

# 被服気候学的観点からの 高所用登山靴の評価・改良

武庫川女子大学 横山 宏太郎

(現所属：北陸農業試験場)

## Evaluation of High-altitude Climbing Boots from the Viewpoint of Clothing Microclimate

by

Kotaro Yokoyama

*Mukogawa Women's University*

### ABSTRACT

Wear-tests of high-altitude climbing boots were carried out in the artificial climatic chamber under the ambient temperature of  $-20^{\circ}\text{C}$ . The tested samples were four natural leather boots and four plastic boots. The measured items were: the temperature and the water vapor pressure of the microclimate in the boots, heat flow through the boots and the change of the boots weight. The thermal sensation of the foot was voted.

The group of natural leather boots showed smaller overall coefficient of heat transmission and higher temperature in the boots than the group of plastic boots. The natural leather boots showed better water vapor transfer property than the plastic boots.

### 要 旨

高所用登山靴 8 種類 (天然皮革製登山靴, プラスティック製登山靴 各 4 種類) について  $-20^{\circ}\text{C}$  の人工気候室内で着用実験を行ない, 保温性能と対水分特性の両面から温熱的機能を評価検討した. 全般的に皮革製登山靴の方が靴内温度はやや

高く, 熱貫流率が低く保温性は優れていた. プラスティック製登山靴にも皮革製登山靴と同等の保温性を示すものが 1 種類あった. 皮革製登山靴の方が, 靴内部はプラスチック製登山靴に比較してより乾燥しており, 着用時の重量増加も少なく, 水分放出特性においてやや優れていると思われる.

# 1. 緒 言

高所登山は低温、低酸素濃度という過酷な自然の中で行われるスポーツである。登山者は、時として生命の危険に晒されることさえある。そこで用いられる装備は、登山者の生命を守るために必要な機能を備えていなければならない。しかも近年、高所登山はより困難な条件を求めて厳冬期の八千メートル峰へと先鋭化し、装備にはさらに高い機能が求められている。高所では低温と強風によって人体からの放熱量が増加し、それに加えて低酸素濃度による人体の産熱能力の低下から体温維持が困難になる。そのため、まず衣服装備の保温性が重要なのもちろんであるが、登山靴もそれに劣らず重要な装備である。登山中に足の温度が低下して凍傷に冒されては足先の切断といった治療を必要としたり、行動の自由を奪われ死亡事故にいたる場合もある。

高所用登山靴に要求される機能として、いわゆる保温性、つまり顕熱移動に対する抵抗はもっとも基本である。しかし、対水分特性もそれに劣らず重要と思われる。靴や靴下に水分が蓄積されると、保温性能が低下する。その水分が結霜または凍結すれば、翌日融解するときに足から熱を奪う。高所登山では靴を乾燥させるのは困難である

から、なるべく湿らない靴が必要である。つまり、靴の水分放出能力は高い方がよい。特に最近普及してきたプラスチック製登山靴は、シェル内面に霜がつくなど、この点についての苦情が多く聞かれる<sup>1)</sup>。高所登山靴に関する数少ない研究報告例のなかで、プラスチック製登山靴を扱ったものとしては北海道大学山の会の一連の冬季ヒマラヤ登山に際しての研究<sup>2,3)</sup>があり、保温性能を比較検討しているが、対水分特性は報告がない。

そこで本研究では、人工気候室での高所用登山靴の着用実験を中心に、保温性能と対水分特性の両面から温熱的性能を評価検討することを試みた。

## 2. 実験方法

### 2.1 試 料

試料とした高所用登山靴は表1に示す8種類である。この内、L1～4は天然皮革製登山靴、P1～4はプラスチック製登山靴である。もちろん、インナーブーツなどには、別の材料が使われている。L1とP1～4は市販品、L2, 3, 4は特注品である。またL2とL3, P3とP4は、シェル(外靴)はそれぞれ同一で、それに二種類の異なるインナーブーツを組み合わせたものである。L1～L4はシェル、インナーブーツと

