

# 大山倉吉テフラの降灰シミュレーション

山元孝広

地質調査総合センター活断層・火山研究部門

Institute of Earthquake and Volcano Geology, Geological Survey of Japan, AIST

Takahiro Yamamoto (2016). Numerical simulation for the Daisen-Kurayoshi tephra, Japan. *Open-File Report of the Geological Survey of Japan, AIST*, no.635, p.1-46.

## 1. はじめに

日本では桜島火山の大正噴火以降、これを超える規模の爆発的な噴火は幸い起きていないものの、いずれマグマ噴出量が数  $\text{km}^3$  を超えるような大噴火が国内で発生することは避けられない。大噴火は低頻度な事象であるものの、一度発生すればその降灰影響は火山から離れた都市圏にまで及び得るため、従来の火山防災の枠を超えた対応が求められる。内閣府が2013年5月に公表した「大規模火山災害への提言」には、このような現状認識から大規模な降灰による都市型災害への備えの必要性が説かれている（広域的な火山防災対策に係る検討会, 2013）。将来の大噴火による降灰に備えるためには、まず過去に発生した大噴火の事例について、具体的な噴煙柱パラメータ（噴出量、噴煙柱高度、粒度分布など）を理解しておくことが重要である。噴煙柱パラメータは噴火の規模を特徴付けるだけでなく、大気中に放出された火山灰の移流・拡散過程における重要な初期値でもある。そこで、大山火山で約5万年前に発生した国内最大規模のプリニー式噴火の産物である大山倉吉テフラについて、Tephra2降灰シミュレーションによる堆積物分布の再現計算を実施して、噴煙柱パラメータの推定を行った。なお、本報告は、文部科学省のエネルギー対策特別会計委託事業による委託業務として、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が実施した平成25年度「外部ハザードに対する崩壊熱除去機能のマージン評価手法の研究開発」のうち、産業技術総合研究所が再委託業務として実施した「火山噴火ハザード評価手法の開発」で行ったものである。また、粒度分布解析と数値計算については、日本工営株式会社に外注している。

## 2. 大山倉吉テフラ

### 2-1. テフラの分布と量

大山倉吉テフラ (DKP) は、大山火山より約5万年前に噴火したデイサイトマグマのプリニー式噴火による降下火砕堆積物であり、大山火山より東北東にその分布が伸びており、太平洋まで達する (図 2.1 ; 町田・新井, 1979 ; 竹本, 1991). DKP の噴出量は、町田・新井 (1979) で約  $20 \text{ km}^3$ , 竹本 (1991) では  $40 \text{ km}^3$  以上と見積もられている. そこで今回は、竹本 (1991) に示された等層厚線図を基に、Hayakawa (1985) の  $V = 12.2 \text{ TS}$  ( $V$  : 噴出量,  $T$  : 層厚,  $S$  : 面積) を用いて噴出量を再計算している (表 2.1). また、Fierstein and Nathenson (1992), Bonadonna and Houghton (2005) の方法でも噴出量を求めている (図 2.2 ; 図 2.3). Fierstein and Nathenson (1992) は break in slope により、多直線で近似しているが、DKP では明瞭な Break in slope を判断出来るほどの観測点が得られないため、直線にて近似した (図 2.2). 各計算手法も組み合わせて検討すると、等層厚線から求められる DKP の噴出量は、 $20 \sim 60 \text{ km}^3$  となる.

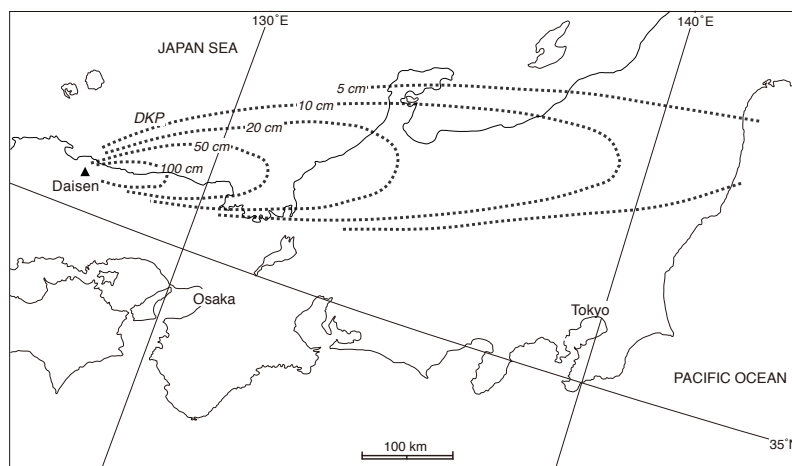


図 2.1 DKP の分布. 等層厚線は町田・新井 (1979) による.

表 2.1 各手法による DKP の噴出量計算値

計算手法	噴出量	備考
町田・新井 (1979) の記載値	$20 \text{ km}^3$	
竹本 (1991) の等層厚線に基づき、Hayakawa (1985) にて算出	$64 \text{ km}^3$	1, 0.5, 0.2m の等層厚線から求めた $36, 64, 91 \text{ km}^3$ の平均値
Fierstein and Nathenson (1992) に基づき算出	$40 \text{ km}^3$	明瞭な Break in slope が見られないため 1 直線にて近似
Bonadonna and Houghton (2005) に基づき算出	$60 \text{ km}^3$	

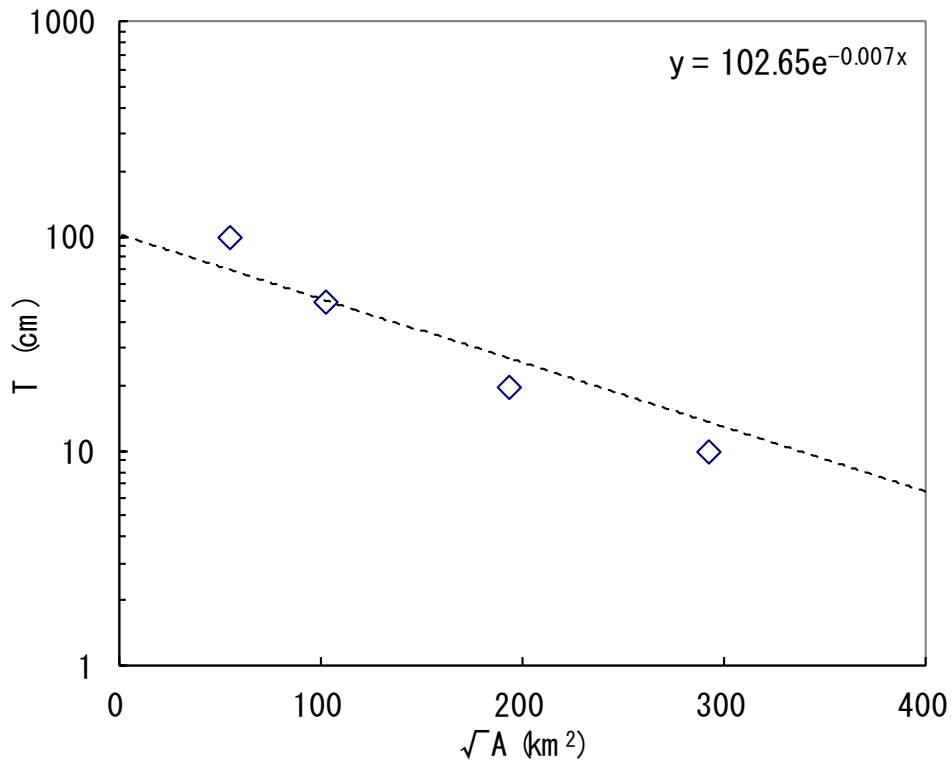


図 2.2 Fierstein and Nathenson (1992)による等層厚線の近似

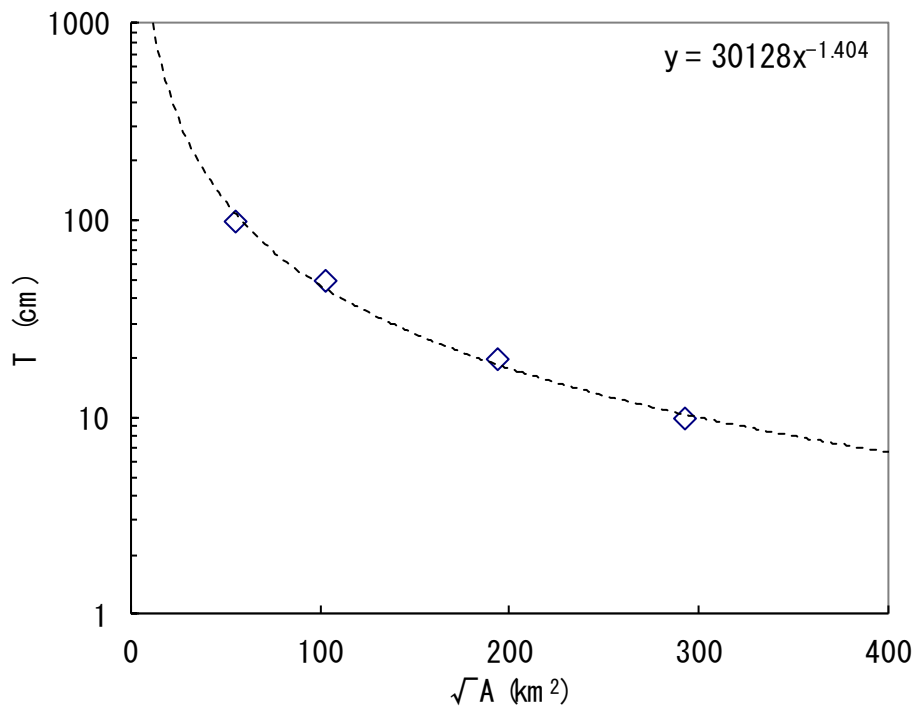


図 2.3 Bonadonna and Houghton (2005)による等層厚線の近似

## 2-2. 粒度分布

DKP はいずれの露頭地点でも、火山ガラスの粘土化が進んでおり、火砕物粒子を単体として採取することが出来ない。そこで代表的な露頭において、露頭面の写真撮影を行い、画像解析から以下の手順で粒度分析を実施した。

- 1) 画像より軽石粒子の外形形状をなぞり、面積を計測する。
- 2) 粒子の長径・短径を計測する。
- 3) 短径を篩目の通過粒径と仮定し、 $\phi$  区分による通過粒子を選別する。
- 4) 通過粒子の面積を計測範囲全体面積で除し、面積分率 (%) として割合を求める。

### 2-2-1. 大山池露頭の分析結果

倉吉市関金町松河原の大山池湖岸 (35 度 22 分 32.6 秒 133 度 43 分 22.5 秒) には、層厚 200 cm の DKP の模式的な露頭がある (町田・新井, 1979 ; 町田, 1996)。本地点では径 15 cm の軽石粒子が DKP 含まれているため、1m程の範囲を画像解析した (図 2.4)。この範囲において解析可能な粒径は、 $-4\phi$  以上である。解析の結果は、 $-7\phi$  が最大粒径となり、 $-4\phi$  になるにつれ面積分率が増加する (表 2.2)。ただし、 $-4\phi$  と  $-5\phi$  は同程度の面積分率となり、 $-4\phi$  より小粒径は、徐々に減少に転じると推定される。

### 2-2-2. 鳥取砂丘露頭の分析結果

鳥取砂丘には、層厚 180 cm の DKP の良好な露頭 (35 度 32 分 38.36 秒 134 度 14 分 16.39 秒) がある (赤木, 1996 ; 岡田, 2011)。本地点ではクラックがなく、塊状となる範囲を解析対象とした (図 2.5)。解析可能な DKP の粒径は、写真によって読み取り可能な  $-2\phi$  以上である。解析の結果、 $-4\phi$  以上の粒径はなく、 $-3\phi$  が約 4% となった (表 2.3)。

表 2.2 大山池露頭における粒度分布

$\phi$ (ファイ)	面積分率
-8	0%
-7	4.0%
-6	7.6%
-5	19.9%
-4	21.1%
-4 未満	47.4%

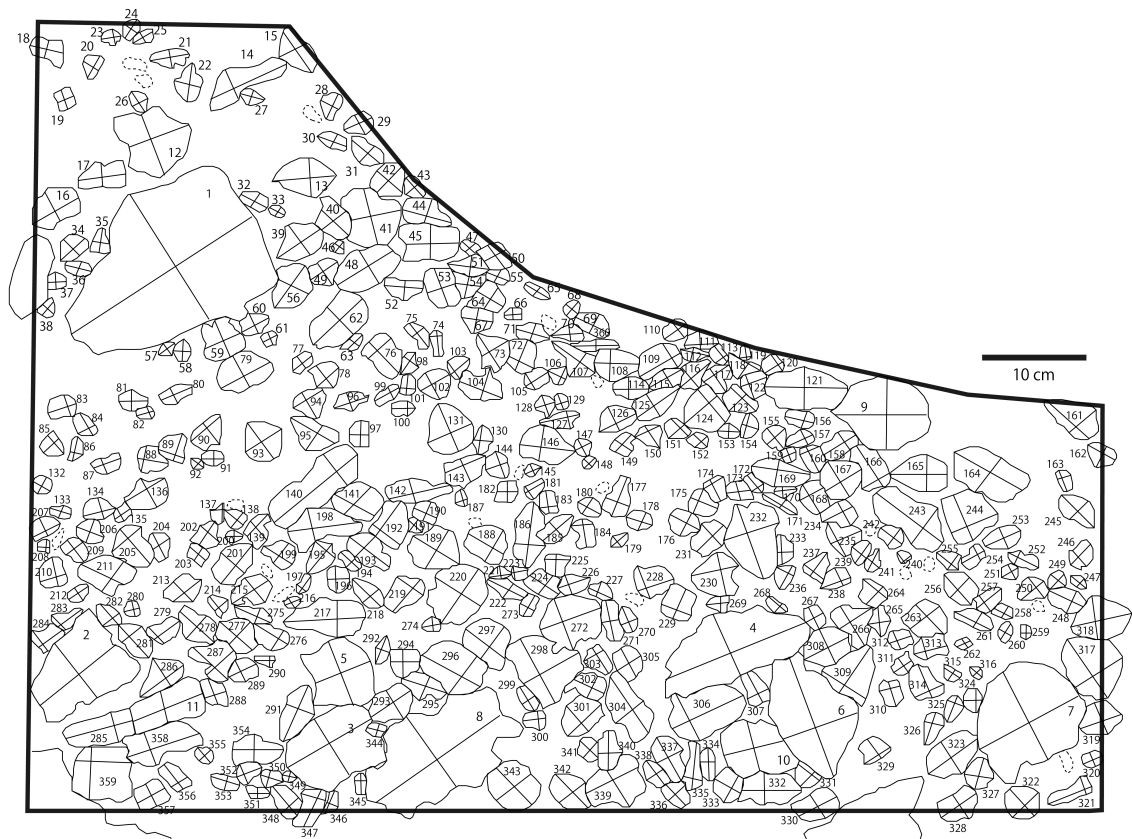


図 2.4 大山池露頭における粒度分布解析範囲

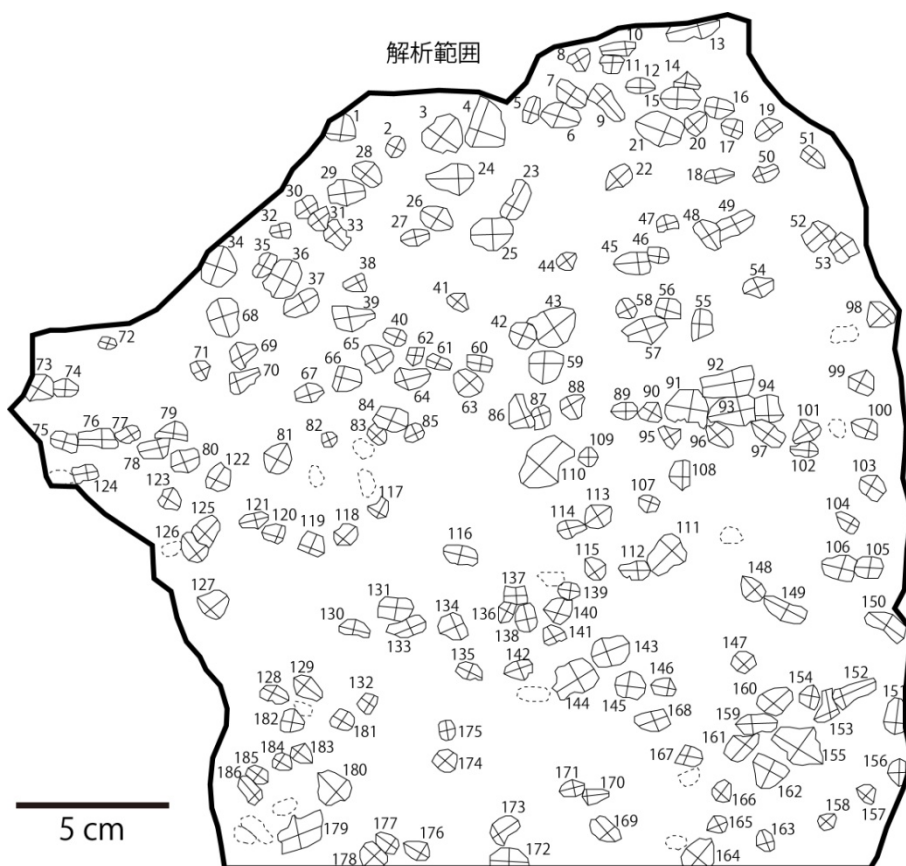


図 2.5 鳥取砂丘露頭における粒度分布解析範囲

表 2.3 鳥取砂丘露頭における粒度分布

$\phi$ (ファイ)	面積分率
-6	0%
-5	0%
-4	0%
-3	3.9%
-2	13.6%
-2 未満	82.5%

### 3. Tephra2 を用いた DKP の再現性評価

Tephra2 は、南フロリダ大学 (University of South Florida) で開発された降下火山灰シミュレーションコードである。鈴木 (1983) の降下火山灰モデルの考え方を基本に、Connor や Bonadonna らが数値シミュレーションプログラム (C 言語) として組み込んでいる (Bonadonna et al., 2005)。ユーザー環境に合わせて、複数の手順が用意されており、今回は Windows 環境下での計算実行を選択した (<https://www.cas.usf.edu/~cconnor/vg@usfTephra.html>)。

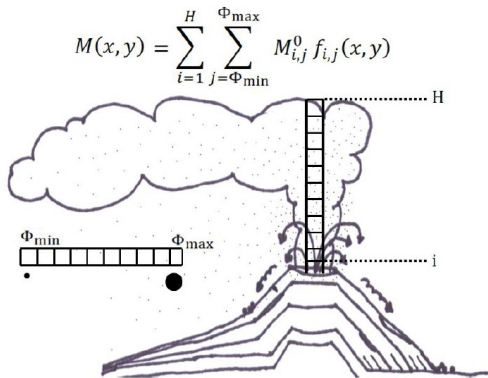
#### 3-1. Tephra2 の概要

Tephra2 は、移流拡散モデルを基本に構成されており (図 3.1)、以下のステップで計算は進行する。

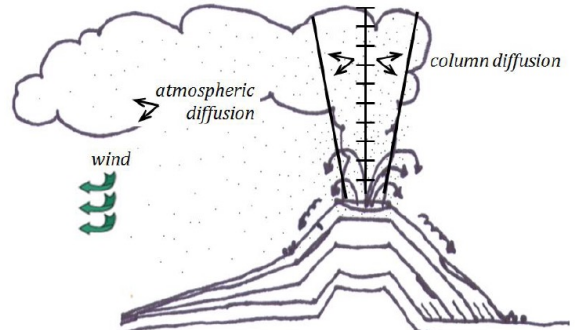
- 1) 入力データ読みこみ
- 2) 粒子の放出量計算
- 3) 落下時間の計算
- 4) 噴煙柱内の移流拡散の計算
- 5) 大気中での移流拡散の計算
- 6) 鉛直層間の移動計算
- 7) 各メッシュの堆積量計算

計算にはインプットデータとして噴煙柱パラメータ、座標データ、高度別風向風速データが必要となり、アウトプットとしてグリッドの単位面積あたりの降灰量 ( $\text{kg/m}^2$ ) と粒度組成が得られる (図 3.2)。

粒子の追跡単位



粒子の移動に及ぼす力



粒子の質量保存則

$$f_{i,j}(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_{i,j}^2} \exp\left(-\frac{(x - \bar{x}_{i,j})^2 + (y - \bar{y}_{i,j})^2}{2\sigma_{i,j}^2}\right)$$

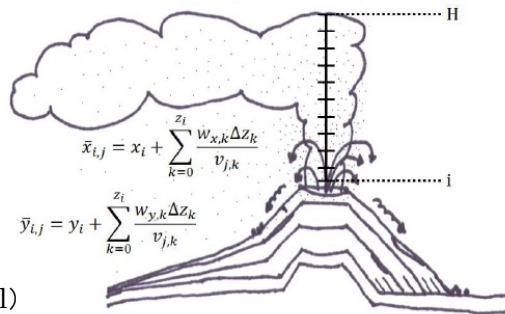


図 3.1 Tephra2 の概念 (Tephra2 Users Manual)

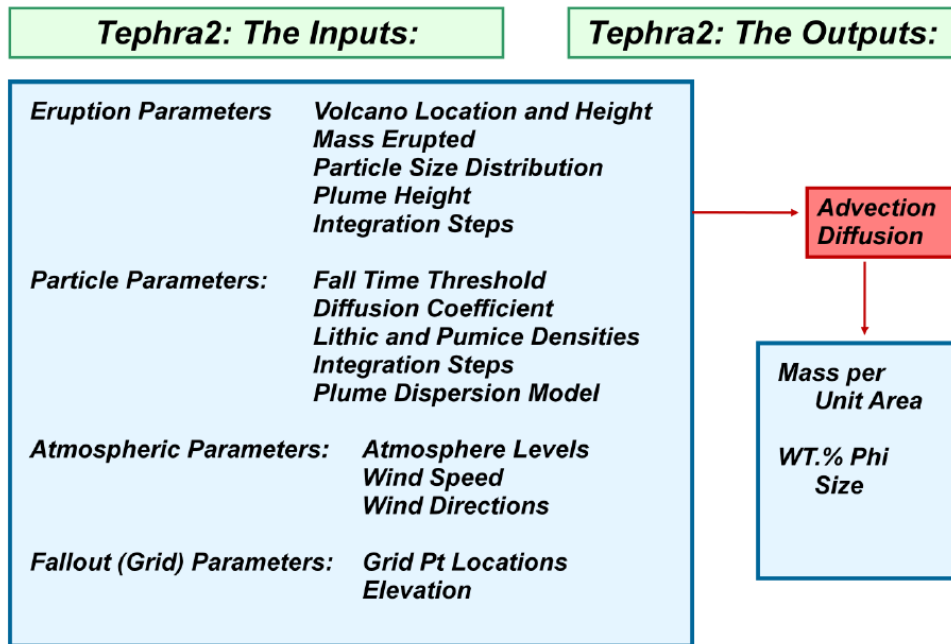


図 3.2 Tephra2 の計算フロー (Tephra2 Users Manual)



### 3-2. Tephra2 の入力条件検討

#### (1) 噴煙柱高度

噴煙柱高度は既往文献を考慮しながら感度分析をする方針に従い、以下の 5 ケースを設定した (表 3.1)。噴煙柱高度が圏界面付近まで達すると、強い偏西風に乗ることによって、より遠方まで到達する軌道を示すことになる。なお、風データとして後述する米子の高層気象データの計測値は、およそ高度 30,000m までとなっている。

表 3.1 噴煙柱高度データの組み合わせケース

ケース	高度 (m)	備考
H1	10,000	日本の(冬季)圏界面高度程度
H2	12,000	
H3	14,000	
H4	16,000	日本の(夏季)圏界面高度程度
H5	18,000	

#### (2) 噴出量

DKP の噴出量は、前述のように、下限値として 20 km<sup>3</sup> が挙げられる。また上限値として、図 2.1 に示された等層厚線図を基に算出した噴出量である 20~60 km<sup>3</sup> が挙げられる。これに対し堆積物比重 (1.0 E+3 kg/m<sup>3</sup>) を考慮すると、噴出量は 2.0~6.0 E+13 kg となる。これらを踏まえ、噴出量は以下に示す 4 ケースを与えることとした (表 3.2)。

表 3.2 噴出量データの組み合わせケース

ケース	値	備考
V1	1.0 × 10E+13 (kg)	推定下限値 (20km <sup>3</sup> ) の半分
V2	2.0 × 10E+13 (kg)	推定下限値 (20km <sup>3</sup> )
V3	4.0 × 10E+13 (kg)	推定値 (20~60 km <sup>3</sup> ) の中間 (40km <sup>3</sup> )
V4	8.0 × 10E+13 (kg)	推定中間値 (40km <sup>3</sup> ) の 2 倍 (80km <sup>3</sup> )

### (3) 粒度データ

Tephra2 に使用する粒度パラメータは、粒径の範囲、平均粒径、粒度分布の偏差を  $\phi$  スケールで設定する。設定される粒度分布は、正規分布で自動的に与えられる。粒度分布の設定については、代表露頭の粒度分析結果を考慮しながら感度分析をする方針に従い、表 3.3 の 20 ケースを設定した。また、各粒度分布の累加曲線は図 3.3 に示している。

