2010 年 1 月にパキスタン北部・アタバードで 発生した巨大崩壊と堰止湖の拡大

藁谷 哲也* 梶山 貴弘**

Expansion of a Landslide-dammed Lake Following a Catastrophic Landslide in January 2010 at Atabad, Northern Pakistan

Tetsuya WARAGAI* and Takahiro KAJIYAMA**

Abstract

At Atabad, northern Pakistan, steep valley slopes on a right side of the Hunza River collapsed on January 4, 2010 (Atabad landslide) and a river blockade occurred. There have been catastrophic landslides with 10^7 – 10^8 m³ scales as well as river blockades in 1858 and 1962 in the surrounding region, indicating that the region frequently experiences landslides. The Atabad landslide has an area of 1,500 m long by 1,000 m wide, and originates from the main scarp located at approximately 3,200 m a.s.l. The released debris, estimated to be *ca.* 4.5×10^7 m³ in volume, accumulated in a mound and mud flow deposit, which spread over an area of approximately 1,500 m long by 500 m wide.

The water level of the landslide-dammed lake (Atabad lake) formed by the river blockade rose rapidly to approximately 30 m within ten days from the collapse and reached a maximum water depth of 120 m in July. On July 7, 2010, the lake reached a maximum length of 21 km and a maximum area of 12 million m², with a volume of storage of 440×10^6 m³, as revealed by monitoring lake growth using multi-temporal satellite imagery. It is considered that water inflow from melting glaciers with rising air temperature caused the expansion of the lake area and the rise of lake level. The excavation of a spillway decreased the risk of outburst flooding and extreme rise of water level since July when the river discharge was at the maximum.

Key words : catastrophic landslide, river blockade, landslide-dammed lake, outburst flooding, multi-temporal satellite imagery, Hunza Valley, Karakoram Mountains

キーワード : 巨大崩壊, 河道閉塞, 堰止湖, 決壊洪水, 多時期衛星画像, フンザバレー, カラコラム山脈

I. はじめに

2010 年 1 月 4 日午後 12 時すぎ, パキスタン北部山岳地域で大規模な崩壊が発生した。崩壊

は, 著者の 1 人 (藁谷) の知人アリ氏 (Ali, Inayat) が, イスラマバードからカシュガルに通じるカラコラムハイウェイ¹⁾を北進し, ちょうどアタバード (Atabad) 村を通過した直後に起

* 日本大学文理学部地理学教室

** 日本大学大学院理工学研究科

* College of Humanities and Sciences, Nihon University, Tokyo, 156-8550, Japan

** Graduate School of Science and Technology, Nihon University, Tokyo, 156-8550, Japan

きた。振り返ると、フンザ川右岸の山地斜面が土煙を巻き上げ、大きく崩れていった（口絵 2-図 2）²⁾。この崩壊は直後に泥流を発生させ、下流に位置するサラット（Sarat）村で 19 名の泥流による犠牲者を出した。崩壊土砂は大量で、かつ発生地点がフンザ川の狭窄部にあったため河道閉塞も生じた。このため、巨大な堰止湖（天然ダム）が形成され、上流の住民およそ 25,000 人が孤立した（Petley *et al.*, 2010; U Din, 2010）。その後、融氷水の流入により、堰止湖の水位上昇が生じて漸次家々が水没し、最終的には 187 戸が家を放棄して避難民となった。一方、河道閉塞によってつくられた天然ダムの下流では、水位上昇とともに天然ダムの決壊洪水の危険性が高まった。

この崩壊（以下、アタバード崩壊と呼称）から 1 年以上が経過した時点（2011 年 6 月）でも、堰止湖の水位は高い位置で留まったままである。そして、崩壊地上流側の避難民や住民の生活はほとんど改善されず、決壊洪水対策も崩壊直後の状態と変わっていないのが実情である。アタバード崩壊や堰止湖に関しては、これまで速報（例えば、Hughes, 2003; Kargel *et al.*, 2010; Petley *et al.*, 2010; UNITAR/UNOSAT, 2010; 八木ほか, 2010）やウェブサイトでの報告³⁾はあるが、崩壊と堰止湖の両方を取り上げた報告や過去の崩壊履歴を説明したものはない。そこで本稿は、パキスタン北部山岳地域で生じたアタバード崩壊の特徴と堰止湖の拡大過程について、報告するものである。

