

# SMPACK 使用の手引 (version 1.0)

石岡 圭一 (98/02/17)

## 1 概要

これは、スペクトル (球面調和関数) 変換を行なうサブルーチンパッケージであり、球面調和関数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 の計算を行うサブルーチンなどからなっている。SMPACK は、STPACK とは異なり、GCM などの多層モデルにおける複数のスペクトル変換を効率よく並行して行うことを念頭において設計されている。また、このパッケージは FTPACK と BSPACK 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。また、STPACK および SMPACK の以前のバージョンとは異なり、このバージョンの SMPACK では各サブルーチンのすべての入力 は保存されるように設計されている。

切断波数  $M$  (三角切断) のスペクトル逆変換は、以下のように表せる:

$$g(\lambda, \varphi) = \sum_{n=0}^M \sum_{m=-n}^n s_n^m P_n^m(\sin \varphi) e^{im\lambda}. \quad (1)$$

ここに、 $\lambda$ : 経度,  $\varphi$ : 緯度である。

また、 $P_n^m(\mu)$  は 2 に正規化されたルジャンドル陪関数で、以下のように定義される:

$$P_n^m(\mu) \equiv \sqrt{(2n+1) \frac{(n-m)!}{(n+m)!} \frac{1}{2^n n!}} (1-\mu^2)^{m/2} \frac{d^{n+m}}{d\mu^{n+m}} (\mu^2-1)^n, \quad (2)$$

$$\int_{-1}^1 \{P_n^m(\mu)\}^2 d\mu = 2. \quad (3)$$

$g(\lambda, \varphi)$  が実数であるとする、 $s_n^m$  は以下の関係を満たしている必要がある:

$$s_n^{-m} = \{s_n^m\}^* \quad (4)$$

ここに、 $\{\}^*$  は複素共役を表す。従って、 $s_n^m$  は  $m \geq 0$  の範囲だけを求めれば良い。さらに、上の制約から、 $s_n^0$  は実数である。

また、スペクトル逆変換は以下のように表せる:

$$s_n^m = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} g(\lambda, \varphi) P_n^m(\sin \varphi) e^{-im\lambda} \cos \varphi d\varphi d\lambda. \quad (5)$$

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経度方向の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) によって近似し、ルジャンドル正変換の部分は、ガウス-ルジャンドル積分公式により:

$$s_n^m = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^J w_j G^m(\varphi_j) P_n^m(\sin \varphi_j) \quad (6)$$

として近似する。ここに、 $\varphi_j$  はガウス緯度と呼ばれる分点で、ルジャンドル多項式  $P_J(\sin \varphi)$  (ルジャンドル陪関数の定義式中で  $m = 0$  とし、正規化係数 ( $\sqrt{\quad}$  の部分) を無くしたもの) の  $J$  個の零点を大きい方から順に並べたものであり、 $w_j$  は各分点に対応するガウスアンウェイトと呼ばれる重みで、

$$w_j \equiv \frac{2(1 - \mu_j^2)}{\{JP_{J-1}(\mu_j)\}^2} \quad (7)$$

で与えられる。ここに、 $\mu_j \equiv \sin \varphi_j$  である。ある条件のもとでは、この積分公式は完全な近似、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 ( $s_n^m$ )  $\rightarrow$  格子点上のグリッドデータ ( $g(\lambda_i, \varphi_j)$ ) 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 ( $g(\lambda_i, \varphi_j)$ )  $\rightarrow$  スペクトルデータ ( $s_n^m$ ) 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群よりなっている。ここに、格子点の経度  $\lambda_i$  は全周を等間隔に  $I$ -分割した経度で、緯度  $\varphi_j$  は上述の  $J$  個のガウス緯度である。

また、SMPACK は多層用のルーチンであるので、 $K$  を層の数とすると、逆変換は各高度レベル  $z_k$  に対応する  $s_n^m(z_k)$  からグリッドデータ  $g(\lambda_i, \varphi_j, z_k)$  への変換、正変換は  $g(\lambda_i, \varphi_j, z_k)$  から  $s_n^m(z_k)$  への変換となる。

以下のサブルーチンの説明において、

MM:	切断波数 $M$
IM:	東西格子点数 $I$
JM:	ガウス緯度の個数 $J$
KM:	並行して行う変換の個数 (または層の数) $K$
N:	全波数 $n$
M:	帯状波数 $m$
I:	東西格子点の番号 $i$
J:	ガウス緯度の番号 $j$
K:	層の番号 $k$

