

# 火山斜面転がりを利用した移動探査ロボットの操舵制御

Steering Control of a Mobile Robot for Volcano Exploration using a Mechanism of Roll Downhill

○速水邦晃（東北大学），永谷圭司（東北大学），吉田和哉（東北大学）

○Kuniaki Hayami, Keiji Nagatani, Kazuya Yoshida

キーワード： 火山観察(Volcano Observation), 移動ロボット(Mobile Robot)

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-04 東北大学工学部機械知能航空工学科航空宇宙コース  
吉田・永谷研究室 速水邦晃, Tel: 090-4491-3149, E-mail: hayami@astro.mech.tohoku.ac.jp

## 1. 緒言

日本は、世界でも有数の 110 の活火山を有する火山大国であり、気象庁は、そのうちの 47 の活火山は今後 100 年程度の中期的な噴火の可能性があると見て、監視・観測体制の充実が必要として指定している[1]。これらの活火山が噴火した場合には、噴火の規模によって危険区域が設けられ人の立ち入りが制限される。最近の噴火でいえば、9月27日に長野県と岐阜県の県境に位置する御嶽山が噴火し、噴火警戒レベルが3と発表され火口から4キロメートル以内の人の立ち入りが禁止された。このような状況下でも、噴火の状況や火山灰の体積状況の観測は、その後の土石流の発生などの災害予測や近隣住民の避難計画を策定する上で非常に重要である。

筆者らの研究グループでは、無人ヘリコプタで小型探査ロボットを目的地点まで運搬・投下し、遠隔制御によって噴火状況の確認や斜面に堆積する噴火物の観察を行う「火山観察ロボットシステム」の実現を目指して、浅間山などの活火山の斜面において小型移動ロボットの走行に関するフィールド試験を実施してきた[2-4]。これまで実施してきたフィールド試験の中で、山体の急斜面においてクローラ型や車輪型のロボットが走行中に転倒し、斜面下方向に転がり落ちる問題があった[5]。

そこで本研究では、この転がり落ちる現象を利用して、効率的かつ高速での移動探査を可能とする移動ロボットを開発し、火山環境におけるフィールド試験でその有用性を検証することとした。本稿では、提案する斜面移動ロボットについて述べた後、小浅間山にて実施したフィールド試験について報告する。

## 2. 活火山監視シナリオ

活火山が噴火した場合、その規模に応じて立入禁止区域が設定される。このとき、立入禁止区域に移動ロボットを投入し、斜面に堆積する噴出物の調査を行うことが本研究の目標である。Fig.1にこの調査シナリオのイメージを示す。

小型移動ロボットは、無人航空機によって活火山の山体斜面に運搬され、投下された後、斜面を下りながら堆積する噴出物の探査を行う。移動ロボットが走行する環境を Fig.2 に示す。ここは、浅間山の標高 2100m 付近の北東側斜面であるが、斜度が 30 度を超える急斜面であり、噴出物で覆われた軟弱土壌、火山礫が散在する不整地という移動ロボットにとっては非常に過酷な環境である。これまでに実施したフィールド試

験では、小型探査ロボット CLOVER が走行中に転倒し、そのまま 50m ほど転がり落ちる現象も見られた。このような環境において、移動ロボットによる活火山監視には移動性能、長距離通信、遠隔操作、噴出物調査といった技術課題が挙げられる。

