

2024技技発第44号
2024年6月25日

原子力規制委員会 殿

青森県上北郡六ヶ所村大字尾駒字沖付4番地108
日本原燃株式会社
代表取締役社長 社長執行役員
増田 尚宏

再処理施設および廃棄物管理施設
火山活動のモニタリング評価結果の報告について

再処理事業所再処理施設保安規定および再処理事業所廃棄物管理施設保安規定に基づき、火山活動のモニタリング評価結果について、別紙のとおり、とりまとめましたのでご報告いたします。

別紙

再処理施設および廃棄物管理施設 火山活動のモニタリング評価結果の報告について

再処理施設および廃棄物管理施設
火山活動のモニタリング評価結果の報告について

再処理事業所再処理施設保安規定および再処理事業所廃棄物管理施設保安規定に基づき、火山活動のモニタリング評価結果について、下記のとおり報告します。

記

1. 対象火山

十和田および八甲田山

2. 評価期間

2023年4月1日から2024年3月31日

3. 評価方法および評価結果

(1) 評価方法

気象庁および国土地理院の地殻変動情報ならびに気象庁の一元化処理震源データ等を収集、分析することで、対象火山について評価した。

(2) 評価結果

評価期間を通じて観測データに有意な変化は認められないことから、対象火山の警戒レベルを「平常」と評価した。

対象火山	総合評価
十和田	平常 (有意な変化なし)
八甲田山	平常 (有意な変化なし)

4. 火山専門家の助言

上記評価について、問題ない旨、火山専門家の助言を得ている。

添付資料

再処理施設および廃棄物管理施設

火山活動のモニタリング評価結果（2023年度報告）

以上

再処理施設および廃棄物管理施設 火山活動のモニタリング評価結果 (2023年度報告)

令和6年6月25日



日本原燃株式会社

目 次

1. モニタリングの概要	4
2. 十和田及び八甲田山のモニタリング評価結果	9
3. 十和田のモニタリング	15
3.1 地震活動	16
3.2 地殻変動	28
3.3 火山ガス, 熱活動, 噴出場所, 噴出物, 噴火様式	50
3.4 地下構造	52
3.5 総合評価	65
4. 八甲田山のモニタリング	67
4.1 地震活動	68
4.2 地殻変動	80
4.3 火山ガス, 熱活動, 噴出場所, 噴出物, 噴火様式	111
4.4 地下構造	113
4.5 総合評価	124
5. 判断基準の見直しについて	125
5.1 地震活動の判断基準の見直しについて	126
5.2 地殻変動の判断基準の見直しについて	134

目 次

6.	モニタリング評価結果に係る参考情報	137
6.1	地震活動の活発化事例	138
6.2	茂木モデルに基づく試算と地殻変動の判断基準の関係	140
6.3	東北地方太平洋沖地震後の地殻変動	148
6.4	令和6年能登半島地震による余効変動	150
7.	中・長期的取組み	151
7.1	水準測量	152
7.2	地震観測網の充実化	157
7.3	統計モデルを用いた評価の検討	165
7.4	八甲田山周辺におけるGNSS観測点の新設に係る事前調査	172
7.5	巨大噴火以降のマグマ組成の時間変化について	173
	引用文献	175

1. モニタリングの概要 [検討に用いた観測データ・資料①]

① 地震活動:一元化処理震源データ

⇒気象庁(<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/hypo.html>) ※～2022年9月

⇒防災科学技術研究所(<https://hinetwww11.bosai.go.jp/auth/?LANG=ja>) ※2022年10月～

解析期間:1997年10月～2024年3月31日

② 地殻変動

◇GNSS観測データ【F5解】

⇒国土地理院(<https://terras.gsi.go.jp/>)による日々の座標値(F5解)

用いた電子基準点:青森A, 野辺地, 十和田, 黒石, 大鷗, 浪岡, 十和田湖2, 田子, 大館

解析期間:各点の解析開始以降～2024年3月31日

◇GNSS観測データ【当社実施の統合解析による】

⇒十和田及び八甲田山周辺に位置するGNSS観測点のRINEXデータを取得し, 日々の座標値を解析

・電子基準点:十和田湖1, 十和田湖2, 田子, 大鷗, 青森A

・気象庁GNSS観測点:大川岱, 南荒川山, 深持, 駒込深沢

取得先:国土地理院(<https://terras.gsi.go.jp/>),

防災科学技術研究所(<https://jvdn.bosai.go.jp/portal/ja/>), 気象庁によるデータ提供

解析期間:各点の解析開始以降～2024年3月31日

◇水準測量データ(当社実施) 実施年:2018年, 2019年, 2022年

◇干渉SARデータ(ALOS-2/PALSAR-2データ)

⇒国土地理院(<https://maps.gsi.go.jp>)

⇒当社実施 使用シーン:2022年9月1日, 2023年8月31日

◇傾斜計データ⇒防災科学技術研究所(<https://jvdn.bosai.go.jp/portal/ja/>)

用いた傾斜計(気象庁所有):発荷峠南, 鳥滝沢北(1日値リサンプリング, 潮汐補正済)

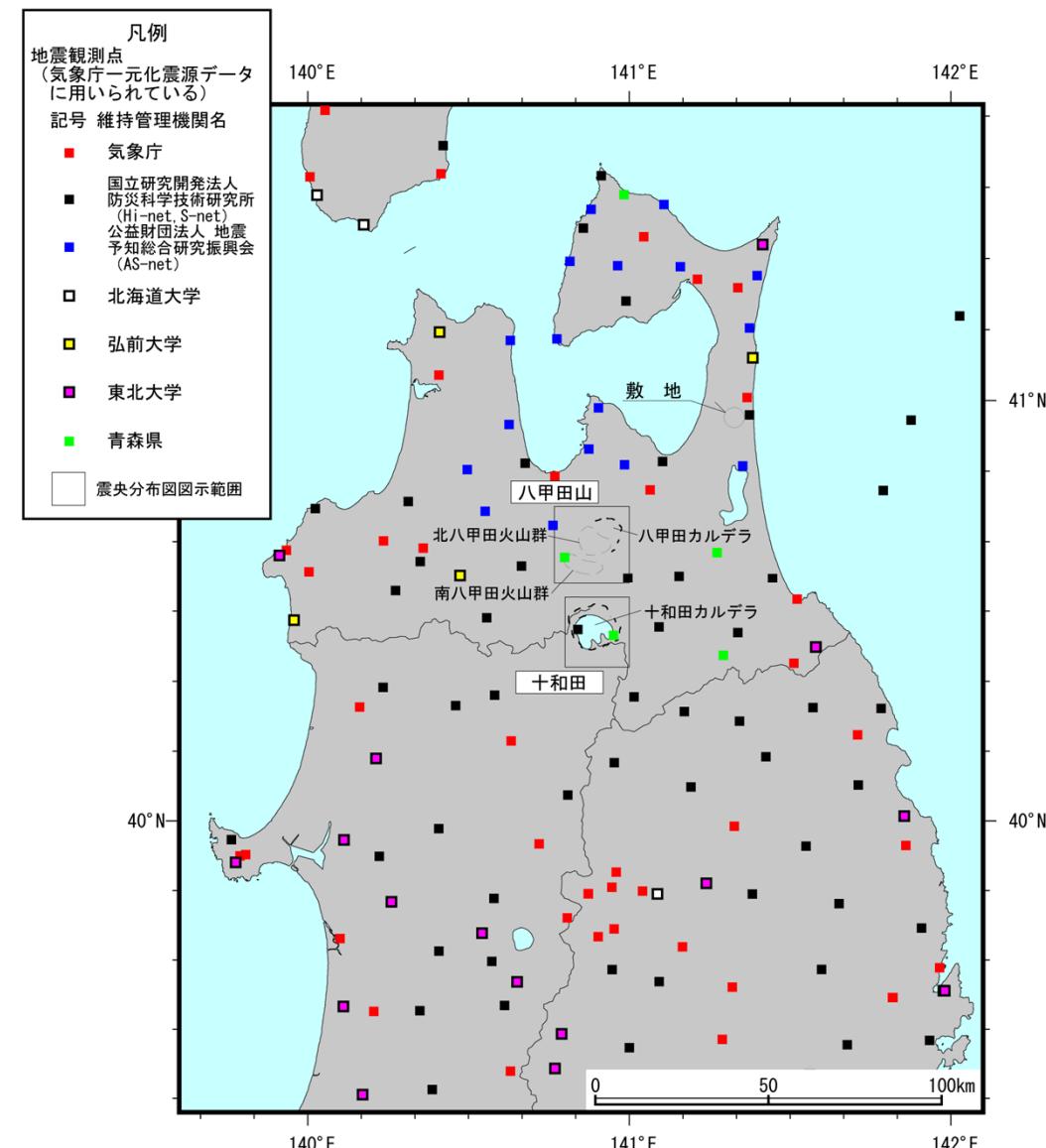
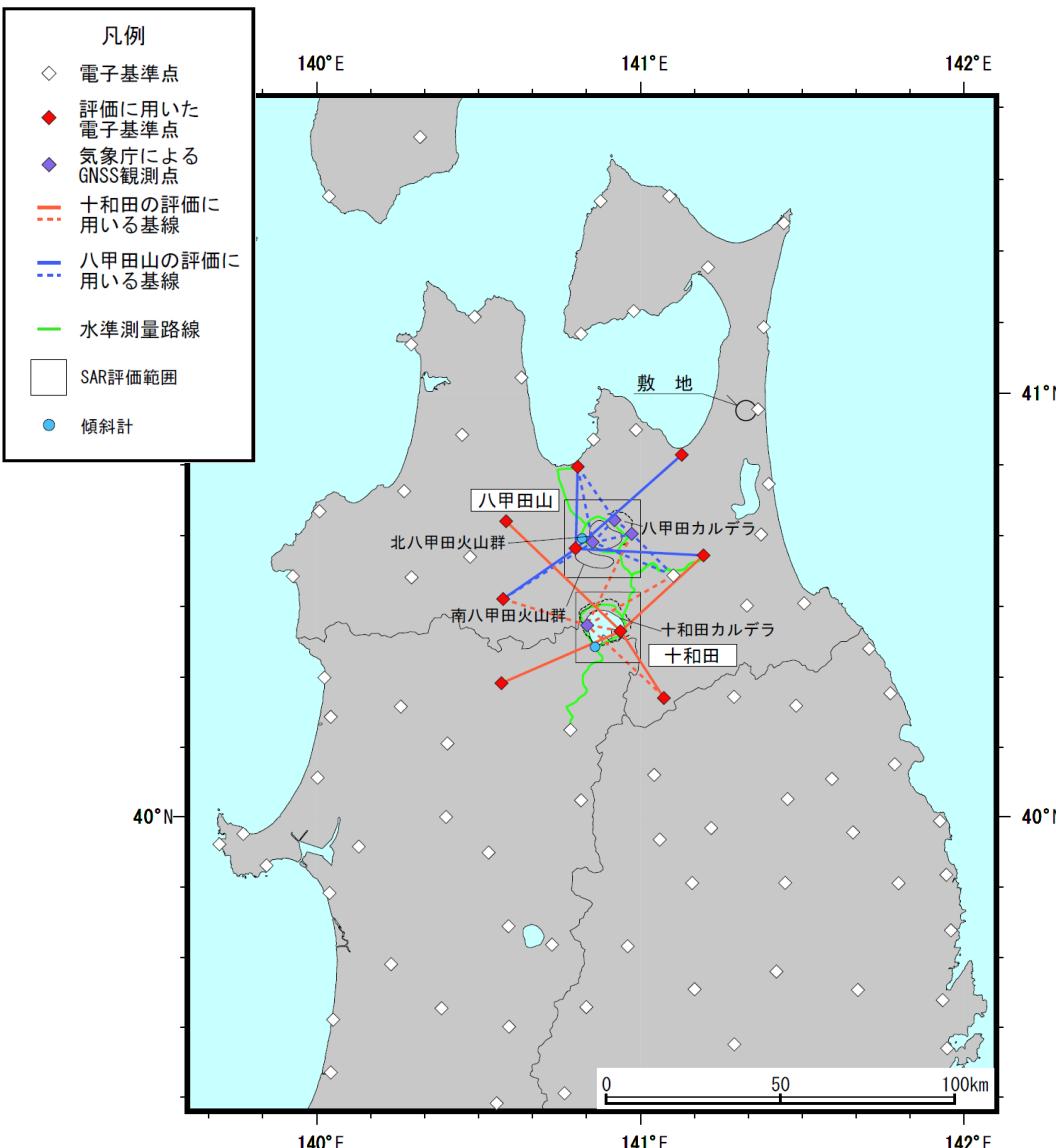
期間:2023年4月1日～2024年3月31日

1. モニタリングの概要 〔検討に用いた観測データ・資料②〕

③ 公的機関の発表情報及び観測データ

- ◇ 地震・火山月報(防災編) : 毎月発行(気象庁: <https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/gaikyo/>)
- ◇ 火山噴火予知連絡会資料: 第152回(2023年7月開催), 第153回(2024年2月開催)
(気象庁: <https://www.data.jma.go.jp/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/CCPVE/CCPVE.html>)
- ◇ 火山活動解説資料: 毎月発行
(気象庁: https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_v=act_doc/monthly_vact.php#teiki)
- ◇ 地殻変動観測の概況(国土地理院: https://www.gsi.go.jp/BOUSAII/kazan_index.html)
※毎月発行(十和田・八甲田山に関する記載なし)

1. モニタリングの概要 [観測点位置図]



地殻変動観測点

地震観測点の配置
(一元化震源データに用いられている)

1. モニタリングの概要 [モニタリングの評価方法]

[I 当社の評価(公的機関の公開データ)]

① データの収集 ⇒ ② 分析 ⇒ ③ 評価

発行機関	データ更新頻度	参照元(URL)
国土地理院	F5データ:週1回 RINEXデータ:随時	電子基準点 日々の座標値(F5)データ, RINEXデータ (https://terras.gsi.go.jp/)
気象庁	随時	一元化処理震源データ(気象庁, 大学, 防災科学技術研究所等) (https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/hypo.html , https://hinetwww11.bosai.go.jp/auth/?LANG=ja)
防災科学技術研究所 (気象庁)	随時	気象庁GNSS観測点RINEXデータ, 気象庁傾斜計データ (防災科学技術研究所(https://jvdn.bosai.go.jp/portal/ja/)より取得。RINEXデータの一部は気象庁から提供)

[公的機関の発表情報]

①公的機関の発表情報の収集・整理

発行機関	更新頻度	参照元(URL)
国土地理院	月1回	火山周辺地域における地殻変動観測の概況 (https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/kazan_index.html)
気象庁	年2回	火山噴火予知連絡会 (https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/CCPVE/CCPVE.html)
	月1回	月間火山概況・火山活動解説資料 (https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_v-act_doc/monthly_vact.php#teiki)
	随時	各火山の活動状況 (https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/volcano.html)

[II 総合評価]

- 公的機関の公開データを用いた当社の評価に基づき、観測データの有意な変化の有無を判断する。

月1回

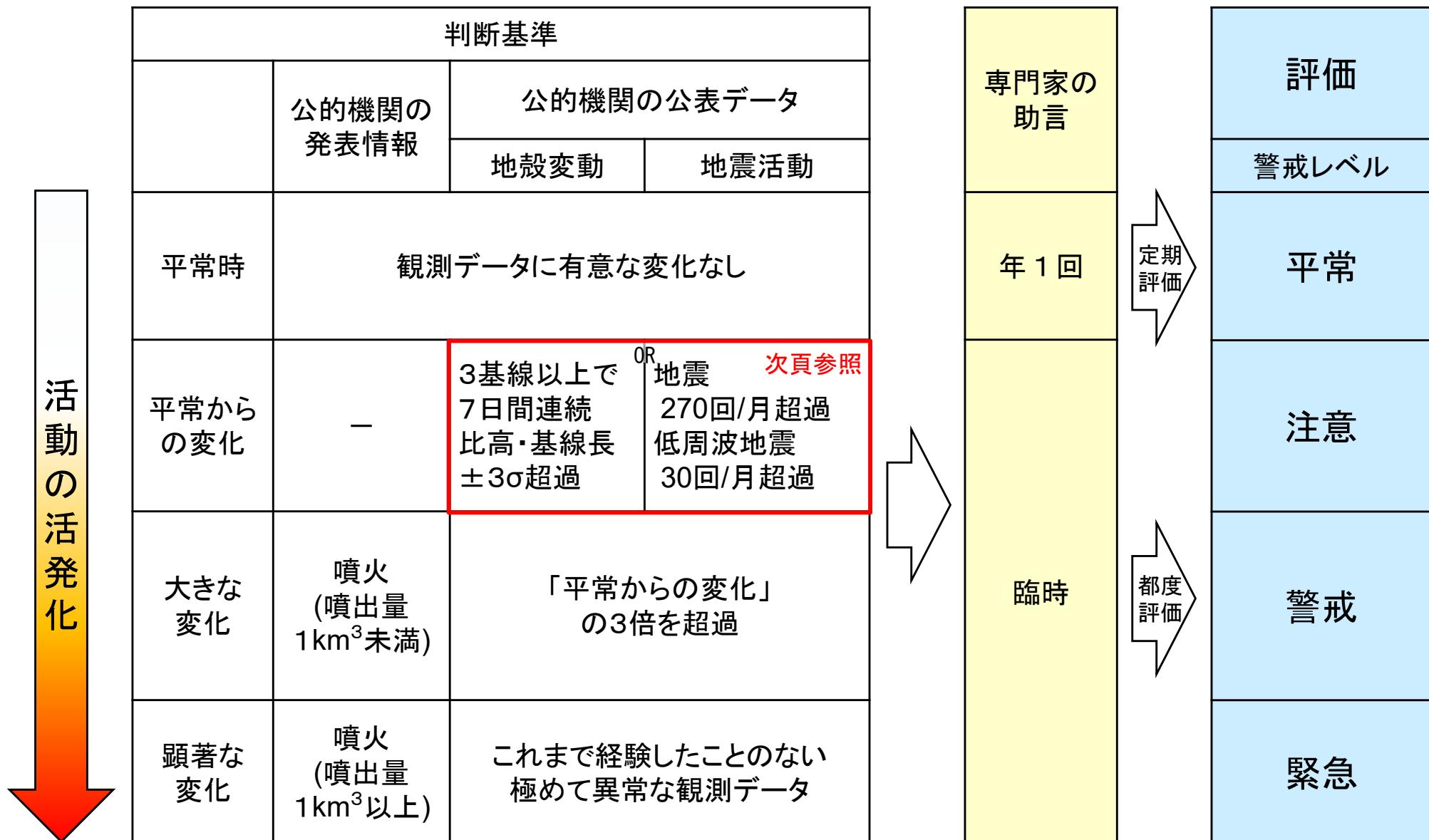


- 火山専門家の助言を得て、定期的な評価を実施
- 観測データに有意な変化が発生した場合は、臨時に火山専門家の助言を得て評価

年1回

都度

1. モニタリングの概要 [モニタリングの判断フロー]



2. 十和田及び八甲田山のモニタリング評価結果(2023年度) 〔地殻変動及び地震活動の「平常からの変化」の判断基準〕



		十和田	八甲田山
地殻変動	評価指標	比 高, 基線長	
	管理基準	比高 基線長	7日間移動中央値の前年差分の±3σ (2016年4月～評価対象年度の前年度末のデータを基に算出)
地震活動	評価指標	地震, 低周波地震	
	管理基準	地震 低周波地震	M0.5以上の地震 270回/月 30回/月
「平常からの変化」の 判断基準		<p>【地殻変動】 比高: 管理基準を3基線以上で7日間連続超過 OR 基線長: 管理基準を3基線以上で7日間連続超過 OR</p> <p>【地震活動】 地震: (270回/月超過) OR 低周波地震: (30回/月超過)</p>	

※ 干渉SARや水準測量も実施し、モニタリング精度の向上に努める。

2. 十和田及び八甲田山のモニタリング評価結果(2023年度) 〔判断基準の確認結果〕



評価対象	公的機関の公開データ及び当社調査結果 (国土地理院、気象庁)		公的機関の発表情報 (気象庁、火山噴火予知連絡会等)		火山活動の変化	警戒レベル
	地殻変動	地震活動	噴火の有無 規模等	(参考) 警戒情報		
十和田	<p>◇比高：判断基準<u>超過なし</u> 判断基準： 7日間移動中央値の前年差分の±3σを 3基線以上で7日間連續超過</p> <p>◇基線長：判断基準<u>超過なし</u> 判断基準： 余効変動の近似値と日々のデータの差に おける±3σを3基線以上で7日間連續超過</p>	<p>◇通常の地震 :判断基準<u>超過なし</u> 判断基準： M0.5以上:270回/月</p> <p>◇低周波地震 :判断基準<u>超過なし</u> 判断基準： 30回/月</p>	噴火なし	噴火警戒レベル1, 活火山であることに 留意	有意な 変化なし	平常
	× (判断基準超過なし)	× (判断基準超過なし)	×	(噴火なし)		
八甲田山	<p>◇比高：判断基準<u>超過なし</u> 判断基準： 7日間移動中央値の前年差分の±3σを 3基線以上で7日間連續超過</p> <p>◇基線長：判断基準<u>超過なし</u> 判断基準： 余効変動の近似値と日々のデータの差に おける±3σを3基線以上で7日間連續超過</p>	<p>◇通常の地震 :判断基準<u>超過なし</u> 判断基準： M0.5以上:270回/月</p> <p>◇低周波地震 :判断基準<u>超過なし</u> 判断基準： 30回/月</p>	噴火なし	噴火警戒レベル1, 活火山であることに 留意	有意な 変化なし	平常
	× (判断基準超過なし)	× (判断基準超過なし)	×	(噴火なし)		

2. 十和田及び八甲田山のモニタリング評価結果(2023年度)

〔観測データに有意な変化があったと判断する目安:チェックリスト〕



火山モニタリングにおける「観測データに有意な変化があったと判断する目安」における監視項目チェックリスト

(原子炉安全専門審査会原子炉火山部会(2020))

	監視項目	確認事項
主な監視項目	地震活動	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/>既往の構造性地震、火山性地震等の地震発生領域(震源分布)の拡大又は消滅、あるいは、新たな地震発生領域の出現 <input type="checkbox"/>地震発生数の急激な変化(増加又は減少) <ul style="list-style-type: none"> 【解説】 ・既往の地震発生領域の時空間的变化に着目し、震源分布の拡大や消滅、新たな地震発生領域の出現を注視する。
	地殻変動・地盤変動 (GNSS、水準測量、衛星観測、傾斜計・伸縮計)	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/>GNSS 連続観測による基線長や上下変動の急激な傾向の変化(増加又は減少)、 水準測量による地盤の上下変動の急激な傾向の変化(隆起又は沈降) <input type="checkbox"/>既往の地殻変動とは異なる場所での地殻変動(GNSS、水準測量、衛星観測)の出現と急速な進展 <input type="checkbox"/>傾斜計・伸縮計による地盤変動の急激な傾向の変化 <ul style="list-style-type: none"> 【解説】 ・GNSS 連続観測による基線長に、既往の増加(伸長)又は減少(短縮)傾向と比較して、それらに急激な変化が生じていないか時間変化に着目する。 ・GNSS 連続観測による上下変動や水準測量に、既往の上下変動の傾向と比較して、それらに急激な変化が生じていないか、 あるいは、これまで変化が見られなかった場所での隆起及び沈降がないかを注視する。
	火山ガス・熱活動 (表面活動)	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/>既往の火山ガス放出場所の拡大又は消滅、あるいは、放出場所の出現(新たな火口や火道の形成など) <input type="checkbox"/>火山ガスの放出量に急激な傾向の変化(増加又は減少) <ul style="list-style-type: none"> 【解説】 ・既往の火山ガス放出場所の拡大や消滅に着目し、新たな火口や火道の形成など、放出場所の変化に着目する。
その他の監視項目	噴出場所及び噴出物	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/>既往の火口の拡大や消長、新たな火口や火道の形成 <input type="checkbox"/>マグマ成分の物理的・化学的性質の変化(例えば、玄武岩質ないし安山岩質から流紋岩質への変化等) <ul style="list-style-type: none"> 【解説】 ・例えば、阿蘇カルデラでは、阿蘇4噴火の前にカルデラ周縁部において、高遊原溶岩等の噴出物が地質調査等により確認されており、それ以前の噴出物とは異なり、 阿蘇4噴出物と同様に角閃石斑晶を含む(渡辺・小野、1966)。その化学組成は、阿蘇4噴出物ほどではないが珪長質に富んでいる(黒川ほか、2013)。 なお、この溶岩流出後、数100 年の時間を経て爆発的な阿蘇4火碎流噴火が起きたと考えられている(小林・星住、2017)。 ・マグマの急激な化学組成の変化は、今後の噴火活動の推移及び質的変化を判断する目安となる。 ・マグマ成分の物理的・化学的性質の急激な変化が生じたからといって、必ずしも巨大噴火の発生に直結するものではない。
	噴火様式	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/>噴煙柱高度が数十km 程度のプリニー式噴火の発生と更なる活動拡大化の傾向 <ul style="list-style-type: none"> 【解説】 ・噴煙柱高度、噴火継続時間、噴出物の量等からの総合的な判断指標。
	地下構造	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/>地震波速度構造や比抵抗構造により、地殻内に推定される低速度及び低比抵抗領域の拡大又は消滅、 あるいは、新たな低速度及び低比抵抗領域の出現 <ul style="list-style-type: none"> 【解説】 ・探査深度や分解能等の技術的課題や海域での調査の困難さはあるものの、まずは場として平常時の地下構造を把握しておく必要がある。 その上で、①主な監視項目における地震活動や地殻変動において、有意な変化の可能性がある場合、状況に応じて地下構造調査を行う。 ・地震波速度(V_p, V_s)及び比抵抗は、岩石の種類、流体の飽和度、温度及び圧力により変化するため、地下の流体や高温異常の空間分布を把握するための重要な手掛かりとなる。 一般に、低V_pかつ高V_p/V_s領域は、マグマ等の流体の存在を示唆し、低V_pかつ低V_p/V_s領域は、水の存在を示唆する(Nakajima et al.,2001)。 また、比抵抗は、地震波速度と比較して、マグマ等の流体や水の存在に対して感度は高いという長所はあるが、両者の区別を行うことが難しいという短所もある。

2. 十和田及び八甲田山のモニタリング評価結果(2023年度) 〔観測データに有意な変化があったと判断する目安:十和田〕

▶ 全ての監視項目において有意な変化がないことを確認した。

監視項目		確認したデータ	頁	確認結果
① 主な監視項目	地震活動	<ul style="list-style-type: none"> ・一元化震源データの整理 ・十和田の火山活動解説資料(令和5年4月～令和6年3月) 	16-25 26	<ul style="list-style-type: none"> ・地震発生領域の拡大または消滅、新たな地震発生領域の出現は認められない ・地震発生数の急激な変化は認められない
	地殻変動	<ul style="list-style-type: none"> ・GNSSデータの整理 ・十和田の火山活動解説資料(令和5年4月～令和6年3月) 	28-43 44	<ul style="list-style-type: none"> ・既往の傾向と比較して、急激な変化は認められないものの、気象庁GNSS観測点「大川岱」や電子基準点「十和田湖2」にわずかな変位が認められるため今後注視する ・傾斜計による地盤変動の急激な傾向の変化は認められない
	水準測量	<ul style="list-style-type: none"> ・当社実施データ 	45	
	地盤変動	<ul style="list-style-type: none"> ・当社実施データ ・国土地理院解析データ 	46 47	
	傾斜計	<ul style="list-style-type: none"> ・JVDN格納データの整理 	48	
	表面活動	<ul style="list-style-type: none"> ・十和田の火山活動解説資料(令和5年4月～令和6年3月) 	50-51	<ul style="list-style-type: none"> ・既往の火山ガス放出場所の拡大または消滅、放出場所の出現は認められない ・火山ガスの放出量に急激な変化は認められない
② 他の監視項目	噴出場所及び噴出物	<ul style="list-style-type: none"> ・十和田の火山活動解説資料(令和5年4月～令和6年3月) 	50-51	<ul style="list-style-type: none"> ・既往の火口の拡大や消長、新たな火口や火道の形成は認められない ・マグマ成分の物理的・化学的性質に急激な変化があったとする科学的知見は認められない
	噴火様式	<ul style="list-style-type: none"> ・十和田の火山活動解説資料(令和5年4月～令和6年3月) 	50-51	<ul style="list-style-type: none"> ・噴煙柱高度が数十km程度のプリニー式噴火を伴うような噴火は認められない
	地下構造	地震波速度	Nakajima et al.(2001) 中島(2017)	52 53
			日本列島下の三次元地震波速度構造(2022年版)	54-55
		当社実施データ	Kanda and Ogawa(2014)	56-58
		比抵抗	産業技術総合研究所(2023)	59-62 63

2. 十和田及び八甲田山のモニタリング評価結果(2023年度) 〔観測データに有意な変化があったと判断する目安:八甲田山〕



▶ 全ての監視項目において有意な変化がないことを確認した。

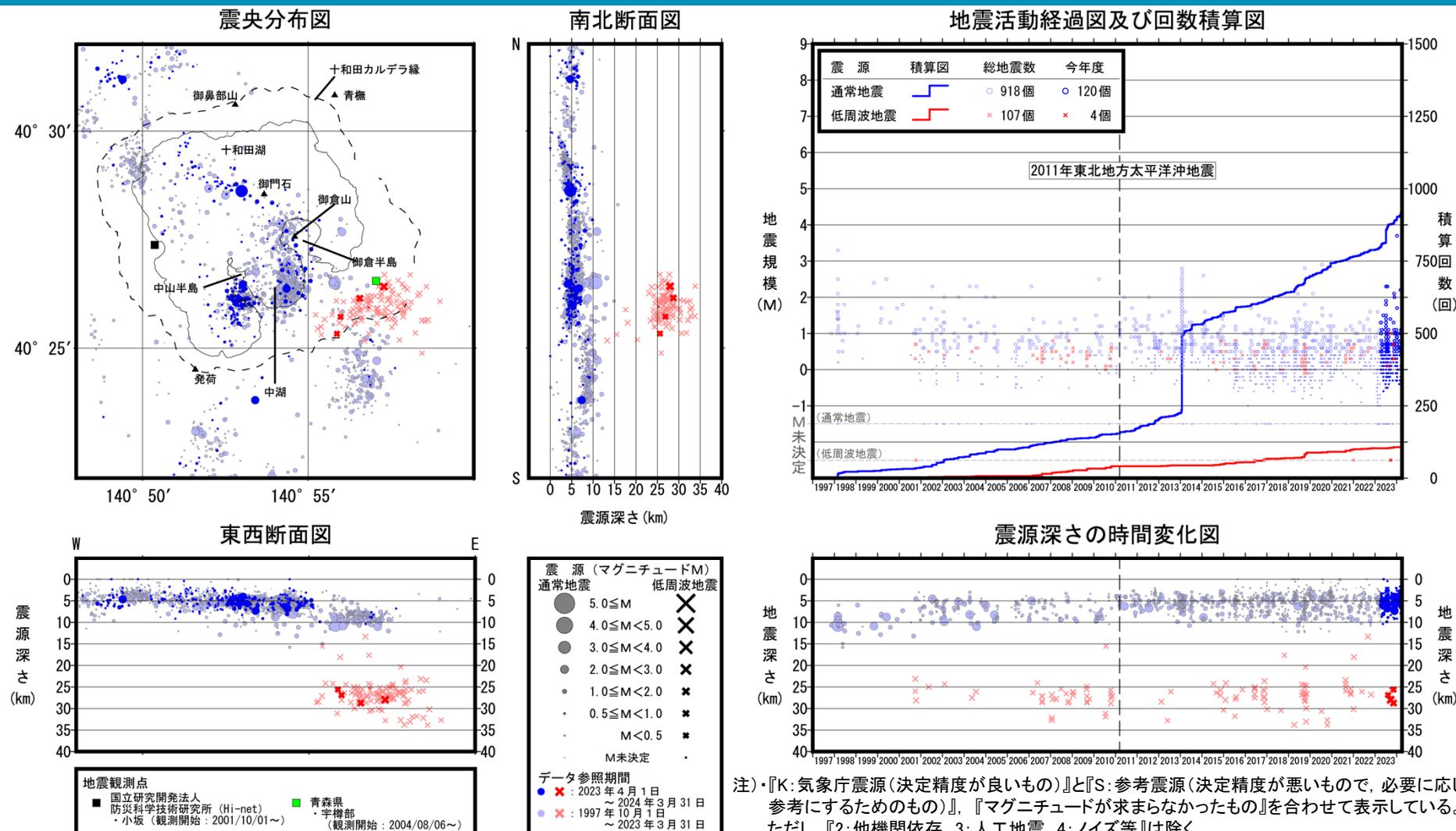
監視項目		確認したデータ	頁	確認結果	
① 主な監視項目	地震活動	・一元化震源データの整理 ・八甲田山の火山活動解説資料(令和5年4月～令和6年3月)	68-77 78	・地震発生領域の拡大または消滅、新たな地震発生領域の出現は認められない ・地震発生数の急激な変化は認められない	
	地殻変動・地盤変動	GNSS	80-103 104		
	水準測量	・当社実施データ	105-106	・既往の傾向と比較して、急激な変化は認められない	
	衛星観測	・当社実施データ ・国土地理院解析データ	107 108	・既往の地殻変動と異なる場所での地殻変動の出現は認められない ・傾斜計による地盤変動の急激な傾向の変化は認められない	
	傾斜計	・JVDN格納データの整理	109		
	表面活動	火山ガス熱活動	111-112	・既往の火山ガス放出場所の拡大または消滅、放出場所の出現は認められない ・火山ガスの放出量に急激な変化は認められない	
② その他の監視項目	噴出場所及び噴出物	十和田の火山活動解説資料(令和5年4月～令和6年3月)	111-112	・既往の火口の拡大や消長、新たな火口や火道の形成は認められない ・マグマ成分の物理的・化学的性質に急激な変化があったとする科学的知見は認められない	
	噴火様式	十和田の火山活動解説資料(令和5年4月～令和6年3月)	111-112	・噴煙柱高度が数十km程度のプリニー式噴火を伴うような噴火は認められない	
	地下構造	地震波速度	Nakajima et al.(2001) 中島(2017)	113 114	
			日本列島下の三次元地震波速度構造(2022年版)	115-116	
		当社実施データ	117-119	・地殻内に推定される低速度及び低比抵抗領域の拡大または消滅、新たな低速度及び低比抵抗領域が出現したとする科学的知見は認められない	
	比抵抗	小川(1991)	120-122		

余白

3. 十和田のモニタリング

十和田のモニタリング

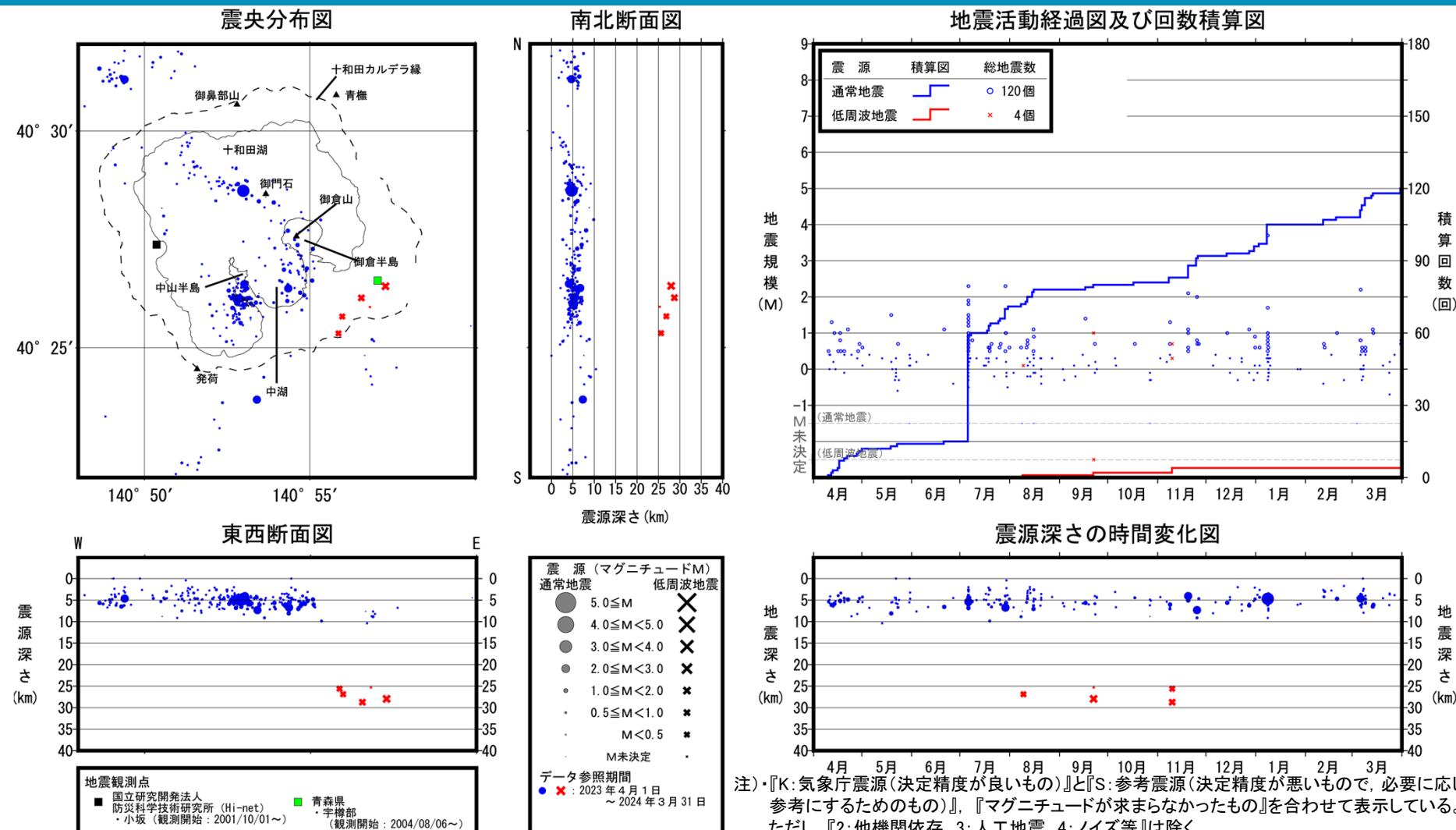
3.1 十和田(地震活動:震源分布とマグニチュード)【全期間】



特記事項

観測期間を通じて、中湖及びその周辺、並びにカルデラ南東縁～南東方及びカルデラ北西～北西方に震源を有する地震が観測してきた。
 通常の地震は深さ約3km～約10km、低周波地震はカルデラ南東縁付近の深さ約24km～約30kmを中心に震源を有する。
 ⇒地震の震源分布及びその発生頻度に大きな変化はなく、地震活動の活発化を示唆する顕著な変化は認められない。

3.1 十和田(地震活動:震源分布とマグニチュード)【2023年度】



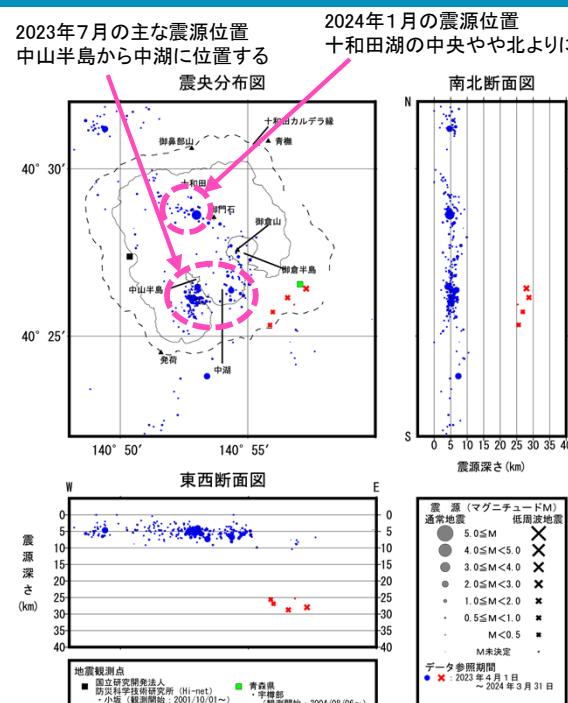
注)・『K: 気象庁震源(決定精度が良いもの)』と『S: 参考震源(決定精度が悪いもので、必要に応じて参考にするためのもの)』、『マグニチュードが求まらなかったもの』を合わせて表示している。
ただし、『2: 他機関依存、3: 人工地震、4: ノイズ等』は除く。

・通常の地震回数はM0.5以上のものを積算している。低周波地震はMが求まらなかったものを除いて積算している。

特記事項

2023年度では、M0.5以上の通常の地震が120回(最多56回/月、最大M3.7)、低周波地震が4回(最多2回/月、最大M1)観測された。M0.5以上の通常の地震の震源位置は十和田カルデラ北西方から南縁にかけての地域であり、低周波地震の震源位置は十和田カルデラ南東縁である。M0.5以上の通常の地震の震源深さは約3km～約10kmであり、低周波地震の震源の深さは約25km～約29kmである。

3.1 十和田(地震活動:震源分布とマグニチュード)【2023年度】 2023年7月及び2024年1月の地震活動について



注)・K: 気象庁震源(決定精度が良いもの)とS: 参考震源(決定精度が悪いもので、必要に応じて参考にするためのもの)。『マグニチュードが求まらなかったもの』を合わせて表示している。

ただし、[2:他機関依存、3:人工地震、4:ノイズ等]は除く。

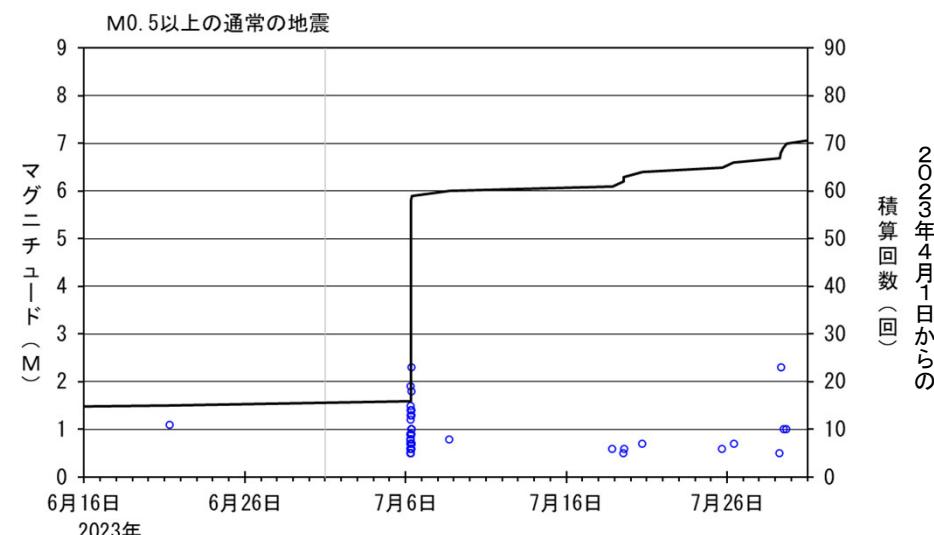
・通常の地震回数はM0.5以上のものを積算している。低周波地震はMが求まらなかったものを除いて積算している。

- 2023年7月6日に中山半島から中湖にかけての深さ約3km～約6kmを震源とするM0.5以上の通常の地震が一時的に増加し、44回観測された。この地震前後で顕著な地震の増加はみられない。

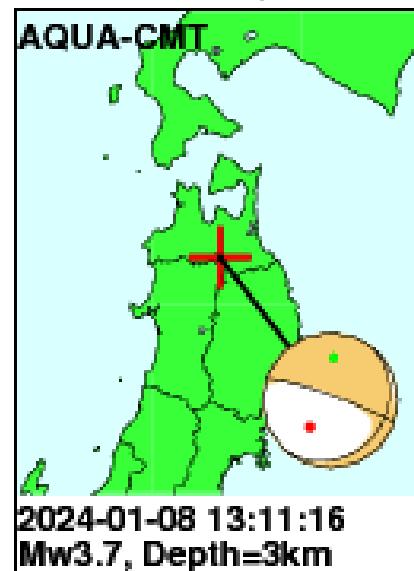
- 2024年1月8日に十和田湖の中央やや北よりの深さ約5kmを震源とするM3.7の通常の地震が観測された。1997年以降の観測期間内において最大規模であった。この地震前後で顕著な地震の増加はみられない。

メカニズム解からは、西北西－東南東走向、高角度傾斜の断層が推定される。断層のタイプは、逆断層と正断層の中間型と考えられる。

■地震活動経過図及び回数積算図(2023年6月16日～7月30日)



■メカニズム解(2024年1月8日M3.7の地震)



震源時※	緯度※	経度※	深さ※	Mw
2024/01/08 13:11:16	40.5N	140.9 E	3 km	3.7
走向	傾斜角	すべり角		
39.4°/289.5°	18.1°/83.6°	-159.1°/-73.0°		
品質	観測点数	種別		
62.6	4	C		

防災科学技術研究所:AQUAシステム メカニズム解カタログ
(https://www.hinet.bosai.go.jp/AQUA/aqua_catalogue.php?y=2024&m=01&LANG=ja)

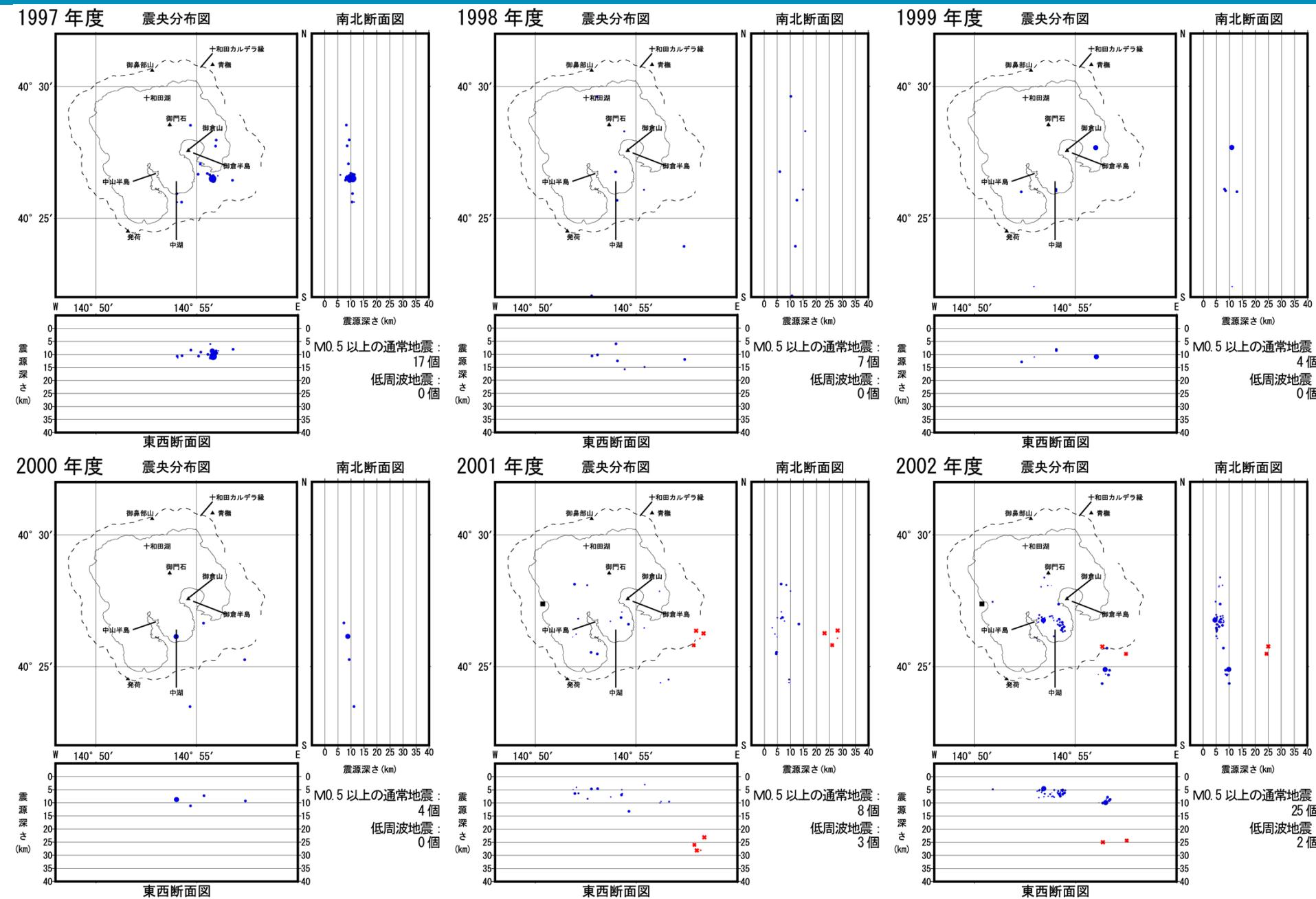
防災科学技術研究所のAQUAシステムでは、比較的大きな地震を対象に震源、マグニチュード、メカニズム解について即時的に推定し、その結果を公開している。

※セントロイドの位置と時刻。種別C:AQUA-CMT。

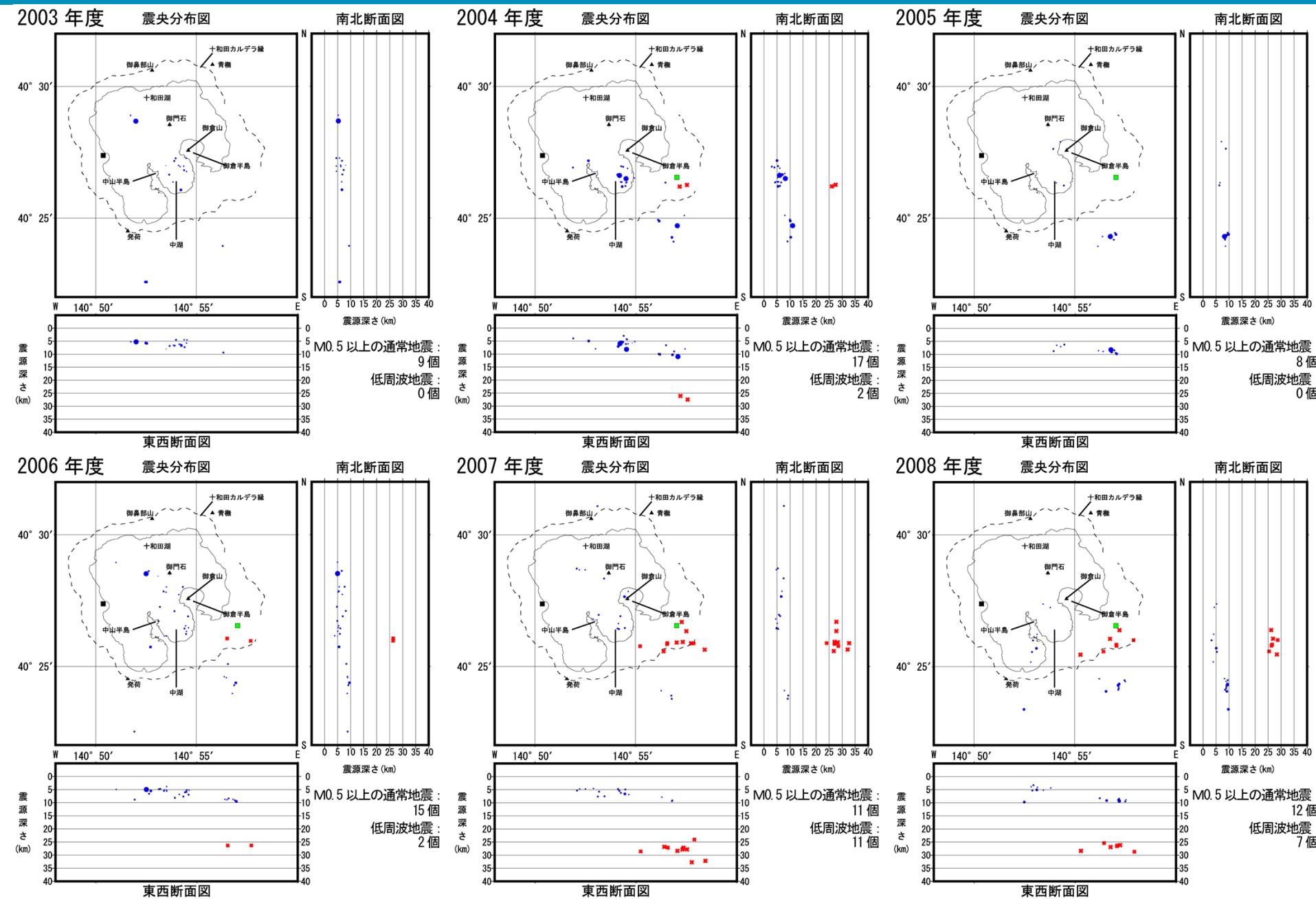
Mw:モーメントマグニチュード。

(本資料のMは気象庁マグニチュード)

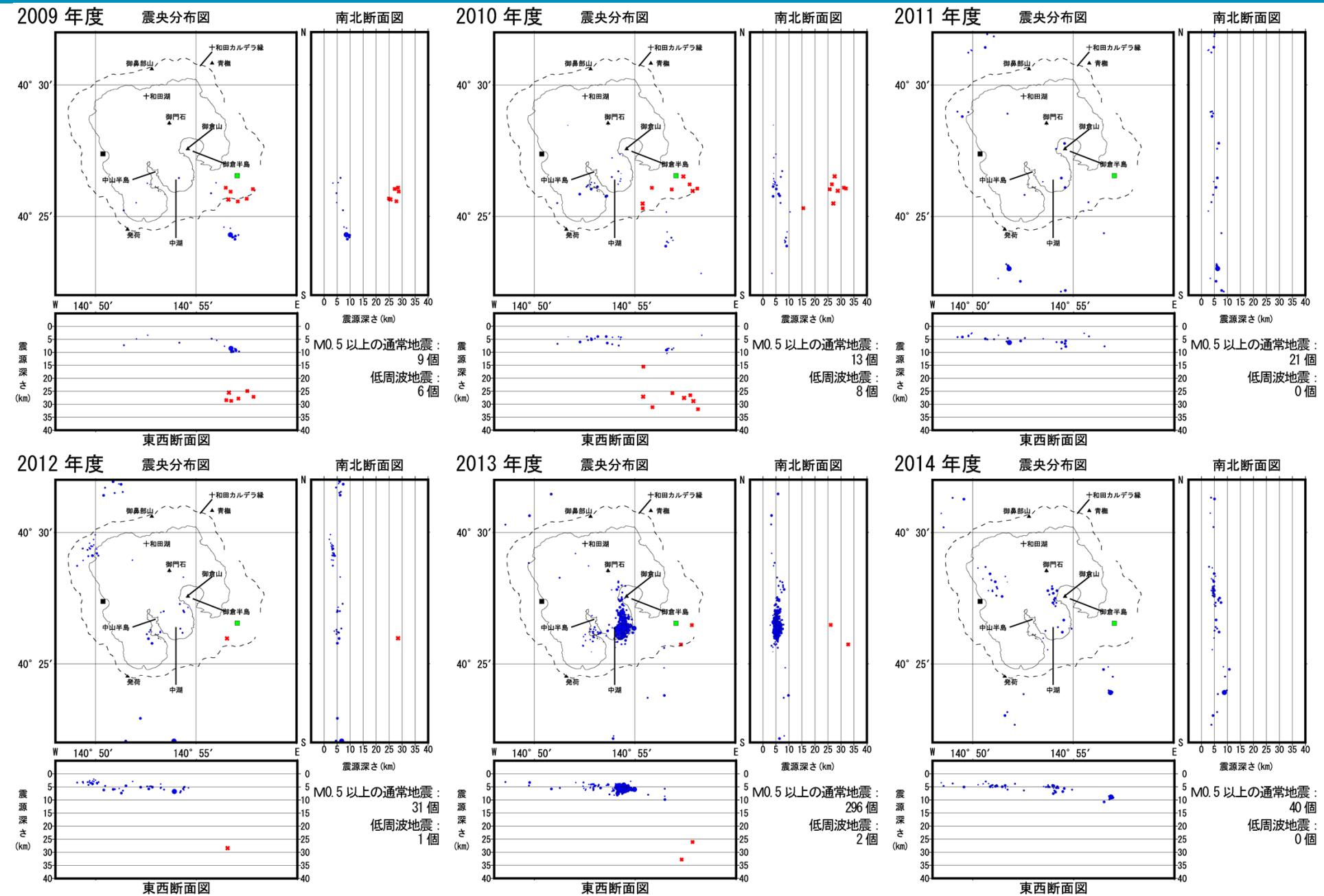
3.1 十和田(地震活動:震源分布)【1997年度～2002年度】



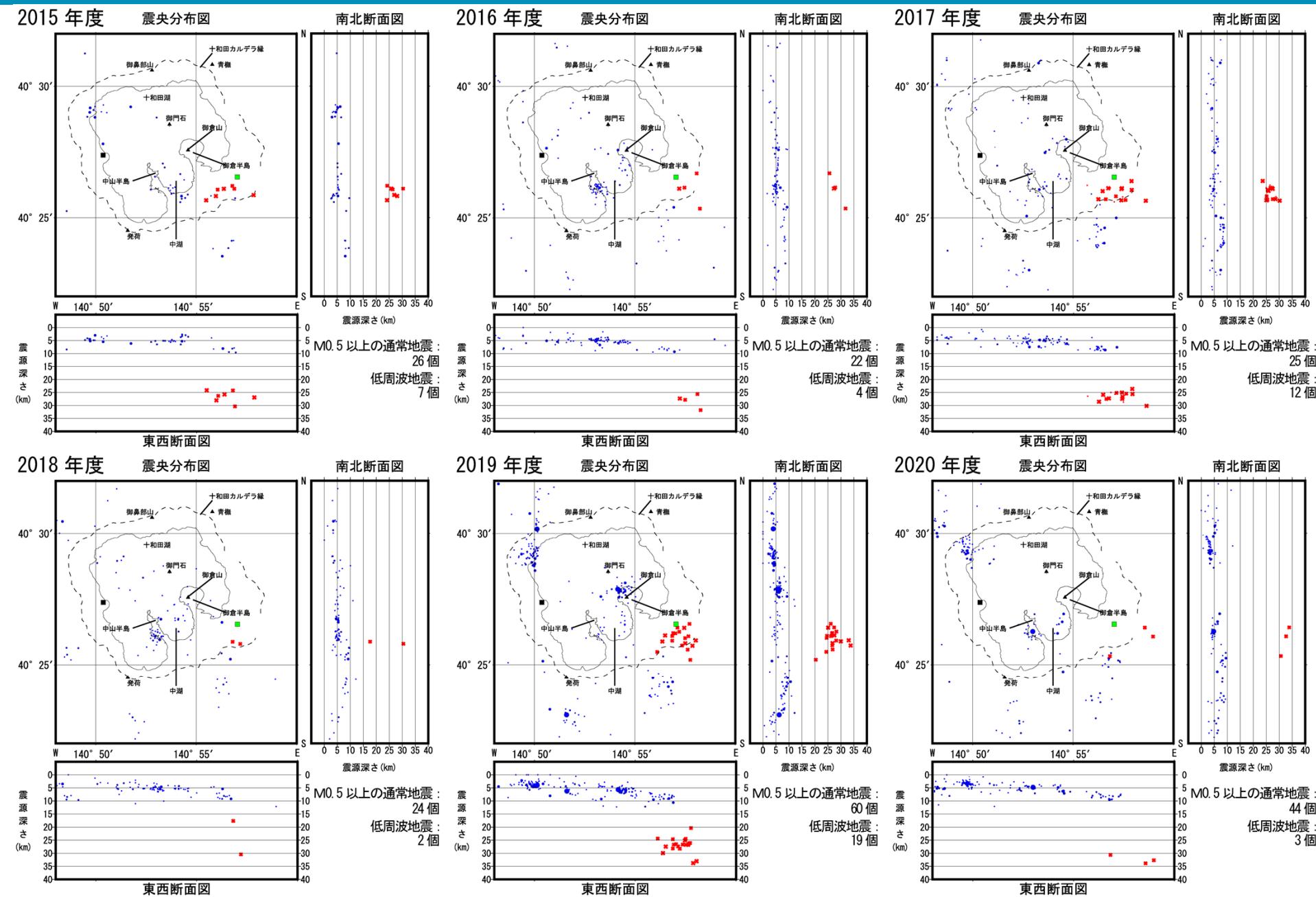
3.1 十和田(地震活動:震源分布)【2003年度～2008年度】



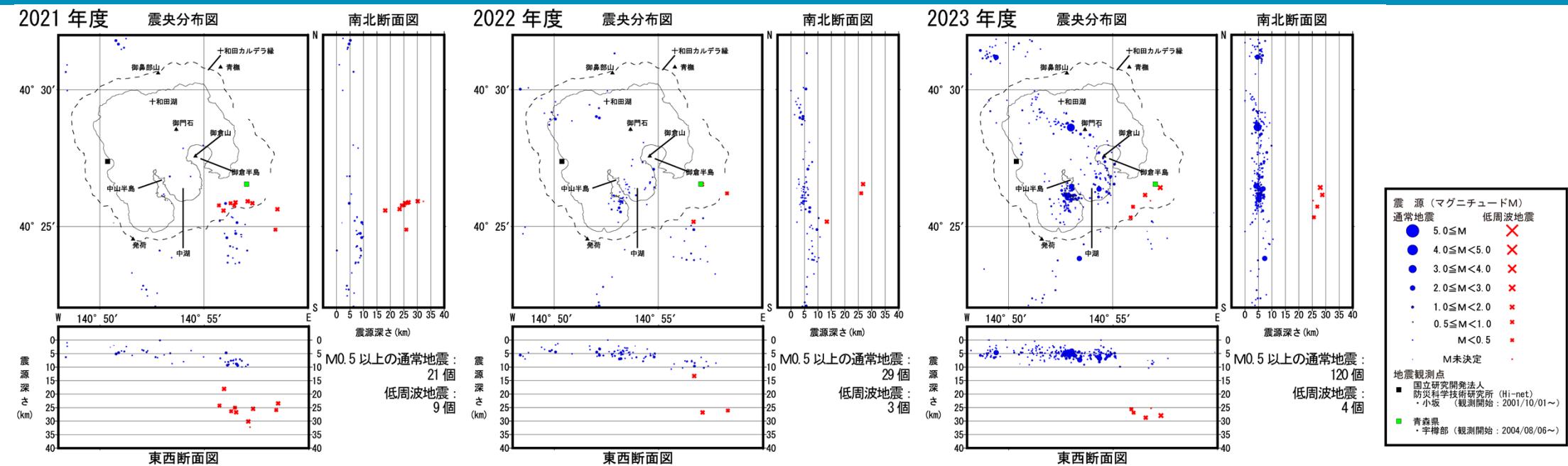
3.1 十和田(地震活動:震源分布)【2009年度～2014年度】



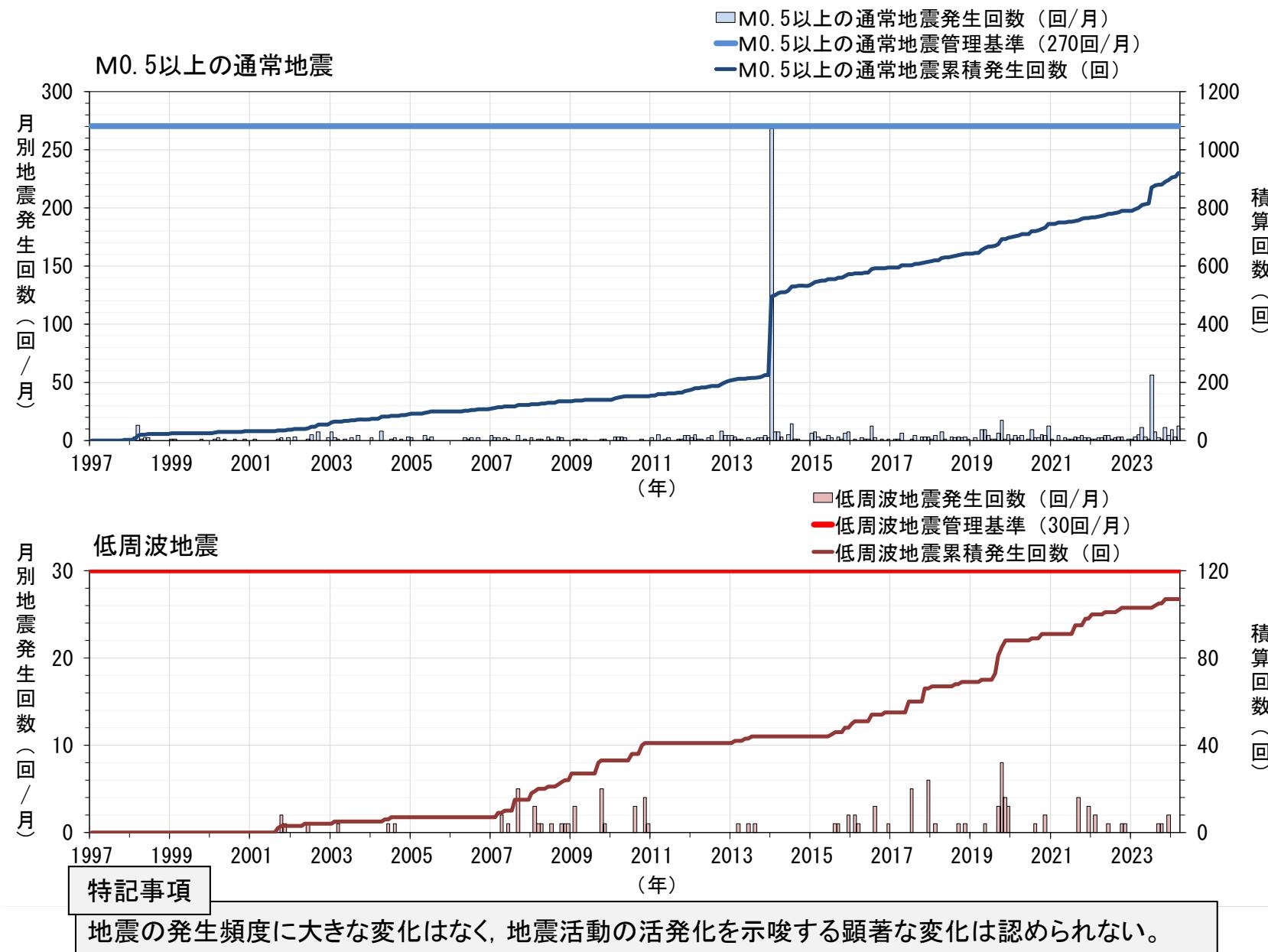
3.1 十和田(地震活動:震源分布)【2015年度～2020年度】



3.1 十和田(地震活動:震源分布)【2021年度～2023年度】



3.1 十和田(地震活動:地震発生数の推移)【全期間】



3.1 十和田(地震活動:判断基準)【2023年度】

通常地震発生回数一覧 (十和田)

2023年度	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	2023年度
地震規模	(回)												
5.0≤M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.0≤M<5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.0≤M<4.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
2.0≤M<3.0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	1	5
1.0≤M<2.0	4	1	1	13	1	1	0	3	2	2	1	2	31
0.5≤M<1.0	7	2	0	41	6	1	1	6	2	6	2	9	83
M<0.5	9	16	3	52	19	10	5	3	10	19	3	14	163
M未決定	0	1	0	6	2	0	1	0	0	0	0	1	11
合計 (0.5≤M)	11	3	1	56	7	2	1	11	4	9	3	12	120

低周波地震発生回数一覧 (十和田)

2023年度	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	2023年度
地震規模	(回)												
5.0≤M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.0≤M<5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.0≤M<4.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.0≤M<3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.0≤M<2.0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
M<1.0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	3
M未決定	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
合計	0	0	0	0	1	1	0	2	0	0	0	0	4

注)・『K:気象庁震源(決定精度が良いもの)』と『S:参考震源(決定精度が悪いもので、必要に応じて参考にするためのもの)』、『マグニチュードが求まらなかったものを合わせて表示している。』

ただし、『2:他機関依存、3:人工地震、4:ノイズ等』は除く。

・通常の地震回数はM0.5以上のものを積算している。

低周波地震はMが求まらなかったものを除いて積算している。

判断基準の超過なし

最多の月:通常の地震(M0.5以上) 56回／月, 低周波地震 2回／月

〔「平常からの変化」の判断基準〕

通常の地震(M0.5以上):270回／月, 低周波地震:30回／月

3.1 十和田(地震活動:公的機関の発表情報)【2023年度】

火山活動解説資料(令和5年7月, 令和6年1月, 3月)

十和田の活動概要

2023年7月6日に火山性地震が一時的に増加し、日回数は139回で、最大の地震は08時18分頃に発生した(マグニチュード2.3)。7月29日08時34分頃にもマグニチュード2.3の地震が発生したが、その前後で特段の地震の増加はみられない。また、2024年1月8日に火山性地震が一時的に増加し、日回数は12回で、最大の地震は13時11分頃に発生した(マグニチュード3.7)。これ以外の期間では、火山性地震は少ない状態で経過し、より浅い場所を震源とする火山性地震は観測されなかった。噴火の兆候は認められず、噴火警戒レベル1、活火山であることに留意) の予報事項に変更はなかった。

参考図表(一部抜粋・加筆)

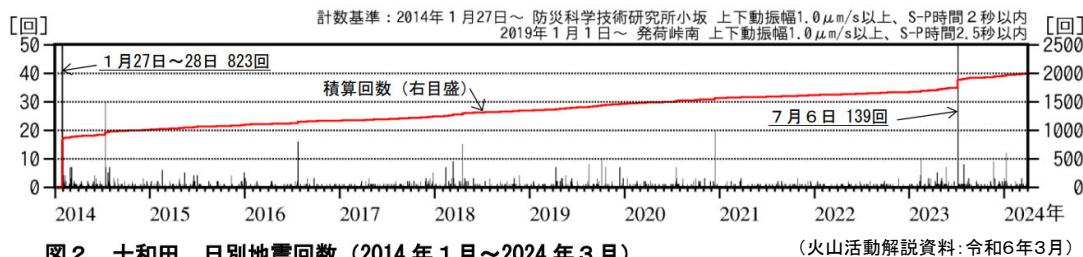


図2 十和田 日別地震回数 (2014年1月～2024年3月)

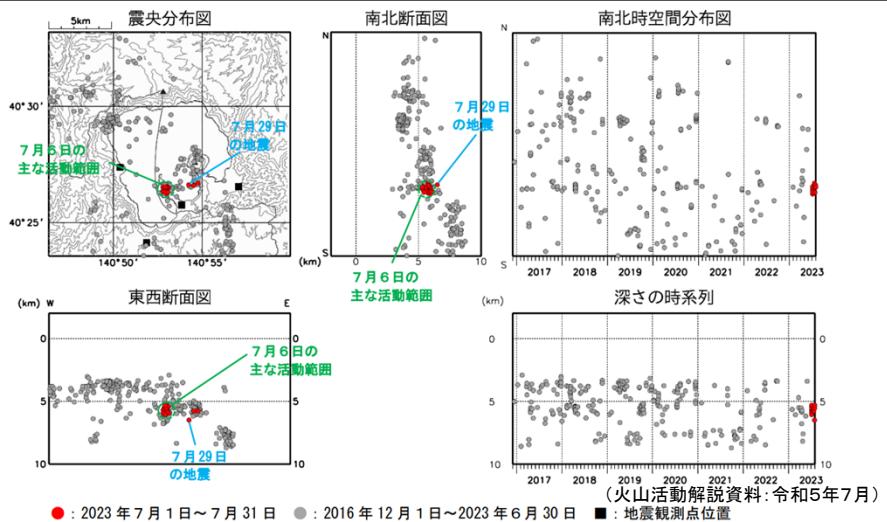


図3 十和田 地震活動 (2016年12月～2023年7月)

(2023年7月)6日に火山性地震が一時的に増加し、日回数は139回となった。震源は中湖付近の深さ6km付近と推定される。最大の地震は08時18分頃に発生し、マグニチュードは2.3であった。日回数が100回を超えたのは2014年1月27日(最大のマグニチュードは2.8)以来である。また、29日08時34分頃にもマグニチュード2.3の地震が発生したが、その前後で特段の地震の増加はみられなかった。低周波地震、火山性微動は観測されなかった。その他の期間は、火山性地震は少ない状態で経過し、より浅い場所を震源とする火山性地震は観測されなかった。十和田では、これまで深さ5km前後の地震が発生している。

(2024年1月)8日に火山性地震が一時的に増加し、日回数は12回となった。震源は中湖の北約5kmの深さ約5km付近と推定される。最大の地震は13時11分頃に発生し、マグニチュードは3.7で、秋田県小坂町において最大震度2を観測した。低周波地震、火山性微動は観測されなかった。その他の期間は、火山性地震は少ない状態で経過し、より浅い場所を震源とする火山性地震は観測されなかった。十和田では、これまで深さ5km前後の地震が発生している。

図2 十和田 日別・時別地震回数 (7月6日)

- ・地震計数に使用した観測点は次のとおりです。(角カッコ内は地震回数の計数基準)
- ▼観測開始 2014年1月27日～ 防災科学技術研究所小坂観測点 [振幅1.0μm/s以上、S-P時間2秒以内]
- ▼ 2019年1月1日～ 発荷峠観測点 [振幅1.0μm/s以上、S-P時間2.5秒以内]

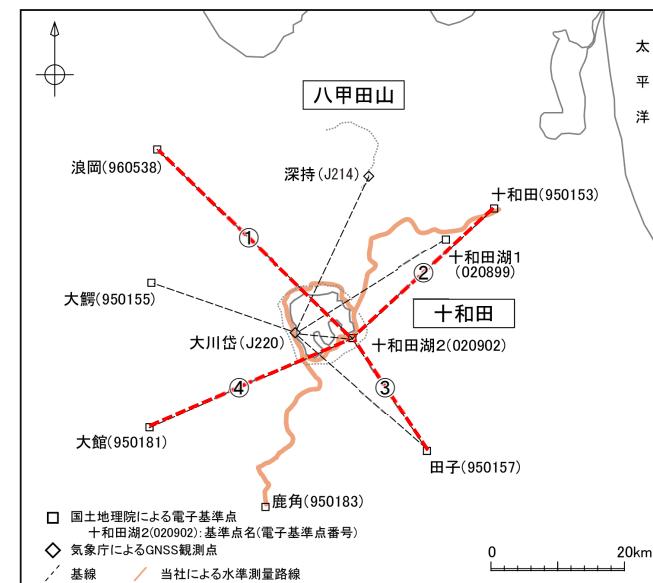
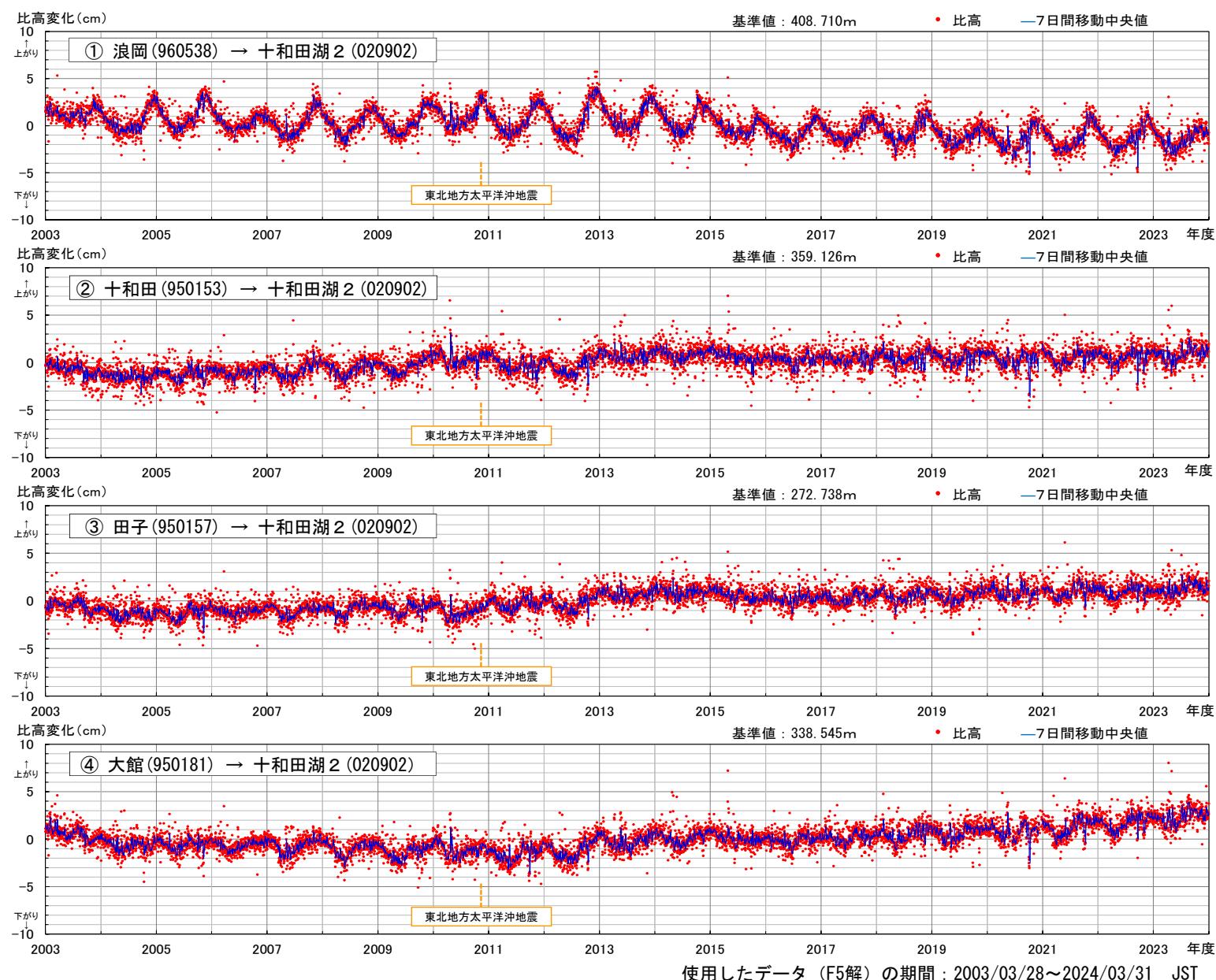
3.1 十和田(地震活動:まとめ)【2023年度】

- ・観測期間を通じて、中湖及びその周辺、並びにカルデラ南東縁～南東方及びカルデラ北西～北西方に震源を有する地震が観測され、M1以上の通常の地震は深さ約3km～約10km、低周波地震はカルデラ南東縁付近の深さ約24km～約30kmを中心に震源を有する。
- ・2023年度では、M0.5以上の通常の地震が120回、低周波地震が4回観測された。当社が設定した判断基準の超過は今期間で発生していない。
- ・2023年7月6日に火山性地震が一時的に増加した。気象庁(2023)によれば、震源は中湖付近の深さ6km付近と推定され、日回数は139回とされる。この前後で特段の地震の増加はみられておらず、また低周波地震、火山性微動は観測されていない。



- ・2023年度における十和田の地震活動観測結果から、火山性地震の一時的な増加は発生したもの、震源分布及び発生頻度等に大きな変化はなく、地震活動の活発化を示唆する顕著な変化は認められない。
- ・地震発生領域の拡大または消滅、新たな地震発生領域の出現は認められない。
- ・地震発生数の急激な変化は認められない。

3.2 十和田(地殻変動:GNSS観測データ, 比高) 【基線①～④, 使用データ:F5解】全期間



特記事項

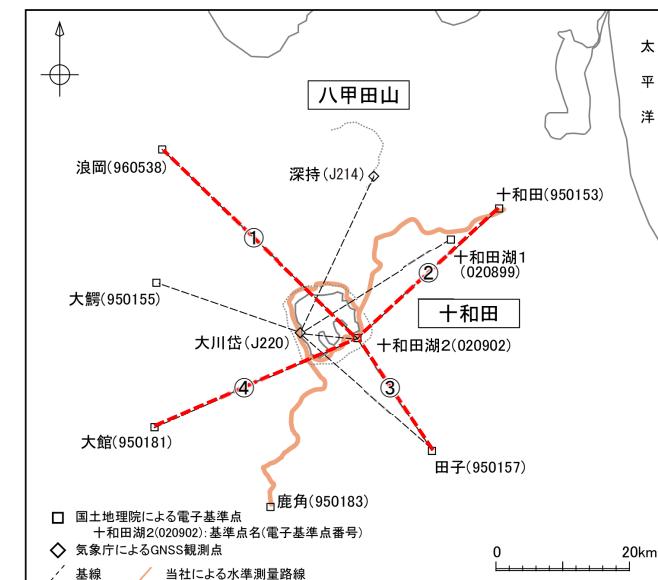
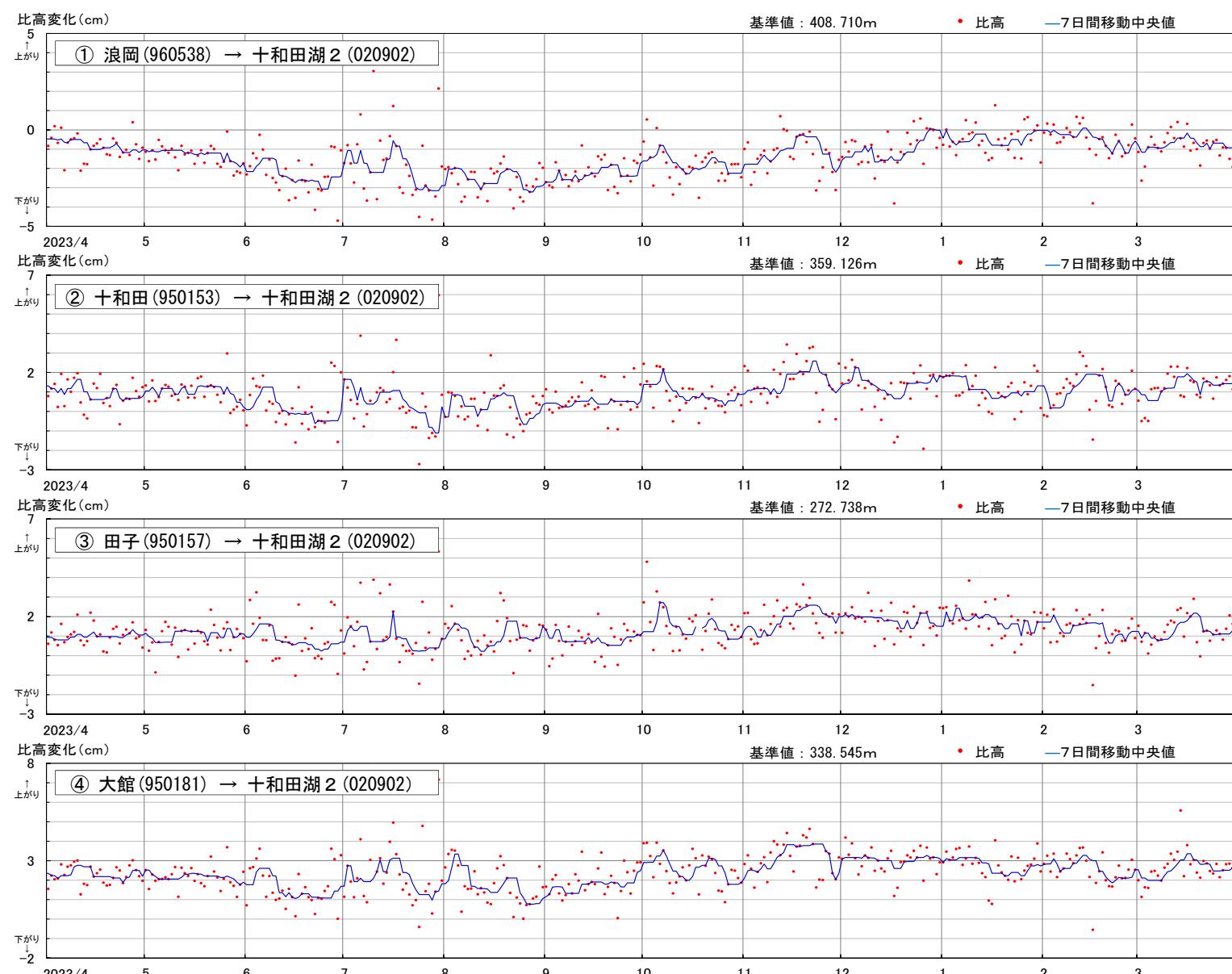
2011年東北地方太平洋沖地震以前では顕著な変位は認められなかった。

2011年東北地方太平洋沖地震後、顕著な変位の累積は認められないが、2013年に、「十和田湖2」が「十和田」「田子」「大館」に対してわずかに隆起する傾向が認められた。

⇒十和田を中心とした、系統的な変位の累積及び急激な変位は認められない。

※「浪岡」-「十和田湖2」では、年周変動が顕著である。

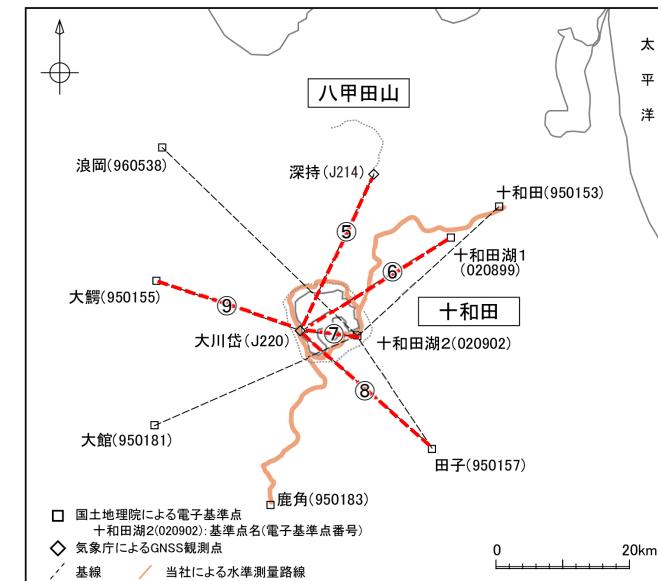
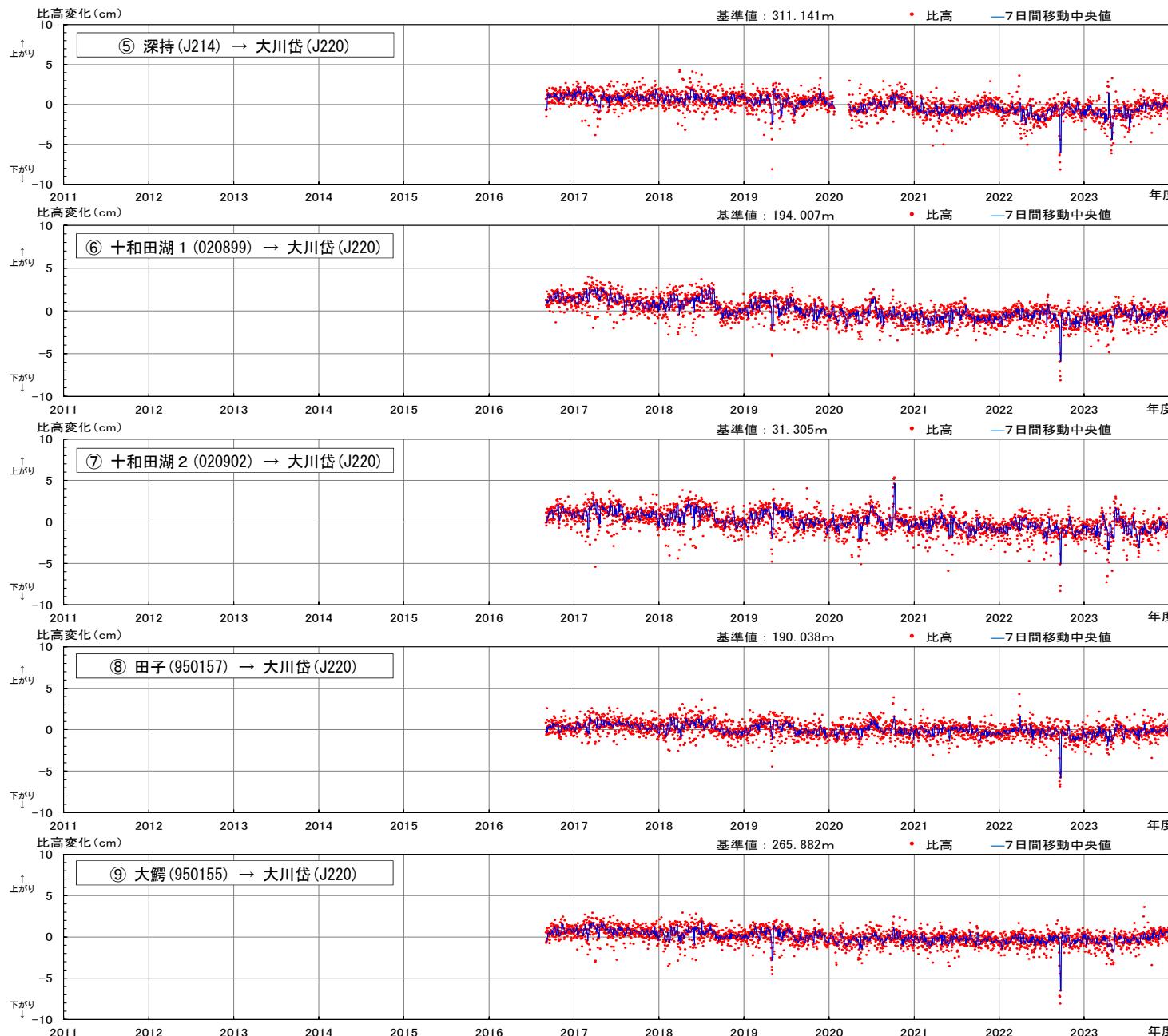
3.2 十和田(地殻変動:GNSS観測データ, 比高) 【基線①～④, 使用データ:F5解】 2023年度



特記事項

十和田を中心とした、系統的な変位の累積及び急激な変位は認められない。

3.2 十和田(地殻変動:GNSS観測データ, 比高) 【基線⑤～⑨, 使用データ:当社による統合解析】全期間



特記事項

観測開始以降、「大川岱」がわずかに沈下～停滞する傾向が継続する。
⇒十和田を中心とした、系統的な変位の累積及び急激な変位は認められない。

— 使用したデータおよび期間 —

【電子基準点データ (RINEX)】

- ・国土地理院HPより取得 <https://terras.gsi.go.jp/>
- ・用いた電子基準点: 「十和田湖1」「十和田湖2」「大鶴」「田子」

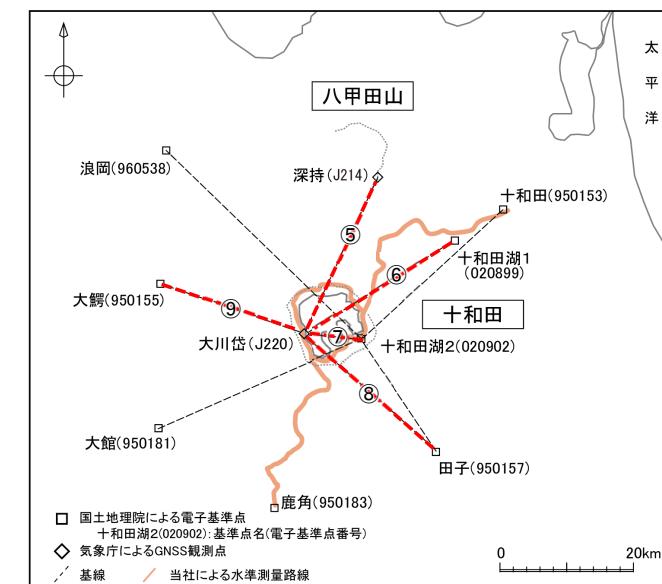
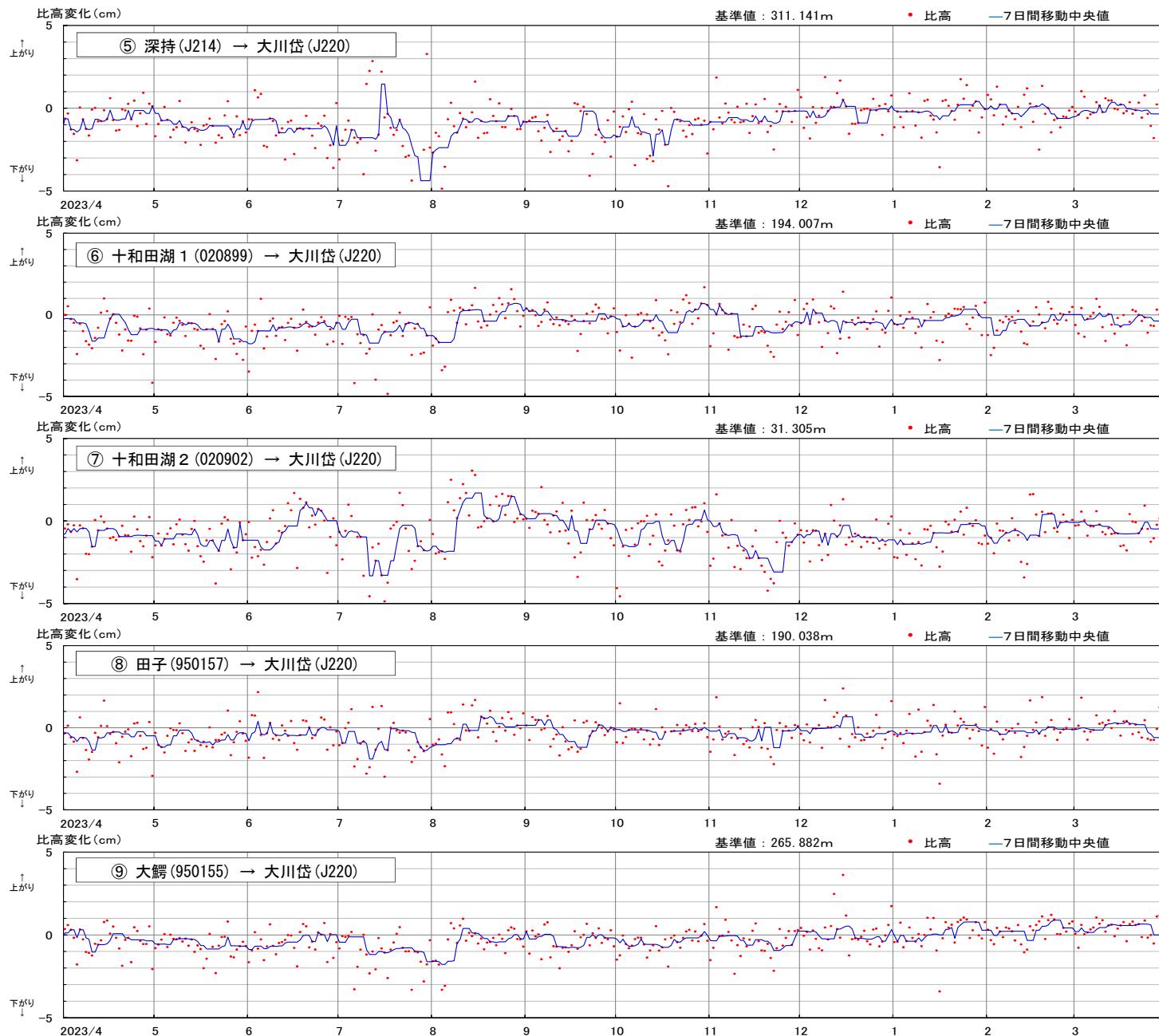
【気象庁GNSSデータ (RINEX)】

