

国際科学技術共同研究推進事業  
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

研究領域「                    防災                    」

研究課題名「カメルーン火口湖ガス災害防止の総合対策と人材育成」

採択年度：平成 22 年度/研究期間：5 年/相手国名：カメルーン共  
和国

## 終 了 報 告 書

### 国際共同研究期間\*1

平成 23 年 4 月 1 日から平成 28 年 3 月 31 日まで

### JST 側研究期間\*2

平成 22 年 6 月 1 日から平成 28 年 3 月 31 日まで

(正式契約移行日 平成 23 年 4 月 1 日)

\*1 R/D に記載の協力期間 (JICA ナレッジサイト等参照)

\*2 開始日=暫定契約開始日, 終了日=R/D に記載の協力期間終了日又は当該年度末

研究代表者：大場 武

東海大学・教授



9. IRGMとDPCの連携 ・観測データの共有 ・防災のための提言		←				
--	--	---	--	--	--	---

## (2) 中間評価での指摘事項への対応

中間評価では以下の各点について改善の指摘を受け、それぞれ対応を行った。

### 課題—1. 研究代表者のリーダーシップが発揮されず社会実装に遅れが懸念される

#### 対応—1.

JST 研究主幹は日本人研究者との会議（2013年12月20日）において、カメルーンにおける長年の経験を有する日下部が対カメルーン折衝および社会実装の側面においてプロジェクトの代表を務めるように提案した。研究代表者の大場はこの提案を受け入れ、日下部も同意した。この提案を実行するために、日下部は以下の3回、IRGM（IRGMはフランス語表記の Institut de Recherches Géologique et Minières の略記である）研究者・技術者に対する指導を目的として出張した。IRGMは本プロジェクトのカウンターパートである。

#### 出張① 2014/6/1～6/28

本プロジェクトの社会実装はIRGMが主体になって行う必要がある。日下部はIRGM内のコミュニケーション不足がさまざまな問題解決の障害になっていると判断し、IRGM内部で定期的に研究会（セミナー）を開催してコミュニケーションの増進を図ることを提案した。出張期間中に2回の所内セミナーが開催され、日下部はプロジェクトの目的を改めて解説してIRGMメンバーに本プロジェクトの理解を深めるようにした。それ以外に、IRGMの主だった研究者がプロジェクトの研究成果を発表した。また、日下部はIRGMの機構改革の提案を行った。提案にはLEMoC（Limnic Eruption Monitoring Committee, 湖水爆発モニタリング委員会）の設置が含まれる。DPC（市民保護局）職員もLEMoCの構成員として含まれる。LEMoCは社会実装の要として機能することが期待されており、IRGMがニオス・マヌン湖についての科学的情報を提供し、DPCがそれに基づいて必要な危機管理を共同して進めることを目的としている。本プロジェクトを通じてIRGMに提供された物品（消耗品や薬品など）が整理・整頓して保管されるよう、保管棚の設置や記録ノートの整備を行った。また所内における研究者と技術者間のコミュニケーションを盛んにするために、“100 franc カフェ”（100円カフェのようなもの）と称して、コルビソン研究所の一室にコーヒープレーク用の場を創った。代金100 CFAは各自が持ち寄ることにした。

#### 出張② 2015/8/9～8/17

日下部はLEMoCの進展状況と、最終評価に向けた課題がどれだけ進展しているか調べ、適切な指示を与えるために出張した。また、地域住民に対する啓蒙活動は効果的な社会実装である。これを実施するための計画をIRGM研究者と協議した。この住民説明会（ワークショップ：WS）はIRGMとDPC（市民保護局）が共催し、ニオス湖に近接するウム市とマヌン湖に近接するクタバ市で実施するため準備を開始した。

#### 出張③ 2016/1/31～2/15

### ニオス湖およびマヌン湖周辺地域でのワークショップ

#### 1. 背景

2013年11月に行われた本プロジェクトについてのJICA中間評価では、その成果を社会

実装に結びつけるための具体的な取り組みが不十分であることが指摘されていた。この指摘に具体的に答えるべく、2016年2月4～8日にニオス湖近傍のZhoaとマヌン湖近傍のKouoptamoでワークショップと称する「住民説明会」が開催された。このワークショップの開催に先立ち、2015年6月22日～8月1日に神戸で行われたJICAの課題別研修「コミュニティ防災(A)」にIRGMからAka Festus氏が、DPCからCelestin Kengne氏が派遣され、研修の成果としてアクションプランが作成された。このプランは多岐にわたるが、今回はニオス湖・マヌン湖周辺地域におけるワークショップがIRGM・DPCと本プロジェクトの共同企画として実行された。DPCの参加を得たことは今後の防災対策を進める上で画期的で、かつ有意義なものであった。

## 2. 概要

ワークショップ題名 (Workshop with Local Community Leaders, 4 and 8 February 2016) :  
Nyos and Monoun Community Enhancement for Disaster Risk Awareness

主催機関／協力機関

主催：MINATD (Ministry of Territorial Administration, 地域行政・地方分権省) /DPC,  
協力機関：IRMG および本プロジェクト (JICA/JST)

開催日時／場所：

Zhoa (ニオス湖) 2016年2月4日 9～17時, Zhoa市役所会議室

Kouoptamo (マヌン湖) 2016年2月8日 9～16時半, Kouoptamo市役所会議室

参加者数：

Zhoa (ニオス湖) 137名

Kouoptamo (マヌン湖) 145名

ワークショップの目的

ニオス・マヌン湖周辺の住民(避難住民を含める)の中から、各種組合役員や村長などオピニオンリーダーを対象に、ニオス湖とマヌン湖のガス災害の実態、防災知識、緊急時の対策などを啓蒙することを主な目的とした。参加者は、上記招待者に加え、Zhoaでは噂を聞きつけてやって来た住民(多くが農民)が飛び入り参加した。Kouoptamoでは、中高校生(10～18歳)10名ほどが参加した。その後、参加者を5グループに分け、それぞれの地域で起こりうる災害のタイプを認識することを具体的な目的として、災害に対して彼らが持つ意識についてグループセッションで討論を行った。

DPCによる防災・災害対策の内容を伝える。

本プロジェクトで得られた成果、ならびに湖水爆発に関する情報を参加者に伝える。

ニオス・マヌン湖で発生した湖水爆発において行政が行った対策内容を説明する。

ニオス湖の避難民に対して行われる物資支援の内容を伝える。

ワークショップ以外のアクションプランに関する協議を行う。

## 3. 期待される成果

参加者が災害・防災の知識を深める。

行政による防災・災害対策の中身が普及する。

湖水爆発発生メカニズムが参加者に理解される。

ニオス・マヌン湖で発生した湖水爆発において行政が行った対策内容を伝える。

MINATDによる、ニオス湖の避難民への物資支援(食料・燃料など)が行われる。

防災に関するアクションプランがワークショップ内で作成される。

#### 4. ワークショップの内容

##### プレゼンテーション

午前中は DPC・IRGM・SATREPS NyMo プロジェクト側から以下のプレゼンテーションが行われた。午後は参加者を5つのグループに分け、グループディスカッションが行われた。Zhoaでのプレゼンテーションの題名と概要は；

##### 1. Disaster management framework in Cameroon (Mr. Kengne Celestin - DPC)

(ア)危機管理は予防・事後対応からなり、それらは別個に考えるべき。

(イ)カメルーンでの災害リスクには、DPC、国および地方行政機関、国際機関、NGO 等のパートナーと協力して対策を検討していくことが重要。

(ウ)危機管理対策の実行には、人々の危機に対する意識・認識の向上や、対応組織の体制を強化する必要がある。

##### 2. Explanation of Leaflet distributed to the participants (Dr. Aka Festus - IRGM)

(ア)ニオス湖湖水爆発で、①何が起きたのか？②対策は？③モニタリング指標は？などにつき、現地語（ピジン英語）で説明があった。

(イ)災害発生に伴う異常現象（魚の大量死や小動物が穴から出てくるなど）に気が付いたら DPC に連絡をすること。またガスの噴出があった場合は、高い場所に登り、避難できた時点で関係者に無事を知らせよ。ラジオ等で情報収集する。

##### 3. What is SATREPS NyMo (本プロジェクトの愛称) (Dr. Fantong Wilson - IRGM)

(ア)SATREPS-NyMo とは JICA と JST による日本-カメルーン間の科学技術協力であり、事業内容につき説明があった。

(イ)日本側は総額 1,380 百万 FCFA、カメルーン側 (IRGM) は 850 百万 FCFA を投入。

##### 4. Lake Nyos - Past, Present, Future (Prof. Kusakabe Minoru - Toyama Univ.)

(ア)ニオス湖の湖水爆発の本質的な原因はマグマ起源 CO<sub>2</sub> の蓄積であった。

(イ)現在、ガス抜きが進行中であり、近未来に湖水爆発の危険性は低い。

##### 5. Lake Nyos dam (Dr. Tanyileke Gregory - IRGM)

(ア)ニオス湖の湖水爆発の真の原因を理解してほしい。情報の信ぴょう性については十分留意してもらいたい。

(イ)ニオス湖北端のダム の崩壊防止に向けた工事が進められている。湖水の誘導路は完成。今後第2フェーズ工事でさらにダムの強化が図られる予定。

##### 6. Overview of the National Program for Security and Rehabilitation of People near Lake Nyos (Mr. Kengne Celestin - DPC)

(ア)DPC では今まで Daily monitoring coordinating Unit の設立、避難民への人道支援、危機対応の各種委員会の設立、啓発活動、被災地域の緊急援助計画策定 (2010 年頃) などの安全管理に係る取り組みを進めてきた。

(イ)日本、UNDP、EU の資金により、ガス抜き工事や避難民の社会復帰に係るプロジェクト (ダム強化やアクセス道路整備など) を行ってきた。

(ウ)今後は DPC やコミュニティの組織構造を強化する予定である。開発パートナーと協働、資金を有効活用し、コミュニティの安全確保に尽力したい。

##### 7. Introduction of Group discussion (Dr. Aka Festus - IRGM)

Group discussion の目的と進め方について説明があった。

Zhoa 集会では MINATD によるニオス湖復興プログラムの詳細が説明された。Kouoptamo 集会でのプレゼンテーションは、上と類似ではあったものの、マヌン湖向けに一部変更した。Kouoptamo では、2014 年 5 月に破壊された気象観測装置の重要性を説き、維持について住民の協力を訴えた。

プレゼンテーションの後、住民側から積極的な反応があり、主な質問は以下の通り。

Zhoa

- Q ニオス湖以外の湖の危険性は調査したのか？
- Q 災害前に住んでいた土地が、第三者によって勝手に売却されないか心配だ。
- Q 湖水爆発の際、どのくらいの間、高台にて待機すればいいのか？
- Q 物資援助はニオス湖周辺に限られているようだが、他の被災地域はどうなるのか？

Kouoptamo

- Q どの道を通って高台に行けばいいのかわからない。避難マップを作って欲しい。
- Q ガス抜きで解放されたガスは危険ではないのか？
- Q マヌン湖以外の湖の調査は行われたか？
- Q 魚や動物や人は CO<sub>2</sub> ガスで死んでいるが、植物はなぜ被害にあわなかったのか？
- Q 観測機材が壊された原因は、DPC が予め住民に機材の重要性を伝えていなかったからではないか？
- Q マグマとは何か？
- Q ガス抜きされたガスの中には、CO<sub>2</sub> 以外のガスも混ざっているのか？
- Q 災害が発生した時に即時に対応してもらいたいので、DPC の支部を設けて欲しい。
- Q 最近他の湖で魚が死ぬ現象が起きているが、ガスと関係はないのか？

グループディスカッション

ディスカッションを行うにあたり、参加者を約 25 名ずつのグループに分けた。DPC と IGRM のメンバーが進行係として各グループに配属され、また住民側から書記と発表者が選ばれた。セッションでは、「地域で最も脅威とされる災害」、「それによる被害」、「行うべき対策」、「対策を講じる上で起こりうる障害」に関してディスカッションが行われた。

5. フォローアップミーティング

開催日時/場所： 2016 年 2 月 5 日 10~12 時、 Wum 県庁会議室

Wum 県庁会議室でワークショップについて報告し、今後の活動に関して協議が行われた。出席者は知事代理の第一次官、教育省 Wum 県支部担当職員、通信省北西部州担当職員、日下部教授、Tanyileke 氏 (IRGM) など。まず Kengne 氏 (DPC) からワークショップの報告、ついで Aka 氏 (IRGM) から今後の活動に関するアクションプランの説明があった。参加者から以下のような意見が出た。

生徒に情報を伝えるには、まず各学校の教員（代表）に研修を行って欲しい。その教師たちが他の教員に啓蒙すれば、末端まで広げていくことができ、効果的である。（教育省 Wum 県支部担当職員）

2011 年に赤十字社により湖水爆発に関するワークショップが開催されたが、継続した活動にはつながらなかった。今回のワークショップは大変有効であり、これからも開催してほしい。（赤十字社役員）

5 年間で行われてきた研究の成果を社会実装につなげられるよう、プロジェクト終了後もアクションプランの実施を継続してほしい。（日下部）

MINATD には鉱物・地質課があって、災害防止に向けた調査を行っている。しかし、これまで SATREPS NyMo との連携は行われてこなかった。行政間での連携がなく、バラバラな活動

を行っているのは大変残念な話であり、ぜひ改善してほしい。(MINATD 鉱物・地質課役員)  
コミュニティーラジオの設置は、この地方では一番有効な情報伝達システムである。是非とも実現させてほしい。(通信省北西部州担当職員)

マヌン湖でのワークショップの翌日、同様なフォローアップミーティングが予定されていたが、2月11日のナショナルユースデー直前で関係者の都合がつかず、前日にキャンセルとなった。

## 6 成果

Aka・Kengne 両氏によるチームワークの結果、IRGM と DPC の連携は大幅に改善された。二人は、アクションプランを継続して行うための予算確保の為、正式なプロジェクトを立ち上げる計画を練り始めている。

啓発を目的として、湖水爆発のメカニズムと防災マニュアルを盛り込んだノートタイプのリーフレットが作成され、参加者に配布された。イラスト入りでわかりやすいと好評を得た。残った6,500冊分のノートは、Aka・Kengne 両氏と相談し、今後のアクションプランで活用してもらうことになっている。

Kouoptamo では、2月11日のナショナルユースデーの一環として中・高生が招待された。皆、大変熱心に受講し、配布されたノートにメモを取っていた。湖水爆発を知らない世代に防災の重要性を伝えることができた。

グループセッションを通じ、住民の多くが湖水爆発を災害の脅威と考えていないことがわかった。災害発生後30余年を経過し、湖水爆発の恐怖と経験は着実に“風化”しつつあることが分かった。DPC・IRGM は今後湖水爆発の防災に限らず、広い視野で防災啓蒙活動を行う必要性を認識した。

ワークショップ実施するにあたり、2015年9月末に準備のための現地出張をし、現地の行政機関や省庁関係者に事前に連絡が取れていたため、関係者が大変協力的で両開催地ともに運営がスムーズに進んだ。準備出張は非常に有効であった。また DPC には地方でのワークショップの実績が多数あり、短い準備期間にも関わらず完成度の高いワークショップが実現できた。

Zhoa のワークショップに在カメルーン日本大使、JICA カメルーン事務所所長の出席を得た。これは画期的なことで、大使館ならびに JICA カメルーン事務所が SATREPS-NyMo の取り組みの一つであるワークショップを高く評価しているものと理解された。Zhoa では、JICA カメルーン事務所の手配したプレス関係者による取材が行われた。日本大使および JICA カメルーン事務所所長が出席したため、彼らは強い関心を示した。以下は広報された新聞記事およびテレビ放送である。

カメルーントリビューン (全国紙)

2月4日(木) "Degassing of Lakes Nyos, Monoun: Cameroonians to Take Over Monitoring Next April" (英語)

2月8日(月) "Cameroon-Japan Cooperation: Ambassador Okamura Meets North West Governor" (英語)

Canal2 (全国放送チャンネル)

2月5日(金) ニュース 19:50 (英・仏語)

2月8日(月) ニュース 19:50 (英・仏語)

CRTV (全国放送チャンネル)

2月6日(土) ニュース 19:30 (英語)

2月7日(日) ニュース 19:30 (仏語)

2月7日(日) ニュース 20:30 (英語)

2月8日(月) ニュース 12:00 (英語)



岡本大使によるスピーチ (Zhoa)



日下部によるプレゼン風景. (Zhoa)

課題一 2. 供与した調査分析機器等の習熟のための研修がやや不十分

対応一 2.

当プロジェクトで IRGM に供与した主な調査分析機材として、マルチビームソナー、同位体比分析計、イオンクロマトグラフ、原子吸光分析器が挙げられる。この内、同位体比分析計、イオンクロマトグラフについては供与後から問題なく順調に運用されている。

マルチビームソナーは複雑な機器であり習熟に時間がかかるが、日本における IRGM 職員の数回にわたる研修と、2014 年 11 月におけるマヌン湖での現地運用を経て、IRGM の職員が自ら運用できる技術を習得した（マヌン湖ではフランス人技術者のサポートがあった）。その結果、2015 年 3 月のニオス湖における調査では、プロジェクトメンバーだけでニオス湖の湖盆地形図を取得することに成功した。2015 年 11 月に行われた JICA による終了時評価の調査において、IRGM 所員から、マルチビームソナーで取得したデータの処理に関し、研修を受けたいとの申し出があった。これに対応すべく、マルチビームソナーに詳しい東海大臨時職員の荻沼が 2016 年 2 月 13 日から 3 月 2 日にかけてヤウンデに出張し、IRGM 所員に対し研修を実施した。IRGM 所員は研修が有用であったと評価した。

2013 年 12 月に供与された原子吸光分析器は設置の際、メーカーのエンジニアが使用法の研修を行ったが、期間が短く研修が不十分であった。IRGM の技術者が習熟に困難を抱えていることが判明したので、2014 年 10 月 19 日～11 月 16 日に東海大特定研究員の大木を専門家として派遣した。この出張で大木は IRGM の技術者に原子吸光分析器の使用法を集中的

に指導した。さらに、東海大に留学生として滞在していた IRGM 職員の Issa を帰国前に日本国内のメーカーに派遣し、原子吸光分析器の取り扱いに習熟させた。これらの結果、原子吸光分析器は順調に運用されるようになった。

課題—3. 博士課程留学生 6 名が修了後にニオス・マヌン湖の防災に直接的関与がどの程度確保できるか不明

対応—3.

留学生 6 名全員がニオス・マヌン湖の防災に貢献したいと考えている。それを可能とする措置として He11 IRGM 所長は、2015 年 3 月に開催された JCC で、帰国した留学生を IRGM で雇用する意向を表明した。これはかねてより日本側が期待していた措置であった。カメルーン政府は今後とも国立研究機関で研究者を雇い入れる計画を立てている。留学生のうち 2 人は、学位取得後、国外でポスドクとしてさらなる研究を重ねている。このことは直接的関与とは言えないものの、帰国後はカメルーン国内で活躍する可能性は高く、カメルーン政府がニオス・マヌン湖の防災を重要視していることと相俟って、国外留学生もカメルーンにおける防災研究に寄与すると期待される。

(3)プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

以下の点について PDM の変更を提案し、2015 年 3 月の JCC において承認された。

Activity 2-2

変更前: The CO<sub>2</sub> flux from soil and the surface of Lakes Nyos and Monoun

変更後: The CO<sub>2</sub> flux from soil and the surface of Lakes Nyos, Lake Monoun, and Manenguba volcano

Indicator 2-2

変更前:

- A) CO<sub>2</sub> flux map on the surface of Lake Nyos
- B) CO<sub>2</sub> flux map on the surface of Lake Monoun
- C) CO<sub>2</sub> flux map around the Lake Nyos
- D) CO<sub>2</sub> flux map around the Lake Monoun

変更後:

- A) CO<sub>2</sub> flux map on the surface of Lake Nyos
- B) CO<sub>2</sub> flux map on the surface of Lake Monoun
- C) CO<sub>2</sub> flux map of ground surface within the caldera of Manenguba volcano

変更の理由: Manenguba は二つの火口湖を有する活火山であり、防災の観点から監視が必要である。当初の計画では地表からの CO<sub>2</sub> 放出量の観測は予定されていなかったが Issa の博士論文研究の一部として実施した。一方でニオス・マヌン湖の周辺で実施した予察的調査で地表からの CO<sub>2</sub> は検出限界以下であることが判明したので、地表における調査は省略した。

Activity 7-2

変更前: Geological maps of the Nyos and Monoun areas are produced.

変更後: Eruptive history of Nyos volcano is understood

Indicator 7-2

変更前：

- (A) 1/25000 scale geological map of Lake Nyos area
- (B) Explanatory note for the 1/25000 scale geological map of Lake Nyos area
- (C) 1/25000 scale Geological map around Lake Monoun area
- (D) Explanatory note for the 1/25000 scale geological map of Lake Monoun area

変更後：Column diagram of the stratigraphic cross section around Nyos volcano

変更の理由：当初、ニオス・マヌン湖の周辺をカバーする地質図の作成を目標の一つとして盛り込んでいたが、達成の見込みが立たず、達成指標を地質柱状図に変更した。この理由の一つは、IRGMに対する政府のカウンターパートファンドが2012、2013年の2年に渡り凍結されたことが挙げられる。この凍結でIRGMは自主的な野外調査がほとんど不可能になった。

## 2. プロジェクト成果目標の達成状況とインパクト (公開)

### (1) プロジェクト全体

1980年代の半ばにカメルーンのニオスとマヌン湖でCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>の深層水への過剰な蓄積である、しかし、湖水爆発に至る引き金やメカニズムの詳細については諸説がある。本プロジェクトでは、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IRGMの持続的な研究体制を確立させる。

ニオス・マヌン湖の定期観測の結果、ニオス湖ではガス抜きにより順調にCO<sub>2</sub>蓄積量が低下していることが確認された。一方で、マヌン湖ではほとんどのガスが除去されたものの、近年、わずかながらCO<sub>2</sub>蓄積量が増加に転じていることが確認された。マヌン湖では太陽光発電を利用した深層水汲み上げ装置を設置し連続運転することにより、CO<sub>2</sub>蓄積量増加の抑制に貢献している。

ニオス湖には2014年3月に自動観測ブイが設置され、湖水温度と電気伝導度を水深、4、120、160、200、204mで一定時間毎に測定し、データを衛星経由でインターネットを介して日本とカメルーンに送信し始めた。それによると、4mの浅いセンサーを除き、すべて水温と電気伝導度の緩やかな低下が観測され、脱ガスパイプによる深層水の汲み上げ効果が確認された。湖底から湧出するCO<sub>2</sub>を高濃度で含み、温度の高い水の流量が増加した場合、自動観測ブイでリアルタイムに水温や電気伝導度の変化を検出する手段が整備された。自動観測ブイの設置はニオス湖の湖水爆発にともなう防災に大きく貢献する。

マヌン湖において2014年11月にマルチビームソナーによる詳細湖底地形の探査を行った。その結果、東の盆地において含CO<sub>2</sub>流体の放出口と考えられる窪地を二か所で確認した。盆地の東にある窪地には実際に高濃度CO<sub>2</sub>流体があることを現場観測で確認した。一方で盆地の南に位置する窪地には高濃度CO<sub>2</sub>流体は検知されなかった。さらに両窪地のそばには湖内壁の崖崩れと思われる堆積地形が見つかった。これらの新発見はマヌン湖における湖水爆発発生メカニズムやその履歴を解明する上で重要な情報である。ニオス湖では平成27年3月にマルチビームソナー探査を実施し、湖底の地形図を取得した。この探査はマルチビームの専門家を招へいせず、カメルーンと日本人の研究者のみで実施した。

地質グループは2014年12月から2015年1月にかけてニオス湖で火山灰層序学的調査を

実施し、ニオス湖を形成した噴火活動の概要を解明した。同調査には IRGM の Niche を含む研究者 5 名を同行し、共同で調査を行うことにより技術移転を図った。

カメルーンの研究人材の育成の結果、2014 年 9 月に 2 名の留学生 (Issa, Wirmvem) が東海大学から博士 (理学) の学位を授与された。2015 年 3 月には東海大の Chako, 富山大の Brice, 東工大の Asobo が博士 (理学) の学位を授与された。2015 年 9 月には最後の留学生である Edwige が富山大から博士 (理学) の学位を授与された。Issa は IRGM の職員として現場復帰した。Brice は帰国後 IRGM の職員として採用された。Edwige も帰国後 IRGM の職員採用に応募している。Wirmvem は JSPS 外国人特別研究員に採択され、2016 年 9 月まで東海大で研究を継続する。IRGM の職員である Mimba は日本国政府国費留学生に採択され、2015 年 4 月に来日し、半年の日本語研修を受けた後、東海大大学院に入学し、地球化学分野の研究を開始した。2015 年 3 月にヤウンデにおいて開催された JCC で Hell IRGM 所長は、カメルーンに帰国した留学生を研究所の研究員として雇用することを表明した。このことで材育成の成果がプロジェクト終了後のニオス・マヌン湖の防災に生かされる道筋が確立した。

2014 年 7 月に札幌で開催された AOGS (アジア大洋州地球科学連合学会) では大場がニオス・マヌン湖のセッションを提案し、大場と Tanyileke がコンビーナーを務めた。この会議で研究を発表するために、IRGM の Aka と Djomo を日本に招聘した。2014 年 12 月には IRGM の Romaric を 2 週間日本に招聘し、小園が湖水爆発シミュレーションに関するプログラミング技術を指導した。2015 年 6 月に IRGM の Niche を 2 週間日本に招聘し、宮縁、長谷川、小林が桜島、阿蘇山を案内し、現場観察を通じて火山地質学の知識を伝達した。

日本人人材の育成として、2013 年度と 2014 年度に大木をニオス・マヌン湖の地球化学的研究のために東海大特定研究員 (PD) として雇用した。大木の後任として谷口が同様の研究テーマで 2015 年度の東海大特定研究員 (PD) を務めた。大阪大学の修士課程学生であった実政と丈六はそれぞれ 2012 年 3 月、2015 年 3 月にニオス・マヌン湖を訪れ、修士論文研究の一環として音速から湖水溶存 CO<sub>2</sub> 濃度を推定する研究を実施した。東海大学理学部化学科を卒業した荻沼は、マルチビームソナーの専門家として IRGM の研究者に対する技術的指導に携わり、ニオス湖での湖底地形探査を成功に導いた。

## (2) 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

### ①研究題目 1 の研究のねらい

研究グループ : 東海大グループ

ニオス・マヌン湖の CO<sub>2</sub> 蓄積量の把握, リアルタイム観測, 人材育成

### ②研究題目 1 の研究実施方法

ニオス・マヌン湖に定期観測の作業に用いる筏と気象観測ステーションを設置する。気象観測ステーションで得られる連続的なデータはメモリーに保存し、定期的にデータを回収する。ニオス・マヌン湖において湖水を深度別に採取し、CO<sub>2</sub> 濃度, 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 CO<sub>2</sub> 量を正確に見積もる。これらのデータは、湖水爆発シミュレーションの初期条件設定や、湖水爆発の発生可能性の判断に利用される。ニオス湖に、湖水の水温, 電気伝導度を自動的に観測する装置を設置し、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する。マヌン湖に太陽光発電パネルを装備した深層水くみ上げ装置を設置し、強制的な CO<sub>2</sub> 脱ガスの可能性を検討する。カメルーンから博士課程留学生を受け入れ、学位 (博士号) を取得させ、IRGM における人材育成を図る。これらの留学生の研究テーマとして、ニ

オス・マヌン湖以外のカメルーン火山列に分布する湖の地球化学的特徴、および、カメルーン最大のマールであるバロンビ・ンボ火山の形成過程の解明に取り組む。

③研究題目 1 の当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

PDM Indicators 5-1A, 5-1B, 5-2, 5-3, 6-1, 7-3, 8-1, 8-2, 8-3, 9-1, 9-2 : 達成した。

ニオス湖の観測（PDM 5-1B, 5-3）

2015年3月に定期観測を実施した。図1-1に示すように深水層の温度プロファイルは毎年低下しており、3本の脱ガスパイプによる深層水の汲み上げ効果が現れている。図1-2にCO<sub>2</sub>溶存量の時間変化を示す。2011年から2014年にかけてほぼ直線的に蓄積量が低下しているが2015年にかけては減少率が低下した。

2014年3月にニオス湖に設置した自動観測ブイは順調に稼働しており、欠測なくデータを送信し続けている。図1-3, 1-4に各深度における水温および電気伝導度の時間変化をそれぞれ示す。表層は気象の影響により大きな変動を示しているが、120m以深の水温はなだらかな低下傾向を示しており、脱ガスパイプによる深層水のくみ上げの効果がみられる。200m, 204mの水温と電気伝導度は安定しており、湖底で湧出する温泉水の流量には大きな時間変動がないことを示唆している。1年間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た。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る。

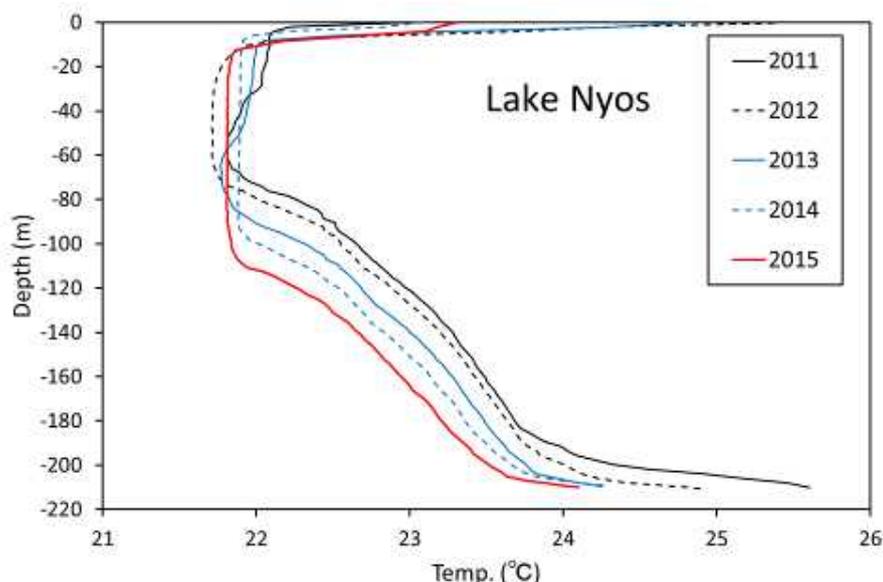


図1-1. ニオス湖の温度プロファイル

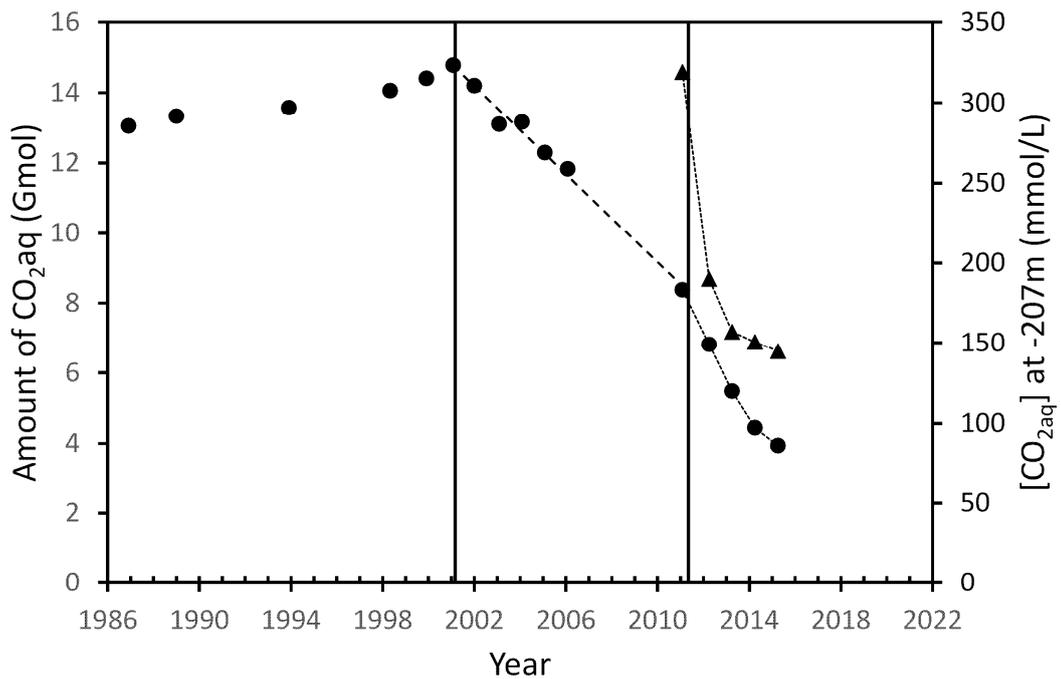


図 1-2. ニオス湖に溶存している CO<sub>2</sub> 量 (●) と深度 207m における CO<sub>2</sub> 濃度 (▲) の時間変化

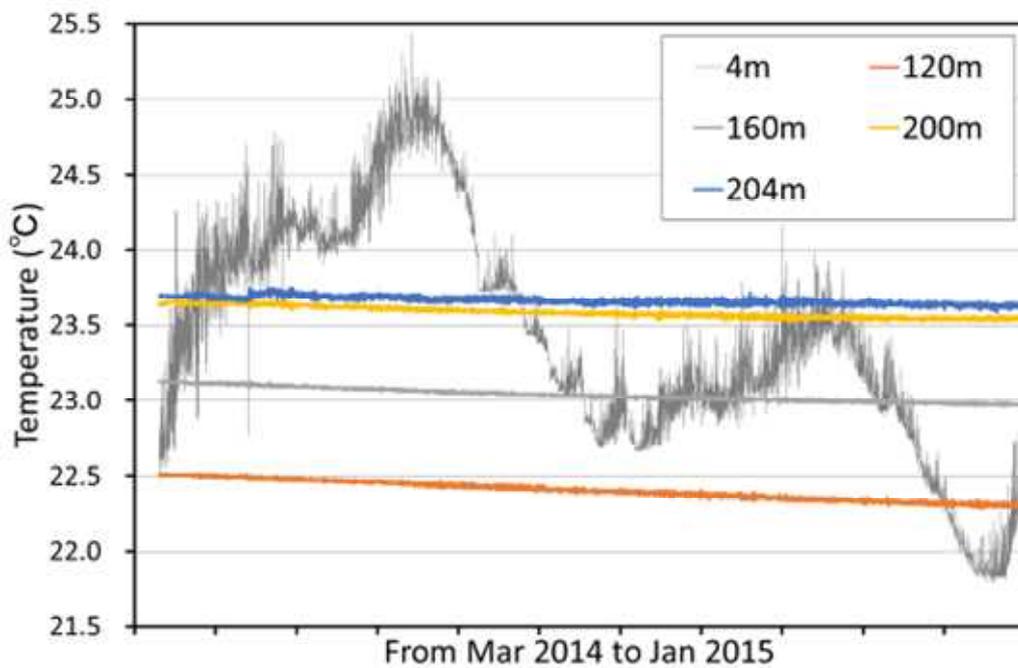


図 1-3. ニオス湖に設置した自動観測ブイにより計測された水温の変動

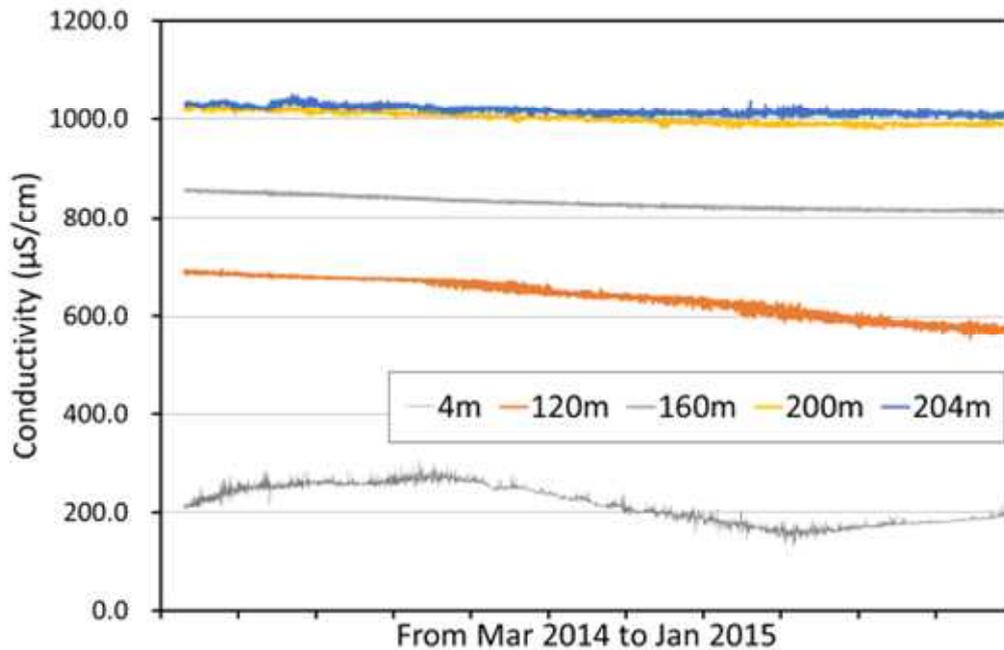


図 1-4. ニオス湖に設置した自動観測ブイにより計測された電気伝導度の変動

マヌン湖の観測 (PDM 5-3)

