水文・水資源学会誌
J. Japan Soc. Hydrol. & Water Resour.
Vol. 11, No. 7 (1998) pp. 732-739

アジア高山地域の氷河の特性と将来

The Nature and the Future of Glaciers in Asian High Mountain Regions

中尾正義* (名古屋大学大気水圏科学研究所)

Masayoshi NAKAWO *Institute for Hydrospheric-Atmospheric Sciences, Nagoya University*

Glaciers in Asian high mountain regions are fed mostly during summer while ablation takes place simultaneously, which is in contrast with those in the other regions of the world, where accumulation and ablation occur in winter and summer respectively. Great abundance of supraglacial debris is another important nature of glaciers in Asia: total glacial area with surface debris is much larger than the area of debris free ablation zone of glaciers. Ablation processes below a supraglacial debris layer are, hence, of great importance. Very rapid rates of shrinkage identified for glaciers in Asian high mountain regions could be related to these two kinds of nature of those in the area. The recent shrinkage of glaciers contributes significantly to the amount of river discharge. In other words, the amount of water supply from mountains is currently maintained with the additional water through the decrease of glacier masses. A sharp decrease of available water could take place, therefore, in near future in association with disappearances of some glaciers. This would be very important in arid and semi arid regions in Asia where relative importance of glacier melt water is comparatively great.

Key words: Asian high mountain regions, Glaciers, Summer-accumulation type, Supraglacial debris, Recent shrinkage, River discharge

氷河の涵養と消耗がそれぞれ冬と夏という別の季節に生じている他の地域と異なり、アジア高山地域の氷河では涵養と消耗とがどちらも夏の期間に同時に生じている。また、氷河消耗域の大部分が表面堆積物に覆われているということもアジア高山地域の氷河の特性である。したがって堆積物下での融解過程が非常に重要になる。同地域の氷河は最近急速に縮小していることが見いだされていることが、このことはこれら二つの特性が影響している可能性が高い。最近の氷河縮小は河川流出にも影響している。つまり、最近の氷河縮小による過剰な水の供給によって河川流量が現在のレベルに保たれているとも言える。したがって、氷河の消滅にともなう急激な供給水量の減少が近い将来に生じることもありうる。このことは、氷河融解水の寄与が相対的に大きいアジアの乾燥・半乾燥地域ではとりわけ重要となろう。

キーワード: アジア高山地域、氷河、夏季涵養、氷河表面堆積物、最近の氷河縮小、河川流出

I. はじめに

世界の陸水の75%は固体の水として氷河に蓄えられている。その大部分は南極とグリーンランドの氷床として極地域に存在する。これら陸水の変動は、世界最大の自然災害とも言える海面水準の変動に深く関わっているが(たとえば中尾, 1996)、本稿では海水位問題には深く立ち入らず、水資源としての陸水の役割にとくに着目して考えてみたい。極地の氷床から流出してくる氷山を低緯度の乾燥地まで曳航してきて水資源として利用しようという計画も総合的に検討されているが(たとえばIGS, 1980)、極地周辺にすむ人々の数は少なく、極地氷床は水資源とし

て一般的に利用できるわけではない。水資源として人類の生活と深く関わりをもつのは、中低緯度の高山地域に分布する比較的小規模な氷河である。両氷床をのぞくと、氷河の中に蓄えられている水の量は約180Tt(テラトン: 10^{12} トン)となり、それでも世界中の湖と河川をあわせた水の量である130Ttや大気中の水の合計13Ttよりも多い。

地球規模水循環の様子を概念的に示したのが図-1である。陸地への降水量の合計が年間10Ttで、そのうちの73Ttが蒸発(散)によって大気に戻る。残りの37Ttのうち2Ttが氷山として氷河から直接海へ流出し、35Ttが河川として海へと流出する。そのなかには氷河の融け水も含まれているが、その量

