



EJ095197501057

星洲季風特性之研究

On the Monsoon Characteristics of Singapore

薛 繼 堯

Chi-hsun Hsueh

Professor, Department of Geography, NTNU

ABSTRACT

Following the author's early studies on monsoons in Taiwan & Malaysia, and the recent investion on the scalar quantities of equatorial atmosphere over Singapore, the present resarch on vector quantities of the same atmosphere is carried out.

Monthly meridional & zonal components, resultant winds, the steadiness & calm frequencies based on four (1960-63) & nine (1931-39) years data have been calculated, tabulated, graphed, and compared for the determination on monsoon & transition perieds. And five-year (1958-62) rawin data on monthly vector mean winds have also been analysed for the investigation on the vertical extension of monsoons.

The results are :

1. Northern & southern monsoons previal significantly over Singapore normally from November to March and May to September respectively , with April and October as transition periods.
2. The vertical extention of monsoons ever Singapore is reached at about 10000-15000 ft. above ground.

本研究之完成，曾得國家科學委員會之補助。

一、前 言

此一專題乃廣續上年度所提「星洲自由大氣」(註1)之研究專題而作。上年度所得結果，無論大氣之壓力、高度、厚度、氣溫及其直減率、位溫、露點及其直減率、水汽混合比、水汽壓、相對濕度、虛溫、及相當位溫等項要素在各氣壓面上之月均值或年均值之特性，均屬赤道附近自由大氣之靜態。以之與「北緯十五度熱帶大氣」(註2)比較，發現年值與各月之值差距極微，對流層頂之高度亦不相上下；惟三百毫巴以下的下層大氣溫度濕度相去懸殊，熱帶大氣中有顯著之信風逆溫層，為星洲所代表之赤道大氣所無；而星洲對流性不穩定層之上限高達六百毫巴，約合4.4 GPKM之海拔高度，亦為熱帶大氣所不及。熱帶終年常熱，已無冷熱季節之分，尚有乾濕季節可別。赤道居南北半球之中分地位，亦在熱帶之中心；星洲不僅終年各月冷熱無殊，即乾季濕季亦隱而不顯，無從明確判別。氣候要素中，惟有氣流一項，尚足為判別赤道附近地區季節之根據，因氣流為向量，不僅依速率大小有無，分強弱動靜，且依方向之不同，分左右消長，為大氣之動態；與純量之大氣靜態要素有別。星洲距地理赤道不足百哩，氣流之更替，關係南北半球大氣之交換，與冬夏半球季節之推移。周遭海陸交錯，又當亞澳大陸季風之要衝，氣流之季節變化，允較氣溫、雨量等要素為深切顯著。蓋不論全球性風帶之季移，或局部性風的聚散中心之季變，均影響星洲氣流之向速，故星洲雖近赤道，而季風顯著。星洲大氣之靜態，雖不足以區分季節變化，星洲大氣之動態，恰足以示季風區赤道大氣季變；得與上年度所得之靜態印證，可見季風區赤道大氣動靜形態之全貌。此項研究之目的在此。

所用資料以星洲之地面及高空風的紀錄為主，採自星馬氣象局出版之「歷年氣象紀錄摘要」(註3)，及「氣候資料第一篇一風」(註4)。據以計算各月合成風之向速及恒定度，察其向背，強弱、升降等項之時間變化；作星洲季風期及轉變期之研判。與筆者本人及同道前此所作新竹(註5)、馬來西亞(註6)、及檳榔嶼(註7)等地區季風特性之研究一致。惟前此所論，因資料關係，多限于地面風季之研判，少及季風垂直伸展之高度，現將一併作初步之論列。并參照泰國氣象局資料(註8)印證之。

地面風之向速，因地面摩擦及海陸分佈地形凸凹向背等項之干擾，與自由大氣之運行情形，自不免有若干差距。惟星洲地勢低平，全島大部為不足百呎之平地，間有一兩百呎之小山，最高點僅五八一呎，故地形影響甚小。雖具海陸交錯之大環境，但居狹長之馬來半島尖端，僅以一人造長堤與之連接，宛若長纜繫舟；因之地面摩擦之