2015年3月に定期観測を実施した。図 1-5, 1-6 に示すように、2011年から2014年にかけて、深度 60m 付近の温度曲線の「肩」の部分の深度が徐々に浅くなり、温度の高い深部層の厚みが増し続けていた。これは、マヌン湖において脱ガスパイプが機能停止しており、湖底から供給される高 CO<sub>2</sub> 濃度水の供給が継続していると解釈されてきた。しかし、2015年の調査では、この肩の高さが2012年のレベルまで低下した。本プロジェクトで設置した太陽光電池を利用した深層水くみ上げ装置（後述）は2013年12月以来稼働を続けている。2015年に見られた肩の深度の低下は、この装置の効果を反映しているのかも知れない。しかし深層水くみ上げ装置はこのパイプからの自噴を促し、全排出流量は約 100m<sup>3</sup>/day と推定されたものの、2014年と2015年を比較した際の肩の低下を深層水汲み上げ装置の効果だけで説明するには不十分と思われる。この低下には湖底から供給される高 CO<sub>2</sub> 濃度水流量の減少が寄与している可能性がある。

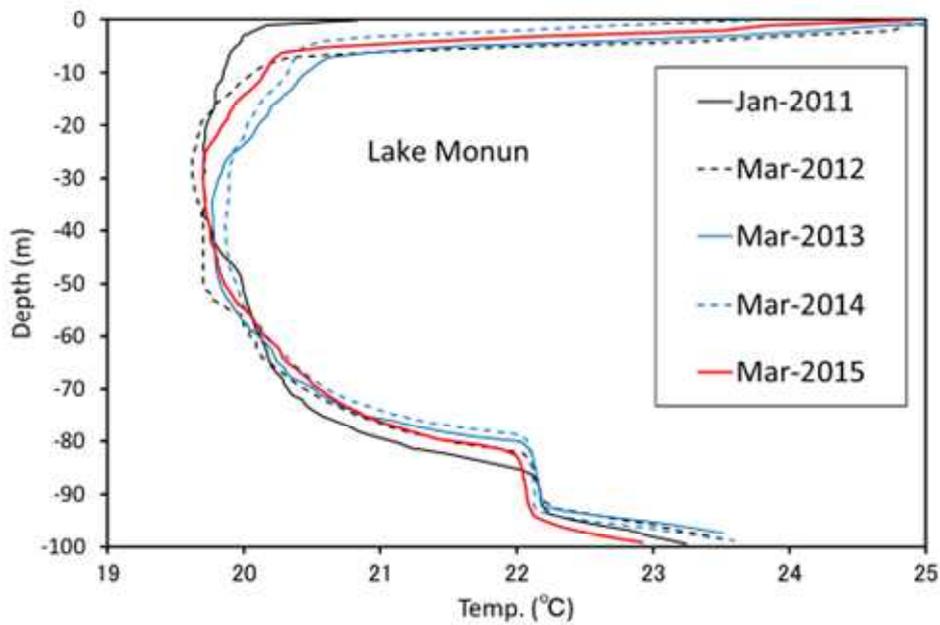


図 1-5. マヌン湖の温度プロファイル

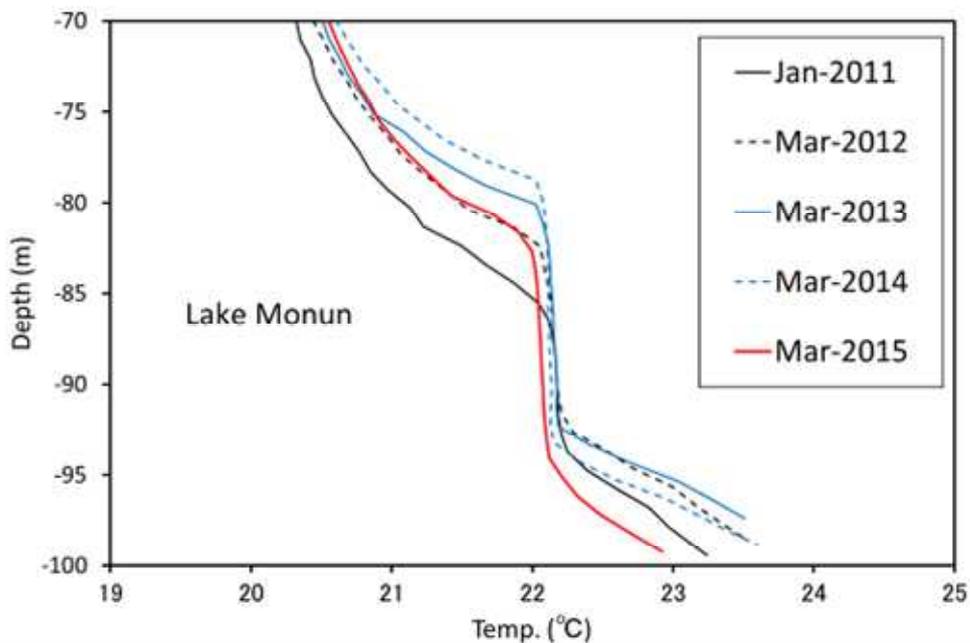


図 1-6. マヌン湖の温度プロファイル (深部領域の拡大表示)

### 太陽光発電による深層水汲み上げ装置 (PDM 6-1)

#### 1. 概要

ニオス湖とマヌン湖では OFDA(米国海外災害援助局)資金によってガス抜きシステムが 2001 年と 2003 年に一つずつ設置され、その後、それぞれ 2 本のガス抜きパイプの増設によって高  $\text{CO}_2$  濃度の底層水の排出が進み湖水中の溶存  $\text{CO}_2$  量が減少した。しかし、ガス抜きに伴う溶存  $\text{CO}_2$  濃度の低下によって発泡の勢いが衰退し、徐々に  $\text{CO}_2$  の排出速度が低下して、マヌン湖では 2010 年頃には自噴が停止した (図 1-7)。一方、 $\text{CO}_2$  の自然供給は続くために湖水

中の溶存 CO<sub>2</sub> 量の上昇傾向が認められた (Kusakabe et al., 2014). このことは将来, 湖が再び危険な状態になり得ることを意味する. この危険性を下げるために太陽光発電と水中ポンプを組み合わせた深層水汲み上げ装置を開発し 2013 年 12 月にマヌン湖に設置した. この装置は自噴が停止したパイプを利用し, 維持管理が容易で経済的なものとした. 深層水汲み上げ装置の効果は Y Y 法によるモニタリング等によって確認され, かつ, 2015 年 11 月の現地調査時点で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.



図 1-7 自噴を停止したマヌン湖のガス抜きパイプ

## 2. 深層水汲み上げ装置の製作と設置

本深層水汲み上げ装置の基本思想 (維持管理の容易さ, 経済性など) は Yoshida et al., (2010) で提唱されている. 本プロジェクトでは深層水汲み上げの実現のために装置の詳細設計と製作, 仮組立・試運転 (図 1-8), 最終調整, 本組立を日本で行い, 2013 年秋に一旦分解してカメルーンに輸送して 12 月にマヌン湖で組み立てて稼働させた (図 1-9).



図 1-8. 深層水汲み上げ装置の仮組立と試運転 (ソーラーパネルの右の円筒タンク内に水中ポンプを入れて試験を行った 2013 年 7 月)



図 1-9. 深層水汲み上げ装置の設置直後の状況（マヌン湖 2013 年 12 月 13 日）

### 3. 設置後の稼働状況と成果

2013 年 12 月にマヌン湖に設置された深層水汲み上げ装置は 2015 年 11 月までの 2 年間、順調に継続稼働していることが確認された(図 1-10)。この間のメンテナンスは水鳥の糞によって汚されたソーラーパネル表面の掃除だけである。これも鳥除けのワイヤーを設けていたため発電能力が低下するほどの汚れはなかった。



図 1-10. 設置から 2 年後の深層水汲み上げ装置の状況（2015 年 11 月 7 日）

本装置に利用したパイプは湖水の溶存  $\text{CO}_2$  濃度の低下のために自噴を停止していたガス抜きパイプであるが、この深層水汲み上げ装置の稼働によってふたたびガス抜きパイプに湖底の高  $\text{CO}_2$  濃度水が取り込まれてパイプ内を上昇し発泡が始まった。この結果、ポンプによる排出に加えてポンプとガス抜きパイプとの隙間を通り抜けたガスと水の混合流が湖面上のパイプ先端から排出されることになる。この流れは太陽光発電が止まる夜間も続くので、結果として深層水の排出量はポンプ能力を大きく上回るようになった。自噴を停止したまま放置されているガス抜きパイプがマヌン湖にはまだ 2 本あるので、これらに本装置を設置すればさらに高  $\text{CO}_2$  濃度深層水の排出量を増やすことができる。将来、ニオス湖のガス抜きパイプも稼働停止すると予想されるので、本装置はニオス湖にも適用できる。

本装置は電力供給用の送電線が不要である。エンジン発電機の保守点検や燃料の供給が困難なニオス湖やマヌン湖では、自噴が停止したガス抜きパイプを利用して強制的に湖底の高  $\text{CO}_2$  濃度水を排出する手段として適していることが確認された。

## YY 法（湖水 $\text{CO}_2$ 濃度現場観測法）

### 1. 概要

YY 法 (Yoshida et al., 2010) は、深度校正済みホースを深層水に沈め、湖面上の先端

から自噴する気液二相流の気液比を測定して深層水流入側のホース先端深度の CO<sub>2</sub> 濃度を求めるものである。同時に、浅部水や大気汚染のない深層水や溶存気体を採取することができる。また、ホースを少しずつ引き上げることによって湖底付近の CO<sub>2</sub> 濃度変化を細かく、かつ、効率よく測定することができる。さらに化学分析を必要としないため現場ですぐに結果を得ることが可能である。測定原理や装置がシンプルなため IRGM 職員への技術移転が容易であり、本プロジェクト終了後は現地職員による湖底水の CO<sub>2</sub> 濃度モニタリングに適した方法といえる。

## 2. 現場での測定作業

YY法は本プロジェクト開始以前に開発されたものなので、プロジェクトの初年度からこの方法による測定を IRGM 職員とともに行うことによって技術移転も行ってきた。特に2014年と2015年にはほとんどの作業を IRGM 職員だけで実施し、さらに現地調査後に測定結果図を含む Mission report を彼らが作成することにより完全な技術移転を達成した(図1-11, 12, 13, 14)。図1-11はホースから自噴する気液二相流をセパレーター(4Lのペットボトル)で水とガスに分離しているところである。なお、ニオス湖、マヌン湖ではCO<sub>2</sub>以外のガスの濃度は無視できる程度に低いことが分かっている(Evans et al., 1993, Kling et al., 2005)。



図1-11. セパレーターで水とガスに分離する(右後方はガス流量計)。

図1-12はセパレーター内にたまった水の体積をメスシリンダーで測っているところであり、この水の量とガス流量計で読み取ったガスの量の他にガス温度、水温、気圧、マンメーター圧力などを記録する。必要に応じて水やガスの採取も行ってから次の測定深度までホースを引き上げる。ホース内の水が完全に新しい測定深度の水に置き換わってから同じ作業を行う。この操作を溶存CO<sub>2</sub>濃度が低くなって自噴が停止する深度まで繰り返す。



図 1-12. メスシリンダーでセパレーター内の水の体積を測る．後方では各種データをパソコン入力用シートに記録している．

### 3. データ処理

日中の作業で得られたデータはその日の内にパソコンの Excel file に入力する．この作業を効率よくするために現場で記入するシートはパソコンの表形式と同じにしている．図 1-13 はパソコン入力作業であり，当日分の  $\text{CO}_2$  濃度垂直分布図が得られる．また過去のデータと合わせると図 1-14 のような図が得られる．



図 1-13. 日中の作業で得たデータをパソコンに入力する．

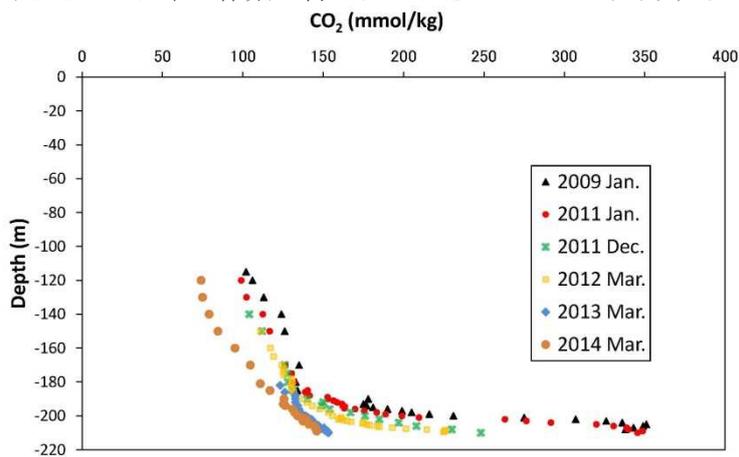


図 1-14. 過去の  $\text{CO}_2$  濃度垂直分布との比較図

### 4. 成果

YY法による調査によってニオス湖とマヌン湖の深層水の  $\text{CO}_2$  濃度と量の経年変化が明らかになり，深部の 150 mmol/kg 以上の高  $\text{CO}_2$  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．この結果は Geological Society of London の論文集に掲載された (Yoshida et al., 2015)．

YY法の測定装置は、予備品も含めてニオス湖とマヌン湖の倉庫に1セットずつ保管されている。濃度計算プログラムや過去のデータも IRGM 職員のパソコンにインストール済みである。現地測定作業の技術移転も完了し、操作マニュアルも彼等が作成したので今後は彼等のみで両湖のモニタリングが可能である。

#### 湖水観測のための作業筏および気象観測ステーションの設置 (PDM 5-1A, 5-2)

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1-15)。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1-16)。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1-17)。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1-18)。



図1-15. ニオス湖の観測作業筏 (3.2m×3.2m)



図 1-16. ニオス湖の気象観測ステーション (2.5m×2.5m)



図 1-17. マヌン湖に設置した気象観測ステーション. 左が Bill Evans, 右が George Kling.



図 1-18. 脱ガス制御装置と結合された日除け付きの新しい作業筏（マヌン湖）

#### パロンビ・ンボ火山の噴火史（PDM 7-3）

マールは本質的にマグマ水蒸気噴火で形成された火山である。最近の研究により、典型的な単成マール・ダイアトリムの形成過程が解明されてきた。しかしながら、依然として、浅部の火道構造、マグマ供給系、単成／複成の区別、噴火災害について解明すべき点が残っている。いくつかの火山では複成のマール・ダイアトリムが見出されているが、詳細な研究はなされておらず、マール・ダイアトリムの形成メカニズムを推定することで、火山災害評価において再噴火の可能性が検討できる。本研究では詳細な火山灰層序、粒径、成分構成、火山灰粒子形態、火山灰の化学分析に基づきマール・ダイアトリム火山の複成的な特性に光を当てることを目的とした。



図 1-19. バロンビ・ンボ・マール

本研究はバロンビ・ンボ・マールで行った。このマールはカメルーン火山列のクンバ火山地帯に位置している（図 1-19）。このマールは直径が 2.5km の大きなマールであり、詳細な火山層序、地球化学の研究を行い、ダイアトリム構造の発達に関する噴火の進化過程を記述した。火山灰の層序から 126m の厚さを持つマールの火砕堆積物は 3 つの単位層序、U1, U2, U3 に区分することができた（図 1-20）。



図 1-20. バロンビ・ンボ・マールの近傍で観察した火砕堆積層

これらの単位層序は古土壌層により区分されている。他のマールと同様に噴火様式はマグマ水蒸気爆発に支配されているが、一時的にストロンボリ式噴火が起きていることを発見した。年代測定を行った結果、古土壌層の存在を考慮し、このマールは3つの噴火期を経て形成されたと推定され複成的な性質が判明した。最初の噴火期は今から51万年前に起こり、第二の噴火期は22万年前であった。最新の噴火期は約8万年前であると推定した。マグマから生じた岩石粒子 (juvenile) と基盤岩から生じた岩石粒子 (lithic) の構成比率分析により、地下における複雑な噴火過程が明らかとなった。これは、バロンビ・ンボ・マールのダイアトリムのもっとも上部の位置における過程である。それぞれの噴火期において、小さなダイアトリムが発達し、少量の火山灰を放出し噴出物リングを形成した (図 1-21)。

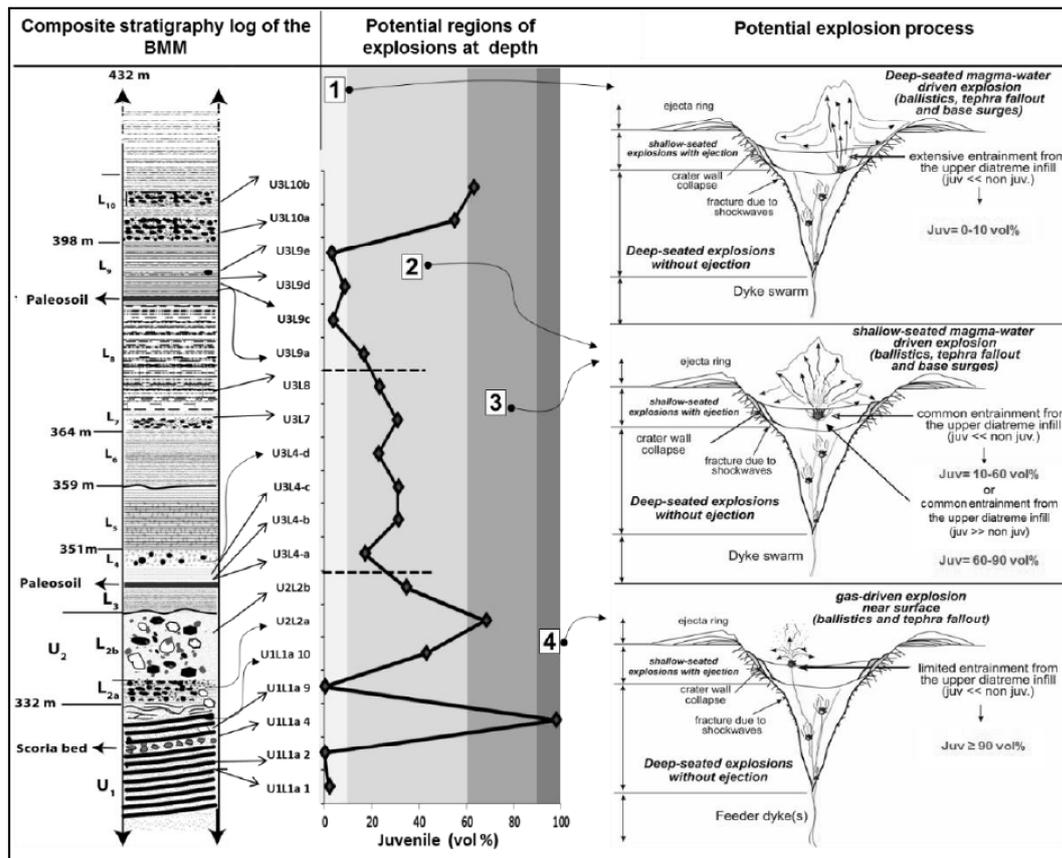


図 1-21. バロンビ・ンボ・マールの形成過程

噴出物の総体積はおよそ  $0.27 \text{ km}^3$  であり、マグマ体積に換算すると  $0.071 \text{ km}^3$  に相当する。Juvenile 粒子と lithic 粒子の比率変化から、小さなダイアトリムは先ず浅所で爆発が起き火口を形成した後、次第に深部に掘削が進行したことが明らかとなった。爆発の中心は水平方向、垂直方向に変動した。この結果は Valentine and White が提案したマールダイアトリム構造の発達モデルと類似している。噴火口の水平方向の移動はバロンビ・ンボ・マールが大きなクレーターであることのも理由かもしれない。

地球化学的な分析により、全ての噴出物は玄武岩質であることが分かった。さらにこれらの玄武岩は HIMU-型の大洋島玄武岩の特徴を持ち、マグマはザクロ石が安定な領域のマントルで発生していることが判明した。しかしながら、Zr, Th, Ta, Lu, Nb の含有量にある変動が存在していた。これはマントルの部分熔融度の相違によりもたらされていると推定された。すなわち、バロンビ・ンボ火山のマグマを生み出した源においては不均質性が存在している。さらに、3つの噴火期でそれぞれマグマは新しい貫入経路をたどって地表に到達したと推定される。Juvenile 粒子と lithic 粒子の比率から推定された地下構造を考え合わせると、バロンビ・ンボ火山の下には3つの融合したダイアトリムが存在し、それぞれ独立したマグマ貫入経路を持っていたと推定される。災害予測の観点でバロンビ・ンボ火山の複成火山史は未来にも再噴火がありうることを示唆する。過去の噴火口の水平方向の移動は未来の噴火がどこで起き得るか予測を難しくしている。その意味でもバロンビ・ンボ火山では更なる調査と災害研究が必要とされている。

カメルーン火山列におけるニオス・マヌン湖以外の湖の特徴と  $\text{CO}_2$  の放出 (PDM 8-1, 8-2, 8-3)

ニオス・マヌン湖のガス放出は約 1800 人の犠牲をもたらした。災害の原因は湖に蓄積さ

れたマグマ起源の CO<sub>2</sub> であり，現在は除去されつつある．ニオス・マヌン湖以外に，カメルーン火山列（CVL）には 37 の火口湖が分布している（図 1-22）．

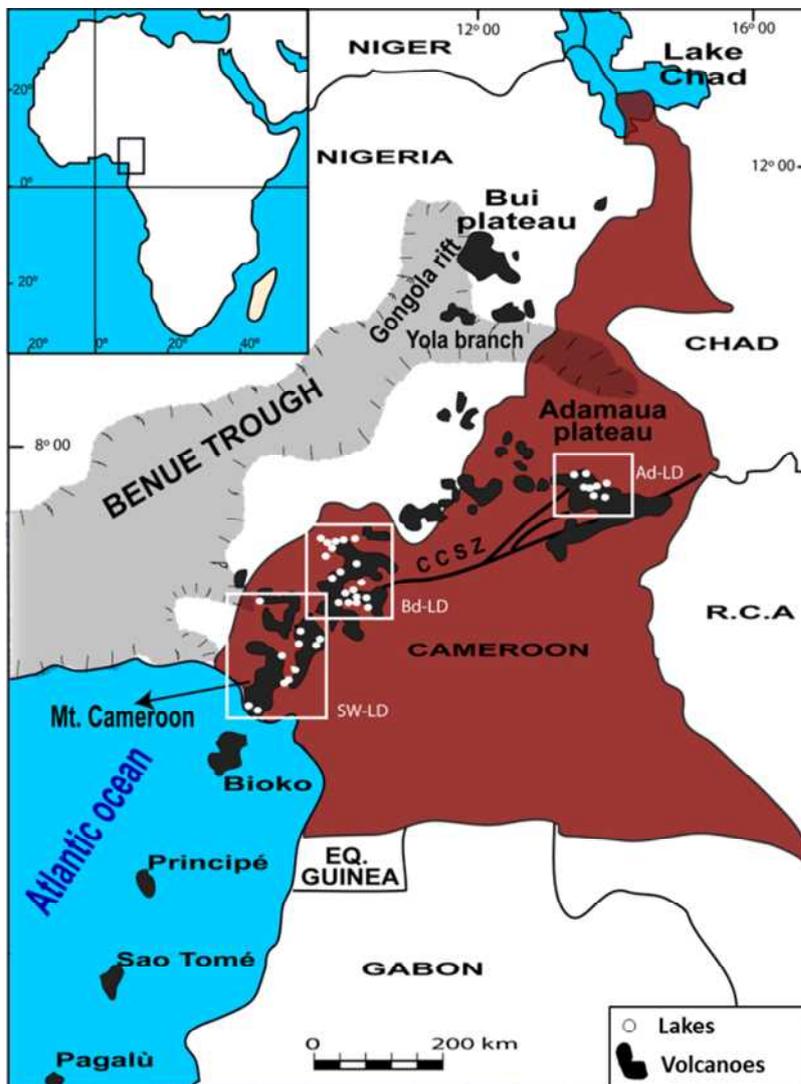


図 1-22. カメルーン火山列に沿った火口湖（○）の分布

ガス放出の引き金がなければ，ニオス湖とマヌン湖ではそれぞれ 100 年，30～40 年で CO<sub>2</sub> が溶解度の限界に達してしまうと考えられている．湖の周辺には何百年も前から人々が住んでいるが，過去には同様の災害が起きた直接的証拠はない．ただし，地元で伝わる伝承から，そのような災害があったことがうかがわれる．民俗学的な伝承調査では，オク火山地帯では，実際にいくつかの部落の集落が湖水爆発によって失われたらしい．そこで，本研究では，CVL に分布する湖について，多項目監視活動の基礎となるデータを取得することを目的とした．本研究では，37 の湖の 40% に相当する 17 の湖を研究対象とし，湖水の物理化学，安定同位体比，拡散的ガス放出，メタンの影響について考察した．最後に最低限必要な湖監視活動の取り組みについて提案を行った．

ニオス・マヌン湖の水の主要なイオンは炭酸水素イオンであり，硫酸イオン，塩化物イオン濃度は極めて低い．炭酸水素イオンが陰イオンとして優勢であることは，湖水の酸性は CO<sub>2</sub> の溶解によりもたらされたことを示している．カルシウムやマグネシウムなどの湖水の陽イオンは岩石－水作用で供給されると考えられる．水質が特定の岩石の溶解により説明されることは上述の推定を支持する．ニオス・マヌン湖と同様に，他の湖でも熱的ある

いは物理的な性質に関し、水の成層構造が存在し、その形は季節的に変化し、外来水の影響を受けている。概して湖水は中性であり、電気伝導率は低く、淡水の特徴を示す。水の $^{18}\text{O}$ とD濃度から、湖水は天水起源であり、表層水はこれらの同位体について濃集した層構造が見られる。一般に高緯度の天水は同位体比が低いが、CVLに沿った湖では、逆に高緯度の湖に同位体比が高い傾向がみられ、北部のアダマワ湖では最高の同位体比を示した。アダマワ湖の地域における降水量は南部よりも少なく、蒸発にともなう同位体比分別の影響が大きいと考えられる。ニオス・マヌン湖の水は底部で最も $^{18}\text{O}$ に乏しく、水と $\text{CO}_2$ の間の同位体分別が影響しているのかも知れない。水- $\text{CO}_2$ 間では $\text{CO}_2$ に $^{18}\text{O}$ が分配し易い。このことは、ガスに富む湖の地球化学的監視活動に利用できる。すなわち、水の $^{18}\text{O}$ の低下は、 $\text{CO}_2$ の増加を意味するのかも知れない。湖水の物理化学および安定同位体比に加え、本研究では、湖水と周辺土壌における拡散的放出ガスを追跡した。火山活動が静穏な時期に火山体は相当量の火山ガス、特に $\text{CO}_2$ を放出し、これが地球の気候に影響を与えることがよく知られている。本研究では9つの湖で湖水からの $\text{CO}_2$ の拡散的放出とニオス谷とマネングバ山カルデラにおける土壌ガス( $\text{CO}_2$ , He, Ar,  $\text{N}_2$ )を調査した(図1-23)。



図1-23. マネングバ山カルデラにおける土壌ガス観測の様子。

その結果、 $\text{CO}_2$ を放出する湖に加えてまったく放出がない湖、逆に $\text{CO}_2$ を吸収する湖が見いだされた。調査した湖から大気への放出量を総合すると28 ton/dayとなり、37の湖に外挿すると75 ton/dayとなる。土壌からの $\text{CO}_2$ 放出は、578 ton/dayであった。CVLには世界の火口湖の約5%が存在し、全地球の $\text{CO}_2$ 放出量の0.0035%が放出されていることになる。拡散放出量に加え、溶存 $\text{CO}_2$ の濃度とその起源についても調べた。濃度は、0.56~8.7 mmol/kgと低いものの、いくつかの湖では $\delta^{13}\text{C}$ の値が、-4.42‰~-9.46‰であり、マグマに起源する $\text{CO}_2$ の含有を示した(図1-24)。

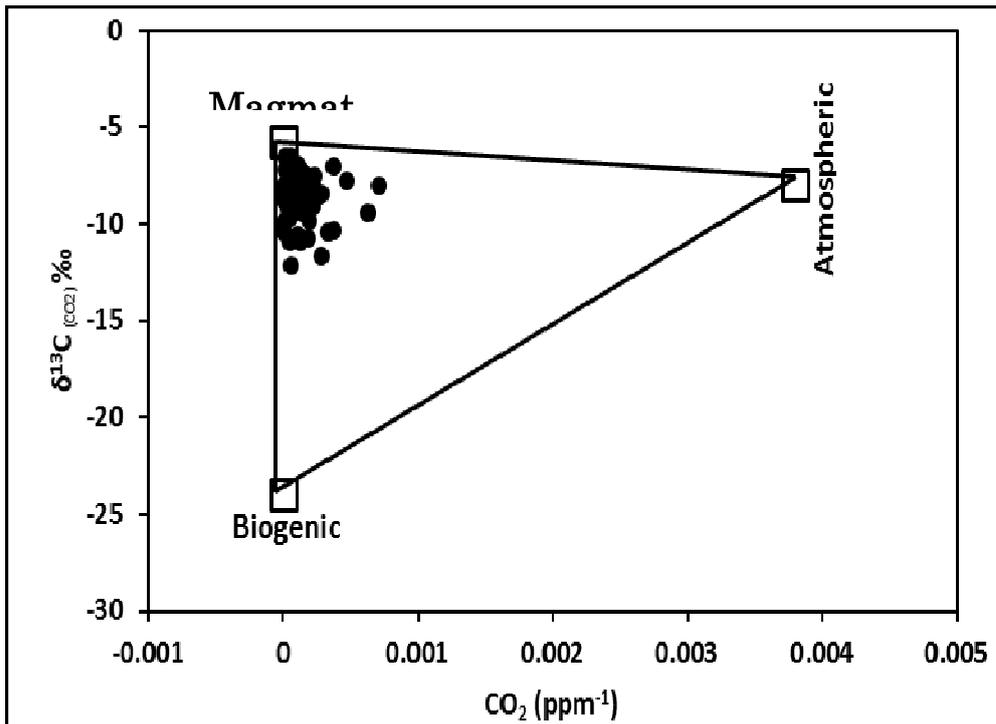


図 1-24. マネングバ山カルデラ内で観測された土壌ガスに含まれる CO<sub>2</sub> の濃度と安定同位体比 (δ<sup>13</sup>C) の関係. マグマ端成分の寄与が顕著に表れている.

マゲンヌバ山カルデラでは最後の噴火から数千年が過ぎているにも拘わらず依然としてマグマの脱ガスが継続していることを暗示している. マグマ起源の CO<sub>2</sub> が土壌や湖水に幅広く分布していることは, 将来, 地震活動や火山活動によりガスの通路が再開した場合, 多量のガスが放出され, 湖水に蓄積する危険性がある. 災害防止とリスク管理のために, 以下のことが望まれる. 1) CO<sub>2</sub> を蓄積する可能性がある湖に対し, 最低限の監視活動ネットワークを構築する. 2) 地震観測ネットワークに加えて, ガス観測 (CO<sub>2</sub>, He, ラドン等) による監視活動を行う.

火山ガスの研究に加え, ニオス・マヌン湖の水に溶存するメタン (CH<sub>4</sub>) の役割について調べた. CH<sub>4</sub> は CO<sub>2</sub> に比べて水に対する溶解度が低いため湖水成層構造の不安定化をもたらすかもしれない. アフリカ東部のキブ湖では, 今世紀内に CH<sub>4</sub> による影響でガス放出があり得ると懸念されている. CH<sub>4</sub> の効果を評価するために本研究では現場で結果が得られる簡便で迅速なモニタリング法を開発した.

最後に, 必要最低限の火口湖モニタリングネットワークを構築するため, ニオス・マヌン湖に類似する特性を有する湖の探索を行った. 調査で得たデータに加え, 湖の深度と面積を加え, 24 のパラメータで統計学的に類似性を評価し, どのパラメータが類似性に寄与しているのかを検討した. その結果, 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.

#### LEMoC : 湖水爆発モニタリング委員会 (PDM 9-1, 9-2)

LEMoC は Limnic Eruption Monitoring Committee の略で, その役目は IRGM の研究者が実施するニオス・マヌン湖の監視活動で得られたデータを検討し, 湖における異常事態の有無を判断する組織である. これに数名の DPC の所員が参加する. 日本における火山噴火予知連絡会に類する機能を想定している. LEMoC から提出される報告は政府の中枢を経由し,

地方自治体の関係者に伝えられる。LEMoC の公式な会議は未だ開催されていないが、2016年1月7日に臨時の会議が開催された（図 1-25）。この会議では、前述した DPC と IRGM が共同で 2016 年 2 月に開催したニオス・マヌン湖周辺住民に対する説明会（ワークショップ）で配布するリーフレットの原案について議論された。図 1-26a, b にリーフレットの原案を示す。



図 1-25. IRGM 本部（ヤウンデ市）で開催された臨時 LEMoC（2016 年 1 月 7 日）

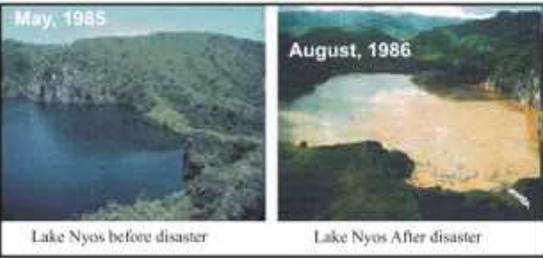
**4. What kind of signs will indicate danger from CO<sub>2</sub> gas?**

4a: Sounding of the CO<sub>2</sub> gas detector alarm  
 4b: Difficulties in breathing  
 4c: Small animals running out of holes  
 4d: Dead animals  
 4e: Dead fish  
 4f: Dead birds

**5. What do we do if we observe signs of danger?**

5a: Run to the top of hills  
 5b: Do not drink water from the lake  
 5c: Stay away from fire

**WHAT TO DO IF LAKE NYOS AND MONOUM GAS DISASTER HAPPEN AGAIN ?**



Contacts Address: MINRESI/IRGM, B.P. 4110, Yaounde-Cameroon  
 Fax/Telephone:  
 E-mail:  
 Website:

図 1-26a 住民説明会のためのリーフレット案 (表)

**1. What happened to Nyos and Monoun 30 years ago?**

1a: Accumulation of CO<sub>2</sub> at the bottom of the lake  
 1b: Outburst of CO<sub>2</sub> into the atmosphere  
 1c: People and animals died from breathing much of the gas

**Where else in the world have similar events occurred?**

Lake Kivu in E. Africa  
 Java in Indonesia  
 See Dr AKA

**2. What measures were taken to manage the disaster?**

**2a. Social measures:**

i) Relocation/camping of the local population  
 ii) Sensitisation of the local population  
 iii) Visit of government officials  
 iv) Visit of foreign partners

**2b. Scientific measures**

-Lake monitoring  
 -Removal of CO<sub>2</sub> gas (Degassing)  
 -Reinforcement of dam

**3. What is the current CO<sub>2</sub> levels of the lakes?**

-Water & gas fountain has reduced  
 -This means CO<sub>2</sub> level has reduced  
 -The lake is now safe

図 1-26a 住民説明会のためのリーフレット案 (裏)

LEMoC は IRGM が取得する科学的データを DPC 経由で社会還元する仕組みである。IRGM の科学的知見に基づいた見解は防災のために生かされる。LEMoC は今後のニオス・マヌン湖の防災にとって決定的な重要性を持っている。

#### 人材育成

計画を予定通り実施した。6名の博士号取得者を輩出したことは IRGM およびカメルーンの学術基盤に対し大きなインパクトを与えた。He11 IRGM 所長は 2015 年 3 月に開催された JCC において、カウンターパートファンドを利用し、博士号取得後の学生を研究所の研究者として雇用する意向を表明し、実際に Brice が職員として採用された。このことは、プロジェクト終了後においてニオス・マヌン湖の監視体制が継続される可能性を高めている。

#### ④研究題目 1 のカウンターパートへの技術移転の状況

PDM Indicators 5-1, 5-2, 5-3 : ほぼ達成した。

湖水 CO<sub>2</sub> 濃度現場測定法 (YY 法), および湖水の採取分析法について、技術移転を済ませた。2015 年度には技術移転を確認した YY 法とは、湖水に吊り下げたホースとガス流量計を用いて現場で深層水の CO<sub>2</sub> 濃度を決定する手法であり、化学分析などの手間を省くことができる。

#### ⑤研究題目 1 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

マヌン湖では 2014 年まで CO<sub>2</sub> 溶存量の増加が見られた。2015 年にその傾向は鈍化したが、CO<sub>2</sub> 溶存量の増加を確実に抑えるには深層水くみ上げ装置を増設する必要がある。後に述べるように、高 CO<sub>2</sub> 濃度水湧出孔の位置が特定されたので、そこに脱ガスパイプの取り入れ口を設置すれば、効率的に脱ガスを行える可能性がある。

本プロジェクトの期間中に IRGM の所員の Mimba からカメルーン東部の地下水・地表水に関する地球化学的研究を東海大学で博士論文研究として実施したいとの申し出があった。日本国政府国費留学生に採用されることを条件として大場は Mimba の要請を受けた。その後、Mimba は日本国政府国費留学生に採用され 2015 年 9 月から博士課程学生として研究を実施している。Mimba は東海大で各種化学分析の技術を習得し IRGM に持ち帰る予定である。Mimba に対する教育を通じ、プロジェクト終了後も IRGM と東海大は協力体制を維持することが可能となる。

