

特集「アポロ月着陸30周年」

# 有人月着陸30年後のJSCとLPSC —月・太陽系探査の過去・現在・未来—

矢野 創<sup>1)</sup>

## 1. 二種類の歩行

30年前の夏、Neil ArmstrongとBuzz Aldrinが「静かの海」を歩いていたとき、筆者はようやく地球上で自由に駆け回れるようになったばかりだった。勿論、当時の記憶はない。その頃に青春を過ごされた方々とはApollo 11号への思い入れに隔たりがあるだろう。しかし現在の職場がその歴史的出来事の舞台だったのだから、と並木氏から表題の執筆をご依頼頂いた。共有体験がないからこそ、より客観的に論じられるテーマもあるかも知れない。

本稿ではまず、惑星科学における米ソの「月レース」の歴史的意義と、Apollo計画以来、米国航空宇宙局（NASA）ジョンソン宇宙センター（JSC）が果たしている役割を復習する。続いて今年30周年を迎えた月惑星科学会議（LPSC）、特に新しい研究課題に関するセッションの様子を報告する。最後にJSCの研究者へのインタビューを交えつつ、今後の世界各国の太陽系探査の行方を考察する。

## 2. 惑星科学におけるApollo計画の意義

### 2.1 史上初のサンプルリターン

Apolloは決して科学主導の計画ではなく、冷戦時代の米ソの宇宙競争における米国の政治的切り札として歴史に登場した。しかし、ではこの計画がなくても現在の惑星科学が存在し得たかという点、かなり疑わしい。Apollo 11号による「人類の月面着陸30周

年」とは、「人類初のサンプルリターン30周年」でもある。このとき持ち帰られた22 kgの月面試料こそ、初めて実験室にもたらされた「起源が明らかな地球外物質」であり、それまで天文学と地質学との狭間に埋もれて赤子のような「惑星科学」に、独自の成長を促したきっかけだった。

さらに今年、世界初の月探査機Luna 1号の月フライバイと、続くLuna 2号の月面衝突（「硬」着陸）から40年目でもある。この時代、打ち上げ失敗も含めて、米は1973年のApollo計画の終了まで41機、ソ連は76年のLuna計画の終了まで59機もの宇宙機で月を目指した（図1）[1]。69年の有人月着陸は、こうした十数年に及ぶ「月レース」の到達点である<sup>注1)</sup>。その「副産物」として、高分解能画像による月面の地形図・地質図、月の石の組成、月震・重力データなど、豊富な科学データがもたらされた[2, 3]。そして、例えば月は始原天体ではなく分化している、クレーターの起源は超高速衝突現象である等、当時の科学的議論の多くが決着した。同時にさらに多くの謎も生まれ、より高分解能、高精度のデータが必要になった。これらが、後述する現代の月探査の科学的動機になっている。

### 2.2 太陽系探査の裾野拡大 -ApolloからDiscoveryへ-

有人月着陸の華やかさの陰に隠れて見落とされがちだが、Sputnik 1号から3年後には火星、3年4ヵ月後には金星を目指す初の惑星探査機の打ち上げが、旧ソ連によって試みられている。米国も1973年に

<sup>1)</sup> 米国航空宇宙局ジョンソン宇宙センター・地球科学/太陽系探査部門

注1) 月レース時代の米ソの月探査のミッション目標には、難易度の順にフライバイ、表面衝突、軌道周回、軟着陸、地球帰還、サンプルリターンの六段階があった。日本はひてんで一気に第三段階までクリアーし、SELENE 1号で軟着陸まで成功させる予定である。

Marinerシリーズが終了するまでの15年間に、太陽系探査に必要な基本技術を取得した。両国は宇宙開発の当初から、地球-月圏を脱し、太陽系を旅する志を持っていたのである。その後、スペースシャトル計画の予算が膨み、米国の太陽系探査は一時期、少数・長期・巨大化の道を辿った。しかし90年代になると、年一回のペースで打ち上げられる公募型探査機シリーズ「Discovery」と、新しい探査技術を実証する指名型試験機シリーズ「New Millennium (現Space Technology)」が開始され、軌道修正された。

