第一次京都大学ヒマラヤ医学学術登山隊報告

松沢哲郎（京都大学霊長類研究所）

文部省科学研究費の助成を得て、ムスターグ・アタ峰（7546m）において、低酸素環境に対する人体の生理的適応の機構の研究をおこなった。登山と学問の接点を求めた、「ヒマラヤにおけるフィールドワークとしての医学研究」の可能性について報告したい。

1．はじめに

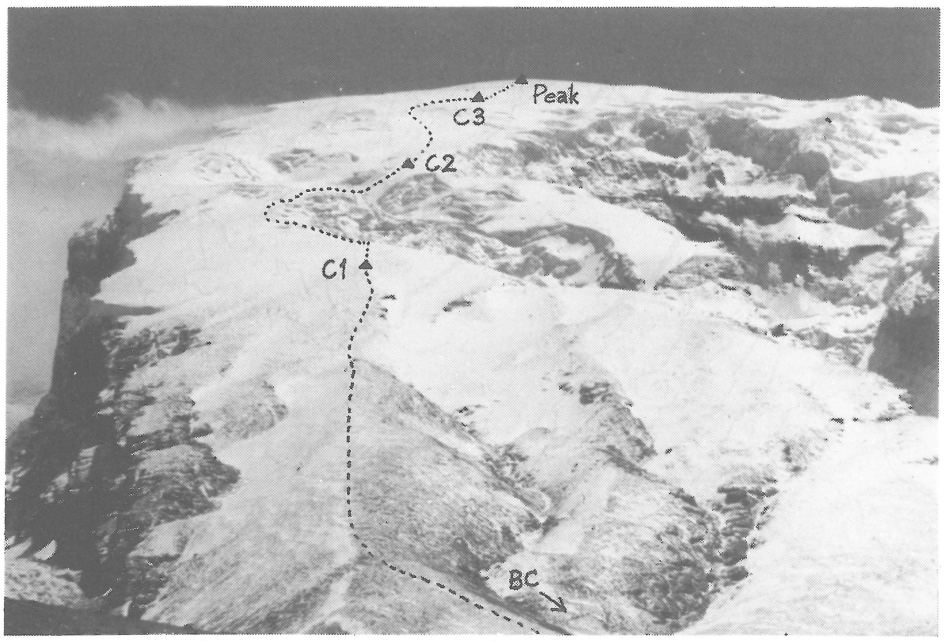
標高5000メートルで、大気圧は平地の約半分になる。平地の気圧は1気圧（1013ミリバール）だ。大型台風がきても950ミリバールくらいにしかならない。それが標高5000メートルではおよそ1/2気圧、約500ミリバールになる。

標高8000メートルになると1/3気圧近くにまで減る。大気圧の減少に伴って当然のことながら酸素も減少する。ヒトをはじめ多くの動物が生きてゆくためには必須の酸素が極端に少なくなると、生体にはどういう変化が生じるのだろうか。

現代医学が直面する課題の中で、脳血管性痴呆、脳梗塞、心筋梗塞、慢性肺疾患などは、臓器の低酸素症を病態の基礎としている。他方、ヒトは、霊長類といわずあらゆる哺乳類の中で、最も高所にまで居住域を広げている。すなわち低酸素環境に適応してニッチェを拡大し、暮しを営んでいる。

ヒマラヤ高地の遊牧民は、慢性低酸素環境下でどうして健康な生活が送れるのか。平地に常住する健常人が低酸素に暴露されると、どういう生理的な変化が生じ、どういう過程をへて低酸素環境

図1　ムスターグ・アタ全景



に適応してゆくのか。こうした疑問に答えるための研究の場として、ヒマラヤの山々は格好の実験室になる。

平地でも、低圧室という特殊な場を使えば、大気圧を自在に変化させることができる。低圧室で8000メートルまで「登る」と、室内が急に暗くなったように見え、視野が狭くなる。音が聴こえにくい。頭がボーッとする。じっと座っていても動悸がはやく息が荒い。心拍は毎分100回を越え、呼吸数は30回に近づく。チアノーゼをおこして、唇や手の爪が紫色になる。ところが実際のヒマラヤの経験では、「高所順化」と呼ばれる、人体の生理的適応がうまく進めば、8000メートルでも無酸素で登山活動がじゅうぶんできる（Houston,1980）。