*名古屋大学大気水圏科学研究所 〒464-8601 名古屋市千種区不老町

図一 地球規模水循環の概念図(括弧中の数字は存在量で、矢印の数字が移動量。単位はそれぞれ 10^3Tt と $10^3\text{Tt}/\text{年}$ ，Nakawo(1998)より)

は $1\text{Tt}/\text{年}$ 程度で、つまり氷河の融け水は全河川流量の約3%ということになる。したがって、地球全体で考える限り、水資源としての氷河の寄与はさほど大きいわけではない。しかし、氷河は世界的に見て特定の場所に偏在しているため、氷河が多量に存在している地域では無視できないし、後に述べるアジア中央部の乾燥/半乾燥地域では氷河の融解水が河川水の大部分を占めることもある。

アジア高山地域の氷河には、その涵養が冬季ではなく主として夏季に生じるということと、融解がおきる消耗域のかなりの部分が堆積物に覆われているという二つの特性がある。本稿では、この特性について解説した後、同地域の氷河の急速な縮小傾向について述べて、その水資源としての役割について考えてみたい。

II. 氷河の夏季涵養

氷河は主として降雪や雪崩によって涵養される。アジア高山地域では、雪崩涵養の氷河も相当数ある

図二 氷河涵養の季節の違いによる質量収支要素の年変化の比較(上田, 1997)

が、世界の氷河では涵養のほとんどは降雪であることが多い。通常降雪があるのは気温が低い冬季であり、事実ヨーロッパアルプスやアラスカの氷河は冬季の降雪によって涵養されている。しかしアジア高山地域では、ネパール西部やカラコルム地域を除けば、降水をもたらず水蒸気が夏のモンスーンとして供給されるために、氷河を涵養する降雪は主として温暖な夏季に生じる(たとえば安成・藤井, 1983)。冬季は降水量自身が極端に少なく、氷河涵養への寄与は小さい。このことは、モンスーンの影響が強いヒマラヤ山脈の南面にある氷河に限らず、内陸部のタングラ山脈や崑崙山脈、天山山脈の氷河の場合にも当てはまる(e.g. Fujita *et al.*, 1996; Ageta *et al.*, 1989; Aizen and Aizen, 1994)。一方氷河の消耗は、蒸発による部分もあるが、大部分は氷の融解によって生じる。したがって、日射が強くまた気温も高い夏季が最も激しい。このことはアジア高山地域を含めて世界的に共通して言えることである。

アジア高山地域の氷河の夏季涵養については、上田(1983)に詳しく述べられているので、ここでは簡単に概観するにとどめる。冬季に涵養される冬雪型氷河と夏季に涵養される夏雪型氷河の質量収支(単一の氷河全域に関する)の年変化を概念的に比べたのが図一2である。涵養、消耗それぞれを示す実線は、1日あるいは10日という一定期間における涵養量、消耗量を表しており、厳密には涵養速度、消耗速度にそれぞれ対応する。両者の和である収支(破線)も単位時間における収支と考えていただければよい。涵養側である上方がプラスを、下方がマイナスの収支を示している。

アルプスやアラスカに代表される冬雪型の氷河では、収支が季節的に大きく変動しているのに対して、涵養のピークと消耗のピークが夏季に集中している夏雪型氷河では、収支の季節変動パターンに極大が現れない。このことに加えて、気温が高い夏季の降雪が重要な夏雪型氷河では、涵養量は気温に大きく依存するという特徴がある。わずかに気温が高くと、降雪が降雨へと変化して、氷河を涵養しなくなるし、わずかに気温が低ければ、降雨は降雪になり、降水量が増えなくとも涵養量が増加するからである。このことは我が国の積雪地帯の南限である長岡や富山などの積雪を考えるとわかりやすい。たとえば年間最大積雪深の年々変動は気温との間に極めて高い負の相関を持っている(e.g. Nakamura and Shimizu, 1996)。最大積雪深は冬季の降水量とも正の相関があるもの

