

以登山運動生理學公式量化— 大眾化登山路線的體能需求

孔令均*

摘 要

登山健行是國人走入戶外促進身心平衡的良好活動，然而登山健行的本質與運動體能脫離不了關係。登山若無相對應的體能，則易引起疲勞不適、運動傷害甚至迷途、跌傷、墜落等意外，這些傷害應於登山健行活動中積極避免。

然而，現有的登山路線難度分級制度對於各路線的體能需求缺少量化的評價方式，不同路線所需要的體力無法比較，只能從自身或他人的經驗來排序。但是主觀的排序受到個人體能差異與感受的影響，無法適用於所有參與戶外活動的人們，因此在網路時常有人發問：「走過某 A 路線，想知道可不可以走某 B 路線」。

為改善上述問題，讓不同登山健行路線的體能需求可以被比較，須以客觀條件分析路線的體能需求，本文引用山本正嘉教授的登山路線體能公式，透過公式分析大眾化登山路線的體能需求，並將結果與現有的難度分級制度比較。期望可量化體能指標成為循序漸進選擇路線的參考依據，登山者依此選擇適合自己體能的路線或制定體能訓練目標，減少因體能準備不足而產生傷害或意外事故。

關鍵字

體能難度、登山能量消耗公式、路線常數、路線標準時間、循序漸進

*探勘風登山教育講師

以登山運動生理學公式量化— 大眾化登山路線的體能需求

孔令均

選擇適合自己的路線

走入山林接觸自然，本應是促進身心平衡的優良活動，但是選擇了超出自身體能負荷的路線，或不具備相對應的戶外技能，反而讓自己暴露在更大的風險中。例如體能超出負荷，常見疲勞、痠痛、注意力不集中、平衡感變差、爆發力下降等現象，可能導致行程拖延、跌倒、疲勞損傷、迷途或橫紋肌溶解等意外，甚至變成無法挽回的遺憾，不但傷害自己，搜救疲於奔命，應是所有戶外人都不樂見的情形。因此，對於剛踏入山林還不熟悉的大眾，應該有更精確的參考資訊，讓使用者透過資訊選擇合適的路線，不但促進戶外活動的健全發展，也期盼能減少山難意外發生。

借鏡他山之石

日本長野縣，涵蓋飛驒山脈（又稱北阿爾卑斯）多條知名登山路線，相當受到歡迎的槍岳也在長野縣的轄區內。然而，日本十餘年前的登山風逐漸盛行，登山的人口與意外都一起成長，長野縣山區自 2010 年（平成 22 年）起，連續四年的遇難件數突破歷史紀錄，於 2013 年達到歷史高點（300 件，遇難 328 人，當中死亡與失蹤 74 人），此後事件數雖然下降，仍維持相當高的件數²）。

為此，長野縣與長野縣山難防止對策會推行新的路線分級制度”山的分級（山のグレーディング）”，提供縣內的登山路線難易度情報，盼登山者根據自身能力選擇合適的路線，以減少山難發生。目前這個分級系統也被日本其他縣採用，現有 10 縣、1 山系共計 949 條路線，都使用相同的分級標準。

此分級系統是在無雪期、天氣良好的條件下，針對路線本身的地形特徵給予評價，共有兩個指標，體力度與技術難度，分別區分成體力度 1~10 級與技術難度 A~E 五級。技術難度是依照路線的地形特徵中最為困難的關卡為依據，將所需要的技術能力依序分為五個等級，然而此技術難度是以健行的條件來區分，並不包括需要技術裝備的攀登或溯溪。體力度是指路線體能需求的量化指標，分級依據參考鹿屋體育大學的山本政嘉教授的研究「登山中の消費エネルギーを計算する式」的路線常數計算，為了方便閱讀而分成十級。這個體力度的分級與計算方式，就是本文要討論的體能量化。

體能難度量化的理由與方法

描述路線的難度，可以從體能與技術兩個面向來考慮。技術的部份比較好理解，可由通過困難點所需要的技能作為評比的依據，然而路線的體能難度在台灣較少使用客觀的評比基準。一條路線難或累，多出自於主觀的感受，個人的體能、生理條件、步行技巧等會影響對於路線輕鬆或累的評價，也會受到天候、植被或負重等因素影響。因此，主觀的路線體能評價不能適用在不同基準的其他人身上，例如登山健腳的人覺得玉山主峰很輕鬆，這樣的評價就不適合從沒有登山經驗的新手。不同路線之間的體能難度排序，也存在缺少比較基準的問題，就算是同一個人對不同路線給出評價，也會因為他去不同路線時的體能變化、天候等因素，而影響到他對路線體能難度的看法。

