

特集「無人観測ロボット」

火山観測ロボット実証試験場の選定と 実証試験運営の試み

佐伯 和人¹

(要旨) 火山というフィールドに火山研究者とロボット研究者を集め、フィールドで真に役に立つロボットを開発運用することをめざした「伊豆大島無人観測ロボットシンポジウム」を著者は3年間連続開催した。本稿では、日本の多数の活火山の中から伊豆大島を選んで無人観測ロボットの実証試験を行っている理由、実際にシンポジウムを実施したことで得られた情報や成果、今後の課題などを報告する。また、本稿は本号と次号に「無人観測ロボット」特集として掲載される複数の論文に取り上げられている実証試験の背景を解説した特集号全体の導入でもある。

1. はじめに

地球が太陽系の惑星の一つだとすれば、地球の探査もまた惑星探査である。著者は伊豆大島の噴火に備えた「伊豆大島無人観測ロボットシンポジウム」を企画・実施している。このシンポジウムは火山学者とロボット研究者を伊豆大島に集め、無人観測ロボットの実証試験大会を行うことで、次回の伊豆大島噴火までに本当に役に立つロボットを開発しようという目的で開催されている。本稿掲載の特集号「無人観測ロボット」では、地球および太陽系の様々な環境下での活用をめざしたロボットが紹介されているが、寄稿された論文の多くが、「伊豆大島無人観測ロボットシンポジウム」の成果として提出されたものである。惑星科学会誌でシンポジウムの成果を発表するに際し、惑星科学分野へ当シンポジウムが貢献する内容を挙げておきたい。まず、当シンポジウムは火山地形でローバーの不整地走行や自律制御の実験をしたいという惑星探査ローバーの開発者に実証試験の機会を提供することで、技術向上や学生の教育に貢献している。また、実証試験大会では高校生の参加部門を用意したり、一般の見学者にも公開したり、広報にも力を入れている。大自然の

中でロボットを運用する難しさと意義を国民が理解することは、惑星探査ロボット計画への国民の理解と興味を喚起する効果も期待できる。さらに将来、惑星探査のレベルが上がると、安全で静的な場所の探査をする段階から、活動中のイオの火山のようなダイナミックな現象を探査する段階へ移ることが期待される。そのような難しいが探査しがいのある対象を探査する技術と気概を身につけるためにも、地球の火山への挑戦は意味があろう。東日本大震災とその後の原発事故でのロボット運用の実態が報道され、ロボットを活躍させるには、ハードウェアの開発だけでなく、運用体勢の確立が必要不可欠であることが、広く一般にも認識された。また、ロボットの能力の衆知がロボットを活用する局面を増大させることが研究者に実感された。本特集号で紹介されている当シンポジウムの成果を通じて、自然に立ち向かうロボットの現在の能力と将来展望が浮き彫りになり、ロボット活用の新たなアイデアが惑星科学会員の中に芽吹くことがあれば幸いである。

2. シンポジウム開催の目的

伊豆大島三原山では先の噴火から20年以上が経過し、次の噴火について考え・準備しておく必要のある

1. 大阪大学 理学研究科
ksaiki@ess.sci.osaka-u.ac.jp

時期になっている。1986年の噴火では爆発的な噴火が発生し、また、カルデラ底や更にはカルデラの外など、思いもかけない地点での活動になった。そのため、噴火地点には近寄ることができず、噴火現象の科学的理解や災害軽減のための貴重なデータを調査観測する機会を逸した。このような状況をもたらした理由の一つとして適切な観測技術の未発達が挙げられる。次の機会には、是非、貴重なデータを観測する態勢を十分に構築しておきたい。とりわけ遠隔操作、無人、不整地走行などのキーワードを重視した新しい観測用移動体の開発とそれに基づく機動的な対応が望まれる。このような移動体は特に宇宙研究分野で進展しており、火山分野における技術開発に対しても貴重な経験を与えてくれるはずである。一方、宇宙分野では実際の火山などにおけるフィールド実験の経験が乏しく、火山と宇宙との両分野が協力することによってお互いに格段の進展が図られるはずである。伊豆大島無人観測ロボットシンポジウムは、このようなことを念頭において企画された。噴火まであまり時間が残されていないかも知れない今日、宇宙探査や、地球環境計測など、さまざまな分野から、無人観測車(UGV)や無人観測飛行機(UAV)を開発しているグループが伊豆大島に集まり、火山地形での運用実証試験を行いつつ情報交換することで、次の伊豆大島噴火に間に合うように、火山防災や火山活動観測に本当に役に立つロボットと実質的な運用態勢を短年月で完成させることをめざしている。