の、降水量の変動による積雪深の変動への効果はきわめて少なく、気温のわずかな違いによる降雪が降雨かという質的な違いが最も重要なファクターとなっている。

降雪と降雨の違いが微妙な気温の変化に影響されるということは、夏雪型氷河の涵養量だけではなく消耗量にも影響する。気温が低くて降雪が増えれば、氷河表面のアルベドが増加し、消耗量は減少する。日射が氷河消耗の主要な熱源だからである。気温が低ければ、顕熱による消耗量も減少するわけだから、消耗量の減少は両者による二重の効果でさらに大きくなることになる。気温が高ければ全く逆のことがおきる。つまり夏雪型氷河ではその消耗量も、アルベド効果がほとんどない冬雪型氷河よりも敏感に気温に依存することになる。その結果、涵養量と消耗量の合計である収支は、気温が高ければ極端に減少することになるし、気温が低ければ大きく増加する(図-3)。以上の特徴は、雨/雪の境界となる高度に涵養域を持つ比較的規模の小さい氷河について特に顕著である。以下に述べる消耗域が堆積物に覆われた比較的大型の氷河の場合には、その涵養域の標高が概して高いために多少の気温上昇ではその涵養域における降雪が降雨へと変化する効果は少ない。

Ⅲ. 表面堆積物下での融解

アジア高山地域の氷河台帳はまだ完備されていないが、ネパールヒマラヤのクンプ地域については

図-3 夏雪型氷河における涵養量、消耗量および質量収支の気温依存性(上田, 1997)

Müller(1970)やHiguchi *et al.* (1978)によって目録作りが進められた。その結果を基にしたFujii and Higuchi(1977)の解析によれば、同地域にある126個の氷河のうち、氷河が堆積物で覆われていない氷河は89個で、残りの37個はその消耗域が堆積物に覆われている。堆積物のない氷河は数でこそ多いが一般にその大きさが小さい。一方、堆積物に覆われている氷河のほとんどは規模が大きく、それらの氷河の合計面積は全氷河面積の80%以上にも達する。小氷河の消耗域の面積は少なくとも個々の氷河面積の半分以下だと考えられるので、同地域の氷河消耗域全面積の少なくとも86%は堆積物に覆われていることになり、堆積物下での融解過程が、同地域からの水の供給を考えるとときには非常に重要であることになる。

氷河表面が堆積物に覆われている場合には、氷河表面が露出している場合と比べて、氷河の融解速度が大きく異なるということは、østrem(1959)やLoomis(1970)の観測によって知られていた。世界各地での観測結果を示した図-4に見られるように、氷河の日融解量は表面堆積物の厚さが増加するにつれて増加するが、ある厚さに達すると減少に転じる。さらに堆積物の厚さが増加すると全く堆積物がない場合と同じ融解速度を持つようになり、その後は厚さの増加にしたがって次第に融解速度は減少していくだけである。同様の結果はネパールヒマラヤでも観測されている(Fujii, 1977)。

このことは以下のように説明することができる。土砂のような堆積物は一般に雪や氷よりも色が黒くアルベドが小さい。したがって、表面が堆積物に覆われている場合の方が日射を多量に吸収することができて融解速度が大きくなる。しかし一方では表面

図-4 堆積物の厚さと氷河水の融解速度との関係(Mattson *et al.*, 1993)

堆積物が断熱材として働くためにその下にある雪や氷の融解速度は小さくなる。この相反する二つの効果のために、断熱効果が小さい薄い堆積物ではアルベド効果のために融解が促進されるが、断熱効果が大きい厚い堆積物の場合にはアルベド効果に断熱効果がうち勝って結局は融解が抑制される。したがって、堆積物の下の融解速度は、堆積物表面の熱収支状態と堆積物そのものの熱的性質とで決定されることになる。

