

西藏山區對亞洲冬季平均緯流之效應

劉 明 禮
中 央 氣 象 局

摘 要

以大規模的觀點來研究亞洲地區中緯度緯流受地形的效應，則以西藏山區的強制作用為主。理論上，將地形效應置於渦度方程式 (Vorticity equation)，設定地球渦度場為一餘弦波系統，強制場為一正弦波 (山的效應)，而得強制波變方程式為：

$$\zeta_n = -\frac{\eta_{n0}}{u_0} \frac{1}{K_{u_x} - K_{v_x}} \times \sin [(\vec{K}_u - \vec{K}_v) \cdot \vec{x}_k]$$

即強制波變場與緯流風場強度成反比，與兩相互作用系統的波數差成反比，與強制系統的強度成正比。共振現象則與強制系統的尺度與強度成正比，與緯流風場的強度成反比。

取用日本氣象廳 500 毫巴氣壓高度場 (1968~1981)，東徑 50~130 度，依西藏山區劃分為向風面區、山區、背風面區，南北區間則以北緯 20~50 度及北緯 30~40 度以了解地形的效應。氣壓面上的高度場或謂重力波長，取以 5000 公尺為基準高度，計算各區域間平均高度場的比率，以討論各區域間重力波長的增長與消滅。結果顯示在本研究期限裡，重力波場於向風面與山區趨於相同的高度，向風面與背風面的重力波長比值為 1.15:1.00。經由理論上的計算，此一數值顯示中緯度大氣的緯流系統盛行於波數四，又背風面近山區盛行的緯流系統則為波數十，或謂屬綜觀系統尺度 (Synoptic Scale)。本研究中，理論上設定西藏山區尺度約為六十度經度，而波數三的系統則造成地形與重力波場同相，又在超長波尺度 ($K_u \leq 3$) 裡，波長愈長則地形的效應減弱，或謂地球渦度場愈趨穩定，則地形的強制效應愈弱，1972~1973 年盛行的緯流系統偏於波數三即屬此一現象。總而言之，由本研究期限裡的計算結果顯示：亞洲地區中緯度冬季的緯流系統盛行的波數為三至四波，背風面則以綜觀尺度的波數十為盛行系統，而向風面波數為三左右的系統則地形效應較不顯著，近於或等於波數四的系統則地形效應顯著。

一、前 言

亞洲地區地形上的特色，大規模的觀點，乃是西藏山區寬廣且高聳的山脈。其橫互於中緯度，對緯流而言，形成障礙。而且大尺度的山區對緯流的影響，應屬大尺度的擾流系統。取以較穩定、較不

具擾動的系統，乃是本研究取用冬季平均緯流以了解其受制於西藏山區所造成的影響的主因。

均勻的流體通過障礙，相對於地球行星大氣的特性——地轉風近似；也就是風沿著等壓線而運行；使得吾人可將流體的運動反應於等壓面上。而定壓面上的高度場，可定義為重力波場；因此山對緯

流的效應，可考慮為重力波通過相異介質所造成的波變，此一現象乃是本研究的主題。

二、基本理論 (The fundamental concept)

1 固定波 (The stationary wave) :

山乃是一固定的系統，大氣運行遇大尺度山區的強制作用，對大規模的大氣運動而言，將使得地球的渦度場變形，滋生一固定波，此種現象在考慮更廣泛的現象時，應可見及海陸分佈對地球渦度場所造成的變形。此乃本研究的主題——固定波。

2 波動理論 (The wave motion theory)

以流體力學的觀點來討論大規模且均勻的流體運動通過近似均勻的障礙，吾人可見及流體在障礙及其鄰近區域將滋生擾動。猶若脈動波通過不同介質造成波變，此種發生於障礙及其鄰近區域的擾動，將為折射波動或反射波動的組合。因為平均緯流是不具脈動波的，因此擾動波應屬折射波動或反射波動的平平均值。

脈動波——→ 折射波動 (反射波動)

3 能量守恒定律 (The conservation of energy)

以能量守恒原理來論述大氣運動，在本研究中，取以柏努立方程 (Bernoulli's Equation) 最為適當：

$$P + \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{常數} \dots\dots\dots(1)$$

P : 大氣壓力

ρgh : 重力位能

$\frac{1}{2} \rho v^2$: 大氣動能

在本研究中，取用 500 毫巴氣壓面，所以 $P = P_{500}$ 為一定值。而得

$$\rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{常數} \dots\dots\dots(2)$$

方程式(2)表示在定壓面上的流體運動，將唯受制於動能與位能的轉換。又將方程式(2)取其微分

$$D \left(\rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 \right) = 0 \quad , \quad \text{得}$$

$$\frac{\Delta h}{\Delta v^2} = \text{常數} \dots\dots\dots(3)$$

上式中， Δh 為高度場的變化值， Δv^2 為動能的變化值。因此受地形效應的影響，所造成的擾動，將導致位能的變化，此種強制的轉換，可見大規模的山脈為滋生鋒面系統的根源之一。

4. Δh 與 Δv^2 的關係 (The physical meaning of $\Delta h / \Delta v^2$)

由方程式(3)得知高度場的變化與動能的變化異相，或謂位能增加則動能減少，位能減少則動能增加。或謂重力波脊場的產生有利於大氣的穩定，重力波槽的產生則有利於大氣的擾動。

5. 山對氣流波的折射指數 (The refraction index)

