

第 147 回
火山噴火予知連絡会資料

(その2の6)

十勝岳

令和 2 年 12 月 23 日

火山噴火予知連絡会資料(その2の6)

目次

十勝岳
気象庁	3-40
北大	41-42
防災科研	43-46
地理院	47-52

十 勝 岳

(2020 年 11 月 30 日現在)

2006 年から 2017 年秋頃にかけて山体浅部が膨張し、その状態が現在も維持されている。火山性地震の一時的な増加、火山性微動や火山性地震と同期した傾斜変動は引き続き観測されており、振子沢噴気孔群や 62-2 火口では地熱域の拡大や高温の状態が確認されている。火山活動の活発化を示唆する現象が観測されているので、今後の活動推移には注意が必要である。

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。

○概況（2020 年 6 月～2020 年 11 月 30 日）

・表面現象（図 1-①～⑤、図 2-①～④、図 3～7）

6 月 7 日から 19 日にかけて、高感度の監視カメラにより 62-2 火口において火映を観測した。その後、8 月 17 日と 18 日にも 62-2 火口で微弱な火映を観測した。8 月の火映は、6 月の火映に比べ範囲が狭く、観測されたのは短時間だった。

6 月 12～13 日、7 月 3～5 日及び 9～10 日、9 月 1～4 日及び 7～9 日に現地調査を実施した。7 月及び 9 月に実施した現地調査では、62-2 火口内の地表面温度分布が 2019 年 6 月の調査時と概ね同様の分布となっており、6 月の調査時に新たに確認した高温の領域が消失していることを確認した。振子沢噴気孔群では、2019 年 9 月の現地調査時と比較して、大きな変化はなかった。その他の火口や地熱域については、特段の変化はなかった。

監視カメラによる観測では、62-2 火口の噴煙の高さは概ね火口縁上 300m 以下で経過した。大正火口の噴煙の高さは概ね 200m 以下、振子沢噴気孔群の噴気の高さは 100m 以下で経過した。なお、大正火口の噴煙の高さは 2010 年頃から、振子沢噴気孔群の噴気の高さは 2018 年 4 月下旬頃から、それぞれやや高い状態が続いている。特に、振子沢噴気孔群の噴気の高さは、1980 年代後半と同程度まで高くなっている。

・地震活動（図 1-⑥～⑨、図 2-⑤⑥、図 8～13）

9 月 14 日に火山性微動と火山性地震の一時的な増加を観測した。

2018 年 5 月下旬以降、火山性地震の一時的な増加や火山性微動が時々観測されている。また、数秒から数十秒間隔で微小地震が連続的に発生する現象（H-B 地震）は今期間も発生した。これらの現象は、62-2 火口付近の浅い所で発生していると考えられる。

62-2 火口付近の地震は、長期的にみると 2010 年頃からやや多い状態となっている。一方、グラウンド火口周辺や旧噴火口付近など 62-2 火口付近以外の地震活動は低調に経過している。

この資料は気象庁のほか、北海道大学、国立研究開発法人防災科学技術研究所、国立研究開発法人産業技術総合研究所、北海道、地方独立行政法人北海道立総合研究機構エネルギー・環境・地質研究所及び公益財団法人地震予知総合研究振興会のデータを利用して作成した。

・地殻変動（図 2－⑥、図 14～18）

山頂付近に設置した傾斜計では、山体浅部が変動源とみられる、火山性微動や火山性地震と同期した傾斜変動が、引き続き観測されている。

GNSS連続観測では、2006年頃から2017年秋頃まで山体浅部の膨張を示す変動が観測されていたが、それ以降、山体浅部の収縮を示す変動が観測されている。収縮を示す変動量は小さいため山体浅部が膨張した状態は維持していると考えられる。また、山体を広域に取り囲む基線では、深部へのマグマの供給によると考えられる地殻変動は認められない。

・常時微動の振幅レベル（図19－②③、図20－②③）

62-2 火口や大正火口近傍の地震計で観測される常時微動の振幅レベルは 2014 年 11 月頃から 2020 年 6 月頃まで増減を繰り返しながらも高い状態にあった。

6 月 7～19 日まで火映が観測されたが、常時微動の振幅レベルは 6 月 13～19 日にかけて増大し、19 日以降減少した。その後 1 ヶ月以上にわたって常時微動の振幅レベルが非常に小さい状態が続いた。8 月 17～18 日の火映の前後では常時微動の振幅レベルに変化はなかった。

9 月 14 日の火山性微動発生後に、常時微動の振幅レベルが増大した。

11 月 14 日に常時微動の振幅レベルが減少した。対応する現象は不明である。

○2020 年 9 月 14 日の傾斜変動（図 22～34）

9 月 14 日 08 時 51 分頃から継続時間約 5 分の火山性微動が発生し、その後振幅の小さな火山性地震が増加した。これらと同期して、北海道大学が 62-2 火口近傍に設置した前十勝西傾斜計で、62-2 火口方向が上がる傾斜変動が観測された。この 62-2 火口方向が上がる傾斜変動は、09 時 45 分頃に発生した火山性微動（継続時間約 10 分）と同期して急になり、火山性微動の終了時に 62-2 火口方向が下がる傾斜変動に反転した。前十勝西傾斜計以外の山腹の観測点でも傾斜変動を観測した。監視カメラによる観測では、62-2 火口等の噴煙・噴気の様子に特段の変化はなかった。また、空振計のデータにも変化はなかった。

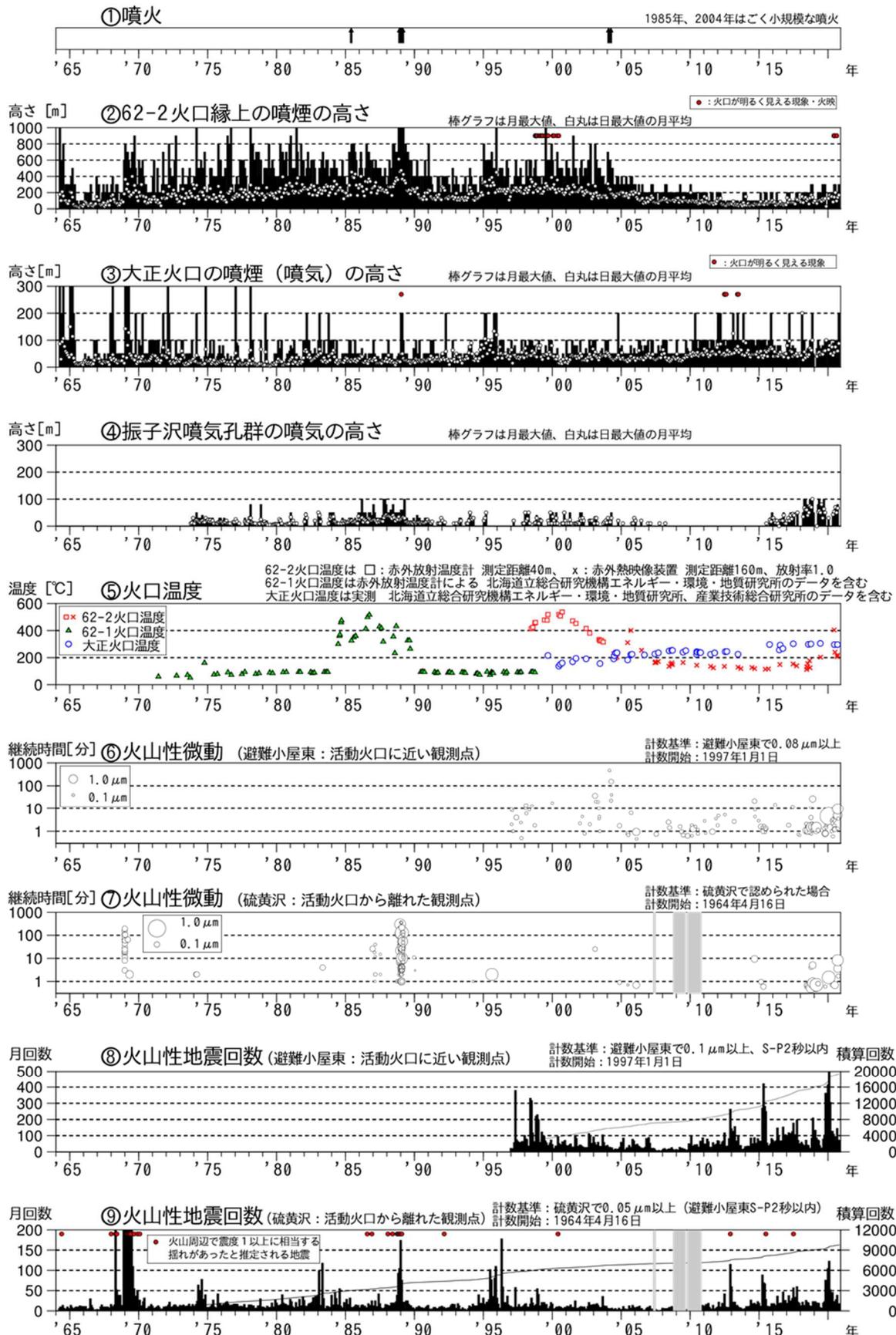


図 1 十勝岳 火山活動経過図 (1964 年 1 月～2020 年 11 月 30 日)

⑤：62 火口群の温度は測定可能な範囲で最も高温な場所を測定している。

地方独立行政法人北海道立総合研究機構エネルギー・環境・地質研究所による観測結果が含まれている。

⑦⑨：図中の灰色の期間は機器障害のため欠測。

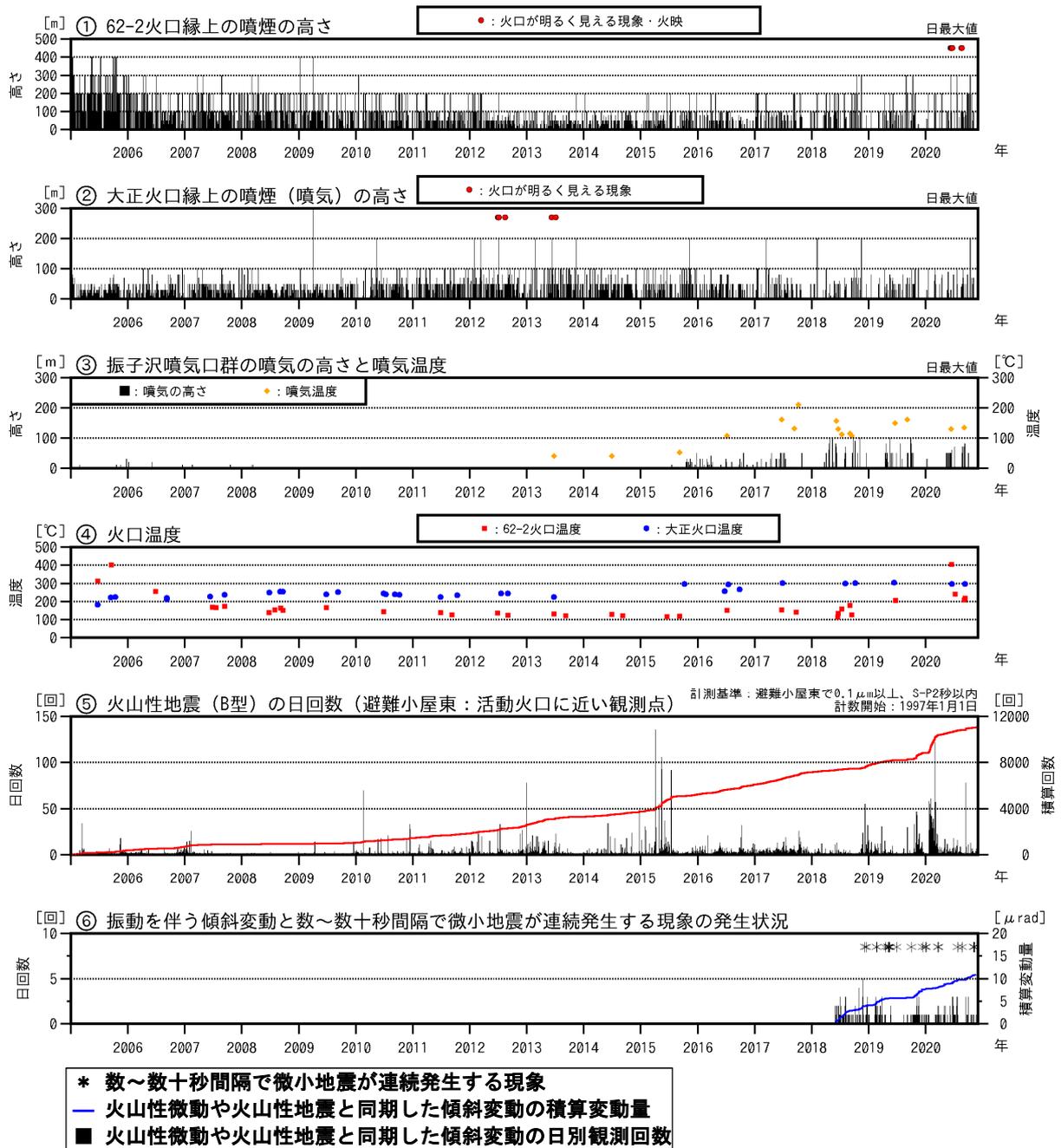


図2 十勝岳 火山活動経過図(短期:2005年1月~2020年11月30日)

①~④については、図1②~⑤の注釈・キャプションを参照。

⑥の火山性微動や火山性地震と同期した傾斜変動については、本資料中の「山頂付近の傾斜計で捉えられる、火山性微動や火山性地震と同期した傾斜変動について」の項を参照。観測回数は、南北成分・東西成分ともに変動量 10^{-8} radian以上 10^{-6} radian未満となるものを計数している。また積算変動量は、北海道大学が設置した前十勝西(北)傾斜計の南北成分と東西成分の合成変動量を積算したものである。

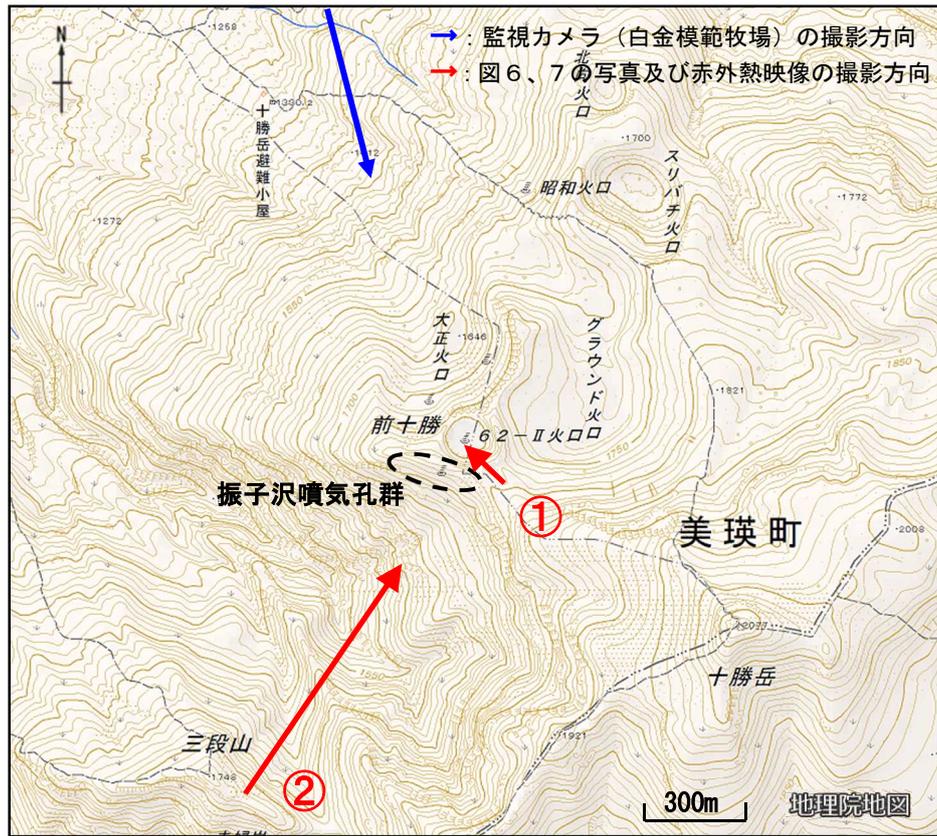


図 3 十勝岳 監視カメラ（白金模範牧場）及び図 6、7 の写真及び赤外熱映像の撮影方向
この地図の作成には国土地理院発行の「電子地形図（タイル）」を複製した。



図 4 十勝岳 北西側から見た火口周辺の状況（11月12日、白金模範牧場監視カメラによる）



図5 十勝岳 62-2火口で観測された火映（6月12日・8月18日、白金模範牧場監視カメラによる）
 白金模範牧場監視カメラの撮影方向は、図3を参照

- ・ 6月7日から19日にかけて62-2火口で火映を観測した。
- ・ 8月17日23時頃と18日22時頃に62-2火口で微弱な火映を観測した。
- ・ 8月の火映は、6月の火映に比べ、範囲が狭く観測されたのは短時間であった。

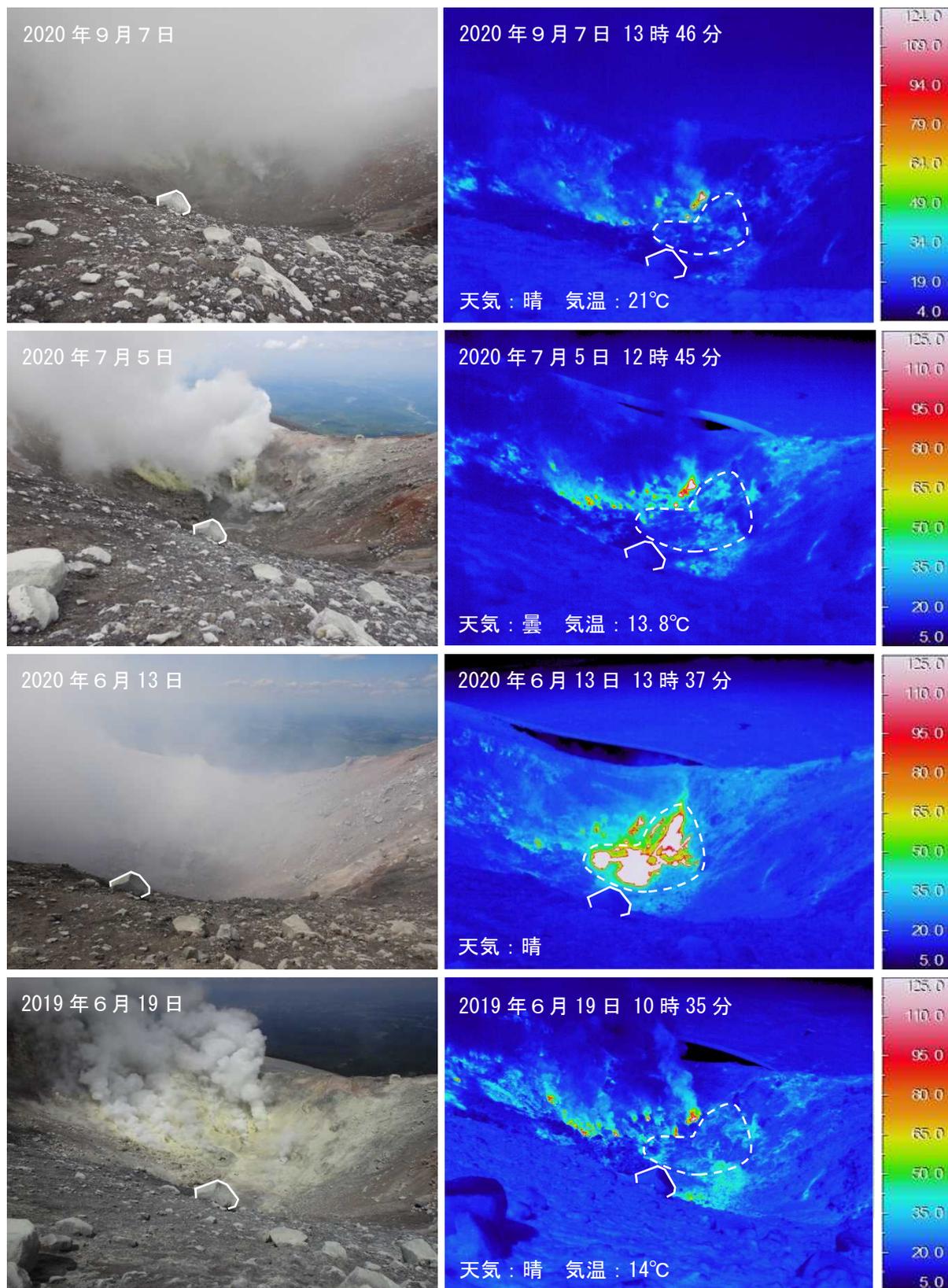


図6 十勝岳 赤外熱映像装置による62-2火口内の地表面温度分布

62-2火口の南東側（図3-①）から撮影

図中の白色実線は、同一の転石の輪郭をトレースしている

- ・2020年6月に62-2火口内で新たに確認した高温の領域（白破線内）は消失した。
- ・62-2火口内の地表面温度分布は昨年の調査時（2019年6月）と概ね同様の分布となった。

