

---

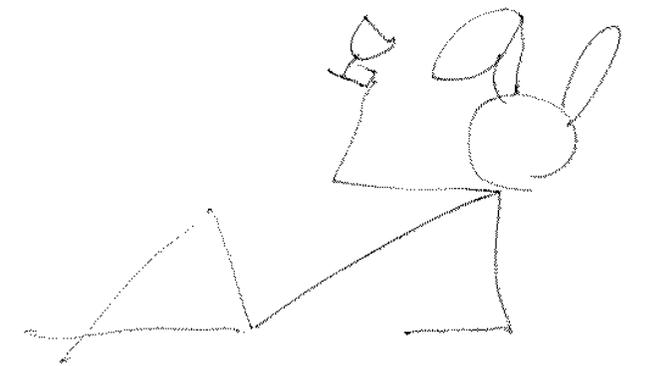
## 月探査ミッション提案

# 「空白の過去を教えて バニーちゃん」

---

チーム・集中力エゲいろうさぎ

加藤伸祐、木内真人、津川靖基、保井みなみ、井上遼太、林直宏



# Outline

1. 背景・科学目標
2. ミッション要求・システム要求
3. システム仕様
4. リスク分析、スケジュール、コスト

# 1. 背景：月探査の意義

---

月は形成初期からの歴史を表面に保存している天体である

- ➔ 月の初期熱進化過程を知ることが地球型惑星の進化過程を知るために重要
- ➔ 月表面の衝突の歴史を知ることが太陽系における天体衝突史を理解する上で重要

“年代”という時間軸を火成活動や衝突現象に与えることが必要

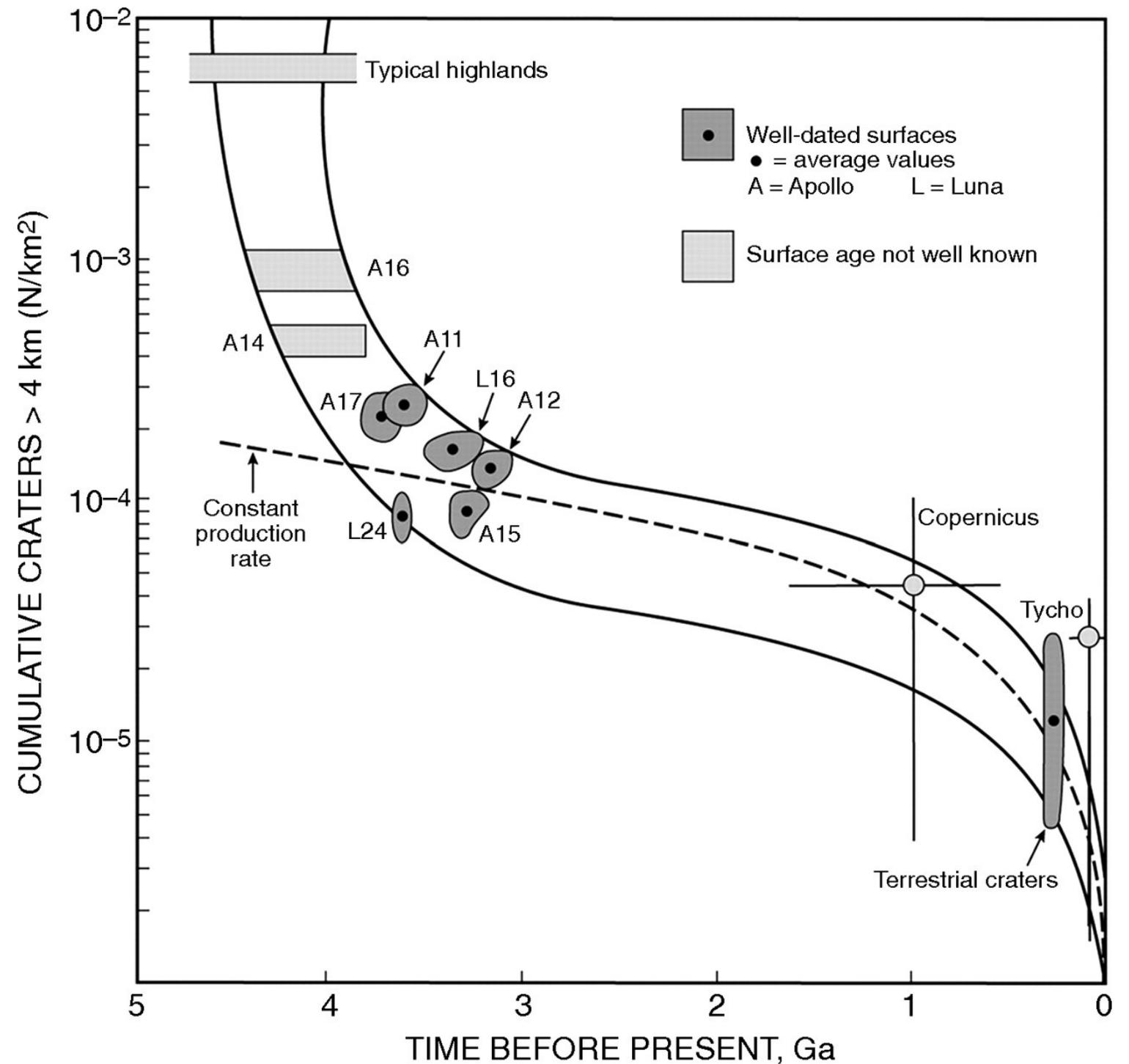
- ➔ アポロ・ルナの月サンプル . . . 絶対年代
- ➔ クレーターカウンティング . . . “相対年代”が求められている

