

地球規模課題対応国際科学技術協力

(防災研究分野「開発途上国のニーズを踏まえた防災科学技術」領域)

カメルーン火山湖ガス災害防止の総合対策と人材育成

(カメルーン)

平成22年度実施報告書

代表者： 大場 武

東海大学・理学部・教授

<平成22年度採択>

1. プロジェクト全体の実施の概要

1980年代の半ばにカメルーンのニオス・マヌーン湖で CO₂ ガスが突発的に放出し、約 1800 名の周辺村民が犠牲になった。湖水はあたかも火山噴火のように爆発的に CO₂ ガスを吹き上げたと推定されている。この現象は「湖水爆発」と呼ばれている。湖水爆発の直接的な原因は、湖水に蓄積したマグマ起源の CO₂ であるが、湖水爆発の引き金やメカニズムの詳細については、未だ解明されていない。本プロジェクトでは、カメルーンの研究者和ニオス・マヌーン湖について湖水爆発に関連した共同研究を実施し、その取り組みを通じてカメルーンにおける持続的な研究体制の確立をめざす。

プロジェクトでは以下の研究課題を実施する。1) 湖水爆発のメカニズム、2) ニオス・マヌーン湖への CO₂ 供給プロセス、3) 両湖周辺の水理地質特性、4) CO₂ 供給系における水-岩石相互作用、5) 両湖のリアルタイムモニタリング、6) マヌーン湖深層水強制排除実験、7) 両湖周辺及びその他のカメルーン火山列(CVL)の噴火活動史、8) 両湖以外のCVLに沿う湖における CO₂ の分布。さらに科学的なモニタリングの結果が、組織的にカメルーン国の市民保護局(DPC)と共有されるように働きかける。

平成22年度に以下の通り暫定研究を実施した。先ず8月に JICA が主催する現地調査に参加し相手国研究者と研究の内容、進め方、供与機材等について協議し合意を得た。その結果、年末には JICA とカメルーン政府機関の間で R/D が締結された。さらに平成23年1月には東海大学とカメルーン国立地質調査所(IRGM)の間で MoU が締結された。平成23年1月には首都のヤウンデ市でプロジェクトの開始を記念するセミナーを開催し、100名程度の参加者があった。セミナーにはテレビ局の報道陣も詰め掛け、セミナーの様子や関係者へのインタビューがカメルーン国内で放映された。新聞にはセミナーに関する記事が掲載された。セミナーを通じてカメルーン国内においてプロジェクトが広く認識されるようになった。

1月のセミナーに先立ち、相手国研究者と共同してニオス・マヌーン湖の現地調査を実施した。その結果、両湖について、湖水に溶存する CO₂ 濃度が 2009 年の値に比べて低下していることが確認された。これはニオス湖においては現在のガス抜きパイプから放出される CO₂ 流量が湖底に供給される CO₂ 流量を上回っていることを意味している。

平成23年度の後半にはカメルーンから博士課程留学生を受け入れ人材育成を開始する。年度の後半には化学分析器などの機材をカメルーン国立地質調査所に供与する。年度末の平成24年2月から3月にかけてニオス・マヌーン湖の現地調査を実施する予定である。

2. 研究グループ別の実施内容

2. 1. 研究題目:カメルーン火口湖ガス災害防止の総合対策と人材育成

研究機関・研究代表者:東海大学理学部化学科・大場武

①研究のねらい

ニオス・マヌーン湖水を定期的に採取・分析し、湖水に溶存する CO₂ 量の正確な推定を行う。さらに自動観測装置による湖水の状態をリアルタイムにモニタリングし、湖周辺の安全確保に寄与する。マヌーン湖の深層水に溶存している CO₂ ガスを汲みあげて脱ガスさせる試行実験を行う。カメルーンとの共同研究、研究機材の供与、留学生の受け入れを通じてカメルーンにおける研究人材の育成に努める。

