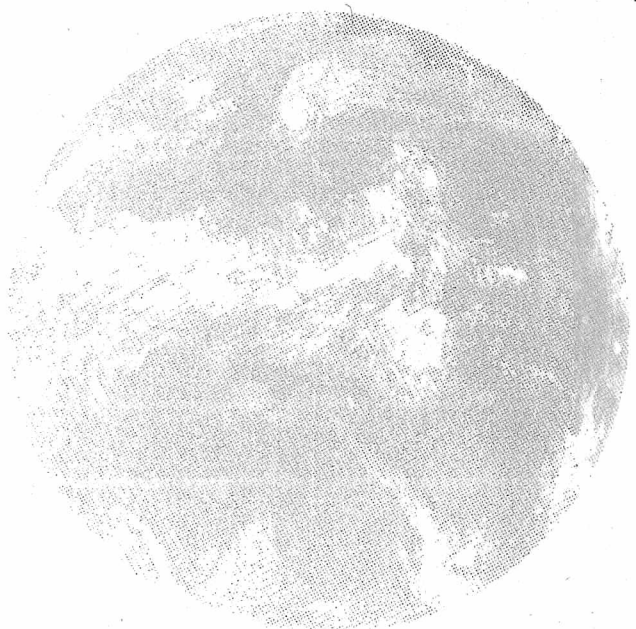


気象学のプロムナード 15

ヒマラヤの 気候と氷河

—大気圏と雪氷圏の相互作用—

理学博士 安成哲三 著
理学博士 藤井理行



東京堂出版

大気科学のナラチブを

—序にかえて—

「気象に関するエッセイですから……」, そんないい方で, 浅井富雄さんから「気象学のプロムナード」への参加をもとめられた時, 私の頭の中にはひとつの考えがあって, 引き受けた. それは, “大気科学のナラチブ”をつくる, ということである.

梅棹忠夫氏が探検記論⁽¹⁾に述べているとおり, 学術探検, 学術調査の多くは, 二種類の報告書を刊行する. 一つは, 通常 Scientific results と称し, もう一つは, Narrative とよばれる. ふつう, 探検記として, われわれが読んでいるのは, このナラチブの方で, 探検, 調査の意義, 経過, 行動, 成果が述べられている.

そこで, 浅井さんから, このシリーズの一つとして大気圏と雪氷圏の相互作用というテーマを与えられた時, 私が考えたのは, 私たちが1973年から進めてきた“ネパール・ヒマラヤ氷河学術調査 (Glaciological Expedition of Nepal; GEN)”のナラチブを出すことであった.

すでに, Scientific results は, 4冊にわたる英文報告書⁽²⁾として刊行している. これに対して, ヒマラヤの高山地域に長期間滞在して, 氷河調査, 気象観測をおこなってきた若い隊員に, 当時の記録, 日誌, 手紙, 手記, そして思い出にもとづいて, 調査の成果とともに人間的側面やヒマラヤの自然を語ってほしいと思ったのである.

たとえば, モンスーンである. この言葉は, 気象学, 気候学の教科書, 論文によく出てくる. だが, モンスーンという現象は, ただ単に大気状態, 風系, 雨域の分布や時間的变化など表現できるものではない. たとえば, “梅雨”に対

して持っている日本人の実感は、それらの気象要素だけでは表現できない面を持っている。

そこで、ヒマラヤにおけるモンスーンとは、どんな現象なのか、それをその現象のまっただ中に生活した体験を通して語ってほしいと思ったのである。

というのは、ヒマラヤの気象については、古くから登山隊の報告にも記載されている。しかし、登山が頂上をめざす行為である以上、雨の降らない時期、すなわち、モンスーンの前後、プレ・モンスーン、ポスト・モンスーンとよばれる時におこなわれる。したがって、登山の記録には、モンスーンそのものに関する記載は、きわめて少ないのである。

ところが、氷河変動と気候条件との関係を知るには、モンスーンがもっとも重要な季節である。この時期に、氷河の上流部では雪が降りつもり、下流部では氷が融け、氷河の質量収支にかかわる現象がもっとも活発に起るからである。

そのため、私たちの隊員は、モンスーン中にもヒマラヤの高山地域で行動した。この時期、ヒマラヤの峰々は雲でおおわれ、首都カトマンズと高山の僻地を結んで人と物を運ぶ航空機の運航はない。それに、連日の雨で、高地での生活も、行動も快適ではない。だから、そんな時期に滞在して、ヒマラヤの氷河、気象の観測をしたのは、私たちの調査が世界ではじめてであり、それも三年半の長きにわたった。

