

臺灣鄰近地區氣流旋率與輻散場之客觀分析

張利雄

An Objective Analysis in the Vorticity and Divergence Fields in the Vicinity of Taiwan

Lihsiung A. Chang

Abstract

By using the Bellamy (1949) method, objective calculations on the horizontal velocity divergence and vorticity have been done for four different triangle areas and for seven isobaric surfaces in the troposphere, for the season of 1971 summer. Vertical velocity are also kinematically computed for different levels for each triangle area.

The estimated divergence, vorticity and vertical motion have order of magnitude comparable to that of the synoptic scale system, except for that of the Taoyuan-Makung-Tungkong triangle which has only few hundred kilometers in extent.

The fluctuation spectra show two major periodicities in which 5-7 day fluctuation has been selected for intensive studies. Divergence has maximum amplitude of fluctuation around 200mb and a secondary peak around 850mb. Consistent out-of-phase relationship between the upper level and the lower level fluctuations are observed for all triangle areas. Vertical motions has consistent phase relation among different levels and a maximum amplitude of fluctuation around 300mb.

The inter-triangle cross-spectral analysis shows very good coherence between different triangle areas in their divergence and vertical motion series for the 5-7 day disturbances. The phase relationship shows these waves have horizontal wavelength of about 3000km and propagating westward as well as northward in this region.

The inter-parameter cross-spectral analysis also shows that divergence and vertical motion at 300mb are good indicators for weather fluctuation in the tropical-subtropical area. They are in good coherence with temperature and relative humidity. Different vertical profiles in temperature fluctuations are noted between the larger triangle Koror-Guam-Clark in the lower latitude and the smaller triangle Ty-Mk-Tk in the higher latitude. The former shows temperature fluctuation at 100mb is in phase with divergence fluctuation at 300mb (hence in phase with vertical motion and relative humidity and out of phase with divergence in low levels), while the latter shows a cold core structure at 100mb.

一、引言

大氣對流層內氣流旋率(或稱渦旋度)與輻散(輻合)場之變化與天氣變化關係甚為密切,尤以對於對流層內之水汽含量,雲量變化更有影響,此乃因水平輻散及旋率與空氣之垂直速度(Vertical

motion)有直接關係;而垂直運動則直接支配水汽之凝結、雲量及天氣。是故輻散、渦旋度及垂直運動常列為天氣預報之重要項目。

本專題研究之地區乃集中於臺灣及鄰近西太平洋地區,以配合前對該地區之熱帶波動研究。目的主在分析輻散、旋率及垂直運動在時間領域上表現

之變化幅度及週期，垂直結構。各隣近區域之相關性及與其他重要變數之波動之相互關係與互發 (Coupling)。研究之季節以夏季為主，亦即着重臺灣與熱帶地區之天氣變化具有相互影響之季節。

前之臺灣及隣近地區之熱帶波動之週期波譜分析曾得之重要結果為：①臺灣地區夏季風場之波動主要週期為5天及7~10天。②隣近西太平洋之波動以4天及5~7天為顯著。而今增列幾個測站分析各層風場之波動，如 Fig 1.1 至 Fig 1.4 乃示該

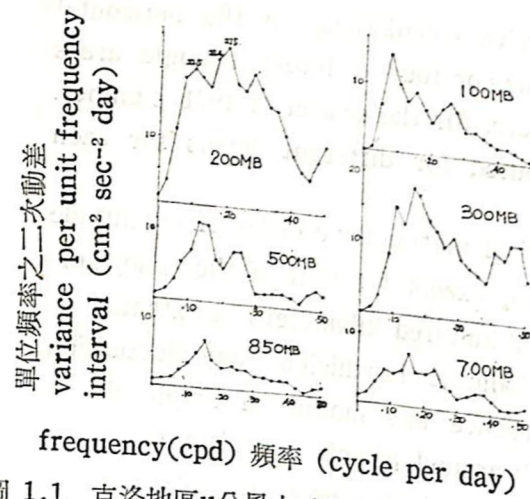


圖 1.1 克洛地區u分風之功率譜
Fig 1.1 power spectra of u-component at Koror

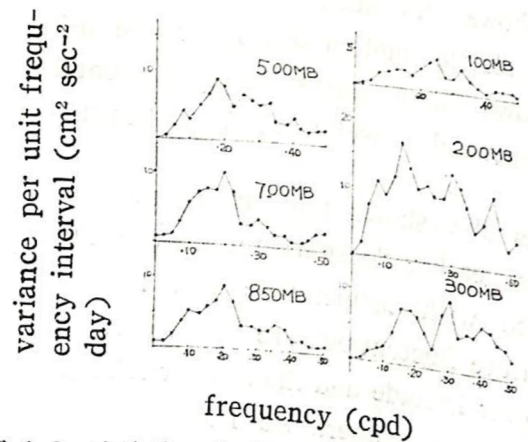


圖 1.2 克洛地區v分風之功率譜
Fig 1.2 power spectra of v-component at Koror

區之兩個測站各定壓層之風波動波譜及波幅之垂直剖面圖。綜合前之結論與這些波譜，我們將發現整個隣近西太平洋地區 (包括臺灣) 之大氣波動以5-7天之週期 (即頻率 0.15-0.20 cycle per day) 為首要之波動週期，其他4天及大於10天亦屬另一次要之波動週期。整個對流層內之波動以200mb附近達到最大之振幅。上述風場波動如能配合輻散

