



日本地球惑星科学連合ニュースレター Vol. 13  
August, 2017 No. 3

## TOPICS

- 2015年ランタン大なだれ 1  
福島原発炉内の反応と環境問題 3

## NEWS

- 日本地球惑星科学連合 2016年大会開催 6  
AGU ジャーナルで  
著者 ID「ORCID」をつかおう 7  
第2回地球惑星科学振興西田賞受賞者紹介 7  
2017年度 JpGU フェロー受賞者紹介 8

## SPECIAL

- フェロー授賞記念特集 9

## INFORMATION

16

# JGL

Japan Geoscience Letters

2017 No. 3

## TOPICS 雪氷学

## 2015年ランタン大なだれ — 冬季の大雪によって増幅された被害 —

名古屋大学 大学院環境学研究所 藤田 耕史

2015年4月にネパールで発生した「ゴルカ地震」は、ネパールとその周辺地域に深刻な被害をもたらした。なかでもランタン村の被害はすさまじく、地震によって引き起こされた大なだれによって、ほぼすべての建物が倒壊し、死者・行方不明者350名以上の壊滅的な災害となった。地震発生半年後に実施した現地調査と気象データの解析により、前年冬季に発生した100年から500年に一度の大雪がなだれの規模を増幅させたことが明らかになった。

災害調査にとって重要な契機となった。空き時間に立ち寄ったセッション「UAVが拓く新しい世界」は、ヒマラヤでのUAV（無人航空機）による氷河観測の実施を模索し、ランタン村の災害に対して何とかしたいと考えていた筆者にとって刺激的なものであった。セッションの終わり際に「ネパール大地震へUAVコミュニティとして貢献してはどうか?」といった趣旨の質問をしたところ、防災科学技術研究所の井上

### ゴルカ地震とランタン村の壊滅

2015年4月25日に発生した、ネパール中央部を震源とするマグニチュード8.7の大地震により、ネパールとその周辺国は死者・行方不明者9,000人を超える大きな被害を被った。地震発生から数日後、アリゾナ大のJ. Kargel氏より人工衛星データを利用する氷河研究コミュニティであるGLIMS (Global Land Ice Monitoring from Space) のメーリングリストを通じ、衛星画像解析のボランティア募集の呼びかけがあった。我々の研究グループは、長年ヒマラヤの氷河研究に携わってきたこと、当時所属していたネパール人の研究員と院生の希望により、この活動への参加を決めた。災害対応で無料閲覧が可能となったWorldViewの衛星画像を地震前後で比較し、ボランティア活動で判別された全地すべりの5分の1に相当する800余りの地すべりを判別した。地すべりの判別と並行し、コミュニティ内で懸念されていた氷河湖決壊洪水 (GLOF: glacial lake outburst flood) の発生の有無についての確認も進め、GLOFは発生していないことを確かめた (Kargel *et al.*, 2016)。

解析を始めてまもなく、日本の氷河研究コ

ミュニティが1980年代より観測を継続的に実施しており、筆者自身にも所縁の深い地であるランタン村が壊滅したらしいという衝撃的なニュースがもたらされた。地震当時、現地で登山活動を行っていた大阪府立大OBの登山隊が撮影した動画やボランティアメンバーの衛星データ解析により、探検家H.W. Tilmanが「世界一美しい谷」と讃えたランタンの村が、膨大な量の氷と岩のデブリに覆われてしまったことが明らかとなった (図1)。

### JpGUでの邂逅

未曾有の災害に対して直接的な支援ができないことへのもどかしさを抱えつつ参加した2015年5月のJpGU大会が今回の



図1 (a) 地震前(2012年)と(b)地震直後(2015年)のランタン村の様子。D.F. Breashears/GlacierWorks撮影。

公氏と首都大学東京の泉岳樹氏から反応があり、そこからランタンの調査計画が実現に向け、トントン拍子に進んで行ったのである。

## 現地調査への長い道のり

ランタンで UAV 観測を行うにあたっての最大の難関は、高標高地での UAV の飛行実績がほとんどないことであった。ドローンの代名詞とも言えるマルチコプターについては、「エベレストの 6000 m 付近で登山者を数分間撮影したらしい」という噂がある程度で、測量実績は皆無であった。固定翼型については、スイス製の UAV が同じランタン谷の氷河での測量に使用されていたものの、今回協力していただく井上氏の手作り固定翼については未知数であった。マルチコプターについては、泉氏が別件で共同研究を進めていた名古屋の PRODRONE 社が、徹底的な軽量化を施し、当時開発されたばかりの強力なモーターを搭載した特注品を複数台作成し、貸与していただけることとなった。マルチコプター、固定翼のいずれも、乗鞍でテスト飛行を行い、現地観測に備えた。