3. 実証試験場所の選定

実証試験場所として伊豆大島を選んだが、その理由を説明する。単なる運用試験ではなく、観測や防災に直接役立てることを目的にしているため、実証試験場所は、実際に観測や防災が必要な地域であることが前提である。そのため気象庁の噴火警戒レベルが設定されている火山を候補とした。活火山の取扱いはここ40年の間に何度も大きな変化があり、読者が教育を受けた年代によって学習した活火山の定義内容が異なっているはずである。そこで活火山の取り扱いについての歴史と用語を確認しておきたい。以下、火山ランクに関する説明は文献[1]からの引用である。気象庁火山噴火予知連絡会は1974年に設置されて以来、そ

の任務の一環として、活火山カタログの整備を進めてきた。1975年には当時の活火山であった「噴火の記録のある火山及び現在活発な噴気活動のある火山」である77火山についての資料を取りまとめて『日本活火山要覧』を刊行した。その後1991年に活火山の定義を「過去およそ2000年以内に噴火した火山及び現在活発な噴気活動のある火山」に変更し、83火山を活火山とするとともに、『日本活火山総覧(第2版)』を刊行した。さらに1996年にはこの基準に該当する3火山を追加し、活火山は計86火山となった。しかし、長期にわたって活動を休止したあと活動を再開した事例も知られており、近年、火山学の発展に伴って、過去1万年間の噴火履歴で活火山を定義するのが適当であるとの認識が国際的にも一般的になりつつある。このような状況に鑑み、火山噴火予知連絡会は、「概ね過去1万年以内に噴火した火山及び現在活発な噴気活動のある火山」を活火山と定義することとし、1998年度から火山地質学の専門家の参加を得て、調査・検討を進め、活火山の数は2011年6月までに110にまで増えた[2]。活火山の定義の変更により、活火山は、現在活動的な火山から噴火の可能性はあるものの長期にわたって静穏な火山まで、その活動特性は多様なものとなり、火山噴火予知に関する研究及び観測の体制の整備のための施策について総合的に検討するための手がかりを与えてくれる何らかの指標が必要になったことから、火山噴火予知連絡会では、社会的影響度を考慮せずに火山学的に評価された火山活動度によって活火山の分類(ランク分け)を行うこととした。具体的には、火山活動について過去100年間に組織的に収集された詳細な観測データに基づき100年活動度指数、及び過去1万年間の地層に残るような規模の大きい噴火履歴(活動頻度、噴火規模及び活動様式)に基づく1万年活動度指数を定義し、ランクA：100年活動度指数(5を超える)あるいは1万年活動度指数(10を超える)が高い火山、ランクB：100年活動度指数(1を超える)あるいは1万年活動度指数(7を超える)が高い火山(ランクAを除く)、ランクC：いずれの活動度指数とも低い火山(ランクA, B以外の火山)、の3種類に分類(ランク分け)することとした。