Discoveryシリーズの主な目的は、(1)ミッション毎のコストを1.5億ドル未満と大幅に減らす代わりに、(2)選抜から打ち上げまでの期間を約3年間に縮め、(3)科学目標が絞り込まれた探査機の打ち上げ回数を増やす事である[4]。このような厳しい枠組みでの競争にも拘わらず、ほぼ2年おきの公募には、毎回数十もの産官学一体のチームが応募する。筆者はここに、米国立大学における惑星科学の裾野の広さを感じる。この底力こそがApollo計画、及びExplorerから始まる一連の探査機シリーズの最大の遺産であろう。この競争に勝ち残ったNEAR, Mars Pathfinder, Lunar Prospector, STARDUSTなどのミッションにより、米国は再び太陽系

探査の黄金時代を築きつつある。

### 3. JSCの役割

#### 3.1 Apolloと共に誕生

NASAは全米各地に研究所や事務所を持っている。中でも有人宇宙飛行の立案と運用、またそれに必要な技術開発、科学研究、人材養成を行なっているのが、テキサス州ヒューストン市にあるJSCである。その歴史はケネディ大統領によるApollo計画の発表と共に始まり、1962年にMSC (Manned Spaceflight Center)として発足した。

その頃からJSCに働く研究者によれば、当時NASAは国家予算の約6%を占め、Apollo関連だけで全国に数十万もの雇用が創出された。そして「1960年代が終わるまでに人間を月面に送り、安全に地球に帰還させる」目標を実現するため、寝食を忘れるほどのハードワークが何年も続いたらしい。そんな中、月面試料の回収がどんな新しい科学を生み出すかをNASA上層部に懸命に説いたのが、当時学位を取って間もない、JSCの若い研究者達であった。その結果、6機のApollo着陸船は合計で382 kgの月の石、

