

印度季風

學術發展組

The Indian Monsoon

一、季風溯源及其定義(代序)

如不遠溯，僅從中世紀始，阿拉伯航海家即知印度與東非間二主要盛行氣流之交互存在現象。於每年五——九月間類多為西南向風所主宰，而十一——翌年四月則為另一東北向氣流充斥。迄十五世紀末葉，阿拉伯水手們即利用西南氣流探伽瑪(Vasco de Gama 1469-1524 年葡萄牙航海家為非洲至印度海線之發現人)舊路，從桑吉巴(Zanzibar)到達加爾各(Calicut 印南馬德拉斯省西岸一海港)。1554 年，一阿拉伯著述家 Sidi-Ali 即曾撰文敘述過此二季風入侵印度洋各測站之情形。至於原文 Monsoon 一字之源淵，可參見上期熱帶氣象新途徑一文敘述。

Monsoon 一字最初係對南亞所見之地面風而言，該地面風反覆出現於冬夏兩季。此一術語現被廣泛應用於各種現象，如「平流季風」(Stratospheric Monsoon)及「歐洲季風」(European Monsoon)等是。故對此一易於混淆術語賦於一明確定義至有必要。使其既不根據原因亦不依據地理位置。這種定義已有數人予以建議，茲以 1960 年曾為 Chang Chia-Cheng 引述 S. P. Hromov 對季風之解釋如下：

「季風為大氣環流掠過廣大地區的一種氣流型態，其中具有一個方向的盛行風可波及該地區之每一部份。但其間風之盛行方向每呈相逆姿態，從冬至夏或從夏至冬出現」。

本文即就此風系提出其理論性向討論，其範圍包括東南亞及印度洋區。

二、印度季風氣候

在如此遼闊版圖且地理分區龐雜之「次大陸」(Subcontinent)(實際為半島或陸緣更較妥貼一譯者)區域，定有其氣候上巨異改變自不待言。但由於季風變化所施於之完整，一致與普遍的影響，則雖此次大陸，其感受焉亦同。

其年中變化按其性向及時季，約可略述如下：

(一)東北季風季節

1. 元月及二月(隆冬)
2. 三至五月(趨熱季)

(二)西南季風季節

1. 六至九月(一般多雨季)
2. 十至十二月(季風後季節)

元月為印度多數地區之晴好季節，一般的東北風主晴或少雨。其天氣表徵漸入夏季。四至五月，太陽幾近直射炎熱程度日甚一日。當此之時，在北印於東北季風期或不缺雨。亂流從西而至已超越本區，而劇烈之對流雷雨亦相繼轉興。喜馬拉雅山麓從此種雷雨所分惠之雨及雪澤為量可觀。

六月西南季風轉旺，或以應用一更為通俗的字眼「爆發」(Burst)更較適當。如其風力及此新氣團於經歷一新動力影響後所呈現之「全氣象」，其風的方向之「巨變」並不顯著。西南季風是此種大陸豐沛雨量賜與者，且為千百萬人「民生問題」之生命線。季風雨並不連續，但却為時久遠。十至十一月西南季風開始斂跡，天霽雨停，日光重現，溫度在未屆冬季最低前反呈上升現象達數週之久。

三、印度季風解釋數則

1686 年，Halley 氏在其致英皇家學會之研究報告中，對亞洲季風所提出之解釋，堪為闡此史乘之第一章。該一理論不但不得專限於描述亞洲大陸之季風現象，即應用於世界之其他地區亦不為謬也。冬季時熱力高壓系統被建立於冷大陸，因冷空氣之密度大於暖空氣，在暖空氣中氣壓較低，則較輕空氣即浮游於海洋上空；然後地面氣流從陸上高壓移至海上低壓。在夏季一逆相空氣環流復從相對的冷海(高壓)移至易於受熱之陸地(低壓)。事實上，在此二極端季節，由檢視平均海平面氣壓圖，即可知二相反的系統主宰着亞洲及其鄰近海洋區。冬季西伯利亞反氣旋堆積有溫度達零下的大量氣團(—40°C 至—60°C)其氣壓介於 1040 mb—1060 mb。相反，於盛夏，其炎熱程度達 50°C，而氣壓在西