- ・防災科学技術研究所HP (Japan Volcanological Data Network) より取得 <https://jvdn.bosai.go.jp/portal/ja/>
- ・用いた気象庁のGNSS観測点: 「深持」
- ・気象庁からRINEXデータの提供を受けた観測点: 「大川岱」

【データの期間】

- ・2016/12/01～2024/3/31 JST

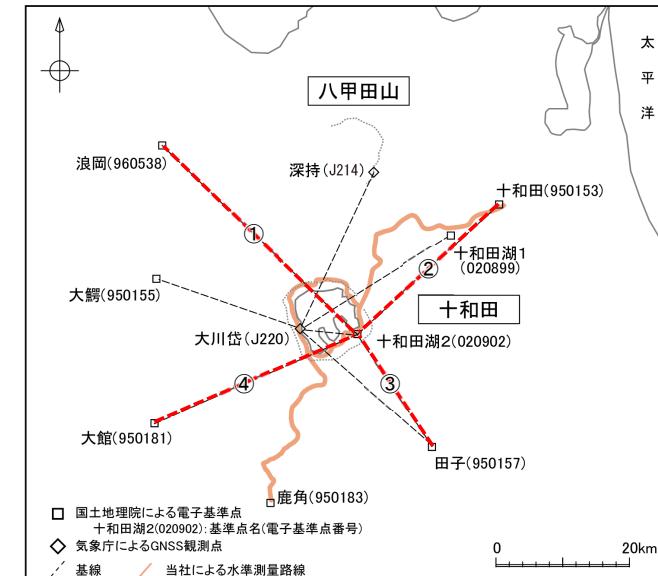
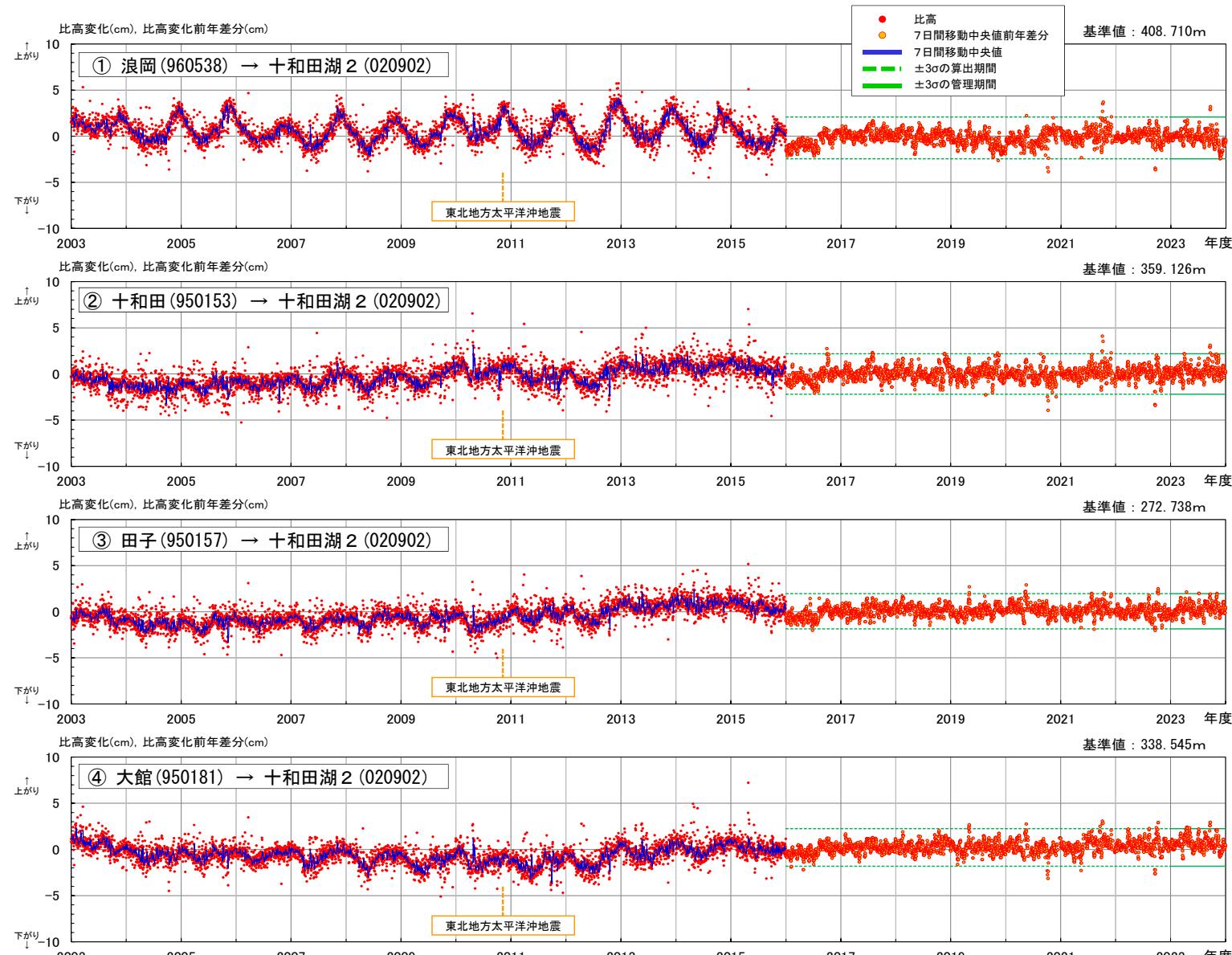
3.2 十和田(地殻変動:GNSS観測データ, 比高) 【基線⑤～⑨, 使用データ:当社による統合解析】 2023年度



特記事項

十和田を中心とした、系統的な変位の累積及び急激な変位は認められない。

3.2 十和田(地殻変動:比高の7日間移動中央値の前年差分) 【基線①～④, 使用データ:F5解】全期間



[比高データに関する知見]

- 各基線の比高変化量はばらつきが大きく、顕著な周年変動も認められる。
- 2013年～2014年に十和田・八甲田山で火山活動の一時的な活発化がみられた。また、Fujiwara et al. (2022)によれば、2015年に発生した日本海溝沿いの地震の前後で、東北地方の地殻変動に変化があった。

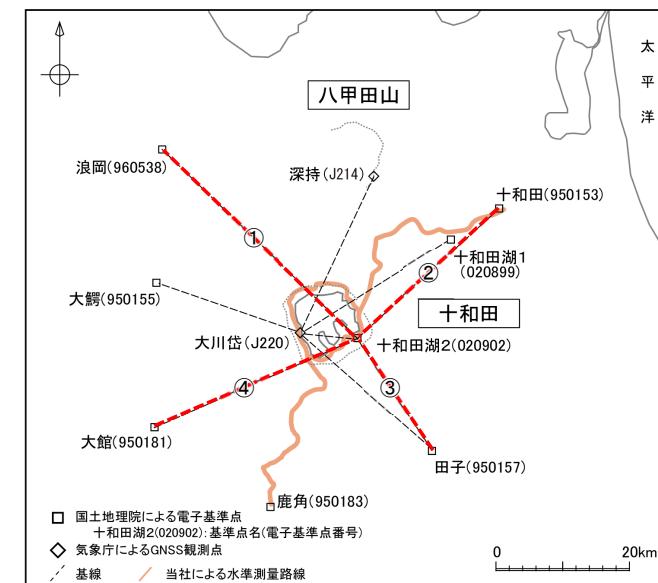
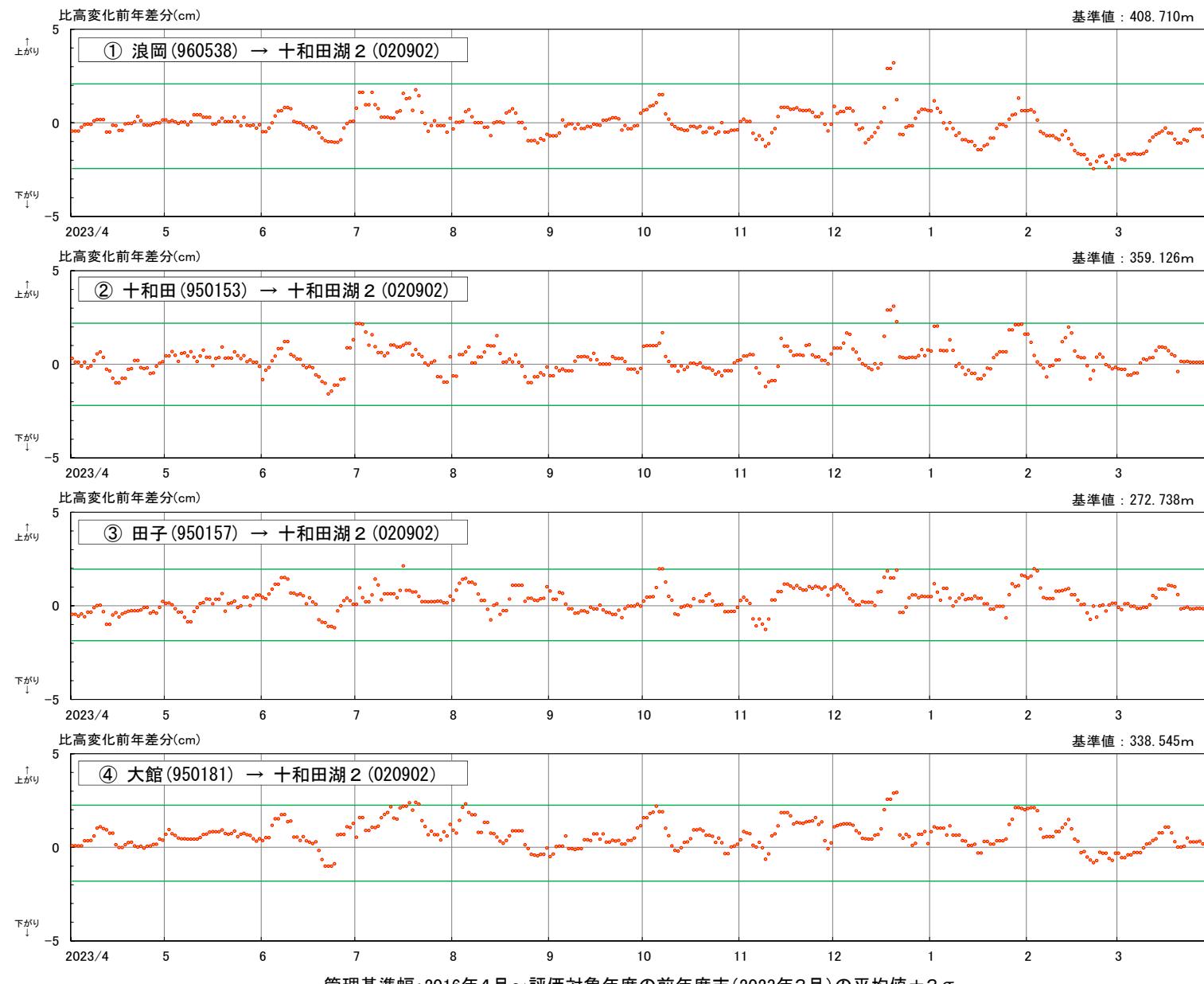
[比高データの管理基準]

- 日々の比高変化量のばらつきを低減するため、7日移動中央値を算出する。
- 周年変動の影響を低減するため、前年同日との差分を算出する。
- 火山活動の影響及びFujiwara et al. (2022)の知見を考慮し、bのデータから、2016年4月～評価対象年度の前年度末における±3σを算出し、当年管理基準に適用する。

使用したデータ (F5解) の期間 : 2003/03/28～2024/03/31 JST
管理基準幅: 2016年4月～評価対象年度の前年度末(2023年3月)の平均値±3σ

3.2 十和田(地殻変動:比高の判断基準) 【基線①～④, 使用データ:F5解】2023年度

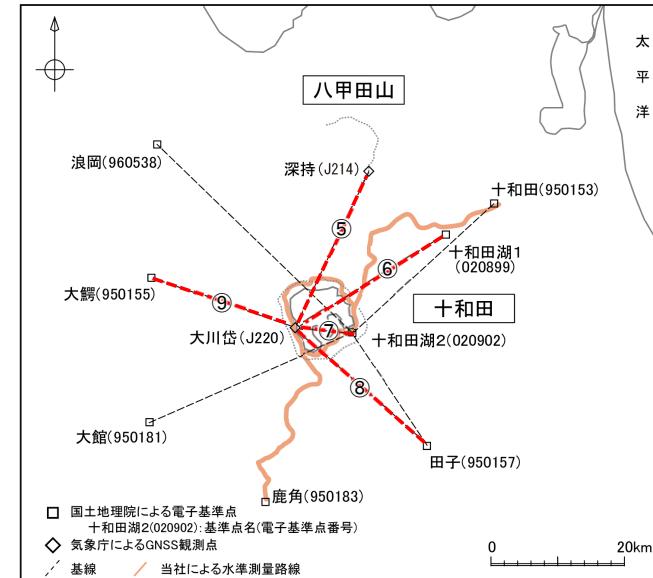
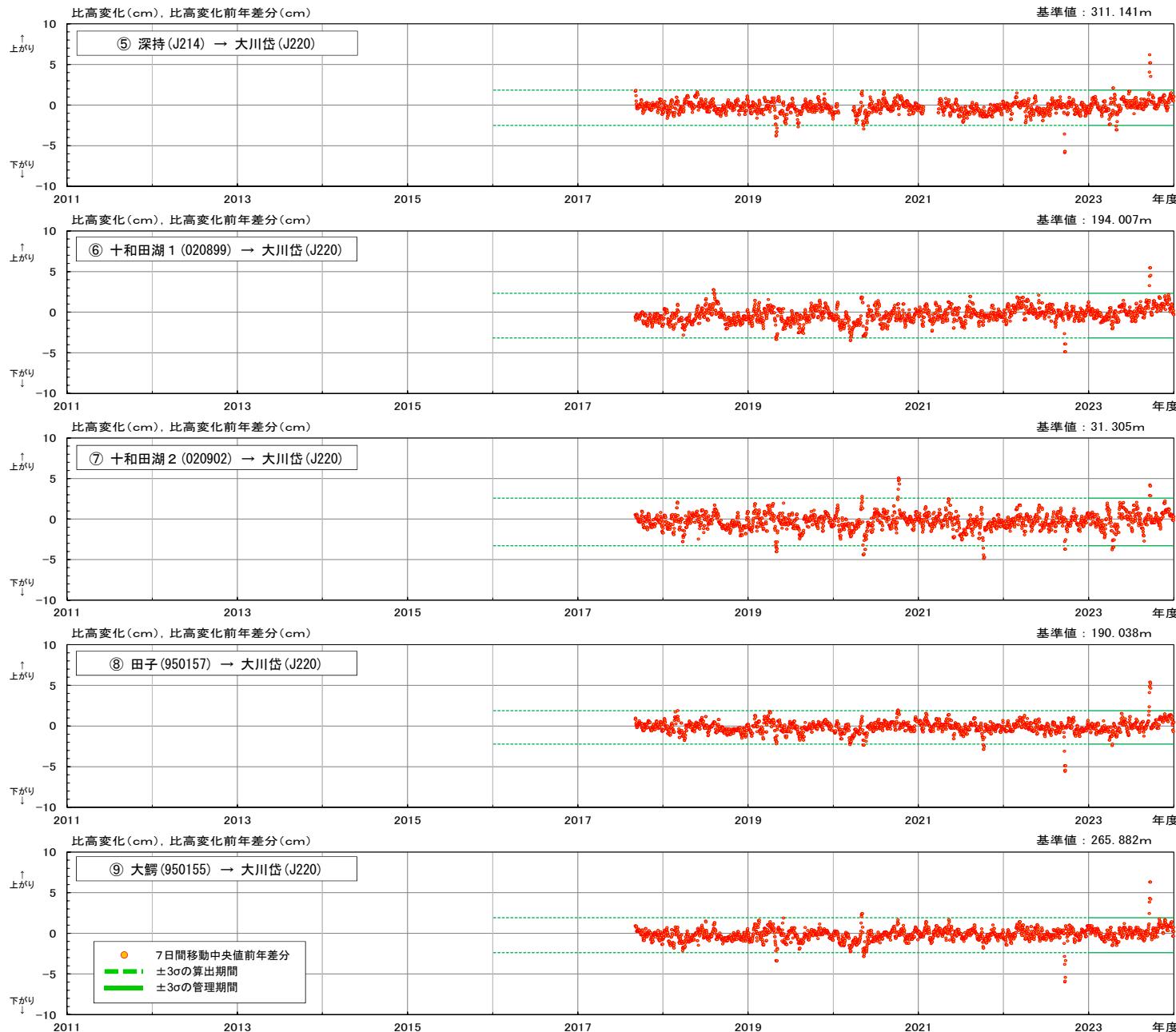
■比高の7日間移動中央値の前年差分の±3σ



判断基準の超過なし

「平常からの変化」の判断基準:
7日間移動中央値の前年差分の
±3σを3基線以上で7日間
連続超過

3.2 十和田(地殻変動:比高の7日間移動中央値の前年差分) 【基線⑤～⑨, 使用データ:当社による統合解析】全期間



[比高データに関する知見]

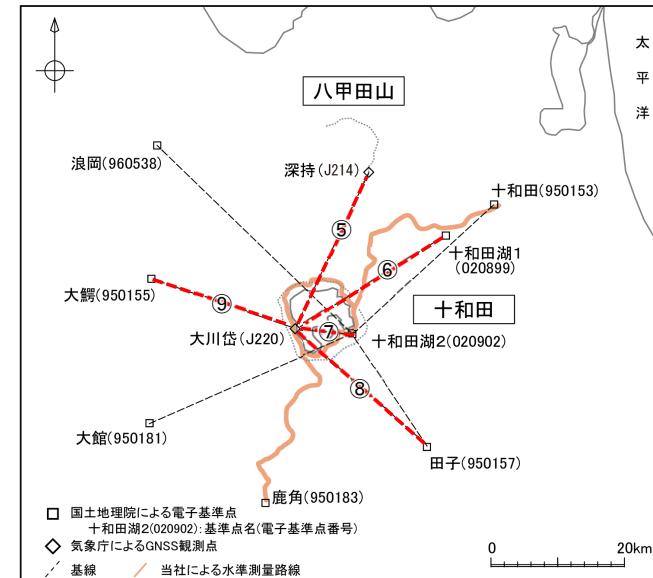
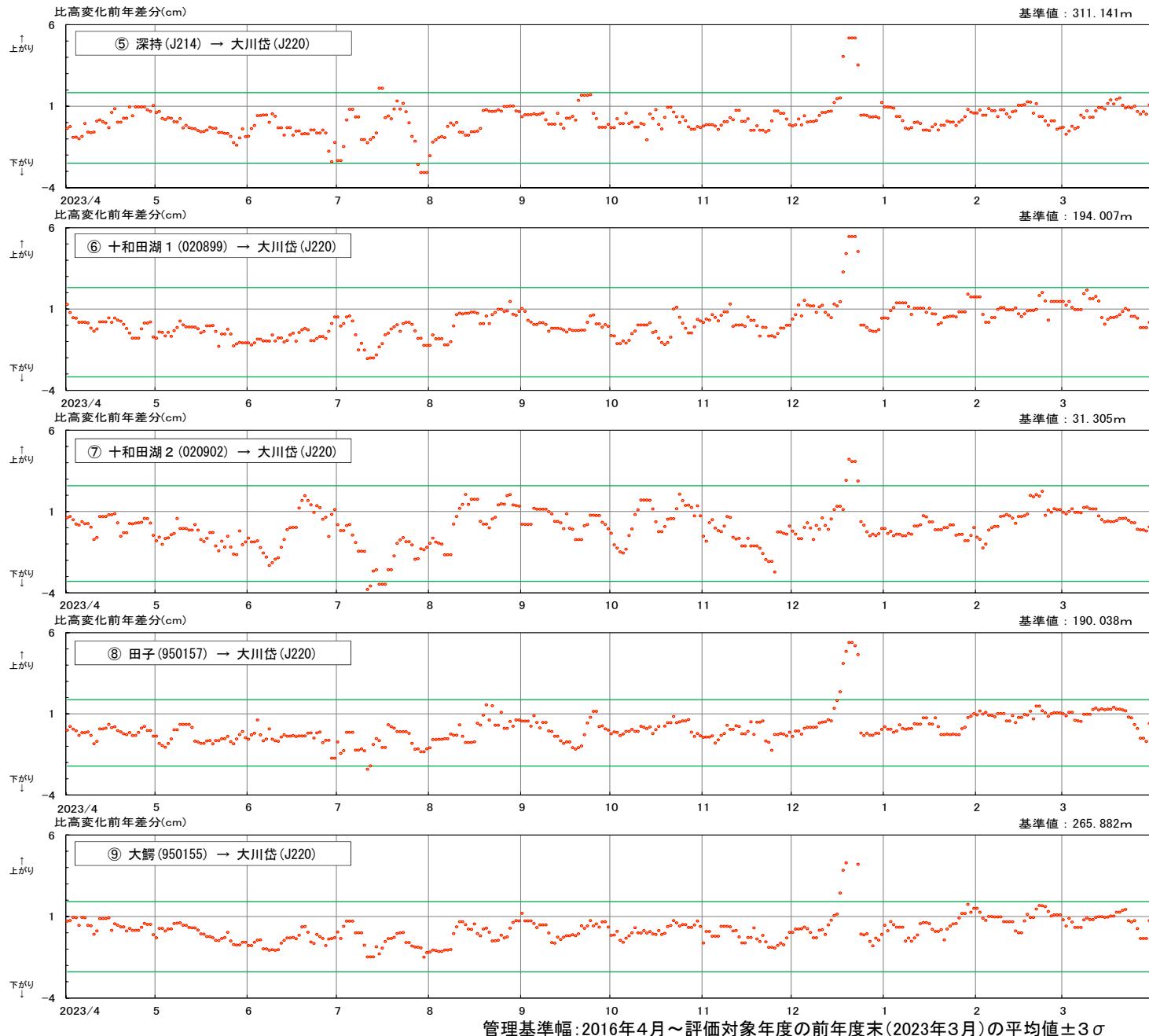
- 各基線の比高変化量はばらつきが大きく、顕著な周年変動も認められる。
- 2013年～2014年に十和田・八甲田山で火山活動の一時的な活発化がみられた。また、Fujiwara et al. (2022)によれば、2015年に発生した日本海溝沿いの地震の前後で、東北地方の地殻変動に変化があった。

[比高データの管理基準]

- 日々の比高変化量のばらつきを低減するため、7日移動中央値を算出する。
- 周年変動の影響を低減するため、前年同日との差分を算出する。
- 火山活動の影響及びFujiwara et al. (2022)の知見を考慮し、bのデータから、2016年4月～評価対象年度の前年度末における $\pm 3\sigma$ を算出し、当年管理基準に適用する。

使用したデータ及び期間：30pに記載の通り

3.2 十和田(地殻変動:比高の判断基準)
【基線⑤～⑨、使用データ:当社による統合解析】 2023年度

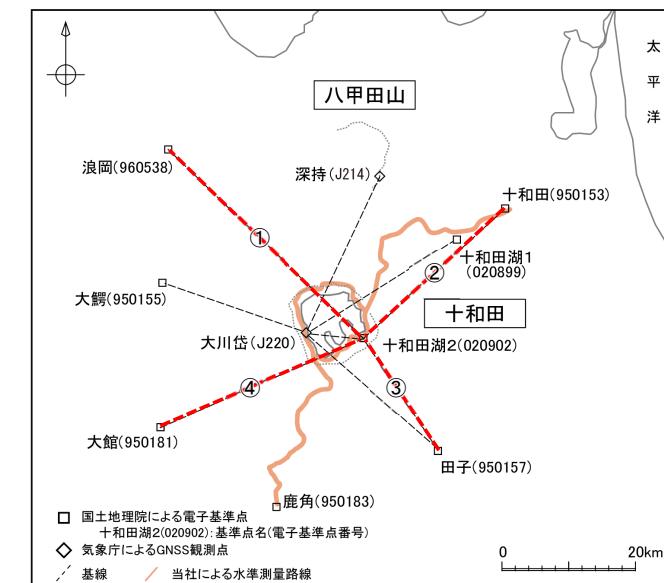
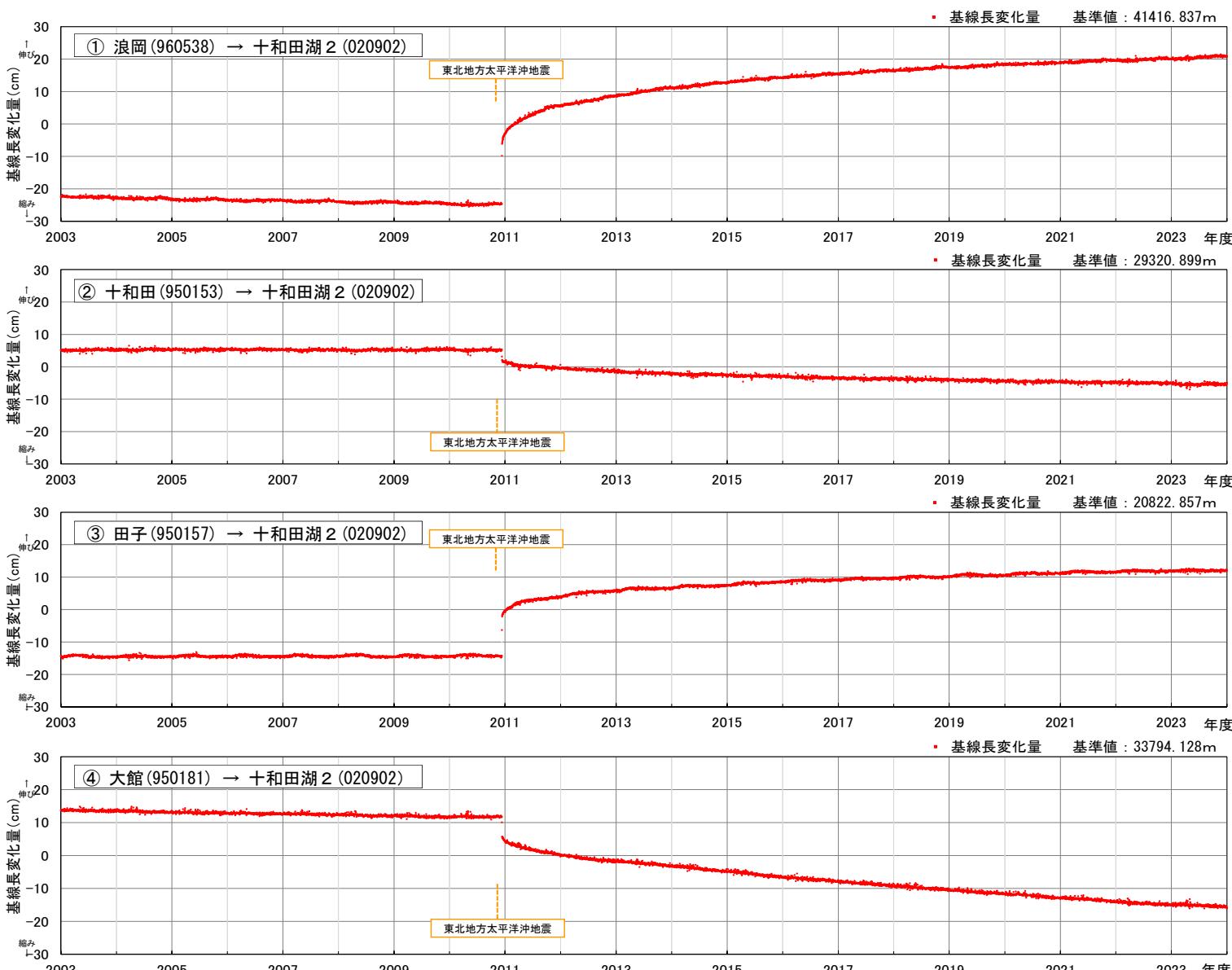


判断基準の超過なし

「平常からの変化」の判断基準：
7日間移動中央値の前年差分の
±3σを3基線以上で7日間
連続超過

● 7日間移動中央値前年差分
■ ±3σの管理期間

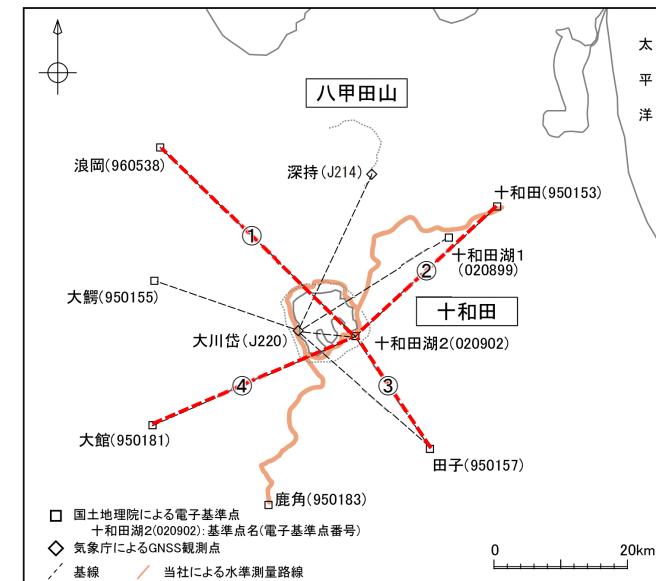
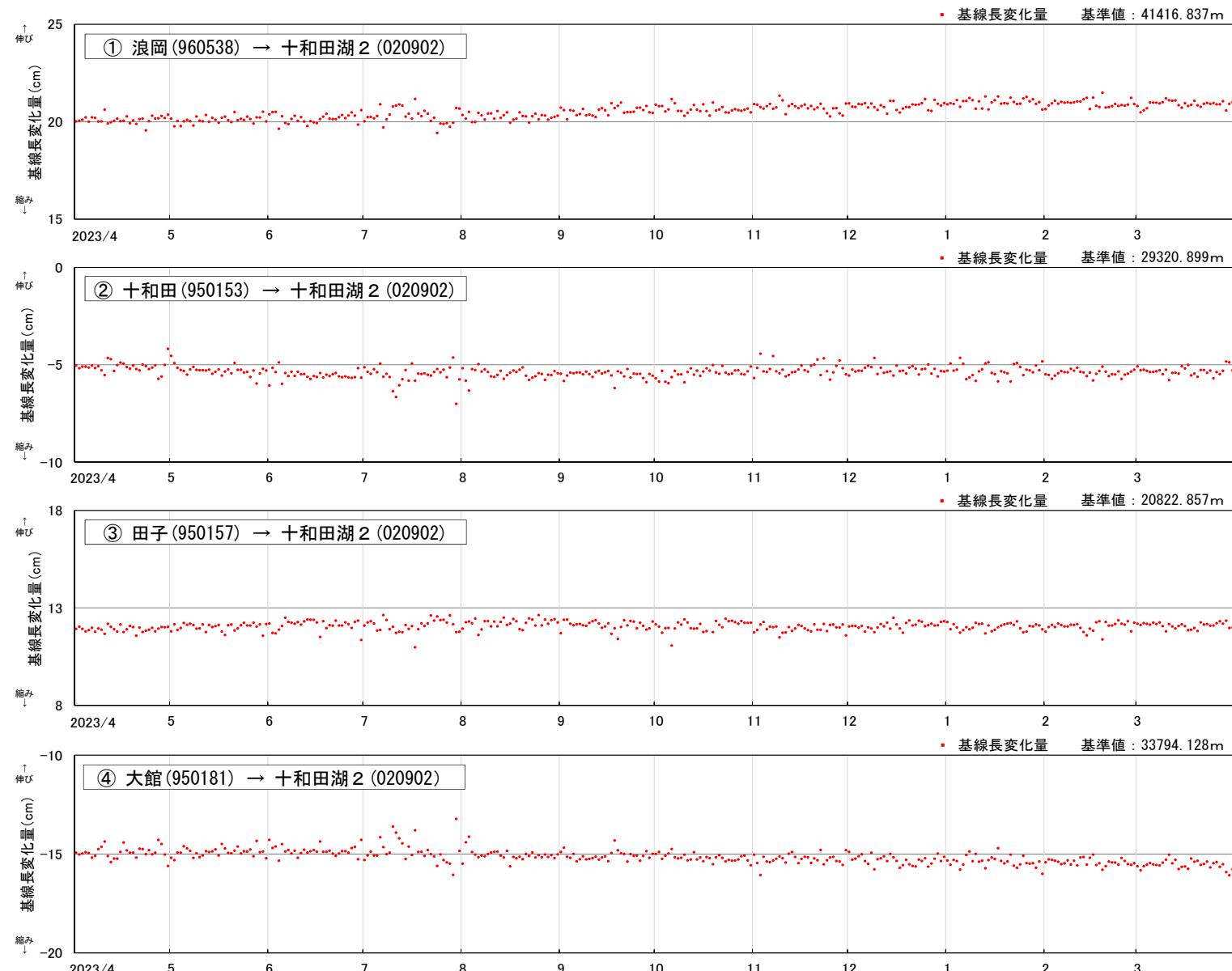
3.2 十和田(地殻変動:GNSS観測データ, 基線長) 【基線①～④, 使用データ:F5解】全期間



特記事項

2011年東北地方太平洋沖地震時の変動とその後の余効変動に伴い、「十和田湖2」と「浪岡」・「田子」との間では伸び、「十和田」・「大館」との間では縮みが認められる。
⇒十和田を中心とした地域では、この余効変動を超える継続的な変位の累積は認められない。

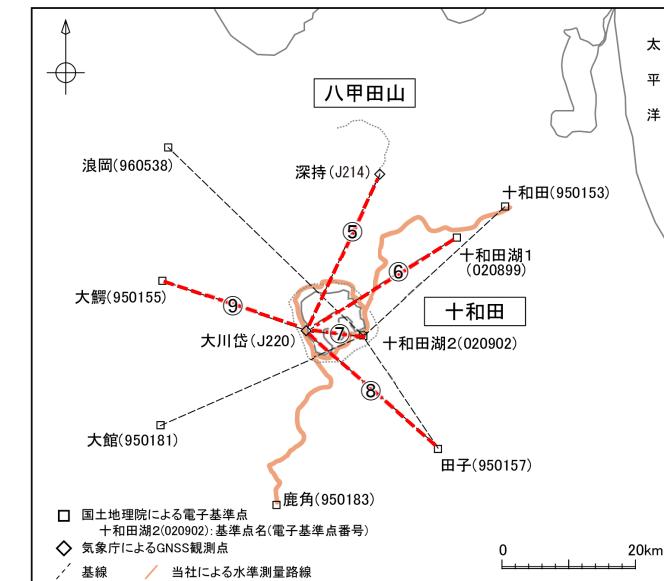
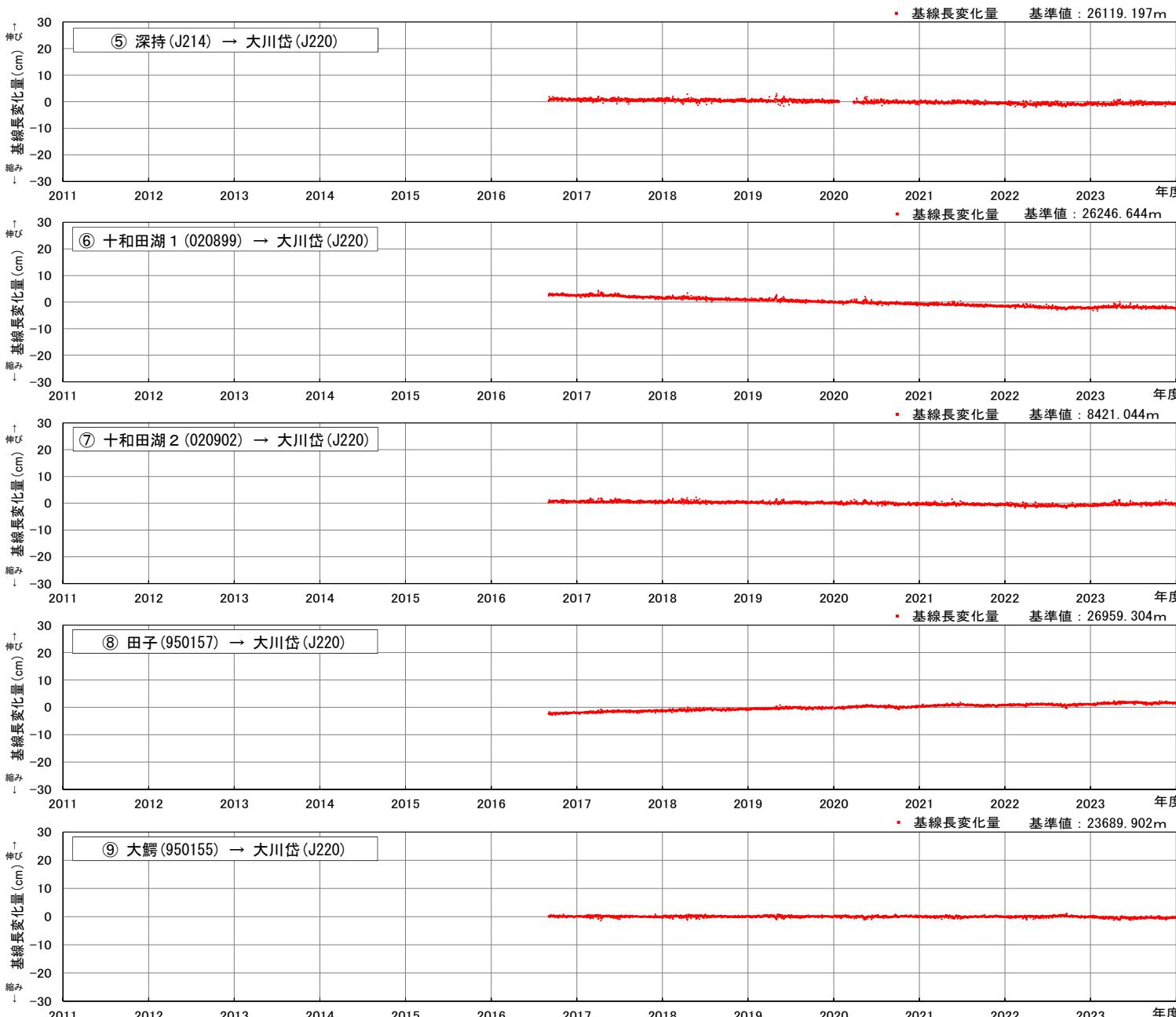
3.2 十和田(地殻変動:GNSS観測データ, 基線長) 【基線①～④, 使用データ:F5解】 2023年度



特記事項

十和田を中心とした、系統的な変位の累積及び急激な変位は認められない。

3.2 十和田(地殻変動:GNSS観測データ, 基線長)【基線⑤～⑨, 使用データ:当社による統合解析】全期間

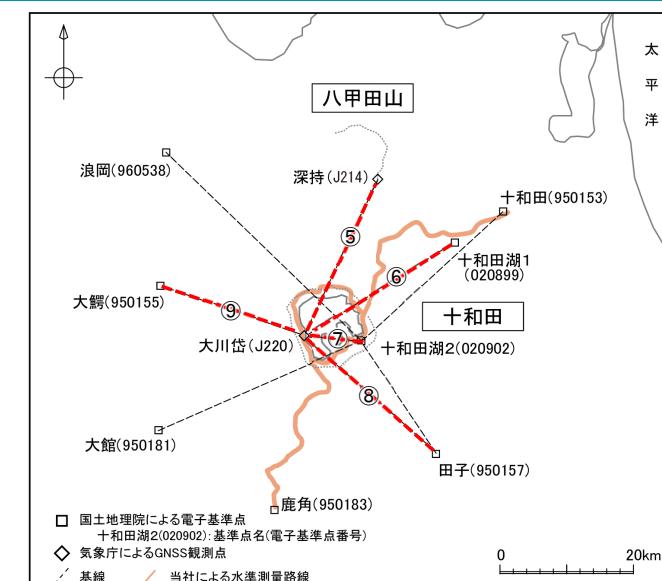
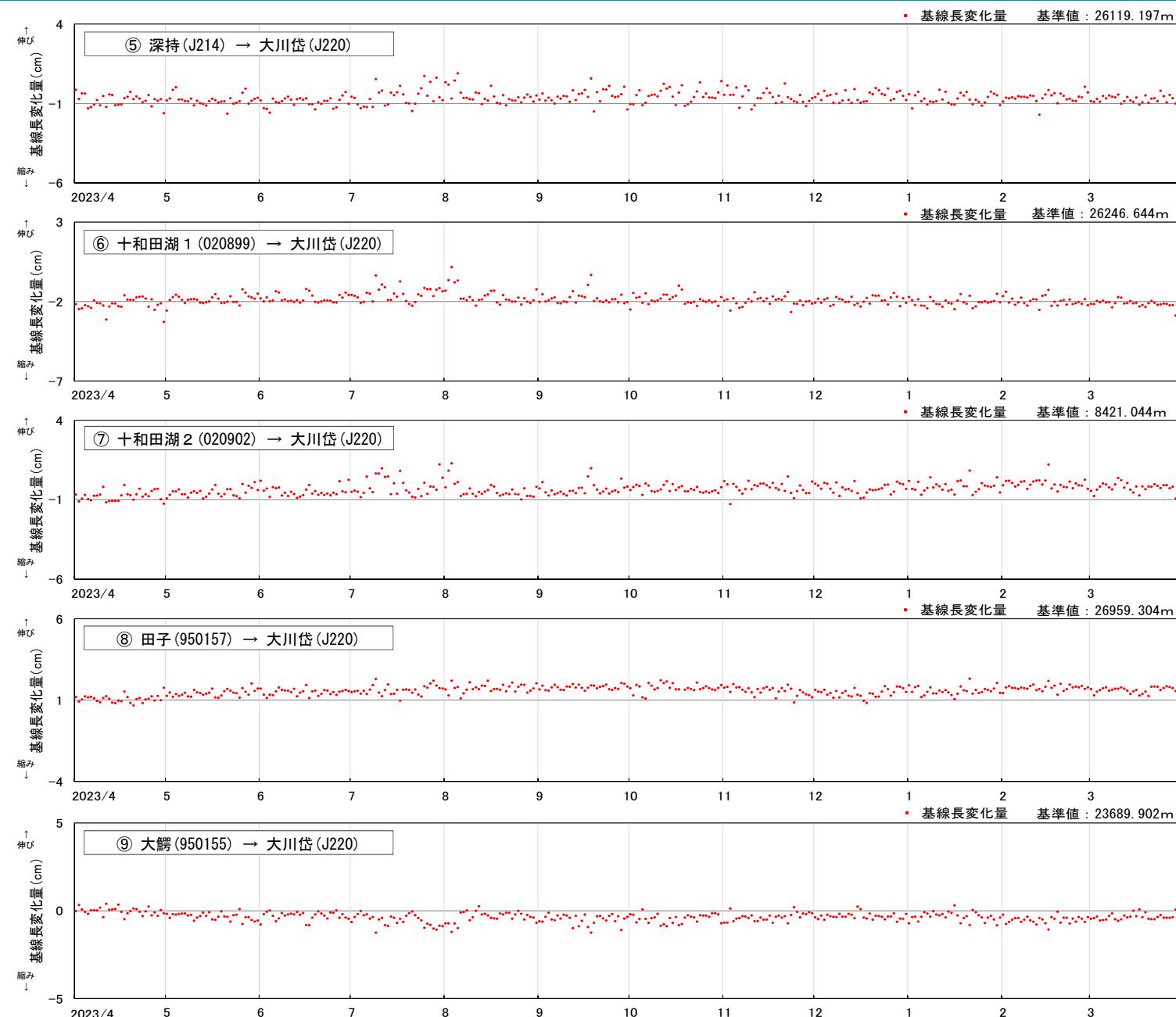


特記事項

観測開始以降、「大川岱」と「深持」・「十和田湖1」・「十和田湖2」の間は縮みの傾向、「大川岱」と「田子」ととの間は伸びの傾向が継続する。2023年の前半には、例えば「十和田湖1」と「大川岱」の間で伸びの傾向に転換するなど、「大川岱」の西方移動によると考えられる、ごくわずかな変位が認められる。
⇒十和田を中心とした、系統的な変位の累積及び急激な変位は認められない。

- 使用したデータおよび期間 -
- 【電子基準点データ (RINEX)】
 - ・国土地理院HPより取得 <https://terras.gsi.go.jp/>
 - ・用いた電子基準点: 「十和田湖1」「十和田湖2」「大鶴」「田子」
- 【気象庁GNSSデータ (RINEX)】
 - ・防災科学技術研究所HP (Japan Volcanological Data Network) より取得 <https://jvdn.bosai.go.jp/portal/ja/>
 - ・用いた気象庁のGNSS観測点: 「深持」
 - ・気象庁からRINEXデータの提供を受けた観測点: 「大川岱」
- 【データの期間】 2016/12/01～2024/3/31 JST

3.2 十和田(地殻変動:GNSS観測データ, 基線長) 【基線⑤～⑨, 使用データ:当社による統合解析】 2023年度



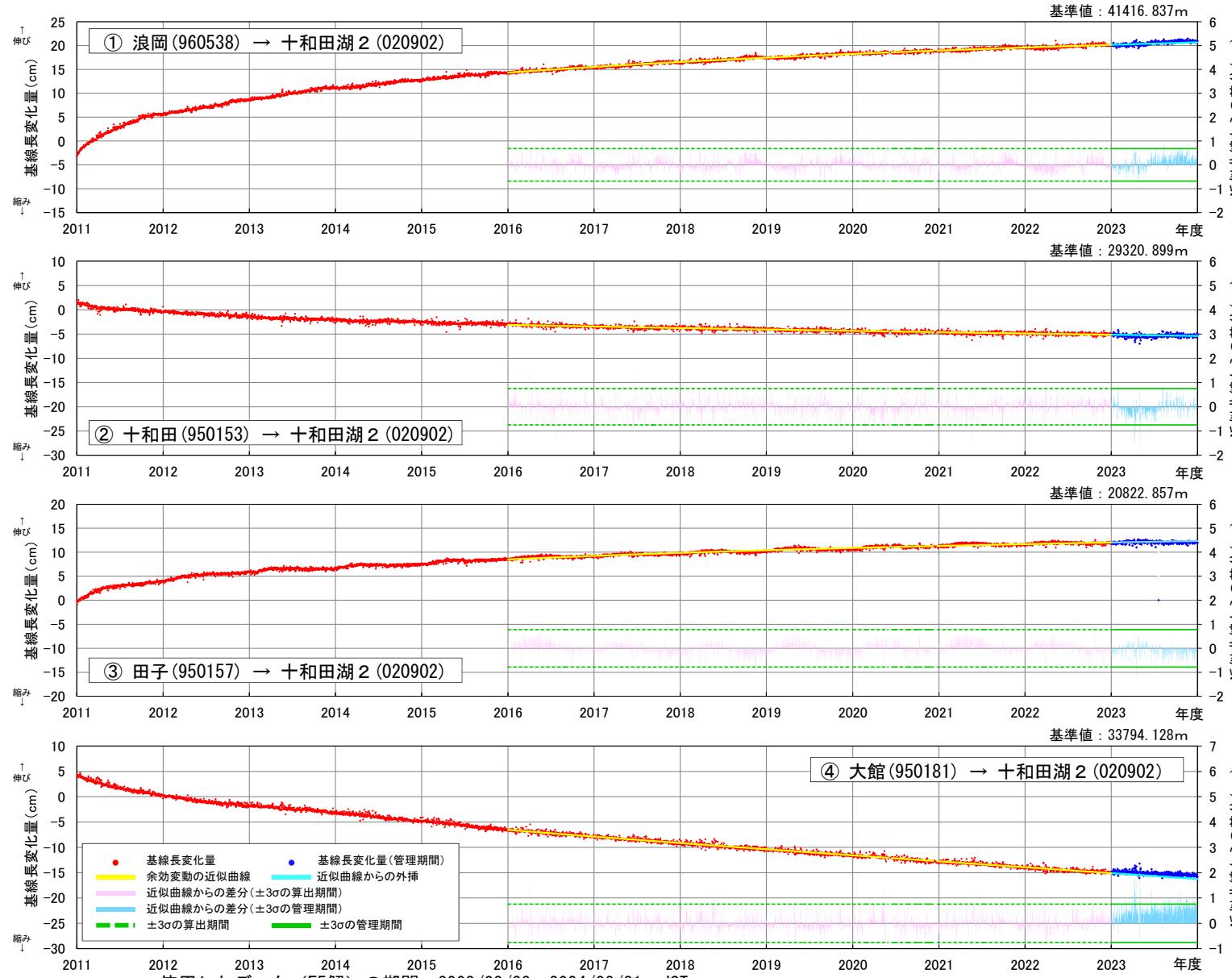
特記事項

十和田を中心とした、系統的な変位の累積及び急激な変位は認められない。

3.2 十和田(地殻変動:基線長近似値との差の $\pm 3\sigma$)
【基線①～④, 使用データ:F5解】 2011年以降

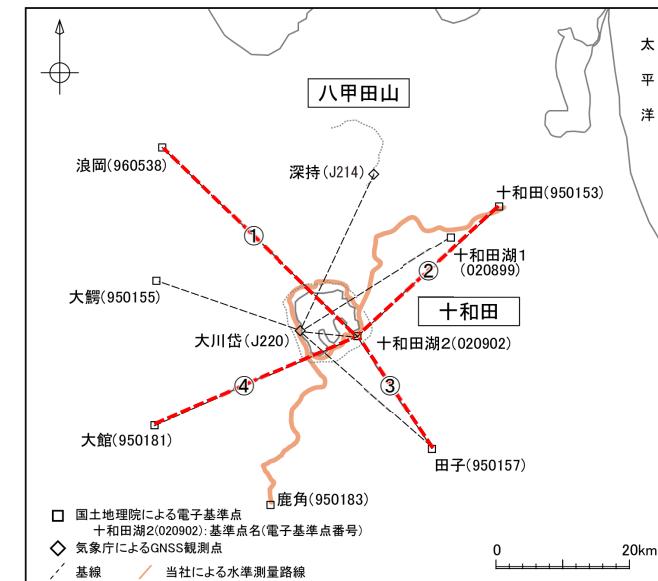


■ 基線長の近似値の $\pm 3\sigma$



用したデータ (F5解) の期間 : 2003/03/28~2024/03/31 JST

管理基準幅:2016年4月～評価対象年度の前年度末(2023年3月)の近似値±3σ(幅の中心は前年の基線長変化(余効変動)の近似式の延長)



〔基線長データに関する知見〕

- 各基線には東北地方太平洋沖地震後の余効変動の影響が認められる。
 - 2013年～2014年に十和田・八甲田山で火山活動の一時的な活発化がみられた。また, Fujiwara et al. (2022)によれば、2015年に発生した日本海溝沿いの地震の前後で、東北地方の地殻変動に変化があつた。

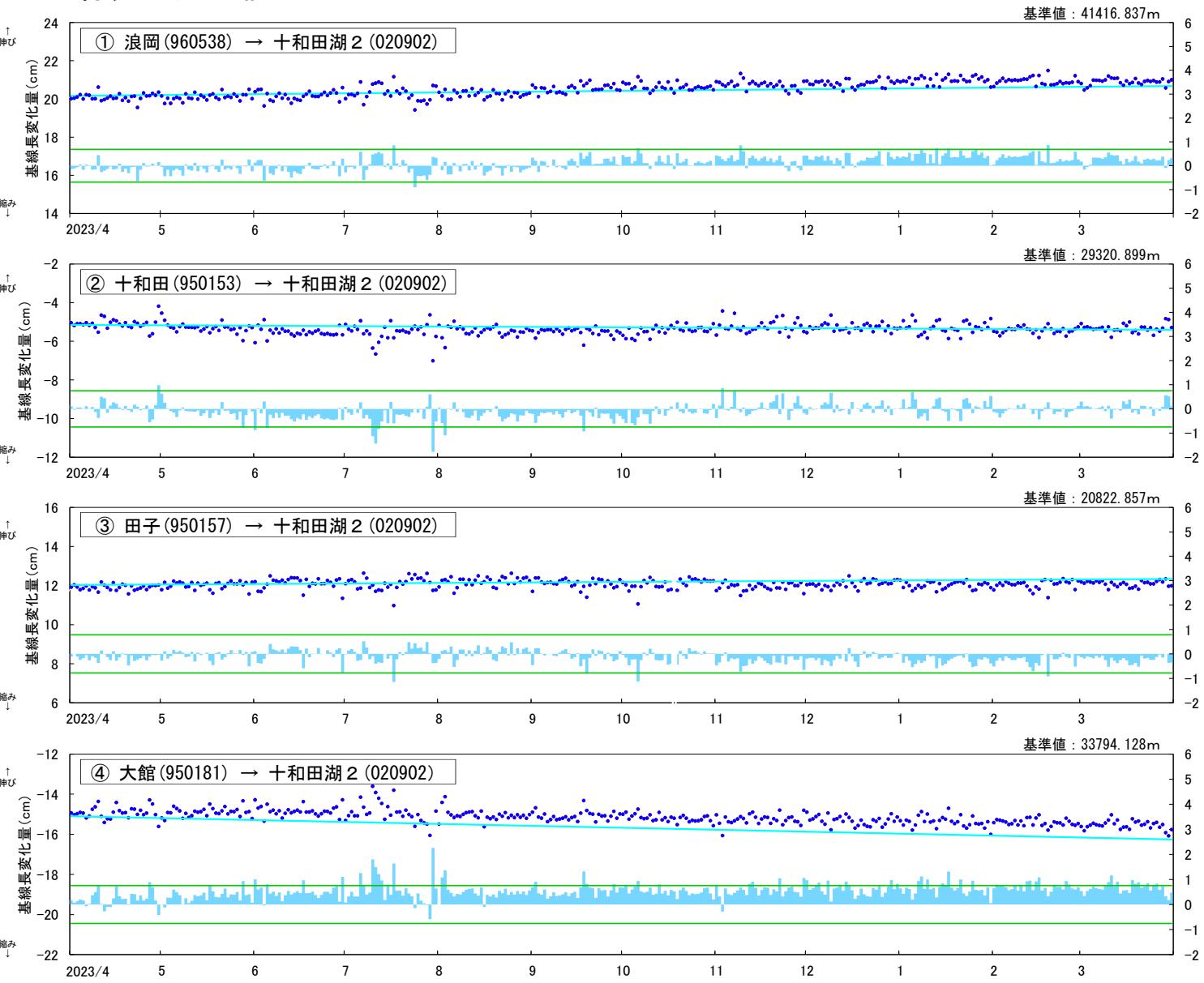
〔基線長データの管理基準〕

- a. 2016年～評価対象年度の前年度末までの基線長変化量について、Fujiwara et al.(2022)に示されたモデルを基に近似式を求める。
 - b. 2016年4月～評価対象年度の前年度末(2023年3月)を対象に、日々の実際の基線長変化量と上記近似式より求めた近似値の差のばらつきから±3σを算出する。
 - c. 上記近似式を評価対象年度に延長し、これを中心とする上記±3σ幅を管理基準に設定する。

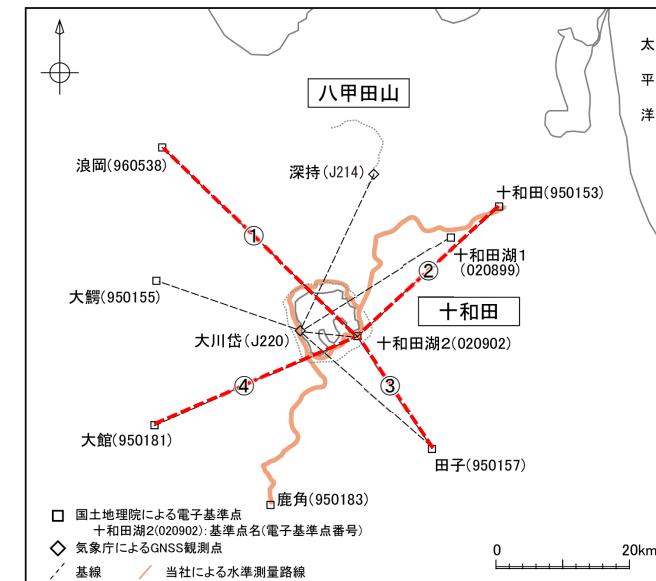
3.2 十和田(地殻変動:基線長の判断基準) 【基線①～④, 使用データ:F5解】 2023年度



■基線長の近似値の±3σ



管理基準幅:2016年4月～評価対象年度の前年度末(2023年3月)の近似値±3σ(幅の中心は前年の基線長変化(余効変動)の近似式の延長)

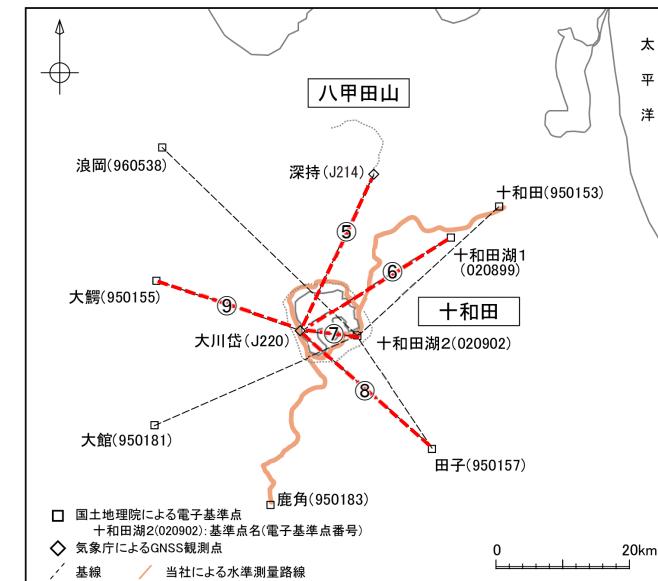
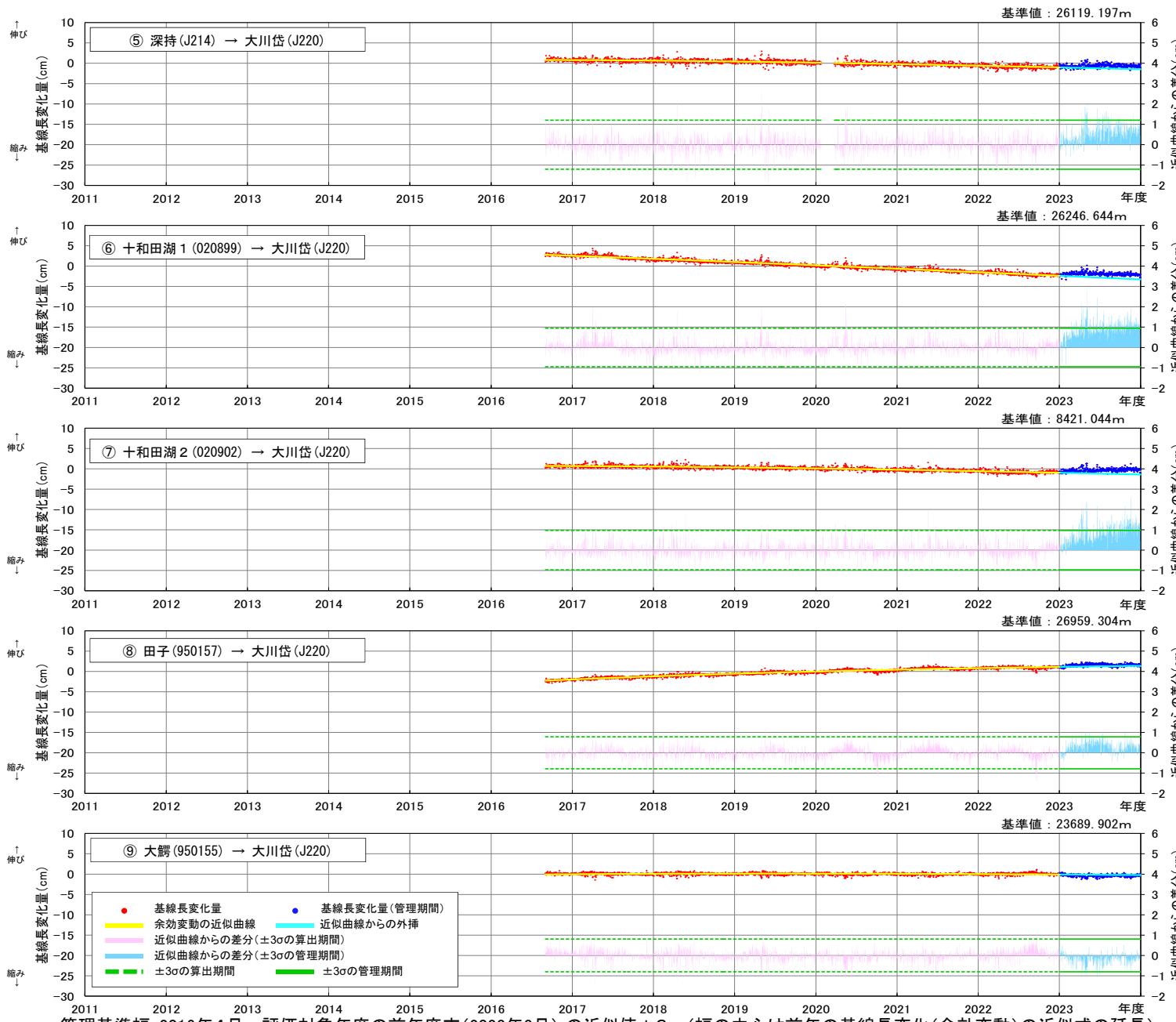


判断基準の超過なし

「平常からの変化」の判断基準:
余効変動の近似値と日々のデータ
の差におけるバラつき±3σを
3基線以上で7日間連続超過

3.2 十和田(地殻変動:基線長近似値との差の $\pm 3\sigma$)

【基線⑤～⑨, 使用データ:当社による統合解析】 2011年以降



〔基線長データに関する知見〕

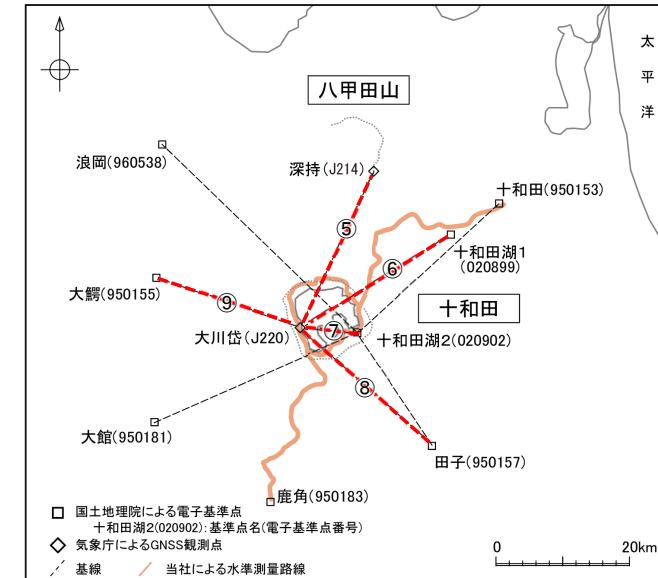
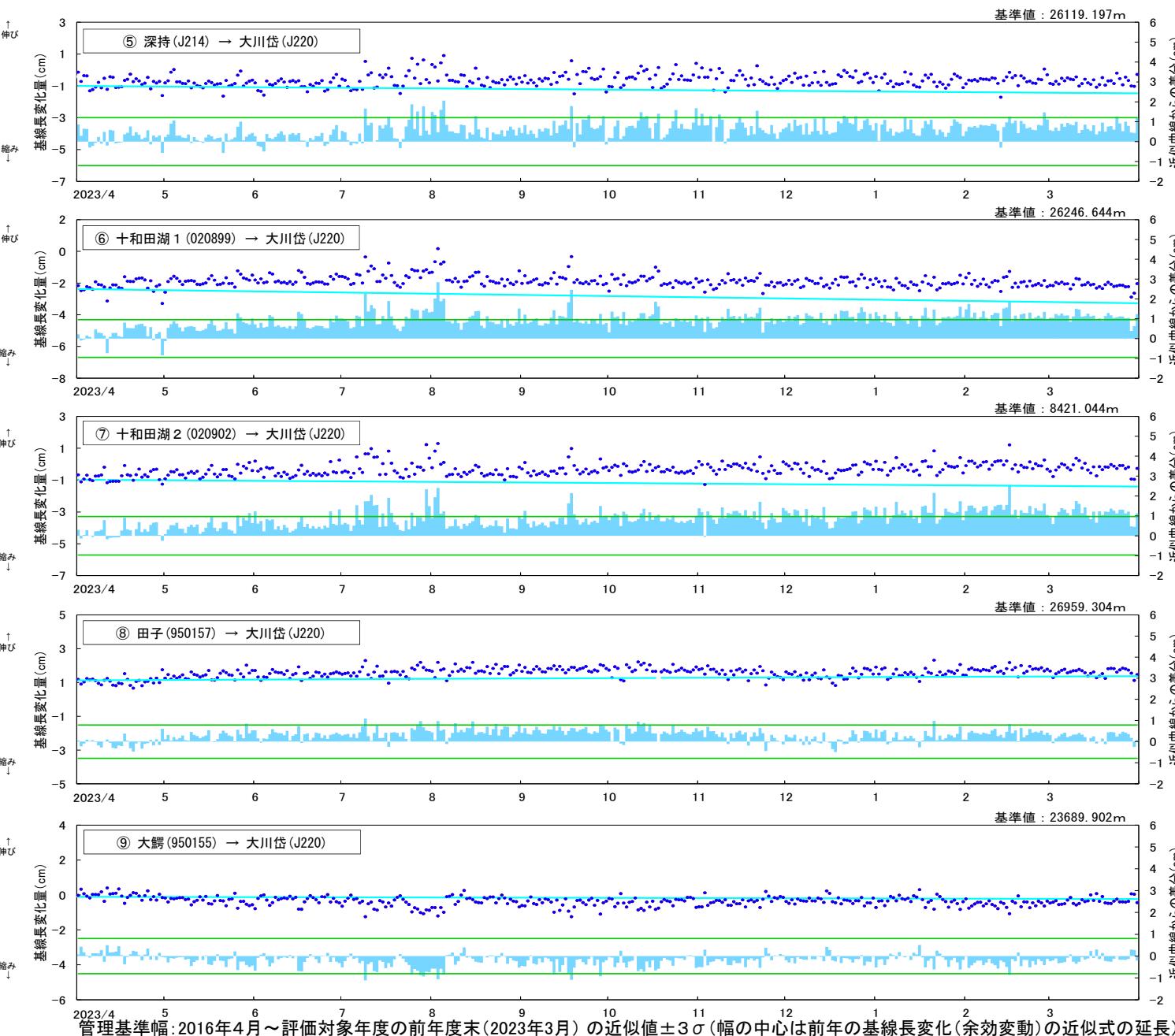
- 各基線には東北地方太平洋沖地震後の余効変動の影響が認められる。
- 2013年～2014年に十和田・八甲田山で火山活動の一時的な活発化がみられた。また, Fujiwara et al.(2022)によれば、2015年に発生した日本海溝沿いの地震の前後で、東北地方の地殻変動に変化があった。

〔基線長データの管理基準〕

- 2016年～評価対象年度の前年度末までの基線長変化量について, Fujiwara et al.(2022)に示されたモデルを基に近似式を求める。
- 2016年4月～評価対象年度の前年度末(2023年3月)を対象に、日々の実際の基線長変化量と上記近似式より求めた近似値の差のばらつきから $\pm 3\sigma$ を算出する。
- 上記近似式を評価対象年度に延長し、これを中心とする上記 $\pm 3\sigma$ 幅を管理基準に設定する。

使用したデータ及び期間：38pに記載の通り

3.2 十和田(地殻変動:基線長の判断基準) 【基線⑤～⑨, 使用データ:当社による統合解析】 2023年度



判断基準の超過なし

「平常からの変化」の判断基準：
余効変動の近似値と日々のデータ
の差におけるバラつき $\pm 3\sigma$ を
3基線以上で7日間連続超過

- 基線長変化量(管理期間)
 - 近似曲線からの外挿
 - 近似曲線からの差分(± 3σ の管理期間)
 - ± 3σ の管理期間

3.2 十和田(地殻変動:基線長に関する公的機関の発表情報) 【2023年度】



火山活動解説資料(令和6年3月)

十和田の活動概要

十和田周辺の一部のGNSS基線長では、2023年前半から気象庁GNSS観測点「大川岱」の西方向への変位によるとみられるわずかな変化が引き続き認められている。この変化には、2023年前半からの電子基準点「十和田湖2」の東方向への変位によるものとみられるごくわずかな変化も含まれていると考えられる。期間を通して、噴火の兆候は認められず、噴火予報(噴火警戒レベル1、活火山であることに留意)の予報事項に変更はなかった。

参考図表

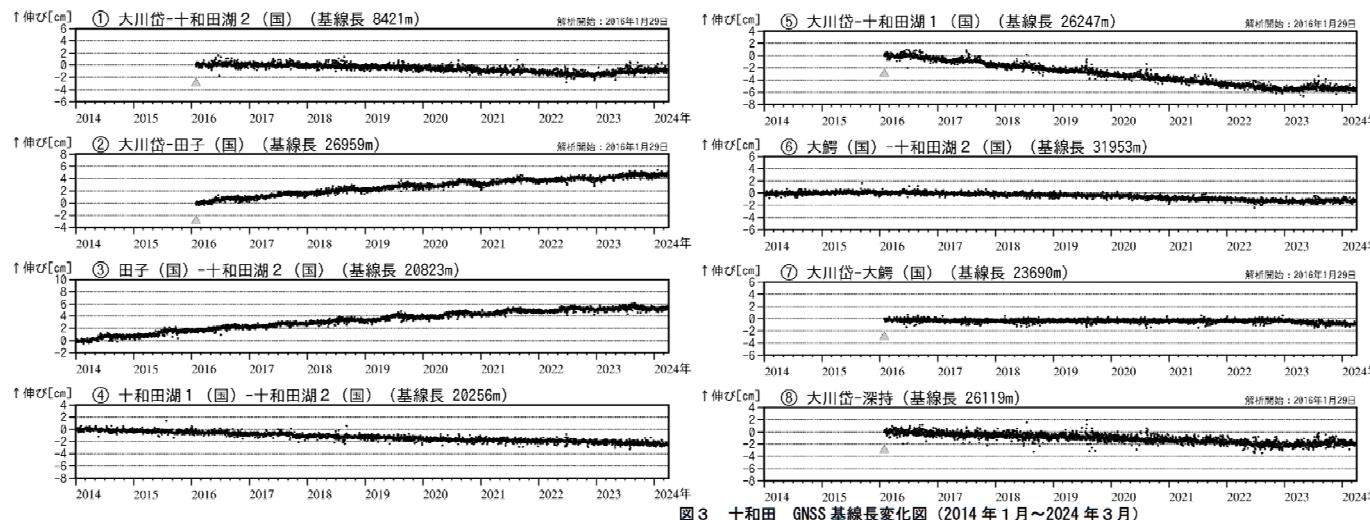


図3 十和田 GNSS 基線長変化図 (2014年1月～2024年3月)
・①～⑧は図5のGNSS基線①～⑧に対応しています。
・(国)は国土地理院の観測点を示します。
▲: 解析開始を示します。

(火山活動解説資料:令和6年3月)

十和田周辺の一部のGNSS 基線長(①⑤⑧)では、2023年前半から、気象庁GNSS観測点「大川岱」の西方向への変位によるとみられるわずかな変化が引き続き認められている。また、GNSS基線長①の変化には、2023年前半からの、電子基準点「十和田湖2」の東方向への変位によるとみられるごくわずかな変化も含まれていると考えられる。

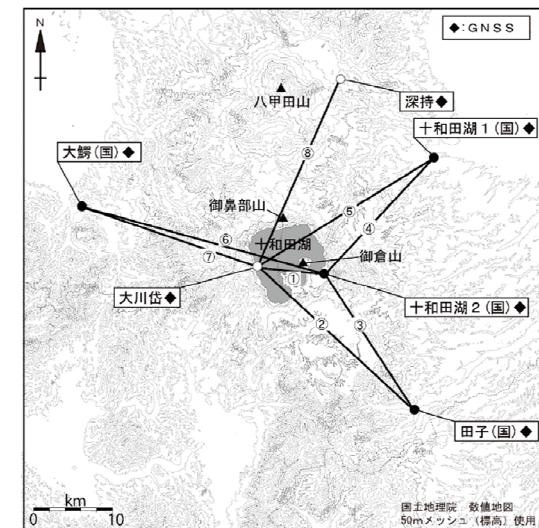
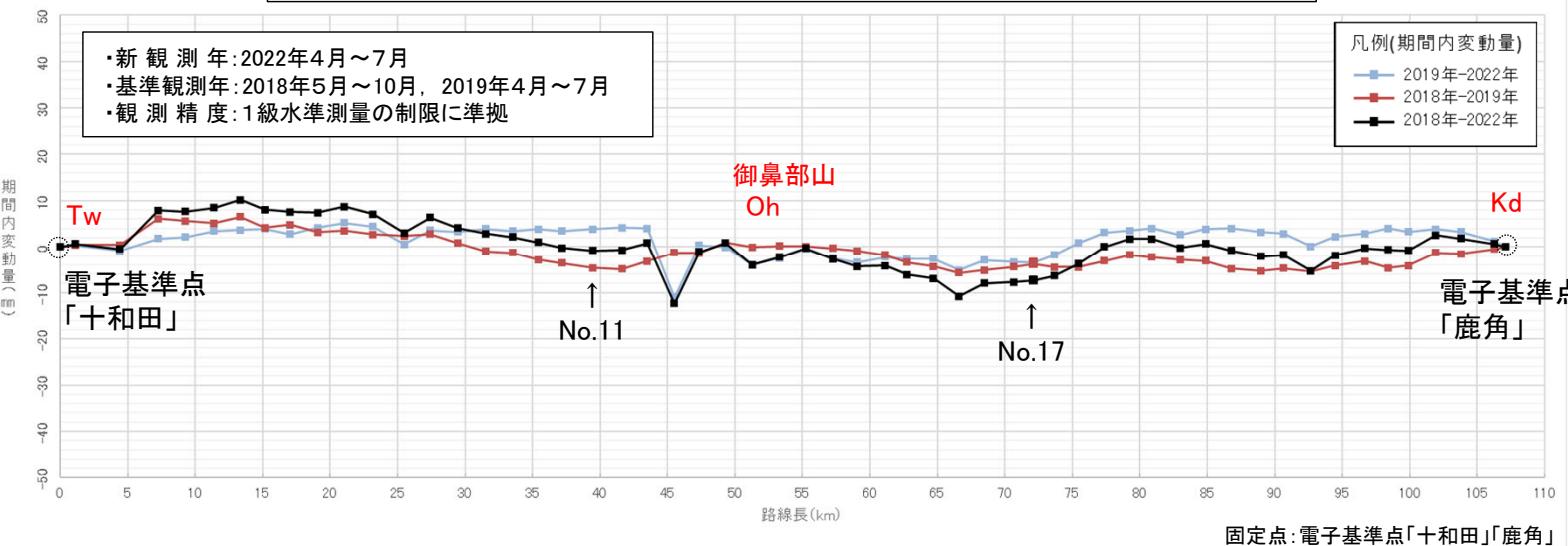


図5 十和田 GNSS 観測基線図
白丸(○)は気象庁、黒丸(●)は気象庁以外の機関の観測点位置を示しています。
(国): 国土地理院
(火山活動解説資料:令和6年3月)

3.2 十和田(地殻変動:水準測量)【2018年～2022年】

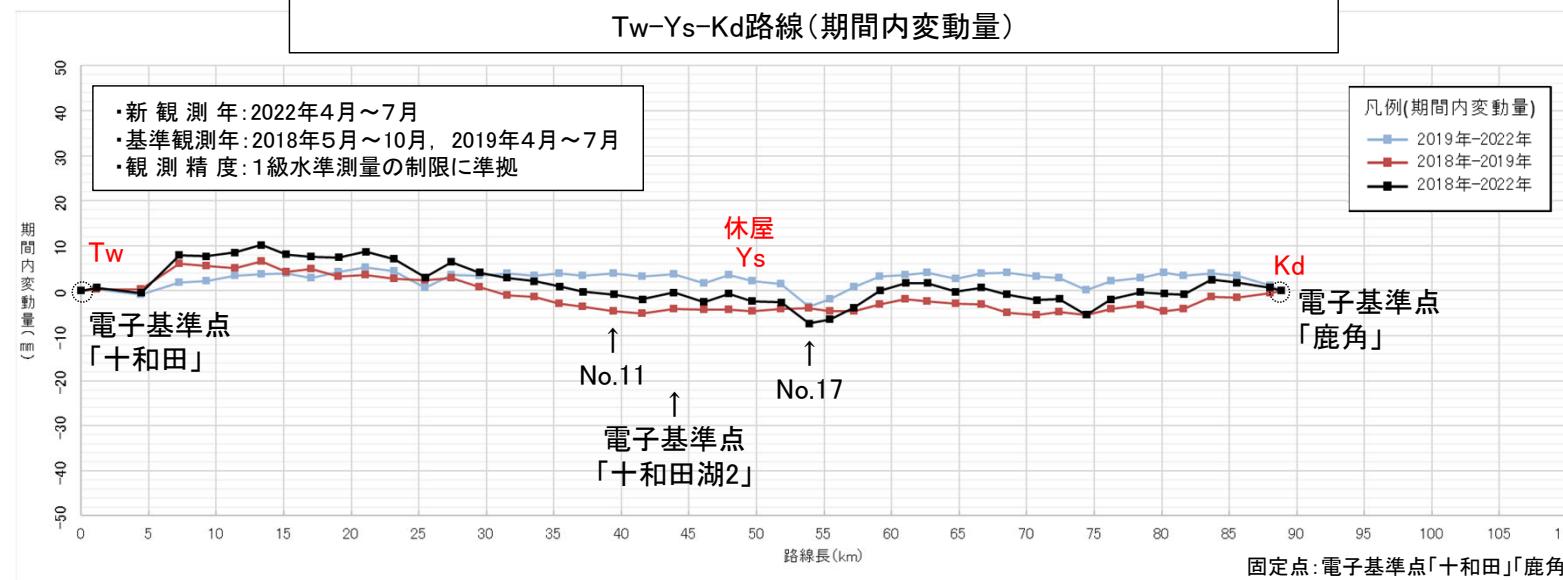
Tw-Oh-Kd路線(期間内変動量)



路線図



Tw-Ys-Kd路線(期間内変動量)



特記事項

十和田周辺において局所的に沈降する傾向が認められるが、十和田を中心とした、顕著な地殻変動の傾向は認められない。

3.2 十和田(地殻変動:干渉SAR解析)【当社実施:2022年～2023年】

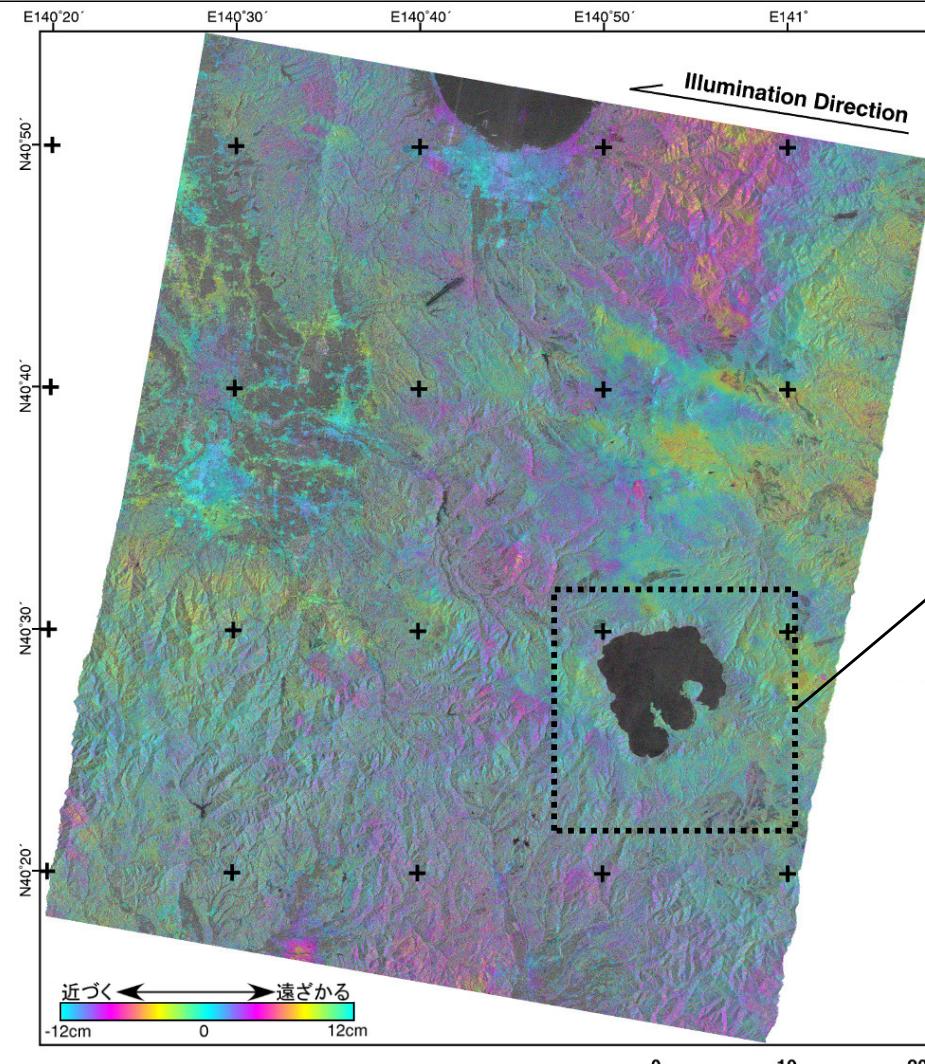
解析に用いたデータ

- ・陸域観測技術衛星だいち2号(ALOS-2):Lバンド合成開口レーダのPALSAR-2データ
観測日:2022年9月1日, 2023年8月31日

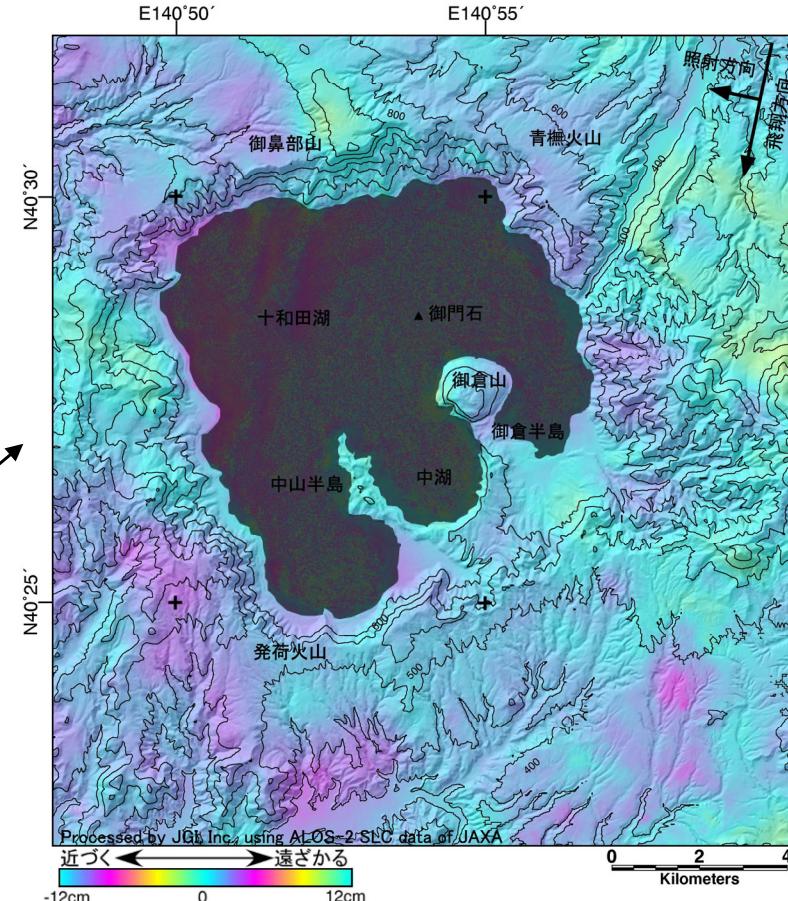
・観測モード:SM1(3m/pix)

・オフナディア角:35.4

・進行方向:南降軌道, 照射方向:右視



差分位相図



特記事項

干渉性が良好に保たれる短期(約1年間)のペアとして2022年9月1日と2023年8月31日の観測データを選定し干渉SAR解析を行った。その結果、水蒸気遅延成分が認められるものの、十和田を中心とした顕著な変動は認められない。

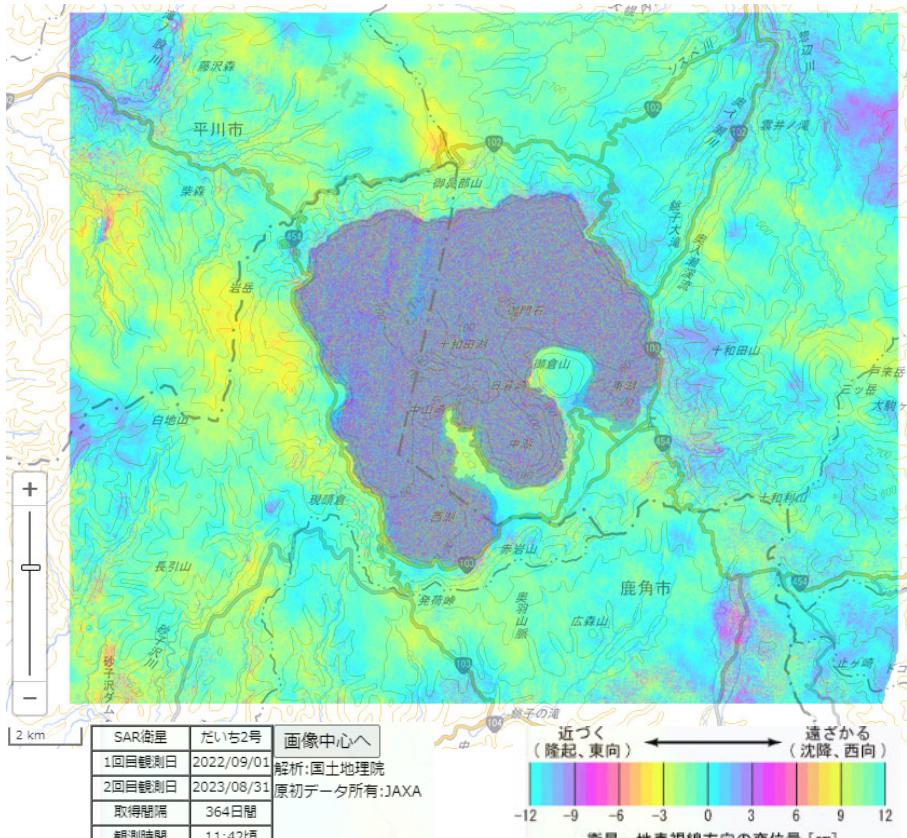
3.2 十和田(地殻変動:干渉SAR解析) 【公的機関の発表情報:2023年】



国土地理院による干渉SAR解析(地理院地図)

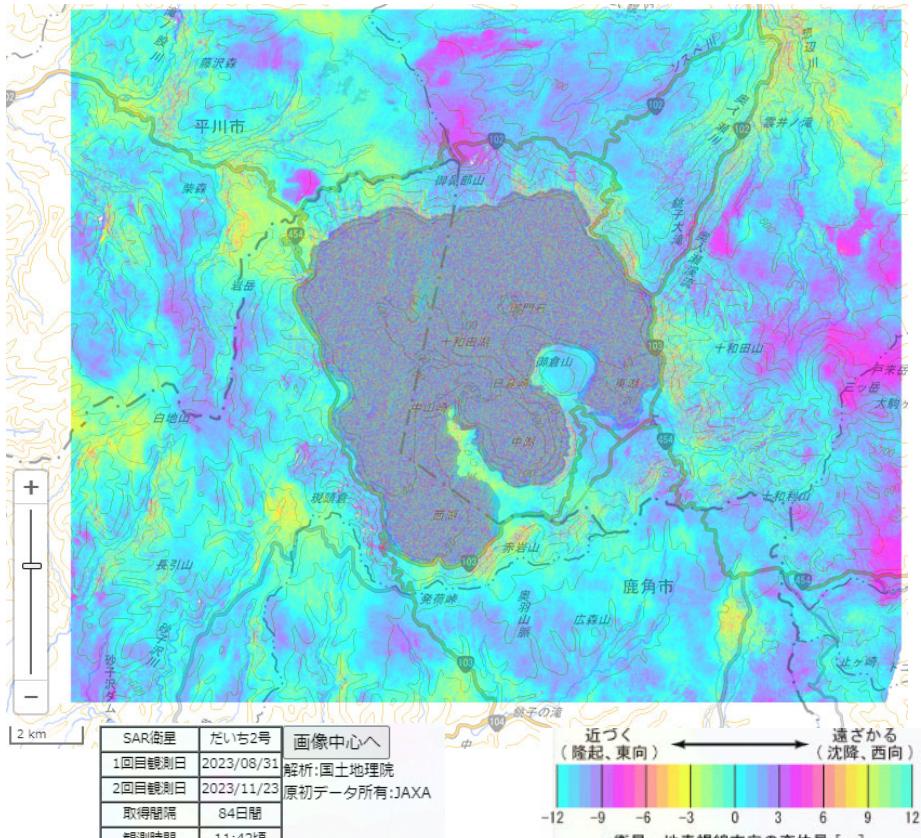
参考図表

観測日:2022/9/1, 2023/8/31



SAR衛星	だいち2号	画像中心へ
1回目観測日	2022/09/01	
2回目観測日	2023/08/31	解析:国土地理院 原初データ所有:JAXA
取得間隔	364日間	
観測時間	11:42頃	
衛星進行方向	南行(D)	
電波照射方向	右(R)	
電波照射方位	西(W)	
観測モード	U-U	
ピクセルペーリング	11m	
入射角(中心)	39.8°	
垂直基線差	-106m	

観測日:2023/8/31, 2023/11/23



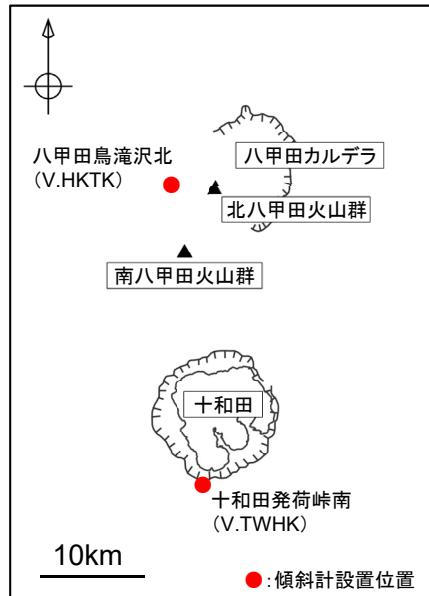
SAR衛星	だいち2号	画像中心へ
1回目観測日	2023/08/31	
2回目観測日	2023/11/23	解析:国土地理院 原初データ所有:JAXA
取得間隔	84日間	
観測時間	11:42頃	
衛星進行方向	南行(D)	
電波照射方向	右(R)	
電波照射方位	西(W)	
観測モード	U-U	
ピクセルペーリング	11m	
入射角(中心)	39.8°	
垂直基線差	-148m	

