

2024年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 180001
參展科別 地球與環境科學
作品名稱 高山地區暖化之探討

就讀學校 臺北市立第一女子高級中學
指導教師 楊善茜、洪志誠
作者姓名 林歆雨

關鍵詞 高山氣候趨勢、氣候變遷、全球暖化

作者簡介



大家好，我是林歆雨，目前就讀臺北市立第一女子高級中學三年級。

我對地球科學充滿熱情，也喜歡探究大自然的奧秘。在進行專題研究的過程中雖然遇到了不少困難，但我仍堅持不懈，多虧了這一番努力，我才能踏入國際科展的殿堂。很高興有這個機會能夠遇到來自不同領域的人才。

摘要

高海拔的高山多與極區相似，地表覆蓋著冰雪，故推測可能觀察到與極地放大效應類似的情形發生。本研究探討歐洲、美洲以及亞洲海拔超過3000公尺的數個近百年測站之氣溫資料趨勢並比較各測站之間的差異，藉由觀察所繪製出的圖表，得到支持高山地區的暖化情況同樣也較全球平均的暖化情況明顯的證據，以及高山地區季節的暖化差異，並更加了解高山氣候變遷的趨勢，以及近代與過去暖化情況的不同。

Abstract

It is hypothesized that polar amplification may be observed in high-altitude mountains, which are similar to the polar regions in that they are covered with snow and ice. This study examines the trends and compares the differences in temperature data from several stations in Europe, North America, and Asia at elevations greater than 3,000 m, with the records spanning a century. By looking at the graphs produced, we obtain evidence to support the idea that the warming trend in alpine regions is similarly more pronounced than that of the global average. In addition, we observe the differences in seasonal warming in the alpine regions. We have also gained a better understanding of the trends in alpine climatic change and the differences in warming in the recent years and the past.

壹、研究動機

許多以華麗雪景著名的旅遊勝地，現在去參觀時已經無法觀察到過往著稱的積雪盛況了，用肉眼就能看見現在的積雪量較以前少。可見人類活動愈來愈繁榮，對地球造成的影響也愈來愈嚴重，使全球暖化與氣候變遷成了時下最熱門的話題之一，也會讓人不禁思考：高山的暖化速度會比較快嗎？冰雪與水反照率的不同為造成當地溫度差異主要的因素之一，當某地區的反照率因為降雪而改變，會出現雪 - 溫度回饋的現象。冰雪的反照率可高達 0.9，

一層降雪會增加當地的反照率，反射掉陽光，相對陽光吸收比率下降，導致該地區變冷。但當積雪融化時，雪水的反照率小，約為 0.4，會吸收陽光所帶來的能量，使整個地區的溫度升高。而高山與極區又有著異曲同工之妙，地表皆長年覆蓋著積雪。考量海平面，地表長年的平均溫度大約是攝氏 14 度，假設要將地表均溫降至攝氏 0 度，以對流層大氣平均降溫率為高度每上升 100 公尺，溫度會下降攝氏 0.6 度來估算，則高度要抬升至 3000 公尺才有辦法產生長年積雪的環境。

考量俱有現代化標準量化資料的儀器設置，若要研究長期的趨勢，則需要取記錄年份較長的測站資料。氣候多指三十年平均的狀態，因此若能觀察 60~90 年以上的記錄，可望了解高山氣候變遷的趨勢，並觀察暖化的情形是否在高山區域有較海平面不同的氣溫變化。

貳、研究目的及研究問題

Rangwala 等（2012）提到，現有觀測顯示，一些山區正在經歷高於全球陸地平均水平的季節性暖化率。一些山區內的海拔依賴性氣候響應的觀測項目和建模研究也有證據支持。然而，由於觀測和模型仍未普及且尚有不足，我們對山區氣候變化的理解仍然具有挑戰性。事實上，尚不確定山區的變暖速度是否普遍有別於全球其他地區，或者基於海拔暖化率的敏感性是否在山區普遍存在。Rangwala 等（2012）探討了下列兩個問題：

- 一、山區的暖化速度有比低窪地區的暖化速度來得快嗎？
- 二、山區是否存在海拔依賴的氣候回饋？

其研究發現現有的觀測資料仍然不足，較難充分評估山區是否以比全球其他陸地表面更快的速度暖化。然而，現有的觀測可見，一些山區在季節性時間尺度上可能正在經歷更高的變暖率。雖無法證明全球山區的趨勢，但發現在特定的空間和時間條件下，海拔依賴性氣候回饋確實存在。因此本研究試圖回答下列兩個問題：

