

# 西藏山區對亞洲冬季平均緯流地形\* 效應的研究

劉 明 禮<sup>1</sup>

## 摘 要

以大規模的觀點來研究亞洲地區中緯度地形對緯流的效應，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，設定地球渦度場為一餘弦波，強制效應（即山的效應）為一正弦波，而得強制波變方程式為：

$$c_n = -\frac{\tau_{n0}}{u_0} \times \frac{1}{K_{u,x} - K_{v,x}} \times \sin [(\bar{K}_u - \bar{K}_v) \cdot \vec{x}_k]$$

即強制波變與緯流風的強度成反比，與兩相互作用系統的波數差成反正，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。

取以日本氣象廳500毫巴氣壓高度場（1968~1981），東經50~130度，依西藏山區劃分為向風面區，山區及背風面區，南北區間則以北緯20~50度、北緯30~40度以了解地形的效應。氣壓面上的高度值或謂重力波長，取以5,000公尺為基準高度，計算各區域間平均高度值的比率，以討論各區域間年平均波長的變化。結果顯示在本研究期限裏，重力波長於向風面區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。理論上的計算，此一數值顯示中緯度大氣的緯流波盛行於波數四，又背風面近山區盛行的緯流波為波數十，或謂屬綜觀系統尺度。本研究中，理論上設定西藏山區尺度為六十度經度，而波數三的系统則造成地形與重力波場同相，又在超長波尺度（ $K_n \leq 3$ ），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，由本研究期限的計算結果顯示：亞洲地區中緯度冬季的緯流波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波，而向風面波數為三左右的緯流則地形效應較不顯著，近於或等於波數四的緯流波，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，乃是本研究取以冬季平均緯流以了解西藏山區對緯流的影響。

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，也就是風沿着等壓線而運行；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；因此山對緯流的強制效應，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

### 1. 固定波

山乃是一固定的系統，大氣運行過及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，產生一固定波，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

\* 收稿日期：76年5月14日，送審日期：76年5月15日

1. 中央氣象局科技中心技士

場所造成的變形。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將產生擾動。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，即

脈動波 → 折射波動 (反射波動)

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直值。

2. 能量守恒定律

以能量守恆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

$\rho gh$ : 重力位能

$\frac{1}{2} \rho v^2$ : 大氣動能

在本研究中，採用 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，將與動能與位能的轉換有關。又將方程式(2)取其微分直

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

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

$\Delta h$  為高度場的變化值， $\Delta v^2$  為動能的變化值，因此緯流在地形效應的作用下，所造成的擾動，將導致位能的變化，此種強制的轉換，可見大尺度的山脈為產生鋒面的根源之一。又由方程式(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。又重力波或謂氣壓面在山脈地形的強制作用下，其波長的消滅或增長，得取波通過不同介質的折射率來定義，本研究採用的折射指數，可定義為山對緯流重力波強制作用所導致的變形率。即：

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

$m_{1,2}$ : 折射指數

$\lambda_{1,2}$ : 重力波長

方程式(4)若取  $m_1 = 1$ ，則

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

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。

3. 緯流在強制系統作用下的機制

設定地球大氣的渦度場  $\zeta$ ，在地球上某些固定的強制系統：如山嶽、河川、湖泊、海陸分佈……等作用下而變形，吾人可將渦度方程式寫成下列式子：

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

$k = 1, 2, 3, \dots\dots$ 。函數  $\eta_k(x)$  表強制系統，又函數  $\delta$  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，取其紛擾值：

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

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

方程式(9)(10)(11)中， $\vec{i}$  表緯向的單位向量， $\vec{j}$  表經向的單位向量。 $\vec{v}$  表大氣的流速， $\vec{u}$  表緯流流速， $v'$  表經向的流速。(10)式中的  $\zeta'$  相對於(9)式中的  $\zeta$  乃是其紛擾值，又  $\vec{\zeta}' = \nabla \times \vec{v}'$ 。

$$\beta = \partial f / \partial y \dots\dots\dots(12)$$

$x$  表緯向， $y$  表經向。方程式(10)若取時間的平均值：

$\frac{1}{T} \int_T (\dots) dt = (\dots)$ , 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。

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

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

方程式(15)可分成線性部份與非線性部份, 或

$$\frac{\Delta \zeta_1}{T} = - \sum_k \bar{\eta}_{k1}(x) \delta(x - x_k) \dots\dots\dots(16)$$