堆積物表面の熱収支状態は、一般的な気象観測からの推定もさほど困難ではない。問題は、堆積物の熱的性質をどのように推定するかということである。一般に氷河上の表面堆積物は不均一かつ非一様であり(e.g. Iwata *et al.*, 1980, 図-5), その厚さの測定(あるいは推定)すら難しい。そこでNakawo and Young(1982)は、気象データと堆積物の表面温度のデータから、堆積物の熱抵抗(厚さ/熱伝導率)を求める方法を提案した。表面温度の計測は比較的容易に行うことができるし、最近では衛星を用いて比較的広い領域での計測も可能である(Nakawo *et al.*, 1993)。特定の氷河について熱抵抗値の分布がわかれば、様々な気象状態に対応した堆積物下での融解速度を推定することができる。Rana *et al.* (1997)がこの方法を用いて推定したネパールのリルン氷河の表面堆積物下の全融解量は氷河からの流出量データとよく一致しており、手法の妥当性が検証されたことになる。

図-4からもわかるように堆積物下の融解速度は堆積物の厚さが30cmを越えると極端に小さくなる。同氷河の表面堆積物は約50cmあるいはそれ以上で、かなり厚いにもかかわらずRana(1997)が求めた氷

河融解量は年間250mm以上もあり、極端に大きい。融解量が大きい原因は氷河表面に所々露出している氷壁の融解によるものである。Sakai *et al.* (1998)によれば、氷壁の表面は流れ落ちる土砂で汚れており、氷壁での融解速度は堆積物下での融解速度の30倍にも達する。したがって氷壁面積は全体のわずか2%しかないにも係わらず、氷壁での融解量は全融解量の7割をも占めるのである。つまり、表面堆積物に覆われた氷河でも、日射が強い中低緯度地域であることも手伝って、氷壁の存在によって実に効率よく融解が進むことがわかる。

表面堆積物に覆われている氷河の表面にはここに氷河湖が形成されていることが多い。氷河表面湖の存在もその周辺の氷壁の存在と相まって、これらの氷河の融解を促進させている可能性もある。

上記リルン氷河流域の流出量は1284mmで降水量は1005mm、残りの大部分は氷河縮小による融解量250mmで占められている(Rana, 1997)。つまり流域からの流出は降水によって供給された水に氷河融解による水が付け加わったものだというのである。別の言い方をすると、現在の河川流量は氷河が小さくなることによって維持されているとも言える。

IV. 氷河変動と河川水量

気候変化に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC)の1995年報告(IPCC, 1996)によれば、世界の海面は今世紀に約18cm上昇してきており、これは海の熱膨張とならんで、比較的小さな山岳氷河の縮小のせいであるとしている。つまり世界の平均で見れば、氷河は過去100年間のあいだに徐々に小さくなってきたと見積もられ

図-5 東ネパール、クンブ氷河の表面状態(凹凸が激しく表面には裸水面が露出している部分や池が散在している様子が分かる。Iwata *et al.* (1980)より)

ている。アジア高山地域の氷河で100年間にもわたって観測が継続されているところはほとんどなく、同地域での評価には不確かさが多い。同地域での氷河観測がある程度継続的に行われるようになったのは第二次世界大戦以降であり、高々30年程度のデータしかない。

ネパールヒマラヤでは我が国の研究者が中心となって過去四半世紀あまり観測が継続されてきているが、氷河末端の前進や後退に関しては比較的多くのデータが蓄積されてきているのに対して(たとえば、山田・白岩, 1995), 氷河縮小の量的評価をおこなうためのデータはあまり多くはない。体積変化がわかっている氷河は以下の数例にすぎない。1974年から1994年までの20年間にリッカサンバ氷河の平均氷厚が約11m減少してきた(Fujita *et al.*, 1997)。この数字は年間あたり0.55mの割合での減少に相当する。同様に、ヤラ氷河では、1982年から1996年の14年間に0.41m/年の(Fujita *et al.*, 1998), AX010氷河では1978年から1996年の18年間に0.82m/年の平均氷厚の減少が観測されている(図-6, Kadota (1997))。以上は全て表面堆積物を持たない比較的小規模の氷河である。表面が堆積物で覆われている氷河では、リルン氷河の消耗域で1990年代に0.2m/年の減少が(Naito *et al.*, 1998), また、クンプ氷河の消耗域では1978年から1995年までの17年間で平均1m/年程度の減少が(門田勤, 私信)それぞれ得られている。

