

# 火星着陸探査技術実証機における着陸地点候補と環境予測

宮本英昭(東大),小松吾郎(IRSPS),臼井寛裕(東工大),三浦弥生(東大),石上玄也(慶大),小高正嗣(北大),亀田真吾(立教大),杉田精司(東大),杉山耕一郎(JAXA),高橋芳幸(神戸大),長勇一朗(立教大),西澤誠也(理研),野々村拓(JAXA),はしもとじょーじ(岡山),林祥介(神戸),藤田和央(JAXA),逸見良道(東大),諸田智克(名大),山口結花(東大)

火星着陸技術実証WGでは、そのミッションスコープとして、火星年代学探査と火星生命探査の2案について検討を進めてきた。この2案の着陸地点として、工学的制約および科学的的重要性から絞られた6地点を、その選定の根拠と共に以下に示した。生命探査については①メラス・カズマを、年代学探査については④シルティスメジャーを第一候補としている。

**優先順位2位(b): マルテ・バレス(Marte Vallis)**

Site Name	Marte Vallis
Center Coordinates	105.6W 8N
Elevation	-3100
Prime Science and distance	

黒いハッチ揮発性成分の放出の痕跡

- 最も最近の水・火山の流動が見られる地域
- 黒いハッチは水、揮発性成分の近年の放出の間に位置するので熱流量が高い
- 地下に帯水層が現在も存在してきた
- 長期間の水の流動、海、湖、流水チャネルなどの証拠が存在

**優先順位1位(a1): メラス・カズマ(マリネリス峡谷内のRSL)**

Site Name	Melas Chasma
Coordinates	68.52W 11.47S
Elevation	-4800
Prime Science	ILD 7.5 km, RSL 25 km

着地点候補

ターゲットのクレーター(RSL)

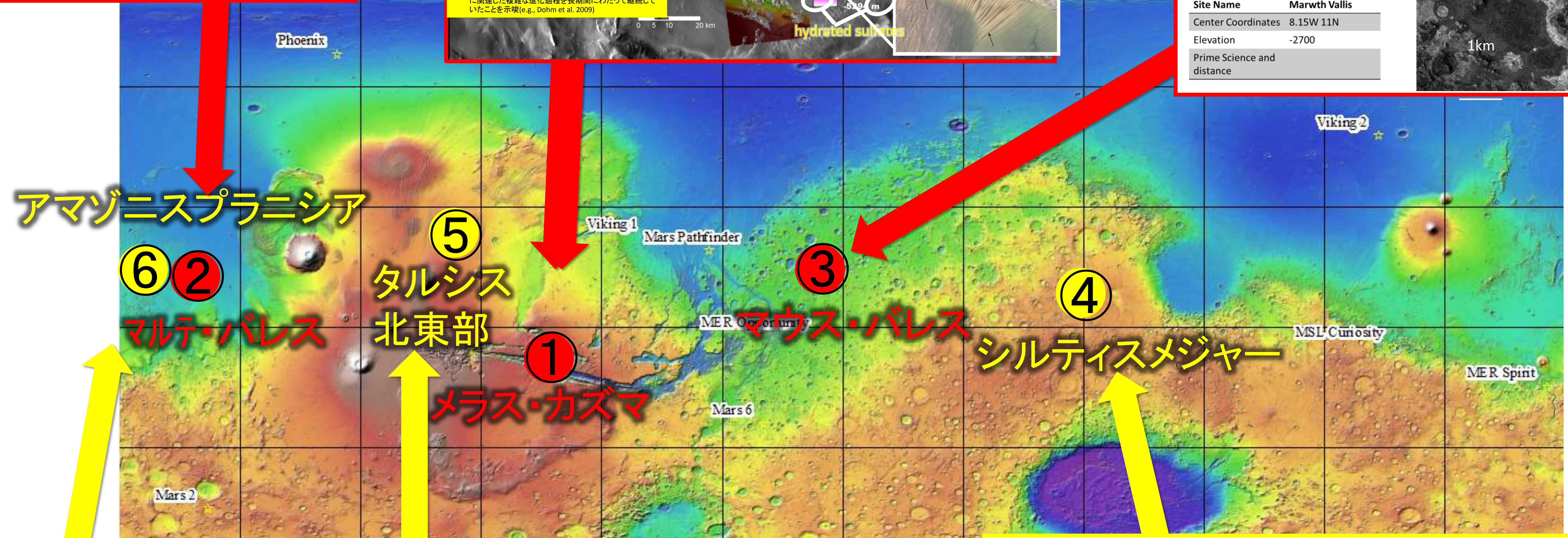
- 水が関与している地形として最も有力であり、現在も繰り返し活動が観察されているRSL(Recurring Slope Linear)が多数存在している(McEwen et al., 2014)
- マリネリス峡谷中で最も深い場所であり、水が最後まで残っていた可能性が高く、かつ地下水の活動を示唆する証拠もある(e.g., Golombek 1989)
- 硫酸塩水和物や地湧り堆積物の存在などから、長期間にわたって液体の水の存在が示唆されたことは確実(e.g., Bibbing et al., 2015)
- ノブや深い流動層などの存在は、この場所が熱から地下水に関連した複雑な進化過程を長期間にわたって継続していたことを示唆(e.g., Dohm et al., 2009)

