

ネパール地震関連
国際緊急共同研究・調査支援プログラム (J-RAPID)
終了報告書 概要

1. 研究課題名：「ネパール，ドラカ郡における危険集落の住民一時避難サイトおよび集落移転候補地選定に関する研究：ハザードマップ作成を通じたアプローチ」
2. 研究期間：2015年8月～2016年6月
3. 主な参加研究者名：
 - 日本側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	渡辺悌二	教授	北海道大学地球環境科学研究院	総括
共同研究者	小林勇介	大学院生	北海道大学環境科学院	UAVを用いた写真撮影・解析
共同研究者	バーバナ・タパ	大学院生	北海道大学環境科学院	社会調査・HEC-RASモデル解析
研究期間中の全参加研究者数			3 名	

ネパール側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	Lalu Paudel	Professor	Tribhuvan University	Geology survey and geo-hazard mapping
共同研究者	Narendra Raj Khanal	Professor	Tribhuvan University	Collecting the existing information and statistical data
共同研究者	Motilal Ghimire	Associate Professor	Tribhuvan University	Mapping land-use and other base maps
共同研究者	Dhananjay Regmi	President	The Himalayan Research Expedition	Logistics, Geomorphological survey
研究期間中の全参加研究者数			4 名	

4. 研究調査の目的

本研究では、2015年の地震によって甚大な被害を受けたドラカ郡において、(1) 地震ハザード発生地点の特定とその地質・地形的特徴を明らかにすること、(2) 将来のハザードの危険が高い場所を特定すること、(3) 緊急時に一時避難できる場所を選定すること（世帯レベル）および(4) 危険地域から他場所への移転（集落レベル）の必要性の有無を調査することを目的として調査を行いました。具体的には、ドローン（UAV）を利用した写真開析（3次元写真解析）、リモートセンシング、および現地調査を行ったうえで、精度の良いハザードマップを作成し、安全サイトへの避難経路表示を行うと共に、避難が困難な集落については集落単位での移転を議論し、移転の必要があると判断された場合に行政機関に行う提言（次年度に実施）の準備を行うものです。

5. 研究調査の成果

5-1 研究調査の成果、被災地復興や今後の防災・減災への貢献

調査の結果、ランドスライドおよび氷河湖決壊洪水（GLOF）によって将来生じる得るハザードを示した図（ハザードマップ）を作成しました。この図を用いた解析にあたっては、後で述べるように、ドローンを使って撮影した写真が大きな威力を発揮しました。

住民に対して聞き取り調査を行ったところ、災害時に避難すべき安全なサイトを知らない人やハザードマップの存在を知らない人がひじょうに多いことがわかりました。幸にも調査地域の中では、一つの集落すべての移転が必要なケースは見つかりませんでした。

作成したランドスライド・ハザードマップ（図1）からは、調査地域の中では特に北部でランドスライドの発生が予測されました。これは、標高の高い北部に急傾斜地や崩れやすい地質が分布しているためであると考えられます。また、GLOFが発生した場合に浸水する範囲をヘク・ラスと呼ばれるモデル計算によって予測しました。図1のスケールではよく見えませんが、作成したハザードマップにはGLOF発生時に浸水する範囲が示されていて、タマコシ川沿いのゴンガール、ジャガット、シンガティを含む上流域の4集落の一部と、下流域にあるカティケと呼ばれる集落の全域がGLOF発生時に浸水すると予測されました。

また、ドローンで撮影した上空からの写真（シンガティ村の例では869枚の写真を使用）を解析ソフトでゆがみを除去した1枚の「写真」（オルソ画像）に変換しました（図2）。この「写真」には3次元情報が含まれていますので、地形解析が可能になります。そこで、この「写真」を使って、浸水予測範囲と地形との関係や、災害発生時の避難経路・避難場所の特定を行いました。

