

火山観測の新しい技術 —無人ヘリによる火山観測—

北海道初 北海道開発局・北海道大学・東京大学の取り組み

北海道大学大学院工学研究院

特任教授 鈴木 英 一

はじめに

火山噴火時の火口近傍は、火山活動を把握する上で極めて重要な場所であるが、観測者や観測機器が噴火により被災する可能性があり、観測上の空白域となる場合が多い。この空白域を埋める観測ができれば火山防災や火山研究に極めて有益である。そのため、わが国では東京大学地震研究所が、これまで無人ヘリによる火山観測システムを研究してきている。

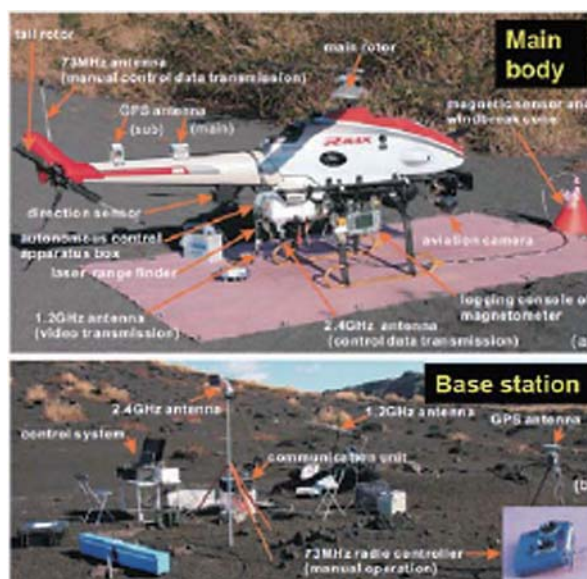
北海道は、活火山が18火山（北方領土を除く）も有り、この調査手法が可能となることは、火山防災上大きな前進となる。そのため、樽前山火山砂防を担当する室蘭開発建設部と北海道大学、東京大学が合同で北海道で始めて無人ヘリによる調査に取り組み、大きな成果を上げることができた。

1. 東京大学の無人ヘリ調査

東京大学地震研究所・火山噴火予知研究センター金子隆之助教らは、これまでに機動的な火口近傍観測を実施する新しい技術として、無人ヘリを利用した観測システムの開発に取り組んできている。2011年5月には噴火した新燃岳にて無人ヘリを使用して観測を行った。使用した機種は無人自律ヘリコプター RMAX-G1であり、北海道開発局が所有の無人ヘリと同一機種

で、空中観測のほかに、火口近傍への地震計および GPS モジュールを設置することが出来、伝送により回収されたデータにより火山活動の把握に大きな成果を収めることができた。

地震計モジュールは太陽電池と携帯電話網による通信機能を備え、地震観測のために3成分加速度センサーを用いている。このモジュールはアルミ製三脚に載せられており、総重量は5 kg、無人ヘリで三脚ごとウインチで吊り下げられ火口近傍にゆっくり降下させ設置される。使用後は無人ヘリでウインチにより吊りあげられ回収される。新燃岳では火口から1～2 kmの近