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

(16)(17)式中的  $\bar{\zeta}_1$ 、 $\bar{\eta}_{k1}$  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。令方程式(16)中的  $\Delta \bar{\zeta}_1 / T = \Delta \zeta_1$ , 即

$$\Delta \zeta_1 = - \sum_k \bar{\eta}_{k1}(x_k) \dots\dots\dots(18)$$

又由(17)式, 吾人可求得非線性作用之值, 設定為  $\Delta \zeta_n$ , 則緯流在強制系統作用下的渦度場為:

$$F = \zeta_0 + \Delta \zeta_1 + \Delta \zeta_n \dots\dots\dots(19)$$

$\zeta_0$  表在不具山脈、海陸分布等強制系統作用下的大氣流渦度場。

#### 4. 線性與非線性作用

本節將單就山脈對緯流的強制效應, 論述其線性與非線性作用如下:

##### (1) 線性作用

緯流波取以重力波表示, 則定義緯流系統的重力波場H為一餘弦波, 即:

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

(20)式中,  $H_0$  表重力波的最大振幅,  $\vec{K}_I$  表重力波的波數及方向。強制系統的線性作用  $\eta_1$ , 則定義為:

$$\eta_1 = \eta_0 \sin(\vec{K}_{II} \cdot \vec{x}_k) \dots\dots\dots(21)$$

(21)式中,  $\eta_0$  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

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

由(19)(20)(21)(22)(23)式, 而得緯流在山的強制作用影響下的合成系統為:

$$F = \zeta + \eta_1 \dots\dots\dots(24)$$

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

令  $\nu = \eta_0 / H_0 < 1 \dots\dots\dots(26)$

而得  $F/H = 1 - \nu \dots\dots\dots(27)$

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

##### (b) 共振現象

共振即表示兩相互作用系統的波數相同且同相, 而得:

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

將(20)(21)(26)(28)式代入(24)式中:

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

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

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

大氣重力波在地形效應作用下而變形, 乃是折射現象。令

$$F = H + \eta_1 = H_0 \sin(\vec{K}_I \cdot \vec{x}_k) + \eta_0 \sin(\vec{K}_{II} \cdot \vec{x}_k) \dots\dots\dots(31)$$

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

根據斯涅爾定律 (Snell's Law):

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

$m_1, m_2$  各為介質 1, 2 的折射率,  $\theta_1, \theta_2$  則為入射角、反射角。(33)式代入(32)式:

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

(34)表示折射現象將使得重力波長減短於背風面 ( $\frac{m_1}{m_2} < 1$ ), 減短的大小又與兩強制系統或流體通過的兩相異性質介質的介質指數比有關。

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  $H$  有關, 強的緯流波場, 都將減弱線性的強制效應, 弱的緯流波則反之。

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, 反射現象與背風面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  $-\eta_0/H_0$ , 共振現象的波變量為  $\eta_0/H_0$ , 折射現象的波變量為  $\eta_0/H_0 \cdot m_1/m_2$ 。

(2)非線性作用

方程式(17)中的  $\bar{u}, \bar{\zeta}_n, \bar{\eta}_n$ , 在考慮平均緯流  $u$ , 平均重力波長的分佈  $\zeta$ , 以及固定的強制系統  $\eta$ , 是相同的, 所以

$$u(x) \frac{\partial \bar{\zeta}_n}{\partial x} = -\bar{\eta}_n(x) \delta(x - x_k) \dots\dots(35)$$

取(35)式的積分方程式:

$$\bar{\zeta}_n = - \int_x \frac{\bar{\eta}_n(x)}{u(x)} \delta(x - x_k) dx \dots\dots(36)$$

令  $\bar{\eta}_n(x) = \eta_{n0} e^{-i \bar{K}_y \cdot \bar{x}} \dots\dots(37)$

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

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

$$\bar{\zeta}_n = - \frac{\eta_{n0}}{u_0} \times \frac{1}{K_{yx} - K_{ux}} \times \sin [(K_{yx} - K_{ux})x_k] \dots\dots(39)$$

(39)式中,  $K_{yx}, K_{ux}$  各表  $\bar{K}_y, \bar{K}_u$  在緯向上的分量。

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

將(40)式代入(39)式:

$$\bar{\zeta}_n = - \frac{\eta_{n0}}{u_0} \frac{1}{K} \sin (Kx_k) \dots\dots(41)$$

