

欧米の宇宙科学技術の現状 (その2)

高 木 昇

(2) Goddard Space Flight Center

この研究所はワシントンから東北 10 哩ばかり離れた Greenbelt, Md. にあり、原始林を開いた所に建設中である。現在、Space Projects Building, Research Projects Laboratory, Central Flight Control and Range Operations Building, Fabrication and Environmental Test Laboratory がほぼ完成、Instrument Construction and Installation Laboratory と Space Science Laboratory が建設中である。所員は 1600 人で、大きな研究所であるが、時間の都合上、午前中しか訪問できず、主な所を素通りした感じである。

主な面会者:

Dr. Harry J. Gaett, Director

Dr. John C. Lindsay, Associate Chief, Space Science Division

Mr. Harold J. Peake, Head, Flight RF Systems

Mr. John W. Townsend, Assistant Director, Space Science and Satellite Applications

Mr. Friedlich O. Vonbun, Consultant, Tracking Systems Division

この研究所の任務は一応観測ロケットなり人工衛星の構想から始めて最後の段階まで見ることになっている。

すなわち

(1) どのような目的、種類の実験を行なうかを立案する。(2) 実験に必要な計測機器を用意する。(3) 実験に用うべきロケットを準備する。(4) かくしてロケットまたは人工衛星の打ち上げを行なう。(5) これのトラッキングを行ない、所要のデータを集める。(6) 集められたデータを科学技術者が使えるように解析する。

(1) から (6) を全部この研究所が担当する場合もあり、またはあるものは他所で担当し、とりまとめのみここで行なう場合もある。

研究所の組織を要約すると、次の 6 部から成っている。

(1) Theoretical Division

(2) Space Science Division

(a) Solar, (b) Astronomy, (c) Ionosphere, (d) Atmosphere, (e) Instrumentation of Sounding Rocket, (f) Particle and Fields の 6 つの group がある。

(3) Payload Division

(a) Flight Data, (b) Radio Frequency,

(c) Mechanical and Thermal Integration

(4) Satellite Applications Division

(5) Tracking and Data Systems Division

(a) Minitrack, (b) Mercury Network,

(c) Orbital Computation, (d) Data Processing

(6) Environmental Test Division

等がある。

(2) の Space Science Division の中は 6 つの各専門に分れて研究しているが、(全体で 100~150 人)、これと (1) の理論部門とは密接につながって仕事を仕上げてゆく。もちろんこれだけの人数で NASA の上げる科学計測器を作っているのではなくて、外部の大学、研究所の作ったものが直接に、またはこの研究所を通して載せられるものも多い。この部門の人には NASA 以前に軍の研究所にいた科学者がここに集ったものようである。

(3) の Payload 部は (2) で考えたもの、或いは外部から来た実験計画をまとめてロケットまたは人工衛星に載せられる 実際の機器を作り上げる所である。ここと (4) は共同して仕事を行なっている。例えば Vanguard の Payload (米国では人工衛星の球の部分、すなわち種々の観測器、テレメータ送信機、電源その他をまとめて Payload と称している。日本の観測ロケットでもノーズコーンに収めてあるこれ等の機器をまとめて、同様に Payload と称している。) 新しい磁力計をのせる P-14、英国と共同で電離層の研究をする S-51 などの Payload は本研究所でまとめ上げる。

しかし実験の規模が大きくなると適当な民間会社に依頼してまとめ上げる場合もある。例えば気象衛星 Tiros, Nimbus などは RCA に、天文観測機器のまとめは、グラマンに依頼してある。

次に人工衛星、観測ロケットを打ち上げてからの Tracking とデータの回収は (5) の部が行なう。

まず (a) の Minitrack とは、東西と南北に 2 対のアンテナ列を配置し、人工衛星が出す電波を干渉計の原理を使ってその軌道を求めるものである。この局を米国は北米から南米にわたって 12 局設置し、東西方向に飛ぶ人工衛星をこれ等の局で捕えて軌道を求めるものである。将来は極軌道の人工衛星も増してくるので、Minitrack 局を赤道に沿って配置する計画も進んでいる。世