そんな調査、観測の体験をもとにして、ヒマラヤにおける四季の移りかわり、特にモンスーンの開始から終結まで、などをまわりの植生、人々の生活と結びつけて語ったならば、ヒマラヤの気象、気候を、天気図や気象要素の記録だけからではなく、もっと実感をもって理解できるのではあるまいか。

もっとも、気象学、大気物理学の研究者にとって、モンスーンは、氷河にくらべれば、まだ身近である。氷河のない日本で、氷河現象を具体的に理解するのは、よりむつかしい。ヒマラヤの氷河については、登山記録には記載されているが、これもモンスーン季の状況ではないし、氷河に関する学術的記載がないのは、当然である。

そこで、ヒマラヤの氷河についても、氷河の構造、流動、質量収支、熱収支

などを、氷河上を歩き、観測した体験にもとづいて語ったならば、氷河についての理解が進み、氷河期、小氷河期のように氷河が拡大した時期の気候を論ずる時の基礎になるであろう。

こんなふうに、教科書や論文には述べられない現象の記載を具体的に紹介し、気象学の理解を助け、奥深くするというのが、「気象学のプロムナード」であろう。そう思って、このシリーズに私たちの調査のナラチブを書くことを考えたのであった。

ところが、それは企画の段階のことであって、いよいよシリーズの刊行が開始されてみると、私はびっくりした。「これが散歩道か？」と思うような専門書的、教科書的力作が登場してきたのである。

「エッセイという話と違いますね」、そう浅井さんに文句をいっても、大人物の浅井さんは、ニコニコ笑いながら、「散歩道ですから、いろいろあっていいんでしょう」と、軽くかわしてしまふ。

しかし、私が執筆を依頼した若い安成哲三、藤井理行両君の場合は、そうはいかなかった。「ナラチブを……」という私の考えとは違って、他の本と同じように、学問的内容で勝負したい、という。若い研究者として、それももったものである。

そこで、この本は、両者の妥協の結果として、学問的記述にナラチブが混る形になってしまった。アブハチとらずになるおそれを心配しているが、逆に両者の共存が現象の全体像を描くのに役立つことを祈っている。

それにしても、私は、まだ、“大気科学に関するナラチブ”を刊行する夢を捨てていない。気象学、大気物理学の発展、気象事業の多様化、測定技術の進歩、それに AMTEX, MONEX, POLEX, MAP のような国際観測事業の実施など、その成果とともに、人間的記録を残しておくべき局面が、大気科学にはある筈である。これが、“気象学のプロムナード” II として刊行されることを期待したい。

注 (1) 梅悼忠夫, 探検記, 岩波講座, 文学の創造と鑑賞 2, p. 290-310, 岩波書店, 1954.

(2) Higuchi, K., C. Nakajima and K. Kusunoki ed. "Glaciers and Climates of Nepal Himalayas", Part I, II, III and IV, Seppyō, special issue. 1976, 1977, 1978 and 1980.

1983年9月

名古屋大学水圏科学研究所

樋口敬二

目 次

大気科学のナラチブを一序にかえて—	i
1 章 ヒマラヤに降る雪—その地球科学的意味	
1.1 ヒマラヤの雪とモンスーン	3
1.2 「チベット氷床」説—ひとつのパラドックス	5
1.3 比較氷河研究会	7
1.4 ネパールヒマラヤ氷河学術調査隊	9
2 章 ヒマラヤ周辺の大気循環	
2.1 ヒマラヤとモンスーン	14
2.2 ヒマラヤ周辺の対流活動と熱源の評価	24
2.3 ヒマラヤ周辺の偏西風循環	29
2.4 ヒマラヤの雪氷圏とモンスーンの変動	35
3 章 ヒマラヤ高地の四季	
3.1 ハーゲン氷河・気象観測所	41
3.2 プレモンスーンからモンスーンへ	45
3.3 モンスーン季の天気変化	50
3.4 初雪の訪れとモンスーンの後退	51
3.5 ポストモンスーン	55
3.6 冬	56
3.7 春の訪れ	61
4 章 ヒマラヤにおける降水量の空間分布と時間変動	
4.1 降水量分布の季節変化	63
4.2 モンスーン循環の変動と降水量変動	67
4.3 冬の大雪—ひとつの事例解析	73