- 一、高山氣溫的變化是否與緯度和海拔有關係？

二、部分地區高山過去與近代的溫度變化趨勢是否有差異？

參、研究設備與資料來源

一、電腦

二、軟體：microsoft excel

三、原始資料來源為從美國國家航空暨太空總署地球太陽探險分支的戈達德太空研究所

(GISS) 和中國文化大學的大氣水文資料庫網站上所下載。測站的資料包含了各個測站的經緯度、海拔高度、測站測得的月溫度和季溫度平均以及所測得資料的時間長度。在挑選出適當的測站後，從網站上下載該測站的資料 CSV 檔，匯入 Microsoft Excel 並製作年平均以及其九年滑動平均的折線圖，再觀察各圖表的特徵及比較其差異。

肆、研究過程或方法

一、挑選全部測站資料中歐洲、北美洲以及亞洲高度高於3000 公尺以及台灣玉山的測站。

二、由於資料時間長度超過100年的測站數量過少，故下修限制，將資料時間長度超過70年的測站挑出。經過篩選後共挑出11站，其中三站 Sonnblick、Aragac Visokogornaya 與 Jungfrauoch 位於歐洲，一站 Leadville Lake CO AP 位於美洲，而除了位於台灣的玉山467550 站以外，所選測站中的 Tian Shan、Leh Kashmir、Whshaoling、Garze、Litang 和 Madoi 也位於亞洲。地理位置如表1及圖2，圖1為有積雪的測站 Sonnblick 周圍景觀。



圖 1：測站 Sonnblick 周圍覆蓋著積雪的景觀。

表 1：各個測站的經緯度資料，北緯及東經為正。

站名	緯度	經度	高度(m)	時間長度	位置
Sonnblick	47.05	12.95	3106.0	136年	奧地利
Aragac Visokogornaya	40.50	44.20	3223.0	94年	亞美尼亞
Jungfraujoch	46.60	8.00	3572.0	78年	瑞士
Leadville Lake CO AP	39.23	-106.32	3027.3	115年	美國 科羅拉多州
Tian Shan	41.88	78.23	3639.0	95年	中國
Leh Kashmir	34.20	77.70	3514.0	86年	印度
Wushaoling	37.20	102.87	3044.0	73年	中國
Garze	31.6	100.00	3394.0	72年	中國
Litang	30.00	100.27	3950.0	71年	中國
Madoi	34.92	98.22	4273.0	71年	中國
玉山467550	23.49	120.96	3844.8	81年	台灣