②研究実施方法

ニオス・マヌーン湖において毎年1回、湖水を深度別に採取し、陰イオン組成、陽イオン組成、安定同位体比などを測定し、湖水に残存する CO₂ 量を正確に見積もる。このデータは、湖水爆発シミュレーションの初期条件として利用され、湖水爆発の発生可能性の判断に利用される。ニオス・マヌーン湖に、湖水の水温、電気伝導度、気象要素などを自動的に観測し、データを人工衛星およびインターネットを経由し、ほぼリアルタイムで取得するシステムを構築し安全宣言の必要条件を整える。日本国内で採取可能な炭酸泉水をニオス・マヌーン湖で湧出する温泉水の代替物とみなし、採取・分析法の開発に利用する。湖水の陽イオン組成は地殻を構成する岩石に由来すると考えられる。湖水の陽イオン組成の1起源を解明するためにニオス・マヌーン湖地域に分布する岩石の化学分析を行う。マヌーン湖ではすでに脱ガスパイプにより CO₂ の大半が除去されているが、依然として深層水には CO₂ ガスが高濃度で溶存している。この深層水を動力ポンプで汲みあげて脱ガスさせる試行実験を行う。カメルーンから留学生を東海大学で受け入れ研究人材の育成に努める。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

平成 22 年度:本年度は暫定研究計画を実施した。平成 23 年 1 月に首都のヤウンデ市でプロジェクトの開始を記念するセミナーを開催し、100 名程度の参加者があった(Fig. 1)。セミナーにはテレビ局の報道陣も訪れセミナーの様子や関係者へのインタビューがカメルーン国内で放映された。新聞にはセミナーに関する記事が掲載された。セミナーを通じてカメルーン国内においてプロジェクトが広く認識されるようになった。

1月のセミナーに先立ち、相手国研究者と共同してニオス・マヌーン湖の湖水調査を実施した。その結果、両湖について、湖水に溶存する CO₂ 濃度が 2009 年の値に比べて低下していることが確認された(Fig. 2)。これはニオス湖においては現在のガス抜きパイプから放出される CO₂ 流量が湖底に供給される CO₂ 流量を上回っていることを意味している。

平成 22 年度の暫定研究計画で湖水の陰イオン組成を分析するためのイオンクロマトグラフと、岩石の化学分析の前処理を行うためのマイクロウェーブ分解装置を購入し、東海大学に設置した。



Fig. 1 プロジェクト発足記念セミナーの様子（ホテルヒルトン、ヤウンデ市）。左から、Dr. Luc Sigha (IRGM), 本蔵義守 (SATREPS-PO), 長谷川裕之 (文部科学省), 山本啓司在カメルーン特命全権大使, MINRESI 大臣代理, Dr. J.V. Hell (IRGM 所長), 大場武 (東海大学)