なる対応関係がある。

## 2 サブルーチンのリスト

SMINIT	初期化
SMNM2L	スペクトルデータの格納位置の計算
SML2NM	SMNM2L の逆演算
SMCLAP	スペクトルデータにラプラシアンを作用 (またはその逆演算)
SMTS2G	スペクトルデータからグリッドデータへの変換
SMTG2S	グリッドデータからスペクトルデータへの変換
SMTS2V	スペクトルデータからベクトルデータへの変換 (勾配+回転)
SMTV2S	ベクトルデータからスペクトルデータへの変換 (発散+回転)
SMTS1V	スペクトルデータからベクトルデータへの変換 (勾配)
SMTV1S	ベクトルデータからスペクトルデータへの変換 (発散)

### 3 サブルーチンの説明

#### 3.1 SMINIT

1. 機能 SMPACK の初期化ルーチン. SMPACK 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

SMINIT(MM,IM,JM,KM,X,Y,W,IT,T,IP,P,QSG,QGS,QSV,QVS,QSU,QUS,R,ML,NL,RF,RB)

4. パラメーターの説明

MM	(I)	入力. 切断波数
IM	(I)	入力. 東西格子点数
JM	(I)	入力. 南北格子点数
KM	(I)	入力. 並行して行う変換の個数 (または層の数)
X	(D(IM))	出力. 東西格子点の座標値 ( $\lambda_i$ ) (単位はラジアン)
Y	(D(JM))	出力. 南北格子点の座標値 ( $\varphi_j$ ) (単位はラジアン)
W	(D(JM))	出力. ガウシアンウエイト ( $w_j/2$ )
IT	(I(5))	出力. SMT??? で用いられる配列
T	(D(IM*2))	出力. SMT??? で用いられる配列
IP	(I(KM*(2*MM+1)))	出力. SMT??? で用いられる配列
P	(D(KM*(MM+1)*(MM+3)*JM/2))	出力. SMT??? で用いられる配列
QSG	(D(JM/2))	出力. SMTS2G が用いる配列
QGS	(D(JM/2))	出力. SMTG2S が用いる配列
QSV	(D(JM/2))	出力. SMTS?V が用いる配列
QVS	(D(JM/2))	出力. SMTV?S が用いる配列
QSU	(D(JM/2))	出力. SMTS?V が用いる配列
QUS	(D(JM/2))	出力. SMTV?S が用いる配列
R	(D(KM*MM*(MM-1)*2))	出力. SMTV?S, SMTS?V が用いる配列
ML	(I((MM+1)*(MM+1)))	出力. 東西波数 $m$ のテーブルが格納される. SMTV?S, SMTS?V で用いられる.
NL	(I((MM+1)*(MM+1)))	出力. 全波数 $n$ のテーブルが格納される.
RF	(D((MM+1)*(MM+1)))	出力. SMCLAP が用いる配列
RB	(D((MM+1)*(MM+1)))	出力. SMCLAP が用いる配列

5. 備考

- (a) MM, KM  $\geq 1$  かつ JM および IM はそれぞれ, JM > MM および IM > 2\*MM を満す偶数でなければならない.
- (b) 配列 ML, NL の意味については, SML2NM の備考を参照.

#### 3.2 SMNM2L

1. 機能全波数と帯状波数からスペクトルデータの格納位置を計算する.

## 2. 定義

SMPACK において、スペクトルデータ ( $s_n^m$ ) は概要に述べた制限をもとに、独立な  $(M+1)^2$  個の成分を長さ  $(M+1)^2$  の配列に格納して扱う。

格納順は、ベクトル化の効率を向上させるために、以下のような特殊な順序になっている:

$$\begin{array}{ccccc}
 \text{Im}(s_M^M) & \text{Im}(s_M^{M-1}) & \cdots & \text{Im}(s_M^1) & \text{Re}(s_0^0) \\
 \text{Im}(s_{M-1}^{M-1}) & \cdots & \text{Im}(s_{M-1}^1) & \text{Re}(s_1^0) & \text{Re}(s_1^1) \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 \text{Im}(s_1^1) & \text{Re}(s_{M-1}^0) & \cdots & \text{Re}(s_{M-1}^{M-2}) & \text{Re}(s_{M-1}^{M-1}) \\
 \text{Re}(s_M^0) & \text{Re}(s_M^1) & \cdots & \text{Re}(s_M^{M-1}) & \text{Re}(s_M^M)
 \end{array}$$