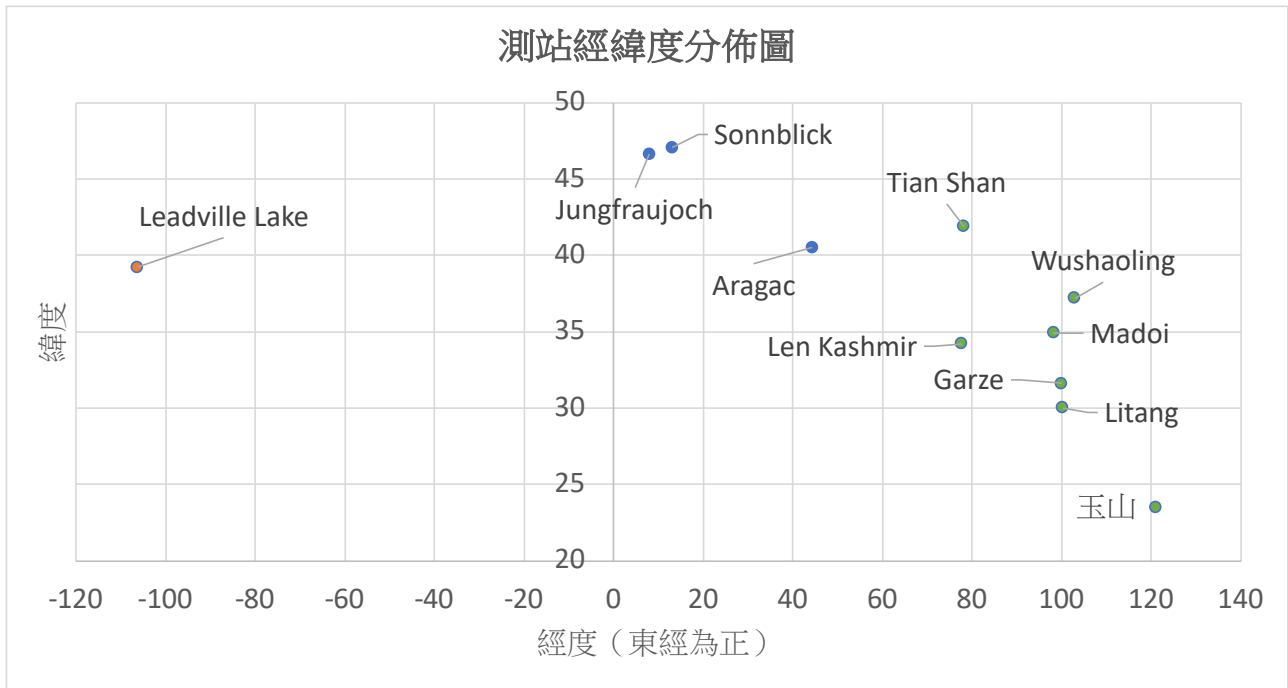


圖 2：十一個測站的經緯度分佈圖，東經和北緯為正

三、從 Giss 的網站中下載測站資料及製作年平均和九年滑動平均之流程如下：以美洲的測站 Leadville Lake Co Ap 為例：

(一) 進入網站下滑至地圖，如圖3-1，圖上方紅色方框處維持原始設定不改動，於下方紅色方框處輸入測站的經度與緯度，東經和北緯為正，西經及南緯為負。輸入完後按右邊 **Recenter**，所要尋找的測站就會在畫面的中間，如圖上紅色圓圈處。將游標移至圓點上方即會出現資訊框，再按 **Generate Plot** 進入下個頁面。

(二) 點按頁面下方 Downloads 處的 CSV，如圖3-2，即可下載該測站所採集的資料。

(三) 下載後於 Excel 中點按上方工作欄「資料」的「取得資料」，如圖4-1中紅框處，進入圖4-2的畫面後再點按「文字/CSV」即可匯入資料。

(四) 當中資料若有登記為9999.9的則剔除，若一年中月平均的資料少於6個則不採用該年的資料來繪製年均溫折線圖。



圖 3-1：操作示例。

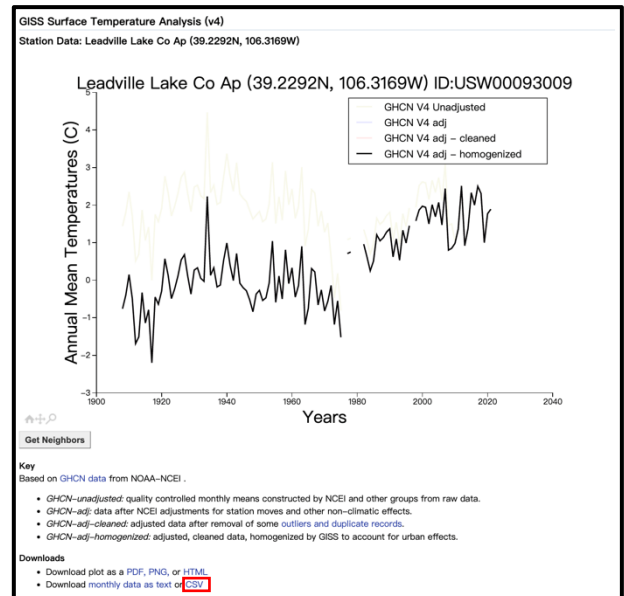


圖 3-2：操作示例。

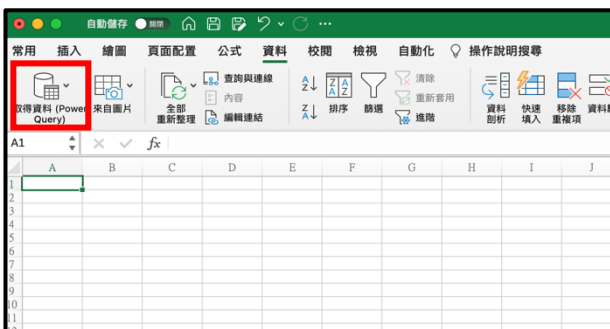


圖 4-1：操作示例。

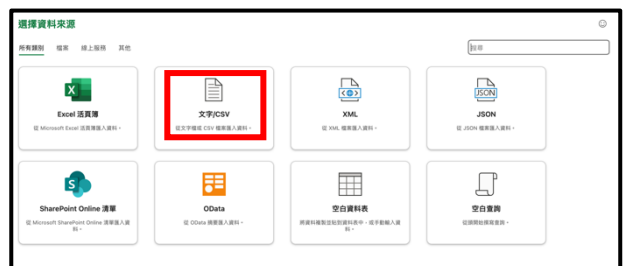


圖 4-2：操作示例。

(五) 再用所得數據進行九年滑動平均後繪圖。滑動平均常用以消除短週期波動、突出長期趨勢或是極端數據對整筆資料的影響，其中最常見的短週期波動事件為聖嬰現象，根據 Perone 等人2016的研究，聖嬰現象的週期為2-7年，故本研究以九年滑動平均消除聖嬰現象的影響。九年滑動平均的計算方式為：若某測站測得連續九年的溫度依序為 T1、T2、T3、T4、T5、T6、T7、T8、T9，則其第五年的九年滑動平均為：

$$\frac{T1 + T2 + T3 + T4 + T5 + T6 + T7 + T8 + T9}{9}$$

四、從大氣水文資料庫的網站中下載玉山測站的資料，下載流程如下：

(一) 進入網站，須先登入會員，登入後點按大標題「資料展示」中的「測站」，如圖5中紅色方框處，進入下個頁面，如圖6。



圖 5：大氣水文資料庫首頁，操作示例。

(二) 進入圖6的頁面之後，已知玉山主要所在縣市為南投縣，在第二項「縣市」的位置選擇南投縣，在第三項「測站」的位置即會有「玉山467550」的下拉選項可勾選，如圖6中紫色反白處，而在第五項「起迄時間」處則選擇最早的1900年一月到現在的時間2023年七月，選擇完成之後點按下方紅色方框處「資料下載」。