4.4	降水量の経年変動	81
5	ヒマラヤ高地の局地循環	
5.1	山の降水・谷の降水	84
5.2	山風のない“山谷風”とモンスーン循環	90
5.3	局地循環に与える積雪の効果	96
5.4	ヒマラヤのおろし風—春を告げる大風	99
6	ヒマラヤ高地における熱収支	
6.1	日射量と地表面温度	107
6.2	裸地面上での熱収支	111
6.3	顕熱輸送と潜熱輸送の年変化	115
6.4	雪面上での熱収支	118
7	ヒマラヤの雪氷圏	
7.1	ヒマラヤ山脈とチベット高原	122
7.2	雪線	129
7.3	氷河の分布	134
7.4	氷河の形態と分類	141
7.5	山岳永久凍土	146
8	水循環と氷河	
8.1	降水の同位体組成	152
8.2	積雪層の形成と氷化の過程	157
8.3	氷河の流動	162
8.4	氷河からの融水の流出	169
9	モンスーンに依存する氷河	
9.1	モンスーンアジアの一季節依存型氷河	177
9.2	降水依存型と気温依存型の氷河	180

9.3	夜の降水・昼の降水と氷河の涵養	183
9.4	氷河上における熱収支	186
9.5	小型氷河の涵養と消耗	191
9.6	大型氷河の涵養と消耗	195
10	章 ヒマラヤにおける気候と氷河の過去の変動	
10.1	氷河の変動とシュルパの人びと	201
10.2	ヒマラヤの上昇と氷期における気候と氷河の変動	204
10.3	過去数百年の気候と氷河の変動	213
11	章 ヒマラヤにおける気候と氷河の変動のモデル	
11.1	氷河の変動と地形効果	224
11.2	モンスーンの変動と氷河の変動	228
11.3	気候系（大気圏・雪氷圏）の遷移と地形効果	230
	あとがき	237
	参考文献	243

あ と が き

「ヒマラヤ」という地(域)名が本のタイトルに入っているのは、この「気象学のプロムナード」シリーズの中では、本書のみである。まず、このことについて少しふれたい。

気象学は、大気圏内のさまざまな現象を、その時間・空間スケールのちがいごとに、あるいはその物理過程のちがいごとに分野を細分化していくことにより、近代的な物理科学として発展してきた。その過程は地球上の大気現象を「普遍的」な物理学の言葉で記述することにより、その個別性・地域性といったものを希薄化させていく過程であったともいえる。この「プロムナード」シリーズの他の大部分の巻は、こういったそれぞれの分野の最新の成果をもりこんだ解説書・専門書といえよう。

しかし、気象学は厳然として地球科学の一分野である。地理的、地形的にさまざまに異なる地球上の各地での多様な大気中の現象（あるいはその平均状態として存在する気候）の特異性と共通性を、トータルな観察を通して掘り起していく過程も同時に、気象学の発展に不可欠であることはいうまでもない。本書は、後者の立場から、チベット高原を含めたヒマラヤという地球上最大の規模をもつ山岳地域の大気圏と雪氷圏に焦点をあてたものである。

とはいっても、本書から「ヒマラヤの気候と氷河」に関する詳しい気候誌的・地誌的解説を想像される人は失望されるかもしれない。それは私たちの本意でもなく、また能力の及ぶところでもない。私たちの意図したところは、ヒマラヤの気候と氷河に関するひとつの見方、やや大げさにいえばひとつの自然観を提出したいということであった。

ヒマラヤが大気大循環に大きな影響を与えていることは、指摘されてからすでに久しい。とくに 1970 年代に入ってから計算機による大気大循環数値モ

デルの進歩や、いくつかの国際的な観測計画にもとづく高層観測資料の充実は、ヒマラヤのモンスーン循環、偏西風循環に対する熱的、力学的効果の定量的な評価を大きく進めた。

しかしながら、ヒマラヤの地表面付近での局地循環や局地気候が、大規模なモンスーン循環や偏西風循環とどのような関係にあるのか、それらは氷河を代表とするヒマラヤの雪氷圏の形成・維持とどのように関連し合っているか、さらに雪氷圏と大気圏とはどのような相互関係にあるのかという視点からの議論は、今まであまりなされていなかった。

幸い、私たちのグループによる数年間の現地調査は、これらの問題に対し、かなりの手がかりを与えてくれた。中でも、ヒマラヤの地形を媒介としたモンスーンと氷河の結びつきは、大気圏と雪氷圏の相互作用のひとつの典型として、私たちの興味を強くひきつけた。