表1 試料とした高所用登山靴

記号	材 料		1 足 の 重量 (kg)	備 考	
	シ ェ ル	インナーブーツ			
		甲			保 温 材
L 1	天 然 皮 革	天 然 皮 革	フ ェ ル ト	3.92	市販品, 7冬使用 特注 特注, シェルはL2と共通 特注
L 2	天 然 皮 革	天 然 皮 革	羊 毛 ポ ア	2.97	
L 3	天 然 皮 革	透 湿 防 水 布	フ ェ ル ト	2.84	
L 4	天 然 皮 革	天 然 皮 革	羊 毛 ポ ア	3.54	
P 1	プ ラ ス テ ィ ッ ク	天 然 皮 革*	フ ェ ル ト	2.56	3年使用   シェルはP3と共通
P 2	プ ラ ス テ ィ ッ ク	樹 脂 コ ー テ ィ ン グ 布	不 明	2.50	
P 3	プ ラ ス テ ィ ッ ク	樹 脂 コ ー テ ィ ン グ 布	不 明	2.54	
P 4	プ ラ ス テ ィ ッ ク	通 気 防 水 布*	フ ェ ル ト	2.72	

\* 詳細不明

も天然素材，P 2，P 3 はシェルとインナーブーツのほとんどが合成素材，P 1，P 4 は両グループの中間で，シェルはプラスチックだがインナーブーツは天然素材が主である。

## 2. 2 実験条件と被験者

環境温度は  $-20^{\circ}\text{C}$  に設定した。これは，過去の登山隊の記録や著者の未発表データからして，ヒマラヤ中部標高7000メートル，3月から4月の日中気温を  $-10\sim 15^{\circ}\text{C}$  とみつもり，それに風の効果を加味したものである。

本実験では，低温環境での作業強度や衣服の影響をも併せて検討したいため，作業強度は 100W と 150W の 2 通り，着用衣服は 5 種類で行なった。結果はこの点をふまえて整理する。着用衣服は，登山用ないし作業用の防寒服である。靴下は厚手のウール靴下 1 枚とした。

被験者は，実験条件として設定した気温  $-20^{\circ}\text{C}$  という低温環境に耐えられ，かつ信頼性のある評価を期待し得る，高所登山経験者，国内厳冬季登山経験者 3 人とした。いずれも男性で，年齢は 22 歳から 41 歳である。19 回の本実験の概要は表 2 に示した。

## 2. 3 着用実験

高所用登山靴の低温下における性能を検討するため，着用実験を行なった。実験には武庫川女子大学被服学科の人工気候室を使用した。内部はドアで行き来できる二室からなるが，その一方を実験室として環境温度を  $-20^{\circ}\text{C}$  に調整し，他方を予備室として環境温度を  $10^{\circ}\text{C}$  に調整した。高所用登山靴と靴下はあらかじめ重量を測定しておく。被験者は，予備室で所定の登山靴と防寒衣服を着用し，センサーを装着した後実験室へ移動し，実験を開始する。

実験は 60 分間で，15 分安静，30 分運動，15 分安静とした。運動には自転車エルゴメータ（モナーク社製）を用いた。

靴内気候，熱流，衣服内気候，前額深部温を 1

表 2 実験の概要. 被験者，作業，左右の靴の組合せ，着用衣服

番号	月日	被験者	作業	右	左	着用衣服
KT 1	8.25	N	150W	L 2	P 2	P
KT 2	8.25	T	150W	P 2	L 2	P
KT 3	8.26	T	100W	L 2	P 2	T
KT 4	8.26	Y	150W	P 2	L 2	P
KT 5	8.27	N	150W	P 2	L 2	W
KT 6	8.27	Y	150W	L 2	P 2	W
KT 7	9.6	Y	100W	P 1	L 1	T
KT 8	9.9	Y	100W	L 2	P 2	W
KT 9	9.13	Y	100W	P 2	L 2	P
KT 10	9.16	Y	100W	L 4	P 3	P
KT 11	9.17	T	100W	L 4	P 3	W
KT 12	9.19	N	100W	L 2	P 3	W
KT 13	9.20	N	100W	P 2	P 3	PV
KT 14	9.20	T	100W	P 3	P 2	PV
KT 15	9.20	Y	100W	L 3	L 2	P
KT 16	9.24	N	100W	L 3	P 2	WV
KT 17	9.27	T	100W	P 4	P 3	PV
KT 18	9.27	Y	100W	P 3	P 4	PV
KT 19	9.29	Y	100W	P 4	L 3	P