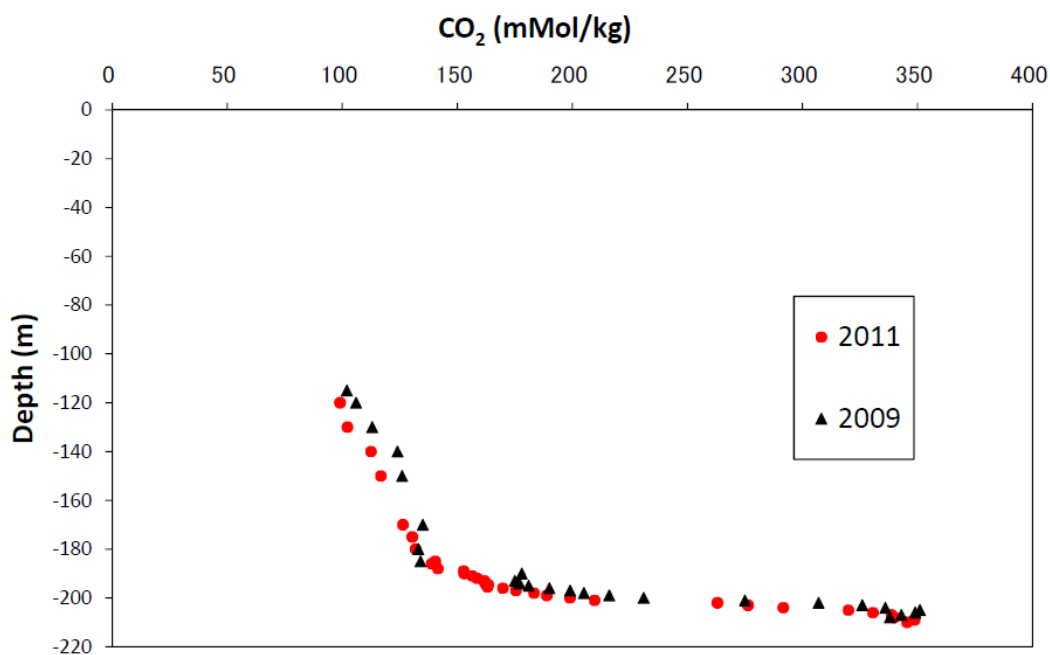


Fig. 1 ニオス湖に溶存する CO₂ ガス濃度と深度の相関(2009 年と 2011 年の比較)

④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)
ニオス・マヌーン湖で実施した湖水の温度、電気伝導度の深度プロファイルを日本側研究者とカメルーン側研究者の間で共有した(Fig. 3).

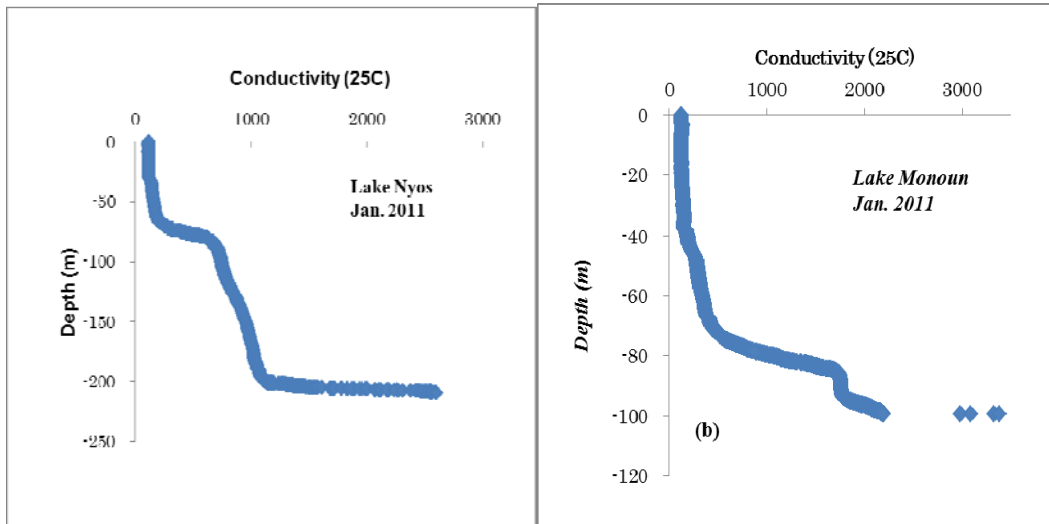


Fig. 2 ニオス湖水（左）マヌーン湖水（右）の電気伝導率と深度の相関

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況（あれば）該当無し

2. 2. 研究題目:CO₂-岩石反応を含む物質移動現象の解析

研究機関名・研究代表者:富山大学理学部生物圏環境科学科・上田晃

① 研究のねらい

ニオス・マヌーン湖にはマグマ性 CO₂ を含有する温泉水が供給されている。この温泉水の水質は周辺岩石との反応に大きく依存し CO₂ が部分的に炭酸塩として固定されている可能性がある。反応を規制している因子を把握し、長期的な水質変動・CO₂ フラックスなどの予測を行う。特に、岩石あるいは鉱物の溶解・沈殿現象は、湖底堆積物の変化や水質変化に寄与することから、物質バランスを考慮しながら検討を行ってゆく。これらの結果をもとに、ニオス湖、マヌーン湖の長期的な水質変動を予測し、防災への資料とする。カメルーンから留学生を富山大学で受け入れ研究人材の育成に努める。

