係から内之浦漁協の許可も必要であるが、これらすべてに快く協力が得られ、水切りと称する陸揚げ作業場の確保についても、当初予定した船付場を使用させて頂いた。

日本油脂武豊工場から愛知県武豊衣浦港まで4.3kmは陸上輸送とし、衣浦港から内之浦港までは海上輸送、内之浦港からKSCまでの4.5kmは陸上輸送となった。陸上輸送はいずれも夜間（12時～）に交通の少なくなったところを見計らって行われた。陸上輸送の愛知県側も内之浦側にも橋が1カ所ずつある。これらの橋には前述のオーバブリッジを架け、時速10kmで輸送された。内之浦港からKSCまでの所要時間は約3時間かかり、KSC推進庫にトレーラを収納するまで4時間を要した。

巷では現行行政改革が叫ばれ、規制緩和も同時に行われるようであるが、その手続きも費用も膨大なことになるロケットモータの輸送は、今後とも規則を守りながら続くことになる。（林 紀幸）



船から大型トレーラに積み込まれるM-14モータのセグメント1（内之浦港）



オーバブリッジの設置



オーバブリッジを渡ってKSCへ

スクラブル

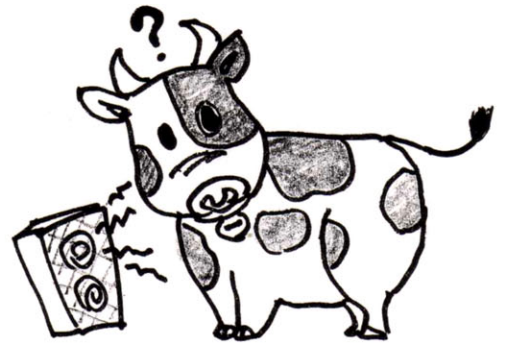
実験の合間には「スクラブル」というゲームを楽しみます。これはアルファベットの一文字が記された7枚の小板を手持ちにし、これを用いて補充しながらクロスワードパズルのように単語をつなげて得点を競うもので、4人で競技します。平尾名誉教授、雛田、的川、上杉、松尾のうちの4人が揃った場合にはこれをビッグ4と称し、不足の場合には何とかインテリジェントな人間は他に居ないのかと叫ぶことにしています（最近では鶴田、水谷、中島、石井といったところが二軍登録）。とにかく平尾先生が入ってらっしゃる場合は大いに盛り上がります。普通はこの単語の綴りはこれでよかったのかなと考えるところをこんな単語があると都合がよいのだがとお考えになるわけで、無限の可能性を追求するのですから時間は掛ります。その間他の3人は遅いとか欲が深いとか言いつつ大いに発散することになります。手札の良し悪しも影響されるので運不運の要素もありますが、平尾先生の不運はずい分と長いようです。次回もお待ちしています（文中平尾先生以外は敬称略）。（松尾弘毅）

2.3 地上保安

警戒区域の拡大に関しては打上げ1年位前から、関係振興会長さんあるいは直接住民の方々に対する説明会を開き御理解を得、打上げ時には退避壕あるいは集会所に退避していただく事になった。振興会長さんには打上げ期毎に開催される内之浦町協力会の席上で宇宙研の実験内容を御説明する機会はあるが、直接住民の方々と話をしてみるといろいろな御意見がある様子。今後とも定期的に直接住民の方々と話をする機会を設ける必要性を感じた。

M-3SⅡロケット打上げ時から、発射時に牛が驚いて暴れるという話があり、8号機の打上げ時に音響／地振動の計測を行なった。M-Vは推力が倍増するので状況は更に悪化する事が懸念されたため、音響が家畜に与える影響の勉強を始めた。しかしこの分野の研究者は極めて少なく、北海道庁の紹介で帯広畜産大学の先生から論文を送っていただき調べたところ、これという有効な対策は無く、慣らす事が一番という事になり、笑い話に近いが、牛に発射時の音を再生して何回も聞かせる事を計画した。昨年12月の組立オペレーション時に発射点直下の牛小屋の前に大型スピーカを置き、M-3SⅡ-8号機の発射音を、レベルの低いところからM-Vで想定されるレベル迄数回聞かせたところ、最大レベル時に牛が暴れ出し、M-V発射時は如何にしたものかと悩んでいたところ、内之浦の牛の飼育のベテランの方から以前うかがった事を思い出し、牛のつなぎ方で対応する事になった。結果としては、音のレベルはほぼ想定通り、しかし牛は暴れなかった。打上げ時の天候等も影響するのかもしれないが、私としてはホッとしたというのが正直なところである。音響に関しては、次号機以降も計測しデータを蓄積したいと考えている。

(中島 俊)



2.4 猛練習は宇宙を制す◇◇◇RS練習

M-Vロケットは全段新規開発かつ尾翼なしの空力不安定機体なので、初号機打上げに当たっては、RS (Range Safety : 発射場保安) として想定すべき飛行中の不具合や異常飛行のモードは、特に1段目の飛行についてこれまでのM-3SⅡ型と比べて状況の判断のための時間も短く、かつRSコマンドの多くがミッションの放棄につながるため、まずはシステムをよくおさらいすることから始めた。

道に迷う

「総員退避、X-15分」とアナウンスがある。実験班員は各々持ち場の配置につく。10年間自分達が考えられるすべてを結集して製造してきたロケットの飛行が近づく。今まで約430機のロケットの飛行に接してきている自分でも、この瞬間は言葉に表現できない緊張がある。特にM-Vは、ラムダがミューに成長した時より数段の緊張を感じる。

発射何分前か、アナウンスで某助教授が呼び出された。「……先生、本部に連絡してください」。普通ロケット実験では発射寸前の大物個人の呼び出しは長年の経験からトラブルの発生の可能性が高い。ロケット実験班員の多くは「すわ、トラブル発生!」と嫌な予感が胸をよぎったことと思う。相模原の研究所でも同様に「トラブルでは?」と思った人が何人かいたと後で知った。

某助教授が自分の行くべき退避場所を間違えて別の場所へ行ったのが原因で、「保安体制メモの正規の場所から本部にまだ到着していないが、どうしたのだろう」との問い合わせで捜していたという。どうやら実験場で道に迷ったらしい(本人は場所を勘違いしたとのこと)前代未聞である。この先何か道に迷わなければいいが……。

(林 紀幸)

幸いRS班の森田君はTVC班と兼任かつ機体ダイナミクス解析担当で、ソフトとハードの両面ともシステムの理解の程度は今回の打上げメンバーの中でもピカイチだから、いろいろな不具合モードやその結果起きることの想定は十分な理解の上で本番に臨むことが出来た。

恒例にして人気のRS練習は、飛翔中のロケットに対する処置の判断を下す飛翔安全総括チーフに対して誘導、追跡、テレメータ、CNE(姿勢制御装置電気部)、計測などの各班が芝居を打つわけだが、問題作成に当たってはこの意味で出題者の技量と理解の程度も試され、いかに気の利いた問題を出すかに、いつものことながら腐心する。RS系統の指令電話には各班の演技達者がそろうが、最終段のスピンレート報告をするSA(衛星)班の廣澤先生は迫真の演技をされるので、今後の練習には必ず登場してもらいたい。

今回のオペでは前号機までと比べて地上系も含めていろいろなシステムが変わったこともあり、異常に備える意味でM管制室の発射前のエマスト(緊急停止)練習と飛翔中の保安のためのRS練習(これはコントロールセンタが中心)を合同で行うこととなった。エマスト練習はM管制室内全員に対していつどこからエマストがかかるか分からない緊張状態を作って安全な状態でシーケンスを止める手順の練習をするのに対し、RS練習は要するにみんなで総括チーフをだます訳だから「性格の違う2つの練習が同居して混乱するかも知れませんが」と本部に捨て台詞を残して準備にかかった。

練習全体の管制は上(コントロールセンタ)からやるから下(管制室)の様子はよく分からない。ロケット以外の地上の異常も当然想定に含めるからKE班に頼んで管制室を停電してもらったり、管制室で発煙筒を焚くなどいろいろな想定外のネタを考え、保安主任から「やり方が子どもっぽい」とたしなめられるが出題側はへこたれない。結果は連絡系統や全体の打上げ手順の確認などの意味も含め練習を兼ねたよいリハーサルにはなった。管制室でも役者がそろっているがTVC班安田さんの毅然とした報告の声が白眉であろう。

フライトオペでは空力係数最悪や風の予想が外れた場合などのオフノミナルの飛翔ケースや制御の限界などについてレビューが直前まで重ねられたが、RSの立場でもこの情報は重要で特に最大動圧時は最もクリティカルな秒時の一つである。このため飛翔中の35秒付近の最大動圧通過時点では二つあるRSモニタ画面の片方ではロケットの姿勢を見るように設定していたが、この時ピッチ姿勢がボンと跳ね、ドキリとした。すぐにテレメータの一時的なロックオフのためと分かり搭載テレビでもロケットが順調に飛行しているのを見て胸をなで下ろした。ともあれRS班は例によって何も仕事をせず済み、ロケットの飛翔はすべてノミナルで、RG班前田さんの「軌道正常!」の連呼だけが耳に残ったフライトであった。