東海大学大学院でバロンビ・ンボ火山の噴火史を研究し博士号を取得した Chako は 2015 年 3 月に一旦カメルーンに帰国後、メキシコ自治大学で PD の職を得て国を去った。これは一見すると、カメルーンの防災分野への貢献に直結していないように見えるが、本人としてはメキシコで研究をするのは一時的であり、いずれカメルーン国内で研究・教育に携わる職に就くことを希望している。Chako は自主的に PD のポストを獲得するだけの能力を有している。またカメルーン国内の火山地質分野の研究者と常に連絡を取っている。Chako の紹介で、カメルーン北部の国立マロア大学で講師の Merlin (博士) はバンボウト・バメンダ山 (カメルーン火山列) における溶結凝灰岩の地球化学・鉱物学・岩石成因に関する研究を実施するために松前国際友好財団の奨学金に応募し採用された。2016 年 11 月から 4 ヶ月間、東海大学・大場武研究室にて研究を行う予定である。また東京工業大学大学院で学位を取得した Asobo の紹介で、カメルーンの学生が日本国政府国費留学生への応募に際し、大場に対し博士課程留学生としての受け入れを要請している。当該学生の採択は未定だが、本プロジェクトで輩出した留学生を契機にして、カメルーンから日本への留学希望が増えたと言える。

### (3) 研究題目 2 : CO<sub>2</sub>-岩石反応を含む物質移動現象の解析

#### ①研究題目 2 の研究のねらい

研究グループ：富山大グループ

ニオス湖、マヌン湖を中心とした CO<sub>2</sub> 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を総合的に検討し、岩石-CO<sub>2</sub> 反応を評価すると共に、実験室内での単純化された岩石-CO<sub>2</sub> 反応試験の結果と比較して、天然での複雑な系の岩石-CO<sub>2</sub> 反応を理解する。

#### ②研究題目 2 の研究実施方法

ニオス湖とマヌン湖にどのように水が供給され、また湖の周辺の地下水や河川水へ湖水がどのように影響をしているかを調査した。研究方法は、地下水、河川水、湖水の水試料を採取し、現地にて水温、pH、ORP、EC を測定する。日本国内では、水素・酸素同位体比、主要化学成分、微量成分を分析した。これらの地球化学的解析手法を用いて、地下水の水質形成機構の解明や、湖水の周辺地下水への影響を検討した。

現地での試料採取は、ニオス湖、マヌン湖を中心とし、CVL 沿いに分布する火山湖のうち、CO<sub>2</sub> 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）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、水質変化の原因の解明を行った。

岩石-CO<sub>2</sub> 水反応試験では、ニオス湖を天然実験室として、現地の花崗岩やコンクリート材を湖水中に沈め、CO<sub>2</sub> との反応をいろいろな深度で観測した。また、CO<sub>2</sub> が岩石と反応して生成するシデライト（FeCO<sub>3</sub>）の沈殿速度を、位相シフト干渉計を用いた測定方法を導入して測定した。

#### ③研究題目 2 の当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

PDM Indicators 3-2, 3-3, 3-4, 4-1 : ほぼ達成した

#### (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 (PDM 3-2, 3-3)

ニオス湖及びマヌン湖周辺の地下水・河川水を、2011 年 11 月と 2013 年 1 月に調査した。この調査により、2 つの湖を中心とした集水域内で得られる水試料の大部分を採取した。採取した水試料数は、ニオス湖及びその周辺地域で 51 試料（図 2-1）、マヌン湖及びその周辺地域で 65 試料である（図 2-2）。これらの試料の化学成分や同位体成分（水素・酸素）を分析し、地球化学的手法により解析を行った。また、地下水の水循環を検討するために約 1 年間分の雨水試料も採取した。

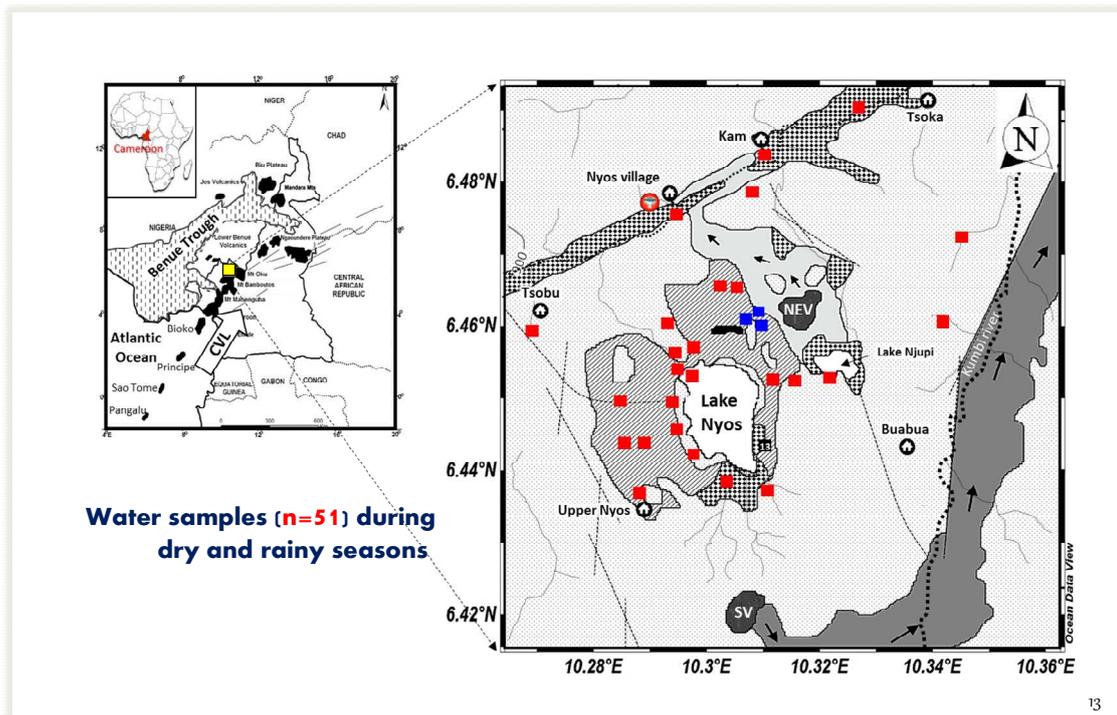


図 2-1 ニオス湖及び周辺域の地下水・河川水採取場所

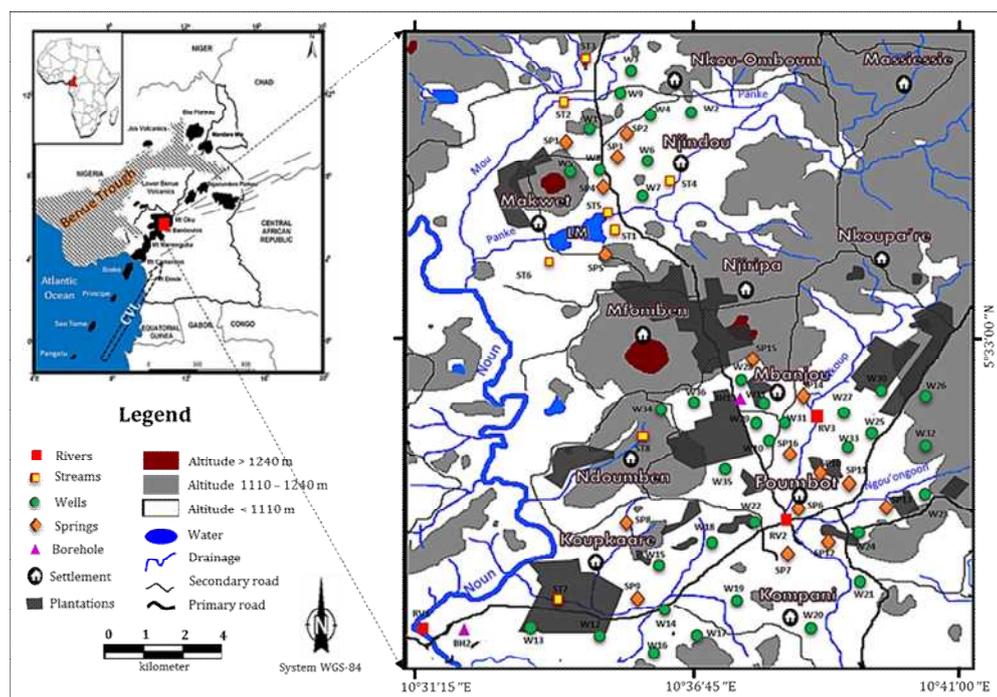


図 2-2 マヌ湖及び周辺域の地下水・河川水採取場所

その結果、ニオス湖周辺の地下水は、標高が高い地域からの降水に由来しており、浸透・移動中に周辺岩石との化学反応によって、主要成分組成が変化していることを見出した(図 2-3)。この際、化学成分分析結果を用いて様々な鉱物の飽和指数を検討し、どの鉱物が反応に寄与しているかを検討し、炭酸塩や斜長石などの鉱物が大きく寄与していることをつ

きとめた。同地域では今まで降水の  $\delta^{18}\text{O}$  と  $\delta\text{D}$  値データがなかったので、毎月の試料採取と分析を行い、乾季と雨季での同位体組成の変化を把握し、調査地域へ供給されている降水の平均値を求めた。また、地下水中の CFCs や  $\text{SF}_6$  などの濃度をもとに、地下水の年代を推定し、調査地域の地下水の滞留期間が、21~32 年であると推定した (図 2-3)。また、調査地域に供給される降水の約 30% (941mm) が地下水を涵養していると推測した。これらの結果を総括的に議論して、火山湖としてのニオス湖やマヌン湖周辺の地下水の特徴と今後への水理対策の提案を行った。ニオス湖周辺の地下水は、標高 1100~1600m の降水に由来しており、高度効果は  $\delta^{18}\text{O}$  で、 $-0.24\text{‰}/100\text{m}$  であった。また、ニオス湖やマヌン湖中の深部の  $\text{CO}_2$  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。カメルーンからの留学生である Brice は、以上の 2 つの湖周辺の地下水系の解析結果を学位論文としてまとめ、富山大学大学院理工学教育部地球生命環境科学専攻において、博士 (理学) の学位を取得した (2015 年 3 月)。

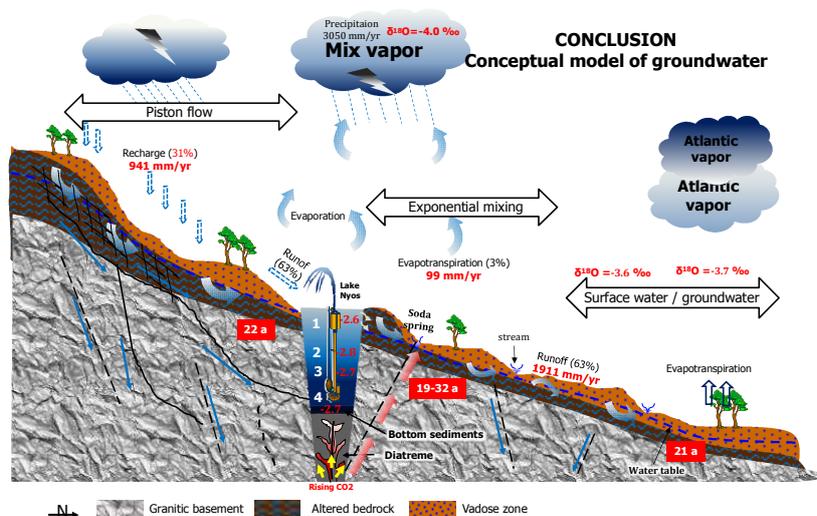


図 2-3 ニオス湖及び周辺域への地下水流動モデル

## (2) 岩石- $\text{CO}_2$ 反応試験による評価試験 (PDM 4-1)

岩石- $\text{CO}_2$  反応試験として、2012 年 6 月に、ニオス湖周辺に分布するモンズナイト花崗岩の薄片を作成し、これをニオス湖の異なる深度に 3 枚ずつ、約 15 ヶ月間沈め、ニオス湖を天然実験室として利用した。回収した薄片の鉱物表面の変化を、顕微鏡観察、EPMA, XRD, XRF を用いて化学成分・鉱物成分変化の観察を試みた。

2011 年 11 月にニオス湖において、いくつかの深度の湖水とシデライトや方解石の結晶を反応させた。ニオス湖水は、陽イオンの主成分は Fe イオンであり、陰イオンの主要成分である  $\text{HCO}_3^-$  イオンと反応して、シデライトが沈殿していることが知られている。シデライトの沈殿が湖水全体の Fe 濃度のバランスにどの程度影響しているかを検討するため、シデライトの沈殿速度を測定した。その結果、 $-100\text{m}$  から  $-200\text{m}$  の深度では、最大で  $0.29 (\mu\text{m}/\text{y})$  であり、 $-208\text{m}$  では、 $0.25 (\mu\text{m}/\text{y})$  であり、最深度の  $-210\text{m}$  では、むしろ減少した速度  $0.09 (\mu\text{m}/\text{y})$  であった (図 2-4)。これらの沈殿速度は小さいことから、シデライトの沈殿は湖水全体の Fe 濃度を規制するほどではないことが判明した。本成果についても、論文として投稿・受理された (Geological Society of London, Special publication, "Geochemistry and Geophysics of Active Volcanic Lakes")。

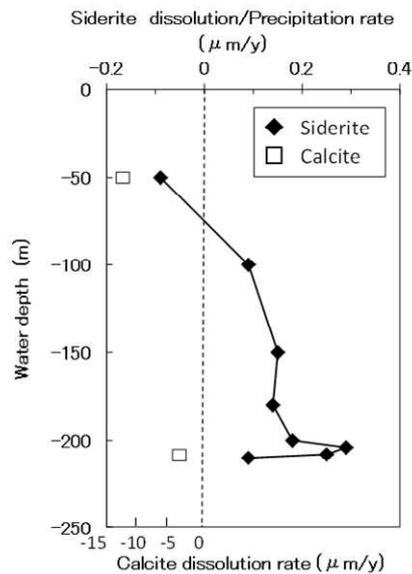


図 2-4 ニオス湖の各深度における湖水からのシデライト沈殿速度

ニオス湖の湖水は、南部の河川や雨水から供給され、北西部の天然ダムで流出している。乾季には水位が天然ダムの縁の高さを下回る。湖水は天然ダムを浸透しダムの外壁の崖の付け根から流出している。雨季には水位が上昇し、この浸透水に加えてダムをオーバーフローした湖水が流出する。ダム強化工事のために調査孔が穿たれており、この調査孔から地下水試料を採取し水質を調査した (図 2-5)。また、岩石-CO<sub>2</sub> 水反応による水質変化や岩盤の鉱物組成変化を予測した。計算に用いたコードは、PhreeqC であり、10 年間での水質変化を予測した (図 2-6)。その結果、ダムから湧出している地下水は、60~70%が雨水起源であり、Ca-HCO<sub>3</sub> 型の雨水がダムに浸透して、岩石との反応により Mg-Ca-HCO<sub>3</sub> 型へ変化していることが判明した。岩盤中では変質作用によりカオリナイトが形成されていると推測された。これらの変質作用 (化学的風化作用) が進んで浸食が進んだとすると、初期には厚さが約 300m 程度であったニオス湖の天然ダムが現在の 45m まで減少するのに、37,000 年を要すると計算される。これは、CO<sub>2</sub> を含む水が岩石と反応して粘土化を促し、その粘土成分が系外に流出するという単純なモデルに基づく。これらの成果は、論文として公表されている (Fantong et al., 2015)。

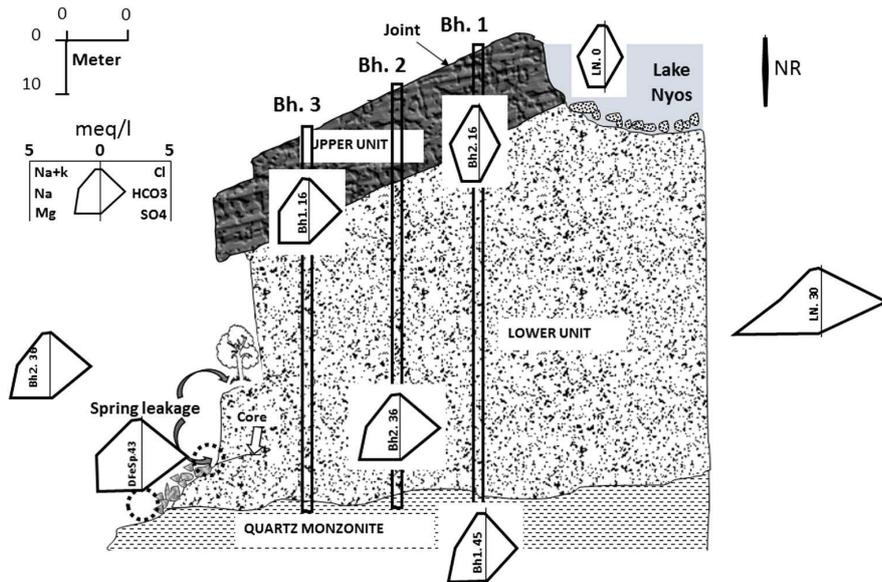


図 2-5 ニオス湖ダム観測孔内の地下水及び湧水の水質

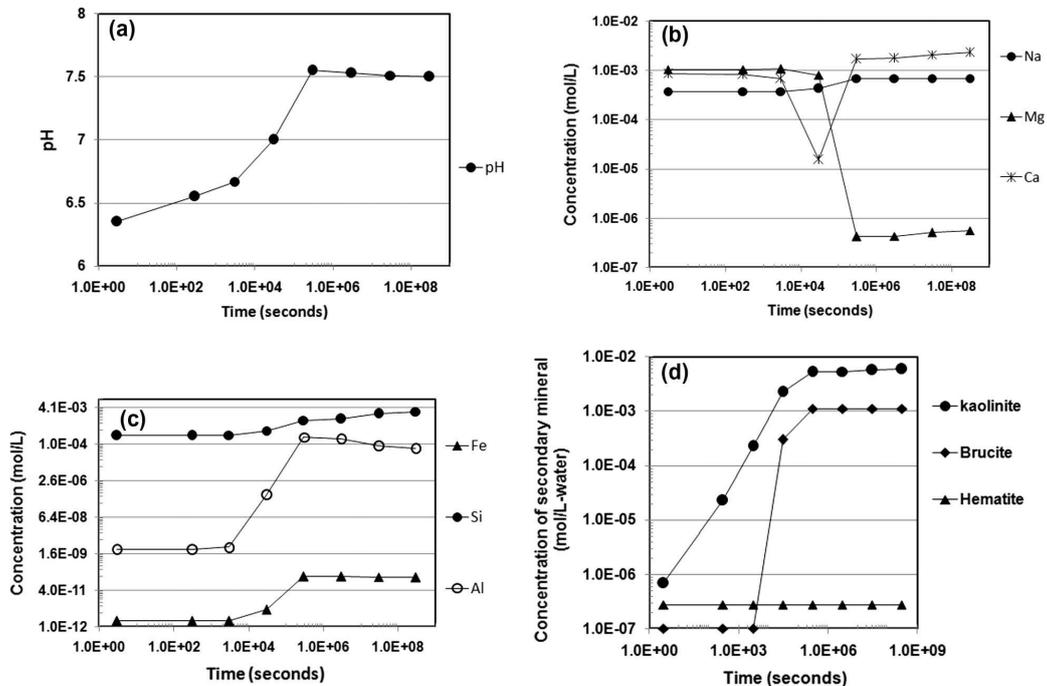


図 2-6 ニオス湖ダム内の地下水の水質変化予測結果

(3) ニオス・マヌン湖及び周辺地下水中の原核微生物（バクテリア：真正細菌・古細菌）の解析（PDM 3-4）

ニオス湖とマヌン湖では、人や家畜の大量死を引き起こした二酸化炭素のガス爆発が生じてから約 30 年間、二酸化炭素濃度の観測を主とした地球化学的な長期モニタリングが行われてきた。一方、生物種の中で細菌と古細菌から構成される原核生物は、湖の栄養塩の循環において大変重要な役割を果たしているにもかかわらず、両湖水中の原核生物そのものやそれらの群集構造については全く研究されていなかった。また、両湖の近隣の住民にとって生活に必要な地下水の微生物学的水質評価もなされていなかった。そこで、留学

生の Edwige が、本テーマの基礎となる研究に着手した。

まず、ニオス湖とマヌン湖における細菌と古細菌の群集構造に関する研究は、2011年11月と2013年1月に現地調査により試料水を採取し、現地で前処理を行った両湖の試料について、Polymerase Chain Reaction-Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (PCR-DGGE；図 2-7)を行った。また、原核生物の存在量を評価するために、マヌン湖の試料について定量 PCR を行った。そして、両湖の原核生物の群集構造を調べた結果から、両湖の化学的成層構造に応じて細菌と古細菌が分布していることが示された。さらに、数多くの新種の微生物を含むことや、微生物種の多様性に富んでいることを明らかにし、それらの結果から、地球化学的パターン（特に溶存成分や水素とメタン濃度）と微生物種の潜在的機能とが密接に対応していると推定した。興味深いことに、ニオス湖では、Actinobacteria, Firmicutes, Proteobacteria, Bacteroidetes, Chlorobi, Caldiseica, Fusobacteria, Cyanobacteria の各門の細菌と、Thaumarchaeota 門のみの古細菌が検出されたが、マヌン湖では、Proteobacteria, Chloroflexi, Spirochaetes, Firmicutes, Bacteroidetes, Nitrospirae の各門の細菌と、Euryarchaeota と Thaumarchaeota の各門の古細菌が検出された。つまり、両湖水中の原核生物の群集構造が大きく異なっていることが分かった。また、細菌あるいは古細菌の 16S rRNA 遺伝子を標的とした定量 PCR から、全ての試料で細菌は古細菌より多く、水深が深くなるにつれて細菌は減少し、古細菌は逆に増加する傾向を示した。

ニオス湖とマヌン湖周辺の地下水源の生物学的汚染を調査した。方法として培養法を用い、全大腸菌群、糞便性大腸菌群、糞便性連鎖球菌の量を計測した。その結果、ほとんど全ての水試料においてこれら 3 種の指標細菌が存在することを見出した。マヌン湖周辺で採取した 19 の試料水では、全大腸菌群を全ての試料水から検出された。そして、糞便性大腸菌群を 16 試料水 (84.2%)、糞便性連鎖球菌を 17 試料水 (89.5%) から検出した。ニオス湖周辺で採取した 17 の試料水では、全大腸菌群と糞便性大腸菌群を全ての試料水から、また、糞便性連鎖球菌を 16 試料水 (94.1%) から検出した。このような指標細菌の高い検出率から、両湖周辺の地下水を飲料水や生活用水として使用することの危険性が指摘された。言い換えると、両地域のほとんどの水源は糞便汚染されていて消費者の健康を脅かす恐れがあり、同地域の公衆衛生に対する意識改革が必要であることが指摘された。

本研究は、ニオス湖とマヌン湖における微生物学的多様性とその周辺地下水の細菌学的水質の評価に関する最初の取り組みである。その結果、両湖における微生物の群集構造と多様性についての知見が得られ、両湖の生物学的、地球化学的機能に関する我々の理解を深めるとともに、両湖の今後の微生物生態学に関する研究に、大きな指針を与えたと思われる。一方、両湖周辺の地下水の糞便汚染状況を明らかにした。本研究は、本地域における水管理や住民の健康管理を目指すための基本情報を提供した。

Edwige は、以上の結果を学位論文としてまとめ、富山大学大学院理工学教育部地球生命環境科学専攻において、博士（理学）の学位を取得した（2015年9月）。また学位論文の一部は、Nature 系列の Scientific Report 誌で出版された。

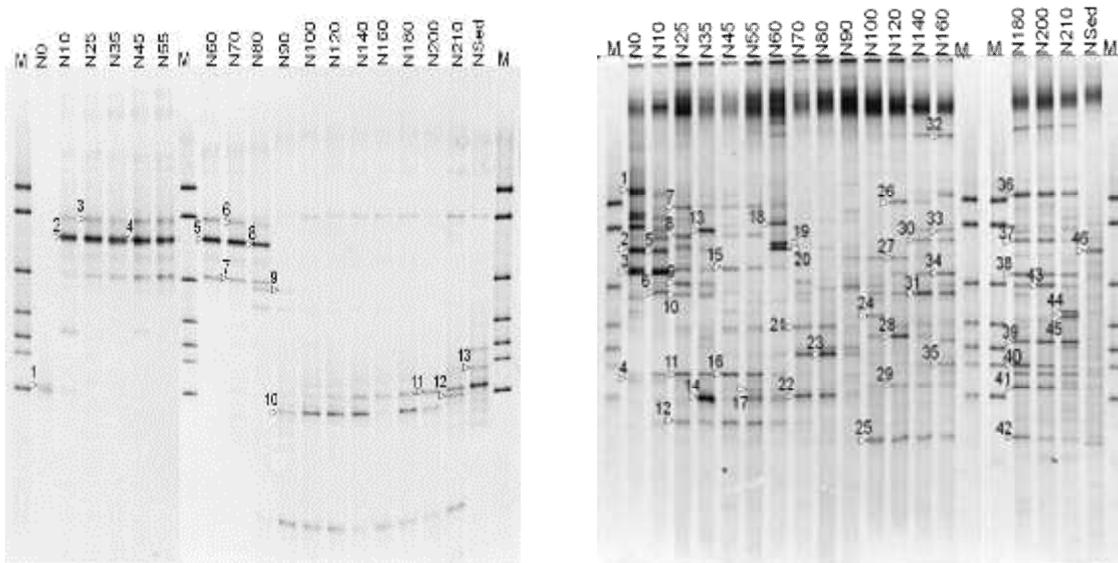


図 2-7. ニオス湖試料の PCR-DGGE 解析像. 左図が真正細菌, 右図が古細菌の解析像. N に続く数字は水深を, M はバンドパターンから細菌群集構造の類似を推定するためのマーカーを示す. 基本的には, バンドの数が微生物種の数, バンドの濃さが各微生物種の密度を表すと考えられている. 各バンドを切り出し, その塩基配列を解析した結果を国際的なデータベース (GenBank) と照合することにより, 各バンドが由来する微生物種が同定できる. この解析像から, ニオス湖では表層から湖底にかけて, 真正細菌種の群集構造は少しずつ変化するのに対し, 古細菌種は表層, 水深 10m 以深と, 90m 以深で大きく群集構造が変化していることが判る. また, 古細菌種よりも真正細菌種の方が多く, 多様性が大きいことも判る.

#### ④研究題目 2 のカウンターパートへの技術移転の状況

PDM Indicators 3-1, 3-2, 3-3, 3-4, 4-1 : ほぼ達成した

留学生の Brice は, 富山大学で学位を取得後, カウンターパートの IRGM の非常勤研究員として勤務しており, 現在もカメルーン国内の地下水の水質や安全性について研究を行っている. 同じ留学生である Edwige も 2015 年 9 月に学位を取得し 10 月にカメルーンへ帰国後は, IRGM あるいは関連研究機関で細菌の研究を進める予定である. また, IRGM の研究員である Fantong は, 短期滞在研究員 (ポストドクに相当) として, 富山大学に半年間滞在し, ニオス湖のダムから流出する湖水や地下水の水質について研究し論文を執筆した.

#### ⑤研究題目 2 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

特になし

#### (4) 研究題目 3 : 湖水爆発の数値シミュレーション

研究グループ : 東北大グループ

##### ①研究題目 3 の研究のねらい

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。実際の観測データを基に、湖水爆発に関連する湖水内の CO<sub>2</sub> 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る。具体的には以下のような研究に取り組む。

##### 1. 一次元物理モデルの解析に基づく湖水爆発条件の解明

これまでに提案されている湖水爆発に関連する CO<sub>2</sub> プリューム上昇過程の一次元物理モデルについて、最新の現地観測結果も含めた現実的な湖水条件を設定した上で、詳細なパラメータ数値解析を行う。それによって、ニオス湖における湖水内の CO<sub>2</sub> 濃度などの条件がどのような状態のときに湖水爆発が生じ得るのか（湖水爆発条件）を明らかにする。

##### 2. 二次元数値モデルの構築と解析に基づく湖水内 CO<sub>2</sub> 流体挙動・蓄積過程の解明

湖水内の現象を空間的に一次元化している既存の物理モデルを拡張し、水中における CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 流体の多様な挙動や、湖底における CO<sub>2</sub> 蓄積過程、さらには、CO<sub>2</sub> 濃度と温度に依存する流体密度変化がもたらす二重拡散対流による不安定現象を再現し、それらのメカニズムを明らかにする。

##### 3. 湖水爆発の新しい発生メカニズムのモデル化と、それに基づく湖水爆発条件の解明

本プロジェクトにおける湖水観測データに基づき、湖底から供給される CO<sub>2</sub> ガスに不飽和な水の蓄積過程とその後のプリューム上昇過程によって湖水爆発に至るといふ新しい発生メカニズムについて、1, 2 の成果を統合することによって数値モデル化を行い、その詳細な解析に取り組む。それによって上述の湖水爆発発生過程の可能性を定量的に調べ、湖水爆発条件を明らかにする。

##### 4. 脱ガスパイプ内混相流の数値モデルの構築と解析

ニオス湖およびマヌン湖において、湖水から CO<sub>2</sub> 除去している脱ガスパイプ内の混相流のダイナミクスを再現する数値モデルを構築する。そのモデルの解析から、パイプ出口からの噴水の高さを推定し、噴水高度の観測データとの比較から、パイプの取り入れ口深度での CO<sub>2</sub> 濃度を推定する。

##### 5. 湖水爆発に伴う大気への CO<sub>2</sub> 拡散過程の数値解析

湖水爆発が発生した場合、周辺地域に甚大な被害を及ぼす可能性がある大気への CO<sub>2</sub> 拡散過程に関する数値シミュレーションを実施する。それにより、湖からの CO<sub>2</sub> 放出率や周辺地域の風向・風速に依存して CO<sub>2</sub> の拡散領域がどのように変化するかを系統的に明らかにし、ハザードマップ作成のための基礎データを蓄積する。

##### ②研究題目 3 の研究実施方法

以下では、①で示した研究のねらいの各項目（1～5）毎に研究実施方法を示す。

##### 1. 一次元物理モデルの解析に基づく湖水爆発条件の解明

湖水爆発現象に関する数値シミュレーションの第一段階として、CO<sub>2</sub> 気泡からなるプリュームが湖底から周囲の湖水に溶け込んでいる CO<sub>2</sub> を取り込みながら上昇する過程を Woods and Phillips (1999) のモデル（以下、WP モデルとよぶ）に基づいて解析を行った。WP モデルでは単純化しすぎた CO<sub>2</sub> 濃度分布を仮定していたことから、本プロジェクトの湖水観測グ

ループのメンバーが1986年の湖水爆発以後継続的に測定してきたデータ(Kusakabe et al., 2008)や、本プロジェクトによる現地観測で得られた最新のデータに基づき、実際のCO<sub>2</sub>濃度分布を反映したより詳細なパラメータ解析を行った。

本研究では、湖底からのCO<sub>2</sub>供給によって湖水内のCO<sub>2</sub>濃度が飽和濃度に近づく効果が湖水爆発条件に与える影響を系統的に調べるために、Saturation factor (f) というパラメータを定義した。図3-1は、WPモデルの解析から得られた湖水内におけるCO<sub>2</sub>プリュームの上昇速度変化の計算例を示しており、fが増加してCO<sub>2</sub>濃度が飽和濃度に近づくにつれて、湖水爆発なしの状態から湖水爆発(CO<sub>2</sub>プリュームが10m/s以上の速度で湖面に達する)ありの状態に変化していることがわかる。また、湖底からのCO<sub>2</sub>プリュームの流量の変化も、湖水爆発の有無に影響を与えることがわかった。そこで、これらのSaturation factorとCO<sub>2</sub>噴出流量により湖水爆発の発生条件がどのように変化するかを系統的に調べた。図3-2は系統的なパラメータ解析から得られた湖水爆発が発生しうるSaturation factorとCO<sub>2</sub>噴出流量のパラメータ領域(曲線より右上の領域)を示しており、過去16回の湖水内CO<sub>2</sub>濃度分布の観測データに基づいて、各々について湖水爆発条件を求めている。f=0の場合、つまり観測時における実際の濃度分布では、湖水爆発発生のためには非常に高いCO<sub>2</sub>流量が必要となる。一方でfが増加して湖水内濃度が飽和濃度に近づくにつれて、湖水爆発が発生しうるパラメータ領域が拡大していく。また、観測時毎のCO<sub>2</sub>濃度分布の違いに依存して、湖水爆発発生条件も系統的に変化することがわかった。

さらに、CO<sub>2</sub>濃度分布に依存して湖水爆発発生条件が変化する原因を明らかにするために、湖水爆発が生じる臨界CO<sub>2</sub>プリューム流量と、湖水内のある深さにおけるCO<sub>2</sub>濃度分布の関係を系統的に調べた。その結果、深さ約190mにおけるCO<sub>2</sub>濃度が高いほど、より低いCO<sub>2</sub>流量で湖水爆発が起こりうるということがわかった(図3-3)。この深さ190mにおける濃度分布の違いは、湖底近くにおける高濃度層の厚さの変化によって生じていることから、この湖底近くにおける高濃度層の状態を監視することが、湖水爆発の発生を予測するうえで非常に重要であると考えられる。

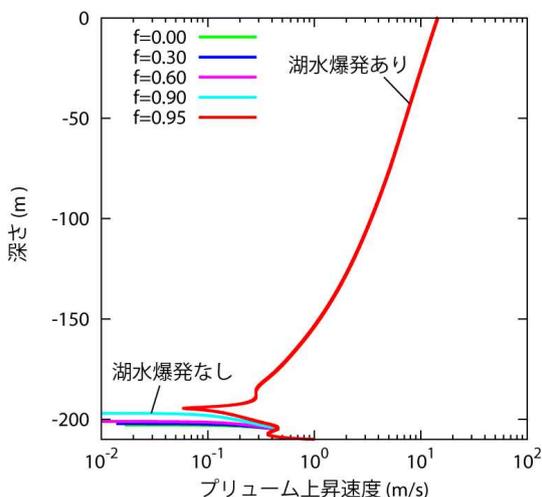


図 3-1 : CO<sub>2</sub> プリュームの上昇速度変化

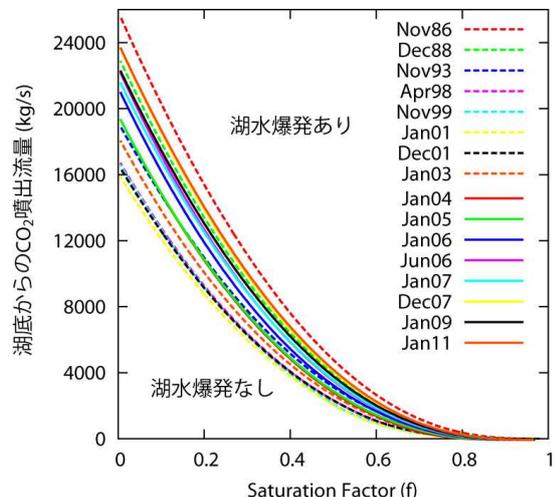


図 3-2 : 湖水爆発発生臨界条件

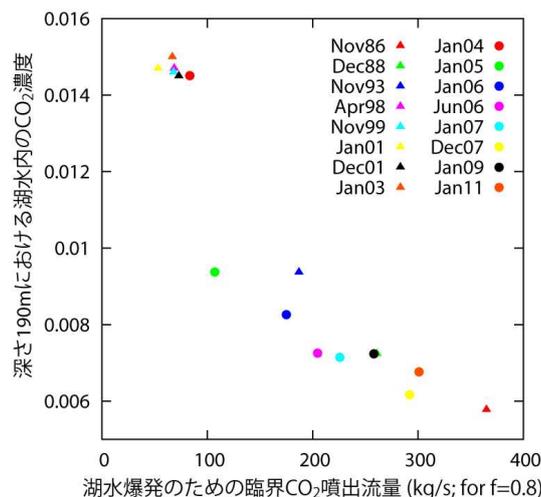


図 3-3 : 湖水爆発の臨界 CO<sub>2</sub> 噴出流量と湖水内 CO<sub>2</sub> 濃度の関係

## 2. 二次元数値モデルの構築と解析に基づく湖水内 CO<sub>2</sub> 流体挙動・蓄積過程の解明

湖水内における CO<sub>2</sub> 流体の多次元の流れを再現するために、本研究では、有限要素法数値解析ソフトウェア COMSOL Multiphysics を用いて水中への CO<sub>2</sub> 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、CO<sub>2</sub> 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。

まず、単純な矩形容器内の水に CO<sub>2</sub> 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 1.5m×7m 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 3-4 に CO<sub>2</sub> 流入後の容器内における CO<sub>2</sub> 濃度分布の時間変化の計算例を示している。CO<sub>2</sub> 気泡は浮力によって上昇するが、溶解した CO<sub>2</sub> は水より重いので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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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 3-5a)。適切な要素数を評価するために、容器水表面からの CO<sub>2</sub> 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 3-5b)。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<sub>2</sub> 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<sup>-4</sup> kg m<sup>-3</sup> 以下の低流入量において、容器下部への CO<sub>2</sub> の拡大がより支配的になり、水表面からの CO<sub>2</sub> 放出量が非常に小さくなることがわかった (図 3-6)。

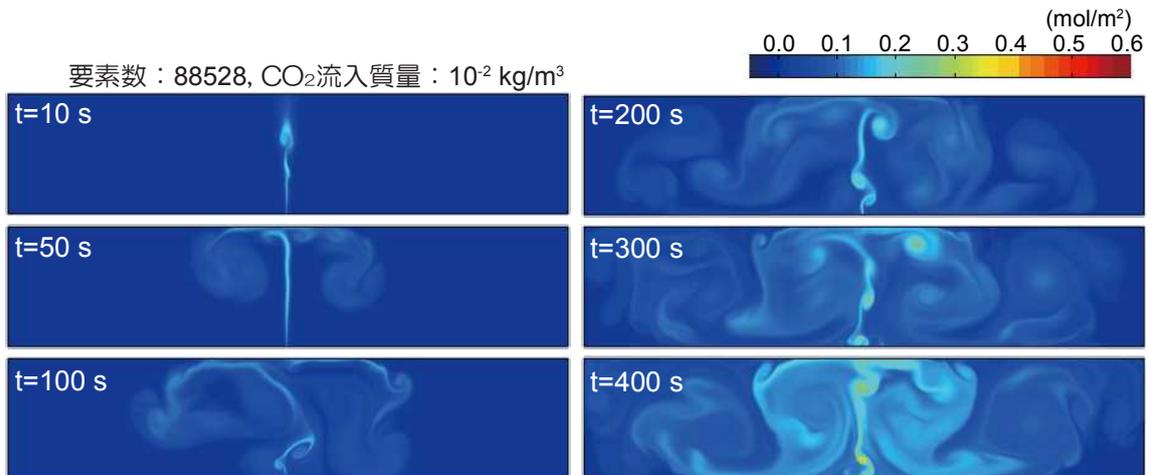


図 3-4 底部からの CO<sub>2</sub> 流入後の容器 (1.5m×7m) 内における CO<sub>2</sub> 濃度分布の時間変化

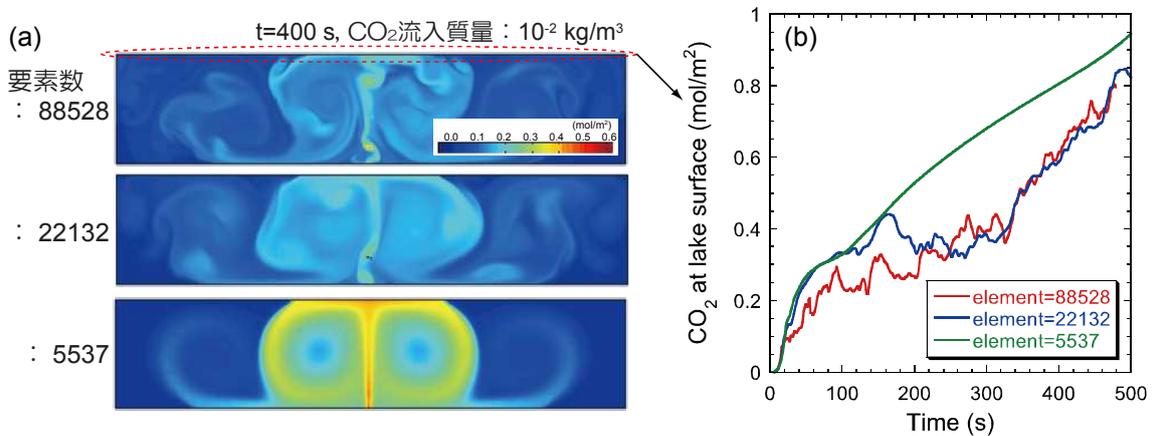


図 3-5 計算要素数を変化させた場合の容器内 CO<sub>2</sub> 濃度分布 (a) と、容器水表面からの CO<sub>2</sub> 濃度放出量の積算値の時間変化 (b)

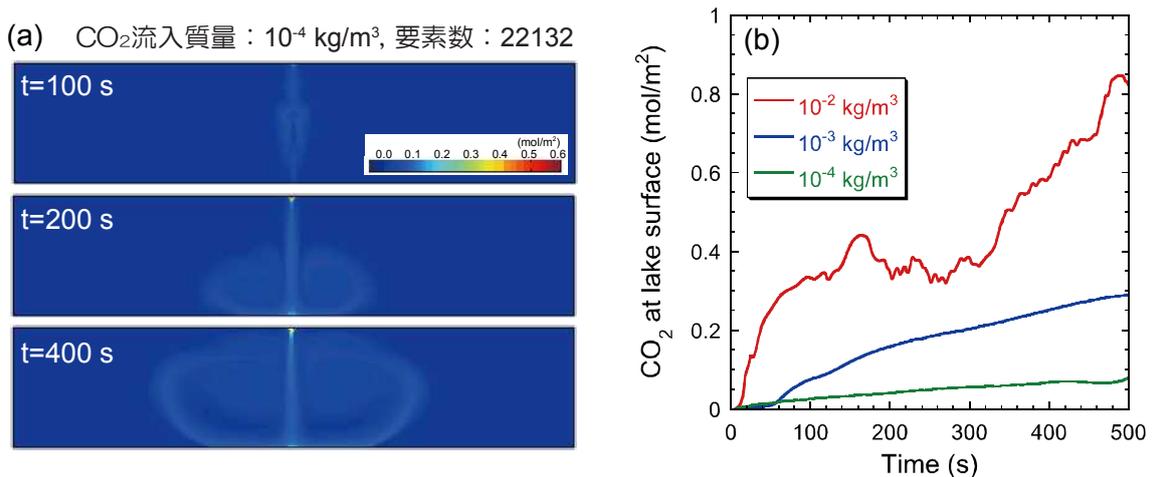


図 3-6 (a) 低 CO<sub>2</sub> 流入質量における容器内 CO<sub>2</sub> 濃度分布の変化. (b) 容器水表面からの CO<sub>2</sub> 濃度放出量の積算値の時間変化の CO<sub>2</sub> 流入質量依存性.