ここに、 $\text{Re}(\ )$  は実数部を、 $\text{Im}(\ )$  は虚数部を表す。配列には、この図の左上から右下への順番に格納されている。

このサブルーチンは切断波数  $M$ 、 $s_n^m$  の全波数  $n$ 、および帯状波数  $m$  から  $\text{Re}(s_n^m)$  と  $\text{Im}(s_n^m)$  の配列中の格納位置を求めるものである。

## 3. 呼び出し方法

SMNM2L(MM,N,M,L)

## 4. パラメーターの説明

- MM (I) 入力. 切断波数
- N (I) 入力. 全波数
- M (I) 入力. 帯状波数
- L (I) 出力. スペクトルデータの格納位置 (備考参照)

## 5. 備考

$M > 0$  なら  $m = M$ ,  $n = N$  として  $\text{Re}(s_n^m)$  の格納位置を、 $M < 0$  なら  $m = -M$ ,  $n = N$  として  $\text{Im}(s_n^m)$  の格納位置を返す。

## 3.3 SML2NM

1. 機能 SMNM2L の逆演算, すなわち, スペクトルデータの格納位置から全波数と帯状波数を求める。

## 2. 定義

SMNM2L の項を参照

## 3. 呼び出し方法

SML2NM(MM,L,N,M)

## 4. パラメーターの説明

- MM (I) 入力. 切断波数
- L (I) 入力. スペクトルデータの格納位置
- N (I) 出力. 全波数
- M (I) 出力. 帯状波数

## 5. 備考

(a) M の正負についての意味づけは SMNM2L と同じである.

(b) このルーチンを用いるよりも, SMINIT で求められている ML と NL を用いて  $M=ML(L), N=NL(L)$  とする方が便利であろう.

## 3.4 SMCLAP

1. 機能スペクトルデータにラプラシアンを作用させる, またはその逆演算を行う.

2. 定義

球面調和関数展開

$$g(\lambda, \varphi) = \sum_{n=0}^M \sum_{m=-n}^n a_n^m P_n^m(\sin \varphi) e^{im\lambda}. \quad (8)$$

に対して, 水平 Laplacian

$$\nabla^2 \equiv \frac{\partial^2}{\cos^2 \varphi \partial \lambda^2} + \frac{\partial}{\cos \varphi \partial \varphi} \left( \cos \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} \right) \quad (9)$$

を作用させると, 球面調和関数の性質から,

$$\nabla^2 g(\lambda, \varphi) = \sum_{n=0}^M \sum_{m=-n}^n -n(n+1) a_n^m P_n^m(\sin \varphi) e^{im\lambda}. \quad (10)$$

となる. そこで,

$$b_n^m \equiv -n(n+1) a_n^m \quad (11)$$

を導入すると,

$$\nabla^2 g(\lambda, \varphi) = \sum_{n=0}^M \sum_{m=-n}^n b_n^m P_n^m(\sin \varphi) e^{im\lambda}. \quad (12)$$

と表せる. また, 逆に

$$\nabla^2 g(\lambda, \varphi) = \sum_{n=0}^M \sum_{m=-n}^n a_n^m P_n^m(\sin \varphi) e^{im\lambda}. \quad (13)$$

であるとき,

$$b_n^m \equiv -\frac{1}{n(n+1)} a_n^m \quad (14)$$

を導入すると,

$$g(\lambda, \varphi) = \sum_{n=0}^M \sum_{m=-n}^n b_n^m P_n^m(\sin \varphi) e^{im\lambda}. \quad (15)$$

と表せる.

本サブルーチンは,  $a_n^m$  から  $b_n^m \equiv -n(n+1) a_n^m$  の計算, またはその逆演算:  $a_n^m$  から  $b_n^m \equiv -a_n^m / (n(n+1))$ , を行うものである.

