日本大学エベレスト登山隊・1995

学術調査報告書

Scientific Research Report
of
Nihon University Mt. Everest Expedition・1995

1996年6月
June 1996

日本大学エベレスト登山
実行委員会

Nihon University Mt. Everest Expedition
Executive Committee

日本大学エベレスト登山隊・1995

学術調査報告書

Scientific Research Report
of
Nihon University Mt. Everest Expedition ・1995

1996年 6 月
June 1996

日本大学エベレスト登山
実行委員会

Nihon University Mt. Everest Expedition
Executive Committee

はじめに

日本大学エベレスト登山隊は、エベレストに残された唯一未踏の北東稜の完登と、その周辺地域における学術調査という２つの目的のもとに組織された。

幸いにも私達は、1995年５月11日、エベレストの頂に立つことができたが、成功の要因の１つに学術隊の協力が特筆されるであろう。

本書は、登山隊の公式記録として刊行する予定の『北東稜登山報告書』とは別に、学術隊の調査報告書である。

この学術隊は、登山隊を科学的に支援し、登山技術の向上とエベレスト周辺地域における諸調査を行う目的で組織された。隊員は日本大学の全学部を対象に募り、これに加えて広く校友をも対象とした。また、登山の協力を中国登山協会に求めた関係で、北京大学からも隊員の参加を得た。

この結果、学術隊員とその担当は次の通りである。

総括	平山　善吉	日本大学理工学部教授
高層気象学	永井　澄明	日本大学理工学部教授
高所医学	田中　　潔	日本大学医学部助手
環境放射線科学	野口　邦和	日本大学歯学部助手
雪氷学	森山　　勇	日本雪氷学会会員
	唐　　元新	北京大学学生（地質学）
建築学	神宮　　太	日本大学大学院・理工学研究科院生
環境学	森山　　勇	日本雪氷学会会員

学術隊の任務はこの登山を通じて、エベレスト周辺域における科学的調査であるが、これと併せて登頂に必要なことがらについて登山隊を支援し、成功に協力するということであった。

例えばその１つは、登頂時期を予測する気象学的協力であり、次に高所における隊員の健

康管理面での医学的協力である。

今回我々の目指す北東稜は、今まで8回にわたり各国登山隊の挑戦をことごとく退けてきたが、我々はそれらの報告を読み、失敗の原因を検討し、これらに対処し得る準備を行った。この結果、登山の技術上の困難もさることながら、更に好天をつかみさえすれば何とか登頂できるのではないかという自信を持つことができた。

そこで今回の気象学的支援、すなわちいかに好天をつかむかが、成否を決する大きな要因と考え、これに対処する可能なかぎりの準備を行った。すなわちベース・キャンプ（5,150m）には気象観測のための自動記録装置としての観測用ロボット（データ・ロガ）を設置し、それと併せて気象衛星ノアからのデータ受信装置、あるいはニューデリー、タシケントなどの周辺地域および日本の(財)日本気象協会からの気象情報受信システムとしての気象ファクスなどを用意し、海事衛星インマルサットを使って、(財)日本気象協会の協力を求めるなど登頂日の予測に対する支援と研究を行い、登山のオペレーションを完全なものとした。

次の医学的支援では、隊員の健康管理と高山病の予防という見地から、ベース・キャンプと前進基地（6,350m）に医師を配置し、隊員の健康管理と高山病の予防などにあたった。特に登頂前後は、アタック隊員がいかに最良のコンディションで頂に立てるかを重点に医学的協力を行った。このためのガモウバックに代表される新しい医療機器と、ベース・キャンプに持参するため英国から輸入した最新の基礎代謝検査機器（モーガン社製・ベンチマーク）などを用意し、周到な健康管理と高所における運動生理学、および高山病の発生機序についての調査・研究を行った。

上記高層気象学および高所医学の研究は、登山隊の成功に大きく寄与し、その成果は、これからのヒマラヤ登山に、安全と成功をもたらすための広義の登山技術の向上に大いに役立つことと思う。

次に、登山と直接関係はないが、エベレスト周辺でなければできない研究として、環境放射線科学、雪氷学、建築学、環境学の分野における調査と研究を行った。

これらの内特に環境学的研究については、登山における環境問題をヒマラヤ登山においても適用すべく、我々登山隊は登山期間を通じてエベレスト周辺での環境保全に力をそそぎ、「Take in Take out」を標傍にした。このためソーラーパネルによる無煙焼却炉をベース・

キャンプに持ち込み、周辺の環境保全につとめた。生ゴミ、ビン、缶など燃えないゴミ、あるいは糞尿処理など、まだまだ問題は残るがヒマラヤ登山に環境問題を提起し、我々なりにヒマラヤ登山のあるべき姿を示し、当初の目的は一応の成果を修めたことと思う。

いずれにせよ本報告書は、エベレストのベース・キャンプを中心に、大変厳しい調査環境の中で、更に限られた日数での調査である。我々はこれらのデータをもとに登山終了後、担当者とその所属機関、あるいはそれぞれの専門家の協力をいただきまとめたものである。不備な点も多々あろうかと思うが、ご教授を賜れば幸いである。

編集にあたっては、後日各方面の多くの研究者に役立つよう現地での観測データは総じて収録した。また研究成果については欠ける部分もあるが、後者については後日、関係学会などで充分に研究していただきたいと思う。また、部門によってはエベレストを中心に継続してこの研究が進められるとも聞いている。我々は、これらの研究が継続的研究として、あるいはそれぞれの学術分野での幅広い広がりを期待し将来への進展を願う次第である。

本報告書の刊行にあたり、現地で忙しい登山の間、観測・調査に協力された隊員と、また論文をまとめるにあたり各担当隊員が所属する機関、あるいは専門的立場からの(財)日本気象協会など、関係諸機関の多くの方々に様々な形でご指導、ご協力を賜った。ここに改めてこれらの方々に心より謝意を表す次第である。

最後に、終始、我々をご支援下さった多くの皆様に感謝するとともに、本書の出版に対してお力添えを賜りました日本大学、および日本大学総長·瀬在良男先生、日本大学総合科学研究所所長·瀬在幸安先生、並びに研究総合事務室室長·栗原満義氏、および所員の皆様に厚くお礼を申し上げます。

なお、本書は日本大学学術論文出版助成金を交付され刊行されたものであることを付記してお礼を申し上げます。

1996年5月

日本大学エベレスト登山隊・1995

総隊長兼学術隊長

平山　善吉

【目　次】

ページ

はじめに —— 1

序　章　調査の概要

1.1 概　説 …… 平山善吉 —— 7

1.2 Summary of Research Activities …… 平山善吉 —— 15

第1章　高層気象学

1.1 エベレストの気象 …… 氷井澄明、奥山　厳 —— 25

第2章　高所医学

2.1 エベレスト・ベース・キャンプにおける一酸化窒素ガス（NO）の生理学的影響 …… 田中　潔 —— 49

第3章　環境放射線科学

3.1 電子ポケット線量計によるエベレスト登山期間中における体外被曝線量の測定(1) …… 野口邦和、岡野眞治、工藤逸郎 —— 59

3.2 電子ポケット線量計によるエベレスト登山期間中における体外被曝線量の測定(2) …… 野口邦和、岡野眞治、工藤逸郎 —— 68

3.3 エベレストにおける宇宙線強度の高度変化—球形 NaI（Tl）シンチレーション検出器による電離成分の測定— …… 野口邦和、岡野眞治、工藤逸郎 —— 80

3.4 エベレストにおける宇宙線中性子成分の高度分布 …… 野口邦和、岡野眞治、工藤逸郎 —— 88

3.5 エベレストにおける大地からの放射線による照射線量率の測定 …… 野口邦和、岡野眞治、工藤逸郎 —— 93

3.6 高地チベット人民家の屋内外の放射線量率の測定 …… 野口邦和、岡野眞治、工藤逸郎 —— 100

3.7 ホテル・ヒマラヤと高地チベット人民家の屋内外の放射線量率の比較 …… 野口邦和、岡野眞治、工藤逸郎 —— 108

ページ

3.8　エベレスト・ベース・キャンプからカトマンズまでの自然放射線量率の測定 …… 野口邦和、岡野眞治、工藤逸郎 —— 115
3.9　成田～カトマンズ間の航空機内における宇宙線による体外被曝線量の評価 …… 野口邦和、岡野眞治、工藤逸郎 —— 122

第4章　雪氷学

4.1　ロンブック氷河の特徴とその概要 …… 森山　勇 —— 129
4.2　ロンブック氷河河川水の環境汚染に係わる調査 …… 森山　勇、粂永真吾、小林　努 —— 140
4.3　氷河の河川水および降雪の化学分析 …… 森山　勇、佐藤和秀 —— 144
4.4　氷河の動的調査 …… 森山　勇 —— 154

第5章　建築学

5.1　チベット山岳集落の居住様式と建築技法に関する調査・研究 …… 神宮　太、片桐正夫 —— 161

第6章　環境学

6.1　山岳環境保全に関する調査・研究 …… 森山　勇、宮本俊彦 —— 187

おわりに —— 203

序　章　調査の概要

1.1　概　　説

平山善吉[1)]

本書はそれぞれの担当者が独自にその担当部門をまとめたもので、次の6章からなっている。

第1章　高層気象学
第2章　高所医学
第3章　環境放射線科学
第4章　雪氷学
第5章　建築学
第6章　環境学

第1章エベレストの高層気象学的研究は、本登山隊の学術隊·気象班が、ベース・キャンプで登山期間中に行った気象観測のデータと気象解析の結果をもとにまとめたもので、本文は次の

1)はじめに
2)観測結果
3)気象解析
4)まとめ

の4つのセクションで構成されている。

セクション2)では、ベース・キャンプ（5,150m）で観測したデータを示した。ベース・キャンプで実施した主な気象観測は、自動気象観測システム（気象ロボット、データ・ロガ）を用いた気温、湿度、風向、風速、気圧の1時間毎の計測値と、現地時間（ネパール時間）の06：00～21：00まで3時間毎に行った目視気象観測である。目視気象観測は、雲量、

[1)] 日本大学エベレスト登山隊総隊長兼学術隊長、日本大学理工学部　General Leader and Leader of the Scientific party, Nihon University Mt. Everest Expedition·1995. College of Science and Technology, Nihon University.

雲の種別、視程、特異な気象現象などを記録し、同時に全天雲写真撮影を実施した。

天気についてみると、おおむね好天に恵まれ、悪天が何日も続くということはなかった。約２ヶ月におよぶ観測期間中、降雪のあった日は、３月26日、４月15日、18日、20日、23日、25日、26日、29日、30日、５月８日、９日、10日であった。このうち３月26日の積雪は観測期間中最大で約20㎝あり、５月９日の積雪は約３㎝であった。その他の日の積雪は１㎝にも満たない状態で、雪が雨に変わるということもなかった。

気温については、３月は最低気温は連日－10℃より低く－15℃以下のときもあった。これは４月中旬まで続き、最高気温も５℃をこえなかった。４月の中旬を過ぎると気温は上昇し、日中の最高気温は５℃～10℃になったが、最低気温は－10℃～－５℃の範囲で変化した。

風については、３月30日から４月５日までは連続して強風が吹き荒れ、この間３月31日の強風ではテントがたおれるなどの被害が出た。この風も４月６日頃から静かになり、これまでの風がうそに思えるような日が続いた。その後、強風の吹くことはあっても３月のような風は吹かなかった。

セクション３）では、エベレストに比較的近いラサの高層気象観測所における300hpaと500hpa（00.12UTC）の高度、気温、および300、400、500hpaの風の変化と、エベレストとマカルー（日本山岳会登山隊）のベース・キャンプおよびその上部キャンプでの天気を示した。その結果を見ると、エベレストとマカルーは直線距離にしてわずか20㎞程度しか離れていないのにエベレストの方がマカルーと比べると天気がよいのがわかる。これは局地的な地形効果によるものと推測されよう。

最後にセクション４）まとめとしてベース・キャンプで観測された強風と300hpaの風との相関を検討し、ベース・キャンプでの強風の原因を推測した。また、天気の悪化と気圧の谷との関係を天気図の解析結果を示しながら検討した。

第２章、高所医学では、高所における生体の反応が、呼吸過程の変化を介して発現することに着目し、低圧環境での生体への影響や適応反応を、呼吸すなわち空気と身体のガス運搬の関係について検討した。生体の呼吸過程は空気と肺の間のガス交換、血液のガス運搬、血液と組織細胞との間のガス交換の三大過程に大別されている。さらに、ガス交換およびガス運搬効率の改善のためにポンプ機能としての心臓の役割がある。すなわち、高所の吸気中酸素分圧の低下に対応するため、分時換気量の増大と心拍数および心拍出量の増大による肺血流の増加と血液中の赤血球数およびヘモグロビン濃度の増大がある。このように高度順化は組織における毛細血管の新生が種々の程度に絡み合い成し遂げられるものと思われる。

一般に高所障害としては、いわゆる山酔いと言われるacute mountain sickness（AMS）と高所肺水腫として知られるhigh altitude pulmonary edema（HAPE）、高所脳浮腫として知られるhigh altitude cerebral edema（HACE）がある。このうちAMSは高度順化の一過

程とも思われるがHAPE、HACEはその症状の重篤さから、しばしば高所における致死的障害となり、実際多くの登山者、住民の生命を脅かしている。中でもHAPEは呼吸の最も重要な場である肺において生じるので、この病態の解明は高所障害の予防および治療に積極的に関与するものと思われる。

近年、血管内皮細胞由来平滑筋弛緩因子として見出された物質が一酸化窒素NOと判明した。このため一酸化窒素NOは種々の細胞、組織に活性作用を持つガス状情報伝達物質として注目され、循環、呼吸器においても肺動脈および気管の拡張作用を持つことが示唆されている。このためここでは、一酸化窒素ガスを用いて高所における生理学的変化を調査した結果について報告する。

第3章、エベレストおよびその周辺地域での環境放射線科学は、次の9項目について報告する。

3.1　電子ポケット線量計によるエベレスト登山期間中における体外被曝線量の測定(1)
3.2　電子ポケット線量計によるエベレスト登山期間中における体外被曝線量の測定(2)
3.3　エベレストにおける宇宙線強度の高度変化—球形NaI（Tl）シンチレーション検出器による電離成分の測定——
3.4　エベレストにおける宇宙線中性子成分の高度分布
3.5　エベレストにおける大地からの放射線による照射線量率の測定
3.6　高地チベット人民家の屋内外の放射線量率の測定
3.7　ホテル・ヒマラヤと高地チベット人民家の屋内外の放射線量率の比較
3.8　エベレスト・ベース・キャンプからカトマンズまでの自然放射線量率の測定
3.9　成田～カトマンズ間の航空機内における宇宙線による体外被曝線量の評価

3.1および3.2では、環境放射線用の高感度半導体式電子ポケット線量計（アロカ㈱製）を隊員に常時携帯させ、登山期間中における体外被曝線量を測定した。

自然界にある放射線からの被曝は、宇宙線によるものと大地からの放射線によるものとがある。宇宙線強度は高高度になるにつれて大きくなるため、登山期間中に隊員が宇宙線によってどの程度の体外被曝をするかの関心が持たれていた。また、大地からの放射線強度は大地に含まれるカリウム、ウラン、トリウムの濃度に依存するが、登山期間中に大地からの放射線によってどの程度の体外被曝をするかということも関心が持たれていた。本研究は、登山期間中における宇宙線と大地からの放射線による体外被曝線量の合計値、あるいは各キャンプ・サイトにおける体外被曝線量率の違いなどを明らかにした。

3.3は、球形NaI（Tl）シンチレーション検出器と多重波高分析器（検出器は応用光研工

業㈱製、多重波高分析器はアロカ㈱製）を使って、宇宙線電離成分の高度変化を精密に測定することを目的として行った。わが国では1994年に、科学技術庁放射線医学総合研究所の研究者らが富士山頂の高度までの宇宙線電離成分の高度変化を測定している。今回の測定は、さらに高高度の4,450～6,350ｍまでの範囲での宇宙線電離成分の高度変化を測定した。測定に際しては、低圧・低温での測定に耐え得る特注品の球形NaI（Tl）シンチレーション検出器を用意し万全を期した。

3.4は、中性子サーベイメータ（アロカ㈱製）を使って、宇宙線中性子成分の高度分布を精密に測定することを目的として行った。わが国では3.3で述べたように富士山頂までの宇宙線中性子成分の高度分布を測定している。今回は高度6,350ｍまでの測定を行うように計画したが、原因不明の理由によって高度6,350ｍでの測定値が異常に低い値となり、測定不能となった。このためここでは高度4,450ｍから6,040ｍまでの測定結果について報告する。

3.5では、3.3の研究で用いた測定器を使って、エベレストの5,150～6,350ｍの範囲で、大地からの放射線量率をカリウム40、ウラン系列核種、トリウム系列核種によるものとに分離しておのおのを測定する目的で行ったものである。これらはまったく新しい分野の観測であり、特に今回は連続移動測定を行ったため登山道における微細な放射線量率の変化を把握することができた。

3.6および3.7では、3.3および3.4で用いた測定器を使って、高度4,450ｍにある土と石でできた典型的なチベット人民家、および高度1,350ｍにあるホテルの屋内外の放射線量率を測定し、これらを相互比較することを目的とした。これまで日本家屋については詳しく調査されているが、チベット人民家などについてはまったく調査されておらず、チベット人民家の１階部分と２階部分の違いなど、非常に興味深い結果が得られた。

3.8では、3.3で記した測定器を使って、高度5,150ｍのエベレスト・ベース・キャンプから高度1,350ｍのネパール・カトマンズまでの大地からの放射線量率をカリウム40、ウラン系列核種、トリウム系列核種によるものとに分離しておのおのを測定することを目的とした。この測定は、自動車内で連続移動測定を行ったため道路上の微細な放射線量率の変化を把握することができ、非常に興味深い結果が得られた。

3.9では、3.1および3.3で記した測定器を使って、国際線ジェット機内における宇宙線による体外被曝線量を測定することを目的として行った。エベレスト登山とは直接関係はないが、国際線ジェット機に乗って成田～カトマンズ間を飛行した機会に行ったものである。1990年に国際放射線防護委員会がジェット機乗務員の宇宙線による被曝を職業被曝にすべきであると勧告して以来、国際線ジェット機乗務員の宇宙線被曝が問題になっている折りでもあり、この種の測定データの蓄積が求められていた。その意味では、価値あるデータが得られたことと思う。

第４章、エベレスト北面地域における雪氷学的研究は、登山期間とあわせて３月末日より、５月中旬にわたって、標高5,150ｍのベース･キャンプから、前進基地となる6,350ｍ近辺までを調査・研究範囲として各種調査を行い、次の４項目について報告する。

4.1　ロンブック氷河の特徴とその概要
4.2　ロンブック氷河河川水の環境汚染に係わる調査
4.3　氷河の河川水および降雪の化学分析
4.4　氷河の動的調査

雪氷学の中でのヒマラヤにおける氷河研究は、過去から今日まで多くの研究者によって調査・研究が行われている。これらの調査･研究は、比較的入山しやすいネパール側、すなわちヒマラヤ山脈の南側の地域が多く対象とされ、北側、すなわちチベット高原に位置する地域は、入山あるいは登山の困難さにより、今日まで中国科学院による調査以外、めざましい調査・研究はなされていない。

我々の対象としたロンブック氷河は、北東稜のほぼ8,000ｍ付近から真北に派生する北稜を境に東面と西面から派生し、この２つの氷河は、北東稜側が東ロンブック氷河、西稜側が中央ロンブック氷河およびその一部最奥の部分が西ロンブック氷河と呼ばれている。これらの氷河は北稜の末端付近、すなわち5,400ｍ付近で合流し、その下流域を含む総称としてロンブック氷河と呼ばれ、全長は約15㎞にもおよんでいる。今回我々のベース・キャンプは、このロンブック氷河の末端付近にある。

エベレストを中心とした氷河のうち、我々によく知られた氷河は、北面のロンブック氷河と南面のクンブ氷河である。この他東側にカンシュン氷河があるが、この付近は登山の対象としてはあまりにも困難なため、氷河自体の様子も詳しくは知られていない。

ロンブック氷河とクンブ氷河は、エベレストの北と南の気象、または地形、標高の違いによりそれぞれ異なった姿を見せている。今回我々の対象としたロンブック氷河は、標高の高いチベット高原に位置するため、モンスーンによる影響は比較的少なく、降雪、降水も少ない。このため、この氷河は、極地型クリーン氷河、あるいは流動の少ないチベット型氷河とも呼ばれている。

ここでは、先にあげた４項目について、氷河の実態調査とあわせ、エベレストに降る雪と気象の関係、および登山活動が氷河、河川におよぼす影響などについて調べた。

第５章、建築学的研究は、エベレスト北面のチベット高原地帯の集落の居住形式と建築技術について調査した報告である。

調査地点は、ザカール・チュー河沿いの平坦な台地上にある、パスム村、チョゾン村、ロ

ンブック村で、それぞれの村の集落の規模、形態、生活様式などの外的要因を把握し、住居建築に関する個体調査と集落の発達に関する調査を行った。

また、これとあわせて集落の配置形態、生業、生活形態などについても聞きとり調査を行い、写真、VTR などの撮影と実測調査を行った。一方住居については、家族構成、起居様式、生活機能などの観察と併せて、平面実測図を作成し、建物の編年、増改築などの経過の過程、建築材料、工法などを調査した。これらの集落の生業は、大麦などの生産を主とした畑作農業と、ヤク、羊、牛など家畜の飼育、あるいは登山客などとの若干の商取引などである。

集落は、僧院などの宗教的施設を中心に家屋が密集して建てられている。これらの建築物は、木材が得にくいため、建築材料としては河原の玉石と日乾レンガで壁を築き、土を塗り固め、石灰で外壁を着色し、仕上げている。また、屋根あるいは2階床部分は、空間上に梁状の松材などの木材を並べて渡し、床や、屋根の下地としている。このうち屋根の場合は、その上に麦藁を敷き並べ、なおその上に土を塗り固めている。屋根形式は、雨が少ないことから陸屋根となっている。階数は、平屋建てを基本としているが、集落全体の約30%程が2～3階建てとなっていた。

平面型は、炉をもつ居間兼寝室兼食堂など家族の生活が中心となる大部屋を中心に、収納のための小部屋が必要に応じて連続して配置されている。外部は、外壁につなげて玉石で囲い込みの空間をつくり、家畜のための空間と内庭作業空間を確保している。起居様式は、立式で、土間に背の低い寝台、椅子などを並べ、起居する。住居の基準スケールは、腕などの身体尺を用いている。

家屋の意匠は、石灰による化粧の他、信仰にもとづいた様々な神々への祈りや、願いを表す彩色や飾り物で特徴づけられている。このほか、壁面の構築方法や、床、屋根下地の骨組み構造などに地域差がみられ、これがそれぞれの地域あるいは集落の個性となっている。今回の調査による資料は大変興味深いもので、今後の大系的なデータの収集調査が待たれるものである。

最後に第6章は、環境学的研究についての報告である。

今日、世界的な規模で自然の破壊が進行し、また自然に対する汚染が進んでいる。自然の破壊は森林伐採が最も大きな影響を与えると言われ、汚染については石油化学、または放射能が問題とされている。

山岳地域における環境汚染についても、規模こそ異なるが、同様に考えられている。事実、ネパールにおいては、生活のため多くの樹木が伐採され、この結果、山および河川に対する環境破壊が大きな問題となっている。

これに加えて年々増加する多くの登山者、およびトレッカーを迎えいれることにより、こ

のために発生するゴミ汚染の問題が大きくクローズアップされている。今回調査の対象とする中国チベット自治区においても状況は同様である。これらの地域はいずれも4,000m以上の高地であるため、厳しい自然環境は平地と異なり、一度失った自然の回復は非常に困難である。加えて気温が極度に低いため、バクテリアによる分解もほとんど望めず、分解するにしても長い年月を要することになる。

ここでは、このたびの登山期間のなかで、ゴミ汚染の状況と、登山隊が持ち込むゴミの影響などを調べた。更に今回は、高地におけるゴミの処理方法として、無煙焼却炉をベース・キャンプに設置し、それを使用した報告と、焼却炉の動力源としてのソーラーパネルによる発電の効果などについてそのデータを含めて考察した。

以上本報告書の概要を記した。

1.2 Summary of Research Activities

The Nihon University Mt. Everest Expedition was organized with the aims of completely climbing the last major unclimbed route on Mt. Everest, the Northeast Ridge, and conducting scientific studies in the surrounding area.

We are happy to report that our climbers stood on the summit of Mt. Everest on May 11. One of the reasons for our success was the cooperation of the scientific party.

This is the report of the scientific party, separate from the official record of the expedition, "Report of the 1995 Nihon University Mt. Everest Climbing Expedition", that is scheduled to be published.

The objectives of this scientific party were to support the climbing party scientifically, assist in improvement of climbing technique and conduct a variety of studies in the area around Mt. Everest. The members were recruited from all departments of Nihon University through the club's contacts. Colleagues from outside the university provided back up assistance. Also, since the Chinese Mountaineering Association was requested to help with the climbing expedition, one scientific party member from Peking University was added.

The scientific party members and their fields were as follows.

Coordinator: Zenkichi Hirayama.

Professor, College of Science and Technology, Nihon University.

High altitude meteorology: Sumiaki Nagai.

Professor, College of Science and Technology, Nihon University.

High altitude medicine: Kiyoshi Tanaka.

Research Assistant, School of Medicine, Nihon University.

Environmental radiological science: Kunikazu Noguchi.

Research Assistant, School of Dentistry, Nihon University.

Glaciology: Isamu Moriyama.

Member, Japan Society of Snow and Ice.

Glaciology: Tang Yungxin.

geology student, Peking University.

Architecture: Futoshi Shingu.

graduate student, College of Science and Technology, Nihon University.

Environmental science: Isamu Moriyama,

Member, Japan Society of Snow and Ice.

The most important duty of the scientific party, naturally, was to provide whatever assistance the climbing party required to reach the summit. For example, cooperation in predicting the best time for a summit assault from a meteorological point of view, and medical cooperation in maintaining the health of expedition members at high altitude.

The Northeast Ridge, which was the objective of our expedition, previously defeated 8 expeditions from several nations. We read their reports, analyzed the causes of failure, and made preparations to deal with those problems. As a result, although the climb is technically difficult, we came to feel that given a break in the weather we could do the climb.

Thus, meteorological suppprt, to help us take advantage of good weather, became a major factor in determining the success of the expedition, and emphasis was placed on adequate preparation in this field. Our equipment included a meteorological observation robot with automatic magnetic data loggers, a receiver for data from the NOAA meteorological satellite and a weather FAX to receive regional weather reports from New Delhi, Tashkent and also from the Japan Weather Association in Tokyo. We also received assistance in forecasting for the day of the summit assault from the Japan Weather Associaion, via INMARSAT.

Next came medical support. To monitor expedition members' health and try to prevent high altitude sickness, we stationed doctors in Base Camp and Advance Base Camp. In particular, around the time of the summit assault, medical support was important to ensure that the assault party members would be in the best possible condition. We had the latest medical equipment, including a Gamow bag, and imported the latest basal metabolism measuring instrument, the Bench Mark by the Morgan company, from Britain for use in Base Camp. The health of expedition members was monitored thoroughly, and we conducted research on the mechanism of occurrence of high altitude illness.

This research on high altitude meteorology and high altitude medicine contributed greatly to the success of the expedition, and we hope that it will contribute in a broader sense to the upgrading of mountaineering technique and to the safety and success of future Himalayan expeditions.

The expedition also conducted a variety of research on other topics that can only be done in the area around Mt. Everest, although not directly related to mountain climbing. These include such fields as environmental radiological science, architecture, glaciology and environmental science.

The expedition cooperated fully in efforts to protect the environment of the region, oper-

ating on the principle "take in take out". We used a specially designed smokeless incinerator, operating on solar panels, at Base Camp. There are still serious unsolved problems in dealing with raw garbage, bottles, cans and other nonflammable items, and in disposing of human waste, but we believe that we succeeded in our immediate objective.

This report was prepared after the expedition, by the researchers responsible, with the cooperation of their institutions and colleagues in the respective fields.

Observational data have been included so as to be useful to as many researchers as possible in these fields in the future. The research results are still not complete, but more complete versions will eventually be presented at scientific conferences and submitted to the appropriate journals. We wish the researchers success in their efforts.

This report consists of 6 chapters. Chapter 1 deals with high altitude meteorology. It presents high altitude observations taken at Base Camp (5,150m) during the climbing expedition, together with some meteorological analysis. The principal observations were of air temperature, relative humidity, wind speed, wind direction and air pressure, and were made every hour by the automatic meterological robot and also manually at 3 hour intervals from 06:00 to 21:00. Visual observations were also made of cloud amount, cloud type, visibility and special weather phenomena, and all-sky cloud photographs were taken.

Overall the expedition was blessed with good weather. There were no long spells of bad weather. During the observation period, which lasted about 2 months, snow fell on March 26: April 15, 18, 20, 23, 25, 26, 29 and 30; and May 8, 9 and 10. About 20cm of snow fell on March 26 and about 3cm on May 9. On all of the other days the snowfall was less than 1cm. On some days the snow even changed to rain.

In March the daily minimum temperature remained below -10 °C, falling as low as -15 °C. This cold continued until mid-April. During this period the daily maximum temperature did not rise above $+5$ °C. After mid-April the temperature increased; the daily maxima varied in the range $+5$ to $+10$ °C, and the daily minima in the range -10 to -5 °C.

Strong wind blew continuously from March 30 to April 5. The strong wind on March 31 blew tents over. From about April 6 the wind weakened; often it was so calm as to make it seem incredible that such strong wind could have been blowing earlier. Strong wind did occasionally blow but it was not as strong as it had been in March.

In Section 3, the heights of the 300hPs and 500hPa surfaces (at 00 and 12 hours UTC) and the wind variations at 300, 400 and 500hPa above Lhasa, which is relatively close to Mt. Everest, observed by the Lhasa High Altitude Meteorological Observatory, are shown together with the weather at Base Camp and upper camps on Makalu, observed by a

Japanese Alpine Club expedition that was on that mountain. Looking at the results, we see that although Everest and Makalu are only 20km apart as the crow flies, the weather on Everest was noticeably better than the weather on Makalu. This is due to a topographic effect. Whereas Everest is surrounded by a number of other, somewhat lower mountains, Makalu is bounded on the south and east by the deep Arun River canyon, through which it is easy for moist air to enter from the south.

Comparison of the strong wind that blew at Base Camp with the wind at 300hPa suggests an explanation for the strong wind at Base Camp. We also investigated the relation between troughs in the weather pattern and worsening of the weather, using the results of weather map analysis.

In Chapter 2, on high altitude medicine, attention was focused on the fact that physiological changes at high altitude show up in changes in breathing action. We investigated the effect of the pressure environment on physiology and the adaptation response as it shows up in breathing, that is to say, gas transport between the outside air and the body. The physiological breathing process can be divided into gas exchange between the outside air and the lungs, gas transport by the blood, and gas exchange between the blood and tissue cells. To this we may add the role of the pumping action of the heart in increasing the efficiency of gas exchange and gas transport. It is believed that adaptation to high altitude involves increase of the tray ventilation corresponding to drop in the partial oxygen pressure in inhaled air; increase of blood flow through the lungs due to increased pulse rate and cardiac output; increase of red corpuscle count and hemoglobin concentration in the blood; and growth of new capillaries in tissues, in varying degrees.

What is generally called high altitude sickness actually has several forms: acute mountain sickness (AMS), high altitude pulmonary edema (HAPE) and high altitude cerebral edema (HACE). Among these, AMS is believed to be part of the process of adaptation to high altitude, but, depending on the seriousness of the symptoms, HAPE and HACE can become fatal, and in fact are threats to the lives of climbers and residents of high altitude areas alike. Since HAPE occurs in the lungs, which play the most important role in breathing, it is expected that better understanding of it will play an important role in the prevention and treatment of high altitude sickness.

In recent years, the substance detected as a factor in relaxation of smooth muscle coming from cells of the endothelium of blood vessels has been identified as nitric oxide (NO), and attention has been focused on it as a gaseous information transmitting substance that has an activating effect on cells and tissues. Also in circulatory and respiratory organs, there have

been hints that it has an expanding effect on the pulmonary veins and the bronchus. During this expedition the medical group used NO to investigate physiological changes at high altitude.

Studies of radiological science on Mt. Everest and in the surrounding area, described in Chapter 3, covered the following 9 topics.

3.1 Measurements of external exposure dose, during the climbing period on Mt. Everest, using a pocket dosimeter (1).
3.2 Measurements of external exposure dose, during the climbing period on Mt. Everest, using a pocket dosimeter (2).
3.3 Variation with altitude of cosmic ray intensity on Mt. Everest — measurements of ionizing components with a spherical Nal (Tl) scintillation detector—
3.4 Altitude distribution of cosmic ray neutrons on Mt. Everest.
3.5 Measurements of exposure rate by radiation from the ground on Mt. Everest.
3.6 Measurements of radiation intensity inside and outside the roof of a private residence on the Tibetan Plateau.
3.7 Comparison of radiation intensity inside and outside the roofs of the Hotel Himalaya and a private residence on the Tibetan Plateau.
3.8 Measurements of natural radiation exposure rate from Everest Base Camp (Tibetan side) to Kathmandu.
3.9 Evaluation of external exposure dose by cosmic rays inside an airplane flying between Narita and Kathmandu.

In 3.1 and 3.2, expedition members were required to constantly wear a sensitive electronic pocket dosimeter with a semiconductor detector (made by Aloka K.K.) for measuring environmental radiation, for the purpose of measuring the external exposure dose at all times during the climbing on Mt. Everest.

Exposure to radiation in the natural world includes both exposure to radiation produced by cosmic rays and to radiation from the ground. Since the intensity of cosmic radiation increases with increasing altitude, we were interested to learn what the external exposure dose from cosmic radiation would be during the climb. We were also interested to learn the external exposure dose from ground radiation, which depends on the concentrations of potassium, uranium and thorium in the ground. In the present research, these were determined from the total external exposure from both cosmic radiation and the ground during

the period of climbing on Mt. Everest, and the differences in external exposure rate among the camps.

In 3.3, a spherical NaI(Tl) scintillation detector and multichannel pulse height analyzer (the detector is made by Oyo Koken Kogyo K.K., the multichannel pulse height analyzer by Aloka K.K.) were used to make precision measurements of the distribution of the ionizing component of cosmic radiation with altitude. In Japan researchers from the National Institute of Radiological Science of the Science and Technology Agency have measured the altitude distribution of the ionizing component of cosmic radiation up to the altitude of the summit of Mt. Fuji. The present measurements covered the altitude range from 4,450m to 6,350m. The spherical NaI(Tl) scintillation detector was specially designed to work at low temperature and low air pressure.

In 3.4, a neutron survey meter (made by Aloka K.K.) was used to make precision measurements of the altitude variation of the neutron component of cosmic radiation. In Japan this has been measured up to the altitude of the summit of Mt. Fuji. The measurements during this expedition were planned to be carried out up to 6,350m, but due to an unexplained cause the measured value at 6,350m was abnormally low, and had to be discarded. For this reason we only report the results from 4,450m to 6,040m.

In the research described in 3.5, the same instruments were used as in the research described in 3.3 to measure the separate radiation exposure rates due to ^{40}K, radionuclides of the ^{238}U series and radionuclides of the ^{232}Th series from 5,150m to 6,350m on Mt. Everest. This was a completely new field of observations; in particular, since the measurements were made continuously while moving, it was possible to determine the fine structure in the variations in the external exposure rate along the climbing route.

In the research described in 3.6 and 3.7, the same instruments used in the research described in 3.3 and 3.4 were used to make comparative measurements of the radiation shielding factor in a traditional Tibetan private residence made of mud and stone at an altitude of 4,450m, and in a hotel at an altitude of 1,350m. The radiation shielding factor is defined as the ratio of the external exposure rates outside and inside the building. It has been studied in detail in Japanese buildings, but it has not previously been measured at all in private Tibetan houses, and there was a great deal of interest in this study, including the difference between the first and second floors of a Tibetan house.

In the research described in 3.8, the same instruments used in the research described in 3.3 were used to measure the ionizing component of cosmic radiation and the separate components of the external exposure rate from the ground due to ^{40}K, radionuclides of the ^{238}U

series and radionuclides of the ^{232}Th series from Everest Base Camp at an altitude of 5,150m to Kathmandu at an altitude of 1,350m. Since these were continuous moving measuurements made inside a motor vehicle, it was possible to determine the detailed variations in the exposure rate, and very interesting results were obtained.

In the research described in 3.9, the same instruments used in the research described in 3.1 and 3.3 were used to measure the external radiation dose rate due to cosmic rays inside a jet aircraft on an international commercial route. This was not directly connected with the Mt. Everest climb itself, but was done on a flight between Narita and Kathmandu. Since the International Commission on Radiological Protection (ICRP) had recommended in 1990 that crew members of jet aircraft should be regarded as being subject to occupational exposure to cosmic rays, the exposure of crew members of jet aircraft on international routes to cosmic rays has been an issue, and there is need for measured data of this type to be accumulated. In this sense, these data are of value.

In the glaciology research on the north side of Mt. Everest described in Chapter 4, a number of surveys were carried out during the period from late March to mid-May, which coincided with the climbing period, from Base Camp at 5,150m to Advance Base Camp at 6,500m. This report covers the following subjects.

4.1 Characteristics and general description of the Rongbuk Glacier.
4.2 Investigation on environmental pollution of melt water from the Rongbuk Glacier.
4.3 Chemical analysis of glacial melt water and fallen snow.
4.4 Survey of glacial dynamics.

Many researchers have conducted surveys and research on Himalayan glaciers, but most of these have been on the Nepal side, which has been more accessible, while on the less accessible Tibetan Plateau the only surveys have been those done by the Academia Sinica.

The Rongbuk Glacier, which was the object of our studies, runs directly northward from almost 8,000m on the Northeast Ridge until it reaches the North Col, then divides into 2 branches that run down the east and west sides of the North Ridge. The branch on the Northeast Ridge side is called the East Rongbuk Glacier; the branch on the West Ridge side, into which the West Rongbuk Glacier runs from still further west, is called the Central Rongbuk Glacier. These glaciers come back together at about 5,400m, near the end of the North Ridge, to become the Rongbuk Glacier. Its total length reaches 15km. Our Base Camp was at the terminus of this glacier.

The best known of the glaciers that flow from Mt. Everest are the Rongbuk Glacier on the north side and the Khumbu Glacier on the south side. In addition there is the Kangshung Glacier on the east side, but since climbing in its vicinity is very difficult, the glacier itself is not very well known.

The Rongbuk Glacier and the Khumbu Glacier have important differences, due to the differences in climate, topography and altitude on the north and south sides of Mt. Everest. Since the Rongbuk Glacier, which was the object of our study, lies at high altitude above the Tibetan Plateau, it is relatively little affected by the monsoon, and receives relatively little rainfall and snowfall. For this reason, this glacier is called a polar clean glacier such as a glacier seen in the polar region, or a slow-flowing Tibetan glacier.

This report covers the basic glacier survey and the topics listed above, and in addition the relation between weather and snowfall on Mt. Everest, and the effect of mountaineering activity on glaciers and rivers.

Chapter 5, on architecture research, reports on a survey of the forms of dwellings in the Tibetan Plateau hamlets to the north of Mt. Everest, and the architectural techniques used.

The survey was carried out in the villages of Passum, Chodzong and Rongbuk, on the flat plateau along the Zakar Chu River. The size, nature and lifestyle of the hamlets in those villages were surveyed along with the architecture of the dwellings and the development of the hamlets.

At the same time the local inhabitants were questioned concerning the layout of their hamlets, their occupations and lifestyle; and scenes were recorded by camera and VTR. The residences, family composition, daily lives and dwelling functions for lives were observed, plans of the houses were drawn based on actual measurements, and a survey was conducted of the chronology of the buildings, expansion and renovation techniques, building materials and construction methods. The occupations pursued by the people in these villages include agriculture, mainly barley growing: raising livestock including yaks, sheep and cattle; and businesses catering to mountaineers.

The hamlets are centered around religious institutions such as monasteries. The buildings are clustered closely together. Since it is difficult to obtain lumber for building, walls are built of riverbed stones and sun-dried bricks, mud is plastered on and allowed to harden and then the outer walls are finished with lime. Then beams of lumber such as pine are laid across the walls, parallel to one another, to form the beds of floors and roofs. In the case of the roof, barley straw is laid on the bed and in turn is plastered with mud, which is allowed to harden. Since there is little rain, continental roofs are used. Most buildings have

only one floor, but perhaps 30% have 2 or 3 floors.

The plan of a typical house has a living room with fireplace, bedrooms and a large dining room that serves as the center of family activity. There are also additional small rooms as necessary for storage. Boulders are joined to the outer walls of the house to make an enclosure that serves both as a space for livestock and a courtyard which is used as a work space. The lifestyle is a bedsitting room style, with low beds and chairs arranged on earthen floors. Body parts such as arms are used as standards for measurement.

There are decorations of lime, and colored decorations that express prayers to the gods or wishes. In addition, there are differences in the way the walls are constructed and in the framework construction of the floor and roof beds, so that the villages in the different regions have their own distinctive character.

Further surveys to gather this type of data will perhaps become a research topic that attracts much interest in the future.

Finally, in Chapter 6 we report on research in environmental science.

Today, nature is being destroyed on a global scale, and is becoming increasingly polluted. Logging of forests is one of the principal causes of destruction of nature, while as for pollution, petrochemicals and radioactive substances are particular causes for concern.

The same is basically true for environmental pollution in high mountain regions, although it is on a smaller scale. In Nepal, many trees have been cut for firewood, causing considerable environmental damage to mountains and rivers.

In addition, pollution is receiving increasing attention because of all of the trash produced by mountain climbers and trekkers, whose numbers are increasing year by year. A similar situation exists in the Tibet Autonomous Region of China. Since the areas concerned here are all above 4,000 meters altitude, in contrast to the situation in the lowlands once nature is destroyed recovery is very difficult. In addition, since the temperature is very low, it is impossible to expect decomposition by bacteria, or at best decomposition will take many years.

In this report, we cover the state of trash pollution during the climbing period, the effect of trash produced by the climbing expeditions, and the specially designed smokeless incinerator that was installed at Base Camp as a way of disposing of trash at high altitude, including a report on the efficiency of electrictity generation by the solar panel that provided the power for the incinerator.

In publishing this report, we must extend thanks to the climbers who cooperated in the observations in spite of being busy with their climbing, and the people of the institutions to

which the scientific party members belong and of the Japan Weather Association (a non-profit foundation) who provided advice and cooperation from their specialist points of view.

Finally, while thanking the many people who supported the expedition all the way, we particularly thank Nihon University and the university President, Prof. Yoshio Sezai; Prof. Yukiyasu Sezai, Director of the Nihon University Research Center; Mr. Yoshimitsu Kurihara, Acting Director of the Nihon University Research Center; and the staff members of the Research Center.

Zenkichi Hirayama (Prof.)
General Leader, and Leader of the scientific party
Nihon University Mt. Everest Expedition 1995

第1章　高層気象学

1.1　エベレストの気象

永井澄明[1)]・奥山　巖[2)]

1.1　The Weather on Mt. Everest

by Sumiaki Nagai[1)] and Iwao Okuyama[2)]

Abstract : This report deals with data from weather observations at Mt. Everest Base Camp during the climbing period of about 50 days, and results of their analysis.

The principal meteorological observations were taken at Base Camp by automatic recording every hour with an automated observation system for air temperature, relative humidity, wind speed, wind direction and atmospheric pressure. In this report the results of these measurements are presented. Visual observations of clouds, visibility and special weather phonomenan were carried out at Base Camp, and photographs of the clouds were taken by a whole sky camera. The meteorological analysis includes a comparison of the observations of the Nihon University Mt. Everest Expedition with those of the Japanese Alpine Club Makalu Expedition that was taking place at the same time 20km away. Although Mt. Everest is close to Makalu, because of the topography the weather on the Tibetan side of Mt. Everest is different from the weather on Makalu. In general, the weather on Mt. Everest is better. In addition, possible causes are given of the gales that struck Base Camp at the end of March and the beginning of April, and the relation between troughs in the weather pattern and worsening of the weather.

要旨：本報告は、エベレスト登山隊のベース・キャンプにおける登山期間中に行った気象観測のデータとその解析結果の報告である。

ベース・キャンプで実施した気象観測の主なものは、自動観測システム（気象ロボット）による、気温、湿度、風向、風速、気圧の1時間毎の自動計測と、目視による雲量、雲の種別、視程、特異な気象現象の記録、および全天雲写真の撮影である。本報告はそれぞれの測定結果をグラフで示した。

また気象解析は、本登山隊と同時期に、約20㎞離れていた日本山岳会マカルー登山隊の気象観測結果と比較検討した。マカルーはエベレストと近距離でありながら地形の異なりによるためエベレスト（チベット側）とマカルー（ネパール側）では天気が非常に異なるが、これは多分に地形的な影響によるものと思われる。なお、一般にエベレストの方が天気がよい。また3月下旬から4月はじめに、ベース・キャンプを襲った強風の原因の推測、気圧の谷と天気の悪化の関係などについて考察した。

1) 日本大学理工学部　College of Science and Technology, Nihon University
2) 日本気象協会　Nihon Weather Association (a non-profit foundation)

1．はじめに

今回の登山は、エベレスト北東稜からの登頂をめざすプレモンスーン季の登山であった。この時期の登山は、冬からプレモンスーン季にヒマラヤの南に存在する亜熱帯ジェット気流の北への移動、チベット高気圧の形成、モンスーンの開始という一連の気候の変化の中で、モンスーンに入る前の時期に登頂を目指すもので、気象担当の重点をおくべき課題も自ずと明らかである。

今回、持参した装置は自動気象観測システム（気象ロボット）、気象衛星NOAA受信システム、気象FAX用受信器で、気象観測は、登山期間中、ベース・キャンプ（5,150m）で行った。これらのデータは、上部キャンプの情報と共にインマルサットを利用して毎日日本気象協会へ送られ、これまたインマルサットを介して気象協会からも、毎日、天気解説、実況天気図、予想天気図を提供していただいた。

今回の登山隊は3月下旬の強風に悩まされることもあったが、幸いにも全般的な好天に恵まれ、天気予報についても特に大きな問題は生じなかった。観測データの解析は現在進行中で、ここでは、第2節で登山期間中のベース・キャンプ、前進基地（6,350m）での気象観測結果を示し、第3節で簡単な気象解析の結果を検討し、第4節でまとめを行った。解析結果の詳細は後日発表する予定である。

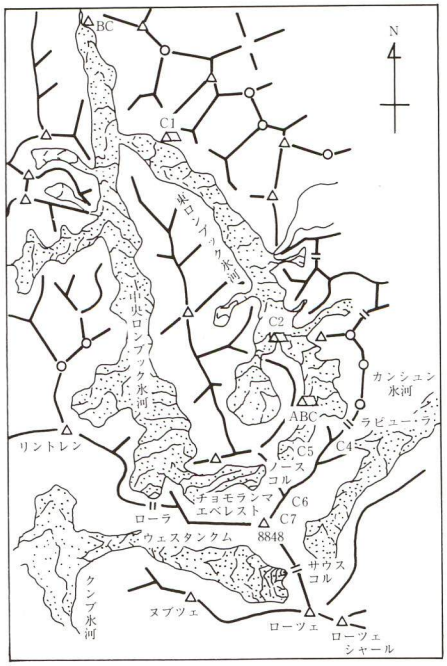


図1-1-1　エベレスト周辺図

Fig. 1-1-1　Map of the area around Mt. Everest

２．観測結果

気象観測を行ったベース・キャンプは図1-1-1に示すようにロンブック氷河の末端に近く、ほぼ南北に走る山々が東西両側にあり、その谷間に位置する。このような地形の関係から、ベース・キャンプは、気象観測に最適の場所とは言いがたい所である。図1-1-3はベース・キャンプに設置した気象観測用テントで、背景にある山はベース・キャンプの東側にある山である。図1-1-4はベース・キャンプの南を見たものでエベレストの頂上に雲がかかったものである。そして、図1-1-5はベース・キャンプの北方を写したものである。

ベース・キャンプで実施した気象観測は下記の通りである。

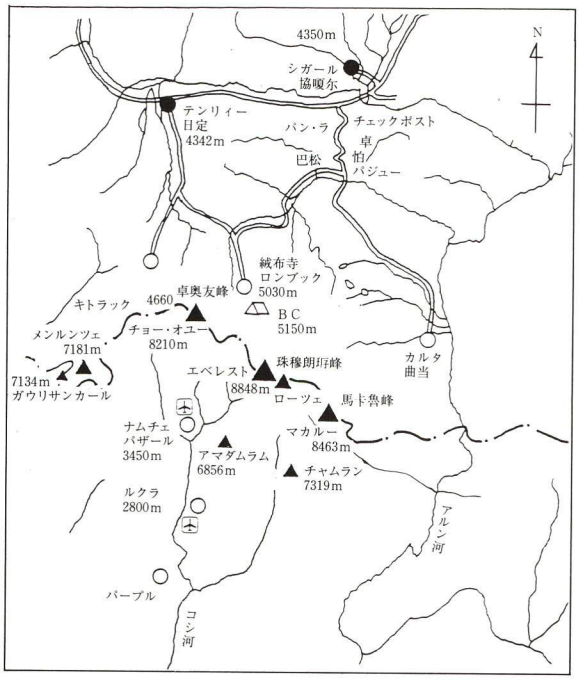


図1-1-2　エベレスト、マカルー周辺図

Fig. 1-1-2　Map of the area around Mt. Everest and Makalu

(1)　目視気象観測

日中３時間ごとに目視気象観測を実施し、雲量、雲の種別、視程、特異な気象現象等を記録した。また、同時に全天雲写真撮影を実施した。

(2)　自動気象観測システム（気象ロボット、データ・ロガ）

白山工業のLS300を用いた自動計測で、気温、湿度、風向、風速、気圧を１時間毎に計測した。

(3)　海事気象衛星NOAAの雲画像の受信

気象衛星NOAAの雲画像を、日本舶用エレクトロニクスのNPS－１を用いて、１日２

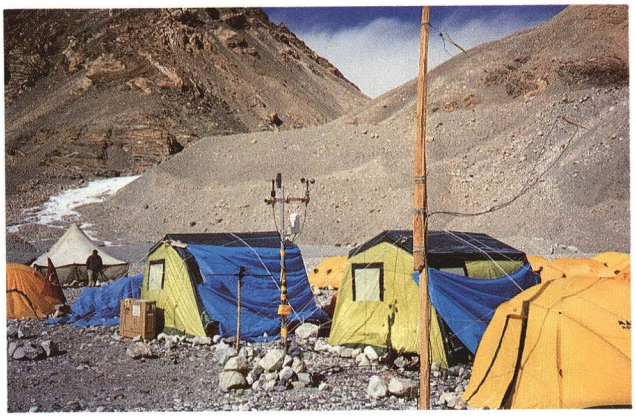


図1-1-3　気象観測装置（4月25日）
Fig. 1-1-3　Meteorological instrumentation (April 25).

図1-1-4　ベースキャンプより南を望む（5月6日）
Fig. 1-1-4　Looking south from Base Camp (May 6).

図1-1-5　ベースキャンプより北を望む（4月27日）
Fig. 1-1-5　Looking north from Base Camp (April 27).