北印可減低至 950mb。此一特殊的季風熱力概念，正與海陸風之觀念同，是仍根植於多數地理學家及氣象學家之腦海中。

1955 年，Flohn 氏所建議之季風不同解釋謂：氣流作相對渦旋之改變，因緯度不同可引起氣流穩定度之改變。氣流向極運動，將呈氣旋性環流和輻合現象。此種學理之相反應用其氣流將呈向赤道運動。似此，就氣候意識而言，如風直接指向赤道，則將有一連帶的高空空氣下沉之輻散趨勢，向極則產生輻合及上升現象。同樣，仍就氣候意識知，信風應具有其一貫的穩定和乾燥性（信風逆溫層下有平淺雲層時例外），而西南季風則具不穩與溫濕性。

Flohn 氏稱，就海洋或大陸條件，並不難區別熱帶所見之二迴異頗大之環流型態。牠們一方代表中央太平洋區；而另一方則為非洲腹地及印澳區。在海上年中溫度僅有小的波動，故其熱力與氣壓帶就觀測亦只有小的季節性變動。間熱帶輻合區離開赤道僅達 5-10°N。但陸上所見之年中溫度變化却甚大，從而引起溫度及氣壓帶甚大的季節性變化。印度區之間熱帶輻合區可離開赤道向北達 30°N 以上。在赤道與最高溫度與最低地面氣壓區之氣壓梯度，乃與一西來氣流之「似地轉風」[Quasi-Geostrophic (英) Ageostrophic (美)] 有關，然後由地面磨擦而致偏向指向間熱帶輻合區之低壓區。又因冬半球向夏半球之間熱帶輻合區其氣壓有連續之下降，地面風分速因空氣經過赤道時之磨擦而生偏向作用。此可由七月份之東南信風與西南季風之事例獲得明證。在赤道附近區，緯度效應可導出一輻合區，即赤道附近有「次間熱帶輻合區」之形成。

故根據 Flohn 氏，認為亞洲季風之存在顯然與海陸間熱力效應之異趣無關，而主要在於熱力的季節性改變在大陸影響下，產生氣壓與風的「行星帶」(Planetary Belts)。以一同為海洋地球之觀點，則只有磨擦性的信風分速之熱帶東風可被覺察。如同為大陸之地球，則西風帶之到達，可發現係從赤道指向最低氣壓帶。就此基礎，Flohn 氏獨特的解釋季風之出現，

