

關於北半球低層大氣動能消散之氣候學

孔震村¹

Climatology of the Mechanical Energy Dissipation in the Lower Atmosphere over the Northern Hemisphere

Ernest Chen-tsun Kung

Abstract

This paper is a dissertation of Dr. Ernest Chen-tsun Kung to make his partial fulfillment of the requirement for the degree of Doctor of philosophy in meteorology at the University of Wisconsin in 1963. The thesis was carried out under the guidance of his Professor Heinz H. Lettau. Dissipation of mechanical energy is one of the major processes of the atmospheric energy cycle. The mechanical energy which is generated from the conversion of available potential energy is eventually dissipated and changed into internal energy through frictional processes which are generally irreversible. The maintenance of the large-scale general circulation against the frictional energy dissipation is one focus of interest in current theories.

The author, discusses in primary, about fundamental concepts on wind profile characteristics, geotrophic drag, coefficient, external parameters, and etc., and later introduces his analytic study on the roughness parameter over the continents and over the ocean with some detailed evaluation on horizontal and seasonal variations of continental roughness from vegetation cover.

In making a practical approach of his theoretical views, an eleven years' period of 1,000mb pressure data over the northern hemisphere were examined. The general climatological patterns, concerning both spacial distribution and seasonal variation on energy distribution in the lower have been obtained.

The detail of the contents should be referred to the original paper itself. The author is working as a research-fellow of the U. S. Weather Bureau at present.

一、前言

動能之消散為大氣能量循環主要過程之一。由有效位能轉變所引起的動能，終於經過通常不能逆轉的磨擦過程而消散或變為內能。大規模大氣環流對磨擦的動能消散之維持為氣流理論上一個中心問題，因能量消散之比對大氣擾亂之產生與衰弱均有重大之關係。因此動能的消散過程在研究氣候趨勢上，如理論氣

象及實際應用等同樣有甚大的關係。因為動能的消散在大氣境界層上，扮演大規模大氣動能繼續轉變之重要部份，這部份的能量消散即為最初的關點。

首先說明估計能量消散之方法，其方法可分為兩種。第一個方法為由使用平常能量方程式求其平衡，間接的獲得能量消散值。另一個方法為直接使用境界層方程式與動力學，極端的減少其自由度，即假設超

¹ 本文孔震村氏係以英文寫成，由呂世宗氏譯成中文。

簡的境界層構造模型及外界情形估計其能量消散值。不過這些研究亦限於特定範圍的資料及其採取期間。吾人可參考 Brunt(1941)、Jensen(1961)、Lettau (1954) (1959) (1961-b)、White and Saltzman (1956)及其他專家的方法來做。

當然，這些處理方法，在討論局部與地域性的能量消散，或特種情況時，均有它們各個的價值，但其結果對吾人研究氣候與能量消散之趨勢時，在累年半球平均值之項目受到限制。

Lettau 的大氣境界層構造之理論模型，使吾人可決定實際境界層的特性，如地轉拉力係數 (Geostrophic drag coefficient) $C=C(R_{00})$ ，表面壓力 $\tau_0 = \rho C^2 V_{g,0}^2$ 。及在地表，面壓與地轉風所成之角度 $\alpha_0 = \alpha_0(R_{00})$ 等，均為地面 Rossby 常數 $R_{00} = V_{g,0}/(z_0 f)$ 的單價函數 (Unique-Valued function)。在處 ρ 為空氣密度， $V_{g,0}$ 為在地面的地轉風速， f 為 Coriolis 參數， z_0 為大氣動力糙率參數 (Aerodynamic roughness parameter)。由這批數值，吾人可以 $E = \tau_0 V_{g,0} \cos \alpha_0$ 之方程式，計算在境界層之全體能量消散值 (Total energy dissipation)。不夠在處需要與充分的必要條件為三個外界參數 $V_{g,0}$ 、 f 與 z_0 是要指定的。

本研究的目的為

(一) 發展要決定代表特定地域的空氣與地表接觸之大氣動力糙率參數之技術，尤其是由地面植物掩蔽與海洋面之風剖面加以分析。

(二) 計算在 1.000mb 高度之地轉風速。

(三) 求出沿北半球，從 25°N 至 70°N 大氣低層之地轉拉力係數與能量消散值。

在本質上，這是以微氣象之報告，應用於大規模問題之嘗試及利用地轉拉力係數之概念。

二、基本概念之提議

(一) 剖面風特性地轉拉力係數及外界參數

Lettau 曾提出，關於 Prandtl 擾亂長度規模 (Prandtl's length scale of turbulence) 之新理論方程式，此理論即由低層境界導出距離函數，而比 Karman 係數所含的實際常數為少，因此可應用於正壓大氣圈 (Barotropic atmosphere)。

在大氣圈，一般風的旋轉 (Universal wind spiral) 即由氣體運動方程式的統數而得，並且與磨擦速度有密切的關係。不過，在吾人當要計算實際風旋轉時，必須特定外界條件，因各種參數，理論風係

數 (Coefficients of theoretical wind) 及旋轉壓 (Stress spiral) 等均以地面 Rossby 常數 $R_{00} = V_{g,0}/(z_0 f)$ 為函數之單價函數。在此函數中，無限制的 (Non-dimensional) 將三個有效的外界參數，即地轉風速 $V_{g,0}$ ，Coriolis 參數 f ，大氣動力學的糙率參數 z_0 等，聯合起來製成表。如此要設 $V_{g,0}$ 、 f 、 z_0 及定地面 Rossby 常數時，吾人可由其分析表上，以內插法求出境界值與係數。而理論風與旋轉壓即須借一般風旋轉因素之助，始可完成。由此法所得的各種風剖面特性之理論流線，包含地面風與等壓線之角、地面壓、擾亂長度之高度變化，旋渦粘性均與地面、海面風之實測值顯示一致。(Lettau, 1961, b)。

在三個外界參數中，Coriolis 參數為獨立而固定，吾人可以

$$f = 2\Omega \sin \Phi \quad \text{求之。}$$

式中 Ω 為地轉角速， Φ 為地理緯度。地轉風速與原來平面氣壓之傾度有關，即因其定義為 $V_g = \left(\frac{\partial p}{\partial n} \right) / \rho f$

。式中 $\frac{\partial p}{\partial n}$ 示大氣運動推進力 (The driving force of the air motion)。

三個外界參數之最後一個為大氣動力糙率長 z_0 (Aerodynamic roughness length)。即表示在境界面所產生的磨擦阻力之效率，為研究磨擦力及能量消散的主要依據。

吾人計算 f 與 $V_{g,0}$ 時，可直接依據其定義達成，但關於 z_0 即難，因為它必須依據地面的情形及自然的記錄。在微氣象報告上，表示地表的 z_0 主要依據為植物掩蔽之構造與型式。這種事實暗示吾人，在研究 z_0 時，考慮地形變化主要為地面高度之變化，而其糙率構造是次要的。

地形影響氣流之現象，可說明如將原來上下運動變成水平運動量，這些運動似可代表流線 (Stream line flow)，已經由 Sutton 引證而討論過。根據其引證，在流線上有些損失的運動量，於斜坡地帶即可再生回復。

在本研究中， z_0 值主要以陸上植物掩蔽為函數而估計，關於海洋的 z_0 值即將使用合理的假設而計算之。對估計陸上 z_0 值之方法及自然海洋的 z_0 值，將在以下討論之，而 z_0 值之估計即為本論文之要點。

(二) 能量消散 (Energy dissipation)

局部動能的能量消散值，可定為 $\epsilon = \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right) \left(\frac{\tau}{\rho} \right)$

，而即為擾亂構造的重點。Lettau 證明，於定常狀態 (Steady state) 時，其內積 (Scalar product) 之積分，可代表超過阻力所需之能量。

關於全體境界層之能量消散值 E 為

$$\int_0^H \vec{V} \cdot \left(\frac{\partial \vec{\tau}}{\partial z} \right) dz = \left[\vec{V} \cdot \vec{\tau} \right]_0^H - \int_0^H \vec{\tau} \cdot \left(\frac{\partial \vec{V}}{\partial z} \right) dz$$

$$= - \int_0^H \rho \varepsilon dz = -E \dots \dots \dots ①$$

式中， $\vec{\tau}$ 為在高度 z 處的切應力向量 (Vector of shearing stress)。ε 為局部能量消散值， H 即為大氣境界層高度，在 $Z \geq H$ 時 $\vec{\tau} = 0$ 。同時 Lettau 亦證明在正壓定常狀態之下，境界層間

$$\vec{V} \cdot \left(\frac{\partial \vec{\tau}}{\partial z} \right) = \vec{V}_g \cdot \left(\frac{\partial \vec{\tau}}{\partial z} \right) \dots \dots \dots ②$$

可以成立。因此能量消散方程式可得如下：

$$E = - \int_0^H \vec{V}_g \cdot \left(\frac{\partial \vec{\tau}}{\partial z} \right) dz = - \vec{V}_g \cdot \int_0^H \left(\frac{\partial \vec{\tau}}{\partial z} \right) dz$$

$$= \vec{V}_g \cdot \vec{\tau}_0$$

或者 $E = V_g \tau \cos \alpha_0 = \rho C^2 V_g^3 \cos \alpha_0 \dots \dots \dots ③$

如果 C 與 α_0 僅為 R_0 的單價函數，那麼最後的方程式，即可直接決定低層大氣圈的全體能量消散值，其物理單位以 watt/m^2 較 $\text{ergs sec}^{-1} \text{cm}^{-2}$ 為適當。

三、求大氣與地表交接面之糙率參數

(一) 沿植物尾頂風剖面之分析

Deacon (1953) 曾估計關於無植物各種自然地表或矮小植物之糙率參數，茲將其結果示於表一，供為參考。

表1:各種地面與植物之糙率參數

Table 1: Roughness parameters of various surfaces and vegetation forms

地面類型 Type of surface	糙率參數 z (cm)
平滑泥土面	0.001
草地的平坡雪面	0.005
海面	0.020
沙漠 (Karachi附近)	0.030
雪面 (Canada)	0.100
草地 (高度0.015至0.45m)	0.2—2.40
草地 (高度0.60至0.70m)	3.70—9.00
下坡地 (Porton)冬季	1 — 2

下坡地 (Porton)夏季	2 — 4
玉米園 (高度0.7至0.9m)	6.40
矮林 (高度1.3m)	15.70
橙園 (高度3.3m)	29 — 122
樺林 (高度5.5m)	190 — 399
森林 (高度24.4m Idaho)	1350 — 1850

Kung (1961) 經過各種著述文件，分析風剖面記錄，將 Deacon 之表，推廣而應用於有關各種植物尾頂之平面上。這些記錄是由五個不同地方，即 John's Hopkin 大學氣候實驗室，Fons, Kepner, Boelter, Brooks, Baumgartner 及 Gisborne 等處得之。將這些記錄再加以分析，吾人可得到，關於小麥園、矮樹林、橘子園、樺木林及 Idaho 森林等之糙率參數。零點變位 (Zeropoint displacement) d 及面壓力 τ_0 亦計算之，茲將風剖面之分析摘要示於表一，其詳細分析已由 Kung 氏發表。

(二) 大陸糙率參數推廣至植物高度及使用地之應用

糙率參數與自然植物之高度成反比例，其結果將示於對數表上如圖 1，而如劃一直線時，所有記錄均可適應而分佈其附近，因此其回歸線 (Regression line) 可示如下。

$$\log z_0 = -1.24 + 1.19 \log h \dots \dots \dots ④$$

式中 z_0 與植物高度 h 均以 cm 示之。

在處吾人可取 h 與 z_0 之比，以 N 表示，如 $N = h/z_0$ 。可參考 Nikuradse 的糙率比來加以研究。 N 值之大小即表示障礙之效率，有些種障礙物之 N 值較小，在其 z_0 值大時，即與其高度成正比例。利用上式，將 z_0 值與各種高度之 h 的 N 示如下：

h (cm)	障礙物種類	z_0 (cm)	$N = h/z_0$
1000	森林	214.0	4.7
100	長草	13.8	7.2
10	低草	0.80	11.2
1	光地	0.0576	17.2
0.1	砂地	0.00363	26.9

利用速度之對數性分布與一般 Karmam 常數 $K=0.4$ 之假設 Nikuradse 在塗布砂粒之循環管 (Circular pipes) 之管流實驗 (Duct flow experiment) 發現 N 等於 30。另外 Lettau 指出，根據他所研究的一般速度分佈法則之新數學模型，在不平的管面會產生完全擾亂，在這種擾亂流中 Nikuradse 的實驗， K 約為 0.428， N 為 23.9，Paeske 在雪面、草

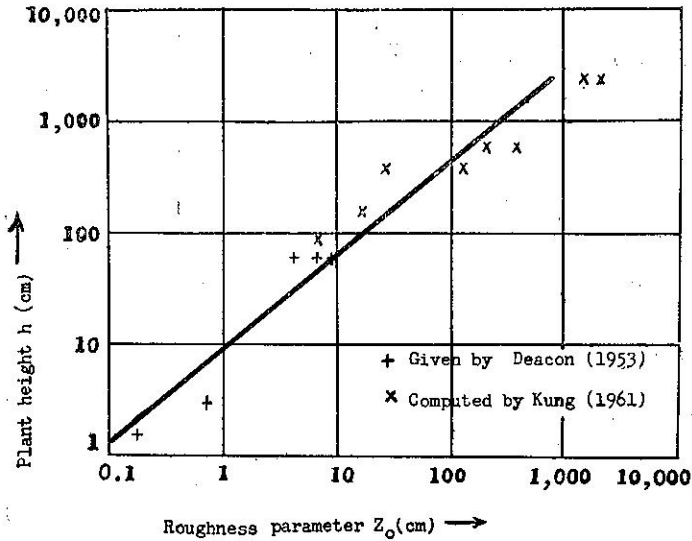


圖1:糙率參數與植物高度之關係

Fig. 1: Roughness parameter related to plant height.