そこで私たちは、「ヒマラヤ—モンスーン—氷河」の結びつきを本書の主題として取り上げた。この主題を陽に陰に見えかくれさせつつ、またさまざまに変奏させつつ、1章から11章へと話題を展開させることが私たちの主眼であった。観測事実にもとづく議論を心がけたが、いくつかの個所ではかなり自由な、やや独断的な考察や推論もさしはさんだ。とくに11章では、ヒマラヤにおける気候変動と氷河（雪氷圏）変動のあり方について、気ままなスペキュレーションを楽しんだ。この点については、「プロムナード」の精神に免じてお許し願いたい。同時に私たちのグループによるヒマラヤでの観測・調査活動の一端も、ところどころに折りまぜて紹介した。しかし当初の意図に反して出来ばえのほどには、誠に心もとないものがある。読者からの率直なご批判やご意見を乞うところである。

私事にわたって恐縮だが、私たちの研究テーマはヒマラヤに限っているわけではない。たとえば、安成はモンスーンの変動に関する気象学的研究を目下の主たるテーマとしており、藤井は南極氷床の雪氷学的研究を主たるテーマとしている。しかし、いずれもヒマラヤでの気候と氷河の体験をひとつの出発点として始めたものである。その意味で、ヒマラヤは私たちの地球探究の遍歴にと

って、忘れることのできないひとつのハイマートとなっている。

執筆は、主として気象・気候に関する部分は安成が担当し、主として氷河・雪氷現象に関する部分は藤井が担当した。具体的な分担は下記の通りであるが、お互いに草稿を読み合い、議論を重ねて修正を行い、最終的に合意した上での内容であることを付記しておきたい。

安成：1章(1.1, 1.2), 2章～6章, 10章(10.1, 10.2), 11章(11.2, 11.3)

藤井：1章(1.3, 1.4), 7章～9章, 10章(10.3), 11章(11.1)

本書の内容のかなりの部分は、ネパールヒマラヤ氷河学術調査隊の成果に依っている。本書の完成に物心両面から多大の援助と協力を惜しまなかった同調査隊の隊員諸兄ならびに比較氷河研究会の諸兄には深く感謝の意を表す。とくに、名古屋大学水圏科学研究所の樋口敬二先生には、執筆の機会を与えていただき、執筆中も終始相談にのっていただいた。同研究所(現国立極地研究所)の渡辺興亜氏には草稿の段階で目を通していただき、貴重な助言を賜った。また、京都大学理学部の余田成男氏には、力学的考察に関して有益なコメントをいただいた。記して厚く御礼申し上げたい。

なお、主な参考文献は巻末に一括して掲載した。また引用した図・表とその出典は次に記す通りである。掲載を許可された筆者・出版社には深甚なる謝意を表す。

1983年9月

著者

図 1.1：崔之久，1964，地質学報，中国地質学会。図 2.1：東京天文台，1983，理科年表，丸善。図 2.2：H. Flohn，1959，Abhandlungen der mathematische—naturwissenschaftlichen klasse，Academie der Wissenschaften und der Literatur。図 2.3：M. T. Yin，1948，Journal of Meteorology (JM)，American Meteorological Society (AMS)。図 2.4：中国科学院，1957，Tellus，Swedish Geophysical Society (SGS)。図 2.5：P. Koteswaram，1958，Tellus，SGS。図 2.6：D. G. Hahn and S. Manabe，1975，Journal of Atmospheric Sciences (JAS)；AMS
図 2.7，2.15，2.16，表 2.1：叶篤正・高由禧，1979，青蔵高原気象学，科学出版