(三) 點按「資料下載」後畫面中央會出現如圖7的下載說明，點選「解析檔下載」，即可下載玉山測站所採集的資料 CSV 檔，將其匯入 EXCEL 後即可開始作圖，資料下載後處理方式與本研究過程之第三點相同。

四、製作各個測站的年均溫以及九年滑動平均折線圖，進行觀察與比較。

一、提供單位：
 氣象局局屬測站

二、縣市：
南投縣

三、測站：
手動輸入
搜尋
✓ 玉山 467550
日月潭 467650 (種)：
 溫度(線條圖)
 雨量(直方圖)

五、起迄時間：
1900-01 to
2023-07

查詢 資料下載

下載說明

您好，
可依照您的需求來選擇
(1)解析檔下載
(2)原始檔下載，導致下載頁面

解析檔下載 原始檔下載

圖 7：操作示例

圖 6：操作示例。

伍、研究結果與討論

以下內容之一到七項將個別說明在歐洲、美洲與亞洲高山測站圖表上所觀察到趨勢；第八項將討論四個青藏高原的測站圖表以及觀察到的現象；第九項將討論溫度與測站緯度和測站海拔高度的關係；第十項將討論各高山測站與全球年均溫年增率的差異；第十一項將討論近代30年與早期30年年均溫年增率的差異；第十二項將討論各測站四季均溫年增率的差異。

一、Sonnblick

觀察圖8，可看到整體有持續上升的趨勢，滑動平均折線圖上在約1900年，1920年與1948年時發現有約攝氏1-2度的些微起伏，且在大約1960年之後就沒有再觀察到此種起伏，為觀察到不同時段出現不同的溫度變化趨勢。

二、Leadville Lake

此測站的位置位於美洲，觀察圖9，在1938年左右處有一個明顯的起伏，此次起伏的時長大概為25年，在約1960年時溫度有微微下降形成小凹，接下來整體的趨勢持續上升，直到2010年時溫度有再些微下降，時長約10年，在1976到1988年時有資料缺失因此數據不可考。

三、Aragac Visokogomaya

參考圖10，與前兩個測站相比，此測站在前段時間，1930到1990年期間的滑動平均溫度趨勢較為平穩。其在資料斷掉後的2010年之後開始有明顯上升的趨勢，但因資料在1995到2009期間的資料缺失，無法準確判斷溫度趨勢開始有明顯上升趨勢的年份，且此測站的記錄年份相對較短，有待更多資料的累積。

四、Jungfraujoch

參考圖11，在約1948年時有一個較明顯，約0.5度的突起，第一個測站 Sonnblick 在1948年附近也有相似的突起，探討此現象，觀察圖1發現此兩站位置相近，其中 Sonnblick 位於奧地利，Jungfraujoch 位於瑞士，有可能經歷共同的氣候事件而導致此兩側站觀測到相似的氣溫變化。觀察圖13可發現，Sonnblick 站與 Jungfraujoch 站的溫度差在各個年份都幾乎相同，相差大約攝氏2度。通常海拔高度每上升100公尺，溫度會下降0.6度，參考表1的資料，兩測站的高度相差約400公尺，氣溫應相差2.4度，而兩折線之間溫度相差約2度，因此推測此二個測站的溫度差異應與海拔高度有關。

五、玉山

參考圖12，可發現在約1980年前的溫度變化趨勢較緩，且與前面四個測站相比，沒有明顯在短時間有溫度起伏的現象，推測應該為下載解析檔案的結果，已經過濾掉一些雜亂的數據。目測約2010年左右開始增溫速度變快，可從圖中看出斜率較大的增溫趨勢。

六、Tian Shan

參考圖14，此測站位於中國的天山，能夠在滑動平均圖上觀察到明顯的高低起伏，在約1943年與1975年時能觀察到較明顯的溫度突起。

七、Leh Kashmir

參考圖15，此測站位於印度北邊，資料的紀錄時間從1883年到1968年，相對其他測站的紀錄時間較早，因此可以作為早期的資料來參考，在圖中可以觀察到在1918年時溫度有較明顯的起伏。