# 1. 背景：クレーター年代学の問題点

岩石試料の絶対年代とサンプル採取地点のクレーター数密度の関係

## <問題点>

- 限られた年代の試料しかない
- コペルニクスクレーターのサンプルはクレーターから離れた場所で取られたものである



Heiken et al., in Lunar Source Book, 1991

# 1. 科学目標

---

クレーター年代とマントル組成に制約を与え、  
月の熱史・衝突史を解明する

→ 太陽系の歴史を紐解く

- 若い玄武岩ユニット(10-30Ga)からサンプリング、年代・組成の特定
- コペルニクスのインパクトメルトの年代・組成の特定
- 外来隕石を発見し、太陽系他天体の進化を理解

## 2. ミッション要求とその根拠

---

1. 異なる**5箇所**以上の玄武岩ユニット(10-30Ga)の年代・鉱物・元素組成の同定(K-Ar, Mg, Fe, Ti, Ca)
  - ▶ これまで測定されていない年代をもつ領域
  - ▶ 年代測定→クレーター年代法の確立・鉱物・元素組成→リモートセンシングによる解析の制約
  - ▶ 5箇所以上あれば精度の良い制約をかけられる
2. それぞれのユニット起源の岩石を**3点以上**サンプリングする
  - ▶ サンプルに対する信頼度の確保
3. コペルニクスに到達、サンプリング及びその場観測
4. 外来隕石を探す

## 2. ミッション成功基準

---

### **Full success**

異なる5つの若いユニット(10-30Ga)のクレーターから  
3点サンプリングし、年代・鉱物・元素組成を同定する

### **Extra success**

- コペルニクスに到達、サンプリング及びその場観測
- 外来隕石を見つけ、年代・組成測定

## 2. ミッション要求とシステム要求

### ミッション要求

異なる**5箇所**以上の玄武岩ユニット (10-30Ga)の年代・鋳物・元素組成の同定

それぞれのユニット起源の岩石を**3点以上**サンプリング

コペルニクスに到達、サンプリング及びその場観測

外来隕石を探す

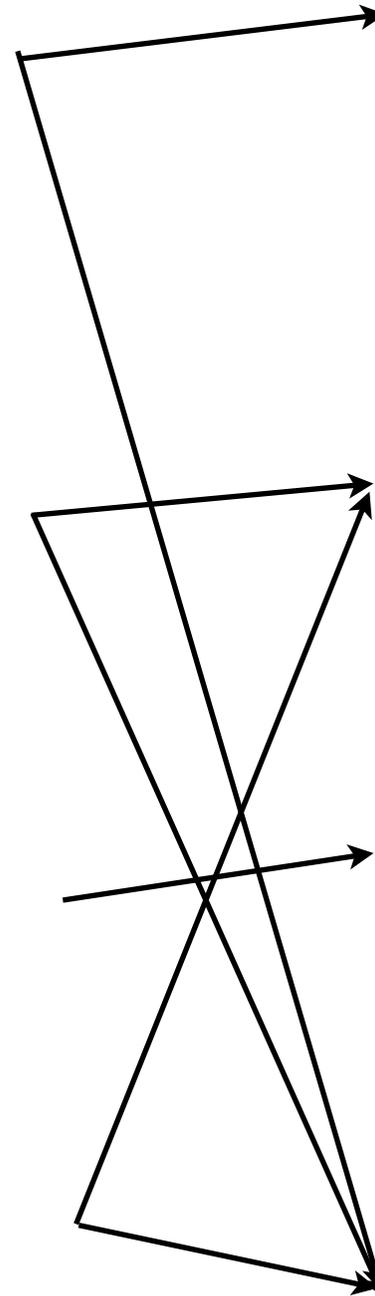
### システム要求

月面を100 km以上走破できる

30 degのクレーター斜面上で同定可能なサイズのサンプルを採取できる

700 km走破できる (エクストラサクセスでコペルニクスに到達)