重力波或謂氣壓面受山的強制效應，其波長的消滅或增長，可取用波通過不同介質的折射率來定義。本研究採用折射指數 (the refraction index)，即山對氣流波或重力波強制作用所造成的變形率來討論中緯度緯流受制於地形的影響。吾人可知

$$m_1 \lambda_1 = m_2 \lambda_2 \dots\dots\dots(4)$$

$m_{1,2}$: 折射指數， $\lambda_{1,2}$: 重力波長；方程式(4)若取 $m_1 = 1$ ，則得：

$$m_2 = \lambda_1 / \lambda_2 \dots\dots\dots(5)$$

上式即表介質 2 相對於介質 1 的折射指數。由方程式(5)而知，較大的介質指數，則重力波長較短。

6. 強制系統的機制 (The mechanism of the forcing system) :

設定地球大氣的渦度場 ζ 受制於地球上某些固定的強制系統：如山嶽、河川、湖泊、海陸分佈、……等而變形，吾人可將渦度方程式寫成下列式子

$$\frac{d(\zeta + f)}{dt} = - \sum_k \eta_k(x) \delta(x - x_k) \dots\dots\dots(6)$$

$k = 1, 2, 3, \dots\dots\dots$

函數 $\eta_k(x)$ 表強制系統，又函數 δ 具下列性質：

$$\delta(x - x_k) = 0, \quad x \neq x_k \dots\dots\dots(7)$$

$$\delta(x - x_k) = 1, \quad x = x_k \dots\dots\dots(8)$$

其中 x_k 表強制系統所在的位置， f 表柯次力。

對於大氣或流體而言，方程式(6)可寫成

$$\frac{\partial(\zeta+f)}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla(\zeta+f) = -\sum_k \eta_k(x) \delta(x-x_k) \dots\dots\dots(9)$$

又根據紛擾理論，去除(9)式中的基態值(basic state)，取其紛擾值：

$$\frac{\partial \zeta'}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \zeta'}{\partial x} + \beta v' = -\sum_k \eta_k(x) \delta(x-x_k) \dots\dots\dots(10)$$

$$\vec{V} = \bar{u} \vec{i} + v' \vec{j} \dots\dots\dots(11)$$

\vec{i} 表緯向的單位向量， \vec{j} 表經向的單位向量。 \vec{V} 表大氣流速， \bar{u} 表緯流流速， v' 經向的流速。(10)式中的 ζ' 相對於(9)式中的 ζ 乃是其紛擾值，又 $\vec{\zeta} = \nabla \times \vec{V}$ 。

$$\beta = \frac{\partial f}{\partial y} \dots\dots\dots(12)$$

x 表緯向， y 表經向。方程式(10)若取時間的平均值： $\frac{1}{T} \int_T () dt = (\bar{ })$ ，設定經向的擾動為

瞬時擾流，取時間 T 的平均值，則趨近於零。

$$\frac{1}{T} \int v' dt \approx 0 \dots\dots\dots(14)$$

$$\frac{\Delta \bar{\zeta}}{T} + \bar{u} \frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial x} = -\sum_k \bar{\eta}_k(x) \delta(x-x_k) \dots\dots(15)$$

方程式(15)可分成線性部份與非線性部份，或

$$\frac{\Delta \bar{\zeta}_l}{T} = -\sum_k \bar{\eta}_{kl}(x) \delta(x-x_k) \dots\dots\dots(16)$$

$$\bar{u} \frac{\partial \bar{\zeta}_n}{\partial x} = -\sum_k \bar{\eta}_{kn}(x) \delta(x-x_k) \dots\dots\dots(17)$$

(16)、(17)式中的 $\bar{\zeta}_l$ ， $\bar{\eta}_{kl}$ 各表緯流系統與強制系統的線性部份， $\bar{\zeta}_n$ ， $\bar{\eta}_{kn}$ 則表非線性作用部份。

令 $\frac{\Delta \bar{\zeta}_l}{T} = \Delta \zeta_l$ ，則方程式(16)可寫成：

$$\Delta \zeta_l = -\sum_k \bar{\eta}_{kl}(x_k) \dots\dots\dots(18)$$

又由(17)式，吾人可以求得非線性作用之值，設定為 $\Delta \zeta_n$ ，則緯流受制於強制系統的渦度場為：

$$F = \zeta_0 + \Delta \zeta_l + \Delta \zeta_n \dots\dots\dots(19)$$

ζ_0 表在不具山脈、湖泊等強制場作用下的大氣渦度場。

7. 線性與非線性作用 (The linear and nonlinear interaction) :

今考慮單受山的強制效應，論述其線性與非線性作用如下：

(1) 線性作用 (The linear interaction) :

緯流波場可以重力波場表示之，今定義緯流系統的重力波場 H 為一餘弦波系，則

$$H = H_0 \sin(\vec{K}_I \cdot \vec{x}_k) \dots\dots\dots(20)$$

(20)式中， H_0 表重力波場的最大振幅， \vec{K}_I 表重力波數及方向。

強制系統的線性作用場 η_l 則定義為：

$$\eta_l = \eta_0 \sin(\vec{K}_II \cdot \vec{x}_k) \dots\dots\dots(21)$$

(21)式中， η_0 表強制系統的最大振幅， \vec{K}_II 表強制系統的波數及方向。今討論線性作用中的反射、折射與共振現象。

(a) 反射現象 (the reflection effect)

反射則入射波與反射波的方向相反，亦即

$$\vec{K}_{II} = -\vec{K}_I \dots\dots\dots(22)$$

令

$$|\vec{K}_I| = |\vec{K}_{II}| = |\vec{K}| \dots\dots\dots(23)$$

由(19)(20)(21)(22)(23)式，而得氣流波受山的強制作用後的合成系統為：

$$F = \zeta + \eta_l \dots\dots\dots(24)$$

$$F = (H_0 - \eta_0) \sin(\vec{K} \cdot \vec{x}_k) \dots\dots\dots(25)$$

令

$$\gamma = \frac{\eta_0}{H_0} < 1 \dots\dots\dots(26)$$

而得

$$\frac{F}{H} = 1 - \gamma \dots\dots\dots(27)$$

方程式(27)式表示 $F < H$ ，即反射效應將使得緯流重力波波長減短，地球渦度場增強。

(b) 共振現象 (the resonance effect)