如何量化一條登山路線所需要的體能，鹿屋體育大學的山本政嘉教授提出了登山能量消耗公式（圖 1），以人類在單純山徑上移動的能量消耗量為比較基準，適用於無雪期的一般山徑。公式分為兩大部分，左方參數與山的環境相關（路線常數），包括路線的上升、下降、水平距離、移動時間共四個參數，這部分是客觀物理條件來描述單位能量的消耗，也因這四個參數的計算結果就稱為**路線常數**，以較客觀的角度比較不同路線的體能難度；右側與登山者相關的是重量，為體重與負重的總和。路線常數與總重的乘積就是登山者在此路線移動過程的能量消耗，單位為大卡（kcal）。

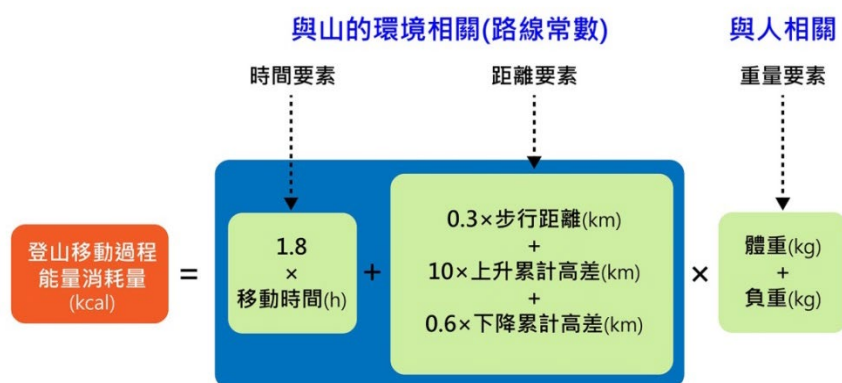


圖 1_登山能量消耗公式

注1) 負重包含衣服、鞋子等身上所攜帶的所有物品的重量

注2) 山本政嘉教授採用的標準時間為導遊書的路線標準時間，然而日本的路線建議時間和台灣的建議時間都存在著無統一基準的問題，未來還有待研究統一基準。而《山の運動生理学とトレーニング学》書中暫時假設標準時間的體能為 1000m 上升約 3 小時與 1000m 下降 2 小時的強度。

路線常數的計算

路線常數的計算是前述四個參數乘以各自的常數後的總和，為上升乘 10、下降乘 0.6、水平乘 0.3、移動時間乘 1.8 的總和，上升、下降與水平距離的單位是公里，時間單位為小時。

從公式來看不同方向移動的耗能關係，上升是下降的 16.5 倍，也是水平移動的 33 倍，因此在登山的過程中，上坡的上升高度對於體能的影響會最大。同理，上升對計算結果影響最顯著，在計算路線的升降差越精確，理論上越接近真實的能量消耗。

高差的計算，可從地圖等高線計算或利用 GPS 軌跡計算。本文的計算方式採用後者，理由是 GPS 可以顯示較多細小的高低地形變化，但是選擇 GPS 軌跡時要注意錄製航跡的品質，純 GPS 錄製的航跡因定位高度的誤差導致高度飄移較明顯，而有氣壓計輔助的軌跡，在高度飄移的情況則較少，若要更要求航跡更加接近真實地表還有後製校正的過程要進行，技術內容就不再贅述。

移動時間，通常指的是路況良好、沒有高負重、非雪期的條件為前提的行走時間，而且不包含休息和飲食的時間。在日本有多個估算公式版本，山與溪谷社或昭文社所採用的標準時間也不全然相同，但是根據統計比較 78~98% 的人可於導遊書標準時間內完成⁴⁾，更多有關標準時間的在後面的段落敘述，以下雪山路線則是採用上河高山百岳全圖的參考時間計算。

