

2009年のブータンの自然災害 —地象・水象・気候災害—

小森 次郎*・小池 徹**・檜垣 大助***・ツェリン プンツォ****

Natural Disaster in Bhutan in 2009 – Geo-hydrological and climatic hazards –

Jiro KOMORI*, Toru KOIKE**, Daisuke HIGAKI***
and Phuntsho TSHERING****

Abstract

Natural disasters intensively took place in Bhutan in 2009. For instance, unusual outflow from debris covered glacier, floods and natural damming of a river induced by a cyclone, watery mishap in the river recreation and earthquake struck the country as abrupt and unexpected events. Furthermore, slope failures interrupted the highway traffics, because of steep and geologically fragile slopes. These climatic and geo-hydrologic disasters revealed various risks and issues of the natural hazard in Bhutan. As for the issues, establishment of weather and seismographic observation network and its information spreading throughout the society are particularly required. Documentation and mapping of experienced various disasters in and around Bhutan are essential. It is also important to mention that technical development and awareness creation regarding hazard mitigation should be enhanced at the national and local governments and community levels.

キーワード：山地災害，氷河，サイクロン，地震，災害管理，ヒマラヤ

Key words：mountain hazard, glacier, cyclone, earthquake, disaster management, Himalaya

* 名古屋大学大学院環境学研究科 / ブータン国経済省地質
鉱山局 JICA 専門家

Graduate school of environmental studies, Nagoya University/
JICA expert in Department of Geology and Mines, MoEA,
Bhutan

** 株式会社地球システム科学
Earth System Science Co., LTD.

*** 弘前大学農学生命科学部

Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki
University

**** ブータン国経済省地質鉱山局

Department of Geology and Mines, MoEA, Bhutan

本速報に対する討論は平成23年2月末日まで受け付ける。

1. はじめに

ブータンには九州ほどの面積の国土に、山岳氷河・永久凍土といった雪氷圏から、野生の象が生息するジャングルまで、多様な環境と生態が存在する。そして、地形的にはヒマラヤ山脈とその南側の山地に位置することで、そのほとんどが急峻な地形となっている。一方、小氷期以降の温暖化によって山岳氷河は縮小し、一部では新たに出現した氷河湖の決壊による洪水 (glacial lake outburst flood, 以下「GLOF」とする) が危惧されている。そして温暖化の影響として象徴的なこの問題は、多くの方面から注目されている。しかし先に記したように、ブータンは多様な環境と山岳地形を有し、またプレート衝突帯での構造運動や南西モンスーンによる多雨の影響を受ける。したがって、GLOFという氷河災害以外にも、多様な自然災害の問題が存在するはずである。それでは実際にはどのような問題があるのだろうか。

内務文化省の災害管理局 (Department of Disaster Management, 以下「DDM」とする) の局長 Namgay Wangchuk 氏によれば、ブータンの主な災害は、地すべり (斜面崩壊)、GLOF、洪水、地震、山火事の5つであると言う。また同局の報告書 (DDM, 2006) では、この他に河道閉塞、風・雪・雹災害、旱魃を加えた8つの災害が強調されている。しかし、ブータンでの自然災害の現状把握と、国外も含めた情報発信はこれまでほとんど行われていない。本格的な近代化と海外への門戸開放の歴史が浅いのが原因の一つと考えられる。これらの問題のブータン独自による解決は、隣国インドの密接かつ強力な支援があるとしても決して容易ではない。諸外国との情報共有が必要である。したがってブータンでの災害という問題の中には、各種災害の現状把握と、国外も含めたその情報共有が含まれると考えられる。

2009年、ブータンでは自然災害が相次ぎ、DDMが強調したすべての災害が発生した (Fig. 1, Table 1)。旧暦2009年の大晦日のブータンの主要紙には次のような記事があった。“Female Ox year was one the hardest years in recent memory. What comes to mind are the disasters caused by

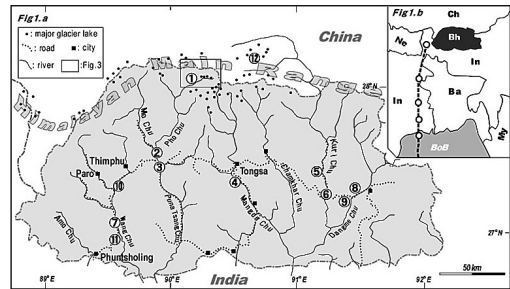


Fig. 1 Distribution of natural disasters in Bhutan in 2009.

