



美浜発電所、高浜発電所及び大飯発電所 原子炉設置変更許可申請

【大山生竹テフラの噴出規模見直しに係る
指摘事項への回答について】

－資料集－

関西電力株式会社

2020年1月24日

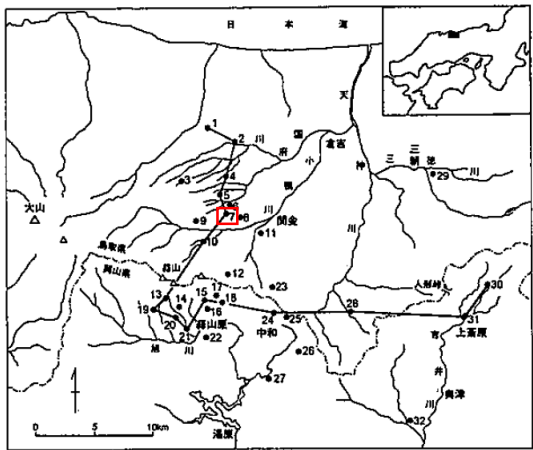
資料1:	地理的領域内(160km)に分布する第四紀火山の活動性評価	p2-31
資料2:	敷地及びその周辺での地質調査結果に関する検討	p32-39
資料3:	Tephra2バグに伴う追加検討	p40-79
資料4:	噴出源が同定できない降下火砕物に関する補足資料	p80-83
資料5:	降下火砕物の粒度に関する補足資料	p84-89
資料6:	DNPの噴出規模の算出に関する降灰層厚情報の補足資料	p90-118
資料7:	DNP等層厚線図面積の検証について	p119-122
資料8:	防災科学技術研究所による地震波速度構造モデルについて	p123-127
資料9:	既往文献による降下火砕物の体積算出方法の概要について	p128-130

← 今回、ご説明
(P2-42)

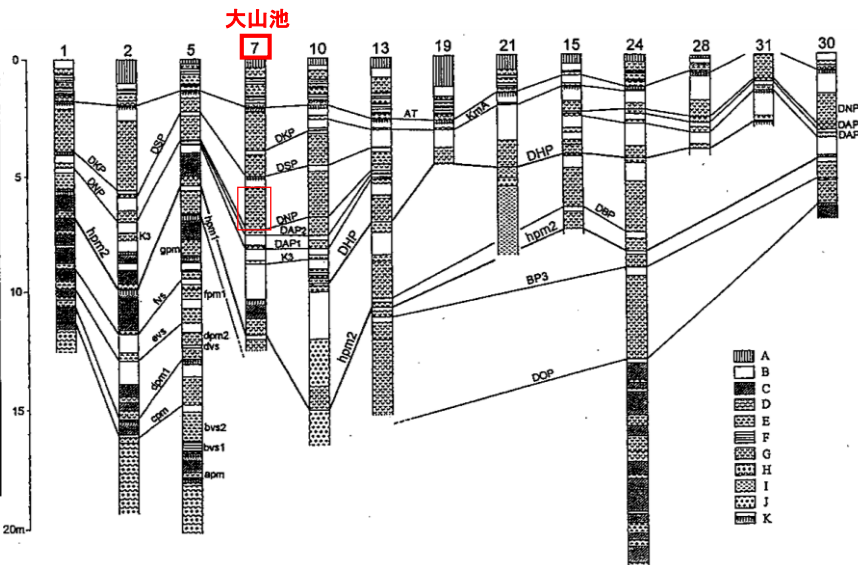
資料6: DNPの噴出規模の算出に関する降灰層厚情報の補足資料

鳥取県倉吉市 大山池地点

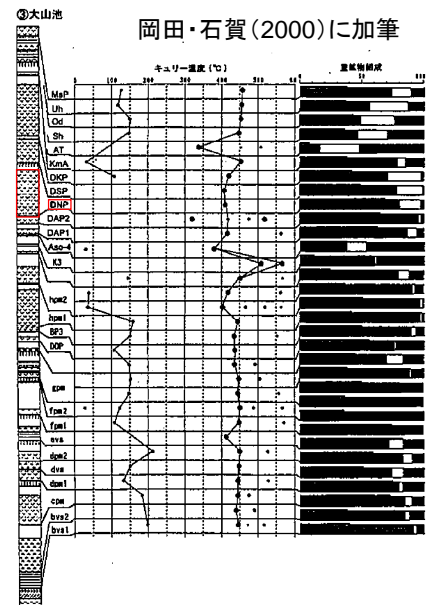
山元(2017)で引用している文献の記載内容



第10図 柱状図(第11図)の位置



第11図 大山東麓から岡山県北部にかけての露頭柱状対比図(凡例は第2図および第5図)



第13図 関金町大山池で見られるテフラの総合柱状図と各テフラの分析結果(DNPより下位の層準は普段は水没している)

岡田・石賀(2000):大山テフラ より抜粋

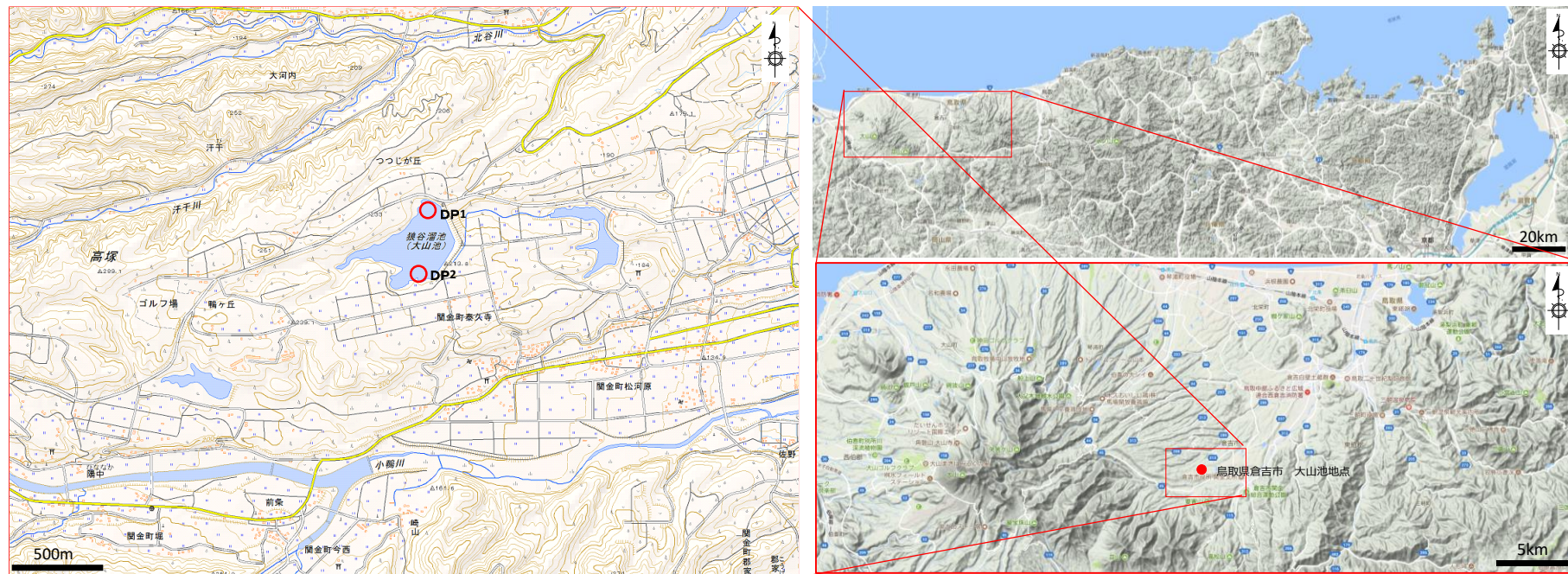
- ・岡田・石賀(2000)によると大山池は人工のため池で、ここには上部テフラから最下部テフラまでの多くの層準がそろっており、大きく構成の異なる鳥取県側と岡山県側の最下部テフラを対比する上で本露頭の存在は重要であると示されている。
- ・上記文献の露頭柱状対比図よりLoc.7(大山池)におけるDNPの層厚は、170cm~200cm程度と示されている。
- ・再堆積などの堆積状況についての記載はない。

Step 3 (関金町大山池)

大山池は人工のため池で、維持・管理のために毎年9月末から10月はじめにかけて水を抜くのが地元の行事になっている。水が抜かれて水位が下がると、普段は水没している多くのテフラが露出して観察できるようになる。本見学旅行当日にはかなり水位が下がっているものと予想される。

ここでは、第13図に示すように上部テフラから最下部テフラまで多くの層準がそろっている。下部テフラの大山荒田軽石1(DAP1)の直下には阿蘇-4火山灰(Aso-4)があり、条件が良ければ肉眼的にも識別できる場合がある。最下部テフラは、大山東麓に分布するほとんどの層準がそろっているが、gpmとhpm1の間にある軽石層は、岡山県側に主に分布する大山奥津軽石(DOP)とBP3軽石に対比できる可能性が強い。大きく構成の異なる鳥取県側と岡山県側の最下部テフラを対比する上で、本露頭の存在は重要である。

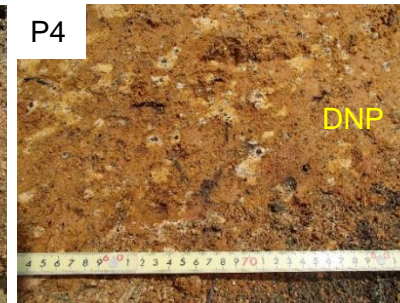
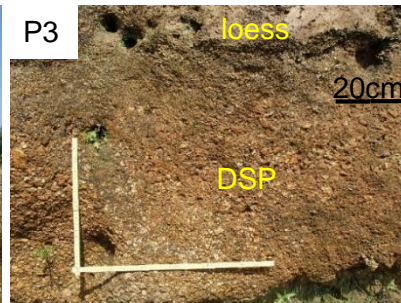
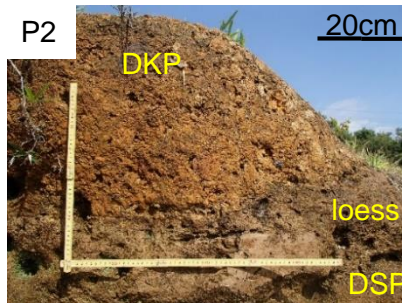
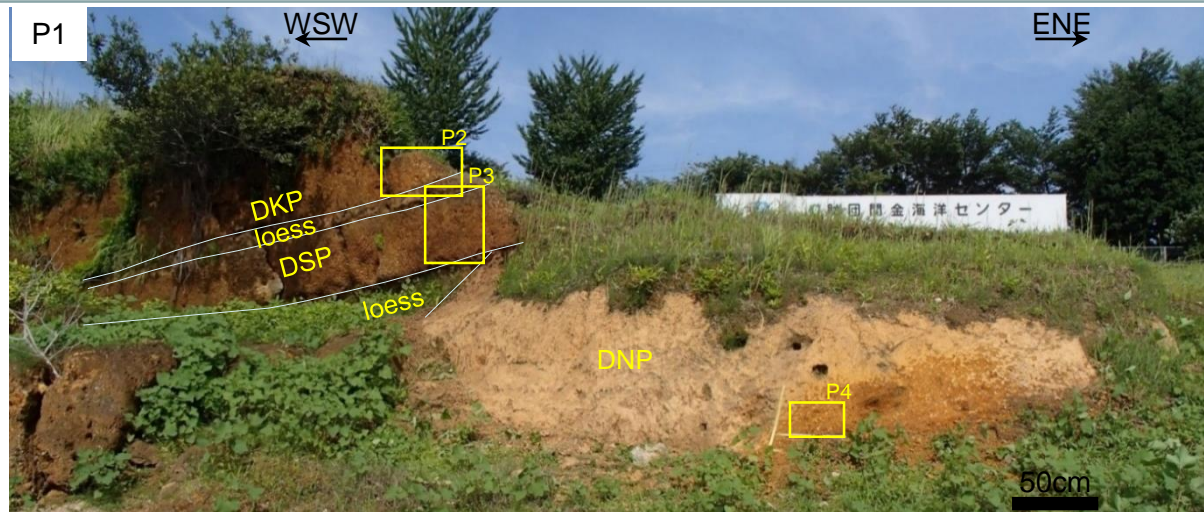
1. 1 地形、地質的な特徴



出典: 地図データ@2017Google,ZENRINに加筆

- ・大山より東へ約16kmの地点の大山山麓に位置している。
- ・大山池周辺は平坦地形を成しており、田畑が広がっている。

1.2 現地状況(写真) 大山池(DP1)