年代・鋳物・元素組成を同定できる観測機器の搭載



## 2. システム要求

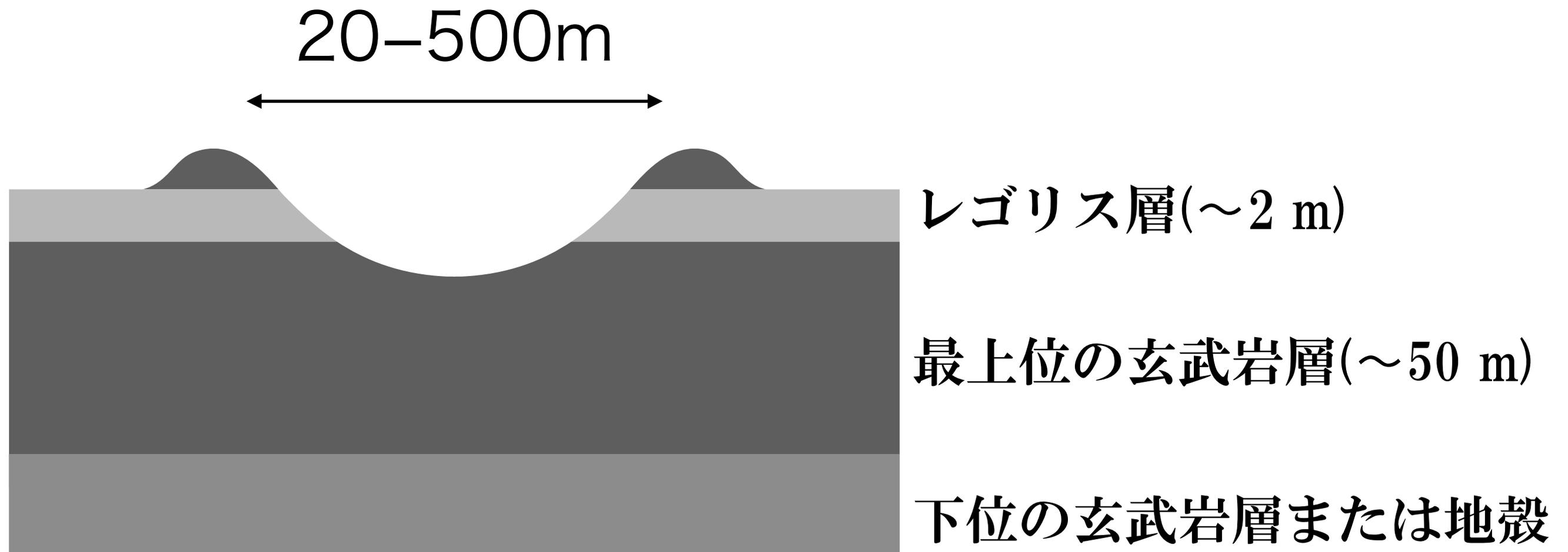
---

- 探査機：
  - ▶ 100km以上の長距離移動能力
  - ▶ 傾斜角30°のクレーター斜面でサンプル採取
- 年代・鉱物・元素組成を同定可能なサイズのサンプルをクレーター壁面から掘削および採取
- 年代・鉱物・元素組成を同定できる観測機器の搭載