表 3.3 粒度データの組み合わせケース

ケース	平均 ( $\mu$ )	偏差 ( $\sigma$ )	$\mu \pm 2\sigma$ $\phi$	$\mu \pm 2\sigma$ mm
D1	1mm : $\phi = 0$	1	$-2 < \phi(=0) < 2$	0.25 < D(=1) < 4
D2		2	$-4 < \phi(=0) < 4$	0.063 < D(=1) < 16
D3		3	$-6 < \phi(=0) < 6$	0.016 < D(=1) < 64
D4		4	$-8 < \phi(=0) < 8$	0.004 < D(=1) < 256
D5		5	$-10 < \phi(=0) < 10$	0.001 < D(=1) < 1024
D6	0.5mm : $\phi = 1$	1	$-1 < \phi(=1) < 3$	0.125 < D(=0.5) < 2
D7		2	$-3 < \phi(=1) < 5$	0.031 < D(=0.5) < 8
D8		3	$-5 < \phi(=1) < 7$	0.008 < D(=0.5) < 32
D9		4	$-7 < \phi(=1) < 9$	0.002 < D(=0.5) < 128
D10		5	$-9 < \phi(=1) < 11$	0.0005 < D(=0.5) < 512
D11	0.25mm : $\phi = 2$	1	$0 < \phi(=2) < 4$	0.063 < D(=0.25) < 1
D12		2	$-2 < \phi(=2) < 6$	0.016 < D(=0.25) < 4
D13		3	$-4 < \phi(=2) < 8$	0.004 < D(=0.25) < 16
D14		4	$-6 < \phi(=2) < 10$	0.001 < D(=0.25) < 64
D15		5	$-8 < \phi(=2) < 12$	0.0002 < D(=0.25) < 256
D16	0.125mm : $\phi = 3$	1	$1 < \phi(=3) < 5$	0.031 < D(=0.125) < 0.5
D17		2	$-1 < \phi(=3) < 7$	0.008 < D(=0.125) < 2
D18		3	$-3 < \phi(=3) < 9$	0.002 < D(=0.125) < 8
D19		4	$-5 < \phi(=3) < 11$	0.0005 < D(=0.125) < 32
D20		5	$-7 < \phi(=3) < 13$	0.00012 < D(=0.125) < 128

### (4) 火口位置

火口位置は大山火山中心とし、噴火当時の火口標高は不明であるため、現在の山頂標高の位置と標高 (1729m) を設定した。

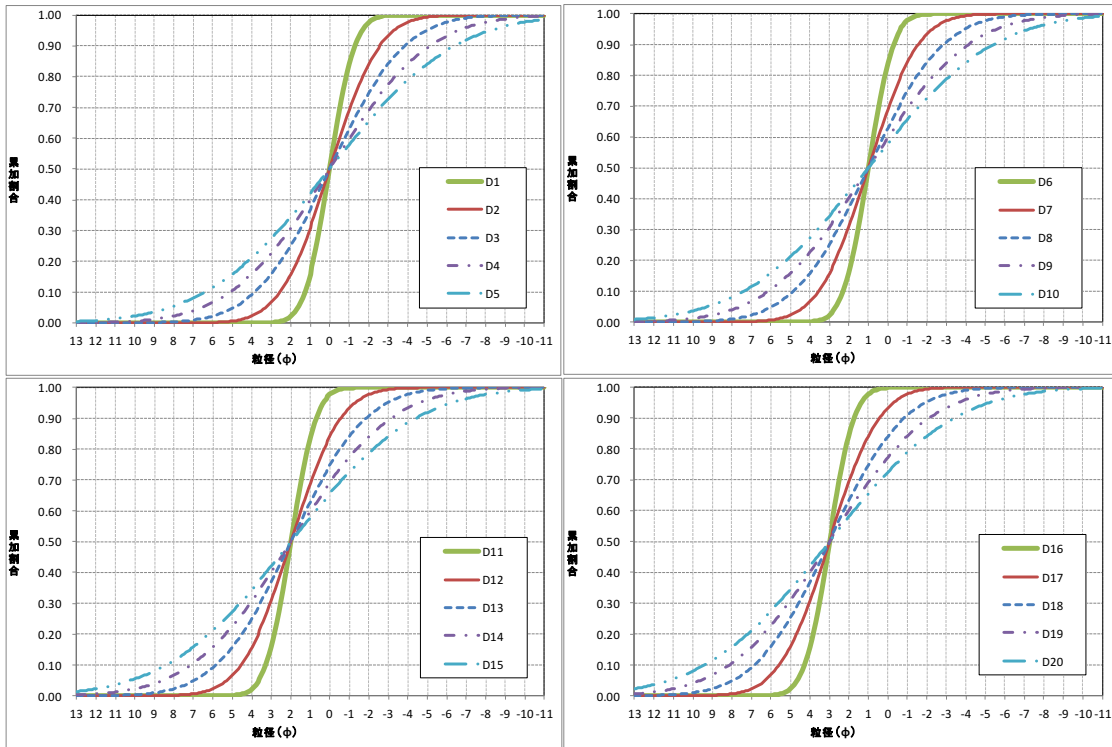


図 3.3 粒度設定各ケースの累加曲線(φスケール)

#### (5) 密度データ

Tephra2 では、 $-7\phi$  よりも大きい粒子はすべて岩片と仮定されて計算され、岩片密度の設定値が採用される(萬年,2013)。DKP は軽石が主体であることから、 $-7\phi$  よりも大きな粒子も軽石として扱うために、岩片密度を軽石密度と同じ値に設定した。軽石密度は既往設定値を参考に、 $1000\text{ kg/m}^3$  を設定した。

#### (6) その他条件

V-Hub (<https://vhub.org/>) のオンラインシミュレーションモデルのサンプルデータや、Supporting Docs にある「Tephra2 Users Manual」の事例等を参考に、その他のパラメータを設定した。

##### 1) Eddy Const (みかけ渦拡散係数)

Bonadonna et al. (2005)などの既往設定値を参考に、0.04 を設定した。

##### 2) DIFFUSION\_COEFFICIENT (拡散係数)

既往設定値を参考に試算を実施し、横断方向の堆積幅の整合性の高い値(50000)を設定した。拡散係数が大きいと風速が大きくても同心円上に分布するようになり、拡散係数が小さいと風向方向に直線上に分布するようになる。

### 3) FALLTIME\_THREFOOLD (落下時間)

既往設定値を参考に、100,000 を設定した。

### (7) 風データ

風データには、高度別の風速と風向を設定する。風向は向かっていく方角で示され、南風が0、西風が90、北風が180、東風が270と、通常の風向表示と180度ずれている。気象庁のHP（気象統計情報：過去の気象データ検索（高層））には日本国内20カ所の高層気象統計データが公開されている。DKPの放出地点である大山近郊の米子を選択し、1981年から2010年の各高度の合成風の年平均値および風向の平均値を整理した。その結果、最大風速の高度（1200m前後）は季節で変化がないこと、強い風速が発生する高度の幅は夏季では狭くなること、冬季の最大風速は年平均の1.5倍であること、冬季の風向は西向き～やや西北西であることが指摘できる（表3.4；図3.4）。DKPの分布方向（南西～北東方向）を鑑み、年平均風のほうが再現性が高いと判断し、米子の年平均風データを設定している。なお、後述する抽出条件に対する感度分析では、1月及び7月の平均風データを用いて計算を実施している。

表 3.4 米子における高度別の平均風データの季節毎の違い

1月			7月			平均 (午前9時)		
高度 (m)	風速 (m/s)	風向 (度)	高度 (m)	風速 (m/s)	風向 (度)	高度 (m)	風速 (m/s)	風向 (度)
169	2.5	226	74	1.3	176	132	1.1	207
795	5.7	290	754	4.9	229	785	2.7	260
1,016	6.3	289	991	5.7	237	1,014	3.4	267
1,468	7.6	286	1,483	6.5	249	1,485	4.7	271
1,942	9.2	283	1,999	6.9	256	1,980	6.2	274
2,971	15.3	281	3,119	8.3	262	3,055	10.1	273
4,138	22.8	277	4,383	9.5	265	4,270	14.8	270
5,484	30.8	273	5,836	10.7	267	5,668	20.1	268
7,075	40.0	270	7,554	12.6	267	7,320	26.6	265
7,995	45.8	268	8,550	13.8	268	8,275	30.6	264
9,033	53.5	267	9,667	15.0	270	9,348	35.3	264
10,239	61.2	266	10,940	16.2	273	10,580	40.1	264
11,699	64.2	266	12,427	17.3	277	12,043	43.0	265
12,566	62.0	266	13,282	17.2	282	12,899	42.0	266
13,556	57.8	266	14,243	15.5	287	13,873	39.1	266
14,711	51.5	265	15,352	11.5	296	15,005	34.1	266
16,105	42.5	266	16,686	6.1	246	16,371	26.3	267
18,318	26.3	265	18,827	5.6	65	18,546	14.1	265
20,418	16.5	262	20,903	9.8	85	20,631	6.6	260
21,825	11.3	260	22,310	11.7	89	22,034	3.2	250
23,657	6.7	227	24,154	13.9	92			
26,268	6.5	175	26,806	15.5	94			
28,146	6.9	175	28,723	17.2	92			
30,800	8.2	190	31,450	20.6	92			

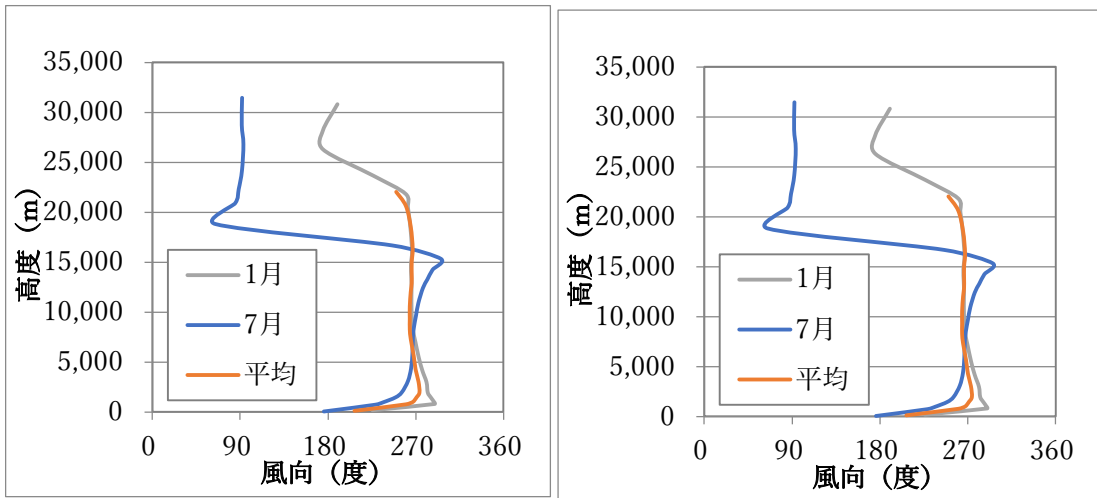


図 3.4 米子における高度別の平均風データの季節毎の違い

#### (8) 地形データ

DKP 分布範囲の地形データは、数値地図 250mメッシュ (標高) CD-ROM (国土地理院刊行) から、1km 標高メッシュデータを用いることとした。

#### 3-3. 再現計算の実施

前記の計算パラメータの組み合わせ (400 ケース =  $5 \times 4 \times 4 \times 5$ ) に対して Tephra2 の入力データを作成し、繰り返し演算を実施した。

- 噴煙柱高度 : 5 ケース (10000~18000m)
- 噴出量 : 4 ケース (1~8E+13 kg)
- 平均粒径 : 4 ケース (Dm :  $\phi 0 \sim 3$ )
- 粒径偏差 : 5 ケース ( $\sigma$  :  $\phi 1 \sim 5$ )

Case-D1~CaseD20 (V1~V4、H1~H5) の層厚分布結果を以下に示す (図 3.5~図 3.18)。

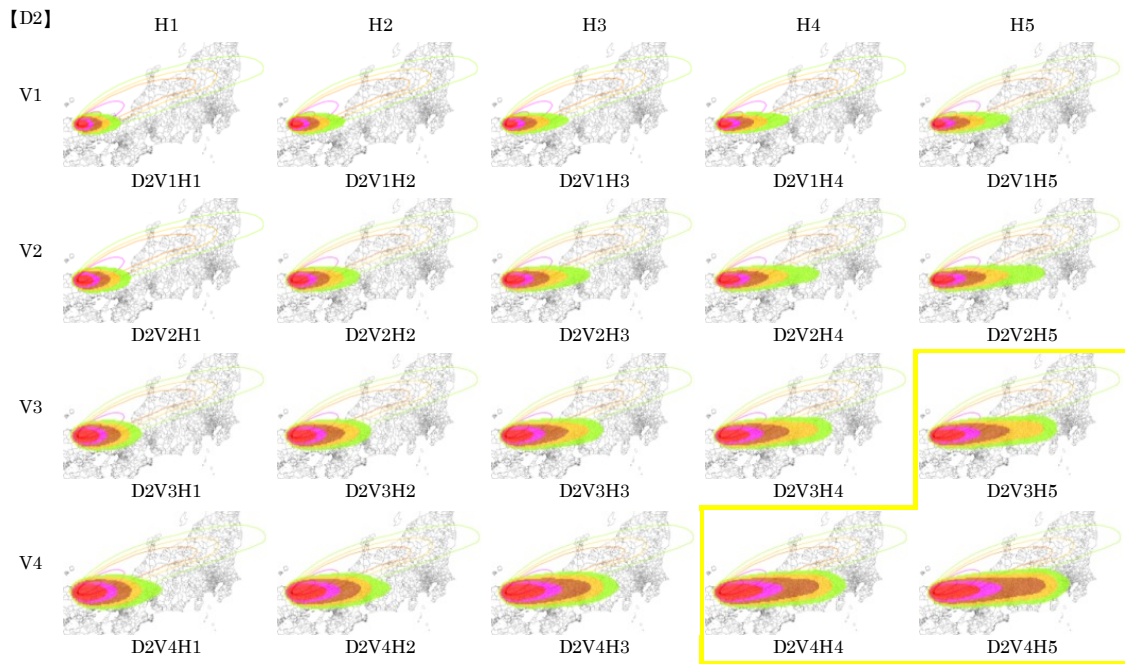
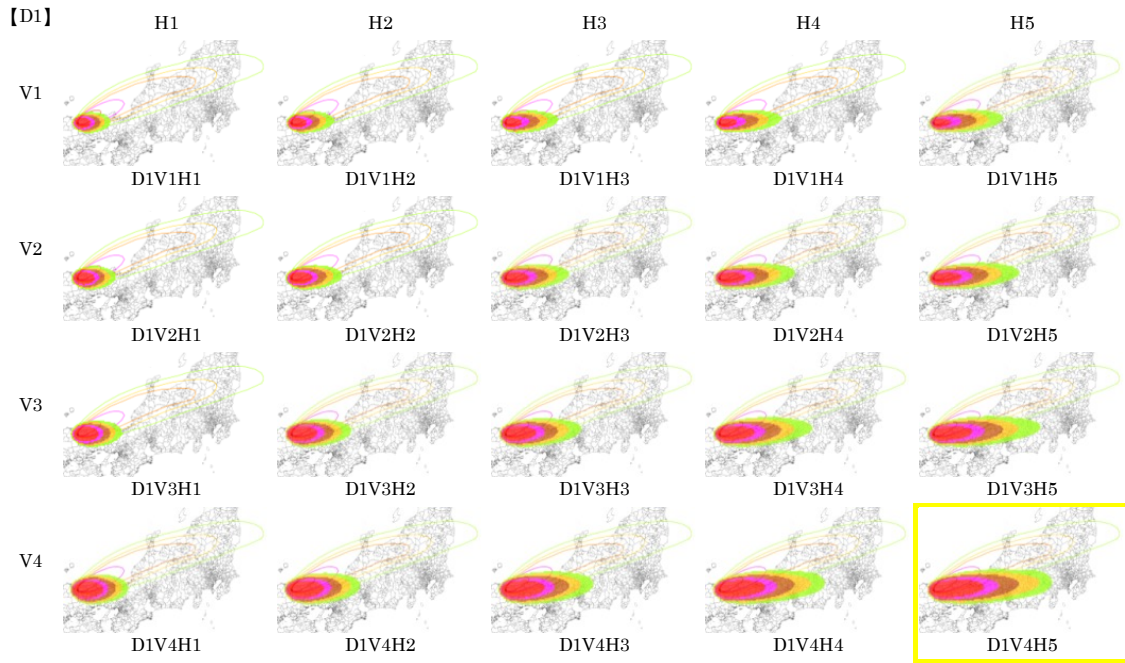


図 3.5 Tephra2 計算結果(層厚分布)の実績比較(D1-D2). 黄線枠は、ある程度分布形状の再現性が高いケースを示す.

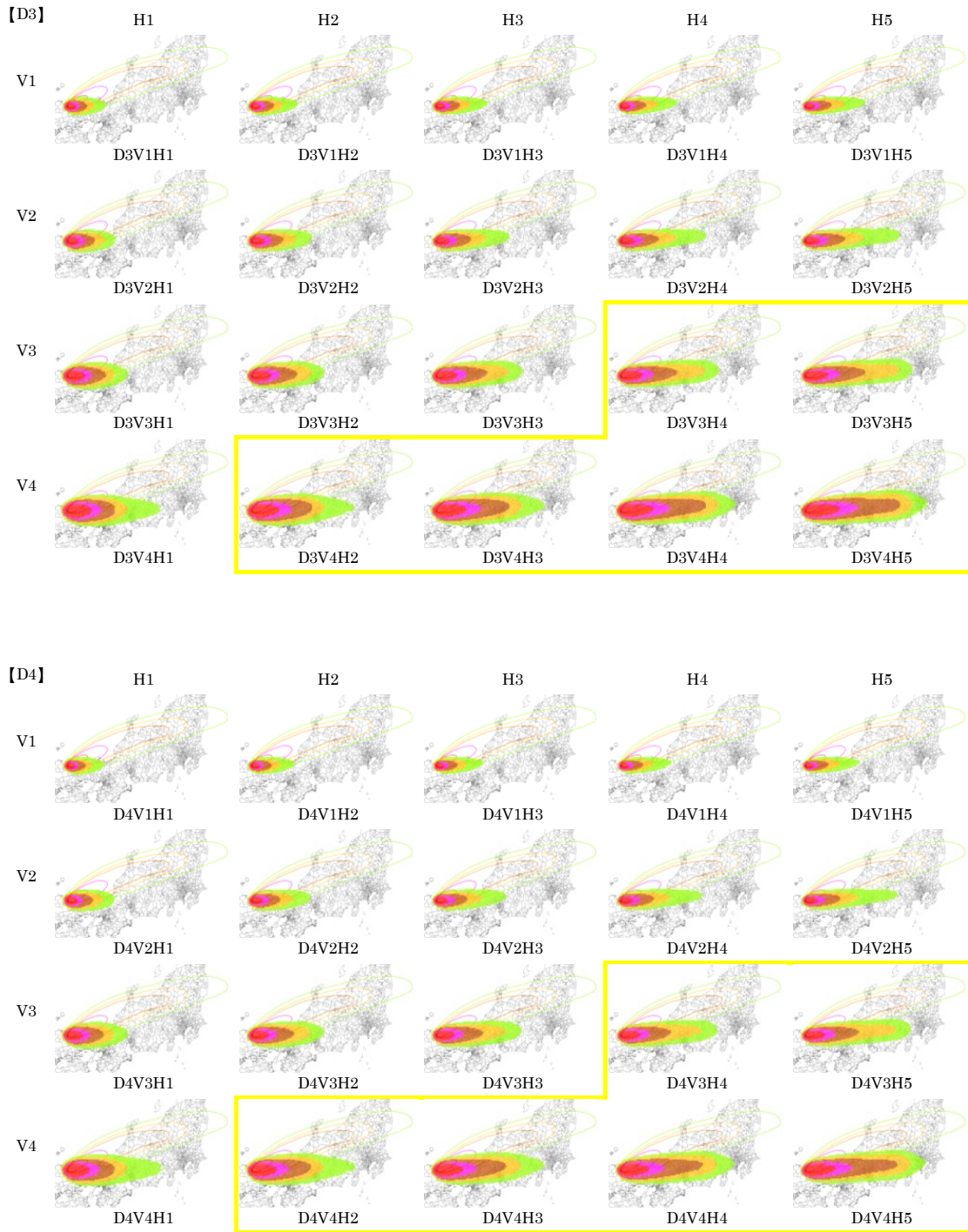


図 3.6 Tephra2 計算結果(層厚分布)の実績比較(D3-D4). 黄線枠は、ある程度分布形状の再現性が高いケースを示す.

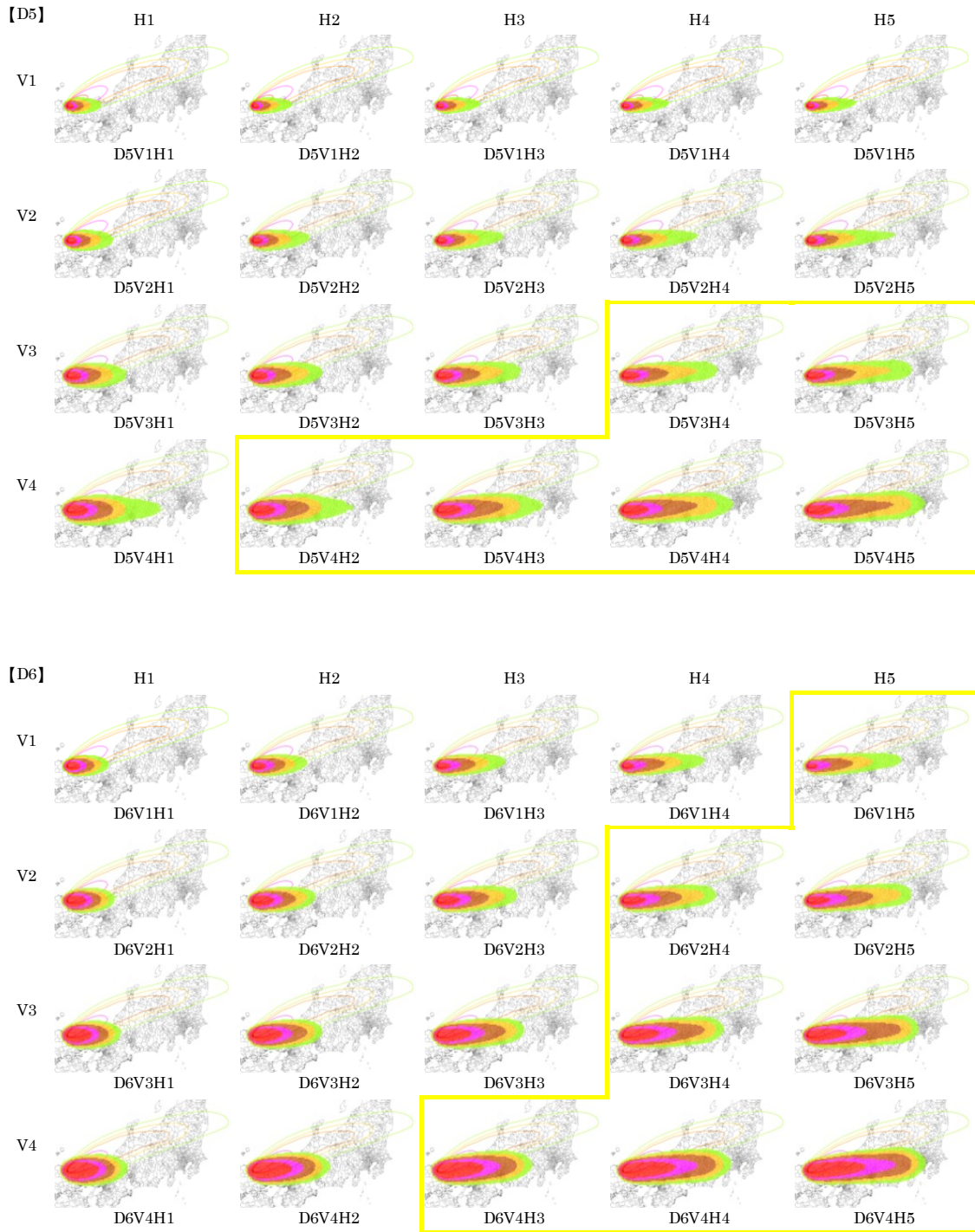


図 3.7 Tephra2 計算結果(層厚分布)の実績比較(D5-D6). 黄線枠は、ある程度分布形状の再現性が高いケースを示す.