II. 崩壊地周辺の自然環境の概要

1) 地形・地質環境

アタバード崩壊は、カラコラム山脈北西部に位置し、フンザバレー（Hunza Valley）と呼ばれるフンザ川流域（流域面積 13,200 km²; Ferguson, 1984）で生じた（図 1）。この流域はディスタギル峰（Distaghil Sar, 標高 7,885 m）を最高地点、フンザ川とギルギット（Gilgit）川との合流点（1,420 m）を最低地点として、およそ 6,000 m の高度差を有する大起伏地域である（藁谷, 2008）。

この地域にはディスタギル峰のほか、シスパー（Shispare, 7,611 m）、ウルタル（Ultrar II, 7,388 m）、ボジョガルデュナサル（Bojohaghur Duanasir or Ultrar I, 7,329 m）など多数の高峰が存在する。そしてこれらはバツラ（Batura）、ヒスパー（Hispar）、クルドピン（Khurdopin）など長大な氷河の源頭部をなしている。

当該地域の谷氷河は、第四紀の氷河拡大期には、河間地を埋めつくすほどに発達していた（藁谷, 2010）。このため、後氷期に入って、おもに氷成堆積物に由来する崩壊地・扇状地・崖錐など、現在も活発に発達を続ける地形が形成された。斜面崩壊・落石・土石流など、これらの地形形成にかかわるマスマーブメントは、寒冷乾燥気候のもとで働く風化作用と、カラコラム山脈特有の長大で急傾斜の斜面形（例えば、Hewitt, 1968; Goudie *et al.*, 1984; Whalley *et al.*, 1984; 藁谷, 1997; Waragai, 1998, 1999, 2005）に加え、地体構造上の特異性に由来している（藁谷, 2008）。

フンザバレーは、島弧的性格をもつコヒスタン-ラダック地塊（中島ほか, 1998）とユーラシアユニットのカラコラムプレートからなる（図 1B）。カラコラムプレートの南部では、片麻岩、変堆積岩、結晶質石灰岩、角閃岩などで構成されるカラコラム複合変成岩体（Karakoram metamorphic complex）と、白亜紀の花崗閃緑岩（95⁺⁴₋₆ Ma, U-Pb）、優白質花崗岩、モンゾナイト、トーナライトなどからなるカラコラムバソリス（Karakoram batholith）とが、北西-南東方向に帯状に分布する（Searle, 1991; Crawford and Searle, 1993）。アタバード崩壊は、フンザ川を横断する主カラコラム衝上断層（MKT: Main Karakoram Thrust; 白波瀬・久保, 1998）から東へおよそ 36 km にある、カラコラムバソリスの花崗閃緑岩類からなる斜面で発生した（Ali Khan *et al.*, 2000）。

2) 気候環境

フンザバレーにおける長期間の気象観測は、これまでほとんど行われていない。しかし、おおむね谷底部から 4,500 m 付近までが降水量 500 mm 以下の乾燥・半乾燥帯、4,500 m 以上が降水

量 500 mm 以上の湿潤帯である (Hewitt, 1989)。短期間の気象観測によると、ギルギット (図 1B) では、平均最高気温 35.3℃ (7 月)、平均最低気温 0.0℃ (1 月) となり、年間降水量 131.6 mm である (Goudie *et al.*, 1984)。フンザ川中・上流部では、ギルギットより気温較差は大きい。Waragai (1998, 1999) は、1994 年 7 月 17 日～96 年 7 月 25 日の期間にパツラ氷河末端部で気温を測定した。これによると、日最高気温 43.7℃、日最低気温 -13.4℃、年平均気温 11.0℃を示し、絶対年較差は 57.1℃に達する。また、凍結融解サイクルは、10 月下旬から 4 月にかけて発生し、およそ年間 100 サイクルに及ぶ。

III. アタバード崩壊

1) 崩壊の発生域と地形条件

アタバード崩壊は、イスラマバードの北北西約 320 km に位置するフンザの中心集落カリマバード (Karimabad) から、東に約 15 km のフンザ川右岸で発生した (36°18.8'N, 74°49.2'E)。発生地点は、中国との国境付近に源流をもつフンザ川が、ちょうど南から西へ流下方向を変えるところにあたる (図 1C)。この地点のフンザ川は、谷幅約 5 km と狭く、比高約 2,000 m に達する深い谷をつくっている。

崩壊地は、標高約 3,200 m のフンザ川右岸の谷壁斜面に頂部を有し、斜面長 1,500 m、幅 1,000 m に達する (表 1, 口絵 2-図 1, 3)。崩壊による土砂量は、およそ 4,500 万 m³ と推定される (Petley *et al.*, 2010)。

