報 文

ネパール・ヒマラヤ東部の氷河目録と最近の氷河変動

朝 日 克 彦¹⁾

要 旨

ランタン・ヒマール以東のネパール・ヒマラヤ東部を対象に、氷河分布図を含む氷河目録を作成した。1992年撮影の垂直撮り空中写真を実体視判読することによって、詳細な氷河分布を最新の5万分の1地形図上に描出した。分布図によれば、ネパール・ヒマラヤ東部には1024の氷河が存在し、そのうちの153 (15%) が岩屑被覆氷河であった。氷河の総面積は、1597 km²に及び、岩屑に覆われた範囲はそのうちの261 km²で、全体の16%を占めている。1992年現在のこの氷河分布図と、1958年撮影の空中写真により作成された地形図とを比較し、最近34年間の個々の氷河の末端変動を明らかにした。合理的なデータのみを取り上げ、全体の約半数の氷河について検討した。その結果、57%の氷河が最近34年間で後退していた一方で、35%の氷河が停滞、9%の氷河が前進していた。したがってネパール・ヒマラヤ東部の氷河は、全体には後退傾向が顕著なものの、全ての氷河が後退している訳ではない。後退・停滞・前進の変動種別ごとの出現の割合には地域差があり、クラスター分析によって16に細分した山群・流域は氷河変動の傾向をもとに三つの地域類型に区分できる。地域差が生じる要因やより広い範囲での傾向については、さらに詳細な検討が求められる。

キーワード：氷河目録、氷河変動、ネパール・ヒマラヤ、空中写真

Key words: glacier inventory, glacier variation, Nepal Himalaya, aerial photograph

1. はじめに

ある地域における氷河の全体像を理解するためには、地域の氷河をリストアップした氷河目録を作成することが必要である (たとえば、樋口, 1971)。地域の氷河目録は、研究対象とする氷河を地域の中で評価するうえでも欠かすことができない。また、氷河変動を明らかにするうえでも、精度の高い氷河目録が必要なのはいうまでもない。

ネパール・ヒマラヤを対象とする氷河研究は盛んにおこなわれているが、一方で氷河目録の作成が進んできたとはいえない。これまでにネパール・ヒマラヤで作成された氷河目録は、クーンブ地方の一部 (Müller, 1970; Higuchi *et al.*, 1978) とランタン地方 (Iida *et al.*, 1984; Shiraiwa and Yamada, 1991) に限られている。そのうえいくつ

かの問題点がある。これらの氷河目録作成に基図として使われた地形図が十分な精度を有していなかったこと、斜め撮り航空写真をもとに氷河の分布をプロットしたため、位置の精度が悪いなど十分な精度を持ち得なかった。氷河目録に不可欠の各氷河の面積が示されていない研究もある。

作成年度の異なる、十分な精度を有する氷河目録があれば、それらの比較によってその間の個々の氷河の変動が明らかになる。したがって近年氷河目録に対する需要が高まっている (World Glacier Monitoring Service, 1998)。

しかもこれらネパールの氷河目録は、World Glacier Monitoring Service (WGMS) が定めている氷河目録ガイドライン (World Glacier Monitoring Service, 1989) の勧告に沿った、世界的に通用する内容を十分に満たしていない。そこで、本著者はネパール・ヒマラヤの氷河目録を作成することに取り組んできた。本稿では、ネパール東

1) トリブヴァン大学地理学科
Kirtipur, Kathmandu, Nepal

部の氷河目録(Asahi, 1999)の作成過程を説明し、現在の氷河の分布とその特徴を考察する。あわせて、過去の氷河分布範囲との比較を試み、最近(1958-92年)の氷河末端変動の様相を地理的特徴にもとづいて検討する。

