

登山・ハイキングの科学

岡部 洋一

放送大学教授 (東京大学名誉教授)

2007年11月20日

起草: 2003年3月18日

概要

登山やハイキングで歩く際、何かコツがあるのかといった質問をよく受けるが、慣れが一番かと答えている。しかし、まったく技術が必要ないかというと、そうでもない。本稿は登山やハイキングでの歩行について科学的に解説する。

All Rights Reserved (c) Yoichi OKABE 1998-present.

個人の使用以外のコピーを禁じます。また、再コピーおよび再配布は禁止します。ただし、教育目的に限り、再コピー、再配布は原著者を明示するという条件でのみ許諾します。

[[HTML ファイル](#)] [[PDF ファイル](#)] [[登山・ハイキングの科学の掲示板](#)] [[登山・ハイキング・ダイビング記録](#)]

[[岡部の Web に公開の文書](#)] [[岡部のトップページ](#)]

第1章 山での歩き方

1.1 初級篇 1 (登るときにペースを落とす)

登るときには、足に関する技術はほとんどない。余り大きな高さを一気に登ろうとしないで、細い足場を探して、可能であれば、一段の高さ 20cm ぐらいになるようにすることぐらいがコツである。

しかし、ペースについては若干の技術が必要である。ビギナーにとってはかなりの技術かも知れない。ビギナーは感覚的に水平方向に一定の速さを保つように努力をしがちだが、消費エネルギーは縦方向の移動でほとんど決定される。ちょっとした坂でも、使うエネルギーは単位時間に登る標高差が支配的になって決定される。

水平な道を歩くには、よく知られているように 4km/hr ぐらいが適切であるが、垂直方向には 400m/hr が対応する。400m/4km は 1/10 (約 5°) ぐらいであるから、人間が坂かなと感じるぐらいの勾配では、標高を稼ぐことでほとんどのエネルギーを使ってしまうことが理解できよう。ちなみに、普通の山の道は平均 1/2.5 (20°) ぐらいの傾きであるので、意識はほとんど高度方向に向けていけばよい。ちなみに 1/2.5 (20°) の道を高さ方向に 400m/hr で登るとき、水平方向には 1km/hr で歩くことになる。ゆるい山道で水平速度を半分、普通の山道に入ったら速さを 1/4 に減速するよう意識するのがよい。

しかし、そうは言っても普段水平しか歩いていない人には、高さ方向のペースは掴みづらい。私自身は登り始めて息がはずんできたらペースを 2/3 ぐらいに落とす。さらに息がはずんできたら、また 2/3 と、速さを制御するようにしている。水平な道で 4km/hr で歩いていて息がはずむことはほとんどないことから、これは高さ方向のペースを探すのによい手法である。

次のチェックは、汗である。20分ぐらい歩くと、体が暖まってくるが、そこで汗が流れるほどかくようであれば、やはりオーバーペースである。これも水平な道で 4km/hr で歩くとときと比較してみると分る。要するに軽く汗ばむ程度の上昇速度を早く身につけるのがよい。普通の山道では、普段の歩くときに流れていく風景が半分の半分ぐらいになるということは、かなりのろいという感じになるが、これに慣れることが肝要である。

ちなみに、このペースで、高さ方向に丁度 400m/hr のペースで登れる。このペースでは、ひどく疲れることはない。慣れてくると、そのままいつまでも歩けるペースである。したがって、一時間ごとに 5分も休めば、疲労は回復する。富士山の五合目 (約 2000m) から山頂 (約 3800m) までだと、4.5hr である。休みを入れて 5hr ぐらいか。また、北アルプスの急登と呼ばれる登りでも、最大の標高差は 2400m であるから、4hr、休みを入れて 4.5hr ぐらいで登れる。きわめてよいペースである。一見、どんどん若い人に抜かれるが、休みが少ないので、現役の山岳部員には負けるかも知れないが、結局、大概の人は追い抜いてしまう速さである。

足捌きについては、ステップを上がる時、なるべく前足に重心をかけるようにするのがよい。腰を後に引いていると、膝で体重を前に引っ張るような動作が入ることになり、膝を痛めることとなる。

この技術は、原理を理解してしまえば、簡単に実行できる初級技術である。

1.2 初級篇 2 (休憩をやたらにとらない)

