講演

宇宙開発

—その問題点と将来の展望—

ヒューズ・エアクラフト社 L. A. Hyland
副社長 総支配人

この講演は去る4月25日、東京 全共連ビルにおいて、テレビジョン学会、電子通信学会東京支部、IEEE 東京支部の主催で行なわれたものである。

ハイランド氏は、レーダー開発の先駆者であり、また、現在はヒューズ・エアクラフト社において、通信衛星など一連の宇宙開発に当たっている。講演会当日には日本政府から、衛星通信技術の進歩に対する功績により勲三等瑞宝章が贈られた。講演は、宇宙開発のフィロソフィーと将来について述べたもので、開発途上で遭遇したいくつかの経験を中心に、技術的な諸問題ならびに人間の果たす役割がいかに重要であるかを述べている。

現在、エレクトロニクスと呼ばれるものに私が密接に関係するようになって、今年で60年になる。この間、スパーク送信機とシリコン検波受信機を使用したモールス信号による電信から、無線電話、航空機無線、レーダー、誘導ミサイル、核利用機器、ソリッドステート回路、宇宙関係に至る進歩発展を、私はこの眼で見してきた。これらはすべてエレクトロニクスに依存するものである。これらの歲月、私自身関係したにもかかわらず、私はいまだに畏怖の念をもってそれぞれのステップを眺めるのである。この職業における私の人生のすばらしい経験は、無線電話で初めて音楽を耳にし、その成功の将来の姿を臆想したことである。

本日皆様の前に立ち、申し上げることのできるのは、われわれが現在までに成し遂げた業績を理解しつつも、いまなお、たゆまざる進歩に驚嘆し、この魅力的な技術の世界に参加したことを心から喜ばしいと思うのである。

エレクトロニクスの多くの利用面のうち、最も進んだものは、恐らく人間技術の充分かつ多様な能力が利用される宇宙関係であろう。アメリカの宇宙活動を広汎かつ

多種にわたり、計画の詳細について語ることは、本日ここに与えられた限りある時間では不可能であるが、私は、われわれが経験したことのいくつかをお話しし、その技術について感じとっていただくことができると思うのである。

大陸間弾道弾から宇宙ロケットへ

まず最初に、大陸間弾道弾の初期の仕事と、遭遇した問題のむずかしさの評価について、立戻って述べたいと思う。皆様がよくご存知のとおり“二者択一の必要があり、正解が不明のときは、常に正しくない選択がなされる”という技術上の法則がある。この法則は宇宙に関するケースで繰返し実証されたのである。たとえば、初期の分析過程では、再突入は大変な問題のように見えたのであるが、結果的には解決が最も容易なもののひとつであった。一方、振動は重大な関心をよぶものとは思われなかったが、実は最大級の重要性のあるものと判明したのである。

初期のエンジン1基のブースターの噴射に際して起こる火焰の波立ちをご覧になった方々も、皆様の中に多くおられることと思う。この波立ちが、ロケットまたはその主なコンポーネントのひとつの振動数と偶然一致した

“Space Development—(a) Philosophy of Space Development. (b) Space Development, Yesterday, Today, Tomorrow” by Lawrence A. Hyland (Vice President, General Manager, Hughes Aircraft Corporation, USA)

場合、ロケットを破壊してしまうような振動が起こりうるのである。手段としては、ロケットと負荷の振動数を分析し、燃料バルブの調節のための回路とセンサーを設けることである。かくして危険な噴射火焰との共振をさけることができる。振動周波数の問題は、電波の共振に類似している。スパイクに刺激される振動と同じく、安定時の動揺を減少しなければならない。スパイク振動は、打上げ台から離れた瞬間、各段のブースターや軌道ロケットおよび逆推進ロケットの点火と、燃えつきるときに起こる。単一の問題として、これ以上重要と認められ、よりいっそうの分析がなされたものはない。最近の飛行により、分析とデザインの正しかったことが実証された。振動テスト台上のロケットや荷重を見て、各部の作動許容範囲を知ることが、当初のデザインが最適なものであるという確信に疑いを抱くことであるが、事実はまさしくそのようになるのである。