このランクは現在も使われているが、過去の火山活動度に基づくものであり、噴火の切迫性を分類したものではないので、防災上は別の指標も必要である。そ

表1：噴火警戒レベルが設定されている火山のリスト。

地域	火山名	活動度	噴火警戒レベル	最高標高(m)	最近の噴火	島人口*
1 北海道	雌阿寒岳	B	1 (平常)	1499	2008年	
2 北海道	十勝岳	A	1 (平常)	2077	2004年	
3 北海道	樽前山	A	1 (平常)	1102	1981年	
4 北海道	有珠山	A	1 (平常)	733	2000年	
5 北海道	北海道駒ヶ岳	A	1 (平常)	1131	2000年	
6 岩手県	岩手山	B	1 (平常)	2038	1919年	
7 秋田県	秋田駒ヶ岳	B	1 (平常)	1637	1971年	
8 山形県・福島県	吾妻山	B	1 (平常)	1949	1977年	
9 福島県	安達太良山	B	1 (平常)	1710	1900年	
10 福島県	磐梯山	B	1 (平常)	1816	1888年	
11 栃木県	那須岳	B	1 (平常)	1915	1963年	
12 群馬県	草津白根山	B	1 (平常)	2171	1983年	
13 群馬県・長野県	浅間山	A	1 (平常)	2568	2009年	
14 新潟県	新渥焼山	B	1 (平常)	2400	1983年	
15 長野県・岐阜県	焼岳	B	1 (平常)	2455	1963年	
16 長野県・岐阜県	御嶽山	B	1 (平常)	3067	2007年	
17 山梨県・静岡県	富士山	B	1 (平常)	3776	1707年	
18 神奈川県	箱根山	B	1 (平常)	1438	なし	
19 東京都	伊豆東部火山群	B	1 (平常)	580	1989年	
20 東京都	伊豆大島	A	1 (平常)	758	1990年	8565 (H24)
21 東京都	三宅島	A	2 (火口周辺規制)	775	2010年	2721 (H23)
22 大分県	九重山	B	1 (平常)	1791	1996年	
23 熊本県	阿蘇山	A	1 (平常)	1592	2009年	
24 長崎県	雲仙岳	A	1 (平常)	1483	1995年	
25 宮崎県・鹿児島県	霧島山(新燃岳)	B	3 (入山規制)	1421	2011年	
26 宮崎県・鹿児島県	霧島山(御鉢)	B	1 (平常)	1408	2011年	
27 鹿児島県	桜島	A	3 (入山規制)	1117	2012年	
28 鹿児島県	薩摩硫黄島	A	2 (火口周辺規制)	704	2004年	114 (H22)
29 鹿児島県	口永良部島	B	1 (平常)	657	1980年	152 (H22)
30 鹿児島県	諏訪之瀬島	A	2 (火口周辺規制)	796	2012年	52 (H22)

気象庁サイト気象情報統計より *島人口は各自治体のサイトより(鹿児島県は鹿児島県離島振興協議会サイトより)

ここで、噴火警戒レベルという指標が導入された。文献[2]によると、噴火警戒レベルは、各火山の地元の都道府県等が設置する火山防災協議会(都道府県, 市町村, 気象台, 砂防部局, 火山専門家等で構成)において防災対応(避難指示・避難勧告, 避難準備情報, 道路・登山道規制等)について共同で検討を行い、関係する市町村の地域防災計画等に噴火警戒レベルに応じた防災対応や対象地域が定められた火山に導入されている。噴火警戒レベルは、火山活動の状況に応じて必要となる具体的な防災対応を「避難(レベル5)」、「避難準備(レベル4)」、「入山規制(レベル3)」、「火口周辺規制(レベル2)」、「平常(レベル1)」の5段階に区分することで、住民や登山者等が噴火時等にとるべき防災行動を分かりやすく示した指標である。なお、各レベルで想定する火山活動の状況及び噴火時等の防災対応に係る対象地域や具体的な対応方法は、地域により異なることに

注意が必要である。噴火警戒レベルは、火山防災のために監視体制を強化する必要がある火山として火山噴火予知連絡会によって選定された47火山のうち29火山(平成24年4月現在)に導入されており、これらの火山については噴火警戒レベルを付して噴火警報・噴火予報を発表している。

つまり噴火警戒レベルが設定されている火山は、噴火が切迫しているだけでなく、影響が住民に及ぶため防災対策の必要性が高いと認識されている火山と判断できる。表1に噴火警戒レベルが設定されている火山を挙げた。開発途上の火山ロボットの実証試験をするにあたっては、さらに積雪の影響が少ないこと、熊や毒蛇など危険動物の影響が少ないこと、植生が前回の噴火からそれほど回復していないこと(草木をかき分けて進むことは現在のロボットには困難)、現地まで車でロボットを運べること、現在の警戒レベルはシン

ボジウム実施の障害になるほど高くないが今後高くなる恐れがあること、などを考慮すると、表1から残る火山は、箱根山、伊豆東部火山群、伊豆大島、三宅島、九重山、阿蘇山、雲仙岳、霧島山(新燃岳)、霧島山(御鉢)、桜島、薩摩硫黄島、口永良部島、諏訪之瀬島となる。著者は火山観測用無人観測飛行機を運用している[3]が実際に著者が運用したことがある火山は、伊豆大島、阿蘇山、草津白根山である。このうち、草津白根山は上記の選定リストに入っていないが、こちらは積雪があることから除いている。著者の無人観測飛行機は、機材を背負って徒歩で運搬できるので、草津白根山でも運用できたが、開発途上のロボットの多くは運搬用の車が必要なので、積雪は問題である。最終的に伊豆大島を選んだのは、実験の利便性と、観測の必要性との両方が高いためである。本土の火山では避難範囲の設定は段階的であるが、火山島では初期の観測によって全島避難すべきかどうかという難しい判断をせねばならず、初期観測の重要性が高い。また、全島避難後には自分の家や畑がどうなったかを知りたいという住民のニーズも高いであろうということで、火山島を選んだ。また、火山島の中では、伊豆大島が最大の人口を持っていること(表1)、次の山体膨張の振幅データなど次の噴火へ向けたマグマの充填が着々と行われている徴候があり[4]、10年以内に実際に噴火する可能性が高いことがあげられる。

