

地球規模課題対応国際協力プログラム (SATREPS) 研究課題別追跡調査報告書

I. 序文

SATREPS 追跡評価実施要領 (<https://www.jst.go.jp/global/hyouka/pdf/follow-up-evaluation-procedure.pdf>) に基づき、追跡調査を実施した。具体的には、プロジェクト終了後の各研究課題の国際共同研究の成果の発展状況や活用状況を明らかにするために、対象課題の研究者に対し質問票による基礎データ調査を行い、その結果を踏まえた研究者インタビュー調査を経て得られた情報を整理しまとめた¹。

今般の研究課題別追跡調査にあたっては、以下の方にご協力頂き厚く御礼申し上げます。

大場 武 東海大学理学部 教授

II. プロジェクト基本情報

1. 課題名

カメルーン火山湖ガス災害防止の総合対策と人材育成

2. 日本側研究代表者名

大場 武 東海大学理学部 教授

3. 相手国側研究代表者名

Joseph Victor Hell (国立地質鉱物資源研究所(IRGM) 所長)

¹ 2021年11月から2022年3月に各種調査および報告書のとりまとめを実施した。

4. 国際共同研究期間

2011年4月～2016年3月

5. 研究概要

(1) 目的

本 SATREPS プロジェクトでは、カメルーンの研究者とニオス・マヌン湖について湖水爆発に関連した共同研究を実施し、ガス災害の再発防止を目指す。その取り組みを通じてカメルーンの研究者の自立とカメルーン国立地質鉱物資源研究所 (IRGM) の持続的な研究体制を確立させることにある。