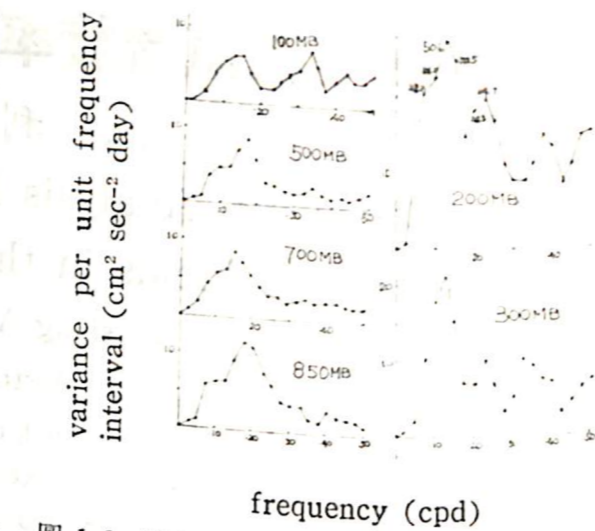


圖 1.3 關島地區u分風之功率譜
Fig 1.3 power spectra of u-component at Guam

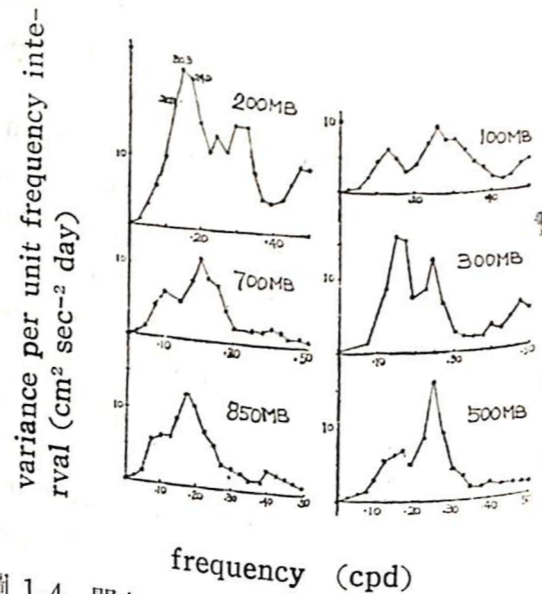


圖 1.4 關島地區v分風之功率譜
Fig 1.4 power spectra of v-component at Guam

、旋率及垂直運動之分析，將能對該區域之波動性質更為了解。

對於輻散及旋率之估計，方法亦有數種，然基於本研究地區可利用之測站網之限制，則應以 Bellamy (1949) 之三角形區域客觀計算法最為適當。此法乃基於區域內兩點之間之風速變化為線性之假設；而區域或網格點範圍大小不同所求得之輻散值與旋率大小亦將有所不同，然我們目的主在研究其在時間領域之變化，故此種影響暫可不顧。

二、測站網之選定及資料之準備

本文對旋率及輻散之計算因受高空資料之限制，故所選地區測站須以有探空資料者為限；臺灣可利用之測站為桃園、馬公及東港三站，隣近西太平洋

地區則選擇能構成適用之三角形區域之測站網，本文計採用關島 (Guam)、克洛 (Koror)、克拉克 (Clark)、香港 (Hongkong) 等四個國外測站，加上本島三測站計可構成恰當之三角形區域共分(A), (B), (C), (D)等四區：

- (A) 桃園—馬公—東港
(簡稱 T-M-T Triangle)
- (B) 克拉克—東港—香港
(簡稱 C-T-H Triangle)
- (C) 克洛—關島—東港
(簡稱 K-G-T Triangle)
- (D) 克洛—關島—克拉克
(簡稱 K-G-C Triangle)

各測站所在之位置如 Table 2.1 所示。所構成之三角形，其重心之位置大致為：

- (A) 三角形重心：121°E, 23.5°N
- (B) 三角形重心：118°E, 20°N
- (C) 三角形重心：134°E, 14°N
- (D) 三角形重心：133°E, 12°N

表 2.1 測站位置

Table 2.1 list of station network in this study

Code No.	Station	Location
46697	Taoyuan	120° 18' E, 25° N
46734	Makung	119° 30' E, 23° 30' N
46747	Tungkong	120° 30' E, 22° 30' N
45004	Hongkong	114° 11' E, 22° 15' N
98327	Clark	120° 33' E, 15° 11' N
91408	Koror	134° 30' E, 7° 20' N
91217	Guam	144° 55' E, 13° 30' N

所用之地面及高空風資料，為配合前熱帶波動之研究，各測站資料之選擇以集中1971年夏季期間自七月一日以至十月十二日止，採每天一次 Ooz 之資料為主。七個測站風之資料以收集地面 (sfc), 850mb, 700mb, 500mb, 300mb, 200mb,

100mb 等定壓層者，其他溫度及相對濕度亦同時收集以構成上述期間之時間數列 (Time series) 並打卡存之。而計算所得之 u, v 分風、Vor、Div 及 Vertical motion (W) 亦同樣組成時間數列，依各區域各層次存之，以利波譜及相關分析。本文所用之各氣象變數皆未採用過濾程序 (Filtering)，以保存資料之原始性，使各頻率之變動皆保存之。

三、客觀運動法計算 (Kinematic Method)

(1) 輻散值 (Divergence) 之計算

水平方向輻散之計算以 Bellamy (1949) 之方法，在上述四個三角形區域分別計算之。即對以 A, B, C 為頂點之三角形區域：

$$\nabla_H \cdot V = \frac{V_{nA}}{h_A} + \frac{V_{nB}}{h_B} + \frac{V_{nC}}{h_C} \dots \dots \dots (A)$$

其中 h_A, h_B, h_C 分別為通過各頂點三個高之長度； v_{nA}, v_{nB}, v_{nC} 分別為 A, B, C 頂點上於其對邊法線方向之分風速。若利用各頂點之東西向分風 u 及南北向分風 v 來計算，則(A)式可寫為：

$$\nabla_H \cdot V = \frac{u_A \cos \theta_A + v_A \sin \theta_A}{h_A} + \frac{u_B \cos \theta_B + v_B \sin \theta_B}{h_B} + \frac{u_C \cos \theta_C + v_C \sin \theta_C}{h_C}$$

$$= \frac{u_A \frac{h_{Ax}}{h_A} + v_A \frac{h_{Ay}}{h_A}}{h_A} + \frac{u_B \frac{h_{Bx}}{h_B} + v_B \frac{h_{By}}{h_B}}{h_B} + \frac{u_C \frac{h_{Cx}}{h_C} + v_C \frac{h_{Cy}}{h_C}}{h_C}$$

亦即：

$$\nabla_H \cdot V = \frac{u_A h_{Ax} + v_A h_{Ay}}{h_A^2} + \frac{u_B h_{Bx} + v_B h_{By}}{h_B^2} + \frac{u_C h_{Cx} + v_C h_{Cy}}{h_C^2} \dots \dots \dots (B)$$

其 u_A, v_A 各為 A 點之 u, v 分風， θ_A 表通過 A 點之 BC 邊法線與 y 一方向 (南北向) 所成之夾角， h_{Ax}, h_{Ay} 則表 h_A 在 x 一方向 (東西) 及 y 一方向 (南北) 之分量 (注意符號)。是故我們若知 u, v 分風及 h_A, h_{Ax}, h_{Ay} 等度量，即可利用 (B) 式計算輻散之估計值，在此我們假設各定壓面為近似之平面。而上式之計算則對各三角形區域，各層次，每天作而組成時間數列。