特に登りの際、休憩を沢山とると、意外に時間がかかるものである。慣れた人は、50分歩いて10分休むとか、55+5のペース配分を保つことができる。しかし、山を初めたばかりの人は、体が暖まってくる20分を少し越えたころから、疲労感を感じ、休みたくなる。これは感覚的なもので、前節に述べたペースで登っている限り、ここで休んだからといって、疲労が溜りにくいということはない。

さらに、休みをとると、まず、ほっとし、10分ぐらいたってから、水やお菓子を出したり、地図を見始めたりで、結局15分ぐらいいんでしまうことが多い。つまり、初心者の場合、25+15のペースになることがよく起きる。例えば55+5のペースで2時間かかる登り道を色々なペースで登ったときに、かかる時間をまとめてみよう。休むタイミングにも依存するので、平均的な値を求めている。

ペース	必要時間
55 + 5	$110 \times 60 / 55 = 120$ 分 = 2 時間
50 + 10	$110 \times 60 / 50 = 132$ 分 = 2 時間 12 分
25 + 10	$110 \times 35 / 25 = 154$ 分 = 2 時間 34 分
25 + 15	$110 \times 40 / 25 = 176$ 分 = 2 時間 56 分

これを見ると、55+5に対し、25+15は何と1.5倍近い時間がかかっていることがわかる。そのくらいならば、1.5倍ゆっくり歩く方が、はるかに疲労が少い。歩き続けること。しかも休みを早く切り上げることが、早い登頂に結び付くことが理解できよう。

かなりゆっくり歩いてよいけれど、やたらに休むな、休みも早く切り上げるといふ強い意志を持つことが、重要である。人間は上昇速度を10%も落とせば、極めて楽である。休み休み登るよりも、ペースを若干落としてでもやたらに休まないように登ることがコツである。

1.3 中級篇 1 (下るときにジャンプしないよう心掛ける)

下るときには、かなりの技術が必要である。基本はいかに膝に負担を掛けないかである。中高年登山ではいうまでもないが、若い人も注意が必要である。若いころは、膝に負担を掛けても、皿が笑うぐらいで、障害を感じないことが多いが、四十肩五十腰の出るころになると、必ず若いころに掛けた無理が顕在化してくる。したがって、若いころから負担を掛けない歩き方に心掛けるべきである。

まずは可能な限り飛び降りないことである。飛び降りると、位置のエネルギーが衝撃に変換され、元々の重力に加わって、膝に力が掛かることになる。0.5mのステップを飛び降りて、その衝撃を0.1sで受け止めたとすると、体重の約4倍もの力が膝にかかるのである。

[参考]

飛び降りると、位置のエネルギー mgh が速度のエネルギー $mv^2/2$ に変換される。この結果、着地の際は $m\sqrt{2gh}$ の運動量を持つことになる。これを τ 秒で停止するとすると、膝にかかる力は、元々の重力 mg に加え $m\sqrt{2gh}/\tau$ だけ増加し、 $mg(1 + \sqrt{2h/g}/\tau)$ となる。上記の4倍や下記の3倍の衝撃力は、この式から求めた。

このくらいの衝撃は、公園で飛び降りたりするときによく経験する値であるから何でもないと思われるかも知れないが、公園では数回なの、山では千回以上、数千回の衝撃になるので、それこそ皿が笑い出すことになる。

階段を降りるときにも、このくらいの衝撃はあると思われるかも知れない。階段の場合には、0.2m ステップなので、衝撃は少なそうであるが、それでも体重の約3倍の衝撃がかかる。しかし、まず回数が少ない。5階から下っても、100回ぐらいである。

実は、階段の下りの際、多く人は、自分の体重を支える力しか出していないのである。つまり、膝への衝撃は3倍どころか、ほとんど掛かっていないのである。えっと思われるかも知れないが、自重を支える力だけで、安定に階段を下っていくことが可能なのである。したがって、階段ならばかなりの段数を下っても、膝などへの負担は少ないのである。

