

月極域探査における着陸誤差に対して ロバストな着陸地点の選定手法

中島 康平¹ 井上 博夏² 山本 光生² 山本 幸生² 大嶽 久志² 荒木 徹也⁴ 廣田 雅春³ 石川 博⁴

1.首都大学東京システムデザイン学部 2.宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 3.岡山理科大学総合情報学部 4.首都大学東京システムデザイン研究科

背景・目的

月極域探査ミッション

リモートセンシングにより得られたデータから、月極域にて水氷の存在が示唆され、2020年以降、月極域の探査計画が検討されている。

研究の目的

着陸地点の条件を満たした地点の中から、着陸誤差楕円、調査対象地点までの経路を考慮した上で、**適切な着陸地点の選定**

提案手法

移動コストを定義し、経路探索を行い、各地点の評価値を算出

1. 実行時期の選定

着陸地点の条件と誤差楕円を考慮し、下記の条件を満たす地点が多く存在するタイミングを選定する。

- 着陸地点を中心とした直径100mの円内が傾斜角10°以下
- 着陸後1週間以上日照が確保可能
- 着陸後1週間以上通信がとれる

2. 移動コストの定義

日照：探査機の稼働エネルギー

通信：探査機の状態を把握

傾斜角：探査機の転倒リスク

$$Cost = xW_p + yW_c + zW_s$$

$$(x + y + z = 1)$$

W_p :日照の強さを0～1の範囲で正規化

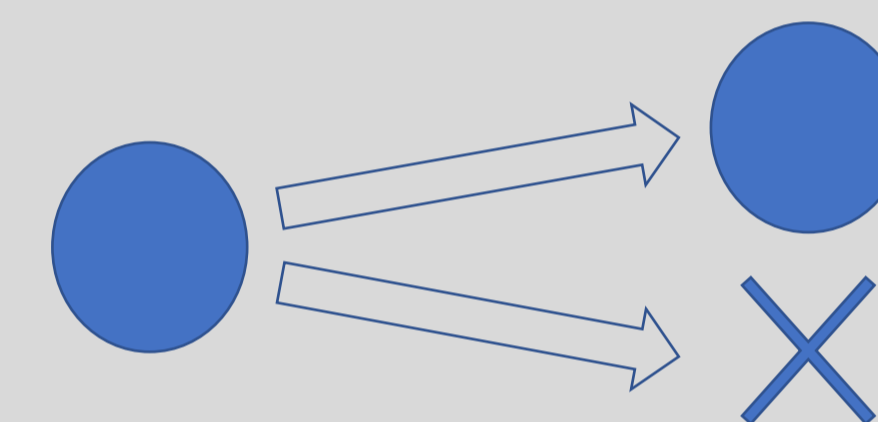
W_c :通信がとれるか {0, 1}の二値

W_s :傾斜角を0～1の範囲で正規化

3. 経路探索

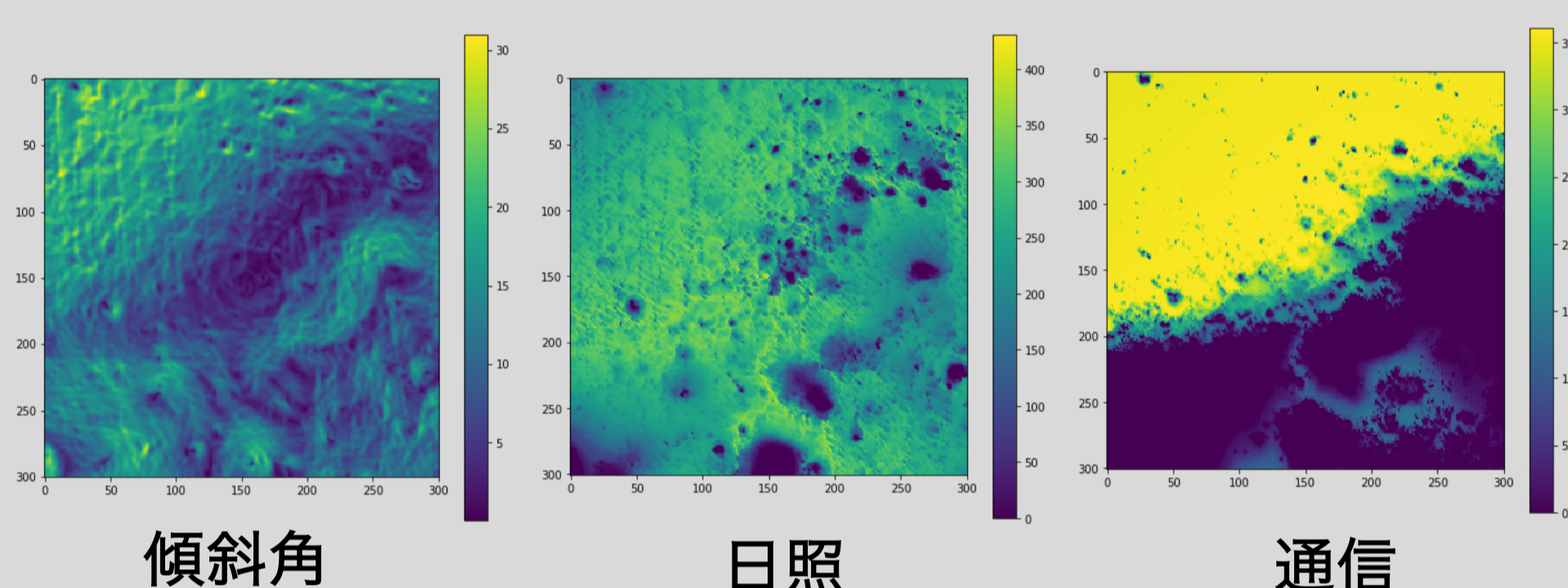
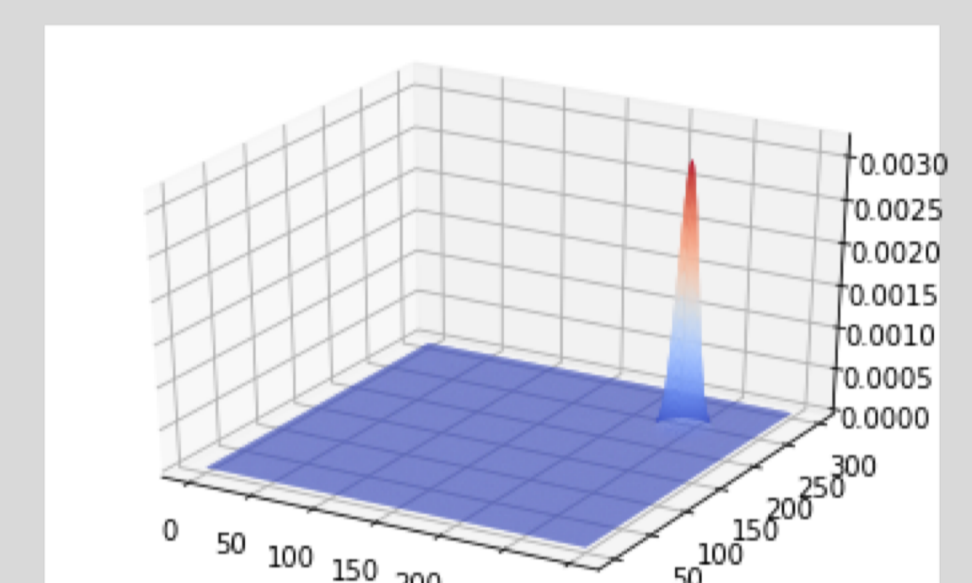
- 各着陸候補地点から、目的地までの経路を遷移確率に従う移動により、経路探索をする。
- 遷移確率は、目的地が平均の正規分布に従う
- 移動コストが閾値以上の方向には、遷移不可
- 制限ステップ数以内に目的地まで到達できた経路の数を評価値とする。

