

# SLIM画像航法の検討

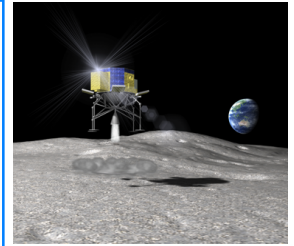


福田盛介<sup>1)</sup>, 鎌田弘之<sup>2)</sup>, 高玉圭樹<sup>3)</sup>, 野村出<sup>2)</sup>, 滝野達也<sup>2)</sup>, 入江順也<sup>2)</sup>, 永田心<sup>2)</sup>, 原田智広<sup>3)</sup>, 臼居浩太郎<sup>3)</sup>, 坂井真一郎<sup>1)</sup>, 澤井秀次郎<sup>1)</sup>, SLIM WG

1) JAXA宇宙科学研究所, 2) 明治大学, 3) 電気通信大学

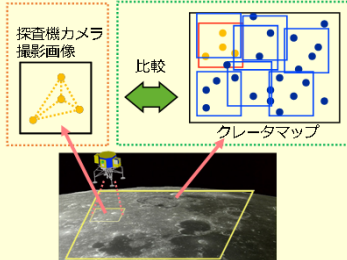
## 小型月着陸実験機SLIMの画像航法について

光学カメラ画像を用いた自律的な画像航法は、「降りたいところへ降りる」ピンポイント着陸の鍵技術であり、これを構成する「クレータ抽出処理」と「クレータマッチング処理」の各アルゴリズムは、関係する大学の画像処理・推定処理の専門家により提案され、過去25回以上実施した「SLIM画像分科会」の場でブラッシュアップしてきた。また、SLIMのプロジェクト化に備え、画像処理アルゴリズムのFPGA搭載評価（及びその枠組みの準備）や、シミュレーションや試験に使用するテクスチャ付月面CG画像の整備、さらには、搭載カメラの試作などの作業を並行して実施している。



## SLIM画像航法の流れ

### クレータ抽出 クレータマッチング

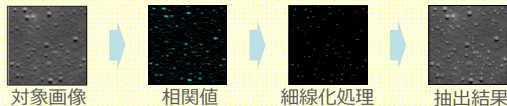


- 画像処理としては「image registration」に類する問題  
→ 照合のランドマークとしてクレータを活用
- クレータマップは打上げ前に準備しておく  
※マップのサイズはジャイロのドリフト等を考慮

## 主成分分析を用いたクレータ抽出

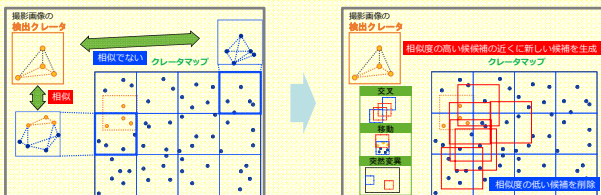


- 過去の探査機画像のクレータから主成分を学習
  - 学習用のクレータ画像: 約16,000枚
  - 第一主成分の寄与率は約57%と高い
- 探査機上の演算は主成分ベクトルとの積和演算のみ
- 拡大・縮小や楕円化、スポットノイズ等にもある程度ロバスト



## 進化的三角形相似マッチング(ESTM)

(電通大・高玉研究室)



- 抽出されたクレータが形成する全ての三角形と、候補領域内の4つの三角形(上下左右)の相似度を計算
- 遺伝的アルゴリズムにより、相似度の高い候補領域の近くに新しい候補領域を生成
- クレータ抽出アルゴリズムと組み合わせた評価を実施し、クレータデータベースの作成方法に新たな知見
  - クレータの抽出漏れ(データベースに存在するクレータを抽出しない)は、マッチング処理の成否を大きく左右する
  - 逆に、クレータの誤抽出(データベースに存在しないクレータを抽出する)に対しては、ESTMはかなりロバスト

## 画像処理アルゴリズムのFPGAリソース評価

- PC上での性能評価に用いるC言語プログラムをシームレスにFPGA化し、ゲート数や処理速度等のH/Wリソースを評価するスキームを確立

### 【ESTMの評価例】

Target device:  
Xilinx XQR4VLX200

項目	値
Number of Slice Flip Flops	33,673 out of 178,176 18%
Number of 4 input LUTs	103,885 out of 178,176 58%
Number of occupied Slices	56,845 out of 89,088 63%
Number of Slices containing only related logic	56,845 out of 56,845 100%
Number of Slices containing unrelated logic	0 out of 56,845 0%
Total Number of 4 input LUTs	105,465 out of 178,176 59%
Number used as logic	103,147
Number used as a route-thru	1,580
Number used as 16x1 RAMs	640
Number used as Shift registers	98
Minimum period	19.912ns
(Maximum frequency)	50.221MHz

通信世代数	クレータマップ総数	乱数の種数	一次元最小閾値	サイクル数	10 MHz動作時換算時間 (ms)	50 MHz動作時換算時間 (ms)
0	150	123123	$1.0 \times 10^*$	961,603	96.160	19.232
1	150	3656	$1.0 \times 10^*$	2,141,477	214.148	42.830
2	150	956842	$1.0 \times 10^*$	3,319,545	331.955	66.391
3	150	123	$6.0 \times 10^{-7}$	4,740,958	474.096	94.819
100	150	3656	$1.0 \times 10^*$	128,258,628	12,825.863	2,565.173

## 画像航法検討用月表面データの整備

- 画像処理アルゴリズムの検討には、「かぐや」の地形カメラ(TC)による数値地形データ(DTM)を、太陽方向や探査機姿勢などを考慮しつつ陰影処理して得られるCG画像を利用
  - CG画像と実際に得られる画像の同質性が極めて重要
  - DTMはクレータ直径/深さのべき乗則等に基づき、小クレータを掘り込むなどして高精細化
- 「かぐや」のTCオルソ画像から、地形効果や撮影条件の影響を除去した反射率マップを作成
  - クレータ放出物によるテクスチャとあわせてCGに付加



CG画像の例 (MHH縦孔周辺)

## 画像航法用搭載カメラの検討・試作

- 生データ/圧縮データを同時出力可能なカメラを検討・試作
  - CMOSセンサ+ FPGA 1チップの低リソース構成 (スマホ・デジカメ用JPEG IPコアの専門メーカーと共同)
- STT用耐放射線CMOSセンサを評価中
- 高帯域を要する生データ伝送にはSpaceWireの採用を検討中
- 組み合わせレンズ光学系の概念設計、及びCMOSカメラモジュールとのI/F調整試作も実施



本研究の一部は、FPGAリソース評価は(株)ソリトンシステムズ殿、搭載カメラのエレキ部は(株)シノハイテック殿、光学系は日東光学(株)殿、「かぐや」データを用いたCG画像生成関係は(株)NTTデータCCS殿など、専門的な個別技術を有する民間企業と共同で進めている。

