

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に関する研究」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

(カメルーン共和国)

平成 25 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概要

1980年代の半ばにカメルーンのニオス・マヌ湖で CO₂ ガスが爆発的に放出され、約 1800 名の周辺住民が犠牲になった。この現象は「湖水爆発」と呼ばれている。湖水爆発の根本的な原因は、湖水に蓄積したマグマ起源の CO₂ であると判明したが、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とニオス・マヌ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における自立的、持続的な研究体制の確立をめざす。

カメルーンの研究人材の育成として、平成 24 年 6 月に最後の 1 名の留学生候補を選出し、平成 24 年 10 月から富山大学の博士課程に入学した。これで 5 名の留学生がそろって日本で研究する体制が整った。なお本プロジェクトにはカメルーンからの文部科学省国費留学生が 1 名参加しており、それを含めるとプロジェクトは 6 名のカメルーン人の PhD 取得を支援している。

ニオス・マヌ湖の定期観測は毎年 2～3 月に実施しており、2011 年以来、ニオス湖では深層で CO₂ 濃度の急激な低下が観測されている。これは脱ガスパイプが 3 本に増加した効果の表れである。パイプから立ち上がる噴水の高度は 7m 程度まで低下した。マヌ湖では脱ガスパイプが機能停止しており、CO₂ 濃度はやや増加傾向にある。そこで、2013 年 12 月に、ソーラーパネルで作動するポンプで深層水をくみ上げる装置を設置した。マヌ湖は東西に伸びた形をしており、西と中央に小さな湖盆があり東に大きな湖盆がある。これまで CO₂ は東の湖盆だけにあると考えられていたが、平成 24 年 3 月の調査で、西と中央の湖盆にも CO₂ が少量蓄積していることが観測された。

ニオス湖のリアルタイムモニタリングを目指し、自動観測ブイを設計し、2014 年 3 月にニオス湖に設置した。毎時、5 つの深度で測定した水温と電気伝導度がイリジウム衛星を経由してインターネットで配信される体制が整った。リアルタイムのデータは、湖水爆発の予知に役立てられる。

1986 年のニオス湖における湖水爆発の直前に冷たい大雨が降った。冷たい雨水が湖水爆発の引き金になったとする説が唱えられている。そのため気象データは基礎的な情報として重要である。ニオス・マヌ湖では気象観測のための湖上ステーションが完成し、観測を開始した。湖水爆発のトリガーを調べるために、流体力学に基づくコンピューターシミュレーションを行った。その結果、湖水爆発の可能性は、CO₂ の供給率に依存しており、たとえ現在の湖水 CO₂ 濃度であっても湖底から CO₂ を含む流体が急激に供給されれば湖水爆発が起きる可能性があることが判明した。

2. 研究グループ別の実施内容

2.1. 東海大グループ

① 研究のねらい

ニオス・マヌ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を育成する。

② 研究実施方法

ニオス・マヌ湖において毎年 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(玄武岩)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起源を解明するためにニオス・マヌ湖地域に分布する岩石の化学分析を行う。マヌ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、依然として湖底に近い深層水には 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。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

人材育成

1. 博士課程学生

平成 23 年6月と12月に日本で博士号取得を目標とする留学希望者と面接を実施した。面接官は日本人研究者3名と IRGM 研究者3名で構成された。留学希望者はこれまで行ってきた研究内容と今後日本に留学した場合の研究計画について発表を行い、面接官が採点・順位付けし、6月の面接で2名、12月の面接で2名を候補者として決定した。その内の1名は東海大学大学院の入試を経て10月から研究を開始した。残りの3名も全て入試を突破し平成 24 年4月から、東海大学、富山大学、東京工業大学の大学院博士課程に入学した。平成 24 年6月に5名の留学希望者と面接し、最高点を得た一名の女子学生を候補者として選出した。彼女は富山大学の大学院入学試験に合格し、平成 24 年10月から研究活動を開始した。これで5名の留学生在が日本で研究する体制が整った。なお本プロジェクトにはカメルーン人の文部科学省国費留学生在が1名参加しており、それを含めるとプロジェクトは6名のカメルーン人を支援していることになる。以下の表に受け入れ状況をまとめた。

学生	受入機関	受入期間	指導教官	研究テーマ
A	東海大学	平成 23 年 10 月～平成 26 年 9 月	大場武	CVL に分布する火口湖の地球化学
B*	東海大学	平成 23 年 10 月～平成 26 年 9 月	大場武	Ndop 平原の地球化学的水文学
C	東海大学	平成 24 年 4 月～平成 27 年 3 月	大場武	Barombimbo 山の火山地質学
D	富山大学	平成 24 年 4 月～平成 27 年 3 月	上田晃	ニオス・マヌ湖および周辺域を含む水文学
E	富山大学	平成 24 年 10 月～平成 27 年 9 月	上田晃	生物学的指標を取り込んだ水文学
F	東京工業大学	平成 24 年 4 月～平成 27 年 3 月	横山哲也	Oku 火山地域に産する火山岩の地球化学

* 文部科学省国費留学生在

博士号取得を目的とする留学生とは別に、カメルーン人のポスドク(PD)を1名選出した。選出されたのは、W.Fantong 博士でありカウンターパートである IRGM の職員である。Fantong 氏は平成 25 年 12 月から半年間、富山大学で上田晃氏と共同で研究に従事する。

平成 25 年 7 月に鹿児島で開催された IAVCEI(国際火山学地球内部化学連盟)総会および、国際火口湖ワークショップに IRGM の研究者を 3 名招聘した。研究者は研究発表を通じて研究能力の向上を図った。さらに次回の国際火口湖ワークショップをカメルーンに誘致することに成功した。

供与機材に含まれるマルチビームソナーは複雑かつ高度な計測機器であり、使用に際し相当な訓練を要する。平成 25 年度は 9 月に集中的に訓練を山梨県本栖湖で実施した。この際に、カウンターパートから1名の研究者を本邦に招聘した。

2. 技術者の本邦研修

2013 年 4 月 8 日～25 日に IRGM コルビソン研究所に勤務する研究者と技術者が来日した。これは IRGM に供与された分析機器(赤外レーザー水同位体比分光分析装置, イオンクロマトグラフおよび純水製造装置) が有効に利用されることを目指し, 日本国内の大学・研究所・メーカーのラボを訪問し, 各機器の保守・管理がどのように行われているか学ぶことを目的とした研修である。以下に概要をまとめた。

参加者

IRGM 側 : Dr. Fantong Wilson Yetoh, Mr. Djomou Bopda Serges Laurent, Mr. Nlozoa Justin, Mr. Tawadi Robert Elvis および Mr. Libongo Mbilongo Jean Christel

日本側 : 日下部実(富山大)および山本味香 (JICA 研修監理員)

活動記録

4 月 8 日(月) : 研修員および Wilson 来日(関西空港)。

4 月 9 日 (火) : カメルーン研修生, 富山に到着

4 月 10 日 (水) : 富山大学にてイオンクロマトグラフィの原理について講義。Metrohm IC を見学。

4 月 11 日 (木) : 富山大学にて赤外レーザー水同位体比分光分析装置の原理について講義。同装置について質疑応答。午後, 新潟へ移動。

4 月 12 日 (金) : 新潟市にあるアジア大気汚染研究センター (ACAP) を訪問。大泉博士による IC 分析の詳細な紹介とデータの処理について講義。午後, 新潟-東京, 東京-京都と新幹線を乗り継いで京都へ。京都市北区にある総合地球環境学研究所 (RIHN) のゲストハウス (地球ハウス) にチェックイン。

4 月 15 日 (月) : 総合地球環境学研究所を訪問。中野教授が所内を案内。大場も参加。驚くばかりの分析機器, 資料保管室, クリーンラボ, 圧倒的な設備を見学。午後の新幹線で東京へ移動。

4 月 16 日 (火) : 東海大(平塚)を訪問。午前中は Jude と Chako の研究の進捗状況の報告を聞いた。IC-ICP/MS, 赤外レーザー水同位体比分光分析装置 (Picarro) および Dionex IC の視察。

4 月 17 日 (水) : Picarro を IRGM に納入した三洋テクノス(株)を訪問。窪田社長による Picarro の取り扱い, 付属の softwares の使い方についての講義。Hardware の外蓋を開け, Electronics の全体像を眺めるとともに, CPU card, laser control board, power supply unit などを見学。保守に関する技術的な話があった。

4 月 18 日 (木) : Dionex 製品の東京・埼玉地域の販売を引き受けているダイオテック東京(浅草)を訪問。川上社長および担当社員からイオンクロマトグラフの使用上の注意点について詳細な話があった。Cameroon の人たちから積極的な質問があったが, 彼らにはイオンクロマトグラフィの背後にある電解質溶液の物理化学の知識を持ってもらう必要がある。IRGM の陽イオン IC の溶離液を圧送するための小型ポンプを寄贈されたので, 帰国後は陽イオン分析が可能になるだろう。

4 月 19 日 (金) : 午後, 南埼玉にある内藤環境計測 (株) を訪問。この会社は関東一円の環境試料 (飲み水, 井戸水, 工業排水, 大気汚染物質など) の分析を引き受けている。サンプルの受け入れ, 分析項目の登録, 分析, データの評価, 顧客への分析結果の送付などがスムーズに行われている様子がよく分かった。この会社では不要になっている 1 L のガラス試料ビンに 40 個貰い受け, カメルーンに持って帰ることにした。

4 月 22 日 (月) : 午前, カメルーン大使館表敬訪問。午後, JICA を表敬訪問し, 米林地球環境部第二課長および主任と面談。今回の研修は JICA が広く行っている研修コースの重要性が証明され, うれしいとの発言があった。またカメルーン現地調整員の紹介があった。その後, JST を表敬訪問し,

JST の活動についての話を聞いた。SATREPS 協力室主任と面談。

4月23日(火)：メルクミリポア(株)のラボ(保土ヶ谷)を訪問。MilliQ装置を見学。ゼロから組み立てる際の手順，Proguard，カートリッジ，air filter，殺菌用紫外線ランプ，ROカラムの交換時期等について詳細な話があった。コルビソンラボの給水を2段構えでろ過する必要性が議論された。

4月24日(水)：JICA東京センター(幡ヶ谷)にてカメルーンテクニシャン達の研修報告会があった。カメルーン側のPresenterはWilson, Djomou, Robert, Jean Christel and Justin. それぞれPower Pointを使用した。Presentationの後，全員出席のもと，JICA担当主任の司会による評価会が行われた。研修は充実しており，また訪問先で適切かつ親切な講義等があったので，すべてのカメルーンテクニシャン達が満足したことは疑いの余地がない。本研修は十分な成果を上げたとは評価された。

4月25日(木)：カメルーンテクニシャン達，帰国。

追記

カメルーンテクニシャン達が日本滞在中に感じた日本の印象などについて，面白い感想があったので下に示す。順不同ではあるが，例えば，

1. 街がきれいでゴミなどが少ない。日本人はそれぞれが環境のことを配慮している。
2. ラボが清潔できちんと整理されている。
3. 日本人は仕事に対して高いモラルを持っている。
3. 日本人は決められた時間をきちんと守る。
4. 日本は美しい国であり，伝統的文化と近代性の調和が素晴らしい。
5. 日本人は穏やかで相手にやさしく，きちんとしている(規律が取れている)。
6. 道端の花は樹木などの手入れが行き届いている。
7. (京都の)市内を流れている小川がきれい(ゴミが落ちていない，水が澄んでいる)。
8. ゴミの分別収集が素晴らしい(ゴミ箱の色分け，対象物によってゴミ箱が分けられている，など)。
9. 電車やバスに乗るとき，列を作って順序良く乗る。
10. カメルーン大使館の1等書記官のコメント：カメルーン人が外から見ている日本のハイテクは氷山の一角であり，海面下にある9割の中で何が行われているかについて思いを馳せるべきである。

彼らは今回の訪日で強烈なインパクトを得たに違いない。日本で経験したことがコルビソン研究所の管理運営に生かされることを期待される。

研究

CTD(Conductivity-Temperature-Depth profiler) 観測

ニオス湖およびマヌン湖ではガス抜きが順調に進んでいる一方で湖底からのマグマ性CO₂の供給が続いている。したがって，両湖の化学構造の時間変化(どの程度ガスが除去されたか，または増加したか)の継続的把握は本SATREPS事業(カメルーン火山湖ガス災害防止の総合対策と人材育成)の中で欠くことのできない要素である。われわれは1986年のニオス湖ガス災害発生以来，ニオス湖およびマヌン湖の化学組成と溶存二酸化炭素(CO₂)濃度をほぼ定期的に計測してきた。図1，2にそれぞれニオス湖とマヌン湖における観測および採水作業を行った筏の位置を示す。