この仕掛けについて述べよう。最大のコツは、重心を一定の速度で落としていくことなのである。この説明には、ニュートンの法則を逆向きに使う。一定の移動には、加速や減速がない。つまり、重心にかかる力の合力は0のはずである。人間の体には常時体重に相当する重力が掛かっているから、これを相殺するだけの力が足から伝わってきていることになる。つまり、足に掛かる力は、常に重力と同じで一定になり衝撃を感じないはずである。このように、通常の階段下りでは飛び降りせず、じわじわと重心を移動することにより衝撃を抑えているのである。ステップごとに一旦停止すると、先程述べたような負担がかかるのである。そこで、一定に下降するのがよいということになる。

さて、こうするには、ステップを降りるときに次の足を出す際、残った後足で重力を支えたまま、重心を下していく必要がある。前足が階段面に接触したら、重力を後足から前足へ急いで移動していく。この間も、重心を一定のペースで落としていく必要がある。前足に重心を移し終えたら後足を前に出し、重心を一定の速さで落としながら、次のステップを捕まえる。かと言って、重心を後に引いていると、膝を痛めるので、積極的に谷側へ降りていく。ただ、体重をいきなり前足に掛けないようにするのがコツである。

階段のように、ステップ高が小さいときには、このように上手くいく。大きな段差を見ても、可能な限り、階段の高さに近いステップを探すべきである。しかし、山ではステップ高が大きく、かつ適切な足場が見当たらないことが多い。その場合には、まず、可能な限り、重心の下降を止めないようにする。大きなステップを見ると、一旦停止したくなるが、それをなるべくしないようにする。つまり、膝を曲げて重心を落としながら、前足を次のステップに近づける。50cm以上のステップがある場合には、前足がステップに届かず、飛び降りざるを得ないかも知れないが、その場合には、重心を落としながら飛び降りる。そして前足への負担を可能な限り減らすように、足首や膝を柔らかくして、ソフトに着地する。着地後も、さらに次のステップを意識して、重心を落としていく。

簡単に言うと、ドンドンと降りるのではなく、猫のように、また忍者のように、そっと降りていけばよいのである。ドンドン降りると首がガクガクする。首への衝撃がないように意識すればよいだろう。まずは、最寄りの階段で、首への負担を意識して、色々練習してみよう。時々二段おきを入れてみて、それでも衝撃が少いように試行してみる。急に踊り段などの平な所に到着したときには、急に重心下降を停止せず、少し腰を沈めてから足を伸ばす方が衝撃が少いことも分るであろう。

1.4 中級篇 2 (下るときに重心を前にするよう心掛ける)

下るときに、どうも平均的に遅いような気がする人は重心の掛け方に注意して欲しい。恐いと感じると、尻っぴり腰になったり、上半身を引いて、重心が後に寄る傾向が現われる。いわゆる後傾

姿勢である。試しに、階段で踵寄りに重心をかけて降りてみよう。速く降りるなんてとんでもないことがわかる。階段を急いで下るときには、もっとも重力がかかる瞬間には拇指球（親指の後にある丸いところ）、あるいは爪先に力がかかっている。山でも、これと同じ体重の掛け方をすれば速く降りられるし、後傾すれば遅くなるのである。これは、普通に歩くときと同じで、残る足の前方に重心が来るまで、次の一步を出すときの体重移動ができないことによる。

もう一つ重要な点は、スリップである。万が一、足と地面の間にスリップが発生した場合、後傾していると足は前へ滑っていく。つまり、尻餅をつき易くなる。一方、前傾していると、足は後へスリップする。しかし、傾斜地の場合には、多くの場合、後の方が高く、その場合にはすぐ停止するので、安定である。また、スリップしても、その方向に前足があるか、すぐに前足が出せる状態にあるので、安定を回復できる。重心が真上にあると、スリップした場合に、一番安定である。しかし、次の一步をすばやく出すという点では前傾姿勢には負ける。

前項ならびに本項の技術は、階段などで練習により習得できるという意味で、中級技術であろう。

1.5 上級篇 1 (登るときにナンバ歩きをする)

末續選手で有名になったナンバ（難波）走りに近いフォームをとると、ステップを登る際、負担が少なくなる。具体的には、左足を次のステップにかけるとき、左腰も左足の上の方へ移動する。こうすることで、重心を上げていくとき、重心は左足の真上にあるから、足首や脛脛に対する負担が減少するのである。