回直接受信した。

(4)　気象 FAX

日本無線の JAX－９A を用いて北京とタシケントからの気象情報（高層天気図等）を受信した。

図1-1-6は登山期間中の観測結果である。

A：天気

天気についてみると全般的によく、悪天が何日も続くということはなかった。今冬は例年にない大雪であったと聞かされたが、３月24日ベース・キャンプに到着したときは、キャンプ地にはほとんど雪はなかった。３月26日午後から雪が降りはじめ27日朝には止んでいたが、約20㎝の降雪がみられた。それ以後４月15日、４月18日、４月20日、４月23日、４月25日、４月26日、４月29日、４月30日、５月８日、と雪が見られたが、いずれも短時間で降雪量は１㎝にも達しなかった。５月９日夜半より降りだした雪は、５月10日午前６時までに３㎝程度つもった。10日は雲が多く、午前まで時々雪がちらついた（図1-1-6参照）。５月11日、アタック隊は、第７キャンプを４時に出発した。その時は快晴、雲量０、無風の絶好の天気であった。午前９時過ぎ、ベース・キャンプの北側に霧、それがゆっくり南下してきて、一時ベース・キャンプを覆ったが、まもなく消えた。12時頃になるとベース・キャンプ上空、北方の空に雲が見られ雲量４となり、ベース・キャンプ付近で盛んに小さな砂の渦巻きが立ち上るのが観測された。だんだんと雲もふえ、14時頃にはエベレストも雲に包まれ、ベース・キャンプでは雪がちらついた。雪は15時には止み、雲も夕方には少なくなり、夜には完全に晴れ上がった。雪を見たのは、この日が最後で登山期間中、雪が雨に変わることはなかった。

ヒマラヤ山脈では雷がよく発生することが知られている。オービル[2)]が衛星の画像から作成した地球上の放電頻度分布もヒマラヤ、南アジア地方に雷の多いことを示している。しかし、登山家[3)]によるとヒマラヤ山脈の中ではエベレスト付近は比較的雷が少ない所だそうである。今回、観測期間中雷があったのは４月30日の１日だけである。その日は、午前中南風が強く、雲量も７位で、９時には太陽に光環が見られた。昼頃には、南風が北風に転じ、14時頃に雪がちらつき、14時15分頃に一度雷光と雷鳴を聞いたが、それだけで終った。17時には雪はやみ、風は又南風に転じ、かなり強い風が吹いた。このときの雲量９。21時頃には、雲量４となり星がきれいに見え、エベレストの近く、及びその東の空で雷光が盛んに発生するのが目撃された。

４月上旬以降、早朝は、快晴もしくは晴れ、陽が高くなるにつれ、雲量がますという日変化が見られるようになった。ヌプツェ、西稜の南、ウェスタンクウムあたりの空に、雲が湧き上がり、これが舞って曇天になっていくが、西稜の北側、ベース・キャンプの上空は晴れている。それが４月中旬以降には、しばしばネパール側で発達した雲が西稜をこえてベー

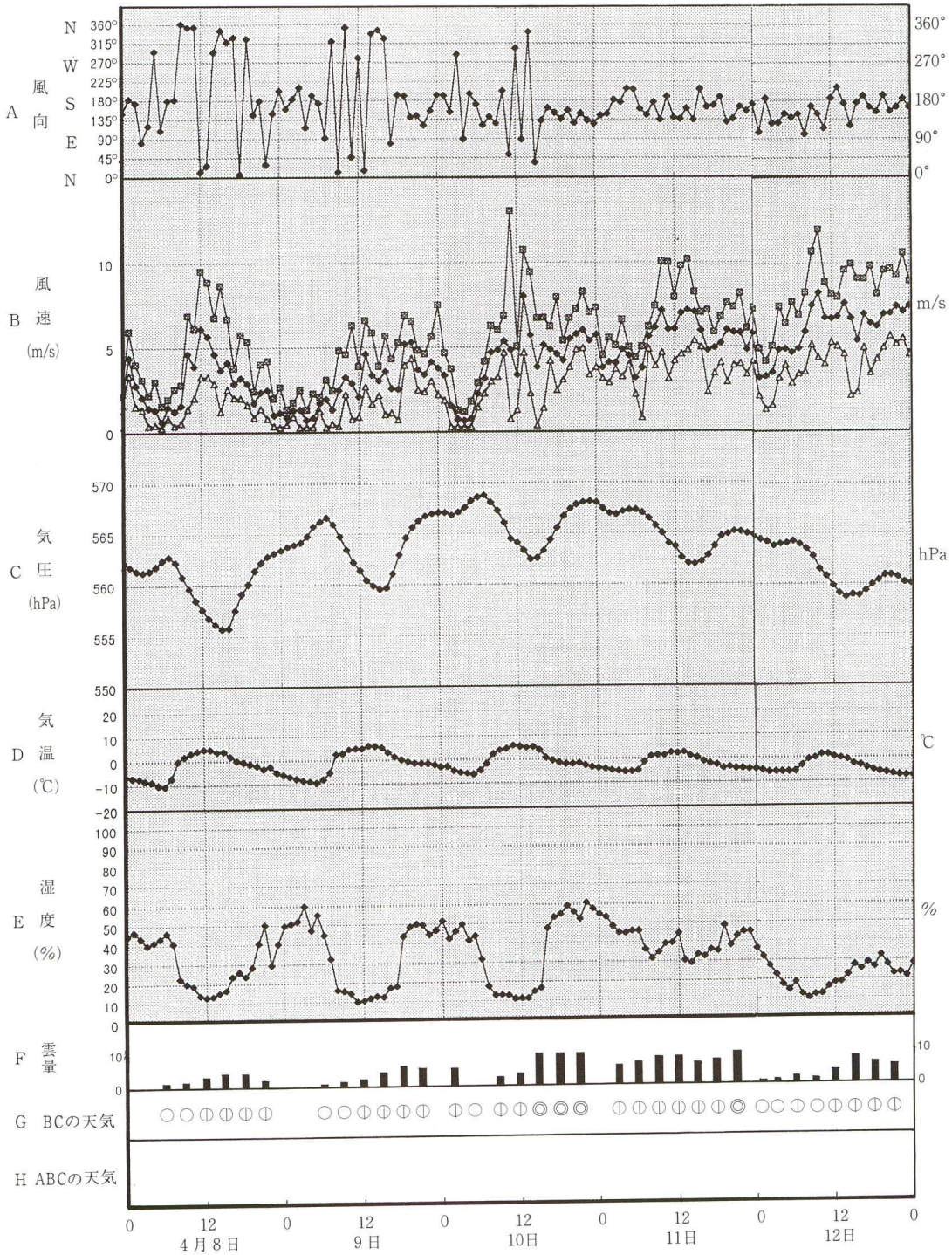


図1-1-6　ベース・キャンプでの気象変化—(1)

Fig. 1-1-6　Weather changes at Base Camp—(1)

Notice　A：Wind direction　B：Wind speed　□ maximum wind speed per hour
◆ average wind speed per hour
△ minimum wind speed per hour
C：atmospheric pressure　D：air temperature　E：relative humidity
F：cloud amount　G：weather changes at Base Camp　H：weather changes at ABC
Time is Nepal (JST-3h15m)

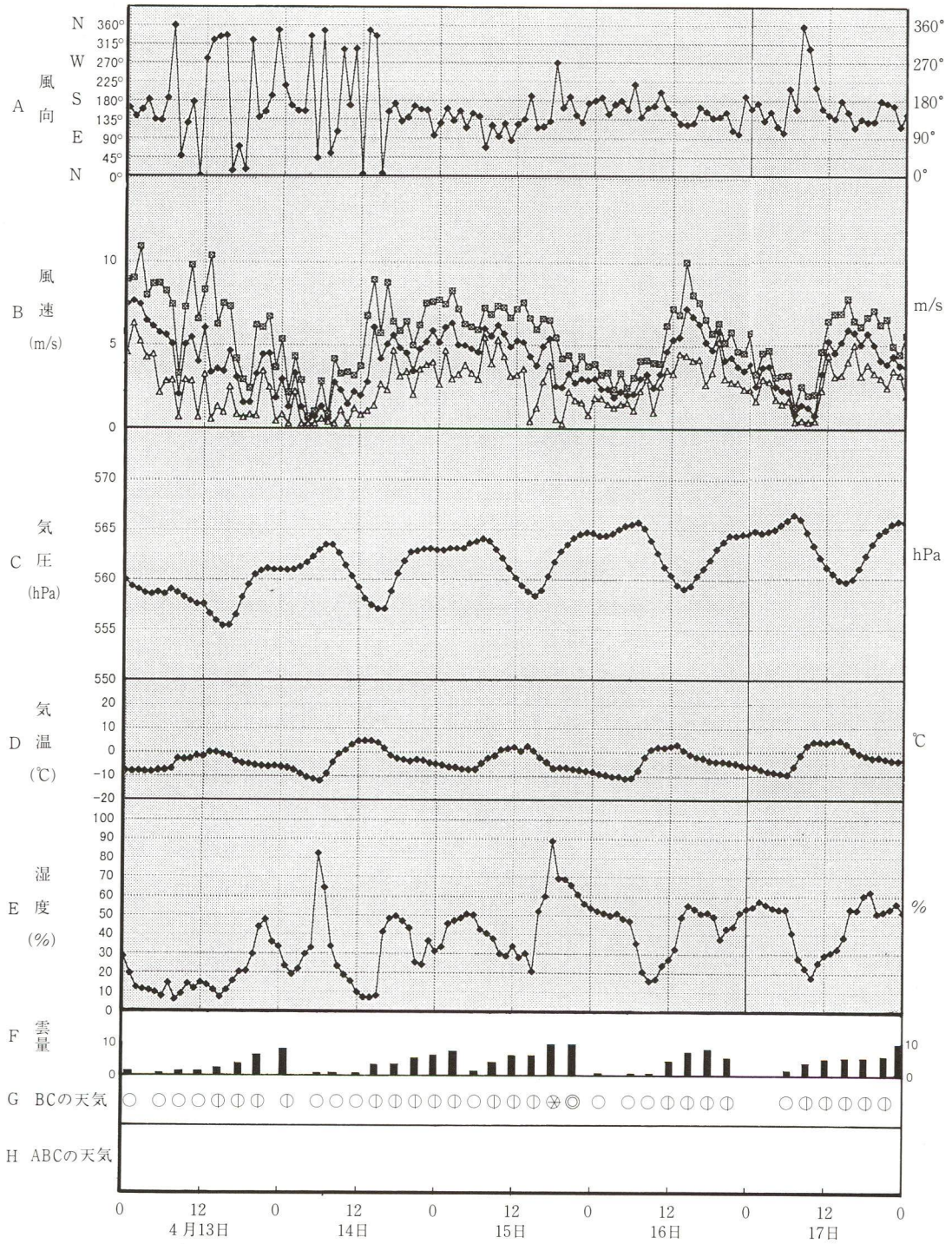


図1-1-6　ベース・キャンプでの気象変化—(2)
Fig. 1-1-6　Weather changes at Base Camp—(2)

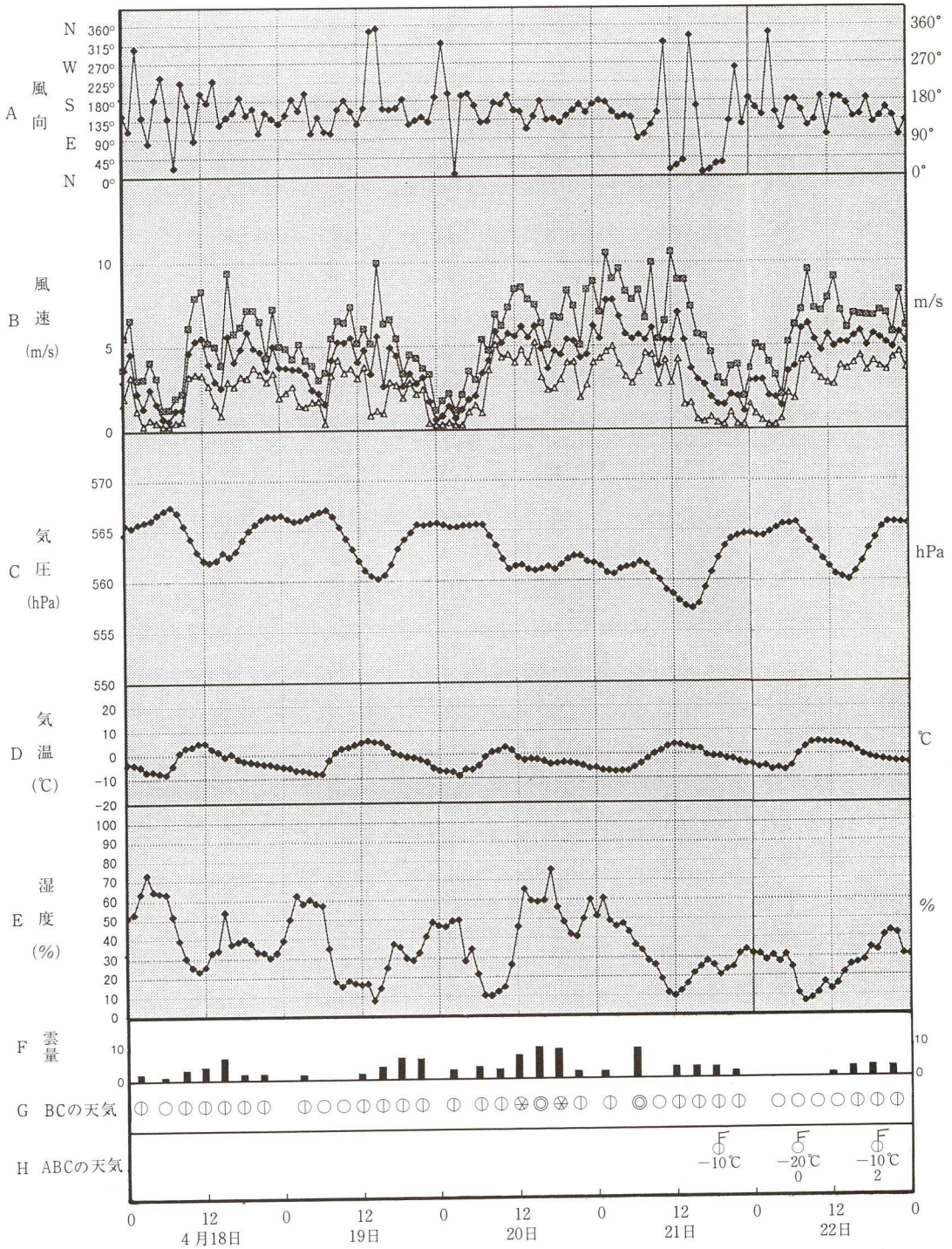


図1-1-6　ベース・キャンプでの気象変化―(3)

Fig. 1-1-6　Weather changes at Base Camp—(3)

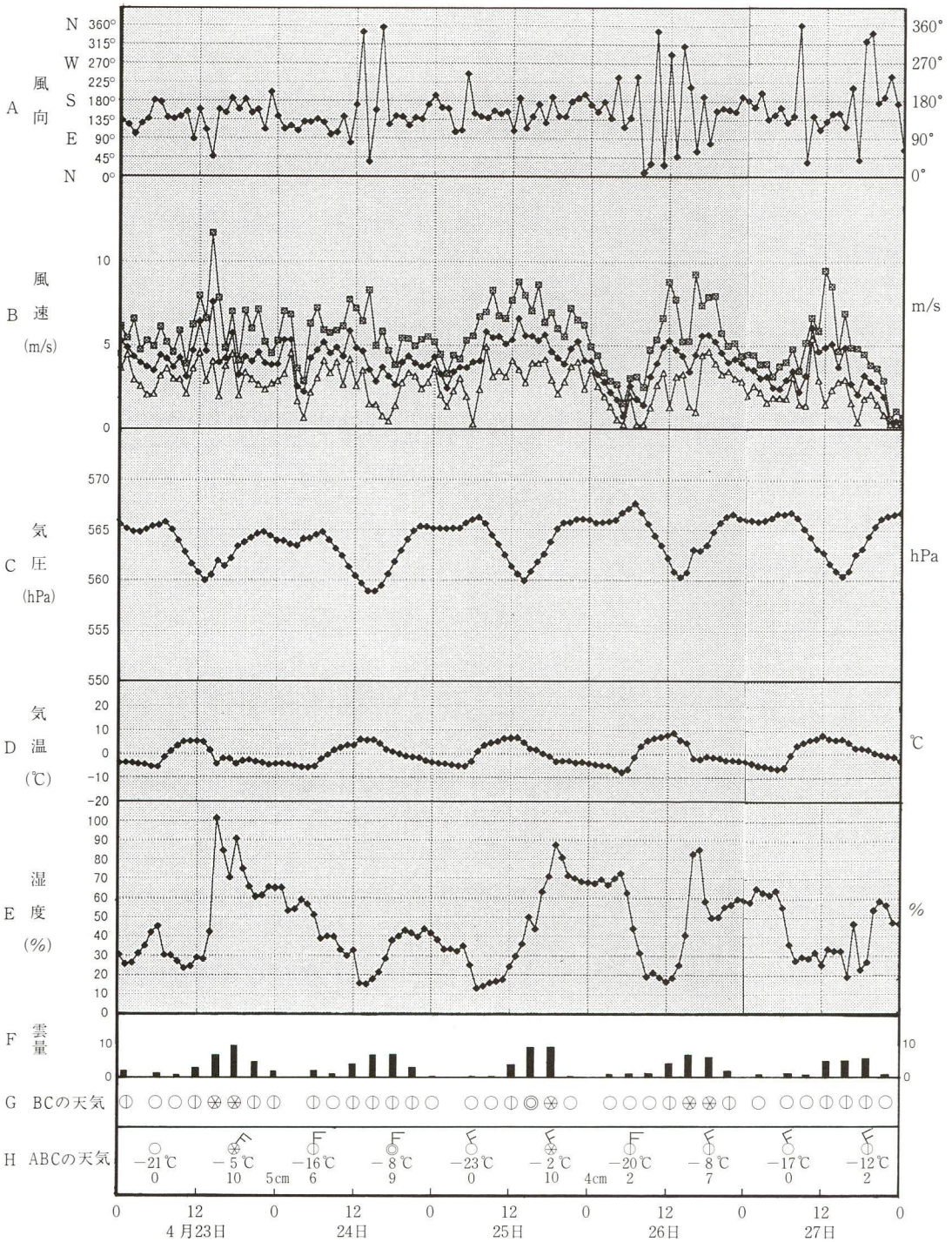


図1-1-6　ベース・キャンプでの気象変化―(4)
Fig. 1-1-6　Weather changes at Base Camp—(4)

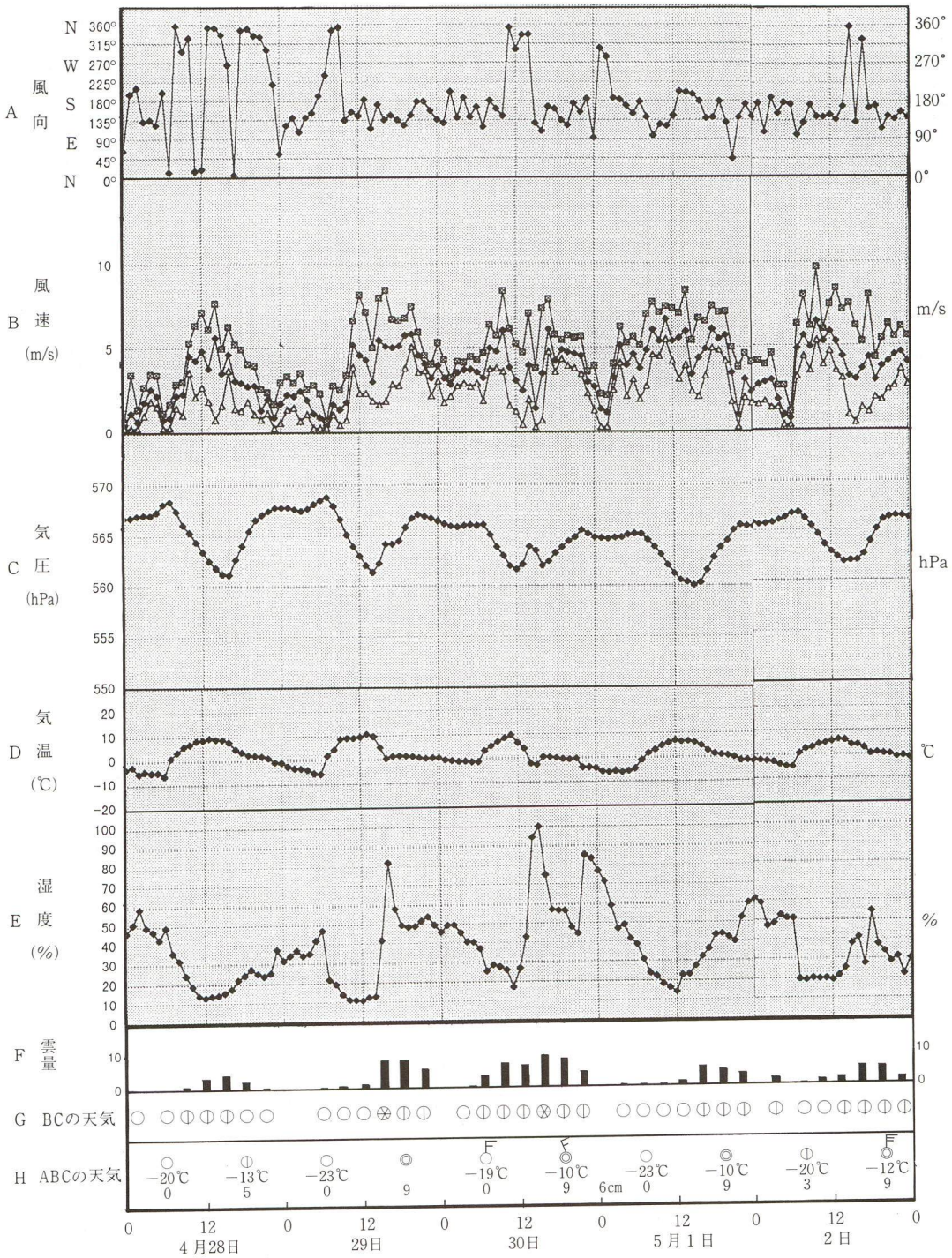


図1-1-6　ベース・キャンプでの気象変化—(5)

Fig. 1-1-6　Weather changes at Base Camp—(5)

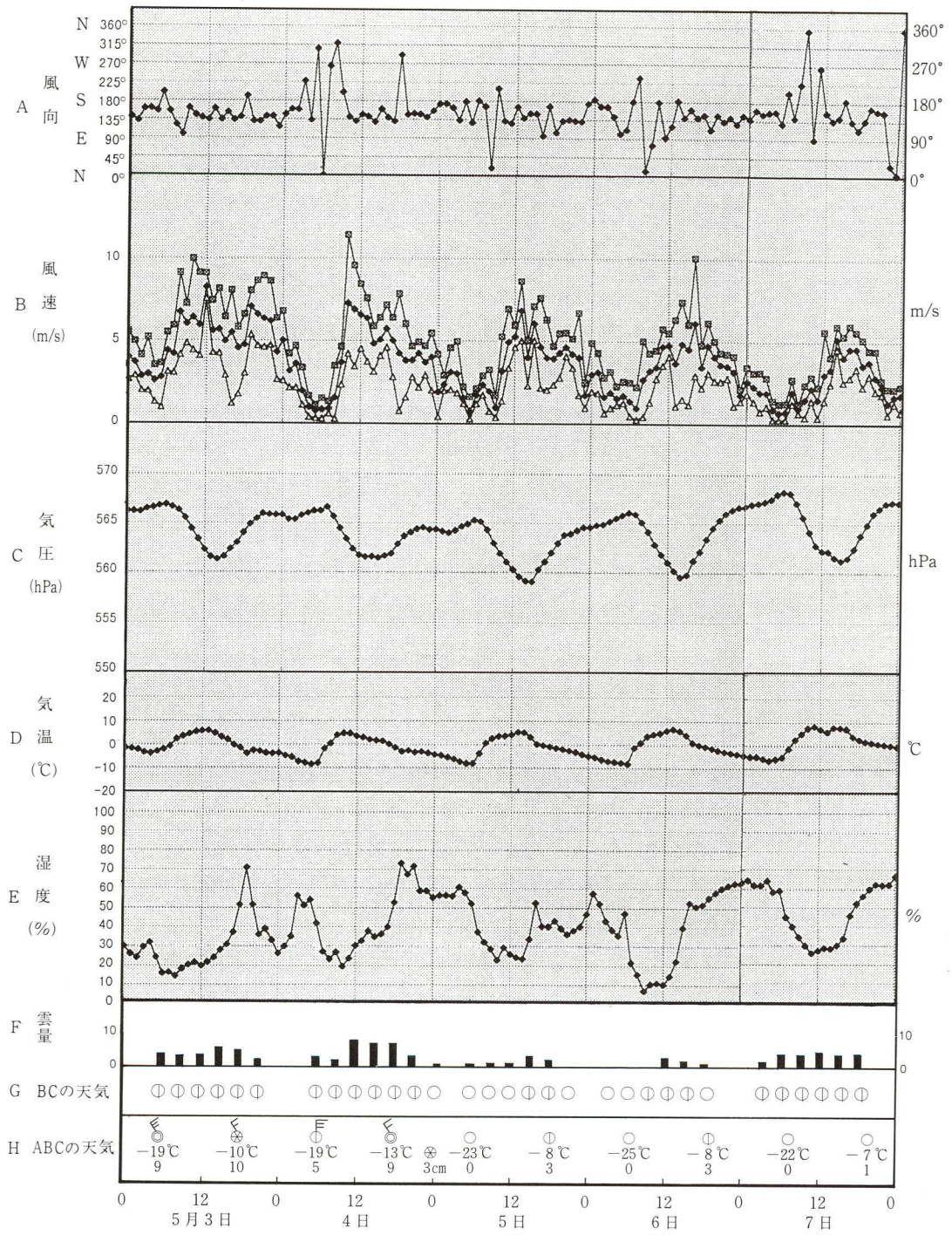


図1-1-6　ベース・キャンプでの気象変化—(6)
Fig. 1-1-6　Weather changes at Base Camp—(6)

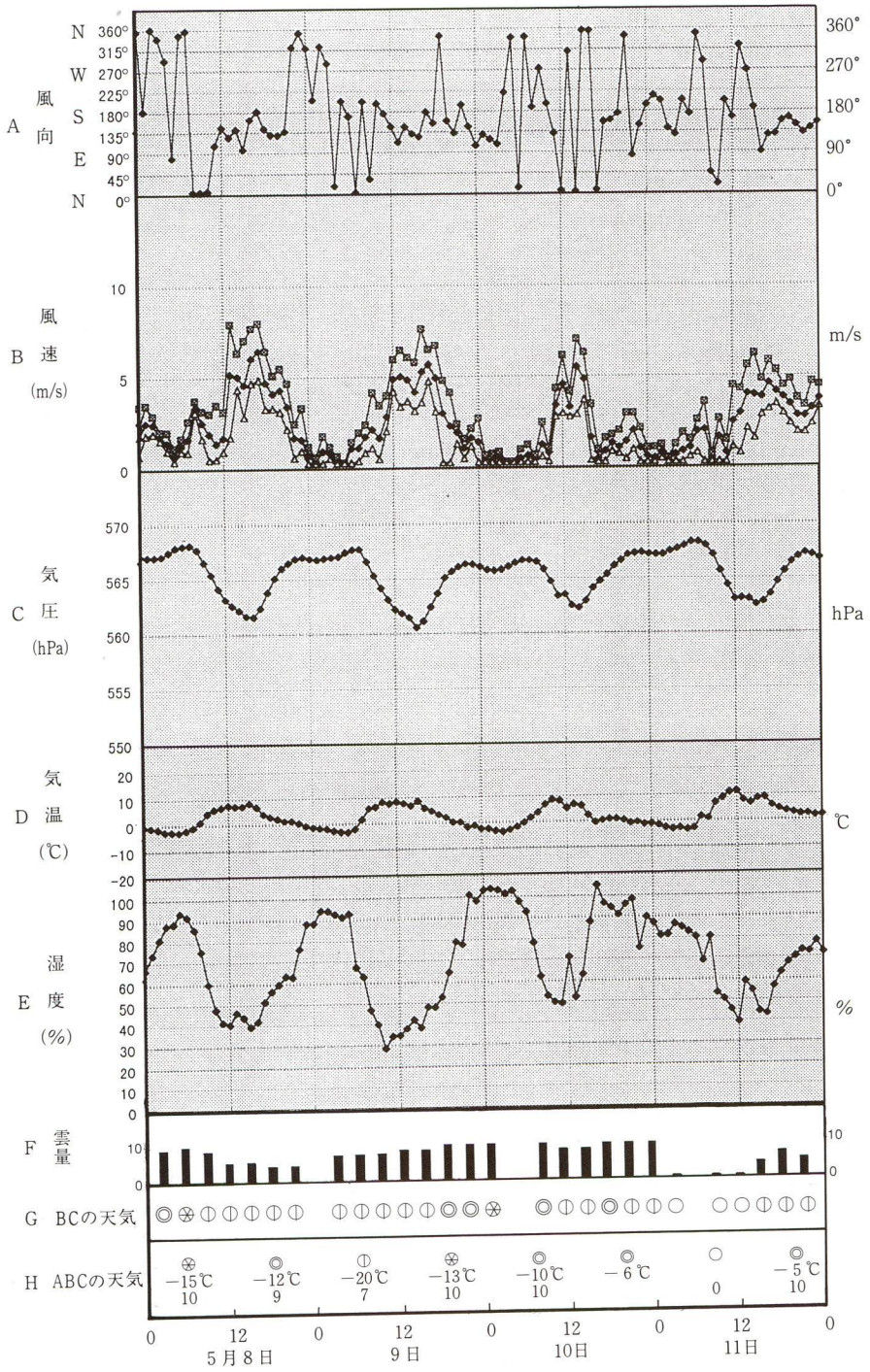


図1-1-6　ベース・キャンプでの気象変化—(7)

Fig. 1-1-6　Weather changes at Base Camp—(7)

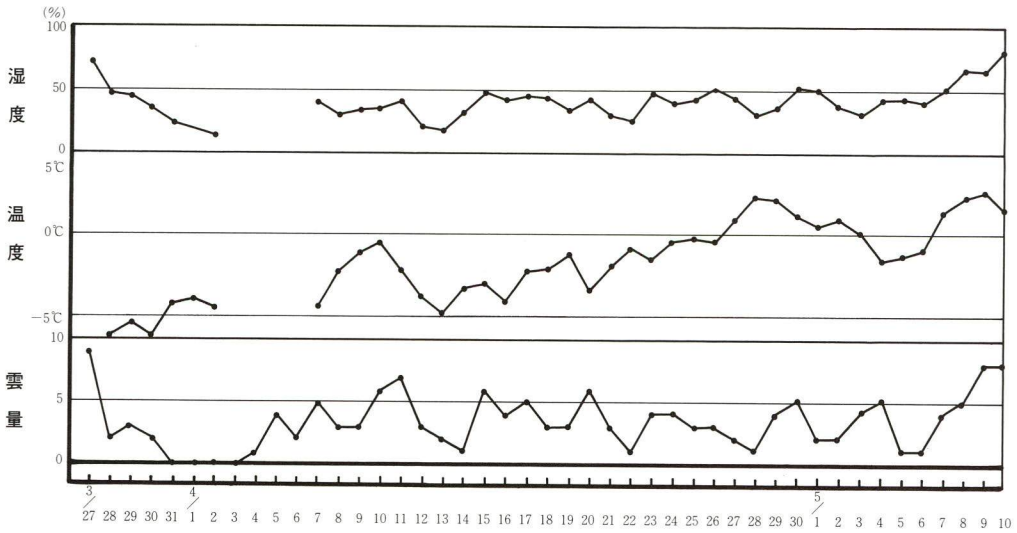


図1-1-7　雲量，温度，湿度の日平均
Fig. 1-1-7　Daily averages of cloud amount, air temperature and relative humidity.

ス・キャンプ側に流れ込んできて雪をちらつかせた[4)]。

ベース・キャンプの北方の空には、しばしば積雲系の雲が立ち上るのが観測されたが、ベース・キャンプの天気には影響しなかった。５月になって数回ベース・キャンプの北の谷間から霧（層雲というべきか）がゆっくり押し寄せてきて、１～２時間ベース・キャンプをおおったこともあった。

Ｂ：気温・湿度・気圧

気温については、３月は、最低気温は−10℃より低く−15℃を割ることもあった。４月に入っても中旬までは最低気温が−10℃より低くなることが多く最高気温は５～10℃、最低気温は−10℃～−５℃の範囲を変化するようになった。気温の上昇の様子は図1-1-7の日平均気温を見るとよくわかる。図1-1-7は気温、湿度、雲量の日平均値のグラフである。

表1-1-1　ベース・キャンプにおける風向分布
Table. 1-1-1　Distribution of wind directions at Base Camp.

風　　向	割合(%)
北西(315°)−北(0°又は360°)−北東(45°)	14
北東(45°)−東(90°)−南東(135°)	24
南東(135°)−南(180°)−南西(225°)	58
南西(225°)−西(270°)−北西(315°)	4

ベース・キャンプでの気温の日変化は、夜明け少し前（6時頃）に最低となり、太陽がのぼり日射が強くなるにつれ上昇し、午後2時～3時頃に最高となる。それ以後太陽が西に傾くにつれ気温は下がっていくパターンをくりかえしている。気圧の谷の通過した日（たとえば4月20日、4月21日など）は最高気温の時間がずれるなど多少の変化はあるが、基本パターンに変化はない。

湿度は降雪をともなう悪天の時に高く、天気の回復とともに乾燥しており、天気の変化とよく対応している。湿度の日変化は、日中が低く夕方より朝方にかけて高くなっている。図

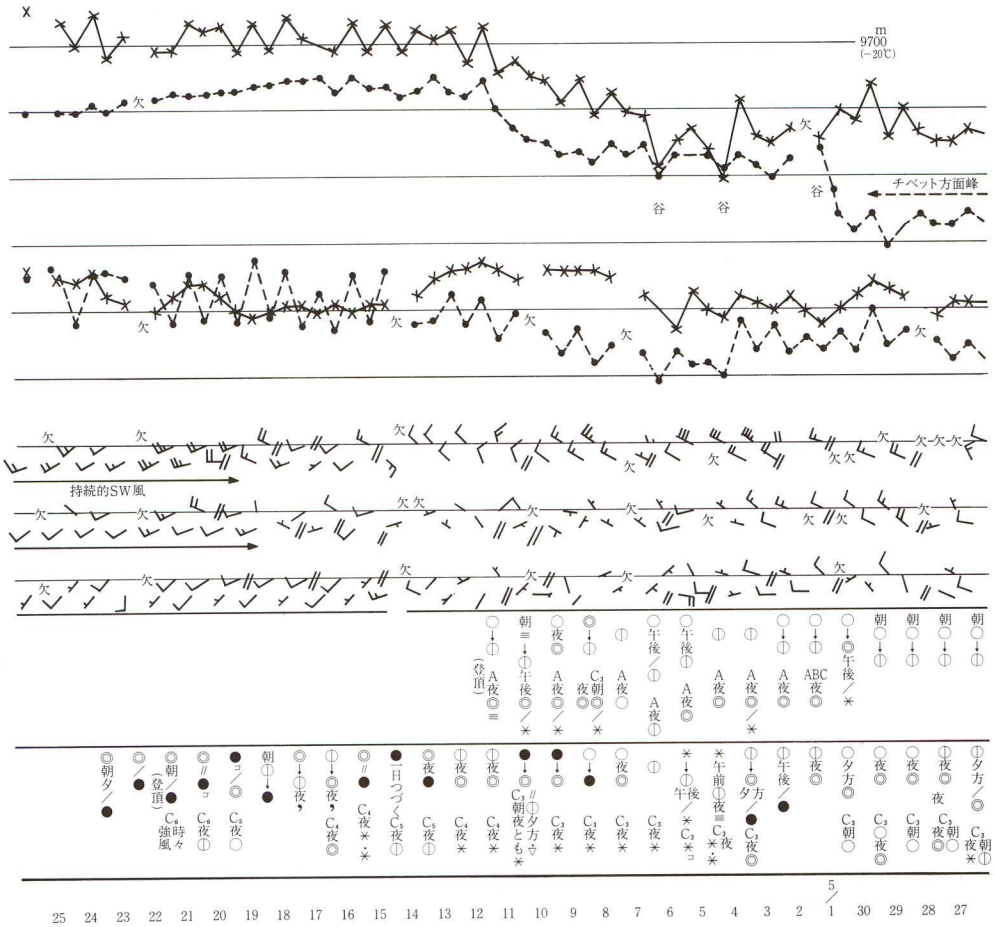


図1-1-8　ラサにおける300、500hpaの高度、気温および300、400、500hpaの風の変化とエベレストとマカルーの天気—(2)

Fig. 1-1-8　Variations of heights of the 300 hPa and 500 hPa surfaces, air temperature and winds at 300 hPa, 400 hPa and 500 hPa above Lhasa, and the weather on Mt. Everest and Makalu.—(2)

Notice　Upper solid and dashed lines show the height of the 300hPa surfaces and air temperature, respectively.
The lower solid and dashed lines show the height of the 500hPa surfaces and air temperature, respectively.
The arrows show winds at 300, 400 and 500hPa in order from above.
The lowest column shows the weather on Makalu; the upper column is the weather on Mt. Everest.

1-1-7の日平均値から分るように湿度は40％程度あり今回は1988年[4]に較べて湿度が高いことが分る。

気圧の日変化をみると、ネパール側の谷間にあるハージュンで安成・藤井[5]によって観測された半日周期振動とは異なり、気温の極小、極大と対応して、午前に極大（８時～11時）、午後に極小（２時～５時）となる１日周期が卓越している。なお注意深くみると気圧が極小を示した後、次の極大となる間に小規模の極大・極小が見られる。気温の極大と対応して午後に極小となる１日周期が卓越している。

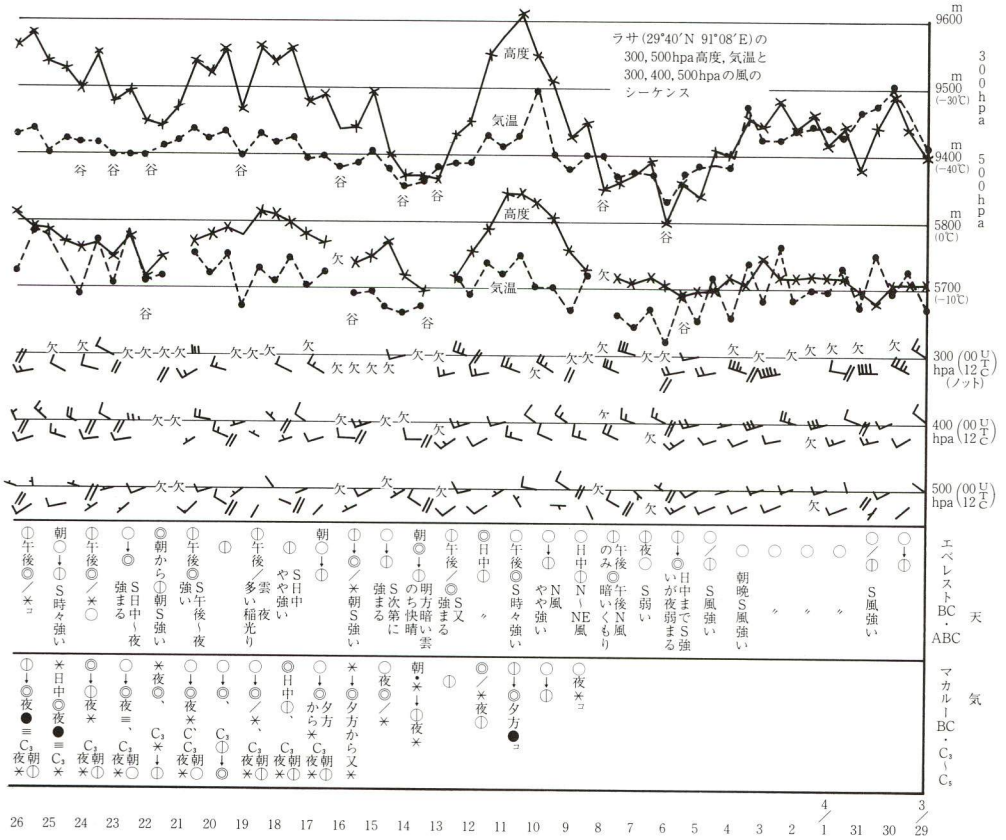


図1-1-8　ラサにおける300、500hpa の高度、気温および300、400、500hpa の風の変化とエベレストとマカルーの天気—(1)

Fig. 1-1-8　Variations of heights of the 300 hPa and 500 hPa surfaces, air temperature and winds at 300 hPa, 400 hPa and 500 hPa above Lhasa, and the weather on Mt. Everest and Makalu.—(1)

C：風

風については、3月30日から4月5日まで強風が吹き荒れ、3月31日の強風ではテントが吹き飛ぶなどの被害が出てしまった。この風も4月6日頃から静かになり、それ以後、これまでの風がうそに思えるような日が続いた。その後、強風の吹くことはあっても、3月に吹いたような風は吹かなかった。

ベース・キャンプがロンブック氷河の末端近くにあり、東西両側の山の谷間にある関係から、この時期の風は、南よりの風が圧倒的に多い。全方位を北西～北東、北東～南東、南東～南西、南西～北西の四つに分け、全観測時間のうち何時間その方向を占めてたかを％で表したものが表1-1-1である。この表によると南東～南西の風が58％で一番多く、南西～北西の西よりの風が4％で一番少ない。

上空での風の状態を知るために4月29日から5月3日まで測風気球をあげた。4月29日午前中北風のときあげた気球は、ゆっくり南へ流されながら上昇をつづけ約3,000m上昇したところで東へ向きを変えた。(このときの3,000mは肉眼あるいは双眼鏡で観測した人達の多数意見による) 南風の場合も同様で、5月1日午後3時頃にあげた気球はどんどん北へ流されながら向きを変えずに上昇し約2,000m上空の雲の中に消えた。これらの実験から定性的なことではあるが、ベース・キャンプでの風の上空への広がりは、予想したよりは大きいようである[4)]。

3．気象解析

図1-1-8はエベレストの近くの高層気象観測所であるラサ（29°40′N、91°08′E）における300,500hpa（00、12UTC）の高度、気温および300,400,500hpaの風の変化と、エベレスト（日大隊）と約20km離れたマカルー（日本山岳会隊）とのベース・キャンプと上部キャンプでの天気を示したものである。

これを一見して気のつくことは、エベレストの方がマカルーにくらべると天気のよいことがわかる。これは局所的な地形のためである。図1-1-2のエベレスト付近の地図を見るとエベレストのまわりには高度こそ低いものの、いろいろな山がとり囲んでいるのに、エベレストの南東約20kmにあるマカルーの南から東へかけては深いアルン川がある。このため、この付近に南西から湿った気流が入ってきた場合、エベレストの方はその南側にある山脈のところでは上昇流が強まって天気が悪いのに、エベレストやその北側にあるベース・キャンプ付近は山越えで湿気が少なくなるので天気は割合よい。一方マカルーの方は南に深いアルン川があるため湿った空気が直接入りやすく悪天となると思われる。

A：ベース・キャンプでの強風と300hpaの風

3月31日にテントの倒壊をもたらした強風は、3月31日～4月5日にかけて起った。1988

年のエベレスト登山隊（日本山岳会）の気象報告[6]では、ベース・キャンプの強風とラサの300hpaの強風とは割合よい関係にあって、300hpaが50KT(25m／s）以上だとベース・キャンプも強風になりやすいようだ。しかし今回はラサの高層資料（気象庁発行の印刷天気図から）に欠測が多く、とくに300hpaの風の資料があまりなかったため、図1-1-8に記入してある断片的な風速のみでははっきり断言することは出来ない。一方、400hpaの方は観測数が多いので、その方をみると、風向がW～Sにかけての風速がやや強めのとき、ベース・キャンプでもSの強風となっているようだ。これからは推論となるが、上空の風がWよりS成分をもつWSWとかSWであると、エベレストの西の峠であるロー・ラを越えたS風が中央ロンブック氷河を吹き下り、ベース・キャンプにSの強風をもたらす。風速の記録によると設置直後で機器はまだ不安定ではあるが、４月１～３日では最大30m／s近くに達していた。（この頃、ラサでも50KT前後であったが、ベース・キャンプの高度の風としては異常に強い。風下の不安定波動と重なって上空の強風が直接下りてきているのかも知れない）

Ｂ：天気の悪化と気圧の谷

次に山の天気は上層の気圧の谷や峰とよい関係があるので[7)～9)]、いくつかの例について天気変化と300hpa天気図の気圧の谷や峰の動きを示そう。

Ｂ，１：４月13～14日

	エベレストの天気	マカルーの天気
13日	朝　◎→◐	⚹→◐　夜⚹
	（明け方暗いくもりから快晴）	
14日	○→◐	○→　夜◎／⚹

図1-1-9によると13日の谷Ａは深かったが、山の南方を通過している。エベレストは朝曇ったくらいだったが、谷Ａの影響はエベレストの南東方にあるマカルーの方に強く現れた。前にも述べたようにマカルーは南から東へ向かって深い渓谷があるので、南からの湿った空気が川にそって北上、マカルー周辺の天気を悪くしているようである。一方エベレストの方は山に囲まれ、いわば屏風の内側に位置しているため、天気も崩れにくい。

これが14日になると谷ＢとＢ'は山の北と南をとおっているので、双方の山とも影響は小さかった。（なおマカルーで夜の⚹は日変化、山では普通午後～夜半にかけて山をはい上がる雲に包まれ雪となりやすい。一方日変化が出ないのは後に述べるように日中の対流雲発達を押さえる程の下降流場つまり高気圧圏内などのときである。）

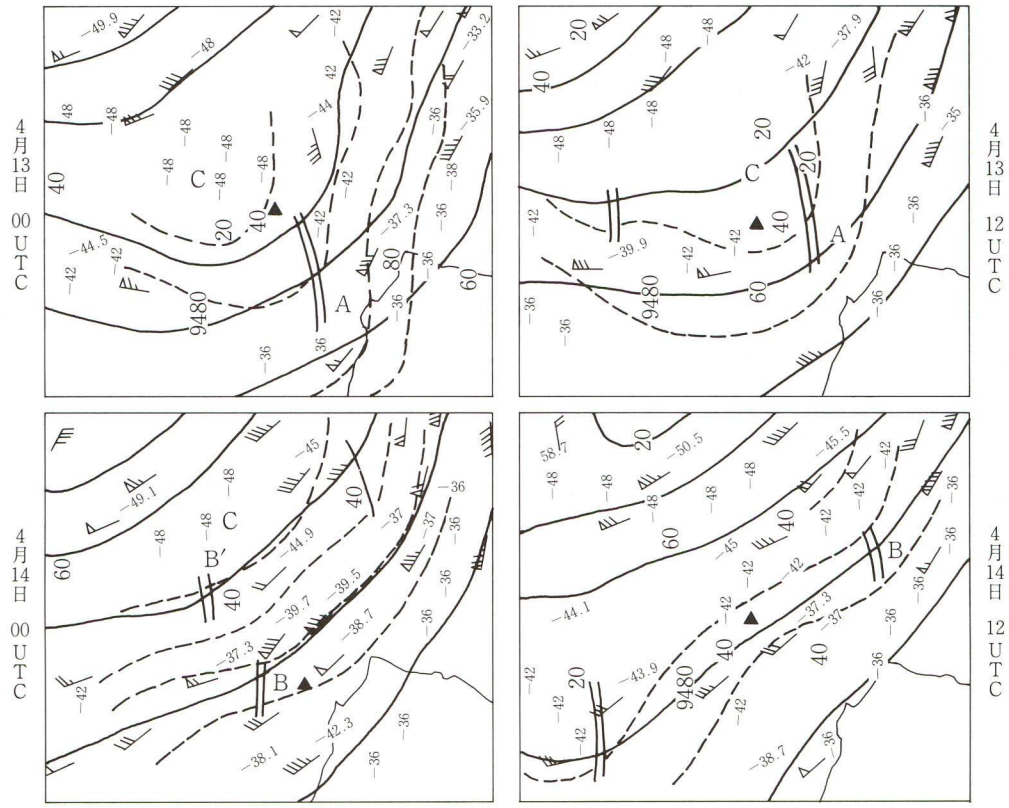


図1-1-9　300hpa 天気図
Fig. 1-1-9　Weather map at 300 hPa.

〈Notice for Fig. 1-1-9～12〉
Solid and thick dashed lines are height contours and isotherms, respectively. ▲ shows Mt. Everest. UTC is coordinated universal time.

B，2：4月23～24日

	エベレストの天気	マカルーの天気
23日	①→午後 // ⚹、夜○	◎→①　夜⚹
24日	○→①	⚹　日中◎　夜●≡(霧)

図1-1-10は上層の気圧の谷の動きだけでは天気変化が対応しない例である。23日は山の付近を弱い気圧の谷Aが東進したため、エベレストは雪が降ったが、マカルーの方はかえって晴れとなった。この理由はよくわからないが、あるいは山附近の全体の流れが西風場で、その中の弱い谷がマカルーの北を通過してしまったのかも知れない。

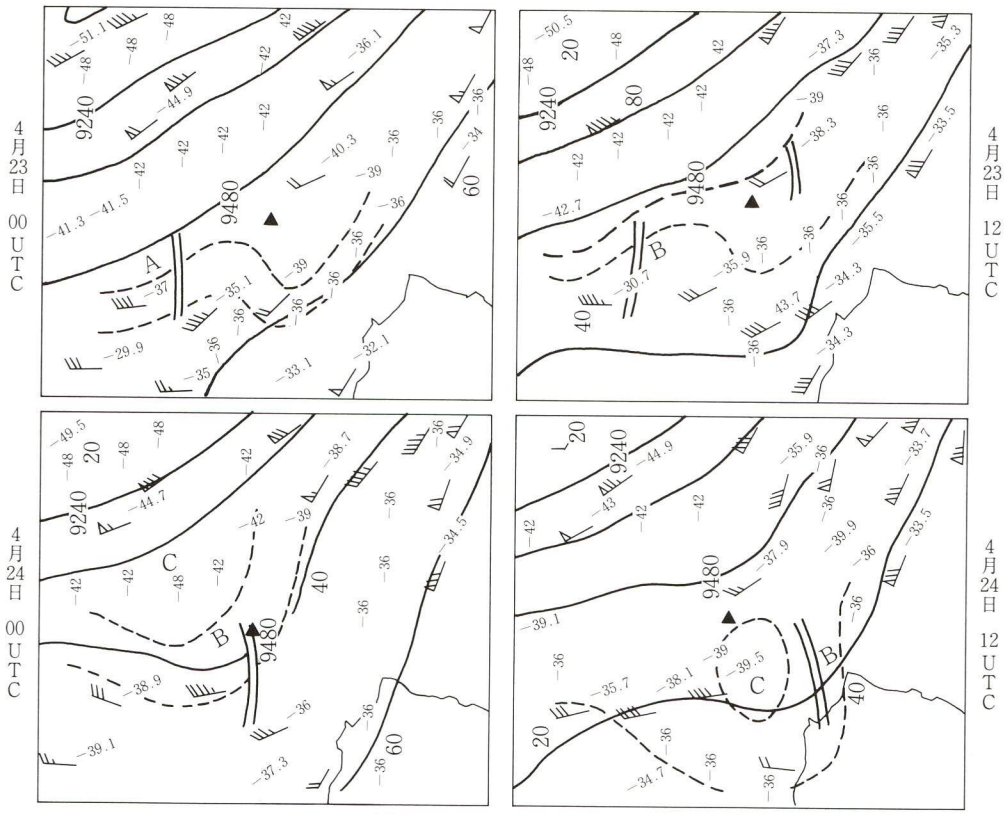


図1-1-10　300hpa 天気図
Fig. 1-1-10　Weather map at 300 hPa.

24日は、谷Bが山の北西方から急に深まりつつ南東進したため、今度の場合は谷前面の南西風にのって南から湿った空気が入ったから、マカルー方面は天気が悪くなったものの、エベレストの方は谷北側の寒気場（下降流場）なので天気はほとんど崩れなかった。このことはマカルー方面の悪天は南方からの湿った空気の流入場のとき起るが、23日のように西風場の場合は逆にマカルーより西の山々で湿った空気がさえぎられマカルーの方がよくなったと思われる。

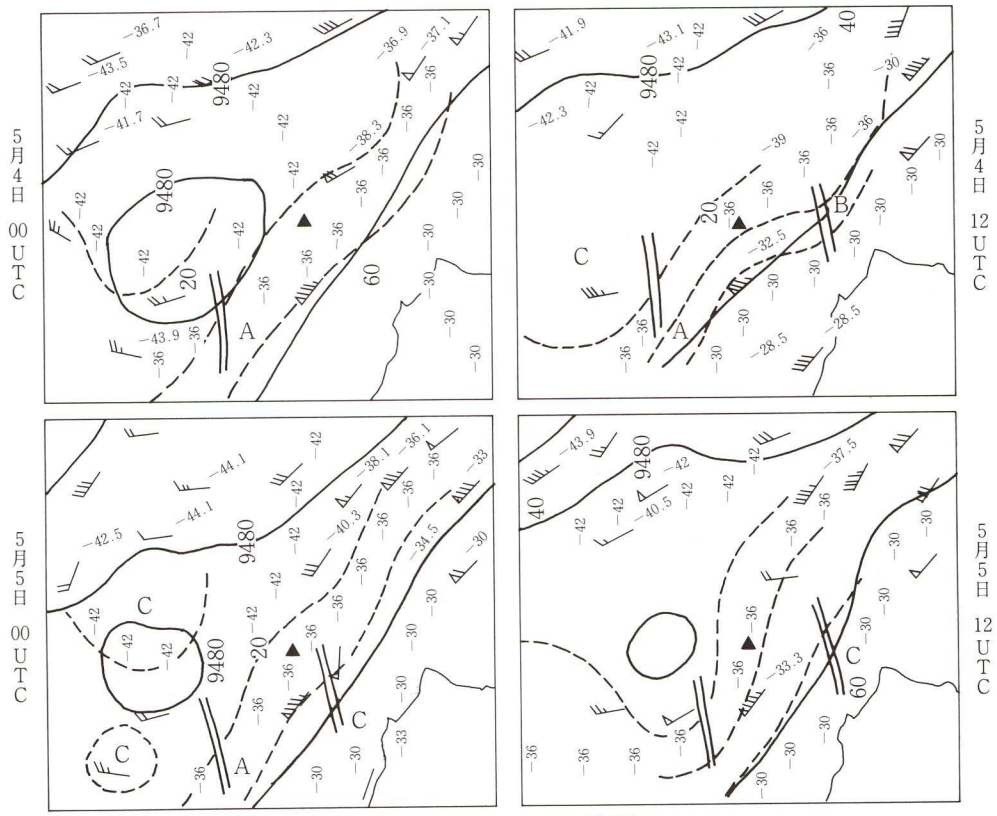


図1-1-11　300hpa 天気図
Fig. 1-1-11　Weather map at 300 hPa.

B, 3：5月4～5日

	エベレストの天気	マカルーの天気
4日	○　ABCキャンプ夜◎	⚹→◐　夜≡(霧)
5日	○→◐　ABC夜◎	⚹→◐　午後／⚹—

この例の谷は2段構造をしていた。

上層寒気を伴う深い気圧の谷Aが山の西方にあってほとんど停滞、しかしその谷は停滞しているが、谷の東側を次々と別の谷が発生しては東進している。

4日のマカルーの午前中の⚹は、メインの谷Aの前面で別の谷Bが発生して東進したためで、5日の方も同様にまた別の谷Cが発生東進した。

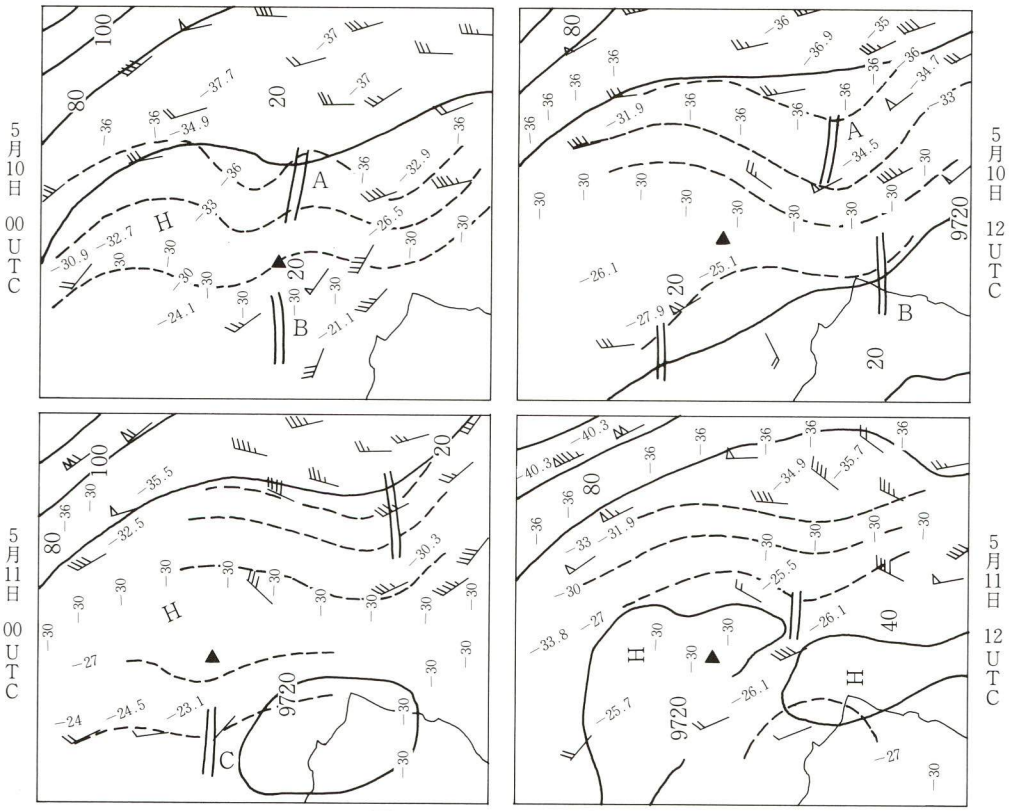


図1-1-12　300hpa 天気図
Fig. 1-1-12　Weather map at 300 hPa.

B，4：5月10～11日

	エベレストの天気	マカルーの天気
10日	朝≡→◑午後／◎	●→◎//◑　夕方▽
11日	○→◑夜ＡＢＣ夜◎≡	◑→夜◎、C_4夜⚹

この例は登頂に成功した日であって前の例と違って好天例である。

10日00UTCでは山の北東方と南側にそれぞれ谷があり、前者の谷は北系の谷Ａで南東進、南側の谷Ｂも東南東進している。エベレストの方は北系の谷Ａの西側の大きな気圧の峰の影響下に入りつつあって、10～11日は晴れとなった。一方マカルーの方は10日朝は雨で北東方と南側の双方の谷の影響をうけているもようである。しかし双方の谷とも遠ざかるにつれマカルーの天気も回復に向かってきた。

エベレストでは、その後は北側の大きな気圧の峰におおわれてきたので晴れとなった。し

月　日	天　　気
5月14日	●　1日つづく
15日	◎ // ●
16日	○ → ◎　夜／，(小雨)
17日	◎ → ○　夜，
18日	朝○　9時から　●
19日	●コ／◎、C_5 夜○
20日	◎ // ●コ、C_6 夜○
21日	◎朝／●、山頂○時々強風
22日	◎／●
23日	◎朝 夕／●

図1-1-13　マカルーでの5月14日～23日の天気
Fig. 1-1-13　The weather from May 14 to 23 on Makalu.
Notice　C_5 : camp 5　C_6 : camp 6

かしマカルーの方は一応回復したものの、なお夕方から夜にかけては曇って、にわか雨や雪の降る日変化は残っていた。

B，5：5月14日以降のマカルーの悪天

日本山岳会マカルー隊のベース・キャンプは14日以降連日のように悪天がつづいた。ベース・キャンプと上部キャンプの天気を別記すると図1-1-13の通りである。この一連の悪天も細かくみると14日～15日と18日以降とは別である。

14日～15日の方は西からの気圧の谷通過のため、18日以降は持続的な悪天となっている。

図1-1-8から300hpa の風の変化をみると、14日と17日には谷が通過し、いったんはＮＷ風になっているが、19日以降はずっとＷＳＷ～ＳＷ風。500hpa の方も14日以降ＷＳＷ～ＳＷ風がつづいている。しかし、登頂に成功した21日を含め上部キャンプのある高所では、19日～21日も晴れだった。資料が少ないので断定はできないが、あるいはモンスーンの先ぶれの下層のみが湿ったＳＷ風による悪天だったのかも知れない。

C：上層の気圧の谷と上昇流域のモデル図

日本付近での上層の気圧の谷と上昇流域の関係は、いろいろな場合について詳しく調べられている。これらのモデル図を参考に今回の例、およびここ何年かの例から気圧の谷と上昇流域のモデル図を示したものがFig.1-1-14である。

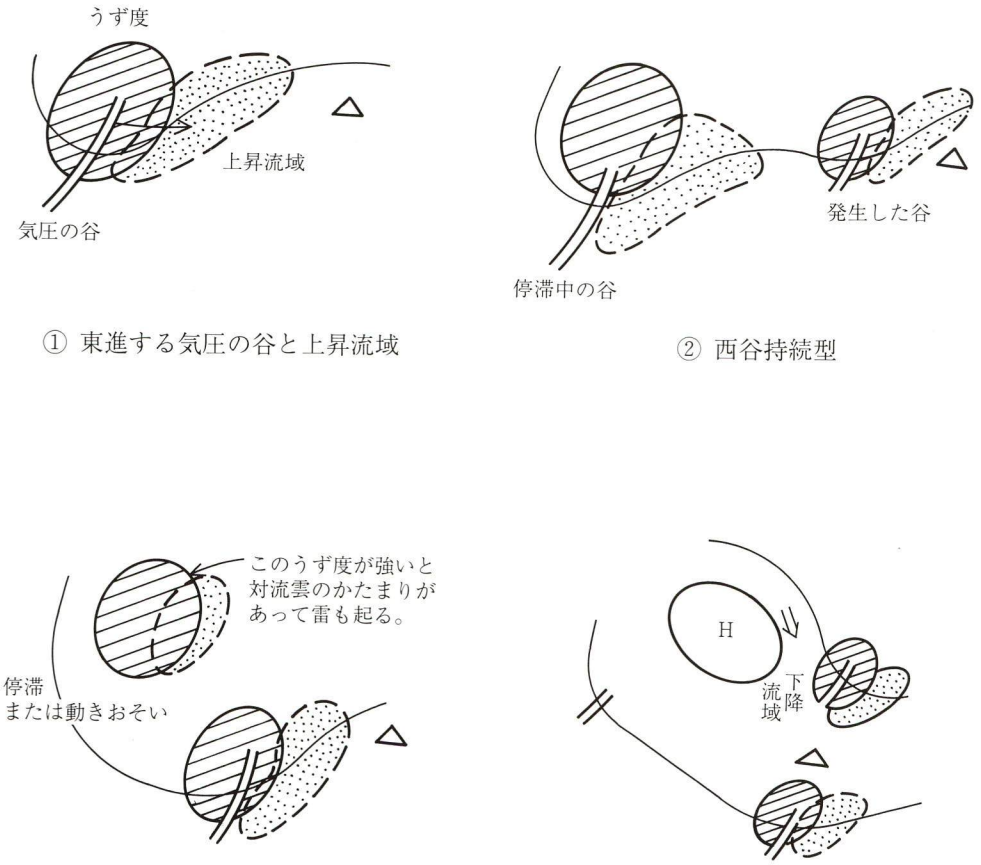


図1-1-14　上層の気圧の谷と上昇流域のモデル図

Fig. 1-1-14　Model of the upper level trough and the updraft area. The stippled area is the updraft region. The area with oblique lines is an area of strong vorticity.