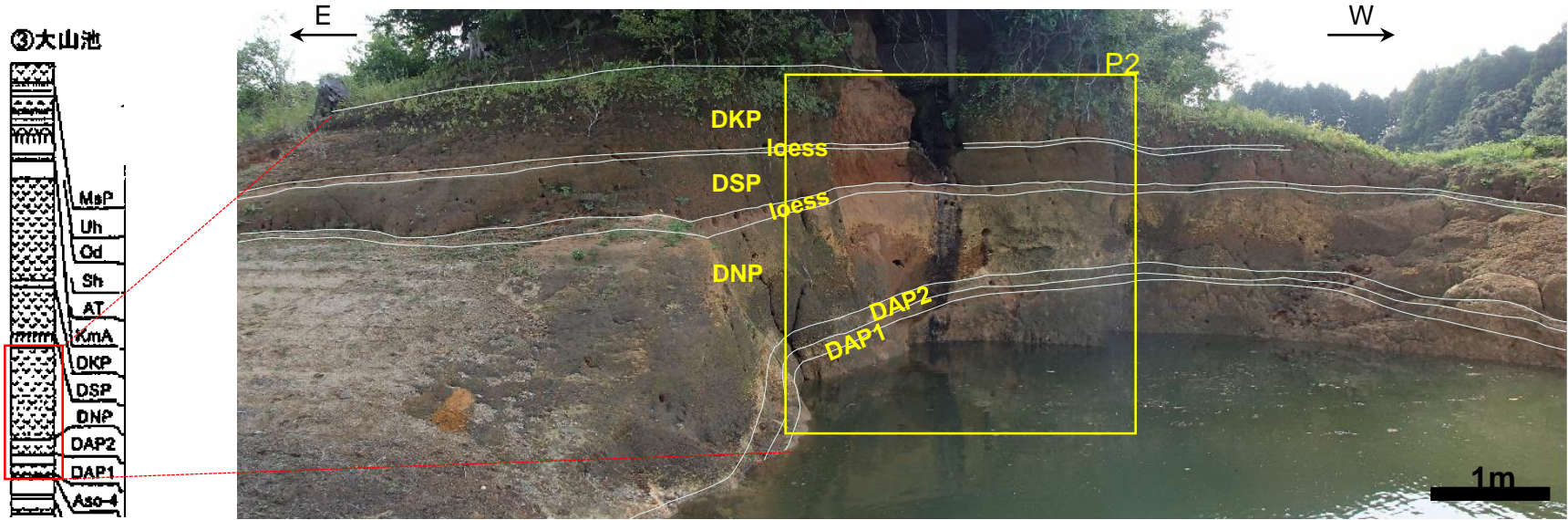


loess: 黄土

【調査結果】

- ・大山池北岸露頭(DP1)では、下位から順にDNP、DSP、DKPを確認した。
- ・いずれも黄褐色を呈する粗粒軽石質火山灰であり、各テフラ層の間には数10cmの黄土が挟在していることを確認した。
- ・DNP、DSP、DKPはいずれもメートルオーダーの層厚を有し、DNPの層厚は上位2層の火山灰層に比べやや厚い層を呈していた。
- ・DNPは変質により粘土化し、他のものよりも淡い褐色を呈していた。

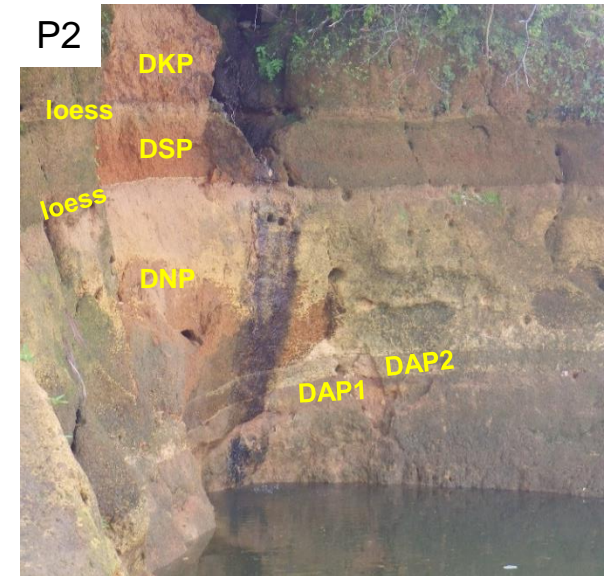
1.2 現地状況(写真) 大山池(DP2)



岡田・石賀(2000)より

【調査結果】

- ・大山池南岸露頭(DP2)では、下位から順にDAP1、DAP2、DNP、DSP、DKPを確認した。
- ・いずれも黄褐色を呈する粗粒軽石質火山灰からなり、各テフラの層間には数10cmの黄土が挟在していた。
- ・DNPの層厚は上位2層の火山灰層に比べやや厚く、層厚は2m程度であった。
- ・DNPは変質により粘土化し、他のものよりも淡い褐色を呈していた。



兵庫県香美町 瀨川山地点

既往文献の記載内容

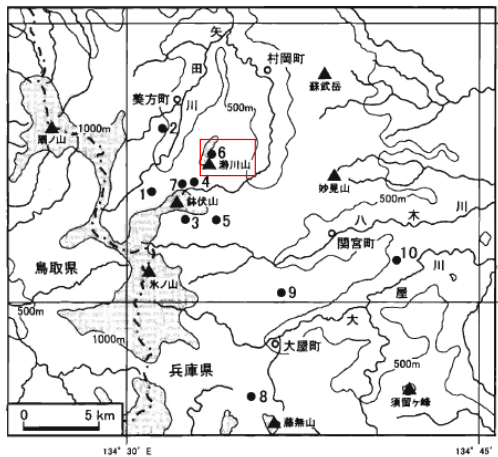
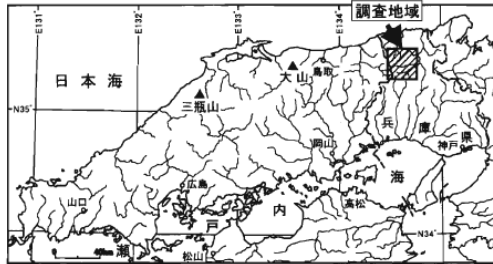


図1 調査地域と記載した第四紀テフラ露頭の位置

ところが、当地域は山地が大半を占め、テフラが保存されやすい丘陵や河岸段丘などの比較的平坦な地形の発達が悪いことから、これまでにテフラ層序の研究がなされていなかった。こうした山地域にあって、鉢伏山周辺地域（図1）には後期鮮新世～中期更新世に噴出した溶岩流台地（Furuyama et al., 1993；先山ほか, 1995）が残存し、第四紀のテフラが保存されやすい平坦面や窪地を提供している。これらの溶岩流台地周辺には地滑り・崩壊地が多数分布し、地滑りブロック背後の凹地や崩壊土砂の平坦な堆積面は、溶岩流台地上の平坦面や窪地と並び、テフラの保存に好適な場所となっている。したがって、本地域に九州の火山起源の広域テフラや大山火山起源のテフラが保存されている可能性は高いと予想される。

加藤他(2001):兵庫県北西部・鉢伏山周辺地域の第四紀後期テフラ層序—大山火山起源のテフラを中心として—より抜粋

- ・加藤他(2001)によると鉢伏山周辺地域には、後期鮮新世～中期更新世に噴出した溶岩流台地が残存し、第四紀のテフラが保存されやすい平坦面や窪地を提供していると示されている。
- ・Loc.6(村岡町瀨川山)では、層厚5cm～10cmのDNPが示されている。
- ・再堆積などの堆積状況についての記載はない。

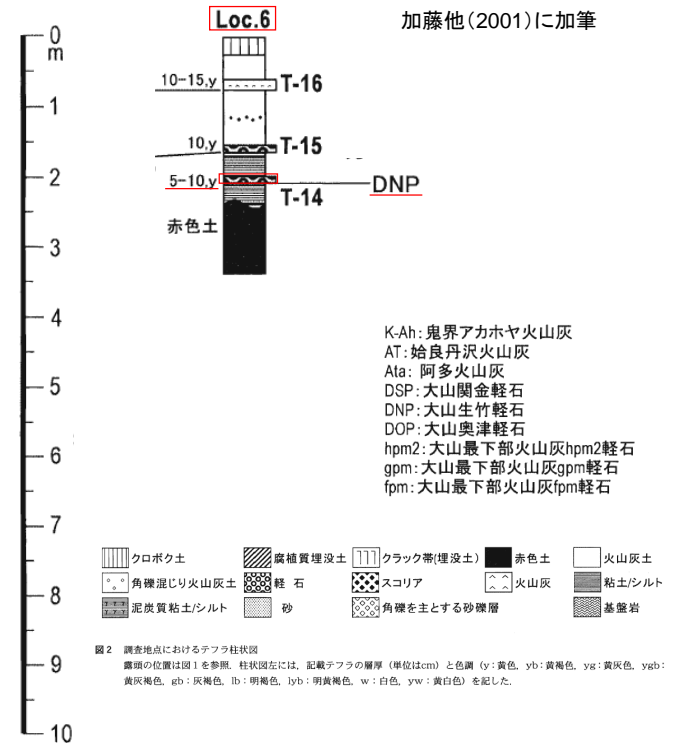


図2 調査地点におけるテフラ柱状図
露頭の位置は図1を参照。柱状図左には、記載テフラの層厚(単位はcm)と色調(y:黄色, yb:黄褐色, yg:黄灰色, ysb:黄灰褐色, gb:灰褐色, lb:明褐色, lyb:明黄褐色, w:白色, yw:黄白色)を記した。

Loc.6(村岡町瀨川山)は、瀨川山の山頂部に広がる溶岩流台地上に位置する。ここでは、赤色土を不整合に覆う粘土に黄褐色風化軽石(T-14)がパッチ状に挟在する。T-14は粒径1～4mmの軽石と岩片から構成され、径1～2mmの普通角閃石と黒雲母の結晶が散在する。粘土の上位には黄褐色火山灰土とクロボク土が累重し、火山灰土の最下部に黄色風化軽石(T-15)が、上部に黄色細粒火山灰(T-16)が、それぞれ挟在する。T-15はT-14より細粒で、粒径1～3mmの軽石と岩片から構成され、径1mm程度の普通角閃石と黒雲母の結晶が散在する。

3.1 地形、地質的な特徴



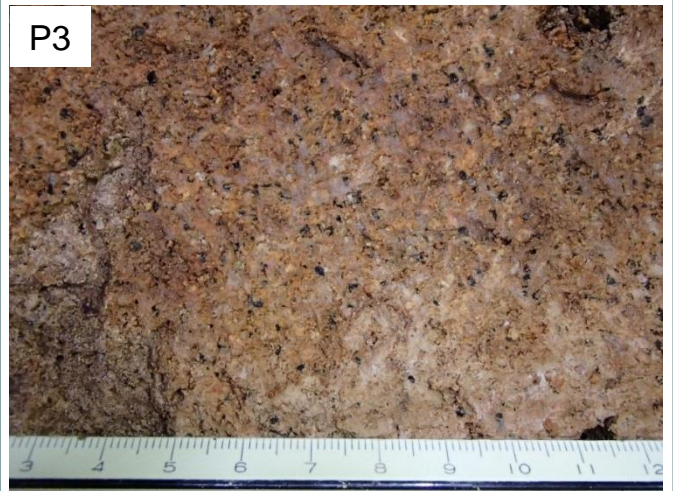
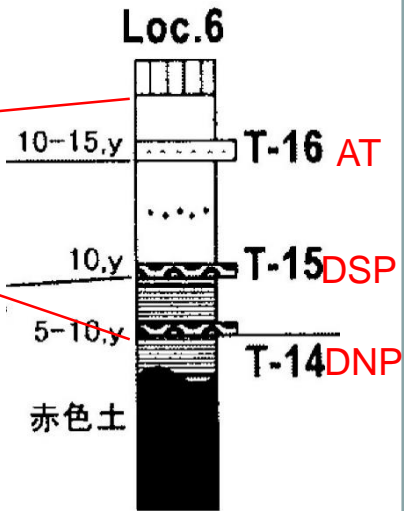
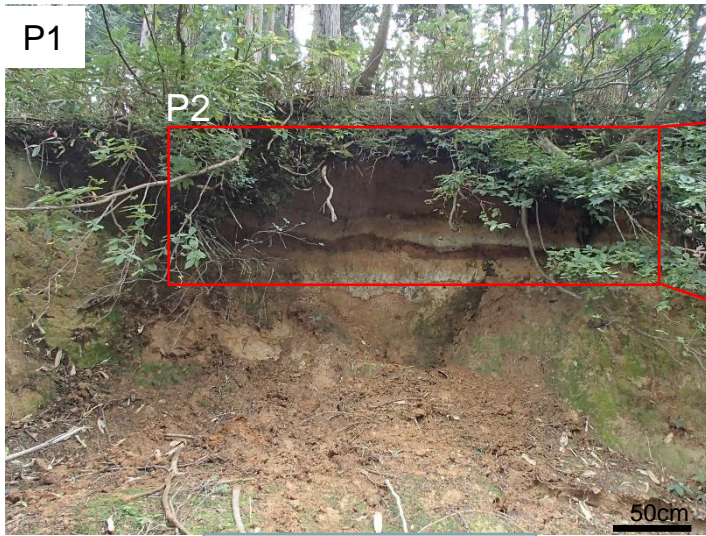
出典：地図データ@2017Google,ZENRINに加筆



出典：国土地理院地図 地図・空中写真閲覧サービスに加筆

- ・瀨川山地点は瀨川山山頂部の平坦な台地に位置しており、ほぼ水平に層を成している湿地堆積物層が分布していることを現地において確認した。

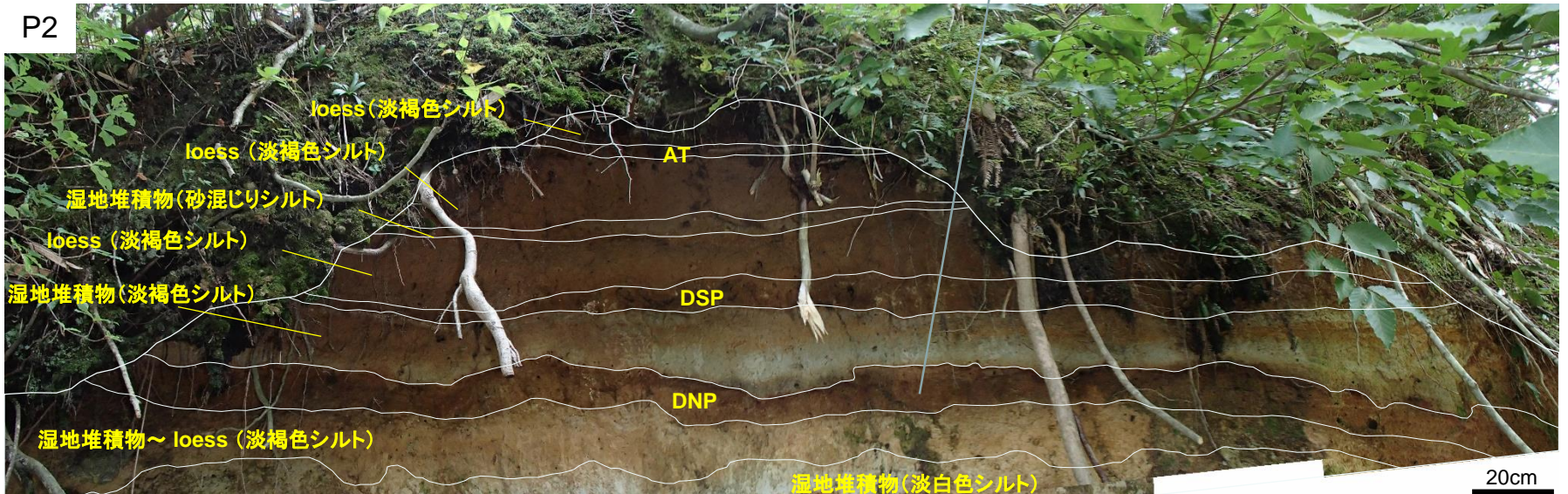
3.2 現地状況(写真)