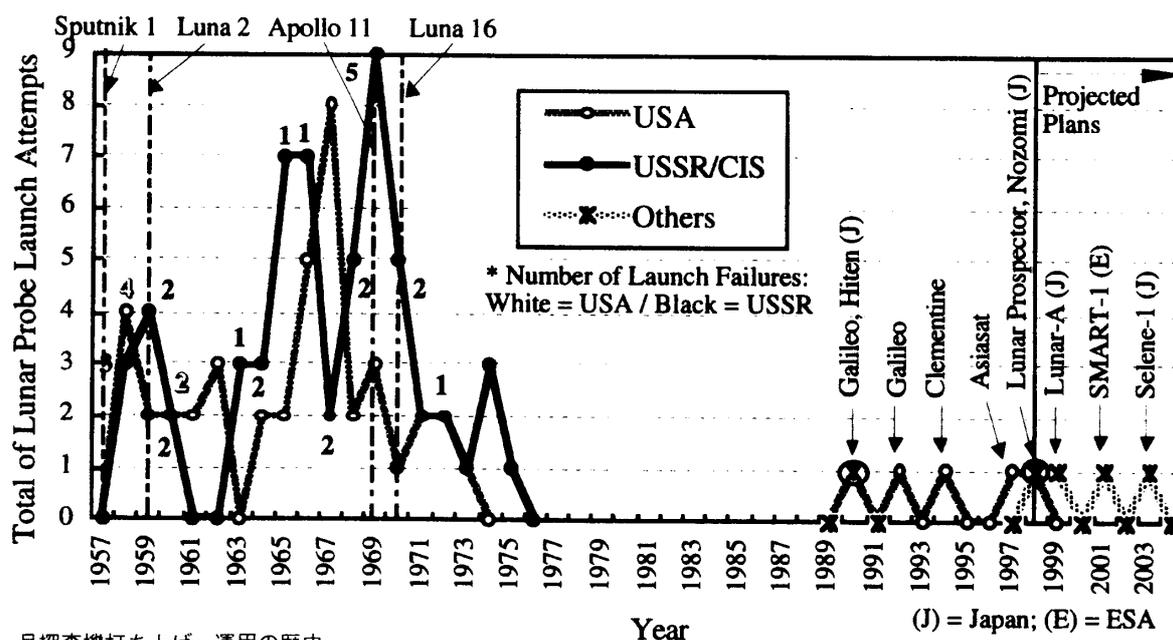


図1 月探査機打ち上げ、運用の歴史

掘削コア、小石、レゴリス等を持ち帰った。一方の旧ソ連も70年から3回、Luna無人探査機によって約300gの月面試料を回収した[5]。

### 3.2 宇宙物質キュレーション施設

サンプルリターン成功の鍵は、回収試料の初期分析(「宇宙検疫」を含む)、分類、カタログ化、保管、そして詳細分析のための外部研究者への分配を、どれだけシステムティックに行なえるかである。こうした一連の作業を「キュレーション」と呼ぶ。JSCの現「地球科学/太陽系探査部門」は、米国最大の宇宙物質キュレーション組織・施設である。現在では月面試料以外にも、南極隕石、成層圏で捕集された宇宙塵、人工衛星の表面上の宇宙塵による衝突痕等のキュレーションが、ここで行なわれている。さらにSTARDUST探査機による彗星塵と星間塵、Genesis探査機による太陽風粒子、Aladdin探査機による火星衛星の破片、そしてMars Sample Return (MSR) 探査機による火星表面の土壌など、今後NASAが採集する宇宙物質は全てJSCに集められる方針になっている(表1)[6]。

月面試料は特に厳しい警備体制の元、自然災害やテロの攻撃にも耐える構造をした巨大な金庫のような建物に安置されている。保管倉庫内では地球大気に

触れないよう、窒素ガスを満たした棚にミッション毎にまとめられている。また初期分類から一定水準の詳細分析まで全てJSC内で行なえるよう、各種分析装置も整備されている。こうした施設を維持するには手間も資金もかかる。そして数千の隕石や宇宙塵を一つ一つ分析してカタログを作る作業は、地道で根気の要る「職人業」の世界である[例えば7]。しかしJSCではこれらを専任スタッフを雇って30年間継続し、様々な経験を蓄積できたからこそ、Apollo世代から一連の新世紀のサンプルリターンに携わる世代にバトンタッチできた。

### 3.3 その他の研究テーマ

同部門にはキュレーション担当以外に、火星隕石ALH84001内の微化石に似た特徴の研究など、「宇宙生物学(Astrobiology)」をテーマとするグループもいる。LPSCの項でも述べるが、「宇宙生物学」はNASAに限らず、現在全米の宇宙科学者にとって、最もホットなキーワードである。また、固体微粒子加速器を使った宇宙物質の超高速衝突現象の実験も盛んである。最近ではSTARDUST、Genesis探査機の試料捕集器の性能試験が行われた。国際宇宙ステーションの建設が始まり、益々問題が顕在化してきたスベ

