

次期月着陸計画SELENE-2の着陸地点検討

佐伯 和人¹，荒井 朋子²，荒木 博志³，石原 吉明³，大竹 真紀子⁴，
唐牛 譲⁴，小林 直樹⁴，春山 純一⁴，杉原 孝充⁵，本田 親寿⁶，
佐藤 広幸⁷

(要旨) 日本の月探査計画SELENE-2は、コミュニティの総意としての理学探査目的を含むプロジェクトとなるために理学目標を定め、それを踏まえた工学設計を決定するために、理学研究者によって構成された組織による着陸地点の選出を必要としていた。この必要を満たすためにSELENE-2着陸地点検討会は組織され、1年半に渡って運用されてきた。多分野横断の検討組織の運用はそれ自体、日本の宇宙探査史上で初めての試みであったと言える。本稿では、現時点の着陸地点候補地を紹介すると共に、組織はどのように運用され、その成果はどのようなものであったのか、うまく機能した点や問題点はなにかを今後のSELENE-2計画の発展と同種の活動の一助となるようにまとめる。

1. 検討会設立の経緯と、設立時の目的

日本の次期月着陸探査計画SELENE-2は、2010年台半ばの打ち上げを目指して宇宙航空研究開発機構において計画されている。目的は、(1)着陸・移動・長期滞在技術の開発と実証、(2)月の科学探査と月の利用可能性調査、(3)国際貢献と国際的地位の確保、の三点である。月の表側、中・低緯度地域への着陸をめざしており、着陸機、ローバー、周回衛星から構成される予定である[1]。SELENE-2プリプロジェクトでは、重要で共通性の高い基盤技術や実現にむけた難易度が高いと考えられるテーマについてサブチームを作って検討を行っている(EMC検討チーム、月面サバイバル検討チームなど)。そこで、SELENE-2ミッションの意義について根幹に関わるテーマとして「着陸地点検討チーム」をサブチームとして設立することになった。サブチームは通常プリプロジェクトの傘下として活動を実施するが着陸地点検討は探査によって得ら

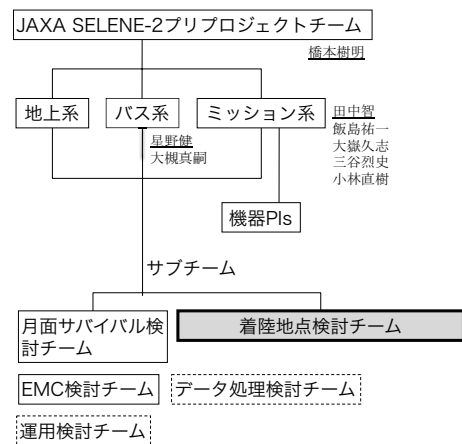


図1：SELENE-2プリプロジェクト組織図。

れる科学成果などに直結する問題であり、各搭載機器提案者以外からも広く意見を集めるべきということで、本検討チームは他のサブチームとは異なり、プリプロジェクト傘下にあるのみでなく、将来別途独立して設立する「SELENE-2サイエンスチーム」の下にも位置づけることとした。このサイエンスチームはもっと広く門戸を広げて、SELENE-2の科学目標の一層の充実、初期成果後(一般公開後)の日本の月科学の推進体制の構築を目指すことに貢献していただける方を募る予定である。2010年3月に宇宙科学研究所にて月着陸

1. 大阪大学
2. 千葉工業大学
3. 国立天文台
4. 宇宙航空研究開発機構
5. 海洋研究開発機構
6. 会津大学
7. アリゾナ州立大学
ksaiki@ess.sci.osaka-u.ac.jp

地点検討会議を開催し、「かぐや」計画関係者や、これまでSELENE-2の搭載機器提案を提示しているグループを招集した。そして、その場で着陸地点検討会がSELENE-2プリプロジェクトのサブチームとして発足した。組織の位置づけを図1に示す。本検討会議の役割は、月惑星科学における第一級の課題解決のため、SELENE-2探査が目指す科学目標を明確に設定し、目標達成のためにはどこに着陸し、どのような戦略で観測を行うべきかについて議論・提案することである。検討会議当日、提案とりまとめなど、会議運営の諸作業を行うコアメンバーをその場で自薦他薦によって選出した。その後、5月に行われた着陸地点検討会コア会議(以下コア会議)までにコアメンバー人員を確定し、その時点のコアメンバー内での選挙によって主査が選出された。コアメンバーは本稿の著者で、第1著者が主査である。設立時の着陸地点検討会の具体的な目的は、長期的には、当時SELENE-2搭載機器提案グループやその他から多様に提案されていた着陸地点候補を収束させるために情報収集整理をし、着陸地点を収束させることであり、短期的には、同年9月に予定されているSELENE-2のシステム要求審査(System Requirement Review ; SRR)までにSELENE-2のモデル計画書を作成し、SELENE-2提案が実現に向けて次の段階に速やかに移行することをサポートすることであった。

2. 提案募集と統合化の経緯

着陸地点検討の活動のあらましを述べる。まずはじめに、サイエンステーマ・着陸地点提案応募告知を2010年6月2日に行った。応募の方法は、前述の目的のために、以下の6項目を記載したA4用紙1枚程度の提案書を提出することであった。項目は(1)サイエンステーマタイトル、(2)提案者リスト、(3)着陸候補地点、(4)サイエンスの目的・重要性、(5)観測機器、(6)取得データである。基本的な資料としては「SELENE-2科学提案書(抜粋版)」を希望者に配布する形をとったが、同提案書に影響を受けず、自由な発想で本当に大切なサイエンステーマを考えていただきたいということで、制約条件としては、表側の中低緯度地域への着陸探査であることと、着陸機とローバーで構成された計画であるということ以外は特に求めなかった。呼び

かけの範囲は、日本惑星科学会、日本鉱物科学会、日本地球化学会、日本地震学会、日本測地学会、「かぐや」サイエンスメンバーで、呼びかけのメールは興味のある研究者に自由に転送してよいという方式をとった。

締め切りの設定は6月14日であった。これは、募集内容の複雑さからすると、あまりにも短い期間であると言えるが、当初は2010年9月に行われる予定であったSRRまでに結論を出すという目標があったため、作業期間の逆算からやむなく設定した。なお、SRRとはシステム要求審査のことで、この審査に認められることで、プロジェクトの方針が承認されたことになるが、そのためには探査機や搭載機器の構成をほぼ決めておく必要がある。その後、システム定義審査(SDR)を経てプロジェクト移行審査で認められることで正式なプロジェクトに移行する。この時点で搭載機器構成は確定する。その後、基本設計審査(PDR)、詳細設計審査(CDR)を経て、実際の開発が本格的に始まることになる。