(2) 各グループの研究題目と実施体制

実施体制を図1に示す。

研究題目1：カメルーン火口湖ガス災害防止の総合対策と人材育成

研究題目2：CO₂-岩石反応を含む物質移動現象の解析

研究題目3：湖水爆発の数値シミュレーション

研究題目4：ニオス・マヌン湖のCO₂供給システムの解明

研究題目5：地下水流動系の解明

研究題目6：カメルーン火山列の火口湖周辺における噴火活動履歴の解明

研究題目7：カメルーン火山列 Oku Volcanic Group における火山岩の成因に関する地球化学的研究

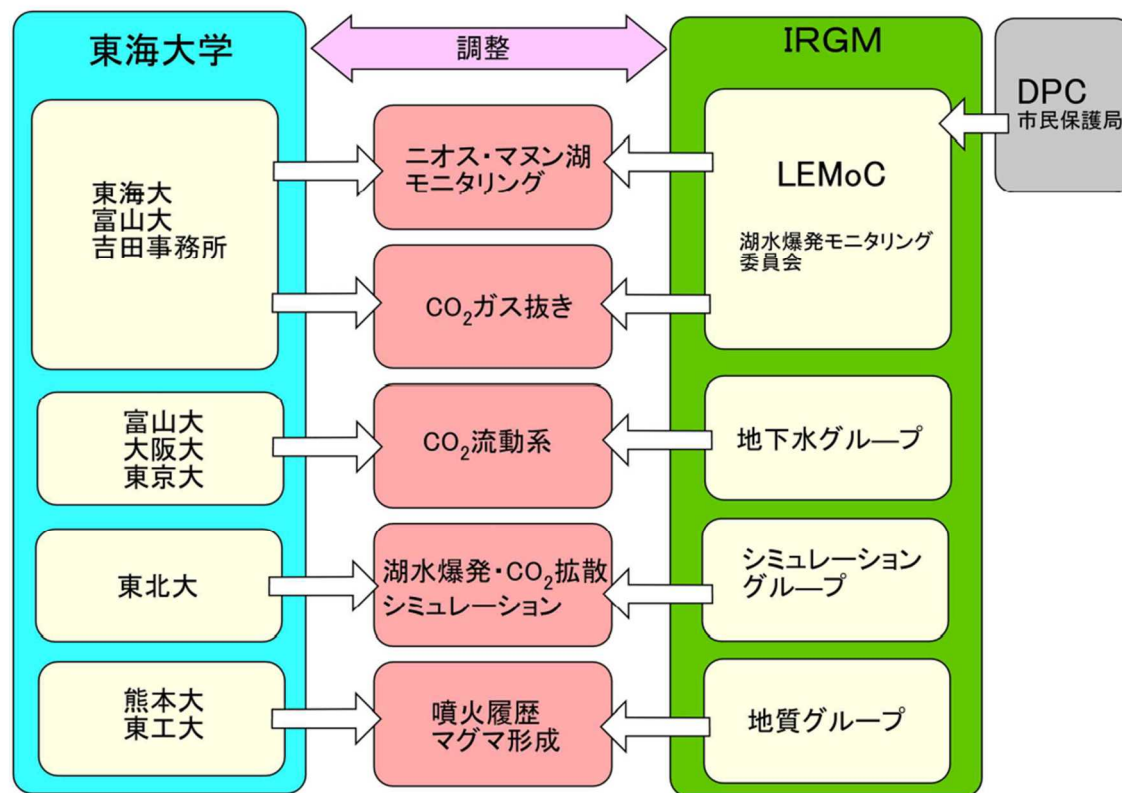


図1 実施体制

(3) SATREPS 期間中の各グループの成果

研究題目 1

ニオス湖の観測により静穏な状態における水温と電気伝導度の変動幅が推定するデータが取得でき、これにより、異常を判断するための基準の決定が可能となった。太陽光発電による深層水汲み上げ装置については、システムの耐久性と維持管理の容易さ(ほとんどメンテナンス

フリー)が証明された。YY法(湖水CO₂濃度現場観測法)による調査によってニオス湖とマヌン湖の深層水のCO₂濃度と量の経年変化が明らかになり、深部の150mmol/kg以上の高CO₂濃度水塊の消滅と浅層水の沈降およびその時間的变化が把握された。

ニオス・マヌン湖のようなガス成分に富む湖は特異であることが分かり、高深度のベナクマ湖はニオス・マヌン湖に類似性が最も高いことが示された。類似性に最も寄与する湖水のパラメータは炭酸水素イオン濃度であることが分かった。

研究題目 2

ニオス湖を中心とした地域を対象として、水試料・ガス試料・岩石試料の採取と、それらの試料の化学分析・同位体分析の結果、ニオス湖やマヌン湖中の深部のCO₂に富む流体は、深部から供給されており周辺地下水と混合していないことが結論された。

研究題目 3

実際の観測データを基に、湖水爆発に関連する湖水内のCO₂挙動を数値モデル化し、他グループとの連携を図りつつ数値シミュレーションを行うことによって湖水爆発の発生メカニズムをより実証的に調べた。この結果、高CO₂濃度層の成長過程と、その成長層の上端部に関する詳細なモニタリングを行うことが、湖水爆発の開始を捉えるうえで非常に重要であることが分かった。

研究題目 4

湖水周辺の濃度測定によりCO₂拡散経路の二次元分布を把握することで、前兆現象を継続的に調査できる長期利用可能な観測システムを開発した。

研究題目 5

マグマから放出されたCO₂の行方は、地下水の動きに依存している。このため、湖に蓄積するCO₂の収支を包括的に把握することを目的として、詳細な地形図を作成し、その上でニオス湖およびマヌン湖周辺領域における地下水流動を地理情報システム(GIS)ならびに地球化学的手法により解明した。

研究題目 6

火山ガス災害が発生したニオス湖とカメルーン火山列の火山周辺域において、カメルーン側研究者と協力して地質学的調査を実施し、それらの火山の噴火活動履歴と主な噴火の特徴を解明した。

研究題目 7

ニオス湖のCO₂発生の原因となったマグマ活動について、その起源と素過程を理解することを目的に研究した。

III. 追跡調査結果まとめ

1. 研究の継続・発展について

学内の研究資金等により研究を継続している。

研究題目 1

・カメルーン政府が新たな「マヌン湖総合研究プロジェクト」を承認した。2022年から5か年計画で実施予定。以下の研究・開発を行う政府の計画となっている。

- (a) マヌン湖の物理化学的性質の監視
- (b) 太陽光発電ポンプシステム(2台)の設置
- (c) マヌン湖と周辺に存在する他の湖の微生物学および生態学的研究
- (d) マヌン湖とその周辺の表面からの CO₂ フラックスの定量化
- (e) マヌン湖内とその周辺に気象観測ステーションと CO₂ 警報システムを設置
- (f) パンケ川堰堤の設置と集水域の水質評価
- (g) マヌン湖周辺の 1 : 25000 スケールの地質図の作成。