界各地で Minitrack で得たデータは直ちにこの研究所に無線その他で送られ (c), (d) の所で軌道計算が行なわれる。またテレメータのデータは解析して科学者が使える形に直す。

科学衛星の場合には以上の操作を必ずしも迅速に行なう必要はない。しかし Mercury 計画のように人間を飛ばす場合には、瞬時にすべてのデータが解析されることが望まれ、そのために (b) が別に編成されている。人間衛星の軌道に沿って世界中に 14 局のレーダ、テレメータ局が配置され、衛星の時々刻々のデータが無線でこの研究所に送られてくる。これを直に計算センター (IBM の 7090 が 3 台備えてある) で解析し、軌道の情報を次々の局に送り、或いはケープカナベラルの司令室にも一切の情報を送るものである。Mercury 計画については後にも触れるが、この研究所における無線送受信設備、計算機センターのほう大なことには感銘を受けた。

われわれは短時間の中に以上の諸施設を見学した。また、Payload 部で英国が米国の Scout で打ち上げてもらう Payload を見る事ができた。3 個同じものを作り、1 個は試験用、1 個は本番用、他は予備にあてるとのこと。英国から毎月のように関係者が来て、打ち合せをしながら進める由で、国際協力の仕事をするときには、準備期間中何回か連絡のために往復せねばならぬことはあらかじめ覚悟しておかなければならない。

観測ロケットの所では Aerobee の姿勢制御を試みていた。これからの観測には人工衛星はもちろん、観測ロケットでも姿勢制御の必要な項目が出てきており、わが国でも開発しようと考えていた所で、大変参考になった。

(3) Jet Propulsion Laboratory (JPL)

JPL は Los Angeles の郊外、Pasadena にあり、California Institute of Technology (Caltech 私立) の付属研究所として 20 年以上の歴史がある。現在所員は 2500 人、1/3 が科学技術者である大研究所である。われわれはここで 1 日を費して見学をした。

主な面会者:

Dr. W. H. Pickering, Director

Dr. E. Rechtin, Director, Deep Space Instrumentation Facility

Mr. J. D. Burke, Director Ranger Project

Dr. A. R. Hibbs, Chief, Division of Space Science

Dr. Mercia Neugebauer, Deep Space Instrumentation Facility

Mr. W. H. Bayley, Deputy Chief, Telecommunication Division

(4) JPL と Caltech と NASA の関係

JPL は 20 年前からまづら、陸軍の依託研究を遂行し、例えば航空機の離陸を助ける補助ロケット JATO、誘導弾 Corporal, Sergeant を最初に作った。また、宇宙科学の面では米国内初の人工衛星 Explorer I を上げることに成功、月ロケットとしては Pioneer III, IV を上げている。1959 年 3 月から陸軍から NASA の管轄下に移され、主研究目標は月ならびに惑星計画を遂行することになった。

JPL の組織の中、管理、事務などを除いて、興味ある所を抜き出すと次のようになる、所長の下に 8 つの科学技術部門がある。

(1) Systems Division

- (a) Program Support, (b) Systems Analysis,
- (c) Systems Design, (d) Systems Test and Operation

(2) Space Sciences Division

- (a) Research Analysis, (b) Space Instruments,
- (c) Experimental Space Science

(3) Telecommunications Division

- (a) Communications Systems Research, (b) Communications Engineering and Operations, (c) Communications Elements Research, (d) Communications Systems Development

(4) Guidance and Control Division

- (a) Flight Computers and Sequences, (b) Spacecraft Secondary Power, (c) Guidance and Control Analysis and Integration, (d) Spacecraft Control, (e) Guidance and Control Research

(5) Engineering Mechanics Division

- (a) Material Research, (b) Spacecraft Development, (c) Professional Services, (d) Engineering Research, (e) Spacecraft Design, (f) Design

(6) Physical Sciences Division

- (a) Chemistry, (b) Gas Dynamics, (c) Physics

(7) Engineering Facilities Division

- (a) Instrumentation, (b) Applied Mathematics, (c) Wind Tunnels and Environmental Facilities

(8) Propulsion Division

- (a) Solid Propellant Engineering, (b) Polymer Research, (c) Propulsion Research, (d) Liquid Propulsion, (e) Advanced Propulsion Engineering

