

(調査研究レポート)

月探査

その歴史と未来 (改訂版)

今村 雄一郎

はじめに

古来より、人類は天空に憧れと抱き、また、脅威を感じながらも、多くの空想を膨らませてきた。科学がこれだけ進んできた現代に生きる私自身でさえ、闇夜に輝く星たちに底知れぬ魅力を感じ、その世界に引き込まれてしまう。月は我々にもっとも近い天体として、ひととき大きな光を放ち、私たちに語りかけてくる。アポロもそのひとつの結果だろう。今回は「月探査 その歴史と未来」というテーマに、私達地球人と月との今後のあり方にまで、考察していきたいと思う。

98年3月

さて、今回、以前からこのホームページで掲載していました、「月探査」の改訂版を出させていただきました。というのは、以前のままで、データが古くなってきた点やまとまりの不十分な点があまりに目立ったからです。今回、縁ありまして、改訂版を再掲載することになりました。このレポートは、恥ずかしながら当時高校生だった98年に改訂したものを極力残したまま、かつ現在の自分の考えをまぜつつ、新たに作成しました。ご一読くだされば、幸いです。

00年11月

第1章 惑星探査の歴史

本来、この表題のレポートで惑星探査のリストを作るのもおかしな話ではあるが、探査の経過がどのような変化をもたらしたかを含め、月探査の後の考察に役立つと思われる。また、私の知るかぎり、すべての惑星探査機を打ち上げた年月日順にまとめられた表がないので、日本宇宙少年団編の「SPACE NOTE '98」及び、今回は同じく日本宇宙少年団編の「スペースガイド2000」を参考に以下のリストを作成する。(無人及び有人月探査計画を含む)

惑星探査の歴史

年・月・日	探査機名	国名	目的地	備考
58・08・17	パイオニア0号	USA	Lunar	失敗
・10・11	パイオニア1号			失敗
・11・08	パイオニア2号			失敗
・12・06	パイオニア3号			失敗
59・01・02	ルナ1号	ソ連		失敗
・03・03	パイオニア4号	USA		失敗
・09・12	ルナ2号	ソ連		
・10・04	ルナ3号			
・11・26	アトラス・エーブル4	USA		
60・09・25	アトラス・エーブル5A			失敗
・10・10	マルス	ソ連	Mars	失敗
・10・14	マルス			失敗
・12・15	アトラス・エーブル5B	USA	Lunar	失敗
61・02・04	スプートニク7号	ソ連	Venus	失敗
・02・12	ベネーラ1号			失敗
・08・23	レインジャー1号	USA	Lunar	失敗
・11・18	レインジャー2号			失敗
62・01・26	レインジャー3号			失敗
・04・23	レインジャー4号			失敗
・07・22	マリナー1号		Venus	失敗
・08・25	ベネーラ	ソ連		失敗
・08・27	マリナー2号	USA		失敗
・09・01	ベネーラ	ソ連		失敗
・09・12	ベネーラ			失敗
・10・18	レインジャー5号	USA	Lunar	失敗
・10・24	マルス	ソ連	Mars	失敗
・11・01	マルス1号			失敗
・11・04	マルス			失敗
63・01・04	ルナ		Lunar	失敗

年・月・日	探査機名	国名	目的地	備考
63・02・03	ルナ	ソ連	L u n a r	失敗
・04・02	ルナ4号			失敗
・11・11	コスモス21		V e n u s	失敗
64・01・30	レインジャー6号	USA	L u n a r	失敗
・03・27	コスモス27	ソ連	V e n u s	失敗
・04・02	ゾンド1号			失敗
・04・09	ルナ		L u n a r	失敗
・07・28	レインジャー7号	USA		
・11・05	マリナー3号		M a r s	失敗
・11・28	マリナー4号			
・11・30	ゾンド2号	ソ連		失敗
65・02・17	レインジャー8号	USA	L u n a r	
・03・12	コスモス60	ソ連		失敗
・03・21	レインジャー9号	USA		
・05・09	ルナ5号	ソ連		失敗
・06・08	ルナ6号			失敗
・07・18	ゾンド3号			
・08・11	セントール3	USA		
・10・04	ルナ7号	ソ連		失敗
・11・12	ベネーラ2号		V e n u s	失敗
・11・16	ベネーラ3号			失敗
・11・23	コスモス96			失敗
・12・03	ルナ8号		L u n a r	失敗
66・01・31	ルナ9号			
・03・01	コスモス111			失敗
・03・31	ルナ10号			
・05・30	サーベイヤー1号	USA		
・07・01	エクスポローラー33			
・08・10	ルナ・オービター1号			
・08・24	ルナ11号	ソ連	L u n a r	
・09・20	サーベイヤー2号	USA		失敗

年・月・日	探査機名	国名	目的地	備考
66・10・22	ルナ12号	ソ連	Lunar	失敗
・10・26	セントール5	USA		
・12・21	ルナ13号	ソ連		
67・02・05	ルナ・オービター3号	USA		
・03・10	コスモス146	ソ連		
・04・08	コスモス154			
・04・17	サーベイヤー3号	USA		
・05・04	ルナ・オービター4号			
・06・12	ベネーラ4号	ソ連	Venus	
・06・14	マリナー5号	USA		
・06・17	コスモス167	ソ連		失敗
・07・14	サーベイヤー4号	USA	Lunar	失敗
・07・19	エクスプローラー35			
・08・01	ルナ・オービター5号			
・09・08	サーベイヤー5号			
・11・07	サーベイヤー6号			
・11・22	ゾンド	ソ連		失敗
68・01・07	サーベイヤー7号	USA		
・03・02	ゾンド4号	ソ連		失敗
・04・07	ルナ14号			
・04・22	ゾンド			失敗
・09・14	ゾンド5号			
・10・11	アポロ7号	USA		
・11・10	ゾンド6号	ソ連		
・12・21	アポロ8号	USA		
69・01・05	ベネーラ5号	ソ連	Venus	失敗
・01・05	ゾンド		Lunar	失敗
・01・10	ベネーラ6号		Venus	失敗
・02・24	マリナー6号	USA	Mars	
・03・03	アポロ9号		Lunar	
・03・27	マリナー7号		Mars	