このプロジェクトは、公文書が出た段階にあり、予算、メンバー等はこれから決まっていく段階にある。

東京大学地震研究所特定共同研究課題「大陸プレートにおけるマントルプルームの進化とダイナミクス(2022年単年度)、代表：長谷川健茨城大学准教授(研究題目1)」が採択された。この研究では、大陸プレート内の火山地域を広く対象とし、地質学・地球化学・岩石学・年代学・地球物理学の手法を用いて、地下のマグマ系とその起源であるマントルプルームの構造などを解析する。現在活動中の火山については、最新の噴出物と地球化学・地球物理学的データを用いて、将来の活動度評価に関する研究も行う。

研究題目 2

ニオス湖およびマヌン湖のガス抜きはプロジェクト終了時までには一定の進展を見せていた。その後、ニオス湖地域では反政府過激派の活動により調査が困難となり、現在の確実な情報はない。マヌン湖ではガス抜きにより溶存 CO₂ 量が減少し 2011 年時点ではガス爆発の再発可能性は低いと判断された。しかし、その後、溶存 CO₂ 量が漸増の傾向を示し、またガス抜き設備が老朽化したので、相手国の担当部署(IRGM)はマヌン湖の安全を図るために新たにガス抜き設備の設置を計画している。

研究題目 6

- ・ 学内の研究資金により共同研究を継続している。
- ・ 科研費基盤研究(B)「水蒸気噴火の推移予測法の開発：物質科学的特徴から探る熱水-マグマ系プロセス（2021年度～2024年度）」（研究代表者 長谷川健茨城大学准教授）で、東京大学地震研究所の客員研究員・客員教授制度を用いてカメルーンと次の共同研究を継続している。

概要：マグマを噴出しない「水蒸気噴火」は、国内でも年間件以上発生し、御嶽山 2014 年噴火では多くの人命が奪われた。水蒸気噴火発生後の中長期的推移は、(a)数ヵ月以内で終息するパターン、(b)半年～数十年間断続的に発生するパターン、(c)マグマを噴出する大規模な噴火に移行するパターン、に分かれる。本研究では、(c)に焦点を当て、最初の水蒸気噴火発生時点で大規模噴火に移行するか？を物質科学的に予測することを目的とする。

共同研究者：Nche Linus (IRGM 研究員)

研究活動の状況：本 SATREPS プロジェクトではカメルーン火山列の火口湖周辺における噴火活動履歴に関する研究を分担した。その後、茨城大学に留学して博士(理学)の学位を取得した。その経験を活かし、帰国後は、IRGM にてマヌン火山の噴火史復元や防災対策に関する研究を主導している。

2. 地球規模課題の解決に向けた科学技術の進展への貢献について

成果を国際学会で発表し、多くの論文が国際誌で出版された。

研究題目 1

- ・ ニオス湖とマヌン湖において、人工脱ガスによる CO₂ 除去の過程をモニタリングした。
- ・ マヌン湖における湖水爆発メカニズム解明に向けた画期的なモデル²の発表 (Frontiers in Earth Science に受理され出版待ち)につながった。

² カメルーンのマグマはマグマ自体の動きは少なく、ガス (CO₂ が含まれている) のみが出て、地下水に溶けだし、温泉水として湖底に湧き出て、湖の深い層で CO₂ 濃度の高い層を作る。その層と上の層の境界で脱ガスが始まり、増幅されて爆発となることが、シミュレーション等から分かった。

日本では四季があるため、湖の表面が低温となるので、上下に水の循環が起こり(オーバーターン)、このような CO₂ の濃い層ができにくい。カメルーンは、オーラルヒストリーに過去にも湖水爆発が起きたことが推定される。他地域で起こりうるかについて湖水爆発の後世界中で検討した。日本では起こらないことを確認した。タンザニアのキブ湖が起こりうる唯一の場所であることが分かった。

た。

- ・水中の音速から CO₂ 濃度を推定する新たな手法の開発³に成功した。
- ・マルチビームソナーによりマヌン湖の詳細な湖盆地形を解明し、高 CO₂ 濃度の温泉水が湧出する地点を特定した。

研究題目 2

- ・ガス爆発に至るプロセスとメカニズムをモデル化した⁴。
- ・ニオス湖およびマヌン湖の水質の経時変化を自動的にモニターするための装置を設置し継続的な監視を続けている。
- ・地質学・地球化学の研究に基づき、同地域のマグマ活動の特徴を明らかにした。この成果は他の地域でのマグマ活動やガス爆発の予測に貢献すると思われる。

研究題目 4

プロジェクトで開発した CO₂ モニタリング手法がプロジェクトメンバー以外の研究者にも関心が持たれ、プロジェクトメンバー以外の研究者が主導する発展研究を共同で行った。