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

$$\bar{\zeta}_{nk} = - \frac{\eta_{n0} L_k}{u_0} \dots\dots(42)$$

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  $\bar{\zeta}_n < 0$ ,  $K < 6$  則  $\bar{\zeta}_n > 0$ ; 相對於大尺度山區, 其意義為, 長波系統在大尺度的地形效應作用下, 則產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共振現象與緯流強度成反比, 強的地球渦度場, 減弱共振強度。

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

Table 1 The value of the function  $\sin (KL_k/2)/K$  w.r.t. the value of  $K$ , while the scale of  $L_k$  is  $60^\circ$  longitude.

K	$\frac{1}{K} \sin (K \frac{L_k}{2})$
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

### 三、計算方法與結果

#### 1. 計算方法

(1) 取以日本氣象廳 500 毫巴元月份平均厚度值做計算；計算方法是取以北緯 20°, 30°, 40°, 50°, 東經 50°, 60°, 70°, 80°, 90°, 100°, 110°, 120°, 130°, 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°、40° 的平均值劃分為三個區域（如表三）。

表二 北緯 20 度到 50 度區間的分區

Table 2 The divided area of the area covering from 20°N to 50°N and from 50°E to 130°E.

(I) 向風面區	(II) 山 區	(III) 背風面區
20°N~50°N 50°E~70°E	20°N~50°N 80°E~100°E	20°N~50°N 110°E~130°E

表三 北緯 30 度到 40 度區間的分區

Table 3 The divided area of the area covering from 20°N to 50°N and from 50°E to 130°E.

(I') 向風面區	(II') 山 區	(III') 背風面區
30°N~40°N 50°E~70°E	30°N~40°N 80°E~100°E	30°N~40°N 110°E~130°E

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

Table 4 The value of  $n_1, n_2, n_3, n_1', n_2', n_3'$ ; also  $\bar{n}_1, \bar{n}_1' \approx 1.00, \bar{n}_2 \approx 1.15, \bar{n}_2' \approx 1.16, \bar{n}_3, \bar{n}_3' \approx 1.15$  (1968~1981).

指年 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

(2) 取以 500 毫巴高度值為重力波長  $\lambda$ ，各區域的平均波長為  $\bar{\lambda}_I (\bar{\lambda}_I'), \bar{\lambda}_{II} (\bar{\lambda}_{II}'), \bar{\lambda}_{III} (\bar{\lambda}_{III}')$ ，計算緯流波在山脈地形強制作用下的波變指數：

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

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

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

$$n_1' = (\bar{\lambda}_I' - 5000) / (\bar{\lambda}_{II}' - 5000) \dots\dots(46)$$

$$n_2' = (\bar{\lambda}_{II}' - 5000) / (\bar{\lambda}_{III}' - 5000) \dots\dots(47)$$

$$n_3' = (\bar{\lambda}_I' - 5000) / (\bar{\lambda}_{III}' - 5000) \dots\dots(48)$$

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的緯流波偏折指數  $n_1(n_1')$ ，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波偏折指數  $n_3(n_3')$  而割裝。

#### 2. 計算結果

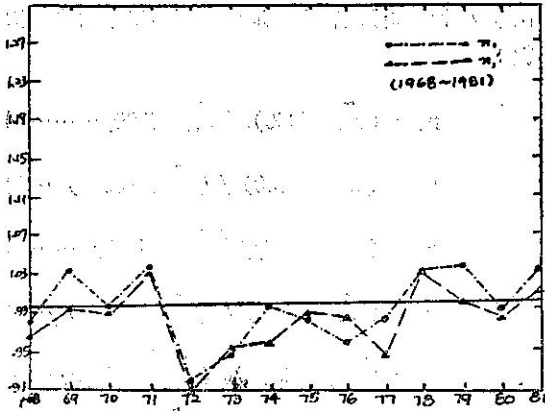
根據方程式(43)(44)(45)(46)(47)(48)計算而得  $n_1, n_2, n_3, n_1', n_2', n_3'$  的值列於表四，而表四的年變化值則割於：