当初のSRR、SDR、CDR対応予定は以下のようなものであった。「8月20日のSRRの準備説明会までに[1]現時点のモデルパイロードで出されている着陸地点候補を整理する。[2]全体サイエンスを考えたトップダウン的な検討を進める、という作業を並行して進め、SELENE-2が目指すサイエンスの優先度を議論し、それに伴う着陸地点を複数挙げる。候補に挙がった各着陸地点について、現在のモデルパイロードで期待できる科学的成果の整理と評価を行う。そして、上記[2]はSRR後も継続検討とし、2010年12月末までに着陸地点について科学的観点からの複数候補を作成する。これを受けたシステム検討を2011年1-2月に実施し、2010年度末に予定されているSDRに備える。さらにCDRまでに着陸までのバックアッププラン含めた着陸地点を決定する。検討チーム存続期間はSDRまでとし、その時点の状況に応じ存続するか、もしくはチーム構成の変更などを議論する。」

2010年6月14日の締め切りを予定どおり迎え、21グループから、35件の科学テーマと約70箇所の着陸地点の提案が寄せられた。6月15日に作業のためにコアメンバー用のメーリングリストが開設され、コアメンバーによる活発な議論が始まった。また、この時点から、ほぼ毎週、コアメンバーによる会議が行われることになる。会議は、宇宙科学研究所他の施設に集合

できる場合は集合し、集合できないコアメンバーはテレビ会議システムで参加するという形で行われた。2010年6月当初は、どのような着陸地点を推薦すべきかという方針が話し合われた。そして、以下の3つの案が提出された。(案1)最大成果地点案:多くの機器が成果を出せる、あるいは多くの科学テーマが実現できる地点が優先度が高い。(案2)テーマ一点集中案:実現できる科学テーマの数ではなく、たとえ1テーマでも科学的に意義の高い地点が優先度が高い。(案3)最大公約数案:必ずしもその場所が最適でないケースも含めて、できるだけ多くの提案やテーマを網羅する地点を考える。どの案にするかは意見がまとまらなかったが、いずれにしても、「最大の科学的成果が得られる地点を選ぶ」ことを目指すことでは意見が一致した。そして、これ以降、「最大の科学的成果」の考え方が議論の対象となる。

2010年7月は、提案者の提案意図を確認するための提案者への質問整理を行った。そして、7月25日に着陸地点検討会の全体会議用のメーリングリストを立ち上げ、SELENE-2に関心のある研究者を随時登録して検討会メンバーとする体制を整えた。最初に登録された検討会メンバーは、「提案者+SELENE-2着陸地点検討会議(3月19日@宇宙研)出席者+提案募集のメールに対して、経過を知らせて欲しいと要求のあった研究者」である。このメーリングリストのメンバーを以下「検討会メンバー」とする。同時にコア会議の方で、検討会メンバーに検討の進捗状況を限定公開する情報サイトを立ち上げた(以下、「全体会議サイト」と呼ぶ)。全体会議サイトに、全ての提案書と、提案者に対する質問事項を掲載し、提案者から回答を電子メールで送付してもらうことで、提案の詳細を確認した。

また、この当時は平行して、技術的実現性の高い提案機器でのモデルミッションをつくらうという活動があった。特に7月の中旬は技術的実現性優先のミッションとサイエンス優先のミッションを平行して組み立てようと試みていたが、募集したテーマが技術的実現性に縛られないということを前提としたものであったため、後日、徐々に技術的実現性優先で先にモデルミッションを組み立てるべきではないという意見がコアメンバーの多数を占めるようになる。一方で、全ての着陸地点・科学提案で一つ一つモデルミッションを組み立てて詳細検討することは時間的に不可能であるの

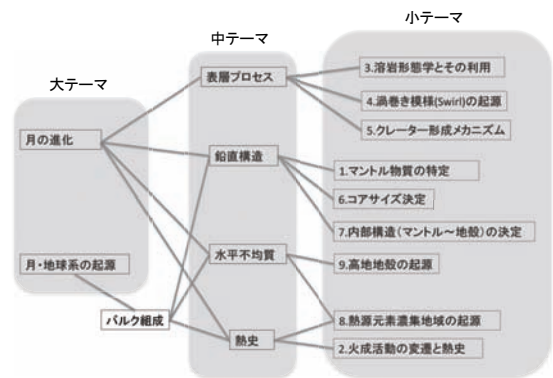


図2：着陸地点科学テーマ関連図。

で、着陸地点・科学提案を絞るためにも、着陸地点を整理分類する作業が行われた。8月3日には、それぞれの提案を10個のテーマに分類した。以下これらを小テーマと呼ぶ。10個の小テーマはそれぞれ(1)マントル物質の特定、(2)火成活動の変遷と熱史、(3)溶岩形態学とその利用、(4)渦巻き模様(Swirl)の起源、(5)クレーター形成メカニズム、(6)コアサイズ決定、(7)内部構造(マントル～地殻)の決定、(8)熱源元素濃集地域の起源、(9)高地地殻の起源である。さらに、これらが組み合わせられて、月科学の最重要課題となる「太陽系初期における月・地球系の形成過程の解明」および、「集積後の月の水平垂直構造の進化過程の解明」の二大テーマへつながると分析した。これらテーマの関連性を図2に示す。

ここまで整理してから、着陸地点の絞り込み作業を開始した。まず、8月24日～31日にかけて、SELENE-2の前提条件を満たしていなかったり、提案の前提に大きな論理の飛躍があるような提案を選び出し作業対象から除く第一段階フィルター作業を行った。フィルターにかかったのは3提案であるが、ここで留意したのは、除かれる提案は単に今回のSELENE-2の企画の枠に不適合というだけで、提案者は貴重な月科学研究者人口を増やす協力者であるという認識である。提案とともに、提案者の月探査への関心も失うことがないように、フィルター候補にあがった提案者には個別に連絡を取り、事情を説明し、今後も検討作業に参加いただけるよう願った。また、この時点で、実現性に乏しいと言うことで辞退した提案も1件あった。

残った着陸地点に関しては、図2のテーマ関連図を

活用し、テーマの被覆率が高いものをより良いサイエンスができる着陸地点という評価にしようという方針で絞り込みを行うことになった。科学提案には同じ場所で両立しないものが多いが、その調整を行うことも着陸地点検討会の使命であると考え、一つの着陸地点で2大テーマにつながる科学データを可能な限り多角的に取得できる着陸地点を選びたいという意識である。一方で、テーマ被覆率は低い、少ない種類のデータでも2大テーマを大きく推進するものについては、落選しても再度立候補できるシステムも準備した。そのような調整が難しいテーマ・着陸地点に関しては、検討会が運用デザインに協力しなくても最終検討の評価リストに提案者のアイデアのままで同列に比較可能であると考えたためである。同種のサイエンスができる場合は、より被覆率の高い着陸地点に吸収併合していき、被覆率が低いままの着陸地点は着陸地点候補からはずしていくという方針で絞り込み作業を続けた。

