

大型研究計画「飛行艇を用いた臨床地球惑星科学の創成」について

Applying flying boat for Geosciences

*角皆 潤¹、植松 光夫²、小畑 元²、谷本 浩志³、川口 慎介⁴、篠原 宏志⁵、中川 書子¹

*Urumu Tsunogai¹, Mitsuo Uematsu², Hajime Obata², Hiroshi Tanimoto³, Shinsuke Kawagucci⁴, Hiroshi Shinohara⁵, Fumiko Nakagawa¹

1. 名古屋大学大学院環境学研究科、2. 東京大学大気海洋研究所、3. 国立環境研究所、4. 海洋研究開発機構、5. 産業技術総合研究所活断層・火山研究部門

1. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 2. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 3. National Institute for Environmental Studies, 4. Japan Agency for Marine-Earth Science & Technology, 5. Geological Survey of Japan, AIST

「飛行艇を用いた臨床地球惑星科学の創成」が、日本学術会議マスタープラン2017の大型研究計画案の一つとして採択され、また重点大型研究計画案のヒアリング対象にも選定されました（2017の重点大型研究計画案には不採用）。この計画は、船舶と航空機の利点を兼ね備えた日本製の大型飛行艇を、新しい海洋や大気等の観測研究推進のツールとして導入することを目指すもので、これにより、船舶や航空機では実現不可能だった試料採取や観測を実現し、世界初の新しい「臨床地球惑星科学」、すなわち現場観測と実証を基本とした新しい地球惑星科学を日本発で創始することを目指しています。本講演ではその計画の概要と、本構想実現の場合の利点、さらに構想実現への課題を概観したいと思います。

ここで言う飛行艇とは、新明和工業製US-2（全長33.3 m）に代表されるような大型飛行艇のことで、時速400-500 km/h前後で空中を飛行する航空機の性能と、海洋上の任意の場所に離着水して、海面上で各種観測作業を実現する船舶の性能を併せ持っています。特にUS-2の場合、その離着水距離は300 m前後で済むため、海洋はもちろん、湖沼観測や極域の観測にも使用出来るポテンシャルがあります。また船舶でも観測を断念する波高3 mの海況で離着水出来ます。もし日中境界線付近の東シナ海大陸棚海底から突発的にガス噴出が発生し、大量の気泡が海面上に到達しているのが発見されたとしても、国内の観測船を利用して観測する場合は、現場到着まで一ヶ月以上かかっても不思議では無いのが現状です。しかし飛行艇が観測に利用出来れば、発見の数時間後には現場海域に着水してガス試料採取や各種観測を実現出来るので、噴出の原因や影響を解明する上で質的に全く異なる初動対応観測を実現出来ると思います。これは「海底からのガス噴出」を、「宇宙からの隕石の落下」や「大型タンカーの座礁」に置き換えても同様のことが言えます。

想定される新しい観測の具体例としては、上記のような、①突発イベント（地震や火山噴火、隕石落下、タンカー座礁、油田事故、原発事故等）に即対応した初動観測ではありません。他にも、②海洋定点における繰り返し観測、③陸上の大型・特殊分析機器を用いた海水中の不安定物質（プランクトンや微生物等を含む）の定量、④島嶼部（噴火中の火山島を含む）や流水の上陸観測、⑤台風・竜巻観測、⑥大型海洋生物や特定水塊、漂流ゴミなどの追跡観測、⑦長期観測装置（Argoや地震計など）の広域同時設置・回収、⑧人工衛星を用いた海洋観測の補完等が提案されています。これらは、船舶や航空機では実現が困難であるか、実質的に実現不可能だった観測ばかりで、飛行艇の導入によって世界初の観測が実現することが出来ます。もちろん航空機として利用することも可能で、しかも低速・低空飛行可能な飛行艇の方が、高速・高高度飛行を余儀なくされる一般のジェット機より、対流圏や接地境界層の観測には好都合です。

