

# 確保理論テキスト

国立登山研修所 確保理論テキスト研究会編

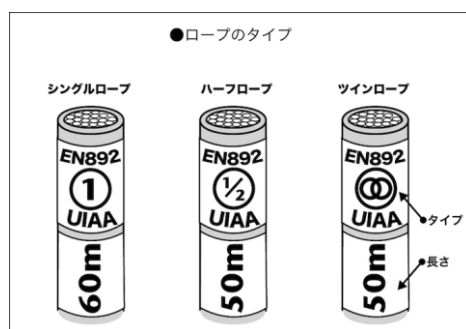
## 1: 登攀用具の知識と理解

### ロープのタイプと特徴

現在クライミングで使用されているロープは、芯と外皮で構成されている編みロープです。1950年代にヨーロッパで開発されたこの構造を持つロープはそれまでの撚り構造に比べて、耐久性、しなやかさ、衝撃吸収性などで多くの点で優れています。

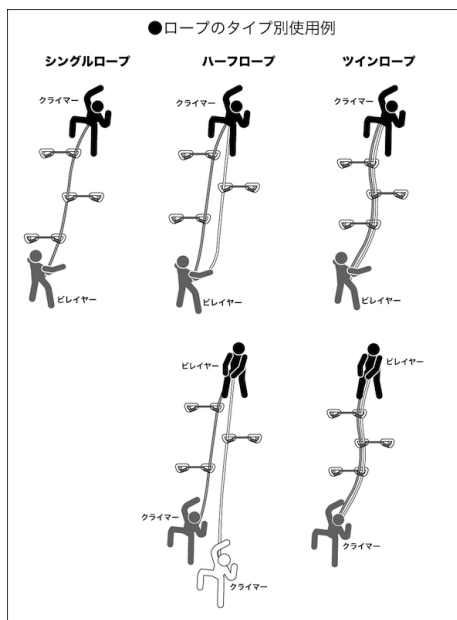
クライミングではUIAAの定める基準を満たしたダイナミックロープを使用します。ダイナミックロープは使用目的に応じて三つのタイプに分類されています。

クライミング用途として作られたダイナミックロープは、シングルロープ、ハーフロープ、ツインロープに分類され、それぞれにUIAAが設けた基準値があり（下表参照）、それらを満たしたロープには、UIAAマーク、ロープタイプ、長さなどがロープ端末部のテープ上に記されています。



### ●UIAAスタンダードフォールテストの主な検査項目と基準値

	シングル	ハーフ	ツイン
錘	80kg	55kg	80kg
落下係数	1.79	1.79	1.79
ストランド	1	1	2
インパクトフォース	12kN以下	8kN以下	12kN以下
墜落回数	5回以上	5回以上	12回以上
伸び率(静荷重)	10%以下	12%以下	12%以下
伸び率(初回墜落時)	40%以下	40%以下	40%以下



インパクトフォース（衝撃力）の小さいロープは墜落者とアンカーや確保者への負担を軽減してくれます。耐墜落回数の多いロープは耐久性に優れています。伸び率が大きすぎないロープは墜落時に確実な確保を行いやすいと言えます。

これらのロープはそれぞれのタイプによって使い方が異なるため、クライミングの環境によって使い分けます。左図を参照してください。

救助活動や高所作業などではセミスタティックロープを使用することがあります。セミスタティックロープはダイナミックロープに比べて、伸びにくく、同じ条件ではインパクトフォースが大きくなります。このためクライミングには使用しないよう注意が必要です。このセミスタティックロープはヨーロッパ規格において「タイプA」「タイプB」に分類されています（下記表参照）。

	タイプA	タイプB
素材	>195℃	
直径	8.5~16mm	
結索性	<1.2	
伸び率	≤5%	
インパクトフォース	≤6kN	
	W=100kg 落下係数=0.3	W=80kg 落下係数=0.3
耐墜落回数	≥5回	
	W=100kg 落下係数=1	W=80kg 落下係数=1
破断強度	≥22kN	≥18kN
	ノットなし	
	≥15kN	≥12kN
	エイトノット	

