

UZUME 実験サイト群から構成された 縦孔-地下空洞の多段階模擬計測探査プログラム

眞部 広紀 **1, 堀井 樹 **2, 岡本 渉 **3, 春山 純一 **4

**Multi-stage Program of Simulation Measurement Exploration
Consisting of UZUME Experiment Sites for Vertical Holes with Underground Caverns.**

Hiroki MANABE**1, Tatsuki HORII**2, Wataru OKAMOTO**3, Jun-ichi HARUYAMA**4

Key words: exploration simulation, vertical hole, underground cavern, UZUME project

Abstracts

In this paper, we discuss multi-stage program of UZUME experiment sites in topographies and environments analogous to vertical holes with underground caverns.

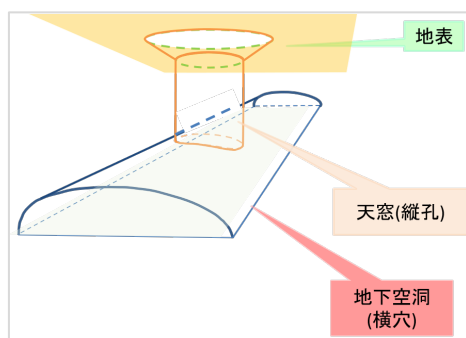


図 1 「縦孔-地下空洞」の概形 (模式図)

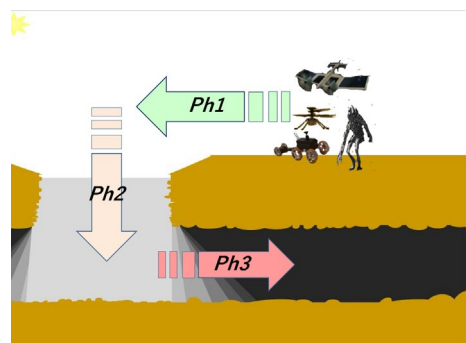


図 2 三つのフェーズ (概念図)

1. はじめに

21 世紀の初頭, 月・火星の表面に発見された巨大な縦孔の中には長大な横穴 (地下空洞) が地下で連結すると推定されるものもある (図 1 上)。これらのモデルは地球上の溶岩チューブ洞窟の天窗からの類推に基づいている。地球外天体の縦孔と地下空洞に人類は現在 (2023 年 11 月) も到達しておらず未知のままである。縦孔や地下空洞奥の規模や内部の形状というおおまかな情報が殆どない状況で, 初回探査を計画することになる。月・火星の縦孔-地下空洞直接探査 (とくに初回の探査) の準備段階において, 基礎技術の検証, 予行演習, 模擬探査実験のためのリアルな「場」は地球上にある縦孔-地下空洞の類似地形・類似環境である。

『洞窟計測探査シミュレーションプログラム』は洞窟環境におけるロボット探査の手法と現場における実証を目的として立ち上げられた, 佐世保工業高等専門学校を主管校とする高専大学研究ネットワークであり, ROV を皮切りに,UGV,UAV のセンシングプラットフォームとして洞窟探査に挑んできた¹⁾。近年は JAXA『UZUME 計画』のワーキンググループと連携して, 「縦孔-地下空洞」の地球における類似地形・類似環境 (以下, UZUME 実験サイトと呼ぶ) の探索, 模擬探査実験や測量の実施, 3D モデル作成を進めている。

* 原稿受付 令和 5 年 11 月 27 日

**1 佐世保工業高等専門学校 基幹教育科

**2 合同会社 Aero Flex

**3 名古屋大学 全学技術センター

**4 JAXA 宇宙科学研究所

『洞窟計測探査シミュレーションプログラム』では、三つのフェーズに区分した「縦孔-地下空洞」の探査ルートコンセプト（図1下）：

[フェーズ 1 (Ph1)]

上空・地表における縦孔洞口への接近

[フェーズ 2 (Ph2)]

縦孔内部への降下（側壁・底部の探査）

[フェーズ 3 (Ph3)]

地下空洞への進入（奥部の探査）

を提唱・採用して、実験項目の振り分け、フェーズごとの模擬探査実験を策定している。この区分にしたがって、溶岩チューブ洞窟の横断面形状（アーチ型の半楕円形）に類似した類似地形（大規模な天然の洞窟）・類似環境の候補を選んだ。さらにロボットやドローンの探査実験・計測実験を実践して好適な場所を UZUME 実験サイトとして選定した。近年では高専大学連携研究ネットワークの『旧軍港市学術調査研究会』の協力を得て、地下遺跡空間（人工洞窟：「砲台跡」「地下採石場跡」「地下壕」「掩体壕」など）も UZUME 実験サイトに加えている²⁾。2023 年には溶岩洞窟の「三ッ池穴」「万野風穴」「窓穴」を新規に追加した。