(2) 垂直向旋率 (Vorticity) 之估計

$$\text{由上述 } \nabla_H V = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \text{ 及}$$

$$\text{旋率 } \xi = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \text{ 知我們亦可利用算輻散之方法來估計渦旋度。若把風速反時針方向旋轉}$$

散之方法來估計渦旋度。若把風速反時針方向旋轉

90°，則可把u分風變成v分風，而把v分風變成u分風；是故我們只要把(B)式中之u分風代以v分風，而v分風代以u分風，則將成為對旋率之計算，亦即

$$\xi = \frac{v_A h_{Ax} - u_A h_{Ay}}{h_A^2} + \frac{v_B h_{Bx} - u_B h_{By}}{h_B^2} + \frac{v_C h_{Cx} - u_C h_{Cy}}{h_C^2} \dots \dots \dots (C)$$

(3) 輻散及旋率之計算結果

依上述(B)，(C)兩式，依次將各三角形區域之頂點測站各層次之u,v分風之時間數列作出，並依較為準確之地圖將三角形之各高及其在x,y方向分量求出即可一一將各天各點的輻散及旋率求出代表三角形區域之平均估計值。全部所得數值堪稱合理；除第一個三角形T-M-T因區域面積較小所得數值偏大外，其他各區所得者與熱帶地區 Synoptic scale 幾千公里範圍所應有者相若，大部份 Order 約在 10⁻⁵sec⁻¹ 及 10⁻⁶sec⁻¹ 附近，其中旋率之波動要比輻散稍大(結果未列入)。臺灣之T-M-T三角形因範圍只達幾百公里而未達天氣規模，所得數值較大，幾為其他區域大約一個 Order。其他各區各層次之時間數列因限於篇幅不一列出。

(4) 垂直運動 (Vertical Motion) 之估計

我們既得各層次之輻散值後，亦可利用 Kinematic法直接估計垂直運動，即利用等壓面上之連續方程式 $\nabla_H \cdot V + \frac{\partial \omega}{\partial p} = 0$ 得p-velocity ω 。

若 $\frac{\partial \omega}{\partial p} = -\nabla_H \cdot V$ 在垂直方向兩定壓面P₁, P₂之間積分則

$$\omega_2 - \omega_1 = \int_{P_1}^{P_2} (-\nabla_H \cdot V) dp \approx \overline{\nabla_H \cdot V} (P_1 - P_2) \dots (D)$$

其中 $\overline{\nabla_H \cdot V}$ 表兩定壓面間空氣層之平均輻散值，以 (Div.1+Div.2)/2 近似之。是故我們如令邊界條件 $\omega_{sfc} \approx \omega_{1000mb} = 0$ ，則由地面以上各層面之 ω 可由(D)式估算得到。為了避免在高度方向之積分而造成高層不合理太大的 p-velocity，我們又令一邊界條件，即 $\omega_{100mb} = 0$ 來限制之。由此則前節所求得之各層次之輻散，必須另經過校正以符合 ω 之垂直分佈，亦即各層次之輻散值D必須減去其垂直平均值D，亦即：

$$D_{corrected} = D - \bar{D}$$

$$\bar{D} = \frac{1}{1000mb - 100mb} \int_{1000mb}^{100mb} D dp$$

因此，經此校正過後之輻散數列再以(D)式分別推算各層之 ω 。最後 ω 經空氣密度及重力之加權即可推估空氣之垂直運動W。

所得之垂直速度除第一個三角形 T-M-T 數值偏大，其餘各區皆合乎大規模空氣垂直運動者，其Order大致為 1cm sec⁻¹，第一區因範圍小，垂直運動值 Order 稍大當在意料之中。

四、客觀統計分析及結果

(1) 輻散、旋率、垂直運動之波動波譜與垂直剖面。

前第三節推算出之每天一點之數值組成 Time Series 後即可方便於分析各變數於波動波譜分析。Fig.4.1 至 Fig4.4 為各三角形區域各層之輻散之 Power spectra。除第一個三角形外其餘各區低層輻散波動 Power 甚小，並無較大之高峯出現，高層之 Power 則較大，全部之波動波譜亦支持 5-7 天之週期；另一明顯之高峯則為 10~15 天之週期。臺灣之 T-M-T 小三角形區域則通常 Power 大些。旋率之波譜，如 Fig4.5 至 Fig4.8 所示 (

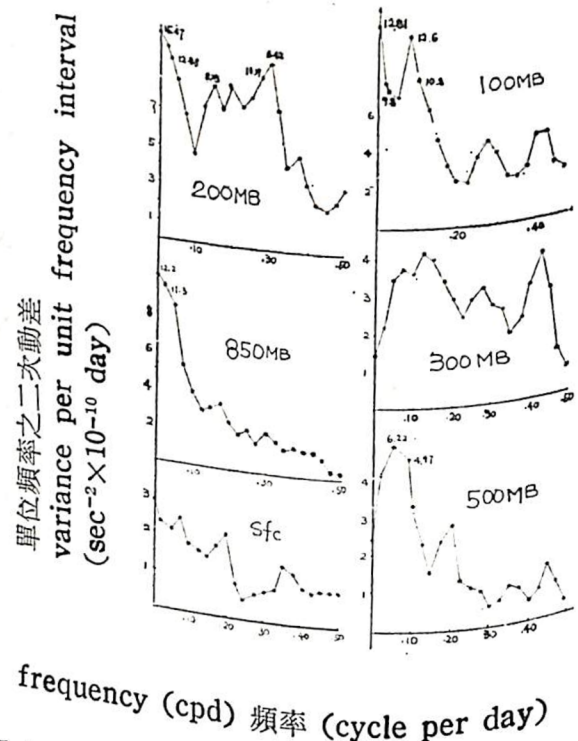


圖 4.1 東港、馬公、桃園三角地區之輻散功率譜
Fig 4.1 power spectra of divergence at T-M-T triangle area