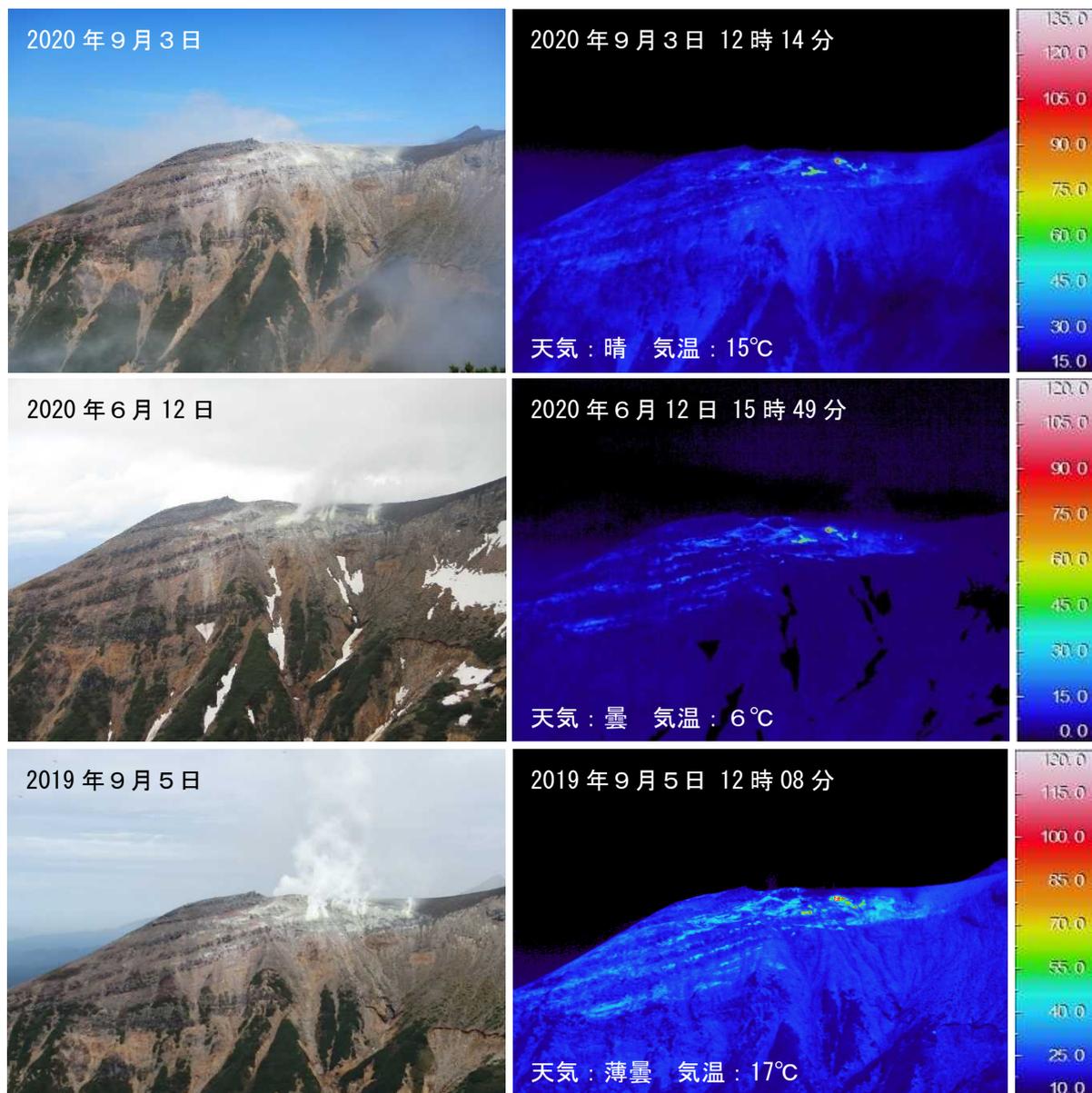


図 7 十勝岳 赤外熱映像装置による振子沢噴気孔群の地表面温度分布
三段山（図3-②）から撮影

- ・ 2019年9月と比較して、振子沢噴気孔群の様子に大きな変化はなかった。振子沢噴気孔群の噴気活動は活発な状態が継続している。

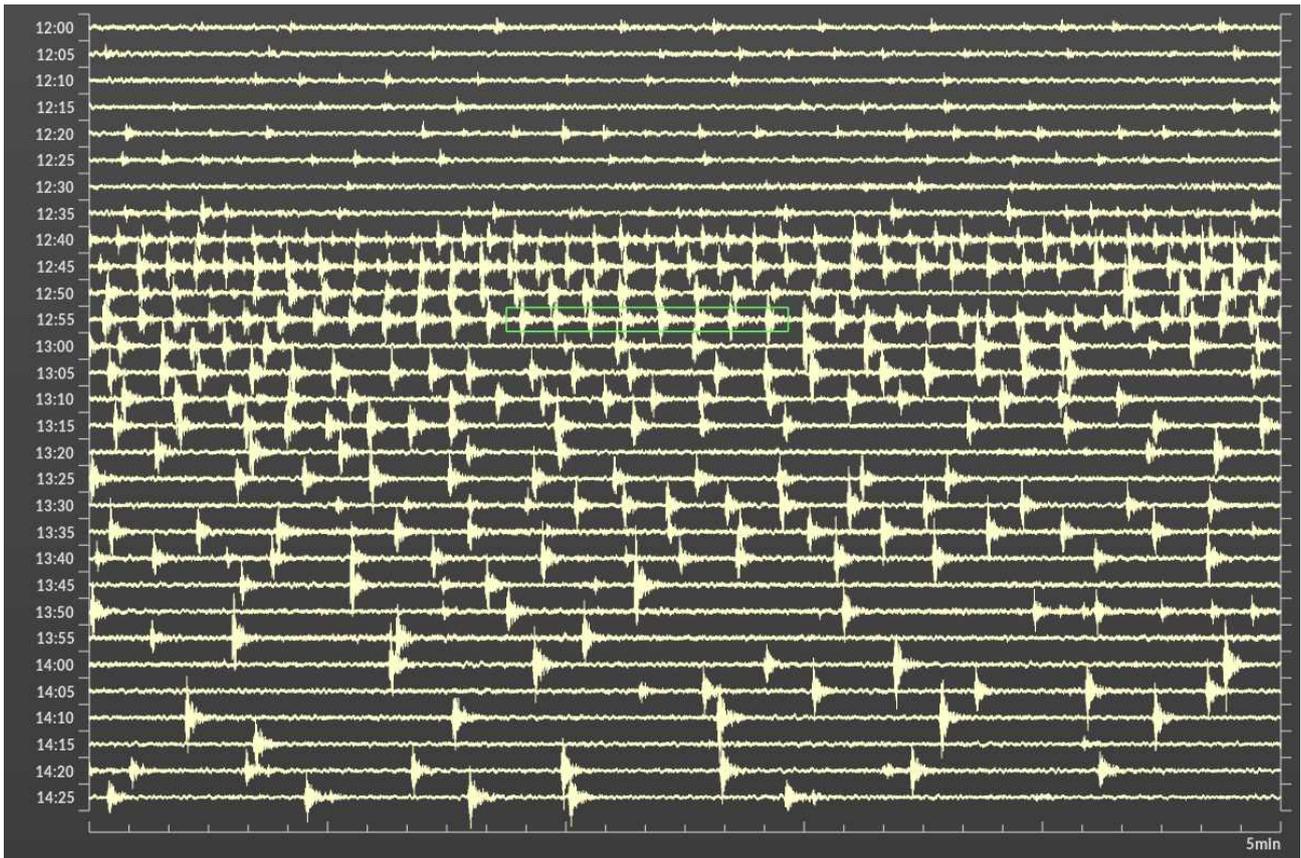


図 8 十勝岳 避難小屋東観測点の上下成分速度波形（2020 年 11 月 4 日 12 時 00 分～14 時 30 分）
 ・数秒から数十秒間隔で微小地震が連続的に発生する現象（H-B 地震）は今期間も発生した。
 ・上記と似た微小地震の増加は、7 月 23 日、8 月 22 日、11 月 3 日、11 月 6 日、11 月 7 日にも発生した。

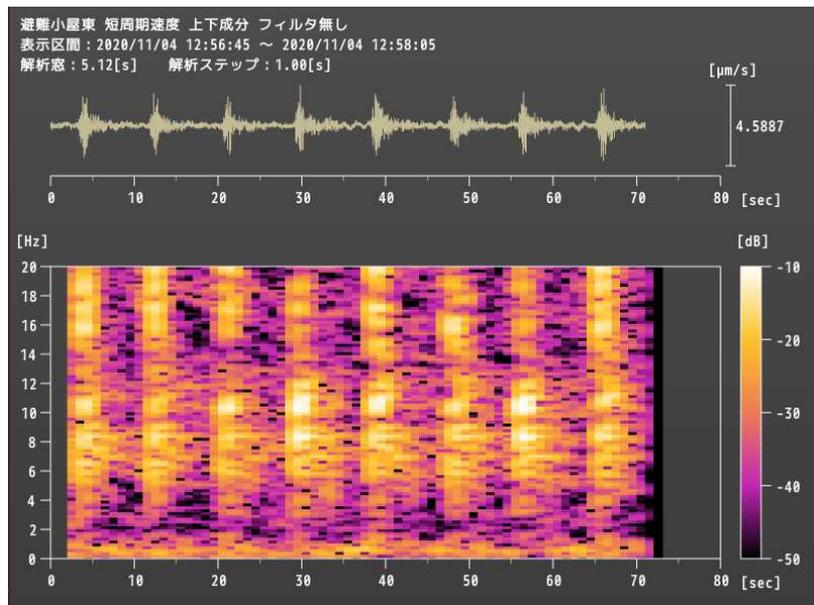


図 9 十勝岳 避難小屋東観測点の上下成分速度波形のランニングスペクトル
 （2020 年 11 月 4 日 12 時 56 分 45 秒～12 時 58 分 05 秒）
 ・6～20Hz の高周波成分が卓越する。

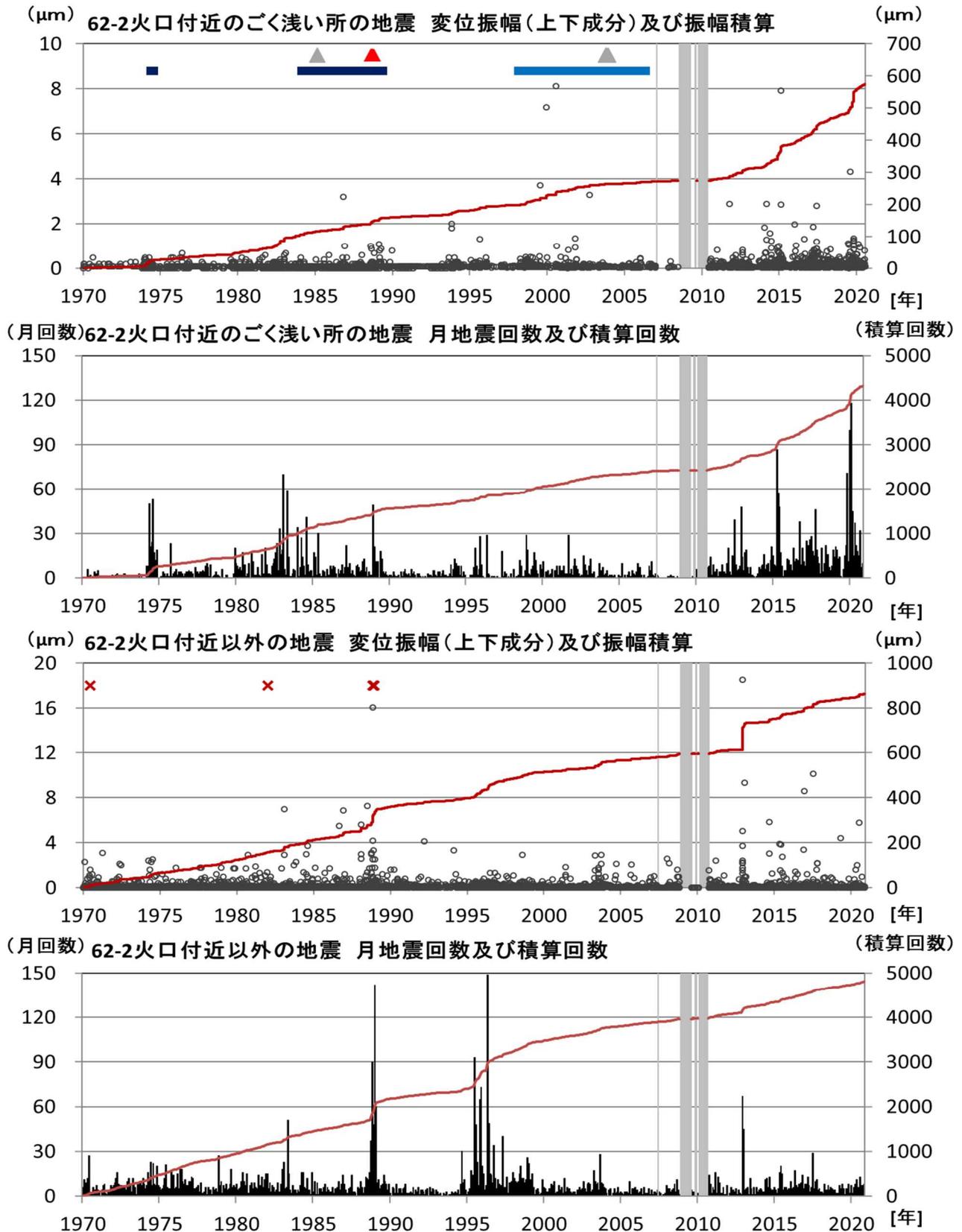


図 10 十勝岳 硫黄沢観測点でみた地震の活動経過と主な表面現象 (1970 年～2020 年 11 月 30 日)

計数基準 1970 年～1996 年：硫黄沢 0.05 μm 硫黄沢 S-P 5 秒

1997 年～：硫黄沢 0.05 μm 避難小屋東 S-P 2 秒

▲：マグマ噴火 ▲：ごく小規模な水蒸気噴火

■：62-1 火口の熱活動が高まった時期 ■：62-2 火口の熱活動が高まった時期

×：振り切れのため振幅の値が欠測である 灰色の期間は欠測を示す。

※1994～1999 年は地震の型判別基準が現在と異なるため 62-2 火口付近以外の地震を過大に計数している可能性がある。

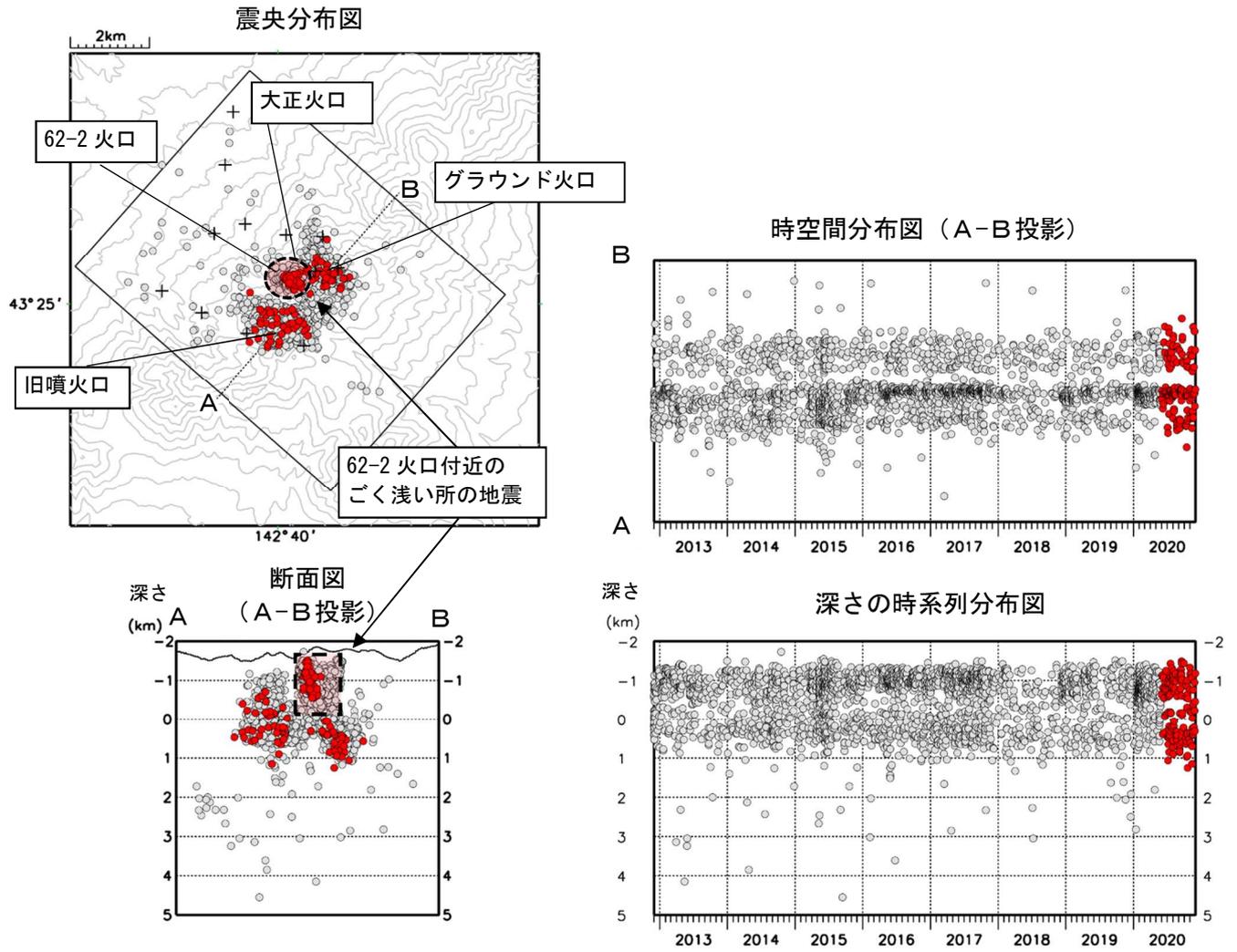


図 11 十勝岳 震源分布図 (2012 年 12 月 ~ 2020 年 11 月 30 日)

● : 2012 年 12 月 1 日 ~ 2020 年 5 月 31 日の震源

● : 2020 年 6 月 1 日 ~ 2020 年 11 月 30 日の震源

+ は地震観測点を示す。

一部観測点の欠測のため震源決定数や震源精度は一定ではない。

この地図の作成には国土地理院発行の「数値地図 50mメッシュ (標高)」を使用した。

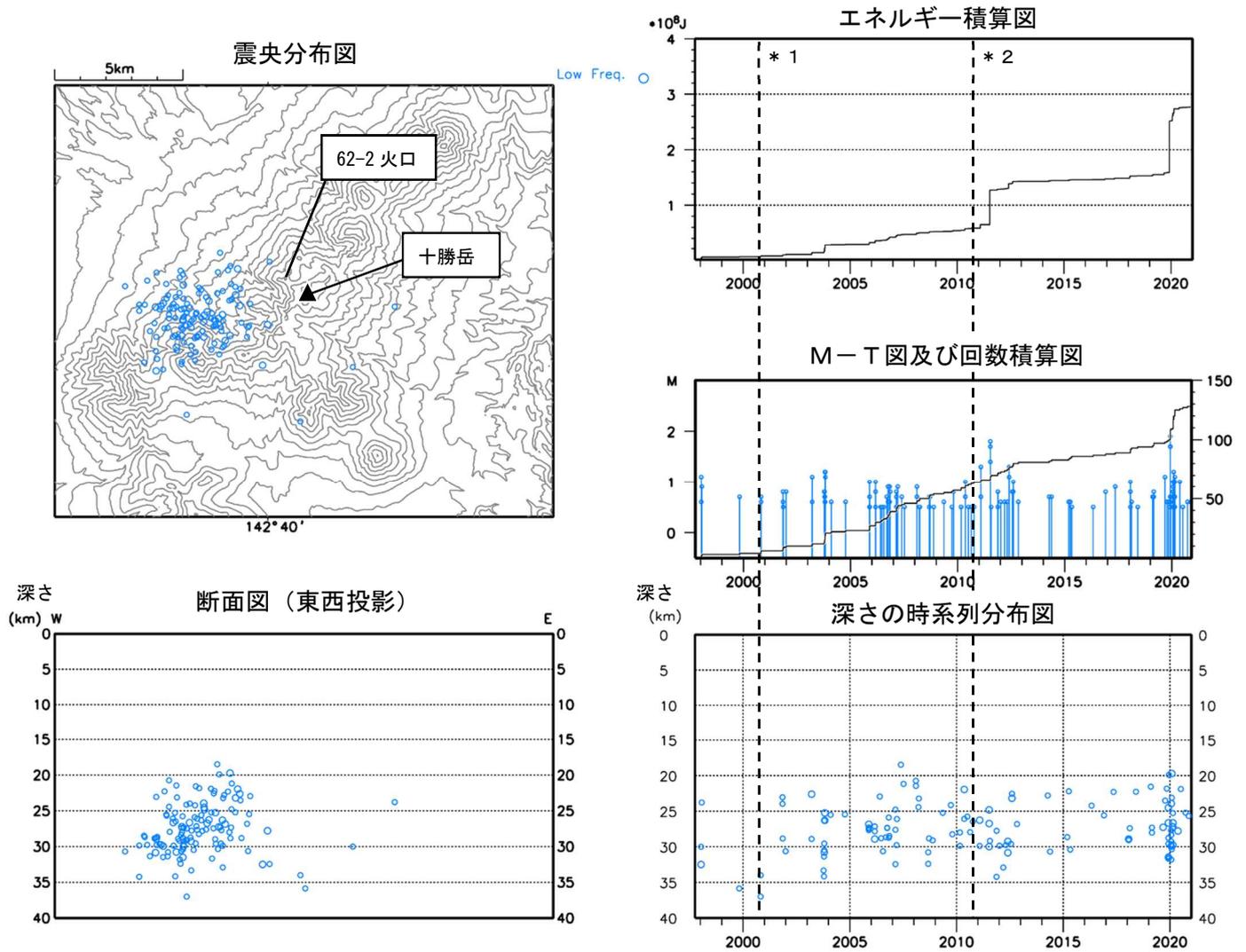


図 12 十勝岳 一元化震源による深部低周波地震活動
(1997 年 10 月～2020 年 11 月 30 日、 $M \geq 0.5$ 、深さ 40km 以浅)

* 1 : 2001 年 10 月以降、Hi-net の追加に伴い検知能力が向上している。
 * 2 : 2010 年 10 月以降、火山観測点の追加に伴い検知能力が向上している。
 2020 年 4 月 18 日から 10 月 23 日までの地震について、暫定的に震源精査の基準を変更しているため、その前後の期間と比較して微小な地震での震源決定数の変化 (増減) が見られる。
 2020 年 9 月以降の震源は、地震観測点の標高を考慮する等した新手法で求められている。
 この地図の作成には国土地理院発行の「数値地図 50mメッシュ (標高)」を使用した。