9月になって Δ (デルタ)MDR(ミッション定義審査)を行うことになった。MDRは3年前に終了していたのであるが、当初は表面探査ミッションとして企画されていたSELENE-2が、現在では月内部の物理探査も含む可能性がある内容に変わって来ているということで、デザイン修正分に関する審査をする必要があるという説明であった。また、3年の間の情勢の変化、すなわち米国コンステレーション計画のキャンセルや、月探査に関する懇談会の検討内容、JAXA予算の削減なども考慮すべしということであった。9月時点では、 Δ MDRを9月中旬に行い、SRRを10月中旬以降に行う見込みであった。結局9月中旬は Δ MDR説明会となり、1ヶ月程度の審査員による評価を経て本審査会が2010年10月20日に行われた。審査会では、月科学・月利用の両面で世界で第一級の課題を解決することがあらためて強く求められた。また、コスト削減要求が厳しくなり、プロジェクトを絞り込む必要性が強く要求されるようになった。着陸地点の決定と、サイエンスの絞り込みや相反テーマの整理がいっそう重視されるようになると共に、予算の実現性の見通しをつけてからSRRを行うべきであるという見解から、年度内にSRRを行うことは難しいという判断となった。

これを受けて、これまでの検討会の方針とはやや異なる絞り込んだデザインも意識する必要が強まってきた。一方で、提案書募集の際、搭載機器の技術的実現

性に左右されずに科学テーマ優先で発想することを求めているため、絞り込みに搭載機器の技術的実現性を入れることに当初よりあったコアメンバーの大多数の強い抵抗感がいよいよ顕在化し、今後の検討において難航が予想された。そこで、11月9日のコア会議では、着陸地点検討会からは、科学からの要求をあまり制約のない状態で示し、プロジェクト側からの制約で縮退するという形式を取るという方針に変更した。この時点で、2010年3月-4月に搭載機器の絞り込みをすることを目標とすることに再設定した。

絞り込みの方法は大きく変えずに作業を続け、1月中旬には、検討会が選んだ多角的なテーマが可能な着陸地点として、Copernichus(or Aristarchus), Hansteen Alpha, Marius Hills, 場所にあまり制約されない物理探査ミッションの4種の着陸地点(=サイエンステーマ)が選ばれ、テーマ被覆率が低い復活希望があった着陸地点として、Zucchius, Apollo着陸点, Reiner Gamma, 縦孔構造, Tycho(or Atlas), Inaの6種が浮かび上がってきた。それぞれにレビュー担当者を決めて情報を整理し、2011年1月27日に国立天文台三鷹キャンパスにおいて、上記の着陸地点のレビュー発表会および質疑応答を行った。その場で復活提案を改めて募集したが、その後は復活提案はなかった。

SELENE-2には、広範な分野の学会から提案が集まっているために、異なる分野の科学提案の意義をお互いに理解し、比較検討することには困難が伴う。そこで、全体会議を契機に着陸地点レビュー発表スライド等、資料を閲覧できるサーバーを整備し、検討会メンバーが各着陸地点についての情報を共有できるしくみをつくった。なお、このサイトは、検討会メンバーにのみの限定公開としている。理由は検討用のレビュー資料には一部論文未発表のアイデアやデータが含まれているため、アイデアやデータの提供者には、着陸地点検討のための限定目的で使用許可を受けているからである。ただし検討会メンバーには月科学に関心のある研究者であれば誰でも入ることができるので、検討会での議論の透明性を確保しつつ、アイデアやデータの提供者の権利を確保できる境界領域での運用という形となっている。この時点で全体会議を2011年3月17日に設定し、そこで最終的な質疑を行った後に着陸地点の評価投票を行うことをめざしてメーリングリストで議論を進めて行くことになった。2月16日にコアメン

表1：着陸地点レビューに対する評価項目とその内容説明。

	採点項目	詳しい説明	採点基準
1	大テーマ(月-地球系の起源、月の進化の解明)へ大きな影響をもたらすか？	二種類の大テーマのいずれか、もしくは両方に結びつく度合いを評価するために、SELENE-2で得られる結果が、大テーマにかかわる月形成モデルをどの程度変更する影響力があるかを評価します	5: 良い 3: 普通 1: 悪い
2	目的と提案観測項目のつながりの明確性	予想されている成果が、観測予定のデータから論理的に組み立てられるようになっていのかどうかを評価します	5: 良い 3: 普通 1: 悪い
3	一般国民へのキャッチーなセールスポイントがあるか？	ふだんは探査など全く興味のない人達を振り向かせるような、キャッチーでわかりやすいセールスポイントやキャッチコピーがあるかを評価します(キャッチコピーは着陸地点レビュー文書のタイトルになっています)	5: 良い 3: 普通 1: 悪い
4	理科好きの中高生の興味を惹くか？	探査内容がある程度理解しようと思ってくれている層に対して、サイエンスの魅力を伝えられる内容になっているかを評価します	5: 良い 3: 普通 1: 悪い
5	観測データを解釈するための作業仮説の確からしさ	どの計画も、着陸地点の状況や、とれるはずのデータの種類や精度を推測で書いてあります。その推測は、過去の研究で得られた知見から組み立てられているはずですが、その推測過程や前提が妥当なものであるかを評価します	5: 国際誌に掲載されており研究者の大半に受け入れられている 3: レビューされて国際誌に掲載されている 1: 根拠がない
6	比較惑星科学における重要性、位置づけが明確に書かれているか？	他の宇宙科学探査計画も多数提案されている中で、月にしか興味のない計画では、賛同者を集めることができません。大テーマよりも、もっと広い比較惑星科学の視野で計画を見たときに、アピールする内容であるか、すなわち他の天体や太陽系の起源や進化に新たな知見を提供できる成果を達成できるかどうかを評価します	5: 良い 3: 普通 1: 悪い
7	何故、提案地域なのか？ 着陸地点の選定理由の明確性	着陸地点によってできるサイエンスが異なるはずですが、なぜその着陸地点でないとダメなのか明確に説明してあるかを評価します	5: 良い 3: 普通 1: 悪い
8	運用プランに不備は無いのか？	とりまとめの経緯により、複数の提案が一箇所の着陸地点にまとまっています。レビューでは共存性のチェックも試みていますが、完全ではありません。複数の観測項目が並記されている場合、同一着陸計画として運用することに無理がある状況(観測場所が数km以上分散している。昼夜を前提としていない機器の観測時間が2週間を超えている。観測機器Aの運用が観測機器Bのデータを劣化させる。等)がないかどうかを評価します	5: 良い 3: 普通 1: 悪い