### ロープを使用する上での注意事項

ロープを使用する際には、ロープにダメージを与える強酸または強アルカリなどの薬品に触れないように注意が必要です。粒子の粗い岩表面とのこすれ、鋭利な岩角との接触、長い墜落や落下係数1を越える墜落を受けたロープはダメージを受けています。泥や砂などもロープにダメージを与えます。また紫外線による劣化にも注意が必要です。濡れたロープは重くなり、操作性も悪くなります。ナイロンは濡れると強度が低下することも知っておいたほうが良いでしょう。

### ロープのメンテナンス、保管、製品寿命

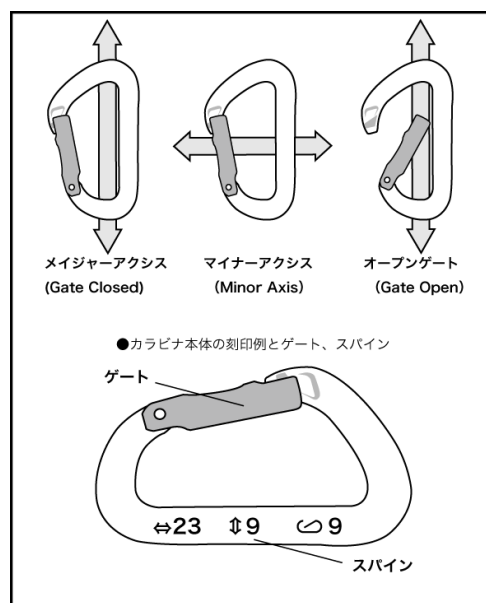
持ち運ぶ時、ロープは「ねじれ（キンク）」が残らないように、振り分けて束ねます。この振り分けによる束ね方を「ラップ・コイリング（Lap Coiling）」または「バタフライコイリング」と呼んでいます。ロープが汚れた場合は、ぬるま湯で洗い、よくすすぎましょう。乾燥は冷暗

所で風通しのよい場所で行ないます。ロープの保管は、風通しのいい冷暗所で平らな棚に置いて行ないます。保管時にも強酸、強アルカリの化学物質から遠ざけます。

ロープを廃棄する目安は、前述のような化学物質に触れた場合、芯が見えている場合、外皮が激しく毛羽立ったり、損傷している場合、外皮と芯がずれている場合、部分的に固くなったりまたは柔らかくなったりして他の部分と違和感がある部位が生じた場合、長い墜落や落下係数1を越える墜落を受けた場合、ひどく汚れた場合、摩擦による熱や火などの熱を受けた場合などです。またこういった明らかな損傷がない場合でも、毎週の使用で1年、月2～3回の使用で3年くらいを目安にしましょう。

### カラビナ

カラビナはクライミングのギアの中でも最も使用頻度の高い重要なものと言えるでしょう。近年、軽量化と高強度化が進み、形状も様々なものが見受けられるようになってきました。しかしながら、どれほどカラビナが進化しようとその基本的な使い方は変わることはありません。カラビナがその強度を最大に引き出す事ができるのは、ゲートクローズド状態でメイジャーアクシス（つまりスパイン方向）に負荷がかかったときです。ゲートオープンやマイナーアクシス（ゲートとスパインを結ぶ方向）、テコの力がかかるような状態や、3方向の負荷、ねじれの負荷が生じた場合はカラビナ本体に刻印されている強度を引き出すことはできません。常に正しい方向の負荷を受け止める事ができるように注意しながら使用することが求められます。



