

# 水分摂取とエネルギー補給を制限した登山の身体的負担度

山内 武巳\*

## Physical Intensity of Mountain Climbing with Restricted Hydration and Energy Intake

Takeshi YAMAUCHI

\* *Department of Human Culture, Faculty of Human Studies,  
Ishinomaki Senshu University, Ishinomaki 986-8580, Japan*

### はじめに

1990年以降の登山者人口は深田久弥の百名山登山ブームや山ガールブームの影響を受けながら増減を繰り返し、レジャー白書のデータから算出された平均登山参加者人口は806.5万人と報告されている<sup>(1)</sup>。コロナ禍前の2016年に実施された総務省の社会生活基本調査の結果をみると、登山・ハイキングの行動者人口は1千万人を超えており、ジョギング・マラソンと同程度に愛好者の多い余暇活動の一つであることがわかる<sup>(2)</sup>。また登山・ハイキングの行動者人口を年齢層別に算出すると20歳代12%、30歳代14%、40歳代18%、50歳代15%、60歳代19%、70歳代11%と大きな偏りはみられず、幅広い年齢層に楽しられていることがわかる。登山の特徴はサッカーや野球などの管理された屋外環境下で行うスポーツ種目と異なり自然環境下での身体活動であるため、登山中に自力での行動が不能となった場合は山岳遭難となる。警察庁が毎年公表している山岳遭難の概況等によると、令和5年の遭難発生件数は3126件、遭難者数3568人であり、統計の残る昭和36年以降最多となった<sup>(3)</sup>。内訳は死者・行方不明者が9.4%、負傷者39.2%、残りの半数以上は無事救出者で51.4%を占め、近年の山岳遭難の傾向として無事救出者の占める割合が増加傾向にある。山岳遭難の概況等では無事救出者と遭難の態様を関連付けた分析はなされていないために無事救出者の遭難理由は不明であるが、軽微な遭難として捉えると遭難者自身の内的要因として体力不足による一時的な行動不能に陥った可能性が高いと考えられる。

登山は荷物を背負って山道を長時間上り下りす

る身体活動であり、行動体力として全身持久力や筋持久力、そして荷物を背負って歩ける筋力が求められる。また気温変化に対応できる体温調節能や低酸素に対応できる低酸素順応能も登山に必要な防衛体力として重要である。これらの登山と関連深い体力（以下登山体力と呼ぶ）を向上させるにはトレーニングの特異性の原理から登山を定期的に行うことは最も重要と考えられる。先の2016年社会生活基本調査における登山・ハイキングの行動者人口を行動頻度別に算出すると、月に1日以上定期的に登山をしていると回答した人の割合は15%弱、年に5日から9日と回答した割合は15%、年に1日から4日と回答した人は70%を占めた<sup>(2)</sup>。登山回数が年に数回と回答した登山者のなかには登山体力が十分に備わっていない可能性もある。一般的な夏山登山の場合、登山コースの身体的負担度は目的とするコースの標高差と歩行時間、荷物重量によって規定され、日本山岳・スポーツクライミング協会では遭難防止を目的に各地の山域における登山コースの身体的負担度を「山のグレーディング」として提供している<sup>(4)</sup>。登山者自身の登山体力が登る山のグレーディングに見合わない場合は遭難を引き起こす可能性が高くなる。

登山体力のパフォーマンスを最大限に発揮するにはザック重量の軽量化、適切な水分とエネルギーの補給は重要な要因である。登山者は行動食や飲水量を少なくすることでザック重量を軽くすることがあるが、この行為は登山中の水分摂取不足による呼吸循環系機能の負担を強いて疲労困憊に至る可能性や、エネルギー摂取不足による低血糖状態、登山の世界で使われている「しゃりばて」

## 水分摂取とエネルギー補給を制限した登山の身体的負担度

という言葉で表現される状態になり、運動継続が困難となる可能性もある。しかし、これまでに実際の登山のフィールド研究において飲水量とエネルギー摂取量の不足が登山中の身体負担度に及ぼす影響は十分に検討されていない。