(稲谷芳文)



本番では出番がなくてほっとするRS班

居場所

今日は発射時何処にいらっしゃいますかとの質問でした。本来発射時に必要不可欠な人間であれば自ずから場所は定まっているものですが、年月の移り変りと云うものでありましょう。先般NASAの連中が火星探査にかかわる日米科学者会合の途次内之浦に寄ったとき、たまたま発射時に管制室には何人位居るんだという話になり、30人強位だと思いが“some are really working, some are just worrying about.”と云って大笑いになりました。彼等とて現場に深く関わる(れる)筈もなく、宇宙研の特長を示す光景かもしれません。

(松尾弘毅)

2.5 気象班の格闘

コントロールセンターの一角に気象衛星の受像装置と並んでいくつか端末が並び、その奥に天気図を受信するための気象ファックスが置いてあるコーナーがある。ここが気象班の作業場である。今回は私と水谷さんが気象を担当することになった。

私たちが到着した時、鹿児島地方はすでに春の気配が漂い、移動性高気圧の動きに従って4日ほどの周期でよい天気と悪い天気が繰り返していた。気象庁が出している24時間予測天気図と当日の天気図もよく一致しており、天気予報がよく当たるパターンである。気象庁の出す情報が頼りの俄か気象班にとっては心強い状況である。

冬の実験で一番困るのは地上風の予測である。北西の季節風が吹き込むと、ちょうどビルの谷間の風のように風向きも強さもめっちゃくちゃになる。今回は尾翼のない大型ロケットM-Vであるため地上風は15m程度まで許容できるという。これも気象班にとって有り難い材料である。

そんなわけで実験場に到着後しばらくの間、気象班には一種の安堵感が漂っていた。少なくともOP班から連絡が入るまでは。OP班の説明によると、尾翼のないロケットを安全に飛ばすには上空の風の予測が正確に出来なければならないという。ロケットが空気から受ける力は10~15kmの高度で最大になる。ロケットが横から大きな力を受けないように、ロケットの姿勢はあらかじめ入力されているプログラムに従って自動的に変化していく。このプログラムの入力に風向・風速の予測値が必要となる。プログラムは前日に入力するので、入力値は一日後の予測値である。問題は予測値の精度をどう予測するかということである。この高度では冬の時期、毎秒100m程度のいわゆる「ジェット気流」が吹いている。問題となる精度は毎秒10m以内ということである。風の場の予測値は気象庁数値予報課が出している29時間予測値を使わせてもらうわけである。数値予報課に問い合わせたところ特定点での予測精度は毎秒30m程度とのことである。実際、こちらで作った実測と予測の差も時としてその程度の開きを示している。そのまま予測値としてプログラム時に使用すると、打上げ直前の実測との差が大きくなり打上げ中止ということになる可能性が高くなってしまう。予測と実測との差をもう少し小さく



気象情報を検討中

風

今回は風にはずい分悩まされました。まるでMロケットの初期の頃に戻ったようでした。当時は第1段には制御装置がなく尾翼が頼りでしたから、風の推定をまちがえると軌道がそれて、人工衛星にならなくなる可能性があったのです。よく誤解されますがロケットは風に流されるのではなくて風に向かって飛びます。ロケットの速度がまだ遅い発射直後の地上近傍の風が問題でした。

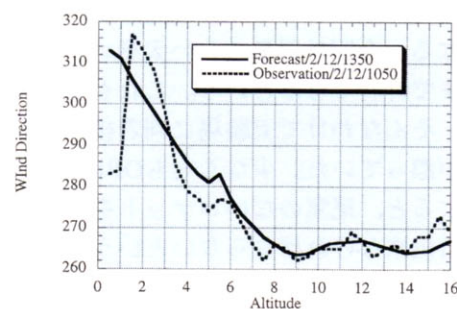
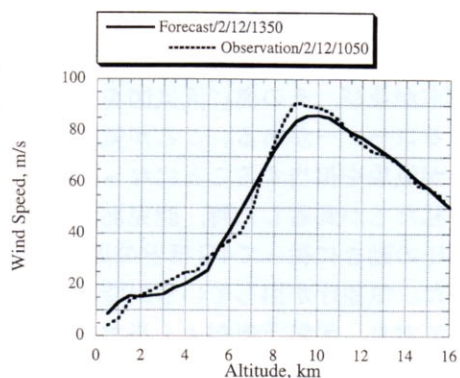
今度の場合は尾翼がないのでロケットは不安定で、何もしなければロケットはひっくり返ります。これを強力な制御力で所定の方角に向かせるわけですから、あまり予想外の風が吹くと荷重が大きくなって機体が破壊してしまいます。この場合、動圧で表される空気力が最も強くなる地上10~15km付近での風の推定が問題でした。気象庁の予想データを長期間追跡するなど慎重を期し石井助教授、山川助手の若手が予測にかなり苦戦していましたが、鶴田、水谷両教授の（地球物理学出身者として分らぬ筈がないという観点からしばらくは火星と月の事は忘れてもらって）参加を得て大いに事態は改善され、当日の見事な予測となりました。たかが線を引いて外挿する位のことが何でできなかったのだとの問いには、両若手“何しろ気象庁に電話すると教え子の方が居たりするんだから敵いません”と、実力ではなく權威に服したような云い分でありました。

（松尾弘毅）

出来ないかという要請である。気象庁の数値予報課が出す予測は、現在我々が入手できる最も確かな予測値である。これに手を加える正当な理由は普通に考えると見出せない。ただ、今回の気象担当は少し常軌を逸していたらしく何とかしてみたいと考えてしまった。その結果OP班を巻き込んでの悪戦苦闘が始まることになったわけである。

実際には、常套的な手段として次の検討を試みた。1. 過去のデータをもとにして実測値と予測値の差を調べる、2. 実測と予測の間に系統的な差は無いのか、3. 実測と予測が大きく外れることと関連のある気象条件はないか、の3点である。この結果、偏西風が波打つような時、偏西風の強風軸が鹿児島上空から離れている場合は誤差が大きいことがわかってきた。この結果に勇気付けられて、誤差が小さいと考えられる場合を選んで統計的に補正量を算出し、予測値を補正してみた。その結果は大変良好で問題になる高度領域で予測と実測の差が10m以下におさまりそうだとわかってきた。これらの検討に従ってプログラム用に風向・風速について予測値が作られた（右図）。図には打上げ直前の実測値も書き込まれているが、われわれ自身も驚くほどの良い一致であった。たぶん、偏西風の真ん中に我々がいたことが良い一致の原因であろう。偏西風帯から離れる夏の打上げで同じことが出来るかどうかはわからない。気象班としては柳の下に二匹目の泥鰌を期待したいところであるが。

（鶴田浩一郎）



2.6 発射オペレーション

「行く手を思う旅人は自分の影でも不安」と言う諺がある。M-V-1号機のオペレーションも正にこの諺の思いがした。

オペレーションとは何か？宇宙研ではKSCで行われるロケットの発射整備作業を四つに分けて各々オペレーションと称している。

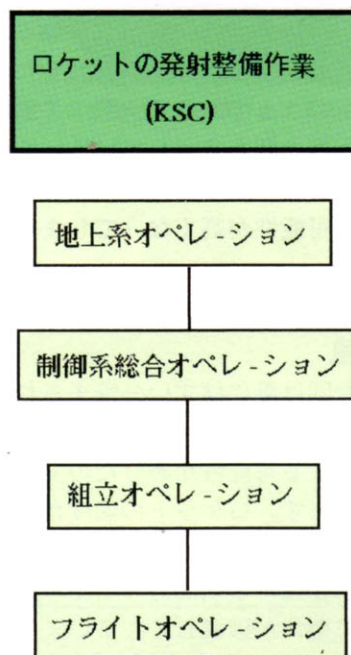
先ず支援設備機能動作をチェックする地上系オペレーション、制御機器の動作確認を目的とした制御系総合オペレーション（今回は制御系総合オペレーションの中に地上系オペレーションを含む）、ロケットを飛翔状態に組み立てる組立オペレーション、そして実フライトを行うフライトオペレーションである。

総合・地上オペレーションは当初平成8年5月21日から始まり6月14日に終了する計画であったが、制御系のソフトに手を加える必要が生じ、6月7日の総合オペレーションをもって作業を打ち切り、残り作業は組立オペレーションに延期となった。制御系のソフトはその後宇宙研に帰り検討した結果手直しに日数を必要とすることが分かり、平成8年度夏期（8、9月）のフライトを延期することとなった。

