

2. 雪上技術

雪 上 に お け る 確 保

柳 澤 昭 夫

1. 雪上における確保では、滑落の衝撃はどの位だろうか。

ザイルにかかる張力Fは、

$$F = \left(W - \frac{SK}{L} + W \sqrt{1 + \frac{2kH}{WL} + \left(\frac{SK}{WL}\right)^2} \right) \times \text{傾斜と摩擦による減衰率}$$

W=墜落者の重量, $\frac{S}{L}$ =制動係数 (S=制動したザイルの長さ, L=繰り出したザイルの長さ)

$\frac{H}{L}$ =落下係数 (H=垂直落下距離, L=繰り出したザイルの長さ), K=ザイルの張力係数

およその目安とするために、9mmφ, K=2500のザイルを使いW=80kgで摩擦係数 $\mu=0.5$ (5月頃の雪でハーネスを付けたときおおよそこの位である)の雪面を滑落した場合、落下係数、制動係数と斜度60°と40°の斜面だと表1ようになる。なお、 $\mu=0$ の場合は、斜度40°で $\mu=0.5$ のときの60°の斜面を滑落した場合と近似値になる。

(単位: kg)

制動係数 落下係数		$\frac{S}{L} = 0.2$		$\frac{S}{L} = 0.5$		$\frac{S}{L} = 1$	
		60°	40°	60°	40°	60°	40°
斜度と摩擦		$\mu=0.5$	$\mu=0.5$	$\mu=0.5$	$\mu=0.5$	$\mu=0.5$	$\mu=0.5$
負荷		$\mu=0.5$	$\mu=0.5$	$\mu=0.5$	$\mu=0.5$	$\mu=0.5$	$\mu=0.5$
$\frac{H}{L}=0.3$	F	120.0	50.3	80.3	33.7	65.2	27.3
	F ₁	53.3	22.4	35.7	15.0	29.0	12.1
	F ₂	200.0	83.8	133.8	56.2	108.7	45.5
	F ₃	133.0	55.9	89.2	37.4	72.4	30.3
$\frac{H}{L}=0.5$	F	158.5	66.4	99.2	41.6	74.9	31.4
	F ₁	70.4	29.5	44.1	18.5	33.3	14.0
	F ₂	264.1	110.7	165.3	69.3	124.8	52.3
	F ₃	176.1	73.8	110.2	46.2	83.2	34.9
$\frac{H}{L}=1$	F	241.7	101.3	144.6	60.6	99.2	41.6
	F ₁	107.4	45.0	64.3	26.9	44.1	18.5
	F ₂	402.8	168.8	241.0	101.0	165.3	69.3
	F ₃	268.6	112.6	160.7	67.3	110.2	46.2

F=ザイルにかかる張力

F₁=ビレイヤーにかかる負荷

F₂=最終ランナーにかかる負荷

F₃=第1ランナーにかかる負荷

60°で $\mu=0.5$ ならば減衰率は0.62

40°で $\mu=0.5$ ならば減衰率は0.26

表 1

2. 雪上技術

図のように、ビレイヤーにかかる衝撃負荷を F_1 、最後のランナーの負荷を F_2 、ビレイヤーの足元に設けられた最初のランナーの負荷を F_3 とすると、

$$F_1 = \frac{4}{9}F \quad F_2 = \frac{5}{3}F \quad F_3 = \frac{10}{9}F \quad \text{となる。}$$

$$(0.444F) \quad (1.666F) \quad (1.111F)$$

スタンディングアックスビレイで確保する場合、足元のカラビナにかかる負荷 F_3 は、 $1.11F$ であるから、ビレイヤーの体重がかかるように F_3 を踏みつけたとして、 $F_3 < \frac{4}{9}F + W$ (ビレイヤーのウエイト) であるかぎり抜けないことになる。つまり、 F が $W \times \frac{3}{2}$ を越えると抜けてしまう。ビレイヤーの重量が 80kg とすると、 120kg 以上ザイルに張力がかかると足元のピッケルを抜く、或はスリングが体を上げて確保は失敗する。

