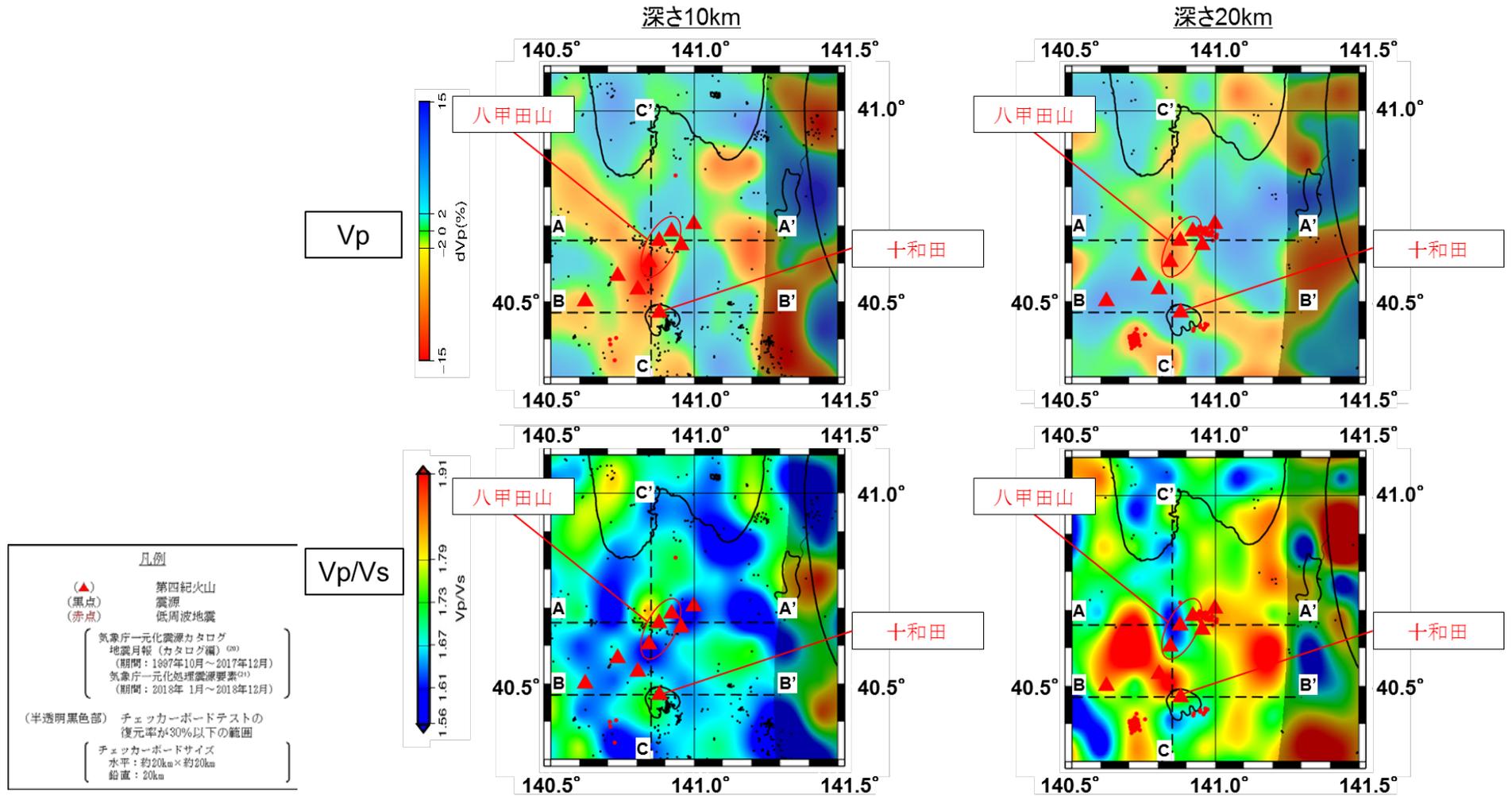


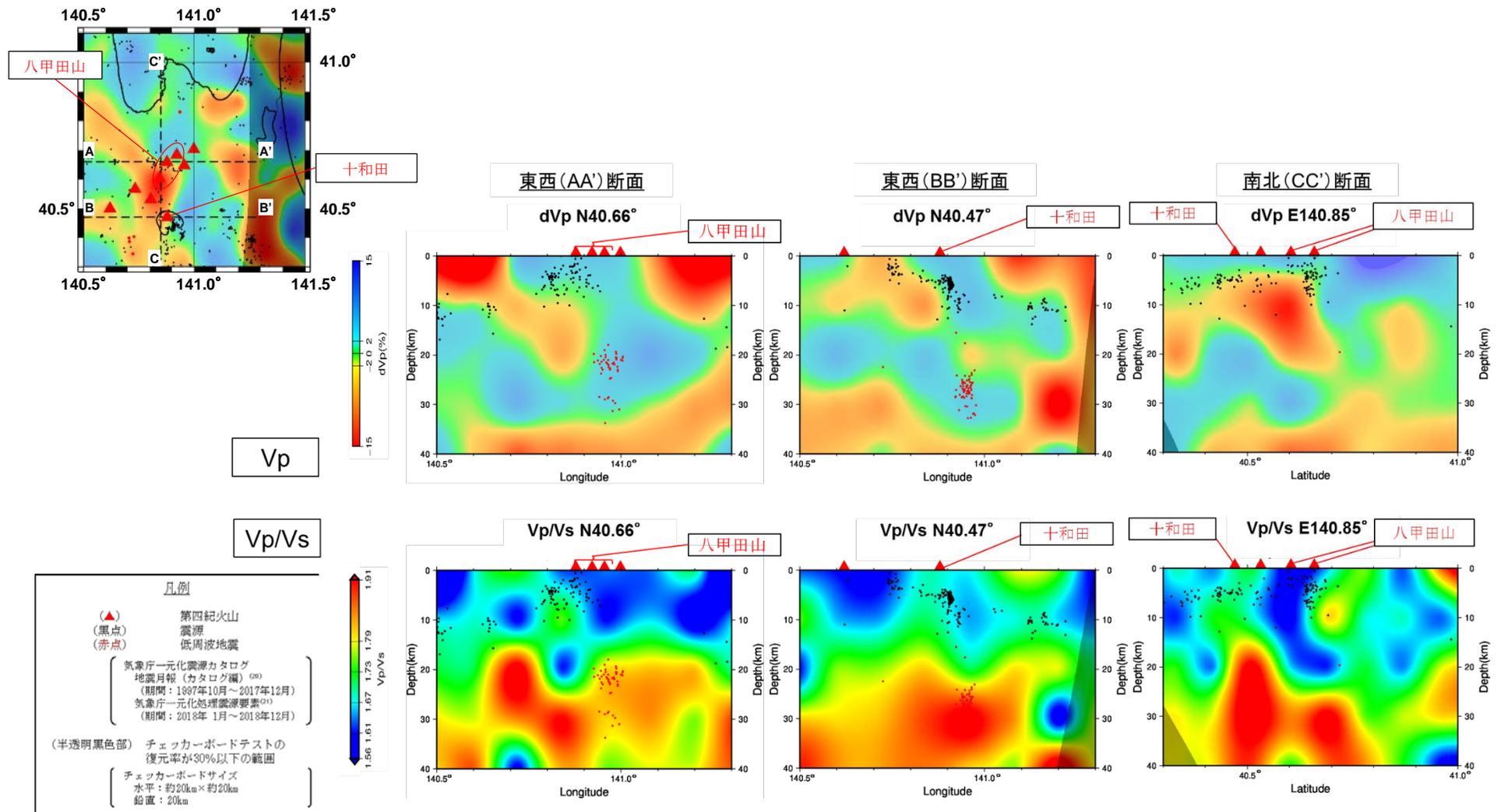
添3-1-13 図(2) 防災科学技術研究所 HP 上の「日本列島下の三次元地震波速度構造 (海域拡大 2019 年版)」

の地震波トモグラフィ解析結果

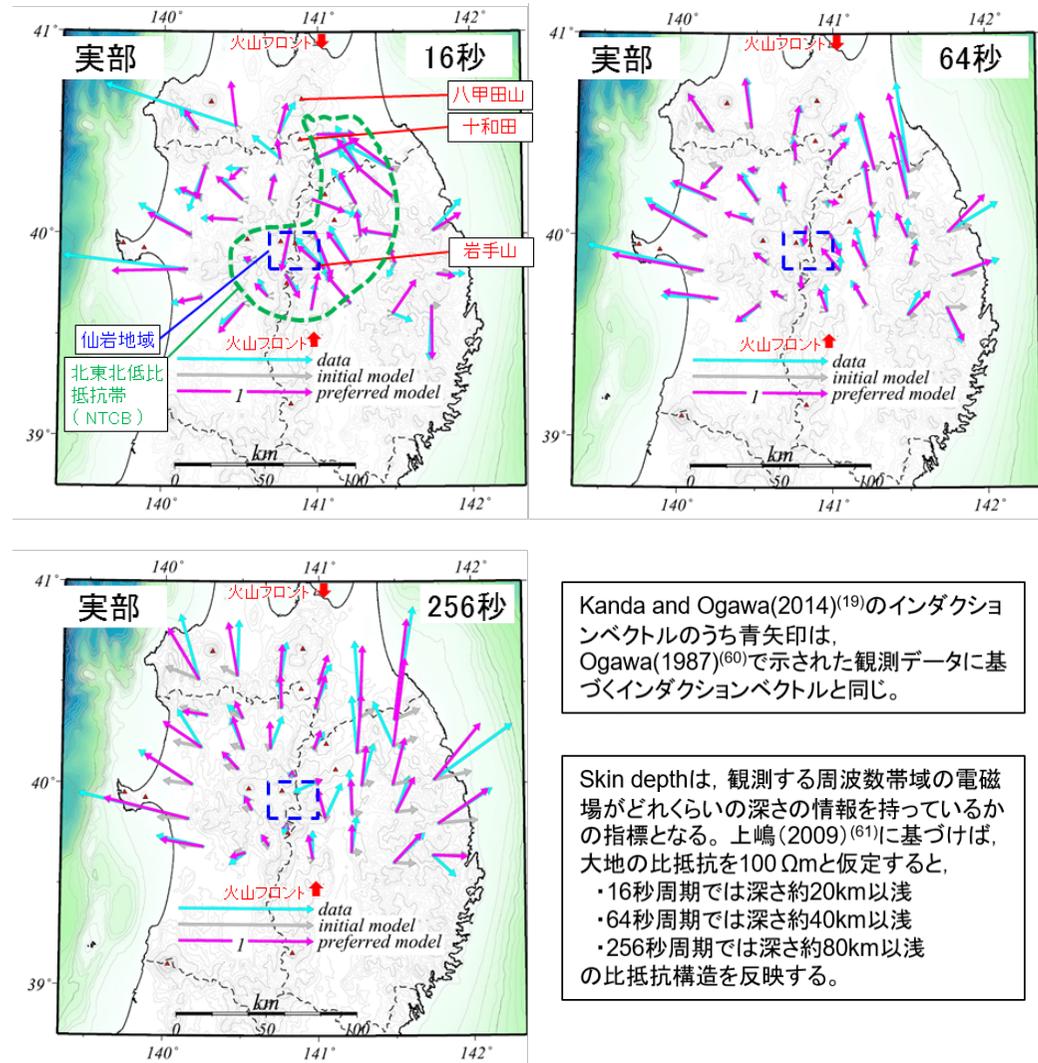
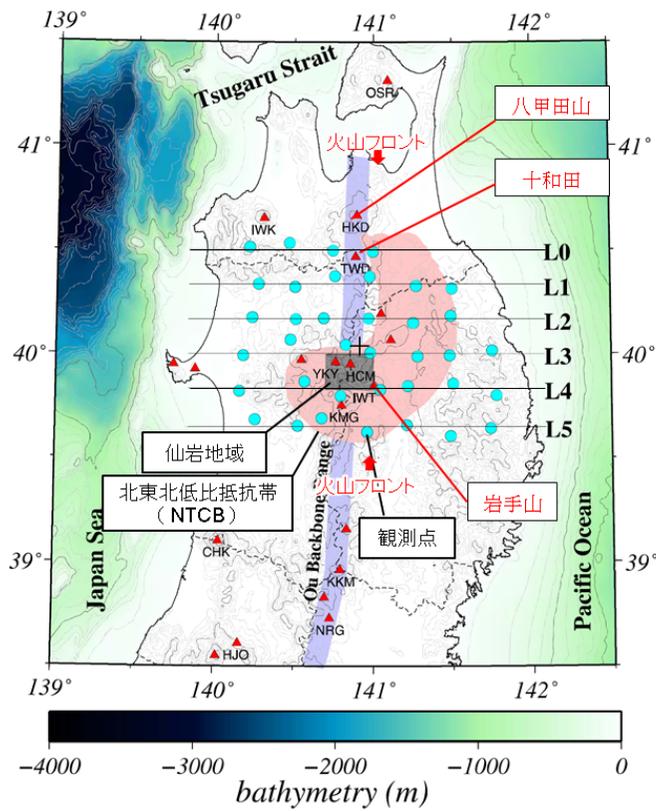
(防災科学技術研究所 HP 上の「日本列島下の三次元地震波速度構造 (海域拡大 2019 年版)」地震波トモグラフィ解析結果の公開データを基に当社が作図 (解析手法等は Matsubara et al. (2019) ⁽¹⁸⁾に記載))



添3-ト第14図(1) Hi-netや東北大学等の観測点の観測データを用いた地震波トモグラフィ解析結果



添3-1-14図(2) Hi-netや東北大学等の観測点の観測データを用いた地震波トモグラフィ解析結果

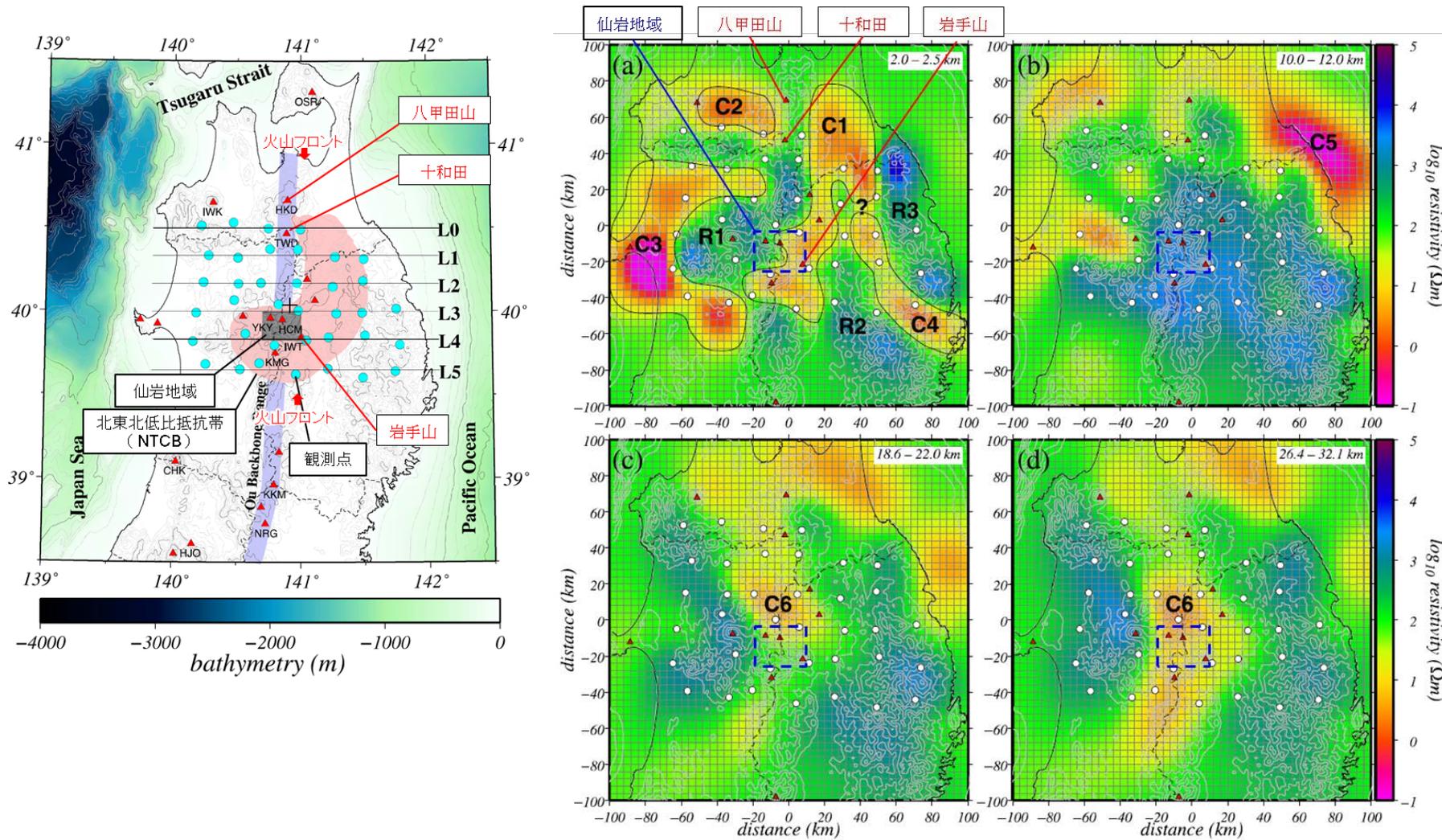


Kanda and Ogawa(2014)⁽¹⁹⁾のインダクションベクトルのうち青矢印は、Ogawa(1987)⁽⁶⁰⁾で示された観測データに基づくインダクションベクトルと同じ。

Skin depthは、観測する周波数帯域の電磁場がどれくらいの深さの情報を持っているかの指標となる。上嶋(2009)⁽⁶¹⁾に基づけば、大地の比抵抗を100 Ωmと仮定すると、

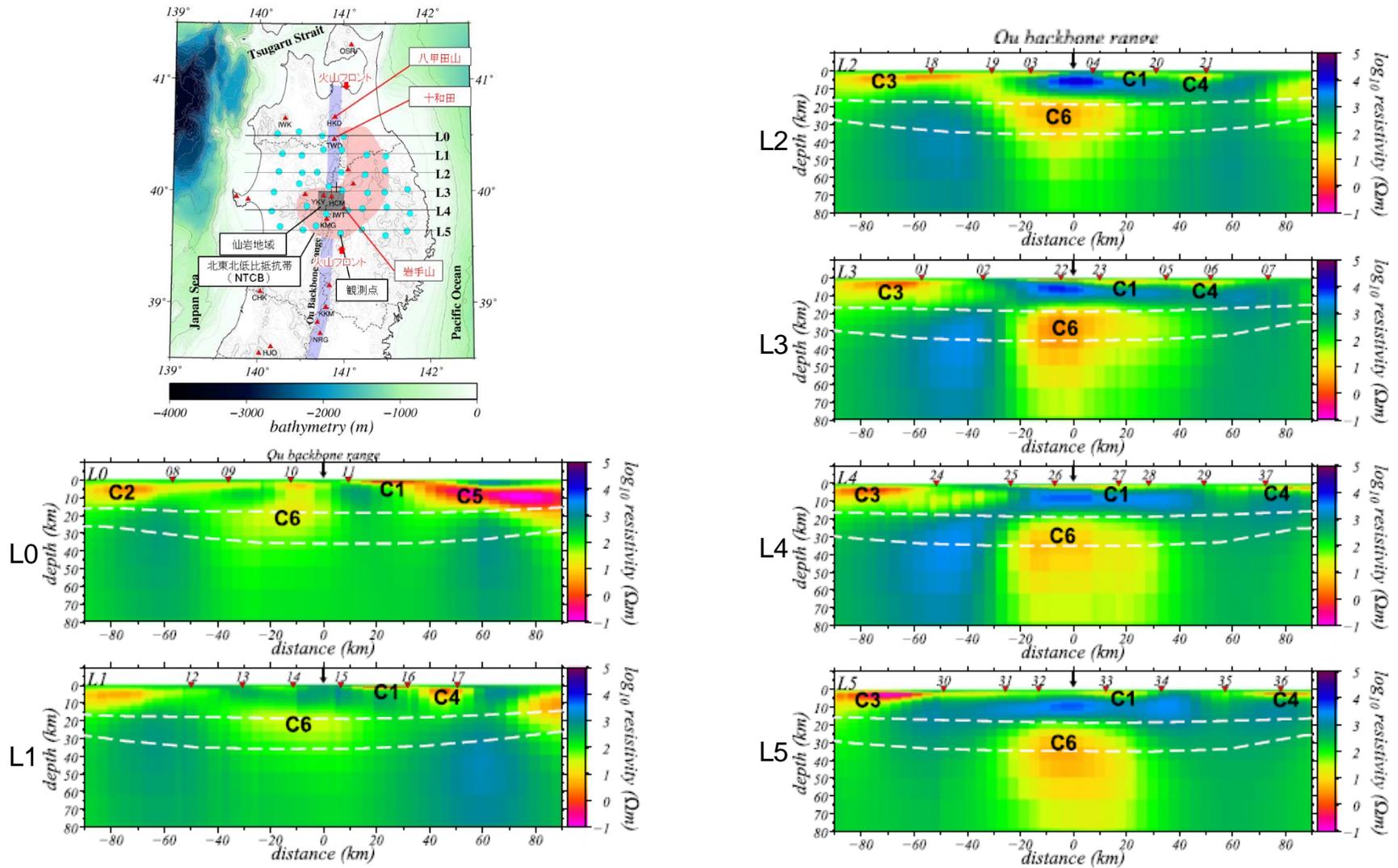
- ・16秒周期では深さ約20km以浅
- ・64秒周期では深さ約40km以浅
- ・256秒周期では深さ約80km以浅の比抵抗構造を反映する。

添3-1-15 図 北東北における観測及びモデル化されたインダクションベクトル (Kanda and Ogawa (2014) ⁽¹⁹⁾に加筆)



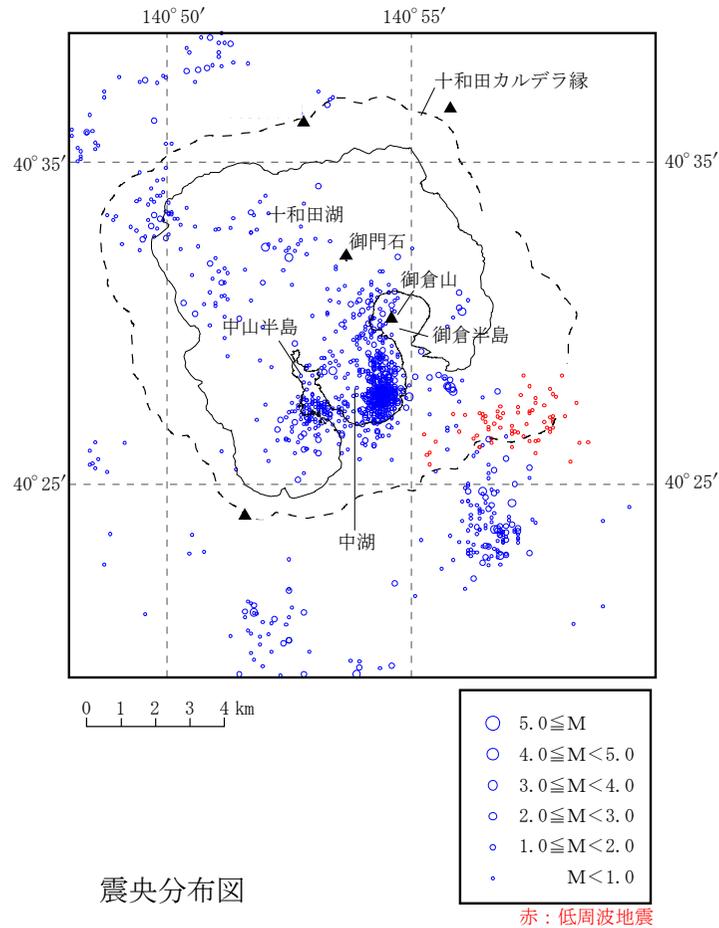
添3-1第16図(1) 北東北の三次元比抵抗構造 (水平断面)

(Kanda and Ogawa (2014)⁽¹⁹⁾に加筆)

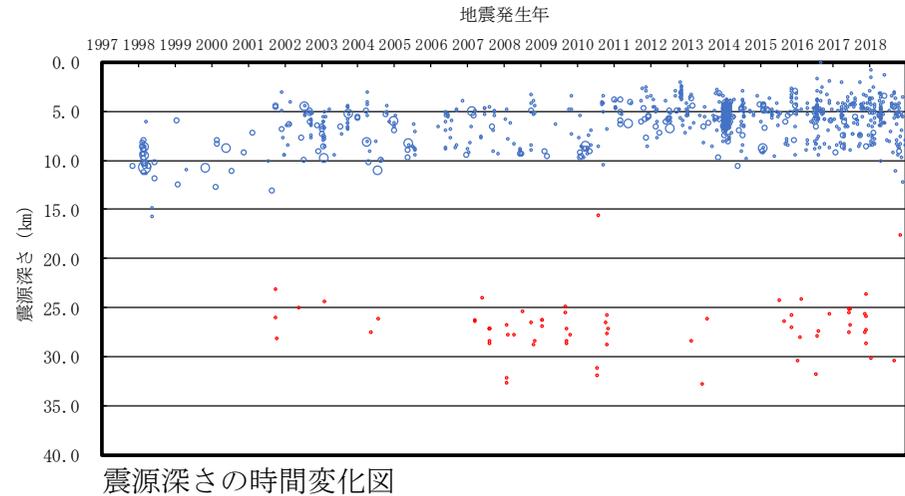


添3-1第16図(2) 北東北の三次元比抵抗構造 (鉛直断面)

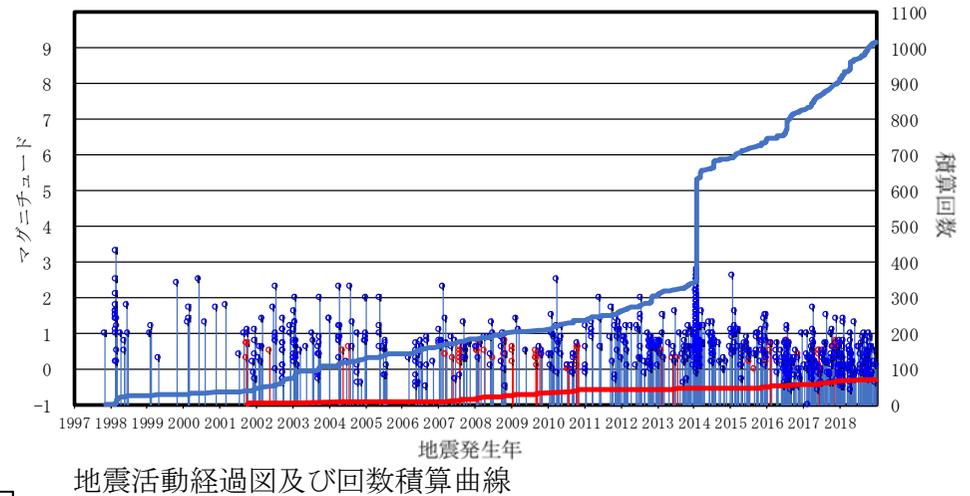
(Kanda and Ogawa (2014) ⁽¹⁹⁾に加筆)