その後制御系についてはソフトの手直し、諸試験を行い、組立オペレーションは平成8年11月18日作業開始、12月19日終了の計画で作業に入ったが、ロケットの組立作業は当初計画をはるかに上回り難行し、明日の作業時間すら決められない状態になった。

結局オペレーションを1日延期し、移動日を入れる日数33日、実働日27日、休日4日にわたる出張期間中、なんと残業は82時間に及び単純に計算しても約11日強の作業を残業でまかなったことになる。

毎日の作業スケジュール表を改めてめくって見ると、作業変更のメモで真黒になっているページもあるほどで、その時はただ夢中でロケットの組立を完成させようとの使命感のみであったように思われる。



仕事というものは、人と人とが信頼しあって、初めて成功するものであると言うが、永年ロケットの組立作業にたずわってきて、今回ほどそれを思い知らされたことはなかった。救いと言えばこの組立作業に参加した実験班の中から一言の不平も出なかったことである。M-V-1号機の成功に向けた全員のチームワークの結晶である。

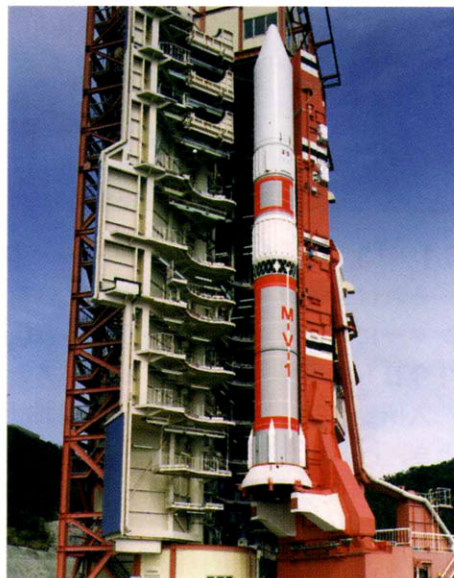
組立オペレーション終了後、構造班は整備塔内に組み立てられたロケット（全機体）に振動を与え構造上の問題等のチェックを行った。

フライトオペレーションは年明け宇宙研から衛星（MUSES-B）を運び出すところから始まった。平成9年1月10日搬出、1月13日KSC搬入。SA班はオペレーションに入った。

機体系は1月21日から同じくオペレーションに入り2月7日発射に向け最後の組立が始まった。その後SA班に若干の手直しが発生し発射日を2月11日以降に延期した。組立作業はその後順調で2月11日発射日を迎えたが、天候が悪く延期。翌2月12日13時50分に発射された。この一連のオペレーションを短い文章の中で表現することは本当に難しい。組立オペレーションの残業時間だけで判断して頂くのも心苦しい。しかし事実は事実として残しておくことが大型プロジェクトにたずさわる我々の使命ではないだろうか。

ロケットは大小にかかわらず実験が成功するとお祝いをする。でも今回ほど汗（冷や汗も）を流したことは無い。涙とともに美酒に酔い最初に頭をよぎった不安はそのまま2号機に引き継ぐことになる。なぜならロケットは1機1機性格が違うからだ。

（林 紀幸）



定時は午後 8 時

明けましておめでとうございます。

.....（中略）

M-3SII-1号機打上げが成功と分かった瞬間、実験主任の秋葉先生はM管制室の傍らにいた私に真っ先に握手をして下さいました。

M-V-1号機でも又……と思っています。

.....（後略）

これはある先生に私が送った今年の年賀状である。組立オペレーションまで終了したM-V-1は実に手数がかり、時間を大量に飲み込む大きな魔物のような存在に思えた。仮組立及び計器・計装合わせでは123件もの要処置事項、続く噛合せ試験は80時間、制御系総合オペは33時間、組立オペは1日延期+87.5時間もの残業を私たちに課したのである。特に組立オペでは「定時（作業終了の）は午後8時」と言う言葉が冗談で使われたが、実際本当になってしまった。

内之浦は暖かいとはいえ、12月の夜ともなれば大扉を開けたままの組立室はとても冷え込み、辺りは真っ暗。組立室だけが皎々としており、その中で連日遅くまで気合いの入った作業が続けられたが、その様子は鬼気迫るものさえ感じられた。

年が明けて始まったフライトオペでも次々と問題が起こり、5日延期+38時間の残業がまたしても私たちに課せられた。噛合せ試験からずっと立ち合われ、何が起きても沈着、冷静に対応してこられた小野田M計画主任が「ロケットの打上げがこんなに大変だとは今まで思わなかった」と雛田先生にもらされていたことはとても印象に残っている。

さて、冒頭の年賀状の結末だが、打上げが成功と分かった時、上杉実験主任は真っ先に傍らの私に握手をして下さった。M-V-1のなが〜い日々の疲れが吹き飛んだのは言うまでもない。（富田 悦）

飛翔

3.1 「3, 2, 1, 0!!」—— 初陣の発射管制

それは1996年12月19日、組立オペレーションの朝、軌道計算センターにおいて、下村和隆さんから唐突に言い渡された。

「今日も、本番のときも、お前がアナウンスをやれ。」「へっ……!!」

入所して初の出張だったM-14-1地上燃焼試験で下村さんと対面したとき、「お前は声がでかいから、そのうち俺に代わって打上げのときのアナウンスをやれ。」と言われ、観測ロケットでは翌年のMT-135-62号機から発射管制を担当してきた。しかし衛星打上げ用のMロケットについては、「俺はM-V-1号機を最後に管制を引退する。」と下村さんが宣言していたので、少なくともこの1号機には私の出番はないと安心していただけ、その突然の申し渡しに驚かされた。

その2日前の動作チェックの日にも、下村さんから体調不良のためやはりその日の朝に代打を頼まれたことがあり、「こういうこともあるんだなあ」と漠然と覚悟はしていたが、兎にも角にも、私にとって10機目となるロケットのカウントダウンが、初体験の科学衛星打上げロケット、それもM-V型の初号機という大変な役回りになったのである。

【リハーサル】 年が明けて1月、MT-135-65、バイパー2,3、S-520-18と観測ロケットのフライトはすべて成功を収めた。そして2月、M-V-1号機の打上げは11日と決まった。そのタイムスケジュールは11時間を越えるロングランであるため、打上げオペレーションのリハーサルである電波テストのタイムスケジュール入りは打上げの前々日、9日の22時である。短い禁酒生活が始まる。夕食を旅館でとったあと、すぐまた実験場へ上がる。スケジュールは途中まで順調に進んでいたが、ロケットを整備塔から出し、ランチャ角度セットまで終わり、CN班（ロケットの姿勢制御を担当する班）の作業を続けていた13時過ぎ頃から小雨がパラつき出す。そのために逆行スケジュールに入りロケットは一時整備塔へ格納。この日はTVカメラが管制室に入るの、マイクを握る本人は平静を装いながらもそれを意識し力が入り出す。

が、肝心のカウントダウンをする時には1台もいなくなって拍子抜け。多少のモタツキはあったものの、再びロケットは整備塔から出て、15時30分に電波テストのX（打上げ想定時刻）を迎え、打上げに備えてロケット格納などの戻し作業も無事終了。チーフ会議、その日の残作業を追えていよいよ本番を迎える。

【仕切り直し】 日付が変わって11日は、深夜2時にタイムスケジュール入り。作業は順調そのものだが、夜が明けてみると天候が悪いらしい。こちらは地下にある管制室にずっといるため外の様子はITVモニターで見るとしかないので、後で聞くとなんと雪まで降ったという。そのため11時を過ぎて打上げの延期が決まる。その後のチーフ会議にてスケジュール内の作業内容に若干の変更が決定され、翌12日は早朝4時30分にタイムスケジュール入りとなった。発射予定時刻は13時50分。



打上げ時の管制室

町に降りて旅館で夕食の後軽く睡眠をとり、3時過ぎに起床して実験場に上がる。タイムスケジュール入りのときに場内にいてアナウンスを聞いているのは、ロケット班、ランチャ班、衛星班など、実験班全体のうちの一部の人でしかなかったが、気合いを入れての第一声——「ただ今より、M-V-1号機、タイムスケジュールに入ります。」

仕切り直しの本番スタートである。

40分ほど過ぎて5時12分より衛星の動作チェックに入る。10時過ぎまでは衛星班の単独作業が続くので、管制のアナウンスも一段落。管制室の照明を落とし（実はこうすると、各管制盤の表示ランプのおかげで室内はとても綺麗に見えるのである）、後方に置いてある長椅子で仮眠に入る。9時ごろ放送によって起こされると、指令電話で井上浩三郎さんが呼んでいる。衛星班の作業報告だ（大変に順調らしい）。予定より1時間近く早い9時38分に衛星の動作チェック終了。10時12分までに打上げモードの設定、確認も終わる。