2. 方 法

2.1. 氷河目録

氷河目録作成にあたって使用した資料および作成の手順は次の通りである。氷河分布図の基図には、1995年までにネパール測量局から発行された5万分の1地形図を用いた。この地図は、ネパールの行政区の東部、中部地区(Eastern and Central Development Region)を対象としたもので、おおむね東経85度以東についてのみ刊行されている。したがってこの氷河目録が対象とした地域は、東経85度以東の、ネパール・ヒマラヤ東部に限られる。氷河の輪郭の分布範囲については、ネパール測量局が1992年秋に撮影した垂直撮り空中写真(おおむね6万分の1スケール)の判読によって作成した。ステレオ撮影された空中写真を実体視することによって、各氷河の位置を三次元で正確に把握することができ、これによって一つ一つの氷河分布を地形図上に描くことができた。氷河の表面を覆う岩屑の有無も写真判読によって図示した。目録ではすべての氷河について、氷河名、緯度・経度座標、涵養域と消耗域の方位、氷河の形態的特徴を表す6桁のコード番号、氷河の種別(裸氷氷河、岩屑被覆氷河)、岩屑に覆われる範囲と覆われない裸氷の範囲の面積、および氷河の上端、末端、岩屑に覆われた範囲の上端の高度などを示し、WGMSの勧告を満たす記載を行った。氷河目録の例として、ネパール東部の代表的な大型の谷氷河の目録を表1に示す。

2.2. 氷河変動

1960年代にインド測量局が、1958年に撮影された垂直撮り空中写真から作成した地形図(1 inch/1 mile; 63360分の1)に描かれている氷河の輪郭を、氷河目録の氷河分布図と重ね合わせ、変化を読みとった。したがってここで明らかになる最近の氷河変動は、1958年から1992年までの34年間の氷河末端変動についてである。この氷河変動については次の1)~3)の問題点があ

る。1) ここでいう氷河変動とは、34年間の累積結果による氷河の末端変動であり、後退した氷河と判定されても、その間氷河が後退し続けていたのかは判断する材料がない。また二次元の資料を用いたので、氷体の厚さまでは考察されない。停滞している氷河と判定されても、氷厚についても変化していないかは判断できない。2) 5万分の1地形図の描出精度の限界から、地形図上での1 mm幅以下の変動は誤差の範囲内であることから、この手法で論じられる末端変動は50 m以上の水平方向の変動についてである。50 m以下の長さの変化は、変化なしと見なされる。3) 地形図上に示された氷河の範囲が、必ずしも正確であるとはいえない。たとえば、1995年に刊行されたネパールの5万分の1地形図では、氷河の範囲の誤認がきわめて多く、地形図に記された氷河の範囲と空中写真によって確認できた氷河の範囲とが合致しないことが多い。これは、ヒマラヤには岩屑に覆われた氷河が多いという事実を認識せず、河床や崖錘のような氷河とは無関係の岩屑地との区別ができていないことが理由の1つである(朝日・渡辺, 1998)。さらに、積雪域との区別や、写真の焼き加減によって生じるハレーションはより一層の間違いを招きうる。同じような氷河認定の誤りが、1960年代のインド測量局の地形図についても起こったであろうことは容易に想像できる。

とはいうものの、1960年代の地形図と、本研究で1992年の空中写真から作成した氷河分布図を比較すると、形態が複雑な氷河であっても末端位置がよく合致する事例もあるので(図1)、一律に1960年代の地形図に描かれた氷河が不正確とは断言できない。この点をチェックするために、現地調査の結果と比較検討した。クーンブ・ヒマールやロールワリン・ヒマールで1970年から90年代に地上でいくつかの氷河の末端変動が観測されている(内藤, 2001)。氷河での観測結果と、本研究で明らかになった氷河の変動の値を比較すると、合致する場合と合致しない場合とがある。たとえば、ロールワリン・ヒマールの中の一山群、ショロン・ヒマールのAX010氷河の変動は、1978年から91年までの13年間で58 mの後退が現地での測量によって観測された(Kadota *et al.*,

表1 ネパール・ヒマラヤ東部における代表的な谷氷河の氷河目録.