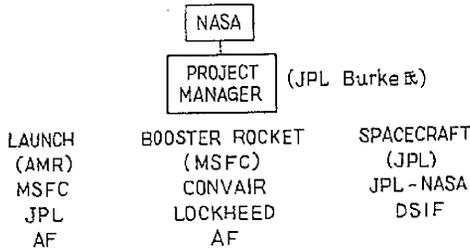
上の 8 つの部門と並列に JPL の使命である Lunar Program (この下に Ranger Project, Surveyor Project) と Planetary Program の 2 局があり、さらに Deep Space Instrumentation Facility がある。8 つの部門を研究所の縦系にたとえると、上の 2 局は横系に該当し、所内を有機的に運営しているようである。

所長 W. H. Pickering 氏と Lunar Program の次長

J. D. Burke 氏の話を以下に要約する。

JPL は Caltech に属してあるので NASA との契約は Caltech との間で行なうが、具体的な仕事の打合せは JPL と NASA と行なう。研究者の採用は JPL に委されていて自由に行なえる。Caltech と JPL の間の人事の交流は現在の所余りない。外国人研究者の留学は NASA の管理に移ってから自由になった。

研究課題は JPL で大体は立案し、NASA の承認を求める。例えば月計画 Ranger を例にとると JPL の Burke 氏が全体計画の責任者で、次表のような組織になっている。



発射は AMR (ケープカナベラル) が責任を持ち、これに MSFC (ハンツビル)、JPL、空軍等が協力する。ロケットは MSFC の責任で、これに会社が協力する。Spacecraft は JPL の責任で、これにのせる科学機器は NASA と連絡を十分にとりし、トラッキング、テレメータは DSIF (JPL 内) が協力する。

次に研究計画をたてるに当たって科学者がどのようにして協力してゆくかを示すと、

NASA NASA JPL NAS 大学 産業界 AEC
本部 諸機関

上の分類の機関にそれぞれ連絡して JPL に集ってくる。まず JPL では Spacecraft の (1) 基本設計、(2) 発射までの時間割、(3) 予算をまとめて NASA 本部と相談し、本部ではこれが国の仕事として適当であるか否かを判定し、予算の裏付けをする。これに並行して NAS (National Academy of Science) の SSB (Space Science Board) (NASA 本部の項参照) から、月を研究する最も重要な課題は例えば地質調査よりも地震を調べることであるなどと科学者が発表を行なう。

一方、大学等における学者は全く自由な立場でこの方面のことに関心を持っている人が自発的に特定の問題について連絡してくることもある。また、NASA の各研究所から月の研究に対して行なって欲しい研究の提案もある。さらに AEC も月計画に対して関心を持ち、提案することもある。

以上の各種提案が NASA にも JPL にも来るが、これを JPL で整理して観測項目のリストを作り、与えられた搭載量の中で取捨選択し、その結果を NASA の Space Science Steering Committee で審議して最終決定をする。この委員会には学識経験者も加わっているの

で、技術的にも最終検討が行なわれるし、また予算の裏付けも行なわれる。

それから機器の発注となる。提案者が大学のときには大学自体で機器を作って持ち込むときもあり、大学から会社に依頼して作るときもある。JPL の場合でも、自分で作るときも外注するときもあり、場合場合によってまちまちであるが、JPL が最後のとりまとめをする。

研究の成果をあげるには組織がよくできていることも必要であるが、さらに科学者同志が和合して協力することが大切である。また科学者同志が接触を保つ上にも旅費を十分に与える必要がある。大学の場合には 90% までが政府によって与えられる旅費である。NASA からの研究費には旅費が含まれているし、NASA の SSSC に出席するための旅費は NASA がもちろん出す。特定の会合に大学から出てもらいたいときには委員にするなり、コンサルタントにすれば容易に旅費を出すことができる。

JPL は Caltech の付属研究所として以上のような運営がなされておるが、このような方式は米国の特色であり、他にも例がある。原子力関係ではシカゴ大学の Argonne Laboratory、カリホルニア大学の Livermore Laboratory、また電子工学では MIT の Lincoln Laboratory などは JPL と並んで有名である。

