

# N2PACK 使用の手引 (version 0.2)

石岡 圭一 (2005/07/27)

## 1 概要

これは、周期境界条件を持つ 2 次元流体方程式を解くための、スペクトル (2 重フーリエ) 変換を行なうサブルーチンパッケージであり、2 重フーリエ展開の係数から格子点値、およびその逆の変換を行なうサブルーチン、また、数値モデルに用いるヤコビアン計算を行うサブルーチンなどからなっている。また、このパッケージは FTPACK の上位パッケージであり、これらのパッケージを内部で引用している。

切断波数  $K, L$  のスペクトル逆変換は、以下のように表せる:

$$g(x, y) = \sum_{k=-K}^K \sum_{l=-L}^L s_{kl} e^{ikx} e^{ily}. \quad (1)$$

$g(x, y)$  が実数であるとする、 $s_{kl}$  は以下の関係を満たしている必要がある:

$$s_{(-k)(-l)} = s_{kl}^* \quad (2)$$

ここに、 $\{\}^*$  は複素共役を表す。

また、スペクトル正変換は以下のように表せる:

$$s_{kl} = \frac{1}{(2\pi)^2} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} g(x, y) e^{-ikx} e^{-ily} dx dy. \quad (3)$$

数値計算においては、上記の積分はそれぞれ離散近似される。フーリエ正変換の部分は等間隔格子点上での値を用いた離散フーリエ正変換 (FTPACK マニュアルを参照) によって近似される。ある条件のもとでは、この近似は完全な近似、すなわちもとの積分と同じ値を与える。

本ライブラリは、スペクトルデータ ( $s_{kl}$ )  $\rightarrow$  格子点上のグリッドデータ ( $g(x_i, y_j)$ ) の逆変換を行うルーチン群、等間隔格子点上のグリッドデータ ( $g(x_i, y_j)$ )  $\rightarrow$  スペクトルデータ ( $s_{kl}$ ) の正変換を行うルーチン群、そして、その他の補助ルーチンおよびヤコビアンの計算等の応用ルーチン群よりなっている。

ここに、 $x_i$  は  $[0, 2\pi]$  を  $I$ -分割した格子点の  $x$  座標であり、 $x_i = (2\pi/I) \cdot i$ ;  $i = 0, 1, \dots, I-1$  である。 $y_j$  は  $[0, 2\pi]$  を  $J$ -分割した格子点の  $y$  座標であり、 $y_j = (2\pi/J) \cdot j$ ;  $j = 0, 1, \dots, J-1$  である。

以下のサブルーチンの説明において、

KM:  $x$  方向の切断波数  $K$   
LM:  $y$  方向の切断波数  $L$   
IM:  $x$  方向の格子点数  $I$   
JM:  $y$  方向の格子点数  $J$

なる対応関係がある。ここに、KM, LM, IM, JM には以下のような制約がある。

- FFT を使うために, IM および JM は 2,3,5 で素因数分解される正の整数でなければならない. さらに, IM は偶数でなければならない (これは, 実 FFT を使うためである).
- JM および IM はそれぞれ,  $JM > 2*LM$  および  $IM > 2*KM$  を満していなければならない.
- ヤコビアン の計算 (N2AJBS) で aliasing を除くためには,  $JM > 3*LM$  および  $IM > 3*KM$  としなければならない.

N2PACK において, スペクトルデータ ( $s_{kl}$ ) は上に述べた制限をもとに, 独立な  $(2K+1)(2L+1)$  個の成分を以下のように配列  $S(-LM:LM, -KM:KM)$  に格納して扱う.

以下  $k = K > 0, l = L > 0$  として,

$S(L, K)$ :  $s_{kl}$  の実部  
 $S(-L, -K)$ :  $s_{kl}$  の虚部  
 $S(-L, K)$ :  $s_{k(-l)}$  の実部  
 $S(L, -K)$ :  $s_{k(-l)}$  の虚部  
 $S(L, 0)$ :  $s_{0l}$  の実部  
 $S(-L, 0)$ :  $s_{0l}$  の虚部  
 $S(0, K)$ :  $s_{k0}$  の実部  
 $S(0, -K)$ :  $s_{k0}$  の虚部  
 $S(0, 0)$ :  $s_{00}$ (実数)

と格納されている.