八、青藏高原

總共取了四個位於青藏高原東北側的測站：Wushaoling、Garze、Litang 和 Madoi，將此四個測站的年均溫滑動平均疊圖比較，如圖16所示，發現圖中 Garze 和 Litang 的折線有與 Sonnblick 和 Jungfrau joch 相似的現象，由表1能得知 Garze 和 Litang 的經緯度相近，高度相差約500公尺，若使用相同的方法來計算，此兩測站的溫度應該會相差約攝氏3度，而圖16中則相差約攝氏2.6度。另外，觀察到在 Wushaoling、Garze 和 Maodi 三站的圖中皆有此現象，即一開始，約1980年前時暖化趨勢較平緩，在約1980到1990時開始增溫趨勢增加，再在約2000年時變回平緩的 S 型現象。此 S 型現象在前五個測站的圖表中皆無觀察到，因此期望能取得更多青藏高原地區測站的資料，再進行更進一步地探討與研究。

九、探討溫度與緯度與海拔高度的關係

將歐洲、美洲與玉山共五個測站的九年滑動平均疊圖比較，見圖13，其中歐洲為藍色，美洲為橘色，亞洲為綠色，取重疊時間1937-2006年，觀察到溫度與緯度的關係。緯度最低，為北緯23.49度的玉山站，九年滑動平均的折線在圖中的最上面，代表玉山站的平均溫度是五個測站裡面最高的；緯度第二低為北緯39.23度的 Leadville Lake 的九年滑動平均折線為圖中第二高的，代表平均溫度為五個測站中第二高的，由此觀測結果可推知當緯度越低時，平均溫度越高。