そこで、本研究は登山体力のパフォーマンス発揮に影響を与えると考えられる水分摂取とエネルギー補給を制限した登山の身体的負担度を実際の登山実験にて検討し、登山の遭難防止のための基礎資料を得ることを目的とした。本研究は解析対象を研究者自身に限定することで、実際の登山において水分摂取とエネルギー補給を制限した実験を実施することができた。

### 方法

本研究の対象者は登山歴 30 年以上の研究者本人 1 名（以下対象者 A）とした。測定は 2023 年 7 月 6 日、7 月 16 日の北アルプス白馬岳登山（白馬岳実験）、2023 年 8 月 23 日の北アルプス奥穂高岳西穂高岳縦走登山（奥穂西穂縦走実験）の合計 3 回行われた。

対象者 A は実際の登山中の測定に加えて、実験室内にて最大下の運動負荷試験を行なった。運動負荷試験は自転車エルゴメーターを用いたランブ負荷法とし、呼吸循環指標を breath by breath 法により測定した（ミナト医科学エアロモニター）。運動負荷試験の酸素二酸化炭素等量（ $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$ ）、分時換気量（ $\dot{V}E$ ）、酸素換気等量（ $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ ）、二酸化炭素換気等量（ $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ ）の変化から V - slope 法を参考に換気性作業閾値（Ventilatory Threshold 以下 VT とする）を求めた<sup>(5)</sup>。また運動負荷試験中に得られた  $\dot{V}O_2$  と心拍数（Heart Rate: HR）の回帰直線を利用して、酸素 1 ℓ あたりのエネルギー消費量を 5 Kcal とし、登山中の HR から登山のエネルギー消費量を推定した。

登山中の HR は胸部心電図から HR を算出する Polar 社の H10N を用いた。登山における HR 測定のアーチファクトとして体動の影響を可能な限り少なくするために H10N が装着された胸部バンドをサージカルテープで固定した。HR 測定は利便性から光電容積脈から計測するスマートウォッチの利用も検討したが、予備実験において

登山中の測定における研究利用上の精度を十分に担保できなかったため、本研究では全て胸部心電図の計測デバイスを利用した。

血糖値の変動は間質液グルコース値から判断した。間質液中のグルコース値は血糖値の変動に対してタイムラグを生じることが報告されているが<sup>(6)</sup>、血糖値と高い相関関係が報告されていること、装着針の侵襲性による対象者への負担がセンサー装着時の 1 回のみで連続測定できることから<sup>(7)</sup>、本研究では Abbott 社の Free Style リブレを用いて間質液グルコース値を測定した。

### 白馬岳実験

白馬岳実験の登山のコース：選定した登山コースは長野県白馬村の猿倉（1242 m）から入山し、白馬尻の上部から日本有数の大きさを誇る大雪渓を登り、白馬岳頂上宿舎、白馬山荘を経て白馬岳の頂上（2932 m）に至るルートを往復するもので、日本屈指の人気ルートである。コースの概要はコース長 13.2 km、累積登り標高差 1720 m、累積下り標高差 1720 m、コースタイム 9.8 時間とされ、長野県山のグレーディング表によると体力度は 4、危険度 C に分類され、登山の行程は 1 泊 2 日が適当とされるコースである<sup>(8)</sup>。

白馬岳実験の条件：登山は日帰りとした。登高速度、休憩場所、休憩時間は実際の登山に即するよう対象者 A の任意とした。登山中の飲水量とエネルギー摂取量は推奨量より少量となるよう意識的に行動したが、安全上の配慮から強制は行わずに任意とした。リスク対応として必要十分な飲水量と行動食を担ぎ上げ、万一に備えた（飲水は 100 ml あたり 25 Kcal のスポーツドリンクを 1.5 ℓ、行動食は約 900 Kcal）。7 月 16 日は 7 月 6 日よりエネルギー摂取量、飲水量が少なくするよう意識的に行動した。