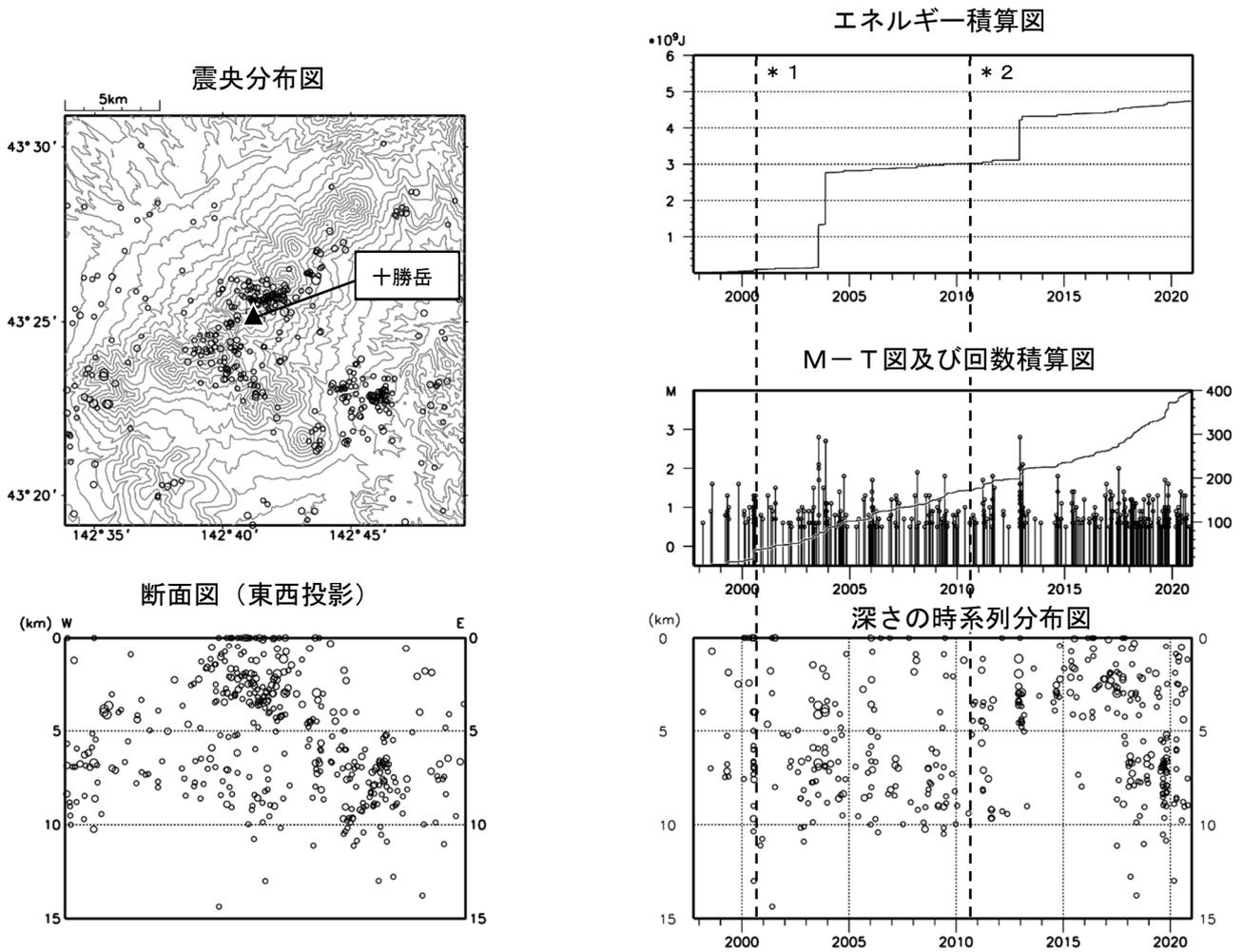


図 13 十勝岳 一元化震源による広域地震活動

(1997年10月～2020年11月30日、 $M \geq 0.5$ 、深さ15km以浅)

* 1 : 2001年10月以降、Hi-netの追加に伴い検知能力が向上している。

* 2 : 2010年10月以降、火山観測点の追加に伴い検知能力が向上している。

2020年4月18日から10月23日までの地震について、暫定的に震源精査の基準を変更しているため、その前後の期間と比較して微小な地震での震源決定数の変化(増減)が見られる。

2020年9月以降の震源は、地震観測点の標高を考慮する等した新手法で求められている。

この地図の作成には国土地理院発行の「数値地図50mメッシュ(標高)」を使用した。

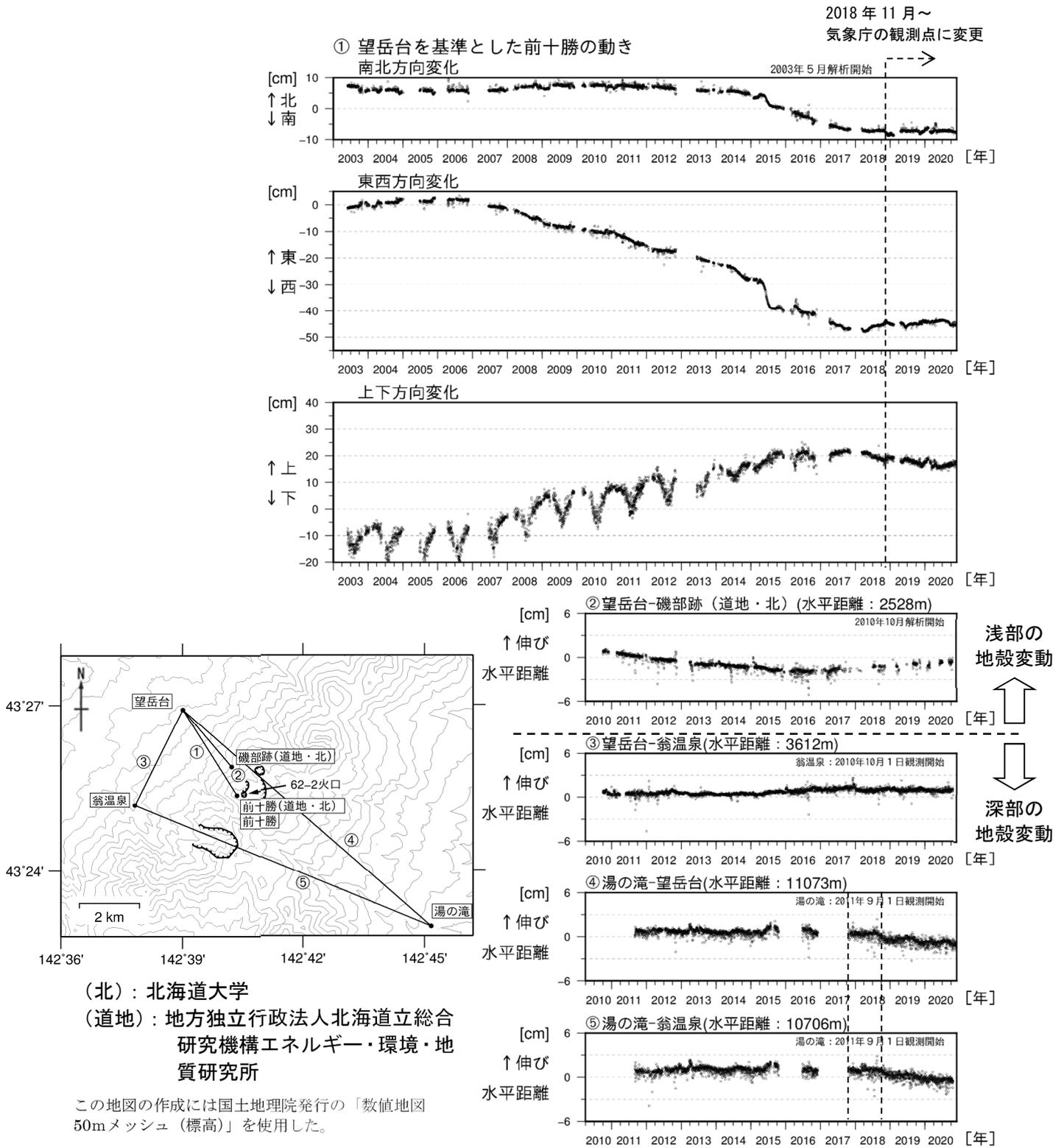


図14 十勝岳 GNSS連続観測による水平距離及び上下変化(2003年5月～2020年11月)及び観測点配置図

GNSS基線①～⑤は観測点配置図の①～⑤に対応している。

GNSS基線の空白部分は欠測を示す。

GNSS基線④～⑤中の破線は、観測機器の交換時期を表す。

2010年10月と2016年1月に解析方法を変更している。

- ・2006年頃から2017年秋頃まで山体浅部の膨張を示す変動が観測されていたが、それ以降、山体浅部の収縮を示す変動が観測されている。収縮を示す変動量は小さいため山体浅部が膨張した状態は維持していると考えられる。

- ・深部へのマグマの供給によると考えられる地殻変動は認められない。

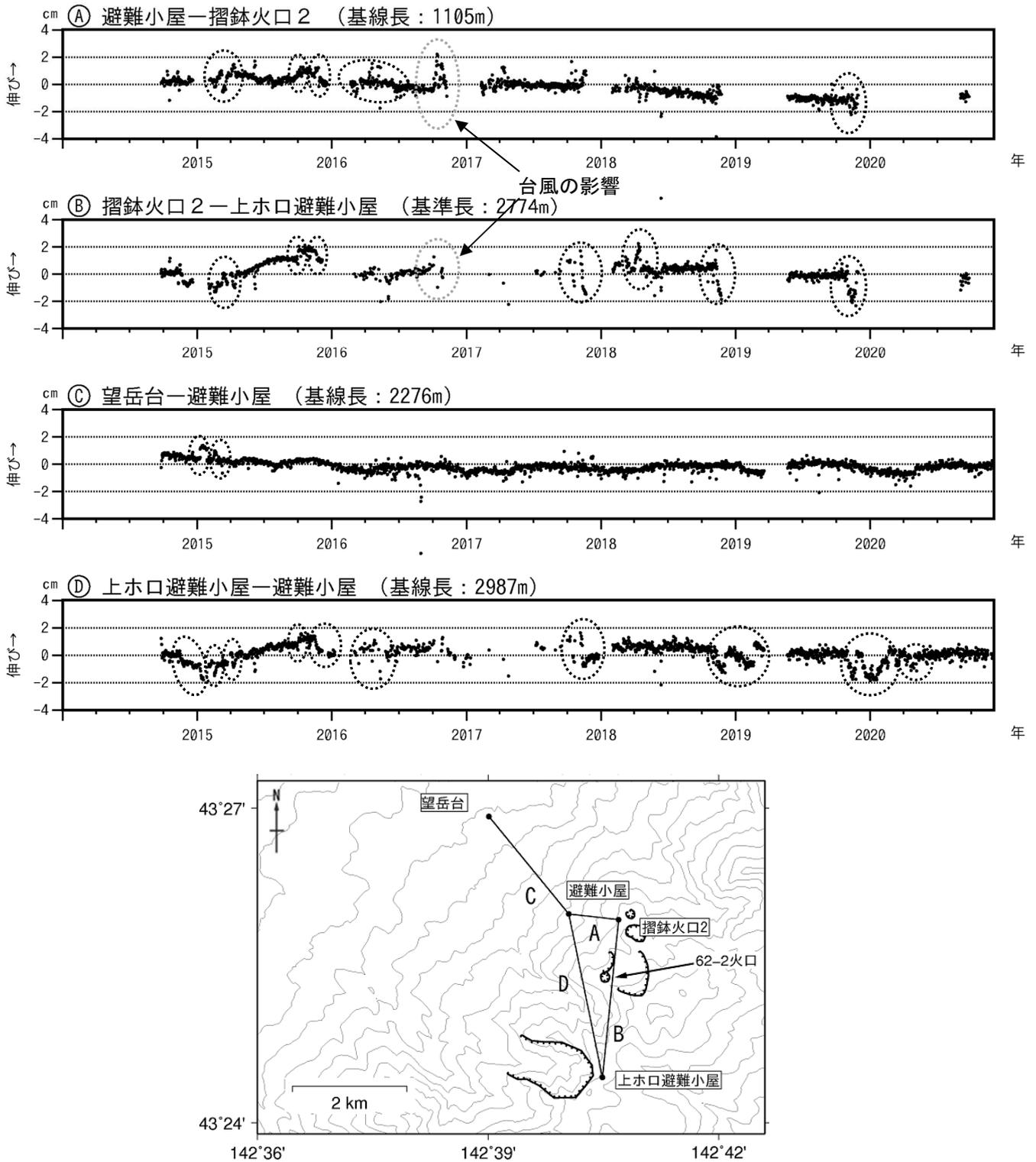


図15 十勝岳 GNSS連続観測による基線長変化（2014年10月～2020年11月30日）及び観測点配置図

GNSS基線A～Dは観測点配置図のA～Dに対応している。
 空白部分は欠測を示す。
 黒破線内の変化は、凍上や積雪の影響による。
 2010年10月及び2016年1月に解析方法を変更している。
 この地図の作成には国土地理院発行の「数値地図50mメッシュ(標高)」を使用した。

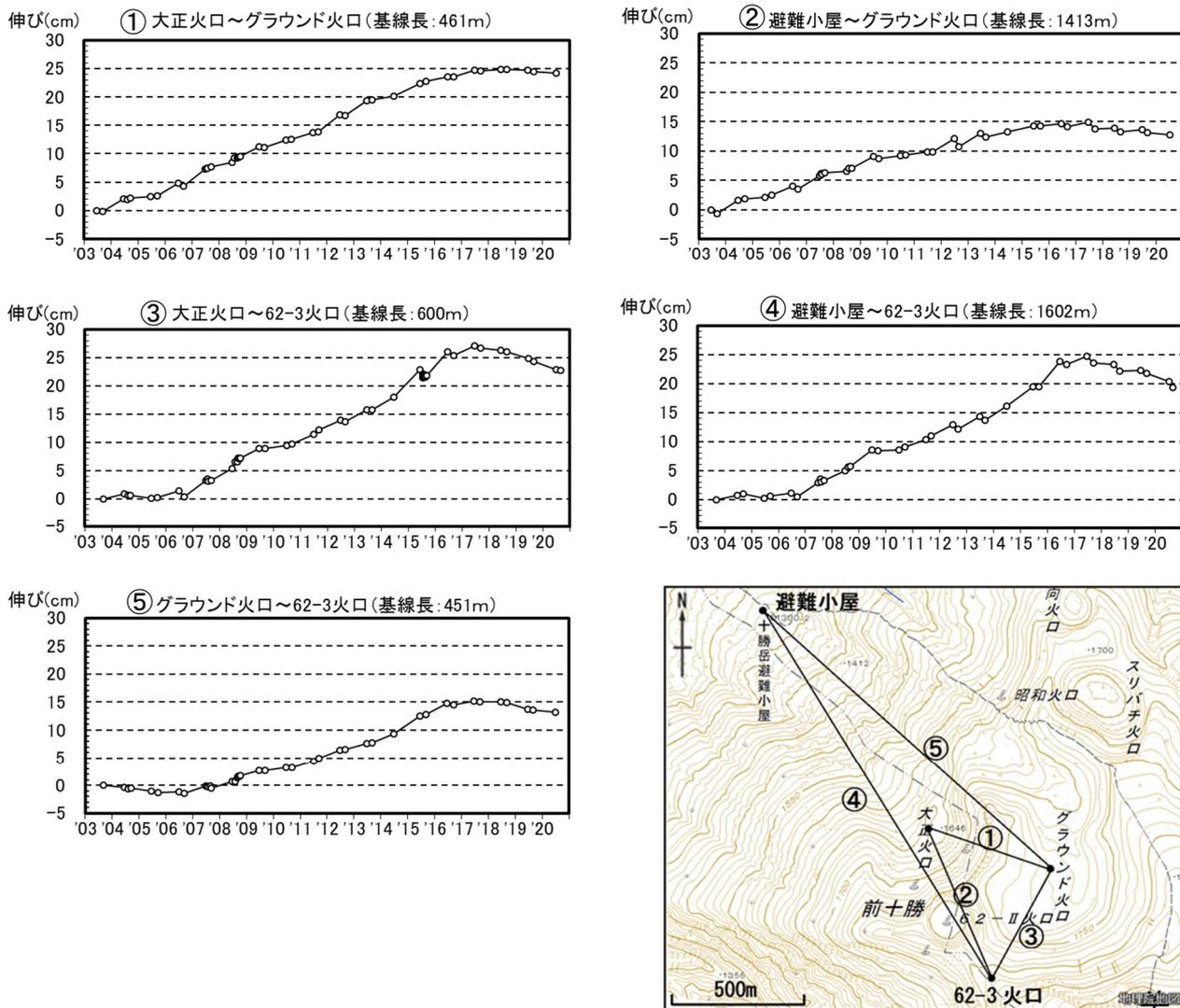


図16 十勝岳 GNSS繰り返し観測による基線長変化 (2003年9月～2020年9月) 及び観測点配置図
 GNSS 基線①～⑤は観測点配置図の①～⑤に対応している。
 2020年9月のグラウンド火口の観測データは欠測した。

- ・ 2006年頃から2017年秋頃まで山体浅部の膨張を示す変動が観測されていたが、それ以降、山体浅部の収縮を示す変動が観測されている。収縮を示す変動量は小さいため山体浅部が膨張した状態は維持していると考えられる。

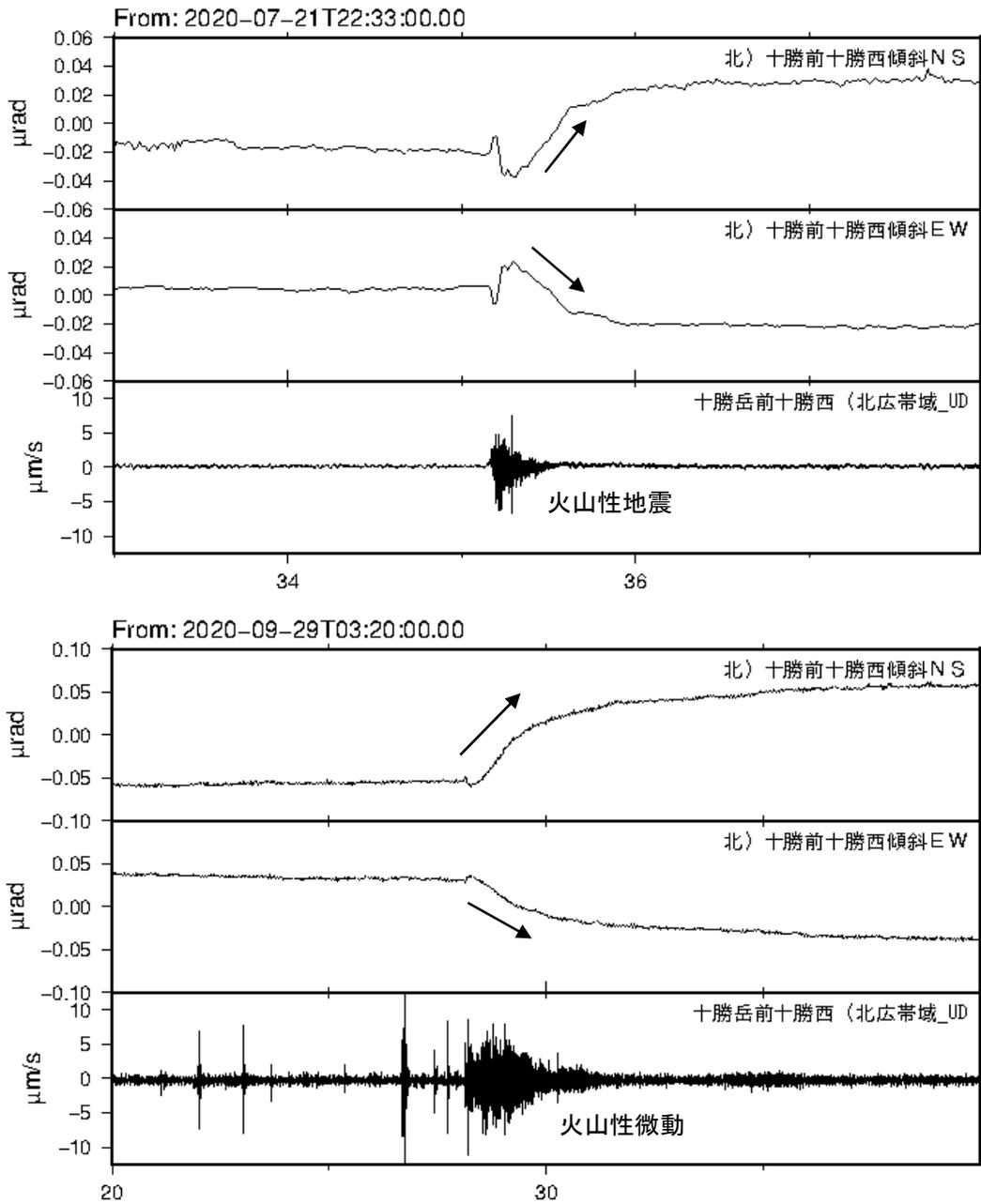


図 17 十勝岳 火山性微動や火山性地震と同期した傾斜変動と振動波形の例

上図：2020年7月21日22時33分～38分

下図：2020年7月29日3時20分～40分

- ・火山性地震や火山性微動と同期して62-2火口方向が下がる傾斜変動（矢印）が観測された。

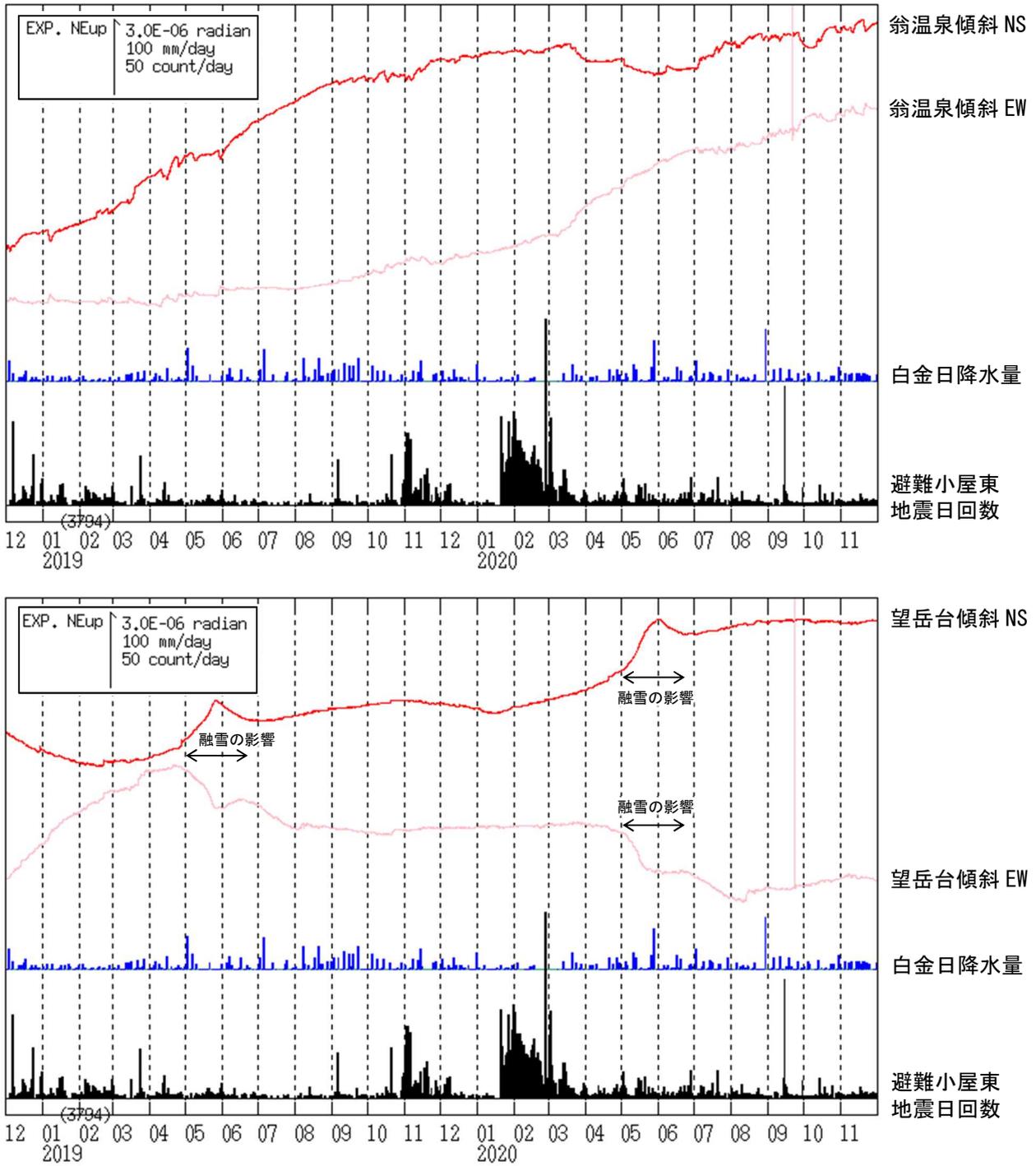


図 18 十勝岳 翁温泉観測点（上図）及び望岳台観測点（下図）における傾斜変動（2019年12月～2020年11月30日、時間値、潮汐補正済み）

- ・2020年9月14日に翁温泉と望岳台で火山活動による傾斜変動を記録した（図22～33）。
- ・2020年9月14日の傾斜変動以外には、火山活動によるとみられる傾斜変動は認められない。