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、CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> プリユームの挙動がより複雑になることが確認された (図 3-7)。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、CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 放出は見られなかった。一方で、CO<sub>2</sub> が活発に湖底へ拡大した後、湖水内に CO<sub>2</sub> の濃度成層構造が形成されていく過程が再現された (図 3-8)。CO<sub>2</sub> プリユームの一次元物理モデルの解析によると、この湖水内の CO<sub>2</sub> 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、図 3-8 で示された CO<sub>2</sub> 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になると考えられる。

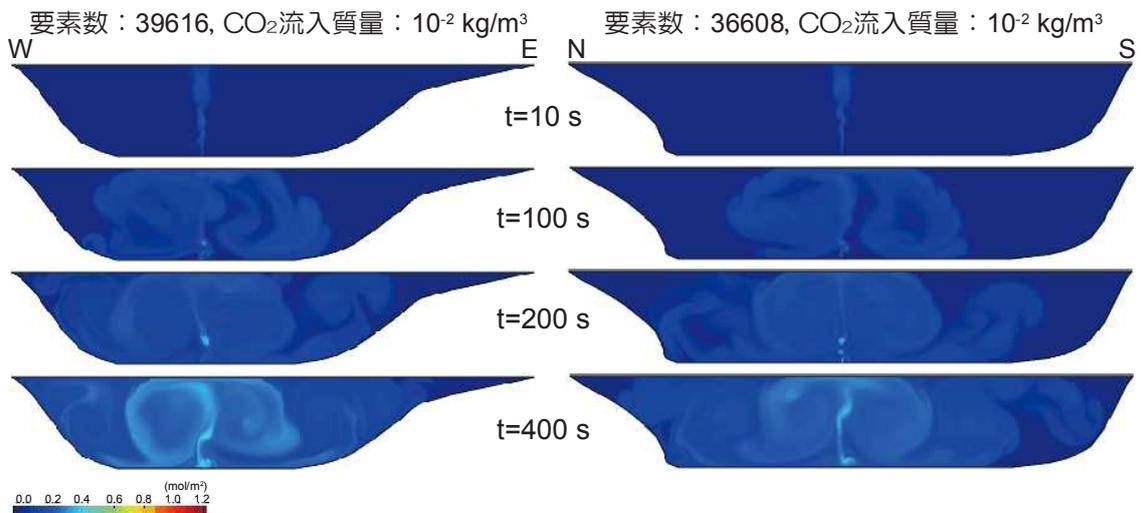


図 3-7 ニオス湖の WE, NS 断面形状 (スケール 1/200) を再現した容器内における CO<sub>2</sub> 流入後の CO<sub>2</sub> 濃度分布の時間変化

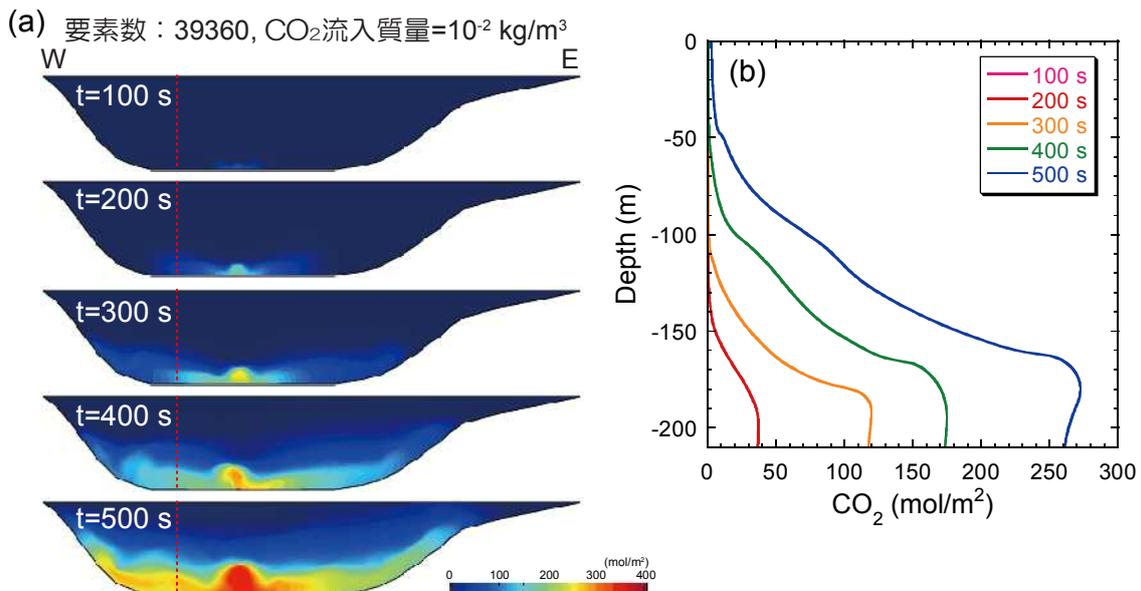


図 3-8 (a)ニオス湖の WE, NS 断面形状と実スケール (約 210m×1200m) を再現した容器内における CO<sub>2</sub> 流入後の CO<sub>2</sub> 濃度分布の時間変化. (b) 図 a 点線上における CO<sub>2</sub> 濃度の時間変化.

本研究ではさらに、CO<sub>2</sub>および温度の成層構造をもつ湖水内で生じ得る不安定化現象の発生可能性を、観測データとシミュレーションに基づき評価した。流体密度がCO<sub>2</sub>濃度と温度に依存して変化し、下層に高濃度・高温の流体、上層に低濃度・低温の流体が存在する場合、その境界において「二重拡散対流」と呼ばれる不安定化が生じ得る。この成層構造の状態はニオス湖およびマスン湖と同じであることから、本研究ではまず湖水のCO<sub>2</sub>濃度と温度の観測データに基づきこの不安定化が生じる可能性を調べた。そのために、成層構造の安定度の指標となる、濃度と温度に関する Rayleigh 数の比を表す無次元数  $R_p = \alpha_c \Delta C / (\alpha_T \Delta T)$  ( $\alpha_c$ : CO<sub>2</sub>による膨張係数,  $\Delta C$ : CO<sub>2</sub>濃度勾配,  $\alpha_T$ : 熱膨張係数, 温度勾配:  $\Delta T$ ) を用いた。ここで、 $R_p > 1$  の場合は安定になり、 $0 < R_p < 1$  の場合は不安定になることを示す。図 3-9 に、ニオス湖における CO<sub>2</sub> 濃度・温度分布の観測データに基づき計算された湖水内の  $R_p$  の値を示している。最新の観測データでは大部分で  $R_p > 1$  となっており、二重拡散対流の観点からは安定な状態であることがわかった。一方で、 $R_p$  が 1 程度になっている過去の観測データを基に CO<sub>2</sub> 濃度勾配と温度勾配を設定したうえで、流体密度が CO<sub>2</sub> 濃度と温度に依存する効果を考慮した有限要素法に基づく数値シミュレーションを実施したところ、濃度・温度の異なる流体層間の境界でわずかな不安定化が生じることが確認された (図 3-10)。

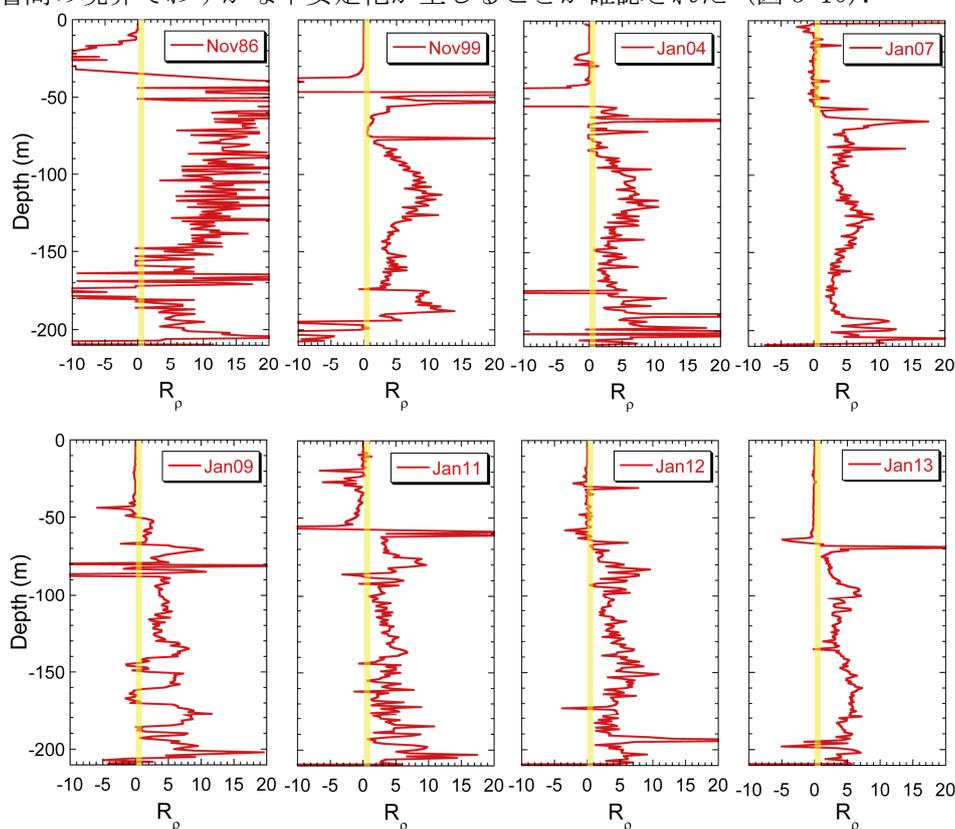


図 3-9 ニオス湖における 1986-2013 年の CO<sub>2</sub> 濃度・温度分布の観測データに基づき計算された、湖水の安定度を示す無次元数  $R_p$  の分布。

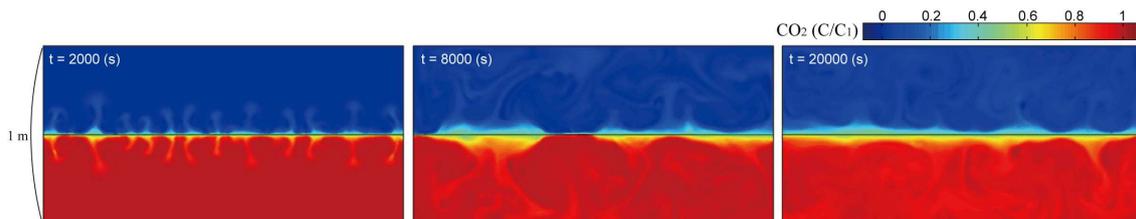


図 3-10 有限要素法に基づく、ニオス湖内の CO<sub>2</sub> 濃度・温度勾配の条件における二重拡散対

### 3. 湖水爆発の新しい発生メカニズムのモデル化と、それに基づく湖水爆発条件の解明

本プロジェクトにおける湖水観測、およびプロジェクトメンバーによる過去の観測データによると、脱ガスパイプによる  $\text{CO}_2$  除去が有効でない場合では、水に不飽和ではあるが一定の濃度を保った高  $\text{CO}_2$  層が湖底から蓄積していくことが確認されている。この蓄積が促進して飽和状態に近づいた場合に二重拡散対流などによる不安定化現象が生じると、高  $\text{CO}_2$  濃度層の一部が飽和状態に達し、 $\text{CO}_2$  プリュームが出現することが予想される。これら一連の湖水爆発の発生過程は、これまでの数値解析の結果からもその可能性が支持される重要なプロセスであると考えられる。そこで、湖底からの  $\text{CO}_2$  の蓄積過程とその後のプリューム上昇過程に関する数値モデルについて詳細なパラメータ解析を行い、さらにそれらの解析結果を統合することによって、上述の湖水爆発発生過程の可能性を定量的に調べた。

まず、湖底からの不飽和な高  $\text{CO}_2$  濃度層の蓄積・成長によってもたらされると考えられる湖水内中深部からの  $\text{CO}_2$  プリューム上昇過程について詳細な解析に取り組んだ。Woods and Phillips (1999) による一次元プリューム上昇の数値モデルを用いて、高  $\text{CO}_2$  濃度層が湖水内中深部で飽和濃度に達した地点での深さや濃度を初期条件とし、またこれまでの観測データから推定される中深部から湖水表面までの間の湖水内の  $\text{CO}_2$  濃度分布を設定したうえで、プリューム上昇過程を計算した。図 3-11 は、計算において設定した湖水内中深部からのプリューム上昇開始地点と  $\text{CO}_2$  濃度、またその地点から湖水表面までの間に設定した  $\text{CO}_2$  濃度分布であり、ニオス湖 (a) とマヌン湖 (b) についてそれぞれ示してある。湖水内の  $\text{CO}_2$  濃度分布がそれぞれの湖で最も飽和した時点の観測データも示してあり、これらの分布を参考にして上記計算条件を設定した。また、中深部から湖水表面までの  $\text{CO}_2$  濃度分布については、濃度が 0 になる深さ ( $d_c$ ) を変化させることで、濃度変化の影響を調べた。

湖水内中深部からのプリューム上昇過程を系統的に解析した結果、その中深部でのプリューム上昇開始地点における  $\text{CO}_2$  流量がある臨界値より高くなった場合に、プリュームは十分に浮力を獲得することで湖水表面に達することがわかった。これは湖水爆発現象に相当すると考えられる。一方で流量がその臨界値より低い場合、プリュームは表面に達することなく湖水内で上昇速度が 0 になる。図 3-12 は、このプリュームが表面に達するのに必要な臨界流量（縦軸）とプリューム上昇開始地点での上昇速度（横軸）の関係を表す曲線であり、この曲線より上の部分でプリュームが湖水表面に達することを示している。この曲線は、図 3-11 で示した  $d_c$  の変動に依存して変化する。図 3-12 に示した点線はこれまでの定期観測データによって推定されている湖底からの  $\text{CO}_2$  供給率であり (Kusakabe et al., 2008)、マヌン湖での  $d_c = 27$  m の場合を除いて、プリュームが湖水表面に達するための臨界流量が、その  $\text{CO}_2$  供給率より有意に低くなることがわかった。図 3-13 は、プリュームが湖水表面に達した場合の、プリューム上昇開始地点での  $\text{CO}_2$  流量（横軸）と湖水表面での  $\text{CO}_2$  流量（縦軸）の関係を示しており、湖水表面での  $\text{CO}_2$  流量が上昇開始地点での  $\text{CO}_2$  流量より高くなっていることがわかる。これは、プリュームが上昇中に周囲流体の  $\text{CO}_2$  を取り込んでいるためであり、この高流量の  $\text{CO}_2$  を湖水表面から効率的に放出する過程は、実際の湖水爆発現象の特徴を反映している。以上の解析結果から、湖水内の  $\text{CO}_2$  分布や湖底からの  $\text{CO}_2$  供給率などに関する現実的な条件のもとで、湖底からの不飽和な高  $\text{CO}_2$  濃度層の成長とそれに伴う湖水内中深部からのプリュームの上昇によって、湖水爆発が十分に生じ得ることがわかった。

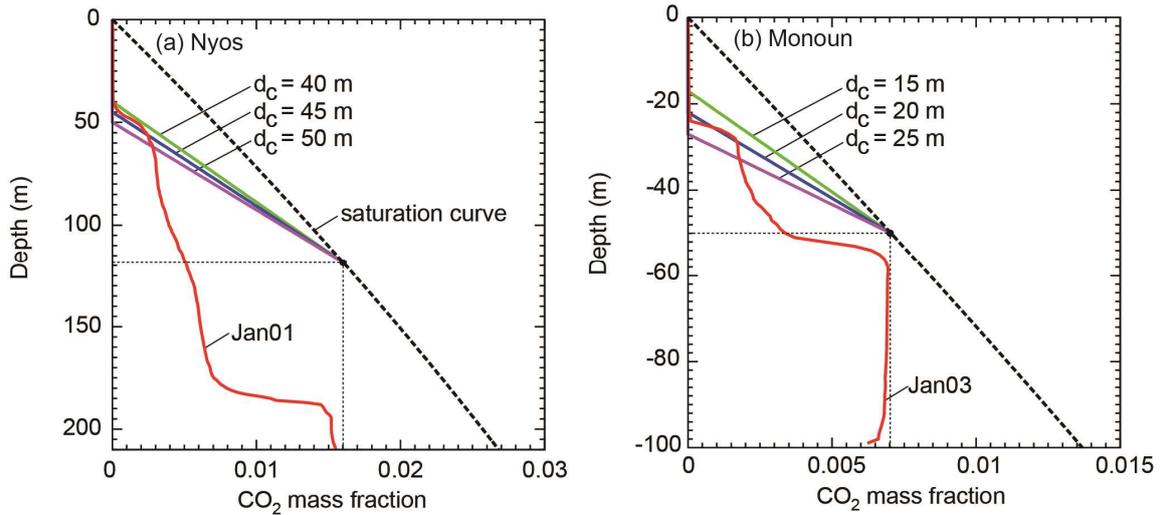


図 3-11: 湖水内中深部からの  $\text{CO}_2$  プリューム上昇過程のモデリングにおいて設定した湖水内中深部からのプリューム上昇開始地点と  $\text{CO}_2$  濃度 (黒点), またその地点から湖水表面までの間に設定した  $\text{CO}_2$  濃度分布. 点線: 飽和曲線.  $d_c$ : 濃度が 0 になる深さ. (a) ニオス湖, (b) マヌン湖.

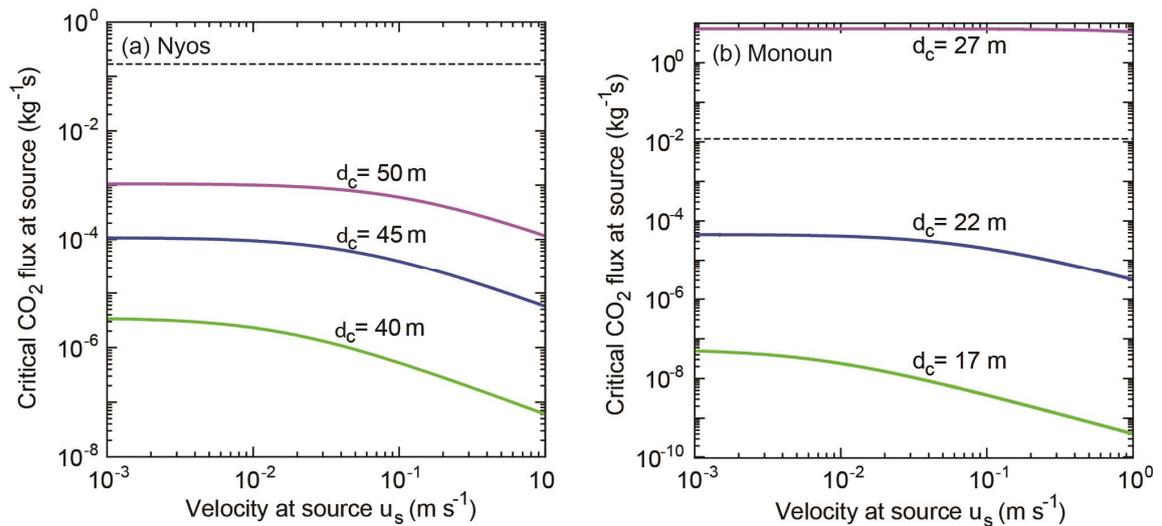


図 3-12: 湖水内中深部から上昇する  $\text{CO}_2$  プリュームが表面に達するのに必要な臨界流量とプリューム上昇開始地点での上昇速度の関係. 点線は定期観測データによって推定されている湖底からの  $\text{CO}_2$  供給率. (a) ニオス湖, (b) マヌン湖.

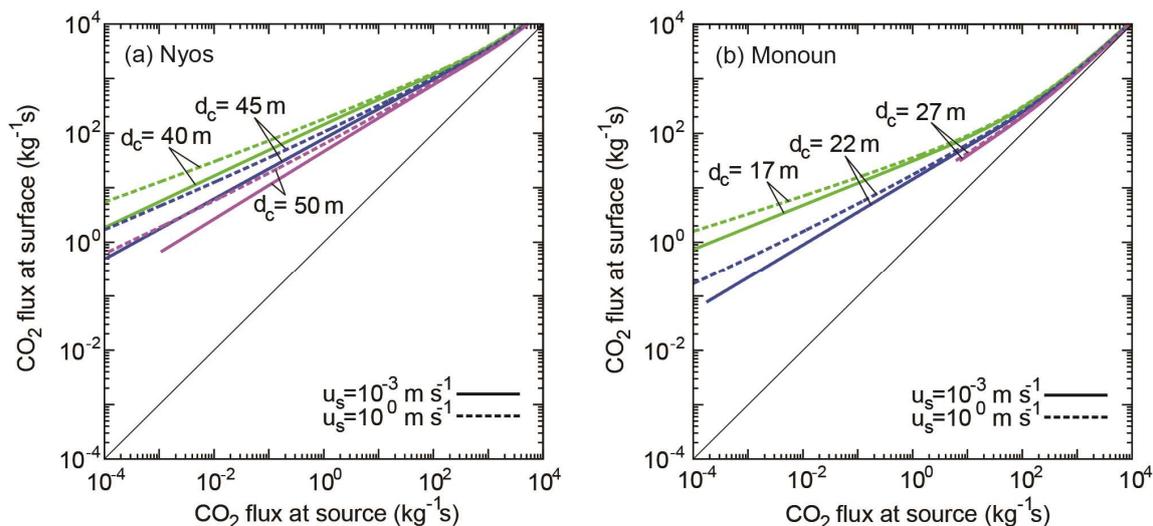


図 3-13 : 湖水内中深部から上昇する CO<sub>2</sub> プリュームが湖水表面に達した場合の、プリューム上昇開始地点での CO<sub>2</sub> 流量と湖水表面での CO<sub>2</sub> 流量の関係.  $u_s$  : プリューム上昇開始地点での上昇速度. (a) ニオス湖, (b) マヌン湖.

次に、上記のプリューム上昇開始に至るまでの湖底における高 CO<sub>2</sub> 濃度層の蓄積・成長過程に関するモデルの解析を行った. 移流拡散方程式に基づき、湖底からの濃度一定の CO<sub>2</sub> 供給を仮定し、湖水内の CO<sub>2</sub> 濃度分布が湖水内中深部において飽和曲線に達するまでの過程を調べた. 図 3-14 はその解析結果の一例であり、ニオス湖における最新の観測データを濃度分布の初期条件として、これまでの定期観測データで推定されている湖底からの CO<sub>2</sub> 供給濃度 (質量分率で約 0.016) を設定している. 湖底からの高 CO<sub>2</sub> 濃度層の成長過程が再現され、また飽和曲線 (点線) に達するまでの時間スケールを明らかにすることができた.

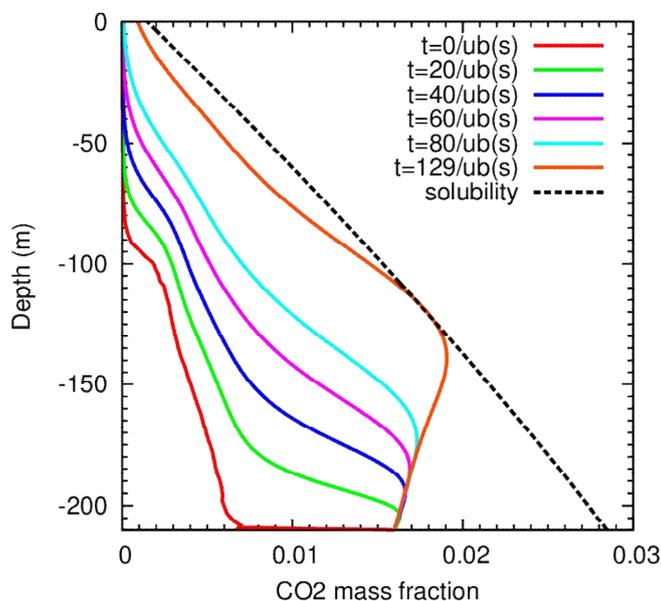


図 3-14 : 湖底からの濃度一定の CO<sub>2</sub> 供給によって生じる高 CO<sub>2</sub> 濃度層の蓄積・成長過程における CO<sub>2</sub> 濃度分布の時間変化. 点線 : 飽和曲線.

#### 4. 脱ガスパイプ内混相流の数値モデルの構築と解析

ニオス湖及びマヌン湖における湖水内  $\text{CO}_2$  分布に影響を与える重要な要素として、脱ガスパイプを用いた湖水からの人工的な  $\text{CO}_2$  除去が挙げられる。  $\text{CO}_2$  に富む湖水が深部の層からパイプを通して引き込まれると、上昇する湖水の減圧に伴う気泡生成と膨張の効果によって、パイプ内の流れが自立して継続（自噴）し、その結果湖水表面において噴水が生じる。定期観測に基づく最新の湖水内  $\text{CO}_2$  分布によると、湖底における  $\text{CO}_2$  濃度が急激に低下していることから、その湖底  $\text{CO}_2$  濃度の変化がパイプ内流れのダイナミクスや脱ガスの程度に与える影響を調べるために、脱ガスパイプ内の湖水の流れに関する数値モデルを新たに構築し、その解析を行った。モデルの構築においては、脱ガスパイプ内の水と  $\text{CO}_2$  気泡による気液混相流を圧縮性流体力学に基づきモデル化し、水に対する  $\text{CO}_2$  の溶解度則やパイプ内における流れに対する抵抗力の効果などを厳密に設定した。

図 3-15 に、数値解析から得られた脱ガスパイプ内の混相流の圧力 (a)・発泡度 (b)・速度 (c) の分布を示しており、上昇に伴う減圧によって (a)、パイプ中央部で発泡が開始した後に発泡度が増加し (b)、それによって上昇速度が急増している (c) ことがわかる。また、湖底付近に位置するパイプ入口での  $\text{CO}_2$  濃度 ( $n_0$ ) に依存して、流れの特徴も変化している。図 3-16 には、この  $n_0$  に依存したパイプ流れの特徴の系統的な変化を整理しており、またニオス湖及びマヌン湖に設置された様々なパイプの長さ (L) 及び内径 (D) の条件の効果も考慮している。  $n_0$  の増加とともに、パイプ出口における噴出速度 (a)、発泡度 (b)、圧力 (c)、水・ $\text{CO}_2$  の流量 (d) が増加する様子を定量的に求めることに成功した。特に図 3-16d の  $\text{CO}_2$  流量は湖水からの脱ガスの効率を定量的に評価するうえで非常に有用である。また、図 3-16a で示した噴出速度を用いて、パイプ出口から形成される噴水の高度を推定することができるため、図 3-17 にはその噴水高度と  $n_0$  の関係を曲線で示している。一方で噴水高度は湖水表面において容易に観測が可能であるため、その噴水高度の観測値と、観測時点での  $\text{CO}_2$  濃度定期観測データより推定される湖底における  $\text{CO}_2$  濃度、すなわち  $n_0$  の関係を図 3-17 にプロットしてある。注目すべきことに、モデル解析においてフィッティングパラメータを一切使用していないにもかかわらず、本モデルの結果は観測データと非常によく一致している。このことは、本研究で構築したモデルが脱ガスパイプのダイナミクスを正確に再現していることを示している。図 3-17 で示された本モデルの結果は、高頻度の観測が可能な噴煙高度から、湖水爆発の発生可能性を評価するうえで重要な湖底における  $\text{CO}_2$  濃度を推定することができる非常に有用なものである。

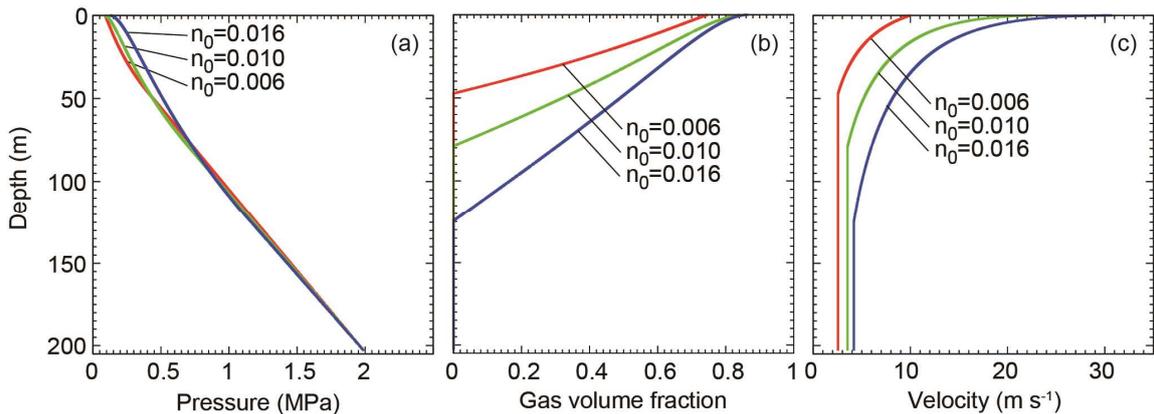


図 3-15：脱ガスパイプ内の混相流モデルの数値解析から得られたパイプ内の圧力 (a)、発泡度 (b)、速度 (c) の分布。  $n_0$ ：湖底付近に位置するパイプ入口での  $\text{CO}_2$  濃度。

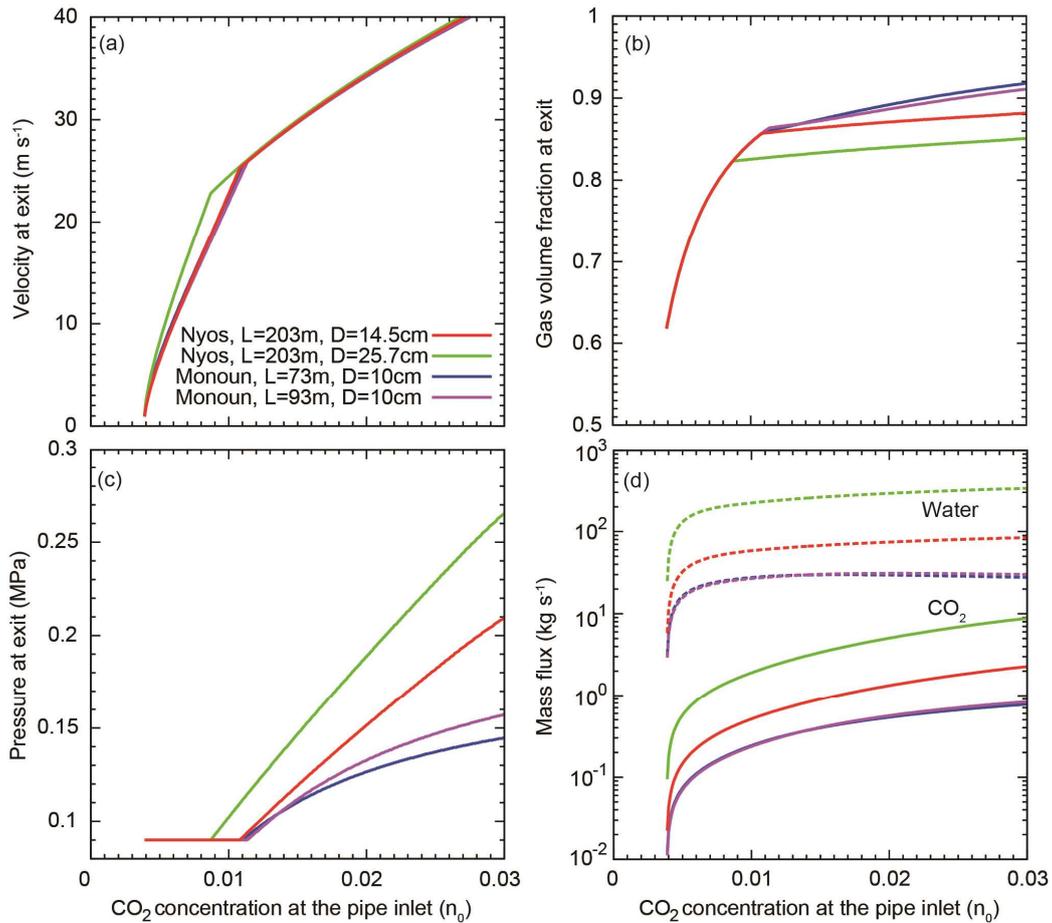


図 3-16 : パイプ入口における  $\text{CO}_2$  濃度  $n_0$  を変化させた場合の、パイプ出口における噴出速度 (a), 発泡度 (b), 圧力 (c), 水・ $\text{CO}_2$  の流量 (d) の変化. ニオス湖及びマヌン湖に設置されたパイプの長さ (L) 及び内径 (D) を考慮している.