震央分布図



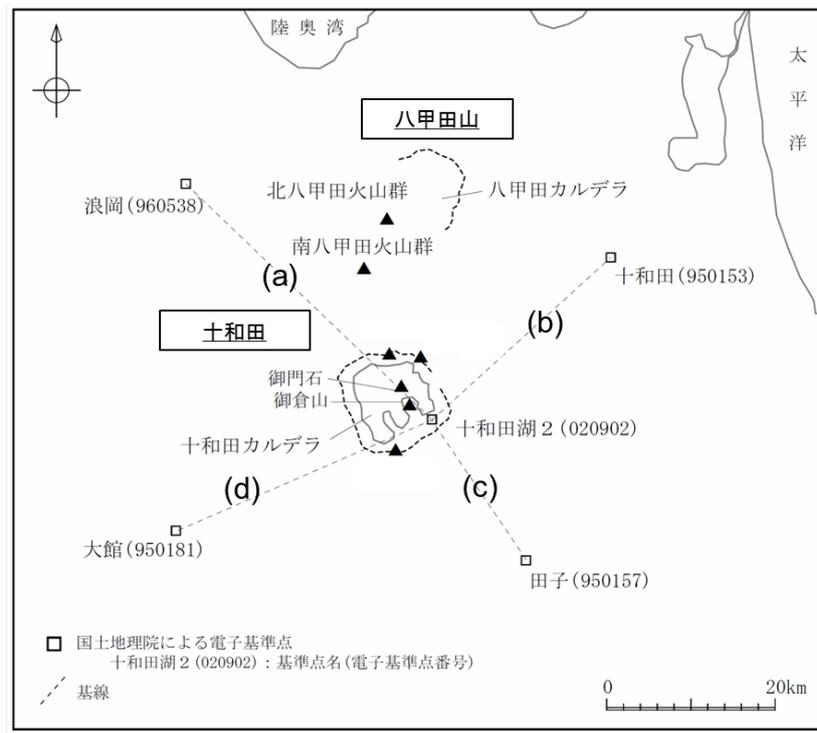
震源深さの時間変化図



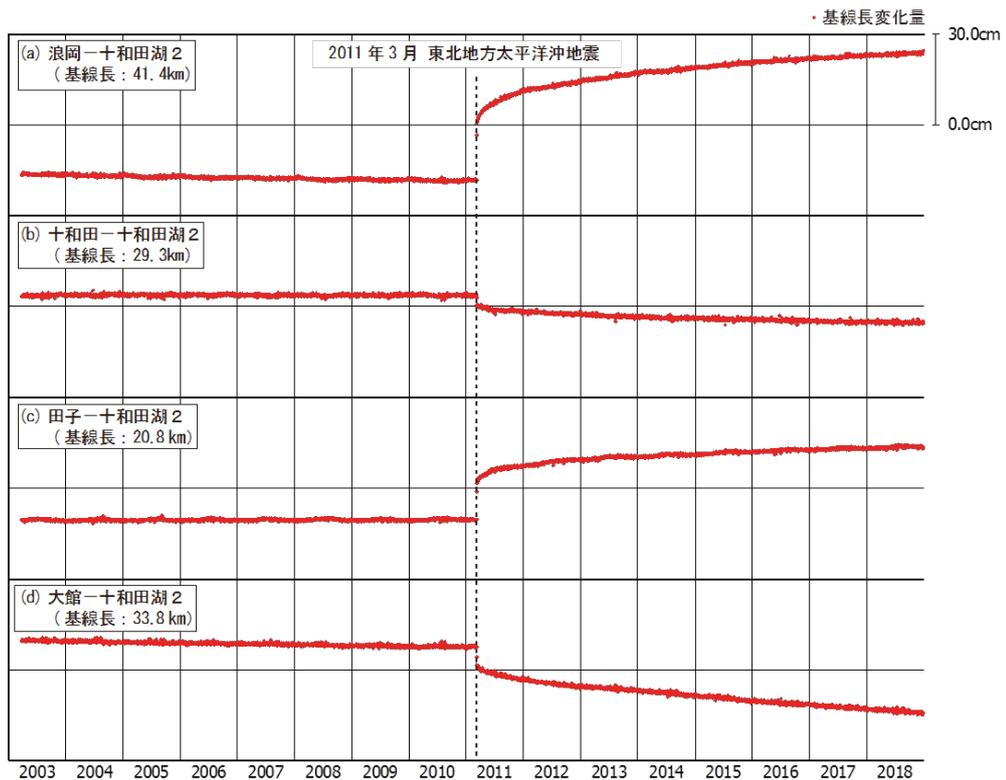
地震活動経過図及び回数積算曲線

気象庁一元化震源カタログ
 地震月報 (カタログ編)⁽²⁰⁾ (期間: 1997年10月~2017年12月)
 気象庁一元化処理震源要素⁽²¹⁾ (期間: 2018年1月~2018年12月)
 に基づき作成

添3-ト第17図 十和田付近における地震活動

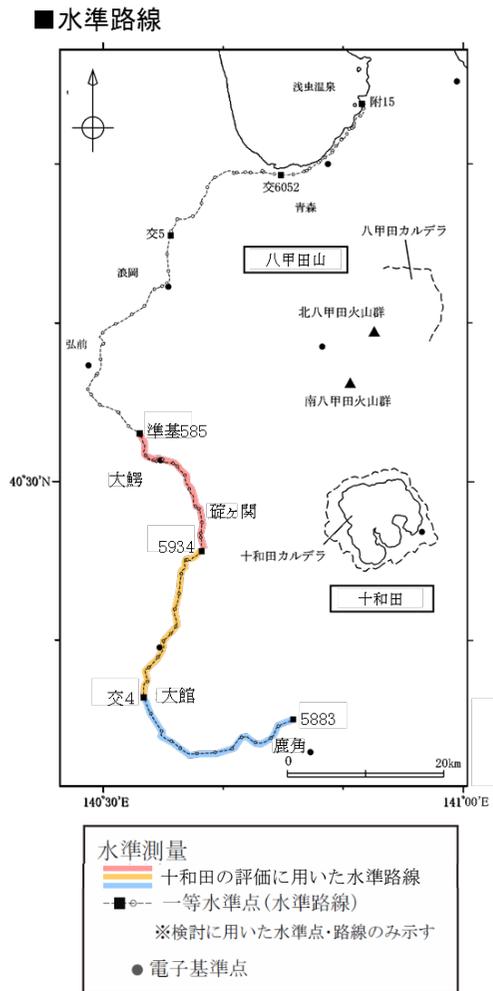


電子基準点及び基線位置図

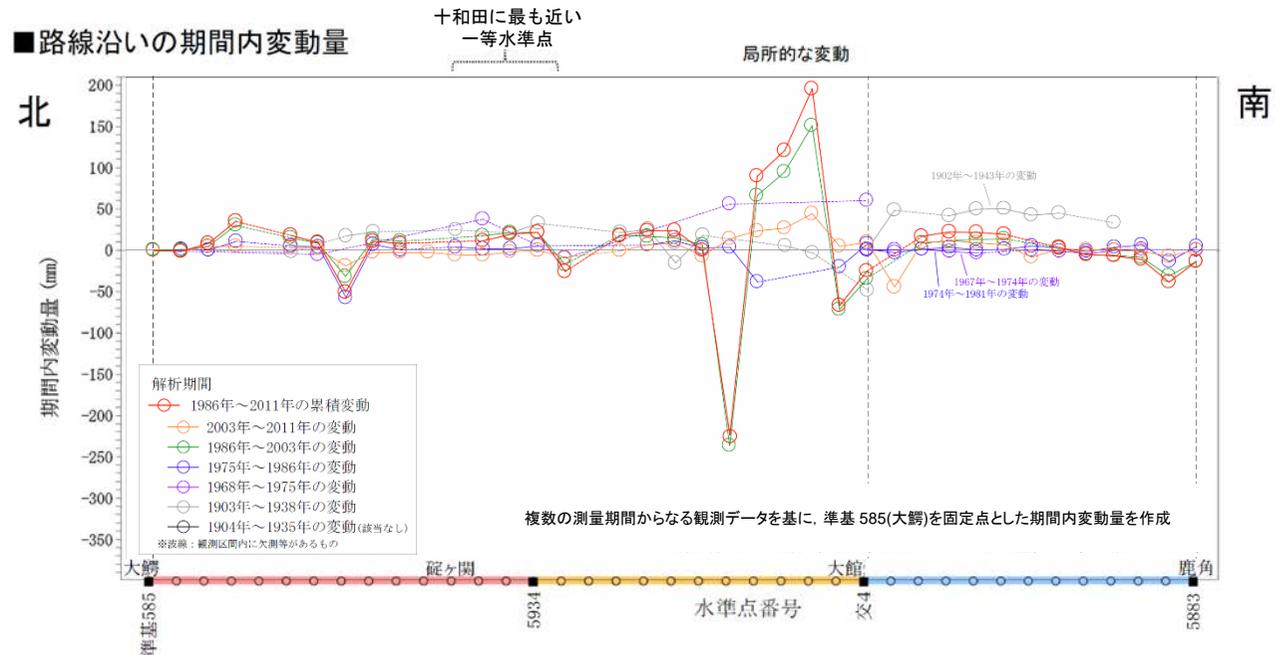


基線長の時間変化

添3-ト第18図 十和田を囲む電子基準点間の
基線長の時間変化 (斜距離成分)
(国土地理院の電子基準点データより作成 (期間: 2003年1月~2018年12月))



■路線沿いの期間内変動量

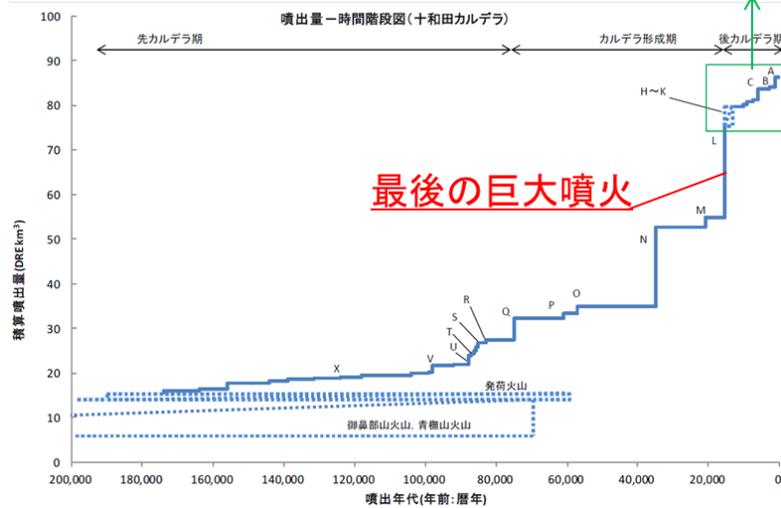
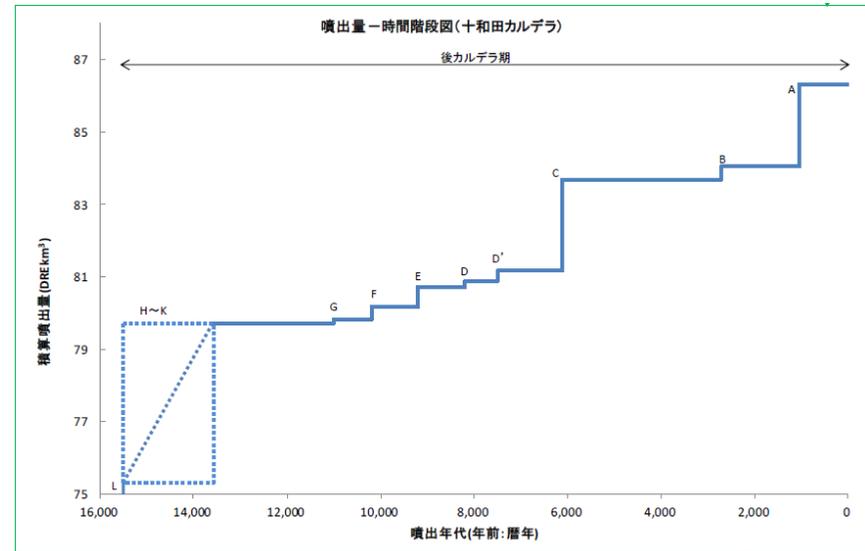


添3-19 十和田付近の一等水準路線の
 上下変動の期間内変動量

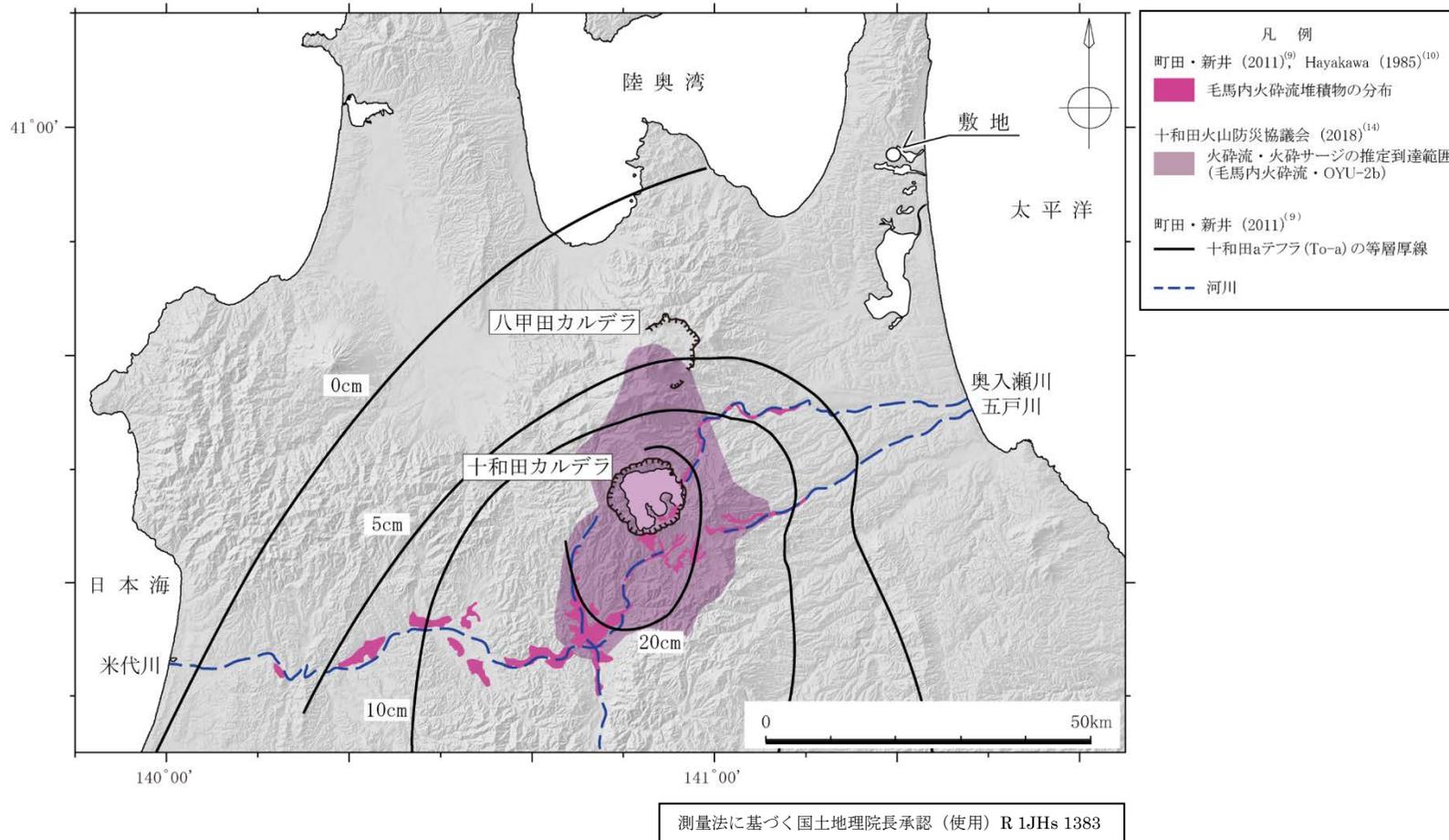
(国土地理院による基盤地図情報及び一等水準点検測成果収録より作成)

活動期	噴火エピソード ⁽¹⁰⁾ (Hayakawa,1985)	噴出物	マグマ種類	噴火様式	体積: km ³ (斜体はDRE 下線は見かけの噴出量)
後カルデラ 成層火山・ 溶岩ドーム (後カルデラ 期)	A	十和田aテフラ			<i>2.27</i> ^{※2} <u>6.51</u> ^{※3}
		毛馬内火砕流	流紋岩～ デイサイト	火砕流	
		大湯3軽石	—	降下軽石	
		大湯2火山灰(OYU-2)	—	降下火山灰, 火砕サージ	
		大湯1軽石	流紋岩	降下軽石	
	B	惣部火山灰	—	降下火山灰	<i>0.35</i> ^{※2} <u>0.84</u> ^{※3}
		迷ヶ平軽石	流紋岩	降下軽石	
	C	宇樽部火山灰	デイサイト	火砕サージ, 降下火山灰	<i>2.52</i> ^{※2} <u>9.18</u> ^{※3}
		金ヶ沢軽石	デイサイト	降下軽石	
		中楸軽石(CU)	安山岩～ デイサイト	プリニー式噴火: 降下軽石	
	D'	御門石溶岩	デイサイト	溶岩ドーム	<i>0.29</i> ^{※2} <u>0.325</u> ^{※3}
		御倉山溶岩	デイサイト	溶岩ドーム	
		戸来火山灰	デイサイト	マグマ水蒸気噴火: 降下火山灰	
	D	中ノ沢火山灰	—	降下火山灰	<i>0.16</i> ^{※2} <u>0.34</u> ^{※3}
		小国軽石	デイサイト	降下軽石, 降下火山灰	
	E	貝守火山灰	—	降下火山灰	<i>0.54</i> ^{※2} <u>2.51</u> ^{※3}
		南部軽石	デイサイト	プリニー式噴火: 降下軽石	
	F	栂山火山灰	安山岩	降下火山灰, スコリア	<i>0.36</i> ^{※2} <u>1.26</u> ^{※3}
		夏坂スコリア	安山岩	降下スコリア	
G	新郷軽石	デイサイト	降下軽石	<i>0.7</i> ^{※2} <u>0.45</u> ^{※3}	
H I J K	五色岩火山, 二の倉テフラ群 (二の倉期後, 中, 前期)	玄武岩質 安山岩	溶岩流, 降下スコリア, 降下火山灰	<i>4.42</i> ^{※2} <u>10.4</u> ^{※3}	

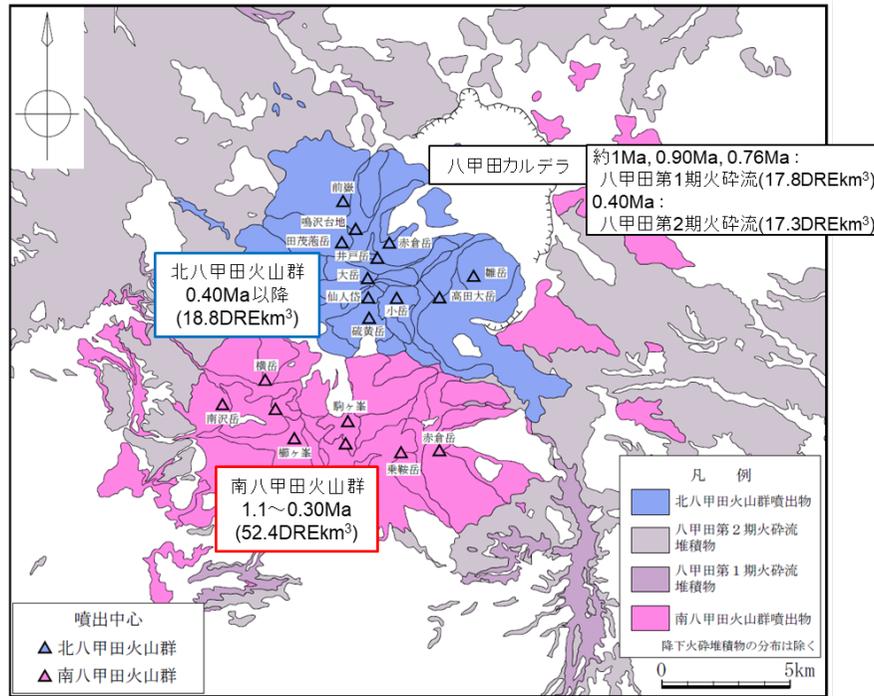
※1: 第四紀火山カタログ委員会編 (1999) ⁽⁹⁾より引用 ※2: 文献中でDRE換算されている値を階段図等から読み取った体積
 ※3: Hayakawa (1985) ⁽¹⁰⁾より引用



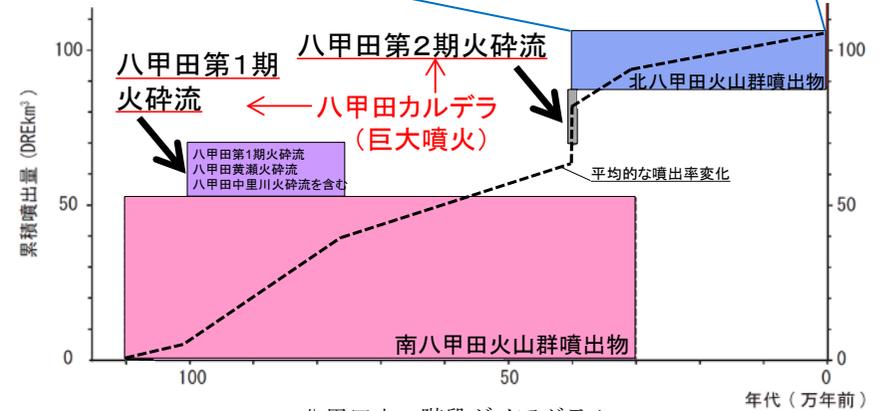
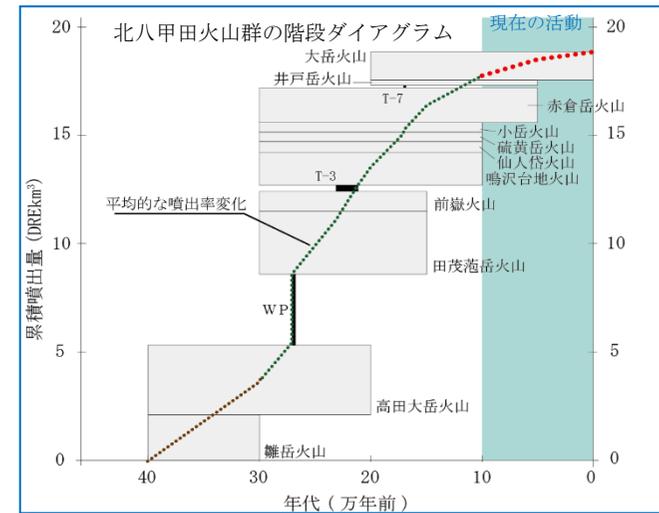
添3-1第20図 十和田の後カルデラ期の階段ダイアグラム
(山元 (2015) ⁽⁸⁾に基づき作成)



添3-ト第21図 十和田毛馬内火砕流堆積物の分布及び十和田-aテフラの等層厚線図
 (十和田火山防災協議会 (2018)⁽¹⁴⁾, 町田・新井 (2011)⁽⁹⁾, Hayakawa (1985)⁽¹⁰⁾に基づき作成)



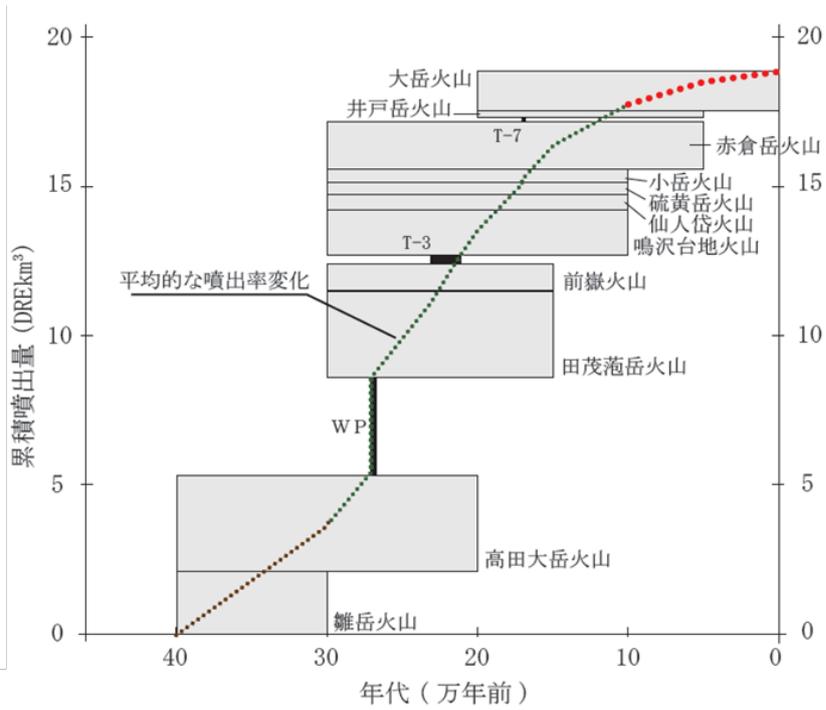
八甲田山の地質図



八甲田山の階段ダイアグラム

添3-1第22図 八甲田山の噴出物の分布と階段ダイアグラム

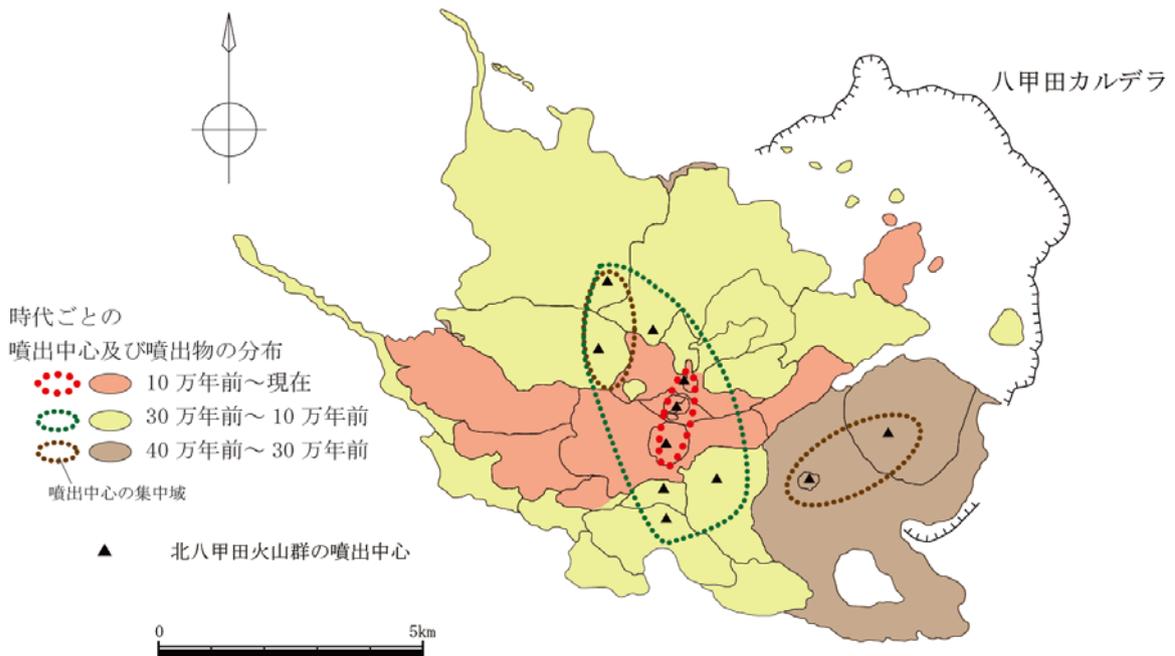
(村岡・高倉 (1988) ⁽²⁸⁾, 宝田・村岡 (2004) ⁽²⁷⁾, 中野ほか編 (2013) ⁽¹⁾, 工藤ほか (2011) ⁽²⁹⁾, Umeda et al. (2013) ⁽⁶²⁾, 工藤ほか (2004) ⁽³⁰⁾に基づき作成)



