

# 地球規模課題対応国際科学技術協力

## カメルーン共和国 火口湖ガス災害防止の総合対策と 人材育成プロジェクト

### 終了時評価調査報告書

平成 27 年 1 月  
(2015 年)

独立行政法人国際協力機構  
地球環境部

環境
JR
15-188



# 地球規模課題対応国際科学技術協力

## カメルーン共和国 火口湖ガス災害防止の総合対策と 人材育成プロジェクト

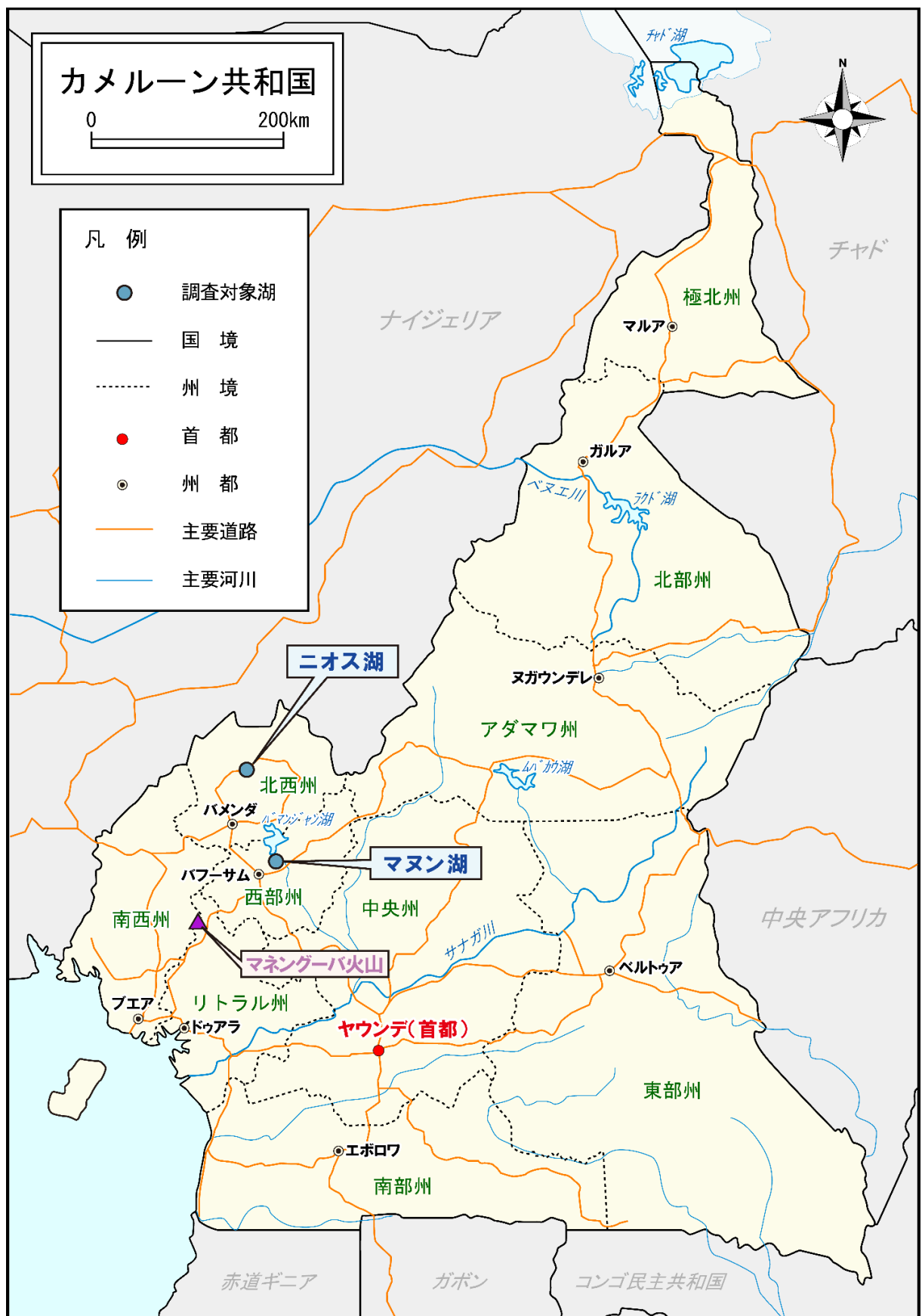
### 終了時評価調査報告書

平成 27 年 1 月  
(2015 年)

独立行政法人国際協力機構  
地球環境部







調査対象地域位置図



# 目 次

## 調査対象地域位置図

目 次 .....	i
略語表 .....	ii
終了時評価調査結果要約表（和文） .....	iii
第1章 終了時評価の概要 .....	1
1－1 背景 .....	1
1－2 目的 .....	1
1－3 プロジェクトの概要 .....	1
1－4 評価方法 .....	2
1－5 合同終了時評価団の構成 .....	3
1－6 終了時評価のスケジュール .....	3
第2章 プロジェクトの実績 .....	4
2－1 投入 .....	4
2－2 実績の確認 .....	6
2－3 プロジェクト目標の達成見込み .....	14
2－4 実施プロセス .....	18
第3章 五項目評価 .....	19
3－1 妥当性 .....	19
3－2 有効性 .....	19
3－3 効率性 .....	20
3－4 インパクト .....	21
3－5 持続性 .....	21
第4章 結論 .....	23
第5章 提言 .....	24
5－1 プロジェクト期間終了まで取るべき措置 .....	24
5－2 プロジェクト終了後に取るべき措置 .....	25
第6章 教訓 .....	26
- 別添 -	
1. M/M・合同評価報告書（英文）	
2. プロジェクト・デザイン・マトリックス（Ver.3）	
3. 終了時評価調査日程	
4. 投入実績	
5. 論文リスト	
6. コルビソン・ラボラトリー活動報告書	
7. 活動計画（2014年以降）	

## 略 語 表

AAS	原子吸光分析器
AOB	自動観測ブイ
CO <sub>2</sub>	二酸化炭素
C/P	カウンターパート
CRH	水文学研究所
CTD	湖水現場観測装置 (Conductivity-Temperature-Depth Profiler)
CVL	カメルーン火山列/国際火口湖会議
DPC	市民保護局
IC	イオンクロマトグラフィー/イオンクロマトグラフ
IRD	開発のための研究所
IRGM	地質調査研究所
JCC	合同調整委員会
JICA	国際協力機構
JST	科学技術振興機構
LEMOC	湖水爆発観測委員会
PDM	プロジェクト・デザイン・マトリックス
PO	活動計画
SATREPS	地球規模課題対応国際科学技術協力
SOP	標準操作手順書
XAF	中央アフリカ・フラン (カメルーン)

## 終了時評価調査結果要約表（和文）

1 終了時評価の概要	
国名：カメルーン	案件名：火口湖ガス災害防止の総合対策と人材育成プロジェクト
分野：防災	
担当部署：地球環境部 防災第二チーム	協力形態：地球規模課題対応国際科学技術協力
実施期間：2011年4月～2016年3月	協力総額：4.2億円（JICA 負担分）
国内協力機関：東海大学	先方実施機関：カメルーン地質調査研究所(IRGM)
<b>1.1 プロジェクトの背景</b> <p>カメルーン共和国（以下、「カメルーン」）では1984年及び1986年に北西部にあるマヌン湖及びニオス湖で湖からの二酸化炭素（以下、「CO<sub>2</sub>」）の大量噴出による災害が発生し、多数の住民の命を奪い、数千頭の家畜被害を出した（1984年のマヌン湖の爆発では死者37名、1986年のニオス湖の爆発では1,746名、家畜約3,000頭が死亡）。ニオス湖の周辺は、現在でも公式には居住禁止となっており、近くを通る道路も通行禁止となっている。このような状況のもと、湖水爆発のメカニズムに対する理解を深めるとともに、モニタリング体制を整備し、研究成果を災害管理にフィードバックすることを目的に、「地球規模課題対応国際科学技術協力（Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development：以下、「SATREPS」）にかかる要請がカメルーン政府より日本政府に提出され、カメルーン地質調査研究所（Institute of Geological and Mining Research：以下、「IRGM」）をカメルーン側カウンターパート（Counterpart：以下、「C/P」）研究機関、東海大学を日本側研究機関代表として、2011年4月から5年間の予定で技術協力プロジェクト「火口湖ガス災害防止の総合対策と人材育成プロジェクト」（以下、本プロジェクト）を開始した。</p>	
<b>1.2 プロジェクトの概要</b> <p>1) プロジェクト目標</p> <p>日本とカメルーンの科学技術協力を通じて、ニオス湖及びマヌン湖におけるガス災害に関連する研究活動と、その成果の防災への活用が、カメルーン側科学者により自立的に実施されるようになる。</p> <p>2) 成果</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>湖水爆発のメカニズムに関する理解が深まる。</li> <li>ニオス湖、マヌン湖への CO<sub>2</sub> 供給プロセスに関する理解が深まる。</li> <li>ニオス湖、マヌン湖周辺の水理地質特性に関する理解が深まる。</li> <li>CO<sub>2</sub> 供給系における水－岩石相互作用に関する理解が深まる。</li> <li>ニオス湖、マヌン湖における湖水爆発の監視体制が構築される。</li> <li>マヌン湖において湖水中の CO<sub>2</sub> の蓄積を防止する深層水排除のための実験システムが導入される。</li> <li>ニオス湖、マヌン湖周辺及びその他のカメルーン火山列の噴火活動の履歴に関する理解が深まる。</li> <li>カメルーン火山列にあるニオス湖、マヌン湖以外の湖における CO<sub>2</sub> の分布に関する理解</li> </ol>	

<p>が深まる。</p> <p>9. 科学的なモニタリングの成果が、組織的に市民保護局と共有される。</p>		
調査団構成	<p>1. 米林 徳人 [団長] JICA 地球環境部防災第二チーム課長</p> <p>2. 土井 ゆり子 [企画・協力] JICA 地球環境部防災第二チーム</p> <p>3. 姫野 敦子 [オブザーバー] JST 国際科学技術部 SATREPS グループ調査員</p> <p>4. 石飛 愛 [評価分析] 適材適所 LLC</p> <p>5. Nnange Joseph [カメルーン側総括] 科学技術省副局長</p> <p>6. Bate Moses [プロジェクト評価] 経済・計画・国土整備省調査官</p> <p>7. Kengne Celestin [プロジェクト評価] 地域行政・地方分権省国立災害観測システム担当</p>	
調査期間	2015 年 10 月 16 日～11 月 2 日	調査種類：終了時評価
<b>2. プロジェクトの実績</b>		
<b>2.1. 投入</b>		
(日本側)		
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 15 人の日本人専門家（合計 904 日）と 3 人の業務調整員（合計 1,715 日）の派遣</li> <li>・ 本邦研修（長期：5 人、短期：15 人）の実施</li> <li>・ 湖の観測機材と試料の分析機材の供与（約 1 億 5,750 万円相当）</li> <li>・ 現地活動費 約 1 億 2 千万フラン（約 2,400 万円）（※終了時評価時点）</li> </ul>		
(カメルーン側)		
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ カウンターパート機関研究者・技術者の配置：26 名</li> <li>・ カウンターパート資金：5 億 5,700 万フラン（約 1 億 1,140 万円）（※終了時評価時点）</li> <li>・ 事務局スペース（家具含む）の提供、インターネット・光熱費負担</li> </ul>		
<b>2.2 実績の確認</b>		
<b>成果 1: 湖水爆発のメカニズムに関する理解が深まる。〈ほぼ達成〉</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本プロジェクトの現地観測で得られた最新のデータ（成果 5）と数値シミュレーションの結果、湖底からの不飽和な高 CO<sub>2</sub> 濃度層の成長と層境界の不安定性に伴う湖水中深部からのプルームの上昇によって、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。また、湖水爆発開始の検知に必要な観測精度に関する情報を提供した。</li> <li>・ 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。この数値シミュレーションに基づいて、ニオス湖周辺のハザードマップが制作予定である。</li> <li>・ 脱ガスパイプ内の流れの数値モデリングに成功し、これにより脱ガスパイプが湖水爆発発生可能性の抑制に果たす役割を定量的に評価し、また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。この成果により湖水爆発の前兆を効率的に観測することができるようになった。</li> <li>・ ニオス湖・マヌン湖においてマルチビーム・ソナーを用いた音波探査が実施された。これにより、マヌン湖の高 CO<sub>2</sub> 濃度水供給源である可能性が高い地点を特定した。また、音速と電気伝導度による測定においても、この地点が供給地点である可能性が高いことが示さ</li> </ul>		

れた。この発見により、CO<sub>2</sub>濃度の適切な観測地点の特定だけでなく、効果的にCO<sub>2</sub>濃度を減少させるためのガス抜きパイプの設置地点の特定が可能となった。

- ・ IRGM は本プロジェクト終了後、関連機関が湖の安全性を判断するために、研究成果に基づいたガイドラインの作成を検討している。
- ・ 指標に関しては、本成果に関連する学術論文 1 本が既に発表され、もう一本が印刷中である。2013 年に湖周辺の村で付近住民への説明会が開催され、2016 年にも同様の説明会の開催が関係者間で議論されている。また、東海大学のウェブサイト上で研究成果が公開されている。

## 成果 2: ニオス湖、マヌン湖への CO<sub>2</sub> 供給プロセスに関する理解が深まる。＜達成した＞

- ・ 三次元湖水観測に関しては、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。この手法のために開発された機材は簡便で低価格な上に維持管理も容易であり、本プロジェクトを通じて IRGM に供与された。CO<sub>2</sub> の 3D 分布に関するデータは、成果 1 の高 CO<sub>2</sub> 濃度水の供給源特定に貢献した。
- ・ この活動により開発された技術と機材は、既存の機械よりも短時間で非常に多くのデータを収集できるため、より頻繁に湖の CO<sub>2</sub> 濃度を測定することが可能となった。また同機材は持ち運び可能であることから、より容易に湖水爆発を起こす可能性のある他の湖の観測が可能となった。
- ・ 2013 年に、本プロジェクトにより土壌と湖面の CO<sub>2</sub> 流量を測定する持ち運び可能な装置が開発された。これによりニオス湖及びマヌン湖における土壌、湖面及び周辺大気中の CO<sub>2</sub> 流量が測定され、湖からの CO<sub>2</sub> 流量図が得られた。今後、取得データの詳細分析が実施される予定である。
- ・ ニオス湖周辺の詳細な地形図が作成され、水文化学調査の土台となった。またこの図はハザードマップ作成のための有益な情報（例：崩壊の可能性のある岸壁の正確な位置）も提供した。また主成分分析により、ニオス湖湖底の水質の特徴も明らかとなった。
- ・ 温室効果ガス観測技術衛星（GOSAT）を用いて、ニオス湖・マヌン湖並びにその周辺地域の大气中 CO<sub>2</sub> 濃度の集中観測を実施した。この活動は本プロジェクトの半ばに追加されたため、湖水爆発の予測手段としての有効性を評価するにはさらなるデータの蓄積が必要である。この活動は東京大学によって本事業の終了後少なくとも 10 年間は継続される予定である。
- ・ 本成果に関連する学術論文 1 本が既に発表され、印刷中・査読中・修正中のものが各 1 本ある。周辺住民への説明及びウェブサイト上での情報公開に関しては、成果 1 に同じ。

## 成果 3: ニオス湖、マヌン湖の水理地質特性に関する理解が深まる。＜達成した＞

- ・ 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。その結果、ニオス湖周辺では標高が高い地域からの降水に由来しており、周辺岩石との化学反応によって主要成分が変化していることを見出した。化学成分分析の結果から、様々な鉱物の飽和指数や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明らかにした。

- ・ 降水の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 年であることを推定した。さらに、調査地域に供給される降水の約 30% (941mm) が地下水として涵養されていることを推測した。
- ・ ニオス湖地域の地下水の物理的・化学的性質を分析した。主成分分析により水—岩石相互作用が起きていることが明らかになった。ニオス湖やマヌン湖中の深部の CO<sub>2</sub> に富む流体は、深部から供給されており、周辺地下水との関連はないことが結論づけられた。水収支の予備調査は終了したが、観測結果を解明するために更なる分析が必要である。
- ・ ニオス湖とマヌン湖の詳細な微生物学的分析が初めて実施された。調査の結果、湖水中の細菌が湖水爆発の引き金になる可能性のあるメタンを生成していることも明らかになった。さらに両湖流域の水試料の細菌学的分析も実施され、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、両地域における公衆衛生への意識改革が必要であることを示唆した。
- ・ 本成果に関連する学術論文 3 本が既に発表され、2 本が査読中、1 本が受理済みである。このうちの 1 本は Nature 系列の学術誌 (*Scientific Report*) に掲載された。

#### 成果 4: CO<sub>2</sub> 供給系における水—岩石相互作用に関する理解が深まる。＜達成した＞

- ・ ニオス湖水はシデライトが沈殿していることが知られている。このことから、シデライトの沈殿が湖水全体の Fe 濃度 (CO<sub>2</sub> の挙動に影響する) 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、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。
- ・ ニオス湖の天然ダム内の地下水の水質を調査すると共に、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。岩石—CO<sub>2</sub> 水反応から計算された浸食速度では、もともと数百メートルであったダムを 45m にまで減少させるには 37,000 年を要することが推定された。また、同ダムは物理的風化作用や二次鉱物の形成、湖のオーバーフローによって突然の崩壊を引き起こす可能性があることが判明した。
- ・ 本成果に関連する学術論文 1 本が既に発表され、もう 1 本が提出済みである。

#### 成果 5: ニオス湖・マヌン湖における湖水爆発の監視体制が構築される。＜達成した＞

- ・ 気象観測ステーションと自動観測ブイ (Automatic Observation Buoy : 以下、「AOB」) が設置された。AOB による観測データは人工衛星及びインターネットを通じてカメルーン側と日本側研究者に送信されている。この人工衛星によるデータ転送が湖のリアルタイム観測を可能にした。マヌン湖では 2014 年 5 月に付近の住民により気象観測ステーションのケーブルが切断され、それ以降気象観測のデータは収集されていない。
- ・ 2012 年にニオス湖およびマヌン湖に筏が設置された。これにより、水とガスの試料を収集し、湖の残存 CO<sub>2</sub> を計測することが可能となった。
- ・ 両湖の残存 CO<sub>2</sub> を計測した結果、ニオス湖では 2011 年にガス抜きパイプを設置した後に残存 CO<sub>2</sub> 量が急速に減少し、2013 年に 3 本のガス抜きパイプが稼働し始めると減少量は 2



倍になった。しかしながら 2014 年には減少量は 3 分の 1 にまで低下している。マヌン湖では、残存 CO<sub>2</sub> 量が 2011 年から 2014 年にかけて増加し、2015 年に減少した。以上のように両湖の残存 CO<sub>2</sub> 量の変化は予想がつかないことから、定期的な観測を継続する必要がある。

- ・ 本成果に関連する学術論文 1 本が既に発表され、印刷中・査読中・受理済みの論文が各 1 本ある。

**成果 6: マヌン湖において湖水中 CO<sub>2</sub> の蓄積を防止する深層水排除のための実験システムが導入される。＜達成した＞**

- ・ 湖における CO<sub>2</sub> の再蓄積を防ぐため、本プロジェクトは 2013 年に太陽光発電による深層湖水揚水装置を開発した。この装置はコストパフォーマンスが高く、維持しやすく、設置から 2 年経過しているが問題なく稼働している。本装置は実験的装置であり、湖底からの CO<sub>2</sub> の自然供給を抑制するには 1 台では不十分であることから、湖の安全性を保障するために追加装置の設置が不可欠である。
- ・ CO<sub>2</sub> 除去システムに関する技術論文は 1 本が発表され、もう 1 本が受理済みである。

**成果 7: オク火山群のマグマ供給系の理解が深まる。＜達成した＞**

- ・ カメルーン火山列 (CVL) のオク火山群においてマールを含む火山の地球化学的調査を実施した。調査した溶岩の地球化学的特徴から、必ずしもマグマ自体が異常な量の CO<sub>2</sub> を含んでいるわけではないことが明らかになった。この調査と本プロジェクトの他の研究成果と併せると、CO<sub>2</sub> の蓄積は湖の深さや気象条件によるものであり、マグマの性質が原因であるわけではないことが判明した。
- ・ C/P 資金の不足により、予定されていた「ニオス湖とマヌン湖付近の地質図の作成」は、「ニオス火山の噴火史の解明」に変更された。
- ・ ニオス湖及びその周辺の現地調査により得られた簡易な地質図と試料から、噴火史とマールの形成プロセスが明らかになった。この情報は、湖水爆発を含む将来の噴火活動の予測やハザード評価に貢献できる。
- ・ CVL に位置するバロンビ・ボ・マールに産する塩基性貫入岩のデータ解析を行った。研究結果によると、このマールは 3 回の噴火を通じて形成されており、今後も噴火の可能性はある。したがって、このバロンビ・ボ・マール周辺の更なる調査とハザード研究が必要である。
- ・ 本成果に関連する博士論文 2 本、学術論文 2 本が既に発表され、さらに 2 本の学術論文が本プロジェクトの終了までに提出予定である。

**成果 8: カメルーン火山列にあるニオス湖、マヌン湖以外の湖における CO<sub>2</sub> の分布に関する理解が深まる。＜達成した＞**

- ・ CVL の 9 つの湖で湖水からの CO<sub>2</sub> の拡散的放出とニオス渓谷とマネングーバ山カルデラにおける土壌ガスを調査した。その結果、いくつかの湖ではマグマに起源する CO<sub>2</sub> を含んでいることが判明し、マネングー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可能性が明らかになった。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から、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ことが判明した。

- CVL のニオス・マヌン湖に類似する特性を有する 17 の湖（CVL 全火口湖の 40%）の調査を行った。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証明された。調査の一環として、17 の湖の物理化学的組成、平均気温、降水量、水文環境に関するデータベースを構築した。
- 本成果に関連する学術論文 2 本が既に発表されている。

#### 成果 9: 科学的な観測の結果が、組織的に市民保護局（DPC）と共有される。＜未達成＞

- 科学的な観測の結果を DPC と組織的に共有するために、DPC と IRGM からの選出メンバーによる湖水爆発観測委員会（Limnic Eruption Monitoring Committee：以下、「LEMoC」）が 2015 年 6 月に設立された。しかし同委員会は、今後、後述の“国立災害観測システム”に組み込まれる可能性がある。“国立災害観測システム”とは、カメルーン政府が法的・財政的に支援する公的システムであり、IRGM と DPC はともに同システムの一員である。IRGM が災害リスク（例：湖水爆発、カメルーン山の噴火）を発見した時は、その情報はこのシステムを通じて DPC と共有されることとなっている。
- IRGM は本プロジェクト終了後、研究成果に基づいて、関連機関が湖の安全性判断に活用するためのガイドラインの作成を検討している。また、関係者の合意次第ではあるが、科学的知見に基づいて災害対策に関する提言を行うことは、LEMoC に期待されている役割の一つでもある。
- 2015 年 7 月、IRGM と DPC のスタッフは JICA による“コミュニティ・ベースの災害リスク・マネジメント”に関する研修に参加し、合同でアクションプランを作成した。この計画には 2016 年の湖の付近住民によるワークショップも含まれている。具体的な実施計画については、議論中である。
- 第 9 回国際火口湖会議が 2016 年 3 月 13-23 日にカメルーンの首都ヤウンデで開催される。会議の主な焦点の一つは本プロジェクトの包括的な研究成果を発表することである。

#### 2.2 プロジェクト目標の達成見込み

結論として、プロジェクト目標はある程度達成したと言える。プロジェクト目標は「能力強化」と「研究成果の防災への活用（社会実装）」の 2 点に分かれており、それぞれ個別の達成度合いは以下のとおり。

##### ＜能力強化＞

- 能力強化は 5 人の研究者（1 人は IRGM スタッフ）への長期研修と、日本人専門家の派遣による実地研修と本邦研修による短期研修を通じて実施された。長期研修生は成果 3、7、8 の達成に大きく貢献した上に、全員が 3 年以内に博士号を取得し、在学期間中に質の高い論文を複数発表した。そのうちの一つは Nature 系列の学術誌（*Scientific Reports*）に掲載

された。これらの達成は若いカメルーン人科学者の評価を高めることに貢献した。長期研修生 5 人の内 1 人は元々 IRGM スタッフであり研修後も IRGM で勤務を続けている。もう 1 人は既に臨時スタッフ<sup>1</sup>として IRGM に所属して働き始めており、さらにもう 1 人が IRGM を志願し、現在願書の審査中<sup>2</sup>であることから、長期研修は IRGM の能力強化に確実に貢献すると言える。一方で、残りの 2 人は実施機関外で研究を続けている点は、プロジェクトへの貢献度合いに関する判断は現時点では難しい。

- ・ カメルーン国内での C/P 機関スタッフの研修に関しては、日本人専門家が現地で湖の科学的な観測方法やデータの収集・分析方法についての実地研修を行った。
- ・ 能力強化に関する指標である“移転技術・知識に関する指示書<sup>3</sup>（operational direction）の整備”に関しては、ほとんどの主要機材のマニュアルは整備されている一方で、「指示書」の定義が曖昧であったことから観測活動のための標準操作手順書（a standard operating procedure：以下、「SOP」）は作成されていない。また質問票調査や聞き取り調査から、観測機材の使用は問題ないが、主要な分析機材（AAS、Picarro、<sup>13</sup>C analyser）の使用に関しては終了時評価の時点ではやや不安を覚えていることが分かった。しかしながら、本プロジェクト以外の外部からの分析依頼は増えており、今後の能力強化が期待できる。

#### <研究成果の防災への活用>

- ・ 本プロジェクトにより得られた知識は災害リスクの軽減に活用できる。終了時評価時点では、ハザードマップの作成に向けた動きのみだが、関係者間では成果の活用に向けた様々なアイデア（例：DPC と IRGM のコミュニティ防災に関する共同アクションプラン、防災ガイドライン、湖水爆発に関するリーフレット作成、LEMoC 等）が話し合われており、本プロジェクト終了までに開始しそうな案もある。
- ・ 社会実装にあたっては、関係者間の効果的なメカニズムの構築が研究成果の災害リスクの軽減及び防災への活用を促進するために必要である。さらに、本プロジェクトは水文学・地球化学・地球物理・火山地質学・火山学の分野での能力強化に貢献し、移転された知識・技術は湖水爆発に限らず様々な災害管理への活用が期待できる。また聞き取り調査においても C/P 機関スタッフは学んだ知識を活かして災害リスクの軽減に貢献することに対して意欲的であった。

### 3.5 項目評価

#### 3-1. 妥当性

以下に示す理由から、本プロジェクトの妥当性は高い。

- ・ カメルーン政府にとって湖水爆発のリスク削減は優先度が高い。「ニオス湖の安全と復旧に関する国家プログラム」は 2008 年に開始されたものの、終了時評価時点（2015 年）では 4 つのコンポーネントのうち 1 つ（ガス抜きやダムへの補強によるニオス湖の安全確保）しか完了していない。この 5 か年計画は現在も継続しており、内容が古くなりつつあることから更新が検討されている。

<sup>1</sup> 2016 年より正規ポストにて雇用予定。

<sup>2</sup> 科学技術省事務次官によると、この長期研修生が IRGM に雇用される可能性は非常に高い。

<sup>3</sup> “指示書”の定義が曖昧であったことから、「機材」の“指示書”は“マニュアル”を指し、「観測活動」の“指示書”は“標準操作手順書（以下、「SOP」）”を指すことを調査期間中にプロジェクト・メンバー間で合意した。

- また政府は本プロジェクトを重視し、2013 年に IRGM のニオス湖とマヌン湖のガス災害の予防に関する活動を表彰し、金の獅子賞“LION D'OR”を授与した。この問題への長年の貢献に感謝を示し、日本人研究者の一人（日下部 実教授）にこの賞のレプリカが授与された。
- 防災に関する研究は IRGM の業務として位置付けられており、このため本プロジェクトは IRGM のミッションとも合致している。IRGM はまた湖の観測を法的にも義務付けられている。これらの使命により、カメルーン政府は毎年「ニオス湖とマヌン湖のガス抜き観測プロジェクト」を通じて IRGM がこの課題に取り組む資金を拠出している。
- 本プロジェクトの研究成果は湖水爆発のメカニズムに関する理解を深め、湖水爆発のリスク軽減への活用が期待されていることから、1) 災害リスクの理解と 2) 災害リスクガバナンスの強化という「仙台防災枠組み 2015-2030」の優先行動にも合致している。

### 3-2. 有効性

本プロジェクトの有効性は以下の理由により中程度である。

- 本プロジェクトはプロジェクト目標をある程度達成できる見込みである。人材育成に関する成果としては、まず 5 人のカメルーン人研究者を長期研修によって育成し、彼らの研究成果が成果 3, 7, 8 の達成に貢献した。一方で、5 人中 2 人の研修員が研修終了後、C/P 機関に勤めていないことから、プロジェクト目標への貢献については、現時点では判断できない。さらに、本プロジェクトでは本邦研修や日本人専門家の派遣による実地研修を通じて C/P 機関スタッフの能力強化を図った。更なる能力強化に向けて、指示書の整備と一部の分析機材の追加研修が期待される。
- 災害リスクの軽減と防災への研究成果の活用に関しては、ハザードマップの作成に向けた動きがあり、プロジェクト終了までにさらなる活用が実施される見込みである。また、本プロジェクトを通じて湖水爆発だけでなく、噴火や洪水等の他の災害に関する知見も得られた。聞き取り調査の結果によると、C/P 機関スタッフは得られた知見の他の災害への活用に意欲的である。
- プロジェクト目標に関する 5 つの指標に関しては、2 点（コミュニケーションと資金調達）が達成済みで、2 点（指示書の作成と機材の使用）はまだ達成されていない。最後の 1 点（水と岩石試料の分類管理）は、本プロジェクトを通じてその重要性が理解され、IRGM によって試料庫のデザインが準備された。試料庫の改修は別のドナーの資金によって実施される。
- 本プロジェクトのプロジェクト・デザイン・マトリックス（以下、「PDM」）は、＜成果＞と＜プロジェクト目標＞に直接的な関係はない。したがって成果の達成が必ずしもプロジェクト目標の達成に繋がらない。しかしながら、本プロジェクトは成果 9 を除くすべての成果を達成し、湖水爆発に関する理解の促進と災害リスクの軽減と防災のためにニオス湖とマヌン湖の効果的な観測システムを設立したことは特筆すべき達成である。