そもそもナンバ歩きは、江戸時代から着物の着付けを崩さない方法として、日本人が使っていたと言われる走法である。左足を前に出すときに左腰と右肩が前にいく。この結果、右腰と右足は後方へ引かれ、右足が地面を蹴る際、右肩、右腰、右足が直線をなすような形となる。左腰と右肩が前のとき、右腰と左肩が前になる、つまり、胸に捻じれが入る走法である。

山登りでは、これほど急ぐことはないので、左足の位置の真上に左腰が来るように腰を捻ればよい。重心を上げる際、重心の重心移動が先行して行われているため、速度はやや速くなる。また、軽い登りや水平歩き、軽い下りでナンバ歩きを利用すると、腰を進行方向に捻る分、ストライドが大きくなるため、同じペースでも平均速度が上がる。前の人と間隔が開いたときに、ナンバ歩きをしてみると、無理をしないで追い付くことができる。

何か新しい登り方の提案のように感じるかも知れないが、この腰の移動法は、昔から、雪のラッセルの際、使われてきている。深雪に左足を踏み出す際、左腰も一緒に出すのである。そうしないと、高い足場に登り切れないのである。さらに、左足に大きな重量がかかるため、雪がしっかり固まるのである。これを「足を踏み出すときには、足の上に体を載せる」と表現してきたのである。今になって思えば、ナンバ歩きであったのである。

いきなり山で、この歩き方を使うのは困難なので、日常に練習しておくことを薦める。まずは床の上に座って、膝で前にいざってみる。左膝を出すとき、右肩が前へ出るように胸を捻じる。手の動きはどうなろうと気にしなくてよい。簡単なのは、肩の移動に合わせて振るのでよい。つまり、従来の洋風と同じように振ることになる。次に胸の捻れを今迄と同じに保って、膝立ちをして膝で歩いてみよう。この肩と腰の逆捻りのコツを十分体に覚えてから、次は立って、左膝と一緒に左足を出すようにすればよい。急ぐと形がわからなくなるかも知れないが、まずは足と腰を同じように動かし、次に腰と肩を逆に動かすよう留意すればよい。

1.6 上級篇 2 (下るときに動的バランスを使う)

もう一つの技術は、動的バランスという概念である。

そうしたステップの見出しづらい場合の例として、赤土の U 字型の道がある。ゆっくり足を付けても滑ってしまう。かといって急ぐのは危険そうである。まったく困ってしまう道である。

しかし、こうしたところでは、滑り面を鏡のようにみたと、着地後、光が反射するような方向にジャンプすれば、滑りはしない。もちろん鏡の向きが水平である必要はないのである。むしろ、U 字型の道のように、左右に対称に鏡がある方が交互ジャンプしやすい。ゆっくり下らないで、ぴょんぴょん跳んでいけばよいのである。ただし膝への負担は大きいので、余り連続しないようにした方がよいだろう。また、ところどころで、安定な停止点で、きちんと停止した方がよい。私は、跳びはねていった方向に大きな木のように停止できる場所を探してから、ジャンプをする。土に埋まった石の角なども安定停止点として有効に利用できる。

この手法は、ちょっと高い段差を降りるときに有効である。一気に飛び降りないで、斜めでもよいから、中間のジャンプ点を探し、さらに二歩目で安定に着地できる場所を探す。U 字型の道のように、何回かジャンプする場合には、どんどん速度が上がってしまうことが多いので、先にしっかりした安定停止点を意識しよう。

道が滑り易くなってきて、自信がぐらついてくるような時には、この動的バランスを思い出していただくと、安全に下降できる。スキーの回転の際には、ほとんど動的バランスによって、速度をコントロールしているのであるが、普段の生活では難々練習できるものではない。山での実践あるのみ、ということで、上級技術であろう。

第2章 雪上の歩行

1

2.1 ヘప్పり腰はなぜ悪い?