朝食は両日ともにコンビニエンスストアで同じ商品を購入し（摂取カロリー 425 Kcal）、登山開始 1 時間以上前に食した。登山の服装は両日とも同じものを着用し、アンダーウェアはファイントラック社製ドライウェアの上下を着用し、その上に化学繊維 100% の T シャツ（ノースフェース社製）とパンツ（ファイントラック社製クロノパンツ）を着用した。

白馬岳実験日の気象条件：7月6日の白馬村の気象条件は最高気温 29.7℃、最低気温 16.5℃、平均気温、22.3℃、平均風速 0.9 m/s であった。7月16日は最高気温が 30.3℃、最低気温 19.5℃、平均気温 23.9℃、平均風速 0.9 m/s であった。

白馬岳実験の測定区間：登山口の猿倉口から登山道までの林道区間は暫く登山者で混雑し対象者 A の任意のペースで登ることができなかったため、HR 計測は標高 1400 m 付近 (N36.4457, E137.4726) から開始し、白馬岳頂上を踏んで復路の標高 1650 m 付近 (N36.4505, E137.4639) までの区間とした。間質液グルコース値の測定は猿倉口往復区間において任意の休憩時に FreeStyle リブレ端末機を上腕背部に装着したセンサーにスキャンすることで測定値を読み取った。

#### 奥穂西穂縦走実験

奥穂西穂縦走実験の登山コース：選定した登山コースは奥穂高岳 (3190 m) から西穂高岳 (2909 m) までのルートで、岩稜帯を歩く技術的な難易度の高いコースである（登山地図上はバリエーションと呼ばれ破線ルートで表記されることが多い）。なお前日は穂高岳山荘に宿泊した。

奥穂西穂縦走実験の条件：登高速度、休憩場所、休憩時間は実際の登山に即するよう対象者 A の任意とした。登山中の飲水量、エネルギー摂取量は推奨量より少量となるよう心掛けたが、安全上の配慮から強制は行わず任意とした。リスク対応として必要十分の行動食と飲水量を担ぎ上げた（飲水は 100 ml あたり 25 Kcal のスポーツドリンク 1.5 ℓ、行動食として約 500 Kcal と穂高岳山荘の朝食用弁当）。

朝食は穂高岳山荘の朝食用弁当を登山開始 1 時間前に半分ほど食した（摂取カロリーは不明）。登山の服装はアンダーウェアとしてファイントラック社製ドライウェアの上下を着用し、その上に化学繊維 100% の T シャツ（ノースフェース社製）とパンツ（ファイントラック社製クロノパンツ）を着用した。

測定日の気象条件：8月23日の松本市の気象条件は最高気温 33.7℃、最低気温 24.2℃、平均気温 28.0℃、平均風速 4.7 m/s であった。

奥穂西穂縦走実験の測定区間：HR 計測は穂高

岳山荘から開始し、奥穂高岳を経由し、西穂高岳までの区間とした。登山中の間質液グルコース値の測定は FreeStyle リブレの計測用スマートフォンアプリからの 15 分間隔で連続計測した。なお測定区間は穂高岳山荘から西穂高岳までとした。

#### 3. 結果・考察

本実験は飲水とエネルギー摂取を制限した登山を行った際の身体的負担度を HR と間質液グルコース値の変動から検討した。白馬岳実験と奥穂西穂縦走実験に関する生理学的指標は表 1 に示した。