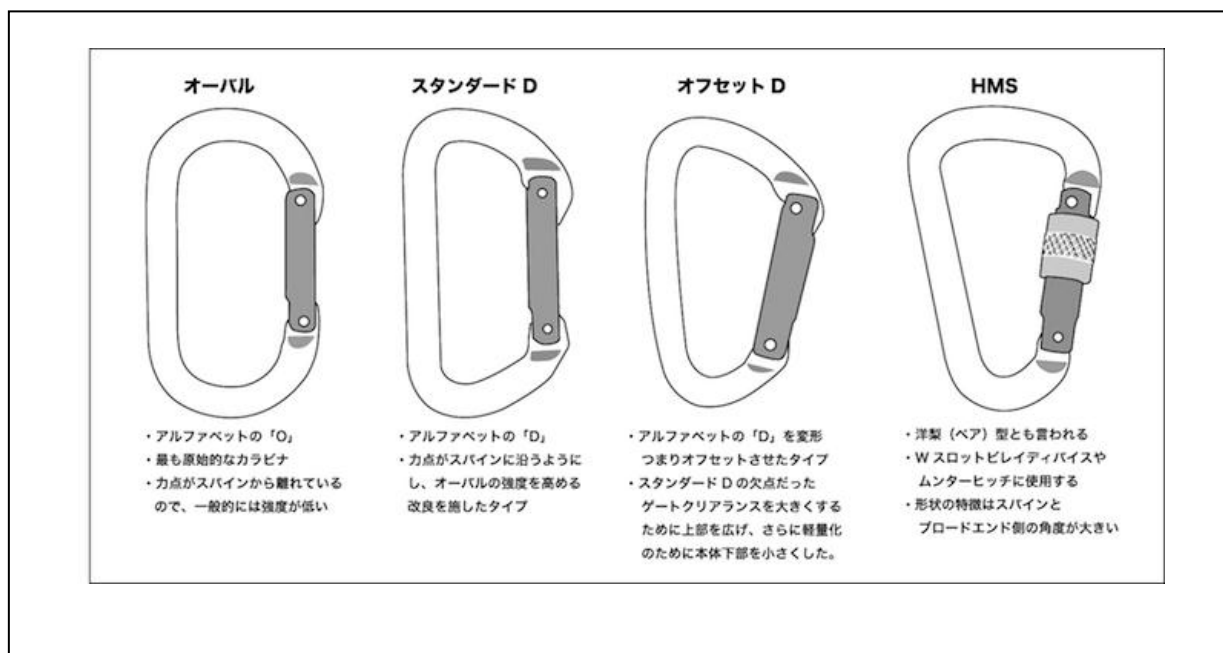
図のようにカラビナは、本体形状の違いから、オーバル（運動場のトラックのような形状）、スタンダードD（アルファベットのD字状）、オフセットD（スタンダードを変形させたもの）、HMS（洋梨型）などに分類できます。またゲートのタイプは、ストレート、ベント、ワイヤーなどに分類されます。

ストレートゲートは汎用性が高く、多くの場面で使用できます。ベントゲートはクイックドロローのロープをクリップする側に使用するために作られました。ストレートゲートに比べて、ゲートクリアランスが大きいのでクリップしやすいためです。ワイヤーゲートはクイックドロローのロープ側カラビナに

生じるウィップラッシュ現象（ロープの動きでゲートが小刻みに振動し、瞬間的にゲートオープン状態になる現象）を抑えるためにゲートの質量を軽減する目的で誕生しました。

カラビナのロック機構は、スクリューロック、ツイストロックが主ですが、ワーク&レスキュー用には3段階ロックを採用したモデルもあります。

一般的には、ロープワークの関連しないパーソナルな箇所にはツイストロックが使われています。例えば、ビレイデバイスとの組み合わせとかランヤードに使うといった場合です。またロープワークが関係する場合、ムンターヒッチに使うとか、アンカーに使うといった場合にはスクリーロックを使います。また救助活動では主要箇所のカラビナは2個並列で使います。



## 2: 確保理論

### クリアランスと衝撃力

クライマーを確保する役割をビレイヤーは任せられています。つまりビレイヤーにはクライマーを守る責任があると言えるでしょう。具体的には、まずグラウンドフォールさせないことです。また壁やテラスに身体が当たらないような配慮も必要です。さらに衝撃力を十分に考慮した確保で確実にクライマーを止めることができます。

グラウンドフォールさせない、壁やテラスに接触させないことは、言い換えれば墜落者と壁などの間に十分なクリアランスがあることです。衝撃力を抑えることは言い換えれば、落下係数とダイナミック係数をコントロールしていることになります。