### 3-3. 効率性

本プロジェクトの効率性は、以下の3つの理由により比較的低い。

- ・ C/P 資金の支出の遅れ、また一部しか支出されていないために、プロジェクトの円滑な遂行を妨げる事となった。C/P 資金は総額 8 億 5 千万フラン（5 年間分）が割り当てられており、毎年支出される予定であったが、実際には 2011 年の 12 月と 2015 年の 3 月に 2 度支出されたきりであった。終了時評価時点で約 2 億 7,300 万フラン（約 5,500 万円）が未払いである。
- ・ 援助資金を管轄する官庁の業務過多及び緊急事態（ボコ・ハラム対策、北部地域での洪水等）の影響等という理由で、2011 年 12 月～2015 年 3 月までの間 C/P 資金の支出が滞ったため、プロジェクトは予定していた活動の一つ（地質図の作成）と、能力強化を促進する C/P 機関による現地調査を実施しなかった。上記のとおりカメルーン政府全体の事情から、C/P 資金の残余分の支出が遅延なく行われるかは不透明である。
- ・ 湖の観測や水・岩石試料の分析に不可欠な機材の一部は十分に活用されていない。能力強化に必要な期間などを考慮し機材の調達・設置計画を検討する必要があった。機材の活用は、短期研修やラボラトリーのインフラ整備により大幅に改善された。
- ・ カメルーン人科学者の人材育成を目的として長期研修と短期研修が提供された。短期研修はプロジェクト目標（人材育成）の達成に貢献したものの、長期研修生 5 人のうち 2 人が国外で研究を継続しており、IRGM で勤務している長期研修生の内 1 人は来年定年になる。
- ・ 実地研修と短期研修の効果的な活用は本プロジェクトの効率性を高めることに貢献した。ラボラトリー及び実地調査での観測・分析機材に関する研修やラボラトリー管理に関する研修、個別分野（コンピューター・シミュレーション等）に関する研修、コミュニティ防災に関する研修は成果やプロジェクト目標の達成に貢献した。

### 3-4. インパクト

本プロジェクトのインパクトは、湖水爆発のメカニズムに関するプロジェクトの知見が湖付近の住民と共有されるならば、比較的高い。

- ・ 本プロジェクトは大学を通じたカメルーン人科学者の能力強化にも貢献している。大学からの試料の分析依頼は近年増加傾向にある。また、ラボラトリーでは大学院生にインターンの機会を与えており、2013 年以降 7 人のインターン生がラボラトリーで供与機材を活用した。さらにプロジェクト・メンバーの中には大学で教えている者もあり、本プロジェクトの成果を大学院の講義で共有している。大学からの分析依頼や大学院生の受入れ、研究成果に関する大学での講義を通じて、本プロジェクトの供与機材や知識移転は大学に所属するカメルーン人科学者の能力強化に貢献している。
- ・ 加えて、既述のとおり本プロジェクトは湖水爆発のメカニズムの理解を促進し、ニオス湖とマヌン湖のリアルタイム観測システムを設立することで、カメルーン政府も促進を表明している「仙台防災枠組み 2015-2030」の優先行動（“災害リスクの理解”）の促進にも貢献する。
- ・ 本プロジェクトの主目的の一つは湖水爆発のメカニズムを理解することであるが、本プロジェクトから得られた知見は洪水と噴火などの他の災害にも活用できる。また本プロジェクトにより、C/P 機関は様々な分野（水文学・火山地質学・地球化学・地球物理・火山学等）で能力を強化し、これはカメルーン内外の幅広い防災に活用することができる。C/P 機

関スタッフは防災への知識活用に意欲的である。

### 3-5. 持続性

本プロジェクトの持続性は、技術的な観点での持続性に懸念が残ることから、中程度である。

#### (1) 政策的・制度的観点

- ・ カメルーン政府は、死者数において過去最大規模の災害である湖水爆発のリスク軽減を重視しており、政策的な持続性は高い。また、IRGM にとって湖の観測はプロジェクト開始以前から変わらない恒久的な使命であり、法的義務でもある。したがって IRGM 内に本プロジェクトの持続性に影響を与えるような制度的な変化は起きていない。

#### (2) 財政的/組織的観点

- ・ IRGM の予算は過去 3 年間増加傾向にある。また IRGM 所長は、機材の維持管理費用の確保を保証した。さらに機材の認証が完了すれば、外部からの分析依頼が大きく増加することが予想され、機材の維持管理費用に大きな問題はないと考えられる。またカメルーン政府は IRGM に対して湖の観測費用を毎年拠出しており、観測自体に資金的な問題はない。
- ・ IRGM には本プロジェクトの終了後も研究や観測を継続するための十分な人材がいる。過去 3 年間でスタッフの数は増え続けており、本プロジェクト・メンバーの離職率も非常に低い。

#### (3) 技術的観点

- ・ C/P 機関スタッフは本プロジェクトを通じて湖の科学的な観測手法について学び、試料の分析能力を高めたが、スタッフ間で知識や技術を共有する効果的なメカニズムが必要である。指示書の作成に関しては主要観測機材のマニュアルは作成済みで、残りは作成中である。いくつかの供与機材に関して、機材の能力を最大限に活かすためには、C/P 機関スタッフに対してさらなるトレーニングが必要である。長期研修生の C/P 機関の能力向上の貢献度合いは判断できない。

## 4. 結論

結論として、本プロジェクトはC/P機関のスタッフが自立的・科学的にニオス湖とマヌン湖を観測し、災害リスクの軽減に活用するための能力強化に大きく貢献した一方で、目標達成の有効性・効率性・持続性には課題が残った。本プロジェクトは湖水爆発に関するカメルーン政府の政策、C/P機関の使命、そして仙台防災枠組にも合致していることから、妥当性は高い。有効性は長期研修生の本プロジェクトへの貢献については一部確認できていないこと、主要分析機材に関するさらなる訓練が必要であること、研究成果の社会実装は始まったばかりであることから、有効性は中程度である。C/P資金の深刻な遅配、供与機材の限定的な活用、そして長期研修生の能力強化によるプロジェクト目標への貢献は一部確認できていないことから、効率性は比較的低い。本プロジェクトは大学を通じたカメルーン人科学者の能力強化に貢献し、また仙台枠組みの促進や湖水爆発を含めた様々な防災への活用への実現可能性が高いことから、インパクトは比較的高い。持続性は終了時評価時点で技術的持続性の確認ができていないがことから、中程度である。

## 5. 提言

### 5-1. プロジェクト期間終了まで取るべき措置

#### (1) C/P 資金の残額の支出

本プロジェクトの残りの活動を実施し、活動の成果を持続するために、経済・計画・国土整備省と財務省に対してC/P資金の残額がこれ以上遅れることなく確実に支払われるよう強く要求する。紛失・破損している観測に不可欠な機材（CTDと気象観測ステーション）を再購入するためにも、C/P資金の残額の支出が重要である。

#### (2) 未達成の指標のフォローアップ

主要分析機材の簡易版ユーザー・マニュアルはほとんど整備されているものの、観測活動に関する知識と技術を維持するためには、IRGMはこれまでに実施した観測活動に沿って指示書を作成し、必要性が生じれば改訂することが重要である。また、終了時評価時点では一部の分析機材の活用は限定的であったため、外部委託分析を活用・受注するためにさらに多くの試料を分析して機材の使用を練習することが期待される。

#### (3) 効率性の向上

一部の長期研修生はIRGMに所属していないことから、長期研修によって強化された能力がどのように湖の観測やその他の災害リスク軽減活動に活用され得るかは終了時評価時点では明らかではない。本プロジェクトによって開発された人材が十分に活用されるような措置をとることが望ましい。もしそのような措置が取られれば、プロジェクトの効率性は向上すると考えられる。

#### (4) 持続性の向上

活動の成果を維持するために、本プロジェクトにより開発・強化された能力やネットワーク（日本人研究者とのネットワークや長期研修生とのネットワーク等）を維持・発展させることが望ましい。加えて将来雇用される新しい研究者と、本プロジェクトの研究成果を共有するシステムやメカニズム（セミナーや定例会議等）が今後構築されることが期待される。

さらに、供与機材を適切に維持管理するために、外部委託分析を受注することで消耗品やスペアパーツの購入費、ラボラトリーの維持管理費を調達することが期待される。終了時評価時点、外部委託分析による資金は消耗品等の購入費やラボラトリーの維持管理費を賄うには不十分であるものの、受注数は増加している。したがって、機材の認証や広報を通じて外部委託分析の受注数を増加する努力を継続する必要がある。また、湖の観測継続のためには、CTDや気象観測ステーションといった紛失・破損している機材の購入が不可欠である。

#### (5) 社会実装の実施方法に関する対話と枠組み

研究成果により得られた科学的知見の活用、特に湖周辺の地域住民への成果の還元に関してはプロジェクト関係者で合意が得られている。社会実装の実施はDPCの役割ではあるが、IRGMも湖水爆発のメカニズムに関するリーフレットを作成する等の研究成果の活用を通じて、社会実装のプロセスを推進することが可能である。

本プロジェクトの成果を最適な形で活用し、各関係者の役割や法律・規制に沿い、相互理解に基づいて災害リスク軽減活動を実施するためには、関係者間の対話を促進・強化することが重要である。

## 5-2. プロジェクト終了後取るべき措置

### (1) 分析機材とデータ処理に関する更なる訓練

供与機材の使用・維持管理の観点から、外部委託分析受注増加に加え、C/P機関のスタッフが主要分析機材（AAS、Picarro、 $^{13}\text{C}$  analyser）の使用およびマルチビーム・ソナーのデータ処理に関する追加の訓練機会を得ることが望ましい。C/P機関のスタッフは分析機材の基礎的な訓練を受けてはいるが、本プロジェクト終了までに練習を兼ねて試料の分析を開始することが重要である。

### (2) プロジェクト成果の活用

本プロジェクトにより得られた科学的な知見は、ニオス湖とマヌン湖の観測の重要性と必要性を示している。また取得データはガス抜きパイプの効果が早晩停止することを示唆した。したがって、湖の観測を継続しガス抜きのための新たな手段をとる必要がある。例えば、本プロジェクトにより開発された深層水の $\text{CO}_2$ 除去システムは妥当な価格で適切な手段であることが科学的に証明されている。以上のことから、IRGMを含むカメルーン側関連機関は観測継続のための必要予算を確保し、ガス抜きのための追加手段を講じ、湖の安全性の確保のためにプロジェクトにより得られた成果を活用することが強く推奨される。

### (3) 組織的な能力の強化

移転した知識と技術を効果的に活用するために、IRGMのさらなる組織的な能力の強化が期待される。具体的には、組織内で知識を共有するためのメカニズムの構築（定例セミナーの開催や終了時評価で指摘されている指示書の整備や、IRGM本部とラボラトリー間のミーティングの継続等）や湖の観測・データ分析のための人的・財政的資源の確保が望ましい。

### (4) 湖の観測データの共有

湖の観測から得られたデータは本プロジェクトに関わる研究メンバーにとって価値がある。データを活用して更なる研究成果を生み出すために、プロジェクト終了後も本プロジェクトの研究メンバー間でデータを共有することが重要である。

### (5) 災害リスク軽減のための枠組みの強化

災害リスクを軽減するために今後関係者間で効果的な枠組みを構築することが望ましく、この枠組みは科学的データの活用により強化することができる。IRGMはよりよい防災のために科学的データの提供を通じてこの枠組みを支援することができる。



## 6. 教訓

### (1) 機材調達・設置計画の柔軟な見直しの重要性

機材調達の遅れとラボラトリーの設備・管理の強化の遅れが供与機材の十分な活用を妨げた。これらの問題に早期に対応していれば、プロジェクト期間中にC/P機関のさらなる能力強化が可能であったと考えられる。したがって機材の最適な使用のためには、機材の調達・設置計画を柔軟に修正することが非常に重要である。

### (2) 長期研修生のC/P機関への貢献に関する潜在的な限界

長期研修制度により研修生が素晴らしい科学的な成果を生み出したこと、彼らの幅広い能力強化に貢献したことには疑いがない。一方で、一部の長期研修生は研修前後ともにC/P機関に所属していない。C/P機関から長期研修生の候補者を選ぶことで、プロジェクトの様々な点（効率性、有効性、持続性、妥当性<sup>4</sup>）をさらに向上させることができる。

### (3) プロジェクトの早期段階での社会実装の考えを確認する重要性

プロジェクト目標としての社会実装は当初は十分に認識されておらず、共通認識に沿った実施計画も存在しなかった。このことが社会実装の進捗を遅れさせる原因となった。プロジェクトの開始時でなくとも半ば頃までに、社会実装に関して期待される成果・プロセスや各関係者の役割について関係者間で合意することが重要である。

### (4) 研究者と支援機関間での緊密なコミュニケーション

質問票調査や聞き取り調査によると、日本人専門家の派遣は回数・期間ともに限定的であり、それが専門家とのコミュニケーションに影響した、と少なくともC/P機関のスタッフが感じている。したがってC/P機関、日本側プロジェクト・メンバー、JICA（現地事務所を含む）とJST間で定期的な会合を持つメカニズムの構築が有益であると考えられる。

<sup>4</sup> 「プロジェクトのアプローチが適切であったかどうか」は「妥当性」で判断される。投入金額が大きいコンポーネントのプロジェクト目標への貢献が限定的であれば、妥当性の判断に影響を与える。



## 第1章 終了時評価の概要

### 1-1 背景

カメルーン共和国（以下、「カメルーン」）では1984年及び1986年に北西部にあるマヌン湖及びニオス湖で湖からの二酸化炭素（以下、「CO<sub>2</sub>」）の大量噴出による災害が発生し、多数の住民の命を奪い、数千頭の家畜被害を出した（1984年のマヌン湖の爆発では死者37名、1986年のニオス湖の爆発では1746名、家畜約3000頭が死亡）。ニオス湖の周辺は、現在でも公式には居住禁止となっており、近くを通る道路も通行禁止となっている。

このような状況のもと、湖水爆発のメカニズムに対する理解を深めるとともに、観測体制を整備し、研究成果を防災に活かすことを目的に、「地球規模課題対応国際科学技術協力（Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development）」（以下、「SATREPS」）にかかる要請が日本政府に提出され、カメルーン地質調査研究所（Institute of Geological and Mining Research：以下、「IRGM」）をカメルーン側カウンターパート（Counterpart：以下、「C/P」）研究機関、東海大学を日本側研究機関代表として、2011年4月から5年間の予定で技術協力プロジェクト「火口湖ガス災害防止の総合対策と人材育成プロジェクト」（以下、「本プロジェクト」）を開始した。

終了時評価では、本プロジェクトの終了前に本事業の活動内容、成果及びプロジェクト目標について評価5項目（妥当性、有効性、効率性、インパクト、持続性）に基づいて評価し、残りのプロジェクト期間の課題の確認及び今後の方向性について合意することを目的としている。

### 1-2 目的

終了時評価の主な目的は以下のとおり。

- (1) 投入と各成果及びプロジェクト目標の達成からプロジェクトの成果を確認する。
- (2) プロジェクトを評価5項目（妥当性・有効性・効率性・インパクト及び持続性）に沿って評価する
- (3) 事業終了前及び終了後に実施すべき手段への提言と教訓を抽出する。

### 1-3 プロジェクトの概要

プロジェクト・デザイン・マトリックス（以下、「PDM」、Ver.3、別添2）に記載されているプロジェクトの概要は以下のとおり。本プロジェクトでは上位目標は設定されていない。

#### (1) プロジェクト目標

日本とカメルーンの科学技術協力を通じて、ニオス湖及びマヌン湖におけるガス災害に関連する研究活動と、その成果の防災への活用が、カメルーン側科学者により自立的に実施されるようになる。

#### (2) 成果

1. 湖水爆発のメカニズムに関する理解が深まる。
2. ニオス湖、マヌン湖へのCO<sub>2</sub>供給プロセスに関する理解が深まる。

3. ニオス湖、マヌン湖周辺の水理地質特性に関する理解が深まる。
4. CO<sub>2</sub> 供給系における水-岩石相互作用に関する理解が深まる。
5. ニオス湖、マヌン湖における湖水爆発の監視体制が構築される。
6. マヌン湖において湖水中の CO<sub>2</sub> の蓄積を防止する深層水排除のための実験システムが導入される。
7. オク火山帯のマグマ供給系の理解が深まる。
8. カメルーン火山列にあるニオス湖、マヌン湖以外の湖における CO<sub>2</sub> 分布に関する理解が深まる。
9. 科学的な観測の成果が、組織的に市民保護局と共有される。

### (3) 実施期間

2011 年 4 月 ～ 2016 年 3 月（5 年間）

## 1-4 評価方法

PDM に沿って、プロジェクトの進捗状況及び以下の点を確認した。

### (1) プロジェクトの実績の確認

投入・成果及びプロジェクト目標に関するプロジェクトの達成度合いを、PDM に記載されている“客観的に検証可能な指標 (Objectively Verifiable Indicator)”を参照して確認した。文献調査・質問票調査・C/P 機関や日本人研究者、関連機関関係者等への聞き取り調査及び関係者との議論を通じて確認を行った。

### (2) 実施プロセスの検証

プロジェクト・マネジメントの観点から、本プロジェクトの実施プロセスを検証した。

### (3) 5 項目による評価

プロジェクト全体の評価に関しては、以下の評価 5 項目に沿って実施された。

#### 評価 5 項目

妥当性	開発インターベンションの目標が、受益者の要望、対象国のニーズ、地球規模の優先課題及びパートナーやドナーの政策と合致している程度。
有効性	開発インターベンションの目標が実際に達成された、あるいはこれから達成されると見込まれる度合いのことであり、目標の相対的な重要度も勘案しながら判断する。
効率性	資源及び（又は）インプット（投入）（資金、専門技術（知識）、時間など）がいかに経済的に結果を生み出したかを示す尺度。
インパクト	開発インターベンションによる貢献が期待されている、より高次の目標。
持続性	開発インターベンションの終了時における、開発インターベンションによる便益の持続性。長期的便益が継続する見込み。時間の経過に伴う純益の流出というリスクに対する回復力。

（出典：JICA（2015）「事業評価ハンドブック（Ver.1）」）

#### (4) 提言と教訓

評価結果に基づき、提言及び教訓を抽出した。

### 1-5 合同終了時評価団の構成

#### <カメルーン側>

名前	肩書	組織
Nnange Joseph	総括	科学技術省 副局長
Bate Moses	プロジェクト評価	経済・計画・国土整備省 研究官
Kengne Celestin	プロジェクト評価	地域行政・地方分権省 国立災害観測システム担当

#### <日本側>

名前	役割	肩書
米林 徳人	団長	JICA、地球環境部 防災第2チーム 課長
土井 ゆり子	企画・協力	JICA、地球環境部 防災第2チーム
姫野 敦子	オブザーバー	JST、国際科学技術部 SATREPS グループ 調査員
石飛 愛	評価分析	適材適所 LLC、コンサルタント

### 1-6 終了時評価のスケジュール

2015年10月16日から11月2日にかけて C/P 機関・関連政府機関・日本人専門家及び評価団メンバーと議論が行われた。調査日程は別添3参照。

## 第2章 プロジェクトの実績

### 2-1 投入

#### (1) カメルーン側投入

##### 1) 人員配置

プロジェクト・スーパーバイザー：科学技術省事務次官

プロジェクト・マネジャー：IRGM 代表

その他の C/P：IRGM の研究者・技術者 26 名

配置された C/P 機関研究者・技術者の詳細なリストに関しては別添 4 (1) に記載。

##### 2) 施設の提供

IRGM は業務調整員に対し、オフィススペース・オフィス家具・インターネットを含む通信設備を提供した。

##### 3) 機材の調達

IRGM が調達した機材には、実地調査等に使用される 3 台の車や、供与機材が設置されているコルビソン・ラボラトリー（以下、「ラボラトリー」）の改装工事、井戸の掘削、ラボラトリー用のコンピューターやジェネレーターが含まれる。

##### 4) C/P 資金

カメルーン政府は毎年 C/P 資金（5 年間で 8 億 5,000 万フラン：日本円で約 1 億 7,500 万円<sup>5</sup>）を支出することになっていたが、終了時評価の時点では 2011 年と 2015 年の 2 度のみ、合計 5 億 5,700 万フラン（予定金額の 65.5%）の支出にとどまっている（表 1）。この理由に関しては様々な説明がなされているが、最も多い説明は 1) 援助資金を管轄する経済・計画・国土整備省の業務過多（による遅配）と 2) 緊急事態（ボコ・ハラム対策、北部地域での洪水等）による国庫支出金の分配への影響である。終了時評価時点で約 293 万フランが未払いである。

表 1. C/P 資金支出額（単位：フラン）

2011 <sup>6</sup>	2012	2013	2014	2015	合計	残額
316,000,000	0	0	0	261,207,000	557,207,000	292,793,000

（出所：IRGM からの提供情報）

#### (2) 日本側投入

##### 1) 日本人専門家の派遣

2015 年 10 月 1 日時点で、15 人の日本人短期専門家がカメルーンに延べ 56 回（合計 904 日）派遣されている。各専門家の分野は表 2 のとおり。日本人専門家のリストは別添 4 (1)

<sup>5</sup> 換算レートは 1 円＝4.7787 フラン（2015 年 10 月 9 日）を適用。

<sup>6</sup> カメルーンの会計年度は 1 月から 12 月まで。

を参照。

また、3人の日本人長期専門家が業務調整員として派遣された。業務調整員はIRGM・カメルーン側関係機関・日本人短期専門家との調整や、調達及び合同調整委員会（以下、「JCC」）の準備等を担当した。

表 2. 日本人専門家の派遣実績（2015 年 10 月 1 日時点）

専門分野	研究者数	派遣回数	カメルーンでの業務	
			延べ日数	人/月
<b>短期専門家</b>				
研究代表者/ 地球化学	1	10	146	4.83
地球化学	8	32	562	18.6
火山地質学	3	6	77	2.55
火山岩石学	1	3	45	1.49
地球物理	1	4	57	1.89
湖沼学	1	1	17	0.56
<b>小計</b>	<b>15</b>	<b>56</b>	<b>904</b>	<b>29.93</b>
<b>長期専門家</b>				
業務調整	3	3	1715	56.79

（出所：プロジェクト事務所からの提供情報）

## 2) 機材供与

湖の観測機材と水・岩石試料の分析機材が供与され、調達費用は1億5,750万円に達した。供与機材の詳細なリストは別添4（2）を参照。

## 3) 本邦研修

5人のカメルーン人研究者が日本で長期研修（合計181.3人/月）に参加し、延べ15人の研究者と技術者が機材の使用や試料分析、ラボラトリー管理やコンピューター・シミュレーション等に関する短期研修に参加した。本邦研修の詳細は別添4（4）を参照。

## 4) 現地活動費

日本側が支出した現地活動費は表3のとおり。プロジェクト開始時より2015年9月10日までの時点で1億2千万フラン（約2460万円）が支出されている。

表 3. 現地活動費（単位：フラン）

2011	2012	2013	2014	2015	合計
18,170,419	23,513,024	47,833,107	26,646,980	3,771,433	119,934,963

（出所：プロジェクト事務所からの提供情報）

## 2-2 実績の確認

終了時評価時点の各成果の達成度合いは以下のとおり。

### (1) 成果 1：ほぼ達成

成果目標	湖水爆発のメカニズムに関する理解が深まる。
指標	1-1. 論文発表 1-2. 付近住民への説明 1-3. ウェブ上での情報公開

#### 〈活動 1-1. 湖水爆発が起り得る条件をコンピューター・シミュレーションにより再現する。〉

- 本プロジェクトの現地観測で得られた最新のデータ（成果 5）と数値シミュレーションの結果、湖底からの不飽和な高  $\text{CO}_2$  濃度層の成長と層境界の不安定性に伴う湖水中深部からのプルームの上昇によって、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。この結果は湖水の観測に基づき湖水爆発の発生可能性を評価する上で、極めて重要なものである。また本研究の結果は、高  $\text{CO}_2$  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観測を行うことが、湖水爆発の開始をとらえる上で非常に重要であることを指摘し、湖水爆発開始の検知に必要な観測精度に関する情報を提供した。
- 湖水爆発に伴う大気への  $\text{CO}_2$  拡散過程の数値シミュレーションに取り組み、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。この数値シミュレーションに基づいて、ニオス湖周辺のハザードマップが作成される予定である。
- 脱ガスパイプ内の流れの数値モデリングに成功し、これにより脱ガスパイプが湖水爆発発生可能性の抑制に果たす役割を定量的に評価することができた。また、観測が容易な噴水高度から湖底における  $\text{CO}_2$  濃度という重要な情報を得ることが可能となった。この成果により湖水爆発の前兆を効率的に観測することができるようになった。

#### 〈活動 1-2. $\text{CO}_2$ 供給地点を特定するため、ニオス湖、マヌン湖の湖底の詳細な地形調査を音波探査によって行う。〉

ニオス湖・マヌン湖においてマルチビーム・ソナーを用いた音波探査が実施された。これにより、マヌン湖において  $\text{CO}_2$  に富む流体の供給源である可能性が高い地点を特定した。また、音速と電気伝導度による測定においても、この地点が供給地点である可能性が高いことが示された。この発見により、 $\text{CO}_2$  濃度の適切な観測地点の特定だけでなく、効果的に  $\text{CO}_2$  濃度を減少させるためのガス抜きパイプの設置地点の特定が可能となった。ニオス湖でのマルチビーム・ソナーによる音波探査は外部研究者の支援なく C/P 機関スタッフにより実施され、ニオス湖湖底の詳細地形図は得られたものの、マヌン湖ほど精度が高くなかった。その後、C/P 機関スタッフは調査技術の向上を図るため、トレーニングを兼ねてベナン湖でも探査を行っている。

#### 〈活動 1-3. 湖の安全性の判断に利用するため、湖水爆発が起り得る条件を推定する。〉

IRGM は本プロジェクト終了後、関連機関が湖の安全性判断に活用できるように、研究



成果に基づいたガイドラインの作成を検討している。

### 〈指標〉

#### 1-1. 論文発表

本成果に関連する学術論文 1 本（別添 5 の#14）が既に発表され、もう一本（#15）が印刷中である。

#### 1-2. 付近住民への説明

2013 年に湖周辺の村（Wum と Kouptamo）で付近住民への説明会が開催された。2016 年にも同様の説明会の開催が関係者間で議論されている。

#### 1-3. ウェブ上での情報公開

以下のウェブサイトにおいて、成果 1 に関連する情報が公開（または共有）されている。

<http://www.satreps.u-tokai.ac.jp/index.html>（本プロジェクト全体）

<http://www.zisin.geophys.tohoku.ac.jp/~kozono/Nyos/index.html>（成果 1 のみ）

### (2) 成果 2：達成した

成果目標	ニオス湖、マヌン湖への CO <sub>2</sub> 供給プロセスに関する理解が深まる。
指標	2-1. 論文発表 2-2. 付近住民への説明 2-3. ウェブ上での情報公開

#### 〈活動 2-1. CO<sub>2</sub> 供給地点を特定するため、湖水中の CO<sub>2</sub> の三次元分布を調査する。〉

- 三次元湖水観測に関しては、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。この手法のために開発された機材は簡便で低価格な上に維持管理も容易であり、本プロジェクトを通じて IRGM に供与された。CO<sub>2</sub> の 3D 分布に関するデータは、活動 1-2 において CO<sub>2</sub> に富む流体の供給源特定に貢献した。
- この活動により開発された技術と機材は、既存の機械よりも短時間で非常に多くのデータを収集できるため、より頻繁に湖の CO<sub>2</sub> 濃度を測定することが可能となった。また同機材は持ち運び可能であることから、湖水爆発を起こす可能性のある他の湖をより容易に観測することができる。

#### 〈活動 2-2. ニオス湖、マヌン湖、マネングーバ火山における土壌 CO<sub>2</sub> 流量と周辺大気中の CO<sub>2</sub> 濃度を測定する。〉

- 2013 年に、本プロジェクトにより土壌と湖面の CO<sub>2</sub> 流量を測定する持ち運び可能な装置が開発された。これによりニオス湖及びマヌン湖における土壌、湖面及び周辺大気中の CO<sub>2</sub> 流量が測定され、湖からの CO<sub>2</sub> 流量図が得られた。今後、取得データの詳細分析が実施される予定である。
- ニオス湖周辺の詳細な地形図が作成され、水文化学調査の土台となった。またこの図はハザードマップ作成のための有益な情報（例：崩壊の可能性のある岸壁の正確な位置）も提供した。また主成分分析によりニオス湖湖底の水質の特徴も明らかとなった。

- 温室効果ガス観測技術衛星（GOSAT）を用いて、ニオス湖・マヌン湖並びにその周辺地域の大气中 CO<sub>2</sub> 濃度の集中観測を実施した。この活動は本プロジェクトの半ばに追加されたため、湖水爆発の予測手段としての有効性を評価するにはさらなるデータの蓄積が必要である。この活動は東京大学によって本プロジェクトの終了後少なくとも 10 年間は継続される予定である。
- マネングーバ火山の CO<sub>2</sub> 流量測定は PDM では成果 2 の活動項目に含まれているが、実際には成果 8 の活動の一環として実施された。

#### 〈指標〉

##### 2-1. 論文発表

本成果に関連する学術論文 1 本（#14）が既に発表され、印刷中（#16）・査読中（#17）・修正中（#27）の論文が各 1 本ある。

##### 2-2. 付近住民への説明 及び 2-3. ウェブ上での情報公開

成果 1 の指標 1-2 に同じ。2-3 については、1-3 の本プロジェクト全体のウェブサイトと同じ。

#### (3) 成果 3：達成した

成果目標	ニオス湖、マヌン湖の水理地質特性に関する理解が深まる。
指標	3-1. 論文発表 3-2. 付近住民への説明

#### 〈活動 3-1. ニオス湖、マヌン湖周辺の地下水流動を推定する。〉

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するため、両湖を中心とした集水域内の水試料を採取した。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、マヌン湖及びその周辺地域で 65 試料である。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。地下水の水循環を検討するために採取した雨水試料は、約 1 年間分である。その結果、ニオス湖周辺では標高が高い地域からの降水に由来しており、周辺岩石との化学反応によって主要成分が変化していることを見出した。この化学成分の分析結果から、様々な鉱物の飽和指数や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明らかにした。