世界中の同規模氷河での縮小割合に比べて、上記の数字は非常に大きい。つまり、世界の中でもアジア高山地域の氷河は最も急速に小さくなっているようである。しかもKadota(1997)によれば、この割合での縮小は同地域に温暖化傾向がなくともそのまま継続するであろうとのこと。この原因ははっきりしないが、最近の温暖化ではなく、小氷期以降の長期

図-6 1978年から1996年までのAX010氷河の表面低下(Kadota(1997)を改変)

的温暖化傾向のせいかもしれない。少なくとも現状では、氷河衰退による表面高度の低下が、任意の場所による見かけの温暖化を引き起こし、それが正のフィードバック効果をもたらしている可能性もある(Kadota, 1997)。現在の気候状態でさえ氷河が縮小しているとすれば、さらに最近の人為起源の温暖化が進行することによって、夏雪型氷河である同地域の氷河は今まで以上に急速に衰退へと向かうに違いない。夏雪型氷河は特に気温に敏感だからである。熱収支項としては日射が最も重要な、表面堆積物に覆われた氷河の場合でも、他の気象要素以上に「気温」に対する感度(センシティブティー)が非常に高いという結果が得られている(Rana, 1997)。

縮小速度に定量的な値が得られているこれらの氷河のうちで最も規模が大きいクンプ氷河の場合でも、厚い堆積物に覆われた消耗域の氷厚は平均100m程度なので1m/年の氷厚減少速度がそのまま維持されたとすると今後100年あまりで堆積物に覆われた部分の氷河はなくなってしまうことになる。同地域が最近温暖化してきているかどうか現在是不明だが、もし温暖化傾向が生じれば、100年とはいわずさらに早く、氷河からの融解水の供給が枯渇して河川の流量は急激に減少することになる。したがって、同地域の水利用を考えるとときには、氷河の衰退(消滅)による供給水量の減少やその時期などを詳細に検討し、その上で将来の水利用の戦略を考えなければならない。図-7に示したのは、東ネパールシヨロン地域のドドクンド氷河であるが、1974年現在で既に氷河の中程で上流と下流部とが分離しかけており、下流部の表面堆積物下の水体はほとんどなくなってしまう。近い将来のクンプ氷河を暗示させる。

アジア大陸中央部でも詳細に調査された氷河はそれほど多くはないが、調べられている氷河はすべて縮小傾向にある(上田, 1995)。つまり現在の河川の水量は、氷河が縮小していることによって供給されている過剰な水で維持されていることになる。大陸中央部には広大な乾燥/半乾燥地域が広がっており、代表的なタクラマカン沙漠周辺では年間降水量は高々50mm程度にしかすぎない(たとえば吉野, 1997)。そこに流入してくる河川水のほぼ50%、年によっては80%の水が氷河の融解水であると考えられている(図-8, Ujihashi *et al.*, (1998))。同地域の現在の河川流量が氷河の衰退にとまなっているものだとすれば、氷河の消滅は河川流量の急激な減少を引き起こすことになる。しかも、氷河衰退にとまなう河川

図一七 東ネパール、ドドクンド氷河(Dudh Kund Glacier) (下流部の表面堆積物下の氷体(白矢印)はほとんどなくなっている。1974年12月23日ネパールヒマラヤ氷河学術調査隊撮影)

図一八 崑崙山脈よりタクラマカン沙漠へと北流するユルンカシ河とケリア河の河川水にしめる氷河融解水の割合(Ujiihashi *et al.*, 1998)

水の減少など全く考慮していない全球モデル計算の結果でも、同地域は地球温暖化によって乾燥化に向かうことが示唆されている地域なのである(IPCC, 1996)つまり、地域住民にとってきわめて重大となる急激な利用可能な水の減少が近い将来にあ