低圧室ではわずか1日の間に8000メートルを登下降するような「急性実験」しかできない。低酸素に人体が適応する過程はもっとゆっくり進行するので、何日も何か月も低酸素にさらす「慢性実験」がどうしても必要となる（West and Lahiri, 1984）。

ヒマラヤ5000メートルの地点は、いわば大気圧を1/2に設定した「巨大な実験室」だと考えられる。スペースシャトルで飛びだした宇宙空間でのみ、無重力下の研究は可能になる。それと同様に、ヒマラヤの超高所でのみ、極低酸素下の生理的適応過程の研究ができる。そう考えて、医学研究を前面に据えた、まったく新しい形態の「登山」を考えた。1987年秋、医学の周辺領域である心理学や社会学や環境科学の研究者も含めて、医学学術を主目的とした研究組織を兼ねた登山隊を組織した。研究代表者であり総隊長には、京大医学部付属病院の院長だった、医学部教授（外科学）の戸部隆吉先生におひきうけいただいた。

このプロジェクトは文部省科学研究費の交付を受け、その第一次隊として、今回のムスターグアタ峰での調査がおこなわれた。以下では、ムスターグアタ隊の行動概要を報告する。研究結果の詳細については、別稿を参照されたい。

２．対象と組織

ムスターグアタ峰（7546ｍ）は、中国の西端、新疆（しんきょう）ウイグル自治区のさらに西南の隅にある（地図、図１）。山麓をシルクロードが通っている。かつて、マルコポーロも張騫もここを通った。ソ連とアフガニスタンとパキスタンの国境付近だ。政治的な境界こそひかれているが、本来は中央アジアの乾燥した高原地帯、ヒツジとウシとヤクとラクダと遊牧民の世界である。

ムスターグアタ隊の海外出張期間は、1989年4月29日から6月9日までの、42日間である。

隊の構成は次のとおり。

松沢哲郎(38)京都大・霊長類研究所＝隊長
瀬戸嗣郎(38)島根医大・小児科＝医師
出水明(37)大阪大・麻酔科＝医師
富永浩三(30)会社員（蝶理）
中山茂樹(27)会社員（蝶理）
白沢あずみ(22)京都大・農学部・大学院生
藤田耕史(20)京都大・理学部・３回生
エキサン(28)カシュガル登山協会＝連絡官
謝雲(31)新疆登山協会＝通訳

ムスターグアタ峰の登路としては、主峰の西稜である通常の登路をとった。

３．研究内容の概略

今回の隊の主要な目的は、まったく新たな試みとしての野外での医学研究の方法を、ヒマラヤの7500メートル峰を舞台に確立することだ。

遠心分離機をはじめとした医学研究用機器の高所における作動を確認する。液体窒素の輸送などの問題点を実地に克服する。こうしたことが、医学のフィールド研究の成立にとって必須の前提となる。

医学研究の内容としては、主として以下の3点に焦点をあてた。

①生理学的検査

パルスオキシメーターによるヘモグロビンの酸素飽和度の測定をはじめとした、一連の非侵襲の検査をおこなった。呼吸機能検査、脳波、心電図、筋電図、眼球運動の記録、痛覚検査、低酸素症の症状チェックリストの記入などが含まれる。

体温、心拍数、血圧、呼吸数、パルスオキシメーターによるヘモグロビンの酸素飽和度の測定については、隊員７人各人が、起床時と就眠時に測定し、尿量を含めた低酸素症の症状チェックとともに、各自の持つ記録用紙2種類（松沢ら、1985；出水ら、1990）に記載した。とくに今回新たな試みとして携行したパルスオキシメーターは、低酸