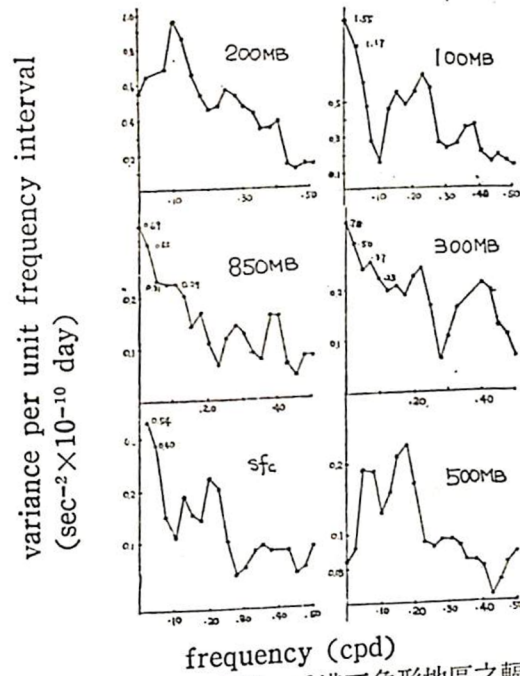


圖 4.2 克拉克、東港、香港三角形地區之輻散功率譜
Fig 4.2 power spectra of divergence at C-T-H triangle area

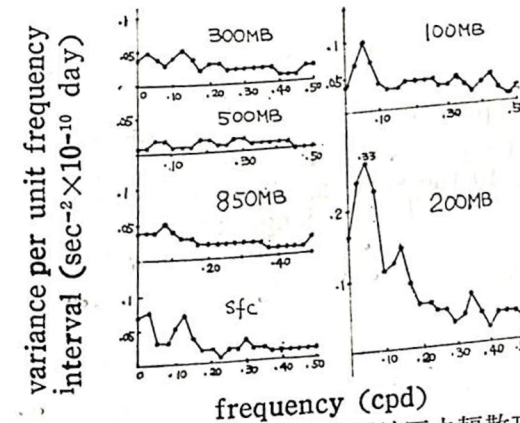


圖 4.3 克洛、關島、東港三角形地區之輻散功率譜
Fig 4.3 power spectra of divergence at K-C-T triangle area

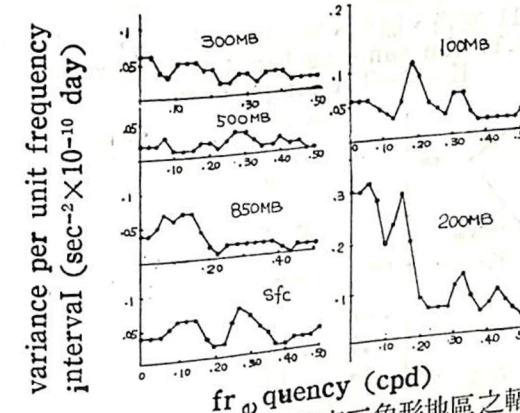


圖 4.4 克洛、關島、克拉克三角形地區之輻散功率譜
Fig 4.4 power spectra of divergence at K-G-C triangle area

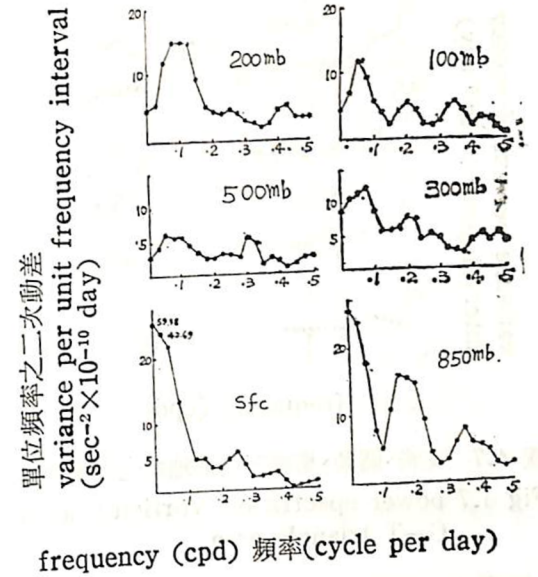


圖 4.5 東港、馬公、桃園三角形地區之旋率功率譜

Fig 4.5 power spectra of vorticity at T-M-T triangle area

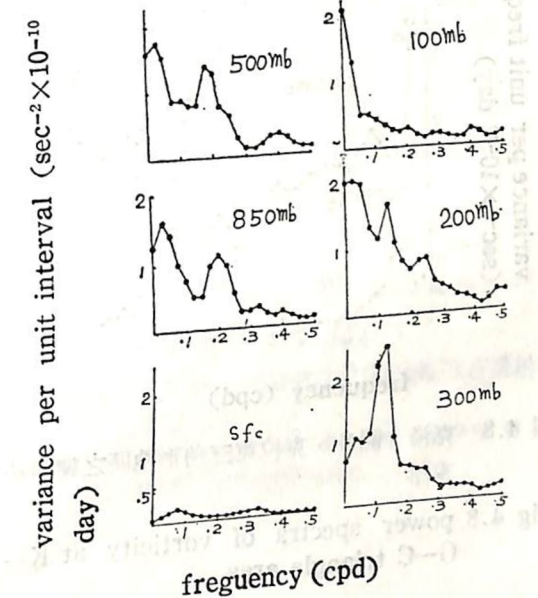


圖 4.6 克拉克、東港、香港三角形地區之旋率功率譜

Fig 4.6 power spectra of vorticity at C-T-H triangle area

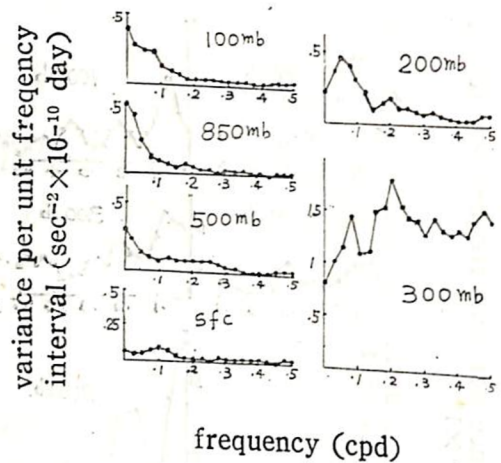


圖 4.7 克洛、關島、東港三角形地區之旋率功率譜
Fig 4.7 power spectra of vorticity at K-G-T triangle area