ここで確保のポイントを要約すると次のようになります。

#### 1 : クリアランス

- \* 地面や壁またはテラスに墜落者を衝突させない

#### 2 : 衝撃力

- \* 落下係数、ダイナミック係数をコントロールし、衝撃力を抑える

まずクリアランスが充分にとれなかった場合の衝撃力について、考えて行きましょう。

わかりやすい例は、ロープに張力が生じる事なく墜落者がグラウンドフォールした場合です。

もちろんボルダリングでの墜落も同じように考えることができます。

グラウンドフォールしたクライマーに生じる衝撃力は次のような計算で求めることができます。

クライマーの体重を60kg、高さ3mからの墜落を例として考えてみましょう。

$$\text{位置エネルギー} E = mgh = 60 \times 9.8 \times 3 = 1764 \text{ J}$$

墜落者が地面に衝突する直前の速さを求めます。

$$1764 = 1/2 \times 60 \times v^2$$

$$v = 7.7 \text{ m/s}$$

この墜落者が止まる状況で発生する衝撃力は異なります。例えば、跳ね返った場合と跳ね返らずに止まった場合、止まるのにかかった時間などの要素によって衝撃力は違う結果になります。ここでは、墜落者は跳ね返らずに、衝突してから0.5秒で停止したと仮定して計算してみましよう。

運動量の変化から力積を求める

$$N + 60 \times 7.7 = 60 \times 0$$

$$N = 462$$

力積は衝撃力と時間の積に等しいことから

$$462 = F \times 0.5$$

$$F = 924 \text{ kgf}$$

この結果をkNに換算すると

$$924 \times 9.8 \div 1000 = 9 \text{ kN}$$

人体の耐えられる衝撃力の限界が12kNとされていますから、3mから墜落してごく短い時間に停止した場合は重大な怪我を負う可能性があることが計算上から推測できます

ビレイヤーはグラウンドフォールさせないロープコントロールが求められるのはこういったことから理解してもらえるのではないのでしょうか。

## ロープを使用した確保

次に墜落者がロープによって確保された場合について考えてみましょう。確保にはふたつの方法があります。ひとつはスタティックビレイ（静的確保）で、もうひとつはダイナミックビレイ（動的確保）です。このふたつの違いは、墜落者が停止するまでに制動しながらロープが送り出されたかどうかの一点だけです。具体的には、セルフビレイをとって墜落した場合ロープはアンカーに固定されていますから、送り出すことはできません、この場合はスタティックビレイ（静的確保）になります。リードしているクライマーをダブルスロットタイプのビレイデバイスで確保した場合、ビレイヤーはクライマーの墜落が止まるまでにロープを制動しながら送り出すことが可能です。ビレイヤーによってロープが制動しながら送り出された場合はダイナミックビレイになります。

このふたつは次の公式で表すことができます。この公式は1947年に米国の数学者でありクライマーであったアーノルド・ウエクスラーによって発表されたものです。

● 衝撃力（インパクトフォース）を求める公式

【スタティックビレイ（固定確保）】

$$\text{衝撃力 } F = w + w \sqrt{1 + 2 \times \frac{H}{L} \times \frac{K}{w}}$$

\* w(kg) は体重、K(kgf) はロープ係数、 $\frac{H}{L}$  は落下係数

【ダイナミックビレイ（動的確保）】

$$\text{衝撃値 } F = w - k \frac{S}{L} + w \sqrt{1 + 2 \frac{H K}{L w} + \left(\frac{S K}{L w}\right)^2}$$