①: Tshojo Glacier, ②: Punakha, ③: Wangdue Phodrang, ④: Channel blocked at middle Mangde Chu, ⑤: Landslide dam of Tsatichu., ⑥: Kuri Chu hydropower station, ⑦: Water mishap near Chukha hydropower station, ⑧, ⑨: Epicenter of 21st September and 29th October, ⑩: road shoulder collapse, ⑪: Ghedu town, ⑫: glacial lakes in the headwater of Kuri Chu, Bold dashed line in Fig. 1.b: Best track of cyclone Aila (India Meteorological Department, 2009).

the four elements of nature (Fire, Earth, Wind and Water) that hit the country since as early as April.” (Kuensel 紙, 2010年2月13日版)。筆者らは2000年から短期・長期にブータンを訪れているが、災害の面から見ると2009年は確かに特異な年であった。そして今、これらの厳しい経験によって、ブータンでは自然災害の現状と課題が浮き彫りになりつつある。ここでは、他のヒマラヤ諸国と同様、豪雨・温暖化、変動帯の地形・地質・地殻変動による災害に直面するブータンで、2009年に発生した主な自然災害の概要を報告する。

2. 地域概説

ブータンは面積約4万km² (九州の約0.9倍)、人口約70万人の、インドと中国の大国に挟まれた仏教を国教とする王国である (Fig. 1)。緯度は奄美大島の南端から沖縄本島の北部の間、経度はダッカ、ラサ、モンゴルの西端におおよそ相当すると捉えると位置を想像しやすい。北部は標高7千~4千mのヒマラヤ主稜 (High Himalaya)、中部から南部は3千~数百m程の山地 (Lesser Himalaya) となる。年間降水量は首都ティンブー

Table 1 Major Disaster in Bhutan in 2009

	現象	被害	被災地域	備考
4月12, 19日	強風	人的被害無し 建物に被害	ブータン東部	
4月29日	河川増水・濁水	住民避難のみ	ポ・チュ流域	チョゾ氷河からの融氷水の異常出水
5月19日	強風	人的被害無し 建物に被害	ブータン東部	
5月23日	洪水, 斜面崩壊, 河道閉塞	死者12名	ブータン全域 特に西部	サイクロン・アイラによる豪雨
6月27日	強風	人的被害無し 建物に被害	ブータン東部	
7月27日	遊泳中の男児の 流失事故	死者7名	ワン・チュ中流, チュカ発電所施設下流	豪雨ほか (原因未解明)
9月21日	地震	死者12名 被災家屋6241	ブータン東部	Mw6.1, 震源: 27.35N, 91.41 E, -14 km ID: us2009lvap
9月28日	強風	人的被害無し 建物に被害	ブータン東部	
10月8日	住宅火災	被災家屋12	タシガン県	
10月29日	地震	被災家屋 数百戸	ブータン南東部	Mb5.2, 震源: 27.29N, 91.36 E, -31 km ID: us2009nia9 9/21の地震の余震
12月31日	地震	被災家屋 数百戸	ブータン南東部	Mb5.5 震源: 27.29N, 91.41 E, -10 km, ID: us2009qwa3 9/21の地震の余震

震源情報は USGS (2009) から, その他の被害状況は Kuensel 紙からそれぞれ引用した



Fig. 2 Postal stamp in Bhutan. A dam site and high-voltage line of Chukha hydropower station are featured. 50 CH rates a half of one Bhutanese Ngultrum which is equivalent to an Indian Rupee.