表 1_雪霸路線分級與路線常數計算結果

路線	簡述	現有分級	上升 (m)	下降 (m)	距離 (km)	時間 (min)	路線常數
雪山東峰	雪東往返	A	1069	1069	8.8	530	29.87
志佳陽大山	環山→志佳陽往返	A	1884	1884	18.036	880	51.78
二秀 (桃山、喀拉業山)	桃山線往返	A	2186	2186	18.298	910	55.96
雪山主峰	雪主往返	A	2044	2044	20.546	985	57.38
大小霸	觀霧→大小霸往返	A	2896	2896	67.302	1510	96.19
二秀 (池有、品田山)	池有線往返	B	2089	2101	22.024	1200	64.76
雪山主峰、翠池	雪主、翠池往返	B	2411	2411	23.564	1165	67.58
志佳陽大山、雪山	志佳陽→雪東	B	2706	2167	23.791	1360	76.30
大劍山	松茂→大劍往返	B	2784	2784	37.4	1235	77.78
四秀	池有→新達→桃山	B	3001	3007	28.673	1520	86.02
大霸北稜	鎮西堡→大鹿林道	B	3456	2967	50.578	1600	99.51
秀霸線	桃山→大壩→觀霧	B	3700	3475	52.843	1955	113.59
雪山主、北、翠池	雪山主、北、翠池	C	2915	2906	29.661	1540	85.99
劍雪	松茂→大劍山→雪東	C	3674	3009	37.682	1775	103.10
大小劍	松茂→大小劍往返	C	4319	4319	49.6	1965	119.61
雪山西稜	230 林道→雪東	C	4424	4841	67.76	2720	149.07
O 聖	池有→雪東	C+	3253	3009	31.821	2010	104.18
I 聖	觀霧→雪東	C+	4096	4034	58.222	2380	132.25
Y 聖	桃山→大壩→雪東	C+	5554	5267	54.529	3185	170.61

雪霸路線分級制度與路線常數的比對

在台灣常見的百岳分級制度，源自雪霸國家公園的路線分級，目前該規定已於 109 年廢止⁶⁾，然而網路上還是可以看到許多網站依此規則區分路線難度，因此國內路線分級以此做為比較對象。該規則依據活動天數、危險地形及雪季期間，分成 A、B、C、C+、D、E 共 6 級，此分級方式以天數與地形混和評價。此分級方式，某條路線被分到某級，當中體能難度或是技術難度的佔比較高，並無法從分級明確區分。

表 1 是當時雪霸國家公園官網的公告路線分級，由非雪季的 A~C+ 級試算路線常數的結果。圖 2 是將表 1 的各路線常數與分級制度用散佈圖表示，X 軸顯示的是雪霸的路線分級，Y 軸是路線常數。A 至 C+ 的分級所涵蓋的路線常數範圍，趨勢上是往 C+ 級的方向增加，但是可以看到每級路線都涵蓋約 60 的路線常數範圍，而且各級的體力度有不少重疊範圍。例如大小霸為 A 級路線，路線常數 96.19，是 A 級路線中最高者，與 B 級路線的二秀（池有、品田山）路線常數 64.76 相比較，A 級路線還比 B 級路線多出 31.43，顯然以現有的分級方式並不够精確區別各路線的體能難度。若將體能與技術兩項指標分開表示，使用者在選擇時可以比較容易挑選適合自己的路線。

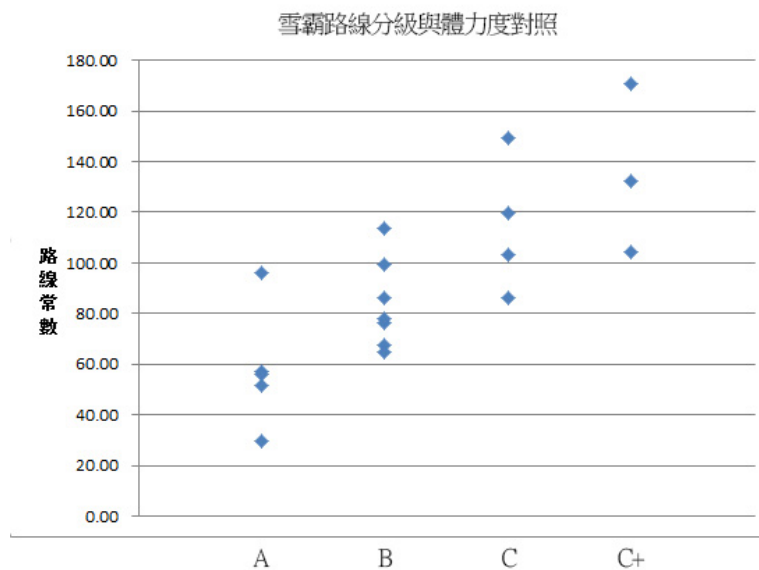


圖 2_雪霸路線分級與體力度對照

熱門登山路線應用路線常數的排序

若要將路線常數應用在上河地圖沒有提供標準時間的路線上，上升、下降與水平三項可以比照前面的方式，由經過校正的 GPS 航跡取得，唯有時間這項比較麻煩，不同路線之間的標準時間必須要有統一的基準，不同路線之間的路線常數才能比較。