\* w は体重、K はロープ係数、 $\frac{H}{L}$  は落下係数、 $\frac{S}{L}$  は動的係数

\* 上記の公式はいずれの場合も墜落者は空中を落下するものとし、斜面の角度および斜面との摩擦係数は考慮していません。

この式からもわかるように衝撃力を決定する要素は次のようになります。

### ●スタティックビレイ

- 1：墜落者の体重
- 2：ロープ係数
- 3：落下係数

### ●ダイナミックビレイ

- 1：墜落者の体重
- 2：ロープ係数
- 3：落下係数
- 4：ダイナミック係数

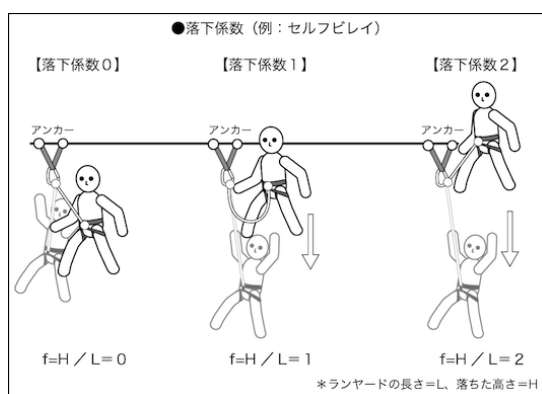
スタティックビレイにおいても、ダイナミックビレイにおいても、それぞれ要素の1と2つまり「墜落者の体重」と「ロープ係数」は行動しながらコントロールすることはできません。行動しながらコントロールできるのは、スタティックビレイにおいては「落下係数」のみ、ダイナミックビレイにおいては「落下係数」と「ダイナミック係数」のふたつのみです。落下係数が重要な要素であり、クライマーとビレイヤーが常に考慮しなくてはならないと言われているのはこのためです。

### 落下係数

落下係数とは墜落した高さ(H)を、衝撃を受けたロープの長さ(L)で割ったものです。

落下係数=H/L

まずランヤードを使用したセルフビレイを例にとりて考えてみましょう(下図参照)。落下係数0は、ランヤードに弛みはないが張力が入っていない状態と考えます。落下係数1はアンカーのパワーポイントとハーネスが同じ高さにあると考えます。落下係数2はランヤードの長さ分、アンカーよりも上方に位置した状態からの墜落と考えます。