モデル①と③は割合ひんぱんに現われる型であって、今回の４月13日～14日と23日～24日もこの中間くらいに相当すると思われる。なお５月４日～５日は②型、５月10日～11日は④型である。

（注）天気が悪くなるのは山の所が湿った空気の上昇流場になるためであって、悪天をもたらすのは上層の気圧の谷と南からの湿った空気の入り方である。気圧の谷の所にはプラスのうず度*があり、プラスのうず度が東に動いているときはその前面で上昇流が起る。しかしそのうず度の動きが遅いと前面の上昇流は弱くなる。しかし、強い上昇寒気を伴ううず度

は停滞していてもうず度の中心付近に対流雲のかたまりがあって雷を伴うこともあるが、ヒマラヤ付近ではそれ程強いものはあまりなかった。

＊うず度は、上層風の水平シャーと曲率によって示される数値で、大きければ谷が深いことを示す。

4．まとめ

プレモンスーン季の登山にとって、ベンガル湾からの湿潤な空気の北上、モンスーンの雲の位置を知ることが非常に重要である。それで今回の登山隊ではNOAAの雲画像を受信し、雲の分布と変化を追跡することに一番の重点をおいた。しかし、残念ながらベース・キャンプが山の谷間にある関係で受信可能な時間が短く受信可能な位置に移すと電源が届かない等の理由でうまく行かなかった。この失敗を除けば、あとは何とか初期の目標は達成できたと思う。

エベレストの巨大な山岳と深い谷が入りくんだエベレスト周辺の地形は、独特の天気をつくりだしている。登頂時期を予測できるようになるためには、ヒマラヤ地方のメソ気象の研究が不可欠であることを痛感した。今回の調査は、これから解明しなければならない課題がいかに多いか、またメソ気象にとってヒマラヤはまだ未開の地であるということを思い知らされるものとなった。

最後に、毎日貴重な情報を送り、ご支援下さいました日本気象協会の方々に感謝します。気象観測装置をお貸し下さり、アドバイスして下さった日本山岳会及び会員の飯田肇氏に感謝します。事務局の松田雄一、深瀬一男両氏および隊員の原田義隆、忍田剛両氏には装置、電源、通信等のことで御協力いただき、厚く御礼申しあげます。

参考文献

1) 飯田　肇、1992年ナムチャバルワ登山隊気象報告
2) Orville, R. E. 1981：Mon. Wea. Rev., 109, 391～395
3) 松田雄一、神崎忠雄の1995年１月13日総合準備会における発言
4) 中国、日本、ネパール1988年　チョモランマ／サガルマタ友好登山隊報告書
5) 安成哲三、藤井理行「ヒマラヤの気候と氷河」東京堂出版1983年　P86
6) 奥山　巖「チョモランマの気象」山の気象研究会ニュース　No77. '88　P11～18
7) 中島　太郎「ヒマラヤの天気予報」山岳篇84（'83）P37～60　日本山岳会
8) 奥山　巖「ナムチャバルワの気象1991年」Vol.87. '92　山岳A37～50　日本山岳会
9) 奥山　巖「ナムチャバルワの気象1992年」Vol.88. '93　山岳A42～58　日本山岳会

第2章　高所医学

2.1　エベレスト・ベース・キャンプにおける一酸化窒素ガス(NO)の生理学的影響

田中　潔[1)]

2.1　Effect of Nitric Oxide on High Altitude Pulmonary Edema (HAPE) at Mt. Everest Base Camp (Tibetan Side,)

by Kiyoshi Tanaka[1)]

Abstract： In a hypobaric pressure and hypooxygen environment, high altitude pulmonary edema (HAPE) is a potentially lethal condition, not only to mountain climbers but also to local residents. Its initial treatment can have a considerable effect on the prognosis. During this expedition, in order to study a possible way of treating HAPE we administered nitric oxide (NO) gas which acts as a gaseous information transmitting substance; 10 to 20 ppm was added to 100% oxygen given to 7 normal individuals at Base Camp (5,150m) on the northern side of Mt. Everest (8,848m). Nitric oxide gas has previously been found to reduce pulmonary artery hypertension in newborn infants (PPHN) and in cases of adult respiratory distress syndrome (ARDS). To determine its safety and physiological effects, we measured blood presure, pulse rate, breathing rate and oxygen saturation, and took electrocardiograms. We confirmed that 10ppm of NO gas under 100% oxygen does not affect any of the parameters and does not have any side effects.

要旨： 低圧低酸素環境下における高所肺水腫（HAPE）は登山者のみならず居住者にとって致死的な病態であり、その可及的治療は予後に大きく関与する。今回我々は、HAPE治療の可能性を探るためにガス状情報伝達物質である一酸化窒素NOガスを用いてエベレスト（8,848m）の北面基地（ベース・キャンプ、5,150m）において正常人7名に100%酸素とともに吸入実験を行い、その安全性および生理学的な影響を血圧、脈拍数、呼吸数、酸素飽和度、心電計を用いて検討した。100%酸素下10ppm NOガスの吸入は各パラメーターに影響を及ぼさず、副作用も認めずその安全性を確認した。

1．はじめに

人類の活動の場が地球上のあらゆる地域のみならず宇宙空間までも拡大する現代において、圧力環境の生体に及ぼす影響を知ることは重要になってきている。高所における生体の生理学的変化に与える影響は低圧・低酸素・低温がその主体でありその他紫外線・電離放射線等

1)　日本大学医学部　School of Medicine, Nihon University

の環境因子が加味される。生体における高所障害は古くはB.C.800年頃より知られており、すでにB.C.30年には中国における古代記に示されている[1)]。

圧力の変化における生体の反応は呼吸過程の変化を介して発現する。従って、圧力環境の生体への影響や適応反応の理解には呼吸すなわち空気と身体のガス運搬について検討する事が重要である。生体の呼吸過程は空気と肺の間のガス交換、血液のガスの運搬、血液と組織細胞との間のガス交換の三大過程に大別される。さらに、ガス交換およびガス運搬効率の改善のためにポンプ機能としての心臓の役割が加味される。すなわち、高所の吸気中酸素分圧の低下に対応する分時換気量の増大、心拍数および心拍出量の増大による肺血流の増加、血液中の赤血球およびヘモグロビン濃度の増大、組織における毛細血管新生が種々の程度に絡み合い高所順化が成し遂げられる[2)]。

急性期の高所障害としていわゆる山酔いと言われる急性高山病 acute mountain sickness (AMS)、高所肺水腫 high altitude pulmonary edema (HAPE)、高所脳浮腫 high altitude cerebral edema (HACE) がよく知られている。いわゆるAMSは高所順化の一過程とも思われるがHAPE、HACEはその症状の重篤さよりしばしば高所における致死的障害となり、実際多くの登山者、住民の生命を脅かしている。中でもHAPEは呼吸の最も重要な場である肺において生じるので、この病態の解明は高所障害の予防および治療に積極的に関与するものと思われる。

近年、血管内皮細胞由来平滑筋弛緩因子として見出された物質が一酸化窒素NOと判明し種々の細胞、組織に活性作用を持つガス状情報伝達物質として注目されている。循環、呼吸器においても肺動脈および気管の拡張作用を持つことが示唆されている。今回我々は、日本大学エベレスト登山隊に参加する機会を得てこの一酸化窒素NOを用いて高所における影響を調査した。

2．方　法

(1) 測定方法

エベレスト（8,848m）のベース・キャンプ（5,150m）で、日本において作成した一酸化窒素NOガス吸入装置（大和酸器；東京）を用いて吸入実験を行った。被検者は学術および登攀隊員、並びにシェルパの計7名を無作為に抽出し高所経験、高所障害の有無、居住地、今回の登山における体調および高所順化の状態等質問の後、種々のパラメーターについて測定を行った（表2-1-1）。

測定を行った項目は血圧・脈拍・呼吸数・酸素飽和度・心電図（肢誘導）、吸気中の一酸化窒素NOガス濃度、呼気中二酸化窒素NO_2ガス濃度である。

血圧は通常の手動血圧計、脈拍および酸素飽和度は自動測定器（ミノルタ製PULSOX-5）を用いて3回測定し、その平均値を記録した。分時呼吸数は30秒間2回測定法にて求め

表2-1-1　一酸化窒素NOガス吸入実験被験者
Table. 2-1-1　Experimental cases

Case	Age	Race	Highest Point	Comment
case 1 M. D.	37	Sherpa	6,400m	3,000m residence
case 2 H. Z.	24	Japanese	5,150m	
case 3 Y. T.	22	Chinese	6,500m	7,200m summiter
case 4 L. N.	21	Sherpa	6,350m	3,000m redidence
case 5 S. S.	32	Japanese	6,700m	AMS at 4,000m
case 6 K. H.	34	Japanese	8,848m	7,980m summiter
case 7 I. M.	55	Japanese	6,500m	

た。一酸化窒素NOガス濃度と二酸化窒素NO_2ガス濃度は自動測定器（大陽酸素製；大阪TM-100：NO測定用、TM-1002：NO_2測定用）で継時的に測定した。心電図は携帯型心電計（日本光電製　ECG-6201）を用いた。

(2) 測定回路（図2-1-1）

今回の測定において最も重要と思われるのはガス回路である。回路は吸入気の状態を一定にするために吸入側に500ℓのエアーバッグを置き、ガスの流入による影響を出来るだけ少なくした。回路は呼気側を開放した半閉鎖回路を使用した。NOガスはエアーバッグのすぐ下流で混合し、約2mの距離をおいて混合気をほぼ一定にして被検者に吸入させた。NOガ

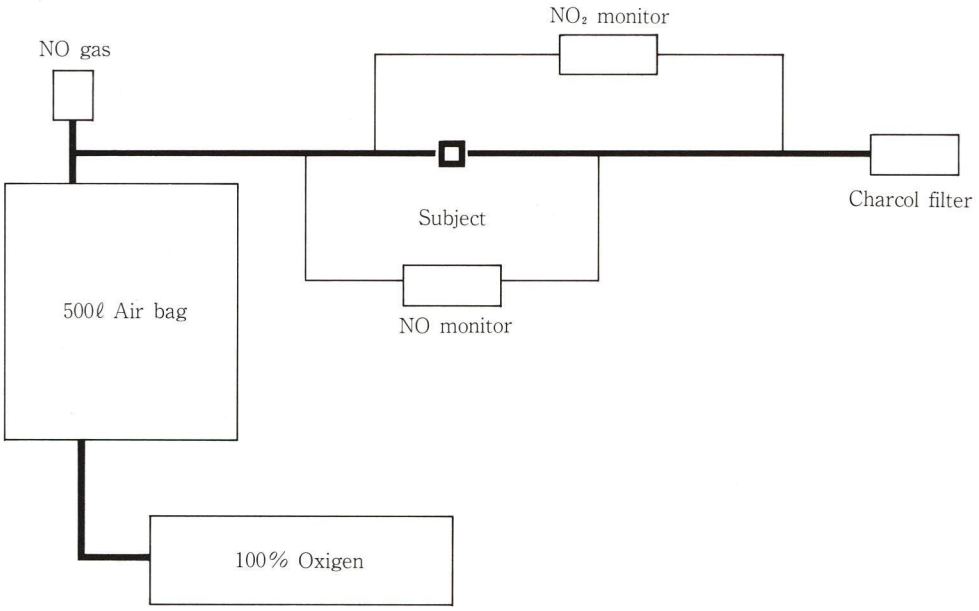


図2-1-1　測定回路
Fig. 2-1-1　Experimental circulation system

ス濃度はマウスピース直前で測定した。呼気ガスはNO_2ガス測定後炭酸ガスソーダライムおよび活性炭吸収器により余剰NOガスおよびNO_2ガスを吸着後空気中に排出した。

(3) 吸入および測定プロトコール（図2-1-2）

実験開始前にルームエアー（大気圧560hPa；外気温摂氏5度・湿度20%；$O_2$11%）での各パラメーターを測定した後、エアーバッグに満たした100%O_2を吸入させ5分および10分後測定、その後NOガスを流し10ppmと一定になった後（約5分後）測定、さらに10分後測定した。その後NOガスを停止しルームエアーとし5分および10分後測定を行い計測を終了した。この間持続的に呼気中のNO_2ガスを測定した。

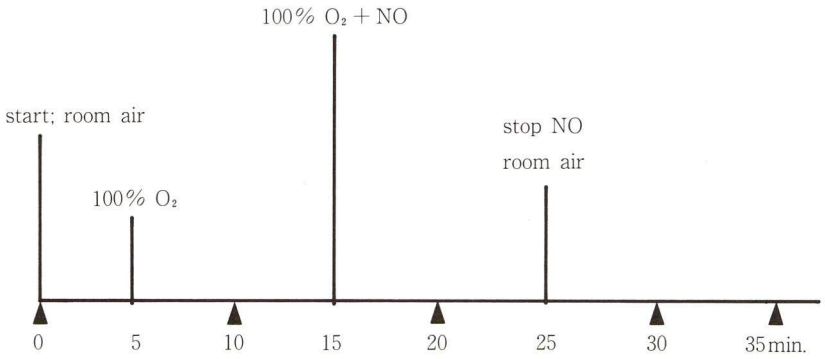


図2-1-2 吸入および測定プロトコール
Fig. 2-1-2 Experimental protocol

(4) 一酸化窒素NOガスボンベの作成

一酸化窒素NOガスボンベ（3.4ℓ；120気圧）はNO 1,000ppmのN_2バランスで作成した混合ガスである。

3．結　果

(1) 血圧の変化（図2-1-3、a、b）

収縮期血圧を検討すると100%酸素吸入前に比較して血圧低下を認めた者5名、不変または上昇した者1名、続いてNOガス吸入後100%酸素吸入時に比較して血圧低下または上昇した者各1名、不変5名であった。またNOガス吸入停止後100%酸素吸入前に比較して低下した者2名、上昇した者3名、不変2名であった。

拡張期血圧は、100%酸素吸入前後、NOガス吸入前後と比較すると不変4名、上昇1名、下降2名であった。

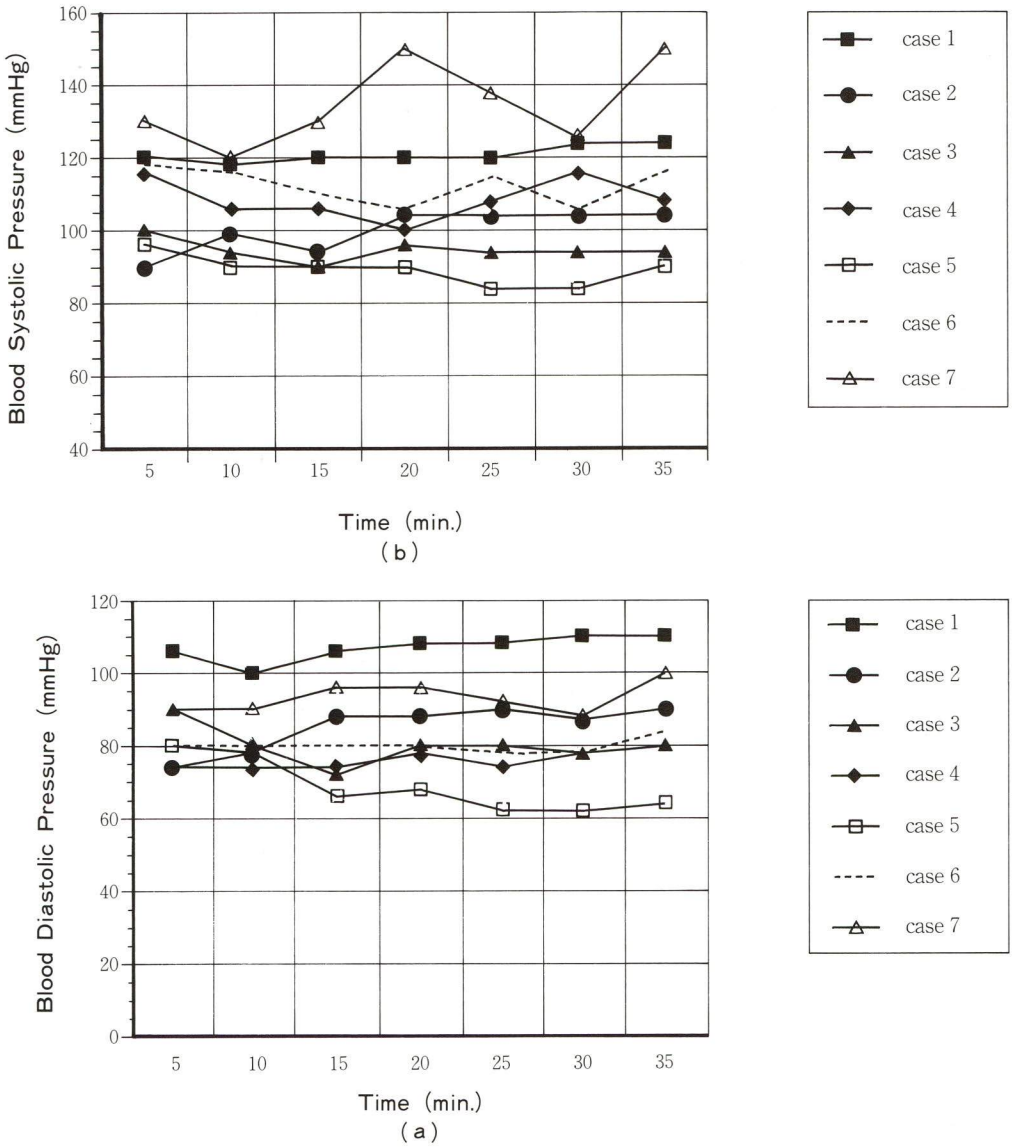


図2-1-3　血圧の変化

Fig. 2-1-3　Changes in blood diastolic pressure (a)
Changes in blood sistolic pressure (b)

(2) 酸素飽和度 S_pO_2 (図2-1-4)

酸素飽和度は全例100％酸素吸入後ほぼ100％近くまで上昇し、これはNOガス吸入中も続き酸素、NOガスともに中止した10分後でも酸素、NOガス吸入前よりも上昇を認めた者5名、不変2名であった。

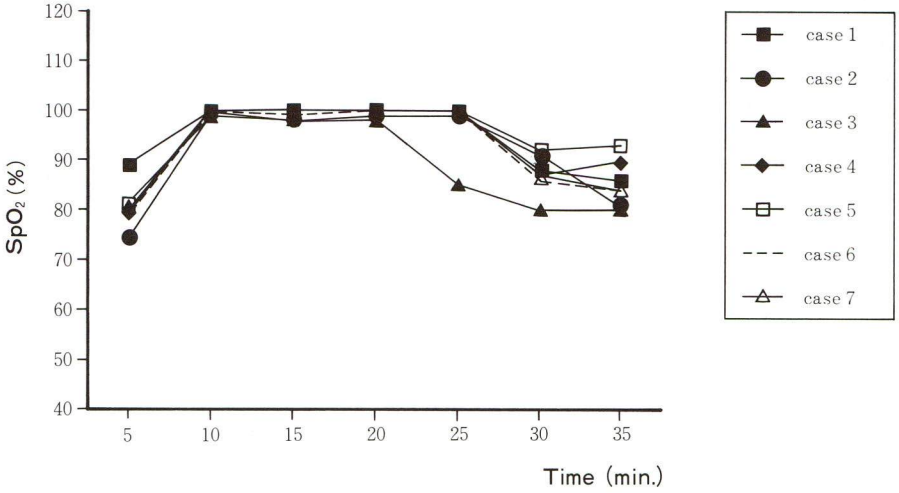


図2-1-4 酸素飽和度の変化
Fig. 2-1-4 Changes in SpO_2

(3) 脈拍 (図2-1-5)

脈拍は100％酸素吸入後1名を除き低下を示したが、NOガス吸入後は不変4名、上昇2名、低下1名であった。その後ルームエアー吸入で全例上昇したが実験前と比較して上昇した者4名、低下した者1名、不変2名であった。

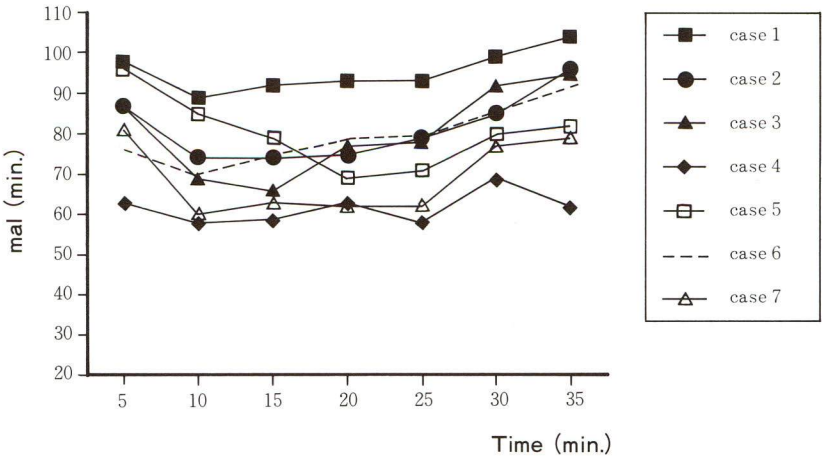


図2-1-5 脈拍の変化
Fig. 2-1-5 Changes in heart rates

表2-1-2　吸気一酸化窒素NOガス濃度、吸気中二酸化窒素NOガス濃度の測定
Table. 2-1-2　NO and NO_2 gas concentration

	NO av.	NO peak	NO_2 av	NO_2 peak
Case 1 M. D.	10.8ppm	14.0ppm	1.2ppm	3.8ppm
Case 2 H. Z.	9.0ppm	11.0ppm	0.9ppm	2.1ppm
Case 3 Y. T.	11.0ppm	18.4ppm	1.3ppm	4.3ppm
Case 4 L. N.	9.0ppm	17.0ppm	1.9ppm	10.1ppm
Case 5 S. S.	8.0ppm	21.0ppm	0.3ppm	1.4ppm
Case 6 K. H.	9.0ppm	19.0ppm	0.8ppm	2.5ppm
Case 7 I. M.	9.0ppm	23.0ppm	0.6ppm	2.1ppm
Ave	9.4±1.0ppm	17.6±3.8ppm	1.0±0.5ppm	3.8±2.8ppm

(4)　吸気一酸化窒素NOガス濃度、呼気中二酸化窒素NO_2ガス濃度の測定（表2-1-2）

NOガス濃度は吸気開始後約5分間でほぼ10ppmに達し吸入10分間の平均値は9.4ppmとおおむね一定の濃度を得た。しかし、そのピーク値は平均17.6ppmとやや高い値であった。一方その酸化物であるNO_2は平均値1.0ppm、ピーク値は一例に10.1ppmとかなり高値を認めたがその平均値は3.8ppmであった。

(5)　心電図

ポータブル心電計を用いて測定期間中全例に標準肢誘導を測定した。100％O_2、NO吸入前は軽度の右軸偏位を認めたがP波およびT波に変化はなかった。吸入後は心拍数の変動は認めたが特に伝導障害、軸偏位、T波の変化は認めなかった。

4．考　察

生体が低酸素状態に暴露されると最初に二酸化炭素の蓄積が生じ、これが呼吸中枢を刺激し呼吸数の増加、換気量の増大を惹起し、低酸素・高二酸化炭素の状態を改善させ環境に適応しようとする。このような換気能力の増大は肺胞の酸素分圧を増加せしめヘモグロビンの酸素飽和度を高めることにつながる。しかし、この換気能力の増大は二酸化炭素の排出も増加させるため当初血液中のpHはアルカリ性に偏り呼吸性アルカローシスの状態になる。これにより脳の血管の収縮が生じ脳の低酸素状態が生じる。脳の対酸素状態は交感神経系を刺激して心拍数が増加し、さらには呼吸数、一回換気量の増大は肺胞の伸展受容器を刺激しこれによる迷走神経の刺激は反射的に心臓の交感神経の刺激を生じることになる。これらの心拍出量の増大は肺動脈の圧を高める要因となる[4]。

また、低酸素暴露は当初より腎臓でのエリスロポエチン産生を促し、これが造血系を刺激し赤血球数の増大と、抗利尿ホルモンの作用による体液浸透圧の低下による細胞間液の貯留・血液の濃縮、ひいてはヘモグロビンの産生増大と酸素運搬能の向上と高所耐性の獲得に

連鎖してゆく。

しかし、この一連の高所耐性獲得の生体の反応は長期間を要し、低所在住の成人では高所住民に比してその獲得能は同一とはならない。この順応障害がいわゆる高山病である。現在高所障害は、山酔いといわれる acute mountain sickness (AMS)、高所肺水腫として知られる high altitude pulomnary edema (HAPE)、高所脳浮腫として知られる high cerebral edema (HACE) に大別されるがこれらが明確に区別されるものではなく移行型または混合型が存在する。何れにしてもこれらの障害が低圧低酸素状態で生じることは明確で、これらの治療もその改善が最良であることは論を待たない。中でも呼吸器系の環境改善が重要な因子であると思われる[5]。

一酸化窒素 (NO) は、当初血管内皮細胞由来平滑筋弛緩因子として見出された物質であるが、近年細胞生物学の分野では爆発的にその研究が進み、神経系、血管内皮系、マクロファージ・肝細胞・グリア細胞・血管平滑筋・白血球などの多くの細胞で産生が確認されており、ガス状情報伝達物質として注目されている。NO は L-アルギニンのグアジニド部の N が酸化を受け、L-シトルニンを生じる時に発生する。そして分子状酸素の一つの O が L-シトルニンに、ほかの O が NO 形成に用いられる。細胞内での L-アルギニンは、主に L-グルタミン酸から供給され、NO 合成酵素 (nitric oxide synthase: NOS) が反応を触媒する。NOS には構成常在の c (constitutive) NOS である内皮細胞 NOS (cNOS)、神経細胞 NOS (nNOS) とサイトカインなどで誘導されて多量の NO を生じさせる i (inducible) NOS があり、マクロファージの mNOS が iNOS に属する。生体内で生じた NO は、最終的には NO_2^- が NO_3^- となる[6]。

NO による生体でのよく知られた作用は血管弛緩とそれによる血圧低下であるが、これらはグアリニル酸シクラーゼを活性化して生じる平滑筋の弛緩である。その他、補酵素 NAD の ADP 部分を蛋白に結合させる ADP リボシル化の促進、ATP 合成阻害、蛋白と核酸の合成阻害、血小板凝集と好中球付着阻害作用がある。これら細胞レベルの影響により全身の臓器に種々の変化を生じる。

高所肺水腫 high altitude pulmonary edema (HAPE) では、呼吸促進作用による肺循環機能の高進、これによる肺毛細管抵抗の相対的増加と肺動脈圧の増大がその病態の基本とされ、その他に肺内シャントの増加、肺内浮腫による微少血管内凝固が示唆されている[5]。これらの治療に可及的加圧、滞在高度の相対的低下 (Gamow Bag)、高濃度酸素の投与、交感神経遮断剤である nifedipin 及び血管拡張薬であるニトログリセリンの投与が有効とされるが、高濃度酸素の投与後も半数例で肺動脈圧の上昇が知られている。

NO ガス (5～80ppm) の気管よりの噴霧投与が新生児持続性高肺動脈圧症 (persistent pulmonary hypertension of new born: PPHN)[8] で選択的に肺動脈圧のみを低下させることが報告されている。また成人呼吸窮迫症候群 (adult respiratory distress syndrome:

ARDS)[9]でも5～20ppm NOガスの吸入は有効で副作用は認められない。正常人対象でも40ppm NO吸入にて選択的肺動脈拡張を認め全身性血圧変化は無かった。NOガスは血液中で直ちにヘモグロビン（Hb）と反応し消失するが、メトヘモグロビン（metHb）を生じるとNO_2ガスが生成し毒性を持つ。10ppm NOガスの30分間投与におけるmetHb生成量は全Hb量の1.0％未満である。ラットの200ppm NOガスの120分間投与ではmetHbは25％となった。今回我々は、安全性を確保するために10ppm NOガス投与前に100％酸素の投与を行った。血圧の変動をみると100％酸素投与後大半に低下を認めたが、NOガス投与後にさらに低下を認めたものはなかった。脈拍数も100％酸素の投与後低下したがNOガス投与後はほぼ不変であった。計測中の吸入NO平均濃度は9.4ppm、一方呼気中のNO_2平均濃度は1.0ppmと低かった。計測期間中悪心、気分不快、頭痛他の中毒症状を呈したものはなかった。またその後の登山活動に積極的な影響を与えた事はなかった。

NOガス吸入が全身作用の無い選択的肺動脈圧低下作用を持つことは明らかであるが、その投与が一時的な効果か治癒的な効果を持つかは現在なお検討中の課題である。特にその安全有効量については更なる検討を要する。HAPEの治療に際して環境因子がその最大の原因である以上、低圧低酸素環境下よりの可及的な改善がその根幹的な治療になるのは言うまでもないが、これらの環境からの脱出は地理的条件から困難なことが多い。100％酸素の投与及び血管拡張性薬物の投与は、大量の酸素の運搬、薬物の副作用の問題等困難なことが多く、安全かつ有効な治療法の確立が待たれる。もしNOガスがHAPEの治療及び予防に効果があるならば、簡便性と携行性が優れており一般に安全に使用可能であると期待される。今回のNOガス吸入実験では肺動脈圧その他の呼吸循環生理の定量的な検討が不十分であったが、常圧下で有効とされるNOガス濃度では全く副作用は認めなかった。しかし、低圧低酸素下でどの程度の濃度及び作用時間が治療的意味を持つかは今後の課題である。

NOガスによるHAPEの治療の可能性について検討するためにエベレスト・ベース・キャンプ（5,150ｍ）で吸入実験を行った。100％酸素投与下の10ppm NOガスの吸入では安全性が確認された。

参考文献

1) West, J. B. “High-Altitude Medicin and Physiology, 2nd. ed.” p1, Chapman & Hall Medical 1995
2) 黒島「環境生理学（第2版）」p87、理工学社　1993
3) 大柳「NOと疾患」p151、医歯薬出版　1994
4) Heath, D “High-Altitude Medicin and Pathology, 4th. ed.” p121, Oxford Press 1995
5) Heath, D “High-Altitude Medicin and Pathology, 4th. ed.” p162, Oxford Press 1995
6) Sakuma “Proc, Natl. Acad. Sci. USA 85” p8864, 1988
7) 大柳「NOと病気」p17、化学同人　1994
8) Sellden, H “Anestheology”, 78, p577, 1993
9) Robert, J. D. “Lancet”, 340, p819, 1992

第3章　環境放射線科学

3.1　電子ポケット線量計によるエベレスト登山期間中における体外被曝線量の測定(1)

野口邦和*1・岡野眞治*2・工藤逸郎*1

3.1　External Dose Measured by Electronic Pocket Dosimeter on Mt. Everest (1)

by Kunikazu Noguchi*1, Masaharu Okano*2 and Itsuro Kudo*1

Abstract : The external dose stemming from natural radiation during the Everest climbing period was measured by electronic pocket dosimeter with a semiconductor detector. The measurements lasted from 20 hours 44 minutes on March 28, 1995 to 14 hours 19 minutes on May 10, 1995, a total of 1,025.58 hours. The cumulative external radiation dose (indicator reading) was 212.40 μSv; the average external radiation dose rate was 0.207 μSv/h. This is 3 times the average external radiation dose rate of 0.074 μSv/h that is measured in Tokyo. The average external radiation dose rate varies from one place to another. Since cosmic radiation increases with increasing altitude, the average external radiation dose rate also tends to increase.

要旨：エベレスト登山期間中における自然放射線に起因する体外被曝線量を、半導体式電子ポケット線量計によって測定した。1995年3月28日20時44分～5月10日14時19分までの延べ1025.58時間にわたる積算体外被曝線量（指示値）は212.40 μSv、平均体外被曝線量率は0.207 μSv／hであった。これは東京都内の平均体外被曝線量率である0.074 μSv／hの3倍も高い値であった。平均体外被曝線量率は場所によって異なり、標高が高くなるほど宇宙線強度が強くなるため、おおむね平均体外被曝線量率も高くなる傾向があった。

1．はじめに

人類は、その誕生以来ずっとさまざまな種類の自然放射線にさらされてきた。自然放射線の特徴は、これが世界中のすべての人びとにかかわるものであり、また長期間にわたって人類全体にほぼ一定の線量率で寄与してきたということである。

人類全体に対する集団線量は、現在でもなお人工放射線より自然放射線の方がはるかに大

*1 日本大学歯学部. School of Dentistry, Nihon University.
*2 (財)放射線影響協会. Radiation Effects Association.

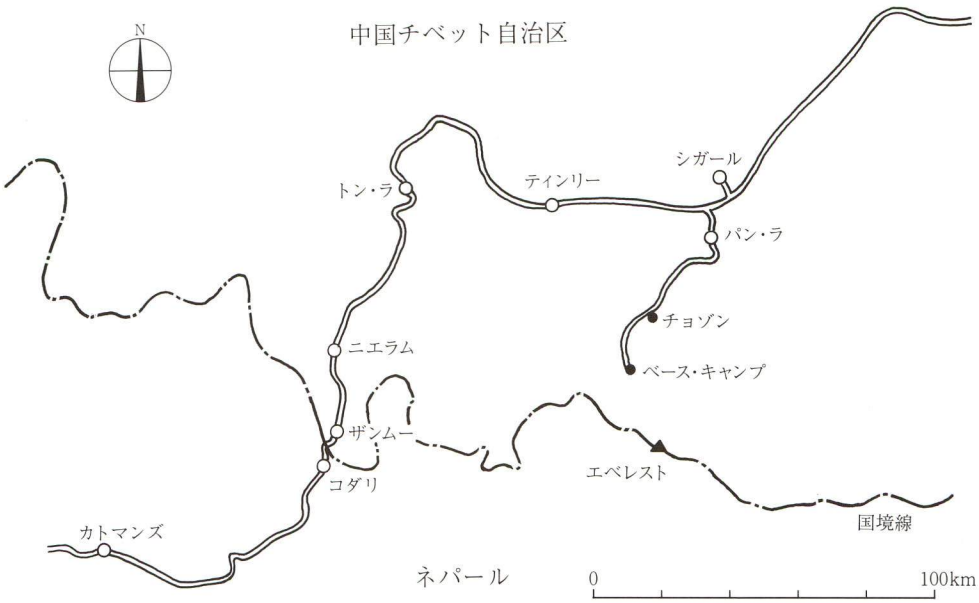


図3-1-1 ネパールおよび中国チベット自治区の関連地図
Fig. 3-1-1 Map of Nepal and the Tibet Autonomous Region of China.

きな寄与をすることがわかっているため、自然放射線から受ける人間の被曝線量を見積ることは特に重要なことである。また、自然放射線の強度は場所によって大きく異なるため、場所によってどれだけ異なるのかという調査・研究は非常に興味深いものである。

自然放射線の線源としては、体外線源と体内線源とに大別することができる。体外線源は主として

(1) 地殻中に含まれる天然放射性核種
(2) 建築材料中に含まれる天然放射性核種
(3) 地球の外部から大気中に入射する一次宇宙線が大気を構成するチッ素や酸素などの原子核と相互作用をした結果生ずる二次宇宙線

がある。一方、体内線源は人体中に取り込まれた天然放射性核種である。

著者らのうち野口邦和は、1995年3月末～5月上旬、「日本大学エベレスト登山隊・1995」の学術調査隊員としてエベレストおよびその周辺地域の自然放射線に起因する線量率などを測定するため、ネパールおよび中国チベット自治区に滞在した。この間、電子ポケット線量計を常時携帯し、自然放射線に起因する体外被曝線量の測定を行った。本研究は、電子ポケット線量計による測定結果について報告する。

2．測　　定

体外被曝線量の測定は、ネパールの首都カトマンズに到着した1995年3月28日20時44分（時間はすべてネパール時間）から、中国チベット自治区に滞在し、再びカトマンズに戻り、日本に向かってカトマンズを去った5月10日14時19分までのあいだ行った。使用した測定器はアロカ㈱製の電子ポケット線量計（PDM－101）で、昼のあいだは常時胸ポケットに装着し、また就寝時には寝袋の脇に置いて測定を行った。

この測定器は1㎝線量当量に対応した個人被曝線量計で、従来の電離箱式ポケット線量計

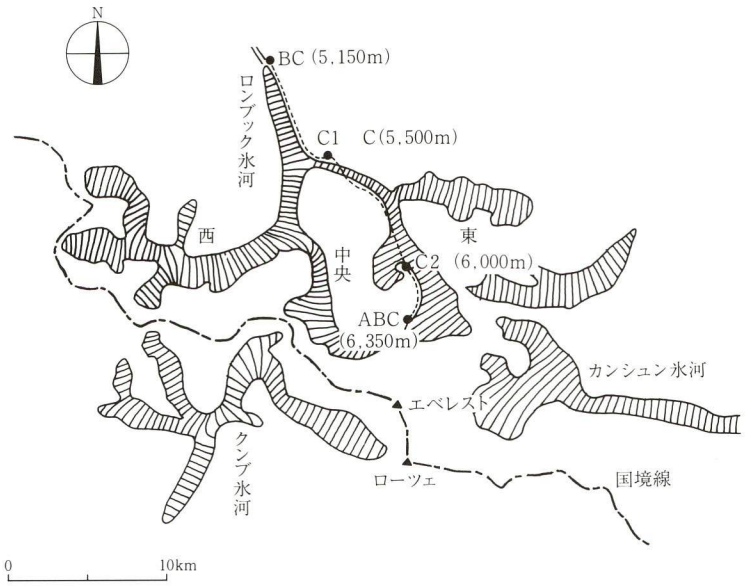


図3-1-2　エベレスト周辺の地図
Fig. 3-1-2　Map of the area around Mt. Everest

に代わるものとしてアロカ㈱が開発した、デジタル表示の半導体式電子ポケット線量計である。検出器には高圧電源を必要としないPN接合型Si半導体を用い、環境測定用として小型化（145×30×12㎜）および軽量化（約60ｇ）が図られている。また、使用する電池はリチウム電池（CR－2450）1個で、連続で14日間の測定ができるとされている。しかし、実際に使用してみると、連続で16日間以上の測定が可能であった。

被曝線量の測定範囲は0.01～99.99μSv、ガンマ線およびX線に対するエネルギー特性は70～3,000keVで約30％以内とされている。エネルギー特性を見る限り、3,000keV以上の宇宙線電離成分に対する指示値は真値よりかなり小さくなることがわかっているが、その校

正定数はアロカ㈱も求めていない。その理由は、天然放射性核種のなかで最もエネルギーの高いガンマ線を放出するタリウム208のガンマ線のエネルギーでさえ2,614keVであるからである。一般的にいえば、3,000keV以上のガンマ線に対する校正定数は通常の地域では必要のないものである。

また、この測定器では宇宙線中性子成分に起因する体外被曝線量を測定することはできず、あくまでも大地や建物中に含まれる天然放射性核種の放出するガンマ線と宇宙線電離成分に起因する体外被曝線量を測定するものである。

図3-1-1に、ネパールおよび中国チベット自治区のうち本研究に関連する部分の地図を示した。また図3-1-2には、ベース・キャンプ～前進基地にいたるエベレスト周辺の地図を示した。

3．結果および考察

電子ポケット線量計による体外被曝線量の指示値を表3-1-1に示した。実際には表3-1-1に記したものよりはるかに詳しく指示値を記録しているが、煩雑さを避けるため、不必要なものの記載を省略した。

全期間中の合計測定時間は1025.58時間、積算体外被曝線量は212.40 μSv、平均体外被曝線量率は0.207 μSv／hであった。場所によっても多少の違いはあるが、参考までに東京都内の自然放射線に起因する線量率は約0.074 μSv／hであるので、仮に同じ期間ずっと東京都内にいた場合の積算線量は約76 μSvになる。厳密には電子ポケット線量計のエネルギー特性にもとづく指示値の校正を必要とするが、指示値で比較する限り、エベレスト登山期間中、東京都内の約3倍も高い線量を受けたことになる。

宇宙線電離成分のエネルギーは3,000keVより高く、このエネルギー範囲では指示値が真値よりかなり小さくなることがわかっているので、実際にはもっと高い線量を受けていることになる。しかし、現在までのところ校正定数が正確にはわからないため、とりあえず本研究においては指示値にもとづいて議論するものとする。

表3-1-1より各地点の体外被曝線量率を整理すると、表3-1-2のようになった。最も線量率の高かったのは前進基地の0.257 μSv／hで、最も線量率の低かったのはカトマンズ～ザンムー間の0.110 μSv／hであった。

標高約6,350 mの前進基地は表3-1-2のなかで最も標高の高い場所であるため、宇宙線電離成分の強度が最も高いはずである。これが表3-1-2のなかで前進基地の体外被曝線量率が最も高かった主原因になっているものと推察された。一方、カトマンズとザンムーの標高はおのおの1,350 mと2,300 mであるにもかかわらず、カトマンズ～ザンムー間の線量率はカトマンズより低い結果を得た。この原因としては

(1) カトマンズ～ザンムー間を移動中随時測定した標高の大部分が1,000 mないしそれ以

表3-1-1　エベレスト登山期間中における電子ポケット線量計の指示値の変化—(1)
Table. 3-1-1　Variations of the reading of the electronic pocket dosimeter during the climbing period on Mt. Everest.—(1)

月／日	時　刻	指示値(μSv)	備　　考
3／28	20：44	6.40	カトマンズ到着
3／29			カトマンズ
3／30	7：29	11.39	カトマンズ出発、ザンムーへ
	16：30	12.41	ザンムー到着
3／31	9：01	15.03	ザンムー出発、ニエラムへ
	15：50	16.02	ニエラム到着
4／01			ニエラムにて高度順化訓練
4／02	5：53	24.06	バッテリー交換
	7：03	0.19	ニエラム出発、シガールへ
	13：38	1.20	シガール到着
4／03			シガール
4／04			シガール
4／05			シガールにて高度順化訓練
4／06	7：47	17.89	シガール出発、ＢＣへ
	12：15	18.61	ＢＣ到着
4／07			ＢＣ
4／08			ＢＣ
4／09			ＢＣ
4／10			ＢＣ
4／11	8：04	44.96	ＢＣ出発、Ｃ１の途中まで行き、再びＢＣへ
	15：00	46.58	ＢＣ到着
4／12			ＢＣ
4／13			ＢＣ
4／14	8：00	60.66	ＢＣ出発、Ｃ１まで行き、再びＢＣへ
	14：10	62.23	ＢＣ到着
4／15			ＢＣ
4／16	8：26	71.54	ＢＣ出発、Ｃ１まで行き、再びＢＣへ
	16：29	73.51	ＢＣ到着
4／17			ＢＣ
4／18	6：01	81.52	ＢＣ、バッテリー交換
4／19			ＢＣ
4／20			ＢＣ
4／21			ＢＣ
4／22			ＢＣ
4／23			ＢＣ
4／24	13：30	32.75	ＢＣ出発、Ｃ１へ
	17：09	33.58	Ｃ１到着
4／25	8：05	37.11	Ｃ１出発、Ｃ２へ
	16：02	38.97	Ｃ２到着
4／26	9：12	42.80	Ｃ２出発、ＡＢＣへ
	12：30	43.53	ＡＢＣ到着

表3-1-1 エベレスト登山期間中における電子ポケット線量計の指示値の変化—(2)
Table. 3-1-1 Variations of the reading of the electronic pocket dosimeter during the climbing period on Mt. Everest—(2)

月／日	時　刻	指示値(μSv)	備　　考
4／27	8：30	48.64	ＡＢＣ出発、Ｃ２へ
	10：30	49.03	Ｃ２到着
	12：30	49.48	Ｃ２出発、ＡＢＣへ
	15：08	50.06	ＡＢＣ到着
4／28			ＡＢＣ
4／29	9：00	60.83	ＡＢＣ出発、Ｃ２へ
	10：40	61.20	Ｃ２到着、Ｃ２出発、Ｃ１へ
	16：00	62.45	Ｃ１到着
	17：00	62.68	Ｃ１出発、ＢＣへ
	19：30	63.27	ＢＣ到着
4／30			ＢＣ
5／01			ＢＣ
5／02			ＢＣ
5／03			ＢＣ
5／04	7：30	86.92	ＢＣ出発、チョゾン村へ
	8：57	87.22	チョゾン村到着
5／05	10：25	92.29	チョゾン村出発、ＢＣへ
	13：00	92.81	ＢＣ到着
5／06	8：27	96.97	ＢＣ、バッテリー交換
5／07	6：07	4.78	ＢＣ出発、ザンムーへ
	17：57	6.53	ザンムー到着
5／08	7：45	8.79	ザンムー出発、カトマンズへ
	16：48	9.75	カトマンズ到着
5／09			カトマンズ
5／10	14：19	16.25	カトマンズ出発、成田へ

(注) 時刻はすべてネパール時間（日本との時差は３時間15分）で表示した。ＢＣはベース・キャンプ、Ｃ１は第１キャンプ、Ｃ２は第２キャンプ、ＡＢＣは前進基地（第３キャンプ）を意味する。

下で、カトマンズより標高が低かったこと

(2) 大地や建築構造物に含まれる天然放射性核種の平均濃度がカトマンズとカトマンズ～ザンムー間とで異なること

などが考えられる。しかし、本研究の範囲では、どちらが主原因になっているのか断定的なことはいえない。

いずれにしても、厳密には指示値のエネルギー校正を必要とするが、ほぼ標高が高くなるにつれて体外被曝線量率も高くなる傾向のあることがわかる。もっとも、標高が高くなるにつれて線量率が高くなるのは宇宙線電離成分であり、大地や建築構造物からの放射線による線量率は標高とはまったく無関係である。そのため、たとえ高い標高の場所であったとしても大地に含まれる天然放射性核種の濃度が低ければ、低い標高の場所の線量率の方が高い標

表3-1-2　自然放射線に起因する各地点の線量率（指示値／時）
Table. 3-1-2　External dose rates due to natural radiation at several points.

場　　所（標　高）	指示値	時　間	線量率（μSv/h）
カトマンズ（1,350m）	11.49	80.27	0.143
カトマンズ～ザンムー間	1.98	18.07	0.110
ザンムー（2,300m）	4.88	30.32	0.161
ザンムー～ニエラム間	0.99	6.82	0.145
ニエラム（3,800m）	8.23	39.22	0.210
ニエラム～シガール間	1.01	6.58	0.153
シガール（4,300m）	16.69	90.15	0.185
ザンムー～ＢＣ間	1.75	11.83	0.148
シガール～ＢＣ間	0.72	4.46	0.161
チョゾン村（4,450m）	5.07	25.47	0.199
チョゾン村～ＢＣ間	0.82	4.03	0.203
ＢＣ（5,150m）	123.09	561.22	0.219
ＢＣ～Ｃ１間	6.58	27.30	0.241
Ｃ１（5,500m）	3.76	15.93	0.236
Ｃ１～Ｃ２間	3.11	13.33	0.233
Ｃ２（6,000m）	4.28	19.12	0.224
Ｃ２～ＡＢＣ間	2.07	9.60	0.216
ＡＢＣ（6,350m）	15.88	61.87	0.257
合　　計	212.40	1025.58	0.207

（注）ＢＣはベース・キャンプ、Ｃ１は第１キャンプ、Ｃ２は第２キャンプ、ＡＢＣは前進基地（第３キャンプ）を意味する。

高の場所の線量率より高くなることはあり得る。

標高約6,000ｍの第２キャンプの体外被曝線量率（0.224μSv／h）が標高約5,500ｍの第１キャンプの線量率（0.236μSv／h）よりも低く、標高約5,150ｍのベース・キャンプの線量率（0.219μSv／h）とほぼ同程度であるのは、その典型例であるといえる。

電子ポケット線量計では大地からのガンマ線および宇宙線電離成分に起因する体外被曝線量の合計値しかわからない。そこで、体外被曝線量率ではなく照射線量率であるけれども、可搬型ガンマ線スペクトロメータによって得られたパルス波高分布から、科学技術庁のまとめた『空間γ線スペクトル測定法』の方法[1]によって求めた大地からのガンマ線および宇宙線電離成分に起因する照射線量率をおのおの表3-1-3に示した。ただし、照射線量率の単位は従来のデータとの比較を容易にする意味で、敢えて旧単位μR／hで表示した。現単位で表示する場合には、$1\,R=2.58\times10^{-4}\,C/kg$ あるいは $1\,R=258\,\mu C/kg$ を用いて換算されたい。

表3-1-3から、標高が高くなるにつれて宇宙線電離成分に起因する照射線量率は確実に大きくなるが、大地からのガンマ線に起因する照射線量率は標高と無関係であることは明らか

表3-1-3 各地点における大地の放射線と宇宙線電離成分の照射線量率（μR/h）

Table. 3-1-3 Exposure rates (μR/h) due to radiation from the ground and the ionizing component of cosmic rays at several points.

場　所	高　度 (m)	大地の放射線	宇宙線電離成分	合　計
チョゾン村広場	4,450	12.85	17.47	30.32
BC	5,150	15.05	22.27	37.32
C1	5,500	16.70	26.35	43.05
C2	6,000	6.76	31.31	38.07
ABC	6,350	14.27	34.53	48.80

（注）照射線量率の測定は、NaI（Tl）シンチレーション検出器を用いたガンマ線スペクトロメータにより行った。測定条件および全照射線量率を大地の放射線と宇宙線電離成分とに分離・導出する方法については、3.3および3.5を参照されたい。

である。また表3-1-3から、大地に含まれる天然放射性核種に起因する照射線量率が、第2キャンプでは第1キャンプやベース・キャンプの半分程度ないしそれ以下であるであることがわかる。さらに照射線量率の合計値は、第2キャンプが第1キャンプより低く、ベース・キャンプとほぼ同程度であることもわかる。それ故、照射線量率と体外被曝線量率はほぼ正比例の関係にあるため、第2キャンプの体外被曝線量率が第1キャンプよりも低く、ベース・キャンプとほぼ同程度であったものと考えられる。

4．まとめ

半導体式電子ポケット線量計を用いてエベレスト登山期間中の体外被曝線量（宇宙線中性子成分の寄与を除く）を測定した。全期間中の合計1025.58時間にわたる積算体外被曝線量（指示値）は212.40μSv、平均線量率は0.207μSv／hであった。測定器のエネルギー特性から見る限り、宇宙線電離成分の体外被曝線量が過小評価されているため、真値は本研究の測定値よりも大きいことを理解しておく必要がある。また、各地点における体外被曝線量率も算出して整理した結果、標高が高くなるにつれてほぼ体外被曝線量率も高くなることがわかった。

参考文献

1) 科学技術庁：空間γ線スペクトル分析法、放射能測定シリーズ20、日本分析センター（1990）

用語解説

1㎝線量当量：

体外からの放射線によって被曝する線量当量を体外被曝線量当量（または外部被曝線量当量）といい、体外被曝によって人体の組織が受ける実効線量当量および組織線量当量（眼の水晶体および皮膚を除く）を評価するための指標として用いられる量で、身体表面から1㎝の深さの場所における線量当量を

いう。実際には身体を模擬した国際放射線単位・測定委員会（ICRU）の直径30㎝の球形ファントムの深さ１㎝において測定された量である。なお、単位時間当たりの１㎝線量当量のことを１㎝線量当量率という。

μSv：

１㎝線量当量率の単位はSv（シーベルト）である。μは100万分の１を表す単位の接頭語で、μSvは100万分の１シーベルトの意味である。

天然放射性核種：

原子核内の陽子数と中性子数によって区別される原子の種類を核種、核種のうち放射性壊変するものを放射性核種という。ウラン238、トリウム232あるいはカリウム40のように、自然界に存在する放射性核種のことを天然放射性核種という。

校正定数：

一般に、測定器の指示値に対する真値の比を校正定数という。したがって、真値、指示値、校正定数のあいだには以下の関係がある。

（真値）＝（指示値）×（校正定数）

照射線量：

ある場所のガンマ線またはX線による照射の強さを、空気を電離する程度で評価した量をいう。照射線量の大小は、空気１㎏中の電離作用によって発生するイオン対のうち、正または負どちらかの総電荷量がいくらになるかで表され、現単位はC／kg（クーロン／キログラム）、旧単位はR（レントゲン）である。１R＝2.58×10^{-4}C／kgまたは１R＝258μC／kgである。なお、単位時間当たりの照射線量のことを照射線量率という。

3.2 電子ポケット線量計によるエベレスト登山期間中における体外被曝線量の測定(2)

野口邦和[*1]・岡野眞治[*2]・工藤逸郎[*1]

3.2 External Dose Measured by Electronic Pocket Dosimeter on Mt. Everest (2)

by Kunikazu Noguchi[*1], Masaharu Okano[*2] and Itsuro Kudo[*1]

Abstract : Electronic pocket dosimeters were carried at all times by 10 members of the Everest climbing expedition, and the external radiation dose stemming from natural radiation was measured throughout the climbing period. Data collected from 7 of the climbers showed that the external radiation dose during the climbing period was within the range 0.20 to 0.24 μSv/h. Measurements of the external radiation dose rate from Camp 1 to Camp 3 (ABC) gave results for the external radiation dose rate similar to those described in 3.1. However, the reliability of the measurements was considerably greater than that of the measurements described in 3.1. We were also able to find the external exposure dose rate from Rapiu La (6,548m) to Camp 5. It is clear that the external radiation dose rate at Camp 5 is more than 5 times that in Tokyo.

要旨： エベレスト登山隊員10人に電子ポケット線量計を常時携帯させ、自然放射線に起因する登山期間中の体外被曝線量を測定した。回収された7人の測定データを整理した結果、登山期間中の体外被曝線量率は0.20～0.24 μSv／hの範囲にあることがわかった。第1キャンプ（5,500m）以上の標高の各地点における体外被曝線量率を求めた結果、線量率の大小関係はほぼ3．1の報告と同じであることがわかった。しかし、ここでの測定の信頼性は3．1以上に格段に向上した。ラピュー・ラ（6,548m）～第5キャンプ（7,850m）までの線量率も求めることができた。第5キャンプの線量率は東京都内の5倍以上の強さであることが明らかになった。

1．はじめに

人工放射線源に起因する被曝を別にすれば、国連科学委員会の1988年報告書によると、通常の地域に住んでいる人は自然放射線源に起因する体外被曝を年間770 μSv 受けている。その内訳は、宇宙線が360 μSv、地殻および建造物に含まれる微量の放射性核種のガンマ線が410 μSv である。

通常の地域に住んでいる人が自然放射線源によって受けている体外被曝線量はおおよそ前

*1 日本大学歯学部. School of Dentistry, Nihon University.
*2 (財)放射線影響協会. Radiation Effects Association.