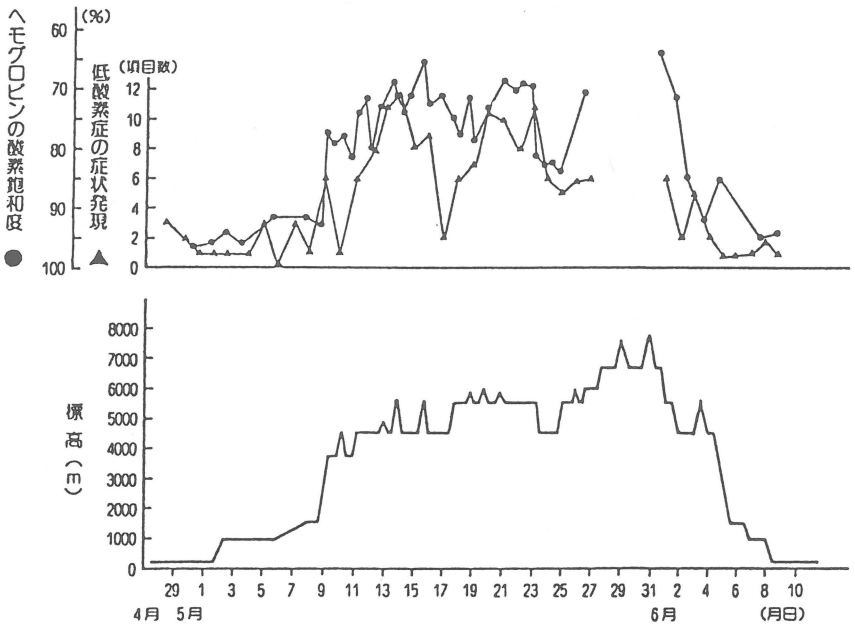


図２　ムスターグアタ登山中の低酸素症の症状発現（▲）と、パルスオキシメーターで測定したヘモグロビンの酸素飽和度（●）の変化。高度との相関がきわめて高い。被験者松沢の資料を例として示した。

素症の自覚症状ときわめてよく合致した（図２）。今後のヒマラヤ高所の登山隊において、まちがいなく必携の装備となるだろう。

②血液学的検査

登山期間中に隊員から血液を採取し、液体窒素で冷凍保存して日本にもち帰った。その資料をもとにした血液学的検査として、各種のホルモンや酵素活性の測定が試みられた。たとえば、赤血球の造血ホルモンであるエリスロポエチンが、低酸素暴露を引金に増大する動態が明らかになった（瀬戸、1990）。

③ハンドヘルドコンピューターによる精神作業検査

ハンドヘルドコンピューターによる精神作業検査（松沢ら、1985）は、携帯用コンピューター（エプソン社ＨＣ２０型）を用いておこなう検査で、「もぐらたたき」と通称された。ランダムな時間間隔で液晶パネル上に出現する標的にしたがって、キイボード上の対応するキイをすばやくたたくという課題である。反応潜時の閾値を、トラッキング法（上下法）によって、自動的に測定記録するしくみになっている。各自が、随時、コンピューターゲームの要領でおこなった。

精神作業検査の遂行それ自体が高所においては負担になる。自発的な検査回数は、最低16回から最高40回まで分布し、総サンプル数174回（平均1人約25回）で、年齢との逆相関（ｒ＝−0.77）が顕著だった。

つまり、年齢が高くなるほど、検査を自ら進んでおこなうことが「おっくう」になり、検査回数が少なくなる。ただし、真の独立変数は、年齢ではなく、（年齢とも相関した）低酸素環境への適応の程度である可能性が強い。精神作業検査の結果の分析によると、低圧室での急性実験では「高度」に比例して閾値の上昇や総得点の低下がみとめられるが、ヒマラヤの場合には「高度」の影響はきわめて小さかった。ただし、スバシ（3700m）到着の翌日（5月11日）には、全隊員に、一過性の閾値の上昇（総得点で平均約8％の減少）が顕著に認められた。低酸素環境への適応の、精神的な側