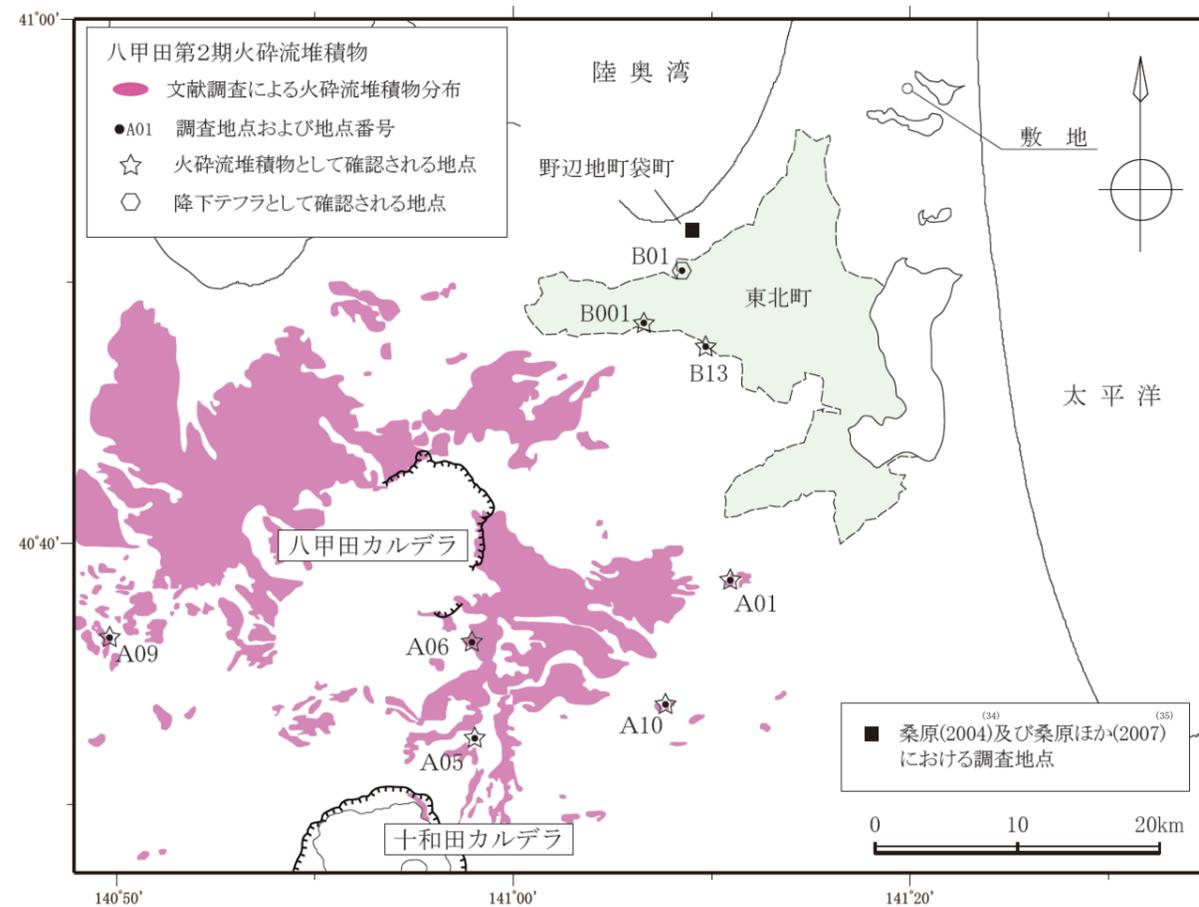
火山体	年代	噴出量	降下火砕物	年代※	噴出量
大岳火山	0.2Ma～現在	1.3DREkm ³	T-7	0.17Ma	0.1DREkm ³
井戸岳火山	0.2Ma～0.1Ma以降	0.25DREkm ³	T-3	0.23Ma～0.21Ma	0.3DREkm ³
赤倉岳火山	0.3Ma～0.1Ma以降	1.6DREkm ³	甲地軽石 (WP)	0.27Ma	3.3DREkm ³
小岳火山	0.3Ma～0.1Ma	0.45DREkm ³			
硫黄岳火山	0.3Ma～0.1Ma	0.43DREkm ³			
仙人岱火山	0.3Ma～0.1Ma	0.51DREkm ³			
鳴沢台地火山	0.3Ma～0.1Ma	1.4DREkm ³			
前嶽火山	0.3Ma～0.15Ma	0.91DREkm ³			
田茂菴岳火山	0.3Ma～0.15Ma	2.9DREkm ³			
高田大岳火山	0.4Ma～0.2Ma	3.2DREkm ³			
雑岳火山	0.4Ma～0.3Ma	2.1DREkm ³			

※北八甲田火山群の噴出物の区分、年代及び噴出量は工藤ほか(2004)に基づく。

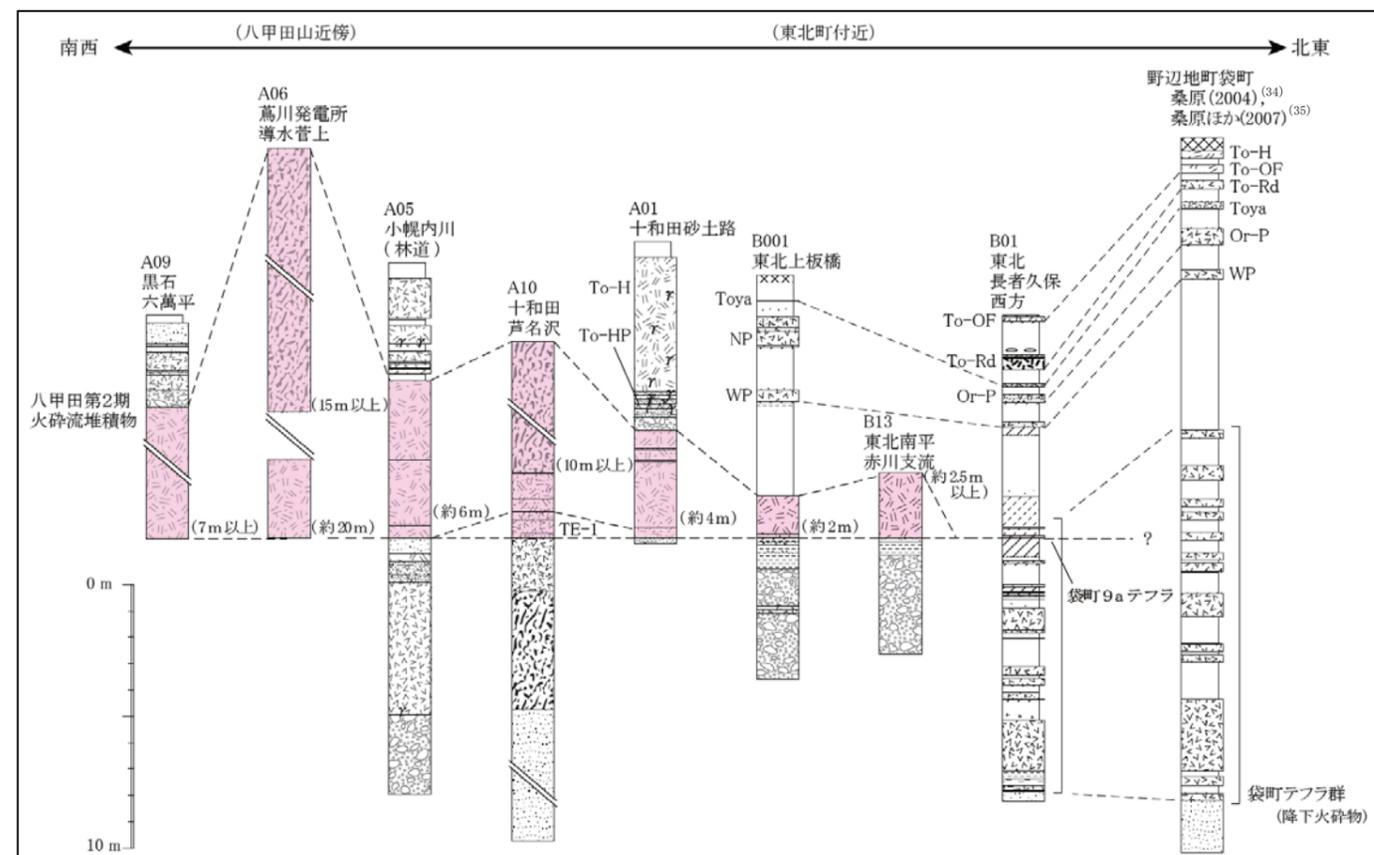
※八甲田第2期火砕流堆積物と洞爺火山灰の年代及び堆積物間の土壌層厚からの推定値



添3-ト第23図 北八甲田火山群の噴出率の時間変化及び噴出中心の時空間分布 (工藤ほか(2004)⁽³⁰⁾に基づき作成)



(村岡・高倉 (1988) ⁽²⁸⁾, 村岡ほか (1991) ⁽⁵⁵⁾, 大沢ほか (1993) ⁽⁵⁶⁾, 青森県史編さん自然部会 (2001) ⁽⁵⁹⁾, 桑原 (2004) ⁽³⁴⁾ 及び桑原ほか (2007) ⁽³⁵⁾ に基づき作成)

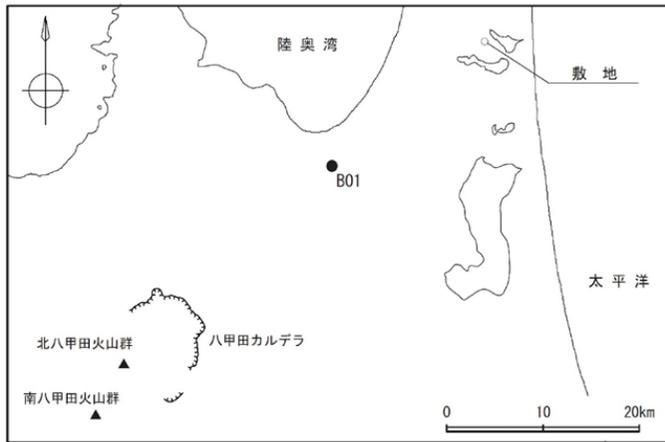


火山噴出物		その他の堆積物など	
細粒火山灰	火山灰互層	八甲田第2期火砕流 (TE-1: 降下テフラ(工藤,2005), 袋町9aテフラを含む)	粘土・シルト
粗粒火山灰	火砕流堆積物 (強～弱溶結)	黒色土壌	砂
軽石	火砕流堆積物 (非溶結)	暗褐色土壌	砂・シルト互層
スコリア		赤褐色土壌	軽石混じり砂
		ローム	砂礫・礫
		腐植	直接観察していない区間

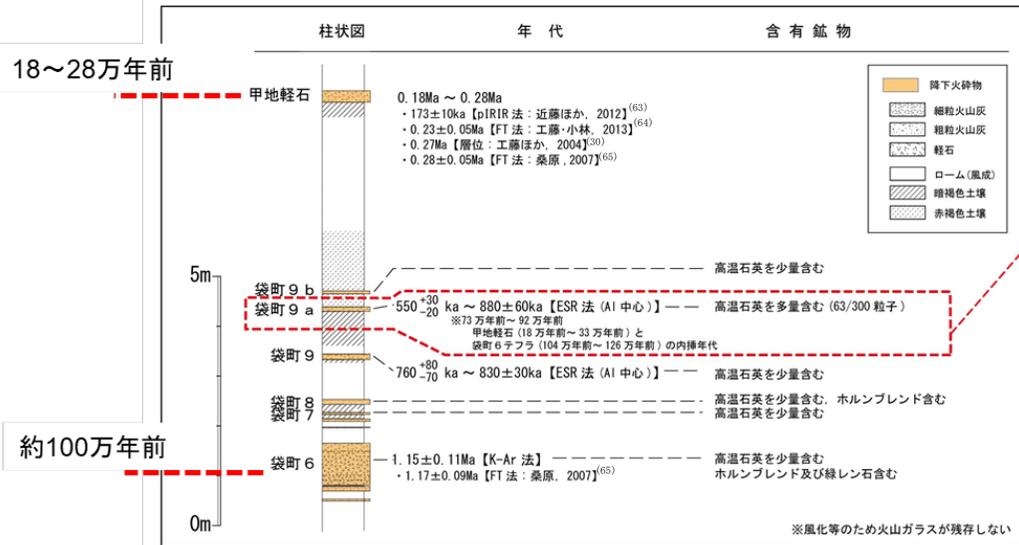
十和田・八甲田山起源		広域火山灰	
To-Cu : 十和田中撤テフラ	B-Tm : 白頭山苦小牧火山灰	Toya : 洞爺火山灰	
To-H : 十和田八戸火砕流			
To-HP : 十和田八戸テフラ			
To-OF : 十和田大不動火砕流			
To-KR : 十和田切田テフラ			
To-Rd : 十和田レッドテフラ			
Or-P : オレンジテフラ			
NP : ヌカミン軽石 (Or-Pを含む可能性)			
WP : 甲地軽石			

添3-ト第24図 八甲田第2期火砕流堆積物に着目した地質柱状図

【東北町の露頭：B01 地点】



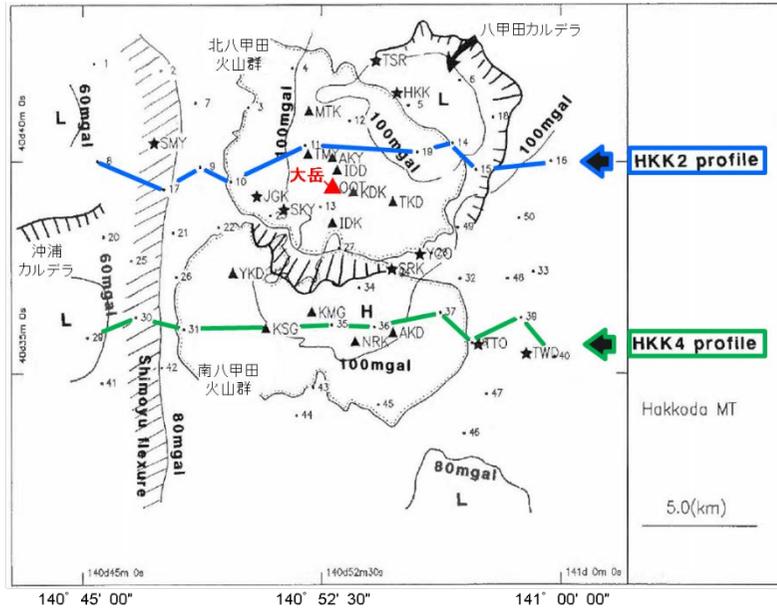
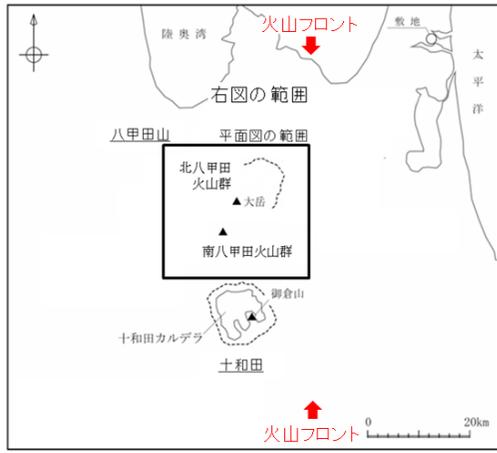
露頭写真



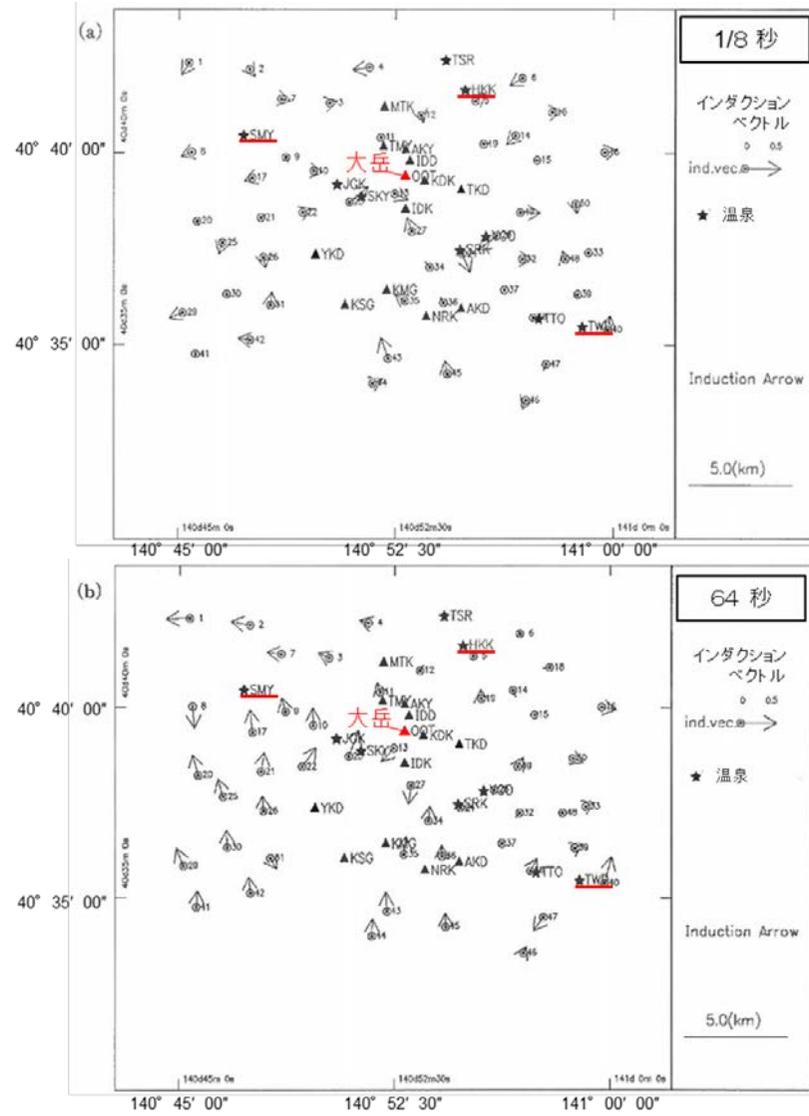
八甲田山周辺に分布する主な堆積物	年代	含有鉱物
八甲田第2期	約40万年前	高温石英を多量含む。 高温石英を多量含む。
八甲田第1期	約76万年前	高温石英、カミングトン閃石を少量含む 高温石英含む。
八甲田黄瀬	約90万年前	(高温石英含まない)
黄瀬川	78万年前～99万年前	高温石英を少量含む
八甲田中里川	約100万年前	高温石英含む

宝田・村岡 (2004)⁽²⁷⁾、工藤ほか (2006)⁽³²⁾ 等に基づき作成

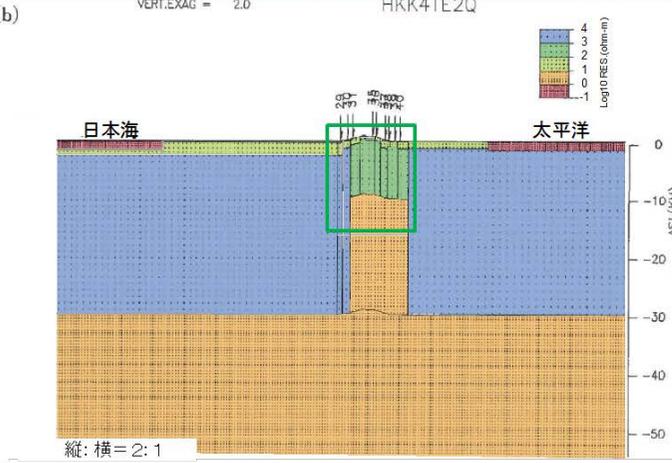
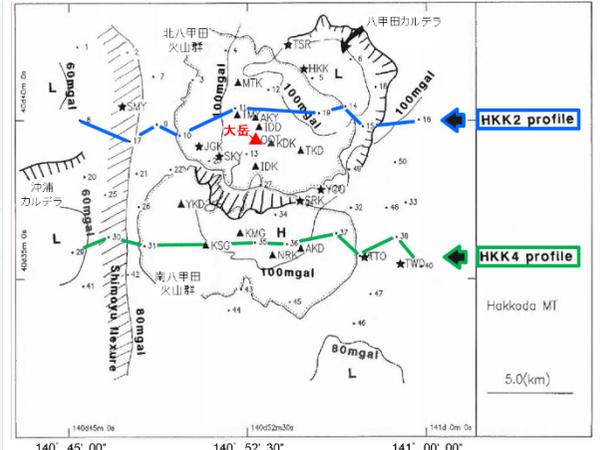
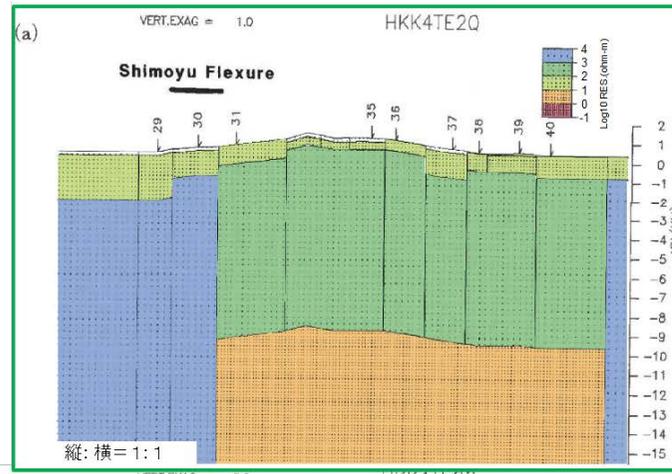
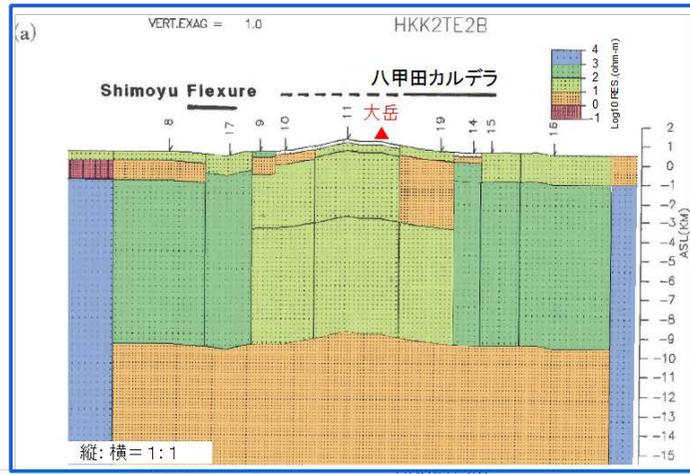
添3-1第25図 L o c . B01 における八甲田カルデラの噴出物に着目した地質柱状図等



八甲田山のMT法測点の分布



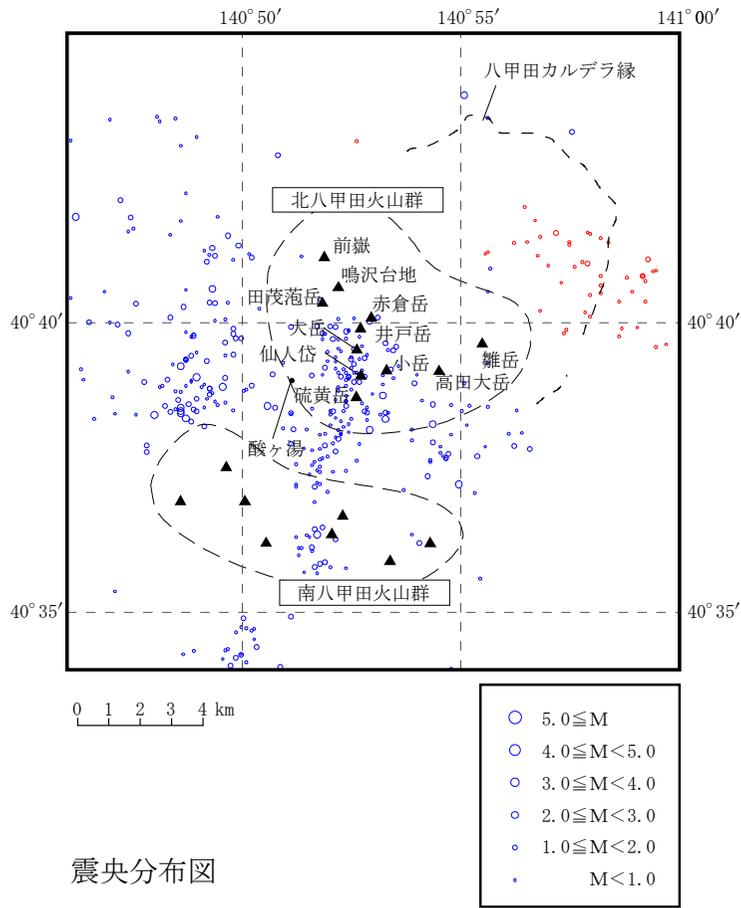
添3-181 第26図 八甲田山におけるインダクションベクトルの実部の分布 (小川 (1991) ⁽³⁶⁾ に加筆)



北八甲田火山群と八甲田カルデラを切る測線 (HKK 2)

南八甲田火山群を切る測線 (HKK 4)

添 3-ト 第 27 図 八甲田山の比抵抗構造
(小川 (1991) ⁽³⁶⁾ に加筆及び塗色)