#### 〈活動 3-2. 地表水と地下水の相互流動を把握する。〉

今までデータがなかった降水の  $\delta^{18}\text{O}$  と  $\delta\text{D}$  値について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 SF<sub>6</sub> などの近年の人工成分の環境への寄与を利用して、平衡論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 年であることを推定した。さらに、調査地域に供給される降水の約 30%（941mm）分が地下水として涵養されていることを推測した。

### ＜活動 3-3. ニオス湖地域の水収支を推定する。＞

この活動ではニオス湖地域の地下水の物理的・化学的性質を分析した。主成分分析により水―岩石相互作用が起きていることが明らかになった。階層的クラスター分析ではニオス湖地域の地下水の化学成分は3つの要素の影響を受けていることが分かった。またニオス湖やマヌン湖中のCO<sub>2</sub>に富む流体は深部から供給されており、周辺地下水との関連はないことが結論づけられた。水収支の予備調査は終了したが、観測結果を解明するために更なる分析が必要である。したがってこの活動は部分的に達成している。

### ＜活動 3-4. ニオス湖とマヌン湖流域の生物地球化学的調査を実施する。＞

ニオス湖とマヌン湖の詳細な微生物学的分析が初めて実施された。生物種の中でも、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。調査の結果、両湖の成層構造に応じて細菌と古細菌が分布していること、数多くの新規性の高い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、地球物理化学的パターン（特に水素とメタン濃度）と微生物種の潜在的機能とが密に対応していることを推定した。また、湖水中の細菌が湖水爆発の引き金になる可能性のあるメタンを生成していることも明らかになった。さらに両湖流域の水試料の細菌学的分析も実施され、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、両地域における公衆衛生への意識改革が必要であることを示唆した。

### ＜指標＞

#### 3-1. 論文発表

本成果に関連する学術論文3本（#3, 4, 10）が既に発表され、2本（#24, 26）が査読中、1本が受理済みである。このうち1本（#10）はNature系列の学術誌（*Scientific Report*）に掲載された。

#### 3-2. 付近住民への説明

成果1の指標1-2に同じ。

#### (4) 成果4：達成した

成果目標	CO <sub>2</sub> 供給系における水―岩石相互作用に関する理解が深まる。
指標	論文発表

### ＜活動 4-1. 湖の地下のCO<sub>2</sub>供給系における地球化学的プロセス及び鉱物学的プロセスを把握するため、岩石―水相互作用の実験を行う。＞

- ニオス湖水は、陽イオンの主成分がFeイオンであり、陰イオンの主要成分であるHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>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。このことから、シデライトの沈殿が湖水全体のFe濃度（CO<sub>2</sub>の挙動に影響する）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、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。

- ニオス湖の天然ダム内の地下水の水質を調査すると共に、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。岩石—CO<sub>2</sub> 水反応から計算された浸食速度では、もともと数百メートルであったダムを 45m にまで減少させるには 37,000 年を要することが推定された。また、同ダムは物理的風化作用や二次鉱物の形成、湖のオーバーフローによって突然の崩壊を引き起こす可能性があることが判明した。したがって、ダムの学際的な観測が望ましい。

#### 〈指標〉

##### 4-1. 論文発表

本成果に関連する学術論文 1 本 (#6) が既に発表され、もう 1 本 (#28) が提出済みである。

#### (5) 成果 5：達成した

成果目標	ニオス湖・マヌン湖における湖水爆発の監視体制が構築される。
指標	論文発表

#### 〈活動 5-1. ニオス湖とマヌン湖に、湖水パラメータと気象パラメータを観測するための自動観測システムを設置し、データを衛星経由で IRGM に伝送する。〉

気象観測ステーションと自動観測ブイ (Automatic Observation Buoy：以下、「AOB」) が設置された。AOB による観測データは人工衛星及びインターネットを通じてカメルーン側と日本側研究者に送信されている。この人工衛星によるデータ転送が湖のリアルタイム観測を可能にした。マヌン湖では 2014 年 5 月に付近の住民により気象観測ステーションのケーブルが切断され、それ以降気象観測のデータは収集されていない。

#### 〈活動 5-2. ニオス湖とマヌン湖に湖水とガスの試料を採取するための観測筏を設置する。〉

2012 年にニオス湖及びマヌン湖に筏が設置され、水とガス試料が収集された。これにより、活動 5-3 による湖の残存 CO<sub>2</sub> を計測することが可能となった。

#### 〈活動 5-3. 物理的、化学的方法に基づき、少なくとも年に 1 回定期的に湖水に残存する CO<sub>2</sub> 量を測定する。〉

両湖の残存 CO<sub>2</sub> 量を計測した結果、ニオス湖では 2011 年にガス抜きパイプを設置した後に CO<sub>2</sub> 量が急速に減少し (年間 1.44 Gmol)、2013 年に 3 本のガス抜きパイプが稼働し始めると減少量は 2 倍になった。しかしながら 2014 年には減少量は 3 分の 1 (年間 0.5 モル) にまで低下している。マヌン湖では、残存 CO<sub>2</sub> 量が 2011 年から 2014 年にかけて増加し、2015 年に減少した。以上のように両湖の残存 CO<sub>2</sub> 量の変化は予想がつかないことから、定期的な観測を継続する必要がある。

#### 〈指標〉

##### 5-1. 論文発表

本成果に関連する学術論文 1 本 (#14) が既に発表され、印刷中 (#31)・査読中 (#17)・受理済み (#18) の論文が各 1 本ある。

(6) 成果 6：達成した

成果目標	マヌン湖において湖水中CO <sub>2</sub> の蓄積を防止する深層水排除のための実験システムが導入される。
指標	CO <sub>2</sub> 除去システムに関する技術論文

〈活動 6-1. CO<sub>2</sub>を大量に含む深層湖水を揚水する装置を設計し、マヌン湖において試験を行い、性能、コストパフォーマンス、維持管理の容易性を評価する。〉

活動 5-3 により、2010 年以降マヌン湖の CO<sub>2</sub> 量はガス抜きパイプにより著しく低下したことが明らかになった。しかしながら 2011 年以降、ガス抜きパイプの揚水能力低下により CO<sub>2</sub> 量が増加し始め、湖へのガス供給が続くこととなった。湖における CO<sub>2</sub> の再蓄積を防ぐため、本プロジェクトは 2013 年に太陽光発電による深層湖水揚水装置を開発した。この装置はコストパフォーマンスが高く、維持しやすく、設置から 2 年経過しているが問題なく稼働している。本装置は実験的装置であり、湖底からの CO<sub>2</sub> の自然供給を抑制するには 1 台では不十分であることから、湖の安全性を保障するために追加装置の設置が不可欠である。本プロジェクトの観測結果に基づいて、マヌン湖と同様の現象がニオス湖でも 5～6 年後（2020 年以降）に起こると予想されることから、追加の深層水揚水システムの設置が必要である。

〈指標〉

6-1. 技術論文発表

CO<sub>2</sub> 除去システムに関する技術論文は 1 本（#19）が発表され、もう 1 本（#20）が受理済みである。

(7) 成果 7：達成した

成果目標	オク火山群のマグマ供給系の理解が深まる。
指標	7-1. 博士論文 7-2. 論文発表

〈活動 7-1. オク火山群の岩石の地質学的・石油化学調査を実施する。〉

カメルーン火山列（CVL）のオク火山群においてマール<sup>7</sup>を含む火山の地球化学的調査を実施した。調査した溶岩の地球化学的特徴から、必ずしもマグマ自体が異常な量の CO<sub>2</sub> を含んでいる訳ではないことが明らかになった。通常のマグマだまりのガス抜きと亀裂や断層を通じた湖底へのガスの移動により湖底で CO<sub>2</sub> が蓄積する。この調査と本プロジェクトの他の研究成果と併せると、CO<sub>2</sub> の蓄積は湖の深さや気象条件によるものであり、マグマの性質が原因であるわけではないことが判明した。したがって、AOB や気象観測ステーションを用いて観測を継続することが肝要である。

〈活動 7-2. ニオス火山の噴火史を解明する。〉

- C/P 資金の不足により、活動 7-2 は“ニオス湖とマヌン湖付近の地質図の作成”から上記活動に変更された。

<sup>7</sup> 火山の噴火により陥没してきた円形のくぼ地に水がたまったもの。



- ・ ニオス湖及びその周辺の現地調査により得られた簡易な地質図と試料から、噴火史とマールの形成プロセスが明らかになった。この情報は、湖水爆発を含む将来の噴火活動の予測やハザード評価に貢献できる。ニオス湖及びマヌン湖周辺の簡素な地質図は作成されたが、より詳細な図はプロジェクト終了までに完成予定である。これらの図はハザードマップのための基本的な情報を提供することになる。

### 〈活動 7-3. バロンビ・ボ湖の噴火メカニズム及びハザードへの影響の理解が深まる。〉

CVL に位置するバロンビ・ボ・マール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。研究結果によると、このマールは3回の噴火を通じて形成されており、今後も噴火の可能性がある。したがって、このバロンビ・ボ・マール周辺の更なる調査とハザード研究が必要である。

### 〈指標〉

#### 7-1. 博士論文

- ・ Boris Chako Tchamabe (2014) “Volcano-stratigraphy and geochemistry of Tephra deposits and its relevance for understanding the polygenetic inheritance and plumbing systems to maar-diatreme volcanoes: Clues for hazards prospective, a case study for the Barombi Mbo Maar, Cameroon, Central Africa”, 2014 年 12 月, 東海大学
- ・ Asaah Asobo Nkengmatia Elvis (2015) “Petrogenesis of Volcanic Rocks along the Cameroon Volcanic Line: Case of the Oku Volcanic Group, North West Cameroon, Central Africa”, 2015 年 3 月, 東京工業大学

#### 7-2. 論文発表

本成果に関連する学術論文 2 本 (#8, 21) が既に発表され、さらに 2 本 (#29, 30) が本プロジェクトの終了までに提出予定である。

### (8) 成果 8：達成した

成果目標	カメルーン火山列にあるニオス湖、マヌン湖以外の湖における CO <sub>2</sub> の分布に関する理解が深まる。
指標	論文発表

### 〈活動 8-1. ニオス湖、マヌン湖以外のカメルーン火山列 (CVL) の湖において、CO<sub>2</sub> 流量を測定する。〉

CVL の 9 つの湖で湖水からの CO<sub>2</sub> の拡散的放出とニオス溪谷とマネングーバ山カルデラにおける土壌ガスを調査した。その結果、いくつかの湖ではマグマに起源する CO<sub>2</sub> を含んでいることが判明し、マネングー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可能性が明らかになった。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から、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ことが判明した。防災とリスク管理の観点から、1) 特定の湖に対し、最低限の監視活動ネットワークを構築すること、また 2) 地震観測ネットワークに加えてガス観測 (CO<sub>2</sub>、ヘリウム、

ラドン等)による監視活動を行うことが望ましい。

〈活動 8-2. ニオス湖、マヌン湖以外の CVL の湖において、基礎的な調査を行う。〉

必要最低限の火口湖観測ネットワークを構築するため、CVL のニオス湖・マヌン湖に類似する特性を有する 17 の湖の調査を行った。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検討した。その結果、ニオス湖・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証明された。また高深度のベナクマ湖は両湖に類似性が最も高いことが示された。類似性に最も寄与する湖水のパラメータは、炭酸水素イオン濃度であることが明らかになった。

〈活動 8-3. CVL の湖の地球化学・気象データベースを構築する。〉

活動 8-2 の基礎的調査の一環として、CVL の 37 の火口湖の 40%にあたる 17 の湖の物理化学的組成、平均気温、降水量、水文環境に関するデータベースを構築した。

〈指標〉

8-1. 論文発表

本成果に関連する学術論文 2 本 (#1, 2) が発表された。

(9) 成果 9：未達成

成果目標	科学的な観測の結果が、組織的に市民保護局 (DPC) と共有される。
指標	9-1. 科学的な観測の結果が DPC に伝えられる 9-2. 科学的知見に基づいて防災に関する提言がなされる

〈活動 9-1. 科学的な観測の結果が DPC に伝えられる。〉

科学的な観測の結果を DPC と組織的に共有するために、DPC と IRGM からの選出メンバーによる湖水爆発観測委員会 (Limnic Eruption Monitoring Committee：以下、「LEMoC」) が 2015 年 6 月に設立された。しかし同委員会は、今後、後述の“国立災害観測システム (Observatoire National des Catastrophes)” に組み込まれる可能性がある。“国立災害観測システム”とは、カメルーン政府が法的・財政的に支援する公的システムであり、IRGM と DPC はともに同システムの一員である。IRGM が災害リスク (例：湖水爆発、カメルーン山の噴火) を発見した時は、その情報はこのシステムを通じて DPC と共有されることとなっている。

SATREPS 事業の主要な目的の一つは社会実装 (プロジェクトを通じて得られた科学的知見の活用) である。プロジェクト目標では、研究機関である IRGM が『研究成果の活用をさせる』となっているが、研究成果が実際に活用されるかどうかは、IRGM だけで決定できることではないことを考えると、防災分野において研究機関としての IRGM の役割や責任を明確にすることも必要であるが、この点について終了時評価時点での議論は十分とはいえない。成果 9 を達成するためには、関連機関間で科学的データを活用する効果的なメカニズムの構築が求められる。

### ＜活動 9-2. 科学的知見に基づき、災害対策に関する提言を行う。＞

IRGM は本プロジェクト終了後、研究成果に基づいて、関連機関が湖の安全性判断に活用するためのガイドラインの作成を検討している。また、関係者の合意次第ではあるが、科学的知見に基づいて災害対策に関する提言を行うことは、LEMoC に期待されている役割の一つでもある。

### ＜指標＞

#### 9-1. DPC とのセミナー開催

2015 年 7 月、IRGM と DPC のスタッフは JICA による“コミュニティ・ベースの災害リスク・マネジメント”に関する本邦研修に参加し、合同でアクションプランを作成した。この計画には 2016 年の湖の付近住民によるワークショップも含まれている。具体的な実施計画については、議論中である。

#### 9-2. CVL-9 での特別セッション

第 9 回国際火口湖会議（CVL-9）が 2016 年 3 月 13～23 日にカメルーンの首都ヤウンデで開催される。会議の主な焦点の一つは本プロジェクトの包括的な研究成果を発表することである。

## 2-3 プロジェクト目標の達成見込み

成果目標	日本とカメルーンの科学技術協力を通じて、ニオス湖及びマヌン湖におけるガス災害に関連する研究活動と、その成果の防災への活用が、カメルーン側科学者により自立的に実施されるようになる。
指標	A) 以下の項目に関する指示書（An operational direction）が IRGM 内に整備されること 1. 湖の観測 2. 湖、泉、井戸、雨水及び河川水の試料採取 3. 水質分析 4. ガス分析 5. 機材の認証 B) 観測・分析機材の適切な使用 C) 水・岩石の試料の分類管理 D) プロジェクト・メンバー間でのコミュニケーション E) 分析機材の維持管理のための資金調達

### A) 移転技術・知識に関する指示書の整備

PDM では、この指標の達成を確認する手段として“紙媒体及びウェブサイト上に（指示書）関連電子ファイルの掲載”及び“ラボラトリーに必要な試薬・基準・試料採取ツール・消耗品等の準備”と記載されている。終了時評価の段階では指示書は準備されていなかったが、これは指示書（“operational direction”）の定義が曖昧であったことが一因と思われる。終了時評価（案）に関する議論の場において、“指示書”とは機材に関しては“マニュアル”を指し、観測活動に関しては“標準操作手順書（a standard operating procedure：以下、「SOP」）”を指すことをプロジェクト・



メンバー間で合意した。この定義に沿うならば、ほとんどの主要機材のマニュアルは整備されている一方で、観測活動のための SOP は作成されていない。

ラボラトリー内の消耗品やスペアパーツ等に関しては、終了時評価時点では十分な量が保管されていた。フランスの研究機関である「開発のための研究所（the Institute of Research for Development：以下、「IRD」）」の支援により、2015 年 9 月から IRGM は必要なスペアパーツや消耗品をすべて（カメルーン国内で入手不可能のものも含む）入手できることとなった。

## B) 観測・分析機材の適切な使用

PDM には、この指標の確認手段は“機材の使用に関して日付・分析者の氏名・試料 ID・分析料等が記載された記録ノート”と記載されている。ラボラトリーではこのような記録ノートが活用されており、この指標は達成している。

また、2013 年の 4 月には IRGM の水文学研究所(the Hydrological Research Centre: 以下、「CRH」)に所属する研究者 2 人と技術者 3 人が機材の使い方とラボラトリー管理に関する本邦研修に参加した。参加者は主要分析機材の使い方やラボラトリーの清掃・整理整頓の重要性、分析結果の確認方法、試料の体系的な保管の仕方などについて学んだ。この研修を含む(1)日本及びカメルーンでの機材に関する研修と、(2)ラボラトリーのインフラ整備（水道・電気工事、避雷針・予備のジェネレーター・電圧安定化装置の設置等）は、機材の適切な使用と維持管理に大きく貢献することとなった。

一方で、C/P 機関スタッフは観測機材（湖水現場観測装置（Conductivity-Temperature-Depth Profiler：以下、「CTD」）、AOB、気象観測ステーション）やイオンクロマトグラフィー（以下、「IC」）の使用には自信があるものの、原子吸光分析器（以下、「AAS」）、CRD 水同位体計（以下、「Picarro」）、CO<sub>2</sub> ガス同位体比形（以下、「<sup>13</sup>C analyzer」）といった分析機材の使用に関してはやや不安を覚えている。一因として、2015 年に AAS が故障し 6 か月間使用不能であったこと、機材供与の遅れやラボラトリーのインフラ整備により、C/P 機関スタッフが機材を使用し分析能力を向上させるには十分な時間が確保できなかったことなどが挙げられる。したがって、表 4 のとおり終了時評価時点で一部の供与機材の使用は限定的である。しかしながら、本プロジェクト以外の外部からの分析依頼は増えており、分析機材を全く操作していない訳ではないことは確認できており、今後の能力強化が期待される。

表 4. 本プロジェクトのための試料分析数

	IC	AAS	Picarro <sup>8</sup>	<sup>13</sup> C analyzer
2012	0	-	(22)	-
2013	0	-	0	-
2014	30	0	0	-
2015 <sup>9</sup>	36	0	(10)	0

（出所：マスシ・H 氏とロベルト・T 氏からの情報）

<sup>8</sup> 2012 年の数値は練習用に分析された試料の数。2015 年の数値は本プロジェクト以外の研究プロジェクトのための分析数。

<sup>9</sup> 2015 年 1 月～9 月までのデータ。

### C) 水・岩石の試料の分類管理

PDMによると、この指標の確認方法は“水や岩石試料を GIS 情報で分類・管理するラボラトリー内の整理棚”と記載されている。したがってラボラトリーの地下にこのような試料庫を整備するために、IRGM は試料庫のデザインを準備した。試料庫の改装は、他ドナーによる PRECASEM プロジェクトによって実施予定である。

### D) プロジェクト・メンバー間でのコミュニケーション

プロジェクト・メンバー間でのコミュニケーションの改善は中間レビューでの提言の一つであったが、終了時評価時点で大きく改善されている。PDM に記載されているこの指標の確認方法である“インターネット上でのグループウェア（Google Calendar）の活用”は実施されていないものの、メーリングリストやウェブサイト上、セミナー等を通じて様々な方法でコミュニケーション改善が図られている。また中間レビュー後、IRGM（本部とラボラトリーの代表者）と業務調整員の定例会議が開始し、終了時評価時点で毎月開催されており、情報共有やプロジェクト実施に関する議論の場として活用されている。一方で、質問票調査及び聞き取り調査では、日本人専門家の派遣が回数・期間ともに少なすぎるとコメントする C/P 機関スタッフは少なくなく、この限られた派遣日数が彼らの更なる能力強化の妨げになった可能性がある。

また C/P 機関スタッフへの質問票調査や聞き取り調査によると、スタッフ間でのコミュニケーションは限定的であり、プロジェクト・メンバー間のみならず他の IRGM スタッフとの知識や技術の共有に影響している。日本人研究者により定期的なセミナーの開催が提案され、これまで 3 回定期的ではないが開催されている<sup>10</sup>。

### E) 分析機材の維持管理のための資金調達

PDMによると、この指標の確認方法は“E-1) 必要に応じてラボラトリーの消耗品を購入することができる、ラボラトリー長が管轄する準備資金”及び“E-2) 外部からの委託分析の受注”と記載されている。委託分析費用の 6 割はラボラトリーの消耗品を購入する資金として活用されることになっており、2015 年 4 月～9 月までの委託分析による収入は 2,078,500 フラン（約 43 万 5 千円、平均約 7 万 2,500 円/月）である。この金額では必要な消耗品をすべて賄うことはできないものの、表 5 のとおり、委託分析数は近年増加している<sup>12</sup>。AAS や他の機材が公式に認証され、外部委託の分析を受注できるようになれば、準備資金の増加が見込まれる。ラボラトリーの活動に関しては別添 6 を参照。

表 5. 依頼先別試料の分析数（2010-2015）

	大学 <sup>11</sup>	SATREPS	その他	合計
2010	51	0	131	182
2011	21	0	147	168
2012	7	0	131	138
2013	37	0	149	186
2014	128	30	280	438
2015	281	36	191	544

（出所：マスシ・ヘンリエッタ氏の情報提供）

<sup>10</sup> IRGM 内では、本プロジェクトに関連していないセミナーなら開催されることがある。

<sup>11</sup> この列の数値には、学生による分析数も含まれている。

<sup>12</sup> ラボラトリーの運営に関する報告書は別添 7 参照。

### <プロジェクト目標の全体的な達成状況>

プロジェクト目標は、ある程度達成したと言える。プロジェクト目標は「能力強化」と「研究成果の防災への活用」の2点に分かれており、それぞれの達成度合いは以下のとおり。

「能力強化」は5人の研究者（1人はIRGMスタッフ）への長期研修と、日本人専門家の派遣による実地研修と本邦研修による短期研修を通じて実施された。長期研修生は成果3、7、8の達成に大きく貢献した上に、全員が3年以内に博士号を取得し、在学期間中に質の高い論文を複数発表した。そのうちの一つはNature系列の学術誌（*Scientific Reports*）に掲載された。これらの達成は若いカメルーン人科学者の評価を高めることに貢献した。長期研修生5人の内1人は元々IRGMスタッフであり研修後もIRGMで勤務を続けている。もう1人は既に臨時スタッフ<sup>13</sup>としてIRGMに所属して働き始めており、さらにもう1人がIRGMを志願し、現在願書の審査中<sup>14</sup>であることから、長期研修はIRGMの能力強化に確実に貢献すると言える。一方で、残りの2人はカメルーンに帰国せずに国外で研究を続けていることから、長期研修全体の本プロジェクトへの貢献度合いは判断できない。

カメルーン国内でのC/P機関スタッフの研修に関しては、日本人短期専門家が現地で湖の科学的な観測方法やデータの収集・分析方法について実地研修を行った。

能力強化に関するプロジェクト目標の指標（“指示書の整備”）の達成度合いに関しては、既述のとおり主な観測・分析機材のマニュアルは既に準備されているものの、観測活動に関するSOPは整備されていない。質問票調査や聞き取り調査から、観測機材の使用は問題ないものの、主な分析機材（AAS、Picarro、<sup>13</sup>C analyzer）の使用に関しては終了時評価の時点ではやや不安を覚えていることが分かった。しかしながら、本プロジェクト以外の外部からの分析依頼は増えており、今後の能力強化が期待できる。

プロジェクト目標の2点目は「研究成果の災害リスクの軽減及び防災への活用」である。本プロジェクトにより得られた知見は災害リスクの軽減に活用できる。終了時評価時点ではハザードマップ作成に向けた動きのみだが、関係者間では成果の活用に向けた様々なアイデア（例：DPCとIRGMによるコミュニティ防災に関する共同アクションプラン、防災ガイドライン、湖水爆発に関するリーフレット作成、LEMoC等）が話し合われており、本プロジェクト終了までに開始しそうな案もある。社会実装にあたっては、関係者間で科学的なデータを活用するための効果的なメカニズムの構築が、研究成果の災害リスクの軽減及び防災への活用を促進するために必要である。さらに、本プロジェクトは水文学・地球化学・地球物理・火山地質学・火山学の分野での能力強化に貢献し、移転された知識・技術は湖水爆発に限らず様々な災害管理への活用が期待される。また聞き取り調査においてもC/P機関スタッフは学んだ知識を活かして災害リスクの軽減に貢献することに対して意欲的であった。

<sup>13</sup> 2016年より正規ポストにて雇用予定。

<sup>14</sup> 科学技術省事務次官によると、この長期研修生がIRGMに雇用される可能性は非常に高い。

結論として、能力強化に関しては課題が残っている点もあるが一定の成果が得られている。社会実装は始まったばかりであり、関係者間でプロセスに関する合意が得られれば更なる研究成果の活用促進が可能である。

## 2-4 実施プロセス

本プロジェクトは5つの研究グループ（湖の観測、水文学リモートセンシング、湖水爆発のコンピューター・シミュレーション、CO<sub>2</sub>供給システム、火山学）に分かれ、IRGMと日本人専門家が中心になってプロジェクト活動を進めている。

公式な5ヵ年活動計画（PO）は存在せず、2010年に署名された協議議事録に添付された仮のPOしかないため、実際にプロジェクト活動が計画どおりに実施されたのかを判断するのは困難である。中間レビュー後、公式の2ヵ年PO（別添7）が作成・共有された。また中間レビューの提言に沿ってPDMが作成され、活動や関連指標の変更を含めて2回修正された。

中間レビューでは、プロジェクト・メンバー間のミーティングの欠如がプロジェクトの遂行と、結果として成果の達成を妨げていると指摘されており、「すべてのプロジェクト・メンバーとの定期的なミーティングの実施」が提言の一つであった。終了時評価時点ではそのようなミーティングは実施されていないものの、中間レビュー以前と比べるとメンバー間でのコミュニケーションは大幅に改善されている。まず、本プロジェクトの活動に関する進捗は東海大学のウェブサイト(<http://www.satreprs.u-tokai.ac.jp/index.html>)で公開され、誰でも閲覧することができる。またIRGMと業務調整員の間で月例ミーティングが開催され、定期的な情報共有や課題に関する議論が実施されている。さらにプロジェクト・メンバー間でのメーリングリストが導入され、現地調査の日程やメンバーによる論文の掲載情報、月例ミーティングの結果など、様々な情報が共有されている。また、カメルーンとの関係が長い日本人研究者が2014年2月よりプロジェクト・メンバー間のコミュニケーションを担当し、研究代表者は引き続きプロジェクト全体の実施を担当することとなった。これらの様々な変更により、プロジェクト・メンバー間のコミュニケーションは大幅に改善された。一方で、知識や技術を共有するための定期ミーティングが日本人研究者によって提案されたが、これは終了時評価時点では定期的には開催されていない。

中間レビュー以降、JCCをプロジェクト遂行のための議論の場として活用することで、関連機関間のコミュニケーションも向上した。さらに、災害リスク管理の研修にIRGMとDPCが合同で参加したことは、社会実装に不可欠である両機関間のコミュニケーションを改善することとなった。

## 第3章 五項目評価<sup>15</sup>

### 3-1 妥当性

以下に示す理由から、本プロジェクトの妥当性は高い。

カメルーン政府にとって湖水爆発のリスク削減は優先度が高い。「ニオス湖の安全と復旧に関する国家プログラム」は2008年に開始されたものの、終了時評価時点（2015年）では4つのコンポーネントのうち1つ（ガス抜きやダムの補強によるニオス湖の安全確保）しか完了していない。この5か年計画は現在も継続しているが内容が古くなりつつあることから、更新が検討されている。またカメルーン政府は本プロジェクトを重視し、2013年にIRGMに大統領表彰（金の獅子賞“LION D'OR”）を行い、ニオス湖とマヌン湖のガス災害の予防に関する活動を表彰した。この問題への長年の貢献に感謝を示し、日本人研究者の一人（日下部 実教授）に同賞のレプリカが授与された。

防災に関する研究はIRGMの業務として位置付けられており、このため本プロジェクトはIRGMのミッションとも合致している。IRGMはまた湖の観測を法的にも義務付けられている。これらの使命により、カメルーン政府は毎年「ニオス湖とマヌン湖のガス抜き観測プロジェクト」を通じてIRGMがこの課題に取り組む資金を拠出している。

本プロジェクトの研究成果は、湖水爆発のメカニズムに関する理解を深め、湖水爆発のリスク軽減への活用が期待されていることから、1) 災害リスクの理解と2) 災害リスクガバナンスの強化という「仙台防災枠組み2015-2030」の優先行動にも合致している。

### 3-2 有効性

本プロジェクトの有効性は以下の理由により中程度である。

本プロジェクトはプロジェクト目標をある程度達成できる見込みである。人材育成に関する成果としては、まず5人のカメルーン人研究者を長期研修によって育成し、彼らの研究成果が成果3、7、8の達成に貢献した。一方で、5人中2人が研修終了後も国外に留まりC/P機関に勤めていないことから、プロジェクト目標への貢献は判断ができない。

さらに、本プロジェクトでは本邦研修や日本人専門家の派遣による実地研修を通じてC/P機関スタッフの能力強化を図った。しかし人材育成に関するプロジェクト目標の指標（“指示書の整備”）達成状況とC/P機関スタッフによる供与機材を用いた試料の分析数（表5）がいまだ限定的であった。今回、指示書の定義が合意されたことから、今後の整備による能力強化を期待するとともに、一部の主要機材の追加研修が必要である。