研究題目 6

プロジェクト終了後も、相手国側研究者と連絡を取り合い、化学分析やデータの解析を進めて、国際学会での 2 件の発表を行うとともに、5 編の国際誌論文を公表した。

※2018 年:1 編、2019 年:1 編、2020 年:1 編、2021 年:2 編

3. 地球規模課題の解決、及び社会実装に向けての発展について

研究題目 1

³ Sanemasa, M., Saiki, K., Kaneko, K., Ohba, T., Kusakabe, M., Ntchantcho, R., Fouepe, A., Tanyileke, G. and Hell, J.V. "A new method to determine dissolved CO₂ concentration of lakes Nyos and Monoun using the sound speed and electrical conductivity of lake water" 2017, Geochemistry and Geophysics of Active Volcanic Lakes. Geological Society, London, Special Publications, 437

⁴ Kozono, T., Kusakabe, M., Yoshida, Y., Ntchantcho, R., Ohba, T., Tanyileke, G. and Hell, J.V. "Numerical assessment of the potential for future limnic eruptions at lakes Nyos and Monoun, Cameroon, based on regular monitoring data" 2017, Geochemistry and Geophysics of Active Volcanic Lakes. Geological Society, London, Special Publications, 437 <http://doi.org/10.1144/SP437.8>

- ・ 2016 年 3 月に、カメルーンの首都ヤウンデ市において国際火口湖会議が開催され、世界中の火口湖に関連する災害について科学的な議論と意見交換が行われた⁵。
- ・ 2019 年にニュージーランドで開催された国際火口湖会議でマヌン湖に関する研究成果を発表した。

研究題目 2

- ・ プロジェクトの成果はマヌン湖に新たに設置されるガス抜き設備の作成に生かされている。
- ・ 火口湖にマグマ性 CO₂ ガスが蓄積する例は今までに知られておらず、本研究の成果は日本国内および世界の火口湖のモニタリングの指標を提供した。

研究題目 3

本 SATREPS プロジェクトの研究成果として提案された火口湖における脱ガスパイプからの噴出ジェットの高さから火口湖底の CO₂ 濃度を推定する簡易的な手法の重要性が、引用論文でも指摘されている (Halbwachs et al., journal of African Earth Sciences, 2020, 167, 103575)。

研究題目 4

プロジェクト終了後も、プロジェクトで開発した CO₂ モニタリング手法が防災目的で継続してカメルーンで活用されている。

研究題目 6

本 SATREPS プロジェクトで示されたマール火山の噴火推移モデルは、現在国内で実施されている日本の火山の総合的活動評価や防災対策プロジェクト (文科省 次世代火山研究・人材育成プロジェクト⁶) に貢献している。

⁵ アフリカの火山は、タンザニア、ジブチ、エチオピアの地溝帯沿いの火山が有名であるが、カメルーンの火山は、山体が無いマール (水蒸気爆発またはマグマ水蒸気爆発により形成された円形の火口で、火山地形の 1 つである) である。日本では一ノ目湯がマールである。また、ハワイ、アイスランドのようなホットスポット (マントル内の上昇流 (ホットプリューム) の先端が、プレート突き抜けて地表に現れた火山活動地形と、それに起因する地面の高温現象を指す) である可能性も高く、世界から注目を集めている。カメルーンのホットスポットは、海と陸にまたがっている点も、研究者の注目を集めている一つの理由である。

⁶ 次世代火山研究・人材育成プロジェクトの一つの大きな目標として、「火山噴火の予測技術の開発」が挙げられる。この目標では、国内の主要な活火山を対象に噴火履歴の解明と噴火事象の解析を行い、得られた情報を数値シミュレーションで解析することによって火山噴火の予測技術を開発する。そして事象分岐判断基準が伴った「噴火事象系統樹」を整備するとともに、噴火発生確率の算出に向けた検討を行う。この目標を達成するために、国外の火山噴火履歴の研究として、ニオス湖・マヌン湖の研究成果も有効に参照されると考えらる。火山はそれぞれ個性があり、火山研究は博物学的な側面もある。多くの事例を研究して幅広いデータを入手することで、予測技術の確度も向上する。

