

## UZUME 実験サイト群における溶岩洞窟

眞部 広紀\*\*1, 堀井 樹\*\*2, 兵藤 悠二\*\*2, 岡本 渉\*\*3,  
松広 航\*\*4, Nu Nuwin\*\*4, 根本 雅樹\*\*5, 春山 純一\*\*6

### Lava Caves selected from the List of UZUME Experiment Sites

Hiroki MANABE\*\*1, Tatsuki HORII\*\*2, Yuji HYOUDO\*\*2, Wataru OKAMOTO\*\*3,  
Ko MATSUHIRO\*\*4, Nu Nuwin\*\*4, Masaki NEMOTO\*\*5, Jun-ichi HARUYAMA\*\*6

Key words: lava cave, UZUME project experiment site

#### Abstracts

In this paper, we report lava caves in UZUME experiment sites for extraterrestrial vertical holes with Underground caverns.

#### 1. はじめに

月・火星に発見された縦孔とその底部に続くと推定されている地下空洞は 2023 年の現在、未踏の領域である。地球上の類例としては、溶岩チューブ洞窟、その天井部が崩落開口した天窓が挙げられる。月・火星の縦孔-地下空洞探査を目指す JAXA のワーキンググループ『UZUME (Unprecedented Zipangu Underworld of the Moon/Mars Exploration)計画』では、地球上の類似地形・環境とそこで行う模擬実験がプロジェクトの基盤の一つになる。高専大学連携研究ネットワーク『洞窟計測探査シミュレーションプログラム』は大規模な天然の洞窟や類似地形から選定した候補場所（計測探査に必要な類似地形・環境）を探索し、UZUME 実験サイトの候補地の精査と段階化・系統化を行ってきた<sup>1,2)</sup>。ここでUZUME 実験サイトは、縦孔-地下空洞（図1）を縦穴-横穴複合型洞窟として近似し、類似した形状の洞窟や地形を対象にする。探査機の進入過程を第 1 フェーズ（縦穴接近）、第 2 フェーズ（縦穴内降下）、第 3

フェーズ（横穴進入）のように 3 区間に分け、実験項目はフェーズごとに策定する（図2）。

センシングプラットフォームの性能実証実験という工学側の観点では、地形的な類似要素（環境の形状）が一番重要であり、地下空間を圍繞する岩体の種類（玄武岩溶岩・石灰岩・凝灰岩〔火砕流堆積物〕など）の細かい地質学的な相違を捨象され、類似度を弱めることが許容される。一方、理学的な測定（岩石学的な測定、地質学的な測定など）は測定結果が「岩石の種類」に大きく依存するので、地質学

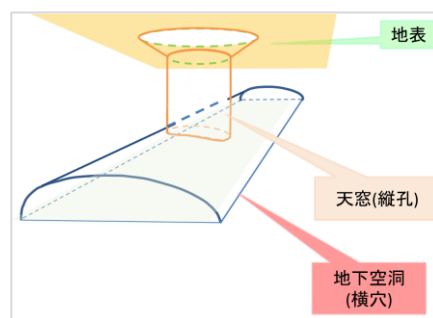


図1 「縦孔-地下空洞」の概形（模式図）

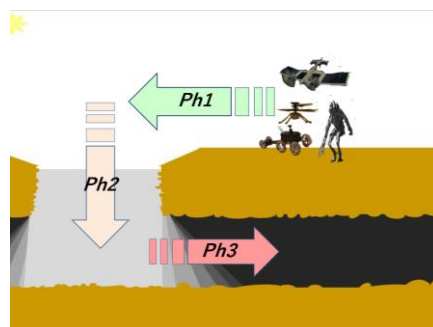


図2 三つのフェーズ（概念図）

\* 原稿受付 令和 5 年 11 月 26 日

- \*\*1 佐世保工業高等専門学校 基幹教育科
- \*\*2 合同会社 AeroFlex
- \*\*3 名古屋大 全学技術センター
- \*\*4 早稲田大学 大学院
- \*\*5 株式会社 ダイモン
- \*\*6 JAXA 宇宙科学研究所