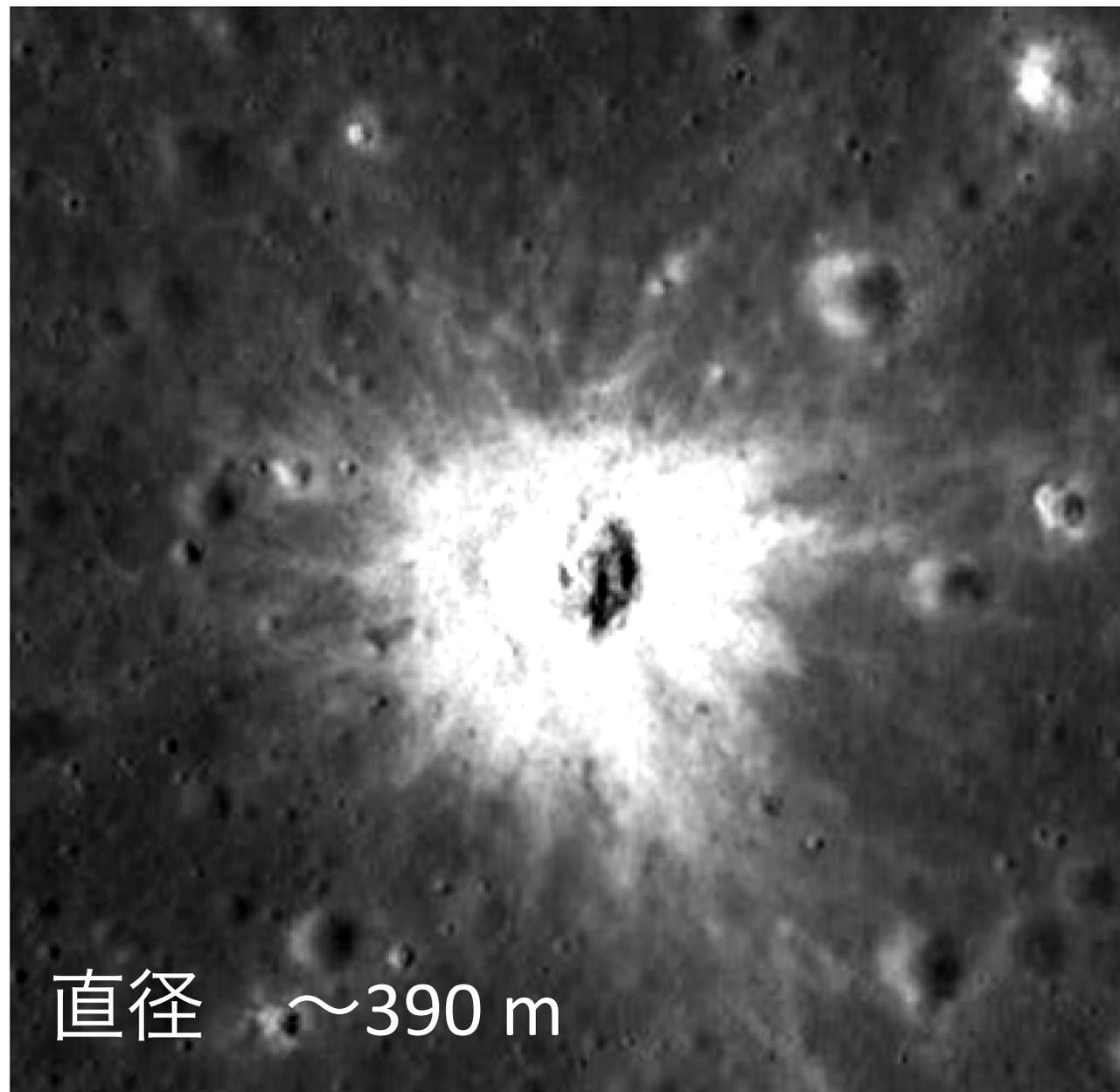
## 2. システム要求の根拠：探査領域

岩石の組成・年代決定のために重要なこと

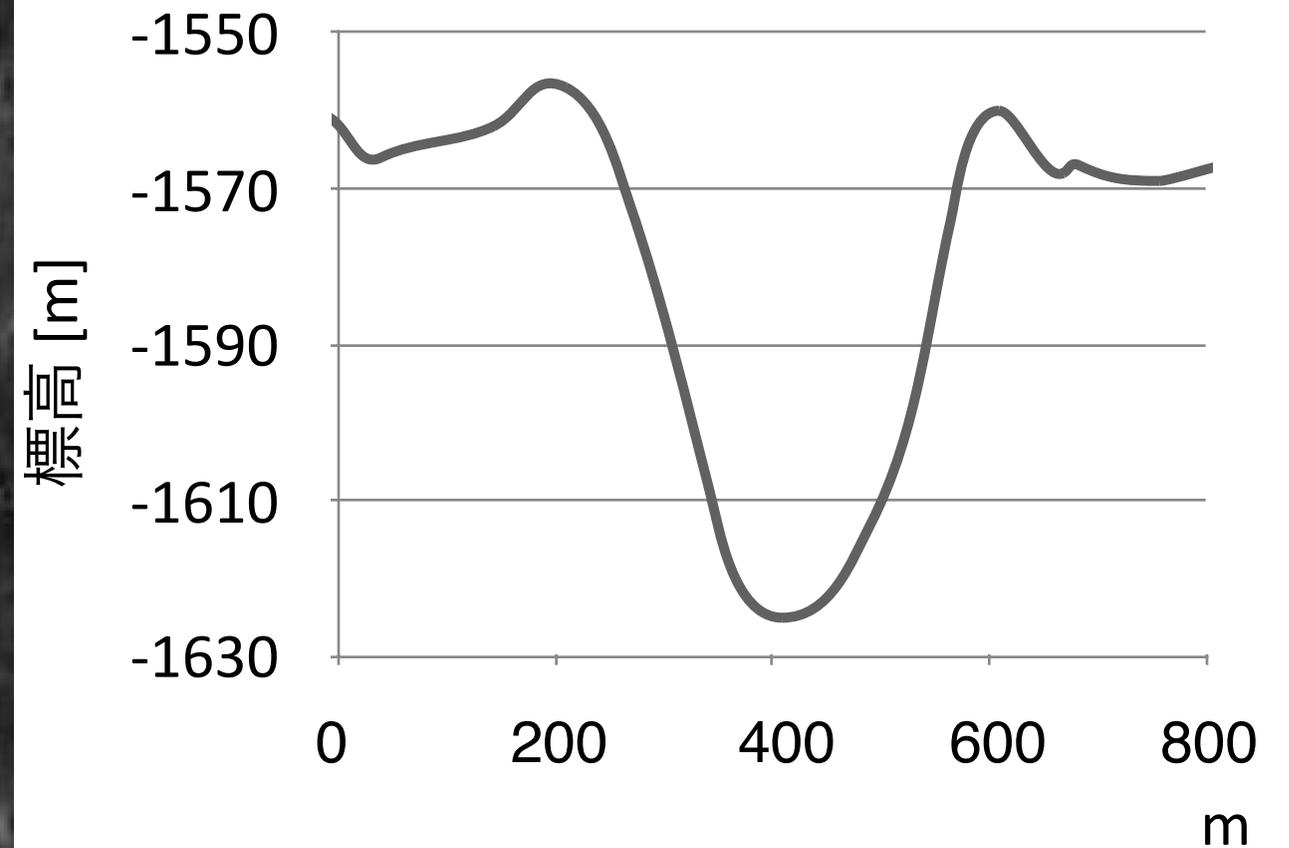
- 宇宙風化を受けていない、起源の明確な露頭の岩石
- クレーターの内壁



## 2. システム要求の根拠：クレーターの例



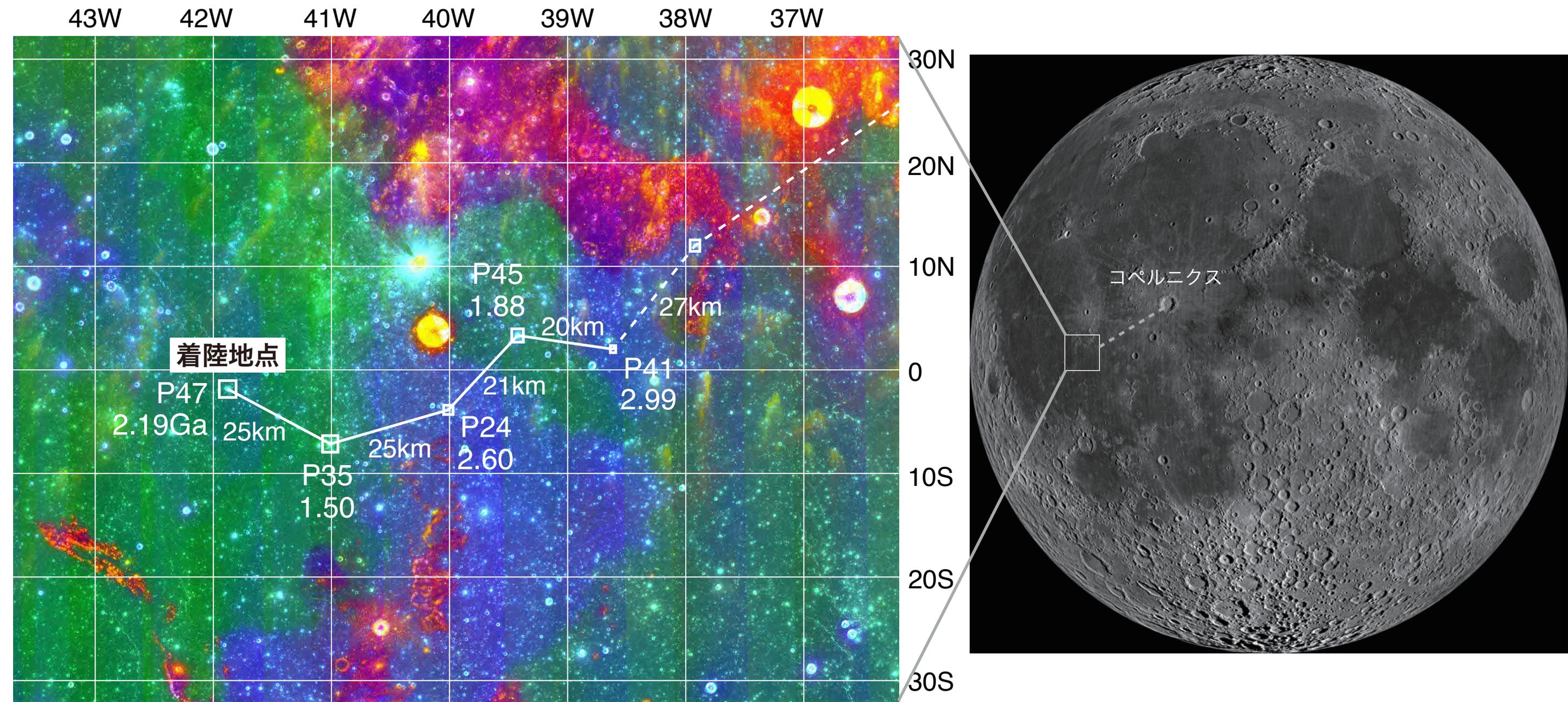
かぐやTC画像



新鮮なクレーターは明瞭な光条を持つ

## 2. システム要求の根拠：クレーターと経路

10-30Gaの異なるユニットのクレーター\*5 + 表層の玄武岩層が露出 (直径: 20-500m) + 新鮮なクレーター (宇宙風化してない)



リモセンデータを用いて組成年代の異なる玄武岩ユニットを色分けした図

### 3. システム仕様

---

- 観測・サンプリング機器
- 衛星システム仕様
- ミッションシーケンス
- コンフィギュレーション  
– トレードオフ  
(推進モジュール有無、移動方法、子機親機)
- 質量配分設計 (質量集計表 源泉つき)