地、甜菜園等做風之觀測時，得到 $N=7.35$ 。以上這些實驗與上述表中之數值甚吻合。由上述各項實驗值，於森林顯出高度的障礙，而比矮小之阻礙物具有高度之糙率因素。

Kutzbach (1961) 在Mendota湖之冰原上，以大量籃球為糙率因素，研究風剖面之修正實驗，在其實驗中，證明 Z_0 值為阻礙物高度及阻礙物密度之函數。因為方程式④為分析，在均勻稠密植物地帶之風而所得，所以該式即以充分的阻礙密度為假設，當然 Kutzbach 亦有舉出這點，並且以方程式④及他的研究，與 Schliching 的實驗記錄互相比較而加以檢討。

因大氣糙率在均勻稠密植物之假設，所以假如各植物間之形態上的相異與 Z_0 值對風速之反應（包含植物形狀，對風速變化之影響）可以省略時，植物高度對大氣糙率是重要的因素。這種假設即依據 Z_0 值而變，而且為 h 之函數，其高度可達到10之數次方以上，但在10以下的地理環境，對 Z_0 之影響可以省略。同時其面積在 10^4 km^2 以上者，因本假設所引起的誤差甚大，對該地域不必考慮，可以省略之。

為要得到代表大地域的 Z_0 與特定微氣象的對照，其在使用地的記錄與植物之特定變化，必須與許多 Z_0 及 h 之關係結合起來研究。地面 Rossby 常數之對數與 Z_0 成反比例，而決定地轉拉力係數。從這種觀點可推測並求出代表地域性的平均糙率參數，可以地域為重點之 Log Z_0 平均計算之。這種由該地域的各種

植物之型式所求出的數值，較相對照的 Z_0 之算術平均值為佳。

(三) 海洋的糙率參數

海洋面的糙率因素與這些陸上的糙率參數完全不同。在陸上該糙率構造（如植物掩蔽）僅限定其表面，而在局部性的糙率參數與本研究實際所記錄的各種幾何特性（如植物高度與使用地）之間，可互相代替。但在海洋者，因水平面具有易動的特性，外部與內部可連續的互相反應，其本身可為糙率因素。不過除其形狀突然變化，表面波不能有糙率因素存在的。然而吾人以表面高度之變化，可推想如在陸上的地形變化較為正確。在定常氣流之下，海洋波面有小規模的擾亂，包含破碎，白泡及水沫等均有影響大氣糙率之因素。

關於許多不同的海洋糙率參數，可在參考文件中尋得，如 Rossby 於 North sea 及 Baltic sea 的觀測記錄求出 Z_0 ，他發現在中至強度風之下（傾度風10至22m/sec），其 Z_0 值在海面約近於0.6cm，而與風速無任何關連。根據 Bruch 在 Baltic 所做的模型記錄得到 Z_0 值為0.03cm至0.06cm之間。利用 Johnson 的風速測驗，Deacon 對海面的 Z_0 值，定為 0.02 至 0.04cm，Frost 即以 Z_0 等1cm之假設，對海洋加以討論。

Deacon 在新的風剖面實驗上報告，關於 Port Phillip 之被包圍的水面，有關10cm高度處之拉力係數，可定為：

$$C_{10} = \tau_0 / (\rho \cdot u_{10}^2)$$

式中 u_{10} 為10m 處之風速，在絕熱狀態之下， u_{10} 為9m/sec以下時， C_{10} 約等於0.0010，如 u_{10} 至14m/sec 之強風時， C_{10} 即昇至0.0013。Broclss 於 Baltic 海灣之實驗報告， C_{10} 約為0.0015，同時風速在2至14m/sec 之範圍並無發現 C_{10} 之變化，但無論在 Baltic 海或 North 海之許多連串不同實驗之結果，均發現有系統的誤差。不過經各調查者所求出之 C_{10} 值，通常以0.0021至0.0026之範圍為多。

很容易的可以證明，高度1000m處之對數性風剖面方程式，可寫為：

$$\sqrt{C_{10}} = (\sqrt{\tau_0 / \rho}) / [(\sqrt{\tau_0 / \rho} / 0.4) \text{Ln} \left(\frac{1000 + Z_0}{Z_0} \right)] \dots \dots \dots ⑤$$

即 $\ln Z_0 \approx \ln 100 - 0.4/\sqrt{C_{10}}$

或 $\log Z_0 = 3.0 - 0.174/\sqrt{C_{10}} \dots\dots\dots ⑥$

以方程式⑥中之 C_{10} 值可變其糙率參數 Z_0 ，如觀測 C_{10} 值為 0.0021 至 0.0026，其相對的 Z_0 值即為 0.16 至 0.39 cm。當 Deacon 與 Broks 報告 C_{10} 為 0.001 與 0.0015 時，相對的 Z_0 值為 0.003 與 0.03 cm。

由上述之結果可推論，關於海面 Z_0 值之估計甚難，因海洋之 Z_0 值微小，對風之觀測非常敏感，這些困難為風速高度層數之限制（平常僅以 2 或 3 層為有效分析高度），風速計位置之不定，船身之動搖，旋轉及船之跳動等。這些能影響之因素中，有些者對測定對象具有嚴重之限制，甚至平常易控制的陸上，求其自然風剖面亦很難，因此這些上述引用的 Z_0 值無一完全可靠。所報告 Z_0 值之廣大範圍為實驗誤差帶來，但在各調查者之間，所有共同之點為 Z_0 值互相認為對風速無關，但如 Bryson 所提的某些較小範圍的相對風速之變化，即可以波速說明之。不過各調查者均認為動水力學的滑面（Hydro-dynamically smooth）與崎嶇的水面之位移間，必有絕對風速之存在。Haines 與 Bryson 在 Mendota 湖所做之實驗，得到 5.9 m/sec 之絕對風速平均值，與其他實驗值甚吻合。吾人可發現在絕對風速發生時， Z_0 值即隨風速之函數而增加。

因海洋的 Z_0 值應由海面之何作學的擾亂而決定，吾人必須要選適當的參數以便說明海平面擾亂的幾何形狀，而此措施即為研究海洋糙率之中間階段。Schooley 曾考察到風速依存幾何學的糙率因數而變動，關於風之極小面（Facets of wind）擾亂水平面，吾人可用平滑比（Ratio of flatness），代替極小面之長度做研究，這種研究似可考察到，在各時季間海洋地區的平滑比之變化。關於海洋的 Z_0 值尚有廣大的問題要待將來之研究。

在各種意見間尚有矛盾與不正確之自然問題時，吾人必須做合理的推察，給適當的海洋糙率，以便應用於這種研究之計算，由 Z_0 值對風速之關係微小與一連串的 Z_0 實驗值，吾人似可以海洋糙率為常數。為做下述之各項計算，吾人不妨假設海洋的 Z_0 值為 0.1 cm。這個數值為所有報導中之最高記錄，而且於海洋風速計高度之風速與地轉風速之比，與觀測因素顯出非常一致。

四、從植物掩蔽求出水平與大陸糙率

參數之時季變化

（一）方法與記錄

吾人可以下列四個階段，選大陸地區，以便求其大氣動力學的糙率。

1. 分類各植物之型式，並且決定各型式植物之面積百分比。

2. 按照季節分類並估計有關各型式植物之代表高度。

3. 根據②項分配各型式植物之糙率參數。

4. 計算糙率參數之對數的地域平均，利用各型式植物之面積百分比為重點因素，並以季節分類之。

將陸上植物掩蔽分為下列八種：

- (1) 農作物。
- (2) 森林地帶與林作物。
- (3) 草地及牧場。
- (4) 山林。
- (5) 天然植物。
- (6) 冷凍地帶（Tundra）。
- (7) 沙漠。
- (8) 建築物與未開墾地帶。

在使用地上之各種記錄，為由各種來源得到的，關於美國與加拿大的主要來源為美國農業部與加拿大自治局正式統計的，關於中國與印度的記錄即各個由 Shen 及印度時報，與對照現在地圖所得，其他地方即利用 1957 年 FAO 年鑑為參考。其他空間即利用地圖，如 Oxford Regional Economic Atlas 及其他報告，有些不充分或不完全的統計記錄，即稍加以修正而後使用。

生物氣候學的記錄與植物高度之估計，是由 Klages, Kung, Curtis, Packard, Wilson 等各處獲得，而且經 Wisconsin 大學農耕部及植物學部之部員所討論之結果。關於糙率參數之估計即以植物高度為基礎，並以前節所報告之有關記錄為參考。

（二）北半球大陸糙率參數之子午線分佈

與北美州之局部糙率參數

北半球陸地可分為 1. 北美州、2. 歐—非州、3. 亞洲（包含蘇俄），第一地區之北美州即可細分為西部、中部及東部，然而將北美州之這些地區，沿經度方向加以詳細研究時，吾人可知其密度不完全各個相同，為處理與論述記錄之方便，將經度限制稍加以修正，即將緯度以 10 度為一區，而在 30° N 至 50° N 至北美州地區即以緯度 5 度為一地區。表 2 即表示在北半球各大陸區中所考慮之經度分佈。

表2: 北半球大陸區之界限

Table 2: Longitudinal limits (all in deg west of Greenwich, 0 to 360) at specified latitudes (deg) for indicated continental sections of the Northern Hemisphere.

地區 緯度 Latitude	Western North	Central North	Eastern North	North America	North Atlantic	Europe- Africa	Asia	North Pacific.
70° N	140—160	70—140	—	70—160	340— 25	330—340	185—330	160—185
65°	140—165	70—140	—	70—165	350— 40	330—350	180—330	165—180
60°	140—165	95—140	70— 80	70—165	355— 65	330—335	190—330	165—190
55°	100—130	85—100	60— 80	60—130	10— 60	335—350	225—335	130—195
50°	100—125	80—100	65— 80	70—125	5— 55	335— 0	215—335	125—215
45°	105—125	75—105	65— 75	70—125	0— 65	330— 0	225—320	125—215
40°	100—125	80—100	75— 80	75—125	10— 75	0— 10	230—335	125—220
35°	105—120	85—100	75— 85	75—120	5— 75	350— 5	220—325	120—220
30°	105—115	90— 95	80— 90	80—115	10— 80	325— 10	240—325	115—240
25°	100—110	—	80— 85	100—110	15— 80	325— 15	240—325	110—240

關於各緯度地區即以 (一) 所述之方法，計算其率參數，沙漠之 Z_0 值為 0.03cm，雪面掩蔽即採用 Deacon 之研究結果，取 0.1cm。根據計算區糙率參數之立場，在 50°N 至 70°N 間即取 5 度之間隔，求糙率參數之緯度剖面。如果所指定之緯度，在表 2 中某一個地區時，其糙率參數即以該地區計算之，所指定之緯度如介在二個緯度地區，即取兩地區之 Z_0 值之平均

值。估計糙率參數之子午線剖面值及前所討論之海洋糙率即按照四季分類，總括於表 3。這些數值將代表有關 5 度緯度地區之特定緯度中之 Z_0 值。同樣的方法，關於南半球之記錄亦經 Kung 與 Lettau 所提及。

為促進研究北美洲大陸更詳細的地轉拉力係數與能量消散，吾人必須估計該大陸之水平擾亂與糙率參數之時季變化。

表3: 各地區糙率參數之估計值

Table 4. Estimated values of aerodynamic roughness parameter z (cm) for indicated regions and seasons, as a function of geographic latitude (deg)

月 份 Month	地區 Area	Latitude	Western North America	Central North America	Eastern North America	North America	Atlantic Ocean	Europe- Africa	Asia (including USSR)	Pacific Ocean
Dec.-Feb.		65° N	1.7	1.2	—	1.4	0.1	3.9	9.3	0.1
		70°	1.7	1.2	—	1.4	0.1	3.9	9.3	0.1
		60°	1.7	7.3	31	6.9	0.1	1.4	4.2	0.1
		55°	4.6	25.	31	35.	0.1	0.51	1.9	0.1
		50°	9.2	3.85	31	12	0.1	1.2	0.63	0.1
		45°	1.9	0.55	19	2.3	0.1	2.9	0.21	0.1
		40°	5.0	2.0	25	4.1	0.1	2.3	0.76	0.1
		35°	13	22.	65	17	0.1	1.8	2.7	0.1
		30°	13	58	90	16	0.1	0.27	3.1	0.1
Mar.-May		25°	12	—	106	12	0.1	0.04	3.4	0.1
		70° N	4.2	1.2	—	1.9	0.1	4.7	11	0.1
		65°	4.2	1.2	—	1.9	0.1	4.7	11	0.1
		60°	4.2	8.4	34	8.9	0.1	3.2	7.3	0.1
		55°	59	29	34	42	0.1	2.2	5.0	0.1
		50°	25	12	34	27	0.1	4.0	1.8	0.1
		45°	12	5.2	34	13	0.1	7.5	0.67	0.1
		40°	14	7.6	47	13	0.1	4.1	1.5	0.1
		35°	16	29	81	22	0.1	2.2	3.5	0.1
		30°	18	77	111	21	0.1	0.30	3.8	0.1
		25°	15	—	124	15	0.1	0.041	4.1	0.1

Jun.-Aug.	70° N	19	5.5	—	8.7	0.1	17	30	0.1
	65°	19	5.5	—	8.7	0.1	17	30	0.1
	60°	19	30	136	35	0.1	18	30	0.1
	55°	162	123	136	141	0.1	18	29	0.1
	50°	77	67	136	87	0.1	22	7.6	0.1
	45°	37	32	100	41	0.1	26	2.0	0.1
	40°	32	24	86	32	0.1	8.5	3.5	0.1
	35°	22	53	118	34	0.1	2.8	6.1	0.1
	30°	18	99	133	24	0.1	0.34	5.6	0.1
Sep.-Nov.	70° N	5.2	1.2	—	2.1	0.1	12	11	0.1
	65°	5.2	1.2	—	2.1	0.1	12	11	0.1
	60°	5.2	11	82	13	0.1	7.3	9.8	0.1
	55°	109	71	82	87	0.1	4.5	8.6	0.1
	50°	40	25	82	47	0.1	7.0	3.0	0.1
	45°	15	12	69	22	0.1	11	1.1	0.1
	40°	17	15	65	20	0.1	5.0	2.3	0.1
	35°	18	32	84	24	0.1	2.3	4.9	0.1
	30°	18	75	103	21	0.1	0.31	4.3	0.1
	25°	15	—	121	15	0.1	0.041	3.7	0.1

爲計算西方的區糙率參數，中部與東部北美州即分配測量，指定糙率參數加以修正，將其結果總括於以基本使用地之詳細記錄，對經度 5 度，緯度 10 度之表 4。

表 4: 北美州糙率參數估計值與季節之關係

Table 4: Regional distribution of estimated aerodynamic roughness parameter z (cm) for indicated geographic latitude, longitude, and season over the North American continent.

季 節 Season	經 度 Longitude	緯 度 Latitude	70°N	65°	60°	55°	50°	45°	40°	35°	30°	25°
Dec.-Feb.		65°W			31	31						
		75°	1.2	1.2	31	31	31	19	12			
		85°	1.2	1.2		25	25	2.5	2.0	56	106	
		95°	1.2	1.2	5.4	27	3.8	0.53	8.2	22	58	
		105°	1.2	1.2	7.3	37	5.9	1.0	13	10	12	12
		115°	1.2	1.2	7.3	46	9.2	2.0	13	13	12	
		125°	1.2	1.2	7.3	46	9.2					
		135°		1.2	7.4							
		145°	1.7	1.4								
Mar.-May.		155°	1.7	1.7	1.7							
		65°			34	34						
		75°	1.2	1.2	34	34	34	34	34			
		85°	1.2	1.2		29	29	13	7.3		124	
		95°	1.2	1.2	5.8	32	12	5.3	11	29	77	
		105°	1.2	1.2	8.4	45	17	7.9	15	14	15	15
		115°	1.2	1.2	8.4	59	25	12	15	16	15	
		125°	1.2	1.2	8.4	59	25					
		135°		1.2	8.4							
Jun.-Aug.		145°	4.2	2.2								
		155°	4.2	4.2	4.2							
		65°			136	136						
		75°	5.5	5.5	136	123	136	98	71			
		85°	5.5	5.5		123	123	44	28	102	132	
		95°	5.5	5.5	26	127	123	29	28	53	99	
		105°	5.5	5.5	30	146	67	34	28	22	17	17
		115°	5.5	5.5	30	162	12	37	28	22	17	
		125°	5.5	5.5	30	162	77					
Sep.-Nov.		135°		5.5	30		77					
		145°	19	10								
		155°	19	19	19							
		65°			82	82						
		75°	1.2	1.2	82	82	82	70	56			
		85°	1.2	1.2		71	71	31	15	73	121	
		95°	1.2	1.2	9.2	75	25	14	14	32	75	
		105°	1.2	1.2	11	93	32	13	18	16	15	15
		115°	1.2	1.2	11	109	40	16	18	18	15	
		125°	1.2	1.2	11	109	40					
		135°		1.2	11							
		145°	5.2	2.5								
		155°	5.2	5.2	52							

表3中所示之糙率參數的子午線剖面情形，即反映在大陸植物掩蔽之特色。一般而言，沿子午線之植物型式分布與 Z_0 值有關，即熱帶森林的植物其 Z_0 值為高，矮小之天然植物與農作物等， 20°N 至 30°N 處者 Z_0 值較小，而屬於寒帶的森林地帶與針葉森林地區，其 Z_0 值却為高，沿着北方其 Z_0 值漸次減小，尤其是在美國的矮小植物與廣闊未開墾地區即更為明顯。

在北半球， Z_0 值之緯度分布，據吾人所選定之各大陸區之間，有明顯之不同。即在歐州與北非州之低、中緯度地區，屬於廣闊矮小植物與沙漠地帶者，其 Z_0 值為極小。但當北美州與亞州之同一緯度，屬於茂盛植物地區者，其 Z_0 值却較高。在歐州與亞州之高緯度地區，因為北方的針葉森林與其他森林之分佈不同，所以比北美州，其糙率參數為高。

在表4中證明，於北美州北部、中部與東部各地區之間反映各地區的特色，其原因為各地區之植物型式之特性有差別。於北美州中緯度之中部，為矮小的天然植物與大量的農作物地區，因此其 Z_0 值為小，其他部分即為森林地區與其他型式之天然植物，因此就產生較高之糙率參數。然而這些反映，於夏季為小，原因在夏季一般農作物均在茂盛，尤其是此地區，即以小麦為主要的農作物。