共振即表示兩相互作用系統的波數相等且同相

，而得

$$\vec{K}_I = \vec{K}_{II} = \vec{K} \dots\dots\dots(28)$$

將(20)(21)(26)(28)式代入(24)中：

$$F = (H_0 + \eta_0) \sin(\vec{K} \cdot \vec{x}_k) \dots\dots\dots(29)$$

或

$$\frac{F}{H} = 1 + \gamma \dots\dots\dots(30)$$

方程式(30)表示 $F > H$ ；共振現象將增長重力波長，減弱地球渦度場。

(c) 折射現象 (the refraction effect)

大氣重力波受制於地形的效應而變形，乃是折射現象的成因。

$$F = H + \eta_e \\ = H_0 \sin(\vec{K}_I \cdot \vec{x}_k) + \eta_0 \sin(\vec{K}_H \cdot \vec{x}_k) \quad (31)$$

(31)式可寫成：

$$\frac{F}{H} = 1 + \frac{\eta_0}{H_0} \frac{\sin(\vec{K}_H \cdot \vec{x}_k)}{\sin(\vec{K}_I \cdot \vec{x}_k)} \dots\dots\dots(32)$$

根據斯涅爾定律 (Snell's Law)：

$$m_1 \sin \theta_1 = m_2 \sin \theta_2 \dots\dots\dots(33)$$

(33)式代入(32)式：

$$\frac{F}{H} = 1 + \gamma \frac{m_1}{m_2} \dots\dots\dots(34)$$

(34)式表示折射現象將使得重力波長減短於背風面 (

$\frac{m_1}{m_2} < 1$)，其減短的大小又與兩系統的介質指數

比有關。

由以上的討論，予以歸納結果如下：

- ① 線性效應與緯流波的強度 H_0 有關，強的緯流波場，都將減弱線性的強制效應，弱的緯流波場則反之。
- ② 共振現象與折射現象都將增長重力波長於強制系統所在的向風面，反射現象與背風的折射現象則減短重力波長。
- ③ 線性作用與強制系統的強度有關，強制系統愈強，則線性作用愈強，愈弱則反之。
- ④ 總結而言：反射現象的波變量為 $-\frac{\eta_0}{H_0}$ ，共振現象的波變量為 $\frac{\eta_0}{H_0}$ ，折射現象的波變量為 $\frac{\eta_0}{H_0} \cdot \frac{m_1}{m_2}$

象的波變量為 $\frac{\eta_0}{H_0}$ ，折射現象的波變量為 $\frac{\eta_0}{H_0} \cdot \frac{m_1}{m_2}$

)。

(2) 非線性作用 (The nonlinear interaction)

根據方程式(17)，改寫為

$$u(x) \frac{\partial \zeta_n}{\partial x} = -\eta_n(x) \delta(x - x_k) \dots\dots\dots(35)$$

取(35)式的積分方程式：

$$\zeta_n = - \int_x \frac{\eta_n(x)}{u(x)} \delta(x - x_k) dx \dots\dots\dots(36)$$

令

$$\eta_n = \eta_{n0} e^{-i\vec{K}_v \cdot \vec{x}} \dots\dots\dots(37)$$

$$u = u_0 e^{-i\vec{K}_u \cdot \vec{x}} \dots\dots\dots(38)$$

其中 η_{n0} ， u_0 各為非線性強制場及緯流場 u 的最大振幅。 \vec{K}_v ， \vec{K}_u 各為其波數及方向。將(37)(38)式代入(36)式中：

$$\zeta_n = - \frac{\eta_{n0}}{u_0} \frac{1}{K_{vx} - K_{ux}} \\ \times \sin[(K_{vx} - K_{ux}) x_k] \dots\dots\dots(39)$$

(39)式中， K_{vx} ， K_{ux} 各表 \vec{K}_u ， \vec{K}_v 在緯向上的分量。

令

$$K = K_{vx} - K_{ux} \dots\dots\dots(40)$$

將(40)式代入(39)式：

$$\zeta_n = - \frac{\eta_{n0}}{u_0} \frac{1}{K} \sin(K x_k) \dots\dots\dots(41)$$

又考慮共振現象，即 $K_{vx} \approx K_{ux}$ ，則由 L'Hospital 定理：

$$\zeta_{nr} = - \frac{\eta_{n0} L_k}{u_0} \dots\dots\dots(42)$$

根據方程式(41)(42)及表一，論述非線性效應的物理意義如下：

- ① 非線性效應與地形強制場的強度成正比與緯流的強度成反比；強的地形強制場與弱的緯流場，都將增強非線性作用，反之則減弱。
- ② 非線性作用與兩相互作用系統的波數差成反比，小尺度的地形相對於大尺度的緯流波場，其效應減低。
- ③ 由表一中得知： $K = 1 \sim 5$ ，則 $\zeta_n < 0$ ， $K > 6$ 則 $\zeta_n > 0$ ；相對於大尺度的山區，其意義為

K	$\frac{1}{K} \sin \left(K \frac{L_k}{2} \right)$
1	0.5
2	0.433
3	0.333
4	0.217
5	0.1
6	0
7	-0.071
8	-0.108
9	-0.111
10	-0.087
11	-0.045
12	0
$K=0$	+0.524

表一：設定 $L_k = 60^\circ$ 經度，函數 $\sin(L_k/2)/K$ 相對於 K 的值。

：長波系統受制於大尺度的地形效應，則滋生增長重力波長的非線性效應，短波系統則減短重力波長。

- ④共振現象將造成重力波場與地形強制場同相，其強度與強制系統的緯向尺度 L_k 及強制系統的強度成正比。
- ⑤共振系統受制於緯流的強度，強的地球渦度場，減弱共振的強度。