分間隔で測定した。靴内気候は，初めから 8 回目の実験までは土踏まず一点で測定した。その後定点を 2 点追加したが，ここでは全実験に共通な土踏まず一点のデータを用いる。熱流は足の外側，踝の前部で測定した。なお，熱流センサーでは温度も同時に測定している。この値も靴内温度として解析に用いた。

靴内気候，衣服内気候，前額深部温の計測には，被服気候計測システム<sup>4,5)</sup>を用いた。熱流(単位面積・単位時間あたりの移動熱量，以下熱流と称する)は熱流収録装置(株式会社昭和電工製)を用い，パーソナルコンピュータにより自動収録した。これらのセンサーは，足に靴下を着用し，その上，すなわち靴下とインナーブーツとの間に設置した。

環境温度は約  $-20^{\circ}\text{C}$  で，被服気候計測システムの測定可能範囲より低温であったため，別の温湿度センサー(株式会社 ヴァイサラ製)を使用し，熱流収録装置に接続して計測収録した。

主観申告として、全身について快適感、温冷感、および右足・左足それぞれの温冷感を一分毎に、表3のカテゴリースケールによって申告した。

表3 主観申告のスケール，温冷感は全身と足共通のスケール

温冷感 (全身, 足共通)		快適感	
9	非常に暑い	4	非常に不快
8	暑い	3	不快
7	暖かい	2	やや不快
6	やや暖かい	1	快適
5	中立		
4	やや涼しい		
3	涼しい	汗の出方	
2	寒い	4	汗が流れる
1	非常に寒い	3	汗がでる
		2	汗ばむ
		1	感じない

被験者が運動中の状況を、図1に示した。



図1 着用実験中の状況

## 2.4 重量変化計測

着用実験の前後で靴の重量を測定し、その変化から登山靴の吸湿・放湿特性を検討する。靴下・インナーブーツ・シェルおよびそれらの組合せについて、電子天秤（ザルトリウス製）により秤量

した。実験前は、秤量するにあたって特に問題はない。設定した環境の下では天秤が正常に作動しないこと、人工気候室内は0.1m/sec程度の風が常にあり、天秤への影響が避けられないことから、実験後は常温の室内へ靴を持ち出して秤量した。登山靴は実験中に冷えているので常温の室内ではシェルに次第に露がつく。測定は迅速に行なうように注意したが、結露の影響は避けられず、実験後の測定では、靴の部分の重量の合計と組み合わせたときの重量とは一致しなかった。実験後は、まず靴下・インナーブーツ・シェルを重ねて秤量し、ついで各部分を秤量するように、測定の順番を統一した。

## 3. 結果

### 3.1 靴内気候，熱流

靴内の温度は実験開始後次第に低下する。一部、運動後半からやや上昇するものがあったが、多くは一定値に近づく様子が見られた。温度には靴による差があるが、靴内での部位による違いも大きく、5°C程度の場合もあった。水蒸気圧の時間的な変化の様子は、温度とはほぼ同様であった。

熱流は実験開始後次第に増加し、実験後半にはいるとほぼ一定値となる。靴を着用した後に、環境温度が10°Cから-20°Cへ急に変化するので、靴の外側から内側へ順次冷却が進む過程で熱流センサー近傍の温度差が増大して行くため、熱流は次第に増加するが、実験後半ではかなり定常状態に近づくため、熱流がほぼ一定値になるものと考えられる。そこで、熱流は靴の中から外へ、靴に垂直な方向だけと仮定し、熱流と靴内外の温度差とから熱貫流率を計算した。

靴内温度・水蒸気圧、足の温冷感、熱流、熱貫流率については、実験の後半20分について平均値を求め検討した。温度は足の外側・内側で差が大きいが、二つの値の平均値を靴内温度とした。