アタバード崩壊は、2010 年 1 月 4 日午後崩壊地の東端からはじまり、10～15 分で斜面全体が崩れ落ちたという (八木ほか, 2010)。この崩壊の様子は、Ali 氏によってビデオ撮影され、インターネットの動画サイトにアップロードされた²⁾。

崩壊地を含む北部 (右岸) の山地には、標高 7,388 m のウルタル峰が屹立する。北部の主稜線はおおむね北西-南東方向に伸びるが、ウルタル峰の南東部には長さ約 8 km のグルピ (Gurpi) 氷河が発達する。このため、主稜線の連続性はここで断ち切られている。これら稜線の高度はおよ

そ 7,300～4,400 m と高く、谷壁斜面の平均勾配はおよそ 32.7°である。

一方、崩壊地南部 (左岸) の山地には、標高 7,200 m のルプガル峰 (Lupghar Sar) から西へ伸びる主稜線が、標高 5,000～2,800 m へ高度を下げながら連続する。アタバード崩壊の対岸にあたる、谷壁斜面の平均傾斜はおよそ 33.7°である。

2) アタバード崩壊の堆積域

アタバード崩壊では、およそ幅 500 m、長さ 1,500 m にわたって土砂が堆積した。崩壊土砂の供給は、フンザ川右岸側では現地調査を行った 2010 年 8 月時点でも、小規模な崩落により継続している。一方、左岸側では、崩壊土砂が対岸の斜面を這い上がってマウンドを形成した (口絵 2-図 1)。このマウンドの最上流側 (左岸) には、長径 10 m を超える巨礫が多数散在する (口絵 2-図 4)。このマウンドでは、シルト～細砂を主体とする細粒物質がマトリックスを構成している (口絵 2-図 5)。この理由として八木ほか (2010) は、地下水で飽和された氷河性堆積物 (またはその 2 次堆積物) が、巨礫とともに崩落し、攪乱されて対岸に乗り上げ急停止した際に、慣性力で巨礫の間から絞り出されたためと解釈している。

崩壊土砂の下流端では、フンザ川の流路に沿って、およそ 900 m にわたり泥流堆積物が認められる (口絵 2-図 6)。これは、マウンド形成の際に絞り出された細粒物質が、マウンド上を泥流となって流下したことによるという (八木ほか, 2010)。しかし、アタバード崩壊の下流部では、大規模崩壊による河道閉塞が過去 2 回 (1858 年, 1962 年) 生じ、河道に浮流物質を主体とする細粒物質が沈積していたと考えられる。したがって、崩壊に伴うこのような細粒物質の泥流化も推測される。

3) 崩壊地周辺の斜面崩壊履歴

アタバード崩壊の対岸に位置する北向き谷壁斜面では、過去に何度も大規模な崩壊を起こしていた (例えば, Hewitt, 1998, 1999, 2001, 2002; Shroder, 1998)。Shroder (1998) によれば、歴史時代以前に 2 度、土砂量 10⁷ m³ 程度の崩壊 (Older and Younger Sarat) が生じたという (表 1, 図

图 1 (Fig. 1)

表 1 アタバード崩壊および周辺地域の崩壊履歴とその特徴.

Table 1 Landslide complexes and individual landslides in Atabad, Karakoram Mountains.

No.	Slope failure name	t (yr)	l (m)	w (m)	d (m)	V (m ³)	p (kg/m ³)	H (m)	L (m)	Equiv. coeff. Friction (H/L)	R (yr)
1	Older Sarat	Prehistoric	500	400	50	1×10^7	2400	700	1000	0.7	1:500?
2	Yonger Sarat	Prehistoric	1500	800	75	9×10^7	2400	1200	2000	0.6	1:500?
3	Ghammesar	1858	500	2000	500	5×10^8	2300	2100	5000	0.42	1:100
4	Ghammesar RS*	1858	1000	500	250	1.25×10^8	2300	100	150	0.67	1:100
5	Ghammesar	1962	3100	500	50	7.75×10^7	2400	1850	2750	0.67	1:100
6	Sulmanabad	1991	400	2000	10	8×10^6	2400	200	400	0.5	1:10–50
7	Sarat	1992	50	1500	10	7.5×10^5	2200	1200	2000	0.6	1:5–10
8	Attabad	2010	1500	1000	–	4.5×10^7		1175	1300	0.9	

t : 崩壊発生年. l : 崩壊地の長さ. w : 崩壊地の幅. d : 崩壊の深度. V : 崩壊量. p : 崩壊土砂の密度. H : 崩壊土砂の垂直落下距離. L : 崩壊土砂の水平移動距離. H/L : 等価摩擦係数. R : 再発間隔.