面を反映する一つの有効な指標として、この検査を位置づけることができるだろう。今回の結果は、従来の知見（松沢ら、1985）とおおむねよく合致している。

④低圧実験室等の登山前後の検査

登山の前後に、名古屋大学環境医学研究所において、急性低酸素暴露にかんするヒトとニホンザルの比較生理学的研究をおこなった。

のべ9頭のニホンザルを被験体とした。低圧実験室内で、モンキーチェアーで拘束して、頭部に電極をはりつけ、耳朶を不関電極として、聴覚性の事象関連電位（ＥＲＰｓ）を記録した。低酸素の影響はＥＲＰｓの強度の変化として検出されるが、音の周波数によってことなることがわかった。８ｋＨｚまでの周波数で調べたところ、２ｋＨｚ付近を最大値とする逆Ｕ字型の関数がえられている。低酸素の影響は、ＥＲＰｓを構成するピークの出現時間の遅延としてもとらえられる。各ピークに対応した脳の発生学的部位を考慮すると、各部位ごとで低酸素の影響がことなることが示唆された（Kida et al., 1990）。

事象関連電位のほかに、心拍・血圧・体温などの変化も記録され、同時に採血もおこなった。またケージの中で自由に行動するニホンザルについても、行動レパートリーの変化をビデオで記録した。こうした資料については現在解析を進めている。

また、京都大学医学部付属病院の協力をえて、ポジトロンＣＴをもちいた脳の血流量とグルコース代謝量の測定をおこなった。

低酸素の影響として、心拍数の増大、心拍間隔（R-R間隔）の分散の減少、赤血球数の増加などの現象が従来知られている。ただし断片的にわかっている諸現象をつなぎあわせ、低酸素が引き金になってひきおこされる生理的変化の因果の連鎖を解明する水準にはほど遠い。今回の調査はそうした適応の機構解明に向けての研究の第一歩であり、パルスオキシメーターの導入や、血中の微量ホルモンや酵素活性の測定など、きわめて新しい試みがなされた。

研究の成果がでそろうにはまだ少し時間がかかるが、新しい試みからは新しいものが見えてくるはずだという予感が正しいことを信じたい。

４．山行記録

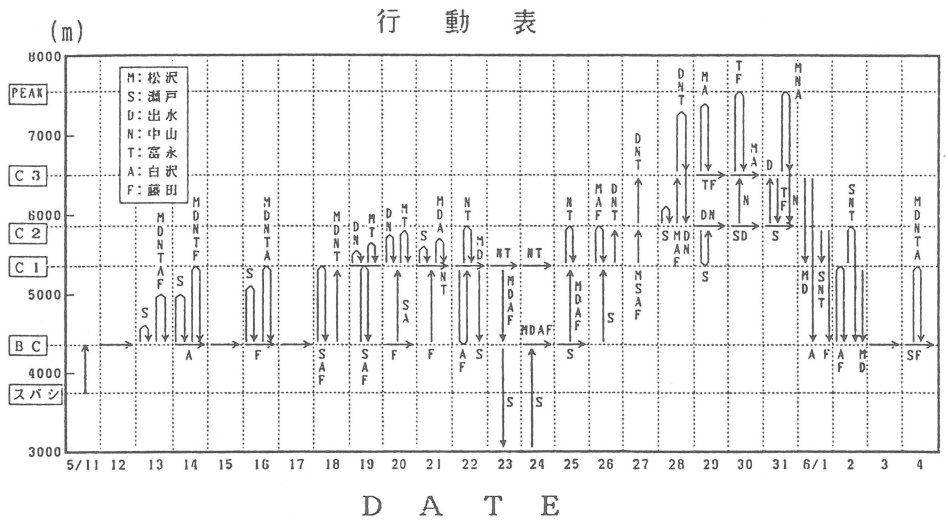
今回のヒマラヤ医学研究登山の、登山活動についても報告しておきたい。5月30日と31日の両日にわたって、隊員5名がムスターグアタ峰に登頂した。通常の登頂シーズン（7−8月）よりかなり早い時期の異例の登頂である。スキーで登頂し、頂上からスキーで滑降した。1959年、中国とソ連の合同隊が初登頂して以来、十数度めにあたる。