年・月・日	探査機名	国名	目的地	備考
69・03・27	マルス	ソ連	M a r s	失敗
・04・02	マルス			失敗
・04・15	ルナ		L u n a r	失敗
・05・18	アポロ10号	USA		
・06・12	ルナ	ソ連		失敗
・07・13	ルナ15号			失敗
・07・16	アポロ11号	USA		
・08・07	ゾンド7号	ソ連		
・09・23	コスモス300			失敗
・10・22	コスモス305			失敗
・11・14	アポロ12号	USA		
70・02・19	ルナ	ソ連		失敗
・04・11	アポロ13号	USA		失敗
・08・17	ベネーラ7号	ソ連	V e n u s	
・08・22	コスモス359			失敗
・09・12	ルナ16号		L u n a r	
・10・20	ゾンド8号			
・11・10	ルナ17号			
71・01・31	アポロ14号	USA		
・05・08	マリナー8号		M a r s	失敗
・05・10	コスモス419	ソ連		失敗
・05・19	マルス2号			
・05・28	マルス3号			失敗
・05・30	マリナー9号	USA		
・07・26	アポロ15号		L u n a r	
・09・02	ルナ18号	ソ連		
・09・28	ルナ19号			
72・02・14	ルナ20号			
・03・03	パイオニア10号	USA	J u p i t e r	
・03・27	ベネーラ8号	ソ連	V e n u s	
・03・31	コスモス482			失敗

年・月・日	探査機名	国名	目的地	備考
72・04・16	アポロ16号	USA	Lunar	
・12・07	アポロ17号			
73・01・08	ルナ21号	ソ連		
・04・06	パイオニア11号	USA	Jupiter・ Saturn	
・06・10	エクスポローラー49		Lunar	失敗
・07・21	マルス4号	ソ連	Mars	
・07・25	マルス5号			失敗
・08・05	マルス6号			失敗
・08・09	マルス7号			
・11・03	マリナー10号	USA	Mercury・ Venus	
74・05・29	ルナ22号	ソ連	Lunar	失敗
・10・28	ルナ23号			
75・06・08	ベネーラ9号		Venus	
・06・14	ベネーラ10号			
・08・20	バイキング1号	USA	Mars	
・09・09	バイキング2号			失敗
・10・13	ルナ	ソ連	Lunar	
76・08・09	ルナ24号			
77・08・20	ボイジャー2号	USA	Jupiter・ Saturn・ Neptune	
・09・05	ボイジャー1号		Jupiter・ Saturn	
78・04・09	ベネーラ11号	ソ連	Venus	
・05・20	パイオニアビーナス1号	USA		
・08・08	パイオニアビーナス2号			
・08・12	アイス		Comets	
・09・14	ベネーラ12号	ソ連	Venus	
81・10・30	ベネーラ13号			

・11・04	ベネーラ14号			
年・月・日	探査機名	国名	目的地	備考
83・06・02	ベネーラ15号	ソ連	Venus	
・06・07	ベネーラ16号			
84・12・15	ベガ1号	USA	Venus・Comets	
・12・21	ベガ2号			
85・01・07	さきがけ(MS-T5)	JPN	Comets	
・07・02	ジオット	ESA		
・08・18	すいせい(PLANET-A)	JPN		
88・07・07	フォボス1号	ソ連	Mars	失敗
・07・12	フォボス2号			失敗
89・05・04	マジェラン	USA	Venus	
・10・18	ガリレオ		Jupiter	
90・01・24	ひてん・はごろも (MUSAS-A)	JPN	Lunar	
92・09・25	マーズ・オブザーバー	USA	Mars	
94・01・25	クレメンタイン1号		Lunar	
96・02・17	ニア(NEAR)		Asteroids	
・11・07	マーズ・グローバル・サー ベイヤー(MGS)		Mars	
・11・16	マルス96	ロシア・ 欧米等		失敗
・12・04	マーズ・パスファインダー	USA		
97・10・15	カッシーニ	USA・ ESA	Saturn・ Lunar	
98・01・06	ルナ・プロスペクター1号	USA	Lunar	
・07・04	のぞみ(PLANET-B)	JPN	Mars	
・10・24	ディープ・スペース1号	USA	Asteroids・ Comets	
・12・11	マーズ・クライメート・オ ービター		Mars	失敗
99・01・03	マーズ・ポーラー・ランダ ー			失敗
・01・03	ディープ・スペース2号		Mars	失敗
年・月・日	探査機名	国名	目的地	備考
99・02・06	スターダスト	USA	Comets	

これらのデータを見ればわかるとおり、60年代の惑星探査の回数は非常に多いものとなっている。これは米ソ冷戦時代の宇宙開発という名の戦争の様子を克明に描いている。冷戦という非常に政治的に高度な問題はおいておいても、今の宇宙開発の基礎はすべて、この冷戦から生み出されたといえよう。そして、地球外探査の最初期はパイオニア0号のように月を目指しているものの、60年には、ソ連がマルスを火星に、61年にはやはりソ連が金星に探査機を送っている。ともに、失敗してはいるものの、初の人工衛星打ち上げからたった数年しかたっていない早い時期から月だけでなく、火星や金星にも視野を向けていたということは非常に興味深い。

第2章 月探査の歴史

1957年10月4日、人類初の人工衛星スプートニク1号をソ連が打ち上げに成功し、宇宙開発の火蓋が切られた。その当時、宇宙というのは行くことの不可能な場所とも言われていたというので、世界中が驚愕したというのもうなずける。しかし、その翌年、1958年にはアメリカのパイオニア0号をはじめ、1年間に米ソあわせて6機の月探査機が打ち上げられている。いずれも失敗に終わったものの、宇宙開発のもっとも初期のころから多くの宇宙開発従事者が月に夢を抱いていたことの表れだろう。そして、初めて月探査ミッションが成功した59年9月12日のソ連によるルナ2号をはじめ、98年1月のアメリカによるルナ・プロスペクタ-1号に至るまで、のべ94機もの探査機が打ち上げられてきた。ここで、惑星探査のなかで、月探査の歴史に着目し、リストを作成し、考察していきたい。