全般的な傾向を見るため、靴内温度、熱流、熱

貫流率，足の温冷感，靴内水蒸気圧の実験後半20分の平均値を，靴の種類について平均し，図2～6に示した．これらの図の中で，標準偏差を示す

バーのないグラフは，データが一つだけで平均できなかったものである．

L2とP2とは作業150Wと100Wの場合を並

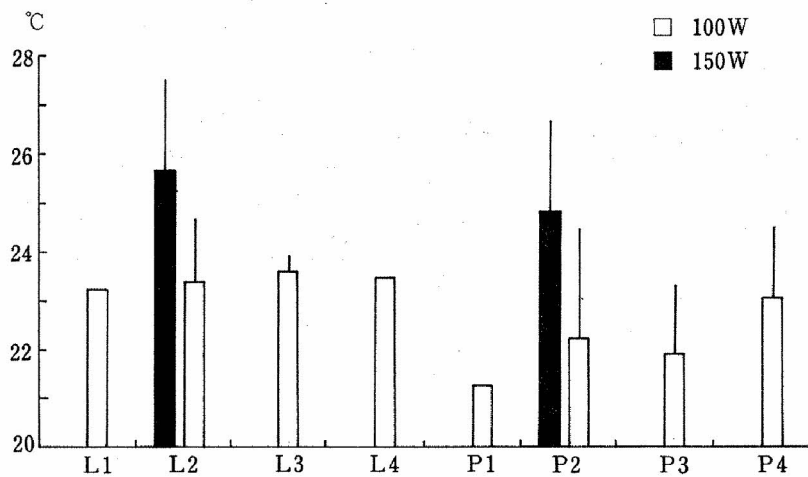


図2 靴ごとに平均した靴内温度

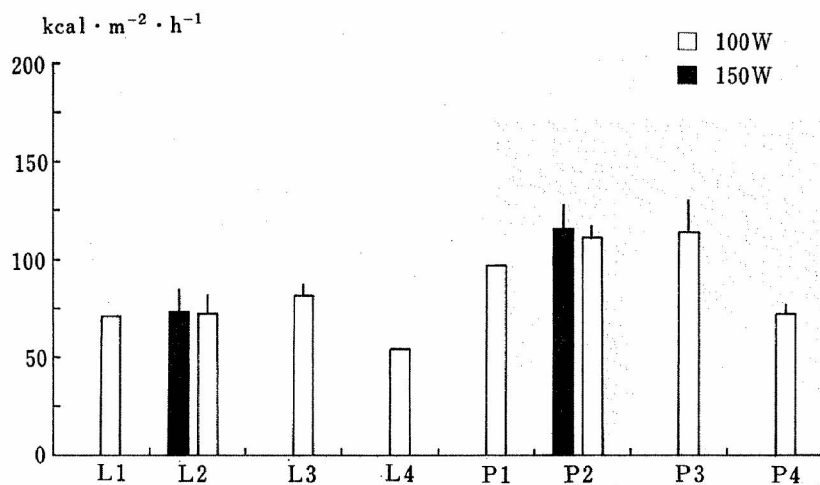


図3 靴ごとに平均した熱流

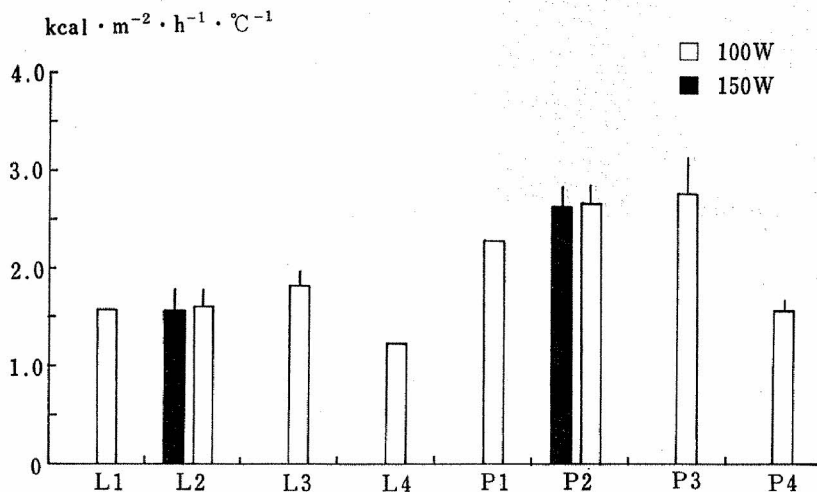


図4 靴ごとに平均した熱貫流率

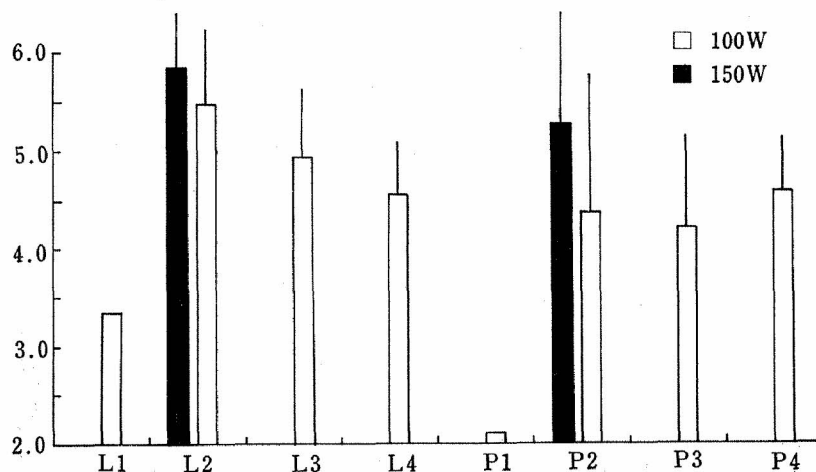


図5 靴ごとに平均した足の温冷感申告

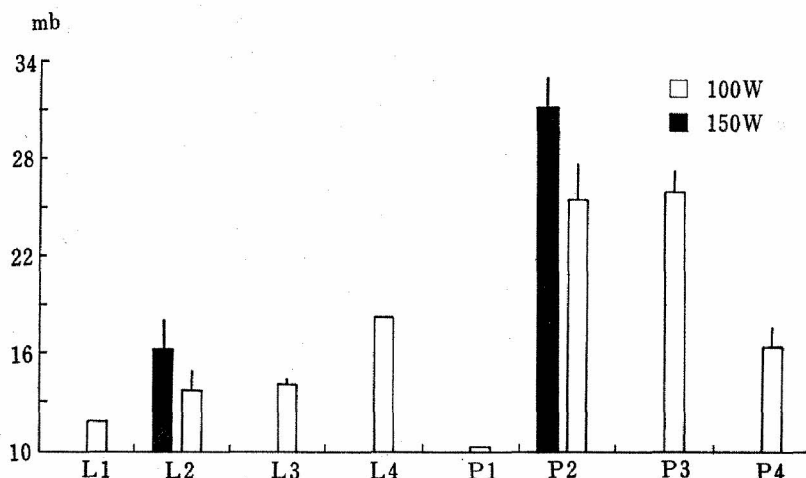


図6 靴ごとに平均した靴内水蒸気圧