的な相違を捨象することはできない。本研究グループは 2023 年に溶岩洞窟 2 か所を UZUME 実験サイトに加え，理学的な測定作業についても段階化した計測探査シミュレーションを射程に入れることができるようになった。本稿では，現在までに探索した UZUME 実験サイトの溶岩洞窟を総覧する。

## 2. 溶岩洞窟

本節では，長崎県五島市福江島富江「井坑（いあな）」，島根県松江市大根島「竜溪洞」，山梨県南都留郡富士河口湖町青木ヶ原「富士風穴」，静岡県伊東市「穴の原溶岩洞穴」，熊本県阿蘇市永草「阿蘇風穴」を紹介する。

### 2. 1 井坑

[UZUME 実験可能フェーズ：2,3]



図 3A 「井坑」

上：先不知井坑下：通抜井坑と野穴の間の天窓



図 3B 「井坑」 (野穴)

### 2. 2 竜溪洞

[UZUME 実験可能フェーズ：3]



図 4A 「竜溪洞」 洞口



図 4B 「竜溪洞」

上：洞内 下：ロボット搭載スキャナ測定

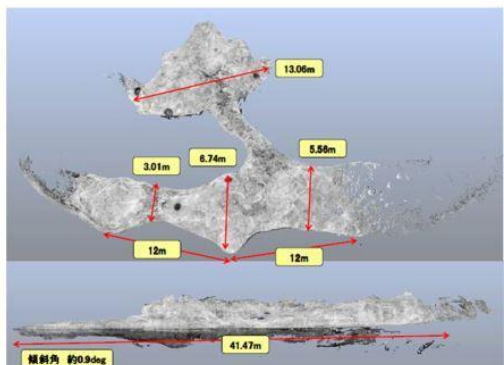


図 4C 「竜溪洞」

3D モデル (スクリーンショット)

## 2. 3 富士風穴

[UZUME 実験可能フェーズ：2, 3 (未確認)]

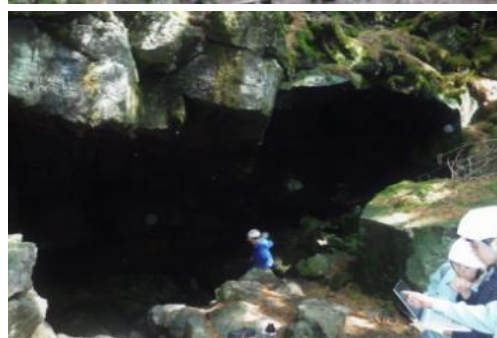


図 5 「富士風穴」

## 2. 4 穴の原溶岩洞穴

[UZUME 実験可能フェーズ：1, 2, 3 (未確認)]



図 6A 「穴の原溶岩洞穴」上空から  
縦穴 (洞口) 周辺



図 6B 「穴の原溶岩洞穴」

上・中：縦穴（上空から）

下：縦穴側壁の横穴開口部（縦穴口縁部から）



図 6C 「穴の原溶岩洞穴」

ドローンフライバイ撮影による写真測量  
3D モデル（スクリーンショット）

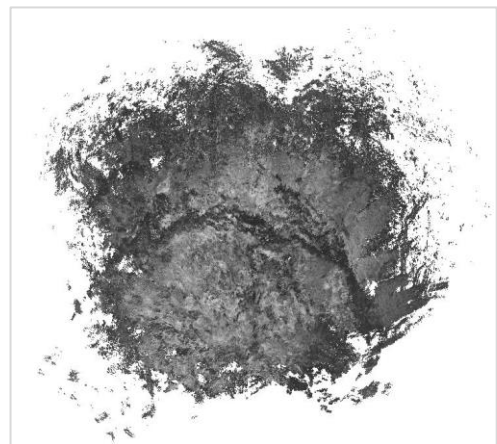
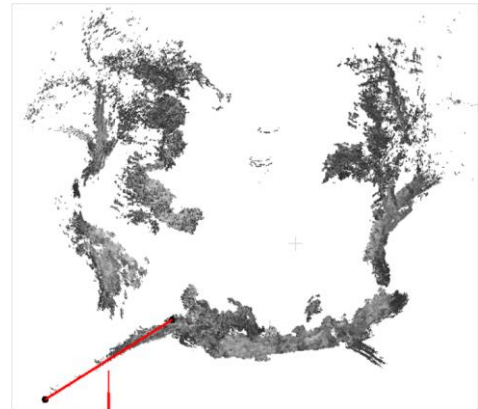


