

国際積雪・氷河水文学シンポジウムに参加して*

上野 健一**

1. はじめに

1992年11月16～21日にかけて、ネパールのカトマンズにおいて国際積雪・氷河水文学シンポジウム (International Symposium on Snow and Glacier Hydrology, 通称 ISSGH '92) が開催された。これは、ネパール王国水資源省水文・気象局 (Ministry of Water Resources, Department of Hydrology and Meteorology) およびドイツの国際技術協力機関である German Technical Cooperation (通称 GTZ, 日本の JICA に相当する) が主催し、WMO, UNESCO, ICIMOD および IAHS の協力により開かれた山岳地域の雪氷水文学に関する国際シンポジウムである。会場はカトマンズ盆地やや南のパタン市に近い Hotel Himalaya の1会場を利用し、14カ国から約80人の参加者のもと5日間にわたり充実した発表が行われた。小規模の学会ながら、地域別にはヨーロッパ17名、北米4名、ロシア1名、日本10名と広範囲からの参加者があり、その他をインドおよびネパールからの参加者が占めた。多数予定されていた中国からの参加者がすべてキャンセルとなったのはたいへん残念であった。ここではシンポジウムの主な内容と、特に気象学に関係の深いテーマについて紹介する。なお、ヒマラヤを中心とした気候と氷河に関する従来の研究については安成・藤井 (1983) にまとめられているので参照してほしい。シンポジウムの内容に入る前に、ネパールの地理的位置と会期中のカトマンズの様子についてふれておこう。まずは地図帳を開いて頂きたい。

バンコックを飛び立ったロイヤルネパール・RA 407便は北西に進路をとり、インドシナ半島を越えベンガル湾北部海上にでる。網の目のようなバングラディッシュのデルタ地帯を通過し広大なヒンドスタン平野を飛び続けると、やがて右手遠方に一連のひとときわ高く白い積乱雲状の塊が見え出す。ヒマラヤ山脈である。

ヒマラヤはその一つ一つが巨大な山体の集合であり、そそり立つ壁のような山脈がカーテンのように連なっているわけではない。ガンジス川を横切る頃、機はヒマラヤに直交するように真北に進路を変更し、高度を下げていく。ヒマラヤの一番南面を東西に走るマハラバート山脈をハードルを飛び越えるようにかすめると急降下を開始し、標高約1,300mのカトマンズ国際空港に着陸する。バンコックの出発が遅れること4時間半・空港での荷物の受取に1時間半・タクシーとの値段交渉に20分、かくして私は初日のカクテルレセプションにぎりぎり駆けつける結果となった。ネパールに関する時間の概念は今も昔も変わっていない。

ご存知のとおり、ネパールはインド北東に広がるヒンドスタン平野と中国西部の標高5,000mを超すチベット高原の間に東西の伸びる山岳王国である。ネパールの気候は主に6月から9月にかけての雨期 (モンスーン期) とその他の乾期に大別できる。今回訪れた11月はポストモンスーン期にあたり、カトマンズでは朝晩は長袖が必要な程度、日中は半袖程度で過ごせる過ごし易い時期であった。周辺の村では桜が咲いている。なんといっても上空の空気が澄んでおり雲がたたないため、会場から7,000m級の山々を一望できるのがうれしい。ところが市の中心に入ると状況は変わってくる。近年、ネパール各地からの移住に伴う人口増加とそれに伴う車両の増加が著しい。カトマンズ市は高地の盆地中央に位置するため、特にこの時期は車の排気ガスが夜間の放射冷却に伴う盆地内の安定層に封じ込められ、町をすっぽり覆っている。美しいヒマラヤも灰色に霞み、特に早朝の通勤時間帯など、目や喉に強い刺激を感じ道端に立っていられないほどである。同様の現象はメキシコ市でも深刻な問題となっているようである。人口100万人近くを抱えるカトマンズ盆地にとって、飲料水・電気の供給確保と共に今後深刻となっていくのが、この大気汚染であろう。

* On the International Symposium on Snow and Glacier Hydrology, Kathmandu, Nepal, 16-21 November, 1992.