計算糙率參數之季節傾向，可反映其生物氣候學的循環情形。在熱帶附近地區稍有季節之變化。然而受農作物的成長，生物氣候學的植物高度等影響，於中至高緯度地區，夏季其糙率呈大，冬季即為小。尤其是秋季凋萎的矮小植物及冬季被霜雪所蓋之地區，其糙率參數確有季節性之變化。

(三)關於地轉風速與風速計高度，風

速比之試驗概念

前述所求得之 Z_0 值，可利用於計算地轉拉力係數與能量消散。由植物掩蔽，估計陸上大氣力學的有效糙率之概念，在物理學上似為合理。這種方法可利用Thonson (1962) 在「大氣境界層之氣候學」上所得之結果，而且可計算在任何高度之實際風速與地面地轉風之比。Lettau (1959) 曾證實此「比」對測出地面滑度有直接的關係。風速之計算與觀測值之比較，將規定以氣候平均值之項式求出局部 Z_0 值之簡單試驗，即如以地風速與等壓線所成之角，可簡單求出地面摩擦相同。

Johnson (1962) 試做理論風與實際風速之旋形

參數，曾對散在美國四個站之高空風等之觀測記錄加以分析。Kung (1959) 亦使用 Nebraska 之農業年鑑，以如 (4.1) 所述之方法將 Drexel, Nebraska 為中心，在100 Mile之範圍，取八個45度之扇形以便計算 Z_0 值之特別研究，其結果如圖2所示。Drexel

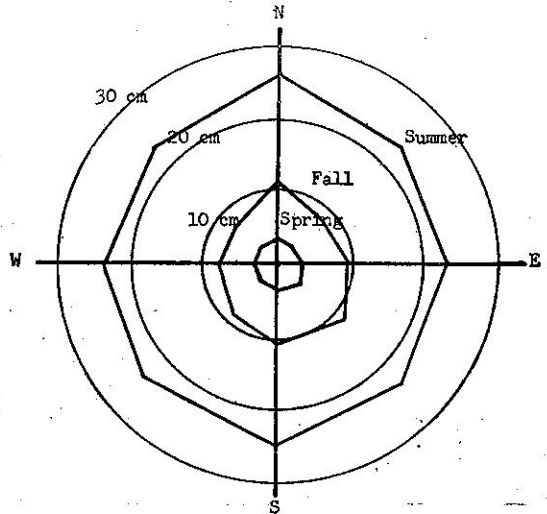


圖2: 糙率參數之平均值及其分佈

Fig. 2: Average aerodynamic roughness parameter Z (cm) for vegetation 0 to 100 miles radial distance from Drexel, Nebraska.

與Nebraska即由Johnson (1962) 分析，其他三站之 Z_0 值，即直接由表4以內插法求之。但是大規模所估計之 Z_0 值幾乎無法期待滿足於單站記錄分析之應用，僅在風旋參數之理論值與引用值之間，稍有一致而已。Johnson (1962) 特別報告：「由各地地形試求該地地面風向與 α_0 角之關係，但其結果並無發現明顯之因素。如以Drexel站來講，該站雖然近於平原之端，而且沿向東方約一公里處即有峻峭的 Plate River Valley，但在該站，對西風之 α_0 角，事實上並無發現明顯不平常之關係」而且在 Drexel 站由植物掩蔽所估計之糙率參數，對西方向亦無不平常的現象。如圖2所示，吾人可推定，對陸上有效糙率之構造，植物掩蔽較地形更具有代表性的。

風速計高度之風速 V_A 對地轉風速 V_g 之比 (V_A/V_g) 之氣候學的平均值，可使於有關方向與實際摩擦效果之迅速測驗，吾人可以任何高度之風速 V_z 對地轉風 V_g 之比 (V_z/V_g) 及 (V_A/V_g) 連合使用。測驗前述之大陸糙率的效果。

關於北美州大陸，於風速計高度之子午線剖面之月平均風速，經 Lauscher 求出。該處之氣候測站較為稠密均勻，因此能期待可信與代表性之估計。利用高度 1000mb 之地轉風計算風速 V_g ，可得到所測之子午線剖面平均比 (V_A/V_g) ，將此數值與 (V_z/V_g) 比較時，在相對時季之地轉拉力係數與高度之間，可

成簡單之風剖面對數方程式，即：

$$V_z/V_g = 2.5C \ln(1+Z/Z_0) \dots\dots\dots ⑦$$

實際上風速計之高度可隨站變動，所以 Z 可取 400、800 及 1600cm 等之範圍。茲將其結果以地理學高度之函數，記述於表 5，並且圖解於圖 3。由實際情形看來，Lauscher 的氣候學記錄可為各測候站概略變化傾

表 5: 各層風速與地轉風速之比 (北美州)

Table 5. Ratio of observed wind speed at anemometer level to 1000mb geostrophic wind speed (V_R/V_R) using Lauscher's (1951) V-values, and computed ratios V_R/V_R at three levels $z=4m, 8m, \text{ and } 16m$ over the North American Continent, as functions of geographic latitude (deg)

Ratio		Ratios				Ratios		Ratios			
緯度 Latitude	月份 Month	V_A/V_g	V_4/V_g	V_8/V_g	V_{16}/V_g	緯度 Latitude	月份 Month	V_A/V_g	V_4/V_g	V_8/V_g	V_{16}/V_g
一月 January	70° N	.369	.447	.532	.590	平均 Average	45° N	.447	.255	.325	.397
	65°	.253	.470	.528	.585		40°	.437	.273	.342	.412
	60°	.317	.374	.437	.500		35°	.387	.265	.334	.404
	55°	.338	.263	.332	.402		30°	.385	.287	.353	.421
	50°	.291	.331	.394	.458		25°	.568	.307	.371	.436
	45°	.341	.427	.484	.541		70°	.529	.427	.489	.552
	40°	.384	.400	.460	.520		65°	.454	.424	.486	.548
	35°	.316	.308	.372	.437		60°	.420	.325	.392	.460
七月 July	30°	.386	.311	.375	.441		55°	.332	.216	.285	.358
	25°	.398	.323	.386	.449		50°	.344	.265	.331	.400
	70°	.689	.379	.446	.514		45°	.394	.341	.405	.469
	65°	.655	.377	.444	.511		40°	.411	.337	.401	.466
	60°	.523	.275	.347	.420		35°	.352	.287	.353	.421
	55°	.325	.168	.237	.314		30°	.386	.299	.364	.431
	50°	.396	.198	.267	.341		25°	.483	.315	.379	.443

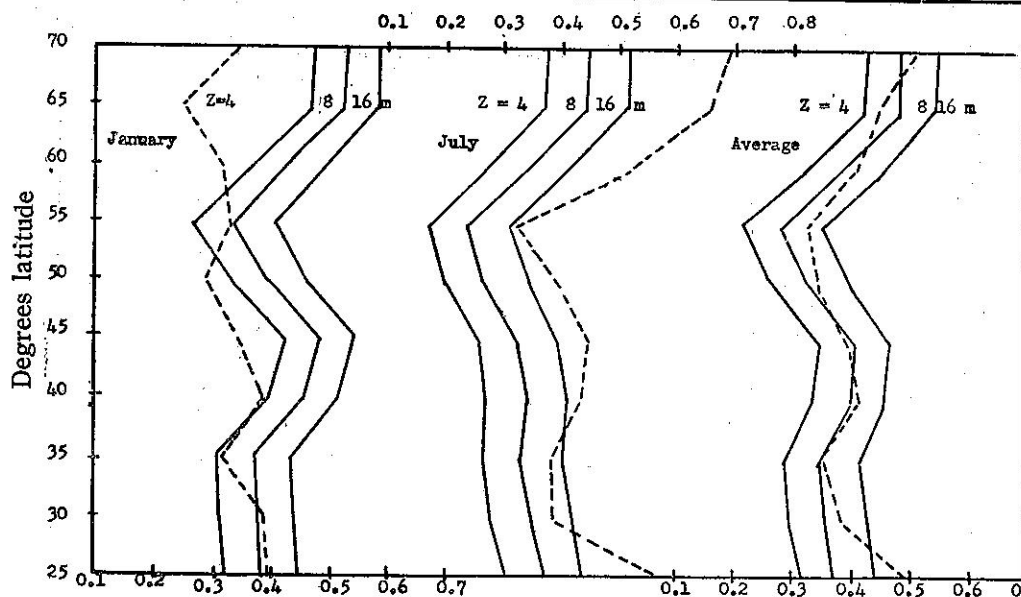


圖 3: 北美州地轉風與各層風速比之子午線剖面

Fig. 3: Meridional profiles of ratio between wind speed at height Z and geostrophic wind speed over the North American Continent. Climatologic means derived from Lauscher (1951) (dashed lines) in comparison with computed ratios for $Z=4, 8, \text{ and } 16m$.

勢之綜合，同時包含透熱效應 (Diabatic effect)。其比較須以一月及七月之平均值為限，然後 (V_A/V_g) 與 (V_z/V_g) 之一致，是滿足與支持大陸糙率參數之代表性。吾人須注意，(V_z/V_g) 在一月中有較低的傾向，同時在七月中却較相對的 (V_z/V_g) 為高，但季節傾向在一月與七月平均值之中，完全不必考慮。這種現象即反映季節性之熱變化在地面層極為穩定，吾人同時應注意，這些位離 (Departures)，在低 Z_0 值之緯度為大，高 Z_0 值之緯度較小。這種事實至少對一定範圍而不同植物掩蔽的熱源相差有關。譬如 Lanschow 在 Wisconsin 南方以飛機測定地面溫度時，發現在日間農地氣溫最高，丘陵、森林處即較低，然而吾人應明瞭，熱的穩定與地面濕度之變化情形，實在需要更進一步的實驗工作。

於陸上熱效應對氣候的平均值，每日或每年週期性的呈為中立時，沿海洋上即顯出持久的加熱或冷卻的帶層或地區。Lettau 指出海洋上，各緯度所觀測的有關 (V_A/V_g)，主要為反映海洋與大氣交接面間之透熱效應。

關於北太西洋與太平洋之實測值 (V_A/V_g) 與計算值 (V_z/V_g) 之推出，即使用 Lauscher 所求出之 V_A 值，並且設 Z_0 等於 0.1cm。

茲將一月與七月之平均值，記述於表 6，以地理學的緯度之函數圖解於圖 4。在圖 4 之 (V_A/V_g) 為

表6:各層風速與地轉風速之比(北太西洋、北太平洋)

Table 6: Ratios of observed wind speed at anemometer level to 1000 mb geostrophic wind speed V/V_g using Lauscher's (1951) V_A -values, and computed ratios V_z/V_g at three anemometer level $z=4m$, 8m, and 16m over the North Atlantic and Pacific Oceans, as functions of geographic latitude (deg)

地區 Area	緯度 Latitude	Ratios			
		V_A/V_g	V_4/V_g	V_8/V_g	V_{16}/V_g
北大西洋 North Atlantic	70°N	.582	.581	.630	.678
	65°	.575	.578	.626	.675
	60°	.605	.574	.622	.670
	55°	.630	.568	.615	.663
	50°	.543	.563	.610	.657
	45°	.523	.562	.609	.661
	40°	.692	.570	.617	.665
	35°	.623	.565	.612	.659
	30°	.806	.570	.618	.665
	25°	.620	.559	.605	.652
北大西洋 North Pacific	70°N	—	.587	.636	.685
	65°	—	.583	.632	.681
	60°	—	.574	.622	.670
	55°	.598	.576	.624	.673
	50°	.444	.564	.611	.658
	45°	.482	.563	.610	.657
	40°	.618	.568	.616	.654
	35°	.538	.561	.608	.655
	30°	.651	.566	.613	.660
	25°	.545	.558	.604	.651

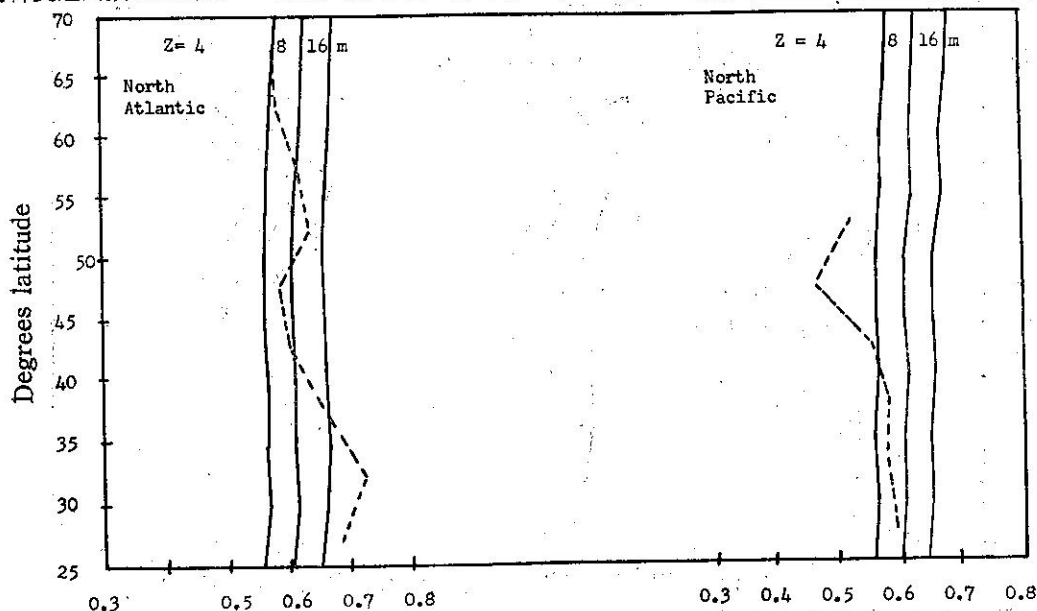


圖4:北太西洋、太平洋地轉風與各層風速比之子午線剖面

Fig. 4: Meridional profiles of ratio between wind speed at height Z and geostrophic wind speed over the North Atlantic and Pacific Ocean Climatological means derived from Lauscher (1951) (dashed line in comparison with computed ratios for $Z=4, 8$, and $16m$).

兩相接近之緯度，在有限範圍，取其平均代表海洋的 V_A 值。Gordon證明 (V_z/V_g) 與圖4間有極似的傾向，但沿3.5N之 V_z/V_g 即有甚多之偏差。因境界層構造之透熱理論尚有缺點，於低、中緯度熱穩定時，甚難在 (V_A/V_g) 與 (V_z/V_g) 之間看出有分別。而且關於海洋之假定值 Z_0 等於0.1，尚為不確實。如(3.3)所討論的 Z_0 數值，僅在其次第 (Order) 似為正確而已。

雖然，在複雜與有限的地面構造上，能以適當的實驗值與統計記錄，將大陸糙率參數示如植物掩蔽之生物高度函數，但由前述結果，似顯示這些地域重點 (Area-weighted) 之 $\log Z_0$ 平均值較海洋之假定值更為實在。因此在表三，四所介紹的 Z_0 值，實可被考慮為假設的。

五、地轉拉力係數的時季變化與分佈

及能量消散

(一) 方法與記時

利用Lettau的各種參數分析表與理論風係數，重力旋轉 (Stress spirals)，以地面Rossby常數表示如下之單價函數，即 $R_{00} = V_{g0}/(Zf)$ 。而 $\log R_{00}$ ，地轉拉力係數，及地面壓力與地轉風所成之角 α_0 間

，所建立之回歸方程式 (Regression equation) 各如下：

$$C = 0.205/(\log R_{00} - 0.556) \pm 0.0004 \dots \textcircled{8}$$

$$\text{與 } \alpha_0 = -3.03 + 173.58/\log R_{00} \pm 0.19 \dots \textcircled{9}$$

這些回歸方程式在 $\log R_{00}$ 為4.5至9.5之範圍均可滿足 C 與 α_0 ，然而 C 與 α_0 之標準偏差各為 ± 0.0004 與 ± 0.19 之程度。

Lettau 之消能方程式 (Energy dissipation equation) 為

$$E = V_g \tau_0 \cos \alpha_0 = \rho C^3 V_g^3 \cos \alpha_0 \dots \textcircled{10}$$

常用於求境界層之全體能量消散率。

為計算 V_g 即使用，自1945年至1955年11年間，北半球1000mb等壓面之每日記錄，這些記錄均由美國氣象局供給，其原本 (Card deck) 為Wisconsin大學氣象學系所有。該記錄均經過檢查，並且將有懷疑的部份消除之。七至九年之記錄，將每月有疑問的部份消除後使用之。1000mb高度地轉風 V_g 之每月平均值，如每日平均值相同，以經線及緯度每5度之交點，自北緯25度至70度取360點之一定格子計算之，這個1000mb地轉風，屬為地面與大氣交接面地轉風，而假設在完全境界層中與高度無關。

表7: 北美州地轉風及拉力係數之月平均值

Table 7. North American Continent: Computed monthly means of geostrophic wind speed at 1,000mb surface V_g (cm/sec) and of geostrophic drag coefficient C (unit of 10^{-4}), as functions of geographic latitude (deg). 1945~1955.