Area and location	Glacier Name	Latitude (N)	Longitude (E)	Aspect		Class	Glacier type	Surface area (km ²)			Elevation (m)		
				Acc.	Abl.			Clean	Debris	Total	Max.	Min.	Debris max.
Kanchenjunga													
1	Yalung	27° 40'	88° 05'	SW	SW	524023	D	40.4	15.2	55.6	8586	4310	5480
2	Kanchenjunga	27° 47'	88° 08'	W	W	510422	D	53.7	16.9	70.7	8586	4600	5720
Khumbu													
3	Barun	27° 55'	87° 01'	SE	S	520122	D	35.5	7.8	43.3	7457	4980	5760
4	Lower Barun	27° 49'	87° 06'	E	E	524321	D	29.6	3.2	32.9	7287	4540	4840
5	Hongu	27° 51'	86° 58'	SW	W	524422	D	7.2	1.8	9.0	7152	5214	5600
6	Inku	27° 47'	86° 51'	E	S	520310	D	3.9	2.7	6.6	6783	4900	5500
7	Imja	27° 54'	86° 57'	S	W	514221	D	11.6	7.1	18.7	8040	5010	5600
8	Lhotse	27° 57'	86° 56'	S	SW	520123	D	8.0	6.7	14.8	8516	4790	5480
9	Nuptse	27° 57'	86° 52'	S	S	520423	D	2.7	3.2	5.8	7864	4960	5585
10	Khumbu	28° 00'	86° 52'	W	S	520423	D	27.8	15.4	43.2	8848	4880	5560
11	Ngojumba	28° 04'	86° 43'	S	S	510313	D	63.2	27.0	90.1	8188	4640	5540
12	Bhote Koshi	28° 03'	86° 36'	S	SE	520113	D	22.4	16.8	39.2	7350	4660	5680
Rolwaling													
13	Lumding	27° 46'	86° 35'	NE	E	524421	D	3.2	1.3	4.5	6958	4860	5100
14	Trambau	27° 53'	86° 33'	S	NW	524111	D	31.3	3.6	34.9	6938	4540	5240
15	Rolwaling	27° 56'	86° 30'	S	SW	520120	D	13.8	5.4	19.2	6757	4595	5520
Langtang													
16	Dorje Lakpa	28° 10'	85° 48'	S	S	520423	D	12.5	1.6	14.2	6979	3780	4820
17	Lansisa	28° 12'	85° 45'	W	W	510121	D	16.1	4.6	20.7	6979	4400	5360
18	Langtang	28° 19'	85° 43'	S	S	510123	D	37.1	15.9	53.1	7205	4460	5600
19	Shalbachum	28° 15'	85° 38'	S	SE	520310	D	8.5	3.2	11.7	6599	4140	5120
20	Lirung	28° 15'	85° 33'	SE	S	530520	D	4.3	1.3	5.6	7277	4020	4440

各氷河の位置は、図3～図6にそれぞれのコード番号 (location) で示した。氷河の方位 (Aspect) は卓越する氷河の伸長方向を示し、涵養域 (Acc.) と消耗域 (Abl.) とに分けた。氷河の形態的特徴の6桁コード (Class) はWGMS (1989) に従った。氷河の種別 (Glacier type) では、岩屑被覆氷河を"D"で表した。氷河の面積 (Surface area) は、裸氷の範囲 (Clean) と岩屑被覆の範囲 (Debris) に分け、合計の面積も示した。氷河の標高は、上端高度、末端高度と岩屑に覆われた範囲の上端高度 (Debris max.) を示した。

図1 1958年と1992年の氷河の範囲を比較した例。場所はランタン・ヒマール、ガンジャ・ラ (峠)。網掛けの範囲が1992年の氷河の広がり。太線で示したのが1958年の氷河の末端位置。複雑な形状をしているにもかかわらず、ほぼ末端位置が合致している。

1997). 本研究で用いた方法によると, 1958年から92年までの34年間の変化は150 mの後退であり, 比較する時間間隔が異なるものの, その結果は調和的である. これに対して, AX000氷河では, 1978年から89年までの11年間で158 mの後退が観測された(Yamada *et al.*, 1992)のに対し, 本研究での34年間の変化は600 mとやや大きく測定される. AX010氷河を含め, AX000氷河に近接するほぼ同規模の小氷河が示す34年間の末端変動は50 – 150 mであり, AX000氷河の結果はほかとは異なっている. また1992年の時点で全長650 mの小氷河が示す600 mもの後退量は大きいともいえ, 1958年のAX000氷河の末端位置の情報がそもそも誤りであった可能性がある. 現地での観測のない氷河であっても, 地形図が示す二つの時期の氷河の末端の形態を比較すると, 不自然に異なっている事例も多い. このような検討にもとづき本研究では, 氷河の規模, 二つの時期の氷河末端の形態, 変動の大きさ, 周囲の氷河との比較から判断し, 合理的であると思われる結果のみを取り上げた.

氷河末端変動の傾向や差異の地理的な特徴を明らかにするため, 研究対象地域を山群や集水域ごとに区分し, 16の地域を設定した. 明らかになった氷河の末端変動は, 氷河変動種別として, 後退・停滞・前進の3つに分類した. 氷河変動種別ごとの割合(パーセント)を16の地域ごとにま

とめた.