**優先順位3位(c): マウス・バレス(Marwth Valles)**

地下に水が存在することがGRSで明らかにされている中で、特に粘土鉱物の存在、粘土鉱物の腐蝕水や隙間に入る腐蝕水の周囲の環境が微生物の生息を可能とする、という仮定に立てば有望。同一地域に広範囲に分布しているメリットがある。

火山灰の変性したスメクタイトが分布。モンモリロナイトも？ 粗間水もあるはず

Site Name	Marwth Vallis
Center Coordinates	8.15W 11N
Elevation	-2700
Prime Science and distance	



**優先順位6位: アマゾニスプラニシア (Amazonis Planitia)**

基盤岩がヘスペリア代と定義されている場所が点在している。数多くの(溶岩のような)流動地形が存在している。

**優先順位5位: タルシス北東部(Tharsis)**

東側の「溶岩流地形が顕著な場所」が有力候補のひとつ(確実に「溶岩流である」と言えるという点で有望)。北側にはヘスペリア代と報告されている溶岩流地形が存在する。ただし、明瞭な溶岩流の示すクレーター年代はアマゾニス代である。下図のような数枚の年代の異なる溶岩が重なっている地点も見つかっている。

**優先順位4位: シルティスメジャー(Syrtis Major)**

起伏・傾斜が比較的小さく、熱慣性が比較的大きく、ヘスペリア代の年代を示す溶岩らしき構造が存在。ヘスペリア代の基盤岩からなる地域で、数地点について実際にクレーター年代を求めてみると30-38億年の年代が得られた。画像・鉱物組成等をもとに検討を行い、いくつかの候補地点を選定することができた。

## 1 背景と着地点への制約

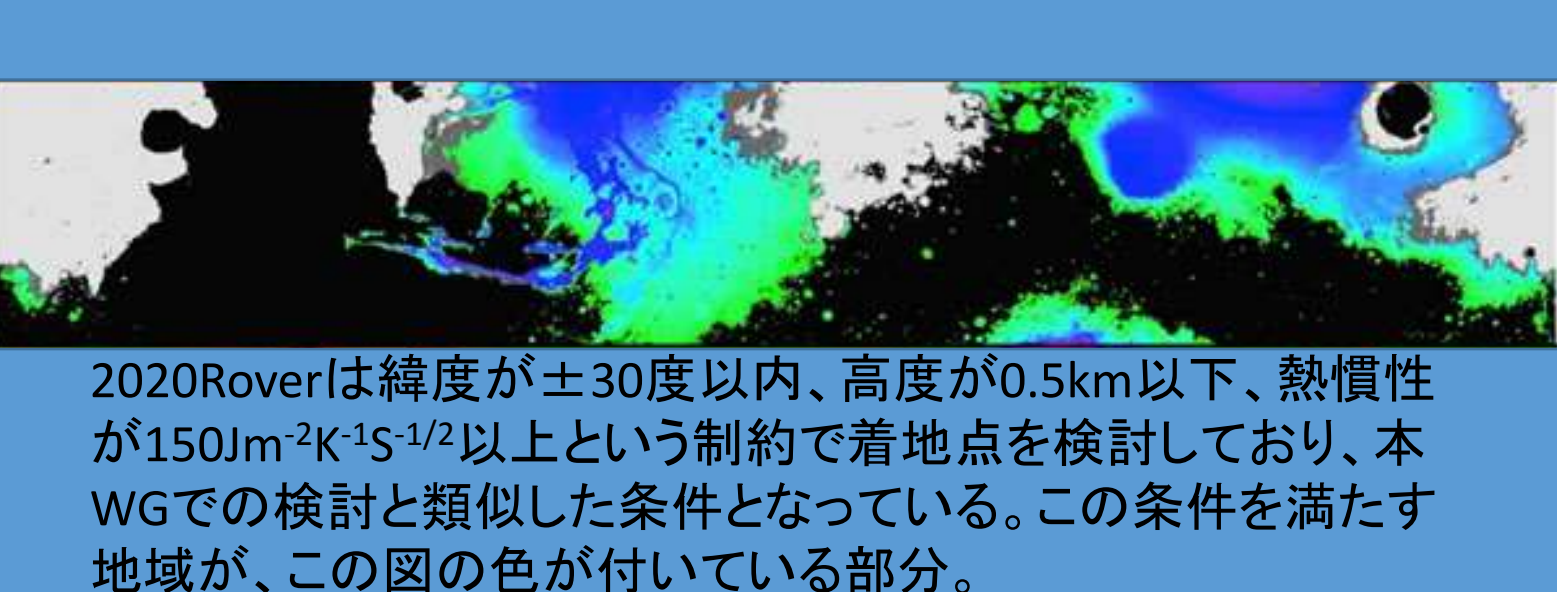
火星着陸探査技術実証WGでは、2014年夏頃には生命探査と年代学探査の2つのスコープに絞って検討を進めてきた。着地点としての制約は、①着陸構型としておよそ20km程度の大きさを考え、この内部に大きな障害物等が存在しないこと、②標高が3km以下、できれば2km以下であること、③北緯30度から南緯10度程度までの範囲であること、などが挙げられた。