三、計算方法與結果

1 計算方法

(1)本研究取用日本氣象廳500毫巴元月份平均厚度值作計算。計算方法取以北緯 $20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$ ；東經 $50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ, 90^\circ, 100^\circ, 110^\circ, 120^\circ, 130^\circ$ 依西藏山區劃分為向風面區、山區，背風面區三個區域（如表二）。又取北緯 $30^\circ, 40^\circ$ 之平均值劃分為三個區域（如表三）。

(2)取用500毫巴高度場為重力波長入，各區域之平均波長為 $\bar{\lambda}_I (\bar{\lambda}'_I)$ ， $\bar{\lambda}_{II} (\bar{\lambda}'_{II})$ ， $\bar{\lambda}_{III} (\bar{\lambda}'_{III})$ ；計算受山強制作用的波變指數：

(I) 向風面區	(II) 山 區	(III) 背風面區
$20^\circ\text{N} \sim 50^\circ\text{N}$	$20^\circ\text{N} \sim 50^\circ\text{N}$	$20^\circ\text{N} \sim 50^\circ\text{N}$
$50^\circ\text{E} \sim 70^\circ\text{E}$	$80^\circ\text{E} \sim 100^\circ\text{E}$	$110^\circ\text{E} \sim 130^\circ\text{E}$

表二：北緯 20 度到 50 度區間的分區。

(I') 向風面區	(II') 山 區	(III') 背風面區
$30^\circ\text{N} \sim 40^\circ\text{N}$	$30^\circ\text{N} \sim 40^\circ\text{N}$	$30^\circ\text{N} \sim 40^\circ\text{N}$
$50^\circ\text{E} \sim 70^\circ\text{E}$	$80^\circ\text{E} \sim 100^\circ\text{E}$	$110^\circ\text{E} \sim 130^\circ\text{E}$

表三：北緯 30 度到 40 度區間的分區。

$$n_1 = (\bar{\lambda}_I - 5000) / (\bar{\lambda}_{II} - 5000) \dots\dots(43)$$

$$n_2 = (\bar{\lambda}_{II} - 5000) / (\bar{\lambda}_{III} - 5000) \dots\dots(44)$$

$$n_3 = (\bar{\lambda}_I - 5000) / (\bar{\lambda}_{III} - 5000) \dots\dots(45)$$

$$n'_1 = (\bar{\lambda}'_I - 5000) / (\bar{\lambda}'_{II'} - 5000) \dots\dots(46)$$

$$n'_2 = (\bar{\lambda}'_{II'} - 5000) / (\bar{\lambda}'_{III'} - 5000) \dots\dots(47)$$

$$n'_3 = (\bar{\lambda}'_I - 5000) / (\bar{\lambda}'_{III'} - 5000) \dots\dots(48)$$

本研究所使用的資料為 1968 ~ 1981 年共十四年，波變指數的年變化值則可依向風面區相對於山區之緯流波偏折指數 $n_1 (n'_1)$ ，山區相對於背風面區的緯流波偏折指數 $n_2 (n'_2)$ ，向風面區相對於背風面區的緯流偏折指數 $n_3 (n'_3)$ 而劃製。

2 計算結果：

(1)根據方程式(43)(44)(45)(46)(47)(48)計算而得 $n_1, n_2, n_3, n'_1, n'_2, n'_3$ 之值列於表四，而表四的年變化圖則劃於

圖一： n_1, n'_1 的年變化

圖二： n_2, n'_2 的年變化

圖三： n_3, n'_3 的年變化

圖四： n_1, n_2, n_3 的合成

圖五： n'_1, n'_2, n'_3 的合成

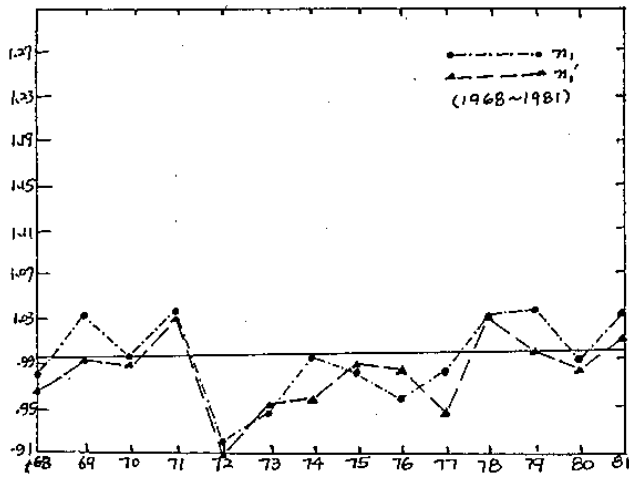
四、討 論

1 向風面的重力波介質性質

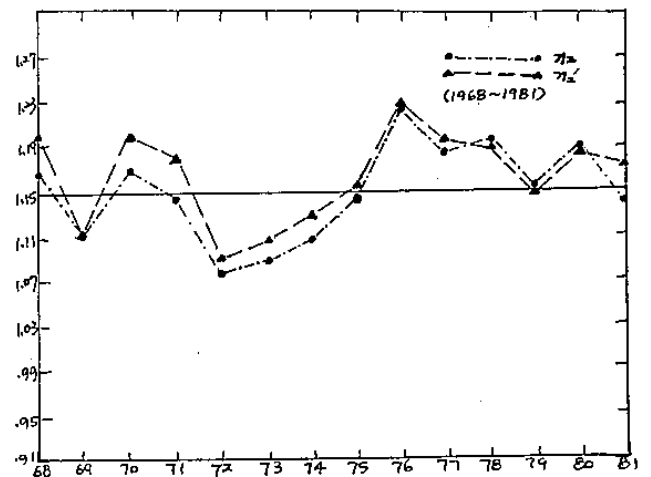
由 $(\bar{n}_1, \bar{n}'_1) = 1.00$ 得知向風面區與山區對