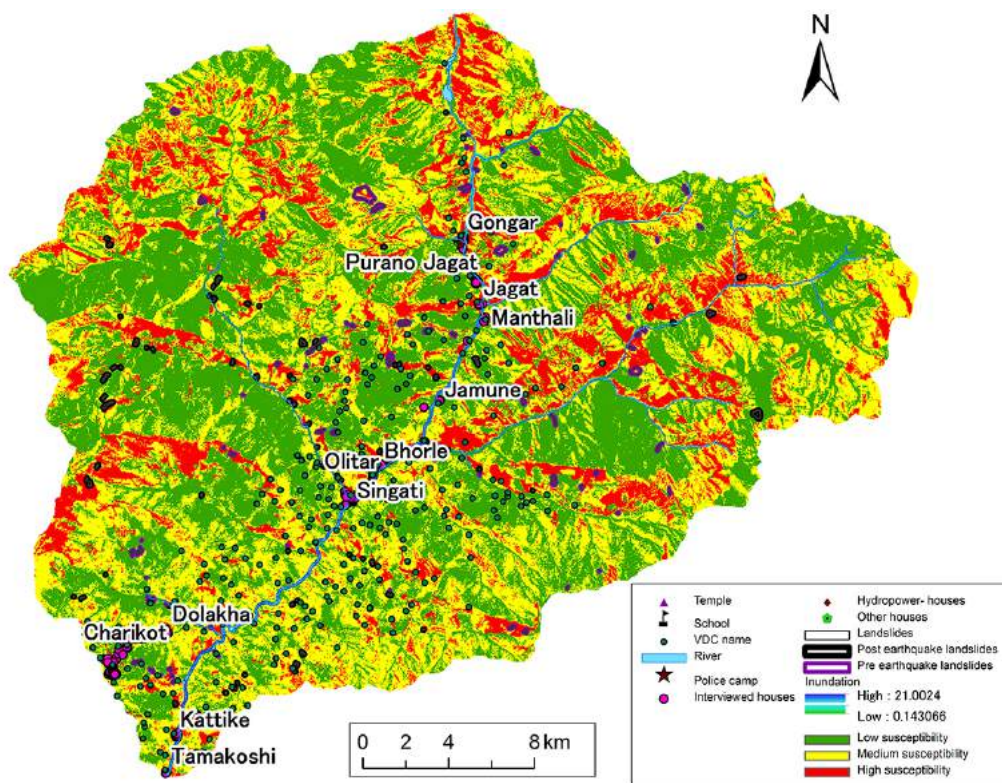


図1 タマコシ流域のハザードマップ



図2 2016年2月および6月にドローン（UAV）を用いて撮影した多数の写真から作成したオルソ・モザイク画像（シンガティ）。東から西に流れる川はタマコシ川で、画像左側には北から南に支流が流れて、タマコシ川と合流しています。

シンガティ集落はI面（高所）からIII面（低所）の3つの河岸段丘面の上に位置しています（図3）。最も低い（川に近い）III面に地震で破壊された家屋が集中している様子がわかります。また、家屋はII面に最も多いこともわかります。HEC-RASモデルによる計算の結果、GLOF発生時には、現在の川から20mほどの高さまで洪水が達することがわかりました。3次元地形解析の結果とGLOF発生時に予測される浸水域の分布図（図4）を比べると、III面全体とII面の一部が浸水することが予想され、そこには多くの家屋が建っていることもわかります。これらの家屋は、当然GLOF発生時には被害を被ります。しかし、ここで注意したいことは、これらの危険な地形面上で、倒壊した家屋の跡に新しい家が再建されていることです。2015年11月にはすでにいくつかの家屋の再建が進められていましたし、2016年6月には再建家屋数がさらに増えていました。

本来は、このような危険な場所で建築を行うべきではないのですが、災害に対する知識が欠如しているため（聞き取り調査による結果です）、こうした場所を選ぶことに抵抗がないのだと思います。また、こうした住民に対して他の安全な場所に転居するようにすすめたとしても、なかなかうまくいくものではありません。

このため、II面やIII面に住む人たちにとっては、GLOF発生時にいかにして高所（I面）に逃げることができるのかが生死を分けることになります。そこで、避難経路と避難場所の調査を行いました。ドローンによる多くの写真から作成した「オルソ写真」を使って避難経路を探し、それを現地で確認しました。図5に白色の矢印で示したのが現在住民によって使われている歩行用の「道」で、これらはいずれも避難経路として利用できる通路です。また、ドローンによって撮影した写真が持つ3次元情報から、GLOF発生時に浸水しない安全な避難場所を特定しました。シンガティ東部地区の例では、寺があるI面が避難場所として利用できます。図5の地区の中では、西側には複数の避難経路がありますが、東側には1本しか避難経路がありません。東側の住民たちのために東側に避難経路を増設する必要があると言えます。また、個々の避難経路は、幅50～90cmの石の階段でつくられていますが、この幅では大人一人が通行するのがやっとです。避難時には高齢者や小さな子どもに付き添う大人が必要になることも多く、大人2人が通ることのできる幅に拡張す