で約1,500mmで,主にベンガル湾からの水蒸気をじかに受け止める南部はさらに雨が多く,地域

によっては4,000mmを超える。氷河は標高約4kmより高所に見られ,夏季の降雪によって涵養されている。国内の主要河川はすべてヒマラヤ主稜を源にしており,そこでの水力発電は国の電力需要の99%をまかない,さらにインドへの電力輸出は国家の外貨収入の40%を稼ぎ出している (Fig. 2, Photo 1)。

3. 2009年に発生した主な自然災害

3.1 氷河からの異常出水

2009年4月29日,ブータン国北部ルナナ・ゲョク (gewog, 日本の郡に近い自治体区分)にあるチョゾ (Tshojo) 氷河 (Fig. 1の①)から融氷水の異常な流出が起きた。流出の源となったチョゾ氷河はブータン最大の氷河で,長さ約15km,面積約20km²,下流部は大半を岩屑に覆われた典型

的な岩屑被服型氷河である。このイベントに関する詳しい調査報告はこれまでにないので、2009年4月30日付けの Kuensel 紙の情報をもとに、その現象と対応を時間を追って以下に整理する。

- ・29日午前3時半、ヘディ地区（チョゾ氷河の末端から下流約4 km）に住む簡易診療所のスタッフが川からの轟音に気づく
- ・チョゾ氷河から流れ出るゴテ・チュー（チュー：Chu. 川の意味）の流量が増加（記事では3倍とある）していることを知る
- ・唯一の連絡手段がある上流のタンザ地区に急行し、ポ・チュー中流の二つのゾンカク（dzongkhag. 日本の県に近い規模の自治体区分）へ、無線を使って簡易診療所経由で異常を知らせる
- ・ゾンカクのスタッフから一般市民の携帯電話へ氷河湖決壊による洪水の可能性があることが知らされる

現地から約70 km 下流の町プナカと80 km 下流のワンディ・ポダン（Fig. 1の②、③）は1994年10月にルナナの北東にあるルゲ氷河湖からのGLOF災害を経験している（Watanabe and Rothacher, 1996）。そこでは21名が犠牲となり、プナカのゾン（dzong. 県庁と僧院をかねた地方の中心施設）も洪水で孤立している。当時の経験があることで、特にプナカでは町が一時騒然となり、家から家財道具と一緒に避難した人もいた。



Photo 1 High voltage electric line ranges from Bhutanese mountain (near the side of photograph) to Indian plain. This is a typical scene of electricity export from Bhutan. Photo was taken in March, 2009.

GLOF がもともと心配されているルナナの氷河湖群（Fig. 3の破線枠内）が決壊したというデマも流れた。結局、プナカ周辺のポ・チューでは水が茶色に濁り若干の水位上昇があったにとどまり、人的、物的被害は無かった。ブータンでの氷河に関連した騒動は1994年以降で始めてである。

プナカから上流約10 km の流量観測所のデータには前後の日と比べ約50万 m³の増水が記録されている。近隣の河川にはそういった変化が認められないことから、この異常出水が記録されたと考えられる。一方、Tshojo 氷河では、氷河末端の流出部周辺が最大で100 m ほど新たに拡大しており

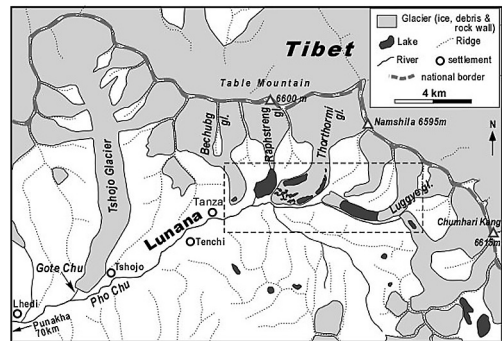


Fig. 3 Location of glacier, glacial lakes and settlements in the headwater of Pho Chu eastern branch. A dashed line box indicates the glacial lake complex in Lunana.



Photo 2 An outlet of Tshojo Glacier. Dark colored wall in left-back and center are debris covered glacial ice. Two persons stand at left. Photo was taken on 19th September, 2009.

(Photo 2), ポ・チュー合流部には大量の土砂が流出しているのが, 異常出水の前後の衛星写真の比較と現地の写真から認められた (小森・プンツォ, 2010)。

3.2 豪雨災害

(1) 記録的豪雨と増水

5月23日にベンガル湾中部で発生したサイクロン・アイラは, 25日朝には最も発達 (968 hPa) しながら severe cyclonic storm としてコルカタの南に上陸した。その後もほぼ東経88度に沿って北上し (Fig. 1b の点線), 26日朝にはカリンボン周辺で depression レベルの低気圧となり, シッキム南部で消滅した (India Meteorological Department, 2009)。これによりブータン全土がサイクロンの影響を受け, 各地で観測史上最大の降水量を記録した。