べて示した。ほかは、作業100Wのみである。作業強度の違いは靴内温度には影響しているが、熱流、熱貫流率はほぼ等しい。熱貫流率がほぼ等しくなったことは、先の仮定がある程度妥当であることを示している。図2, 3, 4から、熱流、熱貫流率の小さい靴(L1~4, P4)では、靴内温度が高い傾向が伺える。また、温冷感(図5)を見ると、あたたかめの申告がされていることがわかる。

この結果から、L2~L4, P4は比較的暖かい靴、P2, P3は比較的寒い靴であることがわかった。L1, P1は一回のデータだけなので、はっきりしたことは言えない。

### 3.2 重量変化計測

靴の種類ごとに重量の変化を平均して、図7に示した。また、表4はインナーブーツの材質が天然素材と合成素材の対比となる3組についての、重量変化の差である。インナーブーツの材質によって、結果にかなり相違がみられた。天然素材を使用したもの(L1~L4, P1, P4)では、靴下の重量が減少し、インナーブーツの重量は増加した。ほかの2種類では靴下の重量が増加し、インナーブーツの重量も増加した。靴下、インナーブーツ、シェルを合わせた場合の重量増加は、天然皮革では少なく、プラスチックでは多いという傾向がみられた。これは、左右の足で蒸泄・発