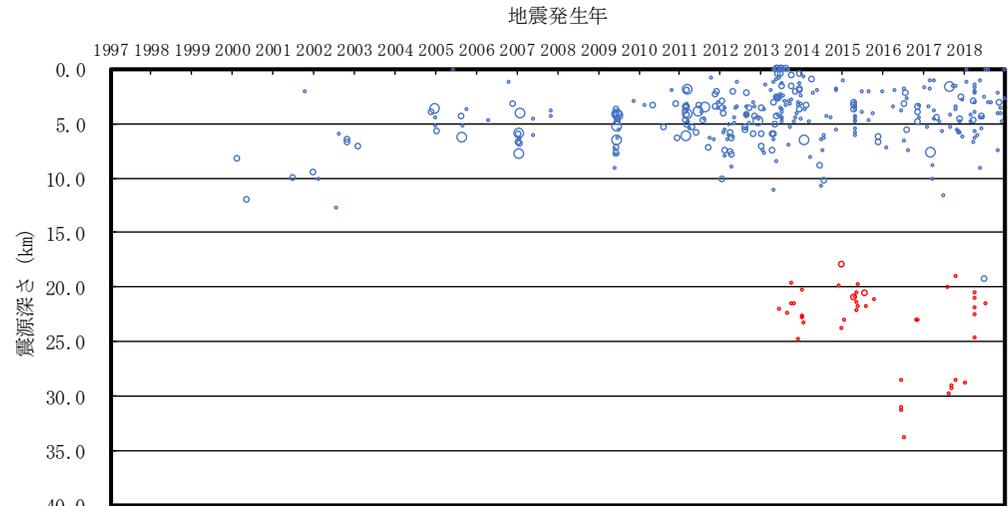


震央分布図

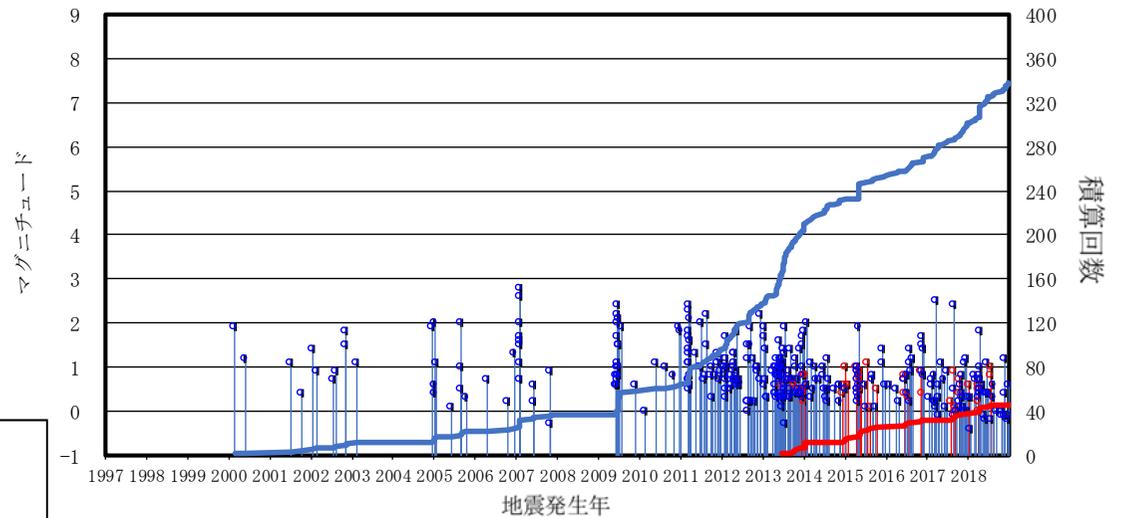
気象庁一元化震源カタログ

地震月報 (カタログ編)⁽²⁰⁾ (期間: 1997年10月~2017年12月)

気象庁一元化処理震源要素⁽²¹⁾ (期間: 2018年1月~2018年12月)
に基づき作成

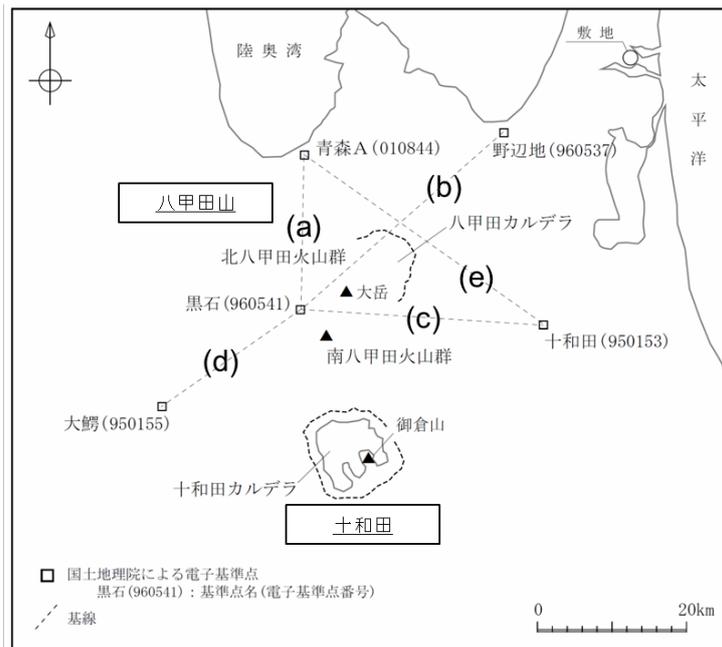


震源深さの時間変化図

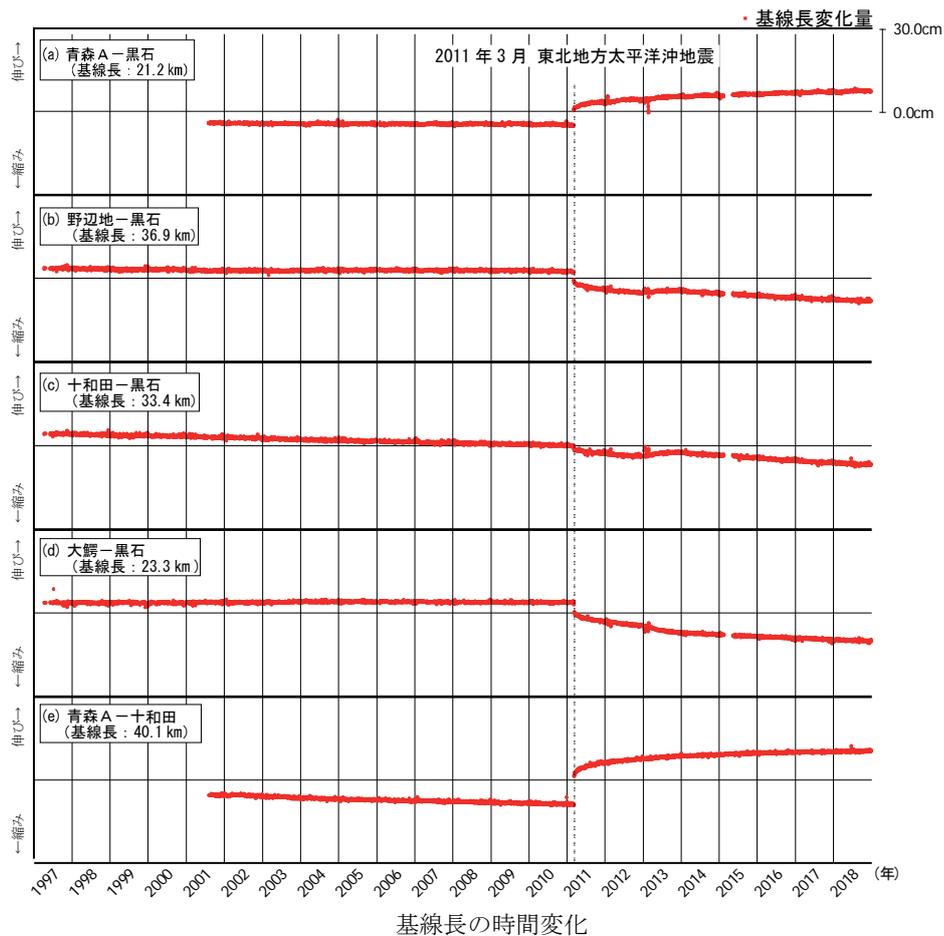


地震活動経過図及び回数積算曲線

添3-ト第28図 八甲田山付近における地震活動



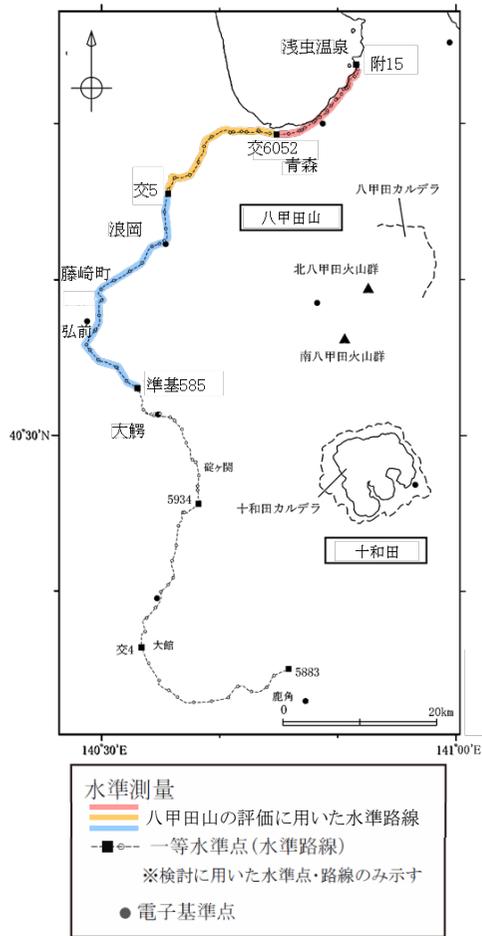
電子基準点及び基線位置図



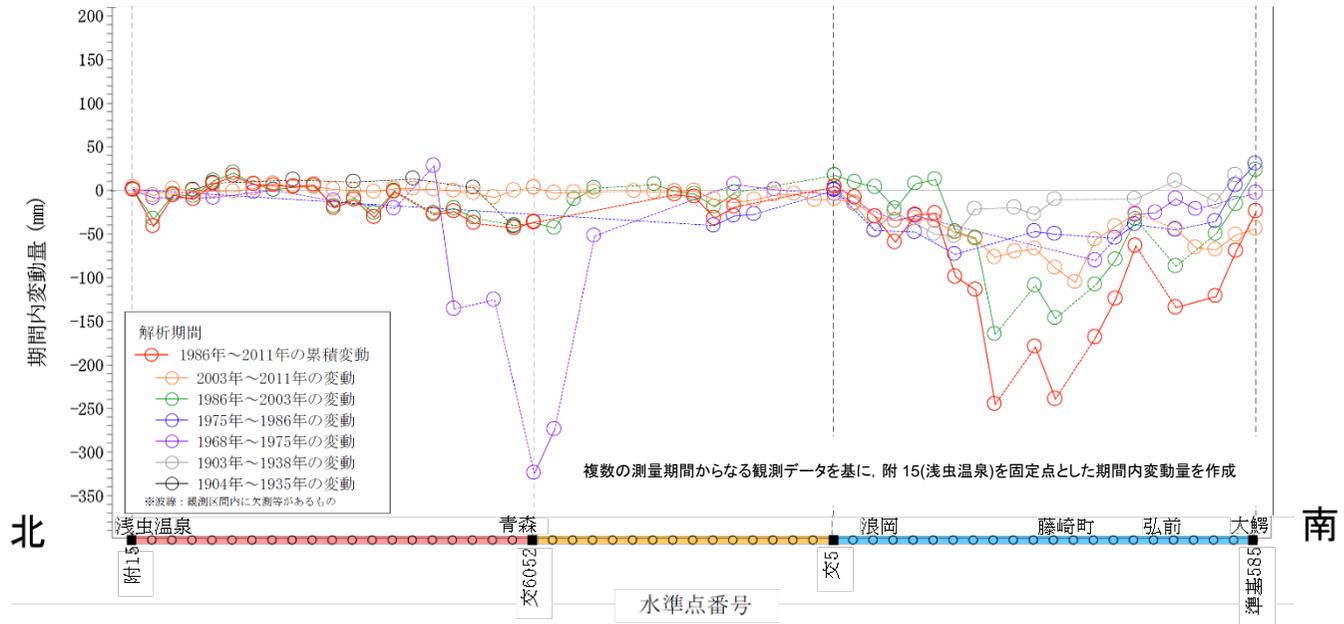
添3-ト第29図 八甲田山を囲む電子基準点間の
基線長の時間変化 (斜距離成分)

(国土地理院の電子基準点データより作成 (期間: 1997年1月~2018年12月))

■水準路線



■路線沿いの期間内変動量



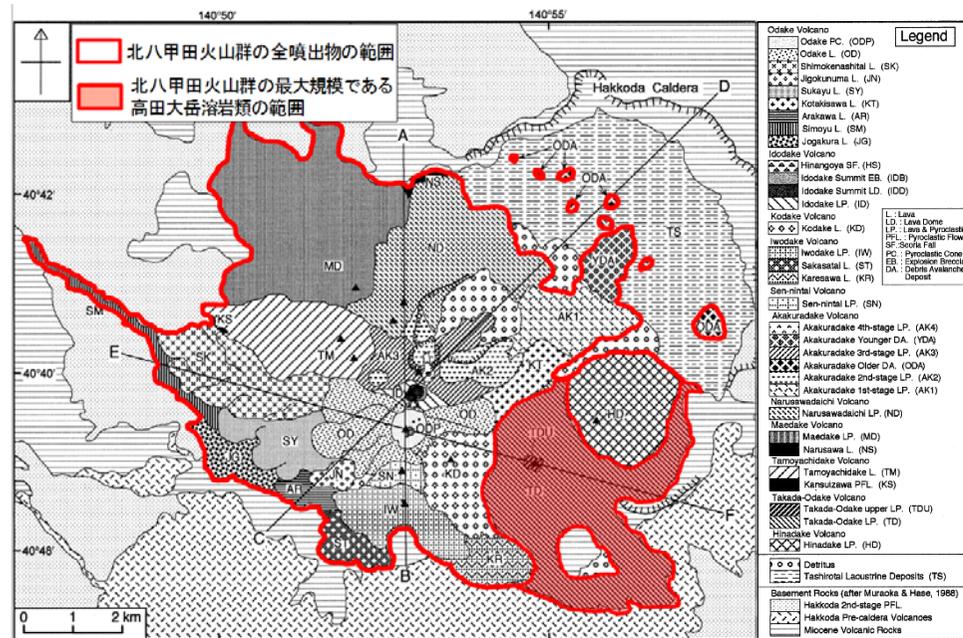
添3-1第30図 八甲田山付近の一等水準路線の
 上下変動の期間内変動量

(国土地理院による基盤地図情報及び一等水準点検測成果収録より作成)

Volcano	Geological Unit* Abbreviation	Volume** (DRE, km ³)
Odake	ODP Odake PC.	0.01
	OD Odake L.	0.18
	SK Shimokenashitai L.	0.27
	JN Jigokunuma L.	0.02
	SY Sukayu L.	0.22
	KT Kotakisawa L.	0.09
	SM Shimoyu L.	0.17
	AR Arakawa L.	0.11
JG Jougakura L.	0.19	
	Total	1.3
Idodake	HS Hinangoya SF.	0.001
	IDE Idodake Summit EB.	0.001
	IDD Idodake Summit LD.	0.004
	ID Idodake LP.	0.25
	Total	0.25
Kodake	KD Kodake L.	0.45
Iwodake	IW Iwodake LP.	0.23
	ST Sakasatai L.	0.11
	KZ Kozawa L.	0.09
		Total
Sen-nintai	SN Sen-nintai LP.	0.51
Akakuradake	AK4 Akakuradake 4th-stage LP.	0.002
	AK3 Akakuradake 3rd-stage LP.	0.11 (0.02)
	AK2 Akakuradake 2nd-stage LP.	0.79 (0.23)
	AK1 Akakuradake 1st-stage LP.	0.39 (0.08)
		Total
Narusawadaichi	ND Narusawadaichi LP.	1.3 (0.09)
	Total	1.4
Maedake	MD Maedake LP.	0.88
	NS Narusawa L.	0.03
		Total
Tamoyachidake	TM Tamoyachidake L.	2.9
	KS Kansuizawa PFL.	0.02
		Total
Takada-Odake	TDU Takada-Odake upper LP.	0.003
	TD Takada-Odake LP.	3.2
		Total
Hinadake	HD Hinadake LP.	2.1
Debris	YDA Akakuradake Younger DA.	0.03
Avalanche	ODA Akakuradake Older DA.	0.40
	Total	15

北八甲田火山群起源の噴出物

添3-ト第31図



北八甲田火山群起源の設計対応不可能な火山事象の分布 (赤線内)

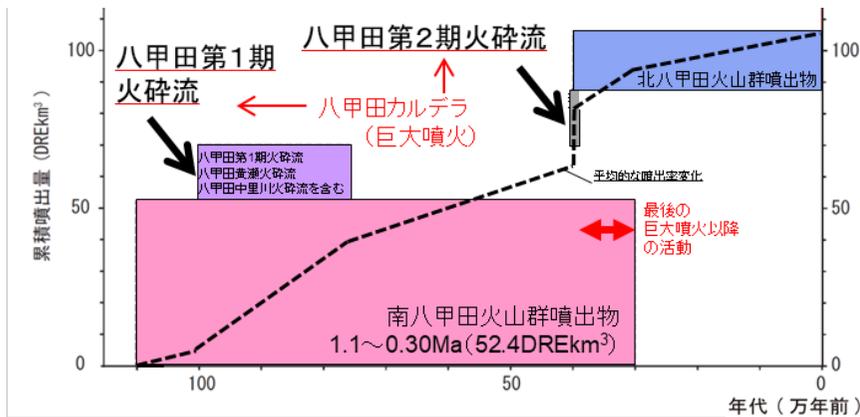
北八甲田火山群起源の設計対応不可能な火山事象の分布 (工藤ほか (2004) ⁽³⁰⁾ に加筆)

南八甲田火山群起源の火山噴出物

噴出物	噴火様式	年代	体積
駒ヶ峯溶岩, 駒ヶ峯火砕岩	溶岩流, 溶岩ドーム, 火砕岩	0.3Ma	52.4 km ³ (DRE)
黄金平溶岩	溶岩流	0.3Ma	
南八甲田第3ステージ溶岩・火砕岩	成層火山体: 溶岩流, 火砕岩	0.5Ma~0.3Ma	
葛川火砕堆積物	降下火砕物, 火砕流	0.65Ma~0.35Ma	
南八甲田第2ステージ溶岩・火砕岩	成層火山体: 溶岩流, 火砕岩	0.8Ma~0.6Ma	
黄瀬川火砕流	火砕流	1.0Ma~0.8Ma	
南八甲田第1ステージ溶岩・火砕岩	成層火山体: 溶岩流, 火砕岩	1.1Ma~0.8Ma	

最後の
巨大噴火以降
の活動

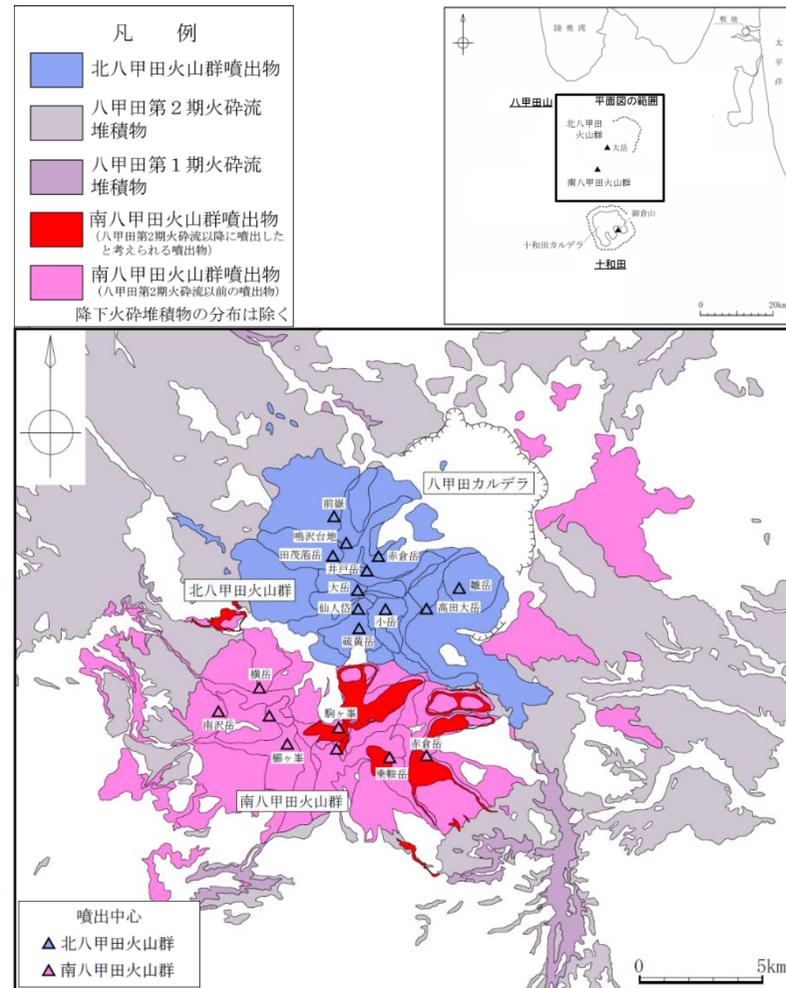
宝田・村岡 (2004)⁽²⁷⁾, Umeda et al. (2013)⁽⁶²⁾に基づき作成。
なお、葛川火砕堆積物は八甲田第2期火砕流(0.4Ma)よりも下位層準である。



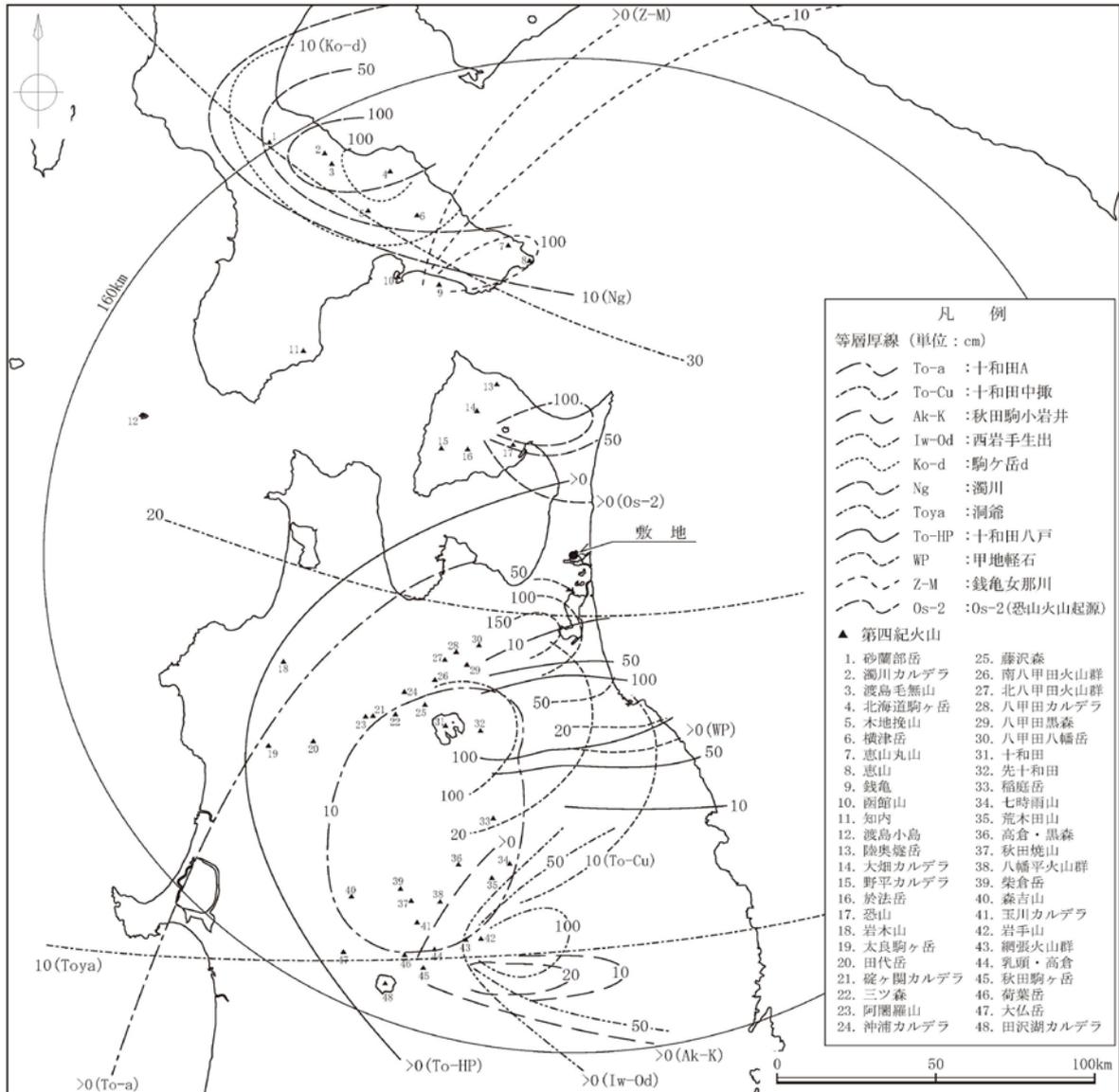
年代は中野ほか編 (2013)⁽¹⁾, 噴出量はUmeda et al. (2013)⁽⁶²⁾, 工藤ほか (2004)⁽³⁰⁾及び工藤ほか (2011)⁽²⁹⁾に基づく

八甲田山の階段ダイアグラム

添3-1-87 南八甲田火山群起源の設計対応不可能な火山事象の分布

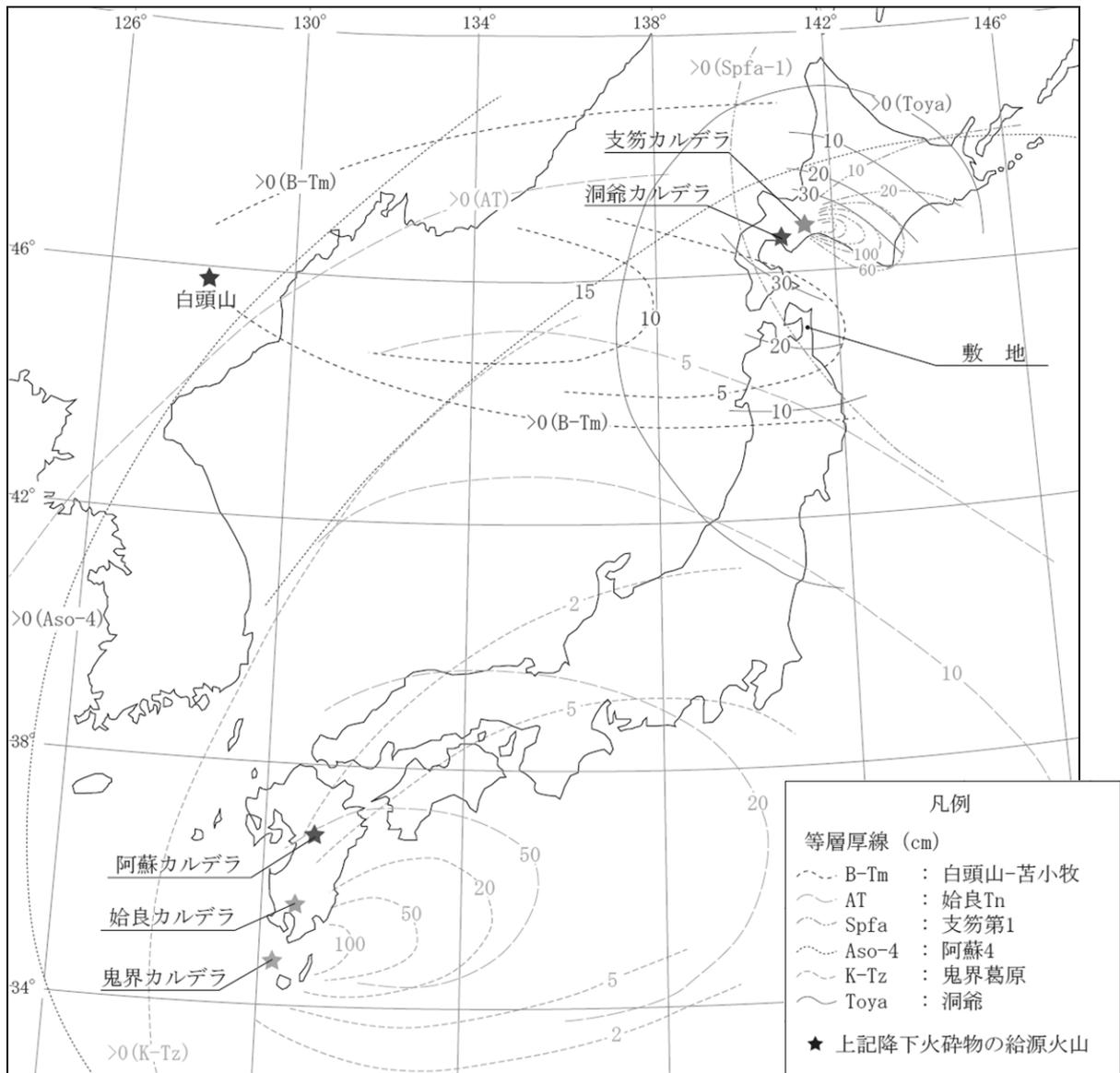


八甲田山起源の火山噴出物の分布



(第四紀火山の位置及び名称は、中野ほか編 (2013) ⁽¹⁾に基づき作成)
 (降下火砕物の名称及び等層厚線は、町田・新井 (2011) ⁽⁹⁾, 工藤ほか (2004) ⁽³⁰⁾及びリサイクル燃料貯蔵株式会社 (2007) ⁽⁶⁶⁾に基づき作成)