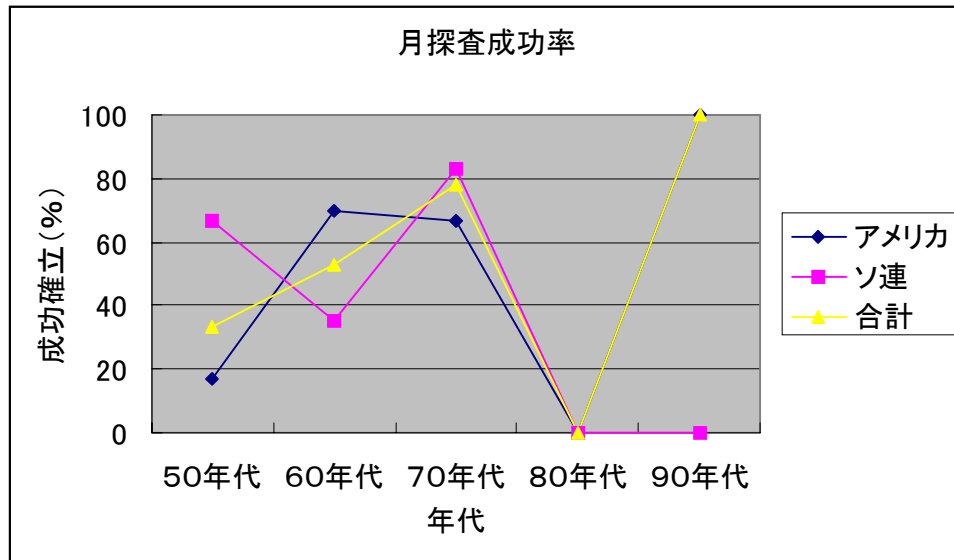
月探査の歴史

年・月・日	探査機名	国名	備考
-------	------	----	----

58・08・17	パイオニア0号	U S A	失敗
・10・11	パイオニア1号		失敗
・11・08	パイオニア2号		失敗
・12・06	パイオニア3号		失敗
59・01・02	ルナ1号	ソ連	失敗
・03・03	パイオニア4号	U S A	失敗
・09・12	ルナ2号	ソ連	
・10・04	ルナ3号		
・11・26	アトラス・エーブル4	U S A	失敗
60・09・25	アトラス・エーブル5 A		失敗
・12・15	アトラス・エーブル5 B		失敗
61・08・23	レインジャー1号		失敗
・11・18	レインジャー2号		失敗
62・01・26	レインジャー3号		失敗
・04・23	レインジャー4号		失敗
・10・18	レインジャー5号		失敗
63・01・04	ルナ	ソ連	失敗
・02・03	ルナ		失敗
・04・02	ルナ4号		失敗
64・01・30	レインジャー6号	U S A	失敗
・04・09	ルナ	ソ連	失敗
・07・28	レインジャー7号	U S A	
65・02・17	レインジャー8号		
・03・12	コスモス60	ソ連	失敗
・03・21	レインジャー9号	U S A	
・05・09	ルナ5号	ソ連	失敗
・06・08	ルナ6号		失敗
・07・18	ゾンド3号		
・08・11	セントール3	U S A	
年・月・日	探査機名	国名	備考
65・10・04	ルナ7号	ソ連	失敗
・12・03	ルナ8号		失敗

66・01・31	ルナ9号		
・03・01	コスモス111		失敗
・03・31	ルナ10号		
・05・30	サーベイヤー1号	USA	
・07・01	エクスポローラー33		
・08・10	ルナ・オービター1号		
・08・24	ルナ11号	ソ連	
・09・20	サーベイヤー2号	USA	失敗
・10・22	ルナ12号	ソ連	
・10・26	セントール5	USA	
・11・06	ルナ・オービター2号		
・12・21	ルナ13号	ソ連	
67・02・05	ルナ・オービター3号	USA	
・03・10	コスモス146	ソ連	
・04・08	コスモス154		
・04・17	サーベイヤー3号	USA	
・05・04	ルナ・オービター4号		
・07・14	サーベイヤー4号		失敗
・07・19	エクスポローラー35		
・08・01	ルナ・オービター5号		
・09・08	サーベイヤー5号		
・11・07	サーベイヤー6号		
・11・22	ゾンド	ソ連	失敗
68・01・07	サーベイヤー7号	USA	
・03・02	ゾンド4号	ソ連	失敗
・04・07	ルナ14号		
・04・22	ゾンド		失敗
・09・14	ゾンド5号		
・10・11	アポロ7号	USA	
年・月・日	探査機名	国名	備考
68・11・10	ゾンド6号	ソ連	
・12・21	アポロ8号	USA	
69・01・05	ゾンド	ソ連	失敗

・03・03	アポロ9号	USA	
・04・15	ルナ	ソ連	失敗
・05・18	アポロ10号	USA	
・06・12	ルナ	ソ連	失敗
・07・13	ルナ15号		失敗
・07・16	アポロ11号	USA	
・08・07	ゾンド7号	ソ連	
・09・23	コスモス300		失敗
・10・22	コスモス305		失敗
・11・14	アポロ12号	USA	
・02・19	ルナ	ソ連	失敗
・04・11	アポロ13号	USA	失敗
・09・12	ルナ16号	ソ連	
・10・20	ゾンド8号		
・11・10	ルナ17号		
71・01・31	アポロ14号	USA	
・07・26	アポロ15号		
・09・02	ルナ18号	ソ連	
・09・28	ルナ19号		
72・2・14	ルナ20号		
・04・16	アポロ16号	USA	
・12・07	アポロ17号		
73・01・08	ルナ21号	ソ連	
・06・10	エクスペローラー49	USA	
74・05・29	ルナ22号	ソ連	
・10・28	ルナ23号		失敗
75・10・13	ルナ		失敗
76・08・09	ルナ24号		
年・月・日	探査機名	国名	備考
90・01・24	ひてん・はごろも(MUSES-A)	JPN	
94・01・25	クレメンタイン1号	USA	
98・01・06	ルナ・プロスペクタ-1号		