特記事項

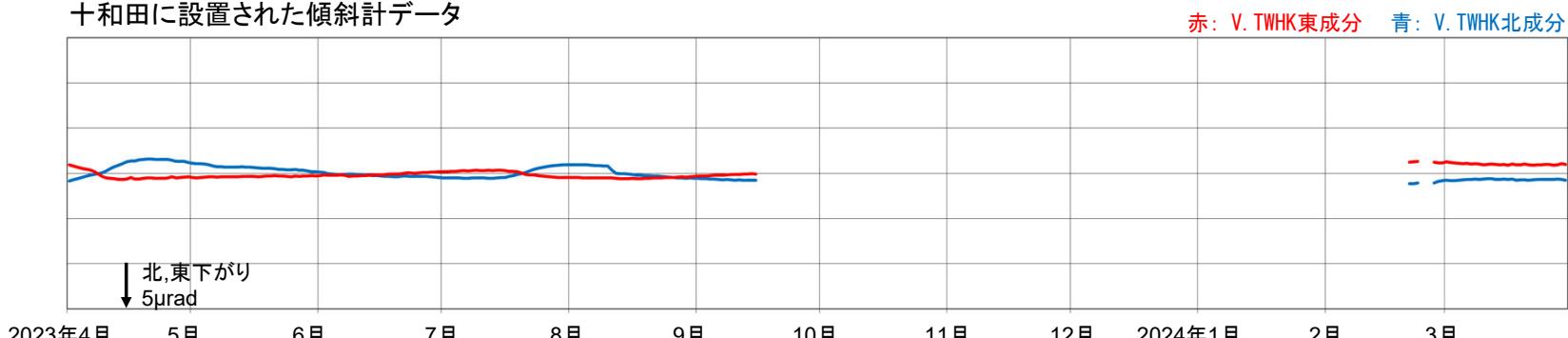
いずれの解析でも、ノイズレベルを超える位相変化は認められない。

3.2 十和田(地殻変動:傾斜計)【2023年】

- 防災科学技術研究所によるJapan Volcanological Data Network(JVDN)より、気象庁が設置した傾斜計の観測データをダウンロード・整理した。
- 火山活動によると考えられる顕著な傾斜変動は認められなかった。
- なお、気象庁の火山活動解説資料等では、十和田の傾斜計観測データ変化については特段の報告はなされていない。



十和田に設置された傾斜計データ



— 使用した気象庁傾斜計データ —

- ・防災科学技術研究所HP (Japan Volcanological Data Network) より取得 <https://jvdn.bosai.go.jp/portal/ja/>
- ・用いた気象庁の観測点: 十和田発荷岭南 (V.TWHK) 潮汐補正済み
- ・データの期間: 2023/04/01～2024/03/31 JST

3.2 十和田(地殻変動:まとめ)【2023年度】

[GNSS観測データ]

- ・比高では、2011年東北地方太平洋沖地震後の2013年に、電子基準点「十和田」、「田子」、「大館」に対して、電子基準点「十和田湖2」がわずかに隆起する傾向が認められたが、2023年度においては顕著な隆起等は認められない。基線長では、2011年東北地方太平洋沖地震時の変動とその後の余効変動に伴い、電子基準点「十和田湖2」に対して、電子基準点「浪岡」・「田子」との間では伸び、電子基準点「十和田」・「大館」との間では縮みが継続している。
- ・「大川岱」の比高では、2016年の観測開始以降、わずかに沈下～停滞する傾向が継続する。基線長では、「大川岱」と「深持」・「十和田湖1」・「十和田湖2」の間は縮みの傾向、「大川岱」と「田子」との間は伸びの傾向が継続する。2023年の前半には、「大川岱」の西方移動によると考えられる、ごくわずかな変位が認められる。
- ・火山活動解説資料(令和6年3月)によれば、2023年の前半から気象庁のGNSS観測点「大川岱」における西方向への変位、電子基準点「十和田湖2」における東方向への変位によるとみられるわずかな変化があるとされる。
- ・当社が設定した判断基準の超過は今期間で発生していない。

⇒十和田を中心とした地域では、系統的な変位の累積及び急激な変位は認められず、基線長変化では、余効変動を大きく上回る継続的な変位の累積は認められない。

[水準測量データ]

- ・2018年、2019年及び2022年に実施した水準測量の結果からは、十和田を中心とした顕著な地殻変動の傾向は認められない。

[干渉SAR解析]

- ・2022年9月1日と2023年8月31日の観測データを用いて当社が実施した干渉SAR解析結果及び国土地理院が実施した解析結果からは、十和田を中心とした顕著な変動は認められない。

[傾斜計データ]

- ・2023年4月～2024年3月の傾斜計データからは、火山活動によると考えられる顕著な傾斜変動は認められない。



- ・気象庁GNSS観測点「大川岱」や電子基準点「十和田湖2」にわずかな変位が認められるため今後注視する。
- ・傾斜計による地盤変動の急激な傾向の変化は認められない。

3.3 十和田(火山ガス, 熱活動, 噴出場所, 噴出物, 噴火様式) 【公的機関の発表情報:まとめ】



	公的機関による観測資料		概 要
2023年度 の活動	地震・火山月報(防災編) (2023年4月～2024年3月)		噴火予報(噴火警戒レベル1, 活火山であることに留意) 2023年7月6日に火山性地震が増加し, 6日の日回数は139回となった。地震活動以外の火山活動に特段の変化は認められない。これ以外の期間では, 火山活動に特段の変化はなく, 静穏に経過しており, 噴火の兆候は認められない。
	火山噴火 予知連絡会	第152回 (2023年 7月開催)	火山活動に特段の変化はなく, 静穏に経過しており, 噴火の兆候は認められない。
		第153回 (2024年 2月開催)	火山性地震の一時的な増加がみられたものの, 火山活動に特段の変化はなく, 静穏に経過しており, 噴火の兆候は認められない。
	火山活動解説資料 (2023年4月～2024年3月)		2023年7月及び2024年1月に, 火山性地震が一時的に増加したが, その他の火山活動に特段の変化は認められない。これ以外の期間では, 火山活動に特段の変化はなく, 静穏に経過しており, 噴火の兆候は認められない。噴火予報(噴火警戒レベル1, 活火山であることに留意) の予報事項に変更はない。
	地殻変動観測の概況		(十和田に関する記載なし)



- ・既往の火山ガス放出場所の拡大または消滅, 放出場所の出現は認められない。
- ・火山ガスの放出量に急激な変化は認められない。
- ・既往の火口の拡大や消長, 新たな火口や火道の形成は認められない。
- ・マグマ成分の物理的・化学的性質に急激な変化があったとする科学的知見は認められない。
- ・噴煙柱高度が数十km程度のプリニー式噴火を伴うような噴火は認められない。

特記事項

- ・噴火なし
- ・警戒情報なし:
噴火警戒レベル1, 活火山であることに留意

3.3 十和田(火山ガス, 熱活動, 噴出場所, 噴出物, 噴火様式) 【公的機関の発表情報】



火山活動解説資料(令和5年7月, 令和6年3月)

十和田の活動概要

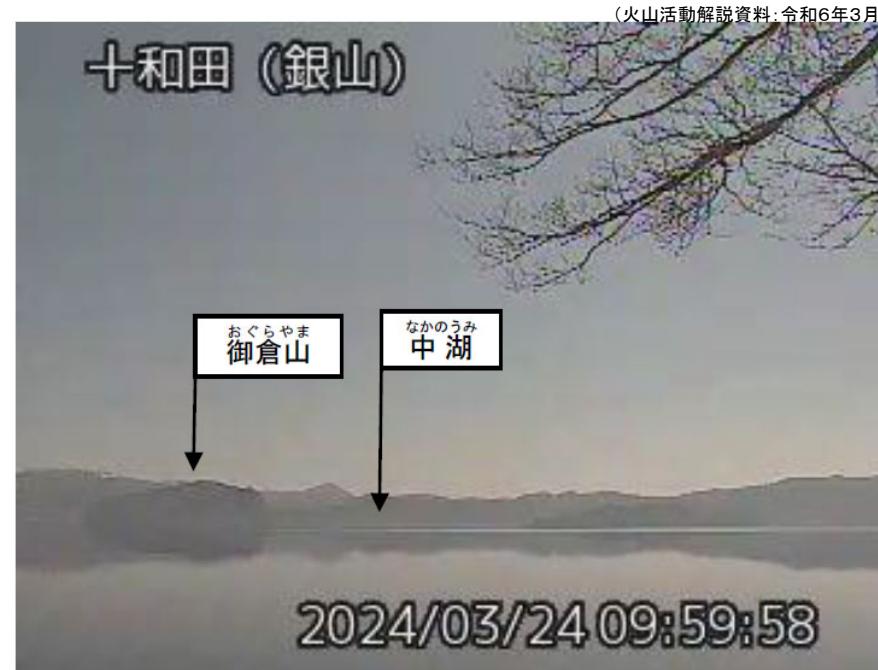
2023年7月及び2024年1月に、火山性地震が一時的に増加したが、その他の火山活動に特段の変化は認められない。これ以外の期間では、火山活動に特段の変化はなく、静穩に経過しており、噴火の兆候は認められない。
噴火予報(噴火警戒レベル1、活火山であることに留意)の予報事項に変更はない。

参考図表



十和田 中湖周辺の状況(2023年7月24日)
(銀山監視カメラ(中湖の北西約6km)の映像)

(2023年7月)銀山監視カメラによる観測では、
噴気や湖面の異常等は認められなかった。

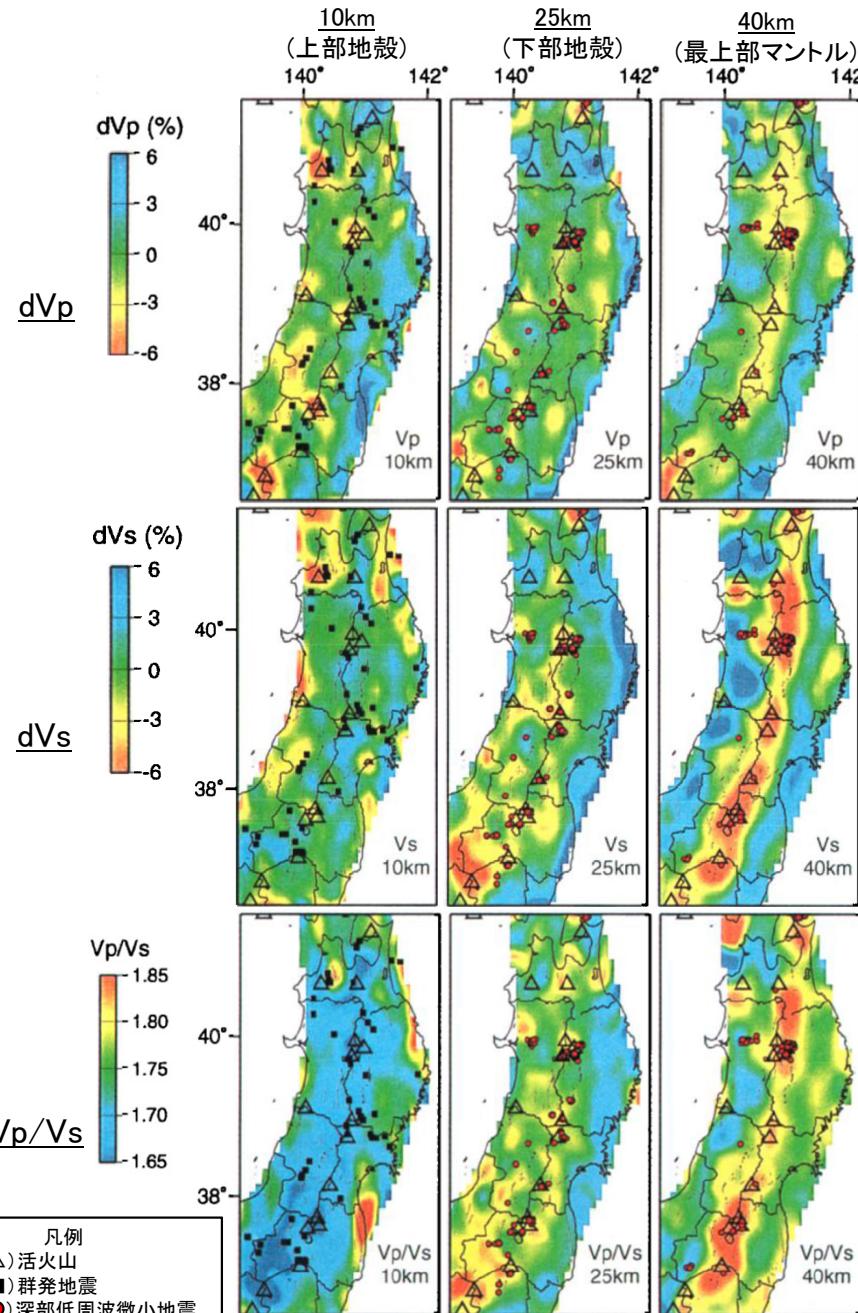


十和田 中湖周辺の状況(2024年3月24日)
(銀山監視カメラ(中湖の北西約6km)の映像)

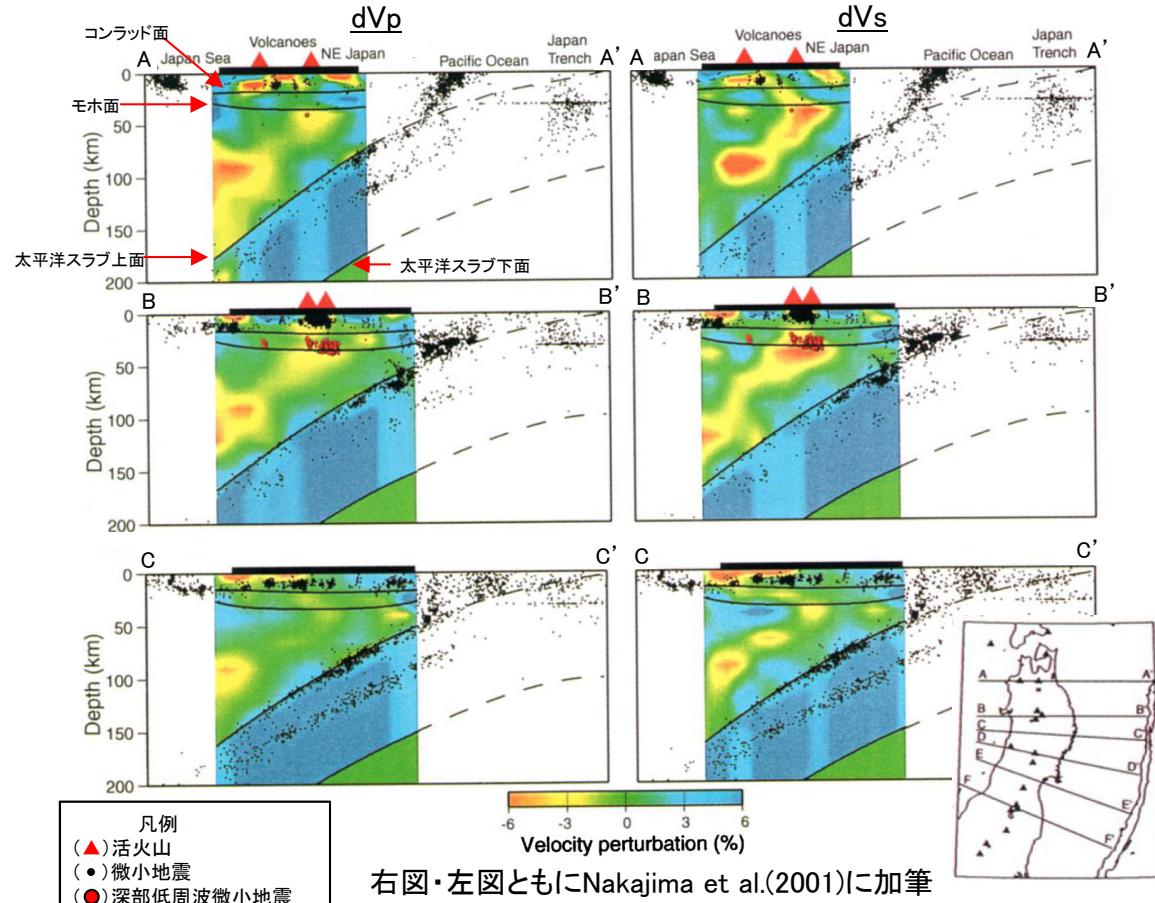
(2024年3月)銀山監視カメラによる観測では、
噴気や湖面の異常等は認められなかった。

3.4 十和田(地下構造)

【地震波速度構造①:Nakajima et al.(2001)】

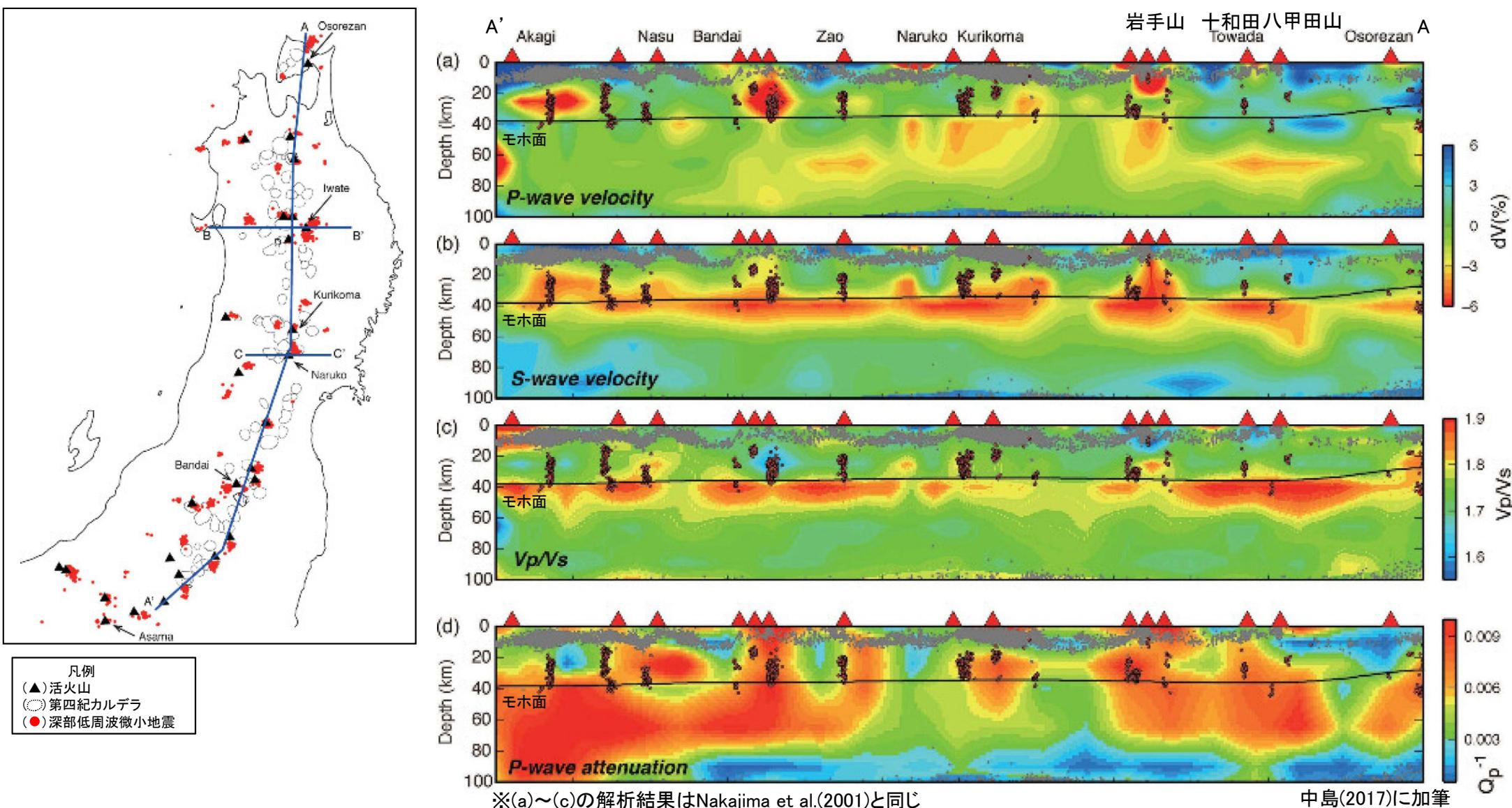


- Nakajima et al.(2001)によると、火山フロントに沿った最上部マントルの低Vp, 低Vs及び高Vp/Vsは、大量のメルトの存在を示唆するとしている。また、火山フロントに沿った下部地殻のうち活火山の直下の低Vp, 低Vs及び高Vp/Vsは、メルトの存在を示唆するとしている。加えて、火山フロントに沿った上部地殻のうち活火山の直下の低Vp, 低Vs及び低Vp/Vsは、水の存在を示唆するとしている。
- また、Nakajima et al.(2001)によると、活火山を通る測線であるAA' 断面及びBB' 断面は、P波, S波ともに沈み込む太平洋スラブとほぼ平行に低速度域が背弧側の深い領域から地殻まで連続的に分布していることが確認できるとし、活火山を通らない測線であるCC' 断面も同様に低速度領域が確認できるが、それは、AA' 及びBB' の低速領域に比べて振幅は小さいとしている。



右図・左図とともにNakajima et al.(2001)に加筆

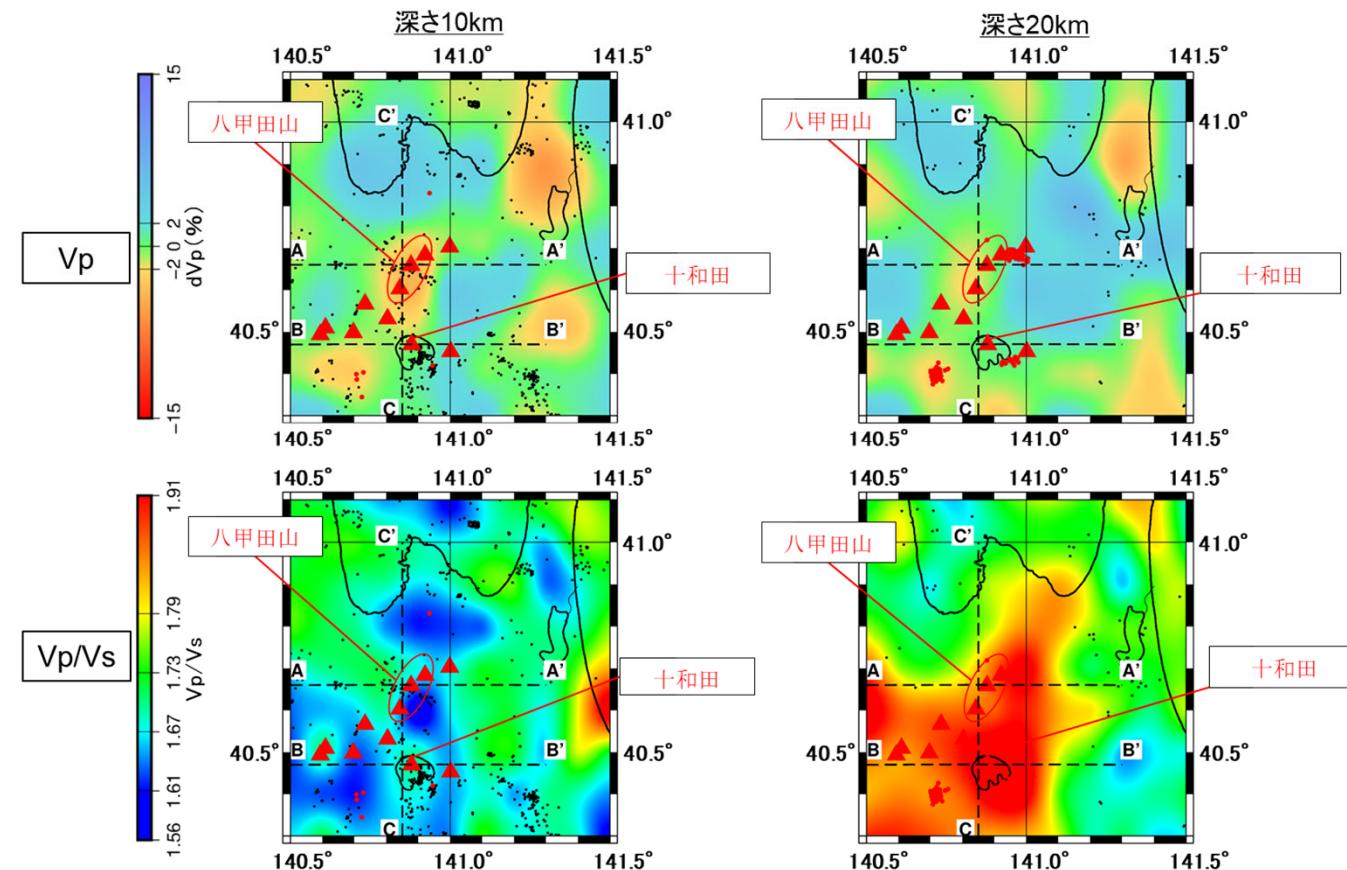
3.4 十和田(地下構造) 【地震波速度構造②: 中島(2017)】



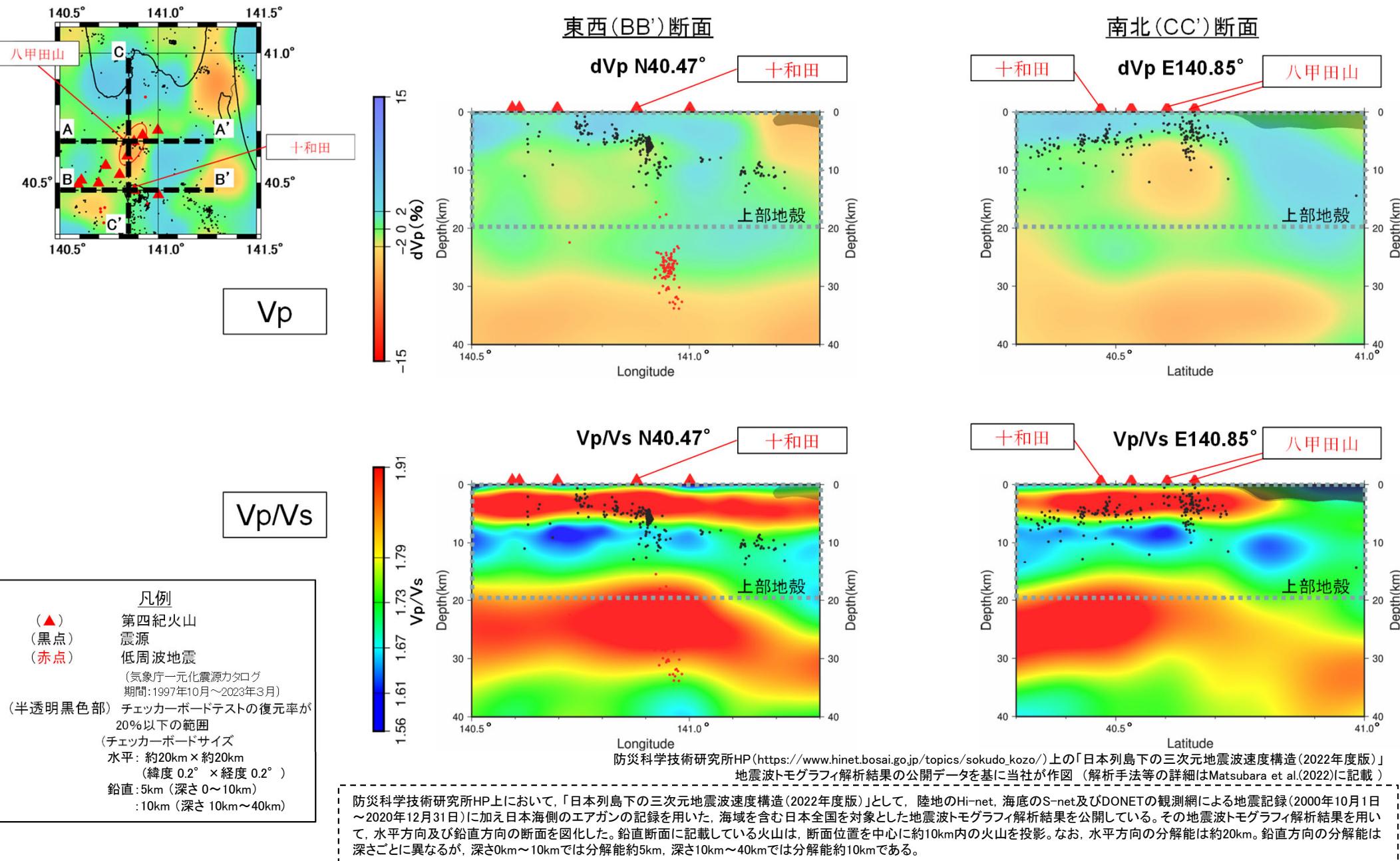
- 中島(2017)によると、岩手山直下の中部～下部地殻では低速度かつ高Vp/Vsであり、メルトを含む部分溶融域であるとしている。
- また、中島(2017)によると、東北地方の火山地域の地殻にはいくつかの共通する特徴が存在するとしており、上部地殻内には大規模な(>10km)マグマ溜まりは存在しないとしている。

3.4 十和田(地下構造)【地震波速度構造③: 日本列島下の三次元地震波速度構造(2022年度版)水平断面】

- 浅森・梅田(2005)によると、低速度領域には流体や高温異常の存在を示唆しているとされている。また、Nakajima et al.(2001)によると、活火山直下の低V_p、低V_s及び高V_p/V_s領域には、メルトの存在を示唆し、低V_p、低V_s及び低V_p/V_s領域には、水の存在を示唆するとしている。
- 防災科学技術研究所HP上において、「日本列島下の三次元地震波速度構造(2022年度版)」として、陸地のHi-net、海底のS-net及びDONETの観測網による地震記録に加え日本海側のエアガンの記録等を用いた、海域を含む日本全国を対象とした地震波トモグラフィ解析結果を公開している(解析手法等の詳細はMatsubara et al.(2022)に記載)。その公開データを用いて、当社が十和田・八甲田山地域における水平・鉛直断面図を作図した。
- 防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果からは、十和田直下の上部地殻内(約20km以浅)には、メルトの存在を示唆する顕著な低V_pかつ高V_p/V_s領域は認められない。
- 深さ10km～15km付近で見られる低V_p領域は、低V_p/V_sであることから水が存在する可能性があると解釈できる。



3.4 十和田(地下構造)【地震波速度構造③: 日本列島下の三次元地震波速度構造(2022年度版)鉛直断面】

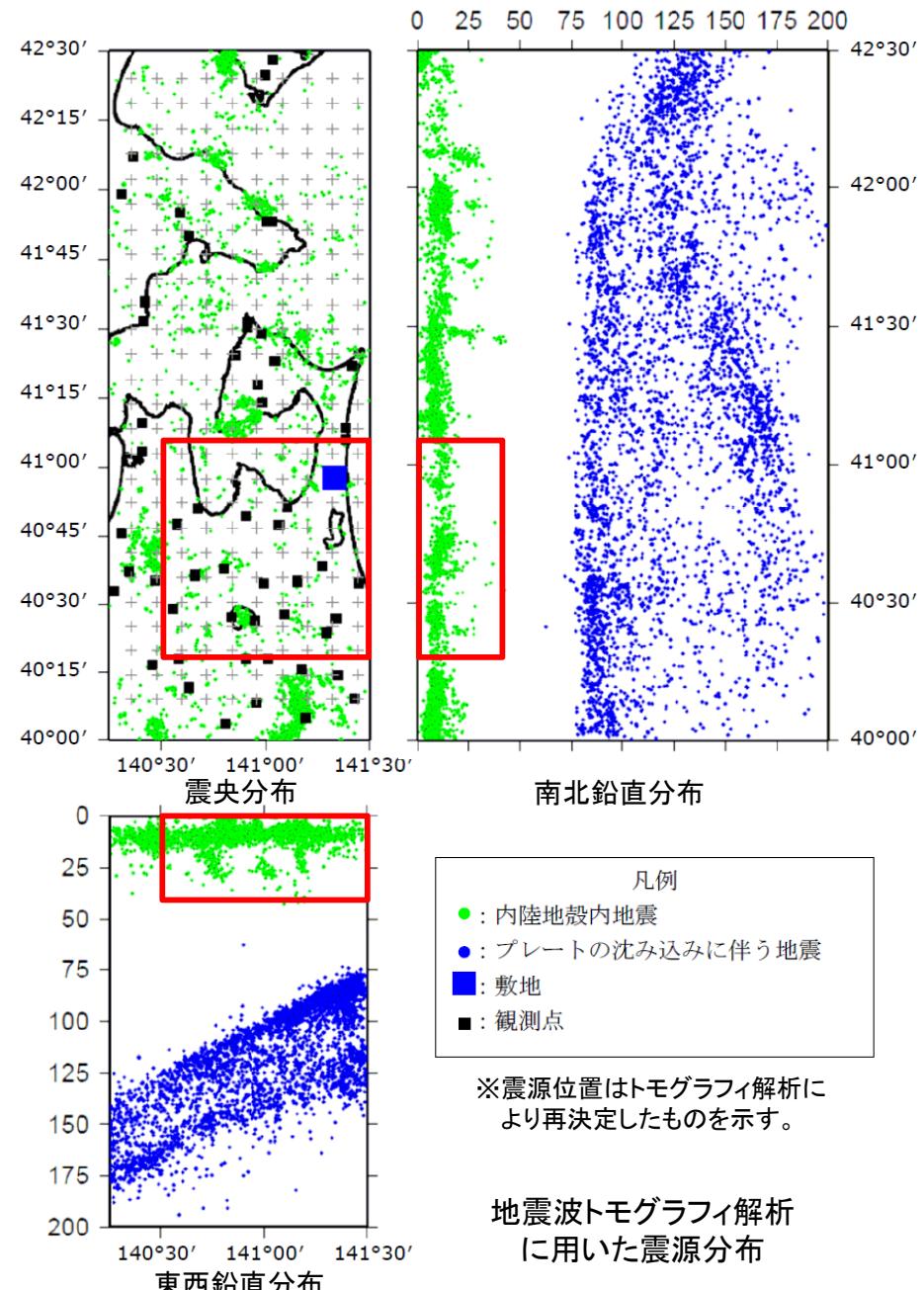


3.4 十和田(地下構造)【地震波速度構造④:当社解析結果】 解析に用いたデータ



【地震波トモグラフィ解析に用いたデータ】

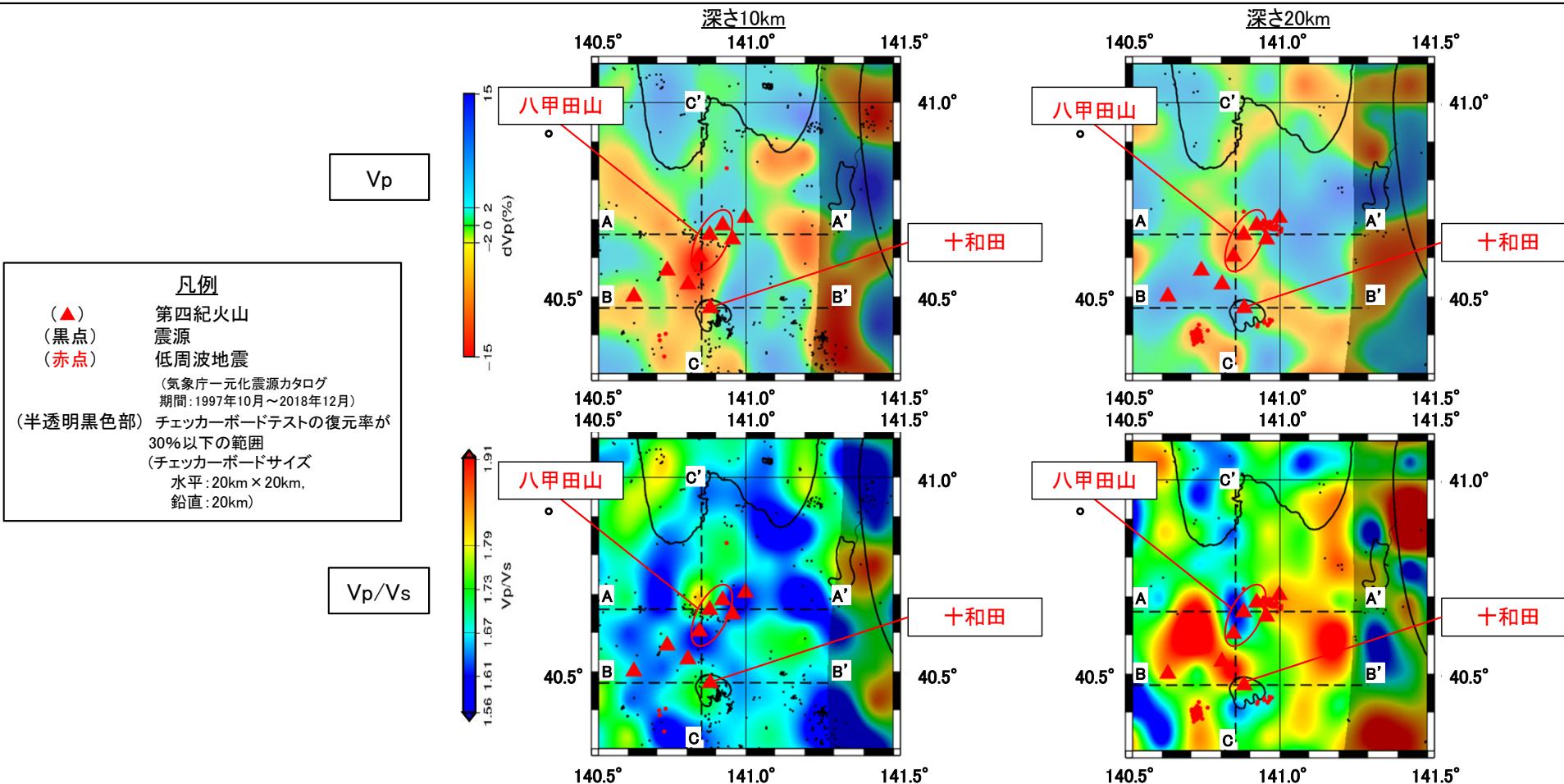
- Hi-netに加えて、東北大学等の独自の観測点を用いて、十和田及び八甲田山付近も含む地震波トモグラフィ解析を実施した。
- 解析に用いた地震の諸元は以下のとおりである。
 - ・地震観測期間: 1997年10月～2007年3月
 - ・地震数 : 9,085地震
 - ・観測範囲 : 右図の通り
 - ・解析結果の表示範囲
右図の赤枠の範囲
 - ・解析結果の表示範囲の解析グリッド間隔
 - 水平方向: 10km
 - 鉛直方向: 10km
 - ・解析結果の表示範囲の分解能
 - 水平方向: 20km
 - 鉛直方向: 20km



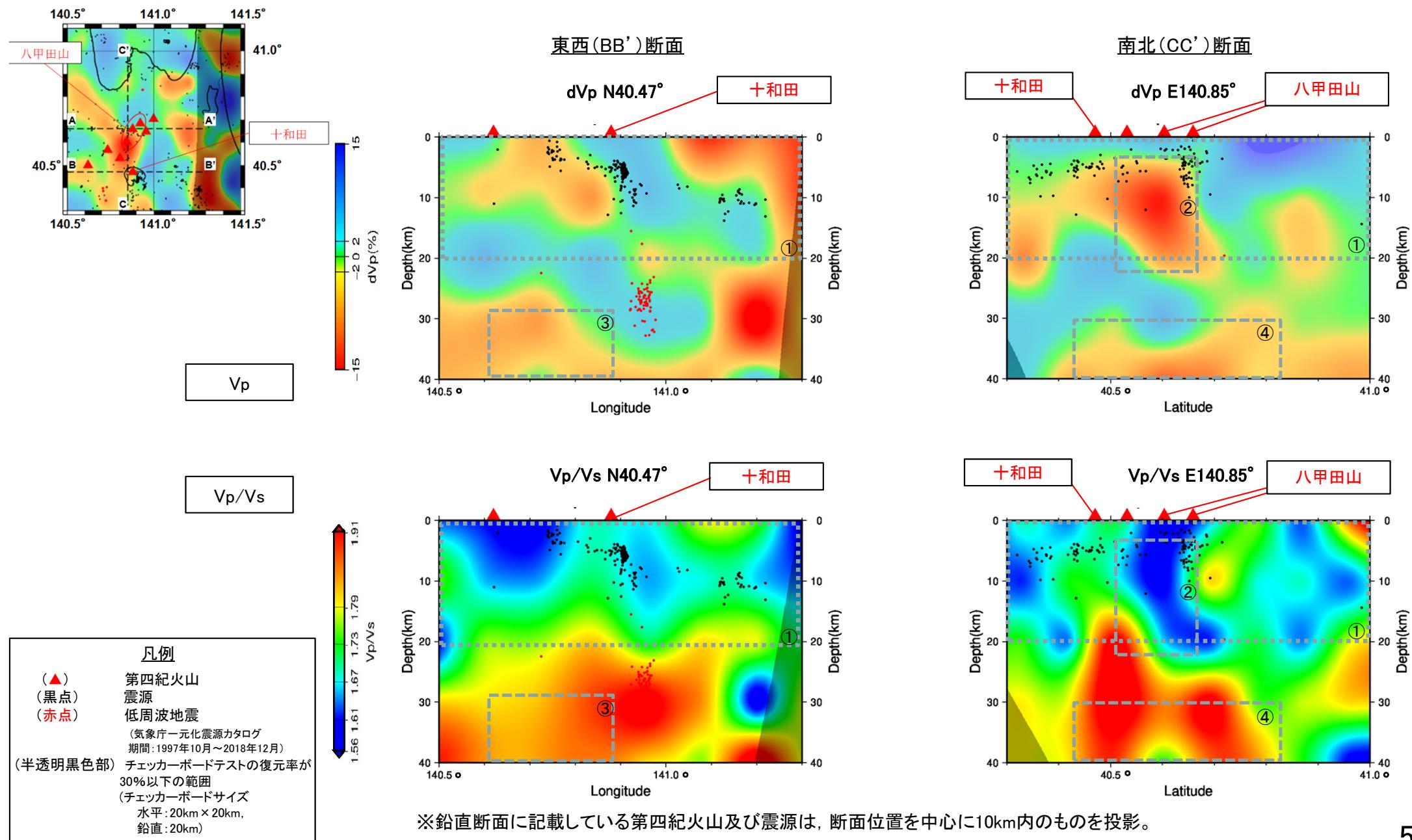
3.4 十和田(地下構造)【地震波速度構造④:当社解析結果】 水平断面



- 地震波トモグラフィ解析結果に基づくと、上部地殻内(約20km以浅)には、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は確認出来ない(次頁図中の①)。また、十和田と八甲田山の間の深さ5km～20km付近に低Vpかつ低Vp/Vsの領域(次頁図中の②)が確認される。加えて、十和田の深さ30km付近～40kmにかけて、低Vpかつ高Vp/Vsの領域(次頁図中の③及び④)が確認される。以上から、十和田直下については次のように解釈できる。
- 上部地殻内(約20km以浅)には、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。これは、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(2022年度版)」の地震波トモグラフィ解析結果と整合的である。
- 十和田と八甲田山の間の深さ5km～20km付近で見られる低Vp領域は、低Vp/Vsであることから水が存在する可能性がある。これは、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(2022年度)」の地震波トモグラフィ解析結果と整合的である。
- 最上部マントルにあたると考えられる深さ30km付近～40kmは、低Vpかつ高Vp/Vsの領域であることからマグマ等の流体が存在する可能性がある。これは、Nakajima et al.(2001)の結果と整合的である。



3.4 十和田(地下構造)【地震波速度構造④:当社解析結果】 鉛直断面



※鉛直断面に記載している第四紀火山及び震源は、断面位置を中心にして10km内のものを投影。

3.4 十和田(地下構造)

【比抵抗構造: Kanda and Ogawa(2014)の解析条件】



- Ogawa(1987)では、インダクションベクトルのマッピングから、低比抵抗異常の分布について定性的な三次元解釈を試みている。
- Kanda and Ogawa(2014)においては、Ogawa(1987)によって測定されたデータの内、磁場3成分を用いたインバージョン解析により、Ogawa(1987)のインダクションベクトルを再現できる、東北日本弧直下の流体及びメルトの3次元分布が示されている。

観測点: 約20km間隔、全37地点

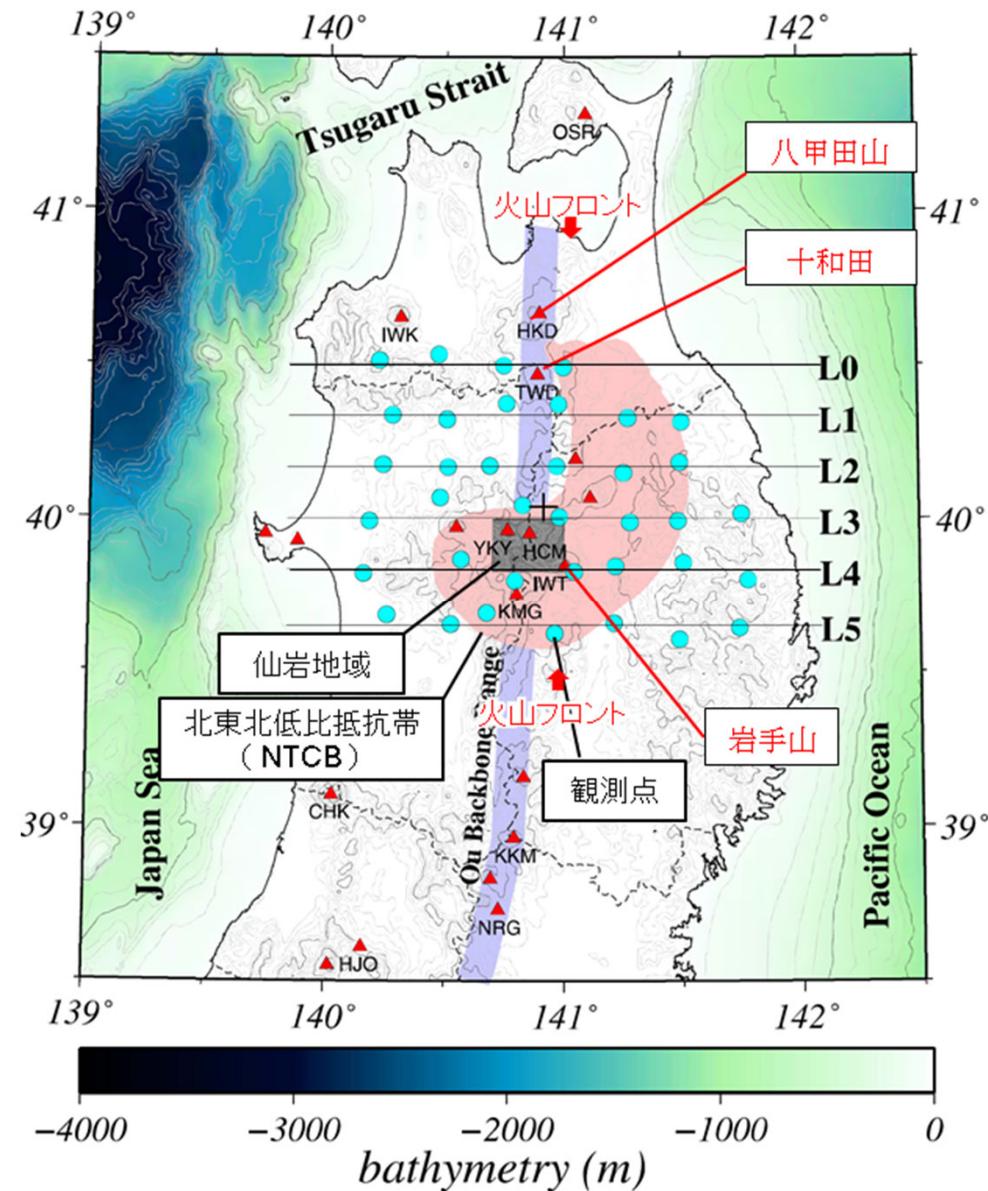
周期: 16~256秒

解析グリッド: 水平方向

仙岩地熱地域を中心としたコア領域で4 km
(60×60グリッド)

鉛直方向 最上層10mで深度とともに増加

参考: 断面図のグリッド読み取りによると深度20kmで
約3~5km



Kanda and Ogawa(2014)に加筆

3.4 十和田(地下構造) 【比抵抗構造: Kanda and Ogawa(2014)】

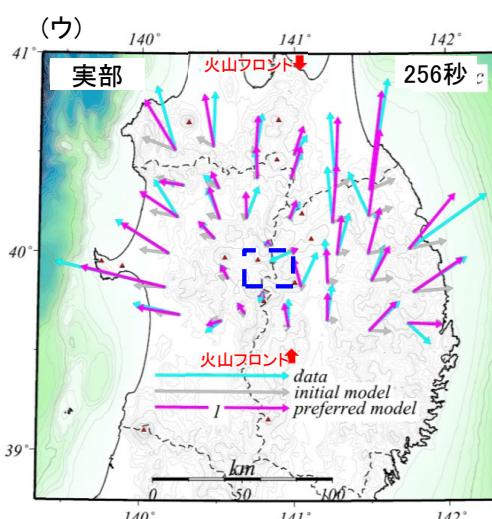
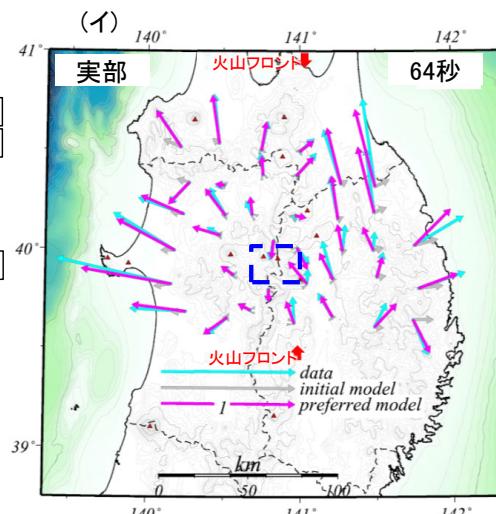
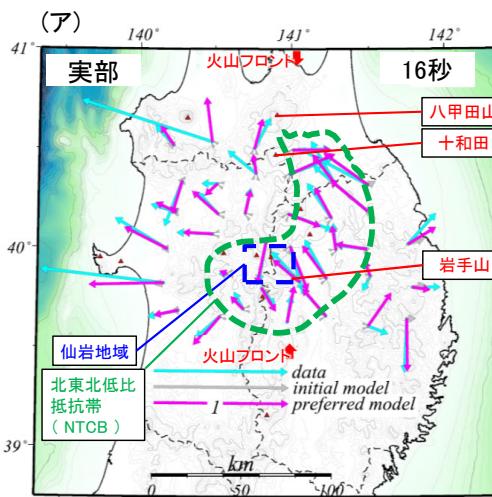
■ Kanda and Ogawa(2014)においては、Ogawa(1987)によって測定されたデータの内、磁場3成分を用いたインバージョン解析により、Ogawa(1987)のインダクションベクトルを再現できる、東北日本弧直下の流体及びメルトの3次元分布が示されている。

- インダクションベクトル(次頁の左図)
 - Kanda and Ogawa(2014)によると、16秒周期では、低比抵抗である海洋効果は特に小さく、火山フロント東側の互いに向き合うインダクションベクトルの対は、仙岩地熱地域を含む北東北低比抵抗帯(NTCB; Ogawa, 1987)の存在を示唆するが、古生代の堆積物であるとしている。(次頁の左図(ア))
 - Ogawa(1987)によると、64秒と256秒の周期では、インダクションベクトルは海洋を向いている(太平洋側は東方、日本海側は西方、津軽海峡側は北方)が、火山フロント付近ではベクトルが小さい特徴がある。さらに、仙岩地熱地域の北側観測点のベクトルは南方を向くことから、低比抵抗異常の存在を推定できるとしている。(次頁の左図(イ)(ウ))
- 三次元比抵抗構造(次頁の右の水平断面・次々頁の鉛直断面)
 - Kanda and Ogawa(2014)によると、Ogawa(1987)のインダクションベクトルから推定された仙岩地域付近の低比抵抗異常について、三次元比抵抗モデルにおいても低比抵抗領域C6が仙岩地域付近のL2~L5断面で顕著に見られるとし、C6は、マグマ若しくは高塩濃度流体またはその両方を示唆するとしている。



- 次頁左図(ア)に示すインダクションベクトルの16秒周期では、十和田に向くベクトルは認められず、顕著な低比抵抗異常は推定できない。
- 次頁右図(b)に示す10km~12km(上部地殻内)の水平断面では、高比抵抗領域が広く分布しており、顕著な低比抵抗領域は認められない。
- また、次頁及び次々頁に示す、三次元比抵抗構造の水平・鉛直断面図より仙岩地域付近の下部地殻及び最上部マントルには、マグマ若しくは高塩濃度流体またはその両方を示唆する顕著な低比抵抗領域が認められるが、十和田直下には顕著な低比抵抗領域は認められない。

3.4 十和田(地下構造)【比抵抗構造: Kanda and Ogawa(2014)】 水平断面

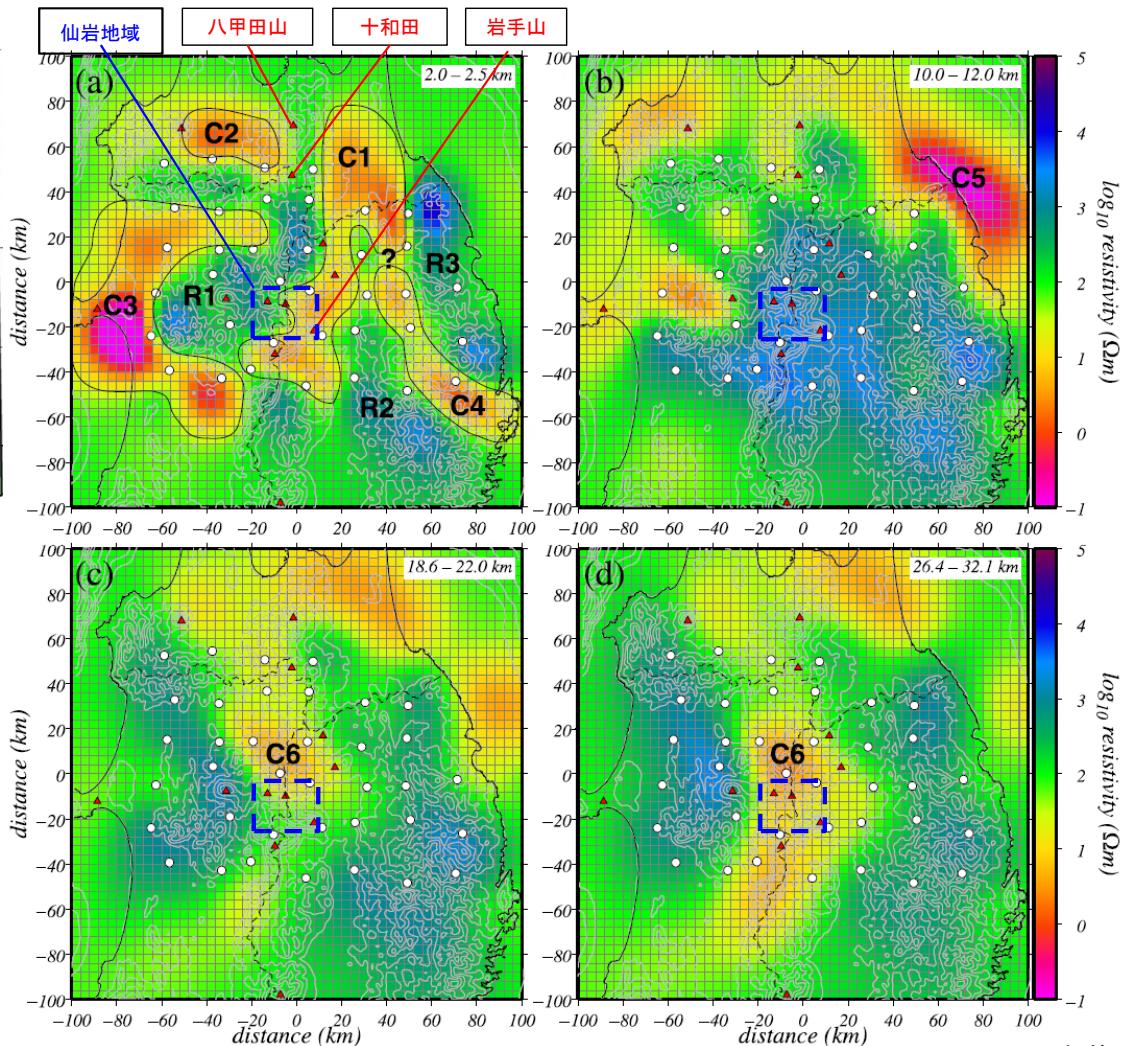


Kanda and Ogawa(2014)のインダクションベクトルのうち青矢印は、Ogawa(1987)で示された観測データに基づくインダクションベクトルと同じ。

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つているかの指標となる。上嶋(2009)に基づけば、大地の比抵抗を $100 \Omega\text{m}$ 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。

Kanda and Ogawa(2014)に加筆

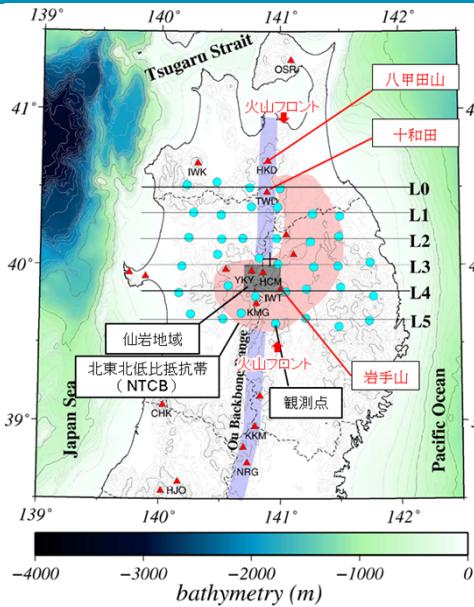
観測及びモデル化したインダクションベクトル



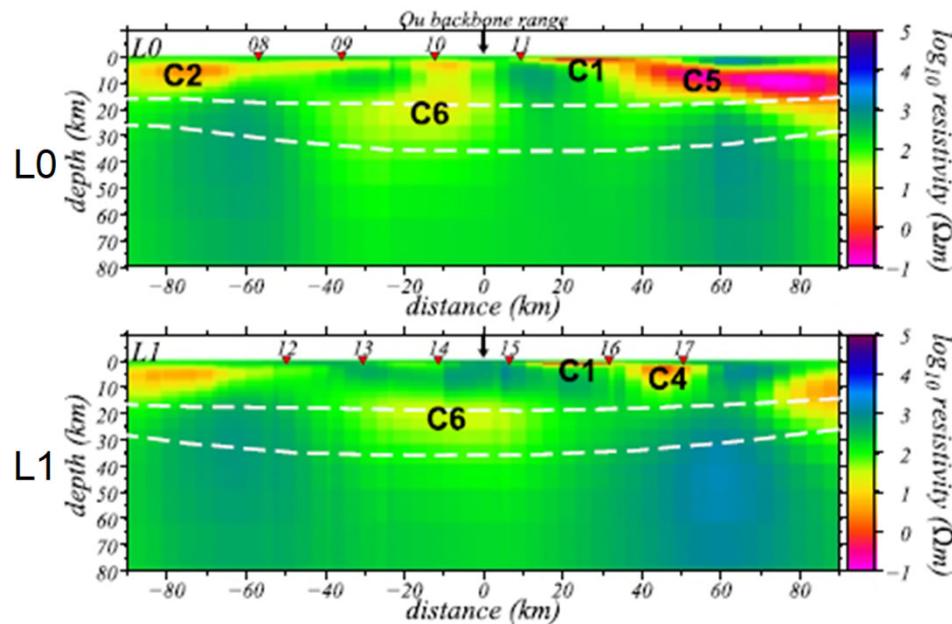
北東北の三次元比抵抗構造(水平断面)

Kanda and Ogawa(2014)によると
 C1~C6,R2,R3は以下を示している。
 C1,C4: 北上山地の古生代の堆積層
 C2,C3: 中新世の海成堆積層
 C5: 本研究の対象外の範囲のため不明
 C6: マグマ若しくは高塩濃度流体または
 その両方を示唆する
 R2,R3: 白亜紀花崗岩

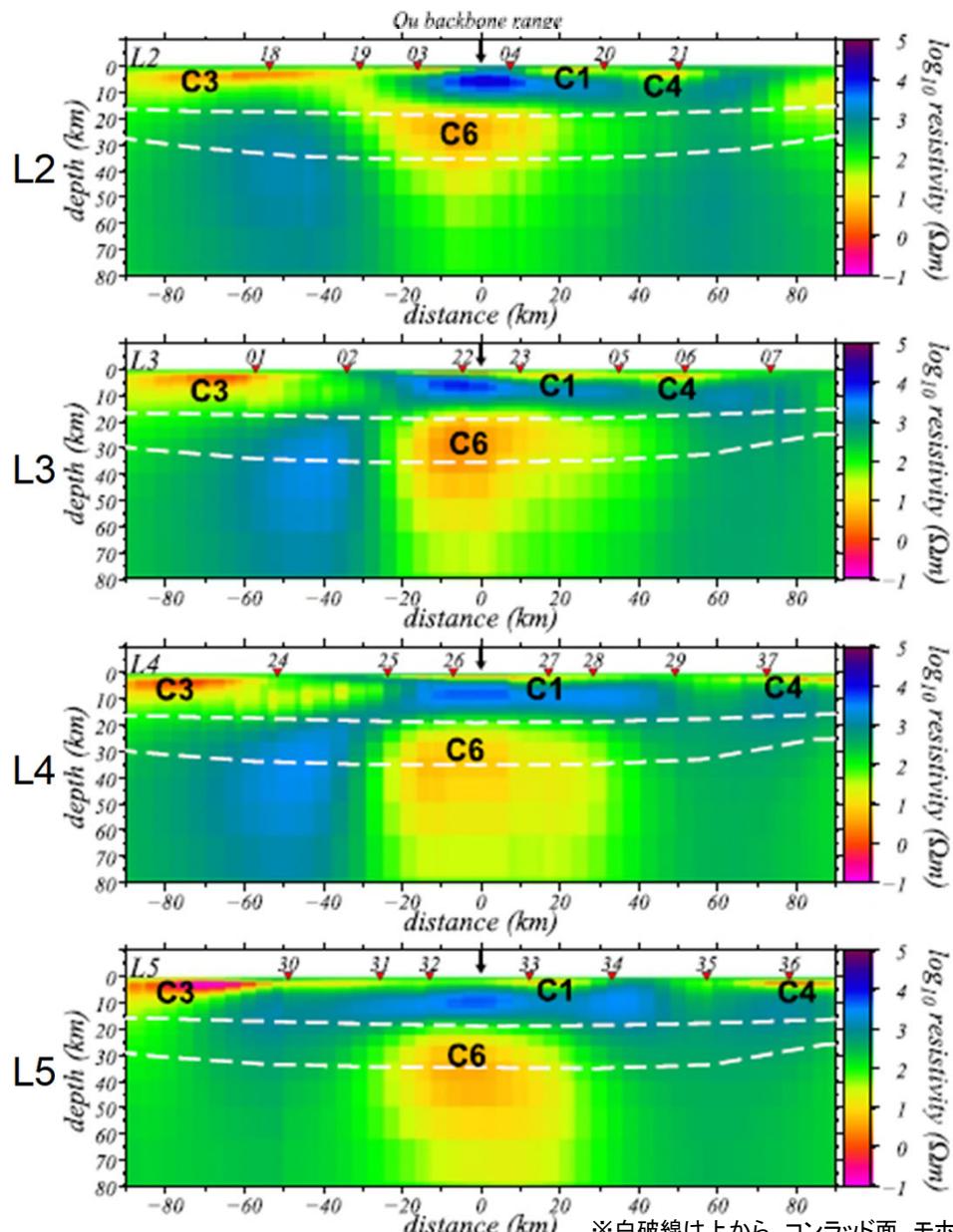
3.4 十和田(地下構造)【比抵抗構造: Kanda and Ogawa(2014)】 鉛直断面



Kanda and Ogawa(2014)によると
C1～C6,R2,R3は以下を示している。
C1,C4: 北上山地の古生代の堆積物
C2,C3: 中新世の海成堆積層
C5: 本研究の対象外の範囲のため不明
C6: マグマ若しくは高塩濃度流体または
その両方を示唆する
R2,R3: 白亜紀花崗岩



北東北の三次元比抵抗構造(鉛直断面)



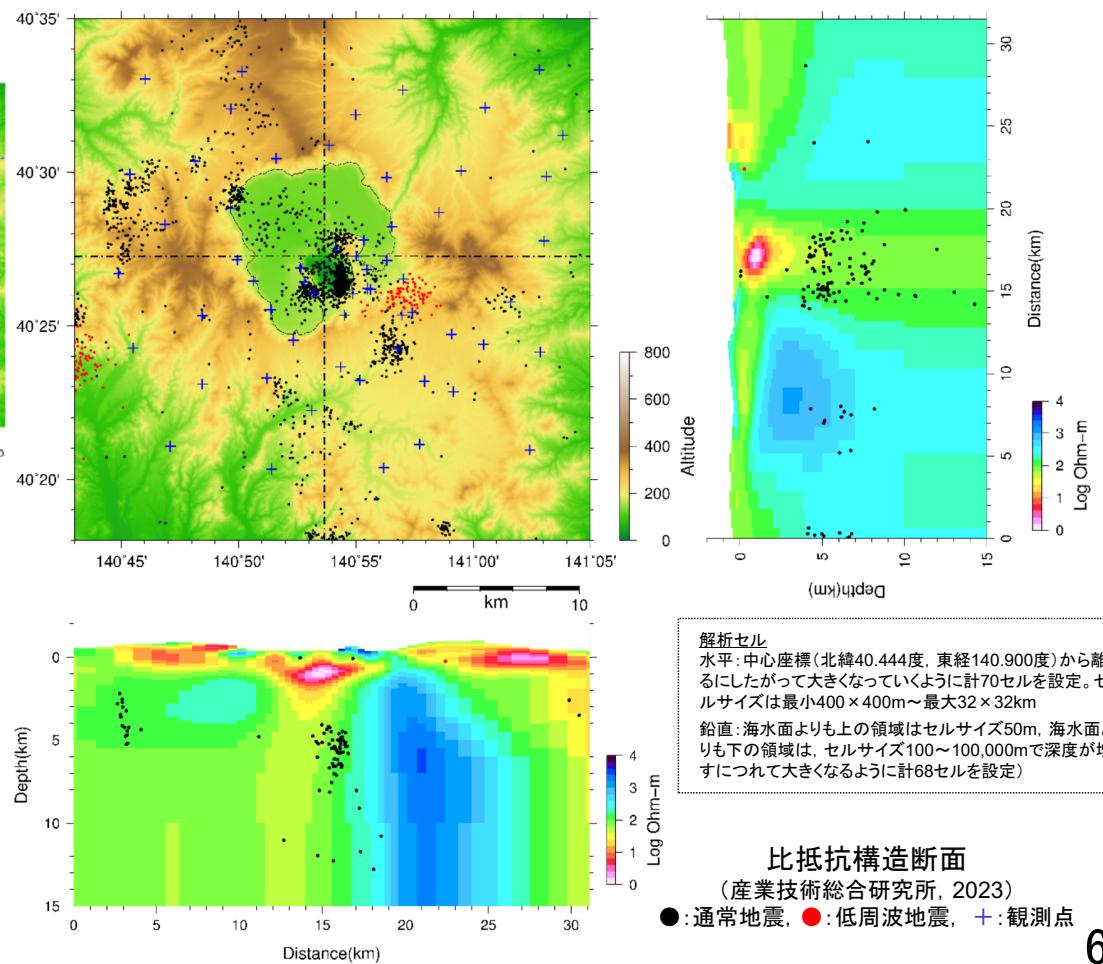
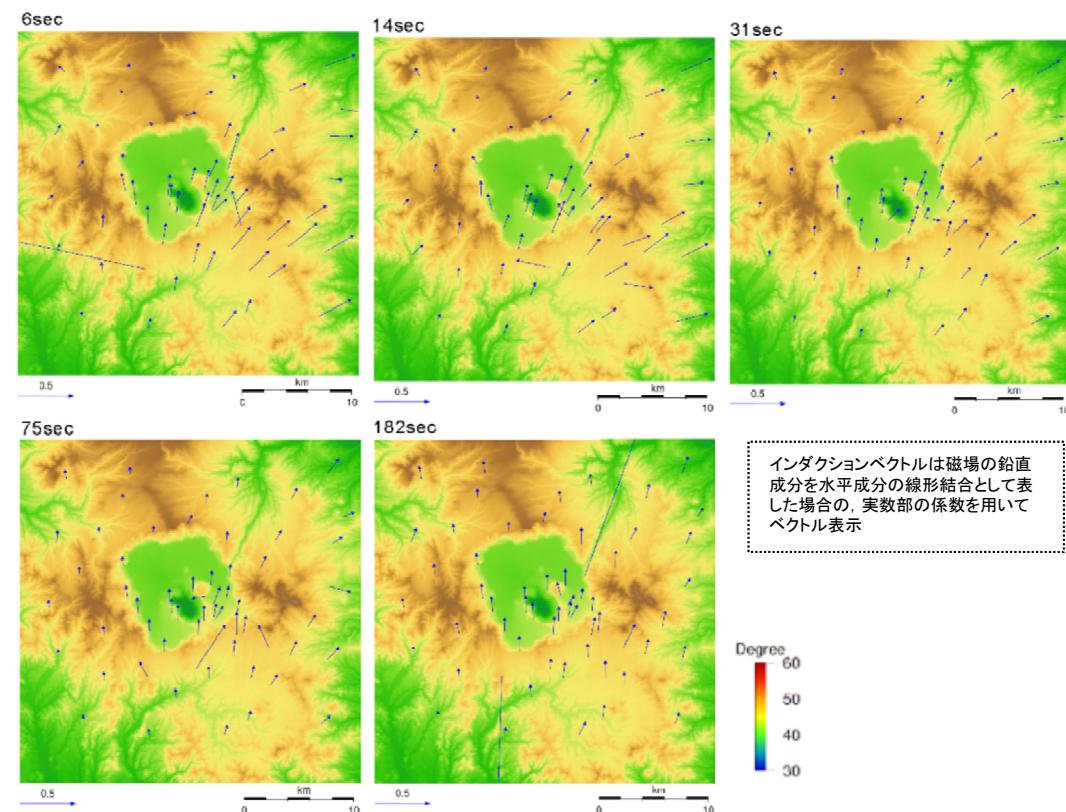
※白線は上から、コンラッド面、モホ面を示す。
Kanda and Ogawa(2014)に加筆

3.4 十和田(地下構造)【比抵抗構造: 産業技術総合研究所(2023)】

【産業技術総合研究所(2023)によって明らかにされた十和田地下の比抵抗構造】

- 十和田湖を含んだおよそ東西約30km、南北約30kmの範囲において、2021年～2022年にかけて広帯域MT法探査を実施し、3次元インバージョン解析により地下比抵抗構造を明らかにした。
- 測定は電場2成分、磁場3成分、周波数300Hz～0.001Hzを含む範囲で実施した。また、ノイズを取り除くため、調査地域から南東約80kmにリモート点を設置し、リモートリファレンス処理を実施した。
- インダクションベクトルについて、周期75秒までは解析領域の東側の測点では、東ないしは北東を向くベクトルが顕著であり、その方向に低比抵抗体が存在することを示唆する。一方、周期182秒からは、ほぼすべての観測点において北方向を向く。Kanda and Ogawa(2014)では周期256秒で十和田湖周辺の測点が強く北向きになることを報告しており、その傾向と調和的である。
- 十和田(中湖)の地下浅部に低比抵抗域が広がっており、最も低い比抵抗値($1\Omega \cdot m$)を示す深度は海抜下1km程度である。この低比抵抗域は、空隙を酸性熱水が占めるためか、あるいはスメクタイト類の粘土鉱物を含むためと考えられる。

→ 十和田(中湖)直下の深度約1kmを中心に低比抵抗領域が認められるが、マグマ溜まりの存在を示唆するものではなく、酸性熱水もしくは粘土鉱物の存在が示唆される。



3.4 十和田(地下構造)【まとめ】

[地震波速度構造]

- ・中島(2017)によると、東北地方の火山地域の地殻にはいくつかの共通する特徴が存在するとしており、上部地殻内には大規模な(>10km)マグマ溜まりは存在しないとしている。
- ・防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果からは、十和田直下の上部地殻内(約20km以浅)には、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。また、深さ10km～15km付近で見られる低Vp領域は、低Vp/Vsであることから水が存在する可能性があると解釈できる。
- ・当社解析結果から、上部地殻内(約20km以浅)には、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。また、十和田と八甲田山の間の深さ5km～20km付近で見られる低Vp領域は、低Vp/Vsであることから水が存在する可能性がある。これらは、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(2022年度)」の地震波トモグラフィ解析結果と整合的である。

[比抵抗構造]

- ・Kanda and Ogawa(2014)に基づくと、インダクションベクトルの16秒周期では、十和田に向くベクトルは認められず、顕著な低比抵抗異常は推定できない。10km～12km(上部地殻内)の水平断面では、高比抵抗領域が広く分布しており、顕著な低比抵抗領域は認められない。また、三次元比抵抗構造の水平・鉛直断面図より仙岩地域付近の下部地殻及び最上部マントルには、マグマ若しくは高塩濃度流体またはその両方を示唆する顕著な低比抵抗領域が認められるが、十和田直下には顕著な低比抵抗領域は認められない。
- ・産業技術総合研究所(2023)に基づくと、十和田(中湖)直下の深度約1kmを中心に低比抵抗領域が認められるが、マグマ溜まりの存在を示唆するものではなく、酸性熱水もしくは粘土鉱物の存在が示唆される。



- ・地殻内に推定される低速度及び低比抵抗領域の拡大または消滅、新たな低速度及び低比抵抗領域が出現したとする科学的知見は認められない。
- ・十和田直下の上部地殻に大規模なマグマ溜まりの存在を示唆する顕著な低速度・高Vp/Vsかつ低比抵抗領域は認められない。

3.5 十和田(総合評価)

地震活動

- ・観測期間を通じて、中湖及びその周辺、並びにカルデラ南東縁～南東方及びカルデラ北西～北西方に震源を有する地震が観測され、M1以上の通常の地震は深さ約3km～約10km、低周波地震はカルデラ南東縁付近の深さ約24km～約30kmを中心に震源を有する。
- ・2023年度では、M0.5以上の通常の地震が120回、低周波地震が4回観測された。
⇒震源分布及び発生頻度等に大きな変化はなく、地震活動の活発化を示唆する顕著な変化は認められない。

【判断基準】
超過なし

地殻変動

〔GNSS観測データ〕

- ・十和田を中心とした地域では、系統的な変位の累積及び急激な変位は認められず、基線長変化では、余効変動を超える継続的な変位の累積は認められない。
- ・ただし、気象庁GNSS観測点「大川岱」の西方移動、電子基準点「十和田湖2」における東方移動に伴うと考えられるわずかな変位が認められることから、今後注視する。

【判断基準】
GNSS観測：
超過なし

〔水準測量データ〕

- ・2018年、2019年及び2022年に実施した水準測量の結果からは、十和田を中心とした顕著な地殻変動の傾向は認められない。

〔干渉SAR解析〕

- ・干渉SAR解析の結果からは、十和田を中心とした顕著な変動は認められない。

〔傾斜計データ〕

- ・2023年4月～2024年3月の傾斜計データからは、火山活動によると考えられる顕著な傾斜変動は認められない。

火山ガス・熱活動、噴出場所及び噴出物、噴火様式(公的機関の発表情報)

- ・噴火は発生しておらず、警戒情報も発信されていない。期間を通して、噴火警戒レベル1(活火山であることに留意)が継続した。
- ・2023年7月や2024年1月に、地震回数が一時的に増加したが、その他の火山活動に特段の変化は認められない。
- ・これ以外の期間では、火山活動に特段の変化はなく、静穏に経過しており、噴火の兆候は認められない。

【判断基準】
公的機関の
発表情報(噴火)：
超過なし

地下構造

- ・十和田直下の上部地殻に大規模なマグマ溜まりの存在を示唆する顕著な低速度・高Vp/Vsかつ低比抵抗領域は認められない。

→ 総合評価

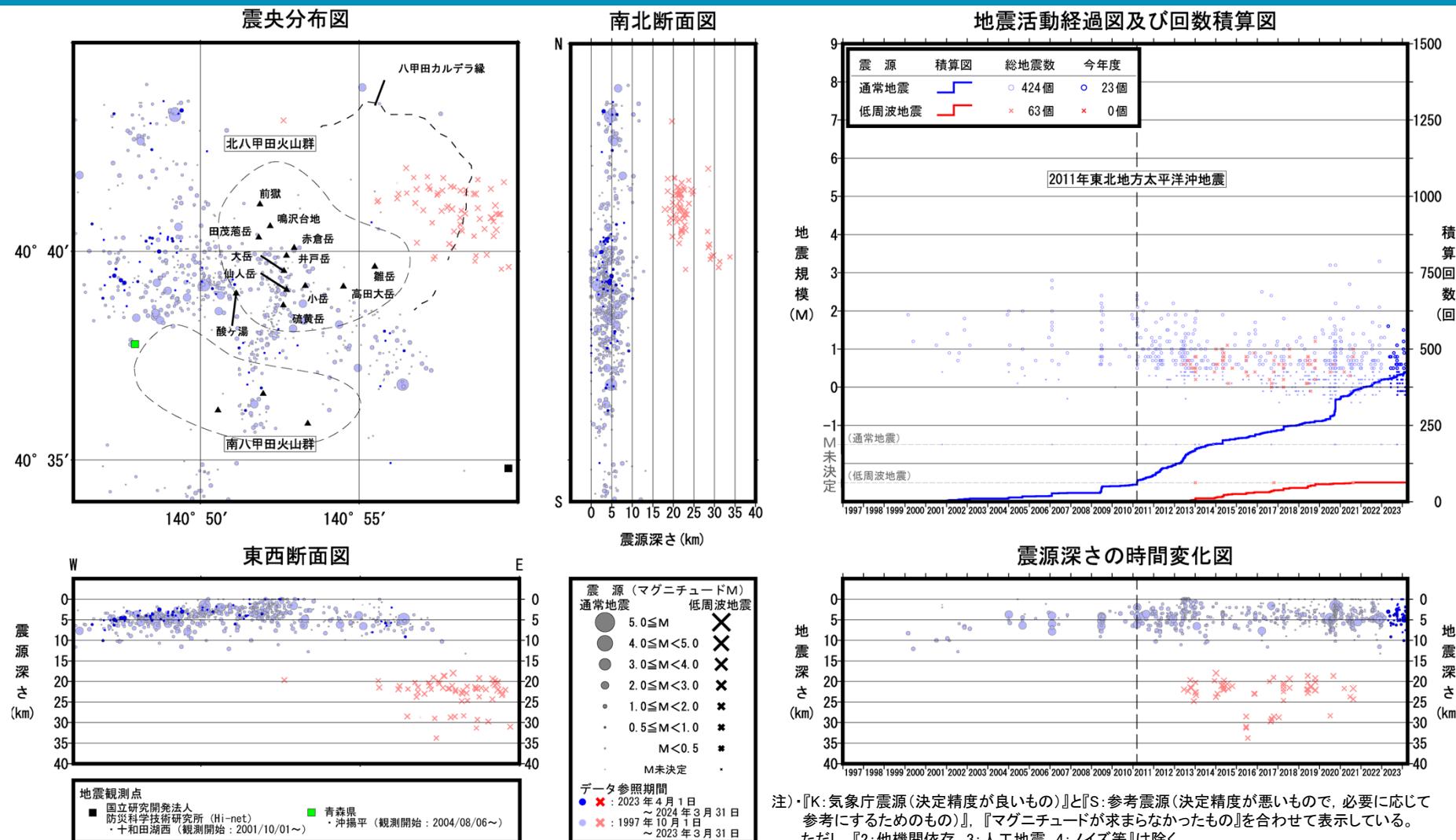
観測データに有意な変化はなく警戒レベルは「平常」

余白

4. 八甲田山のモニタリング

八甲田山のモニタリング

4.1 八甲田山(地震活動:震源分布とマグニチュード)【全期間】



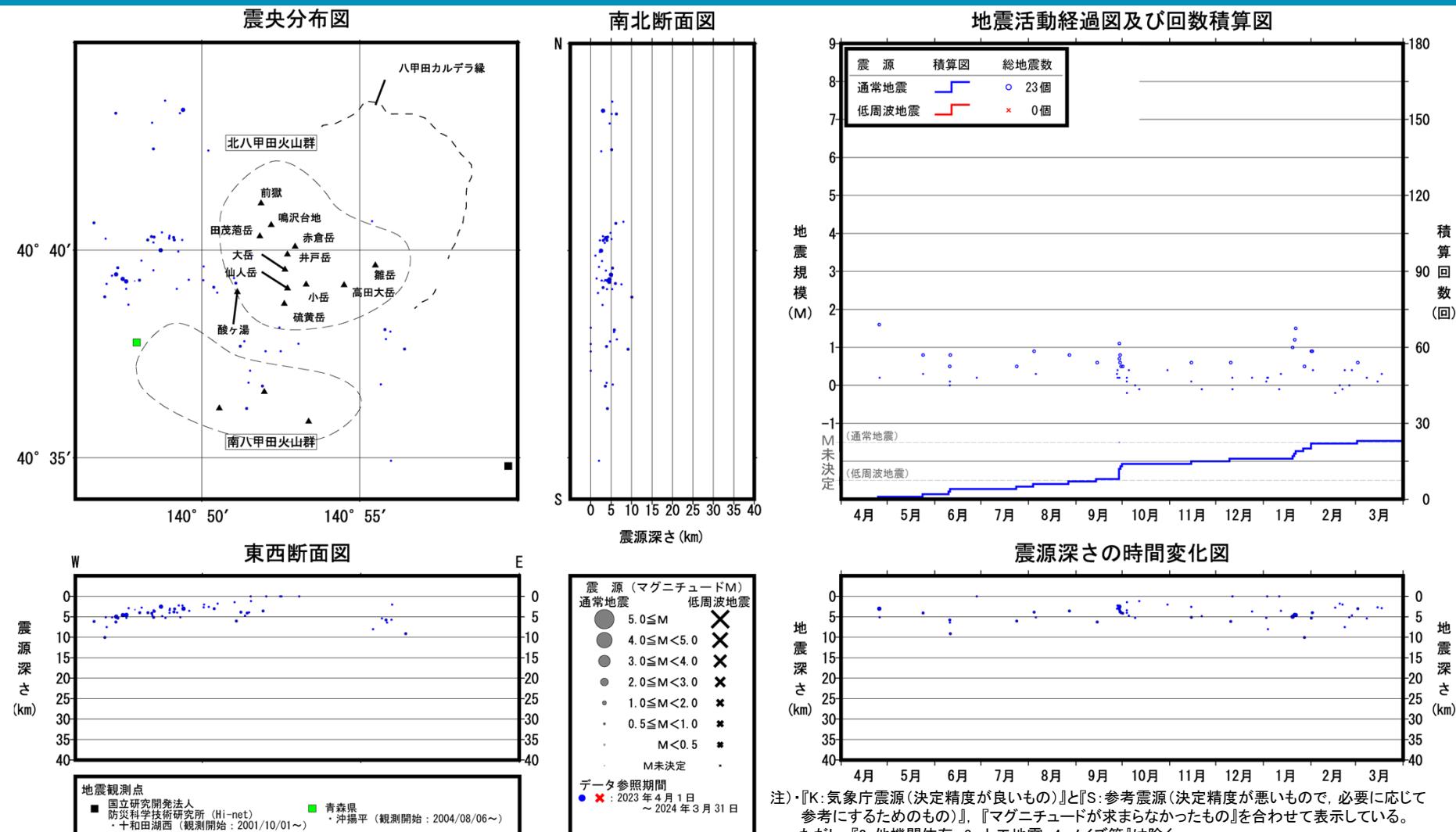
注)『K:気象庁震源(決定精度が良いもの)』と『S:参考震源(決定精度が悪いもので、必要に応じて参考にするためのもの)』、『マグニチュードが求まらなかったもの』を合わせて表示している。ただし、『2:他機関依存、3:人工地震、4:ノイズ等』は除く。

・通常の地震回数はM0.5以上のものを積算している。低周波地震はMが求まらなかったものを除いて積算している。
・震源データについては、2016年4月以降、PF法を用いた自動震源決定手法の導入により震源決定総数が増加。

特記事項

観測期間を通じて、北八甲田火山群の大岳付近から南八甲田火山群にかけての地域、北八甲田火山群西方及び八甲田カルデラ付近に震源を有する地震が観測してきた。通常の地震は深さ10km以浅、低周波地震は八甲田カルデラから東方にかけての深さ約19km～約35kmに震源を有する。
⇒地震の震源分布及びその発生頻度に大きな変化はなく、地震活動の活発化を示唆する顕著な変化は認められない。

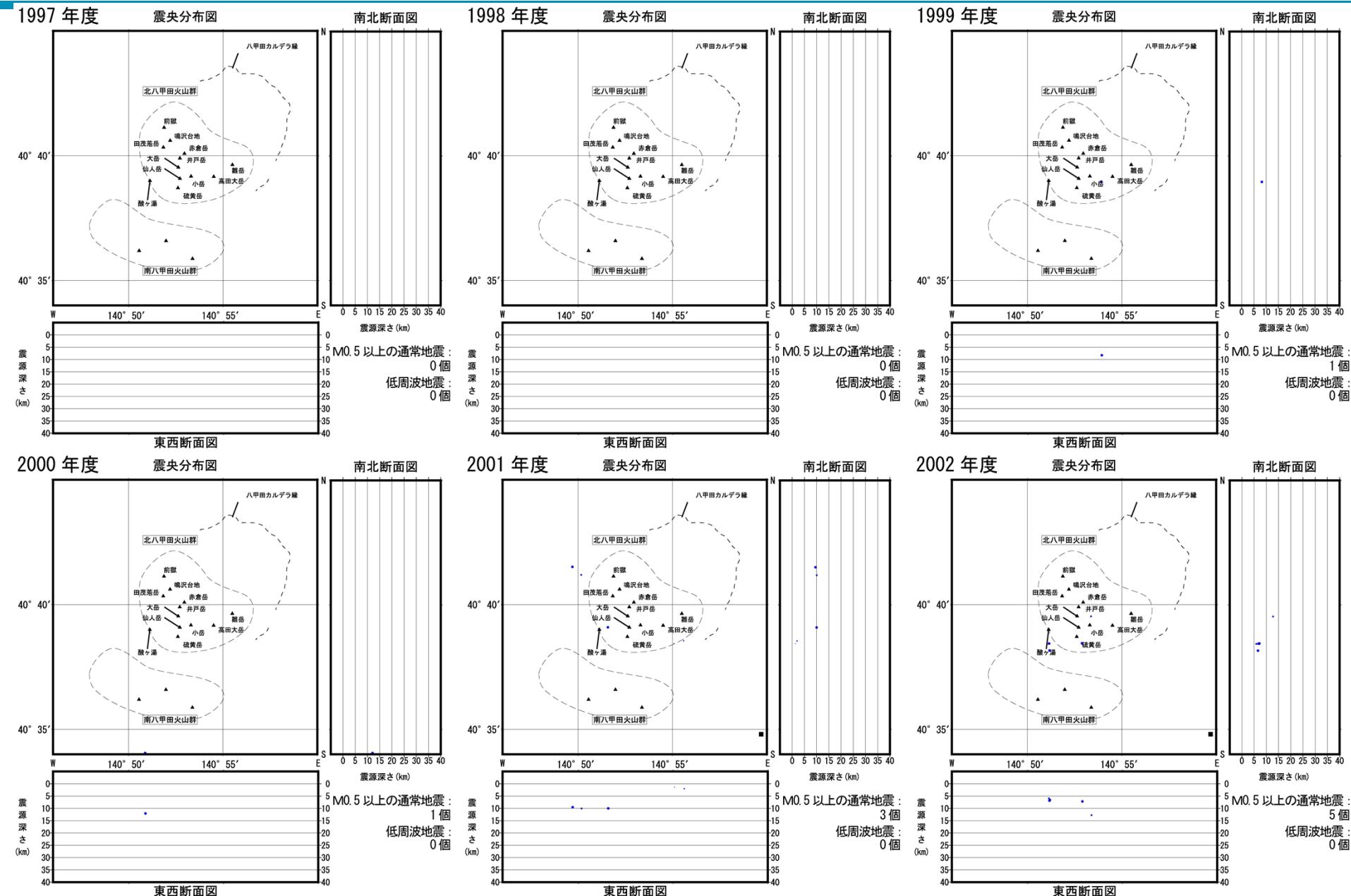
4.1 八甲田山(地震活動:震源分布とマグニチュード)【2023年度】



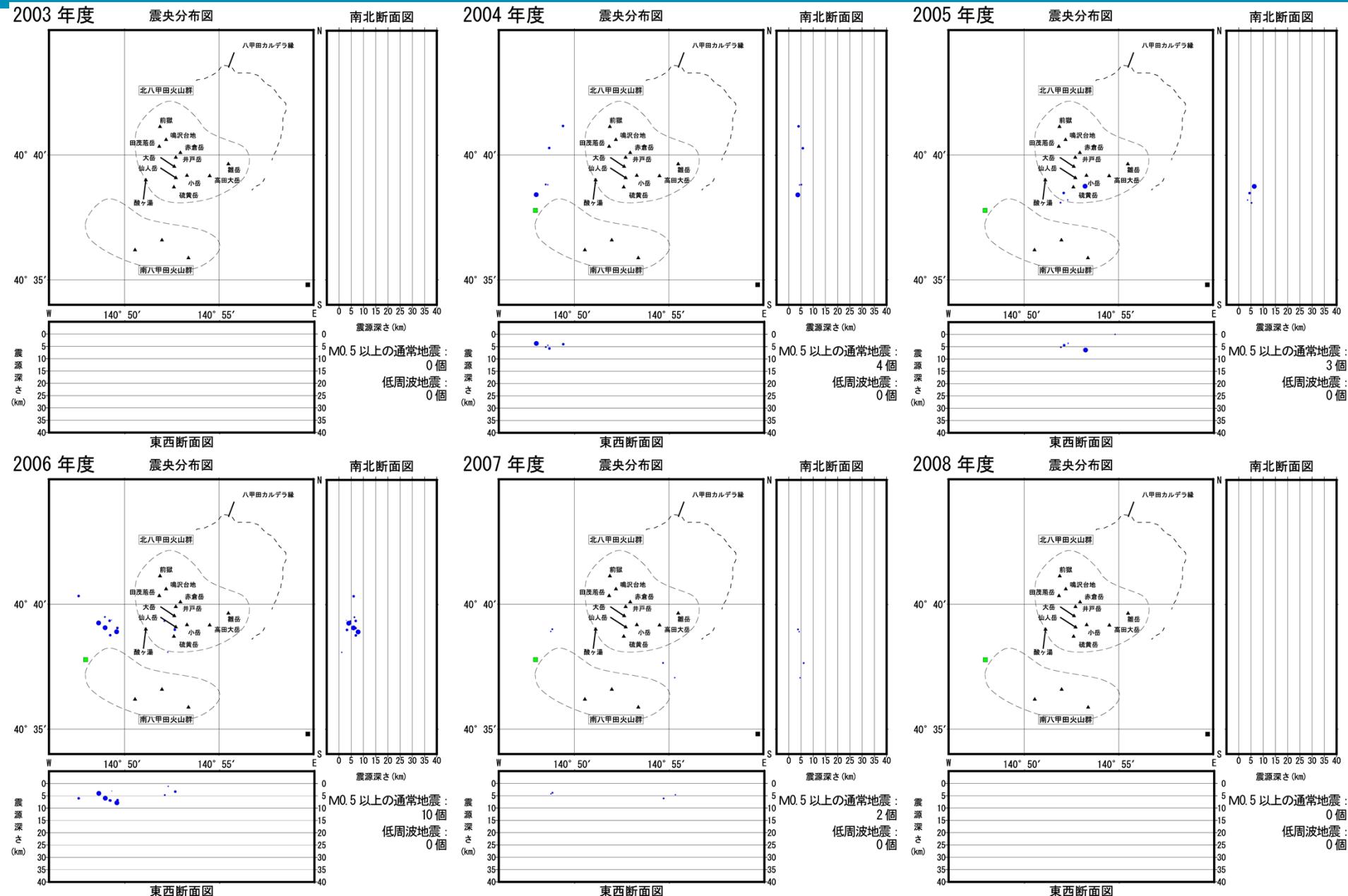
特記事項

2023年度では、M0.5以上の通常の地震が23回(最多6回/月、最大M1.6)観測された。低周波地震は観測されていない。
 M0.5以上の通常の地震の震源位置は北八甲田火山群の北西方及び西方、硫黄岳付近から南八甲田火山群にかけての地域である。
 M0.5以上の通常の地震の震源深さは約2km～約10kmである。