このサイクロンにより, 河川はのきなみ増水し (Photo 3), ルナナにあるタンザ観測所を除き, 国内全ての水位観測所において, 観測史上最高水位を記録した。また, 国の中部を南流するプナツァン・チュー, ウォンディ観測所 (Fig. 1の③) では最大流量 $2,600\text{ m}^3/\text{秒}$ に達し, これは1994年に同地区を襲った GLOF の $2,500\text{ m}^3/\text{秒}$ を越える規模であった。同観測所における過去17年間における平均年最大流量は, $1,250\text{ m}^3/\text{秒}$ (1994年を除



Photo 3 River bank sand from a flood of cyclone Aila at Mangde Chu mid-stream (EL. 1,890m). Flood mark had remained at 1.6 m above the water surface of the rainy season. Photo was taken on 6th September, 2009.

く)であることを考慮すると, 今回のサイクロンによる洪水は, 実にその2倍を超える規模であったことになる。

6月13日付けの Kuensel 紙によれば, このサイクロンによる被害は, 特に西部と北部で大きく, 死者は15人, 道路, 河川, 耕作地等をあわせた被害額は1400万 US ドル余りで, ブータンでの過去最悪のサイクロン災害となった。

一方, 雨季の終わった10月には, 発達した低気圧の通過により, 10月の観測記録となる大雨があり, 河川の増水, 斜面崩壊, 発電所の停止等があった。また, 標高の高い地域では予想外の大雪となり (Photo 4), 国連のプロジェクトによる GLOF 対策工事の季節労働者等で, 寒さと雪に対する装備や知識を持たない者に影響が出た。

(2) 河道閉塞

サイクロン・アイラを含む度重なる記録的豪雨により, 国内の至るところで斜面崩壊や支流からの土石流による河道閉塞が確認された (Photo 5)。ブータン中央を流下するマンデ・チューでは, 支流からの土石流が本流河道を堰き止めるとともに, 対岸を走る主要国道を覆いつくし, 直下の家屋数件を飲み込むに至った (Fig. 1の④)。これによりインドからの主要輸送路の一つである本国道は数ヶ月にわたって閉鎖され, 国内への物資輸送



Photo 4 Snow buried tents and horses under unseasonable snowstorm at Jichu-Dramo, central Bhutan (EL. 5,060 m). Photo was taken on 8th October, 2009.

に大きな影響を及ぼした。

このような河道閉塞はブータンでは過去たびたび報告されている。特にモンガルの北西約20kmのクリ・チュー支流のツァティ・チューにできた天然ダムは湛水量が百万 m^3 を越し (Fig. 1の⑤, Konagaya and Gyenden, 2003), 10ヵ月後には決壊し下流のクリ・チュー発電所 (Fig. 1の⑥) に影響がでた (Dunning et al., 2006)。

3.3 行楽中の川の事故

7月27日未明、首都ティンブーから下流60kmのチュカ (Chukha) ゾンカクのワン・チューで、川に遊びに来ていた少年7名が流され亡くなる事故があった (7月28日付け Kuensel 紙)。彼らは26日の夕方に強雨による増水で中洲の岩に取り残された。対岸に渡る事ができた最年長の少年からの通報を受けて、県知事や警察が岸まで救助に出たがなすすべが無く、およそ6時間後に急激な増水により少年らは流されてしまった。事故現場はチュカ発電所のダム (Fig. 1の⑦, Fig. 2) から下流約2kmの地点で、急激な増水の原因にはサーチャージ水位に達したダムからの放流が原因とする説と、ダム下流にある支流からの出水とする説がある。この事故を受けて、被災者への追悼と手をこまねいていただけの救助体制への批判と真相究明を目的として、ブータン初のデモ行進 (solidarity walk) がティンブーで8月に行われた。



Photo 5 Channel blocked and ponded water at upper stream of Mo Chu (EL. 3,300m). Ponded water volume is approximately $1 \times 10^4 m^3$. Photo was taken on 14th September, 2009.