参考として、成功率をつけてみたが、80年代が0%なのは、1機も打ち上げられなかったからだが、アポロ計画当時のアメリカで、66.67%、全体でも77.78%というのは、意外と低い数値であることに気づく。また、総合計の成功率をみても、右上がりである点から考えて、技術レベルの上昇は明確である。アポロ時代から考えて、非常に安定した、開発が望める状況にあるようである。

- 初期の月探査

< 1950年代 >

1957年10月に人類初の人工衛星が打ち上げられ、その翌年にはすでに月に焦点は当てられていた。58年8月には、アメリカが世界ではじめて月探査機を打ち上げる。こ

の衛星パイオニア0号は、月の磁場の計測・赤外線走査による月の裏側の観測を主な目的としたが、リフトオフ後77秒で、ソー・エーブルロケットの爆破により失敗する。

続く1号では初速は、10.7 km/s を得るものの、予定軌道に乗らず、43時間後には南太平洋に落下、失敗する。しかしながら、搭載機器に異常はなく、それまでの人工衛星に比べ、はるか高高度からの地球の磁気・放射線観測ができたということは、当時としては学術的成果があったといえるだろう。

また、パイオニア2号では2段ロケットの不発。3号では、ジュノー2ロケットを使用するが、やはり初速が足りず、搭載機器のひとつである、ガイガーカウンターがヴァンアレン帯(地球磁場によって捉えられた、太陽風などの高エネルギー粒子の帯)が2重ドーナツであるという発見をするにとどまった。

59年1月、ソ連はルナ1号(ルーニク1号)通称メチタが打ち上げられ、目標であった月の衝突は失敗したものの、リフトオフ32時間17分で月軌道を通り、月に磁場、放射線帯がないことを確認する。その後、ルナ1号は初の人工惑星となる。アメリカではパイオニア4号が月衝突に失敗し、地球の外側放射線帯の詳細な観測後、人工惑星となっている。

そして、ソ連のルナ2号(ルーニク2号)は月の北半球に衝突し、月の磁気測定や放射線測定などを行い、成功を収めた。

さらに、ルナ3号ではカメラを搭載し、月の裏側6万 km 付近での撮影に成功、画像はあまり鮮明ではないものの、人類がはじめて見る、月の裏側の様子であった。

50年代を通してみていくと、やはりなによりも、ロケット本体の性能に課題が多くあったように思われる。初の人工衛星打ち上げからたった1年で月を目指し始めた理由は、わからないが、人類が月に対して非常に強い憧れがあったのだろう。たった2年の間に米ソあわせて9機もの月探査機を打ち上げているのがいい例であろう。そして、60年代にむけて、アメリカはロケット開発の遅れを、ソ連は探査レベルの向上を課題としていくのだろう。

< 1960年代 >

61年。世界の宇宙開発は大きな転機を迎えたと思われる。時のアメリカ大統領J・F・ケネディーが演説の中で「60年代の内に人類を月に送り、無事帰還させる」つまり、のちのアポロ計画の発動である。その当時、まだアメリカでは月に探査機を送ることに成功しておらず、またアメリカよりは宇宙開発分野で進んでいたソ連でも確実な打ち上げ技術があるわけではなかった。こうして、アメリカを中心とした、新たな宇宙開発競争が始まったといえるだろう。冷戦時代の新たな戦いの場は人類を月に送るというものであったといっても問題ないかもしれない。

さて、冷戦という時代背景や国民の期待も強かったため、アメリカ航空宇宙局(NASA)

A) は10年弱という非常に短い間に多くの課題をこなさなければならなかった。当時の主な課題と思われるものをいくつかあげてみる。

- ・ 確実な打ち上げ技術
- ・ 月までの位置の把握と軌道確保の技術
- ・ ランデブー・ドッキング技術
- ・ 軟着陸技術
- ・ 宇宙空間という特異空間の理解
- ・ 月面状態の把握

特に最後の月面状態の把握に関しては誰も知らなかったといっても過言ではない。たとえば、当時のNASAの研究者でも「月にはものすごく分厚い埃の層があってそこに宇宙船が降りようなものなら、ずぶずぶ沈んでしまい、上がってこれなくなる」という話を信じている人がいたという。

多くの課題の中で最初に行われたのは技術的にも比較的容易なレインジャー計画を始められた。これは、月面の詳細な様子を調査するため、月に探査機を衝突させ、その間に写真撮影を行い、月軟着陸の構想を具体化するためであった。つまり、月面の岩盤が固いか、柔らかいかによって着陸船の設計そのものが変わってしまうからである。

61年8月、レインジャー1号を、そして11月には2号を打ち上げる。この2機の目的は3号以降の設計に役立てるために、月周辺の宇宙塵、放射線、磁場、宇宙船等の探査であった。そのために、この2機は月には衝突させず、周期50日の長円軌道を飛ばす予定であった。しかし、共にアトラスアジェナBロケットの2段目の不発により、失敗する。

次の3号では、予定通り、写真撮影をするために月衝突を目指し、かつ60cmのバルサ材で作られたカプセルの中に地震計を入れたものを搭載していた。これで、月の地震観測をサブミッションとした。

この地震計は地上のものよりも数倍感度がよく、本体は衝突していくために3000Gのショックにも耐えられるように花崗岩に320km/sで衝突しても壊れない、丈夫なものを採用した。これはは非常によく検討されたもので、中に地震計本体、増幅器、電池、50W送信機をいれたカプセルと、バルサ球の外壁とのあいだにショック吸収のために油を詰められていた。そして重心をずらすことで常にアンテナは上を向く。さらに、昼間は130℃、夜は-145℃という非常に過酷な世界を耐え抜くためにカプセルには適量の水を入れた。真空中では水の沸点は24℃にまで下がる。そして24℃以上になることはない。(蒸発することで気圧が生まれるため。)また逆に夜になってもカプセル内で熱が発生するために水が凍ることがない。このようにさまざまな趣向をこらし、カプセルの全重量はたったの40.2kgであった。