述のごとくであるが、体外被曝線量率は種々の環境因子によって変動する。屋外平坦地のような周辺に建造物のない典型的な自然環境下では、地殻に含まれるウラン、トリウム、カリウム40などの放射性核種濃度、降雨、積雪等によって変動する。

さらに、標高が増加するにつれて宇宙線に起因する体外被曝線量率が大きく増加することもよく知られている。緯度（地理上の緯度ではなく、正しくは地磁気緯度）にもよるが、国連科学委員会の1982年報告書によれば、海洋表面から4,000ｍの高さでは通常の地域の約3倍、6,000ｍの高さでは約7倍、そして8,000ｍの高さでは約20倍にもなる。「日本大学エベレスト登山隊・1995」が遠征したネパールや中国チベット自治区は、緯度こそ日本より低いものの、世界有数の高高度地帯であり、宇宙線に起因する体外被曝線量率はきわめて高いものと思われる。

本研究は、「日本大学エベレスト登山隊・1995」の登山隊員のうち10人に電子ポケット線量計を常時携帯させ、エベレスト登山期間中における自然放射線に起因する体外被曝線量を測定した結果について報告する。

2．測　　定

電子ポケット線量計を携帯する隊員のうち7人は、1995年2月21日に成田を出発してカトマンズに飛び立った。彼らはネパールで高度順化訓練を行ったのちに、カトマンズ→ザンムー→ニエラム→シガール経由でベース・キャンプに入った。また、残りの3人は3月11日に成田を出発し、このうちの1人はカトマンズ→ザンムー→ニエラム→シガール経由、2人は北京→成都→ラサ→シガツェ→シガール経由で、ベース・キャンプに入った。エベレスト北東稜からの登頂を果たしたのち、これらの10人の隊員は全員がベース・キャンプ→ニエラム→ザンムー→カトマンズ経由で、日本に帰国した。

カトマンズを起点とする8人の隊員には、カトマンズ到着直後から、登山を終え再びカトマンズにもどり成田に向かって飛び立つまでのあいだ、測定を依頼した。また、北京を起点とする2人の隊員には、ラサ到着直後から、登山を終えカトマンズにもどり成田に向かって飛び立つまでのあいだ、測定を依頼した。

使用した測定器はアロカ㈱製の電子ポケット線量計（PDM－101）で、昼のあいだは常時胸ポケットに装着し、また就寝時には寝袋の脇など身近なところに置いて測定するよう依頼した。この測定器は1㎝線量当量に対応した個人被曝線量計で、従来の電離箱式ポケット線量計に代わるものとしてアロカ㈱が開発した、デジタル表示の半導体式電子ポケット線量計である。検出器には高圧電源を必要としないPN接合型Si半導体を用い、環境測定用として小型化（145×30×12㎜）および軽量化（約60g）が図られている。また、使用する電池はリチウム電池（CR－2450）1個で、連続で14日間の測定ができるとされている。しかし、実際に使用してみると、連続で16日間以上の測定が可能であった。

被曝線量の測定範囲は0.01～99.99μSv、ガンマ線およびX線に対するエネルギー特性は70～3,000keVで約30%以内とされている。エネルギー特性を見る限り、3,000keV以上の宇宙線電離成分に対する指示値は真値よりかなり小さくなることがわかっているが、その校正定数はアロカ㈱も求めていない。その理由は、天然放射性核種のなかで最もエネルギーの高いガンマ線を放出するタリウム208のガンマ線のエネルギーでさえ2,614keVであるからである。一般的にいえば、3,000keV以上のガンマ線に対する校正定数は通常の地域では必要のないものである。

また、この測定器では宇宙線中性子成分に起因する体外被曝線量を測定することはできず、あくまでも大地や建物中に含まれる天然放射性核種の放出するガンマ線と宇宙線電離成分に起因する体外被曝線量を測定するものである。

3．結果および考察

10人の登山隊員の測定データうち、1995年9月末現在までに回収できたのは7人分で、残り3人分は未回収の状態にある。それ故、回収された7人分の測定データについて整理した。

表3-2-1および表3-2-2は、回収された測定データのなかで最も丹念に記録されていた2人の隊員の体外被曝線量である。ネパールでの高所訓練およびエベレスト北東稜からのルート工作の合間に丹念に電子ポケット線量計の指示値を毎日記録し続けたこれらの隊員には、心からの敬意を表したい。

表3-2-3は、回収された7人分の測定データを整理したものである。全員がエベレスト北東稜からの登頂に成功した1995年5月11日の前後で、測定を中断したのは遺憾である。しかし、登頂を前に記録を続ける気持ちの余裕がなかったことや、登頂後の撤収作業その他の下山の準備などでなかなか記録を続けるどころではなかったのだろうと推察しているが、はなはだ残念な結果である。

7人分の測定データのうち1人分を除くと、体外被曝線量率は0.203～0.240μSv／hの範囲にあった。登山期間中の行動が隊員により異なるので何ともいえないが、エベレスト登山期間中の体外被曝線量率はほぼ0.20～0.24μSv／hの範囲にあると考えてよいのではないかと思う。この線量率は東京都内の自然放射線に起因する線量率約0.074μSv／hのおよそ2.7～3.2倍に相当する。なお、1人分の測定データが異常に低くなっているが、その原因はよくわからない。電子ポケット線量計自体に異常・故障があったのかも知れないし、あるいは記録のミスによるものであるかも知れない。いずれにせよ、データとしては取り扱わないで削除した。

6人分の測定データの記録から、第1キャンプ以上の標高における各地点の線量率を求めた結果を表3-2-4に示した。ベース・キャンプ～前進基地までの線量率の大小関係は、前掲の「3.1　電子ポケット線量計によるエベレスト登山期間中における体外被曝線量の測定

表3-2-1　エベレスト登山期間中における電子ポケット線量計の指示値(隊員A)—(1)
Table. 3-2-1　Reading of the electronic pocket dosimeter during the climbing period on Mt. Everest (expedition member A).—(1)

月／日	時　刻	指示値(μSv)	備　　考
2／21	21：20	6.15	カトマンズ到着
2／22			カトマンズ
2／23			カトマンズ
2／24	6：30	14.32	カトマンズ
			カトマンズを出発、ヘリコプターでルクラへ
	12：00	15.00	ルクラ
			ルクラを出発、パグディンへ
2／25	6：45	17.67	パグディン
	15：00	19.22	パグディン
			パグディン出発、ナムチェバザールへ
	21：00	20.12	ナムチェバザール
2／26			ナムチェバザールにて高度順化訓練
2／27	7：30	27.00	ナムチェバザール
			ナムチェバザールを出発、タンボチェへ
	17：35	28.85	タンボチェ
2／28			タンボチェ
3／01	7：30	34.63	タンボチェ
			タンボチェを出発、ペリチェへ
	15：10	36.16	ペリチェ
3／02			ペリチェにて高度順化訓練
3／03	7：50	45.07	ペリチェ
			ペリチェを出発、ロブチェへ
	19：35	47.66	ロブチェ
3／04	7：05	50.27	ロブチェ
			カラパタール登頂
	20：25	53.81	ゴラクシュプ
3／05	7：35	56.91	ゴラクシュプ
			ゴラクシュプを出発、パンボチェへ
3／05	20：00	59.51	パンボチェ
3／06	6：55	61.71	パンボチェ
			パンボチェを出発、ナムチェバザールへ
	17：25	63.76	ナムチェバザール
3／07			ナムチェバザール
3／08	7：30	70.85	ナムチェバザール
			ナムチェバザールを出発、カトマンズへ
3／09	9：15	74.91	カトマンズ
3／10			カトマンズ
3／11	10：25	82.52	カトマンズ、バッテリー交換
3／12			カトマンズ
3／13			カトマンズ

表3-2-1 エベレスト登山期間中における電子ポケット線量計の指示値(隊員A)—(2)
Table. 3-2-1 Reading of the electronic pocket dosimeter during the climbing period on Mt. Everest (expedition member A).—(2)

月／日	時　刻	指示値(μSv)	備　　考
3／14			カトマンズ
3／15			カトマンズ
3／16			カトマンズ
3／17	7：20	22.57	カトマンズ
	8：05		カトマンズを出発、ザンムーへ
3／18	7：05	26.61	ザンムー
			ザンムーを出発、ニエラムへ
3／19	8：30	30.81	ニエラム
3／20			ニエラム
3／21	7：15	39.41	ニエラム
			ニエラムを出発、シガールへ
	13：25	41.83	シガール
3／22			シガール
3／23			シガール
3／24	5：30	51.41	シガール
			シガールを出発、ＢＣへ
	17：20	53.97	ＢＣ
3／25			ＢＣ
3／26			ＢＣ
3／27			ＢＣ
3／28	16：05	73.18	ＢＣ、バッテリー交換
			ＢＣを出発、Ｃ１へ
3／29	6：30	3.30	Ｃ１
			Ｃ１を出発、Ｃ２へ
	20：50	6.64	Ｃ２
3／30	18：20	11.26	Ｃ２
3／31			Ｃ２を出発、ＡＢＣへ
	19：50	17.15	ＡＢＣ
4／01	8：00	20.42	ＡＢＣ
			ＡＢＣを出発、ＢＣへ
	18：00	22.82	ＢＣ
4／02			ＢＣ
4／03			ＢＣ
4／04			ＢＣ
4／05			ＢＣ
4／06	6：40	46.80	ＢＣ
			ＢＣを出発、Ｃ１へ
	21：35	50.29	Ｃ１
4／07	6：20	52.37	Ｃ１
			Ｃ１を出発、Ｃ２へ
	19：05	55.37	Ｃ２

表3-2-1　エベレスト登山期間中における電子ポケット線量計の指示値(隊員A)—(3)
Table. 3-2-1　Reading of the electronic pocket dosimeter during the climbing period on Mt. Everest (expedition member A).—(3)

月／日	時　刻	指示値(μSv)	備　　考
4／08	7：00	57.87	C 2
			C 2を出発、ABCへ
	19：05	60.89	ABC
4／09			ABC
4／10			ABC
4／11	8：10	76.36	ABC
			ABCを出発、ラピュー・ラへ
	18：35	78.56	ラピュー・ラ
4／12	6：30	81.21	ラピュー・ラ
			ラピュー・ラを出発、ABCへ
	19：15	84.37	ABC
4／13	19：10	90.86	ABC
4／14			ABCを出発、C 4へ
	20：00	97.39	C 4
4／15～19	データ欠測		
4／20	9：00	0.00	ABC、バッテリー交換
			ABCを出発、C 4へ
	14：30	3.05	C 4
4／21			C 4
4／22			C 4
4／23	7：20	20.48	C 4
			C 4を出発、C 2へ
	19：45	23.42	C 2
4／24	7：10	26.04	C 2
			C 2を出発、BCへ
	20：40	29.20	BC
4／25			BC
4／26			BC
4／27			BC
4／28			BC
4／29			BC
4／30			BC
5／01			BC
5／02	19：00	78.92	BC
5／03			BCを出発、ABCへ
	19：30	85.19	ABC
5／04～06	データ欠測		
5／07	20：30	8.19	C 5
5／08	7：30	12.24	C 5
			C 5を出発、ABCへ

表3-2-1 エベレスト登山期間中における電子ポケット線量計の指示値(隊員A)—(4)

Table. 3-2-1 Reading of the electronic pocket dosimeter during the climbing period on Mt. Everest (expedition member A).—(4)

月／日	時　刻	指示値(μSv)	備　　考
5／09	19：00	15.39	ＡＢＣ バッテリー交換
5／10	19：00	6.69	ＡＢＣ
5／11	8：00	18.84	ＡＢＣ
5／12			ＡＢＣ
5／13	7：50	32.83	ＡＢＣ

(注) 時刻はすべてネパール時間（日本との時差は3時間15分）で表示した。ＢＣはベース・キャンプ、Ｃ1は第1キャンプ、Ｃ2は第2キャンプ、ＡＢＣは前進基地、Ｃ4は第4キャンプ、Ｃ5は第5キャンプを意味する。

表3-2-2　エベレスト登山期間中における電子ポケット線量計の指示値(隊員B)—(1)
Table. 3-2-2　Reading of the electronic pocket dosimeter during the climbing period on Mt. Everest (expedition member B).—(1)

月／日	時　刻	指示値(μSv)	備　　考
2／21	21：20	5.62	カトマンズ到着
2／22			カトマンズ
2／23			カトマンズ
2／24	10：15	13.77	カトマンズを出発、ヘリコプターでルクラへ
	11：00	13.84	ルクラ着
			ルクラを出発、パグディンへ
	21：00	15.40	パグディン
2／25	6：17	16.94	パグディン
			パグディン出発、ナムチェバザールへ
	21：00	19.40	ナムチェバザール
2／26			ナムチェバザールにて高度順化訓練
2／27	6：15	26.23	ナムチェバザール
			ナムチェバザールを出発、タンボチェへ
	20：15	28.67	タンボチェ
2／28			タンボチェ
3／01	7：20	35.20	タンボチェ
			タンボチェを出発、ペリチェへ
	20：08	37.66	ペリチェ
3／02	19：30	43.44	ペリチェにて高度順化訓練
3／03	6：30	45.65	ペリチェ
			ペリチェを出発、ロブチェへ
	20：15	48.64	ロブチェ
3／04	7：22	51.43	ロブチェ
	20：57	54.69	ゴラクシュプ
3／05	7：15	58.15	ゴラクシュプ
			ゴラクシュプを出発、パンボチェへ
	20：00	60.62	パンボチェ
3／06	6：45	63.15	パンボチェ
3／06			パンボチェを出発、ナムチェバザールへ
	23：42	66.14	ナムチェバザール
3／07			ナムチェバザール
3／08	6：00	72.02	ナムチェバザール
			ナムチェバザールを出発、カトマンズへ
	23：05	74.17	カトマンズ
3／09	9：05	75.56	カトマンズ
3／10	9：12	78.92	カトマンズ
			カトマンズを出発、コダリへ
	20：54	80.41	コダリ
3／11			コダリ
3／12	7：22	85.69	コダリ

表3-2-2 エベレスト登山期間中における電子ポケット線量計の指示値(隊員B)—(2)
Table. 3-2-2 Reading of the electronic pocket dosimeter during the climbing period on Mt. Everest (expedition member B).—(2)

月／日	時　刻	指示値(μSv)	備　　考
3／13			コダリを出発、カトマンズへ
3／14	23：30	90.33	カトマンズ、バッテリー交換
3／15			カトマンズ
3／16			カトマンズ
3／17	8：24	8.05	カトマンズを出発、ザンムーへ
	19：58	9.40	ザンムー
3／18	9：02	11.94	ザンムーを出発、ニエラムへ
	21：53	13.87	ニエラム
3／19			ニエラム
3／20	6：25	19.89	ニエラム
			ニエラムを出発、シガールへ
	20：11	21.90	シガール
3／21			シガール
3／22	21：24	30.61	シガール
3／23			シガールを出発、BCへ
	9：07	36.16	BC
3／24			BC
3／25			BC
3／26			BC
3／27			BC
3／28			BC
3／29			BC
3／30	7：50	72.63	BC、バッテリー交換
			BCを出発、C1へ
3／31	7：05	6.09	C1
			C1を出発、C2へ
	17：26	8.41	C2
4／01			C2
4／02	7：28	17.32	C2
			C2を出発、BCへ
4／03	8：50	22.78	BC
4／04			BC
4／05			BC
4／06	7：02	40.85	BC
			BCを出発、C1へ
	21：33	44.67	C1
4／07	6：17	47.28	C1
			C1を出発、C2へ
	16：57	49.83	C2
4／08	6：26	53.07	C2
			C2を出発、ABCへ
	19：05	56.29	ABC

表3-2-2　エベレスト登山期間中における電子ポケット線量計の指示値(隊員B)—(3)
Table. 3-2-2　Reading of the electronic pocket dosimeter during the climbing period on Mt. Everest (expedition member B).—(3)

月／日	時　刻	指示値(μSv)	備　　考
4／09			ABC
4／10			ABC
4／11	7：26	73.38	ABC、バッテリー交換
			ABCを出発、ラピュー・ラへ
4／11	18：33	2.40	ラピュー・ラ
4／12	7：23	5.63	ラピュー・ラ
			ラピュー・ラを出発、ABCへ
	18：22	8.33	ABC
4／13			ABC
4／14			ABC
4／15			ABC
4／16			ABC
4／17	6：40	42.15	ABC
			ABCを出発、C4へ
	20：05	45.60	C4
4／18			C4
4／19	6：33	27.50	C4
			C4を出発、BCへ
4／20	0：06	61.78	BC
4／21			BC
4／22			BC
4／23			BC
4／24			BC
4／25	8：02	95.07	BC
4／26	14：36	3.52	BC
4／27			BC
4／28	6：47	11.72	BC、バッテリー交換
			BCを出発、C2へ
	19：20	2.99	C2
4／29			C2を出発、ABCへ
	21：43	9.78	ABC
4／30			ABC
5／01	5：58	19.45	ABC
5／01			ABC出発、C4へ
	18：12	22.51	C4
5／02	4：35	26.09	C4
			C4を出発、C5へ
	20：15	31.16	C5
5／03	5：50	35.48	C5
			C5を出発、ABCへ
	19：31	39.42	ABC

表3-2-2 エベレスト登山期間中における電子ポケット線量計の指示値(隊員B)—(4)
Table. 3-2-2 Reading of the electronic pocket dosimeter during the climbing period on Mt. Everest (expedition member B).—(4)

月／日	時　刻	指示値(μSv)	備　　考
5／04			ABC
5／05			ABC
5／06	5：33	56.26	ABC
			ABCを出発、C4へ
5／07	7：20	63.87	C4
			C4を出発、C5へ
	20：28	68.32	C5
5／08	6：36	71.56	C5
			C5を出発、ABCへ
	20：55	75.57	ABC
5／09			ABC
5／10			ABC
5／11	8：24	95.30	ABC

(注) 時刻はすべてネパール時間（日本との時差は3時間15分）で表示した。BCはベース・キャンプ、C1は第1キャンプ、C2は第2キャンプ、ABCは前進基地、C4は第4キャンプ、C5は第5キャンプを意味する。

表3-2-3 登山隊員の体外被曝線量
Table. 3-2-3 External doses received by climbing expedition members.

隊員	測　定　期　間	指示値(μSv)	測定時間	線量率(μSv/h)
A	2／21～5／13	418.60	2002.5	0.209
B	2／21～5／11	437.73	1955.1	0.224
C	2／21～5／06	376.53	1850.7	0.203
D	2／21～5／15	299.73	2048.7	0.146
E	3／18～4／13	145.67	629.3	0.231
F	未回収			
G	未回収			
H	3／11～5／10	305.35	1437.7	0.212
I	3／15～5／15	351.42	1464.1	0.240
J	未回収			

表3-2-4　自然放射線に起因する各地点の線量率(指示値／時)
Table. 3-2-4　External dose rates due to natural radiation at several points.

場　所（標　高）	指示値（μSv）	時　間	線量率（μSv/h）
ＢＣ（5,150m）(注１)	123.09	561.22	0.219
Ｃ１（5,500m）	13.88	53.97	0.257
Ｃ２（6,000m）	41.84	192.06	0.218
ＡＢＣ（6,350m）	315.66	1160.48	0.272
ラピュー・ラ（6,548m）	5.88	24.75	0.238
Ｃ４（7,100m）	45.83	151.05	0.303
Ｃ５（7,850m）	11.61	30.72	0.378
Ｃ５以上(注２)	9.74	22.80	0.427

（注１）ＢＣのデータは3.1より転載したもの。
（注２）４月28日早朝にＣ５を出発し、第２ピナクル（標高8,250m）のルート工作を終え、再びＣ５に戻り、翌29日早朝にＡＢＣに向かって出発するまでのあいだ。

(1)」の結果とほぼ同じであるが、3.1の報告では第１キャンプ以上の標高での滞在時間が短かった。しかし、本研究では滞在時間もかなり増え、格段に信頼性の増した測定データを得ることができた。

さらに、3.1ではまったく測定データのなかったラピュー・ラ（標高6,548m）以上の標高における測定データをも得ることができた。その結果、第５キャンプ（7,850m）での線量率は東京都内の５倍以上であることが明らかになった。また、第５キャンプより標高の高いところでは、線量率がいっそう高くなることもわかった。

４．ま と め

エベレスト登山隊員10人に電子ポケット線量計を常時携帯させ、自然放射線に起因する登山期間中の体外被曝線量を測定した。回収された７人の測定データを整理した結果、登山期間中の体外被曝線量率は0.20～0.24μSv／hの範囲にあることがわかった。第１キャンプ以上の標高の各地点における体外被曝線量率を３．１以上に精度よく求めるとともに、ラピウ・ラ（6,548m）～第５キャンプまでの線量率も求めることができた。なお、測定器のエネルギー特性から見る限り、宇宙線電離成分の体外被曝線量が過小評価されているため、真値は本研究の測定値より大きいことを理解しておく必要がある。

3.3 エベレストにおける宇宙線強度の高度変化

——球形NaI(Tl)シンチレーション検出器による電離成分の測定——

野口邦和[*1]・岡野眞治[*2]・工藤逸郎[*1]

3.3 Variation of Cosmic Ray Intensity with Altitude on Mt. Everest

by Kunikazu Noguchi[*1], Masaharu Okano[*2] and Itsuro Kudo[*1]

Abstract: Measured data on the altitude variation of cosmic radiation intensity (specifically the equivalent exposure index rate due to the ionizing component of cosmic radiation) were obtained at altitudes from 4,450m to 6,350m on and around Mt. Everest. Based on the results of fixed point measurements at altitudes from 5,150m to 6,350m, a linear approximation to the rate of altitude increase is given by 2.60×10^{-12}(C/kg/h)/m. In addition, based on the results of continuous measurements at altitudes from 5,250m to 6,110m, a linear approximation to the rate of altitude increase of cosmic radiation intensity is about 2.71×10^{-12}(C/kg/h)/m. On Mt. Fuji, Masao Furukawa et al obtained measured data from 2,500m to 3,740m, and from them computed the rate of altitude increase of cosmic radiation intensity to be about 0.99×10^{-12}(C/kg/h)/m. It is known that the rate of altitude increase of cosmic radiation intensity increases with altitude, so there is no contradiction between our results and those of Furukawa et al.

要旨：エベレストとその周辺地域において、高度4,450～6,350mまでの宇宙線強度（正確に表現すると宇宙線の電離成分による照射線量率等価量）の高度変化に関する実測データを得た。標高5,150～6,350mにおける定点測定の結果にもとづいて直線近似を行った場合の高度変化率は、2.60×10^{-12}(C/kg/h)/mであった。また、標高5,250～6,110mにおける連続測定の結果にもとづいて直線近似を行った場合の宇宙線強度の高度変化率は、約2.71×10^{-12}(C/kg/h)/mであった。

放射線医学総合研究所の古川雅央らによって求められた日本の富士山の宇宙線強度の変化率は、海面レベル～3,740mにおける測定データから算出された値は約0.6×10^{-12}(C/kg/h)/mである。また、標高2,500～3,740mにおける測定データから算出された値は約0.99×10^{-12}(C/kg/h)/mである。宇宙線強度の高度変化率は標高が高くなるほど大きくなることがわかっているので、今回得られた値と古川らの値とのあいだに矛盾はない。

1．はじめに

人類は、その誕生以来ずっとさまざまな種類の自然放射線にさらされてきた。自然放射線の特徴は、これが世界中のすべての人びとにかかわるものであり、また長期間にわたって人

*1 日本大学歯学部. School of Dentistry, Nihon University.
*2 (財)放射線影響協会. Radiation Effects Association.

類全体にほぼ一定の線量率で寄与してきたということである。

人類全体に対する集団線量は、現在でもなお人工放射線より自然放射線の方がはるかに大きな寄与をすることがわかっているため、自然放射線から受ける人間の被曝線量を見積ることは特に重要なことである。また、自然放射線の強度は場所によって大きく異なるため、場所によってどれだけ異なるのかという調査・研究は非常に興味深いものである。

自然放射線の線源としては、体外線源と体内線源とに大別することができる。体外線源は主として

(1) 地殻中に含まれる天然放射性核種

(2) 建築材料中に含まれる天然放射性核種

(3) 地球の外部から大気中に入射する一次宇宙線が大気を構成するチッ素や酸素などの原子核と相互作用をした結果生ずる二次宇宙線

がある。一方、体内線源は人体中に取り込まれた天然放射性核種である。

宇宙線の強度は、地磁気緯度（地理上の緯度とは異なる）や高度（気圧）などによって変化することがわかっている。したがって、自然放射線にかかわる被曝線量を評価する場合には、宇宙線の空間分布を実測によって把握し、地殻や建築材料中の天然放射性核種から分離・評価しておくことが重要である。

本研究では、自然放射線による人間の被曝線量およびその影響を評価する一環として、宇宙線の強度が高度によりどのように変化するかを、エベレスト（8,848m）を登山することによって測定した。しかし、実際に測定した高度は4,450～6,350mまでの範囲であった。実際には二次宇宙線の中性子成分、二次宇宙線の電離成分、大地の天然放射性核種によるガンマ線のそれぞれについて複数の測定器を用いて測定を行ったが、ここでは球形NaI(Tl)シンチレーション検出器による二次宇宙線の電離成分の測定結果について報告する。

宇宙線の高度変化は、これまでにも航空機などを使って測定が行われてきた[1),2)]が、高度別測定点の間隔は概して粗い。また、報告例は地磁気緯度北緯50°付近の比較的高緯度である場合が多い。このため、低・中緯度地域における精度の高い実測データの整備が待たれていた。さらに、エベレストでの実測例はほとんどなく、この点でも実測データに大きな関心が寄せられていた。

2．測定および解析

エベレストにおける測定は1995年4～5月初旬に行われた。以下に記す放射線測定器（全重量は約12kg）をリュックサックに入れて背中に背負い、標高6,350mの前進基地から5,150mのベース・キャンプへの下山中はずっと連続移動測定を行った。また、標高6,350mの前進基地、6,000mの第2キャンプ、5,500mの第1キャンプ、5,150mのベース・キャンプ、4,450mのチョゾン村を含め計9地点では定点測定を行った。定点測定の位置および連

続移動測定のルートを図3-3-1に示す。

宇宙線電離成分の測定は、76.4㎜の球形NaI(Tl) シンチレーション検出器、1,024チャンネル波高分析器および2トラックオーディオ・テープレコーダからなる可搬型ガンマ線スペクトロメータ（アロカ㈱製）[3),4)]を用いて行った。電源は単1アルカリ電池を使用した。データの収録には、市販のオーディオ・カセットテープ（90分用）を使用した。

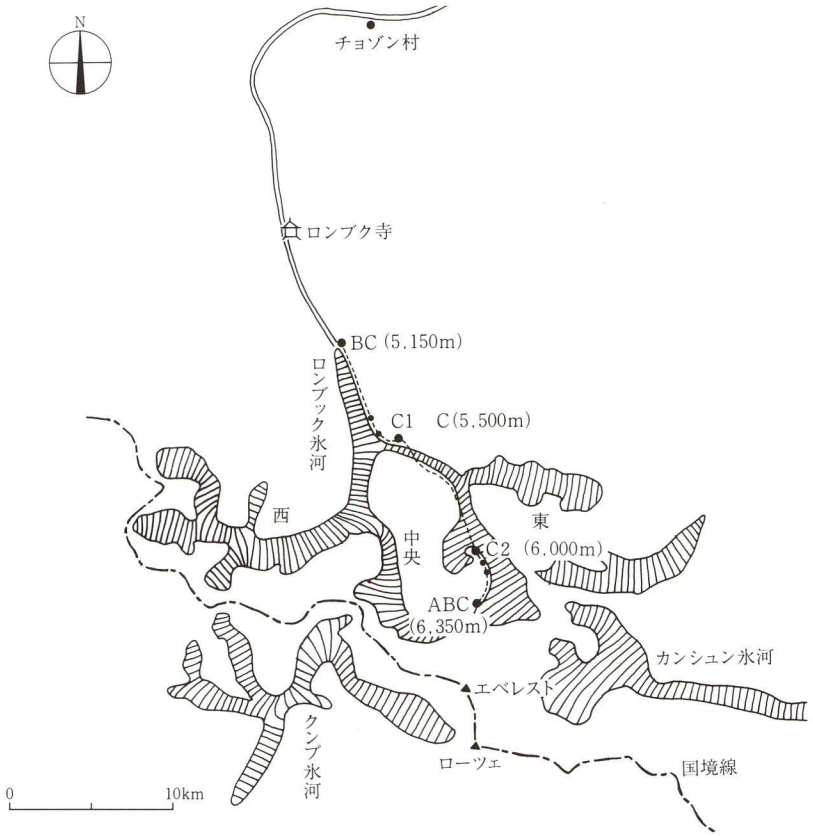


図3-3-1 エベレストにおける定点測定の位置と連続移動測定のルート

Fig. 3-3-1 Positions of fixed point measurements and routes of continuous moving measurements on Mt. Everest.

球形NaI(Tl) シンチレーション検出器は感度と方向特性がともに優れており、環境ガンマ線測定などに広く用いられている。なお、実際に用いた球形NaI(Tl) シンチレーション検出器は標高6,000ｍ以上の高度での使用にも耐え得るように作成した低温低気圧用の特注品（応用光研工業㈱製、S－2221型）で、添付されていた成績書によれば、分解能はセシウム137の661.65keVのガンマ線に対して約7.8%（24℃および－20℃において）である。

解析は、収録されたデータを専用のインターフェイスを通して15分間の集積スペクトルとして再生処理し、ピーリングオフ（ストリッピング）法[5]によって行った。定点では通常45分間の測定を行っているので、１地点につき３個の集積スペクトルのデータが得られるため、これらの平均をその地点のデータとした。連続移動測定のデータは、15分間の最初と最後の気圧および高度の中間値を、おのおのその気圧および高度とした。

なお、宇宙線電離成分の強度は、3,000keV 以上の計数率に対し、上記測定器と電離箱との比較測定によって求められた換算係数を用いて宇宙線電離成分による照射線量率（厳密には照射線量率等価量）として算出した。さらに、$1\,R=2.58\times10^{-4}$C/kg を用いて (C/kg)/h に換算した。本研究では、以下これを単に宇宙線強度という。

３．結果および考察

表3-3-1および図3-3-2に宇宙線強度の定点測定の結果を示す。宇宙線強度は標高が高くなるほど大きくなり、標高6,350ｍの前進基地で最大となった。標高6,350ｍにおける値は89.1×10^{-10}(C/kg)/h、標高4,450ｍにおける値は45.1×10^{-10}(C/kg)/h であった。両者の標高差は1,900ｍであり、標高6,350ｍの宇宙線強度は4,450ｍのおよそ２倍となった。

上記の２地点における値から求めた宇宙線強度の高度変化率は、約2.32×10^{-12}(C/kg/h)/m であった。標高5,150～6,350ｍについて直線近似を行った場合の高度変化率は、2.60×10^{-12}(C/kg/h)/m であった。図3-3-2に示した曲線は全データによる以下に記す回帰曲線（重相関係数は0.997）である。

$$y=8.9921\times10^{-10}\exp(0.00036396x)$$

表3-3-1　宇宙線強度の高度変化（定点測定）

Table. 3-3-1　Altitude variation of cosmic ray intensity (fixed point measurement).

高　度 (m)	照射線量率 (μR/h)	宇宙線強度 ($\times10^{-10}$C/kg/h)	備　　考
6,350	34.53	89.1	ＡＢＣ
6,140	33.16	85.6	ＡＢＣ～Ｃ２間
6,030	30.88	79.7	ＡＢＣ～Ｃ２間
6,000	31.31	80.9	Ｃ２
5,500	26.35	68.0	Ｃ１
5,390	24.85	64.1	Ｃ１～ＢＣ間
5,280	24.24	62.5	Ｃ１～ＢＣ間
5,150	22.26	57.4	ＢＣ
4,450	17.47	45.1	チョゾン村

（注）ＢＣはベース・キャンプ、Ｃ１は第１キャンプ、Ｃ２は第２キャンプ、ＡＢＣは前進基地を意味する。

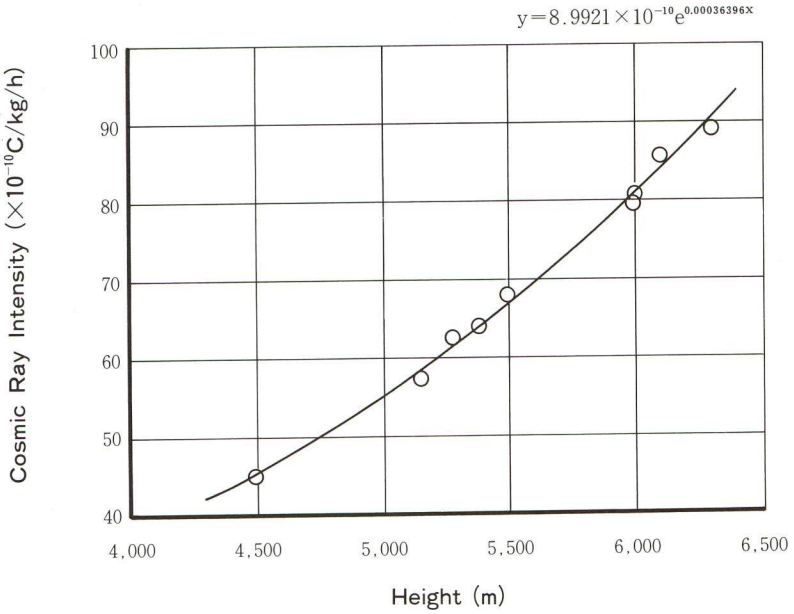


図3-3-2 宇宙線強度の高度変化（定点測定）
Fig. 3-3-2 Altitude variation of cosmic ray intensity (fixed point measurement).

測定範囲を大きくはずれた高度での適用には慎重であるべきとは思うが、エベレストの地磁気緯度における海面レベルの宇宙線強度を一応求めると、上記の式より、およそ9×10^{-10}(C/kg)/hとなった。

なお、今回測定を行った地点は、チョゾン村を含めても南北方向で約30km（チョゾン村を除くと約12～13km）の非常に狭い範囲内におさまっており、地磁気緯度による宇宙線強度の変化すなわち緯度効果は無視できるものと思われる。

次に、表3-3-2および図3-3-3に宇宙線強度の連続移動測定の結果を示す。標高は15分間の最初と最後の標高の中間値を使っているため、定点測定に比べると高度の不確定さが大きいが、合計25個のデータとなるため、それなりに貴重なデータであると思われる。ただし、データの数が多い割には標高差は860mとかなり小さい。

この場合、標高約5,250～6,110mについて直線近似を行った場合の宇宙線強度の高度変化率は、約2.71×10^{-12}(C/kg/h)/mであった。当然のことながら、定点測定のデータから得られた高度変化率である約2.60×10^{-12}(C/kg/h)/mとよく一致しているといってよい。しかし、同じ高度で定点測定と連続移動測定の宇宙線強度を比較すると、連続移動測定の値の方が約5～10%小さい。この原因は現在のところわかっていないが、連続移動測定では可搬型ガンマ線スペクトロメータを背中に背負って測定していたため、人体による遮蔽効果の影響であ

るかも知れない。なお、図3-3-5に示した曲線は25個のデータによる以下に記す回帰曲線（重相関係数は0.985）である。

$$y=(0.0271\,x-86.8)\times10^{-10}$$

参考までに古川雅英[6]らによって求められた日本の富士山における宇宙線強度の変化率は、山頂部（標高3,740m）と海面レベルにおけるデータから算出されたものは、約0.6×10^{-12}(C/kg/h)/mである。また、山頂部と標高約2,500mにおけるデータから算出されたものは、約0.99×10^{-12}(C/kg/h)/mである。宇宙線強度の高度変化率は標高が高くなるほど大きくなることがわかっているので、今回得られた値と古川らの値とのあいだに矛盾はない。

表3-3-2　宇宙線強度の高度変化（連続移動測定）

Table. 3-3-2　Altitude variation of cosmic ray intensity (continuous moving measurement).

高　度 (m)	照射線量率 (μR/h)	宇宙線強度 ($\times10^{-10}$C/kg/h)	備　　考
6,110	30.04	77.5	ＡＢＣ～Ｃ２間
6,060	29.01	74.8	ＡＢＣ～Ｃ２間
6,030	30.19	77.9	Ｃ２～Ｃ１間
6,000	29.01	74.8	Ｃ２～Ｃ１間
5,970	28.49	73.5	Ｃ２～Ｃ１間
5,940	29.12	75.1	Ｃ２～Ｃ１間
5,870	27.37	74.8	Ｃ２～Ｃ１間
5,830	27.38	70.6	Ｃ２～Ｃ１間
5,810	27.54	71.5	Ｃ２～Ｃ１間
5,760	27.29	70.4	Ｃ２～Ｃ１間
5,720	26.33	67.9	Ｃ２～Ｃ１間
5,690	25.92	66.9	Ｃ２～Ｃ１間
5,640	26.10	67.3	Ｃ２～Ｃ１間
5,610	25.14	64.9	Ｃ２～Ｃ１間
5,580	24.17	62.4	Ｃ２～Ｃ１間
5,550	23.70	61.1	Ｃ２～Ｃ１間
5,530	24.11	62.2	Ｃ２～Ｃ１間
5,480	23.66	61.0	Ｃ２～Ｃ１間
5,550	24.72	63.8	Ｃ１～ＢＣ間
5,470	23.64	61.0	Ｃ１～ＢＣ間
5,400	22.87	59.0	Ｃ１～ＢＣ間
5,360	22.50	58.1	Ｃ１～ＢＣ間
5,330	22.35	57.7	Ｃ１～ＢＣ間
5,300	21.83	56.3	Ｃ１～ＢＣ間
5,250	21.76	56.1	Ｃ１～ＢＣ間

（注）ＢＣはベース・キャンプ、Ｃ１は第1キャンプ、Ｃ２は第2キャンプ、ＡＢＣは前進基地を意味する。

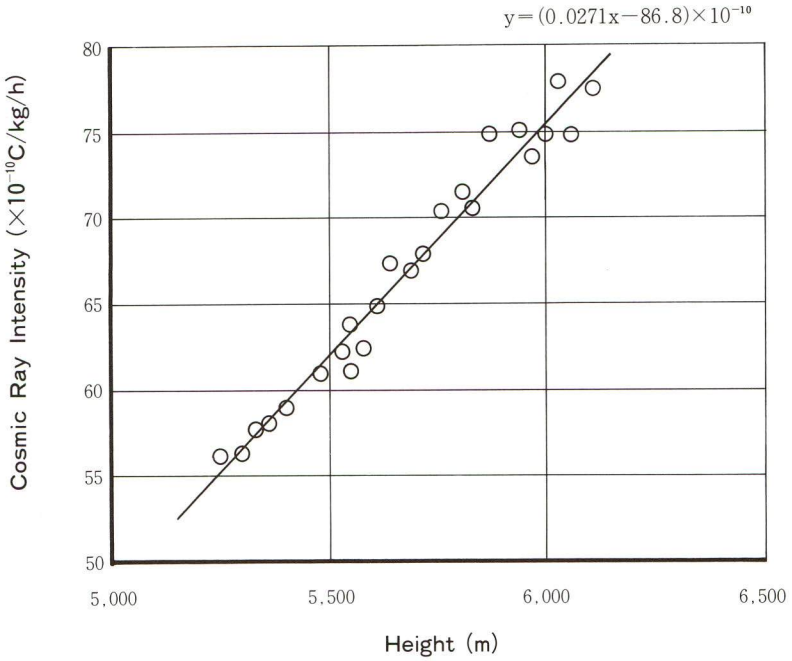


図3-3-3 宇宙線強度の高度変化（連続移動測定）
Fig. 3-3-3 Altitude variation of cosmic ray intensity (continuous moving measurement).

以上のことから、本研究の定点測定および連続移動測定によって、低・中緯度地域における宇宙線強度の高度変化率に関する標高約4,450～6,350mまでの貴重なデータが得られたと確信する。

4．まとめ

エベレストとその周辺地域において、高度約4,450～6,350mまでの宇宙線強度（正確に表現すると宇宙線の電離成分による照射線量率等価量）の高度変化に関する実測データを得た。標高約5,150～6,350mにおける定点測定の結果にもとづいて直線近似を行った場合の高度変化率は、2.60×10^{-12}(C/kg/h)/mであった。また、標高約5,250～6,110mにおける連続移動測定の結果にもとづいて直線近似を行った場合の宇宙線強度の高度変化率は、約2.71×10^{-12}(C/kg/h)/mであった。

参考文献

1) United Nation: "Sources and Effects of Ionizing Radiation", UNSCEAR, New York (1977)
2) 和田雅美ほか30名：理研報告、第59巻、1－19（1983）

3) Okano, M., Izumo, K., Kumagai, H., Kato, T., Nishida, M., Hamada, T. and Kodama, M.: "Natural Radiation Environment III", (Gesell, T. F. and Lowder, W, M. eds.), pp 896-911, Technical Information Center, US Department of Energy (1980)
4) 熊谷秀和、岡野眞治：理研報告、第58巻、1－10（1982）
5) 科学技術庁："空間γ線スペクトル分析法"、放射能測定シリーズ20、日本分析センター（1990）
6) 古川雅英、松本雅紀、床次眞司、藤高和信、岡野眞治：Radioisotopes、第44巻、19－22（1995）

用語解説

球形NaI(Tl) シンチレーション検出器：

蛍光物質に放射線が入射すると、放射線のエネルギーを吸収して励起され、安定状態にもどるときに蛍光を放射する。ガンマ線やエックス線の測定に用いられるヨウ化ナトリウムNaI(Tl) 結晶などではきわめて短い蛍光が得られ、この蛍光のことをシンチレーション、蛍光を放射する物質のことをシンチレータと呼んでいる。NaI(Tl) シンチレーション検出器は、ガンマ線やエックス線の測定に用いられるシンチレータのなかで最も優れた性能を有しているものである。NaI(Tl) シンチレーション検出器の形状には円柱型、井戸型、球形などがあるが、自然放射線用としては角度依存性のないものが望ましく、この点では球形NaI(Tl) シンチレーション検出器が最も優れている。

分解能：

NaI(Tl) シンチレーション検出器の分解能は、セシウム137の放出する661.65keV のガンマ線に対する、661.65keV の光電ピークの半値幅として定義されている。NaI(Tl) シンチレーション検出器の分解能は7～9％程度であることが多い。

ピーリングオフ（ストリッピング）法：

レスポンス関数を用いて入射ガンマ線のスペクトルを得るスペクトル解析方法をいう。高エネルギー領域の数をレスポンス関数と一致させる定数を定め、逐次低エネルギー領域にこの操作をすすめて解析を行う。高いエネルギーから逐次はぎとることからこの名前がある。

3.4　エベレストにおける宇宙線中性子成分の高度分布

野口邦和[*1]・岡野眞治[*2]・工藤逸郎[*1]

3.4　Distribution of the Neutron Component of Cosmic Rays with Altitude on Mt. Everest

by Kunikazu Noguchi[*1], Masaharu Okano[*2] and Itsuro Kudo[*1]

Abstract： The altitude distribution of the 1cm dose equivalent rate of cosmic ray neutrons was measured by neutron survey meter at altitudes from 4.45km to 6.00km on and around Mt. Everest. From the measurement results, it was found that if z is the altitude in km and $H_N(Z)$ is the 1cm dose equivalent rate in units of nSv/h, then $H_N(Z)$ is approximately given by the formula given in the text. The coefficient in the exponent was found to be 0.656, which agrees well with the values of 0.698 given in the 1988 UNSCEAR Report and 0.66 found by Masaki Matsumoto et al from measurements in the altitude range of about 1.55km to 3.74km on Fuji San. That is to say, it is clear that the altitude distribution tends to be independent of the magnetic latitude.

要旨： エベレストにおける標高約4.45～6.00㎞までの宇宙線中性子の1㎝線量当量率の高度分布を中性子サーベイメータによって測定した。測定結果から、高度zを㎞、1㎝線量当量率$H_N(Z)$をnSv/h単位で表すと、それは近似的に次のような式で表すことができた。$H_N(Z) = 2.26\exp(0.656z)$

指数部分の係数は0.656となり、UNSCEAR 1988年報告書の値0.698や放射線医学総合研究所の松本雅紀らが富士山において約1.55～3.74㎞の標高範囲で求めた値0.66ともよく一致した値となった。すなわち、高度分布の傾向は地磁気緯度の違いに無関係で変わらないと考えてよいことが明らかになった。

1．はじめに

宇宙線の強度は、地磁気緯度（地理上の緯度とは異なる）や高度（気圧）などによって変化することがわかっている。したがって、自然放射線にかかわる被曝線量を評価する場合には、宇宙線の空間分布を実測によって把握し、地殻や建築材料中の天然放射性核種から分離・評価しておくことが重要である。

本研究では、自然放射線による人間の被曝線量およびその影響を評価する一環として、宇宙線の強度が高度によりどのように変化するかを、エベレスト（8,848m）を登山することによって測定した。測定した高度は4,450～6,000mまでの範囲であった。実際には二次宇宙

*1 日本大学歯学部. School of Dentistry, Nihon University.
*2 (財)放射線影響協会. Radiation Effects Association.

線の中性子成分、二次宇宙線の電離成分、大地の天然放射性核種によるガンマ線のそれぞれについて、複数の測定器を用いて測定を行ったが、ここでは中性子サーベイメータによる二次宇宙線の中性子成分（以下「宇宙線中性子」という）の測定結果について報告する。

宇宙線中性子の高度分布は、これまでにも地表面での定点測定、航空機による測定あるいは計算があるが、標高4,450～6,000ｍまでの地表面での高度分布の実測値は非常に少ない。また、報告例は地磁気緯度北緯50°付近の比較的高緯度地域に集中している場合がほとんどである。このため、低・中緯度地域における実測データの整備が待たれていた。さらに、エベレストでの実測例はなく、この点でも実測データに大きな関心が寄せられていた[1),2)]。

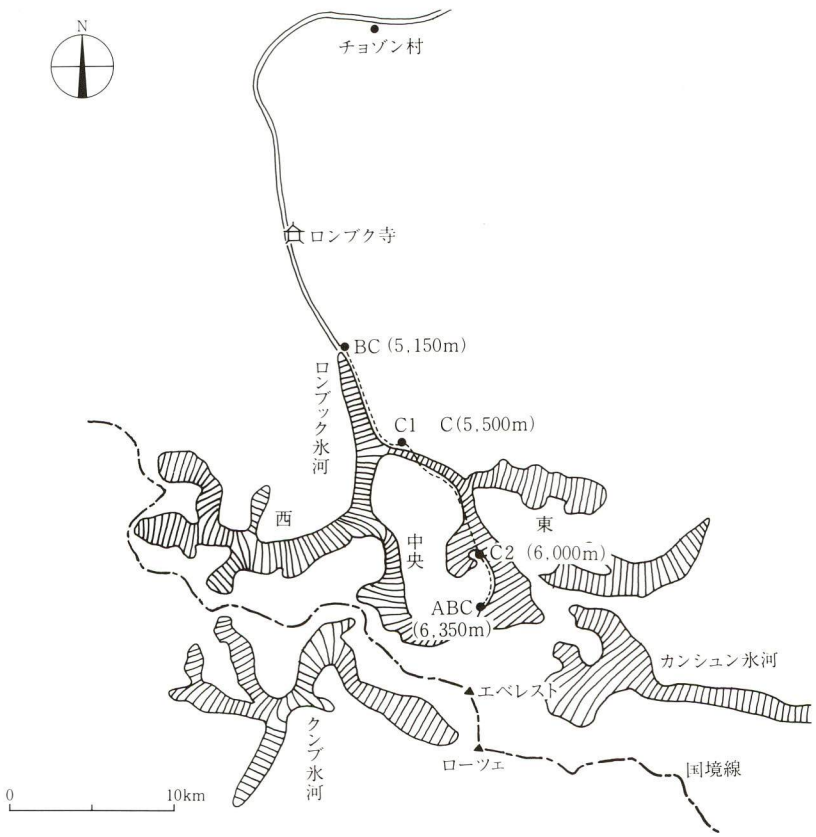


図3-4-1　宇宙線子性子の測定地点の位置
Fig. 3-4-1　Positions of cosmic ray neutron measurement points.

2．測定および解析

エベレストにおける測定は1995年４～５月初旬に行われた。測定器はアロカ㈱製の中性子サーベイメータ（TPS－451S）を用いた。この中性子サーベイメータは検出器に^{3}He比例計数管を使用し、0.025eV～約15,000keVまでのエネルギー範囲で国際放射線防護委員会勧告51[3)]にもとづくレスポンスになるよう設計されており、必要に応じて１㎝線量当量率または積算１㎝線量当量で表示される。もっとも、使用説明書に掲載されているエネルギー特性を見る限り、高エネルギー中性子の線量値がやや過小評価になることが予想される。

測定は標高4,450ｍのチョゾン村広場から標高6,000ｍの第２キャンプまでの計４点で行った。標高6,350ｍの前進基地での測定も行ったが、その原因は現在までのところ不明であるが、中性子サーベイメータが正常に動作しなかった（標高5,150ｍのベース・キャンプと同程度の異常に低い指示値を示した）ため、測定データからは除外した。当初の測定計画によれば標高差0.1～0.2㎞ほどの間隔で測定を行うことになっていたが、残念ながら日程上の都合から結果として計４点となった。なお、測定は各点約１～10時間の積算線量で、これより１㎝線量当量率を求めた。測定地点の位置を図3-4-1に示す。

表3-4-1 宇宙線中性子による１㎝線量当量率の高度変化
Table. 3-4-1 Altitude variation of the 1cm dose equivalent rate due to cosmic ray neutrons.

高度(km)	１㎝線量当量率(nSv/h)	備　　考
4.45	41.4	チョゾン村広場
5.15	67.3	ＢＣ
5.50	82.4	Ｃ１
6.00	118	Ｃ２

（注）ＢＣはベース・キャンプ、Ｃ１は第１キャンプ、Ｃ２は第２キャンプを意味する。

3．結果と考察

表3-4-1および図3-4-2に宇宙線中性子の測定結果を示す。１㎝線量当量率は標高が高くなるほど高くなっており、スムーズな曲線を描いていることがわかる。

国連科学委員会（UNSCEAR）の1988年報告書[1)]によれば、高度Ｚ（単位は㎞）が２㎞より高いところでの宇宙線中性子による年間実効線量当量$H_N(Z)$の高度変化を海面レベルの値$H_N(0)$を用いて、以下のように表現している。

$$H_N(Z) = H_N(0) \cdot a \cdot \exp(b \cdot z)$$

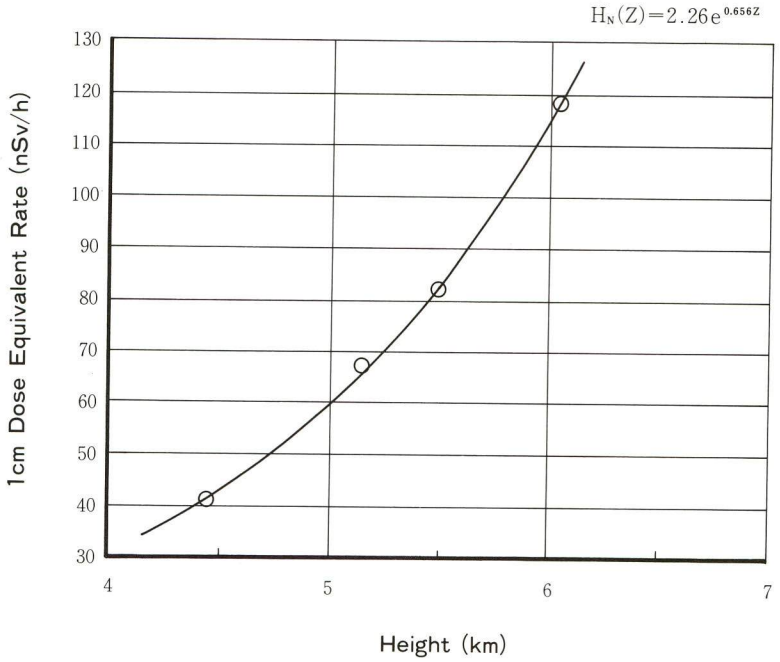


図3-4-2　宇宙線中性子による1㎝線量当量率の高度変化
Fig. 3-4-2　Altitude variation of the 1cm dose equivalent rate due to cosmic ray neutrons.

ただし、式中の係数aおよびbは、a＝1.98、b＝0.698である。$H_N(Z)$は1㎝線量当量率と読み代えても式の形は同じであるはずなので、本研究において測定した標高約4,450～6,000ｍのデータに適用すると以下の式を得る（重相関係数r＝0.999）。

$$H_N(Z)(nSv/h)=2.26\exp(0.656z)$$

あるいは、UNSCEAR 1988年報告書の表現にあわせて、エベレスト周辺における海面レベルの実測値がないためとりあえず日本における海面レベルの実測値$H_N(0)=3.3nSv/h$を用いると、以下の式を得た。

$$H_N(Z)=H_N(0)\cdot a'\cdot\exp(b'\cdot z)$$

ただし、a′＝0.685、b′＝0.656である。b′の値はUNSCEAR 1988年報告書のbの値（b＝0.698）や、松本雅紀ら[4]が富士山において約1,550～3,740ｍの標高範囲で求めたb′の値（b′＝0.66）ともよく一致した値となった。すなわち、高度分布の傾向は地磁気緯度の違いに無関係で変わらないと考えることができる。

しかし、a′の値はUNSCEAR 1988年報告書のaの値（a＝1.98）や、松本雅紀らが富

士山で求めたa′の値（a′=0.94）よりもかなり小さな値となった。この原因は、本研究において測定したエベレストおよびその周辺地域の地磁気緯度とUNSCEAR 1988年報告書および松本らのデータが得られた地磁気緯度との違いによるもの、すなわち緯度効果によるものと考えることができる。また、エベレスト周辺における海面レベルの実測値がないため、とりあえず日本における海面レベルの実測値 $H_N(0)=3.3$nSv/h と、実際の値より少し過大な値を用いたことも原因のひとつになっているものと思われる。

4．結　論

本研究によりエベレストにおける標高約4,450～6,000mまでの宇宙線中性子の1cm線量当量率の高度分布が得られた。高度Zをkm、1cm線量当量率 $H_N(Z)$ をnSv単位で表すと、それは近似的に以下の式で表すことができた。

$$H_N(Z)=2.26\exp(0.656z)$$

参考文献

1) United Nations: “Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation”, pp51-55, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), New York (1988)
2) Nakamura, T., Uwamino, Y., Ohkubo, T. and Hara, A.: Health Phys., 53, 509-517 (1987)
3) International Commission on Radiological Protection: “Data for Use in Protection Against External Radiation”, ICRP Publication 51 (1987)
4) 松本雅紀、古川雅英、床次眞司、藤高和信、中村尚司：Radioisotopes、第44巻、33-34（1995）

3.5　エベレストにおける大地からの放射線による照射線量率の測定

野口邦和[*1]・岡野眞治[*2]・工藤逸郎[*1]

3.5　Measurement of the Exposure Rate due to Radiation from the Ground on Mt. Everest

by Kunikazu Noguchi[*1], Masaharu Okano[*2] and Itsuro Kudo[*1]

Abstract : Measurement data on the exposure rate and the 1cm dose equivalent rate stemming from gamma radiation from the ground were obtained at altitudes from 4,450m to 6,350m on and around Mt. Everest. From the results, it was found that the exposure rate has a maximum in the vicinity of altitude 5,280m and a minimum in the vicinity of altitude 6,000m. As a result of decomposing the exposure rate stemming from gamma radiation from the ground into its various components, it became clear that the cause of the maximum in the exposure rate in the vicinity of altitude 5,280m is that the exposure rates stemming from ^{40}K and radionuclides of the ^{238}U series both reach their maxima (at least among the values at the points measured here) at that altitude. It also became clear that the cause of the minimum exposure rate in the vicinity of 6,000m is that the exposure rates stemming from ^{40}K and radionuclides of the ^{238}U series both reach their minima (at least among the values at the points measured here) at this altitude, while the exposure rate stemming from radionuclides of the ^{232}Th series reaches its 2nd lowest value among the points measured here.

要旨：エベレストとその周辺地域において、標高4,450～6,350mまでの大地からのガンマ線に起因する照射線量率と1cm線量当量率に関する実測データを得た。この結果、線量率は標高5,280m付近で最大値、標高6,000m付近で最小値になることがわかった。大地からのガンマ線に起因する線量率を各成分ごとに分離した結果、標高5,280m付近で線量率が最大値になった原因は、カリウム40およびウラン系列核種に起因する線量率がともに測定地点のなかで最も高いことによるものであることが明らかになった。また、標高6,000mで線量率が最小値になった原因は、カリウム40およびウラン系列核種に起因する線量率がともに測定地点のなかで最も低く、トリウム系列核種に起因する線量率が測定地点のなかで2番目に低いことによるものであることも明らかになった。

1．はじめに

人類は、その誕生以来ずっとさまざまな種類の自然放射線にさらされてきた。自然放射線の特徴は、これが世界中のすべての人びとにかかわるものであり、また長期間にわたって人

[*1] 日本大学歯学部. School of Dentistry, Nihon University.
[*2] (財)放射線影響協会. Radiation Effects Association.

類全体にほぼ一定の線量率で寄与してきたということである。

人類全体に対する集団線量は、現在でもなお人工放射線より自然放射線の方がはるかに大きな寄与をすることがわかっているため、自然放射線から受ける人間の被曝線量を見積ることは特に重要なことである。また、自然放射線の強度は場所によって大きく異なるため、場所によってどれだけ異なるのかという調査・研究は非常に興味深いものである。

自然放射線の線源としては、体外線源と体内線源とに大別することができる。体外線源は主として

(1) 地殻中に含まれる天然放射性核種
(2) 建築材料中に含まれる天然放射性核種
(3) 地球の外部から大気中に入射する一次宇宙線が大気を構成するチッ素や酸素などの原子核と相互作用をした結果生ずる二次宇宙線

がある。一方、体内線源は人体中に取り込まれた天然放射性核種である。

1995年3月末～5月上旬にかけて、筆者らのひとりである野口邦和は「日本大学エベレスト登山隊・1995」の学術調査隊員としてエベレスト（8,848m）およびその周辺の放射線測定をする機会に恵まれた。もっとも、実際に測定した標高は最高でも約6,350mまででであった。実際には二次宇宙線の中性子成分、二次宇宙線の電離成分、大地の天然放射性核種によるガンマ線のそれぞれについて複数の測定器を用いて測定を行ったが、ここでは球形NaI(Tl)シンチレーション検出器による天然放射性核種に起因する大地からのガンマ線の測定結果について報告する。エベレストでの実測例はほとんどなく、この点で実測データに大きな関心が寄せられている。

2．測定および解析

エベレストにおける測定は1995年4～5月上旬に行われた。以下に記す放射線測定器（全重量は約12kg）をリュックサックに入れて背中に背負い、標高6,350mの前進基地から5,150mのベース・キャンプへの下山中はずっと連続移動測定を行った。また、標高6,350mの前進基地、6,000mの第2キャンプ、5,500mの第1キャンプ、5,150mのベース・キャンプ、4,450mのチョゾン村を含め計9地点では定点測定を行った。定点測定の位置および連続移動測定のルートを図3-5-1に示す。

天然放射性核種に起因するガンマ線の測定は、76.4mmの球形NaI(Tl)シンチレーション検出器、1,024チャンネル波高分析器および2トラックオーディオ・テープレコーダからなる可搬型ガンマ線スペクトロメータ（アロカ㈱製）[1),2)]を用いて行った。電源は単1アルカリ電池を使用した。データの収録には、市販のオーディオ・カセットテープ（90分用）を使用した。

球形NaI(Tl)シンチレーション検出器は感度と方向特性がともに優れており、環境ガン

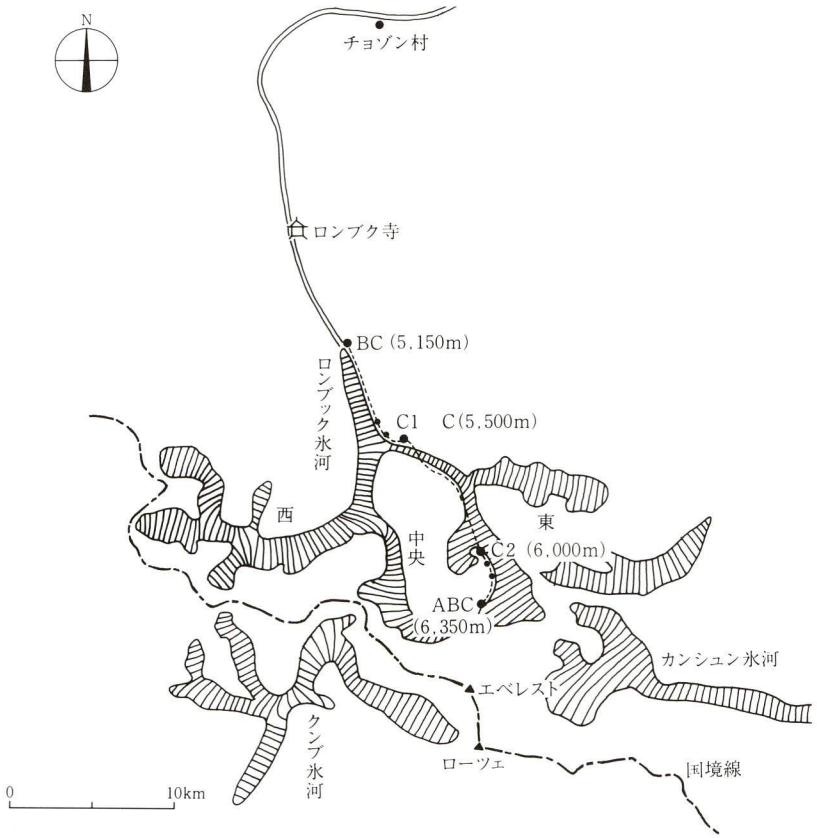


図3-5-1　エベレストにおける定点測定の位置と連続移動測定のルート

Fig. 3-5-1　Positions of fixed point measurements and routes of continuous moving measurements on Mt. Everest.