11月には警察による事故調査報告書が出されたが、具体的な真相究明には至っていない。

3.4 ブータン東部地震

9月21日午後2時53分、ブータン東部モンガル地域を中心としたマグニチュード6.1の内陸直下型地震が発生した (Table 2)。地震による死者は12人、けが人は37人。南部のサムドルップ・ジョンカーでの被害のうち3人は、Dantak (ブータンとインドを結ぶ主要国道について建設・管理をするインド軍傘下のプロジェクト) による道路工事中に、落石によって被災したインド人であった。被害を受けた家屋は約4千件におよび、人的にも物的にも過去最悪の地震災害になった (Photo 6)。

この地震に伴いマグニチュード5を越す余震が10月29日と12月31日の二回起きている (Table 1)。

Table 2 Profile and CMT parameter of the east Bhutan earthquake (U.S. Geological Survey, 2009)

Date-Time	08:53:06 (UTC), 21th September, 2009	
Location	N27.346°, E91.412°	
Depth	22 km	
M_w/M_0	6.1	1.9×10^{18}
Strike	101°	271°
Dip	83°	7°
Slip	91°	80°



Photo 6 Devastated basic health units (local clinic office). A lot of unframed maisons were collapsed. (Yeshe et al., 2009)

本震によって弱った家屋がこれらの地震によってさらに被災し、後述する風害とともに冬に入った被災者を長らく苦しめた。この地震の震央は地質図上では main central thrust (MCT, 主中央衝上断層) の近傍に位置する (Fig. 1 の⑧)。DGM の Tobgey 氏によればこの本震と12月31日の余震は MCT 直近南側でデュプレックスとして折り重なった過去のインドプレートの破断で、一方10月29日の余震 (Fig. 1 の⑨) は沈み込んだインドプレートの破断でそれぞれ発生したと考えられている (Tobgey 氏, 私信 (2010年4月))。

3.5 斜面崩壊

斜面崩壊はサイクロンや地震によるものの他に、日常的な崩壊は国内各地で無数に発生している。特に道路沿いの斜面崩壊に関連した事故と交通規制は深刻である。

ブータンの空の玄関口パロと首都ティンブーを結ぶ道路沿いには、多数の崩壊がある。特に、2008年には5代国王戴冠式にあわせてこの区間が拡幅されたが、その道路での山側斜面の崩壊と谷側の路肩の陥没・崩壊が目立つ。Photo 7, 8はそこで発生した道路崩壊の一例であるが (Fig. 1 の⑩)、道路拡幅に伴う切・盛土工事が主な原因とさ

れている (道路局 N.K. Giri 氏私信 (2010年4月))。また、この区間は後述のプンツォリンからのトラックも走るため、道路への過剰な加重も一因と考えられる。

一方、インド国境の都市プンツォリン (ブータン第二の都市) とティンブーを結ぶ道路は交通量が国内で最も多いが、その中間のチュカ-ゲデウ (Fig. 1 の⑪) 間では2009年の一年間で87件の事故があり16人が死亡している (2010年1月31日付け Kuensel 紙)。これはティンブーの市街地を除くと、もともと交通量が少ないブータンでは突出した数字である。警察の報告によると、斜面崩壊によって繰り返される劣悪な道路コンディション (例えば Photo 9) が人為的なミスをさそっていることが原因とされている。



Photo 7 Before situation of slope failure at near Tshozam (Fig. 1⑩). Road shoulders were already depressed due to erosion of valley of Wang Chu (left) and over loading. All of the vehicles were loath to drive at the left side lane. Photo was taken on 1st January, 2010.



Photo 8 After a month and half of Photo 7. Photo was taken on 14th February, 2010. Left side lane had been absolutely ruined.



Photo 9 Poor road conditions of a national road from Thimphu to Phuntsholing. Photo taken by 28th March, 2010 at Pasakha.

また、地すべりも多発しており、2000年8月のブータン南部豪雨災害では、プンツォリン近郊のバツエカ川流域で多数の崩壊が発生したが、その過半が地すべり地形の所に発生し、その一部は活動的にある（檜垣ほか、2001）。

3.6 その他の自然災害

これまで述べた災害以外に、山火事、暴風、および局所的な早魃は例年と変わりなく発生した。中でも被害をもたらすような暴風は、4月12日、18日、5月19日、6月27日、9月28日に特にブータン東部において発生し、家の屋根が飛ばされる被害が相次いだ。暴風発生時の気象データから検討すると、4月と5月の暴風については北からの寒冷な空気の流れ込みによる大気の大擾乱に伴って発生したと考えられる（田平耕治氏私信）。このような暴風はブータンの南のベンガル地方などではノルウェスタ（Nor'wester）と呼ばれ、死者を出す被害も報告されている（山根・林、2005）。