る必要もあるだろうと思います。

このように、ランドスライドおよび GLOF ハザードマップを作成し、そこにドローンによる 3 次元写真情報を加えることで、個々の家屋の浸水予測やそこに住む人たちの避難経路の特定を行うことができるようになりました。

ネパール政府からドローンの飛行許可を取得するのに予想以上の時間がかかったために、この研究ではドローンの飛行時間が大きく制限され、すべての集落について解析を行うことはできませんでしたが、ここで例示したシンガティのケースからわかるように、この手法の導入によって、将来の災害への対応が個々の家屋レベルで行えるようになったと考えられます。



図3 タマコシ川上流部、シンガティ東部地区の河岸段丘面区分と家屋の分布

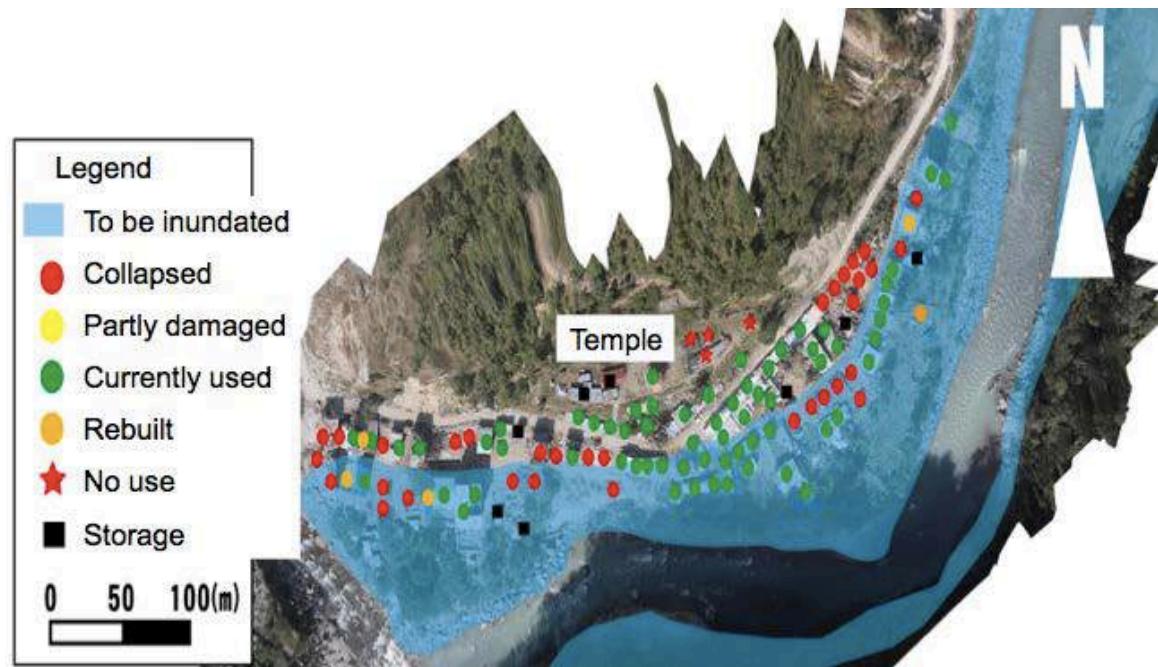


図4 タマコシ川上流部、シンガティ付近の GLOF 浸水範囲の予測

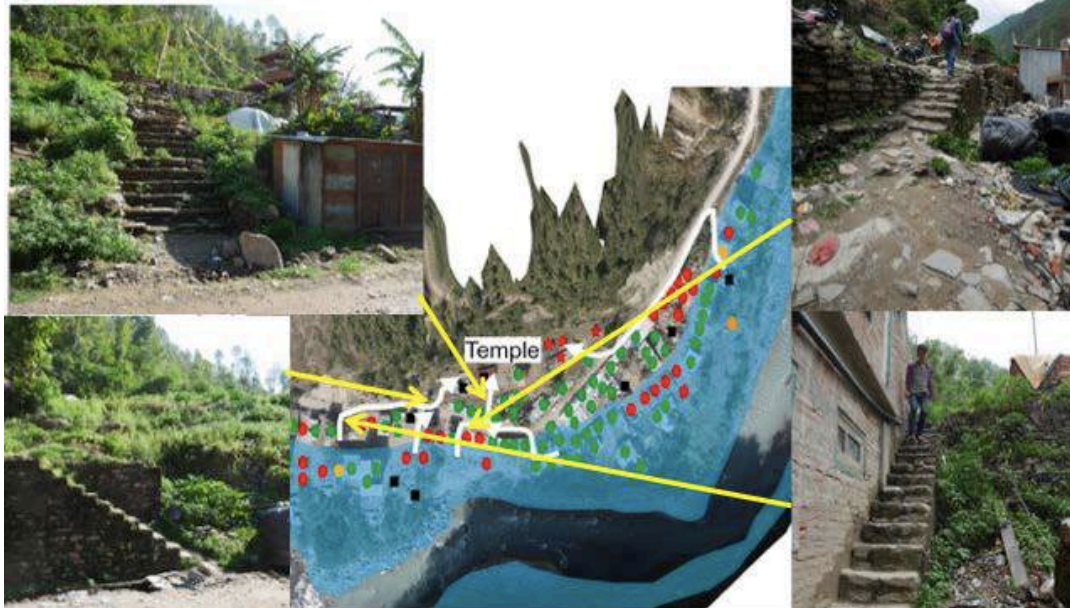


図5 タマコシ川上流部，シンガティ付近のGLOF浸水域の予測と避難経路（白矢印）。GLOF発生時に浸水すると予想される範囲（水色）には多くの建物があり，ここに住み人たちは，GLOF発生時に洪水が到達する前に高所に避難する必要があります。その際に使用する避難経路を白い矢印で示しましたが，その多くは幅が狭すぎることや，高齢者・子どもには階段の段差が大きすぎるなどの問題があり，改善が急務であると言えます。

5-2 国際連携の成果

この研究は，ネパールのトリブバン大学と北海道大学との共同研究です。両大学は学術交流協定を締結しており，従来からさまざまな分野で共同研究を行ってきました。これまでの長年の協力の実績があったため，ひじょうに短期間の研究ではありましたが，今回の共同研究をスムーズに進めることができました。

今回は，これまでの両大学の共同作業にはなかった特徴があります。それは，トリブバン大学の大学院生（約70名）に2日間のトレーニング・ワークショップを実施したことです（図6）。これまでに，両大学が共同で一般向けのパブリックフォーラムを開催したり，研究者対象の国際シンポジウムを開催したことはありましたが，大学院生を対象にしたトレーニング・ワークショップを企画したことはありませんでした。2日間のワークショップでは，災害に関する基礎的な講義から，ハザードマップ作成方法や社会調査法，写真解析法の解説，ドローンの操作演習などが行われました。こうした取り組みは，両大学の大学間交流協定の枠組みの中で，将来的にも継続して実施していくことが望まれ，その継続に向けて協議を行っています。



図6 2016年6月にネパールで実施したトリブバン大学大学院生へのトレーニング・ワークショップ