4. 日本と相手国の人材育成や開発途上国の自立的な研究開発能力の向上について

研究題目 1

- ・博士課程留学生をカメルーンから 8 名受け入れ、すべての学生が博士号を取得した。帰国した留学生はカメルーンの防災力、学術力の向上に貢献している。
- ・プロジェクトで採用した日本人 PD の一人は、気象庁気象研究所に雇用期限なし常勤の研究者として就職し火山化学の分野で活躍している。

研究題目 2

相手国研究者ならびに技術者(主として IRGM)が本 SATREPS プロジェクトに共同して関わったので、今後はニオス湖およびマヌン湖のモニタリングや安全対策の立案に指導的立場をとることが可能になった。

- ・このプロジェクトに参加した相手国研究者がそれぞれのテーマについて論文を執筆し国際誌に投稿した。論文の執筆ならびに投稿を経験したことにより、相手国研究者の自立性が高められた。

研究題目 3

カウンターパートに対し CO₂ ガス放出シミュレーションコード TWODEE-2 解析の技術移転を行なった。

研究題目 4

プロジェクトで供与した機材を活用して、本 SATREPS プロジェクトで育った相手国研究者が、研究を継続・発展させている。

研究題目 6

プロジェクトに参画した相手国研究機関の若手研究者が日本へ留学し、博士の学位を取得した。その研究者が帰国してから主体的に活動し、若手人材の育成に取り組んでいる。

研究題目 7

プロジェクトに参画した相手国の学生が日本で博士学位を取得した後、相手国機関において研究活動を継続し、問題解決に取り組んでいる。

5. 日本と開発途上国との国際科学技術協力の強化、科学技術外交への貢献について

研究題目 1

プロジェクト実施の結果、防災対策の提言など相手国の社会に貢献したとして、研究代表者(大場武)と日下部実富山大学客員教授(主に研

究題目1を担当)が相手国の大統領から Chevarier 勲章(2016)を、日下部実が Lion d 'or (2013)を授与された。

研究題目2

プロジェクトの成果が相手国の災害防止に貢献したとして、相手国メディア等に取り上げられた(例えば Cameroon Tribune, January 2020)。

研究題目7

プロジェクトに参加した相手国の学生が東京大学地震研究所の客員研究員として再来日し、研究活動を継続するなど、より強固な国際交流が続いている。

6. 終了時評価における要望事項に対する現状報告(要望事項を下線で表示)

要望事項

予定されている各種マニュアルの作成を迅速かつ着実に進める必要がある。また、日本側研究チームは、プロジェクト終了後も湖水爆発モニタリング委員会にオブザーバー参加(遠隔参加)することを検討していただきたい。第9回国際火口湖会議では多くの研究成果が発表されると思うが、カメルーン側研究者による発表を適切に考慮していただきたい(日本側研究者との共著であろうが)。本 SATREPS プロジェクトは特殊な現象に関する調査研究ではあるが、湖沼学では広く興味を喚起する可能性が高い。そうした分野での成果公表も新たな方向性を探し出す上で重要である。

カメルーンでは、北西部の英語圏とそれ以外のフランス語圏の間で内紛が起きており、IRGM の所員はニオス・マヌン湖の現地調査を実行することができない状態が続いている。そのため湖水爆発モニタリング委員会は開催されていないが、ニオス湖に近い現地の協力者の情報によると、ニオス湖では脱ガスパイプの噴水の高さは次第に低下しているので、深層湖水の CO₂ 濃度は低下傾向にあり、災害の予兆は無いと判断される。

ヤウンデで開催された第9回国際火口湖会議では IRGM 所員の多くが研究成果を発表し、Geological Soc London 特集号や J African Earth Sci の特集号で、筆頭著者として多くの論文が執筆され出版された。火口湖における噴火現象の解明において本 SATREPS プロジェクトの成果が影響を与えている。例えば、PD で雇用された谷口無我氏は、気象研究所に就職し、草津白根山火口湖の水質から噴火ポテンシャルを推定する研究に従事している。火口湖にかかわる火山活動を地球化学の視点で解明する点においてニオス・マヌン湖の研究と火口湖における噴火予知研究は共通している。

7. プロジェクトの上位目標を踏まえた現状報告(上位目標を下線で表示)

上位目標

研究成果・観測システムの周辺諸国への展開・適用性拡大

本 SATREPS プロジェクトの成果の多くはすでに、国際誌に研究論文として公表されている。これらの論文は誰でも参照し研究の参考にすることが可能である。よって今後、周辺諸国に研究成果が適用される可能性は十分にある。その意味で上位目標はある程度達成されている。

以上