3. 結 果

3.1. 氷河分布

氷河目録作成の対象である, おおよそ東経85度以東の氷河の分布を図2に示す. この地域には, 東から, カンチェンジュンガ, クーンブ, ロールワリン, ランタンの各ヒマラヤ山塊(ヒマール)がある. それぞれの山塊での詳細な氷河分布を図3から図6に示した. 氷河の数は, 研究対象地域全体で1024確認できた(表2). 前述の氷河目録作成ガイドライン(World Glacier Monitoring Service, 1989)では, *岩石氷河(*内部に氷を持ち, ゆっくりと流動する舌状の岩塊地形)についても記載するよう求めているが, 今回は割愛し氷河の数のみを扱った.

すでに触れたように, 氷河の表面が岩屑に覆われている氷河を岩屑被覆氷河という. 岩屑被覆氷河の存在がヒマラヤの氷河の特徴であるといわれることがあるが, 岩屑被覆氷河の数は153, 全体の15%に過ぎない. 氷河の数としては, 面積1 km²以下の小型の, 岩屑に覆われない氷河が圧倒的に多数を占めている. 各ヒマラヤ山塊内においては, ヒマラヤ山脈主脈部の高峰からは岩屑に覆われた大型の氷河が流下し, 対照的に, 標高の低い峰, 中でも南縁になると, 岩屑に覆われない小型の氷河ばかりになる(図3から図6).

図2 ネパール・ヒマラヤ東部における氷河分布. 網掛け部分が氷河の範囲. 特に濃い網掛け部分は表面を岩屑に覆われた氷河の下流部.

図3 カンチェンジュンガ・ヒマールにおける氷河分布。濃い網掛けが岩屑に覆われた範囲、黒く塗りつぶしたのは氷河湖。

図4 クーンブ・ヒマールにおける氷河分布。濃い網掛けが岩屑に覆われた範囲、黒く塗りつぶしたのは氷河湖。

図5 ロールワリン・ヒマールにおける氷河分布。濃い網掛けが岩屑に覆われた範囲、黒く塗りつぶしたのは氷河湖。

図6 ランタン・ヒマールにおける氷河分布。濃い網掛けが岩屑に覆われた範囲、黒く塗りつぶしたのは氷河湖。

表2 各ヒマラヤ山塊（クーンブ・ヒマールでは流域ごと）ごとの氷河の数と面積。

Area	code	Number			Surface area (km ²)		
		C	D	Total	C	D	Total
Kanchenjunga	A-D	293	40	333	417	66	483
Khumbu	E-J	319	64	383	538	138	676
Barun Khola	E	63	10	73	166	20	185
Hongu Khola	F	60	8	68	63	4	67
Hinku Khola	G	47	7	54	61	9	70
Imja Khola	H	69	24	93	97	43	140
Dudh Koshi	I	35	3	38	76	28	105
Bhote Koshi	J	45	12	57	74	35	109
Rolwaling	K-M	135	18	153	161	17	179
Langtang	N-P	124	31	155	220	39	259
Total		871	153	1024	1336	261	1597

氷河の数 (Number) は裸氷氷河と岩屑被覆氷河のそれぞれの数を示し、面積 (Surface area) は全氷河のうち裸氷域 (C) と岩屑被覆域 (D)、合計のそれぞれの面積を示す。

表2に示したようにヒマラヤ山塊ごとの氷河面積も求めた。全体の氷河総面積は1597 km²に及ぶ。ここでは氷河の種別ごとにではなく、岩屑に覆われた範囲と覆われない範囲とに分けて、それぞれのヒマラヤ山塊内での面積を求めた。岩屑に覆われた範囲の総面積は261 km²で、全面積の16%に過ぎず、面積からみても岩屑被覆氷河が、広い範囲を占めている訳ではない。

3.2. 1958-92年の氷河変動

氷河末端変動が明らかになった氷河は、地域ごとに多少のばらつきはあるものの、全体では45%の氷河になる (表3)。対象地域全体としては、最近34年間で個体数で56.8%の氷河が後退、