** Ken'ichi UENO, 筑波大学地球科学系.

2. シンポジウム概要

さて、ここで話を会議の内容に移そう。以下にシン

ポジウムにおけるセッション名・発表者数（カッコ内の数）および主な発表内容をまとめてみた。

1. Cooperation in snow and glacier hydrology project. (6)

キーノートスピーチ (S. P. Adhikary) に続いて、従来から進められてきた研究プロジェクトについて、主に GTZ とネパールとの共同研究に関する報告 (W. E. Grabs), 日本のヒマラヤ氷河研究史 (K. Higuchi), ヒマラヤにおける氷河水文学調査法とトレーニング (S. R. Chalise), そしてカラコルムにおけるパキスタンとカナダの共同調査報告 (G. J. Young) がなされた。

2. Data bases and their application for water resources management. (7)

ヒマラヤにおけるリモートセンシングを利用した融雪量の算定 (K. B. Thapa), デブリに覆われた氷河からの流出量の算定 (M. Nakawo) およびモデルを用いた流出予測 (V. S. Kumar) について発表があった。続いて積雪構造からの過去 10 年にわたる積雪涵養量の復元 (G. Kappenberger), ネパールの河川分布の紹介 (R. Kattelmann), 春の融雪水による河川流量変動の特性に関する発表 (K. P. Sharma) があった。

3. Climate, climatic changes and their response to snow and glaciers and the hydrological cycle. (5)

気候変動に伴う氷河の質量収支・流出量の経年変化に関する研究方法 (M. Kuhn) と、季節変化も含めた気温・降水量変動に伴う氷河流出量のレスポンスについての紹介 (D. N. Collins) の後、近年のネパールにおける氷河変動の実態 (T. Kadota, U. Steinegger) が発表された。また、年輪解析・化学組成およびコア解析を用いたユーラシア大陸の各山脈における氷河流出量の復元の紹介 (V. B. Aizen) があった。

4. Processes and models in snow and glacier hydrology. (11)

アルプスにおける氷河水文調査法とデータベースの紹介 (O. Reinwarth) およびネパールヒマラヤにおける降水分布特性に関する発表 (K. Ueno) の後、スイス国立工科大学 (ETH) の氷河域の降水流出モデル (L. N. Brawn, Ch. Hotteliet) およびインド・パトナ大学の融雪河川流出モデル (A. Verdhen) に関する研究発表が続いた。また、カラコルムでの雪氷流域における水文過程 (G. J. Young), ヒマラヤの氷河の質量収支の時空間変化 (T. Shiraiwa) と表面アルベド効果に対する生物活動の寄与 (K. Seko), シェラネバダに

おける積雪の涵養・消耗に関する研究 (R. Kattelmann) が発表された。

5. Floods, debris flow and avalanches. (7)

氷河湖決壊に関する研究を中心に、その可能性のある氷河湖の空間分布・構造 (T. Yamada) および決壊時の洪水予測 (G. Meon) と対策法 (W. E. Grabs) について発表があった。その他、GCM を利用したインド乾燥域を植林した場合の数値実験 (R. C. Raghava) や、極域とヒマラヤでの氷河環境の比較 (J. Bahadur), ユネスコの雪氷水文学に関するトレーニングプログラムの紹介 (L. A. Mandalia) 等があった。

6. Glacio chemical studies related to snow and ice. (3)

氷河の同位体・化学組成を利用したヒマラヤ・中央アジア周辺の気候復元についての研究 (V. N. Nijampukar) と、アジアモンスーンや ENSO 変動のモニタリングに対するセンシティブリティ研究 (A. P. Mayewski) の発表が行われた。また、インドの氷河河川水の化学組成と浮遊鉱物の季節変化について (D. S. Chauhan) の発表も行われた。さらに飛び入りで、ブータンにおける水文調査の概略 (A. N. Mandeville) が紹介された。

