

火山地域における移動探査ローバの自律走行試験

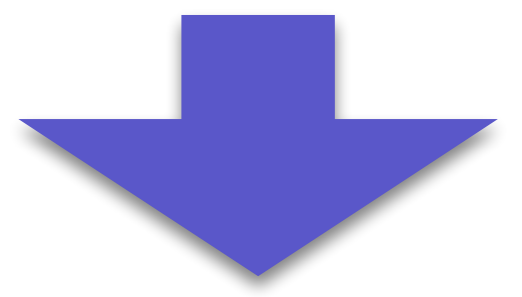
真吉寛^{1†} 大津恭平¹ 西山万里¹ 眞下泰輝¹ 渡邊哲志³ 坂本康輔⁴ 吉川健人² 大槻真嗣² 久保田孝²

¹東京大学大学院 ²JAXA 宇宙科学研究所 ³中央大学 ⁴早稲田大学

k_mayoshi@ac.jaxa.jp

1. ローバによる月・惑星探査

惑星表面を移動しながら，様々な観測機器によるを用いた直接探査を行うことが出来る



しかし，以下の様な制限下での探査を求められる

- 地球-ローバ間での通信遅れ



Earth

$2.25 \times 10^8 \text{ km}$

4-22 min/one way

$3.8 \times 10^4 \text{ km}$

