

メソ解析 z-hybrid 面ランベルト解析値 (2020 年 3 月 25 日 00UTC~)

1 概要

メソ解析 z-hybrid 面ランベルト解析値 (2020 年 3 月 25 日 00UTC~) について解説する。メソ解析は 2020 年 3 月 25 日 00UTC~ は asuca に基づく変分法同化システム (asuca-Var) により作成している。以下では、2.1 で出力要素の一覧表を示し、2.2 でデータの空間配置を説明する。2.3 で水物質の出力要素について補足する。

2 出力データの仕様

2.1 出力要素

出力要素一覧を表 1, 2 に示す。風速 $Ustg, Vstg, Wstg$ は、他の要素とは半格子だけずらして配置する (2.2 参照)。水物質 QXa は、全密度に対する各水物質の密度の比である (2.3 参照)。

asuca の地中温度 TIN では、地中の 8 層に加えて、地表面の温度も予報変数となっていて、出力には 8 層に加え、 $SURF$ 面での出力がある。

気圧については、asuca の予報変数から

$$\pi = \left\{ \frac{R_d \rho \theta_m}{p_0} \right\}^{R_d/C_v}, p = R_d(\rho \theta_m) \pi \quad (1)$$

により、その層で直接求めた気圧 P と、以下のように静力学平衡の式を用いて積み上げた気圧 $PHYD$ がある。 $PHYD$ は、まず、

$$\pi'_{[0]} = \pi_1 + \frac{g}{c_p \theta_m} (z_1 - z_{[0]}) \quad (2)$$

で大気最下層 ($k = 1$) の状態変数から地表面のエクスナー関数 $\pi'_{[0]}$ を求める。ここで、添字は鉛直層番号で、 $[]$ 付きでハーフレベルの層番号を示す。 $[0]$ は地表面をあらわす。フルレベル、ハーフレベルについては 2.2.2 を参照されたい。次に

$$\pi'_{[k]} = \pi'_{[k-1]} - \frac{g}{c_p \theta_m} (z_{[k]} - z_{[k-1]}), k = 1, 2, \dots, nz \quad (3)$$

によりハーフレベル $[k]$ のエクスナー関数 $\pi'_{[k]}$ を順に求める。最後に、上下のハーフレベル ($[k], [k-1]$) のエクスナー関数の平均をフルレベル k のエクスナー関数とし、そこから $PHYD$ を診断する。直接求めた気圧 P では、数値計算上の誤差により $\Delta P / \Delta z$ が負になる可能性があることに注意が必要である。

表1 出力要素一覧（その1）。表中、要素名は6文字であり、6文字に足りない場合は空白を入れる。水平定義点の記号は図1を参照。鉛直定義点のfはフルレベル（インデックスが整数）、hはハーフレベル（インデックスが半整数）を示す。※は定義ファイルに記述はあるが、出力はされていない要素を示す。

要素名	内容	単位	水平定義点	鉛直定義点	面	備考
ZS	標高	m	p	-	SURF	初期時刻のみ
ZSq	標高	m	q	-	SURF	初期時刻のみ
SL	海陸比	(0-1)	p	-	SURF	初期時刻のみ、0:海、1:陸
PSEA	海面更正気圧	hPa	p	-	SURF	
FLAT	緯度	度	p	-	SURF	初期時刻のみ
FLON	経度	度	p	-	SURF	初期時刻のみ
Ustg	モデル座標系の x 方向の水平風速	m/s	u	f	1, 2, ..., nz	座標系によっては東西風とは限らない
Vstg	モデル座標系の y 方向の水平風速	m/s	v	f	1, 2, ..., nz	座標系によっては南北風とは限らない
Wstg	鉛直風速	m/s	p	h	1, 2, ..., nz	
Dens	全密度	kg/m ³	p	f	1, 2, ..., nz	
T	気温	K	p	f	1, 2, ..., nz	
PT	温位から ptrf を減じたもの	K	p	f	1, 2, ..., nz	
TIN	地面温度 (格子平均)	K	p	-	SURF, 1, 2, ..., 8	
TIN1	地面温度 (陸タイル)	K	p	-	SURF, 1, 2, ..., 8	
TINs	地面温度 (海タイル)	K	p	-	SURF, 1, 2, ..., 8	
W.G	土壌水分体積含水量	m ³ /m ³	p	-	1, 2	
QVa	全密度に対する水蒸気の密度の比	kg/kg	p	f	1, 2, ..., nz	
QCa	全密度に対する雲水の密度の比	kg/kg	p	f	1, 2, ..., nz	
QIa	全密度に対する雲氷の密度の比	kg/kg	p	f	1, 2, ..., nz	
QRa	全密度に対する雨の密度の比	kg/kg	p	f	1, 2, ..., nz	
QSa	全密度に対する雪の密度の比	kg/kg	p	f	1, 2, ..., nz	
QGa	全密度に対する霰の密度の比	kg/kg	p	f	1, 2, ..., nz	
QHa	全密度に対する雹の密度の比	kg/kg	p	f	1,2,..., nz	※
QNC	雲水粒の数濃度	1/m ³	p	f	1,2,..., nz	※
QNI	雲氷粒の数濃度	1/m ³	p	f	1,2,..., nz	※
QNR	雨粒の数濃度	1/m ³	p	f	1,2,..., nz	※
QNS	雪粒の数濃度	1/m ³	p	f	1,2,..., nz	※
QNG	霰粒の数濃度	1/m ³	p	f	1,2,..., nz	※
QNH	雹粒の数濃度	1/m ³	p	f	1,2,..., nz	※