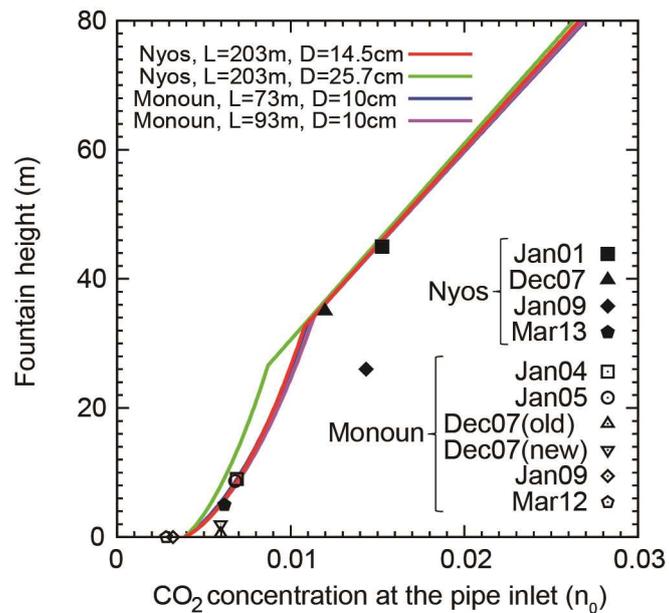


図 3-17 : 数値モデルから得られた、パイプ出口から生じる噴水の高度とパイプ入口における  $\text{CO}_2$  濃度の関係. 観測データもプロットしている.

## 5. 湖水爆発に伴う大気へのCO<sub>2</sub>拡散過程の数値解析

本プロジェクトにおいて、カメルーン側の研究者から、ニオス湖周辺地域のハザードマップ作成のために、湖水爆発に伴う大気へのCO<sub>2</sub>拡散範囲をシミュレーションによって評価する必要がある旨の要望があった。そこで本グループではこの要望に応えるために、大気へのCO<sub>2</sub>拡散過程の数値シミュレーションに取り組んだ。具体的には、CO<sub>2</sub>拡散過程のオープンソースソフトウェアであるTWODEE2 (Folch et al., 2009) を用いて、ニオス湖周辺地域における地形データを計算条件として設定することで、湖水爆発に伴うCO<sub>2</sub>拡散過程を数値シミュレーションによって再現した。

CO<sub>2</sub>拡散過程は、湖水爆発による湖からのCO<sub>2</sub>放出率や周辺地域の風向・風速に強く依存する。図3-18は、1986年の湖水爆発時と同じく北西向きの風向を設定した場合の計算例であり、CO<sub>2</sub>拡散中における濃度分布の変化を示している。また図3-19には、ニオス湖周辺の主要な居住地域における、ある地点での時間変化を抽出している。これらの計算を様々なCO<sub>2</sub>放出率、風向、風速の条件のもとで実施することで、ハザードマップ作成に貢献する基礎データを蓄積することができた。

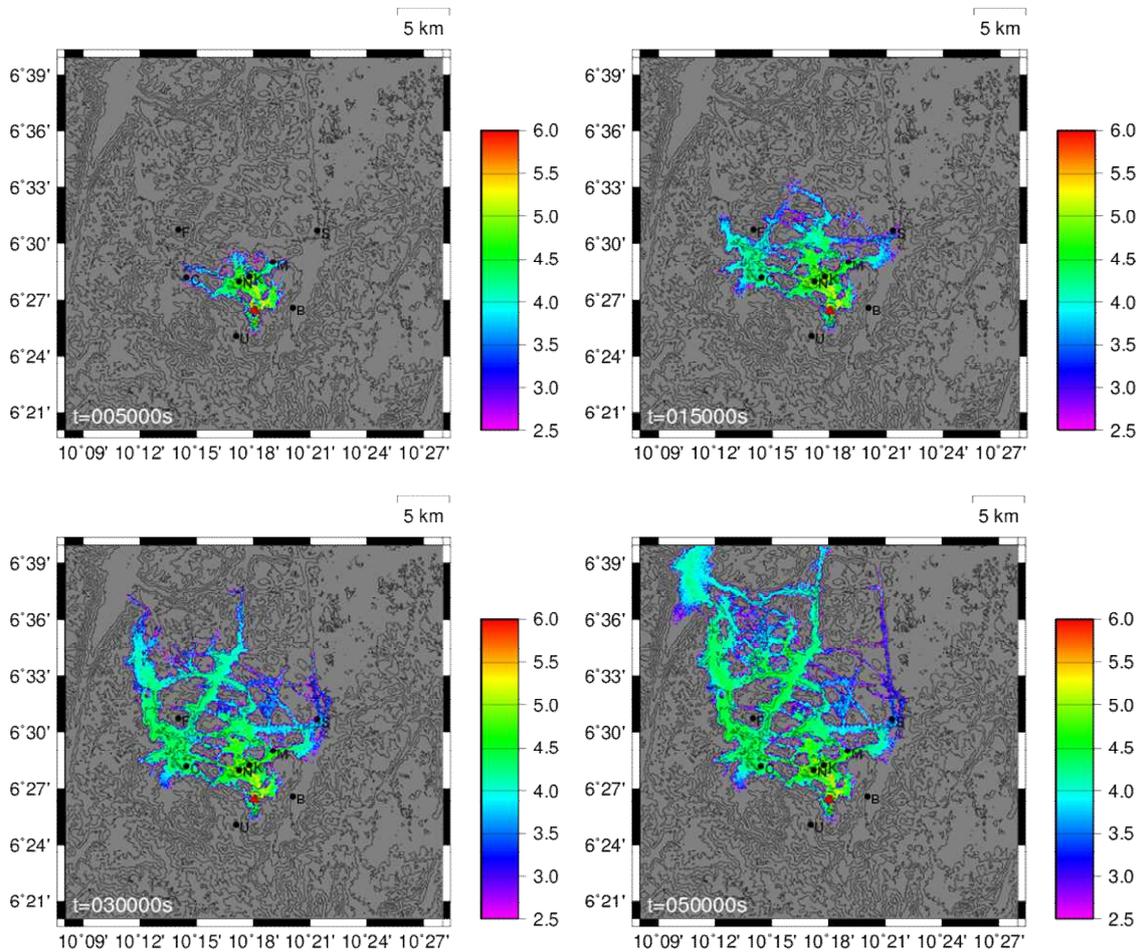


図3-18 ニオス湖（三角印）からの大気へのCO<sub>2</sub>拡散過程の数値シミュレーション。カラーはCO<sub>2</sub>濃度を示し、単位はlog<sub>10</sub>(CO<sub>2</sub> ppm)。

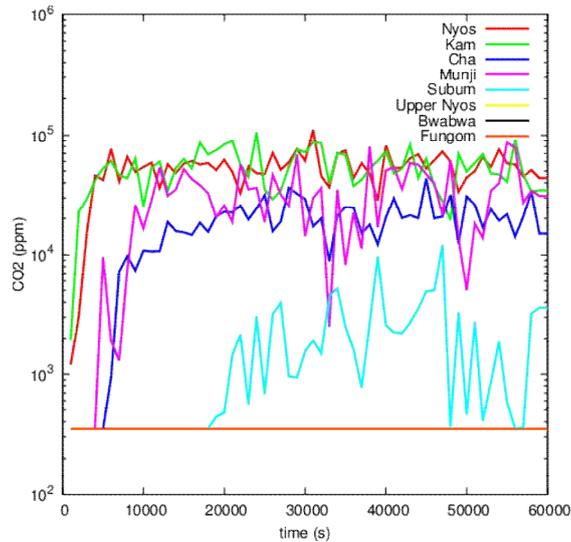


図 3-19 ニオス湖周辺の主な居住地域（図 18 の丸印）における CO<sub>2</sub> 濃度の時間変化。

### ③研究題目 3 の当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

PDM Indicator 1-1:達成した。

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の解析に基づいて湖水爆発発生メカニズムや条件を段階的に明らかにしていくことを目標とした。初年度は、既存の CO<sub>2</sub> プリウム上昇に関する一次元物理モデルに実際の CO<sub>2</sub> 濃度分布の観測データを厳密に組み込んだ詳細なパラメータ解析という、重要な基礎解析の部分を予定通りに進めることができた。この基礎解析の結果は、より複雑なモデルの構築や解析を次年度以降に行う際にその妥当性を評価するうえで非常に有用となった。また、観測データを数値計算条件に組み込む際の定式化も初年度の解析中に行うことができたため、これも以後の解析に活用された。2, 3 年目には、有限要素法に基づき、水中での CO<sub>2</sub> 気泡の流入過程、湖底での CO<sub>2</sub> 蓄積過程、湖水内成層構造の不安定化現象に関する二次元の数値モデルを構築し、その詳細な解析に取り組んだ。モデル化の対象とする現象は多岐にわたり、モデルも複雑化したためその構築と解析に 2 年間を要したが、最終的には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た。4, 5 年目には、これまでの解析で得た知見を活用し、湖底からの不飽和な高 CO<sub>2</sub> 濃度層の成長とそれに伴う湖水中深部からのプリウムの上昇によって、現実的な条件のもとで湖水爆発が生じ得ることを示し、さらにその湖水爆発が生じる臨界条件を明らかにした。この結果は、湖水のモニタリングに基づき湖水爆発の発生可能性を評価するうえで、極めて重要なものである。また、本研究の結果は、高 CO<sub>2</sub> 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を指摘しており、湖水爆発開始の検知に必要なモニタリングの精度に関する情報を提供することが可能となった。以上によって、主に PDM における Output 1. The mechanism of limnic eruption is understood と Activity 1-1. The conditions under which limnic eruption can occur are constrained through computer-simulation に関する成果を当初の計画通りに達成することができた。

上記の当初計画に加えて、本研究では 4 年目に脱ガスパイプ内の流れの数値モデリングに成功し、脱ガスパイプが湖水爆発発生抑制に果たす役割を定量的に評価することができ、観測が容易な噴水高度から、湖底における CO<sub>2</sub> 濃度という重要な情報を得ることが可能となった。また 5 年目には、湖水爆発に伴う大気への CO<sub>2</sub> 拡散過程の数値シミュレーション

にも取り組み、災害時への周辺地域への影響を評価することが可能となった。これら2つの成果は湖水爆発の災害軽減に大きく貢献するものである。

#### ④研究題目3のカウンターパートへの技術移転の状況

PDM Indicator 1-1:達成した。

本グループでは、カメルーン・IRGMのRomaricがJICA短期研修員として東北大学に滞在し、湖水爆発現象に関する数値モデル構築、コード開発、シミュレーションの研修を実施した。具体的には、上記項目でも紹介した次元プルームモデル、脱ガスパイプモデルのコード開発から数値シミュレーションの結果を得るまでの一連の過程に関する技術を習得してもらった。なお、これらの数値シミュレーションコードはカメルーン側にすべて提供した。また、CO<sub>2</sub>拡散過程のシミュレーションソフトのインストールおよび使用方法についても技術提供を行った。以上によって、湖水爆発に関連する数値解析をカメルーンにおいても実施できる研究環境を整備することができた。

以上の技術移転に加えて、幅広いユーザーによる使用が可能なGUIベースでCO<sub>2</sub>プルームモデルの数値解析に関するアプリケーションソフトを開発した。また、ハザードマップの作成に活用される可能性があるCO<sub>2</sub>拡散過程のシミュレーションについて、そのパラメータ解析結果をデータベース化し、web上でカメルーン側と情報共有している。

#### ⑤研究題目3の当初計画では想定されていなかった新たな展開

当初計画では想定されていなかった新たな展開としては、ニオス湖周辺地域におけるハザードマップ作成のための、CO<sub>2</sub>拡散範囲の評価が必要であるというカメルーン側からの要望に応えるために、大気へのCO<sub>2</sub>拡散過程の数値シミュレーションに取り組んだことが挙げられる。上記②の5で既に述べたように、この数値解析は順調に実施された。

#### (5) 研究題目 4 : ニオス・マヌン湖の CO<sub>2</sub> 供給システムの解明

大阪大グループ :

##### ①研究題目 4 の研究のねらい

目的は、ニオス湖・マヌン湖の CO<sub>2</sub> 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観測手段を開発し、観測態勢を整えることである。

##### ②研究題目 4 の研究実施方法

マルチビームソナーによる湖盆地形測量、高水圧対応カメラ、温度計、水中音速測定装置などによる、溶存二酸化炭素の湖水内の三次元的観測を元に CO<sub>2</sub> 供給源を探索する。また、湖水周辺の濃度測定により CO<sub>2</sub> 拡散経路の二次元分布を把握する。それらの知見をもとに、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する。

##### ③研究題目 4 の当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

PDM Indicator 1-2, 2-1, 2-2 : 達成した。

#### 湖水に溶存する CO<sub>2</sub> の 3 次元分布 (PDM 2-1)

CO<sub>2</sub> 濃度の湖内三次元湖水観測に関し、溶存 CO<sub>2</sub> 濃度を水中音速と電気伝導度から推定する手法の開発に成功した。さらに、水中音速のみでも溶存 CO<sub>2</sub> 濃度の推定ができることを確認した。音速度変化と CO<sub>2</sub> 濃度との相関は、同じ湖の深度方向の溶存化学物質の濃度変化にほとんど影響を受けないことから、キャリブレーションのための化学定量を一箇所で行っておけば、同じ変換係数を同じ湖の他の場所や深度でも使うことができる。そのため、容易に多地点観測をすることができるようになった。また、観測時期が 2 年異なるデータを比較した結果、この変換係数は 10% 未満の変化に収まっていたので、キャリブレーションなしでも、ある程度の期間、推定値を出すことや、CO<sub>2</sub> 濃度の深度相対値を測定することには十分に使うことができる。2014 年度には、これらの測定方法の技術をカメルーン側研究者に講習し、測定装置も供与し、2015 年度以降カメルーン研究者のみで観測を継続できる体制を整えた。2011 年度、2013 年度、2014 年度の現地測定によりニオス湖マヌン湖ともに湖水中の CO<sub>2</sub> 濃度の 3 次元計測データが蓄積され、CO<sub>2</sub> 濃度の水平垂直変化や年単位での変化を把握することができた (図 4-1)。特にマヌン湖の CO<sub>2</sub> 濃度の深度分布が西側と東側で異なることが発見されたことは、3 次元測定ならではの成果である。

土壌・大気の CO<sub>2</sub> 観測に関しては、2013 年度に、CO<sub>2</sub> センサーとマイコンボードを組み合わせて、土壌中拡散 CO<sub>2</sub> および大気中 CO<sub>2</sub> 濃度を観測できるポータブルな装置を開発した。2013 年度末の予備測定で、土中 CO<sub>2</sub> は土中微生物の発生する CO<sub>2</sub> が大半を占めていることがわかった。また、大気中 CO<sub>2</sub> 濃度は、ニオス湖では脱ガスパイプの影響が圧倒的であり脱ガスパイプから離れた地域では、通常大気の CO<sub>2</sub> 濃度と大差ないことがわかった。2014 年度は、湖水表面からの CO<sub>2</sub> 放出量の観測を集中して行い、放出量の分布を得ることができた。

#### 湖底地形探査 (PDM 1-2)

湖盆地形観測に関しては、2014 年度までにマルチビームソナーをゴムボートに搭載し観測運用できるよう搭載治具を開発し、国内で運用訓練をしながら改良を続けてきた。これらの成果に基づき、2014 年度にカメルーン側研究者にマルチビームソナーの供与を完了した。そして、2014 年度 11 月にマヌン湖でのマルチビームソナー運用を行い、マヌン湖底の

詳細地形図の作成に成功した(図 4-2). 2015 年 3 月にはニオス湖の湖底地形の測定を行い, ニオス湖底の詳細地形図の作成にも成功した(図 4-3). 詳細地形図の作成により, マヌン湖東部に高 CO<sub>2</sub> 濃度水供給源と推定される窪地を発見した. さらに, この窪地に対して電気伝導度測定や, 水中音速測定を行い, 地下水供給源であることを裏付けるデータを得た(図 4-4).

また 2013 年度末に完成させた耐水圧水中カメラをさらに改良し, 2014 年度は湖水中でのカメラの姿勢がわかる装置を開発した. これらを使って, 2014 年度末の調査では, マルチビームソナーで発見した地下水噴出口らしき地形の水中撮影を行った. 期待した流水の存在は確認できなかったものの, 湖水の透明度の垂直変化のデータを得た. その結果, ニオス湖もマヌン湖も深部は CO<sub>2</sub> 濃度が深いところほど高くなるという共通の傾向を持つにもかかわらず, ニオス湖の深部は透明度が高いのに対して, マヌン湖の深部は逆に透明度が低くなることがわかった. これは, 両湖の湖水の化学組成の違いを反映しており, 湖水爆発に至る CO<sub>2</sub> 濃度の飽和条件に影響を与える可能性がある. この問題については今後も研究を続ける必要がある.

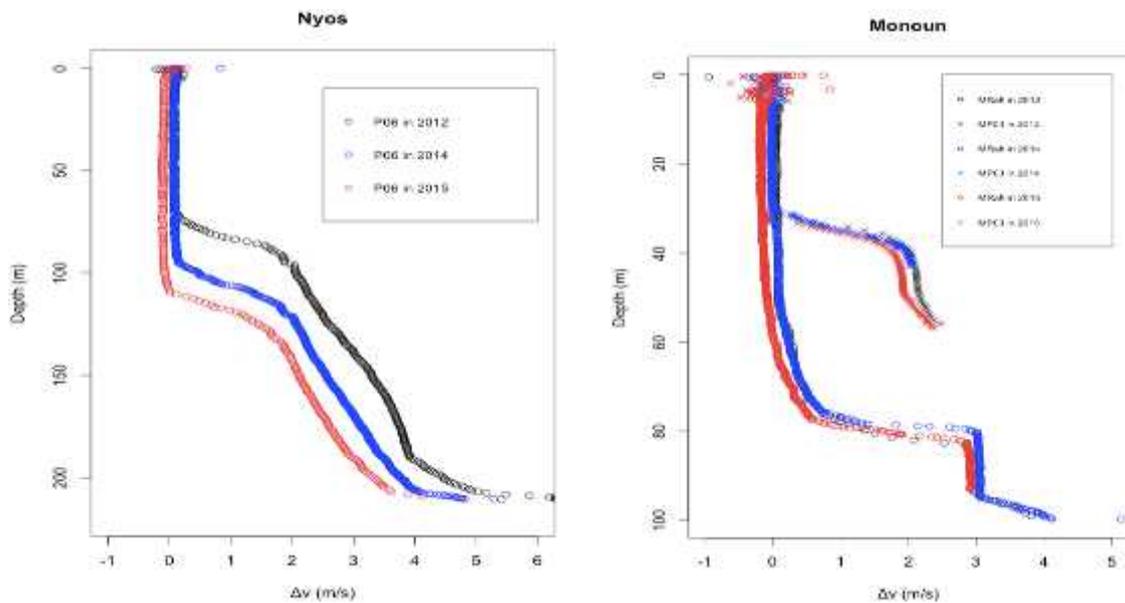


図 4-1 : ニオス湖(左) マヌン湖(右) の水中音速度変化深度分布の代表的なデータ抜粋. 音速度の変化量は溶存する CO<sub>2</sub> 濃度と高い相関がある. ニオス湖の CO<sub>2</sub> 高濃度層の厚さが年々減少していることや, マヌン湖の場所による濃度分布の違いがはっきりと現れている.

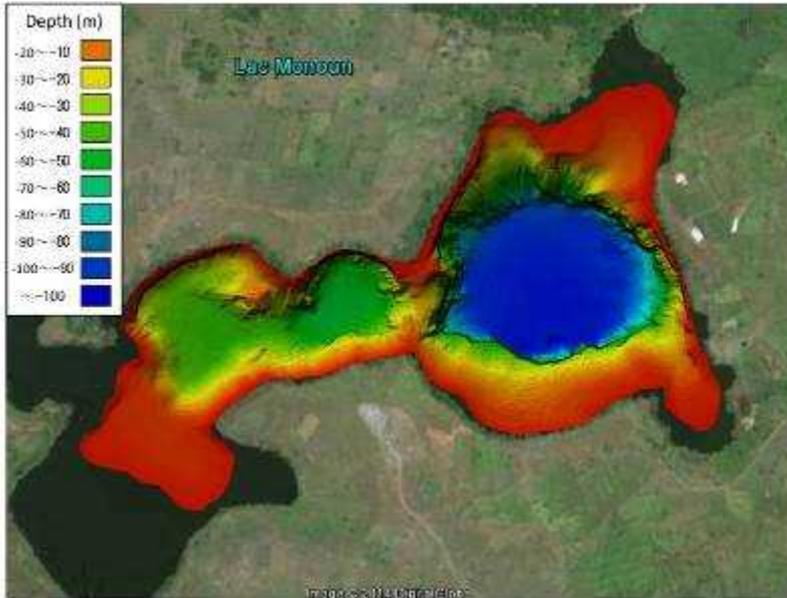


図 4-2. マルチビームソナーによるマヌン湖の湖盆地形

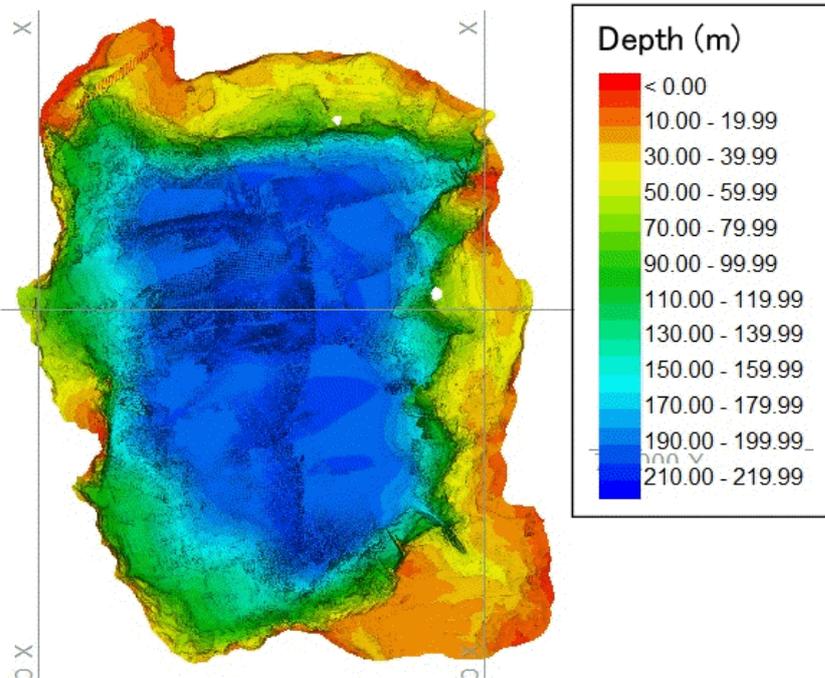


図 4-3. マルチビームソナーによるニオス湖の湖盆地形

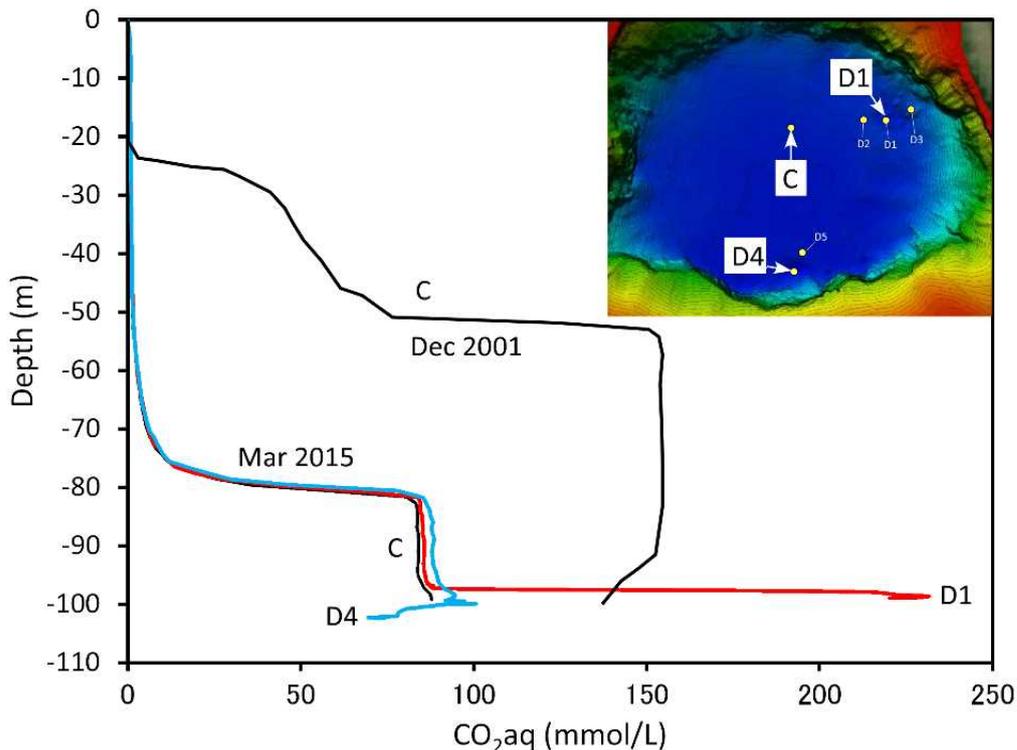


図 4-4. マヌン湖の主盆地における窪み (D1, D4) の直上で観測した  $\text{CO}_2$  濃度プロファイル。D1 (赤線) の湖底における  $\text{CO}_2$  濃度は 2001 年における最高濃度を越えており、D1 の窪みに存在する流体がマヌン湖に  $\text{CO}_2$  を供給する高  $\text{CO}_2$  濃度流体であると考えられる。D4 の  $\text{CO}_2$  濃度プロファイル (青線) は中央部 (C: 黒線) と一致しており、高  $\text{CO}_2$  濃度流体は存在していない。

#### ④研究題目 4 のカウンターパートへの技術移転の状況

PDM Indicators 1-2, 2-1, 2-2 : 達成した。

マルチビームソナー、水中音速度測定装置、大気  $\text{CO}_2$  濃度測定装置は、全て供与を完了した。マルチビームソナーに関しては、2014 年 10 月～11 月に使用・解析講習会をヤウンデ、およびマヌン湖で実施し、技術的移転を行い、2015 年 3 月のニオス湖調査で実践訓練を行った。その他の装置に関しても、2015 年 3 月のニオス湖・マヌン湖の調査でカメルーン側研究者だけで装置が使用可能なことを確認し、また、普段のメンテナンス方法を指導することができた。2015 年 11 月の JICA 終了時評価の際に、IRGM 所員からマルチビームソナーのデータ解析について更に指導するよう要請があり、2016 年 2 月に日本人研究者を研修のために派遣し、技術移転を完了した。

#### ⑤研究題目 4 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

水中音速による湖水中  $\text{CO}_2$  濃度の測定方法の開発が想像以上にうまく進んだので、さらに安価で手軽な測定方法として、超音波励起発泡現象 (キャビテーション) を使った低コストの  $\text{CO}_2$  濃度の測定方法の検討を行った。しかし、試作した超音波振動子では  $\text{CO}_2$  濃度変化に対応した発泡度の変化を示すことができず、手法の有効性を示せなかった。一方、水中カメラによる湖底撮影では、湖水の深さ方向への透明度の変化がニオス湖とマヌン湖で異なった傾向を示すという興味深いデータを得た。

## (6) 研究題目 5 : 地下水流動系の解明

### ①研究題目 5 の研究のねらい

研究グループ：東京大グループ

マグマから放出された CO<sub>2</sub> ガスは主に地下水に吸収されニオス・マヌン湖に供給されると考えられる。したがって、マグマから放出された CO<sub>2</sub> の行方は、地下水の動きに依存している。本グループでは、湖に蓄積する CO<sub>2</sub> の収支を包括的に把握することを目的として、まず、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 GIS ならびに地球化学的手法により解明する。また大気観測用の衛星リモートセンシングの CO<sub>2</sub> 放出・移動形態を捉える手法としての有効性を明らかにする。

### ②研究題目 5 の研究実施方法

以下、地形図の作成、水文化学的調査、大気中 CO<sub>2</sub> 観測の 3 項目に分けて記述する。

#### (1) 詳細な地形図の作成

本プロジェクト実施以前、調査対象地域には、研究上の基盤情報となり得る詳細な地形図が存在しなかった。そこで本グループでは、現地調査に先立ち、地球探査衛星 Terra ならびに Spot が提供するステレオ画像を用いてニオス湖周辺の詳細な地形図を作成した。また、1960 年代に撮影された調査地域の航空写真を入手し、整理した。

#### (2) 水文化学的調査

目的地周辺で湧水・井戸水・表流水・湖水を採取し、溶存する化学成分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と CO<sub>2</sub> の流動形態の解明を試みた。

#### (3) 大気中 CO<sub>2</sub> 衛星観測

温室効果ガス観測技術衛星 (GOSAT) を用いて、ニオス湖・マヌン湖ならびにその周辺地域において、大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の集中観測を実施した。そのデータ解析により、同地域において CO<sub>2</sub> 濃度の異常値が検知され得るかの判断を行った。

### ③研究題目 5 の当初の計画 (全体計画) に対する成果目標の達成状況とインパクト

PDM Indicator 2-2 : 当初の計画を超えて貢献している。

#### (1) 詳細な地形図の作成

地球探査衛星 Terra ならびに Spot が提供するステレオ画像を用いて 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。その結果を図 5-1 に示す。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。これらを解析した結果、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ることから、南東から北西に地下水の流動が暗示された。

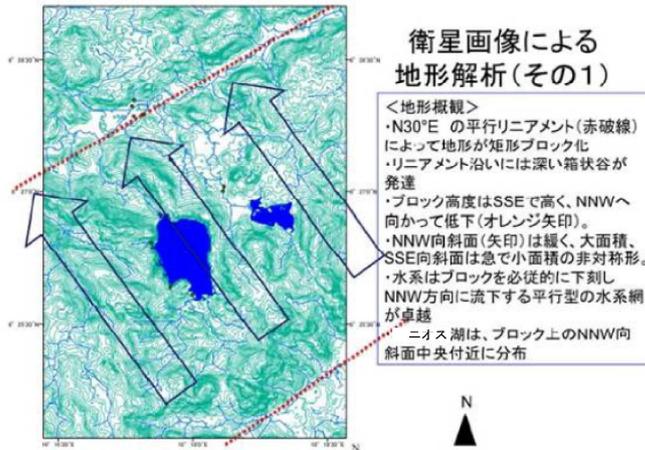


図 5-1 ニオス湖周辺の地形構造

また、これらのデータを元に、ニオス湖周辺の断面図を詳細に描くことが可能となり、これまで概念的に捉えられていたニオス湖北西部の決壊が危惧されている岩盤の様子を詳細に捉えるなど(図 5-2)、地形に関する様々な情報を具体的に把握することが初めて可能となった。これにより、当初の成果目標である詳細な地形図の作成は達成できた。

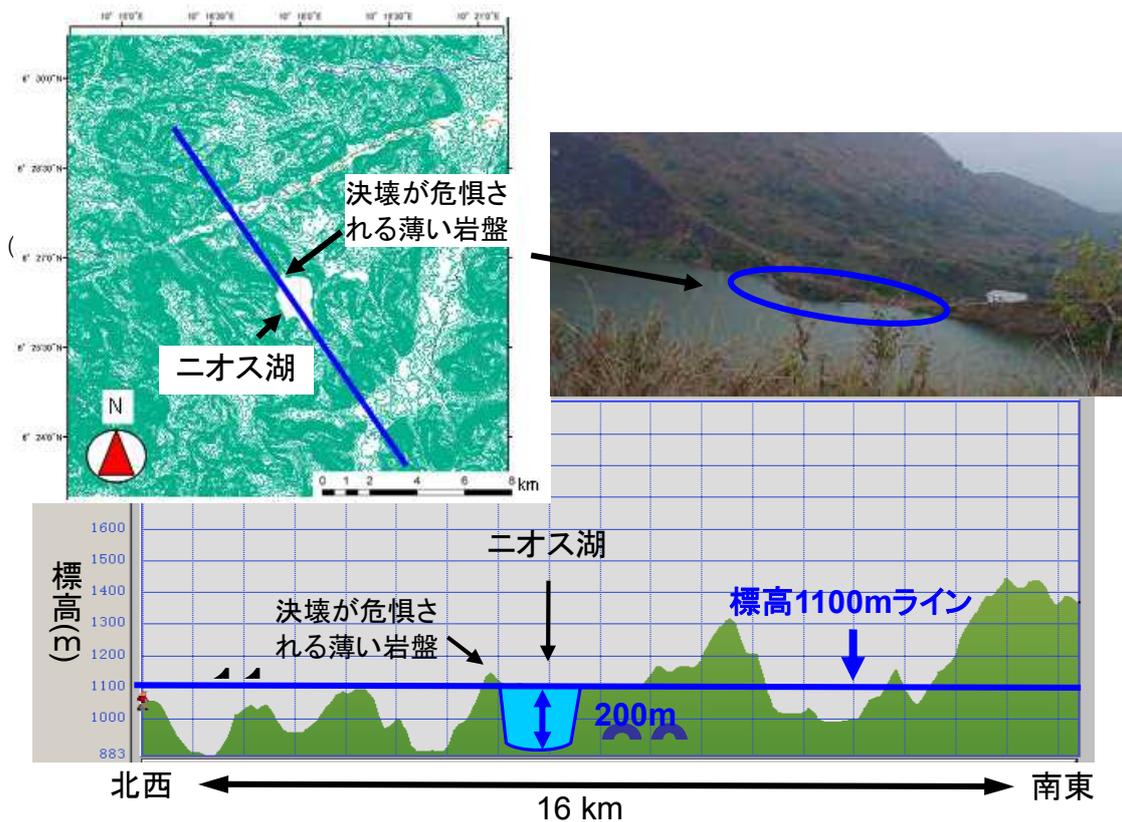


図5-2. 北西-南東方向のニオス湖周辺の断面図

## (2) 水文化学的調査

ニオス湖ならびに湖周辺において、採水作業と現地測定を2011年1月、2011年12月、2013年1月に実施した。これにより、60地点において湖沼・井戸・河川・湧水のpH・EC・ORPと重炭酸イオンの現地測定を実施し、計80試料を採水した。これらの資料採水地点を図5-3に示す。

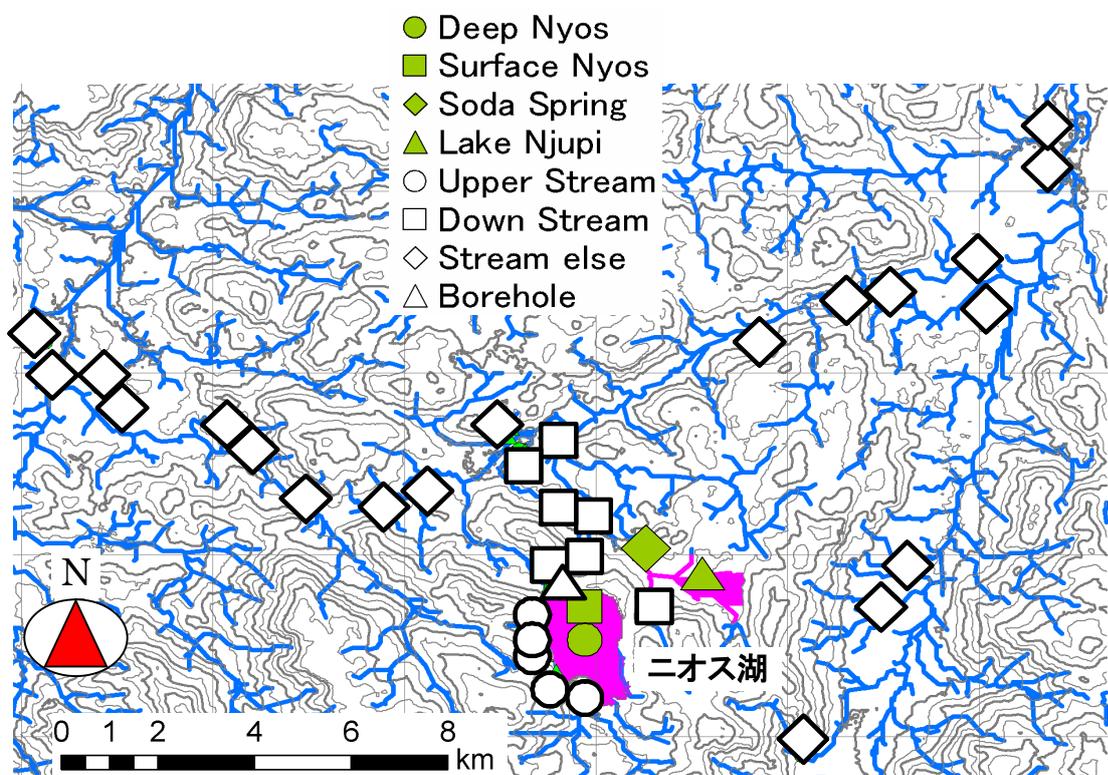


図5-3 試料採水地点

表流水と湖水の調査では、現地において水温、pH、電気伝導度(EC)、酸化還元電位(ORP)を測定し、滴定法によりアルカリ度を測定した。また、湧水やボーリング掘削坑の水、井戸水の調査においては、これらに加えて2価鉄イオンの簡易分析を行った。これら水試料は日本に持ち帰り、溶存する無機主要成分と鉄イオン、マンガンイオンについて定量分析を行った。

主要陰イオン成分の分析については、0.20  $\mu\text{m}$  のメンブランフィルターでろ過の後、イオンクロマトグラフィー(Dionex DX-120)を用いてノンサプレッサ法により測定した。主要陽イオンについては、島津製作所 AA-6800 を用い、 $\text{Na}^+$ と $\text{K}^+$ はフレイム発光分析法、 $\text{Ca}^{2+}$ と $\text{Mg}^{2+}$ は1%ランタン共存下において原子吸光光度法(AA)により定量した。各イオンの定量限界は、 $\text{F}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Na}^+$ および $\text{Ca}^{2+}$ が $5.0 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 、 $\text{NO}_3^-$ が $1.5 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 、 $\text{K}^+$ および $\text{Mg}^{2+}$ が $1.0 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ であった。