多くの調査プロジェクトが UAV の許可取得に苦しめられていた中、我々の現地調査に必要な許可申請は、カウンターパートで筆者の大学院時代の同期生でもあったカトマンズ大学の R.B. Kayastha 氏を通して進めることができた。我々の調査地が山間部であった上に、当時は全住民が村外へ避難していたため、思いのほか順調に許可を取得することができた。その一方で、ネパールの新憲法に端を発したインド・ネパール国境封鎖により、ありとあらゆるものの物価が高騰し、調査予算がひどく圧迫された。そんな中、入域規制が解除されて間もない 10 月下旬に現地調査を実施することができた。マルチコプター、固定翼それぞれ一機体ずつを失うトラブルはあったものの、村を覆うデブリの撮影、地上基準点 (GCP) の GPS 測量やデブリの内部構造の観察などを実施した。初挑戦の調査項目を多く抱え、かつ予算の制約により「次回」のないワンチャンスの観測であったが、当所の目標を大幅に上回るデータを取得することができた (図 2)。マルチコプターに関しては、その後、近傍の氷河で撮影フライトも実施し、標高 6000 m での安定飛行を実証することができた。

## デブリ量の見積り

村を覆うデブリの堆積量を見積もるために、まず UAV によって撮影した数千シーンの写真を SfM (Structure from Motion) 解析にかけ、3D イメージを作成した。次に、GPS 測量による位置情報を付加することで、オルソ画像 (空間のひずみを補正した航空写真) と数値標高モデル (DEM; digital elevation model)



図 2 (a) PRODRONE 社製マルチコプター (オペレータ泉、井上撮影) と (b) 固定翼 UAV (オペレータ井上、藤田撮影) のフライトの様子。

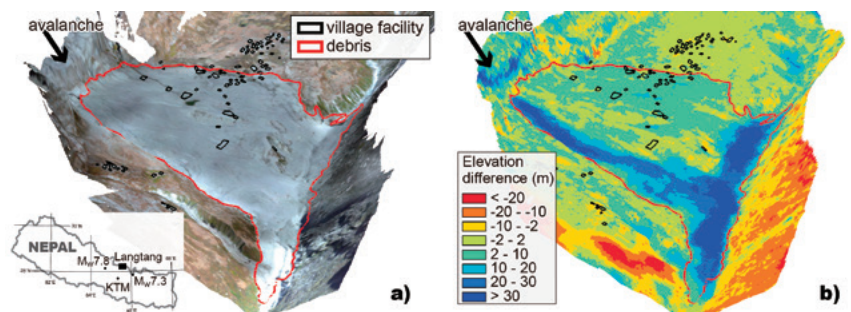


図 3 (a) ドローン測量による 2015 年 10 月のランタン村の 3D イメージ。 (b) 地震前と地震直後 (2015 年 5 月) のデジタル標高データから見積もられた堆積量分布。黒い四角は村の建物。赤い線はなだれの堆積範囲。

を作成した (図 3a)。現地観測は地震後半年経ってからの実施となり、堆積した氷の一部は融解消失していることが予想された。このため、地震直後にヘリコプターから撮影された写真を山岳写真家の D.F. Breashears 氏より譲り受け、SfM 解析をおこなった。ただし、この空撮

時には GPS 測量などはおこなわれていなかったため、10 月のオルソ画像と DEM からなだれの影響を受けていない区域で同定可能な岩を選び、位置情報を与えることにした。このようにして作成した DEM は GPS 測量データと比較することで精度検証を行い、高さ精度 0.26

～1.51 mを得た。地震前のDEMとしては衛星「だいち」(ALOS)から作成された全世界デジタル3D地図を利用し、各DEM間の差分からデブリの堆積量を見積もった(図3b)。現地調査では、ランタン村を長年支援してきたNGO「ランタンプラン」の貞兼綾子氏の協力を得て、20名の村人に地震発生時の様子についてのインタビューをおこなった。これらの情報を統合し、再構築した地震発生当時の状況は次のようなものである。

地震発生後数分で雪氷主体の「黒いなだれ」が村を襲った。堆積直後のデブリの表面はほぼ氷で、その体積は681万m<sup>3</sup>、平均厚さ11.3mであった。もともと村内の道標であった岩の移動距離から、射出速度は58～106m/sと見積もられた。この速度は、村の対岸を駆け上った泥状堆積物の到達高度から見積もられた63m/sと整合的であった。本震から約2週間後の5月7日から10日にかけて体積84万m<sup>3</sup>の岩なだれが発生し、氷堆積物の表面は平均1.5mの岩屑デブリで覆われた。村人の証言によれば、5月12日の最大余震時にも岩なだれが発生したが、この体積を見積もるためのデータは得られていない。以後、10月24日までに氷の融解により表面が平均5.0m低下し、最初のなだれの60%が残存していると見積もられた。