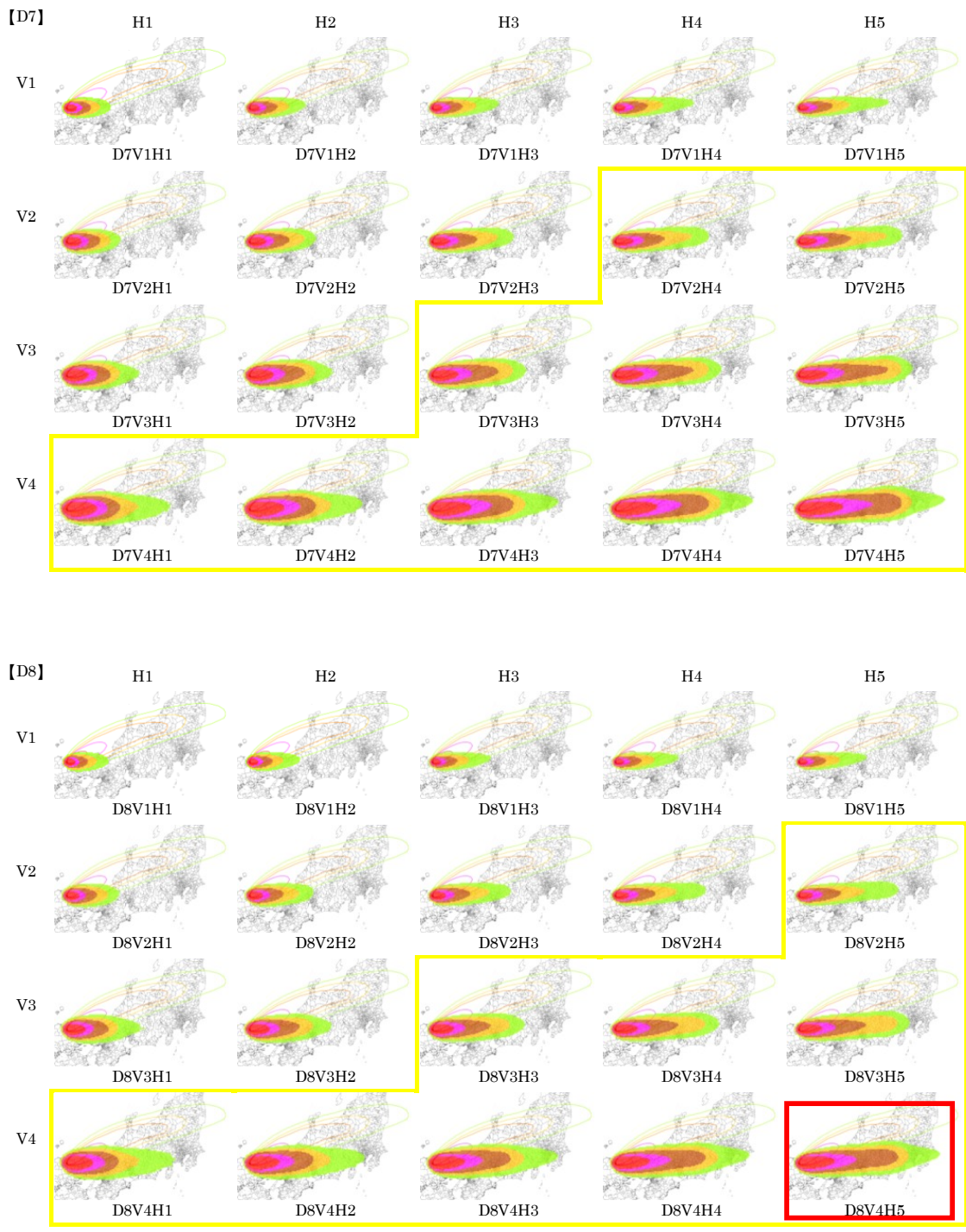


図 3.8 Tephra2 計算結果(層厚分布)の実績比較(D7-D8). 赤線枠は再現性の高いケース. 黄線枠は, ある程度分布形状の再現性が高いケースを示す.

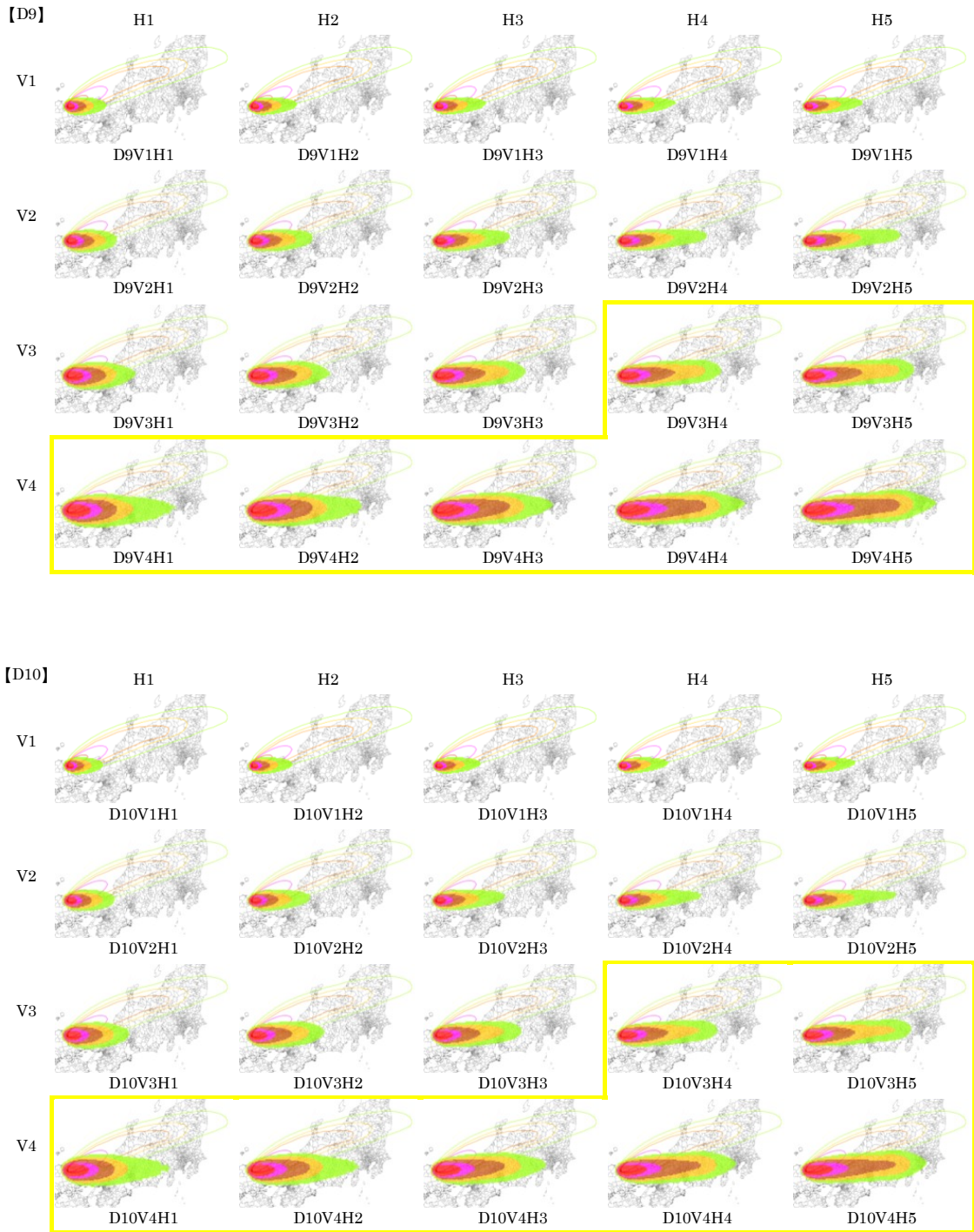


図 3.9 Tephra2 計算結果(層厚分布)の実績比較(D9-D10). 黄線枠は、ある程度分布形状の再現性が高いケースを示す.

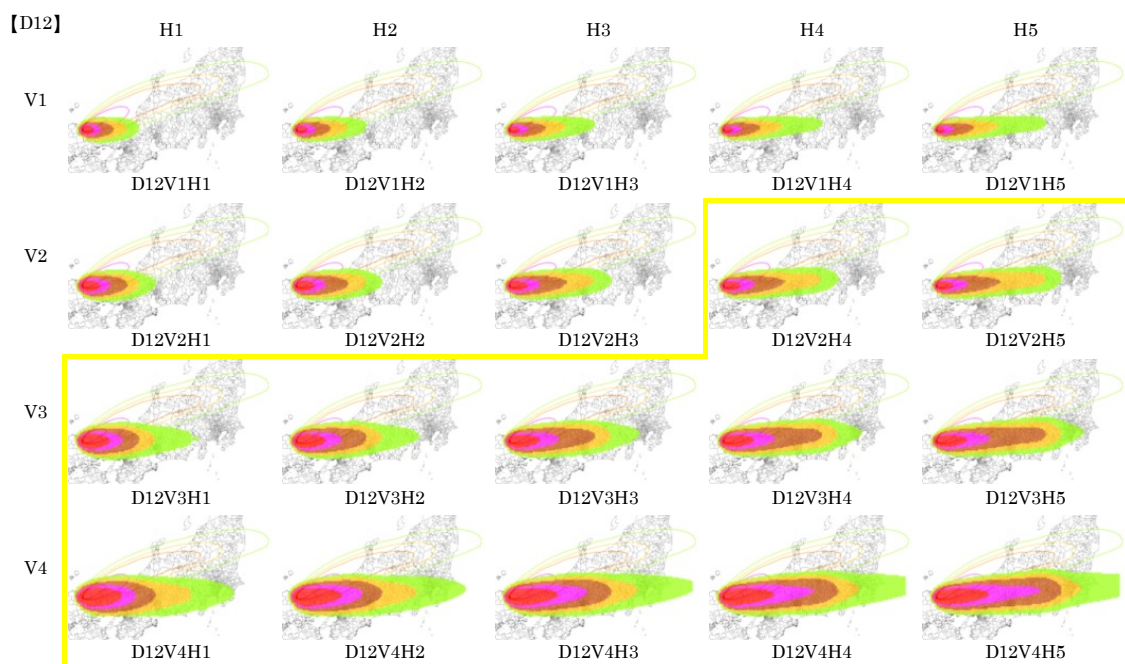
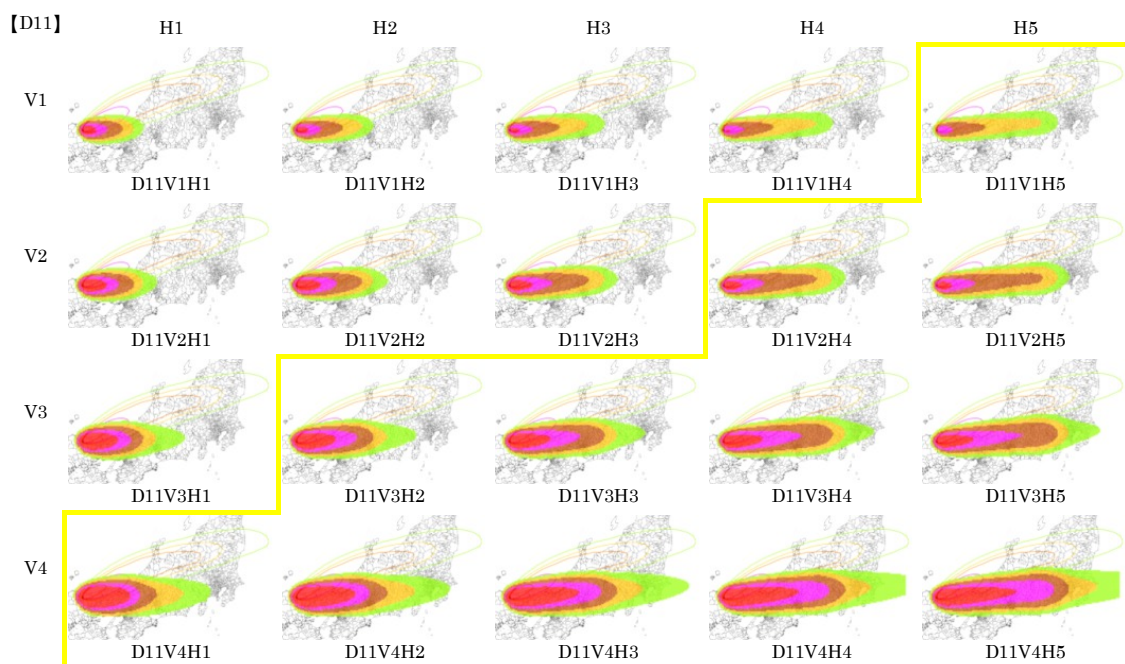


図 3.10 Tephra2 計算結果(層厚分布)の実績比較(D11-D12). 黄線枠は、ある程度分布形状の再現性が高いケースを示す.

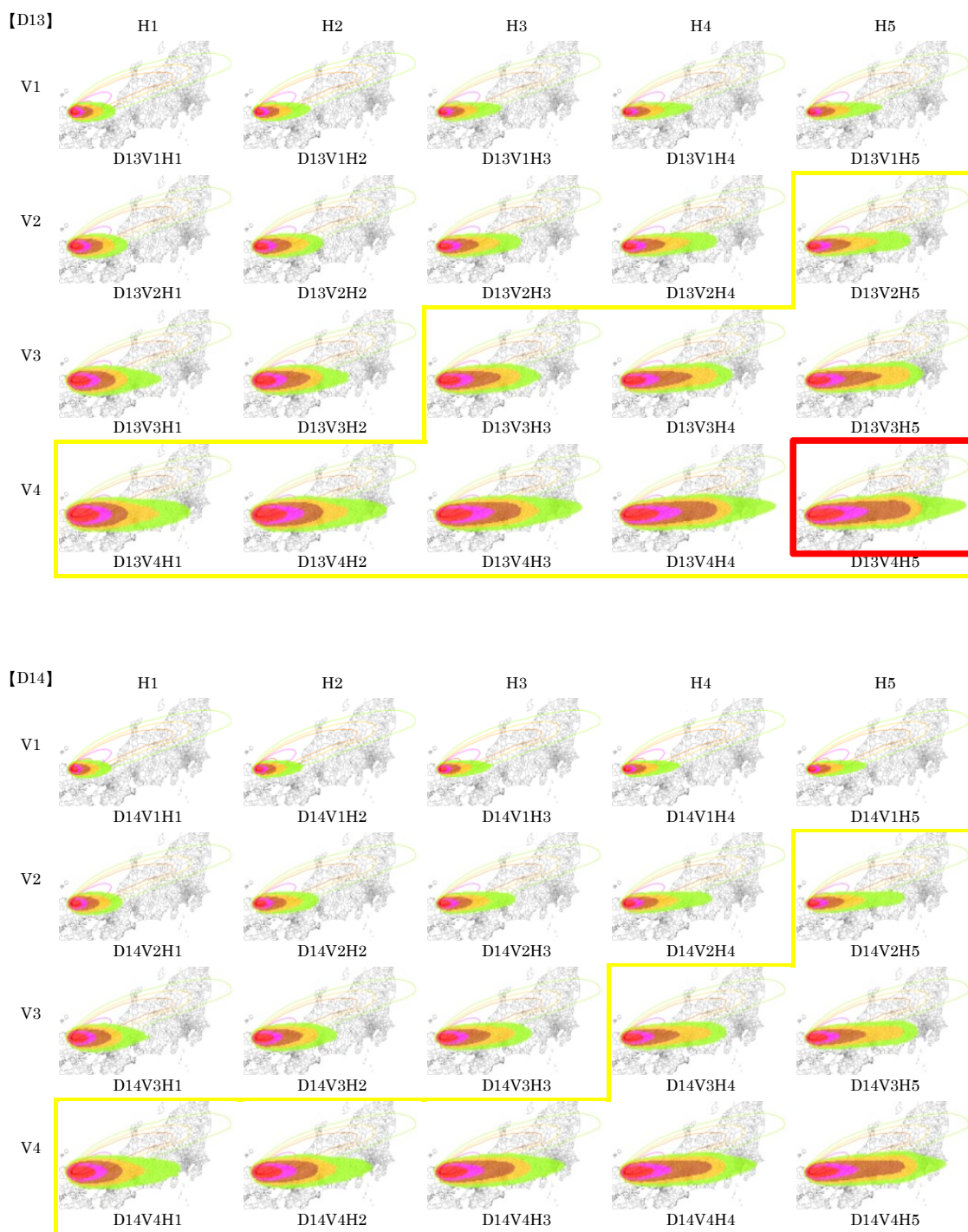


図 3.11 Tephra2 計算結果(層厚分布)の実績比較(D13-D14). 赤線枠は再現性の高いケース. 黄線枠は, ある程度分布形状の再現性が高いケースを示す.

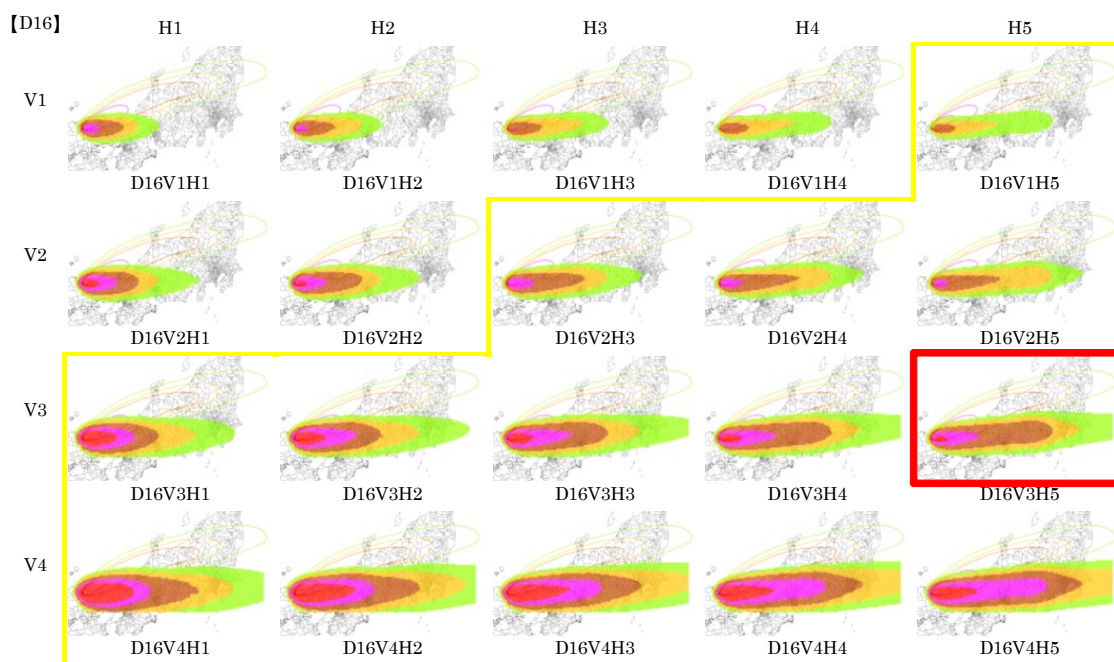
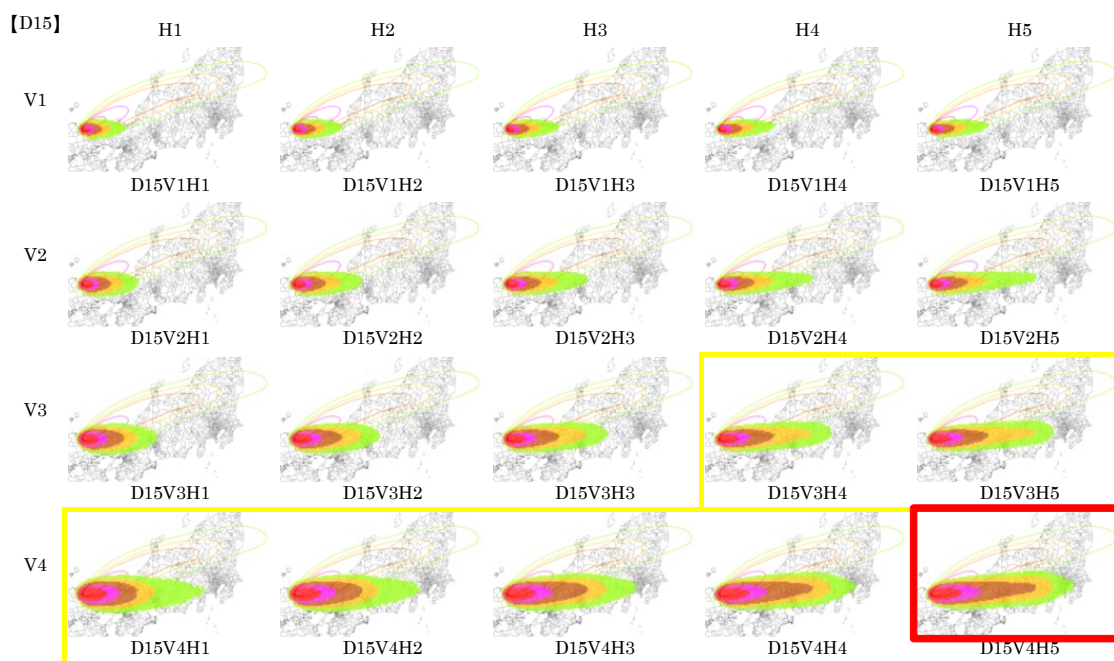


図 3.12 Tephra2 計算結果(層厚分布)の実績比較(D15-D16). 赤線枠は再現性の高いケース. 黄線枠は, ある程度分布形状の再現性が高いケースを示す.

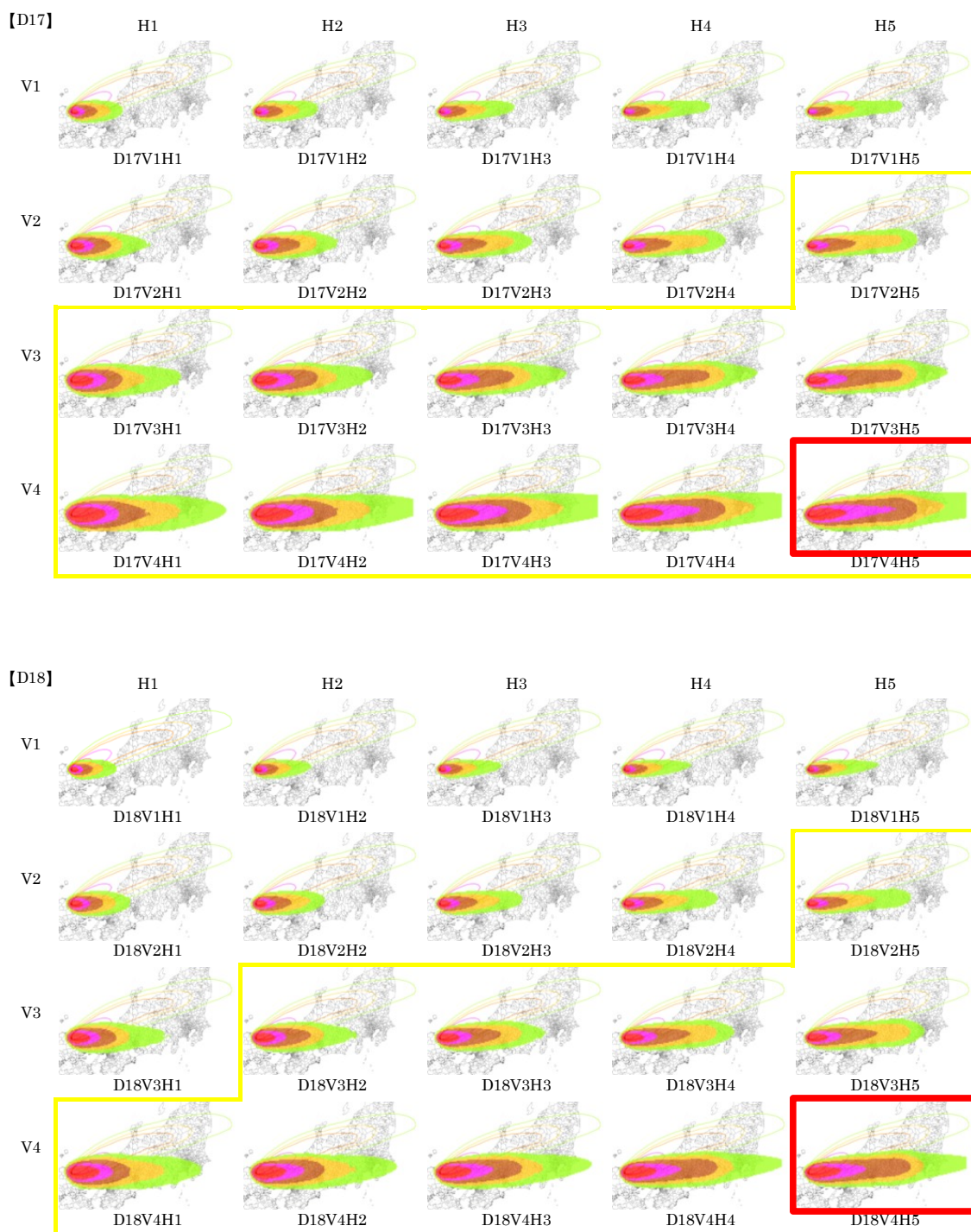


図 3.13 Tephra2 計算結果(層厚分布)の実績比較(D17-D18). 赤線枠は再現性の高いケース. 黄線枠は, ある程度分布形状の再現性が高いケースを示す