写真－1 新燃岳観測の無人ヘリとステーション

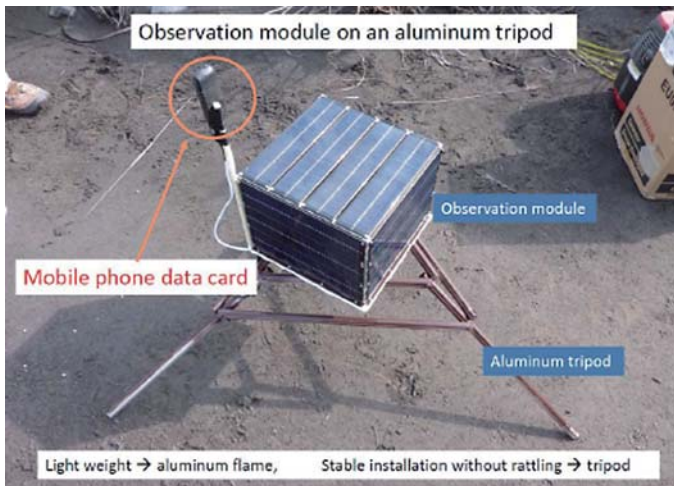


写真-2 地震計モジュール

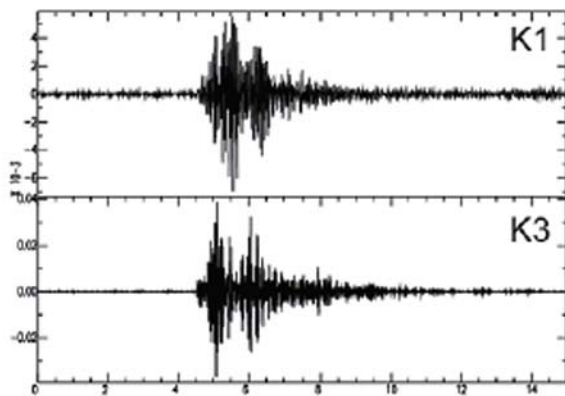


図-1 観測された加速度記録
(縦軸：加速度 m/s/s、横軸：秒)

傍に4台設置された。地震計は上下動等の加速度を測定し一定時間ごとにデータを伝送する。太陽電池は南に向けることができないためモジュール全面に配置されている。

またGPSモジュールは、設置された地点の位置の測定により、変動量を観測する装置で、太陽電池と携帯電話網による通信機能を備えている。消費電力を抑えるため1日一回、データを纏めて伝送する仕組みとなっている。総重量5kgで地震計モジュールと同様に無人ヘリで吊り下げられ、設置され、ウインチで吊りあげられ回収される。新燃岳火口近傍に3台設置された。この装置の誤差は水平成分で1-2cm、鉛直成分で3-4cmと変動が大きいですが、火口近傍の観測には十分な精度を持つ。



写真-3 GPSモジュール

表-1 RMAX G1の諸元

項目	諸元
全長	3.63m
全幅	1.64m
全高	1.22m
全装備質量	94kg
最大搭載量	10kg
最大航続時間	80分
最高高度	150m

2. 北海道開発局の無人ヘリ

北海道開発局では、小型無人ヘリコプターRMAX G1を2機所有しており、これまでも洪水氾濫区域調査、道路パトロール、大規模破堤実験の記録など有人での飛行が制限される危険区域内での調査や低高度からの迅速で詳細な監視や調査等に使用されている。この無人ヘリの諸元は表1の通りである。

さらにホバリングは全方位に対して±3m以下、無線遠隔制御により5km以内の飛行が可能な性能を有している。ヘリコプター下部には、映像収集用のカラーCCDカメラ、デジタルカメラ、赤外線カメラを取り付けることができる仕様になっている。この無人ヘリの操作は、写真-4に写っている移動操作車内から行うこと



写真－４ 開発局のRMAX G1と移動操作車



写真－４ 移動操作車からの操作状況

ができる。また飛行中に電波が途絶えた場合には、電波が回復するところまで帰還する機能も備わっている。

3. 樽前山の観測

樽前山火山砂防を担当している北海道開発局室蘭開発建設部は、北海道大学大学院理学研究院付属地震火山研究観測センター橋本武志准教授、同理学研究院吉本充宏助教および東京大学地震研究所の協力を得て、噴火時の北海道開発局の無人ヘリによる観測の可能性を検証するために現地で実際に飛行を行った。北海道開発局の無人ヘリを使用したのは、この機種の無人ヘリが日本には数台しかなく、噴火時に緊急に道外からは移動できないことが考えられるためである。

最大の問題点は飛行高度であった。無人ヘリの積載可能量は平地での値であり、樽前山のように標高1,000mを超える場合には、空気の重さが軽くなり、大幅に低下することとなる。東京大学の観測では改造された無人ヘリが使用され、新燃岳で始めて1,000mを超える高度が達成できた。しかし、無人ヘリの軽量化等の改造は航空法上制約が多いため、現時点では、燃料を減らして積載量を確保することしかできないが、実際に可能かどうかは大きな課題であった。

メーカーのヤマハ発動機のエンジニアとの打合せを繰り返し、平成23年9月26日と27日絶好

の飛行日和の下、樽前山での調査が行われた。

調査の内容と成果は次の通りである。

(1) 像観測

噴火時に、迅速かつ安全に火口周辺域の状況を映像で確認することは、現況を的確に把握して当面の対策を立てる上で重要である。とりわけ、噴石や火砕流等、爆発的噴火の直接的被害だけではなく、泥流や土石流といった二次的な災害を予測する上では極めて効果的である。今回は、デジタルビデオカメラとデジタルスチルカメラを無人ヘリの下部に装着し、溶岩ドームを含む山頂火口原を詳細に撮影した。これにより、溶岩ドーム上の火口の状況や、亀裂の分布、噴気の位置などを、詳細に明らかにすることができた。ただし、デジタルスチルカメラについては、機体の振動によりインターバル回路の電源端子が接触不良を起こすというトラブルが発



