



月に水はあるのか？ TURTLE Mission

カメさんチーム

(榎戸, 三上, 堀川, 鈴木, 田中, 奥野, 生田)



V.S



ミッション

- ミッション名

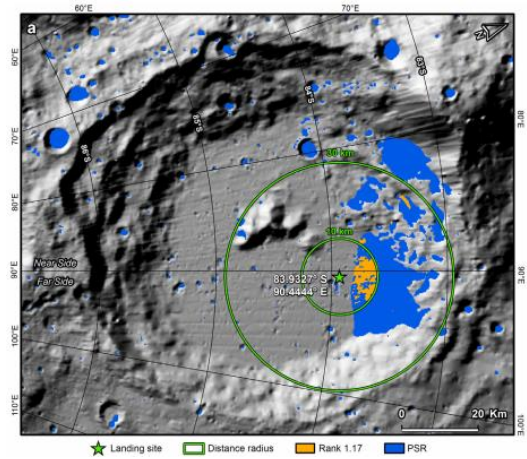
 - TURTLE

 - Top Useful water ReTurn Lunar Explorer

- キャッチコピー

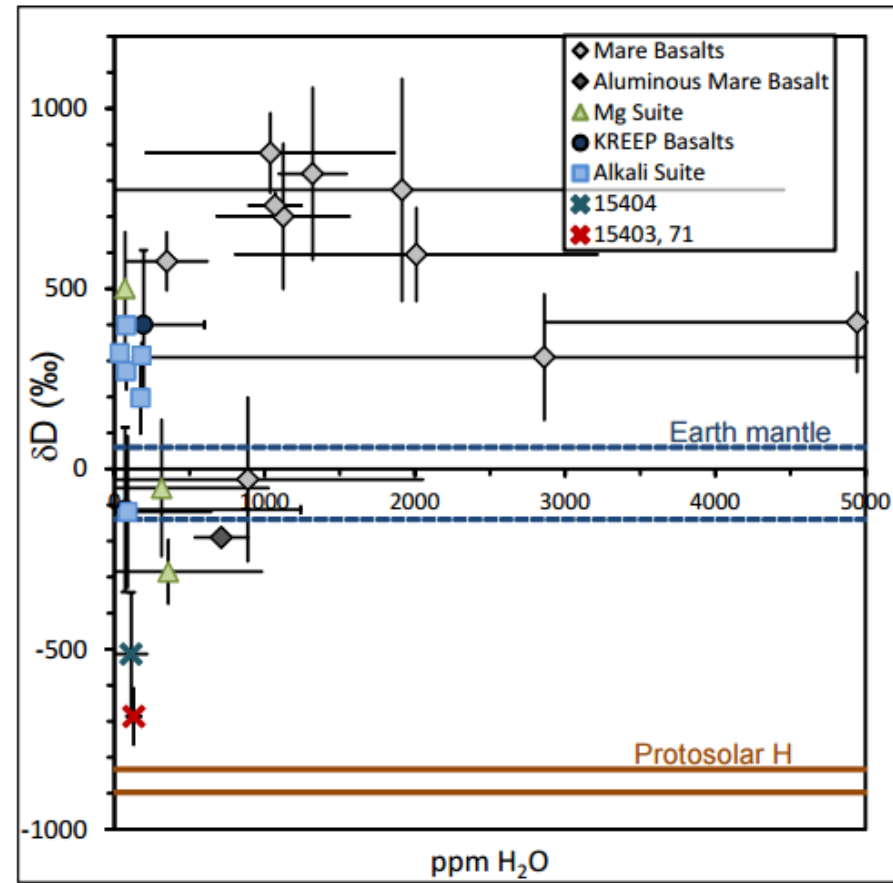
 - 水を求めて十万里～月の霜柱を掘り当てよう～

- アムンセンクレーターに着陸し，サンプルリターンする



月の水

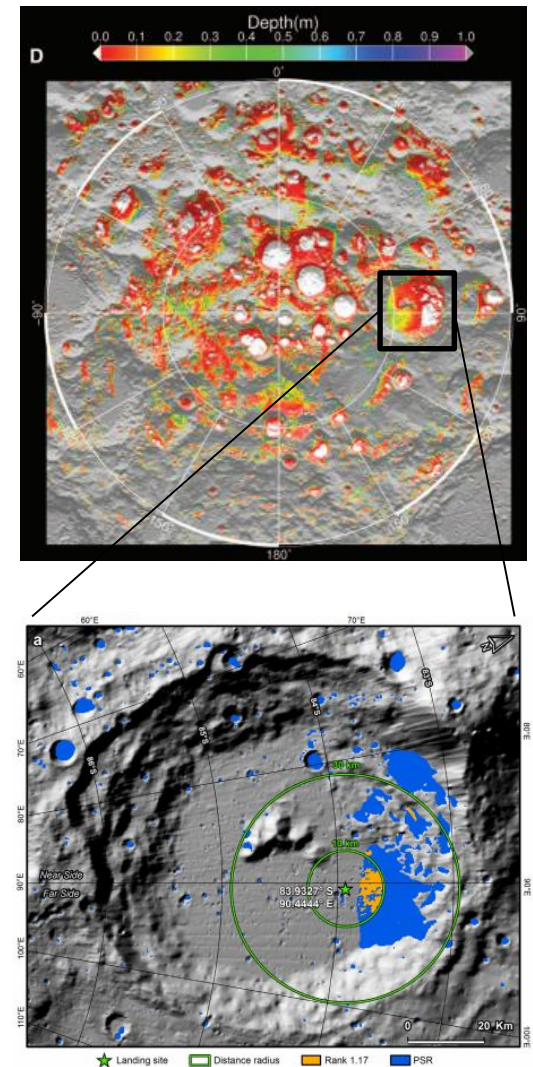
- 表面
 - DEEP IMPACT・Cassini の観測 [Clark+ 2009]
- 深部
 - アポロ月試料, 月隕石の分析
 - 火山ガラスからのH₂Oの検出 [Albert+ 2008]
- 月の水の量・起源は不明
 - 宇宙線起源 VS. 小惑星・彗星 VS. 月形成時に既に存在
 - 地球-月系の形成過程
 - 月形成時に水は生き残れたのか
 - 太陽系進化過程の理解
 - 大規模な惑星移動の証拠 (asteroid VS. comet)



月試料のD/H比 [Robinson+ 2013]

極域の水

- 極域には水が広く分布
 - 中性子のカウンティングやLCROSS 衝突のイジェクタの観測から示唆 [Paige+ 2010, Lemelin+ 2014]