影響并不甚巨，地面風之向速，尚勉可踪跡自由大氣之運行，且季風之形成，本由於中心季變與風帶季移之相輔相成；而氣流聚散中心之季變，實以地面最為顯著，論季風特性實不可只取高空風而不取地面風；允以彼此印證，察其垂直伸展為宜。

至于統計方法，因風為向量，應向量兩者兼顧，不可偏廢。故不論地面風或高空風，均先利用觀測資料，作合成風向（resultant direction）、合成風程（resultant distance）、或向量平均風（vector mean wind）之統計，前者之單位為每月公里或英哩，後者之單位為每秒公尺或每小時哩（Knot）。僅每月合成風程與各月內每秒或每小時向量平均風速單位之別，而兩種風向與恒定度（steadiness）則彼此完全一致，無妨比較。本文引用資料，因時期及來源不同，統計風程、風速單位均仍其舊，固亦無妨季風特性之判別也。

此項專題之研究目的，所用資料，及研究方法略為上述，茲將分析所得結果分節論述于後：

二、季風性質

先據星馬氣象局出版之一九六〇至一九六三年地面氣象紀錄摘要資料（註3）計算此四年之月均經流（M）、月均緯流（Z）、經流自而南者為正（+），反之為負（-），緯流自東而西者為正，反之為負，單位均為每月公里。列為表(一)。

表一 一九六〇—一九六三年各月平均經緯流表（每月公里）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
經流	4,821	4,228	1,902	467	-777	-1,820	-4,100	-2,831	-2,565	238	907	2,525
緯流	1,373	2,253	1,902	586	-170	-570	-600	466	580	-263	441	600

再以月均經緯流計算各月之合成風速（R. Dis.）及合成風向（R. Deg.），風程之單位為每月公里，風向之單位為度，東風為九〇度，南風為一八〇度，餘類推。列為表(二)。

表(二)一九六〇—一九六三年各月合成風表（風程每月公里風向度）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
風程	4,950	4,711	2,700	754	836	1,944	4,150	2,839	2,600	352	1,037	2,584
風向	18°	28°	45°	52°	193°	197°	172°	171°	169°	312°	28°	13°

更以四年各月不計風向之總風程 (T. Dis)，除各該月之合成風程，得出各月之恒定度百分數 (%)，如該月風向多變，則恒定度小，反之則大。復以各該月之靜頻率 (C) 百分率與恒定度百分數比較，列為表(三)。

表(三) 一九六〇—一六三年各月恒定度及靜頻率表 (%)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
恒定度	88	89	72	28	34	81	68	79	75	15	41	77
靜頻率	15	15	33	44	50	45	38	35	42	52	48	31

由表(一)可見(1)各月經流之變化大於緯流。(2)經流各月變化規律至為明顯，十一月至三月為正值，五月至九月為負值，四月間由正轉負，十月間由負轉正。(3)緯流各月變化小於經流。為量多不及經流之半。(4)全年緯流僅5、6、7及10月為負值，其餘各月均為正值。

由表(二)可察知：(1)四月十月為合成風程最小之月份，均不足八百公里，十一月至三月風程最大，在一千與五千公里之間。五月至九月較弱，亦超過八百與四千公里。(2)合成風向在風程最大月份均為偏北風，在 $13^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 之間；風程較弱月份均為偏南風，在 $169^{\circ} \sim 197^{\circ}$ 之間；風程最小月份之四月為東北偏東風，得 52° ，十月為西北偏北風，得 312° 。

由表(三)可見：(1)恒定度之升降與靜頻率相反。(2)恒定度之各月變化較靜頻率高。(3)四月十月為恒定度最小月份靜頻率較大月份。(4)十一月至三月恒定度在 $41 \sim 89\%$ 之間，二月最大，五月至九月恒定度在 $34 \sim 81\%$ 之間，六月最大。