緯度 Latitude	月份 Month V_g and C	12月 Dec.	1月 Jan.	2月 Feb.	3月 Mar.	4月 Apr.	5月 May.	6月 Jun.	7月 Jul.	8月 Aug.	9月 Sep.	10月 Oct.	11月 Nov.
70°N	V_g	928	934	904	923	879	787	748	694	734	767	927	1,019
	C	334	334	335	342	343	346	391	393	392	349	344	342
65°	V_g	950	1,017	999	974	931	803	686	708	784	843	943	984
	C	332	331	331	340	341	345	393	392	388	346	343	342
60°	V_g	1,234	1,211	1,188	1,124	1,025	911	821	780	850	1,003	1,119	1,212
	C	367	367	368	377	379	383	435	437	434	393	389	387
55°	V_g	1,152	1,182	1,097	1,061	972	846	768	769	818	978	1,078	1,167
	C	420	419	422	430	433	439	500	500	496	464	460	456
50°	V_g	1,439	1,473	1,383	1,392	1,307	1,164	1,112	1,000	1,019	1,153	1,182	1,424
	C	374	373	375	402	404	408	456	460	459	428	427	420
45°	V_g	1,362	1,388	1,288	1,269	1,147	1,032	955	874	885	1,059	1,136	1,326
	C	330	330	331	379	382	385	427	431	430	401	399	394
40°	V_g	1,012	1,054	1,039	1,108	1,087	993	963	824	765	867	876	1,011
	C	349	348	349	378	379	382	414	420	423	401	401	396
35°	V_g	1,192	1,163	1,165	1,192	1,136	1,062	968	832	833	946	926	1,118
	C	381	382	382	390	392	394	412	418	419	401	401	395
30°	V_g	971	980	1,019	1,113	1,106	1,054	968	818	790	558	890	976
	C	382	382	381	387	387	388	396	401	403	394	393	390
25°	V_g	1,023	1,006	1,081	1,136	1,184	1,063	1,039	830	784	916	949	1,050
	C	368	368	366	371	370	373	376	381	385	376	375	372

將各季節之大陸與局部的 Z_0 值，列述於表三與表四。Corialis 參數 f 即隨指定緯度而定。北半球緯度圈（每隔五度）之每月平均溫度乃從Gentilis (1958) 的表中摘取，以計算不同月份及緯度之空氣密度 ρ 。以此資料及 1000mb 表面每月地轉風速之聯合，再用上述之回歸方程式以及消能方程式，即可計算出、 R_{90} 、 C 、 α_0 及 E 。

所有計算工作均由 Wisconsin 大學數值分析實驗室之 CDC 1604 電動計算機執行之。Hutchins (1960) 的一個計劃被用作 1000mb 表面地轉風之計算。其他的計算則由本人計劃。

(二)地轉拉力係數的時季變化與陸上

海洋的分布及能量消散

在北半球，從1944至1954年期間，有關五個地區之

每月 1,000mb 表面地轉風速，地轉拉力係數及能量消散均被 CDC 1604 計算機詳細計出。此五個地區為：1. 北美州，2. 北大西洋，3. 歐洲至非洲，4. 亞州（包括蘇俄），5. 北太平洋。如表二所示，第一地區又細分為西部、中部及東部北美州等。該計算機亦計出該等數值之每月平均及每月能量消散值之標準偏差。

以後「月平均值即表示從1944到1954年所有年分之每月平均值，標準偏差為各年每月數值之相差。

將1000mb 地轉風速，及地轉拉力係數之月平均值列於表七。

能量消散及標準偏差之月平均值，示於表八。此兩表即表現子午線剖面及季節變化，於北美州大陸的結果。

表8:北美洲之消散能及其標準偏差之月平均值

Table 8. North American Continent: Computed monthly means and standard deviation of energy dissipation E (watts/m²), as functions of geographic latitud (deg). 1945~1955

月 份 Month 緯度 Latitude	12 月 Dec.	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 Mar.	4 月 Apr.	5 月 May.	6 月 Jun.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	9 月 Sep.	10月 Oct.	11月 Nov.
70° N	1.16 ± .23	1.20 ± .22	1.08 ± .16	1.18 ± .18	1.00 ± .21	.70 ± .081	.73 ± .14	.58 ± .080	.69 ± .21	.65 ± .098	1.15 ± .19	1.57 ± .30
65°	1.21 ± .23	1.50 ± .34	1.42 ± .34	1.34 ± .16	1.15 ± .22	.72 ± .068	.56 ± .092	.60 ± .11	.81 ± .19	.83 ± .16	1.18 ± .16	1.40 ± .38
60°	3.09 ± .37	3.07 ± 1.09	2.88 ± 1.08	2.47 ± .75	1.81 ± .33	1.27 ± .30	1.13 ± .21	.98 ± .29	1.24 ± .29	1.74 ± .44	2.43 ± .29	3.17 ± .59
55°	3.18 ± .84	3.52 ± 1.16	2.70 ± .47	2.53 ± .46	1.92 ± .33	1.25 ± .13	1.14 ± .17	1.15 ± .23	1.37 ± .27	2.17 ± .65	2.86 ± .48	3.73 ± .76
50°	4.93 ± .80	5.41 ± 1.49	4.46 ± 1.00	5.01 ± 1.01	4.07 ± .65	2.88 ± .53	2.97 ± .57	2.19 ± .49	2.30 ± .38	3.00 ± .50	3.29 ± .53	5.74 ± .63
45°	3.27 ± .53	3.54 ± 1.01	2.79 ± .38	3.34 ± .52	2.47 ± .59	1.80 ± .40	1.67 ± .26	1.28 ± .16	1.34 ± .25	2.05 ± .27	2.56 ± .41	4.07 ± .57
40°	1.47 ± .33	1.66 ± .36	1.57 ± .20	2.18 ± .35	2.05 ± .48	1.55 ± .26	1.61 ± .20	1.02 ± .15	.83 ± .10	1.13 ± .25	1.17 ± .24	1.73 ± .25
35°	2.78 ± .74	2.61 ± .73	2.56 ± .38	2.82 ± .40	2.45 ± .52	1.98 ± .29	1.61 ± .27	1.03 ± .13	.94 ± .13	1.45 ± .37	1.37 ± .29	2.36 ± .30
30°	1.49 ± .45	1.54 ± .47	1.69 ± .32	2.23 ± .36	2.18 ± .43	1.87 ± .21	1.49 ± .21	.92 ± .17	.83 ± .13	1.03 ± .18	1.15 ± .13	1.53 ± .36
25°	1.61 ± .49	1.58 ± .66	1.87 ± .43	2.21 ± .62	2.32 ± .79	1.78 ± .32	1.68 ± .25	1.05 ± .23	.77 ± .25	1.15 ± .19	1.33 ± .51	1.78 ± .60

北半球八地區之 V_g 、 C 、 E 及 E 之標準偏差之季節平均值可由平均每月平均值而獲得之。關於時季之分割即：(1)12月至翌年2月為冬季，(2)3月至5月為春

季，(3)6月至8月為夏季，(4)9月至11月為秋季。子午線剖面的 V_g 及 C 均列於表九至表十二， E 值及其標準偏差則列於表十三至表十六。

表9：各地區地轉風及拉力係數之平均值（12月至2月）

Table 9: December-through-February-means of geostrophic wind speed at 1000mb surface V_g (cm/sec) and of geostrophic drag coefficient C (unit of 10^{-4}) for indicated areas, as functions of geographic latitude (deg) 1945~1955.

緯度 Latitude	地區 Area V_g and C	Western North America	Central North America	Eastern North America	North America	Atlantic Ocean	Europe- Africa	Asia (including USSR)	Pacific Ocean
70°N	V_g C	1,011 337	896 331	— —	922 334	1,294 276	1,038 357	964 385	1,075 279
65°	V_g C	1,167 333	945 329	— —	988 331	1,342 275	1,276 351	1,074 381	1,213 277
60°	V_g C	1,499 327	1,127 371	1,176 417	1,211 367	1,523 273	1,161 328	1,206 353	1,505 273
55°	V_g C	1,124 431	1,011 412	1,199 413	1,144 420	1,558 271	1,014 308	1,022 336	1,324 274
50°	V_g C	1,445 367	1,387 344	1,610 401	1,432 374	1,771 269	1,260 320	1,174 308	1,765 268
45°	V_g C	1,465 324	1,191 303	1,558 384	1,346 330	1,693 268	1,083 341	1,089 287	1,699 268
40°	V_g C	1,023 354	1,045 332	1,050 403	1,035 349	1,223 271	968 336	855 314	1,349 270
35°	V_g C	1,196 373	1,164 390	1,147 430	1,173 382	1,329 268	878 331	987 337	1,443 267
30°	V_g C	976 374	1,073 423	935 446	990 382	867 273	696 293	868 340	931 272
25°	V_g C	1,037 367	— —	1,035 442	1,037 367	980 268	735 259	876 338	975 268

表10：各地區地轉風及拉力係數之平均值（3月至5月）

Table 10: March-through-May means of geostrophic wind speed at 1000mb surface V_g (cm/sec) and of geostrophic drag coefficient C (unit of 10^{-4}) for indicated regions, as functions of geographic latitude (deg). 1945~1955.

緯度 Latitude	地區 Area V_g and C	Western North America	Central North America	Eastern North America	North America	Atlantic Ocean	Europe- Africa	Asia (including USSR)	Pacific Ocean
70°N	V_g C	956 362	837 333	— —	863 344	1,055 280	943 366	860 393	947 281
65°	V_g C	918 363	892 331	— —	903 342	1,145 278	1,059 362	933 389	990 280
60°	V_g C	1,184 354	965 380	1,086 423	1,020 380	1,216 276	945 353	978 375	1,337 275
55°	V_g C	910 451	1,001 418	1,006 424	960 434	1,214 275	776 347	888 365	1,073 277
50°	V_g C	1,241 403	1,367 377	1,318 412	1,288 405	1,491 271	897 357	922 337	1,533 271
45°	V_g C	1,112 380	1,123 356	1,302 409	1,149 382	1,479 270	842 374	980 311	1,536 269
40°	V_g C	1,166 380	1,010 366	880 433	1,063 380	1,088 273	802 356	763 332	1,188 271
35°	V_g C	1,181 381	1,143 401	1,003 445	1,130 392	1,209 270	651 342	848 347	1,208 270
30°	V_g C	1,197 379	1,070 434	900 457	1,031 387	828 274	700 295	772 348	824 273
25°	V_g C	1,118 371	— —	812 459	1,118 371	829 271	738 259	692 349	947 269

表11：各地區地轉風及拉力係數之平均值（6月至8月）

Table 11: June-through-August-means of geostrophic wind speed at 1000mb surface V_g (cm/sec) and of geostrophic drag coefficient C (unit of 10^{-4}) for indicated regions, as functions of geographic latitude (deg). 1945~1955.

緯度 Latitude	地區 Area V_g and C	Western North America	Central North America	Eastern North America	North America	Atlantic Ocean	Europe- Africa	Asia (including USSR)	Pacific Ocean
70°N	V_g	701	732	—	725	834	758	98	718
	C	420	377	—	392	284	413	438	286
65°	V_g	630	746	—	726	825	763	767	738
	C	423	376	—	391	283	411	433	285
60°	V_g	929	777	918	817	949	755	697	968
	C	406	431	491	435	280	412	435	280
55°	V_g	706	791	871	785	1,053	674	660	842
	C	511	491	491	499	277	416	435	281
50°	V_g	1,118	1,014	942	1,044	1,161	692	686	1,151
	C	450	448	484	458	275	419	383	275
45°	V_g	925	856	1,010	905	1,117	604	730	1,086
	C	424	421	462	429	274	427	342	275
40°	V_g	1,053	683	608	851	786	704	717	802
	C	411	416	474	419	278	380	354	278
35°	V_g	1,071	787	629	868	807	575	753	928
	C	394	437	483	416	276	351	365	274
30°	V_g	936	944	625	859	683	744	750	804
	C	388	450	482	400	277	296	359	274
25°	V_g	901	—	647	901	781	732	714	884
	C	381	—	472	381	272	259	353	270

表12：各地區地轉風及拉力係數之平均值（9月至11月）

Table 12: September-through-November-means of geostrophic wind speed at 1000 mb surface V_g (cm/sec) and of geostrophic drag coefficient C (unit of 10^{-4}) for indicated regions, as functions of geographic latitude (deg), 1945~1955.

緯度 Latitude	地區 Area V_g and C	Western North America	Central North America	Eastern North America	North America	Atlantic Ocean	Europe- Africa	Asia (including USSR)	Pacific Ocean
70°N	V_g	993	879	—	905	1,193	993	900	1,019
	C	367	332	—	345	278	393	394	280
65°	V_g	935	909	—	924	1,216	1,142	994	994
	C	368	327	—	344	277	387	389	280
60°	V_g	1,276	1,041	1,169	1,110	1,325	1,115	1,027	1,323
	C	358	386	456	390	275	371	383	274
55°	V_g	985	1,053	1,180	1,074	1,393	939	972	1,183
	C	474	452	453	460	273	361	379	276
50°	V_g	1,183	1,317	1,347	1,253	1,549	1,054	963	1,540
	C	421	401	445	425	270	368	348	270
45°	V_g	1,178	1,136	1,286	1,174	1,451	887	979	1,534
	C	386	379	436	398	270	384	321	269
40°	V_g	992	861	802	915	961	785	778	1,072
	C	391	392	450	399	275	362	342	273
35°	V_g	1,041	984	932	996	1,038	616	906	1,119
	C	388	410	449	399	272	345	355	271
30°	V_g	881	1,014	855	908	785	626	807	792
	C	388	435	457	392	274	298	350	274
25°	V_g	971	—	935	971	867	678	751	885
	C	374	—	451	374	270	260	344	270

表13：各地區消散能及其標準偏差之月平均值（12月至2月）

Table 13: December-through-February-means of energy dissipation E (watts/m²) and standard deviation of E , as functions of geographic latitude (deg). 1945~1955.

緯度 Latitude	地區 Area	Western North America	Central North America	Eastern North America	North America	Atlantic Ocean	Europe- Africa	Asia (including USSR)	Pacific Ocean
70°N		1.62 ± .66	1.04 ± .21	— —	1.14 ± .20	2.28 ± .70	1.96 ± .82	1.72 ± .51	1.39 ± .66
65°		2.40 ± .92	1.19 ± .26	— —	1.37 ± .30	2.44 ± .57	3.31 ± .92	2.26 ± .42	1.90 ± .81
60°		4.17 ± 1.12	2.48 ± .74	3.54 ± 1.57	3.01 ± .85	2.80 ± .66	2.19 ± .75	2.76 ± .72	3.37 ± 1.10
55°		3.19 ± 1.52	2.17 ± .65	3.58 ± 1.54	3.15 ± .82	3.66 ± 1.16	1.37 ± .75	1.50 ± .31	2.22 ± .38
50°		4.93 ± 1.35	3.92 ± 1.29	7.95 ± 1.88	4.93 ± 1.10	5.05 ± 1.03	2.56 ± .76	1.94 ± .69	4.96 ± .84
45°		4.09 ± 1.11	1.92 ± .62	6.61 ± 2.18	3.20 ± .64	4.34 ± 1.15	1.82 ± .55	1.32 ± .34	4.32 ± .76
40°		1.57 ± .39	1.48 ± .34	2.12 ± .46	1.57 ± .30	1.64 ± .41	1.42 ± .47	.76 ± .21	2.15 ± .41
35°		2.71 ± .70	2.72 ± .78	3.10 ± .97	2.65 ± .62	2.05 ± .70	.88 ± .30	1.28 ± .40	2.56 ± .64
30°		1.46 ± .39	2.41 ± .67	1.80 ± .73	1.57 ± .41	.59 ± .26	.34 ± .02	.86 ± .22	.70 ± .16
25°		1.68 ± .53	— —	2.37 ± 1.10	1.68 ± .53	.79 ± .25	.31 ± .11	.95 ± .39	.77 ± .19

表14：各地區消散能及其標準偏差之月平均值（3月至5月）

Table 14: March-through-May-means of energy dissipations E (watts/m²) and standard deviation of E , as functions of geographic latitude (deg).