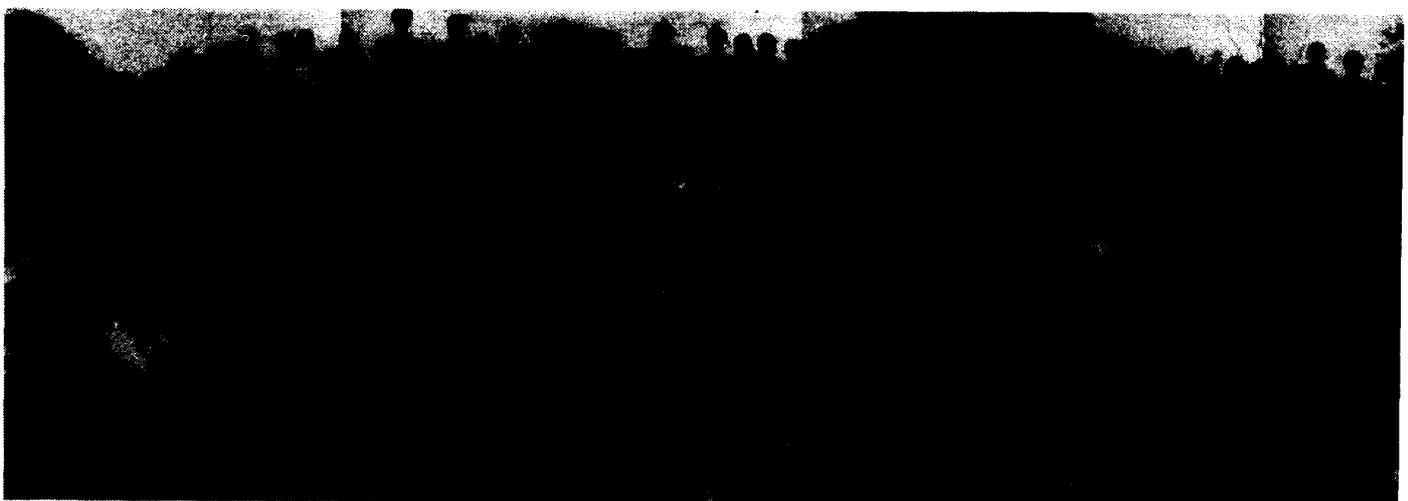


図2: LPSC30周年の記念写真

表1 今後10年間のサンプルリターンミッション一覧

探査機	Stardust (運用中)	Genesis (開発中)	MUSES-C (開発中)	Aladdin (選考中)	Mars Sample Return (計画中)	Chimpollion (計画中)
宇宙機関	NASA/JPL	NASA/JPL	ISAS/NASA	NASA/APL	NASA/CNES	NASA/JPL
行き先	彗星コマ	太陽/地球 L1点	近地球型 小天体	フォボス, ダイモス	火星	彗星核
採集試料	彗星塵, 星間塵	太陽風粒子	小惑星破片	火星衛星 破片	火星表面, 地下土壌	彗星核内氷
打ち上げ	1999年	2001年	2002年	2003年	2003, 2005年	2003年
地球帰還	2006年	2003年	2006年	2006年	2008年	2009年

ースデブリの研究でも、NASAの中心的役割を担っている。さらに宇宙飛行士が撮影した地球表面の映像の解析や、有人火星探査など将来の有人太陽系探査の構想を練るのもこの仕事である。

## 4. 第30回LPSC

### 4.1 歴史・沿革

毎年3月頃にJSC及び月惑星研究所(LPI)にて開催される「月惑星科学会議(Lunar and Planetary Science Conference(LPSC))」も、今年で30周年を迎えた。この会議の第一回目は1970年1月、Apollo 11号の月面試料を配られた150名を越すPI科学者がNASAへ委

託研究の成果報告を行なうために、「Apollo 11 Lunar Science Conference」として開催された。同月末には、この会議で発表された成果をScience誌が、通常の4倍もの厚さの特集号にまとめている[3]。翌年もApollo 12号の試料について同様な報告会が開かれ、同時に旧ソ連のLunaシリーズや月以外の惑星探査の成果発表も行なわれるようになり、定例化されていった。30回記念の今回は3月15～19日まで開催され、24ヵ国から1073名が参加した(図2)。第一回には8名不足だった日本人の参加者も、今回は55名を数えた[8]。セッションは宇宙物質の分析とミッションの成果が中心であり、昨年亡くなられたJSCの初代キュレーター・Elbert King氏の追悼シンポジウムが、Apollo 11



号の30周年に開催されたのも象徴的であった。

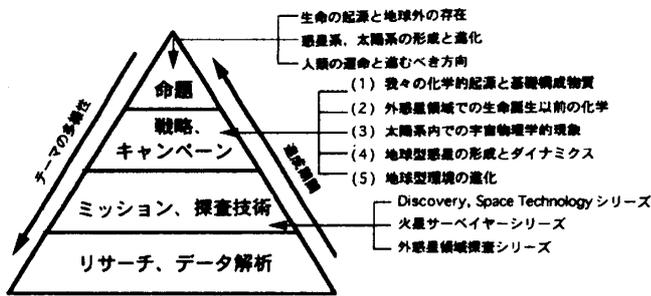
LPSCと名前を変えた今でも、ここでの発表の善し悪しが翌年度のNASAの宇宙科学予算の分配に左右するという「神話」が罷り通っている。そのせいか、各セッションでは自由闊達な質問が交され、どんな研究が誰によってどんな視点で進められているのか、効率良く概観できた。ポスターセッションも連夜21時過ぎまでに及び、(無料のビールの助けもあってか)活発な議論の応酬が見られた。また若手研究者や大学院生の参加が多く、恒例のチリ料理コンテストやアリゾナ大パーティーなども大いに盛り上がっていた。南極隕石や月試料などの年一回の分配会議も、LPSC直後に行なわれる。さらに例年11月から2ヵ月程度南極に派遣される、米国隕石探査隊の帰国報告会を兼ねたスライド/ビデオショーも、恒例行事になっているようである。

4.2. 30周年記念大会のハイライト

5日間にわたる会議の全貌を報告するには紙数が足りない。以下、筆者が特に注目したセッションのみ簡単に解説する。

4.2.1. 「将来の惑星ミッション」セッション

NASAの宇宙科学事務局は数年前に太陽系探査に関するミッションロードマップを作った。それに沿って



(DoD: 軍事技術の応用/スピノフ/独自の目標)