綜合表(一)至表(三)所顯示之經緯流、合成風、恒定度與靜頻率特性，可見星洲地面風之季節變化至為顯著。十一月至三月合成風程最大，風向在北與東北之間，恒定度亦為全年各月中之最大者。而靜頻率為全年各月中之最小者。經流自北而南，強度亦大，是為北季風。五月至九月風程略小于北季風，風向幾為正南，恒定度小于北季風，靜頻率則大于北季風，經流自南而北，強度亦略小于北季風，特稱南季風。而四月及十月風程極小；四月風向已由北季風漸次偏東，至五月轉成東季風；十月風向已由南季風轉成西北，至十一月轉成北季風，經緯流亦與南季風期不同；恒定度較其前後月份為小，靜頻率較其前後月為大或與最大值相近（四月為 44% ，五月最大為 50% ）；故四月及十月之為南北季風之轉換期實至為明顯。

以上為據一九六〇—一六三年四年原始紀錄統計所將之結果。茲再據星馬氣象局出版之「氣候資料第一篇—風」（註4）之資料，換算一九三一—一三九年間星洲之經緯

流，列爲表(四)，合成風列爲表(五)，恒定度及靜頻率爲表(六)，并將表(四)與表(一)所得之值，製成圖(一)，示星洲各月地面經流；及圖(二)，示星洲各月地面緯流。將表(五)與表(二)所得之值，製成圖(三)，示星洲各月合成風。復將表(六)與表(三)所得之值，製成圖(四)，示星洲之各月恒定度與靜頻率以資比較，如下列：

表(四) 一九三一—三九年間各月平均經緯流(每月哩)註(9)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
經流	2,218	2,628	1,668	321	-1,498	-1,910	-2,184	-2,614	-2,151	-539	-1,171	2,254
緯流	180	186	1,385	-40	-176	-150	584	398	-102	-674	-551	417

表(五) 一九三一—三九年各月合成風表(風程每月哩，風向度)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
經程	2,390	3,096	2,185	324	1,521	1,970	2,240	2,635	2,152	864	1,250	2,317
風向	7°	36°	39°	353°	194°	186°	165°	171°	182°	232	295	350

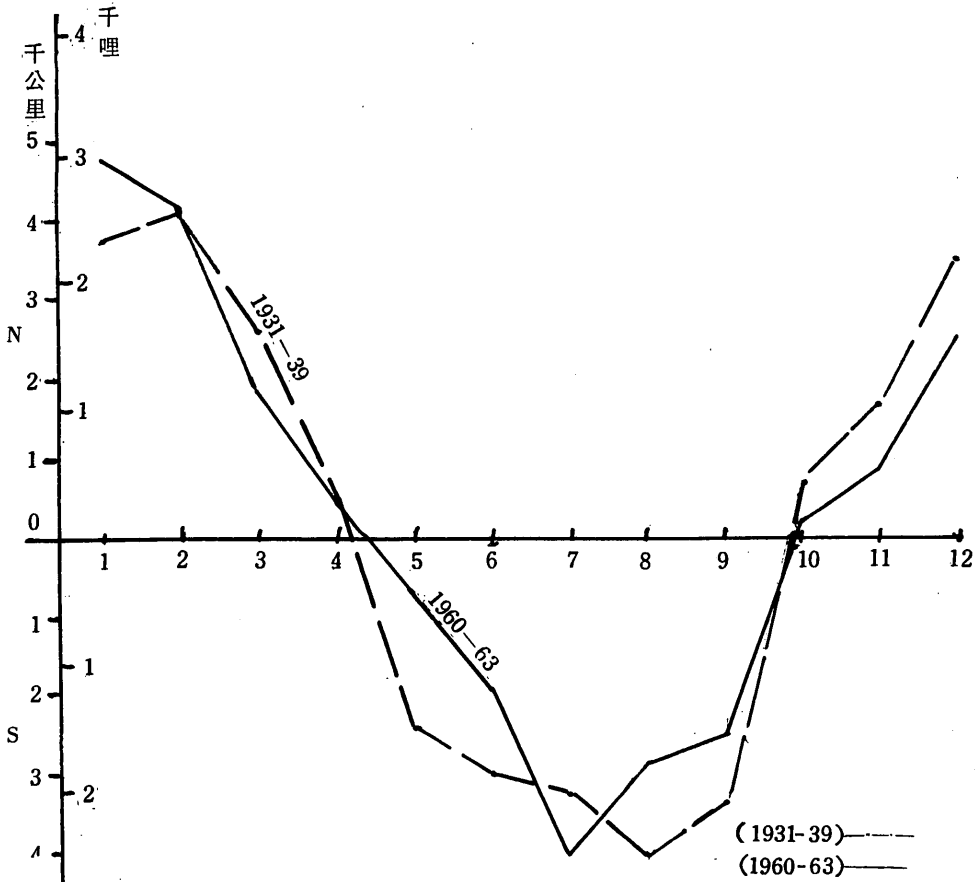
表(六) 一九三一—三九年各月恒定度及靜頻率表(%)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
恒定度	55.0	68.0	52.0	10.0	31.0	52.0	61.0	59.0	57.0	26.0	42.0	57.0
靜頻率	4.7	7.9	13.2	21.9	15.0	14.7	8.5	9.6	12.7	15.5	14.0	8.9