表3 各ヒマラヤ山塊ごとに山群や集水域ごとに細分して示した氷河変動種別ごとの氷河の数。

Area	code	Retreated			Stationary			Advanced			Number of glaciers whose variation was examined	Number of Existing glaciers
		C	D	Total	C	D	Total	C	D	Total		
Kanchenjunga	Yalung Khola A	8	0	8 66.7	2	2	4 33.3	0	0	0 0.0	12 35.5	31
	Ghunsu Khola B	25	5	30 52.6	19	2	21 36.8	6	0	6 10.5	57 45.0	120
	Yangma Khola C	19	3	22 57.2	15	2	17 39.5	3	1	4 9.3	43 45.7	92
	Lumba-samba D	30	1	31 68.9	11	0	11 24.4	3	0	3 6.7	45 45.6	90
Khumbu	Barun Khola E	13	6	19 65.5	9	1	10 34.5	0	0	0 0.0	29 35.6	73
	Hongu Khola F	18	4	22 64.7	10	0	10 29.4	2	0	2 5.9	34 45.6	68
	Hinku Khola G	12	2	14 45.2	12	2	14 45.2	3	0	3 9.7	31 57.4	54
	Imja Khola H	21	4	25 61.0	4	11	15 36.6	1	0	1 2.4	41 37.6	93
	Dudh Koshi I	11	0	11 64.7	4	2	6 35.3	0	0	0 0.0	17 44.7	38
	Bhote Koshi J	13	3	16 61.5	3	4	7 26.9	3	0	3 11.5	26 42.1	57
Rolwaling	Shorong K	12	3	15 46.9	9	0	9 28.1	4	4	8 25.0	32 77.1	35
	Rolwaling L	18	2	20 58.8	12	1	13 38.2	1	0	1 2.9	34 39.3	84
	Lapchi M	10	1	11 73.3	4	0	4 26.7	0	0	0 0.0	15 41.2	34
Langtang	Jugal N	3	1	4 30.8	3	1	4 30.8	4	1	5 38.5	13 26.8	41
	Helambo O	4	0	4 44.4	3	0	3 33.3	2	0	2 22.2	9 25.0	38
	Langtang P	11	1	12 44.4	9	4	13 48.1	2	0	2 7.4	27 32.9	76
Total		228	36	264 56.8	129	32	161 34.6	34	6	40 8.6	465 45.4	1024

氷河変動種別 (後退, 停滞, 前進) ごとの氷河の数を、裸氷氷河 (C)、岩屑被覆氷河 (D) ごとに示した。実数の下の斜体で示した数字はそれぞれの変動種別の出現割合 (%)。右側の列には、各山群・流域ごとの変動が判った氷河の数と、氷河の総数を示した。斜字体は変動が判別した氷河の、総数に対する割合 (%)。

34.6%が停滞, 8.6%の氷河が前進していた。ネパール・ヒマラヤの氷河の最近の変動傾向について、後退が顕著であることがこれまでの研究で示されてきた(たとえば, 山田・白岩, 1995)。半数以上の氷河が後退していたことは、ネパール・ヒマラヤ東部の氷河の変動傾向は、後退が卓越していることを裏付けており、従来の説を支持する。一方で、1割弱の氷河が前進している、という事実も見逃してはならない。ヒマラヤの氷河変動に関しては後退傾向ばかりが強調されてきたが、すべての氷河が後退している訳ではないことは、常に考慮しておく必要がある。

次に後退・停滞・前進の氷河変動のそれぞれの種別が、山域内でどのように分布しているかをみる。図7では一例として、クーンブ・ヒマールでの変動の分布の様子を地図に示した。ひとめでわかることは、東半分には後退する氷河が多く分布し、西半分には停滞傾向の氷河が相対的に多いことである。前進している氷河は少数ではあるが、ヒマラヤ主脈から南へ派生した山稜の南端近くに分布することである。いっぽう、氷河の伸長する方位や涵養域の斜面の向き、1つ1つの氷河の大きさ

の違い、という要素では変動の傾向をくくることはできそうにない。

氷河の数に着目して整理すると、氷河変動種別ごとの割合に明瞭な特徴を見いだせる山群や流域がある。表3によると、たとえば、ロールワリン・ヒマールのうちラブチ・コーラ(谷)流域では、73.3%の氷河が後退したのに対し、ランタン山塊のジュガル山群では、後退した氷河は30.8%に過ぎない。前進した氷河の割合に注目すると、4つの山群・流域で0%なのに対し、ジュガル山群では38.5%の氷河が前進していた。このように、山群・流域ごとに変動の傾向が異なり、全体にどの地域も後退が卓越してはいるものの、停滞している氷河が多かったり、前進する氷河の割合が顕著な山群・流域がある。