 - ~ 30 億トン
 - 資源利用としての価値
 - 永久影もしくはその周辺に存在する可能性



南極域の氷の深さ分布 [Paige+ 2010]
アムンセンレーター周辺地図と永久影
[Lemelin+ 2014]

目的

- 月内部の水の有無を調べる
 - 水がある場合
 - その起源を理解できる精度での同位体分析
 - 資源として月の水が利用できる量があるか調べる
 - 水が無い場合
 - Hの由来としての粘土鉱物、有機物種の同定
 - 形成時の水環境の理解

ミッション要求

- 水の存在度が高い領域に着陸
 - 着陸回数: 1 回
- 月の深さの違うサンプルをどの深さのサンプルかわかるように3 点採取する
 - 深さ: 0m, 0.5 m, 1 m (TBD, 量, 起源を調べる)
- 水の同位体を測定できる
 - 精度: ~ppm
 - H₂O: > 1 mg

システム要求

- 極域の永久影もしくはその周辺に着陸し、そこで動作する
 - 着陸精度: $\sim \text{km}^2$
- 月のどの深さのサンプルかわかるようにサンプリングする
- サンプリング地点の形状・状態を取得
 - 精度: サンプリングの形状状態がわかる精度(TBD)
 - 取得タイミング: 着陸機の影響を受ける前, サンプル取得前
- ミッション機器を動作するために必要な電力を供給
- 観測データを地球に伝送できる
- サンプルの質量: $> 1 \text{ g}$