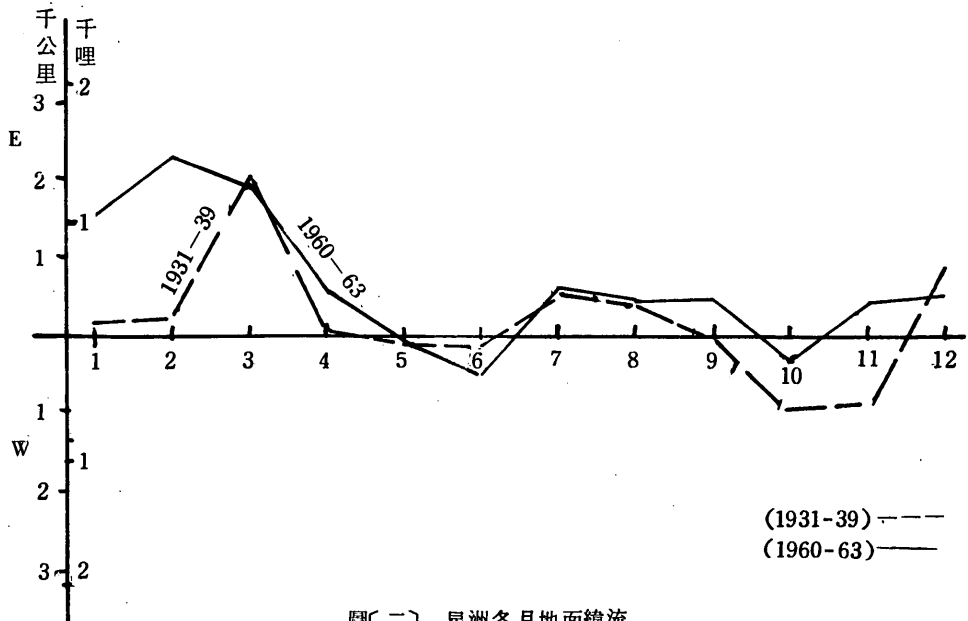
圖(一)示一九三一—三九年間及一九六〇—六三年間各月地面經流，橫軸示月份，直軸示各月經流大小，哩及公里并列，斷線示一九三一—三九年間情形，實線示一九六〇—六三年間情形，北經流在橫軸上方，南經流在橫軸下方。圖(二)示此兩段時期各月地面緯流，亦以橫軸示月份，直軸示各月緯流大小，亦以哩及公里并列，斷線實線所示時期與圖(一)相同。均按月份順序以斷實線連結之。

圖(三)示各月合成風，風向以三六〇度計(北風爲三六〇度，東風爲九十度，餘類推)，而將風程之哩或公里分別示之於直橫軸上，再按月份順序以實斷線連結之，斷線示一九三一—三九年間情形，即表(五)所示之值，實線示一九六〇—六三年間情形，即表(二)所示之值。