* グァメザール崩壊 (No.3) の先端部分. No.1–7 のデータは Shroder (1998) による.

t : Time of failure. l : length. w : width. d : thickness. V : volume. p : density. H : vertical drop. L : horizontal travel. R : recurrence interval.

* Remaining toe of Ghammesar (No.3). Geomorphic data before 1992 are according to Shroder (1998).

図 1 アタバード崩壊の位置とフンザ川流域の地形・地質環境. A: 位置図. B: パキスタン北部の地質 (Searle, 1991; Hewitt, 1998 をもとに作成). 高ヒマラヤ-ハラモシ (インドプレート): ナンガパルバット-ハラモシ-イスキ片麻岩. コヒスタン-ラダック地塊 (島弧シーケンス): コヒスタン-ラダックバソリス (おもに深成岩類) と変堆積岩. カラコラム複合変成岩体 (カラコラムプレート): 片麻岩, 変堆積岩, 結晶質石灰岩, 角閃岩など. カラコラムバソリス (カラコラムプレート): おもに前インド-アジア衝突深成岩体 (花崗閃緑岩, 優白質花崗岩, モンゾナイト, トーナライトなど). 北部カラコラム地塊: 堆積岩, 変堆積岩, 変成岩. KF: カラコラム断層. SSZ: シュヨック縫合帯. MMT: 主マントル衝上断層. NS: 北部縫合線. MKT: 主カラコラム衝上断層. C: フンザ川上流の地形とアタバード崩壊を含む周辺地域の崩壊地の位置. 等高線は, 200 m 間隔で, ASTER 全球 3 次元地形データ (ASTER GDEM: 原データは, 経済産業省および NASA に帰属) をもとに作成した. また, 背景の画像は, 2009 年 8 月 24 日の ALOS AVNIR-2 による画像. 地名の表記は, Finsterwalder (1995) による. 1–8 は崩壊地の区分で表 1 の番号に対応する. 1: Older Sarat. 2: Yonger Sarat. 3: Ghammesar. 4: Ghammesar RS. 5: Ghammesar. 6: Sulmanabad. 7: Sarat. 8: Attabad.

Fig. 1 Location of Atabad landslide, and geomorphological and geological setting of Hunza river basin. A: Location map. B: Geological map of Northern Pakistan, modified from Searle (1991) and Hewitt (1998). High Himalaya-Haramosh (Indian Plate): Nanga Parbat-Haramosh-Iskhere gneisses. Kohistan-Ladakh Terrane (Island Arc sequences): Kohistan-Ladakh Batholith (predominantly plutonic) and metasedimentaries. Karakoram Metamorphic Complex (Karakoram Plate): Gneisses metasedimentaries, marble, amphiboles, etc. Karakoram Batholith (Karakoram Plate): mainly pre-India-Asia collision plutons and largely plutonics (granodiorites, leucogranites, monzonites, tonalities, etc.). Northern Karakoram Terrane: sedimentaries, metasedimentary, metamorphics. KF: Karakoram Fault. SSZ: Shyok Suture Zone. MMT: Main Mantle Thrust. NS: Northern Suture. MKT: Main Karakoram Thrust. C: The location of landslide area including the Atabad landslide, and topography of upper Hunza river. Contour lines were created by ASTER Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM: produced by METI and NASA) at 200 m intervals. The background image was acquired by ALOS AVNIR-2 on August 24, 2009. The notation of the land name is based on Finsterwalder (1995). The numbers 1–8 represent partitions of landslides and correspond to those in Table 1. 1: Older Sarat. 2: Yonger Sarat. 3: Ghammesar. 4: Ghammesar RS. 5: Ghammesar. 6: Sulmanabad. 7: Sarat. 8: Attabad.

図2 フンザ川(ダイニョール)における1971-1981年の月別平均流出量(A)と2010年1月4日以降のアタバード湖の水位変化(B). AはKreutzmann (1989), BはPetley *et al.* (2010)による. Bの短破線は、開削水路下限の高さを示す.

Fig. 2 The monthly average discharge from 1971 to 1981 (A), and fluctuations of water depth of the Atabad lake from January 4, 2011 (B). A and B are based on Kreutzmann (1989) and Petley *et al.* (2010), respectively. The short dashed line shows the height at the lowest point of the completed spillway.