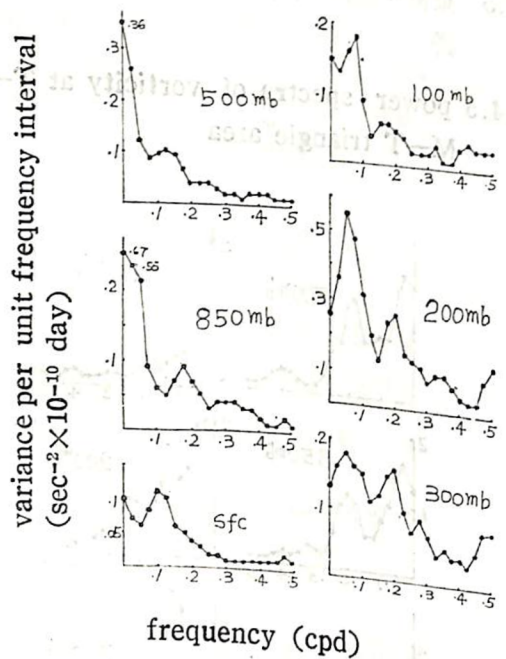


圖 4.8 克洛、關島、克拉克三角形地區之旋率功率譜
Fig 4.8 power spectra of vorticity at K-G-C triangle area

注意垂直坐標所用Scale不同，其波動 Power 較輻散為大；顯示~5天及<10天為重要高峯。大致之輻散及旋率於5-7天之波動之垂直剖面，此可以看出輻散在200mb附近達最大波動（第一區除外），旋率則具更大之波動動差 Variance，而在300mb及低層各有高峯。輻散波動在300mb與低層 (sfc, 850mb, 500mb) 呈反相位 (out of phase) 關係，而旋率場則無顯着之上下 Coherence。

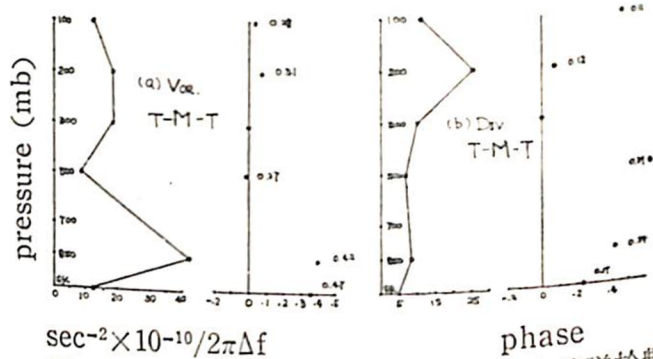


圖 4.9 東港、馬公、桃園三角形地區之波譜於頻率 0.15—0.20 cpd 之垂直分佈：(a) 旋率 (b) 輻散；右示各層對 300mb 之相位關係，其數值為 Coherence 之平方。
Fig 4.9 vertical profile of averaged spectra density in 0.15—0.20 cpd band: (a) vorticity (b) divergence in T-M-T area; also the inter-level phase relation (with respect to 300mb) with coherence square

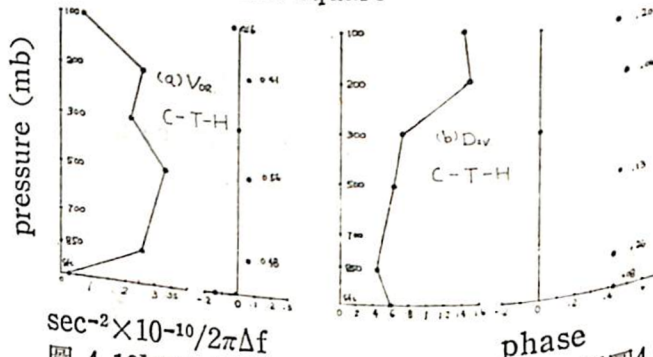


圖 4.10 克拉克、東港、香港三角形地區，同圖 4.9
Fig 4.10 the same as Fig 4.9 except for C-T-H triangle area

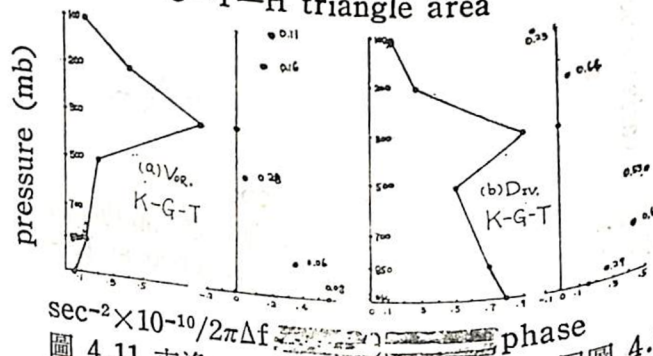


圖 4.11 克洛、關島、東港三角形地區，同圖 4.9
Fig 4.11 the same as Fig 4.9 except for K-G-T triangle area

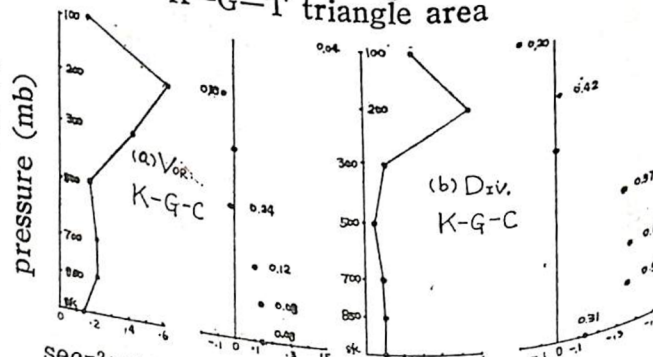


圖 4.12 克洛、關島、克拉克三角形地區，同圖 4.9
Fig 4.12 the same as Fig 4.9 except for K-G-C triangle area

垂直運動 (W) 之波譜，如 Fig 4.13—Fig 4.16 所示，其更顯示上述 5-7 天之週期，另外大於 10 天 (<0.10 cpd) 亦為一高峯。波動幅度 (Amplitude) 之垂直剖面則由 Fig 4.17 得知，最大波幅約在