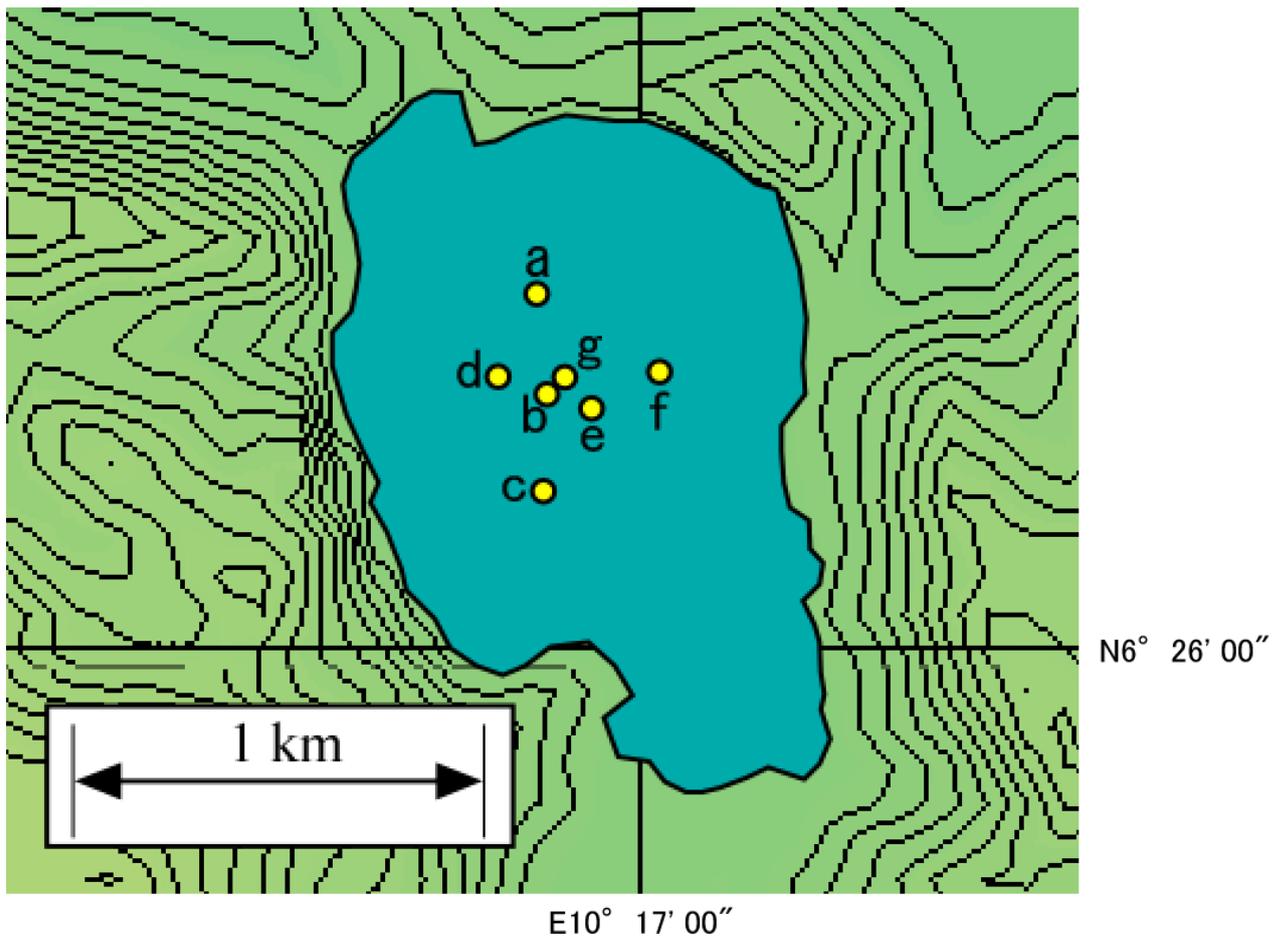


図1. ニオス湖における湖水採取位置 (e). a, b, c: 脱ガスパイプ. d: 気象観測ステーション. g: 自動観測ブイ. f: 脱ガスパイプ制御室

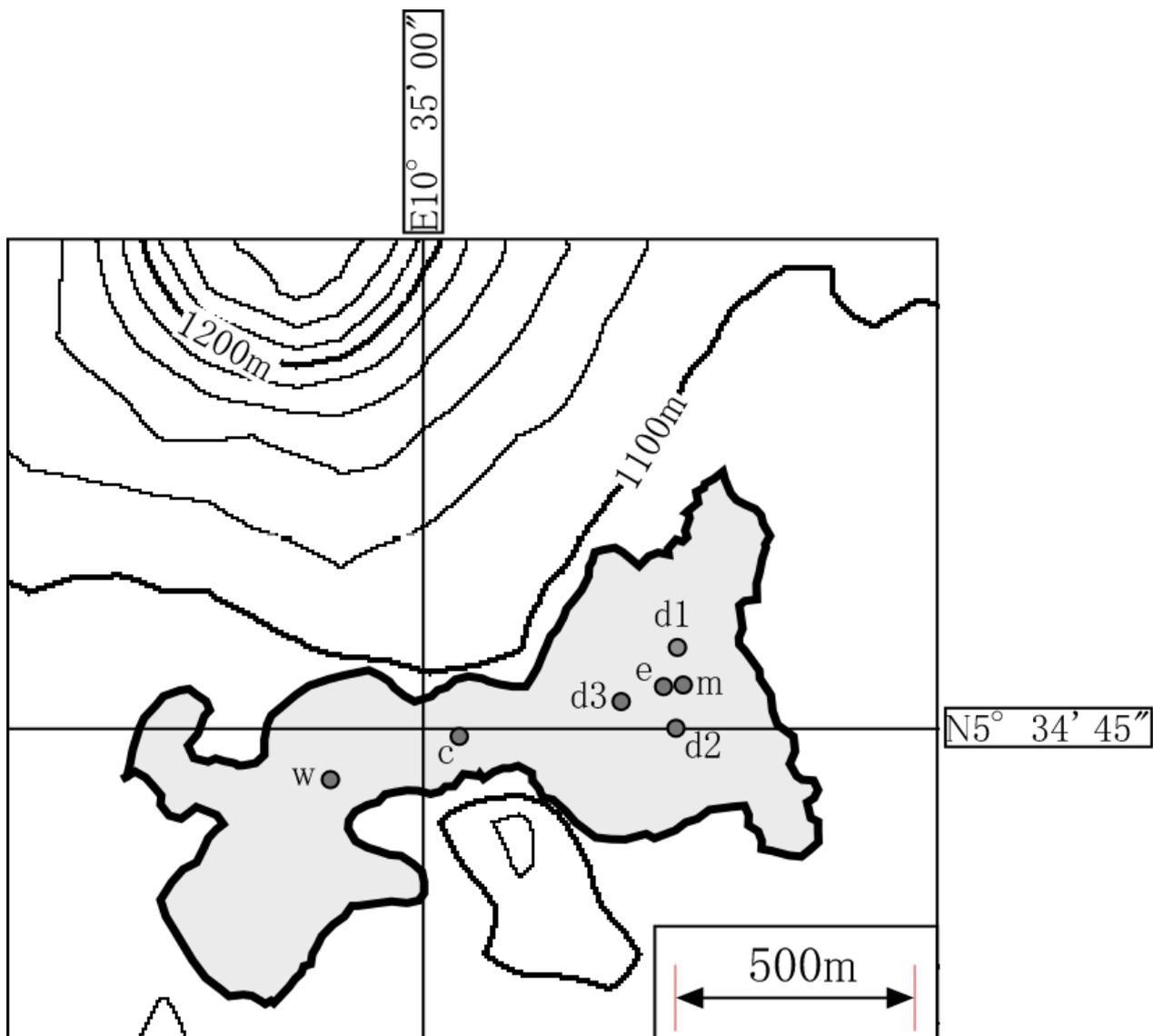


図2. マヌン湖における採水位置 (e). d1, d2, d3 : 脱ガスパイプ. m : 気象観測ステーション.
c : 中央盆地. w : 西盆地

CTD を用いると、湖水の電気伝導度、水温、pH、溶存酸素濃度等を深さの関数として計測できる。湖水の電気伝導度（以降、C25 と略記する）は全溶存イオン濃度に比例するので、C25 の深さ分布は全溶存イオン濃度の分布を知ることには他ならない。ニオス湖およびマヌン湖は強く成層しており、C25 の深さ分布から化学躍層の正確な深度を知ることができる。本報告書では主にガス抜きが開始された以降の両湖の化学構造の時間変化について述べる。図3には、ガス抜きが開始される直前の2001年以降2013年までのニオス湖とマヌン湖におけるC25プロファイルの経時変化を示してある。ニオス湖では2001年に1本のガス抜きパイプが設置され、マヌン湖では

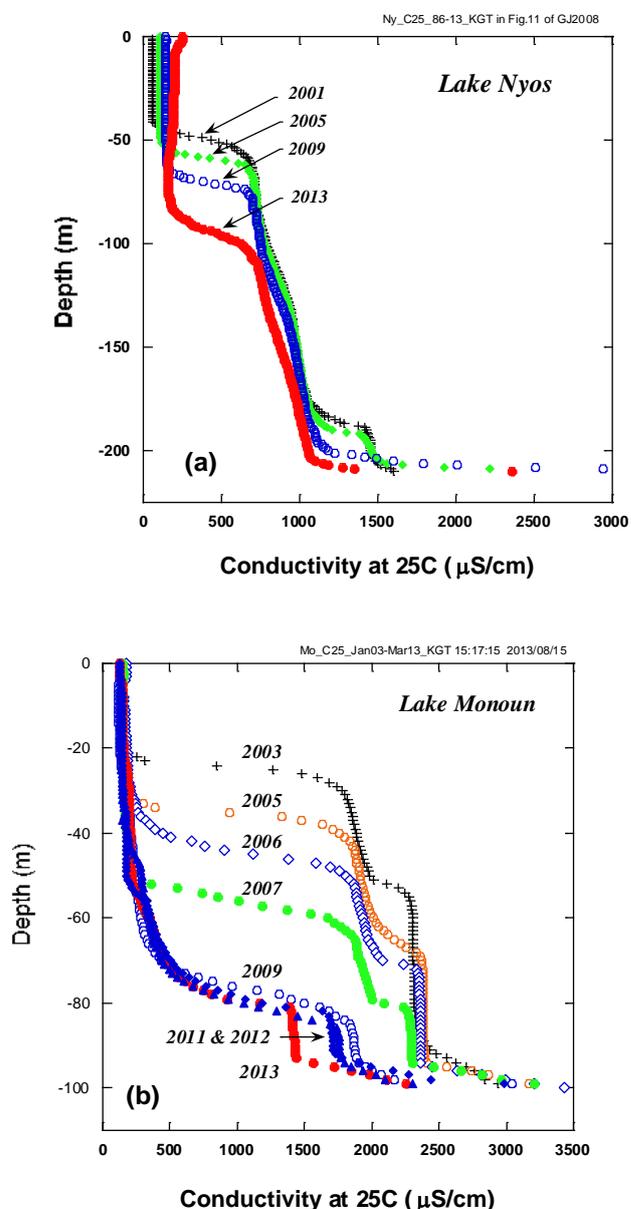


図3. ガス抜き開始以降、現在（2013年3月）に至るまでのニオス湖（a）およびマヌン湖（b）の電気伝導度プロファイルの経時変化。

2003年にやはり1本のガス抜きパイプが設置され、ガス抜きが開始された。ガス抜きパイプは、それぞれ2011年および2006年に3本に増設された。電気伝導度プロファイル（図3）を見ると両湖においてガス抜きが順調に進んでいることが分かる。ニオス湖では2001年に約50m深にあった表層の化学躍層が2013年には約100m深にまで低下した。また180m以深の高電気伝導度（高塩濃度）水が除去され、現在では最深部を除いてC25が1200μS/cmを超える水は見られない。マヌン湖はサイズが小さいのでガス抜きの効果がより明瞭にみられる（図3b）。ガス抜き開始直前の2003年に25m深にあった上部化学躍層は2013年には80m深に低下し、底層の高塩濃度水が消滅しつつある。C25

プロファイルの経時変化はガス抜きが“だるま落とし”の要領で底層水が引き抜かれたことを示している。図 3b には示していないが、2009 年、2011 年および 2012 年の電気伝導度プロファイルに大きな変化は観測されておらず、ガス抜きパイプが 2009 年以降に機能しなくなったことが窺われる。しかし 2013 年の 80m 以深の C25 が 2012 年のものに比べてかなり低下しており、低下の理由は今のところ判然としない。

CO₂ 濃度の観測

ニオス湖とマヌン湖の CO₂ 濃度の深さ分布とその経時変化を正確に把握することは、ガス災害の再発を予測する上で極めて重要である。これらの湖の CO₂ 濃度は MK-syringe 法、pH 法 (Kusakabe et al., 2000, 2008) および YY 法 (Yoshida et al., 2010) により測定されてきた (図 4)。YY 法は簡便であるとともに深さ変化を細かく測定できる点に特徴がある。図 5 は YY 法によるニオス湖の 150m 以深における溶存 CO₂ 濃度の経時変化を示したものである。CO₂ 濃度は総じて湖底に向かって滑らかに漸増する。ただし、188–190m 近辺では滑らかさに欠ける。図 A3 からガス抜きの進行とともに CO₂ プロファイルが徐々に“沈降”していく様子が分かる。YY 法の調査結果は図 5 に示すとおり、湖底水の CO₂ 溶存量は着実に減ってきており、特にガス抜きパイプ 2 本を追加してからの減少が著しいことが判明した。最深部では 1999 年

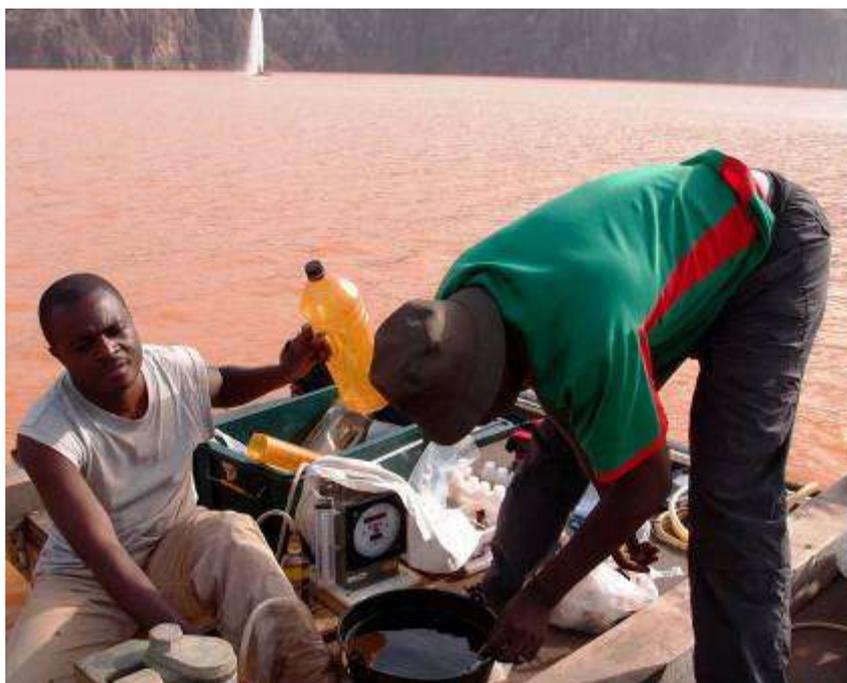


図 4. Measurement of CO₂ concentration in deep water by the YY-method.