本研究では、この中でも移動性能に関する技術課題の解決を目指すこととした。



Fig.1: Scenario of Volcano exploration using a UAV and a mobile robot

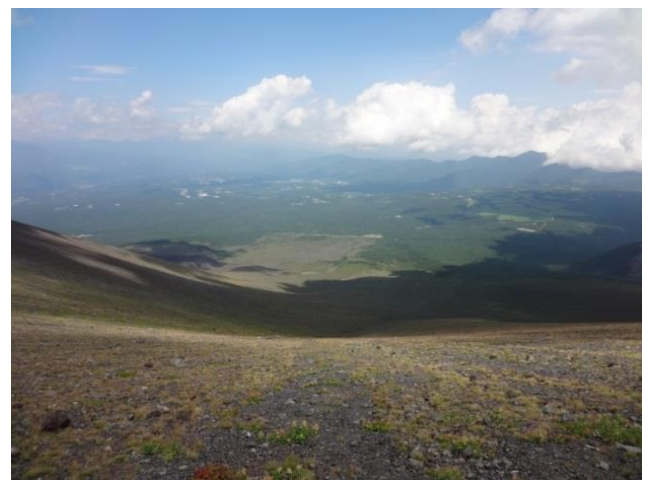


Fig.2: A slope of Mt. Asama

### 3. 斜面転がり型移動ロボットの開発

ロボットが走行する環境は Fig.2 に示すような軟弱急斜面である。従来の移動ロボットにとって転倒や斜面での転がりは、探査を進める上での妨げとしか考えられていなかったが、本研究では、転がり落ちる現象を利用すれば、小型移動ロボットは、不整地斜面を効率的かつ高速に下ることができると考えた。また、この小型移動ロボットは斜面を下る時の電力はロボットの位置エネルギーだけに依存し、進行方向を変えるための DC モータ用の電力しか必要としないため、従来のロボットと比較して軽量で長時間の活動が可能となることが期待できる。そこで、筆者らの研究グループでは、斜面を転がり落ちる現象を使用した小型移動ロボットを開発した。Fig.3 に、本研究で開発した探査移動ロボット AVROR (Autonomous Volcano Rolling Robots) を示す[6]。また、AVROR の 3D モデルを Fig.4 に、仕様を Table.1 に示す。



Fig.3: AVROR

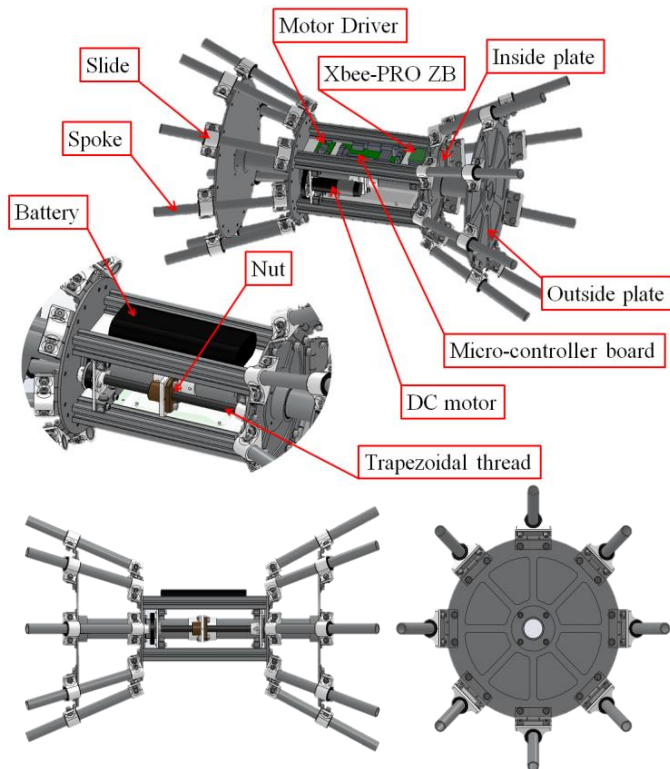


Fig.4: 3D model of a AVROR

Table.1: Specification of a AVROR

Weight	5.5 kg
Diameter	325 mm ~ 420 mm
PWR	Li-Fe (13.2 V, 2500 mAh)