遷移可能: $Cost < \theta_{th}$



遷移不可: $Cost \geq \theta_{th}$

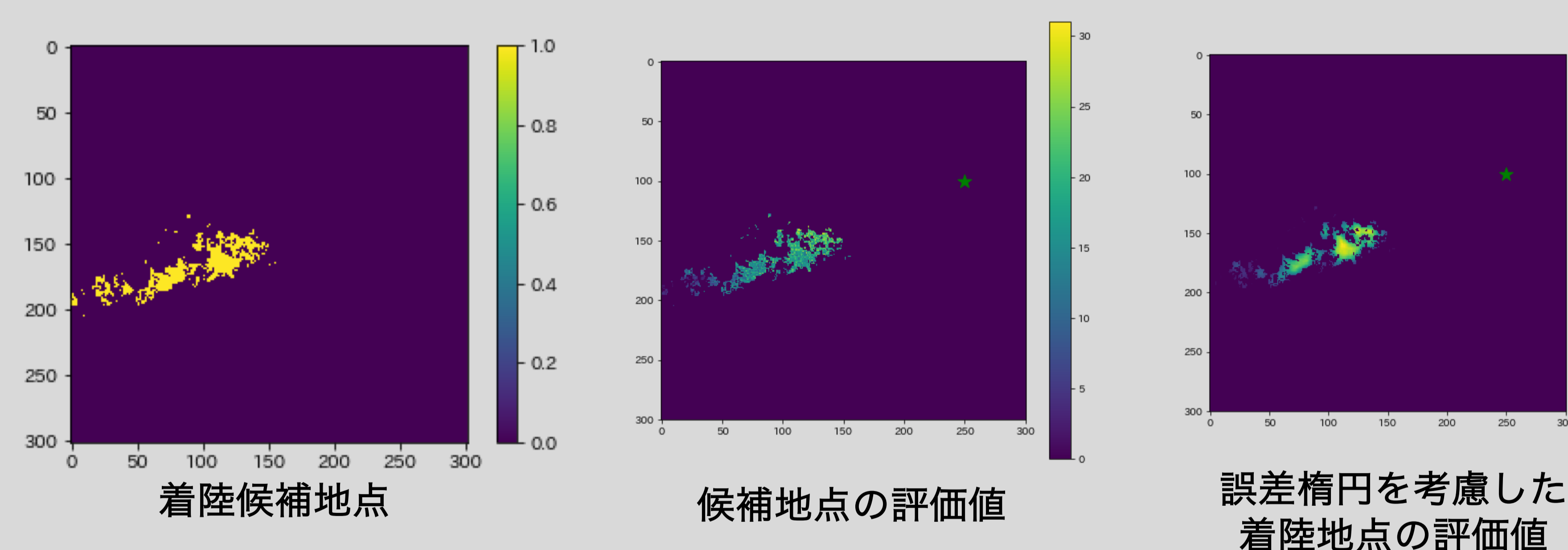
遷移確率



実験・結果

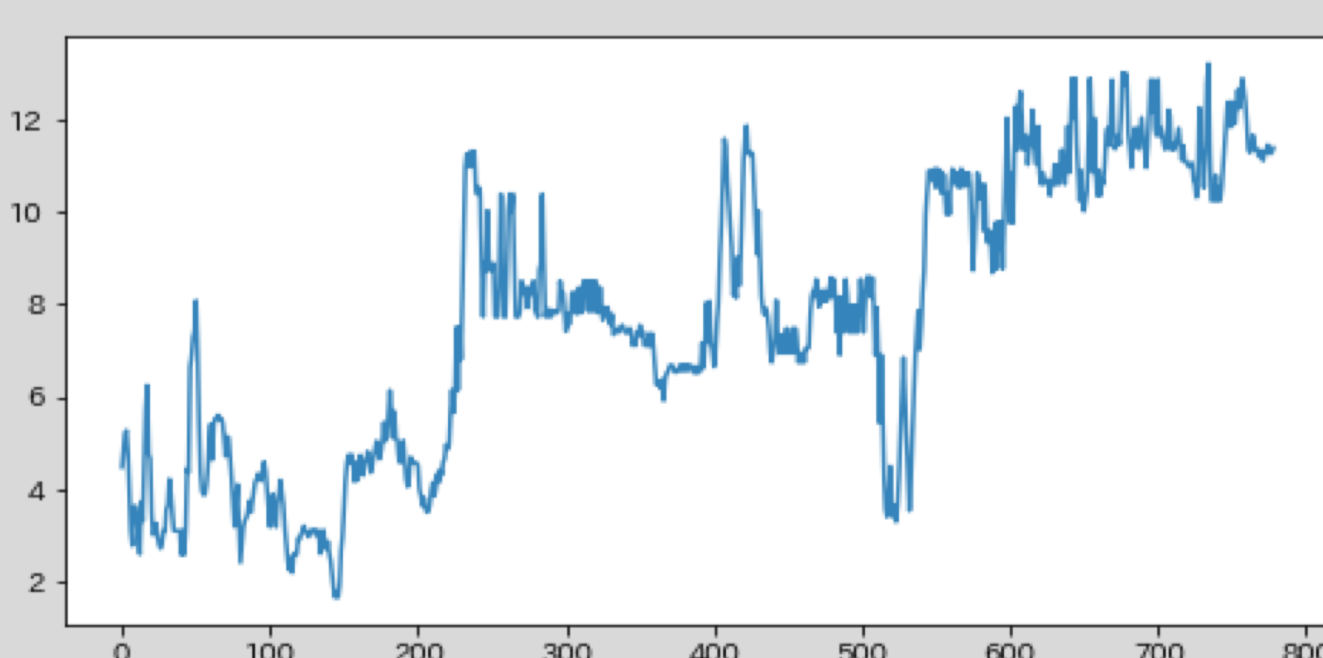
・着陸候補地点の選定・評価

着陸地点の条件を満たした地点を抽出し、提案手法を用いて、各地点の評価値を算出した。その後、各地点を中心とした時に直径100mの誤差楕円内が発生することを想定した各地点の評価値を算出した。(オレンジ色に近いほど評価値が高い)

