

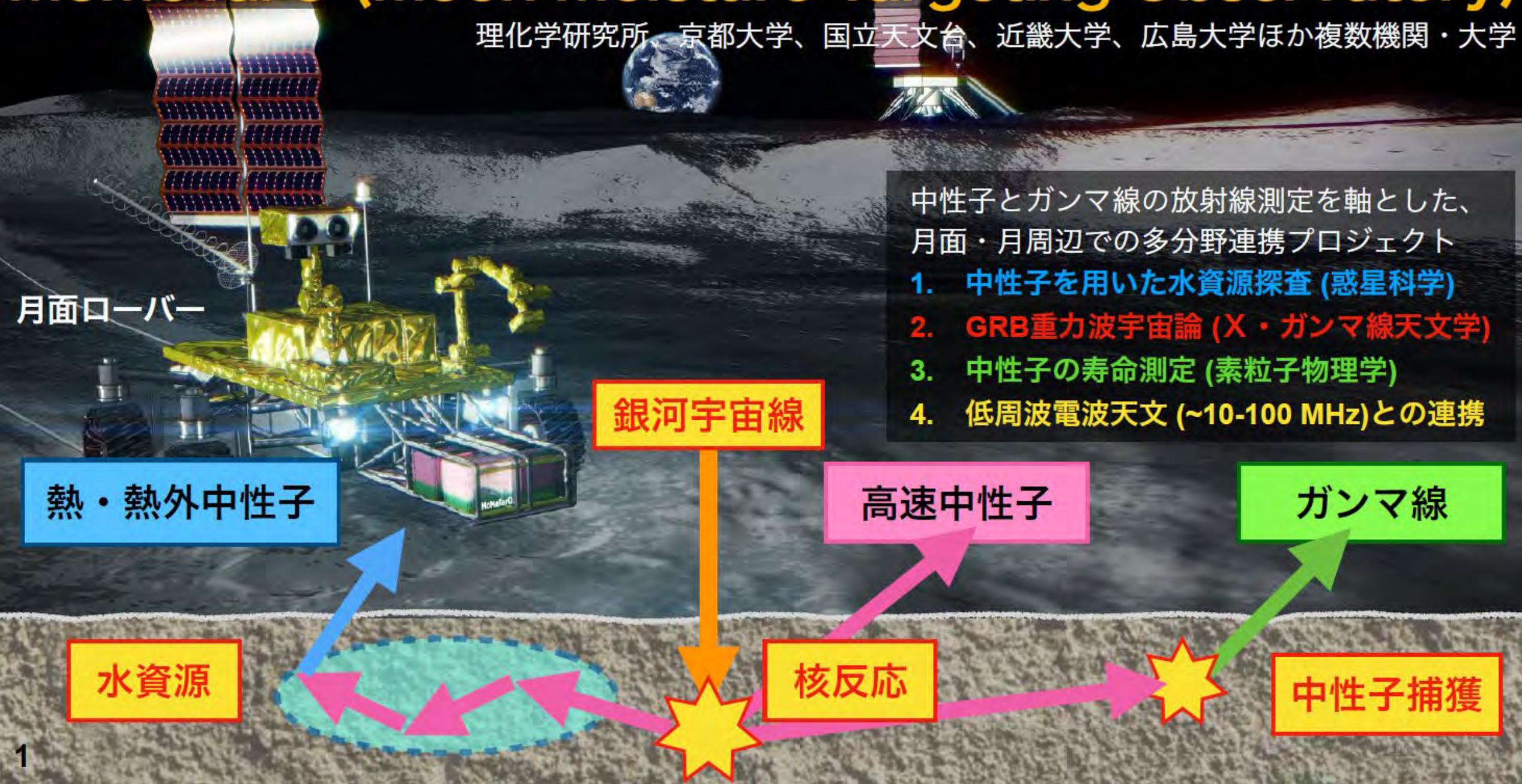
# 月面FSミッション成果報告 課題B

水資源探査とも連携した宇宙の  
暗黒時代に迫る  
ガンマ線・低周波電波の月面天文台

2023年5月18日

# MoMoTarO (Moon Moisture Targeting Observatory)

理化学研究所、京都大学、国立天文台、近畿大学、広島大学ほか複数機関・大学



月面ローバー

- 中性子とガンマ線の放射線測定を軸とした、月面・月周辺での多分野連携プロジェクト
1. 中性子を用いた水資源探査 (惑星科学)
  2. GRB重力波宇宙論 (X・ガンマ線天文学)
  3. 中性子の寿命測定 (素粒子物理学)
  4. 低周波電波天文 (~10-100 MHz)との連携

熱・熱外中性子

銀河宇宙線

高速中性子

ガンマ線

水資源

核反応

中性子捕獲