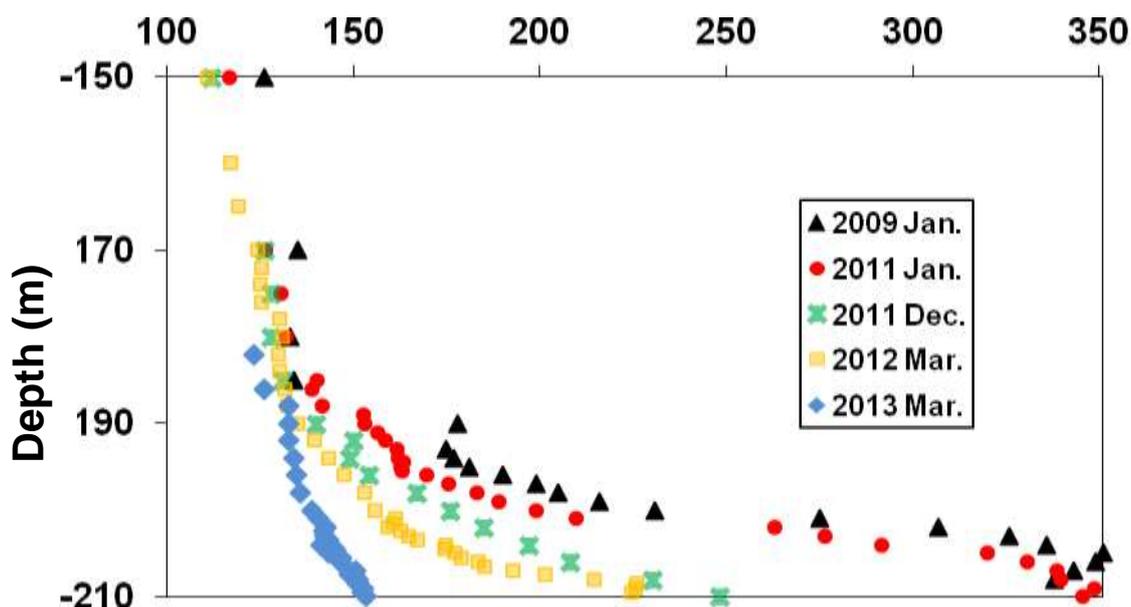


図5. ニオス湖の150m以深における溶存CO₂濃度分布の経時変化(横軸はCO₂濃度: mmol/kg)

以降CO₂濃度がほぼ一定の約350 mmol/kgであったが、この濃度は2011年1月以降低下に転じ、2011年12月に約250 mmol/kg、2012年3月に~220 mmol/kg、2013年3月に約150 mmol/kgになった。ガス抜きおよびYY法は“gas self-lifting”の原理に基づいて行われているが、YY法の経験からgas self-liftingは底層水のCO₂濃度が約80 mmol/kgを下回ると停止すると予測されるので、ニオス湖におけるガス抜きは近い将来(3~4年後?)には停止するかもしれない。つまり、その頃にはガス抜きはおおむね完了すると思われる。

マヌン湖におけるガス抜き開始(2003年)以降のCO₂濃度プロファイルを図6に示した。図3bの電気伝導度プロファイルの経時変化に似て、CO₂プロファイルはガス抜きの進行とともに着実に沈降した。ガス抜きパイプが増設された2006年以降は深層水のCO₂濃度が顕著に低下し、2009年には85m以深で80 mmol/kg以下になって“gas self-lifting”が十分には機能しなくなった。2009年から2011年の間に85m以深のCO₂濃度はわずかに低下し、70m以浅のCO₂はほとんど消滅した。しかし、2012年および2013年の80m以深の深層水中のCO₂濃度は2011年と比較して上昇している。また、CO₂濃度の高い層(80~85m)も厚みが増しているように見える。CO₂濃度と電気伝導度の経時変化のパターンの不一致や2013年の深度70m付近の濃度プロファイルの傾向がほかの年のものと異なることなどまだ解明すべき点はあるが、上に述べたことは、マヌン湖ではガス抜き機能の停止と相まって、湖底からのCO₂の供給が続いていることを示唆している。このことはSATREPS事業の中で提唱されている「マヌン湖底層水の除去」の必要性を強く支持するものである。底層水の除去に必要なシステムは既にデザインされており、2013年12月には湖底水くみ上げシステムを設置した。このシステムでは機能が停止したガス抜きパイプの中に水中ポンプを設置した。ポンプの駆動電源としてはソーラーパネルを用いている。

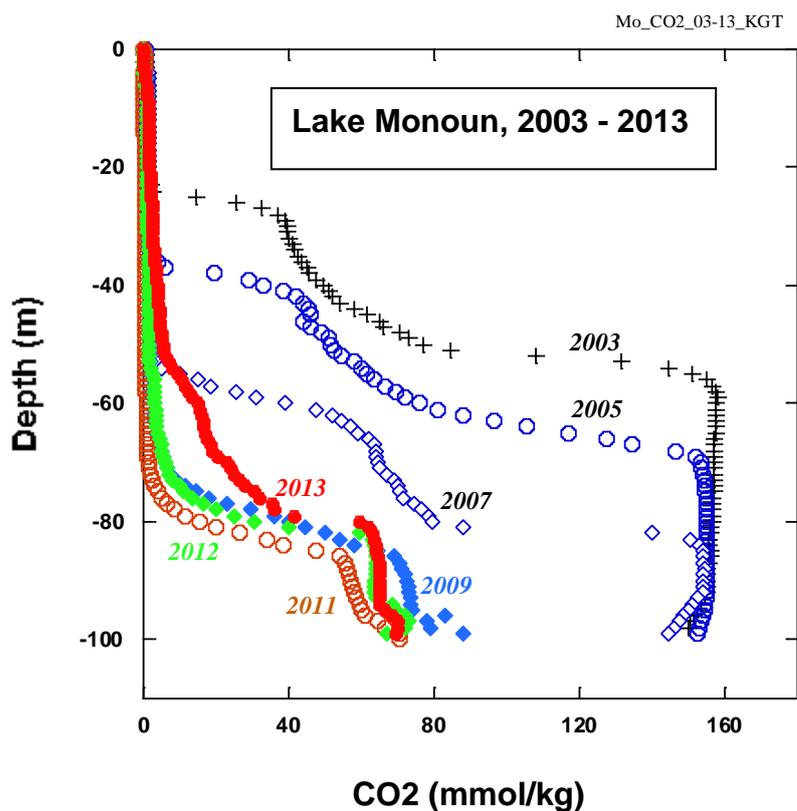


図6. マヌン湖における CO₂ 濃度プロファイルの経年変化 (2003-2013).

ニオス湖において 2011 年 12 月にセットした水 - 岩石反応テストピース (玄武岩および花崗岩の薄片) の回収を 2012 年 3 月と 2013 年 3 月に行った。また、マヌン湖では regular monitoring (CDT, MK 法, YY 法, ガス採取) に加えて, SATREPS プロジェクトの中で設置する予定のソーラーパネルと水中ポンプを組み合わせた湖底水くみ上げシステム設置のために既存パイプの形状調査を行った(図7)。



図7. Checking the diameter of a degassing pipe at Lake Monoun.

筏の組み立て

ニオス湖に気象・湖水観測筏(2.5m×2.5m) 1 台および作業筏(3.2m×3.2m) 1 台を 2012 年 6 月に組み立てた(図 8). 気象・湖水観測筏は 3 つの錨を用いて所定の位置に固定した(図 9). また, SATREPS 用資材の保管庫を倉庫内に設置した. さらに, マヌン湖において 1999 年 11 月に設置した古い気象・湖水観測筏を 2013 年 1 月に回収し, 同じ場所に新たに気象・湖水観測筏(2.5m×2.5m) 1 台を設置した. この筏に George Kling と Bill Evans が各種センサーを取り付けて調整した後観測を開始した(図 10). また, 同時期に作業筏(2.5m×2.5m) 1 台を 2003 年に設置した作業用筏に接続した(図 11).



図 8. Work raft (3.2m×3.2m) moored at the shore of Lake Nyos.



図 9. New climate station (2.5m×2.5m) on Lake Nyos.



図 1 0 . Climate station on Lake Monoun.



図 1 1 . The new and old work rafts were combined at Lake Monoun.

マヌン湖に関する発見

マヌン湖は東西に延びた形をしており、西と中央部に浅い湖盆がある。東には深い湖盆があり、主要な CO₂ の蓄積場所になっている。2013 年 3 月の調査では、これまで詳しく調べられていなかった西と中央部に浅い湖盆でも CTD 観測と採水を行った。図12には CTD で得た電気伝導度の深度プロファイルを示す。東の深い湖盆では 2012 年 3 月に比較して、電気伝導度の低下が観測された。西と中央の浅い湖盆の深度プロファイルはほぼ同一で、図では曲線が重なっている。西と中央部の異常は 2012 年 3 月に佐伯らによる水中音速度の調査で初めて指摘されており、今回の調査はそれを確認したことになる。

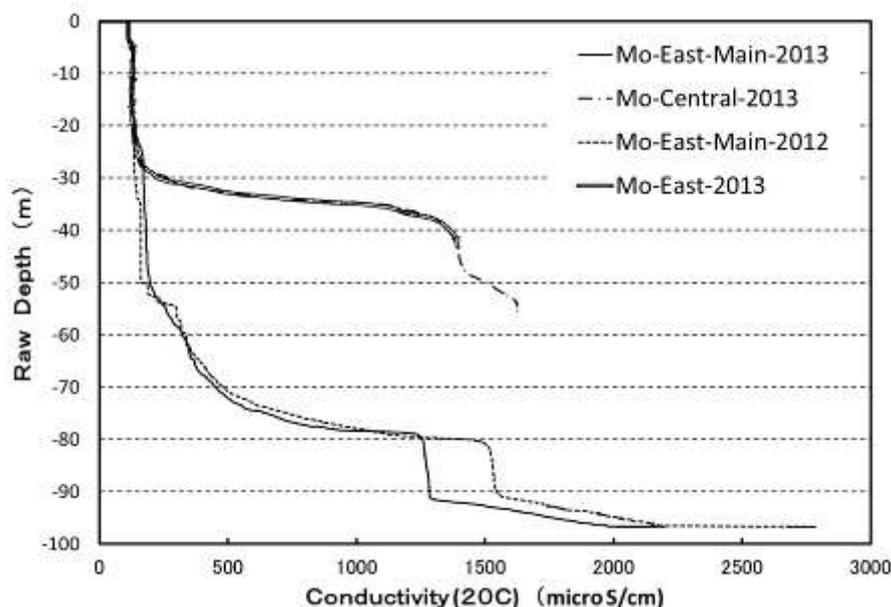


図12. マヌン湖の電気伝導度の深度プロファイル

気象観測

ニオス・マヌン湖では湖上における気象観測がスタートした。図13にニオス湖の湖上における気温変化を示す。データは20分毎に取得されメモリーに記録される。データはカメルーンの研究者が定期的に回収する。気象ステーションでは気温の他には、表面湖水温度、雨量、相対湿度、風速、風向、日照などのデータも同時に取得している。1986年のニオス湖における湖水爆発の直前に冷たい大雨が降り、その冷たい雨の層が沈み込んで中層の湖水が持ち上げられたために湖水爆発がおきたとする説がある。気象観測はその説の正否を確かめるために重要である。

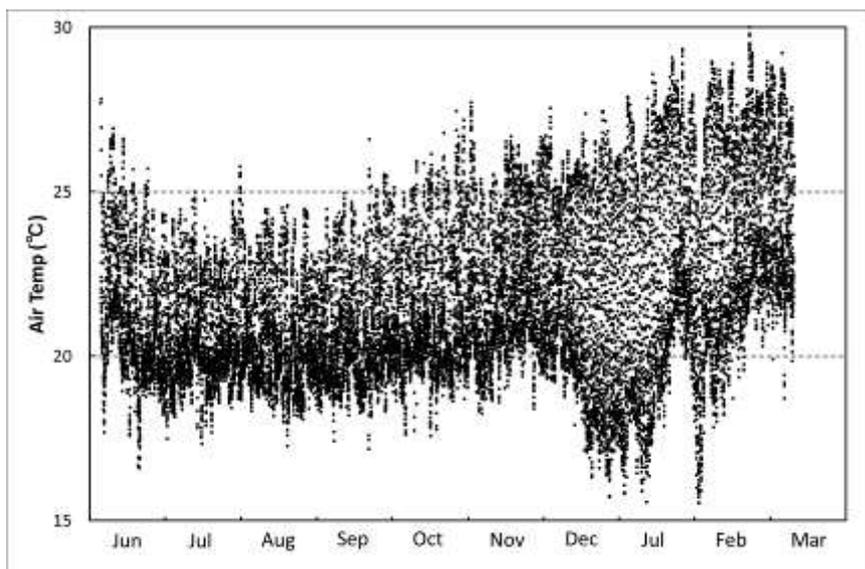


図13 ニオス湖上における気温の変動(20分毎のデータを処理せずに表示. 期間は2012年6月5日～2013年3月11日)

湖水の同位体比

ニオス湖水の D/H は浅層で高く, 90m から急激に低くなる特徴がある(図14). この特徴を利用することにより, 北側の天然ダム下部から湧出する湧水と湖水の関係を推定できる. 図14には湧水の D/H 比を破線で示した. これによると, 仮に湧水が漏出する湖水であり, 湖水から湧出地点まで D/H 比が変化しないと仮定すると, 湧水は-80m の深度までの浅層湖水が漏出して形成されたと考えることができる. 天然ダムはおよそ 40m の火砕堆積物からなり, それよりも下は基盤岩から成るとされている. 上述の D/H 比の関係から湖水は基盤岩の亀裂も利用して漏水している可能性が示唆される.

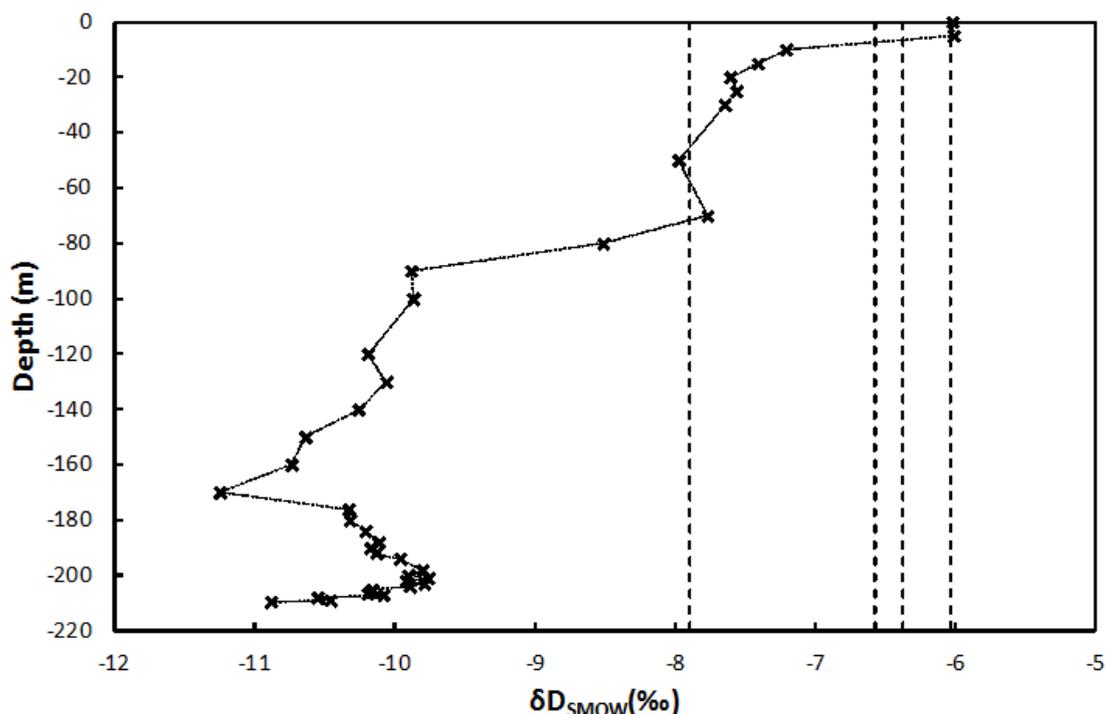


図14. ニオス湖水の D/H 比(2012 年 3 月)の深度プロファイル. 波線は北側天然ダム下部で湧出する湧水の D/H 比を示している.