り得ることになる。同地域、特に崑崙山脈北麓のオアシスでは、河川流量の減少にともなう都市の位置をより川の上流へと移動せざるを得なかった歴史があり(中尾, 1986), 単なるお話として片づけられないと思われる。

V. おわりに

ゴビ砂漠とその北方のモンゴル高原、アルタイ山脈を越えて天山の北側ジュンガル盆地、カザフ高原とカラ・クム沙漠、南ロシアからカフカズを越えてアナトリア高原に至るまでと、ユーラシア大陸の中央部はそのほとんどが乾燥/半乾燥地帯である。豊かな降水に支えられている瑞穂の国と異なり、水が乏しく、利用できる水の存在量が人々の生活を規定しているこれらの地域は、水文や水資源問題の解決が最も求められている場所である。上述の水資源としての氷河の役割にしても、これらの地域でこそ明らかにされなければならないが、ほんの一部を除き何もわかっていない実状である。この地で活躍した遊牧民を中心とする人々は多くの歴史文書を残していないために残念ながら詳細は不明だが、同地域は人類活動の歴史の中心地帯であり世界史の表舞台でもあった(杉山, 1997)。来る21世紀の水文・水資源研究としては、これら乾燥/半乾燥地帯の水循環問題をこそ取り上げるときに来ているのではなかろうか。

引用文献

- 上田 豊(1983): ネパール・ヒマラヤの夏期涵養型氷河における質量収支の特性, 雪氷, 45, pp.81-105.
- 上田 豊(1995): 内陸アジアにおける近年の氷河変動, 雪氷, 57, pp.35-40.
- 上田 豊(1997): ヒマラヤ・チベット山域での氷河質量収支の最終氷期からの変遷, 地学雑誌, 106, pp.199-204.
- Ageta, Y., W. Zhang and M. Nakawo (1989): Mass balance studies on Chongce Ice Cap in the West Kunlun Mountains, Bulletin of Glacier Research, 7, pp. 37-43.
- Aizen, V.B. and E.M. Aizen (1994): Features of regime and mass exchange of some glaciers on central Asia periphery, Bulletin of Glacier Research, 12, pp. 9-24.
- Fujii, Y. (1977): Field experiment on glacier abla-