# 目標

# FS成果

## 1 月の水資源探査

- 銀河宇宙線で発生する中性子の月面ローバーでの測定により、非接触での水資源の探索できる
- 高感度の宇宙放射線を測定できる MoMoTarO センサを開発 (新型のシンチレータ、光検出器の活用)
- 月の模擬土壌を作成し極低含水率 (~0.5重量%、資源として利用可能な下限) までの実証試験を複数実施

## 2 多波長・時間軸天文学の月面天文台

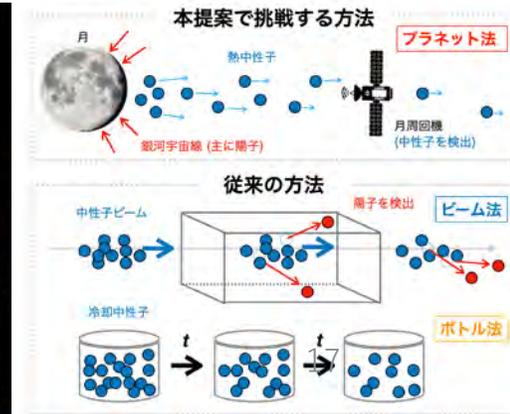
- 低周波と組み合わせた高エネルギー突発現象 (ガンマ線バースト等) の観測
- 月面や月周回軌道に設置された放射線モニタ MoMoTarO と地球近傍の大型衛星を組み合わせ、月までの距離を活用してガンマ線バーストの到来方向を決定し対応天体を探し重力波宇宙論へ活用
- 低周波電波と組み合わせ時間軸天文学の月面天文台へ：高速電波バーストの正体解明、ガンマ線バーストのプロンプト電波放射の探索