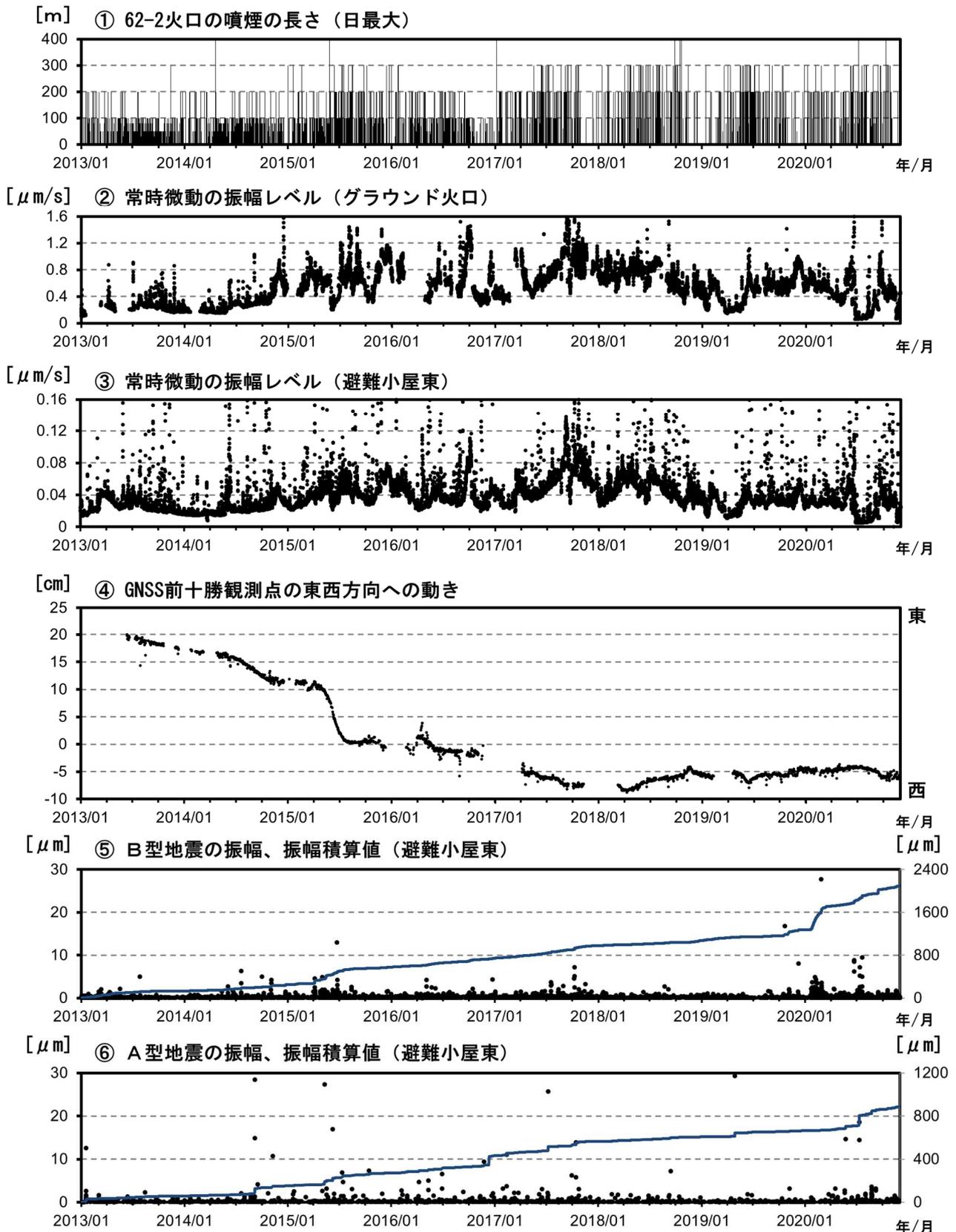


図19 十勝岳 火山活動経過図 (2013年1月~2020年11月30日)

②の空白は機器障害による欠測期間を示す。

- ・ 62-2 火口や大正火口近傍の地震計で観測される常時微動の振幅レベルは 2014 年 11 月頃から 2020 年 6 月頃まで増減を繰り返しながらも高い状態にあった。
- ・ 2020 年 6 月 7~19 日 (火映)、9 月 14 日 (微動) に伴い、常時微動の振幅レベルが大きく変化した (次図参照)。

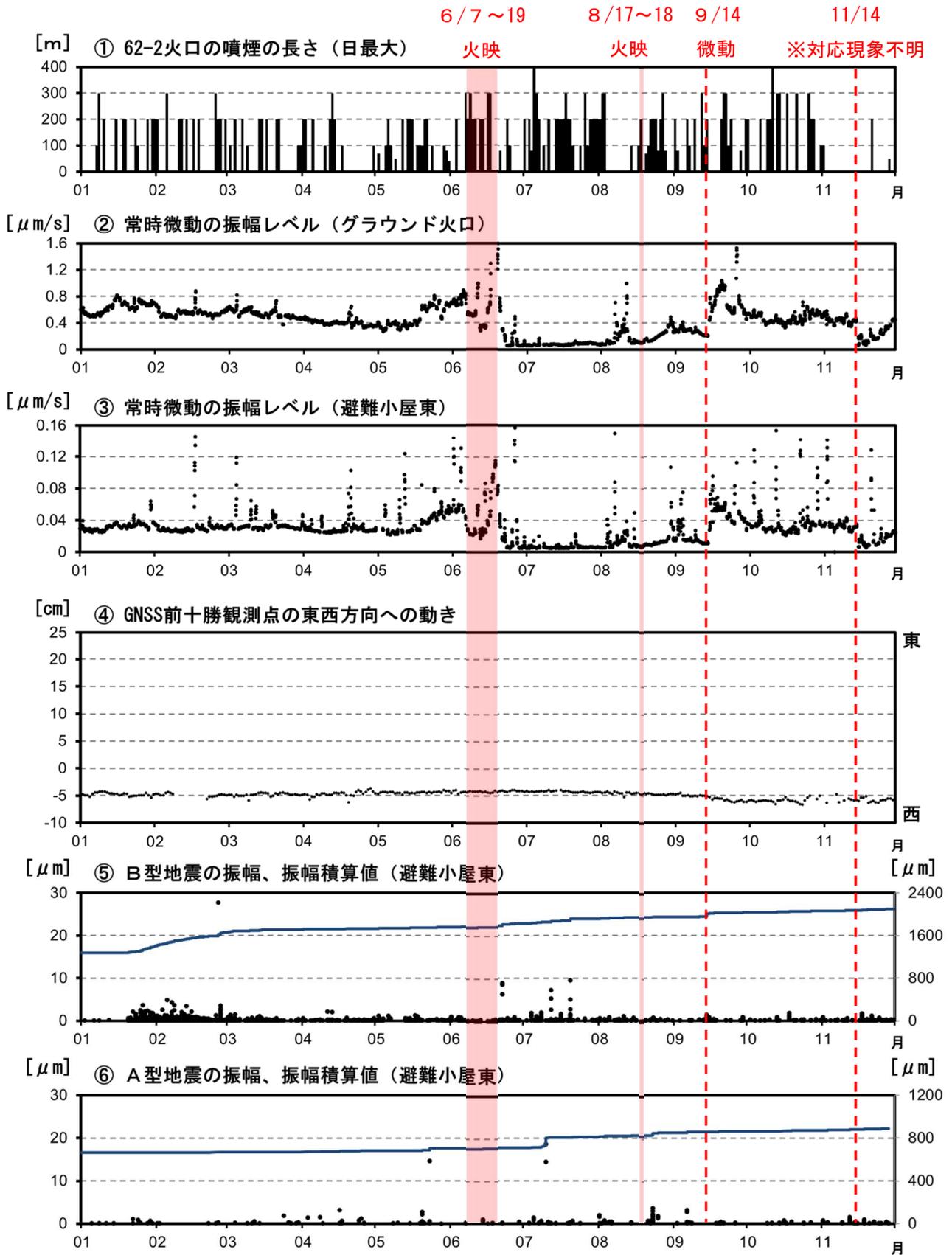


図20 十勝岳 火山活動経過図（2020年1月～2020年11月30日）

②の空白は機器障害による欠測期間を示す。

- ・2020年6月7～19日まで火映が観測された。常時微動の振幅レベルは6月13～19日にかけて増大し、19日以降減少した。その後1ヶ月以上にわたって常時微動の振幅レベルが非常に小さい状態が続いた。
- ・8月17～18日の火映の前後では常時微動の振幅レベルに変化はなかった。
- ・9月14日の火山性微動発生後に、常時微動の振幅レベルが増大した。
- ・11月14日に常時微動の振幅レベルが減少した。対応する現象は不明である。

表1 十勝岳 最近3回のマグマ噴火の前に見られた現象の時間変化と最近の火山活動

黒字: 熱活動
赤字: 震動現象
青字: 地震変動

活動 ステージ	1926年の噴火		1962年の噴火		1988年～1989年の噴火		最近の火山活動経過	
	年月日	現象	年月日	現象	年月日	現象	年月日	現象
熱活動	1923. 6	湯治で溶融硫黄増加、丸谷温泉温上昇	1983. 2	火山性地震増加	2006～	62-2火口浅部直下膨張を示す地震変動を継続	2006～	62-2火口浅部直下膨張を示す地震変動を継続
	1923. 8	湯治で溶融硫黄噴出	1983. 5	火山性地震増加	2008. 7	火山性微動	2008. 7	火山性微動
	1925. 12	中央火口丘に大噴火口形成	1983. 9	62-1火口噴気量増加、地中温度上昇	2010. 6	大正火口東壁に新噴気孔形成を確認、噴気量増加	2010. 6	大正火口東壁に新噴気孔形成を確認、噴気量増加
	1926. 2	大噴火口から砂礫噴出	1984. 6	62-1火口亀裂出現、地中温度上昇	2011. 8	火山性地震増加	2011. 8	火山性地震増加
	1926. 4	大噴火口から降灰、硫黄自然発火	1984. 9	62-1火口地中温度上昇	2012. 6.30	大正火口東壁に新噴気孔形成、噴気量増加	2012. 6.30	大正火口東壁に新噴気孔形成、噴気量増加
	1926. 5. 4	鳴動	1985. 5	62-1火口地中温度上昇	2012. 7	吹上温泉のCl/SO4比がわずかに上昇	2012. 7	吹上温泉のCl/SO4比がわずかに上昇
	1926. 5. 7	小爆発、新火口形成、火口付近に噴石降灰	1985. 6.19	62-1火口熱泥水噴出、新火口形成	2012. 12.2	山麓有感2回(白金温泉・十勝岳温泉で震度1程度)	2012. 12.2	山麓有感2回(白金温泉・十勝岳温泉で震度1程度)
			1985. 6.20	62-1火口地中温度上昇	2014. 9	火山性微動	2014. 9	火山性微動
			1985. 7	62-1火口熱泥水噴出	2015. 4	火山性地震増加、火山性微動	2015. 4	火山性地震増加、火山性微動
			1985. 7	62-1火口熱泥水噴出	2015. 5	火山性地震増加、火山性微動	2015. 5	火山性地震増加、火山性微動
熱活動 + 地震活動 活発化	1962. 3	大正火口噴気活発化、高温化	1986. 6	吹上温泉のCl/SO4比が上昇	2015. 6～	62-2火口と振子沢の間で亀裂出現	2015. 6～	62-2火口と振子沢の間で亀裂出現
	1962. 4	大正火口高温化	1986. 8	山麓有感(白金温泉で震度1)	2015. 7	火山性地震増加、山麓有感1回	2015. 7	火山性地震増加、山麓有感1回
			1986. 10	62-1火口地中温度上昇	2017. 6	62-2火口熱泥水噴出	2017. 6	62-2火口熱泥水噴出
			1986. 12	山麓有感(白金温泉で震度1)、火山性微動	2017. 7	山麓有感1回	2017. 7	山麓有感1回
			1987. 2～3	火山性微動	2017. 9	(十勝岳温泉で震度1程度)	2017. 9	(十勝岳温泉で震度1程度)
			1987. 9～10	火山性微動	2018. 5～	振子沢で温度500℃超(地質研による現地観測)	2018. 5～	振子沢で温度500℃超(地質研による現地観測)
			1988. 2	振子沢で噴気増加	2020.6	火山性微動や火山性地震と同期した傾斜変動が増加	2020.6	火山性微動や火山性地震と同期した傾斜変動が増加
			1988. 6	山麓有感(十勝岳温泉で震度1～2)				
			1988. 6	山麓有感(十勝岳温泉等で震度2)				
			1988. 9	下旬から火山性地震次第に増加				
マグマ噴火	1926. 5.13	噴煙活発、山麓で有感地震・鳴動	1988. 12. 5	噴煙活発化(雪面に降灰)	1988. 12.16	05時24分 62-2火口から噴火		
	1926. 5.22	山麓で鳴動、大噴火口から噴石	1988. 12.10	62-2火口から灰色噴煙	～1989年3月5日	まで爆発的噴火を繰り返す		
	1926. 5.24	午前中 大噴火口から噴石	1988. 12.11	62-2火口から灰色噴煙、火山性微動				
		12時11分 爆発、泥流	1988. 12.13	62火口周辺に降灰(62-2火口に新しい穴)				
		14時頃 小規模な鳴動、噴火						
		16時17分過ぎ 大爆発、大正火口形成、大泥流						
		～1928年12月4日まで噴火を繰り返す						
		泥流						

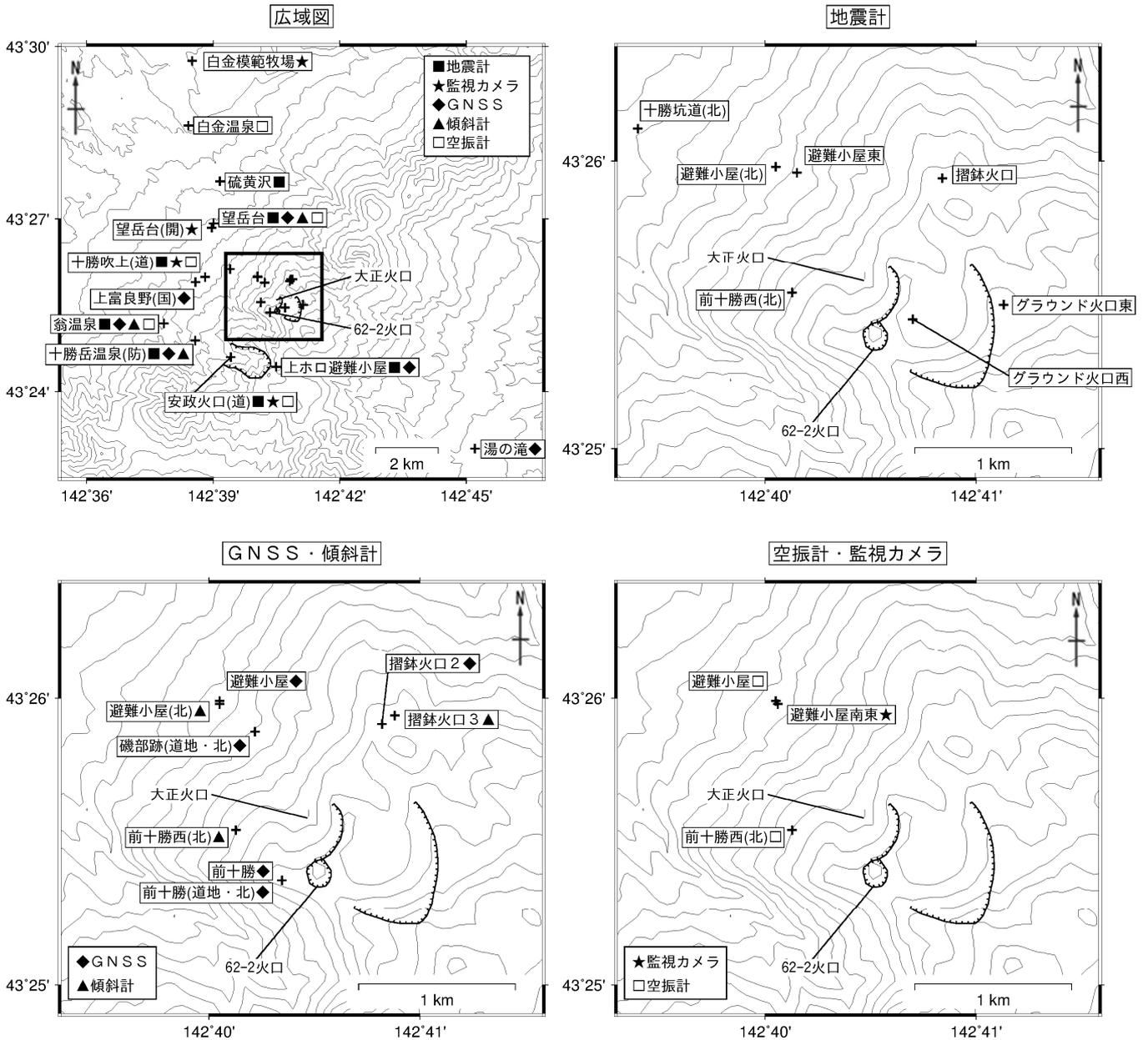


図 21 十勝岳 観測点配置図

＋は観測点の位置を示す。

気象庁以外の機関の観測点には以下の記号を付している。

- (開) : 国土交通省北海道開発局
- (国) : 国土地理院
- (北) : 北海道大学
- (防) : 国立研究開発法人防災科学技術研究所
- (道) : 北海道
- (道地) : 地方独立行政法人北海道立総合研究機構地質研究所

この地図の作成には国土地理院発行の「数値地図 50mメッシュ (標高)」を使用した。

○ 過去 3 回の傾斜変動イベントの比較

2019 年 11 月 1～5 日、2020 年 1 月～3 月上旬、及び 2020 年 9 月 14 日に、火山性微動や火山性地震の増加と同期した傾斜変動イベントが観測された。これらの現象は概ね類似した現象と考えているが、以下の通り共通点と相違点がみられる。

○共通点

- ・ 62-2 火口方向上がりの変動から始まった後、62-2 火口方向下がりの変動に転じる。傾斜変動の向きは、62-2 火口方向上がり、62-2 火口方向下がり共に、概ね 62-2 火口の方向を向く (図 23)。また、各イベントにおいて 62-2 火口方向上がりと 62-2 火口方向下がりの傾斜変動量は同程度であり、前十勝西 (北海道大学; 62-2 火口近傍に設置) での傾斜変動量は 1μ radian オーダーである (図 24、図 25、図 28)。
- ・ 傾斜変動に対応して火山性地震の増加や火山性微動が観測された。(図 27)。特に傾斜変動率が大きくなる時間帯 (図 24 及び図 25 のピンク色) では振幅の大きい火山性微動が発生した。

○相違点

- ・ 62-2 火口方向上がりの変動開始から 62-2 火口方向下がりの変動が終了するまでの時間スケールが相互に異なる (図 24)。2020 年 1 月 20 日及び 2020 年 9 月 14 日の事例では、62-2 火口方向上がりの変動がそれぞれ 17 時間及び 1 時間継続した後で、62-2 火口方向下がりの変動に転じた。一方、2019 年 11 月 1～5 日の事例では、62-2 火口方向上がりの傾斜変動が約 24 時間継続した後に約 3 日間傾斜変動が停滞し、その後火口方向下がりの傾斜変動に転じた。
- ・ 傾斜変動が観測された期間において、62-2 火口付近の火山性地震について、震源の深さに変化がみられる事例とそうでない事例がある (図 26、図 27)。
- ・ 2020 年 9 月 14 日の事例では、62-2 火口の近傍のみならず山腹の観測点でも傾斜変動が観測された (図 25)。また、山腹の観測点と 62-2 火口近傍の観測点で 62-2 火口方向の変動のタイミングが異なる (詳しくは「傾斜記録による膨張源の深度推定」の項を参照)。
- ・ 2020 年の 2 つの事例では VLP イベントがみられたが、2019 年のイベントでは認められなかった (図 24、図 25)。

表 2 過去 3 回の傾斜変動イベントの相違点

	(a) 2019年 11月1～5日	(b) 2020年 1月20日～3月上旬	(c) 2020年 9月14日
火口上がりの継続時間	24時間	17時間	1時間
火口下がりの継続時間	半日	1か月半	半日
火山性微動を伴う (火口上がり)	—	○	○
火山性微動を伴う (火口下がり)	○	—	—
山腹の傾斜変動の有無	—	—	○
VLPの有無	—	○	○