マ線測定などに広く用いられている。なお、実際に用いた球形NaI(Tl) シンチレーション検出器は標高6,000m以上の高度での使用にも耐え得るように作成した低温低気圧用の特注品（応用光研工業㈱製、S－2221型）で、分解能はセシウム137の661.65keVのガンマ線に対して約7.8%（24℃および－20℃において）である。

解析は、収録されたデータを専用のインターフェイスを通して15分間の集積スペクトルとして再生処理し、ピーリングオフ（ストリッピング）法[3]によって行った。定点では通常45分間の測定を行っているので、1地点につき3個の集積スペクトルのデータが得られるため、これらの平均をその地点のデータとした。連続移動測定のデータは、15分間の最初と最後の気圧および高度の中間値を、おのおのその気圧および高度とした。

なお、照射線量の単位は従来のデータとの比較を容易にする意味で、敢えて旧単位であるRで表示した。現単位であるC／kgに換算する場合には、$1\,R=2.58\times10^{-4}$C／kgを用いて、

照射線量率（C／kg）／hを求められたい。

3．結果および考察

天然放射性核種に起因する大地からのガンマ線の照射線量率（μR／h）および1㎝線量当量率（nSv／h）の定点測定の結果を表3-5-1に示す。表3-5-1から明かなように、大地からのガンマ線の線量率は高度とは無関係で、第1キャンプ～ベース・キャンプ間の標高5,280ｍで最大値となり、18,63μR／h、198.3nSv／hであった。また第2キャンプ（6,000ｍ）で最小値となり、6.76μR／h、71.0nSv／hであった。

全照射線量率をカリウム40、ウラン系列核種、トリウム系列核種の3つに分離した結果を表3-5-2に示した。これより、第1キャンプ～ベース・キャンプ間で全照射線量率が最大値となった原因は、カリウム40およびウラン系列核種に起因する線量率がともに表3-5-2のなかで最も高いことによるものであることがわかる。

また、第2キャンプで全照射線量率が最小値となった原因は、カリウム40およびウラン系列核種に起因する線量率がすべて表3-5-2のなかで最も低く、トリウム系列核種に起因する線量率が表3-5-2のなかで2番目に低いことによるものであることがわかる。前進基地～第2キャンプ間の全照射線量率が第2キャンプに次いで低い原因は、カリウム40とウラン系列核種に起因する線量率が第2キャンプに次いで低いからであることもわかった。

表3-5-2を見る限り、第2キャンプおよび前進基地～第2キャンプ間の大地におけるカリウム40とウラン系列核種の線量率が他の地点と比べると明らかに低いことがわかる。実際、他の地点の大地は花崗岩質の岩石が散乱していたが、第2キャンプおよび前進基地～第2

表3-5-1 大地からのガンマ線の照射線量率と1㎝線量当量率（定点測定）

Table. 3-5-1 Exposure rate and 1cm dose equivalent rate due to gamma radiation from the ground (fixed point measurement).

高　度 (m)	照射線量率 (μR/h)	1 cm 線量当量率 (nSv/h)	備　　考
6,350	14.27	147.4	ＡＢＣ
6,140	8.35	87.7	ＡＢＣ～Ｃ２間
6,030	8.18	86.0	ＡＢＣ～Ｃ２間
6,000	6.76	71.0	Ｃ２
5,500	16.70	178.0	Ｃ１
5,390	16.95	180.3	Ｃ１～ＢＣ間
5,280	18.63	198.3	Ｃ１～ＢＣ間
5,150	15.05	160.3	ＢＣ
4,450	12.85	136.7	チョゾン村

（注）ＢＣはベース・キャンプ、Ｃ１は第１キャンプ、Ｃ２は第２キャンプ、ＡＢＣは前進基地を意味する。

表3-5-2　大地からのガンマ線の照射線量率（定点測定）
Table. 3-5-2　Exposure rate due to gamma radiation from the ground (fixed point measurement).

高　度 (m)	カリウム40 (μR/h)	ウラン系列 (μR/h)	トリウム系列 (μR/h)	備　　考
6,350	5.24	2.37	7.44	ＡＢＣ
6,140	3.53	1.13	4.26	ＡＢＣ～Ｃ２間
6,030	3.40	0.91	4.56	ＡＢＣ～Ｃ２間
6,000	2.78	0.94	3.61	Ｃ２
5,500	5.94	3.56	6.79	Ｃ１
5,390	5.57	4.87	6.35	Ｃ１～ＢＣ間
5,280	6.60	7.80	4.15	Ｃ１～ＢＣ間
5,150	5.61	4.04	5.00	ＢＣ
4,450	5.52	2.58	4.65	チョゾン村

（注）ＢＣはベース・キャンプ、Ｃ１は第１キャンプ、Ｃ２は第２キャンプ、ＡＢＣは前進基地を意味する。

キャンプ間の大地には花崗岩質の岩石はほとんどなく、むしろ堆積岩（特に黒色の泥岩）がかなり散乱していた。

一般的にいって、花崗岩中のカリウム40、ウラン系列核種、トリウム系列核種の濃度は堆積岩中の濃度よりも数倍以上高い。大地を構成する岩石の違いが、これらの天然放射性核種の濃度の違いを反映しているものと考えられる。なお、本研究では照射線量率で表示したが、pCi／g 単位で天然放射性核種の放射能濃度を表示しようとする場合には、次の換算係数を用いて放射能濃度を算出されたい。

カリウム40：0.18(μR／h)／(pCi／g)
ウラン系列核種：1.82(μR／h)／(pCi／g)
トリウム系列核種：2.82(μR／h)／(pCi／g)

上記の換算係数は、大地の鉛直方向に均等に天然放射性核種が分布し、且つウラン系列およびトリウム系列は永続平衡が成り立っていると仮定して求められたものである[4)]。

次に、大地からのガンマ線の照射線量率と１㎝線量当量率の連続移動測定結果を表3-5-3に示す。高度は15分間の最初と最後の気圧および高度の中間値を使っているため、定点測定に比べると気圧および高度の不確定さが大きいが、合計25個のデータとなるため、それなりに貴重なデータであると思われる。ただし、データの数が多い割には標高差は約860ｍと小さい。

当然のことながら、大地からのガンマ線の照射線量率は高度とは無関係である。また、前進基地～第２キャンプ間および第１キャンプ～ベース・キャンプ間の標高約6,100～5,800ｍの範囲で照射線量率が他の地点と比べて低くなっていることがわかる。この結果は定点測定

表3-5-3 大地からのガンマ線の照射線量率と1cm線量当量率（連続移動測定）

Table. 3-5-3 Exposure rate and 1cm dose equivalent rate due to gamma radiation from the ground (continuous moving measurement).

高　度 (m)	照射線量率 (μR/h)	1cm線量当量率 (nSv/h)	備　　考
6,110	6.06	64.5	ＡＢＣ～Ｃ２間
6,060	5.89	62.5	ＡＢＣ～Ｃ２間
6,030	6.51	69.2	Ｃ２～Ｃ１間
6,000	10.56	111.9	Ｃ２～Ｃ１間
5,970	11.59	122.6	Ｃ２～Ｃ１間
5,940	9.77	103.6	Ｃ２～Ｃ１間
5,870	8.75	93.2	Ｃ２～Ｃ１間
5,830	9.93	106.1	Ｃ２～Ｃ１間
5,810	10.46	111.8	Ｃ２～Ｃ１間
5,760	12.61	134.8	Ｃ２～Ｃ１間
5,720	15.91	170.5	Ｃ２～Ｃ１間
5,690	17.36	186.3	Ｃ２～Ｃ１間
5,640	17.13	184.0	Ｃ２～Ｃ１間
5,610	16.40	175.9	Ｃ２～Ｃ１間
5,580	17.31	185.7	Ｃ２～Ｃ１間
5,550	17.13	183.9	Ｃ２～Ｃ１間
5,530	15.94	171.2	Ｃ２～Ｃ１間
5,480	17.11	183.4	Ｃ２～Ｃ１間
5,550	14.84	159.2	Ｃ１～ＢＣ間
5,470	14.41	154.4	Ｃ１～ＢＣ間
5,400	16.63	177.8	Ｃ１～ＢＣ間
5,360	17.91	191.9	Ｃ１～ＢＣ間
5,330	18.15	194.8	Ｃ１～ＢＣ間
5,300	18.90	202.5	Ｃ１～ＢＣ間
5,250	16.77	179.8	Ｃ１～ＢＣ間

（注）連続移動測定の場合も、照射線量率をカリウム40、ウラン系列核種、トリウム系列核種の３つに分離して求めてあるが、本報告においては掲載を省略した。

の結果と矛盾のないものである。さらに、第２キャンプ～第１キャンプ間の標高5,300ｍ付近で照射線量率が最大値になっているが、この結果も定点測定の結果とまったく矛盾のないものである。

4．まとめ

エベレストとその周辺地域において、標高4,450～6,350ｍまでの大地からのガンマ線の照射線量率と１㎝線量当量率の変化に関する実測データを得た。この結果、照射線量率は第１キャンプ～ベース・キャンプ間で最大値、第２キャンプで最小値になることがわかった。大地からのガンマ線に起因する線量率を各成分ごとに分離した結果、第１キャンプ～ベース・

キャンプ間で照射線量率が最大値になった原因は、カリウム40およびウラン系列核種に起因する線量率がともに測定地点のなかで最も高いことに起因するものであることが明らかになった。また、第2キャンプで照射線量率が最小値になった原因は、カリウム40およびウラン系列核種に起因する線量率が測定地点のなかで最も低く、トリウム系列核種に起因する線量率が測定地点のなかで2番目に低いことによるものであることも明らかになった。さらに、上記の結果は、当然のことながら連続移動測定の結果ともよく一致していた。

参考文献

1) Okano, M., Izumo, K., Kumagai, H., Kato, T., Nishida, M., Hamada, T. and Kodama, M.: "Natural Radiation Environment III", (Gesell, T. F. and Lowder, W. M. eds.), pp 896-911, Technical Information Center, US Department of Energy (1980)
2) 熊谷秀和、岡野眞治：理研報告、第58巻、1－10（1982）
3) 科学技術庁："空間γ線スペクトル分析法"、放射能測定シリーズ20、日本分析センター（1990）
4) 藤高和信：保健物理、第21巻、295－308（1986）

3.6　高地チベット人民家の屋内外の放射線量率の測定

野口邦和[*1]・岡野眞治[*2]・工藤逸郎[*1]

3.6　Measurements of Radiation Intensity Inside and Outside a Highland Tibetan Private House

by Kunikazu Noguchi[*1], Masaharu Okano[*2] and Itsuro Kudo[*1]

Abstract： The radiation exposure rate was measured inside and outside a private house in the Tibetan Autonomous Region of China. As far as can be seen from the gamma ray exposure rate and the cosmic ray exposure rate, the indoor exposure rates can be classified into 3 groups: on the 2nd floor, at the entrance to the 1st floor and in the rest of the 1st floor. In the 1st group, the mean gamma ray exposure rate was 17.50 μR/h and the mean cosmic ray exposure rate 15.81 μR/h. In the 3rd group, the mean gamma ray exposure rate was 20.48 μR/h, and the mean cosmic ray exposure rate 10.62 μR/h. The reason why the gamma ray exposure rate was higher in the 3rd group than in the 1st group is believed to be that the round stones of which the 1st floor walls are made have a higher concentration of natural radionuclides than the earth of which the 2nd floor walls are made. The reason why the cosmic ray exposure rate in the 3rd group is lower than that in the 1st group is believed to be that cosmic rays are cut off by the construction materials. Both the gamma ray exposure rate and the cosmic ray exposure rate in the 2nd group are about midway between those of the 1st group and the 3rd group. The mean 1cm dose equivalent rates of neutron rays were 31.8nSv/h indoors and 41.4nSv/h outdoors in the town square. The reason why the 1cm dose equivalent rate indoors was about 23% lower than that in the town square is believed to be shielding by the construction materials.

要旨： 中国チベット自治区の民家の屋内外の放射線量率の測定を行った。ガンマ線線量率と宇宙線線量率を見る限り、屋内線量率は3群に分類できた。すなわち、第1群は2階部分、第2群は1階入口の部屋、第3群はその他の1階部分である。第1群の平均ガンマ線線量率は17.50 μR／h、平均宇宙線線量率は15.81 μR／hであった。一方、第3群の平均ガンマ線線量率は20.48 μR／h、平均宇宙線線量率は10.62 μR／hであった。第3群のガンマ線線量率が第1群より高かったのは丸石（1階の壁材）が土（2階の壁材）よりも天然放射性核種の濃度が高かったからだと考えることができた。また、第3群の宇宙線線量率が第1群より低かったのは宇宙線が建築材料によって余分に遮蔽されたからだと考えることができた。第2群はガンマ線線量率および宇宙線線量率ともに第1群および第3群のほぼ中間の値であった。中性子線の平均1㎝線量当量率は屋内が31.8、広場が41.4nSv／hであった。広場に比べて屋内の1㎝線量当量率が約23％低いのは建築物の遮蔽によるものであると考えることができた。

[*1] 日本大学歯学部. School of Dentistry, Nihon University.
[*2] (財)放射線影響協会. Radiation Effects Association.

１．はじめに

自然界に存在する放射線を自然放射線というが、自然放射線の強度は場所によって異なることが知られている。その原因は主としてその場所の地質や高度の違いによる。すなわち、大地に含まれる天然放射性核種であるカリウム40、ウラン系列核種およびトリウム系列核種の放射能濃度が高くなるほど、自然放射線の強度は大きくなる。また、高度が高くなるほど、宇宙線が増えるために自然放射線の強度は大きくなる。

人は生活時間の約70～80％を建築物のなかで過ごしている。したがって、自然放射線による被曝線量を評価するためには、大地や宇宙線の影響に加えて建築物の影響を十分に考慮する必要がある。人が建築物のなかで被曝する放射線としては、主として

(1)　建築物の壁、床、天井などの建築材料のなかに含まれる天然放射性核種の放出する放射線

(2)　宇宙線

(3)　建築物の建っている大地に含まれる天然放射性核種の放出する放射線

の３つが考えられる。

自然放射線による国民の平均被曝線量ひいては人類全体の平均被曝線量を推定する立場から、世界各国の建築物とりわけ家屋内外の放射線量率の測定が各国で行われている。日本でも数多くの研究者によって、自然放射線による国民の平均被曝線量を推定する立場から、建築物内外の放射線量率に関する調査・研究がすすめられている[1)～3)]。しかし、中国チベット自治区の建築物については、こうした調査・研究はほとんどない。

本研究は、世界各国の建築物とりわけ家屋内外の放射線量率に関する調査・研究をすすめる立場から中国チベット自治区の民家の家屋内外の放射線量率を測定したものである。

２．測定および解析

2.1　測定場所

標高4,450ｍのチョゾン村（人口約250人）の１民家を測定対象として選択した。この村および民家を選択した理由は、

(1)　ベース・キャンプから自動車で約１時間20分ほどの比較的近い場所にあり測定しやすかったこと

(2)　民家はすべて土と石を建築材料とした典型的なチベットの建物であったこと

(3)　日本大学エベレスト登山隊の神宮太・学術調査隊員（日本大学理工学部建築学科院生）によってこの民家が建築学的視点から詳しく調査されていたこと

などである。なお、図3-6-1にこの民家の間取りを示す[4)]。外観からこの民家の建築材料を判断する限り、壁材には１階各部屋で丸石と土、２階各部屋では土が使われていた。なお、

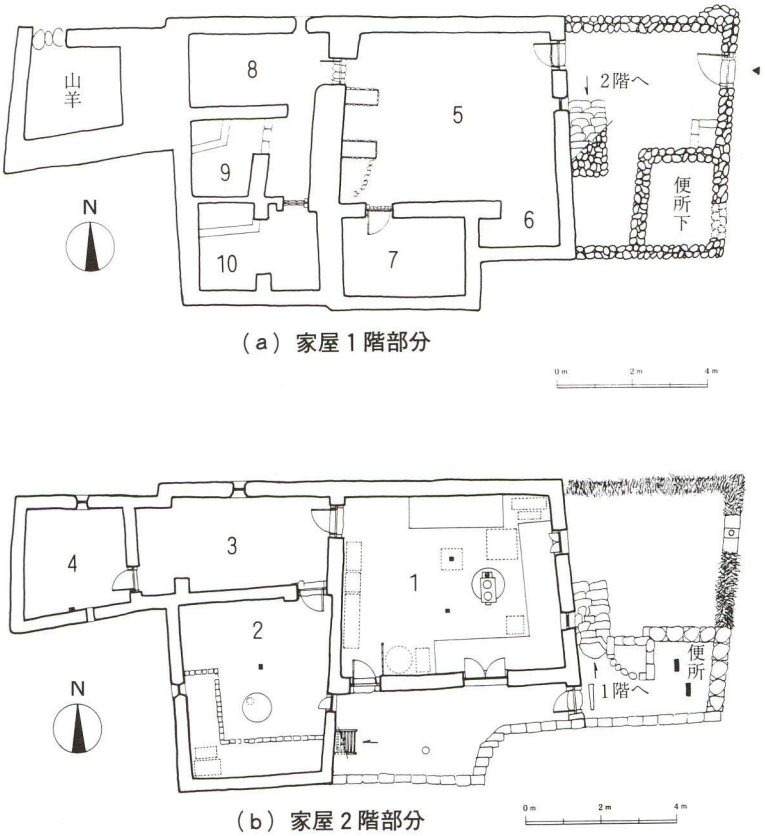


図3-6-1 チベット人民家の間取り[4)]
Fig. 3-6-1 Plan of a private Tibetan house.
(注) 図中の数字は部屋番号を示す。

測定はすべて1995年5月4～5日にかけて行われた。

2.2 電離成分の照射線量率の測定

電離成分すなわちカリウム40、ウラン系列核種、トリウム系列核種の放出するガンマ線および宇宙線電離成分の波高分布測定には、直径76.4㎜の球形NaI(Tl) シンチレーション検出器、1,024チャンネル波高分析器および2トラックオーディオ・テープレコーダからなる可搬型ガンマ線スペクトロメータ（アロカ㈱製）[5),6)]を用いて行った。電源は単1アルカリ電池を使用した。データの収録には、市販のオーディオ・カセットテープ（90分用）を使用した。

球形NaI(Tl) シンチレーション検出器は感度と方向特性がともに優れており、環境ガン

マ線測定などに広く用いられている。なお、実際に用いた球形NaI(Tl) シンチレーション検出器は標高6,000m以上の高度での使用にも耐え得るように作成した低温低気圧用の特注品（応用光研工業㈱製、S－2221型）で、分解能はセシウム137の661.65keVのガンマ線に対して約7.8%（24℃および－20℃において）である。

解析は、収録されたデータを専用のインターフェイスを通して15分間の集積スペクトルとして再生処理し、ピーリングオフ（ストリッピング）法[7]によって行った。なお、宇宙線電離成分の強度は、3,000keV以上の計数率に対し、上記測定器と電離箱との比較測定によって求められた換算係数を用いて宇宙線電離成分による照射線量率（厳密には照射線量率等価量）として算出した。

2.3　中性子成分の1㎝線量当量率の測定

宇宙線の中性子成分の線量率の測定は中性子サーベイメータ（TPS－451S、アロカ㈱製）を用いた。このサーベイメータは^{3}He比例計数管を検出器に用い、熱中性子から約15,000keVまでの広いエネルギー範囲で1㎝線量当量率を測定できるようになっている。また、方向依存性も優れている。測定は各点を40～60分ほど積算線量として求め、これより線量率を求めた。

3．結果と考察

3.1　電離成分の照射線量率レベル

チョゾン村の民家の10部屋（羊小屋として使っている部屋を除く）、民家周辺の通りおよび広場の測定結果を表3-6-1に示す。天然放射性核種に起因するガンマ線線量率と宇宙線線量率を合計した全線量率は、民家の屋内で30.54～33.77μR／h、民家周辺の通りで30.29～33.21μR／h、広場では30.10μR／hという値を示し、大差はなかった。しかし、ガンマ線線量率と宇宙線線量率を分離して見てみると、その割合は大きく異なることがわかる。

先ず、広場のガンマ線線量率は12.83μR／hで、測定したなかでは最小の値であった。また、宇宙線線量率は17.27μR／hで、測定したなかで最大の値であった。測定したのは1カ所だけであるが、チョゾン村の他の場所でも同様の値であるとすると、これらの値はチョゾン村の地表面のガンマ線線量率および宇宙線線量率を表しているといえる。

次に、10部屋のガンマ線線量率と宇宙線線量率を見ると、3群に分類できることがわかる。すなわち、第1群は部屋1～4、第2群は部屋5、第3群は部屋7～10である。第1群は2階にある4つの部屋で、ガンマ線線量率は16.86～18.21μR／h（平均17.50±0.55μR／h）、宇宙線線量率は15.37～16.19μR／h（平均15.81±0.40μR／h）である。一方、第3群は1階にある4つの部屋で、ガンマ線線量率は20.01～21.05μR／h（平均20.48±0.54μR／h）、宇宙線線量率は10.42～10.83μR／h（平均10.62±0.18μR／h）である。第1群と比

表3-6-1 チベット人民家の屋内外の照射線量率（電離成分）

Table. 3-6-1 Exposure rate inside and outside a private Tibetan house (ionizing component).

場　所	γ線線量率 (μR/h)	宇宙線線量率 (μR/h)	全線量率 (μR/h)
部屋1	16.86	16.10	32.96
部屋2	17.47	16.19	33.66
部屋3	17.47	15,37	32.84
部屋4	18.21	15.56	33.77
部屋5	18.67	12.81	31.48
部屋6	——	——	——
部屋7	21.05	10.42	31.47
部屋8	20.01	10.71	30.72
部屋9	20.02	10.52	30.54
部屋10	20.82	10.83	31.65
通り1	16.26	16.96	33.21
通り2	14.58	15.71	30.29
広　場	12.83	17.27	30.10

（注）人が主として居住しているのは部屋番号1および2で、部屋3～10は物置として使われていた。部屋6は麦ワラで一杯になっていたため測定できなかった。

べると第3群はガンマ線線量率が約17%高く、宇宙線線量率が約33%低い。第3群のガンマ線線量率が第1群より高かったのは丸石（1階の壁材）が土（2階の壁材）よりも天然放射性核種の濃度が高かったからだと考えることができる。また、第3群の宇宙線線量率が第1群より低かったのは宇宙線が建築材料によって余分に遮蔽されたからだと考えることができる。第2群の部屋5は1階入口を入ってすぐの部屋であるが、ガンマ線線量率および宇宙線線量率ともに第1群および第3群のほぼ中間の値であった。これは、1階入口ドアが木材でできていること、および1階入口部分の壁材が丸石ではなく土でできていたからであると考えることができる。

民家周辺の通りはガンマ線線量率が広場より高く、民家屋内より低かった。また、宇宙線線量率は広場より低く、民家屋内より高かった。これは民家の塀（丸石）や建物の影響であると考えることができる。すなわち、天然放射性核種の濃度が広場より高い建築材料でできている塀や建物の影響を受けて、通りのガンマ線線量率が広場よりも高くなった。そして、塀や建物の遮蔽効果によって宇宙線線量率が広場よりも低くなったと考えることができる。

3.2 中性子成分の1cm線量当量率レベル

チョゾン村の民家2階の4部屋および広場の測定結果を表3-6-2に示す。2階の4部屋のみを測定対象にしたのは、

表3-6-2　チベット人民家の屋内外の1㎝線量当量率（中性子成分）
Table. 3-6-2　1cm dose equivalent rate inside and outside a private Tibetan house (neutron component).

場　所	1 cm 線量当量率 (nSv/h)
部屋1	26.0
部屋2	31.5
部屋3	37.9
部屋4	31.6
広　場	41.4

(1)　人が居住しているのは2階部分（主として部屋1および2）であること
(2)　1泊2日という日程上の制約から1階部分の測定ができなかったこと
などによる。

中性子線の1㎝線量当量率は屋内が26.0～37.9nSv／h（平均31.8±4.9nSv／h）、広場が41.4nSv／hであった。広場に比べて屋内の1㎝線量当量率がおよそ23％低いのは建築物の遮蔽によるものである。おそらくは1階部分の各部屋では、より一層1㎝線量当量率が低くなっているものと思われる。

3.3　ガンマ線の照射線量率の核種別割合

天然放射性核種に起因するガンマ線線量率をカリウム40、ウラン系列核種、トリウム系列核種に分離した、チョゾン村の民家の10部屋、民家周辺の通りおよび広場の計算結果を表3-6-3に示す。

先ず、広場はカリウム40が5.44μR／h、ウラン系列核種が2.56μR／h、トリウム系列核種が4.59μR／hであった。

次に、10部屋について見ると、部屋1～4（第1群）、部屋5（第2群）、部屋7～10（第3群）の3群に分類できることがわかる。2階にある4つの部屋の第1群はカリウム40が6.76～7.53μR／h（平均7.11±0.32μR／h）、ウラン系列核種が2.37～3.58μR／h（平均3.01±0.61μR／h）、トリウム系列核種が7.01～7.58μR／h（平均7.31±0.23μR／h）であった。これに対して、1階にある4つの部屋の第3群はカリウム40が8.22～9.15μR／h（平均8.72±0.46μR／h）、ウラン系列核種が4.10～5.18μR／h（平均4.77±0.47μR／h）、トリウム系列核種が6.18～7.37μR／h（平均6.64±0.52μR／h）であった。第1群と比べると第3群はカリウム40が約23％高く、ウラン系列核種が約58％高く、トリウム系列核種が

表3-6-3 チベット人民家の屋内外のγ線線量率および各成分のγ線線量率

Table. 3-6-3 Total gamma ray exposure rate and gamma ray exposure rates due to each component inside and outside a private Tibetan house.

場　所	γ線線量率 (μR/h)	カリウム40 (μR/h)	ウラン系列 (μR/h)	トリウム系列 (μR/h)
部屋1	16.70	6.76	2.37	7.58
部屋2	17.48	7.05	3.09	7.34
部屋3	17.70	7.11	3.58	7.01
部屋4	18.20	7.53	3.34	7.32
部屋5	18.38	8.05	3.27	7.06
部屋6	——	——	——	——
部屋7	20.82	9.06	5.18	6.58
部屋8	19.50	8.45	4.88	6.18
部屋9	19.55	8.22	4.93	6.41
部屋10	20.61	9.15	4.10	7.37
通り1	16.31	7.36	3.46	5.49
通り2	14.83	5.87	2.30	6.67
広　場	12.59	5.44	2.56	4.59

(注) γ線線量率の値は、カリウム40、ウラン系列およびトリウム系列の照射線量率の和である。なお、解析上の誤差により、*Table. 3-6-1* のγ線線量率の値と必らずしも一致はしていない。

約9％低かった。これらの違いは建築材料の違いによるものであると考えることができる。

部屋5の第2群は1群および第3群のほぼ中間の値であるが、電離成分の線量率レベルのときほど顕著な違いはなく、第1群に含めることもできると思うが、敢えて第2群としたに過ぎない。

民家周辺の通りは、カリウム40、ウラン系列核種、トリウム系列核種に起因する線量率がおのおの広場より高く、民家屋内より低かった。これは民家の塀や建物の影響であると考えることができる。

4．結　語

中国チベット自治区の民家の屋内外の放射線量率の測定を行い、次のような結論を得た。

(1) 屋外のガンマ線線量率は12.83μR／h、宇宙線線量率は17.27μR／hであった。

(2) ガンマ線線量率と宇宙線線量率を見る限り、屋内線量率は3群に分類できた。すなわち、第1群は2階部分、第2群は1階入口の部屋、第3群はその他の1階部分である。第1群の平均ガンマ線線量率は17.50μR／h、平均宇宙線線量率は15.81μR／hであった。一方、第3群はの平均ガンマ線線量率は20.48μR／h、平均宇宙線線量率は10.62μR／hであった。第3群のガンマ線線量率が第1群より高かったのは丸石（1階の壁

材）が土（2階の壁材）よりも天然放射性核種の濃度が高かったからだと考えることができた。また、第3群の宇宙線線量率が第1群より低かったのは宇宙線が建築材料によって余分に遮蔽されたからだと考えることができた。第2群はガンマ線線量率および宇宙線線量率ともに第1群および第3群のほぼ中間の値であった。

(3) 中性子線の平均1㎝線量当量率は屋内が31.8、広場が41.4nSv／hであった。広場に比べて屋内の1㎝線量当量率が約23％低いのは建築物の遮蔽によるものである。1階部分の各部屋では、2階部分の各部屋ではよりいっそう平均1㎝線量当量率が低くなっているものと推察された。

(4) 屋外の大地のなかの天然放射性核種に起因する線量率はカリウム40が5.44μR／h、ウラン系列核種が2.56μR／h、トリウム系列核種が4.59μR／hであった。

(5) 第1群の平均線量率はカリウム40が7.11μR／h、ウラン系列核種が3.01μR／h、トリウム系列核種が7.31μR／hであった。これに対して、第3群はカリウム40が8.72μR／h、ウラン系列核種が4.77μR／h、トリウム系列核種が6.64μR／hであった。第1群と比べると第3群はカリウム40が約23％高く、ウラン系列核種が約58％高く、トリウム系列核種が約9％低かった。これらの違いは建築材料の違いによる。第2群は1群および第3群のほぼ中間の値であった。

(6) 民家周辺の通りは、カリウム40、ウラン系列核種、トリウム系列核種に起因する線量率がおのおの広場より高く、民家屋内より低かった。これは民家の塀や建物の影響であると推察された。一方、民家周辺の通りの宇宙線は、電離成分および中性子成分ともに広場より低く、民家屋内より高かった。これは塀および建築物による遮蔽の違いによるものであると推察された。

参考文献

1) 阿部史朗：保健物理、第17巻、169－193（1982）
2) 古川雅英、松本雅紀、床次眞司、藤高和信、岡野眞治：Radioisotopes、第44巻、19－22（1995）
3) 松本雅紀、古川雅英、床次眞司、藤高和信、中村尚司：Radioisotopes、第44巻、33－38（1995）
4) 神宮太、片桐正夫：“日本大学エベレスト登山隊･1995 学術調査報告書”、第5章（1996）
5) Okano, M., Izumo, K., Kumagai, H., Kato, T., Nishida, M., Hamada, T. and Kodama, M.: “Natural Radiation Environment III”, (Gesell, T. F. and Lowder, W. M. eds.), pp 896-911, Technical Information Center, US Department of Energy (1980)
6) 熊谷秀和、岡野眞治：理研報告、第58巻、1－10（1982）
7) 科学技術庁：“空間γ線スペクトル分析法”、放射能測定シリーズ20、日本分析センター（1990）

3.7　ホテル・ヒマラヤと高地チベット人民家の屋内外の放射線量率の比較

野口邦和[*1]・岡野眞治[*2]・工藤逸郎[*1]

3.7　Comparison of Radiation Intensity Inside and Outside between a Highland Tibetan Private House and the Hotel Himalaya

by Kunikazu Noguchi[*1], Masaharu Okano[*2] and Itsuro Kudo[*1]

Abstract：In the courtyard of the Hotel Himalaya in Kathmandu, we measured the exposure rate of gamma rays to be 12.53 μR/h, and the exposure rate of the ionizing component of cosmic rays to be 4.64 μR/h, for a total exposure dose rate of 17.16 μR/h, Meanwhile, outside a private Tibetan house in Chodzong Village we measured the exposure rate of gamma rays to be 12.83 μR/h and the exposure rate of cosmic rays to be 17.27 μR/h, for a total exposure dose rate of 30.10 μR/h. The difference between the cosmic ray exposure rates at the two locations is due to the difference in altitude.

Comparing measurements in a guest room of the Hotel Himalaya with measurements inside the private Tibetan house, in the latter case the gamma ray exposure rate was about 16% higher, the exposure rate of the ionizing component of cosmic rays was about 3 to 4.5 times higher, and the total exposure dose rate was about 62% higher. The difference in the gamma ray exposure rates is mainly due to the different concentrations of natural radionuclides in the construction materials used in the two cases. The difference in the cosmic ray exposure rate, which had a large effect on the difference in total exposure rates, was due to the difference in altitude.

要旨：ホテル・ヒマラヤの庭のガンマ線線量率は12.53 μR／h、宇宙線電離成分の線量率は4.64 μR／h、全線量率は17.16 μR／hであった。一方、チョゾン村チベット人民家屋外のガンマ線線量率は12.83 μR／h、宇宙線線量率は17.27 μR／h、全線量率は30.10 μR／hであった。両者の宇宙線線量率の違いは高度の違いによる。ホテル・ヒマラヤの客室とチベット人民家とを比べると、後者の方が前者よりガンマ線線量率が約16%、宇宙線電離成分の線量率が約3～4.5倍、全線量率が約62%高い。ガンマ線線量率の違いは主として両者の建築材料に含まれる天然放射性核種の濃度の違いによるものである。また、両者の宇宙線線量率の違いは標高の違いによるもので、これが全線量率の違いに大きく反映している。

1．はじめに

自然界に存在する放射線を自然放射線というが、自然放射線の強度は場所によって異なることが知られている。その原因は主としてその場所の地質や高度の違いによる。すなわち、

[*1] 日本大学歯学部. School of Dentistry, Nihon University.
[*2] (財)放射線影響協会. Radiation Effects Association.

大地に含まれる天然放射性核種であるカリウム40、ウラン系列核種およびトリウム系列核種の放射能濃度が高くなるほど、自然放射線の強度は大きくなる。また、高度が高くなるほど、宇宙線が増えるため自然放射線の強度は大きくなる。

人は生活時間の約70～80％を建築物のなかで過ごしている。したがって、自然放射線による被曝線量を評価するためには、大地や宇宙線の影響に加えて建築物の影響を十分に考慮する必要がある。人が建築物のなかで被曝する放射線としては、主として

(1)　建築物の壁、床、天井などの建築材料に含まれる天然放射性核種の放出する放射線

(2)　宇宙線

(3)　建築物の建っている大地に含まれる天然放射性核種の放出する放射線

の3つが考えられる。

自然放射線による国民の平均被曝線量ひいては人類全体の平均被曝線量を推定する立場から、世界各国の建築物とりわけ家屋内外の線量率の測定が各国で行われている。日本でも数多くの研究者によって、自然放射線による国民の平均被曝線量を推定する立場から、建築物内外の線量率に関する調査・研究がすすめられている[1)～3)]。

本研究は、世界各国の建築物とりわけ家屋内外の線量率に関する調査・研究をすすめる立場から、ネパールの首都カトマンズにあるホテル・ヒマラヤおよび中国チベット自治区の民家の屋内外の線量率を測定し、比較・検討したものである。

2．測　　定

2.1　測定場所

ネパールの首都カトマンズは標高1,350ｍのところに位置する人口約100万人の都市である。カトマンズにあるホテル・ヒマラヤを測定場所として選択した特別な理由はなく、可能ならばネパール人民家を測定場所に選択したかった。しかし、「日本大学エベレスト登山隊・1995」の学術調査隊員として参加したため、日程上の調整がつかず、同登山隊の滞在したホテル・ヒマラヤを測定場所として選択したに過ぎない。

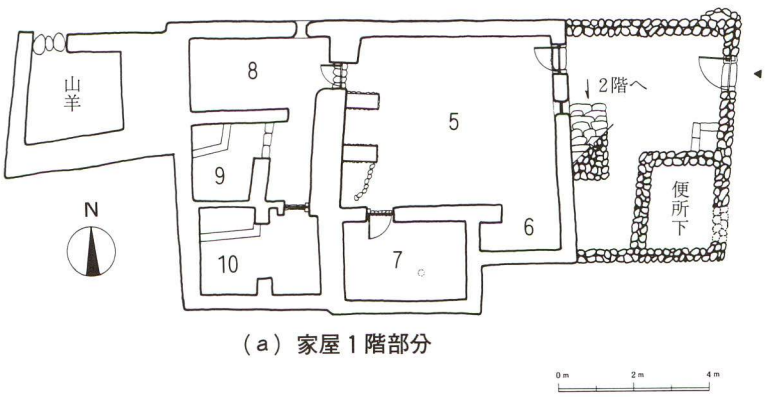
チベット人民家は標高4,450ｍにあるチョゾン村（人口約250人）の民家を測定対象として選択した。この村および民家を選択した理由は、

(1)　ベース・キャンプから自動車で約1時間20分ほどの比較的近い場所にあり測定しやすかったこと

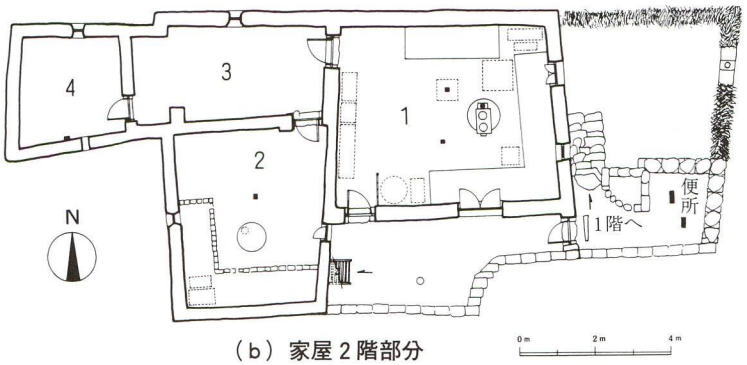
(2)　民家はすべて土と石を建築材料とした典型的なチベット人民家であったこと

(3)　日本大学エベレスト登山隊の神宮太・学術調査隊員（日本大学理工学部建築学科院生）によってこの民家が建築学的視点から詳しく調査されていたこと

などである。図3-7-1に高地チベット人民家の間取り[4)]、図3-7-2にホテル・ヒマラヤの客室の間取りを示す。なお、ホテル・ヒマラヤの測定は1995年5月10日、チョゾン村民家の測定



（a）家屋１階部分



（b）家屋２階部分

図3-7-1 高地チベット人民家の間取り[4)]
Fig. 3-7-1 Plan of a private house on the Tibetan Plateau.

は同年５月４～５日に行った。

2.2 電離成分の照射線量率測定

電離成分すなわちカリウム40、ウラン系列核種、トリウム系列核種の放出するガンマ線および宇宙線電離成分の波高分布測定には、直径76.4㎜の球形NaI(Tl) シンチレーション検出器、1,024チャンネル波高分析器および２トラックオーディオ・テープレコーダからなる可搬型ガンマ線スペクトロメータ（アロカ㈱製）[5),6)]を用いて行った。電源は単１アルカリ電池を使用した。データの収録には、市販のオーディオ・カセットテープ（90分用）を使用した。

球形NaI(Tl) シンチレーション検出器は感度と方向特性がともに優れており、環境ガンマ線測定などに広く用いられている。なお、実際に用いた球形NaI(Tl) シンチレーション検出器は標高6,000ｍ以上の高度での使用にも耐え得るように作成した低温低気圧用の特注

品（応用光研工業㈱製、S－2221型）で、分解能はセシウム137の661.65keVのガンマ線に対して約7.8％である。

解析は、収録されたデータを専用のインターフェイスを通して15分間の集積スペクトルとして再生処理し、ピーリングオフ（ストリッピング）法[7]によって行った。なお、宇宙線電離成分の強度は、3,000keV以上の計数率に対し、上記測定器と電離箱との比較測定によって求められた換算係数を用いて宇宙線電離成分による照射線量率（厳密には照射線量率等価量）として算出した。

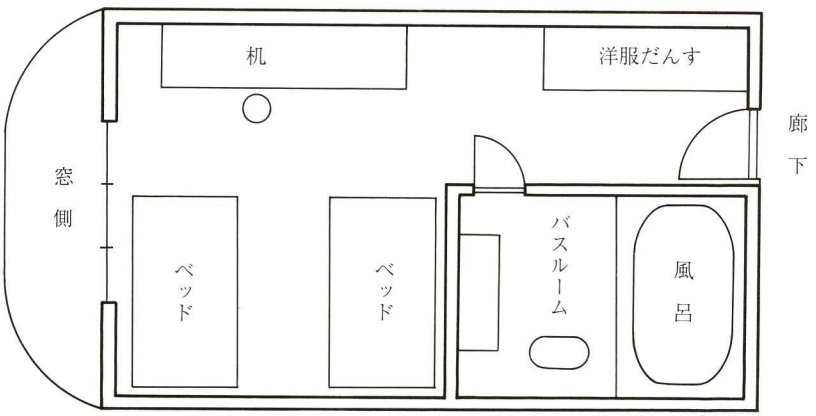


図3-7-2　ホテル・ヒマラヤ客室407号室の間取り
Fig. 3-7-2　Plan of guest room # 407 in the Hotel Himalaya.

3．結果および考察

カトマンズのホテル・ヒマラヤおよびチベットのチョゾン村の民家の測定結果を表3-7-1に示す。

先ず、ホテル・ヒマラヤについて見ると、庭の線量率はガンマ線線量率が12.53μR／h、宇宙線電離成分の線量率が4.64μR／h、全線量率が17.16μR／hであった。1カ所での測定のため断定的なことはいえないが、おそらくホテル・ヒマラヤの敷地全体の線量率に近い値であると思われる。また、宇宙線線量率については、カトマンズ全体の線量率に近い値であると思われる。

ホテル・ヒマラヤの客室は407号室のドア側ベッド上と窓側ベッド上の2点での測定値であるが、大差はない。一方、ガンマ線線量率はドア側ベッド上の方が窓側ベッド上よりも約6％高い。これはドア側ベッドのすぐわきにトイレ・バス・ユニットがあり、この壁に含まれる天然放射性核種に起因するガンマ線の影響によるものであると思われる。庭と比べると

表3-7-1 ホテル・ヒマラヤおよびチベット人民家の屋内外の放射線量率（電離成分）
Table. 3-7-1 Radiation exposure rates (ionizing component) inside and outside the Hotel Himalaya and a private Tibetan house.

場　　所	γ線線量率（μR/h）	宇宙線線量率（μR/h）	全線量率（μR/h）
H・ヒマラヤの客室407号室			
ドア側ベッドの上	16.89	3.49	20.38
窓　側ベッドの上	15.94	3.52	19.47
H・ヒマラヤのロビー	10.70	3.14	13.84
H・ヒマラヤの庭	12.53	4.64	17.16
チョゾン村チベット人民家			
1階4室（第3群）	20.48	10.62	31.10
2階4室（第1群）	17.50	15.81	33.31
チョゾン村の広場	12.83	17.27	30.10

(注) チョゾン村のチベット人民家の群分類は著者らによる「3.6　高地チベット人民家の屋内外の放射線量率の測定」を参照されたい。

客室のガンマ線線量率は約30％高い。これは客室の建築材料などに含まれる天然放射性核種に起因するガンマ線の影響によるものであると思われる。一方、庭と比べると客室の宇宙線線量率は約24％低い。これは宇宙線がホテル・ヒマラヤの建築材料によって遮蔽されたことによるものと思われる。

ホテル・ヒマラヤのロビーの測定はロビーにあった長イスの上で行ったものであるが、ガンマ線線量率が10.70μR／h、宇宙線電離成分の線量率が3.14μR／h、全線量率が13.84μR／hであった。庭や客室と比べてガンマ線線量率が低いのは、天然放射性核種の濃度の非常に低い建築材料が使われていることによるものであるかも知れない。あるいは、ロビーは広い空間で占められており、天井が客室よりはるかに高く、且つ周囲の壁と測定場所との距離がかなり離れていたことによるものであるかも知れない。

次に、チョゾン村のチベット人民家について見ると、広場のガンマ線線量率が12.83μR／h、宇宙線電離成分の線量率が17.27μR／h、全線量率が30.10μR／hであった。広場のガンマ線線量率の値はホテル・ヒマラヤと大差なく、大地に含まれる天然放射性核種の濃度に関する限り、両者のあいだに本質的な違いはないように思われた。しかし、両者の宇宙線線量率は大きく異なり、ホテル・ヒマラヤの庭よりチョゾン村の広場の方が約3.7倍も高かった。これは両者の標高の違いによるもので、標高4,450mのチョゾン村の広場の方が標高1,350mのホテル・ヒマラヤの庭よりも宇宙線線量率が高いことによるものであると思われた。こうした宇宙線線量率の違いを反映して、全線量率はホテル・ヒマラヤの庭よりチョゾン村の広場の方が約1.75倍も高かった。

チベット人民家では、2階部分（第3群）と1階部分（第1群）とで大きく異なっていた。ガンマ線線量率は1階部分の方が2階部分より約17％高く、これは1階部分の建築材料である丸石と2階部分の建築材料である土とに含まれる天然放射性核種の濃度の違いによるものと思われた。一方、宇宙線線量率は2階部分の方が1階部分より約50％高く、これは2階部分と1階部分の宇宙線電離成分の遮蔽効果の違いによるものと思われた。

建物としてホテル・ヒマラヤの客室とチベット人民家とを比べると、後者の方が前者よりガンマ線線量率が約16％、宇宙線電離成分の線量率が約3～4.5倍、全線量率が約62％高い。両者の建っている地質に本質的な違いはないので、ガンマ線線量率の違いは主として両者の建築材料に含まれる天然放射性核種の濃度の違いによるものと思われた。また、両者の宇宙線線量率の違いは標高の違いによるもので、これが全線量率の違いに大きく反映しているように思われた。

天然放射性核種に起因するガンマ線線量率をカリウム40、ウラン系列核種、トリウム系列核種に分離した結果を表3-7-2に示す。表3-7-2の結果は上述の推察の正当性をすべて裏付けるものであるといえる。なお、ホテル・ヒマラヤの客室とチベット人民家の建築材料の違いを核種別ガンマ線線量率の値から見る限り、カリウム40とトリウム系列核種はチベット人民家の方がホテル・ヒマラヤの客室より若干高い傾向があるように思われるが、大差はなかった。むしろ大きな違いがあるのはウラン系列核種の方で、チベット人民家の1階4室（第3群）の方がホテル・ヒマラヤの客室より約2倍、2階4室（第1群）ではホテル・ヒマラヤ客室より約1.3倍も高かった。

表3-7-2　ホテル・ヒマラヤおよびチベット人民家の屋内外の核種別ガンマ線線量率
Table. 3-7-2　Gamma ray exposure rates due to the different radionuclides inside and outside the Hotel Himalaya and a private Tibetan house.

場　　所	カリウム40 (μR/h)	ウラン系列 (μR/h)	トリウム系列 (μR/h)
H・ヒマラヤの客室407号室			
ドア側ベッドの上	7.49	2.42	6.71
窓　側ベッドの上	7.21	2.44	6.05
H・ヒマラヤのロビー	4.37	1.96	3.76
H・ヒマラヤの庭	5.04	1.59	5.79
チョゾン村チベット人民家			
1階4室（第3群）	8.72	4.77	6.64
2階4室（第1群）	7.11	3.10	7.31
チョゾン村の広場	5.44	2.56	4.59

4．結　語

ホテル・ヒマラヤと高地チベット人民家の屋内外における放射線量率の測定を行い、次のような結論を得た。

(1) ホテル・ヒマラヤの庭のガンマ線線量率は12.53μR／h、宇宙線電離成分の線量率は4.64μR／h、全線量率は17.16μR／hであった。一方、チョゾン村の広場のガンマ線線量率は12.83μR／h、宇宙線線量率は17.27μR／h、全線量率は30.10μR／hであった。両者の宇宙線線量率の違いは高度の違いによる。

(2) ホテル・ヒマラヤの客室とチベット人民家とを比べると、後者の方が前者よりガンマ線線量率が約16％、宇宙線電離成分の線量率が約３～4.5倍、全線量率が約62％高い。ガンマ線線量率の違いは主として両者の建築材料に含まれる天然放射性核種の濃度の違いによるものである。また、両者の宇宙線線量率の違いは標高の違いによるもので、これが全線量率の違いに大きく反映している。

(3) ホテル・ヒマラヤの客室と高地チベット人民家の建築材料の違いを核種別ガンマ線線量率の値から見る限り、カリウム40とトリウム系列核種は大差なかったが、ウラン系列核種に大きな違いがあり、チベット人民家の方がホテル・ヒマラヤの客室より約1.3～２倍も高かった。

参考文献

1) 阿部史朗：保健物理、第17巻、169－193（1982）
2) 古川雅英、松本雅紀、床次眞司、藤高和信、岡野眞治：Radioisotopes、第44巻、19－22（1995）
3) 松本雅紀、古川雅英、床次眞司、藤高和信、中村尚司：Radioisotopes、第44巻、33－35（1995）
4) 神宮太、片桐正夫：“日本大学エベレスト登山隊･1995 学術調査報告書”、第５章（1996）
5) Okano, M., Izumo, K., Kumagai, H., Kato, T., Nishida, M., Hamada, T, and Kodama, M,: “Natural Radiation Environment III”, (Gesell, T. F. and Lowder, W. M. eds.), pp 896-911, Technical Information Center, US Department of Energy (1980)
6) 熊谷秀和、岡野眞治：理研報告、第58巻、１－10（1982）
7) 科学技術庁：“空間γ線スペクトル分析法”、放射能測定シリーズ20、日本分析センター（1990）

3.8 エベレスト・ベース・キャンプからカトマンズまでの自然放射線量率の測定

野口邦和[*1]・岡野眞治[*2]・工藤逸郎[*1]

3.8 Measurement of Natural Background Radiation Exposure Rate from Mt. Everest Base Camp (Tibetan side) to Kathmandu

by Kunikazu Noguchi[*1], Masaharu Okano[*2] and Itsuro Kudo[*1]

Abstract : We performed continuous moving measurements of the exposure rate due to natural radiation from Everest Base Camp (Tibetan side) to Kathmandu. For the most part the cosmic ray exposure rate decreased with decreasing altitude, but we found that it is also affected by the topography. We also measured the components of the gamma ray exposure rate from the ground due to ^{40}K, radionuclides of the ^{238}U series and radionuclides of the ^{232}Th series, from Everest Base Camp (Tibetan side) to Kathmandu. The values obtained varied in a complicated manner; we believe that they are intimately related to the local geology and topography.

要旨 : エベレスト・ベース・キャンプからカトマンズまでの自然放射線に起因する照射線量率の連続移動測定を行った。宇宙線線量率はほぼ標高が低くなるにつれて小さくなったが、地形の影響もかなり受けることがわかった。また、エベレスト・ベース・キャンプからカトマンズまでのあいだ、大地からのガンマ線線量率をカリウム40、ウラン系列核種、トリウム系列核種に起因する照射線量率に分離して測定した。その値はかなり複雑な変化を示し地質および地形との関わりの大きいことを推察させた。

1. はじめに

人工放射線源に起因する被曝を別にすれば、国連科学委員会の1988年報告書によると、通常の地域に住んでいる人は自然放射線源に起因する体外被曝を年間770 μSv 受けている。その内訳は、宇宙線が360 μSv、地殻および建造物に含まれる微量の放射性核種のガンマ線が410 μSv である。

通常の地域に住んでいる人が自然放射線源によって受けている体外被曝線量はおおよそ上述のごとくであるが、体外被曝線量率は種々の環境要因によって変動する。屋外平坦地のような周辺に建造物のない典型的な自然環境下では、地殻に含まれるウラン、トリウム、カリウム40などの放射性核種濃度、降雨、積雪等によって変動する。

[*1] 日本大学歯学部. School of Dentistry, Nihon University.
[*2] (財)放射線影響協会. Radiation Effects Association.

さらに、標高が増加するにつれて宇宙線に起因する体外被曝線量率が大きく増加することもよく知られている。緯度（地理上の緯度ではなく、正しくは地磁気緯度）にもよるが、国連科学委員会の1982年報告書によれば、海洋表面から4,000ｍの高さでは通常の地域の約３倍、6,000ｍの高さでは約７倍にもなる。

本研究は、著者らのひとり野口邦和が、「日本大学エベレスト登山隊・1995」の学術調査隊員として実施したエベレストおよび周辺地域の自然放射線に起因する放射線量率の測定の一環として、1995年５月７～８日にかけて行ったものである。

2．測　定

放射線測定器を自動車の後部座席に積み込み、隣の座席に野口が座って連続移動測定を行った。

大地からのガンマ線および宇宙線電離成分の波高分布測定には、直径76.4㎜の球形NaI（Tl）シンチレーション検出器、1,024チャンネル波高分析器および２トラックオーディオ・テープレコーダからなる可搬型ガンマ線スペクトロメータ（アロカ㈱製）[1),2)]を用いて行った。電源は単１アルカリ電池を使用した。データの収録には、市販のオーディオ・カセットテープ（90分用）を使用した。

球形NaI（Tl）シンチレーション検出器は感度と方向特性がともに優れており、環境ガンマ線測定などに広く用いられている。なお、実際に用いた球形NaI（Tl）シンチレーション検出器（応用光研工業㈱製、S－2221型）の分解能はセシウム137の661.65keVのガンマ線に対して約7.8％（24℃および－20℃において）である。

解析は、収録されたデータを専用のインターフェイスを通して15分間の集積スペクトルとして再生処理し、ピーリングオフ（ストリッピング）法[3)]によって行った。なお、宇宙線電離成分の強度は、3,000keV以上の計数率に対し、上記測定器と電離箱との比較測定によって求められた換算係数を用いて宇宙線電離成分による照射線量率（厳密には照射線量率等価量）として算出した。

3．結果および考察

表3-8-1にエベレスト・ベース・キャンプ（5,150ｍ）からザンムー（2,300ｍ）までの自然放射線に起因する照射線量率の値を示した。また、表3-8-2にはザンムーからカトマンズ（1,350ｍ）までの自然放射線に起因する照射線量率の値を示した。当然のことではあるが、宇宙線電離成分の照射線量率（以下「宇宙線線量率」という）は、ほぼ標高が低くなるにつれて小さくなっていることがわかる。しかし、宇宙線線量率も地形の影響を受けて、間近に6,000ｍ級の山の谷間に相当するエベレスト・ベース・キャンプよりも、近くに高い山がなく平坦な地形であるチョゾン村（4,450ｍ）の方が宇宙線線量率が高くなっていることがわ

表3-8-1　エベレスト・ベース・キャンプからザンムーまでの自然放射線に起因する照射線量率の変化（μR/h）

Table. 3-8-1　Variation of the exposure rate due to natural radiation from Everest Base Camp (Tibetan side) to Zhangmu.

測定開始時刻	γ線線量率（μR/h）	宇宙線線量率（μR/h）	全線量率（μR/h）	備　考
6：08	3.769	14.20	17.97	エベレストBC発、5,080m
6：23	4.372	10.52	14.89	4,950m
6：38	4.015	9.995	14.01	4,810m
6：59	4.034	9.094	13.13	4,680m
7：14	3.301	8.730	12.03	4,560m
7：29	7.505	15.93	23.43	チョゾン村で小休止、4,450m
7：37	5.336	16.43	21.77	4,440m
7：54	7.517	15.41	22.93	4,360m
8：09	5.582	14.88	20.46	4,310m
8：24	5.561	14.71	20.27	4,260m
8：43	4.560	15.62	20.18	4,390m
8：57	6.225	18.33	24.56	4,690m
9：12	6.632	21.85	28.48	4,990m
9：30	6.287	22.19	28.48	パン峠で小休止、5,120m
9：45	6.171	19.60	25.77	4,900m
10：00	5.698	16.98	22.68	4,550m
10：17	5.423	15.26	20.68	4,350m
10：33	4.948	14.85	19.80	4,300m
10：48	4.889	15.37	20.26	4,300m
	11：03～12：09		ティンリーで昼食休憩	
12：09	4.853	15.43	20.29	ティンリー発、4,370m
12：26	3.982	15.90	19.88	4,400m
12：41	4.180	16.13	20.31	4,430m
12：59	5.346	16.51	21.86	4,550m
13：14	3.889	17.70	21.59	4,780m
13：29	4.115	20.05	24.16	4,980m
13：52	5.385	20.59	25.97	トン峠で小休止、5,070m
14：07	5.717	16.17	21.88	4,480m
14：22	7.250	14.31	21.56	4,050m
14：41	7.909	12.32	20.23	3,880m
14：56	7.187	11.26	18.45	ニェラムを通過、3,800m
15：11	8.925	8.932	17.86	3,630m
15：34	7.679	7.354	15.03	3,080m
15：49	8.570	6.086	14.66	2,630m
16：04	7.017	5.811	12.88	2,380m
16：21	6.994	5.657	12.65	ザンムー、2,300m
	16：36		ザンムーのホテル着	

（注）測定年月日は1995年5月7日。

表3-8-2 ザンムーからカトマンズまでの自然放射線に起因する照射線量率の変化（μR/h）

Table. 3-8-2 Variation of the exposure rate due to natural radiation from Zhangmu to Kathmandu.

測定開始時刻	γ線線量率（μR/h）	宇宙線線量率（μR/h）	全線量率（μR/h）	備　考
7：48	9.609	5.242	14.85	ザンムー発、2,120m
8：03	8.928	4.950	13.88	国境、1,880m
8：08～11：00		コダリの入国手続で手間取る		
11：00	10.80	4.210	15.01	コダリ発、1,600m
11：15	11.53	3.677	15.21	1,490m
11：30	8.867	3.856	12.72	1,300m
11：47	9.937	3.828	13.77	1,100m
12：02	9.387	3.809	13.20	980m
12：17	9.036	3.715	12.75	890m
12：36	10.01	3.775	13.79	860m
12：51	9.271	3.286	12.56	810m
13：06	9.190	3.346	12.54	830m
13：24	9.631	3.467	13.10	800m
13：39	8.217	3.817	12.03	1,000m
13：54	9.394	4.282	13.68	1,100m
14：11	9.793	4.172	13.97	ドリケル、1,330m
14：19～15：44		ドリケルで昼食休憩		
15：44	11.94	5.033	16.97	1,500m
15：50	7.137	5.278	12.42	1,520m
15：58	7.621	5.035	12.66	1,550m
16：13	7.045	4.626	11.67	1,350m
16：30	7.229	4.589	11.82	1,350m
16：45		カトマンズのホテル着		

（注）測定年月日は1995年5月8日。

かる。同様のことはパン・ラ（パン峠、5,120m）やトン・ラ（トン峠、5,070m）についてもいえ、エベレスト・ベース・キャンプとほぼ標高は同じであるにもかかわらず、宇宙線線量率がかなり高かった。

表3-8-3にはエベレスト・ベース・キャンプからザンムーまでのカリウム40、ウラン系列核種、トリウム系列核種に起因する照射線量率の値を示した。また、表3-8-4にはザンムーからカトマンズまでのカリウム40、ウラン系列核種、トリウム系列核種に起因する照射線量率の値を示した。地質および地形との関わりで考察すべきであると思うが、現在までのところ地質に関する詳細な情報を入手していないため、測定結果を掲載するにとどめる。

表3-8-3　エベレスト・ベース・キャンプからザンムーまでのカリウム40、ウラン系列核種、トリウム系列核種に起因する照射線量率の変化（μR/h）

Table. 3-8-3　Variation of exposure rates due to ^{40}K, radionuclides of the ^{238}U series and radionuclides of the ^{232}Th series from Mt. Everest Base Camp (Tibetan side) to Zhangmu.