本邦における研究機材の整備

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、水の安定同位体比測定装置、湖水の陽イオンを分析するための原子吸光分析器、ICP-MS を平成 24 年度までに購入し東海大学に設置した。

機材の供与

カメルーン国内における研究能力を向上させるために必要な分析器等(イオンクロマトグラフ、水同位体比分析器、純水製造装置)を平成 24 年度に供与した。これに対し、カメルーン側から感謝の意として、供与機材の受け渡し式が平成 24 年 5 月 31 日にコルビソン村の研究所敷地内で挙行された。カメルーン共和国科学技術庁大臣、日本大使をはじめ、関係者が合わせて 100 名程度参加した。式典の様子は国内のマスコミでも報道された。平成 26 年 2 月には、水試料の陽イオンを分析する原子吸光分析器の供与しコルビソン研究所に設置した。

ニオス湖では平成 24 年 6 月、マヌン湖では平成 25 年 1 月に気象観測のための筏と現場観測のための筏を設置した。これらの筏も供与機材に含まれる。現場観測のための筏には日よけが設置可能であり、炎天下での観測の厳しさを緩和するために効果を発揮した。気象観測の筏は最小限の大きさであるが、人が 2 名搭乗し、データ回収の操作を行うことが可能な浮力と安定性を有している。

④カウンターパートへの技術移転の状況

湖水の観測に関しては常にカウンターパートと共同して実施しており、カウンターパートだけで観測が可能になりつつある。気象データの回収は、当初からカウンターパートの仕事として実行している。研究者間では概ね技術移転は順調に進行している。

カメルーン国内の研究所で分析器の使用、維持管理に取り組む技術者については、能力の向上が必要と考えられ、平成 25 年の 4 月に 3 週間程日本に 4 名を招聘し研修を受けさせた。研修では、日本の各研究機関での分析器の管理状況を実際に見てもらい、対話をすることにより、現地での分析器の維持管理に貢献する。供与機材に含まれるマルチビームソナーは複雑かつ高度な計測機器であり、使用に際し相当な訓練を要する。当初、1 年程度で日本人研究者が技術を習得できると考えていたが、実際には訓練を行う場所と期間が限られており、技術の習得に手間取っている。平成 25 年度も夏期に集中的に訓練を国内で実施し、技術の習得に努めた。この際に、カウンターパートから 1 名研究者を本邦に招聘した。

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

当初、マルチビームソナーによる湖底地形観測を平成 24 年度に行う予定だったが、マルチビームソナーの取り扱いが予測よりもはるかに難しく、予定通り供与した場合、カウンターパートが有効に利用できない可能性が出てきた。そのために、供与の時期を遅らせ、平成 26 年度の後半にし、それまでに日本国内で訓練を実施し、十分に運用技術をカウンターパートの研究者と共に習得することにした。

ニオス湖においては、EU の資金提供で、北部天然ダムの地盤補強工事が 2012 年 10 月ころから開始された。実際の工事はベルギーの建設会社が行っており、建設会社はニオス湖に工事に携わる人の為の宿泊施設やインフラを整備した。IRGM が当初から保有していた宿舎も同時に改善された。この恩恵により、ニオス湖では水道、電気、インターネットが利用できるようになり、研究環境は飛躍的に改善された。地盤補強工事は 2013 年内には終了する予定で、その後建設会社は撤退するが、宿泊施設などは残され、観測業務に利用される。

国際火口湖ワークショップ

研究代表者である大場は、2013年7月に国際火口湖ワークショップを熊本県阿蘇山にて主催した。このワークショップは、火口湖研究の唯一の世界的な研究集会であり、毎回、火口湖を巡検することが慣例となっている。火口湖ワークショップは、IAVCEIの下部組織である火口湖委員会（Commission of Volcanic Lakes）がおよそ3年ごとに開催しており、前回は2010年にサンホセ（コスタリカ）で行われた。火口湖委員会はカメルーンのニオス・マヌン湖における湖水爆発を科学的に解明し防災に寄与することを目的として設立された国際的な組織である。現在では、ニオス・マヌン湖以外の火口湖の研究も盛んに行われている。前回のワークショップでは2013年の開催地を決めるため、複数のグループが誘致のためのプレゼンテーションを行った。研究代表者の大場は日本人グループを代表し阿蘇山を候補地として訴え、投票の結果、ニュージーランドのルアペフを破り、2013年の日本開催が決定した。それから3年間の準備期間を経て7月25日にワークショップは始まった。参加者は、同伴者を含めておよそ50名に達した。以下国籍と人数を示す。日本(12)、カメルーン(9)、コスタリカ(4)、イタリア(5)、フランス(2)、ベルギー(5)、ニュージーランド(3)、ドイツ(2)、アルゼンチン(1)、フィリピン(1)、チリ(1)、米国(1)、トリニダド(1)、スペイン(1)。

ワークショップは7月25日の朝に鹿児島市を大型バス2台で出発し、先ず霧島の硫黄山近辺でクレーター地形を観察した。次に御池に移動し深度75mの湖水を採水し参加者で分け合った。採水以外の観測として、水温、電気伝導度の深度プロファイルをCTDにより取得した。参加者一行は熊本大津市のホテルに宿泊し、26日は東海大学宇宙情報センターの会議室で研究発表を行った。この日は主に阿蘇山を初めとするカメルーン以外の火口湖に関する研究が発表された。翌日27日はあいにくの小雨のなか野外巡検を実施した。幸いにも雲の合間から湯溜り火口湖の片鱗を望むことができた。火口内から放出されるSO₂の強い臭気が記憶に残る。その後、阿蘇火山博物館を見学してから西山麓の地熱地帯である雀地獄で温泉水を採取した。この日の夕は全員で居酒屋に繰り出し宴会で懇親を深めた。28日は熊本市内の男女共同参画センターの会議室で主にカメルーンの火口湖に関する8つの研究が口頭発表され、最後に次回の開催地を決めるためのプレゼンテーションが行われた。カメルーンを代表しG.Tanyileke氏が、フィリピンを代表してA.Bernald氏がそれぞれの地における開催の意義と魅力をアピールした。投票結果は、カメルーン35票、フィリピン7票、白票が3となり、カメルーンが勝利した。ワークショップはこの後、北海道の登別温泉大湯沼、有珠山金毘羅火口を巡るオプション野外巡検に引き継がれ、26名が参加した。ワークショップは7月31日に千歳空港にて最終的な解散を迎え、参加者は再会を誓い帰路に着いた。なお本ワークショップの開催にあたり、東京大学地震研究所から58万円、IAVCEIから3000ユーロの資金援助を受けた。これらの資金は主に途上国からの参加者の旅費補助にあてられた。

社会実装(地域住民に対するアウトリーチ活動)

本プロジェクトの研究内容を地域住民に紹介するため、ニオス・マヌン湖の周辺の自治体でワークショップを開催した。

ウム市(ニオス湖近辺)でのワークショップ(2014年11月2日)

およそ90名程度の住民が市役所の会議室に集まり、ニオス湖の現状について説明を行った。その際に、リーフレットを配布した。聴衆にはかつてニオス湖の周辺に住み、現在は避難民となっている住民の代表も含まれていた。我々研究者が話す内容には強い関心が払われた。驚くべきことに、ガス災害の原因を多くの人が知らないでいた。政府による住民への説明はこれまで不十分であったと考えられる。



写真:ウム市におけるワークショップで研究者の説明に聞き入る人々

コプタム村(マヌン湖近辺)でのワークショップ(2014年11月4日)

およそ 50 名程度の住民が村役場の会議室に集まり、研究者がマヌン湖の現状について説明を行った。その際に、リーフレットを配布した。研究者が話した内容について、マヌン湖の地下にはマグマがあり、それが CO₂ の原因であることは知られておらず、強い関心が払われた。それは住民が噴火の可能性を心配しているためであった。噴火を予測できるか聴衆から質問があったが、現状では火山活動の観測体制がなく、予測はできないと答えた。



写真:コプタム村でのワークショップの様子

社会実装の一例(コミュニティラジオの設立)

IRGM は日本政府外務省が募集した草の根支援事業に応募し、コミュニティラジオの設立に資金援助(約 1000 万円)がえられることが決定した(2013 年 9 月)。コミュニティラジオはニオス湖周辺の避難民をターゲットとしており、現地の言語で放送が行われる。ラジオでは、ニオス湖の最新の状況を伝えるとともに、避難の呼びかけにも使われる。一般的な生活情報も放送される。ニオス湖における災害防止の強力な手段となることが期待される。

4.2. 富山大グループ

①研究のねらい

ニオス湖、マヌン湖を中心とした 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て、天然での複雑な系の岩石-CO₂ 反応を評価する。

②研究実施方法

現地での試料採取は、ニオス湖、マヌン湖を中心とし、CVL 沿いに分布する火口湖のうち、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、ニオス湖、マヌ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 24 年度の計画と進捗状況は、次の通りである。

(1)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

ニオス湖周辺の地下水・河川水を、平成 23 年 11 月に引き続き、平成 25 年 1 月に行った(図15)。この調査により、ニオス湖を中心とした集水域内の乾季の水試料をほとんど採取できた。平成 25 年 10 月は、雨季後の水試料を採取・分析することを予定しており、時期による地下水の流動様式や水質変化を議論する予定である。試料の化学成分や同位体成分(水素・酸素)を分析中である。また、地下水の水循環を検討するためには、雨水試料も必要となるため、簡易式雨水採水装置を製作し数カ所に設置し、定期的に回収することを現地住民に依頼した。対象としているニオス湖の集水域では、大きな河川が流れており、その河川水の水位・水温・電気伝導度(EC)を連続的に測定できる水質センサーを設置した。これらの水試料やセンサーの測定データ

は、平成 25 年度に予定している現地調査時に回収予定である。

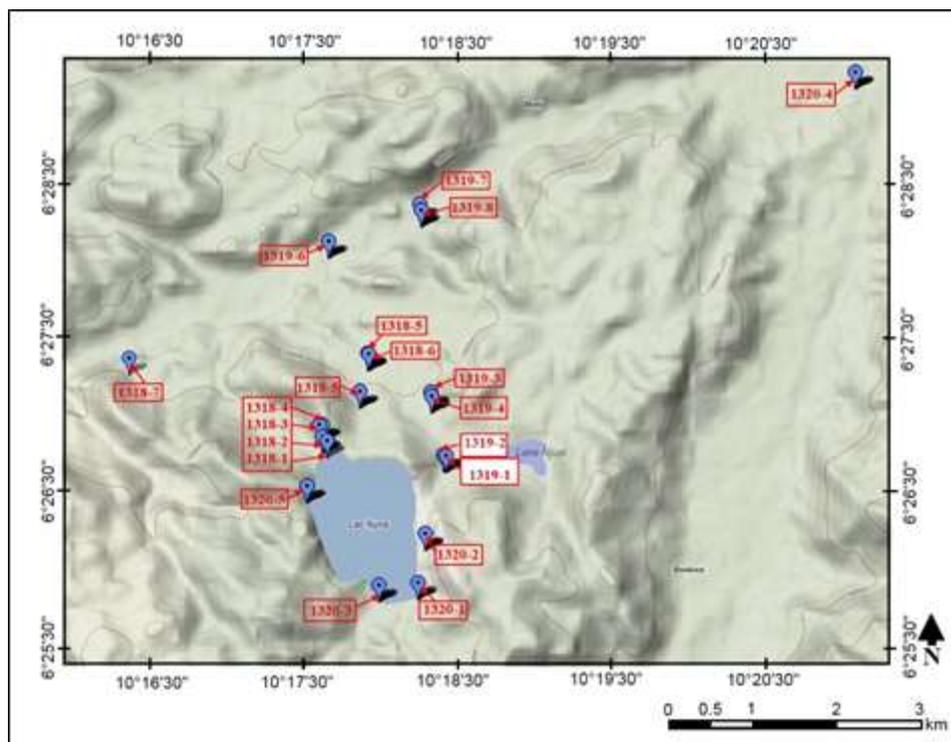


図15. 平成 25 年 1 月時のニオス湖周辺地下水・河川水の採取地点

地下水調査では、現地で pH, EC(電気伝導度), ORP(酸化還元電位)を測定した。EC は、ニオス湖水は、15mS/m であるが、周辺地下水や河川水の値は、10mS/m 以下であり、2mS/m と低い値を示すものも存在した(図16)。このことから、一部の地域を除いて、地下水には CO₂ に富むニオス湖水の影響が少ないことが判明した。

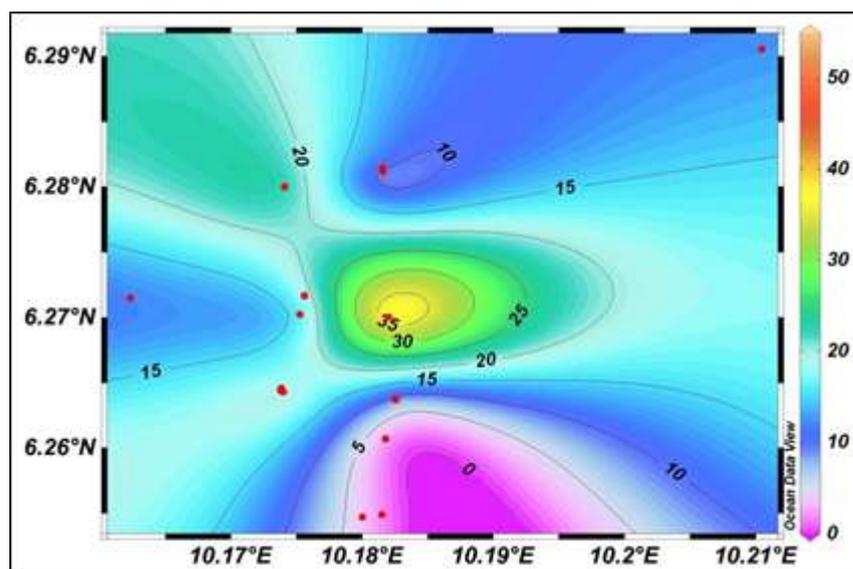


図16. 平成 25 年1月時のニオス湖周辺地下水・河川水の電気伝導度(EC)

2011 年 12 月に脱 CO₂ 用の孔井から吹き上げる湖水の高さを測定したところ、Fountain 2001 (図17の中央)では、28m, Fountain 2011 C-1 (図17の左)では、22.4m, Fountain 2011 C-2 (図17の右)で

は、26.4m であった。3本の噴水の高さは2013年3月にはいずれも7m程度まで低下した。これは、深層水におけるCO₂濃度の低下を反映している。



図17. 3つの脱CO₂孔井 (2011年12月7日撮影)

(2) 岩石-CO₂反応試験による評価試験

実験室内での岩石-CO₂反応試験は、バッチ式あるいは流通式反応容器を用いた試験を行う計画であり、その試験試料となる岩石や水試料の採取を現地調査期間中に行った。採取した岩石を試験用として粉砕・整粒する必要があり、現在その準備中である。他に、ニオス湖水のいくつかの深度に、2種類(AセメントとGセメント)のセメントコア試料(15mmφ×30mmL)を設置し、湖水と反応させる試験を行い、新規建設が予定されているニオスダムにセメント材の耐CO₂性を評価する試験を行った。コア試料は、約3カ月間反応を行い、平成24年3月に回収した。現在、試料の分析中である。さらに、ニオス湖周辺に分布する花崗岩から作成した岩石薄片を、現在湖水の3深度に設置しており、1年毎に薄片を回収して、その鉱物組成変化を検討することにより、ニオス湖で起こっている現象を解明する。



図18. ニオス湖水(深度200m)と3カ月間反応したセメントコア
(左:Aセメント, 右:Gセメント)