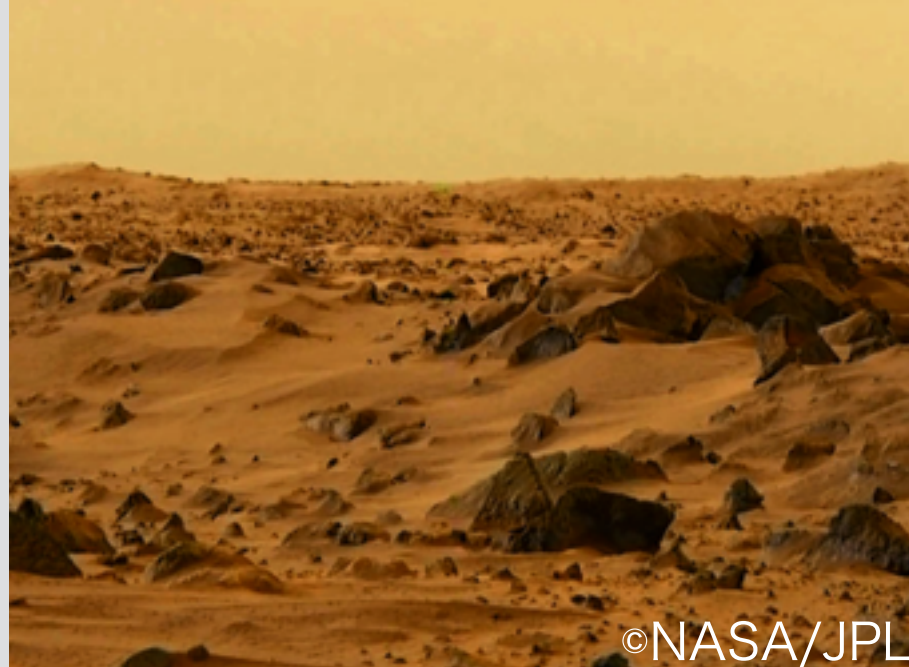
1.3 sec/one way

Moon



Mars

- 未知環境・不整地での走行



火星・クリュセ平原



伊豆大島裏砂漠

- 様々な大きさの岩が乱立している
- スリップが起きやすい砂漠の様な地形
- 緩やかな斜面

このような環境でローバが探査を行うには，

✗地球上からの人間による遠隔操縦

-通信遅れがある中で，環境の変化に対応しながら走行する事が困難

○ローバがオンボードで処理を行う **自律走行**

-通信遅れに影響されずに走行することが出来る．

自律走行

環境認識 → 経路計画 → 走行

自己位置推定

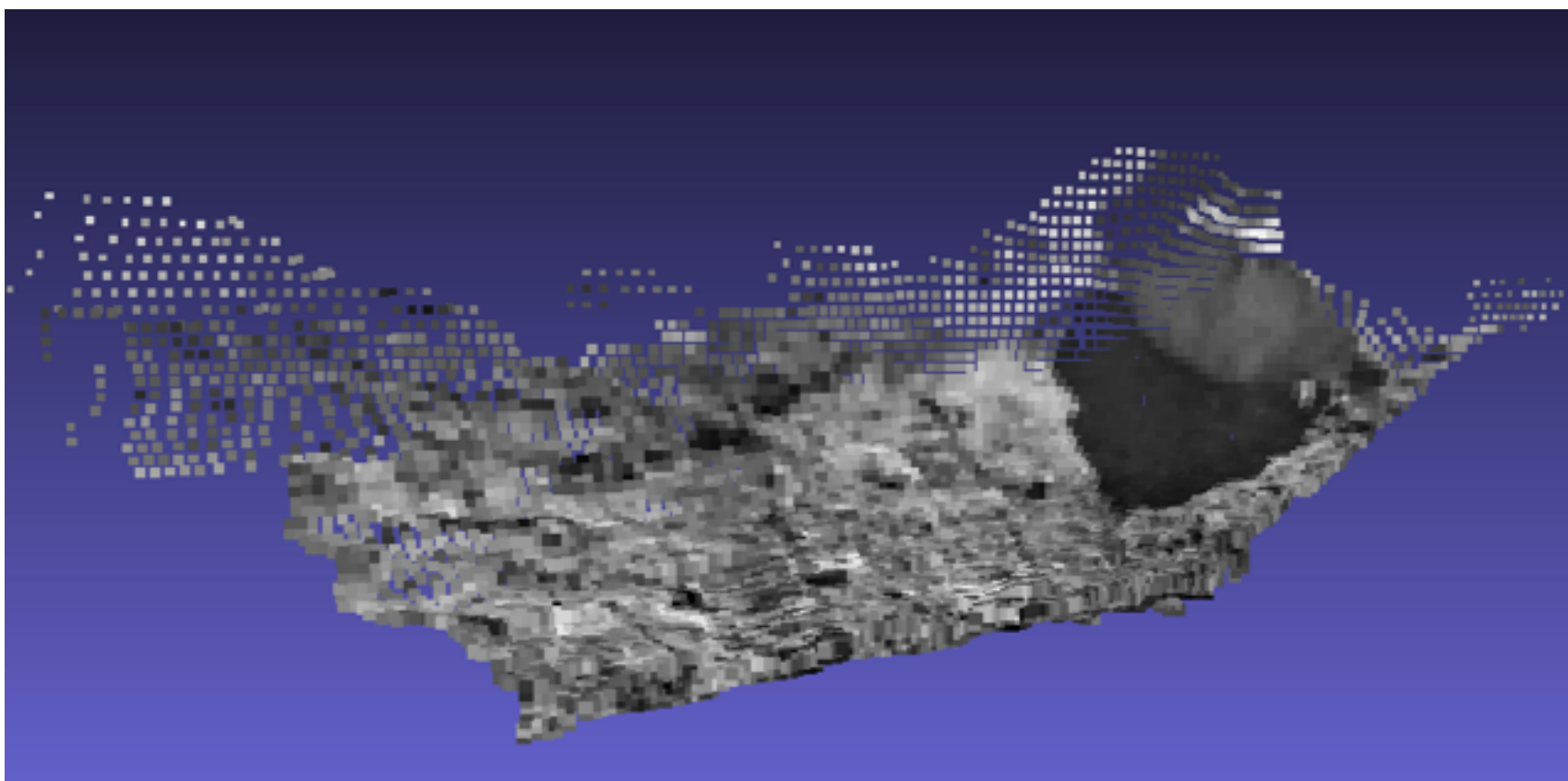
2. 環境認識