図 6D 「穴の原溶岩洞穴」

上：地表と上空から

中・下：ドローン縦穴内進入降下撮影による  
レーザースキャナ測量

3D モデル（スクリーンショット）

## 2. 5 阿蘇風穴

[UZUME 実験可能フェーズ：3]



図 7A 「阿蘇風穴」

ドローン写真測量によるオルソ合成



図 7B 「阿蘇風穴」

上・中上：洞口 中下・下：洞内

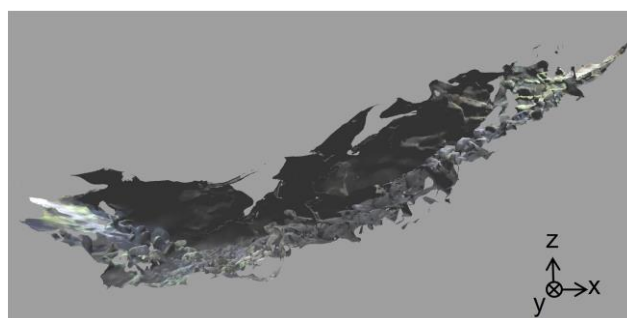
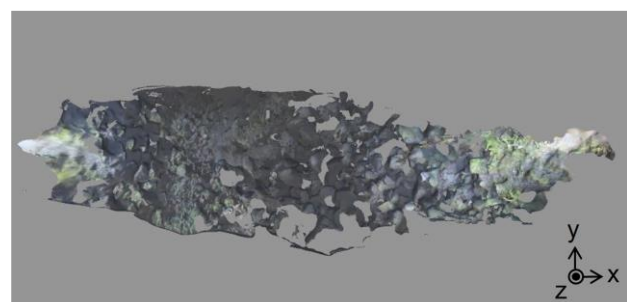
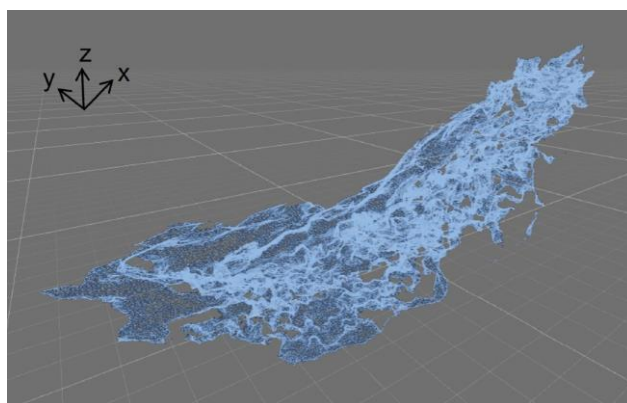
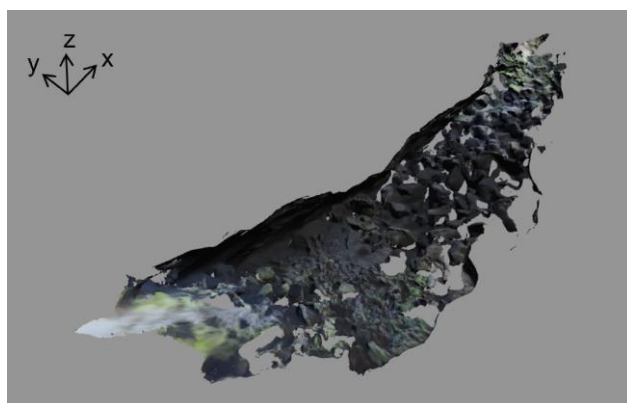