(3) シデライト結晶成長試験

ニオス湖水の底部にはシデライト(FeCO₃)が存在することが知られており、岩石とCO₂水との反応によるものと推定される。本年度は、シデライトの沈殿速度を、ナノ技術を用いて測定した。その方法は、シデライトあるいは方解石(CaCO₃)の結晶表面の一部を被覆し、これを湖水と反応させて、反応前後の高さ変

化を、位相シフト干渉計装置(VSI)を用いて測定した。その結果、深度が増加するにつれて、シデライトの沈殿速度も増加したが、最深部(210m)の高 CO₂ 濃度域より 10m 上部で高い沈殿速度(0.29 μ m/年)が測定され、それより以深ではむしろ減少することが判明した(図19)。また、深度 50m では、シデライトは不飽和状態にあり、溶解することが判明した。今回の試験では、シデライト結晶と湖水との反応は、わずか2日間であったため、沈殿量が少なく VSI による測定が困難を極めた。このため、平成 24 年度以降の調査では、長期間(半年)の試験を計画している。今回の観測結果から、深度が増加するにつれて、シデライトに対する飽和度が増加したにもかかわらず、深度 200m より以深では、シデライトの沈殿速度は減少している。この理由として、湖底付近に大量に存在すると予想される細菌の影響か、シデライト結晶が懸濁物として存在しているためと推測され、今後議論を深めてゆく予定である。このうち、細菌によるシデライト沈殿速度への影響については、室内試験での評価も視野に入れている。

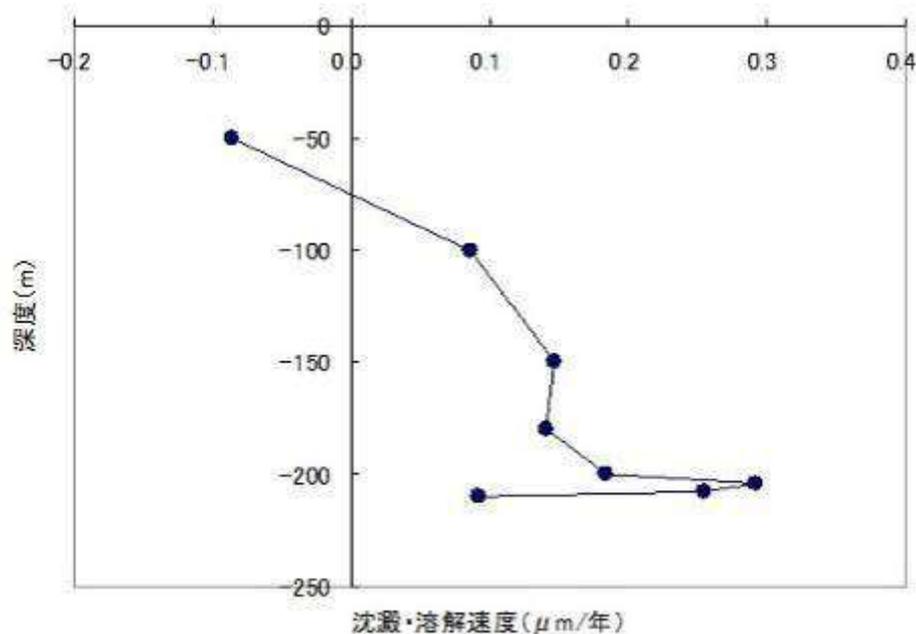


図 19. ニオス湖水からのシデライト沈殿/溶解の速度測定結果

2011 年12月にニオス湖において、深部湖水の採取をおこなった(図20)。深部湖水の採取は、耐圧容器の内部圧力を正確に制御し、外圧より若干低下させることによりフィルターを介して深部湖水を採取した。この採取方法は溶存 CO₂ ガスをまったく失わずに採取する点において画期的な方法である。



図 2 0 . 深層湖水の採取実験

④カウンターパートへの技術移転の状況

現地調査を行う際には、地下水のアルカリ度を測定しており、その分析方法や試薬などについての技術移管を行っている。また、岩石(セメント)–CO₂ 水反応試験では、試料の取り扱いや試験方法についての情報を提供した。

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
該当なし

4.3. 東北大グループ

①研究のねらい

本研究グループでは、カメルーンのニオス湖およびマヌ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している。本年度は、昨年度までの湖水爆発に関する一次元物理モデルを拡張し、水中における CO₂ 流体の二次元の流れに関する数値モデルの構築と解析に取り組む。これによって、湖水爆発に至るまでの湖内における CO₂ 流体の多様な挙動を再現することを目的とする。

②研究実施方法

本研究では、有限要素法数値解析ソフトウェア COMSOL Muliphysics を用いて水中への CO₂ 流入シミュレーションを行った。ニオス湖を再現した容器内の水に、CO₂ 気泡が容器の底から流入し、水へ溶解・拡散していく過程をモデル化した。まず、ニオス湖と同じアスペクト比で小スケールの矩形容器内におけるパラメータ解析に取り組み、さらにニオス湖の詳細な形状や大きさを再現したうえでのシミュレーションにも着手した。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

本グループの全体計画においては、様々な種類・レベルの数値モデルに対する解析に基づいて湖水爆発発生メカニズムや条件を明らかにしていくことを目標としているが、昨年度における CO₂ 気泡ブリームの一次元物理モデルに関する詳細なパラメータ解析、本年度における水中への CO₂ 流入過程の二次元シミュレーションによって、モデルの段階的な高度化に成功し、当初の計画通りに研究が進展している。本年度の具体的な進捗状況は以下のとおりである。

本研究ではまず、単純な矩形容器内の水に CO_2 気泡が容器の底から流入し、水へ溶解・拡散していくシミュレーションを行った。容器の大きさは $1.5\text{m} \times 7\text{m}$ と設定し、ニオス湖とほぼ同じアスペクト比であるが、スケールは約 $1/130$ である。計算負荷が比較的軽いこの小スケールの計算条件でパラメータ解析に取り組んだ。

図21に CO_2 流入後の容器内における CO_2 濃度分布の時間変化の計算例を示している。 CO_2 気泡は浮力によって上昇するが、溶解した CO_2 は水より重いいため容器下部へ広がっていく様子が見られる。この計算では容器内の計算要素数を 88528 に設定して十分に要素の大きさを小さくしており、 CO_2 プリュームの細かい複雑な挙動を再現できている。しかし要素数が少ない場合は CO_2 の溶解パターンが単純化され、プリュームの正確な挙動を再現できていない(図22a)。適切な要素数を評価するために、容器水表面からの CO_2 濃度放出量の積算値の時間変化を調べたところ、要素数約 20000 以上でプリュームの運動をほぼ定量的に捉えられることがわかった(図22b)。以上の解析で明らかになった要素数約 20000 の設定条件のもとで、容器底からの CO_2 流入質量を変化させるパラメータ解析を行ったところ、 $10^{-4} \text{ kg m}^{-3}$ 以下の低流入量において、容器下部への CO_2 の拡大がより支配的になり、水表面からの CO_2 放出量が非常に小さくなることがわかった(図23)。

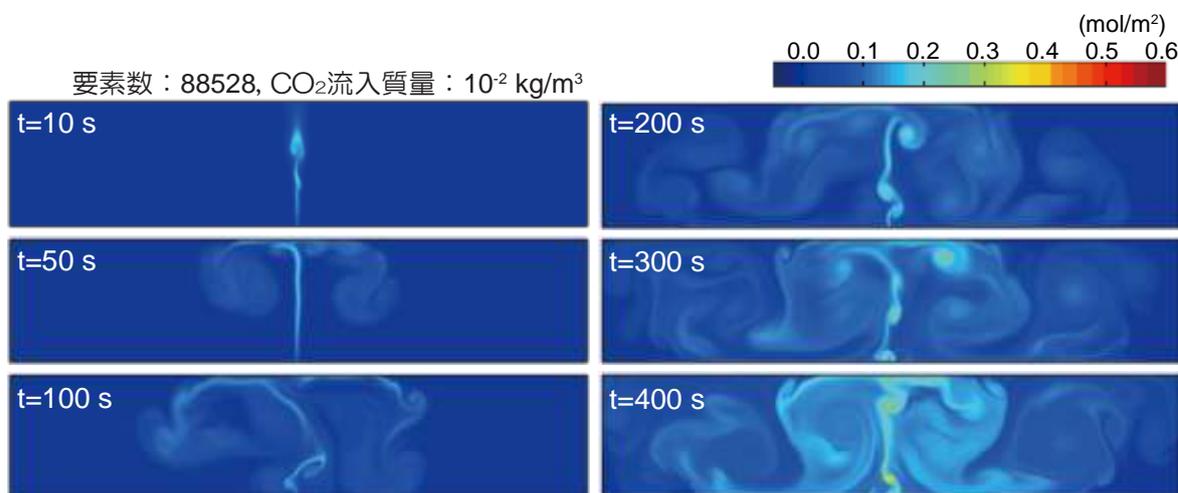


図21. 底部からの CO_2 流入後の容器 ($1.5\text{m} \times 7\text{m}$) 内における CO_2 濃度分布の時間変化

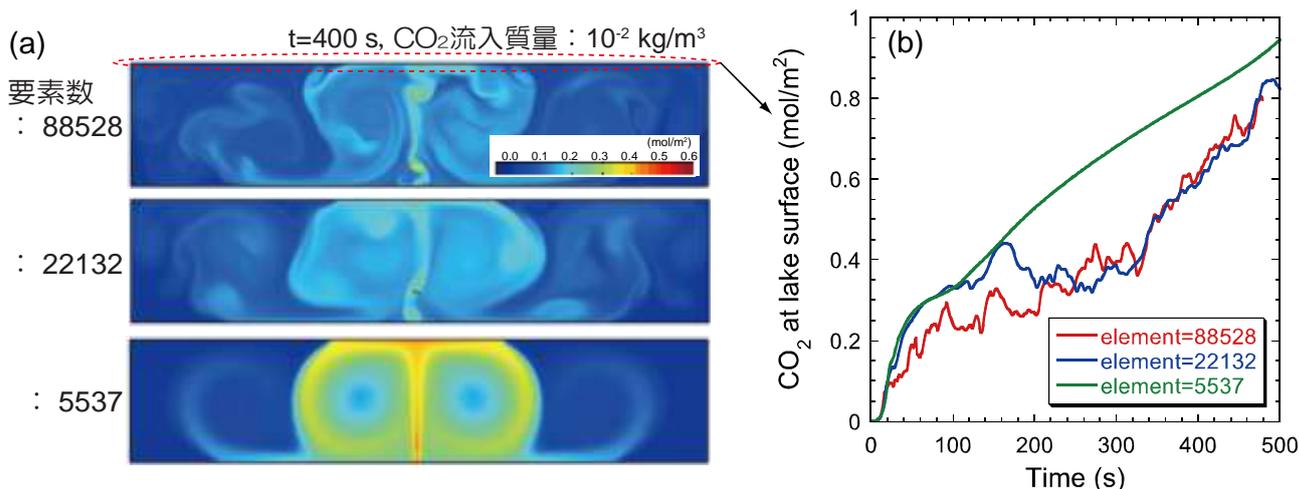


図22. 計算要素数を変化させた場合の容器内 CO_2 濃度分布(a)と、容器水表面からの CO_2 濃度放出量の積算値の時間変化(b)

(a) CO₂流入質量：10⁻⁴ kg/m³, 要素数：22132

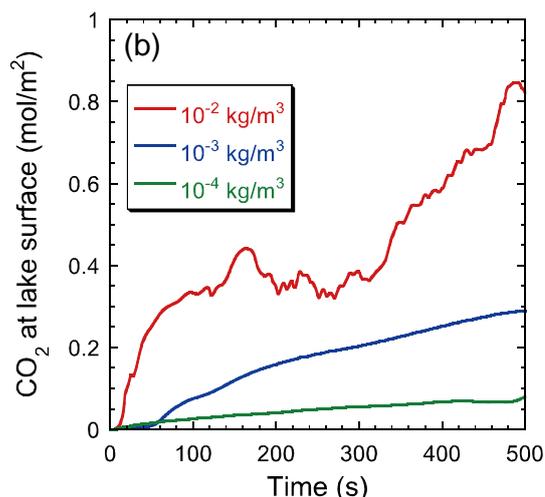
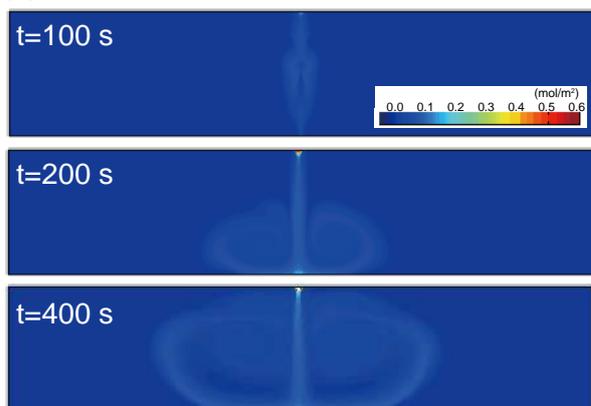


図23. (a)低 CO₂ 流入質量における容器内 CO₂ 濃度分布の変化. (b)容器水表面からの CO₂ 濃度放出量の積算値の時間変化の CO₂ 流入質量依存性.