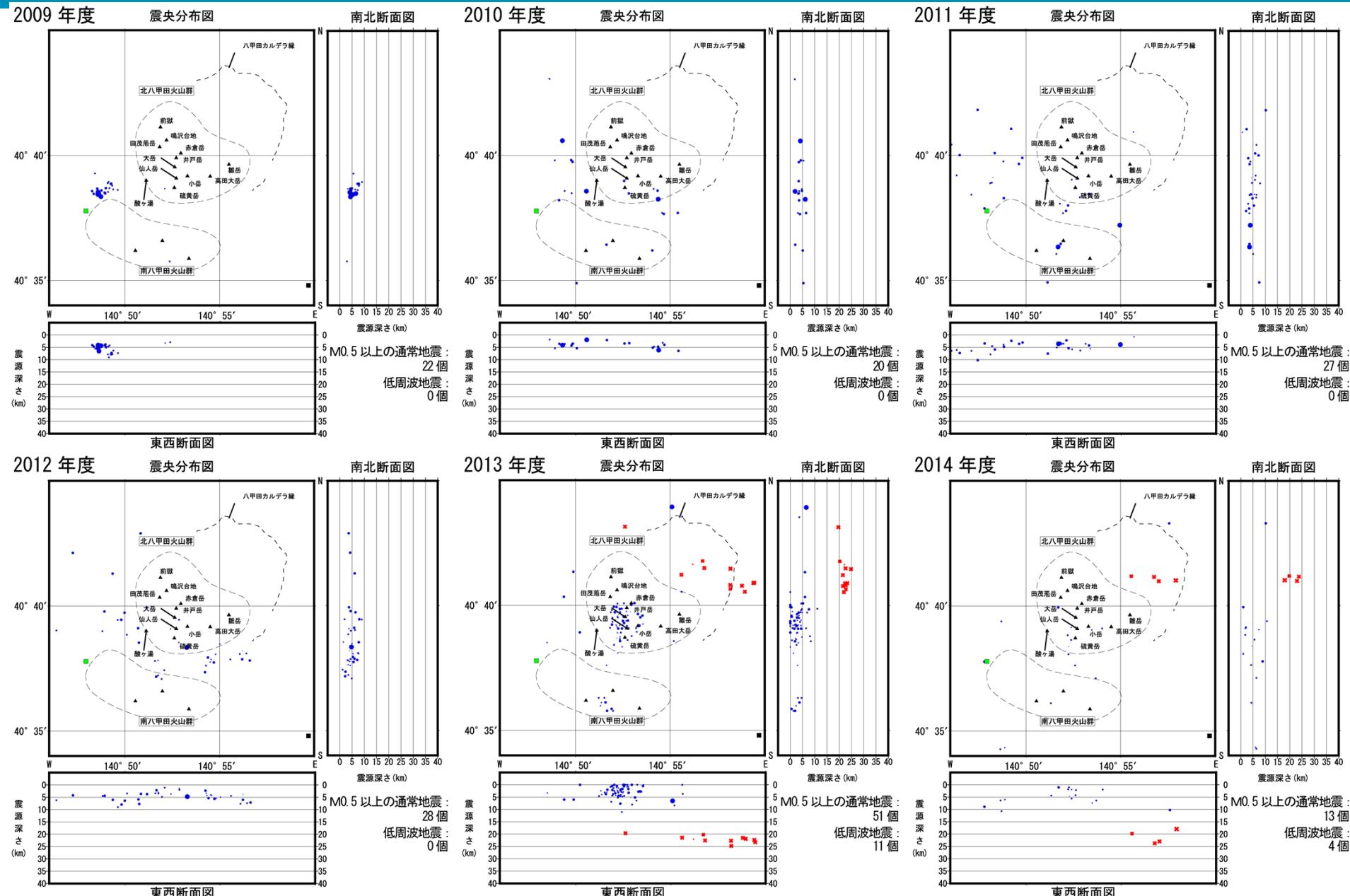
4.1 八甲田(地震活動:震源分布)【1997年度～2002年度】



4.1 八甲田(地震活動:震源分布)【2003年度～2008年度】

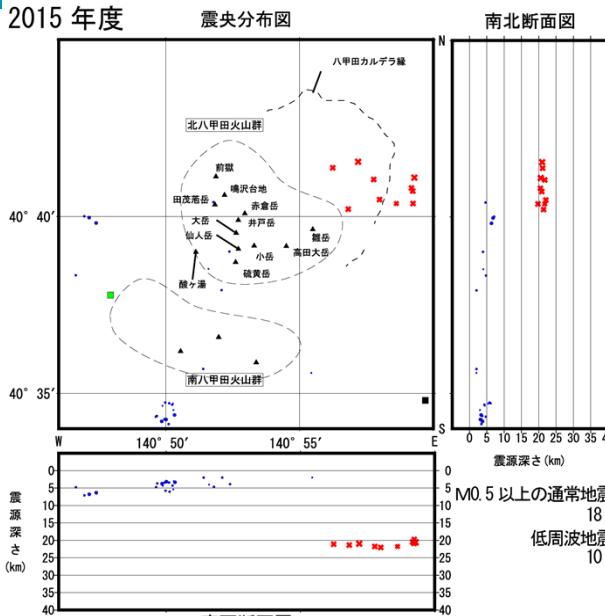


4.1 八甲田(地震活動:震源分布)【2009年度～2014年度】

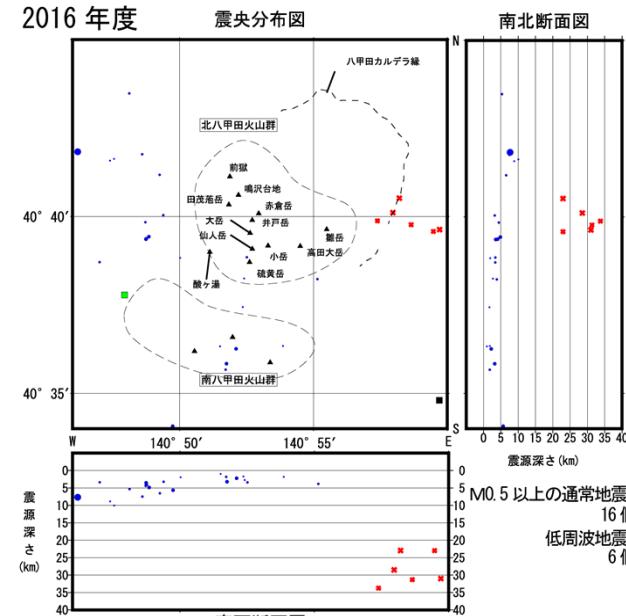


4.1 八甲田(地震活動:震源分布)【2015年度～2020年度】

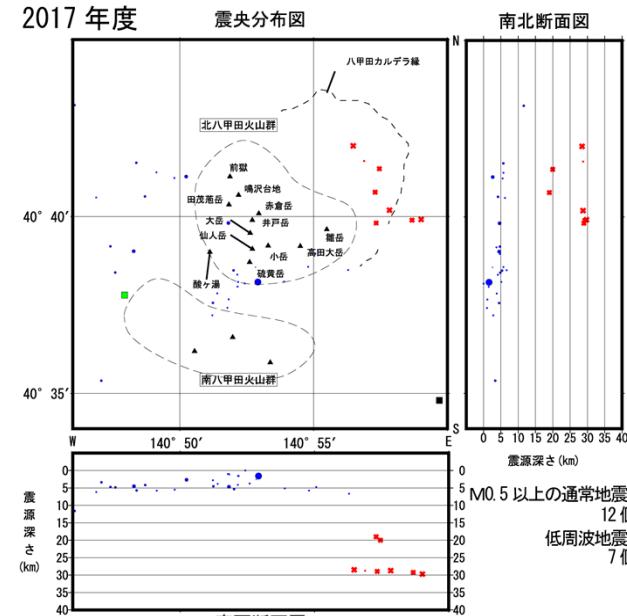
2015 年度



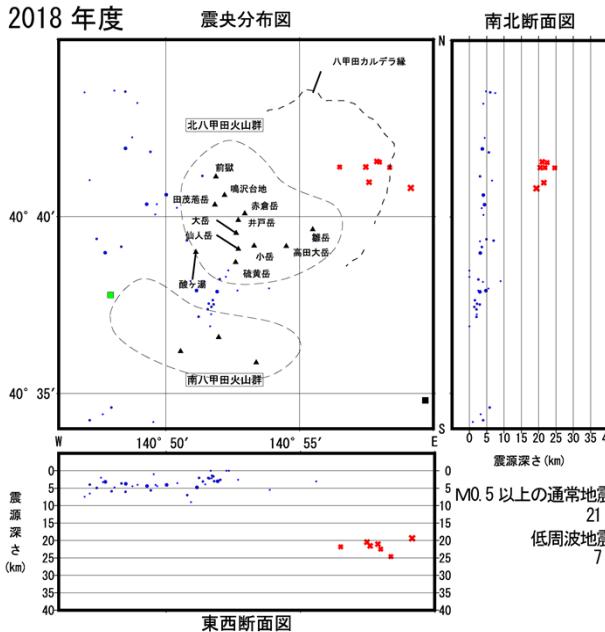
2016 年度



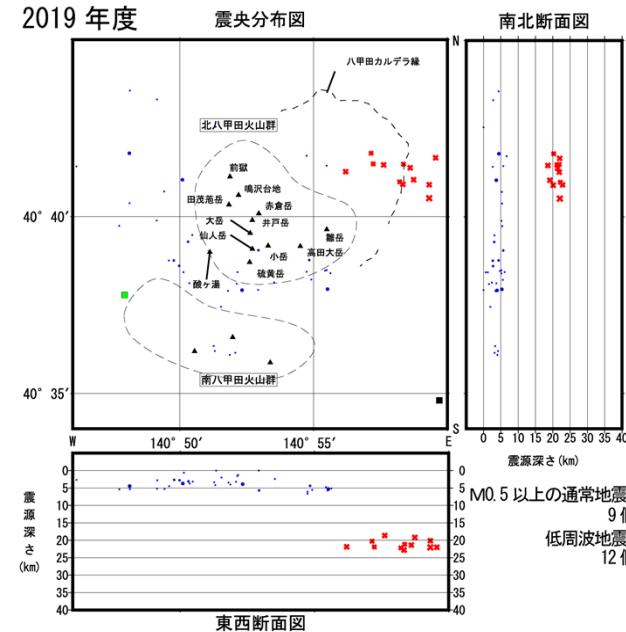
2017 年度



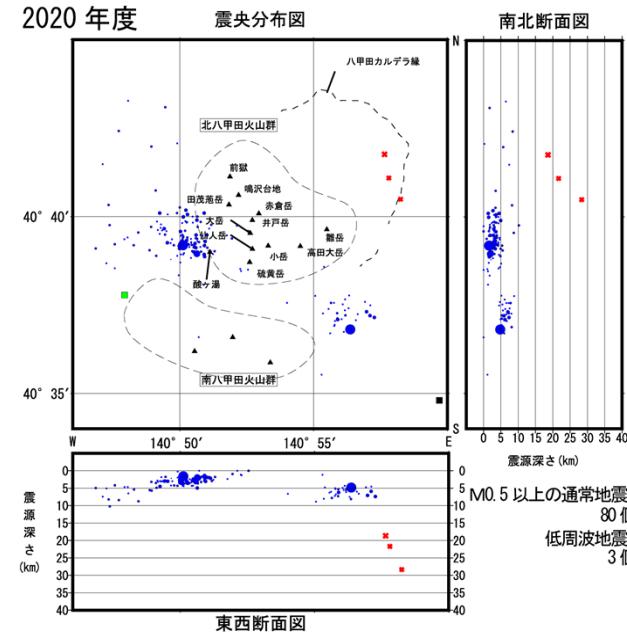
2018 年度



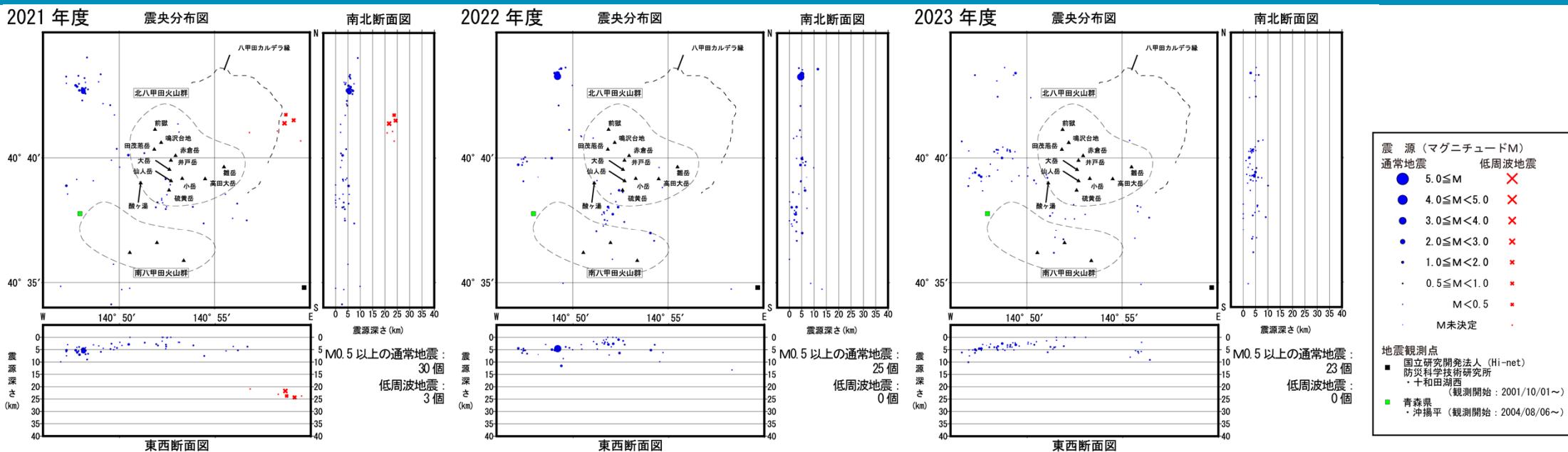
2019 年度



2020 年度

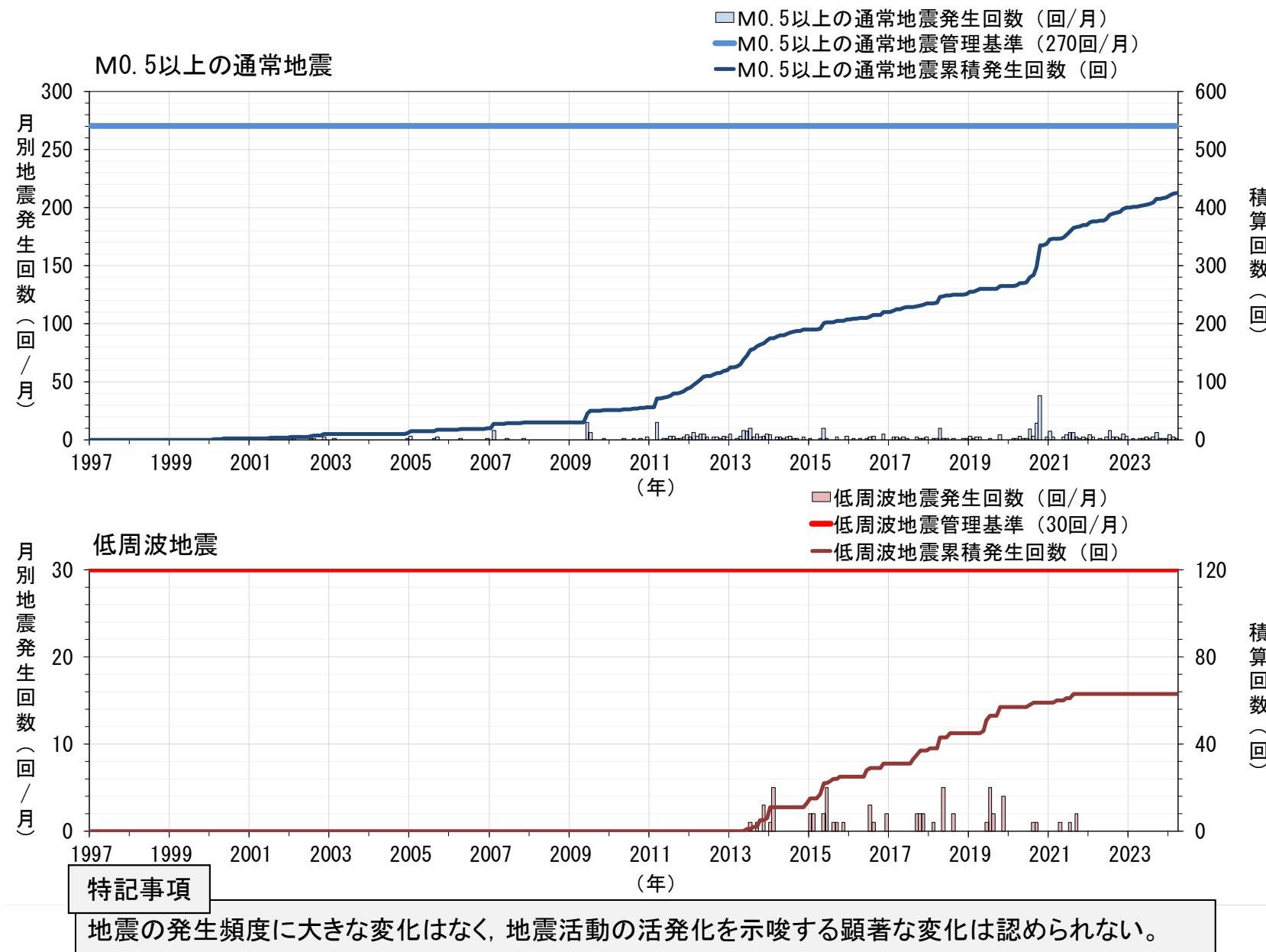


4.1 八甲田(地震活動:震源分布)【2021年度～2023年度】



余白

4.1 八甲田山(地震活動:地震発生数の推移)【全期間】



4.1 八甲田山(地震活動:判断基準)【2023年度】

通常地震発生回数一覧 (八甲田山)

2023年度	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	2023年度
地震規模	(回)												
5.0≤M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.0≤M<5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.0≤M<4.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.0≤M<3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.0≤M<2.0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	0	5
0.5≤M<1.0	0	1	2	1	2	5	1	1	1	1	2	1	18
M<0.5	1	1	3	0	1	4	7	2	3	5	7	3	37
M未決定	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
合計 (0.5≤M)	1	1	2	1	2	6	1	1	1	4	2	1	23

低周波地震発生回数一覧 (八甲田山)

2023年度	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	2023年度
地震規模	(回)												
5.0≤M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.0≤M<5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.0≤M<4.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.0≤M<3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.0≤M<2.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M<1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M未決定	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

注)・K:気象庁震源(決定精度が良いもの)とS:参考震源(決定精度が悪いもので、必要に応じて参考にするためのもの)、『マグニチュードが求まらなかったもの』を合わせて表示している。

ただし、『2:他機関依存、3:人工地震、4:ノイズ等』は除く。

・通常の地震回数はM0.5以上のものを積算している。

低周波地震はMが求まらなかったものを除いて積算している。

判断基準の超過なし

最多の月:通常の地震(M0.5以上) 6回／月、低周波地震 0回／月

「平常からの変化」の判断基準

通常の地震(M0.5以上):270回／月、低周波地震:30回／月

4.1 八甲田山(地震活動:公的機関の発表情報)【2023年度】

火山活動解説資料(令和5年10月, 令和6年3月)

八甲田山の活動概要

2023年9月29日から10月初め頃まで、大岳山頂の西約5km、深さ約3km付近を震源とする火山性地震の一時的な増加がみられた。これ以外の期間では、火山性地震は少ない状態で経過し、低周波地震及び火山性微動は観測されなかった。火山活動に特段の変化はなく、静穏に経過しており、噴火の兆候は認められず、噴火警戒レベル1、活火山であることに留意)の予報事項に変更はなかった。

参考図表

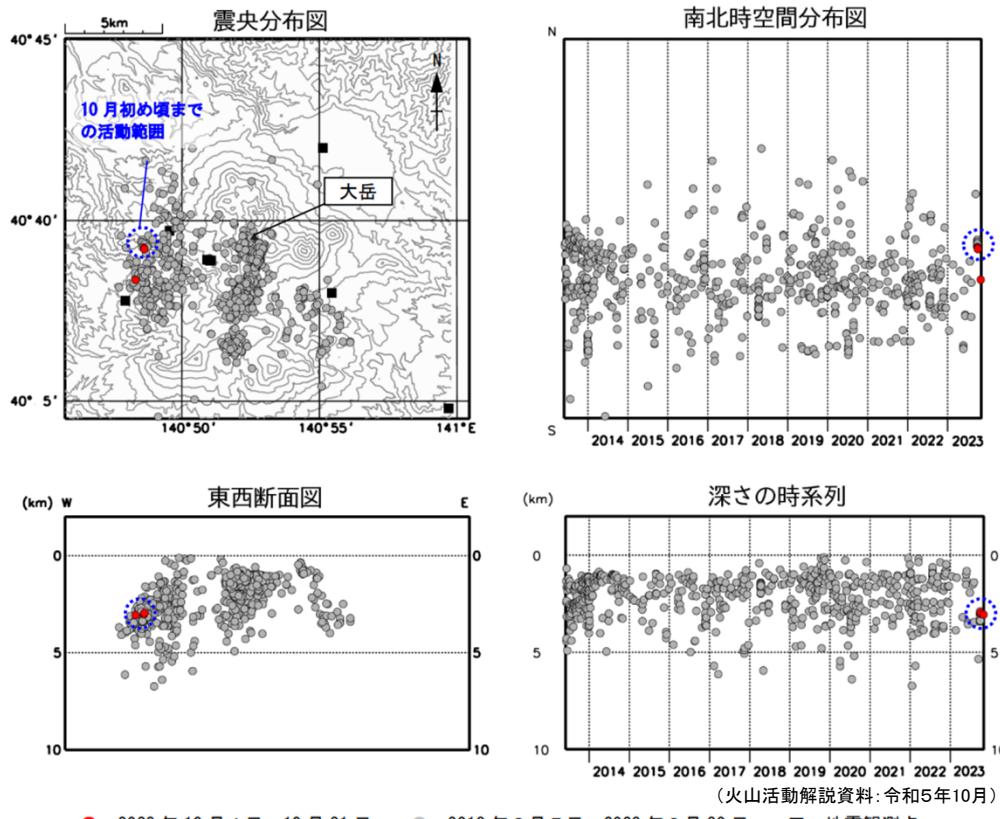


図3 八甲田山 地震活動 (2013年6月～2023年10月)

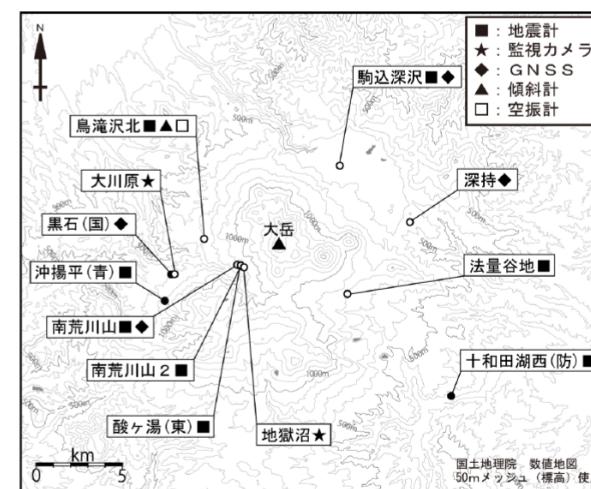
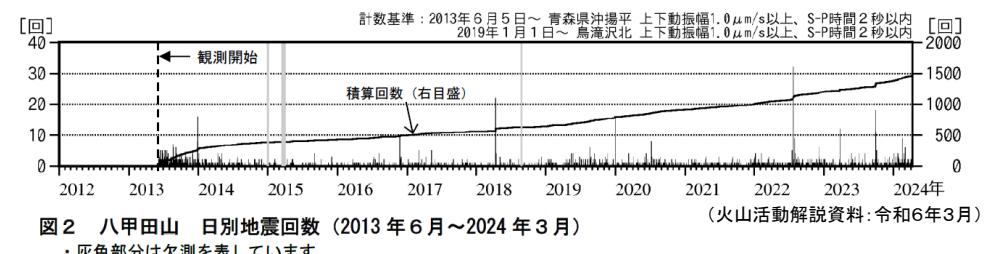


図4 八甲田山 観測点配置図
白丸(○)は気象庁、黒丸(●)は気象庁以外の機関の観測点位置を示しています。
(国) : 国土地理院 (東) : 東北大学 (防) : 防災科学技術研究所
(青) : 青森県

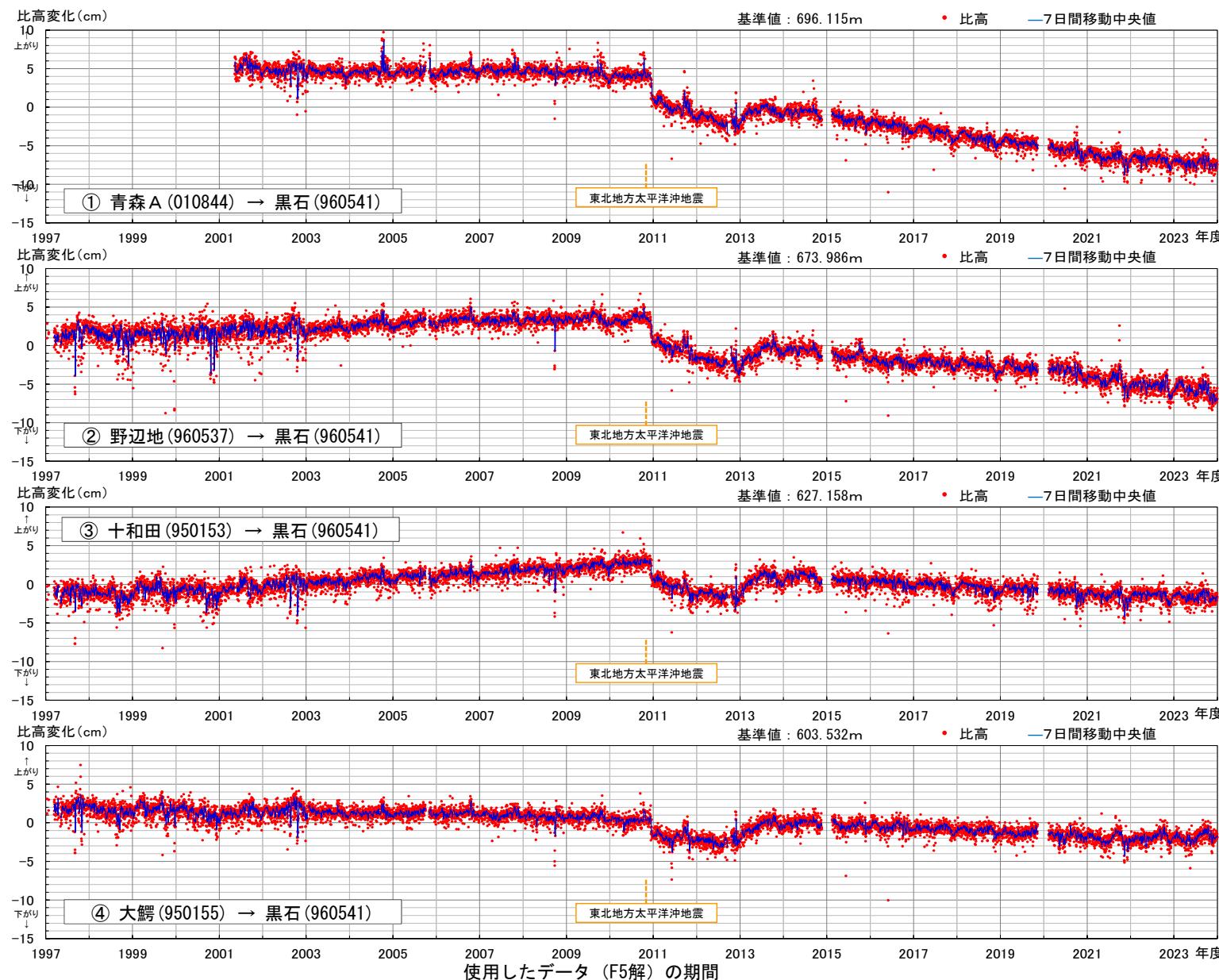
4.1 八甲田山(地震活動:まとめ)【2023年度】

- ・観測期間を通じて、北八甲田火山群の大岳付近から南八甲田火山群にかけての地域、北八甲田火山群西方及び八甲田カルデラ付近に震源を有する地震が観測され、通常の地震は深さ約10km以浅、低周波地震は八甲田カルデラから東方にかけての深さ約19km～約35kmに震源を有する。
- ・2023年度では、M0.5以上の通常の地震が23回観測された。低周波地震は観測されていない。
- ・2023年9月29日から10月初め頃まで、大岳山頂の西約5km、深さ約3km付近を震源とする火山性地震の一時的な増加がみられる。
⇒震源分布及び発生頻度等に大きな変化はなく、地震活動の活発化を示唆する顕著な変化は認められない。



- ・2023年度における八甲田山の地震活動観測結果から、震源分布及び発生頻度等に大きな変化はなく、地震活動の活発化を示唆する顕著な変化は認められない。
- ・地震発生領域の拡大または消滅、新たな地震発生領域の出現は認められない。
- ・地震発生数の急激な変化は認められない。

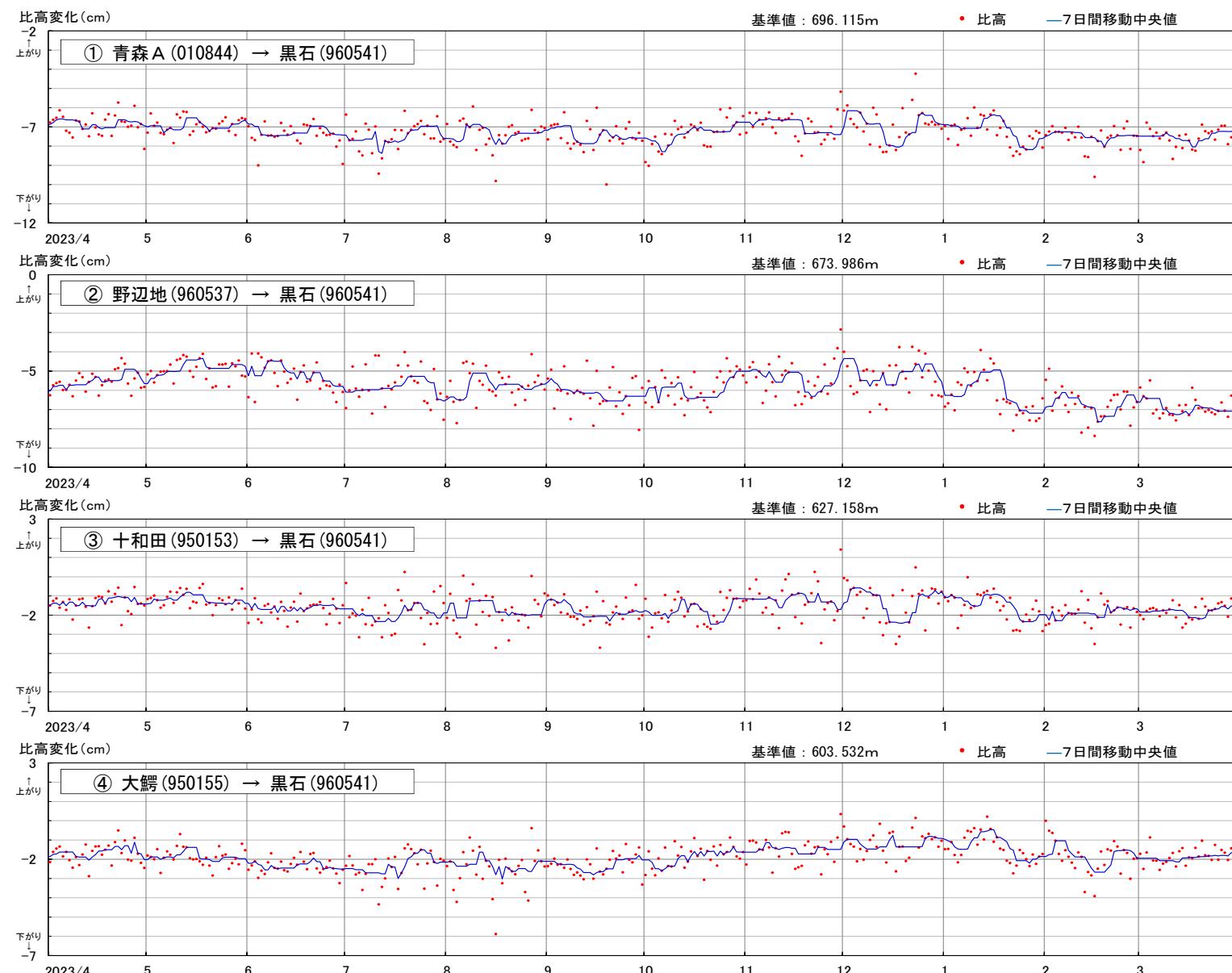
4.2 八甲田山(地殻変動:GNSS観測データ, 比高) 【基線①～④, 使用データ:F5解】全期間



特記事項

2011年東北地方太平洋沖地震後、「黒石」を中心に沈降したが、2013年には隆起に転じた。その後は、緩やかな沈降が継続している。
⇒八甲田山を中心とした、顕著で系統的な変位の累積は認められない。

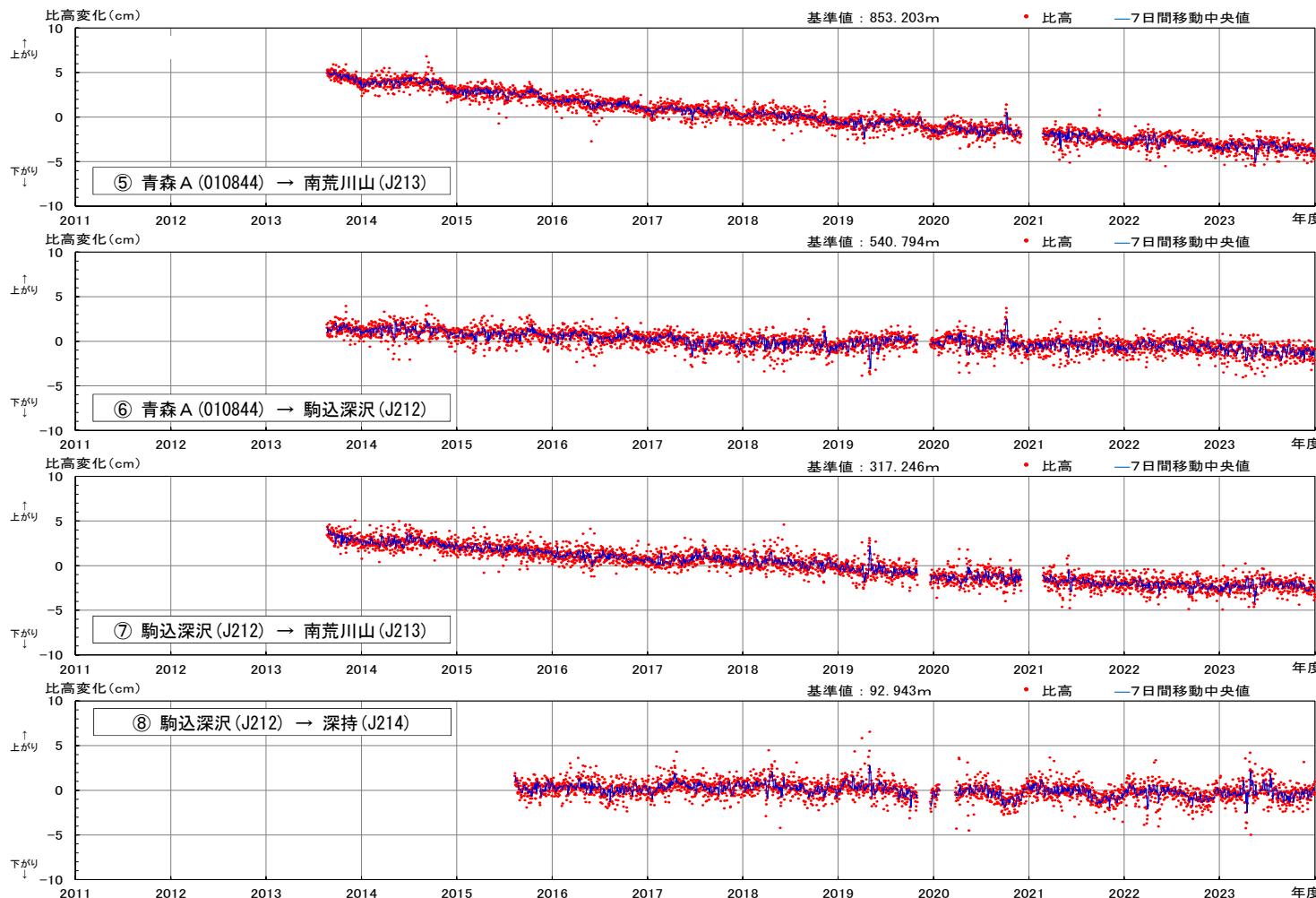
4.2 八甲田山(地殻変動:GNSS観測データ, 比高) 【基線①～④, 使用データ:F5解】 2023年度



特記事項

八甲田山を中心とした、顕著で系統的な変位の累積は認められない。

4.2 八甲田山(地殻変動:GNSS観測データ, 比高) 【基線⑤～⑧, 使用データ:当社による統合解析】全期間



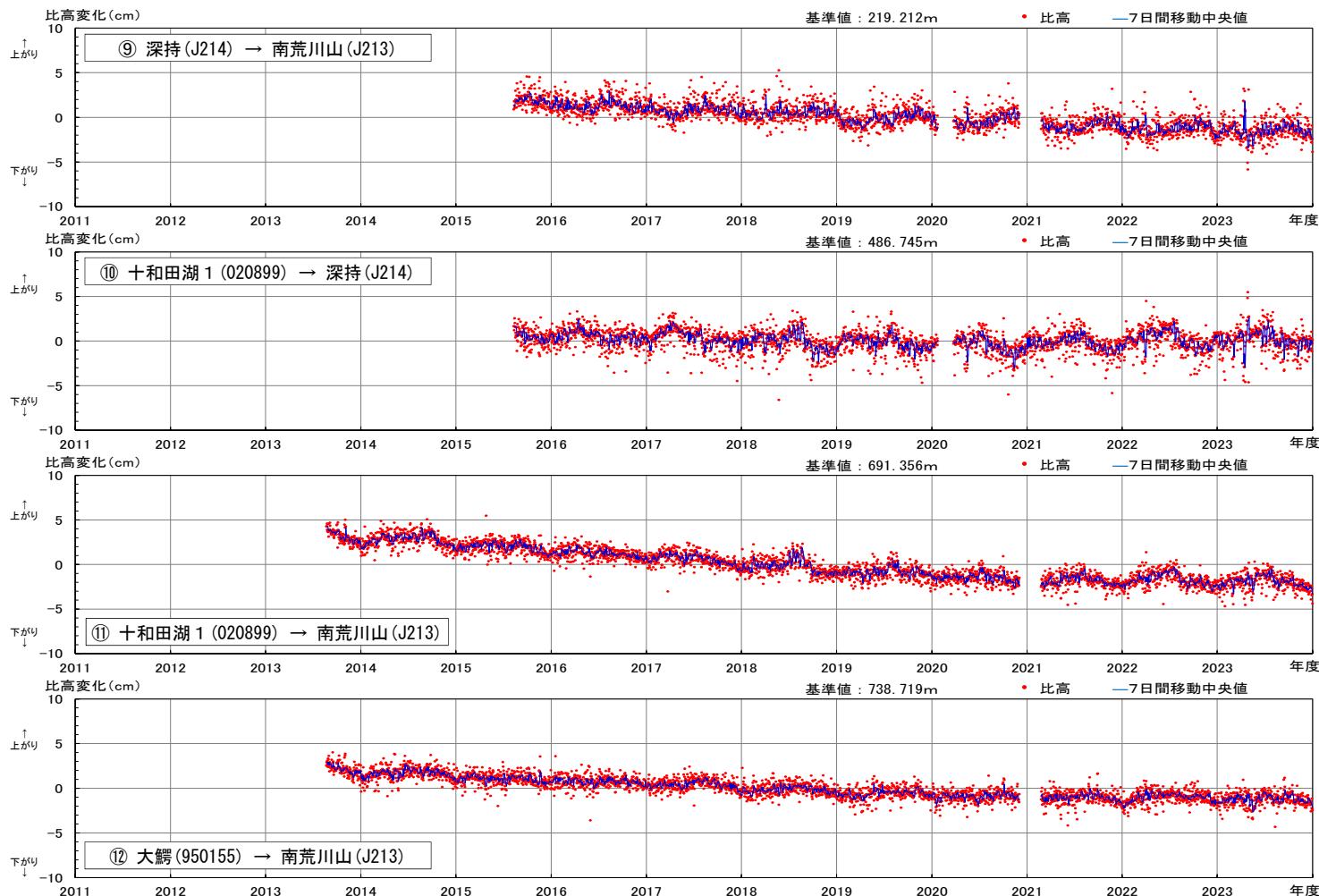
特記事項

観測開始以降、周辺の観測点に対し、八甲田山付近の各観測点(特に「南荒川山」)が沈降する傾向が継続する。
⇒八甲田山を中心とした、顕著で系統的な変位の累積は認められない。

—使用したデータおよび期間—

- 【電子基準点データ (RINEX)】
 - ・国土地理院HPより取得 <https://terras.gsi.go.jp/>
 - ・用いた電子基準点: 「青森A」
- 【気象庁GNSSデータ (RINEX)】
 - ・防災科学技術研究所HP (Japan Volcanological Data Network) より取得 <https://jvdn.bosai.go.jp/portal/ja/>
 - ・用いた気象庁のGNSS観測点: 「南荒川山」「駒込深沢」「深持」
- 【データの期間】
 - ・青森A→南荒川山、駒込深沢→南荒川山 : 2013/11/20～2024/03/31 JST
 - ・青森A→駒込深沢 : 2013/11/19～2024/03/31 JST
 - ・駒込深沢→深持 : 2015/11/09～2024/03/31 JST

4.2 八甲田山(地殻変動:GNSS観測データ, 比高) 【基線⑨～⑫, 使用データ:当社による統合解析】全期間



特記事項

観測開始以降、周辺の観測点に対し、八甲田山付近の各観測点(特に「南荒川山」)が沈降する傾向が継続する。
⇒八甲田山を中心とした、顕著で系統的な変位の累積は認められない。

一使用したデータおよび期間一

【電子基準点データ (RINEX)】

- ・国土地理院HPより取得 <https://terras.gsi.go.jp/>
- ・用いた電子基準点: 「十和田湖1」「大鶴」

【気象庁GNSSデータ (RINEX)】

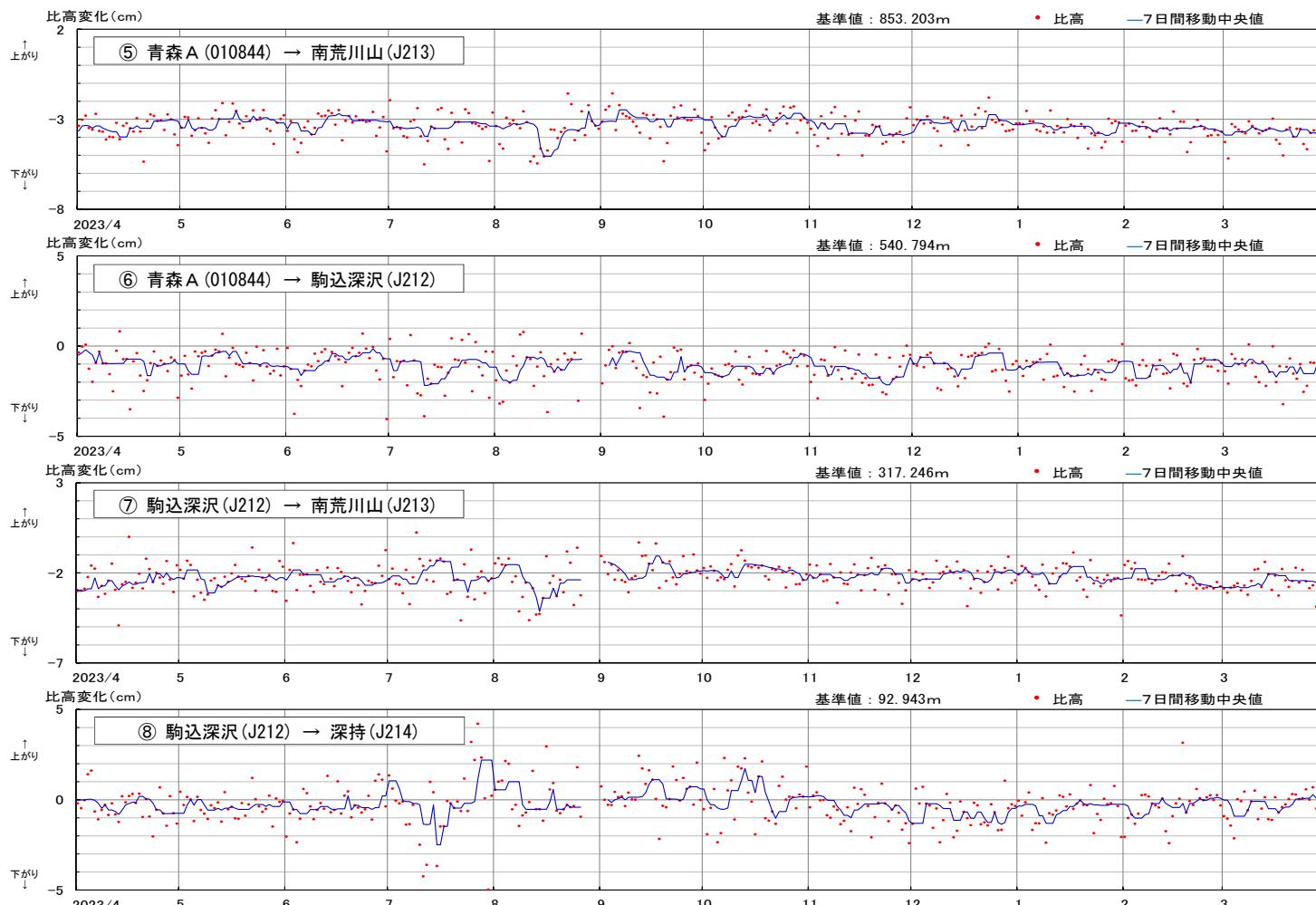
- ・防災科学技術研究所HP (Japan Volcanological Data Network) より取得 <https://jvdn.bosai.go.jp/portal/ja/>
- ・用いた気象庁のGNSS観測点: 「南荒川山」「深持」

【データの期間】

- ・深持→南荒川山, 十和田湖1→深持 :
2015/11/09～2024/03/31 JST

- ・十和田湖1→南荒川山, 大鶴→南荒川山 :
2013/11/20～2024/03/31 JST

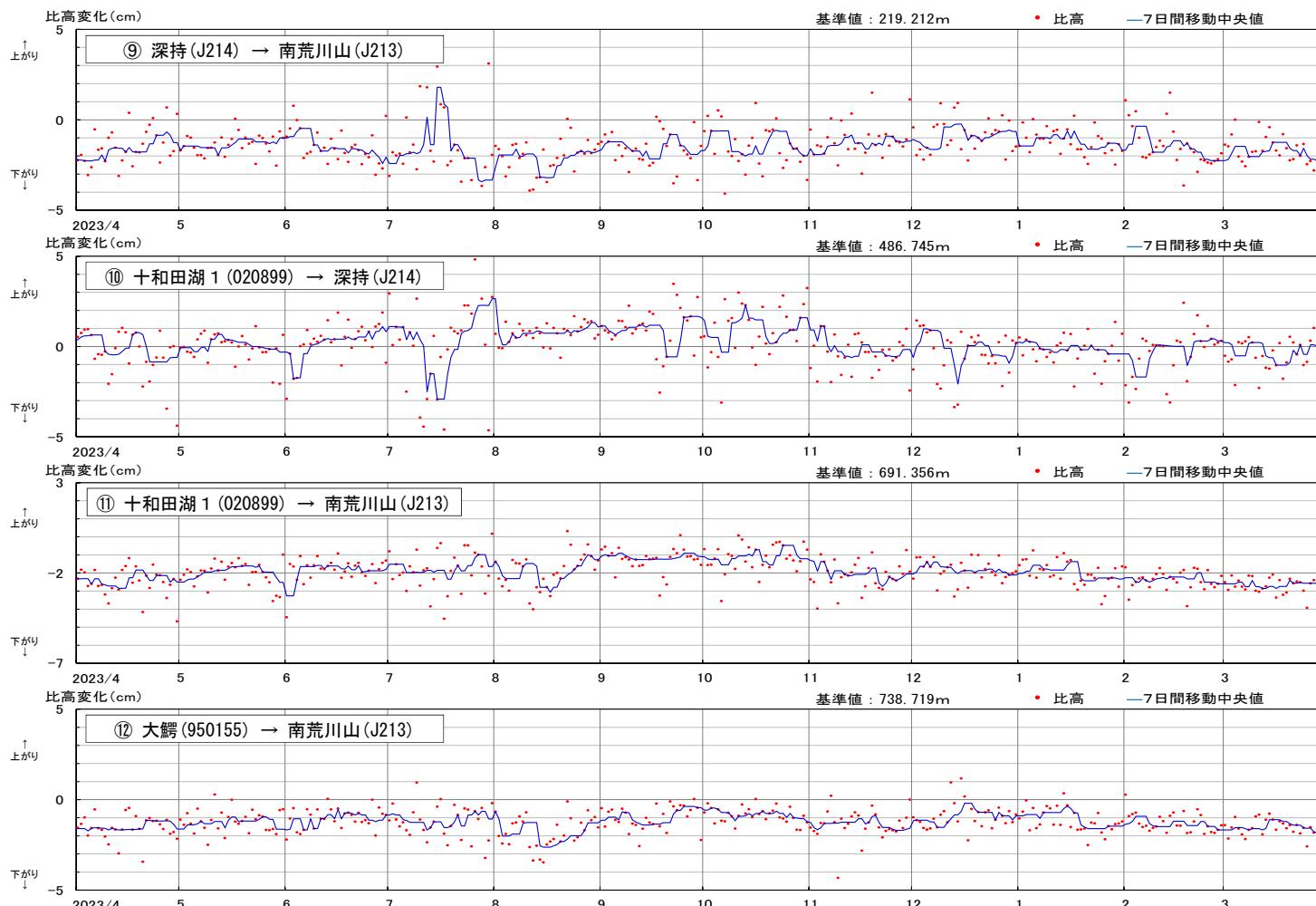
4.2 八甲田山(地殻変動:GNSS観測データ, 比高) 【基線⑤～⑧, 使用データ:当社による統合解析】 2023年度



特記事項

八甲田山を中心とした、顕著で系統的な変位の累積は認められない。

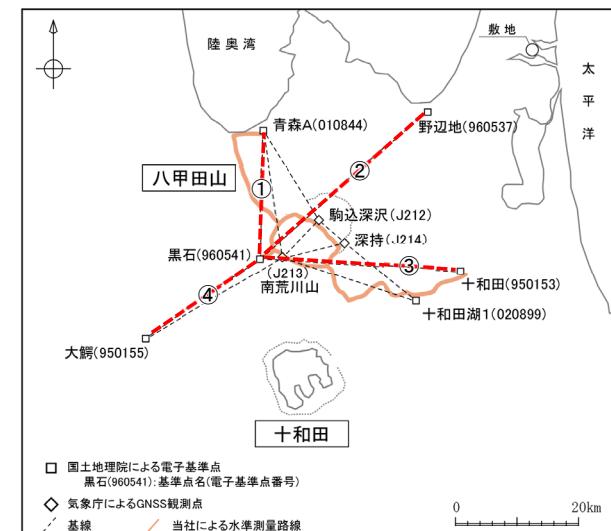
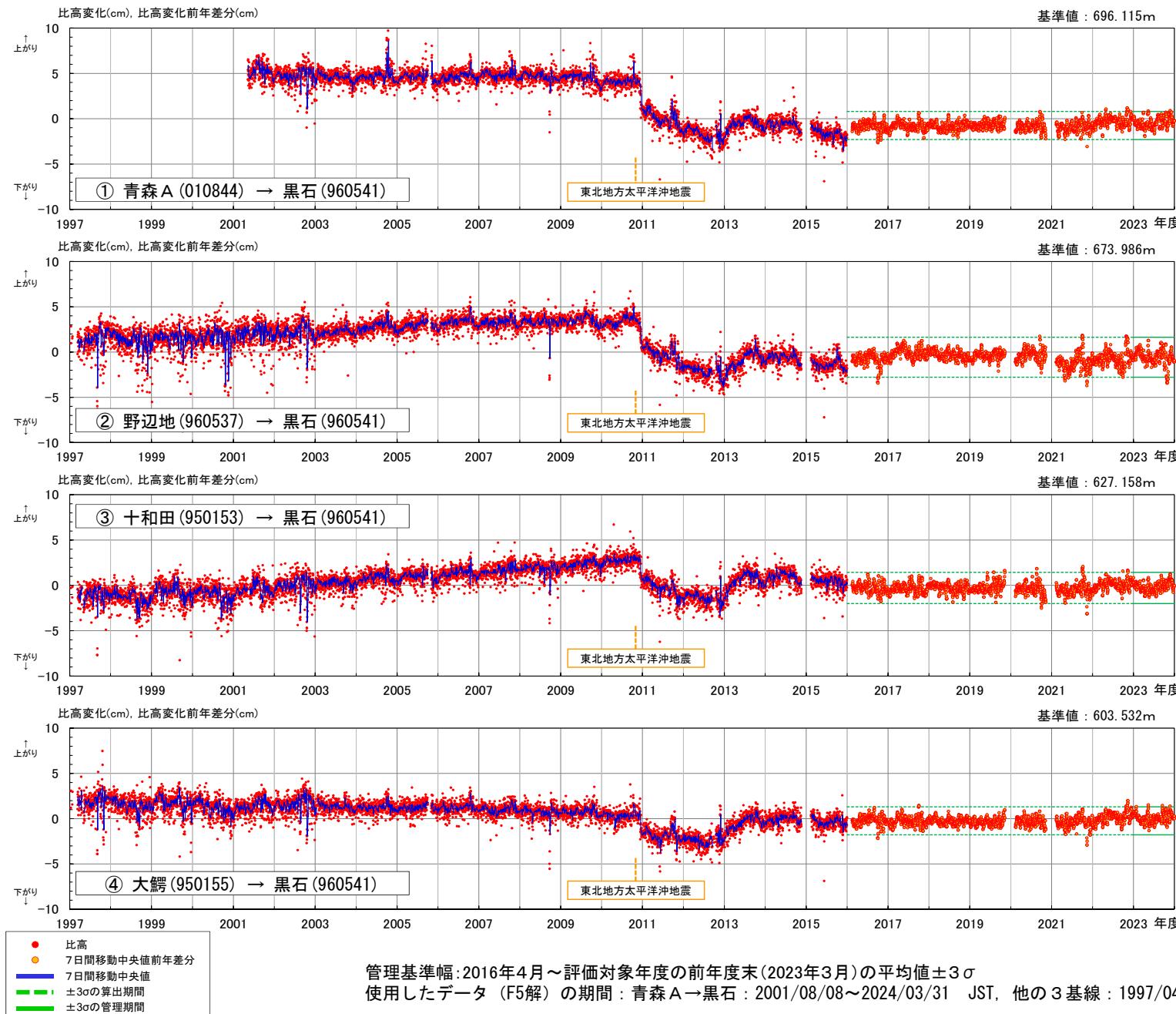
4.2 八甲田山(地殻変動:GNSS観測データ, 比高) 【基線⑨～⑫, 使用データ:当社による統合解析】 2023年度



特記事項

八甲田山を中心とした、顕著で系統的な変位の累積は認められない。

4.2 八甲田山(地殻変動:比高の7日間移動中央値の前年差分) 【基線①～④, 使用データ:F5解】全期間



【比高データに関する知見】

- 各基線の比高変化量はばらつきが大きく、顕著な年周変動も認められる。
- 2013年～2014年に十和田・八甲田山で火山活動の一時的な活発化がみられた。また、Fujiwara et al.(2022)によれば、2015年に発生した日本海溝沿いの地震の前後で、東北地方の地殻変動に変化があった。

【比高データの管理基準】

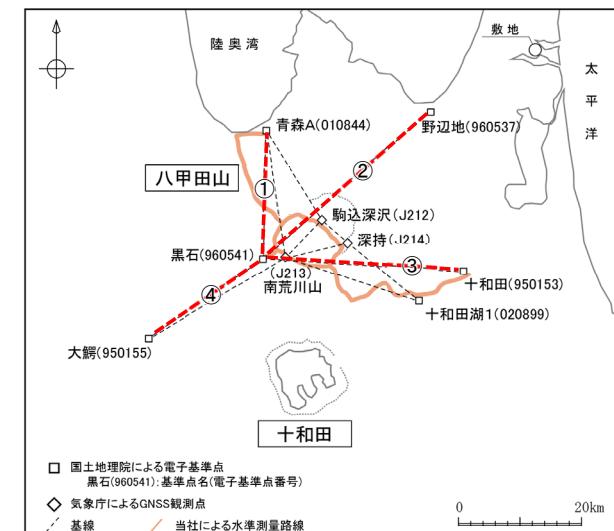
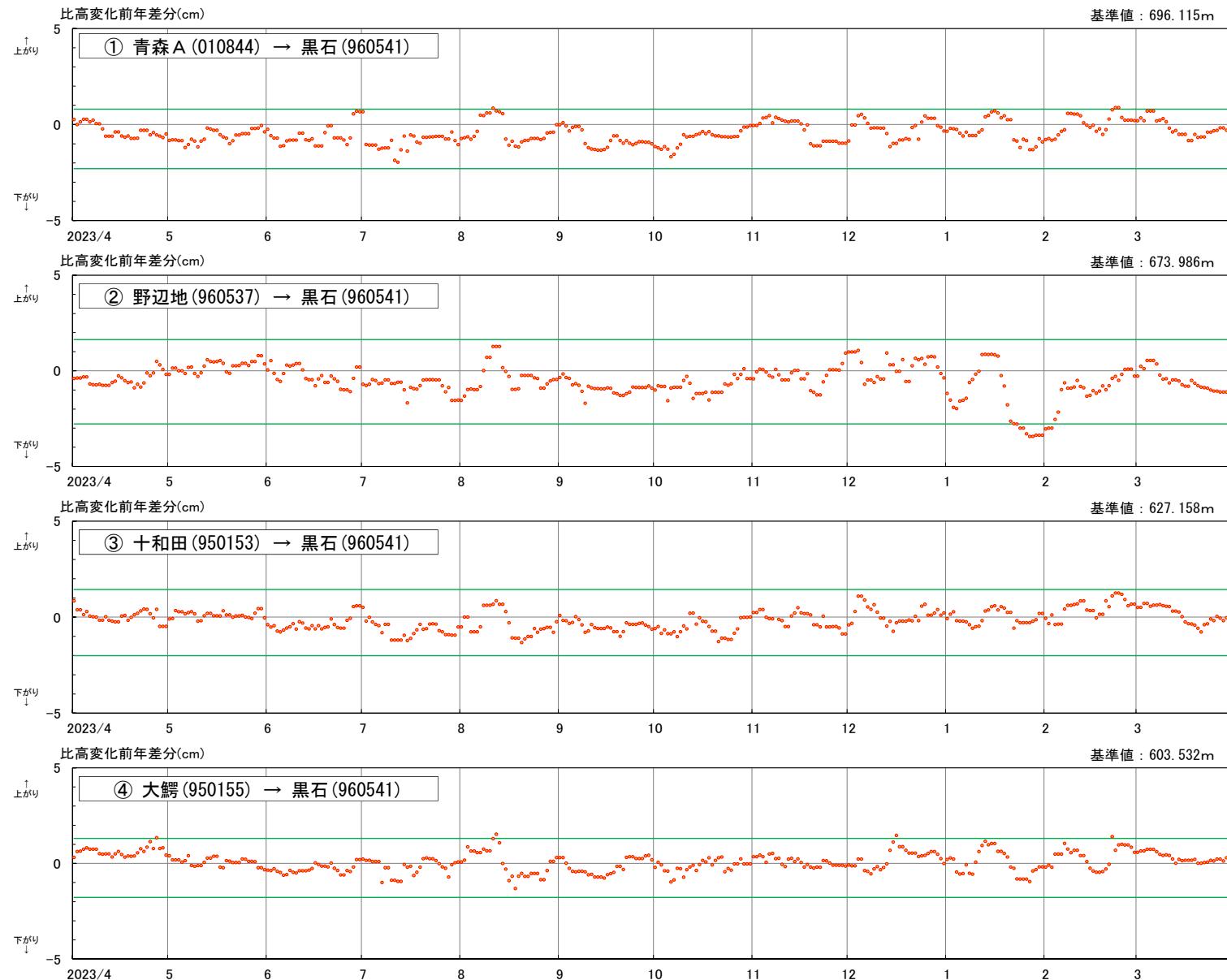
- 日々の比高変化量のばらつきを低減するため、7日間移動中央値を算出する。
- 年周変動の影響を低減するため、前年同日との差分を算出する。
- 火山活動の影響及びFujiwara et al.(2022)の知見を考慮し、bのデータから、2016年4月～評価対象年度の前年度末における±3σを算出し、当年管理基準に適用する。

管理基準幅: 2016年4月～評価対象年度の前年度末(2023年3月)の平均値±3σ

使用したデータ(F5解)の期間: 青森A→黒石: 2001/08/08～2024/03/31 JST, 他の3基線: 1997/04/11～2024/03/31 JST

4.2 八甲田山(地殻変動:比高の判断基準) 【基線①～④, 使用データ:F5解】 2023年度

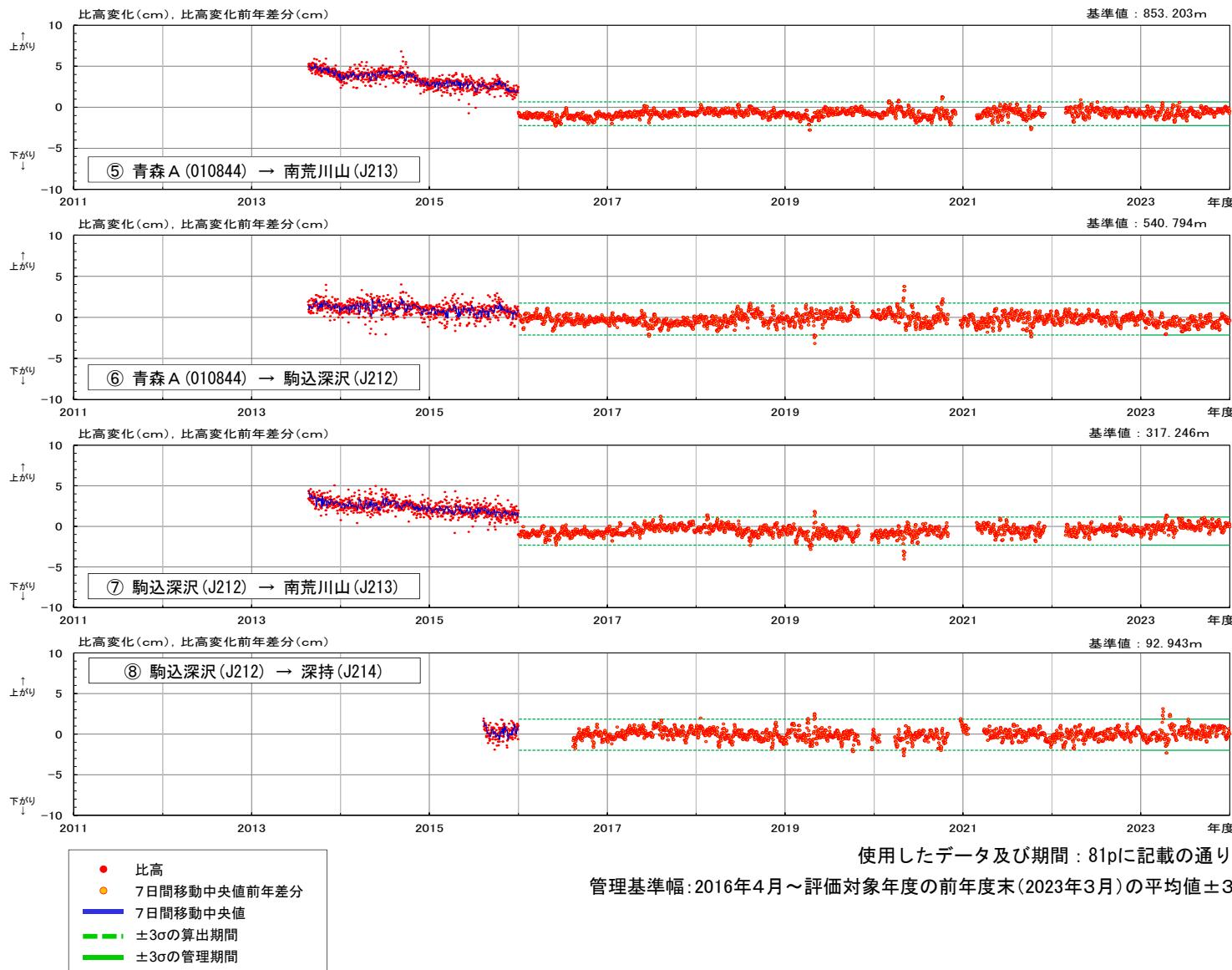
■比高データの7日間移動中央値の前年差分



判断基準の超過なし

「平常からの変化」の判断基準:
7日間移動中央値の前年差分の
±3σを3基線以上で7日間
連続超過

4.2 八甲田山(地殻変動:比高の7日間移動中央値の前年差分) 【基線⑤～⑧, 使用データ:当社による統合解析】全期間



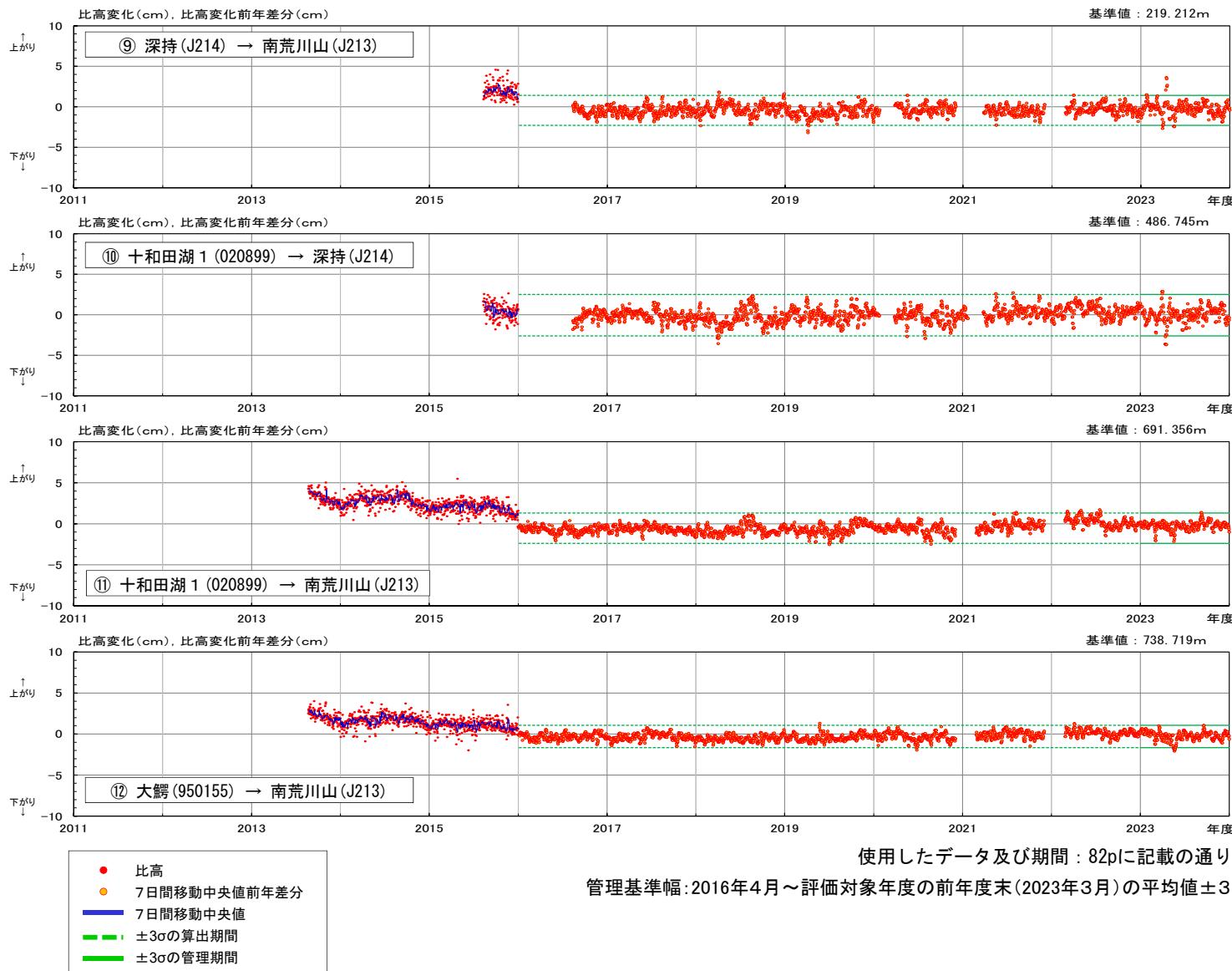
[比高データに関する知見]

- 各基線の比高変化量はばらつきが大きく、顕著な年周変動も認められる。
- 2013年～2014年に十和田・八甲田山で火山活動の一時的な活発化がみられた。また、Fujiwara et al.(2022)によれば、2015年に発生した日本海溝沿いの地震の前後で、東北地方の地殻変動に変化があった。

[比高データの管理基準]

- 日々の比高変化量のばらつきを低減するため、7日間移動中央値を算出する。
- 年周変動の影響を低減するため、前年同日との差分を算出する。
- 火山活動の影響及びFujiwara et al.(2022)の知見を考慮し、bのデータから、2016年4月～評価対象年度の前年度末における±3σを算出し、当年管理基準に適用する。

4.2 八甲田山(地殻変動:比高の7日間移動中央値の前年差分) 【基線⑨～⑫, 使用データ:当社による統合解析】全期間



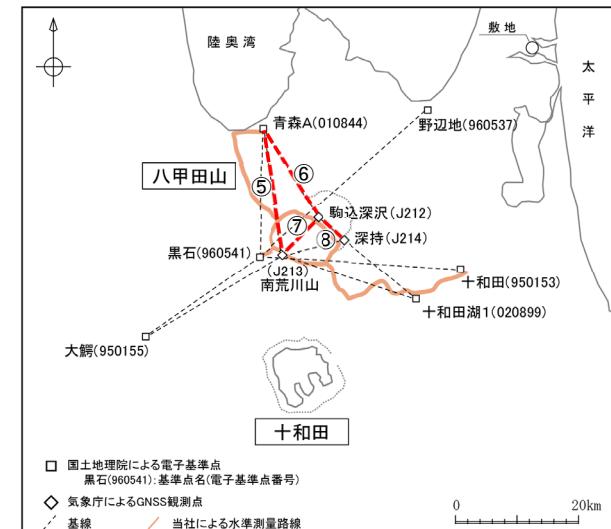
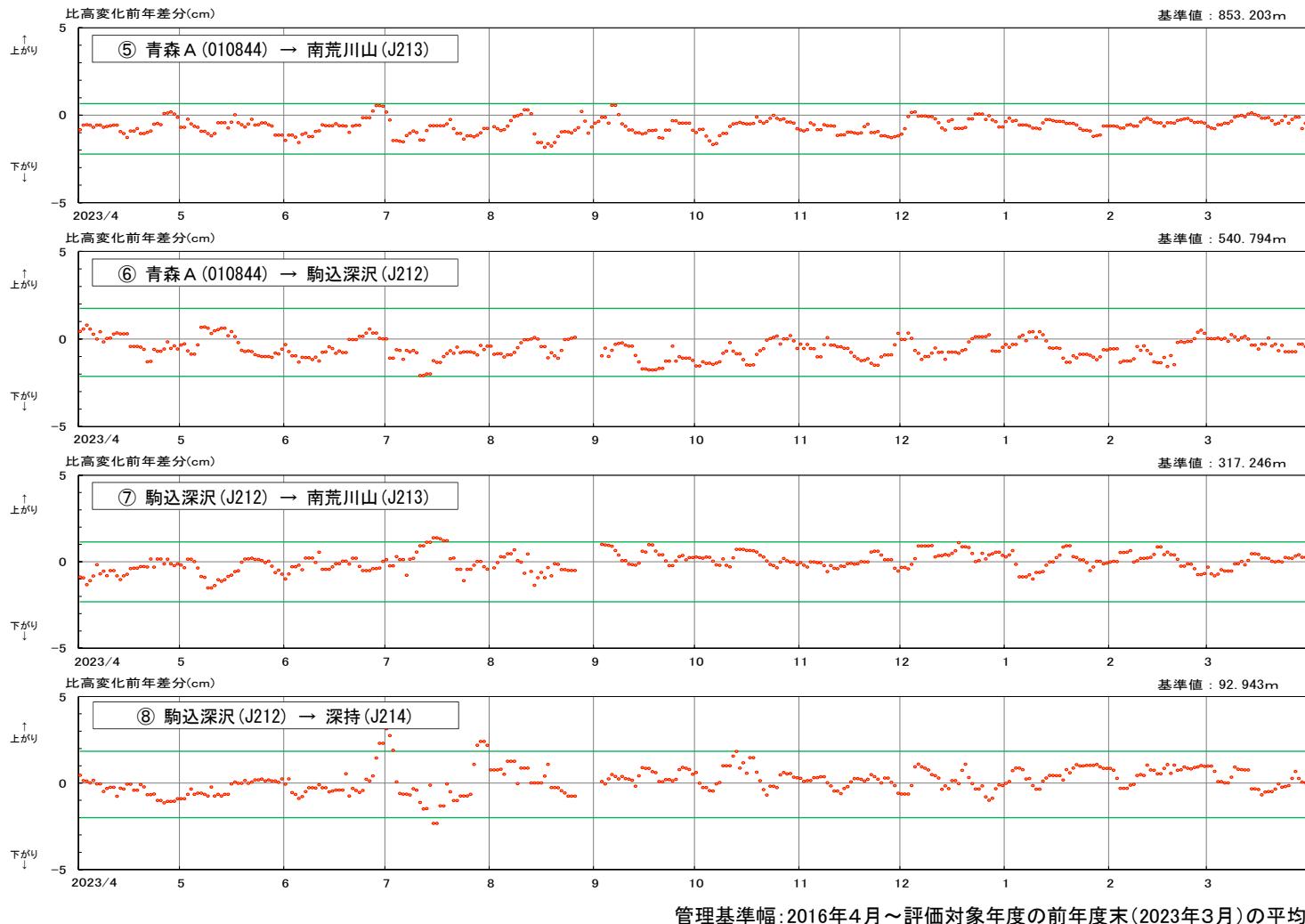
[比高データに関する知見]

- 各基線の比高変化量はばらつきが大きく、顕著な年周変動も認められる。
- 2013年～2014年に十和田・八甲田山で火山活動の一時的な活発化がみられた。また、Fujiwara et al.(2022)によれば、2015年に発生した日本海溝沿いの地震の前後で、東北地方の地殻変動に変化があった。

[比高データの管理基準]

- 日々の比高変化量のばらつきを低減するため、7日間移動中央値を算出する。
- 年周変動の影響を低減するため、前年同日との差分を算出する。
- 火山活動の影響及びFujiwara et al.(2022)の知見を考慮し、bのデータから、2016年4月～評価対象年度の前年度末における±3 σ を算出し、当年管理基準に適用する。

4.2 八甲田山(地殻変動:比高の判断基準) 【基線⑤～⑧、使用データ:当社による統合解析】2023年度

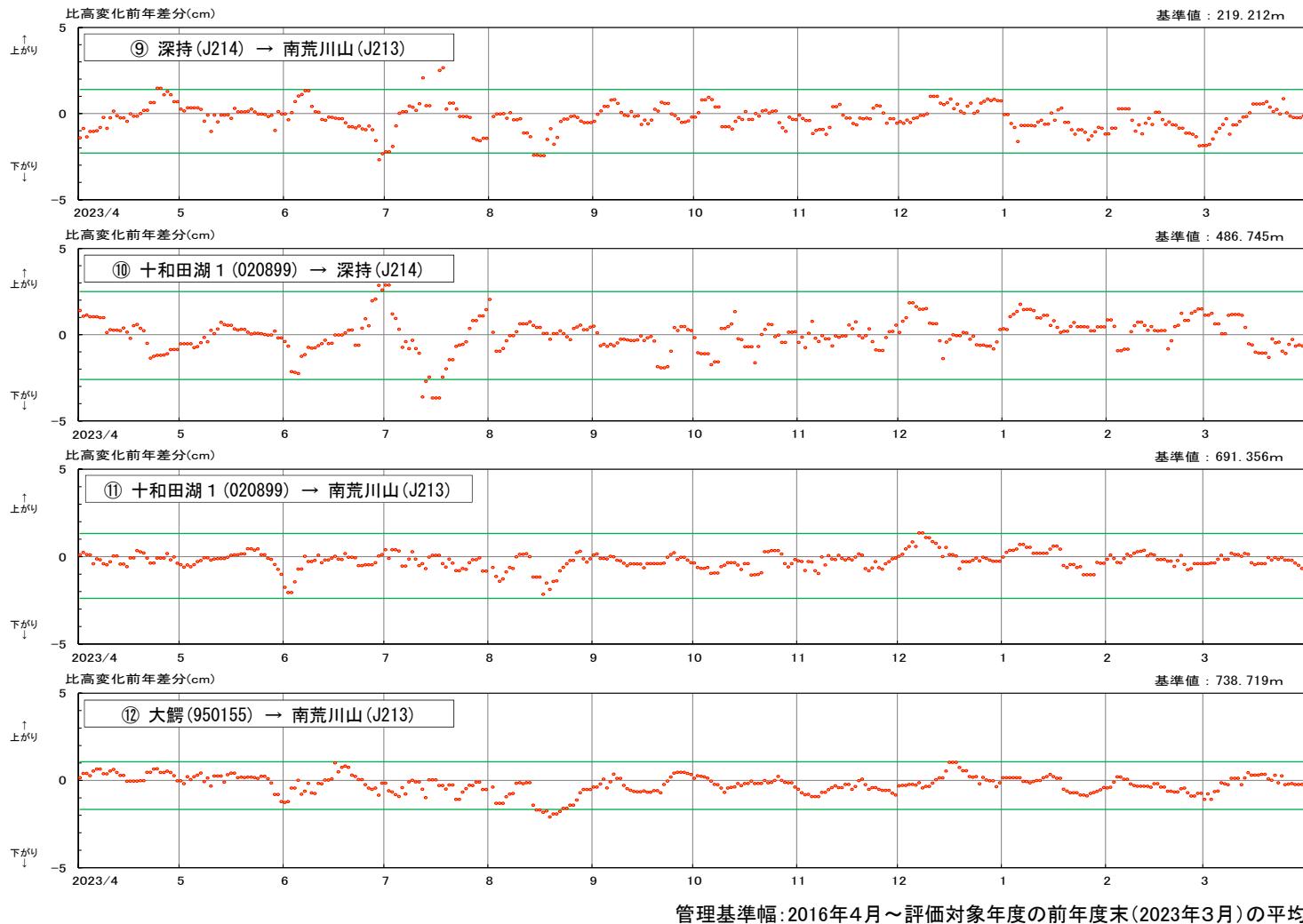


判断基準の超過なし

「平常からの変化」の判断基準:
7日間移動中央値の前年差分の
±3σを3基線以上で7日間
連続超過

● 7日間移動中央値前年差分
■ ±3σの管理期間

4.2 八甲田山(地殻変動:比高の判断基準) 【基線⑨～⑫, 使用データ:当社による統合解析】 2023年度

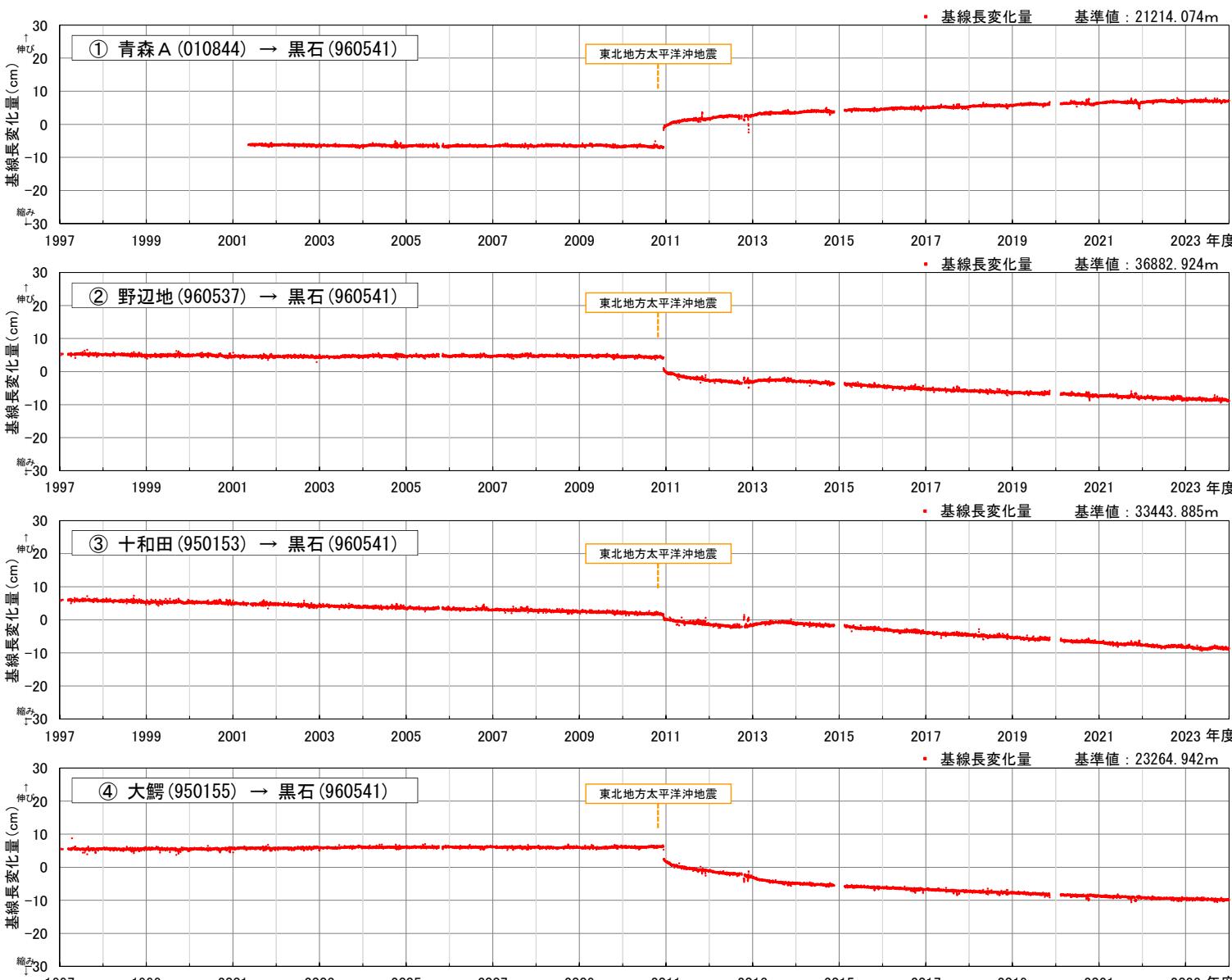


判断基準の超過なし

「平常からの変化」の判断基準:
7日間移動中央値の前年差分の
 $\pm 3\sigma$ を3基線以上で7日間
連続超過

● 7日間移動中央値前年差分
— 土3σの管理期間

4.2 八甲田山(地殻変動:GNSS観測データ, 基線長) 【基線①～④, 使用データ:F5解】全期間



特記事項

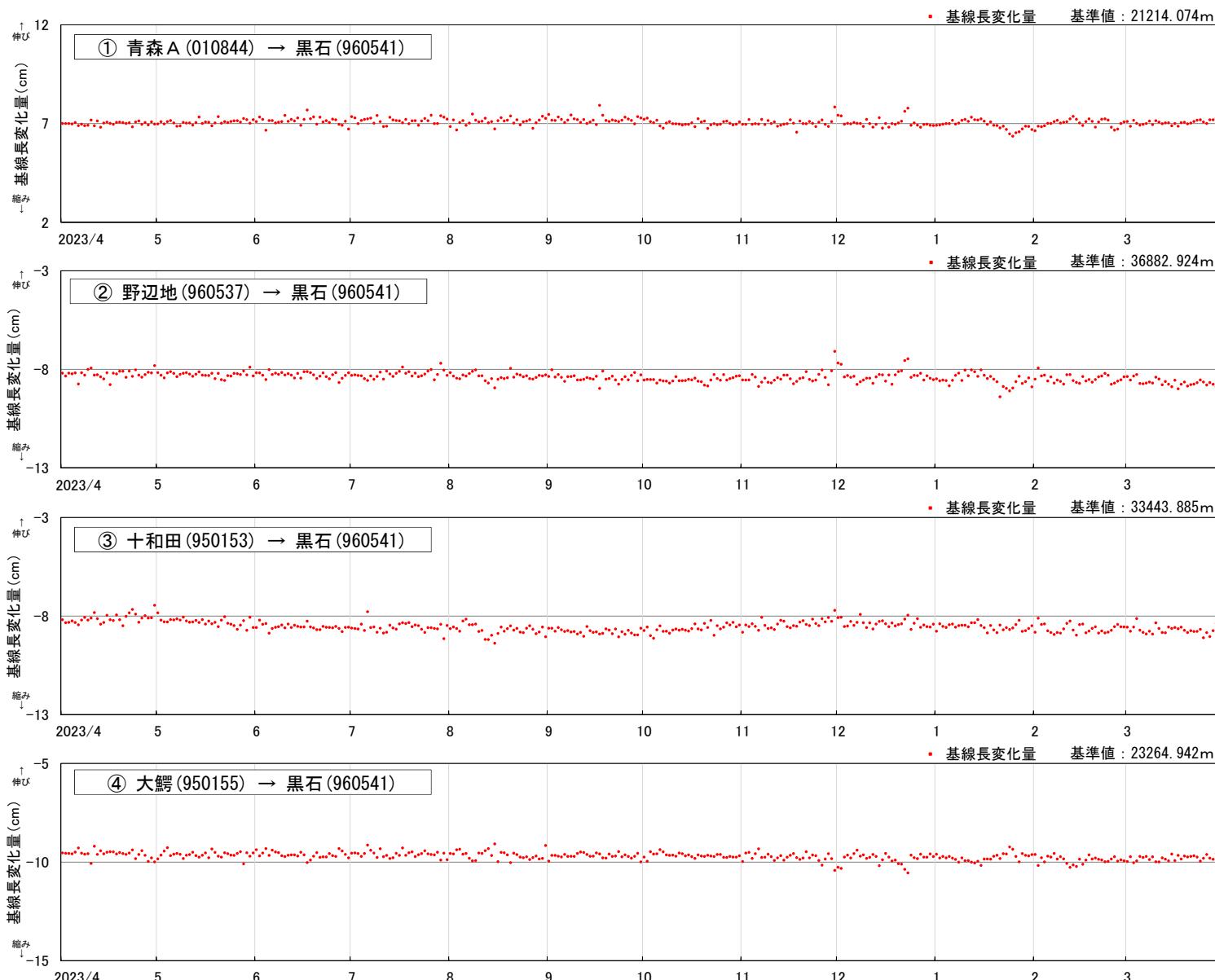
2011年東北地方太平洋沖地震の変動とその後の余効変動に伴い、「黒石」と「青森A」との間では伸びが発生・継続している。

一方、「黒石」と「野辺地」・「十和田」・「大鷲」との間では、地震時の変動とその後の余効変動で縮みが認められたが、2013年2月以降、「黒石」と「野辺地」・「十和田」との間に伸びに転じた。

2013年11月以降は、余効変動による縮みが継続している。

⇒ 八甲田山を中心とした、余効変動を超える継続的な変位の累積は認められない。

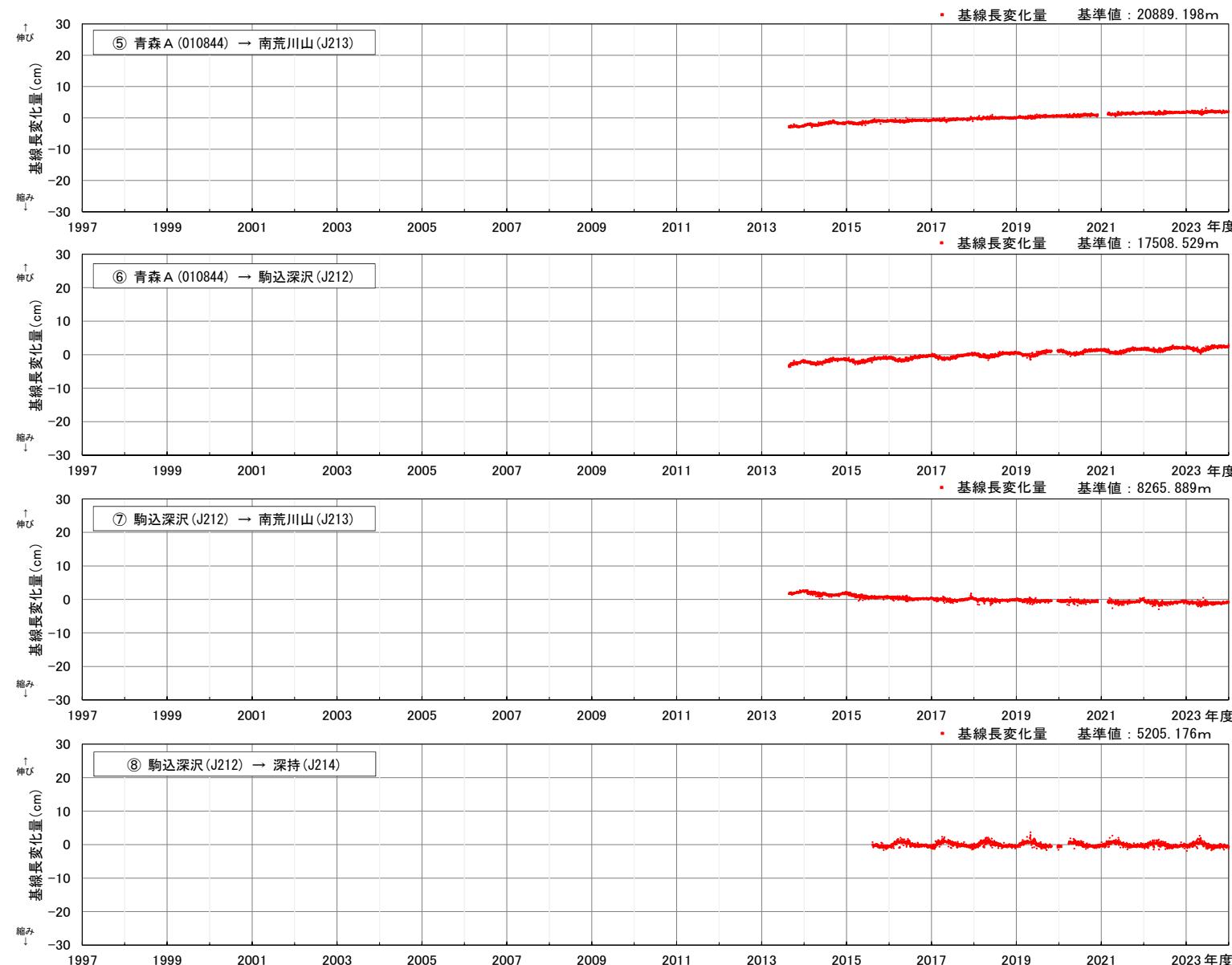
4.2 八甲田山(地殻変動:GNSS観測データ, 基線長) 【基線①～④, 使用データ:F5解】 2023年度



特記事項

八甲田山を中心とした、余効変動を超える継続的な変位の累積は認められない。

4.2 八甲田山(地殻変動:GNSS観測データ, 基線長) 【基線⑤～⑧, 使用データ:当社による統合解析】全期間

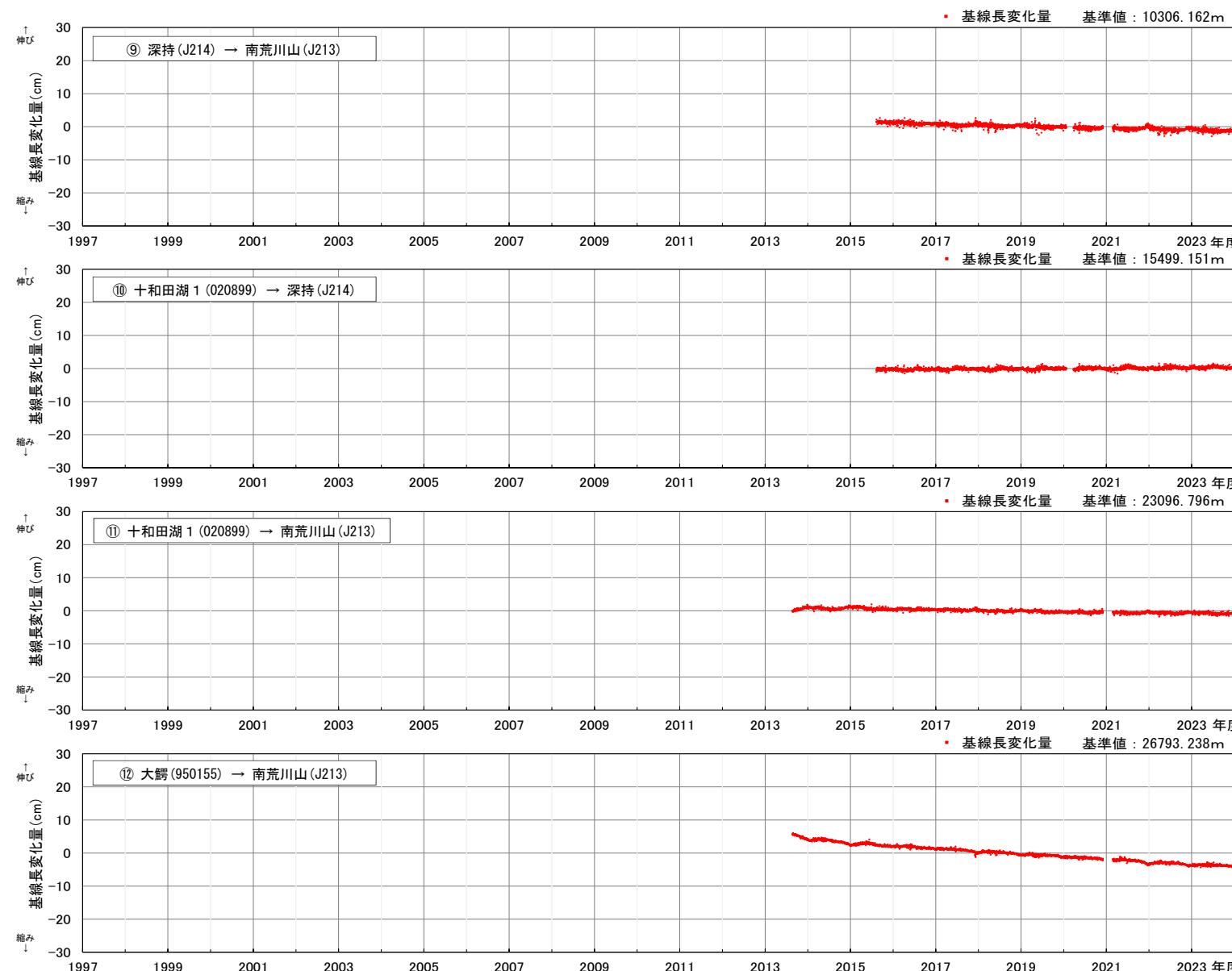


特記事項

2011年東北地方太平洋沖地震後の余効変動に伴い、「青森A」→「南荒川山」と「駒込深沢」との間では伸び、一方、「駒込深沢」→「深持」の間は縮みの傾向が継続しているが、徐々に変化量は減少している。「駒込深沢」→「深持」については停滞する傾向にある。
 ⇒ 八甲田山を中心とした、余効変動を超える継続的な変位の累積は認められない。