シンポジウムの内容は中央アジアの山岳雪氷域における水文過程が中心で、大気現象そのものに関する研究発表はほとんど見られなかった。主に山岳流域の治水、河川水の水質変動、氷河の水循環と気候復元などに関し発表時間をオーバーして活発な質疑が続いた。ここで、私個人の持ったいくつかの興味深い内容について述べる。雪氷地域も含めた流出の素過程とモデリングに関しては、GTZ による一流域内での簡易な観測体制と ETH によるモデリングという効率よい研究体制のもと季節変化・年々変化もふくめた流出過程がかなり良くモデルで再現されていた。特にこのようなモデリングは外部条件を変化させたときの山岳遠隔地の雪氷域の水文過程に関するセンシティブリティスタディーとして有効であろう。一方ネパールでは 1970 年代から名古屋大学を中心とする日本ネパールヒマラヤ学術氷河調査隊の势力的な雪氷・水文・気象観測が行われており (Higuchi *et al.*, 1976, 1977, 1978, 1980; 安成・藤井, 1983), 個々の流域内での氷河形態や質量収支の差異とそれに影響を及ぼす気象条件や地形因子の詳細が明らかにされている。また今回のシンポジウムでも西ヒマラヤ・カラコルム山脈とネパールヒマラヤ間での氷河や流域形態の比較研究が発表されてい

た。このようなヒマラヤ自体の持つ多様性を考えた場合、ETHのモデルで仮定されたような単純な気象・地形条件がどの範囲でどこの流域または氷河に適応できるのかを明確にしていく必要性を感じた。一方で、モデリングに関する日本からの発表参加がなかったのも残念であった。

応用・災害面からみたトピックスはなんといっても氷河湖決壊洪水 (Glacier lake outburst flood, 通称 GLOF) に関する発表であろう。近年温暖化が叫ばれる中、氷河の消耗に伴う末端での堰止湖 (氷河湖) の成長と、この氷河湖の決壊に伴う下流での洪水災害といった一連の現象は、まさに気象・水文・雪氷そして地形・地質学といった学問が共同で取り組まなければいけない地球科学的課題であろう。最近のネパールの GLOF 研究の現状は山田 (1992) にて詳しく解説されているので参照してほしい。今回のシンポジウムでも、過去の決壊の記録と今後決壊を起こす可能性のある氷河湖の分布が明示され、特にクンプヒマラヤのイムジャ氷河湖の構造が初めて明らかにされた。氷河湖の分布で特徴的な事は、それが国境を越えた中国側にも多く分布している点である。もちろん川は国境を無視してネパール側に流れ込んでいるわけで、今後国際的な共同研究がますます必要となることが強調された。この GLOF の対策として、主に決壊予測・災害対策と氷河湖からの水抜き方法の2つの側面からの発表があった。前者に関しては、特に下流に建設予定の水力発電に対する影響を中心に、洪水のモニター・予測・ダム設計について述べられていた。ダムの構造や強度に関する問題より、むしろ洪水そのもののモニターと排水に伴う住民への警報をどのように伝えるかが重要であるとの指摘があった。ネパールのような開発途上国において、1時間以内の洪水警報の予測がどの程度意味を持つか、また洪水に含まれる流出土砂量をどのように評価してモデルに組み込むかが今後の課題であると思われた。一方後者に関して GTZ から提案されたサイフォンの原理を応用した氷河湖からの排水方法は、モレーンの強制的な破壊を伴わず費用もかからないユニークなアイデアであった。ただ施行時期や可能排出量などにより具体的な検討が必要であろう。また、モレーン自体の地質学的構造や強度に関しても不明な点が多く、今後工学的な視点での現地調査も行われていくだろう。