ロケット側は10時20分にSJ班、TVC班の作業から開始。10時50分、Xマークテスト。11時15分、CNE（姿勢制御装置の電気部）のウォームアップを開始。11時29分、ランチャセット開始。いよいよロケットは整備塔から出てくる。こちらの気合いも徐々に盛り上がり始める。12時24分、ランチャ角度セット終了。12時26分より搭載機器の動作チェック開始。これも順調に30分足らずで完了する。12時41分より2段目TVCの注気を開始。13時15分からCN班はジャイロバイアス測定を始める。13時20分、打上げ30分前のサイレンを鳴らす。13時29分、ジャイロバイアス測定終了。13時34分にはTVCの注気終了。13時35分、点火回路準備開始。

それから1分ほど後、保安主任から放送（呼び出し）の指示。実験場内で迷子が発生したらしい。点火回路の準備は約2分で完了。13時40分ノーズフェアリングの空調は停止し、ダクト離脱。13時41分に衛星の電源を内部に切り替え、節電のため管制室の空調も停止する。

このとき私の緊張はピークに達し、頭の中は一時真っ白に。TVC班安田さんより「空調ダクト元圧排気の為、整備塔1階付近は大きな音がするので注意」して欲しい旨放送の依頼があるが、声は聞こえているのに内容の理解が出来ず、2回ほど聞き返す。13時42分、搭載機器集中電源を内部に切り替え。13時44分、CNEフライトモードセット。13時45分30秒、TVCカプラ離脱。13時46分、着脱コネクタ離脱、ランチャの捲上アームがゆっくりとコネクタを機体から離していく。

13時46分30秒に打上げ3分前の花火をあげる。中央発射司令卓には全サブシステムの準備OKの緑のランプが点灯し、下村さんが「ALL SYSTEMS READY」「START READY」のボタンを押す。ロケットはいつでも打ち上げられる状態になった。

【旅立ち】「発射準備、すべて完了しております。」とアナウンスを入れる。続いて13時48分には「あと、1分程でコントローラ、スタートします。」というアナウンスを入れると、管制室の空気は張りつめ静寂が訪れる。そして13時48分55秒、「コントローラ、スタートします。ヨーイ、ハイ1分前!!、59…、58…、57…」1秒毎のカウントを開始。各班からは続々とOKのアンサが返ってくる。15秒前、SPGG点火。管制室天井にぶら下がっているデジタル時刻表示装置横のITVモニタに黒煙が映し出される。10秒前には予定していたすべてのOKアンサが返ってきた。



▼ロケット搭載カメラの映像



「ああ、このまま打ち上がるんだな。」

そんなことを考えながらカウントを続ける。

「3…, 2…, 1…, 0 !!」

轟音とともにロケットは発射された。予想していたより振動、衝撃は少ない。50秒ほど経過したとき、秒だけの積算表示は中央発射司令卓にしかないことに気づき、天井デジタル時刻表示装置からそちらに目を移す。75秒、1・2段分離。80秒まではそのまま毎秒のカウントを続ける。LSランチャ下に火災が発生したらしい。消防隊に出動要請が下る。カウント進行の合間に時々コントロールセンタから飛行状況のアナウンスが入る。197秒、ノーズフェアリング開頭。天井モニタに搭載カメラからの映像が送られているが、それを見ている管制室の面々から歓声があがる。213秒、2・3段分離。3段目のノズル伸展、伸展機構投棄の様子が鮮明に映し出されているようだ。218秒、3段目点火。搭載カメラはその役目を終える。タイマシーケンスのイベント秒時にあわせてカウントは続行する。合間にITVモニタに目をやると、発射点に一番近いカメラのカバーケースのガラスが割れている。

私の後ろでは、保安主任が飛行追跡系の指令電話をモニタして、状況を管制室内に伝えてくれる。

340秒過ぎ、「スピン正常、4段点火した模様。」

そして、360秒過ぎには「一応、OK!!」という、事実上、打上げ成功の宣言が飛び出る。管制室は一瞬のうちに「歓声室」に変わった。実験主任と保安主任が握手し、室内には大きな拍手と歓声があがる。

【感動】 486秒頃、「衛星分離、確認!!」再び大きな拍手。ふとまわりを見やると、何人かの実験班員の目には歓喜の涙が浮かんでいる。思えば今回の実験班は、その多くが開発段階で様々な苦労を重ねてきた人々の集まりである。私の胸にも感動が押し寄せる。あちこちに握手合戦が始まるが、私はマイクを握っているためそれに参加できない。ほんのち



カウントダウン

最終の動作チェック、発射直前のタイマ機器のアンサーは異常なし、タイマ電源電圧も正常、万全を期して打上げに臨んではいるものの不安が頭の中にジワジワと浸透してくる。

X - 60秒：タイマ点火管制盤のカウンターが-60からカウントダウンを始める。

- 50秒：タイマスタート青色点灯、これでタイマスタートは確認した。

- 30秒：タイマOK点灯、これでタイマ系は全て正常、モータ点火までアンサー異常はありません様に、タイマアンサーの20余りの表示灯を見落とさないようににらみつける。もし、その中の表示灯の1つが一瞬でも変化して正常に戻ったらどうしようか？ランプの接触不良かも知れない。それでも、「エマスト!」と大きな声で発声する心の準備は出来ている。

- 15秒：SPGG点火確認の声、タイマ表示灯に変化無し。そのまま行けよ、何か表示に変化があればエマストと心の中で再確認。

X = 0秒：振動でモータ点火を確認、管制盤から目を離しモニタテレビを見る。

+ 75秒：1段分離、大きな衝撃が搭載機器を襲っているはずだ、タイマは大丈夫だろうか、

+ 197秒：搭載カメラでタイマは正常にシーケンスを実行している事を確認。生きてる。よし、もう少しだ、ガンバレ! その後、第3段目タイマ、衛星タイマも正常で、衛星はほぼ予定の軌道に投入された。

畑仕事でいつも忙しい兄夫婦が米を持って見学に来た。打上げを見て直ぐ帰ったが、2倍以上の感激にその夜は酔った。

(中部博雄)

よっとだけ孤独な気持ちになり、心の中でガッツポーズ。

500秒過ぎ、衛星はKSCからの受信範囲を外れ、カウントを520秒で終了する。そして隣に座っていた下村さんや実験主任、その他の方々と堅い握手。大きな仕事をやり遂げた安堵感と充実感が広がる。他の班員は打上げ後の確認や撤収作業のために、徐々に管制室から出ていく。管制のアナウンスの仕事はまだ少し残っている。

14時15分、人が減って少し寂しくなった管制室からオペレーションの終了報告のアナウンス——

「これをもちまして、M-V-1号機のタイムスケジュールを終了します。実験班の皆さん、ご苦勞様でした。関係者の皆さん、ご協力ありがとうございました。」

各班作業の大変スムーズな進行とまわりの人々のサポートのおかげで、初めての衛星打上げロケットの管制オペレータを大したミスもなく無事にこなすことが出来た。この調子で、成功の美酒に酔いしれることが何号機までも続けばいいと心から願う。
(餅原義孝)

発射から軌道まで

ロケットが発射された後の管制はコントロールセンターにて行われる。各センターからのデータ表示や指令電話での情報により、飛翔保安コマンドと電波誘導コマンドを利用して管制が行われると共に、場内放送で飛翔状況が実験班に知らせられる。

発射1分前にコントローラがスタート、M-3S II-1より12年ぶりの新型ロケット実験である。室内に緊張が漂い、少し前まで冗談に最大動圧(+37秒)まで正常に飛ばせば80点、2段点火までもてば成功との話が脳裏をかすめる。15秒前にSPGG点火、息づまる様な時間が経過して遂に1段点火、コントロールでは低い窓より明るい光が差し込んできた。

内之浦より尾翼の無い初めてのロケットが打ち上げられた歴史的瞬間だ。少し遅れて天井よりバリバリと言う振動が伝わって来た。頼りの新精測レーダが追尾しているのでまず安心。軌道は正常でノミナルの上を示している。搭載テレビが力強く加速するロケットの映像を送って来ている。

1段軌道が予定に近いため2段修正RGコマンドは僅かにピッチ0.4度、ヨー0.1度、75秒。最大の難関ファイア・イン・ザ・ホールは、テレメータがノイズで姿勢情報が十分で無かったが、H-V図上のロケット点が順調に加速しており、軌道正常。197秒開頭がテレビで美しくモニタできた。2段分離より3段点火までのテレビ画像も完璧で、3段燃焼正常、勝浦局、小笠原局からも正常に受信中との連絡が入る。

334秒スピン開始10秒後にキックモータ点火、2万kmまで上がる速度まで加速、実験班より安堵の声が上がるがまだ早い、内之浦より見えない衛星分離を勝浦局にて確認との連絡にてやっと安心。