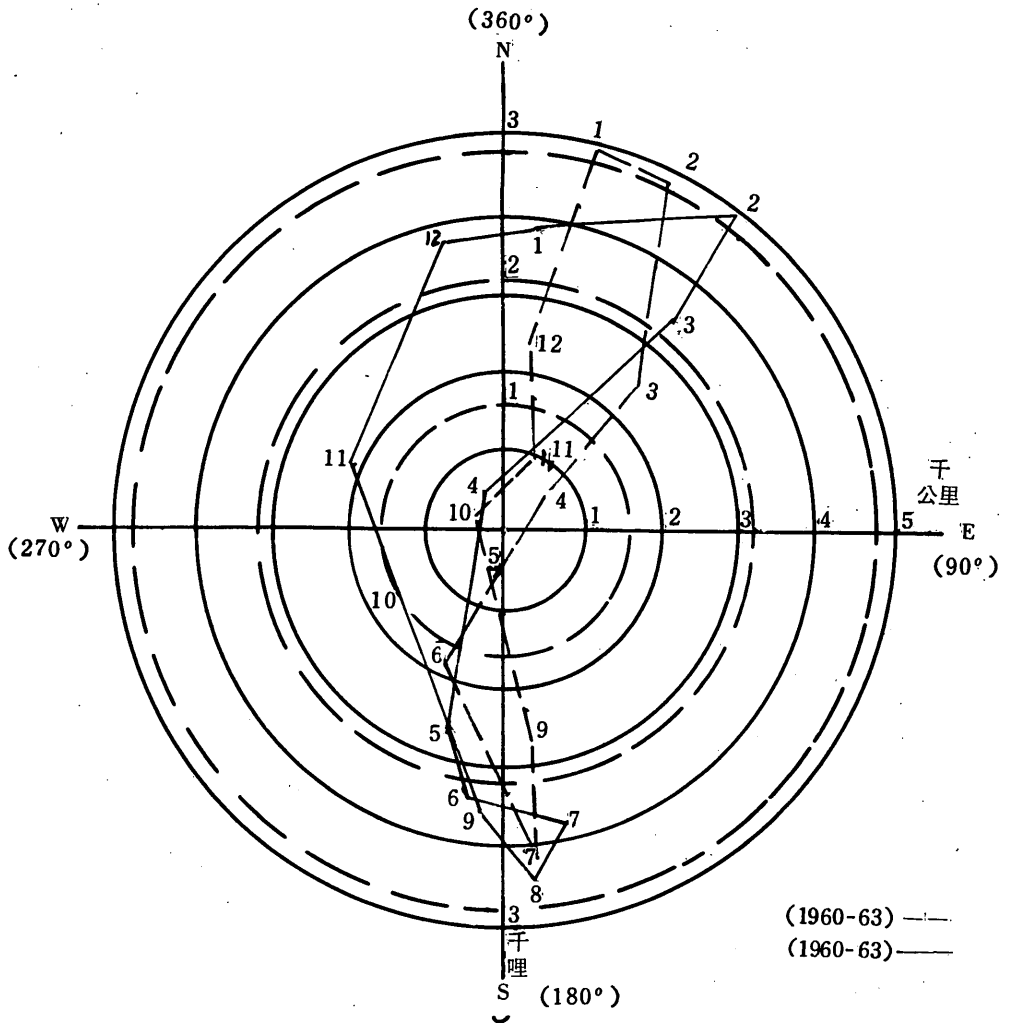
圖(四)示各月之恒定度與靜頻率，均以百分數計，橫軸示月份，直軸示恒定度與靜頻率之大小，亦按月份順序分別以斷實線連接之，并標示其所示年份於圖中。



