ヒマラヤ寒冷圏自然現象群集の将来像

—生態的冰河学と自然史学の視点から—

伏見 碩二* 瀬古 勝基** 矢吹 裕伯**

Future Image of Himalayan Glacier Community — From a view point of ecological glacier study —

Hiroji FUSHIMI*, Katsumoto SEKO** and Hironori YABUKI**

Key words: ecological glacier study, glacier community, Khumbu Region, Nepal Himalaya, glacier fluctuation

キーワード: 生態的冰河学, 氷河群集, クンブ地域, ネパール・ヒマラヤ, 氷河変動

I. はじめに

急激な氷河変動の総合的理解のために

1995年のポスト・モンスーンに東部ネパール・クンブ地域(図1, 口絵3)の氷河調査を行ない, かつて長期滞在したギャジョ氷河など(Tanaka, 1972; Fushimi, 1977a, b, 1978a, b)に17年ぶりに再会することができたのであるが, そこで思ってもいなかった興味ある現象に出会うことができた。というのは, 1970年代にはいわゆる典型的なカール氷河だったギャジョ氷河が, 顕著な消耗過程の進行で, 雪溪のような外観になっているのを見つけたからである。ヒマラヤの氷河には, 大きな変化がおこっているぞというのが久しぶりのヒマラヤでの第一印象であった。

1970年代のギャジョ氷河には, 氷河流動によるフォリエーションやクレバス, 衝上断層構造などが観測され(図2), 氷河末端は年間数mの前進と後退をくり返す安定した質量収支を示す氷河であった(Fushimi *et al.*, 1981)。ところが, 1995年には氷河末端が1987年より70mほど後退し,

氷河末端に氷河湖が出現していた。ギャジョ氷河全域が消耗域となり, 涵養域だった氷河上流地域にも露岩があらわれ, 涵養域が2つに分割し, さらにかつての涵養域の水体が消耗域から分離し, 全体として3つの部分に分かれていく傾向が認められた(図2, 口絵3-2)。いわば, 全域が消耗域となった雪溪のような性質をもつ小さな水体に分割してしまった。氷河上流域の涵養域が消耗域に転ずるということは, 氷河の上限・下限高度と平衡線高度(ELA)との関係からみると, 1970年代の平衡線高度5.4km(Fushimi, 1978a)から, 1995年には平衡線高度が氷河の上限高度5.8kmよりも高くなってしまったことによる(図3)と解釈できる。クンブ地域には, 1970年代にも氷河の上限高度が平衡線高度よりも低い雪溪的な氷河(図3のI領域)が存在したが, 1995年になると低位置に分布する大部分の氷河がギャジョ氷河のように雪溪的な水体になってしまった可能性がある。そもそも, 氷河から雪溪への変化を, この20年間ほどで体験できるものとは思ってもいなかった。ので, 実に興味ある貴重な体験をしたことになる。

* 滋賀県立大学環境科学部

** 名古屋大学大気水圏科学研究所

* School of Environmental Science, University of Shiga Prefecture

** Institute of Hydrospheric and Atmospheric Sciences, Nagoya University

図 1 東部ネパールにおけるクムブ地域とギャジョ氷河の位置図。

Fig. 1 Location of Gyajo Glacier, Khumbu District, East Nepal.

図 2 1970 年代のギャジョ氷河の構造図。

Tanaka (1972) に 1995 年の氷体境界 (破線) を示す。

Fig. 2 Boundaries of ice masses of Gyajo Glacier in 1995 (broken lines) indicated on the structural map in the 1970's. (Tanaka, 1972)

図 3 クムブ地域上流域の 2 つの地域 (CA と CB 小流域) における氷河の上限高度と下限高度, および 1970 年 (太い実線) と 1995 年 (点線) の地域的水河平衡線高度との関係。

大きな点は岩屑を表面にもつ大型 (D 型) 氷河, 小さな点は岩屑の少ない小型 (C 型) 氷河, G はギャジョ氷河を示す。

Fig. 3 Relationships among the highest and the lowest glacier elevations, equilibrium line altitude of 1970 (a thick solid line) and 1995 (a dotted line) in the upper part of the Khumbu region.