行動表は別掲の通り（図３）。正味の登山期間（ＢＣ建設から撤収終了まで）は25日間だった。

活動の概略を示すものとして、以下に日誌的に山行の記録をとどめておく。

4月29日　大阪発、北京着。
4月30日　北京、中国登山協会の要人と会談。
5月 1日　北京、医学検査。
5月 2日　北京発、ウルムチ（900メートル）着。
5月 3日　ウルムチ、新疆博物館のミイラ見学。
5月 4日　ウルムチ、予定便が欠航となる。目的地であるカシュガルが砂嵐のため。五四運動の70周年記念日。
5月 5日　ウルムチ、また欠航となる。
5月 6日　ウルムチ発。またまた欠航となり自動車（マイクロバス1台とランドクルーザー1台）で行くことにする。天山山脈を越え、タクラマカン砂漠を横切って、カシュガルまで約1500キロの道程である。荒涼とした砂漠と一木一草無い岩山が続く。夜も休まず走り続け、24時間で完走した。
5月 7日　カシュガル（1400メートル）着。シルクロードの古くからあるオアシス。緑のポプラ並木が眼にやさしい。ウイグル人の街。イスラム教のエティカル寺院の祭日で、老若男女が多数集まっていた。
5月 8日　カシュガル、医学検査。
5月 9日　カシュガル発、ランドクルーザー2台とトラック1台。スバシ（3700メートル）着。キルギス人の寒村で、ヤクやウシやヒツジを放牧して暮らしている。途中、カラクリ湖から、初めてムスターグアタ峰を見た。ランドクルーザーで4000メートルまで登り、ムスターグアタ西面の登路の偵察。
5月10日　スバシ。ムスターグアタ西稜の偵察と高

図3



度順化のため、ヤンブラク氷河右岸のサイドモレーン(氷河堆積物)の台地4600メートルまで登って戻った。

5月11日　スバシ発、ベースキャンプ（ＢＣ）着。標高4350メートル。ラクダ15頭と馬2頭とロバ1頭に荷物を運んでもらった。

5月12日　ＢＣ，医学検査と荷物整理。

5月13日　第1キャンプ（Ｃ１）への登路の偵察と荷あげ。

5月14日　Ｃ１への荷あげ。

5月15日　ＢＣで休養。高度順化のため休む。

5月16日　Ｃ１への荷あげ。強風。悪天。

5月17日　風雪が激しく、ＢＣで停滞。

5月18日　Ｃ１設営、標高5350メートル。

5月19日　第2キャンプ（Ｃ２）への登路の偵察。1本約50メートルのザイルを6本、氷壁に固定した。

5月20日　Ｃ２への登路の工作。さらに8本分のザイルを固定して、下降しながら別の登路の可能性を探った。松沢－富永のペアが、ワンアットアタイム（１人が先頭を行くときもう一人がザイルでそれを確保する登り方）で行動していたとき、先頭の松沢がヒドン・クレバス（氷の裂け目が雪におおわれて隠れたもの）に転落した。傾斜の緩い雪面を下降中、突然両足からまっすぐに氷の裂け目に落ちていった。空中を約10メートル落下して、ぶらさがるように止まった。幅が約2～3メートルもある巨大なクレバスだった。側壁はカンカンの蒼氷で垂直にそそり立っている。携行していたユマール（ザイルをよじ登る道具）を使って約２時間、宙吊りの状態からザイルをよじ登った。