7月6日の猿倉口を起点とした往復登山時間は 6.7 時間、山と高原地図の標準コースタイムの 68% に該当した<sup>(9)</sup>。7月16日の登山時間は 6 時間、山と高原地図の標準コースタイムの 61% であった<sup>(9)</sup>。7月6日の HR 測定区間の歩行時間は 5.6 時間、7月16日は 4.9 時間であり、7月6日に比べて 0.7 時間短縮させた。8月23日の登山時間は穂高岳山荘を出発し、奥穂高岳、西穂高岳を経由して西穂山荘まで 5.2 時間を要し、山と高原地図の標準コースタイムの 59% に該当した<sup>(10)</sup>。HR 測定区間の穂高岳山荘から西穂高岳の歩行時間は 3.5 時間であった。

登山中の飲水の日安量は脱水量の 8 割とされており、脱水量は以下の計算式により算出した<sup>(11)</sup>。登山中の推定脱水量 (g) = 体重 (kg) × 5 (g) × 行動時間 (時間)

表 1 に実際の飲水量を示した。7月6日の飲水量は日安量の 45%、7月16日は 26%、8月23日は 17% と飲水量の日安と比較して実際の飲水量は大幅に少なかった。エネルギー消費量を算出するために、対象者 A の最大下の運動負荷試験の結果から酸素摂取量と HR の一次回帰式を算出した（図 1）。酸素 1 ℓ の消費を 5 Kcal とし、この回帰式 ( $\dot{V}O_2 = 22.726 \times HR - 1095.4$   $R^2 = 0.9971$ ) から登山中のエネルギー消費量を算出すると、7月6日は 2716 kcal、7月16日は 3000 Kcal、8月23日は 1892 Kcal のエネルギー消費量であった。7月6日のエネルギー摂取量は、復路の白馬岳頂上宿舎にて行動食を摂取し、合計 668 kcal、エネルギー消費量の 25% に該当した。7月16日は行動食を摂取せずに行動し、スポーツドリンクによる

## 水分摂取とエネルギー補給を制限した登山の身体的負担度

表 1. 白馬岳登山と奥穂岳西穂岳縦走登山に関する生理学的指標

山域	白馬岳	白馬岳	奥穂西穂縦走
日時	7月6日	7月16日	8月23日
登山時間 (h)	6.7	6.0	5.2
心拍数測定区間の歩行時間 (h)	5.6	4.9	3.5
エネルギー消費量 (kcal)	2716	3000	1892
摂取カロリー (kcal)	668	75	/
脱水量 (g)	1680	1470	1104
飲水量の目安 (ml)	1344	1176	883
実際の飲水量 (ml)	600	300	150
往路平均心拍数 (拍/分)	130.1	147.0	124.4
往路心拍数標準偏差	7.0	7.9	9.6
復路平均心拍数 (拍/分)	110.4	126.3	/
復路心拍数標準偏差	7.0	9.5	/
起床時間質液グルコース (mg/dℓ)	103	113	112

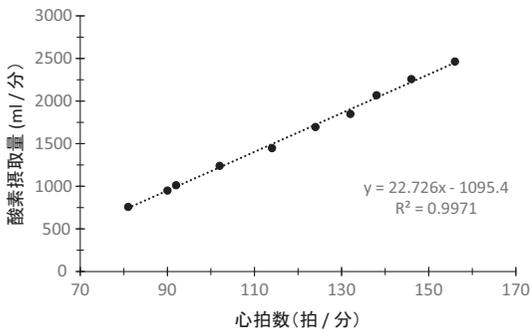


図 1. 運動負荷試験における心拍数と酸素摂取量の関係  
回帰式を利用し、登山中の心拍数から酸素摂取量を推定し、エネルギー消費量を算出した。

75 kcal のみで、エネルギー消費量の 2.5% であった。これらのデータから白馬岳実験中の水分摂取量とエネルギー摂取量はともに目安量に対して大幅に少なく、登山中の飲水量とエネルギー摂取量を制限するという本研究の実験条件は遂行されていた。

心臓の循環機能力を表す指標として、心拍出量 (cardiac output: CO, ℓ/min) が知られており、HR と 1 回拍出量 (stroke volume: SV, ℓ/回) の積で表される (CO = SV × HR)。運動によるエネルギー需要が高まると、活動筋への血流量を増加させるために CO は増加するが、HR と SV、そ