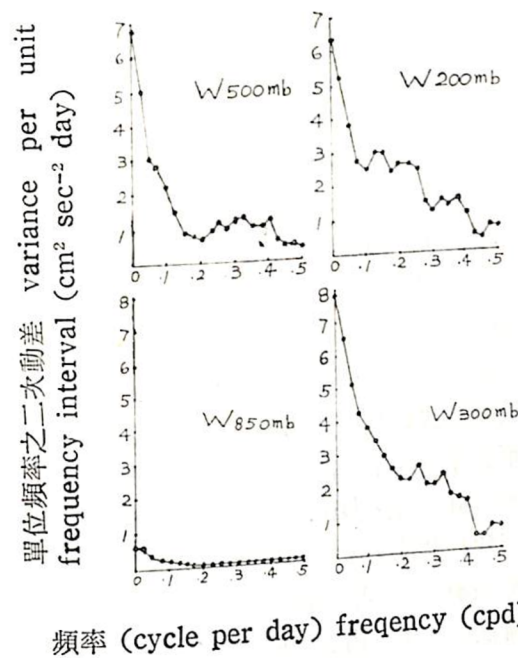


圖 4.13 東港、馬公、桃園三角形地區垂直運動之功率譜
Fig 4.13 power spectra of vertical motion at T-M-T triangle area

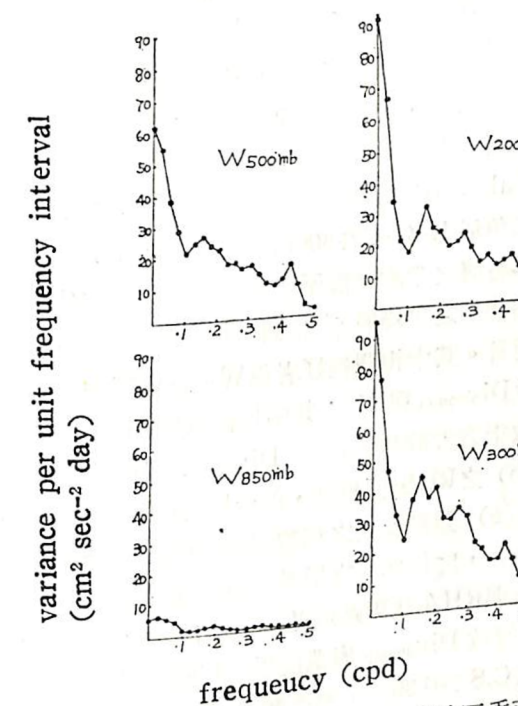


圖 4.14 克拉克、東港、香港三角形地區垂直運動之功率譜
Fig 4.14 power spectra of vertical motion at C-T-H triangle area

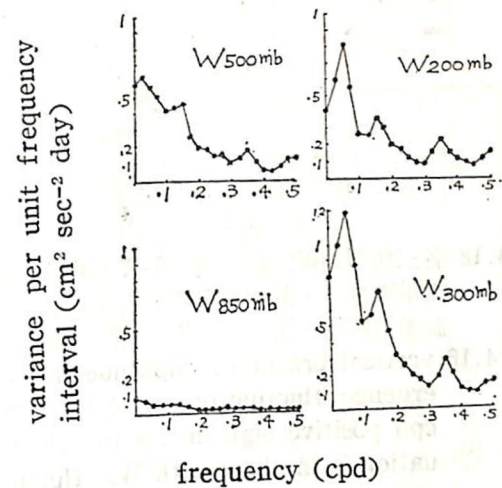


圖 4.15 克洛、關島、東港三角形地區垂直運動之功率譜
Fig 4.15 power spectra of vertical motion at K-G-T triangle area

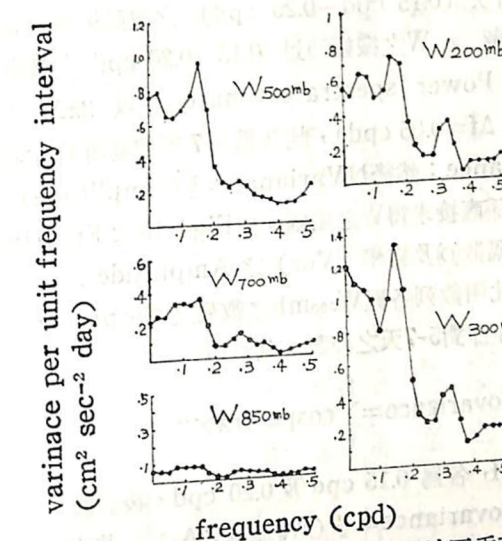


圖 4.16 克洛、關島、克拉克三角形地區垂直運動之功率譜
Fig 4.16 power spectra of vertical motion at K-G-C triangle area

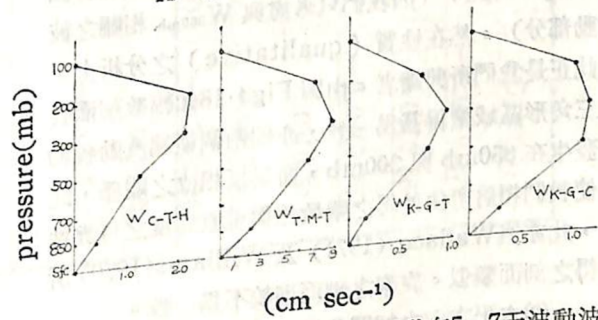


圖 4.17 各三角形地區之垂直運動在 5~7 天波動波幅之垂直分佈。
Fig 4.17 profile of amplitude of vertical motion fluctuation in the frequency band 0.15—0.20 cpd

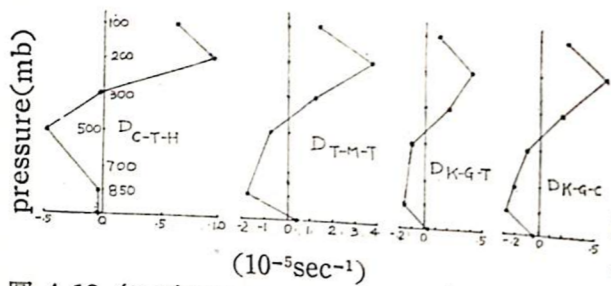


圖 4.18 各三角形地區之輻散場在5-7天波動波幅之垂直分佈，其正負值乃表與 W_{300mb} 之波動具同位 (正) 或反位 (負) 之關係。
Fig 4.18 vertical profile of amplitude of divergence fluctuation in 0.15-0.20 cpd positive sign means the fluctuation is in phase with W₃₀₀ fluctuation negative means out of phase relationship