表2 出力要素一覧 (表1の続き)

要素名	内容	単位	水平 定義 点	鉛直 定義 点	面	備考
QKE	乱流エネルギーの2倍	J/m ³	p	f	1, 2, ..., nz	
PTSQ	液水温位の揺らぎの自己相関 $\overline{\theta_1'^2}$	K ²	p	f	1, 2, ..., nz	
QWSQ	総水量の揺らぎの自己相関 $\overline{q_w'^2}$	kg ² /kg ²	p	f	1, 2, ..., nz	
PTSQ	液水温位、総水量それぞれの揺らぎの相関 $\overline{\theta_1' q_w'}$	K kg/kg	p	f	1, 2, ..., nz	
P	気圧 (地上、各層)	hPa	p	f	SURF, 1, 2, ..., nz	
PHYD	静力学平衡で積み上げた気圧 (地上、各層)	hPa	p	f	SURF, 1, 2, ..., nz	
ZOM	運動量粗度 (格子平均)	m	p	-	SURF	
ZOM1	運動量粗度 (陸タイル)	m	p	-	SURF	
ZOMs	運動量粗度 (海タイル)	m	p	-	SURF	
ZOH	熱粗度 (格子平均)	m	p	-	SURF	
ZOH1	熱粗度 (陸タイル)	m	p	-	SURF	
ZOHs	熱粗度 (海タイル)	m	p	-	SURF	
ZOQ	水蒸気粗度 (格子平均)	m	p	-	SURF	
ZOQ1	水蒸気粗度 (陸タイル)	m	p	-	SURF	
ZOQs	水蒸気粗度 (海タイル)	m	p	-	SURF	
KIND	地表面種別		p	-	SURF	初期時刻のみ
SMQR	積算降水量 (雨)	mm	p	-	SURF	初期時刻以外
SMQI	積算降水量 (氷)	mm	p	-	SURF	初期時刻以外
SMQS	積算降水量 (雪)	mm	p	-	SURF	初期時刻以外
SMQG	積算降水量 (霰)	mm	p	-	SURF	初期時刻以外
SMQH	積算降水量 (雹)	mm	p	-	SURF	初期時刻以外
TLFr1	陸タイルの占有率	(0-1)	p	-	SURF	初期時刻のみ
TLFrS	海タイルの占有率	(0-1)	p	-	SURF	初期時刻のみ

2.2 座標系

2.2.1 水平

asuca の水平格子の配置を図1に示す。asuca では x, y ともインデックスが整数値である点を p ポイント、 x, y ともインデックスが半整数である点を q ポイント、 x のインデックスが半整数で y のインデックスが整数である点を u ポイント、 x のインデックスが整数で y のインデックスが半整数である点を v ポイントと呼んでいる。

asuca データは、東西南北それぞれ2格子の物理境界領域のデータも出力している。

asuca 内部では、 x 方向は西から東へ、 y 方向は南から北へと座標値が増えるように座標が配置されている。便宜上、計算機上では、u ポイントや v ポイントの半整数のインデックスも整数値で