なお9月28日の暴風は、9月21日の地震の被害を被った地域でも吹き荒れ、地震の被害に追い討ちをかけることとなった。

4. 浮き彫りになった問題

4.1 氷河、氷河湖災害

氷河湖の決壊を警戒していた地元としては、岩屑に覆われ大きな氷河湖を持たないチョゾ氷河からの異常出水は予想外であった。今回のような岩屑被覆型の氷河からの異常な出水としては1991年7月の東ネパールのリプモシャ（Ripmo Shar）氷河での異常出水があるが（Yamada and Sharma, 1993；藤原・五味、1995）、他に詳しい調査事例はない。エベレストの南西約20kmのナレ（Nare）氷河で1977年に起きたGLOF（Yamada and Sharma, 1993）も氷河表面の状態から考えるとチョゾ氷河やリプモシャ氷河と同じような現象であったと考えられる。いずれにせよ、このような岩屑被覆型氷河による異常出水の危険性と洪水のポテンシャルについては、更なる検討が必要であろう。

一方、氷河湖決壊洪水については、既存の氷河

湖台帳（Mool et al., 2001）では、ブータンに24の危険な氷河湖があると報告されている。しかし、氷河湖を衛星画像や現地から改めて調査すると、危険とされていた湖が危険とは判断できない、または逆に初めて危険と判断される、といった事例が多く見られ、評価の客観的な再検討が必要と考えられる。また、上述の氷河湖台帳の調査は、ブータン東部を流れるクリ・チューのチベット側の領域は対象外となっている。しかし、そこには20世紀後半に急激に拡大した氷河湖が存在しており（Fig. 1の⑫、Komori, 2008）、GLOFが発生した可能性を示唆する谷も存在することから（Komori et al., 2005）、同様の危険度評価が急がれる。これらの成果もあわせ、GLOFの早期警戒システムや河川改修といった対策の他の河川での必要性の議論と施工が必要であろう。なお国内では、気象・水文観測と情報伝達網による早期警戒システムの構築がプナツァンチュー流域で現在進められている。

4.2 豪雨災害への対応

（1）気候変動を見据えたソフト対策の重要性

2009年5月にブータン全土を襲ったサイクロン・アイラによる豪雨は、各地の主要河川において記録的な洪水を引き起こし、ウォンデイ水辺観測所（Fig. 1の③）では、過去17年の観測値から予測した200年確率洪水流量を遥かに上回るものとなった。このことは、これまでの水文観測データから見積もられた計画洪水量を根本から見直す必要があることを意味している。

近年、地球規模の気候変動予測モデルの構築が試みられているが、現時点ではその不確実性は否めない。そうした背景にあって、予測不能の異常気象に対して、洪水制御を主体とするハード対策で対応しようとするのはおのずと限界がある。また、ブータンのように人口が分散している地域では単なる構造物による対策では、流域の住民や道路・橋等の公共施設を効果的に守ることが難しいのが現状である。したがって、GLOFも含めた河川災害については、まずは土地利用規制を含めたソフト面での対策が適切かつ現実的と考えられる。

(2) 国家レベルでの警戒体制の構築

現在、国内には観測データ8項目の観測点が全国20地点、同4項目の観測点が72点ある。これら観測所はいずれも経済省エネルギー局が運営しているが、いずれも河川管理を主目的とした情報の活用に留まっており、他省庁の要請に応じてデータは提供するものの、自然災害に対する早期警戒の役割は担っていない。

今後これらの気象・水文観測データがブータンの災害軽減に有効に活用されていくためには、防災関連機関 (Table 3) が連携し、過去の災害と気象条件との分析を行うとともに、各地域ないし流域ごとの災害対策時のクライテリアの策定、さらには国営放送等の情報発信能力を持った機関との連携といった国家レベルでの警戒体制の構築が急務と考えられる。