1). また歴史時代では、1858年に 10^8 m^3 規模の崩壊(グアメザール, Ghammesar)が生じた。このグアメザール崩壊は、2010年のアタバード崩壊の約4 km下流左岸で発生したものである。この崩壊により、約28 km上流に位置するパス(Pasu)村まで堰止湖が拡大し、その後、決壊洪水が発生したとされる。また、1962年10月のグアメザール崩壊は、1858年の崩壊域の内側に 10^7 m^3 の規模で生じた(Shroder, 1998)。この時は、フンザ川が数カ月閉塞され、グルミット(Gulmit)村付近まで堰止湖が拡大したとされる。

このように、アタバード崩壊の周辺地域では、しばしば大規模な崩壊が繰り返されてきた。これは、当該地域がプレート境界部に位置し、強い応力場に置かれているという地体構造上の素因を有しているためと考えられる。加えて、これまでの崩壊が北向き斜面で頻発していたことから、凍結破碎作用による岩盤表層部の風化が進行していたことも推察される。

IV. 堰止湖の形成とその拡大

当該地域で生じた過去の巨大崩壊と同じように、アタバード崩壊による土砂はフンザ川を堰き止め、現地でアタバード湖と呼ばれる堰止湖を形

成した(口絵2-図7)。この崩壊は、先述したように1月に発生したが、フンザ川の流出特性から、暖候期に向かって堰止湖の拡大による、天然ダム決壊洪水の発生が懸念された。

図2Aは、フンザ川最下流部のダイニョール(Dainyore)における1971～1981年の月別平均流出量(Kreutzmann, 1989)を示す。平均流出量は、寒候期を過ぎると5月から増加しはじめ、7月に約 $1,400 \text{ m}^3/\text{s}$ のピークを迎える。一方、フンザ川流域には、長大な氷河が発達し山地を氷食するため、フンザ川の年間運搬物質量は700万トンに達する(Ferguson, 1984)。そして、運搬物質の約80%以上を占める浮遊物質の密度は、融氷水の流出量がピークとなる7～9月に $10 \text{ kg}/\text{m}^3$ を超えるという(Ferguson, 1984)。このように、フンザ川では、例年7月に流出量、運搬物質量ともにピークを迎えるが、アタバード湖の水位上昇(図2B)と湖面積の拡大(図3, 表2)は急速に進行した。

アタバード湖の水位変化(Petley *et al.*, 2010)を図2Bに示す。これによると、湖水位は崩壊発生後10日ほどで、急激におよそ30 m上昇した。この間の水位上昇速度(破線)も2～7 m/日と速い。湖水位は、その後4月末に85 m、6月初旬に115 mに到達した。一方、1月中旬以降の

表 2 アタバード崩壊によって形成された堰止湖の水利条件の変化.

Table 2 Fluctuations of hydrological condition of the lake caused by the Atabad landslide.

Date	Area of the lake (m ²)	Volume of storage* (m ³)	Ratio of the lake area** (%)	Expansion rate of the lake area (m ² /day)	Acquired satellite
10 March 2010	4,501,800	158 × 10 ⁶	36	—	EO-1
25 May 2010	12,342,600	432 × 10 ⁶	98	103,168	ASTER
07 July 2010	12,574,800	440 × 10 ⁶	100	5,400	EO-1
23 August 2010	11,951,100	418 × 10 ⁶	95	− 13,270	EO-1
03 October 2010	11,520,000	403 × 10 ⁶	92	− 10,515	EO-1
27 November 2010	11,199,300	392 × 10 ⁶	89	− 5,831	ALOS AVNIR-2

* 平均水深 35 m として計算. 平均水深は 2010 年 7 月 9 日の JAXA の解析 (http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img_up/jdis_av2_pakflood_100530.htm) による.

** 2010 年 7 月 7 日の湖面積を最大値としたときの割合 (%).

* The volume of storage is based on 35 m in the average depth of lake analyzed by JAXA on 9 July 2010 (http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img_up/jdis_av2_pakflood_100530.htm).

** The ratio of the area of the lake for each date to the maximum lake area on 7 July 2010.

図 3 多時期のリモートセンシング画像によるアタバード湖の拡大・縮小過程. 画像の取得日と衛星は、それぞれ (A) 2009 年 8 月 24 日 (ALOS AVNIR-2), (B) 2010 年 3 月 10 日 (EO-1), (C) 7 月 7 日 (EO-1), (D) 11 月 27 日 (ALOS AVNIR-2). 湖面積は表 2 に記載した.