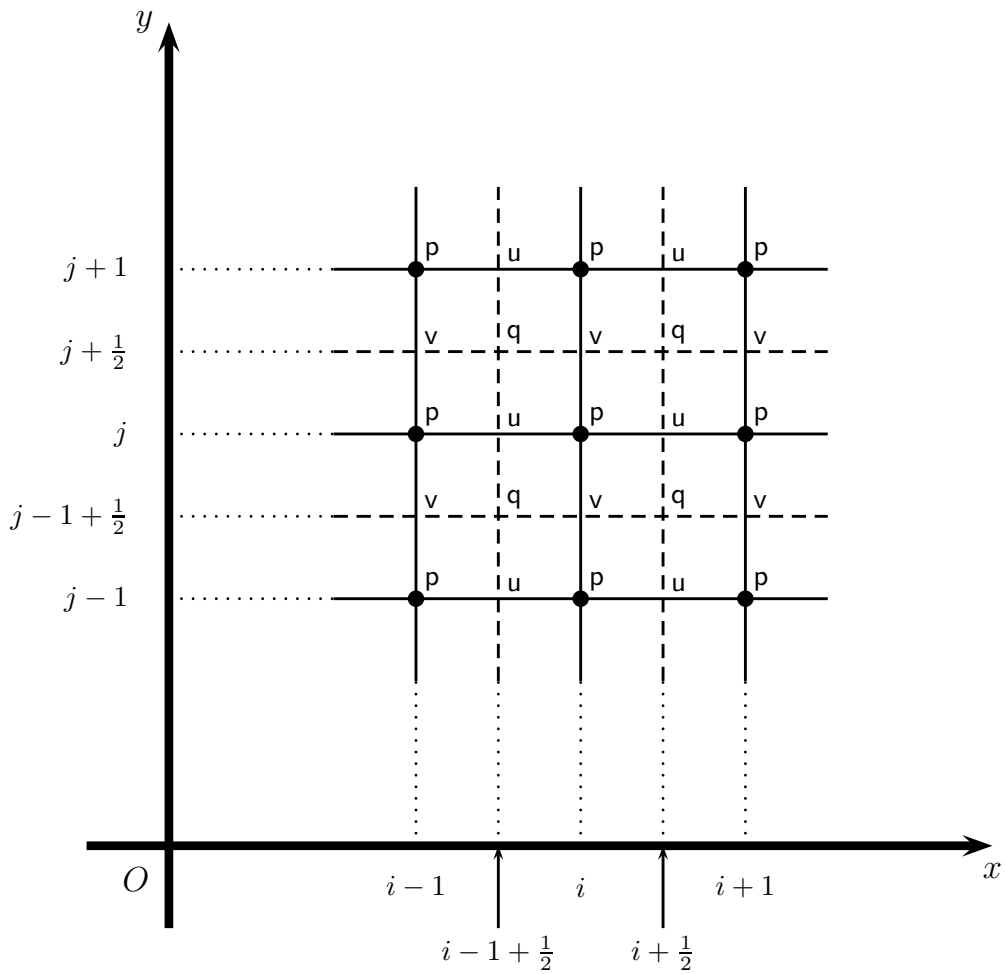


図1 asuca の水平方向の格子の配置と定義点の名称。

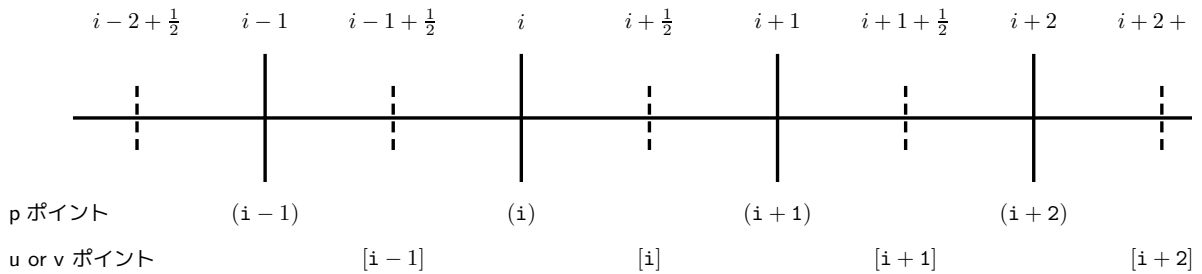


図2 水平方向の格子配置とインデックスを1次元で示したもの。 x 方向は西から東、 y 方向は (モデルのオリジナルの座標系では) 南から北へとインデックスが大きくなる (NuSDaS の場合は北から南にインデックスが大きくなるので注意)。() は p ポイントのインデックス、[] は半格子ずれた u ポイント (x 方向) または v ポイント (y 方向) の整数インデックスを示す。