## 2 サブルーチンのリスト

N2INIT 初期化  
 N2S2GA スペクトルデータからグリッドデータへの変換  
 N2G2SA グリッドデータからスペクトルデータへの変換  
 N2AJBS ヤコビアンの計算  
 N2SWNL 浅水方程式の時間微分項の計算  
 N2SWNN 浅水方程式の時間微分項の計算 (非線形項のみ)  
 N2SWCK 浅水方程式の保存量の計算  
 N2SWBL 浅水方程式の簡単な初期値化

## 3 サブルーチンの説明

### 3.1 N2INIT

1. 機能 N2PACK の初期化ルーチン. N2PACK の他のサブルーチンを使用する前に必ず一度呼ばねばならない.
2. 定義
3. 呼び出し方法

N2INIT(JM, IM, ITJ, TJ, ITI, TI)

#### 4. パラメーターの説明

JM	(I)	入力. $y$ 方向の格子点数
IM	(I)	入力. $x$ 方向の格子点数
ITJ	(I(5))	出力. N2PACK の他のルーチンで用いられる配列
TJ	(D(JM*2))	出力. N2PACK の他のルーチンで用いられる配列
ITI	(I(5))	出力. N2PACK の他のルーチンで用いられる配列
TI	(D(JM*2))	出力. N2PACK の他のルーチンで用いられる配列

#### 5. 備考

- (a) N2PACK を使用している間, 配列 ITJ, TJ, ITI, TI の内容を変更してはならない.

### 3.2 N2S2GA

#### 1. 機能

スペクトルデータからグリッドデータへの変換を行う.

#### 2. 定義

スペクトル逆変換 (概要を参照) によりスペクトルデータ ( $s_{kl}$ ) から格子点上のグリッドデータ ( $g(x_i, y_j)$ ) を求める.

#### 3. 呼び出し方法

N2S2GA(LM, KM, JM, IM, S, G, W, ITJ, TJ, ITI, TI)

#### 4. パラメーターの説明

LM	(I)	入力. $y$ 方向の切断波数
KM	(I)	入力. $x$ 方向の切断波数
JM	(I)	入力. $y$ 方向の格子点数
IM	(I)	入力. $x$ 方向の格子点数
S	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)))	入力. $s_{kl}$ が格納されている配列
G	(D(JM*IM))	出力. $g(x_i, y_j)$ が格納される配列
W	(D(JM*IM))	作業領域
ITJ	(I(5))	入力. N2INIT で与えられる配列
TJ	(D(JM*2))	入力. N2INIT で与えられる配列
ITI	(I(5))	入力. N2INIT で与えられる配列
TI	(D(IM*2))	入力. N2INIT で与えられる配列

#### 5. 備考

- (a) G(0:JM-1, 0:IM-1) と宣言されている場合, G(J, I) には  $g(x_i, y_j)$  が格納される (I, J の順番に注意).

### 3.3 N2G2SA

#### 1. 機能

グリッドデータからスペクトルデータへの変換を行う.

## 2. 定義

スペクトル正変換 (概要を参照) により格子点上のグリッドデータ ( $g(x_i, y_j)$ ) からスペクトルデータ ( $s_{kl}$ ) を求める.

## 3. 呼び出し方法

N2G2SA(LM, KM, JM, IM, G, S, W, ITJ, TJ, ITI, TI)

## 4. パラメーターの説明

LM	(I)	入力. $y$ 方向の切断波数
KM	(I)	入力. $x$ 方向の切断波数
JM	(I)	入力. $y$ 方向の格子点数
IM	(I)	入力. $x$ 方向の格子点数
G	(D(JM*IM))	入力. $g(x_i, y_j)$ が格納されている配列
S	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)))	出力. $s_{kl}$ が格納される配列
W	(D(JM*IM))	作業領域
ITJ	(I(5))	入力. N2INIT で与えられる配列
TJ	(D(JM*2))	入力. N2INIT で与えられる配列
ITI	(I(5))	入力. N2INIT で与えられる配列
TI	(D(IM*2))	入力. N2INIT で与えられる配列

## 5. 備考

(a) N2G2SA において, 入力 G は保存されない.