二台のカメラを用いたステレオ視によって周囲の幾何形状を復元し，障害物(岩・溝など)や探査対象を検知する

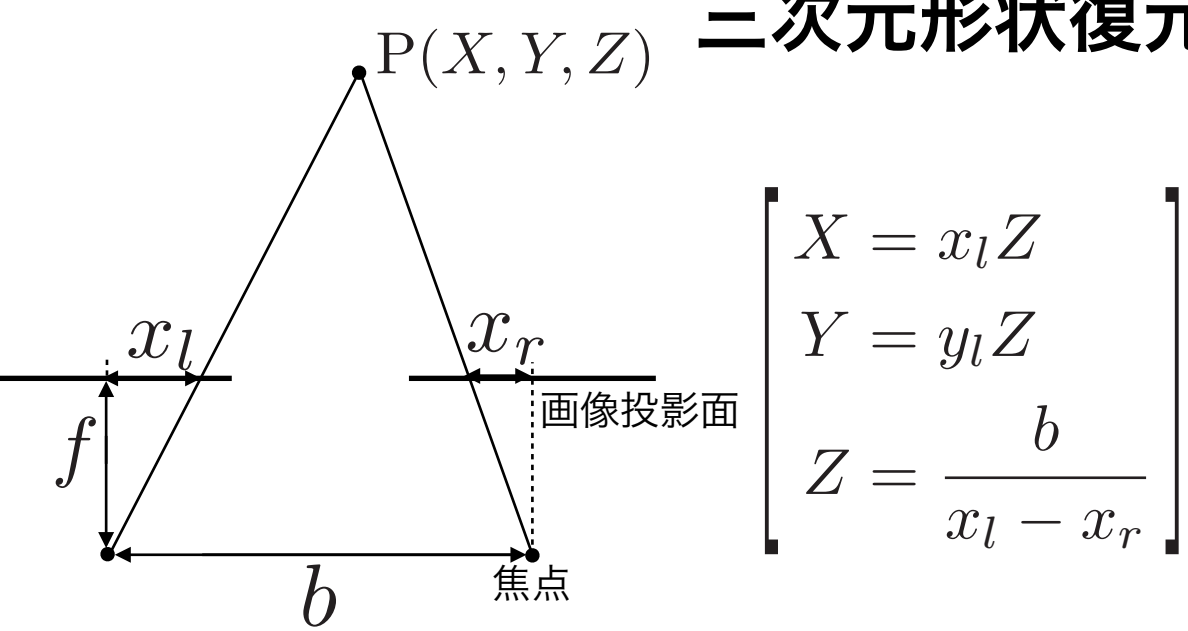


視差画像

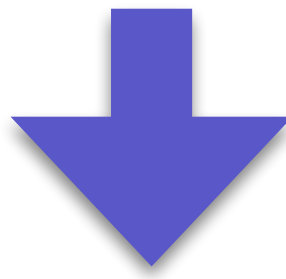
三次元形状復元



地面から閾値を超えた凹凸を障害物と認識する



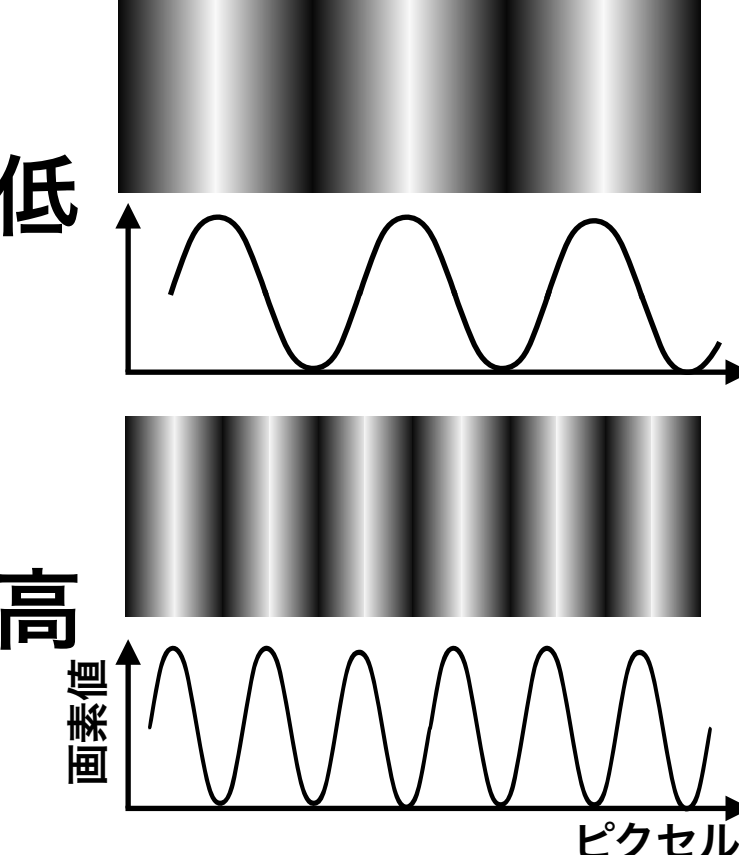
- HDRカメラの使用により、屋外の厳しい光源環境の中で自律環境認識が行える画像を撮像できた
- 太陽光の直接入射によるレンズフレアが発生した際に、環境認識能力が著しく低下した
- 広角レンズを用いたことで、横方向に幅広い環境認識が実現できた一方で、遠方の物体が小さく写り、環境認識の有効距離が制限された