表すが、この座標系のもとで、 $i + 1/2$ を整数値では i と表現している。u ポイントから p ポイントに内挿するには、 x 方向のインデックスについて、 $i - 1/2$ と $i + 1/2$ の平均をとることで p ポイント i の値が求まる。これを整数値のインデックスで表示すれば、 $i-1$ と i の値の平均をとることになる。たとえば、asuca データの Ustg は u ポイントの値が格納されているが、これから p ポイントの x 方向の風速 U を求めるには

$$U(i) = 0.5 \times (Ustg(i - 1) + Ustg(i)) \quad (4)$$

とすればよい。

y 方向の風速 V についても、モデル内部の座標系のもとでは同様である。

$$V(j) = 0.5 \times (Vstg(j - 1) + Vstg(j)) \quad (5)$$

しかし、NuSDaS に格納する際に、南北の向きを入れ替えて北から南にデータを格納しているため、NuSDaS のデータをそのまま (南北の入れ替えをせずに) p ポイントに内挿するには、 j と $j+1$ の平均をとる必要がある。すなわち、

$$V^{NS}(j) = 0.5 \times (Vstg^{NS}(j) + Vstg^{NS}(j + 1)) \quad (6)$$

となることに注意が必要である。ここで、NS の添え字がついている変数は、NuSDaS のデータのように北から南にデータが格納されていることを示す。

なお、Ustg や Vstg はモデル座標系における x 方向、 y 方向の風速であり、一般には東西風、南北風ではない。東西風や南北風に変換するためには、風ベクトルの回転が必要である。座標系の標準経度を λ_0 、各点の経度を λ として、ポーラステレオ座標の場合は $\lambda - \lambda_0$ 、ランベルト座標系では $\alpha(\lambda - \lambda_0)$ (ランベルト座標の標準緯度が $30^\circ N$ と $60^\circ N$ のとき $\alpha \simeq 0.716$)*¹ の角度だけ、風ベクトルを回転する。

2.2.2 鉛直

鉛直方向は、大気最下層が第 1 層になっている。2 つのハーフレベルの真ん中にフルレベルがある。ハーフレベル第 1 層は、フルレベル第 1 層の上にある*²。

鉛直速度 W のハーフレベルからフルレベルへの内挿は

$$W(k) = 0.5 \times (Wstg(k - 1) + Wstg(k)) \quad (7)$$

となる。ただし、 $Wstg(0) = 0$ とする。

*1 標準緯度が ϕ_1, ϕ_2 のとき、

$$\alpha = \frac{\ln(\cos \phi_1) - \ln(\cos \phi_2)}{\ln \left[\tan \left(45^\circ - \frac{\phi_1}{2} \right) \right] - \ln \left[\tan \left(45^\circ - \frac{\phi_2}{2} \right) \right]}$$