ここで、口絵4を見ていただきたい。これは、コンマ氷河の1976年（口絵4-1）と1995年（口絵4-2）の末端部の状態を示す。コンマ氷河の大きな変化は末端部の縮小である。末端位置は100m以上も後退し、氷河の氷厚も著しく薄くなっているのがはっきりとわかる。

さて、クンプ地域の氷河の全体的な縮小化がすすむなかで、融氷量増大のため、消耗域に形成された氷河湖は拡大している（口絵3-4、5）。そのような状況のもとに、1977年にミンボー流域で発生した氷河湖洪水（口絵3-3; Fushimi *et al.*, 1985）や泥流被害なども多発する。ミンボー流域（口絵3-3）やラグモチェ流域（口絵3-1）のような氷河湖洪水を引き起こした谷筋には、氷河湖洪水の証拠として、洪水によって形成された河岸段丘を示す新鮮な地形面が沢沿いに分布する（Fushimi *et al.*, 1985）のが衛星画像¹⁾にもはっきりと認められる。したがって、将来の氷河湖洪水の発生を予測すると、一度氷河湖洪水を引き起こした氷河湖は水量減少（モレーンから氷河湖水面までの比高が大きいか、または氷河湖がほとんど空になっていることも衛星画像から読みとれる）のため、洪水を再発する危険は少ないが、いっぽう、これまでに氷河湖洪水を起こしていないため新鮮な河岸段丘地形が認められず、しかも大規模な氷河湖が多数分布するホング流域やクンプ地域のイムジャ氷河湖などは、氷河湖洪水の可能性が高いと考えられる。

このような水資源問題や自然災害とも結びつくネパール・ヒマラヤの変動する氷河や湖環境、また洪水・雪崩・泥流災害などの多様な氷河現象の将来像をどのように描いたらよいのか。いわゆる「還元主義的な氷河科学」はそれぞれの専門分野を深めていく利点は確かにあろうが、ここで問題にしているような多様な氷河現象を全体としてとらえきることができないのではなかろうか？　そこで、多様な氷河現象をとらえるには、「より総合的な氷河学」が必要になるというのがわれわれの視点である。従来の氷河学はglaciology（雪氷学）の一分野としてそれぞれの専門分野の殻に閉じこもりすぎていたように思う。そこで、総合的

な氷河学glacier studyが必要になる。われわれは、氷河群の概念をキーワードとし、より総合的な生態学的発想をとり入れた「生態的氷河学（ecological glacier study）」が、全体的な氷河現象を把握するために重要になるのではないかと考えている。生態的氷河学を歴史の時間の流れにそってとらえれば、自然史学が成立する可能性がある。

II. 氷河群

比較氷河研究会（1973）は「『氷河群』とは単一氷体としての『氷河』に対置される概念である。もし、同一の氷河形成にとって必要な地形-気候条件をもつ場があるとすれば、そこで形成される氷河は、『共通の氷河特性をもつ一群の氷河』であるはずで、『氷河群』と定義する（p. 18）。…チベット型氷河群とネパール型氷河群とは、それぞれ『冷たい氷河の系列』と『暖かい氷河の系列』とでもいえる異なった系列に属し、このような『氷河系』を決定づける因子の1つは氷体の物性である（p. 20）」と述べ、氷河現象の見方として、（個々の）氷河-（各地域の）氷河群-（地球全体の）氷河系という基本構造を提出している。

ここで、「氷河群」から「氷河系」への基本概念と、生態学でいう個体-個体群-群集-生態系という個から地球全体をとらえる基本構造とをくらべると、比較氷河研究会（1973）の考え方には生態学的な意味での「群集」（community）の概念がなかったことになる。生態学でいう「群集」とは、異なる個体群からなる共同体のことである（沼田, 1993）。したがって、「群集」の概念をとり入れた生態的氷河学の場合は（個々の）氷河-（各地域の）氷河個体群-（各地域の）寒冷圏自然現象群集-（地球全体の）自然現象系という基本構造で、全地球的な氷河現象を総合的な自然現象との関連において、時間・空間的に再評価できると考える。そこでは、各地域の氷河現象と密接に結びつく、例えば凍土などの寒冷地形・湖沼現象群やヒトさえも含む生物現象などへも十分な考察を欠くことは許されないであろう。つまり、比較氷河研究会（1973）のような従来の私たちの考え方は、あまりにも氷河中心の見方であったのではな