## 3.4 N2AJBS

### 1. 機能

ヤコビアンを計算を行う.

### 2. 定義

2次元非発散流体に対する渦度方程式は以下のように書ける.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = - \left( \frac{\partial(u\zeta)}{\partial x} + \frac{\partial(v\zeta)}{\partial y} \right) \equiv \mathcal{N}(\zeta).$$

ここに, 粘性項等は省略した.  $u, v$  は  $x, y$  方向の流速で,  $\zeta$  から以下のように求められる.

$$u = -\frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad v = \frac{\partial \psi}{\partial x}; \quad \psi = \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right)^{-1} \zeta.$$

本サブルーチンは, 上記の  $\zeta$  に対応する展開係数  $\zeta_{kl}$  を入力として,  $\mathcal{N}(\zeta)$  の切断波数  $K, L$  までのスペクトル展開係数  $\mathcal{N}_{kl}$

$$\mathcal{N}_{kl} \equiv \frac{1}{(2\pi)^2} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \mathcal{N}(\zeta) e^{-ikx} e^{-ily} dx dy. \quad (4)$$

を求めるものである.

$\mathcal{N}(\zeta)$  の表式として、上述のものをそのまま用いると、必要なスペクトル変換は、 $\zeta, u, v$  を求めるためのスペクトル逆変換 (合計 3 回) および  $u\zeta, v\zeta$  に対するスペクトル正変換 (合計 2 回) の合計 5 回である。しかし、本サブルーチンは、 $\mathcal{N}(\zeta)$  の表式を以下のように変形することによって、必要な変換回数を 4 回にしている。

さて、

$$\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}, \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0,$$

であることに注意すると、

$$\begin{aligned} \mathcal{N}(\zeta) &= -\frac{\partial}{\partial x} \left\{ u \left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right\} - \frac{\partial}{\partial y} \left\{ v \left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right\} \\ &= -\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial(uv)}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial(u^2/2)}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial(v^2/2)}{\partial x} - \frac{\partial(uv)}{\partial y} + u \frac{\partial v}{\partial y} \right) \\ &= -\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial(uv)}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\partial(u^2/2)}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial(v^2/2)}{\partial x} - \frac{\partial(uv)}{\partial y} - u \frac{\partial u}{\partial x} \right) \\ &= -\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial(uv)}{\partial x} + \frac{\partial(v^2/2)}{\partial y} - \frac{\partial(u^2/2)}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial(v^2/2)}{\partial x} - \frac{\partial(uv)}{\partial y} - \frac{\partial(u^2/2)}{\partial x} \right) \\ &= -\frac{\partial^2(uv)}{\partial x^2} - \frac{\partial^2(v^2/2)}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2(u^2/2)}{\partial x \partial y} - \frac{\partial^2(v^2/2)}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2(uv)}{\partial y^2} + \frac{\partial(u^2/2)}{\partial x \partial y} \\ &= -\left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) (uv) - \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} (v^2 - u^2), \end{aligned}$$

と変形できるから、 $\mathcal{N}_{kl}$  を求めるために必要な変換回数は、 $u, v$  を求めるためのスペクトル逆変換 (合計 2 回) および  $uv, v^2 - u^2$  に対するスペクトル正変換 (合計 2 回) の合計 4 回となる。

### 3. 呼び出し方法

N2AJBS(LM,KM,JM,IM,Z,DZ,WS,WG,ITJ,TJ,ITI,TI)

### 4. パラメーターの説明

LM	(I)	入力. $y$ 方向の切断波数
KM	(I)	入力. $x$ 方向の切断波数
JM	(I)	入力. $y$ 方向の格子点数
IM	(I)	入力. $x$ 方向の格子点数
Z	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)))	入力. $\zeta_{kl}$ が格納されている配列
DZ	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)))	出力. $\mathcal{N}_{kl}$ が格納される配列
WS	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)))	作業領域
WG	(D(JM*IM*3))	作業領域
ITJ	(I(5))	入力. N2INIT で与えられる配列
TJ	(D(JM*2))	入力. N2INIT で与えられる配列
ITI	(I(5))	入力. N2INIT で与えられる配列
TI	(D(IM*2))	入力. N2INIT で与えられる配列

### 5. 備考

(a) aliasing を除くために十分な JM, IM の大きさについては、概要を参照。

### 3.5 N2SWNL

#### 1. 機能

浅水方程式の時間微分項の計算を行う.