300mb 左近，上下相位 (phase) 關係則呈一致 In phase (未註明於該圖)。Fig4.17至Fig4.19 為5-7天 (0.15 cpd-0.20 cpd) 之波動振幅垂直分佈圖。W之振幅乃以 0.15-0.20 cpd 之頻率帶之 Power spectra estimate 乘以 2πΔf (其中 Δf=0.05 cpd)，此乃為5-7天波動所具有之 Variance；然後以 Variance=½ (Amplitude) 之關係直接求得W之振幅。而Fig4.18及Fig4.19中之輻散(D)及旋率 (Vor) 之 Amplitude 之估計乃由此兩數列各與W_{300mb}之數列之 Cospectra得之；亦即對5-7天之波動，其貢獻

$$\text{Covariance} = \sum_{f_1}^{f_2} \text{cospectra} \times 2\pi(f_2 - f_1), \text{ 此}$$

中 f₂, f₁ 各為 0.15 cpd 及 0.20 cpd。後假設

$$\text{Covariance} = \frac{1}{2} (A_{W_{300mb}} \times A_i), \text{ 其中 } A_i$$

為所求變數之 Amplitude，且我們保留A_i之符號，正號表示A_i與W_{300mb}之波動同相位 (in phase)，負則為反相位之關係。此法雖可能低估各該 Amplitude，(因我們只考慮與 W_{300mb} 相關之波動部分)，然在性質 (qualitative) 之分析上，此正是我們所興趣者。由圖 Fig4.18知輻散剖面各三角形區域顯得甚為一致，亦即兩個極端波動各約發生在 850mb 與 300mb，而呈反相位之關係，此使我們相信所估計得之輻散值與垂直速度之可靠性得之剖面類似。旋率之剖面則較不為一致。

(2) 水平方向之相關分析

Table 4.1 乃表示各時間數列在不同區域之間之交波譜相關分析之綜合，皆著重於 5-7 天波動

*註：關於 Coherence Square 之意義性討論可參閱 Panofsky 1963 及張利雄 1976。

為主。表中空白者乃表示其 Coherence square (即相關數平方) 未達到意義標準者 (亦即 C.S. < 0.25者) *，皆未列入。



圖 4.19 同圖 4.18 但為旋率者
Fig 4.19 the same as Fig 4.18 except for vorticity

此表中顯示以 W_{300mb} 各區域之間之相關性最好，相對相位差 (phase difference) 亦最為合理。再次為以輻散場 (Div) 之相關及相位亦頗一致，而旋率在水平方向之相關及相位較不一致。我們前所計算得之 Div., Vor. 及 W 等數列若以代表各該三角形區域之重心所應有之數值，則依第二節所列測站網之重心點位置，估計各個重心點之經度差及緯度差，則可由表中所列之各相位差估計波動之水平波長及速度。依此我們可估得水平波長約為 3000km 左近 (如表中以 W₃₀₀ 可估計者如 (A)×(C), (B)×(C) 等)，且以東向西行進，速率約 5° Longitude/day。由表 (A)×(B) 之相位關係亦顯示此些波動由南向北由低緯度往臺灣地區傳播，這些結果亦顯示與前波動研究 (張利雄 1976) 結果相似。

(3) Div., Vor., 及 W 與溫度場及相對濕度之相關分析

Table 4.2 乃舉例第一個三角形 T-M-T 及第四個三角形 K-G-C 在 300mb 之垂直運動，輻散及旋率與各層之平均溫度 \bar{T} 及平均相對濕度 RH (為三頂點測站之平均值) 之相關分析。此亦專對 5-7 天波動而言。其中相關較好者為 W_{300mb} 與 \bar{T} , Div_{300mb} 與 \bar{T} 及 Div_{300mb} 與 RH；其中以輻散與 RH 最突出 (相關數平方大於 0.50)，Div_{300mb} 大致與低層 (850mb) 之 RH 呈反相位，即低層之輻合 (Convergence) 對應較大之相對濕度 (此亦即對應較大 W_{300mb})，此為低層之擾動天氣所應有者。相反地 W_{300mb} 與 RH 在此兩區域並不顯示良好的 Coherence。輻散 Div_{300mb} 與溫度場之相關，以高層較為明顯 (C.S. > 0.30)，然臺灣之 T-M-T 三角形與低緯度之 K-G-C 三角形溫度場結構顯然迥異；後者顯示低層之輻合 (Conv.) (即擾動天氣) 對應

表 4.1: 各時間數列交波譜分析中相位及相關數平方 (括弧內)，(A),(B),(C)及(D)乃表 TMT (東港、馬公、桃園)，CTH (克拉克、東港、香港) KGT (克洛、關島、東港) 及 KGC (克洛、關島、克拉克) 各三角形地區；相關數平方小於 0.25 者皆畧去不計。

	(A)×(B)	(A)×(C)	(A)×(D)	(B)×(C)	(B)×(D)	(C)×(D)
Div. sfc	-0.09(0.36)	-0.34(0.34)		-0.23(0.39)	-0.27(0.39)	-0.03(0.67)
Div. 850mb	-0.03(0.53)	-0.35(0.39)		-0.45(0.39)	-0.47(0.52)	-0.01(0.86)
Div. 500mb	-0.19(0.46)	-0.50(0.36)		-0.23(0.56)	-0.29(0.37)	-0.03(0.75)
Div. 300mb	-0.03(0.42)	-0.25(0.35)		-0.19(0.24)	-0.06(0.41)	0.03(0.61)
Div. 200mb		-0.45(0.23)			-0.50(0.26)	-0.05(0.36)
Vor. sfc			-0.60(0.23)			0.01(0.73)
Vor. 850mb	0.35(0.49)			-0.09(0.33)		-0.05(0.33)
Vor. 500mb		-0.48(0.53)		0.19(0.42)	-0.65(0.49)	0.10(0.24)
Vor. 300mb		-0.40(0.39)			-0.50(0.13)	-0.03(0.79)
Vor. 200mb			-0.38(0.28)		-0.03(0.65)	
Vor. 100mb			-0.40(0.24)			-0.03(0.65)
W300mb	-0.11(0.33)	-0.34(0.40)	-0.37(0.26)	-0.59(0.54)	-0.27(0.58)	-0.01(0.81)

Table 4.1: phase difference (cycle) and coherence square (in parenthesis) among parameters in different triangle area, those with coherence square less than the significant value (0.25) are omitted where (A): T-M-T (B): C-T-H (C): K-G-T (D): K-G-C
* frequency band is selected at 0.15-0.20 cpd.