添3-ト第33図 地理的領域内の第四紀火山起源の主な降下火砕物の分布
 (敷地及び敷地近傍に分布する主な降下火砕物については地理的領域外のものも併せて示す)



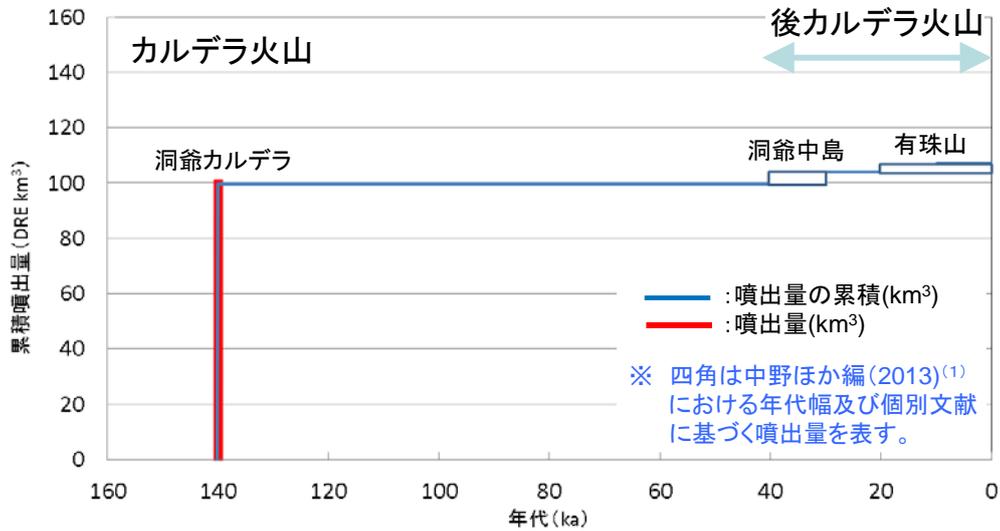
(町田・新井 (2011) ⁽⁹⁾に基づき作成)

添3-ト第34図 地理的領域外の第四紀火山起源の主な降下火砕物の分布 (敷地及び敷地近傍に分布する主な降下火砕物)

洞爺カルデラ・洞爺中島・有珠山の活動履歴

年代 (ka)	活動期, 火山名	主要噴出物名	噴出量 (DRE km ³)	参考文献
AD.2000	後カルデラ火山	有珠山	2000年噴火 1663年噴火(Us-b) 有珠外輪山溶岩 等	中野ほか編(2013) ⁽¹⁾ 町田・新井(2011) ⁽⁹⁾ 曾屋ほか(2007) ⁽⁶⁷⁾ 中川ほか(2005) ⁽⁶⁸⁾ 第四紀火山カタログ委員会編(1999) ⁽⁵⁾
20ka 30ka 40ka		洞爺中島	中島火山噴出物	
140ka	カルデラ火山	洞爺カルデラ	洞爺火砕流 洞爺火山灰 [※]	

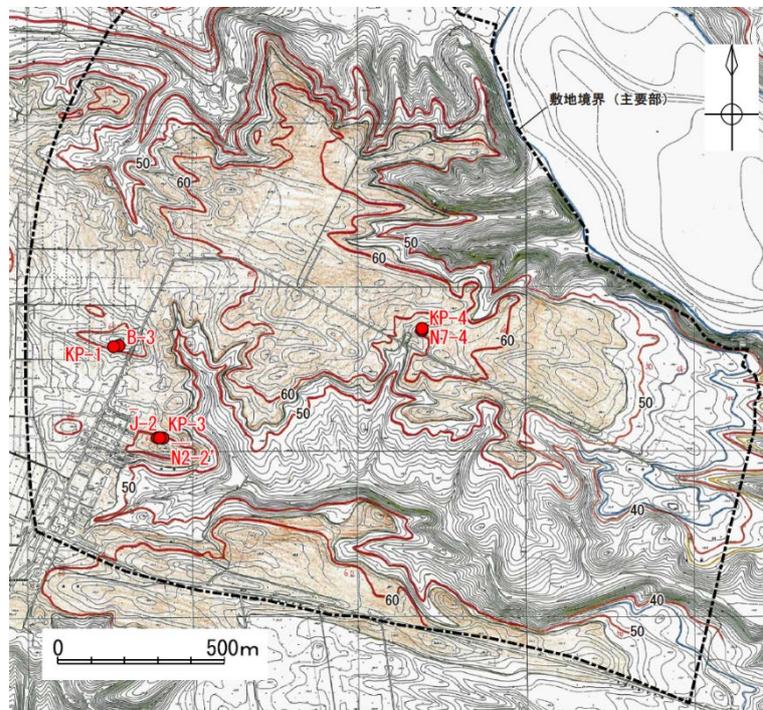
※町田・新井(2011)⁽⁹⁾によると、
11.2~11.5万年前に噴出したテフラとしている。



添 3 - ト 第 35 図 洞爺カルデラの階段ダイアグラム

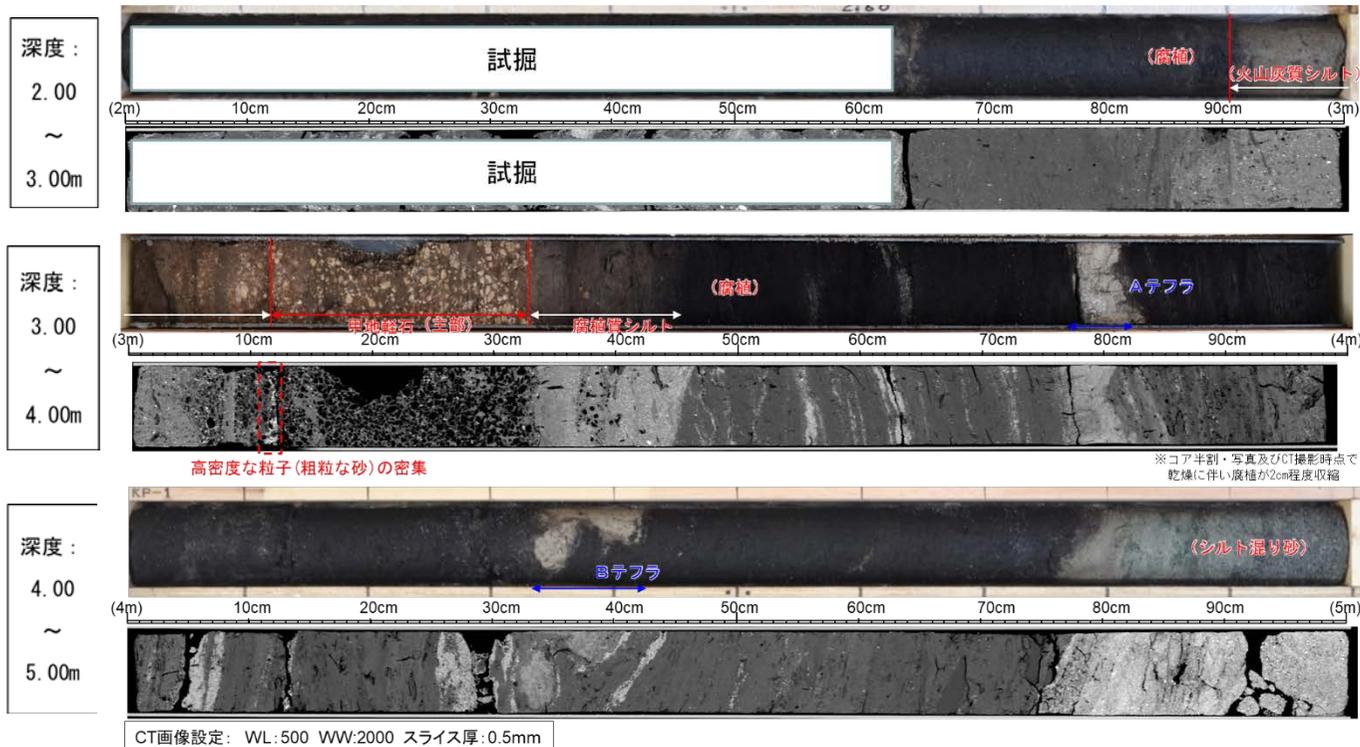
敷地内で確認した甲地軽石の層厚

ボーリング 孔名	層厚	確認深度 (確認標高)	備考
KP-1 孔	43cm	2.90m～3.33m (50.46m～50.89m)	・火山灰質シルト（甲地軽石の再堆積含む）22cm ・甲地軽石（主部）21cm
B-3 孔	37cm	8.57m～8.94m (50.98m～51.35m)	・火山灰質シルト（甲地軽石の再堆積含む）5cm ・甲地軽石（主部）32cm
KP-3 孔	—	—	シルト質砂層中に散在（深度：3.50m～3.72m， 標高：51.53m～51.75m）するため層厚評価不適
N2-2' 孔	—	—	砂層中に散在（深度：3.90m～3.92m， 標高：51.60m～51.62m）するため層厚評価不適
J-2 孔	10cm	3.60m～3.70m (51.48m～51.58m)	
KP-4 孔	17cm	2.21m～2.38m (53.06m～53.23m)	
N7-4 孔	16cm	7.50m～7.66m (53.37m～53.53m)	



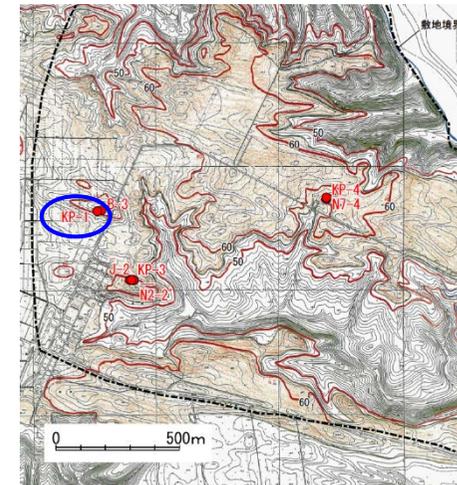
甲地軽石を確認した敷地内ボーリング調査位置図

添3-ト第36図 甲地軽石に着目した地質調査結果



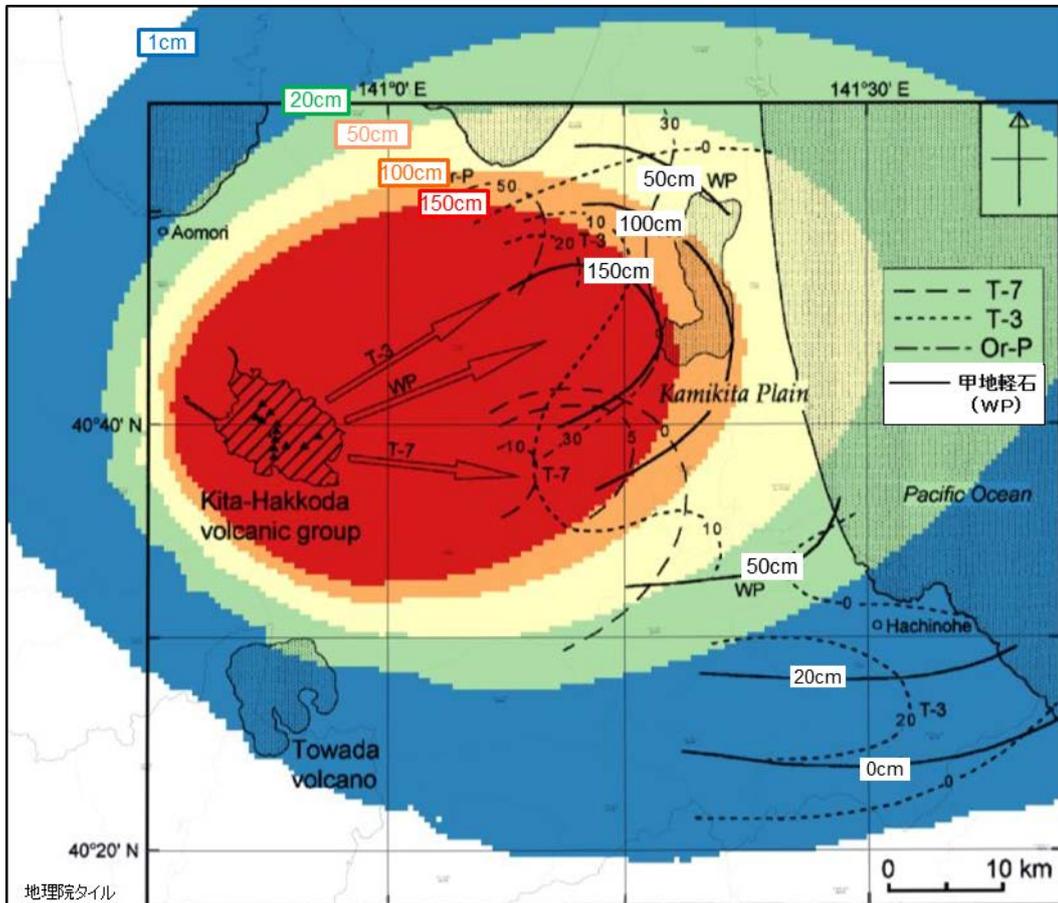
KP-1 孔の各深度のコア写真（上）とCT画像（下）

- 深度 2.90m～3.12m（層厚 22cm）：再堆積層
火山灰質シルトからなる。
下部 5 cm に軽石が散在し、基底部に粗粒砂が密集する。
- 深度 3.12m～3.33m（層厚 21cm）：甲地軽石（主部）
灰白色の軽石からなる。有色鉱物を多く含まない。
軽石は歪角～歪円形で、指圧で潰れる程度に風化をうける。軽石の間隙はシルトで充填される。



敷地内のボーリング位置図

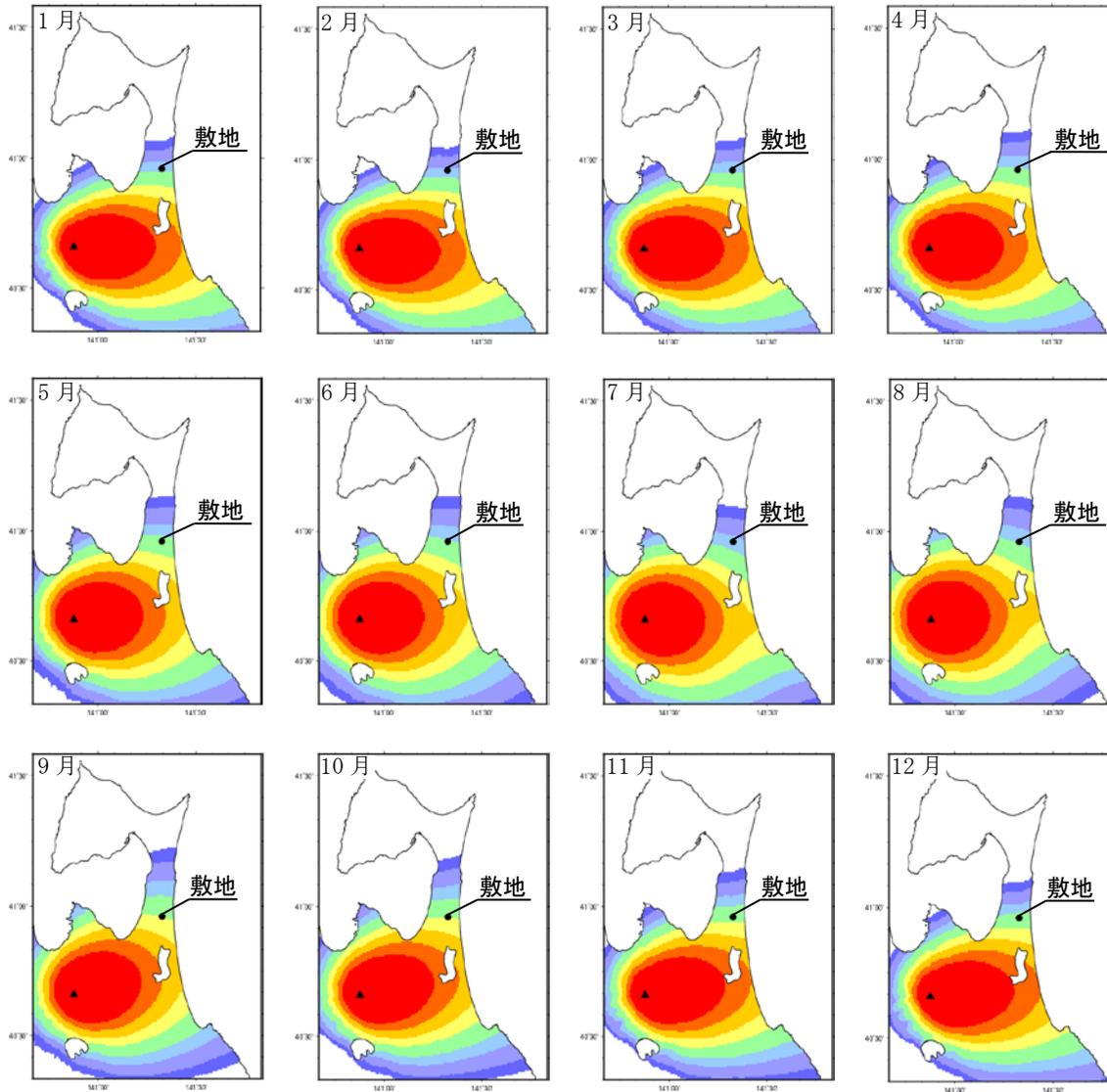
添3-1-92第37図 再堆積を含む甲地軽石の層厚が最大であるKP-1 孔のボーリングコア写真とCT画像



層厚 (cm)	
●	1cm ~ 20cm
●	20cm ~ 50cm
●	50cm ~ 100cm
●	100cm ~ 150cm
●	150cm ~

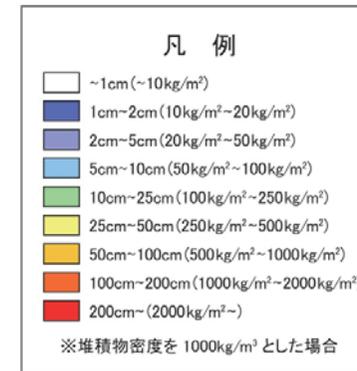
※工藤ほか (2004) ⁽³⁰⁾ の等層厚線に当社の解析結果等を重ね合わせて作成

添 3 - ト 第 38 図 再現解析における最も再現性が良い解析結果

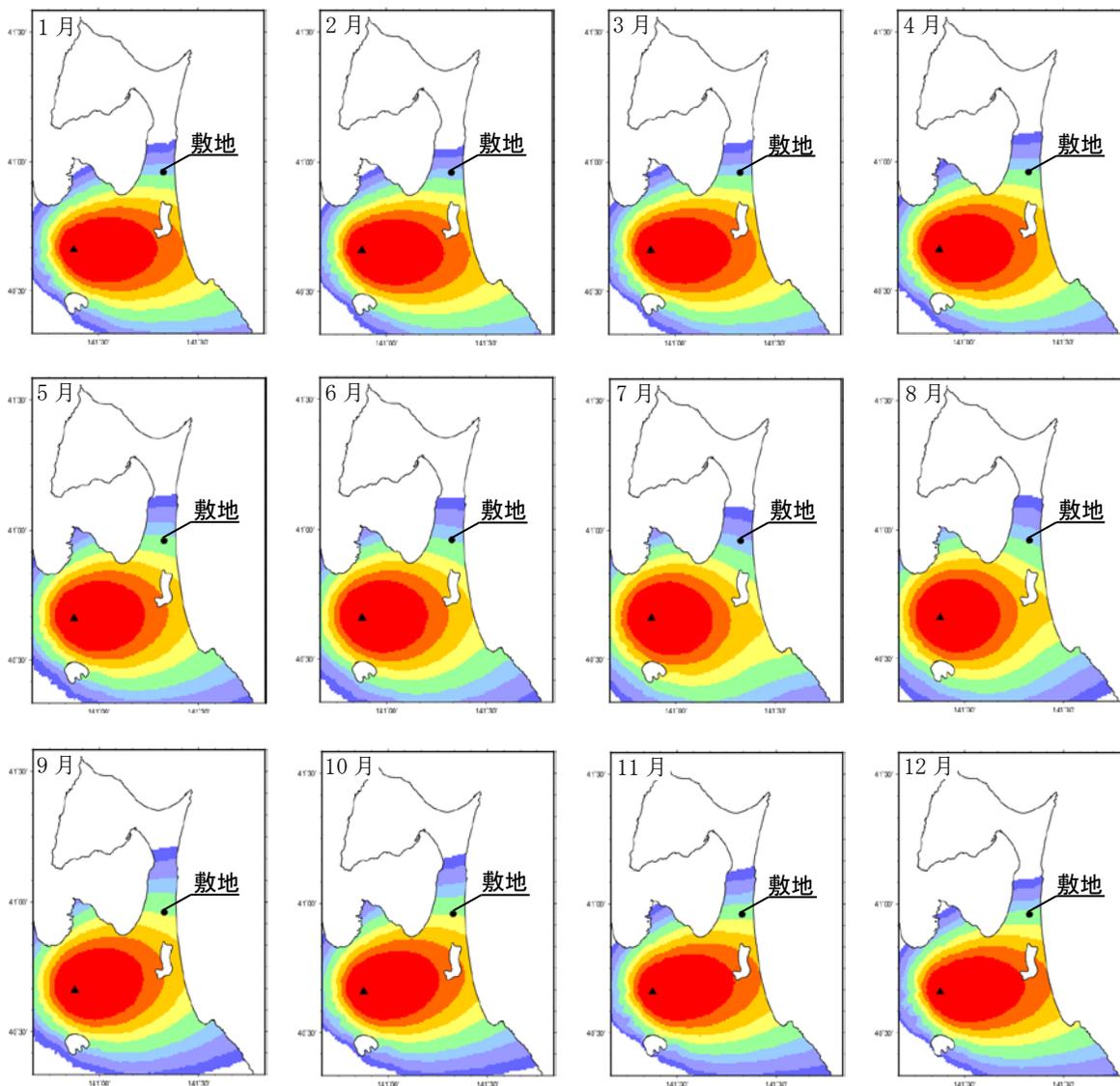


	質量 (kg/m ²)	層厚 (cm)
1月	8.4×10^1	8.4×10^0
2月	6.1×10^1	6.1×10^0
3月	8.8×10^1	8.8×10^0
4月	1.1×10^2	1.1×10^1
5月	1.3×10^2	1.3×10^1
6月	1.1×10^2	1.1×10^1
7月	6.7×10^1	6.7×10^0
8月	9.3×10^1	9.3×10^0
9月	2.5×10^2	2.5×10^1
10月	2.5×10^2	2.5×10^1
11月	1.9×10^2	1.9×10^1
12月	1.3×10^2	1.3×10^1

月別平年値（9時）の風の際の敷地での層厚（1981～2010年）

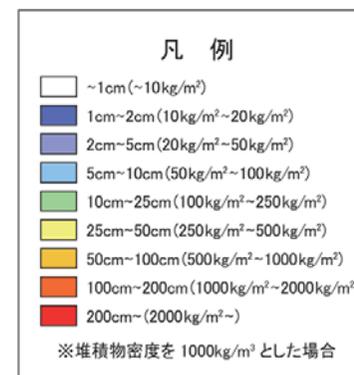


添3-ト第39図(1) 降下火砕物シミュレーションの解析結果（月別平年値の風：9時）

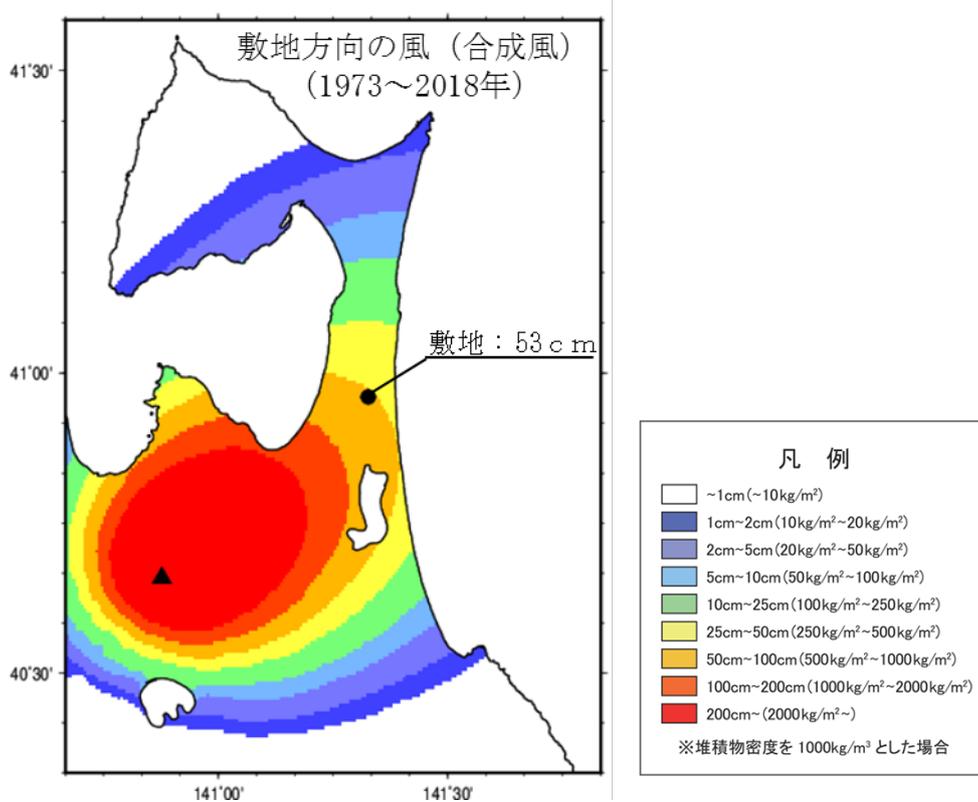


	質量 (kg/m ²)	層厚 (cm)
1月	8.9×10^1	8.9×10^0
2月	6.5×10^1	6.5×10^0
3月	8.6×10^1	8.6×10^0
4月	1.1×10^2	1.1×10^1
5月	1.3×10^2	1.3×10^1
6月	9.9×10^1	9.9×10^0
7月	6.0×10^1	6.0×10^0
8月	9.0×10^1	9.0×10^0
9月	2.3×10^2	2.3×10^1
10月	2.4×10^2	2.4×10^1
11月	1.8×10^2	1.8×10^1
12月	1.3×10^2	1.3×10^1

月別平年値 (21 時) の風の際の敷地での層厚 (1981~2010 年)



添3-ト第39図(2) 降下火砕物シミュレーションの解析結果 (月別平年値の風: 21時)