圖一： $n_1, n_1'$  的年變化

圖二： $n_2, n_2'$  的年變化

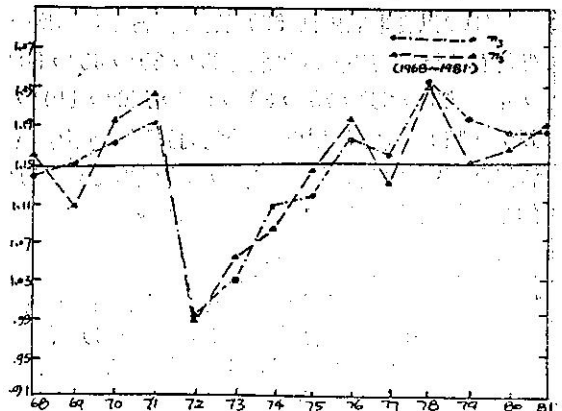
圖三： $n_3, n_3'$  的年變化

圖四： $n_1, n_2, n_3$  的合成



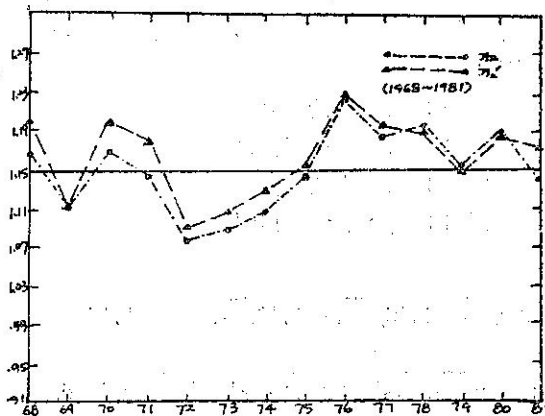
圖一 向風面區與山區重力波的比值。  
 $n_1$  ( $20^{\circ}\text{N}\sim 50^{\circ}\text{N}$ ),  $n_1'$  ( $30^{\circ}\text{N}\sim 40^{\circ}\text{N}$ )

Figure 1 The ratio of the geopotential height between the upslope area and the mountain area.  $n_1$  ( $20^{\circ}\text{N}\sim 50^{\circ}\text{N}$ ),  $n_1'$  ( $30^{\circ}\text{N}\sim 40^{\circ}\text{N}$ )



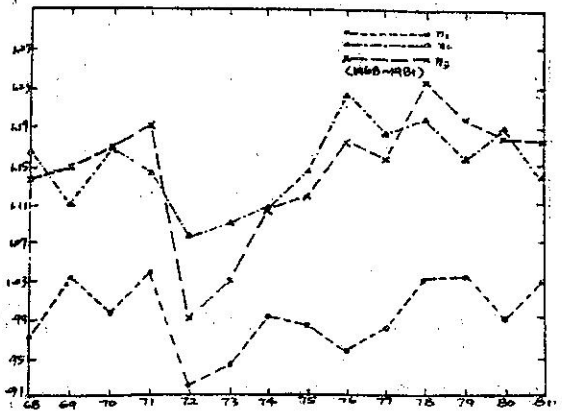
圖三 向風面區與背風面區重力波的比值。  
 $n_3$  ( $20^{\circ}\text{N}\sim 50^{\circ}\text{N}$ ),  $n_3'$  ( $30^{\circ}\text{N}\sim 40^{\circ}\text{N}$ )

Figure 3 The ratio of the geopotential height between the area and the downslope area.  $n_3$  ( $20^{\circ}\text{N}\sim 50^{\circ}\text{N}$ ),  $n_3'$  ( $30^{\circ}\text{N}\sim 40^{\circ}\text{N}$ )



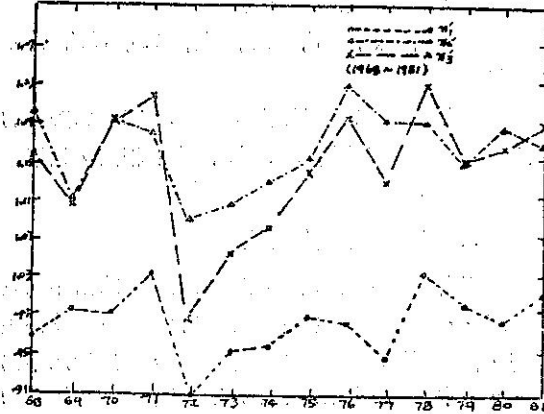
圖二 山區與背風面區重力波的比值。  
 $n_2$  ( $20^{\circ}\text{N}\sim 50^{\circ}\text{N}$ ),  $n_2'$  ( $30^{\circ}\text{N}\sim 40^{\circ}\text{N}$ )