次に、ニオス湖の形状を正確に再現した場合のシミュレーションに取り組んだ。まず、Kusakabe et al. (2008, *Geochem. J.*, 42, 93-118) に基づき、ニオス湖の東西南北断面形状を実スケールの 1/200 で再現した二次元の容器を設定し、CO₂ 流入シミュレーションを行った。その結果、沿岸部の水深が浅くなっている部分で CO₂ プリュームの挙動がより複雑になることが確認された(図24)。さらに、水深約 210m の実スケールにおけるシミュレーションにも着手した。その結果、CO₂ の拡散過程は湖の下部のみに限定され、湖水面への活発な CO₂ 放出は見られなかった。一方で、CO₂ が活発に湖底へ拡大した後、湖水内に CO₂ の濃度成層構造が形成されていく過程が再現された(図25)。昨年度実施した CO₂ プリュームの一次元物理モデルの解析によると、この湖水内の CO₂ 成層構造が湖水爆発の有無を支配する重要な条件となることがわかっている。従って、と考えられる。図25で示された CO₂ 成層構造形成のシミュレーションは、湖水爆発への準備過程を理解するうえで有用である。

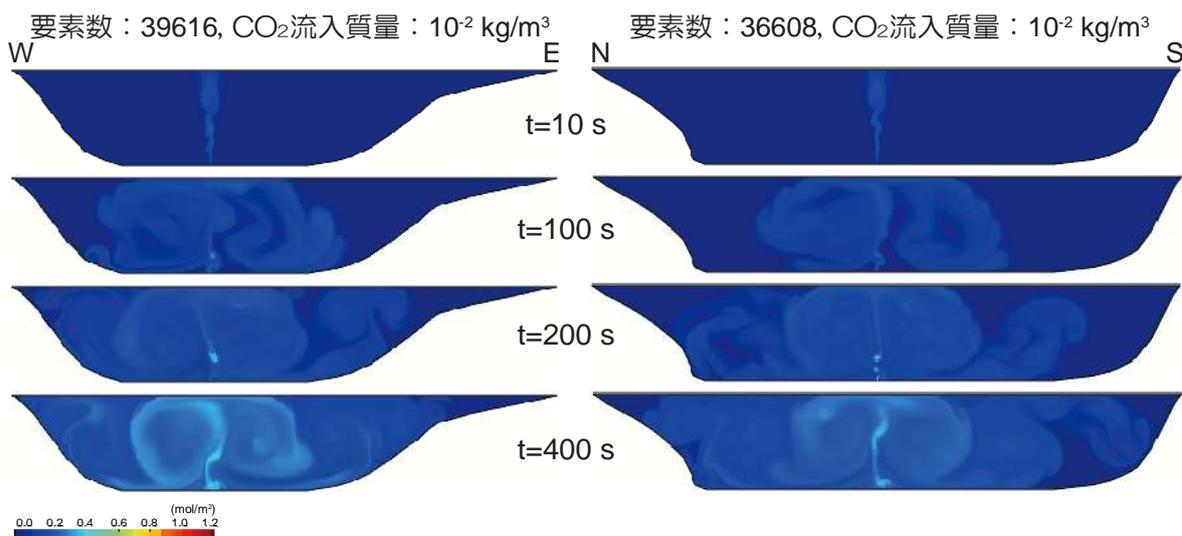


図24. ニオス湖の WE, NS 断面形状(スケール 1/200)を再現した容器内における CO₂ 流入後の CO₂ 濃度分布の時間変化

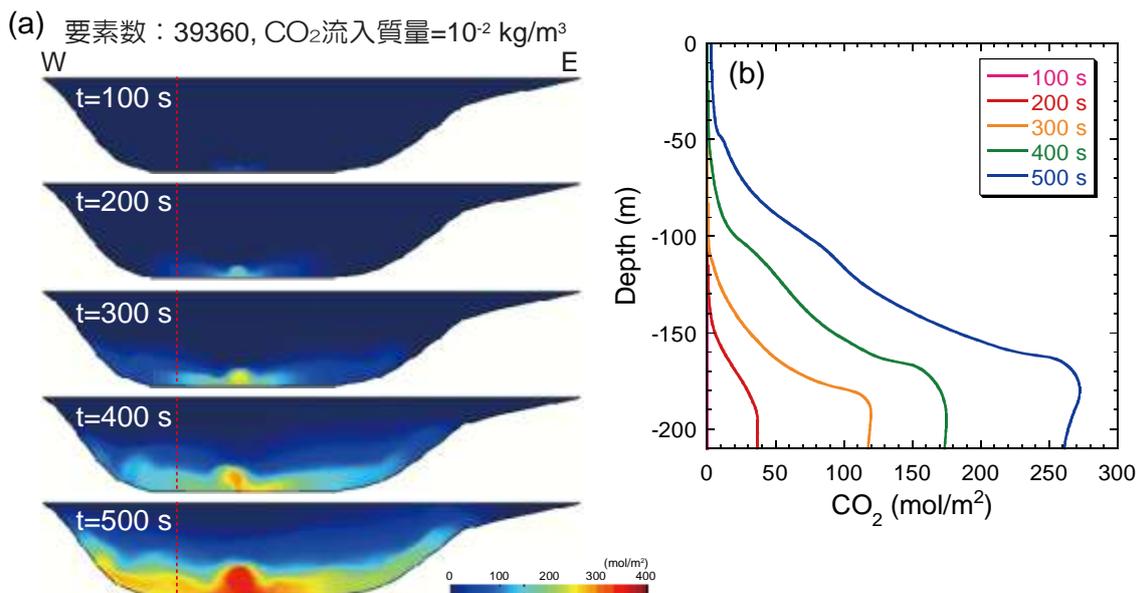


図25. (a)ニオス湖の WE, NS 断面形状と実スケール(約 210m×1200m)を再現した容器内における CO₂ 流入後の CO₂ 濃度分布の時間変化. (b) 図 a 点線上における CO₂ 濃度の時間変化.

④カウンターパートへの技術移転の状況

本グループに関しては、数値計算という研究手法の性質上、カメルーンにおける現地調査等のカウンターパートとの連携は現在のところ行われていないが、本年度実施した二次元数値シミュレーションの結果はデータベース化しており、将来の技術移転後の再解析にも有効利用できる環境を整えている。

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

該当なし

4.4. 大阪大グループ

①研究のねらい

本グループの全期間を通しての目的は、ニオス・マヌ湖の CO₂ 供給源とその拡散経路を解明すること、および、湖水爆発の前兆をモニター可能な自動化を取り入れた観測態勢を整えることである。

②研究の実施方法

具体的には、マルチビームソナーによる湖盆地形測量、ハイドロフォン、温度計、溶存二酸化炭素計による湖水内の三次元的観測を元に CO₂ 供給源を特定し、湖水周辺の濃度測定により CO₂ 拡散経路を把握する。そして、それらの知見をもとに、前兆現象を継続的に調査できる自律航法観測ボートなど現地の環境に適したモニターシステムを開発提供することを計画している。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

23 年度は、観測ボートおよび、湖底地形を測量するためのソナーを購入し、カメルーンでの使用の前に日本の火山湖(池田湖, 鹿児島県)にて科学データを採取する訓練を行った。ボートへのソナーの取り付け方法や、運用方法に関して、現地で使用するボートや、現地の船着き場、湖の浅瀬やロープなどの障害物といった現

地の状況にあわせた事前調整が当初の想定以上に必要であることがわかった。従って、24 年度も国内(本栖湖, 山梨県)にて運用訓練を行い, 運用に習熟するとともに, 現地に合わせたマルチビームソナー取り付け方法の設計に必要な情報を得た。

当初は溶存二酸化炭素測定装置を無人観測ボートから上げ下ろしするモニター方法を考えていたが, 水中音速度の変化をモニターするという方式であれば, 修理がままならない現地でも維持しやすいセンサーができるはずである。23年度はこの測定方法の実用性を検証するためのデータを取得した。ソナーの校正用データを取るための水中音速度測定装置に温度センサーを付加し, 圧力, 温度, 音速度が測定できるものに改良した。二酸化炭素が溶け込むと水中の音速度が早くなるので, 温度や溶存イオンの影響を取り除けば, 二酸化炭素モニターになるというアイデアである。琵琶湖にて音速度センサーの運用訓練を行った後, カメルーンの新オス湖, マヌン湖で水中音速度垂直プロファイルを測定した。図26にニオス湖の測定点, 図27にマヌン湖の測定点を示す。

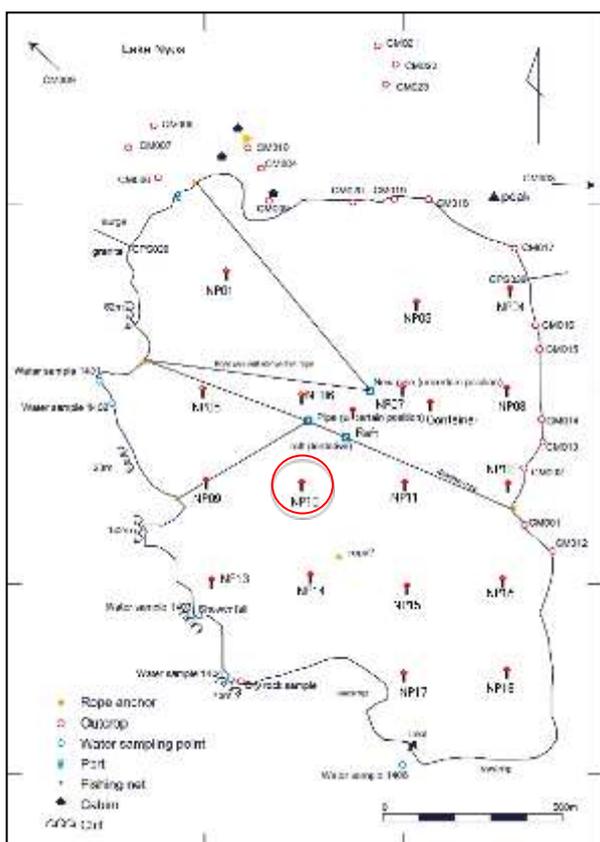


図 2 6 . ニオス湖音速度垂直プロファイル測定点 (赤ピン)

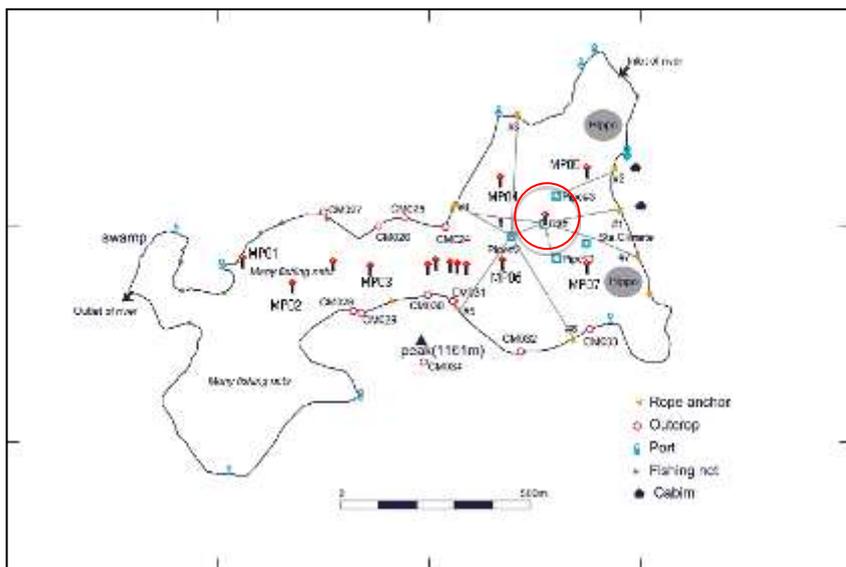


図 27. マヌン湖音速度垂直プロファイル測定点（赤ピン）

22年度に作成した湖外周図にプロット。赤丸の測定点の化学定量データを元に音速法に必要な係数を得た。測定の結果、ニオス湖は、場所による音速度プロファイルの違いはなく、また、日変化もないことがわかった。すなわち、ニオス湖の湖水は大変安定した成層構造をなしていることが示唆された。一方で、マヌン湖は、音速プロファイルが東側の湖と西側の湖で異なることがわかった。このことから、東側の湖はガス抜きパイプによって溶存二酸化炭素濃度が下がっているが、西側の湖では依然として大量の二酸化炭素が溶け込んだままである可能性が高いことが示唆された。一方で、湖面直上の空中二酸化炭素濃度を測定する装置も現地使用を開始し、測定実験を行った。結果、ニオス湖の各所で高濃度の二酸化炭素を観測したが、それらは全て、ガス抜きパイプから発生した二酸化炭素が風下に流れて来ているものであることがわかった。23年度の測定では、バックグラウンドレベルの二酸化炭素濃度を確認することができた。24年度は、音速度から溶存二酸化炭素濃度を定量的に推定するための基礎研究を行うため 10 気圧までの実験が可能な圧力水槽を設計製作し、室内実験システムを完成させた。音速度と溶存二酸化炭素濃度の間の関係として、 $\Delta v = k_1[\text{CO}_2(\text{aq})] + k_2[\text{HCO}_3^-]$ という式を仮定した。 Δv は音速度の純水からの変化分、 k_1 は溶存 CO_2 が音速に与える影響、 k_2 は水中の CO_2 から生成した HCO_3^- イオンが音速に与える影響を現している。 k_1 を圧力容器を用いた室内実験により求めた。また、 k_2 は現地で取得した音速、温度、圧力、電気伝導度データ、およびシリジ法で求められた全 CO_2 含有量データより求めた。その結果、陽イオン組成比が大きく変化しない限り、音速度と電気伝導度、温度から、 $\pm 10 \text{ mmol/kg}$ 以内の精度で溶存 CO_2 濃度が推定できることがわかった。ハードウェア面では、来年度の現地観測の準備として、湖底の画像を撮影する水中カメラを特注して準備した(図28b, c)。また、マルチビームソナーを安全に運用するための事前測深や水中障害物の画像化をする音波探査装置も準備した。これらの装置と音速法による水中二酸化炭素濃度の3次元測定装置などを搭載して総合運用をするためのボートを製作した(図28a)。琵琶湖での運用試験で音波探査装置が正常の動作することが確認された。水中カメラも正常動作したが、照明範囲が撮影視野と整合しておらず、カメルーン調査の前に照明を散乱させる部品を新たに取り付ける予定である。



図28a 近接ボートから遠隔操作可能なボート



図28b 耐圧200 m のカメラ（静止画，動画）

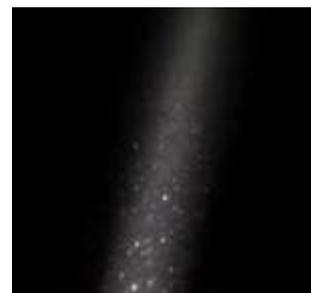


図28c 琵琶湖最深部付近
(深度 80 m) の湖底画像
照明を改善する必要あり

④カウンターパートへの技術移転の状況

日本国内におけるソナーの運用訓練は、23 年度は池田湖においてIRGMスタッフの 2 名も一緒に行った(図 29)。また、23 年度 3 月の現地調査では、ニオス湖とマヌ湖にて、音速測定装置をボートから上げ下ろして水中音速の 3 次元分布を測定する実験、および湖水面直上の空中二酸化炭素濃度を測定する実験を IRGM スタッフと一緒にを行い、測定方法やその意義についての情報を伝えた。24、25 年度の日本国内におけるソナーの運用訓練(山梨県池田湖、図30)では、東海大学に留学しているカメルーン人留学生も一緒に行い、後年のカメルーンでの運用のための人材を育成した。