Fig. 3 Fluctuations of the Atabad lake shown by multi-temporal satellite imagery. The pair of acquired date and satellite is (A) August 24, 2009 (ALOS AVNIR-2), (B) March 10, 2010 (EO-1), (C) July 7, 2010 (EO-1) and (D) November 27, 2010 (ALOS AVNIR-2). The lake area is shown in Table 2.

水位上昇速度は、5 月下旬の小さいピークを除くとおおむね 1 m/日を下回った。

アタバード湖の拡大過程を、異なる時期に衛星が取得したリモートセンシング画像を利用して解析すると、表 2、図 3 のようにまとめられる。

表 2 に示すように、崩壊から約 2 カ月経過し

た 3 月 10 日 (図 3B) の湖面積は約 450 万 m² であるが、その後急速に拡大して、5 月 25 日の時点で約 1,230 万 m² となった。この間の湖面積の拡大速度は、約 10 万 m²/日と速い。そして、7 月 7 日 (図 3C) には最大面積約 1,260 万 m²、貯水量 440 × 10⁶ m³ に達した。この時点で、堰

止湖は最大長さ約 21 km, 最大水深約 120 m, 平均水深 35 m⁴⁾ にまで拡大した。しかし, これ以降湖面積は徐々に縮小し, 7 月 7 日時点基準にすると, 11 月 27 日時点 (図 3D) で 89% に縮小した。

このような湖水位の上昇や湖面積の拡大は, 周辺山地に発達する氷河からの融氷水が, 気温上昇に伴って流入したことが原因である。一方, 決壊洪水を避けるため, 5 月下旬までに Frontier Works Organisation (FWO) による開削水路の工事が行われた。このため, 流出量が最大となる 7 月までに, 極端な湖水位上昇 (図 2B) や, それに伴う天然ダムの決壊を抑えるのに結びついたと考えられる。

V. おわりに

アタバード崩壊とそれによる堰止湖の形成は, とくに崩壊地点から上流に暮らす人々の生活を一変させた。堰止湖形成の結果, 上流の住民約 3,000 人が避難し (口絵 2-図 8), 約 25,000 人が孤立した (U Din, 2010)。とりわけ, 水没した 187 戸の住民は, 難民となりテント生活を余儀なくされている。水没を免れた村でも, 湖 (河川) の水位が上昇し, 耕地が湖岸 (河岸) 侵食 (口絵 2-図 9) を被ったり, 移転の危機に直面している。

またアタバード崩壊は, カラコラムハイウエーの一部を水没させ, 物流手段を部分的にトラックからボートへ変更させた。しかし, ボートは大量輸送に不向きで, 冬季の湖の部分凍結や春季の強風による運航中止も生じる。そして, アタバード湖を通過するのにも私営のボートサービスを利用するため, 輸送費は約 5 倍になったという。このため, 上流の村々では, 生活物資の高騰や換金作物の出荷困難による収入減が生じることとなった。このように, アタバード崩壊から 1 年以上経過しても, 天然ダム決壊洪水の危険性や被災者の生活の改善が図られていない。今後, この堰止湖の推移を地学現象として継続的に監視するとともに, 当該地域の災害復旧について見守っていく必要があろう。

謝 辞

本研究は, (社) 東京地学協会による平成 22 年度研究・調査助成金による研究課題 (カラコラム山脈北部に分布する氷河の近年の変動) の現地調査の一環として実施した。また, 平成 22 年度 日本大学文理学部個人研究費による助成も利用して進められた。これら研究助成に対して, 記して感謝の意を表する。

注

- 1) パキスタンのイスラマバードと中国のカシュガルを結ぶカラコラムハイウエー (1964 年着工, 1978 年完工) は, 1986 年に両国以外の旅行者にも開放された。これを契機に, さまざまな分野の研究が盛んに進められるようになった。
- 2) 口絵 2-図 2 は Ali 氏が撮影して, Pamir Times に公開している。Ali, Inayat (2010.1.22): How the Hunza river was blocked! <http://pamirtimes.net/2010/01/22/how-the-river-blocked/> [Cited 2011/5/5]。また, Ali 氏の撮影した映像は, Youtube にアップロードされ, 公開されている。Ali, Inayat (2010.2.13): Attabad Hunza landslide Live by Inayat Ali Shimshal, 4th Jan. 2009. <http://www.youtube.com/watch?v=zeyBVop-sCk> [Cited 2011/5/5]。
- 3) 例えば Local.com.pk のウェブサイトでは, <http://www.local.com.pk/hunza/> [Cited 2011/7/2] を立ち上げ, GIS による地図データの提供や現況報告を行っている。また, Petley, D. は, ブログ形式で Hunza Landslide monitoring (http://hunzalandslide.blogspot.com/2010_06_01_archive.html) [Cited 2011/7/2] を立ち上げ, 2010 年 6 月までの崩壊や堰止湖の状況を報告した。
- 4) 最大・平均水深は 2010 年 7 月 9 日の JAXA の解析による (http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img_up/jdis_av2_pakflood_100530.htm) [Cited 2011/7/2]。