② 研究実施方法

本テーマでは、ニオス・マヌーン湖を中心とし、それ以外にも CO₂ ガスが問題となる可能性が高い湖及びその周辺地域の地下で起こっている物質移動現象(物質フラックス、水質変化など)を解析することを主目的としている。このため、水や岩石試料の化学分析や同位体分析結果から総合的に判断し、岩石-CO₂ 反応を評価すると共に、実験室内での単純化された岩石-CO₂ 反応試験の結果と比較し、天然での複雑な系の岩石-CO₂ 反応を評価する。現地での試料採取は、ニオス・マヌーン湖を中心とし、CVL 沿いに分布する火山湖のうち、CO₂ ガスが問題となりうる地域も対象として、湖水・地下水・河川水を採取し、同位体分析(H,O,C,S,He^{●●})や化学分析(主要成分、微量成分)を行うことによって、その地域特有の地下水理や、水質変化の原因、CO₂ 供給量の経年変化の有無及びその原因の解明を行う。また岩石-CO₂ 水反応室内試験では、現地の岩石とCO₂ を含む水(炭酸水)をいろいろな条件で反応させて、水試料の化学組成変化を観察する。この際、岩石-CO₂ 水反応過程での鉱物の沈殿や溶解現象について、位相シフト干渉計を用いた測定法を導入する。現地では、結晶成長試験装

置を湖底付近に設置して、原位置で起こっている化学反応を評価解析する。これらの結果をもとに、岩石反応地化学シミュレーションを行って、反応を規制している因子を把握し、長期的な水質変動・CO₂ フラックスなどの予測を行う。特に、岩石あるいは鉱物の溶解・沈殿現象は、湖底堆積物の変化や水質変化に寄与することから、物質バランスを考慮しながら検討を行ってゆく。これらの結果をもとに、ニオス・マヌーン湖の長期的な水質変動を予測し、防災への資料とする。

③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

平成22年度:平成 23 年 1 月に現地調査を実施し、以下の試料を採取した(括弧内は試料数)、湖水(3)、井戸水(2)、河川水(1)、ボーリング孔水(3)、自然湧水(10)。試料採取の位置を Fig. 4 に示す。現地調査に先立ち、調査地域の地形図、航空写真を用いてカメルーン側研究者と共同で予備調査を行った。

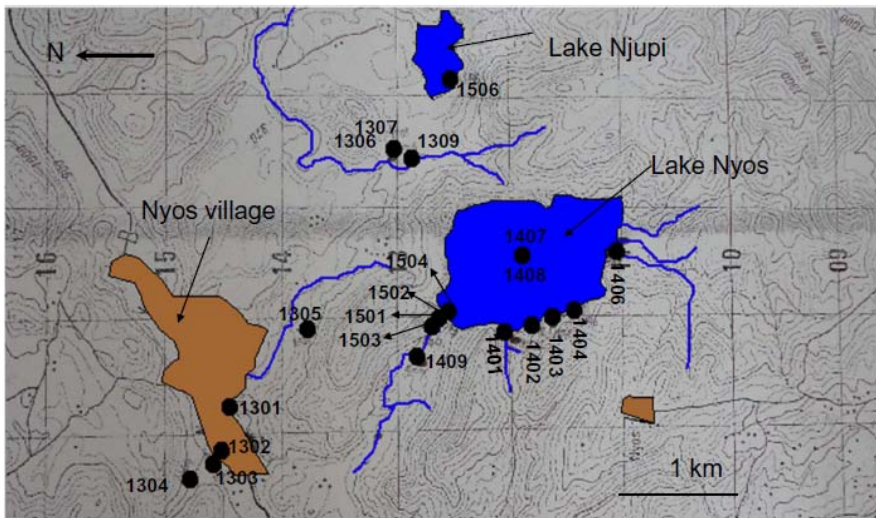


Fig. 4 試料採取の位置

試料の採取においては、現場で水温、pH、電気伝導率、酸化還元電位を測定し、簡易分析により、Fe²⁺濃度、アルカリ度を決定した。

④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

平成22年度:試料採取の際に測定・分析より得た水質データを日本側研究者とカメルーン側研究者で共有した。

⑤ 当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)