れぞれが増加する。活動筋の代謝がさらに亢進するような高強度運動を負荷すると深部体温は上昇し、同時に皮膚血流量を増加させることで熱放散を促進させ、過度の深部体温の上昇を防ぐ。熱放散による発汗量が著しく増加するような運動条件の際は、発汗による体液量の損失に伴い、SV の増加量は抑制され、同時に筋血流量の需要を満たす CO を維持するために補填的に HR の増加が強まる。登山における飲水制限は発汗の程度に因るが体液量の減少を助長させて体液循環能に負担を強いると同時に発汗による冷却機能の低下を引き起こすと考えられる。飲水制限による脱水が強まると血液濃縮による体液循環系機能の障害や熱中症にかかる危険を高める<sup>(12)</sup>。図 2 は白馬岳登山の HR 変化と GPS データからの標高を示した。表 1 の通り、7 月 6 日の登り区間における平均 HR は 130.1 ± 7.0 拍、7 月 16 日は 147.0 ± 7.9 拍を 7 月 6 日と比較して 17 拍上昇した。下り区間も 7 月 6 日の平均 HR は 110.4 ± 7.0 拍、7 月 16 日は 126.3 ± 9.5 拍を示し、7 月 6 日と比較して 16 拍上昇した。7 月 16 日の登山は 7 月 6 日より歩行時間を約 30 分間短縮させたこと、水分摂取量を 7 月 6 日の半分に制限したことにより、活動筋の代謝亢進と発汗に伴う体液量の減少に対する不均衡な飲水量が、登山中の心拍亢進を増強させたと考

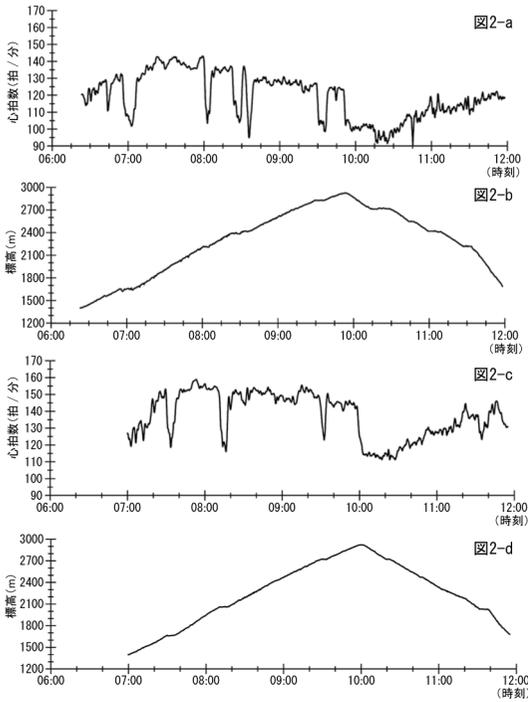


図 2. 白馬岳登山中の心拍数変化  
a, b: 7月6日 (a: 心拍数変化 b: 標高) c, d: 7月16日  
(a: 心拍数変化、b: 標高)

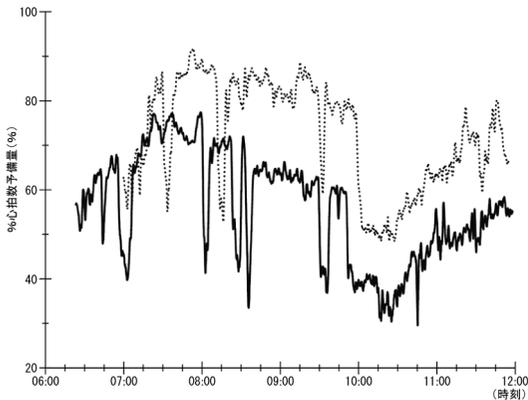


図 3. 白馬岳登山中の心拍数予備量の変化 実線: 7月6日 点線: 7月16日

えられる。対象者 A の安静時 HR は毎分 58 拍、最高 HR は Tanaka らによる予測式から 170 拍となった<sup>(13)</sup>。図 3 には登山中の相対的運動強度を心拍予備量として示した。7月6日の登り区間の %心拍予備量は 70%前後で推移していたが、7月16日は 80%を超えている時間帯が大部分を占め、