(5) 月および惑星計画概要

月の 10 年計画を第 1 表に示す。1961 年には Atlas-Agena B ロケットを使って 2 機あげる。これは月の近

第 1 表 LUNAR PROGRAM

	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
SPACECRAFT DEVELOPMENT	2									
RANGER ROUGH LANDING		3								
CENTAUR SOFT LANDING			2	2	3					
CENTAUR LUNAR ORBITERS				1	1					
SATURN SOFT LANDINGS							2	2	2	3

傍を通りすぎるもので、Ranger 1, 2 と名付ける。1962 年には月に着陸させるもので 3 機あげるが、これは、Ranger 3, 4, 5 という (Ranger 計画は残念ながら 5 機共に失敗した)。

1963 年から 65 年にわたって Centaur が使えるようになるので、月に計測器を軟着陸させるし、月の近くで写真を撮る。また月の廻りをまわって写真を撮り、検査もする。これを Surveyor と称する。

1966 年以降には Saturn が使用できるようになるので、月の表面を動きながら調査できる小さい移動車をのせることが可能であろう。

惑星への 10 年計画を第 2 表に示す。金星に対しては 1962 年に 2 機 1964 年、65 年と計画がある。惑星に

第 2 表 PLANET AVAILABILITY.
QUARTERY LAUNCH AND ENCOUNTER DATES

	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
VENUS ENCOUNTER										
MARS ENCOUNTER										
MERCURY ENCOUNTER										
JUPITER ENCOUNTER										

対しては地球に近くなる時期をえらぶべきで、火星に対しては 1 年置きに機会がある。1963 年に試験を行ない、1964 年から火星ロケットを飛ばし、Saturn ができれば着陸も考えている。水星、木星は 1968 年以降になる。(金星ロケットは幸い成功した)。

(1) Ranger 1, 2 号機

Ranger-1 は月に向って楕円軌道で打ち出し、遠地点は百万軒となるようにする。したがって速度は脱出速度よりやや小である。Ranger-2 は脱出速度よりやや大きい速度を持たせるので、地球には戻らない。どちらも 1~2 カ月間データがとれる予定であり、1961 年に発射した。

搭載する観測項目、計測器、担当者名を第 3 表に示す。

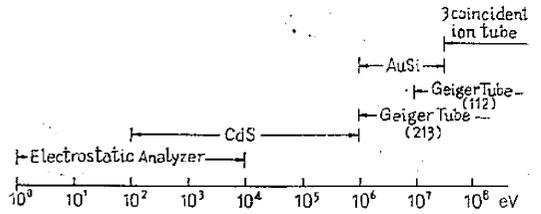
第 3 表 RANGER PROJECT. SCIENTIFIC EXPERIMENT PLAN

SPACE-CRAFT	EXPERIMENT	INSTRUMENTS AND MEASUREMENTS	COGNIZANT AGENCY AND SCIENTIST
RA-1 RA-2	FIELDS, CHARGED PARTICLES, AND SOLAR X-RAYS	1. ELECTROSTATIC ANALYZER FOR SOLAR PLASMA 2. SEMICONDUCTOR DETECTORS AND THIN-WALLED GEIGER COUNTER A. CDS PHOTOCONDUCTOR B. THIN-WALLED GEIGER C. MEDIUM-WALLED GEIGER D. AU-SI COUNTER 3. IONIZATION CHAMBER 4. TRIPLE-COINCIDENCE TELESCOPES	JPL, M. NEUGEBAUR, C. SNYDER ST. U. OF IOWA/U. OF CHICAGO J. A. VAN ALLEN/ J. A. SIMPSON
RA-1 RA-2	HYDROGEN GEORCORONA INTERPLANETARY DUST	5. RUBIDIUM VAPOR MAGNETOMETER 6. X-RAY SCINTILLATION DETECTORS 1. LYMAN ALPHA TELESCOPE 1. MICROMETEORITE COMPOSITE DETECTORS	CALTECH/JPL H. V. NEHER/ H. R. ANDERSON U. OF CHICAGO J. A. SIMPSON GODDARD SPACE FLIGHT CENTER J. P. HEPPNER LASL/SANDIA CORP. J. A. NORTHROP NAVAL RESEARCH LAB/JPL T. A. CHUBB GODDARD SPACE FLIGHT CENTER W. M. ALEXANDER