平成22年度:該当なし

2. 3. 研究題目:湖水爆発の数値シミュレーション

研究機関名・研究代表者:防災科学技術研究所火山防災研究部・小園誠史

①研究のねらい

本研究では、カメルーンのニオス湖およびマヌーン湖において大きな災害をもたらした湖水爆発現象について数値シミュレーションを実施し、その現象のメカニズムを明らかにすることを目的とする。

②研究実施方法

湖水爆発現象とは、CO₂に富む流体やガスが湖水内に蓄積し、何らかのメカニズムでそれが湖面に達することによって大気中に多量の CO₂ ガスが放出される現象である。この現象における湖水内のプロセスについては、これまで既に比較的単純な物理モデルが幾つか提案されてきた。しかしながら、これらのモデル計算においては湖水内の CO₂ 量分布などの条件が単純化されすぎており、また条件設定を変化させるパラメータ解析も十分ではない。そこで本研究では、これらの物理解析モデルに対する詳細なパラメータ解析を行うことによって、実際の湖水爆発現象を再現するモデルに導入すべき基礎物理の抽出・検証に取り組む。これによって、湖水爆発が生じる巨視的なメカニズムを明らかにしていく。

上述の物理モデルは、湖水を単純な成層構造を仮定することで一次元のモデル化を行っている。しかし、実際の湖水爆発現象においては湖水の状態に水平方向の不均質性が生じており、それが湖水爆発のメカニズムに大きな影響を与える可能性がある。そこで、物理モデルで抽出した基礎物理や支配パラメータを基に、湖水内における CO₂ に富む流体の多次元的な流れをモデル化し、その数値シミュレーションに取り組む。この数値シミュレーションにおいては、最初から湖の複雑な形状を考慮した場合には、現象を支配する物理の本質や一般性を捉えられなくなる危険性がある。そこで、第一段階として単純な形状における二次元流のモデル化を行い、そこから段階的にモデルを複雑化していき、同時に、各段階ごとに詳細なパラメータ解析に取り組んでいく方策をとる。最終的なモデル化においては、測探などで得られる実際の湖の形状を境界条件として与え、三次元のシミュレーションを行う。

以上の物理モデル・数値モデルの解析においては、本プロジェクトで観測されるデータを活用して湖水の条件を設定していく。この解析によって、湖水内における CO₂ 濃度分布などの諸条件と、湖面からの CO₂ 放出量などの湖水爆発現象の性質の関係を定量的に調べることができ、これによって湖水爆発が生じる条件を明らかにすることへの貢献が期待される。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

平成 22 年度：暫定研究計画を実施した。研究グループ内で情報交換し、シミュレーションの手法について議論した。それに基づきシミュレーションに必要なコンピューターの性能、必要なソフトウェアの選定を行った。

④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

平成22年度：該当無し

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)

平成22年度：該当なし

2. 4. 研究題目：ニオス・マヌーン湖の CO₂ 供給システムの解明

研究機関名・研究代表者：大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻・佐伯和人

①研究のねらい

ニオス・マヌーン湖の下部に存在するマグマは定常的に CO₂ ガスを放出している。放出された CO₂ は地殻内を上昇し、一部が地下水に吸収され熱水を形成し湖底に到達すると考えられる。地下水に吸収されない CO₂ は土

壤ガスとして大気に放出されていると考えられる。本研究ではさまざまな手法を適用しマグマから湖水あるいは大気へ移動する CO₂ ガスの動きを総合的に捉えることを目標とする。

②研究実施方法

ニオス・マヌーン湖にて湖盆地形をソナーで精密に調査し、ハイドロフォン、温度計などのデータも併用し CO₂ を含有する熱水の湧出地点を特定する。ニオス・マヌーン湖の周辺地域において土壌拡散 CO₂ の流量観測を行い、湖以外での CO₂ の放出状況を把握する。ニオス・マヌーン湖の周辺地域において環境大気を調査し、ガス抜き設備および土壌から放出される CO₂ の拡散状況を把握する。ハイドロフォン、温度計、溶存二酸化炭素計などを有人・無人観測ボートによって継続的に調査できるツールを開発し、湖中の CO₂ の状況を把握すると共に、自動計測ブイの設置場所の検討や前兆現象の掌握に役立てる。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