さらに飛行艇は、現状では船舶を用いて約一ヶ月かかる海洋観測（洋上大気観測を含む）を、半日で終了させることが出来ます。大学教員を中心に長期出張は年々困難になって来ており、観測に所要する時間が大幅に削減出来るのは魅力的です。また、実験室レベルで高い分析・解析技術を保有する優れた非海洋分野の研究者の海洋分野への参入を容易にすることになるので、国内の地球惑星科学コミュニティ全体にその利益を還元出来ます。

飛行艇を利用した地球惑星科学研究は世界に前例が無く、従って「欧米ではあたりまえ」が導入の口実としては使えません。しかし日本の飛行艇建造技術は世界一の水準にあり、飛行艇を研究に導入出来るポテンシャルが最も高いのは日本です。また四方を海に囲まれた日本では、迅速な移動による海洋観測実現への需要

が、増えることはあっても減ることはありませんので、世界に前例が無いことが、導入の促進要因となっても、障害となるべきでは無いと考えています。実現に向けた最大の課題は大規模研究機関のバックアップが現状全く無いことですが、これは地道に賛同者を増やすことで実現への道筋をつけたいと考えています。ご賛同いただける方は、是非お知らせ下さい。

キーワード：飛行艇、大型研究計画

Keywords: flying boat, Master Plan 2017

飛行艇を利用した海洋生態系の研究

Research on Ocean Ecosystem by Flying Boat

*石坂 丞二¹

*Joji Ishizaka¹

1. 名古屋大学宇宙地球環境研究所

1. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University

飛行艇は、上空から周辺の情報を得ながら高速で海上の目的地まで行ける上に、そこで着水して採水や測器による観測が可能であるため、これまで船舶では十分でなかった機動性を備えた海洋プラットフォームとして期待ができる。ここでは、1) 台風・エアロゾルなどの突発現象に対する生態系の応答、2) 渦やフロントなどに伴う植物プランクトン増加（ブルーム）などの局所的な現象、3) 海色衛星リモートセンシングの校正・検証など、についての期待を述べたい。

キーワード：飛行艇、生態系、植物プランクトン

Keywords: Flying boat, Ecosystem, Phytoplankton

飛行艇を用いた大気海洋化学観測に関する考察

A couple of thoughts on field observations for atmospheric and marine chemistry research with flying boats

*谷本 浩志¹、亀山 宗彦²、大森 裕子³

*Hiroshi Tanimoto¹, Sohiko Kameyama², Yuko Omori³

1. 国立環境研究所、2. 北海道大学、3. 筑波大学

1. National Institute for Environmental Studies, 2. Hokkaido University, 3. University of Tsukuba

大気海洋間の相互作用・物質循環研究には、海洋上における大気化学観測とそれに関する海洋観測が必要不可欠である。そのため、大気科学者のイニシアチブでは研究用航空機を用いた大気観測が行われ、海洋科学者のイニシアチブでは研究船を用いた観測が行われてきた。これら航空機や船舶を用いた観測はいわば常套手段であるが、それらの方法には一長一短あり、技術的ギャップとなっていることもある。飛行艇を用いることでこうしたギャップを埋めることができる可能性があり、本講演ではそうした技術的側面とそれにより生まれる科学的成果と地球科学的意義を議論したい。例えば、広い大洋上で亜熱帯から亜寒帯までを同じ日に観測もしくは試料採取することができる「広域性」、イベント時における観測・試料採取といった「迅速性」などが挙げられ、我々が実施して来た大気化学観測を例に、その可能性を議論する。

キーワード：飛行艇、大気化学、海洋化学

Keywords: flying boat, atmospheric chemistry, marine chemistry

火山観測における飛行艇への期待 Volcano monitoring using a flying boat

*篠原 宏志¹

*Hiroshi Shinohara¹

1. 産業技術総合研究所活断層・火山研究部門

1. Geological Survey of Japan, AIST

飛行艇は、広範囲の海域において、空中および海上において機動的かつ柔軟な観測が可能であることが最大の特徴である。遠隔海域での噴火活動の緊急観測を実施するためには、下記に述べる飛行艇の持つ特徴が必要とされるため、飛行艇は海域における火山研究に様々な可能性を拓くと期待される。