(3) 自治体、市民レベルの課題

7月27日の川の事故では、災害救助に対する自治体レベルでの経験、技術、および資機材の不足があらわになった。ブータンでは2002年以降で川での水死者は毎年10~30人で (8月10日付け Kuensel 紙)、人口比から考えるとこの数字は非常に大きい。増水時の川や斜面に対する警戒や、天気情報の適切な解釈等の日頃からの市民への教育は、通信情報網が発達していないブータン社会においては期待される効果は大きい。したがって、防災グッズとレスキュー訓練を受けた人材を、地域防災モデレーターとして県・コミュニティに配置するとともに、学校防災教育をカリキュラム化し全国に展開するなど、地域防災力の底上げが必要と考えられる。また、教育機会が急

速に広がるブータンでは、子供を通じた家族への防災知識の伝達が、地域防災力向上には有効ではないだろうか。こういった取り組みについては、DDMが中心となった県・コミュニティベースへの指導や、防災関連法の立法が徐々に進められているが、災害について多様で長い経験と知識をもつ海外からの支援はさらに必要であろう。

4.3 地震災害

ブータンでは、常設の地震計が無く、国独自の地震研究は遅れている。また、地震の発生履歴の記録は日本と比べると短く、海外の情報 (たとえばアメリカ地質調査所、インド地質調査所) を用いても約40年程度しか復元するところできない。したがって、地震についてもサイクロン同様にいつ、どこで発生しているのかを過去の情報をもとに明らかにする必要がある。また、微小地震を計測することで、周辺地域を含めた構造運動の特徴が明らかにされつつあるが (Velasco et al., 2007; Torre et al., 2007)、そのような検討は始まったばかりである。今後は常設の地震計の設置と、活断層調査や古文書による古地震の情報の発掘が必要と考えられる。

4.4 斜面災害

斜面災害としては、特に道路沿いの問題が大きい。ブータンには東西1路線、南北4路線の国道 (全長1,302km) があるが、そこでの斜面崩壊について、系統的な記録はとられていない。したがって、規模の大きな崩壊地以外は、どの部分がいづ、どのように危険であるか、といった系統的な評価が必要とである。これら情報を収集した上

Table 3 System of Disaster management and survey by the ministry and agency in Bhutan

内務文化省 災害管理局 (DDM)	経済省 地質鉱山局 (DGM)	経済省 エネルギー局 (DoE)	労働居住省 道路局 (DoR)	国家環境 委員会 (NEC)
災害管理・統括	- 自然災害に関する 現地調査 - GLOFに関する 減災工事の統括	- 気象水文観測 - 河川管理 - 水害の早期警戒 システム構築	道路に関連した 災害の管理・補修	環境保全・環境 アセスメント

で、法面・路肩の管理や補強といった対策、あるいは地すべり・崩壊の常襲箇所では迂回路建設が効果的であると考えられる。また、前述の気象情報をもとに、強雨時の交通規制の実施の検討も必要と考えられる。

5. まとめ

2009年、ブータンでは例年以上に自然災害の多い年となった。そこでの主な災害は次のとおりである。岩屑被覆型氷河からの異常出水、サイクロン・アイラによる全国的な豪雨と河川の増水、斜面崩壊による河道閉塞、レクリエーション中の川の事故、ブータン東部地震、および暴風。また、斜面崩壊による道路の損壊は日常的に発生している。これらから、突発的な自然現象に対して国土や社会が示す脆弱性と今後の課題が浮き彫りにされた。特に、気象観測、地震観測およびそれら情報網と情報発信の必要性、国や自治体による災害管理や、市民レベルも含めた防災・減災に対する物的補強と知識・技術の向上がまずは急務と考えられる。

謝 辞

本研究はJICA/JSTによる地球規模課題対応国際科学技術協力事業（SATREPS）の“ブータンヒマラヤにおける氷河湖決壊に関する研究（研究代表者 西村浩一（名古屋大）、ブータン側カウンターパート機関はDGM）”において実施されたものである。暴風の発生要因については田平耕治氏（元気象庁）から貴重な情報を提供いただいた。鈴木均氏（Chukha Higher Secondary School. JICA海外青年協力隊）には、7月27日の川の事故について有益な情報をいただいた。ブータン政府エネルギー局の気象観測についてはKarma Dupchu氏とThinley Wangchuk氏（エネルギー局）から、道路局の道路災害とその情報管理の現状については、園城典雄氏（道路局、JICAシニア海外ボランティア）とN.K. Giri氏（道路局）からご教示いただいた。ここに記して謝意を表します。