年 指數	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81
n_1	0.975	1.035	0.999	1.043	0.921	0.945	0.995	0.980	0.960	0.980	1.034	1.037	0.991	1.034
n_2	1.166	1.113	1.171	1.143	1.076	1.089	1.109	1.143	1.224	1.185	1.201	1.159	1.192	1.139
n_3	1.137	1.152	1.172	1.192	0.992	1.029	1.104	1.120	1.175	1.161	1.242	1.202	1.182	1.177
n'_1	0.966	0.996	0.991	1.034	0.906	0.954	0.962	0.988	0.979	0.946	1.033	1.001	0.980	1.012
n'_2	1.201	1.114	1.205	1.178	1.091	1.105	1.129	1.155	1.230	1.198	1.193	1.151	1.189	1.175
n'_3	1.159	1.109	1.194	1.217	0.989	1.055	1.086	1.141	1.204	1.134	1.232	1.152	1.165	1.189

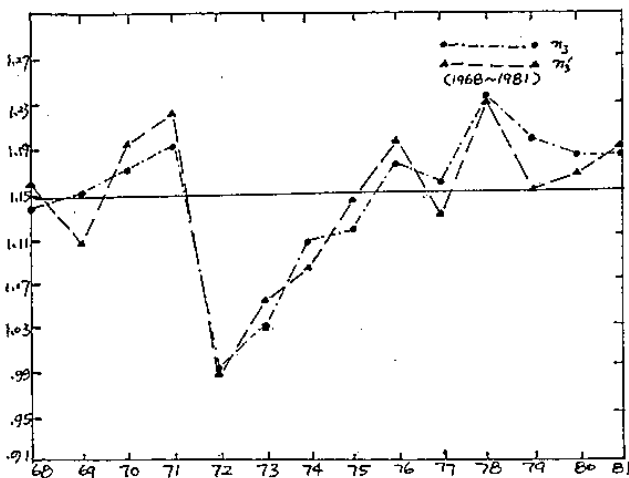
表四： $n_1, n_2, n_3, n'_1, n'_2, n'_3$ 之值；又 $\bar{n}_1, \bar{n}'_1 \approx 1.00, \bar{n}_2 \sim 1.15, \bar{n}'_2 \sim 1.16, \bar{n}_3, \bar{n}'_3 \approx 1.15$ (1968~1981)



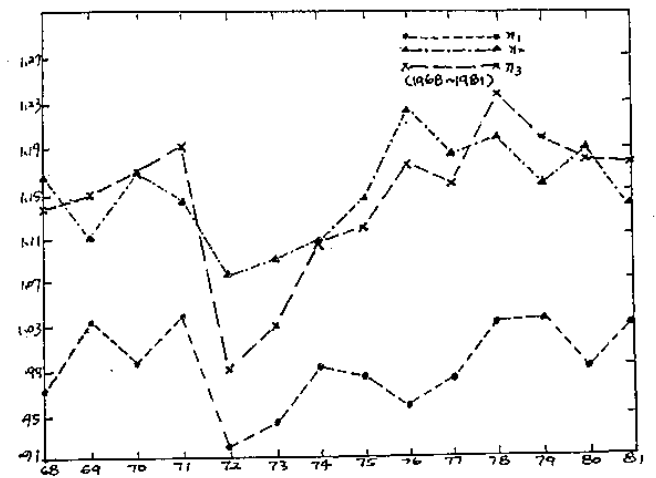
圖一：向風面區與山區重力波的比值。
 $n_1(20^\circ\text{N} \sim 50^\circ\text{N}), n'_1(30^\circ\text{N} \sim 40^\circ\text{N})$



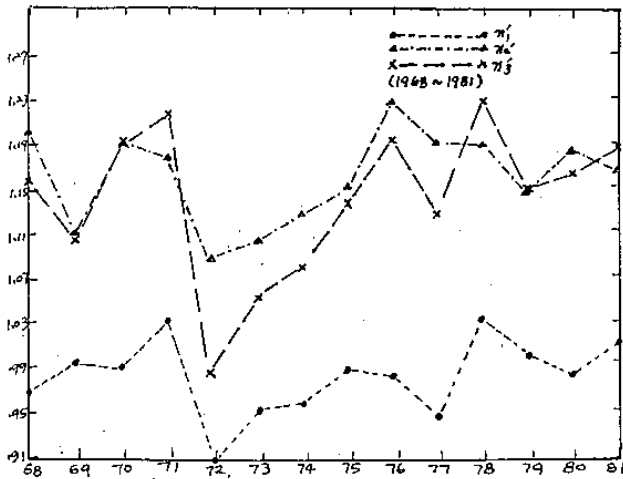
圖二：山區與背風面區重力波的比值。
 $n_2(20^\circ\text{N} \sim 50^\circ\text{N}), n'_2(30^\circ\text{N} \sim 40^\circ\text{N})$



圖三：向風面區與背風面區重力波的比值。
 $n_3(20^\circ\text{N} \sim 50^\circ\text{N}), n'_3(30^\circ\text{N} \sim 40^\circ\text{N})$



圖四： n_1, n_2, n_3 的合成圖。(1968~1981)



圖五： n_1' ， n_2' ， n_3' 的合成圖。(1968~1981)