### 2-1 生命探査

生命の直接検出を目指す生命探査スコープにおいては、火星史について以下の考えに沿って、近年まで生命が存在していた場所およびそこへの地表面へのアクセスがある場所として最も有望な場所を検討した。

- ①~40億年前に火星には生命が発生できる環境があった(Baker et al., 2007)
  - (~35億年前から現在まで火星に生命が生息)
- ②35億年くらい前までは地表でも繁栄、地中にも生息(継続的な火山活動や帯水層の存在)
  - (その後は表面環境の劣化のため、生息圏は地中に向かう)
  - (Clifford and Parker, 2001; Ehlmann et al., 2011; Grotzinger et al., 2014)
- ③火山活動はごく近年(少なくとも数百Maくらい)まで継続(現在も小規模で継続の可能性が高い)
  - (Neukum et al., 2004; Hauber et al., 2011)
- ④内部からの熱流量により、帯水層は液体のまま長時間保たれた(Clifford et al., 2010; Lasue et al., 2013)
  - ⑤現在も火山活動があり、最近の流水活動が存在するのは、帯水層が現在も存在することを示唆(Clifford et al., 2010; Burr et al., 2002; Lasue et al., 2013)
- (特に南北40~70度くらいの地下数キロには継続的に帯水層が存在(現在の生命圏)
  - そこで40億年前から現在まで、生命活動が継続できる帯水層と呼べる環境が
  - 5-1. 常に火星の地下のどこかに存在している可能性が高い(Clifford et al., 2010)
  - 5-2. 少なくとも断続的に火星の地下のどこかに存在している(Lasue et al., 2013; Michalski et al., 2013)
- ⑥いずれのケースでも、地下の帯水層の内部に生命活動が継続していた(Fisk and Giovannoni, 1999)
- ⑦現在まで断続的に続く火山活動(泥火山等の揮発性成分の放出イベントを含む)Komatsu et al., 2011)、地殻活動、インパクトなど(Baratoux et al., 2011; Neukum et al., 2004)により、帯水層の物質が地表に放出される
- ⑧表面の気体・ダストの移動と共に、火星表面で広範囲に移動し生息に適した地で生き延びる(生存期間は短いかもしれない)
- ⑨そのため、最も生命探査に適した場所は、
  - 8-1. 地下から生命が放出されている部分の周囲
  - 8-2. 表面の状態が特殊な場所(濡れていた、水蒸気があった等)と考える

## 2020 Mars Roverの着地点への制約



### 2-2. 年代学探査

ヘスペリア代の火山岩試料を採取してK-Ar年代を決定することを目指し、特に火星の火山活動史、および火星の表面環境が温暖湿潤気候から寒冷・酸性へと変化した時期に関する絶対年代指標を得ることを目的として検討した。その意味で着地点としては、①ヘスペリア代の溶岩流からなる地域で、衝突や水質変成を受けた痕跡がないfreshな試料が存在していること、②地質学的背景が明確であることを制約条件として検討を進めた。