小田先生や松尾先生の笑顔が見える。不思議に人と話をしたくないが川口先生の顔が頭に浮かんだ、なぜか涙が止まらない。さあデータをかき集めて衛星軌道を計算して第一可視に備えよう！
(前田行雄)



追 跡

4.1 新精測レーダ

M-V-1の飛翔実験には、これまでこのロケットに合わせて開発を進めてきた新精測レーダをメインレーダシステムとして用いた。レーダは、ロケット3段計器部に搭載されたレーダトランスポンダからの電波を、ほぼ予測した受信レベルで追尾した。レーダデータは、これまでのM-3SⅡの打上げと同様に、実時間でロケットの飛翔保安と電波誘導システムに用いられた。

本レーダシステムは、これまでM-3SⅡロケットで追跡に用いてきた旧精測レーダの老朽化と、M-Vロケットのブルームによる電波減衰に対する危惧から更新計画を始めた。平成元年度より調査を始め、平成7年10月にKSCの新宮原レーダテレメータセンターに完成した。

設計に先駆けておおよそ以下のような事項についての検討を行った。

- 1) 受信機能の向上・・・これは追跡時のロケットブルームによる電波減衰の影響を軽減させる為の処置で、旧精測レーダより8dBの向上を図る。内訳はアンテナ利得で+6dB、受信機能性改善で+2dBとする。
- 2) 測角精度の向上・・・これは日射による熱変形で生じる指向誤差（旧精測レーダ約1000分の5度）を小さく抑える。主反射鏡（7mφ）の骨組等に、熱変形の小さい複合材（CFRP）を用い、高剛性と軽量化を合わせて図ることで測角精度1000分の3度以下の実現を図る。
- 3) 1次レーダシステムの探知距離の拡張・・・これはパーキング軌道上の衛星追尾を目標とするもので、旧精測レーダの機能に対して、探知距離で1桁（40dB）の拡張を図る。

その他計算機システムを介した捕捉運用等について検討を行った。特に1次レーダシステムでは初めての技術を用いる事になるので長時間の検討を行った。探知距離の拡張は、アンテナの大型化、送受信電力の増力、長パルスによるパルス圧縮等の手段がある。



200人を越えた接待客

さる2月12日午後1時50分、M-V-1ロケットは、真っ白な煙を思いっきり吐き出し光り輝いて、遅れてきた轟音を引きずりながら空を突き破っていった。カウントが確実に時を刻み、飛翔の状況をマイクで伝える笠木幸子さんの声が辺りに木霊して天から聞こえてくる。それまで息を止めていた口々から歓声があがり、誰かが拳をあげて叫んでいる。やがて歓声は拍手に代わり、笠木さんの声が聞こえる度に波浪のごとくに続く。

人垣の後ろに、秋葉先生が口を結んで立っている。栗林先生が駆け寄り、両手で右手を握り顔は腕の中に埋もれた。秋葉先生は何度も頷いている。その向こうに木下部長の躍っている肩が見え、それらが霞んでいく。衛星が軌道に乗るまでの8分間は長く短く、宮原台地に立つ人々にかかる関わりの深さを超えて一体となって華やいだ。

打上げが延期された2月11日のKSC管理棟は、200人もの招待客で膨れ上がっていた。大変な混乱もなく過ごせた原因には、移動中の連絡はバス単位で行った、携帯電話を駆使した、担当者は自分で判断し結果を責任者に報告した、旅行業者を同道していた等が挙げられる。

（枝 丈雄）

ISASでは、アンテナの大型化は7mφに止め、残りの所要利得には長パルス（1000μsec）の圧縮技術で検討することにした。パルス圧縮方式には長パルスに周波数変調をかけるチャープ方式と、デジタル符号変調をかけて行う方式がある。両方式について検討した結果、受信装置をデジタル化できるメリットを優先し、デジタル符号変調方式のパルス圧縮方式（相関検知方式）を選択した。

一次レーダシステムでは、測距精度の低下を抑えて探知距離の拡大を図るために、デジタル符号（疑似バーカコード）で変調を施した長パルス（1000μsec）のパルス（1μsec）圧縮（相関検出）方式を採用した。この場合抽出された信号パルス（1μsec）の帯域に含まれる雑音レベルはおおよそ元の長パルス（1000μsec）の雑音帯域で抑えられる。

これらの検討を基に基本設計が行われた。

今回の更新で、旧精測レーダシステムから大きく変更した主だったところは下の表の通りである。

その他運用計算機システムとして、自動捕捉機能（疑似捕捉防止）、装置の特性診断、各種シミュレーション試験機能等のソフトが備えられている。このなかで、特に技術的に変更したところは、受信機のデジタル化である。この事で、+6dB以上の受信機の改善ができた。ここまで来るには色々の難関があったが、担当メーカ（三菱電機・NEC）の努力で無事M-V-1の追跡をすることが出来た。改めて感謝します。

（市川 満）

	新精測レーダ	旧精測レーダ
アンテナ直径	7mφ利得 48dB	4mφ、42dB
駆動制御	デジタルサーボ	アナログサーボ
受信機	I F よりデジタル	全てアナログ-95dBm
*最小追尾レベル(1μsec)	-102dBm	-95dBm
(20μsec)	-115dBm (実測 dB)	なし
(1000μsec)	-132dBm	なし
送信装置	クライストロン1MW、 TWT 200KW	マクネトロン
Ku 帯共用アンテナ	14, 9GHz, 53, 8dB	なし

* 2次レーダ方式と1次レーダ1μsec、TX. 5586MHz、RX. 5636MHz

4.2 テレメータ

M-V-1号機には、第1段から第3段までテレビ伝送を含め5台のテレメータ送信機が搭載された。このうち、第3段計器部に搭載されたTMS-D（Sバンド倍速テレメータ）がM-Vロケットから新規に設計製作されたものである。

M-VロケットはM-3SⅡロケットに比べ、耐環境条件が厳しく、さらにファイア・イン・ザ・ホール時に生ずる過酷なパイロショック対策をしなければならなかった。テレメータ送信機や計装機器では発信器やリレー等を数多く使用している。このため、宇宙研、メーカで何回も打合せを行い、いろいろな対策を考え、試験をし、最終的にショックマウント方式を採用することにした。

とにかく、ロケットからの情報はすべてテレメータを通して送られて

くる。失敗は許されない。絶対大丈夫と思っていても、常に不安が付きまとう。そんな心境の中、フライトオペレーションを迎える。KSCでのM-V-1号機フライトオペレーションでは、S-520-18号機の打上げとも重なり、テレメータセンターで作業する実験班員が今までに比べ多い。朝、その日の作業の確認のため打合せを毎日のように行ったが、テレメータセンターの控え室は入りきれない程であった。

M-Vロケットでは第3段に搭載したTMS-Dに姿勢制御情報があり特に重要である。この受信は10m台地にある10mパラボラアンテナで行われる。10m台地とテレメータセンターとは昇交橋を挟み位置されており車で数分でいける。ところが、昇交橋は補強工事のため通行が出来ない。このため、実験場を一旦出て町に向かい途中運動公園に通ずる経路をとらなければならない。これが約15分かかる。私は電話一本で10m台地から作業中の実験班員を呼び出せるが、呼ばれた方は15分かけふうふう言いながらテレメータセンターに駆けつける。

地上系の準備作業は入念に、また、何回も行われた。

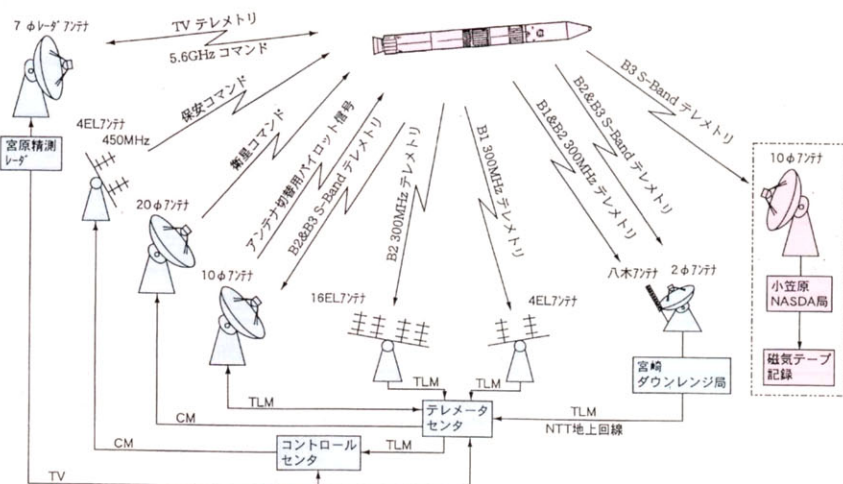
さて、打上げ当日、皆にロケットの音響振動のため建物は揺れるであろうから、上から物が落ちないように、また、電源ブレーカーも固定するよう指示し、打上げを迎えた。打上げ時の音響振動はM-3SII型ロケットに比べ数倍激しく感じた。対策をしておいてよかった。