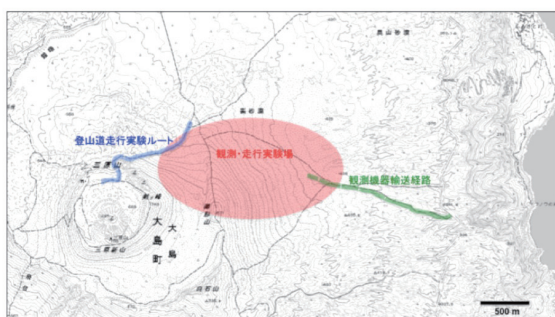
実証試験を災害が予想される現地で行うことには主として三つの理由がある。一つはロボットを運用するためには、現地のインフラ整備状況、部品や工具や生活物資がどの程度現地調達できるかなど、現地状況を知っておく必要があるということ。二つ目は、環境省や地方自治体への許可申請を毎年とって前例を作っておくことで、実際に噴火した時にもロボットの運用許可が速やかに出ると期待されること。三つ目は、シンポジウムの開催期間中、伊豆大島の人々と交流したり特産品を味わうことで現地に親しみ、住民の立場に立った観測や防災運用ができるようになることである。

4. 準備作業・実施の形態

伊豆大島無人観測ロボットシンポジウムの実証試験大会には、前身がある。それは、東北大学の谷口宏充博士らのグループが開発していた無人火山探査移動観

測ステーションMOVEの実証試験である[5]。著者は当初は単独で無人観測飛行機の試験を実施していたが、火山での実証試験を古くから行っているMOVEチームに誘っていただき、京都大学の子金克哉博士のグループの無人観測車「ほむら」[6]とともに、阿蘇での実証試験、伊豆大島での実証試験を合同で行った。協同で実証試験をする効果は大きく、許可申請は一括で行うので個別に申請するよりも簡単である。また、実証試験現場においてはお互いの観測ロボットの運用方法や性能について現物を操作しながら情報交換をすることができるので、ロボットの改良点や新たな運用方法の発見も多数あった。MOVEの研究予算が途切れるにあたり、実証試験の機会をより多くのグループで活用できるようにしようということで、著者が谷口博士より、許可申請のノウハウを学び、MOVEチームのサポートの元で立ち上げたのが初回の伊豆大島無人観測ロボットシンポジウム(2009)であった。その後は、参加者の協力を得て、伊豆大島無人観測ロボットシンポジウム実行委員会を組織し、委員会と参加者の手作りのシンポジウムとして、現在も続いている。

準備の詳細を述べる。日本の火山のほとんどは国立公園に指定されているので、現地で何かをする際は環境省や自治体の許可が必要である。具体的には環境省のウェブサイトより「国立公園特別地域内における行為の許可：富士箱根伊豆国立公園特別保護地区内、車馬の使用及び航空機の着陸について」という様式をダウンロードして申請する。申請書は大学の研究科長クラスの身分から提出する必要があるので、申請機関での十分な説明が必要となる。申請書は、東京都庁大島支庁土木課自然公園担当に4部郵送する。添付する書類は、運用する無人探査ロボットの仕様書と実験計画書、および、行動範囲を示す地図(図1)である。また、試験予定地に私有地が含まれている場合は、あらかじめ地権者の許可をとっておく必要がある。提出後その書類が、東京都庁大島支庁、大島町役場、環境省と回り、書類に問題がなければ約2ヶ月で使用許可がおりる。もし読者が前例のない実験を大島で企画する場合は、いきなり許可申請書を出すのではなく、環境省関東地方環境事務所の国立公園・保全整備課にあらかじめ許可がおりる内容であるかどうかの相談を行ってから申請することが大切である。なお、この許可証の範疇では、現地の地形や植生に影響を与えることが禁止