研究成果の災害リスクの軽減と防災への活用に関しては、ハザードマップの作成に向けた動きがあり、プロジェクト終了までにさらなる活動が実施される見込みである。また、本プロジェク

---

<sup>15</sup> 評価5項目は、「高い」「比較的高い」「中程度」「比較的低い」「低い」の5段階で判断した。

トを通じて湖水爆発だけでなく、噴火や洪水等の他の災害に関する知見も得られた。聞き取り調査の結果によると、C/P 機関スタッフは得られた知見の他の災害への活用に意欲的である。

プロジェクト目標に関する 5 つの指標に関しては、2 点（コミュニケーション向上と資金調達）が達成済みで、2 点（指示書の作成と機材の使用）の達成度は終了時評価の時点では限定的である。最後の 1 点（水と岩石試料の分類管理）は、本プロジェクトを通じてその重要性が理解され、IRGM によって試料庫のデザインが準備された。試料庫の改修は別のドナーの資金によって 2015 年度中に開始予定である。

本プロジェクトの PDM では、「湖水爆発のメカニズムの解明」・「カメルーン火山列の噴火史の解明」・「湖のリアルタイム観測システムの設置」・「深層水揚水システムの設置」を【成果】とする一方で、【プロジェクト目標】は「カメルーンの科学者の能力強化」と「研究成果の災害リスク軽減と管理への活用」を掲げており、【成果】と【プロジェクト目標】に直接的な関係はない。したがって、本プロジェクトでは【成果】の達成が必ずしも【プロジェクト目標】の達成に繋がらない。しかしながら、本プロジェクトは終了時評価時点で成果 9 を除くすべての成果を達成し、湖水爆発に関する理解を促進し、ニオス湖とマヌン湖の効果的な観測システムを構築し、災害リスクの軽減と防災に貢献したことは特筆すべき成果である。

PDM の最新版（Ver.3）には、プロジェクト目標の達成に影響する外部要因の記載はない。

### 3-3 効率性

本プロジェクトの効率性は、以下の 3 つの理由により比較的低い。

C/P 資金の支出が著しく遅れ、また一部しか支出されていないために、プロジェクトの円滑な遂行を妨げることとなった。C/P 資金は総額 8 億 5 千万フラン（5 年間分）が割り当てられており、毎年支出される予定であったが、実際には 2011 年の 12 月と 2015 年の 3 月に 2 度支出されたきりである。1) 援助資金を管轄する経済・計画・国土整備省の業務過多（による遅配）と 2) 緊急事態（ボコ・ハラム対策、北部地域での洪水等）による国庫支出金の分配への影響が大きな理由とされている。終了時評価時点で約 2 億 7,300 万フラン（約 5,500 万円）が未払いである。

2011 年 12 月～2015 年 3 月までの間 C/P 資金が支払われなかったために、プロジェクトは予定していた活動の一つ（地質図の作成）と、能力強化を促進する C/P 機関による現地調査を実施しなかった。上記のとおりカメルーン政府全体の事情から、C/P 資金の残余分がプロジェクト終了までに滞りなく支払われるかどうかは不透明である。

別添 4 (3) に記載されているとおり、湖の観測や水・岩石試料の分析に不可欠な機材の一部が様々な理由で十分に活用されていない。やむを得ない理由（例：湖に落下、付近住民による破損）もあるが、ラボのインフラの問題などはそうでない可能性もある。能力強化に必要な期間などを考慮し機材の調達・設置計画を検討する必要があった。一方で、機材の活用は、機材利用やラボラトリー運営管理の短期研修やラボラトリーのインフラ整備により大幅に改善された。

本プロジェクトでは、カメルーン人科学者の人材育成を目的として長期研修と短期研修が提供された。短期研修はプロジェクト目標（人材育成）の達成に貢献したものの、長期研修生 5 人の

うち 2 人が国外で研究を継続しており、IRGM で勤務している長期研修生の内 1 人は来年定年<sup>16</sup>になることから、プロジェクト目標への貢献については、成果ごとや IRGM 全体への貢献面から判断する必要がある。

実地研修と短期研修の効果的な活用は本プロジェクトの効率性を高めることに貢献した。ラボラトリー及び実地調査での観測・分析機材に関する研修やラボラトリー管理に関する研修、個別分野（コンピューター・シミュレーションなど）に関する研修、コミュニティ防災に関する研修は成果やプロジェクト目標の達成に貢献した。

### 3-4 インパクト

本プロジェクトのインパクトは、湖水爆発のメカニズムに関するプロジェクトの成果が湖付近の住民と共有されるならば、比較的高い。

本プロジェクトは大学を通じたカメルーン人科学者の能力強化にも貢献している。表 5 で示されているとおり、大学からの試料の分析依頼は近年増加傾向にある。また、ラボラトリーでは大学院生にインターンの機会を与えており、2013 年以降 7 人のインターン生がラボラトリーで供与機材を活用した。さらに、プロジェクト・メンバーの中には大学で教えている者もあり、本プロジェクトの成果を大学院の講義で共有している。大学からの分析依頼や大学院生の受け入れ、研究成果に関する大学での講義を通じて、本プロジェクトの知識や供与機材は大学に所属するカメルーン人科学者の能力強化に貢献している。

加えて、既述のとおり本プロジェクトは湖水爆発のメカニズムの理解を促進し、ニオス湖とマヌン湖のリアルタイム観測システムを設立することで、カメルーン政府も促進を表明している「仙台防災枠組み 2015-2030」の優先行動（「災害リスクの理解」）の促進にも貢献する。

本プロジェクトの主目的の一つは湖水爆発のメカニズムを理解することであるが、本プロジェクトから得られた知見は洪水と噴火などの他の災害にも活用できる。また本プロジェクトにより、C/P 機関は水文学、火山地質学、地球化学、地球物理、火山学の分野の能力を強化した。この強化された能力はカメルーン国内外の幅広い防災に活用することができる。C/P 機関スタッフは防災への知識活用に意欲的である。

### 3-5 持続性

本プロジェクトの持続性は、技術的な観点での持続性に懸念が残ることから中程度である。

#### ■ 政策的・制度的観点

カメルーン政府は死者数において過去最大規模の災害である湖水爆発のリスク軽減を重視しており、政策的な持続性は高い。

また、IRGM にとって湖の観測はプロジェクト開始以前から変わらない恒久的な使命であり、法的義務でもある。したがって IRGM 内に本プロジェクトの持続性に影響を与えるような制度的な変化は起きていない。

---

<sup>16</sup> 彼が定年後も IRGM で雇用される可能性はある。

## ■ 財政的/組織的観点

2012～2014 年の年間報告書によると、IRGM の予算は過去 3 年間増加傾向にある。本プロジェクトの参加メンバーの多くが所属している CRH は、IRGM 内の他の研究所やラボラトリーと比較して最大の予算を割り当てられている。年間報告書には機材の維持管理に関する情報は記載されていないが、IRGM 及び CRH の両所長は機材の維持管理費用の確保を保証した。また、機材の認証プロセスが完了すれば、外部からの分析依頼の増加が予想されるため、さらに維持管理費用を確保することができる。加えて、IRD とのスペアパーツに関する協定や過去数年間の外部からの委託分析受注数の増加を考慮すると、消耗品やスペアパーツの入手費用は大きな問題にはならないと考えられる。

さらに、カメルーン政府は IRGM に対して湖の観測費用を毎年拠出しており、観測自体に資金的な問題はない。その総額は過去 3 年間で 1 億 2,400 万フランに達し、ニオス湖とマヌン湖の観測と試料採取を目的とした現地調査 1 回の経費が約 100 万フラン<sup>17</sup>であることを考慮すると、十分な額といえる。また IRGM と CRH の両所長は、例え政府から十分な資金が拠出されなかったとしても、湖の観測は IRGM の使命であることから、観測資金は必要に応じて自己資金から割り当てることを明確に表明している。

IRGM には本プロジェクトの終了後も研究や観測を継続するための十分な人材がいる。過去 3 年間でスタッフの数は増え続けており、また本プロジェクト・メンバーの離職率は非常に低い。

## ■ 技術的観点

C/P 機関スタッフは本プロジェクトを通じて湖の科学的な観測手法について学び、試料の分析能力を高めたが、スタッフ間で知識や技術を共有する効果的なメカニズムは構築されていない。指示書の作成に関しては主要観測機材のマニュアルは作成済みで、残りは作成中である。「指示書」の定義が曖昧であったことから観測活動に関する SOP はまだ作成されていない。供与機材を十分に活用するためには、C/P 機関スタッフに対して追加トレーニングが必要である。また組織内で知識を共有する効果的なメカニズムが構築されれば、移転した知識・技術の持続性を高めることができる。さらに長期研修生 5 人の内 2 人が国外にいることから、長期研修によって強化された能力が C/P 機関の能力向上の貢献度合いは判断できない。以上の理由により、終了時評価時点では移転した知識・技術の持続は確認できていない。

---

<sup>17</sup> これは 3 人の研究者とドライバー 1 人が 6 日間かけてニオス湖とマヌン湖に調査に赴いた場合の予想最低額であり、研究者の肩書等様々な条件により金額は変動する。



## 第4章 結論

結論として、本プロジェクトは C/P 機関のスタッフが自立的・科学的にニオス湖とマヌン湖を観測し、災害リスクの軽減に活用するための能力強化に大きく貢献した一方で、目標達成の有効性・効率性・持続性には課題が残った。本プロジェクトは湖水爆発に関するカメルーン政府の政策、C/P 機関の使命、そして仙台防災枠組にも合致していることから、妥当性は高い。有効性は長期研修生の本プロジェクトへの貢献に関する判断ができないこと、主要分析機材に関する追加訓練が必要であること、研究成果の社会実装は始まったばかりであることから、有効性は中程度である。C/P 資金の深刻な遅配、供与機材の限定的な活用、そして長期研修生の能力強化によるプロジェクト目標への貢献は不明であることから、効率性は比較的低い。本プロジェクトは大学を通じたカメルーン人科学者の能力強化に貢献し、また仙台枠組みの促進や湖水爆発を含めた様々な防災への活用の実現可能性が高いことから、インパクトは比較的高い。持続性は終了時評価時点で移転した知識・技術の持続性が確認されていないことから、中程度である。

## 第5章 提言

### 5-1 プロジェクト期間終了まで取るべき措置

#### (1) 資金の残額の支出

本プロジェクトの残りの活動を実施し、活動の成果を持続するために、経済・計画・国土整備省と財務省に対して C/P 資金の残額がこれ以上遅れることなく確実に支払われるよう強く要求する。紛失・破損している観測に不可欠な機材（CTD と気象観測ステーション）を再購入するためにも、C/P 資金の残額の支出が非常に重要である。

#### (2) 未達成の指標のフォローアップ

主要分析機材の簡易版ユーザー・マニュアルはほとんど整備されているものの、観測活動に関する知識と技術を維持するためには、IRGM はこれまでに実施した観測活動に沿って SOP を作成することが重要であり、必要に応じて改訂することが望ましい。また、終了時評価時点では一部の分析機材の活用は限定的であったため、外部委託分析を活用・受注するためにさらに多くの試料を分析して機材の使用を練習することが期待される。

#### (3) 効率性の向上

一部の長期研修生は IRGM に所属していないことから、長期研修によって強化された能力がどのように湖の観測やその他の災害リスク軽減活動に活用され得るかは終了時評価時点では明らかではない。本プロジェクトによって開発された人材が間接的・直接的にでも十分に活用されるよう検討することが望ましい。もしそのような措置が取られれば、プロジェクトの効率性は向上すると考えられる。

#### (4) 持続性の向上

活動の成果を維持するために、本プロジェクトにより開発・強化された能力やネットワーク（日本人研究者とのネットワークや長期研修生とのネットワーク等）を維持・発展させることが望ましい。加えて将来雇用される新しい研究者と、本プロジェクトの研究成果を共有するシステムやメカニズム（セミナーや定例会議等）が今後構築されることが期待される。

さらに、供与機材を適切に維持管理するために、外部委託分析を受注することで消耗品やスペアパーツの購入費、ラボラトリーの維持管理費を調達することが期待される。終了時評価時点、外部委託分析による資金は消耗品等の購入費やラボラトリーの維持管理費を賄うには不十分であるものの、受注数は増加している。したがって、機材の認証や広報を通じて受注数を増加する努力を継続する必要がある。また湖の観測継続のためには、CTD や気象観測ステーションといった紛失・破損している機材の購入をすることが望ましい。

#### (5) 社会実装の実施方法に関する対話と枠組み

研究成果により得られた科学的知見の活用、特に湖周辺の地域住民への成果の還元に関してはプロジェクト関係者で合意が得られている。社会実装の実施は DPC の役割ではあるが、IRGM も湖水爆発のメカニズムに関するリーフレットの作成等の研究成果の活用を通じて、社会実装のプロセスを推進することが可能である。

本プロジェクトの成果を最適な形で活用し、各関係者の役割や法律・規制に沿い、相互理解に基づいて災害リスク軽減活動を実施するためには、関係者間の対話を促進・強化することが重要である。

## 5-2 プロジェクト終了後取るべき措置

### (1) 分析機材とデータ処理に関する更なる訓練

供与機材の使用・維持管理の観点から、外部委託分析受注増加に加え、C/P 機関のスタッフが主要分析機材（AAS、Picarro、 $^{13}\text{C}$  analyzer）の使用及びマルチビーム・ソナーのデータ処理に関する追加の訓練機会を得ることが望ましい。C/P 機関のスタッフは分析機材の基礎的な訓練を受けてはいるが、本プロジェクト終了までに練習を兼ねて試料の分析を開始することが重要である。

### (2) プロジェクト成果の活用

本プロジェクトにより得られた研究成果は、ニオス湖とマヌン湖の観測の重要性と必要性を示している。また取得データはガス抜きパイプの効果が早晚停止することを示唆した。したがって、湖の観測を継続しガス抜きのための新たな手段を講じる必要がある。例えば、本プロジェクトにより開発された深層水の  $\text{CO}_2$  除去システムは、妥当な価格で適切な手段であることが科学的に証明されている。以上のことから、IRGM を含むカメルーン側関連機関は観測継続のための必要予算を確保し、ガス抜きのための追加手段を講じ、湖の安全性の確保のためにプロジェクトにより得られた成果を活用することが強く推奨される。

### (3) 組織的な能力の強化

移転した知識と技術を効果的に活用するために、IRGM のさらなる組織的な能力の強化が期待される。具体的には、組織内で知識を共有するためのメカニズムの構築（定例セミナーの開催や終了時評価で指摘されている指示書の整備や、IRGM 本部とラボラトリー間のミーティングの継続等）や湖の観測・データ分析のための人的・財政的資源の確保が望ましい。

### (4) 湖の観測データの共有

湖の観測から得られたデータは、本プロジェクトに関わる研究メンバーにとって価値がある。データを活用して更なる研究成果を生み出すために、プロジェクト終了後も本プロジェクトの研究メンバー間でデータを共有することが重要である。

### (5) 災害リスクの軽減のための枠組みの強化

災害リスクを軽減するために今後関係者間で効果的な枠組みを構築することが望ましい。この枠組みは科学的データの活用により強化することができる。IRGM はよりよい防災のために科学的データの提供を通じてこの枠組みを支援することができる。

## 第6章 教訓

### (1) 機材調達・設置計画の柔軟な見直しの重要性

機材調達の遅れとラボラトリーの設備・管理強化の遅れが供与機材の十分な活用を妨げた。これらの問題に早期に対応していれば、プロジェクト期間中に C/P 機関のさらなる能力強化が可能であったと考えられる。したがって機材の最適な使用のためには、機材の調達・設置計画を柔軟に修正することが非常に重要である。

### (2) 長期研修生の C/P 機関への貢献に関する潜在的な限界

長期研修制度により研修生が素晴らしい科学的な成果を生み出したこと、彼らの幅広い能力強化に貢献したことには疑いがない。一方で、一部の長期研修生は研修前後ともに C/P 機関に所属していない。C/P 機関から長期研修生の候補者を選ぶことで、プロジェクトの様々な点（効率性、有効性、持続性、妥当性）をさらに向上させることができる。

### (3) プロジェクトの早期段階での社会実装の考えを確認する重要性

プロジェクト目標としての社会実装は当初は十分に認識されておらず、共通認識に沿った実施計画も存在しなかった。このことが社会実装の進捗を遅れさせる原因となった。プロジェクトの開始時でなくとも半ば頃までに、社会実装に関して期待される成果・プロセスや各関係者の役割について関係者間で合意することが重要である。

### (4) 研究者と支援機関間での緊密なコミュニケーション

質問票調査や聞き取り調査によると、日本人専門家の派遣は回数・期間ともに限定的であり、それが専門家とのコミュニケーションに影響した、と少なくない C/P 機関のスタッフが感じている。したがって C/P 機関、日本側プロジェクト・メンバー、JICA（現地事務所を含む）と JST 間で定期的な会合を持つメカニズムの構築が有益であると考えられる。

## 付 属 資 料

1. MM・合同評価報告書（英文）
2. PDM（プロジェクト・デザイン・マトリックス）
3. 調査日程
4. 投入実績
5. 論文リスト
6. コルビソン・ラボラトリー活動報告書
7. 活動計画（2014 年以降）

**MINUTES OF MEETINGS  
BETWEEN  
THE JAPANESE TERMINAL EVALUATION TEAM  
AND  
THE CAMEROONIAN AUTHORITIES CONCERNED WITH THE  
IMPLEMENTATION OF THE  
JAPANESE TECHNICAL COOPERATION FOR  
THE PROJECT “MAGMATIC FLUID SUPPLY INTO LAKES NYOS AND  
MONOUN, AND MITIGATION OF NATURAL DISASTRES THROUGH  
CAPACITY BUILDING IN CAMEROON”**

The Japanese Terminal Evaluation Team organized by Japan International Cooperation Agency (hereinafter referred to as “JICA”) headed by Mr. Norihito Yonebayashi visited Cameroon from October 15, 2015 to November 3, 2015 for the purpose of conducting the Terminal Evaluation of the Japanese technical cooperation for the Project “Magmatic Fluid Supply into Lakes Nyos and Monoun, and Mitigation of Natural Disaster through Capacity Building in Cameroon” (hereinafter referred to as “the Project”) under the scheme of Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development (SATREPS).

During its stay, the Team exchanged views and had a series of discussions with the Cameroonian authorities concerned. And the Joint Coordinating Committee (hereinafter referred to as “JCC”) meeting was held on November 2, 2015, the Joint Evaluation Team (hereinafter referred to as “the Team”) explained the contents of the Terminal Evaluation Report (hereinafter referred to as “the Report”).

After discussions in respect to the recommendations and issues, the Team submitted the Report as attached hereto (Annex) and both sides agreed upon the description of the Report.

Yaoundé, November 2, 2015



---

Mr. Norihito Yonebayashi  
Team Leader  
Terminal Evaluation Team  
Japan International Cooperation Agency

---

Madam. Ebelle Etame Rebecca M.  
Secretary General  
Ministry of Scientific Research and  
Innovation

## SUMMARY OF DISCUSSIONS

### 1. Evaluation Results:

Both sides accepted the results of Terminal Evaluation as attached.

### 2. The impact of utilization of the Project outcomes:

The Team emphasized the importance of utilization of outcomes in Disaster Risk Reduction (hereinafter referred to as “DRR”) in Cameroon.

Although the scientific and evidence-based information and data are fundamental and essential resources for Disaster Risk Reduction and Management as well as development activities, these have not been utilized effectively because their importance might not yet be fully recognized or appreciated in general.

In March 2015, “The Third United Nation World Conference on Disaster risk Reduction” was held in Sendai, Japan. As an outcome of the Conference, “the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030” (hereinafter referred to as “SFDRR”) was adopted. The SFDRR is the international guideline and policy for DRR in order to reduce the economic loss as well as human loss for the next fifteen (15) years.

In the SFDRR, four high priority actions are chosen as “Priorities for Action” and “Priority 1” is “Understanding disaster risk”.

Priority 1 says,

“Policies and practices for disaster risk management should be based on an understanding of disaster risk in all its dimensions of vulnerability, capacity, exposure of persons and assets, hazard characteristics, and the environment. Such knowledge can be leveraged for the purpose of pre-disaster risk assessment, for prevention and mitigation and for the development and implementation of appropriate preparedness and effective response to disasters.”

and,

“To achieve this, it is important to promote the collection, analysis, management and use of relevant data and practical information. Ensure its dissemination, taking into account the needs of different categories of users, as appropriate.”

in addition,

“it is important to promote and improve dialogue and cooperation among scientific and



technological communities, other relevant stakeholders and policymakers in order to facilitate a science-policy interface for effective decision-making in disaster risk management.”

“it is important to strengthen technical and scientific capacity to capitalize on and consolidate existing knowledge, and to develop and apply methodologies and models to assess disaster risks, vulnerabilities and exposure to all hazards.”

“it is important to promote investments in innovation and technology development in long-term, multi-hazard and solution-driven research in disaster risk management to address gaps, obstacles, interdependencies and social, economic, educational and environmental challenges and disaster risks.”

Also SFDRR gave a clear definition and responsibility of the role of stakeholders;

“When determining specific roles and responsibilities for stakeholders, and at the same time building on existing relevant international instruments, States should encourage the following actions on the part of all public and private stakeholders.”

One of the following actions referred to is;

“Academia, scientific and research entities and networks to: focus on the disaster risk factors and scenarios, including emerging disaster risks, in the medium and long term; increase research for regional, national and local application; support action by local communities and authorities; and support the interface between policy and science for decision-making.”

Hence, it is very clear that IRGM (Institute of Geological and Mining Research) plays an important role in DRR and the purpose of the Project is in line with SFDRR. The outputs of the Project, which are scientific and evidence-based information and data, can be utilized for appropriate risk awareness education, hazard mapping and risk assessment.

MINRESI (Ministry of Scientific Research and Innovation) and IRGM have been practicing DRR activities to utilize the scientific and evidence-based information and data for the sake of public interest and benefit, such as public awareness programs and sharing these data with other stakeholders, such as DPC (Directorate of Civil Protection) of MINATD (Ministry of Territorial Administration and Decentralization).

IRGM surely continues to improve the quality of these actions based on the outcomes of the Project since the capacity of IRGM has been improved.





In addition, DRR and Disaster Risk Management require inter-disciplinary and cross-sectoral collaboration, therefore collaboration among academia, researchers and practitioners should be more strengthened as indicated in SFDRR in accordance with their roles based on the laws and regulations enforced in Cameroon.

The JCC of the Project and training programs in Japan offered opportunities to enhance multi-stakeholders' collaboration and utilization of the outcomes and framework of the Project.

For example "regular" dialogue among stakeholders should be held by utilizing the "LEMOC" (Limnic Eruption Monitoring Committee), which is a collaboration framework between IRGM and DPC offered by the Project, or existing framework. And concrete activities of DRR should be stipulated by and in collaboration with stakeholders based on their roles.

DPC joined the training program in Japan in order to expedite their activities and participants prepared the Action Plan for community based Disaster Risk Management action plan with one from IRGM. Implementation of this Plan will be the good example and momentum for their collaboration.

### 3. Recommendations:

The Team made recommendations to the Project based on the findings of the survey. Major recommendations are as follows;

#### 1) To fulfill indicators

Some indicators such as *operational directions* are still unfinished. Both sides agreed on the needs to complete activities by the end of the Project period.

#### 2) To utilize the outputs of the Project:

##### ➤ For the safety of the residents surrounding the lakes

The Project succeeded to provide scientific facts to justify the importance and the necessity of monitoring lakes. These scientific findings should be optimized into countermeasures in the field. Especially, the findings by the Project made clear the necessity of regular monitoring of the lakes to secure the safety of the population. Through the Project, IRGM improved their technical capacity to implement monitoring activities. Therefore the Government of Cameroon needs to continuous support for these activities and DRR preparedness based on the results of monitoring.

➤ For knowledge application for social benefit

SATREPS Project is expected to contribute science and society. Some scientific findings produced by the Project have already been introduced for publishing scientific thesis. However, utilization for social benefits is limited. These outcomes are needed to be applied for the society.

IRGM is a research institute and its mission is different from that of other organizations responsible for disaster risk management. Nevertheless, scientists could play pivotal role in disaster risk reduction by showing the correct mechanism of natural disaster for the public and it would contribute to enhance the "Understanding disaster risk" as stated in "Priority 1."

For instance, the residents around the lakes had not ever known the scientific mechanism of limnic eruption however; correct understanding of the risk provided by the scientists will enable them to prepare for the natural disaster.

Only IRGM can prepare and provide the appropriate information, thus scientific findings and research outputs of the Project should be applied and materialized as the risk awareness tools in user-friendly way for the public.

➤ Enhancing the operation of the Laboratory

Analytical instruments and equipment were provided and installed to IRGM's Laboratory in Nkolbison. They are not yet fully functioned for several reasons.

It is important to increase analytical work in the Laboratory for improving the operational status and that will eventually raise the credibility of the Laboratory. Once the credibility has been raised, it will conducive to increase the number of analytical requests with charge from external organizations.

➤ Maximizing utilization of equipment

In addition to the laboratory equipment, some monitoring equipment have not been fully utilized due to unavoidable reasons.

Some of them were broken or lost as CTD. All the equipment should be appropriately utilized, properly maintained and replaced in timely manner.

➤ Relationship between Japan and Cameroon

Through the Project, the relationship among scientists in Japan and IRGM was strengthened. This network should be uphold and utilized after the Project for optimizing the achievements to secure the sustainability. Both sides agreed to establish communication tool such as website for sharing monitoring data with project members.

Annex: TERMINAL EVALUATION REPORT



THE JOINT TERMINAL EVALUATION REPORT  
ON  
THE PROJECT  
FOR MAGNETIC FLUID SUPPLY INTO LAKE NYOS AND MONOUN, AND  
MITIGATION OF NATURAL DISASTERS THROUGH CAPACITY BUILDING  
IN CAMEROON

2 NOVEMBER, 2015

THE TERMINAL EVALUATION TEAM

UJ

4

## LIST OF ABBREVIATIONS AND ACRONYMS

AAS	Automatic Absorption Spectrometer
AOB	Automatic Observation Buoy
CO <sub>2</sub>	Carbon Dioxide
CRH	Hydrological Research Centre
CTD	Conductivity-Temperature-Depth Profiler
CVL	Cameroon Volcanic Line
DPC	Directorate of Civil Protection
IC	Ion Chromatography/Ion Chromatograph
IRD	Institute of Research for Development
IRGM	Institute of Geological and Mining Research
JCC	Joint Coordinating Committee
JFY	Japanese Fiscal Year
JICA	Japan International Cooperation Agency
JST	Japan Science and Technology Agency
LEMoC	Limnic Eruption Monitoring Committee
MINATD	Ministry of Territorial Administration and Decentralization
MINEPAT	Ministry of Economy, Planning and Regional Development
MINESUP	Ministry of Higher Education
MINRESI	Ministry of Scientific Research and Innovation
MM	Minutes of Meeting, Man/Month
MOU	Memorandum of Understandings
MOV	Means of Verification
MTR	Mid Term Review
PDM	Project Design Matrix
PO	Plan of Operation
R/D	Record of Discussions
SATREPS	Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development
SOP	Standard Operating Procedure
XAF	Communaute Financiere Africaine Franc (Cameroon)

---

## TABLE OF CONTENTS

---

<b>1. OUTLINE OF THE JOINT TERMINAL EVALUATION</b>	<b>1</b>
1-1. BACKGROUND	1
1-2. OBJECTIVES	1
1-3. OUTLINE OF THE PROJECT	1
1-4. EVALUATION METHODOLOGY	2
1-5. MEMBERS OF THE JOINT TERMINAL EVALUATION	3
1-6. SCHEDULE OF THE JOINT TERMINAL EVALUATION	3
<b>2. ACHIEVEMENTS OF THE PROJECT</b>	<b>3</b>
2-1. RESULTS OF INPUTS	3
2-2. ACHIEVEMENTS OF OUTPUTS	5
2-4. ACHIEVEMENT OF THE PROJECT PURPOSE	13
2-6. IMPLEMENTATION PROCESS	16
<b>3. EVALUATION BY FIVE CRITERIA</b>	<b>17</b>
3-1. RELEVANCE	17
3-2. EFFECTIVENESS	18
3-3. EFFICIENCY	18
3-4. IMPACT	19
3-5. SUSTAINABILITY	20
<b>4. CONCLUSION</b>	<b>21</b>
<b>5. RECOMMENDATIONS</b>	<b>21</b>
5-1. MEASURES TO BE TAKEN BY THE TERMINATION OF THE PROJECT	21
5-2. MEASURES TO BE TAKEN AFTER THE TERMINATION OF THE PROJECT	23
<b>6. LESSONS LEARNT</b>	<b>23</b>

### **- Appendix -**

1. Project Design Matrix (PDM) version 3 (as at the fourth JCC on 18 March 2015)
2. Plan of Operation (PO) (since 2014)
3. List of Researchers (Cameroonian and Japanese)
4. List of Participants in Training Program in Japan
5. List of Machinery and Equipment Provided
6. List of Scientific Journal Papers
7. Lake monitoring and experimental system for deep CO<sub>2</sub> removal
8. Report: Laboratory of Geochemical Analysis of Water

# **1. OUTLINE OF THE JOINT TERMINAL EVALUATION**

## **1-1. BACKGROUND**

On the basis of the request from the Government of Cameroon, Japan International Cooperation Agency (JICA) launched the five-year technical cooperation project (SATREPS: Science and technology Research Partnership for Sustainable Development) entitled “The Project on Magmatic Fluid Supply into Lakes Nyos and Monoun, and Mitigation of Natural Disasters through Capacity Building in Cameroon,” (herein after referred to as “the Project”) on April 2011, under the implementation structure consisting of Institute of Geological and Mining Research (IRGM) as a counterpart research institute from Cameroonian side, and University of Tokai as a representative of research institutes from Japanese side.

In October 2015, before the end of the cooperation period, the Project is required to undergo the Terminal Evaluation in accordance with the article V of the Memorandum of Understandings signed for the Project in February 2010.

