

P-141 多目的遺伝的アルゴリズムを用いた月惑星探査ローバの多目的経路計画

西山万里¹, 大津恭平¹, 大槻真嗣², 久保田孝², 橋本樹明²
 東京大学¹, 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)²

1. ローバの経路計画における多目的最適化

ローバの経路計画における問題点

□ 経路計画における考慮すべき事項
 距離, 安全度, 電力, etc. → 多目的最適化問題に帰着

□ 計算量に関する問題

• 従来: 単目的問題として複数の目的を扱う

$$F(x) = af_1(x) + bf_2(x) + cf_3(x) + \dots$$

($f_1(x)$: 目的1の目的関数, $f_2(x)$: 目的2の目的関数, $f_3(x)$: 目的3の目的関数, ...)

• 従来手法では **目的数の増加に伴い計算が爆発**

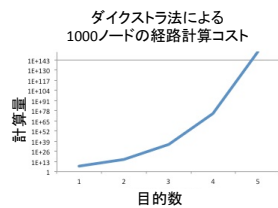
○ 重み付け係数の組み合わせにより
 指数関数的に場合分けの数が増大

○ ex.) ダイクストラ法による
 経路計算コスト

$$O(n^2 \times s^m)$$

(n: ノード数, s: ステップ数, m: 目的数)

→ 指数関数的に計算量が増加



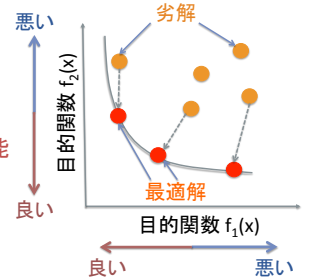
各目的をうまく満たすような経路を探索したい

→ **多目的最適化を適用することで計算コストを低減**

多目的最適化とは?

□ 多目的最適化の利点

- 重み付けに関する考慮の必要なし
 - 各目的関数が個別に評価される
- 複数の解を **同時に発見** できる
- 人間が場合に応じて望ましい解を **選択可能**



□ 多目的最適解の選定手法:

パレートランキング法

• 各解のランクを以下のように定義

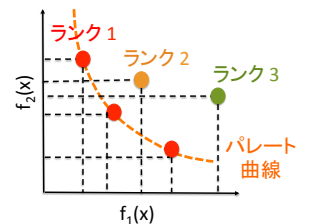
$$r(X_i) = 1 + n_i$$

(n_i : i 番目の解 X_i に優越する解の個数)

• **異なる単位**の目的関数間においても
 比較の必要がない

• ランク1の解を結んだ曲線が
パレート曲線

→ パレート曲線上に多目的最適解が存在

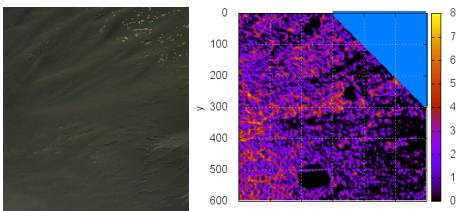


2. 手法

地図作成

□ 伊豆大島裏砂漠の高度データを使用

- 2m精度のデータを用いて2mグリッドの安全度マップを作成
- 安全度の定義: 周囲に存在する15°以上の斜面をもつグリッド数 → 値が少ない程安全
- 水色で塗りつぶされた範囲をゴールと設定



裏砂漠の航空画像

安全度マップ

多目的遺伝的アルゴリズムによる経路計画

□ 多目的遺伝的アルゴリズム

生物の進化を模した最適化アルゴリズム

• 遺伝子 ↔ 経路

経路の各ノードを並べたものを遺伝子として扱う

ex.) (1, 1) (1, 2) (1, 3) (2, 3) (3, 3) ...

• 子孫を作る ↔ 交叉 (新しい経路の生成)

親世代



子世代



□ 目的数: 2目的

- 距離最小化: 出発地点から到着地点までのノード数により評価
- 安全度最大化: 出発地点から到着地点までの各ノードにおける安全度の累計により評価

→ 2目的, 50個体, 50世代で経路を進化させ、多目的最適解を求める

□ 計算量の差

• ダイクストラ法

$$O(n^2 \times s^m)$$

• 多目的遺伝的アルゴリズム

$$O(n^2) + O(gp)$$

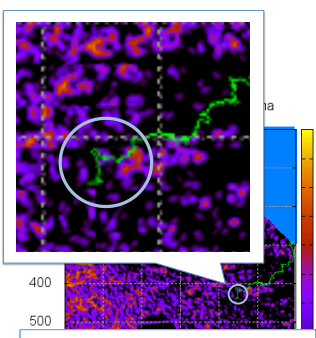
(g: 世代数, p: 個体数)

→ 目的数が増えるほど有利に

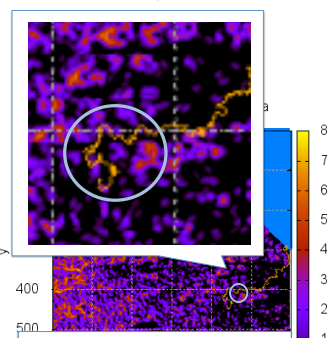
3. シミュレーション & 実地走行実験結果

□ シミュレーション結果

- 距離重視の経路
- 安全重視の経路



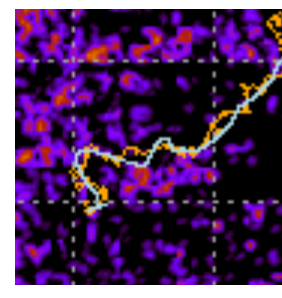
危険な範囲を通る代わりに
17%ほど距離短縮



距離は長いだが
危険な経路を迂回

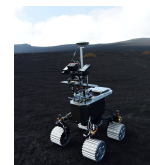
□ 実地走行実験結果

シミュレーションによる
安全重視の経路 & 実験の経路



— : 安全重視の経路
 — : 実験で得られた経路

テストベッドローバ



障害物となる溝の様子



• 実験方法

シミュレーションにより得られた経路から
20mごとにランドマークとなるノードを選択
人間の判断により経路を補間して走行

• 実験結果

シミュレーションによる安全重視の経路と
ほぼ同じ経路を走行
→ 人間の「安全」の感覚に近い経路を生成