雪山に限らず、下りにおいて恐怖心から腰をひいてしまう入門者は多い。当人は、転倒しても大丈夫なようにという心理が働いての振る舞いであるが、これが転倒を引き起こし、大変危険なのである。なぜ、腰をひいてしまうと転倒してしまうのか? その原因は、重力による生じる重心から真下へ向う力と地面(雪面)からの反作用による力がずれてしまい、回転力が起ってしまうことにある。人間の重心は、おへその辺りにあると考えていい。そこから重力によって真下に力が発生する。また、足と雪面の接面からも、体を支えるための力が発生する。歩行中であれば前に出した足のつま先から踵まで範囲から発生してると言える。通常、やや前傾姿勢で下っているバランスの良い状態では、その重心(へそ)からの力と、接面からの力が一直線上に並び、相殺される(図 2.1 参照)。その結果、“安定”となるのだ。

一方、腰がひけて“ヘప్పり腰”となるとどうなのか。腰がひけているといっても、後ろに残った足の踵よりも重心が前方にあるようならば大丈夫。しかし、後ろに重心がかかると下るスピードは遅くなるし、安定性の余裕もなくなるので注意。重心が後ろ足の踵より後方に位置してしまうと、重心から真下へ発生する力と、足から真上への力がぶつからず、すれ違ってしまう(図 2.2 参照)。すると、体には回転する力が起きてしまい、足がすくわれて転倒してしまう。

2.2 どうすれば、重心を適切な位置におけるのか?

腰がひけてしまう人に、「前傾姿勢になれ」と言っても、なかなか難しい。無理に胸を前に出して不格好になってしまうこともある。バランスの良い歩行姿勢を身につけるには、常に足裏の感覚を意識する方法がおすすめだ。“足裏の中心周辺に重心がのっている”と感じられるときに、バランスの良い状態。“踵の辺りに重心がのっている”と感じるならば、バランスが悪い体勢、つまり腰がひけているのだ。もちろん、歩くには「つまさき」や「かかと」に重心がのる瞬間もあるわけだが、なるべく早く足裏の中心に重心をのせるよう心がけると良い。

2.3 足元で作用する力

次は、足元の物理学的解説。アイゼンをつけずに固い雪面を歩けば滑ってしまうのは当たり前だが、その際に足元にはどんな力が作用しているのだろうか。アイゼンをつけていない場合、登山靴は非常に縦滑りしやすい状態にある。雪面に平行な力はほとんど働かず、雪面に直角な力だけ。雪