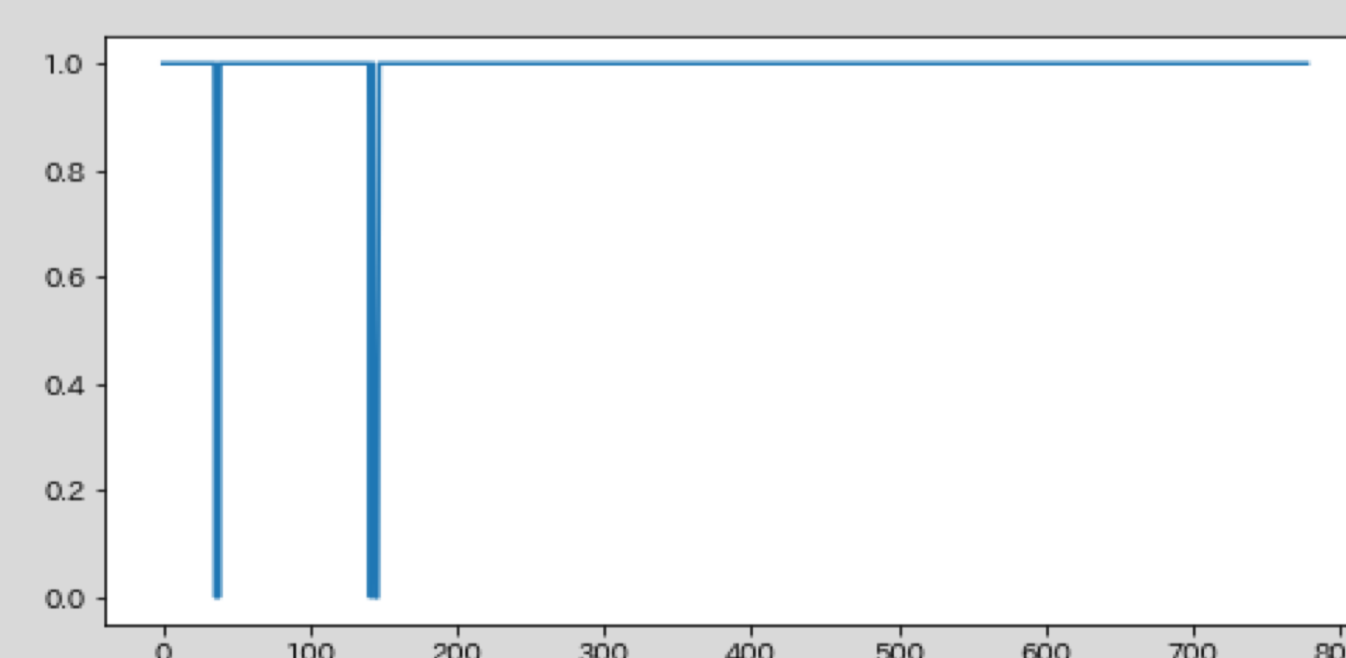


・探索経路

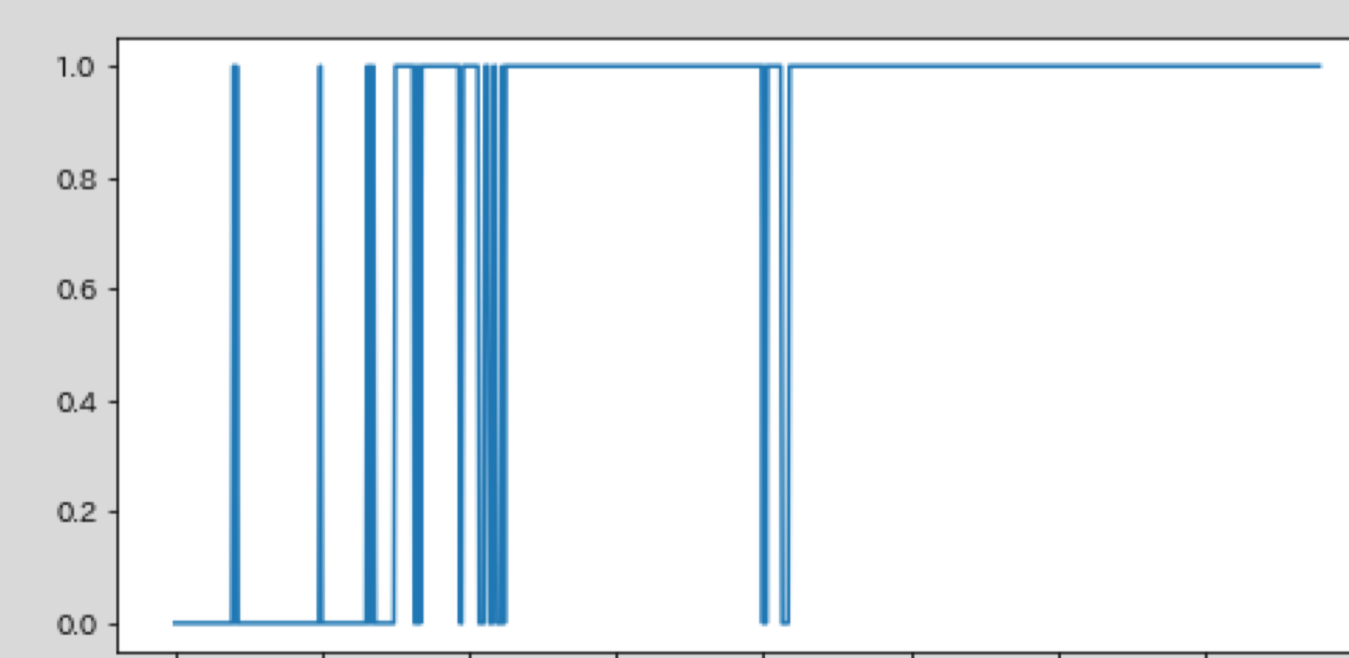
抽出された経路は、常に傾斜角25°よりも低い位置を通ることがわかる。また、ほとんどのステップで日照が確保できていることがわかる。通信が可能なステップ数は全ステップの半分ほどであった。