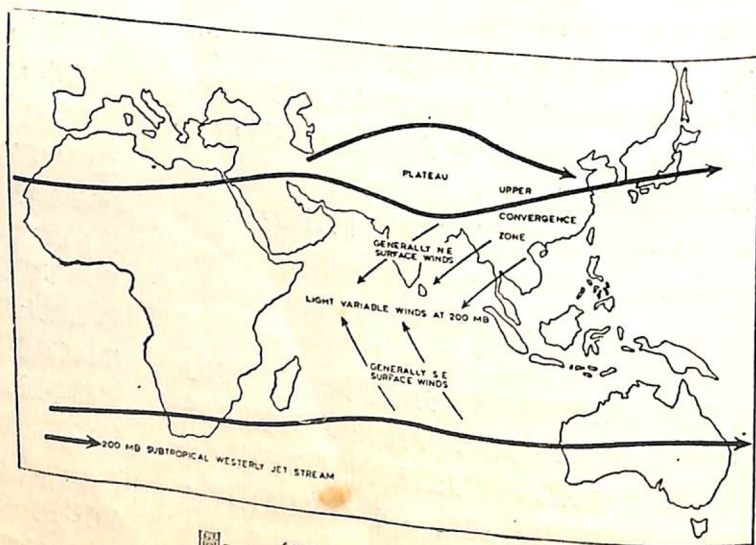
似實由於大陸大氣對太陽輻射年中變化的熱力反應。

四、由高空大氣探測所顯示之季風

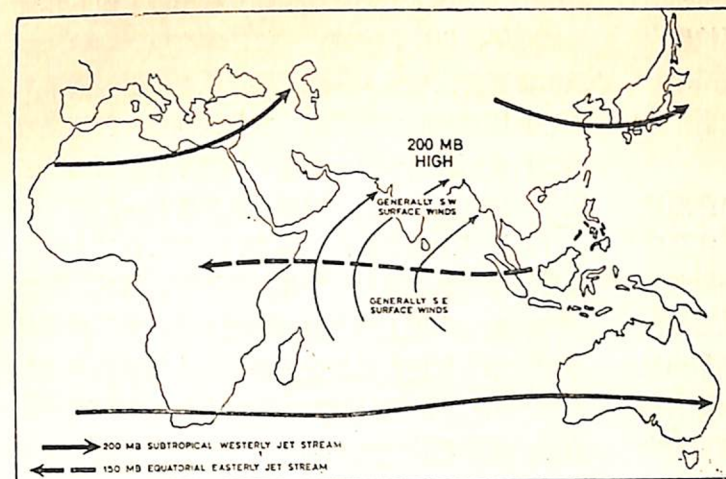
經 1939—1945 年大戰期，甚多無線電探空在南亞完成，且平均最小高度已達 100mb 層。由之，甚多有趣及不可預期的風系統終被揭露。

於北半球冬季期，十一月至四月（參見圖一），一強勁氣流挾中心逾百哩之風，從北非穿過中國南部指向亞洲心臟區。此即有名的副熱帶西風噴射氣流，其中心位 300-200mb 區。此噴射氣流在西藏高原被分為二；一部沿高原以北東流，他部則偏南然後轉東仍保持其主流之總向，完成對高原地區之讓路或包抄現象。此二支中一般以南支較強。一旦當二支於高原之東會合（平均多在長江口附近）後即在中國區上空形成一巨大的輻合帶，風速增加，其勢猛烈。此時出現於赤道印度 200mb 圖者，其風速多為平均靜風或東風。

五至六月，副熱帶噴射氣流以緩慢，微弱與殘破姿態偶可趨近北印，而主體類多北移轉向中亞。（參見圖二）當其時也，東風噴射氣流相機西來，中心位 200-100mb 區，除在赤道印度洋上行構築堆積之工外，其勢復向西伸達非洲。中心風速常逾百哩。其形成常結合高空西藏高原反氣旋結構同時出現，遙相呼應。十月，反程序發生，東風噴射氣流與高空高原高壓呈衰，而副熱帶西風噴射氣流復



圖一 冬半球大氣環流概況圖



圖二 夏半球大氣環流概況圖

甦。

此種在亞非高空所發生之氣象變化關係已為多人所發現，但對印度西南季風爆發與副熱帶噴射氣流在北印上空之不完整結合，及中亞高原以北之新氣流的構建之發現，則以 1949 年的 Yin 氏堪為第一人。Sutcliffe 與 Bannan (1954 年) 就 1948—1953 年資料證明亞丁 (Aden) 與巴林 (Bahrain) 上空從西向東 200mb 圖之變化，哈巴尼亞 (Habaniya) 上空的極地對流層頂之結束與印度馬拉巴海岸 (Malabar Coast) 西南季風開始等之互相關係。Yeh Tu-Cheng, Dao Shih-Yen 與 Li Mei-Tsuin (1958) 主張證明上對流層環流型在六月的北半球高空有一突峻變化存在。

從目前所用更豐富資料試驗知，上述各家結論均屬正確。但彼等所述之變化尚未能悉如原意敏銳。西南季風旅經印度之時期並不短促。在某些年代西南季風於出現於馬拉巴海岸後，在該地區呈駐留性或甚而發生後退現象，且作不到期不開始向印度前進的通過行動。而印度高空的副熱帶西風氣流之破裂亦係逐漸發生，且於部份破裂後偶有重行形成者。