3. 呼び出し方法

SMCLAP (MM, KM, A, B, RF)

#### 4. パラメーターの説明

MM	(I)	入力. 切断波数
KM	(I)	入力. 並行して行う変換の個数 (または層の数)
A	(D((MM+1)*(MM+1),KM))	入力. $a_n^m(z_k)$ が格納されている配列
B	(D((MM+1)*(MM+1),KM))	出力. $b_n^m(z_k)$ が格納される配列
RF	(D((MM+1)*(MM+1)))	入力. SMINIT で得られている配列 (備考参照)

#### 5. 備考

- (a) スペクトルデータ  $a_n^m$  および  $b_n^m$  のスペクトルの並べ方については SMNM2L の項を参照. ただし, 多層であるので,  $A(L,K)$  は第  $K$  層の  $L$  番目のスペクトルというように格納されることに注意.
- (b) RF の代わりに SMINIT で得られている RB を与えると逆演算を行う.
- (c) このルーチンは配列 A に単純に RF(または RB) を掛けて B を求めているだけなので, もしラプリアンの演算 (またはその逆演算) の際にスケールファクター (地球半径など) も同時に作用させたい場合は, 前もって RF(または RB) にそれらのスケールファクターを掛けておけばよい.

### 3.5 SMTS2G

#### 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 ( $s_n^m(z_k)$ ) から格子点上のグリッドデータ ( $g(\lambda_i, \varphi_j, z_k)$ ) を求める.

#### 3. 呼び出し方法

SMTS2G(MM,IM,ID,JM,JD,KM,S,G,WORK,IT,T,IP,P,QSG)

#### 4. パラメーターの説明

MM	(I)	入力. 切断波数
IM	(I)	入力. 東西格子点数
ID	(I)	入力. G の第 1 次元目の寸法
JM	(I)	入力. 南北格子点数
JD	(I)	入力. G の第 2 次元目の寸法
KM	(I)	入力. 並行して行う変換の個数 (または層の数)
S	(D((MM+1)*(MM+1),KM))	入力. $s_n^m(z_k)$ が格納されている配列
G	(D(ID,JD,KM))	出力. $g(\lambda_i, \varphi_j, z_k)$ が格納される配列
WORK	(D(ID*JD*KM))	作業領域
IT	(I(5))	入力. SMINIT で得られている配列
T	(D(IM*2))	入力. SMINIT で得られている配列
IP	(I(KM*(2*MM+1)))	入力. SMINIT で得られている配列
P	(D(KM*(MM+1)*(MM+3)*JM/2))	入力. SMINIT で得られている配列
QSG	(D(JM/2))	入力. SMINIT で得られている配列

## 5. 備考

- (a)  $ID \geq IM$ ,  $JD \geq JM$  でなければならない。またベクトル計算機においてはバンク競合を避けるために、 $ID, JD$  はできれば奇数にとるのがよい。
- (b)  $G(ID, JD, KM)$  と宣言されている場合、 $G(I, J, K)$  には  $g(\lambda_i, \varphi_j, z_k)$  が格納される。
- (c) 変換の際にスケールファクター (地球半径など) も同時に作用させたい場合は、前もって QSG にこれらのスケールファクターを掛けておけばよい。
- (d)  $ID > IM$  の場合は、 $G(I, J, K)$  ( $I > IM$ ) には  $G(IM, J, K)$  と同じ値が代入される。また、 $JD > JM$  の場合は、 $G(I, J, K)$  ( $J > JM$ ) には  $G(I, JM, K)$  と同じ値が代入される。

## 3.6 SMTG2S

### 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 ( $g(\lambda_i, \varphi_j, z_k)$ ) からスペクトルデータ ( $s_n^m(z_k)$ ) を求める。

### 3. 呼び出し方法

SMTG2S(MM, IM, ID, JM, JD, KM, G, S, WORK, IT, T, IP, P, QGS)

### 4. パラメーターの説明

MM	(I)	入力. 切断波数
IM	(I)	入力. 東西格子点数
ID	(I)	入力. G の第 1 次元目の寸法
JM	(I)	入力. 南北格子点数
JD	(I)	入力. G の第 2 次元目の寸法
KM	(I)	入力. 並行して行う変換の個数 (または層の数)
G	(D(ID, JD, KM))	入力. $g(\lambda_i, \varphi_j, z_k)$ が格納されている配列
S	(D((MM+1)*(MM+1), KM))	出力. $s_n^m(z_k)$ が格納される配列
WORK	(D(ID*JD*KM*2))	作業領域
IT	(I(5))	入力. SMINIT で得られている配列
T	(D(IM*2))	入力. SMINIT で得られている配列
IP	(I(KM*(2*MM+1)))	入力. SMINIT で得られている配列
P	(D(KM*(MM+1)*(MM+3)*JM/2))	入力. SMINIT で得られている配列
QGS	(D(JM/2))	入力. SMINIT で得られている配列