## 3 新しい学際融合チームの構築

高エネルギー宇宙物理 (X線天文学)、惑星核分光 (かぐや衛星)、電波天文・電波大気科学、素粒子物理学、原子核物理・中性子工学、RIを用いた土木工学

## 4 中性子の寿命測定

月周回機での中性子寿命の測定: 熱中性子の高度プロファイルで素粒子物理学の未解決問題を解決への筋道を立てる

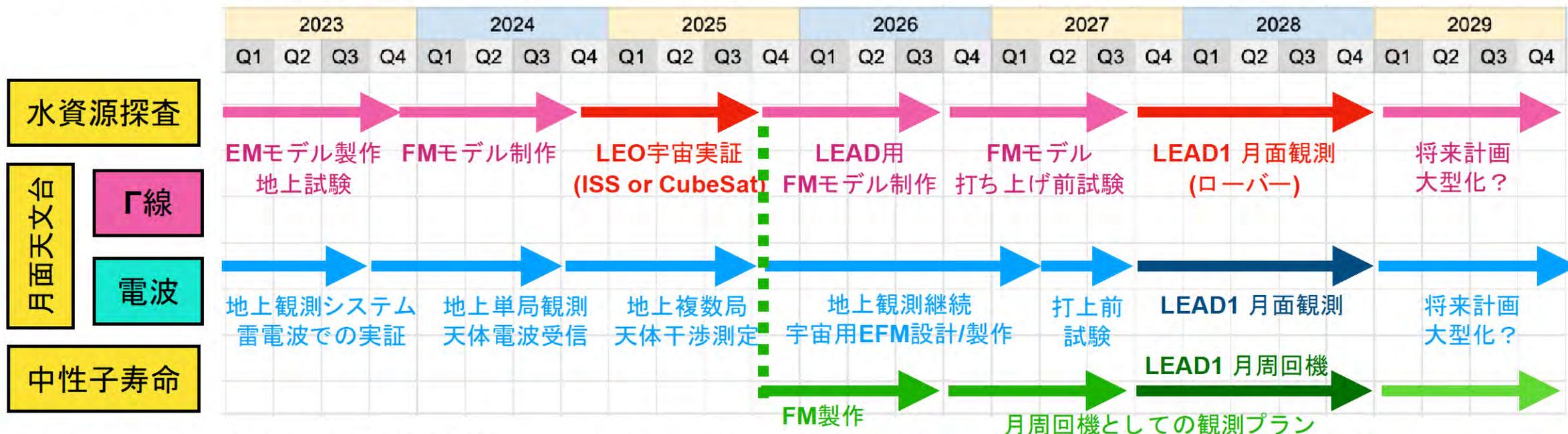


# まとめ

1. 現状の月面3科学（地震計、サンプルリターン、低周波電波）に加えて、これまで検討されていなかった放射線（中性子・ガンマ線）の測定も、高エネルギー天文学や素粒子物理学までを取り込む第1級サイエンスを創出できる。
2. 具体的には、月の水資源探査、ガンマ線バーストの到来方向測定で宇宙論への貢献、中性子寿命の測定、アスカリアン効果による最高エネルギー宇宙線の解明、月面で電波・ガンマ線同時観測などの多様な研究を実施できる。
3. 本FS公募をきっかけに、X線天文学、惑星科学、素粒子物理、ビーム科学、土木工学を包含する新しい学術コミュニティを構築しつつある。萌芽的ではあるが、各分野から若手メンバーが積極的に手を上げ、今後、拡大させる。
4. 月面への輸送リソースの制限を考え、キューブサットサイズ(1U程度)で実施できるモジュール MoMoTarO を開発し、実証試験（放射線耐性、気球実験）などを実施し、低周波電波アンテナ(50-1300 MHz) も開発を進めた。

- サイエンス検討
  - 地球低軌道や地上の天文台と連携させる場合に必要な検出器サイズの調整
  - 月周辺での絶対時刻精度の保証方法、時間分解能の検討
  - ISAS のより低周波電波との相補的な観測体制の検討（棲み分け）
  - ガンマ線バーストや高速電波バースト等の検出個数の現実的な見積もり（放射線および低周波電波での月周辺環境のバックグラウンド情報の精査）
  - 中性子寿命の測定の場合に、LEAD で現実的に実施できる凍結軌道の選定
- 工学キー技術検討
  - ASIC を導入し、中性子撮像を行う第二世代 MoMoTarO の検討
  - 熱・熱外・高速中性子を用いた水資源探査の感度を月模擬土壌で実証試験
  - ガンマ線も用いた場合の月土壌の密度測定や元素組成の特定
  - 地球低軌道の宇宙空間での MoMoTarO の実証と TRL 獲得
  - 低周波アンテナの形状の最適化・宇宙展開法の検討、SDR チューニング
  - 月面ローバーや周回機のシステム全体の検討（ISASチーム？民間企業？）