粒子については現在考えられる計測器を使って広いエネルギー範囲にわたってすべてを測ろうとするものである。エネルギーの低い所では新たに Electrostatic Analyzer を開発して初めて試みるようになった。これによれば 0~5,000 電子ボルトのプロトンと、数百ボルトの電子が流れ、太陽のプラズマを測ろうとするものである。これ

以上の速度のものは通常の CdS の光導電体。ガイガー管を用いる。また新たに Au-Si 半導体を使用するが、これは正イオンにのみ感じて電子には感じないものである。

Ionization Chamber と Triple-Coincidence Telescope は Pioneer V にもおせて成果があったが、これは 10~100 MeV のプロトンを測るためのものである。以上の計測器で粒子の全域をカバーすることが可能になった。



第 1 図

磁力計については flux gate 型、水の proton precession を利用するものなどは今までも用いられてきたが、ここでは新しく開発されたルビジウム蒸気を使った磁力計を採用することにした。これはルビジウム蒸気の微細スペクトルが磁気の強さによって分離する特性を使って、逆に磁気を測るもので、現在の所もっとも感度の高いものである。

太陽からの軟 X 線の測定法は従来のものである。宇宙塵の測定も在来のいくつかの方法を試みる。

新たに試みるものとして地球の最外部に水素の雲があるであろうかを調べる。それには Lyman- α の telescope を使って、地球から遠ざかるにつれて地球の表面を telescope で走査するものである。

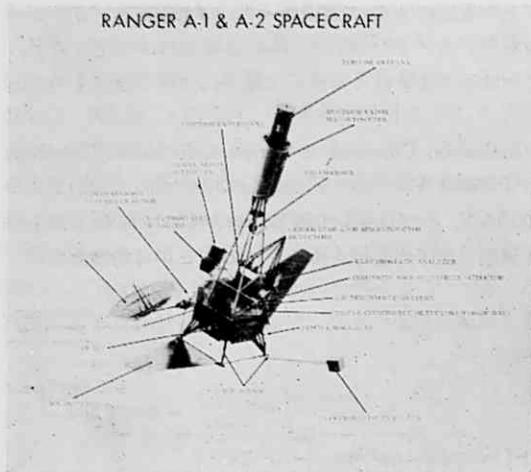
第 2 図は以上の計測器をのせた場合の Mockup を示すもので、太陽電池、地球と連絡用の小パラボラアンテナ、姿勢を制御する小ジェットなどが見られる、技術的には姿勢制御を正確に行なえるかが観測に成功するかどうかを決めるもので、われわれが JPL を訪問したときには (2 月下旬)、ちょうど太陽に向って姿勢制御を行なう機構の調整をしていた (第 3 図)。