システム設計

システム要求

極域の永久影もしくはその周辺に着陸すること

月の地中のサンプルを採取する
サンプルの深さ情報を識別できること

サンプル試料を最低1g採取すること

サンプリング地点の形状・状態を取得すること

観測データを地球に伝送できる

ミッション機器を動作するために必要な電力を供給すること

システム設計

周回機＋着陸機

着陸機は自身を目的位置に誘導する

着陸機はドリルを持つ

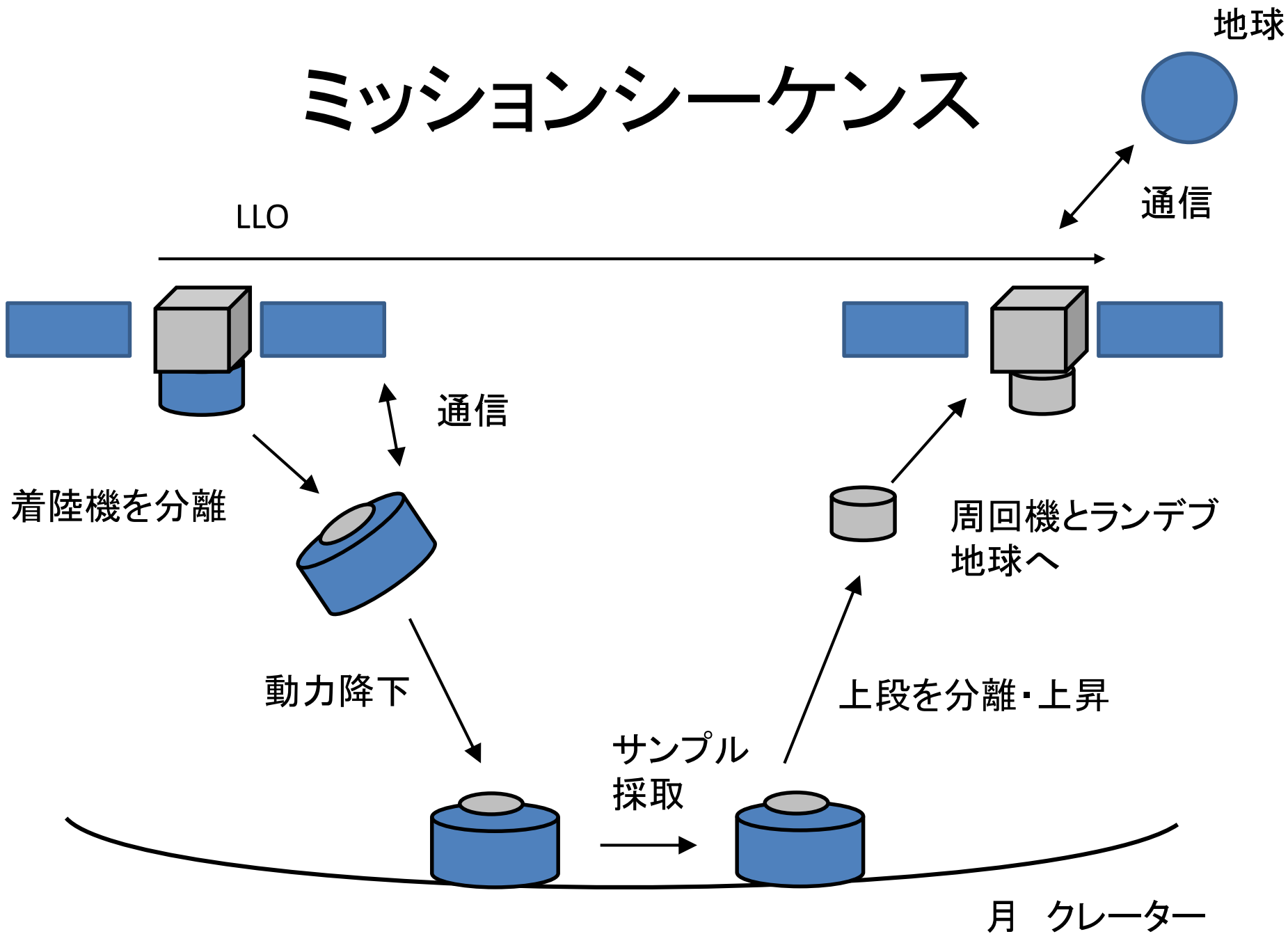
着陸機はサンプラーを持つ

着陸機は光学カメラ＋投光器、赤外カメラを持つ

着陸機は周回機と通信する
周回機は国内S/X局と通信する

着陸機はバッテリーを持つ

ミッションシーケンス



システム配分

- 機能配分

- 周回機

- 地球-月間を往還できる

- 着陸機

- 上段

- サンプルを周回機へ運ぶ
- 周回機にランデブ

- 下段

- 目的地に軟着陸する
- 観測に必要な電力を供給する(3日分)
- サンプルを採取する

- 質量配分

- 地球出発時2,877 kg(WET)

- 周回機: 1,680 kg

- 着陸機: 90 kg (上段)

330 kg (下段)