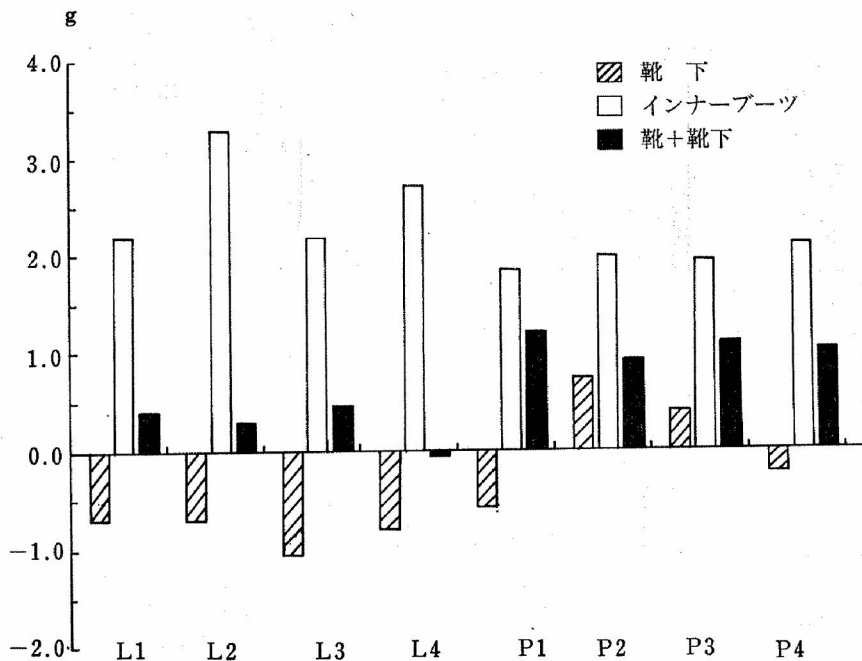


図7 靴ごとに平均した実験前後の靴下・インナーブーツ・靴下と靴全体の重量変化

表4

	靴下	インナーブーツ	靴下+靴
L2-P2	-1.56 (0.35)	1.48 (0.45)	-0.43 (0.55)
L4-P3	-1.06 (0.18)	0.78 (0.73)	-1.75 (0.85)
P4-P3	-0.63 (0.04)	0.66 (0.29)	-0.05 (0.15)

実験前後での靴の重量変化，天然素材のインナーブーツの靴と，合成素材のインナーブーツの靴との差，単位g，( )内は標準偏差。

汗量に差がないとすれば，靴の水蒸気を放出する能力の違いによるものと考えられる。靴内水蒸気圧を比較してみると(図6)，前者は低く後者は高いという，靴下とインナーブーツの重量変化と対応した結果となった。

シェル内面の結霜・結露は今回の実験では観察されなかった。結霜・結露の問題を明らかにするには，もっと長時間の実験が必要であろう。

#### 4. 考 察

##### 4.1 保 温 性

保温性に関しては，結果から明らかなように，

天然皮革製登山靴の方がかなり優れている。L2とL3は9月から10月の7000メートルクラスの山の登山で使用された靴であり，保温性は充分という評価であった。L4は，3月から5月の，標高6500メートルから8000メートル以上まで使用され，これも充分な保温性をもつと評価されたものである。P1，P2，P3はそれらに比べると，かなり保温性が不足していると考えられる。

しかし，プラスチック製登山靴でも，L2・L3と同等の保温性を持つもの(P4)も現われてきた。これまではメーカー側が靴に必要な保温性を低く見積っていたために，保温性の低い，「寒い靴」が市場に出回っていたのかも知れない。

西・毛利<sup>3)</sup>によれば，プラスチック製登山靴も皮革製三重登山靴に匹敵する保温力を持つという結果もある。シェルだけでなく，インナーブーツ，特にその保温材料にかなり影響されるのではないかと思われる。

##### 4.2 水 分 特 性

インナーブーツの吸湿能力については，素材による差が明らかになった。吸湿性の高い，天然素材を主材料とするものでは足の皮膚近傍の水蒸気

圧が低く、乾燥しているのので、衛生的にも優れている。合成素材のものではまず靴下が湿って来るので、保温性が低下する可能性が高い。

靴下と靴全体を合わせた場合の重量増加は、天然皮革では少なく、プラスチックでは多いという傾向がみられた。これは、左右の足で発汗量に差がないとすれば、水蒸気を放出する能力の違いによるものと考えられる。すなわち、総合的な水分放出能力に関しては、天然皮革製登山靴の方に優れたものが多かったといえる。