こうして、レインジャー3号は62年1月に打ち上げられる。しかし、1段ロケットの失敗により速度が上がりすぎ、月を通過してしまう。そして宇宙空間のガンマ線のバックグラウンドの強さを測定できた程度であった。

そして4号は4月に打ち上げ、カプセルも搭載していたが、指令受信装置の故障により、カプセルのみが月の裏側(西経129度・南緯12.9度)に落下。そして本来作動すべき逆推進ロケットも作動しなかったようで、さすがのカプセルも消滅したようだ。

5号も地震計カプセルを搭載し、同年10月に打ち上げる。しかし、電源故障のために中間軌道修正ができず人工惑星となってしまう。

この時点でのアメリカの技術レベルを考えていくと、ロケットの純粋な失敗による失敗はほとんどなくなってきた。しかし、それにかわり、ロケットの非常に激しい振動に耐えられなかったのか、それとも、宇宙空間に絶えられなかったのか、探査機本体の問題点が浮上してくる。この点からも宇宙開発の手順というものも見えてくるようだ。

64年1月、レインジャー6号を打ち上げる時点で、これまでの方針を変更し、写真撮影のみの、単一ミッションへとしていく。6号には全面走査2台、部分走査4台の計6台のカメラを搭載された。しかし、今回はロケット、軌道調整ともに問題なく、いくものの、カメラが作動することなく、「静かな海」に衝突し、その役目を終えることとなる。この失敗の原因をNASAは打ち上げ時の激しい衝撃のために、ショートを起こし、電池をすべて使い切ってしまったとの報告を残している。

7号は64年7月に打ち上げられ、レインジャー計画初の成功を収める。7号は異常なく機能し、「雲の海」(西経20.7度・南緯10.74度)に命中し、非常に鮮明な画像を衝突の瞬間までの13分41秒に間に4316枚の写真を電送する。これらの写真は月の細部にわたって、鮮明な画像を残していた。これによって初めて、月の実態が少しわかり始め、人類が月に降り立つことの可能性を示したと考えられる。つまり、月は埃の底なし沼のようではなく、着陸船が降り立つことができるということである。

そして、8号では64時間52分で月に到達し、23分間に7137枚の写真を電送し、さらに9号では15分間に6180枚の写真を電送している。

このレインジャー計画で撮影された2万枚近い写真から、多くの発見があったが、特にその中でも、9号では泡状の溶岩や火山灰らしい物質、さらには火山活動によるものと思われる3つの溝などが写し出されていた。これは当時月の成員について印積雪が主流であったが、その説に疑問を投じることとなる。

さて、アメリカがようやく宇宙開発の基礎を手に入れつつあるころ、ソ連では63年4月、ルナ4号(当時は3号までをルーニク、4号以降をルナと呼んでいる)を打ち上げる。この4号は月への軟着陸を目的とし、いままでのルナシリーズと比べて大きく改良されていた。しかし、結果的に月から約8500kmそれてしまい、人工惑星となる。

そして65年にはルナ5, 6, 7, 8号の計4機を打ち上げるものの、6号の軌道修正の失敗を除き、すべて軟着陸時のタイミングの誤りのために失敗している。月軟着陸の技

術的な難しさをよくあらわしている。またソ連はルナシリーズと平行して、ゾンド3号を打ち上げている。この3号は金星に向かう途中にルナ3号が取り残した月の裏側北東部の鮮明な写真を送ってきた。この写真のおかげで、月の裏側の大部分が、大陸だということが判明した。

66年に入ると、1月にソ連は軟着陸を目的とした、ルナ9号を打ち上げる。この当時、アメリカでも、アポロ計画のための準備計画第2段として、月への軟着陸機サーベイヤーの開発を行っていた。月軟着陸が宇宙開発競争の次なる課題としていた。このような中で、ルナ9号は見事に月軟着陸を果たし、送られてきたパノラマ写真には最小15cmの石まで写っていた。

さらに、ルナ10号では月の周回衛星となり(つまり地球にとっての孫衛星)約1月にわたって、月の磁場、ガンマ線、宇宙塵、重力場等のデータを収集した。そして、月は規則的な磁場を持っていることや、月周辺では惑星間空間に比べ、低エネルギーの密度や微流星の密度が高いこともはっきりした。また、ガンマ線測定の結果、テクタイトが月からきたものでないということ。クレーターの大部分は隕石孔であるが、海の中やその周辺は火山性であることもわかってきた。

ソ連の人類初の月軟着陸から4ヶ月後。アメリカはサーベイヤー1号を打ち上げる。サーベイヤー1号は重量が1トン以上もあるために新型ロケットの開発が必要であった。60年代も残り2年半という時期にまで、サーベイヤーが打ち上げられなかったのは、そのロケットの開発が遅れたためである。

そして、サーベイヤー1号は無事、嵐の大洋(西経43.5度・南緯2.8度)に軟着陸し、日が暮れるまでに10338枚もの写真を電送している。またさらに、夜の寒さに耐え切り、次の昼には再度写真を電送してきた。こうして、1号による写真はのべ11237枚にも及ぶ。

またアポロ準備計画の月探査の最終段階、ルナ・オービター計画もサーベイヤー計画と平行して行われている。66年10月、ルナ・オービター1号は打ち上げられ、月の衛星軌道に乗せ、アポロの着陸候補地点を中心に、上空から広く調査した。この写真撮影では解像度をあげるために、一度写真フィルムに写し、それを化学的現像し電送するという手段も利用している。その結果、今までのゾンドやルナの写真を凌駕する、非常に鮮明な画像を入手することとなる。また、月の重力場や月の微流星、放射線の状態も調べている。

このサーベイヤーとルナ・プロスペクターは平行して進められ、サーベイヤー2号が軌道修正に失敗したのと、4号が着陸時に微調整ロケットの故障による失敗以外がすべて成功に終わった。

サーベイヤー5号では月の岩石も調べ、土には酸素85%、珪素18.5%を含み、地球の玄武岩によく似ていた。またサーベイヤーシリーズの最終機である7号ではチョコ火山

の近くの山岳地帯(西経11.37度・南緯40.87度)に軟着陸した。ここは地球から見ると、もっとも明るい光条の中心部であったが、写真ではただの荒涼としているだけで、明るく見える原因はわからなかったという。