社 (北京). 図 2.8 : M. Murakami, 気象集誌, 日本気象学会. 図 2.9, 2.10, H. Luo and M. Yanai, 1983, Monthly Weather Review, AMS. 図 2.11 : T. Nitta, 1983 : 気象集誌, 日本気象学会. 図 2.12 : C. S. Ramage, 1952, JM,AMS. 図 2.13, 2.14 : T. Murakami, 1981 : 気象集誌, 日本気象学会. 図 2.17 : D. G. Hahn and J. Shukla, 1976, JAS, AMS. 図 2.18, 2.19 : 陳烈庭・閻志新, 1979, 中長期水文気報, 長江流域規劃辦公室. 図 3.2, 3.3, 3.6, 6.1 : J. Inoue, 1976, 雪氷, 日本雪氷学会. 図 3.4 : T. Yasunari, 1976, 資料 R. G. Barry, 1981, Mountain Weather and Climate, Methuen. 図 3.7, 5.6, 5.7, 5.11, 5.12 : T. Ohata, et al., 1981, 気象集誌, 日本気象学会. 図 3.9 : T. Yasunari, 1976, 雪氷, 日本雪氷学会. 図 3.11, 3.12 : C. Nakajima, 1976, 雪氷, 日本雪氷学会. 図 3.13 : K. Higuchi, 1976 : 雪氷, 日本雪氷学会. 図 4.3 : M. G. Hamilton, 1972, Tellus, SGS. 図 4.5 : T. Yasunari, 1976, 雪氷, 日本雪氷学会. 図 4.7, 4.8 : S. Luo, Z. Qian and Q. Wang, 1981, Proc. Sympo. on Qinghai-Xizang Plateau, 科学出版社. 図 4.9 : 安成哲三, 1981, 秋季大会講演予稿集, 日本雪氷学会. 図 5.1, 5.8 : Y. Ageta, 1976, 雪氷, 日本雪氷学会. 図 5.3, 5.4, 5.5 : T. Yasunari and J. Inoue, 1976, 雪氷, 日本雪氷学会. 図 5.9 : T. Ohata and D. D. Mulmi, 1982. 図 5.13, 5.14, 5.15 : J. Inoue, 1976, 雪氷, 日本雪氷学会. 図 5.16 : J. Inoue, 1978, 雪氷, 日本雪氷学会. 図 6.2, 表 6.1 : T. Yasunari, 1980, 雪氷, 日本雪氷学会. 図 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 表 6.2 : J. Inoue and T. Yasunari 1983. 図 7.1, 7.7 : 伏見碩二, 1983. ヒマラヤ研究, 山と溪谷社. 図 7.6 : Y. Shi, 1980. 雪氷, 日本雪氷学会. 図 7.8, 7.10, 表 7.3 : 藤井理行, 1977. 朝日小事典ヒマラヤ, 朝日新聞社. 図 7.14, 7.15, 7.16, 表 7.4 : 藤井理行, 1980 a, b. 雪氷, 日本雪氷学会. 図 8.1, 8.2, 8.9 : H. Wushiki, 1977a, b, c. 雪氷, 日本雪氷学会. 図 8.3 : Y. Fujii et al., 1976. 雪氷, 日本雪氷学会. 図 8.4 : 中国科学院, 1974. 中国科学, 科学出版社. 図 8.5, 8.7 : M. Nakawo et al., 1976 a, b. 雪氷, 日本雪氷学会. 図 8.6 : H. Kodama and S. Mae, 1976. 雪氷, 日本雪氷学会. 図 9.3 : K. Ikegami and J. Inoue, 1978, 雪氷, 日本雪氷学会. 図 9.4 : T. Ohata and K. Higuchi, 1980, 雪氷, 日本雪氷学会. 図 9.5, 9.13 : J. Inoue and M. Yoshida, 1980, 雪氷, 日本雪氷学会. 図 9.6, 9.7 : T. Ohata et al, 1980, 雪氷, 日本雪氷学会. 図 9.8 : Y. Ageta et al., 1980, 雪氷, 日本雪氷学会. 図 9.9 : 上田豊, 1983, 雪氷, 日本雪氷学会. 図 9.11 : M. M. Miller et al., 1965, Journal of Geophysical Research, The American Geophysical Union. 図 9.12 : Y. Fujii, 1977, 雪氷, 日本雪氷学会. 図 10.2 : Von Wissmann, 1959, 資料 保柳睦美, 1966, 地学雑誌, 東京地学協会. 図 10.3 : B. Zeng and J. Li, 1981, Proc. Sympo. Qinghai-Xizang Plateau, 科学出版

社. 图 10.4, 10.7 : H. Fushimi, 1978, 雪氷, 日本雪氷学会. 图 10.5 : 郑本兴・牟的智・李吉均, 1981, 青藏高原隆起的時代, 幅度和形式問題, 科学出版社. 图 10.8 : P. A. Mayewski and P. A. Jeschke, 1979, Arctic and Alpine Research, Inst. of Arctic and Alpine Research (AAR), Univ. of Colorado (IAAR). 图 10.9 : P. A. Mayewski, G. P. Present, P. A. Jeschke and N. Ahmad, 1980, AAR, IAAR. 图 10.10, 刘光远, 1980, 喀喇昆仑山巴托拉冰川考案与研究, 科学出版社. 图 10.11 : 藤井理行・渡辺興亜, 1983, ヒマラヤ研究, 山と溪谷社. 图 10.12 : 横山宏太郎, 1982, 秋季大会講演予稿集, 日本雪氷学会. 表 10.1 : 安成哲三, 1980, 生物科学, 岩波書店. 图 11.6 : J. Charney and J. G. DeVore., 1979, JAS, AMS.