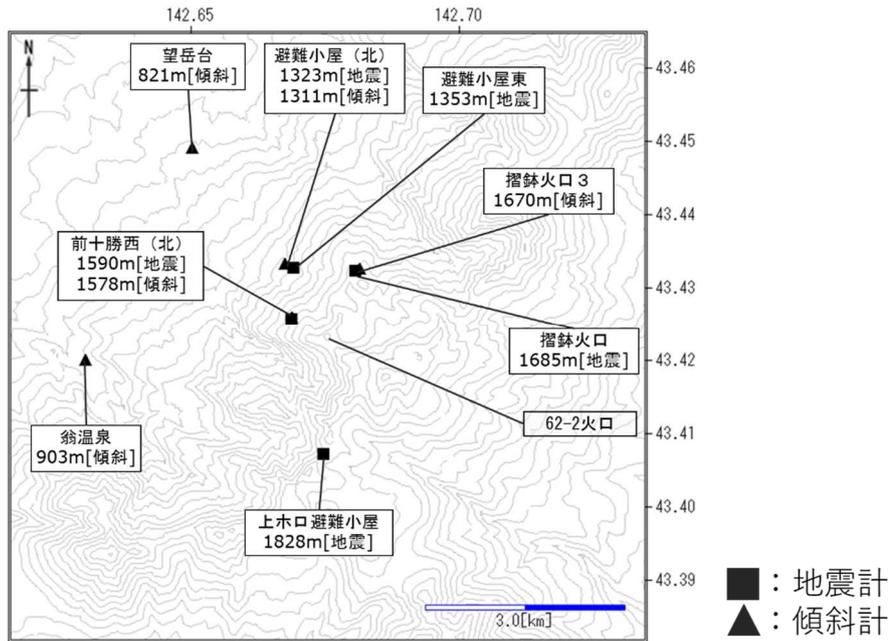
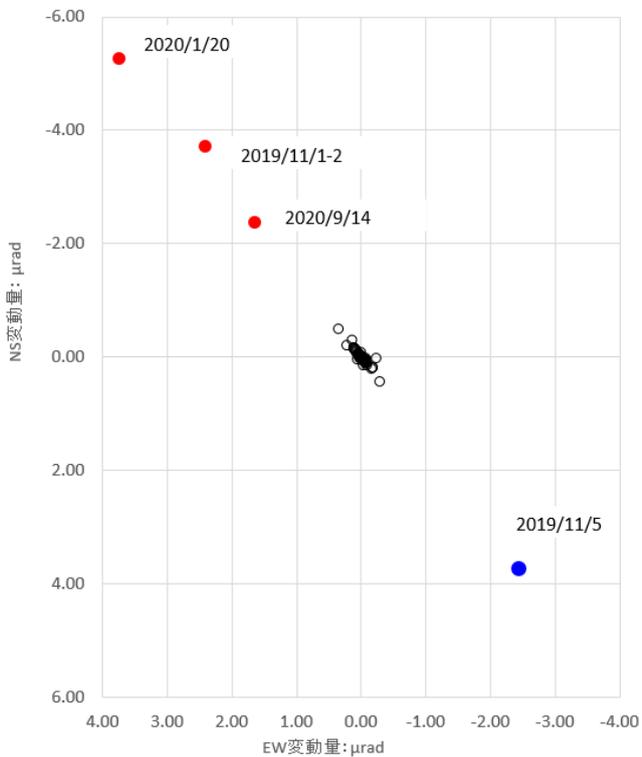


図 22 十勝岳 傾斜観測点及び震動観測点配置図
 観測点名の下の数字は感部の標高[m]を示す。
 この地図の作成には国土地理院発行の「数値地図 50mメッシュ (標高)」を使用した。

変動量 NS vs EW



この地図の作成には国土地理院発行の「電子地形図 (タイル)」を複製した。

図 23 十勝岳 火山性微動や火山性地震と同期した傾斜変動の南北成分・東西成分の変動量の関係 (前十勝西 (北) 観測点) 及び観測点周辺図

南北変動量については北上りが正、東西変動量については東上りが正の値である。
 赤丸、青丸はそれぞれ 62-2 火口方向上がり、62-2 火口方向下がり (1 μ radian オーダー) の期間、白丸は 0.1 μ radian オーダー以下の傾斜イベントを示す。
 ・傾斜変動は、62-2 火口方向上がり、62-2 火口方向下がり共に、概ね 62-2 火口の方を向く。

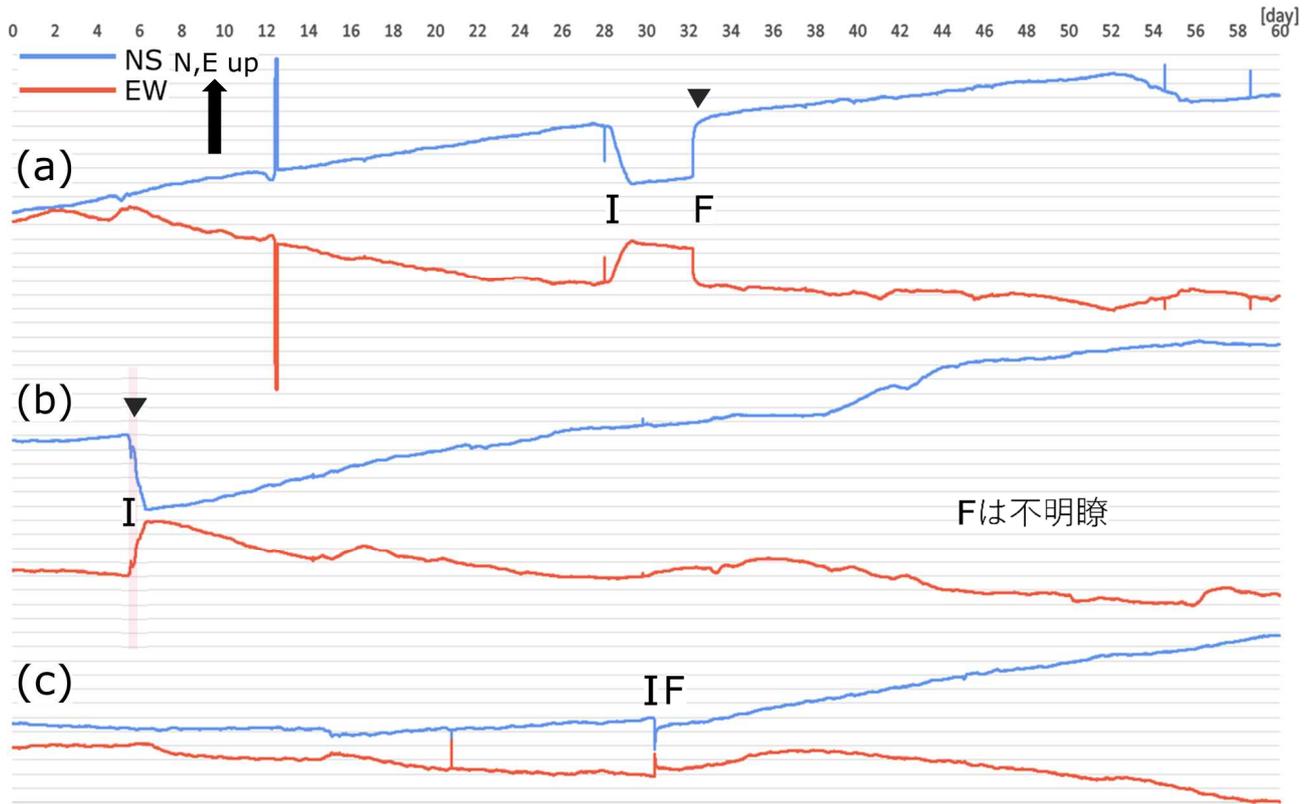


図 24 十勝岳 表 2 に示す期間を含む 60 日間での前十勝西（北）の傾斜変動の時系列（分値；気圧補正済み）
 (a)2019 年 10 月 4～12 月 2 日、(b)2020 年 1 月 15 日～3 月 14 日、(c)2020 年 8 月 15 日～10 月 14 日。
 縦軸目盛りの間隔は1.0 [μ rad]、横軸は時間 [day]。それぞれ青色が南北成分、橙色が東西成分を表す。
 イベントの始まり（62-2 火口方向上がりの開始）を I、終わり（62-2 火口方向下がりの終了）を F で示す。
 (b)で傾斜変動がやや急になった時間帯（VLP イベントが発生）を薄いピンク色で示す。
 また、火山性微動が発生した時間帯を▼（(c)は図 25）で示す。

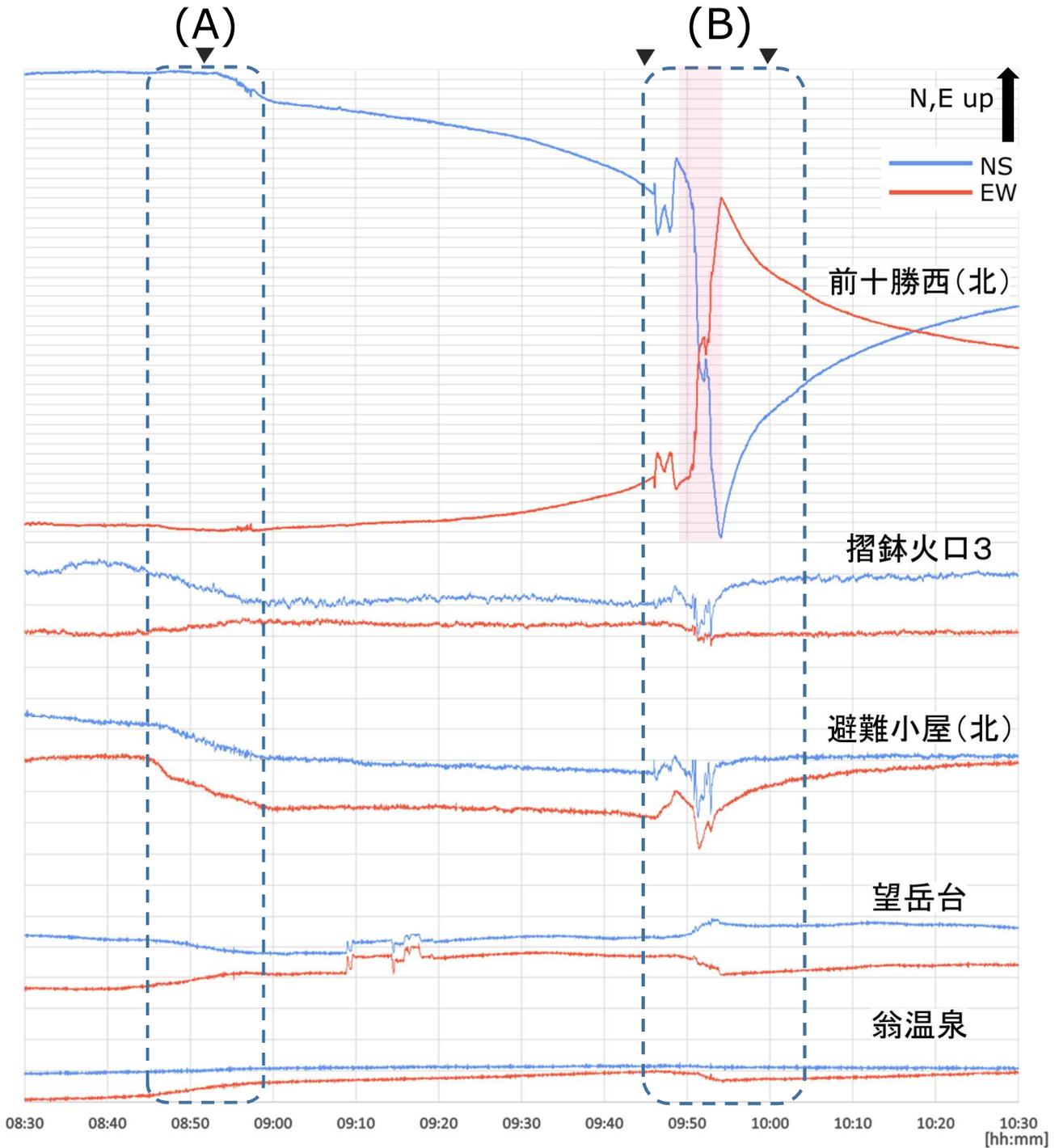


図 25 十勝岳 2020 年 9 月 14 日のイベントの各観測点での傾斜変動の時系列 (秒値)
 縦軸目盛りの間隔は 5.0×10^{-2} [μrad]、横軸は時刻。62-2 火口から近い観測点から順に上段から前十勝西 (北)、摺鉢火口 3、避難小屋 (北)、望岳台、翁温泉の並びで記載。それぞれ青色が南北成分、橙色が東西成分を表す。他の観測点に対する前十勝西 (北) の変動の大きさは、破線枠 (A) と (B) とで異なる。前十勝西 (北) 観測点で、傾斜変動がやや急になった時間帯を薄いピンク色で示す。また、火山性微動が発生した時間帯を▼で示す。
 ・ 62-2 火口の近傍の観測点のみならず山腹の観測点でも傾斜変動が観測された。
 ・ 09:46 から 09:55 にかけて VLP イベントが認められた。

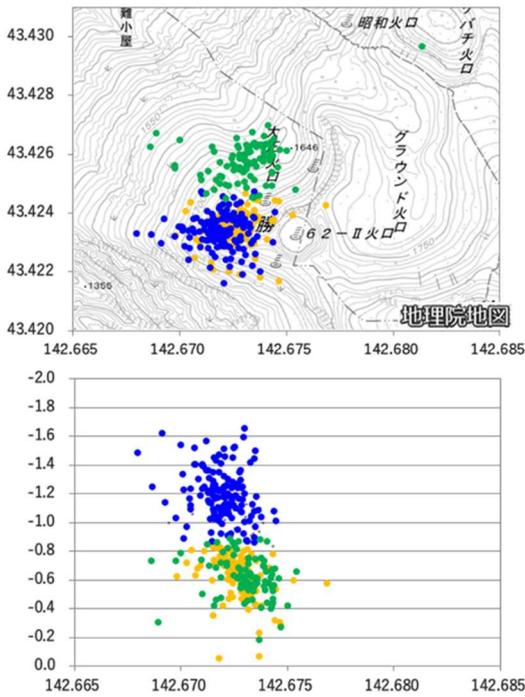


図 26 十勝岳 DD 法による 62-2 火口付近の火山性地震の震源分布と発生領域
 左上：震央分布図 右上：南北断面図
 左下：東西断面図
 2018/01/06-2020/02/22 の震源を使用
 この地図の作成には国土地理院発行の「電子地形図（タイル）」を複製した。
 ・火山性地震の発生領域は概ね 3 つに分かれる。

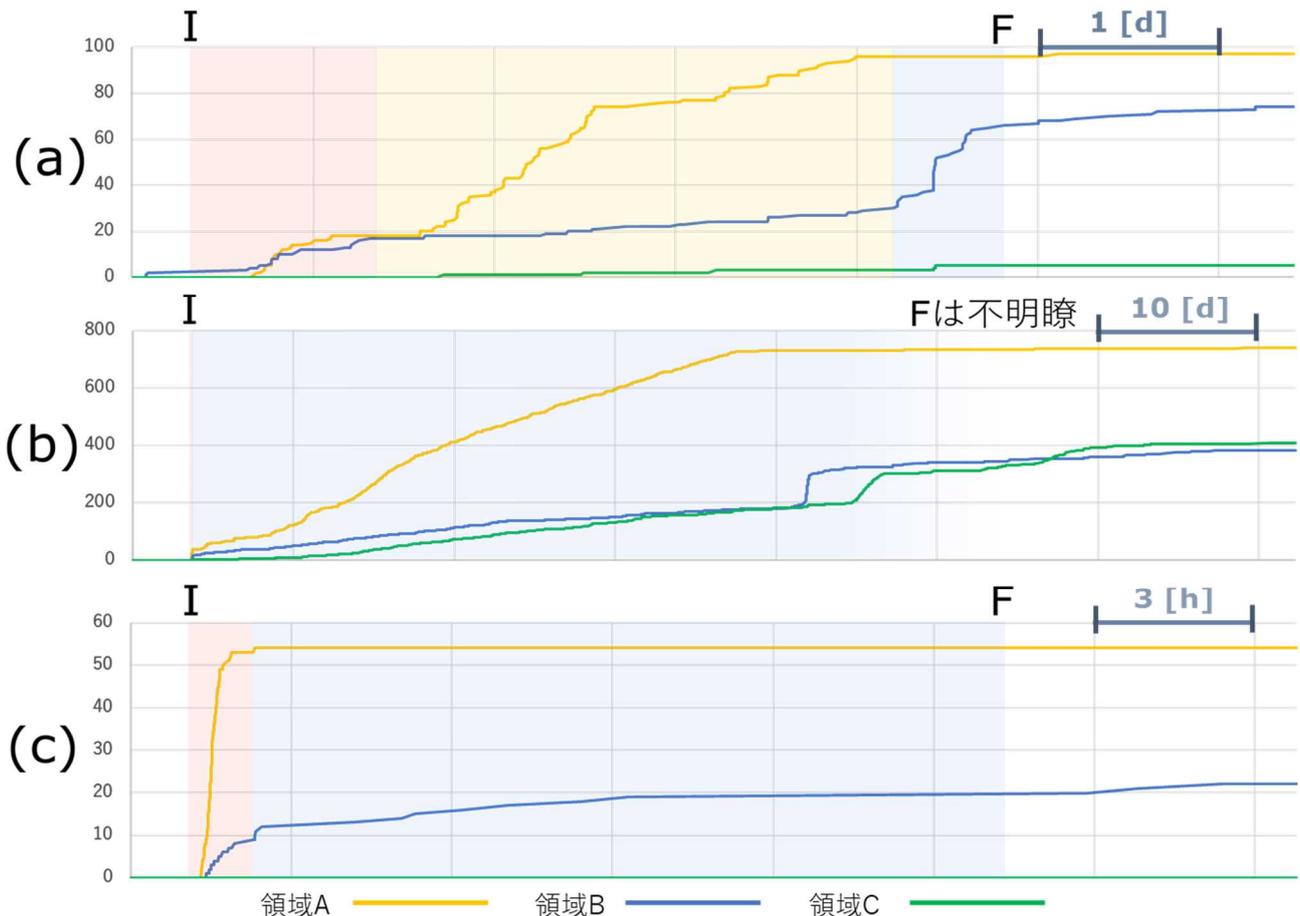


図 27 十勝岳 図 26 の各発生領域に対応する火山性地震回数積算（縦軸）と傾斜変動
 縦軸は火山性地震の回数積算、横軸は時刻。62-2 火口方向上がりの傾斜が見られる時間帯をピンク色、同下がりの傾斜が見られる時間帯を青色、傾斜変動が停滞している時間帯を黄色で示す。図中の (a) ~ (c) の記号と、記号 I 及び F は図 24 の表記と同じである。
 ・傾斜変動が観測された期間において、火山性地震の発生深度について、深部からより浅部へ変化がみられる事例とそうでない事例がある。

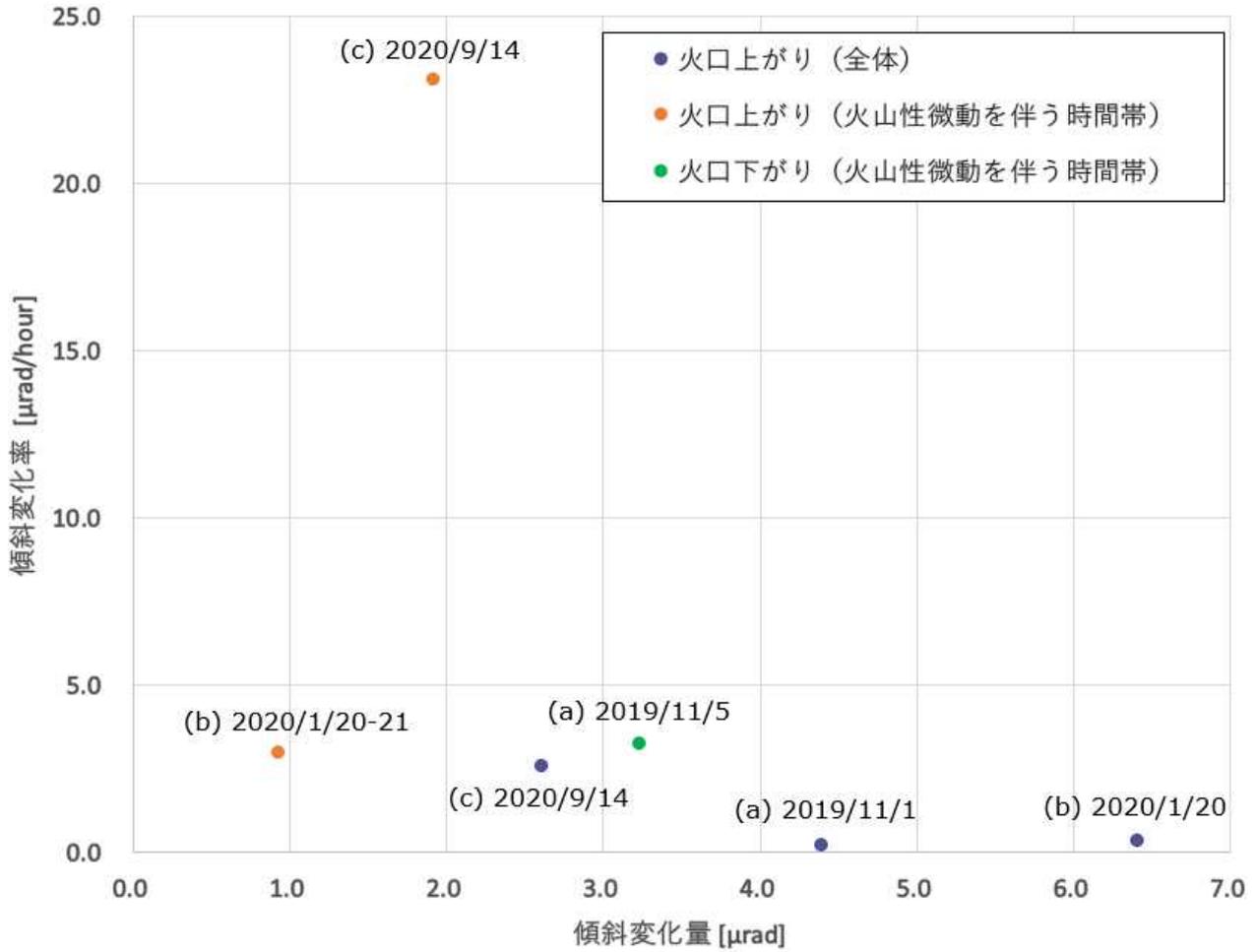


図 28 十勝岳 前十勝西（北）観測点での過去 3 回の傾斜変動イベントの傾斜変動量と傾斜変動率
 ・ 62-2 火口方向上がりの傾斜変化量はいずれも $1 \mu\text{radian}$ オーダーであった。
 ・ 2020 年 9 月 14 日の火山性微動を伴う時間帯の傾斜変化率は $10 \mu\text{radian}$ オーダーであった。