またルナ・オービター計画も5機すべて成功し、アポロ着陸候補地を10ヶ所から5ヶ所にしぼり、また月面の表裏を一貫した地図を作成した。

また、ソ連では、ルナ12号が66年10月に打ち上げ、初めてテレビ装置を使って写真を撮った。続く13号では科学測定を行い、月面の地表物質は地球のものより軽く、上空から降るさまざまな粒子のうちの約25%を反射していることなどを調べている。さらに14号を68年4月に打ち上げ、データを送ってきた。内容はアメリカとほぼ同等だったというが、画質には多くの課題が残ったようである。

またソ連は68年にはソ連はゾンドシリーズも3機打ち上げている。そして、ゾンド4号からは月への軌道上にある放射線、流星塵、高エネルギーの第1次宇宙線等の本格的観測を開始し、同時に人間の乗る宇宙船に応用できる誘導技術を確立するため、月の周回後、地球で回収するといった、航空力学的実験にも取り組んだ。これらは、後のルナシリーズに反映されているようである。

この計画では5号で成功しインド洋上で回収された。また6号はインド洋上の大気層でジャンプさせ、減速し、ソ連領内で回収されている。この5、6号には亀や蠅などの小動物やテープレコーダーが搭載され、月から音声を送る実験も行われた。またゾンドは69年に7号、70年にも8号を打ち上げ、回収に成功し、この計画は終了した。

60年代は非常に宇宙開発にとって面白い10年であったと思われる。アポロ計画に関しては、次章に別枠としてあるので、あえて避けるが、アメリカはアポロ計画遂行のために、さまざまな開発をそれぞれ、ゼロから開始する。それに対して、ソ連も無人月探査を中心として、アメリカ以上に多くの探査機を打ち上げている。基本的には今の宇宙開発の基礎はこの10年で確立されているといっても過言ではない。しかし、逆に言ったら、40年前から宇宙開発は大きく変わってはいないということであるかもしれない。60年代、アメリカは人類の夢を達成したが、今の人類にとって宇宙開発に対する夢とはなんなのだろうか。確かにひとつは国際宇宙ステーションかもしれない。21世紀に入りつつある現在、宇宙開発にも新たな風が欲しいところである。

<アポロ有人月探査計画>

アポロ探査計画はアメリカ国民だけでなく、人類にとってのひとつの希望であり、夢であった。ケネディー米大統領は60年代の内に人類を月に送るという宣言をしていたが、それまでには多くの苦難があった。アポロ1号での火災による宇宙飛行士の死亡事故もひとつである。

そして、サーベイヤー7号が打ち上げに成功し、すべての準備計画が終了したのはすで

に68年に入っていた。2年以内に人類を月に送るべく、準備は念入りに、しかし超特急で進められた。こうして、60年代最後の夏、1969年7月16日に人類初の月面着陸を目指し、アポロ11号が打ち上げられる。そして21日、アポロ11号月着陸船は予定着陸地からはずれたものの、静かの海(北緯0.41度・東経23.26度)に着陸、地球の多くの人が見守るなか、とうとう人類は月へと降り立つ。

アポロ11号では21時間の月面滞在中で、約21kgの月の岩石を採取し、その一部をその場で、密度の測定、気体に対する反応、鉱物学的性質、放射線スペクトル法による化学分析、有機炭素の総量の分析、X線回折の性質、寿命の短いアイソトープの測定などを行っている。また、受動的地震計(PSES)、月の運動を調べるためのレーザー光線反射板(LRRR)、太陽成分実験装置(SWC)を展開。なお、SWCは地球に持ち帰っている。そして、120枚の写真をとって24日に帰還している。

続く、12号は69年11月に打ち上げられ、嵐の海(南緯3.11度・西経23.23度)に軟着陸した。そこは、サーベイヤー3号が軟着陸した地点から163mという至近距離である。31時間の月滞在中に、約80kgの岩石の採集のほか、サーベイヤー3号まで歩いていき、その写真を取り、一部を持ち帰る。また、その途中に、様々な科学的観察やサンプル採取を行った。アポロ月科学装置(ALSEP)を月面に展開している。そして、12号では数種類の病原菌を持っていったが、あるものは死滅し、またあるものは月旅行の結果強力になったということが判明している。

13号は70年4月に打ち上げられたが、2日後に第2酸素タンクが破裂、第1酸素タンクからもゆっくりと酸素が漏れ始める。その結果、燃料電池の電圧低下による、電力不足までおこるといふ、宇宙開発史上かつてない、危機的状態におちいる。

当初の計画は失敗したものの、地上管制センターと宇宙飛行士の機転と連携により、無事帰還できた。そういう観点から見れば、この13号は成功だったのかもしれない。

次の14号は70年4月に打ち上げられ、フラマウ口高地(西経3.40度・南緯17.27度)に軟着陸。33時間の月面滞在中で、42.8kgの岩石採取などを行った。

15号は71年7月に打ち上げられ、ハドリー・アペニン山脈(北緯26.6度・東経3.39度)に軟着陸。67時間の月面滞在中には、月面車を利用して、28kmを走り、合計76.7kgの岩石を採取した。

16号は、72年4月に打ち上げられ、デカルト・ケイリー地方(北緯8.59度・東経15.30度)に軟着陸。やはり、月面車を使用し、27kmを走破し、岩石を94.3kgを採取したほか、遠赤外線/スペクトルスコープを使用した、初の恒星撮影も行われた。

そしてアポロ17号は、タウルス・リトロ地方(北緯20.9度・東経30.45度)に軟着陸し、75時間の滞在中に、月面車で36kmを走破し、110.4kgの岩石を採取した。また、そのときにオレンジ色の土を発見したが、これは、ガラス玉主体の古い石だとわかった。

アポロ計画は、予算の問題もあり、この17号で終了となる。しかし、この計画は多くの成果を残した。たとえば、アポロの持ち帰った岩石から次のようなことがわかっている。

月そのものの年齢が約45.5億年であるのに対して、海に多くある、玄武岩の固化年齢は、約31.5億年から約37億年、また陸の斜長石の固化年齢は約38.5億年から約40.5億年となっているということである。このことから、あとから陸ができたということや、月の火山活動が31億年前まで行われていたということである。