Figure 2 The ratio of the geopotential height between the mountain area and the downslope area.  $n_2$  ( $20^{\circ}\text{N}\sim 50^{\circ}\text{N}$ ),  $n_2'$  ( $30^{\circ}\text{N}\sim 40^{\circ}\text{N}$ )



圖四  $n_1, n_2, n_3$  的合成圖。(1968~1981)

Figure 4 The combined figure of  $n_1, n_2, n_3$ . (1968~1981)



圖五 n<sub>1</sub>' , n<sub>2</sub>' , n<sub>3</sub>' 的合成圖。(1968~1981)

Figure 5 The combined figure of n<sub>1</sub>' , n<sub>2</sub>' , n<sub>3</sub>' . (1968~1981)

#### 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重力波而言，具有近似的介質性質。吾人可由方程式(4)式及表一中了解此一現象：非線性的強制波變量與  $1/K \sin(K x_k)$  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，或謂由山區向着向風面區延伸，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。

##### 2. 背風面的介質性質

由  $(\bar{n}_2, \bar{n}_2') \approx 1.15 \sim 1.16$ ,  $(\bar{n}_3, \bar{n}_3') \approx 1.15$  顯示背風面的擾動活躍；表一顯示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：西藏山區的地形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. 緯流波與地形強制場的相位關係

在本研究中，1972~1973年的重力波介質指數為：

$$[n_1]_{1972} = 0.921, [n_2] = 1.076,$$

$$[n_3] = 0.992$$

$$[n_1']_{1972} = 0.906, [n_2'] = 1.091,$$

$$[n_3'] = 0.989$$

$$[n_1]_{1973} = 0.945, [n_2] = 1.089,$$

$$[n_3] = 1.029$$

$$[n_1']_{1973} = 0.954, [n_2'] = 1.105,$$

$$[n_3'] = 1.055$$

上述的介質指數顯示重力波的分佈與地形分佈同相。基本理論中設定強制系統屬正弦波，即  $\eta \propto \cos(K_v x_k)$ ，而非線性變形波屬餘弦波，即  $\Phi_n \propto \sin(K x_k)$ 。今考慮同相狀況：

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

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

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，則地形強制效應作用下的緯流波變與地形的分佈同相，或謂波數小於3的大規模緯流系統，將導致地形強制波變與地形的分佈同相。

##### 4. 盛行的亞洲中緯度緯流波

###### (1) 向風面盛行的緯流波

由方程式(4)式，以及  $n_2, n_3$  值可得下列式子：

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

(52)式中， $\Delta n_3 = n_3^{-1}$ ,  $\Delta n_2 = n_2^{-1}$ ,  $K_1$  則表向風面盛行的緯流波。

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

(53)式代入(52)式

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

考慮下列狀況

①設定  $N=1$  (1970)

$$\cos 2\theta_1=0.5, \Delta K_1=2, K_{u1}=4$$

②設定  $N=0$  (1972)

$$\cos 2\theta_1=0, K_1=3, K_{u1}=3$$

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  $K_{u1}$  表向風面盛行的緯流波， $K_{u1}=K_u-K_1$ 。

(2)背風面盛行的緯流波

由方程式(4)式，令：

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

吾人可得下列式子：

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

又由(52)式，設定  $\frac{\sin \theta_2}{K_2} \rightarrow 0$ ，則(55)式可寫成：

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

$K_2$  則表背風面區盛行的緯流變形波。由(56)式可求得各年的  $K_2$  值，又  $K_{u2}$  的值可由  $K_{u2}=K_2+K_u$  求得。(52)(55)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。上述計算結果列於表五中。

今考慮平均狀況，即  $\bar{n}_2=1.15, \bar{N}=1$  而得  $K_1=2, K_{u1}=4.0, K_2=3.96, K_{u2}=9.96$ ，平均緯流的向風面則以波數四為主，背風面盛行的波數

為十波，或謂屬綜觀的尺度系統。

(3)  $K_1, K_2, K_1', K_2', K_u, K_{u2}, K_{u1}', K_{u2}'$  各年的值。

$K_1', K_2', K_{u1}', K_{u2}'$  各表北緯30~40盛行的波數，其意義與  $K_1, K_2, K_{u1}, K_{u2}$  相同，此等值列於表五。