測定開始時刻	カリウム40（μR/h）	ウラン系列（μR/h）	トリウム系列（μR/h）	備　考
6：08	1.088	0.642	1.780	エベレストBC発、5,080m
6：23	1.321	1.385	1.269	4,950m
6：38	1.278	1.179	1.264	4,810m
6：59	1.190	1.348	1.111	4,680m
7：14	1.042	0.771	1.190	4,560m
7：29	2.743	1.725	2.708	チョゾン村で小休止、4,450m
7：37	1.636	1.113	2.171	4,440m
7：54	2.095	2.468	2.449	4,360m
8：09	1.560	1.303	2.298	4,310m
8：24	1.501	1.277	2.439	4,260m
8：43	1.228	0.742	2.357	4,390m
8：57	1.279	1.408	3.305	4,690m
9：12	1.753	1.419	3.298	4,990m
9：30	1.648	1.068	3.187	パン峠で小休止、5,120m
9：45	1.338	1.121	3.388	4,900m
10：00	1.239	1.260	2.886	4,550m
10：17	1.643	1.207	2.239	4,350m
10：33	1.439	1.055	2.157	4,300m
10：48	1.571	1.265	1.732	4,300m
	11：03～12：09		ティンリーで昼食休憩	
12：09	1.506	1.131	1.838	ティンリー発、4,370m
12：26	1.041	0.956	1.801	4,400m
12：41	1.093	1.086	1.804	4,430m
13：14	1.089	0.482	2.161	4,780m
13：29	0.983	0.841	2.112	4,980m
13：52	1.808	0.959	2.197	トン峠で小休止、5,070m
14：07	1.754	1.124	2.686	4,480m
14：22	2.317	1.818	2.386	4,050m
14：41	2.434	1.754	2.890	3,880m
14：56	2.189	1.959	2.471	ニェラムを通過、3,800m
15：11	2.751	1.880	3.515	3,630m
15：34	2.493	1.281	3.163	3,080m
15：49	2.847	1.613	3.404	2,630m
16：04	2.087	1.637	2.730	2,380m
16：21	2.071	1.558	2.651	ザンムー、2,300m
	16：36		ザンムーのホテル着	

（注）測定年月日は1995年5月7日。

表3-8-4 ザンムーからカトマンズまでのカリウム40、ウラン系列核種、トリウム系列核種に起因する照射線量率の変化（μR/h）

Table. 3-8-4 Variation of exposure rates due to ^{40}K, radionuclides of the ^{238}U series and radionuclides of the ^{232}Th series from Zhangmu to Kathmandu.

測定開始時刻	カリウム40 (μR/h)	ウラン系列 (μR/h)	トリウム系列 (μR/h)	備　考
7：48	2.920	2.669	3.144	ザンムー発、2,120m
8：03	2.225	2.961	3.219	国境、1,880m
	8：08～11：00	コダリの入国手続で手間取る		
11：00	3.355	2.837	3.972	コダリ発、1,600m
11：15	4.813	1.556	4.550	1,490m
11：30	3.841	1.525	3.046	1,300m
11：47	3.592	1.833	3.920	1,100m
12：02	2.945	1.964	3.737	980m
12：17	2.974	1.788	3.628	890m
12：36	2.905	2.813	3.903	860m
12：51	2.747	2.108	3.765	810m
13：06	3.002	1.813	3.822	830m
13：24	3.567	1.984	3.674	800m
13：39	2.459	1.870	3.411	1,000m
13：54	2.875	1.212	4.725	1,100m
14：11	3.091	1.419	4.953	ドリケル、1,330m
	14：19～15：44	ドリケルで昼食休憩		
15：44	2.950	1.804	6.578	1,500m
15：50	2.232	1.290	3.227	1,520m
15：58	2.673	1.504	3.251	1,550m
16：13	2.422	1.303	3.070	1,350m
16：30	2.419	1.196	3.179	1,350m
	16：45	カトマンズのホテル着		

（注）測定年月日は1995年5月8日。

4．結　語

エベレスト・ベース・キャンプからカトマンズまでの自然放射線に起因する照射線量率の連続移動測定を行った。大地からのガンマ線線量率は4～11.5μv／h、宇宙線線量率は3～22μv／hのあいだで変動した。宇宙線線量率はほぼ標高が低くなるにつれて小さくなったが、地形の影響もかなり受けることがわかった。また、ベース・キャンプからカトマンズまでのあいだ、大地からのガンマ線線量率をカリウム40、ウラン系列核種、トリウム系列核種に起因する照射線量率に分離して測定した。カリウム40は、1～4.8μv／h、ウラン系列核種は0.5～2.8μv／h、1～6.6μv／hの間で変動した。その値はかなり複雑な変動を示し、

主として地質および地形との関わりの大きいことを推察させた。

参考文献

1) Okano, M., Izumo, K., Kumagai, H., Kato, T., Nishida, M., Hamada, T. and Kodama, M.: "Natural Radiation Environment III", (Gesell, T. F. and Lowder, W. M. eds.), pp 896-911, Technical Information Center, US Department of Energy (1980)
2) 熊谷秀和、岡野眞治：理研報告、第58巻、1－10（1982）
3) 科学技術庁："空間γ線スペクトル分析法"、放射能測定シリーズ20、日本分析センター（1990）

3.9　成田～カトマンズ間の航空機内における宇宙線による体外被曝線量の評価

野口邦和[*1]・岡野眞治[*2]・工藤逸郎[*1]

3.9　Estimation of External Dose of Cosmic Rays Received by Flight Crews between Narita and Kathmandu

by Kunikazu Noguchi[*1], Masaharu Okano[*2] and Itsuro Kudo[*1]

Abstract : The external exposure dose was measured using an electronic pocket dosimeter on flights from Narita to Hong Kong to Kathmandu and from Kathmandu to Bangkok to Narita. The measurements obtained averaged 5.44±0.32 μSv from Narita to Hong Kong, 4.71±0.39 μSv from Hong Kong to Kathmandu, 2.68 μSv from Kathmandu to Bangkok and 3.89 μSv from Bangkok to Narita. In addition, a gamma-ray spectrometer was used to make detailed measurements of the variation of exposure rate from Kathmandu to Bangkok to Narita.

要旨：電子ポケット線量計を用いて、成田→香港→カトマンズ路線およびカトマンズ→バンコク→成田路線の体外被曝線量を測定した。成田→香港路線は平均5.44±0.32 μSv、香港→カトマンズ路線は平均4.71±0.39 μSv であった。一方、カトマンズ→バンコク路線は2.68 μSv、バンコク→成田路線は3.89 μSv であった。また、ガンマ線スペクトロメータを用いて、カトマンズ→バンコク→成田路線の照射線量率の変化を詳細に測定した。

1．はじめに

宇宙空間には一次宇宙線と呼ばれる、地上でくらしている普通の人が自然界から受ける自然放射線よりもはるかにエネルギーの高い放射線が飛び交っている。この一次宇宙線が地球大気に降り注ぎ、地球大気を構成するチッ素、酸素、アルゴンなどの原子核と衝突した結果として核反応が起こり、新たに生まれた陽子、中性子、パイ中間子、ミュー粒子、電子、ガンマ線などの放射線を二次宇宙線という。

航空機乗務員が乗務している標高10～12kmの高さで飛び交っている放射線はすべて二次宇宙線であるが、この高度における二次宇宙線の体外被曝線量率は地上付近の数十倍もあり、かねてより航空機乗務員の宇宙線に起因する被曝が問題になっていた[1)]。

たとえば、原子放射線の影響に関する国連科学委員会の1982年報告書[2)]によれば、通常の

[*1] 日本大学歯学部. School of Dentistry, Nihon University.
[*2] (財)放射線影響協会. Radiation Effects Association.

太陽活動の状態における北緯50度付近の体外被曝線量率は標高10㎞で2.88μSv／h、12㎞では4.93μSv／hにもなるという。この標高で年間800～900時間乗務した場合、単純に計算すると、体外被曝線量は標高10㎞で2.3～2.6mSv、12㎞で3.9～4.4mSvになることになる。わが国で平均被曝線量の最も高い原子力発電所の社員外労働者、いわゆる下請労働者でさえ年間被曝線量は1mSvであるから、両者の比較からも十分に航空機乗務員の被曝線量の異常さが推察されることと思う。

国際放射線防護委員会（ICRP）は1990年勧告のなかで、自然放射線に起因する被曝は管理の対象としないとする従来の考え方を根本的に改め、ジェット機乗務員などの被曝を職業被曝とみなし管理の対象にするよう勧告した[3]。この勧告を受けて、世界各国で航空機乗務員の宇宙線に起因する体外被曝線量を正確に把握する作業が行われている。この問題について、著者らのうち野口邦和[4)～7)]と岡野眞治[8)～10)]はおのおの独自に作業をすすめていたが、今回、「日本大学エベレスト登山隊・1995」の学術調査を共同で行ったのを契機に、成田～カトマンズ間の航空機内における体外被曝線量などを測定したので、ここに報告する。

2．測　　定

2.1　電子ポケット線量計による測定

11人の隊員にアロカ㈱製の電子ポケット線量計（PDM－101）を携帯してもらい、飛行中はずっと胸ポケットに装着して積算体外被曝線量を測定するように依頼した。この測定器は1㎝線量当量に対応した個人被曝線量計で、従来の電離箱式ポケット線量計に代わるものとしてアロカ㈱が開発した、デジタル表示の半導体式電子ポケット線量計である。検出器には高圧電源を必要としないPN接合型Si半導体を用い、小型化（145×30×12㎜）および軽量化（約60g）がはかられている。

測定範囲は0.01～99.99μSv、エネルギー特性は70～3,000keVで約30％以内とされている。測定器のエネルギー特性を見ると、3,000keV以上の宇宙線電離成分に対する指示値は真値よりかなり小さくなることがわかっているが、その校正定数はアロカ㈱も求めていない。また、この測定器では宇宙線中性子成分に起因する体外被曝線量を求めることはできない。

なお、宇宙線電離成分によるエネルギー校正を行い、さらに宇宙線中性子成分の体外被曝線量をも加えた校正定数として、欧米路線については岡野らが2.7という値[9)]を求めている。しかし、この値を低緯度地域の都市への路線に適用すると、かなり過大な体外被曝線量になることを野口は見い出している。そこで、本研究においては校正定数の値として1.8を用いた。この値は、成田－シドニー路線における電子ポケット線量計の指示値と甲斐倫明らの計算値[11)]との比較により野口が求めたものである。

2.2 球形 NaI(Tl) シンチレーション検出器を用いたガンマ線スペクトロメータによる測定

宇宙線電離成分の波高分布測定には、直径76.4㎜の球形 NaI(Tl) シンチレーション検出器、1,024チャンネル波高分析器および2トラックオーディオ・テープレコーダからなる可搬型ガンマ線スペクトロメータ（アロカ㈱製）[12),13)]を用いて行った。電源は単1アルカリ電池を使用した。データの収録には、市販のオーディオ・カセットテープ（90分用）を使用した。

球形 NaI(Tl) シンチレーション検出器は感度と方向特性がともに優れており、環境ガンマ線測定などに広く用いられている。なお、実際に用いた球形 NaI(Tl) シンチレーション検出器（応用光研工業㈱製、S－2221型）の分解能はセシウム137の661.65keV のガンマ線に対して約7.8%（24℃において）である。

表3-9-1 成田→香港→カトマンズ路線、カトマンズ→バンコク→成田路線の体外被曝線量

Table. 3-9-1 External exposure doses from Narita to Hong Kong to Kathmandu and from Kathmandu to Bangkok to Narita.

隊員	路線	指示値(μSv)	線量(μSv)
A	成田→香港	3.05	5.49
B	成田→香港	2.85	5.13
C	成田→香港	未測定	——
D	成田→香港	2.82	5.08
E	成田→香港	未測定	——
F	成田→香港	未回収	——
G	成田→香港	未回収	——
H	成田→香港	3.21	5.78
K	成田→香港	3.18	5.72
A	香港→カトマンズ	2.60	4.68
B	香港→カトマンズ	2.28	4.10
C	香港→カトマンズ	未測定	——
D	香港→カトマンズ	2.61	4.70
E	香港→カトマンズ	未測定	——
F	香港→カトマンズ	未回収	——
G	香港→カトマンズ	未回収	——
H	香港→カトマンズ	2.86	5.15
K	香港→カトマンズ	2.72	4.90
K	カトマンズ→バンコク	1.49	2.68
K	バンコク→成田	2.16	3.89

（注）成田→北京→成都→ラサ路線経由の隊員が2人いたが、データが未回収ないし未測定であったため、表からは除外した。帰路については11人全員がカトマンズ→バンコク→成田路線経由であったが、1人を除き、全員が未回収ないし未測定であった。

解析は、収録されたデータを専用のインターフェイスを通して15分間の集積スペクトルとして再生処理し、ピーリングオフ（ストリッピング）法[14]によって行った。なお、宇宙線電離成分の強度は、3,000keV以上の計数率に対し、上記測定器と電離箱との比較測定によって求められた換算係数を用いて宇宙線電離成分による照射線量率（厳密には照射線量率等価量）として算出した。

3．結果および考察

表3-9-1に電子ポケット線量計による体外被曝線量値を示した。成田からの往路については、成田→香港路線が平均5.44±0.32μSv、香港→カトマンズ路線が平均4.71±0.39μSvであった。したがって、成田→香港→カトマンズ路線の平均体外被曝線量は10.15±0.67μSvとなった。一方、カトマンズからの帰路については、遺憾ながら1人分のデータしかないが、カトマンズ→バンコク路線が2.68μSv、バンコク→成田路線が3.89μSvであった。これよりカトマンズ→バンコク→成田路線の体外被曝線量は6.57μSvとなった。両路線の体外被曝線量の違いは、飛行時間がほぼ同じであるので、飛行中における緯度の違いによるものであると考えてよい。このことは中継地点である香港（北緯22度18分、東経114度10分）とバンコク（北緯13度44分、東経100度34分）の緯度の違いを考えれば明らかであろう。

表3-9-2　カトマンズ→バンコク路線の照射線量率の変化
Table. 3-9-2　Variation of the exposure rate from Kathmandu to Bangkok.

測定開始時刻	γ線線量率（μR／h）	宇宙線線量率（μR／h）	全線量率（μR／h）	備　考
13：58	4.774	4.422	9.195	機　内
14：08	5.333	4.536	9.869	機　内
14：20	0.897	24.56	25.46	飛行中
14：32	1.018	56.31	57.33	飛行中
14：44	1.375	78.71	80.09	飛行中
14：49	1.413	102.4	103.8	飛行中
15：04	1.551	99.96	101.5	飛行中
15：19	1.451	100.1	101.6	飛行中
15：36	1.436	99.82	101.3	飛行中
15：51	1.546	101.1	102.7	飛行中
16：06	1.569	99.96	101.5	飛行中
16：21	1.425	97.65	99.07	飛行中
16：33	1.426	97.72	99.14	飛行中
16：47	1.183	51.40	52.58	飛行中
16：57	0.851	7.468	8.319	飛行中
17：07	0.737	3.840	4.577	飛行中
17：13	1.729	2.559	4.288	機　内

（注）時刻は1995年5月10日のネパール時間表示である。14時20分にカトマンズの空港を離陸し、17時13分にバンコクの空港に着陸した。

表3-9-2にカトマンズ→バンコク路線のガンマ線スペクトロメータによる照射線量率の測定値を測定開始時刻とともに示した。航空機が離陸して高度が上昇するにつれて大地からの

ガンマ線が航空機に届かなくなるため、ガンマ線線量率が減少することがわかった。また、宇宙線電離成分の線量率（以下「宇宙線線量率」という）が高度の上昇とともに急激に増加することもわかった。また、おそらくは飛行高度が一定であるからだと思うが、宇宙線線量率が14時49分以降2時間近くにわたってほぼ100 μR／hで一定であることがわかった。なお、100 μR／hは自然放射線に起因する東京23区内の平均照射線量率7.4 μR／hの13.5倍に相当する。

表3-9-3 バンコク→成田路線の照射線量率の変化
Table. 3-9-3 Variation of the exposure rate from Bangkok to Narita.

測定開始時刻	γ線線量率 (μR／h)	宇宙線線量率 (μR／h)	全線量率 (μR／h)	備　考
22：17	3.351	2.939	6.291	機　内
22：33	3.486	2.868	6.354	機　内
22：43	3.257	2.760	6.018	機　内
22：57	0.954	7.573	8.527	飛行中
23：05	1.225	44.71	45.94	飛行中
23：13	1.410	73.51	74.92	飛行中
23：28	1.420	73.62	75.04	飛行中
23：43	1.354	73.98	75.33	飛行中
23：51	1.334	73.24	74.57	飛行中
23：58	1.441	73.84	75.28	飛行中
0：42	1.447	75.65	77.09	飛行中
0：57	1.521	75.83	77.35	飛行中
1：12	1.512	77.80	79.32	飛行中
1：37	1.501	103.7	105.2	飛行中
1：52	1.538	103.3	104.8	飛行中
2：07	1.542	104.4	105.9	飛行中
2：29	1.406	107.8	109.2	飛行中
2：44	1.503	110.0	112.5	飛行中
2：59	1.418	110.0	111.4	飛行中
3：19	1.460	94.09	95.55	飛行中
3：49	1.440	85.79	87.23	飛行中
		欠　　測		

（注）時刻は1995年5月10～11日のネパール時間表示である。22時57分にバンコクの空港を離陸し、4時22分に成田空港に着陸した。4時24分頃まで測定したつもりでいたが、4時04分以降のデータは欠測。

表3-9-3にはバンコク→成田路線のガンマ線スペクトロメータによる照射線量率の測定値を測定開始時刻とともに示した。全体的な傾向はカトマンズ→バンコク路線の場合と同様であるが、23時13分から2時間ほどほぼ75 μR／h、1時37分から1時間30分ほど105～110 μR／hで一定の箇所が2段階あった。この時点で飛行高度の切り替えが行われたからであると思うが、このような飛行高度の切り替えはカトマンズ→バンコク路線ではなかったものである。なお、75 μR／hは自然放射線に起因する東京23区内の平均照射線量率の10倍、105～110 μR／hは14～15倍に相当する。

4．結　　語

電子ポケット線量計を用いて、成田→香港→カトマンズ路線およびカトマンズ→バンコク→成田路線の体外被曝線量を測定した。成田→香港路線は平均5.44±0.32μSv、香港→カトマンズ路線は平均4.71±0.39μSvであった。したがって、成田→香港→カトマンズ路線の平均体外被曝線量は10.15±0.67μSvとなった。一方、カトマンズ→バンコク路線は2.68μSv、バンコク→成田路線は3.89μSvであった。これよりカトマンズ→バンコク→成田路線の体外被曝線量は6.57μSvとなった。また、ガンマ線スペクトロメータを用いて、カトマンズ→バンコク→成田路線の照射線量率の変化を詳細に測定した。この結果、最高高度のところでの航空機内の照射線量率は東京23区内の照射線量率の10～15倍ほどであることなどが明らかになった。

参考文献

1) 野口邦和：日本の科学者、第27巻、668－669（1992）
2) United Nations: “Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects”, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), New York (1982)
3) ICRP Publication 60: “1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection”, Annals of the ICRP, 21, Nos. 1-3 (1991)
4) 野口邦和：“航空機乗務員の宇宙線に起因する放射線被曝の問題”、日本乗員組合連絡会議（1994）
5) 野口邦和：原子力ニュース、第15巻11号、6－8（1994）
6) 野口邦和：Emergency、第7号、10－12（1995）
7) 米原英典、青山喬、渡部眞也、野口邦和：航空機乗務員の被曝線量測定、日本放射線影響学会第35回大会講演要旨集（1992）
8) 岡野眞治、出雲光一、天道芳彦：定期航空機内における宇宙線積算線量、日本放射線影響学会第35回大会講演要旨集（1992）
9) 岡野眞治、出雲光一、天道芳彦：実測にもとづく航空機内の宇宙線積算線量、日本放射線影響学会第36回大会講演要旨集（1993）
10) 岡野眞治、出雲光一、天道芳彦：定期国内航空路線の乗員・旅客の宇宙線線量、日本放射線影響学会第37回大会講演要旨集（1994）
11) Michiaki Kai, Kazuo Dobashi and Tomoko Kusama: Hoken Butsuri, 27, 289-294 (1992)
12) Okano, M., Izumo, K., Kumagai, H., Kato, T., Nishida, M., Hamada,T. and Kodama, M.: “Natural Radiation Environment III”, (Gesell, T. F. and Lowder, W. M. eds.), pp 896-911, Technical Information Center, US Department of Energy (1980)
13) 熊谷秀和、岡野眞治：理研報告、第58巻、1－10（1982）
14) 科学技術庁：“空間γ線スペクトル分析法”、放射能測定シリーズ20、日本分析センター（1990）

第4章　雪氷学

4.1　ロンブック氷河の特徴とその概要

森山　勇[1)]

4.1　Characteristics and General Description of the Rongbuk Glacier

by Isamu Moriyama[1)]

Abstract： Today, we of the human race, and in fact all living organisms, are closely related to glaciers. Glaciers are the most stable water reservoirs that we have.

Today, as global warming becomes a great problem, the most serious effect of it is being received by glaciers and the deserts that often surround them.

As we saw the expanded desertification of the Tibetan Plateau and the shrinkage of the Rongbuk Glacier in the vicinity of Base Camp, we were forced to think of what will happen several years from now, several hundred years from now.

The Academia Sinica and other research institutes have published reports on the Rongbuk Glacier. Based on them we surveyed the condition of the glacier from Base Camp at 5,150m to Advance Base Camp at 6,350m.

要旨： 世界の最高峰エベレスト北面に位置するロンブック氷河は、中国最長の氷河として今日まで中国科学院等による多くの研究がなされ、報告されている。

このたびの学術登山においては、このような研究報告をもとにロンブック氷河を辿り、氷河の現況及びその特徴を調査した。

また同時に今回の登山の目的でもある山岳環境保全調査も併せて行った。

結果として、氷河の概要記録といくつかの動的調査を行ったが、このような調査は今後とも継続され行われることに意義があると感じた。

以下、ベース・キャンプより氷河源頭までの記録である。

1．はじめに

エベレスト北面、チベット自治区に存するロンブック氷河は15㎞の長さにおよぶ中国最大の氷河である。

このロンブック氷河は、南側のクンブ氷河と比較することによりその特徴は一層明らかになる。

例えば、両氷河を比較すると、その相違点は地形的には、氷河高度、高度差、および氷河方位であり、気象的には、モンスーンおよび偏西風の影響がロンブック氷河において比較的少ないことである。このためロンブック氷河では氷河の消耗が少ない。

1)　日本雪氷学会会員　Member, Japanese Society of Snow and Ice.

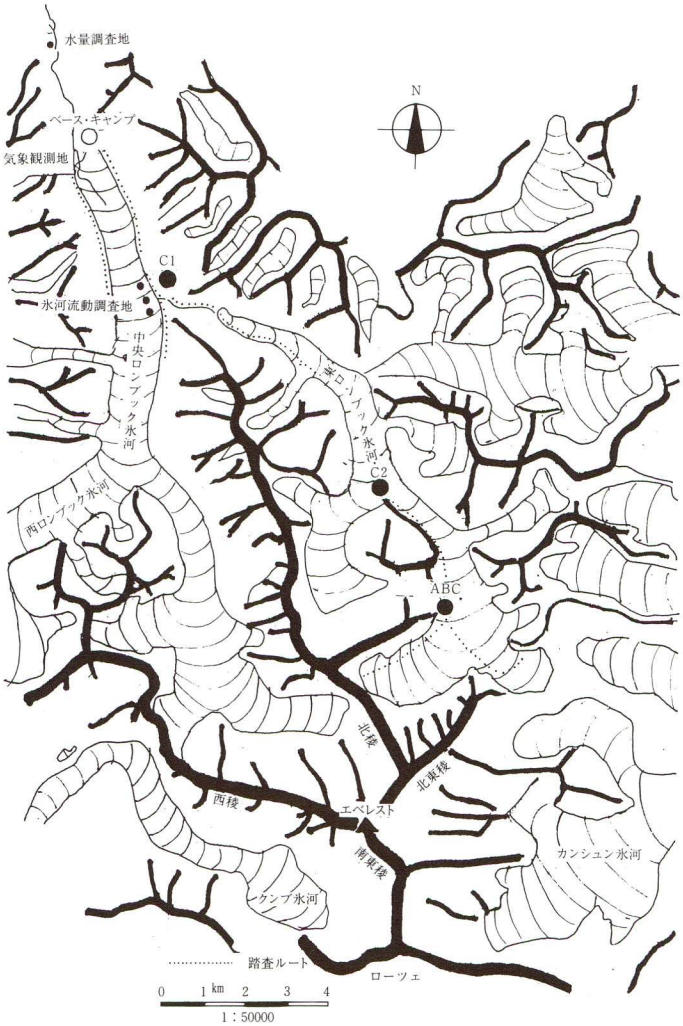


図4-1-1 ロンブック氷河全体図
Fig. 4-1-1 Overall map of the Rongbuk Glacier.

これらの相違は氷河の流動にも大きな影響を与え、東ロンブック氷河、および中央ロンブック氷河の中間地点には、巨大な氷塔群が生じている。

このようなロンブック氷河の氷塔群は、当氷河の特徴として見ることができ、ロンブック氷河の研究では、この氷塔の調査が重要と思われる。

本報告は筆者が日本大学エレベスト登山隊の一員として、この遠征に参加し、調査したときの報告である。

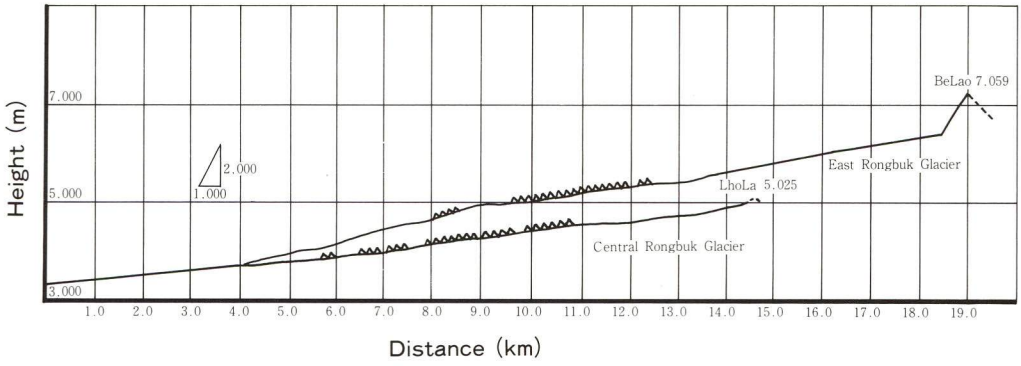


図4-1-2　中央ロンブックおよび東ロンブック氷河における氷塔群

Fig. 4-1-2　Groups of seracs on the Central Rongbuk Glacier and the East Rongbuk Glacier.

（注）東ロンブック、中央ロンブック氷河の比較
共通点：平均斜度3.0～4.0度、長さ4.5km、方位北
相違点：高度差500ｍ
なお、氷河縦断図は５万分の１地図の等高線により作成

２．ロンブック氷河の特徴と概要

ベース・キャンプ付近は標高5,150ｍで、氷河はこの付近が末端で、舌状を示し、その幅は２㎞にもおよぶ広い凍土上にある。また、両岸は氷河によって運ばれた堆石が２段に形成され、その高さは平端部から50ｍないし100ｍにも達している。ベース・キャンプからエベレスト方向（南）を見ると、舌状モレーンの端部は風景をさえぎるように立ちはだかり、末端の高さは30ｍにも達している。

このモレーンの上部には小さな湖が点在し、４月半ばには融氷水の中に多くのぼうふらが見られ、pH 測定によると、pH 7.5～8.0であった。

この辺りの氷河は殆ど移動せず、ベース・キャンプ周辺の広い河原は氷の厚さが150ｍにもおよぶともいわれている。

図4-1-3に見られる氷河上の皺は氷河の流れ方向をよく示し、側堆石は過去の氷河レベルを示している。

なおこの写真は、左右の側堆石上（註１）より撮影したもので、左下のベース・キャンプと比べて氷河の大きさをはかり知ることができる。

ベース・キャンプより少し上部、第１キャンプ（5,500ｍ）付近までの間には、大きく崩壊した部分があるが、第１キャンプ付近より伏流した川が所々に現れ、氷河の融氷を促進させ、数個の湖をつくっている。この第１キャンプは、東ロンブック谷との出合であり、図4-1-4からわかる様に激しく崩壊している。

(a) 中央ロンブック氷河全景 1995.3.30

(b) 中央ロンブック氷河全景 1995.3.24

図4-1-3 中央ロンブック氷河全景
Fig. 4-1-3 Overall view of the Central Rongbuk Glacier on March 30, 1995.

氷河の流動調査はこの付近で行ったが、一般に氷河は中央部が側方より流動の速度が大きいのに対して、ここでは反対の結果が生じた。これは東ロンブック谷の河川の影響であり部分的な現象と思われる。

東ロンブック氷河は下流において、既に消滅しているが、出合付近の側堆石の高さは100m以上にも達し、過去の氷河の大きさを物語っている。

東ロンブック谷の入口より標高5,800m位までは、非常に氷河の消耗が激しく、その様相をみることが出来る。

赤外線写真によればこの谷が特に激しい日射を受けている事を示し、氷河上の陥没及び崩壊による部分が多く見られる。

図4-1-4　氷河流動調査、No.2の地点

Fig. 4-1-4　Point No. 2 of the glacier flow survey.

（注）氷河流動調査No.2の地点である。氷河は崩壊し崖氷状となり、東ロンブック谷河川の影響によるものと思われる。なお河川はここより伏流する。

図4-1-5　6,000m付近、Ｃ２のキャンプサイト

Fig. 4-1-5　The site of Camp 2, at about 6,000m.

（注）6,000ｍ付近Ｃ２のキャンプサイトとして利用されている。氷塔は20ｍ～30ｍ位あり、前面はほぼ垂直であり背面は正午の太陽高度に近い65度～85度位である。

図4-1-6 Ｃ２付近の中央堆積上より下方を望む

Fig. 4-1-6 Looking down from the central moraine in the vicinity of Camp 2.

（注）Ｃ２付近の中央堆石上より下方を望む。２つの氷河が合流点であるが中央堆石の両側には見事な氷塔が群立する。中央堆石と２つに分れた氷河の生成及び流動には興味ある現象である。

また堆石上には鏡肌石（註２）と呼ばれる表面が黒く光沢のある石が見られる。この石は逆断層発生時に生ずる熱によってできるもので、過去に大きな逆断層が発生したことを示している。

5,800ｍより上部には、美しい氷塔群を見ることができる。これらの氷塔はこの東ロンブック氷河の他に中央ロンブク氷河でも見ることができる。

この２つの氷塔群を比較すると、図4-1-2でわかるように高度は異なるが、斜度、長さおよび方位において類似している。

図4-1-5にみられる氷塔の成生要因は、高度、雪線、強い日射、気温、低湿度等の気象条件によるものとされている。

第２キャンプ付近においては、興味ある氷河の現象を見ることができる。ここは、２つの氷河の合流により、中央堆石部は両側より巨大な圧力を受け、まるで恐竜の背中を思わせるようでもある、また図4-1-6に見られる様に、両側には巨大な氷塔が連立しその高さは40ｍに達するものもある。

6,300ｍ付近に生じた氷塔は、このあたりで最も生長し、5,800ｍ付近で消滅する。発生時には氷塔の基部は一体であるとされているが、成長と消滅をくりかえし、現在のような形になったのも興味のある事である。

この角錐状の氷塔は太陽に向かって成長し、背面角度は太陽高度に近く大体65度から85度である。

この他ここには、湧水および小さい池があり、近くには図4-1-7に見られる様な小丘の青氷を見ることができる。

第２キャンプから前進基地までは、登山道のある中央堆石の両側には氷塔および氷壁が見

図4-1-7　6,000m中央堆石上にみられる青氷の小丘

Fig. 4-1-7　A small hummock of blue ice seen on the central moraine at 6,000m.

（注）6,000m中央堆石上に見られる青氷の小丘である。この辺は湧水が多く、その成因は水圧により押し上げられたことによる、又は溶解凍結の繰り返しによると推察される。

図4-1-8　6,200m付近の景観

Fig. 4-1-8　A scene in the vicinity of 6,200m.

（注）6,200m付近の景観である。この素晴らしい廊下現象の成因については堆石の融氷効果と雪線との関係を合わせて考える必要があると思う。

られる。

そして図4-1-8、4-1-9に示すように、この廊下状のはるか奥に、目指す北東稜を望むことができる。

この美しい氷の廊下がどのようにしてできたかについての研究報告はなされていないが、このあたりの高度が雪線でもあり、これとの関係があるのかとも思われる。

前進基地であるＡＢＣ付近は標高6,350ｍであり、6,100ｍあたりが雪線であるから、雪線より上部の前進基地付近は、東ロンブック氷河の重要な涵養域（註３）である。

雪線付近における氷河は堆石よりも低く、前進基地付近でその高さはほぼ同じになる。

また氷河上には、小さな氷塔が堆石側にみられる他、一面の雪原で、ノースコル下部あたりが氷河の源頭であろう。（図4-1-10、4-1-11）

ノースコル基部は氷河の源頭として、ノースコルおよび、チャンツェ、エベレストなどから多くの雪の供給をうけているのであろう。（図4-1-12）なお、チャンツェ岩壁の激しい崩壊はエベレスト北東稜側と対照的である。

３．おわりに

本報告は、日本大学エベレスト登山隊のベース・キャンプ（5,150ｍ）より、氷河の源頭である6,500ｍ位までについて、中国科学院による報告を基に調べたものである。

この調査で特に興味を引かれたのは、やはり氷塔群であった。

氷塔の成因としての自然現象は、強く印象づけるものであるが、人工的に実験できないものかと思われる。

また同じ様な氷塔群が、高度にして約500ｍ低い中央ロンブック氷河にも存在することなど、この他多くの事がらについて疑問を抱く旅であった。

テーマとは直接関係はないが、エベレスト山塊における造山、地質等についても非常に興味を抱かせられた。

図4-1-1はロンブック氷河の全体図であり、各調査地および踏査ルートを示した。

（註１）側堆石：堆石の一つで氷河の両側に発生するのが側堆石堤で、中央堆石堤、終堆石堤がある。

（註２）鏡肌石：断層運動にともなう摩擦のために（Slichenside）断層の両側の岩盤上に生じた光沢のある面をいう。

（註３）涵養：氷河、雪渓などに雪や氷が付加される現象またはその量をいう。

図4-1-9　氷塔群の景観

Fig. 4-1-9　A group of seracs.

（注）中央堆石の真中が登山道である。氷塔の高さはすでに10m位で、大きさの揃った氷塔が中央堆石側に見られる。

図4-1-10　ＡＢＣ上部の景観

Fig. 4-1-10　Above Advance Base Camp.

（注）ＡＢＣ上部で、ここからは、北東稜及び頂上が一望できる。小氷塔が火河上には少し見られる。

図4-1-11 ＡＢＣサイトの遠望

Fig. 4-1-11 A distant view of the site of Advance Base Camp.

（注）ＡＢＣサイトの遠望である。この辺ではまだ、氷河は堆石と同じレベルであるが氷河と堆石のレベルの関係についても多くの要素が存在しているものと思われる。

図4-1-12 東ロンブック氷河の源頭とノースコル

Fig. 4-1-12 The headwall of the East Rongbuk Glacier and the North Col.

（注）東ロンブック氷河の源頭とノースコルを示す。この辺は一面大雪原で、ノースコル、チャンツェ及びエベレストより多くの雪が、雪崩又は降雪により蓄えられる。このあたりにおいては氷河より堆石が10ｍ位高く源頭付近まで続く。

参考文献

1)　牛木久雄「中国におけるヒマラヤ氷河の研究－論文「中国、チベット自治区南部、チョモ・ルンマ峰（エベレスト峰）地区の氷河の基本特性」の翻訳紹介」『雪氷』（38巻1号）所収　日本雪氷学会　1976年3月31日

2)　安成哲三、藤井理行「ヒマラヤの気候と氷河」　東京堂出版　1992年5月20日

3)　日本雪氷学会編「雪氷事典」　古今書院　1990年10月1日

4.2　ロンブック氷河河川水の環境汚染に係わる調査

森山　勇[1)]・粂永真吾[2)]・小林　努[2)]

4.2　Investigation of Environmental Pollution of Melt Water from the Rongbuk Glacier

by Isamu Moriyama[1)], Shingo Kumenaga[2)] and Tsutomu Kobayashi[2)]

Abstract : Many of the reports on Mt. Everest refer to pollution of the Rongbuk Glacier and the river formed by its melt water. This pollution has been caused by mountain climbing expeditions. During this expedition we studied environmental pollution of the river water.

We also took data on March 22, when Base Camp was established, and on May 12, when the climbing ended, to check the impact of this expedition.

These environmental studies had the purposes of checking the safety of water used by climbing expeditions and of preventing environmental pollution by future climbing activities.

要旨 : エベレストに関する資料の中で、ロンブック氷河および河川の汚染に関する報告は多い。これらの汚染は今日までの登山隊によるものである。このため今回は、登山活動の中で河川における環境汚染調査をすることにより、汚染の原因を確認することにした。

また我々登山隊による環境汚染の影響についても調査することにし、ベース・キャンプ設営時の3月22日と、登山終了時の5月12日に試料を採取し、これを比較した。

これらの環境調査は、登山隊の生活用水としての安全性の確認と、今後の登山における環境汚染防止を目的とした。

1．はじめに

人類の活動が地球破壊に大きく係わっていることが判明してきている現在、世界でもっとも標高の高いこの地域の環境調査を実施することは意義のあることと考えられる。今回の日本大学エベレスト登山隊は登頂活動と同時に「山岳環境保全に関する調査·研究」と題する学術調査も行うこととし、その一環としてロンブック氷河の河川水の水質調査を実施した。

ロンブック氷河の河川水は、河川周辺に人家がなく、直接の人為汚染は考えにくい。しかし、人類活動由来の大気からの降下物や過去の登山隊の残した廃棄物に起因する環境汚染も考えられる。

調査は、氷河上の河川水を試料として採取し、これを日本に持ち帰り、有機汚染に係わる項目と重金属（有害物質）について東京久栄において分析した。

1) 日本雪氷学会会員　Members, Japanese Society of Snow and Ice.
2) 東京久栄、環境計量士　Tokyo Kyuei Corporation.

なお、登頂活動と平行して調査を実施したため、十分な試料を採取できず、分析項目が限られたものもある。

2．試料の採取と分析方法

試料は氷河上の河川水を採取し、ポリエチレン瓶に密閉して日本に持ち帰った。採取した試料は、以下の4資料である。

採取場所（高度）	採取月日
・ベース・キャンプ（5,150m）	3月22日、5月12日
・東ロンブック氷河（5,300m）	5月12日
・中央ロンブック氷河（5,300m）	5月12日

分析項目は、有機汚染に係わる項目として全窒素（T-N）、全リン（T-P）および、全有機態（TOC）について分析し、重金属については鉛（Pb）および全水銀（T-Hg）について分析した。

分析方法は、表4-2-1に示す公定法により実施した。

全窒素、および全リンは、分光吸光光度計（日本電子V-550）、全有機態炭素はTOC計（島津TOC-500）、鉛は原子吸光光度計（日立Z-8000）、全水銀は水銀分析計（杉山元SGI-2537）を用いて分析した。

3．分析結果

分析結果を表4-2-2に示した。

1）有機汚染に係わる項目

人為汚染のうち有機物に関わる項目として、全窒素、全リンおよび全有機態炭素について分析を行った。全窒素についてはベース・キャンプの3月22日、5月12日がそれぞれ0.08、0.22mg/ℓであるのに対し、東ロンブック氷河、中ロンブック氷河の調査点で0.59、0.85mg/ℓとやや高い値を示した。全リンについてはベース・キャンプの3月22日、5月12日がそれぞれ0.017、0.034mg/ℓであるのに対し、東ロンブック氷河、中ロンブック氷河の調査点では0.437、3.87mg/ℓと高い値を示した。一方全有機態炭素については全調査点で0.5～1.3mg/ℓの範囲であり調査点による違いは認められず、全般に低い値であった。

2）重金属（有害物質）

次に人為汚染のうち人の健康に関わる項目として、重金属（全水銀、鉛）について分析を

表4-2-1 分析項目及び分析方法
Table. 4-2-1 Analyzed quantities and methods.

分析項目	分析方法
全窒素 (T-N)	JIS K. 0102 45.2 ペルオキソ二硫酸カリウム分解、紫外線吸光光度法
全リン (T-P)	JIS K. 0102 48.3.1 ペルオキソ二硫酸カリウム分解法
全有機態炭素 (TOC)	JIS K. 0102 22.2 燃焼酸化—赤外線式分析法
鉛 (Pb)	JIS K. 0102 54.3 電気加熱原子吸光法
全水銀 (T-Hg)	昭和46年環境庁告示第59号 付表3

表4-2-2 分析結果
Table. 4-2-2 Analysis results.

Item 〔単位〕 / Water sampling location and day	Base Camp (3月22日)	Base Camp (5月12日)	Central Rongbuk (5月12日)	East Rongbuk (5月12日)	Minimum value reported
Total nitrogen (T-N) 〔mg/l〕	0.08	0.22	0.85	0.59	0.05
Total phosphores (T-P) 〔mg/l〕	0.17	0.034	0.437	3.87	0.003
Total organic carbon (TOC) 〔mg/l〕	0.7	1.3	0.5	1.3	0.5
Lead (Pb) 〔mg/l〕	<0.005	<0.005	0.026	0.017	0.005
Total mercury (T-Hg) 〔mg/l〕	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005

行った。全水銀は全調査点で検出限界値以下であった。鉛については東ロンブック氷河、中央ロンブック氷河の調査点で検出され、それぞれ0.017、0.026mg/ℓであった。

4. 考 察

有機汚染に係わる項目の内、全窒素には有機態窒素の他に硝酸イオン、亜硝酸イオン、アンモニウムイオンなどの無機塩を含んでおり、全リンは有機態リン以外にオルトリン酸イオンなどの無機塩を含んでいる。しかし、窒素やリンなどの親生物元素の濃度は生物活動に影響されることも多く、水圏の有機汚染として知られる富栄養化問題に深く係わっている。

全窒素は中央ロンブック氷河で0.85mg/ℓと最高値を示し、全リンは東ロンブック氷河で3.87mg/ℓと最高値を示して氷河水で高かった。一方、有機物として直接関係する全有機態炭素は調査点による違いがみられず全般に低い値であった。東ロンブック氷河、中央ロンブック氷河の試料は目視でも多量の懸濁物が確認できた。これは恐らく氷河が岩石を削って、懸濁物として一緒に流出しているためと考えられる。全窒素、全リンが氷河水で高い値を示したのは、人為汚染ではなく氷河によって削られた岩石に由来する懸濁物に因るものと考え

られる。重金属については鉛が東ロンブック氷河、中央ロンブック氷河の調査点で検出されたが、これも全窒素、全リンと同様に氷河によって削られた岩石に由来する懸濁物に因るものと考えられる。

参考までにパキスタンのフンザにおける氷河水の分析結果を表4-2-3に示す。フンザ氷河水ではリンについては0.083mg/ℓと今回の結果よりも低いが、鉛については0.079mg/ℓと高い値となっている。日本の河川水では鉛は通常検出されないが（0.005mg/ℓ未満）、氷河直下の水では削られた岩石に由来する鉛が検出されたものと考えられる。

表4-2-3　パキスタン、フンザの氷河水の分析結果[1)]

Table. 4-2-3　Results of analysis of glacial melt water in Hunza. Pakistan.

項　　目	分　析　結　果(mg/l)
P	0.083
Pb	0.079
Mg	15.8
Ca	21.7
Na	34.0
K	2.49

5．おわりに

本登山隊は登頂活動と同時に「山岳環境保全に関する調査･研究」と題する学術調査を企画し、その一環としてロンブック氷河の河川水の水質調査を実施した。採取した試料は有機汚染に係わる項目と重金属（有害物質）について分析した。分析の結果をまとめると以下の通りであった。

⑴有機汚染に係わる項目の内、全窒素、全りんは氷河水で高い値を示したが、有機物として直接関係する全有機態炭素は調査点による違いがみられず全般に低い値であったことから、人為汚染ではなく氷河によって削られた岩石に由来する懸濁物に因るものと考えられた。

⑵重金属については全水銀は全調査点で検出限界値以下であった。鉛は東ロンブック氷河、中央ロンブック氷河の調査点で検出されたが、これも全窒素、全リンと同様に氷河によって削られた岩石に由来する懸濁物に因るものと考えられる。

⑶以下、今回の調査結果からはロンブック氷河の河川水が人為汚染を受けているとは認められなかった。

参考文献

1)　小川和夫「環境と測定技術」1995　Vol.22　No4，pp.51～56

4.3 氷河の河川水および降雪の化学分析

森山　勇[1)]・佐藤和秀[2)]

4.3 Chemical Analysis of Glacial Melt Water and Fallen Snow

by Isamu Moriyama[1)] and Kazuhide Sato[2)]

Abstract： The moisture in snow that falls on Mt. Everest comes from the air current from the Bay of Bengal during the monsoon season, and from the prevalent westerly wind in the pre-monsoon season.

During this expedition we conducted chemical analysis of the snow that fell on the Rongbuk Glacier and melt water from the glacier. These gave us valuable information about the substances contained in the air currents, the direction of the air currents and the atmospheric environmental conditions.

Snow fell a total of 5 times at Base Camp and at the higher camps during the climbing period.

These analyses, together with our environmental pollution studies, were conducted to provide important data to aid environmental preservation.

要旨： エベレストの北側に位置するロンブック氷河上における降雪と河川水の特性を調べるため化学分析を行った。降雪のイオン構成は高度による違いがみられ、塩素イオンとカルシウムイオンが大きな比率を占めた。河川水のイオン構成では硫酸イオンとカルシウムイオン濃度が卓越していた。降雪と河川水のイオン濃度を比較すると、降雪でみられた塩素イオン、硝酸イオンが河川水で少なくなっていた。逆に降雪で少なかった硫酸イオンが河川水で多くなっていた。ナトリウムイオンは降雪にも河川水にもみられたが、アンモニウムイオンは降雪にしかみられなかった。また降雪には少ないカリウムイオン、カルシウムイオン、マグネシウムイオンが河川水には多量にみられた。

このように降雪には大気化学環境、河川水にはそれに加えて、周辺の植生、地質、土壌などこの地域特有の化学的性質を反映していると思われた。

1．試料の採取と分析方法

試料は降雪と氷河上の河川水に分け、それぞれのポリエチレン瓶に密封し、日本に持ち帰り、融雪水と河川水の酸性度（pH）、電気伝導度、溶存主成分イオン濃度の化学分析を行った。pH は pH 計（電気化学計器㈱：COM-11型）で、電気伝導度は導電率計（堀場㈱：DS-15型）で、イオン濃度はイオンクロマトグラフ（島津㈱：HIC-6A と LC-10A）で測定を行った。試料の採取月日と採取場所は次の通りである。

1) 雪氷学会・会員　Member, Japanese Society of Snow and Ice
2) 長岡工業高等専門学校、環境都市工学科　Nagaoka Industrial Vocational School

降　雪	・ベース・キャンプ（5,150m）	3／26、3／27、4／23、4／30、5／10
	・前進基地（6,350m）	4／16
河川水	・ベース・キャンプ（5,150m）	3／22、5／12
	・東ロンブック氷河（5,300m）	5／12
	・中央ロンブック氷河（5,300m）	5／12

以上のように降雪6サンプル、河川水4サンプルについて化学分析を行った。

2．pH値と電気伝導度

図4-3-1に全サンプルのpH値と電気伝導度を示す。横軸は左側に降雪の6サンプル、右側に河川水の4サンプルの座標を示している。なお、図中ベース・キャンプでの3月27日の降雪のpH値と電気伝導度はサンプル量が少量のため測定できなかった。以下の図も、図4-3-1と同じ座標になっている。

降雪のpH値は河川水のそれより低く、酸性度の高いことを示している。これは、日本の降水の平均値が約4.7であり、日本や中国の重慶などの都市の降水に比べて酸性度は低い。電気伝導度は降雪の方が河川水よりもかなり小さい。これは各種イオン濃度の総和が降雪の方が低いことを意味している。

pH値と電気伝導度の関係を図4-3-2に示す。pH値が高いほど電気伝導度が大きく、両者は比例関係を示している。これに対し日本の酸性雪（雨）などでは反比例の関係があり、これとは様相を異にしている。酸性雪(雨)の場合は、酸性物資が多いほど電気伝導度は大きく、pH値は低くなるためである。

3．主要イオン濃度

(1) 降雪のイオン構成

図4-3-3に降雪のイオン濃度構成を示す。ベース・キャンプにおける3月26日の降雪のカルシウムイオン濃度が異常に高いことを除けば、陰イオンおよび陽イオンともベース・キャンプより1,200mほど高度が高い前進基地の降雪の総イオン濃度の方が大きいといえる。原因は不明であるが、高度による違いは興味のあることである。

陰イオンについてみると、塩素イオンが一定に大きな比率を占めていた。また時によっては、硫酸イオンあるいは硝酸イオンの比率が変化していた。陽イオンについてみるとカルシウムイオンが一定の比率を占めていた。次いでナトリウムイオンやアンモニウムイオンがみられた。

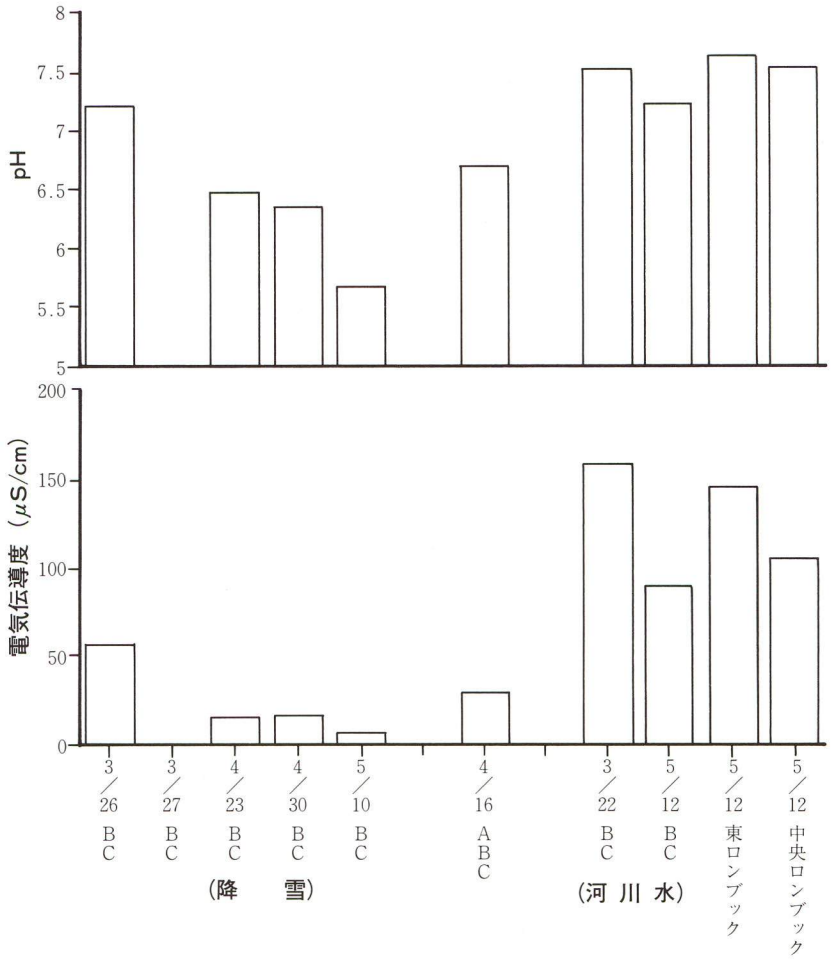


図4-3-1 降雪と河川水のpH値と電気伝導度

（注）降雪は横軸の左側のＢＣ地点とＡＢＣ地点、河川水は右側のＢＣ地点、東ロンブック氷河上と中央ロンブック氷河上での採取場所を示す。

Fig. 4-3-1 pH and electrical conductivity values of fallen snow and glacial melt water

sampling was done at points on the East Rongbuk Glacier and the Central Rongbuk Glacier; Base Camp and Advance Base Camp are on the left side of the abscissa for fallen snow and on the right side for melt water.

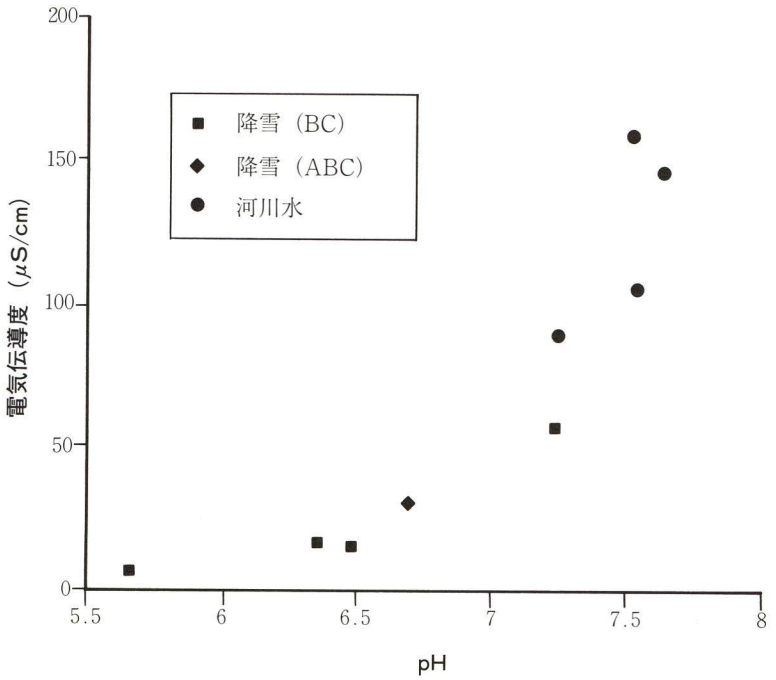


図4-3-2　pH値と電気伝導度の関係
Fig. 4-3-2　The relation between pH and electrical conductivity.

(2)　河川水のイオン構成

図4-3-4に河川水のイオン濃度構成を示す。左側2つがベース・キャンプの3月22日と5月12日のもので、右側は5月12日の東ロンブック氷河と中央ロンブック氷河での河川水のイオン濃度を示している。陰イオンでは硫酸イオン濃度が、陽イオンではカルシウムイオン濃度が卓越していた。

以上の降雪と河川水のイオン濃度構成を一緒にして図4-3-5に示す。降雪と河川水で大きな違いがみられた。陰イオンは降雪で塩素イオンが、河川水で硫酸イオンが卓越していた。陽イオンでは降雪では少なかったカルシウムイオンが河川水では断然大きな割合を占めており、マグネシウムイオンもみられた。

(3)　各種イオン濃度の分布

次にイオン別にその特徴をみてみる。図4-3-6は上から塩素イオン濃度、硝酸イオン濃度、硫酸イオン濃度を示している。降雪でみられた塩素イオン、硝酸イオンが河川水で少なくなっていること、逆に降雪で少なかった硫酸イオンが河川水で多くなっていることが本分析結果の特徴である。

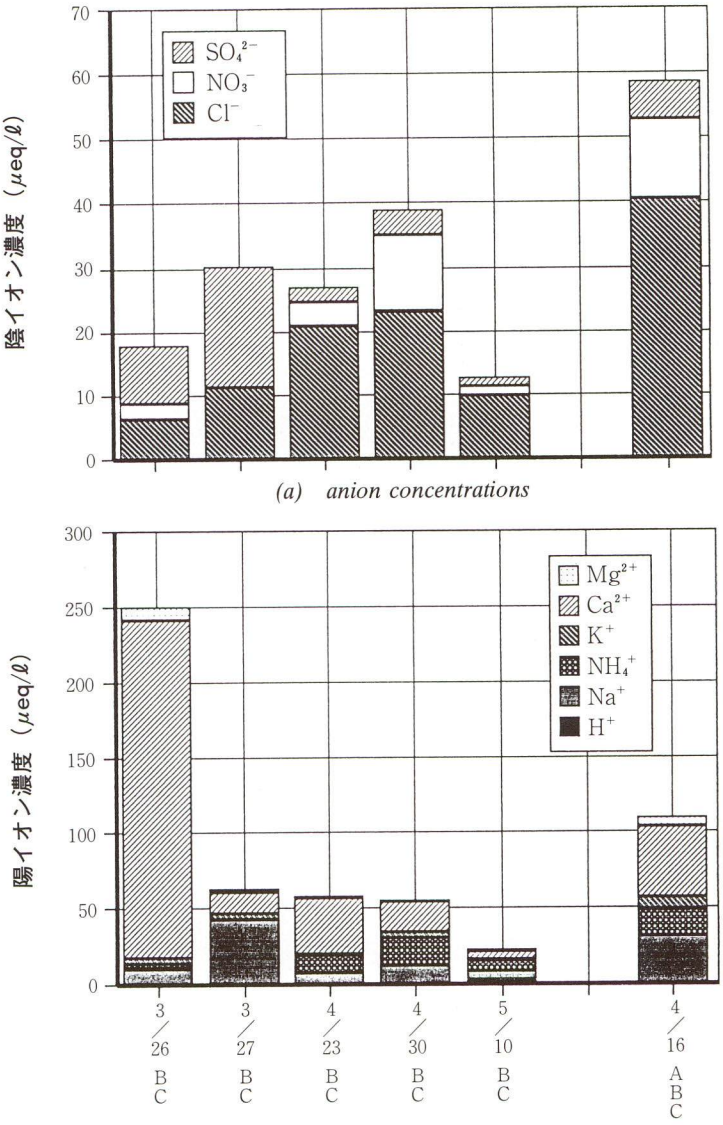


図4-3-3 降雪のイオン濃度
Fig. 4-3-3 Ion concentrations in fallen snow.