そこで、こうした地域的な氷河変動特性を統計的にもはっきりとさせるためクラスター分析を行い、16の地域の類型化を試みた。ここでは各地域の面積や氷河個体数の違いを考慮せず、資料には表3に示した各山群・流域での氷河変動種別(後退・停滞・前進)の割合(裸氷氷河、岩屑被覆氷河の合計; Total)を変数とした。クラスタ

図7 クーンブ・ヒマールにおける、氷河の変動種別(後退・停滞・前進)による氷河の分布。

一分析はウォード法である。変動の地域的傾向がはっきりと表れる4類型以下にまとめることを考え、結合距離に差が見られる部分で区切ると、三つのおおまかなクラスターが見られた(図8)。これらをそれぞれ、I型、II型、III型の類型と仮に区分する。それぞれの類型に区分された地域の変動の割合を表3で見ると、I型の地域では、停滞している氷河の出現頻度が相対的に高い。II型では6割内外の氷河が後退し、後退が卓越している。これらに対し、III型の地域では20%以上の氷河が前進しており、他の地域と異なって特にこの割合が高い。前進が顕著に見られるIII類型の地域は、氷河が発達している地域の中では南縁にあ

たるところに出現している(図9)。

したがって、ネパール東部の氷河は、全体的には後退傾向にあるものの、一様に後退している訳ではなく、その傾向には一定の地域差がある。

4. 今後の課題

本稿で扱った氷河末端変動は、東経85度以東のネパール・ヒマラヤの東半分であった。しかし、ネパール・ヒマラヤの氷河の全体像を把握するためには、ネパール西部についても同じ研究を行う必要がある。西部の空中写真については、1996年秋に撮影され、既に利用可能になっている。2003年末までにネパール全土の5万分の1地形図が刊行される予定になっているので、それ以降はネパール西部の氷河目録も今回と同じ判読基準で作成が可能となろう。

最近になって合衆国地質調査所から、過去の米軍偵察衛星写真が公開された。この写真はほぼ全世界を網羅しており、実体視が可能なシリーズも含まれている。撮影は1960年代が主で、ネパールを初めとするヒマラヤ各地もこの写真でカバーされている(熊原・中田, 2000)。ロール状のネガフィルムで供給されるので、これをもとに1枚1枚印画紙に焼く手間を惜しみさえしなければ、従来利用されてきたのと同様の、実体視が可能な5万分の1スケールの空中写真を入手できることになった。これを用いれば、1960年代の氷河目録作成が可能になり、その確かさを確認するすべ

図8 クラスター分析による氷河変動種別割合ごとの地域類型。各氷河地域(A～N)での氷河変動種別ごとの割合(パーセント)をクラスター分析(ウォード法)によって、地域類型化した。結合距離50において、地域を3類型化(類型I, II, III)することができる。Area(A～N)は表3を参照されたい。

図9 クラスター分析によって3類型化された地域の分布。I, II, IIIはそれぞれ、類型I, II, IIIの地域。

がなかった1958年の氷河分布についても検証できよう。

これら年度の異なる氷河目録情報をGIS上で運用すれば、氷河変動と、標高や方位をはじめとする氷河個々の要素との相関をはじめ、より定量的な分析が可能になる。また近年問題となっているヒマラヤの氷河湖決壊（例えばYamada, 1998）についても、氷河湖の発達過程を追跡できるようになり、大きな貢献になろう。

謝 辞

本研究を行うにあたって、東京都立大学大学院岩田修二教授には、本稿執筆に至るまで常にご指導を賜りました。名古屋大学大気水圏科学研究所上田豊教授、中尾正義博士には本研究を行う機会を与えていただき、北海道大学大学院渡辺悌二博士には原稿についてご助言をいただきました。記して深くお礼を申し上げます。

本研究には、文部省科学研究費補助金（国際学術研究，研究課題番号：06041051，研究代表者：上田豊）の一部、ならびに（社）日本雪氷学会井上フィールド科学研究基金による研究活動助成（第3回）を使用した。

文 献

- Asahi, K., 1999: Data on inventoried glaciers and its distribution in the eastern part of Nepal Himalaya. Data report 2, Basic studies for assessing the impacts of the global warming on the Himalayan cryosphere, 1994-1998, Institute for Hydrospheric-Atmospheric Sciences, Nagoya University and Department of Hydrology and Meteorology, HMG/Nepal. 1-76.
- 朝日克彦・渡辺悌二, 1998: ネパールの新しい地形図とその問題点. 地理, **43**, 81-85.
- 樋口敬二, 1971: "氷河情報センター"構想. 岩と雪, **21**, 20-27. (再録: 樋口敬二, 1972: 地球からの発想. 東京, 新潮社, 265-277)