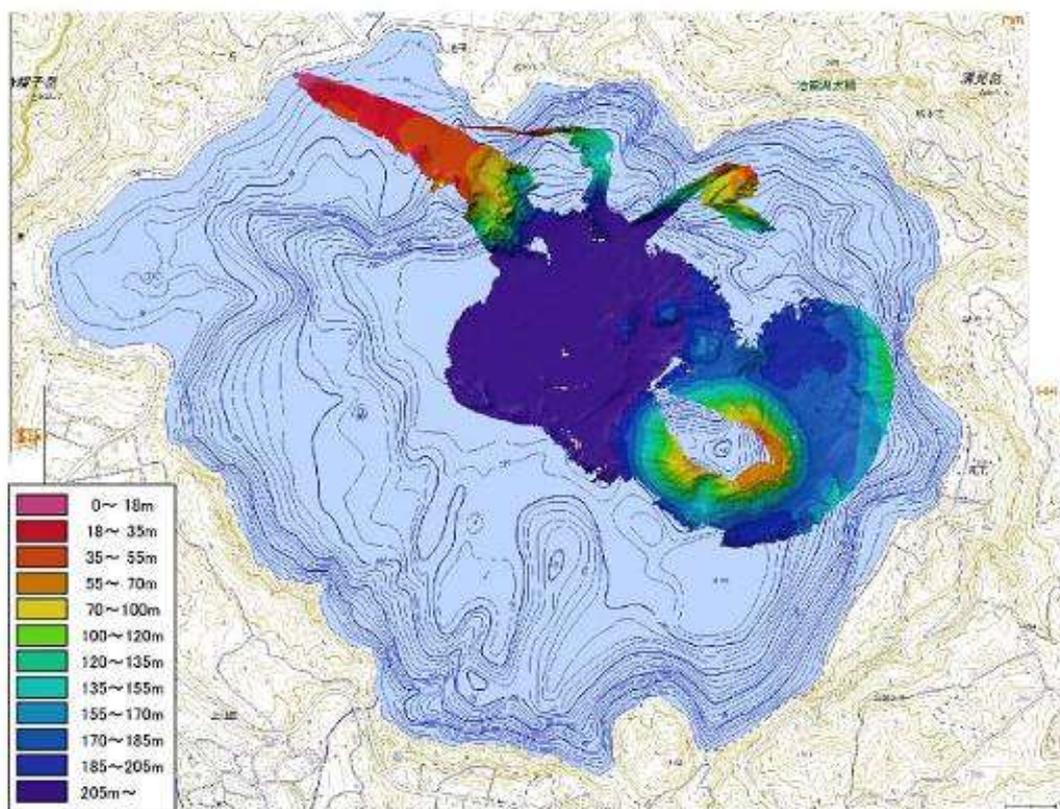


図29. マルチビームソナーにより明らかとなった池田湖の部分的な詳細湖盆地形

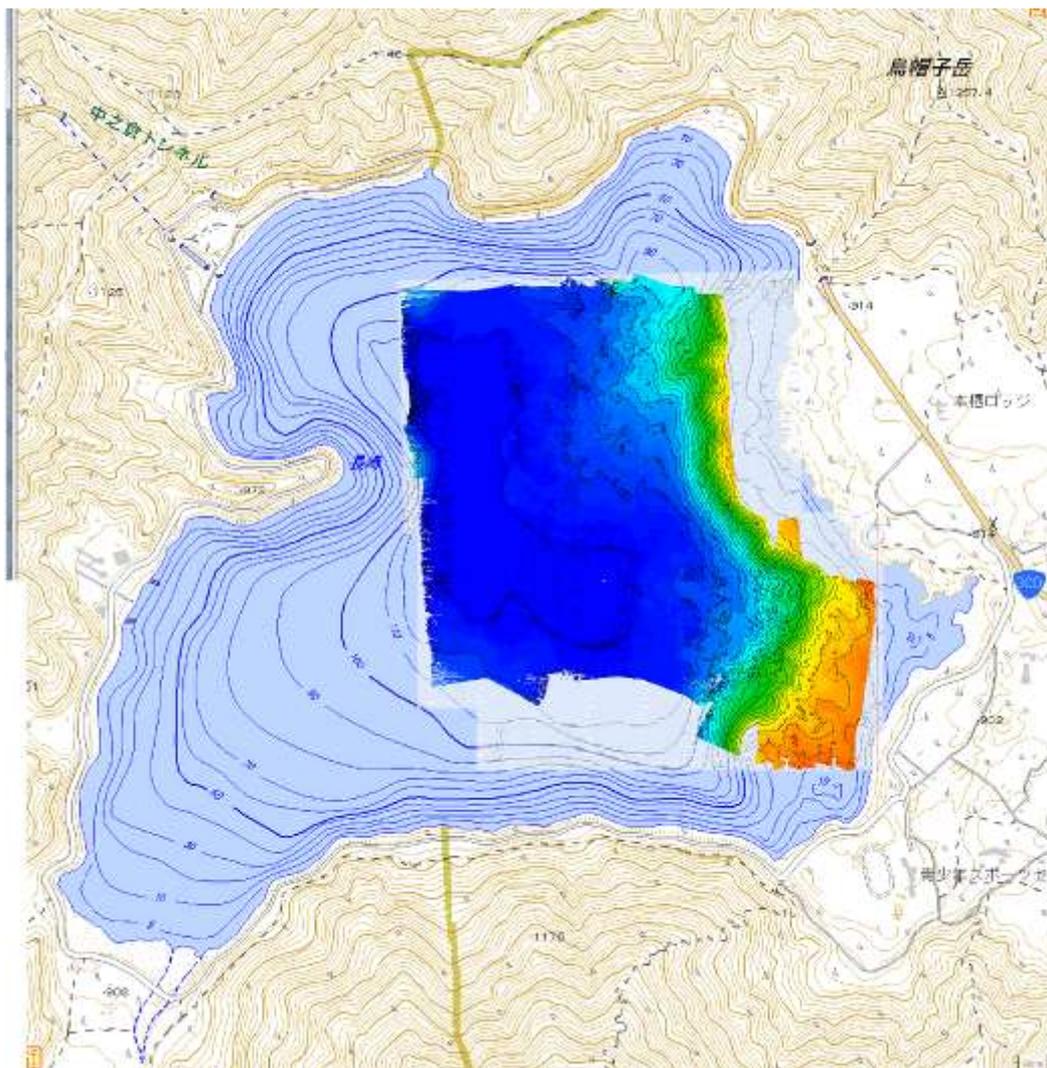


図30. マルチビームソナーにより明らかとなった本栖湖の部分的な詳細湖盆地形

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

ソナーとは、音波の反射を利用して湖底の地形を測量する装置であるが、地形の再現精度をあげるためには音速の垂直分布をあらかじめ調べておく必要がある。もともとその音速分布を調べる装置がソナーシステムには組み込まれていたのであるが、水中音速そのものが溶存二酸化炭素量のモニターに使えるはずであるというアイデアの元、このセンサーに温度センサーを追加して、温度・圧力・音速度を同時に測定できるものに改良し、ニオス湖、マヌン湖で測定を行った。そして、室内実験とあわせて、この測定方法の有効性を確認することができた。音速度の変化を元に溶存二酸化炭素量を測定する方式であれば、構造が簡単で安価なセンサーを開発することができ、センサーを上げ下ろして水深方向の変化を測定するという複雑な運用をしなくても、最初から深度を変えた複数のセンサーを常設することも可能である。今後は、水中音速度を積極的に利用する方式のモニターシステムを構築していく方針である。

4.5. 熊本大グループ

① 研究のねらい

火山ガス災害が発生したニオス湖とマヌン湖など、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

期間全体の研究目的を達成するために、まず平成 23 年度は火山ガス災害が発生したニオス湖およびマヌン湖地域に関する既往の研究成果のレビューやカメルーン側研究者が保有するデータや情報収集を行うとともに、平成 23 年度および以降の年度では、現地において地質学的調査を実施して、同地域の地形地質を明らかにする。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

平成 23 年度

ニオス湖およびマヌン湖地域の噴火活動史解明に向けて、初年度は既往の研究成果などから同地域の地形地質の概要把握に努めたが、火山噴出物層序や噴火年代について多くの課題が残されていることがわかった。

2011 年 1 月と 12 月に主にニオス湖周辺で噴出物の露頭観察、岩石および土壌の採取を行った(図31)。火砕堆積層のなかから ^{14}C 年代測定に利用することが可能な土壌試料を採取した。試料は日本に持ち帰り、 ^{14}C 年代測定を実施した。その結果、ニオス湖を形成した噴火は 1200 年以上前に起きたと推定された。但し、この年代は土壌の炭素含有量が低いために信頼性に乏しく、今後十分な大きさの炭化木片を採取して年代を再測定する必要があるだろう。

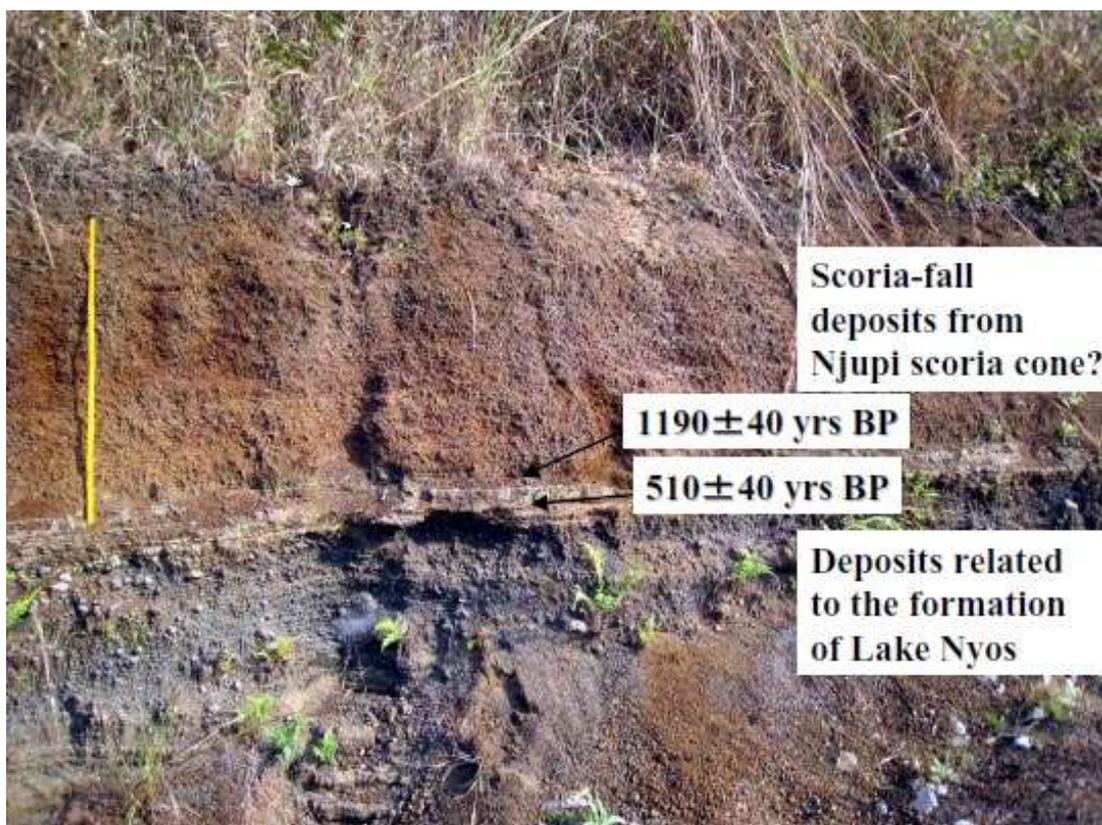


図31. ニオス湖周辺における露頭

平成 24 年度

本年度はカメルーン共和国における現地調査を実施できなかったが、前年度までの調査結果をとりまとめ、ニ

オス湖を形成した噴火堆積物の層序の概要を明らかにした。ニオス湖周辺域には基盤岩である約 6 億年前の花崗岩質岩石が広く分布している。その基盤岩を直接覆って、ニオス湖(マール)形成時に噴出したと考えられる火山砕屑物が堆積していた。この火山砕屑物はよく成層した火砕サージ堆積物を主体とし、湖の東岸や北岸を中心に分布しており、最大層厚は 60 m 程度に達していた。また、北東岸の火砕サージ堆積物直下には降下スコリア堆積物が存在しており、その一部は強溶結していた。さらに我々の調査によって、その降下スコリア堆積物の直下に淘汰の悪い無層理の火砕流堆積物が発見された。この火砕流堆積物はニオス湖北端の天然ダム下流側にも露出しており、基盤岩を覆っていた。



Fig. F2 ニオス湖東岸における火山噴出物層序

④カウンターパートへの技術移転の状況

平成 23 年度の現地調査はカメルーン国立地質調査所 (IRGM) 研究者と協力して行い、調査方法とその意義について情報を伝達した。平成 24 年度は現地調査を行うことができなかったが、電子メールや書面等により IRGM 研究者との情報交換を行った。

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

平成 24 年度は課題担当者の大学用務や健康状況等により、カメルーン共和国での現地調査を行うことができなかった。今後は大学用務に支障がない 8 月などに現地調査を行いたいと考えている。この時期は同国の雨季にあたるが、乾季以外にも調査を実施できる体制を整備されることを希望する。

4.6 東大グループ

① 研究のねらい

ニオス湖ならびにマヌン湖の地下水流動を 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する。

②研究実施方法

- (1) 地形解析：衛星画像や航空写真と現地踏査により地形を把握する
- (2) 地球化学的手法：湧水・井戸水・表流水・湖水を採取し化学成分や同位体比を求める

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

(1) 地球探査衛星のステレオ画像から DEM データを発生させ、GIS ソフトを用いてニオス湖周辺の地形図を作成した(図32)。また、1960年代に撮影された調査地域の航空写真を入手、整理した。

ニオス湖周辺の詳細地形図によるとニオス湖周辺の基盤は北西に傾く構造があり、南東から北西に地下水の流動が暗示される。

平成 24 年度は陸域観測技術衛星 Terra ならびに Spot が提供する空間情報を用いて、地形解析により当該調査地域の地下水の流動系を推定した。平成 25 年度は目的地周辺で湧水・井戸水・表流水・湖水を採取し、化学成分や同位体比から水域をグルーピングし、地形解析の結果と合わせて地下水の流動系を解明する。

また、これに合わせて温室効果ガス観測技術衛星いぶき(GOSAT)の観測データを用いてニオス湖・マヌン湖ならびに周辺地域の二酸化炭素濃度分布を定量化し、放出量・移動量・吸収量の推定を行い、包括的な CO₂ の流動形態を把握する。

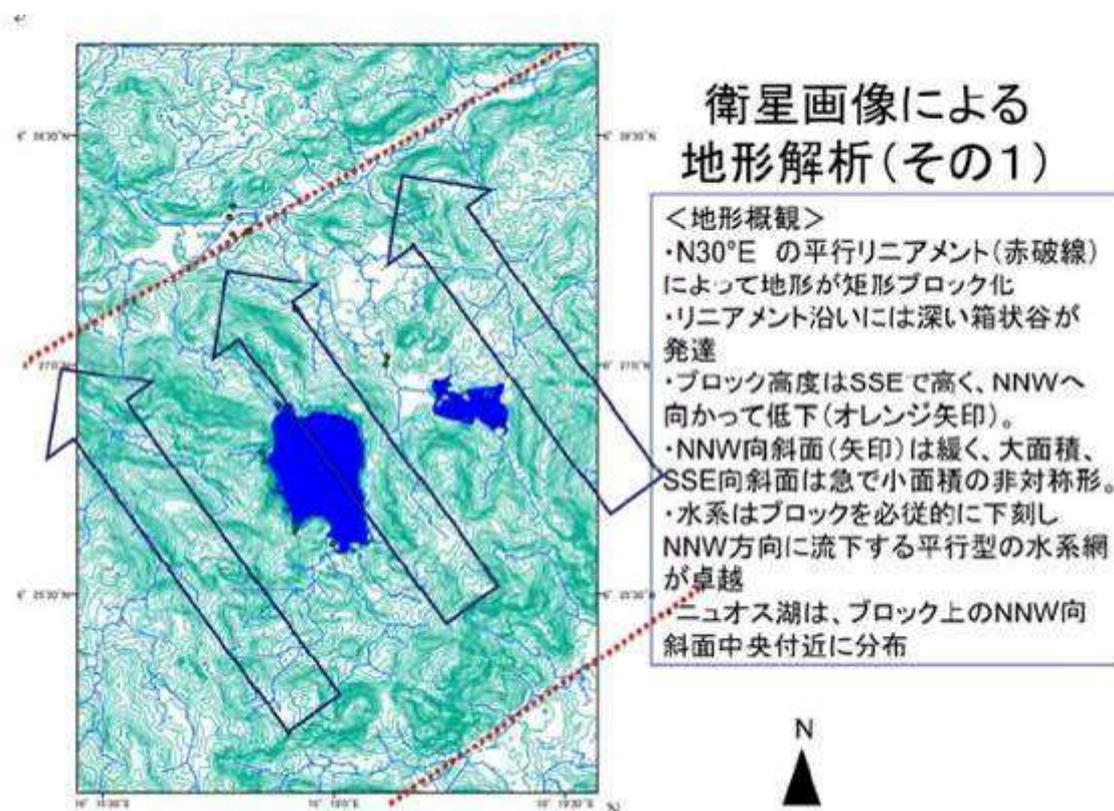


図32. ニオス湖周辺の地形構造

(2) ニオス湖ならびに湖周辺において平成 23 年中に2回の調査を実施した。現地では、湖沼・井戸・河川・湧水の約 60 地点において pH・EC・ORP や重碳酸イオンの現地測定を実施し、計 50 の水試料を採取した。また、これら水試料は日本に持ち帰り、主要成分と重金属類について定量分析を行った。