なお、Ranger 1 号機は 8 月末に打ち上げたが失敗に終わったようである。

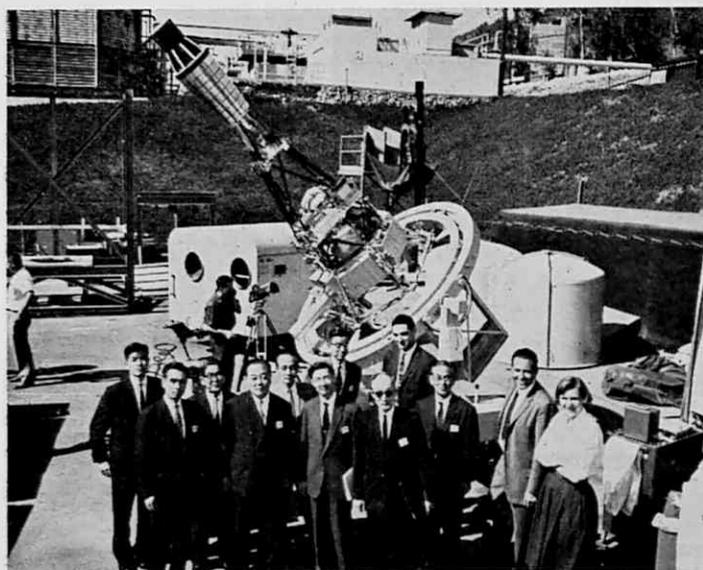
(2) Ranger 3, 4, 5 号機

これらは 1962 年に打ち上げ予定のもので、月に命中させる。観測項目は第 4 表、Mockup は第 4 図、飛し

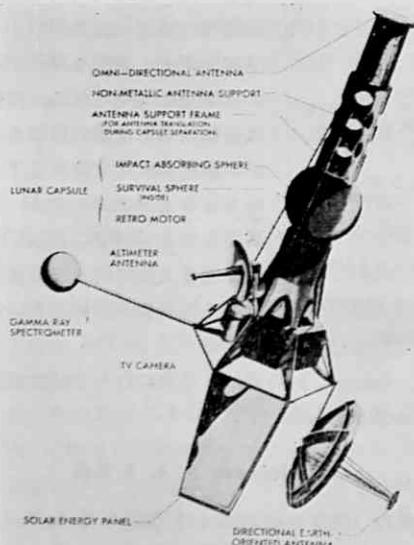
RANGER A-1 & A-2 SPACECRAFT



第2図



第3図



第4図

第4表 RANGER PROJECT, SCIENTIFIC EXPERIMENT PLAN

SPACECRAFT	EXPERIMENT	INSTRUMENTS AND MEASUREMENTS	COGNIZANT AGENCY AND SCIENTIST
RA-3 RA-4 RA-5	CAPSULE: SEISMOLOGY	1. SEISMOMETER	CALTECH/COLUMBIA UNIV. F. PRESS/M. EWING
	BUS: PHOTOGRAPHY OF SMALL LUNAR AREA AND γ -RAY SPECTROSCOPY	1. VIDICON TELEVISION 2. GAMMA RAY SPECTROMETER	

よう中の姿勢制御その他は第5図に示す通りである。

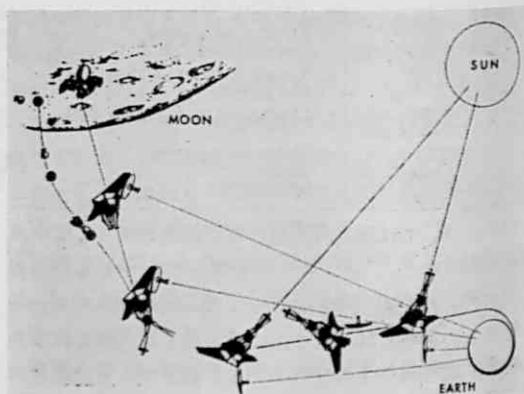
本体はカプセルとバスの2部分から成り、カプセルには地震計とカプセルの温度計が取められており、バスにはビジコンテレビカメラとガンマ線分析計がのっている。第5図のような姿勢で月に近づき、第4図には見えないが、電波高度計で所定の高さ(30 km)になると、バスとカプセルは分離し、バスはそのまま月に落下する。カプセルには逆ロケットがついていて速度を落として地震計を月の表面に軟着陸させる。

テレビは月に近づきながら月の表面の有様を地球に知らせるもので、ガンマ線分析器は月に放射能の有無を調べるものである。

カプセル自体は約4Gに耐えるように作られておるが、月の表面にぶつかるときには30 m/sを超えないように減速する。カプセル内には地震計、送信機、アンテナ、電源の他に地震計を正しく位置させる自動機構、自動校正装置などがあり、月の上で1~2カ月動作するように設計してある。