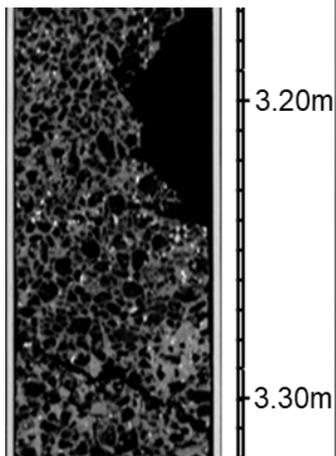
添3-ト第40図 降下火砕物シミュレーションの解析結果
（風向の不確かさの考慮）

甲地軽石の密度試験結果

試料名		試料1	試料2	試料3	平均
乾燥密度	g/cm ³	0.36	0.50	0.42	0.43
湿潤密度	g/cm ³	1.14	1.20	1.14	1.16
飽和密度	g/cm ³	1.21	1.30	1.25	1.25

KP-1孔（本孔）の
甲地軽石（主部）
のCT画像

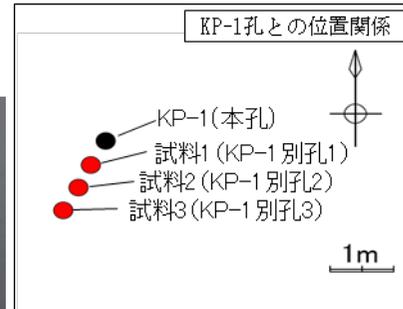
〔添3-1第37図の
CT画像より抜粋〕



CT画像設定:
WL:500 WW:2000
スライス厚:0.5mm



密度試験に用いた供試体の写真



試料採取位置

添3-1第41図 甲地軽石の密度試験結果

チ. 竜巻

基準竜巻及び設計竜巻の設定は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」(平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 13061911 号 原子力規制委員会決定)(以下、「竜巻ガイド」という。)を参考に実施する。

基準竜巻及び設計竜巻の設定は、竜巻検討地域の設定、基準竜巻の最大風速の設定及び設計竜巻の最大風速の設定の流れで実施する。

(イ) 竜巻検討地域の設定

竜巻検討地域の設定は、竜巻ガイドを参考に MOX 燃料加工施設が立地する地域、気象条件の類似性の観点から検討し設定する。

(1) MOX 燃料加工施設が立地する地域の気候

MOX 燃料加工施設が立地する地域は、竜飛岬から奥羽山脈の分水嶺より東側にあり、その地域の気候は、日本海側の気候と太平洋側の気候の両面の特徴を合わせもっている。東北地方を気温、降水及び風により詳細に区分した気候区分を添 3 ー 1 第 1 図に示す⁽¹⁾。これによると、MOX 燃料加工施設が立地する地域は、区分Ⅲ(青森県北部及び東部地域)のうち区分Ⅲb(太平洋側にあるが冬は日本海側の気候型でやませの影響が強い)に属している。

(2) 本施設が立地する地域の竜巻発生の特徴

添 3 ー 1 第 2 図に示すとおり、MOX 燃料加工施設が立地する地域周辺においては、もともと竜巻の発生数は少なく、独立行政法人原子力安全基盤機構が東京工芸大学に委託した研究の成果(以下「東京工芸大学委託成果」という⁽²⁾。)で示されている全国 19 個の竜巻集中地域からも離れている。

竜巻発生時の総観場は、東京工芸大学委託成果⁽²⁾を参考に、気象庁「竜巻等の突風データベース」の総観場を、竜巻を発生させる親雲

の発生要因を考慮して、7種に再編した総観場を用い、竜巻の発生要因別の地域分布の特徴を把握した。竜巻の発生要因別地域分布を添3-1第3図に、その特徴を添3-1第1表に示す。

立地地域周辺における竜巻の発生状況は、日本海側及び茨城県以西の太平洋側における発生状況とも特徴が異なり、日本海側に特徴的な寒候期の竜巻の発生はほとんどなく、暖候期に竜巻が発生している。また、茨城県以西の太平洋側で特徴的な台風起源の竜巻の発生はなく、太平洋海岸付近及び海上での竜巻の発生はほとんどない。

(3) 竜巻検討地域

竜巻検討地域の設定は、竜巻ガイドを参考に、MOX燃料加工施設が立地する地域の気候及び竜巻発生観点での特徴を踏まえて実施する。当該地域は、もともと竜巻の発生数が少ないため、以下の①から④に示す条件を考慮して、青森県から岩手県の太平洋側（竜飛岬から御崎岬）及び北海道地方の南側（白神岬から襟裳岬）の海岸線に沿った海側5km及び陸側10kmの範囲を竜巻検討地域に設定する（面積約18000km²）。添3-1第4図に竜巻検討地域を示す。

- ① 立地地域の気候及び竜巻発生観点での特徴を踏まえ、青森県（竜飛岬より太平洋側）から岩手県を基本とする。
- ② IAEAの基準⁽³⁾を参考に、MOX燃料加工施設を中心とする100000km²（半径約180km）の範囲を目安とし、その範囲に掛かる北海道南西部は、立地地域と同じ太平洋側に面していることを考慮して、竜巻検討地域に含める。
- ③ 竜巻検討地域は、分水嶺及び関口武による気候区分⁽⁴⁾（1959）を参考に設定する。
- ④ MOX燃料加工施設が海岸線から約5kmの位置に立地しているこ

と及び竜巻の発生がほとんど海岸線付近であることから、海岸線に沿った海側 5 km 及び陸側 10 km の範囲を考える。

ここで、設定した竜巻検討地域の妥当性を確認するために、竜巻検討地域における竜巻の発生要因の出現比率と、日本海側及び太平洋側における出現比率とを比較した結果を添 3 ー ち第 5 図に示す。竜巻検討地域における竜巻の発生要因の出現比率は、日本海側及び太平洋側の出現比率とも傾向が異なっていることが確認できる。

また、藤田スケール 3 以上の竜巻の発生しやすさの地域性の検討として、「突風関連指数」による解析を行う。突風関連指数として、積乱雲を発生させる上昇流の強さの目安である CAPE (Convective Available Potential Energy : 対流有効位置エネルギー) ⁽⁵⁾ 及び積乱雲がスーパーセルに発達しやすいかどうかの指標となる SReH (Storm Relative Helicity : ストームの動きに相対的なヘリシティ) ⁽⁶⁾ を算出する。これらの指数は、竜巻発生環境との関連付けで、国内外で広く利用され知見が蓄積されている。CAPE の概念を添 3 ー ち第 6 図に、SReH の概念を添 3 ー ち第 7 図に示す。

$$\text{CAPE} = \int_{LFC}^{EL} g \frac{\theta'(z) - \theta(z)}{\theta(z)} dz \quad (\text{a})$$

$$\text{SReH} = \int_{\text{地上}}^{\text{高度3km}} (\mathbf{V} - \mathbf{C}) \cdot \boldsymbol{\omega} dz \quad (\text{b})$$

ここで、(a) 式の g は重力加速度、 θ はストーム周囲の温位、 θ' は下層の空気塊を上空に持ち上げた際の温位であり、 dz は鉛直方向の層厚である。LFC は自由対流高度、EL は平衡高度である。(b) 式の \mathbf{V} は水平風速ベクトル、 $\boldsymbol{\omega}$ は鉛直シアに伴う水平渦度、 \mathbf{C} はストームの移動速度である。

各指数の計算は、ヨーロッパ中期予報センター (ECMWF) の再解析

データ ECMWF-Interim (1989 年以降：水平分解能約 70km) 及び ERA40 (1989 年まで：水平分解能約 250km) を基に，水平分解能 5 km，時間分解能 1 時間に解析した気象データセット⁽⁷⁾を用いて，1961 年から 2010 年までの 50 年間について行い，それに基づいて両指数が同時に閾値を超過する頻度を計算する。同時超過頻度の算出に当たっては，竜巻発生時には少なからず降水がもたらされるため，降水量の閾値 (4 mm/h) を設定する。また，CAPE は降水過程により安定化し小さくなり得るため，周辺の CAPE の大きな空気塊が当該メッシュに向かって流入することを考慮した方法⁽⁸⁾を参考に，当該メッシュの風上側半径 25km の扇状範囲内の CAPE の最大値を算出する。

CAPE については，緯度及び季節で絶対値が大きく変動するため，暖候期 (5 月から 10 月) 及び寒候期 (11 月から 4 月) に分けて，それぞれ閾値を設定する。藤田スケール 3 以上の竜巻が発生し得る環境場として以下の閾値を用いる。

[暖候期 (5 月から 10 月)]

CAPE : 1200 J /kg, SReH : 350m²/s²

[寒候期 (11 月から 4 月)]

CAPE : 500 J /kg, SReH : 350m²/s²

暖候期及び寒候期に対する同時超過頻度分布の算出結果を添 3 ー ち第 8 図に示す。暖候期においては，太平洋側及び東シナ海から対馬海峡にかけて比較的大きな値となっている。また，沿岸域では，茨城県東海岸から西の本州太平洋側，九州太平洋側及び東シナ海側で高く，特に宮崎平野沿岸では大きな値となっている。それに比べて，日本海側及び茨城県以北の太平洋側の値は 1 から 2 桁以上小さな値であり，藤田スケール 3 規模の竜巻の発生が未だ確認されていないことと対応

している。

本手法による解析により，藤田スケール3以上の竜巻の発生しやすいの地域性を特定でき，竜巻検討地域において藤田スケール3以上の竜巻は極めて発生しにくいといえる。

(ロ) 基準竜巻の最大風速の設定

基準竜巻の最大風速は、竜巻ガイドを参考に、過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{B1}) 及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2}) のうち、大きい方の風速を設定する。

(1) 過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{B1})

過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{B1}) の設定に当たっては、日本で過去 (1961 年から 2013 年 12 月) に発生した最大の竜巻は藤田スケール 3 であり、藤田スケール 3 における風速は 70m/s から 92 m/s であることから、その最大風速を基に V_{B1} を 92m/s とする。添 3-1 第 2 表に日本で過去に発生した藤田スケール 3 の竜巻一覧を示す。

(2) 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2})

竜巻最大風速のハザード曲線は、竜巻ガイドを参考とした既往の算定方法に基づき、具体的には、東京工芸大学委託成果を参考に算定する。本評価は、竜巻データの分析、竜巻風速、被害幅及び被害長さの確率密度分布の算定、相関係数の算定並びにハザード曲線の算定によって構成される。

① 竜巻の発生頻度の分析

気象庁「竜巻等の突風データベース」に掲載されている竜巻年別発生確認数 (添 3-1 第 9 図) を基に、竜巻検討地域 (海岸線から陸側に 10km, 海側に 5 km の計 15km 幅の範囲) における 1961 年から 2013 年 12 月までの 53 年間の統計量を藤田スケール別に算出する。また、観測体制の変遷による観測データ品質のばらつきを踏まえ、以下の a. から c. の基本的な考え方に基づいて整理を行う。

a. 被害が小さくて見過ごされやすい藤田スケール 0 及び藤田スケ

ール不明の竜巻に対しては、観測体制が強化された 2007 年以降の年間発生数や標準偏差を用いる。

- b. 被害が比較的軽微な藤田スケール 1 竜巻に対しては、観測体制が整備された 1991 年以降の年間発生数や標準偏差を用いる。
- c. 被害が比較的大きく見逃されることがないと考えられる藤田スケール 2 及び藤田スケール 3 竜巻に対しては、観測記録が整備された 1961 年以降の全期間の年間発生数や標準偏差を用いる。

また、藤田スケール不明の竜巻については、以下の取扱いを行う。

陸上で発生した竜巻及び海上で発生して陸上へ移動した竜巻については、被害があつて初めてその藤田スケールが推定されるため、陸上での藤田スケール不明の竜巻は、被害が少ない藤田スケール 0 竜巻とみなす。

一方、海上で発生しその後上陸しなかった竜巻については、その竜巻の藤田スケールを推定することは困難であることから、「沿岸部近傍での竜巻の発生特性は、陸上と海上とで類似している」という仮定に基づいて各藤田スケールに分類する。

以上を踏まえて、添 3 一チ第 3 表のとおり、観測データから 53 年間の推定データを評価する。

竜巻は気象事象の中でも極めて稀に発生する事象であり、発生数の変動（標準偏差）が大きい分布となり、東京工芸大学委託成果にポリヤ分布への適合性が良いことが示されている。以上より、ハザード曲線の評価に当たって使用する竜巻の年発生数の確率分布は、添 3 一チ第 10 図に示すとおり、ポリヤ分布を採用する。

② 竜巻風速、被害幅及び被害長さの確率密度分布並びに相関係数

竜巻検討地域における 53 年間の竜巻の発生数、被害幅及び被害長さを基に、確率密度分布については竜巻ガイド及び竜巻ガイドが参考としている東京工芸大学委託成果を参考に、添 3 - 1 第 11 図から添 3 - 1 第 13 図に示すとおり対数正規分布に従うものとする。

また、53 年間の推定データの作成に伴い被害幅又は被害長さの情報がない竜巻には、被害幅又は被害長さを有する竜巻の観測値を与える。その際は、被害幅又は被害長さが長いほうから優先的に用いることで、被害幅又は被害長さの平均値が大きくなるように評価を行う。

さらに、1961 年以降の観測データのみを用いて、添 3 - 1 第 4 表に示すとおり竜巻風速、被害幅及び被害長さについて相関係数を求める。

③ 竜巻影響エリアの設定

MOX燃料加工施設においては、添 3 - 1 第 14 図に示すとおり設計対処施設を包含する円を設置面積とみなし、竜巻影響エリアとして設定する。

なお、竜巻影響エリアを円形とするため、竜巻の移動方向に依存性は生じない。

④ ハザード曲線の算定

T年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速が V_0 以上となる確率を求め、ハザード曲線を求める。

前述のとおり、竜巻の年発生数の確率分布としてポリヤ分布の適合性が高い。ポリヤ分布は(a)式で示される (Wen and Chu) ⁽⁹⁾。

$$P_T(N) = \frac{(vT)^N}{N!} (1 + \beta vT)^{-N-1/\beta} \prod_{k=1}^{N-1} (1 + \beta k) \quad (a)$$

ここで、Nは竜巻の年発生数、 v は竜巻の年平均発生数、Tは年数

である。 β は分布パラメータであり、(b)式で示される。

$$\beta = \left(\frac{\sigma^2}{\nu} - 1 \right) \times \frac{1}{\nu} \quad (\text{b})$$

ここで、 σ は竜巻の年発生数の標準偏差である。

Dを竜巻影響評価の対象構造物が風速 V_0 以上の竜巻に遭遇する事象と定義し、対象構造物が1つの竜巻に遭遇し、その竜巻の風速が V_0 以上となる確率を $R(V_0)$ としたとき、T年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ、竜巻風速が V_0 以上となる確率は(c)式で示される。

$$P_{V_0,T}(D) = 1 - [1 + \beta \nu R(V_0)T]^{-1/\beta} \quad (\text{c})$$

この $R(V_0)$ は、竜巻影響評価の対象地域の面積を A_0 （すなわち、竜巻検討地域の面積約 $1.8 \times 10^4 \text{km}^2$ ）、1つの竜巻の風速が V_0 以上となる面積を $DA(V_0)$ とすると(d)式で示される。

$$R(V_0) = \frac{E[DA(V_0)]}{A_0} \quad (\text{d})$$

ここで、 $E[DA(V_0)]$ は $DA(V_0)$ の期待値を意味する。

本評価では、以下のようにして $DA(V_0)$ の期待値を算出し、(d)式により $R(V_0)$ を推定して、(c)式により $P_{V_0,T}(D)$ を求める。風速を V 、被害幅を w 、被害長さを l 及び移動方向を α とし、同時確率密度関数を用いると、 $DA(V_0)$ の期待値は(e)式で示される (Garson et al.)⁽¹⁰⁾。

$$\begin{aligned}
E[DA(V_0)] = & \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl \\
& + \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty H(\alpha) l f(V, l, \alpha) dV dl d\alpha \\
& + \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) G(\alpha) f(V, w, \alpha) dV dw d\alpha \\
& + S \int_{V_0}^\infty f(V) dV
\end{aligned} \tag{e}$$

ここで、 $H(\alpha)$ 及び $G(\alpha)$ はそれぞれ、竜巻の被害長さ及び被害幅方向に沿った面に対象構造物を投影したときの長さである。竜巻影響エリアを円形で設定しているため、 $H(\alpha)$ 、 $G(\alpha)$ ともに竜巻影響エリアの直径 130mで一定となる（竜巻の移動方向に依存しない）。 S は竜巻影響エリアの面積（直径 130mの円の面積：約 $1.3 \times 10^4 \text{m}^2$ ）を表す。竜巻影響エリアの直径を D_0 とした場合の計算式は(f)式で示される。

$$\begin{aligned}
E[DA(V_0)] = & \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl \\
& + D_0 \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty l f(V, l) dV dl \\
& + D_0 \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) f(V, w) dV dw \\
& + (D_0^2 \pi / 4) \int_{V_0}^\infty f(V) dV
\end{aligned} \tag{f}$$

風速の積分範囲の上限値は、ハザード曲線の形状が不自然にならない程度に大きな値として 120m/s に設定する。

また、 $W(V_0)$ は、竜巻の被害幅のうち風速が V_0 を超える部分の幅であり、(g)式で示される。この式により、被害幅内の風速分布に応じて被害様相に分布がある（被害幅の端ほど風速が小さくなる）ことが考慮されている（Garson et al.）⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。

$$W(V_0) = \left(\frac{V_{\min}}{V_0} \right)^{1/1.6} w \quad (g)$$

ここで、係数の1.6について、既往の研究では例えば0.5や1.0などの値も提案されている。竜巻ガイドが参考としている文献 (Garson et al.)⁽¹⁰⁾では、観測値が不十分であるため、より厳しい評価となるよう1.6を用いることが推奨されており、本検討でも1.6を用いる。

また、MOX燃料加工施設の竜巻影響評価では、ランキン渦モデルによる竜巻風速分布に基づいて設計竜巻の特性値を設定する。ランキン渦モデルは高さ方向によって風速及び気圧が変化しないため、地表から上空まで(g)式を適用できる。なお、(g)式において係数を1.0とした場合がランキン渦モデルに該当する。

また、 V_{\min} は、gale intensity velocity と呼ばれ、被害が発生し始める風速に位置付けられる。米国気象局 NWS (National Weather Service) では、gale intensity velocity は 34 から 47 ノット (17.5 から 24.2m/s) とされている。また、気象庁が使用している風力階級では、風力8は疾強風 (gale : 17.2 から 20.7 m/s) , 風力9は大強風 (strong gale : 20.8 から 24.4m/s) と分類されており、風力9では「屋根瓦が飛ぶ。人家に被害が出始める。」とされている。以上を参考に、本評価においては、 $V_{\min}=25\text{m/s}$ とする。なお、この値は藤田スケール0 (17 から 32m/s) のほぼ中央値に相当する。

以上より、竜巻検討地域を対象に算定したハザード曲線を添3ーリ第15図に示す。

⑤ 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2})

竜巻最大風速のハザード曲線により設定する最大風速 V_{B2} は、竜巻ガイドを参考に年超過確率 10^{-5} に相当する風速とし、37m/s とす

る。

⑥ 1 km 範囲ごとの評価 (参考評価)

竜巻検討地域を海岸線に沿って 1 km 範囲ごとに細分化した短冊状の範囲を対象にハザード曲線を求める。評価の条件として、発生数は、短冊状の範囲を通過した竜巻もカウントしている。被害幅及び被害長さは、それぞれ 1 km 範囲内の被害幅及び被害長さを用いる。以上に基づいて、竜巻検討地域の評価と同様の方法で算定したハザード曲線を添 3 - 16 図に示す。これより、年超過確率 10^{-5} に相当する風速を求めると、海岸線から陸側 1 km を対象とした場合の 54m/s が最大となる。なお、MOX燃料加工施設は海岸線から陸側 1 km の範囲にないため、本評価は参考とする。

(3) 基準竜巻の最大風速

過去に発生した竜巻による最大風速 $V_{B1} = 92\text{m/s}$ 及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 $V_{B2} = 37\text{m/s}$ より、MOX燃料加工施設における基準竜巻の最大風速 V_B は 92m/s とする。風速 92m/s に相当する年超過確率は、ハザード曲線より 1.5×10^{-8} である。

(ハ) 設計竜巻の最大風速の設定

MOX燃料加工施設が立地する地域の特性を考慮して、基準竜巻の最大風速の割り増しを検討し、設計竜巻の最大風速を設定する。

MOX燃料加工施設では、敷地が平坦であり、竜巻の増幅を考慮する必要のある地形はないと考えられるため、基準竜巻の最大風速に対する割り増しは行わず、設計竜巻の最大風速は 92m/s となるが、竜巻に対する設計に当たっては、蓄積されている知見の少なさといった不確定要素を考慮し、将来の竜巻発生に関する不確実性を踏まえ、基準竜巻の最大風速を安全側に切り上げて、設計竜巻の最大風速を 100m/s とする。風速 100m/s に相当する年超過確率は、ハザード曲線より 5.3×10^{-9} である。

参考文献

- (1) 日本地誌研究所. 日本地誌 第3巻 : 東北地方総論 : 青森県・岩手県・秋田県, 1975-01.
- (2) 東京工芸大学. 平成 21~22 年度原子力安全基盤調査研究 (平成 22 年度) : 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究. 2011-02.
- (3) IAEA Safety Standards Series No.SSG-18 : 2011. Meteorological And Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations. IAEA.
- (4) 関口武. “日本の気候区分”. 東京教育大学地理学研究報告. 東京教育大学理学部地理学教室, 1959-03.
- (5) M.W.Moncrieff ; M. J.Miller. The dynamics and simulation of tropical cumulonimbus and squall lines. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 1976-04, Vol.102, Issue 432.
- (6) Robert Davis-Jones ; Donald Burgess ; Michael Foster. “Test of helicity as a tornado forecast parameter” . 16th Conf. on Severe Local Storms. Kananaskis Provincial Park, AB, Canada , 1990-10-22/26, American Meteorological Society. 1990.
- (7) 橋本篤, 平口博丸, 豊田康嗣, 中屋耕. 温暖化に伴う日本の気候変化予測 (その1) : 気象予測・解析システム NuWFAS の長期気候予測への適用性評価. 電力中央研究所. 2011-06, N10044.
- (8) Erik N.Rasmussen ; David O.Blanchard. A Baseline Climatology of Sounding-Derived Supercell and Tornado Forecast Parameters. Weather and Forecasting. 1998, Vol.13.

- (9) Yi-Kwei Wen ; Shih-Lung Chu. Tornado Risks and Design Wind Speed. Journal of the Structural Division. 1973-12, Vol.99, No.12.
- (10) Robert C. Garson ; Jose Morla Catalan ; C.Allin Cornell. Tornado Design Winds Based on Risk. Journal of the Structural Division. 1975-09, Vol.101, No.9.
- (11) R.C.Garson ; J.Morla-Catalan ; C.Allin Cornell. Tornado Risk Evaluation Using Wind Speed Profiles . Journal of the Structural Division. 1975-05, Vol.101, No.5.
- (12) 瀧下洋一. 竜巻発生確度ナウキャスト・竜巻注意情報について：突風に関する防災気象情報の改善. 測候時報. 2011, vol.78.3.
- (13) 大野久雄. 雷雨とメソ気象. 東京堂出版, 2001.

添3-チ第1表 竜巻の発生要因別の地域分布の特徴

総観場 ^{注)}	気象庁竜巻データベースの分類	発生分布の特徴
台風	台風	関東以西の太平洋側(特に東～南方向に開けた地域)で発生頻度が高く、藤田スケール2、藤田スケール3の強い竜巻も多い。
温帯低気圧	南岸低気圧, 日本海低気圧, 二つ玉低気圧, 東シナ海低気圧, オホーツク海低気圧, その他(低気圧), 寒冷前線, 温暖前線, 閉塞前線	全国的に発生頻度が高く、藤田スケール2、藤田スケール3の竜巻も見られる。特に、南～西方向に開けた地域はより頻度が高い。
季節風(夏)	暖気の移流, 熱帯低気圧, 湿舌, 太平洋高気圧	太平洋側や内陸を中心に、全国的に多くみられる。
季節風(冬)	寒気の移流, 気圧の谷, 大陸高気圧, 季節風	日本海側や関東以北で発生頻度が高い。
停滞前線	停滞前線, 梅雨前線, 前線帯, 不安定線, その他(前線)	関東以西でみられる。
局地性	局地性擾乱, 雷雨(熱雷), 雷雨(熱雷を除く), 地形効果, 局地性降水	地形的な影響によるものであり、全国で発生している。
その他	移動性高気圧, 中緯度高気圧, オホーツク海高気圧, 帯状高気圧, その他(高気圧), 大循環異常, その他	全国的に発生数が少なく、地域差はみられない。

注) 東京工芸大学委託成果を参考に、気象庁「竜巻等の突風データベース」の総観場を、竜巻を発生させる親雲の発生要因を考慮して、7種に再編した。

添3-チ第2表 日本で過去に発生したF3竜巻

(気象庁「竜巻等の突風データベース」より)

(1961年から2013年12月)

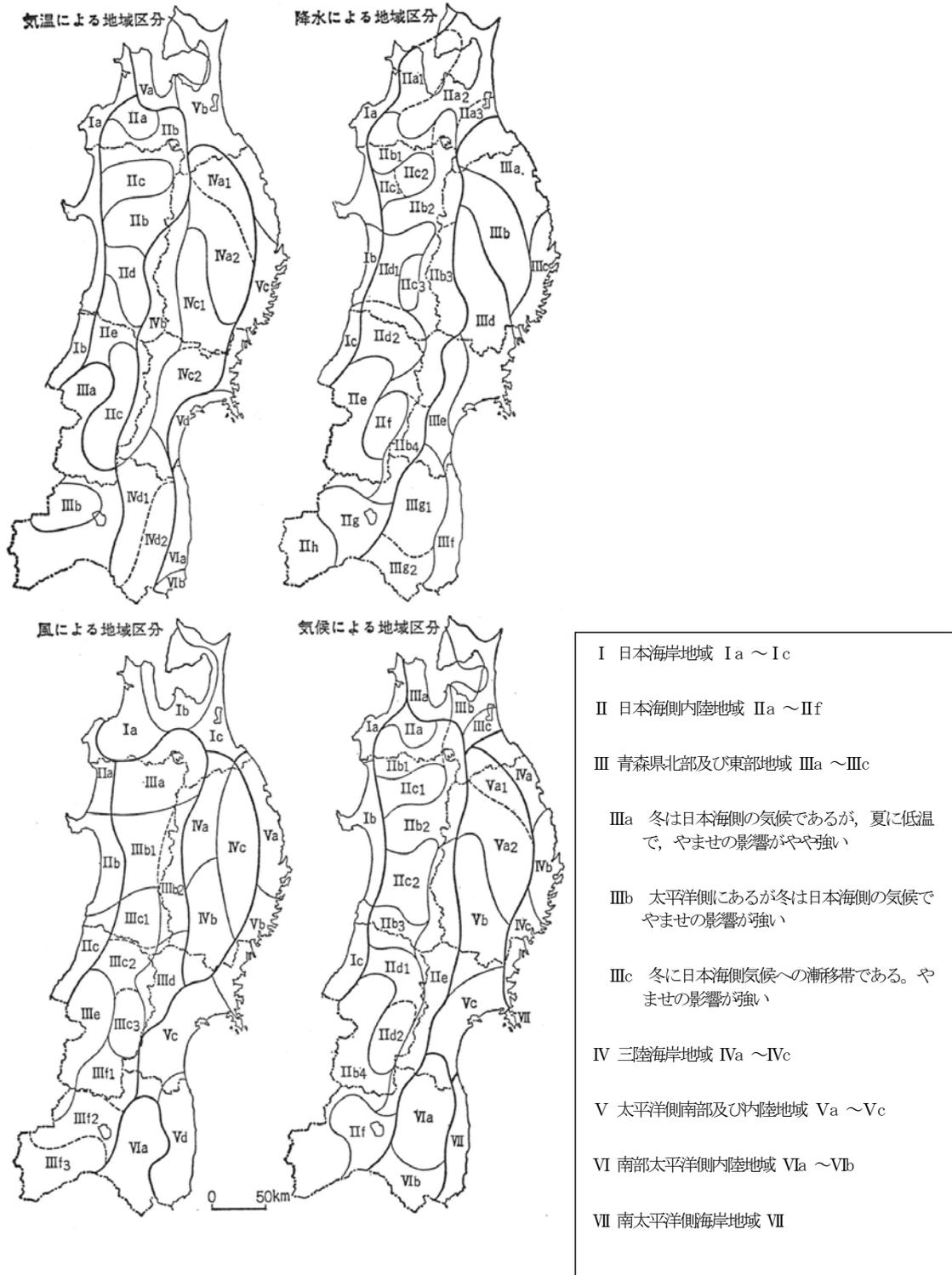
発生日時	発生場所		
	緯度	経度	発生場所
1971年07月07日07時50分	35度54分20秒	139度40分45秒	埼玉県大宮市
1990年12月11日19時13分	35度28分39秒	140度18分57秒	千葉県茂原市
1999年09月24日11時07分	34度42分4秒	137度23分5秒	愛知県豊橋市
2006年11月07日13時23分	43度59分20秒	143度42分25秒	北海道網走支庁 佐呂間町
2012年05月06日12時35分	36度6分38秒	139度56分44秒	茨城県つくば市