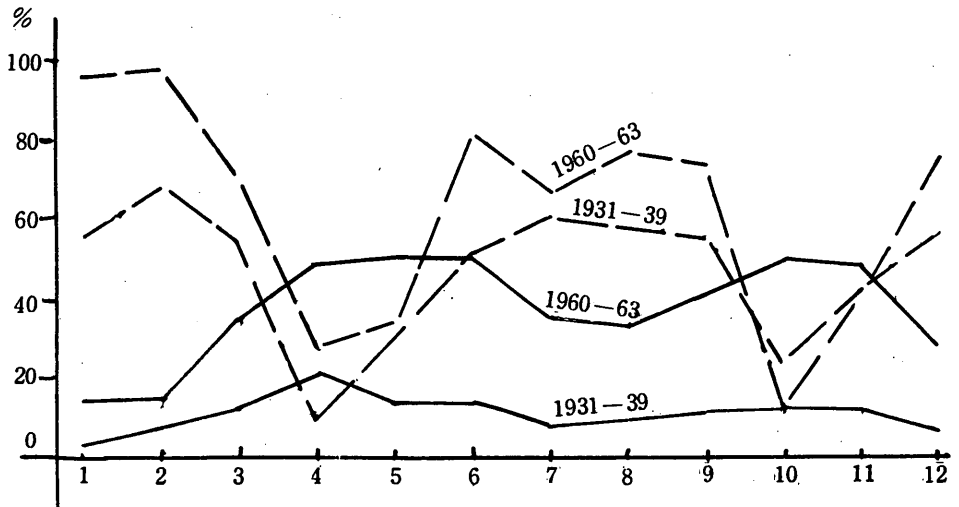
圖〔一〕 星洲各月地面經流



圖〔二〕 星洲各月地面緯流



圖(三) 星洲各月合成風圖



圖(四) 星洲之各月恆定度(——)與靜頻率(——)

由圖(一)、圖(二)、圖(三)、圖(四)觀察一九三一—三九年間，與一九六〇—六三年間，各項季風性質之變化趨向幾乎完全一致。惟變量之大小，月份之先後略有出入。此項出入之量極微，仍無妨以一九六〇—六三年間資料為根據所作之季風期，轉換期的分析結果。惟圖(四)所示之恒定度與靜頻率曲線，長期者（一九三一—三九年）較短期者（一九六〇—六三年）曲折較少，線段均在短期者之下方，僅十月之恒定度略高於長期者，為惟一例外，或由於長期均值之極端性應較短期均值為小也。

三、季風厚度

上節所論，仍以不同時期地面合成風之向速及其恒定度，與經緯流、靜頻率等項，判別星洲季風之特性。季風固以地面為顯著，但其向上伸展之高度，亦即地面季風之厚度，勢須高空之觀測資料，始克判別。

星洲高空風之觀測方法有兩種：一為測風汽球觀測，所達高度，常在一萬呎以下，因之論及是區季風厚度（註9）或赤道輻合線之坡度（註10）時常限于萬呎以下。一為雷達觀測，可達高度甚高，因其不受觀測時天氣之限制也。星洲氣象局對測風觀測之資料，曾整理成圖，註(10)示萬呎以下各高度風向風速，將早晨（當地時間 06.20 ~ 08.20）及午後（當地時間 12.20 ~ 13.20）紀錄分別按月繪製向量平均風。所用資料為一九三四—四一—之八年紀錄，以高度限于萬呎，不宜用作判別季風厚度之根據。該局出版之「星洲高空風雷達觀測數據一月向量平均風（一九五八—六二）」（註11）所及高度達 50mb 合二萬餘公尺，雖時間僅達五年，但高度超出遠甚，較適于據以判別季風厚度。茲列為表(七)：表中風向單位為十度，風速為每時哩。

星洲雷達測風每日晨夕（當地時間 07.30 及 19.30，合 0000 及 1200 G.M.T.）各測一次，表(七)所列數據，為各月五年之向量均值，亦即是月之合成風向速；茲自下而上分析之：

850mb 面高度約一五〇〇公尺，合五千呎左右，全年各月合成風向十二月至四月均偏北，五月至九、十月偏南，十一月為自南轉北之西風；風速七月最大，十月至十二月小於前後月份，四月最小。風向之偏北偏南月份與地面風大致一致，可見南季風與北季風均可升展至此一高度。再自風速論，四月最小，十月開始轉弱，亦與地面風一致，此兩個月之為南北季風轉換期亦可察知。惟南季風期五個月之風速略大于北季風期，而地面風則北季風期五個月之風速略大于南季風期，此或由于北季風較涼，各月氣溫距年平值均為負值，南季風較熱，各月距年平值均為正值（註12），除水平運行外，其升降趨向亦影響其強弱之層次之高低；或由于北季風來自東北之南海，摩