黒色の重鉱物を多く含み、径数mmのパミスが散在する粗粒火山灰が肉眼で認められた。

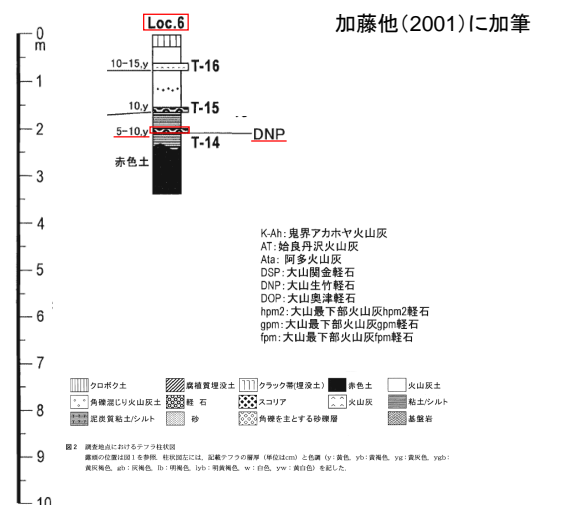
拡大写真

加藤他(2001)に加筆



【瀨川山の文献との整合確認について】

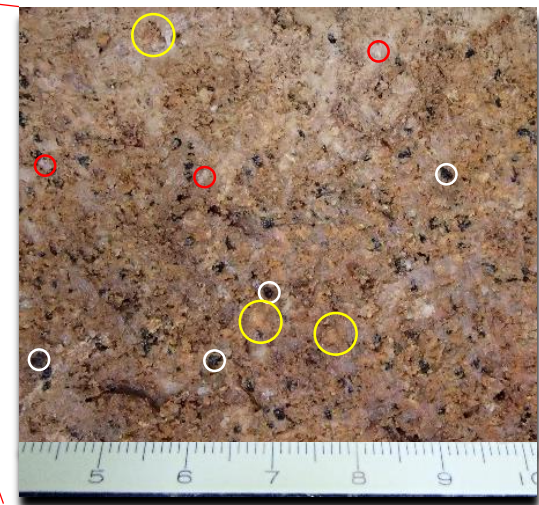
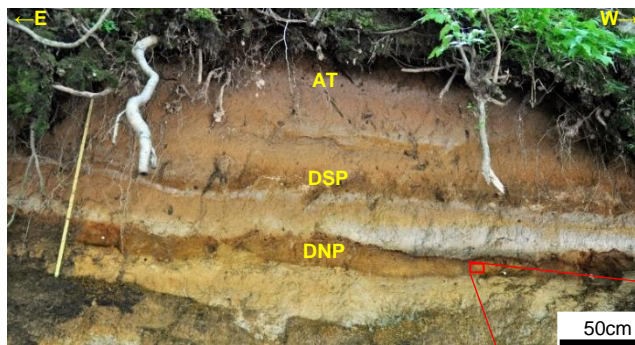
既往文献の記載内容



Loc.6 (村岡町瀨川山) は、瀨川山の山頂部に広がる溶岩流台地上に位置する。ここでは、赤色土を不整合に覆う粘土に黄褐色風化軽石 (T-14) がパッチ状に挟在する。T-14は粒径1~4mmの軽石と岩片から構成され、径1~2mmの普通角閃石と黒雲母の結晶が散在する。粘土の上位には黄褐色火山灰土とクロボク土が累重し、火山灰土の最下部に黄色風化軽石 (T-15) が、上部に黄色細粒火山灰 (T-16) が、それぞれ挟在する。T-15はT-14より細粒で、粒径1~3mmの軽石と岩片から構成され、径1mm程度の普通角閃石と黒雲母の結晶が散在する。

現地調査の結果

現地露頭写真



● 軽石
 ○ 岩片
 ○ 角閃石

・加藤他(2001)によるとDNPには、粒径1~4mmの軽石と岩片から構成され、径1~2mmの普通角閃石と黒雲母の結晶が散在すると示されるが、現地調査を実施した結果、5mm以下の軽石と2mm以下の岩片、角閃石が散在していることを確認した。

・現地調査の結果(前回までの報告書も含む)と既往文献に記載される内容に不整合は見られない。

3.2 現地状況(写真)

【調査結果】

- ・調査地点は瀨川山の標高900-1,000mにおいて北東－南西に延びる山頂小起伏面に位置しており、その露頭法面では湿地堆積物や黄土質な堆積物に挟まれた3層の火山灰層を確認した。
- ・加藤他(2001)は岩相や岩石記載的特徴に基づき、3層の火山灰層を上位から順に、始良Tnテフラ(AT)、大山関金軽石(DSP)、大山生竹軽石(DNP)としており、確認した3層の火山灰層は加藤他(2001)のものと同じものであると推察される。
- ・この3層の一部である加藤他(2001)でDNPとされている層は層厚10～15cmの褐色を呈する軽石質粗粒火山灰層で、径1mm以下の角閃石を多く含み、径1～5mmの軽石が見られた。層は連続しており、大屋地点に比べて層厚の変化が小さいことを確認した。

3. 3 考察

1. 地質学、地形学的見地からの特徴

- ・加藤他(2001)によると鉢伏山周辺地域には、後期鮮新世～中期更新世に噴火した溶岩流台地が残存し、第四紀のテフラが保存されやすい平坦面や窪地があると示されている。
- ・現地調査の結果、瀨川山地点は瀨川山山頂部の平坦な台地に位置しており、ほぼ水平に層を成している湿地堆積物層が分布していることを確認した。

2. 火山灰層の観察結果

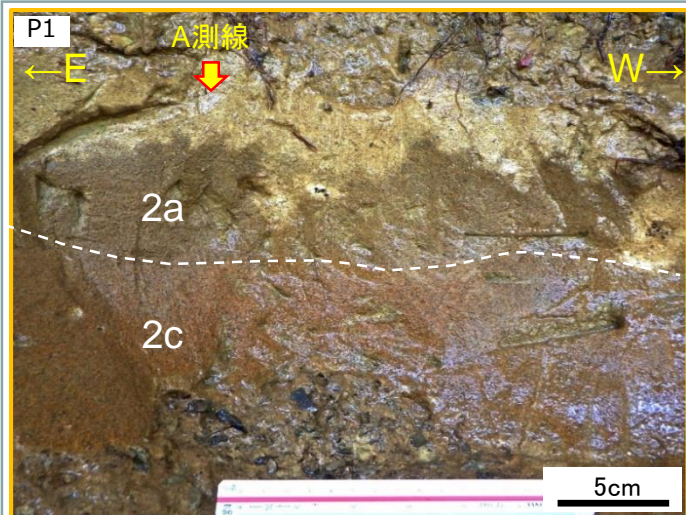
- ・調査地点は瀨川山の標高900-1,000mにおいて北東－南西に延びる山頂小起伏面に位置しており、その露頭法面では湿地堆積物や黄土質な堆積物に挟まれた3層の火山灰層を確認した。
- ・本調査で確認した3層の火山灰層は加藤他(2001)のものと同一のものであると推察される。
- ・この3層のうちDNPと思われる層は層厚10～15cmの褐色を呈する軽石質粗粒火山灰層で、径1mm以下の角閃石を多く含み、径1～5mmの軽石が見られた。
- ・このDNPの層は連続しており、大屋地点に比べて層厚の変化が小さいことを確認した。

対象となる火山灰層に再堆積であるような特徴は確認できず、降灰層厚として評価できると考えられる。

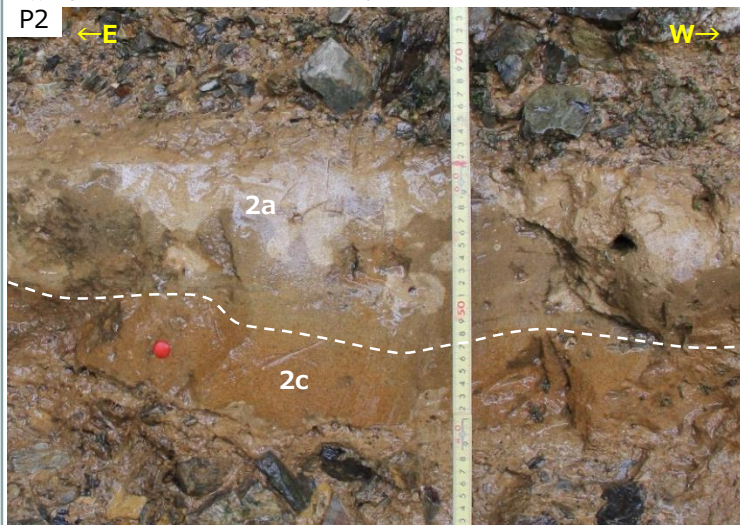
京都市右京区 越畑地点

越畑地点における意見交換会(2018.10.5)での降灰層厚の評価概要

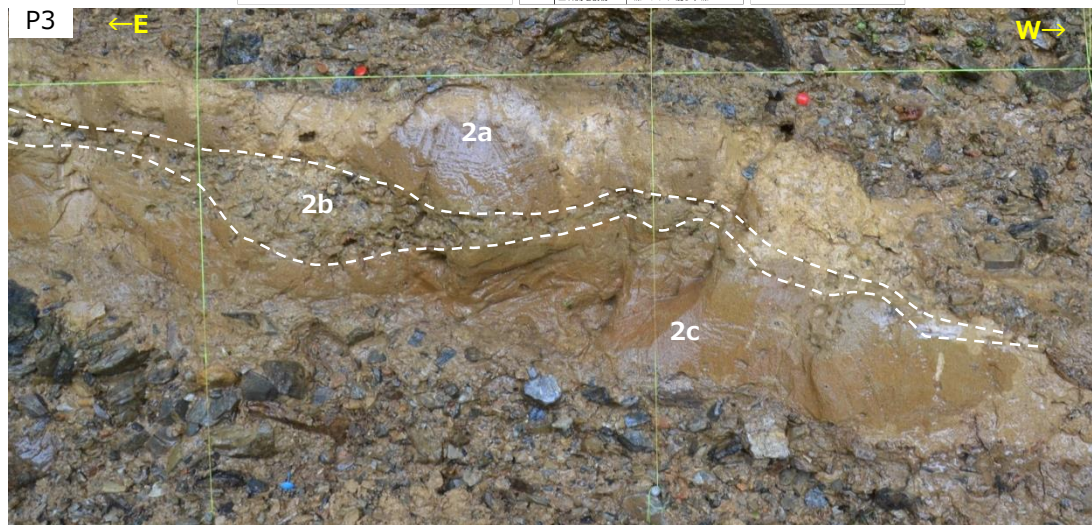
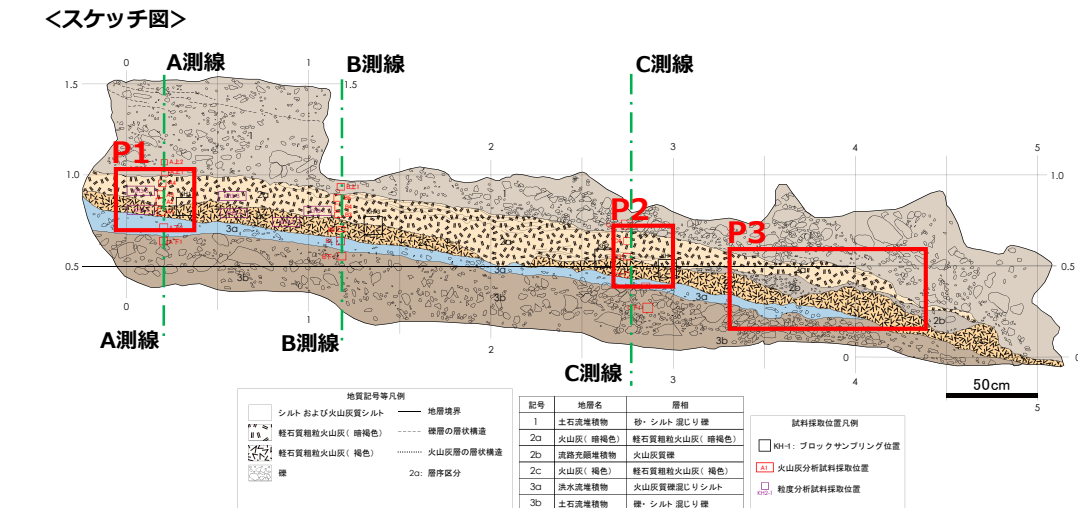
・第2回大山火山の火山灰分布に関する情報収集に係る意見交換会,資料3-1,平成30年10月5日より抜粋