# 今後の開発スケジュール



- 限られた搭載機会を前提に、キューブサット 1-2 Uサイズの放射線モニタを LEAD1 の周回機もしくはローバーに搭載できる柔軟性の高いスケジュールを想定。
- 2024-25年度を目処に、国際宇宙ステーション暴露部での実証を行い、TRL を獲得するのを最初の大きな目標とする。
- 2028年度ごろにLEAD1ないし2での搭載を目指す。科学目標は搭載場所・サイズに応じてスケラブルに調整できるように準備する。

## 月面科学FS報告 (課題B, ISASテーマ)

---

2023/5/18

宇宙科学研究所

月面3科学フィジビリティスタディ(FS)チーム

## ■ 月面科学FS(課題B, ISASテーマ)の活動概要

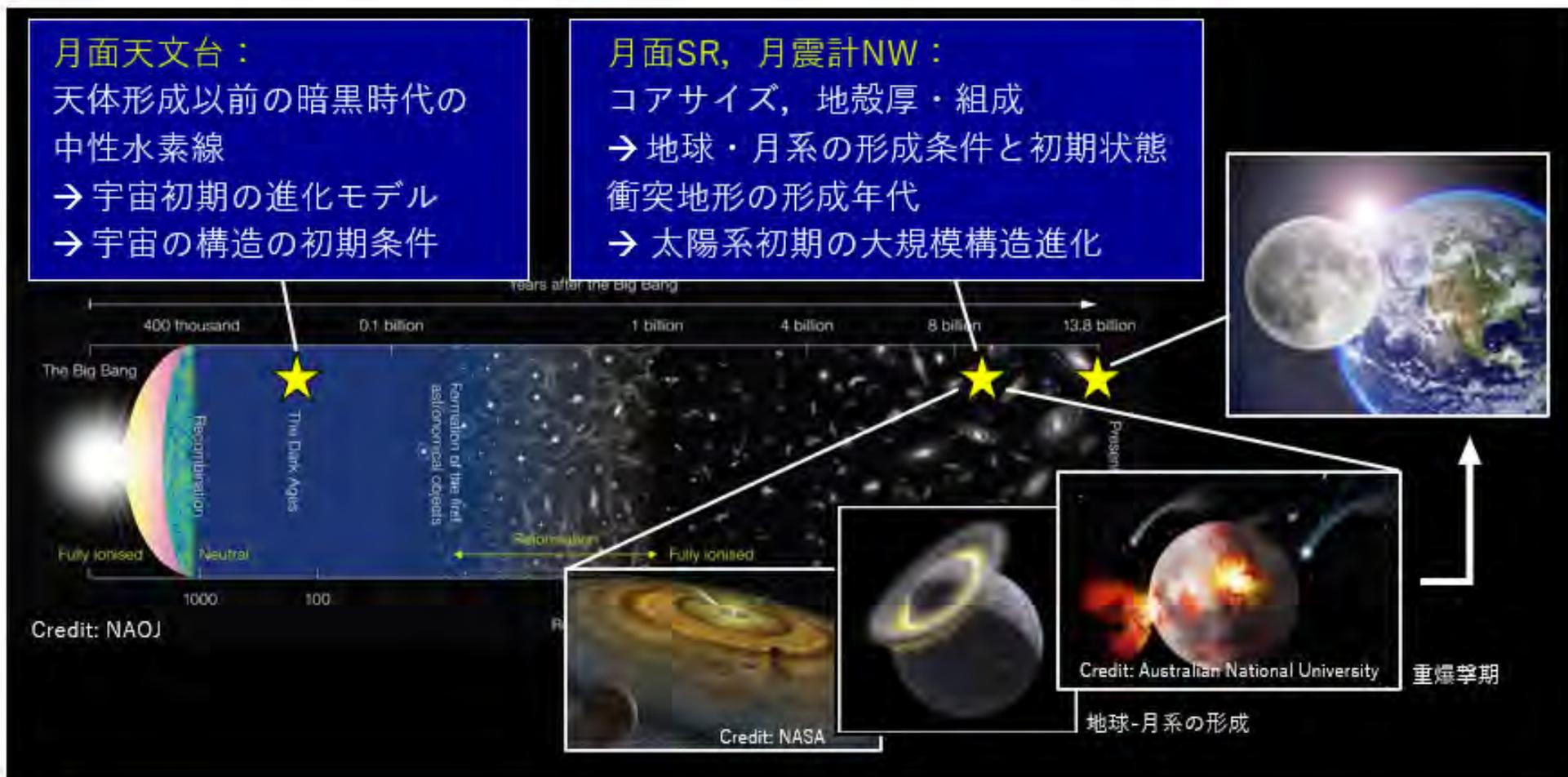
### ◆ 活動体制

- 課題Bで示された3つのテーマ(月面天文台, 月面サンプルリターン(SR), 月震計ネットワーク(NW))を全て扱うため, 3科学合同の検討チーム+工学メンバのチームで活動.

### ◆ 活動内容の概要

- 3科学で期待される科学成果の整理
- シナリオ検討
  - 科学をやりながら, 表面探査技術を獲得する**科学と技術獲得の同時実行**
  - 2030年代の本格科学と, 2020年代からの複数のプリカーサミッションから構成されるシナリオの検討
- ミッション形態と必要リソースの検討
  - (特に直近の輸送機会について)具体的なミッション形態と必要リソースの検討・整理