- K-Ar年代測定に適した岩石・場所の考え方
1. Kを含む鉱物が存在する火成岩で、玄武岩などが候補。火星起源の隕石では、斜長石(またはマスケリナイト)が0.1-数wt%のKを含んでいる。
  2. スコリア等は避ける(空隙に火星大気を含んでいる可能性が高いため)。
  3. 表面に厚いダスト層がない場所が望ましい。
  4. 衝突クレーターに直接着陸することは避ける(放射起源 $^{40}\text{Ar}$ を脱ガスしている可能性や着陸時のリスクを回避するため)。
  5. 岩塊がたぐさん存在する場所は避ける(試料採取の困難さや着陸時のリスクを回避するため)。

## 3. 大気大循環モデルを用いた表層環境評価

火星表層環境評価チームでは、複数の数値モデルを用いて惑星規模から大気境界層スケールにいたる火星表層環境に関する情報提供を目指している。ここでは惑星大気大循環モデル DCPAM (Takahashi et al., 2013) による表層環境評価の結果を紹介する。

### 計算設定

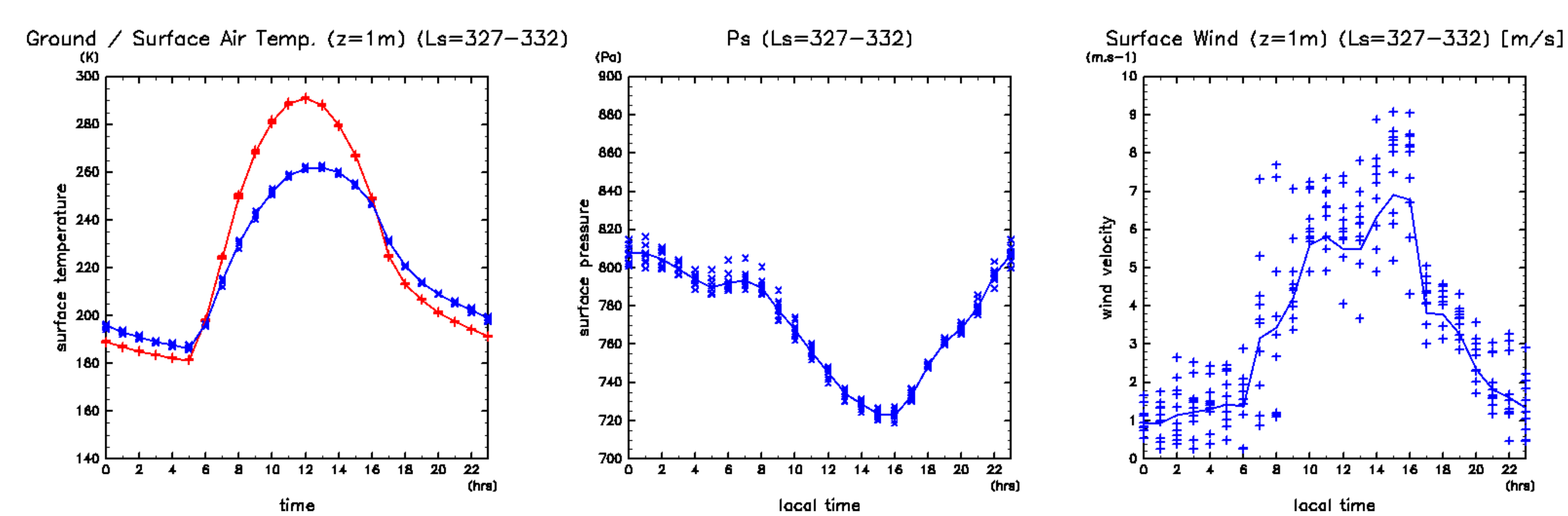
- 水圧切断波数 31 (水圧格子間隔約 200 km)
- 鉛直層数 36 (モデル最下層高度は約 3 m)
- ダスト分布は観測結果に基づき与える

### 場所と季節

- Juventae Chasma (4.8°S, 298.2°E), Ls=327°-332°(北半球の晩)

### 評価結果の概要 (図X):

- 日平均気温は 220 K, 日変化の振幅は 70 K.
- 日平均風速は 4 m/sec.



Ls=327°-332°におけるJuventae Chasmaの表層環境評価の結果(左)地表面温度(+)と高度1mにおける気温(+)の日変化。(中央)地表気圧の日変化。(右)高度1mにおける風速の日変化。各図の実線はLs=327°-332°における平均値。