である。

*2 ハーフレベル第 1 層と地表面の真ん中にフルレベル第 1 層がある。

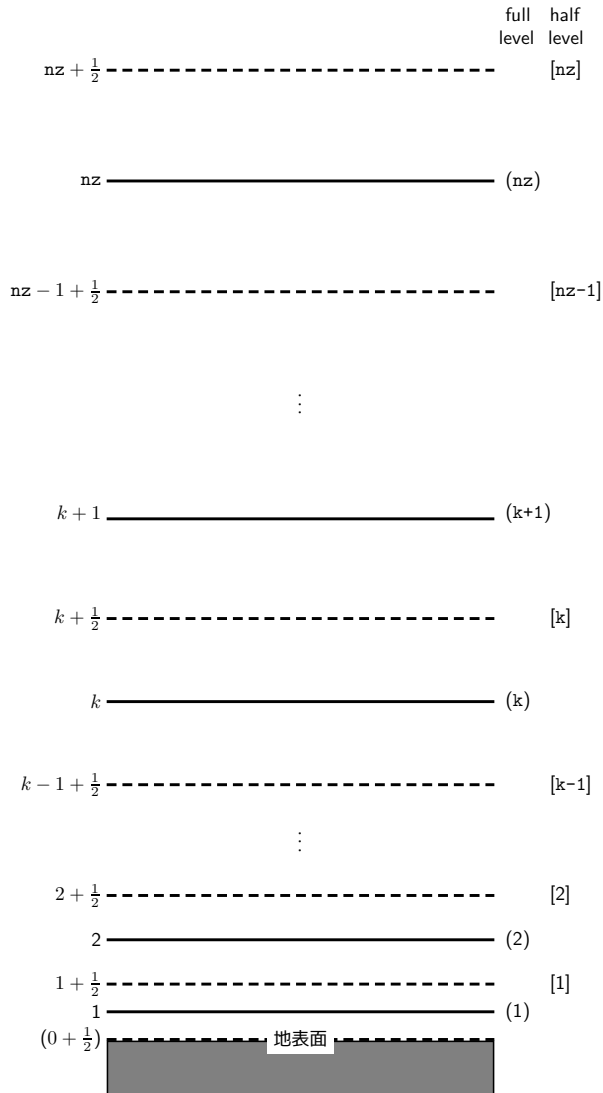


図3 鉛直方向の層配置とインデックス。()はフルレベルのインデックス、[]はハーフレベルの整数インデックスを示す。

鉛直座標の情報は NuSDaS の SUBC ZHYB から取得する。各格子におけるモデル面の海面からの高度 z を得るには以下の式を用いる。

$$z = \zeta + z_s f(\zeta) \quad (8)$$

ここで、 z_s は標高、 ζ はモデルの鉛直座標値、 f は鉛直座標変換を規定する関数である。NuSDaS には、 z_s は p ポイントは ZS, q ポイントは ZSq という要素名^{*3}で、 ζ は SUBC ZHYB の zrp(フルレベル)、zrw(ハーフレベル)として、 $f(\zeta)$ は vctrans_p(フルレベル)、vctrans_w(ハーフレベル)として格納されている。

*3 モデルの力学の計算では q ポイントの標高が用いられるため出力されているが、通常は格子中央の p ポイントの標高 ZS を用いる。

なお、PT の定義は「温位から SUBC ZHYB の ptrf を減じたもの」である。asuca では ptrf が 0 となっている*4。

2.3 水物質量の要素変換

asuca においては、凝結した水も含む大気的全密度に対するその水物質の密度の比 Q_x を要素名 QXa として出力している*5。すなわち、

$$Q_x = \frac{\rho_x}{\rho} \quad (9)$$

ここで、 ρ_x は水物質 x の密度、全密度 ρ は

$$\rho = \rho_d + \sum_{\alpha} \rho_{\alpha} = \rho_d + \rho_v + \sum_{\alpha \neq v} \rho_{\alpha} \quad (10)$$

であり、 \sum_{α} は (水蒸気を含む) すべての水物質に対する和を、 $\sum_{\alpha \neq v}$ は水蒸気以外の水物質について和をとることを示す*6。 ρ_d は乾燥空気の密度、 ρ_v は水蒸気の密度である。

ここでは、水物質の質量を表す量として、凝結していない大気 (乾燥大気と水蒸気) の密度に対するその水物質 x の密度の比 q_x への変換方法を示しておく。 q_x は、すなわち、

$$q_x = \frac{\rho_x}{\rho_d + \rho_v} \quad (11)$$

と書ける。

相対湿度を求める場合など、 q_x が必要な場合には、以下に従って変換を行う。

(11) 式と (9) 式より、 q_x と Q_x は、以下のように関係づけられる。

$$q_x = Q_x \frac{\rho}{\rho_d + \rho_v} = Q_x \frac{\rho}{\rho - \sum_{\alpha \neq v} \rho_{\alpha}} = \frac{Q_x}{1 - \sum_{\alpha \neq v} \frac{\rho_{\alpha}}{\rho}} = \frac{Q_x}{1 - \sum_{\alpha \neq v} Q_{\alpha}} \quad (12)$$

このようにして、asuca に格納されている QXa から QX に変換することができる。

なお、逆に q_x から Q_x への変換は次の通りである。

$$Q_x = q_x \frac{\rho_d + \rho_v}{\rho} = q_x \frac{\rho_d + \rho_v}{\rho_d + \rho_v + \sum_{\alpha \neq v} \rho_{\alpha}} = \frac{q_x}{1 + \sum_{\alpha \neq v} \frac{\rho_{\alpha}}{\rho_d + \rho_v}} = \frac{q_x}{1 + \sum_{\alpha \neq v} q_{\alpha}} \quad (13)$$

*4 厳密には、たが、asuca の ptrf は 1.0×10^{-10} が格納されている。これは、現状の NuSDaS では 0 以下の ptrf を許していないことによる。将来の NuSDaS の仕様の修正に合わせて、ptrf の値も修正する予定である。

*5 全密度は水の相変化が生じても保存するので、全密度に対する比に対する加減算は正しく質量の加減算に対応するが、凝結していない大気 (乾燥大気と水蒸気) の密度に対する比は、相変化によって分母の値が変わるので、相変化があるときにはこの量の加減算は質量の加減算に正しく対応しない。

*6 2020 年 3 月時点では、QH(a)(雹) は出力されておらず 0 である。したがって QCa, QRa, QIa, QSa, QGa について和をとる。

参考文献

- [1] 気象庁予報部, 2014: 次世代非静力学モデル asuca. 数値予報課報告・別冊 60 号, 気象庁予報部, 151pp
- [2] 気象庁予報部, 2020: メソスケール気象予測の現状と展望. 数値予報課報告・別冊 66 号, 気象庁予報部, 165pp