表(七) 一九五八一六二年各月高空向量平均風表

月份 氣壓面 mb		1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
向 速	50	L A N V	09 10	09 06	27 06	L A N V	25 09	28 08	32 04	L A N V	10 09	L A N V	L A N V
向 速	70	L A N V	26 05	34 03	05 04	L A N V	L A N V	L A N V	26 04	26 04	27 08	26 11	27 03
向 速	100	08 07	09 10	08 09	07 10	08 21	08 21	08 12	08 19	08 11	08 17	08 15	08 10
向 速	150	11 27	11 30	12 19	10 19	07 21	07 38	07 43	07 51	07 48	08 35	09 27	10 23
向 速	200	11 22	12 29	12 19	11 17	07 16	07 33	07 41	07 42	07 38	07 25	09 19	11 20
向 速	300	11 11	11 15	12 13	10 11	09 4	08 21	08 25	08 25	08 21	08 15	09 11	10 13
向 速	400	09 07	08 10	09 10	09 08	10 11	10 15	09 18	09 15	09 15	09 10	09 08	07 08
向 速	500	09 04	09 09	08 07	08 06	10 04	10 07	08 07	09 06	10 09	09 04	11 04	05 04
向 速	600	06 04	08 05	07 05	L A N V	L A N V	L A N V	25 03	L A N V	10 03	10 03	L A N V	L A N V

續表(七)

向 速	700	01	04	L A N V	28	26	26	27	26	26	23	26	30
		04	03		03	05	05	07	06	03	03	03	04
向 速	850	01	01	34	29	25	23	23	23	20	21	27	32
		08	07	04	03	08	07	10	08	08	06	06	06

擦阻力小于來自屏障西南隔海相望之蘇門答臘大島及羅列星洲南方諸小島的南季風之故(註13)。此外北季風仍為經流大于緯流，而南季風則漸偏西或緯流略大于經流之勢。

700mb 面高度約 3,136 公尺，合一萬呎左右。全年各月合成風向亦可分成兩季，五月至十一月偏南，十二月至四月偏北，惟三月風向不定，風速亦微。七月風速最大，二、三、四月風速最小，九、十、十一月風速亦最小。北季風速小于南季風，與 850mb 相似，與地面風相異。四月、十月似可以風速較小而視為南北季風轉換期。惟全年各月合成風速均小于其下之 850mb 面，僅七、六、五月與 850mb 面上風速相等，足見此三個月南季風之強度仍可上達一萬呎左右，惟北季風及轉換期月份強度有向上減弱之勢，足見地面季風仍可向上伸展達此高度。

600mb 面高約 4,395 公尺，合一萬五千呎左右。全年十二個月中風向不定風速亦弱(LANV)者高達六個月之多，其中四個月為四月至八月，七月合成風向雖仍為西南風(250°)，但已較其下兩高度面上之風向偏西，風速亦大為減弱。九、十兩個月風向為東風略偏南(100°)，風速與 700mb 相似，一、二、三月風向亦為東風略偏北，依次為 60°、70°、70°，均以東風為主，而介于其間之十一、十二兩個月又為風向不定風速弱的月份。故達此一高度時，北風南風成份均小于東風成份，東略偏北風速且較下方東北風速略增，其下為南風成份向上漸小于西風成份。故至此高度南北經流已不如東西緯流之強，此外全年各月風向不定風速弱之月份及半，足見地面南北季風向上伸展之高度，當不出 600mb 面(註14)，亦即南北季風之厚度，約在一萬呎至一萬五千呎之間，且星洲各月相當位溫向上遞減之上限，均達 600mb 面而止，亦即星洲對流性不穩定層之頂(註15)。地面季風之不出此一高度，亦得印證。

表(七)中復列有 500~50mb 各氣壓面合成風數據。自 500~150mb 面風向均以東風為主，微偏南或北；風速則一致向上增強，以 150mb 為最大，其高度約為一萬四千公尺。100mb 面風向仍為東風略偏北，風速則減弱，更上 700mb 及 50mb 面