露頭東側では2a層と2c層の境界は明瞭である。



露頭中央部では2a層と2c層の境界は明瞭であり、2a層の下部にラミナが認められる。



露頭西側では、2a層と2c層の境界付近に中礫を主体とする礫層 (2b層) が挟在する。

・越畑地点の火山灰を含む層は2層 (2a層、2c層) に区分され、どちらの層もいったん堆積した火山灰が流水等の影響により移動し再堆積して形成された層であり、降灰時の堆積状況が保存されておらず、降灰層厚として評価できないものと考えられる。

・原子力規制委員会(2018): 大山火山の火山灰分布に関する関西電力との意見交換会及び現地調査結果について, 資料5, 平成30年11月21日より抜粋



関西電力株式会社「大山火山の火山灰分布に関する情報収集結果について」より抜粋したものに加筆。

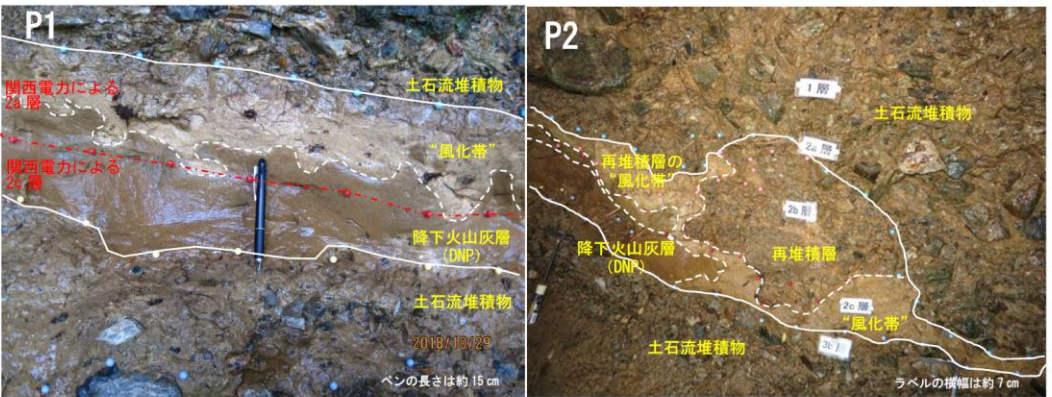
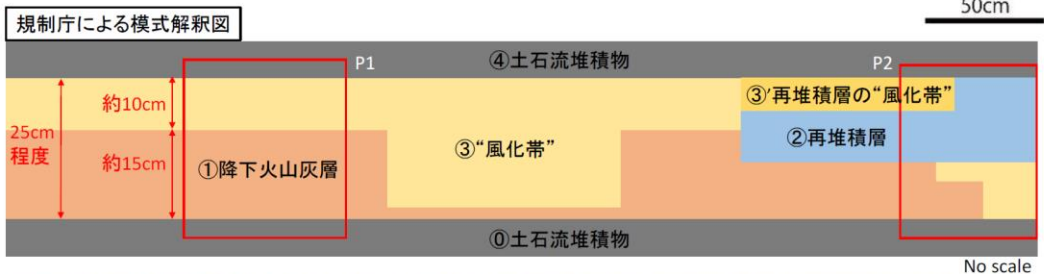


図1. 越畑地点における層区分の解釈

関西電力は礫層(2b層)を基準として色調(赤味)の異なる2層(2a層、2c層)を区分したが(スケッチ参照)、規制庁は風化の進行程度を基準として降下して堆積した層を「降下火山灰層」(風化の程度が小さい)と「風化帯」(風化の程度が大きい)に区分した(模式解釈図参照)。「風化帯」は、降下火山灰層が風化若しくは植生による擾乱で土壌と混じりあったと解釈できる層相を示しており、粒子が変質によって分解され細粒化しているほか、粒子が粘土化したことで白色を呈している。

3) 越畑地域のDNPの堆積状況の評価(まとめ)

今回の調査で降下火山灰層として確認できたのは越畑地点で1.5cm程度、越畑2地点で1.0cm以上の層厚であった。また、越畑地点では降下火山灰層の上位に1.0cm程度の「風化帯」が存在する。この「風化帯」は、降下火山灰層が風化若しくは植生による擾乱で土壌と混じりあったと解釈でき得ることから、規制の観点からはこれらについても降下火山灰層として扱うこととする。これらのことから、規制庁としては、越畑地域のDNPの降灰層厚を2.5cm程度として評価する。

原子力規制委員会(2018)の評価結果より、越畑地点の層厚は、25cmとする。

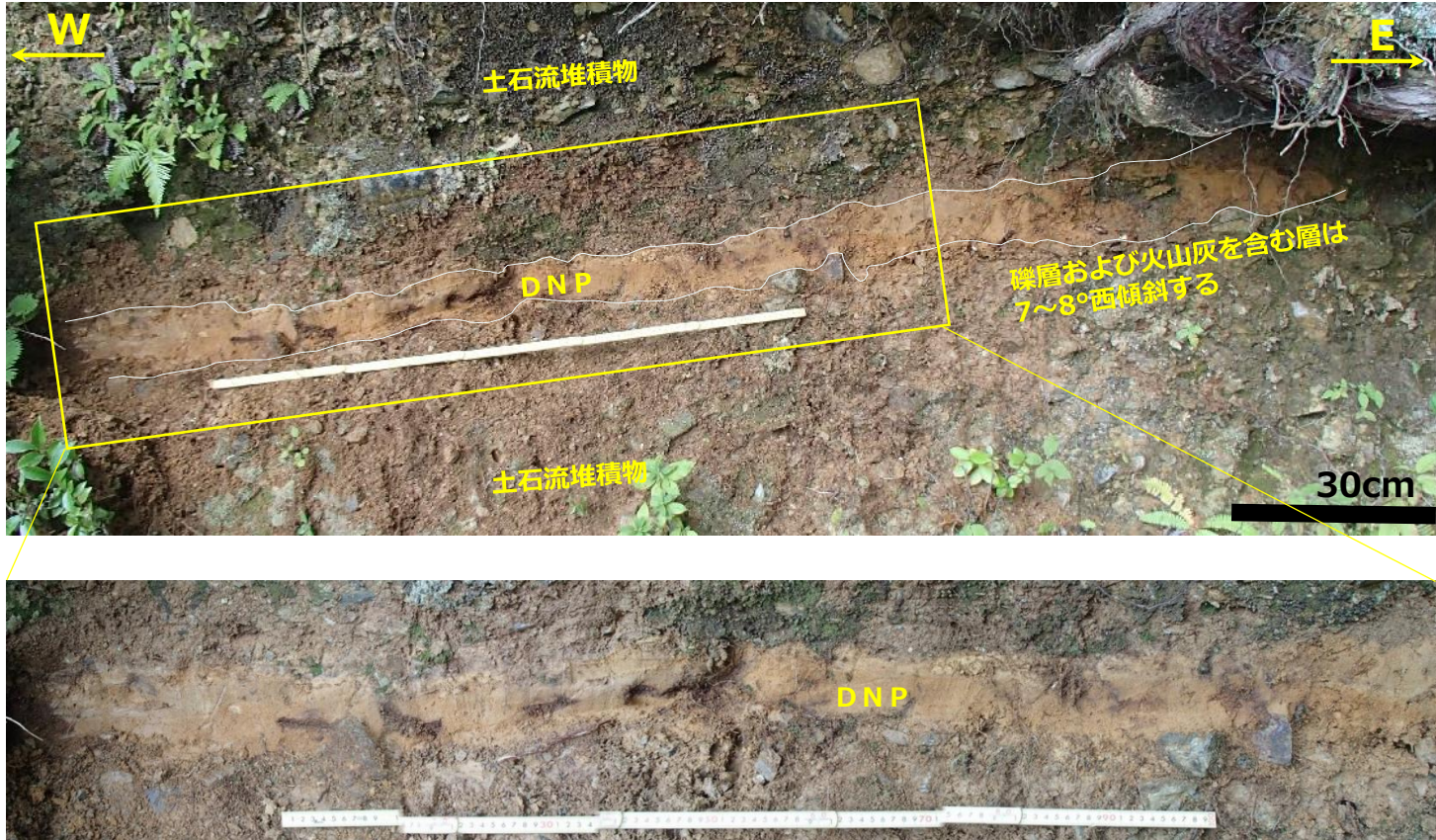
(参考)越畑地点周辺において 確認されたDNPの状況

越畑地点周辺(越畑2および神吉地点)では、層厚約10cmのDNP火山灰が認められたが、本調査結果については参考情報とし、火山影響評価における層厚はP17に記載のとおり25cmとする。

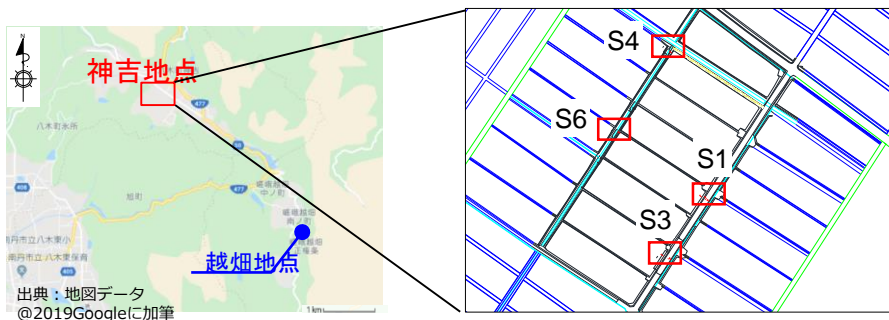
(参考)越畑地点周辺において確認されたDNPの状況:越畑2地点



出典：国土地理院地図
地図・空中写真閲覧サービスに加筆

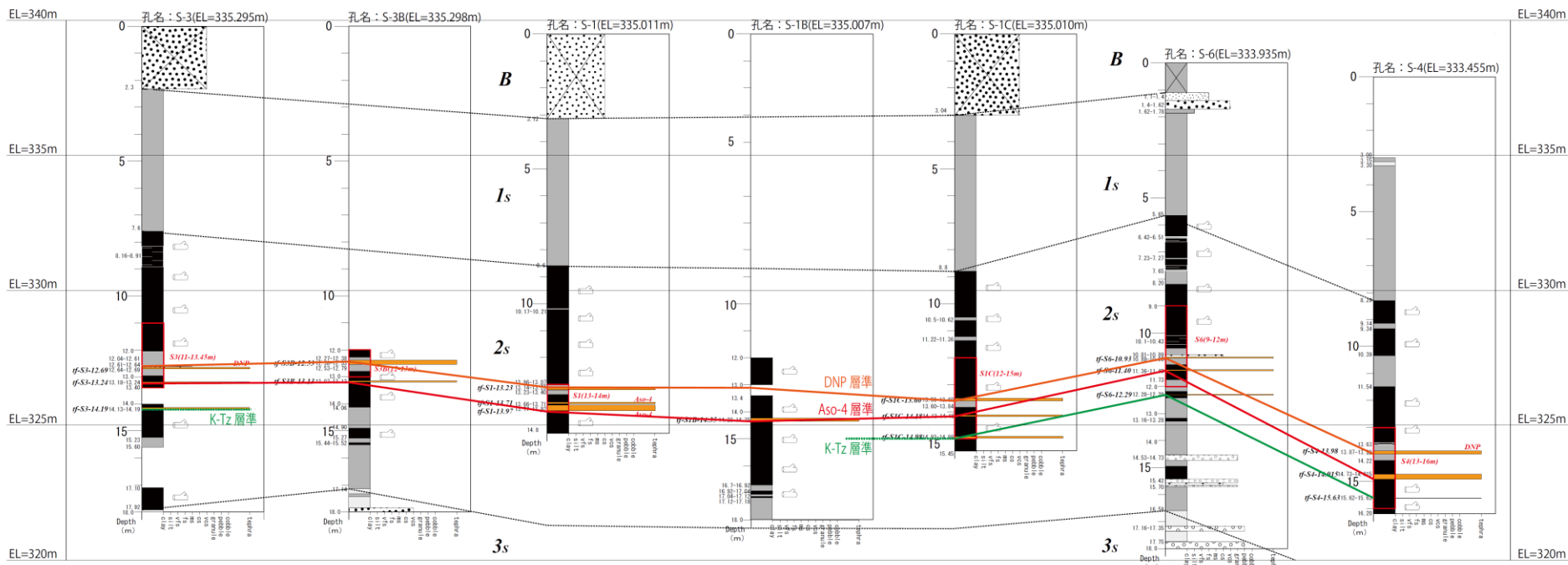


- ・桂睦会（1967）によれば越畑地点より南方向約200mにDNPが確認されたと示されており、越畑地点から尾根を挟んだ反対側にその露頭（越畑2地点）を確認した。
- ・現地で露頭を確認すると越畑地点と同様の層相を持つ火山灰を含む層（約10cm）がほぼ均一に分布している。
- ・越畑地点と同様に火山灰を含む層は礫、砂を含んでいる。



越畑地点の北西約4kmに位置する南丹市八木町神吉には、断層運動により形成されたと考えられている盆地が発達する。この盆地では京都府(1997)、Takahara et al.(2000)などにより盆地構成層の調査が行われており、DNP火山灰をはじめ、複数枚の火山灰を含む厚い堆積層が存在することが知られている。

堆積環境として比較的安定していると推測される神吉盆地において、ボーリング調査を実施した。



- 標高約322～315m付近に3層の火山灰層が認められ、上位から順にDNP、Aso-4、K-Tzに対比される。
- DNP火山灰相当層の層厚は約10cm程度である。