数多くの UZUME 実験サイトは難易度がそれぞれ異なる。これらの実験サイトを難易度別に分けて、『UZUME 計画』に参加する研究チームへの現場教育プログラムの段階基準とした。チームはレベルに適合した実験サイトから着手して、経験値と実験機的能力を段階的に上げていくことになる。このプログラムの具体化（使用する UZUME 実験サイトの選択）に関して、「参加チームの所在地から遠くない」「交通機関を使い易い」などの利便性を考慮することにした。『UZUME 計画』に関係する研究機関・教育機関は関東圏に多く所在するので、実験サイト群を関東圏とその周辺エリアに集中させたプログラムを作成した（図3）。用途に合わせた部分プログラムも可能である。例えば、理学側（巡検・計測など）であれば溶岩洞窟限定版（図4）がある。

本稿では、関東圏とその周辺エリアの UZUME 実験サイト群（図3）の紹介を行う。また、今後実施可能な発展的な実験項目について検討を行う。

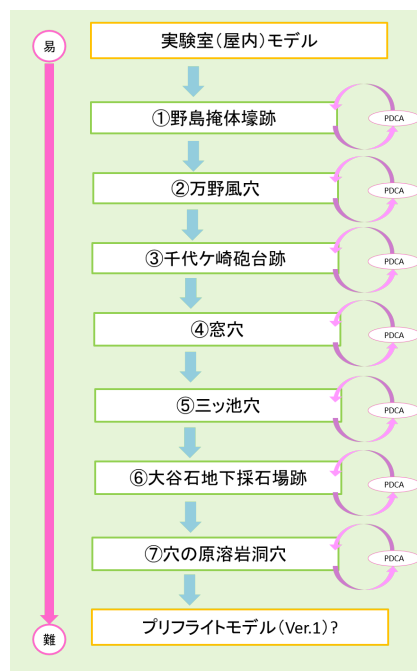


図3 関東圏近辺のUZUME実験サイト群

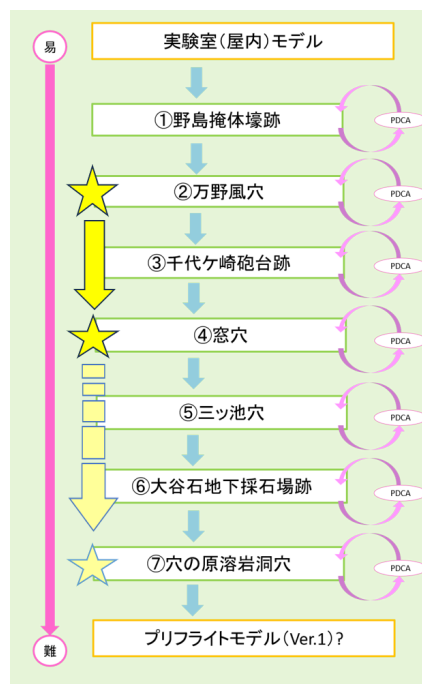


図4 溶岩洞窟限定版（黄色☆矢印）

2. 関東圏とその周辺エリアの実験サイト群

本節では（図3）に記載した各 UZUME 実験サイトを紹介します。

2. 1 「野島掩体壕跡」(神奈川県横浜市金沢区)



図 5 「野島掩体壕」(フェーズ 3)

2. 2 「万野風穴」(静岡県富士宮市)



図 6 「万野風穴」(フェーズ 3)

2. 3 「千代ヶ崎砲台跡」 (神奈川県横須賀市)