マンガンについては原子吸光光度法(島津製作所 AA-6800)にて測定した。また2価鉄( $\text{Fe}^{2+}$ )については、採水時に現地にて $\alpha$ - $\alpha'$ ジピリジル・酢酸・酢酸ナトリウム混合溶液を添加して $\text{Fe}^{2+}$ を発色固定し、速やかに実験室に持ち帰り、吸光光度法により波長522 nmで測定した。

これらの分析の結果、ニオス湖水の電気伝導度(EC)は、表層で11 - 14 mS/m、ニオス湖北端における掘削孔水で14 - 25 mS/mであった。ニオス湖の下流域外の周辺地下水や河川水の値は、全て6 mS/m以下であり、2 mS/mと極めて低い値を示すものも存在した。これに対してニオス湖下流域の井戸水ならびに河川水におけるECの値は、6-20 mS/mと広い変

動幅を示した。特に地形構造からニオス湖の影響が顕著と見られる試料は、15 mS/m 以上の高い値を示した。このことにより、ニオス湖に発する高濃度 CO<sub>2</sub> 含有水の影響の有無は、EC 値と上記主要陽イオンの多寡により、判別可能であることが示唆された。

今回採取した水試料において 1mg/dm<sup>3</sup> 以上含まれる主要な溶存成分は、Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Si であった。一方、ニオス湖の湖底で高濃度を示す Fe<sup>2+</sup> (>600mg/dm<sup>3</sup>) や全 Mn (>3mg/dm<sup>3</sup>) は、ORP 値の小さな一部の湧水と掘削抗の水でのみ 1mg/dm<sup>3</sup> 以上の値を示した。日本の河川では主要成分となる Cl<sup>-</sup> と NO<sub>3</sub><sup>-</sup> はほとんどの試料で 1 mg/dm<sup>3</sup> 以下であり、また SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> については、全試料について 1mg/dm<sup>3</sup> 以下と極めて希薄である。風送塩や古海水起源による Cl<sup>-</sup> や SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> が主要成分となる日本の渓流水や湧水とは全く異なる性状を示していることが明らかとなった。

これら溶存成分の挙動を支配する要因を把握するために、無機主要成分と Fe<sup>2+</sup>, ならびに全 Mn の定量値に基づき、多変量解析の一手法である主成分分析を行った。その結果、3つの主成分が得られた(表 5-1)。それらの特徴を概観すると、全共分散からの寄与率が約 50% の第一主成分は、主要な溶存イオンである Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Si からの寄与を受けており、寄与率 17% の第二主成分は Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> からの寄与を、寄与率 13% の第三主成分は Fe<sup>2+</sup> と Mn からの寄与を受けている。

第一主成分に寄与する化学成分は、電気伝導度(EC) を押し上げる支配要因となる化学成分であった。この内訳は、調査地の水的全陰イオンの 98% を占める HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> と、岩石-水相互作用により生じる成分 (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Si) であった。Fe<sup>2+</sup> や Mn からも弱い寄与が見られた。

表 5-1 主成分分析の結果

	P1	P2	P3
Na <sup>+</sup>	0.37	0.03	-0.27
K <sup>+</sup>	0.35	-0.14	-0.27
Mg <sup>2+</sup>	0.36	0.04	0.14
Ca <sup>2+</sup>	0.36	-0.10	0.00
ΣMn	0.23	0.06	0.53
Fe <sup>2+</sup>	0.26	0.20	0.46
F <sup>-</sup>	0.23	0.37	-0.06
Cl <sup>-</sup>	0.19	-0.50	0.07
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.11	-0.55	0.29
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.12	-0.40	-0.36
HCO <sub>3</sub>	0.39	0.08	0.06
Si	0.31	0.26	-0.35
Eigenvalue	5.93	2.02	1.60
Proportion(%)	49.39	16.83	13.36
ΣProportion(%)	49.39	66.22	79.58

第一主成分の解釈をするために、安定関係図を用いて二次鉱物と水との熱力学的な安定関係を考察した(図5-4)。K<sup>+</sup>/H<sup>+</sup>とSiの関係では、ニオス湖の湖底から得られた試料は、アモルファスシリカとカリ長石、パイロフィライトの境界に位置し、岩石の化学風化の最終段階にあることが分かった。また、ニオス湖の水域内から得られた試料については、カリ長石とカオリナイトとの境界付近にあり、かなり岩石-水相互作用が進んだ水であった。ニオス湖水域以外を流れる河川水については、例外なしにカオリナイトに不飽和であり、岩石-水相互作用がほとんど進行していなかった。こうした傾向は、他の陽イオン(Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>)においても確認された。ニオス湖下流域から得られる試料水は、カオリナイトに飽和するまでに岩石-水相互作用が進んでいるために、第一主成分が高値で揃うと解釈された。

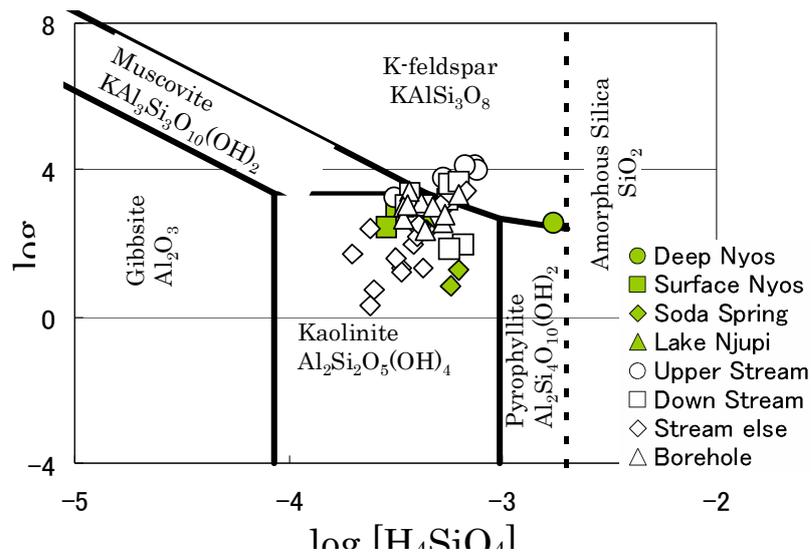


図5-4 K<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> - Si 安定関係図

しかしながら、岩石-水相互作用が第一主成分を支配する要因であるならば、何故  $\text{Fe}^{2+}$  と Mn からの第一主成分への寄与が弱いのかについて、pH-ORP ダイアグラムを用いて考察した (図 5-5)。  $\text{Fe}^{2+}$  と全 Mn の濃度が顕著に高いニオス湖の湖底試料や湧水は、還元的であり、Fe が溶存態の  $\text{Fe}^{2+}$  として安定的に存在しうることが示されている。これに対して、表流水や  $\text{Fe}^{2+}$  濃度の低い試料は酸化式的であり、Fe が不溶態となることが示されている。同様のことは Mn についても言える。このことより、 $\text{Fe}^{2+}$  や Mn については酸化還元状態により濃度の変動が発生するため、この影響を受けない他の主要成分と異なり、第一主成分への寄与が弱くなる。また、 $\text{Fe}^{2+}$  と Mn が他の主成分である第三主成分に排他的に寄与することからも、この二成分が他の主要成分とは異なる特殊な挙動を示すことが示されている。

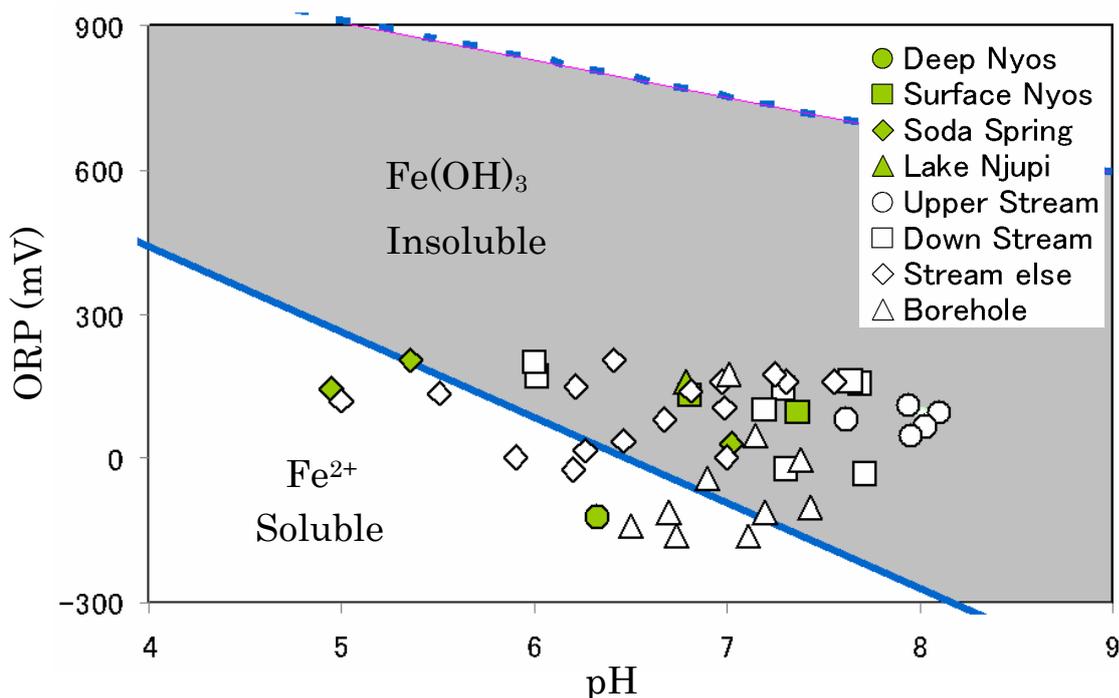


図5-5 pH-ORP ダイアグラム Diagram

なお、第二主成分は、 $\text{Cl}^-$  と  $\text{NO}_3^-$  からの寄与を受けている。これら  $\text{Cl}^-$  と  $\text{NO}_3^-$  は、ほとんどの試料において  $1 \text{ mg/dm}^3$  以下を示しているが、 $1 \text{ mg/dm}^3$  を超える値を示す試料は、すべて民家の下流か、洗濯場等の人為的影響の見られる箇所から得られたものであった。当該水域では、人為的影響以外にこれら二成分の供給源が見られないため、第二主成分は人為的影響を示す主成分であるとみられる。また、第三主成分は、第一主成分の箇所で示したように、酸化還元状態の影響を示すものと解釈される。

このように、ニオス湖に発する影響は第一主成分の値に示されること、そして、第一主成分と第三主成分が共に高い値を示すものが、特にニオス湖湖底に発する水の特徴を示すことが判明した。また、言い換えると、第一主成分と高相関を示す、電気伝導度 (EC) によりニオス湖水域の水と他水域の水を判別することができる。地形解析と本水文化学調査で得られた流動系の概念図を図 5-6 に示した。これにより、当初の成果目標である地下を含む流水系の把握がほぼ達成できた。

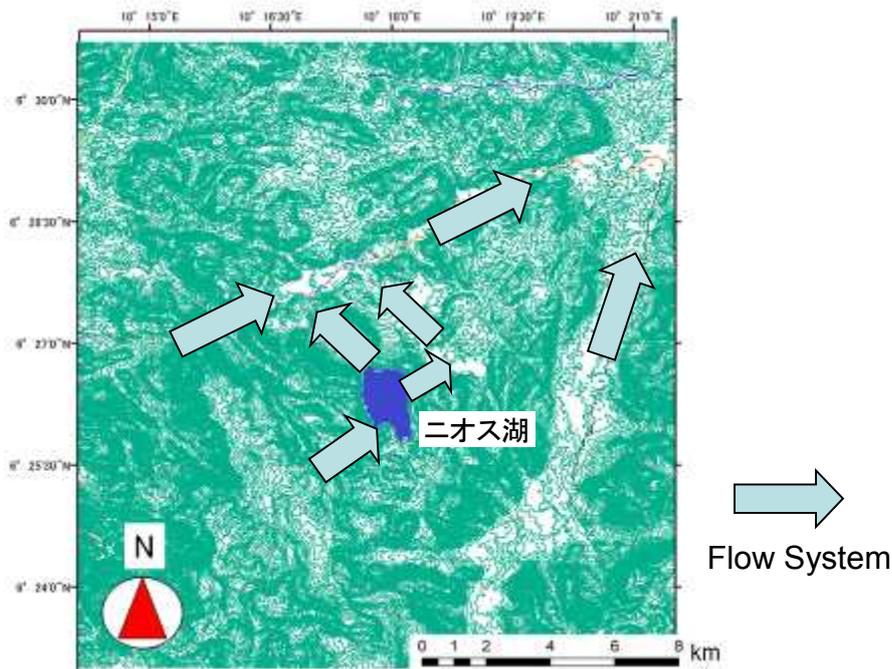


図5-6 溶存成分の考察から得られた流動系

### (3) 大気中 CO<sub>2</sub> の衛星観測

温室効果ガス観測技術衛星 (GOSAT) を用いて、ニオス湖・マヌン湖ならびにその周辺地域において、大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の集中観測を実施した。当初、観測要求を行わずに取得できる標準メッシュデータの利用を検討したが、実際の観測データがほとんどないことから、同衛星プロジェクトの承認を得て、観測要求を出した。

観測要求をした地点も含め、対象地域について、2009年4月～2014年3月までの間に延べ34地点のデータが得られた。ただし、マヌン湖付近については、ほぼ常時雲があり、1回も晴天条件での観測が行われなかった。これらの観測で得られるのは、大気の下端から上端までの CO<sub>2</sub> の平均濃度である。ただし、実際には高度 2km 以上の上空での濃度変化は小さいことから、データはそれ以下の高度の濃度変化を強く反映している。

得られた CO<sub>2</sub> 濃度について、場所 (緯度・経度)、標高、植生タイプなど、さまざまなパラメータとの相関を解析したが、その中でも特に濃度と標高の相関が高いことが判明した。解析結果を図 5-7 に示す。これは、標高が土地被覆状態や植生タイプと相関を持つためでもあるが、低地と高地で 15 ppmv という大きな濃度差が出ることの説明は難しい。このような差が、人為や植生活動、対象域外からの輸送などで説明できるのか、あるいは、その説明の範囲を超えた地中からの放出などと対応する何らかの変化を捉えているのかの判断は、現データの解析のみからでは困難である。本検討項目は、プロジェクトの途中で追加されたものなので、観測データが限定的であることから、今後、より長期なデータの蓄積と、数値モデルなども用いた詳細な解析により、観測手法としての有効性が評価されるべきものと考えられる。

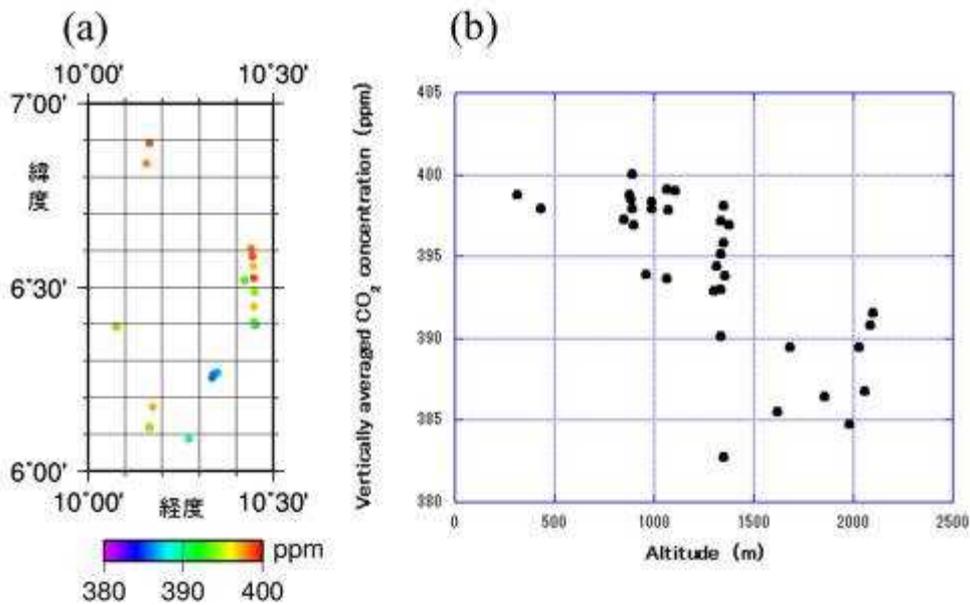


図 5-7. 衛星観測された大気中 CO<sub>2</sub> 濃度. (a) 水平分布, (b) 標高の関数.

#### ④研究題目 5 のカウンターパートへの技術移転の状況

カウンターパート側が自立して継続的に調査研究を実施するためには、他国からの資金援助を要しない安価な調査・分析技術を当該国の研究者が会得する必要がある。そのため、本グループでは、高価な分析機器を必要としない、現場で即時的に水質概況を把握することが可能な調査・分析技術の移転を心がけた。その目的のために、ニオス湖ならびに周辺における現地調査は、IRGM の若手研究員で留学生でもあった Brice とともに実施し、現場において調査技術の教授に努めた。具体的な内容としては、河川や湧水の採水の方法や水試料の現地処理、ならびに電気伝導度(EC)や pH、水温の測定、鉄イオンの簡易分析、重炭酸イオンの現場測定法について技術移転を行った。また、実験室での試料の取り扱いや試験方法についての情報を提供した。また、GIS を用いて地化学データを提示する方法について指導した。

#### ⑤研究題目 5 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

当初計画では温室効果ガス観測技術衛星 (GOSAT) によるニオス・マヌン湖周辺における大気 CO<sub>2</sub> 濃度の観測は予定されていなかったが、実際にデータが取得できたことは意義がある。

## (7) 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

### 熊本大グループ

#### ①研究題目 6 の研究のねらい

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する。

#### ②研究題目 6 の研究実施方法

ニオス湖において地質学的調査を実施して、同地域の地形地質の概要を明らかにした。また、現地にて採取した岩石試料の化学分析を行い、それらのデータと現地調査の結果を統合して、ニオス湖火山のより詳細な形成史および地下深部マグマ系の解明を目指した。

#### ③研究題目 6 の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

PDM Activity 7-2（地質図の作成から噴火史の解明に内容を変更）：達成された。

これまでの現地調査や岩石試料の化学分析結果によって明らかになったニオス湖周辺域の噴火活動史とマグマ供給系の概要は次の通りである。

### ニオス湖周辺域の地質概説

ニオス湖周辺の基盤岩は、先カンブリア紀の花崗岩類で構成され、これらは主に N-S 方向および N70E 方向の断層によって切られている。これら基盤岩類は、ニオス湖北岸～西岸に絶壁を構成して露出する。

ニオス湖は、長径約 2 km、短径約 1.2 km の南北に伸びた輪郭を示すマールである。東北東約 1 km には底径約 700 m のスコリア丘が存在する。本研究では、ニオス湖と周縁のスコリア丘を総称してニオス火山と呼ぶ。

### ニオス湖周辺域における火山地質

ニオス湖北西岸の基盤岩中に 2 枚の岩脈を発見した。貫入面はいずれも N70E 方向を示し、幅は 50 cm 前後。無斑晶質の玄武岩である。比較的新鮮な石基の斜長石について K-Ar 年代測定を行った結果、ともに約 230 Ma であった（表 6-1）。

表 6-1 玄武岩質岩脈の K-Ar 年代測定結果  
年代結果一覧表

試料番号	測定物 (メッシュサイズ)	カリウム含有量 (wt. %)	放射性起源 <sup>40</sup> Ar (10 <sup>-8</sup> cc STP/g)	K-Ar年代 (Ma)	非放射性起源 <sup>40</sup> Ar (%)
140317-197-1 dyke①	長石 (#150-300)	4.777 ± 0.096	4569 ± 43	231.1 ± 4.8	0.3
140317-197-2 dyke②	長石 (#150-300)	2.560 ± 0.051	2379 ± 23	224.8 ± 4.7	0.9

ニオス湖北岸～北東岸では基盤岩を覆う火砕物や溶岩が認められる。これらの噴火層序は下位から、a) 爆発角礫岩、b) スコリア層、c) 溶岩、d) 火砕サージ堆積物である（図 6-1）。これら噴出物の間に再堆積物や土壌層などは認められない。a) 爆発角礫岩は、湖岸

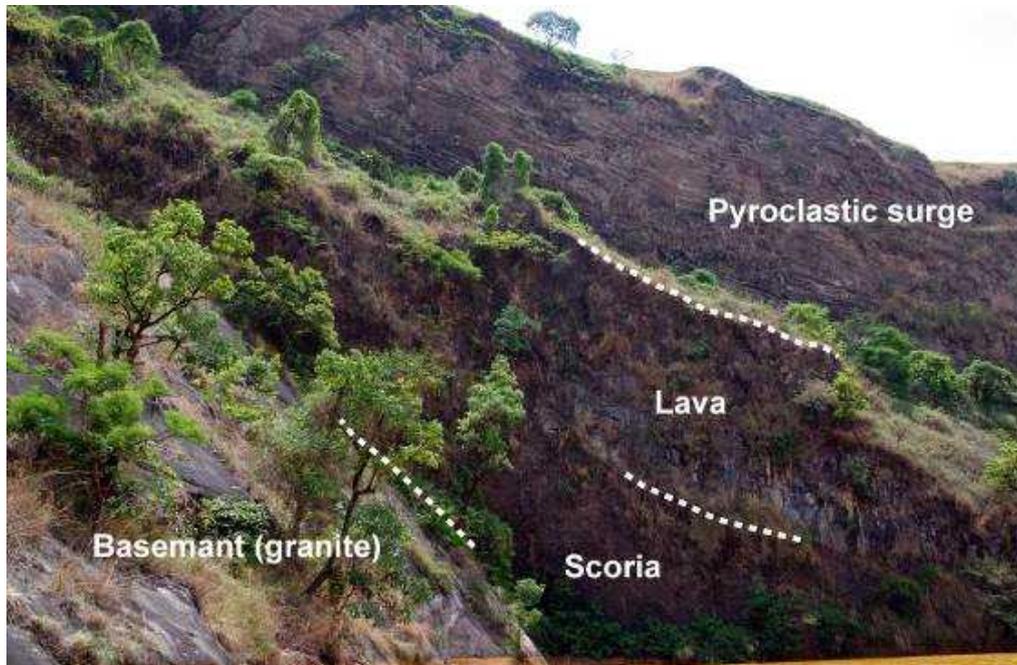


図 6-1. 基盤岩（花崗岩質岩石）を覆うニオス湖噴出物（ニオス湖北東岸）

東側の一部で観察できる。最大層厚 3 m 以上。基質支持で角礫の石質岩片（最大径 50 cm）に富む雑多な岩相を示す。急冷縁を持つ玄武岩のほか、花崗岩、カンラン岩を含む。b) スコリア層は、最大層厚 10 m。礫支持で発泡した分級のよいスコリア（最大径 20 cm）からなる。本層には新鮮で急冷縁を持つ無斑晶質な石質岩片も含まれ、スコリアと岩質を異にする。ほかに花崗岩、カンラン岩の外来岩片も含まれる。c) 溶岩は、最大層厚 7 m。緻密で比較的斑晶の多い玄武岩である。湖岸では、おおむね東岸で堆積水準が低く、北岸で高い。これは基盤の形成する原地形を反映したものと思われる。北岸において、湖面から 20m ほどの高さにある基盤岩とスコリアを覆うことから、溶岩を供給した火口はそれよりも高所にあったと考えられる。また、ニオス湖とスコリア丘の間を流れる河床で、d) 火砕サージ堆積物に覆われる本溶岩を認めた。d) 火砕サージ堆積物は砂サイズ以下の細粒物を欠き、斜交～平行層理が発達する。北～東岸で厚く (>30 m)、西岸では比較的薄い (<10 m)。ニオス湖北西～東方の 1～2 km 以上に広がって分布する。本質物質は、発泡が悪く比較的斑晶の多い垂角～垂円礫の玄武岩が大部分を占めるが、基底部では急冷縁を持ち無斑晶質な玄武岩も認められる。遊離結晶も多量に含まれる。花崗岩、カンラン岩も多く含む。ニオス湖から北西約 2 km では、本層基底部に火山豆石を含む火山灰層が複数挟在するのが認められる。

ニオス湖東北東約 1 km に存在するスコリア丘は、大きく東西に分裂しており、東側のスコリア丘の南斜面は崩壊したような構造と断面が認められる（図 6-2）。崩壊物と思われるブロックも点在する。露頭が十分でないことから、詳しい噴火層序は確立できなかったが、スコリア丘の噴出物は、下位から e) スコリア層、f) 火山弾およびアグルチネート、g) 溶岩が確認できた。e) スコリア層は、ニオス湖周辺の複数の露頭で d) 火砕サージを覆う。両者の間には不明瞭ながら薄い風化帯が認められる。層厚および粒径は、スコリア丘に向かって増加し（最大層厚 >120 cm）、分布主軸は西南西である。著しく発泡のよい玄武岩からなり、花崗岩、カンラン岩の外来岩片も含まれる。f) 火山弾は、スコリア丘の西方～南

方周辺 500 m 付近に散在する. e) スコリア層を押しつぶすように定置するのが認められる. 火山弾はスコリア丘の近傍で直径 1 m を超え, アグルチネートとして産する場合もある. スコリア丘を給源とする g) 溶岩は少なくとも 2 層認められる. ひとつは, スコリア丘の分裂中心から, 南~南西方へ数百 m 程度流下した塊状溶岩である. 斑晶が比較的多く, かんらん石や輝石の巨斑晶を含む. もうひとつは, スコリア丘から 2 km 以上を流れた溶岩で, スコリア丘の北西部に広く分布する. 無斑晶質で, 花崗岩, カンラン岩の捕獲岩を含む.



図 6-2. ニオス湖東北東 1 km に位置するスコリア丘 (左) とジュピ (Njupi) 湖 (右)

野外で採取した岩石試料のうち, 本質物質について, 異質岩片をできるだけ取り除いて薄片観察と全岩化学組成分析を行った. 鏡下ではいずれも斑晶鉱物 (微斑晶含む) として少量のかんらん石, 輝石, 斜長石が認められる. 化学組成は,  $\text{SiO}_2 = 45\text{--}51$  重量% (以下, 「重量」を省略),  $\text{TiO}_2 = 2.5\text{--}3.2\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 14.8\text{--}16.3\%$ ,  $\text{FeO} = 10.2\text{--}12.2\%$ ,  $\text{MnO} = 0.16\text{--}0.19\%$ ,  $\text{MgO} = 7.0\text{--}10.2\%$ ,  $\text{CaO} = 7.7\text{--}9.3\%$ ,  $\text{Na}_2\text{O} = 2.7\text{--}4.2\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} = 1.1\text{--}2.0\%$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5 = 0.63\text{--}0.87\%$  の範囲に収まる (図 6-3). TAS 図上では大部分が粗面玄武岩であるが, d) 火砕サーージ堆積物の一部とスコリア丘噴出物の一部は玄武岩の組成領域を示す. 全体に, スコリア丘噴出物はニオス湖噴出物よりも低い  $\text{SiO}_2$ , 総アルカリ値を示す. 同程度の  $\text{SiO}_2$  量で比べると, スコリア丘噴出物が, ニオス湖噴出物よりも高い  $\text{MgO}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Ni}$  値を示す. これらの噴出物の中では, d) 火砕サーージ堆積物が最も幅広く多様な組成範囲を示す.

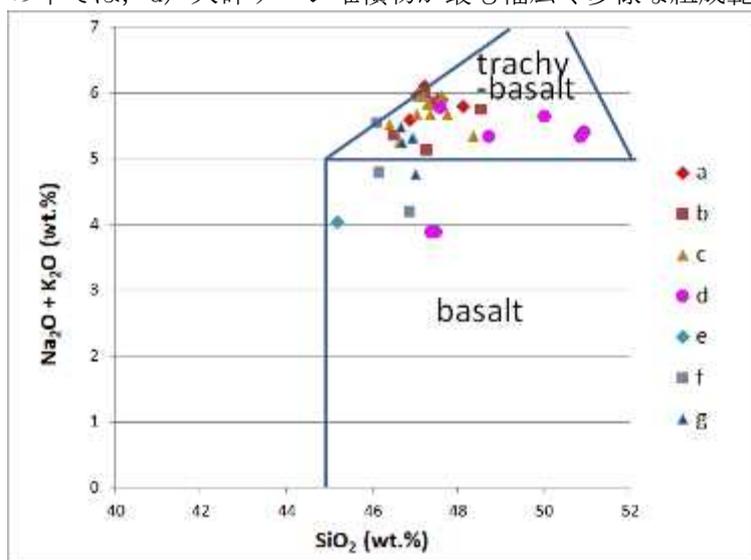


図 6-3. 本質物質の全岩化学組成

#### ④研究題目 6 のカウンターパートへの技術移転の状況

PDM Indicator 7-2 (地質図の作成から噴火史の解明に内容を変更) : 達成された.

これまでの現地調査はすべて 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. また, 共同で現地調査を行うことにより, カメルーン側研究者に地質調査方法や噴出物の解釈などについての技術指導を行った.

#### ⑤研究題目 6 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

プロジェクト終了後もカメルーンの火山 (火口湖を有する火山や活火山である Mount Cameroon など) においては噴出物層序に基づく噴火履歴や活動史を検討する研究が必要であると考えられる. 我々は 2014 年 12 月末~2015 年 1 月初めにニオス湖で IRGM 研究者と共同で地質調査を実施したが, その際に同行していた Niche は誠実で熱心な人柄であり, 将来のカメルーン国で火山地質分野のリーダーとなる可能性がある人材であると感じた. しかしながら, 現在, IRGM を含めて, そうした人材育成を十分に行える体制は整っていないため, Niche を日本に招聘して実地研修を行った.

#### (8) 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

東工大グループ

##### ①研究題目 7 の研究のねらい

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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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.

##### ②研究題目 7 の研究実施方法

2012 年度, 2013 年度, および 2014 年度の 3 度に渡り Oku Volcanic Group において野外調査を行った. 採取した岩石試料の化学分析を実施した. 岩石試料を粉末化し, 主成分組成 (100 試料) を XRF, 微量元素組成 (80 試料) を ICP-MS, Sr・Nd・Pb 同位体組成 (50 試料) を TIMS によりそれぞれ測定した. 同時にこれら試料の薄片を作成し, 鉱物学的観察も行う. 分析データを用いて岩石の成因について考察し, 学会等で発表すると同時に, 国際誌に成果を公表した. また, 東工大の博士課程に入学した Asobo は, 2015 年 3 月に博士号を取得した.

##### ③研究題目 7 の当初の計画 (全体計画) に対する成果目標の達成状況とインパクト

PDM Activity 7-1 : 達成された.

計画はほぼ予定通り遂行された. これまで Oku Volcanic Group において採取した岩石試料から, 変質を受けていない試料 100 点を選択し, 主成分組成を XRF, 微量元素組成を ICP-MS, Sr・Nd・Pb 同位体組成を TIMS によりそれぞれ測定した. この新しいデータを含む, 過去 3 年間にわたる分析により得られた地球化学データの総合的解析を行い, 以下に示す 3 つの

主要な成果を得た。

<成果1> Oku 火山群の4つの火山湖, Nyos, Elum, Wum, Oku を構築する火山岩のデータ解析を行った。主成分・微量元素組成や同位体データは Oku 火山岩が Nyos, Elum, Wum とは異なるマントルソースに由来することを示し, Oku 火山群直下のマントルには組成不均質があることが明らかとなった。これらの火山岩は MORB や OIB がつくる DMM-FOZO のトレンドから EM1 に向かう同位体的特徴を持ち, 初生メルトが大陸下マントルと相互作用したことを示唆している。また, 火山湖下のマグマに CO<sub>2</sub> が濃集する機構について, マグマの主成分組成を用いた議論を行った。本研究の内容は国際誌 Chemical Geology に受理された (vol 406, 55-59, 2015)。

<成果2> Oku 火山の溶岩試料 35 点に関し, データ解析を行った。その結果, Oku 火山岩にカメルーン火山列の中で最も高い <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb 比を持つ HIMU 的な試料が存在することを発見した (図 7-1)。従来, カメルーン火山列における HIMU 的試料は大陸部 (Continental Sector) の両端である Biu Plateau および Mt. Cameroon 周辺に限られると考えられてきたが, 今回中央部の Oku 火山で見つかったことにより, そのような同位体的特徴を作る機構がカメルーン火山列直下に普遍的に存在する可能性が浮上した。HIMU 的特徴はアセノスフェア由来の初生メルトがメタソマティズムにより高い U/Pb 比を獲得した大陸下マントルと相互作用した結果であると考えられる。HIMU のように極めて特異な同位体組成が Oku Volcanic Group から発見されたことは非常に意義深く, マントルの化学進化に関する研究において新たな方向性を与える点で, そのインパクトは大きい。本研究の成果は現在投稿準備中である。

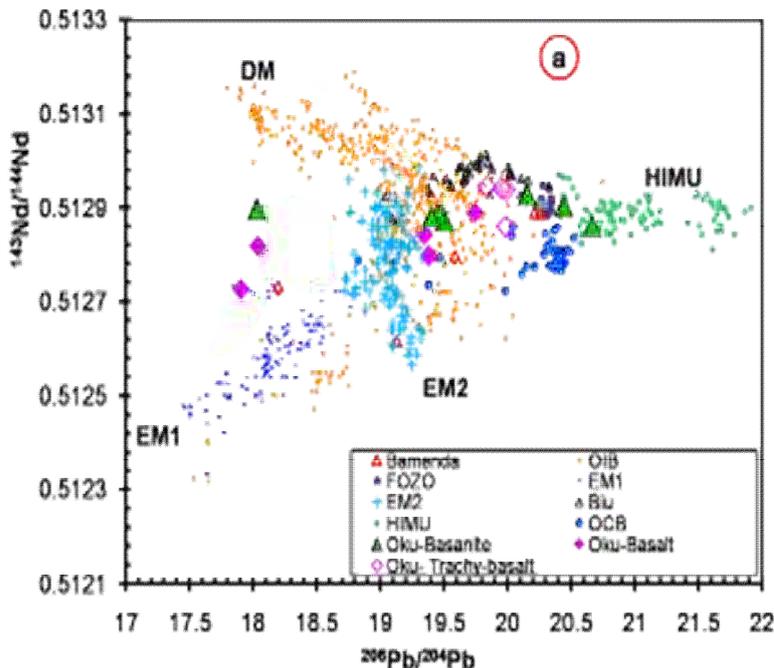


図 7-1 Oku 火山群岩石の同位体比

<成果3> Oku 火山群に産する塩基性貫入岩のデータ解析を行った。これら貫入岩の形成年代はカメルーン火山列の活動時期より古く, カメルーン火山列が活発化する前後の化学進化を知る上で重要な研究対象である。化学分析とデータ解析の結果, 貫入岩とカメルーン火山列の試料は極めて類似した同位体的特徴を持ち, 両者は共通のマントルプールに由来することが明らかとなった。本研究の成果は現在投稿準備中である。これらの研究成

果により，Asobo は，東工大において博士（理学）を取得した（2015年3月）。

④研究題目7のカウンターパートへの技術移転の状況

PDM Indicator 7-1：達成された

留学生の博士論文研究においては学生自ら分析器等を操作しデータの取得を行っている。この活動を通じ，XRF，ICP-MS，TIMSの操作およびメンテナンス技術，薄片製作技術ならびに顕微鏡観察法を習得したので，技術移転が確実に行われたといえる。

⑤研究題目7の当初計画では想定されていなかった新たな展開

特になし

## II. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫，教訓など

### (1) プロジェクト全体

■プロジェクトの終了時まで以下の課題に取り組み，プロジェクト後の自立発展向上を目指す。

#### 研究成果の発表・論文出版

2015年10月の火山学会等でプロジェクトの研究成果が発表された。2015年12月15日に東海大でプロジェクト最終成果報告会を開催した。本プロジェクトの研究成果の一部は Geological Society London のモノグラフ (Special publication, "Geochemistry and Geophysics of Active Volcanic Lakes") に出版された。

#### 湖水 CO<sub>2</sub> 濃度現場測定法の指導

IRGM がプロジェクト終了後も湖水の観測を継続できるように吉田および日下部が IRGM 所員に技術指導した (2015年11月)。

#### 観測機材・分析機器マニュアルの整備・研究資料の保管

供与機材が長期間有効に利用されるように IRGM と協力し，機材ごとの使用マニュアル (Operational Directions) を作成する。完成した一部のマニュアルはパスワードをかけウェブサイトで閲覧可能である (<http://volcanologist.my.coocan.jp/dir02/index.html>)。プロジェクトの野外調査で入手，採取した資料が散逸することがないように，また，将来の研究に利用されるよう資料室の整備を提案し，現在，IRGM がその実現のために予算措置を講じている。

#### ニオス湖・マヌン湖の観測体制の確立と危機管理マニュアルの作成

現在ニオス湖には自動観測ブイが設置され，ほぼリアルタイムで湖水温度と電気伝導度のデータが入手できるようになった。IRGM に対し，本プロジェクト終了後もニオス湖とマヌン湖のモニタリングを継続するよう要請し，その体制を確立させることに合意が得られている。具体的には湖水爆発監視委員会 (Limnic Eruption Monitoring Committee, LEMoC) が立ち上げられ，活動を開始している。湖のモニタリングから得られるデータを生かし，異変を感知した場合のデータの取り扱いならびに危機管理に関するマニュアルの作成を提案し，合意が得られている。これらの作業は LEMoC が担当する。

#### 国際火山湖会議の開催

IRGM は2016年3月にカメルーンの首都ヤウンデにおいて第9回国際火山湖会議を主催した。本会議はプロジェクトの成果を世界的に周知する絶好の機会となった。日本人研究者については，4名の派遣を行った。さらに研究者の参加を促すために，研究代表者の大場は日本学術振興会 (JSPS) の二国間協力事業 (セミナー) に応募し採択された。この結果，追加で4名の研究者の派遣を行った。