- フィジビリティ向上のための検討
  - 科学観測機器のフィジビリティ向上のための検討・試作
  - 宇宙探査イノベーションハブの活動を利用した民間技術の積極利用
- フロントローディング活動の検討
  - 最初のプリカーサミッションの実現に向けた活動項目の整理

- 宇宙誕生から現在の地球-月系に至るまでの進化の理解
  - ◆ プリカーサッションで得られる成果, 3科学の相乗効果についても整理



## ■ シナリオ検討

- ◆ 科学ミッションをやりながら、我が国の未成熟な重力天体表面探査技術を獲得する。
  - 太陽系探査の拡大にも資する以下の**キー技術を獲得**するためのミッション形態を検討
    - ① 月面における輸送技術(ローバ技術)
    - ② ロボティクスを用いた探査技術(ロボットアーム等)
    - ③ エネルギマネジメント技術(太陽電池タワー, RIヒータ等)
- ◆ 科学観測機器は、基本的観測を行いつつ、**自立パッケージ化**を進め、様々な輸送機会への搭載、広域観測ができるような準備を進める。

## ■ 2回程度のプリカーサミッション

- ◆ 1回目: 南極域ミッション
  - 月震計の月面展開, 天文台プロトタイプアンテナ
  - 50kg級ローバによるサンプルその場分析
- ◆ 2回目: 中低緯度ミッション
  - 100-200kg級ローバ+露頭サンプルの採取・研削・その場分析(分析ラボ)
  - 軽量自立パッケージができた場合, ロボットアームによる展開



1回目プリカーサミッション(LEAD1)