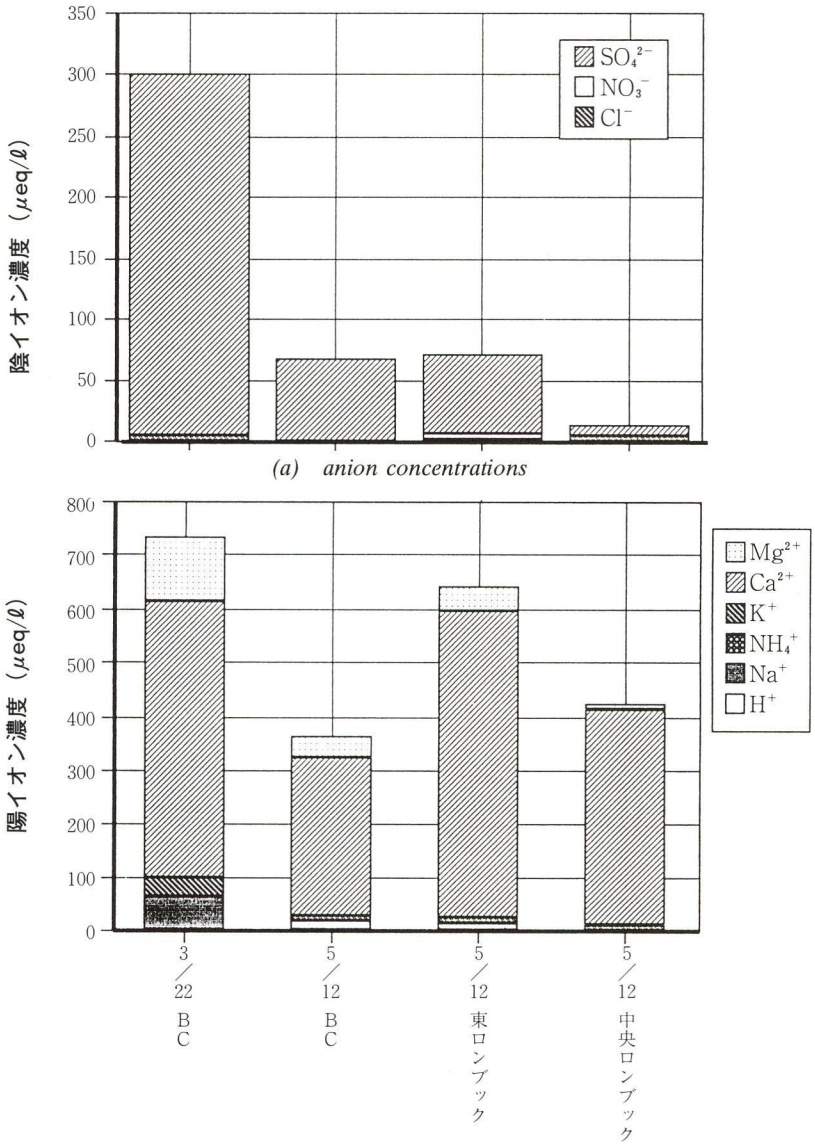


図4-3-4　河川水のイオン濃度
Fig. 4-3-4　Ion concentrations in glacial melt water.

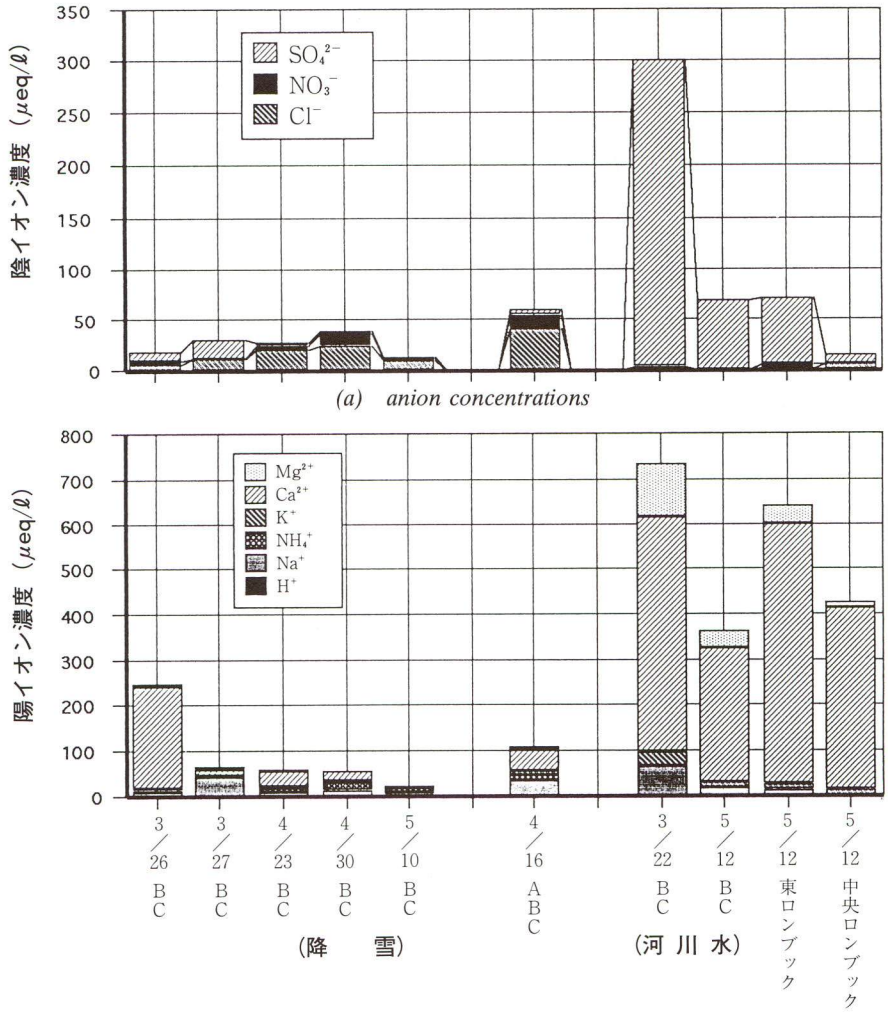


図4-3-5 降雪との河川水のイオン濃度
Fig. 4-3-5 Ion concentrations in fallen snow and glacial melt water.

図4-3-7は上より水素イオン濃度、ナトリウムイオン濃度、アンモニウムイオン濃度、カリウムイオン濃度、カルシウムイオン濃度、マグネシウムイオン濃度を示している。水素イオン濃度はpH値より求めた。ベース・キャンプの5月10日の水素イオン濃度が一番高く、pH値は5.7であった。ナトリウムイオンは降雪にも河川水にもみられるが、アンモニウムイオンは降水にしかみられない。また降雪には少ないカリウムイオン、カルシウムイオン、マグネシウムイオンが河川水には多量にみられた。

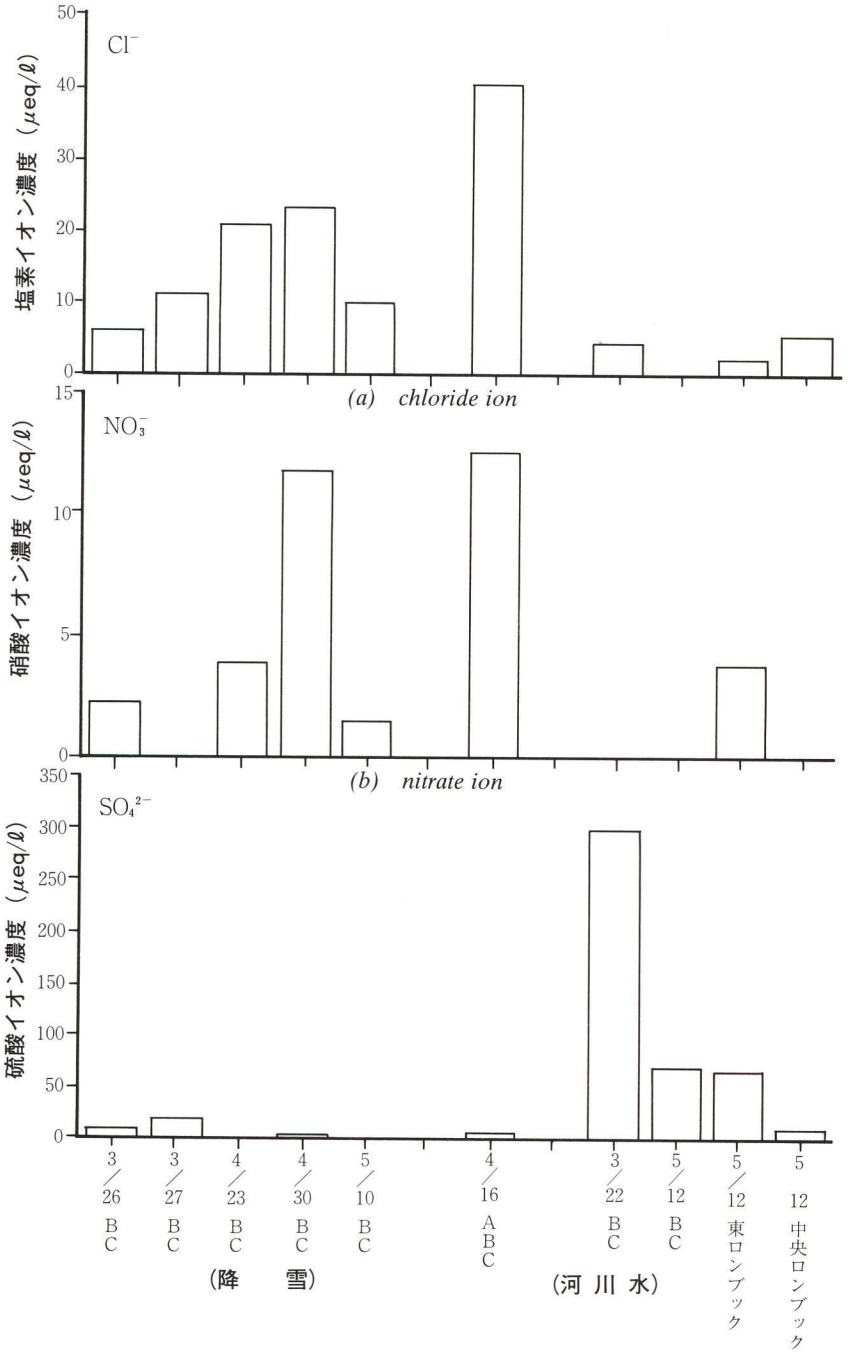


図4-3-6　イオン別の濃度分布（陰イオン）
（上側より塩素イオン濃度、硝酸イオン濃度、硫酸イオン濃度を示す。）
Fig. 4-3-6　Distributions of concentrations of different ions (anions)

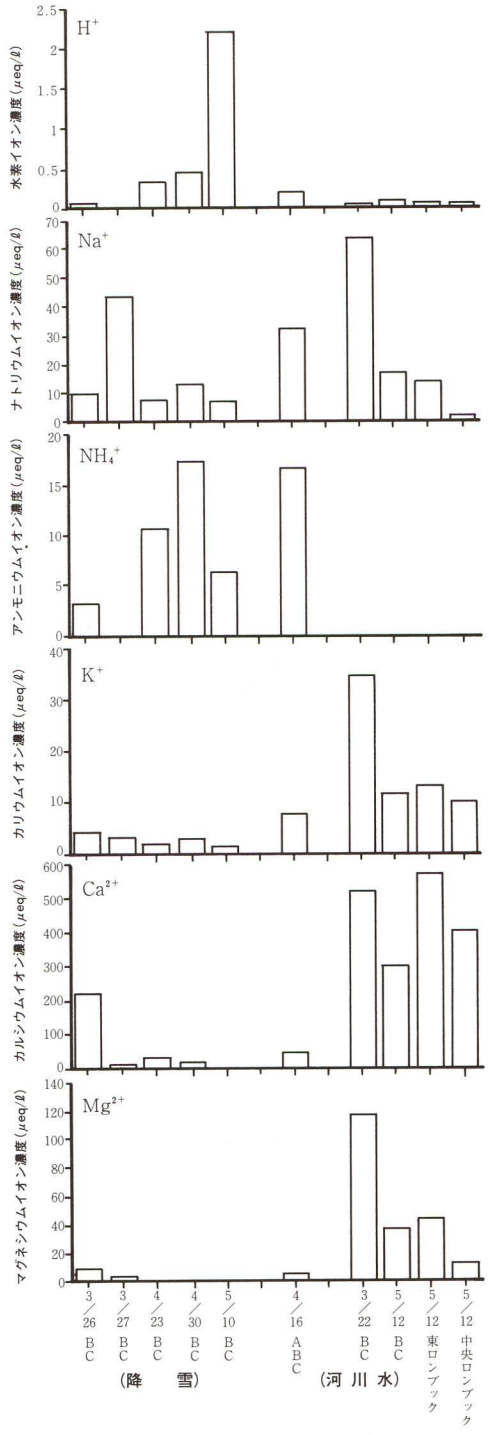


図4-3-7 イオン別の濃度分布（陽イオン）
（上側より水素イオン濃度、ナトリウムイオン濃度、アンモニウムイオン濃度、
カリウムイオン濃度、カルシウムイオン濃度、マグネシウムイオン濃度を示す。）

Fig. 4-3-7 Distributions of concentrations of different ions (cations) (from top to bottom hydrogen ion, sodium ion, ammonium ion, potassium ion, calcium ion and magnesium ion concentrations are shown).

4．おわりに

高度5,000ｍから6,000ｍ以上での貴重な降雪と河川水の試料が得られ、上に述べたようなこの地域特有な化学特性がみいだされた。精密な解析はこれからなされるが、今回得られた結果と問題点を列記すると以下のようになる。

○降雪のpH値は河川水より低く、酸性度は高い。電気伝導度は降雪の方が河川水よりもかなり小さい。またpH値が高いほど電気伝導度が大きい。

○降雪のイオン構成は高度による違いがある。塩素イオンとカルシウムイオンが一定に大きな比率を占めている。

○河川水のイオン構成では硫酸イオンとカルシウムイオン濃度が卓越している。

○降雪と河川水のイオン濃度を比較すると大きな違いがみられる。陰イオンでは降雪で塩素イオンが、河川水で硫酸イオンが卓越している。陽イオンでは降雪では少なかったカルシウムイオンが河川水では大きな割合を占めており、マグネシウムイオンもみられた。

○イオン別の特徴として、降雪でみられた塩素イオン、硝酸イオンが河川水で少なくなっている。逆に降雪で少なかった硫酸イオンが河川水で多くなっている。ナトリウムイオンは降雪にも河川水にもみられるが、アンモニウムイオンは降雪にしかみられなかった。また降雪には少ないカリウムイオン、カルシウムイオン、マグネシウムイオンが河川水には多量にみられた。

○降雪のイオン構成は日本の日本海側の降雪にみられるような海塩の構成とはなっていない。雪の核となり、雪結晶の成長で大気から取り組む物質がこの地域の環境を反映しているから当然と言えば当然である。

○降雪と河川水のイオン構成の違いは、１つは融雪過程におけるイオンの分別過程の違いを反映していると思われる。低温室で融雪実験を行なったところ、硝酸イオン、硫酸イオンとマグネシウムイオンがより早く流出した。このように河川水のイオン構成は、イオンの積雪中の流出速度と関係があるものと思われる。もう１つは、ロンブック氷河周辺の植生、土壌、岩石などの性質に依存するもので、河川水で大きな比率を占めるカルシウムイオンは土壌、岩石によるものと思われる。

○陰イオン濃度と陽イオン濃度の総和の違いが多すぎるが、分析事情によるものか、あるいは大きな割合を占めるイオンで分析されていないイオンがあるのかどうか、今のところ不明である。

○今回の結果と気象データとの関係は興味あるところだが、これは別の機会に述べたい。

4.4 氷河の動的調査

森山　勇[1)]

4.4 Survey of Glacial Dynamics

by Isamu Moriyama[1)]

Abstract： Glacial dynamics studies are usually concerned with the flow of the glacier itself and the relation between weather and outflow of melt water.

The altitude, height difference and orientation, and topography, and in addition variations in the amount of precipitation caused for example by the monsoon, glacial ablation and accumulation due to the falling snow, play large roles in determining the speed of glacier flow and the transport.

In addition, increase of melt water promotes faster flow of the glacier itself. The amount of melt water, in turn, is greatly affected by the weather.

The Rongbuk Glacier, like other glaciers in Tibet, shows less dynamical variation than glaciers to the east and in Nepal.

It is necessary for this type of survey to be repeated at fixed points at regular intervals.

要旨： 氷河の動的調査の１つとして、氷河流動測定は、その氷河の変化推移調査において有効な手段とされている。

氷河の流動速度は、谷の地形および季節の変化、気象の変化による事が多い。また、氷河の融氷、消耗についても同様のことがいえるものと予測される。

これらの関係については、本調査が1976年のロンブック氷河における調査結果[1)]と比較し、その関係が予測通りであった。

また、気象観測はロンブック氷河末端のモレーン上で行った。同時にベース・キャンプ内でも観測し、これらのデータを比較した。気象データの比較において、それぞれの測定条件が異なるため、大きく異なった。特に氷河上においては、日射による熱および風などに影響を受け、ベース・キャンプにおいては、テント等による影響を受けたものと考えられる。

1．氷河の動的調査

氷河の流動調査はできるだけ長い期間をかけることが望ましく、ベース・キャンプ入りしてただちに着手した。

調査の期間と調査場所を次に示す。

期間：1995年３月29日～５月12日

場所：中央ロンブック氷河5,300ｍ地点、３カ所（図4-1-1参照）

1)　日本雪氷学会会員　Member, Japanese Society of Snow and Ice.

この調査については、後日比較検討するため、1966年より1968年にわたって行われた中国科学院による調査と同じ地点と思われる地点で行った。

この地点は、予想以上に氷河の状態が悪く、トランシットによる見通し法によって行ったが作業は危険をともない大変困難であった。

この様な状況での測量調査であることと、今回の調査期間が比較的短期間であったことから、データについてはその傾向を知るのみとなった。

氷河の移動量測定結果は図4-4-1の通りであるが、前述のように、一般的な氷河の傾向と異なって、氷河中央部よりも側部の方が大きい値が観測された。これは、この地点の氷河の状態崩壊が激しく、東ロンブック谷の河川の合流による影響と思われる。

また、検測点No.1は合流点であるNo.2より上部へ200mとし、5月のはじめに設置したが、3月に設置した点より、はるかに短期間の間に大きな移動をみることができた。これらは、気温の上昇に伴う融氷による影響と思われる。

中国科学院による調査によると、1966年から1968年にかけて、氷河流動量は年間平均27.2mと報告されている。今回の場合では、最大流動量は年換算約8.0mとなった。

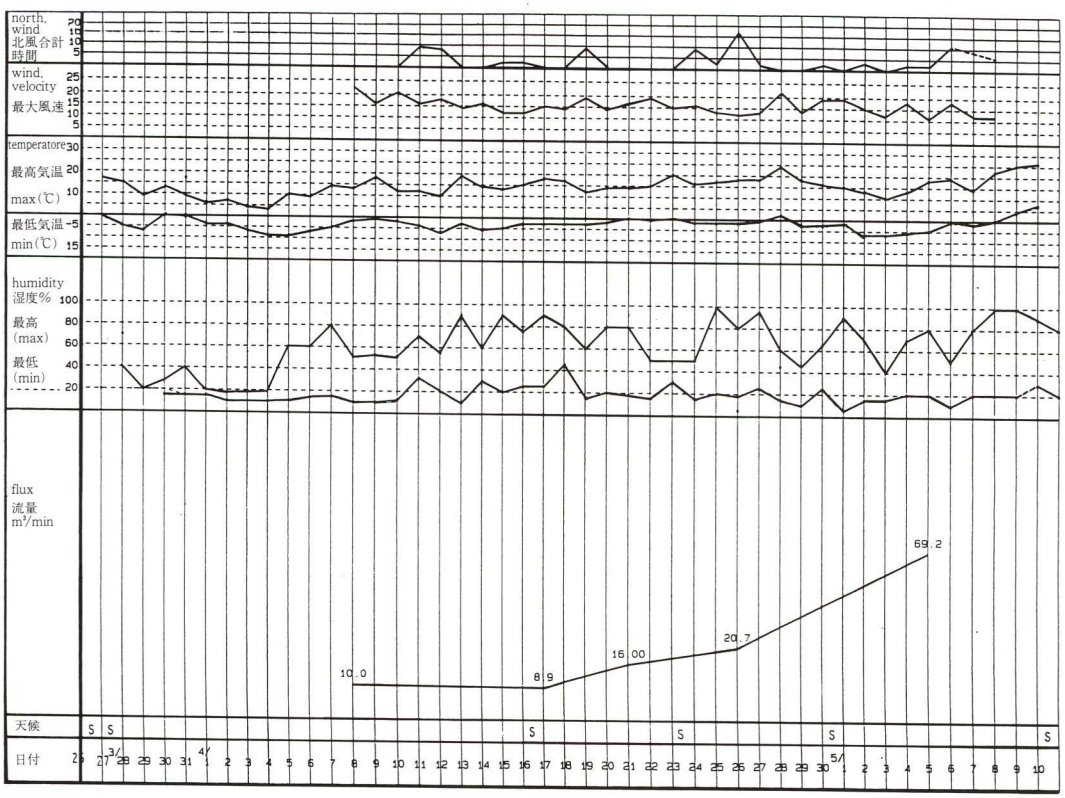


図4-4-1　ベース・キャンプにおける気象
Fig. 4-4-1　The weather at Base Camp.

2．河川水の変化と気象

水量の変化に関する調査は、ベース・キャンプの近くで、図4-4-2に見られるように、流れが穏やかで、かつ平均的な流れの場所を選んで行った。

ベース・キャンプにおけるこの時期の降水は少なく、水量の変化はほとんど融氷のみによるものと考えられる。

また水の透明度については、3月末頃は比較的澄んでいたが、4月下旬頃からは白濁色となった。これは氷河によって削られたモレーン中の溶解物の影響で、暖かくなり水量の増加とともに濁りが増大したものと思われる。測定は最も水量の増すと思われる午後4時とした。

測定方法は、流速は長さ4mを流れるに要する時間を3回計測しその平均値の0.9倍とした。このときの係数0.9は表面流速と内部流速との相違を修正するためである。

断面算定は川の中央部および左右の深さを計り算出した。結果として4月中旬頃までは変化の少ない流れであったが、4月の下旬頃から5月にかけて流速は一気に増大した。これは4月下旬からの気象の変化、特に気温の上昇による影響が大きいものと思われる。

流量測定結果を表4-4-2に示す。

なお気象観測は、図4-4-3に示すベース・キャンプ近くのモレーンの上で、気温、湿度、風向、風速について計測を行ったが、ベース・キャンプにおける観測データとの比較の結果、観測地点が近くにあるにもかかわらず、データに相違があることがわかった。

観測結果は、図4-4-1の通りである。

図4-4-2 融氷水の流量調査地点

Fig. 4-4-2 The point at which glacial melt water transport was measured.

（注）融氷水の流量調査地点である。
ＢＣ付近は凍結状態であり、約500m下流で、流れの緩やかな場所を選んだ。
このあたりに多くの水生昆虫が生息している。

数値の違いは、平地と堆石上の差の他、測定方法にもあることと思われる。両者のデータとその比較を図4-4-1，図4-4-4に示す。

図4-4-3　氷河上の気象観測
Fig. 4-4-3　Meteorological observations on the glacier.
（注）地上1.2mとし保護としてダンボールを加工して取付けた。

3．おわりに

今回の氷河における流動および融氷、降雪による河川の水量変化は、季節および気象の変化によるところが大きく、クンブ氷河においての調査と比較することにより、その原因は明らかとなることと思う。

また、このような調査においては、調査方法を決め、かつ継続的に行うことにより、より一層デ--タの比較が正確にできるものと思われる。

氷河の流動調査において必要なことは、流動による速度および流動量の変化が、どの様な要因で生ずるかを知ることである。

例えば、地形としては、谷幅、勾配、方位、氷河の合流点などで、気象的には、時期、天候、および涵養の有無との関係である。

今回は、氷河の流動変化の調査を目的として、東ロンブック氷河および中央ロンブック氷河の合流点と谷幅の開けた下流を測定地とした。

結果としては、東ロンブック氷河による河川水の影響が非常に大きく、これが融氷効果および流動を促進していることがわかった。

また水量の変化については、4月下旬頃に極端に大きく変化した。これは氷河上の湖が融氷したものであり、この頃河川水には水生昆虫、蚊なども多く発生した。

表4-4-1 氷河流動調査結果

Table. 4-4-1 Results of glacial flow survey.

Location	No. 1	Confluence of East and Central Rongbuk Glaciers		Weather	Clear
Date installed	5/3	Date measured	5/12	Duration	9 days
Date measured	P_1	P_2	P_3	P_4	
Flow distance	0	20.1cm	13.5cm	15.4cm	
Flow per day[1)]	0	2.23cm	1.50cm	1.71cm	

Location	No. 2	Confluence of East and Central Rongbuk Glaciers		Weather	Clear
Date installed	3/29	Date measured	5/3	Duration	34 days
Date measured	P_1	P_2	P_3	P_4	
Flow distance	0	10.5cm	7.0cm	6.5cm	
Flow per day[1)]		0.31cm	0.21cm	0.19cm	

Location	No. 2	Confluence of East and Central Rongbuk Glaciers		Weather	Clear
Date installed	3/29	Date measured	5/12	Duration	43 days
Date measured	P_1	P_2	P_3	P_4	
Flow distance	0	16.0cm	7.5cm	8.0cm	
Flow per day[1)]	0	0.37cm	0.17cm	0.18cm	

[1)] 日移動量は流動距離を計測日数で除したものである。

表4-4-2 水量調査結果

Table. 4-4-2 Results of water transport survey.

Survey date	Area (m)	Flow rate (m/sec)	Flux (m^3/sec)	Flux (m^3/min)	Water temperature
4 / 2	0.325	0.57 ×0.9	0.1667	10.00	0.7℃
4 /13	0.330	0.50 ×0.9	0.1485	8.91	0.5℃
4 /21	0.380	0.778×0.9	0.266	15.96	0.8℃
4 /26	0.460	0.835×0.9	0.3456	20.74	0.3℃
5 / 5	0.950	1.35 ×0.9	1.154	69.24	0.9℃

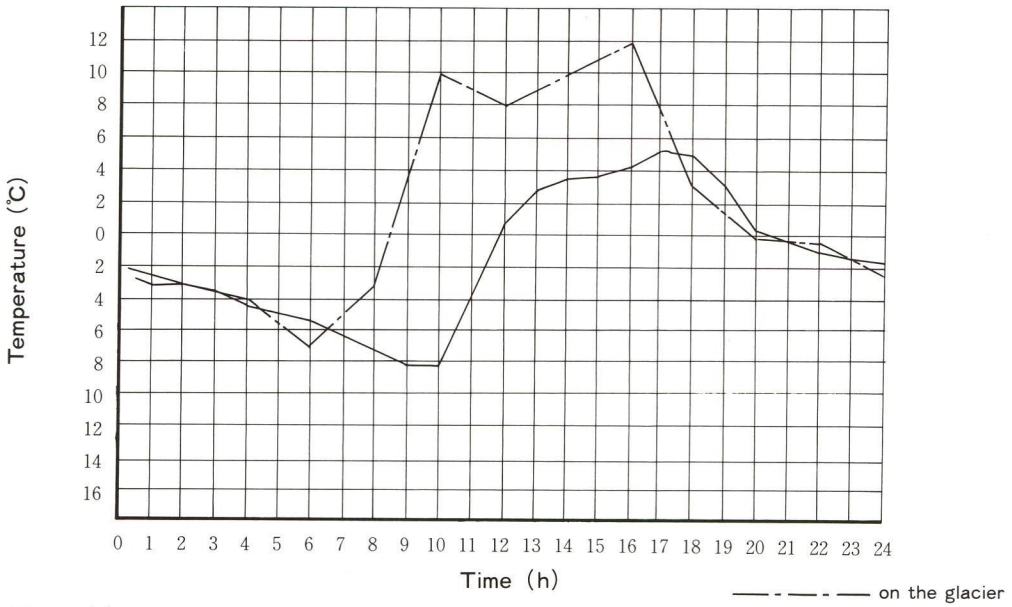


図4-4-4(a)　ＢＣ付近における気象観測データの比較（最高気温）
（観測日　1995.5.5）

Fig. 4-4-4(a)　*Comparison between weather changes in the vicinity of Base Camp (Maximum temperature).*

（注）グラフの線型は類似している。温度差と時間差は設置場所及び方法によるものと思われる。

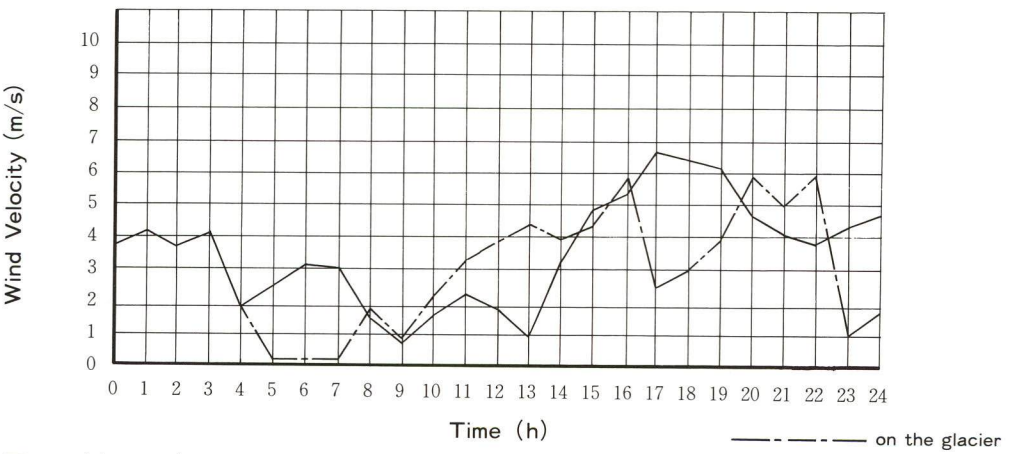


図4-4-4(b)　ＢＣ付近における気象観測データの比較（平均風速）
（観測日　1995.5.6）

Fig. 4-4-4(b)　*Comparison between weather changes in the vicinity of Base Camp (Mean wind velocity).*

（注）堆石上の観測地はキャンプ地30ｍ上で障害となるものはないがベース・キャンプ地内においては諸施設による影響が生じたものと考えられる。

参考文献

2)　安成哲三、藤井理行「ヒマラヤの気候と氷河」　東京堂出版　平成４年５月20日　pp.162～176

第5章　建築学

5.1　チベット山岳集落の居住様式と建築技法に関する調査・研究

神宮　太[1)]・片桐正夫[2)]

5.1　Survey of Lifestyle and Architectural Techniques in Tibetan Highland Villages

by Futoshi Shingu[1)] and Masao Katagiri[2)]

Abstract : This work is basic field research on the highland of southern Tibet, on which little actual field work has been reported. Particular emphasis was placed on obtaining basic data on the lifestyle and architectural techniques of the Tibetan and Burmese speaking peoples. We hope that this will also serve to increase understanding of the people who live on the "roof of the world" among future climbers and others who enter this region.

This study was conducted during a stay in Chodzong Village, the furthest human habitation and agricultural area into the mountains along the China-Nepal Highway. The study was done on 4 private houses, including the one in which the researchers stayed. Interviews were conducted, and religious structures such as a Sang-Tongsa and Chorten were studied.

要旨：本調査・研究は、実測資料の少ないチベット南部高山地帯の基礎的なフィールド・ワークである。特にチベット・ビルマ語族の居住形式と建築技法の理解と研究のための基礎データを得ることを主目的とした。また、今後の登山隊その他の入山にあたって"世界の屋根"と呼ばれる山岳地帯に住む人々の生活と建築について理解を深める一助となることを期待している。

調査は中尼公路からベース・キャンプへの道程で、最奥の集落であるチョゾン村に宿泊して進めた。宿泊した家屋を含めて4棟の家屋の観察調査、ヒヤリング調査とともに香炉（SANG-TONGSA）や小塔（CHORTEN）など信仰に関連した建造物を実測調査した。

1．研究概要

1.1　研究目的

本研究では、諸建築に対しての実測的資料の少ないチベット南部高山地帯の集落におけるフィールド・ワークを通して、チベット・ビルマ語族の居住形式と建築技法に関する理解を深めるための一助として行ったもので、今後の諸研究のデータ蓄積となることを目的とした。

1)　日本大学大学院・理工学研究科　Graduate Student, College of Science and Technology, Nihon University
2)　日本大学理工学部　College of Science and Technology, Nihon University

なお、今後の登山隊その他の入山にあたって、自然環境そのものだけでなく、広くチベットに暮らす人々の営みを知る一助となることも期待するものである。

本研究は、今後のチベット山岳集落における人々の生活と居住に関する調査と研究が、建築学に限らず、民俗学、文化人類学など他分野と連係した学際的な研究へと深化するための貴重な資料になると考える。

1.2 調査経過

調査は、中国登山協会の連絡官・楊世涛氏、副連絡官・金俊喜氏、通訳官・夏廣詣氏、またチベット登山協会のドライバーであるラボラ氏の取り計らいによりチョゾン村の家庭に宿泊して進め、ベース・キャンプから4回訪問し、延べ9泊14日の日程で行った。

また現地通訳として、チベット語から派生した言語を話すシェルパ族のペンバ・ノルブ（Pemba Norbu）氏が3泊にわたって同行し、さらに集落全体の配置実測調査においては本登山隊学術隊員の森山勇氏（環境学および雪氷学担当）と唐元新氏（雪氷学担当／北京大学）の指導・協力を得た。

以下に調査の主だった経過を示す。

〈第1次調査　1995.4.20～4.22〉

調査候補地であったパスム村とチョゾン村を概観。集落規模形態、生活水準等の諸条件から本調査にはチョゾン村が適当と判断して調査地をチョゾン村に絞って選定し、集落全体の配置実測、実測家屋No.1の調査を開始した。なお実測家屋No.1は我々が宿泊した家屋である。

〈第2次調査　1995.4.25～5.1〉

第1次調査の継続と並行して実測家屋No.2及びNo.3の調査を開始。（No.2はキッチンボーイとして日本隊ベース・キャンプに来ていた青年の家であり、No.3は好意的に調査に協力してくれた村人の家である。）さらに村の公共の建造物であるGOMPA-SENDU（経蔵）、CHORTEN（塔）、LHASU（農耕祈願碑）、SANG-TONGSA（香炉）の調査を行った。

また、27日には森山・唐両隊員が集落配置実測の指導・協力のためチョゾン村を1泊2日の日程で訪問した。

〈第3次調査　1995.5.4～5.5〉

実測家屋No.3の調査継続と、村の集会所を兼ねた唯一の公共家屋である実測家屋No.4の調査を行った。

また、第3次調査では野口邦和 学術隊員（環境放射線科学担当）が実測家屋No.1内において、室内放射線量率の測定を行った。その結果については第3章を参照されたい。

〈第4次調査　1995.5.9〉

チョゾン村の各所において写真撮影およびVTRでの撮影を行った。

2．調査地域概要

幹線道路である中尼公路 道標494からチベット側ベース・キャンプに向かう道のりの途中にはいくつかの村落が見受けられるが、その中でも最も奥地になるのがロンブック、チョゾン、パスムの村落である（図5-1-1）。これら3つの村は古くから共存共栄の関係にあり、特にチョゾン村とパスム村は人々の交流も密であり、姉妹村といった印象を受ける。

これらの村には、電気・ガス・水道といった都市施設は皆無であり、夜はバター灯で明かりを確保し、小枝や乾燥した家畜のフンで炉を焚き、川から汲んでくる水を使って古い時代そのままに生活を営んでいる。

また、3つの村はそれぞれ特色を持っていて、ロンブック村はこの地域で最も権威の高い僧院のある信仰の村であり、チョゾン村は農耕の村、パスム村は農耕に加えて小規模ながら登山者等を対象とした商取引も営む交易の村でもある。

図5-1-1　チベット側ベース・キャンプ周辺地図
Fig. 5-1-1　Map of the area around the Tibetan side Base Camp.

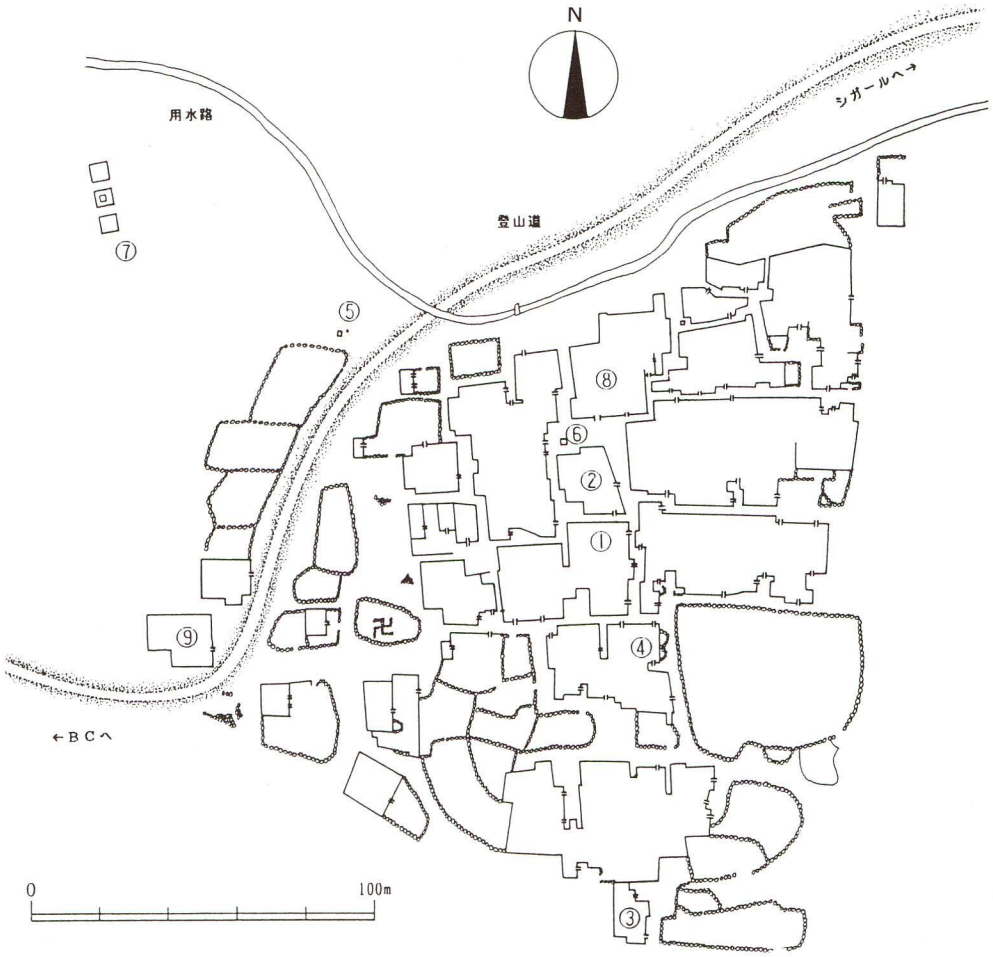


図5-1-2　チョゾン村集落配置図

Fig. 5-1-2　Layout of Chodzong Village.

①実測家屋No.1　②実測家屋No.2　③実測家屋No.3
④実測家屋No.4　⑤ラッス（農耕祈願碑）　⑥チョルテン（小塔）
⑦ゴンパセンドゥ（経蔵）　⑧旧ゴンパ（僧院）　⑨新しいゴンパ

2.1　チョゾン村(CHODZONG)（図5-1-2）

ベース・キャンプからチョゾン村へは車でおよそ１時間半、約30㎞の距離である（図5-1-3、4）。チョゾン村の標高は約4,450ｍ、ロンブック氷河から流れ出たザカール・チュー河がつくりだした広大な河原の平坦な台地部分（図5-1-5）に256人、49戸（うち約３分の２が平屋建家屋、３分の１が２階建、３階建家屋が２軒）の集落を形成している。

チョゾン村では水源に恵まれた広大な河原を利用して用水路を張り巡らし、村の主食をまかなうに充分な広い大麦畑を確保している。また、耕作の他に総数50～80頭のヤクや多数の

図5-1-3　チョゾン村全景
Fig. 5-1-3　Overall view of Chodzong Village.

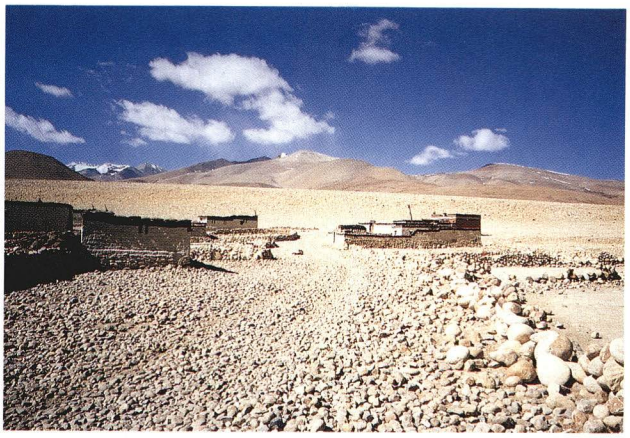


図5-1-4　チョゾン村を抜けてベース・キャンプへ向かう登山道
Fig. 5-1-4　The mountain access road passing through Chodzong Village on the way to Base Camp.

羊を飼育するなど、農耕と牧畜の両方に力をいれている。

中尼公路 道標494からベース・キャンプへの道のりでは、最も奥地となるのはロンブック村であるが、農耕・牧畜などの生業を営む村落という点ではチョゾン村が最奥となる。そのためチベット側から入山する登山隊の荷揚げにチョゾン村のヤクが使われて、最近では村人の貴重な現金収入ともなっている。

チョゾン村では全ての村人が農業を営み、村に商店はない。農家が建ち並ぶ他はGOMPA（僧院）やGOMPA-SENDU（経蔵）、CHORTEN（塔）、LHASU（農耕祈願碑）、SANG-TONGSA（香炉）などが点在し、宗教施設がこの村の目立った建造物として挙げら

図5-1-5　ザカール・チュー河の河川敷に広がるチョゾン村の田畑
Fig. 5-1-5　Fields of Chodzong Village along the dry bed of the Zakar Chu river.

図5-1-6　チョゾン村の旧ゴンパ（僧院）
Fig. 5-1-6　An old Gompa in Chodzong Village.

れる。現在のチョゾン村のゴンパ（GOMPA）は平屋建で単純な平面の小規模な建築であるが、文革時代に半壊されて現在はその機能を失っている旧ゴンパは軒高が約7.2mで、村では一番規模の大きい建築であった（図5-1-6）。他の村では見られない規模の大きな3基の経蔵群とあわせて考えると、チョゾン村におけるこれら信仰のための建造物のかつての充実ぶりがうかがえる。

2.2　パスム村（PASSUM）

パスム村はチョゾン村からザカール・チュー河に沿った道を北（下山方向）に約10km、

チョゾン村と標高差もあまり変わらない地域にチョゾン村と同様に平坦な河原に広大な耕地を持った集落を形成する。大規模な大麦などの耕作に比べて家畜の種類や数は少なく、農業では耕作が主体の村といえよう。

パスム村の人口は219人、中尼公路からベース・キャンプにむかう道が30～40軒ほどの住居などがまとまった村の中心部を貫き、なおその周辺には3軒くらいがまとまった部落が3つある。村の中心部より数十メートルほど高い山側の斜面には、村のゴンパ（寺）がある。ゴンパの周辺にはわき水があり、土壌も良好であることからその周囲に植栽がされている。木材はこの地方では極めて貴重であるので、木のまわりには積み石をして囲いをつくり、家畜などから守られている。ゴンパは古くからあったが文化革命時に破壊され、現在の新しいゴンパはまだ建設の途中である。

主食である大麦の備蓄量は豊富らしく、お菓子代わりに煎餅のように平たくして焼いたツァンパ（大麦の粉にバター茶を加えて練ったもの）をかじっている子供を度々見かけ、また子供達は気軽にその焼きツァンパを私達にも与えてくれた。また、この村でひと休みしてゆく海外の登山者もいることから、インスタントラーメンのような流通品が手にはいる茶屋もある。

チベットでは現在でも窓にガラスを使用していない古い住居に暮らす集落を見ることがあるが、この村ではほとんどすべての住居の窓にガラスが張られ、建って間もない新しい住居もある。また、村には設備は貧弱で非常に小規模ながら、登山者のための宿泊所や公衆便所もある。

この他、家の窓枠の細工をする職人や家具職人、簡単な治療のできる漢方医など農耕以外の仕事を持つ村人もあり、チョゾン村と比べると交易の村といった印象である。シガールから車で2時間半から3時間の奥地にある集落としては、伝統的な生活から脱しはじめた、比較的ゆとりのある生活が営まれていた。

2.3　ロンブック村（RONGBUK）

ベース・キャンプから約8㎞、標高5,030㎞の高地に集落を構える。ロンブック村はGompa（僧院）を中心とした30人ほどの僧侶達の住む村で、農耕や牧畜は営まずに食料をはじめ生活に必要なものは全てのシガールやパスム、チョゾンなどで入手する。

かつてロンブック村はこの地域で最も権威のある僧院を持つ村として、多くの僧侶を抱えた集落であった。しかし文革時代に僧院のほとんどは破壊され、一時無人の廃村となっていた。その後1980年に中国当局によって再建が許可され、登山者などが供えるお布施を工面しながら、少しずつ再建を進めて現在に至っている。

また、ロンブック村よりさらにベース・キャンプに近い奥地にザー・ロンブック（THARONGBUK“岩のロンブック”の意）と呼ばれる僧院跡などもあり、聖地であるチョモラ

ンマに最も近い僧院の村として栄えたであろうかつてのロンブックを偲ばせる。

3．調査報告

調査は、チョゾン村に限定して行われた。以下にチョゾン村での調査記録を示す。

3.1　予備調査

3.1.1　農　　耕

チョゾン村では水量豊富なザカール・チュー河から用水路を引いて、広大な河原に大規模な耕地を開墾している。主な農作物は大麦であり、その他にジャガイモ、大根（チョゾンでは極わずか）を耕作している。

大麦粉にバター茶を加えたツァンパがチベット人の主食であるが、大麦以外の穀物や野菜はわずかな量しか耕作できないため、食料のほとんどを自給自足でまかなっているチョゾン村では、村人たちは毎食のようにツァンパかあるいは大麦の粉を他のかたちで調理したものを食している。従って、収穫された大麦は住居内の奥の方の部屋に何よりも大切な作物として保管され、その部屋には豊作を願ってタルチョが掲げられている（図5-1-7）。

大麦を刈り取った後の根は肥料のほか燃料としても使えるため、掘り返して住居の壁の笠石（最上部の石）の上に並べて乾燥し、保管している。

3.1.2　牧　　畜

チョゾン村では耕作に加えて牧畜も盛んに営まれている。ここにはヤクや羊などの利用価値の高い家畜の数が多い。その点で、チョゾン村と同様に河原に広大な耕地を持つが耕作が主体のパスム村の農業とは性格が異なっている。

以下に、チョゾン村でのそれぞれの家畜利用について簡略にまとめてみた。

〈羊／山羊〉

どちらからも毛をとり、油をとり、肉を食べ、フンは処理しやすい燃料・肥料となる（図5-1-8）。利用はどちらも同じだが、羊の方が寒さに強いので羊は住居内に小屋を設けなくても飼育できるが山羊は昼間に放牧して夕暮れ時に家の中に入れる。羊と山羊は利用価値が高く、食肉としても他の家畜に比べて好まれることから家畜の中でも最も大事にされている。

〈ヤク／ディー〉

ヤクはオスでディーはメスのことをいう。高所に強く、体も大きいことから荷運びに最適の家畜である。チョゾン村は農耕を営む村としては最もベース・キャンプに近く、チョモランマを訪れる登山隊の荷揚げの手段として大規模な需要も多く、まとまった現金収入の源になるため村では多数のヤクを有している。

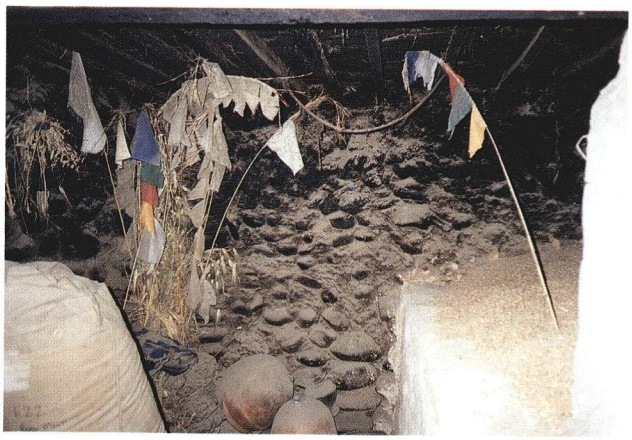


図5-1-7　大麦を備蓄する室にあるタルチョ
Fig. 5-1-7　A "tarcho" in the barley storehouse.

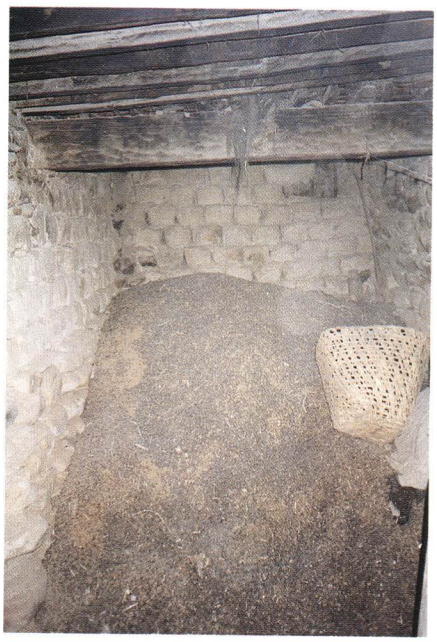


図5-1-8　羊のフンを蓄えた室
Fig. 5-1-8　A room where sheep droppings are stored.

〈ゾム／ゾ（ゾッキョ）〉

ゾムはヤクと牛の合の子でメスは乳をとり、この乳はバターなどの乳製品の原料として広く利用されている。ゾはヤクと牛の合の子でゾッキョともいわれオスである。農耕や荷運びに使用し、肉も食べる。

〈ラン／パー〉

ランは雄牛でパーは雌牛。牛はヤクに比べて高所に弱く、体もひと回り小さいためゾムやゾよりもランやパーの数は少ない。

この辺りでは畑に使う肥料や燃料として家畜のフンを用いるが、羊や山羊のフンは小さくて水分が少なく、備蓄が容易なため、住居内の部屋に大量に蓄えておく家も多い。また、住居の外壁には水分の多いヤクなどのフンを丸く貼り付けて乾燥させながら保管している。

3.2　家屋実測調査（表5-1-1）

3.2.1　実測家屋No.1

〈家族構成〉

この家屋（図5-1-9）には47歳の主人と息子夫婦と孫、娘、さらに主人の弟と甥の計７人が居住している。主人は隣村パスムで村長的役割を担っている人物で、妻とは死別し、この家の家事や農作業は20歳になる息子がとりまとめている。また別の家屋に住む主人のもう一人の弟はチョゾン村で村長的役割を担う者の一人である。

〈建築年代〉

この家屋は村のほぼ中央、文革時代に破壊を受けた旧ゴンパの南側２軒目に位置し、最初の建築部分はかなり古い建築ということであったが、年代ははっきりしない。

最初の建築部分は平屋建て、現在の１階部分東側にあたるＡ，Ｄ，Ｅ，Ｇの室構成で、Ｄの室に炉を備えて居室空間とし、ＡとＥ，Ｇの室は現在と同じくそれぞれ納戸、大麦庫、山

表5-1-1　実測家屋一覧表

Table. 5-1-1　List of surveyed houses.

	建築年代	世帯構成	配置形式	平面形	規　模	家　畜　数
家測家屋No.1	不明	７人(男４、女３)	外庭型	長方形	２階建11室	ヤク２、羊90、山羊15、ゾム３、ウシ１
家測家屋No.2	数十年前	４人(男４)	外庭型	Ｌ字形	平屋建４室	ヤク１、ゾム１、ウシ２
家測家屋No.3	不明	８人(男５、女３)	半開放中庭型	ロ字形	２階建７室	ヤク２、羊・山羊約200、ゾム２、ウシ１
家測家屋No.4	約５年前	２人(男１、女１)	町屋型	長方形	平家建１室	ヤク２、羊10、馬１

図5-1-9　実測家屋No.1
Fig. 5-1-9　Surveyed house No. 1.

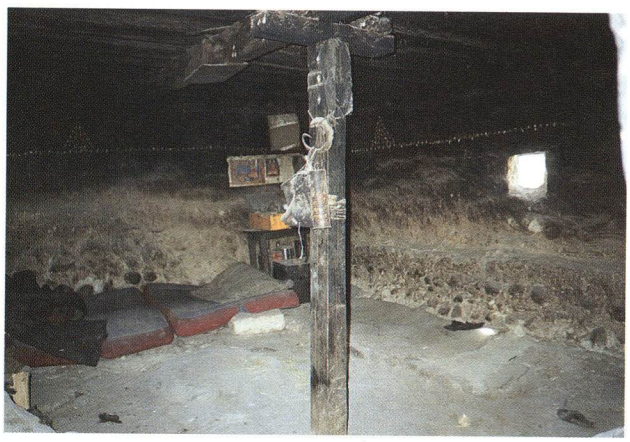


図5-1-10　実測家屋No.1の旧居室
Fig. 5-1-10　The old living room of surveyed house No. 1.

羊の小屋として使用し、またＡの室は現在よりかなり小規模であったという（図5-1-11）。

最初の増築は16年前で、その際にＡの室を拡張し、ＢとＣの室を新たに設けて現在とほぼ同規模の１階部分が完成した。

１階部分の完成後、手狭になった敷地にさらに増築の機会を迎え、９年前に２階建てに改築した。その時点では現在の炉のある居室はなく、現在の２階平面西側部分（図5-1-12）の３室だけを設け、その中の南側の室に炉と寝台を設けて日常頻繁に使用する居室とした（図5-1-10）。

現在のようなプランの家屋となったのは３年前の増築時で、その時新たに設けられた室の

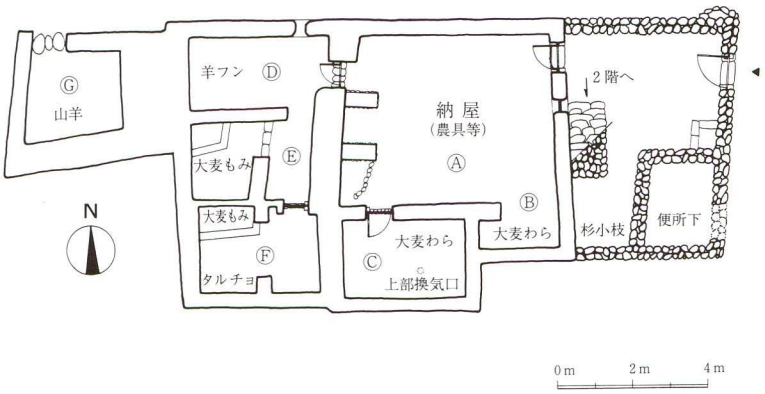


図5-1-11　実測家屋No.1　平面図（1階）
Fig. 5-1-11　Plan of surveyed house No. 1 (1st floor).

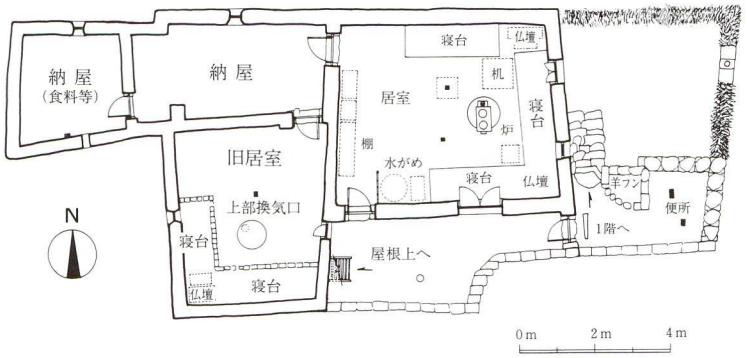


図5-1-12　実測家屋No.1　平面図（2階）
Fig. 5-1-12　Plan of surveyed house No. 1 (2nd floor).