添3-チ第3表 竜巻発生数の分析結果

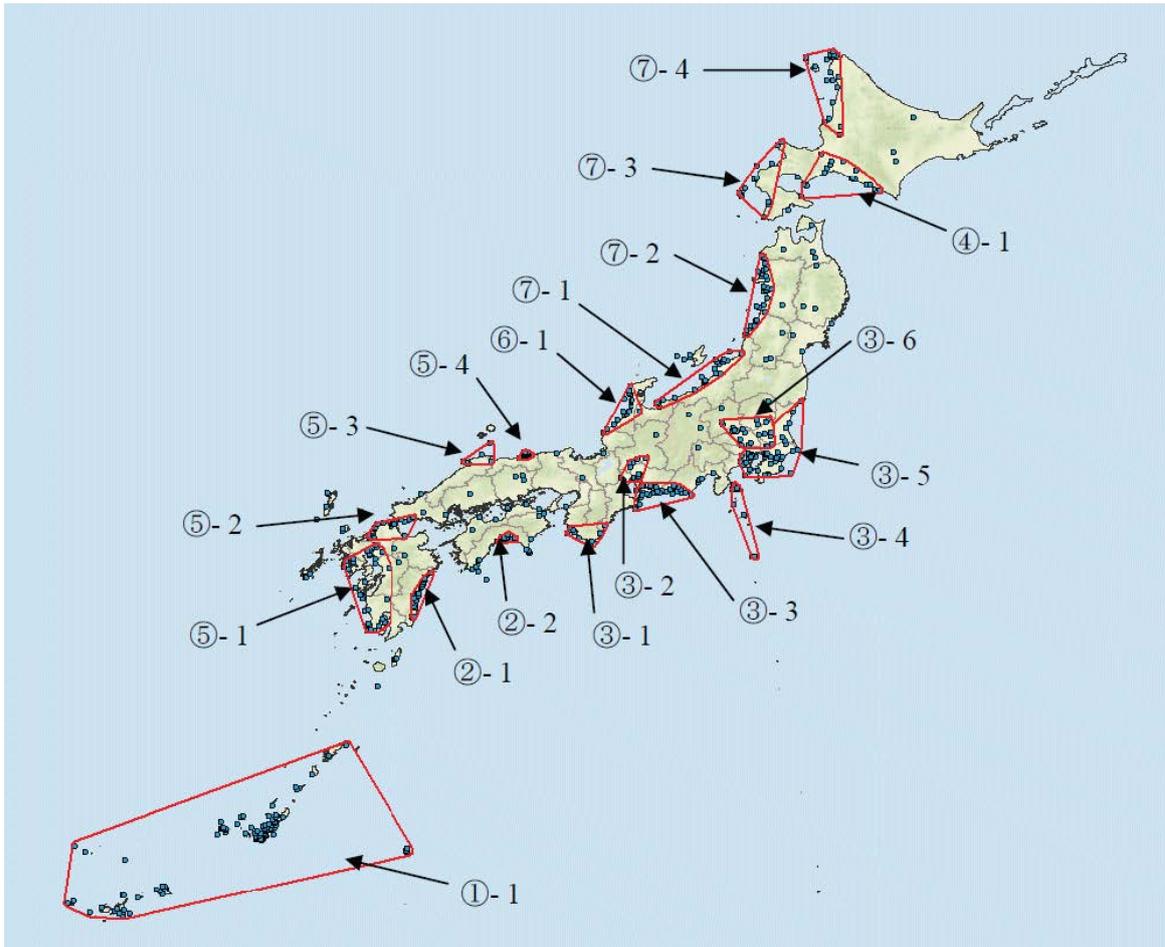
発生数の統計		(陸上+上陸) 竜巻							海上竜巻	総数
		F0	F1	F2	F3	F4	不明	小計	不明	
1961/1~2013/12 (53年間)	期間内総数 (個)	6	9	4	0	0	1	20	5	25
	年平均 (個)	0.11	0.17	0.08	0.00	0.00	0.02	0.38	0.09	0.47
	標準偏差 (個)	0.58	0.51	0.27	0.00	0.00	0.14	0.97	0.41	1.08
1991/1~2013/12 (23年間)	期間内総数 (個)	6	9	2	0	0	1	18	5	23
	年平均 (個)	0.26	0.39	0.09	0.00	0.00	0.04	0.78	0.22	1.00
	標準偏差 (個)	0.86	0.72	0.29	0.00	0.00	0.21	1.35	0.60	1.48
2007/1~2013/12 (7年間)	期間内総数 (個)	5	3	0	0	0	0	8	4	12
	年平均 (個)	0.71	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	1.14	0.57	1.71
	標準偏差 (個)	1.50	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	1.86	0.98	2.06
推定データ (53年間) (按分後)	期間内総数 (個)	57	32	6	0	0	0			95
	年平均 (個)	1.07	0.58	0.11	0.00	0.00	0.00			1.76
	標準偏差 (個)	1.83	0.88	0.33	0.00	0.00	0.00			2.06
推定データ (53年間) (全竜巻)	期間内総数 (個)	57	32	6	0	0	0			95
	年平均 (個)	1.08	0.60	0.11	0.00	0.00	0.00			1.79
	標準偏差 (個)	1.83	0.88	0.33	0.00	0.00	0.00			2.06

添3-千第4表 竜巻風速, 被害幅及び被害長さの相関係数

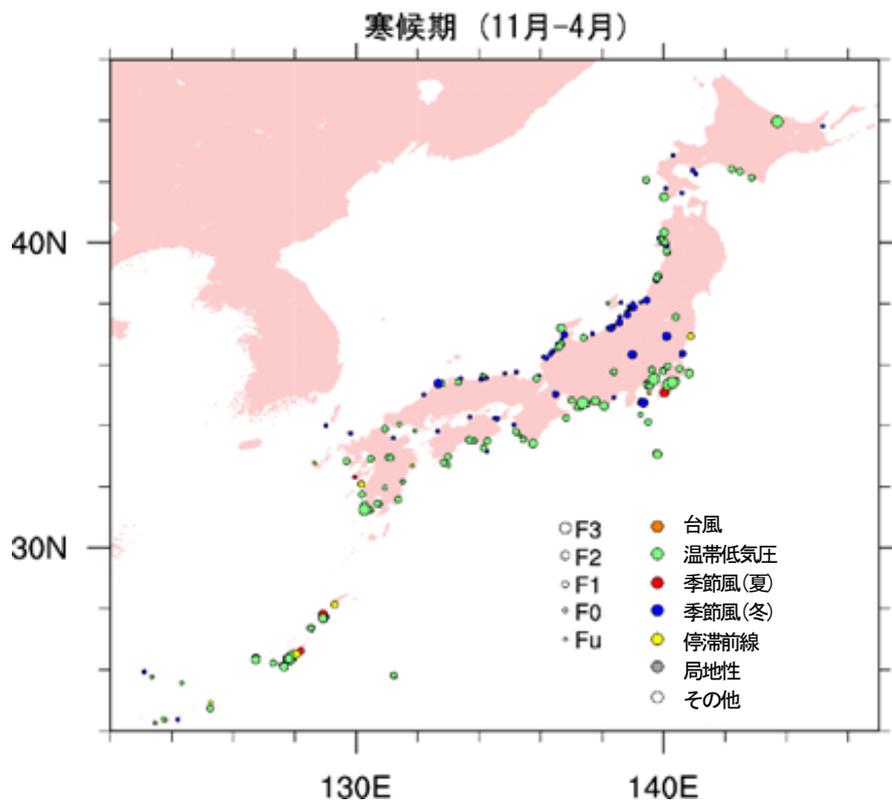
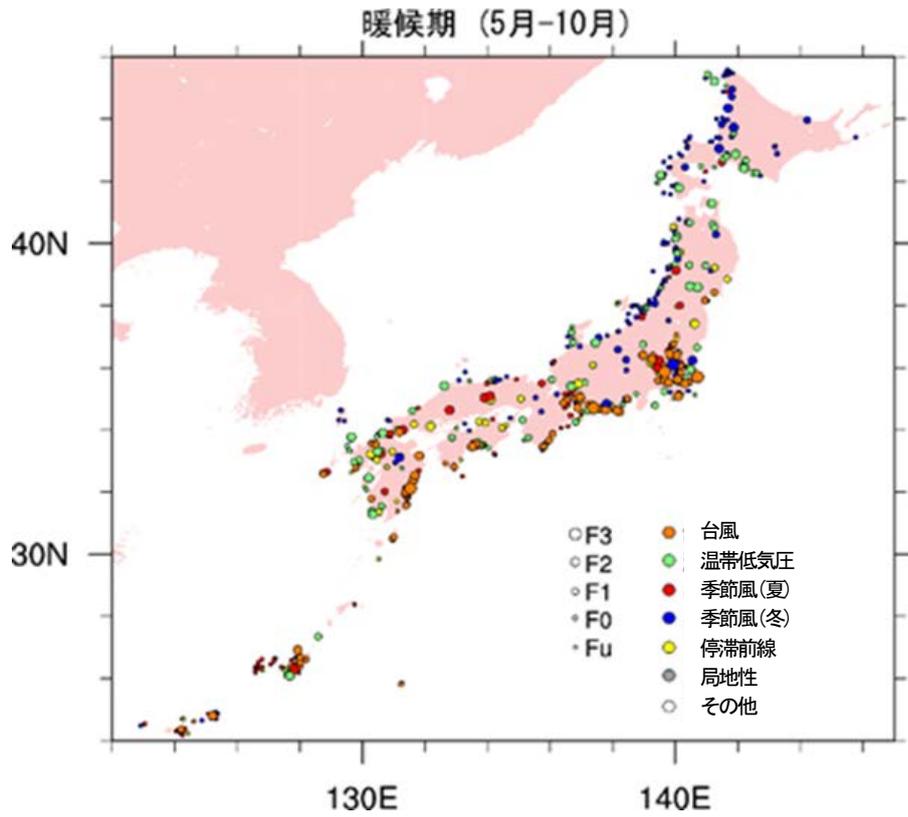
相関係数 (対数)	風速 (m/s)	被害幅 (m)	被害長さ (m)
風速 (m/s)	1.0000	0.0800	0.4646
被害幅 (m)	0.0800	1.0000	0.2418
被害長さ (m)	0.4646	0.2418	1.0000



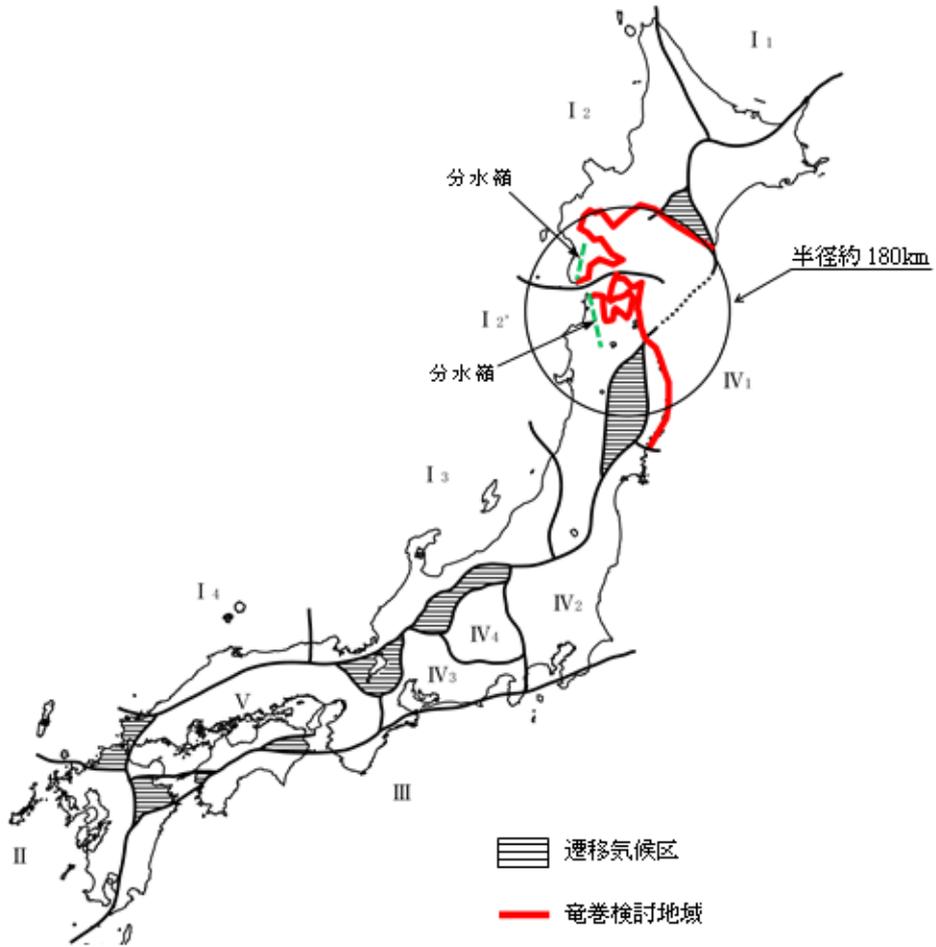
添3-チ第1図 吉野正敏（1967年）による東北地方の気候区分⁽¹⁾



添3-チ第2図 竜巻の発生地点と竜巻が集中する19個の地域⁽²⁾

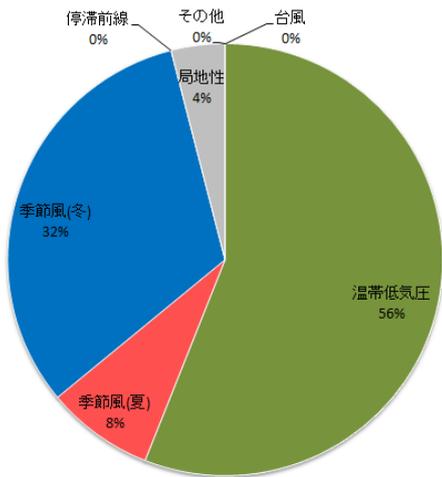


添3-チ第3図 竜巻の発生要因別地域分布



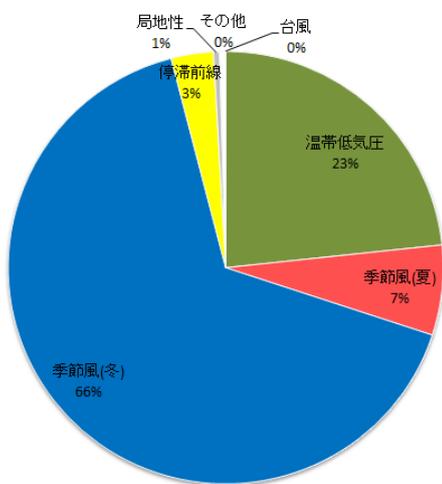
添3-千第4図 竜巻検討地域

関口武 (1959) : 日本の気候区分⁽⁴⁾を基に加筆



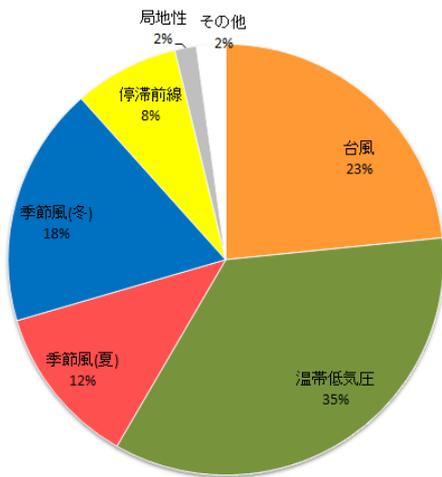
◆竜巻検討地域

- ・ 「温帯低気圧」を起源とする竜巻が多い。
- ・ 太平洋側で多くみられる「台風」を起源とする竜巻は確認されていない。



◆北海道～山口県の日本海側 (223 事例)

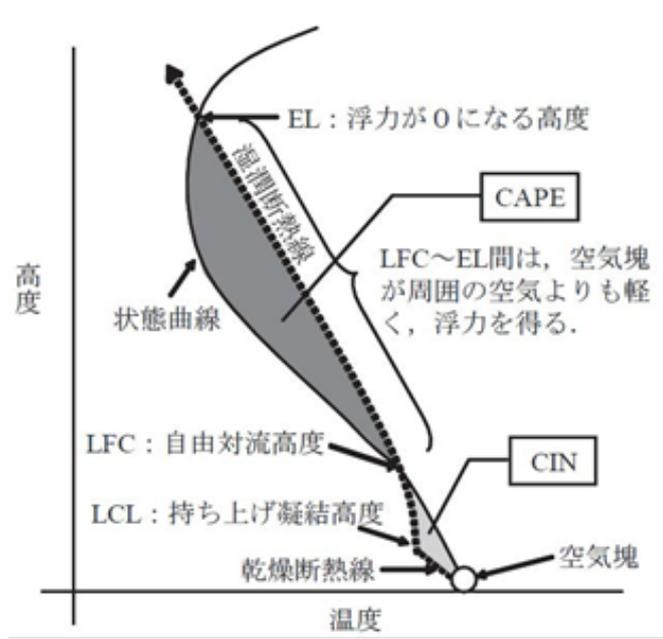
- ・ 「季節風 (冬)」を起源とする竜巻が多い。
- ・ 「台風」を起源とする竜巻は確認されていない。



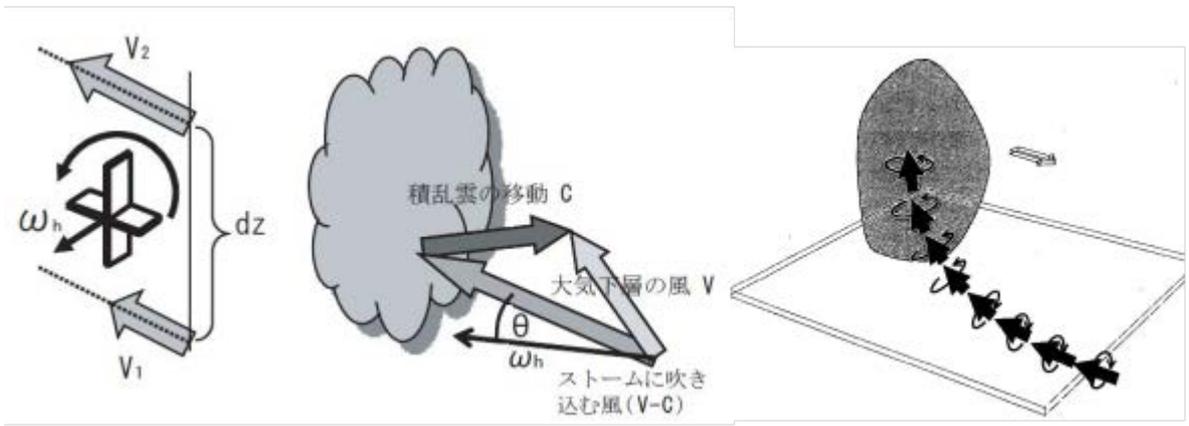
◆茨城県以西の太平洋側 (372 事例)

- ・ 竜巻検討地域と比較して、「台風」, 「季節風 (夏)」, 「停滞前線」を起源とする竜巻が多い。
- ・ 太平洋側から暖かく湿った気流が、竜巻の親雲の発達を促すと考えられる。

添3-チ第5図 竜巻検討地域等における竜巻の発生要因の出現比率



添3-チ第6図 CAPE の概念⁽¹²⁾

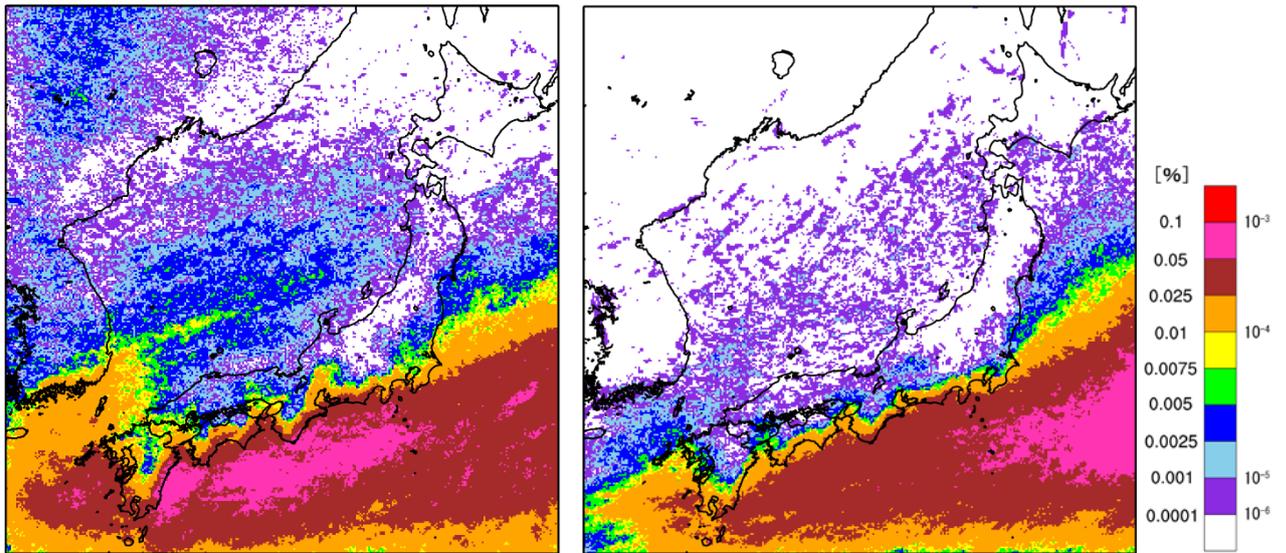


(a) 鉛直シアーにより水平渦度が生じる。

(b) 積乱雲の移動と積乱雲に吹き込む風

(c) 「水平軸周り」に回転する渦(矢印)が親雲に吸い上げられて立ち上がり、「鉛直軸周り」の回転になる。

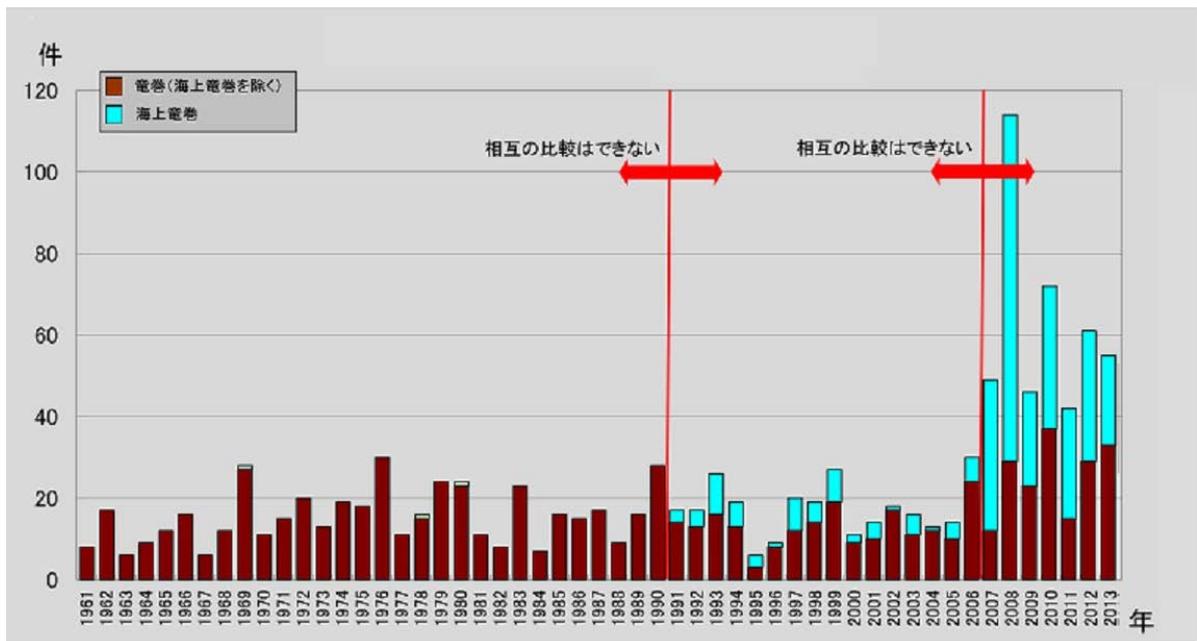
添3-チ第7図 SReH の概念⁽¹²⁾⁽¹³⁾



暖候期(5月-10月)における
CAPE \geq 1200 J/kg かつ SReH \geq 350 m 2 /s 2

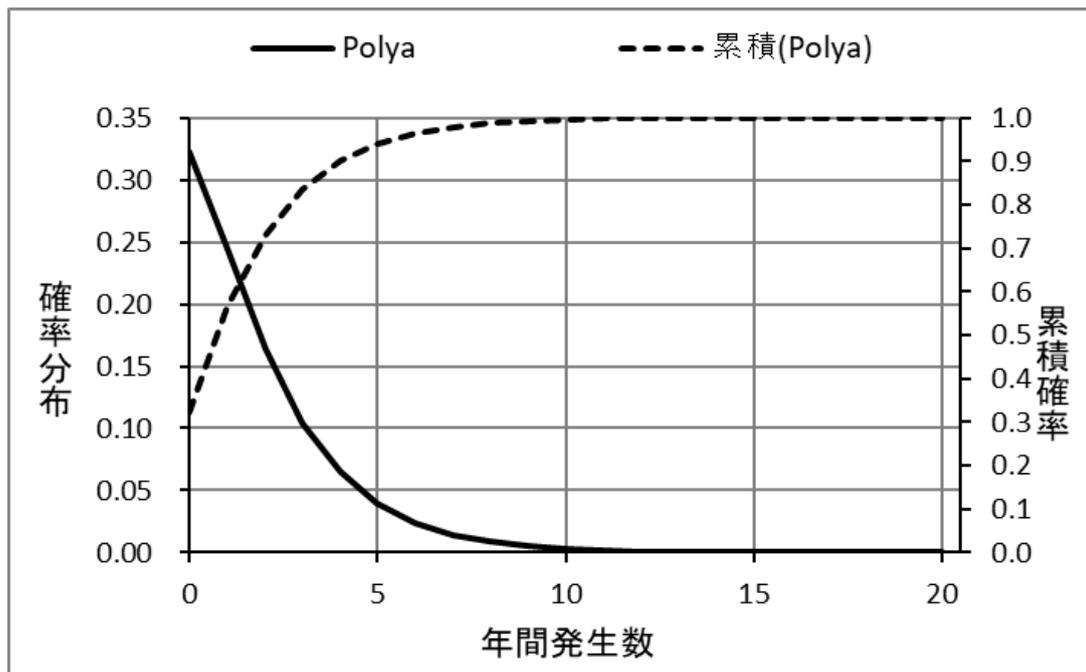
寒候期(11月-4月)における
CAPE \geq 500 J/kg かつ SReH \geq 350 m 2 /s 2