噴火などの突発的な災害の発生時においては、発生初期の段階から、現象とその推移を把握することが災害への対策のためにも、地球科学研究のためにも必要であり、早急な初動観測調査が必要とされる。同時に、災害発生時の初動観測においては、二次災害を防ぐために事前の状況把握のための予備観測も必要である。通常海域での噴火活動では、航空機による観測により状況を把握したのちに、船舶を用いた観測が初めて実施可能となる。飛行艇では、空中からの状況把握ののち、速やかに海上での観測作業を実施することができるため、火山噴火のみならず様々な海域における突発災害などの迅速な初動調査に最適である。

私自身は、火山観測の中で火山ガスの組成および放出量の観測に主に従事しているが、比較的低速で様々な高度を飛行可能な飛行艇はこれらの観測にも適している。現状では航空機を用いた火山ガス観測は、通常のセスナ機などを借り上げて実施しているが、航空法の定めにより観測機器の設置は機内に限られており、観測条件に制限がある。最適な観測条件を得るためには、機体の改造を含めた観測機器の設置などの条件をあらかじめ整備することが望ましい。地球科学観測を目的とした飛行艇の整備により、最適条件での観測の実施が期待される。また、大型飛行艇は航続距離が4,500kmと長いので、遠隔地での観測も可能である。例えば、2013年に噴火を再開した西ノ島は東京から約1,000kmの距離にあるため、セスナ機などでは観測が不可能であったが、飛行艇では可能である。

飛行艇の最大の特徴は着水作業が可能である点である。海域の火山の観測調査においては、通常は船舶を用いて、海底地震計の設置などの機器の設置、海水や海上浮遊物の採取、ゴムボートなどを用いた上陸作業などが行われるが、これらの作業を飛行艇から行うことは可能である。船舶に比較して、飛行艇の移動速度は速いため迅速に現場作業を開始できること、着水前の空中からの目視観測により直前の状況判断が可能であること、作業中に危険が検知された場合には迅速に現場から離脱できるなどの利点がある。特に連続観測機器の設置は、火山活動推移の把握に不可欠である。西ノ島噴火の場合は、当初は活動推移の把握は、ジェット機による繰り返しの目視観測結果に依存しており、定量的な推移の把握や詳細な変化の検知が困難であった。その後、130km離れた小笠原での空振連続観測により噴火の頻度変化などが把握されたが、海底地震計が西ノ島周辺に設置され地震活動の観測が行われたのは2015年になってからであった。海底地震計などによる連続観測データは、活動推移を定量的に評価するために必要なだけでなく、噴火過程などの理学的理解を行う上でも不可欠なデータである。最近では、海底地殻変動の観測手法も実用化している。また、波の力だけで自律的に海面を運航することができるウェーブグライダーを用い、遠望観測や地震・空振観測を行い、データを衛星通信によりリアルタイムに伝送する手法の開発も進められている。将来、これらの装置を用いて海域の火山活動に関しても様々な種類の連続データをリアルタイムで取得し、地上の火山と同様に噴火機構の解明や噴火活動推移評価を行うことが可能となるであろう。火山活動活性化後に迅速にこれらの装置を周辺海域に展開するためには、飛行艇の活用が不可欠である。その実現のためには、これら観測手法の開発と並行して、飛行艇を用いた観測手法の開発も進めることが望まれる。

キーワード：飛行艇、火山観測、火山ガス

Keywords: Flying boat, volcano monitoring, volcanic gas

飛行艇を利用した海水採取とマントル起源同位体検出による海底火山活動の迅速診断

Prompt recognition of submarine volcanic activity based on detection of mantle-derived volatiles in seawater collected using a flying boat

*角野 浩史¹、角皆 潤²、鹿児島 涉悟³、川名 華織¹、森 俊哉⁴、大場 武⁵

*Hirochika Sumino¹, Urumu Tsunogai², Takanori Kagoshima³, Kaori Kawana¹, Toshiya Mori⁴, Takeshi Ohba⁵