風速更減，且各有風向不定風速弱的月份達四、五個月之多，其餘各月風向并不一致，于茲不必具論。

此外泰國氣象局出版之「東南亞及其鄰近地區高空風圖」(註8)，乃據東南亞各國每日天氣電報中之0000GMT(星洲時間07.30)高空風資料計算一九五六—六〇年各地各月合成風及恒定度填錄入圖，據以繪製5000'(850 mb)、10000'(850 mb)、20000'(500 mb)、30000'(300 mb)、40000'(200 mb)各高度面氣流線圖，及100E等經線之東西緯流垂直剖面圖，此項剖面圖自地面迄100mb面分析東西之等風速線，可察知北季風期(十一月至三月)自北向南伸展之地面東風層，將850~500 mb間之西風層逐月向南逼退，至二月則地面東風層已與星洲高空東風層連成一氣，四月地面東風層北退，850~500 mb間西風層則北進至星洲之北。南季風期(五月至九月)星洲地面西風層均以600 mb為上限，逐月向北伸展至香港以北，十月則南限至西貢宋卡(Song Khla)間，可見四月十月為地面南北季風之轉換期，亦為東西緯流之轉換期，而星洲地面季風之厚度不出600 mb面，於此亦得印證矣。

四、結 論

星洲地近地理赤道，終年常熱，各月有雨，冷熱乾濕均不足為劃分季節之準繩。地面如此，高空亦然。茲據地面及高空合成風研判季風特性，察知南北季風期各五個月，而四月、十月為轉換期，地面季風向上伸展可達一萬至一萬五千呎。至於季風對氣溫、雨量月變化，季變化之影響，近年亦有若干論述(註16)。惟季風為僅次于大氣環流之風系，但望此項研究方法，能推廣及季風亞州之他區，庶幾氣流對氣候之影響，得作更進一步之質量并重的探討也。(完)

附 註

- 註 1 薛繼堦：星洲自由大氣 地學彙刊第二期十四至廿八頁，中國文化學院地學研究所、中華學術院中華地學協會出版，六十一年十月。
- 註 2 A.E. Cole A.J. Kantor：Tropical & Subtropical Atmospheres, Journal of Applied Meteorology, Vol 2, No. 1, Feb. 1963
- 註 3 Malayan Meteorological Service：Summary of Observations 1960~63.
- 註 4 Malayan Meteorological Service：Climatological Summaries, —Part I

Wind.

- 註 5 Chi-hsun Hsueh Chien-hsiung Yang : On the Monsoon Characteristics Observed at Hsinchu, Taiwan 臺大地理系研究報告第一期 25 ~ 29 頁, 五十一年八月。
- 註 6 Chi-hsun Hsueh : On the Monsoon Characteristics along Malaysisan Coasts, Symposium on Climates of Tropical Countries, Proceeding of Symposia, ed S. P. Chatterjee, 21st IGU Congress, Calcutta-19 India. 1972.
- 註 7 薛繼堦、潘巧清 檳榔嶼之氣候 師大學報第十期 227 ~ 246 頁, 六十二年六月。
- 註 8 C. V. Bunnag & K. Buajitti : Upper Wind Over SE Asia and Neighbouring Area, Meteorological Department, Bangkok, Thailand 1965.
- 註 9 G. T. Trewartha : An Introduction to Climate, Winsconsin Univ. Press, Fig. 3.38, P 104, 1968; after Thoncpson, Watts, Flohn, and others. From Trewatha, The Earth's Problem Climates, Winsconsin Univ. Press, 1962.
- 註 10 I. E. T. Watts : The Equatorial Convergence Lines of the Malayan East Indies area, P28, Government Printing Office, Singapore, 1949.
- 註 11 Upper Wind (Rawin) Data - Singapore, Monthly Vector Mean Winds (1958 ~ 62), Manuscript of Singapore Meteorological Service.
- 註 12 同註(1)P18.
- 註 13 Fullard, H & Darly, H. C, University Atlas, George Philip & Son Ltd. London 1967.
- 註 14 同註(7)P. 238
- 註 15 同註(1)P. 27
- 註 16 同註(1)、註(9)、註(7)、及 S. Nieuwolt : Uniformity & Variation in An Equatorial Climate, The Journal of Tropical Geographyy Vol. 27, pp 23 ~ 39, Dept of Geography, Univ. of Singapore, Dec. 1968.