緯度 Latitude	地區 Area	Western North America	Central North America	Eastern North America	North America	Atlantic Ocean	Europe- Africa	Asia (including USSR)	Pacific Ocean
70°N		1.46 ± .40	.82 ± .12	— —	.96 ± .15	1.27 ± .36	1.49 ± .51	1.21 ± .20	.91 ± .28
65°		1.33 ± .33	.96 ± .13	— —	1.07 ± .15	1.54 ± .34	2.09 ± .58	1.52 ± .36	1.03 ± .35
60°		2.61 ± .88	1.56 ± .38	2.77 ± .92	1.85 ± .46	1.76 ± .44	1.33 ± .40	1.70 ± .58	2.29 ± .61
55°		1.76 ± .45	1.99 ± .40	2.14 ± .60	1.90 ± .31	1.74 ± .44	.72 ± .39	1.12 ± .18	1.21 ± .21
50°		3.53 ± .81	4.28 ± 1.26	4.74 ± 1.41	3.99 ± .73	3.02 ± .70	1.12 ± .36	1.09 ± .21	3.20 ± .39
45°		2.32 ± .69	2.09 ± .52	4.29 ± 1.08	2.54 ± .50	2.90 ± .80	.98 ± .17	1.09 ± .17	3.18 ± .76
40°		2.55 ± .62	1.59 ± .32	1.52 ± .56	1.93 ± .36	1.17 ± .23	.80 ± .33	.57 ± .12	1.48 ± .31
35°		2.56 ± .72	.66 ± 2.75	2.28 ± .57	2.42 ± .40	1.59 ± .50	.39 ± .15	.86 ± .29	1.52 ± .30
30°		2.68 ± .60	2.49 ± .80	1.64 ± .48	2.09 ± .33	.53 ± .18	.35 ± .16	.62 ± .12	.50 ± .16
25°		2.10 ± .58	— —	1.18 ± .26	2.10 ± .58	.49 ± .13	.31 ± .074	.46 ± .10	.70 ± .11

表15：各地區消散能及其標準偏差之月平均值（6月至8月）

Table 15: June-through-August-means of energy dissipation E (watts/m²) and standard deviation of E, as functions of geographic latitude (deg). 1945~1955.

地區 緯度 Area Latitude	Western North America	Central North America	Eastern North America	North America	Atlantic Ocean	Europe- Africa	Asia (including USSR)	Pacific Ocean
70°N	.69 ± .20	.65 ± .17	— —	.67 ± .14	.58 ± .17	.85 ± .22	.72 ± .18	.38 ± .17
65°	.52 ± .17	.66 ± .14	— —	.66 ± .13	.55 ± .17	.85 ± .28	.92 ± .15	.40 ± .14
60°	1.50 ± .52	.94 ± .19	1.94 ± .53	1.11 ± .26	.78 ± .15	.81 ± .22	.70 ± .17	.85 ± .25
55°	.94 ± .25	1.25 ± .41	1.66 ± .41	1.22 ± .22	1.04 ± .21	.62 ± .30	.58 ± .094	.56 ± .15
50°	3.00 ± .63	2.20 ± .47	2.03 ± .62	2.49 ± .48	1.36 ± .24	.65 ± .29	.53 ± .15	1.34 ± .30
45°	1.52 ± .41	1.18 ± .26	2.30 ± .56	1.43 ± .22	1.21 ± .29	.43 ± .10	.50 ± .085	1.11 ± .19
40°	2.11 ± .27	.61 ± .15	.54 ± .22	1.15 ± .15	.43 ± .10	.55 ± .15	.51 ± .11	.46 ± .079
35°	2.04 ± .42	.99 ± .25	.59 ± .18	1.19 ± .18	.47 ± .14	.27 ± .14	.61 ± .11	.68 ± .13
30°	1.35 ± .27	1.76 ± .46	.60 ± .27	1.08 ± .17	.28 ± .06	.42 ± .16	.58 ± .11	.45 ± .15
25°	1.16 ± .24	— —	.63 ± .27	1.16 ± .24	8.40 ± .099	.30 ± .098	.49 ± .12	.56 ± .13

表16：各地區消散能及其標準偏差之月平均值（9月至11月）

Table 16: September-through-November-means of energy dissipation E (watts/m²) and standard deviation of E, as functions of geographic latitude (deg). 1945~1955.

地區 緯度 Area Latitude	Western North America	Central North America	Eastern North America	North America	Atlantic Ocean	Europe- Africa	Asia (including USSR)	Pacific Ocean
70°N	1.73 ± .58	0.96 ± .18	— —	1.12 ± .20	1.78 ± .61	1.96 ± .76	1.38 ± .23	1.15 ± .35
65°	1.43 ± .44	1.01 ± .22	— —	1.14 ± .24	1.78 ± .24	2.82 ± 1.22	1.83 ± .49	1.10 ± .46
60°	3.24 ± .83	1.99 ± .42	3.76 ± 1.20	2.45 ± .44	2.20 ± .52	2.36 ± .72	1.97 ± .41	2.29 ± .96
55°	2.40 ± .51	2.69 ± .88	3.78 ± 1.03	2.92 ± .63	2.52 ± .80	1.42 ± .78	1.56 ± .33	16.0 ± .49
50°	3.37 ± .89	4.25 ± .96	5.51 ± 1.67	4.01 ± .56	3.33 ± .64	2.02 ± .99	1.32 ± .27	3.28 ± .60
45°	2.89 ± .90	2.42 ± .53	4.51 ± 1.33	2.89 ± .42	2.68 ± .52	1.26 ± .44	1.15 ± .29	3.27 ± .98
40°	1.65 ± .45	1.14 ± .30	1.22 ± .49	1.34 ± .25	.83 ± .16	.80 ± .36	.64 ± .16	1.15 ± .35
35°	1.89 ± .38	1.75 ± .38	1.82 ± .74	1.73 ± .32	1.01 ± .25	.36 ± .16	1.08 ± .29	1.25 ± .40
30°	1.14 ± .35	2.12 ± .67	1.40 ± .56	1.24 ± .22	.42 ± .082	.25 ± .071	.72 ± .17	.43 ± .12
25°	1.42 ± .43	— —	1.78 ± .54	1.42 ± .43	.54 ± .11	.24 ± .071	.59 ± .18	.58 ± .083

利用北半球E之時季平均及其標準偏差，自25°N至70°N之北半球各季節及每年環帶 (Zonal) 平均值即可算出。參考表十七計算環帶平均值時，在概括表所示地區之補充數值須被應用。在補充計算中，取糙

率值為 $Z_0=0.014\text{cm}$ ，假設性質的被用於 Greenland (如由 Dalrymple, Lettau 及 Wallaston 在 Antarctic 大陸所得的一樣)。以北美州大陸之值代替該州西部、中部及東部之值，用作計算環帶平均值。

表17：消散能及其標準偏差之季節與年平均值

Table 17: Seasonal and annual zonal means of energy dissipation E (watts/m²) and standard deviation of E, as functions of geographic latitude (deg). 1945~1955.

緯度 Latitude	月份 Month	12~2月 Dec.-Feb.	3~5月 Mar.-May.	6~8月 Jun.-Aug.	9~11月 Sep.-Nov.	平均年 Annual mean
70°N		1.62 ± .47	1.08 ± .23	.62 ± .16	1.32 ± .31	1.16 ± .29
65°		1.97 ± .45	1.35 ± .30	.73 ± .15	1.58 ± .45	1.14 ± .34
60°		2.83 ± .78	1.76 ± .51	.84 ± .20	2.18 ± .50	1.90 ± .50
55°		2.29 ± .70	1.32 ± .27	.74 ± .22	1.90 ± .50	1.56 ± .40
50°		3.78 ± .88	2.42 ± .45	1.18 ± .27	2.63 ± .53	2.50 ± .53
45°		3.05 ± .70	2.19 ± .50	.94 ± .18	2.28 ± .55	2.12 ± .48
40°		1.41 ± .32	1.10 ± .23	.54 ± .10	.87 ± .22	.98 ± .22
35°		1.89 ± .54	1.31 ± .32	.62 ± .13	1.10 ± .30	1.23 ± .32
30°		.76 ± .29	.67 ± .17	.51 ± .13	.55 ± .13	.62 ± .18
25°		.80 ± .26	.59 ± .12	.48 ± .13	.56 ± .13	.61 ± .16
Weighted mean		1.94 ± .51	1.33 ± .30	.70 ± .16	1.40 ± .34	1.34 ± .33

* Weighted mean (25°-70°N) averaged by cost as weighting factors

在討論表 7 至表16所得之結果時，應記得地轉拉力係數乃決定於表面 Rossby 常數，而此值又決定於 V_g 、 Z_0 及 f 三個外界參數。參數 f 為地理緯度的數字函數，低緯度之小 f 值有產生小的 C 值之傾向，而高緯度之大 f 值則有產生大的 C 值傾向，參數 V_g 在低緯度，一般的為小，在中緯度則增加，在高緯度則再次減低。夏季緯度相當低的 V_g 值在亞州、歐州却隱藏此趨勢。小 V_g 傾向於產生大 C ，反之亦然。在海洋上， Z_0 假設為常數，而 C 值之緯度分布則決定於 V_g 及 f ，在太平洋及北大西洋近極區，其 C 值相對的增大，此乃由於小 V_g 及大 f 值所致，在中緯度與低緯度之海洋上， C 之緯度分布無顯著之變化。此乃由於 V_g 與 f 值大略平行之故。雖然在近極區與其他緯度的海面上， C 之差相當小，其差數不過在0.00270至0.0285之間。與海洋相反之情況下，在大陸上 Z_0 乃是 C 值之決定因素，而 Z_0 乃可跟着10之幾次方而變。所

有大陸上之 C 值均遠較海洋上為大，其值在0.030至0.050之間。大陸溫帶至高緯度地區 C 有較大之值，其各大陸部分之緯度分布乃依靠 Z_0 分佈之特性。換言之，乃反映出植物掩蔽緯度之一致性。

檢討能量消散方程式時，很容易得知， C 及 V_g 乃為決定 E 值之分佈及季節性變動之主要因素。另外 ρ 及 $\cos \alpha_0$ 只為次要之因素。由於 V_g 及 C 均大，故在中緯度大陸之 E 值較低緯度或高緯度之 C 值為高，因此 E 值之環帶平均分佈，在50°N呈高峯狀態，而向南北兩端減少。圖 5 至圖11表示其結果。在北半球全部及區域性之 E 之每月或各時季變化均作為地理緯度之函數而繪圖。

大陸之 C 值顯然較海洋為高。然而大陸海洋間之 E 值則並無相關的對照關係。當歐洲至非洲，及亞洲大陸代表 E 值較低的地區時，北美洲大陸、北大西洋及太平洋却代表 E 值較高的一群。此兩地 E 值之對照，

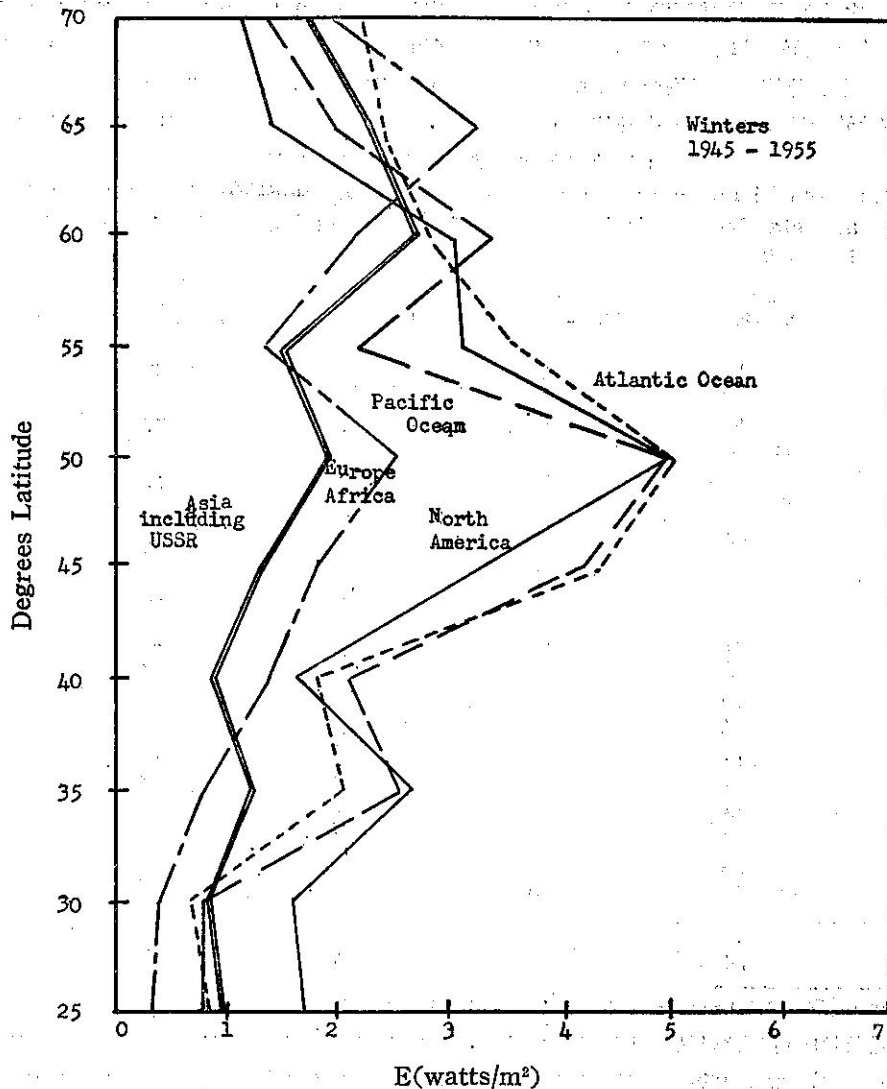


圖5: 北半球消散能之季平均與區域之關係 (12月翌年2月)

Fig. 5: Area contrast of means seasonal energy dissipation E over the Northern Hemisphere. (December through February).