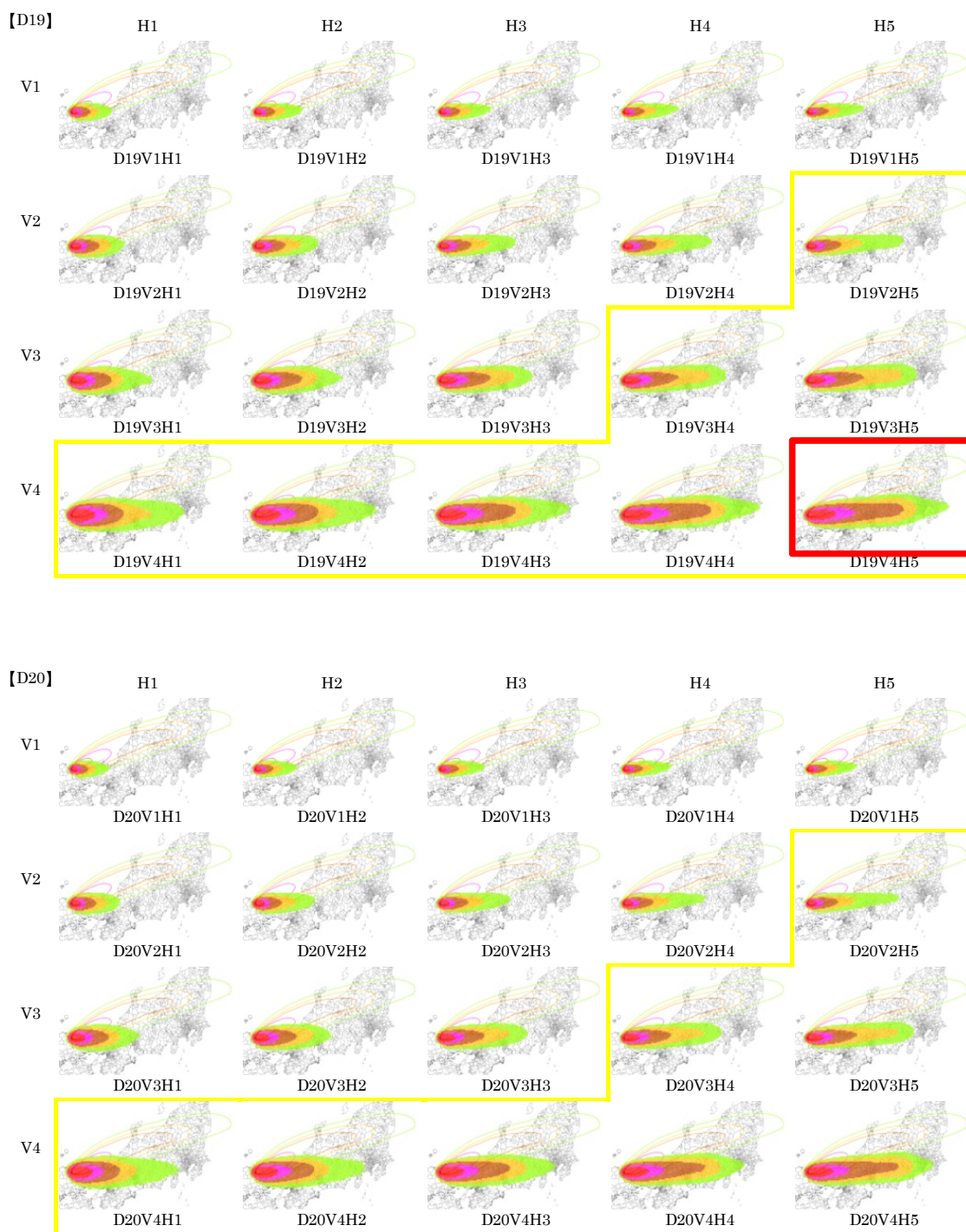


図 3.14 Tephra2 計算結果(層厚分布)の実績比較(D19-D20). 赤線枠は再現性の高いケース. 黄線枠は, ある程度分布形状の再現性が高いケースを示す

実績距離 (cm)		800	600	500	200	100	
層厚 (cm)		5	10	20	50	100	
D1	V1	H1	135	115	90	55	
		H2	175	145	120	85	
		H3	215	175	140	100	
		H4	255	205	160	110	
		H5	285	230	180	115	
V2	H1	160	135	115	90	70	
	H2	210	175	145	110	85	
	H3	265	215	185	130	100	
	H4	311	255	205	150	110	
	H5	355	285	230	160	115	
V3	H1	185	155	135	105	90	
	H2	245	210	175	135	110	
	H3	315	265	215	165	130	
	H4	380	311	255	190	150	
	H5	440	355	285	210	160	
V4	H1	210	185	160	125	105	
	H2	280	245	210	165	135	
	H3	361	315	265	200	165	
	H4	435	390	310	235	190	
	H5	486	441	355	270	210	
D2	V1	H1	180	135	105	65	50
		H2	225	160	120	75	50
		H3	265	185	135	85	55
		H4	290	205	145	90	55
		H5	320	220	155	90	55
V2	H1	220	180	140	95	65	
	H2	280	225	160	105	75	
	H3	350	260	185	115	85	
	H4	410	290	205	125	90	
	H5	460	320	225	135	90	
V3	H1	265	220	180	125	95	
	H2	330	280	225	145	105	
	H3	400	350	265	165	115	
	H4	465	410	295	180	125	
	H5	510	460	325	195	135	
V4	H1	330	265	215	165	125	
	H2	410	325	285	200	145	
	H3	465	400	350	230	165	
	H4	515	465	416	265	180	
	H5	555	511	460	280	195	
D3	V1	H1	165	135	95	60	40
		H2	225	150	105	65	45
		H3	255	170	115	70	45
		H4	275	180	125	70	45
		H5	290	190	130	75	45
V2	H1	235	185	135	85	60	
	H2	280	225	155	95	65	
	H3	355	255	170	105	70	
	H4	410	275	185	110	70	
	H5	455	290	195	115	75	
V3	H1	290	235	185	120	85	
	H2	350	290	225	135	95	
	H3	415	355	255	150	105	
	H4	470	410	280	160	110	
	H5	515	455	295	170	115	
V4	H1	455	290	235	170	120	
	H2	490	360	290	185	135	
	H3	520	415	355	220	150	
	H4	555	470	415	240	160	
	H5	591	510	460	260	170	
D4	V1	H1	180	125	90	50	35
		H2	205	140	95	55	35
		H3	230	150	105	60	40
		H4	245	160	110	60	40
		H5	265	170	115	60	40
V2	H1	225	180	125	75	50	
	H2	280	205	140	85	55	
	H3	340	225	150	90	60	
	H4	390	245	160	95	60	
	H5	441	265	170	100	60	
V3	H1	290	225	180	110	75	
	H2	345	280	205	125	85	
	H3	410	340	230	135	90	
	H4	465	391	280	140	95	
	H5	505	440	285	150	95	
V4	H1	475	290	225	155	110	
	H2	500	345	285	180	125	
	H3	520	410	340	200	135	
	H4	545	465	395	215	140	
	H5	580	505	440	225	150	
D5	V1	H1	165	115	80	50	30
		H2	190	125	90	50	35
		H3	205	135	95	50	35
		H4	225	145	95	55	35
		H5	235	150	100	55	35
V2	H1	225	165	115	70	50	
	H2	270	190	130	75	50	
	H3	320	205	140	80	50	
	H4	370	225	145	85	55	
	H5	420	235	155	85	55	
V3	H1	280	220	170	105	70	
	H2	335	270	190	110	75	
	H3	400	320	210	120	80	
	H4	450	365	225	125	85	
	H5	495	420	235	135	85	
V4	H1	480	280	225	145	100	
	H2	480	335	275	165	110	
	H3	510	395	325	180	120	
	H4	531	450	375	195	125	
	H5	560	495	425	200	130	

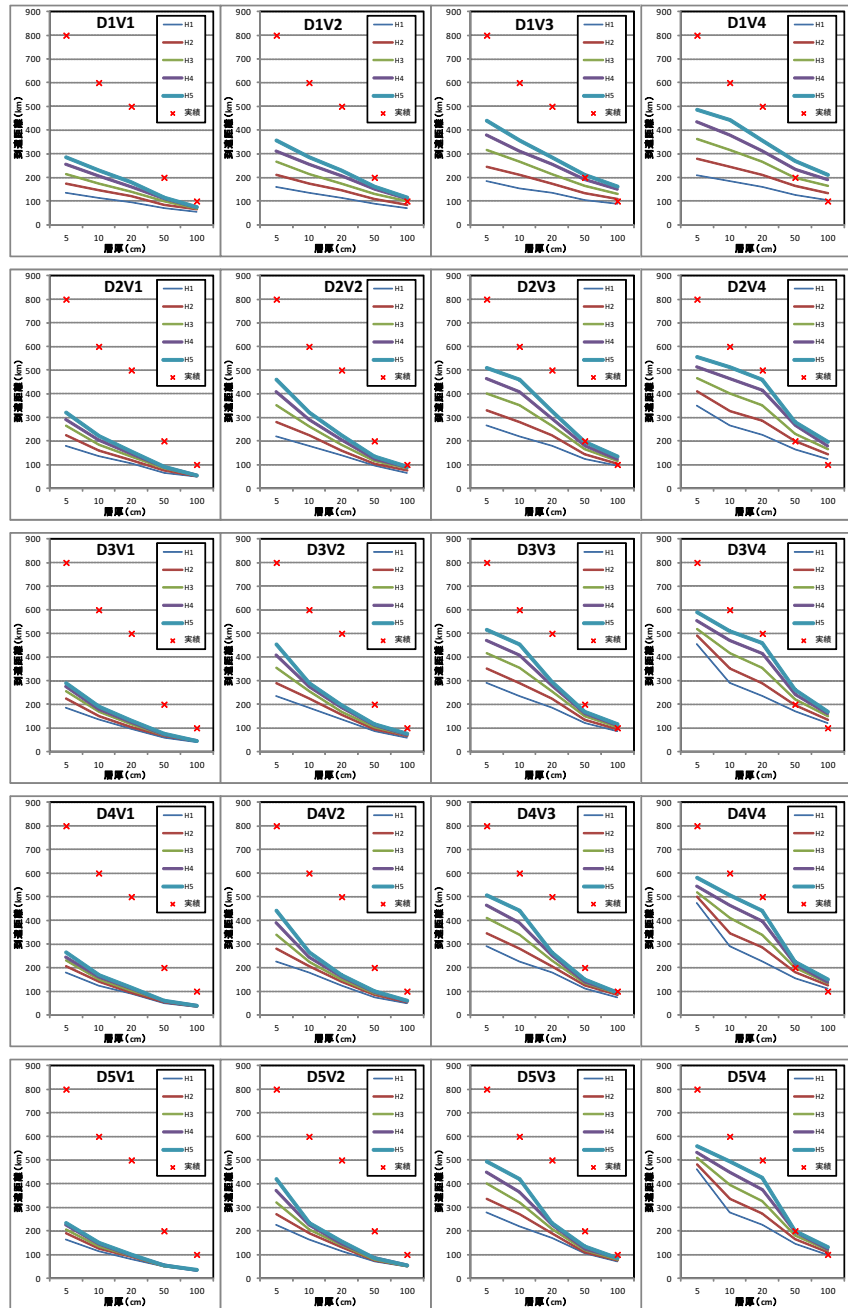


図 3.15 TEPHRA2 計算結果(層厚分布曲線)の実績比較(D1-D5)



架橋距離 (m)	800	600	500	200	100
D6 V1	H1 200	H1 160	H1 130	H1 95	H1 65
	H2 265	H2 205	H2 160	H2 105	H2 65
	H3 325	H3 250	H3 185	H3 110	H3 65
	H4 391	H4 285	H4 205	H4 115	H4 65
	H5 446	H5 315	H5 220	H5 115	H5 55
V2	H1 225	H1 200	H1 165	H1 120	H1 90
	H2 300	H2 265	H2 210	H2 145	H2 105
	H3 380	H3 325	H3 255	H3 165	H3 110
	H4 446	H4 381	H4 290	H4 185	H4 115
	H5 495	H5 446	H5 320	H5 190	H5 115
V3	H1 255	H1 225	H1 200	H1 150	H1 120
	H2 335	H2 301	H2 265	H2 190	H2 145
	H3 416	H3 380	H3 325	H3 230	H3 165
	H4 480	H4 446	H4 395	H4 260	H4 180
	H5 525	H5 495	H5 445	H5 285	H5 190
V4	H1 290	H1 255	H1 225	H1 185	H1 150
	H2 370	H2 335	H2 301	H2 245	H2 190
	H3 450	H3 416	H3 380	H3 300	H3 225
	H4 515	H4 480	H4 445	H4 361	H4 260
	H5 560	H5 525	H5 495	H5 420	H5 280
D7 V1	H1 210	H1 165	H1 120	H1 75	H1 50
	H2 270	H2 195	H2 135	H2 85	H2 50
	H3 325	H3 240	H3 165	H3 95	H3 55
	H4 380	H4 240	H4 160	H4 90	H4 50
	H5 431	H5 255	H5 165	H5 90	H5 50
V2	H1 260	H1 210	H1 165	H1 105	H1 75
	H2 320	H2 270	H2 195	H2 120	H2 85
	H3 390	H3 320	H3 235	H3 130	H3 85
	H4 450	H4 381	H4 240	H4 140	H4 90
	H5 495	H5 431	H5 260	H5 145	H5 90
V3	H1 360	H1 260	H1 215	H1 150	H1 105
	H2 410	H2 320	H2 270	H2 175	H2 120
	H3 450	H3 380	H3 325	H3 195	H3 130
	H4 510	H4 450	H4 385	H4 210	H4 135
	H5 546	H5 495	H5 435	H5 220	H5 145
V4	H1 510	H1 350	H1 265	H1 200	H1 150
	H2 545	H2 410	H2 320	H2 245	H2 170
	H3 610	H3 450	H3 390	H3 285	H3 190
	H4 660	H4 510	H4 450	H4 325	H4 205
	H5 706	H5 646	H5 495	H5 355	H5 220
D8 V1	H1 200	H1 145	H1 105	H1 60	H1 40
	H2 245	H2 165	H2 115	H2 65	H2 45
	H3 290	H3 185	H3 125	H3 70	H3 45
	H4 310	H4 195	H4 130	H4 70	H4 45
	H5 335	H5 205	H5 135	H5 70	H5 45
V2	H1 255	H1 200	H1 150	H1 95	H1 60
	H2 310	H2 245	H2 170	H2 100	H2 65
	H3 380	H3 280	H3 195	H3 105	H3 65
	H4 435	H4 310	H4 200	H4 110	H4 70
	H5 480	H5 330	H5 205	H5 115	H5 70
V3	H1 375	H1 255	H1 205	H1 135	H1 95
	H2 410	H2 310	H2 250	H2 150	H2 100
	H3 445	H3 325	H3 265	H3 165	H3 105
	H4 500	H4 435	H4 310	H4 170	H4 110
	H5 530	H5 475	H5 335	H5 180	H5 115
V4	H1 520	H1 375	H1 255	H1 185	H1 135
	H2 555	H2 410	H2 310	H2 225	H2 145
	H3 610	H3 445	H3 380	H3 245	H3 160
	H4 650	H4 495	H4 435	H4 270	H4 170
	H5 686	H5 530	H5 480	H5 280	H5 180
D9 V1	H1 190	H1 130	H1 95	H1 55	H1 35
	H2 225	H2 145	H2 100	H2 55	H2 35
	H3 240	H3 155	H3 105	H3 60	H3 35
	H4 265	H4 165	H4 110	H4 60	H4 35
	H5 275	H5 175	H5 115	H5 60	H5 35
V2	H1 240	H1 190	H1 135	H1 80	H1 55
	H2 290	H2 225	H2 145	H2 90	H2 55
	H3 355	H3 240	H3 160	H3 95	H3 60
	H4 410	H4 265	H4 170	H4 95	H4 60
	H5 450	H5 275	H5 175	H5 100	H5 60
V3	H1 335	H1 235	H1 190	H1 115	H1 80
	H2 375	H2 290	H2 225	H2 130	H2 90
	H3 430	H3 355	H3 245	H3 140	H3 95
	H4 481	H4 410	H4 265	H4 145	H4 95
	H5 515	H5 450	H5 280	H5 150	H5 100
V4	H1 520	H1 335	H1 240	H1 170	H1 115
	H2 525	H2 375	H2 295	H2 190	H2 130
	H3 560	H3 425	H3 355	H3 210	H3 140
	H4 595	H4 480	H4 415	H4 225	H4 145
	H5 625	H5 515	H5 455	H5 235	H5 150
D10 V1	H1 175	H1 120	H1 85	H1 50	H1 30
	H2 200	H2 130	H2 90	H2 50	H2 30
	H3 215	H3 140	H3 95	H3 50	H3 30
	H4 230	H4 150	H4 100	H4 50	H4 30
	H5 240	H5 155	H5 100	H5 50	H5 30
V2	H1 225	H1 175	H1 120	H1 70	H1 50
	H2 280	H2 200	H2 130	H2 75	H2 50
	H3 355	H3 215	H3 145	H3 80	H3 50
	H4 385	H4 230	H4 150	H4 85	H4 50
	H5 430	H5 240	H5 155	H5 85	H5 50
V3	H1 300	H1 225	H1 175	H1 105	H1 70
	H2 350	H2 280	H2 200	H2 115	H2 75
	H3 410	H3 325	H3 230	H3 125	H3 80
	H4 465	H4 385	H4 230	H4 130	H4 85
	H5 505	H5 431	H5 240	H5 135	H5 85
V4	H1 490	H1 300	H1 225	H1 150	H1 105
	H2 520	H2 345	H2 280	H2 175	H2 115
	H3 575	H3 410	H3 325	H3 185	H3 125
	H4 550	H4 460	H4 390	H4 200	H4 130
	H5 581	H5 500	H5 435	H5 205	H5 135

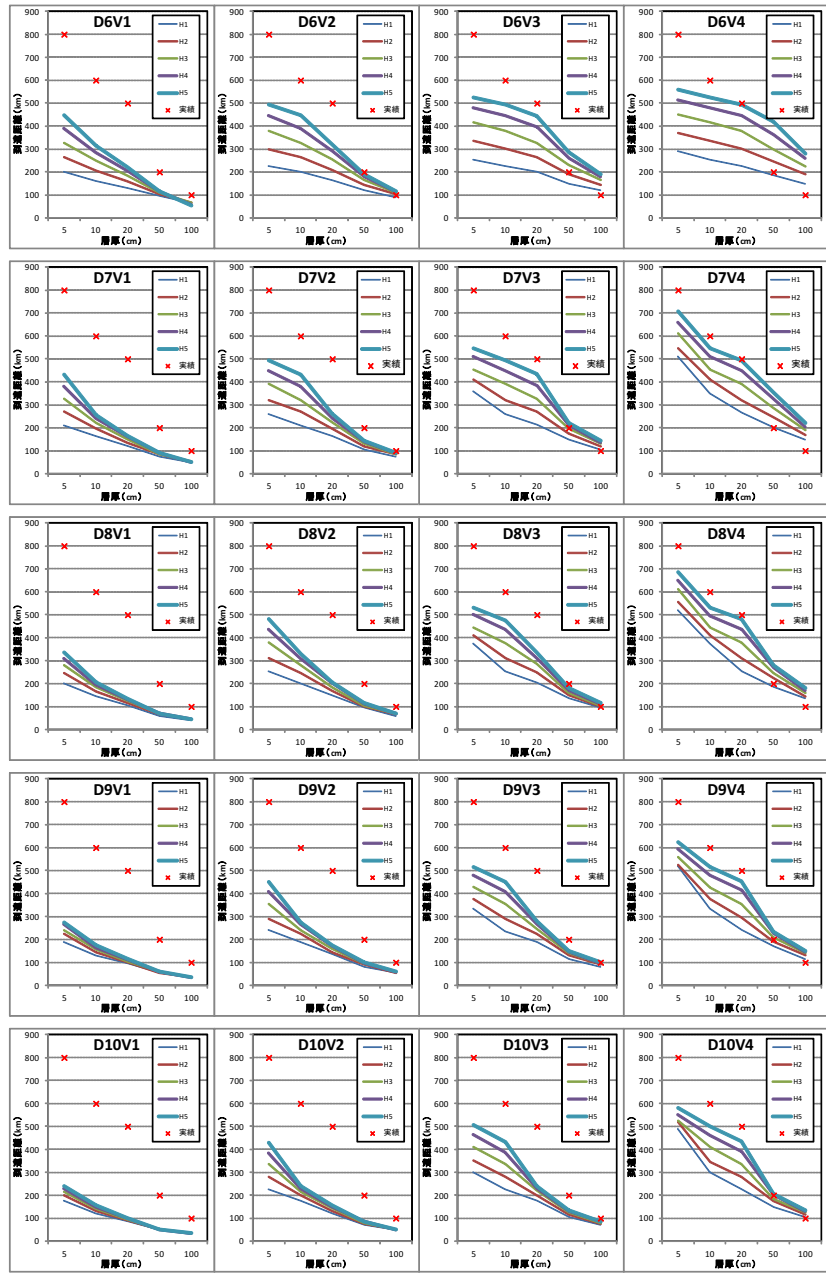


図 3.16 TEPHRA2 計算結果(層厚分布曲線)の実績比較(D6-D10)

床積距離 (mm)	800	600	500	200	100
D11 V1	H1 255	210	170	105	60
	H2 320	270	200	105	50
	H3 390	330	210	85	45
	H4 450	391	220	85	30
	H5 500	441	210	70	0
V2	H1 310	250	215	150	105
	H2 380	320	275	170	105
	H3 445	391	335	175	95
	H4 505	450	390	175	85
	H5 545	500	440	160	70
V3	H1 425	310	255	200	150
	H2 500	380	320	255	170
	H3 561	446	395	285	175
	H4 626	505	450	330	175
	H5 676	546	500	391	160
V4	H1 530	420	310	240	200
	H2 635	500	380	305	255
	H3 741	585	445	375	290
	H4 750	595	505	435	330
	H5 750	676	545	485	386
D12 V1	H1 235	185	135	75	50
	H2 290	220	145	80	50
	H3 355	260	150	85	45
	H4 410	260	155	75	40
	H5 450	265	160	75	35
V2	H1 310	235	190	115	75
	H2 360	290	225	125	80
	H3 420	350	240	130	90
	H4 475	410	265	130	95
	H5 515	450	270	135	75
V3	H1 480	305	235	170	115
	H2 520	360	290	190	125
	H3 600	420	350	205	130
	H4 575	475	415	220	130
	H5 610	515	455	225	130
V4	H1 625	475	315	225	170
	H2 705	515	360	275	190
	H3 750	535	425	325	205
	H4 750	576	475	381	220
	H5 750	611	515	425	225
D13 V1	H1 215	155	110	60	40
	H2 265	175	115	65	40
	H3 300	185	120	65	40
	H4 335	200	125	65	40
	H5 370	205	130	65	35
V2	H1 275	215	155	95	60
	H2 325	265	180	100	65
	H3 390	300	190	100	65
	H4 445	335	200	110	65
	H5 485	361	205	110	65
V3	H1 435	275	215	140	95
	H2 460	325	265	150	100
	H3 485	340	280	160	105
	H4 515	446	340	170	110
	H5 550	485	390	175	110
V4	H1 575	435	275	195	140
	H2 635	455	325	235	150
	H3 685	485	390	265	160
	H4 731	515	446	280	170
	H5 750	551	490	290	175
D14 V1	H1 195	135	95	55	35
	H2 230	150	100	55	35
	H3 265	160	105	55	35
	H4 270	165	110	55	35
	H5 280	175	110	55	35
V2	H1 250	195	140	80	55
	H2 300	225	150	90	55
	H3 350	265	180	100	65
	H4 420	270	170	95	55
	H5 460	280	175	95	55
V3	H1 380	245	195	120	80
	H2 410	300	230	130	90
	H3 440	361	260	140	90
	H4 485	420	270	145	95
	H5 520	460	280	150	95
V4	H1 520	380	250	175	120
	H2 560	405	300	200	130
	H3 605	440	365	215	140
	H4 635	485	420	230	145
	H5 665	521	465	240	150
D15 V1	H1 180	120	85	50	30
	H2 205	130	90	50	30
	H3 230	140	95	50	35
	H4 235	150	95	50	35
	H5 240	150	100	50	35
V2	H1 235	180	125	70	50
	H2 285	200	135	75	50
	H3 340	220	145	80	50
	H4 391	230	150	85	50
	H5 440	240	155	85	50
V3	H1 315	235	180	105	70
	H2 370	265	205	115	75
	H3 415	240	175	125	80
	H4 470	390	235	130	85
	H5 506	441	245	135	85
V4	H1 520	315	235	155	105
	H2 520	360	285	180	115
	H3 540	415	340	190	125
	H4 570	470	390	200	125
	H5 595	505	440	205	130