また、月に設置された地震計から送られてきたデータは地球では見られないような変わった形のものとなった。それは地震が突然始まり、その振動が長く続くのである。これは、月の表面層が不均質なために、地震波の散乱によるものであろうということである。

アポロ計画の残したものは科学的な成果だけではないだろう。人類の可能性をも示唆したと思う。当時、今のようにパソコンなど、一般にはまったく普及せず、携帯電話もない時代。そのような時代でも、その気になれば、他の天体まで行くことができるのである。アポロ17号が最後に月に到達してから28年。当時に比べて格段と技術進歩はしたが、まだ、人類は再び月の土地を踏むことはできない。今現在足りないものは、それが必要かどうかは別問題として、宇宙開発に対する人類共通の夢なのかもしれない。

< 1970年代 >

70年代は、もちろん、まだ、アポロ計画は継続中であるが、ソ連でも月探査を行っている。ルナ17号が70年11月に打ち上げられ、雨の海に軟着陸し、初の無人月面車ルナ・ホート1号を使い、調査が行われる。70年代に、ルナシリーズは全部で7回成功し、月周回軌道に2機、月面調査2機、そして、無人で月の岩石を採取して帰還した。無人でサンプルリターンをするためには、月に軟着陸したあと、再度離陸し、正常軌道を通り、地球に帰還しなければならないのだが、ほとんどを自動化したということであろう。そのように考えると、ソ連の無人探査技術は非常に高いものがあると想像できる。

そして、76年のルナ24号でルナシリーズはすべて終了している。

< 1980年代 >

80年代はアメリカ、ソ連ともに金星等の惑星探査に向かい、月には探査機は1機も打ち上げられていない。しかし、月に関心がまったくないということではないと思う。月にはすでに、非常に多くの探査機がすでに打ち上げられており、限られた研究費では、他天体の方に関心が向くのも当然であろう。

< 1990年代 >

90年代に入ると、日本が初の月探査機、MUSES-Aを90年1月に打ち上げた。

これは、将来の月・惑星探査計画に必要な技術の習得と確立のために、月のスイング・バイ技術、それに伴う軌道の精密標定・制御の高精度化などの実験、ダストカウンターによる地球・月間空間の宇宙塵の計測などを行っている。

また、アメリカは94年にクレメンタイン1号を打ち上げた。このクレメンタイン1号の最大の発見といってもいいと思われるのは、月の南極に氷がある可能性が出てきたことであろう。そして、さらに詳しい調査を行うために、98年1月にはルナー・プロスペクターを打ち上げ、月の地質構造・磁場・重力場分布などとともに、1年以上かけて、調査を行った。残念ながら、月の氷の可能性について、さらなる発見はなかったが、今後の調査に期待するところである。そして、これらの偉大なる発見が、きっと、新たなるステップの大いなる一歩となるはずだからである。

第3章 今後の探査計画

以下は、「スペースガイド2000」に掲載されている、主な惑星等の探査機の計画を載せる。ここに掲載されたものは、あくまで予定で、変更される可能性がある。

年・月・日	探査機名	国名	目的地	備考
01・03・30 04・10	マーズ・サーベイヤー2001 オビター-3月 ランダ-4月	USA	Mars	
02	LUNAR - A	JPN	Lunar	
02	MUSES - C	JPN	Asteroids	
03・01	ロゼッタ	ESA	Comets	
03	マーズ・サーベイヤー2003	USA	Mars	
03	マーズ・エクスプレス	ESA		
04	SELENE	JPN	Lunar	
05	マーズ・サンプルリターン	USA	Mars	
未定	クレメンタイン2号		Lunar	

今後の予定の中で、月が3回、火星が4回、彗星・小惑星が2回。また、月探査の内の2回は日本であるということに、着目して、考えてみると、宇宙開発における、今の中心は火星にあるとわかる。しかし、月の氷の謎など、まだまだ、月は探査するに尽きない天体であると思われる。今後、更なる探査を期待すると共に、宇宙ステーションの次のステップとして、月基地の計画を具体的に考えていって欲しいと思う。

第4章 月面基地計画における提唱

これまでの歴史から推測するに、今後、ますます人類は宇宙へとその活動領域を広げていくであろう。その足がかりのひとつとして、現在、国際宇宙ステーション(ISS)を建設し、宇宙で常に人が活動しているという新たな時代を迎えた。ISSのすばらしい点は、いままでより、さらに多くの世界各国の協力のもとに運営されている点であろう。い

ままで、長い間対抗しつづけていた、アメリカ・ロシアが協力し、他の先進国も加わった宇宙開発体制は歓迎すべきことだと思う。

これからの宇宙開発においては、ISSを中心とし、月へ、そして、火星へとその活動範囲を広げていくであろうし、科学的探究心と、夢、そして、エネルギー問題等、多くの理由から、進出していくことを期待している。そして、自分達の住む地球を見つめなおすためにも、宇宙へ出て行って欲しいと考えている。この章では、前書きが長くなったが、ISSの次の大きなステップとして考えられる、月面有人基地について、私なりの将来構想をまとめてみたい。

月面環境は、すでに、多くの探査機や、アポロ計画による、人類の目からも多くの調査がなされているが、簡単に以下にまとめてみる。

- ・ 空気がない(高真空状態)
- ・ 上記理由より、放射線、ガンマ線等、宇宙線と呼ばれる多くの有害線が多くある。
- ・ 昼と夜の寒暖差は約300度
- ・ 月面上には、レゴリスという、様々な成分を含んだ、石が多数存在する。
- ・ 月の自転周期と公転周期が等しい。
- ・ 最近の調査結果より、月の南極と北極の永久影に水がある可能性がある。
- ・

月面基地を建設するにあたっては、これらの特徴を生かした、最適なアイデアが必要である。マイナス面を残しておくことは、有人基地においては、致命的であるし、プラス面をうまく生かすことで、コスト削減等ができる。