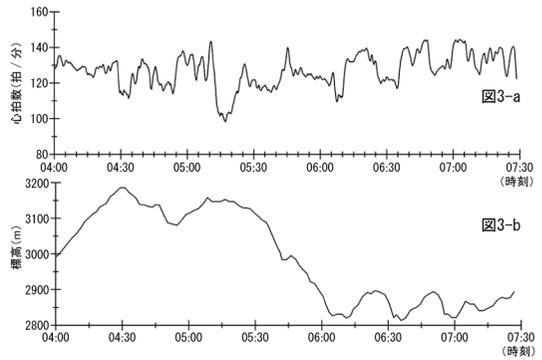


図 4. 奥穂高岳から西穂高岳の縦走登山中の心拍数変化  
a, b: (a: 心拍数変化 b: 標高)

呼吸循環機能に負担を強いていたことがわかる。自転車エルゴメーターを用いた最大下運動負荷試験から見積もった VT に該当す HR は 140 拍と推定できた。図 1 及び表 1 から明らかなように 7月6日の平均 HR は VT 以下であり、一方の 7月16日は VT 以上であった。VT は解糖系からのエネルギー供給割合が急激に増加し始める運動強度を意味する<sup>(5)</sup>。登山のような長時間の運動を継続させるために運動強度を VT 以下に保つことは、疲労物質を蓄積させないこと、筋グリコーゲン量の枯渇を遅延させることにおいて重要な要因であると考えられる。7月6日の登山の身体的負担度は標準コースタイムより登高ペースは速いが対象者 A にとって VT 以下であり適切な登高ペースであったことは対象者 A の主観的感覚と一致した。一方、7月16日は VT 以上の運動強度が大部分を占め、対象者 A 自身、白馬岳頂上小屋付近から強い疲労感を感じながら歩いていた。

図 4 には 8月23日の奥穂西穂縦走実験の HR 変化を示した。登山中の HR 変化は白馬岳登山と比較するとその変動は異なり、定常状態の時間は少なく、急峻な上下の変化を小刻みに繰り返した(図 4)。平均 HR は  $126.8 \pm 9.4$  拍と 7月6日の白馬岳登山と比較すると低く、VT 以下の区間が大部分を占めた。このコースは上級者コースとされ、7月の白馬岳登山のような往路は登り基調、復路は下り基調のコースと異なり岩稜のアップダウンを繰り返すコースであり、HR の急峻な変化は、GPS からの標高データには表れにくいわずかな段差の上り下りの繰り返しが反映されていると

## 水分摂取とエネルギー補給を制限した登山の身体的負担度

思われる。岩稜帯コースの奥穂西穂縦走では適切なルートを選択するためにその都度立ち止まる場面も多く、奥穂西穂縦走実験のHR標準偏差を白馬岳登山と比べて2拍から3拍ほど大きくさせた原因と考えられる(表1)。奥穂高岳西穂高岳の縦走路を安全に登破するためには急激なコース変化に呼吸循環機能を対応させるだけの全身持久力能の予備は必要であり、VT以下の登山強度を保つことが重要だと考えられる。