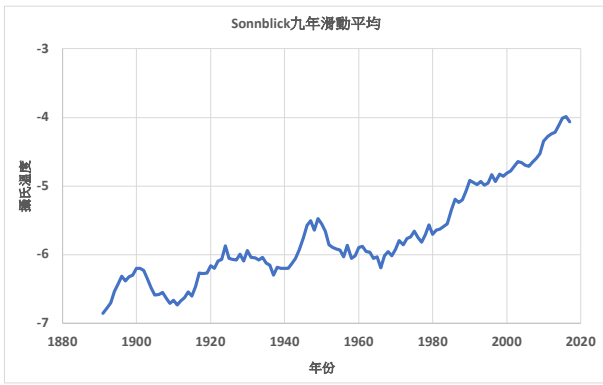


圖 8：Sonnblick 九年滑動平均圖（1890-2017年）

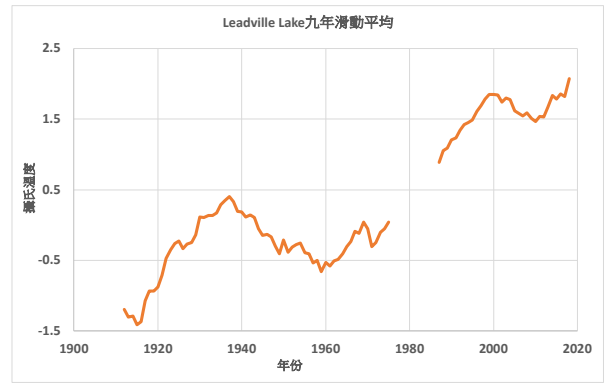


圖 9：Leadville 九年滑動平均圖（1912-2018年）

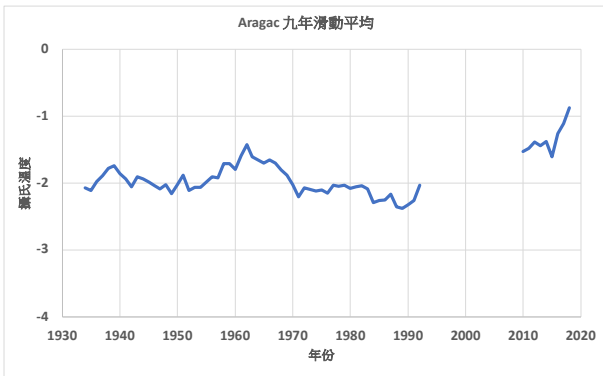


圖 10：Aragac 九年滑動平均圖（1933-2018年）

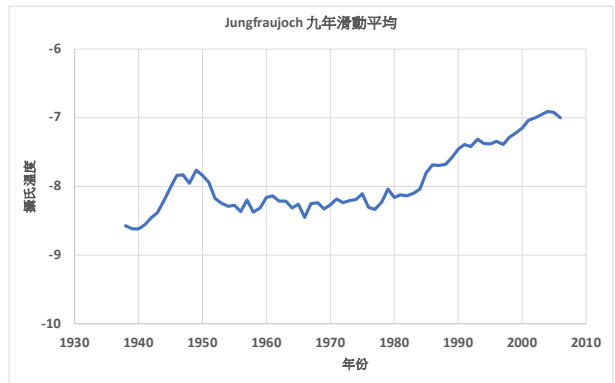


圖 11：Jungfrauoch 九年滑動平均圖（1937-2006年）

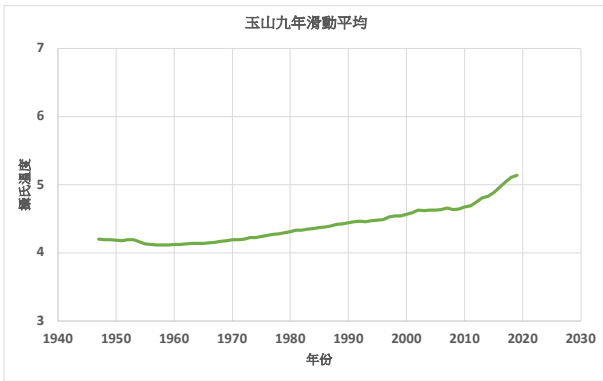


圖 12：玉山九年滑動平均圖（1947-2019年）

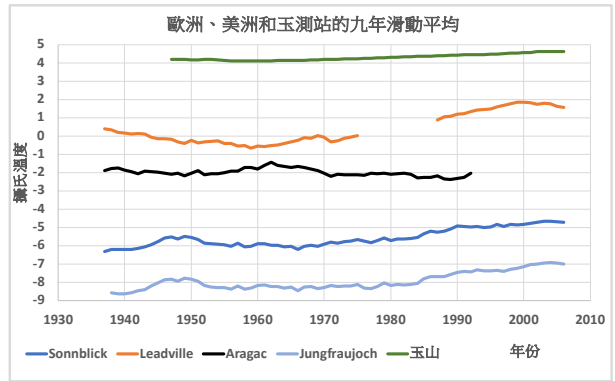


圖 13：五個測站的九年滑動平均圖（1937-2006年）

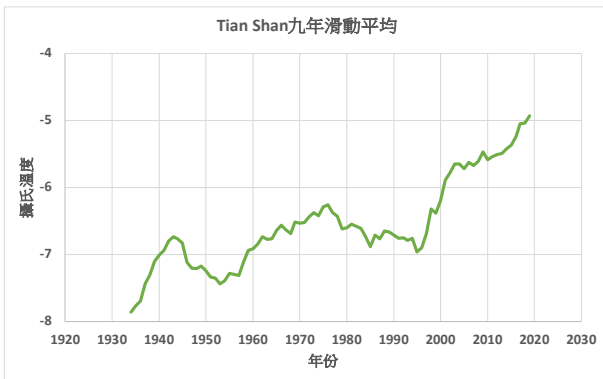


圖 14：Tian Shan 九年滑動平均圖（1934-2019年）

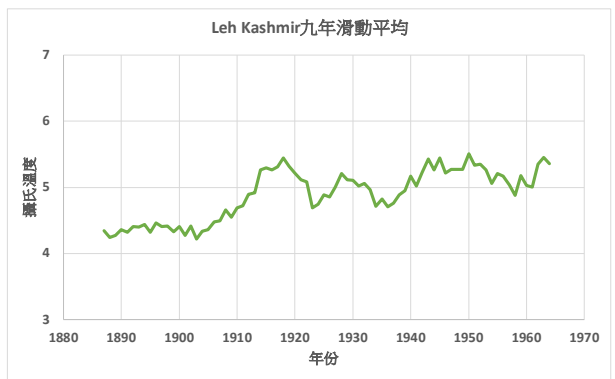


圖 15：Leh Kashmir 九年滑動平均圖（1887-1964年）

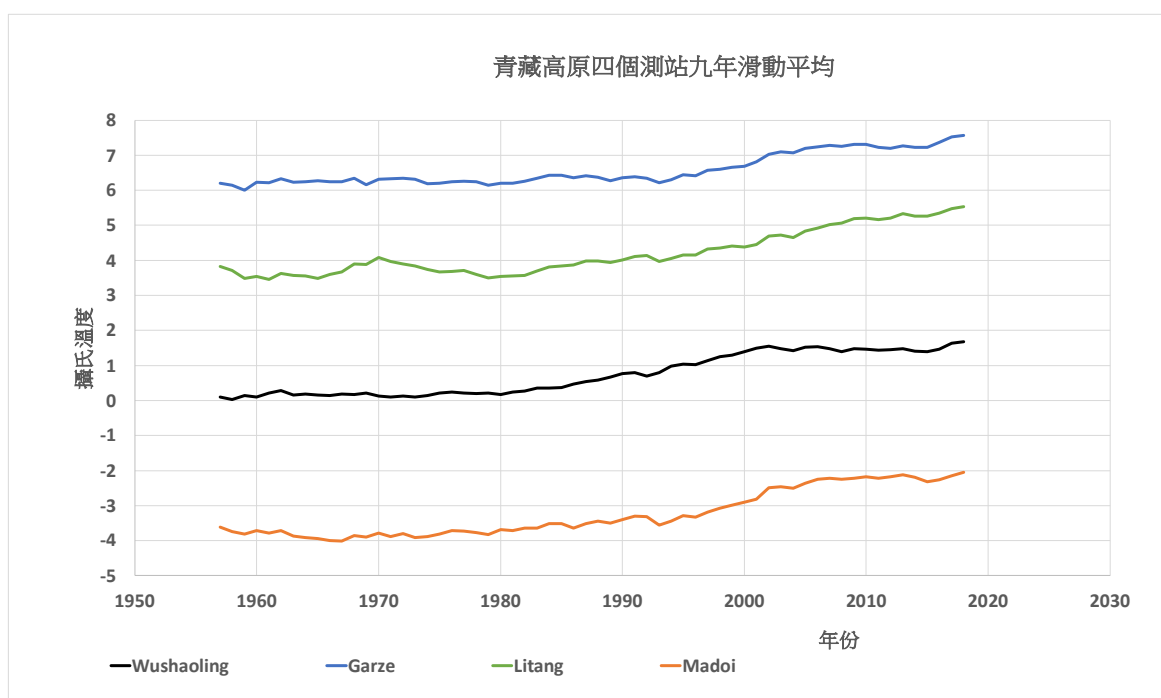


圖 16：青藏高原四個測站1957-2018年的九年滑動平均疊圖

十、比較各個測站與全球的年均溫年增率

參考表2，取各測站資料重疊時間：1954年至2020年，分析年均溫年增率的不同，年均溫折線圖的趨勢線斜率為溫度變化量除以年份變化量，當年份變化量為一年時，y 軸的變化量即為年均溫年增率，以下表2中的玉山為例，趨勢線斜率為，當分母為1時，年均溫年增率即為每年上升攝氏0.0182度。

$$\text{斜率} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\text{溫度變化量}}{\text{年份變化量}}, \text{年增率的年份變化量} = 1 \Rightarrow \text{年增率} = \text{斜率}$$

發現在本次所挑選的十一個測站中，Sonnblick、Jungfrauoch、Leadville Lake、Tian Shan、Wushaoling、Litang 與 Madoi 七個測站的年均溫年增率都比全球的每年增加攝氏0.0235度還要來得多。其中 Leh Kashmir 測站的紀錄時間較早，可作為早期資料對比，能觀察到其年均溫年增率較其他九個測站還要來得小，可推測近代的暖化幅度較50年前有增加的現象。