## 5. 備考

- (a) ID, JD の設定などについては SMTS2G の備考を参照。
- (b) 変換の際にスケールファクター (地球半径など) も同時に作用させたい場合は、前もって QGS にこれらのスケールファクターを掛けておけばよい。

### 3.7 SMTS2V

#### 1. 機能

2つのスペクトルデータからグリッドデータの勾配+回転に対応するベクトルデータへの変換を行う。

#### 2. 定義

2つのスペクトルデータ  $a_n^m$ ,  $b_n^m$  からスペクトル逆変換により求められる実空間のデータ  $A(\lambda, \varphi)$ ,  $B(\lambda, \varphi)$  に対して、勾配+回転ベクトルを

$$(u, v) \equiv \left( \frac{1}{\cos \varphi} \frac{\partial A}{\partial \lambda} - \frac{\partial B}{\partial \varphi}, \quad \frac{\partial A}{\partial \varphi} + \frac{1}{\cos \varphi} \frac{\partial B}{\partial \lambda} \right) \quad (16)$$

と定義するものとする。本サブルーチンは、2つのスペクトルデータ  $a_n^m(z_k)$ ,  $b_n^m(z_k)$  から格子点上のベクトルデータ  $(u(\lambda_i, \varphi_j, z_k), v(\lambda_i, \varphi_j, z_k))$  を求めるものである。

#### 3. 呼び出し方法

SMTS2V(MM, IM, ID, JM, JD, KM, A, B, U, V, WORK, IT, T, IP, P, QSV, R, ML)

#### 4. パラメータの説明

MM	(I)	入力. 切断波数
IM	(I)	入力. 東西格子点数
ID	(I)	入力. U, V の第 1 次元目の寸法
JM	(I)	入力. 南北格子点数
JD	(I)	入力. U, V の第 2 次元目の寸法
KM	(I)	入力. 並行して行う変換の個数 (または層の数)
A	(D((MM+1)*(MM+1), KM))	入力. $a_n^m(z_k)$ が格納されている配列
B	(D((MM+1)*(MM+1), KM))	入力. $b_n^m(z_k)$ が格納されている配列
U	(D(ID, JD, KM))	出力. $u(\lambda_i, \varphi_j, z_k)$ が格納される配列
V	(D(ID, JD, KM))	出力. $v(\lambda_i, \varphi_j, z_k)$ が格納される配列
WORK	(D(ID*JD*KM*2))	作業領域
IT	(I(5))	入力. SMINIT で得られている配列
T	(D(IM*2))	入力. SMINIT で得られている配列
IP	(I(KM*(2*MM+1)))	入力. SMINIT で得られている配列
P	(D(KM*(MM+1)*(MM+3)*JM/2))	入力. SMINIT で得られている配列
QSV	(D(JM/2))	入力. SMINIT で得られている配列
R	(D(KM*MM*(MM-1)*2))	入力. SMINIT で得られている配列
ML	(I((MM+1)*(MM+1)))	入力. SMINIT で得られている配列

#### 5. 備考

- (a) U(ID, JD, KM), V(ID, JD, KM) と宣言されている場合, U(I, J, K), V(I, J, K) には  $u(\lambda_i, \varphi_j, z_k)$ ,  $v(\lambda_i, \varphi_j, z_k)$  が格納される。
- (b) QSV の代わりに, SMINIT で得られている QSU を用いると, (U, V) に  $(u \cos \phi, v \cos \phi)$  が返される。
- (c) 変換の際にスケールファクター (地球半径など) も同時に作用させたい場合は, 前もって QSV (または QSU) にそれらのスケールファクターを掛けておけばよい。
- (d) ID>IM の場合の U(I, J, K) (I>IM) などの値については SMTS2G の場合と同様である。