宇宙関係の事業を行なうに先立って、1000 マイル級の中距離弾道弾および初期の大陸間弾道弾を含む誘導ミサイルの分野で、アメリカの技術は相当の技能を獲得していた。航空機からミサイルへの技術の移行は、あまりむずかしいものではなかった。したがって、われわれの宇宙ロケットを成功させるには、現存する技術にわずかにつけ加えるだけで足りるとの確信をもって宇宙事業を始めたのである。これは的はずれなことがわかり、われわれはこの問題の困難性を10分の1以下しか予想していなかったのである。

その理由のいくつかは次のとおりである。

- (1) ミサイルは多く航空機と同様の環境で運用されるのにひきかえ、宇宙はまったく新しい環境である。
- (2) エンジンおよび空気力学が発達するに伴い、航空機とミサイルにおいては、重量の問題は小さくなったものの、月に1ポンドを送るために500ポンドの打上げロケットと燃料を必要とするような宇宙では、実に重要なものとなる。
- (3) さらに広範囲のセンサー、テレメータリングおよびコミュニケーションの必要性。
- (4) 重量上の制約内における振動、熱および信頼性の新たな秩序。

技術上、合理的な前進を一步行なうかわりに、大きな飛躍が必要なことが判明した。最もよい証拠は種々の器材のポンド当りのコストに現われている。

航空機およびミサイルはポンド当り30~100ドルの範囲内であるが、宇宙ロケットの場合は、ポンド当り1万ドル以上に達する。したがって、この問題の解決は、単なる既存の技術の拡充を意味するのではなく、真の意味の開拓を必要としたのである。これは実に新しい未知の

技術であり、われわれの初期の分析は多くお粗末で、しかも費用のかさむ推量に過ぎないという結果になった。

初期における重要な確信のひとつは、宇宙飛行はオートマチックな飛行のため計画され、打上げ後人間が手を出さなければならない部分は少ないか、絶無であろうということであった。軌道を修正するためのみならず、不測の事態に解決を見出し、これを克服するためにも、また、飛行に先立って知ることのできなかった状態から生ずる各種実験の機会を得るためにも、人間がきわめて重要であることが、間もなく明白となったのである。

人間の果たす役割りも大きい

人間の重要性を示すために、われわれのサーベイヤーのロケットについて経験したものを、いくつかご紹介しよう。

第一は、ねらいの正確さに関するものである。われわれのサーベイヤーは、中間コースの修正なしで月に命中する50%のチャンスがあると計算され、この照準精度は達成しうる最上のものとわれわれは感じた。実地テストにおいて、精度はこれよりやや良好であることがわかり、サーベイヤーはすべて中間コース修正なしで月面に命中するであろうと思われた。つまり、最初の照準により直径2,000マイルの目標に命中するということがあった。レーダー追尾の結果として、中間のコース修正することにより、ロケットのすべては目標から10マイル内に着陸し、そのいくつかは2マイル以内、すなわち25,000マイルの距離においてミル(1/1000インチ)の100分の4の精度であった。これは実に驚くべき正確さであり、使用されたレーダーおよび中間のコース修正に下した人間の判断力の正確さをも物語るものであった。

サーベイヤー5号では、バルブ洩れのため、逆推進モーターのひとつの燃料がほとんど浪費され、計画は失敗するだろうというのが当初の見込みであった。しかし、エンジニアが急ぎ計算したところによると、もしわれわれがロケット逆噴射の計画をやりなおしたならば、軟着陸を成功させる充分のチャンスがあるという見込みが得られた。わずか数時間以内に、重量、速度、飛行経路の変更が再計算され、わずか数秒間で変更したプログラムは宇宙船に伝送され、ほとんど信じ難い成功、完璧な軟着陸がなされたのである。与えられた時間の関係上、コンピューターにプログラムを与えることができずに、計算は計算尺で行なったということは、興味深いものである。人間はこの作業の必要部分であり、10万ドルの機械を節約したのである。