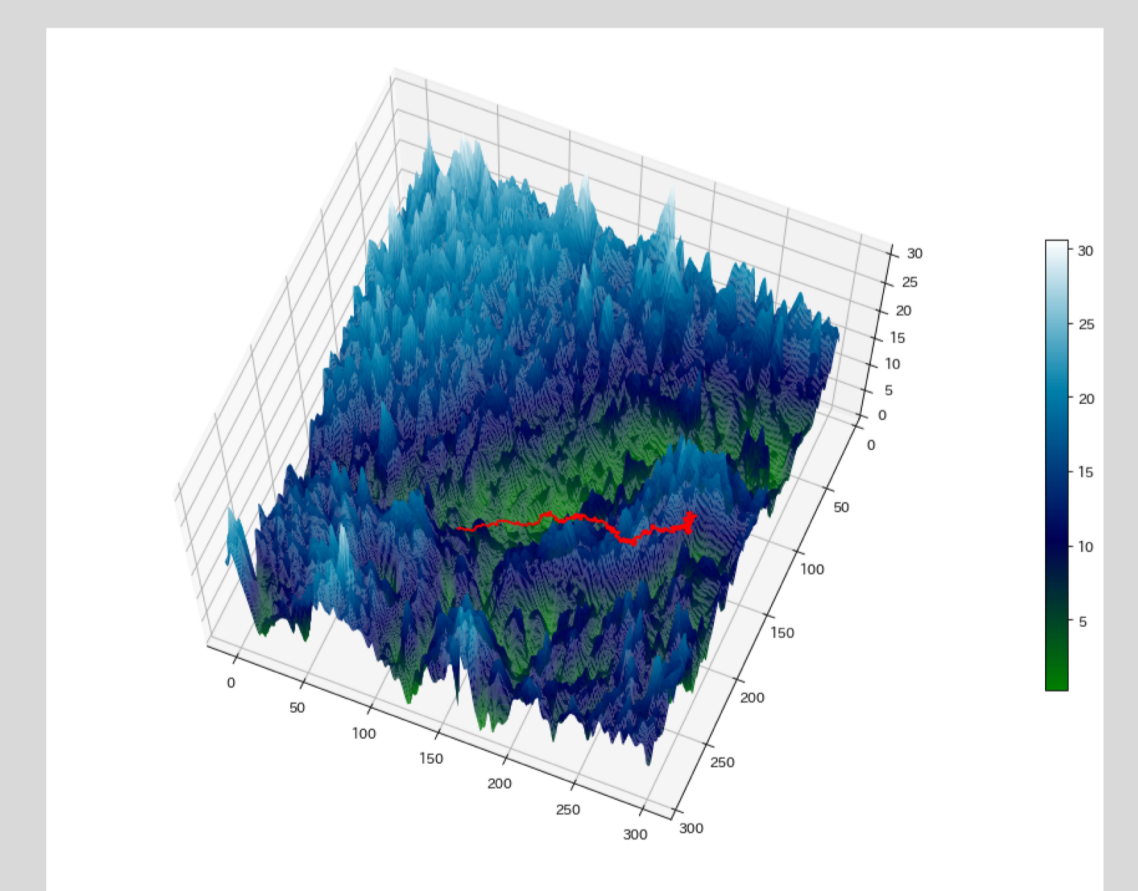
ステップ数と傾斜角



ステップ数と日照



ステップ数と通信



サンプル経路

実験設定

- 誤差楕円の直径：100m
- 開始時刻：2020年11月6日6時
- 探査機の数：5ステップで1時間経過
- 移動コストの重み： $(x, y, z) = (0.4, 0.3, 0.3)$
- 探索回数：50回
- 移動ステップ数制限：800ステップ(約1週間)
- 移動可能閾値：0.45
- 正規分布の分散共分散行列： $\begin{pmatrix} 0 & 100 \\ 100 & 0 \end{pmatrix}$

まとめ

本研究では、月面の環境データを元に移動コストを定義し、経路探索により、それぞれの着陸候補地点の評価を数値化し、着陸地点の選定を行なった。今後の課題としては、他の手法と比較して、提案手法の有効性を検証する必要がある。