琵琶湖高島沖地点

琵琶湖で確認された火山灰に関する既往文献の記載内容

長橋他(2004) 近畿地方および八ヶ岳山麓における過去43万年間の広域テフラの層序と編年に加筆

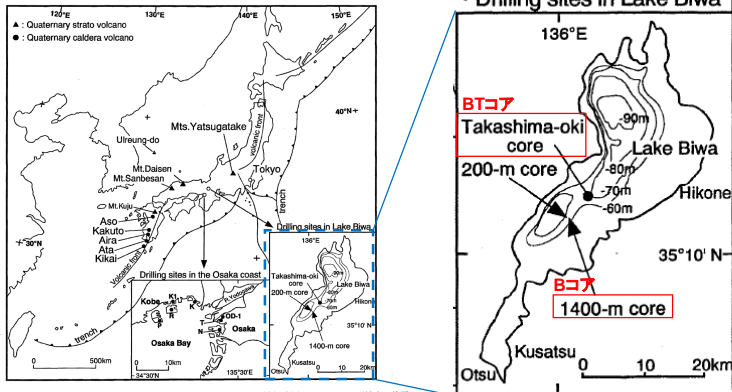


図1 西南日本における第四紀火山およびカルデラ火山の位置とテフラ試料を採取したボーリング地点の位置

表2 年代指標テフラにもとづき算出した高島沖コアの堆積速度とテフラ年代

Tephra name	tephra correlation	Depth (m)	Age (Ka)	sed. rate (m/1000y)	Thickness (cm)	Maximum grain size (mm)
BT1	Kg	1.52	3.1	0.490		0.28
BT2		1.72	4.3	0.163		0.25
BT3		2.23	7.3	0.116	2.5	0.66
BT4	U-Oki	2.65	10.7		2.5	0.27
BT5		3.18	12.3	0.318	3.0	0.20
BT6	Sakate	4.76	17.2	↑		0.33
BT7		7.90	27.1	↑	1.0	0.87
BT8	Kitoragawa	8.35	28.5	↑	0.3	0.92
BT9		8.37	28.5	↑	1.0	1.18
BT10	AT	8.62	29.0		10.0	0.95
BT11		8.72	29.3	0.301	2.5	0.84
BT12		8.84	29.7	↑	2.0	0.73
BT14	SI	14.59	48.7	↑		0.40
BT15		14.69	49.0			0.43
BT16		26.70	79.6	0.387	2+	1.83
BT17		27.15	80.7	↑	8.5	1.80
BT18		27.20	80.9	↑	2.0	2.55
BT19		28.24	83.5	↑	5.0	1.90
BT20		28.34	83.8	↑	1.5	2.53

・長橋他(2004)によると琵琶湖高島沖コアには、DNPの層厚が5cmと示されている。

壇原他(2010) 琵琶湖1400m掘削試料の編年:フィッション・トラック年代とテフラ同定の再検討に加筆

表6 広域テフラ層準および磁気層序に基づいた1400mコアの年代制約

Depth (m)	Sample	Bed (T,S,R)	Key tephra or magneto-stratigraphy	Correlation	Control-age ²³ or GPTS ⁴⁴ (ka)
10.3	B3-3	T	(reworked K-Ah)		
12.9	B5-3U	T	K-Ah	BT3	7.3
13.3	B5-3M	T			
13.5	B5-3L	T	U-Oki	BT4	10.7
25.6	B13-3	T	DSs	BT9	
27.1	B15-2	T	AT	BT10	26-29
30.3	B17-2	T	DKm (+AT)		
37.8	B22cc	T	SI +?	BT14-15	
64.8	B40cc	T	D-?	BT16-18	
65.6	B41-2	T	DNP	BT19	
66.9	B43-1	T	Aso-4	BT22	85-90
70.2	B45-3	T	K-Tz (+Aso-4)	BT25	95
74.6	B53-3	T	Ata		105-110

表4 1400mコアのT層に挟在するテフラ分析の結果

No.	Depth (m)	Sample	Thickness (cm)	Mineral composition	LM
				VGLMHMLthOth	
T bed					
1	10.3	B3-3	0.5	61 2 0 0	137 PI
2	12.9	B5-3U	1.5-1.8	194 3 1 2	0 PI
3	13.3	B5-3M	1-2	5 191 1 0	3 Kf,Qz,PI
4	13.5	B5-3L	3.5-8	92 63 2 43	0 Af
5	25.6	B13-3	1-1.5	26 70 13 91	0 PI
6	27.1	B15-2	?	156 28 4 4	8 Kf,Qz,PI
7	30.3	B17-2	?	20 95 12 58	15 Qz,PI,Kf
8	37.8	B22cc	1	62 70 47 19	2 PI,Qz
9	64.8	B40cc	6	14 149 37 0	0 PI
10	65.6	B41-2	?	26 108 66 0	0 PI
11	66.9	B43-1	5-7	150 19 10 21	0 PI

・壇原他(2010)によると琵琶湖1400mコアには、DNPの層厚が?(不明)と示されている。

・琵琶湖1400mコア地点においては、DNPの層厚が不明と示されている。一方、琵琶湖高島沖コア地点では、DNPの層厚が5cmと示されている。

水月湖地点

水月湖で確認された火山灰に関する既往文献の記載内容

Albert et al., (2018)

Constraints on the frequency and dispersal of explosive eruptions at Sambe and Daisen volcanoes (South-West Japan Arc) from the distal Lake Suigetsu record (SG06 core), Earth-science Reviews(発行準備中) に加筆

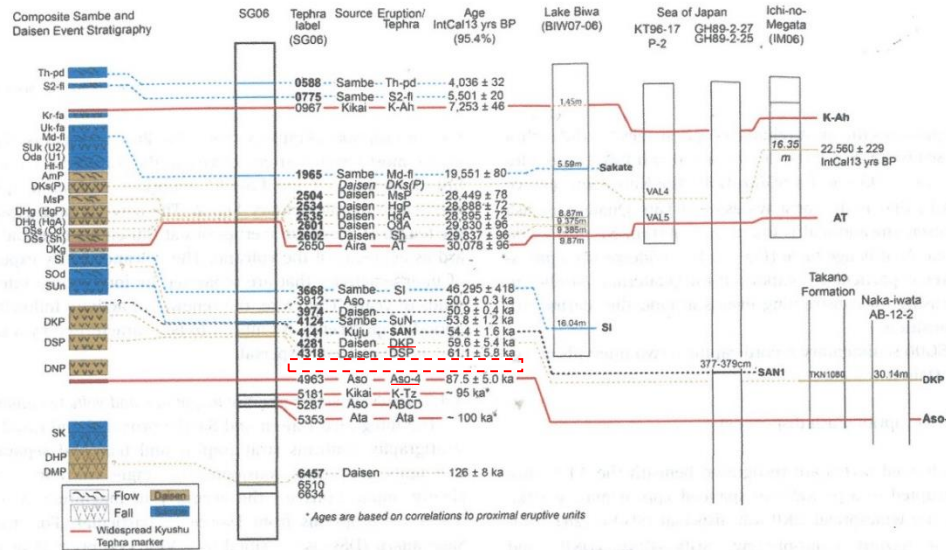


Fig. 9. The integrated proximal-distal event stratigraphy of Daisen and Sambe volcanoes based on the record preserved in the Lake Suigetsu SG06 sedimentary archive, with correlations to other sedimentary records. The SG06 tephra ages are shown as IntCal13 yrs. BP in the radiocarbon timeframe (95.4%). Beyond the annually laminated and 14C dated portion of the sequence, the age-depth model is based on a linear extrapolation that is anchored by deeper chronological tie points, which include ⁴⁰Ar/³⁹Ar ages of volcanic units (e.g., Aso-4/SG06-4963). All ages reported that are outside the ¹⁴C timeframe are provided in ka with 2σ errors (equivalent to 95.4% probability range).

this is likely to reflect unfavourable dispersal axis. For instance the sub-Plinian/Plinian fall associated with Daisen Kusadanihara (DKs), which is exposed to the north of the Daisen summit (Domitsu et al., 2002; Yamamoto, 2017), and the Daisen Namatake (DNP) Plinian eruption, which is dispersed E/SE towards the southern shores of Lake Biwa (Yamamoto, et al., 2017) are both absent from the Lake Suigetsu stratigraphy. The Sambe Plinian Kisuki (SK) eruption (Table 1) has a strong north-easterly dispersal mapped just to the north of Lake Suigetsu (Machida and Arai, 2003). The absence of visible tephra layers associated with large magnitude eruptions at Daisen and Sambe does not preclude their future identification as non-visible cryptotephra horizons in the Lake Suigetsu record. Indeed in European distal tephrostratigraphic investigations, the mapped distribution of ash fall from many large eruptions have been greatly extended through the identification of cryptotephra layers (e.g., Blockley et al., 2007; Lowe et al., 2015; Albert et al., 2015). Ongoing cryptotephra investigations through the Lake Suigetsu sediments will resolve many additional tephra fall layers, and dramatically extend known ash dispersals of Japanese eruptions (e.g., McLean et al., 2018).

・Albert et al.,(2018)によると水月湖コア(SG06)には、肉眼視が可能なDNPの層は確認されなかったと示されている。

・水月湖においては、DNPの層は確認されていない。

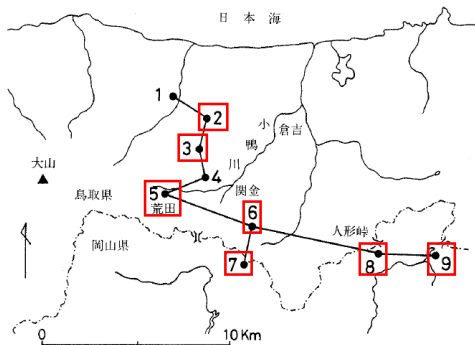
①岡田・谷本(1986)に記載されるDNPの降灰層厚に関する情報

大山生竹軽石(DNP)の噴出規模に関する評価について

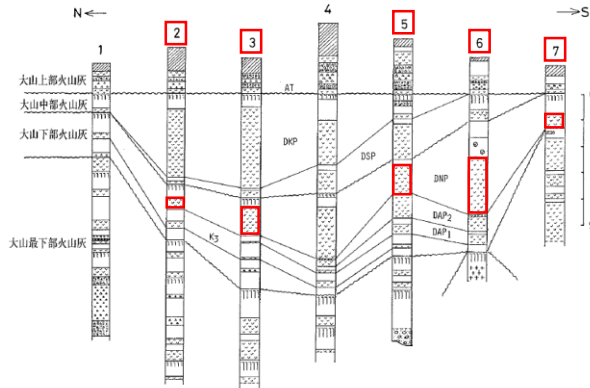
DNPの降灰層厚に関する情報について

① 岡田・谷本(1986)に記載される内容を以下に示す

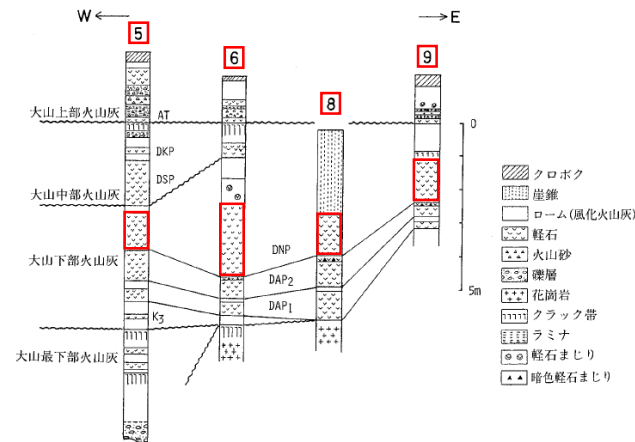
岡田・谷本(1986) : 大山下部火山灰から新たに発見された2枚の降下軽石層について より引用・加筆



第2図 柱状図の位置。1: 東伯町杉地～大杉間 2: 倉吉市服部 3: 倉吉市倅谷～般若間
4: 関金町大山池 5: 関金町荒田 6: 関金町関金宿～三朝町福本間 7: 中和村別所 8: 人形峠 9: 上斎原村恩原貯水池南



第3図 南北方向の柱状対比図。凡例は第4図。



第4図 東西方向の柱状対比図

- クロボク
- 崖錐
- ローム(風化火山灰)
- 軽石
- 火山砂
- 礫層
- 花崗岩
- クラック帯
- ラミナ
- 軽石まじり
- 暗色軽石まじり

4: 関金町大山池地点について

この地点は、報告徴収命令で示された大山地点(岡田・石賀(2000))と同一であると判断した。
なお、本文献の柱状図から読み取ったこの地点の層厚は、200cmであり報告徴収命令で示された大山池地点と同じ層厚であった。

岡田・谷本(1986)に記載される柱状図から以下に述べる対象地点のDNPの層厚を読み取ると、
 倉吉市服部地点で45cm、倉吉市倅谷～般若間地点で110cm、関金町荒田地点で115cm、
 関金町関金宿～三朝町福本間地点で220cm、中和村別所地点で50cm、人形峠地点で120cm
 及び上斎原村恩原貯水池南地点で120cmのDNPが記載されている。