人間の第三の地位は、これらの機械に展開する未知の要素または機会に関係するものである。太陽放射の熱効

果がその一例である。ロケットは、われわれが“模擬太陽室”と呼ぶところで広範囲のテストを受けるが、それにもかかわらず、実際の太陽から、また表面の輻射から与えられる効果を、すべて完全に計算することは不可能である。システムの各部分の温度が多かれ少なかれ計算と違うこと、さらに危険な限界に達しようとする温度もあることが、間もなく明らかになった。しかし、太陽電池のパネルの操作によって、われわれは過熱部分をおおい、ロケットの寿命のある限り作動を続けることができるようになった。7回にわたるサーバイヤーの飛行、5回にわたる月面軟着陸の成功の間に起こった、文字どおり数百の状況の中から、人間の重要性を示すものとして、以上3つのことについてお話ししたが、このことは、不測の事態が起こった際に、宇宙空間または地上で、数度ならず人間が介入しなければならなかったアポロ飛行の場合でも、同様に真実であることが立証されたのである。

いろいろな推進システム

次に推進についてお話ししたいと思う。推進システムについて語るとき、われわれはもちろん、打ち上げのために開発された、巨大なエンジンを思い浮かべるのである。推力は10万ポンドから100万ポンド以上にわたる。これらはまことに壮観で、費用のかかる推力機器ではあるが、その他多くの宇宙関連機器に必要なもの、その中には1ポンドの1000分の1のまた1000分の1というような小さな推力をもったものも含まれている。

たとえば、サーバイヤーのシステムでは、各ロケットに39個のスラスターがあった。離陸に使用される最大の燃焼モーターと、バーニアエンジンによる水平位置制御のための最小のガスジェットの推力比は、100000対1を越えるものであった。これは、いかなる宇宙用システムにおける開発も、最大級の粗暴な力から測り知れぬデリケートなものまで、広い範囲にわたるものであることの一例である。

おそらく、宇宙船上の多くの作動装置の中で、最も信頼性あるものは、多数の回路を作動し、多くの事柄をス

タートさせる小さな爆竹様のものである。今日、これらの小さな爆薬装置ほど、効果的で信頼性あるコンポーネントはないが、これはいつもそのようであったわけではない。大きなブースターの少なくとも2回の打上げは、離陸前、支持用のクランプに使用した爆薬装置のために失敗した。失敗の原因を追求するため、文字どおり数千個の爆薬装置がテストされた。最後に1個が失敗し、慎重に検査、分析され、微量の湿気が存在することが発見された。新たなアセンブリーの方法が採用され、失敗に終止符が打たれた。しかし、1億ドルの中の数セントのコンポーネントでさえ、重要性がこのように強調されるのである。

このことから、信頼性の問題と、これに関連するアセンブリー、ピーク状態への努力および、テストの要因の問題につながる事となる。

第一に、アセンブリーは最高に清潔な状況の下でなされる。最も清潔で殺菌された病院の部屋でも、宇宙ロケットのコンポーネント組立てに必要な条件を満足するものではないであろう。各パーツ、各ジョイント、保護被覆のそれぞれ、潤滑材のおおのの化学が知りつくされ、満足できるものでなければならない。数百度および氷点下数百度における熱と真空の反応を知り、これに堪え得なければならない。さらに数多くのことについてお話しすることはつきないのである。

さて重量、スペースおよび性能がきわめて重大であるから、各回路はピークの機能を発揮するよう調整されなければならない。これは通常のプロセスではなく、複雑なシステムの相互作用、わずかな不安定性の現われなどすべてを考慮するため、幾多の日数を要するものである。さらに、性能が維持されることを確かめるために、すべての環境条件の下でテストされ、再テストが繰返される。シミュレーションおよびテスト用器材の費用と複雑さは驚くべきものである。このプロセスは、宇宙ロケットの費用の半分はたっぷりかかると私はときおり考える。1セントといえど大切なものである。