バーで着陸地点を評価するための模擬評価シートを作成して、2月22日までにコアメンバー内で模擬評価を行い、その過程や結果の検討を元にして、本番用の評価シートを作成した。表1に評価項目を掲載する。

このころから現在まで、着陸地点候補は10地点となった。10地点とはそれぞれ、Copernicus, Mare Humorum, Marius Hills, Hansteen Alpha, Zucchiuss, 縦穴, Reiner Gamma, Tycho, Apollo 14 site, Ina, の10箇所である。なお、場所を限定しない地物探査テーマは、当初は「広域 Broad area」という地点名を使っていたが、現在では、Mare Humorumに含めて議論することになっている。3月上旬には、3月17日の全体会議に間に合わせるように検討会サイト用のレビュー原稿を整備し、アップロードを行った。そして、評価投票を目前に控えた3月11日、東日本大震災が発生した。コアメンバーの半数以上が被災し、作業ができない状態となった。また、検討会メンバーの多くも被災していることや、余震などの影響が不明かつ東北地方の交通が混乱している状態で関東地方で集会を行うことは困難と判断し、3月17日に予定されていた検討会全体会議は再開日未定の延期とした。年度が明け、心配されていた地球惑星科学関連学会連合大会が予定通り開催されるということがわかった4月の中頃、全体会議の日程を6月14日に再設定して検討活動を再開した。5月12日から6月13日まで各着陸地点について

表2：着陸候補地点の緯度経度と簡単な説明。

着陸地点	緯度	経度	説明
Copernicus	9.7N	20.1W	熱源元素濃集地域のクレータ中央丘
Mare Humorum	24.4S	38.6W	物理探査に最適な位置と地質構造を持つ地域
Marius Hills	14N	54W	火山地帯
Hansteen Alpha	12S	50W	特異な地域
Zucchiuss	61.4S	50.3W	裏側に類する初期地殻の存在地域
Vertical hole (Marius Hill)	14.2N	56.7W	溶岩チューブを打ち抜いたと思われる縦穴
Vertical hole (Tranquillitatis)	8.3N	33.2E	
Reiner Gamma	7.5N	59W	異常磁場を持つ地域
Tycho	43.4S	11.1W	高純度斜長岩を含むクレータ中央丘
Apollo 14 landing site	3.6S	17.5W	アポロデータを参照利用可能な物理探査に適した地域
Ina	18.6N	5.3E	特異な地域
Broad area	—	—	物理探査に最適な位置と地質構造を持つ地域

全体会議メーリングリストで議論を続け、全体会議での議論の下地をつくった。

6月14日全体会議は宇宙科学研究所(相模原市)で行われた。それまでにレビュー原稿をダウンロードして事前検討できる体制を整えてあったことと、メールベースでの議論も2サイクルほど行えたことから、当日は再度レビュー発表をすることはせず、最初から議論中心で行った。それまでの議論の下地もあって、多分野にわたるテーマであっても活発な議論が繰り広げられた。ただ、用意した時間では議論は収束せず、搭載機器の性能の妥当性にいたっては、ほとんど議論の時間がない状態であった。議論が十分に行われたとは言えないが、検討会サイトの情報とメーリングリストの議論の範囲で、一旦評価に区切りをつけようということで、評価投票の期間を6月19日から6月27日まで取り、全体会後にコアメンバーが用意した評価シートに基

表3：着陸地点からみた搭載機器仕様要求.

観測項目	Copernicus	Tycho	Zucchius	Apollo14 site	Mare Humorum
地殻厚さ推定	着陸地点の地殻厚を決定し、月全球の地殻厚を精度10%で決定 (LBBS)		着陸地点の地殻厚を決定し、月全球の地殻厚を精度10%で決定 (LBBS)		着陸地点の地殻厚を決定し、月全球の地殻厚を精度10%で決定 (LBBS)
熱流量	熱流量(W/m ²)を精度20%で決定 (HFP)				熱流量(W/m ²)を精度20%で決定 (HFP)
核のサイズ、状態				2ヶ月に1回程度の頻度のA1深発月震で期待される振幅を観測 (LBBS)	月のlove数を精度1%で推定 (相対VLBI) コアマンタル境界扁平率等の物理量・従来の数倍の精度で推定 (LLR)
地下浅部構造	クレータフロアの垂直方向構造 (<10m), 空間分解能(<1m) (GPR)				深さ数kmまでの海表層の多重反射構造探査・周波数50Hzまでアポロ月震計の数倍～10倍の感度 (LBBS)
電磁探査	表面～深さ1000kmまでの電気伝導度・精度1桁 (LEMS)				表面～深さ1000kmまでの電気伝導度・精度1桁 (LEMS)
地質露頭の観察	転石のうちの場所の組織を観察すべきか決定、観測場所選定のための鉱物量比把握のため可視～近赤外波長域の8バンド以上 (ALIS/LMUCS)	転石のうちの場所の組織を観察すべきか決定、観測場所選定のための鉱物量比把握のため可視～近赤外波長域の8バンド以上 (ALIS/LMUCS)			
岩石組織の観察	地殻構成岩石の結晶サイズと配置を顕微鏡観測、輝石・かんらん石中のMg#絶対値±5程度で推定 (R-SIP/LUMI)	斜長岩中の結晶サイズと配置を顕微鏡観測、斜長石中の鉄量0.1wt%程度推定、輝石・かんらん石中のMg#絶対値±5程度で推定 (R-SIP/LUMI)			
Th (or K, U) 濃度の測定	中央丘由来の岩体、クレータ床のTh (or K, U)濃度を0-35ppmの範囲に対して±0.5ppmの精度で測定、FeO濃度を0-25wt%の範囲で±3wt%以上の精度で決定 (GNS)				
微量元素の測定					
主要化学組成の測定	Mg, Al, Si, Ca, Ti, Fe量を±5%精度で定量、主要元素の化学組成を相対精度10%以上で測定 (GNS, AXS, LIB-S2)	Mg, Al, Si, Ca, Ti, Fe量を±5%精度で定量、主要元素の化学組成を相対精度10%以上で測定 (GNS, AXS, LIB-S2)	Mg, Al, Si, Ca, Ti, Fe量を±5%精度で定量、主要元素の化学組成を相対精度10%以上で測定 (GNS, AXS, LIB-S2)		
火成活動					
表層環境					
	Copernicus	Tycho	Zucchius	Apollo14 site	Mare Humorum

