

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

無人ヘリコプターによる火山近傍観測システムの開発

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 新たな観測技術の開発

(2) 宇宙技術等の利用の高度化

イ．リモートセンシング技術

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

無人ヘリコプターをロボットヘリとして取り扱うことで、活動的火山の火口近傍において安全に統合的な地球科学観測を行うことを目指す。具体的には、地震計・GPS 装置等の様々な観測装置の遠隔設置機能、空中磁気測量や赤外画像撮影等のリモートセンシング、火山灰等の試料採集を行えるようにハード・ソフトの開発を進める。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度は、遠隔設置の開発として、地震計設置装置の試作を主に行う。また、桜島昭和火口周辺において、地震計設置、空中磁気測量等を実施する。

平成 22 年度以降は、平成 21 年度の実験結果を踏まえ、機器開発・特性を実地試験（詳細は未定）も行いつつブラッシュアップしてゆく。最終年度には、到達目標に上げた観測項目を行える統合システムの開発を完了させる予定である。

(7) 計画期間中（平成 21 年度～25 年度）の成果の概要：

本課題では計画期間中、無人ヘリコプターを利用した観測システムとして、測定装置の遠隔設置・回収、稠密繰り返し空中磁気測量、接近空撮による火口内観察、火口近傍における火山ガス採取など多岐にわたる開発・測定を実施した。

その中でも特筆すべき事項は、測定装置の新規開発およびその遠隔設置、測定データの遠隔伝送、遠隔回収に成功したことである。無人ヘリコプターは総重量 100kg 以下という法的制限があり、それに応じペイロードも限られるため、測定装置の抜本的な小型化が必要となった。そのために、小型 3 成分加速度計の利用、解析回路の稠密化、効率的なデータ伝送のための小型モジュールの選択、高エネルギー密度バッテリーや太陽電池パネルの試用など、その他開発項目は多岐にわたった。さらに、実際に火口近傍にてテスト測定を行った結果、想定以上の強風により小型測定装置が煽られる事態があったため、風洞実験などを通して試行錯誤を重ね、最適な装置形状に到達し、重量もおおよそ 5 kg に抑えることに成功した。また、無人ヘリコプターを用いた遠隔操作による機器設置の方法も非常な難題であったが、議論を重ねた結果ウィンチによる吊り下げ方式での機器降下・接地が安全かつ効率的であるとの結論に至った。なお、先の重量の問題により、設置時に全重量を支える必要のあるウィンチ自体も小型で高効率なものが求められたため、耐久試験を含め、機器の昇降テストを入念に重ねた結果、目的を遂行するための仕様を十分満たす性能を保持するウィンチの開発に成功した。また、このウィンチを利用することにより、測

定装置を遠隔操作により回収することにも成功した。このことは、不意の機器故障・データ伝送不良の際に必要な機能であり、この回収の成功をもって設置状態での機器の具合を実際に確認できるようになったため、本計画の機器開発作業は当初予定よりも格段に加速的に進んだ。実際のフィールドへの適用として、活動的火山である桜島および霧島新燃岳にて設置実験をおこなった。設置初年度には機器故障やデータ伝送不良等があったが、機器回収による原因究明などを経て、平成 23 年度以降の実験では、不具合なくデータ取得することに成功した。平成 25 年度も 10～11 月に測定機器設置および前年度設置機器の回収をおこなった。取得したデータの一部は、人工地震による桜島火山体構造探査にて火口直近の構造を精査する目的のため提供された。また、霧島新燃岳火口近傍に遠隔設置された GPS モジュールによる取得データ解析の結果、新燃岳火口近傍は収縮傾向にあることがわかった。

次に重要な成果として、無人ヘリコプターによる繰り返し空中磁気測量による火山活動に伴う磁化変化の検出が挙げられる。磁場は非接触型センサーで測定可能であるため、地上に設置された機器による以外にも、空中磁気測量等による遠隔測定は古くから行われている。これは陸上測定において地理的状況等の制限により測定不能であった場所でも比較的容易に測定作業ができる反面、通常は操縦を人の手に頼るため、繰り返し測定をおこなう場合はその誤差が大きく、誤差を軽減させるための煩雑なデータポストプロセッシングが必須であった。しかし、プログラミングされた航路を高精度で飛行できる無人ヘリコプターを利用することでこの点が払拭され、微弱な地磁気変化を検出することに成功した。実際のフィールドとして霧島新燃岳において、2011 年噴火イベント後の 2011 年 5 月および同年 11 月に実施した。その結果、このおよそ半年間で新燃岳山頂域において、火口南側が正、北側が負の最大 100nT におよぶ明瞭な磁場変動が見られた。これは噴火活動に伴い山頂火口に滞留した溶岩が冷却した際に磁化を獲得したことを反映していると考えられ、火山活動の沈静化を検証することができた。平成 25 年度は 11 月に再度霧島新燃岳において空中磁気測量を実施した。その結果、帯磁はさらに進んでおり、また都合 3 回分を比較することでその速度は経過時間の平方根に比例することを発見した。このことは火口内マグマが対流などの運動システムではなく、熱伝導・熱拡散によって徐々に冷却していったことを示しており、火山活動度やマグマ粘性に大きな情報をもたらす結果となった。平成 25 年度には、前年度に引き続き樽前山においても繰り返し空中磁気測量を実施した結果、こちらも帯磁傾向にある地磁気変化を検出することに成功した。

この他にも、桜島において火山ガスの採取をおこなったり、空撮により新燃岳火口内の様子の詳細を撮影することなどに成功するなどの成果も挙げた。

以上の成果を持って活動的火山火口近傍における多項目観測が成功したことにより、今後ますます火山観測の場で無人ヘリコプターが有効活用されることが期待される。

- (8) 平成 25 年度の成果に関連の深いもので、平成 25 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) : Hashimoto, Takeshi, Koyama, Takao, Kaneko, Takayuki, Ohminato, Takao, Yanagisawa, Takatoshi, Yoshimoto, Mitsuhiro, and Suzuki, Eiichi, 2013, Aeromagnetic survey using an unmanned autonomous helicopter over Tarumae Volcano, northern Japan, *Exploration Geophysics*, <http://dx.doi.org/10.1071/EG12087>

Takao Koyama, Takayuki Kaneko, Takao Ohminato, Takatoshi Yanagisawa, Atsushi Watanabe, and Minoru Takeo, 2013, An aeromagnetic survey of Shinmoe-dake volcano, Kirishima, Japan, after the 2011 eruption using an unmanned autonomous helicopter, *Earth Planets Space*, **65**, 6, 657-666.

- (9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学地震研究所 火山噴火予知研究センター

他機関との共同研究の有無 : 有

千葉大学 環境リモートセンシング研究センター 本多嘉明、梶原康司

- (10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：京大学地震研究所 火山噴火予知研究センター

電話：

e-mail：

URL：<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/VRC/>

(11) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名：小山崇夫

所属：東京大学地震研究所