重力波而言，具近似的介質性質。吾人可由方程式(41)式及表一中了解此一現象：非線性的強制波變量

與 $\frac{1}{K} \sin(Kx_k)$ 成正比，而 $K = K_v - K_u$ ，當

$|K| < |K_v|$ ，則相對於大尺度的西藏山區而言，緯流波場亦屬大尺度系統，表一顯示，強制波變將增長緯流重力波的波幅，又當 K 值愈小，則近似共振的現象愈顯著，如此則此一增強的波幅將向西延伸，或謂由山區向著向風面區延伸，而造成山區與向風面區具有近似的波變量，此為兩區域間具有相同的介質性質的原因；因此吾人可以認定：大尺度或謂近似西藏山區尺度的緯流系統盛行於亞洲冬季的中緯度平均緯流場。

2. 背風面的介質性質：

由 $(\bar{n}_2, \bar{n}_2') \approx 1.15 \sim 1.16$ ， $(\bar{n}_3, \bar{n}_3') \approx 1.15$ 顯示背面的擾動活躍；由表一中，背風面盛行的緯流波系統相對於向風面而言，應屬較短的波系統 (K 值較大)；由此吾人可以認定：西藏山區的效應將造成背風面擾動的活躍，緯流重力波的介質性質為由向風面的波疏進入背風面的波密。

3. 強制波場與地形場的相位關係：

在本研究中，1972、1973 年的重力波場介質指數為：

$$\begin{aligned} [n_1]_{1972} &= 0.921, [n_2] = 1.076, \\ [n_3] &= 0.992 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [n_1']_{1972} &= 0.906, [n_2'] = 1.091, \\ [n_3'] &= 0.989 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [n_1]_{1973} &= 0.945, [n_2] = 1.089, \\ [n_3] &= 1.029 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [n_1']_{1973} &= 0.954, [n_2'] = 1.105, \\ [n_3'] &= 1.055 \end{aligned}$$

由上述的介質指數顯示重力波場與強制的地形場同相。基本理論中設定強制系統屬正弦波，即 $\eta \propto \cos(K_v x_k)$ ，而非線性變形波場屬餘弦波場，即 $\zeta_n \propto \sin(Kx_k)$ 。今考慮同相狀況：

$$\begin{aligned} \sin(Kx_k) &= \sin\left(\frac{\pi}{2} - K_v x_k\right) \\ &= \cos(K_v x_k) \dots\dots\dots(49) \end{aligned}$$

而得

$$\frac{K_u L_k}{2} = \frac{\pi}{2} \dots\dots\dots(50)$$

設定 $L_k = \frac{\pi}{3}$ 代入(50)式

$$K = 3, K_u = 3 \dots\dots\dots(51)$$

此一尺度為兩倍於西藏山區的尺度。由表一及上述的討論，吾人可以認定：地球渦度場愈趨於穩定，則地形強制效應的波變場與地形分佈同相，或謂波數小於 3 的大規模緯流系統，將導致地形強制波變場與地形分佈場同相。吾人且依此劃分緯流波系統的波數以 3 為界，定義波數小於或等於 3 者稱為超長波。大於 3 者而近似西藏山區尺度者屬長波。

4. 盛行的亞洲中緯度緯流波場：

(1) 向風面盛行的緯流波場

由方程式(4)式，以及 n_2, n_3 值，吾人可得下列式子：

$$\begin{aligned} &\frac{\sin\left(\frac{3}{4}K_1 L_k\right) - \sin\left(\frac{1}{4}K_1 L_k\right)}{\sin\left(\frac{1}{4}K_1 L_k\right)} \\ &= \frac{\Delta n_3}{\Delta n_2} = N \dots\dots\dots(52) \end{aligned}$$

(52)式中， $\Delta n_3 = n_3 - 1$ ， $\Delta n_2 = n_2 - 1$ ， K_1 則表向風面盛行的變形緯流波場。

令

$$\frac{1}{4}K_1 L_k = \theta_1 \quad \dots\dots\dots(53)$$

$$\frac{1 + (\sin \theta_1 / K_1)}{1 + [\sin(3\theta_2 / K_2)]} = n_2 \quad \dots\dots\dots(57)$$

(53)式代入(52)

$$\cos 2\theta_1 = \frac{N}{2} \quad \dots\dots\dots(54)$$

考慮下列狀況：

①設定 $N = 1$ (1970)

$$\cos 2\theta_1 = 0.5, K_1 = 2, K_{u_1} = 4$$

②設定 $N \approx 0$ (1972)

$$\cos 2\theta_1 = 0, K_1 \approx 3, K_{u_1} = 3$$

今依據方程式(53)(54)式計算各年的 K_1 與 K_u 之值，列於表五中，其中 K_{u_1} 表示向風面盛行的緯流波場， $K_{u_1} = K_v - K_1$ 。

(2)背風面盛行的緯流波場

由方程式(4)式，令

$$\theta_2 = \frac{1}{4}K_2 L_k \quad \dots\dots\dots(55)$$

吾人可得下列式子：

$$\frac{1 + (\sin \theta_1 / K_1)}{1 + [(\sin 3\theta_2 - \sin \theta_2) / K_2]} = n_2 \quad \dots\dots(56)$$

又由(52)式，設定 $\frac{\sin \theta_2}{K_2} \rightarrow 0$ ，則(56)式可寫成：

K_2 則表背風面區盛行的緯流變形波場。由(56)式可求得各年的 K_2 值，又 K_{u_2} 之值可由 $K_{u_2} = K_2 + K_v$ 求得。(52)(56)式中的 n_2, n_3 值代以 n'_2, n'_3 值則得北緯 30~40 度間盛行的緯流波場。上述的計算結果皆列於表五中。

今考慮平均狀況，即 $\bar{n}_2 = 1.15, \bar{N} = 1$ 而得 $K_1 = 2, K_{u_1} = 4.0, K_2 = 3.96, K_{u_2} = 9.96$ ，平均緯流場向風面以波數四為主，背面風盛行的波數為十波，或謂屬綜觀尺度的系統。