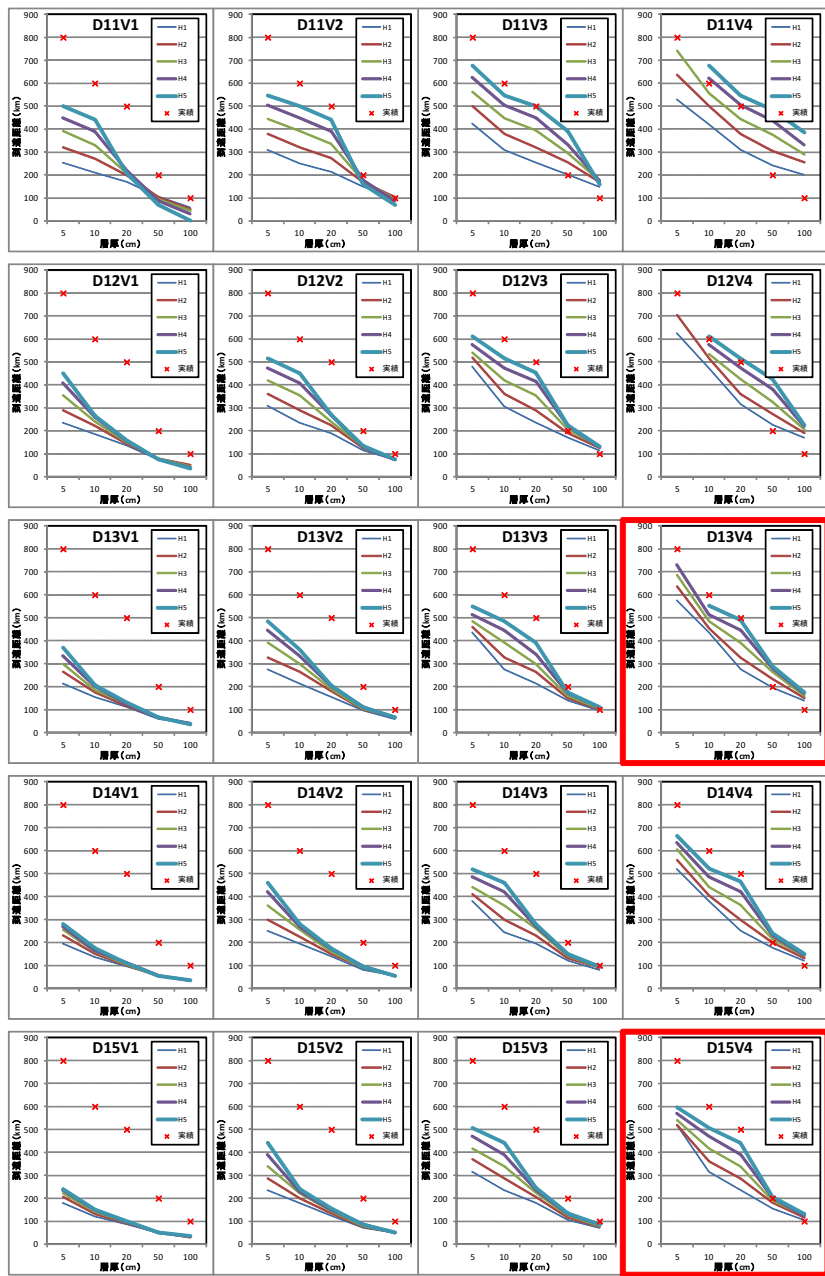


図 3.17 TEPHRA2 計算結果(層厚分布曲線)の実績比較(D11-D15)。赤線枠は再現性の高いケース。

実積距離 (km)		800	600	500	200	100
層厚 (cm)		5	10	20	50	100
D16 V1	H1	325	235	180	80	5
	H2	375	285	180	55	0
	H3	420	325	130	45	0
	H4	470	355	130	0	0
	H5	505	390	110	0	0
V2	H1	490	325	235	150	80
	H2	520	375	285	140	55
	H3	565	420	335	115	40
	H4	606	470	360	95	55
	H5	635	506	390	75	0
V3	H1	640	485	325	220	150
	H2	735	520	375	265	140
	H3	750	560	425	270	115
	H4	750	601	470	255	95
	H5	>750	630	505	210	75
V4	H1	>750	635	490	285	220
	H2	>750	730	525	335	265
	H3	>750	730	570	390	270
	H4	>750	750	610	440	240
	H5	>750	>750	640	480	205
D17 V1	H1	250	190	130	65	35
	H2	300	220	135	65	30
	H3	350	230	135	55	30
	H4	415	235	130	50	20
	H5	450	235	125	50	0
V2	H1	380	245	195	110	65
	H2	410	295	225	110	60
	H3	440	355	235	110	55
	H4	485	410	235	105	50
	H5	520	450	235	100	50
V3	H1	520	380	250	170	110
	H2	565	405	300	185	110
	H3	610	440	360	190	110
	H4	640	485	415	195	105
	H5	670	521	450	190	100
V4	H1	745	520	380	225	170
	H2	>750	565	410	280	185
	H3	>750	606	440	325	190
	H4	>750	641	485	375	190
	H5	>750	665	520	420	190
D18 V1	H1	220	155	105	55	35
	H2	265	175	110	55	35
	H3	300	185	115	55	30
	H4	325	185	115	55	30
	H5	355	190	115	50	30
V2	H1	285	215	155	95	55
	H2	335	265	175	95	55
	H3	390	295	185	95	55
	H4	445	325	190	95	55
	H5	485	355	195	95	50
V3	H1	475	285	220	140	95
	H2	490	335	270	150	95
	H3	510	390	300	155	95
	H4	525	445	335	160	95
	H5	555	485	355	160	95
V4	H1	625	475	285	200	140
	H2	680	490	335	235	150
	H3	730	510	395	265	155
	H4	>750	525	445	270	160
	H5	>750	556	490	280	160
D19 V1	H1	195	135	95	50	30
	H2	230	145	95	50	30
	H3	260	155	100	50	30
	H4	270	160	105	50	30
	H5	275	165	105	50	30
V2	H1	255	195	140	80	50
	H2	300	230	150	85	50
	H3	390	295	185	95	55
	H4	420	265	160	90	50
	H5	460	275	165	90	50
V3	H1	385	255	195	120	80
	H2	425	300	235	125	85
	H3	445	365	265	135	85
	H4	490	420	270	140	85
	H5	525	460	280	145	90
V4	H1	545	385	260	180	120
	H2	585	425	305	200	125
	H3	630	445	370	210	135
	H4	655	490	425	225	140
	H5	685	525	465	230	140
D20 V1	H1	180	120	85	45	30
	H2	205	130	90	50	30
	H3	220	140	90	50	30
	H4	230	145	95	50	30
	H5	240	150	95	50	30
V2	H1	235	180	125	70	45
	H2	285	205	135	75	50
	H3	340	220	140	75	50
	H4	390	230	145	80	50
	H5	440	240	150	80	50
V3	H1	335	235	180	105	70
	H2	375	285	205	115	75
	H3	420	340	235	120	75
	H4	470	391	235	125	80
	H5	505	441	240	125	80
V4	H1	520	395	235	155	105
	H2	525	375	285	180	115
	H3	565	420	335	185	120
	H4	585	470	395	200	125
	H5	610	505	440	205	125

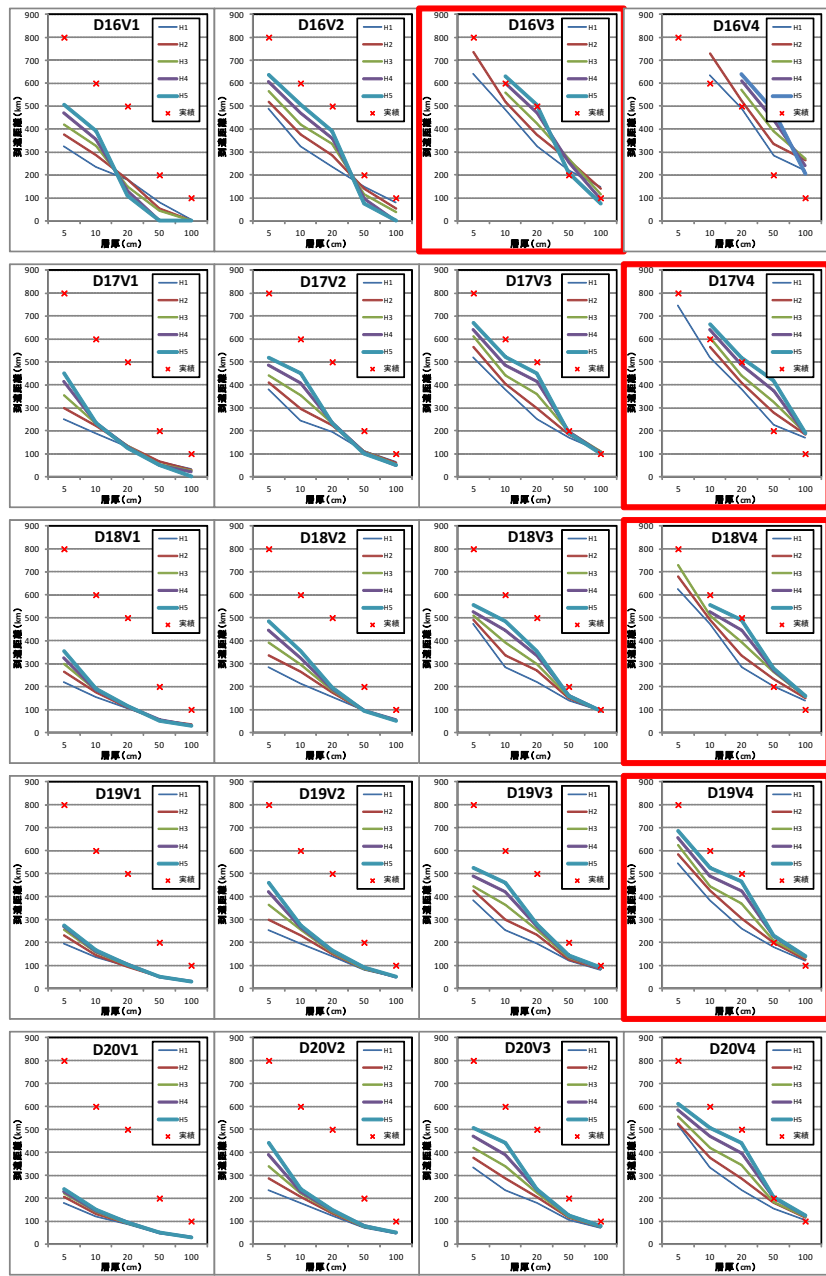


図 3.18 TEPHRA2 計算結果(層厚分布曲線)の実績比較(D16-D20)。赤線枠は再現性の高いケース。

### 3-4. 高再現性ケースの抽出

400 ケースの再現ケースのうち、実績分布と整合性の高いケースの抽出は、以下のフローによって行なった (図 3.19).

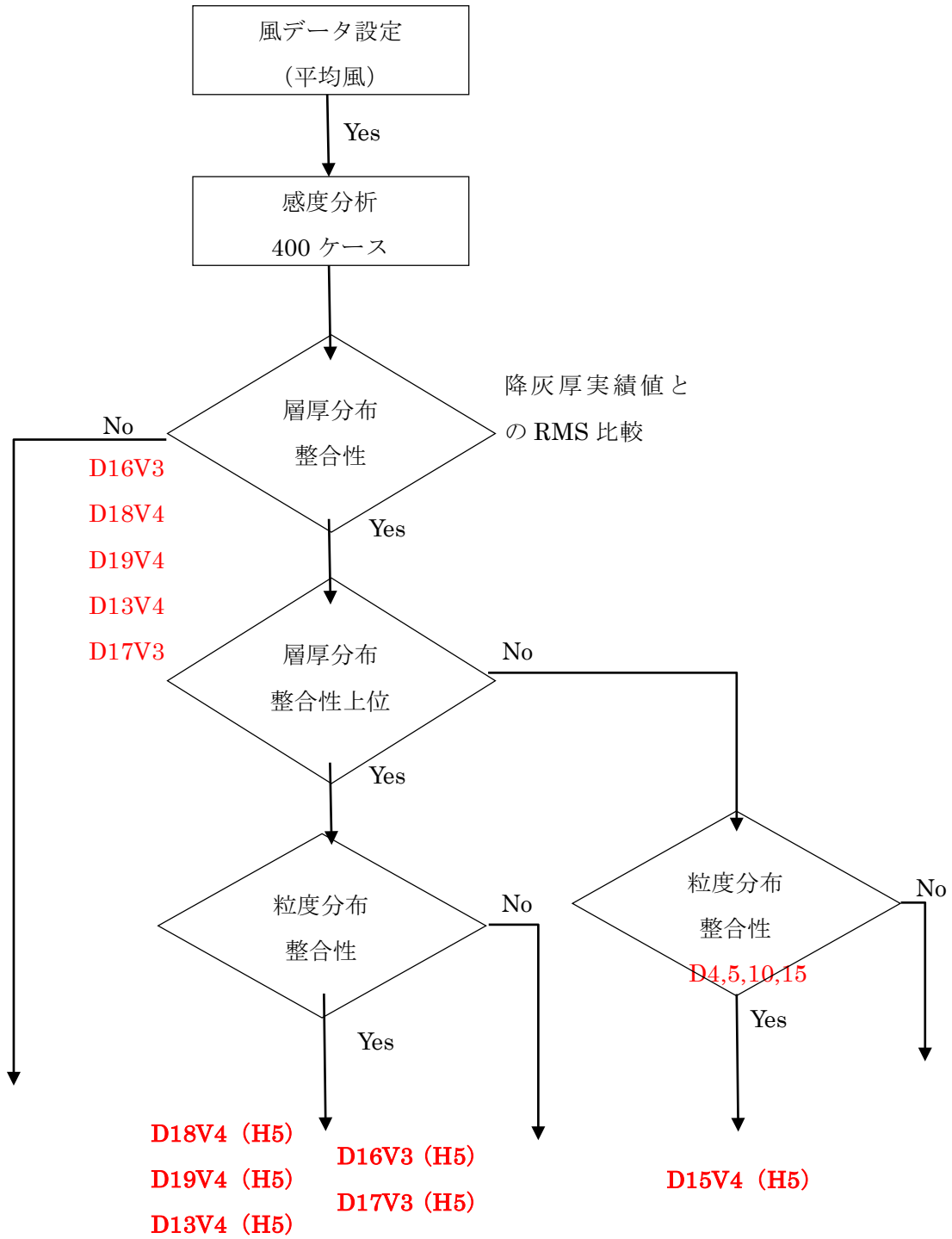


図 3.19 抽出ケースの選定フロー

手順1) 5地点の実績降灰厚と計算値との最小二乗和 (RMS) の上位ケースから抽出

表 3.5 降灰厚再現値の RMS 上位ケースの抽出結果

順位	実績距離 (km)			800	600	500	200	100	RMS	相関係数	$\mu-2\sigma$
	層厚 (6m)			5	10	20	50	100			
1	D16	V3	H5	>750	630	505	210	75	10	0.999	1
2	D16	V3	H4	>750	601	470	255	95	16	0.990	1
3	D18	V4	H5	>750	556	490	280	160	27	0.995	-3
4	D16	V3	H3	>750	560	425	270	115	28	0.979	1
5	D19	V4	H5	685	525	465	230	140	30	0.999	-5
6	D13	V4	H5	>750	551	490	290	175	32	0.995	-4
7	D17	V3	H5	670	521	450	190	100	32	0.999	-1
8	D13	V4	H4	731	515	446	280	170	32	0.990	-4
9	D18	V4	H4	>750	525	445	270	160	33	0.994	-3
10	D17	V4	H1	745	520	380	225	170	34	0.978	-1
11	D14	V4	H5	665	521	465	240	150	35	0.999	-6
12	D8	V4	H5	686	530	480	280	180	35	0.998	-5
13	D18	V4	H3	730	510	395	265	155	35	0.980	-3
14	D16	V3	H2	735	520	375	265	140	36	0.975	1
15	D16	V4	H1	>750	635	490	285	220	38	0.989	1
16	D17	V4	H2	>750	565	410	280	185	38	0.972	-1
17	D19	V4	H4	655	490	425	225	140	40	0.999	-5
18	D17	V4	H3	>750	605	440	325	190	41	0.963	-1
19	D9	V4	H5	625	515	455	235	150	42	0.997	-7
20	D17	V3	H4	640	485	415	195	105	43	1.000	-1
21	D13	V4	H3	685	485	390	265	160	43	0.983	-4
22	D12	V3	H5	610	515	455	225	130	43	0.993	-2
23	D8	V4	H4	650	495	435	270	170	44	0.996	-5
24	D20	V4	H5	610	505	440	205	125	44	0.996	-7
25	D12	V4	H2	705	515	360	275	190	45	0.964	-2
26	D14	V4	H4	635	485	420	230	145	45	0.999	-6
27	D7	V4	H5	706	546	495	355	220	45	0.988	-3
28	D15	V4	H5	595	505	440	205	130	47	0.994	-8
29	D7	V4	H4	660	510	450	325	205	48	0.989	-3
30	D12	V4	H3	>750	535	425	325	205	48	0.970	-2
31	D18	V4	H2	680	490	335	235	150	48	0.970	-3
32	D11	V3	H5	676	546	500	391	160	48	0.951	0
33	D3	V4	H5	591	510	460	260	170	50	0.992	-6
34	D10	V4	H5	581	500	435	205	135	50	0.993	-3
35	D17	V4	H4	>750	641	485	375	190	50	0.954	-1
36	D4	V4	H5	580	506	440	225	150	51	0.992	-8
37	D11	V3	H4	626	506	450	330	175	51	0.980	0
38	D9	V4	H4	595	480	415	225	145	51	0.999	-7
39	D16	V3	H1	640	485	325	220	150	54	0.974	1
40	D19	V4	H3	625	445	370	210	135	54	0.993	-5
41	D16	V2	H5	635	506	390	75	0	54	0.996	1
42	D12	V3	H4	575	475	415	220	130	55	0.996	-2
43	D20	V4	H4	585	470	395	200	125	55	0.999	-7
44	D5	V4	H5	560	495	425	200	130	55	0.990	-10
45	D11	V4	H3	741	555	445	375	290	55	0.962	0
46	D12	V4	H4	>750	576	475	381	220	55	0.954	-2
47	D8	V4	H3	610	445	380	245	160	57	0.992	-5
48	D11	V2	H5	545	500	440	160	70	57	0.976	0
49	D17	V3	H3	610	440	360	195	110	57	0.995	-1
50	D7	V3	H5	546	495	435	220	145	57	0.985	-3

表 3.6 抽出された RMS 評価上位 5 ケース

1	D16V3 (H5)
2	D18V4 (H5)
3	D19V4 (H5)
4	D13V4 (H5)
5	D17V3 (H5)

手順2) 代表露頭 m p 粒径を考慮し、 $\phi = -7$  の粒子が確実に存在するパターンから選択 (D4, 5, 10, 15) → D15V4 (H5)

以上の手順から、下表の 6 ケースを抽出した。いずれも、噴出量が  $4.0E+13\text{kg}$  ( $40\text{km}^3$ ) 以上かつ、噴煙柱高度が 16000m 以上の条件となった。計算結果の詳細を図 2.20～図 2.25 に示している。

表 3.7 再現性の高い抽出 6 ケース

1	D16V3(H5)
2	D18V4(H5)
3	D19V4(H5)
4	D13V4(H5)
5	D17V3(H5)
6	D15V4(H5)

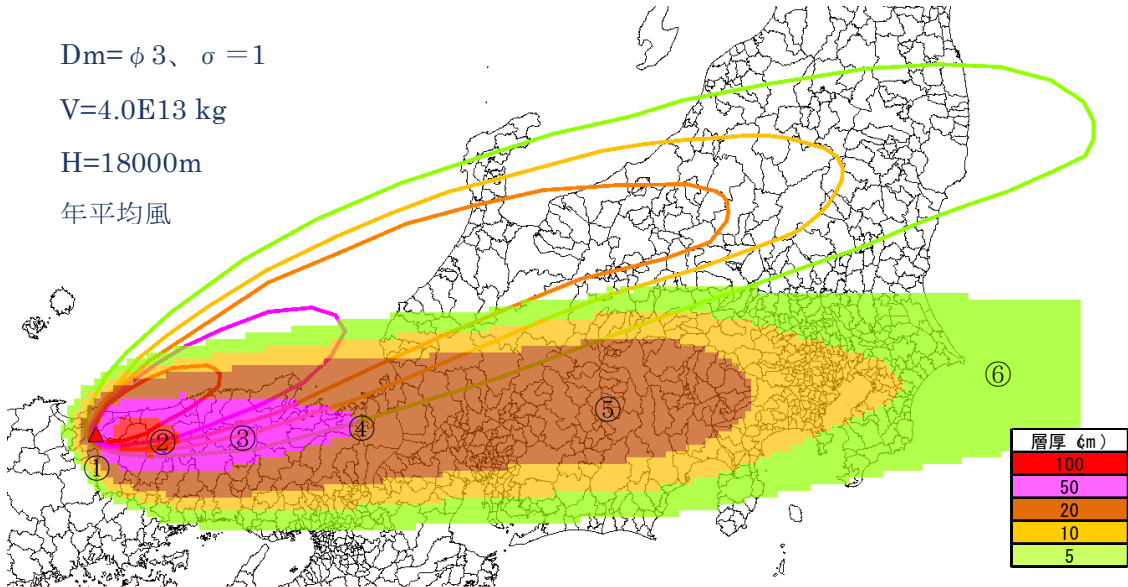
### D16V3H5

$D_m = \phi 3, \sigma = 1$

$V = 4.0E13 \text{ kg}$

$H = 18000 \text{ m}$

年平均風



層厚 (cm)	5	10	20	50	100
到達距離 (km)	>750	630	505	210	75
実績距離 (km)	800	600	500	200	100

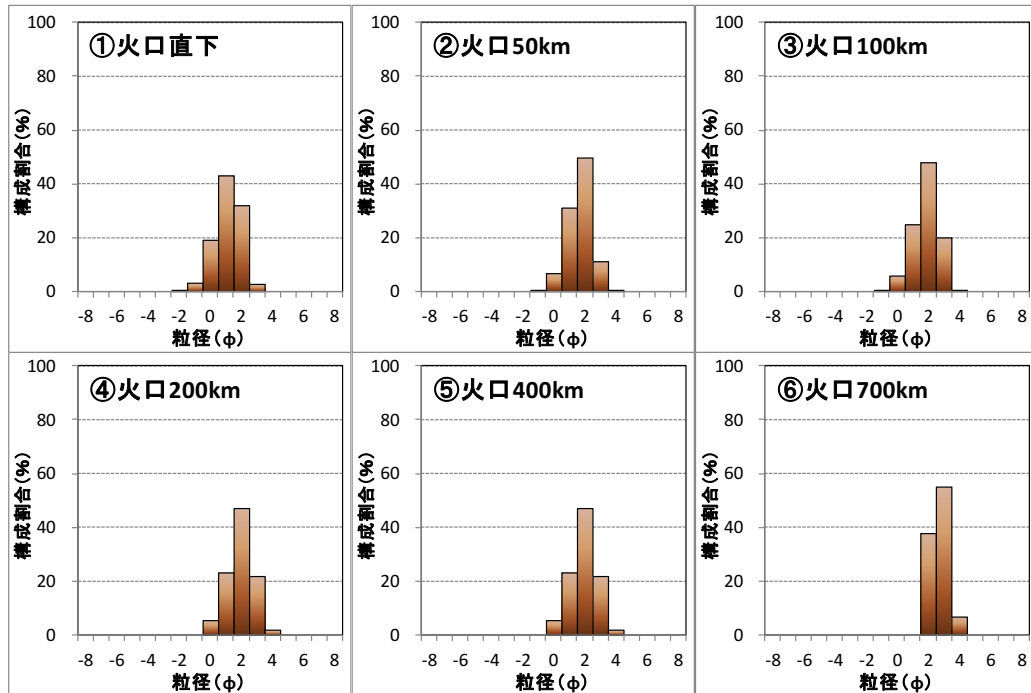
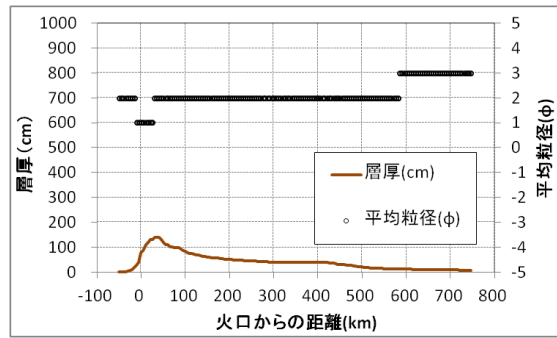


図 3.20 再現性の高い Tephra2 計算結果 1: 降灰分布、粒度構成(D16V3H5)

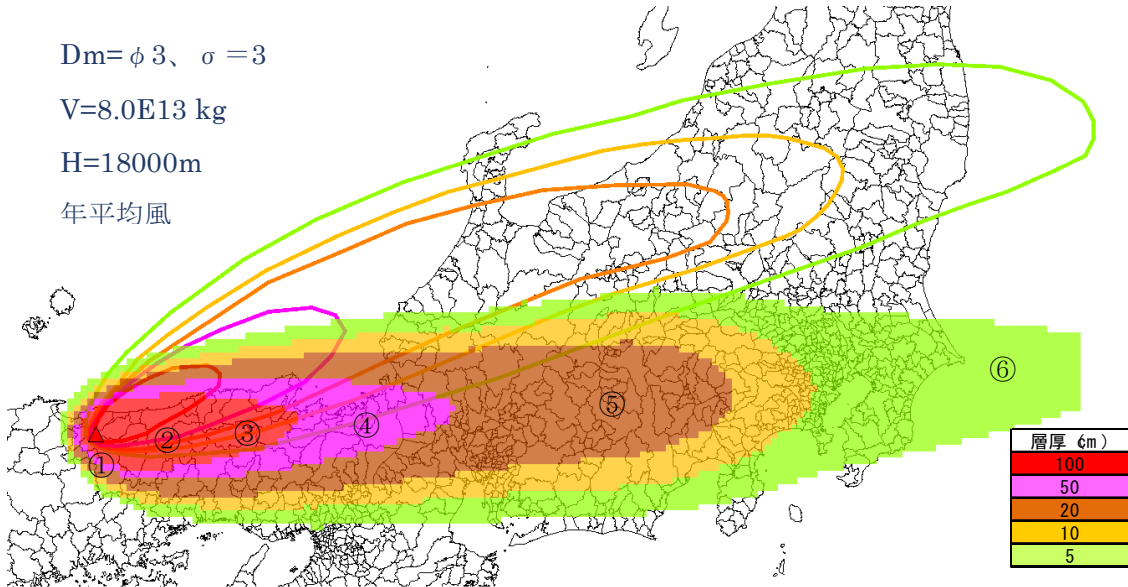
D18V4H5

$D_m = \phi 3, \sigma = 3$

$V = 8.0E13 \text{ kg}$

$H = 18000 \text{ m}$

年平均風



層厚 (cm)	5	10	20	50	100
到達距離 (km)	>750	556	490	280	160
実績距離 (km)	800	600	500	200	100