運動中のエネルギー供給源は主に糖質と脂質であり、筋や肝臓に蓄えられたグリコーゲンの枯渇による血糖値の低下は運動パフォーマンスの低下を引き起こす<sup>(14)</sup>。運動性疲労には中枢神経系の部位に生じる中枢性疲労と筋収縮の部位に発生する末梢性疲労がある。登山では全身の倦怠感や疲労感を感じて、足に力が入らない、注意力が散漫になるといった疲労による「しゃりばて」がよく語られており、低血糖を引き金とした中枢性と末梢性の疲労の両者が関与していると思われる。表1に示したとおりHRと酸素摂取量の回帰式から推定した登山中のエネルギー消費量は7月6日が2716 kcal、7月16日は3000 Kcalであった。7月6日のエネルギー摂取量はエネルギー消費量の18.6%、7月16日はエネルギー消費量の2.5%であった。この数値は登山中のエネルギー収支バランスは大幅にマイナス方向に偏っていたことを示しており、低血糖によるしゃりばて症状を引き起こしやすい状況下で登山を行っていたことがわかる。

図5には登山中の間質液グルコース値の変化を

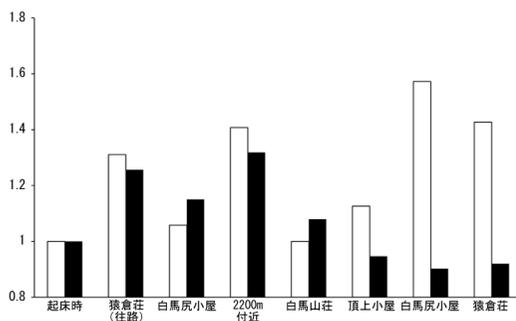


図5. 白馬岳登山中の間質液血糖値の変動値は起床時の値を基準として相対値で示した。白抜き棒グラフは7/6のデータ、黒塗り棒グラフは7/16のデータ

起床時の値を基準として相対的な変化を示した。7月6日、7月16日ともに登山開始前に朝食を摂取した。間質液グルコース値は起床時よりも上昇し、登山開始時の猿倉荘においても高値を維持していた。食後の血糖値は食前値に戻るまで約3時間要すると報告されており<sup>(15)</sup>、本研究も同様の変化がみられた。登山開始から往路の2200m付近までは起床時よりも高値で推移していたが、山頂に近い白馬山荘では起床時の値と同程度まで低下した。7月6日の登山では復路の頂上小屋にて休憩中に行動食を摂り、間質液グルコース値は上昇傾向に転じた。一方の7月16日の登山では行動食を摂らずにそのまま復路を下山したため、間質液グルコース値は起床時の値を下回る結果となった。本人の自覚的空腹感においても両日ともに往路の白馬山荘付近から強い空腹感を感じており、7月6日は復路の頂上小屋において行動食を摂取し、空腹感は満たされた。一方で7月16日は行動食を摂取せずにそのまま登山を継続し、復路において何度か足に力が入らない感覚に陥った。活動筋の糖質利用度は運動強度と運動時間に依存し、7月16日の登山の運動強度は7月6日と比較して高く、糖質の消費量は多かったと考えられる。その状況において行動食による糖質の補給をせずに歩き続けたため、7月16日の復路ではしゃりばて状態に陥っていたことが推測でき、本人の自覚的感覚とも一致する。8月23日において西穂高岳山頂の間質液血糖値は起床時水準まで低下したが(図6)、本人の主観的感覚では7月16日の白馬岳実験ほどの空腹感、疲労感、倦怠感

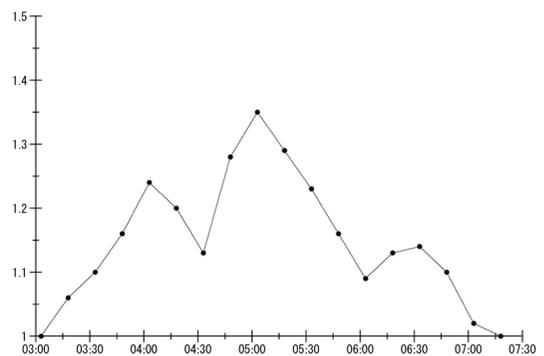


図6. 奥穂高岳西穂高岳縦走登山中の間質液血糖値の変動値は起床時の値を基準として相対値で示した。登山は午前4時から開始。

感じていなかった。アップダウンを繰り返す岩稜帯ルートのため常に緊張感を強いられていたことが低血糖状態にも関わらず疲労感を感じなかったことと関係しているかもしれないが、この点に関しては今後の生理学的検討が必要であると考えられる。