図3 太陽系探査小委員会における太陽系探査の将来計画ロードマップの概略(C. Chyba委員長の講演をまとめた筆者のメモから)。二つの矢印は定性的に、「達成期間」は短いものから長い方へ、「データの多様性」は少ないものから多い方へ向いている。

今回、太陽系探査小委員会が5つの戦略キャンペーン毎にワーキンググループ(WG)を形成し、2005~2015年における(Discoveryシリーズ以外の)太陽系探査の新規アイデアを発表した(図3, 表2) [9~12]。同日のポスターセッションでは全国から募られたアイデアが展示され、各WG委員は勿論、NASA本部の宇宙科学事務局長自らが、各発表者と直接議論を交していた。こうしたボトムアップ式の意見収集が、米国の惑星探査の「基礎体力」強化につながっているのだろう。

4.2.2. 「宇宙生物学-前駆体, 起源, 火星生命」セッション

今回最も盛況だったセッションで、立ち見を含めた300人以上が会場に詰めかけた。特に、JSCのALH84001分析チームによる新しい発表が注目を浴びた。D. McKayらは、別の火星隕石NahklaとShergottyにも、サブミクロンのバクテリア化石に似た球状鉱物

戦略別ワーキンググループ	推奨された探査計画
(1) 我々の化学的起源と基礎構成物質	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 惑星核サンプルリターン</li> <li>* 複数の小惑星フライバイ</li> <li>* 「巨大」メインベルト小惑星総合探査オービター&amp;深層 (&gt;10 m) サンプルリターン (例: Iris)</li> <li>* 惑星/小惑星内部構造探査機 (レーダー, 地震計, 電波サウンダー等)</li> <li>* 遠隔小天体探査機 (トロヤ群, KBO, Centaurs, 外惑星系の小型衛星)</li> </ul>
(2) 外惑星領域での生命誕生以前の化学	<ul style="list-style-type: none"> <li>* エウロパオービター</li> <li>* エウロパ着陸機</li> <li>* タイタン大気, 地表, 地下探査機 (気球またはグライダー型飛行ロボットを含む)</li> </ul>
(3) 太陽系内での宇宙物理学的現象	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 土星円環観測機</li> <li>* 海王星オービター/トリトンフライバイ</li> <li>* 外惑星複数地点プローブ</li> <li>* 木星極軌道オービター</li> </ul>
(4) 地球型惑星の形成とダイナミクス	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 太陽・水星オービター</li> <li>* 金星大気サンプルリターン</li> <li>* 金星地表・大気探査用飛行ロボット</li> <li>* 月内部物質サンプルリターン (南極イトケン)</li> <li>* 火星地震計・気象観測ネットワーク</li> </ul>
(5) 地球型環境の進化	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 火星サンプルリターン</li> </ul>

表2 太陽系探査小委員会内の5つのワーキンググループが推奨する、2005年頃から2015年頃までの米国探査ミッション案一覧

の集合体があると発表した[13]. またK. Thomas-Keptraらは, ALH84001上の球状物質近くにあるマグネタイトの起源が好磁性微生物であることを示唆し, 議論を巻き起した[14]. しかし最も傑出した発表は, 微生物学者A. Steeleらによる, 従来の隕石物質分析の手法では, 隕石表面で生長する「地球起源の現代の微生物」すら分類できていないという指摘だったろう[15]. 全く新しい学問が誕生しつつある「分娩室」に立ち合っているような気がした. 今後も様々な研究者がこの分野に参入するだろうが, 2008年にMSRが持ち帰る火星土壌を分析するまでおそらく決着しないだろう.

#### 4.2.3 「氷衛星」「イオ」「エウロパ」セッション

外惑星の衛星個々に独立したセッションが成立するほど, 探査機データの解析は進んでいた. 特にGalileo延長ミッションで集中的にフライバイが行なわれたエウロパ表面の地形研究が盛んだった. 従来のクレーター年代学が単純には通用しない中, 画像データ[16]と氷対流モデル[17]からどのように氷氷「地殻」の厚さや年代を求めるのか? どんな地形の下に若い水マントル「海」の湧出があるのか? これらのテーマは, 2003年打ち上げのエウロパオービターによる地表観測の戦略と, 続いて「海」の成分調査や生命探査を行なう着陸機をどこに落とすか, という疑問に直結している. タイタンや太古の火星も「海探査」をキーワードとして共通項でくられる. 海の起源・進化, 地球の物質循環に関するジグソーパズルは, 地球史においてすら, まだあちこちでピースが欠けている. 固体惑星, 惑星大気の中に位置する「惑星海洋学」の胎動を感じた.