着陸地点でのサイエンスの特徴を示すための最低限必要なもののみ表示してある。搭載機器ごとに仕様検討レベルの細かさが異なるので、本表ではどのような搭載機器が必要かイメージできる程度まで簡略化してある。()内の略号は、現在検討されている搭載候補機器のうちの仕様に近いものの名前。LBBS：広帯域地震計、HFP：表面地殻熱流量計、dVLBI：相対VLBI、LLR：月レーザー反射、LEMS：月電磁探査装置、LMUCS：マルチバンド分光カメラ（ローバ搭載）、R-SIP/LUMI：岩石表面研磨装置/マクロ分光カメラ、ALIS：眺望分光カメラ、GNS：ガンマ線・中性子分光計、AXS：X線分光計、LIB-S2：レーザーブレイクダウン分光計、GPR：地中レーザ、LDM：宇宙塵検出器。

づいて8つの評価項目について各5点満点の評価を御願ひした。結果、当時の検討会メンバー百数名中から、計45名の評価が集まった。7月7日に評価投票が終了した。

評価投票には各項目及各着陸地点に対するコメント欄もあり、検討会の報告書には、このコメントに対する答えを準備することにした。また、評価結果の検討会メンバー内公開について、氏名を明かしたくない方も複数いることがわかり、部分的に匿名にして公開する方法についての議論がなされた。評価結果については後述する。その後、2011年7月27日、28日に宇宙科学研究所においてコアメンバー合宿を行った。合宿の目的は、(1)着陸地点の評価結果の分析、(2)コメント欄の質問・意見に対するQ&A集の整備、(3)着陸地点から見た機器性能要求リストの整備を行うことであった。実際は、1着陸地点に半日以上費やす結果となり、多くの議論すべき課題を残した。そこで、あらためて、議論が複雑な地質探査系のテーマに関して、

コアメンバーだけでなく有識者の協力を得て8月30日に宇宙科学研究所において、地質探査検討会を行ってさらなる議論を行った。有識者による客観的な評価によって個々の科学テーマの問題点をより明確にすることができたものの、収束のためには単なる情報収集では間に合わない段階まで来ており、観測データを月の起源モデルに結びつける過程の基礎研究が不可欠であることが再認識された。

9月、10月は現時点の評価結果をまとめることに集中してコメントに対する回答の整備を行い、11月、12月に検討会活動に一段落をつけるためのまとめ作業を行った。着陸地点検討会の報告として、検討活動の経緯や評価結果の概略を本稿としてまとめ、検討会メンバーとプリプロジェクト用には、検討会議ウェブサイトにおいて、各着陸地点のレビュー原稿と着陸地点や評価項目に関するコメントのQ&A集をまとめた。検討結果の詳細をウェブサイトで閲覧したい読者は、本稿の著者に連絡し、SELENE-2着陸地点検討会のメ

表3(続き)

観測項目	Marius Hills	Ina	Hansteen Alpha	縦穴	Reiner Gamma
地殻厚さ推定		着陸地点の地殻厚さ: 精度10% (LBBS)	着陸地点の地殻厚さ: 精度10% (LBBS)		
熱流量		現在進行中の火山活動の有無を調べる。 熱流量 (W/m ²): 精度20% (HFP)	熱流量 (W/m ²) を精度20% で決定 (HFP)		
核のサイズ, 状態					
地下浅部構造	玄武岩溶岩の積層(上部玄武岩溶岩-下部レゴリス面境界)を観測できる程度で、数100m～数km程度地下にあるPlateau境界を反射面として観測 (LBBS)	地下数cm～数mの深さの構造を観測。レゴリスの厚さをローバーの移動とともに観測 (GPR)	クレータフロアの垂直方向構造 (<10m)、空間分解能(<1m) (GPR)	地下数cm～数mの深さの構造を観測。レゴリスの厚さをローバーの移動とともに観測 (GPR)	
電磁探査					地表の磁場を±1%精度でローバーの移動とともに計測 (LEMS)
地質露頭の観察	露頭の構成物質のサイズや形状、堆積構造を観測、分光により構成物質の鉱物種を識別 (LMUCS)	露頭の構成物質のサイズや形状、堆積構造を観測、分光により構成物質の鉱物種を識別 (LMUCS)	露頭の構成物質のサイズや形状、堆積構造を観測、分光により構成物質の鉱物種を識別 (LMUCS)	露頭の構成物質のサイズや形状、堆積構造を観測、分光により構成物質の鉱物種を識別 (LMUCS)	地表物質のアルベド、構成物質のサイズや形状を撮影分光によりOMAT値やFe、Fe ²⁺ の含有量を求める (LMUCS)
岩石組織の観察		マウンド外縁の起伏に富む部分やその領域内の高アルベド岩相の鉱物組成や岩石微細構造を観察 (R-SIP/LUMI)			
Th (or K, U) 濃度の測定		レゴリス、基盤層構成物質のTh, K濃度を測定 (GNS)			
微量元素の測定		レゴリス、及び基盤層構成物質内のCO ₂ , CO, H ₂ Oなどの揮発性成分、もしくはF, Cl, Zn, Pbなどの成分を数十ppm以下まで検出 (LIB-S2)			
主要化学組成の測定		主要元素化学組成 (Si, Ti, Al, Fe, Mg, Caなど) を決定、0.1-1.0%精度で検出 (GNS, AXS, LIB-S2)	Mg, Al, Si, Ca, Ti, Fe量を±5%精度で定量、主要元素の化学組成を相対精度10%以上で測定 (GNS, AXS, LIB-S2)		
火成活動		火山性地震を観測 (LBBS)			
表層環境					ガスの挙動、主に水平方向の移動を観測 (LDM)
	Marius Hills	Ina	Hansteen Alpha	縦穴	Reiner Gamma

ーリングリストに登録すれば情報を閲覧することができる。

3. 各着陸地点の紹介

着陸地点10箇所(表2)について概略を示す。またそれぞれの着陸地点に必要な搭載機器の仕様案を表3に示す。10箇所の着陸地点は、SELENE-2ミッションデザインをどう特色つけるかという観点から大別すると、4つの種類に分けられる。第一グループは「Copernicus, Tycho, Zucchius」、第二グループは「Apollo14 site, Mare Humorum」、第三グループは、「Marius Hills, Ina, Hansteen Alpha」、第四グループは、「縦穴, Reiner Gamma」である。第一グループは地殻の形成史に焦点を当てたもので、マグマオーシャンモデルを検証するとともに、現在の月科学の最大の謎といえる月の裏表の二分性がどうしてできたかに迫るものである。どの場所においても表面物質の地質学的観測作業が必須であるため、表面の化学組成を測定する装置や岩石種・鉱物種を判別する装置が主たる構成機器となる。Copernicusは熱源元素濃集地域に降りようとするもの、TychoとZucchiusは熱源元素非濃