### 3.8 SMTV2S

#### 1. 機能

ベクトルデータの発散および回転に対応する 2 つのスペクトルデータへの変換を行う。

#### 2. 定義

ベクトルデータ  $(u(\lambda, \varphi), v(\lambda, \varphi))$  に対して, 発散  $A$  および回転  $B$  を

$$A \equiv \frac{\partial u}{\cos \varphi \partial \lambda} + \frac{\partial (v \cos \varphi)}{\cos \varphi \partial \varphi} \quad (17)$$

$$B \equiv \frac{\partial v}{\cos \varphi \partial \lambda} - \frac{\partial (u \cos \varphi)}{\cos \varphi \partial \varphi} \quad (18)$$

と定義するものとする。本サブルーチンは, 格子点上のベクトルデータ  $(u(\lambda_i, \varphi_j, z_k), v(\lambda_i, \varphi_j, z_k))$  からこの発散  $A$ , 回転  $B$  に対応するスペクトルデータ  $a_n^m(z_k), b_n^m(z_k)$  を求めるものである。

#### 3. 呼び出し方法

SMTV2S(MM, IM, ID, JM, JD, KM, U, V, A, B, WORK, IT, T, IP, P, QVS, R, ML)

#### 4. パラメータの説明

MM	(I)	入力. 切断波数
IM	(I)	入力. 東西格子点数
ID	(I)	入力. U, V の第 1 次元目の寸法
JM	(I)	入力. 南北格子点数
JD	(I)	入力. U, V の第 2 次元目の寸法
KM	(I)	入力. 並行して行う変換の個数 (または層の数)
U	(D(ID, JD, KM))	入力. $u(\lambda_i, \varphi_j, z_k)$ が格納されている配列
V	(D(ID, JD, KM))	入力. $v(\lambda_i, \varphi_j, z_k)$ が格納されている配列
A	(D((MM+1)*(MM+1), KM))	出力. $a_n^m(z_k)$ が格納される配列
B	(D((MM+1)*(MM+1), KM))	出力. $b_n^m(z_k)$ が格納される配列
WORK	(D(ID*JD*KM*3))	作業領域
IT	(I(5))	入力. SMINIT で得られている配列
T	(D(IM*2))	入力. SMINIT で得られている配列
IP	(I(KM*(2*MM+1)))	入力. SMINIT で得られている配列
P	(D(KM*(MM+1)*(MM+3)*JM/2))	入力. SMINIT で得られている配列
QVS	(D(JM/2))	入力. SMINIT で得られている配列
R	(D(KM*MM*(MM-1)*2))	入力. SMINIT で得られている配列
ML	(I((MM+1)*(MM+1)))	入力. SMINIT で得られている配列

#### 5. 備考

(a) QVS の代わりに, SMINIT で得られている QUS を用いると, 入力 (U, V) として  $(u, v)$  の代わりに  $(u \cos \phi, v \cos \phi)$  を用いることができる。

(b) 変換の際にスケールファクター (地球半径など) も同時に作用させたい場合は, 前もって QVS (または QUS) にそれらのスケールファクターを掛けておけばよい。

### 3.9 SMTS1V

#### 1. 機能

スペクトルデータからグリッドデータの勾配に対応するベクトルデータへの変換を行う。

#### 2. 定義

スペクトルデータ  $a_n^m$  からスペクトル逆変換により求められる実空間のデータ  $A(\lambda, \varphi)$  に対して、勾配ベクトルを

$$(u, v) \equiv \left( \frac{1}{\cos \varphi} \frac{\partial A}{\partial \lambda}, \frac{\partial A}{\partial \varphi} \right) \quad (19)$$

と定義するものとする。本サブルーチンは、スペクトルデータ  $a_n^m(z_k)$  から格子点上のベクトルデータ  $(u(\lambda_i, \varphi_j, z_k), v(\lambda_i, \varphi_j, z_k))$  を求めるものである。

#### 3. 呼び出し方法

SMTS1V(MM, IM, ID, JM, JD, KM, A, U, V, WORK, IT, T, IP, P, QSV, R, ML)