○ 傾斜記録による膨張源の深度推定

2020 年 9 月 14 日の傾斜記録は、山腹に設置された望岳台・翁温泉の傾斜計で火山性のシグナル（山上がり・山下がり）を観測した初の記録であった。これまでに、62-2 火口近傍に設置された「前十勝西（北）」で同程度の傾斜変動が記録されたことはあるものの、望岳台・翁温泉で火山性のシグナルを観測した例はなく、今回のイベントの変動源の深さは 2006 年以降に観測された事例よりも深いことが予想される。そこで、本イベントで観測された傾斜変動の膨張源の深度と体積変化を茂木モデルで推定した。

今回観測された傾斜変化の時系列を図 29 に示し、空間分布を図 30 に示す。スケールを統一してみると、62-2 火口近傍に設置された「前十勝西（北）」と「グラウンド火口東」の観測点の変動量が大きく（図 29-a）、08 時 53 分頃から山上がりが加速度的に続き、09 時 54 分に山下がりに反転する（図 29-a、図 30-ab）。スケールを拡大して個別にみると、「望岳台」「翁温泉」といった山腹に設置された観測点で、08 時 45 分頃から 08 時 53 分頃にかけて山上がりとなった後、56 分程度停滞し、09 時 49 分頃から 09 時 54 分頃にかけて山下がりとなる（図 29-b、図 30-cd）。時間変化のパターンが二つあることは、今回観測された傾斜変動は単一の膨張源では説明できないことを示している。前者はいわゆる 62-2 火口浅部の変動に対応し、後者はより深い膨張源の変動に対応していると考えられる。

はじめに、62-2 火口浅部の膨張源について、「前十勝西（北）」と「グラウンド火口東」の 2 点の観測値を用いて、山川・茂木モデルを用いたグリッドサーチで推定した（図 31-a）。グリッドサーチでパラメータを決める際に、山上がり・山下がりの変動ベクトルが概ね 62-2 火口を向くことから（図 30-ab）、変動源の水平位置は 62-2 火口に固定し、深さと体積変化量を推定した。結果、標高 1200m で 2700m³の体積膨張があれば 2 点の観測値を概ね説明できる（図 31-b）。この結果から、その他の観測点で予想される変動量に関して、「摺鉢火口 3」で約 0.4 μ rad の北東上がりが予想されるが、そのような変動は観測されていない（図 29-b）。膨張源が浅いため、膨張源の形状が観測値と計算値の違いを生んでいる可能性が考えられる。

次に、より深い膨張源の推定を行った。傾斜変動の空間分布（図 30-c）から、ベクトルが一点で収束することはなく、茂木モデルですべての観測値を説明することはできない。今回は、全ての観測値を矛盾なく説明するモデルは考えず、ベクトルが概ね 62-2 火口方向を向いている望岳台・翁温泉の観測値（山上がり）を説明することができ、かつ、その他の観測点のベクトルの大きさが概ね一致するような膨張源の推定を行った。

推定の方法として、62-2 火口からの水平距離順に各観測点の傾斜変化の大きさを並べ、茂木モデルの理論曲線を当てはめた（図 32）。茂木モデルの理論曲線のパラメータは、膨張源の水平位置を 62-2 火口直下に固定し、翁温泉での観測値を満たすように、各深さ（標高 0km、-1km、-2km）で、体積変化量（ ΔV ）を求めることで決定した。図 32 から、この条件下では、膨張源の深度は標高-1~-2km の間であることが推定される。

また、各深度のパラメータを用いて、「MaGCAP-V」で挙動解析を行った結果を図 33 に示す。標高-1km・膨張量約 3000m³での推定結果（計算値）と観測値を比較すると、望岳台・翁温泉では傾斜ベクトルの向き・大きさの両方がよく合い、その他の観測点では傾斜ベクトル大きさが概ね合っていることから、妥当な解だと考えた。62-2 火口近傍の観測点である「前十勝西（北）」「グラウンド火口東」の観測値と計算値のベクトルの向きが逆であることに関しては、S/N が小さいことによる可能性がある。

最後に、今回推定したパラメータに関してこれまでの知見と比較した。十勝岳でこれまでに地殻変動データから推定された膨張・収縮源（ソース）をまとめ（表 3）、震源分布図に重ねた（図 34）。今回求められた標高-1km という深度は、これまでに GNSS データや傾斜データから求められていた膨張・収縮源と比べ深いこと、地震の震源分布の下限に相当すること、以上の二つが分かる。十勝岳では山体浅部の活動に対応する観測データが蓄積されてきたが、今回の事例はやや深い領域の活動を示すデータだと考えている。

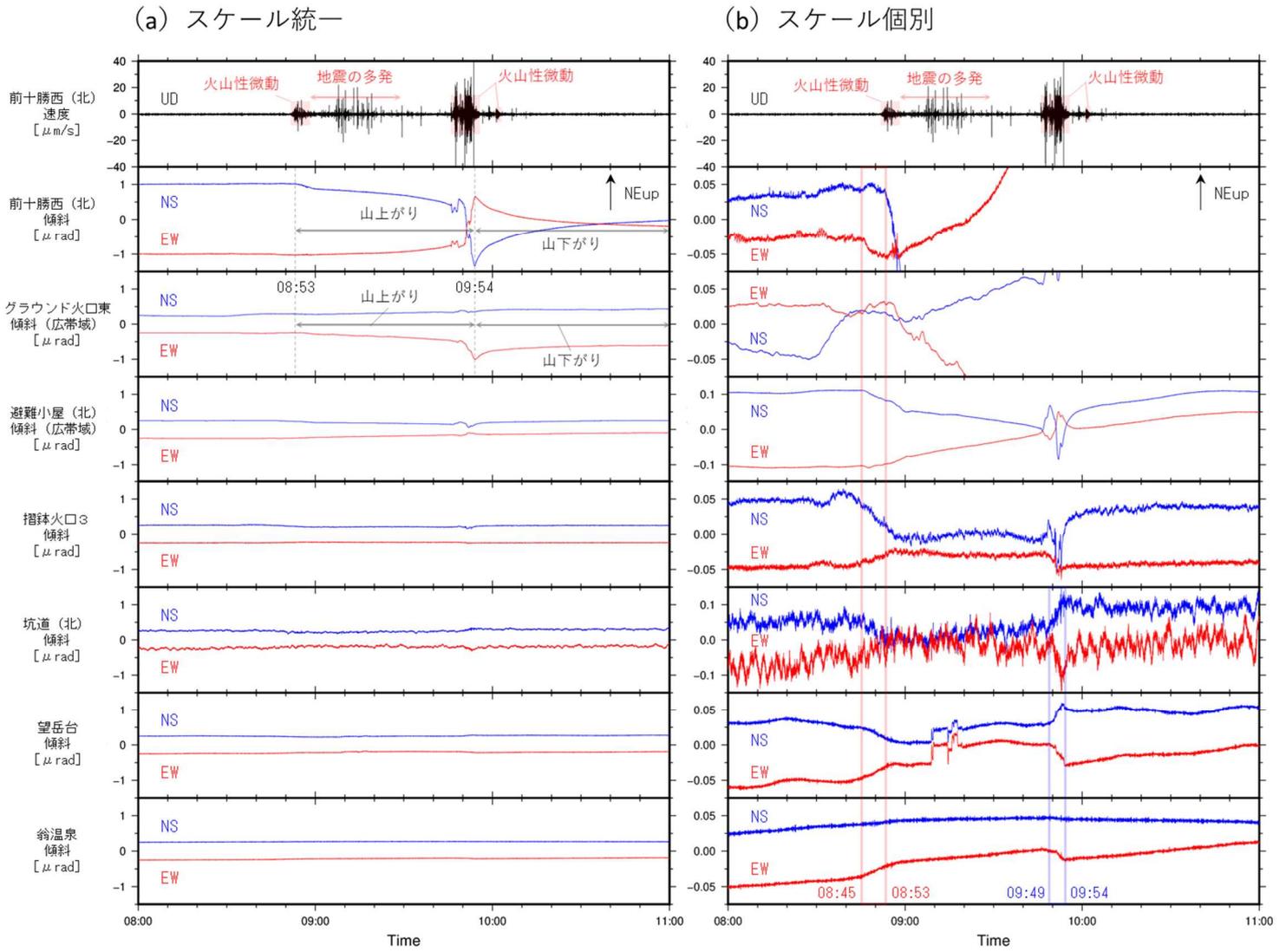


図29 十勝岳 傾斜変動の時系列 (2020/09/14 08:00 ~ 11:00、秒値)

- (a) 各観測点の傾斜データのスケールを統一して示した。
- (b) 各観測点の傾斜データのスケールを個別に調整して示した。
- (b) に関して、「望岳台」「翁温泉」といった山腹の観測点で山上がりを観測した区間を赤枠で、山下がりを観測した区間を青枠で示した。山上がりが続く区間が継続している「前十勝西 (北)」「グラウンド火口東」と、VLPの波形を描いている「避難小屋 (北)」「摺鉢火口3」は除外した。

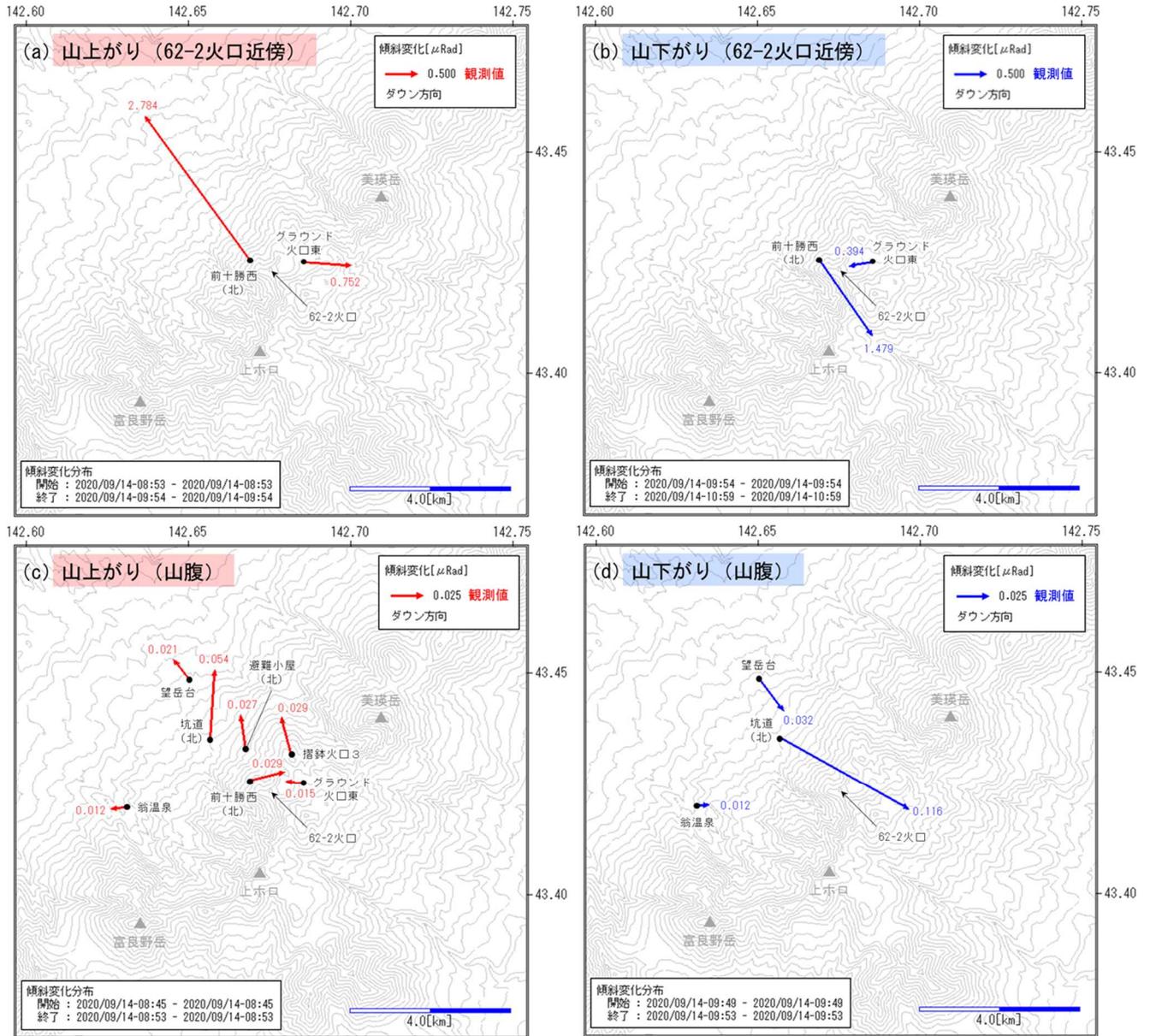


図 30 十勝岳 傾斜変動の空間分布

- (a) 62-2 火口近傍の傾斜計での山上がり : 2020/09/14 08:53 ~ 09:54 (図 29-a 参照)
 - (b) 62-2 火口近傍の傾斜計での山下がり : 2020/09/14 09:54 ~ 10:59 (図 29-a 参照)
 - (c) 山腹の傾斜計での山上がり : 2020/09/14 08:45 ~ 08:53 (図 29-b 参照)
 - (d) 山腹の傾斜計での山下がり : 2020/09/14 09:49 ~ 09:53 (図 29-b 参照)
- (d) に関して、その他の観測点は、山上がりが続く区間を含んでいた、VLP を含んでいるため描画から除外した。

この地図の作成には国土地理院発行の「数値地図 50mメッシュ(標高)」を使用した。

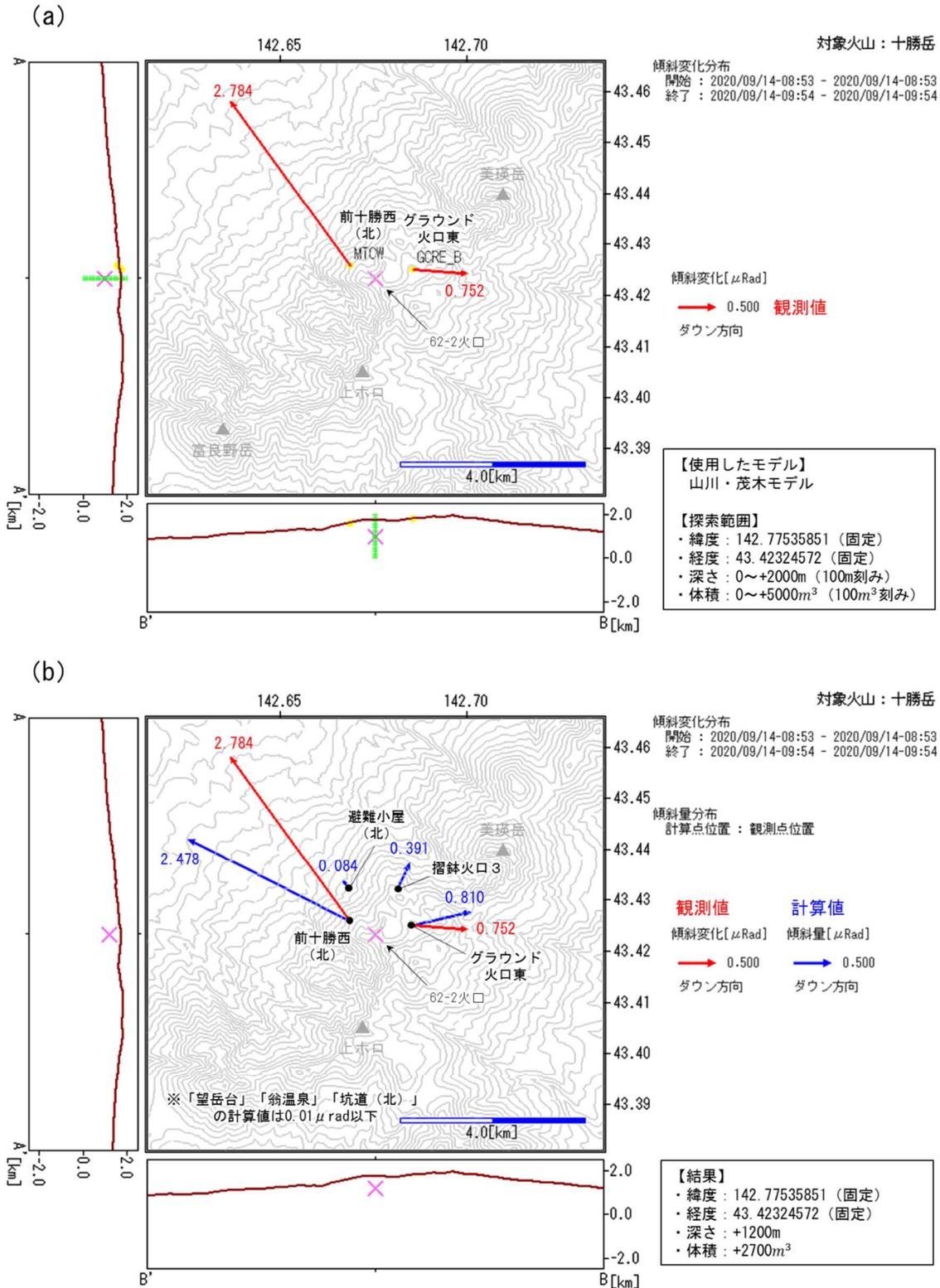


図 31 十勝岳 62-2 火口浅部膨張源の推定

(a) 山川・茂木モデルを用いたグリッドサーチによる推定

「前十勝西(北)」と「グラウンド火口東」の観測値を推定に使用した。水平位置を活動火口である62-2火口に固定し、深さと体積変化量をグリッドサーチで推定した。

(b) グリッドサーチの結果

「前十勝西(北)」と「グラウンド火口東」の観測値を赤矢印で示し、各観測点での計算値を青矢印で示した。

「望岳台」「翁温泉」「坑道(北)」の計算値は0.01 μrad 以下であり、このスケールでは青矢印が読み取れない。

この地図の作成には国土地理院発行の「数値地図50mメッシュ(標高)」を使用した。

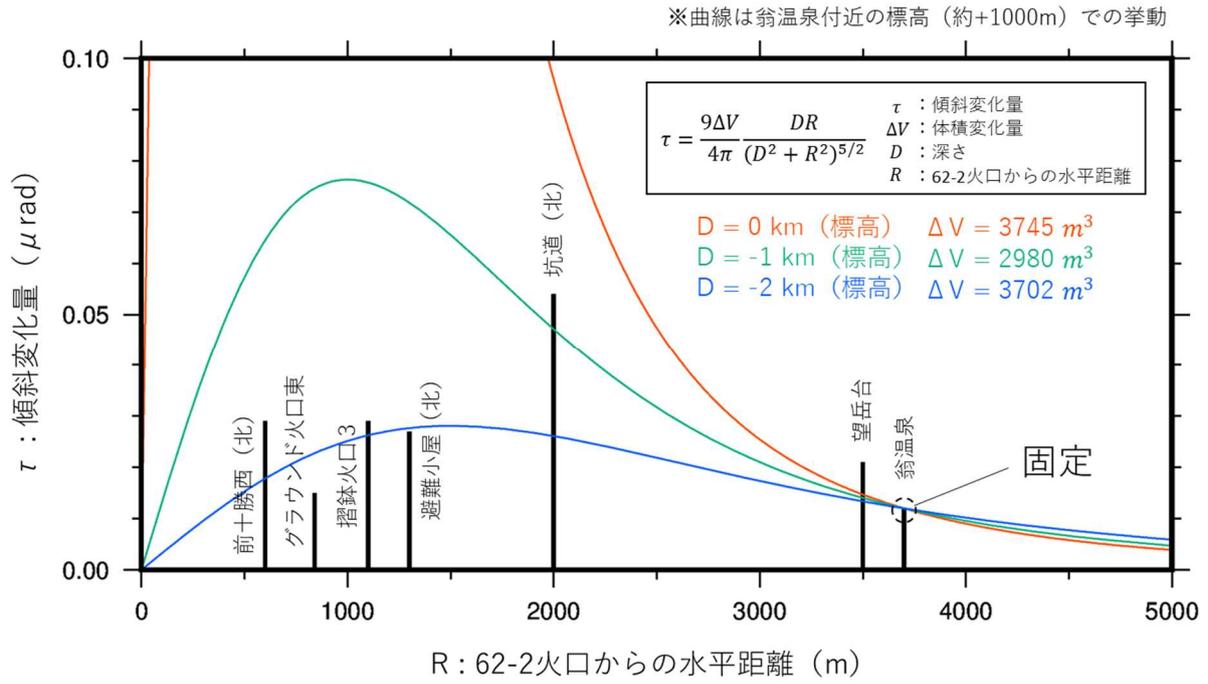


図 32 十勝岳 62-2 火口からの水平距離順に並べた傾斜変化量（山上がり）

各観測点の傾斜変化量は図 30-c に対応する傾斜ベクトルの大きさである。

赤・緑・青の曲線は茂木モデルによる理論曲線を表す。膨張源の水平位置を 62-2 火口直下に固定し、翁温泉での観測値を必ず通るように、各深さで、体積変化量 (ΔV) を決めた。