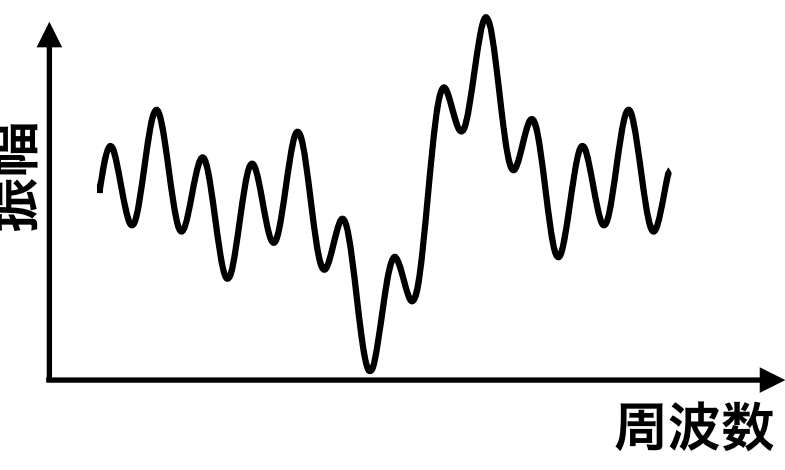
さらに広い範囲で環境認識を行える手法が必要

画像上での物体の空間周波数情報を用いた環境認識

画像の空間周波数

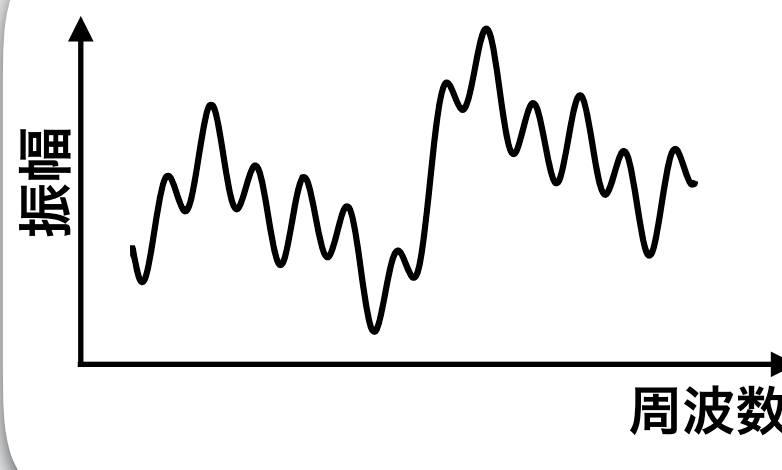


データベース



比較

ローバが得た画像