■相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点，その問題点を克服するための工夫，今後への活用

共同研究の実施には相手国側で研究資金を確保されていることが前提になる。本プロジェクトの開始にあたって，カウンターパートファンドがカメルーン政府から IRGM に提供され

ることが決まっていた。このファンドは2011年度には支払われたものの2012、2013年度には支払われなかった。したがって、この期間中のIRGM側の主体的な研究は非常に限られたものになった。2014年度はJICAからカメルーン政府上層部への働きかけが功を奏して、全部ではないものの一部のファンドが支払われた。これにより2015年度の研究は比較的スムーズに運んだ。このことから得られた教訓は、プロジェクトを開始する前に相手国の財政状況や資金の運用の仕方について、十分かつ詳細に調査すべきである、ということである。特に「資金の運用の仕方」には十分な知識（と監視）が必要であろう。この点は「言うに易く行うに難し」であろうが、共同研究の実施に当たっては避けて通れない部分と思われる。

■類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等。

本プロジェクト開始以前のニオス湖とマヌン湖のモニタリングは主として科研費（海外学術調査、代表者：日下部）を使用して行われてきた。科研費による調査の場合、調査活動の主体は日本人研究者にあり、カメルーン人研究者はロジスティクス等を担当するものの現場作業では「お手伝い」の意識があったと思われる。本プロジェクト開始後は、そのような意識を払拭すべく、プロジェクトの目的に「カメルーン研究者の自立」を掲げ、ある程度はその目的を達成した。しかし、その意識はいまだに残っている部分があり、今後、類似の共同研究が実施される場合は、まずもって「共同研究は相手と対等で自立心をもって行う」意識を伝えることが大切と思われる。

### III. 社会実装（研究成果の社会還元）

#### (1) 成果展開事例

##### 1. 危機管理の組織

ニオス・マヌン湖の危機管理については、社会実装の要として機能することが必要である。このことを可能にするための組織としてIRGMおよび市民保護局（DPC）のメンバー数名からなる組織（LEMoC: Limnic Eruption Monitoring Committee）が立ち上げられた。LEMoCは自動観測ブイやモニタリングのデータを解析し、ニオス・マヌン湖で異変を検知した場合、データを吟味し、異常の有無を政府に進言する役割がある。

##### 2. 地域住民への啓蒙活動

LEMoCメンバーを主体として、湖水爆発が何であったのかなどを湖周辺の地域住民へ啓蒙し、併せて湖水爆発が発生した場合の注意事項や避難方法を伝える。これには日本側研究者も参加し共同で啓蒙活動をプロジェクトの一環として行う。このような活動を通じて、プロジェクトの科学的成果をカメルーン社会に還元する。湖周辺の地域住民への注意喚起や避難指示などは、政府の指示により地方自治体が実施する。上に述べた住民説明会はJICAの支援を受けてIRGMとDPC（市民保護局）が共催し、ニオス湖およびマヌン湖周辺において2016年2月に実施され、日本から日下部が参加した。

これ以前の2013年11月にニオス湖の近辺のウム市と、マヌン湖近辺のコプタム村で住民説明会を実施した。説明会では、パンフレットを配布し、両湖で起きている現象が自然現象であり、人為的なものではないことを強調した。また、CO<sub>2</sub>の排除が順調に行われており、現時点で危険性は高くないことを伝えた。この住民説明会には日本から日下部と大場が参加した。

湖水爆発が近未来に発生する可能性は高くないと判断されるが、万が一、発生した場合を想定して、CO<sub>2</sub>ガスの広がる範囲をCO<sub>2</sub>放出量、風向、風速などを考慮してガス拡散のシミュレーションを行った。シミュレーションの結果は、ニオス湖の場合、1986年の災害時の犠牲者の分布と整合的であり、ハザードマップの作成に当たって十分に活用されるであ

ろう。

## (2) 社会実装に向けた取り組み

### 1. プロジェクトのウェブサイトの開設

本プロジェクトでは以下の URL にウェブサイトを開設し、プロジェクトの概要、メンバーリスト、活動報告書、各種お知らせ、調査の写真、などの詳細な情報を提供している。<http://www.satrebs.u-tokai.ac.jp/index.html>. ウェブサイトは英語と日本語で読むことが可能で、カメルーン人にニオス湖とマヌン湖に関する情報を提供する。プロジェクト内部のメンバーは Operational Directions をパスワード入力後に閲覧することができる。これにより、研究所内の供与機材の利用が促進され、管理が正しく行われると期待される。

## IV. 日本のプレゼンスの向上

SATREPS は日本の ODA の新しい形態としてカメルーンにおける日本のプレゼンスの向上に寄与してきたことは疑いを入れない。SATREPS のプロジェクトの一つである本プロジェクトはカメルーン政府から高く評価されている。本プロジェクトの中で行われた共同研究の成果としては、(1) ニオス湖およびマヌン湖の溶存 CO<sub>2</sub> 量の時間的変遷が明らかにされた、(2) 地球化学的監視システムの導入により両湖の継続的モニタリングが可能になった、(3) マヌン湖の溶存 CO<sub>2</sub> 量は現在、再び増加傾向にあるものの、増加を食い止めるための設備を試作・投入した、(4) コンピューターコードを用いて湖水爆発の発生条件の理解が深まった、(5) ニオス湖およびマヌン湖周辺の水文学的研究が進展した、(6) 両湖に生存する細菌の種とその機能について初めて詳細な研究が行われた、(7) カメルーン国内のニオス湖・マヌン湖以外の火口湖の地球化学的調査が行われた、(8) ニオス湖火山の噴火履歴が明らかにされた、(9) カメルーン火山列火山の噴火形態やマグマの成因が地球化学的アプローチから明らかにされた (10) マルチビームソナーの活用によりマヌン湖の詳細な湖盆地形図が得られ、高 CO<sub>2</sub> 濃度流体の出口の場所が特定された、などが挙げられる。

社会実装の一環として、本プロジェクトの成果に基づき、ニオス湖・マヌン湖における湖水爆発の根本的原因について、いまだに理解が不十分な地元住民に対する啓蒙活動が行われた。啓蒙活動は今後も継続される予定である。また、将来、(可能性は低いものの)再発するかもしれない湖水爆発に備えて、本プロジェクトの成果を踏まえたニオス湖周辺のハザードマップや防災マニュアルの作成がカメルーン政府の市民保護局 (DPC) と IRGM との共同作業として進められつつある。

本プロジェクトは、1980 年代にカメルーンで発生した火口湖ガス災害の原因解明と再発防止に向けて、人材育成、技術移転ならびに機材供与を通じて、カメルーン科学者が自立した観測体制を構築するための基礎を築くことを目的としている。本プロジェクトの実施に対し、Joint Coordination Committee (JCC) の中で、MINRESI (科学技術省) 副大臣から謝辞が述べられている。2012 年 5 月に IRGM のコルビソン研究所で、供与機材の引き渡し式が行われた。式典では在カメルーン日本国大使 (新井特命全権大使(当時)) の出席のもと、MINRESI 大臣から「我々カメルーンは日本の科学技術協力のもとに、大きな飛躍を成し遂げようとしており、IRGM に機材供与が実現したのは、日本政府の判断と配慮によるものであり、深く感謝する」旨、述べられた。IRGM では、本プロジェクトにより研究室の設備が従来に比べて格段に強化されたことを受けて、その研究室をアフリカにおける地球化学の研究拠点化することを目指している。また、IRGM はニオス湖・マヌン湖の防災対策への取り組みに著しい成果を挙げたとして、2013 年 7 月に大統領表彰を受けた。この表彰に際して、“LION D'OR” (フランス語で「金の獅子」の意味) と呼ばれるトロフィと賞金が大統領から IRGM に授与された。日下部は 1986 年以来ニオス湖・マヌン湖の地球化学的研究を長期にわ

たって行って来た。本プロジェクトが採択された背景には日下部の長期にわたる研究協力ならびに貢献があり、IRGMはそのことを十分に認識し、日下部に“LION D'OR”の複製と感謝状を授与して感謝の意を表明した。

本プロジェクトの枠組みの中で、カメルーンの修士の学位を持つ若手研究者 6 名を日本の大学の大学院博士課程に招聘し、プロジェクトの目的に沿ったテーマについて研究が進められた。彼らは大学院滞在中に研究の重要性と面白さを体験し、学位論文を完成させるとともに、多くの研究成果を多くの学術論文として国際科学雑誌に出版した。彼らは学位取得後帰国し、そのうち1名はIRGM職員として本プロジェクトに関連する仕事に携わっている。2013年4月にIRGM所属のテクニシャン4名がIRGM研究員に引率されて来日し、約2週間にわたって大学、研究所および環境分析会社の研究室を訪問し、整備されたラボの姿を見学した。彼らにとって日本は初めての国であり、整備されたラボの姿のみならず、清潔で安全な日本を体験した。この経験は彼らに強いインパクトを与え、IRGMの研究室の管理・運営に反映されている。これは本プロジェクトのボトムアップ活動としてユニークなものであった。

#### プロジェクトメンバーの叙勲

第9回国際火口湖会議が2016年3月14～16日にかけて、ヤウンデ市で開催された。主催者はIRGMであり、プロジェクトの成果が多数発表された。最終日の16日に晩餐会が開かれ、以下の通り、プロジェクトメンバーに科学技術省大臣からOrdre de la Valeur勲章が授けられた。本受賞は日本とカメルーン間の協力関係の成果を象徴しており、SATREPSが掲げる「科学技術外交」を体現している。

#### 叙勲の理由：

カメルーン北西部に位置するニオス湖とマヌン湖ではマグマ性CO<sub>2</sub>ガスが多量に蓄積し、1980年代に両湖から放出されたCO<sub>2</sub>ガスにより、周囲の住民約1800名が死亡する災害が発生した。叙勲者らは、この災害の原因を解明するとともに再発を防ぐための科学的な研究を行い、その結果に基づき総合的な防災対策を行なうなど、カメルーン社会に貢献した。

#### 叙勲が行われた日時、場所：

2016年3月16日、カメルーン・ヤウンデ市、Les Cascade du Mfoudi

#### 叙勲者（SATREPSプロジェクトメンバー）

氏名、 役職、 勲章の階位

大場武（研究代表者）、 東海大学教授、 シュバリエ

日下部実、 富山大学客員教授、 シュバリエ

J. V. Hell IRGM（カメルーン国立地質鉱物資源研究所）所長、 オフィシエ

G. Tanyileke, IRGM 主任研究員、 オフィシエ

G. Kling, 米国ミシガン大学教授、 シュバリエ

W. Evans, 米国地質調査所主任研究員、 シュバリエ

\*なお、上記以外に、フランス人のM. ハルバックス氏とカメルーン人ジャーナリスト1名が同様の理由により叙勲された。

\*カメルーンにおける勲章の階位について：

下位から上位へ、シュバリエ、オフィシエ、コマンダン、グランオフィシエ、グランクロワの5段階がある。



叙勲式の様子（2016年3月16日ヤウンデ市。）前列右から、G. Tanyileke、大場武、カメルーン人ジャーナリスト、科学技術省大臣、日下部実、G. Kling、M. ハルバックスの代理人。後列、J. V. Hell.



Ordre de la Valeur シュバリエ勲章 (左：表，右：裏)

#### Kusakabe Award の創設と日下部の受賞

IAVCEI (International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior, 国際火山学地球内部化学協会) の下部組織である CVL (Commission on Volcanic Lakes, 火口湖委員会) は、メンバーの一人である日下部の 30 年以上に渡るニオス・マヌン湖に関する研究業績を称え、同氏の名前を冠した Kusakabe Award を創設した。この賞は火口湖に関する顕著な業績を挙げた者に対し授与される。CVL は日下部を最初の受賞者として選出し、2016 年 3 月 16 日に発表した。

#### V. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

別紙参照

#### VI. 投入実績【研究開始～現在の全期間】(非公開)

#### VII. その他 (非公開)

以上

VI. 成果発表等

(1) 論文発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 原著論文(相手国側研究チームとの共著)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2010	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, <i>Geochemical Journal</i> , Vol. 44, pp. 441 to 448		国際誌	発表済	
2010	K NAGAO, M KUSAKABE, Y YOSHIDA, G TANYILEKE4, Noble gases in Lakes Nyos and Monoun, Cameroon, <i>Geochem J</i> 44, 519-543 (2010)		国際誌	発表済	
2013	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. <i>J. Environ. Sci. Water Resour.</i> 2 (4): 127-132		国際誌	発表済	
2013	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. <i>Afr. J. Environ. Sci. Technol.</i> 7 (6): 518-530		国際誌	発表済	
2013	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. <i>Quaternary International</i>	DOI: <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2013.07.009">http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2013.07.009</a>	国際誌	発表済	
2013	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) <i>Geochem. J.</i> 47, 349-362		国際誌	発表済	

2013	Fouépé Alain 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/id osi.wasj.20 13.23.03.32 1	国際誌	発表済	
2013	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/A JEST2013. 1421	国際誌	発表済	
2013	Chako Tchamabé B., Dieudonné Youmen, Sébastien Owona, Moussa Nsangou Ngapna, Issa, Asobo N. E. Asaah, Takeshi Ohba, Károly Né meth, Festus T. Aka, Gregory Tanyileke, Joseph V. Hell. 2013. Eruptive history of the Barombi Mbo Maar, Cameroon Volcanic Line, Central Africa: Constraints from volcanic facies analysis. Central European Journal of Geosciences 5(4) 480-496	DOI: 10.2478/s1 3533-012- 0147-2	国際誌	発表済	
2013	Wotany E R, Ayonghe A N, Fantong W Y, Wirmvem M J, Ohba T (2013) Hydrogeochemical and anthoropogenic 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		国際誌	発表済	
2014	Chako Tchamabé B., Ohba T., Issa, Ooki S., Youmen D., Owona S., Tanyileke G., Hell J.V. 2014. Temporal evolution of the Barombi Mbo Maar, a polygenetic maar-diatreme volcano of the Cameroon Volcanic Line. International Journal of Geosciences, Vol. 5 (11) 1315-1323.	DOI: 10.4236/ijg. 2014.51110 8	国際誌	発表済	
2014	Issa, Fantong W. Y., Aka, F. T., Ohba, T., Chako Tchamabé, B., Rouwet, D., Yoshida, Y., Gbetnkoum Mouliom A., Sighomnoun D., Sigha Nkamdjou, Kusakabe, M., Tanyileke G., Hell J.V. (2014a) $\delta^{18}O$ and $\delta^2H$ variation in some volcanic lakes along the Cameroon Volcanic Line (West-Africa): Generating an isotopic baseline data for volcanoes monitoring/surveillance in Cameroon. J. Limnol.	Doi:10.4081 /jlimnol.201 4.966.	国際誌	発表済	

2014	Tiodjio RE, Sakatoku A, Nakamura A, Tanaka D, Fantong WY, Tchakam KB, Tanyileke G, Ohba T, Hell VJ, Kusakabe M, Nakamura S, and Ueda A. 2014. Bacterial and archaeal communities in Lake Nyos (Cameroon, Central Africa). Scientific Reports	doi:10.1038/srep06151	国際誌	発表済	
2014	Issa, Ohba, T., Chako Tchamabé, B., Padrón, E, Hernández, P., Eneke Takem, E.G., Barrancos, J., Sighomnoun, D., Ooki, S., Sigha Nkamdjou., Kusakabe, M6, Yoshida, Y. (2014b) Gas emission from some Diffuse Diffusion Structures (DDSs) of the Cameroon Volcanic Line (CVL): Implication for the prevention of CO2 related hazards. J. Volcanol. Geotherm. 82-93	DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2014.07.001	国際誌	発表済	
2014	Kamtchueng, B.T., Fantong, W.Y., Ueda, A., Tiodjio, E.R., Anazawa, K., Wirmvem, M.J., Mvondo, J.O., Nkamdjou, L.S., Kusakabe, M., Ohba, T., Tanyileke, G., & Hell, J.V., (2014). Assessment of shallow groundwater in Lake Nyos catchment (Cameroon, Central-Africa): implications for hydrogeochemical controls and uses. Environmental Earth Science, 72 (9): 3663-3678	doi: 10.1007/s12665-014-3278-6.	国際誌	発表済	
2014	Asaah, A.N.E., Yokoyama, T., Aka, F.T., Usui, T., Wirmvem, M.J., Tchamabe, B.C., Ohba, T., Tanyileke, G., Hell, J.V. A comparative review of petrogenetic processes beneath the Cameroon Volcanic Line: Geochemical constraints. Geoscience Frontiers	<a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.gsf.2014.04.012">http://dx.doi.org/10.1016/j.gsf.2014.04.012</a>	国際誌	発表済	
2014	Wirmvem, M.J., Ohba, T., Suila, J.Y., Fantong, W.Y., Bate, N.O., Seigo, O., Wotany, E.R., Asaah, A.N.E., Ayonghe, S.N., Tanyileke, G., Hell, J.V. Hydrochemical and isotopic characteristics of groundwater in the Ndop plain, North West Cameroon: Resilience to seasonal climatic changes. Environmental Earth Sciences, 72, 3585-3598	DOI: 10.1007/s12665-014-3265-y	国際誌	発表済	
2014	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. 26, 801-809	DOI: 10.1016/S1001-0742(13)0502-1.	国際誌	発表済	

2015	Kamtchueng, B.T., Fantong, W.Y., Wirmvem, M.J., Tiodjio E.R., Takounjou, A.F., Djomou, S.L.B., Asai, K., Kusakabe, M., Ohba, T., Tanyileke, G., Hell, J.V., & Ueda, A. (2015). A multi-tracer approach for assessing the origin, apparent age and recharge mechanism of shallow groundwater in the Lake Nyos catchment, Northwest, Cameroon. <i>Journal of Hydrology</i> , (2015), pp. 790–803	DOI 10.1016/j.jhydrol.2015.02.008.	国際誌	発表済	
2015	Kamtchueng, B.T., Onana, V.L., Fantong, W.Y., Ueda, A., Ntouala, R.F.D., Wongolo, M.H.D., Ndongo, G.B., Ngo' o Ze, A., Kamgang, V.K.B., & Ondoa, J.M., (2015). Geotechnical, chemical and mineralogical evaluation of lateritic soils in humid tropical area (Mfou, Central-Cameroon): Implications for road construction. <i>International Journal of Geo-Engineering</i> , Vol. 6:1	doi: 10.1186/s40703-014-0001-0	国際誌	発表済	
2015	Wilson Y. Fantong, Brice T. Kamtchueng, Kohei Yamaguchi, Akira Ueda, Issa, Romaric Ntchantcho, Mengnjo J. Wirmvem, Minoru Kusakabe, Takeshi Ohba, Jing Zhang, Festus T. Aka, Gregory Tanyileke, Joseph V. Hell (2015). Characteristics of Chemical weathering and water-rock interaction in Lake Nyos dam (Cameroon): Implications for vulnerability to failure and re-enforcement. <i>Journal of African Earth Sciences</i> , 101:42–55		国際誌	発表済	
2015	Aka, F.T. and Yokoyama, T. (2013) Current status of the debate about the age of Lake Nyos dam (Cameroon) and its bearing on potential flood hazards. <i>Natural Hazards</i> 65, 875–885.		国際誌	発表済	
2015	Chako Tchamabé B., Ohba T., Kereszturi G., Németh K., Aka F.T., Youmen D., Issa, Miyabuchi Y., Ooki S., Tanyileke G., Hell J.V., Submitted Dec 2014. Towards the reconstruction of the shallow plumbing system of the Barombi Mbo Maar (Cameroon) – Implications for diatreme growth processes of a polygenetic maar volcano. <i>Journal of Volcanology and Geothermal Research</i>	doi:10.1016/j.jvolgeores.2015.06.004	国際誌	発表済	
2015	Asaah, A.N.E., Yokoyama, T., Aka, F.T., Usui, T., Kuritani, T., Wirmvem, M.J., Ohba, T., Tanyileke, G., Hell, J.V. Geochemistry of lavas from maar-bearing volcanoes in the Oku Volcanic Group of the Cameroon Volcanic Line: Constrains on source composition and potentials of CO <sub>2</sub> eruption. <i>Chemical Geology</i> 406, 55–69	doi:10.1016/j.chemgeo.2015.03.030	国際誌	発表済	

2015	Tiodjio RE, Fantong WY, Tchakam KB, Tanyileke G, Ohba T, Hell VJ, Kusakabe M, Nakamura S, and Ueda A. 2015. Bacteriological assessment of drinking water sources in the vicinities of Lakes Nyos and Monoun (Cameroon, Central Africa). Journal of Environmental Science and Water Resources. 4(3), 60-70		国際誌	発表済	
2015	Wilson Y. Fantong, Alain T. Fouepe, Beatrice Ketchemen-Tandia, Issa, Josephine Ndjama, Brice T. Kamtchueng, Ueda Akira, George E. Nkeng, Festus A. Tongwa, Minoru Kusakabe, Samuel N. Ayonghe, Gloria E. Takem, Takeshi Ohba, Gregory Tanyileke (2015). Variation in hydrogeochemistry for groundwater potability in the coastal city of Douala-Cameroon. Journal of Hydrological Sciences		国際誌	in press	
2015	Wirmvem, M, Mimba, M.E., Kamtchueng, B.T., Wotany, E.R, Bafon, T.G., Asaah, A.N.E , Fantong, F.Y., Ayonghe, S.N, Ohba, T. Shallow groundwater recharge mechanism and apparent age 3 in the Ndop plain, northwest Cameroon. Applied Water Science (2015). doi:10.1007/s13201-015-0268-0	DOI 10.1007/s13201-015-0268-0	国際誌	発表済	

論文数	27	件
うち国内誌	0	件
うち国際誌	27	件
公開すべきでない論文		件

②原著論文(上記①以外)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ—おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2012	T. Kozono, T. Koyaguchi "Effects of gas escape and crystallization on the complexity of conduit flow dynamics during lava dome eruptions", Journal of Geophysical Research, 117, B08204	10.1029/2012JB009343	国際誌	発表済	
2014	小園誠史, "火道流モデルの構築による噴火機構に関する研究", 2014, 火山, 59(1), p13-23		国内誌	発表済	
2014	Miyabuchi, Y., Okuno, M., Torii, M., Yoshimoto, M., Kobayashi, T., Tephrostratigraphy and eruptive history of post-caldera stage of Toya Volcano, Hokkaido, northern Japan. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2014, 281, 34-52.	10.1016/j.jvolgeores.2014.05.019	国際誌	発表済	

論文数 2 件  
 うち国内誌 1 件  
 うち国際誌 1 件  
 公開すべきでない論文 0 件

③その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

年度	著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年		出版物の 種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
2015	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 the observed data. Geological Society of London Special Issue on Volcanic Lakes		書籍の一章	accepted	
2015	Ozawa, A., Ueda, A., Yoshida, Y., Fantong, W.Y., Kusakabe, M., Ohba, T., Tanyileke, G. and Hell, J.V. 2015. Rates of siderite precipitation in Lake Nyos water, Cameroon. Geological Society of London Special Issue on Volcanic Lakes		書籍の一章	accepted	
2015	Saiki, K., Kaneko, K., Ohba, T., Ntchantcho, R., Fouepe, A., Sanemasa, M., Kusakabe, M., Tanyileke, G. and Hell, J.V. Vertical Distribution of Dissolved CO2 in Lakes Nyos and Monoun (Cameroon) as Estimated by Sound Speed in Water. Geological Society of London Special Issue on Volcanic Lakes		書籍の一章	accepted	

2015	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. Geological Society of London Special Issue on Volcanic Lakes		書籍の一章	accepted	
2015	Yoshida, Y., Kusakabe, M., Ohba, T., Tanyileke, G. and Hell, J.V. Decreasing capability of the degassing systems at Lakes Nyos and Monoun (Cameroon): A proposal for a new gas removal system to prevent recurrence of a future limnic eruption. Geological Society of London Special Issue on Volcanic Lakes		書籍の一章	accepted	
2015	T Ohba, S Ooki, Y Oginuma, M Kusakabe, Y Yoshida, A Ueda, K Anazawa, K Saiki, K Kaneko, Y Miyabuchi, Issa, F Aka, W Fantong, A Ako, G Tanyileke, J V Hell Decreasing removal rate of the dissolved CO2 in Lake Nyos Cameroon after the installation of additional degassing pipes. Geological Society of London Special Issue on Volcanic Lakes		書籍の一章	accepted	

著作物数 6 件  
公開すべきでない著作物

④その他の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ-おわりのページ		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
2011	大場武, カメルーン火口湖ガス災害防止の総合対策と人材育成, 日本地震学会ニュースレター, 23, 4,p23-25		ニュースレター	発表済	
2015	Kusakabe, M. (2015) 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 Lakes. (D. Rouwet, B. Christenson, F. Tassi, J. Vandemeulebrouck, eds.), Springer-Heidelberg. Available after April 2015		書籍の一章	発表済	
2015	Aka F. T. (2015) Depth of melt segregation below the Nyos maar-diatreme volcano (Cameroon, West Africa): Major-trace element evidence and their bearing on the origin of CO2 in Lake Nyos. Volcanic Lakes. (D. Rouwet, B. Christenson, F. Tassi, J. Vandemeulebrouck, eds.), Springer-Heidelberg. Available after April 2015.		書籍の一章	発表済	

著作物数 3 件  
公開すべきでない著作物

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項
2013	ニオス湖およびマヌン湖周辺地域住民に対する説明会	リーフレット(Lake Nyos and Monoun Project, Cameroon 2011-2016)	A4 1枚 カラー 三つ折り
2013	第8回国際火口湖会議	講演要旨集(CVL8-Aso & Noboribetsu, Japan July 25-31,2013)	67ページ
2011	プロジェクトのホームページ	<a href="http://www.satrebs.u-tokai.ac.jp/index.html">http://www.satrebs.u-tokai.ac.jp/index.html</a>	概要,メンバーリスト,活動報告書,お知らせ,その他の情報を掲載
2015	ニオス湖およびマヌン湖周辺地域住民に対する説明会(2016年2月)	ノート付,リーフレット(一般参加者向け)	What to do if lakes Nyos and Monoun gas disaster happened again?
2015	ニオス湖およびマヌン湖周辺地域住民に対する説明会(2016年2月)	資料集(行政官,住民リーダー向け)	Ateliers de sensibilisation et de vulgarisation des resultats du project SATREPS NyMo, dans les localites de fungong et de Kouoptamo, les 04 et 08 Fevrier 2016
2015	第9回国際火口湖会議	第9回国際火口湖会議,講演要旨集	IAVCEI Commission on volcanic lakes, CVL9-Cameroon, 14-24 March 2016 "30 years after the lake Nyos disaster" Scientific program
2015	第9回国際火口湖会議	第9回国際火口湖会議,小冊子	会議の概要および,IRGM,MINRESIの活動紹介
2015	第9回国際火口湖会議	第9回国際火口湖会議,巡検ガイドブック	9th International Conference on Volcanic lakes (CVL9) Lakes Nyos and Monoun gas disaster: 30 years after Yaounde (Cameroon)- 14 to 28 March 2016, Fieldtrip booklet

VI. 成果発表等

(2) 学会発表【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 学会発表(相手国側研究チームと連名)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2010	国際学会	M. Kusakabe, Y. Yoshida, T. Ohba, K. Nagao, Issa, G. Tanyileke Lake Monoun is Degassed, Lake Nyos is still to be Degassed Cities on Volcanoes 6th Tenerife 2010	口頭発表
2011	国内学会	大場武, 日下部実, 上田晃, 辻村真貴, 小園誠史, 市原美恵, 鈴木雄治郎, 佐伯和人, 金子克哉, 宮縁育夫, 小林哲夫, 穴澤活郎, 須貝俊彦, 吉田裕, 寺田暁彦, 吉川美由紀, 横山哲也, J. V. Hell, Luc Sigha, Greg Tanyileke, Issa, Fantong Wilson, F. T. Aka カメルーン火口湖ガス災害防止の総合対策と人材育成 日本地球惑星科学連合学会大会, 2011, 幕張メッセ	招待講演
2011	国際学会	M. KUSAKABE, T. OHBA, Y. YOSHIDA, K. ANAZAWA, K. KANEKO, A. UEDA, Y. MIYABUCHI Lake Nyos gas disaster (Cameroon): Latest situation AOGS, Taipei, Taiwan 2011	招待講演
2011	国内学会	宮縁育夫, 金子克哉, Festus T. Aka, 日下部実, 吉田裕, 上田晃, 穴澤活郎, 大場武 カメルーン北西部ニオス湖周辺における地質調査速報 日本地球惑星科学連合学会大会, 2011, 幕張メッセ	口頭発表
2011	国内学会	日下部実, 大場武, 吉田裕, 穴澤活郎, 金子克哉, 上田晃 ニオス湖ガス災害(カメルーン):最近の進展(ポスター) 日本地球惑星科学連合学会大会, 幕張メッセ	ポスター発表
2011	国際学会	M. KUSAKABE, K. Nagao, T. Matsuo, T. Ohba, Y. Yoshida Decoupling of CO2 and He in Lake Nyos, Cameroon. Isotope-ratio mass spectrometry 23-25 November, 2011 Haeundae Grand Hotel in Busan, Korea	招待講演
2011	国際学会	T OHBA, Geochemical study of the crater lake at Kusatsu-Shirane volcano for the evaluation of volcanic activity, Isotope-ratio mass spectrometry 23-25 November, 2011 Haeundae Grand Hotel in Busan, Korea	招待講演

2011	国際学会	T OHBA, Geochemical study of fumarolic gases at some active volcanoes for the evaluation of volcanic activity The meeting at the faculty of Earth Science, Busan national university, Korea 29th Jan 2013	招待講演
2012	国内学会	Kamtchueng, T. B., Fantong, W. Y., Anazawa, K., Ueda, A., Kusakabe, M., Ohba, T. , Tanyileke, G. and Hell, J.V. Stable isotope study of groundwaters around Lake Nyos (North-western Cameroon). 日本地球化学会, 九州大学, 平成24年9月11日～13日	口頭発表
2012	国内学会	穴澤活郎・上田晃・大場武・日下部実・吉田裕・Fantong, Y.W・Tanyileke, G・Hell, J.V. カメルーン共和国ニオス湖周辺の表流水および地下水の化学的性状。2012年度日本地球化学会年会, 九州大学(福岡市)平成24年9月11日～13日	口頭発表
2012	国内学会	小澤晃子,上田晃,吉田裕,日下部実,大場武, Fantong, Y.W. , Tanyileke, G. , Hell, J.V. 新規開発した地化学サンプラーによるカメルーン国ニオス湖水中のCO2濃度測定. 日本地球化学会, 九州大学, 平成24年9月11日～13日	口頭発表
2012	国内学会	上田晃, 小澤晃子, 吉田裕, 日下部実, 大場武, Fantong, Y.W. , Tanyileke, G. , Hell, J.V. カメルーン国ニオス湖水からのシデライト沈殿速度測定. 日本地球化学会, 九州大学, 平成24年9月11日～13日	口頭発表
2012	国内学会	A. Asobo, T. Yokoyama, T. Usui, F.T. Aka, M. Kusakabe, G. Tanyileke, J. V. Hell, Takeshi OHBA Geochemical study of the Oku volcanic group lavas, Cameroon volcanic line, West Cameroon: Preliminary results from eight mafic lavas. 日本地球化学会, 九州大学, 平成24年9月11日～13日	口頭発表
2012	国内学会	M. Wirmven, T.Ohba Groundwater quality in the Ndop Plain, a CVL depression, N.W. Cameroon, Central Africa 地球惑星科学連合学会大会, 幕張, 2012年5月	口頭発表
2012	国内学会	実政光久, 佐伯和人, 金子克哉, 大場武 CO2に富む火口湖でのリアルタイム溶存CO2濃度測定の試み 地球惑星科学連合学会大会, 幕張, 2012年5月	ポスター発表

2012	国内学会	実政光久、佐伯和人、金子克哉、大場武、日下部実、G. Tanyileke、J.V. Hell、音速法によるカメルーン火山湖のCO2濃度測定、日本火山学会2012年度秋季講演会、長野県北佐久郡御代田町、2012年10月16日	口頭発表
2012	国内学会	大場武、佐々木由香、日下部実、吉田裕、上田晃、穴澤活郎、金子克哉、宮縁育夫、Issa, F.T.Aka, W.Fantong, G. Tanyileke, J.V.Hell カメルーン、ニオス・マヌーン湖の水質について 日本地球化学会第59回年会、九州大学、2012年9月	口頭発表
2012	国内学会	吉田裕、日下部実、Issa、大場武、上田晃 溶存CO2濃度の詳細測定によるカメルーン共和国ニオス湖のガス抜き効果の把握 日本地球化学会第59回年会、九州大学、2012年9月	口頭発表
2012	国際学会	M.Sanemasa, K.Saiki, K.Kaneko, T.Ohba, M.Kusakabe, G.Tanyileke, J.V.Hell, Development of new measuring technique using sound velocity for CO2 concentration in Cameroonian volcanic lakes, AGU Fall Meeting, San Francisco (USA), 3-7 Dec. 2012.	ポスター発表
2012	国内学会	佐々木由香、大場武、日下部実、吉田裕、上田晃、穴澤活郎、金子克哉、宮縁育夫、Issa, F.T.Aka, W.Fantong 2011年におけるカメルーン、ニオス・マヌーン湖の水質について 地球惑星科学連合学会大会、幕張、2012年5月	ポスター発表
2012	国内学会	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. (2012) Contribution of Methane to Total Gas Pressure in Deep Waters at lakes Nyos and Monoun (Cameroon, West Africa) SATREPS domestic meeting; Sept, 18-19th; Tokai Univ., Hiratsuka, Japan	口頭発表
2012	国内学会	T. B. Kamtchueng, W. Y. Fantong, K. Anazawa, M. Kusakabe, G. Tanyileke, J. V. Hell, T. Ohba, A. Ueda Stable isotope study of groundwater around lake Nyos (North-west Cameroon) 日本地球化学会第59回年会、九州大学、2012年9月	ポスター発表
2012	国際学会	佐伯和人(大阪大学)、Activity report of CO2 supply system study group、Scientific Meeting of the 2012 SATREPS-NyMo Project、神奈川、9月18日	口頭発表
2012	国際学会	実政光久(大阪大学)、Real time measurement of CO2 concentration at Cameroonian crater lakes、Scientific Meeting of the 2012 SATREPS-NyMo Project、神奈川、9月18日	口頭発表

2013	国内学会	大場武, カメルーンの火口湖について 火山性流体討論会 2013/10/8-10 水海道あすなろの里	招待講演
2013	国際学会	K. Saiki, M. Sanemasa, K. Kaneko, T. Ohba, M. Kusakabe, G. Tanyileke, J. V. Hell Estimation of vertical profile of dissolved CO2 concentration in Cameroonian volcanic lakes using sound velocity of lake water, IAVCEI 2013 Scientific Assembly, Kagoshima, July 2013.	口頭発表
2013	国内学会	Asobo N.E. Asaah, Tetsuya Yokoyama, Festus T. Aka, Tomohiro Usui, Mengnjo J. Wirmvem, Chako B. Tchambe, Takeshi Ohba, Gregory Tanyileke, and J.V. Hell Geochemical characterization of lavas from the Oku Volcanic Group, Cameroon Volcanic Line, West Africa. 地球惑星科学連合学会大会, 幕張, 2013年5月20日	口頭発表
2013	国際学会	Asobo N.E. Asaah, Tetsuya Yokoyama, Festus T. Aka, Tomohiro Usui, Mengnjo J. Wirmvem, Chako B. Tchambe, Takeshi Ohba, Gregory Tanyileke, and J.V. Hell Regional extent of magmatic CO2 in crater lakes of the Oku Volcanic Group: Constraints from petrogenesis and relation with tectonic events. IAVCEI-Commission on Volcanic Lakes (CVL9) , Fukuoka, 2013/7/28	口頭発表
2013	国内学会	Asobo N.E. Asaah, Tetsuya Yokoyama, Festus T. Aka, Tomohiro Usui, Mengnjo J. Wirmvem, Chako B. Tchambe, Takeshi Ohba, Gregory Tanyileke, and J.V. Hell Geochemistry of tholeiitic basalts from the Nyos volcano in the Oku Volcanic Group (Cameroon Volcanic Line), west Africa: Constraints on the origin and association with alkali basalts. 日本地球化学会, つくば, 2013/9/11-13	口頭発表
2013	国際学会	Yoshida Y, Issa, Kusakabe M, Ohba T, Tanyileke G, Hell JV (2013) Temporal change in CO2 content of Lake Nyos in recent years. CVL-8 workshop, 25 to 31 July, Aso-Noboribetsu, Japan	口頭発表
2013	国際学会	Kusakabe M, Nagao K, Matsuo T, Ohba T, Yoshida Y, Issa, Tanyileke G, and Hell JV (2013) Decoupling of CO2 and He in deep water of Lake Nyos, Cameroon: implications for spontaneous gas exsolution and the sub-lacustrine CO2-recharge system CVL-8, Aso-Noboribetsu, Japan, 25 to 31 July	口頭発表
2013	国内学会	大場武, 佐々木由香, 日下部実, 吉田裕, 上田晃, 穴澤活郎, 金子克哉, 宮縁育夫, Issa, F. アカ, F. ウィルソン, G. タニレケ, J.V. ヘル カメルーン, ニオス・マヌーン湖の化学的成層構造, 日本地球惑星科学連合学会大会, 幕張メッセ, 2013年5月	口頭発表