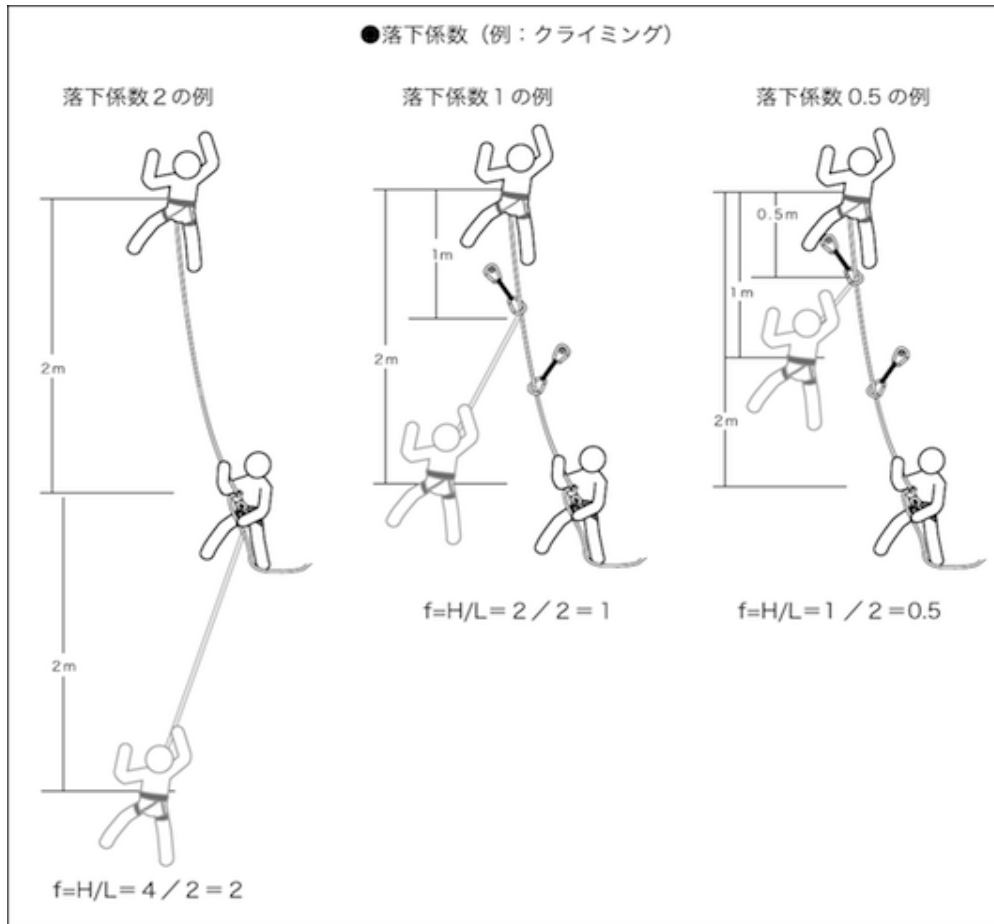


次にクライミング中の墜落における落下係数について考えてみましょう。衝撃を受けたロープの長さがLとなります。これはビレイデバイスからクライマーのハーネスまでのロープの長さです。実際はロープの屈曲によって、見た目のLよりも短くなることもあります。ここではビレイヤーからクライマーの間のロープ長を、衝撃を受けたロープの長さとして考えます。落ちた高さHは最終プロテクションからランナウトした高さの2倍と考えます。つまり最終プロテクションから1mランナウトしていれば、落ちた高さは2mです。この場合、ロープの伸びは考慮しません。

### ダイナミック係数



ダイナミック係数とは墜落が止まるまでに送り出されたロープの長さ(S)を、衝撃を受けたロープの長さ(L)で割ったものです。

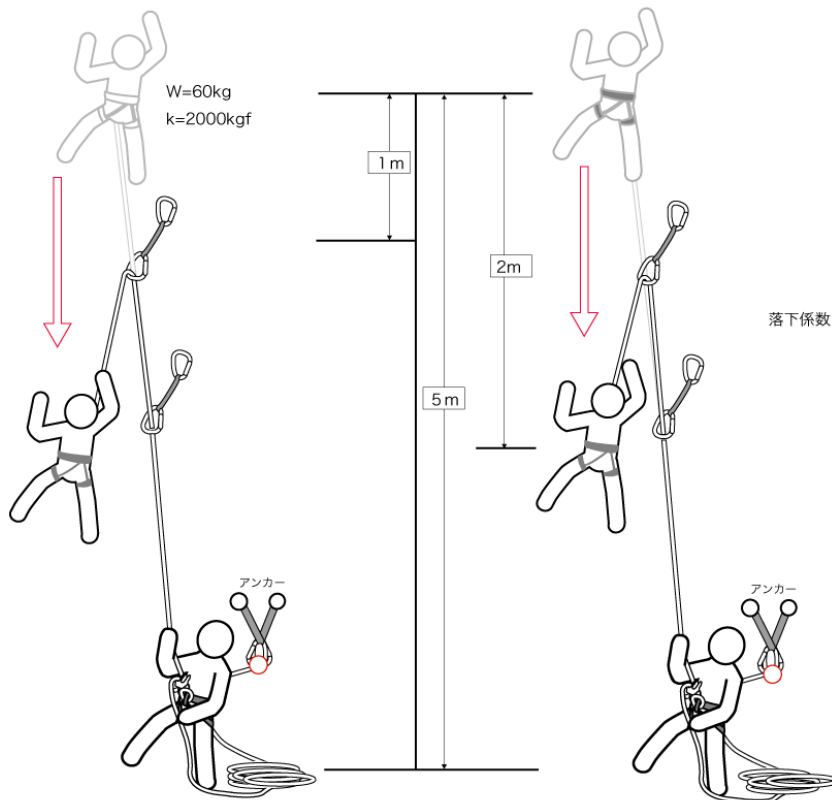


ダイナミック係数=S/L

ロープを送り出す動作は、衝撃力を抑えるために行ないます。ですから墜落の衝撃が発生したあとにビレイヤーが最寄りプロテクション方向に引き込まれるように持ち上げられることとは異なります。

この違いを体感するために、ボディブレイスビレイ（例えば肩がらみや腰がらみ）でビレイを行なうこともよいかもしれません。ただし、十分に経験を積んだ指導者のもとで、初めは大きな負荷にならないように注意しながら行ないましょう。

●衝撃力 (インパクトフォース)



●スタティックビレイでの計算

$$F=60+60\sqrt{1+2\times\frac{2}{5}\times\frac{2000}{60}}$$

$$=376\text{kgf}$$

$$=3.7\text{kN}$$

\*現実にはありえないが、ロープ末端を固定したとして計算

●ダイナミックビレイでの計算

$$F=60-2000\frac{0.5}{5}+60\sqrt{1+2\times\frac{2}{5}\times\frac{2000}{60}+\left(\frac{0.5}{5}\times\frac{2000}{60}\right)^2}$$

$$=233\text{kgf}$$

$$=2.28\text{kN}$$

\*ビレイヤーがクライマーの墜落が停止するまでにロープを50cm送り出すダイナミックビレイを行なったとして計算

図はスタティックビレイとダイナミックビレイを図と計算式で示したものです。左の図はロープ末端を固定したと仮定して計算し、右図は墜落が始まってから停止するまでに0.5m送り出されたと仮定して計算したものです。ダイナミック係数によって、衝撃力はおおよそ140kgf小さくなっていることがわかります。