(3) $K_1, K_2, K'_1, K'_2, K_{\bar{u}_1}, K_{\bar{u}_2}, K_{\bar{u}'_1}, K_{\bar{u}'_2}$ 各年的值。

其中 $K'_1, K'_2, K_{\bar{u}'_1}, K_{\bar{u}'_2}$ 各表北緯 30~40 度盛行的波數，其意義與 $K_1, K_2, K_{\bar{u}_1}, K_{\bar{u}_2}$ 相同。此等值列於表五。

5 重力波場的分布特性 (1968~1981)

(1)由圖一、圖二中得知考慮較狹窄的南北寬度 (30°~40°N) 則重力波場受制於地形的效應較為顯著，背風面的沉降現象亦較為顯著，尤以 1976 年為甚。其中 1969、1972、1973、1974 年則呈現較弱的地形效應，尤以 1972、1973 年為甚。

指數 \ 年	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81
K_1	2.20	1.57	2.00	1.57	3.00	2.67	2.03	2.17	2.23	2.13	1.77	1.67	2.07	1.67
K_2	3.91	3.83	3.91	3.87	3.81	3.82	3.83	3.88	3.98	3.93	3.97	4.04	3.94	3.87
$K_{\bar{u}_1}$	3.80	4.43	4.00	4.43	3.00	3.33	3.97	3.83	3.77	3.87	4.23	4.33	3.93	4.33
$K_{\bar{u}_2}$	9.91	9.83	9.91	9.87	9.81	9.82	9.83	9.88	9.98	9.93	9.97	10.04	9.94	9.87
K'_1	2.22	2.05	2.06	1.75	3.12	2.50	2.35	2.10	2.12	2.34	1.77	1.99	2.13	1.91
K'_2	3.95	3.84	3.96	3.91	3.83	3.83	3.87	3.91	3.98	3.96	3.94	3.89	3.93	3.92
$K_{\bar{u}'_1}$	3.78	3.95	3.94	4.25	2.88	3.50	3.65	3.90	3.88	3.66	4.23	4.01	3.87	4.09
$K_{\bar{u}'_2}$	9.95	9.84	9.96	9.91	9.83	9.83	9.87	9.91	9.98	9.96	9.94	9.89	9.93	9.92

表四： $K_1, K_2, K'_1, K'_2, K_{\bar{u}_1}, K_{\bar{u}_2}, K_{\bar{u}'_1}, K_{\bar{u}'_2}$ 之值 (1968~1981)

由圖三中可知，重力波受地形效應的變形，於 1972、1973 年的向風面區與背風面區具相同的高度場，考慮較窄狹的南北寬度，顯示地形效應對近山區處的緯流波場效應必然存在，又背面的沉降現象以 1978 年為甚。

(3)由圖四、圖五中得知，弱的地形效應則重力波場偏於與地形同相，強的地形效應，則偏於造成重力波場的介質特性以向風面進入背風面為由波疏入波密。前者的同相現象顯現於 1972、1973 年，後者則幾乎呈現於其他各年。

(4)由上述的結果，以及理論上的計算，可得下列的認定：亞洲中緯度冬季平均緯流波場盛行於波數三或近於波數三，則地形效應減弱，與地形同相的重力波場呈現，近於波數四或以上的盛行緯流，則背風面的重力波沉降現象顯著。

五、結 論

1 取用波動理論應用於渦度方程式，推導地形的強制效應，以應用於大規模的山區強制作用；本研究中獲致的結果為此一強制作用與緯流風場成反比，與強制系統的強度成正比，又與兩相互作用系統的波數差距成反比。由此吾人可知：兩相可比擬的作用系統，將有利於地形效應的增長，而較大差距尺度的兩相互作用系統，則效應減弱。數值上設定西藏山區為 60 度經度，則以波數三為界，緯流系統小於波數三者或謂尺度大於兩倍西藏山區尺度者，則重力波場偏於與地形分佈同相，地形的效應減弱，而大於波數三的緯流系統，則地形效應顯著，背風面的重力波沉降現象愈形顯著。

2 取以日本氣象廳 500 毫巴重力位場及變差 (1968 ~ 1981) 十四年的資料，依西藏山區劃分為向風面區，山區與背面區計算各區域的重力波場顯示 1972、1973 年的重力波場偏於與地形同相，又且其受地形的效應相對於本研究期限裡的其他各年所受的效應為弱；相對應於理論上的推導即屬超長波盛行的緯流系統，或謂地球大氣渦度場較為穩定。

3 經由數值代入理論式中，而知亞洲中緯度地區的冬季緯流系統以西藏山區為界，盛行的緯流系統為三至四波，而背風面近山區的緯流系統則盛行於波數十的綜觀尺度系統。三波盛行的緯流系統，則重力波場偏於與地形同相，地形效應減弱，偏於四波盛行的緯流系統則地形效應增強，背風面的重力波沉降顯著。

4 在本研究期限裡，平均上，向風面區與山區的重力波趨於相同，而背風面與山區的重力波比值在 1.15 ~ 1.16 : 1.00，顯示波數四盛行於亞洲冬季的中緯度緯流系統中，又且波數十盛行於背風面近山區緯流。

5 考慮較狹窄的南北寬度，則地形效應的形態相同，但較顯著。

6 本研究偏於兩相互作用系統尺度的相互作用所滋生的地形效應，於緯流風場的強度並未作探討，又且西藏山區地形的分布，譬如南方系統涉及的繞山作用為影響背風面天氣重要的系統之一，值得探討。又且本研究中設定西藏山區的尺度為 60 經度寬度，其東西走向的尺度大小影響整個大氣的緯流波動，適度的取捨以求理論上與實際上的觀測資料之印證為一值得探討的方向。