(3) Surveyor

これは1963年以降、Centaurを使って月に計測器を



第5図

第 5 表

EXPERIMENT	INSTRUMENT AND MEASUREMENTS	EXPERIMENT	INSTRUMENT AND MEASUREMENTS
SURFACE CHEMICAL ANALYSIS	1. X-RAY FLUORESCENCE SPECTROMETER 2. NEUTRON ACTIVATION TECHNIQUES 3. MASS SPECTROMETER 4. GAS CHROMATOGRAPHY (DETECTION OF ORGANIC MOLECULES)	LOCAL SUB-SURFACE PROPERTIES (DRILL TO 4 OR 5 FEET)	1. X-RAY SPECTROMETER AND NEUTRON ACTIVATION INSTRUMENT IN CAVEHOLE 2. VERTICAL TEMPERATURE GRADIENT MEASUREMENT 3. THERMAL AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY MEASUREMENTS 4. DENSITOMETER
SURFACE PHYSICAL ANALYSIS	1. DENSITOMETER (γ-RAY SCATTERING) 2. THERMAL AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY MEASUREMENTS 3. SOUND SPEED MEASUREMENTS 4. VIDICON WITH VARIETY OF MAGNIFICATIONS	STRUCTURE	1. THREE-AXIS SEISMOMETER 2. GRAVIMETER

JPL Surveyor Project typical scientific experiments

JPL Surveyor Project typical scientific experiments

軟着陸させるもので、目的は月の地質調査にある。現在考えられている観測項目と機器の表を第 5 表に示す。月の表面の地質を自動的に化学分析すること、物理定数も測定し、テレビカメラも備えて近傍の状況をいずれも地球に無線で報告する。さらに月の表面下 4~5 呎にドリルで孔をあけ、そこの温度分布、物理量などを知らせる。また月の構造を知るために地震計や重力計ものせるなど、今までに経験しなかった技術を応用して月の探査を行なうもので、大いに期待されるものである。

従来、地質学者は地球上の仕事で手一杯で、宇宙科学には余り関心がなかった。JPL, NASA の PR でようやく興味を持って協力し出したところである。

(4) Mariner

これは惑星行き宇宙機 (Spacecraft) を称し、Mariner A は金星、Mariner B は火星ゆきである。

金星の調査項目は

1. Venus Temperature (Surface, Atmosphere, Ionosphere)
2. Venus Atmospheric Composition
3. Venus and Interplanetary Magnetic Field
4. Near Venus and Interplanetary Dust and Charged Particle Spectrum

である。これについて計測器をいかにすべきかを専門家が会合して討議し、以下のようなものをのせる予定である。

まず Mariner A は金星にぶつけるよりか、なるべく近くを通りすぎるようにして各種の計測を行なうことに決めた。

(a) 金星から輻射されるマイクロ波を測る。波長は 4, 8.5, 13.5, 19 mm の 4 波で、そのための受信機をのせる。

(b) 紫外線は 1100~4200 Å の間を分解能 10 Å の

ものを作ってのせる。

(c) 磁力計は惑星間の弱い磁力から金星のそばの強い磁力まで測れるもの。その他、粒子については Ranger 計画と同様なものをのせる予定である。

以上の決定に当っては広く大学、会社、NASA の諸機関と協議し、観測項目に落ちはないか、観測の責任分担者などを決めている。

Mariner B は火星探査用で、1964 年に打ち上げの予定、1963 年には予備飛しょうを行なう。火星に打ち当たるか、火星の周りをまわすかを討議し、Ranger 3 のように、本体をカプセルとバスに分け、カプセルは火星をねらい、バスは近くを通るような方式に決めた。両者の分離は火星から 5 万 km の所で行なう。

どのような観測機器をのせるかは Ranger の結果も見て決めたい。しかしバスには各種粒子の測定器 (プラズマ、宇宙線など)、磁力計、宇宙塵は少くともものせる。

火星にあてるカプセルには金星用と同じ紫外線分光器を、さらに有機物の存在を調べるために赤外線分光器 (波長 2~8 μ) をのせる。そして火星の表面の各所が測れるように光学的走査が行なえるようにする。火星の雰囲気内に水蒸気、炭酸ガス、CO、メタン等が存在するか、温度勾配はどうかなどを調べるがこれ等は既に提案者があり、決定した。

火星の写真をバスからもカプセルからも撮るが、前者の分解能は 1 km、後者は 10 cm と予想している。またカプセルではバクテリアを採って顕微鏡で見、ガスクロマトグラフで火星のホコリを分析する提案もある。赤外線分光器をのせたのは、CO₂ の吸収から雰囲気温度分布が分るからでもある。

なお、火星には雰囲気があるので、カプセルの着陸には落下傘を使うつもりであるという。

(1963 年 5 月 1 日受理)