平成22年度:湖盆地形の探査に用いるソナーの選定を行った。その結果 R2Sonic 社のマルチビームソナーが必要とする性能を備えていることを確認した。暫定研究計画で大気に拡散した CO₂ 濃度を計測するオープンパス CO₂ 濃度計を購入した。

④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

平成22年度:該当無し

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)

平成22年度:該当なし

2. 5. 研究題目:カメルーン火口列の火口湖周辺における噴火活動履歴の解明

研究機関名・研究代表者:熊本大学教育学部理科教育・宮縁育夫

①研究のねらい

火山ガス災害が発生したニオス・マヌーン湖など、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する。

②研究実施方法

ニオス・マヌーン湖をはじめとするカメルーン火口列火山において地質学的調査を実施し、噴出物の層序的・岩石学的特徴を明らかにする。火山ガス災害が発生したニオス湖とマヌーン湖においては、周辺における火山噴出物の分布状況等に関する調査を行い、それらの火口湖を形成した噴火の特徴を明らかにする。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

平成 22 年度:暫定研究計画により平成 23 年 1 月に主にニオス湖周辺で噴出物の路頭観察、岩石採取を行った。火砕堆積層のなかから ¹⁴C 年代測定に利用することが可能な試料を採取した。試料は日本に持ち帰り、依頼分析で ¹⁴C 年代測定を実施した。

④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

平成22年度:該当無し

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合,その内容と展開状況(あれば)

平成22年度:該当なし

2. 6. 研究題目:地下水流動系の解明

研究機関名・研究代表者:東京大学大学院新領域創成科学研究科自然環境学専攻・穴澤活郎

①研究のねらい

マグマから放出された CO₂ ガスは主に地下水に吸収されニオス・マヌーン湖に供給されていると考えられる。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と考えられる。本研究ではニオス・マヌーン湖周辺領域における地下水流動を GIS・リモートセンシングならびに地球化学的手法を用いて解明し湖に蓄積する CO₂ の収支を包括的に把握する。

②研究実施方法

衛星画像を用いた地形解析・リモートセンシング,ならびに現場における試料水や固体試料の分析に基く地球学的な調査を行い, GIS による空間解析によりこれらの情報をまとめる。まず, 複数の衛星画像から得られる3次地形データを用いて地形解析を行うことで地下水流路を推定し, 次に衛星画像を解析して表流量, 地表水分量, 蒸発散量などを推定し, 雨期など現地で直接調査できない時期も含めた調査地域全体の陸水の流動系を推定する。さらにニオス・マヌーン湖の周辺地域において地表水や地下水の地球化学的調査を行い, 化学成分の変動や安定同位体比から地下水流動系を推定する。これら異なる手法により得られるモデルを GIS により包括的にまとめていく。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

平成22年度:暫定研究計画により平成23年1月に「CO₂-岩石反応を含む物質移動現象の解析」研究グループと協力し地表水, 湖水, 湧水の採取を実施した。調査の内容は2. 2の③と同一である。

④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

平成22年度:該当無し

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合,その内容と展開状況(あれば)

平成22年度:該当なし

3. 成果発表等

(1) 原著論文発表

① 本年度発表総数(国内 1 件, 国際 0 件)

② 本プロジェクト期間累積件数(国内 1 件, 海外 0 件)

③ 論文詳細情報

Y. YOSHIDA, ISSA, M. KUSAKABE, H. SATAKE and T. OHBA

An efficient method for measuring CO₂ concentration in gassy lakes: Application to Lakes Nyos and Monoun, Cameroon

Geochemical Journal, Vol. 44, pp. 441 to 448, 2010

(2) 特許出願

① 本年度特許出願内訳(国内 0 件, 海外 0 件, 特許出願した発明数 0 件)