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)

現地調査はカウンターパートである IRGM の研究員とともに実施し、現地での水質分析法の教育訓練を実施した。また、地化学データの GIS による提示方法についての指導を行った。

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 25 年度から人工衛星(GOSAT)観測で、ニオス湖周辺の大気 CO₂ 濃度を推定する試みを開始した。2011, 2012 年の観測データの解析から CO₂ 濃度は 385~395ppmv であると推定された。今後も観測データの解析を積み重ね、大気 CO₂ 濃度の変動をとらえ、湖水爆発の予測が可能か、検討を重ねる。

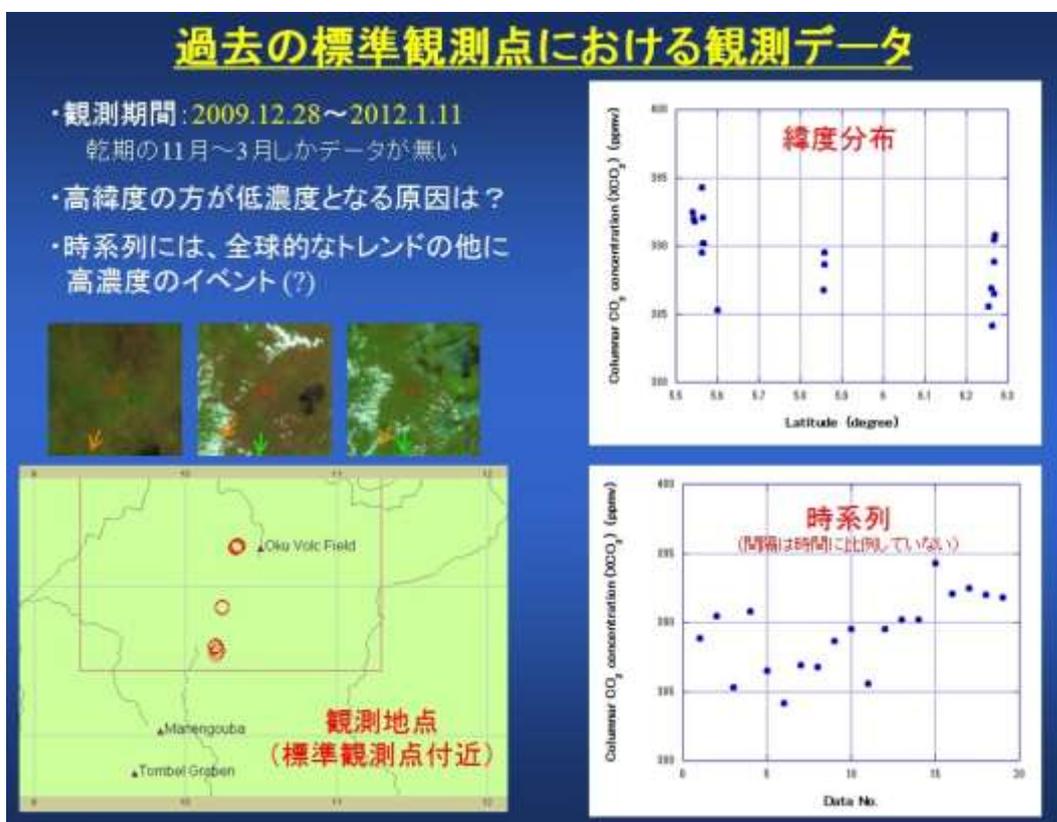


図33. GOSAT で観測したニオス湖周辺の CO₂ 大気濃度の変動

4.7 東工大グループ

① 研究のねらい

Cameroon Volcanic Line 北部, Oku Volcanic Group に産する火山岩の地球化学的研究を通じ、火山岩の成因を解明する。特にニオス湖における CO₂ ガスの供給源となったマグマの進化過程について明らかにすることを目的とする。

② 研究実施方法

Oku Volcanic Group のフィールド調査を行い、火山岩を採取し、それらの岩石学的・鉱物学的記載を行う。その後、XRF(蛍光 X 線分析)を用いて主成分元素を、ICP-MS(誘導結合プラズマ質量分析計)を用いて微量元素を、更に TIMS(表面電離型質量分析計)を用いて放射性起源同位体(Sr・Nd・Pb・Os など)を測定する。

③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

2012 年 11-12 月に Oku Volcanic Group においてフィールド調査を行い、100 点以上の火山岩を採取した。これらの試料について、粉末試料の作成、主成分及び微量元素濃度の測定をすすめている。

④ カウンターパートへの技術移転の状況

2012 年 4 月に Asobo Nkengmatia Elvis Asaah 氏が東工大地球惑星科学専攻の博士課程に入学した。横山研究室に所属し、実験室(クリーンルーム)での化学分析および分析機器(XRF・ICP-MS)の使用法を会得しつつある。

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

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 0 件、国際 11 件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数(国内 3 件、国際 14 件)
- ③ 論文詳細情報

E1 Minoru Kusakabe, Evolution of CO₂ content in Lakes Nyos and Monoun, and sub-lacustrine CO₂-recharge system at Lake Nyos as envisaged from C/3He ratios and noble gas signatures, Volcanic Lake (book) (accepted).

E2 Aka, F.T. and Yokoyama, T. Current status of the debate about the age of Lake Nyos dam (Cameroon) and its bearing on potential flood hazards. *Natural Hazards* **65**, 875-885, 2013

E3 Boris Chako Tchamabé, Dieudonné Youmen, Sébastien Owona, Moussa Nsangou Ngapna, Issa, Asobo N. E. Asaah, Takeshi Ohba, Károly Németh, Festus T. Aka, Gregory Tanyileke, Joseph V. Hell
Eruptive history of the Barombi Mbo Maar, Cameroon Volcanic Line, Central Africa: Constraints from volcanic facies analysis
Central European Journal of Geosciences, 5, 480-496, 2013

J1 遠藤邦彦・小林哲夫(2012)第四紀. 日本地質学会フィールドジオロジー刊行委員会(編)「Field Geology 9」, 共立出版, 231p.

E4 Wilson Y. Fantong, Alain T. Fouépé, Issa, Serges L. B. Djomou, Hycinth S. Banseka, Katsuro Anazawa, Adelana SMA, Jude W. Mendjo, Festus T. Aka, Takeshi Ohba, Joseph V. Hell and George E. Nkeng (2013)

Temporal pollution by nitrate (NO₃), and discharge of springs in shallow crystalline aquifers: Case of Akok Ndoue catchment, Yaounde (Cameroon) *Afr. J. Environ. Sci. Technol.* 7(5), pp. 175–191, DOI: 10.5897/AJEST2013.1421

E5 A. Fouépé Takounjou, D. Kuitcha, W.Y. Fantong, M.G. Ewodo, H. Khan Haris, Issa and Takeshi Ohba Assessing Groundwater Nitrate Pollution in Yaoundé, Cameroon: Modelling Approach (2013). *World Applied Sciences Journal* 23 (3): 333–344; DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.23.03.321

E6 Issa, Ohba Takeshi, Fantong Wilson, Fouepe Alain, Chako Tchamabe Boris, Yoshida Yutaka, Kusakabe Minoru, Sigha Nkamdjou, Tsunogai Urumu, Oginuma Yu, Tanyileke Gregory, Satake Hiroshi and Hell, J., V. (2013) Contribution of Methane to Total Gas Pressure in Deep Waters at lakes Nyos and Monoun (Cameroon, West Africa) *Geochem. J.* 47, 349–362

J2 小林哲夫 (2012) 水蒸気マグマ噴火のデータベース作成上の問題点. *月刊地球*, 34, 299–304.

J3 宮縁育夫 (2012) 噴出物からみた阿蘇火山中岳における最近の微小噴火活動. *月刊地球*, 34, 667–678.

E7 Miyabuchi, Y., Hanada, D., Niimi, H., Kobayashi, T. (2013) Stratigraphy, grain-size and component characteristics of the 2011 Shinmoedake eruption deposits, Kirishima Volcano, Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 258, 31–46.

E8 Wirmvem M. J., Fantong W. Y., Wotany E. R., Ohba T., Ayonghe S. N. (2013). Sources of bacteriological contamination of shallow groundwater and health effects in the Ndop plain, North West Cameroon. *J. Environ. Sci. Water Resour.* 2 (4): 127–132.

E9 Wirmvem, M. J., Ohba, T., Fantong, W. Y., Ayonghe, S. N., Suila, J. Y., Asaah, A. N. E., Tanyileke, G., Hell, J. V. (2013). Hydrochemistry of shallow groundwater and surface water in the Ndop plain, North West Cameroon. *Afr. J. Environ. Sci. Technol.* 7 (6): 518–530.

E10 Wirmvem, M. J., Ohba, T., Fantong, W. Y., Ayonghe, S. N., Suila, J. Y., Asaah, A. N. E., Asai, K., Tanyileke, G., Hell, J. V. (2013). Monthly oxygen-18, deuterium and chloride characteristics of precipitation in the Ndop plain, North West Cameroon: Baseline data. *Quatern. Intern.* DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2013.07.009>.

E11 Wirmvem, M. J., Ohba, T., Fantong, W. Y., Ayonghe, S. N., Hogarh J. N., Suila, J. Y., Asaah, A. N. E., Tanyileke, G., Hell, J. V. (2013). Origin of major ions in monthly rainfall events at the Bamenda Highlands, North West Cameroon. *J. Environ. Sci.* DOI: 10.1016/S1001-0742(13)60502-1.

E12 Wotany E R, Ayonghe A N, Fantong W Y, Wirmvem M J, Ohba T (2013) Hydrogeochemical and anthropogenic influence on the quality of water sources in the Rio del Rey Basin, south western, Cameroon, Gulf of Guinea. *African J Environ. Sci. Tech.*, 7, 1053–1069.

E13 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

E14 K NAGAO, M KUSAKABE, Y YOSHIDA, G TANYILEKE, Noble gases in Lakes Nyos and Monoun, Cameroon, *Geochem J* 44, 519-543 (2010)

<以下は, in preparation, submitted 等の論文

Asobo N.E. Asaah, Tetsuya Yokoyama, Tomohiro Usui, Festus T. Aka, Mengnjo J. Wirmvem, Boris Chako Tchambe, Takeshi Ohba, Gregory Tanyileke, and J.V. Hell

Petrogenetic processes beneath the Cameroon Volcanic Line: Constraints from major-trace elements and isotope systematics of mafic lavas - A comparative review (in preparation)

Issa, Ohba, T, Fantong W. Y., Aka, F. T., Chako Tchamabé, B., , Rouwet, D., Yoshida, Y., Gbetnkom Mouliom A., Sighomnoun D., Sigha Nkamdjou, Kusakabe, M., Tanyileke G., Hell J.V. (2013) Variation and controls on stable environmental isotopes ($\delta^{18}\text{O}$ and δD) in some crater lakes along the Cameroon Volcanic Line (West-Africa): a contribution for volcanic risks assessment and hazard mitigation. Submitted to *Limnology*

K. Saiki, M. Sanemasa, K. Kaneko, T. Ohba, M. Kusakabe, G. Tanyileke, J. V. Hell

Vertical profile of dissolved CO₂ concentration in Cameroonian volcanic lakes estimated from sound velocity of lake water, in preparation.

M. Sanemasa, K. Saiki, K. Kaneko, T. Ohba, M. Kusakabe, G. Tanyileke, J. V. Hell

A new method for the estimation of dissolved CO₂ concentration of volcanic lakes using the sound velocity of lake water, in preparation.

Tchakam, K. Brice, Fantong, W. Yetoh, Anazawa, Katsuro, Ueda, Akira, Kusakabe, Minoru, Ohba, Takeshi , Tanyileke, Greg and Hell, J.Victor

Hydrogeochemistry and groundwater quality in Lake Nyos area 30 years after the CO₂ gas burst, Cameroon, (in preparation)

Tiodjio Edwige Rosine, Nakamura, Shogo, Ueda, Akira, Kusakabe, Minoru, Ohba, Takeshi , Tanyileke, Greg and Hell, J.Victor

Biological and chemical analysis of the Lakes Nyos and Monoun watershed (Cameroon), (in preparation)

Ueda, Akira, Ozawa, Akiko, Yoshida, Yutaka, Kusakabe, Minoru, Ohba, Takeshi , Tanyileke, Greg and Hell, J.Victor

A new geochemical sampler for CO₂ analyses of lake water and for monitoring of siderite precipitation in Lake Nyos, (in preparation)

Kozono, T., Ohba, T., Kusakabe, M., Yoshida, Y., and Suzuki, Y.J., Conditions for limnic eruption of Lake

Nyos, Cameroon: Numerical analysis of 1-D plume model, in preparation

Wirmvem, M. J., Ohba, T., Fantong, W. Y., Ayonghe, S. N., Suila, J. Y., Asaah, A. N. E., Asai, K., Tanyileke, G., Hell, J. V. Origin, recharge mechanism and residence time of shallow groundwater in the Ndog plain, Northwest Cameroon. Appl. Geochem. (in the process of revision after submission).

(2) 特許出願

- ① 本年度特許出願内訳(国内 0 件、国際 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、国際 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(H25年11月まで)、東北大学・助教(H25年11月から))

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。

(7)「火山列成因」グループ(研究題目: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)

①研究者グループリーダー名: 横山哲也(東京工業大学・准教授)

②研究項目

ギニア湾から北東に連なるカメルーン火山列は、海洋地殻から大陸地殻まで連続してブルームタイプの玄武岩を産する極めて特殊な火山群である。本研究ではCO₂ガスにより多数の死者を出したニオス湖が属する Oku Volcanic Groupの岩石学的成因について、火山岩の主成分・微量元素組成および放射性同位体分析に基づいて研究を行う。最終的にはニオス湖の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が目的である。