## **1-2. OBJECTIVES**

The main objectives of the Terminal Evaluation on the Project are:

- (1) To verify the achievements of the Project referring to actual inputs, achievement of outputs and the project purpose;
- (2) To evaluate the Project based on the five evaluation criteria (Relevance, Effectiveness, Efficiency, Impact and Sustainability); and,
- (3) To make recommendations for the measures to be taken in the remaining cooperation period and in the future, and draw the lessons learned.

## **1-3. OUTLINE OF THE PROJECT**

The outline of the project described in the Project Design Matrix (PDM) version 3, which was revised in March 2015 is as follows. The overall goal has not been set for the Project.

### **(1) Project Purpose**

A framework is established where Cameroonian scientists can independently accomplish their own research on the issues related to the gas disasters at Lakes Nyos and Monoun, and utilize its outcomes for disaster management through scientific cooperation between Japan and Cameroon.

### **(2) Outputs**

1. The mechanism of limnic eruption is understood.
2. The CO<sub>2</sub> recharge system beneath Lakes Nyos and Monoun is understood.
3. The hydrological regime around Lakes Nyos and Monoun is understood.
4. The interaction between rock and CO<sub>2</sub>-rich fluid is understood.
5. Lakes Nyos and Monoun are monitored.
6. The experimental system for removing CO<sub>2</sub>-rich deep water to prevent gas rebuilding at Lake Monoun is set up.
7. Magmatism of Oku volcanic zone is understood.
8. Geochemical parameters of lakes along Cameroon Volcanic Lines (CVL) other than Nyos and

Monoun are understood.

9. The results of scientific monitoring are systematically shared with the Directorate of Civil Protection (DPC).

### (3) Project Term

April 2011 to March 2016 (five years)

## 1-4. EVALUATION METHODOLOGY

The status of the project progress was reviewed based on the PDM, which is a summary table describing the outline of the Project. The Terminal Evaluation examined the following points referring to the PDM version 3 modified in March 2015 (Annex 1).

### (1) Verification of Project Performance

The degree of project achievements, such as Inputs, Outputs (including Activities), and Project Purpose, was assessed with reference to Objectively Verifiable Indicators stated in the PDM. To carry this out, various methods were applied including document review, questionnaire survey, interviews and discussions with counterpart personnel, Japanese researchers and relevant stakeholders.

### (2) Examination of Project Implementation Process

The process of the project implementation was examined from the viewpoints of project management.

### (3) Evaluation by Five Evaluation Criteria

The following five evaluation criteria are applied to the project evaluation.

Five Evaluation Criteria	
Relevance	Degree of compatibility between the development assistance and priority of policy of the target group, the recipient, and the donor.
Effectiveness	A measure of the extent to which an aid activity attains its objectives.
Efficiency	Efficiency measures the outputs -- qualitative and quantitative -- in relation to the inputs. It is an economic term which is used to assess the extent to which aid uses the least costly resources possible in order to achieve the desired results. This generally requires comparing alternative approaches to achieving the same outputs, to see whether the most efficient process has been adopted.
Impact	Impact measure effects of the project with an eye on the longer term effects including direct or indirect, positive or negative, intended or unintended.
Sustainability	Sustainability is concerned with measuring whether the benefits of an activity are likely to continue after donor funding has been withdrawn.

Sources: JICA Guideline for Project Evaluation 2004, and New JICA Guidelines for Project Evaluation First Edition, June 2010.

### (4) Recommendations and Lessons Learnt

The Terminal Evaluation Team made the recommendations and drew the lessons learned based on the results of the evaluation.



## 1-5. MEMBERS OF THE JOINT TERMINAL EVALUATION

### <Cameroonian Side>

Name	Position	Organization
Dr. Nnange Joseph	Leader/Project Evaluation	Vice director, MINRESI
Mr. Bate Moses	Evaluator	Research Officer, MINEPAT
Mr. Kengne Celestin	Evaluator	Focal Point of National Risk Observatory, MINATD

### <Japanese Side>

Name	Position in the Team	Title
Mr. Norihito Yonebayashi	Team Leader	Director, Disaster Risk Reduction Team 2, Disaster Risk Reduction Group, Global Environmental Department, JICA
Ms. Yuriko Doi	Planning and Coordination	Disaster Risk Reduction Team 2, Disaster Risk Reduction Group, Global Environmental Department, JICA
Ms. Atsuko Himeno	Observer	Associate Research Supervisor, SATREPS Group, Department of International Affairs JST
Ms. Ai Ishitobi	Evaluation Analysis	Consultant, TekizaiTekisho LLC

## 1-6. SCHEDULE OF THE JOINT TERMINAL EVALUATION

A series of meetings and discussions were held from 16 October to 2 November 2015 among IRGM, Cameroonian governmental authorities relevant to the execution of the Project, JICA experts, and the Terminal Evaluation Team.

## 2. ACHIEVEMENTS OF THE PROJECT

### 2-1. RESULTS OF INPUTS

#### (1) Cameroonian Side

##### 1) Assignment of Counterpart Personnel

Project Supervisor: Secretary General, MINRESI

Project Manager: Director, IRGM

Other counterpart personnel: Researchers and technicians of IRGM

The details of research members are referred to Appendix 3.

## 2) Office space for project coordinators

IRGM has provided office space for Japanese project coordinators in their offices with office furniture and communication facilities including internet access.

## 3) Machinery and Equipment

Machinery and equipment procured by IRGM include three vehicles mainly for field work, a computer and a generator for the Nkolbisson laboratory.

## 4) Local Operational Costs

Although the Government of Cameroon is supposed to disburse 850 million XAF for the 5 years, at the time of terminal evaluation, only 557 million XAF was disbursed. The most-cited reasons for the limited and delayed disbursements include 1) heavy workload of MINEPAT and 2) change in the national budgetary allocation due to the urgent response to emergencies (e.g. fights against terrorists, floods in the north). The remaining amount is approximately 292.8 million XAF.

**Table 1 Local Operational Costs borne by Cameroonian side (Unit: XAF)**

2011*	2012	2013	2014	2015	Total	Remaining
316,000,000	0	0	0	261,207,000	557,207,000	292,793,000

(Source: Information provided by IRGM)

\* Fiscal year of Cameroon starts from January to December in the year.

## (2) Japanese Side

### 1) Japanese researchers and Experts

As of October 1, 2015, a total of 15 short term researchers were assigned to the Project since the Project commenced, and visited Cameroon 56 times (904 days) in total. The assigned areas of expertise are shown below and the detailed list of the project members is referred to Appendix 3.

Three long term experts were assigned as the project coordinator. The experts have engaged in administrative works including coordination with IRGM and relevant Cameroonian agencies/personnel and Japanese researchers, procurement, and arrangement of JCC.

**Table 2: The assignment of Japanese researchers and experts until October 1, 2015**

Expertise	Number of researchers	Times assigned	Assignment in Cameroon	
			Total days	Total M/M
<b>Short term Experts</b>				
Chief Advisor/ Geochemistry	1	10	146	4.83
Geochemistry	8	32	562	18.6
Volcanic geology	3	6	77	2.55
Volcanic petrography	1	3	45	1.49
Geophysics	1	4	57	1.89
Limnology	1	1	17	0.56
<b>Subtotal for short term experts</b>	<b>15</b>	<b>56</b>	<b>904</b>	<b>29.93</b>

Expertise	Number of researchers	Times assigned	Assignment in Cameroon	
			Total days	Total M/M
Long term Experts				
Project coordinator	3	3	1715	56.79

Source: Information provided by the project office

## 2) Provision of Machinery and Equipment

Equipment for monitoring lakes and analyzing water and gas samples were procured. The total amount of procurement reaches 157.5 million JPY. The details of procured equipment are referred to Appendix 4.

## 3) Counterpart Training in Japan

A total of 5 researchers participated in the long term training program in Japan (181.32 MM in total) and a total of 15 researchers and technicians participated in short term trainings on the use of observational and analytical equipment, analysis of water sampling, laboratory management and computer simulation. The detailed list of participants is shown in Appendix 5.

## 4) Local Operational Costs

Local operational cost borne by Japanese side was shown in the table below. The total amount of approximately 120 million XAF was allocated from the beginning of cooperation period until September 10, 2015.

Table 3: Local Operational Cost borne by Japanese side

(Unit: XAF)					
JFY 2011	JFY 2012	JFY 2013	JFY 2014	JFY 2015*	Total Amount
18,170,419	23,513,024	47,833,107	26,646,980	3,771,433	119,934,963

Source: Information provided by the project office

\*As of September 10, 2015. Japanese Fiscal Year (JFY) basis starts from April to March in the year.

## 2-2. ACHIEVEMENTS OF OUTPUTS

The following part explains the achievement levels of each Output from the commencement of the cooperation to date.

### (1) Output 1: Almost achieved

Narrative Summary	The mechanism of limnic eruption is understood.
Objectively	1-1. A scientific journal paper.
Verifiable Indicators	1-2. Report for local people. 1-3. Information on Web site

*<Activity: 1-1. The conditions under which limnic eruption can occur are constrained through computer-simulation.>*

- The results of numeric and simulation modelling and CO<sub>2</sub> profiles obtained by monitoring of the lakes (Output 5) suggest one possible scenario of a limnic eruption: a supply of CO<sub>2</sub>-understaturated fluid from the lake bottom that induces upwards growth of the CO<sub>2</sub>-rich

bottom layer, leading eventually to CO<sub>2</sub>-saturation at a mid-depth of the lake. Realistic conditions to cause a limnic eruption were also identified.

- Simulation on the process of CO<sub>2</sub> distribution in the air caused by a limnic eruption is developed. A hazard map around Lake Nyos is being developed based on this simulation.
- A numerical model to estimate CO<sub>2</sub> flux in a degassing pipe was also developed. Using this modelling, it is possible to know how far degassing progressed at the intake depth of the pipe by knowing the variation of the fountain heights, which are observable at the lake surface. This enables efficient monitoring of precursors of a limnic eruption.

**<Activity 1-2. Acoustic survey of the detailed topography of the bottom in Lakes Nyos and Monoun is made to locate the recharging point of CO<sub>2</sub> enriched fluid. >**

Acoustic surveys using multi-beam sonar was conducted at Lakes Nyos and Monoun. This contributed to locating the possible recharging point of CO<sub>2</sub> enriched fluid of Lake Monoun. The measurement on sound velocity and electric conductivity of lake water supports that this point is highly likely to be the recharging point. This finding led to the identification of not only the point for CO<sub>2</sub> concentration to be monitored, but also the point for a degassing pipe to be set in order to effectively remove CO<sub>2</sub> in lake water. The data acquisition and processing at Lake Nyos were carried out by the member of IRGM, without the help of experts. The bathymetric map of Lake Nyos was obtained, however the precision was not good as that of Lake Monoun. The data from Lakes Nyos and Benang was collected, but counterpart personnel found the difficulty in processing of the data collected using multi-beam sonar.

**< Activity 1-3. The conditions under which limnic eruption can occur are estimated, and utilized to judge the safety of the lakes. >**

IRGM is planning to make a guideline to raise awareness and manage risks around the Lakes, which can be utilized to judge the safety by authorities after the Project.

**<Indicators>**

**1-1. A scientific journal paper**

One scientific journal paper (#14 of the Annex 6) is already published and the other (#15) is in press.

**1-2. Report for local people**

Workshops for local people were conducted at Wum and Kouptamo in 2013. Another workshop for local people is suggested in 2016.

**1-3. Information on Web site**

The following websites contain the information related to Output 1.

<http://www.satreps.u-tokai.ac.jp/index.html>,

<http://www.zisin.geophys.tohoku.ac.jp/~kozono/Nyos/index.html>

**(2) Output 2: Achieved**

Narrative Summary	The CO <sub>2</sub> recharge system beneath Lakes Nyos and Monoun is understood.
Objectively	2-1. A scientific journal paper.

Verifiable Indicators	2-2. Report for local people. 2-3. Information on Web site
-----------------------	---

**<Activity 2-1. 3D distribution of CO<sub>2</sub> in the lakes is investigated, which can be used to locate the recharging point of CO<sub>2</sub> enriched fluids.>**

- The technique to estimate the dissolved CO<sub>2</sub> concentration in the lakes only by sound velocity measurement was developed. The simple and inexpensive equipment for this technique, which can be easily maintained was also developed and provided for IRGM. The obtained data on 3D distribution of CO<sub>2</sub> contributed to locating the recharging point of CO<sub>2</sub> enriched fluid (Activity 1-2).
- Since much more data can be collected in a shorter time with the developed technique and equipment, now it becomes possible to monitor the amount of CO<sub>2</sub> in the lakes more frequently. As the equipment is portable, monitoring other lakes which may cause a limnic eruption also becomes easier.

**< Activity 2-2. The CO<sub>2</sub> flux from soil and the surface of Lakes Nyos, Lake Monoun and Manenguba volcano.>**

- In 2013, a portable device to monitor CO<sub>2</sub> flux from soil and the surface was developed. CO<sub>2</sub> flux from soil, air and the surface of Lakes Nyos and Monoun was measured and CO<sub>2</sub> flux maps from the lakes were obtained. They will be further analyzed in detail.
- The detailed topographic map around Lake Nyos was created, which served the basis of hydro-chemical survey. It can provide valuable information (such as the exact location of the steep rock exposures which has a risk of collapse) for a hazard map. By principal component analysis, characteristics of water at the bottom of Lake Nyos were identified.
- The CO<sub>2</sub> level in the air on and around the surfaces of the lakes was monitored based on the data obtained via the Greenhouse gases Observing SATellite (GOSAT). Since this activity was added in the middle of the project, more data is needed to evaluate the effectiveness as a measure to predict a limnic eruption. This activity will be continued by Tokyo University at least for another 10 years after the Project ends.
- CO<sub>2</sub> flux of Manenguba volcano was investigated as a part of Output 8.

**<Indicators>**

*2-1. A scientific journal paper*

One scientific journal paper (#14) is published, one (#16) is in press, one (#17) is under review and the other (#27) is under revision.

*2-2. Report for local people and 2-3. Information on Web site*

Same as Indicator of 1-2 and 1-3 under Output 1.

**(3) Output 3: Achieved**

Narrative Summary	The hydrological regime around Lakes Nyos and Monoun is understood.
Objectively	3-1. A scientific journal paper.
Verifiable Indicators	3-2. Report for local people. 3-3. Information on Web site

**<Activity 3-1. The flow path of groundwater around Lakes Nyos and Monoun is established.>**

In order to study the recharge mechanism of the shallow groundwater seeping in the fractured rock of the Lake Nyos catchment, multiple environmental tracers and a yearly record of rainfall, surface waters and groundwater were studied. The conceptual model for ground water flow suggests that three main flow regimes, mainly controlled by the physical properties of the rock heterogeneities govern the movement of water in the aquifer.

**<Activity 3-2. The interaction between surface water and groundwater is understood.>**

Shallow groundwater in the Lake Nyos catchment shows a trend of enrichment in two environmental tracers ( $^{18}\text{O}$  and D) as surface waters indicating a well-mixed aquifer. The proportions of annual recharge rate (941 mm/year) and the seasonal variability in the isotopic signatures of groundwater indicate a renewable aquifer system.

**<Activity 3-3. The water balance in Nyos basin is estimated.>**

Ground water was analyzed for their physical and chemical properties. Principal component analysis supports the occurrence of water-rock interaction. Hierarchical cluster analysis showed that the chemistry of groundwater in Nyos basin is controlled by three main factors. No hydraulic connectivity between deep lake water and groundwater in the catchment was suggested. Preliminary investigation of water balance was done. However, more analysis needs to be done under this activity to clarify the observed results. Therefore, this Activity was partially achieved.

**<Activity 3-4. Biogeochemical assessment on Lakes Nyos and Monoun watershed.>**

Detailed biochemical assessment of Lake Nyos and Monoun was undertaken for the first time. Distribution of bacteria in the lakes is strongly correlated with physio-chemical parameters such as T, EC, DO and  $\text{Fe}^{2+}$ . Bacteria produce  $\text{CH}_4$  which might help trigger limnic eruption. Bacteriological analyses of 19 water sources around Lake Monoun and 17 around Lake Nyos were also conducted. The data provides evidence of faecal contamination in most of the water sources in both areas, implying health threat to consumers. This indicates a need to improve water sanitation in both areas.

**<Indicators>**

**3-1. A scientific journal paper**

Three scientific journal papers (#3, 4, 10) are published, two (#24, 26) are under review and the other (#25) is accepted.

One paper (#10) is published by *Scientific Report*, which belongs to Nature Publishing Group.

**3-2. Outreach activities for local people**

Same as Indicator of 1-2 under Output 1.

**(4) Output 4: Achieved**

Narrative Summary	The interaction between rock and $\text{CO}_2$ -rich fluid is understood.
Objectively	A scientific journal paper
Verifiable Indicators	

**<Activity 4-1. Natural experiments on the interaction between rock and  $\text{CO}_2$ -rich fluid are carried**

*out to understand geochemical and mineralogical processes in a sub-lacustrine CO<sub>2</sub>-supply system.*

>

- The experiments identified the precipitation rate of siderite in Lake Nyos. The result indicates that the rate is too small to have an impact on the concentration of dissolved Fe in lake water, which can affect the behaviour of CO<sub>2</sub>.
- Comprehensive study of hydro-geochemistry of water seeps, role of chemical weathering on dam failure, estimation of minimum width of dam to resist failure and simulation of changes in dissolved ions and secondary mineral was also conducted on the Lake Nyos dam. The result suggests that the dam is no vulnerable to failure as previously thought, although some other processes (physical weathering, secondary mineral formation and lake overflow) could cause sudden failure. Multidisciplinary monitoring of the dam is recommended.

<Indicator>

4-1. A scientific journal paper

One scientific journal paper (#6) is published and the other (#28) is submitted.

#### **(5) Output 5: Achieved**

Narrative Summary	Lakes Nyos and Monoun are monitored.
Objectively Verifiable Indicators	A scientific journal paper

*< Activity 5-1. Automatic observation systems to monitor the lake water and climatic parameters are installed in Lakes Nyos and Monoun and the data are transmitted to IRGM via satellite.>*

The climatic station and automatic observation buoy (AOB) were installed. The data of AOB are transmitted to the Cameroonian and Japanese research members via satellite and internet. This satellite communication contributes to monitoring the lakes on a real time basis. Climate stations at Nyos and Monoun were re-constructed as part of the programme for continuous monitoring of the lakes. However, cables of the climatic station were cut by a nearby villager in May 2014, and the data has not been collected since then. The procurement of a new station has been requested with the 2016 budget.

*< Activity 5-2. Work rafts to collect water and gas samples are set up at Lakes Nyos and Monoun.>*

Work rafts were set up in 2012 at Lakes Nyos and Monoun and water and gas samples have been collected. This enables the measurement of CO<sub>2</sub> remaining in the lakes for Activity 5-3.

*<Activity 5-3. The amount of CO<sub>2</sub> remaining in the lakes will be measured through physical and chemical methods on a regular basis, at least, once a year.>*

The result of the measurement shows that after the installation of two additional degassing pipes in 2011, the amount of CO<sub>2</sub> in Lake Nyos started to decrease quickly with a rate of 1.44 Gmol/year, which was doubled after 2013 when 3 pipes started working. However after 2014, the rate dropped to 0.50 Gmol/year. At Lake Monoun, the amount of CO<sub>2</sub> remaining in the lake bottom increased from 2011 to 2014, and decreased in 2015. Since the change in the amount of CO<sub>2</sub> in both lakes is unpredictable, regular monitoring of the lakes should be continued.

<Indicator>

### 5-1. A scientific journal paper

One scientific journal paper (#14) is published, one (#31) is in press, one (#17) is under review and the other (#18) is accepted.

### (6) Output 6: Achieved

Narrative Summary	The experimental system for removing CO <sub>2</sub> -rich deep water to prevent gas rebuilding at Lake Monoun is set up.
Objectively Verifiable Indicators	A technical paper on the CO <sub>2</sub> removal system

**< Activity 6-1. An apparatus to pump CO<sub>2</sub>-rich deep water is designed and tested at Lake Monoun to evaluate its capability, cost-performance and easiness of maintenance.>**

The Project found out that CO<sub>2</sub> in Lake Monoun was almost removed by the degassing operation until 2010. However, it has turned to increase after 2011 due to loss of gas self-lift capability of the degassing pipes and continued gas supply to the lake. To avoid re-accumulation of gas in the lake the Project developed a solar powered deep water removal system in 2013. The system is cost-effective, and easy to maintain, and has worked well until now. Since this system is experimental and not enough to compensate the natural supply of CO<sub>2</sub>-rich fluid from the bottom with a single system, installation of additional systems is necessary in order to ensure the safety of the lake. Based on the monitoring results of the Project, it is foreseen that a situation similar to Lake Monoun will realize at Lake Nyos in 5-6 years after 2015. It is obvious that installation of deep water removal system driven by solar power is necessary to avoid gas re-buildup and to ensure the safety of the lake.

### <Indicator>

#### 6-1. A technical paper on the CO<sub>2</sub> removal system

One technical paper (#19) is published and the other (#20) is accepted.

### (7) Output 7: Achieved

Narrative Summary	Magmatism of Oku volcanic zone is understood.
Objectively Verifiable Indicators	7-1. Ph.D. thesis 7-2. A scientific journal paper

**< Activity 7-1. Geological and petrochemical survey of rocks from Oku volcanic zone.>**

Geochemistry of maar-bearing volcanoes has been investigated in the Oku Volcanic Group along the Cameroon Volcanic Line (CVL). The geochemical characteristics of the studied lavas indicate that the magma source need not necessarily have an abnormal CO<sub>2</sub> concentration to pose a potential threat. Degassing of an ordinary magma chamber and the migration of gas to the bottom of the lakes through cracks and faults can lead to the accumulation of CO<sub>2</sub> in the lake bottom. Combined the findings of this study with those of other Outputs, the Project found out that the accumulation of CO<sub>2</sub> is because of depth of the lake and the climate conditions, but not of magma. Therefore it is important to continue monitoring the lakes with AOB and the climate station.

**< Activity 7-2. Eruptive history of Nyos volcano is understood.>**

- This activity was changed from “geological maps of the Nyos and Monoun areas are produced”



- due to lack of disbursement of the counterpart fund.
- Geological data and samples obtained through geological field works in and around Lake Nyos suggest the eruptive history and formation process of the maar, which provides valuable information for predicting future volcanic activity including limnic eruption and hazard assessment.
- Simple geological maps around Lakes Nyos and Monoun are developed and more detailed ones will be completed by the end of the project. These maps can provide basic information for a hazard map.

**<Activity 7-3. Eruptive mechanism and hazard implications of Lake Barombi Mbo are understood.>**

The study on the polygenetic inheritance of maar-diatreme volcanoes was conducted at the Barombi Mbo Maar in the CVL. The result suggests that the maar formed through three eruptive episodes, demonstrating its polycyclic nature and that it might erupt again in the future. This implies the necessity of further investigations and hazards studies around the Barombi Mbo Maar.

**<Indicators>**

**7-1. Ph.D. thesis**

- Boris Chako Tchamabe (2014) “Volcano-stratigraphy and geochemistry of Tephra deposits and its relevance for understanding the polygenetic inheritance and plumbing systems to maar-diatreme volcanoes: Clues for hazards prospective, a case study for the Barombi Mbo Maar, Cameroon, Central Africa”, PhD thesis, December 2014, Tokai University
- Asaah Asobo Nkengmatia Elvis (2015) “Petrogenesis of Volcanic Rocks along the Cameroon Volcanic Line: Case of the Oku Volcanic Group, North West Cameroon, Central Africa” PhD thesis, March 2015, Tokyo Institute of Technology

**7-2. A scientific journal paper**

Two scientific journal papers (#8, 21) are published, and two more (#29, 30) to be submitted by the end of the Project.

**(8) Output 8: Achieved**

Narrative Summary	Geochemical parameters of lakes along CVL other than Nyos and Monoun are understood.
Objectively Verifiable Indicators	A scientific journal paper

**<Activity 8-1. The CO<sub>2</sub> flux around the lakes other than Nyos and Monoun along the CVL.>**

Surveys on gas emission from 9 lakes and soil from Nyos valley and Mount Manenguba Caldera were conducted. The result shows that several lakes contain magmatic CO<sub>2</sub>, which implies that magma continues to degas at depth thousands years after the last eruptive activities. The ubiquitous presence of magma-derived CO<sub>2</sub> in soil and in lakes implies that future increase to seismic and/or volcanic activities might re-open vents allowing more gas to seep and accumulates in the lakes. For disaster risk reduction, identification of minimum volcanic lakes surveillance to be concentrated is recommended.

**<Activity 8-2. Basic survey is carried out at other lakes along the CVL.>**

The physio-chemistry, stable isotope, diffuse gas emission and the effect of methane on the stability of

17 lakes in the CVL were investigated. 24 parameters were used to group the lakes and subsequently identify the parameters that most account for the variance. Lake Benakuma, the third deepest lake after Nyos and Manenguba was identified as the one that most resembles the gassy lakes.

**<Activity 8-3. The geochemical & climate database for the lakes along the CVL is established.>**

The database on physio-chemical composition, averaged temperature, precipitation and hydrological setting of the 17 CVL lakes was established as a part of the basic survey above (Activity 8-2).

**<Indicator>**

**8-1. A scientific journal paper**

Two scientific journal papers (#1, 2) were published.

**(9) Output 9: Not yet achieved**

Narrative Summary	The results of scientific monitoring are systematically shared with DPC
Objectively	9-1 The results of scientific monitoring are sent to DPC.
Verifiable Indicators	9-2 Recommendations for disaster management are proposed based on scientific findings.

**<Activity 9-1 The results of scientific monitoring are sent to DPC. >**

In order to systematically share the results of scientific monitoring on a limnic eruption with DPC, Limnic Eruption Monitoring Committee (LEMoC), which consists of three representative members each from DPC and IRGM was established in June 2015, though an official committee has not been held. At the time of the terminal evaluation, how LEMoC will progress is still unclear. This is partly because another public system for IRGM to report the results of scientific monitoring of disasters to DPC exists. IRGM and DPC are members of “*Observatoire National des Catastrophes*”, which is legally and financially supported by the Cameroonian Government. Whenever IRGM identifies a disaster risk (e.g. an eruption of Mt. Cameroon, a limnic eruption), the information is shared with DPC through this Observatory.

One of the main goals of SATREPS programme is social implementation, which is utilization of the scientific findings obtained through the Project produced. Although the MTR pointed out that it is “necessary to clarify the responsibility of IRGM towards natural disaster management and reduction as a research institute, because it is assumed that the utilization of research outcomes would be out of control for IRGM”, this seemingly has not happened when social implementation was discussed. Setup of effective mechanism to utilize scientific results would be required to accelerate Output 9.

**<Activity 9-2 Recommendations for disaster management are proposed based on scientific findings.>**

IRGM plans to prepare a guideline on disaster risk reduction to raise awareness on the issues around the lakes based on the scientific findings after the Project. Besides, making recommendations based on scientific findings is also one of the expected roles of LEMoC if agreed by all stakeholders.

**<Indicators>**

**9-1. Seminar with DPC**

Staff of IRGM and DPC participated in the “community based disaster risk management” training

organized by JICA in Kobe, Japan in July 2015. They jointly prepared an action plan which includes a workshop for local people in 2016. A concrete plan to promote social implementation within this project is still under discussion.

#### 9-2. Special session in CVL-9

The 9th workshop of the Commission on Volcanic Lakes (CVL-9) will be held in Yaoundé, Cameroon in 13-23 March 2016. One of the main focuses of the workshop is presenting comprehensive research outcomes of the Project.

## 2-4. ACHIEVEMENT OF THE PROJECT PURPOSE

Narrative Summary	A framework is established where Cameroonian scientists can independently accomplish their own research on the issues related to the gas disasters at Lakes Nyos and Monoun, and utilize its outcomes for disaster management through scientific cooperation between Japan and Cameroon.
Objectively Verifiable Indicators	<p>A) An operational direction in IRGM including the following contents.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lake observation</li> <li>2. Lake, spring, well, rain and river water sampling</li> <li>3. Water analysis</li> <li>4. Gas analysis</li> <li>5. Accreditation of analytical equipment (IC/Picarro/AAS etc.)</li> </ol> <p>B) Proper use of each analytical and observational instrument</p> <p>C) Systematic storage of water and rock samples</p> <p>D) Communication among the project team members</p> <p>E) Funds-raised for the maintenance of analytical equipment.</p>

#### **A) An operational direction in IRGM including 1) Lake observation, 2) Lake, spring, well, rain and river water sampling, 3) Water analysis, 4) Gas analysis, 5) Accreditation of analytical equipment**

According to PDM, the means of verification (MOV) for this indicator is “*A-1) Hard copy and electric file on web site and A-2) Necessary reagents, standards, sampling tools, disposable materials and carrier gases etc. in the lab.*” At the time of the evaluation, *operational directions* in the above topics have not been prepared. This seemingly resulted from ambiguous definition of the term “*operational direction*”. During the discussion for the evaluation, the project members agreed that *an operational direction* means a manual for equipment and a standard operating procedure (SOP) for monitoring activities. In that sense, manuals of most major equipment have been prepared, though the SOPs for monitoring activities are not developed yet. The process of accreditation of analytical equipment has also started.

With regard to consumables and spare parts in the laboratory, there are enough amounts at the moment. With the assistance of the Institute of Research for Development (IRD) in France, IRGM can procure all spare parts and consumables they need, including those unavailable in Cameroon.

#### **B) Proper use of each analytical and observational instrument**

According to PDM, the MOV for this indicator is “*Notebooks for the record of use, showing dates,*

*name of analyzer, supplier of sample + sample ID, amount paid for each parameter analyzed in the sample, the condition of instruments etc.*” These notebooks are available and used well to keep records in the laboratory.

In April 2013, two researchers and three technicians of the laboratory attached to the Hydrological Research Centre (CRH) participated in the short term training on the use of equipment and laboratory management. The participants learned a number of issues including the use of the equipment (IC, Automatic Absorption Spectrometer (AAS), Picarro, MilliQ), the importance of keeping the laboratory clean and tidy, validation of the results of analysis, and more systematic storage of samples. Trainings on the use of equipment provided in Cameroon and Japan, including the one above, implementation of the recommendations on laboratory management based on the training, and construction work for electrical and water supply, installation of lightning rod, and provision of a backup generator and voltage regulator for each instrument greatly contributed to the proper use and maintenance of the equipment.