このロボットの左右のスポークは、本体と回転関節で接続されており、これらを放射状に展開することで斜面を転がることができる。また、本体内部の台形ねじが DC モータ (Maxxon RE-max 24, 11W) により、回転することでナットが左右に移動する。このナットと同期して、スポークとスライドを介して接続されている外側のプレートが左右に運動する。このとき、外側のプレートと内側のプレートの距離が変化することで、スポーク先端がなす円の直径が変化し、ロボットは任意の方向に進行方向を変化させることが可能となる。(Fig.5)

なお、AVROR には、モータを駆動するためのモータドライバ (HiBot, 1-Axis DC Power Module)、モータの制御とセンサ処理を行うマイコン (STM32F103VFT6, 72MHz) を搭載したマイコンボード、無線通信を行う通信機 (XBee-PRO ZB / PCB アンテナ型) を搭載し、遠隔または自律で左右のスポーク先端直径の比を変えることができる。

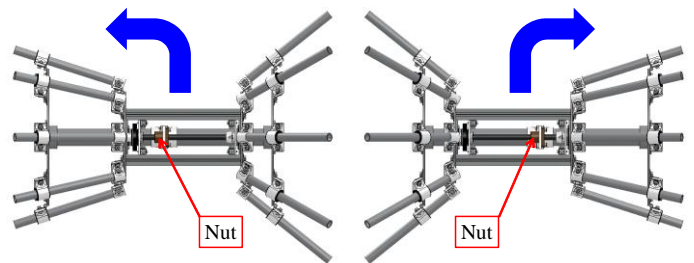


Fig.5: A steering mechanism of a AVROR

### 4. 活火山環境におけるフィールド試験

2014 年 9 月 7 日~11 日にかけて、小浅間山にて AVROR の走行性能評価に関するフィールド試験を実施した。フィールド試験では、斜度が異なる斜面において、目標地に向けての操作無しの走行と、操縦者の操舵制御有りの走行との比較を行い、移動機構の操舵有用性を検証した。試験でのロボットの走行軌跡を Fig.6 に示す。Fig.6 中の走行軌跡のうち、黄色が操作なしで、青色が操作ありを示している。なお、操舵の制御については、操縦者がロボットの走行を目視しながら、スポーク先端円の直径比を変えて制御を行った。