6. 本研究調査に関連したワークショップ等の開催、主な口頭発表・論文発表・その他成果物（例：提言書、マニュアル、プログラム、特許）、受賞等

発表/ 論文/ 成果 物等	<ul style="list-style-type: none"> ・主催したワークショップ、セミナーなど：名称、開催日 ・口頭発表：発表者名、タイトル、会議名 ・論文：著者名、タイトル、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年 ・その他成果物（例：提言書、マニュアル、プログラム、特許）、メディア
発表	Two-day training workshop on hazard mapping at Tribhuvan University, 23 rd and 24 th June 2016.
発表	小林勇介, バーバナ・タパ, 渡辺悌二, ラル・ポウデル, ナレンドラ・カナール, モチラル・ギミレ, ダナンジャイ・レグミ「ネパール・ドラカ郡タマコシ川に沿って分布する集落の被災調査」日本地理学会春季大会, 早稲田大学, 2016年3月21日.
発表	Watanabe T, Paudel L, Kobayashi Y, Thapa B, Khanal NR, Ghimire M, Regmi D: Floods occurred by a collapse of an earthquake-induced dam, Gongar, Dolakha, Nepal in April 2015. International Geographical Congress, Beijing, 21-25 August 2016.
発表	Kobayashi Y, Thapa B, Watanabe T, Paudel L, Khanal N, Ghimire M, Regmi D: Inhabitants' awareness of prevention and preparation towards hazards in the settlements along the Tamakoshi River, Dolakha, Nepal. International Geographical Congress, Beijing, 21-25 August 2016.
発表	Thapa B, Watanabe T, Kobayashi Y: Risk assessment of flood hazard in the Nepal Himalaya: Case studies of Seti River, Pokhara and Tamakoshi River, Dolakha. International Geographical Congress, Beijing, 21-25 August 2016.