②田中他(1982)に記載されるDNPの降灰層厚に関する情報

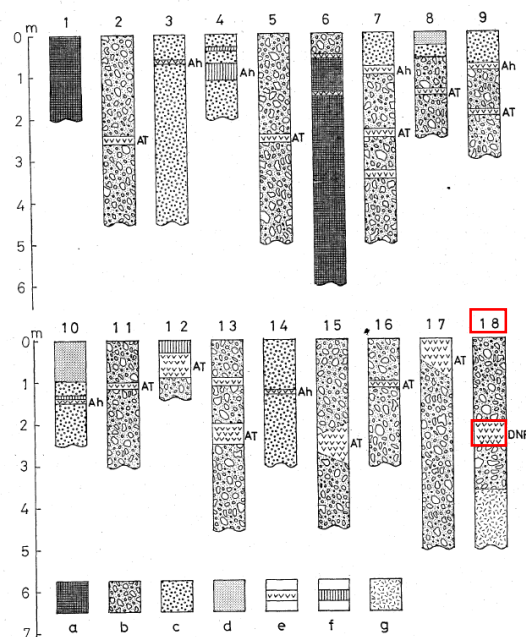
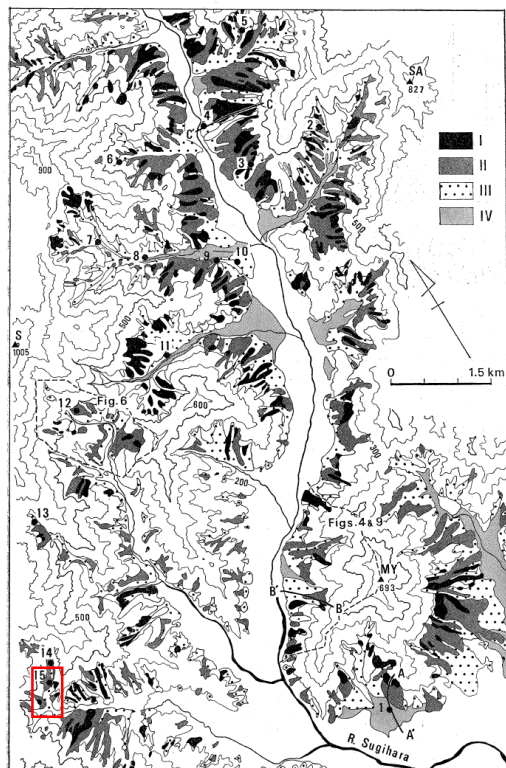
大山生竹軽石(DNP)の噴出規模に関する評価について

関西電力(2019)での評価

DNPの降灰層厚に関する情報について

② 田中他(1982)に記載される内容を以下に示す

田中他(1982): 杉原川流域の山麓斜面の形成機構ならびに形成年代について より引用・加筆



第5図 柱状図
a: I面構成層 b: II面構成層 c: III面構成層 d: IV面構成層 e: 火山灰 f: 黒ボク g: 基盤
1. 妙見山西麓 2. 妙見山西麓 3. 妙見山西麓 4. 安楽田 5. 丹治谷林道終点 6. 河上神社
7. 清水東林道 8. 轟谷奥 9. 市原谷奥 10. 市原谷中流 11. 市原谷出口 12. 熊野神社 13. 町立牧場
14. 神光寺 a 15. 神光寺 b 16. 宮前谷奥 17. 奥荒田林道終点 18. 奥荒田林道入口

第3図15地点では、粗大な堆積物よりなるII面構成層がみられる。この堆積物中からは、その時代決定の資料として他の火山灰層が見つかった(第5図, 18)。この火山灰層の厚さは40~60cm, 2次堆積の分も含めると、その厚さは80cmに達する部分もある。野外での観察からは、ATに比べてより固く、粘性があり、厚さは大という特徴がある。この火山灰は有色鉱物の特徴から大山を給源とする大山生竹軽石(DNP)(町田・新井, 1979)に対比され、その降下年代は6~7万年前と推定されている¹¹⁾。

田中他(1982)によれば、兵庫県多可町奥荒田林道入口地点でDNPの層厚が40~60cmと記載されている。

第3図 杉原川流域の山麓斜面の分布および露頭位置
I: I面 II: II面 III: III面 IV: IV面 MY: 妙見山 S: 子ヶ峰 SA: 檜ヶ峰
1~15: 露頭位置および同番号 A~A', B~B', C~C': 第11図の断面図形位置

③野村・田中(1992)に記載されるDNPの降灰層厚に関する情報

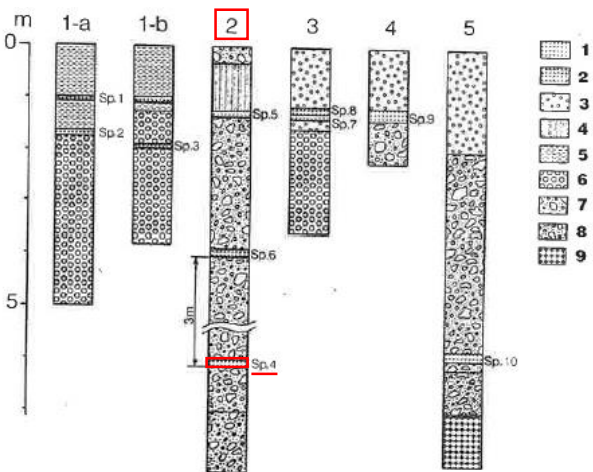
大山生竹軽石(DNP)の噴出規模に関する評価について

関西電力(2019)での評価

DNPの降灰層厚に関する情報について

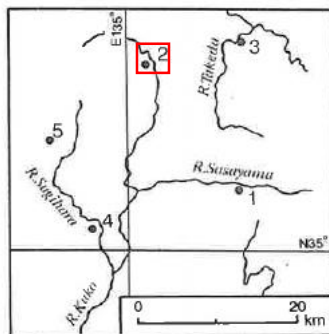
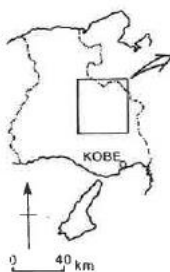
③ 野村・田中(1992)に記載される内容を以下に示す

野村・田中(1992):兵庫県東部に降下した後期更新世以降のテフラ より引用・加筆



第二図 柱状図

1. 降下テフラ 2. 火山灰質堆積物 3. ローム泥じり岩層層
4. クロボク 5. シルト層 6. 段丘礫層 7. 半固結～未固結岩層層
8. 固結の進んだ岩層層 9. 基盤岩



第一図

いかに、Sp.4について検討する。Sp.4は斜方輝石・角閃石からなることから、大山起源のものであると判断される。Sp.6にLJの火山ガラスを多量に含有することから、このテフラは大山中部累層よりも古いと考える。また、蒜山地域や、大山東麓地域のテフラは、下部のものほど、角閃石が多い傾向にある(野村、一九九二)。また、大山中部累層のそれぞれのテフラは鉱物の品種に特徴がある(野村・新井、一九七九)が、Sp.4はその特徴をそなえていない。この様な点から、このテフラは大山下部累層に相当すると考える。下部累層の中で、Sp.4と類似した鉱物組成のテフラには「D」があり、Sp.4はDNPであると判断される。なお、DNPはこの地域では流層面II面の最下部付近に確認されており(田中ほか、一九八二)、「Loc.2におけるSp.4の存在の仕方と共通している点とも調和的である。

(中略)

下位の降下軽石(Sp.2)は最大層厚三十cm、黄赤色を呈し、水分が多い場合はミソ土状を呈してみられる。上位のガラス質火山灰(Sp.5)は黄褐色を呈し、層厚八cmである。岩層層中位のマトリックスにとむ角礫層(Sp.3)は、層厚約五十cm、べアブル以下の角礫を含有し、黄灰色を呈し、火山ガラスを多量に含んでいる。

(一) 水上低地
(二) 水上町沼のテフラ

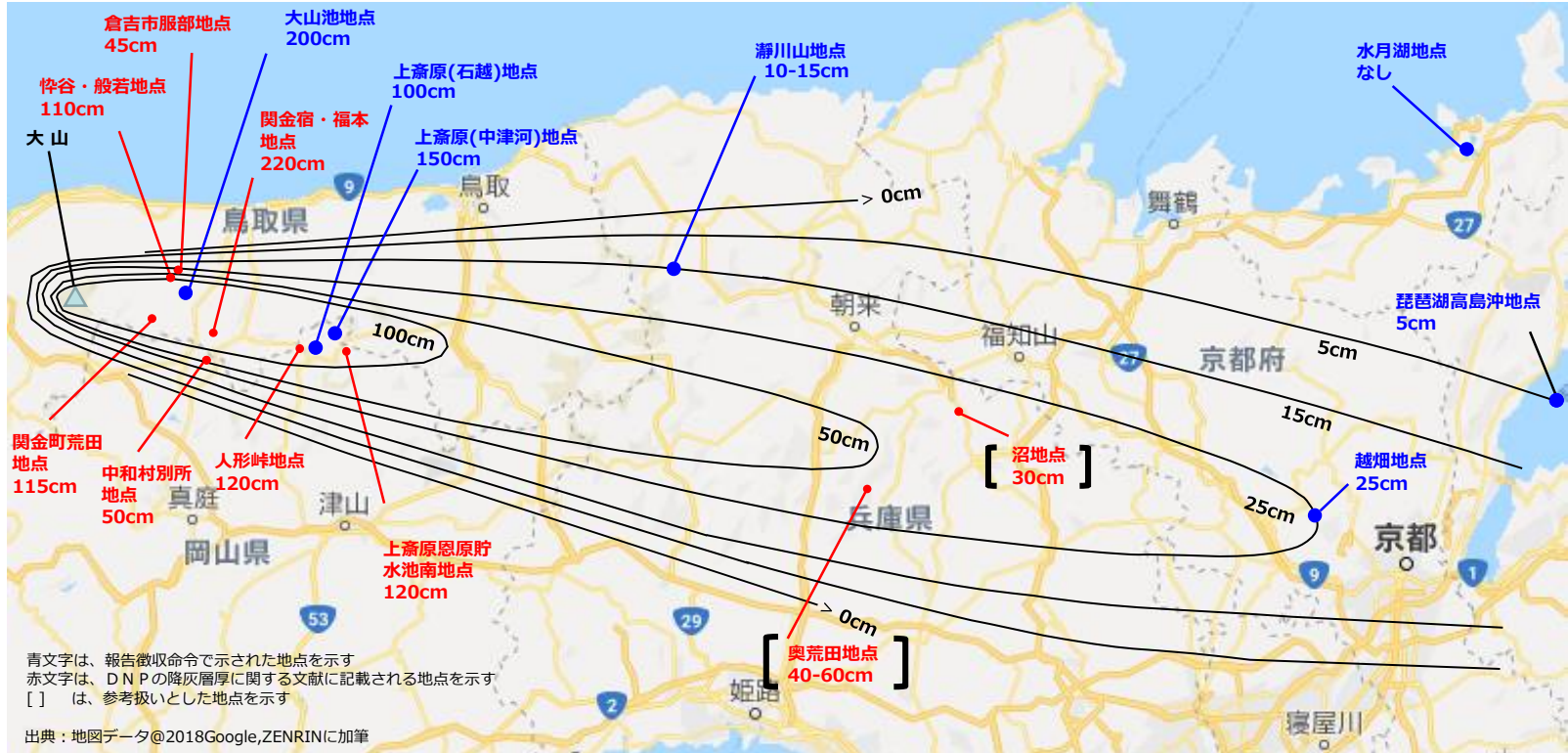
加古川上流部には中・古生層の頁岩、頁岩とチャートが互層をなす層状チャートからなる山地がある。これら山地のうち、チャートの分布する地域には、山麓に大量の岩層が供給され、急傾斜の麓層面が形成されている。Sp.4はそのような麓層面中であり、岩層はマトリックスの状態から二層に区分できる。下半部は径八十cm以下の未風化の岩層よりなり、マトリックスが粘土質で、固結が進行している。一方、岩層層の上半部は半固結・未風化で、下半部と同様に径八十cm以下の未風化の岩層よりなる。その上部は岩層が点在するクロボクに覆われる。構成岩石はすべてチャートであり、未風化で、稜角が鋭く、堅硬である。岩層層中には、最下部付近に降下軽石層、最上部付近にガラス質火山灰が、いずれもレンズ状で狭まっている。また、上位の岩層のほぼ中部には、岩層層の他の部分にくらべてシルト質マトリックスにとむ点で特徴的な岩層層があり、露頭中央部の埋没谷地形を示す部分以外は、現在の地表とはほぼ同様の傾斜で堆積している(第二図)。

野村・田中(1992)によれば、兵庫県丹波市水上町沼地点でDNPの層厚が30cmと記載されている。

資料7: DNP等層厚線面積の検証について

DNP等層厚線図面積の検証について(1/3)

- DNPの噴出規模を算出するため、Google Earth Proを用いて各等層厚線図の面積を下のとおり算出した。
- これらの面積の妥当性を検証するため、三斜法により算出を行い、比較した。



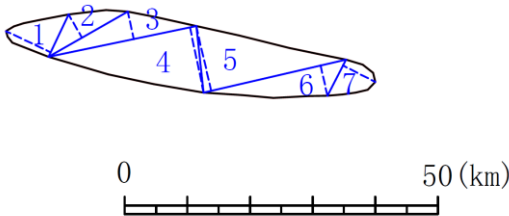
降灰層厚(cm)	25	50	100
面積(km ²)	3,589	1,646	474

Google Earth Proにより算出した面積

DNP等層厚線図面積の検証について(2/3)

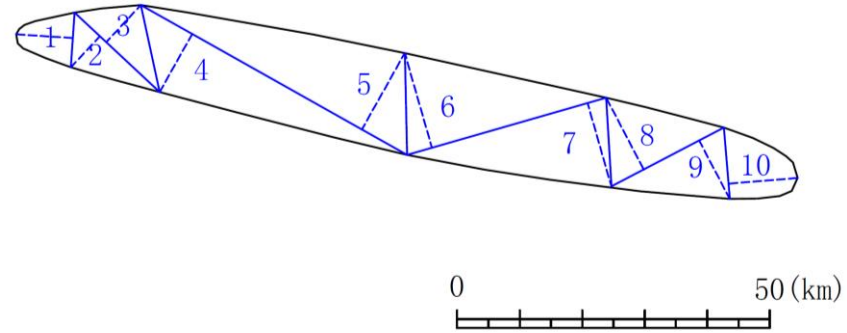
・三斜法は等層厚線図を三角形に分割し、各三角形の面積の合計によって等層厚線図の面積を求めるものであり、数多くの三角形に分割するほど高精度となるが、ここでは10程度の分割を行い、面積を求めた。