- 周波数スペクトルを比較し，物体の認識と物体までの距離推定を行う
- 一台のカメラで環境認識が出来る

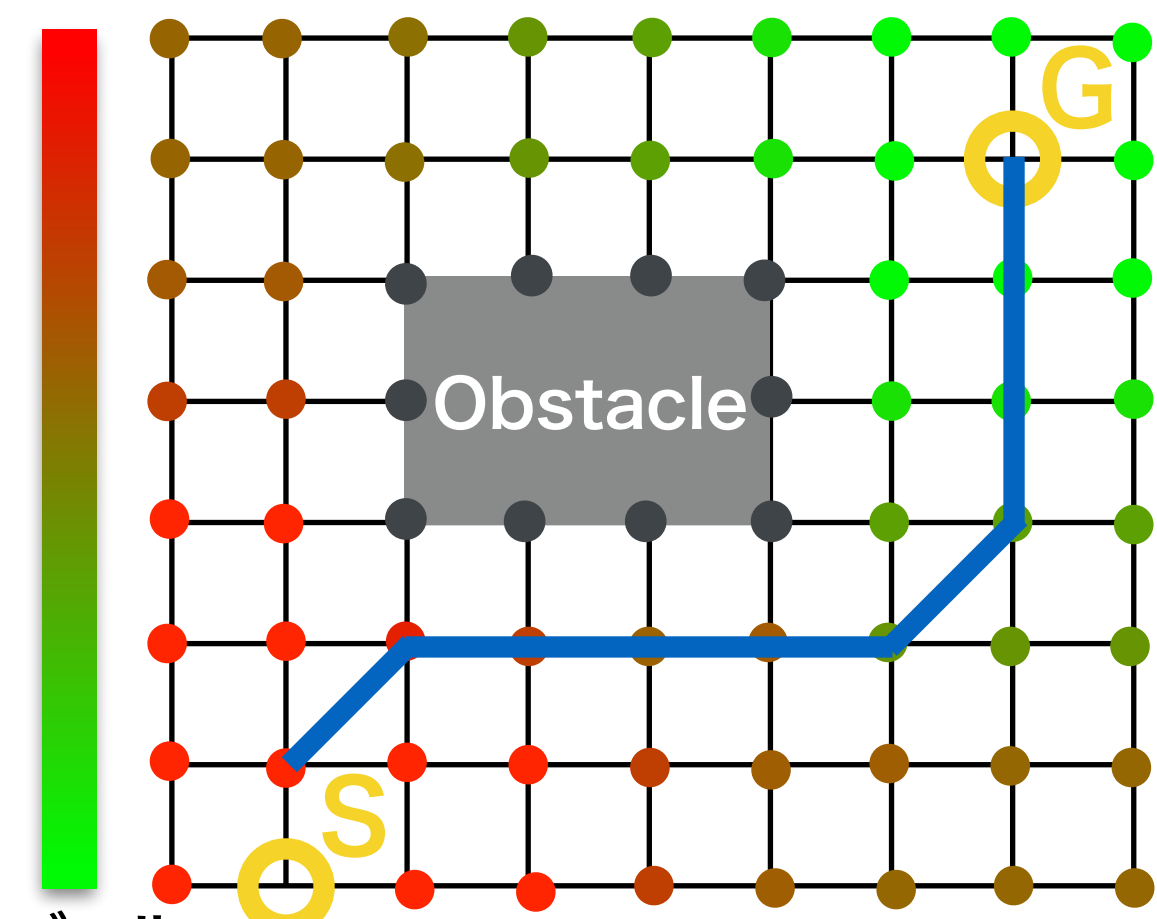
5. 考察・まとめ

- 通信遅れがあり，未知環境・不整地での走行が必要な月惑星表面では，自律走行技術が必要不可欠である
- 屋外の自然地形での自律走行には，よりロバストなシステムが必要である