### 4.3 NASAの月探査: 現在と将来

#### 4.3.1 LPの総合的成果

月に関しては毎日独立したセッションが催されたが, 報道陣が注目したのは, 98年から観測を始めたLunar Prospector(LP)の最新成果であった. ノミナルミッシヨ

ン中には, 重力異常及びH, K, Fe, Trなどの資源の極在を全球マッピングし, すでにWWW上で動画が公開されている[18]. LPSCの会期中は, 高度20 kmまで落として, 各種の観測精度を上げていた.

記者会見の目玉は, 100度重力モデルを使った重力計データの解析[19]と, ジオテイルローブを通過した時期の月の磁気双極子モーメントを測定した磁力計データの解析[20]が, それぞれ独立に金属鉄の中心核の半径を220~450 km, 300~425 kmと求めたことであった. 両者が正しければ, 中心核の重量比は月の全質量の1~3%程度, つまり地球の1/10未満の数値となる. LPチームは, これこそ「月が地球表層部からもたらされた」とする「巨大衝突説」の確証に向けての重要な発見だと強調した. 勿論最終的な結論は, 立体的な地震波計測による誤差のより小さいコア半径の測定を待たねばならないだろう. しかし, 少なくとも米国では, それはもはやLPの計測の「向上」或いは成果の「追確認」という位置付けになる. 果たして将来の惑星科学の教科書には, 「Apolloのサンプルリターンによって化学・鉱物的に月と地球が同じレザラーから作られたことが示唆され, LPによる物理計測によって双子説対巨大衝突説の論争が終結に向った」と書かれるようになるのだろうか?

#### 4.3.2 “Been There, Done That”: Mendell博士へのインタビュー

続いて米国の月探査に関する未来の展望を調べるため, 1963年からJSCで米国の月探査計画立案の中心となってきた惑星学者のエキスパート, Wendell Mendell氏にインタビューした.

まず「ClementineやLPと続いて, 日本の追い上げもある. NASAは今後の月探査をどう計画しているのか?」という問いに対して, 彼は「そのような計画は全くない」ときっぱり否定した. NASAから見れば, Clementineは軍部が月を目指したミッションであり, 一方LPはDiscoveryの「徒花」(6300万ドルという安いミッションは前代未聞)というだけだと言う. 確かに

1989年の有人月着陸20周年式典でブッシュ大統領は”Space Exploration Initiative”を提唱し、90年代に宇宙ステーション、21世紀には恒久月面基地、その後に火星有人探査という有人宇宙飛行の長期ビジョンを披露した。しかしこの構想は議会によって葬られた。現在の米国では「月には既に行き、政府がやるべきことはやった」という認識が大多数である。月極地クレーターの水氷の間接証拠の発見以後も、大勢は変わっていない。

米国ではよく、「月面基地推進派=カーゴカルト」説<sup>注2)</sup>が語られる。それによると彼等は多くの場合、過去にApolloなどによって「心理的衝撃」を受けており、その再現自体が目的化し、基地建設の論理(産業振興、新規技術のテストベッド、人類史、進化論的必然性など)は全て後から付いてくる。Mendell氏いわく、「彼等は、熱心に説けば「空から神の恵みが降ってくる」ように、ある日政府がApollo並みの予算を落としてくれて基地が建設できると信じている」。しかし、「カルト」の呪縛の外にいる米国社会では、長年の検討の結果、現在の科学技術レベルでは月面基地への税金投資は議会の合意が得られないし、経済的にもペイしないと言われている[21]。唯一ブレイクスルーの可能性があった案が、数年前にJSCで検討された、Apolloの予算1%で行なう新世代の有人月探査であった[22]。しかし条件を満たす案が出る前にALH84001の発表があり、「隕石一つであっさり吹き飛んだ」(Mendell氏)という。さらに、人類史的正当性は人類史的時間スケールで、進化論的正当性は進化論的時間スケールで遅れることが許されてしまう。