写真－５ 樽前山噴火口を目指す無人ヘリ



写真－6 ビデオカメラからの樽前山火口

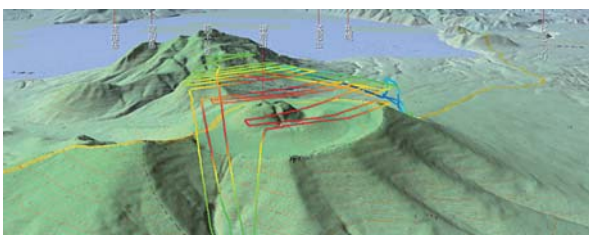
生した。

(2) 空中磁気測量

火山岩は強い磁性を有しているため、山体周辺では磁気異常（地磁気の強弱分布）が生じている。この磁気異常は地下浅部（おそらく表層から数100m程度まで）の不均質（高温や噴気変質による弱磁化など）を反映していることが想定される。そのため、磁気異常分布を測定し、解析することにより、こうした地下浅部の構造や温度異常を推定することが可能である。しかし、噴火時には火口原上空の磁場分布を低高度かつ高密度にマッピングして測定することは殆ど不可能である。

その点、無人ヘリは容易に噴火時に火口上級に近づくことが可能であり、さらにGPSナビゲーションによる自律飛行方式であるため、精度の高い（絶対位置で10m程度の誤差）航行が実現できる。このことは、位置再現性の要求される観測を行う際に極めて有利である。

写真－7には、今回観測した空中磁気測量の3Dルートと観測された磁気の強弱（赤が強く、青は弱い）を示している。この飛行マップ



写真－7 樽前山の飛行マッピング

は、今後の観測に際してもGPS自律飛行方式により、全く同じマッピングで飛行できるため、今後の観測の初期状態が測定できたという意味も大きい。今回の調査飛行により、火口原内のほぼ全域で磁場の分布が測定された。天候に恵まれたこともあり、想定していたよりも広い範囲をカバーすることができ、最高飛行高度も標高1,350m程度まで上げることができ、大きな収穫となった。

今後この空中磁気測量を繰り返すことで、地下温度の時間的推移を検出することも可能である。今回の調査飛行は、地殻変動や地震活動といった一般的な火山活動監視手法に加えて、空中磁気測量による地下温度変化の推定を加えることができると、火山活動の推移予測において重要な判断材料が加わることになる。

(3) 地震計設置実験

ひとたび噴火が始まると、噴石・火山灰・火砕流・土石流等によって火口近傍・渓流域の各種観測点は被災し、機能しなくなる事態が想定される。そのような場合にも、無人ヘリにより臨時的な観測機器を安全に設置することができれば、監視体制を維持することが可能となる。地震計を適切な場所に設置することにより、泥流・土石流監視のための振動センサとして役立つ可能性が高い。

今回は、東京大学地震研究所で開発済みの火



写真－8 吊り下げ・吊り上げのウインチ



写真－9 モジュールをつりさげた無人ヘリ



写真－10 設置された観測モジュール

山性地震観測モジュールを用いて、設置・回収の実験飛行を行った。ただし現状では、泥流・土石流監視用の装置として設計されていないため、リアルタイムで警報を発する等の機能は有しておらず、遠隔操縦によるモジュールの投入・回収の実地試験を行うという位置づけで実施したものである。

おわりに

北海道の火山で始めて無人ヘリによる火山観測について、可能性や有効性を検証できたことは画期的である。東京大学による先行事例もあり十分に実用できると考えられる。また改善したい点としては、無人ヘリの機体又は機材の軽量化である。北海道には、火口の標高が1,000 mを超える活火山もあり、飛行高度を上げるためには軽量化が有効である。今回の実験でも、

天候によっては山頂域に到達できない可能性も考えられた。実験初日は山体に沿って吹き下ろす逆風に抑えられたため、山頂火口原まではアクセスできなかった。2日目は天候に恵まれ、風が弱く視界も良好であったため、1,350mと予想以上の飛行高度・範囲を得ることができた。このことは、気象条件さえ良ければ、このままの重量で樽前山でもかなりのことができるということを意味しているが、今後多くの火山で使用するためには、緊急時でもより確実に調査できるようにすることが重要であり、更なる研究を進める必要がある。

参考文献

東京大学地震研究所：無人ヘリによる火口周辺の地震・GPS観測、平成23年霧島山新燃岳噴火に関する緊急調査研究