3. 経路計画

環境認識によって取得した周囲環境から，指定された目的地まで安全かつ効率的に移動できる経路を生成する

大
小
ゴール
までのコスト



スタート(S)からゴール(G)までの移動コスト $f(n)$ を，下記のように定義し， $f(n)$ が最小となる経路を求める

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

$g(n)$: Sからあるノードnまでのコストの最小値

$h(n)$: あるノードからGまでのコストの最小値

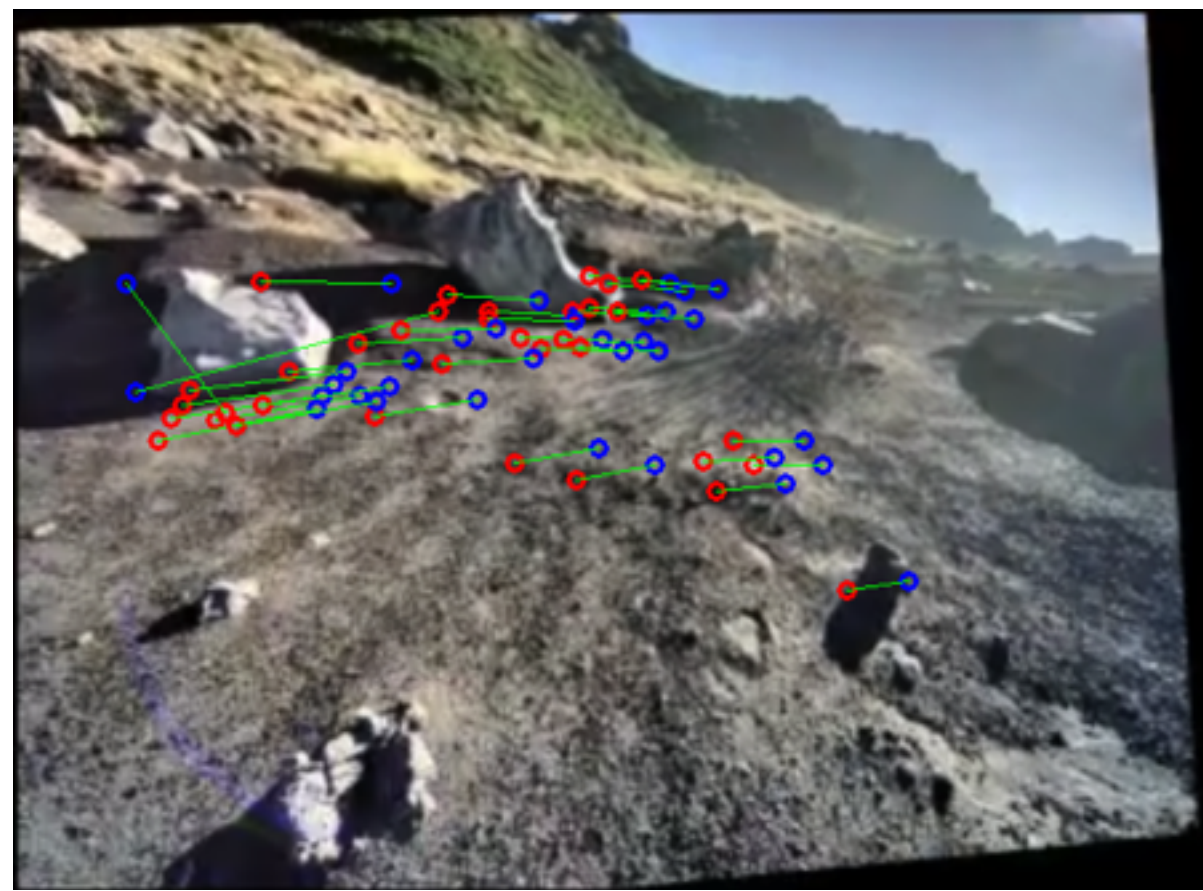
このとき， $h(n)$ に拘束条件を与えることで，経路探索の計算量を少なくする

- 障害/非障害とシンプルにモデル化することで，リアルタイム経路計画を実現することが出来た
- 障害物の裏側が見えず，経路の生成を行えない場合があった

4. 自己位置推定

正しく経路を走行するために，自己位置推定を行い不整地走破時の位置ずれを補正する

- ✗ Wheel Odometry → 車輪の回転数から位置を推定する．滑りやすい地形ではスリップ率が大きくなってしまうため困難
- Visual Odometry → 画像を用いた自己位置推定
スリップに非依存で推定を行うことが出来る



画像から特徴点を検出・追跡し，走行軌跡と地図を生成する

- スリップや岩石乗り越えの影響を受けずに推定を行えた
- 長距離走行を行うと誤差が蓄積され大きくなってしまった