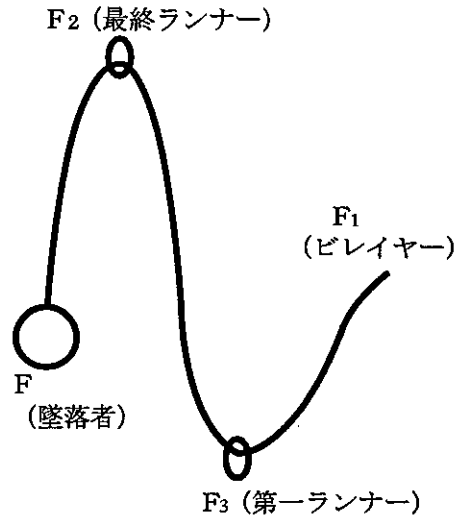


図 1

表 1 に当てはめると表の中では 40° 以下の斜面では、スタンディングアックスビレイが成立する。 60° の斜面では落下係数が 0.5 以上で、制動係数が 0.2 の場合と落下係数が 1 で制動係数 0.5 以上では成立しない。

表 1 はおおよその目安であるが、制動係数 0.2 というのは 10m ザイルを繰り出したとき 2m 分制動をかけるということである。落下係数 1 というのは、 10m ザイルを繰り出したとき最終ランナーから 5m 登って滑落することを意味しており、おおよそ、実際の登山で実用的に使われるランナーの取り方であり制動確保である。摩擦係数 0 の斜面は、 40° の傾斜が 0.64 の減衰率であるので 60° で $\mu = 0.5$ の減衰率 0.62 とほぼ同じ傾斜であると考えて目安とするとよい。

2. 支点にかかる負荷

一番大きな負荷がかかるのは図 1 の F_2 =最終ランナーであり、 $\frac{5}{3}F$ 、つまりザイルにかかる張力の約 1.66 倍である。 40° の斜面で μ が 0.5 の雪質ならば制動係数 0.2 、落下係数 1 で 168.3kg である。穴あきでないスノーバーをきちんとセットすれば大丈夫だと考えられる。 60° の斜面だと表 1 から $H/L = 1$ 、 $S/L = 0.5$ で 241kg になる。場合によっては抜けてしまう。(支点の強度については別表を参照)

3. ビレイヤーはどのくらいの負荷に耐えられるか

スタンディングアックスビレイのように、立姿勢で足元の方向に引かれた場合比較的体制が崩されにくい。 100kg から強い人ならば瞬間的には 150kg の負荷に耐えられるだろう。

しかし、筋力の弱い者や女性で、しかも、不意の墜落に耐えられる負荷は、実用的にはビレイヤーの体重程度であると考えた方がよい。アンカーや補助的な支点によって、ビレイヤーの姿勢を補強すれば、 $20 \sim 30\%$ 増しの負荷に耐えられることは岩場における確保の実際をみても分かる。

2. 雪上技術

前方へ引かれると、予測して構えてもせいぜい30～60kgの力で引き倒されてしまう。後から体勢を支えるよう補強しなければならない。

身体をねじるように回転力がかかると、ほんの20～30kgの力で姿勢は崩れ、まわってしまう。

雪面に丁度、またがれるように、雪のきのこを作り、それにまたがって、腰にザイルをまわして確保すると、200kg位の強い荷重にも耐えられる。しかし、身体にザイルは喰い込み、耐えがたい苦痛である。この場合、ハーネスにATCをつければ、苦痛はなくなる。ただし、実験はしていない。実用的には100kg位の荷重には耐えられる今のところ一番強い姿勢である。アンカーも身近に設けやすく再検討したい確保体制である。

どのような場合でも、上方に引き上げられる場合は、自分の体重以上は支えられない。

滑りやすい雪や氷の斜面に立つ姿勢は、非常に不安定である。スタンディングアックスビレイの失敗の多くは、不安感から身体を傾けたり、しゃがみ込んでしまうからである。

傾斜が急であると、アンカー等で姿勢を支えやすいが、傾斜がむしろ緩い方が姿勢を支えにくい。また、傾斜が緩いほど上方から長いロープでアンカーを取ることで、実用に供するザイルは短くなる。

シュタイクアイゼンをつけた靴とピッケルを併用するブーツ・アックスビレイは、紹介されて久しいが、登山者に普及したとは言いがたい。荷物を背負った登山者が、しゃがみ込んだ窮屈な姿勢を強いられることが普及しない主たる要因ではないだろうか。特に、傾斜がゆるくなるほど窮屈な姿勢になる。共通することであるが、できるだけ簡便な使いやすい方法ではないと普及しないとも言える。今回の実験では、もちろんシュタイクアイゼンを付けていたので、ビレイヤーの足をねじるように負荷がかかり足首をねんざした。どのような確保も、衝撃の来る方向を正確に予想することは大切であるので、今回の結果から良くない方法だと決め付けず、更にテストを重ねたい。工夫と訓練しただいでは実用的な確保方法かも知れない。