假設以均等的體能輸出、一樣程度的技巧去走不同的路線，理論上高度或路況對體能的

影響也會反映在時間的表現。概念上，標準時間若能夠精確反映高度或路況的影響，在同樣爬升、下降、距離但是不同海拔或路況的路線時，時間參數的差異就會反應在路線常數上。筆者認為，標準時間應該以一般登山者為樣本測量與統計，才能反映出路況或海拔對多數人的影響，進而使路線常數的排序更精確。然而要依什麼標準取樣、如何統計才能達到理想的標準時間，還有待研究。

退而求其次，參考日本對於路線標準時間的計算公式，例如太田標準式、內田方式、EK 度數換算⁵⁾等，基本結果差異不會太大，都是以上升、下降、距離這三項物理參數去預估。為了涵蓋低海拔至日本高海拔的山區，公式計算出來參考時間是採取較寬鬆的結果，以涵蓋高海拔路線，同樣的公式計算低海拔路線的參考時間，則會比平均值要來的多一些。太田標準式、內田方式的年代久遠，筆者還要調查原始紙本文獻，更進一步了解。而山與溪谷社的 EK 度數換算（圖 3），為比較近期的公式，網路上的資料也比較多，故以下計算採用 EK 度數換算標準路線時間。有關體能與標準路線時間之關係的論述，將佔用過多的篇幅，筆者就不在此篇詳述。

$$\text{路線標準時間 (h)} = \{(\text{上升累計高差(m)} \div 100) + (\text{下降累計高差(m)} \div 200) + \text{步行距離(km)}\} \div 4$$

圖 3_EK 度換算標準路線時間的公式

注1) 計算方式為，累計上升以 100m 為單位，累計下降以 200m 為單位，步行距離則是以 km 為單位，將以上三項數值加總再除以 4，就接近路線標準時間。

注2) 注 2) 適用路線整備良好的步道、非雪期

表 2 是筆者取部分熱門健行路線，為統一標準，以公式計算路線標準時間，再依照路線常數排序。路線時間統一以 EK 度數換算計算，依筆者經驗來看並非過分的時間，而路線常數計算則同前述的計算方式。

解讀表 2 的內容，可以看出熱門單攻路線的耗能排序，例如嘉明湖>雪山主峰>玉山；也可比較兩條路線的差異，例如而玉山與雪山相比較，雪山高出約 10 的體力度，因此雪山單攻會比玉山單攻要累；路線常數也可以用倍數的概念來解讀，例如玉山單攻的體力度為 41.58，對比七星山 8.92，也可以說一日玉山是七星山的 4.6 倍耗能。以上的應用方式，都是將路線體能難度量化才有的好處。

另外，比較雪山主峰的時間，上河地圖的加總時間為 985 分鐘（表 1），而使用公式計算的時間為 768.09 分鐘（表 2），兩者相差 216.91 分鐘。依筆者的經驗，雪山往返的行程耗時 12 小時是一般登山者能完成的時間，似乎公式比較貼近經驗。

表 2_熱門路線的標準路線時間與體力度

路線	路線描述	上升 (m)	下降 (m)	距離 (km)	時間[公式] (min)	路線 常數
七星山	冷水坑→小油坑	354	380	3.6	135.6	8.92
劍龍稜	瑞能橋→黃金五稜→勸濟堂	768	447	6.3	243.23	17.13
松蘿湖	松蘿湖登山口往返	856	856	11.6	366.6	23.55
加羅湖	柵欄往返加羅湖	1079	1079	14.6	461.78	29.67
玉山	塔塔加鞍部往返玉主	1454	1454	21.8	654.15	41.58
北大武	舊登山口往返北大武	1973	1973	18.6	722.93	48.18
陽明山東西縱走	風櫃嘴→清天宮	1884	1997	23.5	784.88	50.63
雪山主峰	雪主往返	2044	2044	20.546	768.09	50.87
嘉明湖	向陽往返嘉明湖畔	1937	1937	27	840.83	53.86
奇萊南華	屯原往返奇萊南華	1747	1747	36.2	936.08	57.46