図 7C 「阿蘇風穴」

iPhone 搭載アプリ Scaniverse による写真測量  
3D モデル (スクリーンショット)

### 3. 溶岩洞窟（理学測定実験）

本節では、静岡県富士宮市山宮「万野風穴」「窓穴」の予備実験を紹介する。

#### 3. 1 万野風穴

[UZUME 実験可能フェーズ：3]



図 8A 「万野風穴」

上：洞口 中・下：洞内

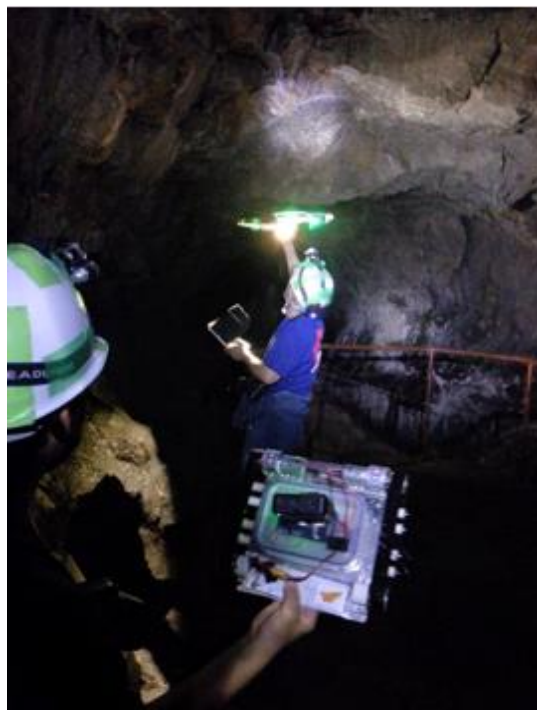


図 8B 「万野風穴」

上：洞口 中下・下：UAV-UGV 連携探索実験



図 8C 「万野風穴」：  
上：磁気測定 中：GPR 測定  
下：地震計測定（起震器）



図 8D 「万野風穴」：  
上：地震計測定  
中・下：UGV 走行と振動測定

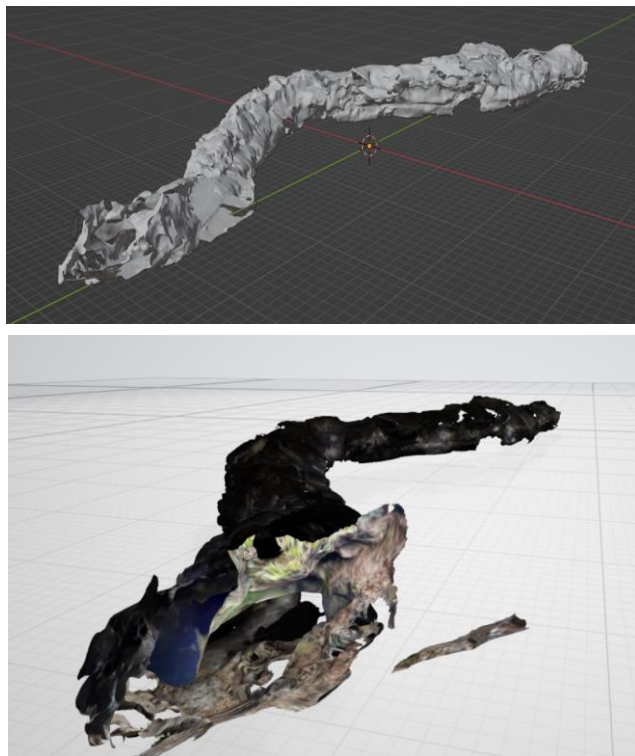


図 8E 「万野風穴」  
3Dモデル (スクリーンショット)



### 3. 2 窓穴

[UZUME 実験可能フェーズ：2,3]