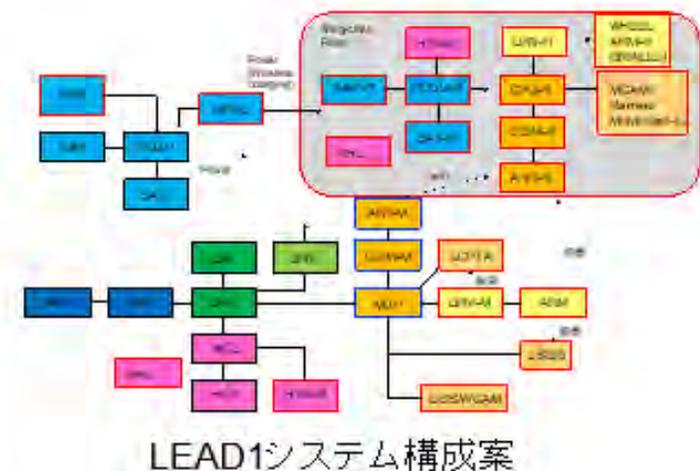
	プリカーサミッション (1回目) 2028年ごろ	プリカーサミッション (2回目) 2031年ごろ	本格科学ミッション 2030年代
月面天文台	月面における1-50MHz帯の電波観測実証とともに電波計測環境の測定を行う。同周波数帯での天の川銀河を含む宇宙電波スペクトルをはじめ月面から測定する。また、月の浮遊ダスト・地下構造測定実験を行う。このため、電波観測プロトタイプ・アンテナをランダーから展開し、夜間に観測を行う。	観測システムをパッケージ化し、月面における1-50MHz帯の電波干渉実験に挑む。 宇宙の暗黒時代の中性水素21cm線グローバルシグナルの初期観測を行う。また、月の電離層測定を行う。夜間に継続的な観測を行う。	少なくとも3基の自立ユニットを月の裏側に配置し宇宙の暗黒時代の中性水素21cm線グローバルシグナル観測を行う。月の電離層や月の地下構造の場所による違いを調べる。これを段階的に発展させ、10基程度の自立ユニットからなる観測を実現しグローバルシグナルの検出をめざす。 将来的な、宇宙の暗黒時代の物質分布測定のため、国際協力により、さらに多素子のアンテナユニットからなる電波観測の実現を目指す。
月面SR	広域観測に基づき、分析を行う対象となる岩塊の選別手法を確立する。 岩塊を研削し、その場で簡易分析する。	始原地殻岩または衝突溶融岩の露頭からサンプルを採取・研削し、その場分析パッケージ(分析ラボ)で詳細分析する。	始原地殻岩または衝突溶融岩の露頭において、その場分析による試料選別を行い、地球に持ち帰る。他国SR計画と協力し月面各地から冥王代試料を持ち帰る。
月震計NW	広帯域・高感度な月震計を設置し、年単位の観測を行う。	光学干渉式月震計パッケージを設置し、年単位の観測を行う。	国際協力で月面の全球へ合計5地点以上の、長期間(1年以上)のNW計測を行う。日本側は自国の観測点(2点程度)および光学干渉式月震計の提供を行い、イニシアティブをとるとともに、データの相互公開、センサーの性能情報交換、研究協力をを行う。

# ミッション形態の検討

- プリカーサミッションでは、まとまった量のペイロードを月面に輸送する必要がある
  - ◆ 日本独自の輸送機会である**LEAD(月探査促進ミッション)**に期待
    - H3ロケット打ち上げを想定した4トン級着陸機
    - ペイロード: 数100kg

## ■ LEAD1ミッション

- ◆ 探査機システム検討と連携したコンフィグレーション検討
- ◆ 必要リソースの詳細化



## ■ LEAD2ミッション

- ◆ 分析ラボのコンセプト検討
  - 研削+顕微分光カメラ
  - 鉱物分析, 元素マッピング
  - K-Ar年代計測



## ■ 本格科学ミッション

- ◆ 有人と圧ローバ等による自立パッケージの広域展開



- FS予算を使用したフィジビリティ向上検討
  - ◆ 月面低周波天文台用電波プリアンプの基礎設計
  - ◆ レーザ誘起ブレークダウン分光装置用対物レンズの設計・試作
  - ◆ 光干渉方式地震計のBBM製作と評価
  - ◆ 月震観測ユニットのコンフィギュレーション検討 等を実施
- 宇宙探査イノベーションハブの枠組みによる民間技術の積極利用
  - ◆ 軽量・低消費電力のロボットアームのための超音波モータ等の研究開発
  - ◆ 軽量伸展ダイポールアンテナ
  - ◆ 月面着陸地点の浅部地下構造探査システムの開発 等
- LEAD1ミッションを想定したフロントローディング活動計画
  - ◆ フェーズA相当で実施する, BBMの設計試作等の計画をまとめた