だろうか。氷河と関係をもつ多様な自然現象への十分な配慮が欠けていたと思われるからである。1970年代の氷河研究にとって、「氷河群」の考え方は重要な方向性を示唆する魅力的な概念だったが、ここで総合的な自然現象の観点から、新たな意味づけをする必要があるのではなかろうか。

生態的氷河学の立場からは、自然を構成する各要素が相互に関係する1つの有機的なシステムと考えるから、氷河だけ切り離すことはできない。いいかえれば、氷河のみではストーリーは決して完結しない。氷河だけを切り取ると、不十分でいびつな自然になってしまう。そこで必要なのは、各地域の多様な自然現象と氷河との関係性、および総合的な自然現象における氷河の（空間的・時間的に観た）構造的・機能的変遷を明らかにすることである。このことはとりもなおさず、氷河現象からみた自然史を編むことにはかならない。

III. 生態的氷河学の立場からとらえたヒマラヤ寒冷圏自然現象群集の将来像

はたして、比較氷河研究会（1973）の「ネパール型氷河群」は存在するのであろうか？ その考えを拡張すれば、クマウン型氷河群やガルワル型・ブータン型・シッキム型・アッサム型氷河群などもできてしまうことになるだろう。比較氷河研究会（1973）では、「『氷河系』を決定づける因子の1つは氷体の物性で、氷体温度を基準とした極地氷河-準極地氷河-温暖氷河の考えが氷河群の概念の有効性を示唆している（p. 20）」と述べられているが、このようないわば物理的な「氷河科学」的手法は、はたして多様な氷河現象を統一的に把握するのに有効なのであろうか？ そこで、総合的な「生態的」氷河学の必要性を提唱しているのであるが、「ヒマラヤ寒冷圏自然現象群集」の将来動向のイメージは、生態的氷河学と自然史学の立場からどのようにとらえたらよいであろうか？

1970年代のギャジョ氷河のように、質量収支が定常状態にある氷河は平衡線高度以上で涵養され、氷河流動によって平衡線高度以下の消耗域にいたり融解する。図3の氷河の上限・下限高度と平衡線高度との関係から、ギャジョ氷河の位置するク

ンブ地域北西部（CA・CB亜流域）の氷河は他流域と同様にⅠ～Ⅲ領域に区分できる。Ⅰ領域では氷河上限高度が平衡線高度よりも低い氷河を示し、Ⅱ領域では平衡線高度が上限と下限高度のあいだに位置し、Ⅲ領域では下限高度が平衡線高度よりも高い氷河が分布していることがわかる。図3の中の大きな黒丸は氷河下流部が岩屑に覆われた大型の氷河で、一般に氷河上限高度は高いため、1970年代にはⅡ領域に位置していたが、平衡線高度の上昇によって、そのうちの一部の氷河がギャジョ氷河のように1995年にはⅠ領域に入り、氷河上流部も消耗域になっていることを示唆している。また平衡線高度の上昇は、小さな点が示す表面に岩屑の少ない小型の氷河へ著しい影響を与え、その大部分はⅡ領域からⅠ領域へ位置するように変化していると考えられる。逆にいえば、氷河の拡大期には、これらⅠ・Ⅱ・Ⅲ各領域の氷体はそれぞれに複合して1つの氷河に発達するが、Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ領域の氷体への分割は、長期的にみた場合の氷河の縮小傾向を示し、縮小期特有の氷河群の多様性を形成する要因となると解釈できる。氷河の縮小期における多様性の形成は生態学的な一種の隔離分布現象で、他の自然現象の縮小（衰退）期にみられる現象と共通性をもつ可能性がある。