#### 2. 定義

$f$  平面上の浅水方程式系は, 無次元化すると以下のように表せる:

$$\dot{q} \equiv \frac{\partial q}{\partial t} = -\frac{\partial(uq)}{\partial x} - \frac{\partial(vq)}{\partial y} = -\frac{\partial(u\zeta)}{\partial x} - \frac{\partial(v\zeta)}{\partial y} - fD, \quad (5)$$

$$\dot{D} \equiv \frac{\partial D}{\partial t} = \frac{\partial(vq)}{\partial x} - \frac{\partial(uq)}{\partial y} - \nabla^2(E + \Phi) = \frac{\partial(v\zeta)}{\partial x} - \frac{\partial(u\zeta)}{\partial y} + f\zeta - \nabla^2(E + \Phi), \quad (6)$$

$$\dot{\Phi} \equiv \frac{\partial \Phi}{\partial t} = -\frac{\partial(u\Phi)}{\partial x} - \frac{\partial(v\Phi)}{\partial y}. \quad (7)$$

ここに,  $q = \zeta + f$ : 絶対渦度,  $\Phi$ : ジオポテンシャルであり,  $\zeta, D$  は渦度, 発散で,

$$\zeta \equiv \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}, \quad (8)$$

$$D \equiv \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}, \quad (9)$$

と定義される. また,  $E = (u^2 + v^2)/2$  である.

本サブルーチンは, 上記の  $q, D, \Phi$  のスペクトル展開係数  $q_{kl}, D_{kl}, \Phi_{kl}$  を入力として,  $\dot{q}, \dot{D}, \dot{\Phi}$  の切断波数  $K, L$  までまでのスペクトル展開係数  $\dot{q}_{kl}, \dot{D}_{kl}, \dot{\Phi}_{kl}$  を求めるものである.

#### 3. 呼び出し方法

N2SWNL(LM, KM, JM, IM, AVT, DIV, PHI, DAVT, DDIV, DPHI, WS, WG, ITJ, TJ, ITI, TI)

#### 4. パラメーターの説明

LM	(I)	入力. $y$ 方向の切断波数
KM	(I)	入力. $x$ 方向の切断波数
JM	(I)	入力. $y$ 方向の格子点数
IM	(I)	入力. $x$ 方向の格子点数
AVT	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)))	入力. $q_{kl}$ が格納されている配列
DIV	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)))	入力. $D_{kl}$ が格納されている配列
PHI	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)))	入力. $\Phi_{kl}$ が格納されている配列
DAVT	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)))	出力. $\dot{q}_{kl}$ が格納される配列
DDIV	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)))	出力. $\dot{D}_{kl}$ が格納される配列
DPHI	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)))	出力. $\dot{\Phi}_{kl}$ が格納される配列
WS	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)*2))	作業領域
WG	(D(JM*IM*5))	作業領域
ITJ	(I(5))	入力. N2INIT で与えられる配列
TJ	(D(JM*2))	入力. N2INIT で与えられる配列
ITI	(I(5))	入力. N2INIT で与えられる配列
TI	(D(IM*2))	入力. N2INIT で与えられる配列

## 5. 備考

(a) aliasing を除くために十分な JM, IM の大きさについては, 概要を参照.

## 3.6 N2SWNN

### 1. 機能

浅水方程式の時間微分項の計算を行う (非線形項のみ).