氏によれば、国際宇宙ステーションの後には直接火星に行くというのが、現在のNASA首脳部の考えである。但し補足すると、NASA長官は月開発については民間活力を歓迎すると表明している。LPSCでの新ミッション案のポスターセッションでも、月をターゲットにした発表はNASAからはなく、米国のベンチャー企業2社[23]と、ESAのSMART-1[24]、そして日本の

SELENE 1号機に搭載されるガンマ線計測装置[25]だけであった<sup>注3)</sup>。こういう状況だからこそ日本の研究者は、例えばSELENE 1号機はLPと較べて物理計測でどれほど優れているかを、今後もっと積極的にアピールしていくべきだろう。

そうした情報が日本から届かないからだろうか、インタビューの途中、筆者はMendell氏から「なぜ日本は月に行くのか? 政府が税金を使って月に行く理由を、日本国民はどう納得しているのか?」と逆に問われてしまった。彼は宇宙開発政策大綱[26]および1994年の宇宙開発委員会長期ビジョン懇談会報告書[27]の英訳に目を通した上で、「日本の月への興味は、科学よりも産業主導であるように見える。H-IIAロケットの需要を創ったり、広大な土地と潤沢な資源を安く入手することが目的なのではないか?」との見解を示した。確かに長期ビジョンでは「有人基地無人建設案」など、産業界の技術革新を促す構想が注目を集めた。しかし政治主導だったApollo計画からも素晴らしい科学成果が数多く生まれたのである。たとえ日本の月探査が産業主導、研究者は必ずや、月に関する新たな科学的知見を得るだろう。むしろ国民や海外に対するその辺りの説明不足が、Mendell氏のような感想を生むのであろう。

## 5. 新世紀初頭の太陽系探査 ：日本は何を担うか?

今回のLPSCを機会に学んだ各国の探査計画を外挿すると、新世紀初頭の太陽系探査の構図は次のようになる。米国政府は国際宇宙ステーションの予算に圧迫されつつも、小型・安価な探査機で内惑星領域を頻繁に探査する。同時に火星や外惑星の衛星にも繰り返し赴き、生命及び惑星系の起源に迫る新しい科学の構築に邁進する。ロシア政府はもはや単独で探査を行なう力はない。ESAは、Rosettaによって彗星の総合探査を独自に推進しつつ、火星、木星、土星については米国との相乗りを進める。日本政府

注2) 第二次世界大戦頃、米軍の補給物資が誤ってポリネシアの離島に落とされた。島民はそれを「天からの恵み」と信じて祈りを捧げ、再び米軍輸送機が来る日を待っていると云う。

は小型探査機で内惑星領域の探査を行なう一方、月面に繰り返し訪問してその実利用を目指す。さらに米国を中心とした民間ベンチャーが、月を含めた地球近傍の宇宙空間で活躍を始める。

日本と米国の月探査の戦略は、特に対照的である。米国が民間活力への移行を指向する一方、日本では宇宙開発予算とマンパワーの多くを月に注ぐ。月以外の太陽系天体の探査は、優先度が相対的に落ちるかもしれない。それで良いのかどうか、すでに他でも指摘されているように[28]、我々日本人惑星科学者は折に触れて自問する必要があるだろう。しかしもし今後20年余りにわたってこの展望が大きく修正されない場合、我々はせめて「確かにこれは日本にしかできなかったことだ」と世界から言われるような活動を、月面で展開しなければなるまい。その際には、米国でApolloが果たしたように、SELENEが日本の太陽系探査の「インキュベータ」になってほしい。例えばSELENE 1号機が成功した暁には、(ISASとNASDAを除いて)国内の大学や研究機関からレビューに耐える新しい探査案が、少なくともDiscoveryの応募数の1割は出せる程に、惑星科学の裾野を拡げたい。

これらは全て、我々太陽系探査に従事する者が抱く将来の科学技術へのビジョンと、出資者である市民へのアカウントビリティに帰する問題である。30年前にApollo 11号が成功したのは、両者が米国民から理解・支持されていたからであろう。

## 謝辞

LPSCの集合写真の掲載を許可して下さったTom Schwab Photography, それを画像ファイルに変換して下さった石橋之宏氏(宇宙科学研究所), 参加者数の統計を調べて下さったLinda Tanner氏(LPI), LPSCの歴史を調べる際にお世話になったLPI図書館スタッフ, そして査読者の高田淑子氏に感謝致します。長時間のインタビューに快く応じて頂いたNASA/JSCのW.