體能公式的應用

1. 路線常數可用於各路線體能難度的比較，是登山循序漸進的指標，選擇合適的路線，可以避免自己過於勞累或產生運動傷害，也可以做為自我評估體能或訓練的參考數字。
2. 用於規劃行程的參考，例如單日往返的行程，每個人經過循序漸進的嘗試，能夠知道自己一天可以完成的路線落在多少數值，在決定當日往返路線時就可以依個人的數值來判斷是否合適。而路線常數也可以用於長程路線分段的參考，以筆者的經驗，多天重裝行程每日安排約 35 體力度的路程，是多數隊員可以接受的強度，所以將縱走的路線常數除以 35，取四捨五入的整數，差不多就是一般行程安排的天數。每日的體力度，應視隊員的平均體能來考慮，並不是一個固定的數值。如果隊員都是健腳，也可以依需求提高每日的強度，前提是每個人都能充分對自己的體能負責。
3. 將路線常數乘上體重負重的總和，就是能量公式的結果，會得到登山移動過程所消耗能量的預測值，這可以做為能量補充計畫的參考，例如在各路段要補充多少能量，或是應該攜帶多少糧食。同時，根據研究當人體每消耗 1 大卡 (kcal) 就會消耗 1 毫升 (ml) 的水 (登山の運動生理學とトレーニング学,P156)，因此能量公式的預測值也等於耗水量的預估值，可參考預估值決定攜帶的水量，不過耗水量還會受到氣溫、濕度、體質等因素的影響，依照山本政嘉教授的建議，可依預測值再視環境條件增減。登山時計劃性的補充水分，可以避免脫水導致體能衰退，而耗水量的估計就是應攜帶多少水的參考依據。

運用公式需注意的地方

1. 路線常數也不是萬能的，如前面所述，這是著眼在能量消耗的公式，而登山過程需要心肺能力、肌力、平衡感、協調性與技巧相互配合，才會走得順利。而且《山の運動生理

学とトレーニング学》書中暫且定義滿足標準時間的體能為 1000m 上升約 3 小時與 1000m 下降 2 小時的強度，表示必須具有一定的登山步行能力。例如陡下坡，從公式來看，上升的常數為 10，下降的常數為 0.6，上升是下降的 16.7 倍耗能，與上升相較，下降應該是很輕鬆的，為何很多人在陡下坡或長下坡會走得慢，或有肌肉痠痛與鐵腿的情形，原因就出在下坡雖然省力，但下坡動作是運用肌肉離心收縮（Eccentric contraction），長時間使用離心收縮容易使肌肉損傷，尤其是肌力不足的人更明顯。一樣路線常數的路線，緩升降的這條路線就走得很輕鬆，若走到陡升降的路線有下的慢、下坡後腳沒力、鐵腿等現象，有上述情況的人，表示心肺能力可以滿足該路線常數，但是肌力不足應付快速的下降，這就不是路線常數所預測的能量範疇，而是肌力、技巧等因素。

2. 路線常數定義的是無雪期且路況良好的路線，而台灣本身環境的特性，濕滑、植被茂密、崩塌地形等因素，會使耗能超過路線常數的預估值。在大眾路線或許沒有太大的差異，因為山徑的維護與植被的清除都有不錯的完成度，因此理論上與路線常數定義的路線接近。然而比較遠離道路、原始的山徑，就不會有完善或頻繁的維護，植被、倒木與不穩定的路線較多，照理耗能會比路線常數預測的高，是否需要將路線本土化而做出修正，還有待專家的研究。
3. 路線常數定義的是天候良好的情況下，若天候惡劣，低溫、強風、降雨等因素都會導致耗能增加，若在天候不好的時候挑戰自身負荷路線常數臨界路線，對身體的負擔也會達到負荷之上，這並非明智之舉。
4. 海拔上升，氧濃度下降，會直接反映到體能下降，以海拔 3000m 為例，靜止時的動脈血氧飽和度會下降至 90%附近（登山の運動生理学とトレーニング学,P220），表示在高山的體能不會和平地一樣，必須打折才能反映體能在高山的實際輸出。而每個人的對於高海拔的適應情況不能一概而論，可能和體質、訓練、高度適應計畫甚至是當天的身體健康都會有影響。以雪山主峰和陽明山東西縱走為例（表二），兩者的體力度為 50.87 和 50.63，非常的相似，但是兩條路線卻位處不同海拔區間，高海拔的雪山，要面對海拔導致體能下降的現象。因此完成陽明山東西縱走的人，必須付出比陽明山東西縱走時更長的時間才能完成雪山單攻，也要注意高海拔帶來的風險。
5. 體能公式是基於路線常數與登山者的總重得出消耗能量，但是負重的上限要視個人的肌力表現，當重量超過肌力負荷時，容易造成身體損傷，體能公式的估算也變得沒有意義，因為在完成路線前可能已經傷害到身體而令體能下降，也可能沒辦法按照計畫到目的地。
6. 台灣的登山路線建議時間的統計，上河的圖的資料目前是比较多的，但是時間取樣缺少標準，究竟是負重的時間還是輕裝的時間並不清楚，筆者在使用地圖參考時間時也時常