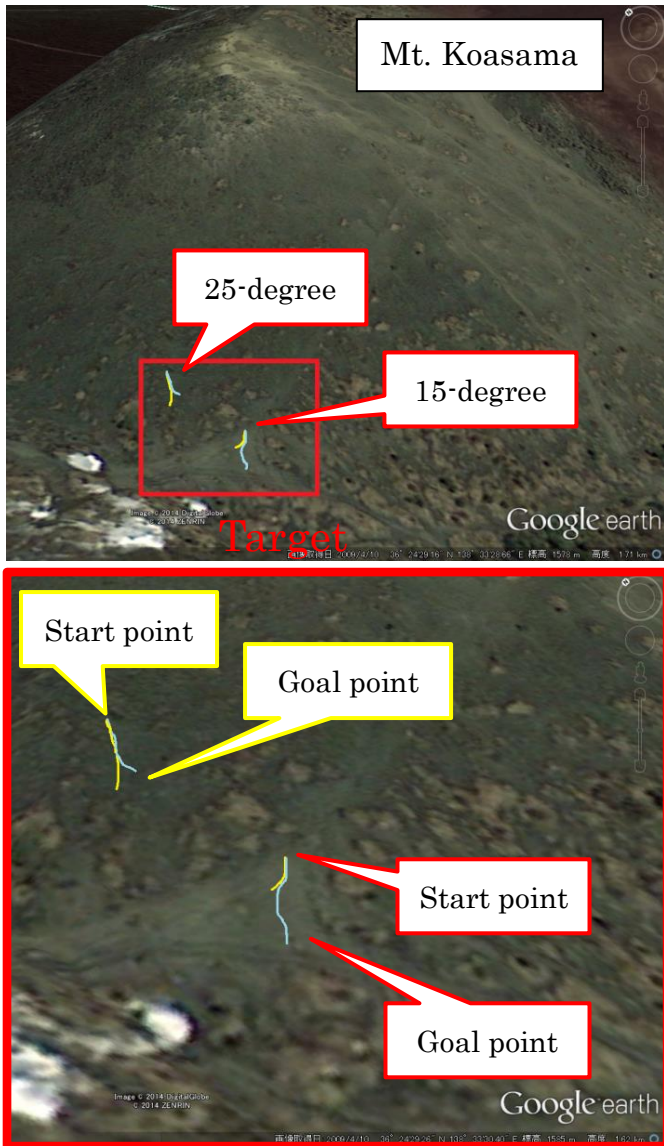


Fig.6: Result of Koasama field test

#### 4.1 斜度 15 度斜面

斜度 15 度の斜面の様子を Fig.7 に示す。この斜面における操舵制御の実験では、操作なしの場合、斜面上の火山礫や植生などといった障害物によって走行経路が曲げられ、下方まで転がらずに、途中で止まってしまった。一方、操作者による操作を加えた場合、操縦者が適宜経路を修正することができ、目的地まで走行することができた。



Fig.7: A slope of 15-degree

#### 4.2 斜度 25 度斜面

斜度 25 度の斜面の様子を Fig.8 に示す。この斜面における操舵制御の実験では、AVROR の転がり落ちる速度が非常に速かったため、スポーク先端円の直径を変更し、走行経路が変更されたことは確認できたが、操作者による操舵が間に合わなかったため、この機能を利用して、目的の経路上を走行させることは困難であった。



Fig.8: A slope of 25-degree

### 5. 結言

本研究では、活火山探査を目的とした小型移動ロボット AVROR を開発し、小浅間山において走行性能検証を目的としたフィールド試験を行った。このフィールド試験では、斜度がそれほど大きくない斜面であれば、操作者による目視による目的地への操舵制御が可能であったが、斜面の斜度が大きくなるにつれ、走行速度が速くなり、操舵が間に合わなくなった。

今後の課題としては、移動機構の移動速度の調節方法の考案ならびに、ロボットの姿勢情報取得による目標経路追従制御の実現が挙げられる。

### 参考文献

- [1] 気象庁: 火山噴火予知連絡会, 中期的な噴火の可能性の評価について, 火山活動評価検討会 (2009-06)
- [2] 永谷圭司, 木下宏晃, 西村健志, 小柳栄次, 油田信一, 久武経夫, 森山裕二, 小型クローラ移動ロボットの遠隔操作による火山活動区域の観察-浅間山での走行試験-, 第 11 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2010) 論文集, pp.555-558 (2010-12)
- [3] 永谷圭司, 桐林星河, 西村健志, 吉田智章, 小柳栄次, 羽田靖史, 油田信一, 中里邦子, 久武経夫, 森山裕二, 小型クローラ移動ロボットの遠隔操作による火山活動区域の観察-高出力の無線通信を用いた浅間山でのフィールド実験-, 第 12 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2011) 論文集, pp.54-57 (2011-12)
- [4] 永谷圭司, 西村健志, 吉田智章, 小柳栄次, 羽田靖史, 油田信一, 多田隈建二郎, 小型移動ロボットの遠隔操作による火山活動区域の観察-浅間山における 2012 年フィール

ド試験-, 第 13 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2012) 論文集, pp.648-651 (2012-12)

[5] 山内元貴, 秋山健, 高橋悠輔, 永谷圭司, 吉田和哉, 羽田靖史, 車輪型軽量火山探査ロボットの開発と遠隔操作試験, 第 13 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2012) 論文集, pp.652-654 (2012-12)

[6] 秋山健, 多田隈建二郎, 永谷圭司, 吉田和哉, 火山斜面の転がりを利用した移動探査ロボットの開発, 第 14 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, pp.377-340 (2013-12)