添3-チ第8図 同時超過頻度分布の算出結果

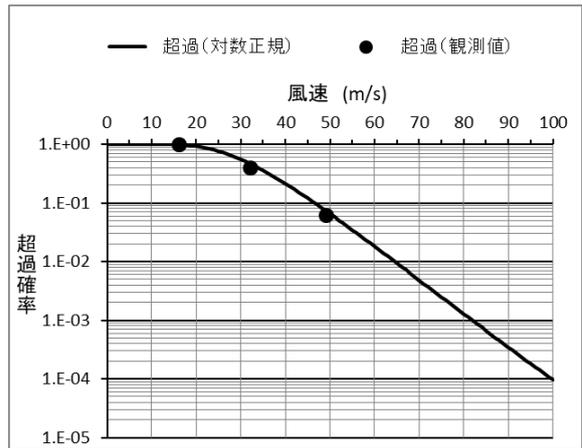
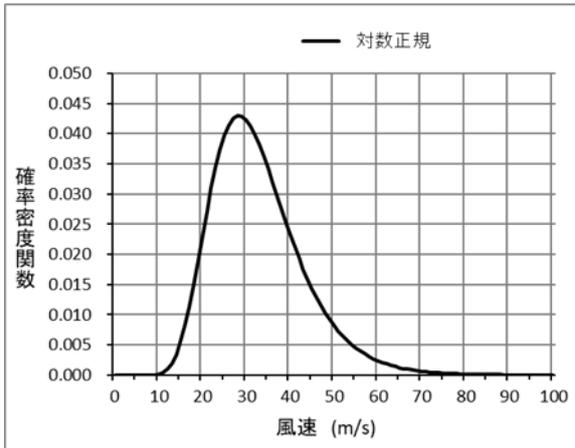


(出典：気象庁「竜巻等の突風データベース」)

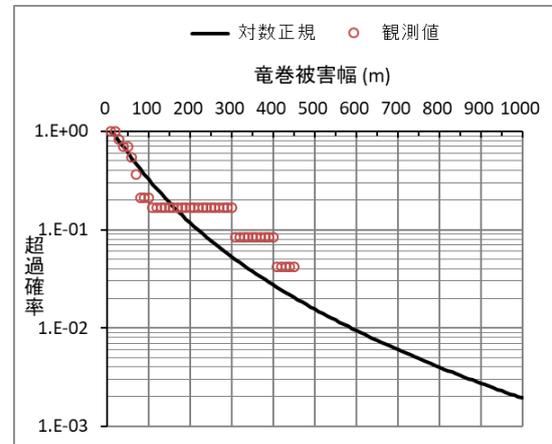
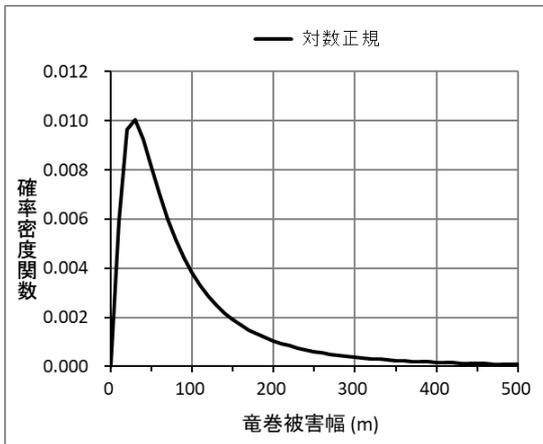
添3-チ第9図 竜巻年別発生確認数



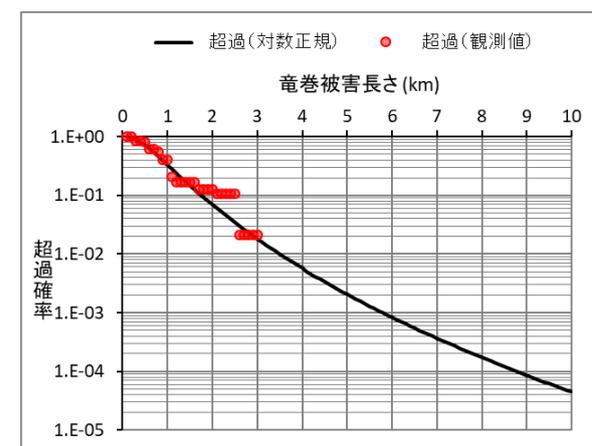
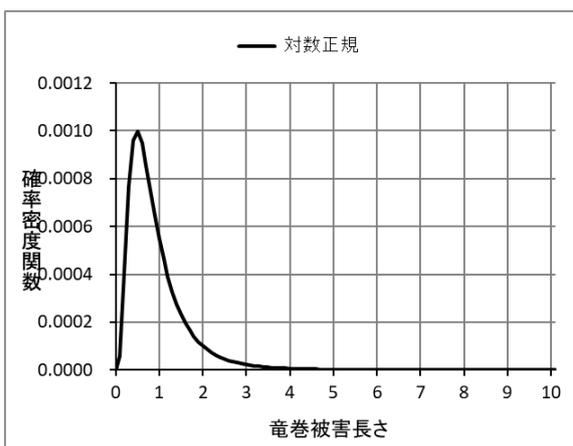
添3-チ第10図 竜巻検討地域における竜巻発生数の確率分布と累積確率



添3-チ第11図 風速の確率密度分布 (左) と超過確率 (右)



添3-チ第12図 被害幅の確率密度分布 (左) と超過確率 (右)



添3-チ第13図 被害長さの確率密度分布 (左) と超過確率 (右)



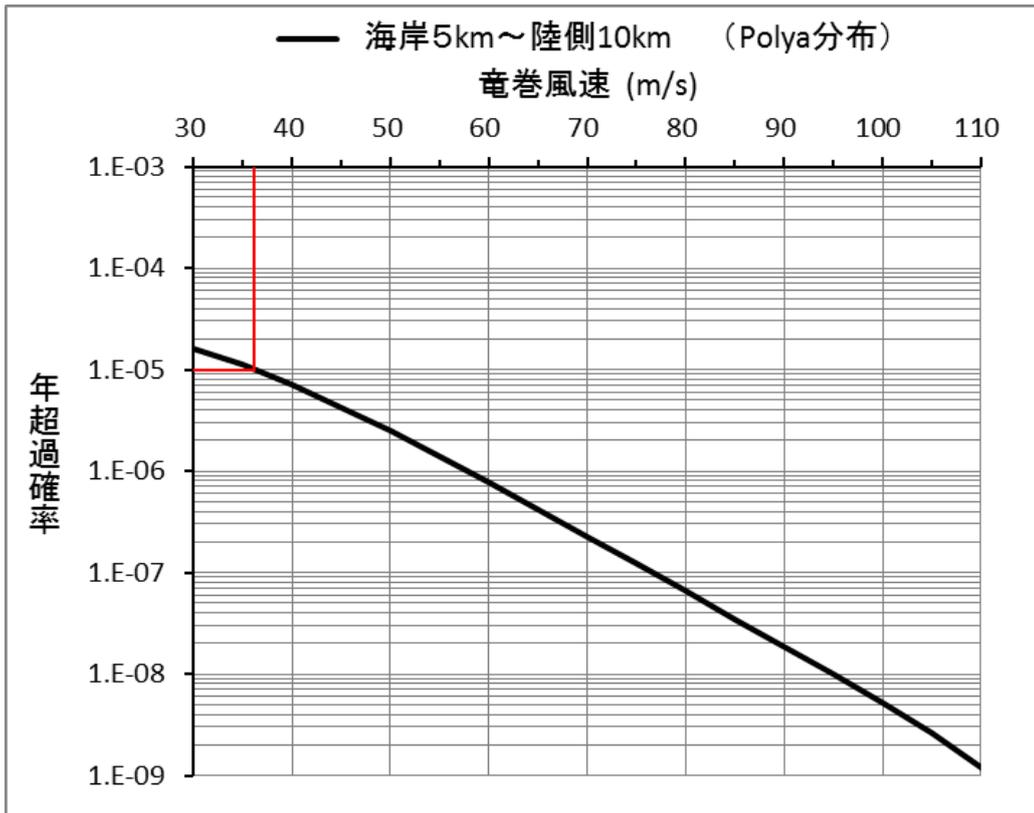
竜巻影響エリアの設定

- ・MOX燃料加工施設においては設計対処施設を包含する円を竜巻影響エリアとして設定する。
- ・なお、竜巻影響エリアを円形とするため、竜巻の移動方向には依存性は生じない。

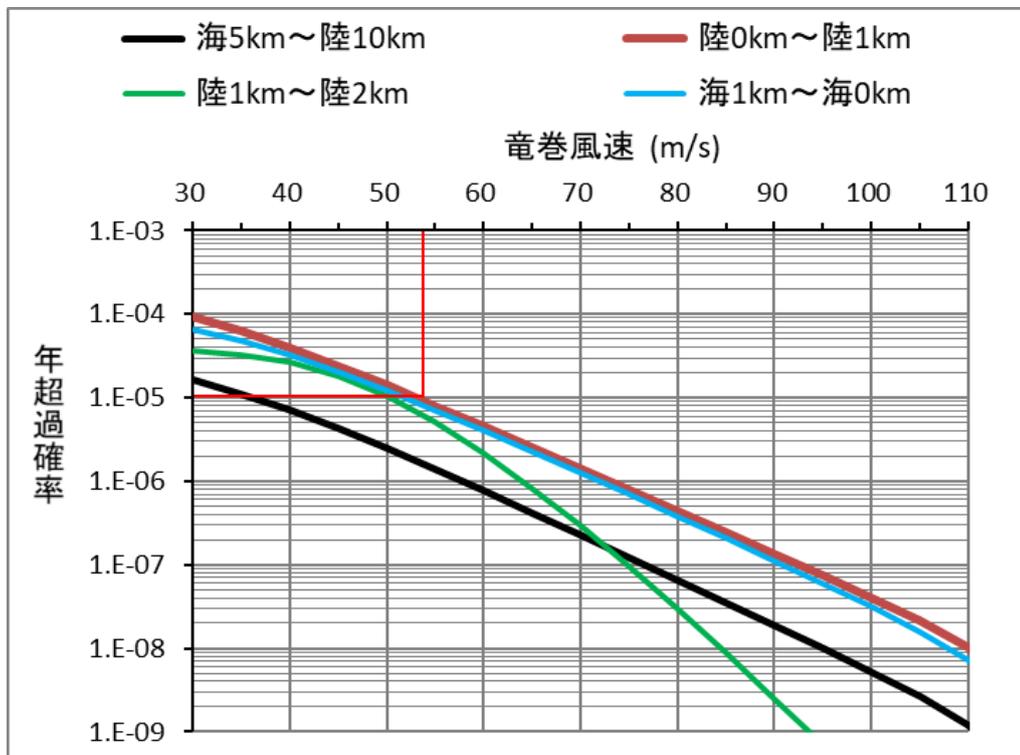
エリア番号	エリア直径 (m)	エリア面積 (m ²)
①	125	12300
評価に用いる値	130	13300

→竜巻影響エリア
直径：130m 面積：13300m²

添3-チ第14図 竜巻影響エリア



添3-チ第15図 竜巻最大風速のハザード曲線 (竜巻地域検討)



添3-チ第16図 竜巻最大風速のハザード曲線 (1km範囲) (参考)

リ．生物

(イ) 生物の生息状況

MOX燃料加工施設が立地する地域の周辺における生物の生息状況については、「新むつ小川原開発基本計画素案に係る環境影響評価書」⁽¹⁾及び「六ヶ所事業所再処理工場及び廃棄物管理施設に係る環境保全調査報告書」⁽²⁾にて報告されている。これらの報告書で確認されている生物の生息状況を添3ーリ第1表に示す。

(ロ) 生物学的事象で考慮する対象生物

(1) 鳥類及び昆虫類

MOX燃料加工施設が立地する地域では、鳥類及び昆虫類の生息が多く確認されており、給気設備及び非常用所内電源設備の外気取入口からの侵入が考えられるため、鳥類及び昆虫類を生物学的事象で考慮する対象生物（以下「対象生物」という。）とする。

(2) その他の動物種

大型の動物については、周辺監視区域の境界及びMOX燃料加工施設周辺にフェンスを設置しており、MOX燃料加工施設近傍まで侵入することは想定しにくいため、対象生物としない。しかし、小動物（ネズミ類、両生類、爬虫類等）については、MOX燃料加工施設近傍まで侵入することが考えられるため、対象生物とする。

参考文献

- (1) 青森県庁環境保全課. 新むつ小川原開発基本計画素案に係る環境影響評価書. 2007.
- (2) 日本原燃サービス株式会社. 六ヶ所事業所再処理工場及び廃棄物管理施設に係る環境保全調査報告書. 1989 (1992 一部変更) .

添3-1-1 表 本施設が立地する地域の周辺における生物の生息状況について

新むつ小川原調査基本計画表素に係る環境影響評価書 青森県 平成19年3月		六ヶ所事業所再処理工場及び廃棄物管理施設に係る環境保全調査報告書 日本原燃サーベイス株式会社 平成元年3月(平成4年4月一部変更)	
鳥類	資料調査 282種 現地調査 猛禽類：9種 一般的な鳥類：149種	資料調査 オジロシ, オオロシ, ミサゴ, オオタカ, ノスリ, コミズミズク, トビ, カッコウ 等	鳥類 285種 現地調査 184種 オオハクチョウ, コガモ, セグロカモメ, カッコウ, ウグイス, シジュウカラ 等
昆虫類	資料調査 トンボ類：43種 トンボ類：25種 その他昆虫類：221種	イトトンボ, モノサシトンボ, アオイトトンボ, カワトンボ, バッタ, ハサミムシ, カメムシ 等	
その他動物種 (両生類・爬虫類)	資料調査 20種以上 現地調査 6種	アマガエル, ヤマアマガエル, カナヘビ, シマヘビ, アオダイショウ 等	
その他動物種 (哺乳類)	資料調査 27種以上 現地調査 7種	カモシカ, ツキノワグマ, キツネ, タヌキ, ネズミ類, モグラ類 等	哺乳類 17種 現地調査 24種 ジネズミ, ヒメジ, モグラ, ノウサギ, ニホンリス, トウホクヤチネズミ, ツキノワグマ, カモシカ 等
その他動物種 (魚類)	資料調査 54種 (田面六沼・市柳沼：16種, 鷹架沼：21種, 尾駱沼：44種) 六ヶ所村の河川に生息している主な魚類 上流域：イワナ, エゾイワナ, ヤマメ 等 中流域：アユ, ウグイ, マルタ 等 下流域：コイ, フナ, タナゴ, カジカ, ナマズ 等 河口付近：マナゼ, ワカサギ, サケ, スマガレイ 等	ミズウミ, アユ, コイ, ドジ ヤツメウナギ, ウナギ, サケ, アユ, コイ, ドジ ヨウ, ナマズ, ボラ 等	魚類：未確認 尾駱沼(現地調査) ・潮間帯生物：春季16種, 夏季19種, 秋季21種, 冬季25種 ・底生生物：春季22種, 夏季22種, 秋季30種, 冬季35種 ・魚類：春季10種, 夏季3種, 秋季5種, 冬季4種 ・卵, 稚仔：春季3種, 夏季～冬季 未確認 ・動物アラカド：春季23種, 夏季27種, 秋季32種, 冬季26種
その他動物種 (底生生物)	資料調査 尾駱沼(アキガキ等), 多毛類(ヤマトイ等), 二枚貝(ハミズ等), 鷹架沼(ハミズ等), 昆虫類(カマキリ等), 二枚貝(ハミズ等), 線形動物 高瀬川周辺：環形動物(コカイ等), 軟体動物(カザリ等), 節足動物(シラカバ等), 脊椎動物(カバ)	尾駱沼：甲殻類(アキガキ等), 多毛類(ヤマトイ等), 二枚貝(ハミズ等), 鷹架沼(ハミズ等), 昆虫類(カマキリ等), 二枚貝(ハミズ等), 線形動物 高瀬川周辺：環形動物(コカイ等), 軟体動物(カザリ等), 節足動物(シラカバ等), 脊椎動物(カバ)	・環形動物のキブネタニガワカゲロウ, カカンボ科の一種, ヌスリカ科の一種 等 ・環形動物のゴカイ, 軟体動物のカワザンショウウガイ 等 ・軟体動物のカワグチツボ, ホトトギスガイ 等 ・ワカサギ, サヨリ, スマガレイ 等 ・コノシロの卵, ヨウジウオ及びびいせ亜目の稚仔 ・腹足綱の幼生 等
水生植物	資料調査 尾駱沼及び鷹架沼の植物 主な水生植物：マコモ, ヨシ, ツルヨシ, クサヨシ, ホタルイ, サンカクイ 等 湖沼の蘆原：ヤチヤナギ, ヤチハンノキ, アゼスガ, カモノハシ 等 河口付近：ウミミドリ, オオシバ, イヌイ 等 田面木沼及び市柳沼の植物 尾駱沼及び鷹架沼の主な植物と類似 高瀬川付近の植物 ウミミドリ, ヒメキンボウグ, イヌイ, オオシバ 等	水生植物 二又川(現地調査) 藻類：春季23種, 夏季19種, 秋季28種, 冬季20種 尾駱沼(現地調査) 液藻類：春季6種, 夏季6種, 秋季6種, 冬季7種 植物アラカド：春季23種, 夏季47種, 秋季38種, 冬季31種	水生植物 ・珪藻 ・緑藻, 種子植物のコアマモ 等 ・珪藻

ヌ. 落雷

(イ) 日本における雷日数の地理的分布

日本における雷日数の地理的分布については、全国の気象官署における雷日（雷鳴と電光を観測したか、ある程度以上の強度の雷鳴を観測した日）を基に平均年間雷日数について報告されているものがある⁽¹⁾。これに示される全国 96 箇所の観測点における年平均雷日数及び全国約 1300 箇所の観測点のデータを基にした年平均雷日数の等値線を添 3-ヌ第 1 図に示す。

これによると、北関東、北陸、近畿及び九州北部・南部では落雷が多く、オホーツク沿岸、北海道東部・内陸部及び三陸沿岸では落雷が少ない。

一方、日本国内で全国規模の落雷の観測を行っているシステムとしては、全国雷観測ネットワーク（JLDN：Japanese Lightning Detection Network）がある。JLDN は文献でも精度が確かめられている落雷の観測システムであり⁽²⁾、本システムにて得られた雷統計データ⁽³⁾においても、日本における雷日数の地理的分布とよく一致していることが確認できる。

(ロ) MOX燃料加工施設周辺における落雷の観測データ

JLDN によって観測された落雷データに基づいて青森県周辺の落雷密度を調査した結果を添3-ヌ第2図に示す。

MOX燃料加工施設の立地地点周辺は、青森県の他の地域と比較しても落雷が少ない地域であることから、再処理事業所及びその周辺において過去に観測された落雷のデータの調査を行い、落雷に対する設計の基礎とすることとした。

JLDN の観測記録において、再処理事業所及びその周辺で観測された雷撃の順位を添3-ヌ第1表に、雷撃電流の分布を添3-ヌ第3図に示す。再処理事業所及びその周辺で過去に観測された落雷の雷撃電流の最大値は211kAである。

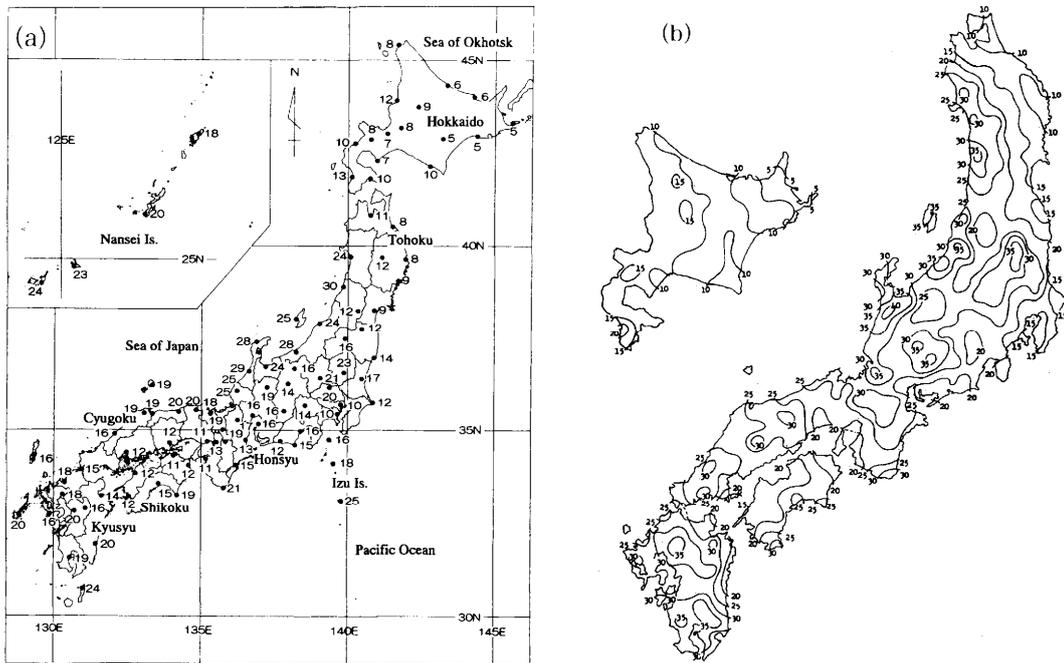
なお、MOX燃料加工施設の設計の基礎としては、MOX燃料加工施設の立地地点が属する吉野の気候区分Ⅲbにおける落雷データを用いることも考えられるが、再処理事業所及びその周辺において観測された大きな落雷が夏季雷である一方、気候区分Ⅲbで観測された大きな落雷は冬季雷であること、一般的に夏季雷よりも冬季雷の方が雷撃のエネルギーが大きいこと、気候区分Ⅲbで観測された大きな落雷はMOX燃料加工施設から離れた西側の地域で発生しており、冬季雷の多い日本海側の気候の影響を受けていると考えられることから、気候区分Ⅲbと敷地周辺では落雷現象の様相が大きく異なる。したがって、MOX燃料加工施設の設計の基礎として、再処理事業所及びその周辺の観測データを用いることは妥当と考えられる。

参考文献

- (1) 吉田弘. “日本列島における雷日数の地理的分布とその長期的傾向”. 日本気象学会. 2002-4.
- (2) フランクリン・ジャパン. “JLDN について”. 株式会社フランクリン・ジャパンホームページ.
<http://www.franklinjapan.jp/contents/observation/jldn/>, (参照 2016-6-30)
- (3) フランクリン・ジャパン. “雷統計データ”. 株式会社フランクリン・ジャパンホームページ.
<http://www.franklinjapan.jp/contents/lightning/data/>, (参照 2016-11-14)

添3-ヌ第1表 再処理事業所及びその周辺で観測された雷撃の順位

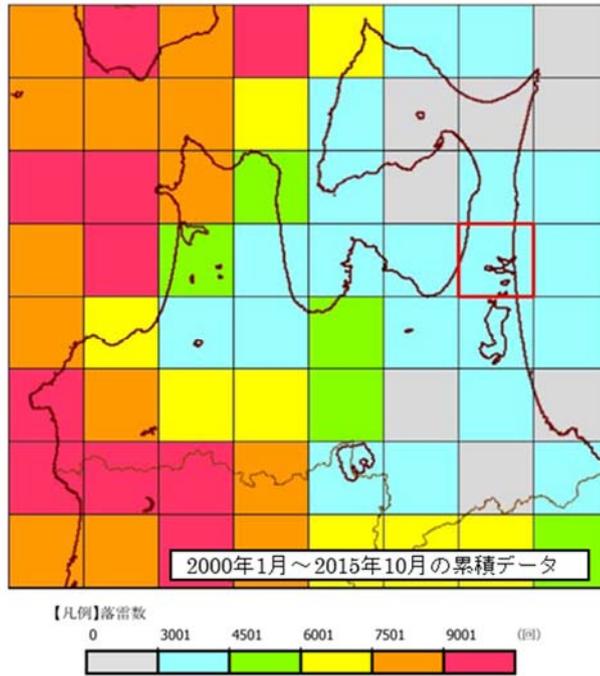
順位	雷撃電流 (kA)	観測年月日	観測時刻	観測場所 (北緯/東経)	
1	211	2000年7月25日	15時04分	40.962	141.307
2	-196	2015年8月2日	18時52分	40.959	141.333
3	-183	2015年8月2日	18時55分	40.973	141.339



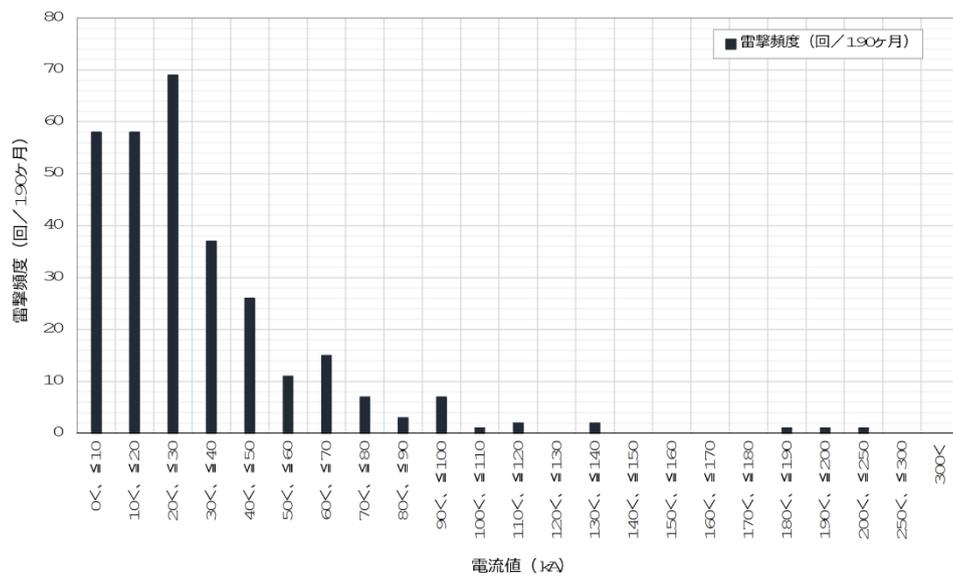
添3-ヌ第1図 (a) 年平均雷日数及び (b) 年平均雷日数等値線

(出典：吉田弘，“日本列島における雷日数の地理的分布とその長期的傾向”，日本気象学会，

2002-4.)



添3-ヌ第2図 青森県の落雷密度マップ



添3-ヌ第3図 再処理事業所及びその周辺で観測された落雷の雷撃電流の分布