添付図1 行為の場所を明らかにした縮尺1:50000以上の地形図1
走行場所表示図



添付図2 行為の場所を明らかにした縮尺1:50000以上の地形図2
無人観測飛行機 飛行空域図

図1：環境省に提出した実証試験場所を示す添付図。車両走行場所(上)と飛行試験空域(下)。背景地図データは、国土地理院の電子国土Webシステムから配信されたものである。

されているので、地形を改変したり、岩石を採取したり、また、植物を痛めたりすることがないように気をつける必要がある。特に、植生に関しては、火山噴火で更新された土地からどのように植生が回復しているかを研究している研究者がいるので、植生の自然な変化に影響を与えないよう配慮が必要である。ところで、この許可は臨時の使用を認めるものであって、試験が毎年恒例行事という位置づけであると、許可されない。伊豆大島無人観測ロボットシンポジウムの場合は、次の噴火までの期間限定という前提で実施している。

シンポジウム運営の費用は参加費から捻出している。会費は以下のような規則で徴収している。許可申請が必要な実証試験参加の場合は、大学等の非営利研究機関の場合1機1万円、営利団体・企業は販売価格100万円を越えるものは1機10万円、販売価格が100万円～1000万円のものは1機5万円、販売価格100万円以下のものは1機3万円、高校生・大学生部門は、参加料無料、シンポジウム講演会での発表のみの場合

は、一件5000円、そして、見学は無料である。会費の主な用途は、招待講演講師の出張旅費と謝礼、シンポジウム会場費、事前準備(地権者との交渉など)が必要になった場合の旅費、見学者への貸し出し用のヘルメット購入費、等、シンポジウムの準備と実施に関わる費用である。会費はシンポジウム専用の口座をゆうちょ銀行につくった。実行委員会名義の口座開設にあたっては、シンポジウム実行委員会の規約をつくり、ゆうちょ銀行に提出する必要がある。税務署によると、シンポジウム実行委員会は収益をあげる組織ではなく、必要な経費を出し合っているだけなので、会費は町内会費と同じ扱いになり、口座に残金があつて年度繰り越しになったとしても税金はかからないということであった。

シンポジウムの運用は、シンポジウム実行委員会でおこなう。実行委員会は、シンポジウム参加者のうち、大学や公の研究機関に所属している教員や研究員(学生は除く)で構成し、現地作業を分担することとした。例年8月頃までに参加者をつのり、実行委員会を組織してから環境省に許可申請を行っている。当初はNPO法人化を念頭においていた。政府や自治体に補助金を申請する場合などにはNPO法人である方が便利なのであるが、現時点では法人化の事務処理をする時間的余裕がないために、法人化の準備は進めていない。今後シンポジウムの規模が大きくなった場合は、今一度法人化を考える必要があるかも知れない。無人観測ロボットシンポジウム参加希望者や、見学希望者は、シンポジウム専用のメーリングリストに加入していただき、必要な情報はそこから伝達するようにしている。またシンポジウム広報用のウェブサイト(<http://astrosis.ess.sci.osaka-u.ac.jp/oshima/symposium.html>)を準備して、関心のある方へ情報が伝わるようにしている。

5. 実施の結果

5.1 実施概要

現在までにシンポジウムを三回行った。初回の2009年は10月5(月)～10月9日(金)までを実証試験日程、シンポジウム講演会を10月5日(月)とした。2010年は10月25(月)～11月5日(金)までを実証試験日程、

図2：シンポジウムの記録.



(a)雨でも元気な東北大学MOVEのデモに集まる参加者(2009年)



(b)不整地走行や岩石採取に挑むJAXAのMicro-6-0号機(2010年)



(c)2週間にわたる長期野外運用試験に挑んだ明治大学Micro6-3号機(2011年)



(d)GPS自律飛行で三原山山腹を飛ぶ大阪大学Sky-1(2011年)

