

# 将来宇宙活動（有人月面基地計画）に対する計画概念形成の一考察

長谷川洋作, 神前 康次, ○稗田 浩雄, 菊田 隆 未来工学研究所

## 1. 研究の基本的視角

将来の宇宙活動は従来からの宇宙探査や商業利用等の他に宇宙基地「フリーダム」をベースにした有人宇宙活動が重要であり、月・惑星系の探査が中心課題<sup>1)2)</sup>となる。国の威信等の鮮明な政治目的を除外すれば、従来宇宙開発は手段（例えばスペースシャトルなど）が優先し宇宙活動の目的が明確ではなかった反省<sup>3)</sup>がある。月面拠点は莫大な開発費を必要とし、かつ未開拓の地であるので開発の意義と目的を明確にすることが検討の第一歩とされねばならない。現在考えられている主要な意義と目的は次の2点に絞られる。

① 太陽系惑星（特に火星）への人類活動の場を拡張する為の拠点

② 地球環境維持の為の宇宙資源（<sup>3</sup>He等）利用

①には宇宙資源利用として酸素などを製造し宇宙活動に利用することも含まれる。米欧ソの現在の検討は②の地球環境維持の為の宇宙資源（<sup>3</sup>He）利用の視点が欠けている<sup>4)</sup>。地球環境の観点から地球温暖化それに伴う21世紀のエネルギーに関して様々な議論<sup>5)</sup>があるが、最もクリーンなエネルギーとしてのD-<sup>3</sup>He核融合の実現を視野に入れた検討が必要であり、我々の研究は①②を含めて検討を行うものである。

## 2. 研究の方策

以上の目的を達成する為のフィージビリティスタディを行うために、図1のように研究の主要フローを定め、

① 計画構想・全体システム

② 宇宙資源利用システム

③ エネルギー・<sup>3</sup>He核融合

の3項目を中心にスタディを行うこととした。

米国においては月面拠点の要求機能を分類し、各々についての部分構想の研究を主<sup>6)</sup>としている。これらは有人宇宙飛行の将来ビジョンが策定される1989年末までに、整合性をもった案とすべく作業が進められている。

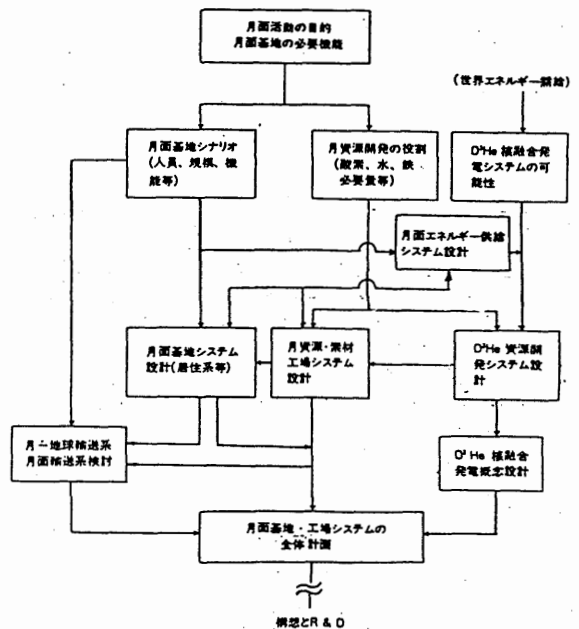


図1 研究の主要フロー

### 3. 月面活動の構成要素

月面活動は目的の異なる複数の活動から構成される。その主要構成要素は①科学観測（天体観測、固体惑星科学、宇宙空間物理等）、②生命維持、③エネルギー、④基地建設、⑤資源利用システム、⑥輸送システム、⑦社会システム、⑧情報通信システム（ロボット含む）、⑨火星等へのロジスティックスなどが挙げられる。注意せねばならないのは例えば②生命維持は①科学観測などを行うために必要なものであると共に生命維持そのものが研究目的（宇宙医学など）でもあるという複合性が含まれていることである。これらの主要構成要素を更に細分化し具体的な活動内容を明らかにした。

### 4. 月面活動の成長モデル

アポロ計画は、拡散している宇宙活動を一点に集中したが、目標達成後継続した展開がなく一過性に終わったという反省<sup>1)</sup>がなされている。今後の宇宙活動は継続的なものであり、宇宙インフラストラクチャーの整備に伴い月面活動も段階的に成長することを考慮すべきである。月面活動の段階的な成長はNASA JSC M. B. Duke等の5段階成長モデル<sup>2)</sup>がより現実的である。我々は内容を一部変更し次の5段階成長モデルを定義した。無人／有人、有人規模、宇宙資源利用時期、科学観測規模（月面利用地域）などがフェーズを切り分ける因子である。