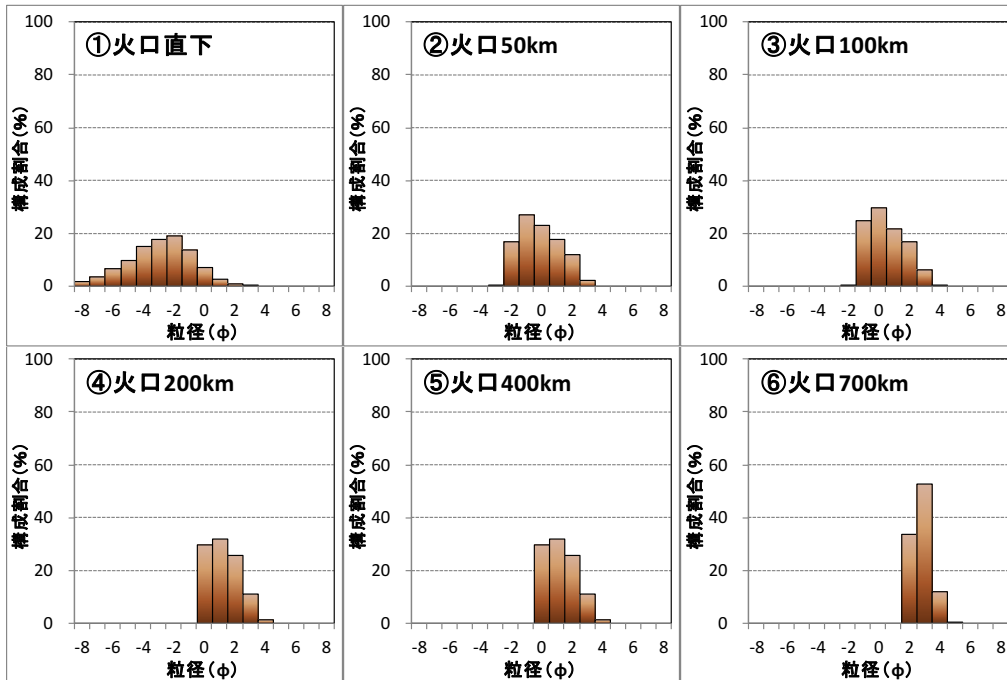
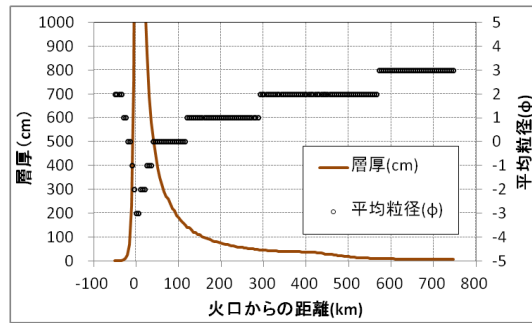


図 3.21 再現性の高い Tephra2 計算結果:降灰分布、粒度構成(D18V4H5)

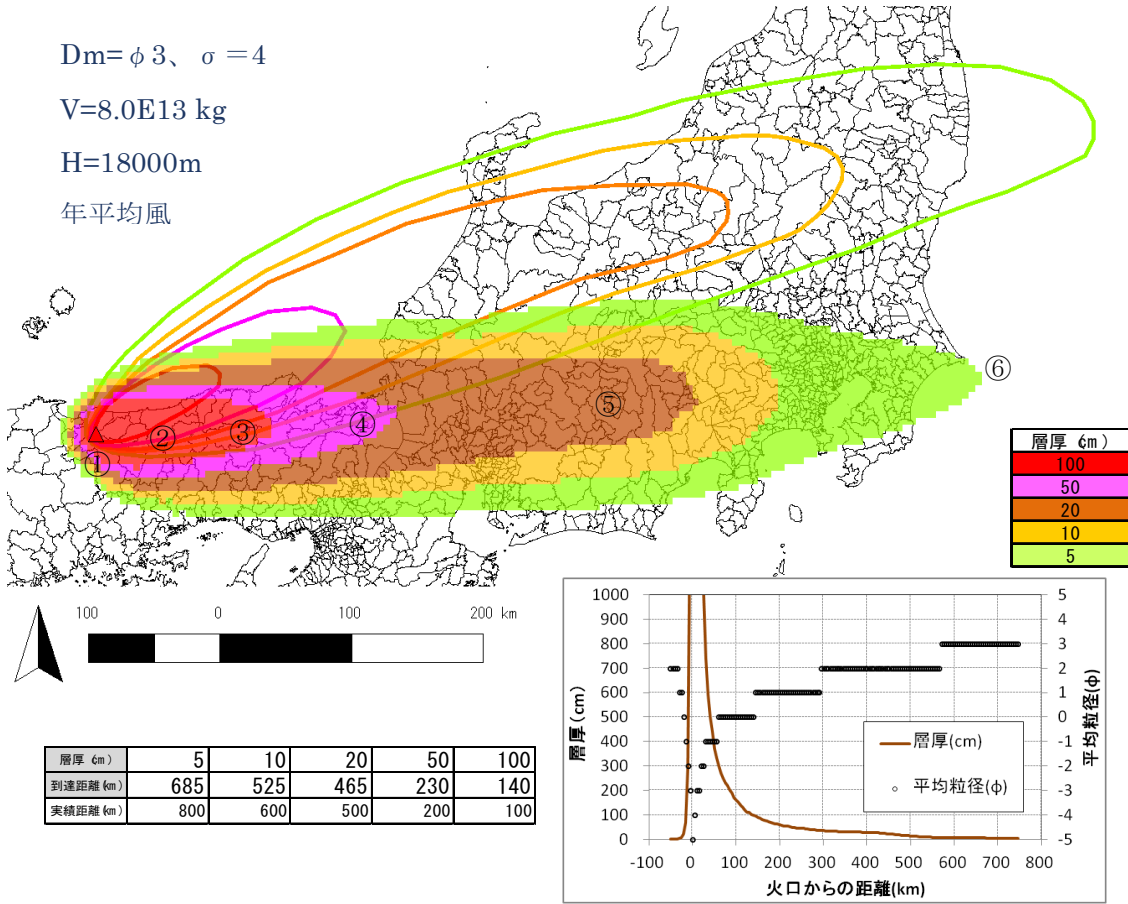
D19V4H5

$D_m = \phi 3, \sigma = 4$

$V = 8.0E13 \text{ kg}$

$H = 18000 \text{ m}$

年平均風



層厚 (cm)	5	10	20	50	100
到達距離 (km)	685	525	465	230	140
実績距離 (km)	800	600	500	200	100

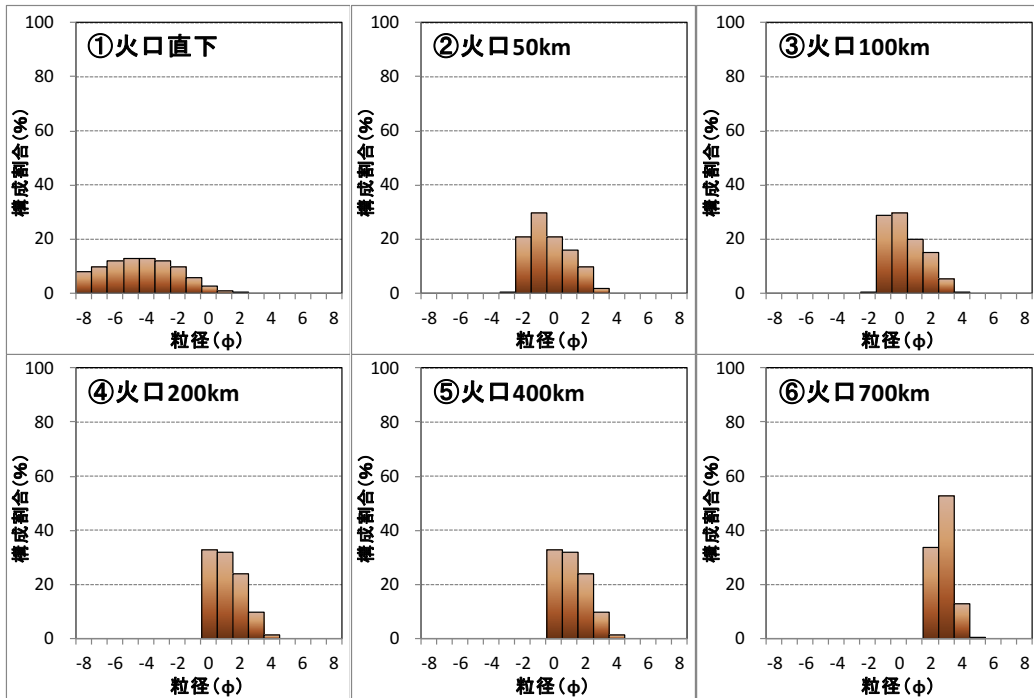


図 3.22 再現性の高い Tephra2 計算結果 3: 降灰分布、粒度構成(D19V4H5)



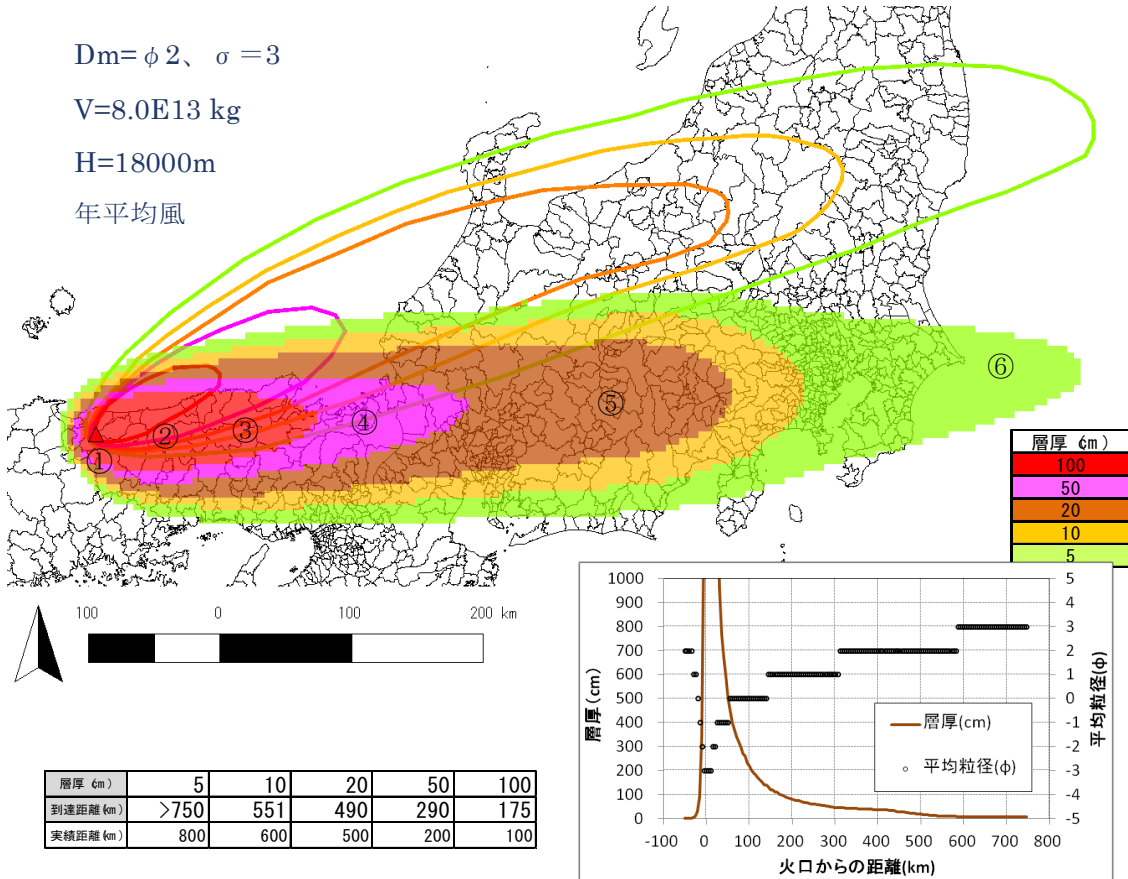
D13V4 H5

$D_m = \phi 2, \sigma = 3$

$V = 8.0E13 \text{ kg}$

$H = 18000 \text{ m}$

年平均風



層厚 (cm)	5	10	20	50	100
到達距離 (km)	>750	551	490	290	175
実績距離 (km)	800	600	500	200	100

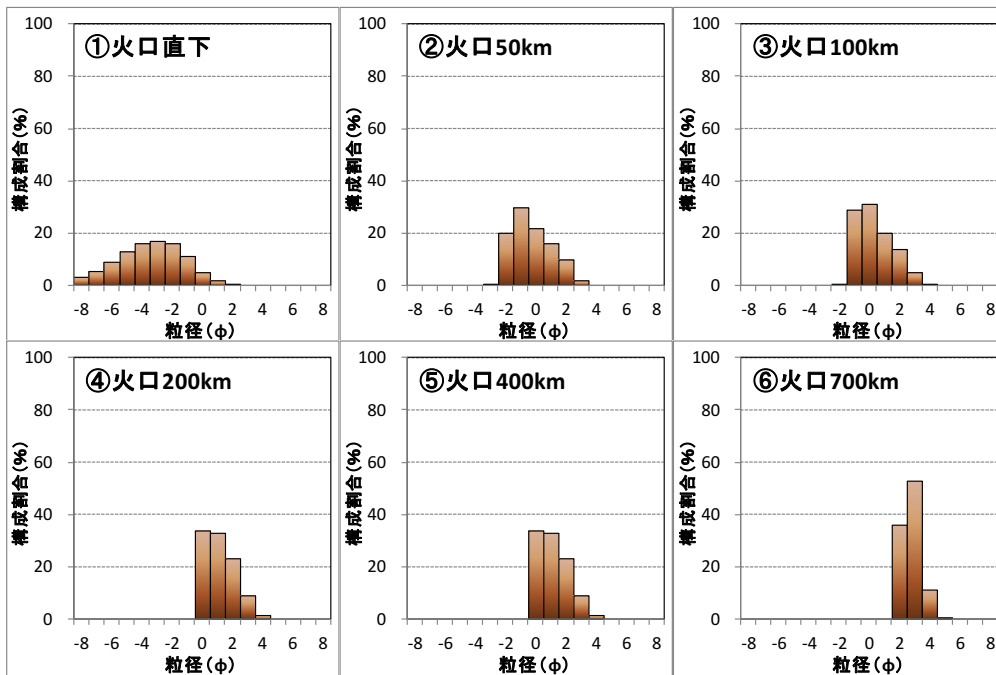
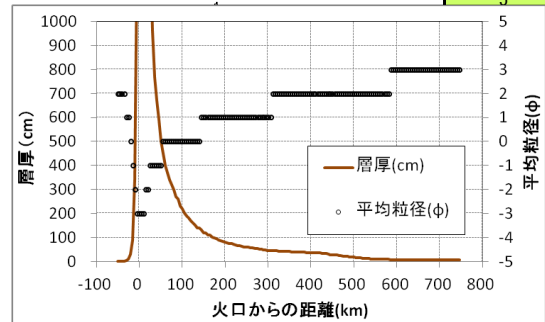


図 3.23 再現性の高い Tephra2 計算結果 4: 降灰分布、粒度構成 (D13V4 H5)

D17V3H5

$D_m = \phi 3$ 、 $\sigma = 2$

$V = 4.0E13$  kg

$H = 18000$  m

年平均風

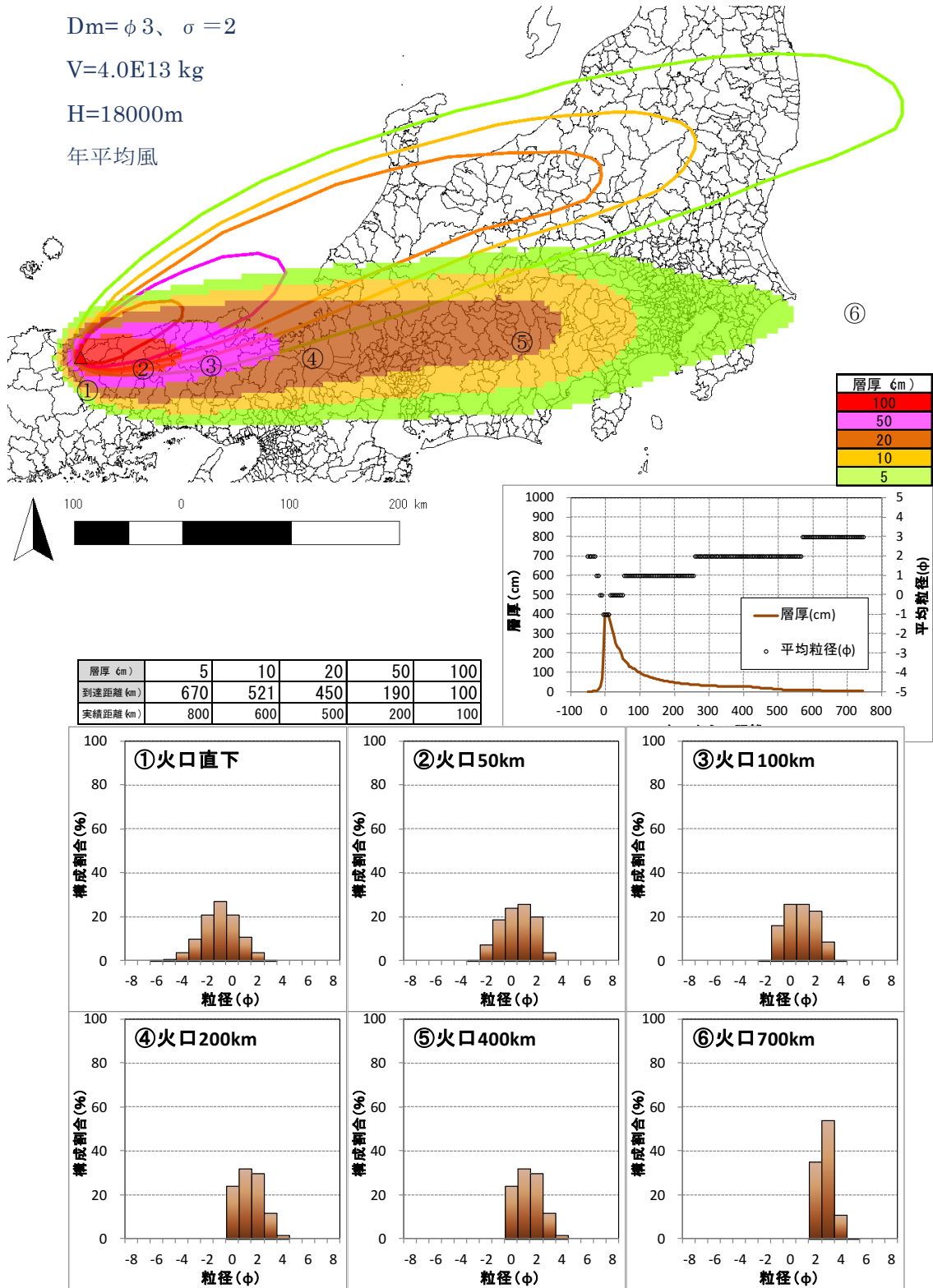


図 3.24 再現性の高い Tephra2 計算結果 5: 降灰分布、粒度構成(D17V4H5)

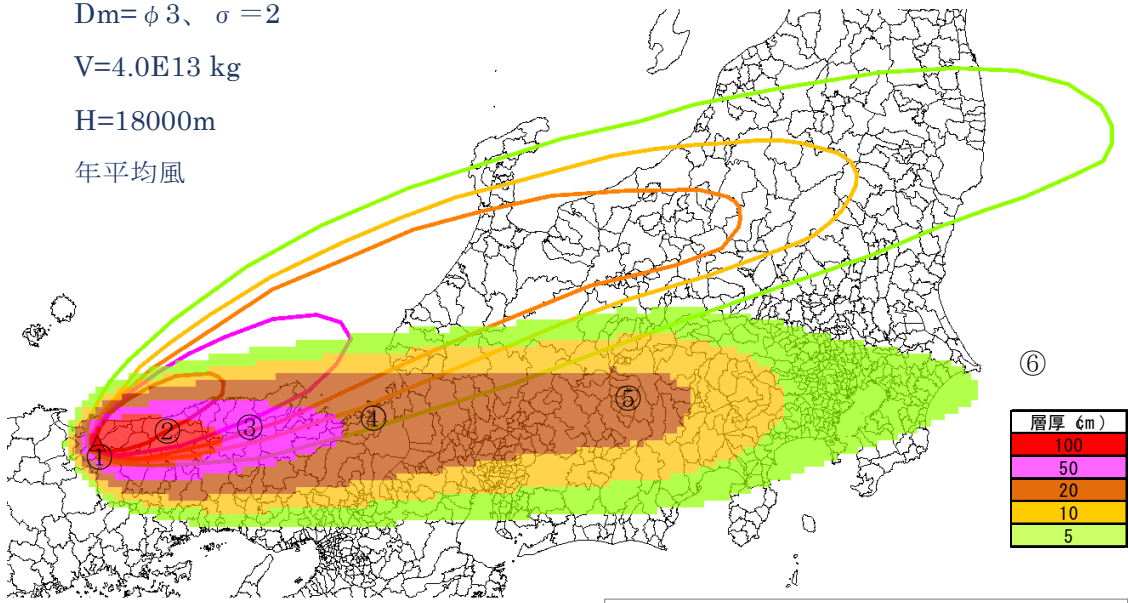
D17V3H5

$D_m = \phi 3, \sigma = 2$

$V = 4.0E13 \text{ kg}$

$H = 18000 \text{ m}$

年平均風



層厚 (cm)	5	10	20	50	100
到達距離 (km)	670	521	450	190	100
実績距離 (km)	800	600	500	200	100

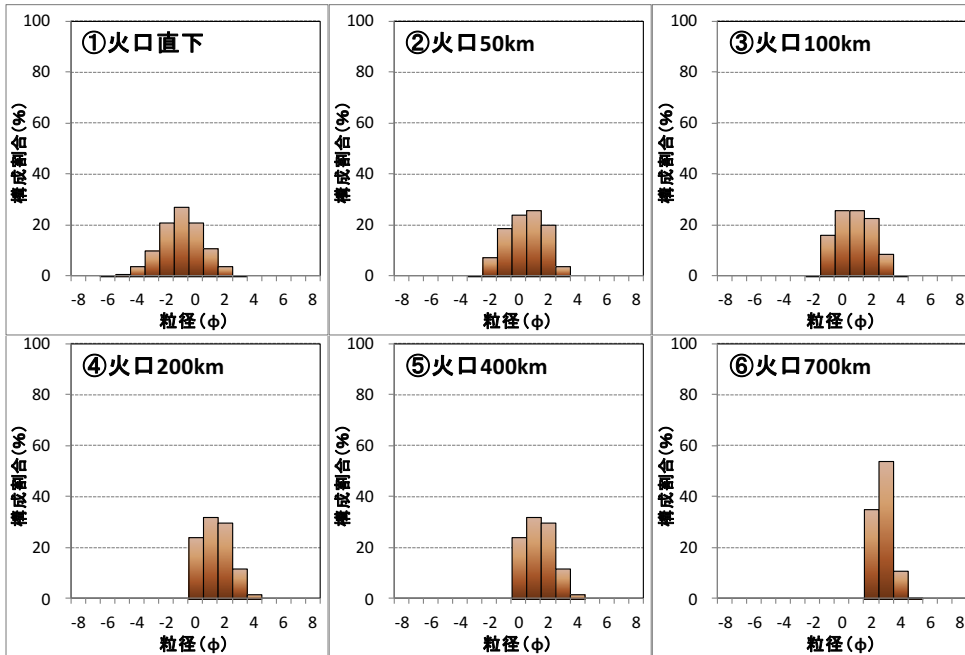
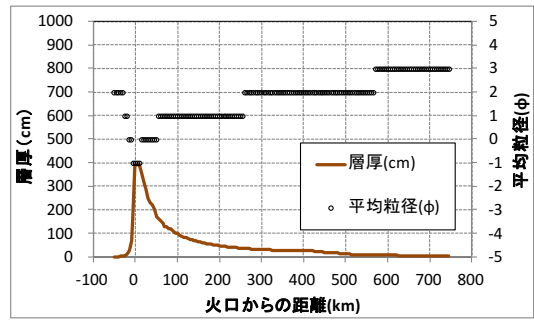


図 3.25 再現性の高い Tephra2 計算結果 5: 降灰分布、粒度構成(D17V4H5)

### 3-5. 抽出条件に対する感度分析結果

粒度構成条件と平面的な降灰分布形状の双方で整合性の高かった CaseD13 および CaseD15 を代表例に、感度分析として、以下の検討を実施した。

- 1) 噴煙柱高度：20km, 25km, 30km のケース (H6~H8)
- 2) 風：1月, 7月のケース

噴煙柱高度を上げた感度分析では、D13V3・D15V3・D15V4 では H7 以上で堆積物分布が頭打ちとなり、D13V4 では H8 で設定が大きすぎる (図 2.26), また、堆積物の分布形状は、20km (H6) までは整合性があるものの、25km (H7) から 30km (H8) へと整合性が悪くなる傾向が確認できた (図 3.27, 図 3.28)。

風に対する感度解析では、1月の場合、D13V3 では H4 が最適、D13V4 では H4 未満が最適、D15V3 では H5 以上で頭打ち、D15V4 では H4 が最適で H5 以上は頭打ちとなった (図 3.29)。従って西風が強いと小さい V でも整合性が良くなる傾向が認められる (図 3.31 ~ 図 3.34)。一方、7月の風の場合、噴煙柱高度に関係なく層厚分布は実績との乖離が大きい (図 3.30)。これは、7月の風では拡散が強く寄与するため到達距離が短くなることの反映である (図 3.35)。