### 2. 定義

N2SWNN の定義で掲げた平面上の浅水方程式系において, ジオポテンシャル  $\Phi$  を平均部分  $\bar{\Phi}$  (定数) とそれからのずれ  $\Phi'(x, y, t)$  に分けて  $\Phi = \bar{\Phi} + \Phi'$  と扱うことにすると,

$$\dot{q} \equiv \frac{\partial q}{\partial t} = \left[ -\frac{\partial(u\zeta)}{\partial x} - \frac{\partial(v\zeta)}{\partial y} \right] - fD, \quad (10)$$

$$\dot{D} \equiv \frac{\partial D}{\partial t} = \left[ \frac{\partial(v\zeta)}{\partial x} - \frac{\partial(u\zeta)}{\partial y} - \nabla^2 E \right] - \nabla^2 \Phi' + f\zeta, \quad (11)$$

$$\dot{\Phi} \equiv \frac{\partial \Phi}{\partial t} = \left[ -\frac{\partial(u\Phi')}{\partial x} - \frac{\partial(v\Phi')}{\partial y} \right] - \bar{\Phi}D. \quad (12)$$

本サブルーチンは, 上記の  $q, D, \Phi$  のスペクトル展開係数  $q_{kl}, D_{kl}, \Phi_{kl}$  および  $\bar{\Phi}, f$  を入力として,  $\dot{q}, \dot{D}, \dot{\Phi}$  の非線形部分 ([ ] で囲まれた部分) の切断波数  $K, L$  までまでのスペクトル展開係数 ( $[\dot{q}_{kl}], [\dot{D}_{kl}], [\dot{\Phi}_{kl}]$  と書くことにする) を求めるものである. これは N2SWNN と異なり, 残りの線形項の影響部分 (重力波に対応) を別の方法 (線形重力波に対する厳密解を使うなど) で処理するためのものである.

### 3. 呼び出し方法

N2SWNN(LM, KM, JM, IM, BARPHI, F, AVT, DIV, PHI, DAVT, DDIV, DPHI, WS, WG, ITJ, TJ, ITI, TI)

### 4. パラメーターの説明

LM	(I)	入力. $y$ 方向の切断波数
KM	(I)	入力. $x$ 方向の切断波数
JM	(I)	入力. $y$ 方向の格子点数
IM	(I)	入力. $x$ 方向の格子点数
BARPHI	(D)	入力. 平均ジオポテンシャル $\bar{\Phi}$ の値
F	(D)	入力. コリオリパラメーター $f$ の値
AVT	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)))	入力. $q_{kl}$ が格納されている配列
DIV	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)))	入力. $D_{kl}$ が格納されている配列
PHI	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)))	入力. $\Phi_{kl}$ が格納されている配列
DAVT	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)))	出力. $[\dot{q}_{kl}]$ が格納される配列
DDIV	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)))	出力. $[\dot{D}_{kl}]$ が格納される配列
DPHI	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)))	出力. $[\dot{\Phi}_{kl}]$ が格納される配列
WS	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)*2))	作業領域
WG	(D(JM*IM*5))	作業領域
ITJ	(I(5))	入力. N2INIT で与えられる配列
TJ	(D(JM*2))	入力. N2INIT で与えられる配列
ITI	(I(5))	入力. N2INIT で与えられる配列
TI	(D(IM*2))	入力. N2INIT で与えられる配列

## 5. 備考

(a) aliasing を除くために十分な JM, IM の大きさについては, 概要を参照.

## 3.7 N2SWCK

### 1. 機能

浅水方程式の保存量を計算する.

### 2. 定義

N2SWNL の項で導入した浅水方程式系には以下のような保存量がある:

- 全エネルギー (A.Ene.):

$$\text{A.Ene.} \equiv \left\langle \frac{1}{2} \Phi (u^2 + v^2 + \Phi) \right\rangle, \quad (13)$$

- 全エントロフィー (A.Ens.):

$$\text{A.Ens.} \equiv \left\langle \frac{1}{2} \frac{q^2}{\Phi} \right\rangle. \quad (14)$$

ここに,  $\langle \rangle$  は全領域平均を表す記号で,

$$\langle A \rangle \equiv \frac{1}{4\pi^2} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} A dy dx, \quad (15)$$

である.

本サブルーチンは,  $q, D, \Phi$  のスペクトル展開係数  $q_{kl}, D_{kl}, \Phi_{kl}$  を入力として, 上記の保存量 A.Ene., A.Ens., を求めるものである.