発射後75秒のファイア・イン・ザ・

ホールから第2段モータ燃焼中は、当初から予測したとおり回線状態は極端に悪く、正常にデータを受信することは出来なかったが、TM-TVがしっかり飛行状況を画面を通し伝えており、また、宮崎ダウンレンジ局からは正常なデータが刻々送られてきているため、緊張の中に安堵感を感じ、受信状況を指令電話で本部に伝え、成功裡に実験を終えることが出来た。

しかし、既に2号機以降のスケジュールも進行している。いつになっても気が休まりそうもありません。

(河端征彦)



M-V-1号機テレメータ・コマンド通信システム構成

4.3 宮崎ダウンレンジ局

ロケット飛行中の状況を地上で知る目的で、様々な情報が電波を使って送られる。その内容はロケットの飛行制御装置の作動状況・振動・衝撃・温度等広範囲である。電波は基本的には内之浦のアンテナで受信されるが、ロケットモータの燃焼中は、噴煙ガスが電波の通り道を遮断してしまうために、十分な通信が困難になる場合がある。

M-V-1では2段目のロケット燃焼中、内之浦の受信アンテナはロケットの真後ろを見ることになるため、噴煙ガスがロケット側の送信アンテナと内之浦の受信アンテナの間に入ってしまう、時にはロケットからの電波強度は10000分の1以下に低下してしまう。一方2段目ロケットの燃焼中には、飛行の成否を決める重要な制御が行われており、状況によっては直ちに地上から指令電波を送る必要がある。そこで噴煙ガスの影響



を避けるために、ロケットを横方向から見ることの出来る宮崎大学の構内に移動型の受信局を仮設して、内之浦受信局をサポートした。

効果は明白で、内之浦局でデータが取得困難となった時間帯にも、飛翔状況の判定上重要な情報をリアルタイムでKSCの担当者に提供することが出来た。

このダウンレンジ局はM-3SⅡの時にも宮崎医科大学構内に設置されたが、今回はその能力を大幅に増強して、宮崎大学（工学部）の方に仮設させて頂いた。同大学の高岸邦夫先生を始め、事務部門、施設関連の方々に大変お世話になった。紙面をお借りして心より御礼申し上げる。

（橋本正之）

4.3 光で見たM-V-1

撮影装置には16ミリ高速度カメラ、35ミリ撮影機があるが、16ミリ高速度カメラは、発射状況の撮影などに適している。今回の発射方向は真東だったので、北側になる第5光学で2台、整備塔11階(第6光学)で1台の合計3台を毎秒500コマで使った。

カメラは大型三脚または台座を用い、撮影視野を予め設定し、専用電源を持つ信号起動タイプであるため打上げ時は無人で駆動される。X時に晴れている場合は、撮影露出が第5光学で逆光になる事を考慮する必要があるが、第6光学と共に発射時の噴射火炎輝度をも重視しなければならないが、フィルム感度JIS100~125に対し、コマ当たりのシャッター速度は $1/2000 \sim 1/2500$ 秒、絞り値は $f:5.6 \sim 8$ とした。

このデータは、実験時にこれらの観測点に人を配置できないため、予め天候・照度チェックを行って決めたものだが、高輝度の火炎に対し適性露出にすれば、機体・整備塔及び背景の陸地・海面が暗く潰れ、背景が適性露出ならば火炎輝度に負けて画面が白っぽく、状況が見難くなるし、曇天の場合火炎にのみ適正露出としなければならないというように、天候に不安を持ちながらの設定であった。

結果は、運良く当日の天候が薄雲のある晴天だったので良好な記録となり、長さ29.5mのランチャーを脱するのに約2.46秒かかった。これはM-3SⅡの平均値1.94秒に対し、約0.52秒ほど遅い発進であった。

35ミリ撮影機は追跡架台上で使うが、16ミリカメラに対し画面が大きく画質が良いので、第1光学および第3光学で長焦点ズームレンズ、超望遠レンズ等と組み合わせ、毎秒30コマで遠方記録に使う。

現象に対しシャッター速度は $1/1000$ 秒程度だが、視野を低照度の陸地から高照度の上空まで巡回掃引させるため、背景が変わるにつれ十数倍(f 値2段階以上)の露出の過不足が現れる。

光学追跡架台装置には、手動追跡装置とサーボ駆動追跡装置があり、巡回軸には光学式ロータリ・エンコーダが組み込まれ、それによる角度データは、35ミリ撮影マスク下端の点状LEDアレイに時刻データと共にBCD表示し、飛翔状況と共に画像記録され、且つコントロール・センターにも信号送出する。

架台上TVカメラでは、追跡映像に時刻及び角度データをスーパーインポーズして映像送出するが、いずれも飛翔保安確認に用いられる。

第1光学手動追跡装置での追跡巡回操作は、発射直後のロケット上昇にタイミングが合えば後の操作が楽だが、その時、急上昇するロケットを追跡眼鏡を通して直視出来る事が重要である。

今回は、ミュウ発射点と第1光学の間にあるKS台地の50m風向風速塔



光学班撮影による M-V-1 の発射シーン

と整備棟が視界を阻み、角度セット後のフェアリング先端が僅かに見えるという状況で発射されたが、ロケットは50m風向風速塔の向う側を塔に沿い上昇したため視野から逃がし、更にその後の噴射残留煙で飛翔を隠され追跡不能となった。

第3光学のサーボ駆動追跡装置は、パソコンから出力する角度データ信号による駆動コントロール（プログラム駆動）と追跡角度データのパソコン収録ができるシステムを持ち、M-V-1ロケットのノミナル軌道データを用いて、がたつきが無く、雲があっても安定した画面で追跡してX+162秒まで飛翔確認をした。

画面では、発射数秒後にロケットがわずかに頭下げをする様子、姿勢の修正で小刻みにピッチングする様子、またX+75秒付近のファイア・イン・ザ・ホール等が明瞭に記録され、M-3SⅡ以上に良好に機能制御されている様子が伺え、迫力のある飛翔だった。

終わりに、今回のようにロケットが大型で飛翔が安定してくると、今まで重要だった風による軌道分散を確認するというよりは、前記のように安定した画像記録により飛翔機能を観測確認することの方が大事になりつつあると考えられ、その為には不安定な手動方式でなくロボット台座などを用いるプログラムコントロールが可能な光学追跡装置を開発使用すべき時期に来ているように思う。（喜久里 豊）

小笠原追跡所

小笠原に行く方法は1週間に1便のフェリーしかなく、移動日をいつにするかを決めるのもフェリーの運航日次第と言うことになります。結局、準備期間が短く、データ整理及び撤収期間が長くとれる2月7日東京発、2月20日東京着と言う日程となりました。午前10時竹芝桟橋を出航。小笠原の父島まで約1000kmでおよそ28時間半ということでしたが、途中一時海が荒れて、結局31時間後の翌日午後5時に着きました。

父島には、民宿・旅館が約30軒、飲食店が約25軒もあります。娯楽といえば、平日は飲み屋に行くかテレビを見るかしかなかった。休日には磯釣り、島巡り遊覧船、ホエールウォッチング、レンタバイクを借りての島巡りなどいろいろありますが、2月のこのシーズンは観光客があまりいないので寂しい感じでした。気温は亜熱帯気候と言うのか、夏は27℃、冬は12℃ぐらいと、1年を通してそれほど気温の変化が無く大変住み易いところのようです。現に私は真冬の服装を準備していったのですが、現地の人は薄着で、中にはTシャツの人がいるぐらいでした。

さて、本来の目的であるM-Vの追跡業務の話も少しはしておかないと…。NASDA小笠原追跡所は、父島中腹部の見晴らしの良い位置にあり、常駐している人は宇宙技術開発（株）と東京美化（株）という会社の社員数名で、NASDAの人は追跡業務があるときなどに出張するという体制のようです。準備期間が2日間しかなかったので各種受信装置、記録装置、KSCとの通信回線、及び連絡体制などの調整、ついでに下水処理設備の改修工事など、NASDA関係者には慌ただしく、しかも手際よく行って頂きました。打上げが1日延期になったお陰で少し余裕ができて助かりました。

打上げ時の状況ですが、直通電話回線が1本準備されていましたが、こちらには音声や映像のモニターが無いためかなり不安でした。しかし、電話を通して時々刻々「飛行順調」の声に胸をときめかせました。私からも小笠原の受信状況を時々刻々連絡をしなければならぬのですが、こちらからは「飛行順調」ならぬ「受信順調(?)」でした。各種データも順調に記録され、とにもかくにも打上げ成功の連絡を聞き小笠原局実験班一同拍手喝采でした。帰りの船までには後1週間もありました。（徳永好志）