感到困惑。參考山與溪谷社對於路線標準時間的定義，為無積雪期、30~50 歲成人、使用山屋為前提的步行時間，不包含休息或吃飯的時間；昭文社的定義則是 40~60 歲的登山者、2~5 名成員、以利用山屋為前提的裝備、夏季的晴天為前提。有明確的定義，使用者利用時才好斟酌，標準時間也比較令人信服。筆者認為，利用公式計算標準時間，雖然只能符合特定海拔以下的時間，尤其在低海拔的地方計算出來的標準時間通常會比實際的行走時間來的寬鬆，但是在沒有精確的統計資料前，公式的計算至少是行程計畫時比較客觀的參考值，至於標準時間要選擇哪個公式？是否因台灣的登山環境修改參數？還沒有定論。而各路段的時間統計，使否可以透過統計或是取樣的篩選，讓各段的時間都能符合相近的體能強度所產出的時間，將是一門研究課題。

避免意外與傷害，循序漸進的登山過程

推廣路線常數與科學化登山的概念，目的是讓登山有更好的體驗，科學化的數字引導，讓循序漸進的訓練有所依據，尤其是剛開始接觸登山的人，好的引導指標可以減少傷害的發生機會。回憶筆者剛進入大學登山社團時，當年的觀念還相當土法煉鋼，訓練不成還練出一身的傷，而為了繼續維持登山的興趣，也接觸不同的運動領域，才認識了科學化訓練，深深後悔沒有早一點學習。

本文所介紹的**路線常數**公式，實現不同路線體能難度排序，可以成為登山者循序漸進的指標。對於剛開始接觸登山的朋友，筆者建議由路線常數 10 左右的路線開始嘗試，只要在標準時間內完成也沒有痠痛疲勞，就逐漸提高體力度，直到疲勞感或痠痛產生，就可得知自己的體能負荷落在多少數值的路線常數，往後可依照此數值選擇合適的路線，或經由訓練提升體能。如此一來，逐次的提升，且提升的幅度不要過大，減少身體超出體能負荷帶來的傷害的機率。

路線常數的概念，近幾年已被日本各方採用，例如長野縣推行的分級制度、山與溪谷社的導遊書，甚至應用在路線規劃的線上系統中。期盼台灣也能認識這項工具，讓使用者有更好的資訊去選擇合適的路線，另一方面，也希望減少越級打怪的山難，期望每個人都能當個負責的登山客，為自己的安全與健康負責。

參考資料

1. 山本政嘉：登山の運動生理学とトレーニング学、東京新聞、東京、2016
2. 長野縣廳官網, 信州山のグレーディング
<https://www.pref.nagano.lg.jp/kankoki/sangyo/kanko/gure-dexingu.html>
3. 長野県山岳総合センター
<https://www.sangakusogocenter.com/index.html>
4. 実際の歩行時間と標準コースタイム (CT) を比較してみました
<https://www.yamareco.com/modules/yamanote/detail.php?nid=2570&fbclid=IwAR0gy5I2tlh30x2qjFtNoZl92-rRDkLUkL5z3EYsAgvTgynNza4QJfyj1xI>
5. 日帰り登山のための EK 度数について
<https://www.yamareco.com/modules/yamanote/detail.php?nid=142>
6. 營建署法規公告
(雪霸國家公園管理處 108.10.04 營雪企字第 1081001369 號令廢止, 自即日生效, 並將登山分級制度回歸「雪霸國家公園生態保護區申辦入園注意事項」)
7. 上河高山百岳全圖 TM06、TM07