集地域に降りようとするものである。CopernicusとTychoは、中央丘にこそ月の原始地殻が形成時に近い状態で保存されているという期待に基づいて中央丘に露出する岩石の分析に重点がおかれて計画されている。一方、Zucchiusは放射性元素量が他の高地地殻よりも少ない地域こそ初期の原始地殻であり、中央丘の岩石でも形成時の状態は保存されておらず、広大な場所に平均的にばらまかれている地域を調べることが最適なアプローチであるとする計画である。目標とする大テーマは共通であり、搭載機器構成も類似しているが、地質モデルをどう考えているかによって、どの候補地を推すべきかどうかは、検討会メンバーの中でも意見が割れている。

第二グループは、月の内部構造に焦点を当てたもので、地殻からマントルにかけての物性境界を検出したリ、コアのサイズ・形状・相を推定しようとするものである。地震波データと測地学的データを軸に組み立てられた計画であると言える。Apollo 14 サイトはアポロ計画の震源データの資産を有効活用することで波形の相関から震源位置を同定しコアサイズ測定の精度を上げる目的で選定されており、Mare Humorumは地震観測上コア透過波の検出に表側南西域の衝突盆地

表4：着陸候補地点の評価投票集計結果。
数字は各項目の平均点、()内は項目内順位。

	採点項目	採点基準	Copernicus crater	Mare Humorum	Marius Hills	Hansteen Alpha	Zucchius crater周辺	縦穴	Reiner Gamma	Tycho crater	Apollo 14	Ina	広域
1	大テーマ(月-地球系の起源、月の進化の解明)へ大きな影響をもたらすか？	5: 良い 4: 普通 3: 普通 2: 悪い 1: 悪い	3.9 (2)	3.8 (4)	3.1 (8)	3.2 (7)	3.7 (6)	2.5 (10)	2.5 (10)	4.0 (1)	3.9 (2)	3.0 (9)	3.8 (4)
2	目的と提案観測項目のつながりの明確性	5: 良い 4: 普通 3: 普通 2: 悪い 1: 悪い	3.7 (3)	3.7 (3)	3.1 (11)	3.3 (8)	3.3 (8)	3.4 (6)	3.4 (6)	3.9 (2)	4.1 (1)	3.2 (10)	3.6 (5)
3	一般国民へのキャッチーなセールスポイントがあるか？	5: 良い 4: 普通 3: 普通 2: 悪い 1: 悪い	3.2 (4)	2.9 (5)	2.7 (8)	2.6 (10)	2.9 (5)	4.3 (1)	2.7 (8)	3.5 (3)	2.8 (7)	3.6 (2)	2.5 (11)
4	理科好きの中高生の興味を惹くか？	5: 良い 4: 普通 3: 普通 2: 悪い 1: 悪い	3.3 (4)	3.1 (5)	3.0 (7)	2.9 (10)	3.0 (7)	4.1 (1)	3.0 (7)	3.7 (2)	3.1 (5)	3.5 (3)	2.9 (10)
5	観測データを解釈するための作業仮説の確かさ	5: 国際誌に掲載されており研究者の大半に受け入れられている 4: レビューされて国際誌に掲載されている 3: 根拠が無い	3.7 (1)	3.7 (1)	3.4 (8)	3.5 (6)	3.3 (10)	3.4 (8)	3.5 (6)	3.6 (4)	3.7 (1)	3.1 (11)	3.6 (4)
6	比較惑星科学における重要性、位置づけが明確に書かれているか？	5: 良い 4: 普通 3: 普通 2: 悪い 1: 悪い	3.6 (2)	3.4 (4)	3.1 (10)	3.3 (6)	3.4 (4)	3.2 (8)	3.0 (11)	3.5 (3)	3.7 (1)	3.2 (8)	3.3 (6)
7	何故、提案地域なのか？着陸地点の選定理由の明確性	5: 良い 4: 普通 3: 普通 2: 悪い 1: 悪い	4.0 (4)	3.5 (10)	4.0 (7)	3.8 (8)	3.7 (9)	4.4 (1)	4.2 (3)	4.1 (4)	4.1 (4)	4.3 (2)	3.5 (10)
8	運用プランに不備は無いのか？	5: 良い 4: 普通 3: 普通 2: 悪い 1: 悪い	3.3 (5)	3.5 (3)	3.2 (7)	3.1 (9)	3.2 (7)	3.0 (10)	3.3 (5)	3.4 (4)	3.6 (1)	3.0 (10)	3.6 (1)
総合得点			28.6	27.5	25.6	25.8	26.5	28.5	25.6	29.7	29.1	27.0	26.8
総合順位			3	5	10	9	8	4	10	1	2	6	7

が有利で、測地観測上レーザー反射器の設置にはアポロ・ルナ計画既設の反射器から離れた方が有利という、両方の好適条件を満たす地域ということで選定されている。内部の状況がどこまでわかるかは、搭載機器の性能、観測期間中に起こる震源の大きさと表層の地質構造に依存している。

第三グループは、地質学的にアポロ・ルナ計画で知られた地域とは大きく異なる特殊な地域に着陸し、月の熱史・マグマ分化史を新しいデータで制約したいという計画である。Marius Hillsは揮発性成分の多いマグマに起因するスコリア丘を探索しようというものの、Inaは最近まで活動していた可能性があり、地形の成り立ちも謎の多い地域を探索したいというものの、Hansteen Alphaは月ではたいへんまれな花崗岩質と思われる岩帯が存在しており既存のマグマ分化とは別系列もしくは分化度が極端に高い火成活動を探索したいというものである。既知のアポロ地域とは大きく異

なる地質特徴をもつはずの地域なので多角的な観測が重要である。

第四のグループは、月の起源と進化に正面から取り組むテーマではないが、大気のない小天体に太陽系探索対象が広がっていく時代に対応した新しい価値観に基づく着陸地点である。Reiner Gammaは表面に反射率の異なる特殊な形状の模様がある地域であり、地域の持つ特殊な磁場の影響で形成されたと考えられている。磁場獲得の謎や、表面進化の謎に迫ることができ、近年小惑星探査で急激に発展しつつある惑星表面進化の問題に迫ることができる着陸地点である。一方、縦穴は、地下に眠る溶岩チューブを打ち抜いたものである可能性が高く、将来の月基地として好適地であると共に、内部には太陽風や隕石爆撃にさらされていない表面が存在するという点でReiner Gamma同様に惑星の表面進化というテーマにとっても興味深い着陸地点である。