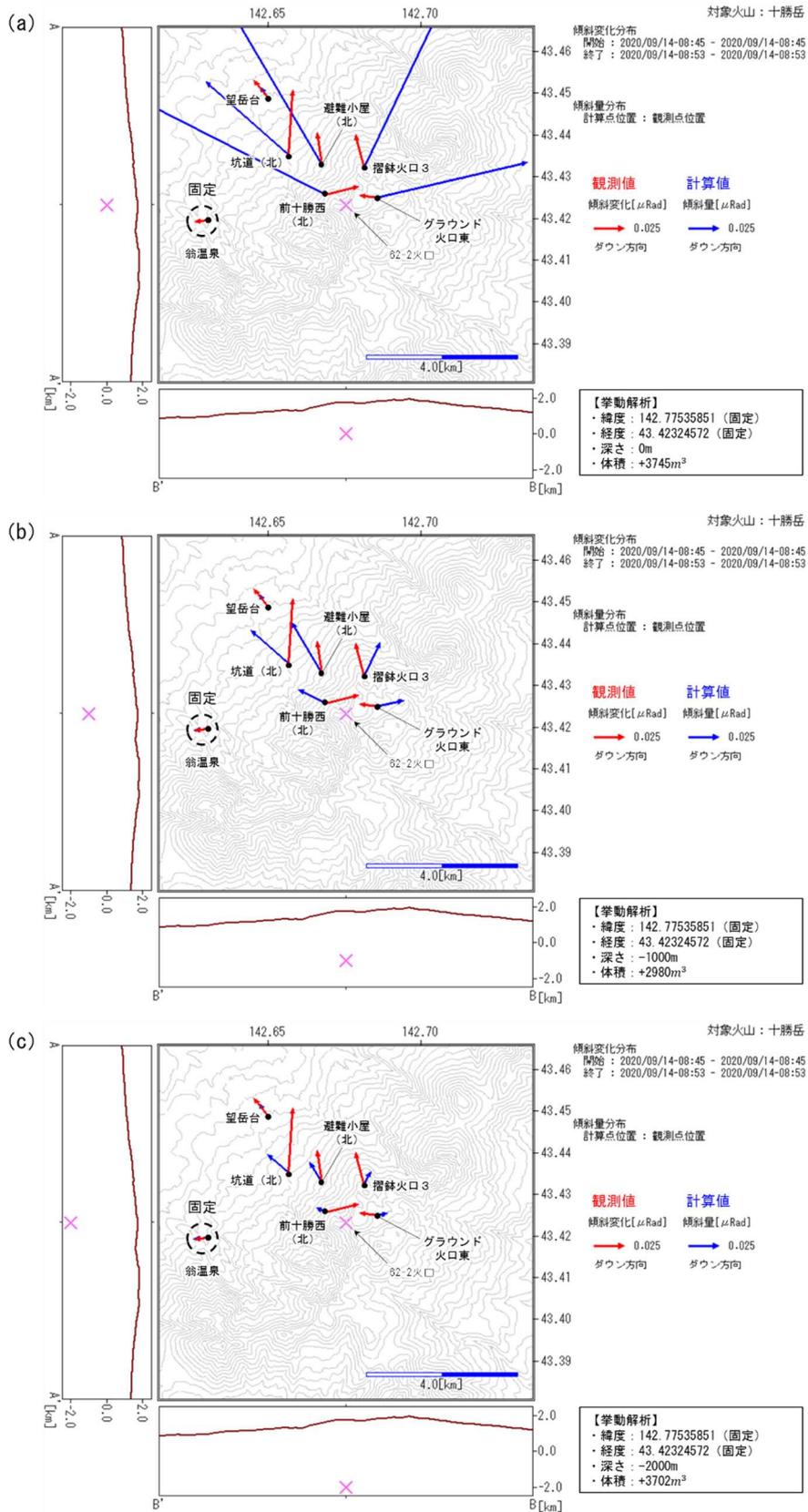


図 33 十勝岳 MaGCAP-V を用いた挙動解析

図 32 で求めた各パラメータを用いて、MaGCAP-V の挙動解析を行った結果を示した。各観測点の傾斜変化量は図 30-c に対応する傾斜ベクトルの大きさである。この地図の作成には国土地理院発行の「数値地図 50mメッシュ(標高)」を使用した。

表 3 十勝岳 地殻変動データから推定された膨張・収縮源のまとめ

※ 1 第 138 回火山噴火予知連絡会資料 ※ 2 奥山・高橋, 2015 ※ 3 青山・他, 2019

番号	概ねの期間	継続時間	観測データ	形状	標高(m)	体積変化量(m ³)	参照
①	2006~2017	約 11 年	GNSS	球状	+1400	約+1.2×10 ⁵	※ 1
				球状	+1600	約+8.0×10 ⁴	
②	2007~2010	約 3 年	干渉 SAR	回転楕円体	+1400	—	※ 2
③	2018/05/29	約 5 分	傾斜	球状	+1300	-130	※ 3
④	2020/09/14	約 1 時間	傾斜	球状	+1300	約+2.7×10 ³	本資料
		約 15 分	傾斜	球状	-1000	約+3.0×10 ³	

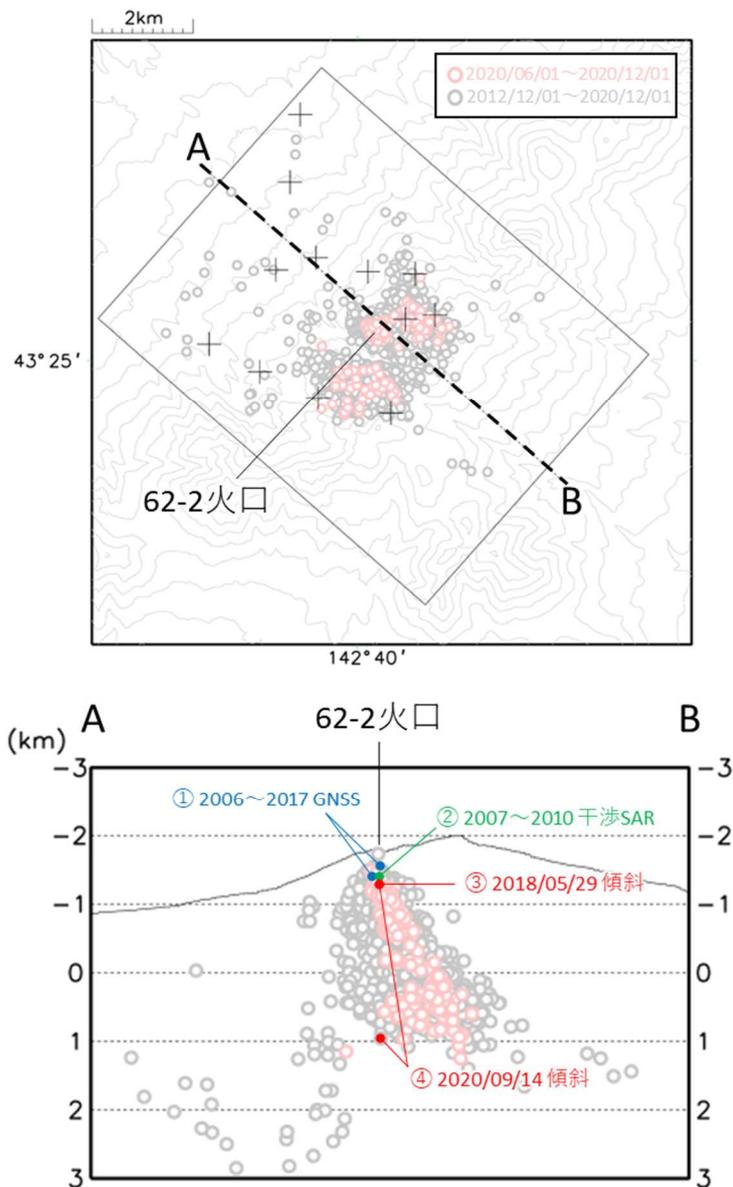


図 34 十勝岳 震源分布図と膨張・収縮源の深度のイメージ図

上段：震源分布図（水平方向）

下段：震源分布図（A-B 断面図）、膨張・収縮源の深度は表 3 に基づき加筆した

この地図の作成には国土地理院発行の「数値地図 50mメッシュ（標高）」を使用した。

+は地震観測点を示す。

ALOS-2/PALSAR-2 データを用いた 十勝岳における SAR 干渉解析結果

ノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。

1. はじめに

ALOS-2/PALSAR-2 で撮像された十勝岳周辺のデータについて干渉処理を行ったので報告する。

2. 解析データ

解析に使用したデータを第 1 表に示す。

Path-Frame	Orbit	Looking	Inc. angle	Earliest Scene	Latest Scene	Figure No.
18-2740(SM1_U2-6)	南行	右	32.4°	2019.08.08	2020.08.06	第 1 図 - A
18-2740(SM1_U2-6)	南行	右	32.3°	2019.10.31	2020.10.29	第 1 図 - B

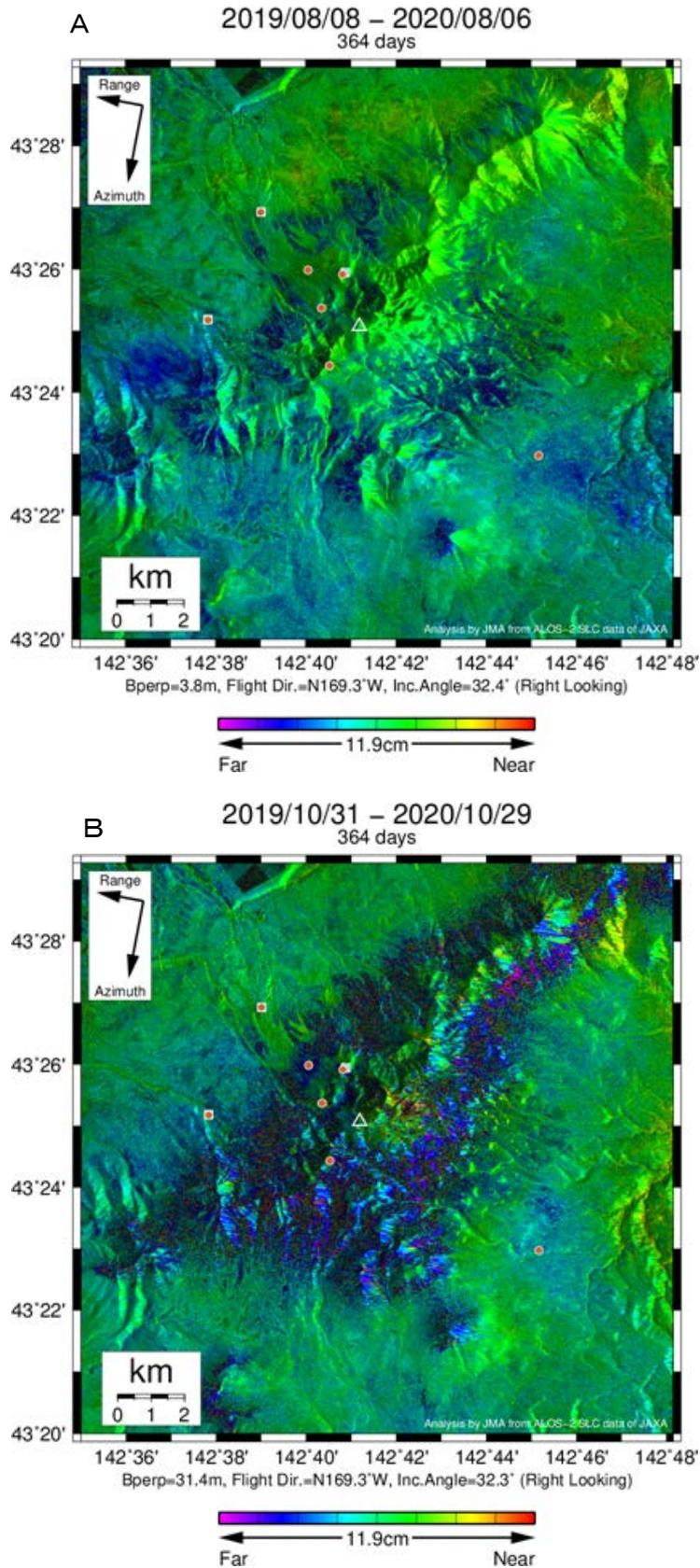
第 1 表 干渉解析に使用したデータ

3. 解析結果

南行軌道の長期ペアについて解析を行った。ノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。

謝辞

本解析で用いた PALSAR-2 データは、火山噴火予知連絡会が中心となって進めている防災利用実証実験（衛星解析グループ）に基づいて、宇宙航空研究開発機構（JAXA）にて観測・提供されたものである。また、一部のデータは、PIXEL で共有しているものであり、JAXA と東京大学地震研究所の共同研究契約により JAXA から提供されたものである。PALSAR-2 に関する原初データの所有権は JAXA にある。PALSAR-2 の解析ソフトウェアは、防災科学技術研究所の小澤拓氏により開発された RINC を使用した。また、処理の過程や結果の描画においては、国土地理院の数値地図 10m メッシュ（標高）を元にした DEHM を、地形の描画には数値地図 25000（行政界・海岸線）のデータを使用した。ここに記して御礼申し上げます。



第 1 図 パス 18(SM1_U2-6)による十勝岳及び周辺の干渉解析結果

図中の白三角印は山頂位置を示す。丸印は GNSS 観測点、四角印は傾斜観測点を示す。
ノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。

十勝岳

○2020年9月14日の傾斜イベント中の地震動振幅比の変化

6月に火映現象が観測された十勝岳では、昨年11月1-5日、本年1月20日以降に続いて、9月14日にも顕著な傾斜変動が観測された。前の2回と異なり、9月のイベントでは山麓部の気象庁ポアホール傾斜計でも信号が確認でき、変動源がやや深部まで及んでいる可能性が示唆される。この傾斜イベントは2つの火山性微動と微動の間に頻発した高周波の火山性地震に重畳している。札幌管区気象台が傾斜変動量の空間分布から、変動源深度を海面下1km(火口からは約2.5km下)付近と推定しているが、前十勝西(MTKW)観測点で2回目の微動時に認められる急激な火口方向隆起の変動は山麓観測点では認められない。また、前十勝西での傾斜記録は地震が頻発する間に加速的な変化を示しており、深部から火口近傍への圧力源の上昇が想起される。

ここでは上昇を示唆する他の情報として、火口近傍の前十勝西観測点と、山麓にある気象庁硫黄沢観測点(TOKA)の上下動地震波形の高周波($f > 5\text{Hz}$)エンベロップから、個々の微小地震イベントの最大値を抽出し、振幅比の変化を調べた。その結果、図1の最下段に示すように、時間の経過と共に山麓部での振幅が相対的に小さくなる変化が確認された。

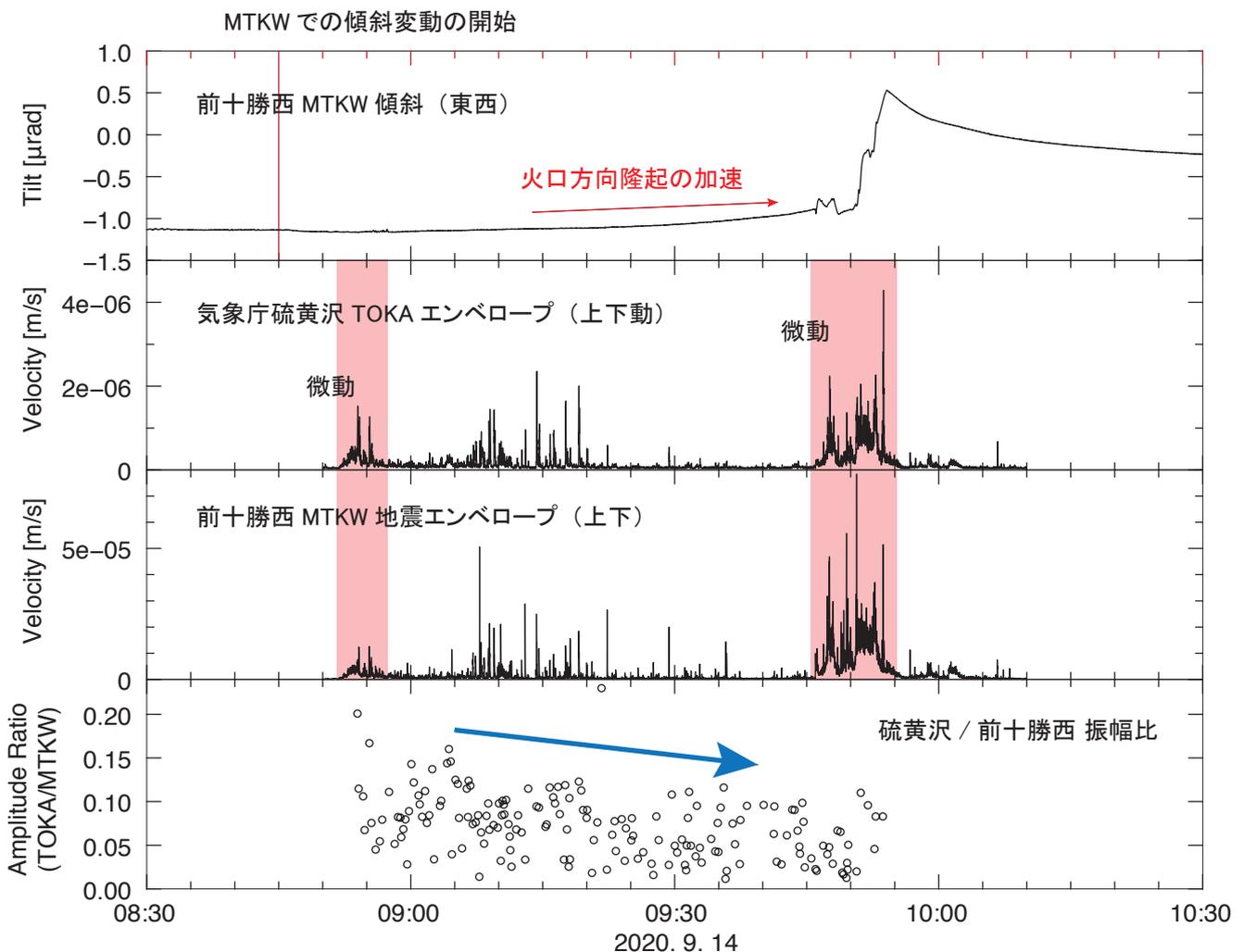


図1. 9月14日8:30から2時間の記録例。上から、前十勝西の東西傾斜変化、硫黄沢の上下動エンベロップ、前十勝西の上下動エンベロップ、微小地震の硫黄沢 / 前十勝西の最大振幅比を表す。硫黄沢と前十勝西には到着時間差があるため、最大振幅値は元となる波形記録とエンベロップを比較しながら、手動で抽出した。

十勝岳

○地磁気全磁力

観測を開始した 2008 年以降、大まかには 62-2 火口の地下浅部における消磁を示唆する傾向が長期間続いてきたが、2017 年から 2019 年にはその傾向が緩やかになった(図 2)。最近では消磁傾向が再開しているようにも見えるが、2020 年 9 月に TKNM の連続観測を復旧した際にセンサを交換したため、欠測期間前後にオフセットが生じた可能性があり、はっきりしない。

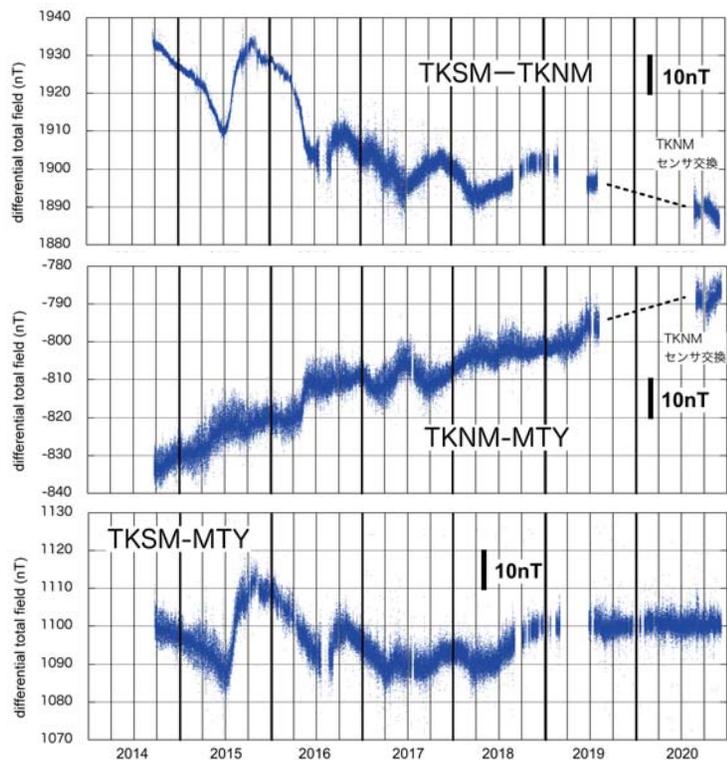


図 1 全磁力連続観測点の配置。国土地理院のオンライン地図画像を使用。



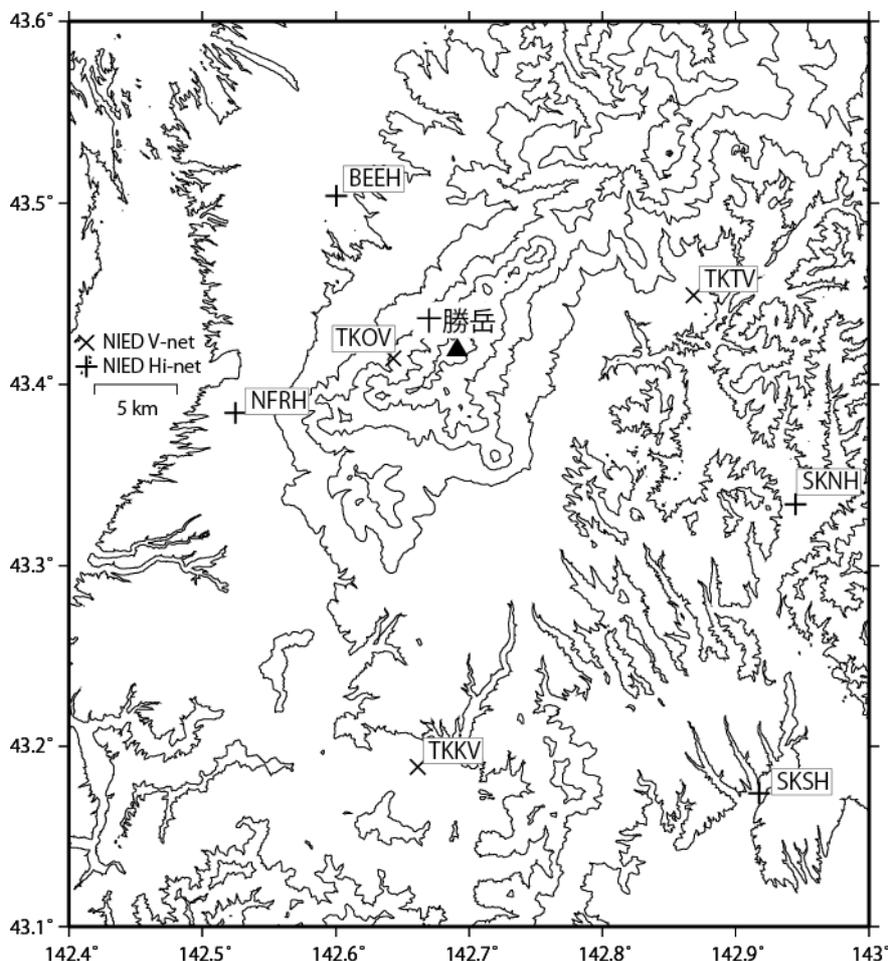
図 2 2008 年 9 月から 2020 年 12 月の全磁力変化 (2 地点の単純差)。2014 年 9 月以前のデータは反復測量によるもので、T09 及び T05 は、それぞれ TKSM 及び TKNM 近傍の反復磁気点。

図 3 2014 年 9 月から 2020 年 12 月の全磁力変化 (最上段：62-2 火口南-火口北，2 段目：62-2 火口北-有珠三豊，最下段：62-2 火口南-有珠三豊)。