実績距離 (km)	800	600	500	200	100
層厚 (cm)	5	10	20	50	100
D13 V3 H4	515	446	340	170	110
D13 V3 H5	550	485	390	175	110
D13 V3 H6	570	515	430	180	110
D13 V3 H7	601	546	495	180	110
D13 V3 H8	611	561	520	180	105
D13 V4 H4	731	515	446	280	170
D13 V4 H5	>750	551	490	290	175
D13 V4 H6	>750	571	515	295	180
D13 V4 H7	>750	601	545	305	180
D13 V4 H8	>750	611	565	491	180
D15 V3 H4	470	390	235	130	85
D15 V3 H5	506	441	245	135	85
D15 V3 H6	531	470	255	135	85
D15 V3 H7	560	516	260	140	85
D15 V3 H8	576	531	260	135	85
D15 V4 H4	570	470	390	200	125
D15 V4 H5	595	505	440	205	130
D15 V4 H6	621	530	475	215	135
D15 V4 H7	640	561	515	220	135
D15 V4 H8	656	576	535	220	135

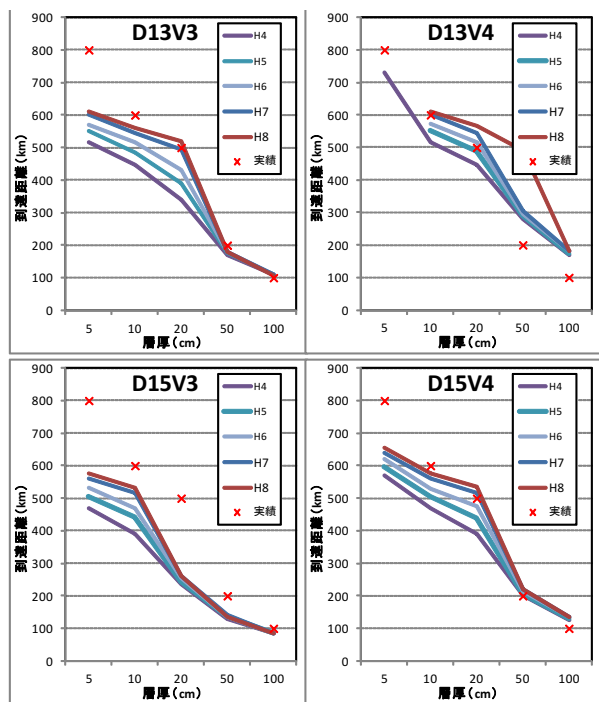


図 2.26 感度分析 TEPHRA2 計算結果:噴煙柱高度の評価(D13、D15)

D13V3H8

$D_m = \phi 2$ 、 $\sigma = 3$

$V = 4.0E13$  kg

$H = 30000$  m

年平均風

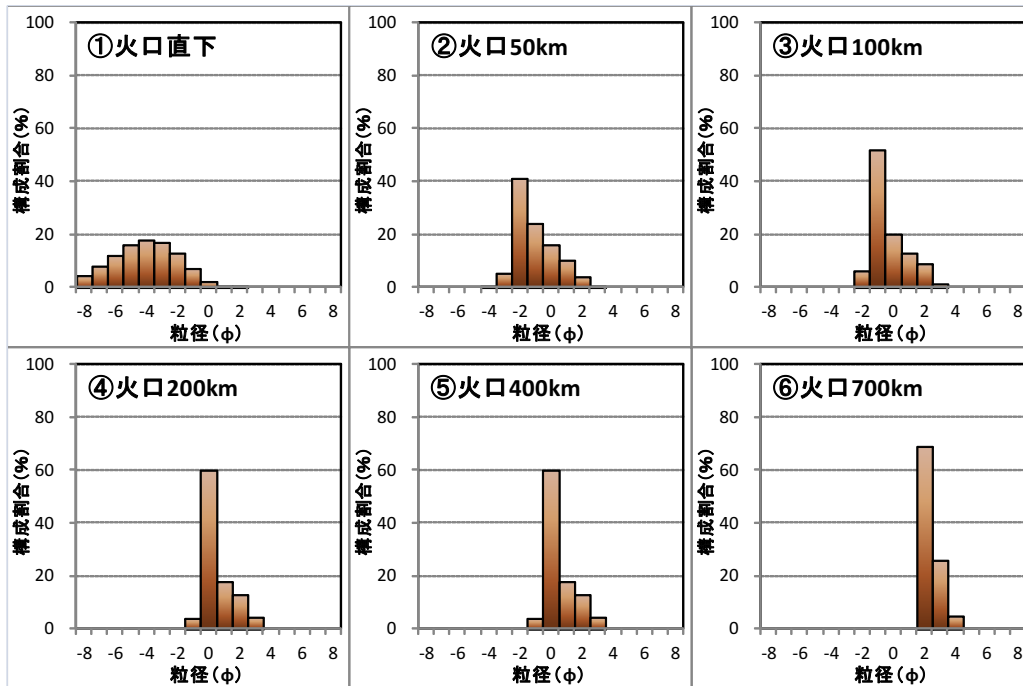
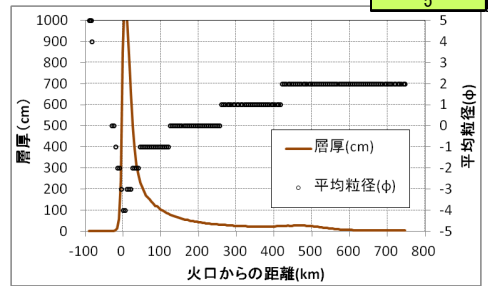
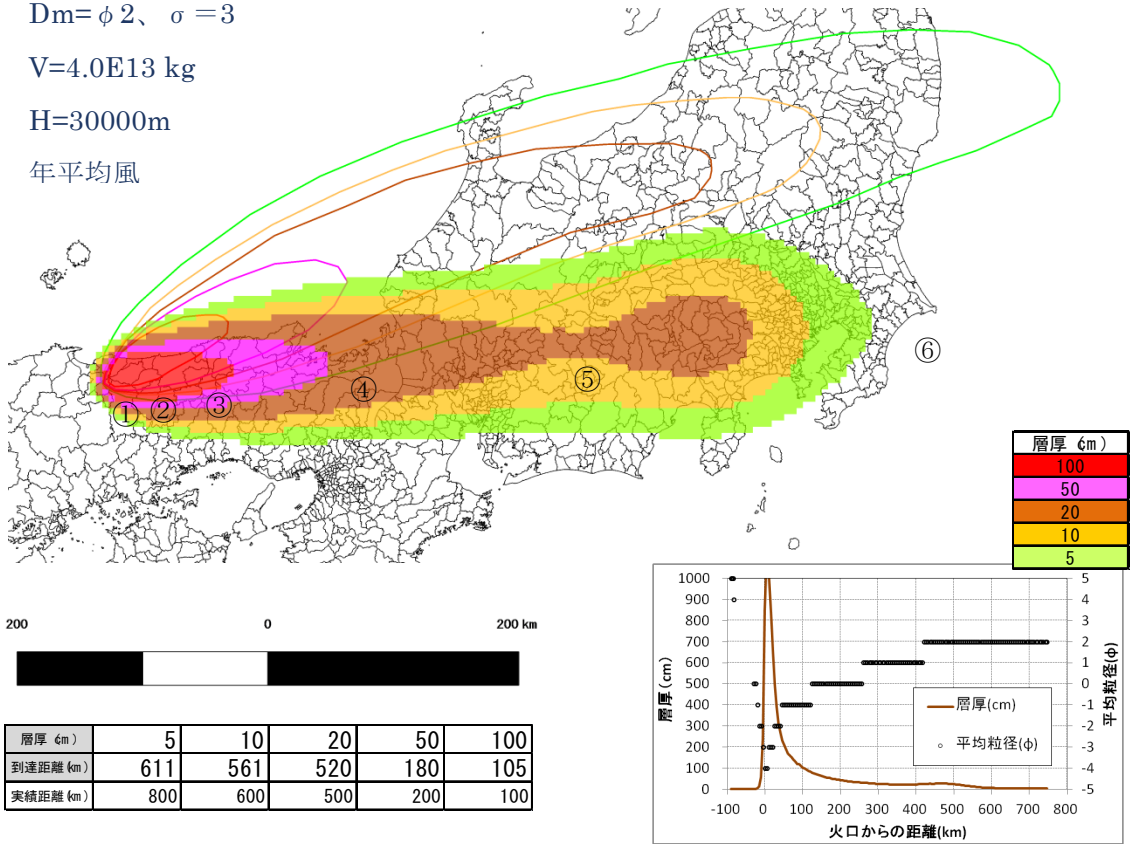


図 3.27 感度分析 TEPHRA2 計算結果 1: 降灰分布、粒度構成 (D13V3H8)

# D15V4H8

$D_m = \phi 2, \sigma = 5$

$V = 8.0E13 \text{ kg}$

$H = 30000 \text{ m}$

年平均風

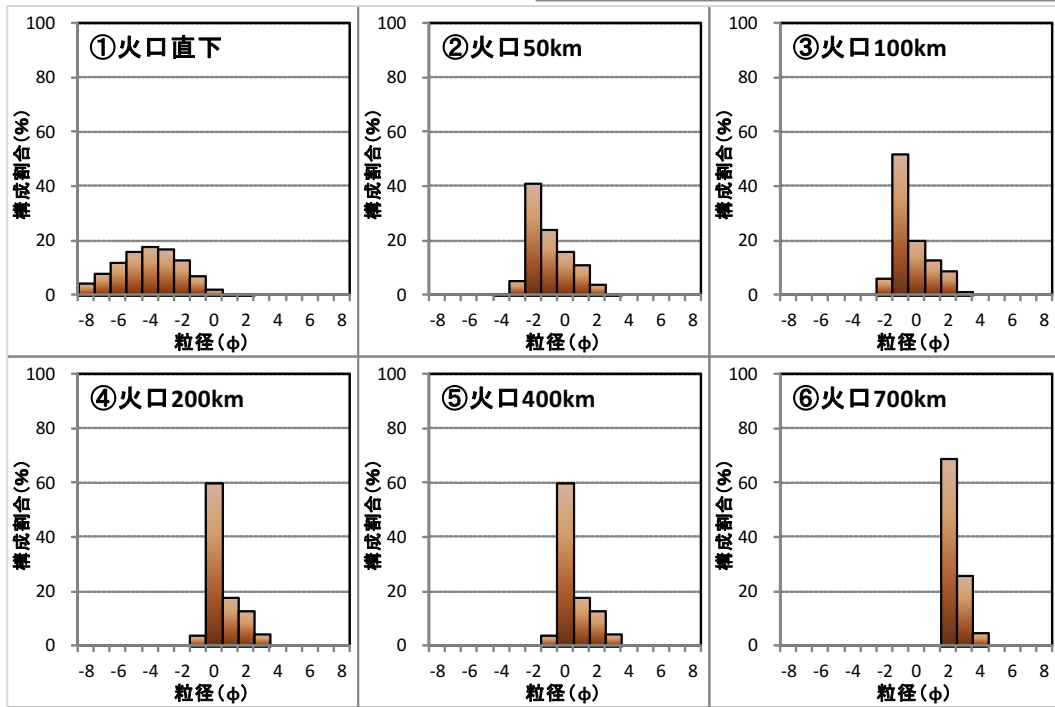
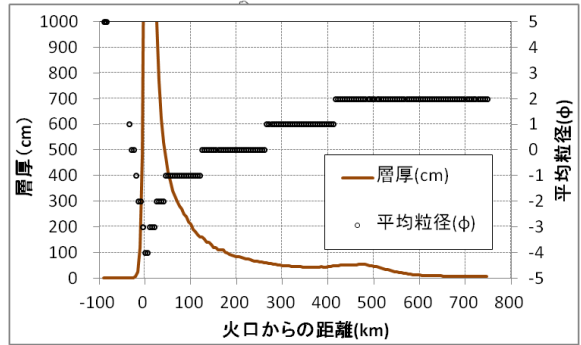
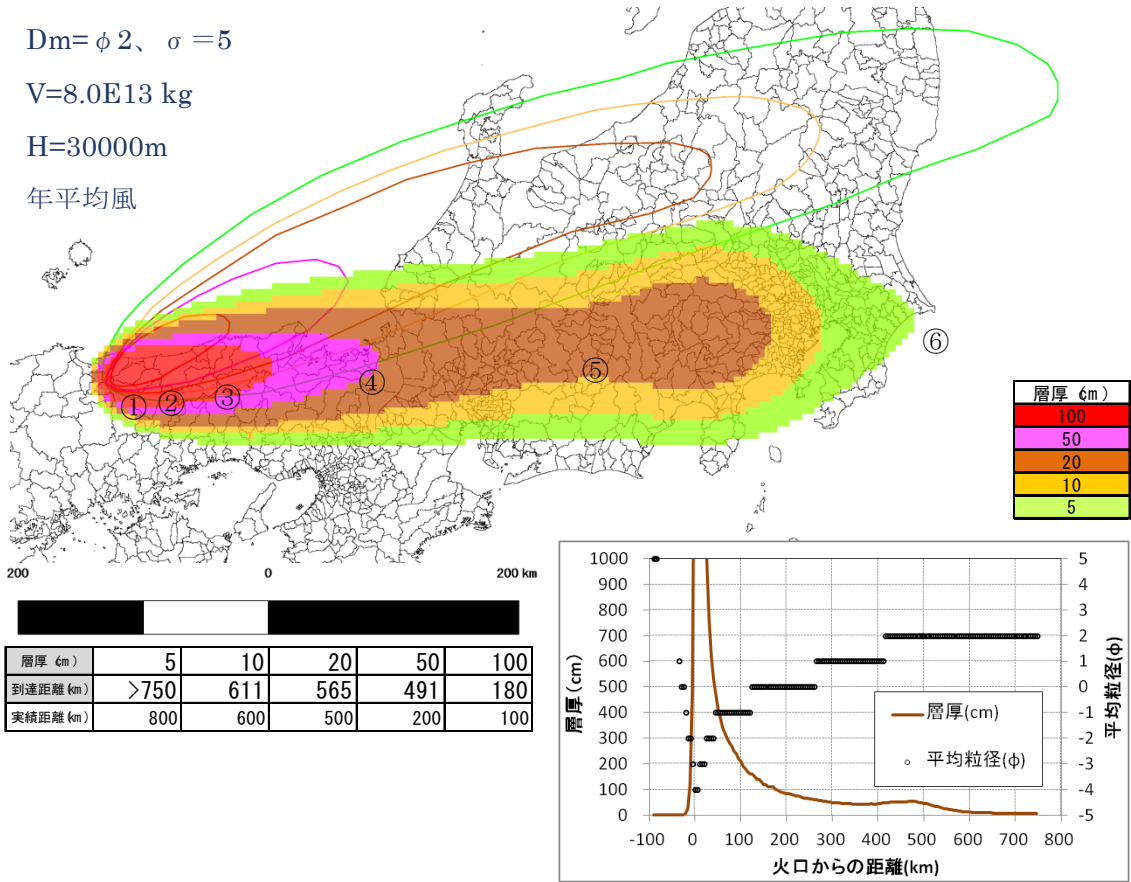


図 2.28 感度分析 TEPHRA2 計算結果2:降灰分布、粒度構成(D15V4H8)

実績距離 (km)			800	600	500	200	100
層厚 (cm)			5	10	20	50	100
D13	V3	H4	685	590	355	190	115
D13	V3	H5	>750	665	375	195	115
D13	V3	H6	>750	725	380	195	115
D13	V4	H4	>750	685	595	300	190
D13	V4	H5	>750	745	670	310	195
D13	V4	H6	>750	0	725	315	195
D15	V3	H4	630	420	260	145	90
D15	V3	H5	700	435	270	145	90
D15	V3	H6	>750	440	275	150	90
D15	V4	H4	710	630	425	225	145
D15	V4	H5	>750	700	440	230	145
D15	V4	H6	>750	0	445	235	150

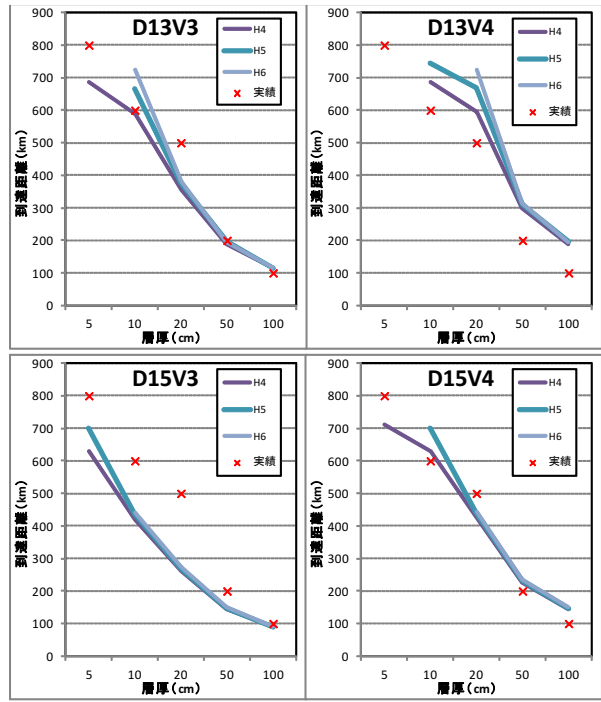


図 3.29 感度分析 TEPHRA2 計算結果: 1 月風の場合の噴煙柱高度評価(D13、D15)

実績距離 (km)			800	600	500	200	100
層厚 (cm)			5	10	20	50	100
D13	V3	H4	390	270	215	145	95
D13	V3	H5	405	275	230	150	95
D13	V3	H6	405	285	240	155	95
D13	V4	H4	555	391	270	200	145
D13	V4	H5	570	405	280	215	150
D13	V4	H6	575	400	285	225	155
D15	V3	H4	305	235	185	105	70
D15	V3	H5	310	245	200	110	70
D15	V3	H6	310	250	205	110	70
D15	V4	H4	481	305	235	165	105
D15	V4	H5	480	310	245	175	110
D15	V4	H6	480	310	255	185	110

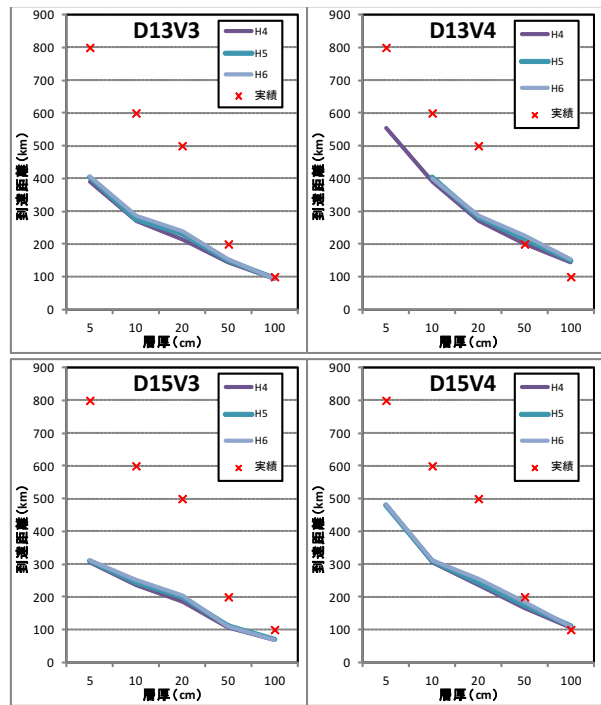


図 3.30 感度分析 TEPHRA2 計算結果: 7 月風の場合の噴煙柱高度評価(D13、D15)

D13V3H4-1 (1月)

$D_m = \phi 2$ 、 $\sigma = 3$

$V = 4.0E13$  kg

$H = 16000$  m

1月平均

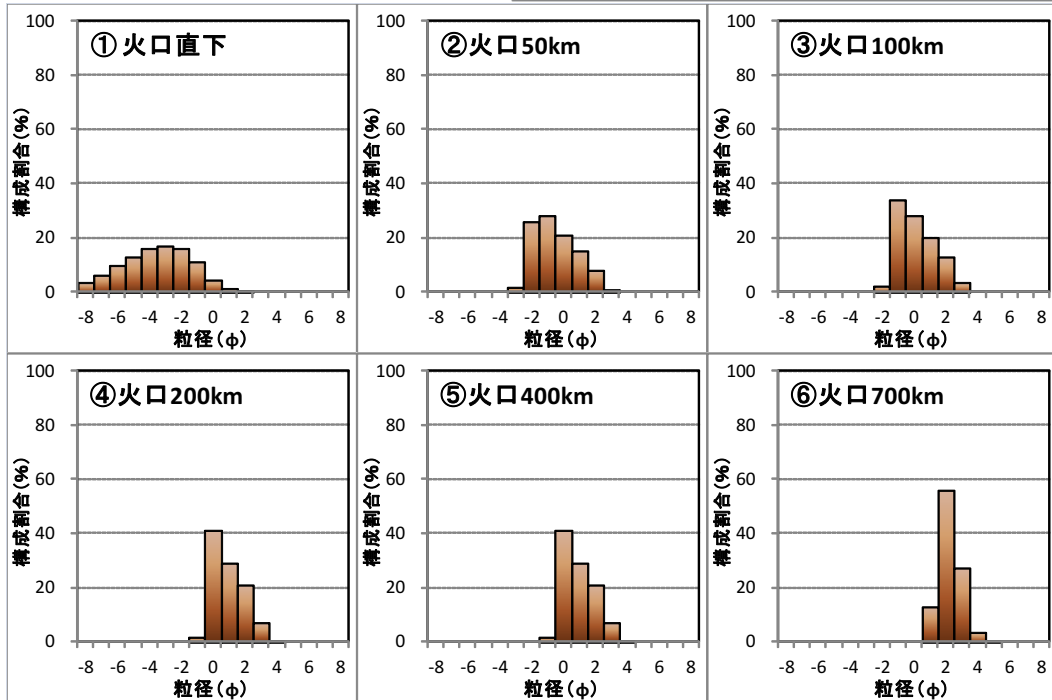
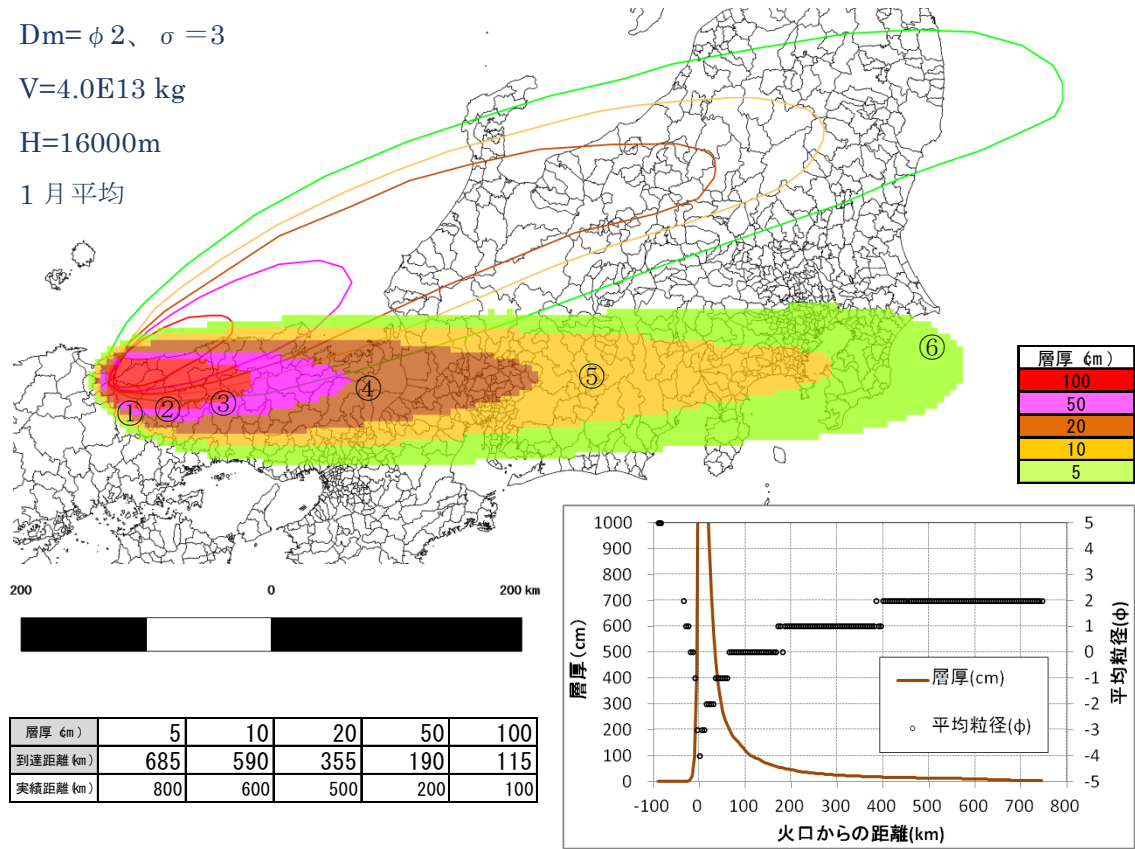


図 2.31 感度分析 TEPHRA2 計算結果3:降灰分布、粒度構成(D13V3H4-1)