#### 4. パラメーターの説明

MM	(I)	入力. 切断波数
IM	(I)	入力. 東西格子点数
ID	(I)	入力. U, V の第 1 次元目の寸法
JM	(I)	入力. 南北格子点数
JD	(I)	入力. U, V の第 2 次元目の寸法
KM	(I)	入力. 並行して行う変換の個数 (または層の数)
A	(D((MM+1)*(MM+1), KM))	入力. $a_n^m(z_k)$ が格納されている配列
U	(D(ID, JD, KM))	出力. $u(\lambda_i, \varphi_j, z_k)$ が格納される配列
V	(D(ID, JD, KM))	出力. $v(\lambda_i, \varphi_j, z_k)$ が格納される配列
WORK	(D(ID*JD*KM*2))	作業領域
IT	(I(5))	入力. SMINIT で得られている配列
T	(D(IM*2))	入力. SMINIT で得られている配列
IP	(I(KM*(2*MM+1)))	入力. SMINIT で得られている配列
P	(D(KM*(MM+1)*(MM+3)*JM/2))	入力. SMINIT で得られている配列
QSV	(D(JM/2))	入力. SMINIT で得られている配列
R	(D(KM*MM*(MM-1)*2))	入力. SMINIT で得られている配列
ML	(I((MM+1)*(MM+1)))	入力. SMINIT で得られている配列

#### 5. 備考

- (a) QSV の代わりに、SMINIT で得られている QSU を用いると、(U, V) に  $(u \cos \phi, v \cos \phi)$  が返される。
- (b) 変換の際にスケールファクター (地球半径など) も同時に作用させたい場合は、前もって QSV (または QSU) にそれらのスケールファクターを掛けておけばよい。
- (c) このルーチンは SMTS2V で B の全要素に 0 を与えたのと同じ効果を持つ。
- (d) ID>IM の場合の U(I, J, K) (I>IM) などの値については SMTS2G の場合と同様である。

### 3.10 SMTV1S

#### 1. 機能

ベクトルデータの発散に対応するスペクトルデータへの変換を行う。

#### 2. 定義

ベクトルデータ  $(u(\lambda, \varphi), v(\lambda, \varphi))$  に対して、発散  $A$  を

$$A \equiv \frac{\partial u}{\cos \varphi \partial \lambda} + \frac{\partial (v \cos \varphi)}{\cos \varphi \partial \varphi} \quad (20)$$

と定義するものとする。本サブルーチンは、格子点上のベクトルデータ  $(u(\lambda_i, \varphi_j), v(\lambda_i, \varphi_j))$  からこの発散  $A$  に対応するスペクトルデータ  $a_n^m$  を求めるものである。

#### 3. 呼び出し方法

SMTV1S(MM, IM, ID, JM, JD, KM, U, V, A, WORK, IT, T, IP, P, QVS, R, ML)

#### 4. パラメーターの説明

MM	(I)	入力. 切断波数
IM	(I)	入力. 東西格子点数
ID	(I)	入力. U, V の第 1 次元目の寸法
JM	(I)	入力. 南北格子点数
JD	(I)	入力. U, V の第 2 次元目の寸法
KM	(I)	入力. 並行して行う変換の個数 (または層の数)
U	(D(ID, JD, KM))	入力. $u(\lambda_i, \varphi_j, z_k)$ が格納されている配列
V	(D(ID, JD, KM))	入力. $v(\lambda_i, \varphi_j, z_k)$ が格納されている配列
A	(D((MM+1)*(MM+1), KM))	出力. $a_n^m(z_k)$ が格納される配列
WORK	(D(ID*JD*KM*3))	作業領域
IT	(I(5))	入力. SMINIT で得られている配列
T	(D(IM*2))	入力. SMINIT で得られている配列
IP	(I(KM*(2*MM+1)))	入力. SMINIT で得られている配列
P	(D(KM*(MM+1)*(MM+3)*JM/2))	入力. SMINIT で得られている配列
QVS	(D(JM/2))	入力. SMINIT で得られている配列
R	(D(KM*MM*(MM-1)*2))	入力. SMINIT で得られている配列
ML	(I((MM+1)*(MM+1)))	入力. SMINIT で得られている配列

#### 5. 備考

(a) QVS の代わりに、SMINIT で得られている QUS を用いると、入力 (U, V) として  $(u, v)$  の代わりに  $(u \cos \phi, v \cos \phi)$  を用いることができる。

(b) 変換の際にスケールファクター (地球半径など) も同時に作用させたい場合は、前もって QVS(または QUS) にそれらのスケールファクターを掛けておけばよい。

(c) このルーチンは SMTV2S で B の方を求める操作を省略したものである。