在中緯度特別明顯，圖5與圖6表示北半球五地區之冬夏季子午線剖面之E值。北美洲之高E值乃由於該洲一般的 V_g 及C值為大之故。與歐洲至非洲及亞洲大陸之E值，成對照之海洋之高E值，乃由於在海洋 V_g 較大之原因。北大西洋與太平洋地區，E分佈之密切關係。即可重視的。

北美洲之西部、中部、東部地區，E值之區域性對照亦很顯明，雖然緯度之傾向甚為相似。冬季北美洲東部中緯度地區，其極端E值特別明顯，此乃由 V_g 及C均甚高之故。其他，區域性之對照，乃由C或 V_g 之差異，或由C或 V_g 兩者共同之影響。表7及表8表示北美洲1月至7月，E值之地域性對照。

C及E值之季節性變動已經斷定報導，在陸地夏季相當大的 Z_0 與 V_g 產生之C值，較在冬季相當小的Z及較大之 V_g 所生之C值為大。除了在低緯度外，冬夏季之C值之差，約為0.0050至0.1000，海洋上夏天之小 V_g 值，較在冬季之有產生大C值之傾向，然而C值冬夏之差不過0.0008，其數值較陸上為小，冬季E值通常較夏季為高。多數情形約為2至3之因素，此一現象，可以冬季地轉風速較高之事實解釋說明。在冬春夏秋季節中，北半球25°N至70°N地區，E值之重點平均數 (Weighted average) 各為 1.94 ± 0.51 、 1.33 ± 0.30 、 0.70 ± 0.16 及 $1.40 \pm 0.33 \text{ watt/m}^2$ 。

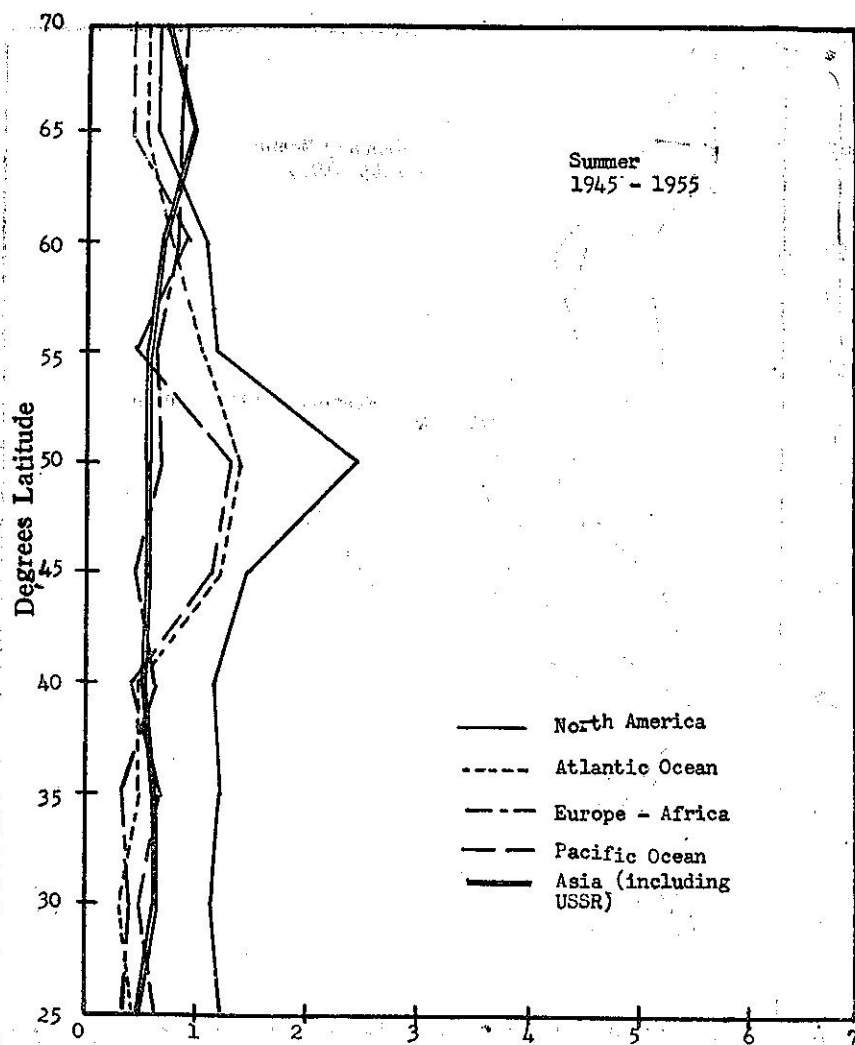


圖6: 北半球消散能之季平均與區域之關係 (6至8月)

Fig. 6: Area contrast of mean seasonal energy dissipation E over the Northern Hemisphere. (June through August).

圖9及圖10表示北美洲及北半球之 E 值時季對照。春天與秋天， C 值及 E 值可考慮為冬季及夏季之過渡值 (Transitions)。

雖然， E 值之緯度及時季變化保持一定，但 E 值本身乃顯示其逐年均有波動，此波動在表13至17中，以 E 之標準偏差表示之。圖11表示北美洲 E 值每年一月份之波動，此乃由1951至1955年，五年間者。 E 值每年均在一個相當的範圍內變動，尤其是在中及高緯度，而一特性的 E 值緯度分佈趨勢乃保持不變。 E 值每年之波動乃由於水平壓力傾度 (Horizontal pressure gradient) 逐年變化之結果。

本研究獲得從 25°N 至 70°N 之能量消散之累年平

球平均值，於表 17 中之為 $1.34 \pm 0.33 \text{ watt/m}^2$ ，此值與 Lettau (1954) 所預測之 700mb 高度以下的磨擦能量消散值 1.4 watt/m^2 ，甚為吻合。此乃以 700mb 高度之風速與地轉拉力之環帶平均值的子午線分布為基礎所計算者。Brunt (1941) 早期預測，在 1km 以下之能量消散值為 3 watt/m^2 ，以其自己之判斷亦認為可能過高。由能量方程式之平衡，Jensen 預測，在 1000mb 至 925mb 下之能量消散值為 3.36 watt/m^2 ，此值乃為 1958 年 1 月北半球 20°N 之估計值。此值可與本研究， 25°N 至 70°N 冬季環帶平均值 1.94 ± 0.51 比較。在 1953 年 1 月，White 及 Saltzman 得到北美洲之數值為 5 watt/m^2 (30°N 至 60°N 及 70°N 至 120°N)

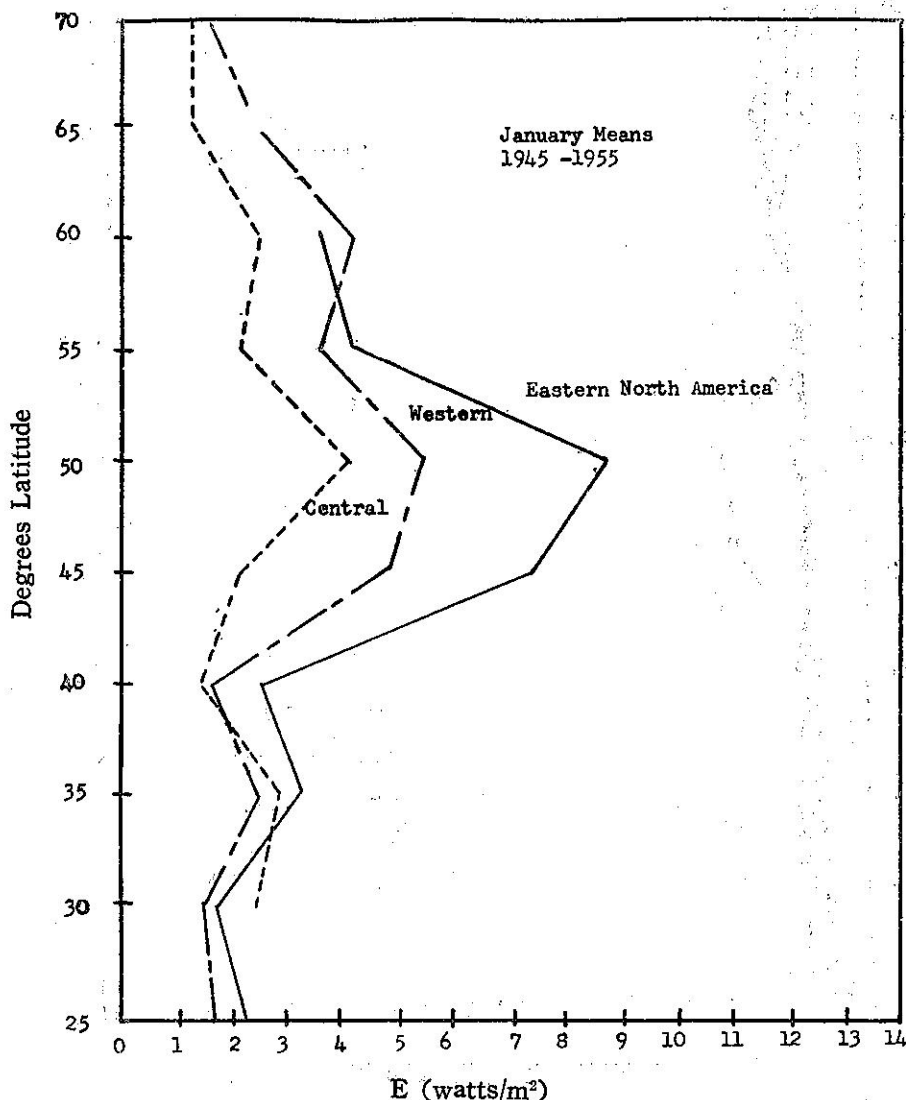


圖7: 北美洲一月消散能與區域之關係

Fig. 7: Regional contrast of January energy dissipation E over the North American Continent.

，此乃由位能及動能之轉變而預算之。此值較本研究之相當值為大（表8及表11），然而此為包括整個對流層之消散，John (1962)，在美國的四個高層氣象站計算E值時，發現境界層之消散值為0.5至0.4之範圍，此值與本研究之相當值一致。（看表8及表22至25）。

(三) 北美洲大陸能量消散之時季變化

與區域分布

1. 估計地轉拉力係數之根據。

地轉拉力係數及能量消散，曾於北美洲大陸58個

網點加以計算，CDC 1604 計算機算出，包括在1945至1955年間之每一個有效單獨月份之 V_g 、C、E月平均及E之標準偏差。

V_g 、C、E及E之標準偏差之季節平均乃由各月平均計算。1000mb之地轉風速及地轉拉力係數之季節平均，列於表18至21。此為所示各緯、經度地區之數值。能量消散相當值及能量消散之標準偏差之季節平均值即列於表22至25。與表4之 Z_0 相當值合起來，乃為建立北美洲大陸之境界層特性之地理分佈。

C值之全大陸性分配表現，由北至南，與由東到西的變化，一樣明顯。此乃反映 Z_0 與 V_g 之特性分布

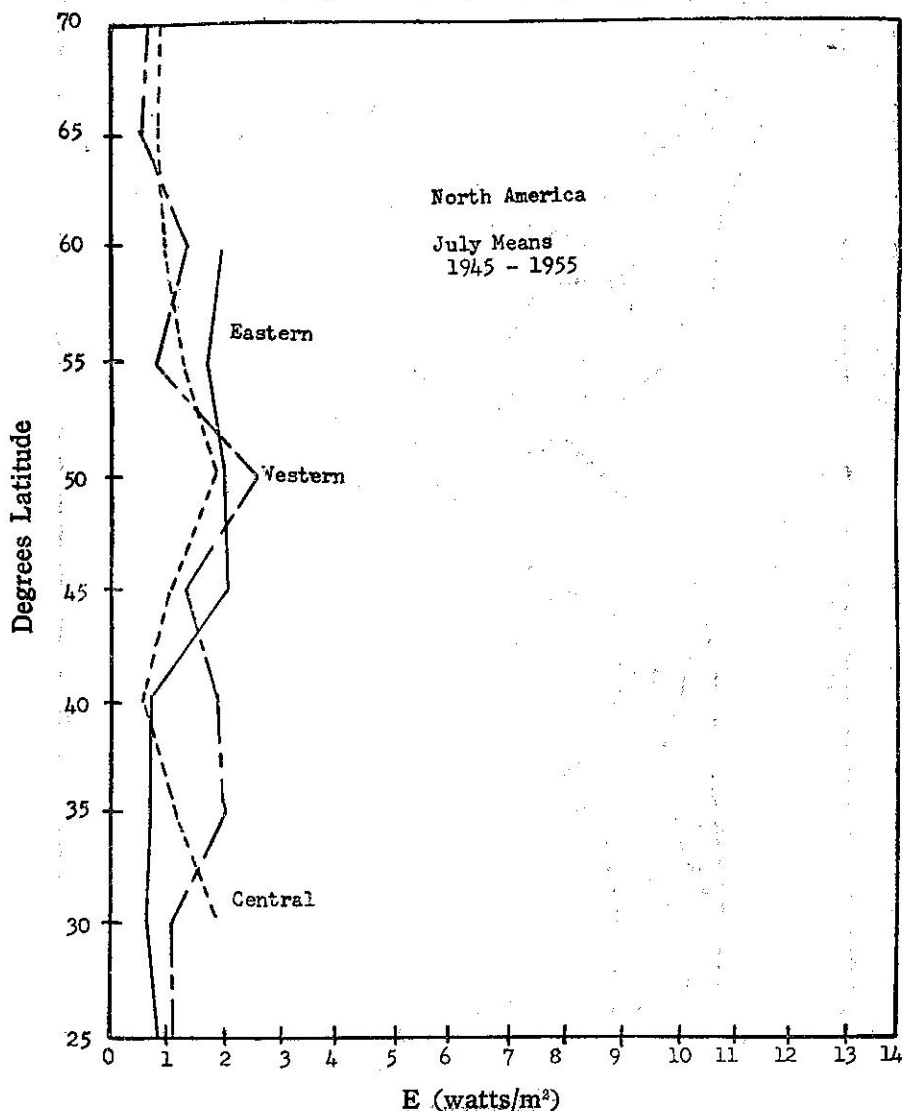


圖8: 北美州七月消散能與區域之關係

Fig. 8: Regional contrast of July energy dissipation over the North American Continent.

。一般而言，C值之分佈，受 Z_0 之影響較受 V_g 之影響為高。在30°N至35°N及沿55°N處，C值相當的大，在農作物及山上矮小植物地區，C值較小，在全大陸C值的每年週期性變化，相當重要。即拉力係數在夏季甚高，此乃由 Z_0 大及 V_g 小之結果，在春季秋季，其值即為過渡值。

在北美州大陸，能量消散趨勢現出顯明的區域對照。通常在 V_g 有區域差時，E的分佈即有跟着 V_g 之傾向，然而C仍然是第二個影響的因素。在冬季沿着太平洋西北部及大西洋東北部，呈現其能量消散之

巔峯。在西北E的最高值為(5.66至6.90)watt/m²，在55°N至65°N處發現。同時在東北，E的最高值(5.11至6.30 watt/m²)存在於45°N至50°N處。兩者高能量消散地區之中心，均在50°N處，向着內部發展。低E值(約1watt/m²)地區，在加拿大北部最為普通，亦有發生於35°N以南之西岸。

在夏季西北及東北海岸，其能量消散之高峯，仍然存在。然較冬季為弱，例如50°N、125°W為3.87watt/m²，45°N及75°W處為1.96watt/m²，另一個高度能量消散之中心，即出現在35°N至40°N處

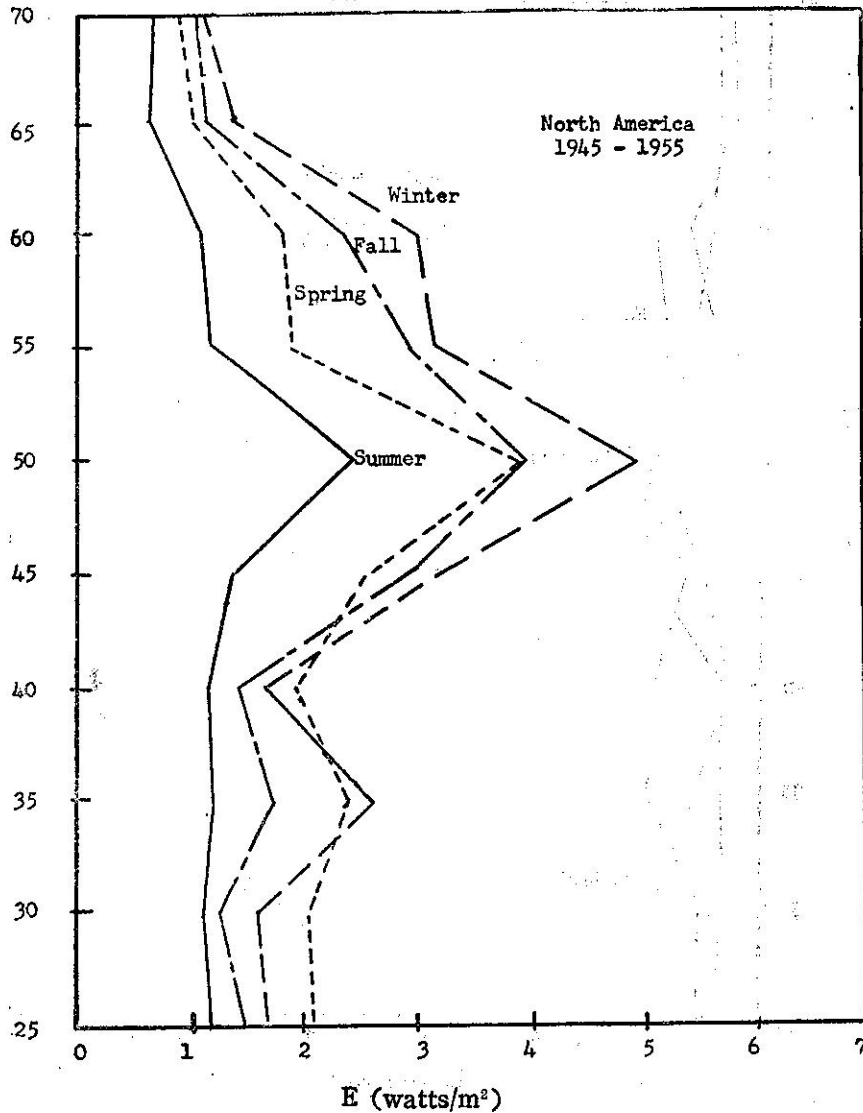


圖9: 北美州消散能之季平均

Fig. 9: Seasonal mean energy dissipation E over the North American Continent.