最後に、2009年の災害によって被災された方々のご冥福をお祈りし関係者の皆様にお見舞いを申

上げます。

参考文献

- Department of Disaster Management, Natural disaster in risk management framework: Ministry of Home and Cultural Affairs, Bhutan, 82p., 2006.
- Dunning, S.A., N.J. Rosser, D.N. Petley, and C.R. Massey: Formation and failure of the Tsaticchu landslide dam, Bhutan, *Landslides*, 3, pp.107-113, 2006.
- 藤原滉一郎・五味高志：ネパールヒマラヤの氷河湖欠壊災害について：Tsho Rolpa 氷河湖の調査例、北海道大学農学部演習林研究報告, 52, pp. 208-245, 1995.
- 檜垣大助・茂木 睦・イエシドルジ：ブータン南部で2000年8月に発生した土砂流出災害と流域の斜面変動地形, 季刊地理学, 54, pp.29-33, 2001.
- India Meteorological Department: Severe Cyclonic Storm, AILA: A Preliminary Report, India Meteorological Department. 26p, 2009.
<http://www.imd.gov.in/section/nhac/dynamic/aila.pdf>.
2010年4月5日.
- Komori, J., D.R. Gurung, S. Iwata and H. Yabuki: Glacial lake development and the record of outburst flood in the north-central Bhutan and Kulha Kangri massif, Eastern Himalaya. *Proceedings of International Symposium, Landslide Hazard in Orogenic Zone from the Himalaya to Island Arc in Asia*, pp.119-125, 2005.
- Komori, J.: Recent expansions of glacial lakes in the Bhutan Himalayas, *Quaternary International*, 184, pp.177-186, 2008.
- 小森次郎・ツェリン プンツォ：2009年4月29日のブータンヒマラヤ Tshojo 氷河からの異常出水, 地学雑誌. 119, vol.3, 口絵 iii, 2010.
- Konagaya, Y. and L. Gyenden: Report on Damming of the Tsaticchu and forming a big lake, Mongar and Lhunsi Dzongkhag, eastern Bhutan. Department of Geology and Mines, 21p., 2003.
- Mool, P.K., D. Wangda, S.R. Bajracharya, K. Kunzang, D.R. Gurung and S.P. Joshi: Inventory of glaciers, glacial lakes and glacial lake outburst floods, *International Centre for Integrated Mountain Development*, 227p., 2001.
- Torre, T.L., G. Monsalve, A.F. Sheehan, S. Sapkota and F. Wu: Earthquake processes of the

- Himalayan collision zone in eastern Nepal and the southern Tibetan Plateau, *Geophysical Journal International*, 171, pp718-738, 2007.
- U.S. Geological Survey: Magnitude 6.1 BHUTAN September 21, 2009, Preliminary Earthquake Report, National Earthquake Information Center, 2009.
- <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2009/us2009lvap/>, 2010年4月5日.
- Velasco, A.A., V.L. Gee, C. Rowe, D. Grujic, L.S. Hollister, D. Hernandez, K.C. Miller, T. Tobgay, M. Fort and S. Harder: Using small, temporary seismic networks for investigating tectonic deformation: Brittle deformation and evidence for strike slip faulting in Bhutan, *Seismological Research Letters*, 78, pp.446-453. 2007.
- Watanabe, T. and D. Rothacher: The 1994 Lugge Tsho glacial lake outburst flood, Bhutan Himalaya. *Mountain Research and Development*, 16, pp.77-81, 1996.
- Yamada, T. and C.K. Sharma: Glacier lakes and outburst floods in the Nepal Himalaya, *Snow and Glacier Hydrology (Proceedings of the Kathmandu Symposium, 1992) IAHS Publ. 218*, pp.319-330, 1993.
- 山根悠介・林 泰一：南アジアにおける突発的メソ気象擾乱発生に関わる環境場の特徴について, *京都大学防災研究所年報*, 48B, pp.709-715, 2005.
- Yeshi, D., W. Tshering and N. Rinzin: Preliminary assessment of damage on houses due to 21st September 2009 Earthquake in the eastern Dzongkhags and measures, *Internal Report of Department of Geology and Mines*, 8p, 2009.

(投稿受理：平成22年8月30日)