一般而言，在五至六月期，200mb 氣流型之重大改變，可被認為發生於下列次序：

- (一) 第一個顯著改變是接連副熱帶噴射氣流，在中亞高原從南向北移行之強速運動。
- (二) 在上述變化發生後，為赤道東風氣流，於越過南亞，中非及西太平洋後，從中印度洋作迅速向北向東及向西之伸展。

(三) 有時在副熱帶噴射氣流離開印度後，並在 200mb 圖之東風固定於喀士木 (Khartoum 英埃蘇丹首府) 之前，西南季風始抵印度之馬拉巴海岸。

十月的過渡期並不明顯，但在此關連事件上仍有可能發現某些次序。在西南季風從北印後退前，主 200mb 東風噴射氣流離開喀士木。出現於新德里的噴射氣流風速於達 60 哩前，正常的西南季風從北印開始撤退。此為發生於年中五至六月份所出現之連續性相反事實，可為預報印度季風的客觀徵候。

在六至十月期西南季風之吹送並非連續不斷者，由季風雨及高空相關的改變顯示出此種斷裂或間歇具有一定之週期。當西南季風活躍時，500mb 及以上於西藏高原上空有一顯著的反氣旋出現，200mb 西風正越高原之北而 150mb 亦正有一強東風盤據印度。同時之地面為一強烈低壓涵蓋着中印及印度半島。在間歇期的西南季風，有一大波幅低壓槽存在於上對流層，從中緯一直升達副熱帶的印、巴區域。西藏高原反氣旋在高空破滅，西風噴射氣流的風速和切力特性偶被發現於此等深槽中。

五、其他季風新解述要

近年來一些熱帶氣象學家強調西藏高原對亞洲氣候變化影響之重要性。謂西藏高原為一大的阻塞物，其地形除東部河谷外，類多高出海平面 14,000 呎。長 1200 哩，西寬 400 哩，東寬 600 哩，南有喜馬拉雅山，北有崑崙山，各為天然屏障。高原地面氣壓變化範圍從 700—500mb。（最高峰可至 300mb）

故西藏高原之影響大氣乃由二種作用（一或二者之出現方式）所形成：

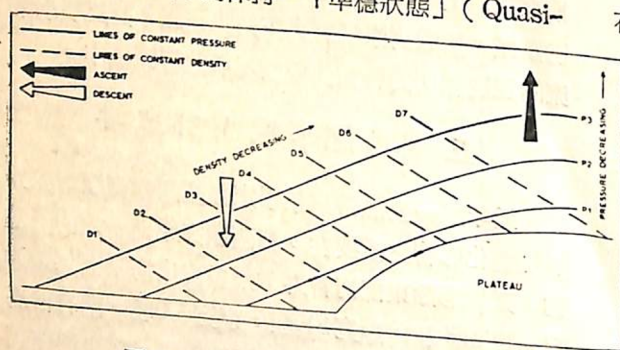
- (一) 為一機械屏障。
- (二) 為一高層熱源。

較早的季風理論涉及此一高原氣候，認為屬於一機械屏障。首創此理論者為 1949 年的 Yin 氏。於六月初西風副熱帶噴射氣流在此高原之移行從南向北。Yin 氏認為此種變化可減緩整個歐亞上空之西來風達相當程度。並認為此高原限制了噴射氣流向北的正常後退，而此屏障在同樣情形下亦使在十

月中旬作較遠的向南運動。其結論認為在六月初由於赤道西風之突然入侵，其爆發乃由於喜馬拉雅山的流體動力效應，而非西北印之熱低壓滋擾結果。因機械之屏障影響，目前未被認為如熱力效應之重要，故對 Vin 氏之理不擬詳論。

更近的理论強調西藏高原之影響為一高空熱源。以大氣從下加熱之程序言，在地面以上高空溫度係隨高度之增加而降低。又高山所收入之輻射其量應和鄰近的低地一樣多。在熱帶區其所收入之短波輻射，恆逾所放出之長波輻射。故高峻之熱帶山脈地面日射，其所達之溫度顯較同高度自由大氣者為高。在任何已給高度層，近山之空氣將較離山遠者為暖，因暖空氣較冷空氣密度小，氣壓在近山處之較暖空氣中，其隨高度下降自較遠山者為緩。為說明此種情形而繪之等壓與等密度垂直分佈圖（可參見圖三），圖中之合成空心螺形場可構成垂直環流。此即為山嶺上空反氣旋有一中央空氣上升之奇特攪升說明。在真實大氣中誰堪言無此事象真的發生嗎？