図 9A 「窓穴」 斜面路洞口

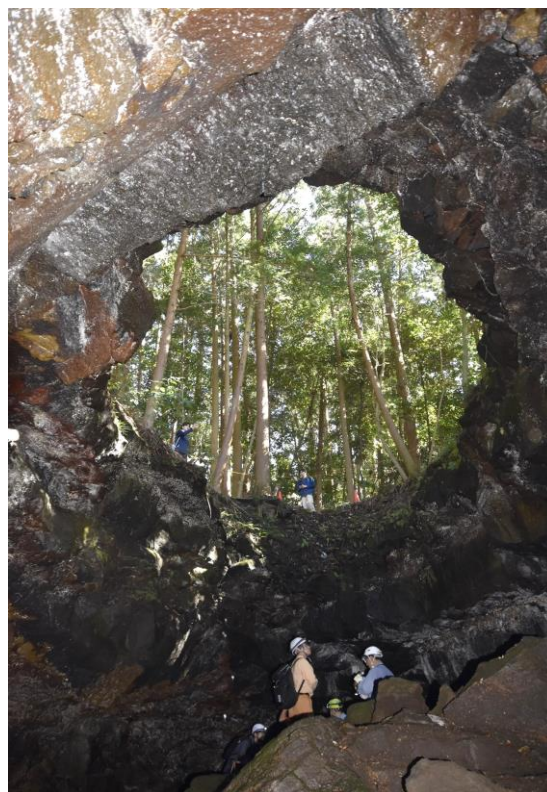


図 9B 「窓穴」 天窗



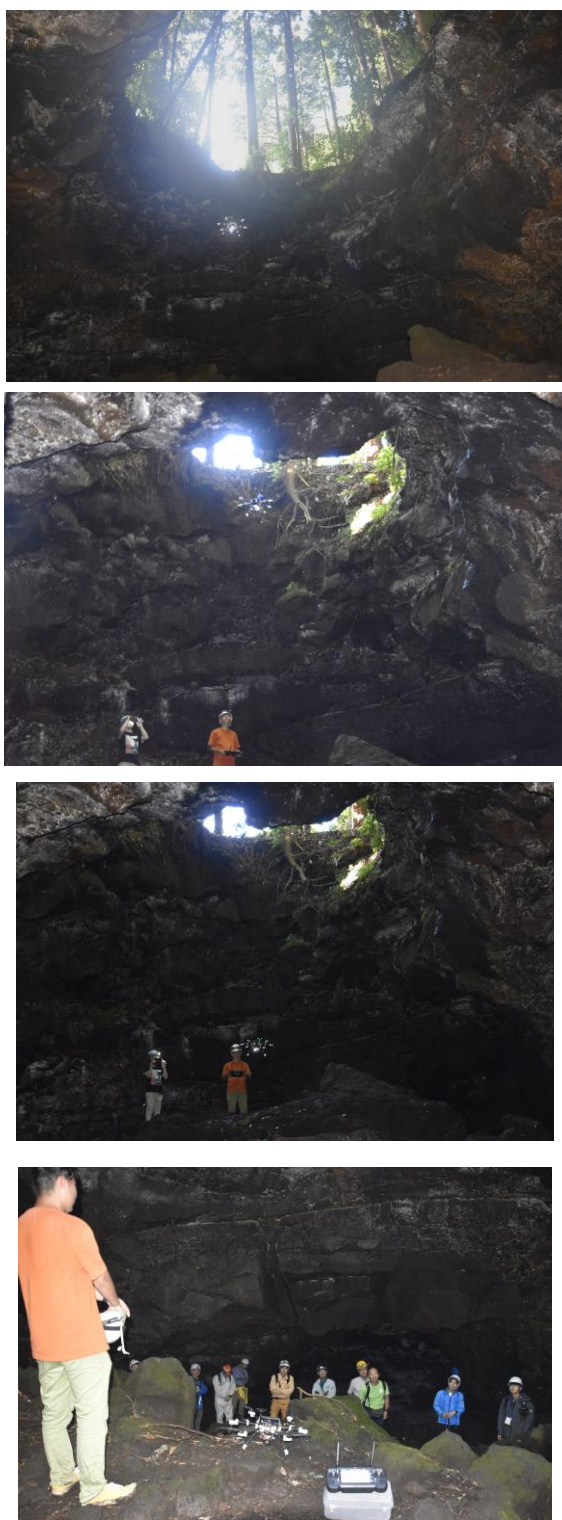


図 9C 「窓穴」縦穴 UAV 昇降実験