5月21日　Ｃ２への登路の工作。雪が風にとばされて全山が氷のよろいをまとった感じになった。

5月22日　Ｃ２への登路の工作。日本から持ってきた18本のザイルを使いつくした。

5月23日　中山と富永をＣ１に残し、あとの５人はＢＣに下山。瀬戸はカシュガルにザイルを調達しに戻る。

5月24日　Ｃ１とＢＣにわかれて休養。瀬戸がザイルを調達して帰ってきた。

5月25日　中山と富永、Ｃ２の位置まで到達。

5月26日　Ｃ２設営、標高5900メートル。

5月27日　出水、中山、富永の第1次アタック隊が、第3キャンプ（Ｃ３）までの登路を開拓してＣ３を設営、標高6500メートル。Ｃ２から上は雪が深く、登りにスキーを使う。松沢らはＣ２へ。

5月28日　第1次アタック。出水、中山、富永。登路の目印となる赤旗を立てながら進む。標高7250メートル地点で、時間切れのため登頂を断念し引き返す。松沢らはＣ３へ。

5月29日　第2次アタック。松沢、白沢。昨日の赤旗に助けられて登った。標高7450メート

ル地点で、天候の急変と時間切れのため登頂を断念し引き返す。

5月30日　第3次アタック。富永、藤田。登頂に成功した。スキー登頂。

5月31日　第4次アタック。松沢、中山、白沢。前日に続いて登頂に成功した。頂上までスキーで登り、頂上からスキー滑降した。

6月 1日　Ｃ３からＣ１まで降りる。

6月 2日　Ｃ１を撤収してＢＣに下山。

6月 3日　ＢＣ、医学検査。

6月 4日　Ｃ１に登って、残りの荷物を撤収。ムスターグアタに登り、何物も残さず、ゴミもすべて持ち帰ることができた。迎えのラクダ15頭がキルギス人の遊牧民につれられてやってきた。

6月 5日　ＢＣから下山。スバシを通過してカシュガルまで。

6月 6日　カシュガル発、ウルムチ着。

6月 7日　ウルムチ、帰国荷物の整理。

6月 8日　ウルムチ発、北京着。空港には「強制送還」用の飛行機が待っていたが、強く希望して北京市内に入る。用意されたホテルには、他に一人も客はいなかった。

6月 9日　北京発、大阪着。天安門前広場は戦車と装甲車に埋めつくされ、街路には焼けただれて放置された車と銃を構えた兵士の数がおびただしい。

謝辞

今回の山行と医学研究は、文部省科学研究費国際学術研究（課題番号63041162, 01041060、研究代表者・戸部隆吉）と、厚生省科学研究費補助金（シルバーサイエンス研究事業、研究代表者・松沢哲郎）の助成を得ておこなわれた。また、京都大学学士山岳会の主催する山行として、会長の堀了平先生をはじめ会員諸兄から多大なご援助をいただいた。名古屋大学環境医学研究所には、低圧実験室を利用した共同研究をご許可いただいた。記して感謝の意を表します。

文　献

West, J.B. and Lahiri, S. (1984)
High altitude and man. American Physiological Society. Bethesda:Maryland. 199pp.

Houston, C. (1980)
Going higher : The story of man and altitude. Little, Brown and Company. Boston and Tronto. 324pp.

Kida, M., Abe, T., Matsuzawa, T., and Matsubayashi, K. (1990)
Effects of the probability of stimulus prtesentation and of the frequency of the tones on auditory event related potentials in monkeys under various hypobaric conditions of simulated high altitude. Submitted for publication.

松沢哲郎、木田光郎、古賀一男 (1985)
ヒマラヤ8000ｍにおける精神機能：ハンドヘルドコンピューターを用いた精神作業検査。名古屋大学環境医学研究所年報、36, 238-248.