等層厚線：100cm



番号	底辺(km)	高さ(km)	倍面積(km ²)
1	7.491	7.895	59.1
2	14.594	4.283	62.5
3	24.076	4.528	109.0
4	24.076	10.623	255.8
5	23.326	10.597	247.2
6	23.326	4.961	115.7
7	6.488	5.806	37.7
合計			887.0
面積			443.5

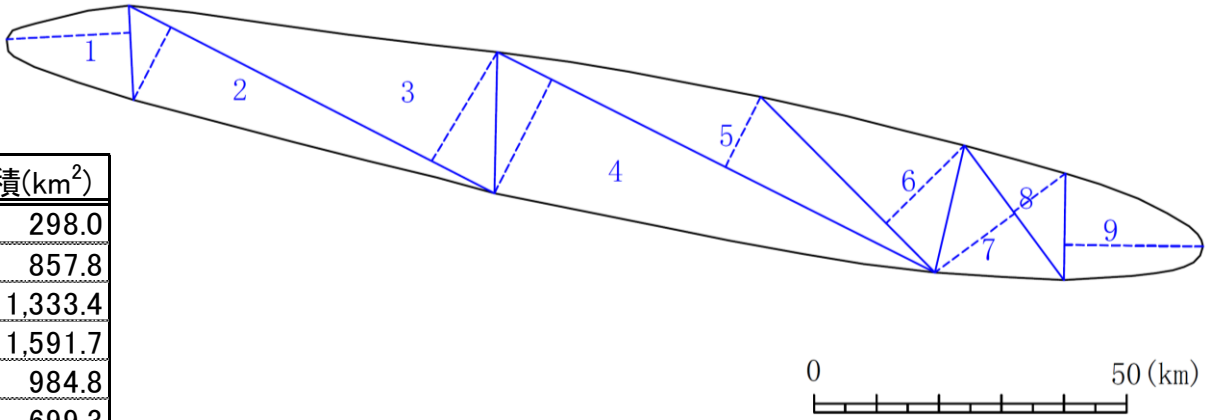
等層厚線：50cm



番号	底辺(km)	高さ(km)	倍面積(km ²)
1	8.777	9.103	79.9
2	18.633	6.792	126.6
3	18.633	8.076	150.5
4	48.834	10.617	518.5
5	48.834	14.008	684.1
6	33.127	15.737	521.3
7	33.127	13.850	458.8
8	20.283	12.937	262.4
9	20.283	10.552	214.0
10	11.448	11.123	127.3
合計			3,143.4
面積			1,571.7

DNP等層厚線図面積の検証について(3/3)

等層厚線：25cm



番号	底辺(km)	高さ(km)	倍面積(km ²)
1	15.078	19.761	298.0
2	65.725	13.052	857.8
3	65.725	20.287	1,333.4
4	78.364	20.311	1,591.7
5	78.364	12.567	984.8
6	39.555	17.678	699.3
7	26.755	15.903	425.5
8	26.755	10.276	274.9
9	16.988	22.138	376.1
合計			6,841.4
面積			3,420.7

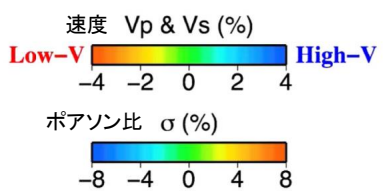
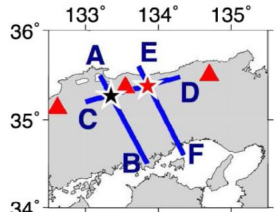
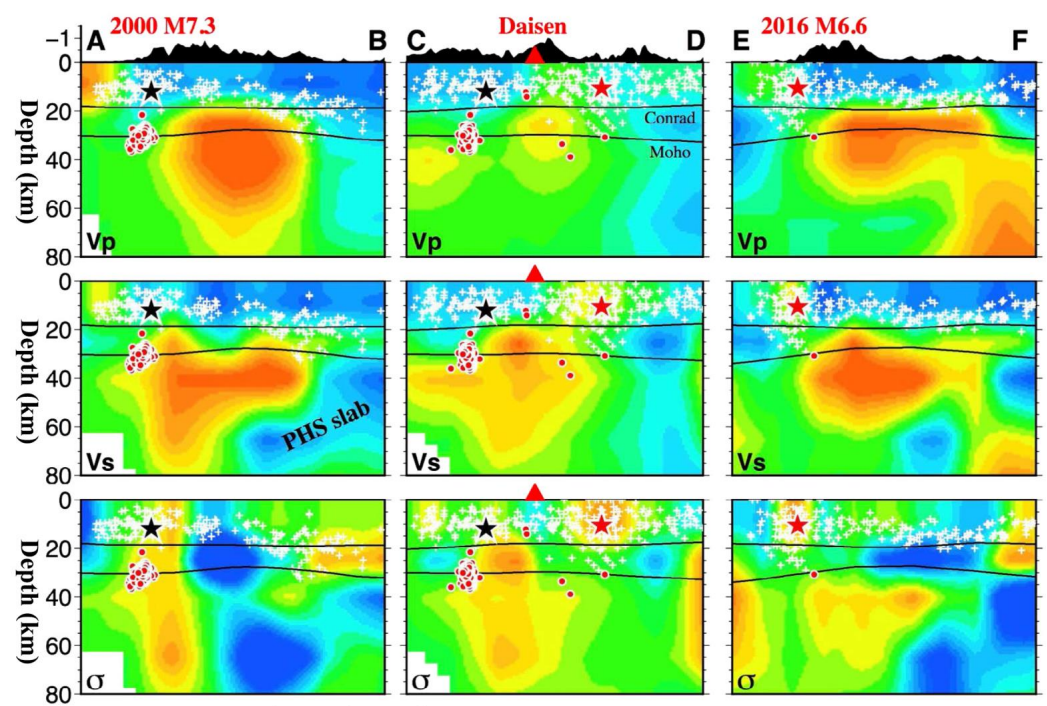
- Google Earth Proで算出した面積と、三斜法で算出した面積を下表に示す。
- 三斜法で算出した面積は、Google Earth Proで算出した面積の94～96%を再現できており、Google Earth Proで算出した面積は妥当であることを確認した。

降灰層厚(cm)	25	50	100
①Googel Earth Proで算出した面積(km ²)	3,589	1,646	474
②三斜法で算出した面積(km ²)	3,420	1,572	444
比率(②÷①)	95%	96%	94%

資料8: 防災科学技術研究所による地震波速度構造モデルについて

防災科学技術研究所による地震波速度構造モデルについて(1/4)

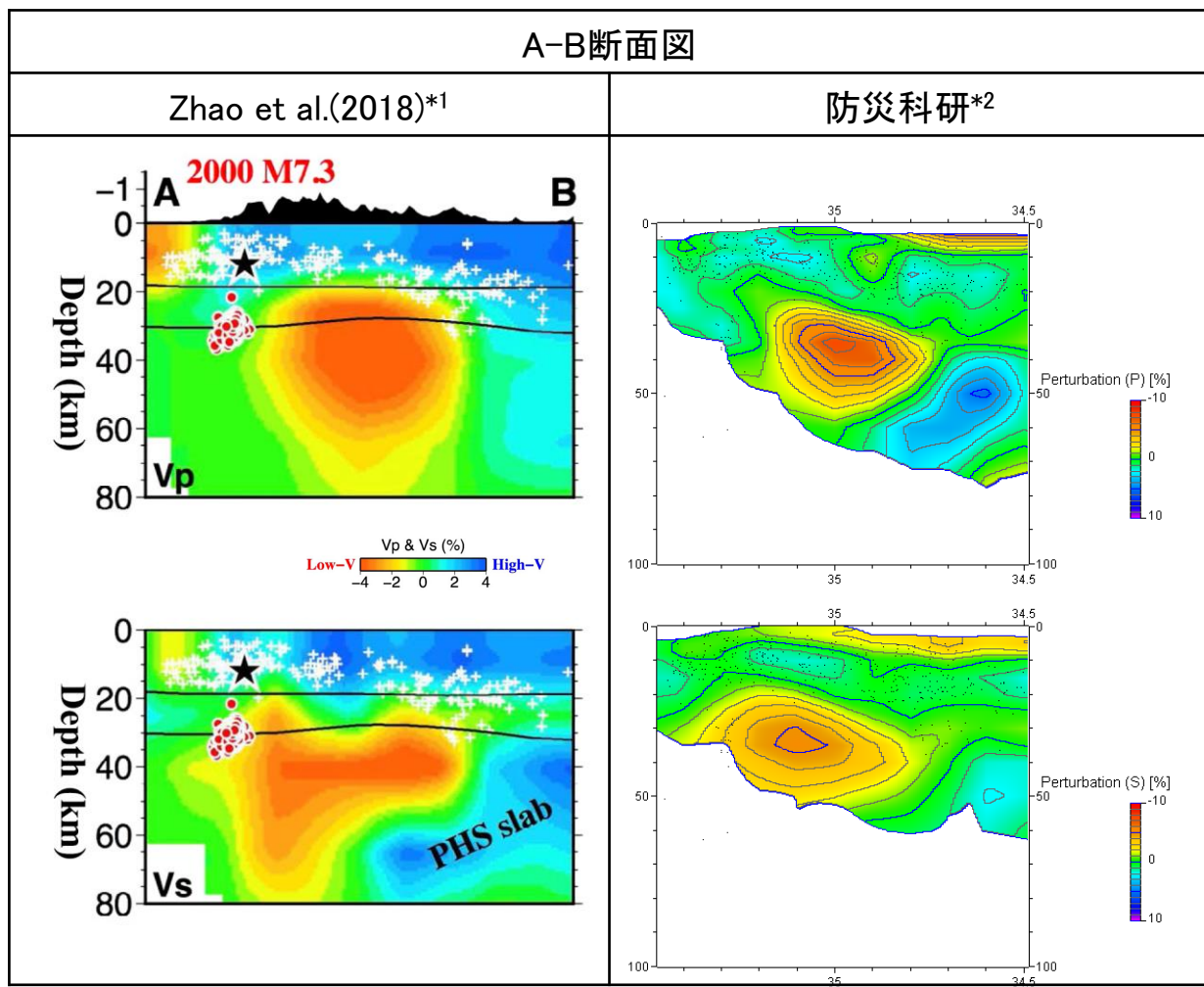
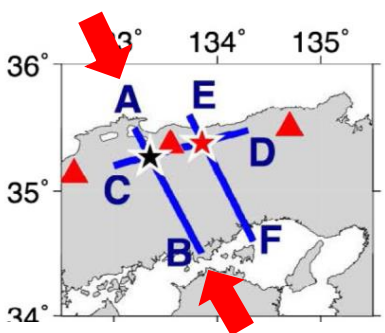
- Zhao et al.(2011,2018)によれば、地震波トモグラフィ解析の結果、大山の地下深部に広がる低速度層は20km以深に位置しているとされている。
- 一方、防災科学技術研究所（以下、「防災科研」という。）では、高感度地震観測網(Hi-net)、日本海溝海底地震津波観測網(S-net)の地震観測データを使用した日本列島下の3次元地震波速度構造モデルが公開されており、順次改定が行われている。
- 最新の公開データである「海域拡大2019年版」について、Zhao et al.による速度構造モデルとの比較を行う。



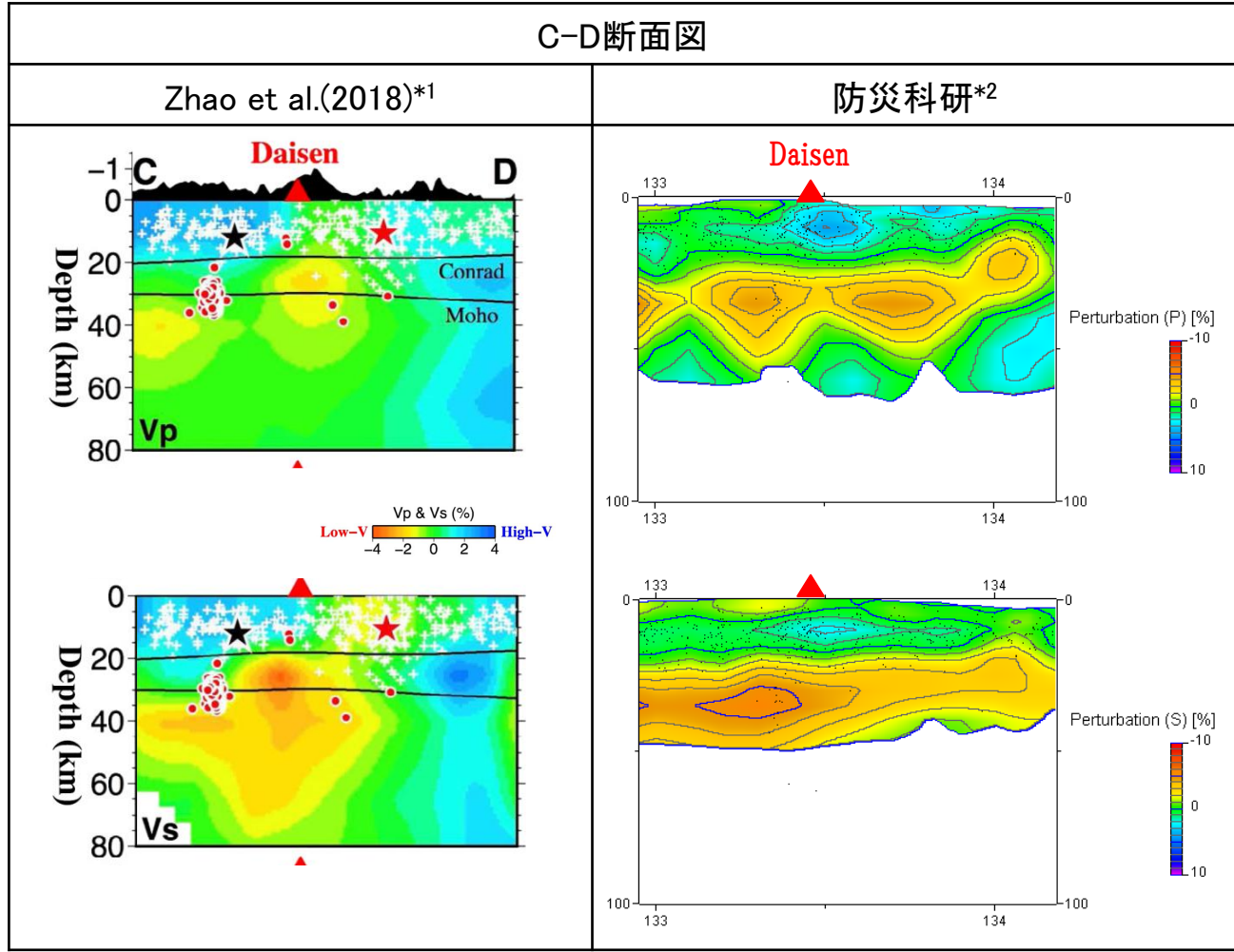
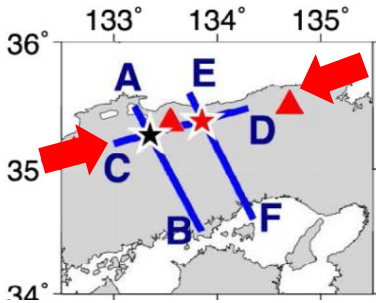
Zhao et al.(2018)より引用・加筆