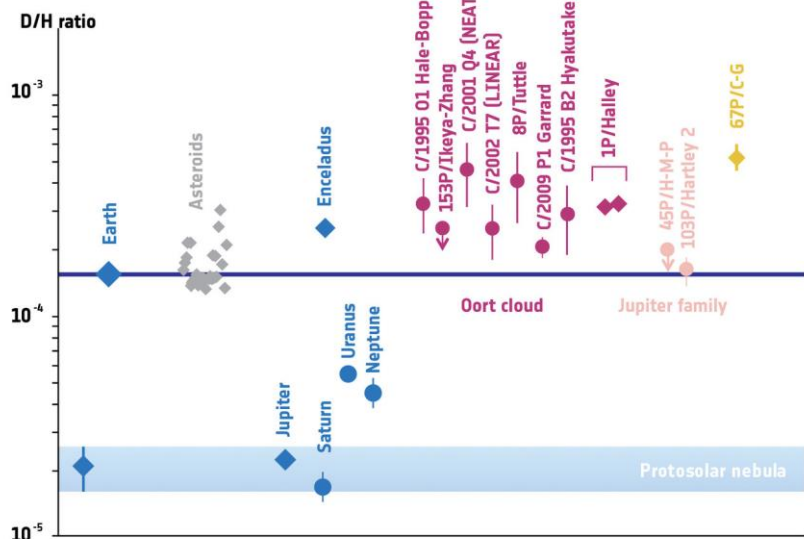
ΔV_0	3118.816	m/s	この部分はロケットの仕事
m1	2100	kg	母船と月着陸船の総質量
Isp1	310	sec	母船の比推力
ΔV_1	821.4003	m/s	トランスファー軌道から月周回軌道へのマヌーバに必要な増速量 (m/s)
f1	497.2108	kg	母船に必要な燃料その1
m2	420	kg	月着陸船の総質量
Isp2	300	sec	月着陸船下段の比推力
ΔV_2	22.99992	m/s	月周回軌道から降下軌道へのマヌーバに必要な増速量 (m/s)
ΔV_3	1702.938	m/s	月着陸に必要なマヌーバの増速量 (m/s)
f2	186.4026	kg	月着陸船下段に必要な燃料
m2_0	143.5974		月着陸船下段の燃料以外の質量
m3	90	kg	月着陸船の上段質量
Isp3	290	sec	月着陸船上段の比推力
ΔV_4	1702.938	m/s	月からの上昇に必要なマヌーバの増速量 (m/s)
ΔV_5	22.99992	m/s	月周回軌道に移るためのマヌーバに必要な増速量 (m/s)
f3	40.94586	kg	月着陸船上段に必要な燃料
m3_0	49.05414	kg	月着陸船上段の燃料以外の質量
m4	1182.789	kg	月軌道離脱時の母船質量
Ips1	310	sec	母船の比推力
ΔV_6	822.0158	m/s	月周回から地球へのトランスファー軌道に必要な増速量 (m/s)
f4	280.2283	kg	母船に必要な燃料その2
f5	777.4391	kg	母船に必要な総燃料量 (f1+f4)
m1_0	902.5609	kg	母船の燃料以外の質量
ΔV_7	10983.72	m/s	大気圏再突入時の速度 大気抵抗で止める

実現への課題

- 越夜や永久影での活動性の確保
 - 永久影で活動するに十分な電力確保
 - バッテリーの軽量化(~100 kg)
 - 月面上の発電所から送電(マイクロウェーブ, ケーブル)
 - 保温性
- サンプル採取・保全技術
 - 採取時、カプセル封入時の温度管理
- 周回機へのドッキング技術

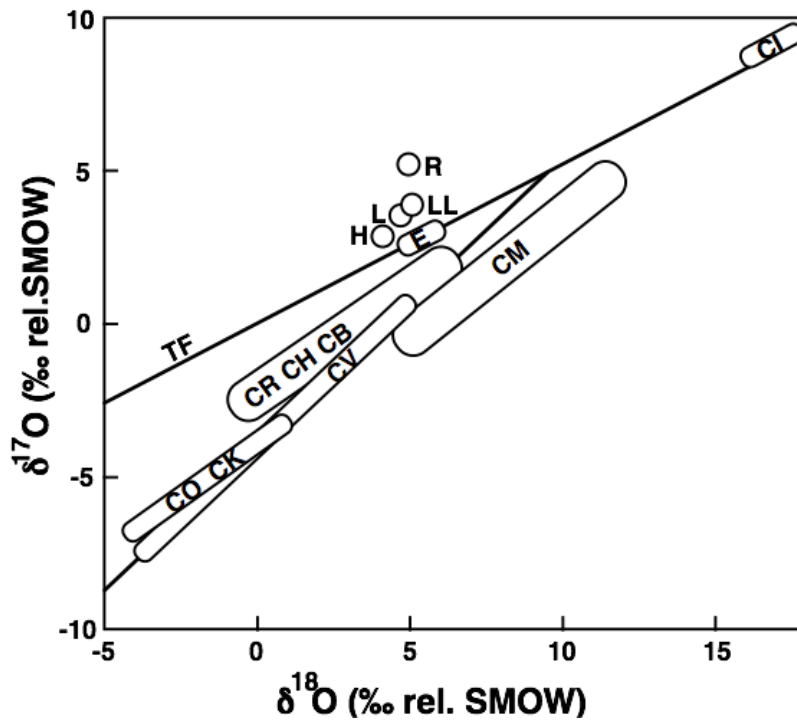
終わり

水素同位体比(D/H)



Altwegg et al., 2014

三酸素同位体比



Clayton et al. (1991)