1. 東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻基礎科学系、2. 名古屋大学大学院環境学研究科、3. 東京大学大気海洋研究所、4. 東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設、5. 東海大学理学部化学科

1. Department of Basic Science, Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo, 2. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 3. AORI, The University of Tokyo, 4. Geochemical Research Center, Graduate School of Science, The University of Tokyo, 5. Department of Chemistry, School of Science, Tokai University

海底火山の噴火は、近隣の島に生活する人々や、付近を航行する船舶に重大な被害をもたらす可能性がある。また噴火時でなくても、海上まで達する大規模なガスプルームを熱流体とともに定常的に放出している火山もあり[1]、これらのような地球深部からの熱流体の放出は、海洋環境に大きな影響を及ぼしていると考えられている。したがって海底火山の活動を把握することは、地球惑星科学だけでなく防災の観点からも重要である。しかし海底火山の活発化に伴う熱流体の大規模放出は、表層海水の変色域として観測されることはあるものの、実際に海底で起こっている事象を海上で把握することは容易ではない。有人あるいは無人の潜水艇による熱流体噴出孔への接近は、潜水艇とその母船に重大なリスクを背負わせることとなるし、海底地震計も全ての海底火山周辺に整備されているわけではないため、海底火山の近傍から迅速かつ安全に試料を採取し、物質的証拠から活動の活発化を評価する新たな手法が望まれる。

海底の熱水噴出孔などから放出される熱流体に含まれる揮発性成分のなかでもヘリウムは、流体とともに海底火山の上方に拡散するが、海水に含まれている成分と、熱流体に含まれるマントル起源成分、すなわちマントルヘリウムで明瞭に同位体比が異なるために、例えば中央海嶺上では、1000 km以上もの広い範囲にわたりマントルヘリウムが拡散していることが観測されている[2]。海洋におけるマントルヘリウムの分布から、地球内部からのヘリウムの脱ガス量を見積もることも行なわれており[3]、さらに³Heに対する比をもとに、他の揮発性成分の脱ガス量へも制約が加えられている[4]。ヘリウムは化学的に不活性であるため、温度、圧力、pHなど環境の物理化学的条件によって同位体比が変化することはなく、また海水中の濃度が10 ppt以下と極めて低いこと、さらにマントルヘリウムと海水溶存ヘリウムで同位体比(³He/⁴He比)が一桁程度異なることから、海中への熱流体放出に非常に敏感かつ確実性の高いトレーサーとして用いることができる。

そこで本発表では、飛行艇による海水サンプリングと³He/⁴He比分析による海底火山活動の迅速診断を提案する。電気伝導度・水温・水深計(Conductivity Temperature Depth profiler: CTD)と、ニスキン採水器ないしホースを用いた100 mを超える深度のサンプリングはルーチンで行なわれているので[5, 6]、海上で海水変色域や発泡が認められた海域に飛行艇で急行し、速やかに深さ方向の多点サンプリングを行なう。飛行艇の機動性を活かして翌日には実験室にて³He/⁴He比分析を行ない、マントルヘリウムが放出されているか否か、すなわち新たな熱流体の放出があるかを迅速に調べる。海上で活動が顕著に観察されず、飛行艇が現場海域に比較的長時間留まっても問題ない場合には、採水位置を変えて複数の深度プロファイルを取り、マントルヘリウムの分布を3次元的にとらえ、その総放出量から脱ガスに關与したマグマの規模を推定する。

ヘリウムだけでなく、海水に溶存している二酸化炭素やメタンの炭素同位体比、窒素の同位体比なども溶存揮発性成分の起源について重要な制約となる[1]。演者らは火山ガスや温泉ガス、土壌ガスの同位体比をもとに火山活動度をモニターし、噴火の切迫性を評価する技術の開発を「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」(<http://www.kazan-pj.jp/>)の一環として推進しており、多種の揮発性成分同位体比分析を行える態勢の構築や、海底火山近傍の底層水の採取と分析技術、高スループットの³He/⁴He比分析システムの開発を進めて