1970年代以降、クンブ地域の氷河の縮小傾向はいぜんとして加速している（Fushimi and Ohata, 1980; Yamada *et al.*, 1992）。氷河の縮小傾向が顕著なのは、低位置に分布する氷河ばかりではない。7,000 m以上の高峰に源をもつ氷河であっても、例えばクンブ氷河の場合も、岩石に覆われた下流部がロブチェ氷河のように氷河上流域の氷体から分離しつつある傾向が予測され（瀬古ほか, 1996）、いわゆる氷河表面が岩屑に覆われたD型氷河から岩屑の少ないC型氷河への移行（Fushimi, 1977a）が氷河縮小期には進行していくものと理解できる。1995年11月に発生した寒候期のサイクロンの進入による豪雪とそれによる雪崩災害（山田ほか, 1996）は変動するヒマラヤ寒冷圏自然現象群を象徴するイベントであった可能性があり、今後とも多発する可能性があるため、ヒマラヤ寒冷圏自然現象群集の変動特性の1つとして

十分な注意が必要になろう。

そこで最後に、ヒマラヤ寒冷圏自然現象群集の変動特性として、人類生態学にも関係する次のようなシナリオを提出したい。近年顕著になっている氷河縮小・湖沼拡大による氷河湖洪水・各種地滑り災害の多発期をへて、21世紀中頃になると、氷河の縮小による乾期の水資源不足・不安定期をむかえると予測できる。プレ・モンスーンとポスト・モンスーンの乾期の水資源は氷河からの融水に依存しているので、きたるべき21世紀の水資源の不足・不安定期になると、ネパールなどのヒマラヤ地域の人間活動への大きな影響が危惧される。自然環境の悪化に加えて、人口増加の圧力による人為的な森林破壊や土壌侵食などによる社会環境の劣化との相乗作用によって、水資源の不安定化は著しいものになることだろう。

ヒマラヤ山脈には、一般にその南側に急斜面や崖が発達している。北側の緩い斜面とはちがって、南側の崖は数百mから時には千mにも達することがある。クンブ地方の峠も簡単にこえられるものではない。しかし、ナンパ・ラ(口絵3-1のCA・CB流域上流の峠)は例外的な峠である。なぜかという、この峠には緩やかな氷河がかかっているからである。「毎年、ポスト・モンスーンになると、シェルパの人たちは家畜とともにこの峠をこえてヒマラヤ山脈北側のティングリ村まで商いに出かける。この峠にかかる氷河の規模があまりにも大きくなりすぎても、また氷河がなくなりヒマラヤ山脈南面の急崖があらわれても、彼らの行動は困難となるであろう」(伏見, 1983, p. 216)。はたして、きたるべき21世紀のヒマラヤの自然・社会環境はどのようなものとなるであろうか。加速する氷河の縮小傾向の影響が、自然・社会環境にとって、プラス面よりもマイナス面がより強くでることを危惧する。

(個々の)氷河-(各地域の)氷河個体群-(各地域の)寒冷圏自然現象群集-(地球全体の)自然現象系の基本構造からグローバルな自然現象を再評価する生態的氷河学の視点は、自然史学の構築と軌を一にするものである。ヒマラヤ寒冷圏自然現象群集を把握するとともに、ヒマラヤの自然史学

を構築することは、水資源や自然災害問題などの人間活動と密接に関係するばかりか、広大なチベット高原の自然環境を理解するうえで、以前にもまして必要になっている。そのことが、地球史のなかでのヒマラヤ・チベット地域の自然史の特性を明らかにすることになると考える。

謝 辞

樋口敬二先生が、“地理学「知」の冒険”(中村和郎編, 1997, 古今書院)に書かれている岩田修二氏の「氷河学における地理学的方法—日本人によるヒマラヤ氷河研究のはじまり—」のことで「地理学の岩田さんらしいまとめ方だが、われわれの方もかつての“氷河群”の概念などを再評価したい」という電話を下さった。「来年はネパール・ヒマラヤ氷河調査隊(GEN)の25周年だから、“氷河群”などのテーマでシンポジウムをし、総括したい」それが1時間ほどにもわたる、3回の樋口先生節の電話内容であった。そこで、この初稿ゲラを読んでいただいたのである。樋口先生からは、早速、基本的な問題点についての指摘をいただくとともに、そもそも岩田さんからは、原稿段階でゆきとどいたコメントをいただいているのである。両者に深謝する次第である。この小論が、来年行われるであろう GEN の25周年記念シンポジウムの1つのたたき台になれば幸いである。