六、誌 謝

本論文承蒙中央氣象局七十三年度研究發展專題研究報告第 092 號之補助。

七、參考資料

日本氣象廳 500 毫巴平均值及差距值
(1968 ~ 1981)

符號及名稱

P : 大氣壓力	Δh : 高度變差值
ρ : 大氣密度	Δv^2 : 動能變差值
g : 重力常數	m_1, m_2 : 折射指數
h : 高度場	λ_1, λ_2 : 重力波長
v : 速度場	ζ : 渦度場

- η : 強制效應場 f : 柯次力
 k : 整數 \vec{V} : 大氣的流速
 t : 時間 T : 時間
 ζ' : 渦度場與平均渦度場之差值
 \bar{u} : 大氣的緯流平均風場
 β : 柯次力的緯向變化值
 v' : 大氣的經向平均風場
 i : 緯向單位向量 j : 經向單位向量
 $\Delta\bar{\zeta}$: 渦度場在 T 時向內的平均變差
 $\Delta\bar{\zeta}_l, \Delta\bar{\zeta}_n$: 各為 $\Delta\zeta$ 中的線性與非線性部份
 $\bar{\eta}_{kl}, \bar{\eta}_{kn}$: 各表強制系統的線性與非線性部份
 F : 受地形強制作用的渦度場
 H : 重力波場
 H_0 : 重力波場的最大振幅
 \vec{K}_1 : 重力波波數及方向
 η_0 : 強制系統的最大振幅
 \vec{K}_n : 強制系統的波數及方向
 \vec{K} : 波數及方向 $\gamma = \text{常數}$
 η_{n_0} : 非線性強制系統的最大振幅
 K_γ : 地形效應的波數 K_u : 緯流系統的波數
 u_0 : 緯流風場
 ζ_n : 非線性效應的渦度場
 ζ_{nr} : 共振系統的渦度場
 $K_{\gamma x}, K_{ux}$: 各為 K_γ, K_u 在緯向上的分量
 L_k : 強制系統的水平尺度或緯向尺度
 $\bar{\lambda}_l, \bar{\lambda}_i, \bar{\lambda}_n, \bar{\lambda}_{li}, \bar{\lambda}_{ni}, \bar{\lambda}_{ni}$: 重力波長
 $n_1, n_2, n_3, n'_1, n'_2, n'_3$: 波變指數
 $\bar{n}_1, \bar{n}_2, \bar{n}_3, \bar{n}'_1, \bar{n}'_2, \bar{n}'_3$ 各表 $n_1, n_2, n_3, n'_1, n'_2, n'_3$ 之平均值。
 N : 常數 $\theta_{1, 2}$: 角度
 $\Delta n_2, \Delta n_3$ 各表 n_2, n_3 之變差值
 K_1 : 向風面盛行的變形緯流波場
 K_2 : 背風面盛行的變形緯流波場
 K_{u1} : 向風面盛行的緯流波場
 K_{u2} : 背向面盛行的緯流波場
 K'_1 : 與 K_1 意義同
 K'_2 : 與 K_2 意義同
 K_{u1}' : 與 K_{u1} 意義同
 K_{u2}' : 與 K_{u2} 意義同

**The Effect of the Topographic Forcing of the Himalaya
Mountain on the Zonal Mean Current in the
Asian Area in the Winter**

Liu ,Ming-Lee

Central Weather Bureau

ABSTRACT

With large scale viewpoint to look into the topographic forcing on the zonal mean current in the Asian area , it would belong to the forcing effect of the Himalaya mountain. Theoretically , the effect of the topographic forcing was put in the vorticity equation , the vorticity field of the earth was assumed to be sinusoidal , the wave deformation equation of the topographic forcing was derived :

$$\zeta_n = \frac{\eta_{no}}{u_0} \frac{1}{K_{ux} - K_{\gamma x}} \sin \{ (\vec{K}_u - \vec{K}_\gamma) \cdot \vec{x}_k \}$$

i. e., the deformation of the wave would be inverse with the strength of the velocity the yond mean flow , and would be inverse with the difference of the wave numbers of those two interacting systems , and would be proportional to the intensity of the forcing field.

By using 500mb mean geopotential height in January from 1968 to 1981 from Japan Meteorological Ageucy , the area covering 50°E~130°E , 20°N~50°N was taken , it was divided into three subsections : the upslope area , the mountain area and the downslope area according to the Himalaya mocmtain. the 500 mb mean geopotential height was taken as the wave-length of the grarity wave , also 5000m was taken as the zero point of the gravity-wave-length scale in order to compute the ratio of the wave length of either two subsections. the results showed that there were almost of equal wave length between the upslope area and the mountain area , and the ratio of the wave length between the upslope area and the downslope area was 1.15 : 1.00 in the mean. A theoretical computation showed that the wave number 4 had been prevailing in the zonal mean current in the upslope area of the mountain except in 1972 and 1973. , and the wave number 4 or those of the synoptic scale systems had been prevailing in the downslope area.

The horizontal scale of the Himalaya mountain was assumed to be of 60 degree longitude and theoretically the wave disturbance of the wave number 3 would be forced to be in phase with the distribution of the mountain ; if the wavelength of the zonal mean current was

longer (e.g. , in the scale of the ultralong wave $K_u \lesssim 3$) , the forcing effect of the mountain would be weaker. In other words , if the vortex field of the atmosphere of our planet was more stable , then the effect of the forcing of the mountain would be weaker. And a computation showed that those of the prevailing wind field in 1972 and 1973 were of the wave number 3.

Above all , the computation through the period being taken , showed the following results : The wave number 3 and 4 had been prevailing in the upslope area of the Himalaya mountain in the middle latitude in the winter , the wave number 4 would result in a significant subsidence in the downslope area due to the forcing of the mountain while those of the wave number 3 would not.