表 2：十一個測站1954-2020的年均溫年增率

位置	站名	1954-2020年均溫年增率（度/年）
全球	全球	0.0235
歐洲	Sonnblick	0.0362
	Jungfrauoch	0.0298
	Aragac	0.0074
美洲	Leadville	0.0431
亞洲（Leh Kashmir 的年份為1883-1968年，時間較早）	Tian Shan	0.0269
	Leh Kashmir	0.0128
	Wushaoling	0.0289
	Garze	0.0213
	Litang	0.0313
	Madoi	0.0313
	玉山	0.0182

十一、比較重疊時間前三十年與後三十年的年均溫年增率

分段比較，取重疊時間前三十年（1954-1983）和後三十年（1991-2020）的年均溫年增率進行比較，如表3所示，觀察到除了 Jungfrauochc 和 Leadville Lake 以外，其餘所有測站與全球在1991-2020年的年均溫年增率皆較1954-1983的年均溫年增率高。由此可推知愈靠近現代，暖化趨勢愈明顯。

表 3：測站1954-1983與1991-2020年均溫年增率比較，其中 Leh Kashmir 因為無重合時間，因此不列入比較

位置	站名	1954-1983年均溫年增率（度/年）	1991-2020年均溫年增率（度/年）
全球	全球	0.0110	0.0351
歐洲	Sonnblick	0.0253	0.0435
	Jungfrauoch	0.0177	0.0176
	Aragac	-0.0163	0.0340
美洲	Leadville	0.0148	0.0145
亞洲	Tian Shan	0.0247	0.0700
	Leh Kashmir	X	X
	Wushaoling	0.0078	0.0242
	Garze	0.0014	0.0385
	Litang	-0.0091	0.0620
	Madoi	0.0003	0.0506
	玉山	0.0104	0.0392

十二、四季均溫的年增率比較

比較各測站四個季節的均溫年增率差異，探討暖化是否有季節性，見表4，表格中 DJF

(December, January, February) 代表北半球冬季，MAM (March, April, May) 代表北半球春季，JJA (June, July, August) 代表北半球夏季，SON (September, October, November) 代表北半球秋季。表中紅字標示者為四季中年增率最高者，藍字標示者為四季中年增率最低者。發現位於青藏高原的 Wushaoling、Garze、Litang 和 Madoi 在 DJF 的增溫趨勢皆最大，在 MAM 的增溫趨勢也皆最小。整體來看並沒有辦法獲得一致的結論，仍須更進一步的研究與確認。