勝浦追跡センター

MUSES-Bの打上げ時の追跡が宇宙開発事業団勝浦追跡管制所の支援を得て行われた。

前日に打合わせを済ませ、打上げの日を迎えた。万全を期するために2基のアンテナを駆動。メインが周回衛星用のF-1アンテナ(±4度の捕捉アンテナ装備)、バックアップとして静止衛星用のF-2アンテナ(捕捉アンテナなし)である。意気込んで体制を整えて待った。「本日は風が強いので打上げ中止」との連絡が入り拍子抜け。

翌日、衛星の発振周波数の連絡が入ってくる頃になると、いよいよ緊迫。打上げ時刻Xの5分前に、内之浦から再び電話連絡が入り、電話をかけっぱなしの状態にしてもらった。勝浦局の受信状況を刻々と知らせるためである。長い長い待ち時間に感じたが、X+110sにロケットを捕捉した。X+197sにAGCレベル変動の幅が大きく不規則に振動(ノーズフェアリング展開)を開始し、X+217sにこの振動がなくなったことから第2段分離を確認。その後はレベルの変動は安定し、再びX+330sにレベルが短周期の振動を始め、第4段のスピン開始を知った。第4段の点火はその直後と思われるが、大きな振動波形の中に埋もれて、読みとれなかった。X+480s頃になるとその振動幅が急に小さくなり、第4段の分離を確認した。衛星の一人旅の開始。

X+595s頃に勝浦局は消感。データを検討し、レンジレイトの時間微分を勝浦局の所長が計算したところ、X+343s頃に加速度が増すところがあり、その時に第4段の点火が開始したことを知った。以上の追跡経過は予測データと良く合っていたことから、打上げは完璧であった。(薬品正敏)



M-Vの広報

平成8年12月19日、M-V-1/MUSES-Bフライトオペレーションの投げ込みが終わった。スケジュールは、(1)1月24日衛星公開と記者会見 (2)1月27日衛星と頭胴部組付 (3)1月31日頭胴部移動・2段目に取付 (4)2月6日電波テスト (5)2月7日打上げだった。

1月22日KSCに入るなり、スケジュール変更による投げ込み、報道機関から休む間もないほどの電話質問、連日場内放送で呼び出され、実験班から「佐々木さんはモテルネ」、「席に座っていたら」と嫌みを言われる。世界的なミッションにもかかわらず広報は1人(後日応援あり)、NASDAは打上げ時は24人体制、羨ましい。以前から報道機関からの衛星公開時期の問合わせが多く、対応に苦慮していたが、1月24日無事終了(報道機関の方々も何故か胸をなで下ろす)。2月1日の衛星組付の公開は、志布志湾に産業廃棄物処理船が入港したため、一人も見えず残念。2月7日頭胴部移動日には地元婦人会より千羽鶴を贈られ、和やかな雰囲気を実験主任もつい顔がほころぶ。

2月10日電波テスト。途中降雨の為中断したが無事終了。日が経つにつれ報道機関の人数も増え60人前後となる。人が増えると何かしら起きるもの。宮原報道班取材席を地元TV局が場所を広く専有し、他社が取材できないので説得して欲しい旨再三再四苦情を言われ、その都度取材席は狭隘のため譲り合って使用願いたいこと又記者室のコンセントも1口15A、4口しかなく、これも同様をお願いして歩く(まるで選挙運動のよう)。

打上げ当日も危険区域への立入り、取材指定地域以外への取材要求、来賓へのインタビュー等々の対応に奔走。毎日顔を合わせているとジョークも出、厳しい中にも笑いもあり、「打上げ後は笑顔で記者会見したいですね」と言いながら一緒に宮原へ。成功すれば明日の見出しは「宇宙への幕開け」又失敗すれば「……」等言いながら、発射時刻15秒前、黒煙が出る(前もって説明済み)が安堵の顔々。

発射! 報道機関から「いけ、いけ…」の声援が出る。場内放送もシーケンス通りとの発表。打上げ後の記者会見でも笑顔の顔々……、ロケット搭載VTRの放映時は感嘆の声があがった。(佐々木英俊)

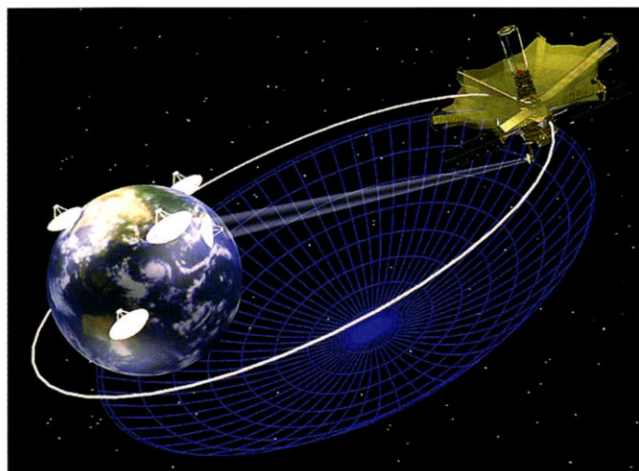
誕生

5.1 「はるか」の誕生

M-Vロケット発射344秒後に第4段キックモータが点火され、MUSES-B衛星は軌道に投入された。それからおよそ35分後、JPLから、サンチアゴ局において14時29分45秒（JST）に衛星からの電波を受信したとの報せが入った。さらに、極地研昭和基地から、16時04分30秒に衛星電波を受信したとの連絡が入った。南半球の遠地点へ向かう衛星をとらえたものである。17時から開かれた記者会見で、打上げは不成功であり、衛星の名前を「はるか」とすること、国際標識番号は97005Aであること、軌道は予定した通りで、軌道要素の暫定値は近地点220km、遠地点21,000km、軌道傾斜角31度であることなどが発表された。

打上げ同日の20時31分、打上げから約6時間40分後、待望の「はるか」からの電波を、内之浦において受信した。軌道投入直後非可視中に行われた太陽電池パドルの展開とKuバンドアンテナの展開が共に正常であったことを直ちに確認した。

翌13日、第2可視、及び第3可視のパスで姿勢系を確立し、14日の夜中、第4可視において、近地点を上げるための軌道制御（ ΔV ）の第1回を実施した。 ΔV は順調に行われ、その終了と共に衛星運用の中心は相模原に移った。衛星チームは1カ月以上に及んだ内之浦滞在を終えての移動



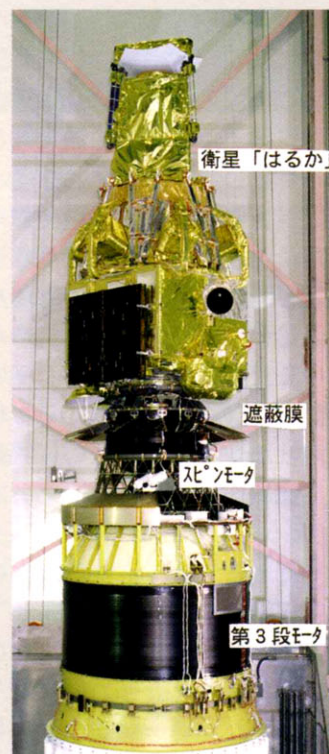
地球画像提供：東海大学情報技術センタ

通称「エリマキトカゲ」

M-V型1号機では3～4段接手に搭載されたスピンモータの燃焼中のプルーム、すなわち放射熱やコンタミ等による衛星搭載機器への影響を防ぐ目的で遮蔽膜が用いられました。これが実験班の皆さんの目に止まり、あのユーモラスな姿のエリマキトカゲと相似していることから、初号機の緊張した組立作業を和らげるかのようにいつの間にかエリマキトカゲと呼ばれるようになったことが事の由来です。

何はともあれ写真をご覧ください。衛星の部分をエリマキトカゲの頭部と、またキックモータステージの周りに取り付けられた遮蔽膜をエリマキの部分と考えて頂けると、何となくエリマキトカゲの威嚇する姿を思い起こしませんか。余談になりますが、このエリマキ部分の名称を調べたところ、首の周囲の舌骨に支えられた襞状の皮膚飾りで、こうも傘状に広がる、と解説されているだけで正確なところ分かりませんでした。どなたかお分かりになりますか。

遮蔽膜はスピンモータのプルームの解析から内径約62cm、外形約52cmの12多角形の形状が求められ、高分子フィルムとそれを支えるアルミニウム製の柱から構成されています。この高分子フィルムには軽量化と耐熱性が要求されたために、膜厚125 μ m、耐熱温度約500 $^{\circ}$ Cのものが選定されました。このように宇宙に送る前の衛星の身を守るために設けられた遮蔽膜の甲斐あって、衛星「はるか」のアンテナを内之浦の夜空に大きく開花させることができました。それは月下美人の花の如く。（大西 晃）