シンポジウム講演会を10月30日(土)、参加ロボットデモ大会を10月31日(日)とした。2011年は10月15(土)～11月6日(日)までが実証試験日程で、シンポジウム講演会を10月27日(木)に行った。場所は実証試験は裏砂漠と呼ばれる、一面スコリア(噴出したマグマが空中で固まった黒色の軽石)で埋め尽くされたところ(図1)である。シンポジウム講演会は大島温泉ホテルで行った。参加者は講演会をコア日程として参加し、その前後の実証試験期間の範囲で自由に日程を設定して実証試験をするという方針とした。シンポジウム講演会は、実証試験参加者がお互いのロボットや試験計画の紹介をするが、招待講演枠も用意し、火山や防災についての知識が深まるように配慮した。2009年は、1993年～2003年火山噴火予知連絡会会長をされた井田喜明博士に「噴火予知の現状と新展開：伊豆大島1986年噴火に学ぶ」というタイトルで、また、ジェット推進研究所(米国)のSharon Kedar博士に「Optimized Autonomous Space - In-situ Sensor-web for volcano monitoring」というタイトルで講演していただいた。2010年は台風の接近により当初予定の講演がキャンセルとなったため、台風接近以前から自ら



(e)温泉ホテル宴会場でのシンポジウム講演会(2011年)

のロボットの実験で大島に滞在していた火山学者金子克哉博士に「伊豆大島の火山活動史と近年の三原山の噴火形態」という臨時講演をしていただいた。2011年は、気象庁火山噴火予知連絡会伊豆部会の部会長をされている渡辺秀文博士に「伊豆大島火山のマグマ供給システムと噴火シナリオ」というタイトルで、また、原発調査ロボット運用で脚光を浴びている東北大学の永谷圭司博士に「レスキューロボット Quince の構築 - 2011年3月福島第一原子力発電所における原発事故の

内部調査を目指してー」というタイトルで講演していただいた。

5.2 伊豆大島という環境の理解

伊豆大島とは、伊豆諸島北部に位置する南北約12 km東西約8 kmの伊豆諸島最大の火山島である。本州で最も近い伊豆半島からは南東方約25 kmに位置しているが、所属は東京都である。1986年の噴火では、全島民約1万人が一ヶ月に渡って避難した。実証試験を通して伊豆大島でロボットを運用する際の注意点がわかった。以下にそれを挙げる。まず、伊豆大島にはフェリーがないので特殊な車両を使う場合は海運会社にあらかじめ運送を頼んでおかなければならない。分解できるロボットの場合は運送会社に頼むよりも分割して宅急便で送る方が簡単かつ安価である。現地で使用する車両はレンタカー屋で調達することが可能である。ただし、裏砂漠を走行するには4輪駆動車が望ましい。通常のレンタカー契約では裏砂漠では保険適用外となってしまうので、大手チェーンのレンタカーで借りる場合であっても旅行代理店や本土の営業所を通じて予約してはいけない。現地支店に裏砂漠で使用することを説明して、裏砂漠用の車両を借りる必要がある。通信環境としては実証試験地である裏砂漠地帯はNTTDocomoの回線しか使えなかった。NTTDocomoの通信カバーエリアマップでは裏砂漠はサービス範囲外となっているが、実際には裏砂漠全域で通信可能であった。一方でauやSoftbankは港周辺など島の一部でしか使用できないことがわかった。3年目の実証試験では携帯電話回線を利用して遠隔操縦をするロボットが増えたが、いずれもNTTDocomoの回線を利用した。部品や生活物資に関しては、地元の商店やホームセンターで一般的なものは手に入れることができた。ただし、台風が接近すると物流が途絶え、新聞や生鮮食料品などの供給が止まる。自然環境は厳しいものではなく中央火口である大島三原山も低山なので子供でも登山可能である。しかし、濃霧になることが多く、明確な道がない裏砂漠で霧が発生すると遭難の危険性が高い。初心者は霧の時や夜間は決して裏砂漠に侵入してはいけない。火山ガスの影響は現在の活動度では全く気にならず、人体やロボットへの影響はない。ただし海風の影響でロボットは錆びやすくなる。危険生物はいないが、野生の猿が生息してお

り東大地震研の観測装置が猿にいたずらされたことがあるそうなので、ロボットを長期放置する場合には注意が必要である。現地試験をする際は関係者はヘルメットを着用しなくてはならない。これは、頭部を保護するという意味よりも、むしろ立ち入り禁止区域に許可を得て入っている者を識別する標識としての意味がある。許可された者が不審者と間違えられないようにするという効果だけでなく、立ち入り禁止区域で一般人のような格好で作業をしていると、それを見た本当の一般人が軽い気持ちで立ち入り禁止地域に入ることを助長し結果一般人を危険にさらすことになりかねない。そのため火山フィールドで作業する者にとってヘルメット着用は必須である。ロボット研究者にもヘルメット着用の習慣が定着したことは一つの成果であった。