# 3. 観測・サンプリング機器

機能	装置	要求	性能/位置
サンプリング	コアドリル カメラ ライト	2cm角サンプル アームが地面に届く 2mm/pixel以下 刃交換	前面 重量20kg
年代測定	LIBS・QMS	火星探査用に開発された装置 を 使える？ 真空系必要なし？	内部 重量15kg
元素分析	QMS	Mg, Fe, Ti, Caが検知可能な 分解能	内部
鉱物同定	薄片製作機 偏光顕微鏡 薄片撮影用カメラ	薄片製作を自動化 薄片厚み1mm以下 刃交換	内部 重量13kg
掘削場決定	ハイパースペクトル センサー	地球観測用ローバーを使用	上部前面 重量1kg
制御	アーム	2cm角サンプルを掴める 外来隕石を掴める	前面 重量10kg
走行ルート判断 他	可視カメラ (望遠・広角) 小型カメラ	数cmサイズの石が判断でき る解像度	上部、側面 重量10kg
その他	月震計 射出装置 旗 自爆装置		

# 3. 衛星システム仕様

## システム要求

月面を100 km以上走破できる

30 degのクレーター斜面上でサンプルを採取できる

5クレーター以上からサンプルを採取できる

1クレーターにつき3か所以上からサンプルを採取できる