② 本プロジェクト期間累積件数(国内 0 件, 海外 0 件)

4. プロジェクト実施体制

(1)「モニタリング」グループ(研究題目:カメルーン火口湖ガス災害防止の総合対策と人材育成)

①研究者グループリーダー名: 大場武 (東海大学・教授)

②研究項目

ニオス・マヌーン湖の定期的採取および自動観測ブイによりモニタリングを実施し, 湖に残存する CO₂ の量の時間変化を把握する. これらの情報と推定される湖水爆発の条件を総合し, カメルーン政府が湖の安全宣言を出すために必要な情報を提供する. 脱ガスパイプでは排除できない深層湖水に溶存した CO₂ を排除するために, 湖水を動力ポンプで汲み上げ脱ガスさせる試行実験をマヌーン湖で行う. プロジェクト終了後も湖の研究がカメルーン国内で継続されるように留学生を東海大学で受け入れ研究人材を育成する.

(2)「CO₂-岩石反応」グループ(研究題目:CO₂-岩石反応を含む物質移動現象の解析)

①研究者グループリーダー名: 上田晃 (富山大学・教授)

②研究項目

CO₂-岩石反応を実験的に検証し反応を規制している因子を把握し, 長期的な水質変動・CO₂ フラックスなどの予測を行う. 特に, 岩石あるいは鉱物の溶解・沈殿現象は, 湖底堆積物の変化や水質変化に寄与することから, 物質バランスを考慮しながら検討を行ってゆく. これらの結果をもとに, ニオス・マヌーン湖の長期的な水質変動を予測し防災に寄与する. プロジェクト終了後も湖の研究がカメルーン国内で継続されるように留学生を富山大学で受け入れ研究人材を育成する.

(3)「シミュレーション」グループ(研究題目:湖水爆発の数値シミュレーション)

①研究者グループリーダー名: 小園誠史 (防災科学研究所・研究員)

②研究項目

湖水爆発を数値シミュレーションにより再現する. シミュレーションでは本プロジェクトの観測データを活用して境界条件を設定する. シミュレーションでは湖水内における CO₂ 濃度分布, 湖面からの CO₂ 放出量などのパラメータと湖水爆発現象の有無の関係を定量的に調べる. これにより湖水爆発が生じる条件を解明できると期待される.

(4)「CO₂供給系」グループ(研究題目:ニオス・マヌーン湖のCO₂供給システムの解明)

①研究者グループリーダー名: 佐伯和人 (大阪大学・准教授)

②研究項目

ニオス・マヌーン湖の下部に存在するマグマは定常的にCO₂ガスを放出している。放出されたCO₂は地殻内を上昇し、一部が地下水に吸収され熱水を形成し湖底に到達すると考えられる。地下水に吸収されないCO₂は土壌ガスとして大気に放出されていると考えられる。本研究ではさまざまな手法を適用しマグマから湖水あるいは大気へ移動するCO₂ガスの動きを総合的に捉える。

(5)「噴火履歴」グループ(研究題目:カメルーン火口列の火口湖周辺における噴火活動履歴の解明)

①研究者グループリーダー名: 宮縁育夫 (熊本大学・准教授)

②研究項目

ニオス湖やマヌーン湖をはじめとするカメルーン火口列火山において地質学的調査を実施し、噴出物の層序的・岩石学的特徴を明らかにする。火山ガス災害が発生したニオス湖とマヌーン湖においては、周辺における火山噴出物の分布状況等に関する調査を行って、それらの火口湖を形成した噴火の特徴を明らかにする。

(6)「地下水」グループ(研究題目:地下水流動系の解明)

①研究者グループリーダー名: 穴澤活郎 (東京大学・准教授)

②研究項目

マグマから放出されたCO₂ガスは主に地下水に吸収されニオス・マヌーン湖に供給されていると考えられる。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。本研究ではニオス・マヌーン湖周辺領域における地下水流動をGIS・リモートセンシングならびに地球化学的手法を用いて解明し湖に蓄積するCO₂の収支を包括的に把握する。

以上