最初の静止衛星における故障

われわれの最初の静止衛星に関連して、最も興味深いことがひとつ起こった。打上げは完ぺきで、軌道への噴射も同様であった。打上げから最終的な軌道上実速度までの総時間は、18,000秒と計算されていた。17,999秒に至ったとき、すべての信号は停止し、あらゆる指令信号によってもこれらを再びスタートさせることはできなかったのである。

システムのモデルを詳細に調べ、またテレメータリングを検討した結果、爆発が起こったに違いないと信じる

講演者略歴

1897年8月26日、カナダに生る。1899年に渡米し、1919年に帰化した。

海軍兵役後 1926年から1932年まで海軍無線研究所に勤務。この間にレーダーの発明をする。1932年から1937年までラジオリサーチカンパニー副社長。1937年から1954年までベンディックスアビエーションコーポレーションに勤務し、技師長を経て、

研究、技術担当副社長。1954年からヒューズエアクラフトカンパニー副社長兼総支配人となり現在に至る。

同年、ローレンス工科大学より名誉工学博士号を授与されている。その他、大統領科学諮問委員会パネル委員などの要職を歴任。

なお、レーダーに関する先駆的研究や、シンコム衛星、サーバイヤーなどの一連の成功などにより、数多くの賞を受けている。

に至った。いろいろな気圧タンクでテストを行ない、爆発は、低温にさらされた結果、窒素タンクの継目に起こったものらしいことが判明した。タンクの位置、継目の位置、テストタンクでの欠陥から求められた平均推力を考慮して、特定の日における衛星の位置の見積りがなされた。衛星の反射する光の量は六等星のそれに等しいと計算された。これらの計算がすべて正しければ、衛星はある晩、南アフリカのヨハネスブルグ近くの大きな望遠鏡の視界内にあるものと推定された。

これに基づき、望遠鏡は正しい座標に照準を合わされ、写真原板はカメラに入れられ、望遠鏡は所定の位置に固定された。原板が現像されると、六等星以上のすべての星による数百の光の痕があったが、衛星でしかあり得ない1つの小さな明るい点が認められた。これこそ爆発の証拠、計算の証拠、人間の精巧さと意志の強さの証拠であった。この問題は、30000 フィートの高度で飛ぶ飛行機から、東京の街路上にある郵便切手を見出すのと同じだと、一人の天文学者が評したのである。

衛星において、失敗をひき起こしたものを見出すことは、常に重要なことではあるが、この最初の回転同期通信衛星の場合、それは特に必要なことであった。科学界は技術的妥当性につき意見が分かれ、もっと重いジャイロ安定装置を望む者が多かったのである。他の者は、周期同調が維持されるか確信がなかった。さらに他の者は、地上局と数個の低空の衛星を利用するほうが、より良く費用も少なくてすむと信じていたのである。多くの新聞や幾多の証言は、この装置に対する努力を時間と金の浪費であると称した。強い窒素タンクをもち、1個残っていたテスト用シンコムがわれわれの希望と確信をつなぎ、すばらしい成功となったのである。これが今日のすべての商業用通信衛星の基礎となっているデザインの基本理念なのである。

この最初の衛星は、4年半を経た現在、なお作動している。太陽電池はいまだに電気を生み出し、真空管類はいまだに機能が続け、回路はすべて元のとおりであり、バーニアエンジン用の燃料はなくなったが、いままなお地球と同調周期を保っている。

地球には、引力的に見て4つの不規則な点、その2点は弱い点で丘のようなもの、他の2点は強い点で谷と称すべきものがある。谷のひとつはインド洋のセイチェレス島の上にある。この最初の衛星は、燃料のつきる寸前にセイチェレスの引力の谷間の上の位置に誘導された。そこで永久に前後に静かに遊ぶことであろう。