700 km走破できる (エクストラサクセスでコペルニクスに到達)

## システム仕様

ミッション期間・寿命:

14日 (フルサクセス)

1年以上 (エクストラサクセス) →

越夜を前提

走破性能:

最高速度 0.5 m/s

30 degの傾斜で転倒せずに走破

50 m程度自律走行可能

サンプル採取アーム、ドリルコア15個を具備

越夜可能な熱制御・電源系システムを具備

# 3. 衛星システム仕様

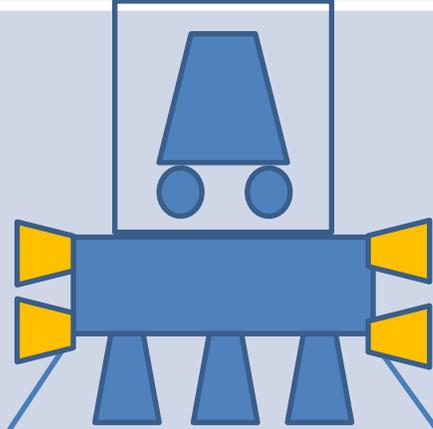
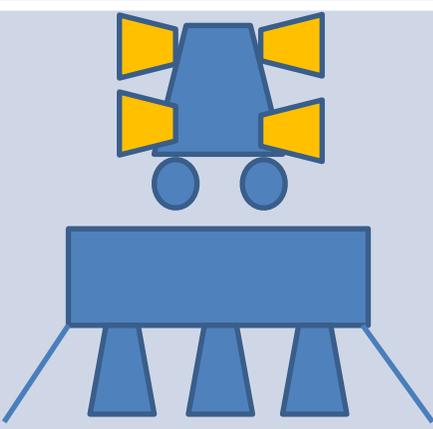
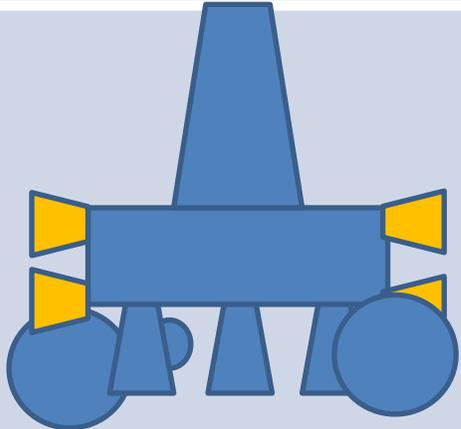
区分	項目	諸元
全体システム	打上げ時期	2027年
	打上げロケット	H2A 204型によるシングルローンチ
		フェアリング：4S型
		PAF：TBD
	システム構成	・着陸船 ・ローバー
	ミッション期間	14日間（フルサクセス）、1年間（エクストラサクセス）
	質量	3,500 kg（打ち上げ質量） 着陸船：2650 kg ローバー：850 kg
	電力	TBD
地上システム	主局として新臼田局を想定	