之西海岸，其 E 值則在 2.91 至 5.59 watt/m^2 ，本大陸其他地區，在夏季 E 值均低，通常低於 1 watt/m^2 ，春季與秋季，可想為冬季與夏季間之過渡值。

E 值之逐年波動，存在於大陸，此可以由 E 之標準偏差值發現。變動率係數（即標準偏差，對 E 的時季平均值之比）約在 30% 至 50% 左右。在消散能量高的核心地區，可發現 50% 以上的變動率。然而如前所言， E 值的逐年波動不能改變地理分布的趨勢或能量消散的季節循環性。

2. 與使用 Cressman 的地皮拉力係數所得結果之比較

Cressman (1960) 欲估計大氣地皮拉力係數 (Skin drag effect) C_d 。該數定義如下。 $C_d = \tau / \rho V_H^2$ 上式 V_H 乃表示摩擦層頂 (Frictional layer) 的風速，Cressman 假設 C_d 為每一單位長度的氣流跡 (Air trajectory) 之山脈數及山脈高的函數，而由地形圖上估計 C_d 值，由其半球地圖地皮拉力係數， C_d 值可在北美州之網點中內插而得，而此內插法由地圖之不夠精確而顯著偏誤。如假設 V_H 相當於 1000 mb 表而之地轉風速，則 C_d 定須相當於 C^2 ，或 C_d 定須相當於地轉拉力係數 C ，將由 Cressman 地圖內插及用相當 C

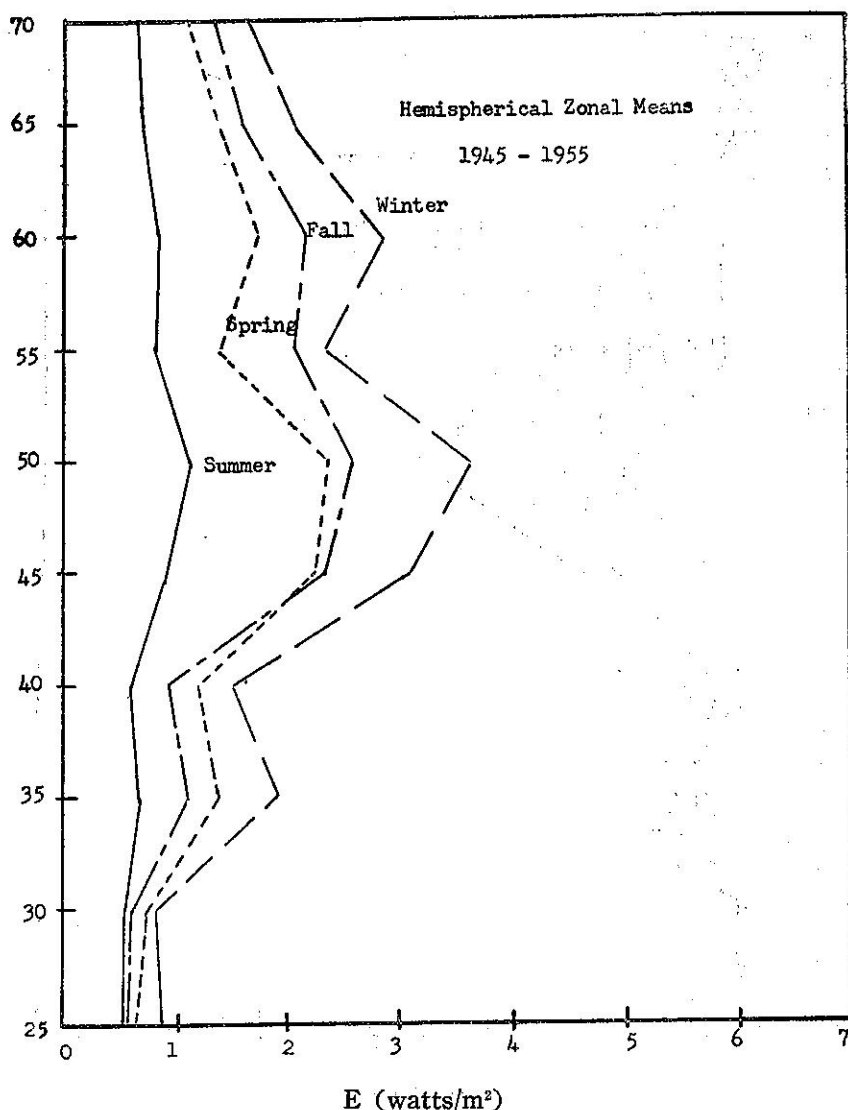


圖10：北半球消散能之季平均

Fig. 10: Seasonal mean energy dissipation E over the Northern Hemisphere.

值而得之冬夏季之 C_a 值，沿北美洲特選三個經度（40, 50, 60°N）在表26中比較。由 C_a 之定義， C_a 無季節性變化，因其乃地理上變化之量，當這些數值滿足於該州東半部時，其Cressman的 $\sqrt{C_a}$ 值在Rocky山，明顯的大於吾人所求之 C 值。與Cressman之觀念相較，吾人考慮地形高度之變化，較多於考慮地形崎嶇的結構（看第2章第1節之討論）。

設同樣之 α_0 （該值定為表面Rossby常數之函數），能以 C_a 代替 C^2 值而計算消散值。表27即表示北美洲，一月之E值，乃用地轉拉力係數 C 及Cressman

的地皮拉力係數 C_a 分別計得。由此發現用Cressman的 C_a 值所計算之平均E值，較用第5章第2節所討論之各方法計算者為大。而在Rocky山區產生極端之高度消散值，此似乎由於Cressman過份估計山區之摩擦效應。Cressman試圖假設，海洋表面的 C_a 等於零，此須要海洋，無能量消散，方可成立，然此為不切實際者。

參考第4章第3節可總言之，由氣候學的平均風速與地轉風速平均值之比，作地轉拉力之有效測驗時，很難支持大於吾人 C 值兩倍有餘之 $\sqrt{C_a}$ 值。

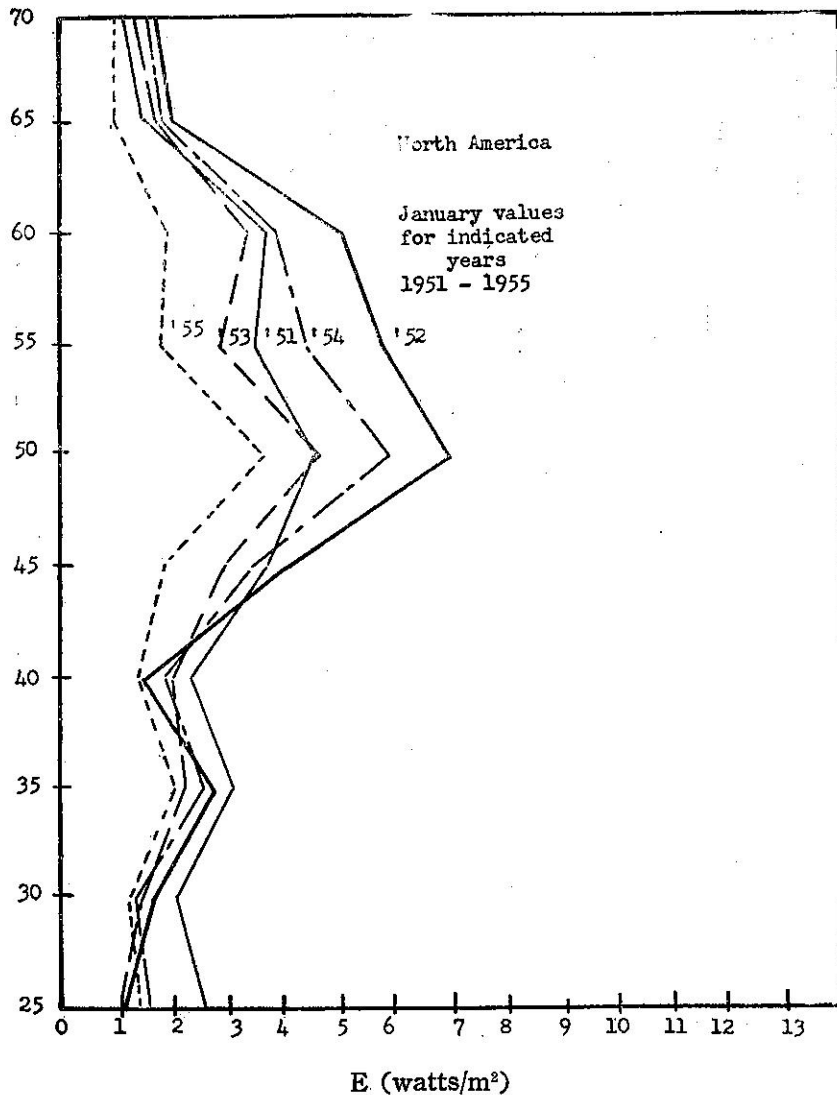


圖11：北美州一月消散能之年變化（1951年至1955年）

Fig. 11: Year to year contrast in January energy dissipation E over the North American Continent from 1951 to 1955.

六、討 論

在此舉出之估計大陸及區域性之糙率參數有着限制，在測量土地利用及植物掩蔽，利用很多不同的資料。因為統計記錄時常不甚完全，故須要某種程度加以調整，外插法須要經濟地圖的支持，特別是俄國方面，因植物高度被考慮為引起陸上地區之大氣力學糙率之主要因素，森林更佔重要之地位，密度之分布及形態學，特別是植物高度，一定要考慮為外加的因素。然因為缺乏適當的資料，故此等因素，在此不加以

考慮。此問題，可在相當小的地區詳細的實驗，加以研究來解決之。別的限制可用沙漠及雪地的 Deacon 的 Z_0 值以求解決。然而一般而言，本研究的大地區糙率參數能具代表，只須要略加修正即可。

由於缺乏可靠的資料，對海洋的糙率參數，須假設為常數，如此則在估計地轉拉力係數時，消除一個動力的自由度，然而在處理大規模氣候上的數值時，只要海洋糙率參數，對風速的變動很小則此限制將可容忍。

表18：北美州之地轉風及拉力係數之區平均值（12月至2月）

Table 18: December-through-February: Regional distribution of means of Latitude geographic wind speed at 1000mb surface V_g (cm/sec) and geostrophic drag coefficient C (unit of 10^{-4}) over the North American Continent. 1945~1955.

緯度 Latitude 經度 Longitude Vg and C		70°N	65°	60°	55°	50°	45°	40°	35°	30°	25°
65°W	Vg C			1,305 413	1,246 413						
75°	Vg C	816 334	936 329	1,176 417	1,161 415	1,482 404	1,393 388	1,050 378			
85°	Vg C	880 332	940 329		1,059 415	1,446 397	1,216 339	1,159 329	1,155 424	935 453	
95°	Vg C	944 330	945 329	943 367	1,012 415	1,328 345	1,180 303	931 371	1,164 393	1,073 423	
105°	Vg C	832 333	916 330	868 379	896 432	1,276 358	1,277 315	972 383	1,206 366	1,098 371	1,218 363
115°	Vg C	915 331	890 331	917 377	1,005 437	1,518 365	1,465 325	1,031 381	1,196 373	853 378	
125°	Vg C	866 332	910 331	1,447 364	1,353 424	1,567 364					
135°	Vg C		1,038 328	1,579 361							
145°	Vg C	951 339	1,174 329								
155°	Vg C	1,072 336	1,182 334	1,421 328							

表19：北美州之地轉風及拉力係數之區平均值（3月至5月）

Table 19: March-through-May: Regional distribution of means of geostrophic wind speed at 1000mb surface V_g (cm/sec) and geostrophic drag coefficient C (unit of 10^{-4}) over the North American Continent. 1945~1955.

緯度 Latitude 經度 Longitude Vg and C		70°N	65°	60°	55°	50°	45°	40°	35°	30°	25°
65°W	Vg C			1,120 422	1,006 424						
75°	Vg C	742 336	892 331	1,086 423	962 425	1,262 414	1,207 412	880 420			
85°	Vg C	816 334	942 329		1,018 417	1,369 404	1,141 385	990 366	1,088 436	900 462	
95°	Vg C	889 332	946 329	894 371	1,001 422	1,365 376	1,129 356	1,031 377	1,143 404	1,070 434	
105°	Vg C	858 333	915 330	865 382	900 441	1,178 391	1,123 367	1,079 385	1,070 380	1,320 371	998 375
115°	Vg C	824 333	872 331	819 384	856 453	1,279 402	1,112 381	1,397 377	1,181 382	1,074 378	
125°	Vg C	810 334	863 331	951 381	921 451	1,281 402					
135°	Vg C		863 332	1,153 374							
145°	Vg C	894 364	884 348								
155°	Vg C	1,018 360	947 362	1,148 355							

表20：北美州之地轉風及拉力係數之區平均值（6月至8月）

Table 20: June-through-August: Regional distribution of means of geostrophic wind speed at 1000mb surface V_g (cm/sec) and geostrophic drag coefficient C (unit of 10^{-4}) over the North American Continent. 1945~1955.

緯度 Latitude 經度 Longitude		Vg and C		70°N	65°	60°	55°	50°	45°	40°	35°	30°	25°
65°W	Vg					914	875						
	C					492	491						
75°	Vg		749	767	918	843	885	947	608				
	C		377	375	491	493	487	465	465				
85°	Vg		778	831		844	992	865	622	731	625		
	C		376	373		488	477	435	425	469	482		
95°	Vg		807	818	751	792	1,036	843	744	784	944		
	C		374	373	427	493	447	419	419	431	450		
105°	Vg		743	784	721	693	952	870	755	703	815	661	
	C		377	373	434	507	454	424	418	409	389	391	
115°	Vg		762	748	649	686	1,192	925	1,489	1,071	1,060		
	C		376	375	438	513	447	425	394	397	381		
125°	Vg		652	991	697	719	1,235						
	C		381	378	435	511	446						
135°	Vg			626	850								
	C			382	427								
145°	Vg		657	608									
	C		422	402									
155°	Vg		744	642	881								
	C		417	420	408								

表21：北美州之地轉風及拉力係數之區平均值（9月至11月）

Table 21: September through-November: Regional distribution of means of geostrophic wind speed at 1000mb surface V_g (cm/sec) and geostrophic drag coefficient C (unit of 10^{-4}) over the North American Continent. 1945~1955

緯度 Latitude 經度 Longitude		Vg and C		70°N	65°	60°	55°	50°	45°	40°	35°	30°	25°
65°W	Vg					1,163	1,178						
	C					456	453						
75°	Vg		876	935	1,150	1,147	1,328	1,238	802				
	C		332	330	456	454	445	438	445				
85°	Vg		887	980		1,115	1,373	1,179	909	976	855		
	C		332	329		450	438	411	391	442	463		
95°	Vg		898	968	941	1,053	1,261	1,110	813	985	1,014		
	C		332	329	383	455	402	385	391	412	435		
105°	Vg		1,063	932	882	919	993	1,075	901	994	928	1,064	
	C		333	330	392	470	419	385	397	386	381	372	
115°	Vg		887	900	791	897	1,210	1,174	1,144	1,041	835		
	C		332	330	395	479	420	387	389	389	384		
125°	Vg		775	855	1,124	1,051	1,353						
	C		335	332	385	472	416						
135°	Vg			839	1,271								
	C			333	381								
145°	Vg		922	916									
	C		369	350									
155°	Vg		1,064	992	1,259								
	C		365	366	358								

表22：北美州之消散能及其標準偏差之區平均值（12月至2月）

Table 22: December-through-February: Regional distribution of means of energy dissipation E (watts/m²) and standard deviation of E over the North American Continent. 1945~1955.