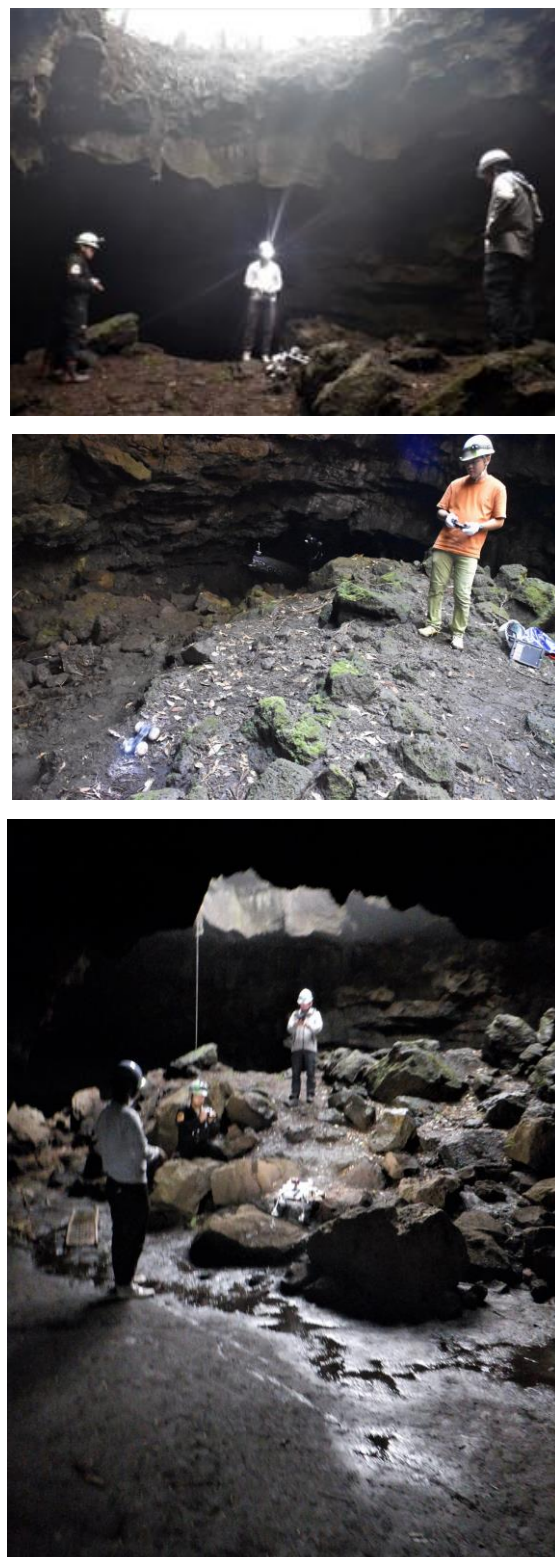


図 9D 「窓穴」  
縦穴底・横穴 UGV 走行実験



図 9E 「窓穴」横穴

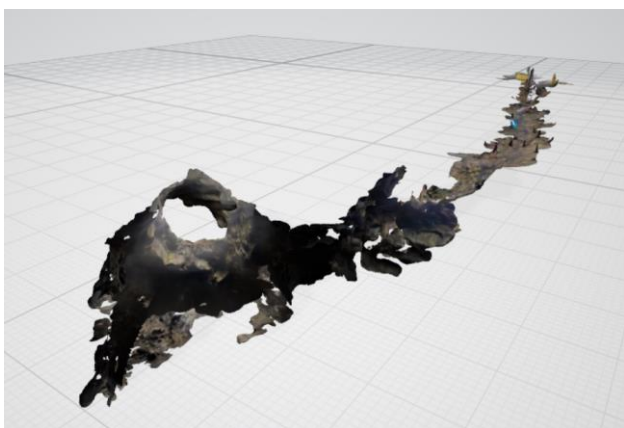


図 9F 「窓穴」斜面路～天窗～横穴  
3D モデル (スクリーンショット)