### 3. 衛星システム仕様：コンフィギュレーション

---

- 今回検討したトレードオフ対象は以下の三つ
  - (1) ステージング構成
  - (2) 月面移動方法
  - (3) サンプル採取方法

# (1) ステージング構成 トレードオフ

	完全分離型	一部パージ	一体型
			
着陸前質量 (A)	○	△	◎
移動時質量(B)	◎	○	△
着陸の容易さ(A)	◎	○	△
分離リスク(A)	△	△	○
着陸後機動性(AA)	△	◎	○
観測視野(B)	◎	○	△
サンプル採取の容易さ(B)	○	◎	△
総合評価	○ (39)	◎ (41)	△ (34)

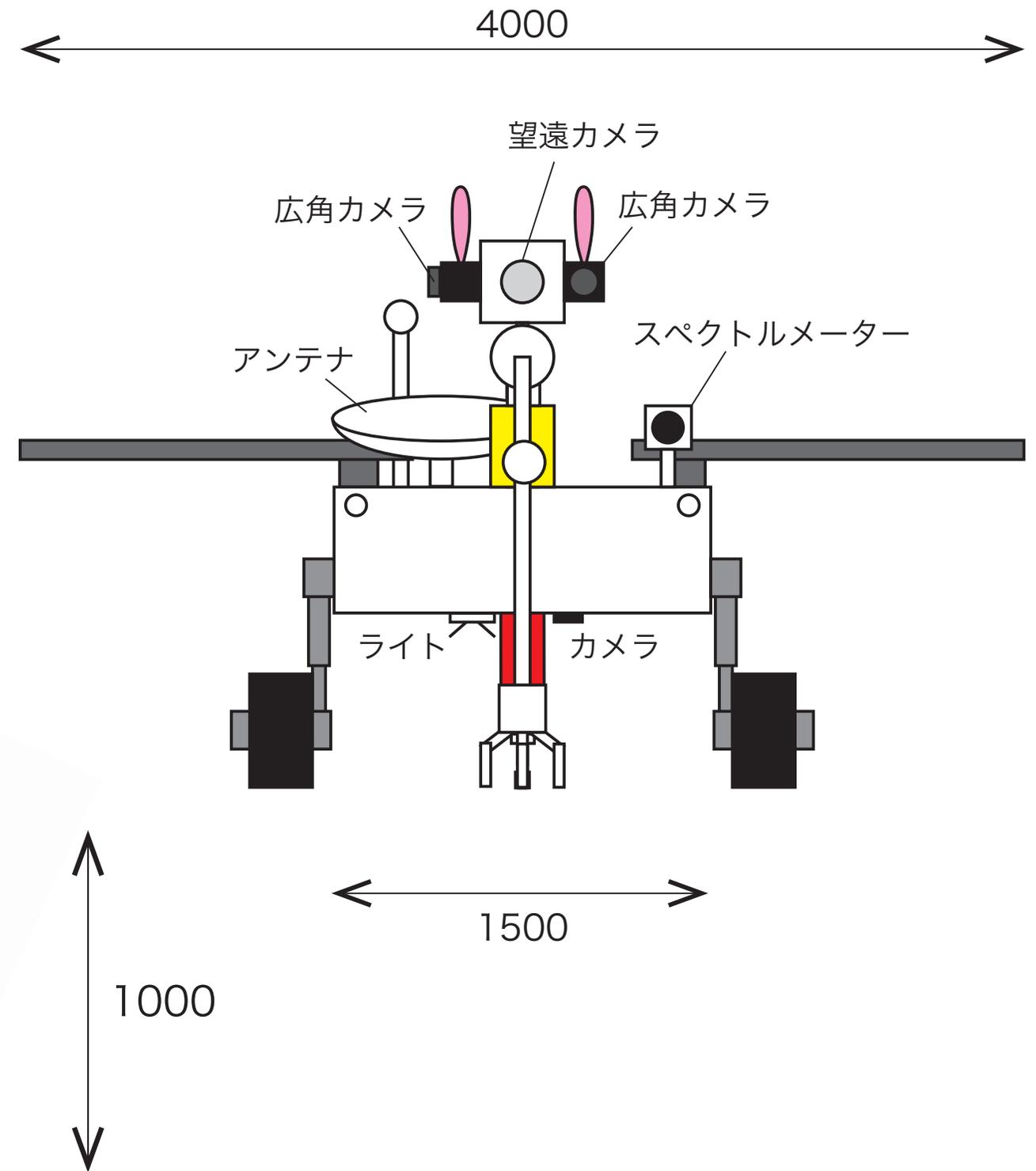
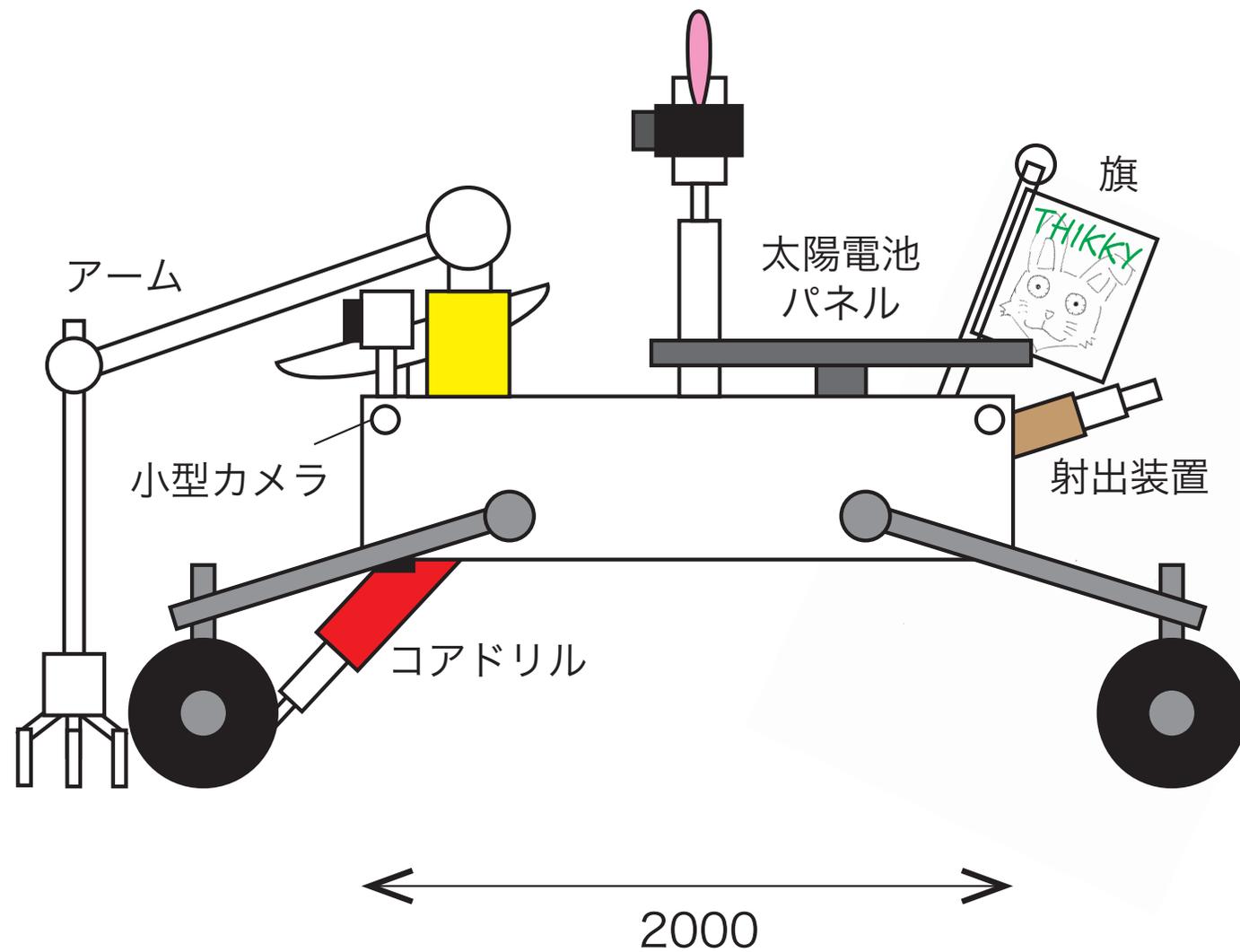
## (2) 月面移動方法