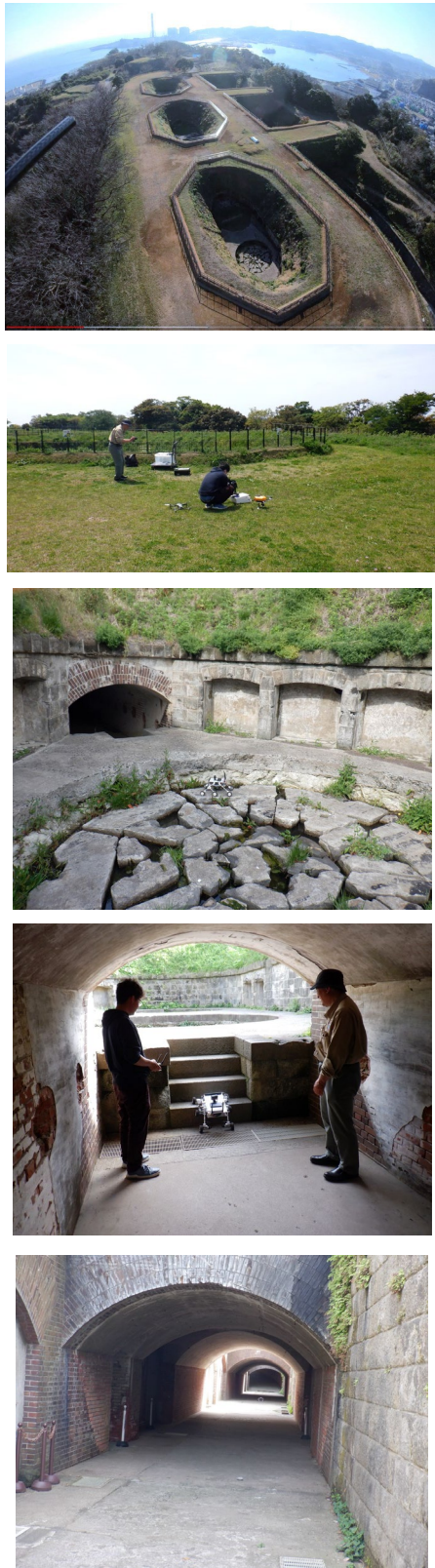


図 7 「千代ヶ崎砲台跡」 (フェーズ 1, 2, 3)

2. 4 「窓穴」 (静岡県富士宮市)



図 8 「窓穴」 (フェーズ 2, 3)

2. 5 「三ッ池穴」 (静岡県富士宮市)



図 9 「三ッ池穴」 (フェーズ 1, 2)
※ フェーズ 3 は未確認

2. 6 「大谷石資料館地下採石場跡」

(栃木県宇都宮市)

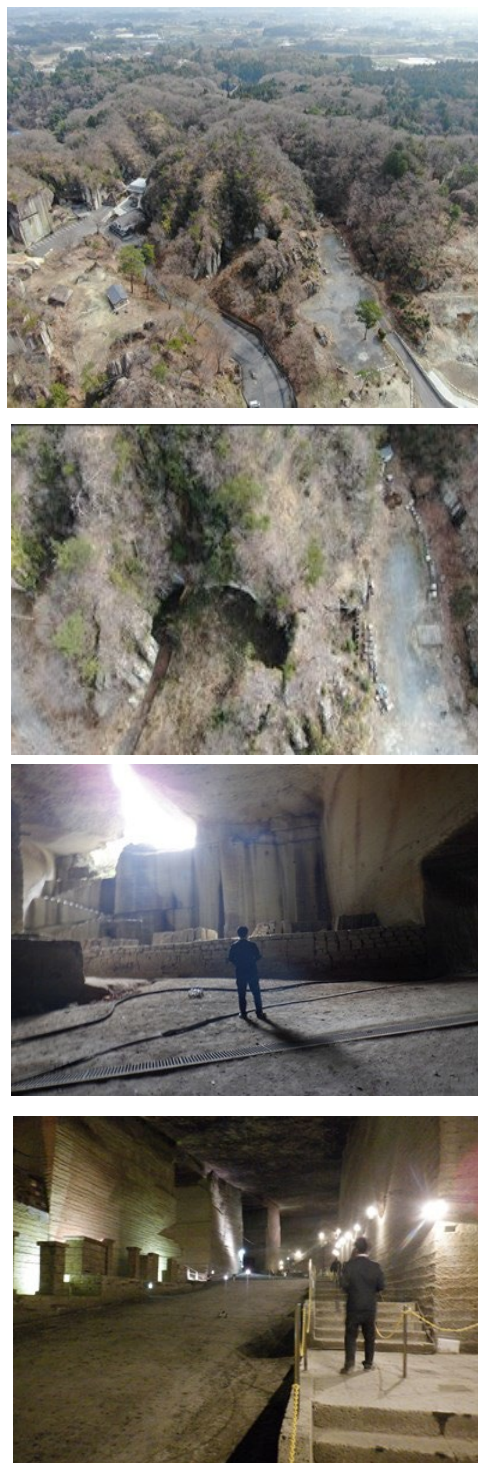


図 10 「大谷資料館地下採石場跡」
(フェーズ 1, 2, 3)