5.3 参加ロボットの推移

1年目に参加したロボットはUGV 8台、UAV 2機、2年目に参加したロボットは台風のために予定参加者より減ってUGV 5台、UAV 2機、3年目に参加したロボットはUGV 13台、UAV 3機であった。表2に参加チームと参加ロボットのリストを示す。1年目はどのチームも現地にロボットを輸送することからはじまって何もかも手探り状態という印象であったが、回を重ねたチームは現地での運用に慣れていった。また、どのチームのロボットも伊豆大島の環境に対する適応が進んだようである。例えば、現地で携帯電話回線が使えるのであれば、自律走行から携帯電話回線での操縦に重点を移そうというチームが増えて来た。また、耐環境という意味では、2011年度は2週間にわたり裏砂漠にロボットを放置するという実践的な運用試験をするチーム(明治大チーム)も現れた。2、3年のうちには、十分に火山噴火の際に活躍できるロボットが現れると期待される。シンポジウムの様子を図2に示す。個別の成果は本特集号の論文を参照していただきたい。

5.4 周辺の反応

1年目は基本的には参加者だけのイベントであったが、2年目は内外からの見学希望が多数あった。しかし、台風のためにほとんどの見学希望者は来られなくなってしまい長期滞在実験者のみの会となった。3年目は台風の影響もなかったことから本土からの見学者が講

表2：参加チームと参加ロボットリスト。

所属機関	チーム代表者	参加ロボット		
<2009年>				
1 東北大学	谷口宏充	UGV	1台	
2 JAXA	久保田孝	UGV	1台	
3 中央大	國井康晴	UGV	1台	
4 東北大学	吉田和哉, 永谷圭司	UGV	2台	
5 京都大学	金子克哉	UGV	1台	
6 大阪大学	佐伯和人			UAV 1機
7 明治大学	黒田洋司	UGV	1台	
8 スカイサポート	吉村修一, 中西信昭			UAV 1機
9 エンルート	伊豆智幸	UGV	1台	
<2010年>				
1 JAXA	久保田孝	UGV	1台	
2 京都大学	金子克哉	UGV	1台	
3 大阪大学	佐伯和人	UGV	1台	UAV 1機
4 明治大学	黒田洋司	UGV	2台	
5 慶應義塾大学	森田寿郎			UAV 1機
<2011年>				
1 東北大	吉田和哉, 永谷圭司	UGV	4台	
2 JAXA・東京大	久保田孝	UGV	2台	UAV 1機
3 慶應義塾大	森田寿郎	UGV	1台	UAV 1機
4 京都大	金子克哉	UGV	1台	
5 明治大	黒田洋司	UGV	1台	
6 中央大学	國井康晴	UGV	1台	
7 大阪大	佐伯和人	UGV	1台	UAV 1機
8 エンルート	伊豆智幸	UGV	1台	
9 東工大附属高校	山口正勝	UGV	1台	

演会場で確認できただけでも5機関から7名がいた。

また、高校生の実証試験参加者も現れた。島内での認知度もあがり、町会議員の方々や大島町役場の方、気象庁の方々、ネイチャーガイドの方々、ジオパーク関係者など大島在住の方々多数がシンポジウム講演会に訪れた。実証試験については各チームが広範囲に分散して行っているため、見学者の実数は把握できていないが、一般人の見学者も少数ではあるが訪れるようになった。広報にはなかなか手が回らないが、2年目にシンポジウムの実施報告を著者がMake:Japan誌(オリリー・ジャパン社)に投稿し第11巻に掲載された。その成果か、3年目はロボコンマガジン誌(オーム社)の取材を受け2012年1月号に掲載された。また、東北大チームの追跡取材の一部として伊豆大島での実験の様子がTBSに取材され、2011年11月13日に「夢の扉+」という番組で紹介された。広報活動は未だ不十分ではあるが、回を重ねるごとに少しずつ知名度が上がってきているようである。