文 献

- Ali Khan, K.S., Latif, M., Fayaz, A., Ali Khan, N. and Zafar Khan, M.S. (2000): *Geological Road Log along the Karakoram Highway, Islamabad to Khunjerab Pass*. Highways Geological Map Series, Map No.1, Geological Survey of Pakistan.
- Crawford, M.B. and Searle, M.P. (1993): Collision-related granitoid magmatism and crustal structure of the Hunza Karakoram, North Pakistan. in *Himalayan Tectonics* edited by Treloar, P.J. and Searle, M.P., *Geological Society Special Publication No.74*, 53-68.
- Ferguson, R.I. (1984): Sediment load of the Hunza River. in *The International Karakoram Project Vol.2* edited by Miller, K.J., Cambridge University Press, 581-598.
- Finsterwalder, R. (1995): *Hunza-Karakoram 1:100000*. Topographische Ergebnisse der Deutsch-Österreichischen Himalaya-Karakoram-Expedition 1954

- und der Deutschen Karakoram-Expedition 1959. Alpenvereinskartographie.
- Goudie, A.S., Brunnsden, D., Collins, D.N., Derbyshire, E., Ferguson, R.I., Hashmet, Z., Jones, D.K.C., Perrott, F.A., Said, M., Waters, R.S. and Whalley, W.B. (1984): The geomorphology of the Hunza Valley, Karakoram mountains, Pakistan. in *The International Karakoram Project Vol.2* edited by Miller, K.J., Cambridge University Press, 359-410.
- Hewitt, K. (1968): The freeze-thaw environment of the Karakoram Himalaya. *Canadian Geographer*, **12**, 85-98.
- Hewitt, K. (1989): The altitudinal organisation of Karakoram geomorphic processes and depositional environments. *Z. Geomorph. N.F. Suppl.*, **76**, 9-32.
- Hewitt, K. (1998): Catastrophic landslides and their effects on the Upper Indus streams, Karakoram Himalaya, northern Pakistan. *Geomorphology*, **26**, 47-80.
- Hewitt, K. (1999): Quaternary moraines vs catastrophic rock avalanches in the Karakoram Himalaya, northern Pakistan. *Quaternary Research*, **51**, 220-237.
- Hewitt, K. (2001): Catastrophic rockslides and the geomorphology of the Hunza and Gilgit river valleys, Karakoram Himalaya. *Erdkunde*, **55**, 72-93.
- Hewitt, K. (2002): Styles of rock-avalanche depositional complexes conditioned by very rugged terrain, Karakoram Himalaya, Pakistan. in *Catastrophic Landslides: Effects, Occurrences, and Mechanisms* edited by Evans, S.G. and DeGraff, J.V., *Geological Society of America Reviews in Engineering Geology*, **15**, 345-377.
- Hughes, R. (2003): Atabad Landslide-Hunza Valley, Northern Areas Pakistan. <http://www.istructe.org/EEFIT/files/Atabad%20Landslide.pdf> [Cited 2011/7/2].
- Kargel, J.S., Leonard, G., Crippen, R.E., Delaney, K.B., Evans, S.G. and Schneider, J. (2010): Satellite monitoring of Pakistan's rockslide-dammed lake Gojal. *EOS, Transactions American Geophysical Union*, **91**, 394.
- Kreutzmann, H. (1989): Hunza-Landliche Entwicklung im Karakoram. *Abhandlungen Anthropogeographie*, **44**, Berlin.
- 中島 隆・久保和也・高橋 浩・御子柴真澄・白波瀬輝夫・Rahim Khan, S.・Khan, T.・Kausar, A.B. (1998): コヒスタンの地質概説. 地質ニュース, **525**, 30-36. [Nakajima, T., Kubo, K., Takahashi, H., Mikoshiha, M., Shirahase, T., Rahim Khan, S., Khan, T. and Kausar, A.B. (1998): Geological outline of Kohistan. *Chishitsu News*, **525**, 30-36.]