## 異常積雪

村を壊滅せしめたなだれは、当初、7000m峰であるランタンリルの氷河の崩壊によるものと考えられた。SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre) 衛星を利用した先行研究にて、地震前後のDEMの差分がこの時の氷河崩壊量として見積もられていたが(Lacroix, 2017)、地震前の衛星画像が1年前

のものであり、夏季の融解や降雪、流動による氷河表面の標高変化の影響が考慮されていないなどの問題があった。一方で、村人の証言によれば、地震発生前の冬季は普段よりも積雪が多く、多くの家畜が犠牲になっていたとのことであった。そこで、ランタン流域にて氷河気象観測をしていたオランダ・ユトレヒト大学のW.W. Immerzeel氏と国際山岳開発研究センターのJ.M. Shea氏から、氷河近傍の気象データの提供を受け解析したところ、地震直前には1.3～1.5mの積雪が氷河周辺にあったことが明らかとなった。ランタン村の上部流域の面積と積雪密度を考慮した結果、この冬季積雪は最初のなだれの77%に相当すると見積もられた。ネパールの冬季は乾季であり、これほどの冬季積雪は滅多にない。そこで、前年11月1日から地震当日までの積算降水量について確率密度関数を仮定し、再現期間を見積もったところ、当年は100年から500年に一度の多量積雪であったという、にわかには信じがたい結果が導かれた。これに前回の大地震の発生(1934年1月、マグニチュード8.0)が約80年前であることを考慮すると、今回の災害が如何に稀なものであったかがわかる。

## 復興に向けて

村人へのインタビューによれば、80年前の地震の際に現在よりも上流にあった

村がなだれに襲われた結果、今の地区に村の中心が移され、その後、昨今のトレッキングブームによって村の範囲が拡大したとのことである。氷河によって削られた谷は狭く、居住区の選択肢は少ないが、今回のような悲劇を繰り返さないためにも「どこがより安全か?」という情報を科学的根拠に基づいて提供することは我々の責務であると考え、数値計算によるハザードマップを作成し、村の復興委員会へ提供するべく準備を進めている。一方で、震災から二年を経て、村人の中で土地の所有権を巡る利害関係が顕在化するなど、必ずしも順調な復興とは言い難い状況もあるが、今後も息の長い支援を続けていきたいと考えている。

### —参考文献—

Kargel *et al.* (2016) *Science*, **351**, aac8353.

Lacroix (2016) *Earth Planets Space*, **68**, 46.

Fujita *et al.* (2017) *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, **17**, 749-764.

### ■一般向けの関連書籍

中尾正義 編 (2007) *ヒマラヤと地球温暖化*, 昭和堂.



### 著者紹介 藤田 耕史 Koji Fujita

名古屋大学 大学院環境学研究所 准教授

専門分野: 氷河学, 現地観測と数値実験によるアジアの氷河変動の把握と理解を目指している。

略歴: 京都大学理学部卒業。名古屋大学大学院理学研究科中退。博士(理学)。名古屋大学大気水圏研究所助手を経て、現職。

## TOPICS 環境化学

# 福島原発内の反応と環境問題 —最先端ナノ・ミクロスケール分析で挑む—

九州大学 大学院理学研究院 宇都宮 聡

2011年に福島第一原子力発電所から放出された放射性セシウム(Cs)の化学形態は水溶性と難溶性の二種類に分類される。難溶性のCsはCsを付着したFe-Zn酸化物のナノ粒子がSiO<sub>2</sub>のガラスに包有された直径1-2μmの微粒子として存在し、そのCs濃度は数十wt%にもなるために、放射能の密度は～10<sup>11</sup>Bq/gと極端に高い。福島県、東京都のどちらにおいてもこのような高濃度Cs含有微粒子が検出され、特に東京では3月15日に飛来した最大のCsブルームの中のおよそ9割が難溶性微粒子であった。高分解能透過型電子顕微鏡法を用いて、これらの粒子の内部組織を顕微解析することで、原発内部で起こった反応の一部を理解することができた。

## 原子力災害による環境汚染

2011年に福島第一原発から放出された～5.2×10<sup>17</sup>Bq(ベクレル=1秒間に放射壊変する原子核の個数)の放射性物質の中で、<sup>134</sup>Cs(半減期2.065年)と<sup>137</sup>Cs(半減期30.17年)は合計～10<sup>16</sup>Bq放出されたと推定されている。これらの放射性Csは比