だった。実験場の緋寒桜が咲き、そして咲き終えるのを見た1カ月だった。2月16日に第2回の ΔV 、21日に3回目の ΔV を行い、近地点は560 kmまで上がった。これで、今後の実験や観測を行っていく上で十分である。

「はるか」が軌道に乗って以降これまで最大のイベントは、大型アンテナの展開だった。衛星システム、アンテナ、姿勢系、熱系、電源などの担当者達からなる運用チームが、2月23日に一斉に内之浦に移動した。作業の確実を期して、KSCで運用するためである。24日深夜、まず副反射鏡の支持柱の伸展を行った。難しい機構だったが、鮮やかに伸展した。次いで27日午前3時、主反射鏡の展開を開始。慎重に作業を進め、マストの伸展長の大部分を一気に伸ばす、という山場を迎えた。固唾を呑んだ10数分、マストは止まることなく延び、主鏡面は、絡むことなく開いた。開始からおよそ3時間、可視時間の制約のために、仕上げの作業が翌日のパスに残ることになったが、衛星班をはじめ、KSCに集っていた面々、大きな難関を越えたことを、まずここで喜び合った。翌28日には6時から作業を開始、6時20分には展開を完了した。

「はるか」の運用は、打上げ以来ほとんど全て夜中に行われている。長い可視時間のとれるパスは、当分の間、夜中である。B棟の「はるか」運用室では、運用担当メンバーが、昼夜逆転の生活を続け頑張っている。「はるか」の運用では臼田も重要な役目をする。臼田に新設したKuバンドのリンク局と「はるか」との間の通信実験は3月12日から始まった。衛星、地上系とも相当に複雑なシステムだが、実験は初日から順調である。3月24日には、「はるか」のアンテナを初めて電波天体に向けた。天体からの電波が初受信され、データが臼田に降りてきた。

「はるか」の試験はこれまでとても順調である。今や「はるか」は真に電波天文衛星と呼べるものに近づいている。M-Vロケットの成功をさらに輝かしいものに出来ていることを心から嬉しく思っている。

(廣澤春任)



地球を1周してきた「はるか」からの電波を受けて笑顔があふれる衛星テレメータセンター (KSC)



「はるか」から初の電波天体観測データ届く (臼田宇宙空間観測所)

天敵（点滴）打って頑張る

長かった総合試験も終了し、相模原より無事衛星を送り出したのが1月10日底冷えのする寒い夜でした。我々衛星班先発隊は、1月13日早朝KSCに到着した衛星コンテナ下ろしから作業を開始した。作業は順調に進み、衛星をクリーンルームへ設置し、一息ついた矢先の夜、突然、39度以上の高熱に見舞われダウン、気のゆるみか、病院で点滴をうける羽目になった。長い間の試験の疲れがでたのか、この頃猛威をふるっていた悪性のインフルエンザにやられたらしい。先々いやな予感がした。

その後、衛星は最終整備も終えロケットへ引き渡す日が来た。不具合（トラブル）は突然襲って来るものである。太陽電池パドルを押えているワイヤーのテンションが規定を外れて緩んでいるらしい。全く予想もしなかったトラブルである。調査してわかったが、ワイヤー受金具を取り付けている衛星ハニカムパネルの座に問題があることが判明した。我々衛星試験を担当するものにとって、トラブルは天敵のようなものである。どこに現われるかわからないモグラたたきである。限られた時間のなか、検討した結果、ハニカム（ハチの巣）構造の一個一個に充填剤を充填（点滴）し、補強することにした。

このため全体のスケジュールを延ばす重度トラブルになったが、短時間で行った強度計算の見直しから、材料の手配、徹夜で行った充填作業等、その頑張りは見事であった。その後の結果はご存知のとおりである。軌道に乗った衛星の太陽電池パドルは、非可視のところで無事展開した。眼を醒ましたハチも今ごろはにかんでいるだろう。

トラブルをトラブルと見るか、見過ごすか、成功の鍵はそんなところにあるのかも知れない。

(井上浩三郎)

「はるか」命名の由来

軌道に投入されたMUSES-Bは「はるか」と命名されました。柔らかくしかも切れのよい素敵な響きの名前だと思います。遙か宇宙の彼方を電波でながめる、といった注釈はこの際要りますまい。

恒例の実験関係者による投票では延べ191名の応募がありました。アンテナを展開した衛星のたたずまいからの連想でしょうか、織姫、舞鶴といった美しい名前が多かったのが特徴です。その中から、佐藤豊(日産)、中田詩子、近藤久美子(日本飛行機)、渡辺理絵(NEC)の4名の方が「はるか」と投票されました。高校2年生の中田詩子さんは、1991年に亡くなられたランチャ班の中田篤君の一人娘で、今回の実験期間中に内之浦を訪問された途次の応募でした。

なお、国際的にはHALCA(Highly Advanced Laboratory for Communications and Astronomy)とすることに致しました。(松尾弘毅)

未来へ

かくてM-Vロケットはデビュー戦を飾った。5月半ばには、「はるか」と長野県臼田の64mアンテナとの間で干渉計が成立し、直径3万kmの「人類の巨大な瞳」ができあがったという。①ロケットの性能確認、②工学実験衛星MUSES-B、③電波天文衛星「はるか」という3つの任務が今果たされようとしている。打上げ成功後多くの人が涙を見せた。悲しみの涙ではない。厳しい闘いを経て勝利をつかんだ人のみが流せる、万感こもる涙だった。

さて第2戦は?という矢先に、LUNAR-Aの打上げ延期が発表された。第2戦の登板が予定されたM-Vの2号機は、手ぐすねを引いたまま、来年夏のPLANET-Bを運ぶ3号機に先発を譲った。PLANET-Bは謎に包まれた火星の上層大気とその太陽風との相互作用を探る。そしてつづいて新装なったLUNAR-A。ペネトレーターと熱流計のネットワークで月の内部を覗く。21世紀最初の一戦となるMUSES-C(2002年初め打上げ)は、人類初の太陽系の小天体からのサンプルリターンである。1970年代、米ソの華々しい月惑星探査を指をくわえて眺めるしかなかった日本の惑星科学チームは、昨年までの主戦投手M-3SⅡによってハレー接近観測(さきがけ、すいせい)と月スウィングバイ(ひてん)を経験した。そして今M-Vというエース・ロケットを獲得して、月へ惑星へととはばたく時代を迎える。

M-3SⅡは、活動銀河、ブラックホール、中性子星、超新星などについてX線の日で次々と大きな発見を成し遂げている高エネルギー天体物理学(ぎんが、あすか)、激しく活動する太陽の姿をダイナミックにとら

えている太陽物理学(ようこう)、GEOTAILと連携して地球磁気圏の構造モデルを塗り替えつつある宇宙プラズマ物理学(あけぼの)など、日本の宇宙科学を素晴らしい勢いで世界の舞台に押し上げた。M-Vの登場は、電波天文学の分野でも日本を世界のリーダーに導く。2000年初めに予定されるM-Vの第4戦では、広いエネルギー領域で宇宙のX線源を見つめるASTRO-Eが「あすか」を継ぐ。そして2002年度には、ASTRO-Fの赤外線が目が冷たい宇宙に向けられ、生まれつつある銀河や惑星系を見透す。

さあ新しい時代へ。その前に私たちは、自分の展望と戦力を再点検する必要があるだろう。ミューと科学衛星の時代を築いた同志は、高齢化は目立つが健在である。みんな人手と予算の不足を終電と徹夜でカバーしながら懸命に南船北馬の日々を過ごしている。打上げ協力の有難い実態やさまざまな広報の成果を見るかぎり、宇宙科学の発展を望む人々の合唱団も輪を拡げつつある。ただし未来への展望と揺るぎない確信・道標をまだ手に入れてはいないように見える。私たち一人一人の一生を有意義なものにするために、M-Vで見事な勝利を手に入れた力を再結集しよう。美酒の後のハードルを乗り越えるために、「勝って兜の緒を締めよ」。ハードルの向こうには、日本の宇宙科学の輝かしい未来が微笑んでいる。(的川泰宣)



M-Vの実験同様この特集号も産みの苦しみを味わいました。実験に関わったすべての方に「M-Vへの思い」を書いてもらいたかったのですが、何せ限られた紙面です。ロケット実験に携わったことの無い方にも現場の雰囲気や少しは味わっていたかどうか。(周東み)

ISASニュース

No.194

1997.5.

ISSN 0285-2861

発行：宇宙科学研究所(文部省) 〒229 神奈川県相模原市由野台3-1-1 TEL 0427-51-3911

The Institute of Space and Astronautical Science

◆本ニュースに関するお問い合わせは、庶務課法規・出版係(内線2211)までお願いいたします。(無断転載不可)

*なお、本ニュースは、インターネットでもご覧になれます (<http://www.isas.ac.jp>)。