いる。また可搬型の質量分析計の開発[7]や、近年普及が急速に進んでいる分光型同位体分析計[8]の導入により、フィールドのその場（オンサイト）での同位体比分析も可能にすることも目指している。これらの新たな分析技術と、飛行艇による機動的サンプリングを組み合わせ、地球の脱ガス史や海洋環境の変動要因の理解を進めるなどの地球惑星科学的な貢献だけでなく、海底火山の活動度を迅速に診断することで防災に寄与したいと考えている。

[1] Wen *et al.*, *Sci. Rep.* 2016. [2] Lupton & Craig, *Science* 1981. [3] Bianchi *et al.*, *EPSL* 2010. [4] Kagoshima *et al.*, *Geochem. J.* 2012. [5] Nishimura *et al.*, *Geochem. J.* 1999. [6] Notsu *et al.*, *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 2014. [7] Jensen *et al.*, JpGU-AGU Joint Meeting 2017. [8] Rizzo *et al.*, *Geophys. Res. Lett.* 2014.

キーワード：同位体、ヘリウム、海底火山、飛行艇、揮発性元素

Keywords: isotope, helium, submarine volcano, flying boat, volatile elements

観測ロケットを用いた微小重力実験の試料回収が切り拓くサイエンス Sample recovery of microgravity experiments using sounding rockets opens up new sciences

*木村 勇氣¹

*Yuki Kimura¹

1. 北海道大学低温科学研究所

1. Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

In order to understand how cosmic dust particles form in the gas outflow from evolved stars, we have performed microgravity experiments using S-520 sounding rockets of JAXA. In the microgravity condition during a parabolic flight of the rocket, cosmic dust particles are synthesized from a hot vapor in a specially designed experimental chamber and its nucleation environment is observed by means of a double-wavelength Mach-Zehnder-type laser interferometer. The deviation of the interference fringes tell us the nucleation temperature and concentration, which are similar nucleation conditions of natural cosmic dust particles formed around evolved stars such as supernovae and asymptotic giant branch stars [1]. After the experiment, the S-520 rocket fall onto the Pacific Ocean and sink into the water together with the produced particles. Based on the result of this in-situ observation, nucleation theory determines either sticking probability or surface free energy. Both physical parameters of nanometer sized particles are crucial to expect formation of cosmic dust particles. Nevertheless, we have only a data of bulk surface free energies and expect one for sticking probability to discuss material evolution in the universe. In a previous project using the sounding rocket S-520-28, we succeeded to determine a sticking probability of iron nanoparticles and show the difficulty of the formation of metallic iron dust in the ejecta of a supernova [1]. If we could recover the produced particles, surface free energy can also be determined after measurement of the particle size using a transmission electron microscope. Then, formation of cosmic dust particles can be expected more precisely using nucleation theories and our insights on the material evolution accompanying with stellar life will be deeper.

In addition, time-resolved infrared spectra of the particles during nucleation and growth under the microgravity environment have also been measured to understand the origin of infrared features astronomically observed. We succeeded to observe infrared spectra of alumina particles in intermediate state in a project using the sounding rocket S-520-30. Unfortunately, however, the polymorph of the produced alumina particles could not be determined because the sample is into the deep ocean. Currently, to recover the sample and payload after sounding rocket experiments, we have to find international corroborators in US or Europe. Actually, we and other Japanese scientific teams are making working groups and started projects of international collaborations under some complex systems. If a flying boat will be served in a Japanese scientific community and can be used to recover the payload, our characteristic sciences in Japan will be opened up more easily and progressed more rapidly.

[1] Y. Kimura, K. K. Tanaka, T. Nozawa, S. Takeuchi, Y. Inatomi, Pure iron grains are rare in the universe, *Science Advances*, 3 (2017) e1601992. DOI: 10.1126/sciadv.1601992..

Acknowledgment: This work was supported by a Grant-in-Aid for Scientific Research (S) from KAKENHI (15H05731).

キーワード：ダスト、核生成、ナノ粒子

Keywords: Dust, Nucleation, Nanoparticle