フェーズ	主たる活動内容
I	無人事前探査、無人科学観測
II	人間が昼間のみ滞在（前哨基地建設）、有人科学観測
III	人間が一定期間滞在、宇宙資源利用開始
IV	定住、宇宙資源利用拡大
V	コロニーへ拡大

なお5段階成長モデルをSTBスフェアに位置づけた試み<sup>3)</sup>もあるが、今後の検討が必要であろう。月面活動の発展の可能性は、活動を行う目的（ミッション要求）と、それに答えられる技術基盤（技術の成熟度）に依存する。そこで月面活動の実現時期に対応した活動目的と技術基盤を検討することによって具体的な月面活動を想定した。

### 4. 月面活動の内容設定

月面活動の5段階成長フェーズの各々について月面活動の主要構成要素別にブレークダウンし各フェーズでの活動目的とそれに対する技術基盤の有無を考慮して活動内容の設定を行った。なお技術基盤の有無は技術の成熟度を予測することでもあり、専門家の評価を加えた。内容設定においては各フェーズの実現時期や期間を想定し検討したが、あくまで一つの試みに過ぎない。なおここでは開発に伴う費用は算出されていない。内容設定におけるフィードバックの必要性に関しては5項で述べる。

表 1 月面活動の内容

	フェーズⅠ (無人事前調査)	フェーズⅡ (有人非常駐)	フェーズⅢ (有人常駐初期)	フェーズⅣ (有人常駐拡大)	フェーズⅤ (自給コロニー)
科学観測	○観測のための月面事前調査 ○地磁気圏・赤外線収支観測その他	○VLBI小型赤外線可視光望遠鏡 ○宇宙天気予報、赤外線全天サーベイ 他	○中型赤外線可視光望遠鏡 ○宇宙天気予報、赤外線全天サーベイ 他 ○干渉計 ○重力計	○大型パラボラ望遠鏡 ○大型重力波アンテナ ○大口圧縮望遠鏡 ○大型ニュートリノ 他	○地球並みの大型天文台
生活維持	○月面環境・居住のための事前調査	○宇宙ステーション並みの生命維持システム (地球から補給) ○要員 6~8人	○セミクローズド生命維持システム ○居住棟 ~30㎡/人 ○要員 8~32人	○農業自給 ○大規模農場 ○原子力発電 ○地下居住システム ○要員 64~125人	○自給自足 ○CELSS確立
エネルギー	○供給電力 20kW以下 ○太陽光発電	○供給電力 200kW以下 ○RTG ○蓄熱システム	○供給電力 10MWまで ○原子力発電追加 ○電力輸送システム	○供給電力 100MW程度 ○原子力発電 ○月資源による電池製造	○供給電力 100MW以上 ○原子力発電 ○ <sup>3</sup> He核融合発電用実験プラント
基地建設	○建設のための事前調査 ・候補地 ・衛星探査 1~2年 ・ローバー	○候補地選定(1ヵ所) ○地球から建設資材輸送	○2~3ヵ所 ○地球から建設資材輸送 ○月面基地・月面建設 ○インフラ建設	○センターが2~3ヵ所 ○月面生産資材が寄与 ○基地形状・規模は多様化 ○プラント・工場建設	○月面インフラ整備 ○大部分の資材は月面生産 ○作業工程の自律化
資源利用	○レゴリスの分析・現場分析・サンプル・リターン ○資源分布地図の作成	○資源採集地選定 ○資源採集ロボット要素試験 ○土壌を耐熱遮熱材利用	○資源プラント稼働 ○農業製造 前期/後期 ○金属精錬実験	○金属精錬・冶金 ○ <sup>3</sup> He抽出・精製実験 ○土壌の高品位利用	○ <sup>3</sup> He製造 ○大規模生産・大量処理 ○化学工場・機械工場
輸送	○地球-月 ○H-II、着陸船他	○年間輸送量 50t以下 ○地球-月 ○H-II改、SLS C、SLS F7 他 ○DTV ○ローバー、他	○年間輸送量 100t級 ○H-II改、SLS C、SLS F7 他 ○AOTV (LEO-LLD, 有人再使用)	○年間輸送量 100t級 ○月資源の地球への輸送 ○広範囲・重貨物の輸送 ○AOTV、新鋭全輸送機	○年間輸送量 100t級 ○月面工場生産品の地球への輸送 ○地球-月定期往復便
ロボティクス	○地上からの遠隔制御 ○月面自律走行・ロボット	○遠隔制御・自律制御 ○部分的自律・ロボット	○半自律制御 ○人間ロボット協調 ○定型作業ロボット化 ○他種別のロボット	○自律制御 ○学習・自己制御機能 ○より広範なロボット	○自己増殖機能 ○ロボットの悪劣防衛機構 ○プラント・工場ロボット拡大