以上の点を踏まえて、月面基地の構造を検討した結果、山に横穴を掘り、その中に円筒形の基地を作成するとよいと考える。

この基地案では、まず第一に、人体に有害な宇宙線のかなりの量を岩盤で遮断できるということであり、岩盤は月へ落下する隕石等の衝突からの防御効果もある。また、月の昼と夜の寒暖差は約300度であるといわれているが、基地穴では、超低温ではあるが、常に一定であるため、基地材料の劣化や機械の保守、基地内の温度維持などの点で、メリットも大きい。

この基地は、比較的拡張がしやすいのも特徴であろう。基地穴を広げ、モジュールを接続するだけで、拡張ができるし、月内部の地質の調査も容易にできるようになるであろう。

この基地穴の初期サイズは横15m、縦6m、奥行き15m程度のもので、その中に、直径4.6m、長さ10m程度の円筒形で、下に移動用車輪をつけ、両端にドッキング機構を側面および、正面に計3箇所保持する、モジュール(基地構成要素)を3個(居住区

1 基、探査・実験・生命維持機構 2 基) コの字型に設置。コの縦棒の部分を奥に置き、基地穴の外側の 2 基にはエアロックを搭載する。

また、基地穴の外には、太陽電池パネル等のエネルギーシステム、通信システム、天体観測機器などを展開、配置する。また、基地内での、必要電力は、太陽電池を利用するものとし、夜など、発電できない期間は、水素 酸素の燃料電池を利用できれば、一番よいと考えられる。燃料電池があれば、太陽電池の余剰電力を比較的効率よく、蓄えられるほか、非常時の飲料水利用や、酸素も利用できる。

これらのタンクは、別に保管用の穴を建設し、その中で保存することにより、液体化を容易にできれば、保存に必要な電力を節約できるだろう。

上記のような概略をもとに、基地建設の候補地の条件としては、最低限、次のようなことが考えられるであろう。

- ・ 連絡などの簡易性から考えて、月の表側がよい。(また、人が宇宙に出るとき、地球を見ることで、心理的に安定し、落ち着くということなので、そのような意味でも、宇宙飛行士の仕事効率などを考えても表側の方がふさわしいと考える。)
- ・ 山のふもとでかつ、資材船や、モジュールなどの軟着陸スペース、太陽電池パネル等の大規模な設備を展開しても、作業に支障や危険が生じないような広い平地があること。(このような観点で考えると、月の海の端はよいかもしれない。)
- ・ その平地に太陽光線がベターな状況で照射されること。
- ・ その地区一帯の岩盤が頑丈で、落盤等の危険性がないこと。
- ・ (もし、近くに水の層があれば、最高である。)

などが挙げられる。

次に、その基地を建設する手順は、以下の 4 段階である。

< 第 1 段階 >

基地建設候補地の最終決定を行う。その際、コスト削減の意味からも、アポロ計画などに使用された、既存の資料をできる限り使用し、最終候補地には、地質調査を中心とした、人が、生活する上での安全面中心の調査を行う。

< 第 2 段階 >

基地穴建設のために 2 機以上の無人口ボットの作業機を送り込む。これは、基本的に小型の掘削機、および、土砂運搬用のショベルをそれぞれ搭載した車両部と、常時地上の管制と連絡を行う通信部、車両部等の充電のための太陽電池パネルを有するエネルギー部の 3 ブロックに分けられており、作業は車両部のみが独立して行う。

このようにして、基地穴を建設し、地上では、基地穴の完成を待つ。また、車両部は、

簡易の改良で、定住後の月面車として利用できるようにしておくと、効率はよくなるであろう。

< 第3段階 >

基地穴の完成後、次は基地建設用の資材運搬である。各種モジュール及び、通信・エネルギーシステムなど、初期段階の有人基地として、必要な資材を輸送する。なお、基地穴完成後に輸送する理由は、基地穴の安全を確認するため、しばらくのインターバルをおく必要があると感じたからである。

また、少し遅らせて、数人の人間を送り込み、それぞれの資材を、第2段階で使用した作業ロボット等を利用し、計画どおり、基地を完成させる。

宇宙飛行士の負担を少しでも軽くするため、できる限りの作業を自動化させ、宇宙飛行士を伴った作業を短期間にし、早く基地内で生活できるようにする必要があるであろう。

< 第4段階 >

本格的に、宇宙飛行士を数人送り込み、半年から1年程度の交代による、基地運営を開始する。

第1段階開始から、ここまでの行程で約3年間は必要と考えているが、もちろん、基地モジュール等の設計や作成にさらに多くの時間が必要であろう。

また、第4段階以降、様々な実験を行うと共に、基地穴及び、基地本体の拡張工事を行うものとし、規模を拡大していくものとする。

最後に、月の開発が、人類の平和と、躍進へとつながることを期待している。

最後に

今回、月開発の過去から未来までをみてきたが、我々のすぐそばにある、天体であるからこそ、近年では、ないがしろにされる傾向にあるように思われる。しかし、逆に、すぐ近くにあるからこそ。そして、人類が一度到達した、土地だからこそ、開発の可能性が出てくるのではないだろうか。まだまだ、未熟な人類としては、ここで、着実に一步を踏み

しめて行って欲しいところである。

私自身、どこか、別の天体にいけるとしたら、真っ先に行くのは月だろう。それは、具体的な理由というより、それだけ、我々に密着した存在だからではないだろうか。私は、月にいきたいし、人類の新たな拠点として、月が選ばれる日を待ち望んでいる。

その日を待ちつつ、今、その月を夜空の中に眺めながら、このレポートを書き終えることにする。

そして、最後に、今回ほんとうにたくさんの友人に支えられて、このレポートを書き上げることができたが、特に最終章の提唱は、より科学的に書きたいという野望もある。これからの大学生活の中で、是非、ひとつの大きなテーマとして、がんばっていききたいと思う。

< 参考文献 >

月への歩み	橋本 勇	光風社書店
月の科学	竹内 均	
	久野 久	
	伊佐 喬三	NHKブックス
新版 月の科学	竹内 均	
	伊佐 喬三	NHKブックス
NASA物語		
SPACE NOTE '98		
スペースガイド 2000		
NASDAホームページ		

他