図 9G 「窓穴」  
上・中上：磁気測定  
中下・下：GPR 測定

#### 4. 溶岩洞窟限定プログラム

『UZUME計画』の初期の実現段階では月・火星の未踏の縦孔-地下空洞の無人機（移動センシングプラットフォーム）による直接探査を目的とする。縦孔-地下空洞の地球における類似環境の有力な候補の一つが溶岩チューブ洞窟の天窗（天井部が崩壊して地表に縦穴として開口）である。

2023年に「万野風穴」「窓穴」をUZUME実験サイト群に加えることで、溶岩洞窟のカテゴリー内で段階的に実施できるプログラムが整った（図10）。ミニマムプログラムは「③「万野風穴」→⑤「窓穴」」、マキシマムプログラムはミニマムプログラム⑧「穴の原溶岩洞穴」を加えたものである。

『洞窟計測探査シミュレーションプログラム』では、『UZUME計画』に参入する新規研究チームに、実験サイトの概要情報を提供できる。新規研究チームはエントリーのレベルに見合った実験サイトからプロジェクトを開始することができる。

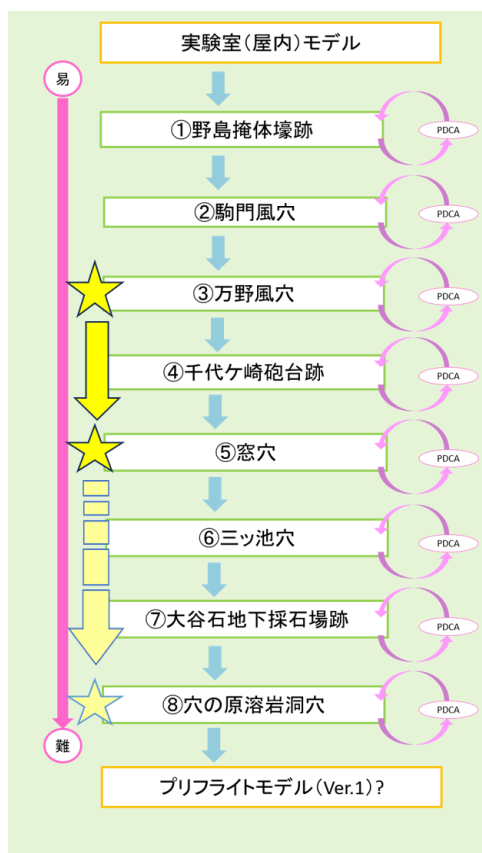


図10 溶岩洞窟限定プログラム

#### 5. まとめと課題

UZUME 実験サイトのリストに溶岩洞窟「万野風穴」「窓穴」を加えることにより、溶岩洞窟に限定したプログラムを提供する体制が整った。無人機の工学分野実験だけでなく、縦孔-地下空洞関係の理学研究の測定作業も可能である。

#### 参考文献

- 1) 眞部広紀, 久間英樹, 稲川直裕, 前田貴信, 堀江潔, 大浦龍二, 岡本渉, 春山純一：  
月と火星の縦孔-地下空洞を目指すための地球における洞窟計測探査シミュレーション, 佐世保工業高等専門学校研究報告, 第 56 号, pp.77-93, 2020 年 1 月  
<https://sasebo.repo.nii.ac.jp/records/883>
- 2) 眞部広紀, 久間英樹, 稲川直裕, 吉森聖貴, 岡本渉, 毛利聡, 上寺哲哉, 前田貴信, 堀江潔, 大浦龍二, 阿依ダニシ, 堀井樹：  
UZUME 計画のための縦孔-地下空洞類似地形・環境における多段階模擬探査実験プログラム, 佐世保工業高等専門学校研究報告, 第 59 号, pp.114-121, 2023 年 1 月  
<https://sasebo.repo.nii.ac.jp/records/929>