5.重力波的年變化特性

(1)由圖一、圖二中得知考慮較狹窄的南北寬度(30°~40°N)則地形對重力波的強制效應較為顯著，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。

(2)由圖三可知地形效應導致重力波變形，於1972、1973年的向風面區與背風面區具有近相同的高度場，考慮較為狹窄的南北寬度，顯示地形效應對近山區處的緯流波作用必然存在。考慮向風面與背風面的沉降現象，則以1978年為甚。

(3)由圖四、圖五中得知，弱的地形效應，則重力波偏於與地形同相，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分佈呈現，近於波數四以上的盛行緯流，則背風面的重力波沉降現象顯著。

表五  $K_1, K_2, K_1', K_2', K_{u1}, K_{u2}, K_{u1}', K_{u2}'$  之值 (1968~1981)

Table 5 The value of  $K_1, K_2, K_1', K_2', K_{u1}, K_{u2}, K_{u1}', K_{u2}'$ . (1968~1981)

年 波數	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
$K_{u1}$	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
$K_{u2}$	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
$K_{u1}'$	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
$K_{u2}'$	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



### 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脈地形強制效應。本研究獲致的結果為此一強制作用與緯流風的強度成反比，與強制系統的強度成正比，又與兩相互作用系統波數差成反比。由此吾人可知：兩相比擬的作用系統，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，緯流波小於波數三或尺度大於兩倍西藏山區尺度者，則重力波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，背風面重力波沉降現象愈形顯著。

2. 取以日本氣象廳 500毫巴重力於值及變差 (1968~1981) 十四年的資料，依西藏山區劃分為向風面區、山區、背風面區計算各區域的重力波，顯示1972、1973年的重力波偏於與地形同相，而地形效應相對於其他各年則較弱，理論上的推導則屬波數三或近於波數三盛行的緯流系統，且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，而背風面近山的緯區流則盛行於波數十的綜觀尺度。三波盛行的緯流系統，則重力波偏於與地形同相，地形效應減弱，偏於四波盛行的緯流則地形效應增強，背風面的重力波沉降顯著。

4. 在本研究期限裏，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的平均緯流，又且波數十盛行於背風面近山區之緯流，考慮較狹窄的南北寬度，則地形效應的形態相同，但較顯著。

5. 本研究偏於兩相互作用系統尺度的相互作用所產生的地形效應，於緯流風的強度並未做探討，又且西藏山區的分佈，譬若南方系統涉及繞山作用為影響背風面天氣的重要系統之一，值得探討，又本研究設定西藏山區的尺度為60度經度寬度，其東西走向尺度的大小影響整個大氣緯流的波動，適度的取捨，做為理論與實際觀測資料的印證為一值得探討的方向。

6. 本研究的重力波波變現象，在考慮北緯 20°~50°與北緯 30°~40° 區，可見當考慮的緯度範圍較寬，則地形的效應將減弱，但吾人了解在偏北緯度區的冷氣團年變化，以及偏南副熱帶地區的海洋氣團年變化，都將影響緯流的波變，所以太平洋高壓的發展，以及極地氣團的年變化，亦將影響緯流波動。

### 六、誌 謝

本研究取自作者所做中央氣象局七十三年度研究發展專題研究報告第 092號，對於這些年來，家人及親朋好友所給予的關切及友誼，於此深致謝意。

關鍵詞	波變方程式
Key words	The Wave Deformation Equation

### 七、參 考 文 獻

劉明禮：西藏山區對亞洲冬季平均緯流之效應，中央氣象局七十三年度研究發展專題研究報告第 092號。

日本氣象廳：500毫巴月平均重力位值及變差 1968~1981。

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

*Ming-Lee Liu*

Atmospheric Research & Development Center, C. W. B.

## 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:

$$\zeta_n = -\frac{\eta_{no}}{u_o} \frac{1}{K_{ux} - K_{rx}} \sin [(\vec{K}_u - \vec{K}_r) \cdot \vec{x}_k]$$

i. e., the deformation of the wave would be inverse with the strength of the velocity of the zonal 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 Agency, 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 mountain, the 500mb mean geopotential height was taken as the wave-length of the gravity 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 10 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  $K_n \leq 3$ ), 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.