5. 「月面活動の内容」の柔軟性

設定した月面活動の内容は計画の検討が深まるに伴い、様々な変更が発生する。これらの変更には微小で局所的なものから全体の変更を求める大きなものまでその影響には幅がある。一部の変更が及ぼす結果を迅速に把握すると同時に、全体のフレームが壊されない柔軟性を持った「月面活動の内容」設定が必要である。そのために相互関係を明らかにし因果関係モデルを構築し、影響係数を設定して対処すべく検討中である。これは又開発費用算出においても必要とされる。表1はその基礎となるものである。

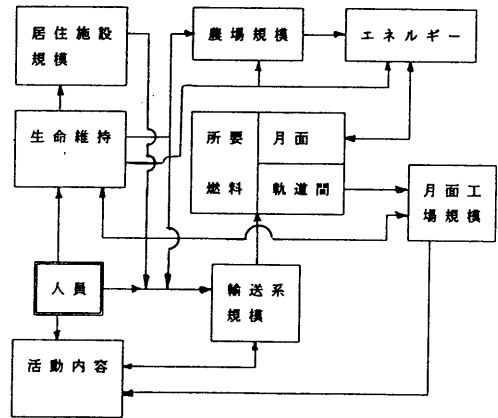


図 2 単純化した因果関係モデルの例

6. 国際協力の展望

国際政治の動向に左右される可能性があるが、将来宇宙活動は資金面や技術面などのほか、人類という共通性に立つが為に国際協力が望まれるものである。今

回の研究に関連し、宇宙資源の観点以外にD<sup>3</sup>He核融合<sup>10)</sup>研究の分野では、文部省の科学研究費や日米協力事業においても研究が進められている。又我々も月から<sup>3</sup>Heを抽出するシステムについて日米共同研究を予定している。更に欧州等とは生態系維持技術などの交流計画もある。今後、月・惑星(特に火星)系将来計画に対し、米国の国際協力提案がなされる際には我が国としての的確な対応が必要である。

## 7. 結論

将来宇宙活動(有人月面基地計画)について、基本的視角で地球・宇宙・エネルギー統合プログラムの必要性を示唆し、まず研究者が長期的かつ総合的展望にたった骨格を提示検討していくことの重要性を示した。その基礎作業として、多岐にわたり段階的に発展していく月面活動の計画を相互関係を考慮しつつ整理統合することにより、月面活動の段階毎の目標と具体的内容を体系化したマトリックスを作成した。このような段階的開発計画の定義は開発費用の算定やプロジェクトの詳細な評価の基礎となる。このような巨大プロジェクトにおける開発計画をシステム工学的方法により定義し評価していくことは長期にわたる巨大プロジェクトの推進において今後益々重要な課題となる。

なお本研究は公共研究機関や企業の研究者の支援を得た「月面基地と月資源開発研究会」の検討フレームとなったものである。本稿の一部には研究会の200名に及ぶ研究者の研究成果が含まれており、関係各位に謝意を表するものである。

## 参考文献

- 1) A. Iadwig & T. Ramlos: Beyond Earth's boundaries: Space Policy, May 1989
- 2) 岩田勉、栗木恭一、新田慶治ほか: 宇宙 NO.32 月・惑星開発特集号: 経団連宇宙開発推進会議 1989
- 3) 例えば J.M. ログソン他: 見直しを迫られる米国の宇宙政策: サイエンス: 1989年5月号
- 4) J.D. Rosendhal: Office of Exploration Overview: NASA Office of Exploration 1989
- 5) 例えば World Resource Institute (Washington D.C) 1987年の報告
- 6) Mendel, W.W. et al: Lunar Bases and Space Activities of 21st Century: Lunar and Planetary Institute, 1985
- 7) Brian O'leary: MARS 1999 Exclusive Preview of the U.S.-Soviet Manned Mission: 1987 (邦訳, 火星への挑戦)
- 8) M.B. Duke, et al: Strategies for a Permanent Lunar Base; Lunar Bases and Space Activities of 21st Century, 1985
- 9) K.A. Ehrliche 未刊の論文、最新宇宙技術論 に一部紹介
- 10) I.J. Wittenberg, et al: Lunar Source of <sup>3</sup>He for Commercial Fusion Power: Fusion Technology vol.10, 1986