水分放出特性については、様々な要素が影響する。以下は足から外気への水分移動に関する推論である。まず、プラスチック製登山靴では、シェルの材料自体には、透湿性はほとんどないと考えられる。したがって、足から放出された水分は靴下とインナーブーツの中を上へ（外気へ）向かって拡散して行くしかない。この拡散の経路の断面積（つまり靴下とインナーブーツの厚さ分）は非常に小さく、かつ拡散の距離が大きいため水分の濃度勾配が小さくなってしまい、拡散される水分量を多くするには不利な条件である。これに対し、天然皮革製登山靴では、シェルが透湿性を持つため、靴底以外の広い面積から拡散でき、さらに経路が靴の厚さ分だけで短いため、水分の濃度勾配が大きく有利である。このようなことから、総合的な水分放出能力の違いが出て来るのではないだろうか。

## 5. 総 括

数年前までは、登山靴の材料としては天然皮革がほとんどを占めていた。足へのなじみがよい反面、長期の使用で型くずれしたり、防水能力が低下するといった問題がある。天然皮革を材料としてよい登山靴を製造するには、熟練した技術者が必要であるが、その数は減少の方向にあるものと思われる。材料も天然であるが故に、良質なものを大量に確保するのは難しい。従って必然的に高

価なものとなる。そのような問題を解決するものとして、大メーカーによるプラスチック製登山靴の製造が次第に増加し、市場でも一般的になりつつある。また、プラスチック製登山靴は軽い、外部から濡れることがない、足首のホールド性がよい、ファッション性が優れている、といった点からも非常に人気がある。

しかし、本研究の結果、保温性に関しては天然皮革製の登山靴が優れていることが明らかとなった。プラスチック製登山靴は現状よりも保温性を高める必要がある。

水分放出特性については、十分な解明ができなかった。しかし、これまでの着用実態からして、プラスチック製登山靴の方により問題が多いことが推測される。現在使われているようなプラスチックのシェルの材料自体には、透湿性はほとんどないと考えられる。微細多孔構造のはっ水性プラスチックといった、防水・透湿両機能を合わせもつシェル材料の開発が必要であろう。また、構造の改良によっても水分放出能力を高めることはできよう。例えばインナーブーツの材料にある程度の厚みをもたせ、その中を水分が移動し易くしてやることでもかなり改善されるであろう。

天然皮革製登山靴としては、現時点で8000メートル峰の登山に必要な保温性の確保はほぼできていると考えてよい。登山の対象・時期に見合った保温性をもちながらさらに軽量化することが望ましい。

もちろんこれらの議論は、登山靴としての最も基本である、歩行・登攀するための機能が満足されるという前提に立っていることは言うまでもない。一口に高所登山といっても、地域、高さ、季節により環境条件も様々である。また、要求される登攀技術にも違いがある。登山靴を含めて装備を準備するに当たっては、それらの条件をよく知り、それに見合ったものを揃えることが安全で実



り多い登山には不可欠と言えよう。本研究がそれに多少とも資することができれば幸いである。

### 謝 辞

本研究の着用実験，データ処理にご協力いただいた武庫川女子大学家政学部・江川 文助手に深く感謝致します。

### 文 献

- 1) 宮崎 勉；厳冬のエベレスト装備，日本冬期エベレスト登山隊報告書，日本冬期 エベレスト登山

- 隊，東京，pp16—18 (1983)
- 2) 中村豊彦，須崎信彦，土田直行；装備，バルンツェ厳冬期登頂報告 1980/1981，北海道大学山の会，札幌，pp117—128 (1982)
- 3) 西 安信，毛利立男；装備の開発と評価，ダウラギリ I 峰厳冬期初登頂報告書，北海道大学山の会，札幌，pp94—102 (1985)
- 4) 横山宏太郎，善積宏子；被服気候計測システムの開発第 1 報，武庫川女子大学紀要，第32集，被 p 77—83 (1984)
- 5) 横山宏太郎；被服気候計測システムの開発第 2 報，武庫川女子大学紀要，第34集，被 p 41—43 (1986)