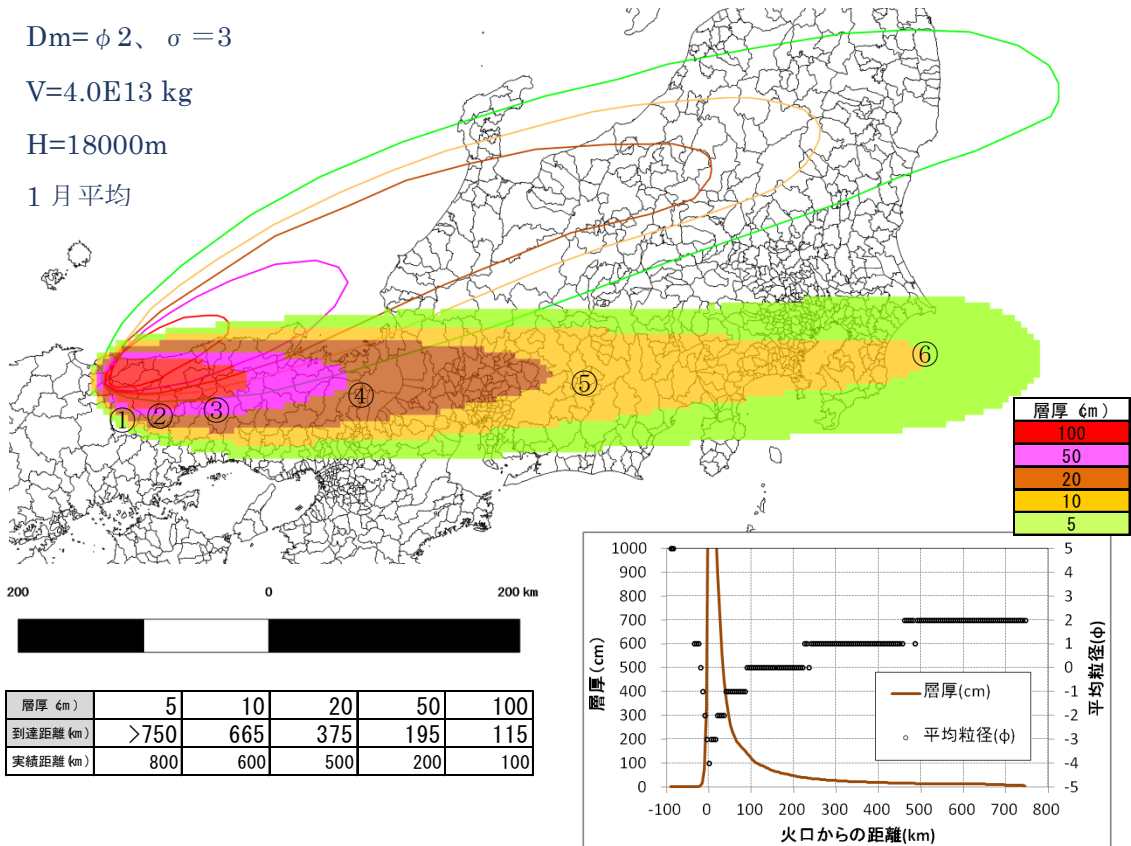
D13V3H5-1 (1月)

$D_m = \phi 2, \sigma = 3$

$V = 4.0E13 \text{ kg}$

$H = 18000 \text{ m}$

1月平均



層厚 (cm)	5	10	20	50	100
到達距離 (km)	>750	665	375	195	115
実績距離 (km)	800	600	500	200	100

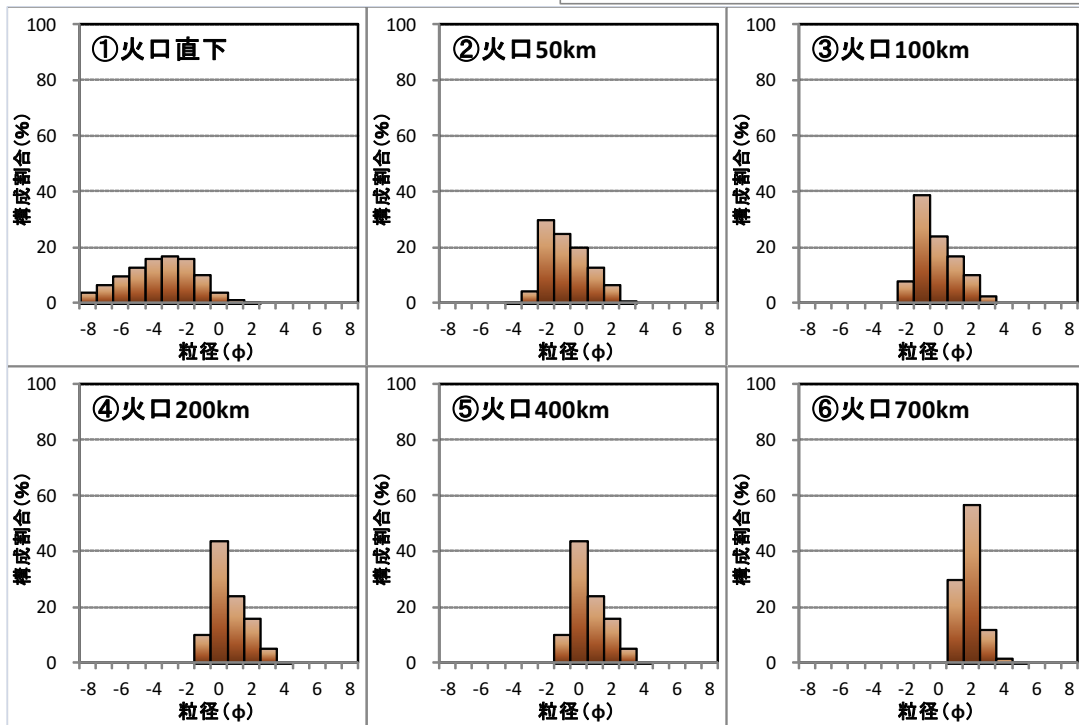
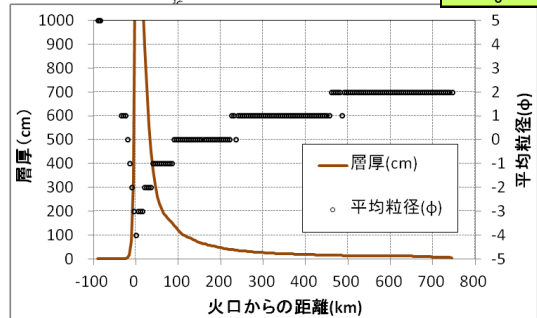


図 2.32 感度分析 TEPHRA2 計算結果4:降灰分布、粒度構成(D13V3H5-1)

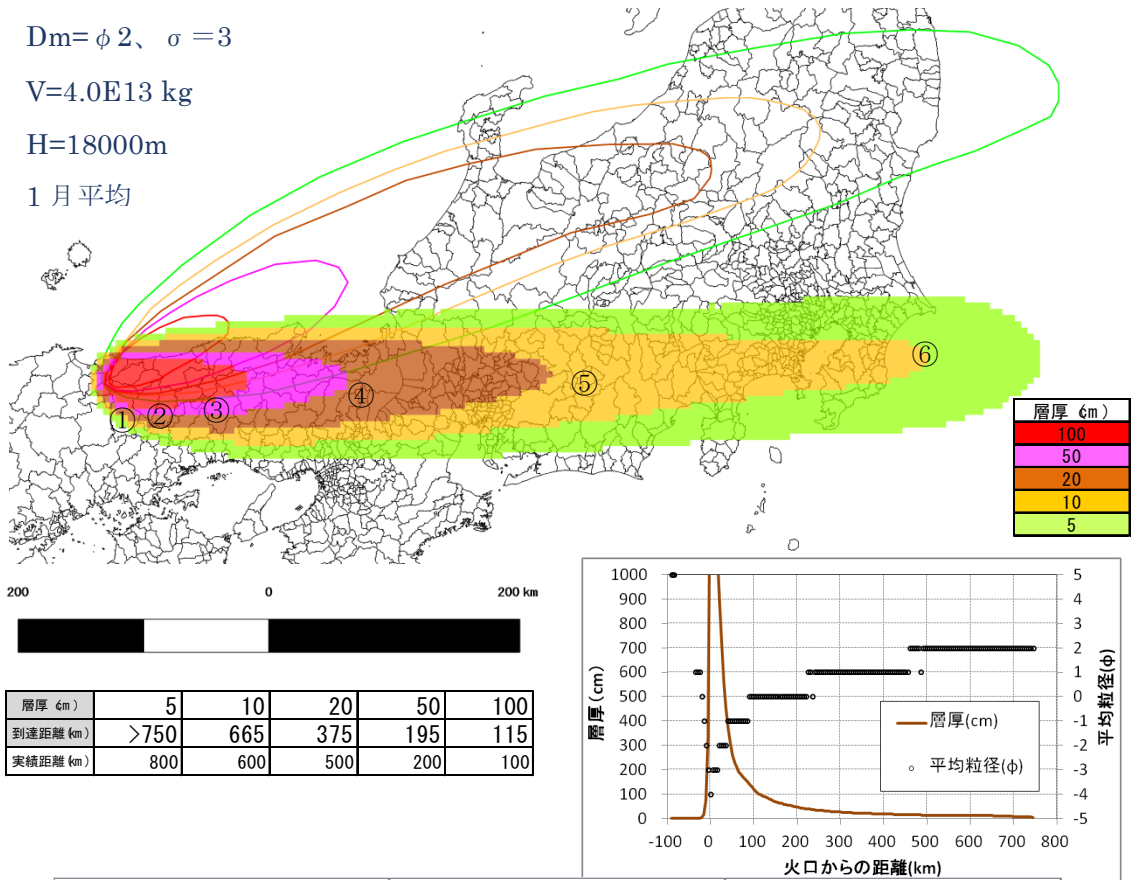
D13V3H5-1 (1月)

$D_m = \phi 2, \sigma = 3$

$V = 4.0E13 \text{ kg}$

$H = 18000 \text{ m}$

1月平均



層厚 (cm)	5	10	20	50	100
到達距離 (km)	>750	665	375	195	115
実績距離 (km)	800	600	500	200	100

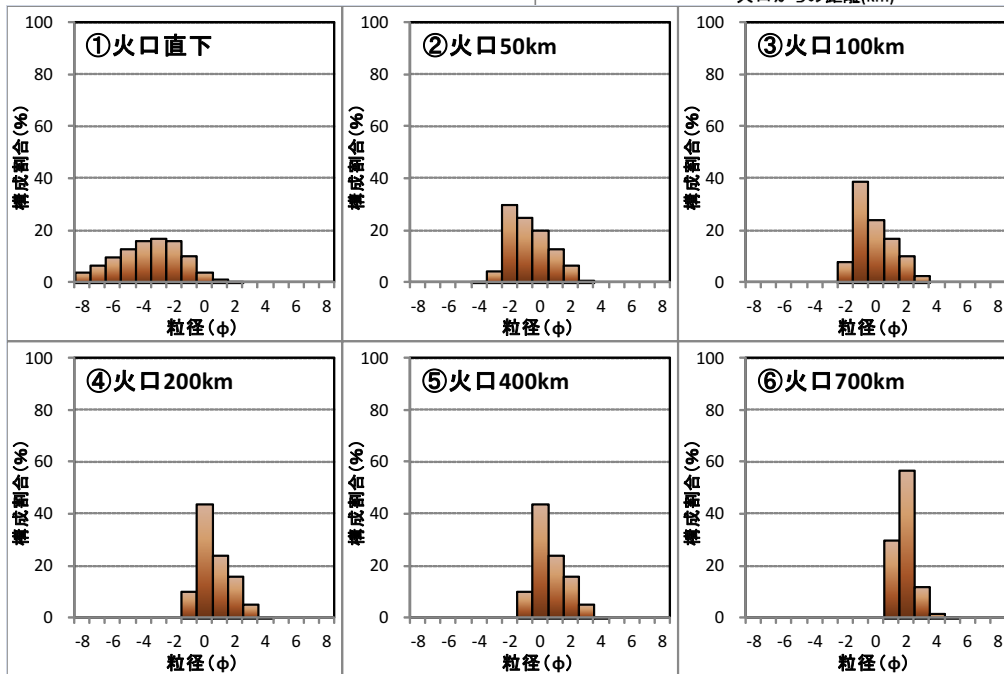


図 3.33 感度分析 TEPHRA2 計算結果4:降灰分布、粒度構成(D13V3H5-1)

D15V4H4-1 (1月)

$D_m = \phi 2, \sigma = 5$

$V = 8.0E13 \text{ kg}$

$H = 16000 \text{ m}$

1月平均

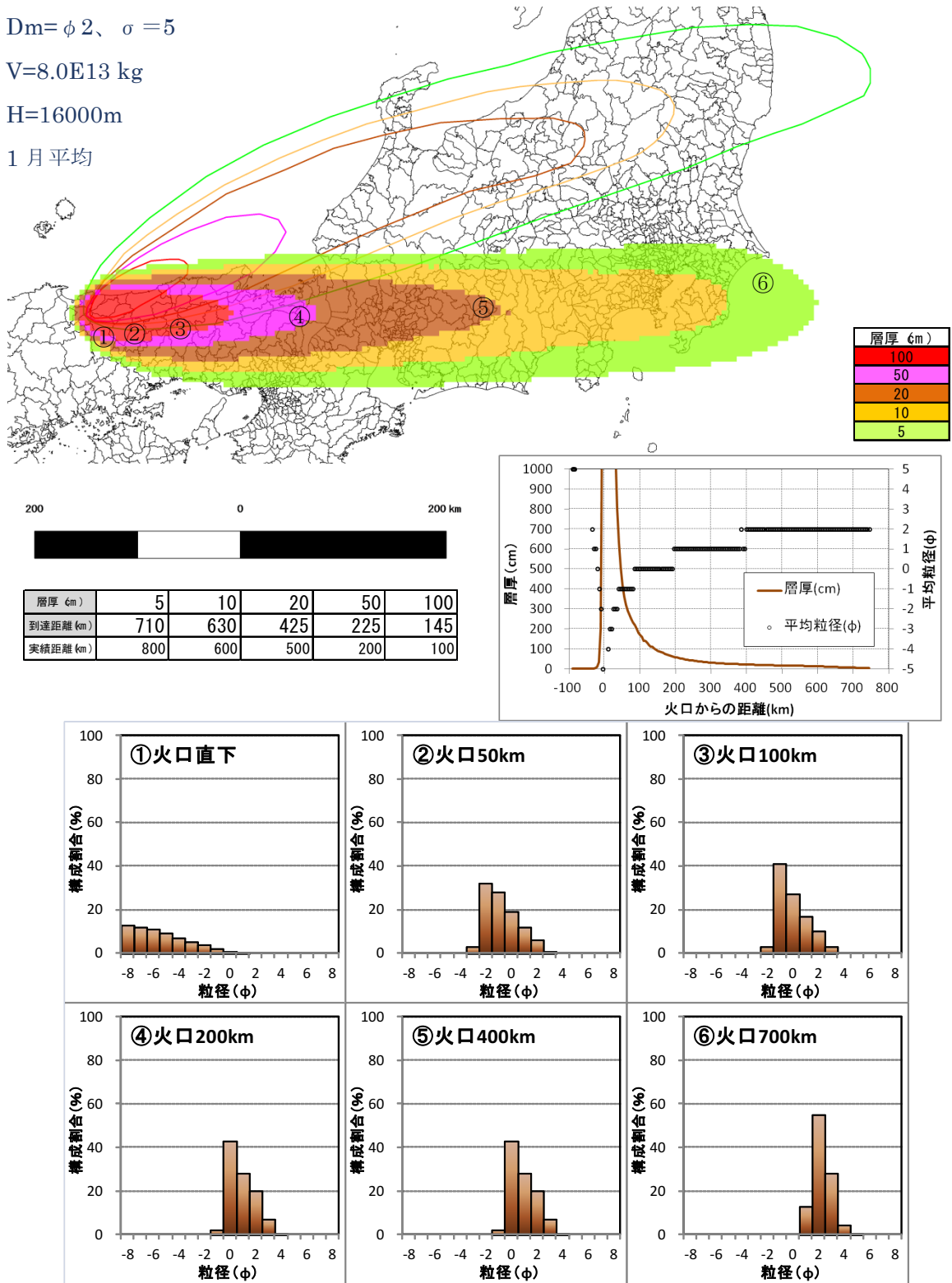


図 3.34 感度分析 TEPHRA2 計算結果6:降灰分布、粒度構成(D15V4H4-1)

D13V4H6-7 (7月)

$D_m = \phi 2, \sigma = 3$

$V = 8.0E13 \text{ kg}$

$H = 20000 \text{ m}$

7月平均

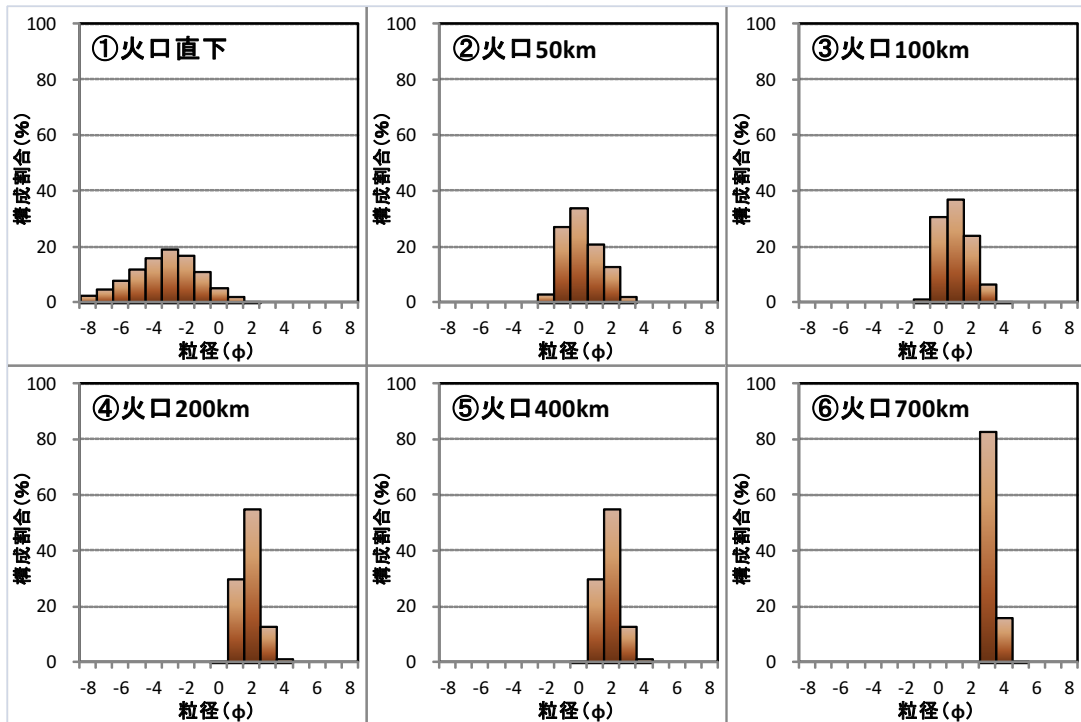
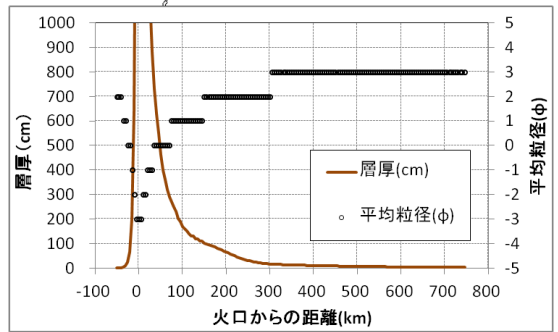
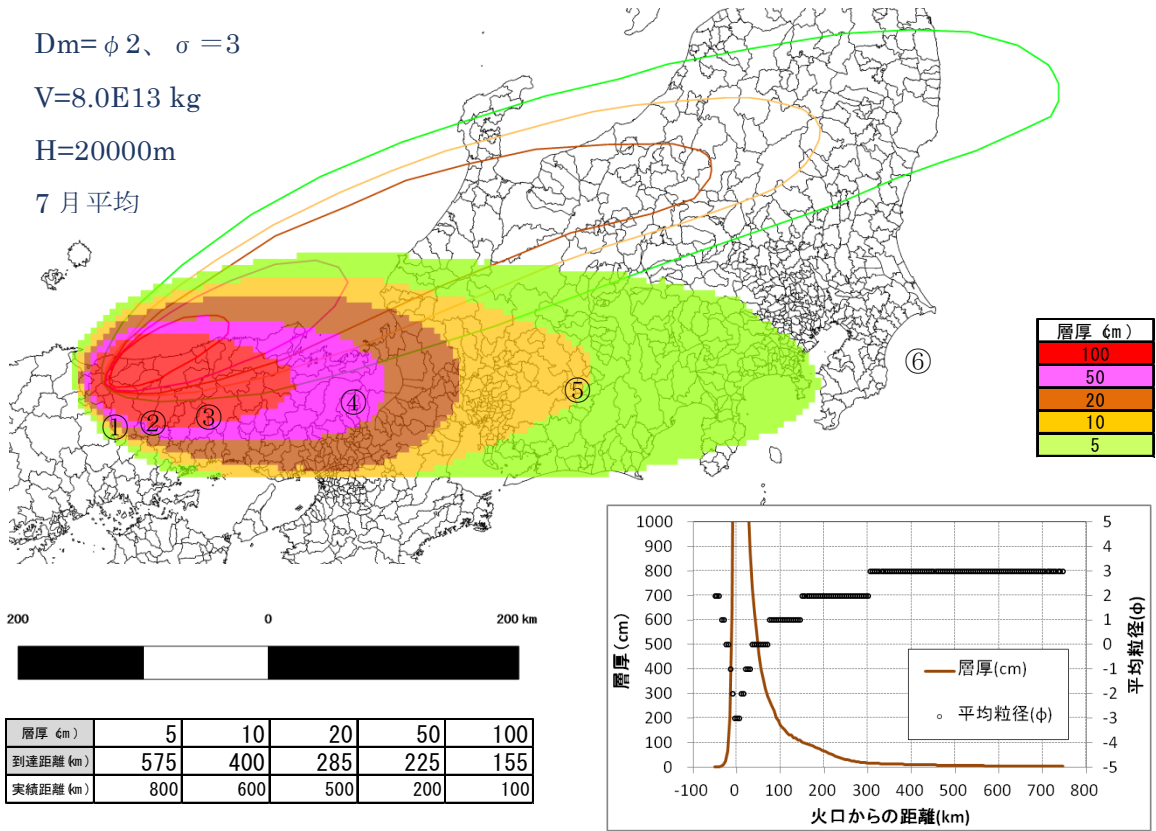


図 3.35 感度分析 TEPHRA2 計算結果7:降灰分布、粒度構成(D13V4H6-7)

#### 4. まとめ

400 ケースの Tephra2 による再現計算を実施し、DKP の堆積厚や粒度分布が最も類似しているケースを、最適再現計算ケースとして抽出した、その結果、実績に整合する DKP 噴煙柱パラメータとして、以下の値を算出した。

マグマ噴出量推定値：4E13 kg～8E13 kg

噴煙柱高度推定値：18,000 m～20,000 m

いずれのケースも完全に火山灰の分布と一致するものではなく、おおよその傾向を説明するものではあるが、この手法による逆解析では十分な値であろう。一致しない理由については、噴火時の風力・風速データが一樣であったとする仮定が成立したかどうか不明であることがまず指摘できる。また、火山灰の全粒度分布を対数正規分布としたのは全くの仮定であり、実際の噴火がそうであったとする根拠はないことも問題である。しかしながら、今回得られたパラメータのうち、マグマ噴出量については従来の低めの見積り（町田・新井，1979）では説明不可能で、4E13 kg（40 km<sup>3</sup>）以上であったことは確実となった。

#### 引用文献

赤木三郎（1996）鳥取砂丘における新旧の砂丘とテフラ層。第四紀露頭集-日本のテフラ，日本第四紀学会，276-276.

Bonadonna, C. and Houghton, B.F. (2005) Total grain-size distribution and volume of tephra-fall deposits. *Bull. Volcanol.*, **67**, 441-456.

Bonadonna, C., Connor, C.B., Houghton, B.F., Connor, L., Byrne, M., Laing, A. and Hincks, T. (2005) Probabilistic modeling of tephra dispersion: hazard assessment of a multiphase rhyolitic eruption at Tarawera, New Zealand. *Jour. Geophys. Res.*, **110**, B03203.

Fierstein, J. and Nathenson, M. (1992) Another look at the calculation of fallout tephra volumes. *Bull. Volcanol.*, **54**, 156-167.

Hayakawa, Y. (1985) Pyroclastic geology of Towada volcano. *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, no.60, 507-592.

広域的な火山防災対策に係る検討会（2013）大規模火山災害対策への提言。内閣府，  
<http://www.bousai.go.jp/kazan/kouikibousai/index.html>

町田 洋（1996）大山東山麓関金町大山大池における大山倉吉テフラとその上下のテフラ層。第四紀露頭集-日本のテフラ，日本第四紀学会，30-30.

町田 洋・新井房夫（1979）大山倉吉軽石層-分布の広域性と第四紀編年上の意義。地学雑

誌, **88**, 313-330.

萬年一剛 (2013) 降下火山灰シミュレーションコード Tephra2 の理論と現状--第四紀学での利用を視野に--. 第四紀研究, **52**, 173-187.

岡田昭明 (2011) 2011 教師のための「山陰海岸ジオパーク」野外学習ハンドブック (鳥取砂丘を中心にして) . <http://www.rs.tottori-u.ac.jp/geopark-handbook/c2.html>.

竹本弘幸 (1991) 大山倉吉軽石層とこれにまつわる諸問題. 駒澤地理, **27**, 131-150.