## プーリー効果

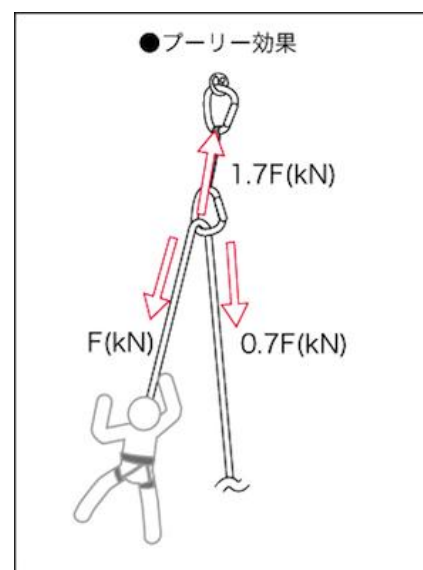
プーリー効果とは墜落者が受けた衝撃を  $1F$  とすると、およそ  $0.7F$  の力がカラビナを介して折り返されたロープ（つまりビレイヤー側のロープ）に生じることを言います。この比率は折り返された角度と摩擦係数によって異なりますが、ここでは墜落者のロープとビレイヤーのロープが同じ側、 $180^\circ$  折り返された状態で、カラビナとロープの摩擦係数を  $0.2$  として考えています。

ここで覚えておきたいのは、最終プロテクションには上記の衝撃力  $1F$  と  $0.7F$  の合力である  $1.7F$  が生じることです。支点を設置する際は、そこに発生する衝撃力を正確に予測して、それに耐える強度の支点を構築しなければなりません。

## 3: 確保技術

### セルフビレイ

ビレイヤーが身体をつなぎ止めることで行なう確保をセルフビレイ（自己確保）と呼びます。セルフビレイは後述する強固なアンカーにメインロープで摂ることが基本です。近年はデージーチェーンなどの伸びの少ないテープを使ったセルフビレイについて墜落が生じた場合の衝撃力の大きさが問題視される傾向もあります。こういった伸びの少ないテープを使ったセルフビレイの場合（例えば懸垂下降に入る前など）は落下係数0つまりぶら下がった状態を保つことが基本です。



### クライマーのビレイ

クライマーを確保する場合、トップロープであれ、リードクライミングであれ、ロープを弛まさないようにビレイヤーは最新の注意を払います。

ロープが弛むことは、理論の項でも述べた「クリアランス」をとることができなくなることに繋がります。ただし引っ張りすぎるとクライマーの動作を妨げることになります。こういった微妙で繊細なロープコントロールを身につけるには繰り返しの練習が必要です。

また確実にロープを止めるために、しっかりとロープを握る習慣を身に付けましょう。ビレイデバイスの上からロープを押さえただけのビレイ、ロープを握らずに手で挟んだような持ち方のビレイでは墜落者を止めることはできないことを覚えておきましょう。