At the same time, while counterpart personnel are confident in analyzing data from observational instruments such as a Conductivity-Temperature-Depth Profiler (CTD), AOB and the climate station, but not so much in the use of some analytical equipment (AAS, Picarro and <sup>13</sup>C analyzer). In 2015, AAS was unable to be used for 6 months due to the breakdown. The delayed delivery of the equipment and the necessity to improve the laboratory infrastructure before the use resulted in insufficient time for counterpart personnel to use them and build their analytical capacities. Therefore their use is limited as in Table 4. However, it is confirmed that they have practiced the operation since the external request are increasing.

	IC	AAS	Picarro <sup>1</sup>	<sup>13</sup> C analyzer
2012	0	-	(22)	-
2013	0	-	0	-
2014	30	0	0	-
2015 <sup>2</sup>	36	0	(10)	0

Table 4 Number of samples analysed for the Project  
(Information provided by Massussi H, and Robert T)

### C) Systematic storage of water and rock samples

The MOV for this indicator is “Shelves in the building of laboratory at Nkolbisson for storing well catalogued (GIS ref) water & rock samples”. This was planned to be done at the underground of the laboratory using the counterpart fund, and the design of the storage was prepared by IRGM. The renovation will be financed through the PRECASEM project.

### D) Communication among the project team members

Enhancement of this indicator was one of the recommendations at the MTR and has been followed up very well. Although the use of a groupware through internet (Google Calendar), which is the MOV for this indicator, did not happen, a number of ways to communicate among the project team members (e.g. e-mailing list, a website, seminars) was utilized. A regular meeting between IRGM (representatives from the headquarters and the Nkolbisson laboratory) and a Japanese project

<sup>1</sup> The figure for 2012 indicates the number of samples analyzed only for practice. The one for 2015 is not for the SATREPS project, but for other research activities.

<sup>2</sup> The duration of the data is from January to September 2015.

coordinator started and is held monthly. This has been effective to share the information and discuss issues in the project implementation. At the same time, however, there are not a few counterpart researchers who commented on the very short and a limited number of visits by Japanese researchers, which would have constrained the further capacity strengthening of counterpart personnel.

The questionnaires and interviews with counterpart personnel also indicated that communication between them is limited; affecting the sharing of knowledge and technologies transferred among them, and also with other IRGM staff. While a regular seminar was suggested by a Japanese researcher, and the seminar was held three times so far, this has not been regularly held. Seminars are held in the IRGM but not related to the Project.

#### **E) Funds-raised for the maintenance of analytical equipment.**

The MOV for this indicator is “E-1) Stand-by funds to be managed by the laboratory head for buying lab supplies as soon as need arises” and “E-2) Acceptance of analytical request with charge”. 60% of the charges of analytical request are utilized to buy laboratory supplies.

The revenue of the laboratory from sample analysis from April to September 2015 is 2,078,500 XAF. Although this is not sufficient to buy all necessary laboratory supplies, the number of requests for analysis (as in Table 5) has been increased<sup>4</sup>. AAS also receives a number of external requests so far. Once AAS and other equipment become available for external requests and accreditation of the equipment is completed, stand-by funds can be greatly increased.

	Universities <sup>3</sup>	SATREPS	Others	Total
2010	51	0	131	182
2011	21	0	147	168
2012	7	0	131	138
2013	37	0	149	186
2014	128	30	280	438
2015	281	36	191	544

Table 5 The number of samples analyzed (2010-2015)  
(Prepared by Massussi Henriette, Chief of the laboratory)

#### **<Overall Assessment of the project purpose>**

In sum, the Project has mixed results in terms of the achievement of the Project Purpose. The main objectives of the purpose are two-fold: (1) capacity strengthening and (2) utilization for disaster risk reduction and management.

Capacity building of counterpart personnel has been done through the long term training for 5 researchers (including one IRGM staff) and through on-site training by dispatch of Japanese experts to Cameroon and short term trainings in Japan for IRGM staff.

The long term trainees greatly contributed to achieving Output 3, 7 and 8 and successfully obtained Ph.D. degree within three years. They have produced quality scientific papers during the period, and one of them was published by *Scientific Reports* which belongs to Nature Publishing Group. These achievements are greatly contributed to the reputation of young Cameroonian scientists. Although three of them are supposed to contribute to IRGM after the training, two of them have not returned to Cameroon, however. Therefore contribution of long term trainees to the Project is difficult to judge.

<sup>3</sup> The figure under this column includes samples analyzed by students.

<sup>4</sup> The report of the laboratory operation is attached as Appendix 8.

With regard to the training of counterpart personnel in Cameroon, counterpart personnel learned scientific methods to monitor the lakes and to collect and analyze data through on-site trainings provided by Japanese experts. When looking at the status of the indicators for the Project Purpose on capacity building, manuals of most major observational and analytical instruments have been already prepared, but SOP on monitoring activities are not available yet. The questionnaires and interviews show that further training on major analytical equipment (AAS, Picarro, <sup>13</sup>C analyzer) for counterpart personnel is required, for the delayed provision of the equipment and the period to improve the laboratory infrastructure left insufficient time for them to practice the equipment.

At the same time, two of the long term trainees have returned to IRGM and one will start to work next year. This will surely enhance the capacity of IRGM.

The second part of the Project Purpose is utilization of the outcomes for disaster risk reduction and management. The Project produced scientific results which can be utilized for disaster risk reduction. At the time of terminal evaluation, while only a development of a hazard map<sup>5</sup> started, there are other ideas considered by stakeholders to utilize the outcomes. These include the joint action plan which staff of DPC and IRGM jointly developed, a risk management guideline for higher authorities, a leaflet for the public on a limnic eruption and LEMoC. Some of the activities are likely to start before the Project ends. Set up of effective mechanism between stakeholders would further accelerate the utilization of the outcomes for disaster risk reduction and management. Besides, enhanced human capacities in the fields of hydrology, geochemistry, geophysics, volcanic geology, and volcanology through the Project can also be applied to the management of a wide range of disasters. The interviewed counterpart personnel are motivated to use their knowledge for disaster risk reduction.

In sum, while some achievements in capacity building were observed, there are also a couple of issues concerned. Utilization of outcomes has just started, and this can be accelerated if agreed on the process by stakeholders.

## **2-6. IMPLEMENTATION PROCESS**

IRGM and Japanese researchers were the key actors to manage the project activities. The Project formed five research groups to pursue the activities on lake monitoring, hydrology remote sensing, computer simulation for a limnic eruption, CO<sub>2</sub> supply system and volcanology.

An official five-year Plan of Operation (PO) for the Project does not exist and only a tentative PO attached in M/M signed on 19 August 2010, it is difficult to verify if the activities were implemented as planned during the project period. Two-year official PO as in Appendix 2 was developed and shared after the MTR. Based on the recommendation of the MTR, PDM was also drafted and revised two times incorporating the change of activities and relevant indicators.

The MTR pointed out that lack of internal meetings within the Project hindered the smooth execution of project activities and eventually the output. Thus, the MTR Team recommended that the Project should have regular internal meetings with all project members. Although regular internal meetings with all project members were not held since then, communication between the members was greatly

---

<sup>5</sup> This hazard map is expected to be utilized to establish the security belt around the lakes before the official announcement of the safety of the areas by higher authorities.

improved compared with the situation before the MTR. A website to share the activity information was set up at the homepage of Tokai University (<http://www.satrebs.u-tokai.ac.jp/index.html> ). A regular meeting between IRGM and a project coordinator started and are held monthly. A mailing list among the project members was also introduced which shares a variety of the information such as the announcement of field visits, scientific papers published by the project members, and results of the regular monthly meeting mentioned above. A Japanese research member who has a long experience in Cameroon also took a leading role in terms of communication since February 2014 while the project leader focuses on the overall project implementation. These changes greatly enhanced the communication among the project members.

A regular meeting by researchers to share the knowledge and technology was also suggested by the Japanese research member, although this has not been regularly held so far.

After the MTR, communication between stakeholders was also improved by utilizing the annual JCC as an opportunity to discuss issues on the project implementation. Moreover, the joint participation of IRGM and DPC in the disaster risk management training in July 2015 also contributed to enhancing the communication between them, which have indispensable roles in terms of social implementation.

### 3. EVALUATION BY FIVE CRITERIA<sup>6</sup>

#### 3-1. RELEVANCE

The relevance of the Project is assessed as high because of the following reasons.

The Government of Cameroon puts the priorities on mitigating the risk of a limnic eruption. Though *National Programme for the Security and Rehabilitation of Lake Nyos* has started in 2008, only the first one (securing the Lake Nyos such as degassing of the lakes and strengthening of the dam) out of four components is completed. This five-year programme is still operational and planned to be updated. The Government also valued the importance of the Project and awarded IRGM with the Presidential Prize ("LION D'OR") for the activities toward mitigation of natural gas disasters at Lakes Nyos and Monoun in 2013. In appreciation of his long contribution to this issue, a replica of the prize was handed over to one of the Japanese researchers (Prof. Minoru Kusakabe).

The Project is aligned well with the permanent mission of IRGM, which is to work for disaster risk reduction. IRGM is legally obliged to monitor the lakes. Due to the mission, the government has provided IRGM with the fund to work on this issue every year through the project called "*Projet de suivi de degazage des lacs Nyos et Monoun* (Project of monitoring of degassing of Lake Nyos and Monoun)".

Since knowledge generated from the Project is expected to be applied to mitigate the risk of a limnic eruption, the Project is also aligned well with some priorities for action of the *Sendai Framework Disaster Risk Reduction 2015-2030*: 1) Understanding disaster risk and 2) Strengthening disaster risk governance to mitigate disaster risk through the enhancement of the understanding of the mechanism

---

<sup>6</sup> Judged on a scale from "High," "Relatively High," "Medium (there were some issues)," "Relatively Low," to "Low".

of a limnic eruption.

### **3-2. EFFECTIVENESS**

The effectiveness of the Project is assessed as medium based on the following points.

The Project is likely to achieve the Project Purpose to some extent. The capacities of five Cameroonian researchers were also enhanced through long term training in Japan, and the training contributed to achieving Output 3, 7 and 8. However their contribution to the capacity building of counterpart organization is difficult to judge at the time of terminal evaluation since two of them have not worked for IRGM after the training.

The Project also enhanced the capacities of counterpart personnel through on-site trainings by the dispatch of Japanese experts and trainings in Japan. When looking at indicators of the Project Purpose on capacity building, and the number of samples analyzed, the Project can further contribute to capacity strengthening through the preparation of *operational directions*. More training for some analytical equipment is necessary.

In terms of utilization of its outcomes for disaster risk reduction and management, although only a development of a hazard map started, more plans on utilization are likely to be implemented before the Project ends. The Project also produced scientific findings not only on a limnic eruption but also on other natural disasters such as volcanic eruption and floods. Counterpart researchers are confident in utilizing them for other disasters.

With regard to the indicators set for the Project Purpose, half of the target indicators (communication and fund raising) are fulfilled and the other half (operational directions and use of equipment) are not met yet. With regard to systematic storage of water and rock samples, the importance is understood through the Project, and the design was prepared by IRGM. The renovation of the storage will be financed by another donor.

The PDM for the Project does not show the direct linkage between Outputs and the Project Purpose as outputs aim to understand the mechanism of a limnic eruption and eruptive history of CVL, establish real-time monitoring system, and set up deep water removal system while the Project Purpose aims to build capacities of scientists in Cameroon and utilize its outcomes for disaster risk reduction and management. Therefore, achievement of Outputs does not necessarily verify the achievement of Project Purpose. It should be noted, however, the Project has successfully achieved most Outputs (as Output 9 is not yet achieved), which is critical to enhancing the understanding of a limnic eruption and establishing the effective monitoring system of Lakes Nyos and Monoun for disaster risk reduction and management.

The latest version of PDM identified no external factor to possibly affect the project achievement.

### **3-3. EFFICIENCY**

The efficiency of the Project is assessed as relatively low due to the three main reasons described



below.

Limited and seriously delayed disbursement of the counterpart fund hampered the smooth project implementation. While the fund was supposed to be disbursed every year (850 million XAF in total for the 5 years), disbursements of the fund were done only twice in December 2011 and March 2015. About 273 million XAF are yet to be disbursed at the time of the terminal evaluation. Because of lack of disbursement between 2011 and 2015, the Project had to give up one of the activities (development of a geological map) and field works without Japanese researchers which are important to their capacity building. It is unclear that the remaining amount of the counterpart fund will be surely disbursed without further delay, however.

As in Appendix 5 (2), some equipment which is critical to lake observation and analysis of water and gas samples have not been fully utilized for a number of reasons. While some reasons (e.g. lost, vandalized by a nearby villager) are unexpected, others (e.g. the necessity of electrical construction work for the laboratory) may not. The procurement and installation plan of the equipment should have been re-examined for the optimal use, while the utilization of them has been greatly improved due to some measures including the trainings on the use of equipment and laboratory management and construction works at the laboratory.

Both long term and short term trainings in Japan were provided to counterpart personnel during the Project Period. While provision of short term trainings contributed to the achievement of the Project Purpose in terms of capacity building of counterpart personnel, the contribution of long term trainee to the Purpose is difficult to judge as two of them have not returned to the country and another one reaches at a retiring age next year although he may continue to work in IRGM. This means that capacities built in them are and may not be fully utilized for the sustainability of the Project.

The promoting factor that improved project efficiency is the effective use of on-site trainings and short term trainings. The trainings on the use of analytical and observational equipment in the laboratory and in the field, laboratory management, specific fields related to Outputs such as computer simulation, and the community-based disaster risk management contributed to achieving Outputs and the Project Purpose.

### **3-4. IMPACT**

The impact of the Project can be judged as relatively high if the project findings on the mechanism of a limnic eruption are shared with the local community.

The Project has contributed to capacity strengthening of Cameroonian scientists through universities. As shown in Table 5, requests for analysis from universities have increased for the past few years. Besides, the laboratory has provided an internship opportunity for post graduate students. Since 2013, seven internship students have been trained. Moreover, the project member who also teaches at universities has shared the results of the Project in his class. Therefore by accepting external requests for analysis and post graduate students from universities and giving lectures including the findings, the equipment provided by and the knowledge transferred through the Project have contributed to enhancing capacities of Cameroonian researchers at universities.

In addition, the results of the Project can contribute to promoting the priority actions of “Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030” which the Government of Cameroon committed by enhancing the understanding on the mechanism of a limnic eruption and establishing a real-time monitoring system of Lakes Nyos and Monoun (“*understanding on disaster risk*”).

While one of the main purposes of the Project is to understand the mechanism of a limnic eruption, findings from the Project can be applied to other natural disasters such as floods and volcanic eruption. Enhanced human capacities in the fields of hydrology, volcanic geology, geochemistry, geophysics and volcanology can be applied to the management of a wide range of disasters which can happen in Cameroon and the rest of the world. Counterpart personnel are motivated to utilize the knowledge for disaster management.

### **3-5. SUSTAINABILITY**

The sustainability of the Project is assessed as medium since the technical sustainability has some issues to be solved.

#### **■ Policy and Institutional Aspects**

The government of Cameroon puts the priority on mitigating risks of limnic eruption which is still the most catastrophic event in Cameroon in terms of the number of the casualties.

IRGM has a permanent mission and is legally obliged to monitor the lakes even before the Project started. There is no significant institutional change in IRGM which can affect the sustainability of the Project.

#### **■ Financial/Organizational Aspects**

The budget of IRGM for the past 3 years has increased according to the annual reports for 2012-2014. Most project members belong to CRH, which has received the biggest allocation of the budget among other research centres and laboratories under IRGM. While the annual report does not have the information on the budget for maintenance of equipment, Director of IRGM and Chief of CRH in charge of the laboratory confirmed that funds for maintenance will be surely provided according to the needs. Besides, once accreditation of analytical equipment is completed, it is likely that external requests can be largely increased. In addition, the arrangement with IRD and the increasing external requests of sample analysis indicates the procurement of consumables and spare parts will not be a huge problem.

Besides, it is unlikely to be financially challenging to regularly monitor the lakes as the Government of Cameroon has provided the funds for IRGM for the purpose. For the past 3 years, 124 million XAF in total has been provided. This could be sufficient to continue the monitoring given the cost for a field trip to monitor of both lakes and collection of samples, which could be 1 million XAF<sup>7</sup> at minimum.

Management level of IRGM also committed to allocate some funding for monitoring the lakes even if

---

<sup>7</sup> This is an estimated cost for a field trip to both lakes when three researchers and one driver go for 6 days in total although this cost varies depends on some conditions (e.g. the title of participants).

the sufficient fund for that would not be provided by the government.

IRGM has sufficient human resources to continue the research and monitoring the lakes after the Project ends. For the past 3 years, the number of staff of IRGM has gradually increased and turnover rate of the SATREPS project members is very low.

#### ■ Technical Aspects

While counterpart personnel learned scientific monitoring methods of the lakes and enhanced analytical skills of water and rock samples, effective mechanism to share the knowledge and skills among them has not been set up yet. In terms of *operational directions*, manuals on some major equipment are available and the rest are being prepared at the time of evaluation. SOPs on monitoring activities are not ready yet. Further trainings on some equipment are required for counterpart personnel to operate at full capacity of equipment. Set up of effective mechanism to share the institutional knowledge can increase the sustainability of the transferred knowledge and technology. Besides, as stated above, direct contribution of long term trainees to the Project is difficult to judge. Hence technical sustainability of the transferred knowledge and technology is not confirmed at the time of terminal evaluation.

## 4. CONCLUSION

In sum, the Project has greatly contributed to building capacities of counterpart personnel for them to independently and scientifically monitor the lakes and utilize them for disaster risk reduction although there are some issues concerned in terms of effectiveness, efficiency and sustainability of the outcomes. Relevance is high as the Project is relevant to Cameroonian policies on Lakes Nyos and Monoun, and to the mission of IRGM. The Project is also aligned well with the *Sendai Framework*. Effectiveness is medium as direct contribution of long term trainees to the capacity building of counterpart organization is difficult to judge at the moment, more training on major equipment is required and utilization of the results for disaster risk reduction has just started. Efficiency is assessed as relatively low due to the seriously delayed disbursement of the counterpart fund, little utilization of some equipment and limited contribution of long term trainees to capacity strengthening for the Project. Impact can be judged as relatively high as the Project contributed to capacity building of Cameroonian scientists through universities, and is highly likely to promote the Sendai Framework, and utilization of the outcomes not only for a limnic eruption but also for other natural disasters. Sustainability is medium as technical sustainability is not secured yet at the time of the terminal evaluation.

## 5. RECOMMENDATIONS

### 5-1. MEASURES TO BE TAKEN BY THE TERMINATION OF THE PROJECT

#### (1) Disbursement of the remaining counterpart fund

MINEPAT and MINFI are strongly requested to make sure that the rest of the counterpart fund will be fully disbursed without further delay for the Project to continue the remaining activities and to sustain

the outcomes of the Project. This is critically important in order to replace the equipment indispensable for monitoring the lakes (CTD and the climate station), which are lost or damaged at the moment.

## **(2) Follow-up of the indicators to be achieved**

Simplified user manuals of most analytical equipment have been prepared by IRGM staff. In order to sustain the transferred knowledge and technology about monitoring activities, it is also important for IRGM to prepare *operational directions* according to the type of activities the project team members conducted for monitoring under the Project and improve them as the needs arise. Since some analytical equipment are not fully used yet at the time of terminal evaluation, it is also necessary to practice them by analyzing more samples in order to utilize and accept external requests.

## **(3) Improvement of efficiency**

Since some long term trainees do not belong to IRGM, it is difficult to judge at the time of terminal evaluation how to ensure that the capacities enhanced by the training will be utilized for the monitoring the lakes and other disaster risk reduction activities. Therefore it is desirable to take an action to ensure that human resources developed by the Project will be fully utilized. If such action is taken, the efficiency of the Project will be improved.

## **(4) Improvement of sustainability**

In order to sustain the project outcomes, it is indispensable to keep and develop capacities built through the Project and the network established by the Project, including the ones with Japanese researchers and long term trainees. In addition, set up of the system or mechanism to share the project outcomes (such as a seminar or a regular meeting in IRGM) with new researchers who will be recruited in the future is also necessary.

Moreover, it is important to secure the funding for consumables, spare parts and maintenance of the laboratory by accepting external requests for analysis with charges in order to maintain the equipment provided by the Project. Although the number of the external requests has increased, the profit generated by the requests is not sufficient to cover all the necessary laboratory supplies and maintenance costs. For this purpose, the efforts need to be continued to increase the number of external requests (such as accreditation and advertisement of the equipment).

For effective monitoring of the lakes, it is necessary to purchase the equipment such as CTD and the climate station to replace the damaged or lost.

## **(5) Dialogue and framework on how to conduct social implementation**

Stakeholders have no objection against utilizing the scientific findings of the Project, especially for local community around the lakes. While it is the role of DPC to conduct social implementation, IRGM can assist the process with the scientific results the Project produced. For example, IRGM can prepare a leaflet for the public based on the scientific findings of the Project on the mechanism of a limnic eruption.

In order to optimize the outcomes of the Project, it is important to promote and strengthen the dialogue between relevant stakeholders to implement concrete disaster risk reduction activities based on mutual understanding according to the laws and regulations and roles of each stakeholder.

## 5-2. MEASURES TO BE TAKEN AFTER THE TERMINATION OF THE PROJECT

### (1) Further training on some analytical equipment and data processing

It is recommended to seek the opportunity for further training on AAS, Picarro and  $^{13}\text{C}$  analyzer and on data processing of multi-beam sonar for counterpart personnel to utilize and maintain them. With regard to some analytical equipment, since counterpart personnel have received the basic training, it is desirable to start sample analyses to practice them even before the Project ends.

### (2) Utilization of the project outcomes

Scientific findings identified by the Project show the importance and the necessity of monitoring Lakes Nyos and Monoun. The analyzed data also indicated that the effect of the degassing pipes will stop in the near future. Based on these scientific findings, monitoring the lakes should be continued and a new measure for degassing needs to be taken. For example, it is scientifically proven that the experimental apparatus for removing  $\text{CO}_2$ -rich deep water developed by the Project is an affordable and applicable measure. Based on these facts, relevant stakeholders of Cameroon including IRGM are strongly recommended to secure the necessary funding<sup>8</sup> for the continuation of the monitoring and take an additional measure for degassing, and utilize the outcomes generated by the Project to ensure the security of the lakes.

### (3) Strengthening of the organizational capacity

In order to effectively utilize the knowledge and technology transferred, IRGM is recommended to strengthen the organizational capacity further. Set up of the mechanism to share the institutional knowledge inside the institute (e.g. such as holding regular seminars, preparation of the *operational directions*, continuation of the meeting between IRGM headquarters and the laboratory), and ensuring the allocation of financial and human resources for monitoring the lakes and analyzing the data collected are recommended.

### (4) Sharing of the monitoring data with counterpart personnel

The data generated from monitoring the lakes is valuable for the research members involved in the Project. In order to produce further scientific results by utilizing the data, the SATREPS research members are recommended to share the data among them after the Project ends.

### (5) Strengthening framework of Disaster Risk Reduction

Set up of effective framework among stakeholders to strengthen disaster risk reduction is necessary and counter measures can be enhanced with the use of scientific data. IRGM can assist this framework with provision of scientific data for better disaster preparedness.

## 6. LESSONS LEARNT

---

<sup>8</sup> The above deep water removal apparatus costs around 36-40 million XFA. The design and information on the apparatus is in Appendix 7. Monitoring of both lakes costs 1 million XFA at minimum (P. 20).

**(1) Importance of the flexible revision of the procurement and installation plan**

Delayed delivery of the equipment, and the delay of strengthening the condition of infrastructural and management issues of the laboratory for these equipment impacted on full utilization of the equipment provided. Addressing these issues in an earlier stage would have contributed to further capacity building of counterpart personnel during the project period. Therefore it is paramount to flexibly revise the procurement and installation plan of the equipment for the optimal use.

**(2) Potential limitation of long term trainees in the contribution to a counterpart organization**

Excellent scientific achievements produced by the long term trainees and extensive capacities built in them are unquestionable. However, since some of them do not belong to IRGM before and after the training, this limited their contribution to the Project. Selecting a candidate of long term training from a counterpart organization would improve the various aspects of a project such as efficiency, effectiveness, sustainability and relevance (i.e. whether the approach was appropriate).

**(3) Importance of confirming the idea of social implementation at the early stage of the Project**

Social implementation as a project purpose was not fully recognized and planned based on common understanding before the MTR. This slowed the progress on social implementation. At least by a MTR, if not at the beginning of a project, it is important for stakeholders to agree on the expected outcomes, the process and the roles of each stakeholder of social implementation.

**(4) Close communication between researchers and funders**

As already mentioned, the results of the interviews and questionnaires showed that not a few counterpart personnel felt that dispatch of Japanese researchers was limited, which impacted on the communication among them. Therefore it is useful to set up a mechanism to meet periodically with a counterpart organization, Japanese project members, JICA (including a country office) and JST. It will be effective to solve the issues on project management.

END

## 別添 2. Project Design Matrix

Project Name: The Project on Magmatic Fluid Supply into Lakes Nyos and Monoun, and Mitigation of Natural Disasters through Capacity Building in Cameroon

Area: Cameroon Period: April 2011 – March 2016

Counterparts: institution / organization IRGM Date: 21 October 2013

Narrative Summary		Objectively Verifiable Indicators	Means of Verification	Important Assumptions
Overall Goal				
None				
Project Purpose				
A framework is established where Cameroonian scientists can independently accomplish their own research on the issues related to the gas disasters at Lakes Nyos and Monoun, and utilize its outcomes for disaster management through scientific cooperation between Japan and Cameroon.		<p>A) An operational direction in IRGM including the following contents.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lake observation               <ol style="list-style-type: none"> <li>1-1. Automatic buoy</li> <li>1-2. Climatic station</li> <li>1-3. CTD observation</li> <li>1-4. YY method</li> </ol> </li> <li>1-5. CO<sub>2</sub> flux on water surface</li> <li>1-6. Multi-beam sonar</li> <li>1-7. CO<sub>2</sub> flux around the lakes</li> <li>1-8. Boats including engine</li> </ol> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Lake, spring, well, rain and river water sampling               <ol style="list-style-type: none"> <li>2-1. Niskin sampler</li> <li>2-2. MK method</li> <li>2-3. Dissolved gas sampling</li> <li>2-4. Treatment at the sampling site</li> <li>2-5. Preparation of pure water (milli-Q)</li> </ol> </li> </ol>	<p>A-1) Hard copy and electric file on web site</p> <p>A-2) Necessary reagents, standards, sampling tools, disposable materials (cleaning paper etc) and carrier gases etc in the lab</p>	None

<p>3. Water analysis</p> <p>3-A physical parameters</p> <p>3-A1. Temperature</p> <p>3-A2. Conductivity</p> <p>3-A3. pH</p> <p>3-A4. Discharge rate (if possible)</p> <p>3-B Chemical parameters</p> <p>3-B1. Dissolved CO<sub>2</sub></p> <p>3-B2. Dissolved O<sub>2</sub></p> <p>3-B3. Alkalinity</p> <p>3-B4. Anions (major)</p> <p>3-B5. Cations (major)</p> <p>3-B6. Trace elements (relevant per sample)</p> <p>3-C Isotope analyses</p> <p>3-C1. D/H and <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O ratios</p> <p>4. Gas analysis</p> <p>4-1. <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C ratio of CO<sub>2</sub></p> <p>5. Operational direction in IRGM for accreditation of analytical equipments (IC/Picarro/AAS etc)</p> <p>B) Proper use of each analytical and observational instrument</p>	<p>B) Notebooks for the record of use, showing dates, name of analyzer, supplier of sample + sample ID, amount paid for each parameter analyzed in the sample, the condition of instruments etc</p>	<p>C) Shelves in the building of</p>
C) Systematic storage of water		



and rock samples		laboratory at Nkolbison for storing well cataloged (GIS ref) water & rock samples	
D) Communication among the project team members		D) Use of a groupware through internet	
E) Funds-raised for the maintenance of analytical equipment.		E-1) Stand-by funds to be managed by the laboratory head for buying lab supplies as soon as need arises E-2) Acceptance of analytical request with charge	
<b>Outputs</b> 1. The mechanism of limnic eruption is understood.  2. The CO <sub>2</sub> recharge system beneath Lakes Nyos and Monoun is understood.  3. The hydrological regime around Lakes Nyos and Monoun is understood.  4. The interaction between rock and CO <sub>2</sub> -rich fluid is understood.  5. Lakes Nyos and Monoun are monitored.  6. The experimental system for removing CO <sub>2</sub> -rich deep water to prevent gas rebuilding at Lake Monoun is set up.  7. Magmatism of Oku volcanic zone is understood.			None
1. A) A scientific journal paper B) Report for local people C) Information on Web site  2. A) A scientific journal paper B) Information on Web site C) Awareness workshop for local people  3. A) A scientific journal paper B) Outreach activities for local people  4. A scientific journal paper  5. A scientific journal paper  6. A technical paper on the CO <sub>2</sub> removal system  7. (a) PhD thesis (b) Scientific journal papers			

Version 3 (18 <sup>th</sup> Mar 2015)		
8. Geochemical parameters of lakes along CVL other than Nyos and Monoun are understood.	8. A scientific journal paper	
9. The results of scientific monitoring are systematically shared with the Department of Civil Protection (DPC).	9. A) Seminar with DPC B) Special session in CVL-9	
Activities		Inputs
1-1 The conditions under which limnic eruption can occur are constrained through computer-simulation.	< Indicators > 1-1 Computer simulation code	<u>Japan</u> Personnel - Chief Advisor - Project Coordinator - Geochemistry - Volcanology - Petrology - Geology - Geography - Hydrology - Other fields that are mutually agreed upon as necessary Equipment - Water and gas analysis - Monitoring equipment - sampling and observation - removing CO <sub>2</sub> -rich bottom water - Others mutually agreed upon as necessary for the implementation of the Project
1-2 Acoustic survey of the detailed topography of the bottom in Lakes Nyos and Monoun is made to locate the recharging point of CO <sub>2</sub> enriched fluid.	1-2 A) Bathymetric map of Lakes Nyos B) Bathymetric map of Lake Monoun	<u>Cameroon</u> Personnel - Project Supervisor - Project Manager - Counterpart personnel Facility - Office space, furniture, facilities for communication and public utilities, and meeting rooms necessary for JICA Experts to undertake project activities - Space and appropriate facilities for the installation and storage of equipment with antitheft security at IRGM, Lake Nyos and Lake Monoun - Other facilities mutually agreed upon as necessary Local Cost
1-3 The conditions under which limnic eruption can occur are estimated, and utilized to judge the safety of the lakes.	1-3 R Recommendation to concerned authorities highlighting safety conditions	
2-1 3D distribution of CO <sub>2</sub> in the lakes is investigated, which can be used to locate the recharging point of CO <sub>2</sub> enriched fluids.	2-1. A) 3D distribution map of CO <sub>2</sub> in Lake Nyos B) 3D distribution map of CO <sub>2</sub> in Lake Monoun	
2-2 The CO <sub>2</sub> flux from soil and the surface of Lakes Nyos, Lake Monoun, and Manenguba volcano	2-2. 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	
3-1 The flow path of groundwater around Lakes Nyos and Monoun is established	3-1. A) A detailed topographic map around	



	Monoun	
5-3 The amount of CO <sub>2</sub> remaining in the lakes will be measured through physical and chemical methods on a regular basis, at least, once a year.	5-3 A) A data base on the components in Lake Nyos B) A data base on the components in Lake Monoun	
6-1 An apparatus to pump CO <sub>2</sub> -rich deep water is designed and tested at Lake Monoun to evaluate its capability, cost-performance and easiness of maintenance.	6-1 A test system for the removal of deep lake water in Lake Monoun	
7-1 Geological and petrochemical survey of rocks from Oku volcanic zone.	7-1 A petro-chemical data base for rocks of the Oku Volcanic Group	
7-2 Eruptive history of Nyos volcano are understood	7-2 Column diagram of the stratigraphic cross section around Nyos volcano	
7-3 Eruptive mechanism and hazard implications of Lake Barombi Mbo are understood	7-3 A volcanological data base for rocks at Lake Barombi Mbo	
8-1 The CO <sub>2</sub> flux around the lakes other than Nyos and Monoun along the CVL.	8-1 CO <sub>2</sub> flux maps at lakes other than Lakes Nyos and Monoun	
8-2 Basic survey are carried out at other lakes along the CVL.	8-2 A geochemical data base on the lakes other than Nyos and Monoun along the CVL	
8-3 The geochemical & climate database for the lakes along the CVL is established	8-3 Organized water samples taken at the lakes along CVL.	

