

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)
<p>1.1 プロジェクトの背景</p> <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、「CO₂」）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>	
<p>1.2 プロジェクトの概要</p> <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"> 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CO₂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. CO₂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CO₂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. 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。 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CO₂の分布に関する理解が深まる。 	

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。		
調査団構成	1. 米林 徳人 [団長] JICA 地球環境部防災第二チーム課長 2. 土井 ゆり子 [企画・協力] JICA 地球環境部防災第二チーム 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 4. 石飛 愛 [評価分析] 適材適所 LLC 5. Nnange Joseph [カメルーン側総括] 科学技術省副局長 6. Bate Moses [プロジェクト評価] 経済・計画・国土整備省調査官 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	
調査期間	2015年10月16日～11月2日	調査種類：終了時評価
2. プロジェクトの実績		
2.1. 投入		
(日本側)		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 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 ・ 本邦研修（長期：5人、短期：15人）の実施 ・ 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） ・ 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） 		
(カメルーン側)		
<ul style="list-style-type: none"> ・ カウンターパート機関研究者・技術者の配置：26名 ・ 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） ・ 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 		
2.2 実績の確認		
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〉		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 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CO₂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。 ・ 湖水爆発に伴う大気へのCO₂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。 ・ 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CO₂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。 ・ 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CO₂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れた。この発見により、CO₂濃度の適切な観測地点の特定だけでなく、効果的にCO₂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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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。CO₂ の 3D 分布に関するデータは、成果 1 の高 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 流量が測定され、湖からの CO₂ 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 CO₂ 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CO₂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: CO₂ 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 (CO₂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—CO₂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—CO₂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年間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CO₂を計測することが可能となった。
- ・ 両湖の残存CO₂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CO₂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CO₂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CO₂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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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。
- ・ CO₂ 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 CO₂ 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、CO₂ 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 に位置するバロンピ・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がある。したがって、このバロンピ・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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 日にカメルーン的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¹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²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

¹ 2016 年より正規ポストにて雇用予定。

² 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。

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現地研修を行った。
- ・ 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³ (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、¹³C 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。
- ・ 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」

³ “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。

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る。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、¹³C 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CO₂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⁴）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 「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。

(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。