2013	国際学会	Ohba T, Sasaki Y, Kusakabe M, Yoshida Y, Ueda A, Anazawa K, Saiki K, Kaneko K, Miyabuchi Y, Issa, Aka FT, Fantong WY, Tanyileke G, Sigha Nkamdjou, Hell JV (2013) New findings at Lake Monoun in 2013 by the cooperative research project between Japan and Cameroon under “SATREPS†” program CVL-8 workshop 2013, 25 to 31 July, Aso-Noboribetsu, Japan	口頭発表
2013	国際学会	Ohba T., Y Sasaki, M Kusakabe, Y Yoshida, A Ueda, K Anazawa, K Kaneko, Y Miyabuchi, I Issa, F T Aka, W Y Fantong, G Tanyileke, J V Hell (2013) Water chemistry of lake Nyos and Monoun, Cameroon. IAVCEI General Assembly 2013, 20–24th July, Kagoshima	口頭発表
2013	国際学会	Festus Tongwa AKA; Tetsuya Yokoyama; Asaah Elvis Nkenmatia Asobo; Issa ; Takeshi OHBA; SIGHA Nkamdjou; HELL Joseph; Tanyileke Gregory (2013) Depth of melt segregation below the Nyos maar-diatreme volcano (Cameroon, West-Africa): Major-trace element evidence and their bearing on the origin of CO2 in Lake Nyos. IAVCEI general Assembly, 20–24 July, Kagoshima Japan	口頭発表
2013	国際学会	Boris Chako Tchamabé, Takeshi Ohba, Issa, Dieudonné Youmen, Sébastien Owona, Festus Tongwa Aka, Gregory Tanyileke, Joseph Victor Hell Eruptive history of the Barombi Mbo Maar, Southwest Cameroon, Central Africa: constraints from tephrostratigraphic analysis of phreatomagmatic deposits. IAVCEI General Assembly (2013), 20 – 24th July, Kagoshima, Japan	口頭発表
2013	国際学会	Chako Tchamabé B, Ohba T, Issa, Nsangou Ngapna M, Asaah ANE, Tanyileke G, Hell JV Does the August 2012 overturn of Lake Barombi Mbo a precursor to another potential deathly explosion along the Cameroon Volcanic Line? IAVCEI- Commission of Volcanic Lakes, 8th Workshop on Volcanic Lakes (2013), July 25th –31st, Aso volcano and Hokkaido Island, Japan	口頭発表
2013	国内学会	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. 日本地球惑星科学連合学会大会, 幕張メッセ, 2013年5月	口頭発表
2013	国際学会	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). Age dating volcanic springs in the Western Highlands of Cameroon, along the Cameroon Volcanic Line: International Association of Volcanology and Chemistry of Earth’s Interior- IAVCEI. July 20–24 Conference, Kagoshima, Japan	口頭発表

2013	国際学会	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). Physico-chemical and isotopic composition of some lakes and springs in the Bamenda Highlands, Northwest Cameroon. IAVCEI-Commission of Volcanic Lakes 8th (CVL8) Workshop. July 24-31, Aso Volcano and Hokkaido Island, Japan	口頭発表
2013	国際学会	B.T. Kamtchueng., Fantong, W. Y., Tiodjio E. R., Anazawa, K., Ueda, A., Kusakabe, M., Ohba, T. , Tanyileke, G. and Hell, J.V. Hydrochemical processes and environmental isotope study of groundwaters around Lake Nyos (North-western Cameroon), IAVCEI, Kagoshima, July 2013	ポスター発表
2013	国際学会	Asobo N.E. Asaah, Tetsuya Yokoyama, Festus T. Aka, Tomohiro Usui, Mengnjo J. Wirmvem, Chako B. Tchambe, Takeshi Ohba, Gregory Tanyileke, and J.V. Hell Petrogenetic processes generating magma beneath the Nyos maar volcano (Cameroon Volcanic Line, West Africa): field relation and geochemical characterization of volcanic rocks. IAVCEI, Kagoshima, July 2013	ポスター発表
2013	国際学会	Issa, Ohba T., Fantong W., Yoshida Y., Fouepe A., Kusakabe M., Chako T. B., Sighomnoun D., Sigha Nkamdjou, Akira U., Tanyileke G. Hell J.V and 2Ntonga J.C. (2013) Variability and control on Water isotopes ( $\delta^{18}O$ and $\delta^2H$ ) in some lakes along the Cameroon Volcanic Line (CVL) Cameroon (West-Africa) IAVCEI General Assembly, 20-24th July, Kagoshima, Japan	ポスター発表
2013	国際学会	B.T. Kamtchueng, W.Y. Fantong, E.R. Tiodjio, K. Anazawa, M.J. Wirmvem, J.O. Mvondo, M. Kusakabe, G. Tanyileke, T. Ohba, J.V. Hell, A. Ueda Hydrogeochemistry and groundwater quality in Nyos area about three decade after the CO <sub>2</sub> gas burst (North-western Cameroon) IAVCEI- Commission of Volcanic Lakes, 8th Workshop on Volcanic Lakes (2013), July 25th -31st, Aso volcano and Hokkaido Island, Japan.	ポスター発表
2013	国際学会	Issa, Ohba T., Aka F. T., Fantong W., Yoshida Y., Kusakabe M., Chako T. B., Sighomnoun D., Sigha Nkamdjou, Tanyileke G., Hell J. V., Nnange, J. M. (2013) Diffuse CO <sub>2</sub> emission from crater lakes located on the Cameroon Volcanic Line (CVL): A contribution to global carbon cycle budget and assessment of CO <sub>2</sub> -related hazard in Cameroon. CVL-8 workshop 2013, 25 to 31 July, Aso-Noboribetsu, Japan	ポスター発表
2013	国際学会	Boris Chako Tchamabé, Takeshi Ohba, Issa, Moussa Nsangou Ngapna, Yuka Sasaki, Gregory Tanyileke, Joseph Victor Hell Water control on variation in eruptive style during the first eruptive episode of the Barombi Mbo Maar, Cameroon. 地球惑星科学連合学会大会, 幕張, 2013年5月	ポスター発表

2013	国際学会	Tiodjio ER, Tchakam KB, Nakamura A, Fantong WY, , Tanyileke G, Ohba T, Hell JV, Kusakabe M, Nakamura S. and Ueda A. 2013. Bacterial community composition in the Nyos (Cameroon) watershed: Preliminary results.” International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth’s Interior (IAVCEI), Commission of Volcanic Lakes, 8th Workshop on volcanic lakes, July 25th –31st, Aso volcano and Hokkaido Island, Japan	ポスター発表
2014	国内学会	長谷川健, 宮縁育夫, 小林哲夫, F T Aka, K Boniface, 金子克也, 大場武, 日下部実, G Tanyileke, J V Hell, ”カメルーン北西部, ニオス火山の噴火史(序章)”, 日本火山学会秋季大会, 11月2日	口頭発表
2014	国内学会	大場武, イッサ, 佐々木由香, 日下部実, 吉田裕, 上田晃, 穴澤活郎, 佐伯和人, 金子克哉, 宮縁育夫, F T アカ, G タニレケ, J V ヘル, ”カメルーン, マヌン湖の溶存CO2 量の経時変化”, 日本地球惑星科学連合学会大会, 横浜, 4月29日	口頭発表
2014	国際学会	Asaah, A.N.E., Yokoyama, T., Aka., F.T., Usui, T., Kuritani, T., Wirmvem, M.J., Ohba, T. Nature of enriched mantle components beneath the Oku Volcanic Group (OVG) along the Cameroon Volcanic Line (CVL), West Africa. Goldschmidt Conference, June 8–13, 2014, San Francisco, USA	ポスター発表
2014	国際学会	Asaah, A.N.E., Yokoyama, T., Aka., F.T., Usui, T., Kuritani, T., Wirmvem, M.J., Ohba, T., Tanyileke, G., Hell, J.V. Geochemistry of volcanic rocks from the surroundings of Lakes Nyos and Monoun, including other lakes of the Oku Volcanic Group (OVG) on the Cameroon Volcanic Line. Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) Conference, July 28–Aug 1, 2014, Sapporo, Japan.	口頭発表
2014	国際学会	Chako Tchamabé B., Ohba T., Kereszturi G., Issa, Németh K., Ooki S., Tanyiléké G., Hell J.V. 2014. Temporal evolution and growth of the Barombi Mbo Maar (Cameroon): Constraint from juvenile pyroclasts. 5th International Maar Conference, Mexico, 17–21 November 2014.	口頭発表
2014	国際学会	Miyabuchi, Y., Kobayashi, T., Hasegawa, T., Kaneko, K., Aka, F.T., Ohba, T., Kusakabe, M., Tanyileke, G. and Hell, J.V. (2014) Pyroclastic sequence in and around Lake Nyos, northwestern Cameroon. AOGS 11th Annual Meeting 2014 Abstract, IG25–A007.	口頭発表
2014	国際学会	Saiki, K Kaneko, K., Sanemasa, M., Ohba, T., Kusakabe, M., Tanyileke, G. and Hell, J.V. Development of the Measuring Method of Dissolved CO2 Concentration in Cameroonian Volcanic Lakes Using Sound Velocity of Lake Water”, 11th Annual meeting of Asia Oceania Geosciences Society, July 2014, Sapporo Japan.	ポスター発表
2014	国際学会	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). Origin, recharge mechanism and residence time of shallow groundwater in the Ndop plain, Northwest Cameroon. 8th International Symposium on Managed Aquifer Recharge (ISMAR8). October 15–19. Beijing, China.	口頭発表

2014	国際学会	Wirmvem, M.J., Ohba, T., Fantong, W.Y., Suila, J.Y., Ooki, S., Wotany, E.R., Asaah, A.N.E., Ayonghe, S.N., Tanyileke, G., Hell, J.V. (2014). Hydrochemical and isotopic characteristics of groundwater in the Ndop plain, North West Cameroon: Resilience to seasonal climatic changes. Asia Oceania and Geosciences Society (AOGS) 11th Annual Meeting. July 28–August 01. Sapporo, Japan.	口頭発表
2014	国際学会	Wirmvem, M. J., Ohba, T., Suila, J.Y., Fantong, W.Y., Asaah, A.N.E., Hogarh, J.N., Ayonghe, S.N., Tanyileke, G., Hell, J. V. (2014). Stable isotopes ( $\delta^{18}O$ and $\delta^2D$ ) characteristics of monthly rainfall events at the Bamenda Highlands of Cameroon: Regional Meteoric Water Line. 3rd Young Earth Scientists (YES) Congress. August 11–14., Dar es Salaam, Tanzania.	口頭発表
2014	国際学会	Wirmvem, M. J., Ohba, T., Fantong, W.Y., Asaah, A.N.E., Mimba, M.E., Bafon, T.G., Ayonghe, S.N., Tanyileke, G., Hell, J.V. (2014). Shallow groundwater origin and recharge mechanism in the Ndop plain, North West Cameroon. The 25th Colloquium of African Geology (CAG25). August 14–16., Dar es Salaam, Tanzania.	口頭発表
2014	国際学会	F T Aka, B W Gaston, Issa, W Y Fantong, T Ohba, M Kusakabe, G Tanyileke, J V Hell "Preventing limnic eruptions in Lake Nyos and Monoun within the framework of disaster governance, resilience and preparedness in Cameroon, AOGS, Sapporo, 1th Aug.	招待講演
2014	国際学会	T Ohba, Issa, M Kusakabe, Y Yoshida, Y Miyabuchi, F T Aka, W Y Fantong, G Tanyileke, J V Hell "Temporal variation (2011–2013) of the amount of CO2 dissolved in Lakes Nyos and Monoun, Cameroon, AOGS, Sapporo, 1th Aug.	口頭発表
2014	国際学会	Issa, T Ohba, W Y Fantong, P Eleazar, F T Aka, S Ooki, Y Yoshida, P Hernandez, K Doris, F Alain, M Kusakabe, B Chako Tchamabe, S Daniel, G Tanyileke, S Nkamdjou, " Geochemistry of soil gas from Mount Manenguba Caldera, Cameroon Volcanic Line (CVL), AOGS, Sapporo, 1th Aug.	口頭発表
2014	国内学会	小園誠史(東北大), 日下部実(富山大), 吉田 裕(吉田技術士事務所), Romaric Ntchantcho (IRGM), 大場 武(東海大), Gregory Tanyileke (IRGM), Joseph V. Hell (IRGM), 定期観測データに基づく, カメルーン火口湖における湖水爆発発生可能性の数値的評価, 日本地球惑星科学連合2014年大会, 千葉・幕張メッセ, 2014/5/25	ポスター発表
2014	国際学会	佐伯和人(大阪大学), Estimation of chemical properties of lake water at Lakes Nyos and Monoun using sound velocity profiles and underwater films, The volcanic lake symposium 2014, 東京, 10月23日	口頭発表
2014	国内学会	長谷川健(茨城大)・宮縁育夫(熊本大)・小林哲夫(鹿児島大)・Aka, F.T.・Boniface, K. (IRGM)・金子克哉(京都大)・大場武(東海大)・日下部実(富山大)・Tanyileke, G.・Hell, J. (IRGM), カメルーン北西部, ニオス火山の噴火史(序報). 日本火山学会2014年秋季大会, 福岡大学, 2014年11月3日	口頭発表

2014	国内学会	Asobo N.E. Asaah (Tokyo Tech), Tetsuya Yokoyama (Tokyo Tech), Festus T. Aka (IRGM), Tomohiro Usui (Tokyo Tech), Takeshi Kuritani (Hokkaido Univ.), Mengnjo J. Wirmvem (Tokai Univ), Takeshi Ohba (Tokai Univ.), Gregory Tanyileke (IRGM), and J.V. Hell (IRGM) Geochemistry of volcanic rocks from the surroundings of Lakes Nyos and Monoun, including other lakes of the Oku Volcanic Group (OVG) on the Cameroon Volcanic Line. GEOFLUID-3, Ookayama, Tokyo, February 28-March 4	ポスター発表
2015	国内学会	T Ohba, Y Oginuma, K Saiki, Issa, A Fouepe, R Ntchantcho, G Tanyileke, J V Hell Detailed bathymetric map of Lake Monoun, Cameroon: A new interpretation for the limnic eruption in 1984 日本地球惑星科学連合学会大会, 幕張メッセ, 2015年5月	ポスター発表
2015	国内学会	長谷川 健・宮縁育夫・小林哲夫・Aka, F.・Boniface, K.・Issa・Miche, L.・Fils, S.・金子克哉・大場 武・日下部 実・Gregory, T.・Hell, J.(2015)カメルーン北西部, ニオス火山の噴火史. 日本地球惑星科学連合2015年大会予稿集, SVC47-17.	口頭発表
2015	国内学会	WIRMVEM, Mengnjo jude, OHBA Takeshi, BAFON Tasin godlove, KAMTCHUENG Brice tchakam, TAYLOR Eldred tunde, ASAAH Asobo nkengmatia elvis, WOTANY Engome regina, OOKI Seigo, FANTONG Wilson yetoh, AYONGHE Samuel ndonwi, A two-year record of stable isotope characteristics of monthly rainfall at the Douala and Yaounde urban cities, Cameroon 日本地球惑星科学連合学会大会, 幕張メッセ, 2015年5月	口頭発表
2015	国内学会	佐伯和人(大阪大学)、ニオス湖マヌン湖における湖水の音速分布と透明度の観測による湖水の化学的特徴の推定、日本地球惑星科学連合2015年大会、千葉市、5月27日	ポスター発表
2015	国内学会	Asobo N.E. Asaah (Tokyo Tech), Tetsuya Yokoyama (Tokyo Tech), Festus T. Aka (IRGM), Tomohiro Usui (Tokyo Tech), Takeshi Kuritani (Hokkaido Univ.), Hiraku Iwamori (JAMSTEC), Mengnjo J. Wirmvem (Tokai Univ), Takeshi Ohba (Tokai Univ.) Geochemical Composition of Dykes along the Cameroon Volcanic Line (CVL): Constrains on CVL magmatism and tectonism. JPGU 2015, Makuhari , May 24-28	口頭発表
2015	国際学会	Asobo N.E. Asaah (Tokyo Tech), Tetsuya Yokoyama (Tokyo Tech), Festus T. Aka (IRGM), Tomohiro Usui (Tokyo Tech), Takeshi Kuritani (Hokkaido Univ.), Mengnjo J. Wirmvem (Tokai Univ), Hikaru Iwamori (JAMSTEC) A HIMU Signature Beneath Mt. Oku, Cameroon Volcanic Line: Implications for plume-lithosphere interaction Goldschmidt conference, Prague, Czech Republic, August 16-21	口頭発表

2015	国内学会	長谷川健(茨城大)・宮縁育夫(熊本大)・小林哲夫(鹿児島大)・Aka, F.T.・Boniface, K.・Issa・Nche, L.A.・Nguemhe, C.S.F. (IRGM)・金子克哉(京都大)・大場武(東海大)・日下部実(富山大)・Tanyileke, G.・Hell, J.V. (IRGM), カメルーン北西部, ニオス火山の噴火史とマグマ系. 日本火山学会2015年度秋季大会, 富山大学, 2015年9月28日	ポスター発表
2015	国際学会	B.T. KAMTCHUENG, M. KUSAKABE, T. OHBA, W.Y. FANTONG, G. TANYILEKE, and J. V. HELL ISOTOPE HYDROGEOCHEMISTRY OF GROUNDWATER IN THE LAKE NYOS CATCHMENT (NORTHWEST CAMEROON) IAEA, Vienna, Austria 11-15 May 2015	口頭発表

招待講演	7
口頭発表	47
ポスター発表	19

②学会発表(上記①以外)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2010	国際学会	G. Tanyileke, J. M. Nnange, J. Nni, F. Aka, J.V. Hell Lake Nyos Dam to be Reinforced Cities on Volcanoes 6th Tenerife 2010	口頭発表
2010	国際学会	T. Ohba "SATREPS: purposes and targets" Launching Seminar on "Magmatic fluid supply into Lakes Nyos and Monoun, and mitigation of natural disasters in Cameroon" SATREPS IRGM Project, 21 Jan. 2011, Yaounde Cameroon	口頭発表
2010	国際学会	M. Kusakabe Current situation of CO2 in Lakes Nyos and Monoun Launching Seminar on "Magmatic fluid supply into Lakes Nyos and Monoun, and mitigation of natural disasters in Cameroon" SATREPS IRGM Project, 21 Jan. 2011, Yaounde Cameroon	口頭発表
2010	国際学会	Y. Yoshida Removal of bottom water from Lake Monoun Launching Seminar on "Magmatic fluid supply into Lakes Nyos and Monoun, and mitigation of natural disasters in Cameroon" SATREPS IRGM Project, 21 Jan. 2011, Yaounde Cameroon	口頭発表

2010	国際学会	G. Tanyileke The Lake Nyos dam and envisaged safety measures Launching Seminar on "Magmatic fluid supply into Lakes Nyos and Monoun, and mitigation of natural disasters in Cameroon" SATREPS IRGM Project, 21 Jan. 2011, Yaounde Cameroon	口頭発表
2010	国際学会	A. Ueda Experimental rock-water-CO <sub>2</sub> interaction Launching Seminar on "Magmatic fluid supply into Lakes Nyos and Monoun, and mitigation of natural disasters in Cameroon" SATREPS IRGM Project, 21 Jan. 2011, Yaounde Cameroon	口頭発表
2010	国際学会	Issa Inferred natural input of CO <sub>2</sub> into NyMo lakes from results of a preliminary CO <sub>2</sub> -flux survey Launching Seminar on "Magmatic fluid supply into Lakes Nyos and Monoun, and mitigation of natural disasters in Cameroon" SATREPS IRGM Project, 21 Jan. 2011, Yaounde Cameroon	口頭発表
2010	国際学会	K. Kaneko 3D survey of dissolved CO <sub>2</sub> in the lakes Launching Seminar on "Magmatic fluid supply into Lakes Nyos and Monoun, and mitigation of natural disasters in Cameroon" SATREPS IRGM Project, 21 Jan. 2011, Yaounde Cameroon	口頭発表
2010	国際学会	Y. Fantong Hydrology around Nyos & Monoun Launching Seminar on "Magmatic fluid supply into Lakes Nyos and Monoun, and mitigation of natural disasters in Cameroon" SATREPS IRGM Project, 21 Jan. 2011, Yaounde Cameroon	口頭発表
2010	国際学会	K. Anazawa New approach to hydrology around Nyos Launching Seminar on "Magmatic fluid supply into Lakes Nyos and Monoun, and mitigation of natural disasters in Cameroon" SATREPS IRGM Project, 21 Jan. 2011, Yaounde Cameroon	口頭発表
2010	国際学会	F. Aka Volcanism of CVL Launching Seminar on "Magmatic fluid supply into Lakes Nyos and Monoun, and mitigation of natural disasters in Cameroon" SATREPS IRGM Project, 21 Jan. 2011, Yaounde Cameroon	口頭発表
2011	国際学会	M. KUSAKABE, T. OHBA, Y. YOSHIDA, K. ANAZAWA, K. KANEKO, A.UEDA, Y. MIYABUCHI Lake Nyos gas disaster (Cameroon): Latest situation AOGS, Taipei, Taiwan 2011	招待講演

2011	国内学会	実政光久(大阪大学)、カメルーン火口湖の CO2 濃度測定を目指した水中音速測定、日本火山学会 2011 年秋季大会、旭川市、10月4日	口頭発表
2012	国内学会	大場武, 片桐輝久 湖水爆発のアナログ実験 地球惑星科学連合学会大会, 幕張, 2012年5月	ポスター発表
2012	国際学会	T. Kozono (NIED), T. Ohba (Tokai Univ.), M. Kusakabe (Univ. Toyama), Y. Yoshida (Yoshida Cons. Eng. Office), Y.J. Suzuki (ERI, Univ. Tokyo), Numerical simulation of limnic eruption: Parametric analysis of 1-D plume model, Scientific Meeting of the 2012 SATREPS-NyMo Project, Tokai University, 2012/9/18	口頭発表
2012	国内学会	小園誠史(防災科研), 大場武(東海大), 日下部実(富山大), 吉田裕(吉田技術士事務所), 鈴木雄治郎 (東大地震研), カメルーン・ニオス湖における湖水爆発の発生条件: 一次元プリュームモデルの数値解 析, 日本火山学会2012年秋季大会, 長野・エコールみよた, 2012/10/14	ポスター発表
2012	国内学会	火口湖における湖水爆発のモデリング: 水中へのCO2流入シミュレーション, COMSOL CONFERENCE TOKYO 2012, 秋葉原UDX, 2012/11/22	ポスター発表
2012	国内学会	実政光久(大阪大学)、CO2に富む火山湖でのリアルタイム溶存CO2濃度測定の試み、日本地球惑星 科学連合2012年大会、千葉市、5月24日	ポスター発表
2013	国際学会	Miyabuchi, Y., Hanada, D., Niimi, H., Kobayashi, T. (2013) Distribution and character of the 2011 Shinmoedake eruption deposits at Kirishima Volcano, Japan. IAVCEI 2013 Scientific Assembly	ポスター発表
2013	国際学会	Shinohara, H., Yoshikawa, S., Miyabuchi, Y. (2013) Degassing activity of a volcanic crater lake: Volcanic plume measurements at the Yudamari crater lake, Aso volcano, Japan. IAVCEI Commission of Volcanic Lakes 8th Workshop on Volcanic Lakes Abstract, Aso volcano and Hokkaido Island, 27 July 2013	口頭発表

2013	国際学会	T. Kozono (NIED), T. Ohba (Tokai Univ.), M. Kusakabe (Univ. Toyama), Y. Yoshida (Yoshida Cons. Eng. Office), Y.J. Suzuki (ERI, Univ. Tokyo), Numerical modeling of CO <sub>2</sub> -injection into lake water and limnic eruption, Volcanic Lake Symposium 2013, Tokai University, 2013/9/19	口頭発表
2013	国内学会	小園誠史(防災科研), 大場武(東海大), 日下部実(富山大), 吉田裕(吉田技術士事務所), 鈴木雄治郎(東大地震研), 有限要素法による湖水へのCO <sub>2</sub> 流入過程と湖水爆発のモデリング, 猪苗代・学びいな, 2013/9/29	ポスター発表
2014	国際学会	T. Kozono (Tohoku Univ.), M. Kusakabe (Univ. Toyama), Y. Yoshida (Yoshida Cons. Eng. Office), T. Ohba (Tokai Univ.), Assessing potential for limnic eruption at Lake Nyos, Cameroon, based on numerical modeling and new data, Volcanic Lake Symposium 2014, Tokyo Institute of Technology, 2014/10/23	口頭発表
2014	国際学会	M Kusakabe "Measures to prevent the recurrence of limnic eruptions at Lake Nyos and Monoun (Cameroon), AOGS, Sapporo, 1th Aug.	招待講演
2014	国内学会	網代卓也, 大木誠吾, Chako Tchamabe Boris, 大場武, "He コリジョン型ICP-四重極質量分析計による岩石組成の定量分析法", 日本地球惑星科学連合学会大会, 横浜, 5月2日	ポスター発表
2014	国内学会	実政光久(大阪大学), 音波法によるカメルーン火口湖のCO <sub>2</sub> 濃度測定, 日本火山学会2012年秋季大会, 長野県御代田町, 10月14日	口頭発表
2014	国内学会	佐伯和人(大阪大学), 音波を利用した火山湖探査, 日本惑星科学会 2014 年度秋季講演会, 仙台市, 9月26日	口頭発表
2015	国内学会	佐伯和人(大阪大学), ニオス湖マヌン湖における湖水の音速分布による 二酸化炭素濃度のモニタリング, 日本火山学会2015年秋季大会, 富山市, 9月30日	口頭発表
2015	国内学会	丈六啓介(大阪大学), カメルーン火口湖での水中透明度の測定, 日本火山学会2015年秋季大会, 富山市, 9月29日	口頭発表

招待講演	2
口頭発表	20
ポスター発表	7

VI. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

①国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	その他 (出願取り下げ等についても、こちらに記載して下さい)	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する外国出願 ※
No.1											
No.2											
No.3											

※関連する外国出願があれば、その出願番号を記入ください。

国内特許出願数 0 件  
公開すべきでない特許出願数 0 件

②外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	その他 (出願取り下げ等についても、こちらに記載して下さい)	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する国内出願 ※
No.1											
No.2											
No.3											

※関連する国内出願があれば、その出願番号を記入ください。

外国特許出願数 0 件  
公開すべきでない特許出願数 0 件

VI. 成果発表等

(4) 受賞等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 (「〇〇の開発」など)	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
2013	2013年7月17日	Awards on Scientific and Technological Research on management of natural disasters in Cameroon	ニオス・マヌ湖における防災を目的とした調査研究活動	IRGM	カメルーン政府	2.主要部分が当課題研究の成果である	
2013	2013年5月21日	日本火山学会研究奨励賞	「火道流モデルの構築による噴火機構に関する研究」	小園誠史	日本火山学会	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
2015	2015年5月24日	日本火山学会論文賞	A simple formula for calculating porosity of magma in volcanic conduits during dome-forming eruptions. structure of a column of magma .Earth, Planets and Space, 62, 483-488. 2010	小園誠史・小屋口剛博	日本火山学会	その他	
2015	2016年3月16日	Ordre de la Valeur 勲章	ニオス・マヌ湖の研究を通じた地域防災への貢献	大場 武	カメルーン政府	1.当課題研究の成果である	
2015	2016年3月16日	Ordre de la Valeur 勲章	ニオス・マヌ湖の研究を通じた地域防災への貢献	日下部実	カメルーン政府	1.当課題研究の成果である	
2015	2016年3月16日	Ordre de la Valeur 勲章	ニオス・マヌ湖の研究を通じた地域防災への貢献	J V Hell	カメルーン政府	1.当課題研究の成果である	
2015	2016年3月16日	Ordre de la Valeur 勲章	ニオス・マヌ湖の研究を通じた地域防災への貢献	G Tanyileke	カメルーン政府	1.当課題研究の成果である	
2015	2016年3月16日	Ordre de la Valeur 勲章	ニオス・マヌ湖の研究を通じた地域防災への貢献	G Kling	カメルーン政府	1.当課題研究の成果である	

2015	2016年3月16日	Ordre de la Valeur 勲章	ニオス・マヌン湖の研究を通じた地域防災への貢献	W Evans	カメルーン政府	1.当課題研究の成果である	
------	------------	-----------------------	-------------------------	---------	---------	---------------	--

9 件

②マスコミ(新聞・TV等)報道

年度	掲載日	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
2010	2010年8月11日	北日本新聞(富山), 富山新聞(富山), 北国新聞(石川), 新潟日報(新潟), 岐阜新聞(岐阜), 東奥日報(青森), 日本海新聞(鳥取), 山陰中央新聞(鳥取), 山陽新聞(岡山), 琉球新聞(沖縄), 徳島新聞(徳島), 山形新聞(山形)	けさの人「アフリカで湖水爆発対策に取り組む富山大客員教授, 日下部実さん」	コラム記事	1.当課題研究の成果である	
2010	12月	Cameroon Tribune	Ministry of economy planning and regional developement RELEASE	一般	1.当課題研究の成果である	
2010	2010年8月23日	Nature	Battle to degas deadly lakes continues	一般	1.当課題研究の成果である	
2011	2011年12月2日	科学新聞	カメルーンの有毒ガス災害発生源「湖水爆発」追及	特集面	1.当課題研究の成果である	
2013	2013年7月17日	東京新聞(共同通信が記事を配信, 他の新聞にも掲載)	再び湖水爆発の恐れ カメルーン・マヌーン湖	国際	1.当課題研究の成果である	
2015	2015年3月24日	Cameroon Tribune	La Japan propose la surveillance	国際	1.当課題研究の成果である	
2015	2016年3月9日	Cameroon Tribune	One billion FCFA for reinforcing Lake Nyos Embankment	経済	1.当課題研究の成果である	

2016	2016年4月14日	日刊工業新聞	「シュバリエ」受章	一般	1.当課題研究の成果である	
2016	2016年4月25日	東京新聞	3・11後を生きる「恵み災害もろ刃の剣」	特集面	3.一部当課題研究の成果が含まれる	

9 件

VI. 成果発表等

(5) ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等の活動【研究開始～現在の全期間】(公開)

① ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日	名称	場所	参加人数	概要
			(開催国)	(相手国からの招聘者数)	
2010	2011年1月21日	Launching Seminar on "Magmatic fluid supply into Lakes Nyos and Monoun, and mitigation of natural disasters in Cameroon" SATREPS IRGM Project	ヒルトンホテル ヤウンデ市 (カメルーン)	100(100)	プロジェクト発足記念セミナー
2011	2011年12月10日	湖水爆発に関する講演会	ヤウンデ市 (カメルーン)	13(0)	カメルーンに滞在する青年海外協力隊員やシニア海外ボランティア(学校教育, 村落開発, 通信など)およびJICA-Cameroonの企画調整員を対象として, SATREPS-Cameroonの目指す目的を簡単に紹介した. それらは(1)湖の継続的モニタリング, (2)湖水爆発が発生するための条件の解明, (3)湖底におけるCO2供給場所の特定, (4)地下深部におけるCO2供給系の理解, (5)ニオス湖火山の噴火履歴の解明などである.
2011	2012年3月20日	湖水爆発に関する講演会	ヤウンデ市 (カメルーン)	11(0)	同上の内容の講演会を, 日本大使館やJICA現地事務所職員を対象に実施した.
2012	2012年5月31日	供与機材引き渡し式	ヤウンデ市コルビソン 村IRGM研究所 (カメルーン)	100(100)	日本がIRGMIに研究機材を供与したことに対する感謝の意を表明する式典. カメルーン政府科学技術省大臣, 日本国在カメルーン大使が参列し祝辞を述べた. その他政府関係者, 地元名士等も多数参列. 式典はTVや新聞のメディアでも報道された.
2012	2012年 9月18~19日	カメルーン火口湖プロジェクト報告会	東海大学(日本)	20 (0)	主に留学生在が実施している研究の報告を中心として, プロジェクト参加者間で情報を共有した.

2013	2013年 7月25～31日	第8回国際火口湖会議	熊本県阿蘇山, 北海道 登別温泉, 他(日本)	48(3)	IAVCEIの下部組織である火口湖委員会が3年ごとに開催しているワークショップであり, 大場が主催者を務めた。次回は2016年3月にカメルーンで開催される。
2013	2013年 9月19～20日	火口湖シンポジウム2013	東海大学(日本)	20(1)	主に留学生が実施している研究の報告を中心として, プロジェクト参加者間で情報を共有した。外部講師を1名招待した。日本地球化学会, 日本火山学会のメーリングリストで参加者を公募し, 外部に開かれた会議とした。
2013	2013年 11月2日	SATREPSワークショップ	ウム市(カメルーン)	90(90)	地域住民にSATREPSの活動を紹介するアウトリーチ活動
2013	2013年 11月4日	SATREPSワークショップ	コプタム村(カメルーン)	50(50)	地域住民にSATREPSの活動を紹介するアウトリーチ活動

9 件

②合同調整委員会(JCC)開催記録(開催日、出席者、議題、協議概要等)

年度	開催日	出席者	議題	概要
2011	2012年3月19日	MINRESI事務次官, IRGM所長, カメルーン政府関係者, IRGM研究者, 日本大使館書記官, JICA現地事務所長, JICA関係者, 日本人専門家	第1回JCC	2011年度活動報告, 2012年度活動計画, 日本への博士課程留学生の選抜について
2012	2013年3月19日	MINRESI事務次官, IRGM所長, カメルーン政府関係者, IRGM研究者, 日本大使館書記官, JICA現地事務所長, JICA関係者, 日本人専門家	第2回JCC	2012年度活動報告, 2013年度活動計画, 供与機材について

2013	2013年11月6日	MINRESI事務次官, IRGM所長, カメルーン政府関係者, IRGM研究者, 日本大使館書記官, JICA現地事務所長, JICA関係者, 日本人専門家	第1回臨時JCC	JICA現地調査団による中間評価の結果について
2013	2014年3月10日	MINRESI事務次官, IRGM副所長, カメルーン政府関係者, IRGM研究者, 日本大使館書記官, JICA現地事務所長, JICA関係者, 日本人専門家	第3回JCC	2012年度活動報告, 2013年度活動計画, 中間評価の結果について, カウンターパートファンドについて
2014	2014年6月13日	MINRESI事務次官, IRGM副所長, カメルーン政府関係者, IRGM研究者, JST-PO, 日本大使館書記官, JICA現地事務所長, JICA関係者, 日本人専門家	第2回臨時JCC	中間評価の結果に関する説明と最終評価に向けたプロジェクトの進め方に関する議論
2014	2015年3月18日	日本側: JICA現地事務所長, 日本大使館一等書記官, 大場, 日下部, 他研究者 カメルーン側: 科学技術省事務次官, IRGM所長, 国土経財相事務官, 財務省事務官, 市民保護局事務官, 他研究者	第4回JCC	1. 研究活動報告, 2. カウンターパートファンドの執行について, 3. 帰国留学生の処遇について, 4. 今年度の活動計画について, 5. 研究成果の社会還元について 約5000万円の研究資金がIRGMに支給されることが確認された。IRGMの所長は帰国留学生を研究所で雇用することを約束した。研究成果を社会還元するために, IRGMがDPC(市民保護局)と定期的に会合を持ち連携することが表明された。
2015	2015年11月2日	日本側: JICA現地事務所長, JICA本部プロジェクト評価団, 日本大使館一等書記官, 大場, 日下部, 他研究者 カメルーン側: 科学技術省事務次官, IRGM所長, 国土経財相事務官, 財務省事務官, 市民保護局事務官, 他研究者	第5回JCC	1. 研究成果の報告 2. JICA評価チームによる最終評価の結果報告 3. プロジェクト終了時まで実施すべき事項に関する議論
2015	2016年3月13日	日本側: JICA現地事務所長, 日本大使館一等書記官, 大場, 日下部, 他研究者 カメルーン側: 科学技術省事務次官, IRGM所長, IRGM研究者	第6回JCC	1. 供与機材の維持管理体制について。 2. ニオス・マヌン湖周辺住民に対する説明会の実施報告 3. 2015年度のJICAによる予算執行結果 4. 供与機材の引き渡し文書への署名

# JST成果目標シート

研究課題名	カメルーン火山湖ガス災害防止の総合対策と人材育成
研究代表者名 (所属機関)	大場 武 (東海大学 教授)
研究期間	H22採択(平成22年6月1日～平成27年3月31日)
相手国名/主要相手国研究機関	カメルーン共和国/カメルーン国科学技術省, 地質調査所(IRGM)

## 付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> <li>火山防災への活用が湖水爆発の数値解析を通じてもたらされた。</li> <li>日本の科学技術外交に対し、カメルーン国からの高い評価が貢献した。</li> </ul>
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> <li>湖水爆発のメカニズム解明に発展をもたらした。</li> <li>ニオス湖と周辺地下水との水文化学的關係が解明された。</li> <li>カメルーンにおいて多項目の化学分析を可能とする研究体制が確立した。</li> </ul>
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	<ul style="list-style-type: none"> <li>衛星を利用した湖の防災情報伝達が可能となった。</li> <li>溶存CO2の現場計測技術を確立した。</li> <li>天然ダムとの安定性が評価された。</li> <li>ニオス・マヌ湖に生息する微生物の遺伝子的特徴と湖水環境の關係が解明された。</li> </ul>
世界で活躍できる日本人人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> <li>国際的に活躍可能な日本側の若手研究者が育成された。(レビュー付雑誌への論文掲載など)</li> </ul>
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>在カメルーン青年海外協力隊員との連携が強化された。</li> </ul>
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ニオス・マヌ湖および周辺地下水の水質に関する研究論文</li> <li>カメルーン火山列地域の水質情報に関する論文</li> </ul>

## JST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

上位目標の達成に必要な、研究課題抽出と具体的取組み方策の構築

## JSTプロジェクト目標

火山湖ガス防災施策の科学的根拠となり得るような、爆発メカニズムに関する知見の取得、およびリアルタイム観測システムの構築

深層水汲み上げシステムの構築

噴火履歴の解明