防災科学技術研究所による地震波速度構造モデルについて(2/4)

- ・ 防災科研の速度構造モデルは、そのデータや、任意の位置において断面図を作成するソフトウェア（日本列島三次元地震波速度構造表示ソフトウェア）がホームページ上で公開されている。
(http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/sokudo_kozo/)
- ・ それらを用い、Zhao et al.(2018)が示す断面図と同じ位置において作成した断面図とを比較する。



*1: Zhao et al.(2018)より引用・加筆
 *2: Matsubara et al.(2019)より引用



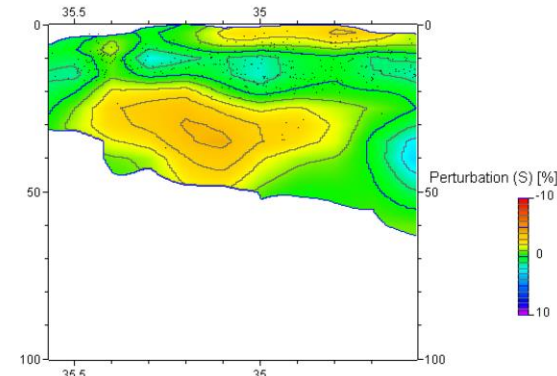
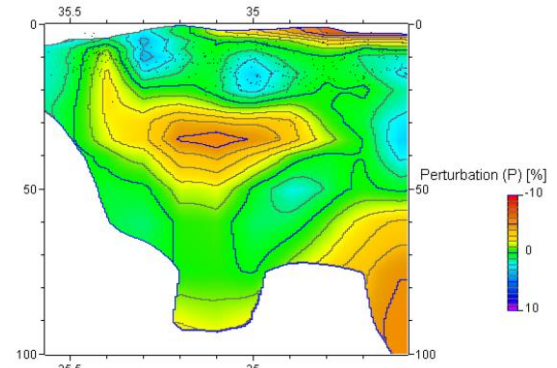
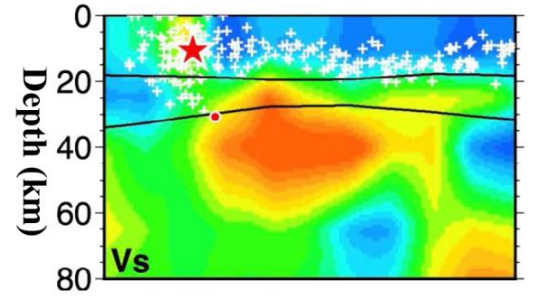
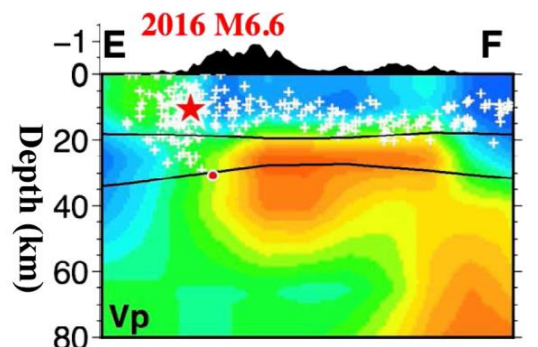
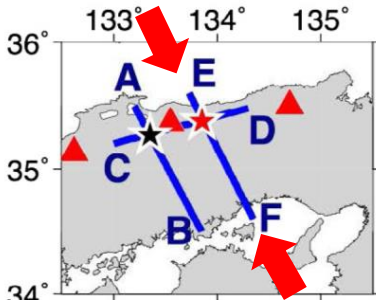
*1: Zhao et al.(2018)より引用・加筆

*2: Matsubara et al.(2019)より引用・加筆

E-F断面図

Zhao et al.(2018)*1

防災科研*2



*1: Zhao et al.(2018)より引用・加筆

*2: Matsubara et al.(2019)より引用・加筆

・ 防災科研では、Zhao et al.(2018)と概ね同等の深度に同様の低速度層が分布することが示されている。

資料9: 既往文献による降下火砕物の体積算出方法の概要について

既往文献による降下火砕物の体積算出方法の概要について

Legros(2000)による降下火砕物の体積算出方法の概要について

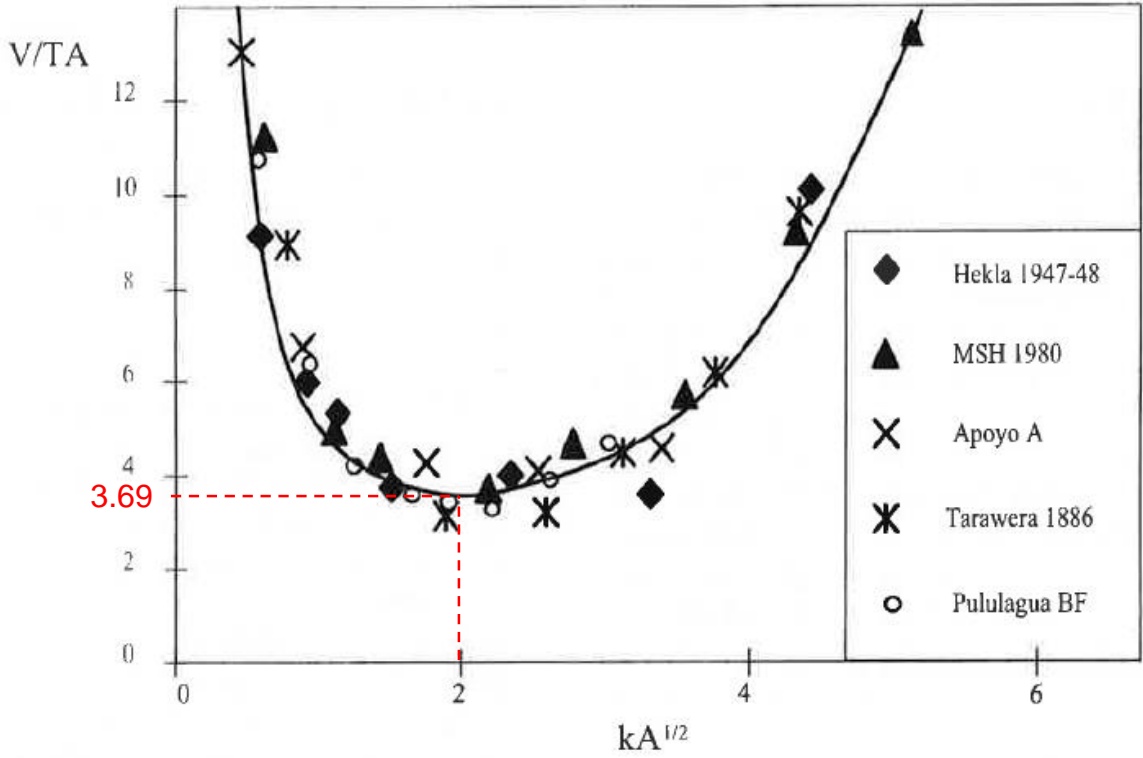


Fig. 1. Theoretical relation between the dimensionless volume V/TA and the dimensionless thinning rate $kA^{1/2}$ as deduced from Eq. 4. V/TA has a minimum value of 3.69 for $kA^{1/2} = 2$. Isopach data from several deposits are seen to collapse around this curve (references in Table 1).

V/TA は $kA^{1/2}=2$ に対して最小値3.69となる。
いくつかの火砕物からの等層厚線のデータはこの曲線の周辺にプロットされる。

Legros(2000)より引用・加筆

図-1 $V=2Texp(kA^{1/2})/k^2$ の式から導き出される V/TA と $kA^{1/2}$ の理論的關係

Legros(2000)によると、降下火砕物の層厚が火口から離れるにつれて指数関数的に減少するという仮定に基づき得られる $V=2Texp(kA^{1/2})/k^2$ の式から V/TA と $kA^{1/2}$ の理論的關係を図-1のように示し、 $V=3.69TA$ の式を提案したと示される。この手法は、1つの等層厚線のデータが得られたときに最小体積を求めることができるものである。

・ Legros(2000): Minimum volume of a tephra fallout deposit estimated from a single isopach. J. Volcanol. Geotherm. Res., 96, p.25—p.32

既往文献による降下火砕物の体積算出方法の概要について

Hayakawa(1985)による降下火砕物の体積算出方法の概要について

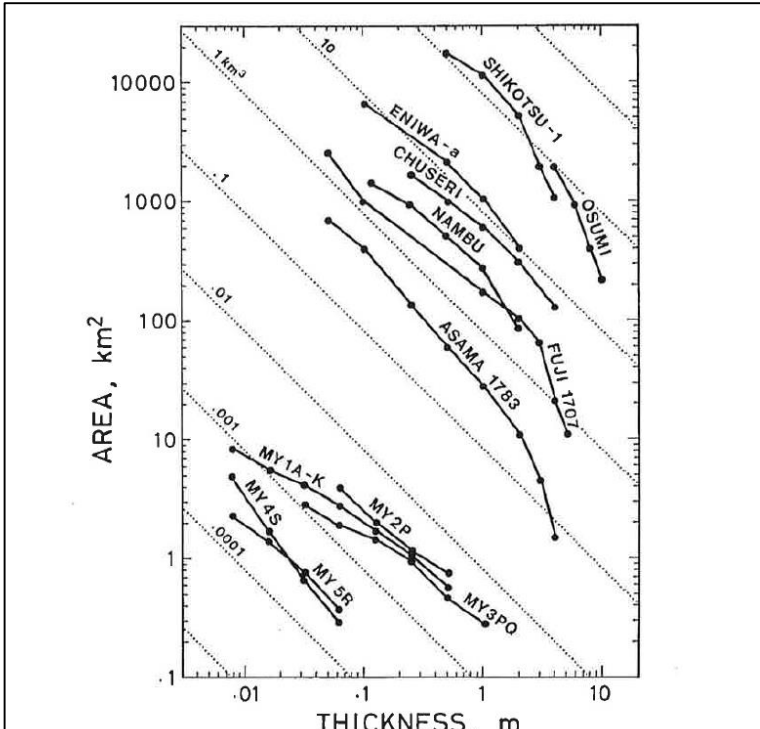


Fig. 42. Relation between the areas enclosed by isopachs, S , and the thickness, T , for the Miyakejima 1983 deposit (MY; HAYAKAWA *et al.*, 1984) and for some plinian deposits (references are given in Table 12). The product TS is almost constant for each deposit excepting the Osumi deposit and some of the Miyakejima deposit. The dotted lines are iso-volume lines assuming $V=12.2 TS$.

点線は、 $V=12.2TS$ と仮定したときの同体積線

Hayakawa(1985)より引用・加筆

図-1 火砕物に対する等層厚線の面積 S と厚さ T の関係

表-1 結晶法により質量と体積を求めた降下火砕物のTSに対するVの割合

Table 10. Ratio of V to TS for the deposits for which the mass (and volume) has been determined by the crystal method.

	M ($\times 10^{15}$ g)	V (km^3)	T (cm)	TS (km^3)	V/TS
Taupo*	13.74	24	50	1.53	15.7
			25	2.27	10.6
Waimihia*	17.77	29.08	50	2.26	12.9
			25	1.90	15.3
Hatepe*	3.70	6.00	50	0.530	11.3
			25	0.455	13.2
Chuseri	4.01	6.68	100	0.593	11.3
			50	0.495	13.5
Nambu	0.97	2.16	50	0.253	8.5
			25	0.232	9.3
(Average)				5つの降下火砕物の傾き(V/TS)の平均値	12.2

Hayakawa(1985)より引用・加筆

Hayakawa(1985)によると、等層厚線に囲まれる面積 S と厚さ T の関係は図-1のように示され、厚さと面積の積 TS は一部の降下火砕物を除くと各火砕物でほぼ一定であり、同じ火砕物では大きく変わらないと示される。この性質を利用することによって、Hayakawa(1985)は、体積 V を簡便に計算することのできる式 $V=12.2TS$ を導いた。係数12.2は、表-1に示す結晶法により計算された5つの降下火砕物の結果から、体積 V が積 TS と比例関係にあるとし、5つの降下火砕物の傾き(V/TS)の平均値である。