9-1 The results of scientific monitoring are sent to DPC  9-2 Recommendations for disaster management are proposed based on scientific findings.	9-1 Annual report including data and interpretation. 9-2 Final project report	
--	--	--

# 別添3.調査日程

## SATREPS NyMo Terminal Evaluation Schedule

Date	Day	Time		
10/15	THU	19:40	Ms.Ishitobi arrive at Yaoundé (AF900)	
10/16	FRI	09:00-12:00	Interview with Aya FUJITA, Project coordinator	
		13:00-15:00	Interview with Dr.Tanyileke, Project coordinator	
		15:00-16:00	Interview with Dr.Fouepe,IRGM resercher	
		16:30-17:30	Interview with Dr.Edwige, ex PhD student at Toyama Univ	
10/17	SAT		Report writing	
10/18	SUN		Report writing	
10/19	MON	09:30-10:00	Coutesy call to JICA	
		11:00-12:00	Kickoff mtg with Cameroonian evaluation members & IRGM members to explain the evaluation process	
		12:30-14:30	Interview with Dr.Aka, IRGM resercher	
10/20	TUE	09:00-11:00	Interview with Dr.Romarc,IRGM resercher	
		12:00-14:00	Interview with Dr.Djoumo,IRGM assistant resercher	
		14:00-16:00	Interview with Dr.Brice Tchakam, IRGM resercher (ex PhD student in Japan)	
		16:30-17:30	Interview with Dr.Nana, Director of DPC/MINATD	
10/21	WED	10:00-11:00	Interview with MINRESI,	
		12:00-13:00	Secretary General/Project supervisor	
		13:00-15:00	Interview with Mr.Simo,IRGM project account	
		15:00-16:00	Interview with Mme.Massusi,Labo manager	
		16:00-18:00	Site visit at the Nkolbisson laboratory	
10/22	THU	09:00-10:0	Interview with Prof.GABSA Wilfred, MINESUP	
		11:00-13:00	Interview with Dr. Tanyileke, Project coordinator	
		14:00-16:00	Interview with Dr.Issa,IRGM resercher	
		20:00-21:00	Interview (skype) with Dr.Boris Chako, PhD in Universidad Nacional Autónoma de México (ex PhD student in Japan)	
10/23	FRI	11:00-12:30	Interview with Dr.Ntonga,IRGM resercher, Director of CRH	
		13:00-15:00	Intevuew with Dr.Hell, Director of IRGM	
		16:00-18:00	Interview with MINEPAT, Mr.Takouo	
10/24	SAT	08:00-09:00	Interview (skype) with Dr. Wilson	
			Report writing	
10/25	SUN		Report writing	Mr.Yonebayashi,Ms.Doi,Ms.Himeno:Leave Tokyo (AF293)
10/26	MON		Report writing	Mr.Yonebayashi,Ms.Doi,Ms.Himeno:Arrive at Yaoundé 20:25 (AF900)
				Prof.Kusakabe:Arrive at Yaoundé 24:05(TK669)
10/27	TUE	09:00-10:30	Meeting JICA (JICA members only)	
		10:30-12:00	Meeting JICA, JST, Prof.Kusakabe, Ms.Ishitobi, Fujita	
		14:00-15:00	Courtesy call to Dr.Hell	
		15:30-17:30	Internal discussion on a draft report (J-side members only)	Prof.Ohba:Arrive at Yaoundé 26:05 (TK667)
10/28	WED	11:00-12:00	Courtesy call to J-Embassy	
		14:30-16:00	Discussion on the report with Cameroonian evaluation members	
		17:00-18:00	Courtesy call to the MINRESI	
10/29	THU	9:30-16:00	Discussion on the report with IRGM members	
10/30	FRI	AM	Report and MM preparation	
		15:00	Discussion on the MM with IRGM members	
10/31	SAT		Report and MM preparation	
11/1	SUN		Report and MM preparation	
11/2	MON	09:30-14:00	JCC and sign MM	
			Lunch at MINRESI	
		16:00-17:00	Report to JICA Office	
		17:30-18:30	Report at The Embassy of Japan	
11/3	TUE	11:00-12:00	Meeting at IRGM	
		16:30-18:00	Meeting DPC/IRGM/JICA for WS	
11/4	WED	12:00	Move to Duara	
		23:55	Mr.Yonebayashi,Ms.Doi,Ms.Himeno,Ms.Ishitobi:Leave Tokyo (AF953)	
11/6	FRI		Arrive at Tokyo	Ms.Doi,Ms.Himeno,Ms.Ishitobi (AF274)
			Mr.Yonebayashi(AF276)	

## 別添4. 投入実績

4(1) 参加研究者・技術者リスト

Affiliation	Name	Monitoring of Lakes Nyos and Monoun*	Interaction between rock and CO2-rich fluid	Mechanism of limnic eruption	Hydrological regime around Lakes Nyos and Monoun	CO2 recharge system beneath Lakes Nyos and Monoun	Eruptive history around Lakes Nyos, Monoun and other volcanoes along CVL (Cameroon Volcanic Line)
Tokai Univ	Takeshi Ohba	○				○	
IRGM	Hell Joseph Victor	○					
IRGM	Tanyileke Gregory	○	○				
IRGM	Issa	○			○	○	
IRGM	Ako Andrew	○	○				
IRGM	Dionou Serges	○				○	
IRGM	Massusi Henriette	○					
IRGM	Tawedi Robert	○					
IRGM	Nlozoa Justin	○					
IRGM	Libongo Mbilongo Jean	○					
IRGM	Ayissi Mevengue	○					
IRGM	Abega Raphael	○					
Tokai Univ	Muga Yaguchi	○					
Tokai Univ	Seigo Ooki	○					
Tokai Univ	Takashi Oosumi	○					
Yoshida Office	Yutaka Yoshida	○					
Tokyo Ins Tech	Akihiko Terada	○					
Aso Vol Muse	Miyuki Yoshikawa	○					
USGA	Evans William C	○		○			
Univ Michigan	Kling George W	○		○			
IRGM	Simo Motsebo	○					
Univ of Toyama	Akira UEDA		○				
Univ of Toyama	Minoru KUSAKABE		○				
Univ of Toyama	Shougo NAKAMURA		○				
Univ of Toyama	Daisuke TANAKA		○				
IRGM	Fantong Wilson		○		○		
IRGM	Brice Tchakam		○				
Tokai Univ	Mengjio Jude WIRMVEM		○				
IRGM	Edwidge Rosine Tiodjio		○				
Tohoku Univ	Tomofumi KOZONO			○			
Univ of Tokyo	Mie ICHIHARA			○			
Univ of Tokyo	Yusuke SUZUKI			○			
IRGM	Ntchantcho Romaric			○			
Univ of Tokyo	Katsuro ANAZAWA				○		
Univ of Tokyo	Toshihiko SUGAI				○		
Univ of Tokyo	Ryoichi IMASU				○		

Affiliation	Name	Monitoring of Lakes Nyos and Monoun*	Interaction between rock and CO2-rich fluid	Mechanism of limnic eruption	Hydrological regime around Lakes Nyos and Monoun	CO2 recharge system beneath Lakes Nyos and Monoun	Eruptive history around Lakes Nyos, Monoun and other volcanoes along CVL (Cameroon Volcanic Line)
IRGM	Ntonga Jean Claude				○		
IRGM	Fouepe Alain				○	○	
IRGM	Bassogog Zachee				○		
Osaka Univ	Kazuto SAIKI					○	
Kyoto Univ	Katsuya KANEKO					○	
Tokai Univ	Yu Oginuma					○	
Kumamoto Univ	Yasuo MIYABUCHI						○
Kagoshima Univ	Tetuo KOBAYASHI						○
Tokyo Ins Tech	Tetsuya YOKOYAMA						○
Ibaraki Univ	Takashi Hasegawa						○
IRGM	Aka Festus Tongwa						○
IRGM	Boniface Kankeu						○
IRGM	Eyong John						○
IRGM	Nche Linus						○
IRGM	Yannah Mero						○
IRGM	Mimba Ernestine						○
IRGM	Nguemhe Fils						○
UNAM	Boris Chako Tchambe						○
MIMTD	Asaah Asobo						○



## 4 (2) 供与機材リスト

No.	Item	Price (Japan Yen)	Price* (XFA)	Location of installation	Delivered year
1	IC analyzer	5,550,000	26,521,785	Nkolbisson Lab	2011
2	Working raft	8,400,000	40,141,080	1 at Lake Nyos & 1 at Lake Monoun	2011
3	MK sampler-1	578,000	2,762,089	Nkolbisson Lab	2011
4	MK sampler-2	630,000	3,010,581	Lake Nyos	2012
5	Digital camera-1	84,400	403,322	Nkolbisson Lab	Jul-2014
6	Digital camera-2	37,425	178,843	Nkolbisson Lab	Jul-2014
7	Digital camera-3	58,000	277,165	Nkolbisson Lab	Jul-2014
8	CTD logger	3,400,000	16,247,580	Nkolbisson Lab	2011
9	Soil CO <sub>2</sub> flux meter	4,989,600	23,843,802	1 at Lake Nyos & 1 at Lake Monoun	2011
10	Rubber boat	1,005,900	4,806,894	1 at Nkolbisson & 1 at Lake Monoun	2011
11	FRP boat	1,071,000	5,117,988	2 at Lake Nyos	2011
12	Outboard engine	1,085,280	5,186,228	1 at Nkolbisson & 2 at Lake Monoun & 2 at Lake Nyos	2011
13	H2O isotope analyzser (Picarro)	11,410,000	54,524,967	Nkolbisson Lab	2011
14	Desk top pH meter	425,000	2,030,948	Nkolbisson Lab	2011
15	Pure water maker	1,930,000	9,222,891	Nkolbisson Lab	2011
16	Water sampling supporting device	34,500	164,865	Lake Nyos	2011
17	Hose for YY method	77,200	368,916	Lake Nyos	2011
18	Multibeam sonar system	42,000,000	200,705,400	Nkolbisson Lab	Sep-2014
19	Meteological station	2,277,486	10,883,422	1 at Lake Nyos & 1 at Lake Monoun	2011
20	Metalic Reel	14,900	71,203	Lake Nyos	2011
21	USB-RS232C converter cable for CTD	3,740	17,872	Nkolbisson Lab	Jul-2014
22	External HD for Note PC	14,800	70,725	Nkolbisson Lab	Jul-2014
23	Electric Pump for experiment at Lake Monoun	5,106	24,400	Lake Monoun	2011
24	Electric terminal for experiment at Lake Monoun	986	4,712	Lake Monoun	2011
25	Alkalinity titration kit	51,900	248,015	Nkolbisson Lab	2011
26	Messenger weight	18,900	90,317	Lake Monoun	2011
27	Niskin water sampler	94,500	451,587	Nkolbisson Lab	2011
28	Handheld GPS	84,700	404,756	Nkolbisson Lab	Jul-2014
29	CO <sub>2</sub> flux meter	789,000	3,770,394	Nkolbisson Lab	2011
30	Air pump for the CO <sub>2</sub> flux meter	14,200	67,858	Nkolbisson Lab	2011
31	Cable for Pb battery	1,168	5,582	Lake Nyos	2011
32	Transceiver x3	114,000	544,772	Nkolbisson Lab	Jul-2014
33	Handheld thermal printer	62,400	298,191	Nkolbisson Lab	2011
34	Thermometer	280,000	1,338,036	Lake Nyos	2011
35	DC/AC converter (step down)	22,300	106,565	Nkolbisson Lab	2011
36	Floor mat for Lab	8,379	40,041	Nkolbisson Lab	2012
37	Humidity/temperature meter	7,624	36,433	Nkolbisson Lab	Jul-2014
38	Computer software, Microsoft Office installed to Toughbook-PC	31,900	152,441	Nkolbisson Lab	2012
39	Computer software, VirusZERO installed to Toughbook-PC	1,870	8,936	Nkolbisson Lab	2012
40	Computer software, Windows Ultimate installed to Toughbook-PC	25,700	122,813	Nkolbisson Lab	2012
41	External DVD drive unit for Toughbook-PC	10,800	51,610	Nkolbisson Lab	2012
42	Stirrer for Mortar	93,500	446,808	Nkolbisson Lab	Jul-2014
43	Alumina magnetic Mortar	156,000	745,477	Nkolbisson Lab	2012
44	Glass bottles for chemical analysis et al.	259,466	1,239,910	Nkolbisson Lab	2012
45	Glass bottles for chemical analysis et al.	101,346	484,302	Nkolbisson Lab	Jul-2014
46	External HDD for Note PC	9,820	46,927	Nkolbisson Lab	Jul-2014
47	Note PC	104,790	500,760	Nkolbisson Lab	Jul-2014

48	DIMO level writer	49,600	237,024	Nkolbisson Lab	2012
49	Note PC	70,849	338,566	Nkolbisson Lab	Jul-2014
50	Note PC	98,380	470,129	Nkolbisson Lab	Jul-2014
51	Computer software, Surfe 10	99,750	476,675	Nkolbisson Lab	Jul-2014
52	Air Cleaner for Laboratory	19,620	93,758	Nkolbisson Lab	2012
53	Computer software, AaQA, installed to the PC (12SHA05335)	19,100	91,273	Nkolbisson Lab	Jul-2014
54	Micro syringe for Picarro	19,100	91,273	Nkolbisson Lab	2012
55	Shorting pluge for data logger of Multibeam	33,495	160,063	Nkolbisson Lab	2012
56	Cooler box	7,169	34,259	Lake Nyos	2012
57	Memory cards for meteological stations	58,114	277,709	1 at Lake Nyos & 1 at Lake Monoun	2012
58	Digital dissolved O <sub>2</sub> meter	25,250	120,662	Nkolbisson Lab	2012
59	Handy pH meter	34,209	163,475	Nkolbisson Lab	2012
60	Working raft for Lake Monoun (for pumping system)	7,798,100	37,264,780	Lake Monoun	2012
61	Topographic map of north west of Cameroon	6,086	29,083	Nkolbisson Lab	Jul-2014
62	Handy GPS (Garmin Map62)	40,700	194,493	Nkolbisson Lab	Jul-2014
63	Handy GPS (Garmin Map62)	35,800	171,077	Nkolbisson Lab	Jul-2014
64	Digital tester	4,635	22,149	Nkolbisson Lab	Jul-2014
65	Fish finder, Humminbird 858c	98,953	472,867	Nkolbisson Lab	Jul-2014
66	Memory for PC of multi beam sonar (2GB)	11,960	57,153	Nkolbisson Lab	Sep-2014
67	Loupe	1,460	6,977	Nkolbisson Lab	Jul-2014
68	Knife	4,480	21,409	Nkolbisson Lab	Jul-2014
69	Field work vest, chisel	4,221	20,171	Nkolbisson Lab	Jul-2014
70	Sieve for soil, compas, soil color chart	34,179	163,331	Nkolbisson Lab	Jul-2014
71	Magnetic stirrer	28,753	137,402	Nkolbisson Lab	Jul-2014
72	32GB SD memory card for Hummingbird	8,064	38,535	Nkolbisson Lab	Jul-2014
73	32GB SD memory card for digital camera	4,480	21,409	Nkolbisson Lab	Jul-2014
74	Automatic observation buoy at Lake Nyos	21,900,000	104,653,530	Lake Nyos	2013
75	Rock Hammer	16,800	80,282	Nkolbisson Lab	Jul-2014
76	PC software, Microsoft Office (installed on 12SHA05335)	23,480	112,204	Nkolbisson Lab	Jul-2014
77	Magnet bar for stirrer	11,562	55,251	Nkolbisson Lab	Jul-2014
78	32GB SD memory card for digital camera	8,980	42,913	Nkolbisson Lab	Jul-2014
79	32GB SD memory card for digital camera	5,470	26,139	Nkolbisson Lab	Jul-2014
80	Electric conductivity meter	189,000	903,174	Nkolbisson Lab	2012
81	PDA with GPS (Trimble JUNO SB)	94,300	450,631	Nkolbisson Lab	2012
82	Additional parts for Automatic observation	11,500,000	54,955,050	Lake Nyos	2012
83	Mosquit net	2,680	12,807	Nkolbisson Lab	2012
84	Binocular	21,780	104,080	Nkolbisson Lab	Jul-2014
85	Pre-paid cell phone	8,500	40,619	Nkolbisson Lab	Jul-2014
86	<sup>13</sup> C analyzer	6,200,000	29,627,940	Nkolbisson Lab	Dec-2014
87	Polarization microscope	483,000	2,308,112	Nkolbisson Lab	2013
88	Ring for Automatic observation buoy	110,000	525,657	Lake Nyos	2013
89	Pully for water sampling	33,600	160,564	Lake Nyos	2013
90	Deep water pumping system	7,900,000	37,751,730	Lake Monoun	2013
91	Atomic absorption spectrometer	9,492,000	45,359,420	Nkolbisson Lab	2013
92	Note PC for microsope digital camera	87,780	419,474	Nkolbisson Lab	Jul-2014
93	Graphite nebulizer for Atomic absorption spectrometer	489,300	2,338,218	Nkolbisson Lab	Jul-2014
94	Standard water for isotope analysis	425,000	2,030,948	Nkolbisson Lab	Jul-2014
95	Water sampling disk filter	175,000	836,273	Nkolbisson Lab	Jul-2014
96	Digital camera for microscope	312,000	1,490,954	Nkolbisson Lab	Jul-2014
97	Glass bottles for rare gas analysis (5)	205,800	983,456	Nkolbisson Lab	Jul-2014
98	Volumetric titrator	288,900	1,380,566	Nkolbisson Lab	Jul-2014
99	Plastic syringe for MK sampling et al.	22,900	109,432	Nkolbisson Lab	Jul-2014
100	Three way stopcock	5,670	27,095	Nkolbisson Lab	Jul-2014
101	Variable Voltage transformer	93,600	447,286	Nkolbisson Lab	Jul-2014
102	Voltage transformer (220V-100V)	24,960	119,276	Nkolbisson Lab	2013
103	Ultrasonic cleaner-1	72,200	345,022	Nkolbisson Lab	2013

104	Ultrasonic cleaner-2	6,510	31,109	Nkolbisson Lab	2013
105	Magnetic stirrer (3)	89,100	425,782	Nkolbisson Lab	2013
106	Parts for pure water maker	87,000	415,747	Nkolbisson Lab	2013
107	Anions standard solution for IC analyzer	45,279	216,375	Nkolbisson Lab	2013
108	Plastic measuring flask et al.	197,773	945,098	Nkolbisson Lab	Jul-2014
109	Micro pipet et al.	120,239	574,586	Nkolbisson Lab	2013
110	Plastic washing bottle et al.	35,505	169,668	Nkolbisson Lab	2013
111	Clamp et al.	43,055	205,747	Nkolbisson Lab	2013
112	Glass tube cutter	44,764	213,914	Nkolbisson Lab	2013
113	Agate mortar (1)	48,093	229,822	Nkolbisson Lab	2013
114	Measuring syringe et al.	49,845	238,194	Nkolbisson Lab	2013
115	Measuring pipet et al.	31,264	149,401	Nkolbisson Lab	2013
116	Test tube stand et al.	96,394	460,638	Nkolbisson Lab	Jul-2014
117	Conical flask et al.	35,878	171,450	Nkolbisson Lab	2013
118	Plastic bottles for water sample et al.	6,600	31,539	Nkolbisson Lab	Jul-2014
119	Micro diffusion cell	348,600	1,665,855	Nkolbisson Lab	Jul-2014

TOTAL    **157,534,254**    **752,808,940**

**1 JPY = 4.7787 XFA**

#### 4(3) 十分に活用されていない機材リスト

機材名	円	フラン	活用されていない理由
観測機材			
CTD	3,400,000	16,504,854	湖に落下。終了時評価時点で2.5年間(*)使用不可。
気象観測ステーション	2,277,486	11,055,757	付近住民によりケーブルを切断される。終了時評価時点で17か月使用不可。
マヌン湖用ボートとエンジン	752,556	3,653,184	湖の状態により緊急に使用する必要性がない為、未使用。
分析機材			
原子吸光分析器(AAS)	9,492,000	46,077,670	供与の遅れ(2013年)に加え、落雷により電圧が変動し故障した。6か月間使用不可。
CO <sub>2</sub> ガス同位体比形(13C analyser)	6,200,000	30,097,087	供与の遅れ(2014年12月)に加え、ガス試料がない為、(訓練時を除き)未使用。
CRD水同位体計(Picarro)	11,410,000	54,524,967	電気系統・維持管理の問題により少なくとも2年間使用不可。
純粋製造装置(MilliQ)	1,930,000	9,368,932	水道水をろ過する装置がなかったため、少なくとも1年間は使用不可。

\*紛失後は東海大学のCTDを使用しているため、本プロジェクト実施への影響はない。  
CTDと気象観測ステーションはカウンターパート資金の残余金で購入予定。

4(4) 本邦研修

招へい外国人研究員氏名	性別	所属先	役職	主な研修先	研修分野	研修開始日(出発日)	研修終了日(帰国日)	年度内受入れ日数	研修概要
Issa	男性	東海大学	博士課程大学院生	東海大学、総合理工学研究科	地球化学	2011/10/1	2012/3/31	183	東海大学総合理工学研究科に入 学。カメルーン火山列地帯に分布 する火口湖の研究に従事し、博士 (理学)号を取得。
						2012/4/1	2013/3/31	365	
						2013/4/1	2014/3/31	365	
						2014/4/1	2014/9/30	183	
Asobo Nkengmatia Elvis Asaah	男性	東京工業大学	博士課程大学院生	東京工業大学理 工学研究科	地球化学	2012/4/1	2013/3/31	365	東京工業大学理工学研究科に入 学。カメルーン北西部オク火山群 に産する火山岩の地球化学研究に 従事し、博士(理学)号を取得。
						2013/4/1	2014/3/31	365	
						2014/4/1	2015/3/31	365	
						2015/4/1	2016/3/31	365	
Chako Tchamabe Boris	男性	東海大学	博士課程大学院生	東海大学、総合理工学研究科	火山学	2012/4/1	2013/3/31	365	東海大学総合理工学研究科に入 学。カメルーン北西部パロニン ボ火山の噴火史研究に従事し、博 士(理学)号を取得。
						2013/4/1	2014/3/31	365	
						2014/4/1	2015/3/31	365	
						2015/4/1	2016/3/31	365	
Brice Tchakam Kamtchueng	男性	富山大学	博士課程大学院生	富山大学理工学 教育部	水文学	2012/4/1	2013/3/31	365	富山大学理工学教育部に入 学。カメルーン北西部パロニン ボ火山の噴火史研究に従事し、博 士(理学)号を取得。
						2013/4/1	2014/3/31	365	
						2014/4/1	2015/3/31	365	
						2015/4/1	2016/3/31	365	
Tiodio Edwige Rosine	女性	富山大学	博士課程大学院生	富山大学理工学 教育部	微生物学	2012/10/1	2013/3/31	182	富山大学理工学教育部に入 学。カメルーン北西部パロニン ボ火山の噴火史研究に従事し、博 士(理学)号を取得。
						2013/4/1	2014/3/31	365	
						2014/4/1	2015/3/31	365	
						2015/4/1	2016/3/31	365	
F.T.Alain	男性	IRGM	主任研究員	東海大学	マルチ ビームソ ナーの使 用訓練	2011/9/12	2011/9/17	6	鹿児島県池田湖でマルチビームソ ナー操作に関する実地訓練に参加 した
Mr. Djomou Bopda Serges Laurent	男性	IRGM	技術者	地球環境学研究 所, アジア大気 汚染研究セン ター, 富山大 学, 東海大学	機器分析 化学	2013/4/6	2013/4/28	23	機器分析化学に関する知識の習得 と, 実験室管理について学ぶ
Mr. Nlozoa Justin	男性	IRGM	技術者	同上	機器分析 化学	2013/4/6	2013/4/28	23	同上
Mr. Tawadi Robert Elvis	男性	IRGM	技術者	同上	機器分析 化学	2013/4/6	2013/4/28	23	同上
Mr. Libongo Mbilongo Jean Christel	男性	IRGM	技術者	同上	機器分析 化学	2013/4/6	2013/4/28	23	同上
Dr. Fantong Wilson Yetoh	男性	IRGM	研究者	同上	機器分析 化学	2013/4/6	2013/4/28	23	同上

Dr. G. Tanyileke	男性	IRGM	研究者	鹿児島市，熊本市，北海道登別温泉	火口湖に関する研究発表	2013/7/16	2013/8/10	26	IAVCEI会議および国際火口湖ワークショップに参加し研究発表を行った。
Dr. L S Nkamdjou	男性	同上	同上	同上	同上	2013/7/16	2013/8/10	26	同上
Dr. F Aka	男性	同上	同上	同上	同上	2013/7/16	2013/8/10	26	同上
Dr. A L Fouepe	男性	IRGM	研究者	東海大学	マルチビームソナー	2013/9/4	2013/9/23	20	本栖湖でマルチビームソナーの使用訓練に参加し，データ処理について学ぶ
Dr. Fantong Wilson Yetoh	男性	IRGM	研究者	富山大学	地球化学	2013/11/21 2014/4/1	2014/3/31 2014/5/31	131 61	地下水試料の分析・解析
Romarc Ntchantcho	男性	IRGM	研究員	東北大学，小園誠史研究室	湖水爆発のコンピュタシミュレーション	2014/11/25	2014/12/16	22	湖水爆発を再現するための流体力学に関するコンピュタシミュレーションコードの開発
Aka Festus Tongwa	男性	IRGM	研究員	東海大学，理学部化学科，大場研究室	分析化学	2014/7/25	2014/8/11	18	AOGSで研究を発表する．湖水の分析に必要な技術を習得する
Djomou Bopda Serge L	男性	IRGM	研究員	東海大学，理学部化学科，大場研究室	分析化学	2014/7/25	2014/8/11	18	AOGSで研究を発表する．湖水の分析に必要な技術を習得する
Aka Festus Tongwa	男性	IRGM	研究員	東海大学，理学部化学科，大場研究室	分析化学	2014/12/20	2014/12/26	7	火山岩の化学分析に必要な技術を習得する
Aka Festus Tongwa	男性	IRGM	研究員	神戸市	防災	2015/6/22	2015/8/1	41	コミュニティ・ベース災害リスク管理の研修
Celestin Kengne	男性	DPC	行政官	神戸市	防災	2015/6/22	2015/8/1	41	コミュニティ・ベース災害リスク管理の研修