- Higuchi, K., Fushimi, H., Ohata, T., Iwata, S., Yokoyama, K., Higuchi, H., Nagoshi, A. and Iozawa, T., 1978: Preliminary report on glacier inventory in the Dudh Kosi region. Seppyo, **40**, Special Issue 78-84.
- Iida, H., Watanabe, O., Mulmi, D. and Thapa, K., 1984: Glacier distribution in the Langtang river region, Nepal. Glacier studies in Langtang Valley, Report of the glacier boring project 1981-1982 in the Nepal Himalaya. Data Center for Glacier Research, Japanese Society of Snow and Ice, 117-120.
- Kadota, T., Fujita, K., Seko, K., Kayastha, R.B. and Ageta, Y., 1997: Monitoring and prediction of shrinkage of a small glacier in Nepal Himalaya. Ann. Glaciol., **24**, 90-94.
- 熊原康博・中田 高, 2000: 発展途上地域における米軍偵察衛星写真の地形学的研究への応用. 地誌研年報, **9**, 129-155.
- Müller, F., 1970: A pilot study for an inventory of the glaciers in the eastern Himalayas, Inventory of glaciers in the Mount Everest region. Perennial ice and snow masses, Technical papers in hydrology, UNESCO/IHAS, 47-59.
- 内藤 望, 2001: ネパール・ヒマラヤにおける近年の氷河縮小. 雪氷, **63**, 207-221.
- Shiraiwa, T. and Yamada, T., 1991: Glacier inventory of Langtang Valley, Nepal Himalaya. Low Temperature Science, Ser. A, **50**, 47-72.
- World Glacier Monitoring Service, 1989: World glacier inventory—Status 1988—. Zurich, IAHS/ICSI, GEMS/UNEP and UNESCO.
- World Glacier Monitoring Service, 1998: Into the second century of world wide glacier monitoring- prospects and strategies. Paris, UNESCO Publ., 227pp.
- Yamada, T., Shiraiwa, T., Iida, H., Kadota, T., Watanabe, T., Rana, B., Ageta, Y. and Fushimi, H., 1992: Fluctuation of the glaciers from 1970's to 1989 in the Khumbu, Shorong and Langtang regions, Nepal Himalaya. Bull. Glacier Res., **10**, 11-19.
- 山田知充・白岩孝行, 1995: ヒマラヤ・カラコルム地域における近年の氷河変動. 雪氷, **57**, 257-267.
- Yamada, T., 1998: Glacier lake and its outburst flood in the Nepal Himalaya. Monograph No.1, Data Center for Glacier Research, Japanese Society of Snow and Ice, 101 pp.

Inventory and recent variations of glaciers in the eastern Nepal Himalayas

Katsuhiko ASAH

Central Department of Geography, Tribhuvan University, Kirtipur, Kathmandu, Nepal

Abstract: Glacier distribution maps of the eastern Nepal Himalayas were prepared by means of the interpretation of vertical aerial photographs, which were taken in 1992. Eastern Nepal, in which the Kanchenjunga, Khumbu, Rolwaling, Langtang Himalayas are located, contains well-glacierized areas. The prepared maps revealed that 1024 glaciers exist in eastern Nepal, including 153 debris-covered glaciers. The total area of the glaciers attains 1597 km², with the total area of the debris-covered surface of 261 km².

The glacier distribution maps of 1992 and the topographical maps of 1958 were compared for identifying the changes of the individual glaciers. Only reliable data, i.e., 45.4% of the existing 1024 glaciers, were selected and examined. In eastern Nepal 56.8% of the glaciers had retreated from 1958 to 1992, suggesting that the predominant trend in this period was "retreated." Recent glacier retreat has been most often emphasized in the Himalayas in general. However, the result of this study shows that 34.6% of the glaciers were under stationary conditions and 8.6% were even advanced. This means that, to be more accurate, the general tendency should be regarded not just as "retreated" but as "mostly retreated."

(2001年1月16日受付, 2001年2月28日改稿受付, 2001年3月1日受理, 討論期限2001年9月15日)