2. 7 「穴の原溶岩洞穴」



図 11 「穴の原溶岩洞穴」 (フェーズ 1, 2)

※ フェーズ 3 は未確認

3. 実験項目の検討

UZUME 実験サイトは無人機のシミュレーション実験を想定したものであるが、実験実施時には実験作業者 (マンパワー) が必要なので、機械類や装置だけでなく人間も UZUME 実験サイト内に入り「縦孔・地下空洞」を体験していることになる。場所や実験リソースの有効活用を考慮すると、マン・マシン系探査のシミュレーションも UZUME 実験サイトの実験項目に含めた方が多くのメリットを見込むことができる。特に、月・火星の縦孔・地下空洞有人探査を想定すると、縦穴昇降の補助機構システムの必要性が浮上する。この場合、人間 (宇宙飛行士) は探査船外活動を行うことになる。模擬実験を行う UZUME 実験サイトは xEMU (exploration Extravehicular Mobility Unit 探査船外活動宇宙服) の洞窟探検シミュレーション実験に使用することもできる。縦孔・地下空洞の有人探査が始まる時期を想定して、『UZUME 計画』では宇宙飛行士達の滞在用ベースキャンプモジュールの構想が開始されている^{3,4,5)}。「野島掩体壕跡」「窓穴」が実験サイトの候補地である。さらに、一般人が居住可能な環境を地下空洞内に実現する時期を想定した建設・建築の構想もある^{6,7,8)}。長大な地下空洞内に電力・通信網を構築するための初期工事手法の構想も開始されている⁹⁾。

今後、これらのテーマを実験項目に含めて検討をすすめ、具体化していく予定である。

4. まとめと課題

本稿では関東圏近辺に所在する UZUME 計画の研究チームを想定した実験サイトシリーズを構成した。一方、関西圏・東北圏・九州圏については、候補地の選定が遅れているため、実験サイトシリーズとして構成可能な十分なストックがない。今後は中長期的に関西圏、東北圏、九州圏について候補地の補充を進める予定である。

洞内の仮設建築物や恒久的な建築物・インフラストラクチャーを想定した模擬実験も実験項目として実施していく予定である。

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 月 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>
- 3) 佐藤淳, 河鱈実之, 横関智弘, 斉藤一哉, 桜井誠人, 阿波田康裕, 星之内菜生 :
月の縦孔での滞在開始用ベースキャンプの最少形態と展開着床機構の開発
第 67 回宇宙科学技術連合講演会講演集 1N13
JSASS-2023-40862
- 4) 佐藤淳, 河鱈実之, 横関智弘, 斉藤一哉, 桜井誠人, 阿波田康裕, 星之内菜生 :
縦孔での滞在開始用ベースキャンプの展開着床機構
第 67 回宇宙科学技術連合講演会講演集 4C12
JSASS-2023-40862
- 5) 星之内菜生, 桜井誠人, 阿波田康裕, 佐藤淳, 河鱈実之, 横関智弘, 斉藤一哉 :
月縦孔での滞在開始用ベースキャンプにおける必要物品の推算
第 67 回宇宙科学技術連合講演会講演集 2Q08
JSASS-2023-40551
- 6) 名倉真紀子, 大野琢也, 玉根昭一 :
月縦孔・地下空洞での快適居住環境を目指して :
WELL 認証の取り組みから
第 67 回宇宙科学技術連合講演会講演集 4C14,
JSASS-2023-40864
- 7) 山田誠一 :
月縦・地下洞窟での QOL を配慮した基地建設検討
第 67 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 4C15
JSASS-2023-40865
- 8) 庄司研, 村瀬宏典, 渡辺賢, 鈴木菜々子, 廣木正行, 広崎朋史, 山上貴章, 石嶋隆史, 須田恵里香, 諸島玲治, 森山枝里子 :
縦孔・地下空洞における居住環境構築技術に関する研究
第 67 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 4C16,
JSASS-2023-40866
- 9) 大野琢也, 名倉真紀子 :
月で暮らす その 1 娯楽編
第 67 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 4C13,
JSASS-2023-40863