	車輪 (キャタピラ)	多脚型	スラスタ (飛行orスキー)	ホッピング
安定性 (A)	◎	○	△	○
走破性(B)	△	○	◎	○
制御性(B)	◎	○	○	△
スピード(C)	○	△	◎	△
実績(B)	◎	△	△	○
寿命(B)	◎	◎	△	◎
総合評価	31	23	20	23

# (3) サンプル採取形態

	親機単独	子機搭載 (子機自律移動)	子機搭載 (子機を親機が制御)
メリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 制御が簡単</li> <li>・ <u>掘削機能を高くできる</u> (反力に強い)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 親機のリスクを軽減できる</li> <li>・ 狭いところや悪路も走行可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 親機のリスクを軽減できる</li> </ul>
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 機動性が低い (鈍重)</li> <li>・ 悪路に近づけない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 子機にも自走機能が必要</li> <li>・ サンプル受け渡しが必要</li> <li>・ 再ドッキングが必要</li> <li>・ <u>採取時の反力を抑えにく</u> <u>い</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ サンプル受け渡しが必要</li> <li>・ <u>採取時の反力を抑えにく</u> <u>い</u></li> </ul>
総合評価	○	×	×

# 3. 衛星システム仕様：コンフィギュレーション



# 3. 衛星システム仕様：質量配分

		SELENE			SLIM			本探査機					備考
		質量	DRY比	WET比	質量	DRY比	WET比	全体	DRY比	WET比	着陸船	ローバ	
BUS		1457	79		100	89		1148	82				
構造系	STR	374	20	12	25	22	6	315	23	9	221	95	SELENE, SLIMのWET質量比平均
熱制御系	TCS	90	5					98	7		39	59	SELENEのDRY比, 越夜のため増加
姿勢軌道制御系	AOCS	89	5		11	10		28	2		28	SELENEのDRY比, RW削減のため減少	
電源系	EPS	226	12		7	6		196	14		196	SELENEのDRY比, 越夜のため増加	
太陽電池パドル系	SPS	104	6				28	2		28	SELENEのDRY比, MSNデータ縮小のため減少		
通信系	COM	94	5		3	3		70	5		70	SELENEのDRY比	
データ処理系	DH	76	4		11	10		28	2		28	SELENEのDRY比, MSNデータ縮小のため減少	
推進系	UPS	152	8	5	40	36	9	245	18	7	196	49	SELENE, SLIMのWET質量比平均
計装系	INT	252	14		3	3		140	10		56	84	SELENEのDRY比, 機器削減のため減少
MSN		381	21		2	2		100	7			100	DRY-BUS
システムマージン		-	-		10	9		152	11		76	76	DRY-BUS-MSN
DRY質量		1838		61	112		25	1400		40	588	812	WET-推薬
推薬量		1177			330			2100			1995	105	地球-月遷移軌道投入後から月着陸までのΔV
WET質量		3015			442			3500			2583	917	H-IIA204による月遷移軌道投入可能最大質量 SLIMのWET質量は地球周回軌道から 地球-月遷移軌道へのΔVを含む

# 4. リスク分析

	リスク分析	リスク対策
BUS		
構造系	月面着陸時の衝撃による破壊	SLM技術の流用 地上試験
熱制御系	越夜時の断熱	地上試験
姿勢軌道制御系	月面移動制御技術の新規開発	民間技術の流用 地上試験
電源系	越夜時の放電による故障	地上試験
太陽電池パドル系	月面着陸時のコンタミ	着陸後のパドル展開
	月面移動時のコンタミ	洗浄機能の追加
	月面移動時の振動による破壊	地上試験
通信系	地上からのリアルタイム操作技術の新規開発	自律制御技術の併用 民間技術の流用
	月面移動時の地上局指向技術の新規開発	地上試験
データ処理系		
推進系	多数のOMEの同時使用	地上試験
計装系	コネクタの分離失敗	地上試験
MSN		
分離機構	月面上における分離失敗	地上試験
ローバ	悪路走行	自律制御による障害物回避 地上試験
	低重力下における走行	地上試験
アーム	低重力下における捕獲失敗	地上試験
ドリル	低重力下における掘削失敗	地上試験
LBS-QMS	データ精度の信頼性	複数地点の観測
ハイパースペクトルセンサ	月面着陸時のコンタミ	カバーの追加
	月面移動時のコンタミ	洗浄機能の追加
光学顕微鏡	月面着陸移動時の振動による破壊	振動吸収装置の追加 地上試験
薄片作成機	自動薄片作成技術の新規開発	民間技術の流用
	薄片作成失敗	地上試験
可視カメラ	月面着陸時のコンタミ	カバーの追加
	月面移動時のコンタミ	洗浄機能の追加

## 4. スケジュール・コスト

### スケジュール

時期	イベント
2017	MDR
2018	SRR
2020	SDR
2022	PDR
2023	CDR
2025	第一次噛み合わせ試験
2026	システム総合試験
2027	開発完了審査・打ち上げ

フロントローディング期間を2年間確保

EM試験を2年間確保

### コスト

WET質量 3500 kg より、過去の探査機を参考にして600億円  
(フロントローディング50億円、打ち上げ100億円含む)

# 5. 最後に：命名

---

## ミッション名

**A**cross

**B**orders for

**R**esearch

**O**n

**A**ge-

**D**ate

## ローバー名

**T**sugawa

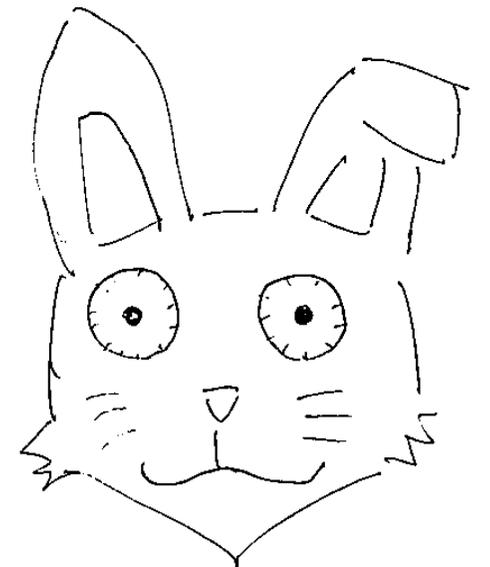
**H**ayashi

**I**noue

**K**ato

**K**iuchi

**Y**asui





	SPA着陸	人工衝突	長距離探査	その場	SR
理学価値	<ul style="list-style-type: none"> <li>SPAの年代</li> <li>月の歴史</li> <li>ミニ磁気圏, 基地候補</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>内部構造 (要月震計)</li> <li>衝突物の組成</li> <li>放出物</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>若い年代の岩石</li> <li>→クレーター年代学補間</li> <li>太陽系進化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>多数</li> <li>巨大石</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>精度</li> <li>鉱物測定</li> </ul>
工学的難易度	<ul style="list-style-type: none"> <li>裏面着陸 (中継機)</li> <li>要越夜</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>推薬</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>長距離走行</li> <li>要越夜</li> </ul>		
ステークホルダー	<ul style="list-style-type: none"> <li>理学</li> <li>政治家?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>理学</li> <li>NEA危惧? (政治、軍事)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>理学</li> <li>Google (street view)</li> <li>→一般人</li> <li>アウトリーチ</li> </ul>		
備考					<ul style="list-style-type: none"> <li>薄片容易</li> </ul>