表 1：各測站四季的均溫年增率比較

位置	站名	DJF 年增率	MAM 年增率	JJA 年增率	SON 年增率	平均年增率
歐洲	Sonnblick	0.0156	0.0177	0.0241	0.0172	0.0182
	Jungfrauoch	0.0272	0.0139	0.0218	0.0130	0.0185
	Aragac	0.0046	-0.0008	0.0174	0.0063	0.0084
美洲	Leadville	0.0218	0.0303	0.0261	0.0224	0.0268
亞洲	Tian Shan	0.0272	0.0297	0.0140	0.0274	0.0234
	Leh Kashmir	0.0068	0.0087	0.0096	0.0096	0.0128
	Wushaoling	0.0316	0.0272	0.0298	0.0305	0.0296
	Garze	0.0320	0.0154	0.0252	0.0199	0.0226
	Litang	0.0444	0.0228	0.0285	0.0351	0.0310
	Madoi	0.0445	0.0201	0.0312	0.0312	0.0311
	玉山	0.0199	0.0145	0.0171	0.0119	0.0153

陸、結論與應用

一、在歐洲、美洲與玉山測站中可以觀察到緯度愈低，平均溫度愈高，驗證了緯度與日照角度不同之預期結果。

二、地區相近的兩組測站：Sonnblick 與 Jungfrauoch 和 Garze 與 Litang，溫度差異受高度影響較多，可見溫度與海拔高度的關係，符合海拔高度不同之預期結果。

三、在亞洲青藏高原地區有觀察到 S 型的溫度變化趨勢，與在全球以及其他大陸圖表上所觀察到的增溫趨勢不同，值得進一步研究與探討此現象的成因及其可能對全球氣候所造成的

影響。

四、超過半數測站近三十年的升溫趨勢比過去高，顯示暖化現象在高山有逐年加劇的情況，也藉由跟紀錄早期資料的測站比較進一步驗證此現象。

五、超過半數測站的年均溫年增率高於全球平均的年均溫年增率，暗示高山地區與極區有著類似的增溫放大效應存在。若未來能夠取得更多證據支持，可望用於高山未來暖化狀況的推測以及相關調適策略的參考。

六、在所選的測站中雖然並未看到增溫情況有一致的季節性，但在位於青藏高原的測站四個測站中有觀察到雷同的現象，希望能藉由更深入的研究去驗證此現象是否為青藏高原地區的特有現象，以及再進一步探討此季節性現象的成因，可作為預測未來發展的依據

柒、參考資料

一、467550玉山.(n.d.).中國文化大學大氣科學系大氣水文研究資料庫.

<https://dbar.pccu.edu.tw/member/Station.aspx>

二、*Analysis Graphs and Plots*.(n.d.). Data.GISS.

https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v4/#

三、*ClimatView*. (n.d.). 日本氣象廳.

<https://www.data.jma.go.jp/gmd/tcc/tcc/products/climate/climatview/frame.php?&s=3&r=2&d=0&y%20=2022&m=8&e=0&t=80&l=0&k=0&s=3>

四、Gao, L., Deng, H., Lei, X., Wei, J., Chen, Y., Li, Z., ... & Gao, J. (2021). *Evidence of elevation-dependent warming from the Chinese Tian Shan*.*The Cryosphere*,15(12), 5765-5783.

五、Hong, C. C., Chang, T. C., & Hsu, H. H. (2014). *Enhanced relationship between the tropical Atlantic SST and the summertime western North Pacific subtropical high after the early 1980s*.*Journal of Geophysical Research: Atmospheres*,119(7), 3715-3722.

六、NASA GISS Surface Temperature Analysis (V4). (n.d.). Data.GISS.

https://data.giss.nasa.gov/gistemp/station_data_v4_globe/

七、Perone, A., Lombardi, F., Marchetti, M., Tognetti, R., & Lasserre, B. (2016). *Evidence of solar activity and El Niño signals in tree rings of Araucaria araucana and A. angustifolia in South America*. *Global and Planetary Change*, 145, 1-10.

八、Rangwala, I., & Miller, J. R. (2012). *Climate change in mountains: a review of elevation-dependent warming and its possible causes*. *Climatic change*, 114, 527-547.

九、You, Q., Wu, F., Shen, L., Pepin, N., Jiang, Z., & Kang, S. (2020). *Tibetan Plateau amplification of climate extremes under global warming of 1.5 C, 2 C and 3 C*. *Global and Planetary Change*, 192, 103261.

十、全球暖化. (n.d.). 維基百科.

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%85%A8%E7%90%83%E5%8F%98%E6%9A%96>

【評語】 180001

本研究利用相似機制，將極地放大效應延伸探討高山氣候變遷，是有趣的研究議題。本研究提供高海拔地區長期溫度變化的資訊，值得肯定。引用極地放大效應來解釋高山氣候變遷，然而兩種區域仍有差別。在高山冰雪融化，地表並非是海洋，而是陸地植被，相關說明應該更加釐清，不能直接延伸解釋。基本氣候特徵之了解與氣候變遷機制之基本知識要加強涉獵。冰雪、植被、地貌特徵等之影響以及輻射之作用等物理可以加強探討。