Mendell氏にもお礼申し上げます。なお、著者は全米科学アカデミーより、National Research Council (NRC) Research Associateship (NASA/JSC)を受けている。

## 参考文献

- [1] National Space Science Data Center (NSSDC) Homepage, 1998: NASA Goddard Spaceflight Center, <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/>.
- [2] The Lunar Sample Preliminary Examination Team, 1969: Science, 165, 1211-1227.
- [3] "The Moon Issue", 1970: Science, 167, 447-781.
- [4] Discovery Program Homepage, 1997: NASA Langley Research Center, <http://discovery.larc.nasa.gov/discovery/home.html>.
- [5] Lunar Sample Laboratory Facility Homepage, 1998: NASA Johnson Space Center, <http://www-curator.jsc.nasa.gov/curator/lunar/>.
- [6] Zolensky, M.E., et al., 1999: Meteor. & Planet. Sci., submitted.
- [7] Warren, J. L. and Zolensky, M. E., 1994: In "Analysis of Interplanetary Dust", (eds.) Zolensky, M. E., et al., AIP Press, 245-254.
- [8] Tanner, L., 1999: private communication, Lunar and Planetary Institute, Houston, TX, U.S.A.
- [9] Veverka, J., et al., 1999: Abst. LPSC XXX CD-ROM, #1739.
- [10] Chyba, C.F., et al., 1999: Abst. LPSC XXX CD-ROM, #1537.
- [11] Porco, C.C., et al., 1999: Abst. LPSC XXX

注3) ASR社は、10 kg以上の月面試料を回収して収集家や教育機関、研究者に廉価で市販するなどのベンチャービジネスを主体としたLunar Retrieverミッションを、2001年に4000万ドル程度で実施することを表明している。ESAの月探査は、過去MORO, LEDA, EuroMoonなど様々な案が出ては消えた。今またSMART-1に形を変えて同じグループが努力を続けている。

- CD-ROM, #1800.
- [12] Stofan, E.R., et al., 1999: Abst. LPSC XXX CD-ROM, #1339.
- [13] McKay, D.S., et al., 1999: Abst. LPSC XXX CD-ROM, #1816.
- [14] Thomas-Keprta, K., et al., 1999: Abst. LPSC XXX CD-ROM, #1856.
- [15] Steele, A.F., et al., 1999: Abst. LPSC XXX CD-ROM, #1321.
- [16] Van Cleve, J.E., Pappalardo, R. T. and Spencer, J. R., 1999: Abst. LPSC XXX CD-ROM, #1815.
- [17] McKinnon, W.B. and Gurnis, M., 1999: Abst. LPSC XXX CD-ROM, #2058.
- [18] Lunar Prospector Homepage, 1997: NASA Ames Research Center, <http://lunar.arc.nasa.gov>.
- [19] Konopliv, A.S. and Yuan, D.N., 1999: Abst. LPSC XXX CD-ROM, #1607.
- [20] Hood, L.L., et al., 1999: Abst. LPSC XXX CD-ROM, #1402.
- [21] Mendell, W.W., 1993: AIAA Paper 93-4175, Presented at the 45th IAF Congress, Huntsville, AL, U.S.A.
- [22] Mendell, W.W., 1998: J. Aerospace Engng., 11, No.4, 106-110.
- [23] Manifold, J.D. and Norris, D.A., 1999: Abst. LPSC XXX CD-ROM, #1368.
- [24] Foing, B.H., Racca, G. and SMART-1 Team, 1999: Abst. LPSC XXX CD-ROM, #2052.
- [25] Hasebe, N., et al., 1999: Abst. LPSC XXX CD-ROM, #1171.
- [26] 宇宙開発委員会, 1996: “宇宙開発政策大綱”, <http://www.sta.go.jp/shimon/sac/taikou.htm>.
- [27] 宇宙開発委員会長期ビジョン懇談会, 1994:

同会報告書”新世紀の宇宙時代の創造に向けて”。

- [28] 並木則行, 1998: 遊・星・人, 7, No. 3, 252.