クライマーは落下係数を小さくするために確実なプロテクションをセットしましょう。

そしてランナウトした場面では墜落は許されないということを肝に銘じて行動しましょう。

## フォロワーのビレイ

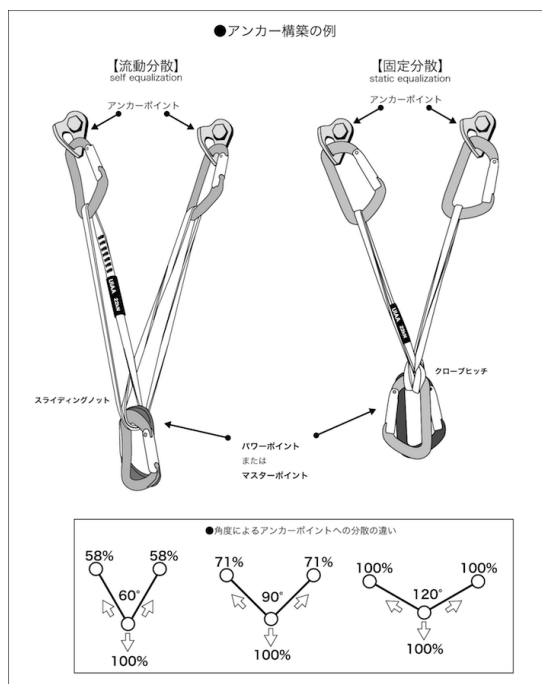
フォロワーを確保する場合、一般的には次に上げる三つの方法から選ぶことになります。ひとつめはアンカードビレイ、ふたつめはリダイレクトビレイ、三つめはボディブレイスビレイです。アンカードビレイはアンカーにビレイデバイスを直接セットするか、またはHMSカラビナを使ったムンターヒッチを利用する方法です。リダイレクトビレイはアンカーのカラビナにロープを通して行なう方法ですので、トップロープと同じと言えます。この場合はプーリー効果によってアンカーに生じる衝撃力はアンカードビレイに比べて2倍近くになることを知っておかなくてはなりません。つまりアンカー強度に不安がある場合この方法は採用できないと言う事です。ボディブレイスビレイはリードしたクライマーがトップアウトし、上方にアンカーがセットできない場合に行ないます。もちろんビレイヤーはセルフビレイで自己の安全を確保し、フォロワーのビレイはボディを支柱にして行ないます。この場合、セルフビレイに弛みのないよう調節し、フォロワーの墜落に備えましょう。

## 4:アンカー

### ビレイアンカー／ビレイステーション

ビレイヤーが身体をつなぎ止めるアンカーをビレイアンカーまたはビレイステーションと呼びます。これまでに述べてきた確保技術は確実なビレイステーションがあってこそ成り立つと言えます。

一般的なビレイステーションの構成は下図のようになります。



さて固定分散と流動分散の使い分けについてですが、それは個々のアンカーポイントの強度評価に依ります。一般的には個々のアンカーポイントの強度評価が困難な場合や低く評価された場合はパワーポイント（またはマスターポイント）を固定します。また救助活動においても固定することが一般的です。あくまでも一般論ですので、常に現場での判断を怠る事のないよう心がけてください。

より確実なビレイステーションを作成するためには、次の四つの項目を満たしていることを目安にすると良いでしょう。

1：強固

2：多重性

3：均等荷重

4：パワーポイントの固定

「強固」とは個々のアンカーポイント、カラビナやスリングなどアンカーを構成する全ての要素が強固であることです。「多重性」とはアンカーポイントは必ず二点以上使うことを意味しています。また連結されたスリングの一方所が落石などにより切断された場合に備える意味もあります。「均等荷重」は個々のアンカーポイントに均等に荷重が分散されるようスリングで連結することです。このときスリングの角度にも注意が必要です。図にもあるように60°で58%、90°で71%、120°になると100%となります。目安は60°以内と言われています。「パワーポイントの固定」はビレイステーションが固定分散を選ぶことが適切と判断された場合に行ないます。方法はいくつかありますが、図ではクローブヒッチを使った例を示しています。

## 最後に

確保理論と確保技術は「登山における防御」の大切な項目です。ぜひ理論に基づいた基本技術を身に付けて、防御する力を高めていただきたいと思います。

高い防御力があってこそ、より困難な登山に挑戦する可能性が見えてくるはずです。

## 参考

### クライミングギアに使われている単位kN

カラビナやロープなどクライミングギアに使われている単位のN(ニュートン)、あるいはkN(キロニュートン)は力の単位です。見慣れない単位ですが、N(ニュートン)をkgf(重量キログラム)に換算することができます。

例えばカラビナに24kNと表示してあったとします。この数値をkgfで表すと、

$$24 \times 1000 \div 9.8 = 2449 \text{kgf}$$

となります。

また逆に2449kgfは次の式でkNに換算できます。

$$2449 \times 9.8 \div 1000 = 24 \text{kN}$$

この換算方法は知っておくと便利でしょう。