緯度 Latitude 經度 Longitude	70°N	65°	60°	55°	50°	45°	40°	35°	30°	25°
65°W			4.79 ± 2.17	4.16 ± 1.77						
75°	.81 ± .24	1.19 ± .44	3.54 ± 1.57	3.36 ± 1.51	6.30 ± 1.74	5.11 ± 1.65	1.90 ± .42			
85°	1.04 ± .39	1.20 ± .47		2.47 ± .90	5.76 ± 1.86	2.59 ± .87	2.01 ± .58	3.09 ± .98	1.84 ± .75	
95°	1.26 ± .53	1.24 ± .51	1.48 ± .55	2.20 ± .82	3.07 ± 1.26	1.89 ± .70	1.31 ± .41	2.80 ± .98	2.41 ± .67	
105°	.90 ± .41	1.19 ± .61	1.20 ± .48	1.64 ± .64	2.91 ± 1.28	2.76 ± 1.14	1.58 ± .54	2.84 ± .82	2.07 ± .70	2.76 ± 1.26
115°	1.17 ± .40	1.07 ± .55	1.49 ± .86	2.55 ± 1.06	5.06 ± 1.77	4.25 ± 1.67	1.86 ± .65	2.83 ± .69	1.00 ± .31	
125°	.98 ± .41	1.10 ± .43	5.39 ± 2.67	5.86 ± 2.75	5.54 ± 1.66					
135°		1.68 ± .74	6.90 ± 3.59							
145°	1.36 ± .54	2.41 ± 1.10								
155°	1.92 ± .84	2.48 ± 1.00	3.98 ± 1.09							

表23：北美州之消散能及其標準偏差之區平均值（3月至5月）

Table 23: March-through-May: Regional distribution of means of energy dissipation E (watts/m²) and standard deviation of E over the North American Continent. 1945~1955.

緯度 Latitude 經度 Longitude	70°N	65°	60°	55°	50°	45°	40°	35°	30°	25°
65°W			3.07 ± 1.23	2.21 ± .81						
75°	.60 ± .20	.99 ± .35	2.77 ± .92	1.93 ± .79	4.28 ± .30	3.52 ± .99	1.45 ± .53			
85°	.81 ± .27	1.14 ± .37		2.13 ± .64	4.95 ± .29	2.57 ± .88	1.53 ± .35	2.80 ± .81	1.67 ± .49	
95°	1.02 ± .34	1.15 ± .34	1.21 ± .46	2.05 ± .58	3.88 ± 1.55	2.15 ± .76	1.77 ± .52	2.77 ± .89	2.49 ± .80	
105°	.94 ± .39	1.06 ± .32	1.14 ± .34	1.62 ± .45	2.68 ± 1.18	2.27 ± .83	2.17 ± .85	2.00 ± .63	3.52 ± 1.15	1.73 ± .76
115°	.81 ± .22	.94 ± .35	.98 ± .28	1.60 ± .58	3.60 ± .97	2.39 ± .90	4.39 ± 1.02	2.83 ± .94	1.93 ± .33	
125°	.76 ± .19	.92 ± .32	1.72 ± .74	1.54 ± .96	3.61 ± .98					
135°		.95 ± .31	2.82 ± 1.46							
145°	1.21 ± .34	1.15 ± .38								
155°	2.62 ± .50	1.47 ± .43	2.45 ± 1.09							

表24：北美州之消散能及其標準偏差之區平均值（6月至8月）

Table 24: June-through-August: Regional distribution of means of energy dissipation E (watts/m²) and standard deviation of E over the North American Continent.

緯度 Latitude 經度 Longitude	70°N	65	60	55	50	45	40	35	30	25
65°W			1.92 ± .47	1.70 ± .53						
75	.70 ± .21	.73 ± .26	1.95 ± .53	1.52 ± .44	1.73 ± .66	1.96 ± .55	.52 ± .21			
85	.79 ± .25	.93 ± .38		1.51 ± .55	2.32 ± .69	1.31 ± .37	.48 ± .15	.95 ± .30	.60 ± .27	
95	.87 ± .29	.89 ± .32	.85 ± .23	1.29 ± .51	2.29 ± .50	1.13 ± .25	.83 ± .23	1.04 ± .31	1.76 ± .46	
105	.72 ± .38	.78 ± .25	.77 ± .23	.90 ± .30	1.83 ± .82	1.29 ± .39	.82 ± .24	.66 ± .19	.94 ± .30	.48 ± .18
115	.79 ± .41	.69 ± .22	.58 ± .19	.89 ± .30	3.49 ± .94	1.49 ± .57	5.59 ± 1.17	2.91 ± .38	1.87 ± .35	
125	.55 ± .26	.56 ± .19	.74 ± .40	1.02 ± .41	3.87 ± 1.97					
135		.43 ± .17	1.26 ± .54							
145	.59 ± .18	.44 ± .18								
155	.82 ± .25	.57 ± .22	1.33 ± .49							

表25：北美州之消散能及其標準偏差之區平均值（9月至11月）

Table 25: September-through-November: Regional distribution of energy dissipation E (watts/m²) and standard deviation of E over the North American Continent.

緯度 Latitude 經度 Longitude	70°N	65°	60°	55°	50°	45°	40°	35°	30°	25°
65°W			3.69 ± .88	3.80 ± 1.15						
75°	.98 ± .32	1.12 ± .38	3.76 ± 1.20	3.51 ± 1.14	5.47 ± 2.14	4.12 ± 1.32	1.20 ± .48			
85°	1.01 ± .29	1.30 ± .46		3.24 ± 1.26	5.79 ± 1.92	3.21 ± 1.00	1.42 ± .61	2.01 ± .73	1.43 ± .57	
95°	1.03 ± .27	1.28 ± .51	1.46 ± .49	2.77 ± 1.03	3.45 ± .90	2.38 ± .59	.94 ± .25	1.82 ± .58	2.12 ± .67	
105°	.86 ± .24	1.15 ± .53	1.23 ± .33	1.93 ± .66	1.84 ± .64	2.10 ± .59	1.29 ± .46	1.68 ± .47	1.35 ± .51	2.06 ± .98
115°	1.01 ± .38	1.02 ± .45	.91 ± .26	1.89 ± .61	3.29 ± 1.31	3.00 ± 1.04	2.59 ± .92	1.96 ± .60	.94 ± .28	
125°	.70 ± .22	.89 ± .32	3.00 ± 1.15	3.29 ± 1.09	4.52 ± 2.03					
134°		.86 ± .44	3.82 ± 1.08							
145°	1.42 ± .49	1.30 ± .59								
155°	2.11 ± .82	1.73 ± .64	3.14 ± 1.18							

表26：北美州地轉拉力係數與地皮拉力係數之比較

Table 26: Examples of geostrophic drag coefficient C by Kung and skin-drag coefficient Cd by Cressman (1960) for the North American Continent. 1945-1955. C and $\sqrt{Cd}$ in unit of 10^{-4} .

經度 Longitude		135	125	115	105	95	85	75	65°W
緯度 Latitude									
60°N	$\sqrt{Cd}$	775	632	387	387	387	—	447	447
	C winter	361	364	377	379	367	—	417	413
	C summer	427	435	438	434	427	—	491	492
50	$\sqrt{Cd}$	—	616	748	387	387	387	500	—
	C winter	—	364	365	358	345	397	404	—
	C summer	—	446	447	454	447	477	487	—
40	$\sqrt{Cd}$	—	—	837	775	387	424	469	—
	C winter	—	—	381	383	371	329	378	—
	C summer	—	—	394	418	419	425	465	—

表27：北美州一月消散能平均值

Table 27: Comparison of January means of energy dissipation E (Watts/m²) over the North American Continent, Computed with geostrophic drag coefficient by Kung and skin drag coefficient by Cressman (1960). 1945-1955.

經度 Longitude		135°W	125	115	105	95	85	75	65	Mean
緯度 Latitude										
60°N	Ku*	8.17	6.94	1.74	0.94	1.39	—	3.58	4.94	3.96
	Cr**	38.54	21.58	1.88	0.98	1.55	—	4.19	5.86	10.65
50	Ku	—	6.07	5.37	3.58	3.22	5.90	6.93	—	5.18
	Cr	—	19.14	25.11	4.73	4.61	5.64	10.73	—	11.66
40	Ku	—	—	1.92	1.67	1.18	2.13	2.22	—	1.82
	Cr	—	—	9.35	6.90	1.29	3.57	3.46	—	4.91

*Ku=drag coefficient by Kung.

**Cr=drag coefficient by Cressman.

在計算能量消散方面，已使用正壓大氣 (Barotropic atmosphere) 至為有效的方程式。關於非正壓大氣 (Baroclinic atmosphere) 之能量消散的計算，Lettau (參閱Johnson 1962) 發展了一個近似方程式，即：

$$E \approx \tau_0 (\vec{V}_{g,0} + \vec{V}_H) / 2 = \tau_0 (V_0 + V_H) / 2 \dots \dots \dots (11)$$

上式 V_0 及 V_H 為在表面及摩擦層平行於 τ_0 的地轉風分力，Lettau 又調查在 100mb 參考高度 Richardson 係數 R_{100} 變動，對地轉拉力係數變化之依靠情形。在透絕與斷熱條件下的地轉拉力係數之比，必須假設一般的，依隨 Richardson 常數。此比值變化，即從中立狀態下「1」至準不穩定狀態下之「1.2」。而向較高（即穩定度增加）或較低（即不穩定度增加）於 R_{100} 之值，兩方面變化，其現象可假設為地轉拉力係數小於冷卻表面之斷熱值，而大於溫之和之表面，取

其平均即基於中間狀態之計算，能產生正確的幕次。故此當透熱效應計算在內時，能量消散值必須加以若干之修正。然而此項修正僅屬次要，而不影響本研究之氣象學上的趨勢。

為期11年的北半球 1000mb 之氣壓記錄，已測出，並取消可疑數值後，約有7至9年的每月記錄，可為有效。此應足夠獲得有關特殊分佈與季節性變動之一般氣候學上的模型。

能量消散對地轉風速有立方的依隨，平均計算過程中，即誤差的來源，如由 $\vec{V}_g$ ($\vec{V}_g$ 上一桿表示每日平均的月值) 能導出 C 及 α_0 則可預期，

$$\vec{V}_g^3 \geq \vec{V}_g^3$$

當某一地區內 V_g 值之差相當大時， V_g 的環帶平均值之影響亦不能忽視。在有些例子， E_1 與 E_2 之差，可達 E_2 的 30%。此處 $E_1 = \rho C^2 V_g^3 \cos \alpha$ ， $E_2 = \rho C^2 \vec{V}^3$

$\cos \alpha_0$ 頂上的一桿表示環帶，每月平均值，此乃由於在一地區內 V_g 的偏差並不平均分布的事實。在此研究裡，陸上 E 值之研究，乃由環帶月平均值之 V_g 值與在陸上各緯度的糙率參數一致而計算，因此 E 值之地區平均與由此而計算所得的 E 之累年地球平均值，可約略估計出為30%或略為多些。

七、結 論

本研究為企圖，以大氣境界層的理論模型，在北半球低層動能消散的氣候趨勢上，獲得直接資料。本研究之兩基本問題為，(一)據地面的狀態及特色，而建立一個，以大規模為基礎的方法，以估計大氣力學的糙率參數，(二)獲得在北半球，有關境界層參數的低層大氣動能消散的氣候圖。

欲解決第一問題，文獻上有關高植物剖面風的報告，均重新加以分析。大氣力學糙率參數 Z_0 之對數與植物高成正比，如同歸方程式所示：

$$\text{Log } Z_0 = -1.24 + 1.19 \text{ Log } h \quad (Z_0 \text{ 及 } h, \text{ 單位為 cm})。$$

各大陸的緯度區域，一定型式的植物掩蔽之區域性分布數值，已計出。利用植物高度及大氣力學糙率參數之數字關係與土地使用測量的結果，各大陸 Z_0 的子午線剖面及北美洲大陸 Z_0 的區域性分布，從 25°N 至 70°N 間之數值已導出。糙率參數之水平及季節性變化，反映生物氣候上循環與植物掩蔽的分佈模型。導出糙率參數的代表性，被利用於北美洲的風速計之風速與地轉風速之比的氣候學數值之測驗，其測驗表示，其於 Z_0 值與剖面風對數方程式的理論比值，與直接記錄至為吻合。

1945年至1955年間的北美洲360網點，在1,000mb表面之地轉風速 V_g ，已由其每日氣壓而算出。

由於地轉拉力係數之助，微氣象學的許多資料，可應用於大規模的問題上，由計算1,000mb之地轉風速，所計算之糙率參數及Coriolis參數之聯合推演，即可得地面 Rossby 常數 $= R_0 \cdot V_g (Z \cdot f)$ 。由 R_0 值，地轉拉力係數 C 及表面應力與地轉風所成之角度 α_0 ，能由同歸方程式內插而得，此式由 Lettau (1961) 之分析模型提及。在此模型中， C 與 α_0 是 $\text{Log } R_0$ 的單價函數。由此令吾人能藉 Lettau 之能量消散方程式，

$$E = \rho C^2 V_g^3 \cos \alpha_0 \text{ 算出，分散於境界層之能量 } E。$$

每月平均與1,000mb地轉風速之季節平均值，地轉拉力係數，能量消散及每年能量消散波動之標準偏差，均詳細的加以計算。北半球之八大陸地區及海洋部份之數值，已經以子午線剖面形式而表列。尤其是北美洲在地理方面，更加詳細。地轉拉力係數 C 之地理分佈與季節變化情形，乃決定於 V_g ， Z_0 及 f ，在此三者中，以 Z_0 為最主要之因素，而 Z_0 則受「10」的數次方之影響。地轉拉力係數即現出，在北半球大陸的經緯分佈之特性。

地轉風速及地理拉力係數，主要決定能量消散之分布模型及季節變化。北美洲大陸、北大西洋及太平洋，形成能量消散相當高之一組，亞洲與歐洲之能量消散頗低，此兩組高低能量之對照，以中緯度最為顯著，能量消散之子午線剖面，表示在高緯度之溫帶， E 值一般的為最大值。

在北美洲之冬季能量消散的區域性分佈，表示兩個不同的 E 最大值，一為沿着太平洋西北海岸，另一處為在大西洋東北岸，此兩最大值，在夏天均告減弱，然另一處能量消散最大的中心，又在美國西海岸出現。

地轉拉力係數與能量消散之季節變化，相當明顯，在夏季 C 值之相對變大，乃由 Z_0 的值大與大陸上 V_g 的值小，也由海洋上 V_g 的值小，在冬季極端之 E 值，乃由 V_g 值大之結果。

從 25°N 至 70°N 之冬、春、夏、秋各季，地球能量消散之季節性半球平均值為， 1.94 ± 0.51 ， 1.33 ± 0.80 、 0.70 ± 0.16 及 $1.40 \pm 0.33 \text{ watts/m}^2$ 能量消散候值之累年半球平均為 $1.34 \pm 0.33 \text{ watts/m}^2$ ，此值可被低估計30%之多。

每年 E 值之波動為明顯，然而能量消散之分佈趨勢及季節性之週期並無變更。

本研究乃基於多項假設，地面與大氣交接面之糙率參數乃主要作為植物高之函數而求出。而植物掩蔽之形態不在考慮之列，海洋糙率參數被假定為常數，由缺乎統計數值，故外插法和內插法均被應用。於必要的土地使用，為能量消散之計算，正壓大氣乃假設者，而熱層 (Thermal stratification) 之影響，不在考慮。因此本研究之結果，乃應有相當之限制，然而幕數之大小是對的，區域及季節性之差異，大致正確，可能被校正的能量消散值很少。