分析乃指出垂直運動及輻散為天氣波動良好之指標。

本文研究之檢討及未來研究建議為：

(1)本文所用 Kinematic 之計算對 Synoptic scale 之區域能具代表性，除第一區域外其他區域結果與前如 Landers(1955) 之計算結果相當；而通常 Level of Non-divergence 並不出現，一般對範圍面積較小者(如T-M-T)之計算所用之風速應經 Space-Smoothing，計算結果較好。

(2)本文因人力及可利用資料之限制，故結果只代表四個區域之粗估，今後如能擴大測站網，如加以臺灣以北較高緯度者；而且分層應可更細，以每隔 50mb 為更佳，以能更詳細了解垂直剖面。

(3)本交只集中對夏季資料之分析；其他季節及年代應多作比較分析，以了解不同之季節型態。

(4)雲亮度資料及降水應對本研究中之輻散、旋率及垂直運動等變數之波動相當敏感，若能搜集此兩種資料，分析與後者之相關波譜，則三種變數與天氣波動之關係更加確立。

[作者通訊：臺大大氣科學系]

參考文獻

1. Bellamy, J.C., 1949: Objective calculations of divergence, vertical velocity and vorticity, Bull. of AMS, Vol.30, No. 2
2. Landes, H., 1955: A three-dimensional study of the horizontal velocity divergence, J. of Meteor., Vol.12, No. 5
3. Wallace, J. M., 1971: Spectral studies of tropospheric wave disturbances in the tropical western Pacific, Rev. of Geophy. and Space Physics, Vol. 9, No.3.
4. Williams, K., 1970: Characteristics of the wind, thermal and moisture fields surrounding satellite-observed mesoscale trade wind cloud clusters in the western north Pacific, Proc. of the Symp. on Trop. Meteor., Honolulu, 1970, AMS, Boston
5. 張利雄, 1976: 臺灣與鄰近地區之熱帶波動研究, 國立臺灣大學大氣科學系研究報告第一期。

100mb 附近之溫度偏高，而前者則反是，顯示高空 100mb 之冷心結構，此當值得更進一步檢查其他區域之溫度與濕度剖面分析。W_{300mb} 與 \bar{T} 亦有好之相關(尤以高層)，其相位關係符合W與Div之關係亦同意(顯示)上述兩不同面積與不同緯度地區相異之溫度結構。旋率與溫度關係亦不明顯，相關數只達意義邊緣；與RH在低緯度地區亦有較佳之相關數。由此節之相關分析知道，垂直運動與輻散為天氣變化較好之指標。

五、總結與檢討及未來研究建議

本專題對該區旋率，輻散及垂直運動之計算結果與對變數及測站間之相關分析之重要結論分述如下：

(1)以三角形面積 Kinematic 法計算估計所得各定壓面上之輻散值與旋率值，在天氣規模之數值堪稱合理，平均 Order 在 $10^{-5}sec^{-1}$ 及 $10^{-6}sec^{-1}$ 之譜。三角形面積若小(如 T-M-T 三角形)則上述數值將偏大。

(2)經校正(即設 $W_{1000mb} = W_{100mb} = 0$ 之限制)後之輻散可用以估計天氣規模之平均垂直速度，其大小亦在 $1 cmsec^{-1}$ 附近。

(3)上述變數在1971年夏秋期間之波動波譜亦顯示 5-7 天為一重要週期，與前之研究符合。其波動 Power，輻散在 200-300mb 附近達最大，旋率比輻散具更大波幅，而在 300mb 附近及低層各有高峯；垂直速度則 300mb 達最大波動。

(4)各不同地區之交波譜相關分析顯示 300mb 之垂直運動及 850mb 之輻散場具最好之水平方向之相關，其間相位關係顯示臺灣及鄰近地區(西太平洋) 5-7 天之熱帶波動以東向西及由南向北(在極西地區，非島以西)傳播，波長約 30° 經度，對應速度約 $5^\circ longitude/day$ 。此地區間之相關說明臺灣夏季天氣波動與低緯度者之互發作用(Coupling)。

(5)由各變數間之相關分析知300mb上輻散場與各層次之溫度及相對濕度最好，垂直運動 W_{300mb} 則只見與溫度場相關，而與濕度並未出現好的相關性。低緯度地區 Div_{300mb} 與 \bar{T}_{100mb} 同相位，與低層 RH 反相位，亦即低層之擾動天氣(輻合及低溫高濕)造成較大之 W_{300mb} 及高空之溫度偏高；而副熱帶區之本島則顯示不同之溫度剖面，即低層之擾動對應 100mb 附近之冷心結構。此變數間之相關

△ Taoyuan—Makong—Tungkong

Pressure	sfc	850mb	700mb	500mb	300mb	200mb	100mb
W300 × \bar{T}		0.01(0.22)		0.05(0.46)	0.08(0.40)	0.09(0.45)	0.54(0.51)
W300 × RH	0.68(0.35)						
Div300 × \bar{T}	0.67(0.26)					-0.20(0.32)	0.50(0.45)
W300 × RH							
Div300 × RH	0.34(0.54)	0.63(0.52)	0.66(0.54)	-0.22(0.29)	-0.05(0.42)		
Vor300 × \bar{T}	0.19(0.26)					0.37(0.26)	0.14(0.39)
Vor300 × RH	0.28(0.62)		0.65(0.39)	0.74(0.43)			
△ Koror—Guam—Clark							
W300 × \bar{T}			0.66(0.38)			0.66(0.35)	0.01(0.48)
W300 × RH	0.68(0.35)	0.30(0.24)					
Div300 × \bar{T}	0.67(0.26)		0.37(0.23)		0.22(0.24)	0.30(0.35)	-0.02(0.49)
Div300 × RH	0.34(0.54)	0.63(0.52)	0.66(0.54)	-0.22(0.29)	-0.05(0.42)		
Vor300 × \bar{T}	0.19(0.26)					0.37(0.26)	0.14(0.39)
Vor300 × RH	0.28(0.62)		0.65(0.39)	0.74(0.43)			

表 4.2: 同表一為各變數序列之交變波譜分析結果。

Table 4.2: phase difference (cycle) and coherence square (in parenthesis) between parameters in the 0.15-0.20 cpd freq. band. Slash means coherence square is less than the significant level 0.25, blanks mean data are not available.