4. 各着陸地点の評価

2011年6月19日から6月27日までの期間に行った評価投票の集計結果を表4に示す。部分的に評価できないと判断した項目を空欄にしている評価者もあったので、各評価項目の合計を評価した人数(項目によって異なる人数)で割ることで、各項目の平均点を出した。これらの各評価項目の平均点を加算して総合点を出し、この総合点をもとに総合順位を出した。また、各評価項目点の下にある括弧内の数字は各評価項目順位である。各項目の重みは等価ではないため、総合順位はあくまでも目安と考えていただきたい。着陸地点10箇所については全ての地域が魅力的で、いずれ人類が探査する地域であることは間違いないが、SELENE-2の目的にあうものはどれかを現時点の情報をもとに考察する。また、最適な着陸地点に関する考察はあくまでも現時点のものであり、SELENE-2の打ち上げ予定が年単位でシフトする場合は、月科学の発展や、搭載機器開発技術の進歩、国際情勢などによって当然変化するものと考ええる。

第一グループは地質学的なアプローチもしくは博物学的なアプローチが主体で、地域を総合的に理解するためにどれだけ多角的なデータを取得できるかが鍵となる。第一グループではTychoとCopernicusが検討会メンバーより高い評価を集めており、Zucchiusはやや評価が低い。これは前者の「中央丘には地下深部の岩石の情報が保存されている」という考えが魅力的に映っているためであろう。Tycho, Copernicusは地下深部からの試料を頼りにしているのに対して、Zucchiusはそもそも月には露頭らしき露頭は存在しないという考えで、地域の平均的な組成で初期地殻の化学組成が推定できるような地域を選び出している。このどちらの見方が正しいかは、もちろん多数決で決められるようなことではない。現状では中央丘に露頭があると信じる研究者が多いことが投票結果に表れていると推測されるが、かぐやの分光データの解析も続いており、米国のLRO搭載高解像度カメラのデータの解析も進んでいる今日、基礎研究による確度の高い推定が必要とされている。また、中央丘探査の場合は、岩石が多い地帯であるので、安全に着陸できる地点であるかの検討は不可欠である。主要な探査項目要素で

ある岩石研磨面の組織観察に関しては、結晶粒界が認識可能であるかどうかの実証試験の必要性が指摘されている。

第二グループは物理探査的なアプローチであり、測定機の観測精度と観測期間が成果をほぼ決定づけると言え、搭載機器検討チームによって検討の詳細化が続いている。第二グループの二地点は、基本的にはApolloサイトを利用するか否かが大きな違いである。Apolloサイトが高い評価を得ているのは、コアサイズに関する検討会メンバーの関心が高いことの表れであろう。一方で、アポロ計画で一度降りたところにもう一度降りることを面白くないと考える検討会メンバーも多い。月内部の層境界に関する情報やコアのサイズ・形状・状態に関しての決定精度は測定機の性能、震源サイズと表層構造依存ではあるが、現時点でもどのような値の範囲内に結果が得られる可能性があるかは、ある程度推定可能である。その値が今後の月科学の流れに影響するほどインパクトがあるか否かは、検討会メンバー内でも意見のわかれるところである。広帯域地震計によるコア反射波の検出に関しては、搭載機器検討チームの検討では開発可能かどうか現時点では完全な判断には至っておらず、ノイズ対策の結果が待たれている。

第三グループについて考察する。これらの地域は、地質学的な成り立ちとしてアポロ・ルナ着陸地点とは大きく異なる未踏の地であることは間違いない。未知の要素が多いだけにサンプルリターンではなく限られた科学機器に絞り込まなくてはならないSELENE-2にとって得られるデータのみで十分に地質モデルを絞り込むことかできるかが問題である。評価投票においても、これらは、着陸地点の面白さは多くの検討会メンバーに理解されながらも、探査データからモデルを制約する部分の不明確さが評価を下げている。また、これらの特殊な地域の地質が月全体の構造分化史に一般化できるかどうかについても不安要素が大きい。何か新しい岩石が見つければOKという探査であれば成功率は高いが、月の起源と進化への具体的なアプローチが求められているSELENE-2の着陸場所とするためには、探査データと二大テーマをつなげるためのさらなる基礎研究や検討が不可欠である。本グループは科学的魅力に乏しいという訳ではないが、搭載機器検討チームのような詳細検討を行う集団による検討活動

が着陸地点検討以前に行われていなかったことが不利に働いていることは否めない。

第四グループについて考察する。縦穴は検討会では高い評価を得ているが、穴に入ってこそその探査であると考えている評価者が多数であるように見受けられる。SELENE-2で縦穴を探査する場合には、ぜひ穴への降下というチャレンジを工学グループに検討してもらいたいものである。また、縦穴は火成活動がつくった地形探査ということで火山学者からの期待も大きい。縦穴とともに Reiner Gamma は表層進化という新しい分野を切り開く着陸地点である。SELENE-2の大テーマとして提唱されている月の起源と進化の解明という場合の進化は、月地球系の形成とその後の層分化が主題となっているが、大気のない天体の表層進化もまた重要な進化プロセスであるという考え方も近年の小惑星探査の成果と共に注目を集めつつある。月探査の流れの中でこのテーマが最重要視されるようになるのもそう遠くないかもしれない。

5. 目的の達成度と今後の課題

着陸地点検討会において数多くの提案から主要な10地点への絞り込みがなされた。しかし、現時点の検討でこれ以上の着陸地点の順位づけをすることはコアメンバー内においても強い抵抗感がある。当初予定では、この10地点からもSELENE-2に最適な順位をつけることをプリプロジェクトからは期待されていたが、科学的成果達成見込みの議論がさらなる順位づけをするほどに熟成されていないのが現状である。大きな原因は基礎研究にふりむけるマンパワーの不足にあると考える。各着陸地点のプロジェクトモデルに現在残っている問題のほとんどは、単なる情報収集で解決するレベルを超えて、基礎研究を必要とする領域に入っている。着陸地点検討会では「着陸地点を絞り込まないと深い検討ができない」という事と「着陸地点を絞り込むためには絞り込みを正当化できるレベルまで検討を進めなければならない」というジレンマを常に抱えてきた。その中で10地点にまで絞り込めたことと、相互に着陸地点を評価しあえる多学会横断の検討組織ができたことは大きな成果であった。

しかし残った着陸地点の中である程度具体的な運用上の問題点まで検討が進んでいるのはほとんどが着陸

地点検討会以前に搭載機器検討チーム等の検討経験があった着陸地点である。重要度が高いテーマについて着陸地点検討会の発足を待たずして検討が始まっているのはある意味当然のことであるし、逆に完全に新規のテーマが現れたとして、そのテーマを実現性の高い企画まで育て上げるために、そのテーマに期待し、膨大な時間をかけて既存関連研究を調べ、そのテーマの科学成立性の証明に必要な基礎研究をする人員が集まるということはなかなか難しいことのように思う。科学的成立性においても搭載機器提案チームの検討にほとんどを頼っている。実際、コアメンバーも多くの時間を検討に割いているが、数年先行して情熱をもって準備している搭載機器提案チームを上回る検討をすることはなかなか困難であることが実感された。ただし、着陸地点検討チームは搭載機器提案チームの検討を客観的に判断して問題点を指摘することができる現時点でもっとも有効なグループであるとも言える。搭載機器提案チームの検討の精密化でささぎりのマンパワーの状態であるので、着陸地点検討会はそれらの検討に客観性を与えるための手助けをする機能を重視すべきかも知れない。