図４　Ｃ１からＣ２へ。アイスフォールを突破してスキーを荷揚げする。

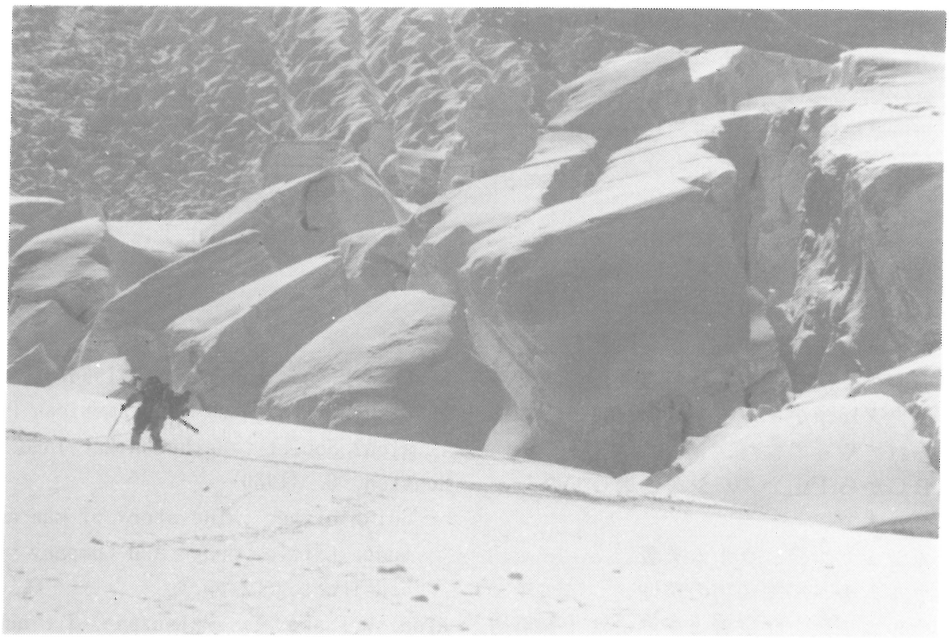
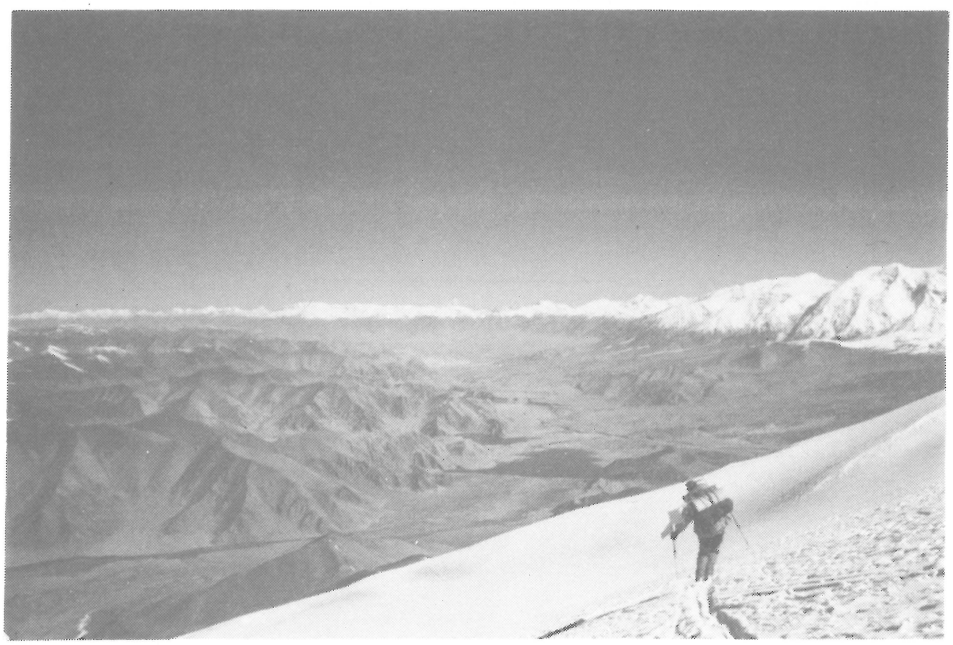



図５　頂上からスキーで滑降する。Ｃ３付近から北面を眺める。右手にコングール峰、眼下にはカラクリ湖が見える。