通信衛星はすべての国のもの

偉大な新発見のすべての場合、新たな社会的要因を作

り出すために適応させる必要のある法的、政治的および官僚的な利害関係は、考案者を素早く押し流してしまうのである。これらの分野における進歩は実に遅々としたもので、世界のほとんどすべての国が影響を受ける場合は、特にそうである。

もちろん、衛星は少なくとも一時的にはアメリカの独占物である。しかし、衛星は地上局なくしては無用のものであり、これら地上局は各国の独占物なのである。法的、政治的および官僚的な闘争が続けられている一方、個々の国家の多くは地上局をすでに建設し、もしくは現在建設中である。この並行的な努力によって、世界的規模の利用が促進されるであろう。

事実、スピンによって安定する同期衛星の性能は、政治の障害を超越するものとなった。ソビエトですらアラブ・イスラエル間の紛争に関する国連の討議を直接聞くために、2個のチャンネルを借りたのである。

政治的進歩がありながら、技術が社会組織に先行する。おそらく、ここにこそ究極的な希望が存するのである。

宇宙開発の意義は何か

アメリカの立場についての大きな論争のひとつは、宇宙に関するものである。その価値は何であるか、月に到達することはどんな利益をもたらすか、社会の進歩を助長するために金を費すほうがよいのではなからうか。

これらの疑問のいくつかは、今日においても答えることが困難なものである。しかし、その中ひとつの疑問たりとも、数年前は確定的な答えを出すことはできなかったのである。知的で先駆者的な新しい冒険事業は、すでに明らかにされている実際の必要性とは、常にはげしく対立するものである。事実、数種の宇宙利用におけるように、急速に新しい概念が実証されることはまれなのである。

今日、気象衛星の価値と、含まれる偉大な力を理解し、予報を行なううえで、はかり知れぬ前進のあることに疑問を抱く者はない。これにより他日、気象制御の尺度が生まれるかと思われる。

今日、大洋上での船舶および航空機は、航法衛星によって10倍も進んだ正確さをもって航行することができ、この新しい施設を利用するよう、大洋航路の船舶にそのための機器を設備する方向に発展しつつある。

われわれの上空にある天は、大気圏から大気圏外に至るまで、これを理解するうえで無限の前進がなされた。多くの新しい発見がなされ、従来の理論が確認された。これらはすべてこの世の諸現象の神秘を解き明かすのに、あずかって力があつたのである。

おそらく、最大の進歩は通信の分野におけるものであ

り、そこには大きな事業が基礎づけられ、世界の通信はすでに大きな変更がなされたのである。私は、衛星テレビによる文化交流が世界的なものとなり、各地域、一寒村に至るまで、偉大な教師を得られるようになり、かわりに教師は一寒村に至るまで身近なものとするのできる日の来ることを、待ち望んでいる。これらのことやその他のことも、明朝太陽が昇ってくると同様に、確かに実現することであろう。

に実現することであろう。

われわれは、偉大なる時代、成就と希望の時代に生きているのである。電気および電子技術の世界に身を置くわれわれは、その最前線にあるという幸運に恵まれているのである。

ヒューズ・エアクラフト・インタ
ショナル・サービス・カンパニー

中 村 成 徳 訳

昭和 44 年 6 月号記事訂正

次のとおり昭和 44 年 6 月号第 23 巻第 6 号に誤りがありましたので、お詫びして訂正いたします。

誤

論文「スミアひずみと画質への影響 池田辰雄君」の 457(33)ページの写真 4 と写真 6 の写真が入れ違っていました。

正

写真 4 入力波形 (0.2 μ s/cm)

写真 5 同軸ケーブル出力波形 (RG-11/U, 300m)

写真 6 同軸ケーブル補償波形 (RG-11/U, 300m)

485(61) ページこれすばんでんすの表題「藤本氏らの意見に対する回路 土井利忠君、佐藤利三郎君」

「藤本氏らの意見に対する回答 土井利忠君、佐藤利三郎君」