最後に気候変動に伴う流出過程及び氷河の成長の年々変動に関する研究発表について述べておこう。流

出量の変動に関するほとんどの研究は、外部気象条件 (気温・降水量) を変化させたときの流出の差異をモデル又は相関解析により論じたものであった。そしてこの外部条件の変化として、観測時代から数100年オーダーにわたった異なる時間スケールの気温・降水量の変動を直接引用し、気候変動と氷河の変動との因果関係を考察していた。一方、クンプ氷河の継続的な測量結果から、近年の氷河の消耗が明らかにされ、簡単なモデルから夏の昇温がその原因であることが指摘された。別の発表では北向き斜面の氷河の成長と温暖化にともなう南側山脈での降水量の増加が指摘されたが、測量方法および原因の解釈に問題があるように思われた。山岳雪氷域の変動原因を大気側の変動と結び付けるとき注意すべき事は、各気候帯により気候変動をもたらす要因が異なる点である。今回の発表では残念ながら半球規模の気象要素の変動を直接流域スケールの水文過程に適用する考えが多く、気象要素の変動の素過程を説明するものは少なかった。またこのようなインパクトスタディーは従来から中高緯度での研究が主で、同じ概念をネパールのような亜熱帯地域にそのまま適用できるかどうかについても疑問が残った。卓越するアジアモンスーン、熱帯地域の大気循環や複雑な山岳域における局地的な気象現象が水文過程に占める重要性についてコメントする気象学者の参加が少なかったことは残念である。今後の課題として、ヒマラヤ周辺の気象観測がいまだに不十分であり、山岳気象の変動とグローバルスケールの気候変動を結び付ける研究がほとんど無い点があげられよう。今回の会議の最終的なリコメンデーションでもこのような大気側も含めた研究の重要性が付記される事となった。

3. おわりに

ヒマラヤ山麓の小さな開発途上国が主催となって、以上のような多彩なテーマのもと国際シンポジウムを開催した事は、アジア諸国が主体となった積極的な地球環境問題への取り組みの一例として高く評価されるべきだと思う。そして、今後ネパール国内に氷河・水文・気象学といった学問が根ざしていくための大きな出発点ともなったのではないかと。一方で同一地域を対象とした研究でも、目的・研究方法や研究協力に対する考え方が各国で様々である事をあらためて実感した。もう一つ感じた事は、山岳地域の水循環の過程を理解する上で大気側の観測が不可欠なことである。

再度地図帳を広げて頂きたい。ネパールは広大なチ

ベット高原とインド平野の境界で、まさにインドモンスーンの影響を直接受ける場所に位置する。この特殊な気候条件と複雑地形のもとで引き起こされる接地境界層からシノプティックスケールにいたる気象現象を、気象学的視点で3次元的に観測した事例は未だに少ない。一方で、ヒマラヤは、亜熱帯地域に位置する世界でも数少ない標高の高い山岳である。従って、継続的な山岳気象の観測は低緯度地域の気候変動を高所でモニターする意味でたいへん貴重である。会議でも山岳気象と気候変動に興味をもつ水文学者が多い事に驚かされた。従来困難とされてきたこのような極地観測も、リモートセンシングの応用により今後新たな展開が期待できよう。また今回の会議を機に各国で行われている観測データの相互比較や交換、およびネパールとの若手研究者の養成も含めた共同研究がますます盛んになっていく事であろう。同様の複雑な山岳列島を持つわが国の気象研究者からも、ユーラシア大陸も含めた地球科学的視点で気象観測・解析・モデリングを行える仲間が多く誕生すれば素晴らしいと思った。

なお、今回のシンポジウムで発表された主な論文は、今年（1993年）末に出版予定の国際水文学会（IAHS）のプロシーディングにまとめられる事となった。また各発表のアブストラクトを閲覧希望の方は私まで連絡をいただきたい。最後に今回のシンポジウム参加に関し、渡航費の援助をしていただいた気象学会に、紙面をかりて御礼申し上げる次第である。

参考文献

- Higuchi, K., Nakajima C. and Kusunoki K. ed., 1976, 1977, 1978 and 1980: "Glacier and Climates of Nepal Himalayas", Part I, II, III and IV, Seppyo, Special Issue.
- 安成哲三・藤井理行, 1983: ヒマラヤの気候と氷河—大気圏と雪氷圏の相互作用—, 気象学のプロムナード 15, 東京堂出版, 254p.
- 山田知充, 1992: 雪氷分野からの開発途上国支援, 雪氷, 54, 291-295.