- tion under a layer of debris cover, Seppyo, 39, Spec. Issue, pp. 20-21.
- Fujii, Y. and K. Higuchi (1977) : Statistical analyses of the forms of the glaciers in the Khumbu Himal, Seppyo, 39, Spec. Issue, pp. 7-14.
- Fujita, K., M. Nakawo, Y. Fujii and P. Paudyal (1997) : Changes in glaciers in Hidden Valley, Mukut Himal. Nepal Himalayas, from 1974 to 1994, J. Glaciology, 43, pp. 583-588.
- Fujita, K., K. Seko, Y. Ageta, J. Pu, T. Yao (1996) : Superimposed ice in glacier mass balance on the Tibetan Plateau, J. Glaciology, 42, pp. 454-460.
- Fujita, K., N. Takeuchi and K. Seko (1998) : Glaciological observations of Yala Glacier in Langtang Valley, Nepal Himalayas. 1994 and 1996, Bulletin of Glacier Research, 16, pp. 75-81.
- Higuchi, K., H. Fushimi, T. Ohata, S. Iwata, K. Yokoyama, H. Higuchi, A. Nagoshi and T. Iozawa (1978) : Preliminary report on glacier inventory in the Dudh Kosi Region, Seppyo, 40, Spec. Issue, pp. 78-83.
- Inter-governmental Panel on Climate Change (1996) : Climate Change 1995, The Science of Climate Change, the Press Syndicate of the University of Cambridge, pp. 572.
- International Glaciological Society (1980) : Proceedings of the Conference on Use of Icebergs : Scientific and practical feasibility, Cambridge, UK, 1-3 April 1980, Annals of Glaciology, 1, pp. 136.
- Iwata, S., O. Watanabe and H. Fushimi (1980) : Surface morphology in the ablation area of the Khumbu Glacier, Seppyo, 41, Spec. Issue, pp. 9-17.
- Kadota, T. (1997) : Study on the relation between climate and recent shrinkage of small glaciers in the Nepal Himalayas, PhD thesis, Nagoya University, pp. 51.
- Loomis, S.R. (1970) : Morphology and ablation processes on glacier ice, Proceedings of the Association of American Geographers, 12, pp. 88-92.
- Mattson, L.E., J.S. Gardner and G.J. Young (1993) : Ablation on debris covered glaciers : an example from the Rakhiot Glacier, Panjab, Himalaya, IAHS Publication, 218, pp. 289-296.
- 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/IASH, pp. 47-59.
- Naito, N., M. Nakawo, T. Aoki, K. Asahi, K. Fujita, A. Sakai, T. Kadota, T. Shiraiwa and K. Seko (1998) : Surface flow on the ablation area of the Lirung Glacier in Langtang Valley, Nepal Himalayas, Bulletin of Glacier Research, 16, pp. 67-73.
- Nakamura, T. and M. Shimizu (1996) : Variation of snow, winter precipitation and winter air temperature during the last century at Nagaoka, Japan, J. Glaciology, 42, pp. 136-140.
- 中尾正義(1986) : 水源としての氷床と氷河, 河川, 475, pp. 18-22.
- 中尾正義(1996) : 温暖化による陸氷の変動, 大気水圏科学から見た地球温暖化, 半田暢彦編, 名古屋大学出版会, pp. 294-304.
- Nakawo, M. (1998) : Water circulation over the earth : the roles of snow and ice. Snow and Ice Science in Hydrology, edited by M. Nakawo and N. Hayakawa, IASH, Nagoya University and UNESCO, pp. 1-17.
- Nakawo, M., T. Morohoshi and S. Uehara (1993) : Satellite data utilization for estimating ablation of debris covered glaciers, IAHS Publication, 218, pp. 75-83.
- Nakawo, M. and G.J. Young (1982) : Estimate of glacier ablation under a debris layer from surface temperature and meteorological variables, J. Glaciology, 28, pp. 29-34.
- østrem, G. (1959) : Ice melting under a thin layer of moraine and the existence of ice cores in moraine ridge, Geografiska Annaler, 41, pp. 228-230.
- Rana, B. (1997) : Study on glacier ablation under a debris-cover for runoff modeling of a river basin in Langtang Valley, Nepal Himalaya, PhD thesis, Nagoya University, pp. 157.
- Rana, B., M. Nakawo, Y. Fukushima and Y. Ageta (1997) : Application of a conceptual precipitation-runoff model (HYCYMODEL) in a debris-covered glacierized basin in the Langtang Valley, Nepal Himalaya, Annals of Glaciology, 25, pp.

226-231.

Sakai, A., M. Nakawo and K. Fujita (1998) : Melt rete of ice cliffs on the Lirung Glacier, Nepal Himalayas, 1996, *Bulletin of Glacier Research*, 16, pp. 57-66.

杉山正明(1997) : 遊牧民から見た世界史, 日本経済新聞社, pp. 390.

Ujihashi, Y., J. Liu and M. Nakawo (1998) : The contribution of glacier melt to the river discharge in an arid region, *Ecohydrology of high mountain areas*, *Proceedings of the International*

Conference on Ecohydrology of High Mountain Areas, Kathmandu, Nepal, 24-28 March, 1996, International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD), pp. 413-422.

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水河変動, 雪氷, 57, pp. 257-267.

安成哲三・藤井理行(1983) : ヒマラヤの気候と氷河, 東京堂出版, pp. 254.

吉野正敏(1997) : 中国の沙漠化, 大明堂, pp. 301.

(受付: 1998年7月21日, 受理: 1998年9月29日)