## 別添 5. 論文リスト

1. Issa, Ohba, T., Chako Tchamabé, B., Padrón, E., Hernández, P., Eneke Takem, E.G., Barrancos, J., Sighomnoun, D., Ooki, S., Sigha Nkamdjou., Kusakabe, M., 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. 2014, 82-93.
2. Issa, Fantong W. Y., Aka, F. T., Ohba, T., Chako Tchamabé, B., Rouwet, D., Yoshida, Y., Gbetnkou Mouliom A., Sighomnoun D., Sigha Nkamdjou, Kusakabe, M., Tanyileke G., Hell J.V. " **$\delta$  18O and  $\delta$ D variation in some volcanic lakes along the Cameroon Volcanic Line (West-Africa): Generating an isotopic baseline data for volcanoes monitoring/surveillance in Cameroon**". 2014. J. Limnol.
3. 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. "**Assessment of shallow groundwater in Lake Nyos catchment (Cameroon, Central-Africa): implications for hydrogeochemical controls and uses**". Environmental Earth Science, 2014, 72 (9): 3663-3678
4. 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. "**A multitracer approach for assessing the origin, apparent age and recharge mechanism of shallow groundwater in the Lake Nyos catchment, Northwest, Cameroon**". Journal of Hydrology, 2015, pp. 790-803.
5. Kamtchueng, B.T., Onana, V.L., Fantong, W.Y., Ueda, A., Ntuala, R.F.D., Wongolo, M.H.D., Ndongo, G.B., Ngo'o Ze, A., Kamgang, V.K.B., & Ondoa, J.M. "**Geotechnical, chemical and mineralogical evaluation of lateritic soils in humid tropical area (Mfou, Central-Cameroon): Implications for road construction**". International Journal of Geo-Engineering, 2015, Vol. 6:1
6. 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, "**Characteristics of Chemical weathering and water-rock interaction in Lake Nyos dam (Cameroon): Implications for vulnerability to failure and re-enforcement**". Journal of African Earth Sciences, 2015, 101:42-55
7. Chako Tchamabé B., Ohba T., Issa, Ooki S., Youmen D., Owona S., Tanyileke G., Hell J.V. "**Temporal evolution of the Barombi Mbo Maar, a polygenetic maar-diatreme volcano of the Cameroon Volcanic Line**". International Journal of Geosciences, 2014, Vol. 5 (11) 1315-1323
8. 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, 2014, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gsf.2014.04.012>
9. Kamtchueng, B.T., Laurent V. Onana, Wilson Y. Fantong, Akira Ueda, Roger F.D. Ntuala, Michel H.D. Wongolo, Verde G. Bekon, Arnaud E. Ngo'o Ze, Veronique K. B. Kabeyene, Joseph O. Mvondo "**Geotechnical, chemical and mineralogical evaluation of lateritic soils in humid tropical area (Mfou, Central-Cameroon): Implications for road construction**". Journal of Geo-Engineering, 2015 (in press)
10. 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. "**Bacterial and archaeal communities in Lake Nyos (Cameroon, Central Africa)**". Scientific Reports,

11. Wirmvem, M.J., Ohba, T., Fantong, W.Y., Ayonghe, S.N., Hogarth J.N., Suila, J.Y., Asaah, A.N.E., Tanyileke, G., Hell, J.V. **Origin of major ions in monthly rainfall events at the Bamenda Highlands, North West Cameroon.** Journal of Environmental Sciences, 2014, 26, 801-809
12. 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, 2014
13. 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 Sci. 2015
14. Minoru Kusakabe. **Evolution of CO2 Content in Lakes Nyos and Monoun, and Sub-lacustrine CO2-Recharge System at Lake Nyos as Envisaged from CO2/3He Ratios and Noble Gas Signatures.** Volcanic Lakes (Advances in Volcanology, edited by D. Rouwet, B. Christenson, F. Tassi, J. Vandemeulebrouck). P. 427-450. Springer (2015). DOI 10.1007/978-3-642-36833-2\_19
15. Tomofumi Kozono, Minoru Kusakabe, Yutaka Yoshida, Romaric Ntchantcho, Takeshi Ohba, Greg Tanyileke, Joseph V. Hell. **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. In press (2015)
16. M. Sanemasa, K. Saiki, K. Kaneko, T. Ohba, M. Kusakabe, R. Ntchantcho, A. Fouepe, G. Tanyileke, J.V. Hell. **A new method to determine dissolved CO<sub>2</sub> concentration of Lakes Nyos and Monoun using the sound speed and electric conductivity of lake water.** Geological Society of London Special Issue. In press (2015)
17. Minoru Kusakabe. **Lakes Nyos and Monoun gas disasters (Cameroon)– Limnic eruption caused by excessive accumulation of magmatic CO<sub>2</sub> in crater lakes –.** (Submitted to GEMS, Terra Pub, 2015, under review)
18. Ohba, T., Ooki, S., Oginuma, Y., Kusakabe, M., Yoshida, Y., Ueda, A., Anazawa, K., Saiki, K., Kaneko, K., Miyabuchi, Y., Issa, Aka F., Fantong, W., Ako, A., Tanyileke, G., and Hell, J. V. **Amount of the dissolved CO<sub>2</sub> gas at Lake Nyos, Cameroon in 2011 to 2014.** (2015, accepted for publication in Geological Society of London Special Issue on Volcanic Lakes).
19. YUTAKA YOSHIDA, ISSA, MINORU KUSAKABE, HIROSHI SATAKE and TAKESHI OHBA. **An efficient method for measuring CO2 concentration in gassy lakes: Application to Lakes Nyos and Monoun, Cameroon.** Geochemical Journal, Vol. 44, pp. 441 to 448, 2010.
20. 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.** (2015, accepted for publication in Geological Society of London Special Issue on Volcanic Lakes).
21. 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 CO2 eruption, Chemical/Geology, 2015**
22. Chako Tchamabé B., Dieudonné Youmen, Sébastien Owona, Moussa Nsangou Ngapna, Issa, Asobo N. E. Asaah, Takeshi Ohba, Károly Németh, 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/s13533-012-0147-2.
23. Chako Tchamabé B., Ohba T., Kereszturi G., Németh K., Aka F.T., Youmen D., Issa, Miyabuchi Y., Ooki S., Tanyileke G., Hell J.V., **Towards the reconstruction of the shallow plumbing system of the Barombi Mbo Maar (Cameroon) – Implications for diatreme growth processes of a polygenetic maar volcano.** Journal of Volcanology and Geothermal Research (2015),



24. Tiodjio RE, Sakatoku A, Issa, Fantong WY, Komatsu DD, Tsunogai U, Tchakam KB, Tanyileke G, Ohba T, Hell VJ, Ohba T, Hell VJ, Ohba T, Kusakabe M, Nakamura S, and Ueda A. 2015. **Prokaryotic diversity in a CO<sub>2</sub>-rich lake: a case study with focus on the methane pathways at Lake Monoun, Cameroon, using the PCR-DGGE technique and carbon and hydrogen isotopic variations.** *Applied and Environmental Microbiology*. (under review)
25. 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*. (2015, accepted)
26. Kamtchueng, B.T., Fantong, W.Y., Takounjou, A.F., Tiodjio E.R., Kusakabe M., Mvondo, J.O., Zhang, J., Ohba, T., Tanyileke, G., Hell, J.V., & Ueda, A. **Hydrogeochemistry of surface- and groundwater in the vicinity of Lake Monoun, West Cameroon: Approach from multivariate statistical analysis and stable isotopic characterization.** *Journal of Africa Earth Science* (under review), submitted date: 06 October 2014.
27. Kazuto Saiki, Katsuya Kaneko, Takeshi Ohba, Mitsuhiisa Sanemasa, Minoru, Kusakabe, Romaric Ntchantcho, Alain Fouepe, Gregory Tanyileke, Joseph.V. Hell, **Vertical distribution of dissolved CO<sub>2</sub> from lakes Nyos and Monoun (Cameroon) as estimated by sound speed in water, Geochemistry and Geophysics of Active Volcanic Lakes** (in revision).
28. Ozawa, A., Ueda, A., Fantong, W., Anazawa, K., Yoshida, Y., Kusakabe, M., Ohba, T., Tanyileke, G., HELL, J. V., **Precipitation rate of siderite in Lake Nyos water, Cameroon.** *GSL-special-issue* (submitted)
29. T. Hasegawa, Y. Miyabuchi, T. Kobayashi, Aka, F.T., Boniface, T. Ohba, M. Kusakabe, Tanyileke, G., Hell, J.V. **Petrology, geochemistry, and K-Ar ages of basaltic dykes from the Lake Nyos, Cameroon Volcanic Line, Central Africa,** *Journal of African Earth Sciences* (in preparation)
30. T. Hasegawa, Y. Miyabuchi, T. Kobayashi, Aka, F.T., Boniface, K., Issa, Nche, L.A., Nguemhe, C.S.F., K. Kaneko, T. Ohba , M. Kusakabe, Tanyileke, G., Hell, J.V. **Eruption history and magma systems of Nyos volcano, northwestern, Cameroon, Central Africa,** *Journal of Volcanology and Geothermal Research* (in preparation)
31. 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. **Disappearing CO<sub>2</sub> dissolved in Lake Nyos, Cameroon after the installation of additional 3 degassing pipes.** *Geological Society of London* (in press)

別添6. コルビソン・ラボラトリー活動報告書

REPUBLIQUE DU CAMEROUN  
PAIX - TRAVAIL - PATRIE  
MINISTERE DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE ET DE L'INNOVATION  
INSTITUT DE RECHERCHES  
GEOLOGIQUES ET MINIERES

CENTRE DE RECHERCHES  
HYDROLOGIQUES

LABORATOIRE D'ANALYSE  
GEOCHIMIQUE DES EAUX

B.P. 4110 Nlongkak Yaoundé  
Tél. : (237) 222237297 /222222430  
Fax : (237) 222222431  
Email. : irgm@irgm-cameroon.org



REPUBLIC OF CAMEROON  
PEACE - WORK - FATHERLAND  
MINISTRY OF SCIENTIFIC  
RESEARCH AND INNOVATION  
INSTITUTE OF GEOLOGICAL  
AND MINING RESEARCH

HYDROLOGICAL RESEARCH  
CENTRE

LABORATORY OF GEOCHEMICAL  
ANALYSIS OF WATER

P.O.Box 4110 Nlongkak Yaoundé  
Tel. : (237) 222237297 /222222430  
Fax : (237) 222222431  
Email. : irgm@irgm-cameroon.org

## LABORATORY OF GEOCHEMICAL ANALYSIS OF WATER REPORT

H. MASSUSSI

## SUMMARY

1. PRESENTATION .....	3
1.1. Infrastructure and Resources .....	3
1.2. Quality .....	3
2. DIFFERENT TYPES OF ANALYSIS .....	4
2.1. Analyses by the probes equipment .....	4
2.2. The determination of particulates matter .....	4
2.3. The analyzes made by titration .....	4
2.4. The analyzes by ion chromatography .....	4
2.5. The absorption atomic spectrometry .....	4
2.6. Isotopic analyzes .....	5
3. ACTIVITIES OF THE LABORATORY .....	5
3.1. Research programs .....	5
3.1.1. SO-BVET Project .....	5
3.1.2. SATREPS NYMO Project .....	5
3.1.3. Cameroon Water Resources Assessment .....	5
3.2. Sample Analysis .....	6
4. CAPACITY BUILDING - WELLCOME TRAINEES .....	7
4.1. Staff training - capacity building .....	7
4.2. Welcome Trainees .....	8
5. BUDGET .....	8
6. CONSUMMABLES ORDERING .....	9
7. PROBLEMS ENCOUNTERED THAT COULD PREVENT THE USE OF EQUIPMENT .....	9
8. NOTES .....	10
8.1. LAGE equipment .....	10
8.2. Quality control results .....	13

## **1. PRESENTATION**

The Laboratory for Geochemical Analysis of water (LAGE in French acronym) is a mutation of the Division of physico-chemical analyzes and geochemical studies of waters of the Hydrological Research Center (HRC). This mutation was favored with the historic partnership between the French Research Institute for Development (IRD) and the Institute of Geological and Mining Research (IRGM). The LAGE has been strengthened through the Japanese Cooperation thanks to the SATREPS NYMO project that will equip the laboratory of measuring equipment which enabling it to increase its analytical capacity.

The LAGE is a laboratory mainly focuses on the analysis of water from different origins. Its aims to provide support to:

- Basic research projects and research for development
- The training and mentoring of students and technical staff
- Entrepreneurs, experts or consultants in various fields requiring data on water chemistry (environment, quality of drinking waters, agricultural, industrial or urban pollution...).

Scientific and technical management LAGE is provided by Head of laboratory while the administrative and financial management is entrusted to the Head of Administration and Finance of the HRC. Given to that LAGE is a unit of HRC, these managers are under the responsibility of the Head of HRC.

### **1.1. Infrastructure and Resources**

The LAGE is located in the IRGM new complex at Nkolbisson. The staff is composed by a researcher (Head of the laboratory, Mrs. Massussi), two senior research technicians (Libongo M. Jean-Christel and Tawedi Robert), one laboratory technician (Nlozoa Justin) and one technical assistant (Mrs. Agathe N. Nkodo). Other investigators appointed by the Director of IRGM were empowered on equipment of the laboratory. They are Dr. Festus Aka, Dr. Wilson Fantong and Dr Issa.

The preventive and corrective maintenance operations are performed by technicians under the supervision of the Head of Laboratory. The cleaning of glassware is provided by all staff.

### **1.2. Quality**

The LAGE benefits from the technical support of Geosciences Environment Toulouse Laboratory (GET) in France as well as that of Japanese researchers involved in the project SATREPS-NYMO at the University of Tokai.

The LAGE was invited to participate in labs evaluation performances launched by the Global Environment Monitoring System (GEMS / Water). The results were communicated have shown analyzes were good. A certificate of participation was awarded to the laboratory.

A quality approach was implemented in the laboratory. It is to develop simplified protocols for measuring equipment, ensuring the traceability of the analytical process, specific identification of chemicals, reagents, solutions, etc ... as well as calculation and archiving of results. The metrological monitoring of the weighing equipment and physicochemical was also set up. Regarding dissolved

major elements, each sequence of analysis is enabled with a Certified Reference Material (SUPER-05).

## **2. DIFFERENT TYPES OF ANALYSIS**

### **2.1. Analyses by the probes equipment**

It is primarily physicochemical analysis. This category concerns pH, electric conductivity, total dissolved solids, salinity, dissolved oxygen, which are determined by measurements provided probes devices.

The pH meter is used to measure the pH.

The multiparameters conductivity meter determines the electric conductivity, the total dissolved solids and salinity.

The oximeter is used to measure dissolved oxygen.

### **2.2. The determination of particulates matter**

These are turbidity and suspended solids. Turbidity is measured using a turbidimeter Orbeco Hellige brand, model 966. Suspended solids are determined by filtration through a membrane of porosity 0,45µm ester of cellulose.

### **2.3. The analyzes made by titration**

Titration allows us to determine the alkalinity of the water samples by titration with hydrochloric acid. The alkalinity value obtained after analysis of the results in mEq / l subsequently allows us to calculate the bicarbonate concentration in mg / l.

Once done manually, this parameter is measured automatically since 14 October 2015 using an automatic titrator offered by IRD.

### **2.4. The analyzes by ion chromatography**

This concerns major cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) and major anions ( $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ). The devices used are ionic chromatograph Dionex ICS-90 and ICS-1100 models. Series of cations and anions are dosed separately. For each series, using a specific eluent (liquid passing through the device's circuit), column and suppressor.

### **2.5. The absorption atomic spectrometry**

The atomic absorption spectrometry allows us to determine trace metals contained in water samples. The determined values are of the order of tracks (ug/l). For this, we have a multi elementary atomic absorption spectrometer AnalytikJena, ContrAA300 model. The responsible persons in charge of this equipment are formed on the implementation of different methods of measurements of trace metals.

## **2.6. Isotopic analyzes**

A laser spectrometer Picarro brand, model L-2120-i allows us to determine the stable water isotopes that are oxygen 18 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) and deuterium ( $\delta\text{D}$ ).

A Los Gatos Research  $\text{CO}_2$  isotopes analyzer brand, ICC-EP-36 model measures the carbon 13 ( $\delta^{13}\text{C}$ ) in carbon dioxide.

## **3. ACTIVITIES OF THE LABORATORY**

### **3.1. Research Programs**

Three research programs are currently running with the participation of the lab.

#### **3.1.1. SO-BVET Project**

The LAGE actively involved in monitoring the SO-BVET project (Service d'Observation-Bassins Versants Expérimentaux Tropicaux). The SO-BVET project is funded by the IRD and takes place in the Nyong basin (18500 km<sup>2</sup>) and in an experimental sub-basin at Nsimi (60 ha). It aims to acquire a long time climatic, hydrological and biogeochemical data in several tropical continental ecosystems in order to study:

- i) - the influence of atmospheric, tectonic and anthropogenic factors on major hydro-geochemical cycles,
- ii) - the process of chemical weathering, erosion of granitic gneiss bases.

#### **3.1.2. SATREPS NYMO Project**

The SATREPS NYMO project "fluid magma supply in lakes Nyos and Monoun and mitigation of natural disasters through capacity building in Cameroon" is a project jointly funded by the Japanese Cooperation (JICA) and the Agency for Science and Technology of Japan (JST). This project covers a period of five years during which it comes to monitoring the functioning of these two crater lakes in order to find clues that will explain the horrific events that took place there in 1980 years. This project should enable Cameroonian scientifics to conduct activities related to the monitoring of lakes at risk.

The involvement of the LAGE in the SATREPS NYMO project is located firstly in the acquisition of material received for the strengthening of its capabilities, and also in the analysis of samples from the study sites. For this purpose, since the project began, there have been a series of thirty samples tested in 2014. On 2015, 26 samples have been recorded and analyses are ongoing.

#### **3.1.3. "Cameroon Water Resources Assessment" Program**

The "Cameroon Water Resources Assessment" (CWRA) is a sovereign mission of the Hydrological Research Center (HRC). This is a sustainable program for the enrichment of quantitative and qualitative database of water resources in the country. The LAGE precisely participates in this program by analyzing the water samples collected as part of missions relating to the program.

### 3.2. Sample Analysis

LAGE analyzes water samples from different origins. Concerning the quantity of analysis, we have evaluated our optimal capability for analysis in ion chromatography to 1000 samples for one year. Today, with two ion chromatography with autosampler, this capability increase at least to 2000 samples for one year. But, we are still far to this number of samples. The table below summarizes the various categories of analysis requests from 2010 to September 2015.

Year	SO-BVET	Universities	Expertise	SATREPS	EREC	Other	Total
2010	114	51	17				182
2011	144	21	3				168
2012	96	7	35				138
2013	134	37	15				186
2014	132	128	148	30			438
2015	107	281	2	72	25	57	544

Universities: samples analyzed in the context of Masters and PhD  
Other: samples from one-time projects.

The figure below highlights in terms of 2015, the proportions of these different categories of analysis request.

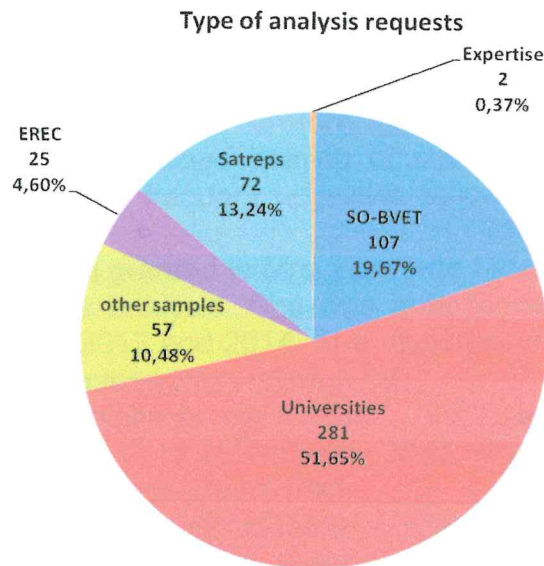


Figure 1: Type of analysis requests

Water samples recorded in the laboratory are analyzed for various parameters depending of analysis available in the laboratory. These are: physico-chemistry, particulate matter, major ions, stable isotopes of water. The figure below shows for the current year, the parameters analyzed in the laboratory from January to September.



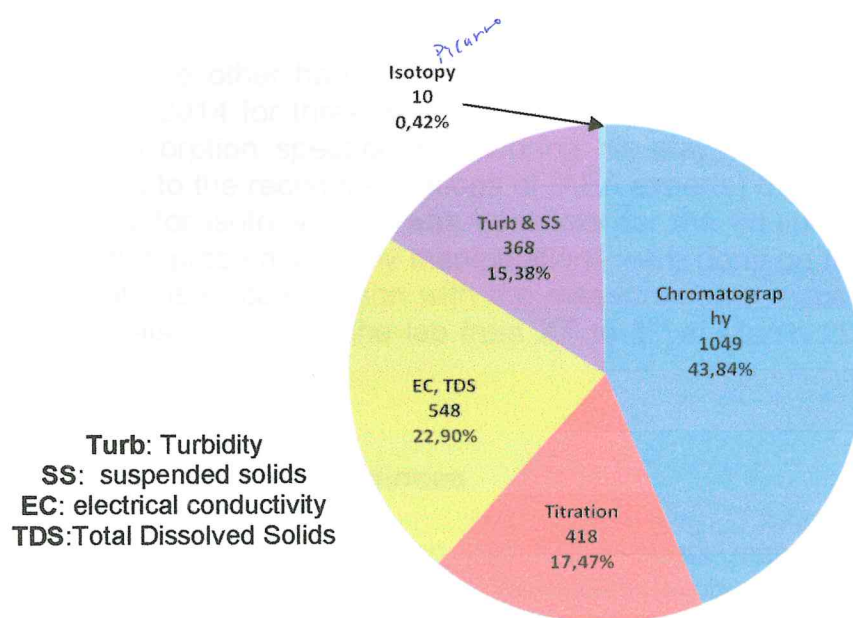


Figure 2: parameters analyzed from January to September 2015

#### 4. CAPACITY BUILDING– WELLCOME TRAINEES

##### 4.1. Staff training - capacity building

The equipment that we own require that staff should be trained both to give quality and reliable results analysis and also to face with dysfunctions of the devices as after-sales services are not there. Therefore the acquisition of each new device must be accompanied by a sustained training of staff at the time of installation. Furthermore, it is essential that frequent upgrades follow this training to ensure a good grip of equipment.

An IRD scholarship was granted to Mrs. Henriette Massussi in order to train on equipment of chemical water analysis. She was able to make two stays of three months or GET in France in 2013 and 2014. The objective of this grant was to allow her to acquire enough skills to then train colleagues.

With the support of Japanese cooperation, LAGE technicians conducted a three week stay in Japan from 4<sup>th</sup> to 25<sup>th</sup> of April, 2013 where they were able to see the operation of various laboratories they visited.

A Japanese engineer has stayed at the laboratory in December 2014 for three weeks for an upgrading of technicians isotope analyzer and atomic absorption spectrometer. During his stay, some internal rearrangement for the appropriate place of certain was made in order to optimize space in the laboratory.

GET technicians and engineers missions were made to train the LAGE staff on ion chromatography. Mention may be made for the stay of Ms Maite Carayon in January 2008. Subsequently, she conducted a monitoring mission in December of the same year. Two other missions in May 2010 and February 2012 were intended respectively by Mrs Christelle Lagane and Stephanie Mounic to upgrade the LAGE staff. One last mission was conducted from Sept. 12<sup>th</sup> to 15<sup>th</sup>, 2015 by Ms Christelle Lagane for the installation of the alkalinity automatic titrator and staff training.



On the other hand, a Japanese engineer, Dr. Ooki, visited the laboratory in December 2014 for three weeks for upgrading technicians on isotope analyzer and atomic absorption spectrometer. During his stay, we moved the isotope analyzer (according to the recommendations of IAEA experts) to install it in another creating a room only for isotopy. This was beneficial for the equipment that suffered of some malfunction problems. Many manipulations were done on the AAS for the analysis of some cations in comparison with the measurements made by ion chromatography. Dr. Ooki also stayed in the lab from 2<sup>nd</sup> to 3<sup>rd</sup> of March 2015 for staff refresher on Picarro.

#### **4.2. Welcome Trainees**

In line with its vocation, the LAGE hosts master students seeking for an internship. So, since 2013, we had 7 trainees distributed as follows:

Year	Number of trainees
2013	1
2014	3
2015	3

Three students soliciting our lab for conditioning their samples as part of the Regional Multidisciplinary Program (RPP) were also welcomed this year. Two of them come from Cameroonian universities (Douala and Ngaoundere) and a trainee comes from the University of Montpellier in France.

#### **5. BUDGET**

The LAGE is a unit of HRC. Its budget is then included in that of HRC. Under the collaboration agreement between the IRD and the IRGM, the LAGE should receive an annual grant from the IRGM. This grant added to laboratory constitute the financial resources of the laboratory. But to date, the laboratory should rely on its own revenues to develop its budget. Revenue from analyzes are as follows:

- 60% of revenues are reallocated to the operation of LAGE,
- 20% of proceeds are donated at the end of each calendar year by the accounting department to supply IRGM,
- 20% of revenues are redistributed at the end of each trimester to the LAGE technical staff as bonuses.

In front of the small number of analyzes performed to date, we realize that by counting only on 60% of revenues, the lab's budget is insufficient to allow proper operation of the laboratory. It is essential that part of the laboratory's revenues cover the costs of investment and operation of the equipment forward to ensure its own survival. However, at this stage of its development, it is reasonable that the LAGE can benefit in practice from the grant provided by the IRGM.

## **6. CONSUMMABLES ORDERING**

Certain consumables are not readily available in Cameroon and administrative delays can pose enormous delays in acquiring supplies ordered from abroad. This led us to draft a codicil to the recent collaboration agreement research between IRD IRGM. This document specifies the conditions for pricing and settlement for SO-BVET analyzes and the amount of the annual allowance that this research program provides to LAGE in order to facilitate the acquiring of some supplies not available in Cameroon via IRD. This amendment came into effect since the month of September 2015.

## **7. PROBLEMS ENCOUNTERED THAT COULD PREVENT THE USE OF EQUIPMENT**

Frequent problems related to electric power have seriously impacted the operation of the laboratory. The quality of the electrical circuit was defective and at many times, the laboratory had several work stoppages. To palliate the failure in the electrical circuit that supplies the laboratory, JICA provided us a voltage regulator and an inverter for each equipment. By now, works are made to improve the electrical system so as to protect the laboratory equipment.

The LAGE aspires to become a center of excellence in the field of water analysis in Africa. The medium-term objective is to obtain a water quality certification label that would give the LAGE a reference laboratory status.

## 8. NOTES

### 8.1. LAGE Equipment

From 2008 to date, the number of devices purchased by the IRGM or given by either the IRD or by JICA LAGE has increased significantly. The table below allows us to detail these contributions over the years.

Year	Name	Quantité	Provider
2008	Millipore water purifier Direct Q3	1	IRD
	Dionex Ion Chromatography ICS90	1	
	Mettler precision balance (1/10000)	1	
	WTW pH-meter 315i	1	
	WTW multiparametric conductimeter 330i	1	
	Drying ovens	2	
	Filtration units	3	
2009	Refrigerators	3	IRGM
2010	Orbeco Hellige Turbidimeter 966	1	
	Hanna instruments Oximeter	1	JICA
2012	Millipore water purifier Direct 8	1	
	Dionex autosampler coupled to ICS90	1	
	Dionex ion chromatography ICS1100 with autosampler	1	
	Picarro water isotopes analyzer L2120-i	1	
2013	Thermo Scientific multiparametric pH-meter	1	
2014	Analytik Jena atomis absorption spectrometer ContraAA 300	1	
	Ultrasonic bath	1	
2015	Los Gatos Research carbone isotopes analyzer CCIA-36-EP	1	
	WTW Oxymeter 3210	1	LAGE
	Metrom compact titrator	1	IRD

Some heavy analysis equipments donated to LAGE within the framework of SATREPS NYMO project.



Dionex Ion Chromatography  
ICS1100 with auto sampler



Dionex autosampler adapted on  
the ion chromatography ICS90



Analytik Jena Atomic absorption spectrometer ContrAA 300



Picarro Water isotope analyzer L2120-i



Los Gatos research CO<sub>2</sub> isotope analyzer



Millipore Water purifier Direct 8



## 8.2. Quality control results

We use certified reference material SUPER-05 to control our analyzes

ION-915 SUPER-05	
Element	Certified values (mg/l)
Calcium	13.6 ± 1.2
Magnesium	2.85 ± 0.26
Sodium	1.45 ± 0.17
Potassium	0.509 ± 0.063
Chloride	1.41 ± 0.15
Sulfate	3.48 ± 0.45
Nitrate+Nitrite (as N)	0.356 ± 0.034

別添 7. 活動計画（2014年以降）

Activities		responsible person	2014												2015												2016		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
	For General project purpose																												
A-1	Operational direction in IRGM for Lake Observation	Issa																											
A-2	Operational direction in IRGM for Water sampling	Issa																											
A-3	Operational direction in IRGM for Water analysis	Fantong																											
A-4	Operational direction in IRGM for CO2 Gas analysis	Issa																											
B	Preparation of Note book for the record of use on analytical instruments	Fantong																											
C	Systematic storage of and rock sample (Shelves in the building of Nkolbison)	Aka																											
D	Communication among the project team members	Ohba																											
E	Funds-raised for the maintenance of analytical equipments	Tanyileke																											
Output 1: The mechanism of limnic eruption is understood.																													
1-1	The conditions under which limnic eruption can occur are constrained through computer-simulation.	Kozono																											
1-2	Acoustic survey of the detailed topography of the bottom in Lakes Nyos and Monoun is made to locate the recharging point of CO2 enriched fluid.	Alain and others																											
1-3	The conditions under which limnic eruption can occur are estimated, and utilized to judge the safety of the lakes.	IRGM																											
Output 2: The CO2recharge system beneath Lakes Nyos and Monoun is understood.																													
2-1	3D distribution of CO2 in the lakes is investigated, which can be used to locate the recharging point of CO2 enriched fluids.	Saiki and others																											
2-2	The CO2 flux from soil and the CO2 concentration in surrounding atmosphere are measured at Lakes Nyos and Monoun.	Saiki and others																											
Output 3: The hydrological regime around Lakes Nyos and Monoun is understood.																													
3-1	The flow path of groundwater around Lakes Nyos and Monoun is estimated through remote sensing (satellite images) and hydro-geochemical approaches.	Fantong																											
3-2	The interaction between surface water and groundwater is understood.	Fantong																											
3-3	The water balance in Nyos basin is estimated	Fantong																											
Output 4: The interaction between rock and CO2-rich fluid is understood.																													
4-1	Laboratory experiments on the interaction between rock and CO2-rich fluid are carried out to understand geochemical and mineralogical processes in a sub-lacustrine CO2-supply system.	Ueda																											