一方、搭載機器の性能要求の精密化と整理はプリプロジェクトから強く期待されてきた活動であったが、搭載機器を絞り込んだり、搭載機器検討チームにデザインの変更を要求できるほどの厳密な検討にまでは至っていないと言える。ただ、検討の中で地質探査目的には元素分析装置が必須であることが明確になり、それを受けてプリプロジェクトより元素分析装置の開発提案募集が行われた。この部分には貢献できたと考える。今後も情報収集レベルでも、もう少し搭載機器要求仕様の精密化ができそうなので、時間の許す限り検討を深めていきたい。搭載機器要求仕様精密化の議論で実感されたのは「大テーマを達成するにはどれだけの性能が必要か？」という問いに答える難しさである。科学提案には地質学的な探査と地球物理学的な探査との両方があるが、そのそれぞれに別の種類の難しさがある。地質探査は多角的な観測データからジグソーパズルを組み立てるように大テーマにつながるモデルを組み立てていく手法が主となる。そのような中でどの観測機器が必須か、個々の観測機器に必要な仕様は何かという問題に答えるためには探査地域で考えられる複数の地質モデルを理解し、それを制約する条件を複

数の機器で得る戦略を総合的に考える必要がある。現状の搭載機器仕様要求もそのような発想のもとで考えられているが、ここまでの性能なら科学提案が成立すると仕様の数値に明確に線引きできる性質のものではない。そのような事情から、どうしても、科学の必要条件を満たすというよりも、現在の技術レベルで最高の仕様ということが前提として頭にあって、その中で最高のサイエンスを考える思考方法に陥ってしまう。さらに、その上「どこまで絞れば成立するか?」という問いに答えることは至難の業である。むしろ「ここまでの性能でどこまでサイエンスができるか?」という質問であれば何とか答えを用意することができる。「どこまで仕様の絞れるか」という問いには「ここまでの性能で何が出来るか」という問いに対して、様々な性能レベル、機器組み合わせについて答えを用意することに等しく、膨大なマンパワーが必要となる所以である。

一方、地球物理学探査に関しては搭載機器検討チームによって達成できる性能の限界や、その性能で得られる科学的解釈についての検討が量的に行われている。データの性質上、そのような検討がやりやすく、対外的にも説明しやすい分野であると言える。それ故に、性能要求は現在の技術レベルに強く拘束されたものになるのは当然で、搭載機器検討チームの検討内容、もしくは国内外の別探査の既存の搭載機器の範囲を超えた発想をすることは難しい。

地質探査にしても地球物理探査にしても、プリプロジェクトメンバーには当初から「着陸地点検討会から提示されるはずの強い制約によって、搭載機器の絞り込みや仕様の絞り込みを行いたい」という意図があった。また、コアメンバーにも探査シナリオを評価するために機器仕様を細かく議論したいという意図があった。しかし、機器仕様に制約されない提案募集を行ったことで、むしろ検討すべき仕様や機器組み合わせの多様性は増え、現在までの検討でようやく着陸地点検討会発足時の状況まで搭載機器の絞り込みが進んだように思える。機器仕様の絞り込みという部分の目的に関しては、大きな回り道をしたような印象もあるが、科学コミュニティの中で透明性の高い議論を行うということを達成するために必要なコストであったとも言えよう。一つ気になるのは着陸地点検討会発足当初と比べて、SELENE-2の位置づけや予定規模が変化し

てきているように思えることである。多くの科学予算を要求する必要がある惑星探査に於いては、国内外の情勢や他の宇宙探査とのバランスなどから当初の位置づけや予算規模が変化するリスクを常にはらんでいる。しかし、多くの研究者が膨大な時間を費やした検討の前提が変わることは巨大な人的資源の損失であり、自らの科学要求を遂行できるようリスクを軽減するための最善の努力を払わなければならない。現状では着陸地点検討の前提はぎりぎり守られているが、今後の変化を注視するとともに科学コミュニティとして探査計画の前提条件の作られ方や変更に関わって行く必要があると考える。

6. 今後の活動

これまで述べたように、現時点の検討内容や評価内容は必ずしも十分に議論をつくしたものとは言えないが、現時点の評価結果を一度まとめておくことは次のステップの検討をするために重要であると考ええる。評価結果には「時代」すなわちその時点の月の科学的理解に基づく考え方が反映されているため、急速に進化している月科学の世界では評価の鮮度が意味を持つ。ずるずると評価結果を改変していくと、どの時代の評価なのかがわからなくなり、結局のところ評価結果そのものも、評価方法に関する考察も、利用不可能なものになってしまう。そのため、着陸地点検討会は、ここで一度検討内容をまとめる。そして、これまでの検討過程の反省と情勢の変化とを元に、新たな目的、新たなメンバーで近日再起動を行うことになるであろう。日本の月惑星探査能力は「はやぶさ」やSELENE「かぐや」で、国内ばかりでは無く世界にも大きく認められた。SELENEの大量データについての校正や補正は、SELENEメンバーの多大な努力により進み、高い信頼性を有したデータセットとして続々と公開され、継続的に国際的な研究に貢献している(かぐやデータアーカイブサイト:<https://www.soac.selene.isas.jaxa.jp/archive/>)。SELENE-2着陸地点検討会が複数学会横断の検討コミュニティとして成立できた背景には、「はやぶさ」、「かぐや」探査で国際競争力のある多分野共同の研究体制が国内に育ったことが基礎となっていると考えられる。米国・インドなどが新たな月データを公開し、月科学が新展開の時代を迎えつつある今日、

これまでに育ってきたこの我が国の検討コミュニティには、具体的な月探査を視野に入れつつ、こうしたデータを精査・解析し、次のステップを予見する潜在能力があると考え、本検討会以外にも、SELENE-2の枠にとらわれずに月科学の議論を行う月科学研究会という組織が活動を始めている。また、有人月探査を視野に入れた検討を進めているチームもある。大学・研究機関で、月科学研究が新たな展開を見せている中で、本検討チームの検討が、将来振り返ってみるとき、SELENE-2、そしてその後に続く月探査に対して、確かな礎となったと言われることを期待したい。

最後に、SELENE-2着陸地点検討に参加し、提案、議論、評価に多くの時間を割いて下さった全ての方々に心からの感謝の意を表します。

参考文献

- [1] Hashimoto, T. et al., 2010, *Acta Astronautica* 68, 1386.