一 使用したデータおよび期間一	
【電子基準点データ (RINEX)】	・国土地理院HPより取得 https://terras.gsi.go.jp/
	・用いた電子基準点: 「青森A」
【気象庁GNSSデータ (RINEX)】	・防災科学技術研究所HP (Japan Volcanological Data Network) より取得 https://jvdn.bosai.go.jp/portal/ja/
	・用いた気象庁のGNSS観測点: 「南荒川山」「駒込深沢」「深持」
【データの期間】	・青森A→南荒川山、駒込深沢→南荒川山: 2013/11/20～2024/03/31 JST ・青森A→駒込深沢: 2013/11/19～2024/03/31 JST ・駒込深沢→深持: 2015/11/09～2024/03/31 JST

4.2 八甲田山(地殻変動:GNSS観測データ, 基線長) 【基線⑨～⑫, 使用データ:当社による統合解析】全期間

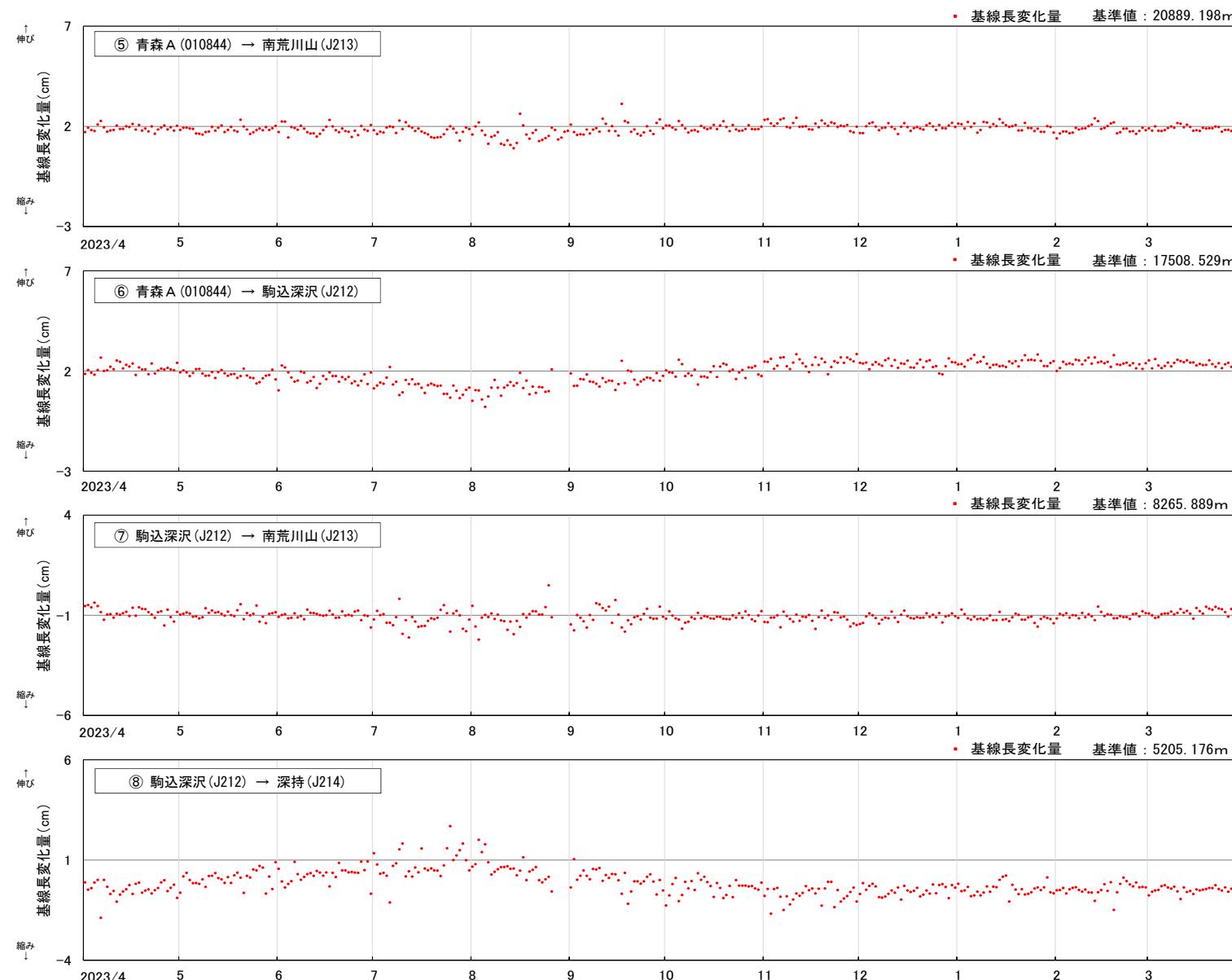


特記事項

2011年東北地方太平洋沖地震後の余効変動に伴い、「深持」、「十和田湖1」及び「大鰐」→「南荒川山」の基線は縮みの傾向が継続している。「十和田湖1」→「深持」については停滞する傾向にある。
⇒ 八甲田山を中心とした、余効変動を超える継続的な変位の累積は認められない。

一 使用したデータおよび期間一	
【電子基準点データ (RINEX)】	・国土地理院HPより取得 https://terras.gsi.go.jp/
【気象庁GNSSデータ (RINEX)】	・用いた電子基準点: 「十和田湖1」「大鰐」
【データの期間】	・深持→南荒川山, 十和田湖1→深持: 2015/11/09～2024/03/31 JST ・十和田湖1→南荒川山, 大鰐→南荒川山: 2013/11/20～2024/03/31 JST

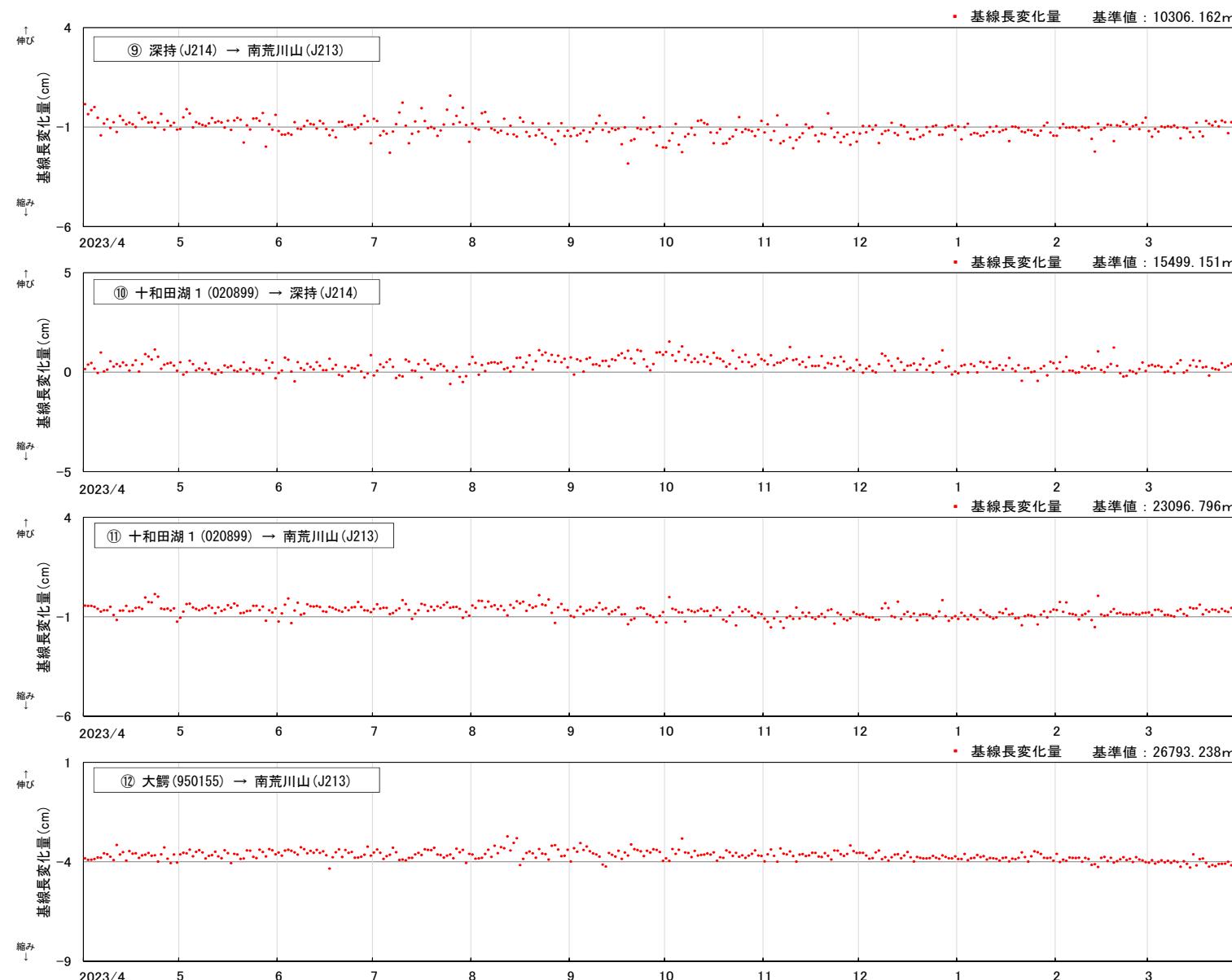
4.2 八甲田山(地殻変動:GNSS観測データ, 基線長) 【基線⑤～⑧, 使用データ:当社による統合解析】 2023年度



特記事項

八甲田山を中心とした、余効変動を超える継続的な変位の累積は認められない。

4.2 八甲田山(地殻変動:GNSS観測データ, 基線長) 【基線⑨～⑫, 使用データ:当社による統合解析】 2023年度

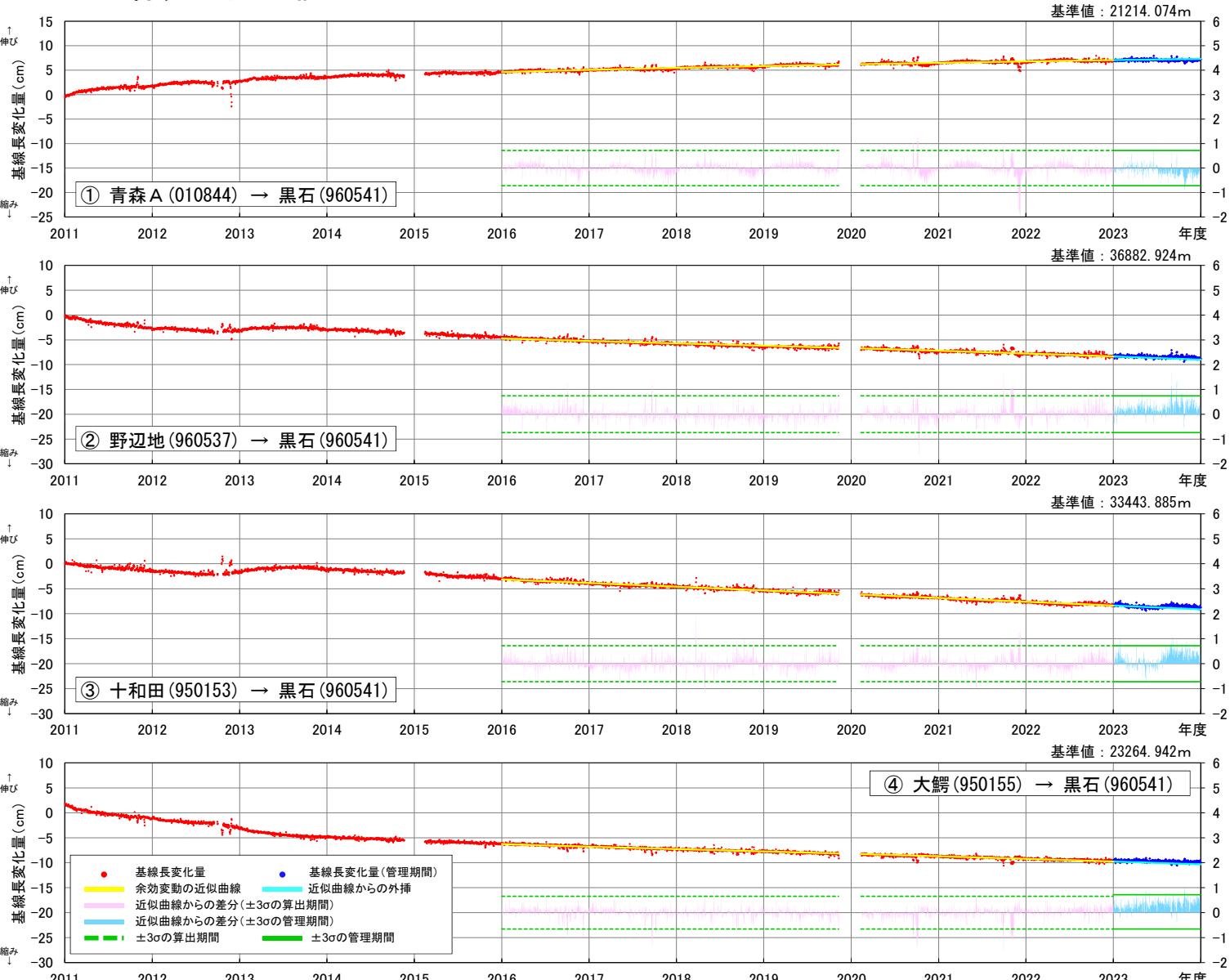


特記事項

八甲田山を中心とした、余効変動を超える継続的な変位の累積は認められない。

4.2 八甲田山(地殻変動:基線長近似値との差の $\pm 3\sigma$) 【基線①～④, 使用データ:F5解】 2011年以降

■基線長の近似値の $\pm 3\sigma$



使用したデータ(F5解)の期間 青森A→黒石: 2001/08/08~2024/03/31 JST, 他の3基線: 1997/04/11~2024/03/31 JST
 管理基準幅: 2016年4月~評価対象年度の前年度末(2023年3月)の近似値 $\pm 3\sigma$ (幅の中心は前年の基線長変化(余効変動)の近似式の延長)



[基線長データに関する知見]

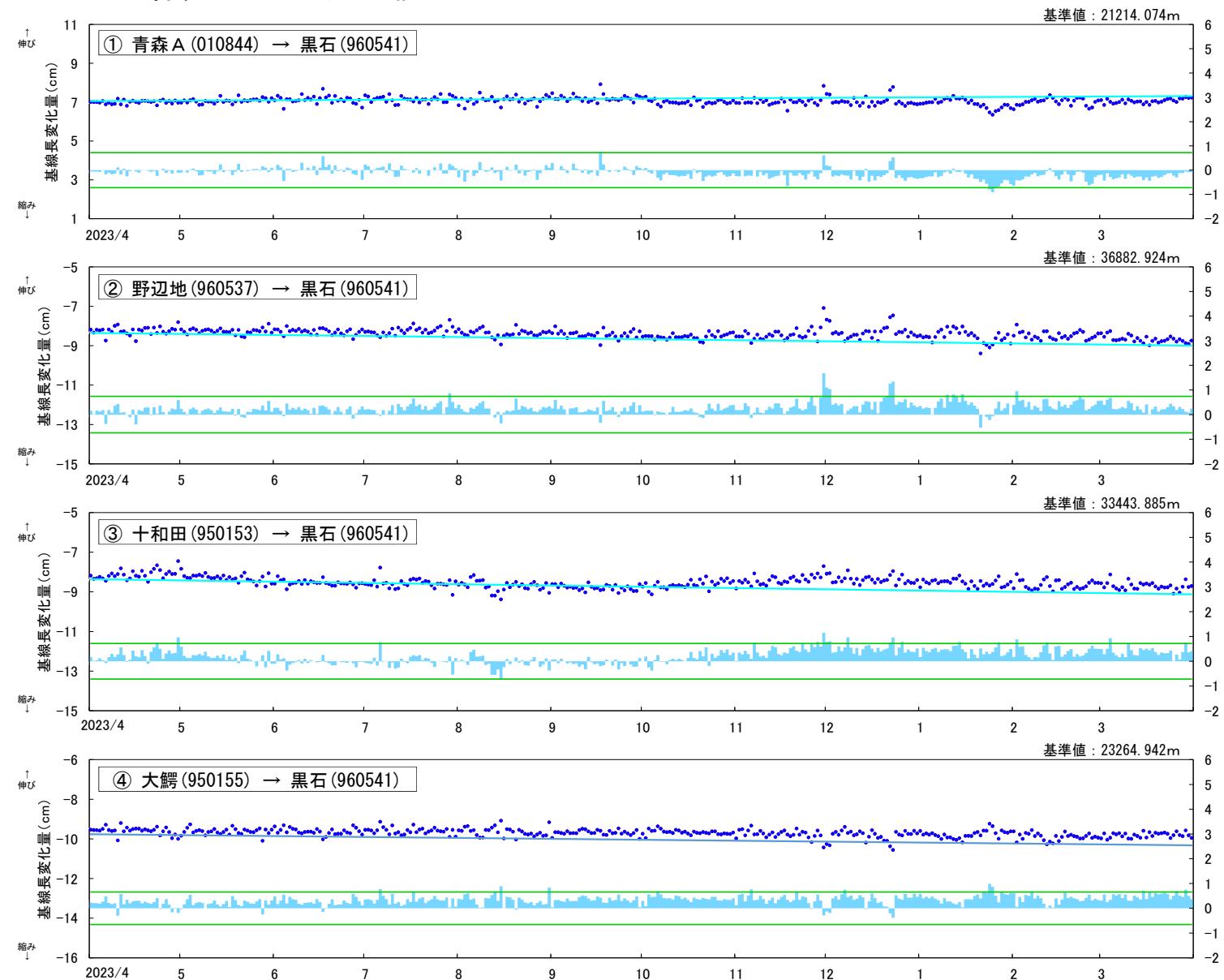
- 各基線には東北地方太平洋沖地震後の余効変動の影響が認められる。
- 2013年～2014年に十和田・八甲田山で火山活動の一時的な活発化がみられた。また, Fujiwara et al.(2022)によれば、2015年に発生した日本海溝沿いの地震の前後で、東北地方の地殻変動に変化があった。

[基線長データの管理基準]

- 2016年～管理基準前年度末までの基線長変化量について, Fujiwara et al.(2022)に示されたモデルを基に近似式を求める。
- 2016年4月～評価対象年度の前年度末(2023年3月)を対象に、日々の実際の基線長変化量と上記近似式より求めた近似値の差のばらつきから $\pm 3\sigma$ を算出する。
- 上記近似式を評価対象年度に延長し、これを中心とする上記 $\pm 3\sigma$ 幅を管理基準に設定する。

4.2 八甲田山(地殻変動:基線長の判断基準) 【基線①～④, 使用データ:F5解】 2023年度

■基線長データと近似値の±3σ

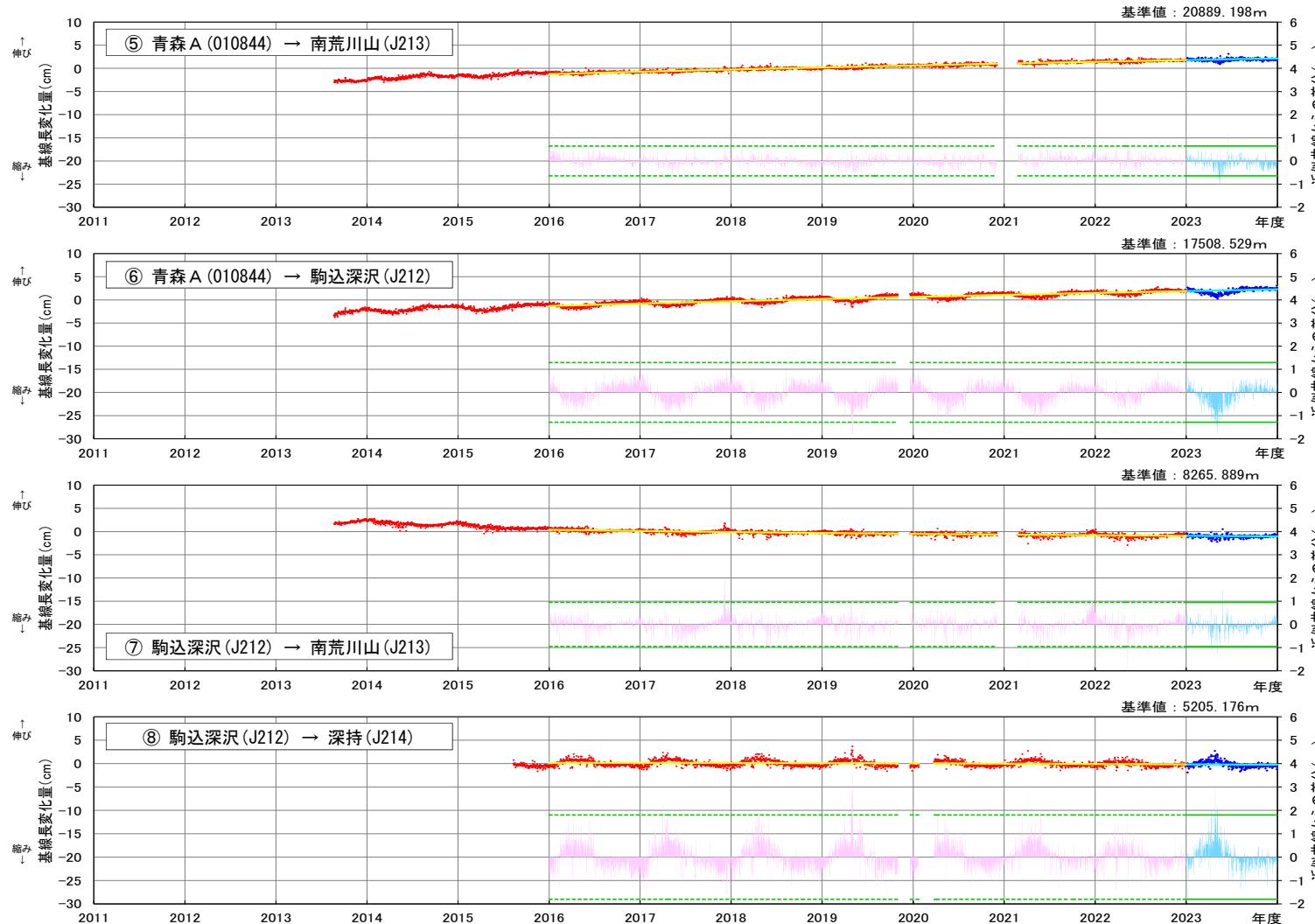


判断基準の超過なし

「平常からの変化」の判断基準:
余効変動の近似値と日々のデータ
のバラつき±3σを2基線以上で
7日間連続超過

- 基線長変化量(管理期間)
- 近似曲線からの外挿
- 近似曲線からの差分(±3σの管理期間)
- 土3σの管理期間

4.2 八甲田山(地殻変動:基線長近似値との差の $\pm 3\sigma$) 【基線⑤～⑧, 使用データ:当社による統合解析】 2011年以降



[基線長データに関する知見]

- 各基線には東北地方太平洋沖地震後の余効変動の影響が認められる。
- 2013年～2014年に十和田・八甲田山で火山活動の一時的な活発化がみられた。また, Fujiwara et al. (2022)によれば、2015年に発生した日本海溝沿いの地震の前後で、東北地方の地殻変動に変化があった。

[基線長データの管理基準]

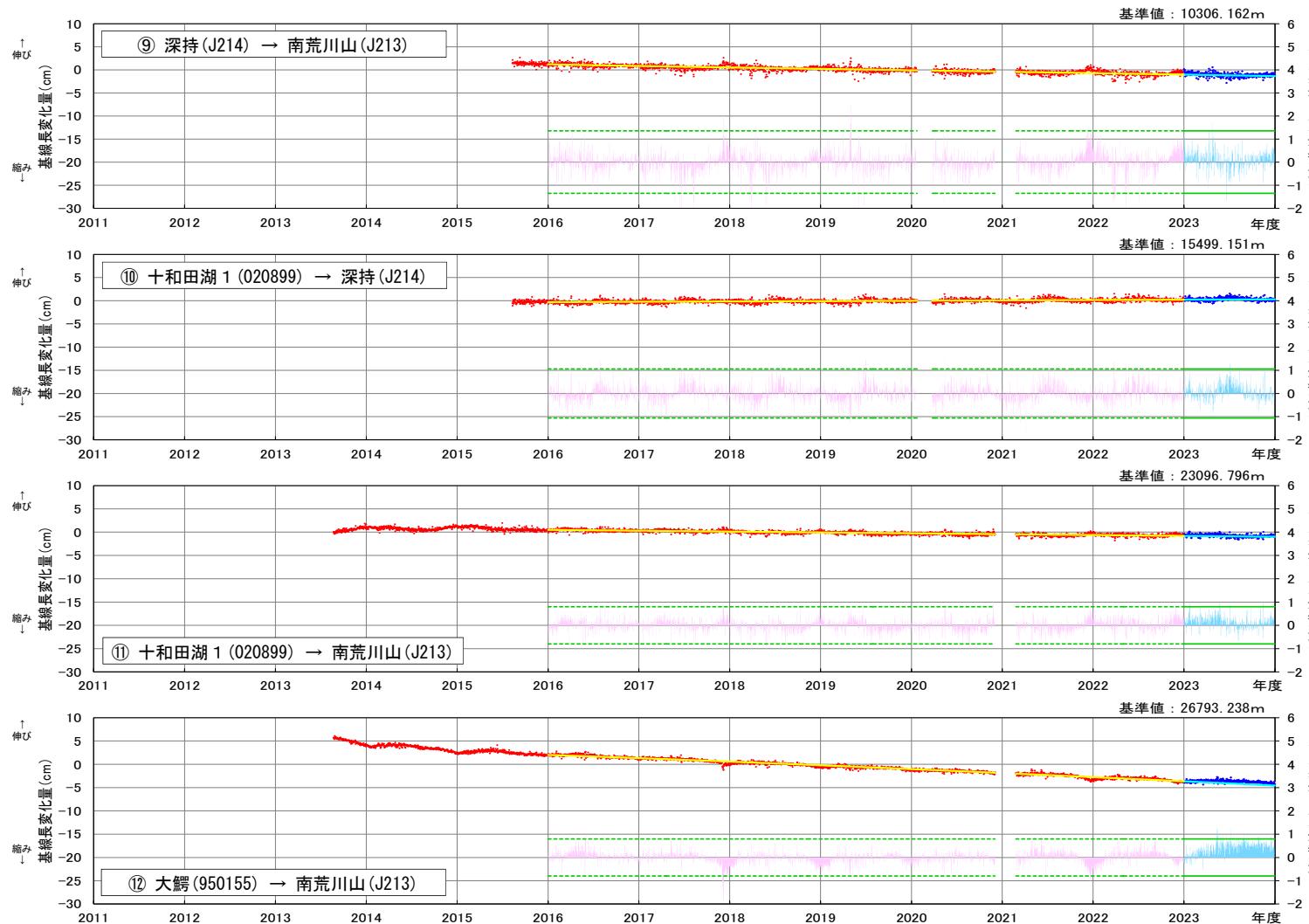
- 2016年～評価対象年度の前年度末までの基線長変化量について, Fujiwara et al. (2022)に示されたモデルを基に近似式を求める。
- 2016年4月～評価対象年度の前年度末(2023年3月)を対象に、日々の実際の基線長変化量と上記近似式より求めた近似値の差のばらつきから $\pm 3\sigma$ を算出する。
- 上記近似式を評価対象年度に延長し、これを中心とする上記 $\pm 3\sigma$ 幅を管理基準に設定する。

管理基準幅:2016年4月～評価対象年度の前年度末(2023年3月)の近似値 $\pm 3\sigma$ (幅の中心は前年の基線長変化(余効変動)の近似式の延長)

使用したデータ及び期間 : 94pに記載の通り

● 基線長変化量	● 基線長変化量(管理期間)
■ 余効変動の近似曲線	■ 近似曲線からの外挿
■ 近似曲線からの差分($\pm 3\sigma$ の算出期間)	■ 近似曲線からの差分($\pm 3\sigma$ の管理期間)
■ $\pm 3\sigma$ の算出期間	■ $\pm 3\sigma$ の管理期間

4.2 八甲田山(地殻変動:基線長近似値との差の $\pm 3\sigma$) 【基線⑨～⑫, 使用データ:当社による統合解析】 2011年以降



[基線長データに関する知見]

- 各基線には東北地方太平洋沖地震後の余効変動の影響が認められる。
- 2013年～2014年に十和田・八甲田山で火山活動の一時的な活発化がみられた。また, Fujiwara et al. (2022)によれば、2015年に発生した日本海溝沿いの地震の前後で、東北地方の地殻変動に変化があった。

[基線長データの管理基準]

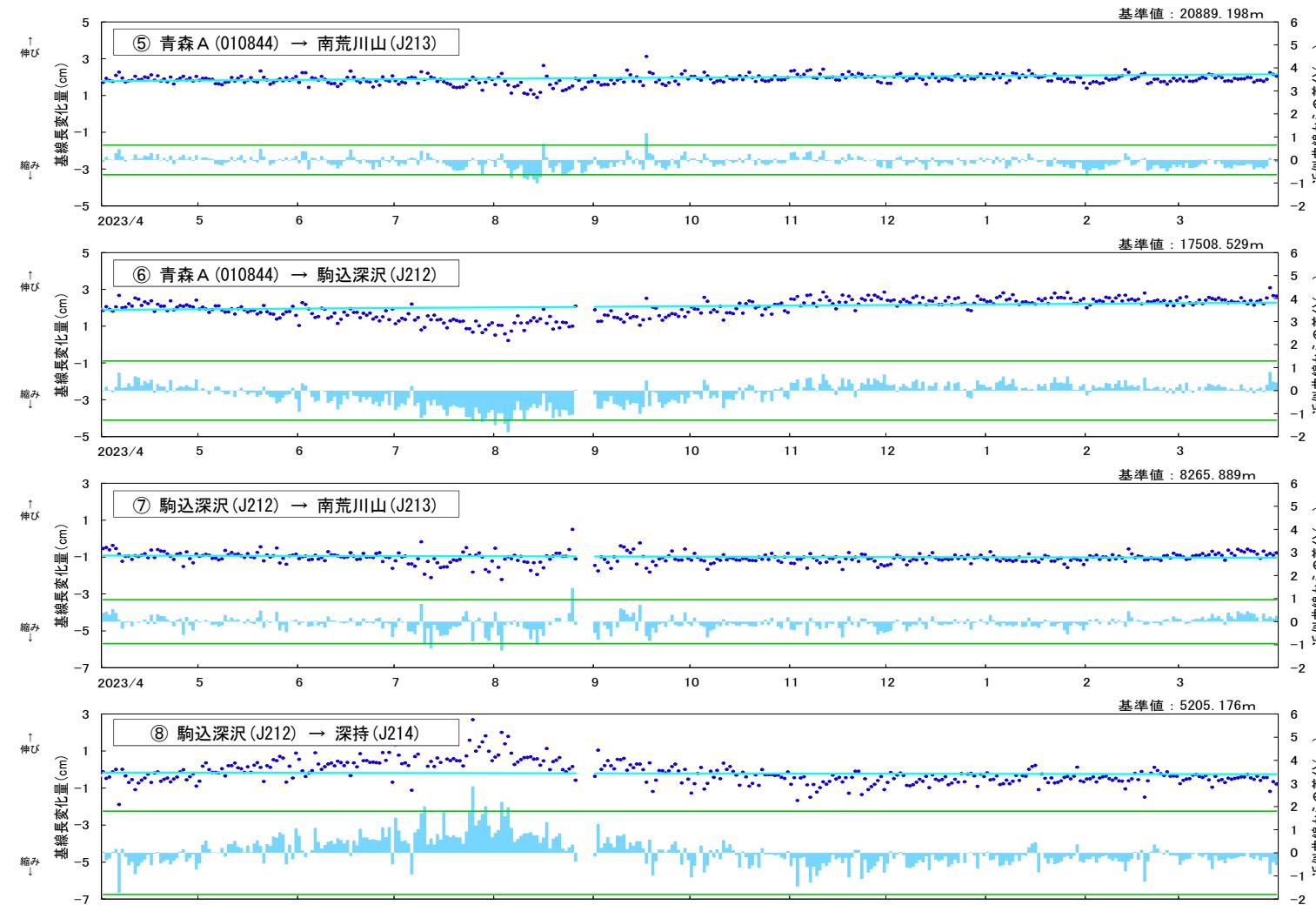
- 2016年～評価対象年度の前年度末までの基線長変化量について, Fujiwara et al. (2022)に示されたモデルを基に近似式を求める。
- 2016年4月～評価対象年度の前年度末(2023年3月)を対象に、日々の実際の基線長変化量と上記近似式より求めた近似値の差のばらつきから $\pm 3\sigma$ を算出する。
- 上記近似式を評価対象年度に延長し、これを中心とする上記 $\pm 3\sigma$ 幅を管理基準に設定する。

管理基準幅:2016年4月～評価対象年度の前年度末(2023年3月)の近似値 $\pm 3\sigma$ (幅の中心は前年の基線長変化(余効変動)の近似式の延長)

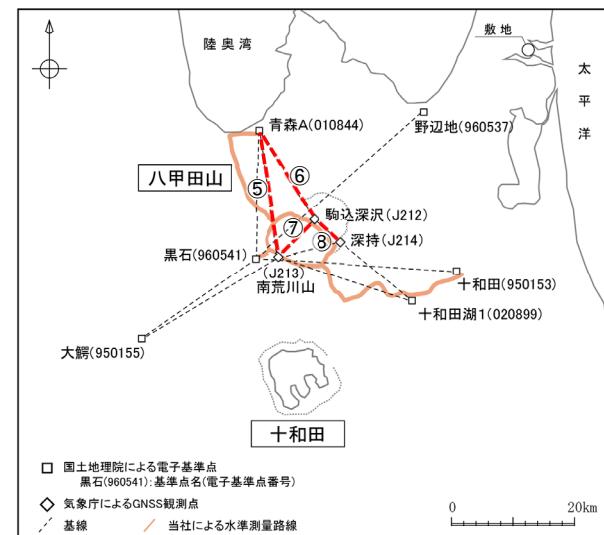
使用したデータ及び期間 : 95pに記載の通り

● 基線長変化量	● 基線長変化量(管理期間)
黄色い線	赤い線
余効変動の近似曲線	近似曲線からの外挿
近似曲線からの差分($\pm 3\sigma$ の算出期間)	
近似曲線からの差分($\pm 3\sigma$ の管理期間)	
■ $\pm 3\sigma$ の算出期間	■ $\pm 3\sigma$ の管理期間

4.2 八甲田山(地殻変動:基線長の判断基準)
【基線⑤～⑧、使用データ:当社による統合解析】 2023年度



管理基準幅:2016年4月～評価対象年度の前年度末(2023年3月)の近似値±3σ(幅の中心は前年の基線長変化(余効変動)の近似式の延長)

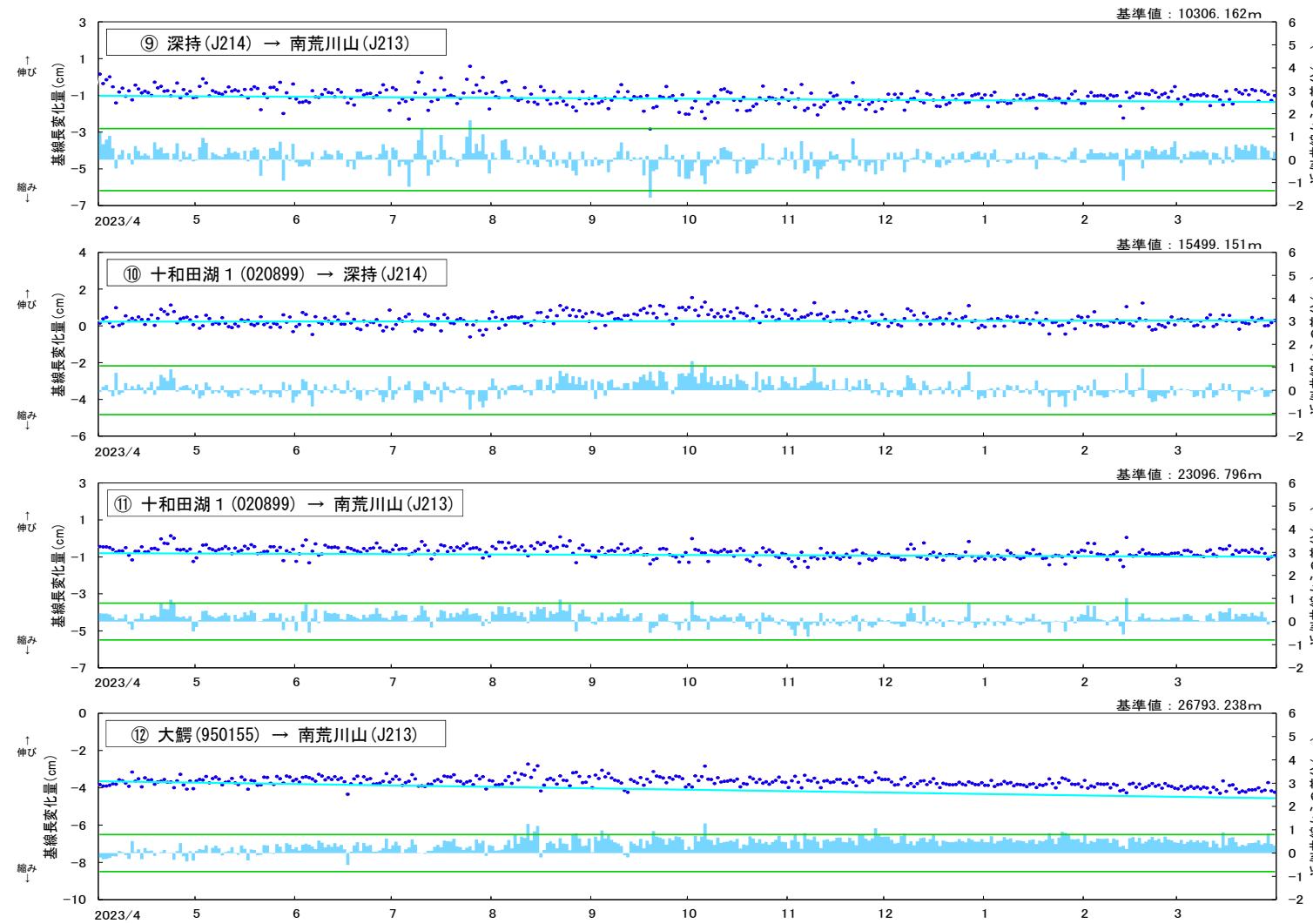


判断基準の超過なし

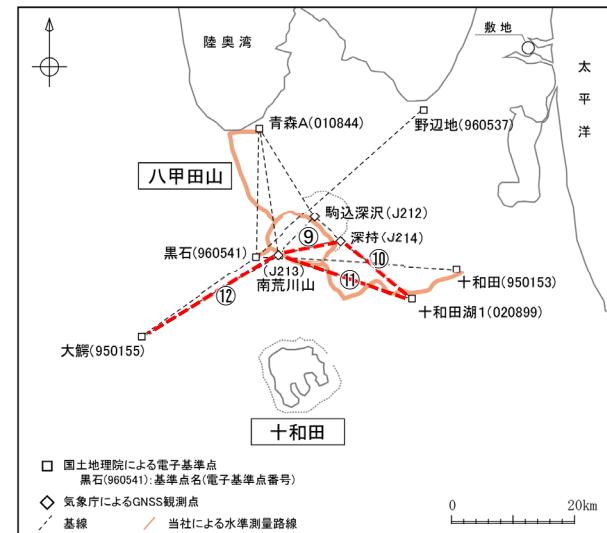
「平常からの変化」の判断基準：
余効変動の近似値と日々のデータ
の差におけるバラつき $\pm 3\sigma$ を
3基線以上で7日間連續超過

- 基線長変化量(管理期間)
 - 近似曲線からの外挿
 - 近似曲線からの差分($\pm 3\sigma$ の管理期間)
 - +3 σ の管理期間

4.2 八甲田山(地殻変動:基線長の判断基準) 【基線⑨～⑫, 使用データ:当社による統合解析】 2023年度



管理基準幅:2016年4月～評価対象年度の前年度末(2023年3月)の近似値 $\pm 3\sigma$ (幅の中心は前年の基線長変化(余効変動)の近似式の延長)



判断基準の超過なし

「平常からの変化」の判断基準:
余効変動の近似値と日々のデータ
の差におけるバラつき $\pm 3\sigma$ を
3基線以上で7日間連続超過

- 基線長変化量(管理期間)
- 近似曲線からの外挿
- 近似曲線からの差分($\pm 3\sigma$ の管理期間)
- $\pm 3\sigma$ の管理期間

4.2 八甲田山(地殻変動:基線長に関する公的機関の発表情報) 【2023年度】

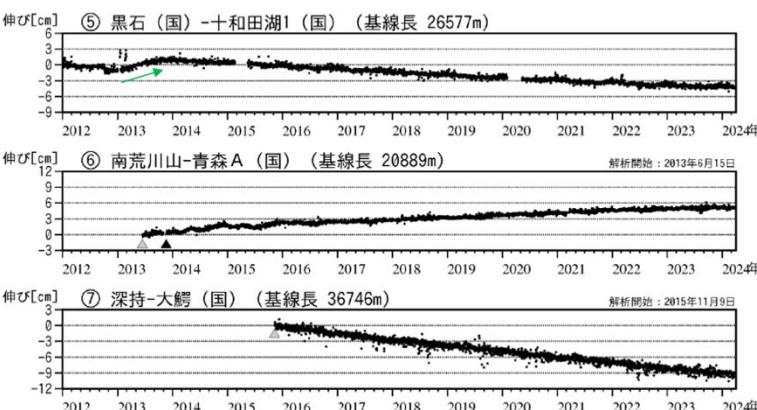
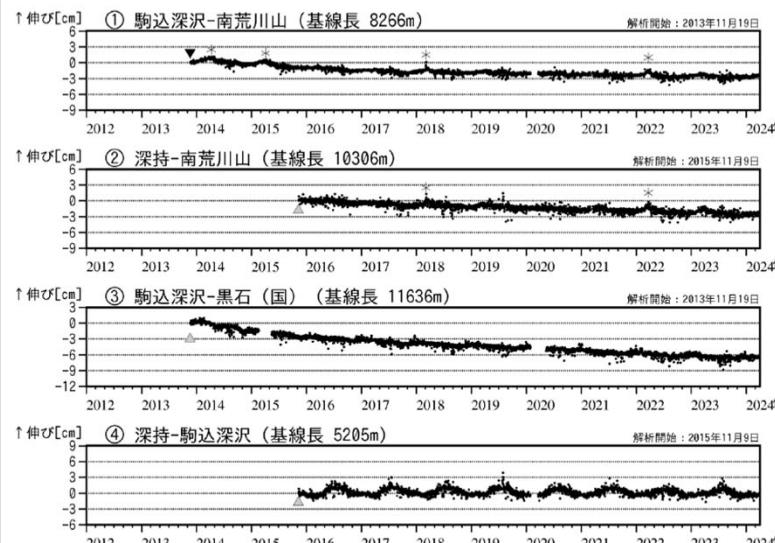


火山活動解説資料(令和6年3月)

八甲田山の活動概要

火山活動によると考えられる変化は認められない。期間を通して、噴火の兆候は認められず、噴火予報(噴火警戒レベル1、活火山であることに留意)の予報事項に変更はない。

参考図表



(火山活動解説資料: 令和6年3月)

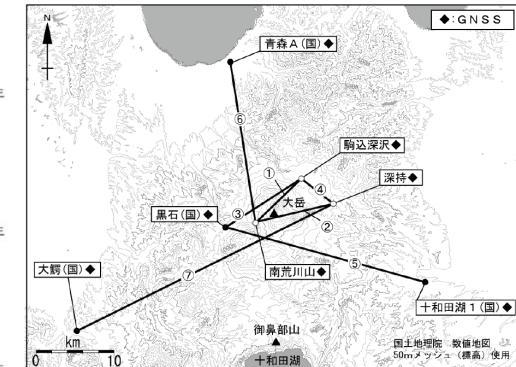
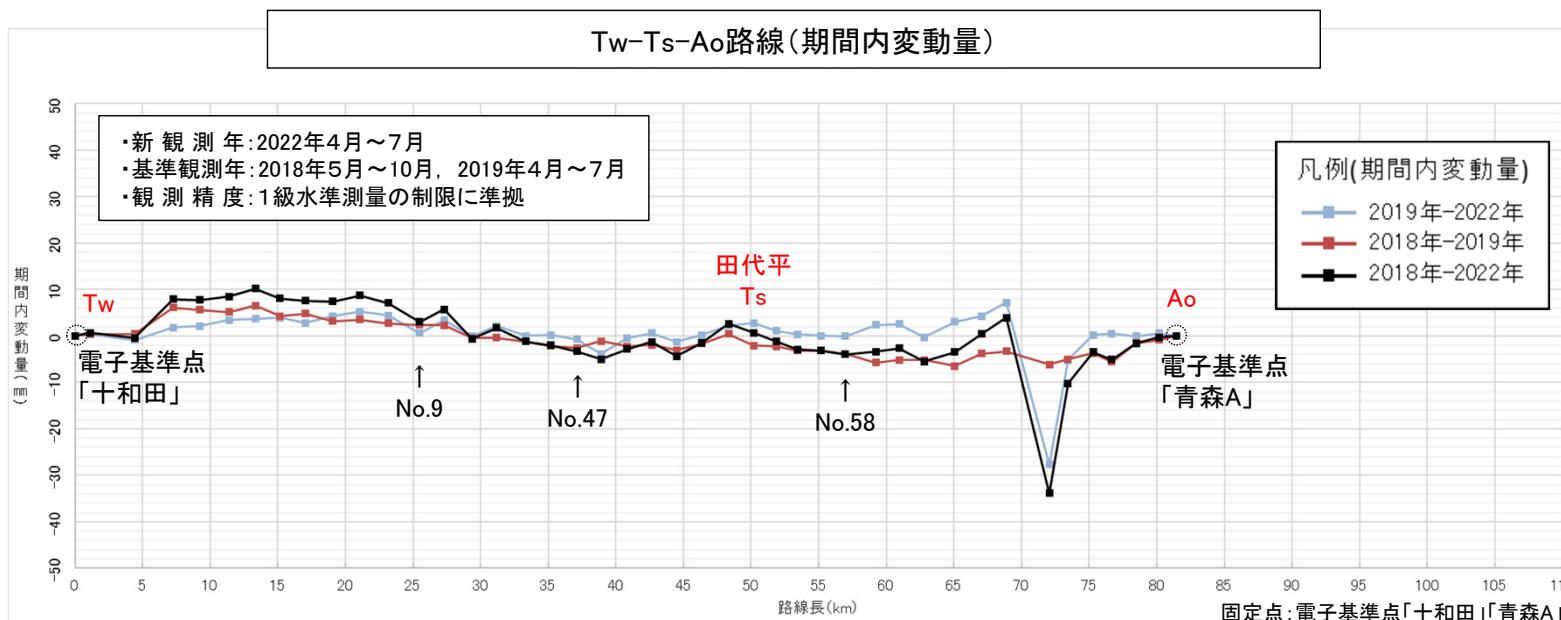
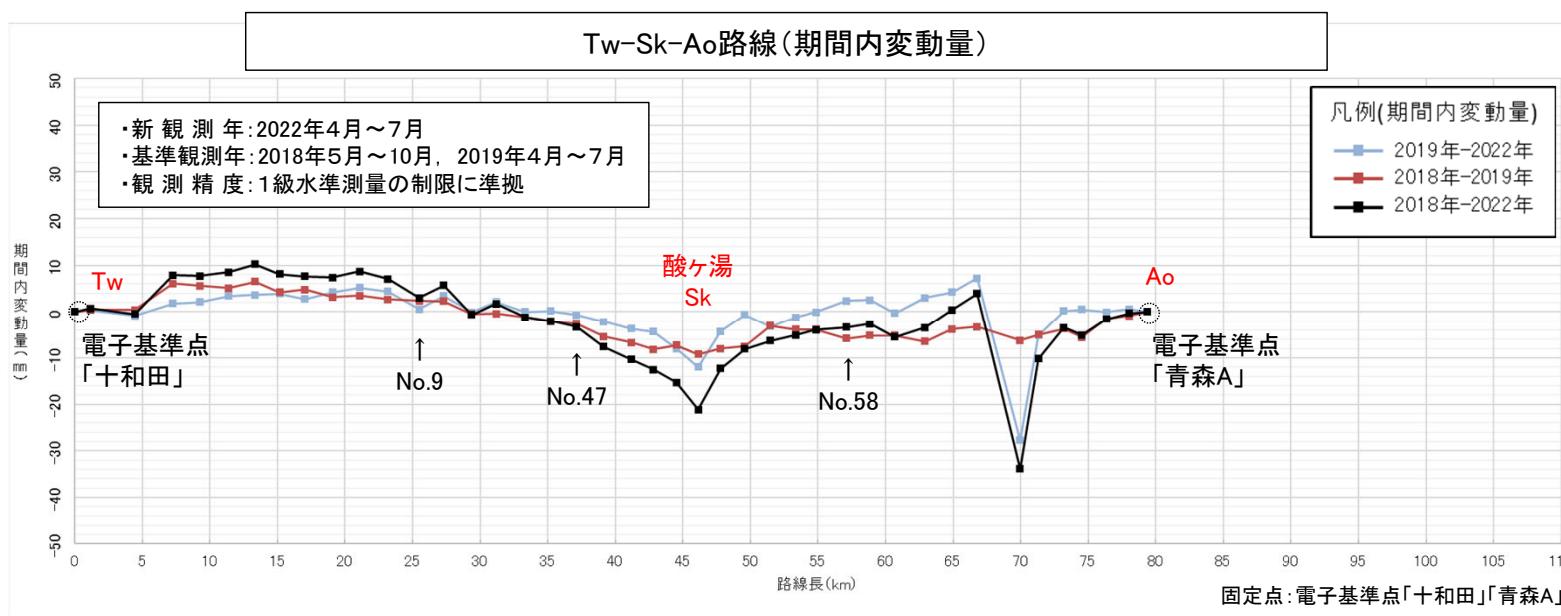


図5 八甲田山 GNSS 観測基線図

白丸(○)は気象庁、黒丸(●)は気象庁以外の機関の観測点位置を示しています。
(国): 国土地理院

2013年の地震活動活発化の際に、山体のわずかな膨張を示す変化(緑矢印)が観測されたが、現在火山活動によると考えられる変化は認められない。

4.2 八甲田山(地殻変動:水準測量)【2018年～2022年】

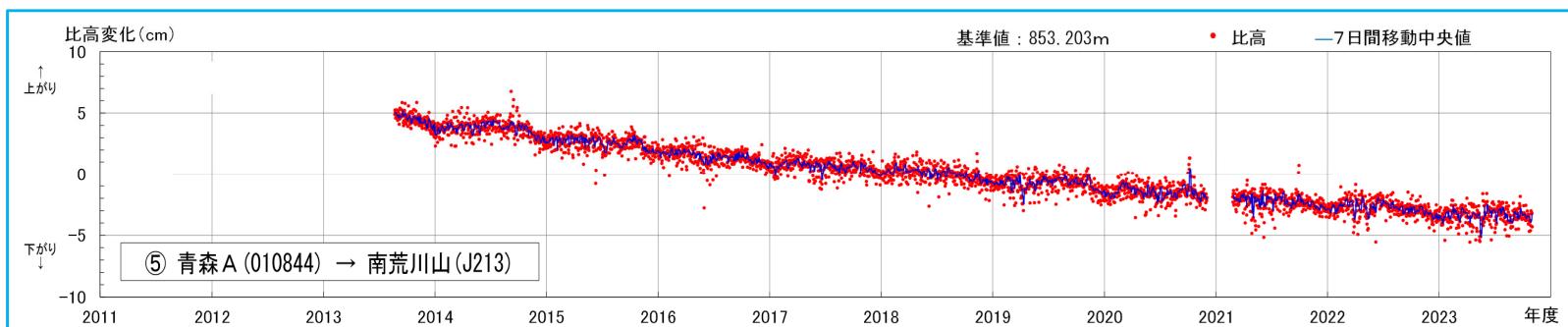
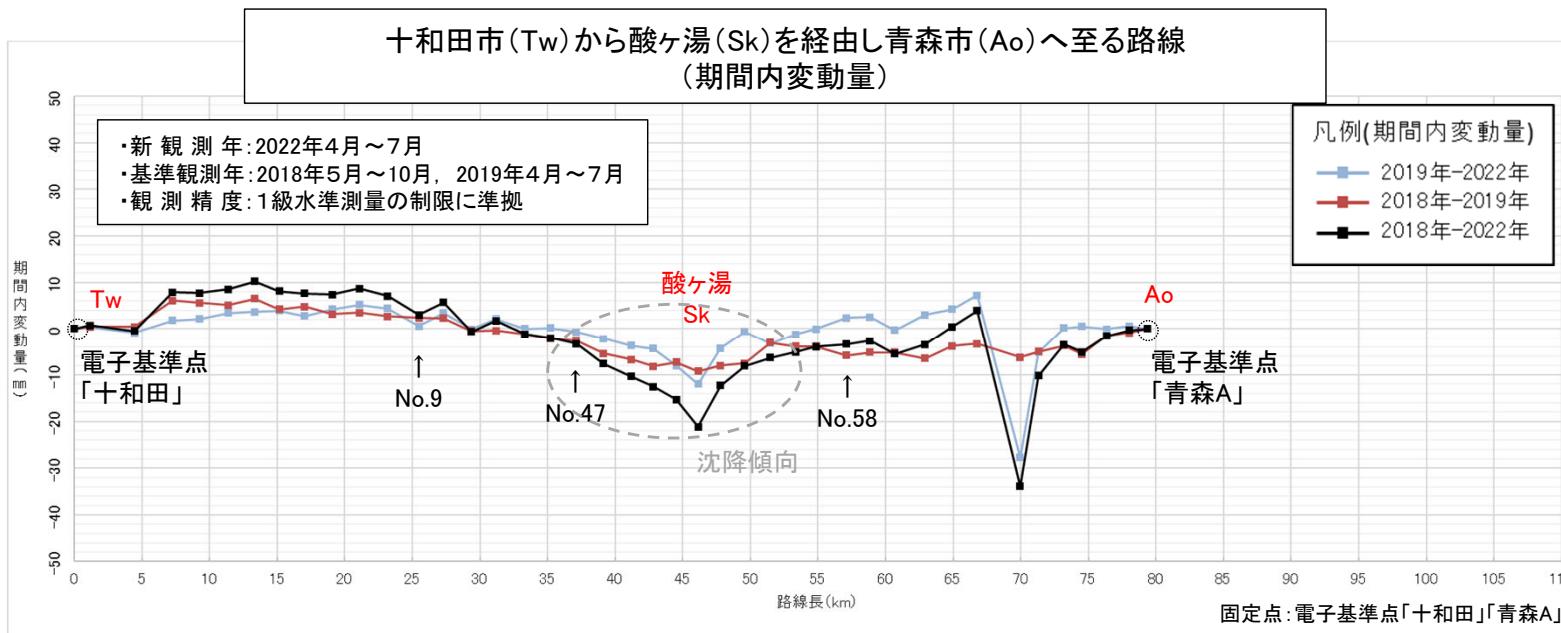


特記事項

酸ヶ湯周辺や青森市街において沈降する傾向が認められるが八甲田山を中心とした、顕著な地殻変動の傾向は認められない。

4.2 八甲田山(地殻変動:水準測量) 【酸ヶ湯温泉周辺で認められる沈降傾向について】

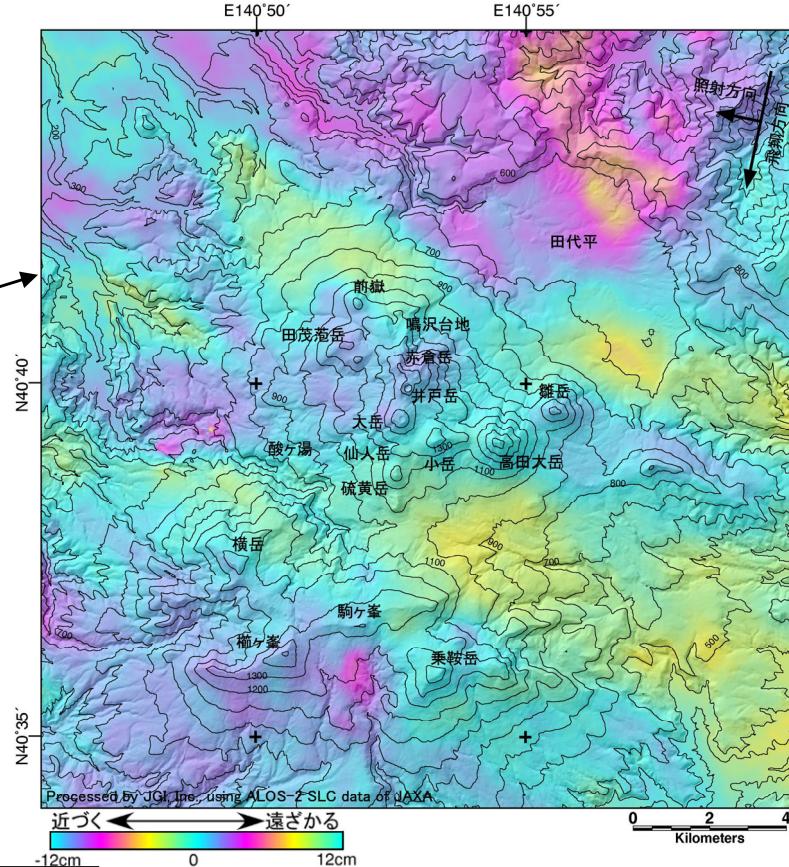
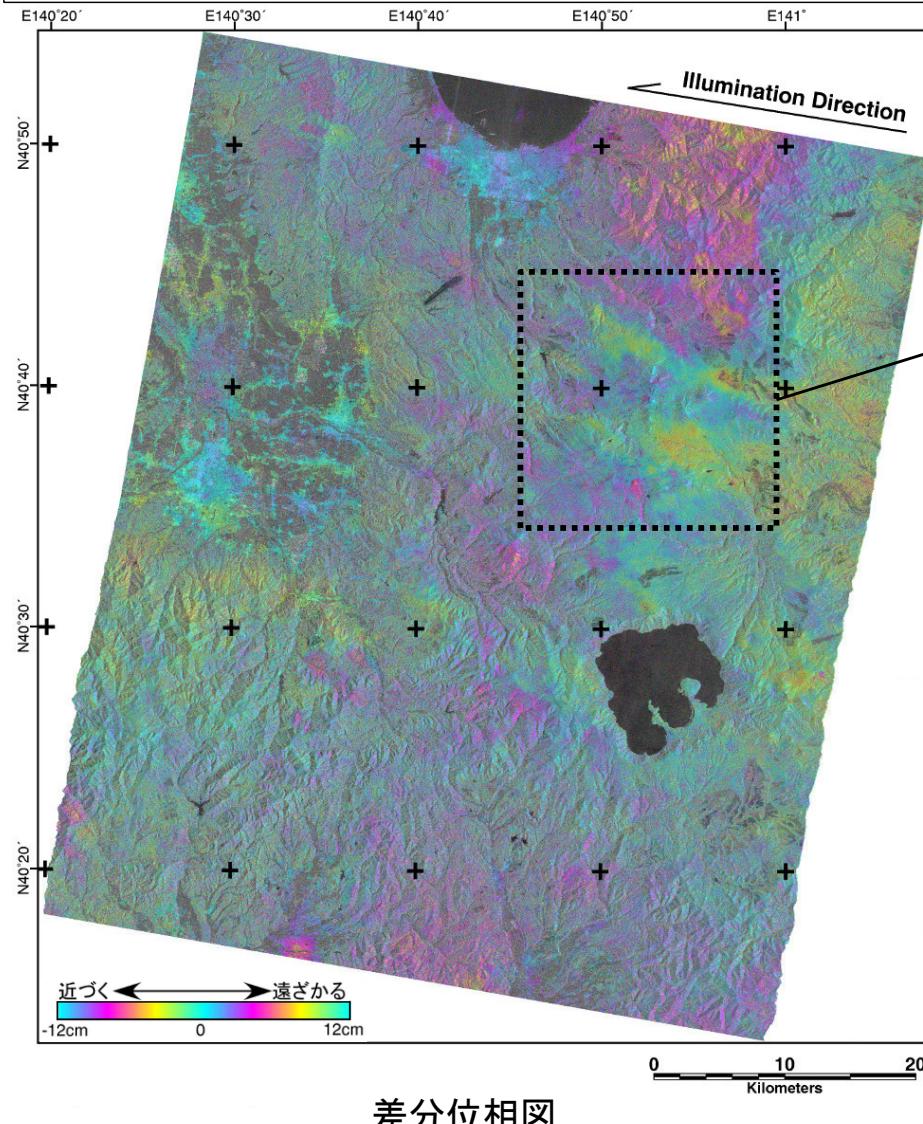
- 水準測量の結果認められた、酸ヶ湯周辺における沈降傾向について、酸ヶ湯に最も近い気象庁GNSS観測点「南荒川山」と、当社水準測量の路線でも構築されている電子基準点「青森A」からなるGNSS観測基線では、「南荒川山」が相対的に沈降する傾向が継続しており、水準測量結果と整合的である。
- 酸ヶ湯周辺が沈降傾向にある要因として、酸ヶ湯温泉をはじめとした多数の温泉施設が存在していることから、それらが影響している可能性も考えられる。2024年度には当該区間で水準測量を臨時で実施し、データ収集・検討を継続していく。



4.2 八甲田山(地殻変動:干渉SAR解析)【当社実施:2022年～2023年】

解析に用いたデータ

- ・陸域観測技術衛星だいち2号(ALOS-2): Lバンド合成開口レーダのPALSAR-2データ
- ・観測モード: SM1 (3m/pix)
- ・観測日: 2022年9月1日, 2023年8月31日
- ・オフナディア角: 35.4
- ・進行方向: 南降軌道, 照射方向: 右視
- ・進行方向: 南降軌道, 照射方向: 右視



特記事項

干渉性が良好に保たれる短期(約1年間)のペアとして2022年9月1日と2023年8月31日の観測データを選定し干渉SAR解析を行った。その結果、水蒸気遅延成分が認められるものの、八甲田山を中心とした顕著な変動は認められない。

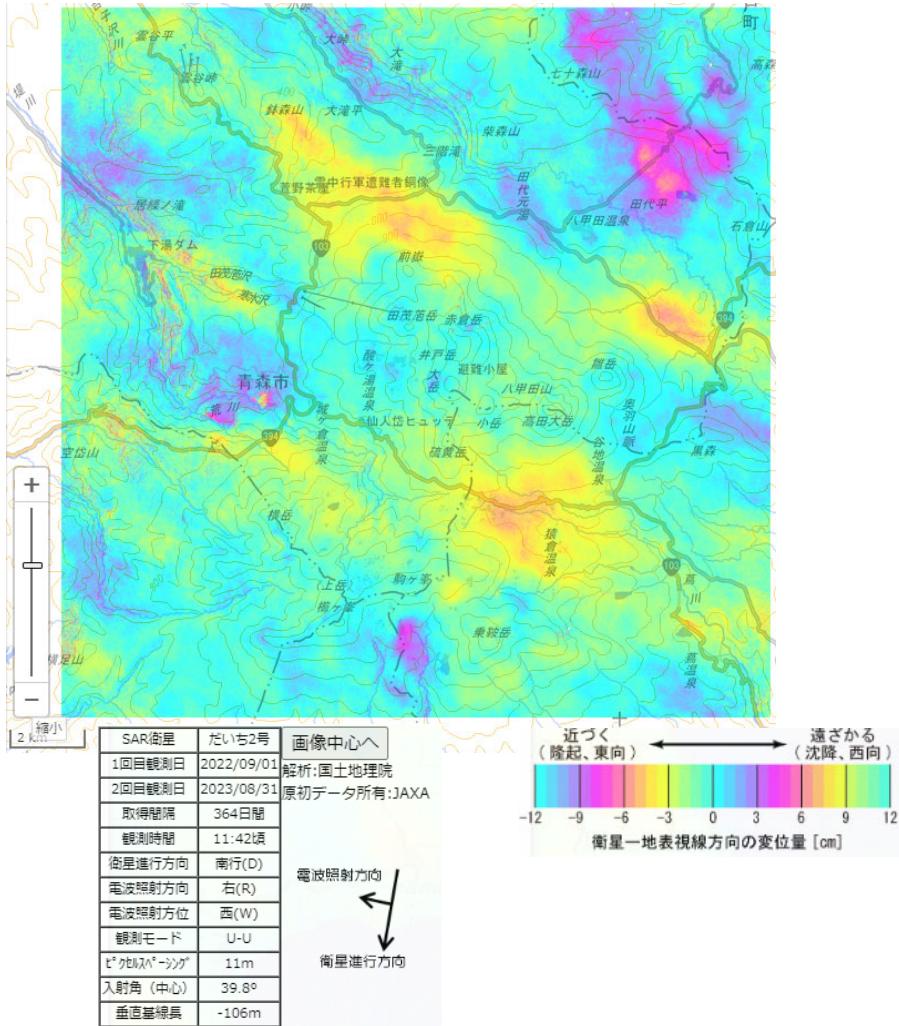
4.2 八甲田山(地殻変動:干渉SAR解析) 【公的機関の発表情報:2022年~2023年】



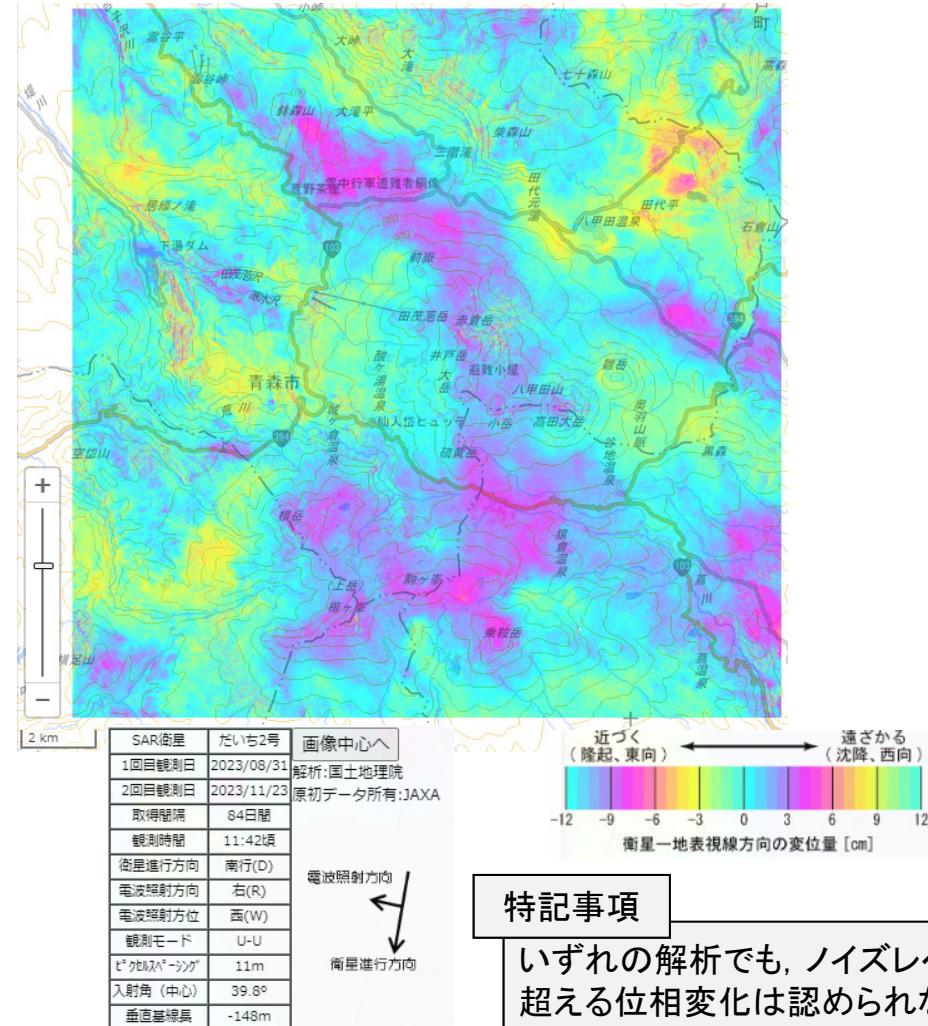
国土地理院による干渉SAR解析(地理院地図)

参考図表

観測日:2022/9/1, 2023/8/31

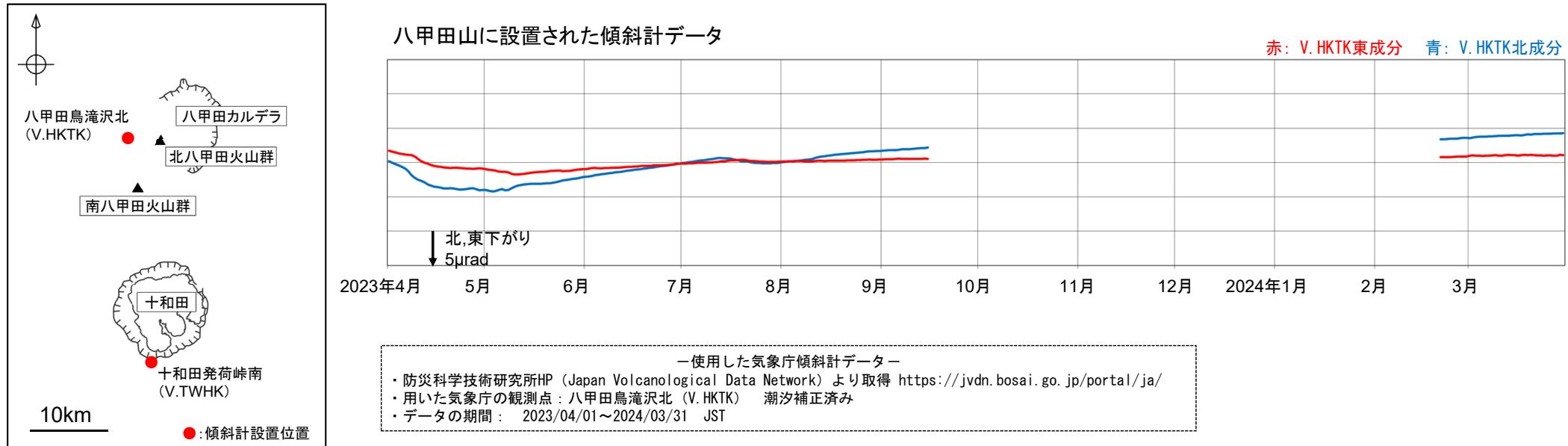
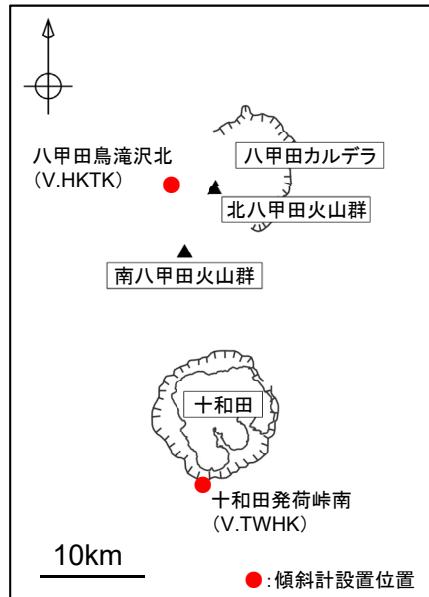


観測日:2023/8/31, 2023/11/23



4.2 八甲田山(地殻変動:傾斜計)【2023年】

- 防災科学技術研究所によるJapan Volcanological Data Network(JVDN)より、気象庁が設置した傾斜計の観測データをダウンロード・整理した。
- 火山活動によると考えられる顕著な傾斜変動は認められなかった。
- なお、気象庁の火山活動解説資料等では、八甲田山の傾斜計観測データ変化については特段の報告はなされていない。



4.2 八甲田山(地殻変動:まとめ)【2023年度】

[GNSS観測データ]

- ・比高では、2011年東北地方太平洋沖地震後、電子基準点「黒石」を中心に沈降した後、2013年には隆起に転じた。2014年以降は、緩やかな沈降が継続している。基線長では、2011年東北地方太平洋沖地震時の変動とその後の余効変動に伴い、「黒石」と「青森A」との間では伸びが発生・継続している。また、電子基準点「黒石」と「野辺地」・「十和田」・「大鰐」との間では地震時の変動と余効変動で縮みが認められたが、2013年2月以降、「黒石」と「野辺地」・「十和田」との間で伸びに転じた。2013年11月頃以降は、余効変動による縮みが継続している。
- ・2013年以降、周辺の観測点に対し、八甲田山付近の各観測点(特に「南荒川山」)が沈降する傾向が継続する。基線長では、2011年東北地方太平洋沖地震後の余効変動に伴い、「青森A」→「南荒川山」及び「駒込深沢」との間では伸び、一方、「駒込深沢」→「深持」の基線、並びに「深持」、「十和田湖1」及び「大鰐」→「南荒川山」の基線間は縮みの傾向が継続しているが、徐々に変化量は減少している。「駒込深沢」及び「十和田湖1」→「深持」については停滞する傾向にある。
- ・当社が設定した判断基準の超過は今期間で発生していない。
⇒八甲田山を中心とした地域では、系統的な変位の累積及び急激な変位は認められず、基線長変化では、余効変動を超える継続的な変位の累積は認められない。

[水準測量データ]

- ・2018年、2019年及び2022年に実施した水準測量の結果からは、八甲田山を中心とした顕著な地殻変動の傾向は認められない。

[干渉SAR解析]

- ・2022年9月1日と2023年8月31日の観測データを用いて当社が実施した干渉SAR解析結果及び国土地理院が実施した解析結果からは、十和田を中心とした顕著な変動は認められない。

[傾斜計データ]

- ・2023年4月～2024年3月の傾斜計データからは、火山活動によると考えられる顕著な傾斜変動は認められない。



- ・既往の傾向と比較して、急激な変化は認められない。
- ・既往の地殻変動と異なる場所での地殻変動の出現は認められない。
- ・傾斜計による地盤変動の急激な傾向の変化は認められない。

4.3 八甲田山(火山ガス, 熱活動, 噴出場所, 噴出物, 噴火様式) 【公的機関の発表情報:まとめ】



	公的機関による観測資料		概 要
2023年度 の活動	地震・火山月報(防災編) (2023年4月～2024年3月)		噴火予報(噴火警戒レベル1, 活火山であることに留意) 火山活動に特段の変化は認められない。これ以外の期間では、火山活動に特段の変化はなく、静穏に経過しており、噴火の兆候は認められない。
	火山噴火 予知連絡会	第152回 (2023年 7月開催)	火山活動に特段の変化はなく、静穏に経過しており、噴火の兆候は認められない。
		第153回 (2024年 2月開催)	火山活動に特段の変化はなく、静穏に経過しており、噴火の兆候は認められない。
	火山活動解説資料 (2023年4月～2024年3月)		2023年9月29日から10月初め頃まで、大岳山頂の西約5km、深さ約3km付近を震源とする火山性地震の一時的な増加がみられたが、これ以外の期間では、火山活動に特段の変化はなく、静穏に経過しており、噴火の兆候は認められない。噴火予報(噴火警戒レベル1, 活火山であることに留意)の予報事項に変更はない。
	地殻変動観測の概況		(十和田に関する記載なし)



- ・既往の火山ガス放出場所の拡大または消滅、放出場所の出現は認められない。
- ・火山ガスの放出量に急激な変化は認められない。
- ・既往の火口の拡大や消長、新たな火口や火道の形成は認められない。
- ・マグマ成分の物理的・化学的性質に急激な変化があったとする科学的知見は認められない。
- ・噴煙柱高度が数十km程度のプリニー式噴火を伴うような噴火は認められない。

特記事項

- ・噴火なし
- ・警戒情報なし:
- 噴火警戒レベル1, 活火山であることに留意

4.3 八甲田山(火山ガス, 熱活動, 噴出場所, 噴出物, 噴火様式) 【公的機関の発表情報】

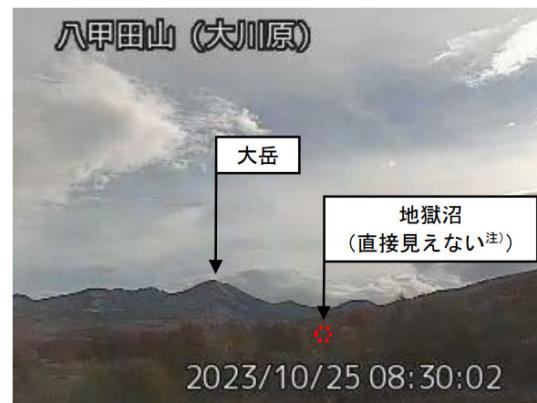


火山活動解説資料(令和5年10月, 令和6年3月)

八甲田山の活動概要

火山活動に特段の変化はなく、静穩に経過しており、噴火の兆候は認められない。
噴火予報(噴火警戒レベル1、活火山であることに留意)の予報事項に変更はない。

参考図表



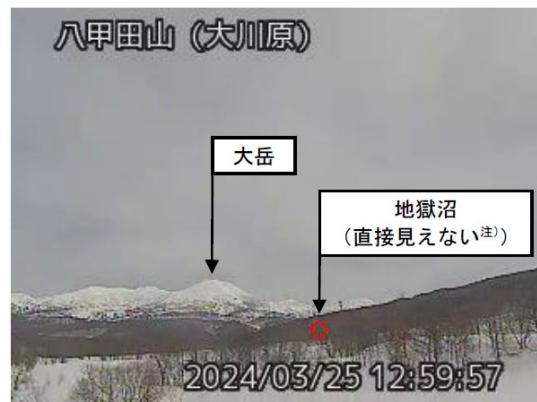
八甲田山 山頂部及び地獄沼周辺の状況(2023年10月25日)



(火山活動解説資料:令和5年10月)

大川原監視カメラ及び地獄沼監視カメラによる観測では、噴気は認められなかった。

左図: 大川原監視カメラ(大岳の西南西約6km)の映像
右図: 地獄沼監視カメラ(地獄沼の西約100m)の映像
注) 地獄沼から噴気が噴出した場合、大川原では高さ100m以上のときに観測される。
赤破線は地獄沼の位置を示す。



八甲田山 山頂部及び地獄沼周辺の状況(2024年3月25日)



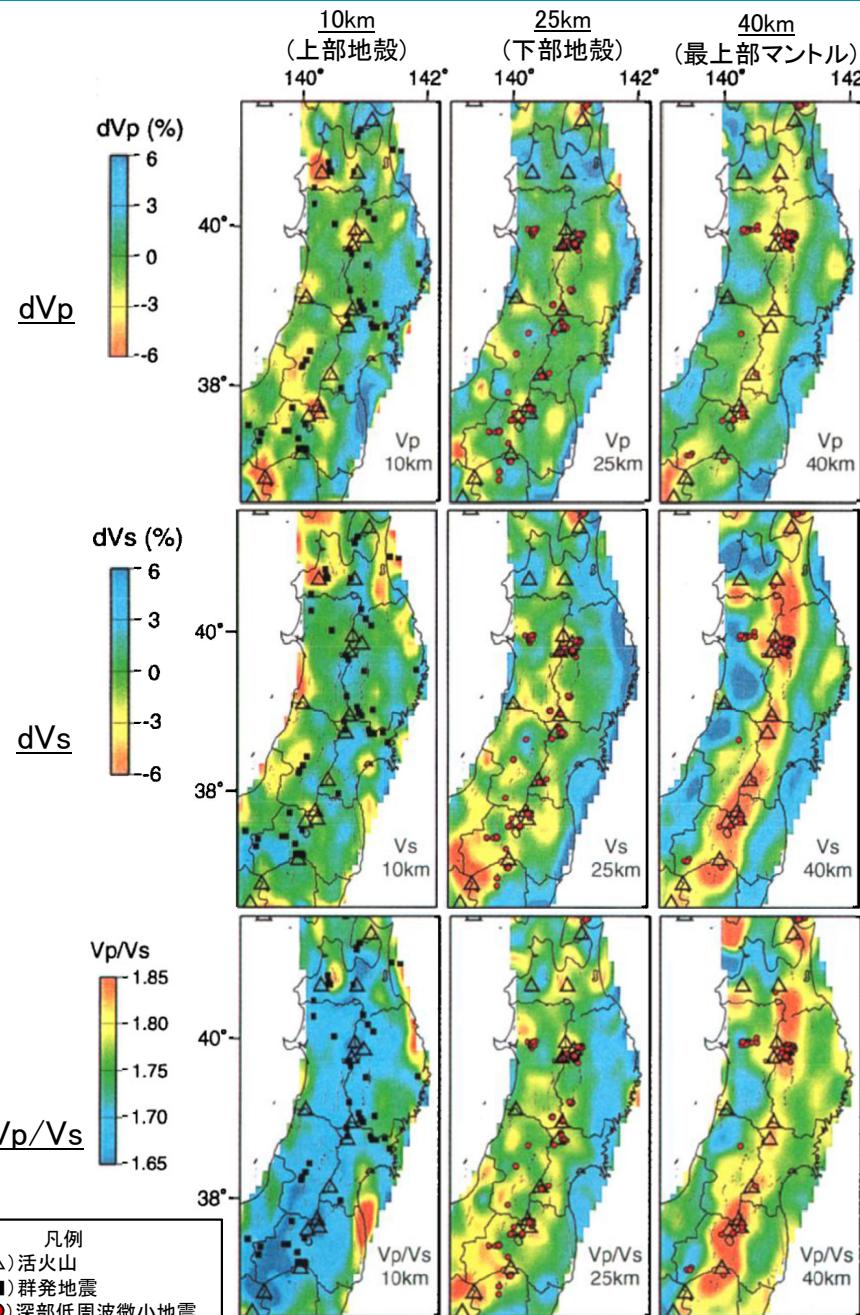
(火山活動解説資料:令和6年3月)

大川原監視カメラ及び地獄沼監視カメラによる観測では、噴気は認められなかった。

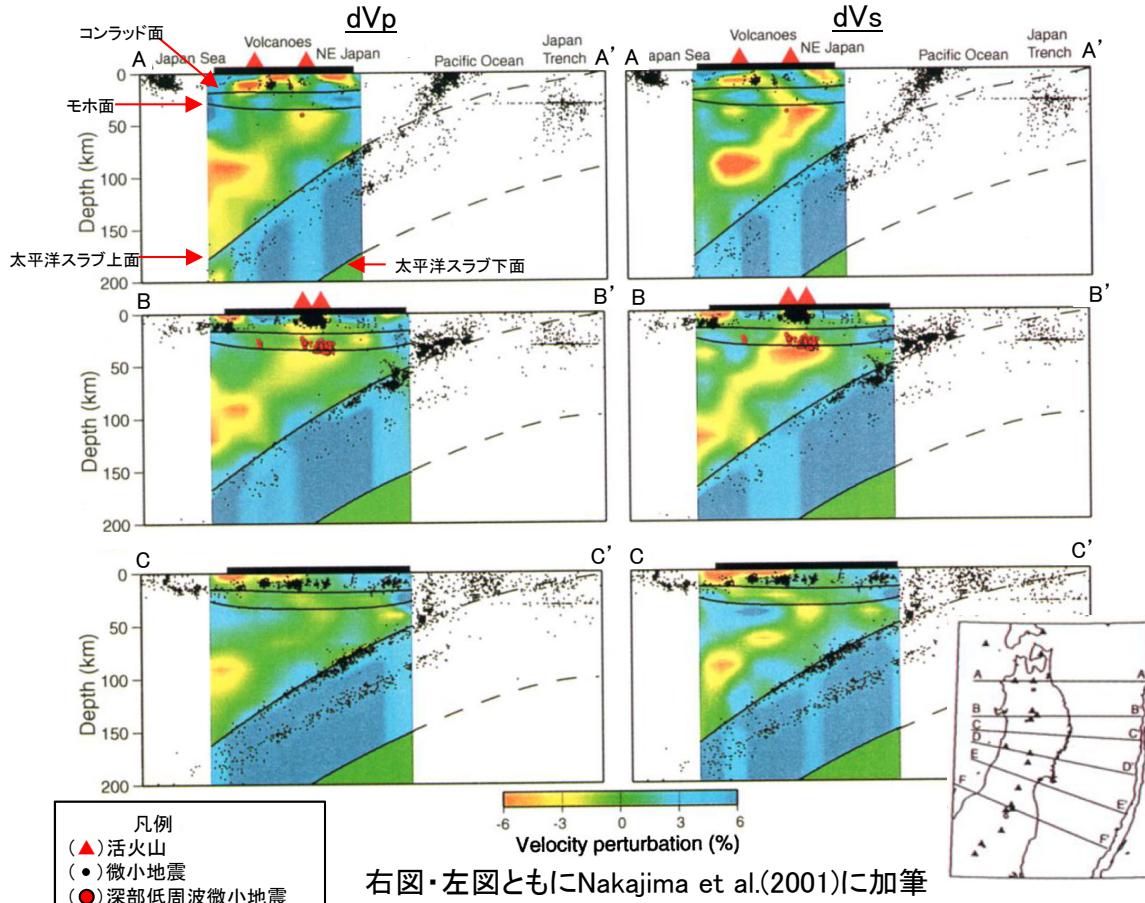
左図: 大川原監視カメラ(大岳の西南西約6km)の映像
右図: 地獄沼監視カメラ(地獄沼の西約100m)の映像
注) 地獄沼から噴気が噴出した場合、大川原では高さ100m以上のときに観測される。
赤破線は地獄沼の位置を示す。

4.4 八甲田山(地下構造)

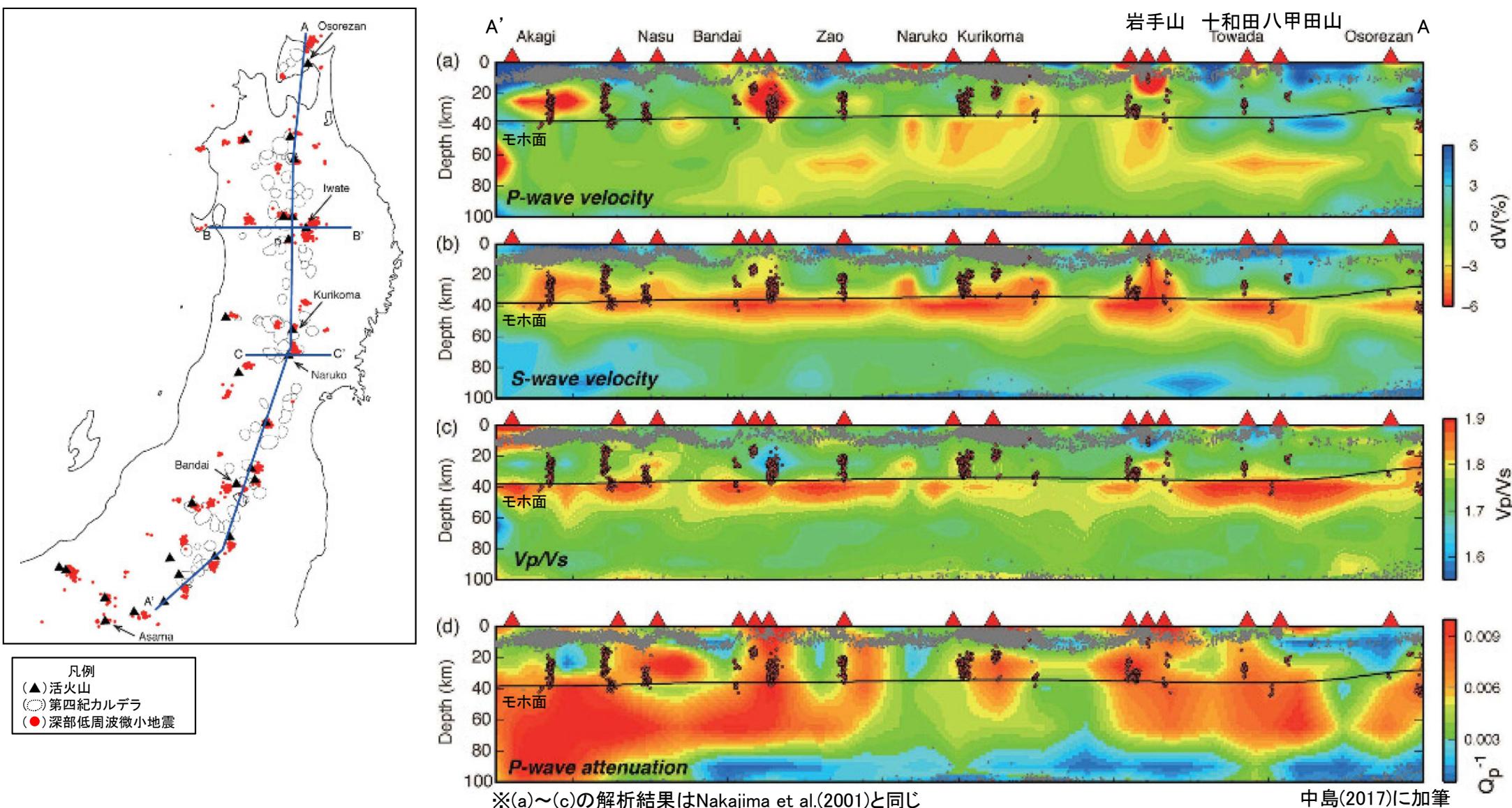
【地震波速度構造①:Nakajima et al.(2001)】



- Nakajima et al.(2001)によると、火山フロントに沿った最上部マントルの低Vp, 低Vs及び高Vp/Vsは、大量のメルトの存在を示唆するとしている。また、火山フロントに沿った下部地殻のうち活火山の直下の低Vp, 低Vs及び高Vp/Vsは、メルトの存在を示唆するとしている。加えて、火山フロントに沿った上部地殻のうち活火山の直下の低Vp, 低Vs及び低Vp/Vsは、水の存在を示唆するとしている。
- また、Nakajima et al.(2001)によると、活火山を通る測線であるAA' 断面及びBB' 断面は、P波, S波ともに沈み込む太平洋スラブとほぼ平行に低速度域が背弧側の深い領域から地殻まで連続的に分布していることが確認できるとし、活火山を通らない測線であるCC' 断面も同様に低速度領域が確認できるが、それは、AA' 及びBB' の低速領域に比べて振幅は小さいとしている。