注

- 1) この報告に用いた衛星画像、SPOT (Système Pour l'Observation de la Terre) の観測用センサー HRV (High Resolution Visible) は、可視域2バンド(緑および赤)、近赤外1バンドの計3バンドで構成され、空間分解能20mのXS(マルチスペクトルモード)と単バンドで空間分解能10mのPA(パンクロモード)がある。使用したデータは1987年と1993年がPA、1995年がXSである。データはCCT (Comuter Compatible Tape) によって提供されたデジタルデータで、画像処理に関しては土屋ほか(1990)、高木・下田(1991)を参考にした。

文 献

- Fushimi, H. (1977a): Structural studies of glaciers in the Khumbu region. *Seppyo*, 39 (Special Issue), 日本雪氷学会, 30-39.
- Fushimi, H. (1977b): Glaciations in the Khumbu Himal (1). *Seppyo*, 39 (Special Issue), 日本雪氷学会, 60-67.
- Fushimi, H. (1978a): Stratigraphic studies of the Gyajo Glacier, Khumbu Himal. *Seppyo*, 40 (Special Issue), 日本雪氷学会, 17-20.
- Fushimi, H. (1978b): Glaciations in the Khumbu

- Himal (2). *Seppyo*, 40 (Special Issue), 日本雪氷学会, 71-77.
- 伏見碩二 (1983): ヒマラヤの自然史. 原 真・渡辺興亜編: ヒマラヤ研究. 山と溪谷社, 179-230.
- Fushimi, H. and Ohata, T. (1980): Fluctuations of glaciers from 1970 to 1978 in the Khumbu Himal, East Nepal. *Seppyo*, 41 (Special Issue), 日本雪氷学会, 71-81.
- Fushimi, H., Ohata, T. and Higuchi, K. (1981): Recent fluctuations of glaciers in the eastern part of Nepal Himalayas. *Sea Level, Ice and Climatic Change (Proceedings of the Canberra Symposium)*, IAHS Publ. No. 131, 21-29.
- Fushimi, H., Ikegami, K., Higuchi, K. and Shankar, K. (1985): Nepal case study: Catastrophic floods. Techniques for prediction of runoff from glacierized areas. *Intern. Ass. Hydrol. Sci.*, 149, 125-130.
- 比較氷河研究会編 (1973): ヒマラヤ山脈, 特にネパール・ヒマラヤの氷河研究における諸問題. 氷河情報センター, 100 p.
- 沼田 真編 (1993): 生態の辞典. 東京堂出版, 72 p.
- 瀬古勝基・矢吹裕伯・坂井亜紀子・伏見碩二・山田 譲 (1996): ネパールヒマラヤ, クーンブ氷河の表面状態の過去 40 年間の変動について. 1996 年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p. 96.
- 高木幹雄・下田陽久 (1991): 画像解析ハンドブック. 東京大学出版会, 775 p.
- Tanaka, H. (1972): On preferred orientation of glacier and experimentally deformed ice. 地質学雑誌, 78, 659-675.
- 土屋 清・新井康平・五十嵐保・春野信義・竹内延夫 (1990): 地球観測衛星. 地球監視のための人工衛星計画. 気象研究ノート, 169, 23-59.
- Yamada, T., Shiraiwa, T., Iida, H., Kadota, T., Watanabe, T., Rana, B., Ageta, Y. and Fushimi, H. (1992): Fluctuations of the Glaciers from the 1970's to 1989 in the Khumbu, Shorong and Langtang regions, Nepal Himalayas. *Bull. Glacier Res.*, 10, 11-19.
- 山田知充・伏見碩二・Aryal, R.・門田 勤・藤田耕史・瀬古勝基・安成哲三 (1996): ネパール・クンブ地方「1995 パンガ雪崩」報告. 雪氷, 58, 145-155.

(1996 年 10 月 31 日受付, 1997 年 1 月 20 日受理)