一西藏高原之上對流層反氣旋在西南季風期常被發現。且此反氣旋之形成，顯示與西南季風之爆發有密切關係。當一冷源經常需熱時，一熱源即需經常供熱。對熱源為保持一「準穩狀態」（Quasi-



圖三 暖熱帶高原動力構造剖面圖

（上接第11頁）

。對照相偵察問題之瞭解可能仍不够詳盡，故其分解限制可歸諸其他要素，諸如氣體溶膠或光暴及相機系之照相性能等。

折射光系之理論限度為 λ/A ，其中 λ 為波長， A 為鏡徑。因 $\lambda=0.56$ 微米（白光所影響之波長）一秒弧之分解相當於 $A=11\text{Cm}$ 地面上 H 高度相機內之成角影相運動振幅從一地面上 h 高度之繞射幕（Diffraction Screen）合成，將被從地面上所觀測到之星相運動的 h/H 因子予以減少。如吾人採用 0.5 值為星相運動之平方根值且 $h=8$ 哩作為亂流層之有效高度，則在 $H=200$ 哩之影相

Steady State），則空氣需藉某些手段，如上升運動或冷平流以冷卻完成之。故西藏高原之端為熱源或冷源甚受人注意。一般認為高原之輻射至為平衡而亦具因凝結降水所釋放之大量潛熱能。彼等之結論認為高原在夏天為一熱源，而其東南部區為其冬天熱源擔任重要角色，餘則屬於冷源也。似此，位北印及西藏上空之高層反氣旋係被熱力促成，故而覆蓋阿拉伯及北非者，均係伴隨下沉和構成沙漠之動力高壓。印度上空之高層環流，其行為不但不具鎮壓效果，反更有助於西南季風中大規模上升運動之產生。在西南季風季節期，印度上空之輻散可能結合空心螺形場高空熱源加凝結熱的合力予以保持。

高層熱可能僅為解釋西南季風的部份理由，由 John 氏（1963 年）的近期作業表示，對結合赤道等高線型與風場之結果，說明近赤道之強烈東風氣流，當高壓分別位於赤道兩側而低壓正位真赤道時經常出現。如 John 氏之理論正確，則將有一南半球高空反氣旋伴隨高空赤道東風及一有地面赤道西風之南半球地面低壓同時出現。然在印度洋有關此種特性之證據迄今尚未獲致結論。John 暗示此低壓甚將可能在 700mb 層最為顯著，因近地面的冷空氣上覆蓋有暖的反氣旋。如此類特性能由目前正在印度洋探測的額外可用資料予以確定，則此問題將予建立。

故此，有關產生此一印度季風的廣大風系之形成真正原因迄仍無法得知，但其顯然為一普遍關連世界各區且具大氣環流性質之季風則自無疑義。對此覆佈於印度洋上空的環流力學，如能撥雲見日，聊具希望之光者，可能即為目前的「印度洋探測」計劃，可為寄託。

（完）

（取材於 1965 年 1 月 Weather）

運動將為 0.02 ，相當於地面上的 1.3 呎距離，故顯然光亂流僅因相機系之鏡徑大於 500Cm ，而產生分解之限制。

故此天文視界與白晝照相偵察二對應問題仍不能圓滿預期解決。天文觀測主要完成夜間，該時低空熱力與機械亂流最少，且其觀測結果亦不會直接轉變為白晝情況。總之，即使吾人增加白晝光亂流繞射力的十倍因數於夜間天空之觀測所見，我們發現僅因相機系有一超過 50Cm 寬的鏡徑，即已達臨界限度了。（完）

（取材於 Aws Technical Report 154）