6. 考察と今後の計画

これまでのシンポジウムで火山予知連絡会から講演者を招いて無人観測ロボットの開発の方向性についてコメントをいただくとともに、火山予知連絡会の方々にもロボットの性能を知っていただく機会をつくった。今後は具体的な観測体制をつくることが課題である。そのためには火山予知連絡会の総合観測班に組み入れてもらえるようシンポジウム実行委員会から組織として動く必要がある。今後は、火山学会のセッションでまとまった発表をするなど、火山予知連絡会関係者に向けてより具体的に何ができるかをアピールしていく必要がある。また見学にきた大島島民の方々からは、「島民の中でも火山噴火災害に対する警戒心が薄れてきていることに危機感を感じる」という声があった。1986年の大噴火から20年以上がすぎ、特に若い人の間では近い将来に全島避難が再びあるかも知れないと

いう意識はないそうである。島民の方々からは、見学しやすい町の小学校などでのロボット展示や講演会をやってもらいたいという要望があった。今後は島民の方々へのアピール方法も工夫していきたい。

次に技術的な問題を考察する。宇宙探査系のロボットは地球からの指令に頼ることができないため、自律動作のための性能が高い。一方で火山は地上の通信環境を使える場合もあるので、使えるところでは積極利用すべきである。シンポジウムにおいても、携帯電話回線を活用した操縦システムを採用するところが増えており、実情にあわせた開発が進んでいることを伺わせる。また、火山では、月や小惑星上のような真空環境ではなく、風雨の中での運用もしなくてはならない。伊豆大島の場合は、シンポジウムの実施期間中は常に風速毎秒数mから12 m程度の風が吹いている。最低でも風速10 mで運用できるようにしておかなければ、運用する機会がほとんどない。また、火山周辺で何日も活動するロボットの場合は、最低でも風速20 mに耐える設計が必要であろう。一方、風がおさまる時期には霧が発生して視界がなくなるとともに、防水していない部分には水滴が付着する。現場で長期運用するためには完全防水にしておく必要がある。運用面に着目すると、現在は運用に学生の助けを必要とするチームがほとんどである。しかし噴火が始まった時に安全を保証できない場所に学生を連れて来られるかという問題がある。少人数で運用できる体制も必須であろう。

今後の最大の開発課題はロボットの運用目的の絞り込みである。これまでの火山観測では、ロボットによる噴火現象の近接撮像や、観測機器の運搬・設置・回収はある程度できはじめてきている。一方で、地形や地磁気の変化などの精密マッピングや、噴出物や火山ガスの採取は未だにほとんど手がつけられていない分野である。火山学者がどのようなデータを求めているか、ロボットにできることを示してニーズを掘り出す必要がある。また、ロボット研究者からは、噴火が活発でない通常の時期にこそロボットを運用したいという要望がある。平穏期にどのようなロボット活用法があるかも考える必要がある。

本シンポジウムの目的は伊豆大島火山噴火に備えるという具体的なものであるが、間接的に宇宙探査にも貢献できると考えている。宇宙探査ロボットが活躍できる探査計画は5年から10年に一回しかなく、また、

開発担当メンバーに限られるため、多数の研究室で学生の意欲や技術を継承するには厳しい状況である。火山探査であれば、何台でも運用に参加できるので、自然環境でロボットを運用する難しさを多くの学生が実体験できる。そして何より、地球も惑星の一つである。今後、大気のある惑星の火山地形を無人探査する計画も、続々と企画されるようになるであろう。地球の火山で実用的に運用した実績があれば、他天体の火山探査計画でも、力を発揮できるというものであろう。

今年度も伊豆大島無人観測ロボットシンポジウムを秋もしくは初冬に開催する予定である。詳細はウェブサイトに掲載するので、興味のある方は、以下のURLを参照していただきたい。(http://astrosis.ess.sci.osaka-u.ac.jp/oshima/symposium.html)

謝 辞

伊豆大島無人観測シンポジウムを支えていただいた、参加者の皆様、大島温泉ホテルのスタッフのみなさま、各年の実行委員のみなさま、実証試験の許可をいただいている環境省並びに大島関係自治体の皆様に感謝の意を表します。遊星人編集部には特集号の機会をいただいたことを感謝します。

参考文献

- [1] 気象庁, 2003, 気象庁報道発表資料, 平成15年1月21日.
- [2] 気象庁ウェブサイト, <http://www.seisvol.kishou.go.jp/tokyo/volcano.html>
- [3] 佐伯和人, 大場武, 2010, 火山 55, 137.
- [4] 渡辺秀文, 1998, 火山 43, 271.
- [5] 後藤章夫ほか, 2012, 遊星人, 本号掲載.
- [6] 金子克哉ほか, 2010, 火山 55, 109.