¹本章は岡部:「なぜ、転ぶ? 雪山歩行の物理学的解説」山と渓谷, Dec. 2005, pp.48-49 に掲載されたものの転載修正したものである。

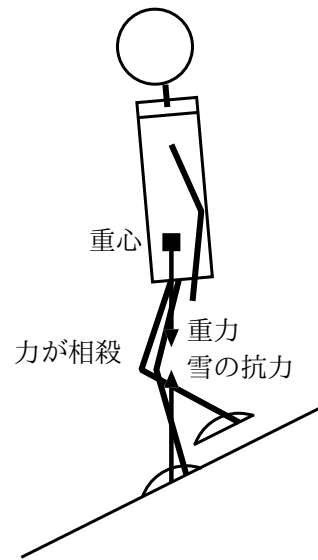


図 2.1: バランスが良い状態: 雪の抗力と重心からの力が相殺され、体のバランスは安定する。

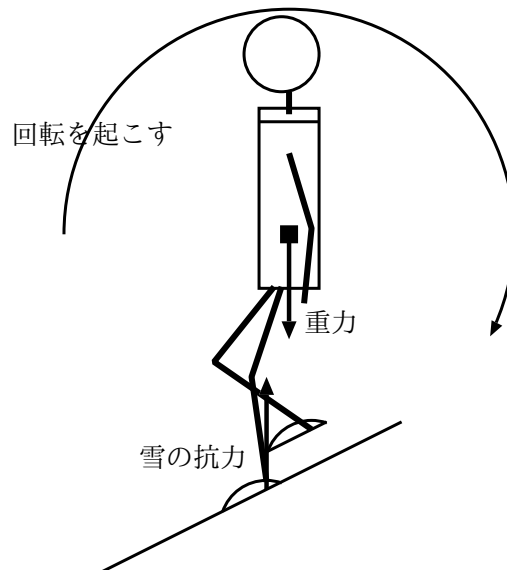


図 2.2: 腰が引けてバランスの悪い状態: 雪の抗力が重力とすれ違ってしまい、回転力が発生する。

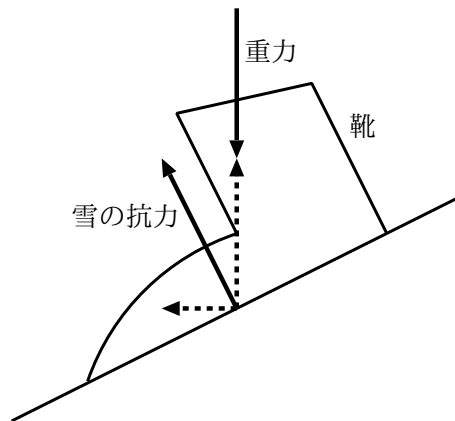


図 2.3: つぼ足で雪面: アイゼンを着けていないと非常に縦に滑りやすく、雪面から直角の力しか発生しない。雪面からのななめ前方へ向う力は、真上の力と真横の力(共に点線)に分けて考えることができ、真上への力は重心からの力と相殺される。その結果、前方への力だけが残りに、重心に対し足が前へ滑るような回転が発生する。

面に直角な力というのは、体の前方方向へななめに向っているということ(図 2.3 参照)。このななめの力は、真上への力と、真横への力に分けて考えることができる。すると、体の重心から重力によって真下へ向う力と足元から真上への力は相殺される。その結果、前方への力だけが残ってしまい、足は前へと滑って行ってしまい重心を中心として回転してしまう。これはスキーで後傾して転ぶ原理と一緒。

だが、アイゼンを着用することでだいぶ様子が違ってくる。アイゼンを装着することでツメが雪に引っかかり、雪面平行にも滑りにくくなるので自由に力を加えられるようになる(図 2.4 参照)。よって、体の重心からの力を相殺する真上への力を加えられるようになり、体のバランスは安定する。

また、雪がやわらかいときに行なうキックステップも、踵を雪に蹴り込み、人工的に水平な雪面を作ることによって力が真上を向ようになっている(図 2.5 参照)。本来ならば、重心は足裏の真中に置くことが望ましいだが、キックステップは十分な水平面が得られないので例外的に踵荷重となる。このように、くだりにおいて大切なのは体の重心から真下への向う力を相殺し、バランスをとるかということ。体に作用するすべての力がゼロになれば、バランスを崩すことはない。

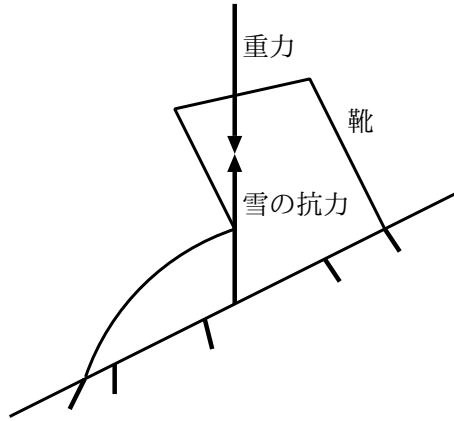


図 2.4: アイゼン着用時: アイゼンを着用することで縦に滑りにくくなる。その結果、靴と雪面の接面から真上へと力を加えることができ、重心からの力と相殺され体は安定する。

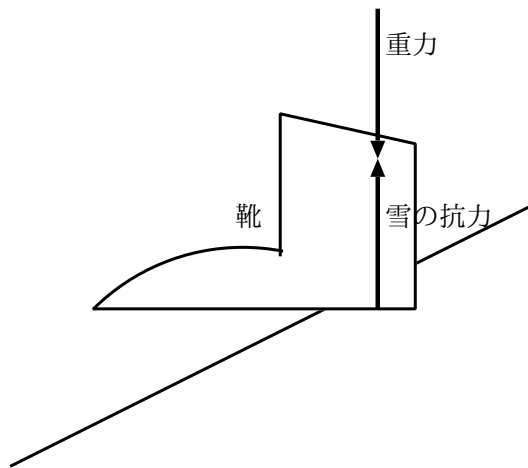


図 2.5: キックステップ: 踵を蹴り込むことで、水平の雪面を作り、真上への力を作ることができる。本来ならば、重心は足裏の中心にすることが望ましいが、キックステップの場合は水平面が小さいため、例外で踵に重心をのせざるを得ない。