4.4 八甲田山(地下構造) 【地震波速度構造②: 中島(2017)】



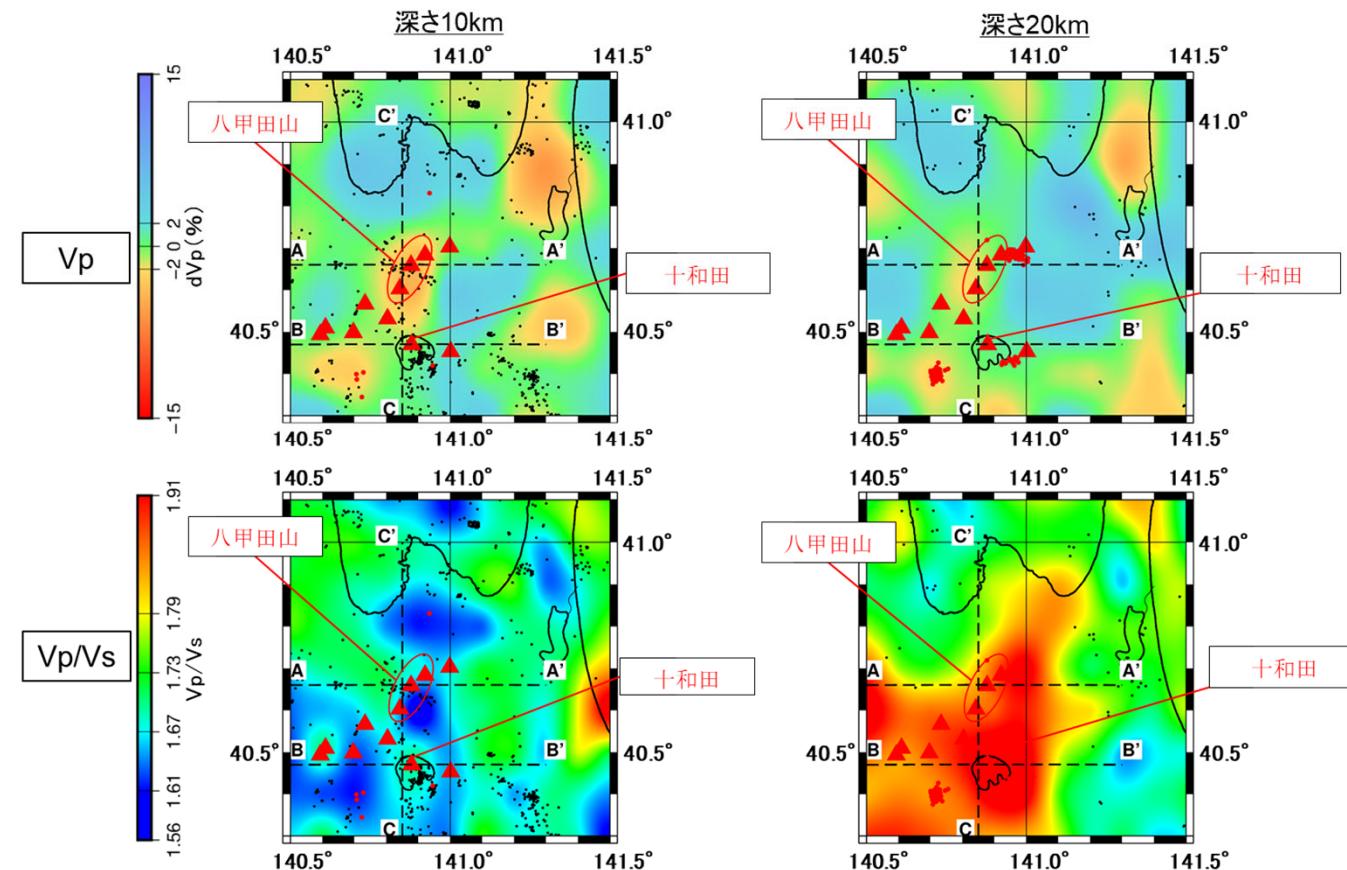
※(a)～(c)の解析結果はNakajima et al.(2001)と同じ

中島(2017)に加筆

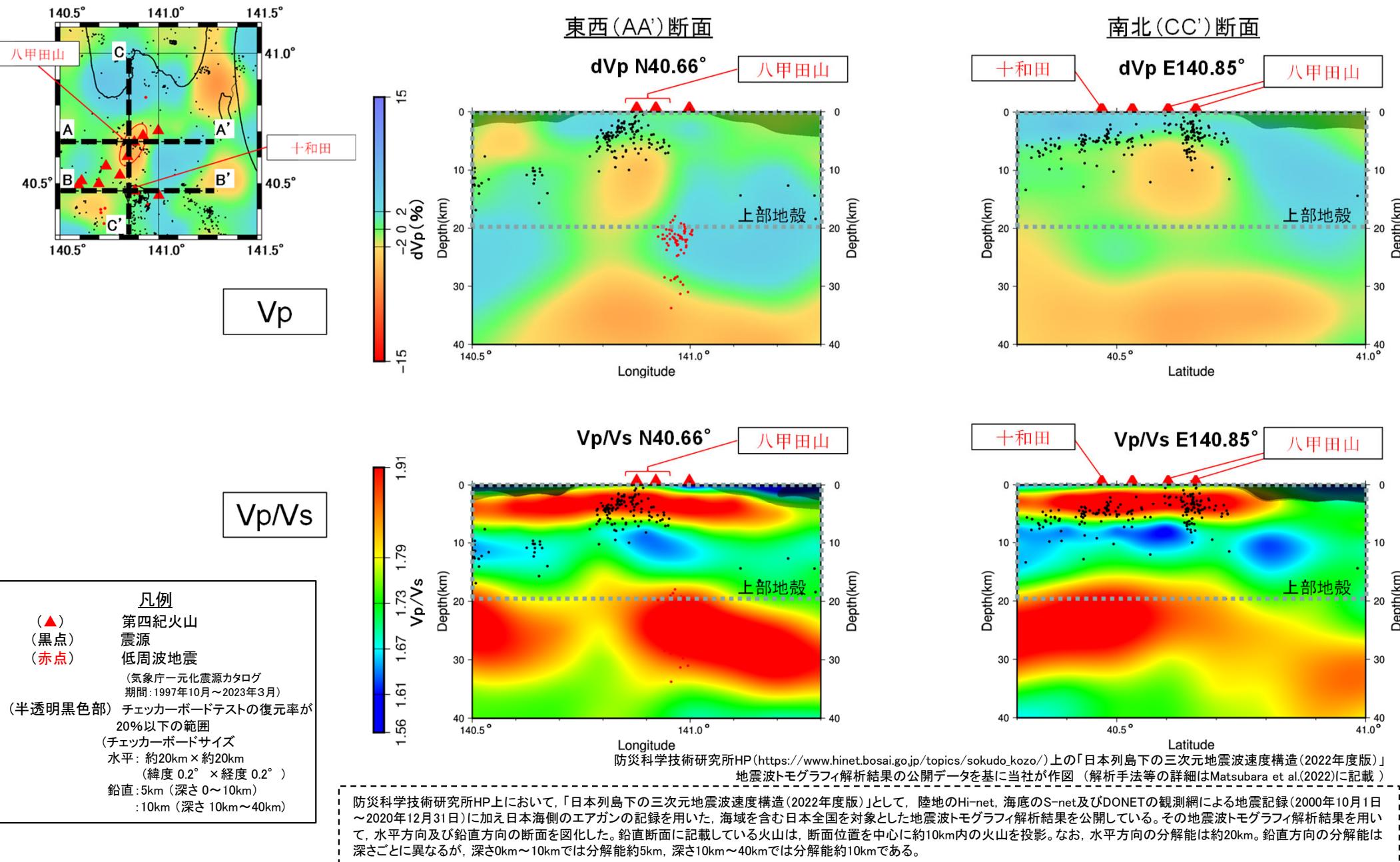
- 中島(2017)によると、岩手山直下の中部～下部地殻では低速度かつ高 V_p/V_s であり、メルトを含む部分溶融域であるとしている。
- また、中島(2017)によると、東北地方の火山地域の地殻にはいくつかの共通する特徴が存在するとしており、上部地殻内には大規模な($>10\text{km}$)マグマ溜まりは存在しないとしている。

4.4 八甲田山(地下構造)【地震波速度構造③: 日本列島下の三次元地震波速度構造(2022年度版)水平断面】

- 浅森・梅田(2005)によると、低速度領域には流体や高温異常の存在を示唆しているとされている。また、Nakajima et al.(2001)によると、活火山直下の低Vp、低Vs及び高Vp/Vs領域には、メルトの存在を示唆し、低Vp、低Vs及び低Vp/Vs領域には、水の存在を示唆するとしている。
- 防災科学技術研究所HP上において、「日本列島下の三次元地震波速度構造(2022年度版)」として、陸地のHi-net、海底のS-net及びDONETの観測網による地震記録に加え日本海側のエアガンの記録等を用いた、海域を含む日本全国を対象とした地震波トモグラフィ解析結果を公開している(解析手法等の詳細はMatsubara et al.(2022)に記載)。その公開データを用いて、当社が十和田・八甲田山地域における水平・鉛直断面図を作図した。
- 防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果からは、八甲田山直下の上部地殻内(約20km以浅)には、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。
- 深さ10km～15km付近で見られる低Vp領域は、低Vp/Vsであることから水が存在する可能性があると解釈できる。



4.4 八甲田山(地下構造)【地震波速度構造③: 日本列島下の三次元地震波速度構造(2022年度版)鉛直断面】

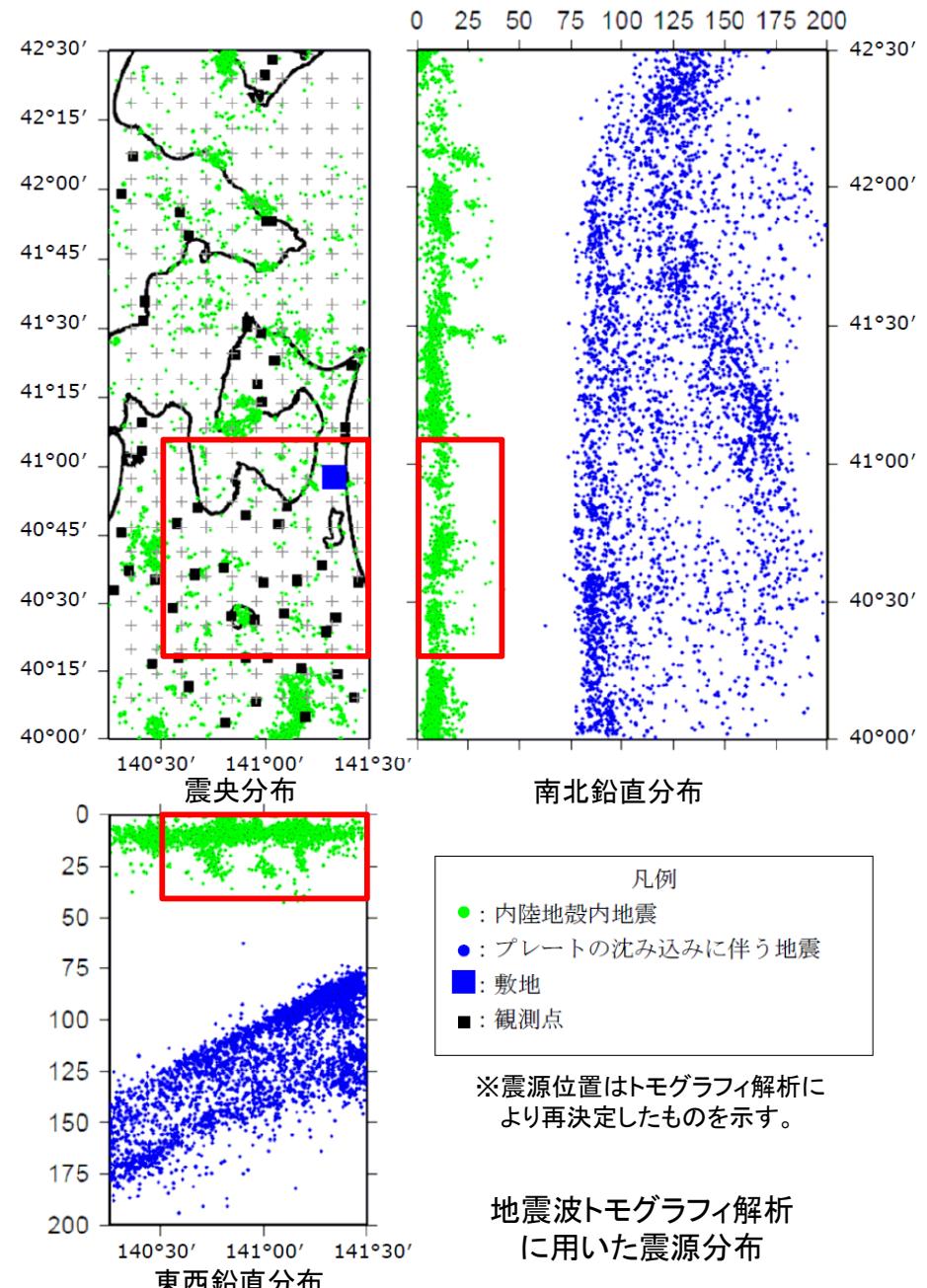


4.4 八甲田山(地下構造) 【地震波速度構造④:当社解析結果】 解析に用いたデータ



【地震波トモグラフィ解析に用いたデータ】

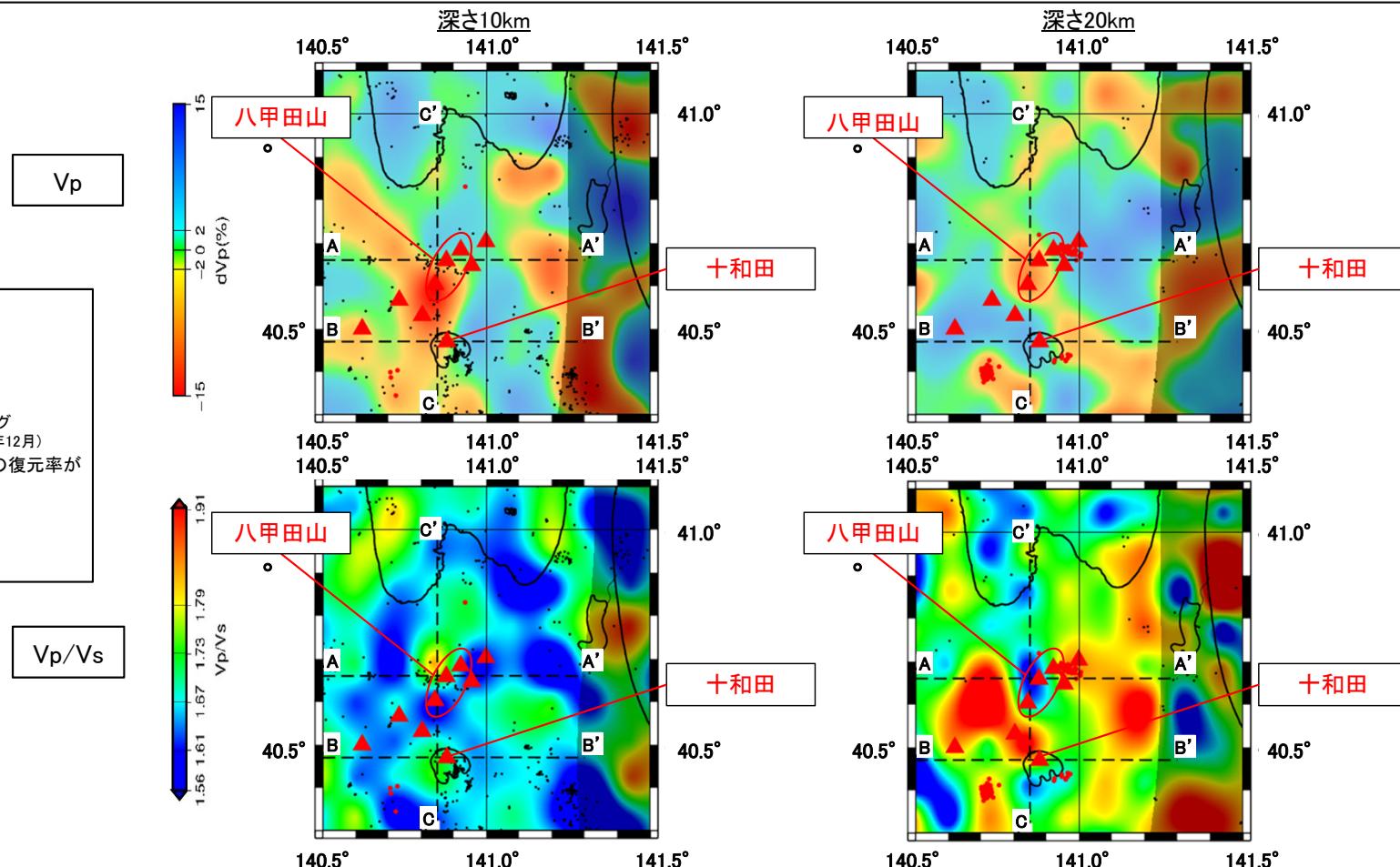
- Hi-netに加えて、東北大学等の独自の観測点を用いて、十和田及び八甲田山付近も含む地震波トモグラフィ解析を実施した。
- 解析に用いた地震の諸元は以下のとおりである。
 - ・地震観測期間: 1997年10月～2007年3月
 - ・地震数 : 9,085地震
 - ・観測範囲 : 右図の通り
 - ・解析結果の表示範囲
右図の赤枠の範囲
 - ・解析結果の表示範囲の解析グリッド間隔
 - 水平方向: 10km
 - 鉛直方向: 10km
 - ・解析結果の表示範囲の分解能
 - 水平方向: 20km
 - 鉛直方向: 20km



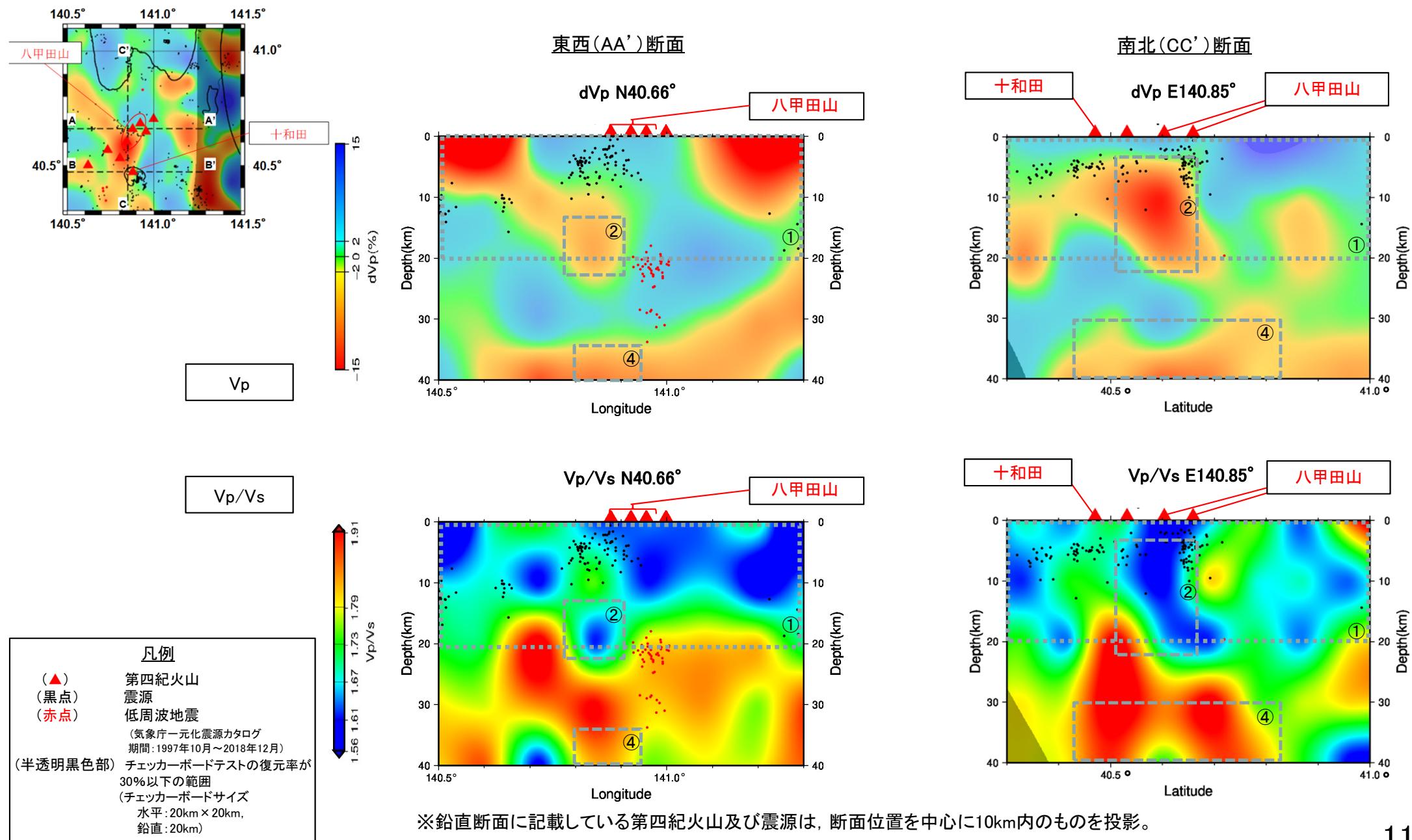
4.4 八甲田山(地下構造)【地震波速度構造④:当社解析結果】 水平断面



- 地震波トモグラフィ解析結果に基づくと、上部地殻内(約20km以浅)には、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は確認出来ない(次頁図中の①)。また、八甲田山の深さ10km～20km付近及び十和田と八甲田山の間の深さ5km～20km付近に低Vpかつ低Vp/Vsの領域(次頁図中の②及び③)が確認される。加えて、八甲田山の深さ30km付近～40kmにかけて、低Vpかつ高Vp/Vsの領域(次頁図中の④及び⑤)が確認される。以上から、八甲田山直下については次のように解釈できる。
- ・上部地殻内(約20km以浅)には、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。これは、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(2022年度版)」の地震波トモグラフィ解析結果と整合的である。
- ・深さ5km～20km付近で見られる低Vp領域は、低Vp/Vsであることから水が存在する可能性がある。これは、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(2022年度版)」の地震波トモグラフィ解析結果と整合的である。
- ・最上部マントルにあたると考えられる深さ30km付近～40kmは、低Vpかつ高Vp/Vsの領域であることからマグマ等の流体が存在する可能性がある。これは、Nakajima et al.(2001)の結果と整合的である。



4.4 八甲田山(地下構造) 【地震波速度構造④:当社解析結果】 鉛直断面



4.4 八甲田山(地下構造)【比抵抗構造:小川(1991)】

小川(1991)において、八甲田地域のMT法データを用いて、以下のとおり八甲田山の深部比抵抗構造に関する考察が示されている。

■二次元解析に使用したデータ

測線位置:(HKK2測線)北八甲田火山群及び八甲田カルデラを通る東西方向 (HKK4測線)南八甲田火山群を通る東西方向

二次元解析に使用した観測点:全観測点50点のうち、HKK2測線は9点、HKK4測線は9点。

周期:1/100秒~128秒

その他: Ogawa(1987)で示されているような周囲の広域的な比抵抗構造の影響も考慮するために調査地域の外側もモデル化されている。

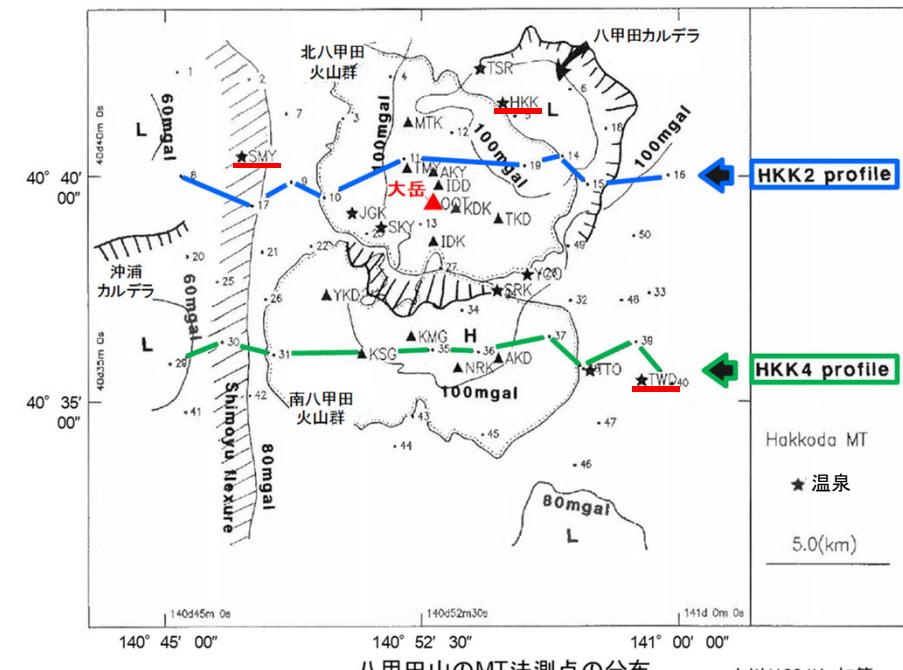
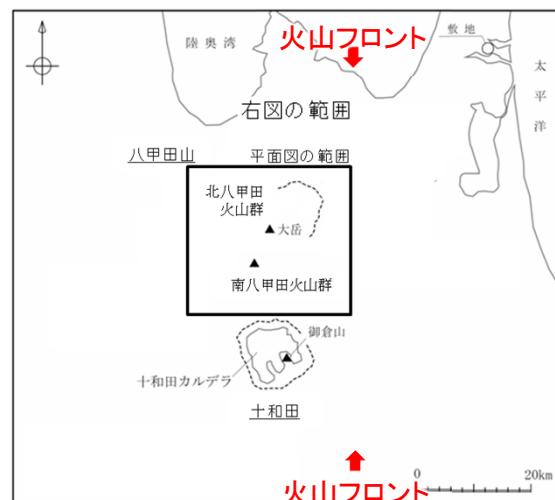
■インダクションベクトル(次頁)

- 周期64秒では津軽海峡の誘導電流の影響で北向き成分が卓越するとしているが、調査域の東半分のインダクションベクトルの北向き成分が小さいことから深部に低比抵抗異常が存在することを示唆している。これはOgawa(1987)の東北日本弧スケールの広域的な検討による火山フロント付近の低比抵抗異常を表しているとしている。
- 周期1/8秒では、見掛け比抵抗等から八甲田温泉(HKK)付近と下湯温泉(SMY)から十和田温泉(TWD)方向へ北西一南東方向の地熱兆候に沿って延びる低比抵抗が認められるが、インダクションベクトルでは北西一南東方向の低比抵抗帯を追跡できないことから、局所的な浅部の低比抵抗をたまたまサンプリングしていることによる可能性が高いとしている。

■二次元比抵抗構造(次次頁)

- 八甲田地域の深度10km以深に低比抵抗帯が存在するとしている。

→八甲田山地域の深度10km以浅には、顕著な低比抵抗領域は認められない。

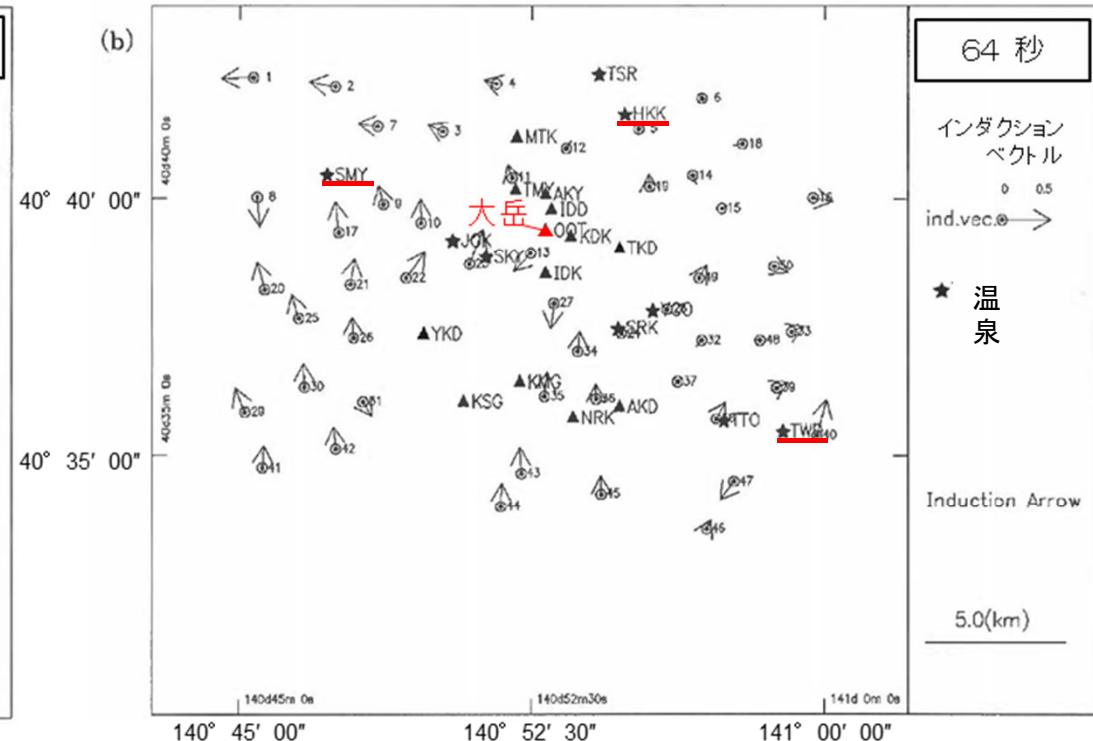
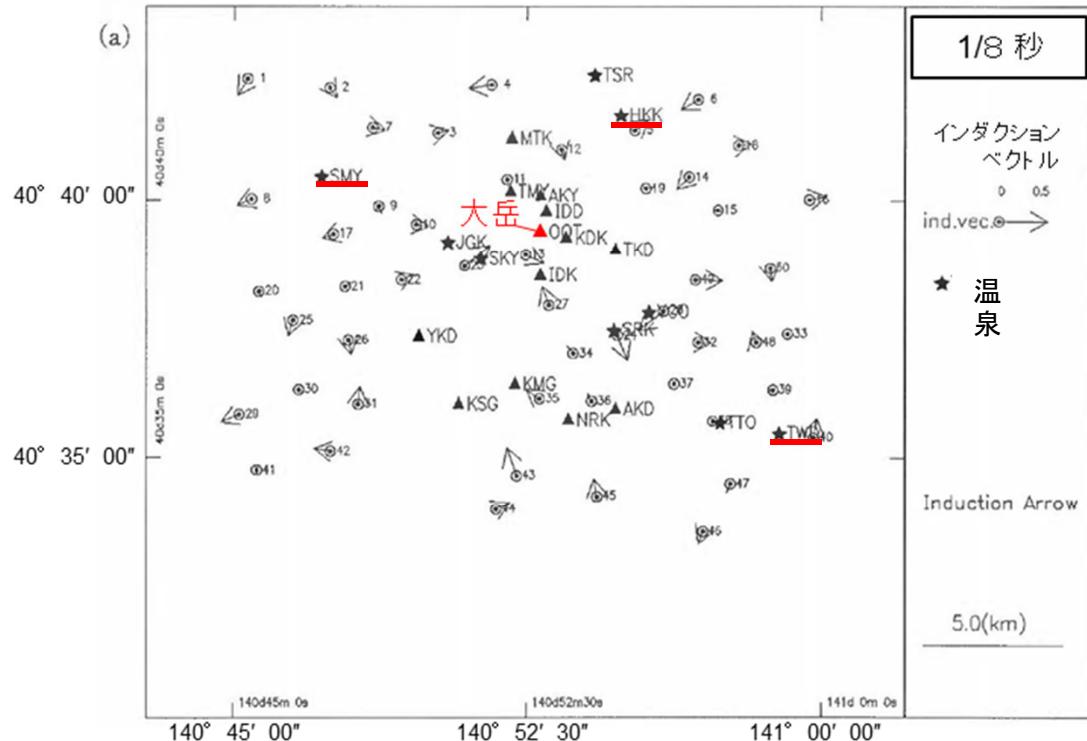
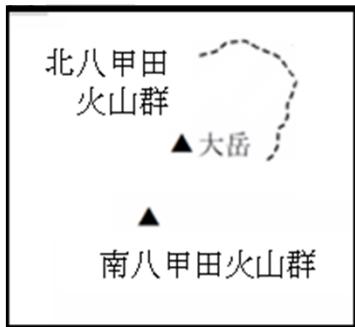


八甲田山のMT法測点の分布
小川(1991)に加筆

4.4 八甲田山(地下構造) 【比抵抗構造:小川(1991)インダクションベクトル】

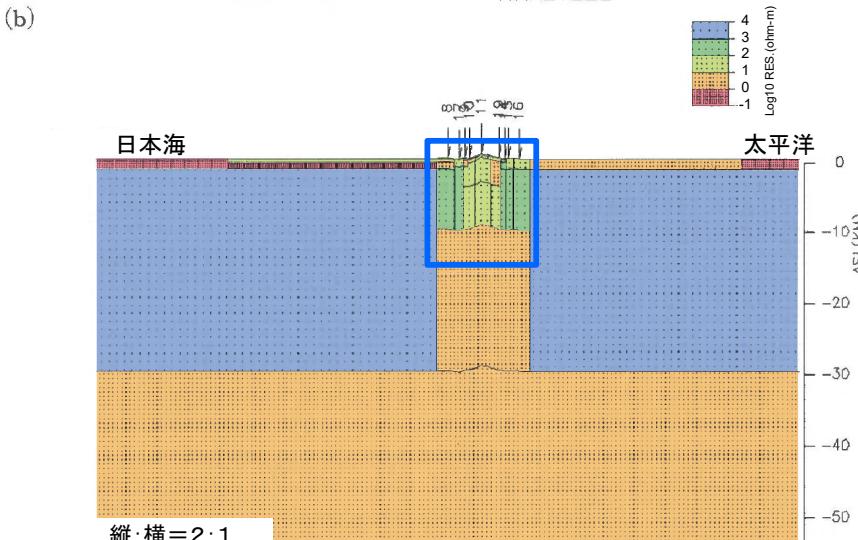
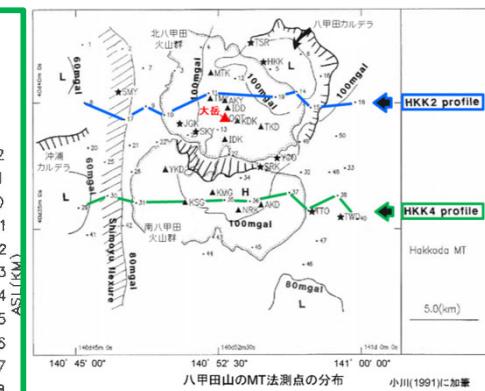
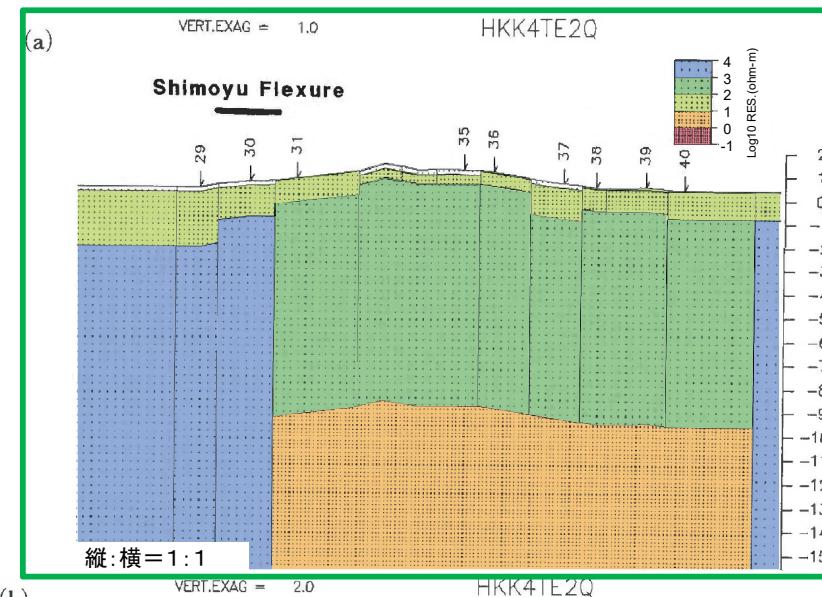
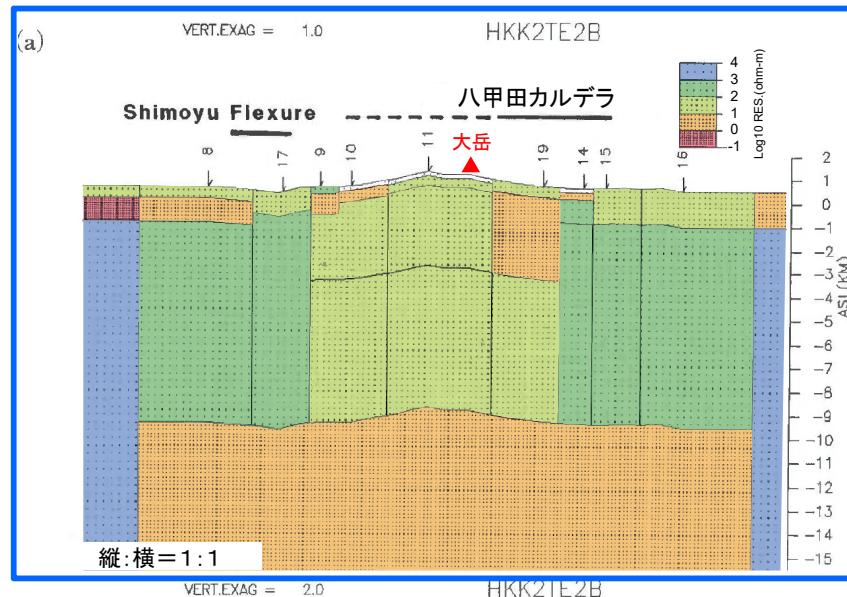


下図の範囲

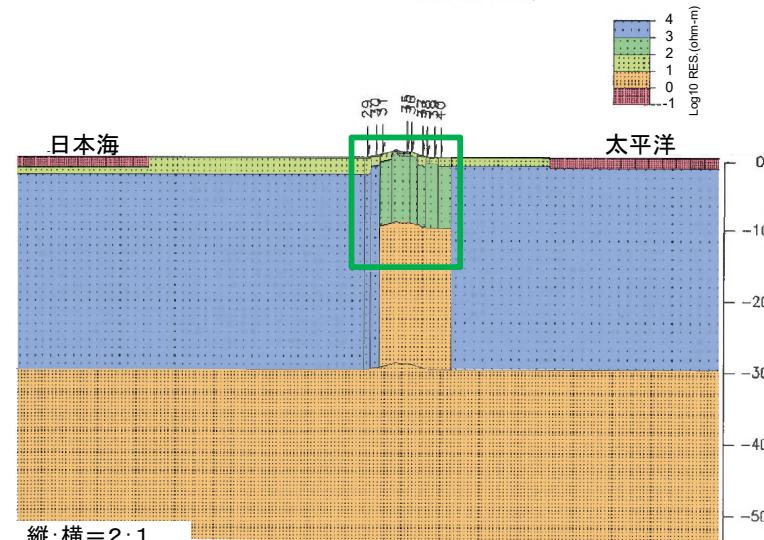


インダクションベクトルの実部の分布

4.4 八甲田山(地下構造) 【比抵抗構造:小川(1991)鉛直断面】



北八甲田火山群と八甲田カルデラを切る
測線(HKK2)の比抵抗構造



南八甲田火山群を切る測線(HKK4)の比抵抗構造
小川(1991)に加筆・塗色

4.4 八甲田山(地下構造)【まとめ】

[地震波速度構造]

- ・中島(2017)によると、東北地方の火山地域の地殻にはいくつかの共通する特徴が存在するとしており、上部地殻内には大規模な(>10km)マグマ溜まりは存在しないとしている。
- ・防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果からは、八甲田山直下の上部地殻内(約20km以浅)には、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。深さ10km～15km付近で見られる低Vp領域は、低Vp/Vsであることから水が存在する可能性があると解釈できる。
- ・当社解析結果から、上部地殻内(約20km以浅)には、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。また、深さ5km～20km付近で見られる低Vp領域は、低Vp/Vsであることから水が存在する可能性がある。これらは、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(2022年度版)」の地震波トモグラフィ解析結果と整合的である。

[比抵抗構造]

- ・周期64秒では津軽海峡の誘導電流の影響で北向き成分が卓越するとしているが、調査域の東半分のインダクションベクトルの北向き成分が小さいことから深部に低比抵抗異常が存在することを示唆している。これはOgawa(1987)の東北日本弧スケールの広域的な検討による火山フロント付近の低比抵抗異常を表しているとしている。周期1/8秒では、見掛け比抵抗等から八甲田温泉(HKK)付近と下湯温泉(SMY)から十和田温泉(TWD)方向へ北西～南東方向の地熱兆候に沿って延びる低比抵抗が認められるが、インダクションベクトルでは北西～南東方向の低比抵抗帯を追跡できないことから、局所的な浅部の低比抵抗をたまたまサンプリングしていることによる可能性が高いとしている。二次元比抵抗構造からは、八甲田地域の深度10km以深に低比抵抗帯が存在するとしている。



- ・地殻内に推定される低速度及び低比抵抗領域の拡大または消滅、新たな低速度及び低比抵抗領域が出現したとする科学的知見は認められない。
- ・八甲田山直下の上部地殻内の10km以深は低比抵抗領域であるが、その領域は低Vpかつ低Vp/Vsであることから、上部地殻内に大規模なマグマ溜まりの存在を示唆する顕著な低速度・高Vp/Vsかつ低比抵抗領域は認められない。

4.5 八甲田山(総合評価)

地震活動

- ・観測期間を通じて、北八甲田火山群の大岳付近から南八甲田火山群にかけての地域、北八甲田火山群西方及び八甲田カルデラ付近に震源を有する地震が観測され、通常の地震は深さ約10km以浅、低周波地震は八甲田カルデラから東方にかけての深さ約19km～約35kmに震源を有する。
- ・2023年度では、M0.5以上の通常の地震が23回観測された。低周波地震は観測されていない。
⇒震源分布及び発生頻度等に大きな変化はなく、地震活動の活発化を示唆する顕著な変化は認められない。

【判断基準】
超過なし

地殻変動

〔GNSS観測データ〕

- ・八甲田山を中心とした地域では、系統的な変位の累積及び急激な変位は認められず、基線長変化では、余効変動を超える継続的な変位の累積は認められない。

【判断基準】
GNSS観測:
超過なし

〔水準測量データ〕

- ・2018年、2019年及び2022年に実施した水準測量の結果からは、八甲田山を中心とした顕著な地殻変動の傾向は認められない。

〔干渉SAR解析〕

- ・干渉SAR解析の結果からは、八甲田山を中心とした顕著な変動は認められない。

〔傾斜計データ〕

- ・2023年4月～2024年3月の傾斜計データからは、火山活動によると考えられる顕著な傾斜変動は認められない。

火山ガス・熱活動、噴出場所及び噴出物、噴火様式(公的機関の発表情報)

- ・噴火は発生しておらず、警戒情報も発信されていない。期間を通して、噴火警戒レベル1(活火山であることに留意)が継続した。
- ・2023年9月～10月に大岳山頂の西約5km、深さ約3km付近を震源とする火山性地震の一時的な増加がみられた。これ以外の期間では、火山活動に特段の変化はなく、静穩に経過しており、噴火の兆候は認められない。

【判断基準】
公的機関の
発表情報(噴火):
超過なし

地下構造

- ・八甲田山直下の上部地殻内の10km以深は低比抵抗領域であるが、その領域は低Vpかつ低Vp/Vsであることから、上部地殻内に大規模なマグマ溜まりの存在を示唆する顕著な低速度・高Vp/Vsかつ低比抵抗領域は認められない。



総合評価

観測データに有意な変化はなく警戒レベルは「平常」

5. 判断基準の見直しについて

5.1 地震活動の判断基準の見直しについて

- 通常地震について、十和田で2023年7月に群発した地震の多くがM1未満であったことを踏まえ、地震のM1以上の発生回数とする判断基準の見直しを目的として、Mcを用いた検討を行った。以下、2022年度まで適用していた判断基準設定根拠を示す。
- 通常地震は、十和田及び八甲田山を囲む範囲における検知能力($Mc=0.5$)^{*1}を考慮し、M1以上の通常地震を対象としていた。

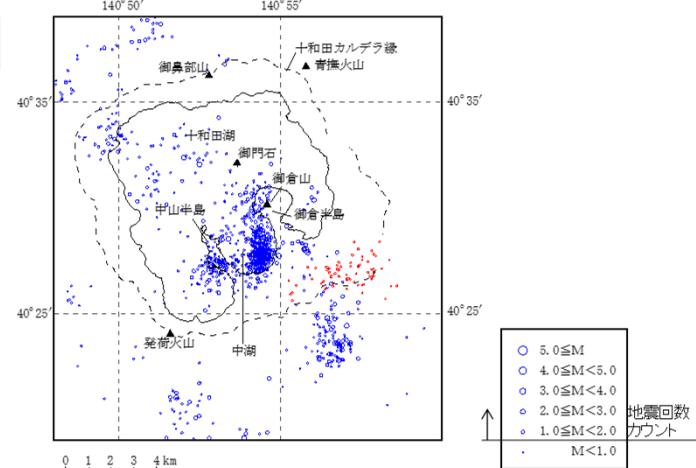
【十和田】

- 過去の最多発生回数(2014年1月の115回/月)とそれに伴う噴火実績がないことを踏まえ、M1以上の通常地震120(回/月)を判断基準としていた。
- 低周波地震は、低頻度(最多6回/月)であり統計的な検討には不十分なため、発生実績より1オーダー大きい30(回/月)を判断基準としていた。

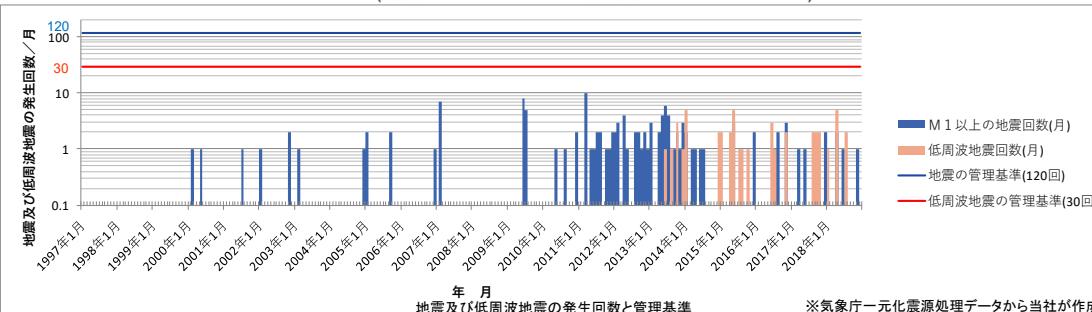
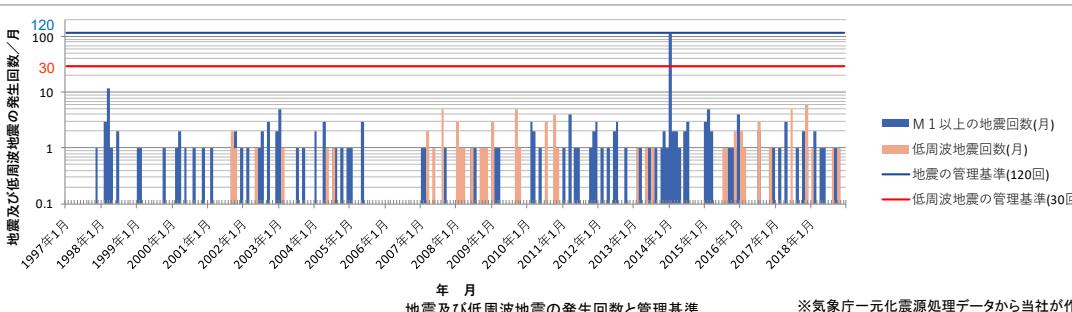
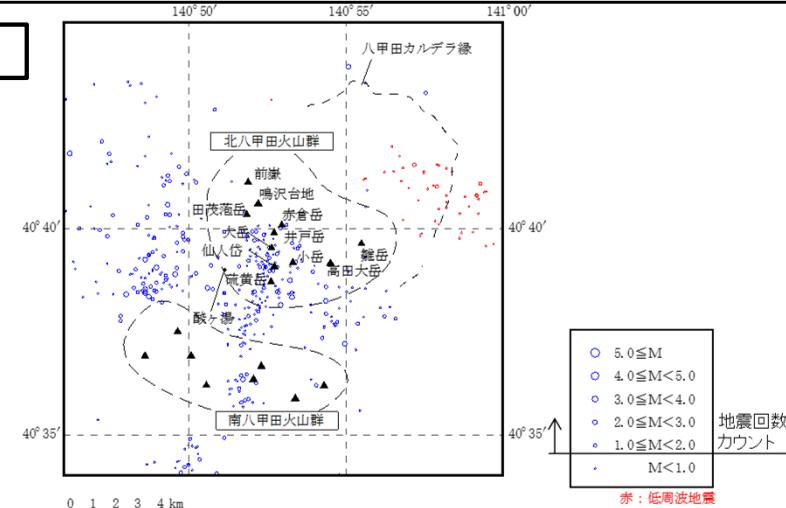
【八甲田山】

- 十和田に比べ低頻度(最多でM1以上の通常地震10回/月、低周波地震5回/月)であり、独自に判断基準を設定することが困難であったため、十和田一八甲田火山地域のカルデラとして類似した十和田の判断基準を援用している。

十和田

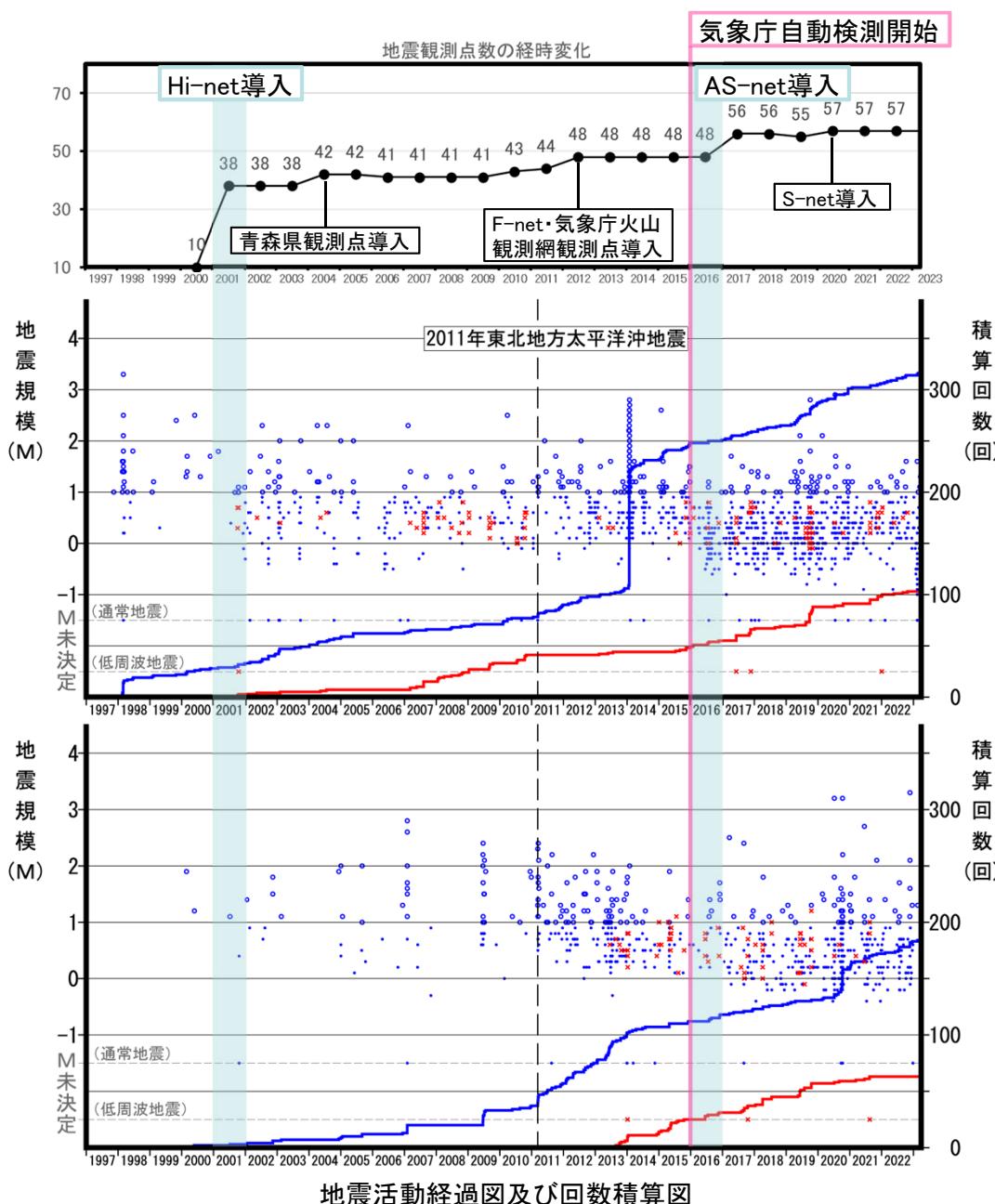


八甲田山



*1: Wiemer and Wyss(2000)に基づきMcを算出した。

5.1 地震活動の判断基準の見直しについて



【地震観測網と検知能力の経時変化】

【地震観測網の変化】

- 気象庁一元化震源の観測点リストから、東経 140° ~ 142° 、北緯 40° ~ 41° の範囲内にある観測点数の変化を確認した。
- 観測網が変化したのは、2001年のHi-net導入、2010~2012年にかけてのF-net・火山観測網導入、2017年のAS-net導入、2020年のS-net導入のタイミングであった。
- このうち、十和田・八甲田山周辺のF-net・火山観測網は一元化に取り入れられていないこと、S-netは太平洋上の海域観測網であることから、十和田・八甲田山周辺における検知能力への寄与は小さいと考えられる。

【検知能力の変化】

十和田

- 2001年と2016年に、観測される地震のマグニチュードの下限が変化しているように見える。
- 前者は、Hi-netの導入によるものと考えられる。
- 後者に対する観測網の変化はないが、気象庁が自動検測を開始した時期であり、検測方法の差によるものと考えられる。

八甲田山

- 2011年東北地方太平洋沖地震前後に微小地震の検知数が変化し、2016~2017年頃からM0以下の地震も検知されるようになっている。
- 前者は、この時期に観測網の大きな変化はなく、観測網の変化による検知能力の向上が寄与したものではないと考えられる。
- 後者は、自動検測によるものか、AS-netの導入によるものかは不明である。八甲田山北西部にAS-net観測点があるため、これの寄与の可能性がある。

- 通常地震
- ✗ 低周波地震

・通常地震の回数積算図はM1以上を抽出

5.1 地震活動の判断基準の見直しについて

【地震検知能力(Mc)の概要】

- 漏れなく地震を検知するマグニチュードの下限をMc (Magnitude completeness) という。
- Wiemer & Wyss (2000)によるMcの計算方法(goodness-of-fit method)は以下のとおりである。

- ・マグニチュードMの頻度分布は、下記のゲーテンベルグ-リヒターの式(G-R式)で表される。

$$\log_{10} N = a - bM$$

- ・このことを利用し、マグニチュード別の地震回数の積算曲線が直線からずれる点を、漏れなく地震を検知するマグニチュードの下限(Mc: Magnitude completeness)として求める(右上図参照)。

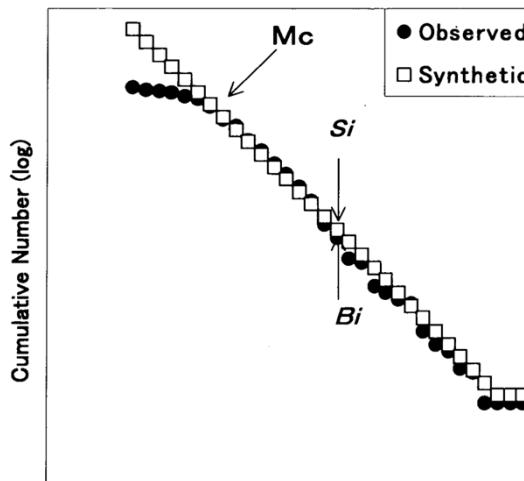
- ・ M_i 以上の地震について、マグニチュードの積算が曲線からずれる程度を次式のRにより表し、これをMcの適合度(goodness-of-fit)と定義されている。

$$R(a, b, M_i) = 100 - \left(\frac{\sum_{i=M_i}^{M_{\max}} |B_i - S_i|}{\sum_{i=M_i}^{M_{\max}} B_i} \cdot 100 \right)$$

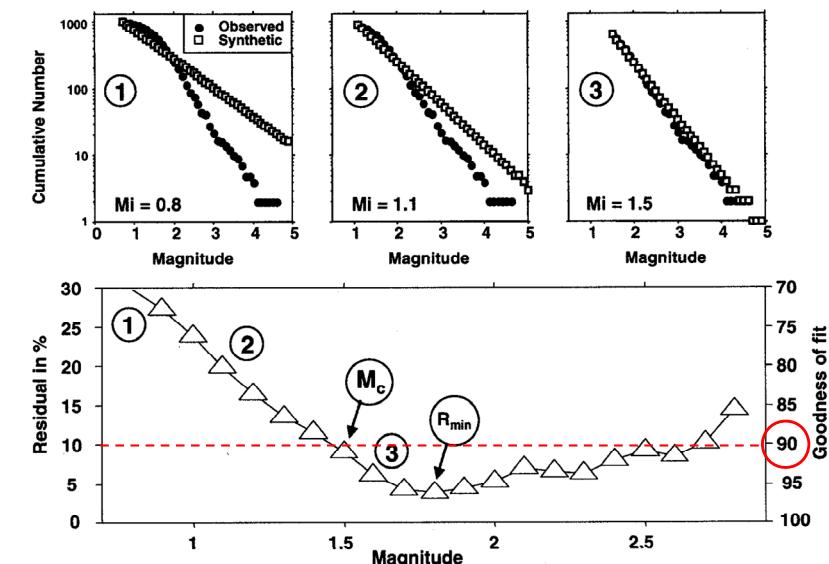
- ・ここで、 B_i 、 S_i はそれぞれ M_i 以上の地震における、マグニチュードの*i*番目の階級 M_i までに観測された積算地震回数と、G-R式から予測される積算地震回数を示す。

また、係数 a 、 b は、 M_i 以上の地震データから求められたG-R式の定数を、 M_{\max} は、マグニチュードの最大の階級を表す。

- ・ M_i を変化させるについて、適合度Rは変化するが、Wiemer & Wyss (2000)では、 M_i を小さい方から次第に増加させ、適合度が90%に達した時をMcとしている(右下図参照)。



Mcを求める概念図
太田ほか(2002)



適合度Rを基にMcを推定する方法の概念図

Wiemer & Wyss (2000)に加筆

5.1 地震活動の判断基準の見直しについて

【通常地震の検知能力(Mc)の経時変化】

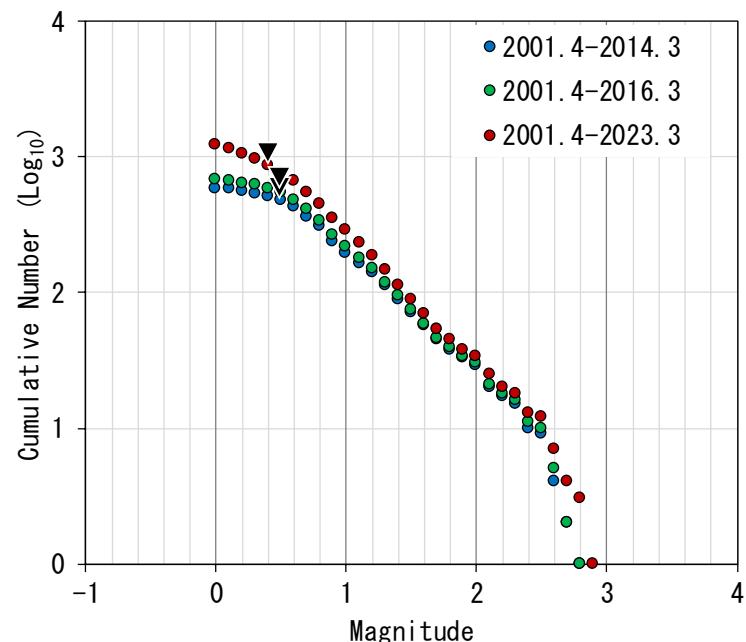
十和田

- 2001年のHi-net導入以降, ① 2014年3月まで(2014年1月の群発地震を含む期間), ② 2016年3月まで(気象庁自動検測開始前), ③ 2023年3月までの期間でMcを求めた。
- その結果, Mcは① 0.5, ② 0.5, ③ 0.4であった。
- 気象庁が自動検測を開始したことで検知能力が向上したと考えられる。

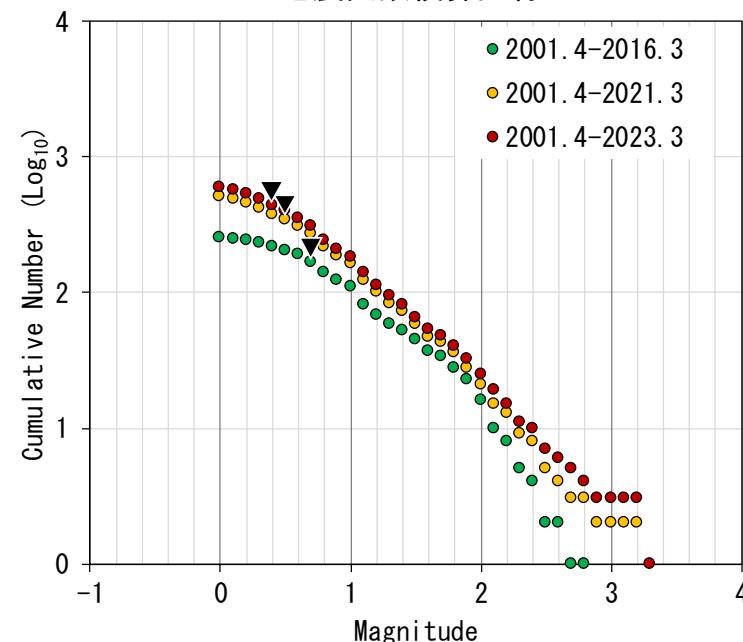
八甲田山

- 2001年のHi-net導入以降, ① 2016年3月まで(気象庁自動検測開始前), ② 2021年3月まで(2020年7月, 9~10月の群発地震を含む期間), ③ 2023年3月までの期間でMcを求めた。
- その結果, Mcは① 0.7*, ② 0.5, ③ 0.4であった。
- 気象庁が自動検測を開始したこと, またはAS-net導入によって検知能力が向上したと考えられる。

地震回数積算曲線



地震回数積算曲線



火山	十和田		
期間	2001年4月～2014年3月	2001年4月～2016年3月	2001年4月～2023年3月
Mc	0.5	0.5	0.4

火山	八甲田		
期間	2001年4月～2016年3月	2001年4月～2021年3月	2001年4月～2023年3月
Mc	0.7*	0.5	0.4

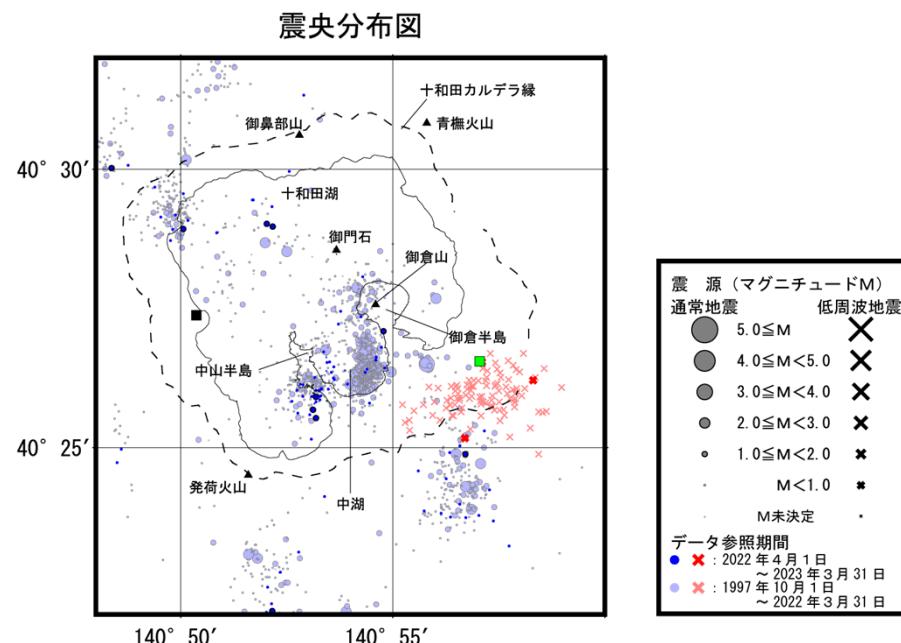
・観測範囲内の深さ40kmまでの通常地震を抽出した。・Wiemer & Wyss(2000)に基づき, M_i を小さい方から次第に増加させ, 適合度(Goodness of fit)が90%に達した時をMcとした。
※適合度(Goodness of fit)が90%に達しなかったため, 適合度が最も高い時(R_{min})のMをMcとした。

5.1 地震活動の判断基準の見直しについて

【判断基準の見直し(十和田)】

- 過去の実績に基づいた判断基準を設定するため、十和田カルデラを囲む範囲(東西約17km、南北約19km)を震源とする通常地震及び低周波地震を抽出した。
 - 通常地震については、2023年7月に群発した地震の多くがM1未満であったことを踏まえ、微小な地震も検出することを目的として、 $M_c=0.5$ 以上の地震を抽出した(過去の最多発生回数を観測した2014年1月を含む期間の M_c とした)。
 - 低周波地震については、2022年度までの累積回数が103回、そのすべてがM1以下であり、統計的な検討には不十分なため、すべてのMの地震を抽出した。
- M0.5以上の通常地震
- ・過去最大として、2014年1月に268(回/月)の地震が発生した。
 - ・2023年7月に56(回/月)の地震が発生した。
- 低周波地震
- ・過去最多として、2019年9月に8(回/月)の低周波地震が発生した。
- また、観測期間中に噴火の実績はなかった。

5.1 地震活動の判断基準の見直しについて



地震の発生回数とそれに伴う噴火実績がないことを踏まえ、以下のように地震活動の判断基準を見直す。

■通常地震

変更後: M0.5以上

270回/月 (2014年1月のM0.5以上地震回数
(268回/月)とほぼ同値)

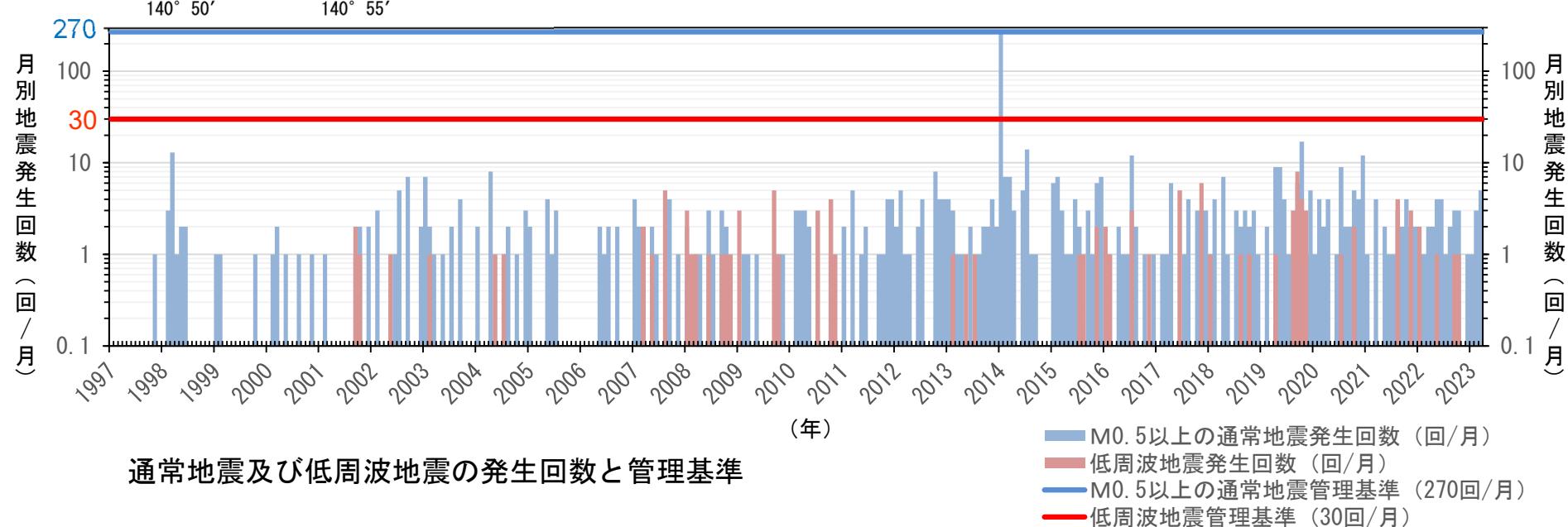
変更前: M1以上

120回/月 (2014年1月のM1以上地震回数
(115回/月)とほぼ同値)

(参考)変更なし

■低周波地震

: 30回/月 (低周波地震発生時の回数
(~8回/月)より1オーダー大きい)



5.1 地震活動の判断基準の見直しについて

【判断基準の設定見直し(八甲田)】

- 過去の実績に基づいた判断基準を設定するため、八甲田山(北八甲田火山群、八甲田カルデラ、南八甲田火山群)を囲む範囲(1辺約20km)を震源とする通常地震及び低周波地震を抽出した。
- 通常地震については、十和田と同様に微小な地震も検出することを目的として、 $M_c=0.5$ 以上の地震を抽出した(過去の最多発生回数を観測した2020年10月を含む期間の M_c とした)。
- 低周波地震については、2022年度までの累積回数が63回、そのほとんどがM1以下であり、統計的な検討には不十分なため、すべてのMの地震を抽出した。

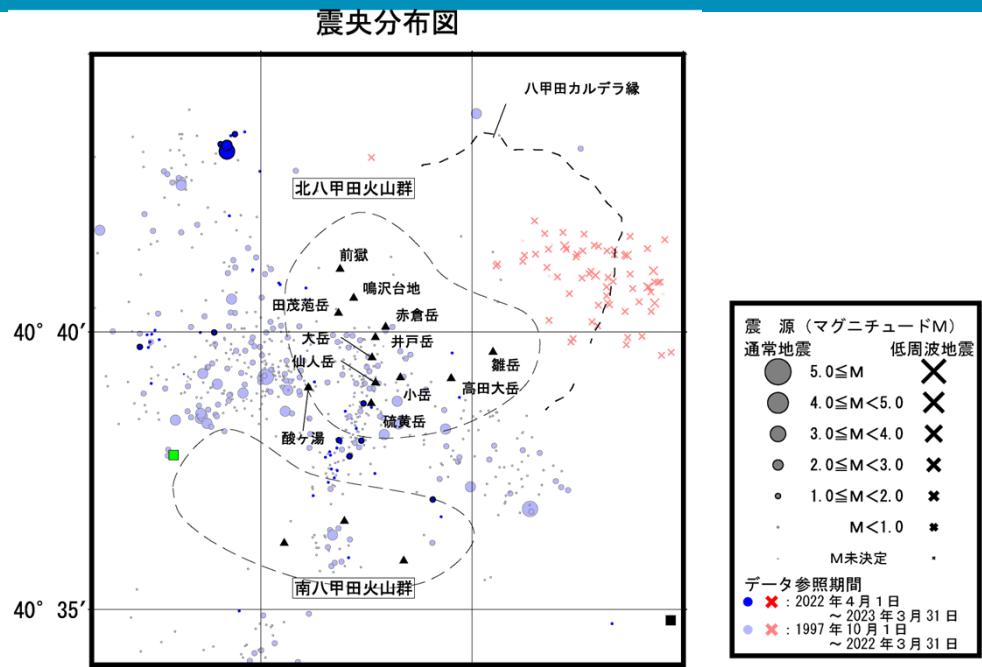
■ M0.5以上の通常地震

- ・過去最多として、2020年10月に38(回/月)の地震が発生した。
 - 気象庁の火山活動解説資料(2020年10月)によると、火山性地震は少ない状態で経過し、火山性微動は観測されないとされている。

■ 低周波地震

- ・過去最多として、2014年1月、2015年5月、2018年4月、2019年6月に5(回/月)の低周波地震が発生した。
- また、観測期間中に噴火の実績はなかった。

5.1 地震活動の判断基準の見直しについて



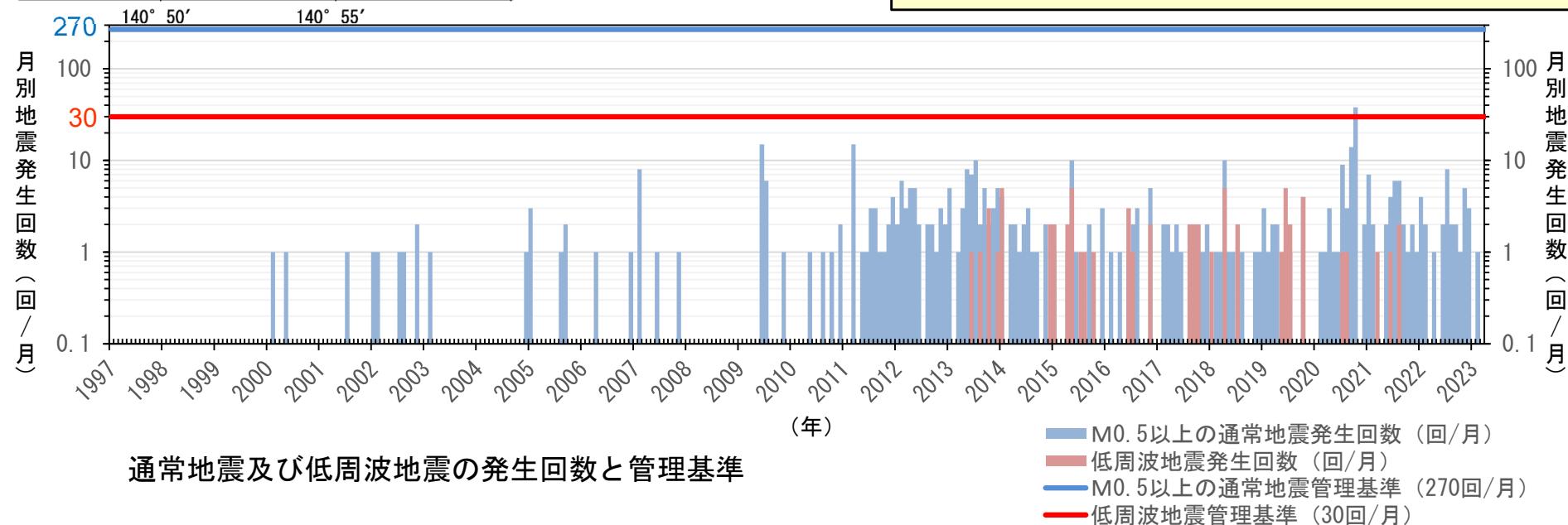
八甲田山は十和田と比較して地震発生回数が少なく、顕著な地震活動の実績が無いこと、また噴火実績がないことを踏まえ、十和田の判断基準を援用し、以下のように地震活動の判断基準を見直す。

- 通常地震
変更後:M0.5以上
270回/月(十和田と同じ)

- 変更前:M1以上
120回/月 (十和田と同じ)
(参考)変更なし

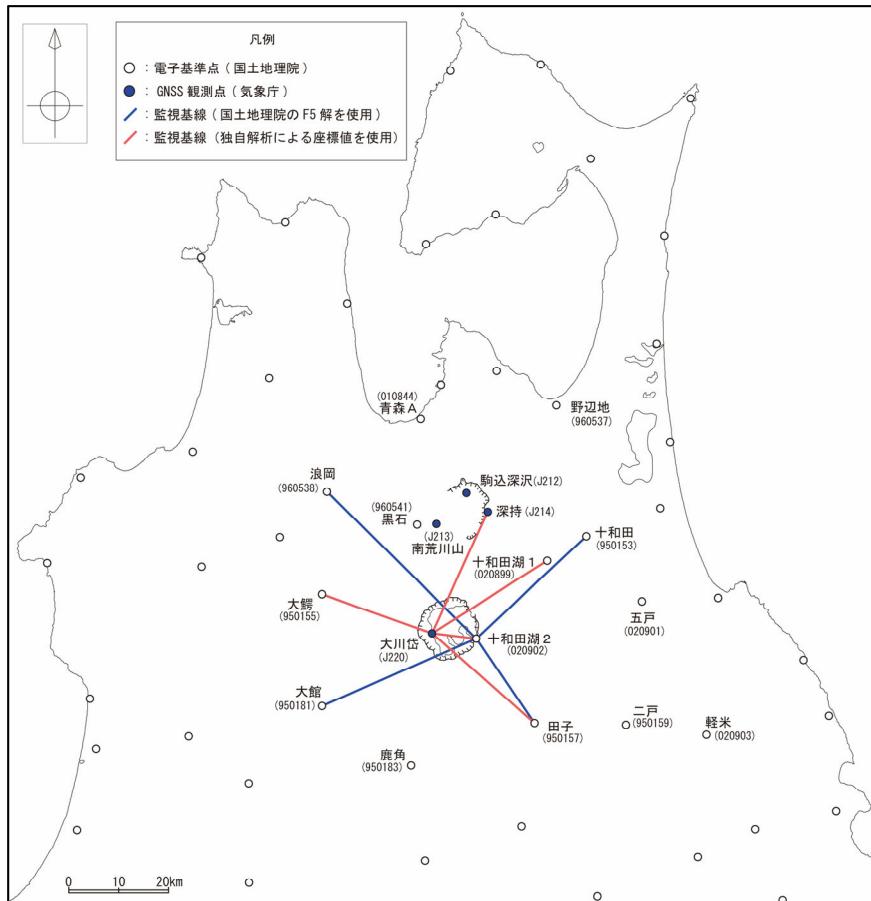
- 低周波地震
：30回/月（低周波地震発生時の回数
（～5回/月）より1オーダー大きい）

地震活動の判断基準の見直し内容について、火山専門家および社内委員会に問題ないことを確認した。

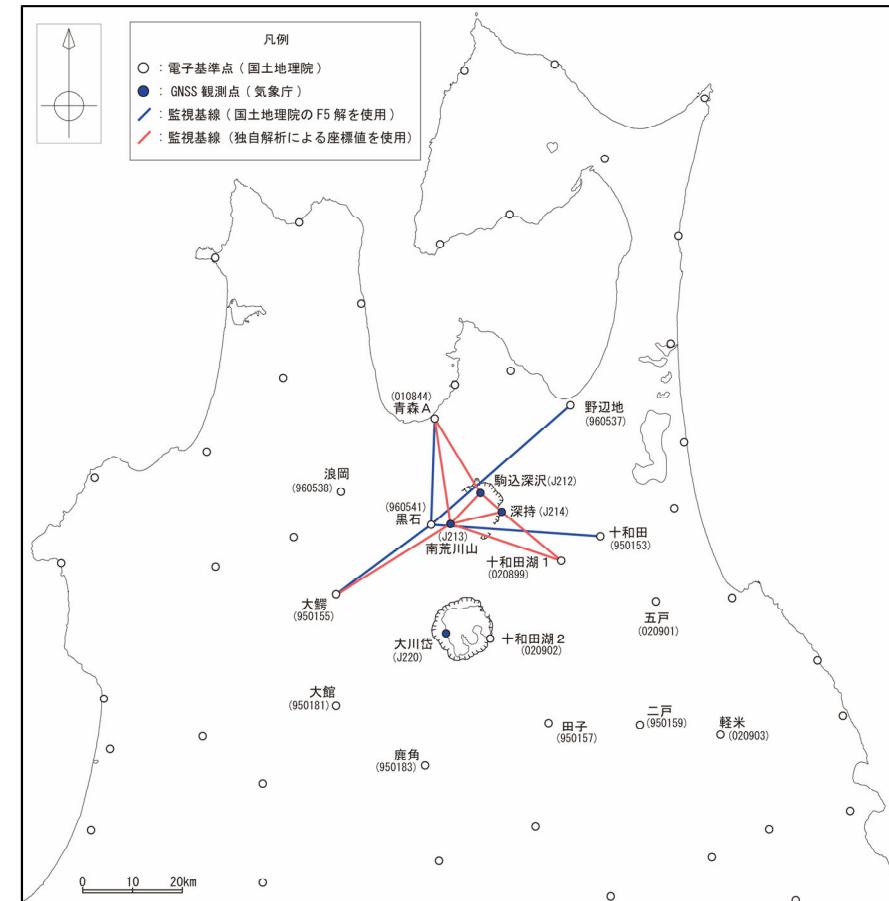


5.2 地殻変動の判断基準の見直しについて

- 昨年度までの当社による十和田及び八甲田山の地殻変動観測に用いていた基線は、国土地理院の電子基準点(F5解を使用)のうち、十和田及び八甲田山の近傍(それぞれ電子基準点「十和田湖2」及び「黒石」を中心に、それぞれ麓の4点を用いた4基線としていた。
- 監視精度の向上を目的に、十和田及び八甲田山の近傍に気象庁が設置しているGNSS観測点を追加して、各点における座標値の統合解析を当社独自に実施し、監視対象とする基線を追加した。
- 監視対象とする基線を、十和田は4基線から9基線に、八甲田山は4基線から12基線に変更し、各基線の基線長・比高それぞれに対して管理基準を新たに設定したうえで、基線数の増加を踏まえ、判断基準を2基線以上同時に7日間連続超過から、3基線以上同時に7日間連続超過に変更し運用する。



十和田を対象とした基線(図中赤色の基線が2023年度より追加)
※青色線は、国土地理院のF5解を用いて監視対象としている基線



八甲田山を対象とした基線(図中赤色の基線が2023年度より追加)
※青色線は、国土地理院のF5解を用いて監視対象としている基線

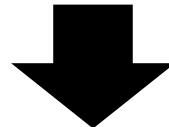
5.2 地殻変動の判断基準の見直しについて

【従来の基線長管理基準】

- ▶ 東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響を受けていることから、基線長変化量を木村ほか(2013)の知見に基づいて対数関数で近似し、日々の近似値と実際の基線長の差のばらつきの±3σを算出する(対象期間:2011年4月～2012年12月)。
- ▶ 管理対象年の前年1年間の基線長変化量を対数関数で近似し、評価対象年度に延長した上で、これを中心とする上記3σ幅を管理基準に設定した。

【従来の比高管理基準】

- ▶ 比高データのばらつきと年周変動の影響を取り除くため、日々の比高値から7日移動中央値の前年差分を算出する。
- ▶ 東北地方太平洋沖地震の影響を避けるため、地震前の6年間(2005年～2010年)の上記データから±3σを算出する。
- ▶ 管理対象年の前年1年間における上記データの平均値を、評価対象年度に延長した上で、これを中心とする上記±3σ幅を管理基準に設定した。



【新たな基線長管理基準】

- ▶ 基線長変化量は、東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響を受けている。木村ほか(2013), Tobita(2016)などにより、余効変動のモデルとして、対数や指數を使った式が提示されてきたが、Fujiwara et. al(2022)によれば、2015年に日本海溝沿いで発生した3回の地震の前後で、切片と定常隆起の示す項の値を変える必要がある。
- ▶ 以上から、Fujiwara et. al(2022)に示されたモデルに基づいて基線長変化量の近似式を求めた。なお、係数は、2013年から2014年の火山活動の一時的な活発化～2015年を除外したデータに最小二乗法を用いて設定した。
- ▶ 2016年4月～評価対象年度の前年度末(今回の場合は2023年3月末)を対象に、日々の実際の基線長変化量と上記近似式より求めた近似値の差のばらつきから±3σを算出した。
- ▶ 上記近似式を評価対象年度に延長し、これを中心とする上記±3σ幅を管理基準に設定した。

【新たな比高管理基準】

- ▶ 比高データのばらつきと年周変動の影響を取り除くため、日々の比高値から7日移動中央値の前年差分を算出する。
- ▶ 2016年4月～評価対象年度の前年度末(今回の場合は2023年3月末)の上記データから±3σを算出し、当年の管理基準に適用する。

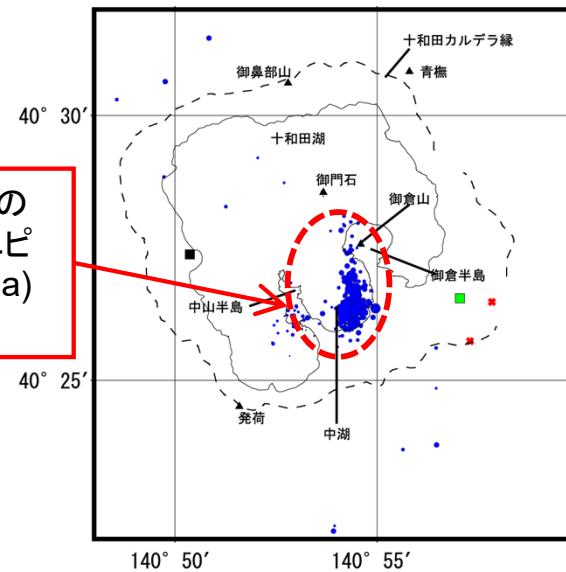
地殻変動の判断基準の見直し内容について、火山専門家および社内委員会に問題ないことを確認した。

余白

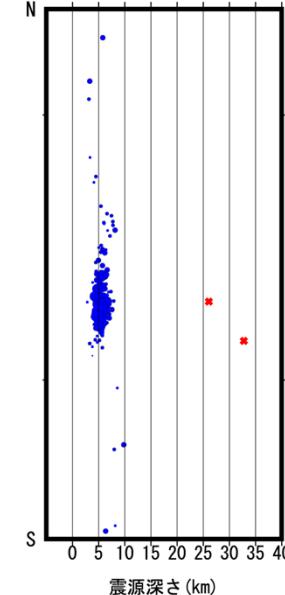
6. モニタリング評価結果に係る参考情報

6.1 地震活動の活発化事例 [十和田:2014年1月]

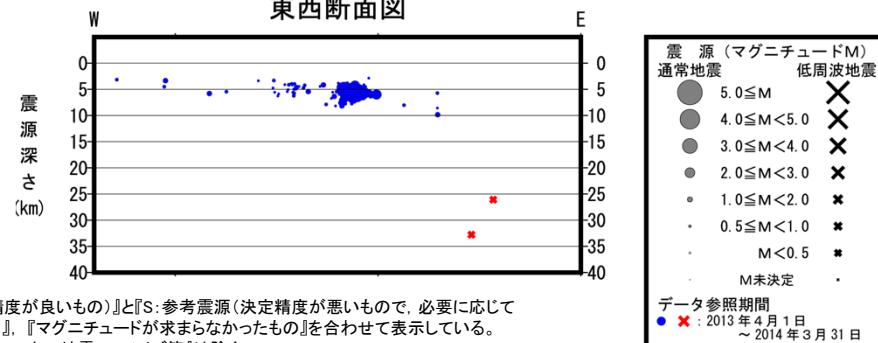
2013年度 震央分布図



南北断面図

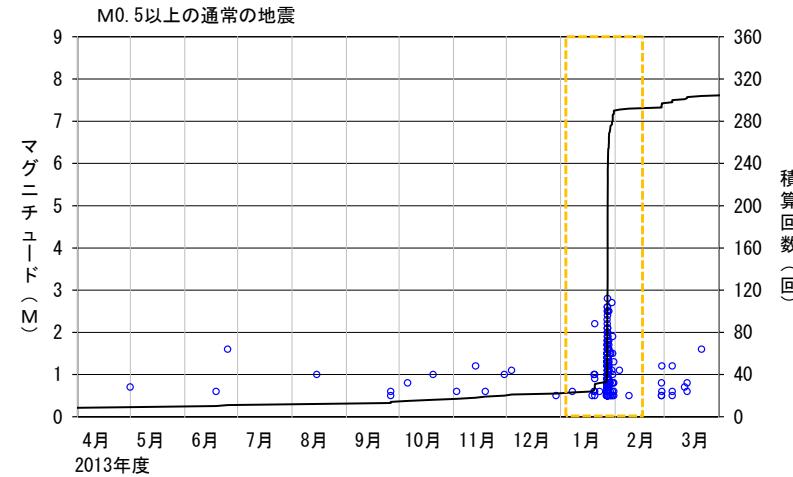


東西断面図

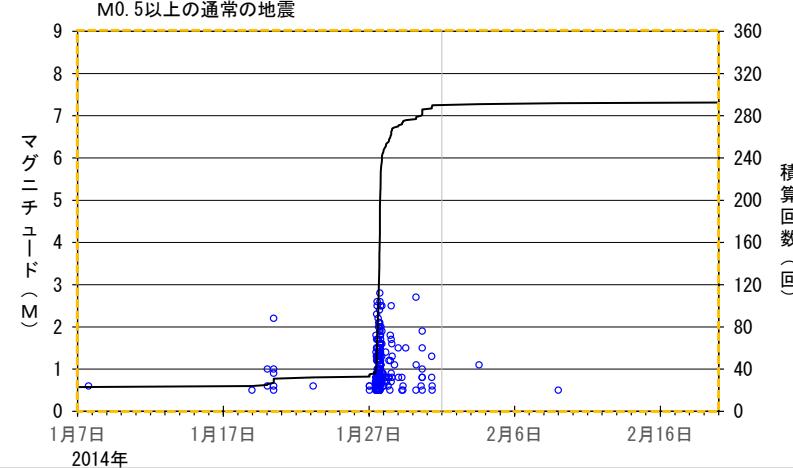


注)『K:気象庁震源(決定精度が良いもの)』と『S:参考震源(決定精度が悪いもので、必要に応じて参考にするためのもの)』、『マグニチュードが求まなかったもの』を合わせて表示している。
 ただし、『2:他機関依存、3:人工地震、4:ノイズ等』は除く。
 通常の地震回数はM0.5以上のものを積算している。低周波地震はMが求まなかったものを除いて積算している。

■ 地震活動経過図及び回数積算図(2023年度)



■ 地震活動経過図及び回数積算図(2024年1月7日~2月19日)

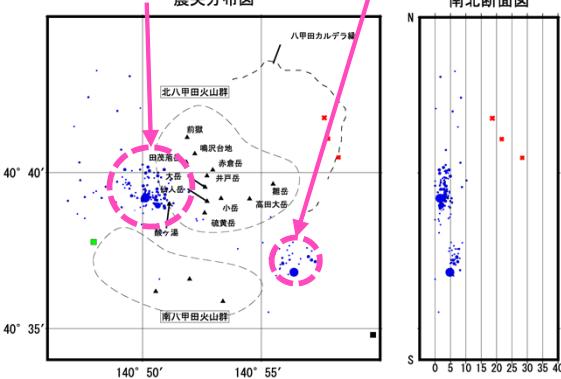


- 2014年1月にM0.5以上の通常の地震が268(回/月)観測された。地震は十和田の後カルデラ期の最新の噴火エピソード(十和田a)の火口である十和田湖中湖付近及びその周辺の震源深さ5km~10km付近に集中する一方で、低周波地震はそれよりやや深い25km~35km付近で発生している。
- 「十和田の火山活動解説資料(平成26年1月)」(気象庁, 2014)によると、2014年1月27日昼前から夜にかけて地震活動が活発な状況になったが、27日の夜から地震回数は減少し、2月に入つてからは概ね静穏な状況であり、低周波地震、火山性微動は観測されていないとしている。また、火山活動に特段の変化はなく、噴火の兆候は認められず、2007年12月1日の噴火予報(平常)の発表以降、予報警報事項に変更はないとしている。

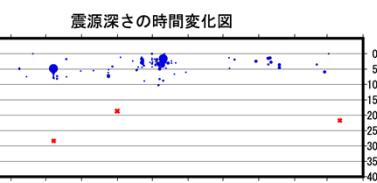
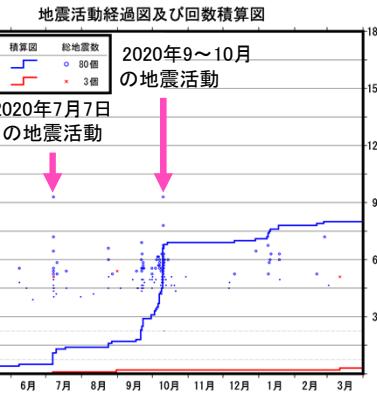
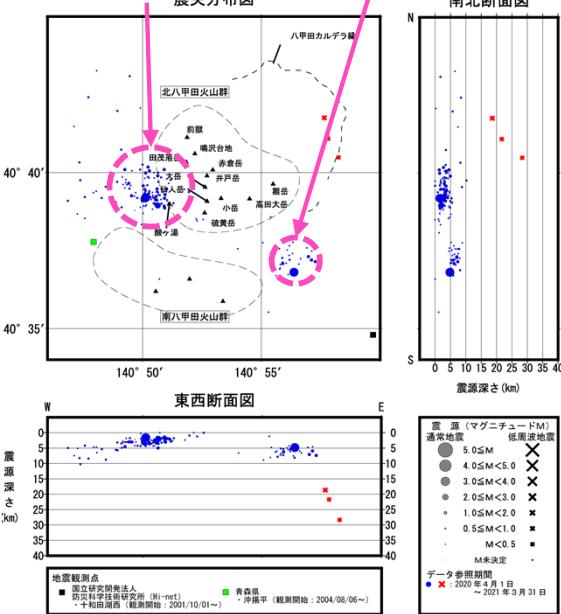
6.1 地震活動の活発化事例 [八甲田山:2020年]

■一元化震源処理データ(2020年度)

2020年9~10月の地震活動範囲
北八甲田火山群の火山体から
やや西方に位置する
震央分布図



2020年7月7日の地震活動範囲
北八甲田火山群の火山体から
やや南東に位置する
南北断面図



■気象庁(2021)

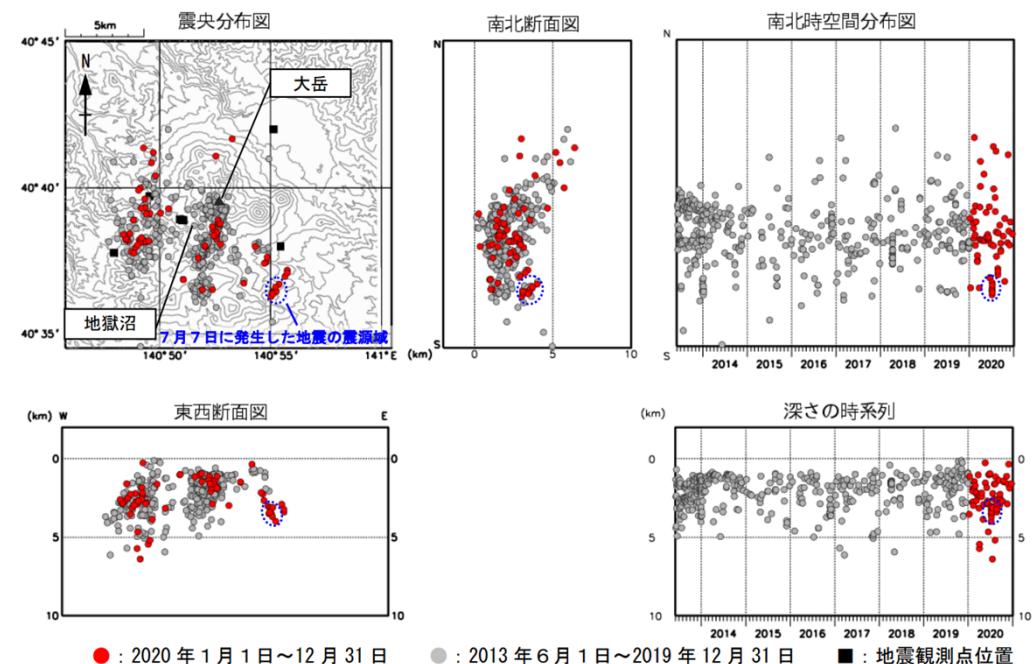


図 20 八甲田山 地震活動 (2013年6月～2020年12月)

注)・『K:気象庁震源(決定精度が良いもの)』と『S:参考震源(決定精度が悪いもので、必要に応じて参考にするためのもの)』『マグニチュードが求まらなかったもの』を合わせて表示している。
ただし、『2:他機関依存、3:人工地震、4:ノイズ等』は除く。
・通常の地震回数はM0.5以上のものを積算している。低周波地震はMが求まらなかったものを除いて積算している。

7月7日に大岳山頂の南東約6km付近でマグニチュード3.2の地震(青緑線)が発生しましたが、噴気活動、地殻変動等に変化はみられず火山活動の活発化は認められていません。

・気象庁(2021):令和2年(2020年)の八甲田山の火山活動

- 「令和2年(2020年)の八甲田山の火山活動」(気象庁, 2021)によると、2020年7月7日に大岳山頂の南東約6km付近を震源とする地震(最大マグニチュード3.2)が発生したとしている。噴気活動、地殻変動等に変化は見られず火山活動の活発化は認められないとしている。
- 「令和2年(2020年)の八甲田山の火山活動」(気象庁, 2021)によると、地震活動は概ね低調で、噴気活動及び地殻変動に特段の変化はなく、火山活動は静穏に経過したとしている。
- 2020年10月にM0.5以上の通常の地震が38(回/月)観測された。1997年以降の観測期間内において最多の地震数であった。

6.2 茂木モデルに基づく試算と地殻変動の判断基準の関係 【概要】

十和田及び八甲田山において、地殻変動が発生した際に観測されうる変動率を算出した。

前提条件：マグマ溜まりの位置の考え方

【水平位置の想定】

- ・十和田及び八甲田山ともにカルデラの概ね中央(中野ほか編(2013)WEB版を参照)

【鉛直位置】

- ・Nakatani et al.(2022)によれば、高温高圧実験の結果から、十和田における2度の巨大噴火を引き起こしたマグマは地下5~7kmに蓄積されていたことが示された。
- ・東宮(1997)によるマグマ中立点とSiO₂の関係によれば、珪長質マグマの浮力中立は概ね7kmとされる。
- ・マグマ溜まりの鉛直位置の違いの影響をあわせて把握するため、以上のようなマグマ溜まり深度に関する複数の知見を包含するように、鉛直位置は5km及び10kmの2パターンで設定した。



Kozono et al.(2013)式により、十和田及び八甲田山の地殻変動の監視対象としている基線における鉛直及び水平(斜距離)方向の地殻変動変動率を算出し、十和田及び八甲田山の判断基準(管理基準幅3σを3基線以上で超過)を上回るマグマ供給率を算出した。

供給率と鉛直・水平変位量との関係式(Kozono et al., 2013)

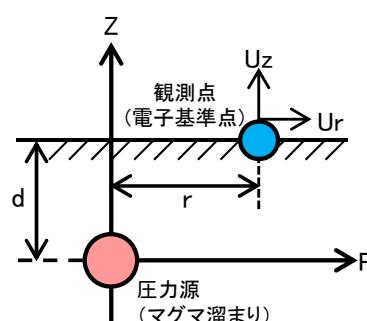
$$\Delta V_G = \frac{\pi}{1-\nu} \frac{(r^2 + d^2)^{3/2}}{d} u_z$$

鉛直

$$= \frac{\pi}{1-\nu} \frac{(r^2 + d^2)^{3/2}}{r} u_r$$

水平

ΔV_G : 圧力源の体積変化(km³) ν : ポアソン比
 r : 圧力源から観測点までの水平投影距離(km) d : 圧力源の深さ(km)
 U_r : 観測点の水平変位(km) U_z : 観測点の鉛直変位(km)



【算出方法】

- ・下鶴ほか編(2008)では、マグマ溜まりの体積変化による地殻変動の理解には、半無限弾性体中の圧力源の圧力変化が引き起こす弾性変形についての理論(Mogiモデル(Mogi, 1958))が有効であるとされている。
- ・Kozono et al. (2013)では、Mogiモデルから、下記の式を導き、弾性体中の圧力源の体積変化を算出している。
- ・Kozono et al. (2013)の式により、マグマ供給率(圧力源の体積変動率) ΔV_G (km³/年)から各観測点の地殻変動の変動率(年間の水平変位量: U_r 及び鉛直変位量: U_z)を逆算する。

Kozono, T., Ueda, H., Ozawa, T., Koyaguchi, T., Fujita, E., Tomiya, A. and Suzuki, Y (2013):Magma discharge variations during the 2011 eruptions of Shinmoe-dake volcano, Japan, revealed by geodetic and satellite observations. Bulletin of Volcanology, 75:695, doi10.1007/s00445-013-0695-4.