本研究結果から夏場の登山における飲水量の制限は循環器機能に負担を強いて登山体力のパフォーマンス発揮を抑制させてしまう可能性が示唆された。安全登山の啓蒙活動として利用している登山中の飲水量の目安式には個人の登山体力に関する項目は含まれていない。実際の登山の現場において実用性のある飲水量の目安式を作成するには従来の因子に登山体力を加えた検討が必要であると思われる。換気性作業閾値より高い強度の登山を行なった場合、適切なエネルギー補給を行わずに登山を継続すると、無意識に低血糖状態を引き起こしていることがあるため、計画的に行動食を摂取することは突然の行動不能に陥ることを防ぐための重要な行動であることが示唆された。

## 謝辞

本研究は令和4年度石巻専修大学国内研究員の助成を受けた。

## 参考文献

1. 山形俊之. 平成登山ブームに関する一考察. 湘北紀要 34: 189-204, 2013
2. 総務省統計局 (2016). 社会生活基本調査 平成28年社会生活基本調査の結果. 参照日: 2024年9月25日. 参照先 <https://www.stat.go.jp/data/shakai/2016/kekka.htm>
3. 警察庁生活安全局生活安全企画課. 令和5年における山岳遭難の概況等. 参照日: 2024年9月25日. 参

照先 [https://www.npa.go.jp/publications/statistics/safetylife/r05\\_sangakusouan\\_gaikyou.pdf](https://www.npa.go.jp/publications/statistics/safetylife/r05_sangakusouan_gaikyou.pdf)

4. 公益社団法人 日本山岳・スポーツライミング協会 山のグレーディングについて 参照日: 2024年9月25日. 参照先 [https://www.jma-sangaku.or.jp/sangaku/safe\\_climb/grading/](https://www.jma-sangaku.or.jp/sangaku/safe_climb/grading/)
5. Wasserman K et al. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol* 35: 236-243, 1973.
6. Boyne MS, et al. Timing of changes in interstitial and venous blood glucose measured with a continuous subcutaneous glucose sensor. *Diabetes* 52: 2790-2794, 2003. doi: [org/10.2337/diabetes.52.11.2790](https://doi.org/10.2337/diabetes.52.11.2790)
7. 西村理明. 糖尿病治療におけるデバイスの進歩. *日本内科学会雑誌* 107: 586-592, 2018. doi: [org/10.2169/naika.107.586](https://doi.org/10.2169/naika.107.586)
8. 長野県 信州 山のグレーディング 参照日: 2024年9月25日. 参照先 <https://www.pref.nagano.lg.jp/kankoki/sangyo/kanko/gure-dexingu.html>
9. 山と高原地図. 白馬岳 旺文社 2024年版
10. 山と高原地図. 槍ヶ岳・穂高岳 上高地 旺文社 2019年版
11. 山本正嘉 登山の運動生理学百科 第2章登山と疲労 東京新聞出版局, 2000, p65
12. Wilmore JH, Costill DL: *Physiology of Sport Exercise*. Human Kinetics, 1994
13. Tanaka H, et al. Age-predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol*.37: 153-156, 2001. doi: [10.1016/s0735-1097\(00\)01054-8](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(00)01054-8).
14. Coyle, E.F. et al. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J. Appl. Physiol.* 61: 165-172, 1986.
15. Polonsky KS et al. Twenty-four-hour profiles and pulsatile patterns of insulin secretion in normal and obese subjects. *J Clin Invest*, 81: 442-448, 1988.