中央東寄りに炉と寝台を設け、現在ではこの室を日常の居室空間として使用している。

〈現　　況〉

1階と2階の現在の使用状況を見ると、大きく分けて1階は備蓄・保管のための空間として、また2階は居住空間として使用されている。1階には戸外から入った最初の大部屋に農具が保管されており、その奥の細かく仕切られた室に羊のフン、麦藁がそれぞれに備蓄され、一番奥の室には大麦籾がタルチョの掲げられた備蓄槽に大切に蓄えられている。このように1階には備蓄・保管のために使用する室のみで、現在は日常の居室として使用する室はない。

2階には戸外にある階段から上がり、1階ルーフ部分を経て最初に入る室が居室空間とし

て、食事や睡眠などあらゆる日常生活の場となる。室内の西側には水がめや食器棚を置き（図5-1-13）、東側には炉を中央にして腰掛けを兼ねた寝台が壁際3方向に並ぶ。寝台は壁から約80㎝の土間の床を20㎝ほどの高さに盛り上げて、そこに毛布を敷き詰め、昼間は炉を囲んでそこに腰掛けて食事をしたり、話をしたりする団らんの場となり、夜は7人の家族全員がそれぞれの寝台に寝床をつくって眠る。寝台と寝台のぶつかる北東隅と南東隅の部屋角にはそれぞれ神棚が置かれ、家人たちは神棚に足を向けない方向を選んで眠る。

この室の東側壁には2つの窓が開けられ、早朝には朝陽が差し込み、それと同時にこの家の一日が始まるのであるが、その窓の上部の壁には月と太陽の模様と農耕の豊作を祈願するチベット文字がツァンパで描かれている。ツァンパで描かれたそうした文字は家のあちこちにも見られるが、月と太陽が描かれているのはその壁だけである。これらは新しい年の明ける時に毎年描き直されるということである。

2階には現在の居室の他、奥（西側）には以前の居室と羊などの貴重な食肉を保存する部屋がある（図5-1-14）。

3.2.2　実測家屋No.2

〈家族構成〉

この家屋には22歳の長兄を筆頭に男4人の若い兄弟が居住している。兄弟の両親は数年前まで共に生活していたが、現在は離れた別の家屋に住み、兄弟とは別に生活している。今のところ兄弟に妻子はなく、4人の兄弟が力を合わせて家事をつとめ、畑や家畜を守っているが、長兄は農作業の他にチョモランマに来る登山隊を補助する仕事に従事して現金収入を得ることもある。

〈建築年代〉

現在この敷地に建つ家屋の建造は数十年前に遡るということであるが、はっきりとした年代はわからない。平屋建てでプランも簡潔なことから、増改築は大きな規模では施されていないと思われる。

〈現　　況〉

敷地の半分ほどの面積に4室構成のL字型平面で、外庭式の平屋建て家屋である（図5-1-15、16）。家屋の南側部分の2室はそれぞれ庭に面し、牧草庫・家畜小屋として使い、北奥の室には大麦籾を保管し、その南側の一番大きな室が居室となっている。居室には380㎜×380㎜の小さな窓が一つと天井に直径220㎜の換気口があるだけで、他に戸口以外の開口部はない。家族も少なく、家畜もあまり多く所有していない比較的貧しい家のためか、暖のとりやすい居室となっている。

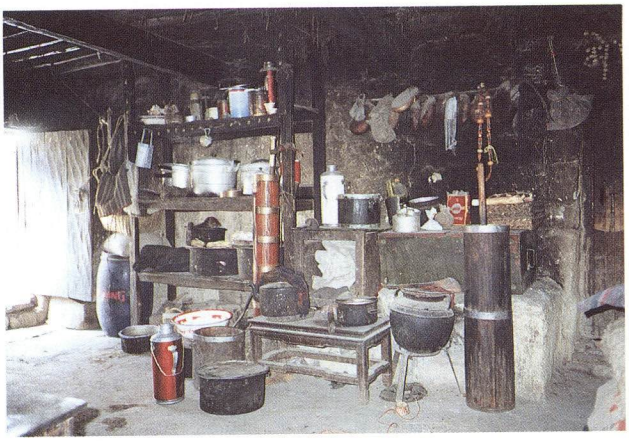


図5-1-13　実測家屋No.1の居室にある食器棚
Fig. 5-1-13　The kitchen utensil shelf in the living room of surveyed house No. 1.

図5-1-14　実測家屋No.1の２階奥の室に蓄えられた食肉
Fig. 5-1-14　Meat stored in an inner room of the 2nd floor of surveyed house No. 1.

3.2.3　実測家屋No.3

〈家族構成〉

この家屋には８人の家族が居住している。その内訳は50代の年老いた夫婦に働き盛りの３人の息子とひとり娘の４人兄妹である。そして３人の息子には１人の妻との間に子どもが１人いる。兄弟３人と１人の妻の関係は、チベット民族にしばしば見られる風習として、一妻多夫婚である。

〈建築年代〉

最初の建築部分の年代も増改築の年代も不明であるが、炉と寝台を設けて日常の居室空間

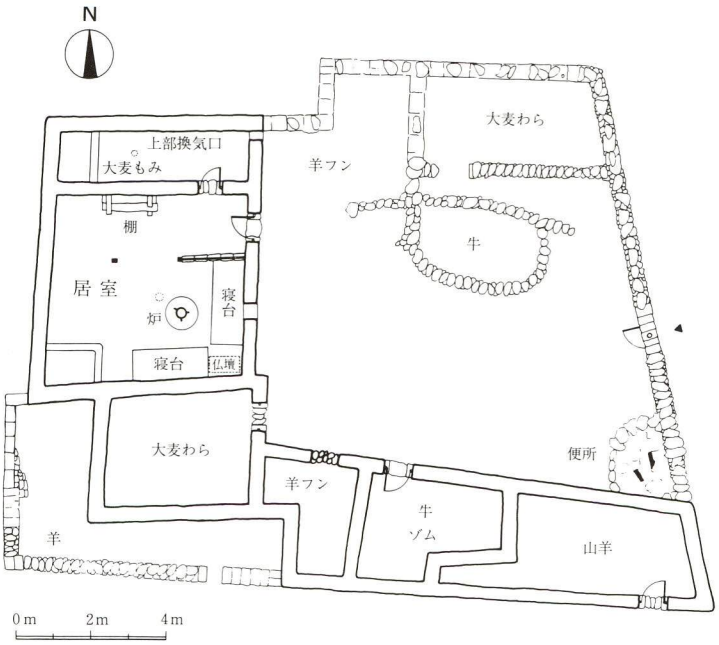


図5-1-15　実測家屋No.2　平面図
Fig. 5-1-15　Plan of surveyed house No. 2.

図5-1-16　実測家屋No.2
Fig. 5-1-16　Surveyed house No. 2.

として現在使用している北西隅の室とは別に、南側にも寝台を備えた室がある。また中央の室には南西隅に泥土でつくられた古いカマド（図5-1-17）が残っていることから、数回にわたって大きな増改築を施していることがうかがえる。また、中央の室の土間には仕切り壁の痕跡と思われる丸石が多く埋まっており、古いカマドもこの室に残っていることも考え合わせると、いくつかに仕切られていたこの室がまず最初に造されて、次に南側の室を増築し、その後北側部分を増築し、最初の建築からかなり長い時間を経て現在に至っていると思われる。

〈現　　況〉

戸外から入った最初の室には古いカマドがあり、ここがこの家屋の中では最も古い建築部分であると考えられるが、この室は屋根の一部を1,750㎜×1,700㎜の大きさで開放して現在は中庭のようにして使っている。この家屋は北下がりの斜面に建ち、北側の居室の下には麦藁を保管する室が設けられている（図5-1-18）。

寝室は暖をとる室とは別につくらず、一つの室に多くを設けてそこに家族が寄り添って寝るのが通常と思われ、北西角の室がそのような使われ方をされているが、炉を置かない南西角の室にも寝台が一つだけ設けられている。このことは一妻多夫の夫婦が居住することと関連があるかとも思われたが、はっきりとしたことは聞き取れなかった。

3.2.4　実測家屋No.4

〈家族構成〉

この家屋は村人が共同で建造し、若い夫婦が２、３年前から管理を兼ねて村から借り受ける形で居住している。夫婦にはまだ子どもはなく、２人だけで生活している。

図5-1-17　実測家屋No.3にある古いカマド
Fig. 5-1-17　An old furnace in surveyed house No. 3.

〈建築年代〉

約5年前に村人が共同で建造した新しい建築で、現在まで増改築はない。

〈現　　況〉

8,000㎜×5,650㎜の長方形一間の簡素な家屋で庭はない。炉を置いて、寝台を設け居室とする他、肥料や大麦藁、農具などもこの1室の中に納められている（図5-1-19）。

この家屋は村の唯一の公共家屋であるために、8月のニュンネ（NIYUNGNE）と呼ばれる祭の際には経の読める村人が何人か集まってこの家で経を唱え、その後村人たちと酒を酌み交わして祭を祝う。その他、村人たちの会合に使われることもしばしばであるという。

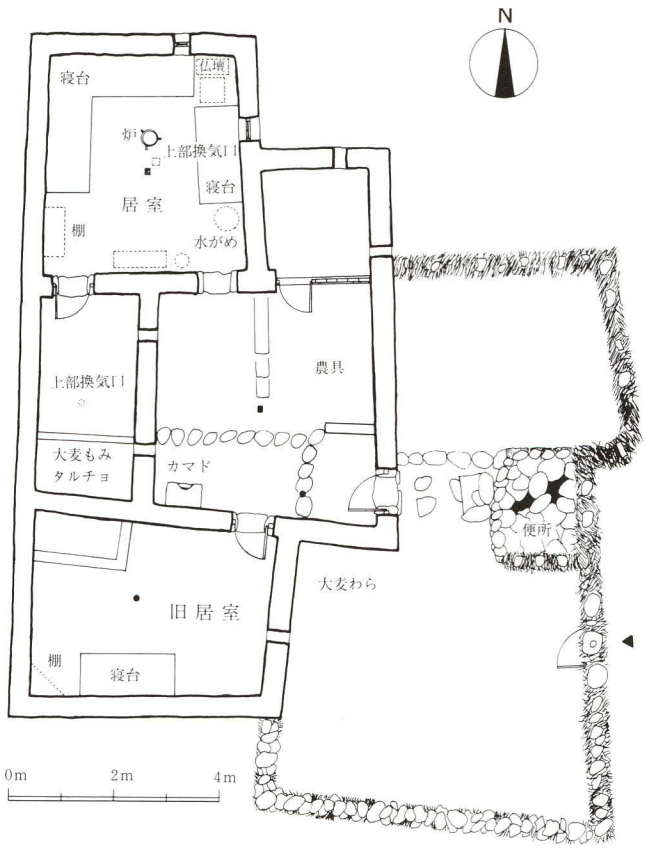


図5-1-18　実測家屋No.3　平面図
Fig. 5-1-18　Plan of surveyed house No. 3.

3.3　観察調査及びヒアリング調査

3.3.1　住居建築の材料と工法

住居の壁は土間に石を50㎝から1ｍくらいの高さに積み、その上に日干し煉瓦を積み上げ、

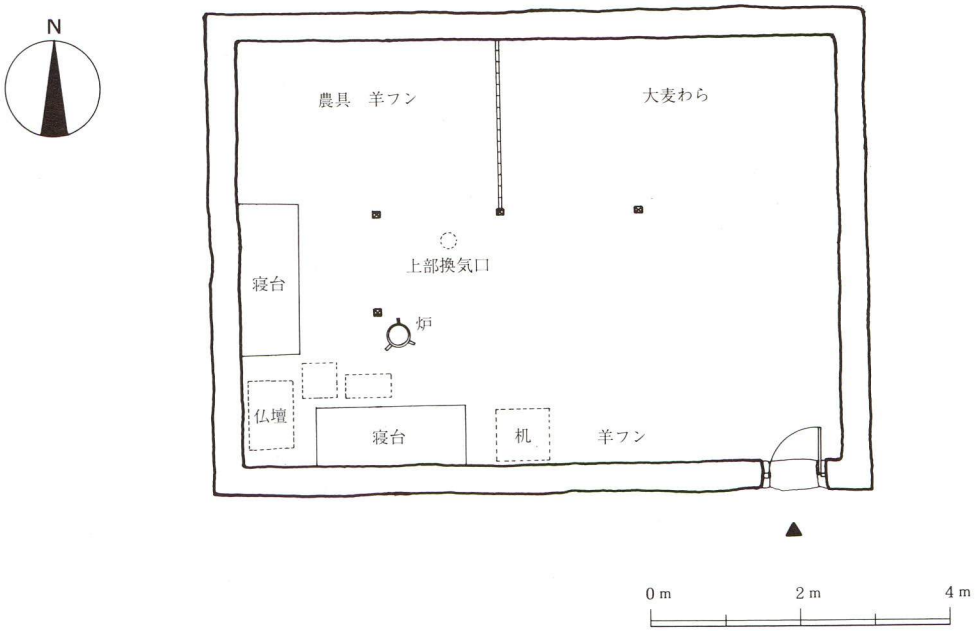


図5-1-19　実測家屋No.4　平面図
Fig. 5-1-19　Plan of surveyed house No. 4.

塗り土で仕上げをして建ち上げる（図5-1-20、図5-1-21）。石は20㎝程の大きさの河原の丸石を使用している。チョゾン村ではすぐ近くを水量の豊富な川が流れているため丸石が手に入りやすく、丸石を多く用いるが、丸石が入手しにくい村では堆積岩を割いて板状にしたものを建材として多く用いる。日干し煉瓦は幅が約40㎝、高さ約15㎝、奥行き約22㎝程の大きさで村近くで採れる粘土質の土に藁を混ぜてつくっている。仕上げは丸石と日干し煉瓦を積み上げた壁に１～２㎝塗り土して壁面を安定させ、さらに外壁には石灰質の泥を２～３㎜上塗りする。白色の滑らかに仕上げられた壁面が、強い日差しによる日干し煉瓦の乾燥やひび割れを防いでいる。

四周の壁を同じ高さに積み上げると、室の中央部に木柱を建て、その上部に肘木を置いて壁と壁との間に架けた桁を支えている。肘木は桁と同じ方向に置いた例が多く確認されたが、桁と交差する方向に置かれた例もあり、また粗雑な造形ではあるが舟形の肘木もわずかに確認されるなど、技法にはばらつきが見られる。

屋根は桁の上に木舞を渡して麦藁を葺き、その上にさらに土葺して陸屋根としている。広い室には断面のより大きな木舞を５～10㎝の間隔を開けて渡すため、麦藁との間にさらに細い竹や細い杉材を葺いている。炉のある部屋では屋根の中央部に直径20㎝くらいの換気口を開けて、炉の煙を逃がしている。建材として使用する木材は松がほとんどであるが、大きな木材や竹を供給できる地域はチベット全土の中でも限られ、チョゾン村でもザンムー

図5-1-20　チョゾン村の家々
Fig. 5-1-20　Houses of Chodzong Village.

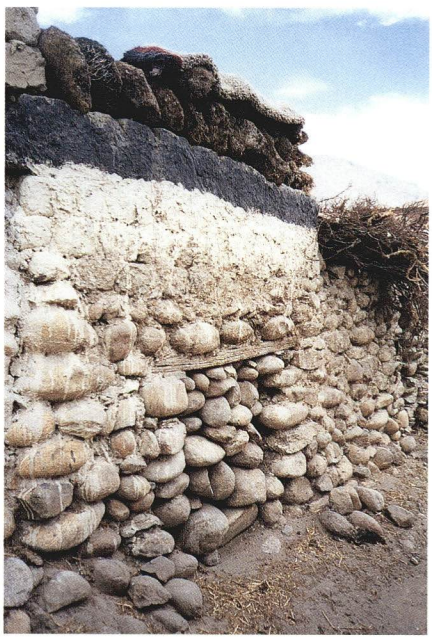


図5-1-21　河原石と日干し煉瓦を積み上げた壁
Fig. 5-1-21　A wall made of river rocks and sun-dried bricks.

（ZHANGMU）など、遠方から取り寄せているため非常に貴重とされている。

開口部は、強い日差しと乾燥、冬期や夜間の厳しい冷え込み、強風といった環境から明かり採り程度に小さく採られ、上部に木の鴨居を入れてその上の日干し煉瓦を支えている。ここにはアーチや迫り出しなどの技術は見られない。現在のチョゾン村では大きな窓にはガラスを張る住居が多いが、ガラスはラサなどの大きな都市から取り寄せるため依然として入手しにくく、小さな開口部には何も張らないこともある。戸は木でつくった板戸で、門扉の場合、上部の鴨居との間が空くように鴨居より10㎝から15㎝程度低く戸を張り、戸の向こう側を確認できるように納められている。

施工全般にあたって、基準尺度には腕を使う。そのため各所のスケールはまちまちであるが、例えば住居の囲塀の高さを注意深く観察すると次のようなことに気が付く。囲塀はその側面に水分の多いヤクなどのフンをできるだけ多く貼り付けて乾燥させられるように表面積を広くして高く積み上げられるが、加えて塀の上に大麦の根を並べて乾燥させることもできるように手の届く範囲でできるだけ高く設定されている。その高さは180㎝前後で、路地からの隣人の視線の遮断、防犯にも適度な高さとなっている。しかし、矩（かね―垂直あるいは直角）については、これも厳密には必要としないため、整形に見える室の平面も実測してみるとかなり歪んでいる例が多く見受けられた。

3.3.2 住居建築の平面構成

厳しい環境の中で燃料を効率的に使うために日常の居室は一つの室に限られる場合がほとんどのようである。このことは核家族であっても複合家族であっても、実測した4軒の家屋全てに共通していた。どの家も同じ一つの居室で家族全員が炉を囲んで食事をし、睡眠をとる。この場合炉を囲むようにして一段高く20㎝程度に土間を盛り上げて敷物をしき、昼間は炉を囲んでそこに座り、夜はここを寝台にしてそこに寝る。

居室以外の室は農作物や食料などの保管場所となるが、大麦や羊の干し肉などのより大事なものを保管する室を戸外からはいって居室を経たできるだけ奥に設けるプランニングも4軒の実測家屋に共通していた。

また便所は戸外に小屋を設け、その屋根に落とし穴を開けて便所とし、小屋には肥料とする糞尿をためることも各家屋に共通してみられた（図5-1-22）。

チョゾン村の家屋は階数は高くて3階であるが、2・3階建ての場合、1階は大麦などの農作物や藁、家畜のフンなどの収納・保管のための空間として使用し、2階または3階を居室空間と位置づけている。また干し肉やジャガイモ、大根などの貴重な食料を保管する室も2階または3階に設けるのが通例のようである。

住居のプランニングは生活のゆとりと深く係わっているようである。村人達ははじめに家を建てるときは敷地の広さだけある程度確保して1室あるいは2室ばかりの小さな家を敷地

図5-1-22　室外に設けられた便所
Fig. 5-1-22　An outdoor lavatory.

の端の方に建てる。生活にゆとりが持てるようになり、家族が増えるとその度に増改築を重ねて室数を増やし、敷地が手狭になると2階に居室をつくって1階を物置にする。このようにして最初は単純で小規模なプランで建てられた後に、長い時間をかけて段階的に、複雑で重層的なプランへと増改築された住居が多い。

しかし、家族の構成や住居の規模が大きく変化しても、やはり居室は一つにまとめる場合が通例で、新旧の居室を持つ住居の複合家族の場合は、現在使っている居室と旧居室を就寝時にのみ併用することもあるが、基本的には寝るときも家族は一室にまとまって寝る。

3.3.3　土着信仰と建築

チョゾン村の生活にはあらゆる信仰が深くとけ込んでいるが、その家屋にも信仰心の表れであるいくつかの仕掛けがみられる。

例えば、屋根の隅をみるとタルチョと共に長年働いたヤクの角を供えて以後も良い家畜に恵まれるように祈り、またサントンサと呼ばれる香炉を設けて香を焚き、願いを祈る。さらに室内の壁面には正月にツァンパの粒を張り付けて願いを書き、一年の天候が良好であるように月と太陽を描いて豊作を祈る。また壁の外側は全体を白い泥で塗り、上部を帯状に黒い顔料で塗り、その黒い帯の下を何カ所かスリット状に赤と黒で塗り付ける。これも白がチェレンシ、黒がチャクナンドッチ、赤がジャンビアンという家内安全と農耕の三大神を表した土着信仰である（図5-1-23）。

またさらにチョゾン村の所々に点在する信仰に基づいてつくられたいくつかの建造物についても触れておきたい。

村の北西およそ100mの所にあるゴンパセンドゥ（GOMPA-SENDU）は、4.9m四方を

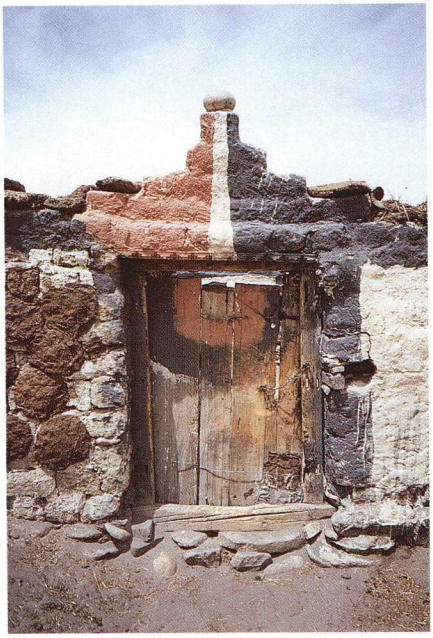


図5-1-23　赤・白・黒の顔料で塗り分けられた門飾り
Fig. 5-1-23　A gate decoration painted with red, white and black face paints.

高さ2.6ｍくらいに丸石で積み上げた３基の経蔵で、全面が顔料で朱色に塗られていて内部には経典が埋め込まれているというが、開口部はなく、外からは確認できない。３基の経蔵は南北方向に並び、西にヒマラヤの山々を仰ぎ、またすぐ北側を東西方向に流れるザカール・チュー河の川下、東側からくる悪い気運を止める力があると信じられている。

チョルテン（CHORTEN）は“小塔”を意味するが、チョゾン村には旧ゴンパ（1966年に始まった文化革命で一部破壊され、現在はゴンパとしての機能を失っている。）のすぐ南側、村のほぼ中央にあたる位置にチョルテンが見られる（図5-1-29）。２ｍ×２ｍ、高さ720㎜の丸石を積んだ基壇の上に日干し煉瓦を積み、ごく浅い庇を四周に２層まわし、その上に堆積岩を薄く割った笠石が載せられている。笠石のある面までは、高さが2,350㎜程であるが、その面からさらに先端にヤクの毛と経文の書かれた札の掛けられた竹が掲げられて、チョルテン全体の高さは、４ｍ近くにもなっている。そして東面には灯明を供えるための小さな棚が掘られ、東面が正面となっている。

ラッス（LHASU）は農耕の豊作を願った祈願碑であり、サントンサ（SANG-TONGSA）はラッスと同様の願いがこめられた香炉を意味する。この２つはそれぞれ１つずつ組になって設けられている。各住居の屋根隅に供えられた大麦の穂やヤクの角と香炉の組み合わせ（図5-1-24、25）もこれにあたるが、家屋の屋根のものとは別に、チョゾン村の

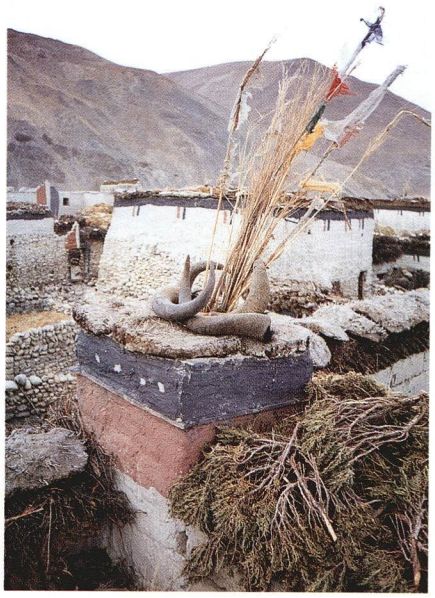


図5-1-24　実測家屋No.1の屋根上に供えられたタルチョとヤクの角
Fig. 5-1-24　Offerings of "tarcho" and yak horn on the roof of surveyed house No. 1.

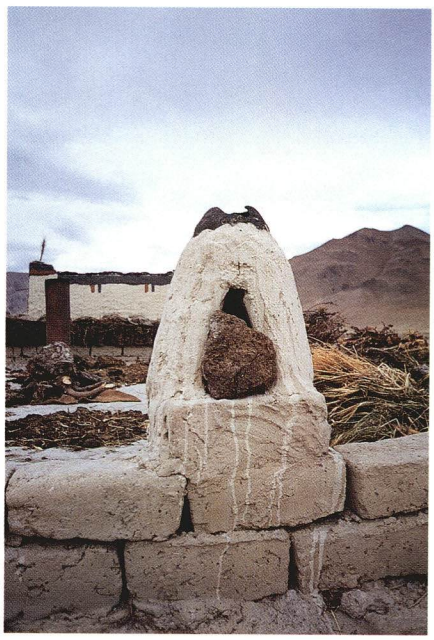


図5-1-25　実測家屋No.1の屋根上にあるサントンサ（香炉）
Fig. 5-1-25　A "Sang-Tongsa" (incense burner) on the roof of surveyed house No. 1.

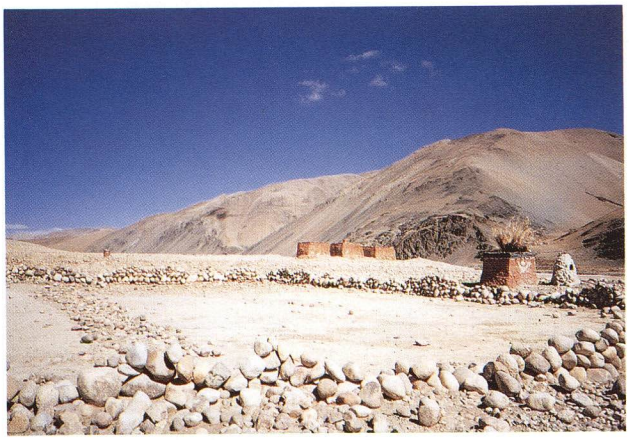


図5-1-26　チョゾン村の北西のはずれにあるゴンパセンドゥ（経蔵）とラッス（農耕祈願碑）・サントンサ（香炉）

Fig. 5-1-26　A "Gompa-Sendu" (sutra storage shed), "Lhasu" (agricultural prayer monument) and "Sang-Tongsa" (incense burner) at the northwestern edge of Chodzong Village.

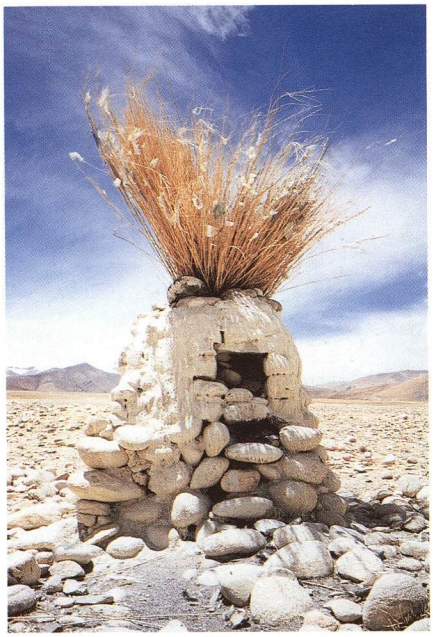


図5-1-27　チョゾン村の南側の兵上にあるサントンサ

Fig. 5-1-27　A "Sang-Tongsa" on a hill just south of Chodzong Village.

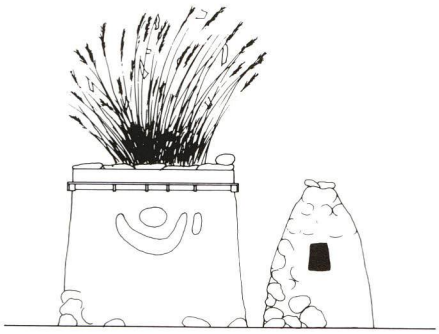


図5-1-28　ラッス（農耕祈願碑）とサントンサ（香炉）
Fig. 5-1-28　A "Lhasu" (agricultural prayer monument) and "Sang-Tongsa" (incense burner).

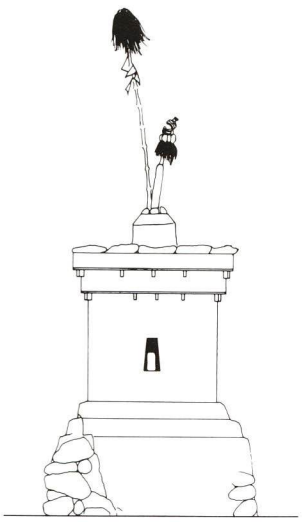


図5-1-29　チョゾン村の旧ゴンパ前にあるチョルテン（小塔）
Fig. 5-1-29　A chorten in front of the old Gompa in Chodzong Village.

はずれには3カ所にラッスとサントンサが見られる（図5-1-26、27、28）。これらはそれぞれ別の土地に宿る神を祀っていて、ロンブック村の方向へ村から150m程西に離れた場所にあるラッスとサントンサはロンブックの神を、村のすぐ西端にあるものはチョゾンの神を、村の南側の丘陵に建つものはその丘のさらに南の谷間に宿る神を祀っている。このうち村の西側にある2つのラッスの東面には順調な天候を願って月と太陽が描かれている。

4．結　び

建築構造に関して述べれば、厚い構造壁と肘木を載せた柱を併用する住居形式という点で、これまでの諸研究で知られてきたチベット族農家に多くみられる技法と一致することが確認された。しかし、構造材料としての石や日干し煉瓦の使用法は地域によって差異が認められ、また肘木の載せ方にも様々な技法があることが確認された。

今後は居住様式に関するより深い調査と共に、そのような建築技法の詳細な調査による比較研究が必要であろう。

また、今回の調査研究で得られた資料が、建築学に限らず民俗学、文化人類学など、他分野への学際的研究へと深化することを期待したい。

参考文献

1) 浅川滋男「雲南省ナシ族母系社会の居住様式と建築技術に関する調査と研究(1)」『研究年報No.19』所収 住宅総合財団（1992）
2) 山口瑞鳳「チベット　上巻（東洋叢書③）」東京大学出版会（1987）

第6章　環境学

6.1　山岳環境保全に関する調査・研究

森山　勇[1)]・宮本俊彦[2)]

6.1　Research on Environmental Preservation of the High Mountain Region

by Isamu Moriyama[1)]

Abstract：The destruction and pollution of nature have become problems on a global scale.

In the Himalaya, also, the destruction of nature in the mountains of China and Nepal, and pollution by trash, have become important problems. The recent increase in the mountaineering population has accelerated these problems. In this situation, a number of parties, notably an American expedition which conducted an environmental study of the area around Mt. Everest in 1990, have made efforts at clean-up, but these are not nearly enough to preserve the environment.

During this expedition, we conducted a survey of the environment around the Rongbuk Glacier, including the trash situation, and the production of trash by mountain climbing expeditions. As one means of disposing of trash, we constructed a smokeless incinerator, operated by solar panels, at Base Camp. Here, in addition to reporting on the above survey, we offer recommendations for preserving the mountain environment, based on our planning and our studies.

要旨：環境保全については、自然破壊および自然の汚染が地球的規模で問われているのが現状である。

ヒマラヤにおいてもネパールの山々、あるいは中国の山々の自然破壊、およびゴミ汚染は大きな問題となっている。加えて最近の登山人口の増大は、これらの問題に益々拍車をかけている。このような状況の中で1990年、アメリカ隊によるエベレスト周辺地域での環境調査の他いくつかのパーティーがヒマラヤにおいて清掃活動を行っているが、もはやこの程度では環境保全が保たれなくなったのが現状である。

我々は、この度の登山を通じ、ロンブック氷河周辺における環境調査として、ゴミ汚染の実態、および登山隊によって生ずるゴミについての調査、更にはこれらのゴミの処理方法として、ベース・キャンプに無煙焼却炉を設置し、ソーラーパネルによる発電で焼却炉の運転を試みた。ここでは、上記報告に加えて山岳環境保全の推進を計るため、今回の計画、調査をふまえ、いくつかの提言を行った。

1．はじめに

今日、地球上は世界的規模で自然破壊が進行し、併せて自然に対する汚染も進んでいる。自然破壊は森林伐採が最も大きく影響し、また汚染については石油化学による大気汚染や放

1)　日本雪氷学会会員　Member, Japanese Society of Snow and Ice
2)　インシナー工業株式会社技術部　Incinerator Industry Corporation

射能汚染などが問題とされている。

ヒマラヤの山岳環境についても、その規模こそ異なるが、原因は同様で、現在環境保全が大きな問題となっている。特にネパールにおいては、生活のため多くの樹木が伐採され、山および河川の環境に対して大きな影響を与えている。また、国内の経済的理由からも多くの登山者およびトレッカーを迎え入れることにより、生活廃棄物の発生も、汚染に拍車をかけている。

チベット自治区においてもネパールと同様で、これらはいずれも4,000mを越える高所であるため、平地と異なり一度失った自然の回復はきわめて困難である。また気温が極度に低いため、バクテリアによる分解は殆ど望むことができず、これらについても現状復帰には長い年月を要することになる。

このような現状の中で1990年、アメリカは環境調査の目的でエベレスト周辺に登山隊を送り、環境調査と清掃を行っている[1)]。また、北側のエベレスト・ベース・キャンプ付近では、チベット登山協会（TMA）により定期的なゴミ回収も行われている。これらは今回の我々の登山期間中少なくとも2度行われ、トラックがベース・キャンプまで入り、缶、ビンなど不燃ゴミを搬出した。

今回我々は、「Take in Take out」を標榜し、環境保全につとめ、併せて全登山期間を通じ、ベース・キャンプ（5,150m）から前進基地（6,350m）周辺にかけての環境調査として、ゴミ汚染の状況および登山隊が与えるゴミの影響、更には高地におけるゴミの処理方法として、特別に設計・製作したソーラーパネルを電源とする無煙焼却炉をベース・キャンプに設置し、これを活用すると同時にその性能について検討した。

本報告では、特に次の点について行った調査・研究の結果を報告する。

1) ロンブック氷河におけるゴミの実態
2) ゴミの発生と収集
3) 焼却炉の効果について
4) ソーラー発電の効果について
5) ゴミ対策における計画と実際

2．ロンブック氷河におけるゴミの実態

ベース・キャンプには、チベット登山協会によって便所およびゴミの集積場が石積みによって建設され、キャンプ地周辺は良く清掃されていた。しかし、広いキャンプ地の内氷河末端付近のテント跡には、電池を含む残骸が若干残置されていた。

我々は、この度、環境保全の立場から、無煙焼却炉をベース・キャンプに建設し、ソーラー発電による送風機運転を試みた。焼却炉の概要については図に示す通りである。（図

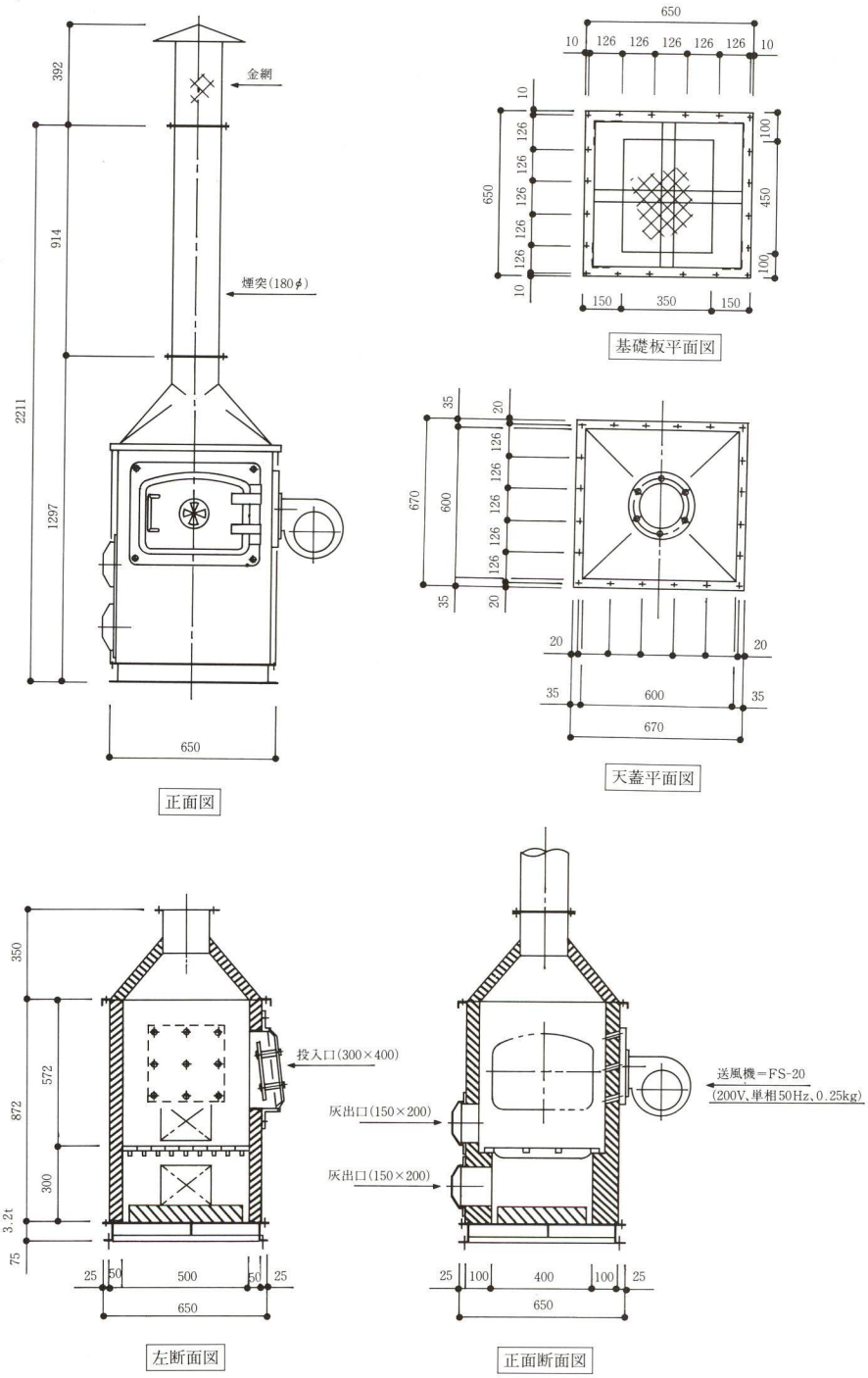
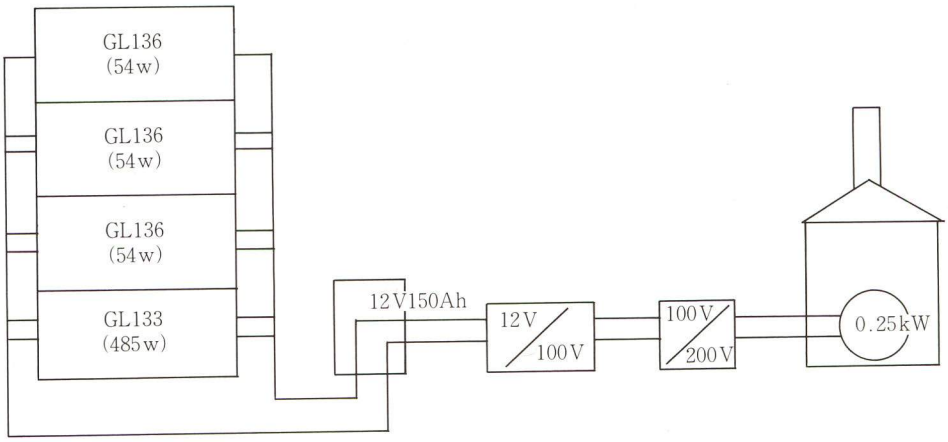


図6-1-1　焼却炉の概要

Fig. 6-1-1　Overall design of the incinerator.



ソーラーパネル	バッテリー (150Ah)	インバーター	トランス	モーター (0.25kW 200V)

No. / 日 附	ソーラーパネル	電 圧	ソーラー	バッテリー	インバーター	トランス	モーター	運転状況
No. 1	4 枚	入 力		21.5V	11.6V	927V	175V	可
4／23	晴	出 力	21.5V	14.5V	927V	175V		
No. 2	3 枚	入 力		21.4V	11.5V	927V	175V	可
5／15	晴	出 力	21.4V	12.7V	927V	175V		
No. 3	2 枚	入 力		21.4V	10.5V	927V	175V	不 可
5／15	晴	出 力	21.4V	12.2V	927V	175V		

図6-1-2 ソーラー発電システムと発電結果

Fig. 6-1-2 The solar generating system and the resulting power generation.

図6-1-3　高所焼却炉

Fig. 6-1-3　A high altitude incinerator.

（注）ＢＣに設置された焼却炉及びソーラーパネルの組立状況である。
焼却炉上は、ゴミの集積場の近くでかつ風下に置いた。この焼却炉及びソーラー施設は、チベット登山協会に提供された。

図6-1-4　便所（ＢＣ）

Fig. 6-1-4　The latrine. (BC)

（注）チベット登山協会によってＢＣに建設された、石積みの便所である。
規模は５穴であるが、強風時には快適とは言えない。この左側にごみの集積所が建設されている。

図6-1-5　ゴミ集積場
Fig. 6-1-5　A spot where trash was gathered.
（注）ＢＣより下流に建設された、登山基地としての管理事務所、及びゴミの集積所である。

表6-1-1　焼却炉の概要
Table. 6-1-1　Incinerator specifications.

高所用可搬式焼却炉	
焼却能力	15(kg/h)
燃焼形式	火格子燃焼
火格子面積	0.25(m^2)
燃焼室容積	0.17(m^3)
投入口寸法	300×400
煙突	φ180×914ℓ(地上高2,211mm)
通風方式	押し込み通風(0.25kw)
助燃設備	無し
排ガス処理	無し
避雷設備	有り
重量	430kg

6-1-1、図6-1-3、図6-1-4、図6-1-5、表6-1-1）

第1キャンプ付近（5,500m）

ここは中央ロンブック氷河と東ロンブック氷河の合流地点であり、登山道を挟んで、テントが、その両側に設営され、キャンプ・サイトには、生活ゴミあるいは、焼却残りが放置されていたが、その量はあまり多くはなかった。

第1キャンプから第2キャンプ（5,500m～6,000m）まで

右岸の登山道を登りきった5,800m付近は、第1キャンプから第2キャンプまでの中間キャンプ場として利用されているところである。ここには多くのゴミが散在していた。

6,000m地点は第2キャンプとして、多くのパーティーが利用する場所である。今回も我々を含めて10余のテントが設営されていた。テント跡、あるいはその付近には、多くの缶、ビン、プラスチック容器が散在し、近くの池は図6-1-5で見るように赤く汚染されていた。この汚れは有機物が分解せずに、池は凍り、汚れはそのままとなっているためと思われた。第2キャンプ周辺の美しい氷塔と対称的であるだけに強い印象をうけた。

第3キャンプ（前進基地、6,350m）

6,350m付近は前進基地で、我々の他、10余のパーティーが入っており、おびただしい数のテント村が出現していた。また、我々以前にもここは北稜ルートおよび北東稜ルートを目指すパーティーが殆どここにキャンプを設ける場所でもある。このために推石上長さ約300mにわたって多くのゴミが放置されていた。中には、30kg入りのプロパンガス・ボンベまでが残置されており、何年間にもわたってその殆どが、東側斜面上に散乱した。（図6-1-7、図6-1-8、図6-1-9）

図6-1-6　氷河汚染
Fig. 6-1-6　Glacier pollution.
（注）第2キャンプサイト近くの池の汚れ状況である。以前には生活用水として利用されていたとのこと。
4月は凍結していて、以前の汚れはそのままの状況を見せている。

図6-1-7　堆石上のゴミ

Fig. 6-1-7　Trash on a moraine.

（注）ＡＢＣキャンプサイトで見つけた、以前のパーティーによるガスボンベ及び収納されたごみ袋である。

図6-1-8　堆石上のゴミ

Fig. 6-1-8　Trash on a moraine.

（注）ＡＢＣにおけるごみの捨て場である。
梱包用ダンボール、缶類が散乱されている。

図6-1-9　堆石上のゴミ
Fig. 6-1-9　Trash on a moraine.

3．ゴミの発生と収集

各キャンプ・サイトに残されたゴミには一つの傾向があるように思える。すなわち、ベース・キャンプは、当然ではあるが最も多く、一般雑芥、混合雑芥および、不燃物としての缶、ビン類であり、その量は少なくない。

今回、ベース・キャンプから前進基地までに発生したゴミの総量は、約700kgであった。これらは、全装備にしめる量の3.5%にあたった。この内ベース・キャンプのゴミの量は、550kgで、この内可燃物が350kgであり、その他は缶およびビン類であった。上部キャンプでは混合雑芥および缶類が150kgあったが、これらはヤクまたは人力でベース・キャンプへ回収した。なお、上部で発生した可燃物については現地で焼却し、その燃え残りを回収した。今回の例を見るかぎり、１人１日当りのゴミの発生量は約500ｇで、一般市中の場合に比べほぼ半分である。

電池類については別に回収したが、管理不足により持ち去られた物もあり、回収率は65%位であったが、これらは全てベース・キャンプ撤収時に搬出した。

ベース・キャンプにおけるゴミ集積は、不燃物、難燃物、可燃物とに別けて、石積みのストック・ヤードに種類別に分別集収した。これらのストック・ヤードは図6-1-10に見られるようにグランドラインを掘り下げ、その周囲に石積みを施し、なおかつその上をシートで覆い風による飛散防止を計った。

生ゴミについては、約１週間程日干しをすることにより、可燃物としてこれを焼却炉で処理した。今回のように規模の大きい、また長期にわたる登山においては、多くのゴミが発生

図6-1-10　ゴミ集積場
Fig. 6-1-10　A spot where trash was gathered.

する。どのようにしたらゴミの発生量を少なくできるかを計画段階で研究する必要がある。

4．焼却炉の効果について

今回の登山における環境保全対策として、高所用焼却炉をベース・キャンプ付近に建設することを計画し、これを実施した。

標高5,150ｍにおける焼却炉は、登山隊によるゴミの特性、および高所特性を考慮して次のように計画された。

(1)　基本計画

登山隊が排出するゴミ（廃棄物）およびベース・キャンプ周辺に残置されているゴミは一般雑かい（木屑、紙屑、綿屑、繊維屑、廃プラスチック、ゴム屑などの可燃性廃棄物の混合物で廃プラスチックとゴム屑の混合比が10％以下のもの）と厨かい（動・植物性廃棄物）の混合物と推定され、処理方法としては一般的な焼却による方法がもっとも有効であると判断した。

上記廃棄物は低位発熱量が3,000kcal／kg近くあり、きわめて着火燃焼性がよいので、小型でもあり、燃焼速度も速く高効率が得られるため、火格子上向燃焼の固定炉とした。

さらに、ベース・キャンプで使用するということで以下の配慮をした。

イ）可燃式とし、現場組立構造とする。

ロ）構成設備を最大50㎏（NET）以下とするべく炉材は軽量耐火材を使用する。

ハ）避雷設備を設ける（落雷時の機器の保護）。

ニ）強制通風式とし、送風機を付け太陽光発電設備を備える。ただし、雨天を考慮して発

表6-1-2　焼却炉燃焼記録
Table. 6-1-2　Record of incineration by the incinerator.

日　附	ゴミの投入量	ゴミの種類[1]	焼　却　灰	摘　　要
4／7	15.0	1	3.5	ソーラー
4／13	5.0	1	1.5	ソーラー
4／21	15.0	1～2	6.5	ソーラー
4／23	11.0	1～2	5.0	ソーラー
4／24	22.5	1	6.0	ゼネレーター
5／1	25.5	1	3.5	ソーラー
5／2	2.0	1		ソーラー
5／5	38.0	1～2	20.0	ゼネレーター
5／13	63.4	1～2		ソーラー
5／14	43.0	1～2	10.0	ソーラー
5／15	26.5	1～2	17.5	ゼネレーター
5／16	49.6	1～2		ゼネレーター
合　計	316.5kg		73.5kg	

[1] ゴミの種類　1．一般雑芥　木屑、紙屑
2．混合雑芥　とちゅう芥の混合物

電機との併用を可能とする。

(2) 目　　的

本試験の目的は、高所（空気中の酸素量が稀薄な状態）における最適な焼却方法（燃焼方法）をみつけだし、平地での熱分解速度が速く（結果的に酸欠）発煙しやすい廃プラスチック焼却への応用の可能性をさぐることである。

次に、平地においては空気比m＝2～3で完全燃焼が図られるが、酸素温度が稀薄な高所においては平地と同じような空気量では余分に取り込まれた窒素分は炉温を低下させることになるので、理論空気量近くで燃焼させるべく、その燃焼方法を推論することである。

また、太陽光発電装置の実証試験を行い、高所用焼却炉の開発のための基礎資料を得ることである。

(3) 実施結果

焼却炉による焼却は全期日を通じて12回、うちソーラー発電による操作は8回であった。なお、その他の4回は持ち込みの発電機によって行った。焼却炉は図6-1-1に示すように、高所仕様可搬式、つまり軽量かつ運搬組み立てを容易にしたものである。また強制送風として押込直風装置および、雷対策として避雷針を取り付けた。

焼却炉の燃焼能力は毎時15kgであり、5月13日の焼却データによると、63.4kgを4時間で焼却することができた。よって能力的には平地並の能力を発揮したことになる。しかし平地と大きな相違点としては、焼却灰の発生率が異なることである。すなわち平地においては、

表6-1-3 焼却炉規格

Table. 6-1-3 Standards on the incinerator.

名　　称	数　量	仕　　様
突針用金具	2	SS41-9mm
ボトル・ナット	76	M8×25　丸座金付き
		モータ巻き替え（200V—単相—50Hz—0.25Kw）
送　風　機	1	FS—200型（on-off スイッチ付き）
火　格　子	9	長さ＝455mm　アルミナイズ加工
陣　　傘	1	180φ用（網・傘）　アルミナイズ加工
煙　　突	1	内径180φ—914mm　アルミナイズ加工
基　礎　板	1	[75×40×5/7　150×50×6t　3.2t
天　　藍		ケーシング＝2.3t　耐火材＝ライトキャスター12N
		空気ヘッダー（送風機取付）・空気パイプ付き
右　側　壁	1	ケーシング＝2.3t　耐火材＝ライトキャスター12N
		No.2型・灰出口（2個）付き
左　側　壁	1	ケーシング＝2.3t　耐火材＝ライトキャスター12N
後　　壁	1	ケーシング＝2.3t　耐火材＝ライトキャスター12N
		C—0型用・投入口付き
前　　壁	1	ケーシング＝2.3t　耐火材＝ライトキャスター12N

約3％の灰が発生するのに対し、ベース・キャンプでは20％の灰が発生した。また、焼却灰の色についても平地の白に対して、ベース・キャンプでは濃い灰色であった。

この原因については、操作技術、つまり送風量を大きくしたため、低温の外気を取り込んだため炉内の温度低下と高所における酸素不足が原因と考えられるが、いずれにせよ、焼却炉の効果は大きく、今回は更に高所キャンプにおいても、軽量かつ簡易組立式高所用の焼却炉を開発することを提案したい。

5．ソーラー発電の効果について

(1) ソーラー発電の特徴

ソーラー・エネルギーが今日多くの分野において利用されている。

ソーラー・エネルギーの特徴は、クリーン・エネルギーとしての無公害性はもちろん、エネルギー採取の場所を問わず、大きな送電施設も必要としないことである。また、無限の量を有し、必要量に応じて利用することができるなどその長所は多い。

発電施設においても、特別のものを必要とせず、無人発電ができ、また安全面でも優れている。

これらの特徴は、まさに山岳向きともいえ、天候条件に左右される点があるが、今回のような天候の安定した地域においては、まさに最良の方法である。

更に、日射量については、5月のロンブック氷河の氷河上（5,400m）で、547.8cal/cm^2 day[2)]が記録されている。

夏至の北緯35度における日射量260cal/cm^{2}day[3]に比べ、そのエネルギーは約2倍以上である。

(2) ソーラー発電の基本計画と運転

焼却炉送風機電源として、基本計画は焼却炉の運転を4日間隔のサイクルで行う事とした。発電容量については、1日3時間運転、3時間日照として計算し、約8 Ah/dayの発電能力のあるパネルとし、余裕をみて4枚のパネル合計12.2Ah/dayを搬入した。

実際、焼却炉の使用度は、当初計画の4日サイクルでなく、登山計画に準じて、初期、中期、後期と3段階となった。これは、隊員の行動に対応するゴミの発生の変化と考えられる。また運転計画は、風の少ない日を選ぶ必要があり、ゴミのストック量をみて、まとめて燃焼する必要があった。

登山活動終了近く撤収時においては、前進基地からもゴミが集められ、作業は休みなく続けなければならなかった。

5月15、16日はゼネレータを使用した。その理由は5月15日にこの発電施設をチベット登山協会に寄贈したため、ソーラー設備を使用できなかったからである。

また、ソーラー・システムの計画にあたっては、使用する機器の電気仕様、特に電圧については注意する必要がある。

ユニットとしての組立、接続についても事前に計画し、作業の簡素化とエネルギー・ロスの低減を図ることが大切である。

今回は、このソーラー・システムを焼却炉の他、照明、通信等にも利用し、活用効果は非常に大きく、今後は更に風力、水力などのエネルギーの利用を提案したい。これらのエネルギーは、安全、クリーンのみでなく、結果として輸送、運搬における重量の低減を図ることができ、更に高所での利用を考えることは、登山の成功に対しても大きく寄与することになると確信する。

6．ゴミ対策における計画と実際

今回の登山においての反省を含めて、環境保全の立場から、ゴミ対策について、その計画と実際について、問題点と実施結果を報告する。

(1) 何よりもまず計画的にゴミの発生の減量を計ることが大切である。これは出発前の梱包材料をどうするか、あるいはいかに梱包材料を減らすかという意識の問題でもある。現地でのゴミの種類としては一般雑芥にあたる梱包材、パック袋が最も多く、事前に排除、整理できるものが相当あった。

(2) 炊事および食料による厨芥も多く、これも梱包同様、仕入計画、保存に対する工夫、そして炊事計画等の改良で減量化を計ることができると思われる。

(3)　汚物の処理については非常に難しいものがあった。ベース・キャンプにおいては便所があり、使用済の用紙は特製の袋に集め焼却したので問題はなかったが、高所キャンプにおいては現地処理しかなく、使用済の用紙もそのままなので、使用後風に吹かれて舞い散るなど非常に汚れが目立った。

これらゴミは気温も零度以下と大変低く、分解するのには相当の年月がかかるものと思われる。このため、糞尿等の汚物処理は、今後においても大きな環境保全の問題である。

(4)　プラスチック等の高分子によるゴミについては、全く分解しないため、必ず現地処理あるいは持ち帰りを実行し、当面は風による飛散防止を計るべきである。

特に梱包用としての小片のプラスチックの飛散が随所に見られたが、これらは出来得ることなら使用すべきではない。

(5)　ガラスビン、および缶類については殆ど回収することができたが、登山路のいたるところにガラスビンの破片がみられるのは、以前の登山隊によるものと思われる。これらは永久に残るものであり是非改めたいものである。

(6)　電池、ガスボンベ等の危険物については取扱いに注意し、持ち込み数量と持ち帰り数量をチェックするくらいの配慮が必要である。現地における盗難防止、あるいは焼却による爆発事故防止なども特に注意が必要と思われる。

(7)　ベース・キャンプにおける、ゴミの集積は不燃、難燃および危険物と分類し、ストック・ヤードは風による飛散防止のためシートでカバーする必要がある。

(8)　焼却炉の利用については、ゴミの燃焼率が非常に高く、極めて有効に働いた。今後は高所キャンプにおいても、組立簡易式で、かつ熱利用できる焼却炉を開発し使用することを提案したい。

(9)　焼却炉の運用には、ソーラー発電を利用したが、おおむね計画通りであった。

しかし、組立方法、管理上の問題、および風、砂塵、雪などに対する使用上の工夫が必要であった。

(10)　ベース・キャンプにおいて、ゴミ清掃、および焼却炉の使用にあたっては、ゴミ挟み、ゴミ用ゴム手袋、ゴミ収集袋が必要である。また焼却炉にゴミ袋を投入する場合、炉の入口で溶けない様な材質の袋を用意すること、また焼却炉の投入口の大きさを考慮した収納袋を用意するなどの配慮も必要である。

(11)　北東稜線上においては、若干の装備とフィックスロープを残置したが、他はすべて回収することができた。しかし基本的には、すべて回収することが必要である。

以上が、今回の登山活動を通じての、反省と実施結果報告である。

環境保全としてこの他、まだ多くの課題があると思われるが、ゴミ問題は全スタッフの理解と協力が必要であり、今回の登山においては、各キャンプ場で「Keep Environment」をあいさつ言葉とした。

基本的には、一人一人が環境保全に対する意識をもつことが大切である。

参考文献

1)　1990 EVEREST ENVIRONMENTAL EXPEDITION REPORT, United States of America

2)　牛木久雄「中国におけるヒマラヤ氷河の研究－論文「中国、チベット自治区南部、チョモ・ルンマ峰（エベレスト峰）地区の氷河の基本特性」の翻訳紹介」『雪氷』（38巻1号）所収　日本雪氷学会 1976年3月31日

3)　建築学ポケットブック計画原論

おわりに

本報告書は、冒頭に述べたようにエベレスト登山隊を科学的にサポートし、併せて周辺地域で行われた学術隊の調査・研究の成果である。調査環境は、エベレストのベース・キャンプ周辺での調査のため、データの収集は、高度の影響、寒気、危険など学術隊には大変厳しい環境の下で行われた。

また、調査期間も登山との関係から、自由に、かつ充分とれない場合も多く、不充分な点も多々あったが、全体に貴重な資料の収集と、環境学のような大変ユニークな研究が出来たものと思う。

本書の題名エベレストについてはチョモランマではないかとのご意見もいただいた。事実エベレストは中国名をチョモランマ（Qomolangma、珠穆朗瑪峰）、ネパール名をサガルマタという。今回我々の調査対象は北面、すなわち中国領のためチョモランマという上記のご意見は正しいのだが、我々は登山隊結成時多くの議論の中で「より一般的な呼称」であるエベレストを採用した。この結果、我々の登山隊の正式名称は「日本大学エベレスト登山隊」とし、本書の名称もそれに従った。

このたび関係各位のご指導、ご協力により登山隊報告書と併せ、登頂記念日を目途に、本書の上梓を見たが、我々の学術調査は、この報告書をもって終了するのではない。これらの研究がエベレスト登山だけで終わることなく、将来我々の研究を理解し、多くの方々が興味をもち、今回の諸調査が、継続的観測に発展し、更には、新しい学問領域が開かれ、巾広く行われることになればこれにまさる幸せはない。

今後ともご支援をお願いし、併せて各位のご叱正、ご意見を賜れば幸甚である。

最後になりましたが、本書の刊行に対し、事務的にご指導いただいた日本大学総合科学研究所事務課長、坂下正則氏と、不慣れな編集作業をサポートして下さった、日本大学理工学部・研究所事務課、高橋アヅサ氏、並びに原稿の清書等、ご苦労をわずらわせた研究室の助手、斉藤俊一氏と江川美千子さんに対しお礼を申し上げます。また、編集に携わっていただいたフリー・ジャーナリストの浜名純氏や、サン美術印刷の加藤雅人氏、オクト・フォト・タイプの沢口悟司氏に感謝を表します。

平成８年６月
駿河台の研究室にて
平山　善吉

日本大学エベレスト登山隊・1995
学術調査報告書

発行日／1996年6月30日
定　価／4,500円
編集者／日本大学エベレスト登山実行委員会
東京都千代田区神田駿河台1－8
日本大学理工学部　平山研究室内
（代表　平山善吉）
発行所／榕樹書房
東京都千代田区神田神保町1－40
TEL 03(3291)0871
印　刷／サン美術印刷株式会社

◎日本大学エベレスト登山隊　1996年　Printed in Japan
本書掲載の写真ならびに記事の無断転載を禁じます。