東宮昭彦(1997):実験岩石学の手法で求めるマグマ溜まりの深さ。月刊地球, 19, pp.720-724.

下鶴大輔・荒牧重雄・井田喜明・中田節也編(2008):火山の辞典(第2版), 朝倉書店, 575p.

Mogi, K. (1958) : 6. Relations between the Eruptions of Various Volcanoes and the Deformations of the Ground Surfaces around them, Bulletin of the Earthquake Research Institute, 36, pp.99-134.

6.2 茂木モデルに基づく試算と地殻変動の判断基準の関係 【判断基準を超過するマグマ供給率】

Kozono et al.(2013)式より、鉛直及び水平(斜距離)方向において、十和田及び八甲田山の判断基準(管理基準幅 3σ を3基線以上で超過)を上回るマグマ供給率を算出した。

供給率と鉛直・水平変位量との関係式
(Kozono et al., 2013)

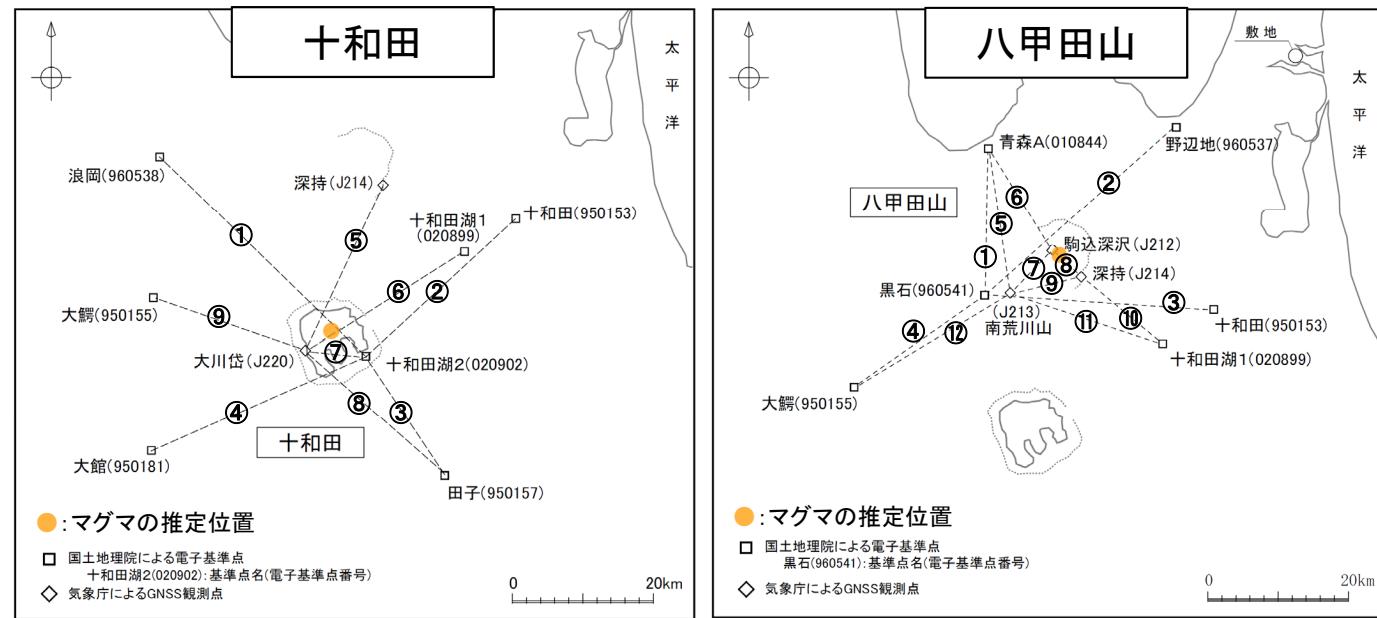
$$\Delta V_G = \frac{\pi}{1-\nu} \frac{(r^2 + d^2)^{3/2}}{d} u_z \text{ 鉛直}$$

$$= \frac{\pi}{1-\nu} \frac{(r^2 + d^2)^{3/2}}{r} u_r \text{ 水平}$$

ΔV_G :圧力源の体積変化(km^3) ν :ボアソン比

r :圧力源から観測点までの水平投影距離(km) d :圧力源の深さ(km)

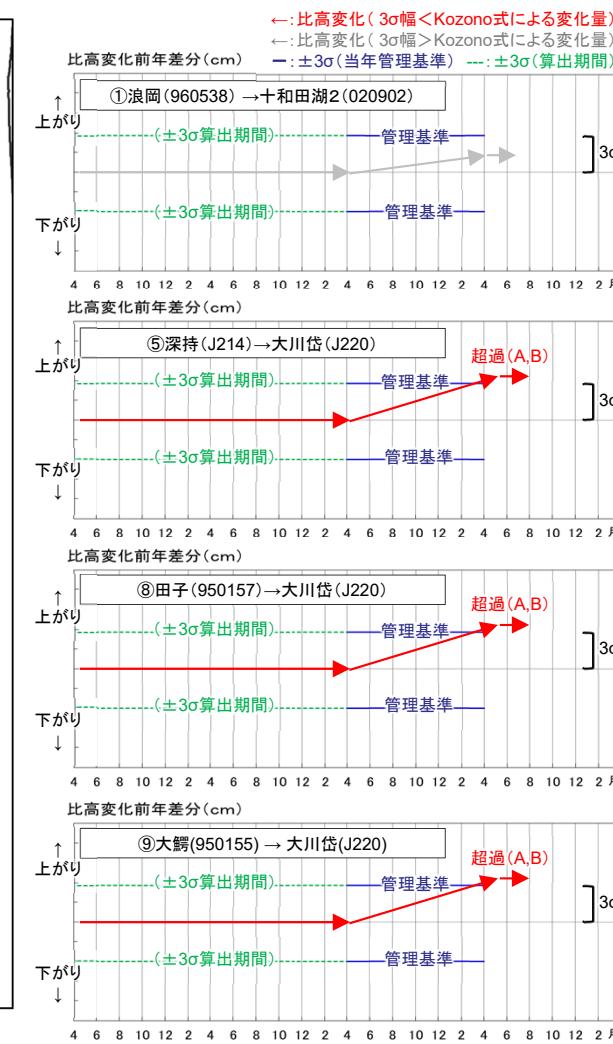
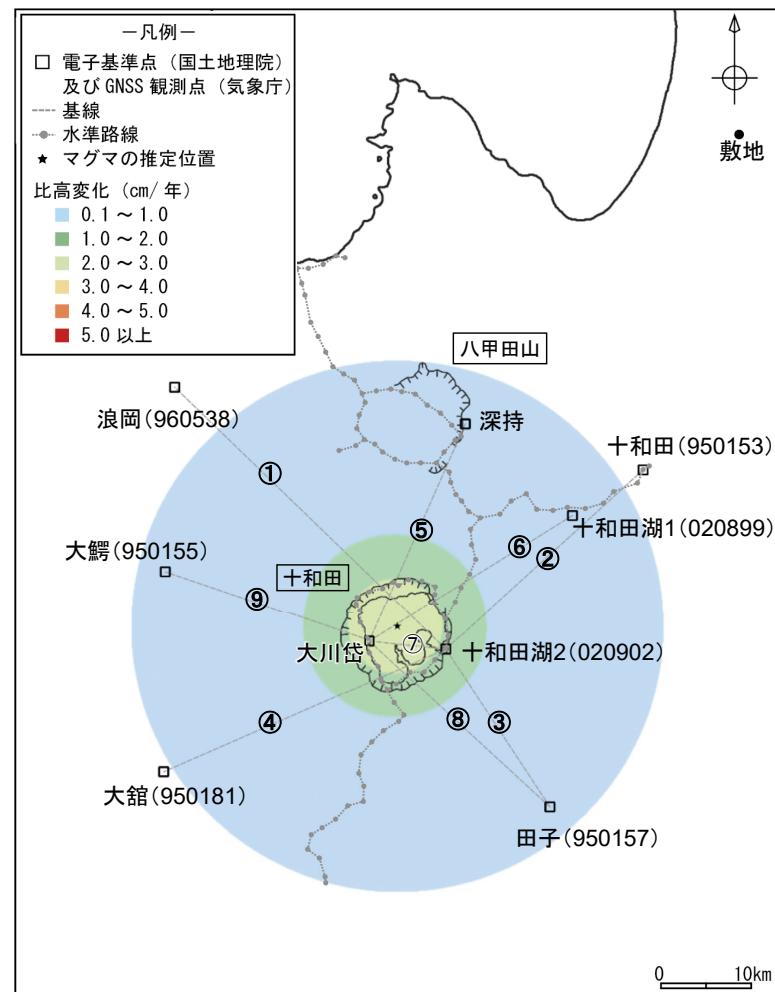
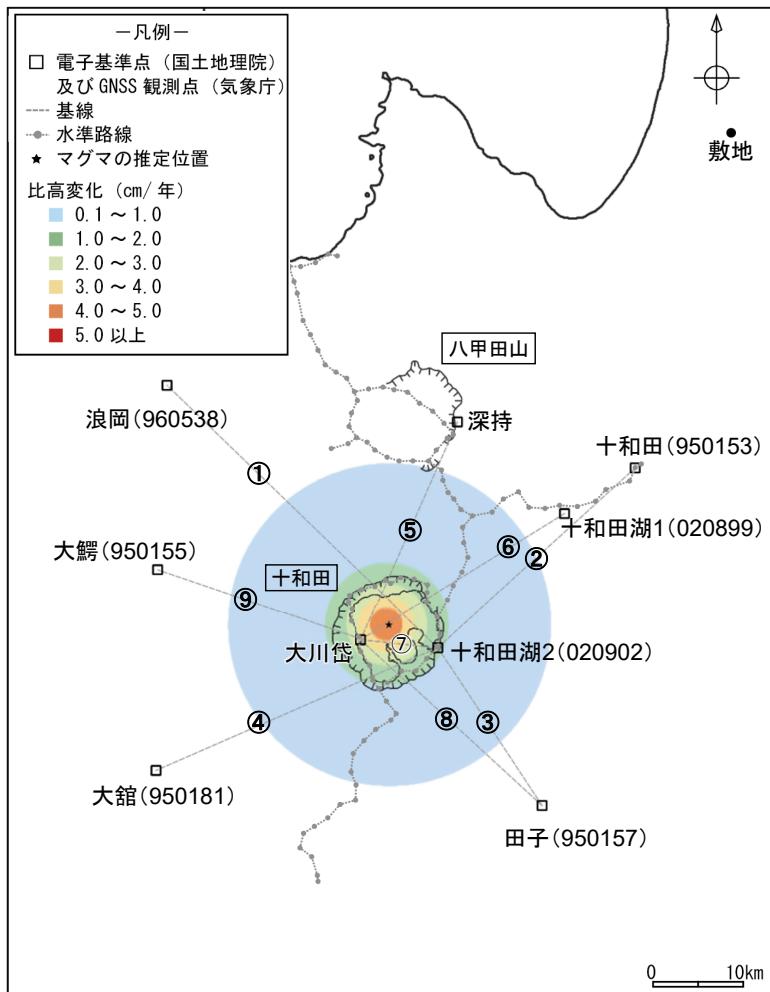
U_r :観測点の水平変位(km) u_z :観測点の鉛直変位(km)



項目	単位	十和田		八甲田山		備考
		鉛直	水平(斜距離)	鉛直	水平(斜距離)	
ν ボアソン比	—			0.25		下鶴ほか編(2008)を参照
A ΔV_G 判断基準超過する圧力源深さ5kmでのマグマ供給率	$\text{km}^3/\text{年}$	0.005	0.003	0.005	0.004	管理基準幅(3σ)を3基線以上で超える値を探査 (0.001毎に変化)
B ΔV_G 判断基準超過する圧力源深さ10kmでのマグマ供給率	$\text{km}^3/\text{年}$	0.012	0.009	0.014	0.008	
判断基準超過の基線(A:深さ5km供給)	—	⑤⑧⑨	①⑥⑦	⑥⑦⑧	⑤⑦⑧⑨ ⑪⑫	—
判断基準超過の基線(B:深さ10km供給)	—	⑤⑧⑨	①⑥⑦	⑤⑥⑫	②③ ⑤⑦⑪	—

6.2 茂木モデルに基づく試算と地殻変動の判断基準の関係 【判断基準を超過するマグマ供給率:十和田 鉛直】

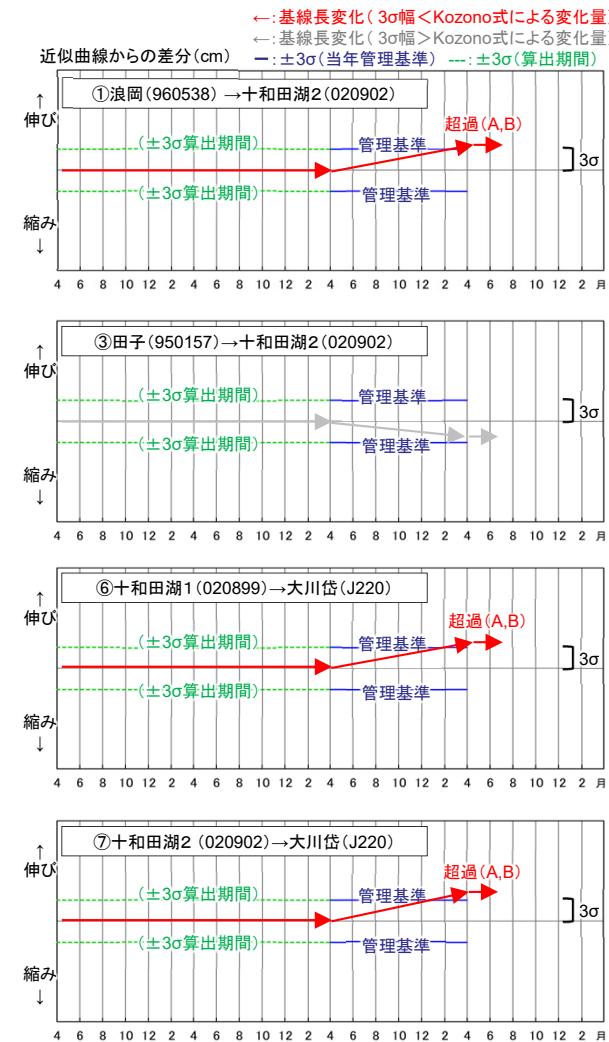
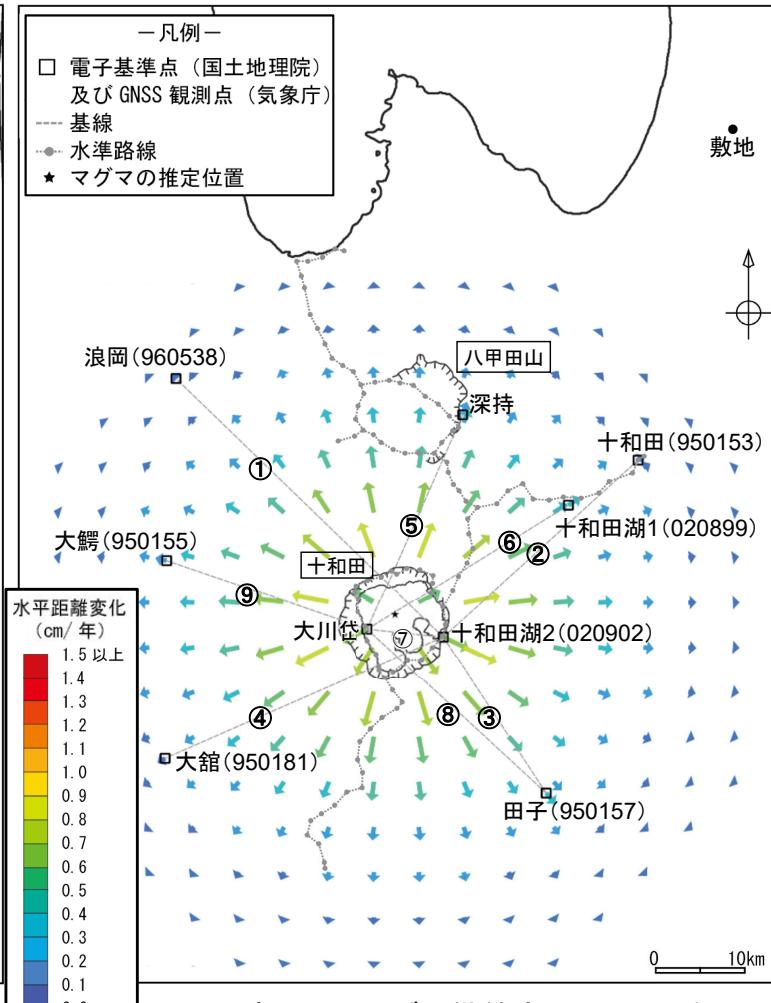
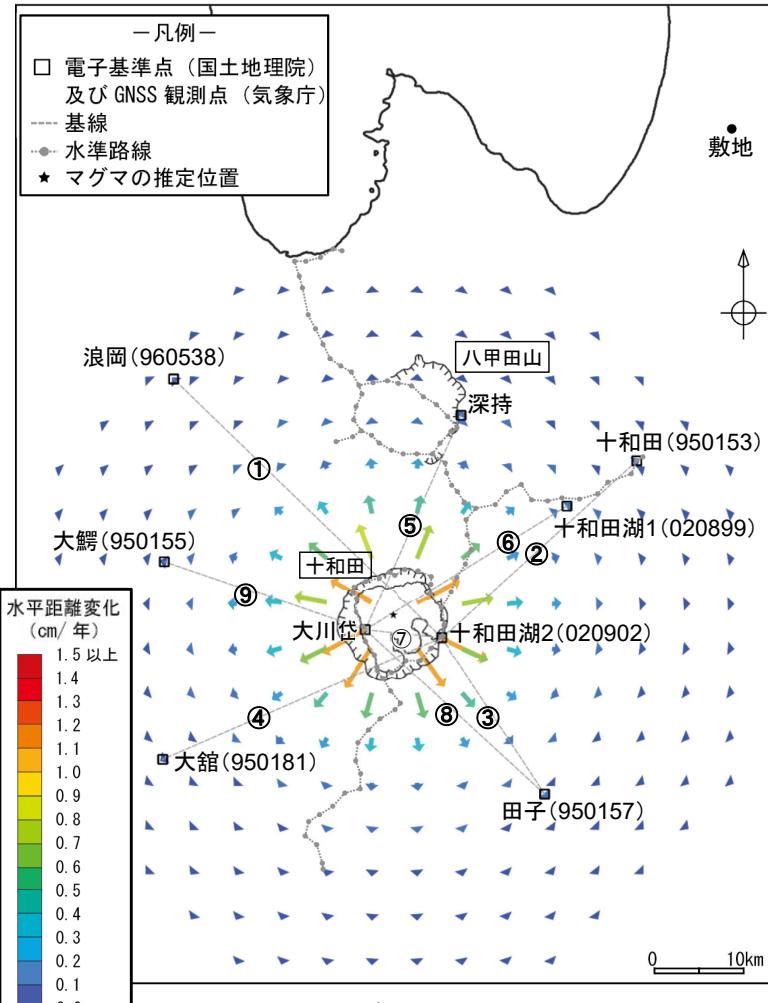
➤ Kozono et al.(2013)式より得る比高変化が、十和田の判断基準(管理基準幅 3σ を3基線以上で超過)を上回るマグマ供給率を算出した結果、深度5kmではマグマ供給率 $0.005\text{km}^3/\text{年}$ で基線⑤⑧⑨、深度10kmではマグマ供給率 $0.012\text{km}^3/\text{年}$ で基線⑤⑧⑨の管理基準幅 3σ を上回った。



管理基準の超過イメージ(例)

6.2 茂木モデルに基づく試算と地殻変動の判断基準の関係 【判断基準を超過するマグマ供給率:十和田 水平】

➤ Kozono et al.(2013)式より得る水平変化が、十和田の判断基準(管理基準幅 3σ を3基線以上で超過)を上回るマグマ供給率を算出した結果、深度5kmではマグマ供給率 $0.003\text{km}^3/\text{年}$ で基線①⑥⑦、深度10kmではマグマ供給率 $0.009\text{km}^3/\text{年}$ で基線①⑥⑦の管理基準幅 3σ を上回った。



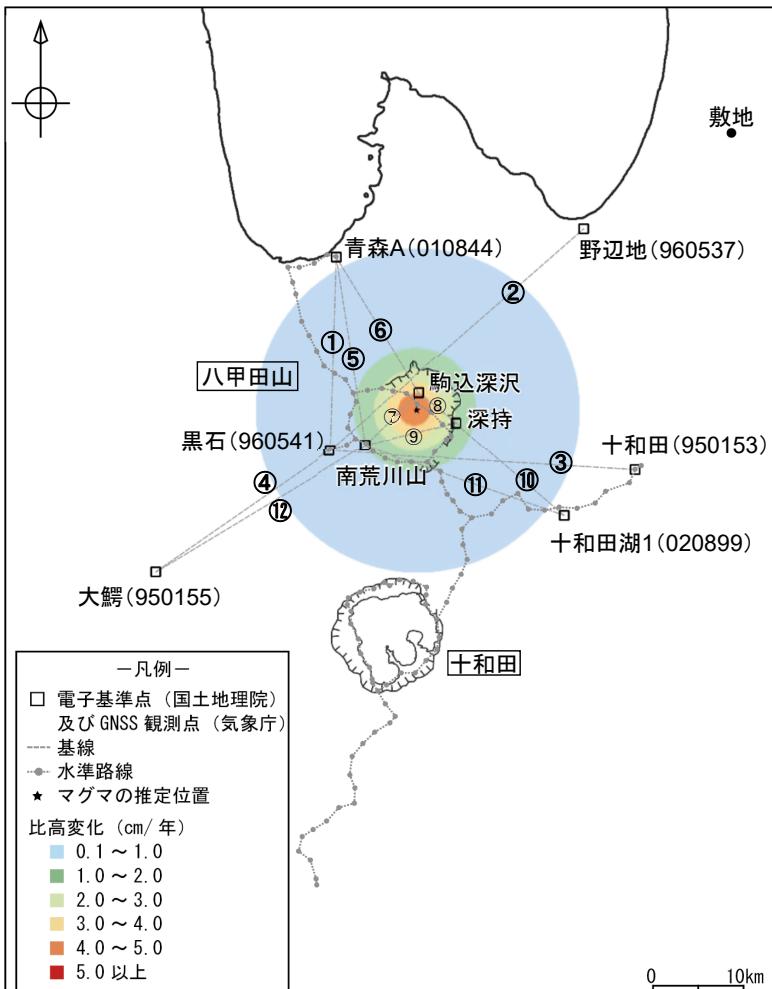
管理基準の超過イメージ(例)

各基線での水平(斜距離)変化(単位:cm/年, 赤字:超過)
①0.93 ②0.28 ③0.67 ④0.69
⑤0.97 ⑥1.24 ⑦1.78 ⑧0.48 ⑨0.64

各基線での水平(斜距離)変化(単位:cm/年, 赤字:超過)
①0.93 ②0.11 ③0.42 ④0.75
⑤0.78 ⑥0.96 ⑦1.29 ⑧0.48 ⑨0.16

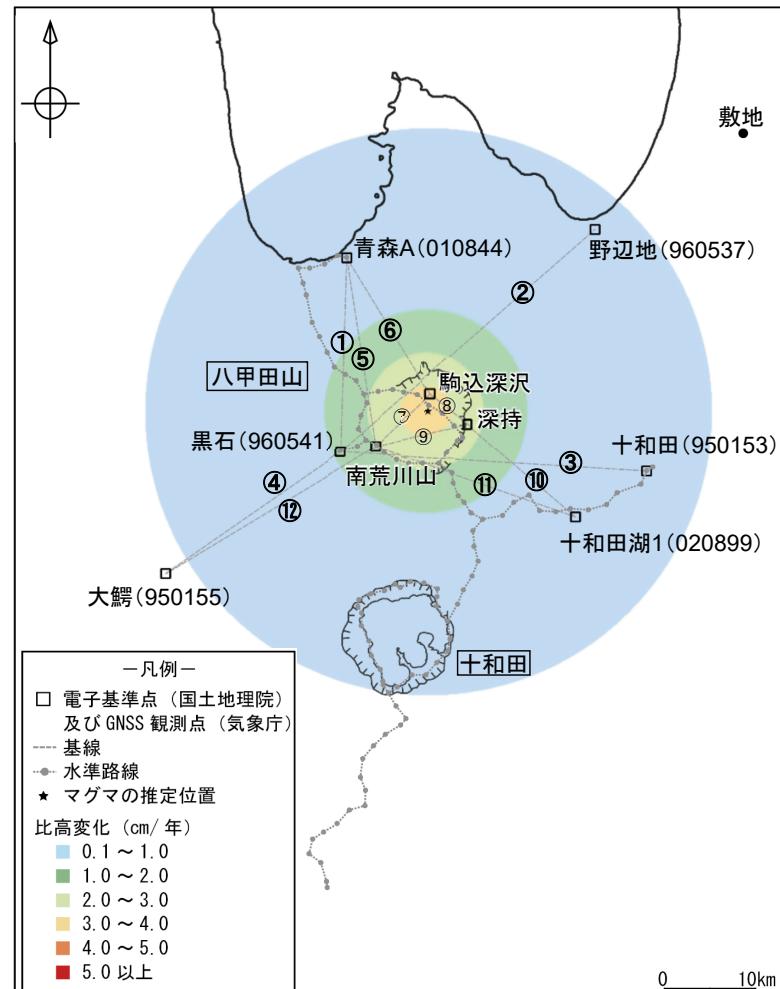
6.2 茂木モデルに基づく試算と地殻変動の判断基準の関係 【判断基準を超過するマグマ供給率:八甲田山 鉛直】

➤ Kozono et al.(2013)式より得る比高変化が、八甲田山の判断基準(管理基準幅 3σ を3基線以上で超過)を上回るマグマ供給率を算出した結果、深度5kmではマグマ供給率0.005km³/年で基線⑥⑦⑧、深度10kmではマグマ供給率0.014km³/年で基線⑤⑥⑫の管理基準幅 3σ を上回った。



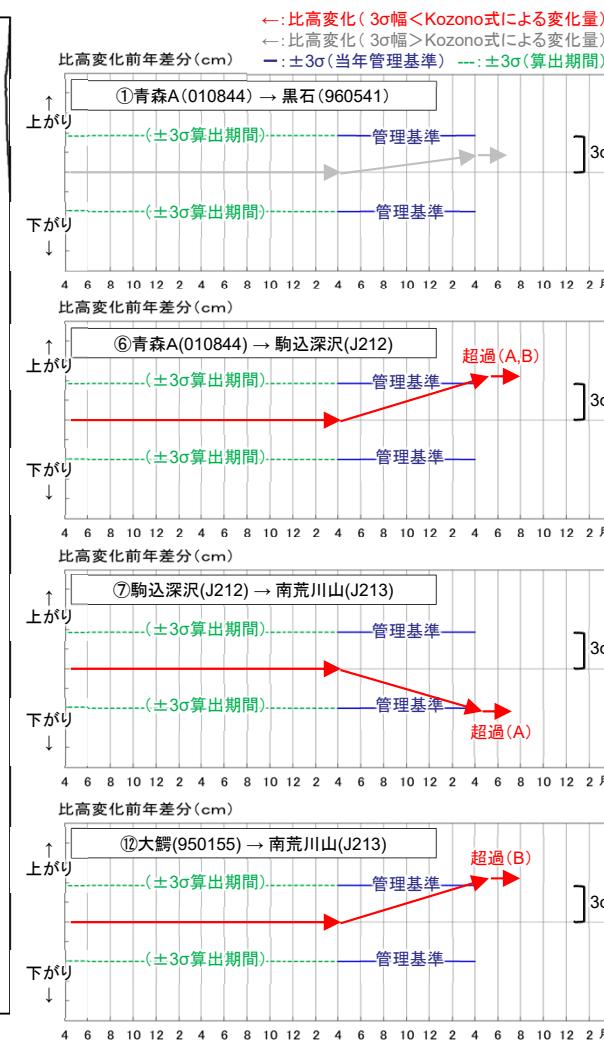
A:深度5km, マグマ供給率0.005km³/年

各基線での比高変化(単位:cm/年, 赤字:超過)
 ①0.30 ②0.35 ③0.34 ④0.36 ⑤0.88 ⑥**3.84**
 ⑦-2.96 ⑧-1.94 ⑨-1.01 ⑩1.90 ⑪0.89 ⑫0.94



B:深度10km, マグマ供給率0.014km³/年

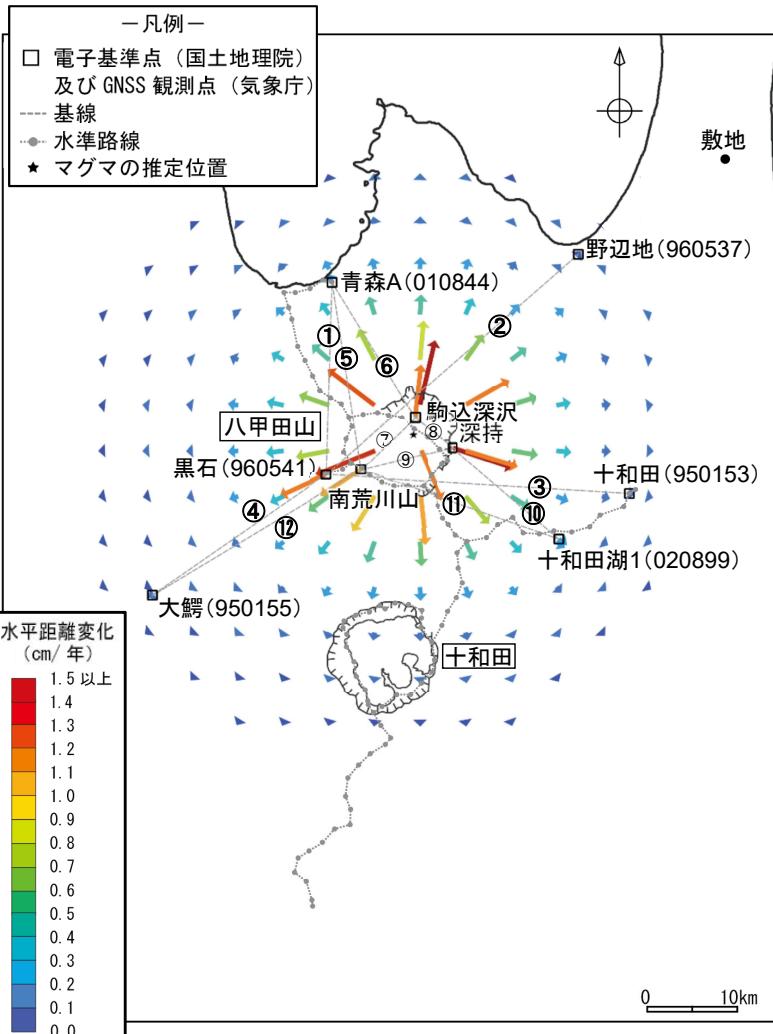
各基線での比高変化(単位:cm/年, 赤字:超過)
 ①0.75 ②0.95 ③0.91 ④1.01 ⑤**1.52** ⑥**2.84**
 ⑦-1.31 ⑧-0.63 ⑨-0.68 ⑩2.23 ⑪1.55 ⑫**1.78**



管理基準の超過イメージ(例)

6.2 茂木モデルに基づく試算と地殻変動の判断基準の関係 【判断基準を超過するマグマ供給率:八甲田山 水平】

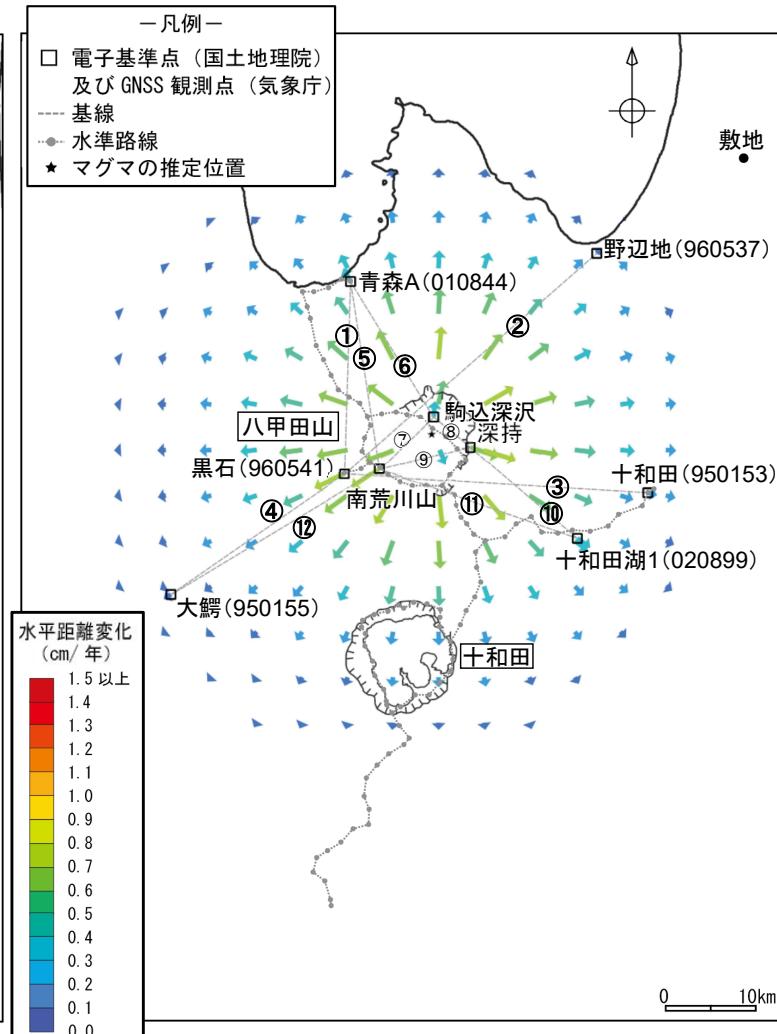
➤ Kozono et al.(2013)式より得る水平変化が、八甲田山の判断基準(管理基準幅 3σ を3基線以上で超過)を上回るマグマ供給率を算出した結果、深度5kmではマグマ供給率 $0.004\text{km}^3/\text{年}$ で基線⑤⑦⑧⑨⑪⑫、深度10kmではマグマ供給率 $0.008\text{km}^3/\text{年}$ で基線②③⑤⑦⑪の管理基準幅 3σ を上回った。



A: 深度5km, マグマ供給率 $0.004\text{km}^3/\text{年}$

各基線での水平(斜距離)変化(単位:cm/年, 赤字:超過)

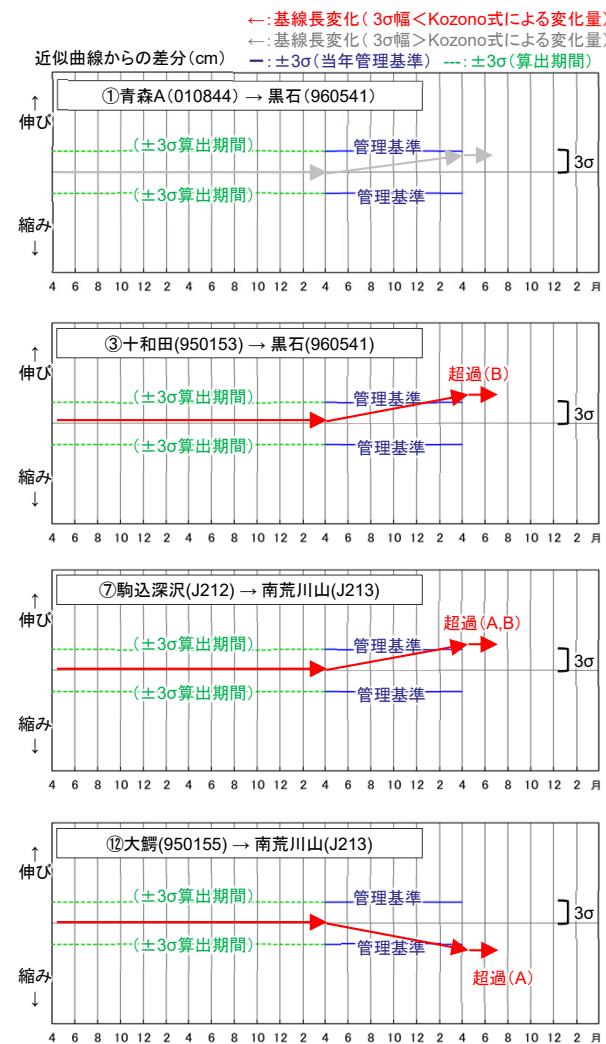
①0.50 ②0.74 ③0.71 ④0.53 ⑤0.70 ⑥0.59
⑦1.86 ⑧1.93 ⑨2.18 ⑩1.03 ⑪0.88 ⑫0.96



B: 深度10km, マグマ供給率 $0.008\text{km}^3/\text{年}$

各基線での水平(斜距離)変化(単位:cm/年, 赤字:超過)

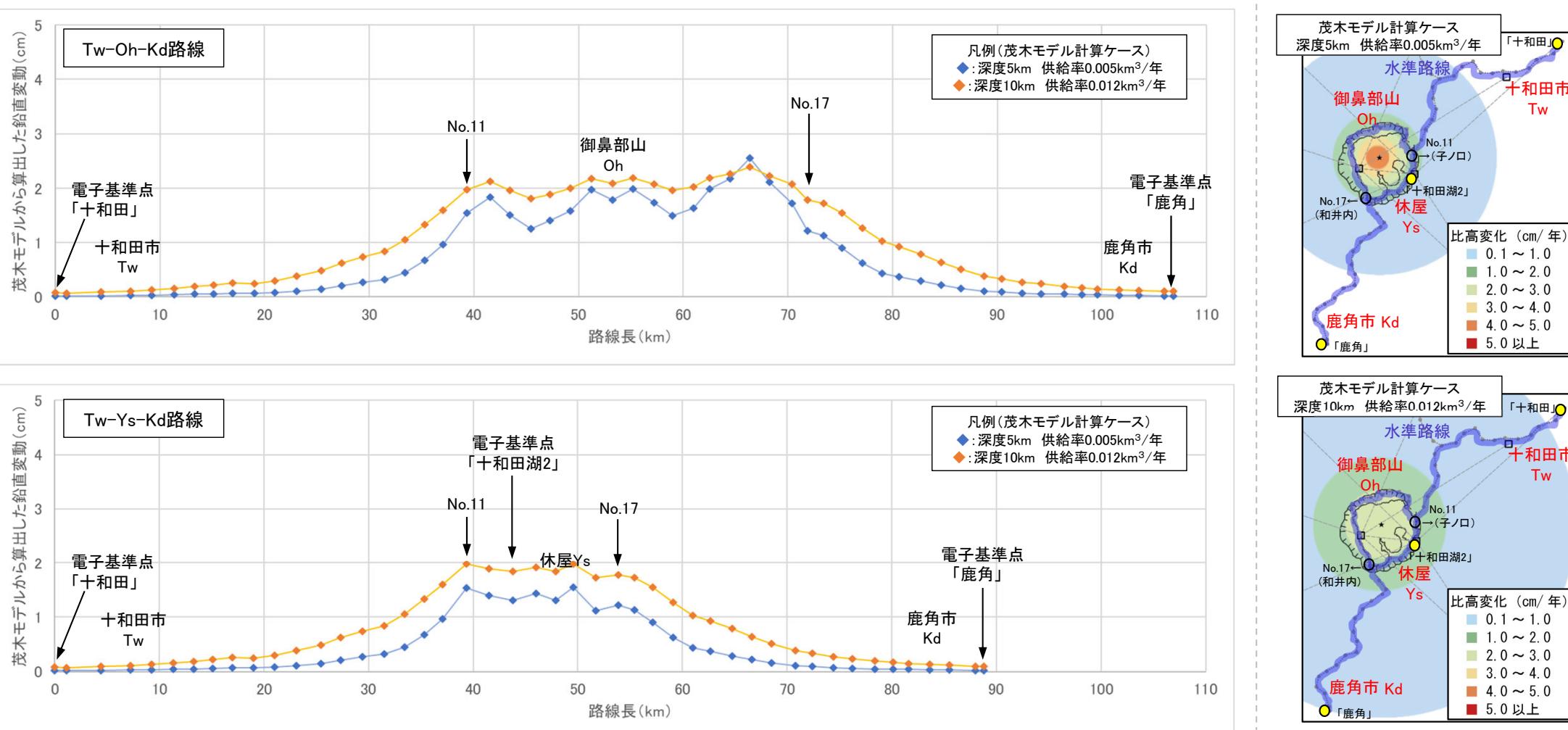
①0.62 ②0.85 ③0.83 ④0.48 ⑤0.69 ⑥0.15
⑦0.96 ⑧0.79 ⑨1.23 ⑩0.21 ⑪0.80 ⑫0.56



管理基準の超過イメージ(例)

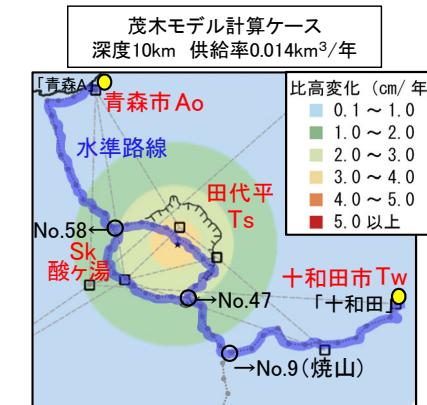
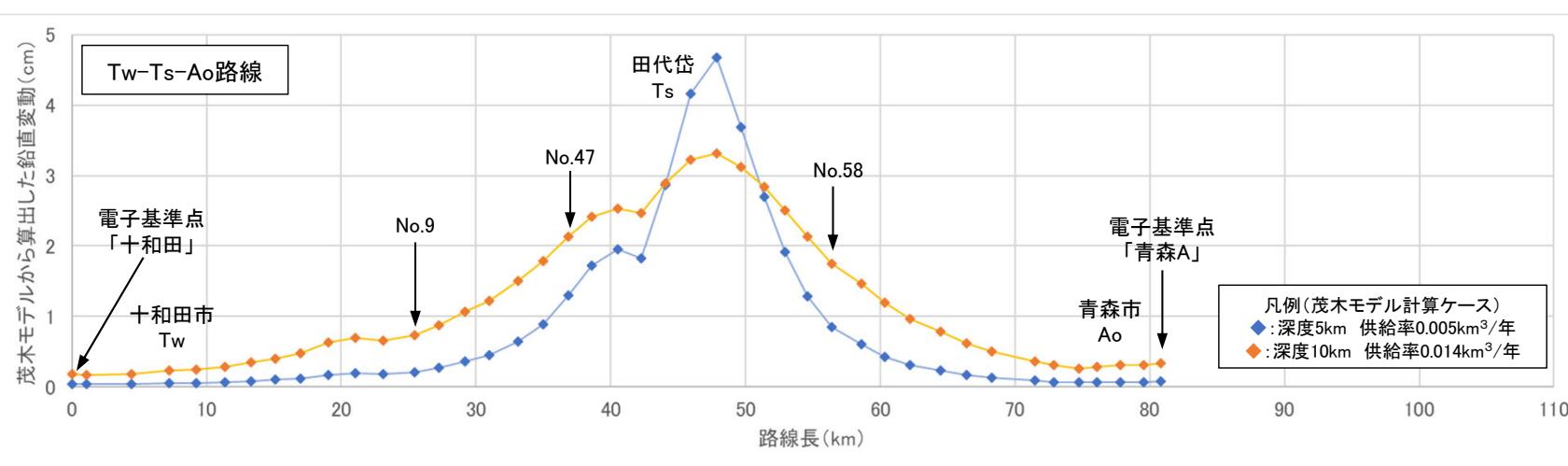
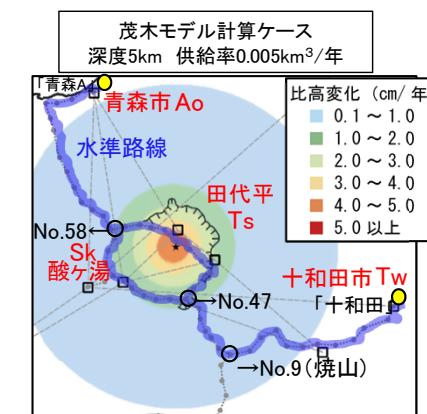
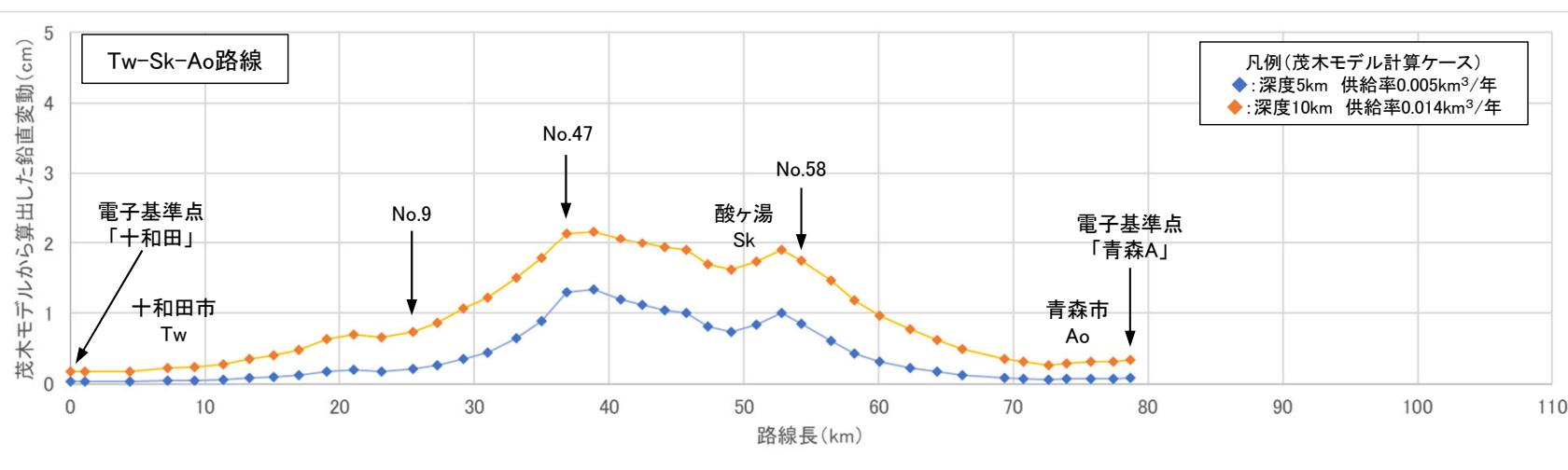
6.2 茂木モデルに基づく試算と地殻変動の判断基準の関係 【水準測量において観測される変動:十和田】

- 茂木モデルで求めた、十和田及び八甲田山の判断基準(管理基準幅 3σ を3基線以上で超過)を上回るマグマ供給率を用いて、当社が設定した水準測量路線上において観測され得る鉛直方向の変動量を整理した。
- 十和田のカルデラ中央を中心に判断基準を超過する膨張性の地殻変動が発生した場合、十和田湖岸の水準点において約1~2cm/年の隆起が検知され得る。

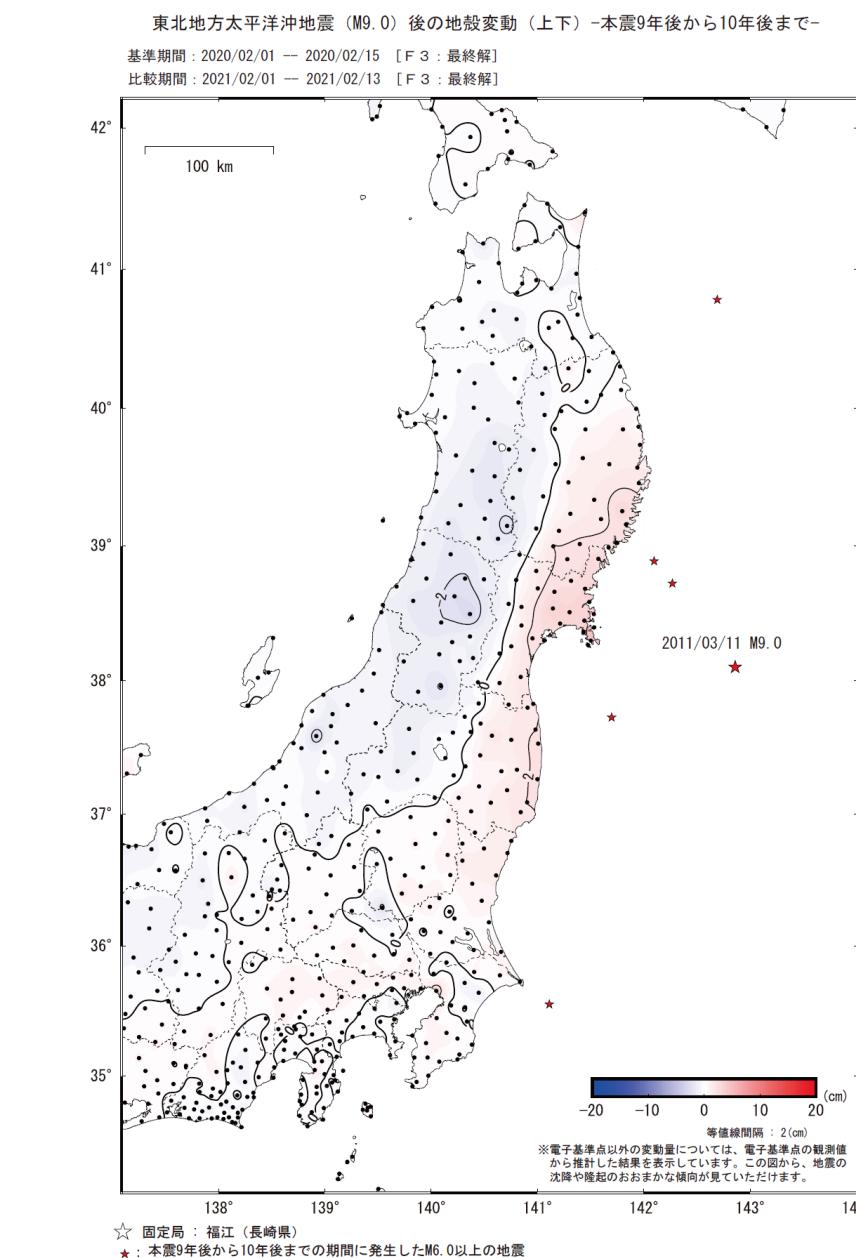
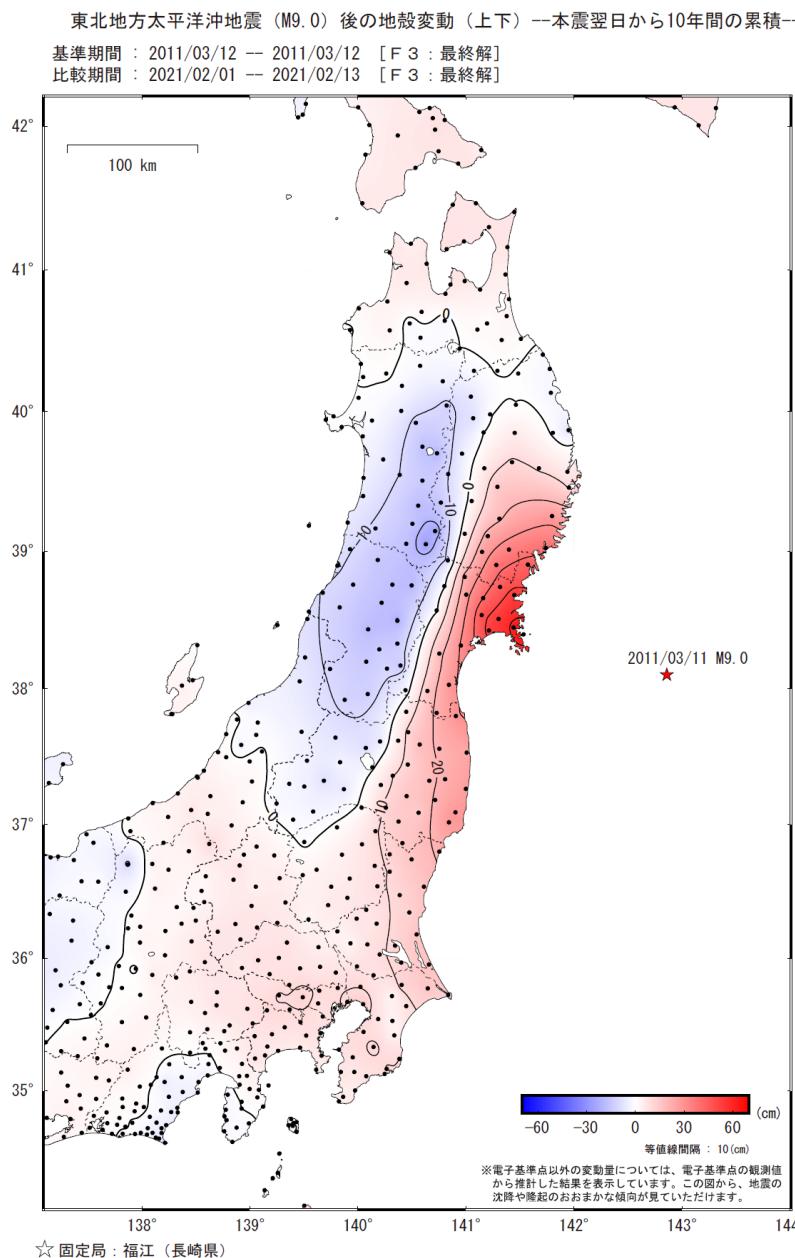


6.2 茂木モデルに基づく試算と地殻変動の判断基準の関係 【水準測量において観測される変動: 八甲田山】

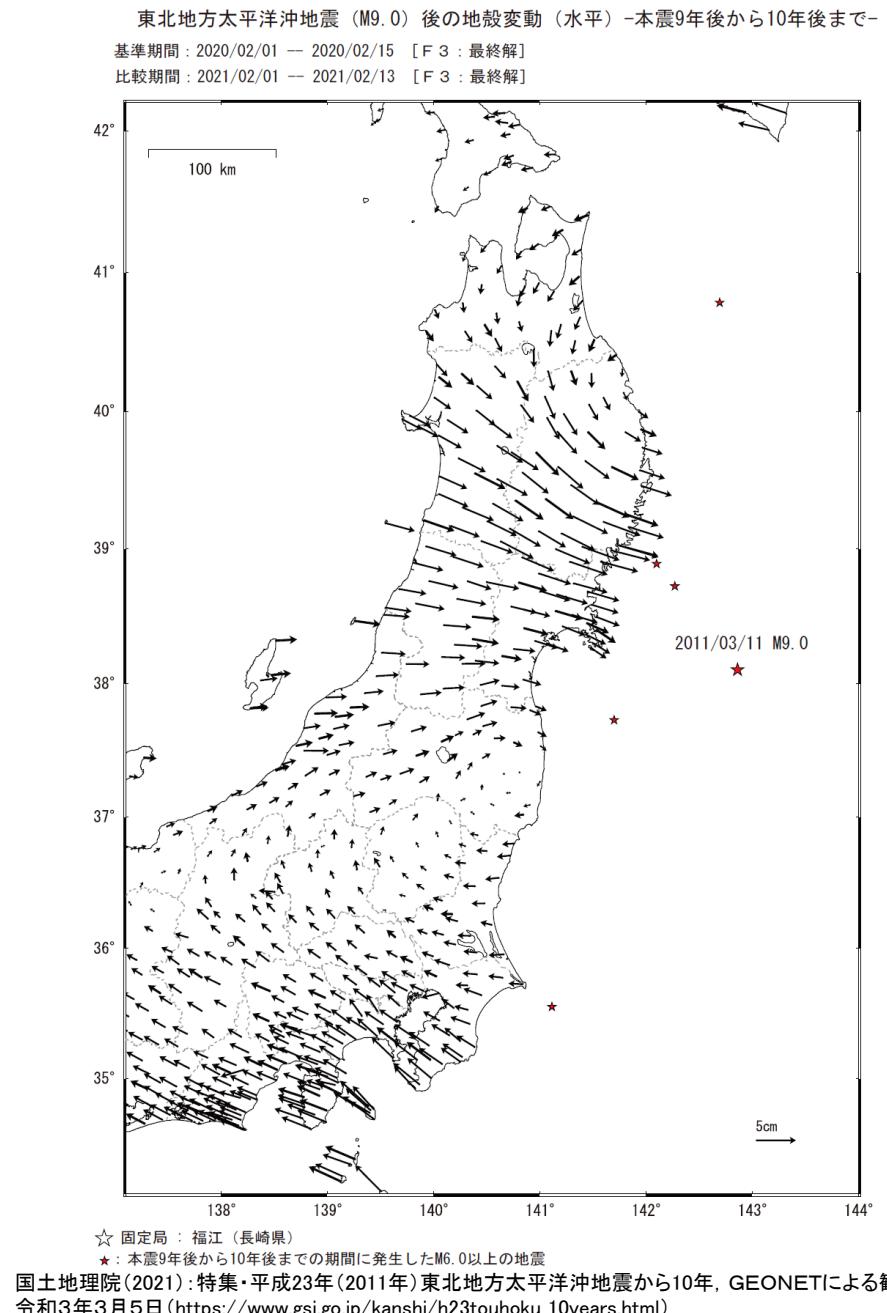
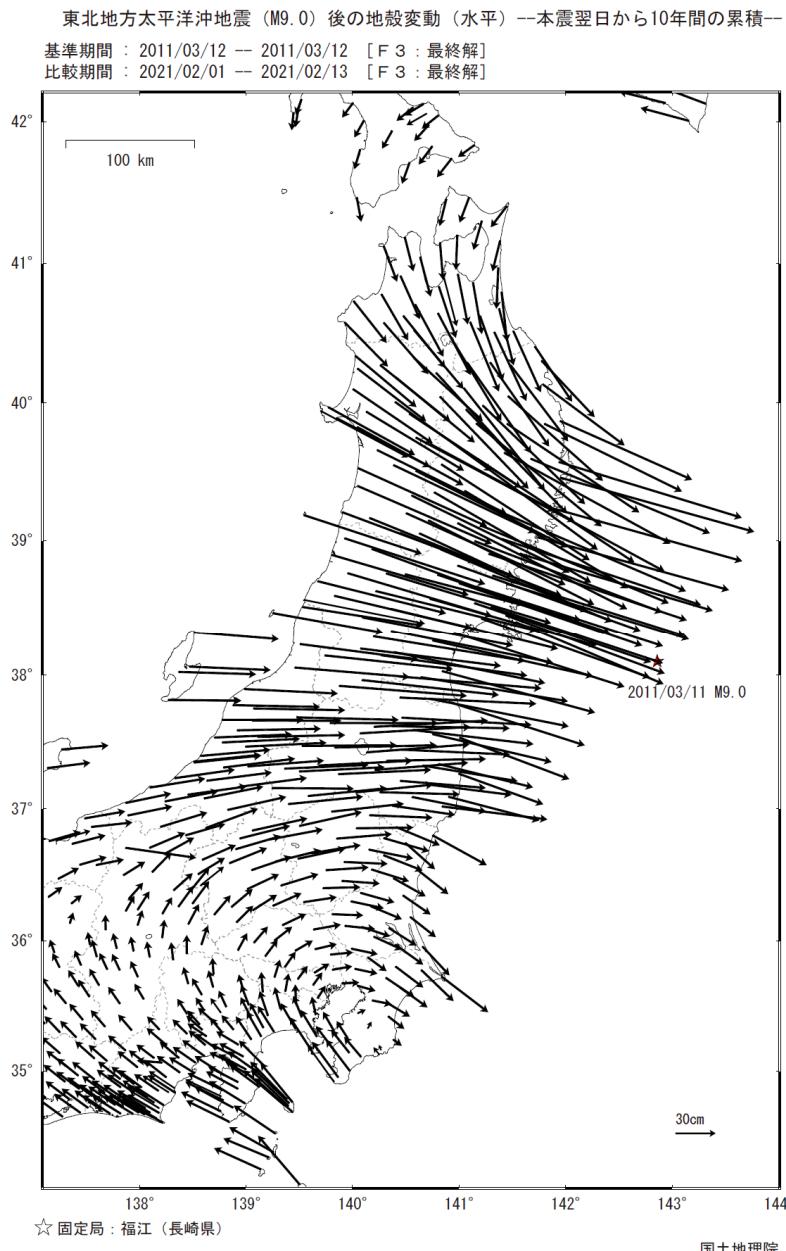
- 茂木モデルで求めた、十和田及び八甲田山の判断基準(管理基準幅 3σ を3基線以上で超過)を上回るマグマ供給率を用いて、当社が設定した水準測量路線上において観測され得る鉛直方向の変動量を整理した。
- 八甲田山のカルデラ中央を中心に判断基準を超過する膨張性の地殻変動が発生した場合、カルデラ内(田代平)や北八甲田火山群を囲むように設置した水準点において約1~4cm/年以上の隆起が検知され得る。



6.3 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動(上下) (左図:10年間の累積, 右図:9年後から10年後まで)



6.3 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動(水平) (左図:10年間の累積, 右図:9年後から10年後まで)

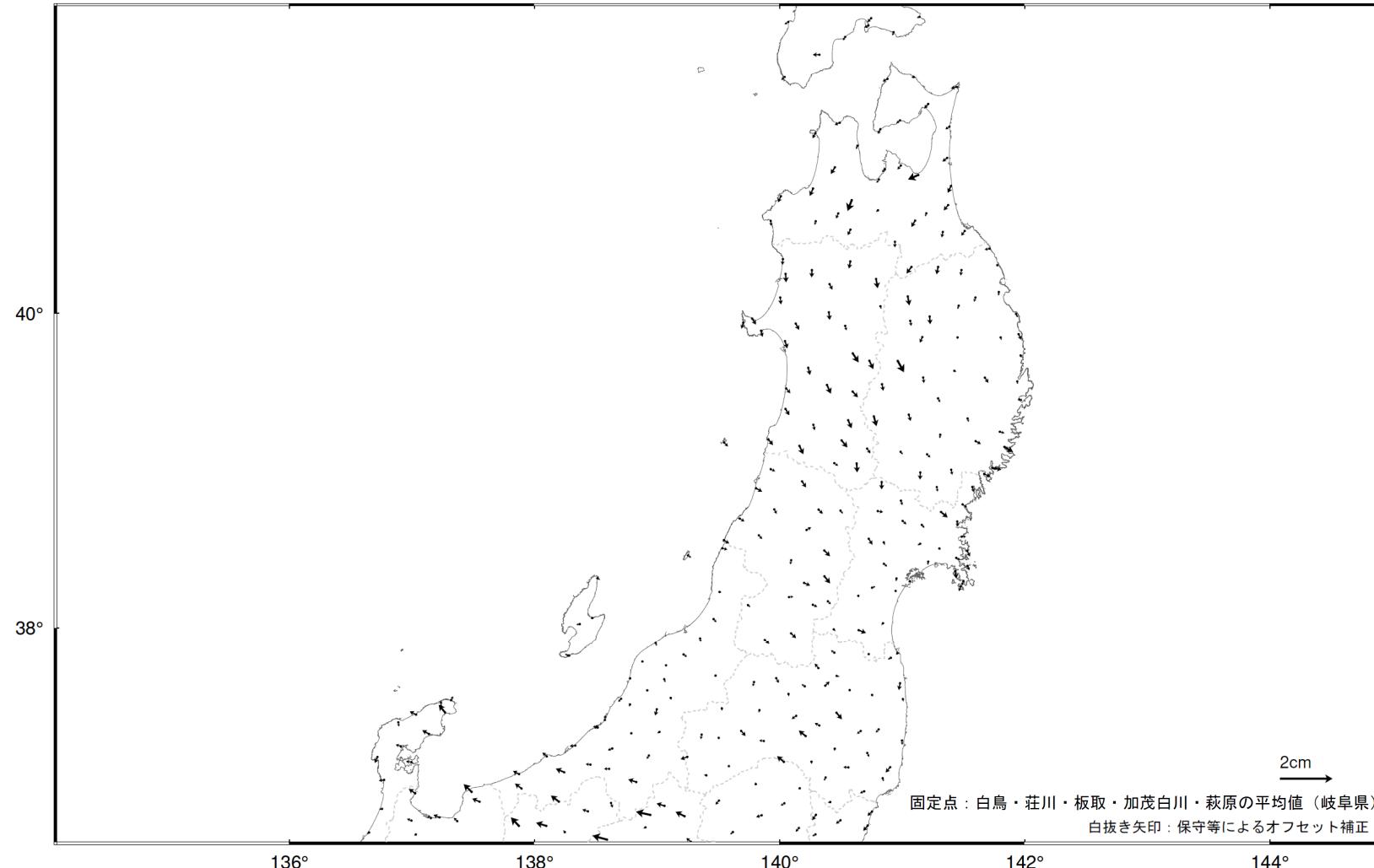


6.4 令和6年能登半島地震による余効変動(水平)

【東北地方の地殻変動(水平)】

基準期間：2024-02-17 -- 2024-02-23 [F5：最終解]

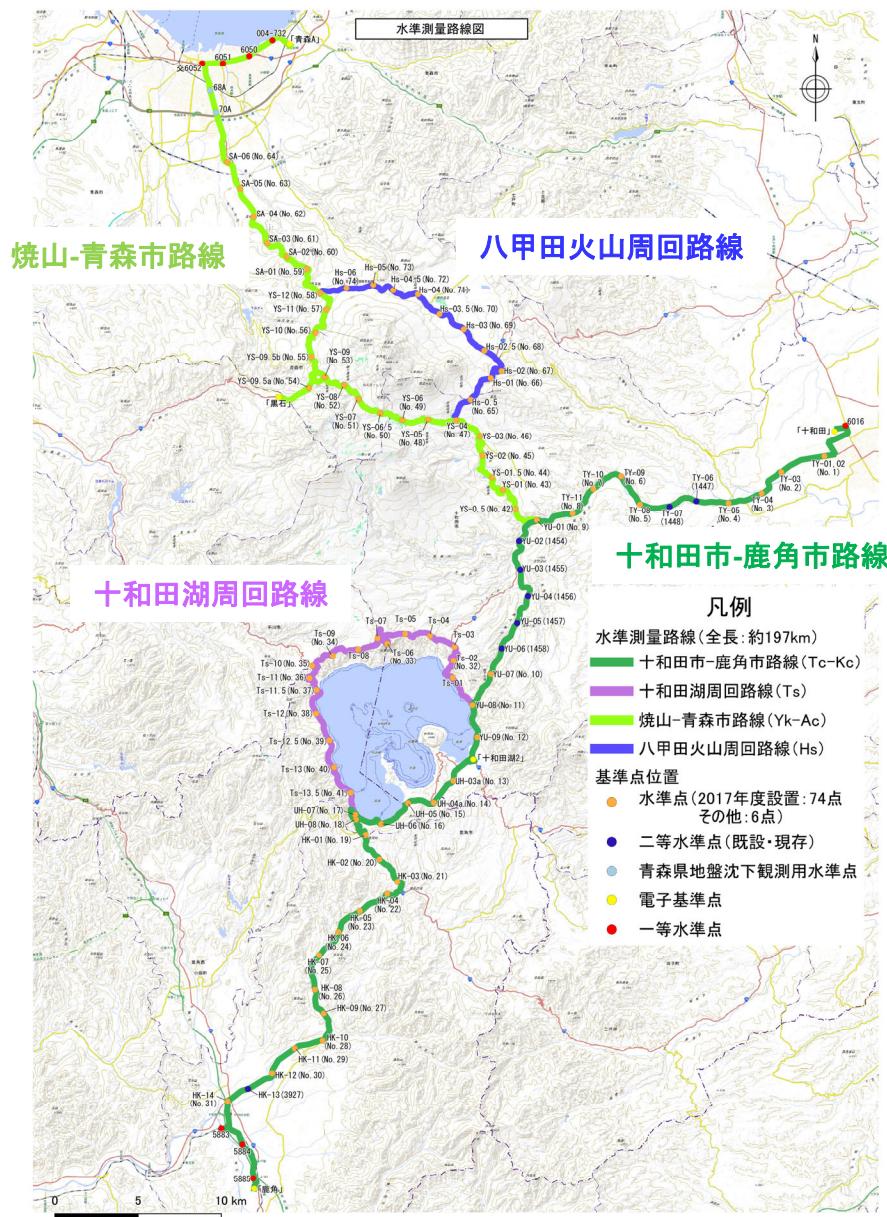
比較期間：2024-03-17 -- 2024-03-23 [R5：速報解]



- ・2024年1月1日に発生した令和6年能登半島地震後の余効変動が見られる。
- ・平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の余効変動が見られる。

7. 中・長期的取組み

7.1 水準測量 [水準点の設置と水準測量の実施計画]



2017年度に十和田、八甲田山周辺に水準点を新設
 →既存の一等水準点、二等水準点(電子基準点含む)等と
 新設水準点(74点)を用いて路線を設定し、今後水準測量
 を実施予定(合計103点、全路線長約197km)

【十和田における地殻変動の把握】

- ・十和田市(電子基準点「十和田」)から奥入瀬溪流、電子基準点「十和田湖2」、発荷峠を通り鹿角市内(電子基準点「鹿角」)へ繋がる路線(十和田市-鹿角市路線)
- ・十和田のカルデラ縁を一周する路線(十和田湖周回路線)

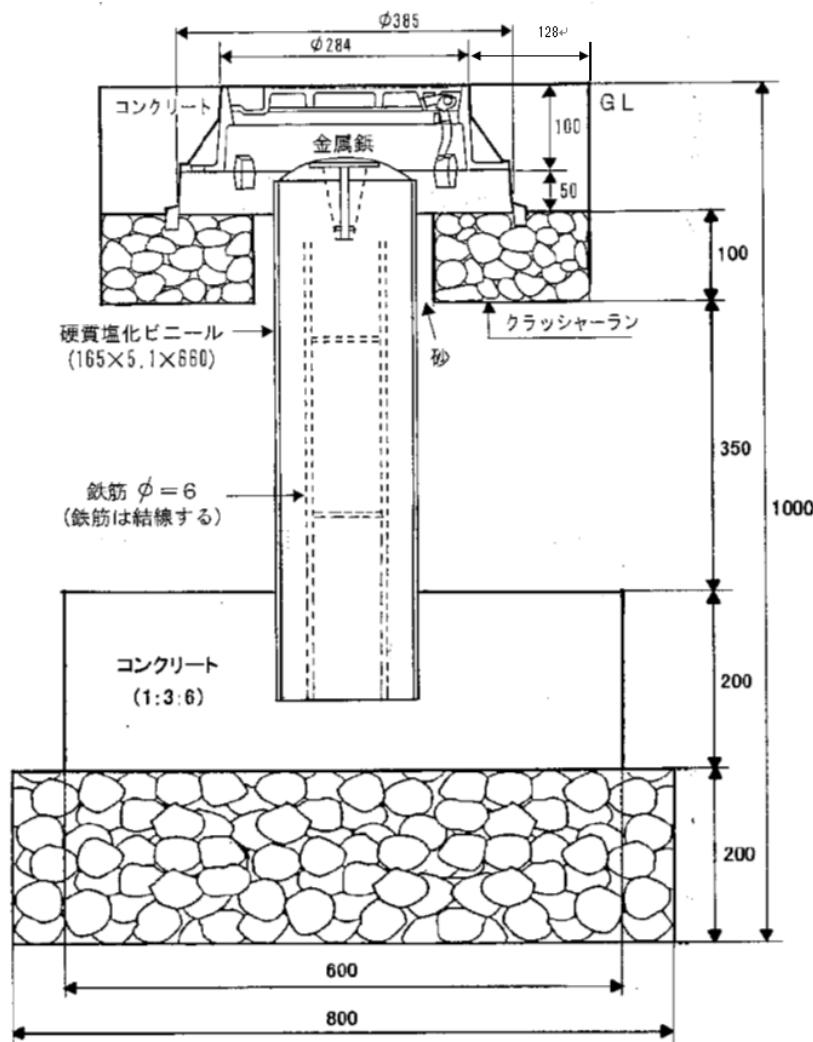
【八甲田山における地殻変動の把握】

- ・焼山(十和田市-鹿角市路線と接続)から電子基準点「黒石」、酸ヶ湯を通り青森市内(電子基準点「青森A」)へ繋がる路線(焼山-青森市路線)
- ・八甲田カルデラを横断して北八甲田火山群を取り囲む路線(八甲田火山周回路線)

【今後】

- ・2018年度、2019年度、2022年度に水準測量を実施し、路線全体で期間内の変動量を算出した。今後も、3年に1回の頻度で実施する予定である。
- ・加えて、沈降が認められた八甲田山の酸ヶ湯周辺を対象として、2024年度に臨時で観測を実施する。

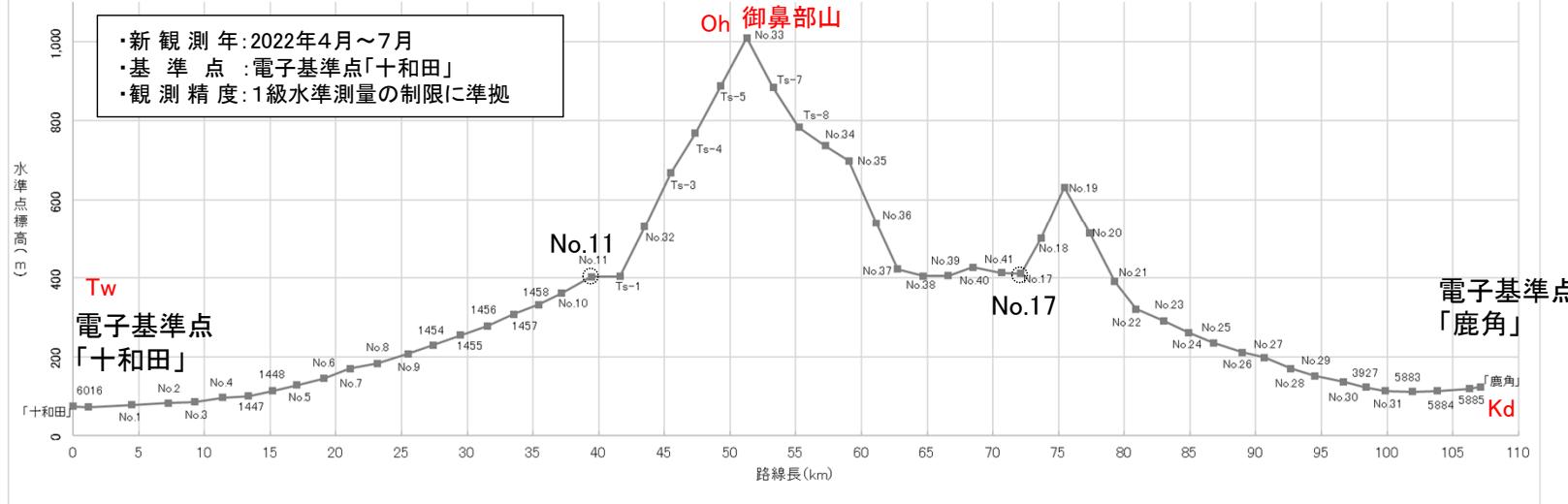
7.1 水準測量 [設置した水準点の仕様]



設置状況例

7.1 水準測量 [十和田 (地形断面図)]

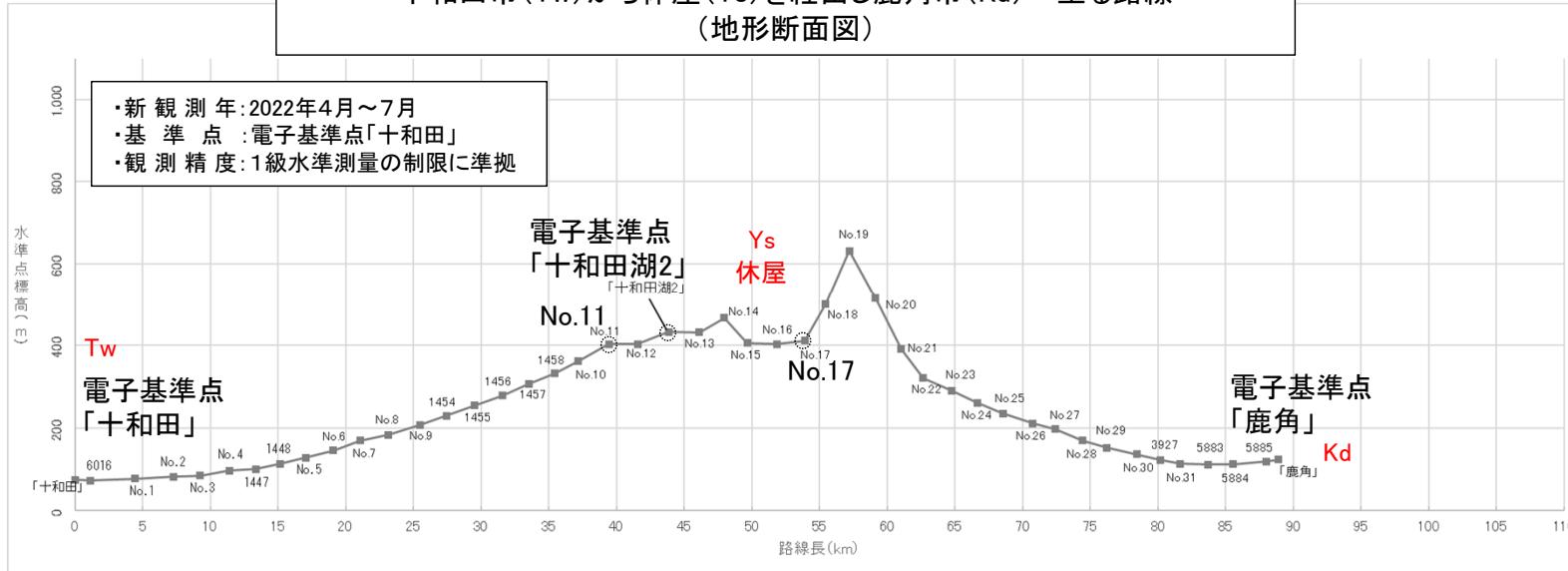
十和田市(Tw)から御鼻部山(Oh)を経由し鹿角市(Kd)へ至る路線 (地形断面図)



路線圖

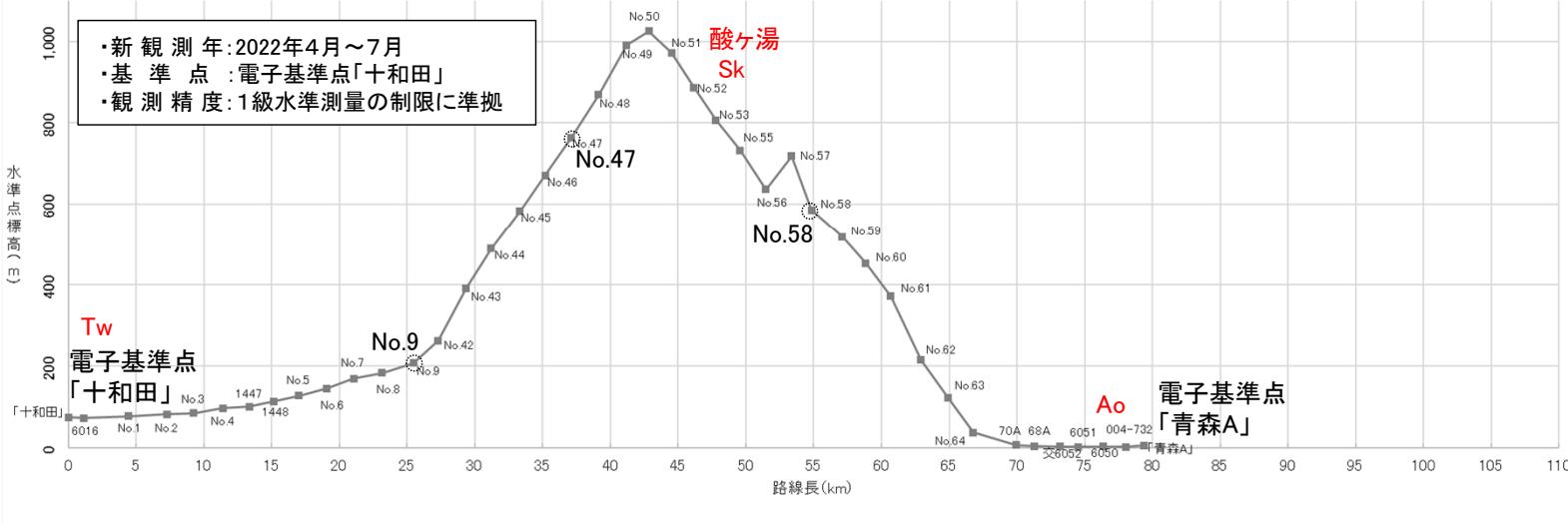


十和田市(Tw)から休屋(Ys)を経由し鹿角市(Kd)へ至る路線 (地形断面図)

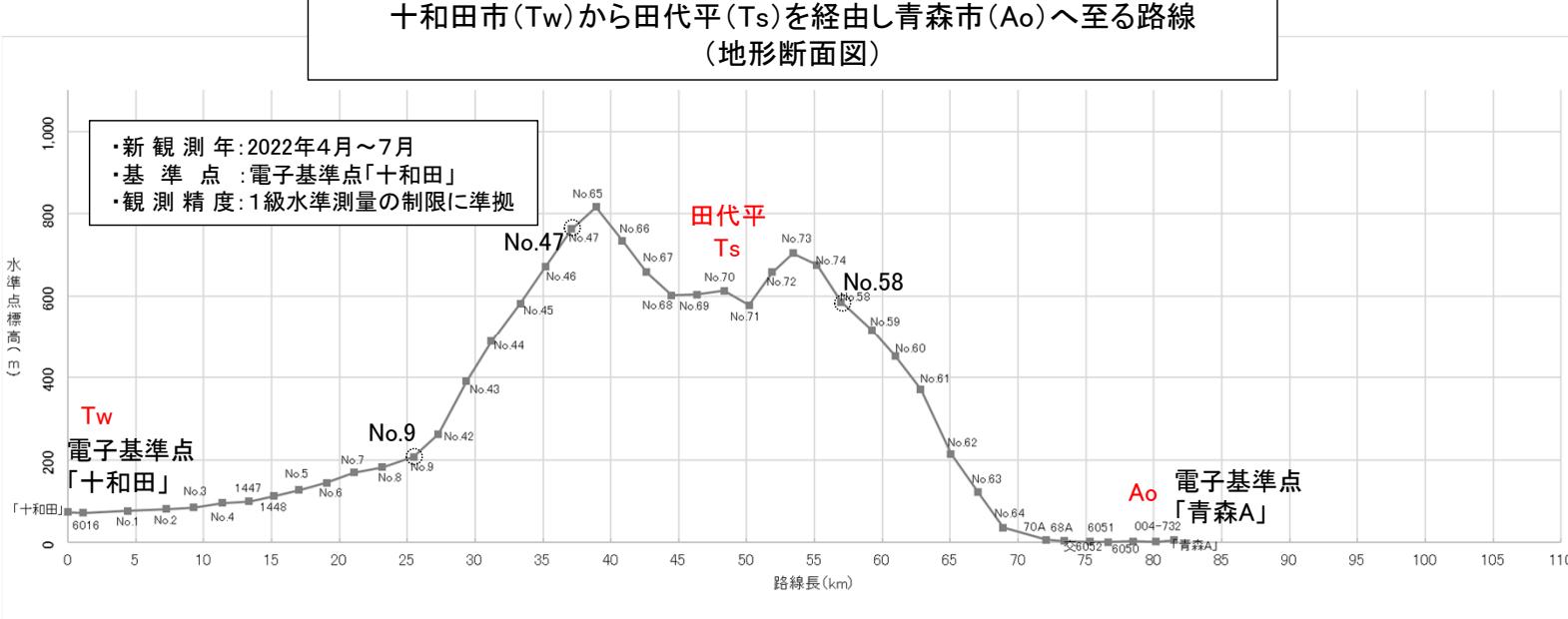


7.1 水準測量 [八甲田山 地形断面図]

十和田市(Tw)から酸ヶ湯(Sk)を経由し青森市(Ao)へ至る路線
(地形断面図)



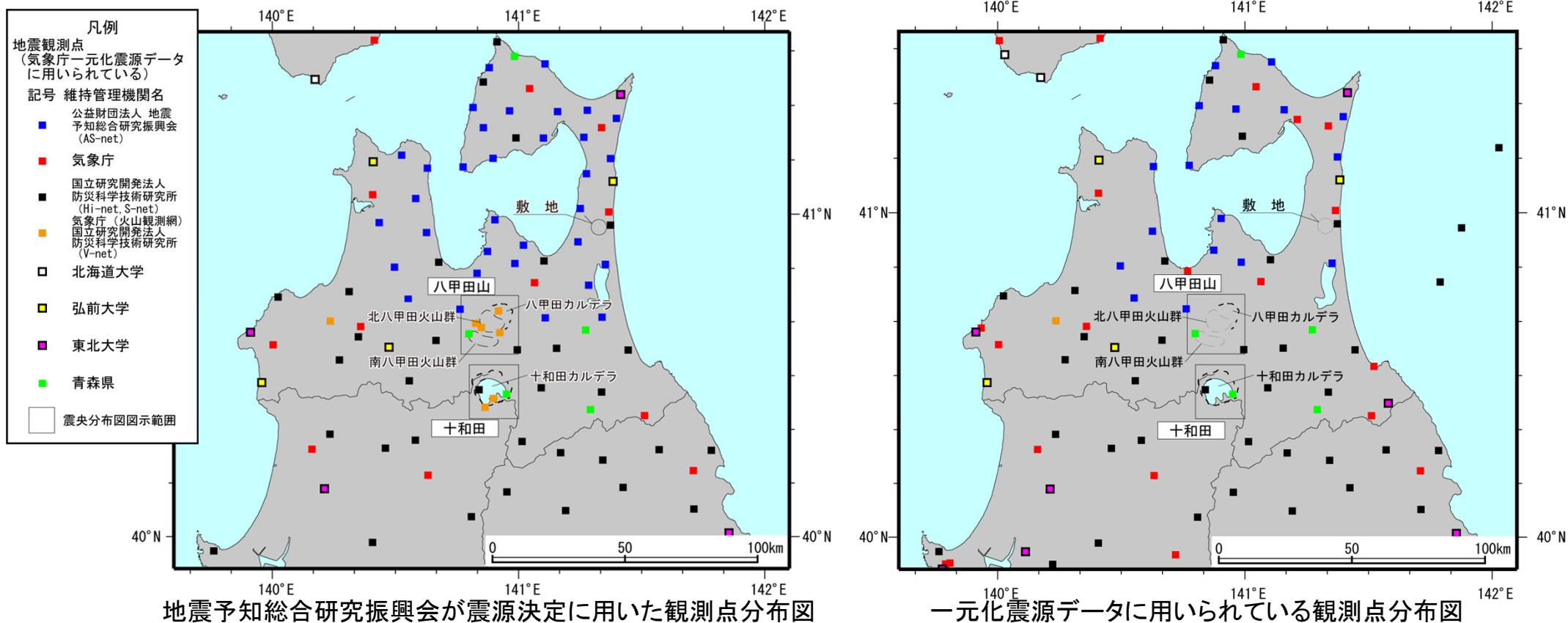
十和田市(Tw)から田代平(Ts)を経由し青森市(Ao)へ至る路線
(地形断面図)



余白

7.2 地震観測網の充実化(地震予知総合研究振興会)

- ・地震予知総合研究振興会による震源決定結果の提供を受け、そのうち十和田及び八甲田山周辺について次項以降に示す。
- ・地震予知総合研究振興会において、AS-net^{※1}の36観測点のほか気象庁、防災科学技術研究所、弘前大学、東北大学、北海道大学、青森県が運営する地震観測点を加えた合計140観測点の地震データを利用し自動及び手動による震源決定を行っている。
- ・上記の手動震源決定により、地殻内地震については気象庁震源カタログの約1.5倍の数の地震が震源決定されている。
- ・地震予知総合研究振興会では、2023年に十和田及び八甲田山周辺の気象庁火山観測網より3点追加^{※2}し、震源決定の精度向上を目指している。