- Petley, D.N., Rosser, N.J., Karim, D., Wali, S., Ali, N., Nasab, N. and Shaban, K. (2010): Non-seismic landslide hazards along the Himlayan Arc. in *Geologically Active* edited by Williams, A.L., Pinches, G.M., Chin, C.Y., McMorran, T.J. and Massey, C.I., CRC Press, 143-154. <http://daveslandslideblog.blogspot.com/search/label/Attabad> [Cited 2011/5/5].
- Searle, M.P. (1991): *Geology and Tectonics of the Karakoram Mountains*. Wiley.
- 白波瀬輝夫・久保和也 (1998): パキスタンの地質概観. 地質ニュース, **525**, 24-29. [Shirahase, T. and Kubo, K. (1998): Outline of the geology of Pakistan. *Chishitsu News*, **525**, 24-29.]
- Shroder Jr., J.F. (1998): Slope failure and denudation in the western Himalaya. *Geomorphology*, **26**, 81-105.
- U Din, N. (2010): *Internal Displacement in Pakistan: Contemporary Challenges*. Qasim Press. <http://www.hrcp-web.org/pdf/Internal%20Displacement%20in%20Pakistan.pdf> [Cited 2011/7/2].
- UNITAR/UNOSAT (2010): *Situation Map of Attabad Dam Site & Current Lake Extent, Hunza River, Hunza-Nagar District, Gilgit, Pakistan*. http://unosat-maps.web.cern.ch/unosat-maps/PK/LS20100518PAK/UNOSAT_PAK_LS2010_HunzaOverview-31May2010_v2_HR.pdf [Cited 2011/5/5].
- 薬谷哲也 (1997): カラコラム山地・フンザ・バレーに見られる岩石の風化形態, 植被と岩石温度. 地学雑誌, **106**, 426-431. [Waragai, T. (1997): Rock temperatures and their implications for rock weathering and lichen cover in the Hunza Valley, Karakoram Mountains. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **106**, 426-431.]
- Waragai, T. (1998): Effects of rock surface temperature on exfoliation, rock varnish, and lichens on a boulder in the Hunza Valley, Karakoram Mountains, Pakistan. *Arctic and Alpine Research*, **30**, 184-192.
- Waragai, T. (1999): Weathering processes on rock surfaces in the Hunza Valley, Karakoram, North Pakistan. *Z. Geomorph. N.F., Suppl.*, **119**, 119-136.
- Waragai, T. (2005): Holocene calcrete crust deposits on the moraine of Batura glacier, northern Pakistan. *The Island Arc*, **14**, 368-377.
- 薬谷哲也 (2008): パキスタン北部山岳地帯, アッパー・フンザの地形・地質および気候環境の特徴. 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, **43**, 67-75. [Waragai, T. (2008): Physiographical features in upper Hunza region, Karakoram, Northern Pakistan: Preliminary data. *Proceedings of Natural Sciences, Nihon University*, **43**, 67-75.]
- 薬谷哲也 (2010): カラコラム山脈とパミールにおける氷河消長の特性. 遠藤邦彦・山川修治・薬谷哲也編: 極圏・雪氷圏と地球環境. 二宮書店, 90-105. [Waragai, T. (2010): *The Polar Circles, Cryosphere and Global Environment* edited by Endo, K., Yamakawa, S. and Waragai, T., Nimoniya-Shoten. 90-105.]
- Whalley, W.B., McGreevy, J.P. and Ferguson, R.I.

(1984): Rock temperature observations and chemical weathering in the Hunza region, Karakoram: Preliminary data. in *The International Karakoram Project Vol.2* edited by Miller, K.J., Cambridge University Press, 616-633.

八木浩司・丸井英明・Kausar, A.・Sherwali, S. (2010): 大規模地すべりダムを形成した2010年パキスタン・フンザ・アッタバード地すべり—ALOS/PRISM 画像判読による前兆現象の観察と現地地質調査結果—.

地すべり, **47**, 335-340. [Yagi, K., Marui, H., Kausar, A. and Sherwali, S. (2010): Landslide damming at Atta Abad, Hunza, Pakistan in 2010—Detection of pre-warning signs of rock slide by satellite images interpretation of ALOS/PRISM & a field study report—. *Landslides (Jisuberi)*, **47**, 335-340.]

(2011年7月11日受付, 2011年9月4日受理)