4. 傾斜、雪、衣類と摩擦による減衰

5月6月の雪は、特別な場合を除いて、比較的雪面が軟らかく、摩擦が大きいのと思われる。したがって、傾斜が緩くなるにしたがい、摩擦の増加による衝撃の減衰が大きくなった。雪上では、ビレイを確実にする大きな要因である。

今回、PPシートに包んだ物体を滑落させたが、PPシートの摩擦係数は小さいと思われるが、雪は軟らかく、衝撃の減衰に大きく作用したと考えられる。

ジャケットとオーバーパンツにハーネスを付けた人間が滑落するテストでは、衣類やハーネスの摩擦による抵抗がPPシートと比べかなり大きいと考えられた。ひと頃、アンチグリースとか、衣類に特殊加工を行って、摩擦抵抗を大きくした衣類が研究、開発された経緯があったが、衣類とハーネスは衝撃力の減衰に大きなかわりを持つので、こうした衣類の開発も重要である。山から木材をそりで運搬する際、急斜面で、「ソリ」にブケーキをかけるため、「がわ」と言われる、藤つるの輪や麻のロープ

2. 雪上技術

の輪をそりにかけて使用した。丁度、ハーネスがその「がわ」の役目を果たしていると思う。PPシートとナイロン製衣類でさえ大きく減衰力が違う。私自身に限って言えば、雪山ではできるだけ滑りにくい衣類を着用したい。

5. タイトロープビレイ

ビレイヤーは、行動中の20~50kgの負荷がかかると確保姿勢を崩されてしまう。行動中の確保は難しい。タイトロープビレイは、雪庇等に喰い込むロープによって、20~50kg以下に大きく衝撃を緩和するから成り立つ技術である。雪庇の踏み抜きのみに使える技術であって、決してコンティニュアスクライミングのビレイに用いるべきではない。

コンティニュアスクライミング中のビレイは、ビレイヤーにとってはせいぜい20~30kgの負荷が限界であると考えてよく、衝撃そのものが非常に小さい場合と上手な制動によって、ビレイヤーにかかる負荷を20~30kg以下にしなければならない。

コンティニュアスクライミングは状況判断と訓練によって上手な制動を修得するとともに、自分の技術の限界を正しく認識し、安全率を考慮して行うべきである。アンカーを取っていないので、失敗はチームの破滅になる。

ザイルを付けているから安心、あるいは、またすぐスタカートクライミングに入るから面倒だなどの程度で使うべき技術ではない。

滑落の危険があれば、ちゅうちょなくスタカートクライミングをすべきである。日常の訓練と工夫でザイル操作の時間を大幅に減らすことができるので、時間がかかるから、面倒だからと安全性を犠牲にしてはならない。

6. 固定ロープ

固定ロープにユマール等を掛けて使用中、ちょっとしたスリップで2W、時には3Wの負荷がロープにかかる。W=80kgであるならば、160kg~240kgになる。カラビナなどを通して仮に滑落し、末端で停止したら落下率1の固定確保になる。W=80kgならば、およそ632kgになる。斜面と摩擦による減衰を考慮しても40°の斜面で μ が0.5であっても164.4kgになるスノーピケットの支持力を時として超える。

雪山では心したい事柄である。大きな樹木や確実な支点が得られない場合、スノーピケット1本にたよるような固定ロープの確保をしてはならない。まして、雪崩の発生しそうな斜面では固定ロープで確保するような方法を取って入るべきではない。雪崩の力は膨大で、支点など簡単に破壊するし、仮に大木など支点が強固なら、ロープが切れたり、人間が致命的損傷を受ける。雪崩のあと大きな樹木がなぎ倒されているのを見てもわかるだろう。雪崩の発生が考えられる斜面には決して入らないことである。ロープで確保したから安全だと夢々考えてはならない。

2. 雪上技術

まとめ

表1から考察すると、ビレヤーにかかる負荷は60°の斜面で $H/L=1$ 、 $S/L=0.2$ 、 $\mu=0.5$ で107.4kgになる。この辺がビレヤーの耐えられる限界だと考えてよいだろう。女性や筋力の弱い者ならば、もう少し制動をかけながらザイルを繰り出さなければならぬだろう。表1の条件下で40°の斜面では、最大でもビレヤーにかかる負荷は45kgである。問題はないと思われる。

60°の斜面であっても、制動係数が0.3、落下係数が0.8くらいにすれば、訓練をつめば多くの場合ビレヤーは耐えられるだろうと考えられる。

問題は、表1の条件内でビレヤーが負荷に耐えることができても、大きな負荷のかかる最終ランナーがその負荷以上の支持力を持っているかどうかである。仮に、410kg以上の支持力があれば、表1の条件内での確保は成立する。しかし、支持力が250kgだとすると、60°の斜面では、制動係数を0.5以上にするか、落下係数を0.5以下にしなければ、最終ランナーは破壊されてしまう。