### 3. 呼び出し方法

N2SWCK(LM,KM,JM,IM,AVT,DIV,PHI,AENE,AENS,WS,WG,ITJ,TJ,ITI,TI)

### 4. パラメーターの説明

LM	(I)	入力. $y$ 方向の切断波数
KM	(I)	入力. $x$ 方向の切断波数
JM	(I)	入力. $y$ 方向の格子点数
IM	(I)	入力. $x$ 方向の格子点数
BARPHI	(D)	入力. 平均ジオポテンシャル $\bar{\Phi}$ の値
AVT	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)))	入力. $q_{kl}$ が格納されている配列
DIV	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)))	入力. $D_{kl}$ が格納されている配列
PHI	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)))	入力. $\Phi_{kl}$ が格納されている配列
AENE	(D)	出力. A.Ene. の値
AENS	(D)	出力. A.Ens. の値
WS	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)*2))	作業領域
WG	(D(JM*IM*5))	作業領域
ITJ	(I(5))	入力. N2INIT で与えられる配列
TJ	(D(JM*2))	入力. N2INIT で与えられる配列
ITI	(I(5))	入力. N2INIT で与えられる配列
TI	(D(IM*2))	入力. N2INIT で与えられる配列

### 5. 備考

- (a) aliasing を除くために十分な JM, IM の大きさについては, 概要を参照.
- (b) A.Ene., A.Ens. は非粘性の浅水方程式の保存量であるが, 離散化されている場合は, たとえ aliasing が除かれていても厳密には保存性が保証されないことに注意.

## 3.8 N2SWBL

### 1. 機能

浅水方程式の簡単な初期値化を行う.

### 2. 定義

N2SWNL の項で定義した平面上の浅水方程式系には重力波が含まれているので, ええ加減な初期値を与えてしまうと重力波成分が多すぎて望ましくない激しい時間変動が生じてしまう. 重力波は主に発散成分を伴っているため, 初期値として渦度成分だけ与えればよいように思われるが, それでもすぐに発散成分が発生してしまうので今一つである. 本サブルーチンは, 渦度成分が与えられた場合に, それに「バランス」するようなジオポテンシャル場を与えて重力波の発生をできるだけ抑えた初期値を作成するものである.

N2SWNL の項で定義した平面上の浅水方程式系のうち, 発散場の時間変化を記述する方程式は,

$$\dot{D} \equiv \frac{\partial D}{\partial t} = \frac{\partial(vq)}{\partial x} - \frac{\partial(uq)}{\partial y} - \nabla^2(E + \Phi). \quad (16)$$

ここで、発散成分の生成を抑えるために、 $\dot{D} = 0$  とするには、ジオポテンシャル場を

$$\nabla^2 \Phi = \frac{\partial(vq)}{\partial x} - \frac{\partial(uq)}{\partial y} - \nabla^2 E \quad (17)$$

として定めればよい (右辺は渦度場を与えれば定まるので)。ただし、この式ではポテンシャル場の平均値  $\bar{\Phi}$  は定まらないので、別途与えることになる。

本サブルーチンは、 $q$  のスペクトル展開係数  $q_{kl}$  を入力として、上記のバランス式を満すような  $\Phi$  の切断波数  $K, L$  までまでのスペクトル展開係数  $\Phi_{kl}$  を求めるものである。

### 3. 呼び出し方法

N2SWBL(LM,KM,JM,IM,BARPHI,AVT,PHI,WS,WG,ITJ,TJ,ITI,TI)

### 4. パラメーターの説明

LM	(I)	入力. $y$ 方向の切断波数
KM	(I)	入力. $x$ 方向の切断波数
JM	(I)	入力. $y$ 方向の格子点数
IM	(I)	入力. $x$ 方向の格子点数
BARPHI	(D)	入力. $\bar{\Phi}$ の値
AVT	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)))	入力. $q_{kl}$ が格納されている配列
PHI	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)))	出力. $\Phi_{kl}$ が格納される配列
WS	(D((2*KM+1)*(2*LM+1)*2))	作業領域
WG	(D(JM*IM*5))	作業領域
ITJ	(I(5))	入力. N2INIT で与えられる配列
TJ	(D(JM*2))	入力. N2INIT で与えられる配列
ITI	(I(5))	入力. N2INIT で与えられる配列
TI	(D(IM*2))	入力. N2INIT で与えられる配列

### 5. 備考