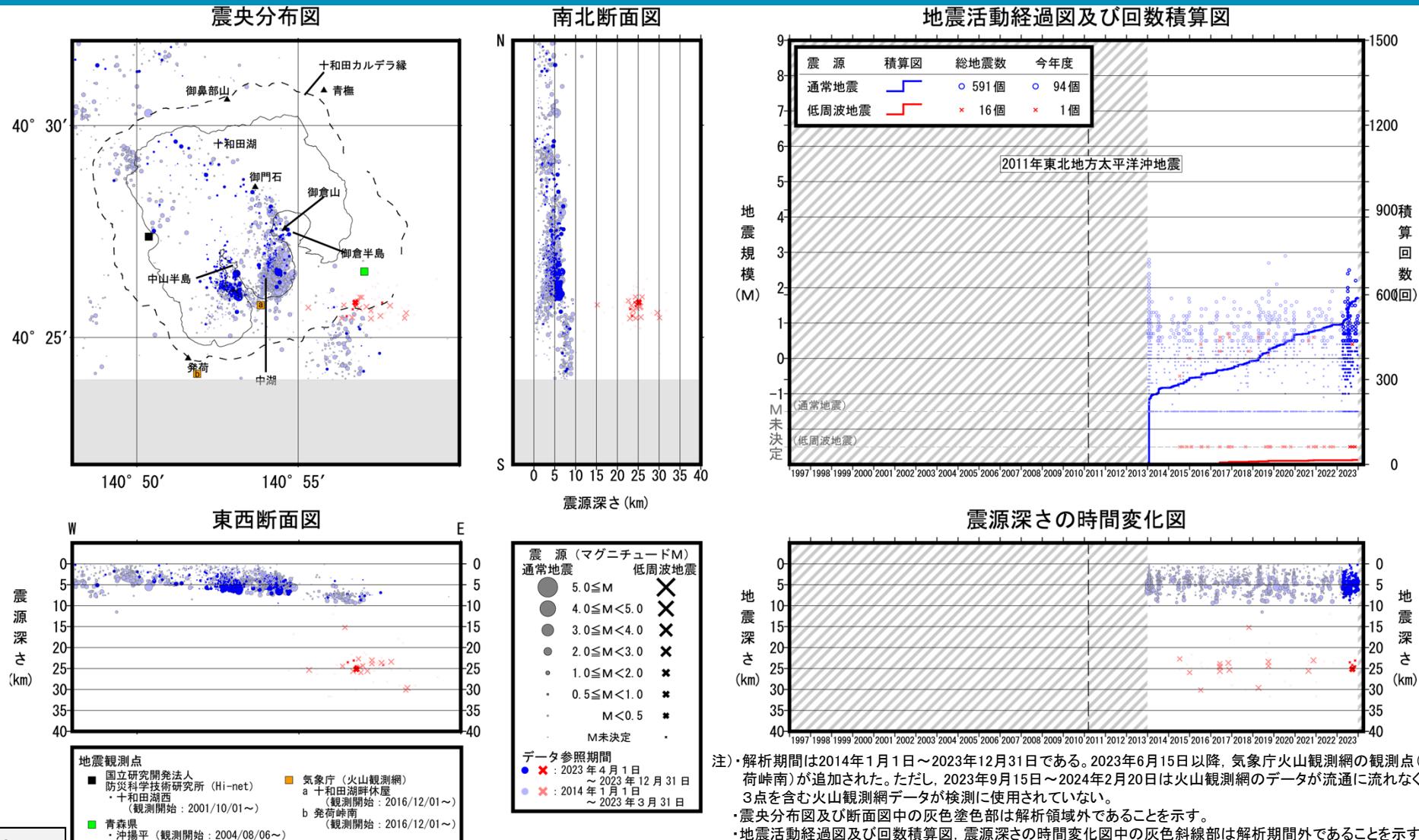
※1: 地震予知総合研究振興会では、青森県を中心に高密度微小地震地震観測網(AS-net)を展開している。

・AS-netは36の観測点からなり、深さ約20mの地中に三成分高感度地震計と三成分強震計が設置されている。

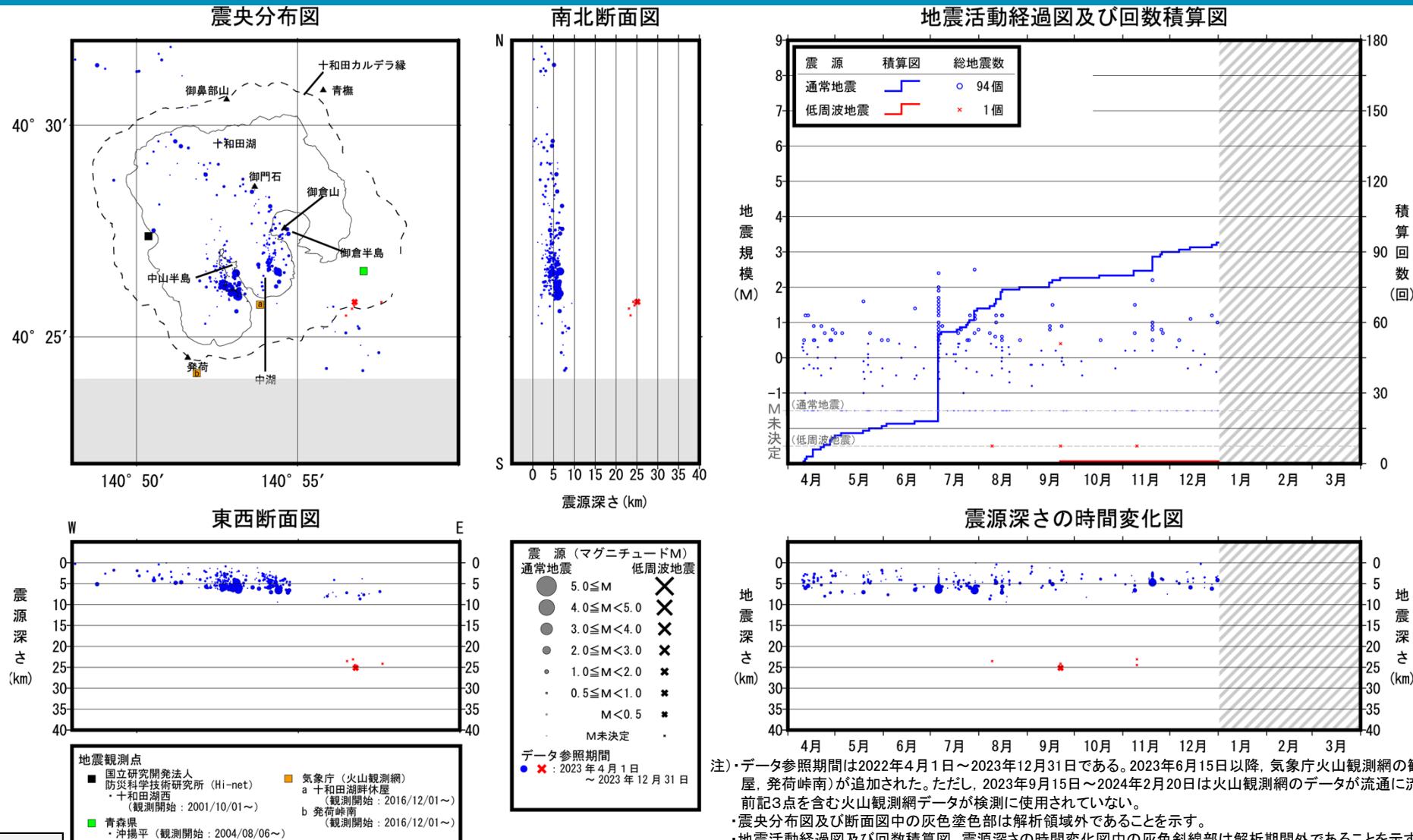
・AS-netで記録された地震データは、全国地震観測データ流通ネットワークJDX-netを通じて関係研究機関にリアルタイム配信され、防災科学技術研究所のホームページで一般に配布されている。

※2: 2023年6月15日以降、気象庁火山観測網の観測点(八甲田:鳥滝沢北、十和田:十和田湖畔休屋、発荷峠南)が追加された。ただし、2023年9月15日～2024年2月20日間は火山観測網のデータが流通に流れなくなっていたため、前記3点を含む火山観測網データが検測に使用されていない。

7.2 地震観測網の充実化(地震予知総合研究振興会) 〔十和田(地震活動:震源分布とマグニチュード)【全期間】〕



7.2 地震観測網の充実化(地震予知総合研究振興会) 〔十和田(地震活動:震源分布とマグニチュード)【2023年度】〕



特記事項

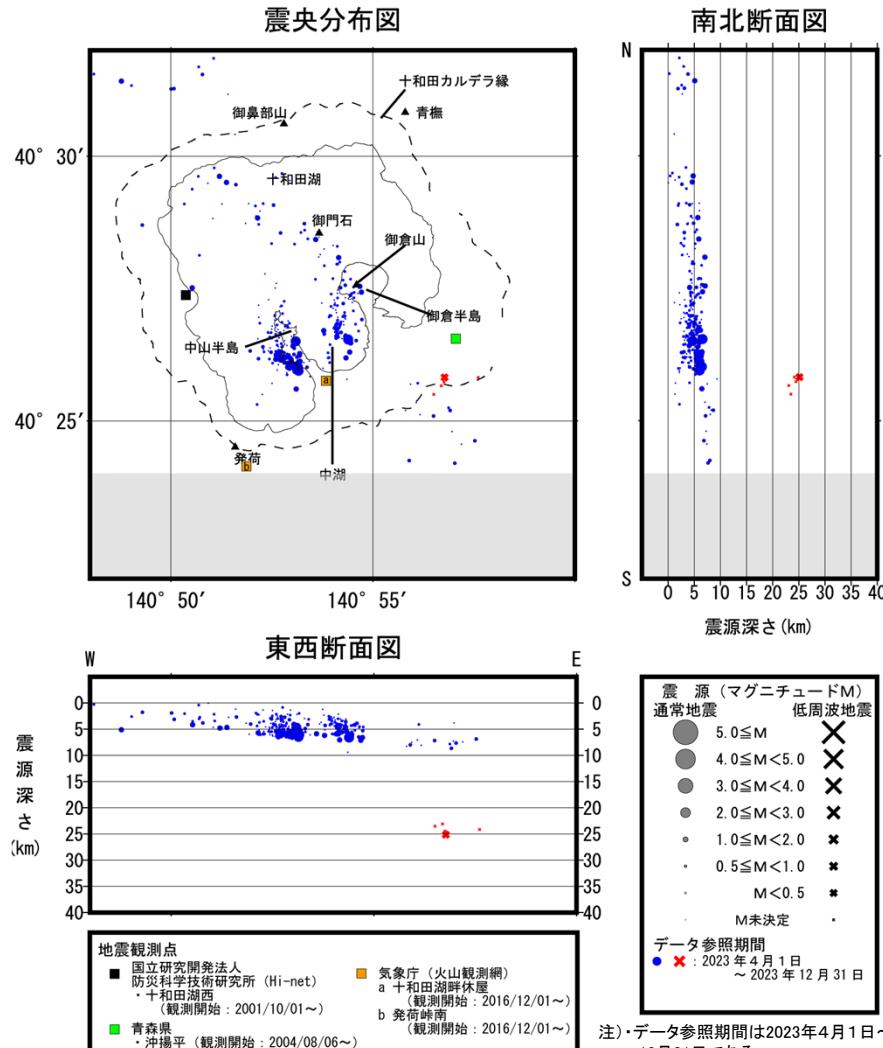
2023年度では、M0.5以上の通常の地震が94回観測された。低周波地震(M未決定除く)は1回観測された。

M0.5以上の通常の地震の震源位置は中山半島から中湖を中心に、十和田カルデラ北西から南東縁にかけての地域である。

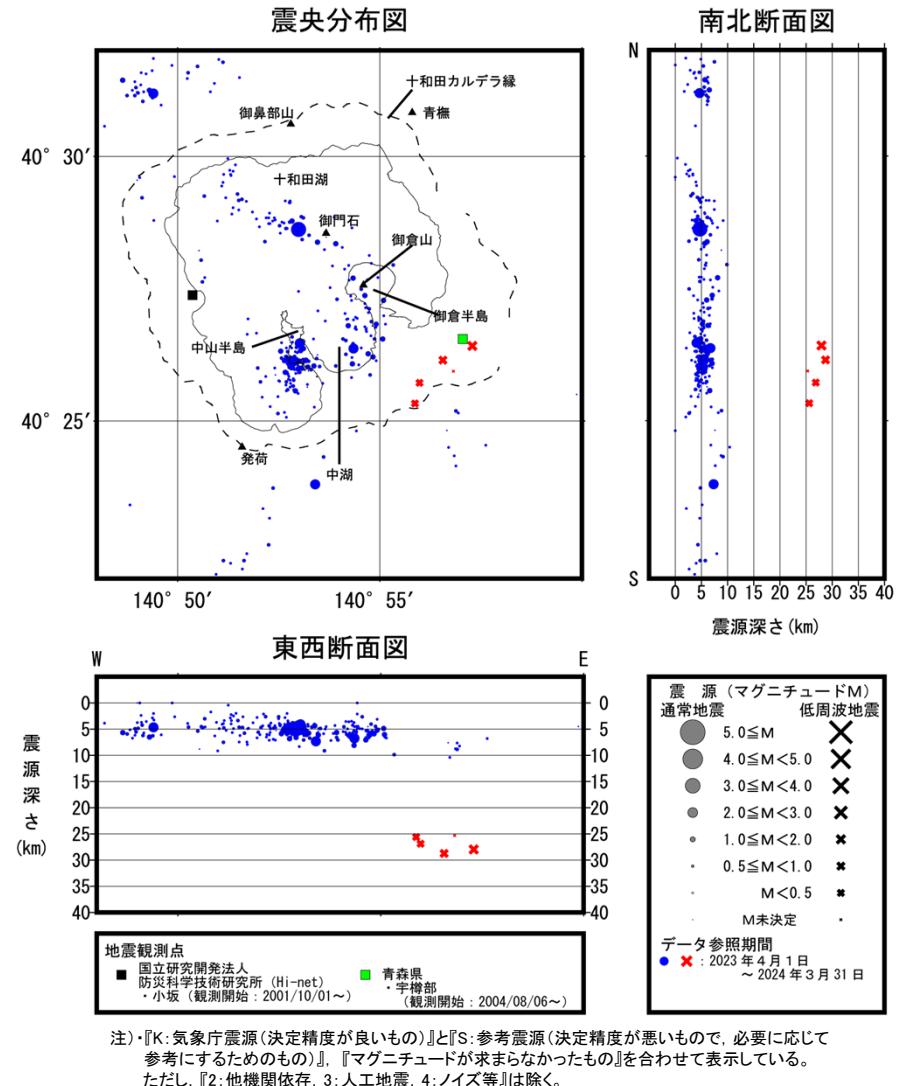
M0.5以上の通常の地震の震源深さは約9km以浅である。

7.2 地震観測網の充実化(地震予知総合研究振興会) 〔十和田【2023年度】気象庁一元化震源との比較〕

地震予知総合研究振興会



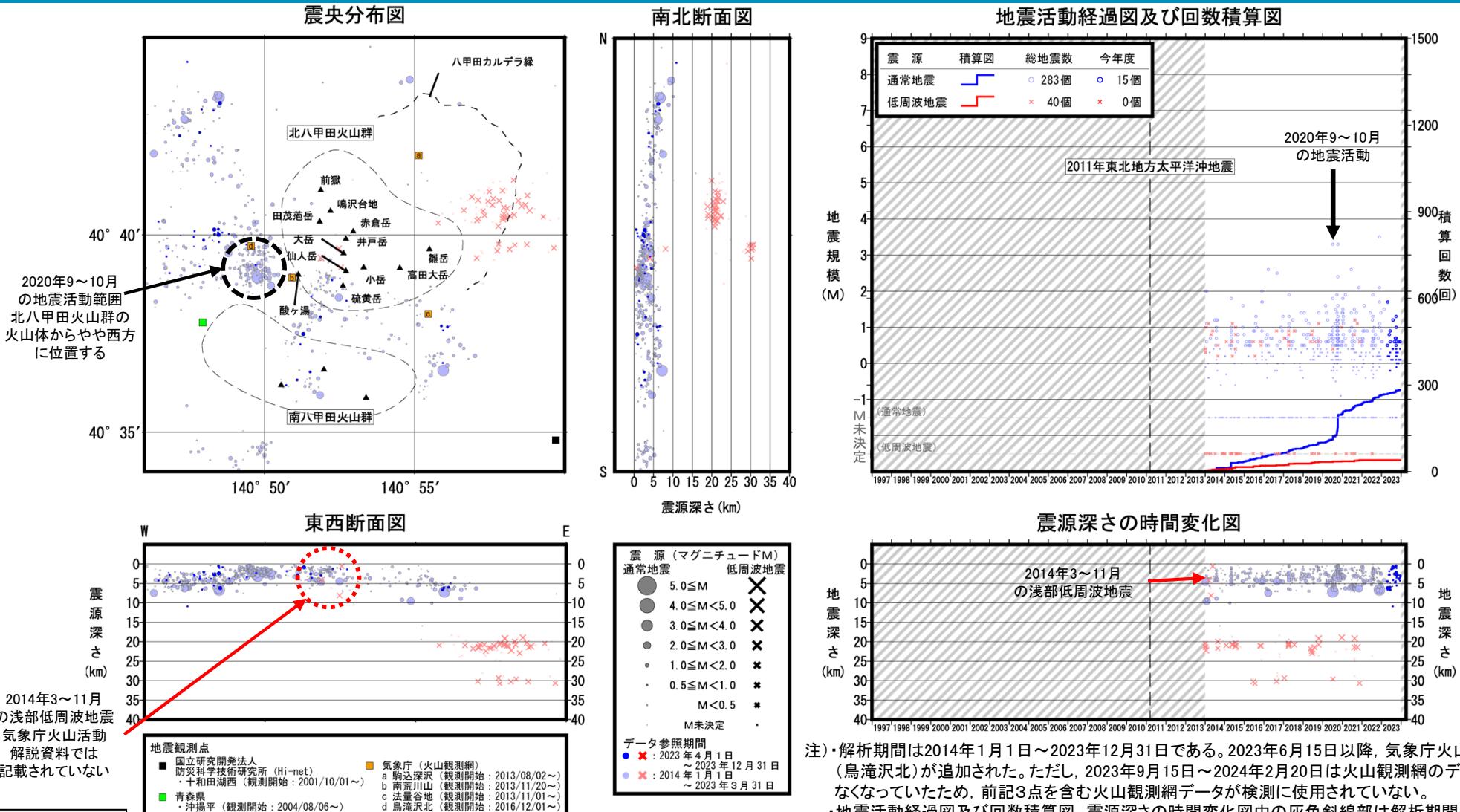
気象庁一元化震源



地震予知総合研究振興会の震源決定結果と気象庁一元化震源とでは、震源分布等において顕著な違いはみられない。

余白

7.2 地震観測網の充実化(地震予知総合研究振興会) 〔八甲田山(地震活動:震源分布とマグニチュード)【全期間】〕

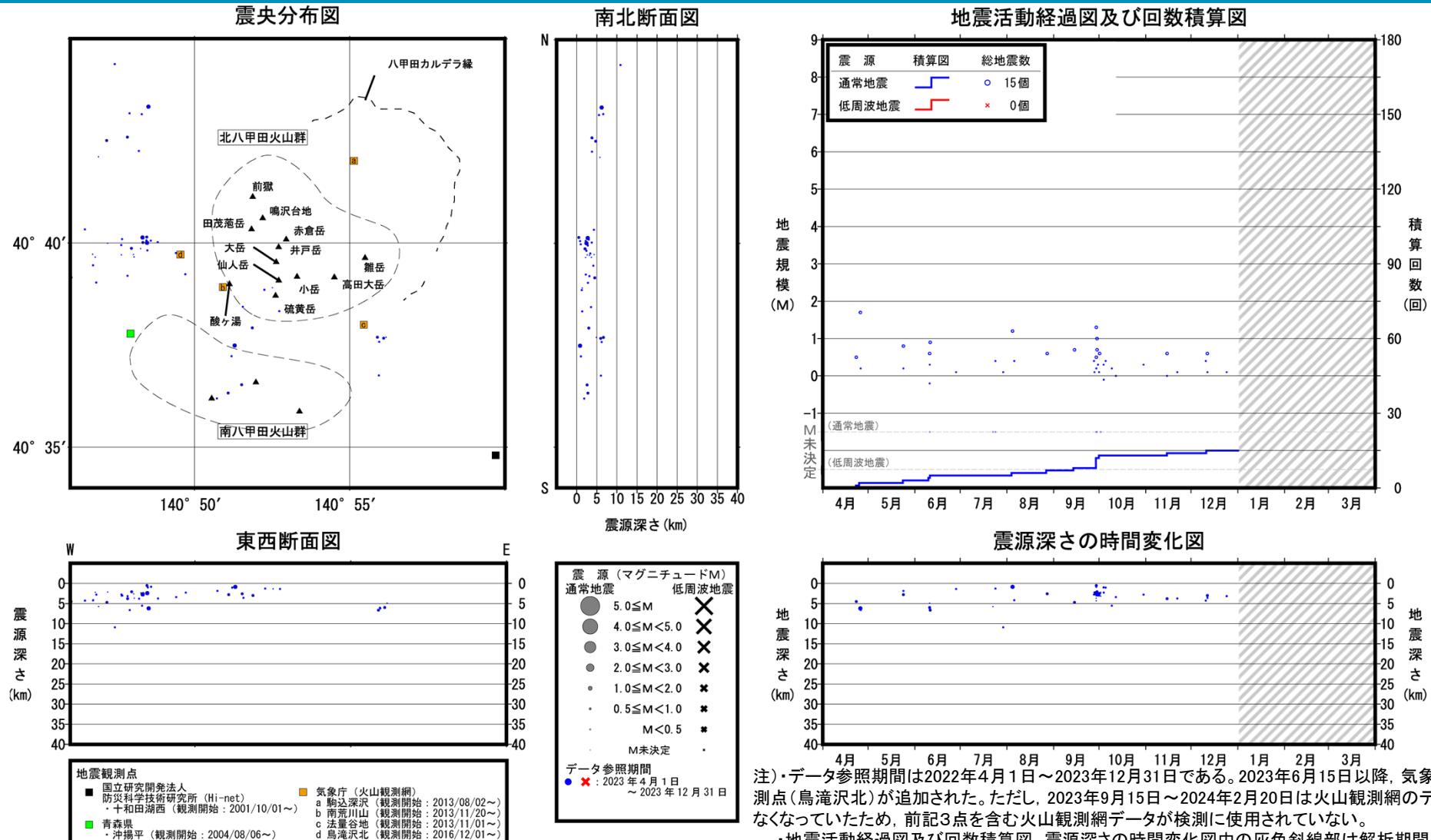


特記事項

北八甲田火山群の大岳付近から南八甲田火山群にかけての地域、北八甲田火山群西方及び八甲田カルデラ付近に震源を有する地震が観測してきた。通常の地震は深さ10km以浅、低周波地震は八甲田カルデラ東縁の深さ約19km～約31kmに震源を有する。
⇒地震の震源分布及びその発生頻度に大きな変化はなく、地震活動の活発化を示唆する顕著な変化は認められない。

注)・解析期間は2014年1月1日～2023年12月31日である。2023年6月15日以降、気象庁火山観測網の観測点(鳥滝沢北)が追加された。ただし、2023年9月15日～2024年2月20日は火山観測網のデータが流通に流れなくなっていたため、前記3点を含む火山観測網データが検査に使用されていない。
・地震活動経過図及び回数積算図、震源深さの時間変化図中の灰色斜線部は解析期間外であることを示す。
・通常の地震回数はM0.5以上のものを積算している。低周波地震回数はMが決定したものを積算している。

7.2 地震観測網の充実化(地震予知総合研究振興会) 〔八甲田山(地震活動:震源分布とマグニチュード)【2023年度】〕



特記事項

2023年度では、M0.5以上の通常の地震が15回観測された。低周波地震(M未決定除く)は観測されていない。

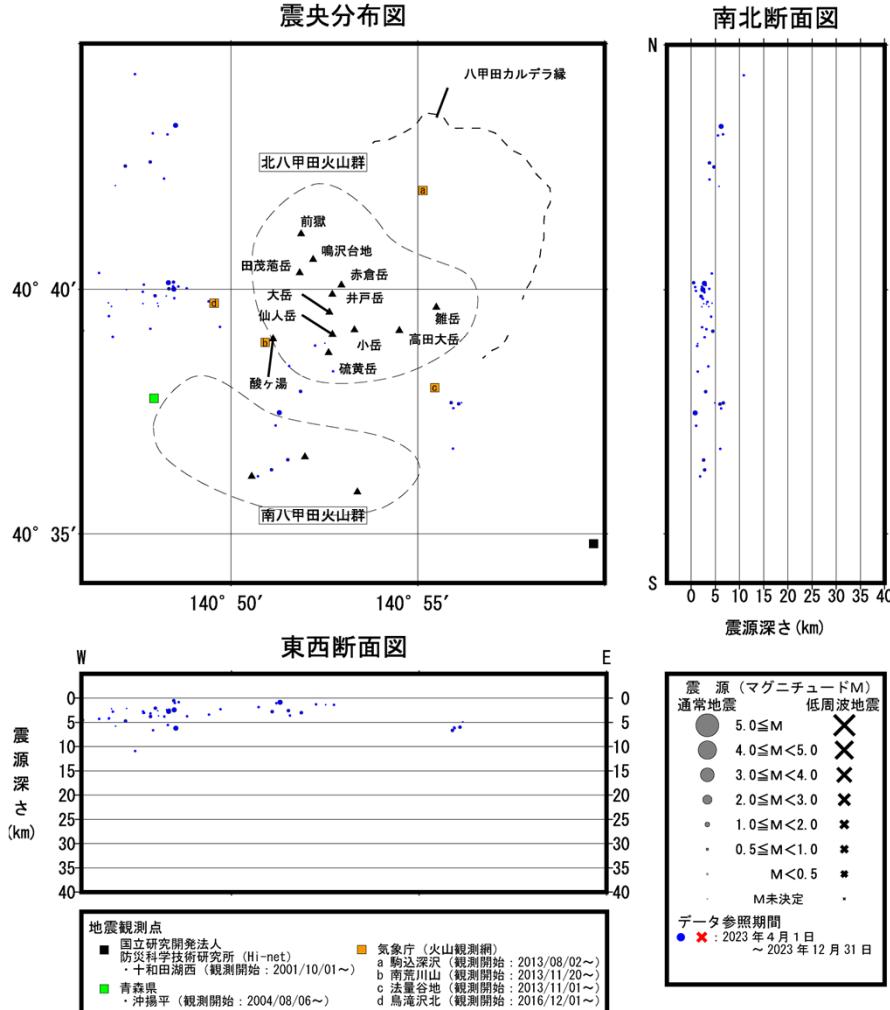
M0.5以上の通常の地震の震源位置は北八甲田火山群の西方及び北西方、硫黄岳付近から南八甲田火山群にかけての地域である。

M0.5以上の通常の地震の震源深さは約7km以浅である。

7.2 地震観測網の充実化(地震予知総合研究振興会) 〔八甲田山【2023年度】気象庁一元化震源との比較〕



地震予知総合研究振興会

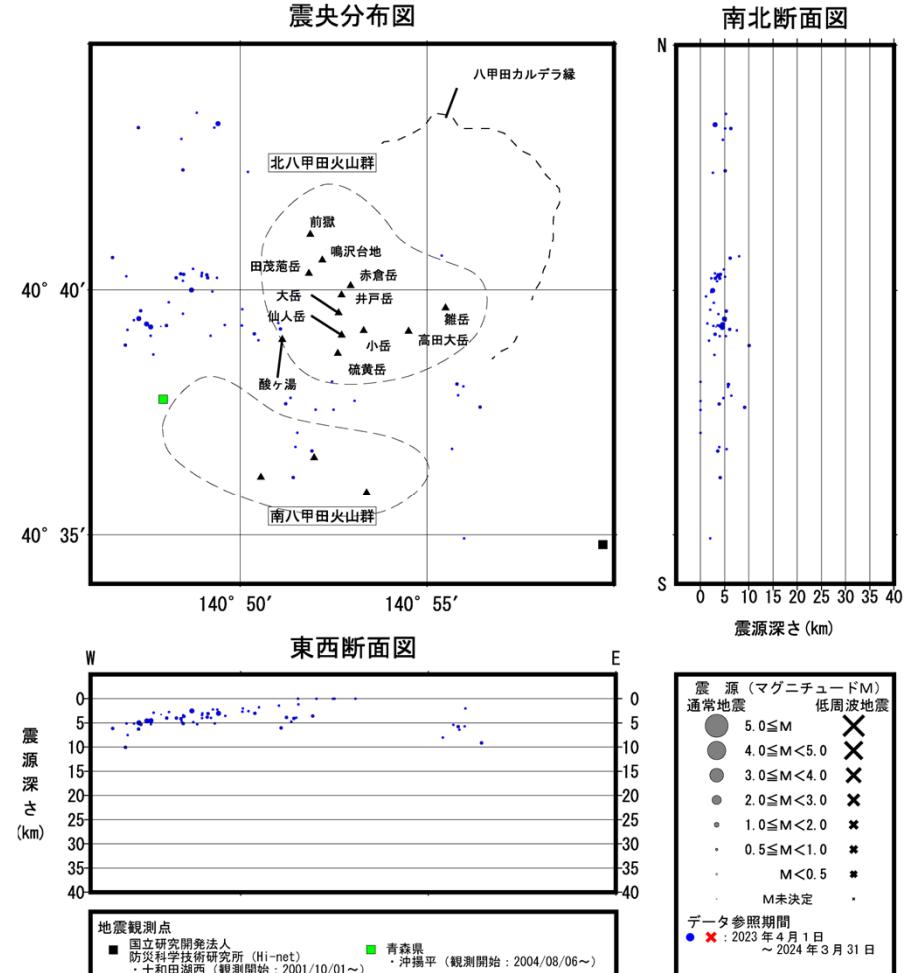


注)・データ参照期間は2023年4月1日～2023年12月31日である。

特記事項

地震予知総合研究振興会の震源決定結果と気象庁一元化震源とでは、震源分布等において顕著な違いはみられない。

気象庁一元化震源



注)・『K:気象庁震源(決定精度が良いもの)』と『S:参考震源(決定精度が悪いもので、必要に応じて参考にするためのもの)』、『マグニチュードが求まらなかったもの』を合わせて表示している。
ただし、2:他機関依存、3:人工地震、4:ノイズ等』は除く。

7.3 統計モデルを用いた評価の検討[ETASモデルの概要]

- Epidemic Type Atershock-Sequence(ETAS)モデル (Ogata, 1988, 1992)は、地震が地震を引き起こす性質を基にして間近の地震活動を予測するために開発された地震活動の時間変化を表すモデルである(尾形, 2019)。
- 「大森・宇津公式」の余震減衰の考え方方に、すべての地震がその規模に応じて余震を起こすというアイデアを取り入れたものである(尾形, 2019)。
- ETASモデルは、時刻 t でのマグニチュード M_c 以上の地震 ($M_i \geq M_c$) の発生強度 λ を予測するために、過去の地震データ $\{(t_i, M_i); i=1,2,\dots,N\}$ からの余震減衰曲線の重ね合わせで表現している(尾形, 2019)。
- ある期間に発生したマグニチュード M_c 以上の地震のデータを与えれば、モデルの5個のパラメータ μ, K, a, c, p の最尤推定値を求めることができる(宇津, 1996)。

$$v(t) = \frac{K}{(t+c)^p} \quad \dots \dots \text{大森・宇津公式}$$

t : 本震の発生時刻からの経過時間。

K, c, p : データから計算される余震活動を特徴づける定数。

大森・宇津公式
の余震減衰曲線
の重ね合わせ

$$\lambda(t|H_t) = \mu + \sum_{t_i < t} \frac{K_i}{(t - t_i + c)^p} \dots \dots \text{ETAS モデル (Ogata, 1988, 1992)}$$

K_i : 各地震について定まるべき定数で、付随する地震のクラスター数の大小に関係する。そのクラスターの規模の大小は先頭の地震の M_i に見合ったものになり、以下のような指數関数の式で表される。

$$K_i = K e^{a(M_i - M_c)}$$

μ : ポアソン的な発生強度を示すパラメータ。

「常時発生強度」と呼び、地域特有の地震発生の基礎的な強さを表す。

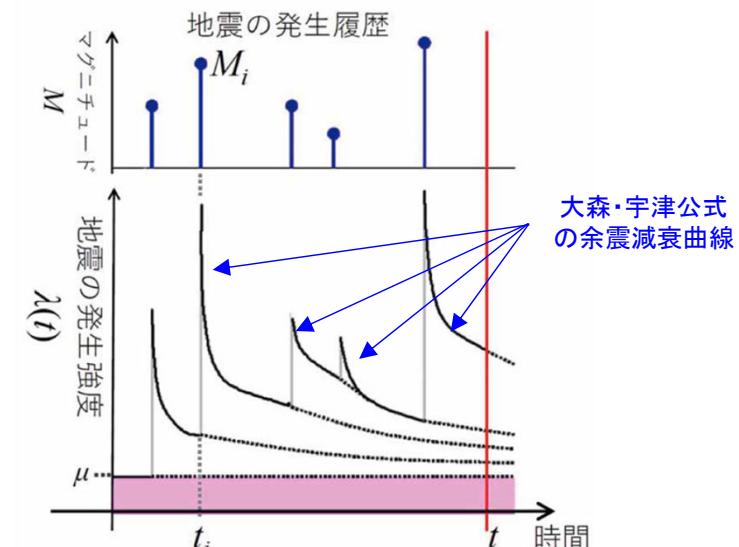
K : 活発さの程度を表す。余震を特徴づける定数。

a : 群れの大きさに対するマグニチュードの効率性を示す。本震とは余震の違いがはっきりしているパターンは大きい値、群発地震のように地震の大小が群れのサイズにそれほど効かない場合は小さい値をとる。

c : 時間軸の調整をするパラメータ。余震を特徴づける定数。

p : クラスターの地震群の時間経過に関する減衰の早さを示す。

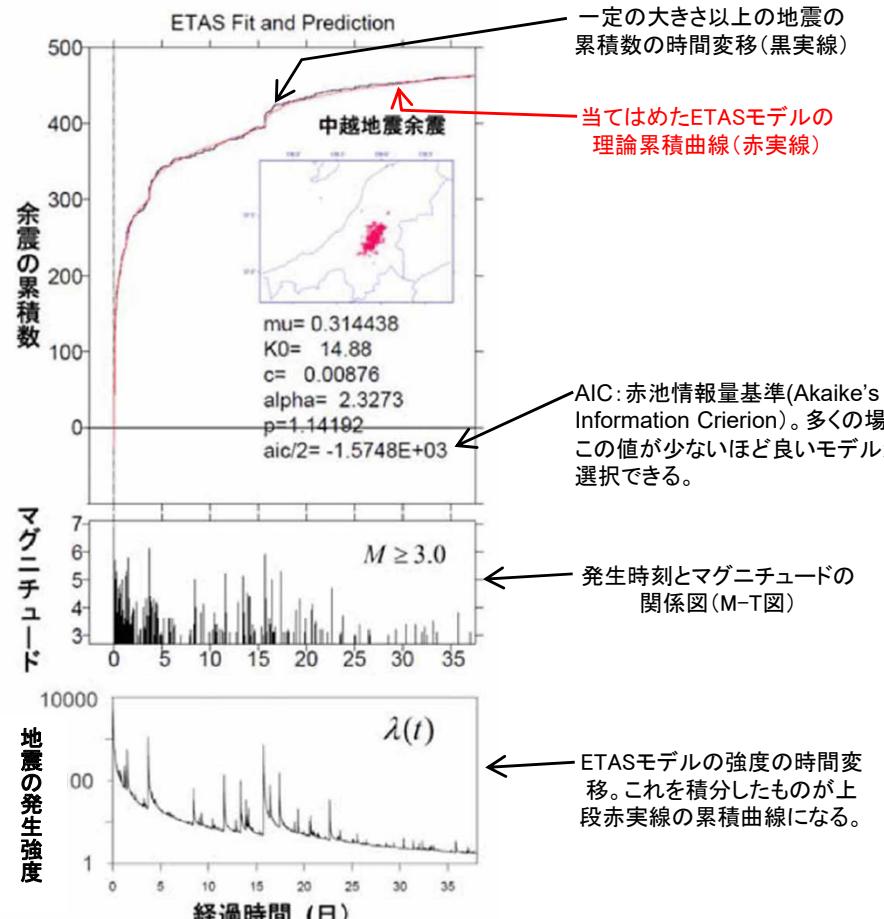
余震を特徴づける定数。



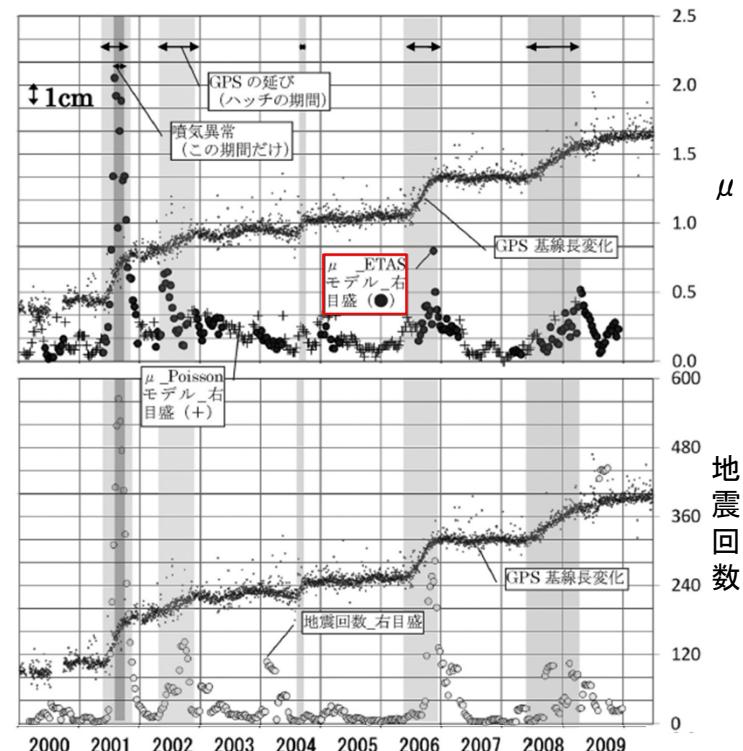
ETASモデルの模式図
(尾形, 2019に加筆)

7.3 統計モデルを用いた評価の検討[ETASモデルの事例]

- ETASモデルによる発生地震の期待数には、発生強度 λ を積分する。
- 下左図は余震系列や広域の地震データにETASモデルを当てはめた事例である。ETASモデル(赤実線)は、実際の地震の累積数(黒実線)によく重なりあうことがわかる。



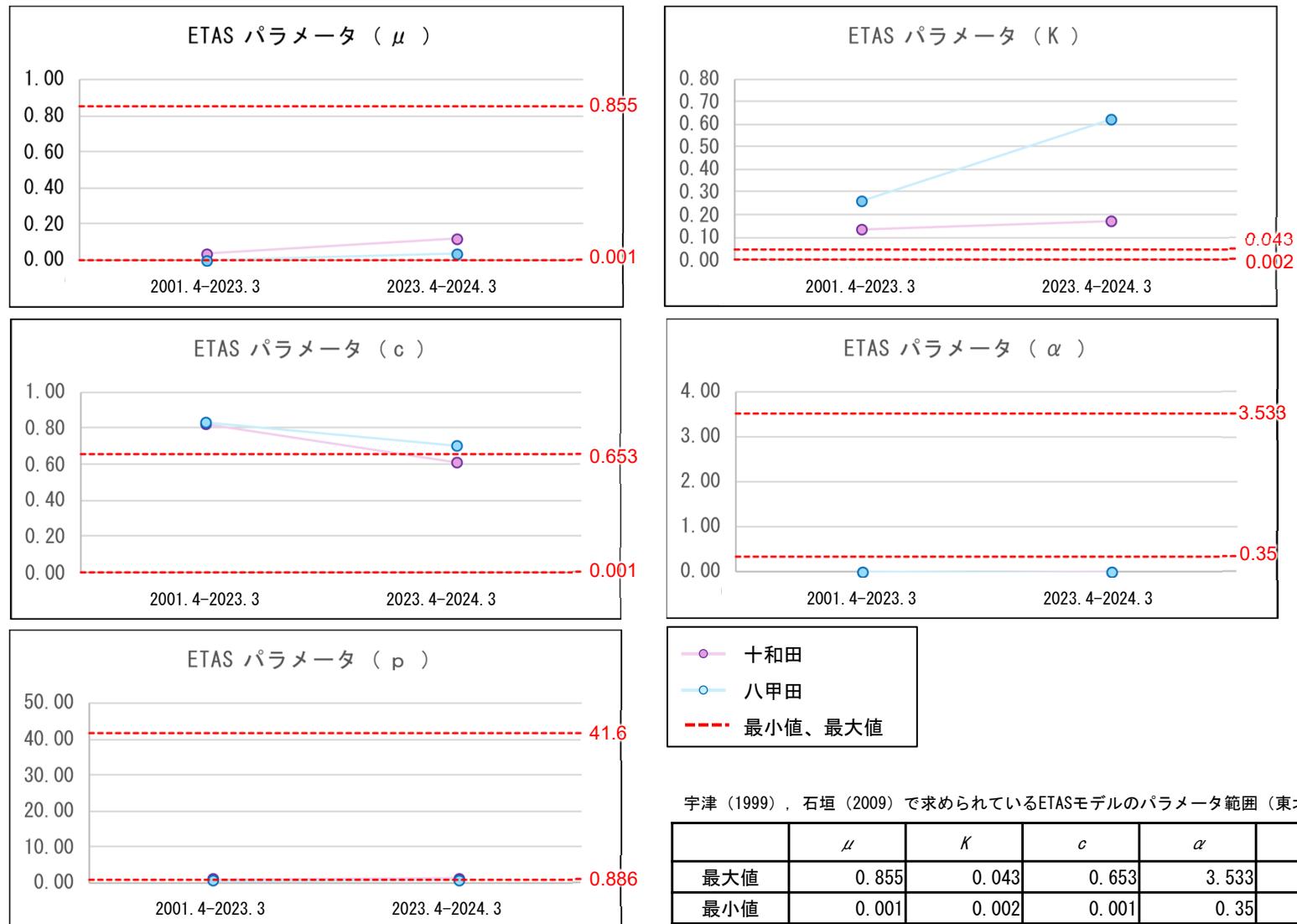
- 過去の火山性地震にETASモデルを適用し、火山活動度の定量化を試みる研究事例として、箱根山(石垣ほか, 2010), 伊豆半島東方沖(Kumazawa et al, 2016)等があげられる。
- 石垣ほか(2010)は、神奈川県温泉地学研究所の震源データを使用し、箱根山周辺の2000年～2009年の期間でETAS解析を実施した結果、箱根山のETASの μ 値は噴火異常、短期の地殻変動(GPS)と良い相関があることを示した。



GPS 観測結果と箱根の地震活動パラメータの関係
(石垣ほか, 2010に抜粋・加筆)
ハッチをかけた時期はGPSの短期の伸びがみられた期間であり、噴火異常が見られた時期(2001/7/19～8/7)はさらに濃いハッチをかけている。

7.3 統計モデルを用いた評価の検討[ETASモデルの評価対象火山への適用]

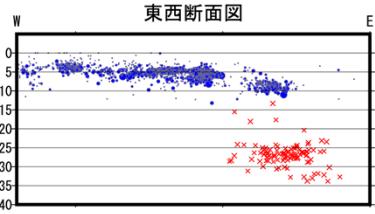
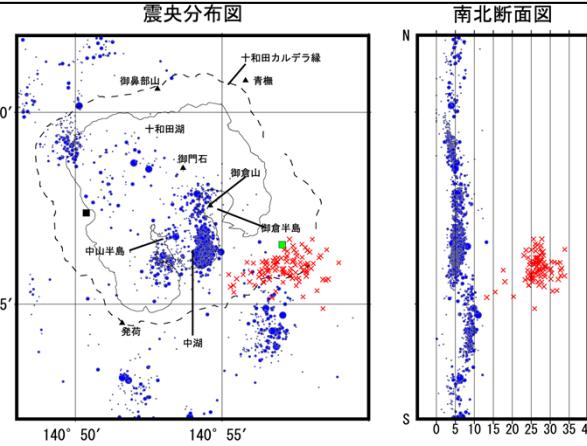
- 地震活動の変化が、ETASパラメータ μ, K, a, c, p の値の変化に反映されるものと考え、ETASモデルを用いて過去のパラメータ（長期）と2023年度のパラメータとを比較することで、地震活動状況の変化の有無を確認した。



- 十和田では、長期と2023年度のパラメータとで顕著な変化はみられない。
- 八甲田山では、長期と2023年度のパラメータとで顕著な変化はみられないが、 K の値のみ過去のパラメータと比較してやや大きい値となった。
- μ を除く各パラメータは、文献値とは乖離しているが、解析領域の違いが影響しているものと考えられる。

7.3 統計モデルを用いた評価の検討(ETASモデル:十和田)

- 十和田における2001年4月～2023年3月の計算結果を示す。



震源（マグニチュードM）

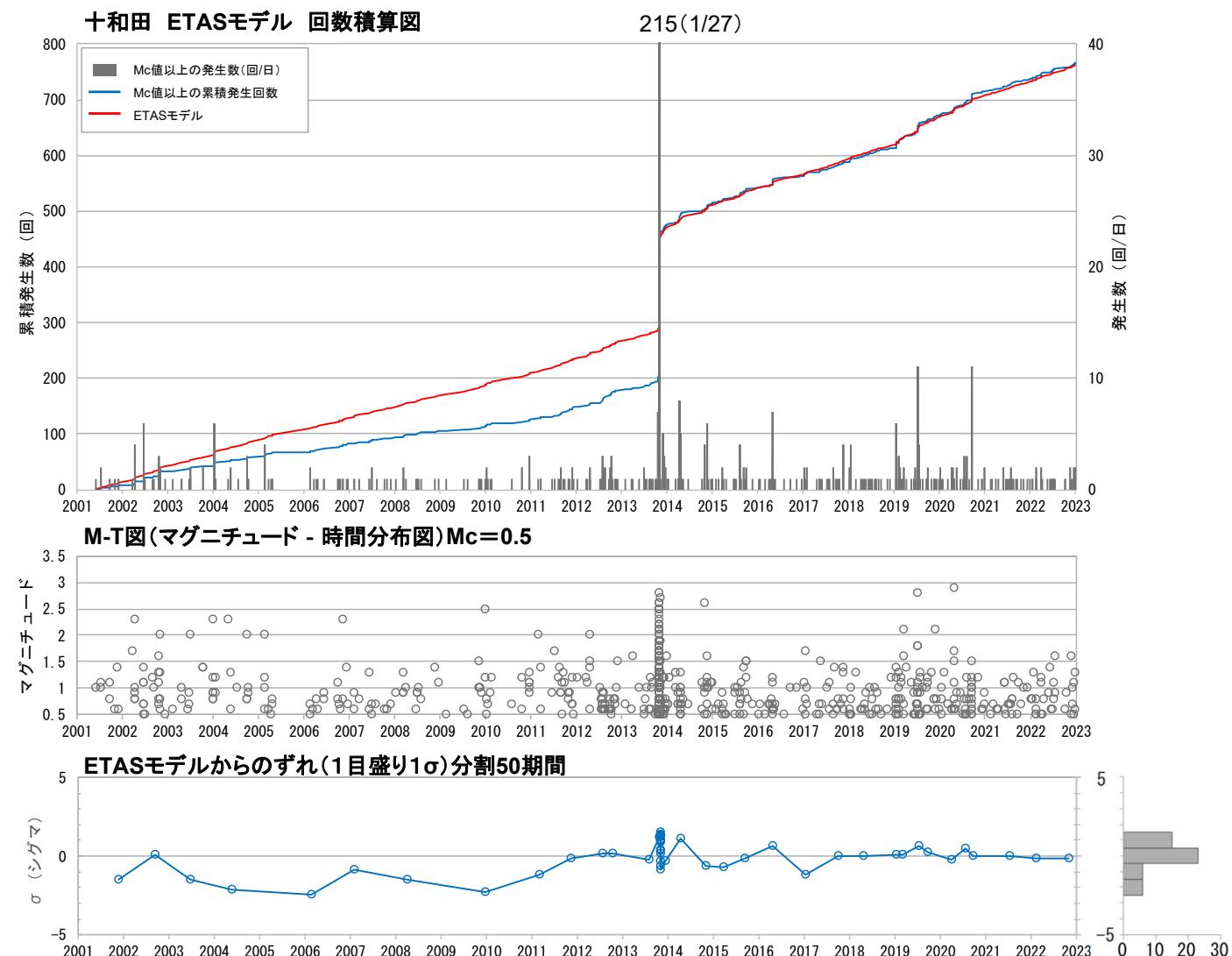
通常地震 低周波地震

- 5.0 ≤ M ×
- 4.0 ≤ M < 5.0 ×
- 3.0 ≤ M < 4.0 ×
- 2.0 ≤ M < 3.0 ×
- 1.0 ≤ M < 2.0 *
- 0.5 ≤ M < 1.0 *
- M < 0.5 *
- M未決定 *

地震観測点

- 国立研究開発法人
防災科学技術研究所（Hi-net）
・小坂（観測開始：2001/10/01～）
- 青森県
・宇樽部（観測開始：2004/08/06～）

ETASモデルの パラメーター	
μ	0.036661
K	0.13111
c	0.82256
α	0.00057622
p	1.2312
AIC	237.139456



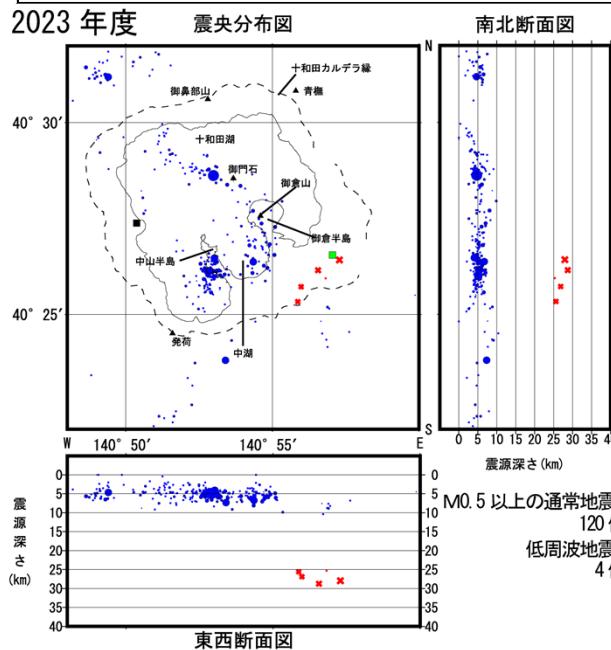
注)ETASモデルの計算にはOgata(2006)の地震活動解析のプログラム(SASeis2006)を使用した。

ETASモデルからのずれ右端のヒストограмが概ね正規分布に近い形になつていればモデルが適切であると考えられる(石垣ほか, 2010)。Mc値=0.5以上の通常地震を使用した。

AIC(赤池情報量基準)は統計モデルの良さを評価する指標(値が小さいほど当てはまりが良い)。

7.3 統計モデルを用いた評価の検討[ETASモデル: 十和田]

➤ 十和田における2023年4月～2024年3月の計算結果を示す。



震源 (マグニチュードM)
通常地震 低周波地震

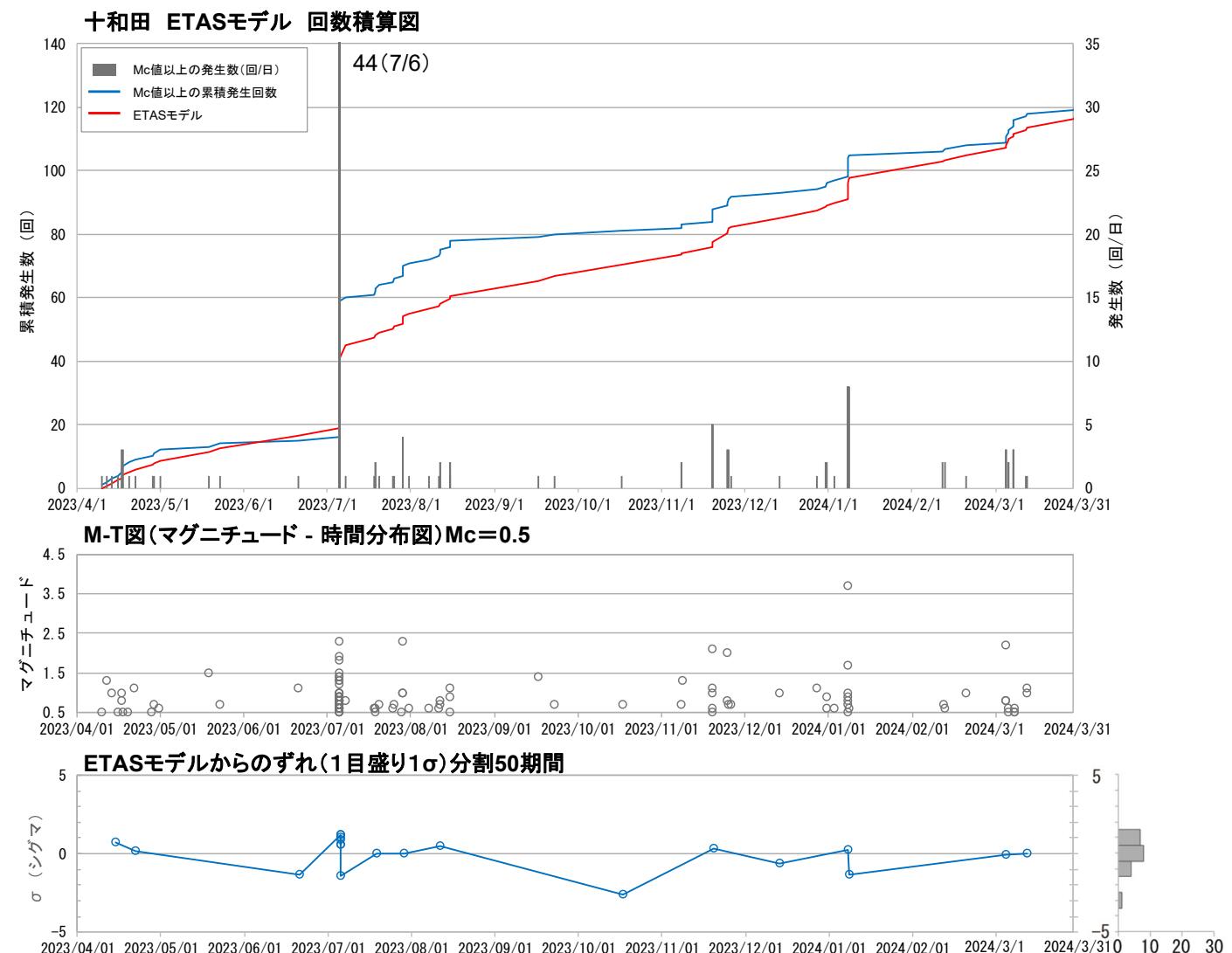
- 5.0 ≤ M
- 4.0 ≤ M < 5.0
- 3.0 ≤ M < 4.0
- 2.0 ≤ M < 3.0
- 1.0 ≤ M < 2.0
- 0.5 ≤ M < 1.0
- M < 0.5
- M未決定

地震観測点

- 国立研究開発法人
防災科学技術研究所 (Hi-net)
・小坂 (観測開始: 2001/10/01～)
- 青森県
・字海岸 (観測開始: 2004/08/06～)

ETASモデルのパラメーター

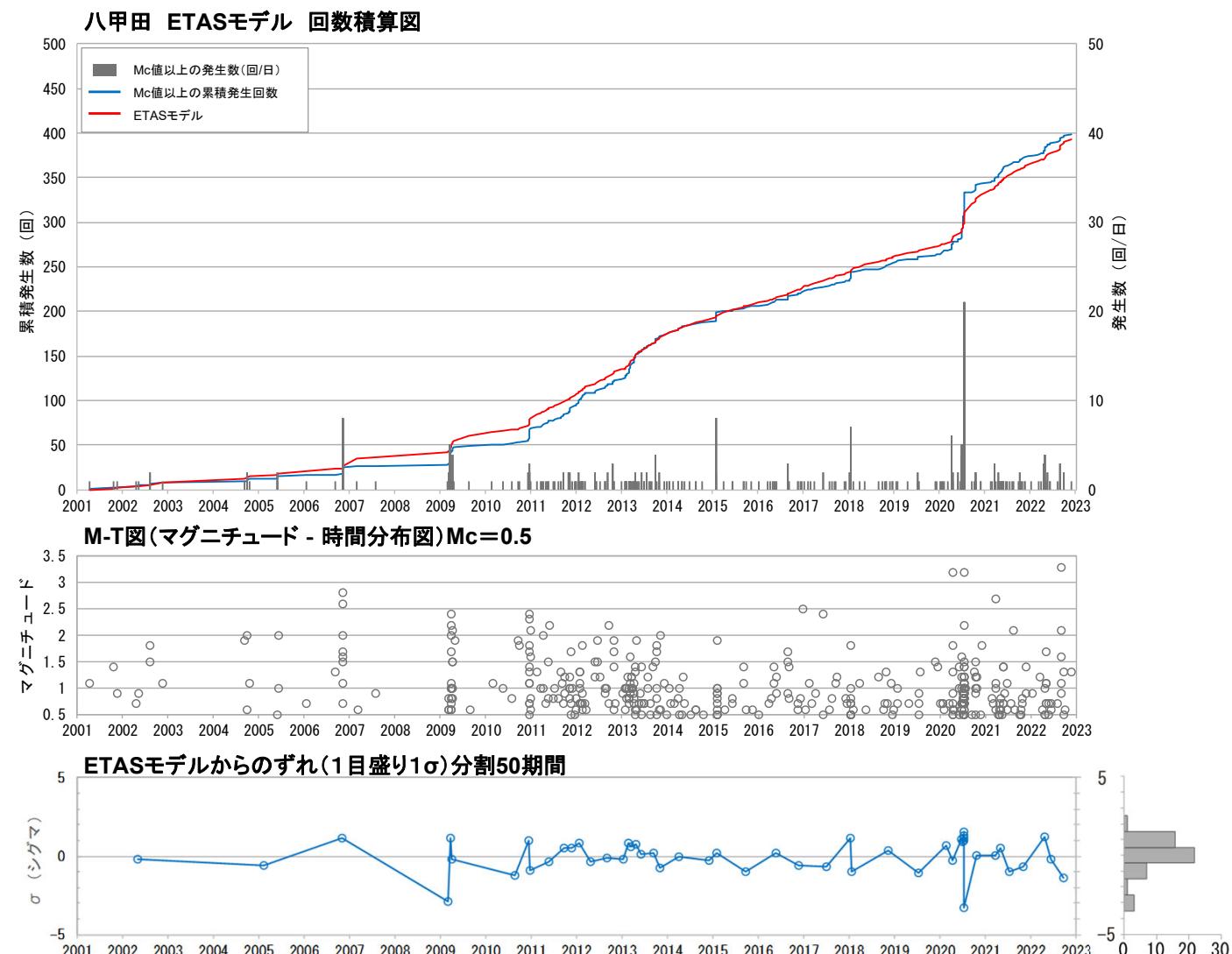
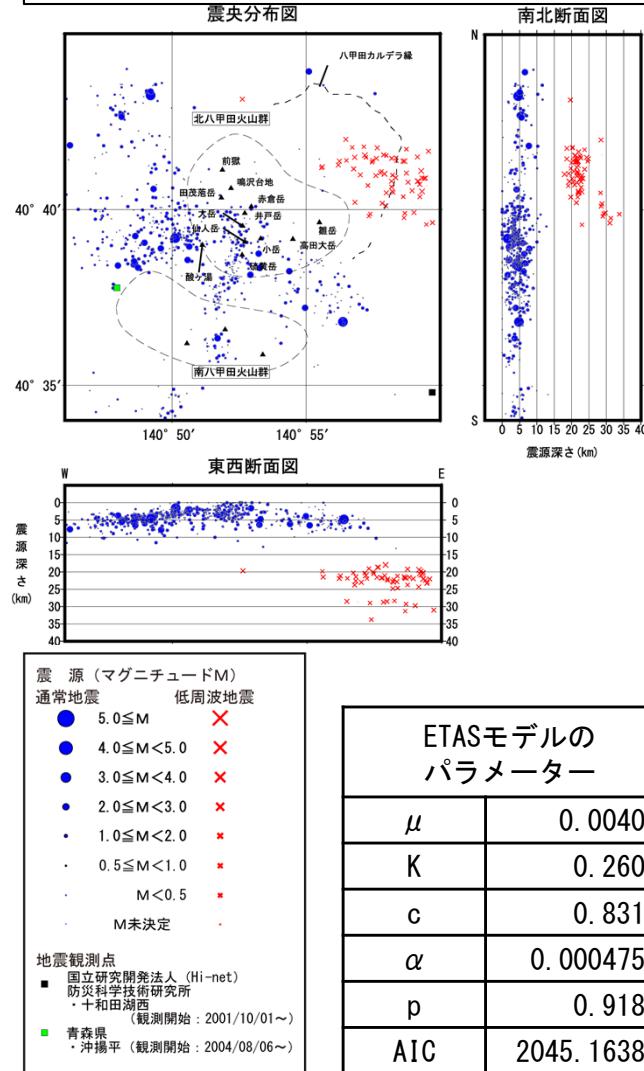
μ	0.1236
K	0.17055
C	0.61301
α	0.00097541
p	1.4145
AIC	-207.4924528



注) ETASモデルの計算にはOgata(2006)の地震活動解析のプログラム(SASeis2006)を使用した。
 ETASモデルからのずれ右端のヒストグラムが概ね正規分布に近い形になっていればモデルが適切であると考えられる(石垣ほか, 2010)。
 Mc 値 = 0.5以上の通常地震を使用した。
 AIC(赤池情報量基準)は統計モデルの良さを評価する指標(値が小さいほど当てはまりが良い)。

7.3 統計モデルを用いた評価の検討[ETASモデル: 八甲田山]

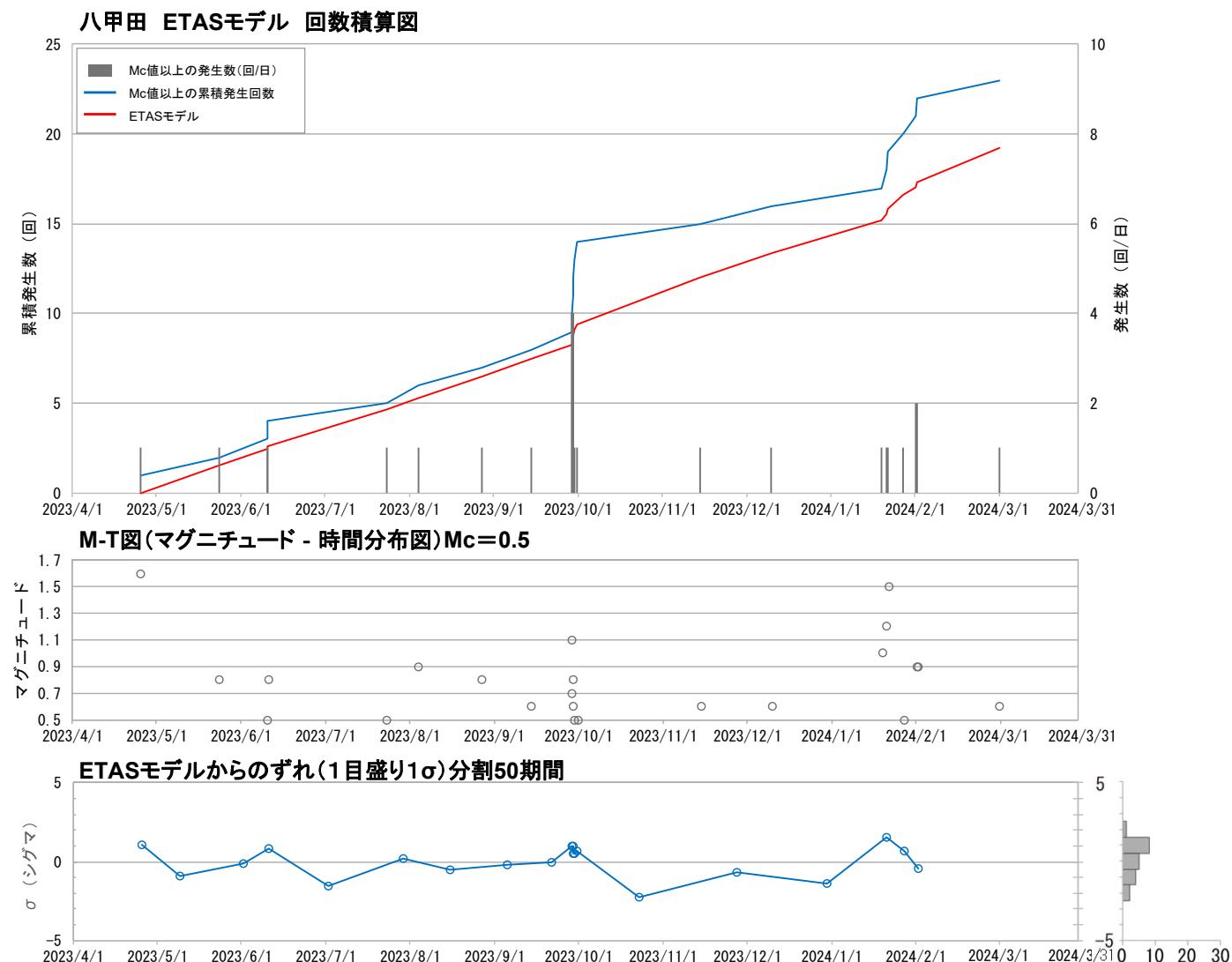
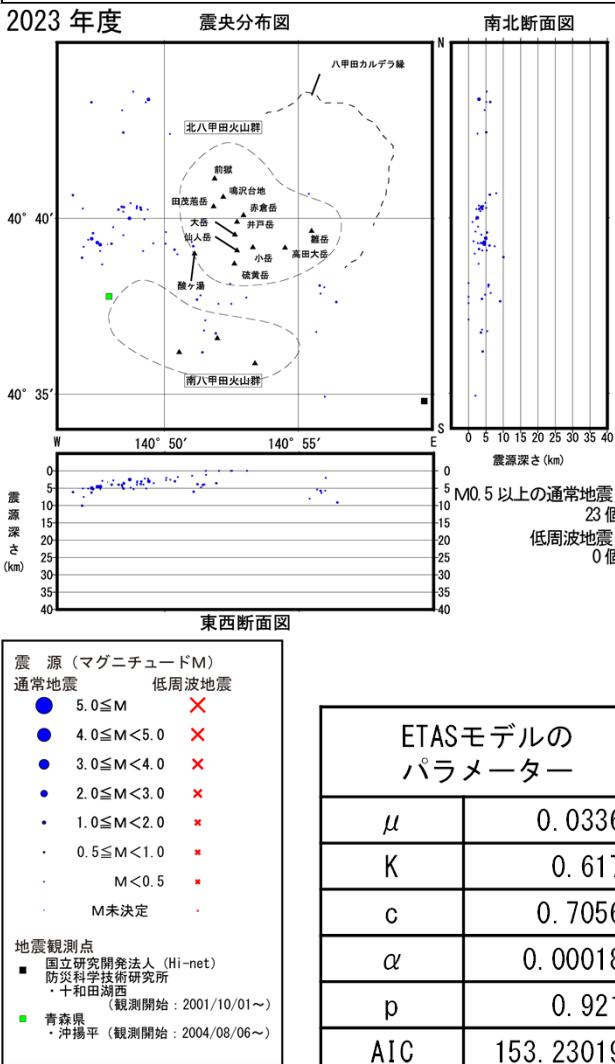
八甲田山における2001年4月～2023年3月の計算結果を示す。



注) ETASモデルの計算にはOgata(2006)の地震活動解析のプログラム(SASeis2006)を使用した。
 ETASモデルからのずれ右端のヒストグラムが概ね正規分布に近い形になっていればモデルが適切であると考えられる(石垣ほか, 2010)。
 $Mc=0.5$ 以上の通常地震を使用した。
 AIC(赤池情報量基準)は統計モデルの良さを評価する指標(値が小さいほど当てはまりが良い)。

7.3 統計モデルを用いた評価の検討[ETASモデル: 八甲田山]

八甲田山における2023年4月～2024年3月の計算結果を示す。



注) ETASモデルの計算にはOgata(2006)の地震活動解析のプログラム(SASeis2006)を使用した。

ETASモデルからのずれ右端のヒストグラムが概ね正規分布に近い形になっていればモデルが適切であると考えられる(石垣ほか, 2010)。
 $Mc=0.5$ 以上の通常地震を使用した。

AIC(赤池情報量基準)は統計モデルの良さを評価する指標(値が小さいほど当てはまりが良い)。

7.4 八甲田山周辺におけるGNSS観測点の新設に係る事前調査

- 電子基準点「黒石」の基線において、降雪の影響と考えられる管理基準の超過が2022年1～2月に発生した。
- これも踏まえ、複数点での評価による八甲田山周辺における地殻変動の観測強化を目的に、当社でGNSS観測点を新設する。
- 八甲田山周辺は豪雪地帯であり、冬季におけるGNSS解析におけるデータばらつきの一因となっていることを踏まえ、2023年度は、冬季における八甲田山の積雪状況の確認を行った。
- 2024年度は現地調査等を行い、その後、GNSS観測点の設置・運用開始を行う計画である。



八甲田山周辺の観測点

- 当社が設置した水準点
- 気象庁によるGNSS観測点
- 国土地理院の電子基準点

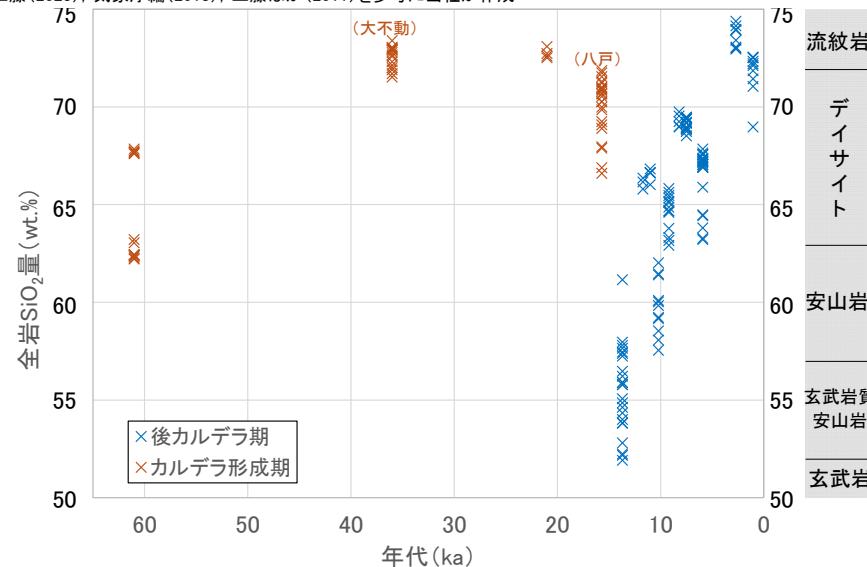


7.5 巨大噴火以降のマグマ組成の時間変化について【十和田】

- 十和田において発生した巨大噴火(八戸, 大不動)に寄与したマグマはデイサイト質ないし流紋岩質である。
- 後カルデラ期での最初期噴火は玄武岩質～安山岩質であり、最後の巨大噴火を境に極端なマグマ組成の変化が発生した。その後、珪長質なマグマの活動に変化しており、AD915年の最新噴火は流紋岩質である。
- 仮に今後噴火が発生した場合には、試料の採取及び化学組成分析を行い、過去の噴出物データを参考にしながら火山活動の評価を行う。

活動期区分	噴火の特徴	マグマ組成	爆発的噴火の規模
後カルデラ期 (15.7ka～現在)	・最新噴火(AD915年)で、降下火碎物、火砕サージ、火砕流が噴出 ・爆発的噴火とそれに伴う中湖火口の形成 ・五色岩火山、御門石溶岩、御倉山溶岩(溶岩ドーム)の形成 ・高噴出率期	デイサイト・流紋岩 ↑ 玄武岩・安山岩	2.52～0.1 DREkm ³
カルデラ形成期 (61～15.7ka)	・十和田カルデラの形成 ・大規模な火砕流の発生 ・ブリニー式噴火、マグマ水蒸気噴火の繰り返し発生 ・巨大噴火(大不動、八戸)前には数万年間の低噴出率期	デイサイト～流紋岩 (一部安山岩)	20.3～0.18 DREkm ³
先カルデラ期 (184～69ka)	・成層火山体の形成 ・溶岩の流出と爆発的噴火(降下火碎物の噴出)	玄武岩～流紋岩 で多様	1.92～0.06 DREkm ³

工藤(2023), 気象庁編(2013), 工藤ほか(2011)を参考に当社が作成

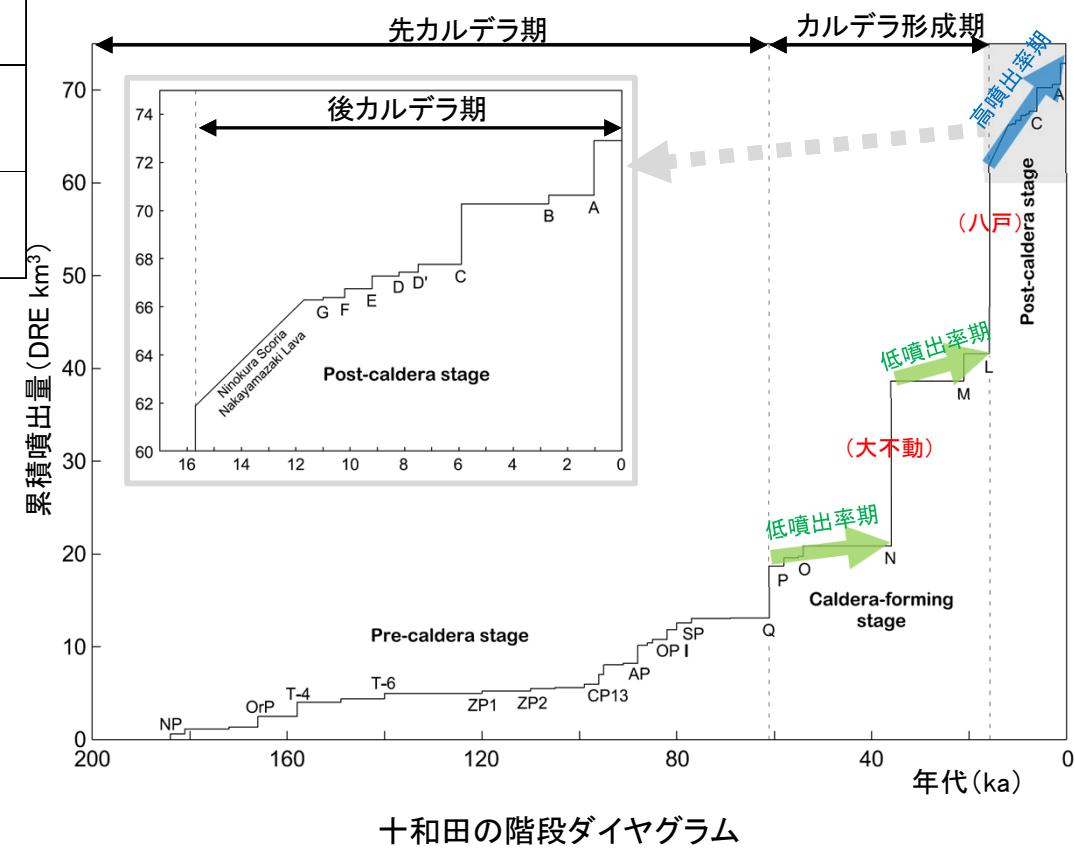


十和田におけるカルデラ形成期以降の噴出物化学組成の時間変化

(工藤(2023), 工藤ほか(2019), Bas and Streckeisen(1991)に基づき作成)

※御門石溶岩の噴出年代は11.7ka～2.7kaのいずれかの時期とされるが、本図では便宜上11.7kaとして反映した。

火山岩の分類は、TAS図におけるNa₂O+K₂O量が5wt.%でのSiO₂量に基づく。



十和田の階段ダイヤグラム
(工藤(2023)に一部加筆)

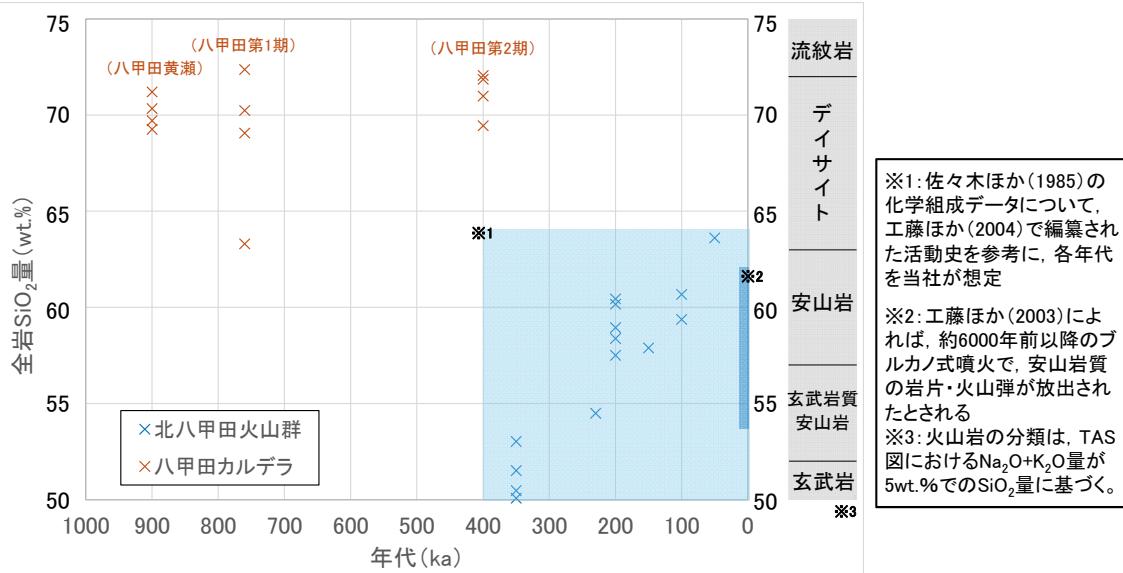
7.5 巨大噴火以降のマグマ組成の時間変化について【八甲田山】

- 八甲田山において発生した巨大噴火(八甲田第1期, 八甲田第2期)に寄与したマグマはデイサイト質ないし流紋岩質である。
- 後カルデラ火山(北八甲田火山群)においては玄武岩質～安山岩質マグマによる活動が主体であり、一部でデイサイトとなる。十和田と同様、最後の巨大噴火を境に極端なマグマ組成の変化が認められる。最近6000年間では、安山岩質マグマによるブルカノ式噴火～水蒸気噴火が卓越する。
- 仮に今後噴火が発生した場合には、試料の採取及び化学組成分析を行い、過去の噴出物データを参考にしながら火山活動の評価を行う。

活動した火山	噴火の特徴	マグマ組成	爆発的噴火の規模
後カルデラ火山: 北八甲田火山群 (0.4Ma～現在)	・溶岩の噴出を主体とした成層火山、溶岩ドームの形成 ・爆発的噴火(降下火砕物の噴出)も確認される ・最近約6000年間ではブルカノ式噴火及び水蒸気噴火が発生。最近2000年間は水蒸気噴火が卓越する	玄武岩～デイサイト。 安山岩に卓越	0.1～3.3 DREkm ³
八甲田カルデラ (0.9～0.4Ma)	・八甲田カルデラの形成 ・大規模な火砕流の発生(八甲田第2期火砕流、八甲田第1期火砕流、八甲田黄瀬火砕流、八甲田中里川火砕流) ・火砕流発生前にはブリニー式噴火による降下軽石の噴出	デイサイト～流紋岩	八甲田第1期: 17.8DREkm ³ 八甲田第2期: 17.3DREkm ³
先カルデラ火山: 南八甲田火山群 (1.1～0.3Ma)	・多くの成層火山体の形成 ・溶岩、降下火砕物、火砕流の噴出	玄武岩～(玄武岩質) 安山岩、一部にデイサイト	個々の噴火規模不明

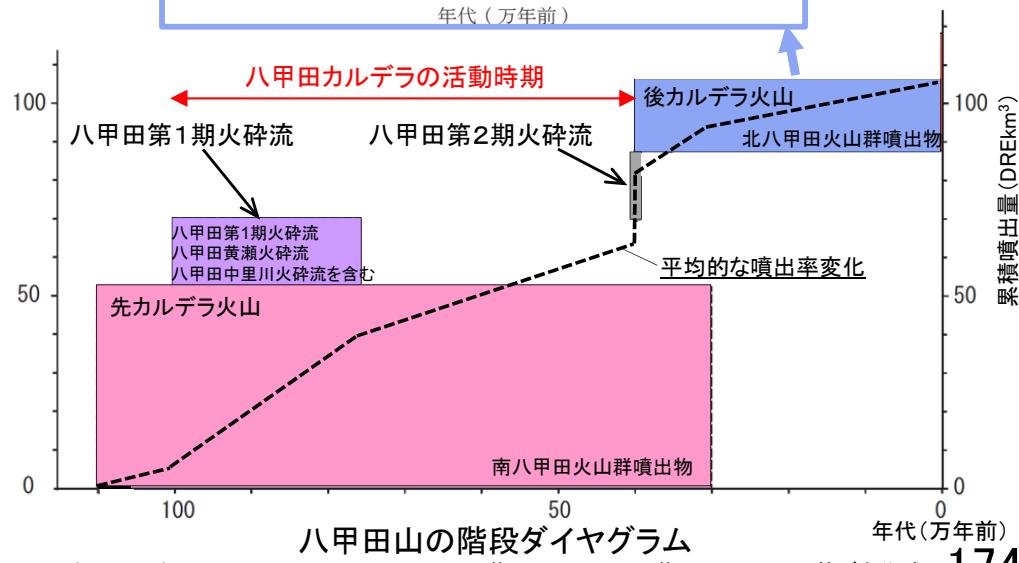
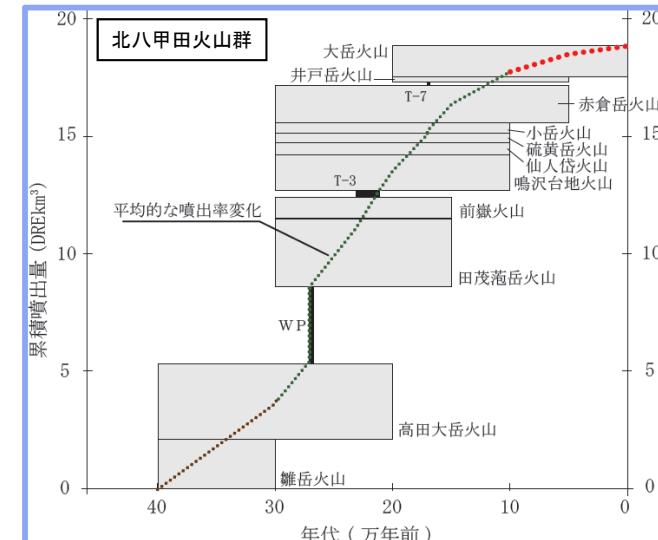
以下の文献を参考に当社が作成

工藤ほか(2003), 工藤ほか(2004), 工藤ほか(2006), 工藤ほか(2011), 宝田・村岡(2004), Umeda et al.(2013), 中野ほか編(2013)



八甲田カルデラの活動以降の噴出物化学組成の時間変化

(中野ほか編(2013), 工藤ほか(2006), 工藤ほか(2004), 工藤ほか(2003), Bas and Streckeisen(1991), 佐々木ほか(1985)に基づき作成)



(中野ほか編(2013), Umeda et al.(2013), 工藤ほか(2004), 工藤ほか(2011)に基づき作成) 174

引用文献

1. 原子炉安全専門審査会原子炉火山部会(2020) : 火山モニタリングにおける「観測データに有意な変化があったと判断する目安」について 報告書, 令和2年3月6日.
2. 渡辺一徳・小野晃司(1966) : 阿蘇カルデラ西側, 大峰付近の地質, 地質学雑誌, 75, 7, pp.365–374.
3. 黒川聖・長谷中利昭・山崎秀人・森康(2013) : 阿蘇-4 火碎流噴火直前に流出した高遊原溶岩についての岩石学的研究, 日本火山学会2013年度秋季大会講演予稿集, P24, pp.124.
4. 小林哲夫・星住英夫(2017) : 阿蘇4 火碎流堆積物と高遊原溶岩が重なる露頭, 日本火山学会2017 年度秋季大会講演予稿集, P007, pp.127.
5. Nakajima, J., Matsuzawa, T., Hasegawa, A. and Zhao, D.(2001): Three-dimensional structure of V_p, V_s and V_p/V_s and beneath northeastern Japan: Implications for arc magmatism and fluids, Journal of Geophysical Research, 106, pp.21, 843–21, 857.
6. Wataru Kanda and Yasuo Ogawa(2014) : Three-dimensional electromagnetic imaging of fluids and melts beneath the NE japan arc revisited by using geomagnetic transfer function data, Earth, Planets and Space, 66, doi:10.1186-1880-5981-66-39.
7. 産業技術総合研究所(2023) : 大噴火プロセス等の知見整備に係る研究, 令和4年度原子力規制庁委託成果報告書, 令和5年3月, 248p.
8. 中島淳一(2017) : 東北地方の火山周辺の地震波速度・減衰構造:地殻構造と低周波地震・S波反射面との関係, 東京大学地震研究所彙報, 92, pp.49–62.
9. 防災科学技術研究所HP(https://www.hinet.bosai.go.jp/topics/sokudo_kozo/)上の「日本列島下の三次元地震波速度構造(2022年度版)」(解析手法等の詳細はMatsubara et al.(2022)に記載).
10. 小川康雄(1991) : 八甲田火山群の深部比抵抗構造に関する考察, 地質調査所報告, 275, pp.83–95.
11. 気象庁 仙台管区気象台 地域火山監視・警報センター(2023) : 十和田の火山活動解説資料(令和5年7月), pp.1–5.
12. 気象庁 仙台管区気象台 地域火山監視・警報センター(2024) : 十和田の火山活動解説資料(令和6年1月), pp.1–4.
13. 気象庁 仙台管区気象台 地域火山監視・警報センター(2024) : 十和田の火山活動解説資料(令和6年3月), pp.1–4.
14. 気象庁(2023) : 第152回火山噴火予知連絡会, 全国の火山活動の評価(別紙).
15. 気象庁(2024) : 第153回火山噴火予知連絡会, 全国の火山活動の評価(別紙).
16. 浅森浩一・梅田浩司(2005) : 地下深部のマグマ・高温流体等の地球物理学的調査技術—鬼首・鳴子火山地域および紀伊半島南部地域への適用—, 原子力バックエンド研究, 11, 2, pp.147–155.
17. Makoto Matsubara, Tatsuya Ishiyama, Tetsuo No, Kenji Uehira, Masashi Mochizuki, Toshihiko Kanazawa, Narumi Takahashi and Shin'ichiro Kamiya(2022): Seismic velocity structure along the Sea of Japan with large events derived from seismic tomography for whole Japanese Islands including reflection survey data and NIED MOWLAS Hi-net and S-net data, Earth, Planets and Space, 27 p.
18. Ogawa, Y. (1987): Preliminary interpretation on detailed magnetovariational profilings in the Northern Tohoku district, Journal of geomagnetism and geoelectricity, 39, pp.559–569.
19. 上嶋 誠 (2009) : MT法による電気伝導度構造研究の現状, 地震第2輯, 61, pp.225–238.

引用文献

20. 気象庁 仙台管区気象台 地域火山監視・警報センター(2023) : 八甲田山の火山活動解説資料(令和5年10月), pp.1–4.
21. 気象庁 仙台管区気象台 地域火山監視・警報センター(2024) : 八甲田山の火山活動解説資料(令和6年3月), pp.1–4.
22. Wiemer, S., and Wyss, M.(2000): Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: examples from Alaska, the Western United States, and Japan. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 90(4), 859–869.
23. 気象庁 仙台管区気象台 地域火山監視・警報センター(2014) : 十和田の火山活動解説資料(平成26年1月), pp.1–2.
24. 気象庁 仙台管区気象台 地域火山監視・警報センター(2020) : 八甲田の火山活動解説資料(令和2年10月), pp.1–5.
25. 気象庁 仙台管区気象台 地域火山監視・警報センター(2021) : 令和2年(2020年)の八甲田山の火山活動, pp.1–13.
26. 木村久夫・宮原伐折羅・宮川康平(2013) : GNSS連続観測システム(GEONET)捉えた海溝型巨大地震に伴う予効変動の時間変化, 国土地理院時報, 124集, pp.47–55.
27. Tobita Mikio (2016): Combined logarithmic and exponential function model for fitting postseismic GNSS time series after 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Earth, Planets and Space*, vol.68, Article number:41, pp.1–12.
28. Satoshi Fujiwara, Mikio Tobita and Shinzaburo Ozawa(2022): Spatiotemporal functional modeling of postseismic deformations after the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Earth, Planets and Space*, vol.74, Article number: 13.
29. 中野 俊・西来邦章・宝田晋治・星住英夫・石塚吉浩・伊藤順一・川辺禎久・及川輝樹・古川竜太・下司信夫・石塚 治・山元孝広・岸本清行編(2013) : 日本の火山(第3版)概要及び付表, 200万の1地質編集図, no.11, 独立行政法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター.
https://gbank.gsj.jp/volcano/Quat_Vol/index.html
30. Takayuki Nakatani, Takashi Kudo, and Toshihiro Suzuki (2022): Experimental Constraints on Magma Storage Conditions of Two Caldera-Forming Eruptions at Towada Volcano, Japan, *Journal of Geophysical Research (Solid Earth)*, vol.127, issue 5, e2021JB023665.
31. 東宮昭彦(1997) : 実験岩石学的手法で求めるマグマ溜まりの深さ, *月刊地球*, 19, pp.720–724.
32. Kozono, T., Ueda, H., Ozawa, T., Koyaguchi, T., Fujita, E., Tomiya, A. and Suzuki, Y (2013): Magma discharge variations during the 2011 eruptions of Shinmoe-dake volcano, Japan, revealed by geodetic and satellite observations. *Bulletin of Volcanology*, 75:695, doi10.1007/s00445-013-0695-4.
33. 下鶴大輔・荒牧重雄・井田喜明・中田節也編(2008) : 火山の辞典(第2版), 朝倉書店, 575 p.
34. Mogi, K. (1958) : 6. Relations between the Eruptions of Various Volcanoes and the Deformations of the Ground Surfaces around them, *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 36, pp.99–134.
35. 国土地理院(2021) : 特集・平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震から10年, GEONETによる観測結果, 令和3年3月5日
https://www.gsi.go.jp/kanshi/h23touhoku_10years.html.
36. 国土地理(2024) : 令和6年3月の地殻変動, 別紙3 東北地方 <https://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2024-goudou0408.html>.
37. Yoshihiko Ogata(1988) : Statistical Models for Earthquake Occurrences and Residual Analysis for Point Processes. *Journal of the American Statistical Association*, 83, 401, pp.9–27.

引用文献

38. Yosihiko Ogata(1992) : Detection of Precursory Relative Quiescence Before Great Earthquakes Through a Statistical Model. *J. Geophys. Res.*, 97, pp.19845–19871.
39. 尾形 良彦(2019) : ETASモデル—地震の発生強度(起こりやすさ)の評価—. なみふる, 117, pp. 2–3.
40. 宇津 徳治(1996) : 東海地域とその周辺の地震活動-- ETASモデルによる解析--. 地震予知連絡会会報, 56, pp. 313–317.
41. 石垣 祐三, 原田 昌武, 本多 亮, 行竹 洋平, 伊東 博, 明田川 保(2010) : 箱根浅発地震活動のETASモデル解析と火山活動度との関連の検討. 神奈川県温泉地学研究所報告, 42, pp.19–31.
42. Takao Kumazawa,Yosihiko Ogata,Kazuhiro Kimura, Kenji Maeda,Akio Kobayashi(2016) : Background rates of swarm earthquakes that are synchronized with volumetric strain changes. *Earth and Planetary Science Letters.*, 442, pp.51–60.
43. 工藤 崇(2023) : 十和田火山の積算マグマ噴出量階段図, 地質調査研究報告, 74 , 3, pp. 133–153.
44. 気象庁編(2013) : 日本活火山総覧(第4版).
45. 工藤 崇・檀原 徹・山下 透・植木岳雪・佐藤大介(2011) : 八甲田カルデラ起源火碎流堆積物の層序の再検討, 日本第四紀学会講演要旨集, P-19.
46. 工藤 崇・内野隆之・濱崎聰志(2019) : 十和田湖地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質 図幅), 産総研地質調査総合センター, 192 p.
47. M. J . Le Bas and A. L. Streckeisen (1991): The IUGS systematics of igneous rocks, *Journal of the Geological Society, London*, vol.148, pp.825–833.
48. 工藤 崇・奥野 充・中村俊夫(2003) : 北八甲田火山群における最近6000年間の噴火活動史, 地質学雑誌, 109, 3, pp.151–165.
49. 工藤 崇・宝田普治・佐々木 実(2004) : 東北日本, 北八甲田火山群の地質と火山発達史, 地質学雑誌, 110, 5, pp.271–289.
50. 工藤 崇・植木岳雪・宝田晋治・佐々木 寿・佐々木 実(2006) : 八甲田カルデラ南東地域に分布する鮮新世末期～中期更新世 火碎流堆積物の層序と給源カルデラ, 地学雑誌, 115, 1, pp.1–25.
51. 宝田普治・村岡洋文(2004) : 八甲田山地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 86 p.
52. Koji Umeda, Masao Ban, Shintaro Hayashi and Tomohiro Kusano(2013): Tectonic shortening and coeval volcanism during the Quaternary, Northeast Japan arc, *Journal of Earth System Science*, 122, pp. 137–147.
53. 佐々木 寧仁・吉田武 義・青木謙一郎(1985) : 那須北帶, 北八甲田火山群の地球化学的研究. 核理研研究報告, pp.175–188.