ランナー（スノーピケット等）の支持力はどの位か。また、支持力の目安をどのくらいと考えてプロテクション（防御体制）を構成するのか、今後、いろいろな条件化でテストを重ねて、検討しなければならない課題である。スノーピケットそのものの強度、支持力は条件によって大きく異なる。支持力のあるスノーピケット等の開発とその使い方も又、今後の課題である。現在は、市販されているスノーピケットの強度試験さえされていない。群馬岳連の救助隊の西山さん等が研究開発しているが、使いやすく、強固な雪に支点を作る用具の開発がまたれる。

制動係数を大きくすると衝撃の負荷は小さくなる。しかし、制動係数が0.5で、40mザイルの内20mを制動用に必要になり、20mでピッチを区切らなければならなくなる。S/L=0.2にすると40mザイルのうち8mが制動用に必要で32mでピッチを区切ることになる。

仮に60mザイルを使用すれば、S/L=0.5で30m、S/L=0.2で48mでピッチを区切ることができる。雪上登高の場合、60mザイルの使用を考えてもよいではないだろうか。

当然の事ながら、制動係数を大きくすることは制動がかかっているとは言え、滑落距離は長くなる。仮に60mザイルを用いて15m登ってランナーを設けその後15m登った30m地点から滑落したとすると、落下係数は1でS/L=0.5の制動確保にすると自由滑落30mに制動がかかった滑落30mで60mの滑落になる。

$$\frac{x}{(30+x)}=0.5 \quad x=30 \quad (x \text{は制動ザイルの長さ})$$

ビレヤーより30m下で停止する。同じ場合でもS/L=0.2にすると、

$$\frac{x}{(30+x)}=0.2 \text{であるから}$$

自由滑落30mと制動滑落7.5mの37.5mの滑落になる。制動係数を大きくすれば衝撃は緩和されるが、制動係数、落下係数は大きいほど滑落距離は長くなり、露岩等に衝突する危険が増す。こうした危険をさけるためには、途中のランナーを多くし、落下係数を小さくすれば、衝撃も小さく自由滑落距離

2. 雪上技術

が短くなるので、滑落距離は少なくなる。例えば、前述の例と同様、30m登った地点から滑落したとしても、22.5m地点にランナーを設けてあれば、自由滑落15m、制動滑落30mの合計45mの滑落になる。この場合は、落下係数は0.5、制動係数は0.5である。同じ30m地点からの滑落でも、25m地点にランナーを取ってあれば、落下係数は0.33…となるので、衝撃は小さく、制動係数0.2の制動確保で十分であり、自由滑落10m、制動距離7.5mの17.5mの滑落となる。

表1の条件下では、60°の斜面で、制動係数0.2、落下係数0.5で最終ランナーには264.1kgの負荷がかかり、ビレイヤーには70.4kgの負荷がかかる。このとき45mザイルを使用すると制動用に9m必要なので36mでピッチを区切ることになる。

40°の斜面は、制動係数0.2、落下係数1、60°の斜面なら、制動係数0.2、落下係数0.5位を目安にランナーを設けるプロテクション（防御体制）構成を目安にしたらどうだろうか。

落下係数1ならば、仮に5mで1本ランナーを取ると、次は10m、その次は20mでランナーを取ればよく、中間ランナーは3本で済む。

しかし、落下係数を0.5にすると、5mでランナーを取ると次は6.66mで、その次は約9mで、次は12mと数多くのランナーが必要になり、計算上は1ピッチ45mで7個のランナーが必要になる。アンカー用及び第1ランナー（上方向に利くランナー）を入れると12本のスノーピケットが必要になる。数が多く難があるとは言え、60°の急峻な斜面ならば、心理的にも、そのくらいのランナーが欲しくなる。

登りはじめは、制動係数を大きくして、落下係数を大きくしても、滑落距離は短い。

後半は、制動係数が小さくなるように、落下係数を小さくするプロテクション構成が、滑落距離の短い実用的な方法になると考えられる。

理想的には、できるだけ数多くのランナーを設けたプロテクション構成である。しかし、そう数多くのスノーピケットを持参することもできない。いろいろな条件下で訓練をくり返し、自分達で確保の限界を把握して、プロテクションを構成する能力を高めることが大切である。

（文部省登山研修所）