十勝岳

十勝岳の火山活動について



この地図の作成にあたっては、国土地理院発行の
数値地図 50mメッシュ（標高）を使用した。

- TKOV=地震計（短周期・広帯域）、傾斜計、気圧計、温度計、雨量計、GNSS
- TKTV=地震計（短周期・広帯域）、傾斜計、気圧計、温度計、雨量計、GNSS
- TKKV=地震計（短周期・広帯域）、傾斜計、気圧計、温度計、雨量計、GNSS

資料概要

○ 地殻変動

GNSS 観測結果と傾斜計データには、火山活動に関わる明瞭な地殻変動は認められない。

十勝岳の傾斜変動 (2014/10/10~2020/09/30)

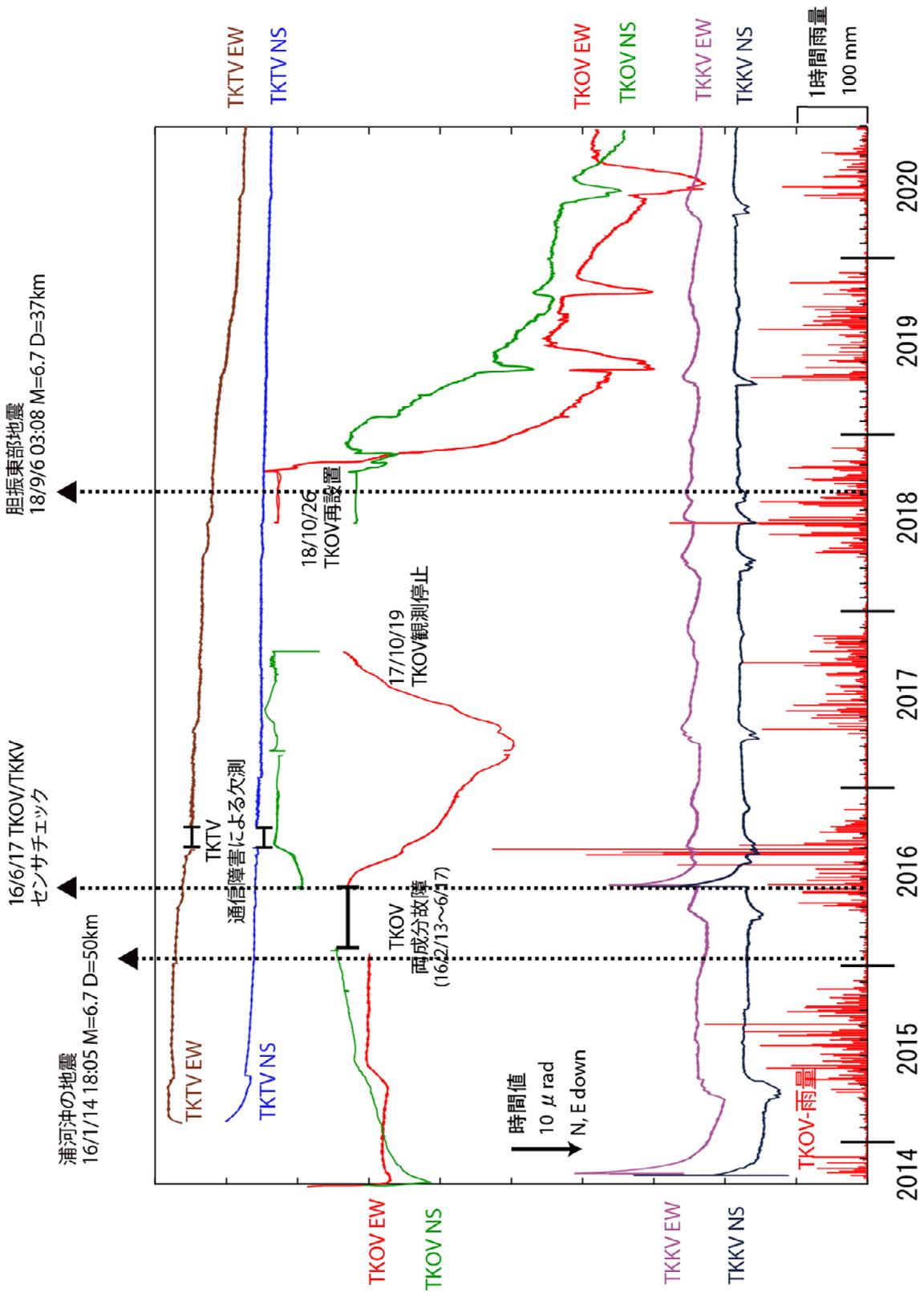


図 1 十勝岳の傾斜変動

十勝岳

防災科学技術研究所 GNSS 観測点及び国土地理院 GEONET で得られた、
2019 年 10 月 1 日-2020 年 9 月 30 日の地殻変動【鹿追 (0879) 固定】

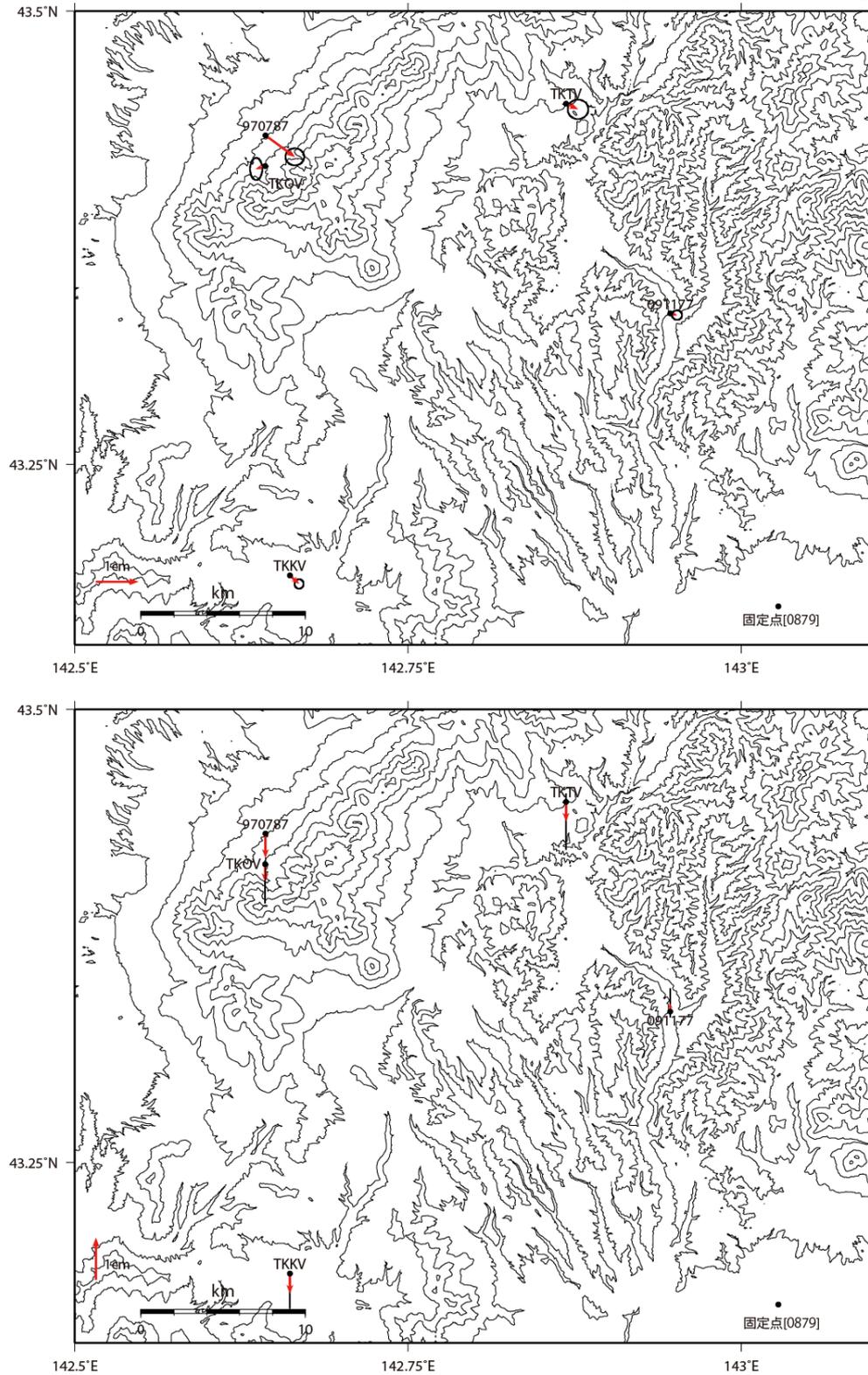


図 2 十勝岳周辺 V-net 観測点及び国土地理院 GEONET 観測点における GNSS 解析結果。
(上段：水平成分、下段：上下成分)

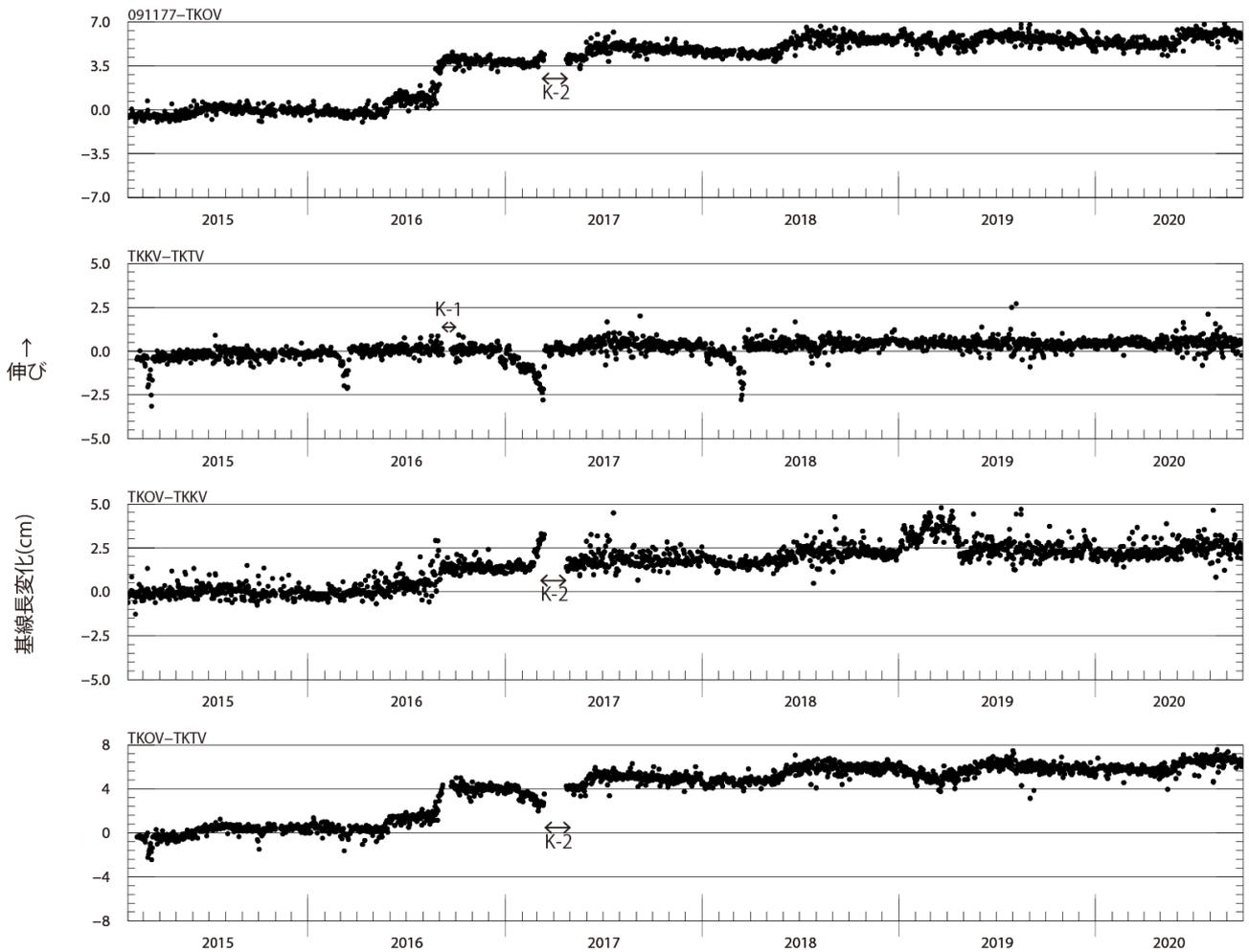


図 3 防災科研観測点 3 点（北落合，十勝岳温泉，トムラウシ温泉）間及び，十勝岳温泉 -GEONET 新得 2（091177）間の基線長変化. 2015/2/1～2020/9/30

表1 GNSS観測履歴

観測点番号	観測点名	図中記号	日付	保守内容
	十勝岳十勝岳温泉 (TKOV)		2014/10/23	2周波観測開始
		K-2	2017/3/14～4/24	停電により欠測
	十勝岳北落合 (TKKV)		2014/10/6	2周波観測開始
	十勝岳トムラウシ温泉 (TKTV)		2015/2/20	2周波観測開始
		K-1	2016/9/7～9/23	停電により欠測

十勝岳の地殻変動

Crustal Deformations of Tokachidake Volcano

第1図から第4図は、十勝岳周辺のGNSS連続観測結果である。

第1図・第3図の上段に基線の配置を、第1図の下段には各観測局の保守履歴を示した。第2図および第3図下段はそれぞれ第1図・第3図の上段に示した基線の基線長変化グラフで、左列は最近約5年間（2015年11月～2020年11月）、右列は最近約1年間（2019年11月～2020年11月）の時系列である。

基線長変化では顕著な地殻変動は観測されていない。第3図の基線変化グラフ（短期）において、いくつかの基線で2020年6月頃に変化が見られるが、これらは季節変動の影響だと思われる。

第4図は、電子基準点および気象庁のGNSS観測点の統合解析から得られた水平変動ベクトル図であり、「美瑛」を固定局としている。期間は最近1年間（2019年11月～2020年11月）を示す。顕著な地殻変動は観測されていない。

第5図は、「だいち2号」のSAR干渉解析結果である。ノイズレベルを超える変動は見られない。

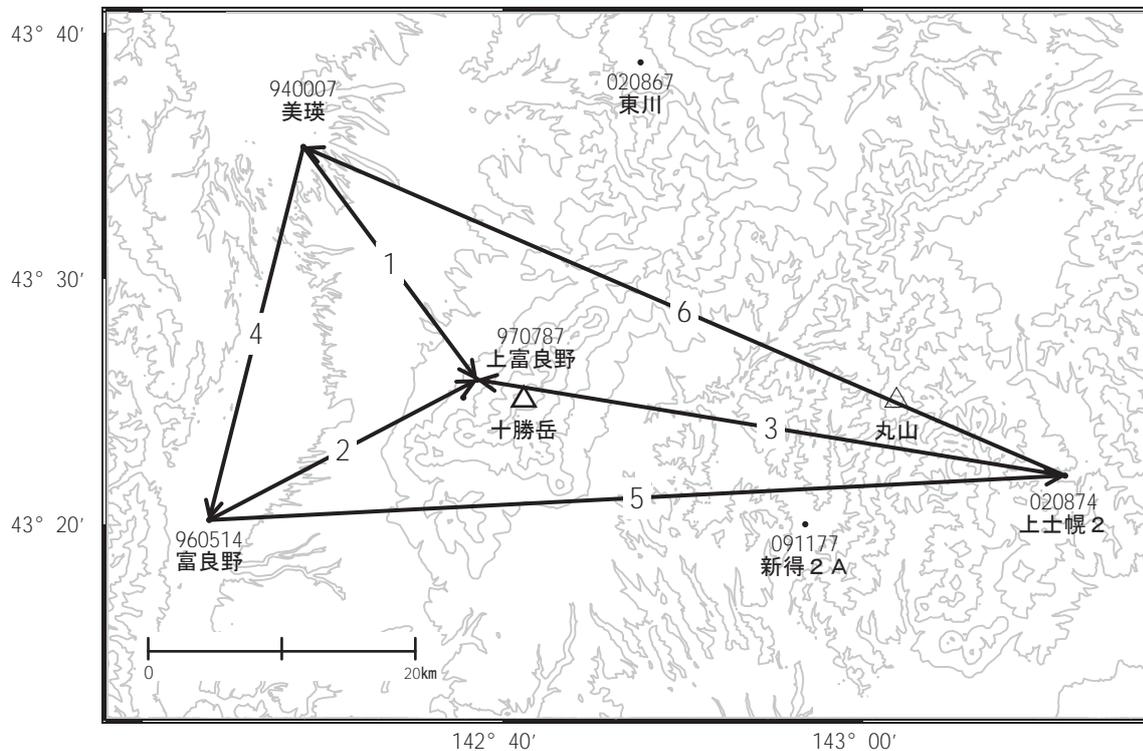
謝辞

ここで使用した「だいち2号」の原初データの所有権は、JAXAにあります。これらのデータは、「だいち2号」に関する国土地理院とJAXAの間の協定に基づき提供されました。

十勝岳

顕著な地殻変動は観測されていません。

十勝岳周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図



十勝岳周辺の各観測局情報

点番号	点名	日付	保守内容
970787	上富良野	20190208	受信機交換
020874	上士幌2	20170804	アンテナ交換
960514	富良野	20170630	伐採
		20190207	受信機交換
		20200911	アンテナ交換

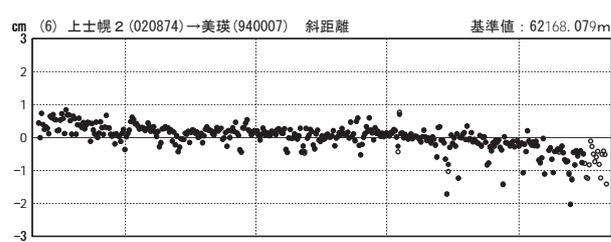
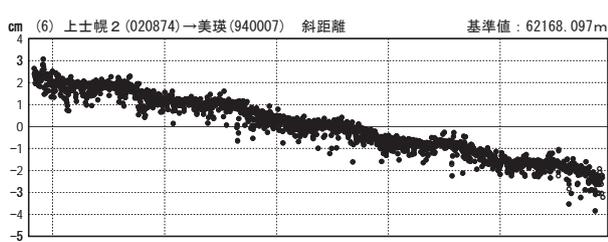
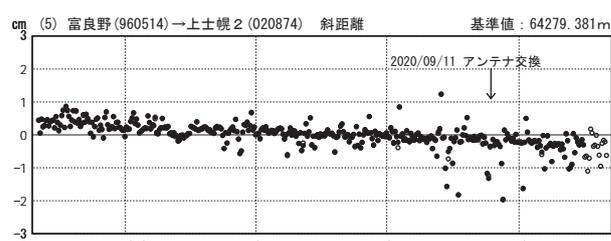
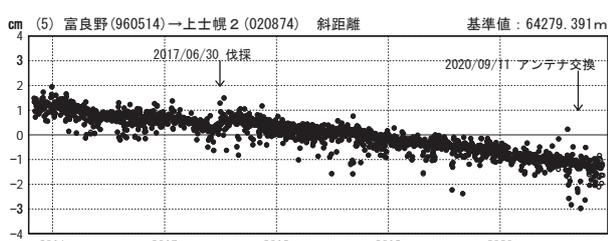
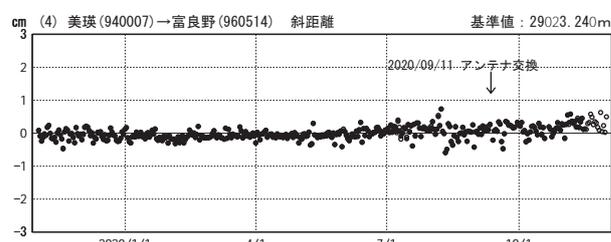
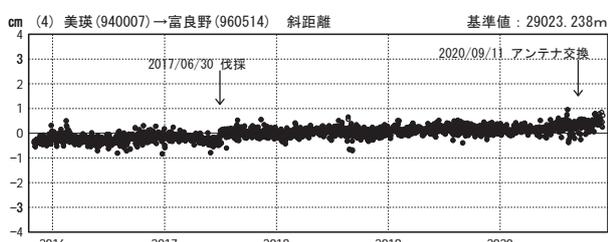
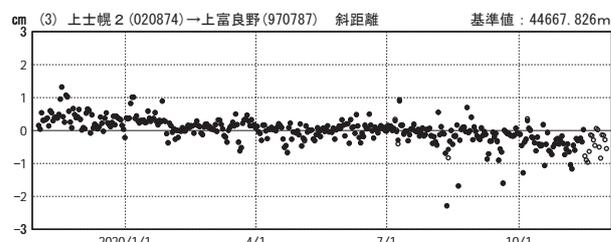
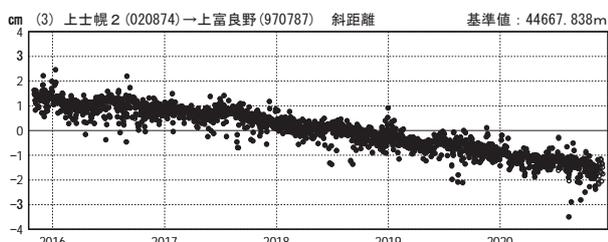
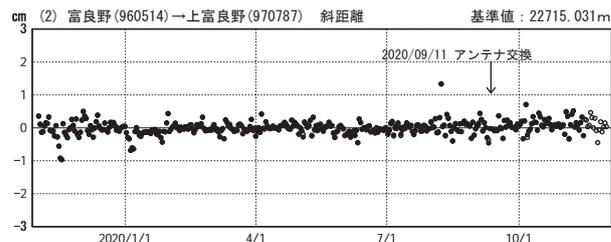
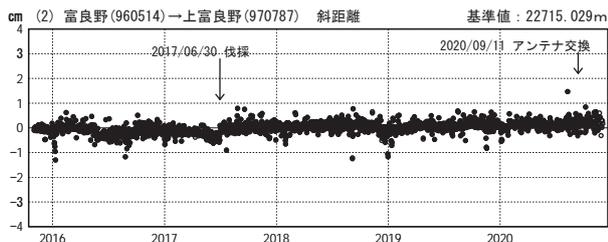
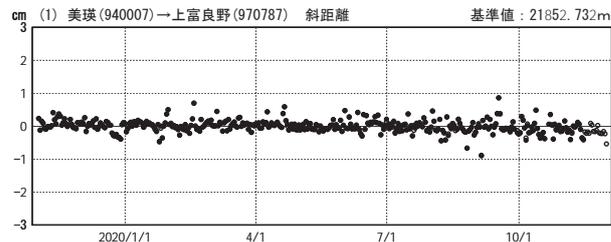
第1図 十勝岳周辺のGNSS連続観測基線図(上段)と観測局の保守履歴(下段)

基線変化グラフ（長期）

期間：2015/11/01～2020/11/30 JST

基線変化グラフ（短期）

期間：2019/11/01～2020/11/30 JST



●---[F3:最終解] ○---[R3:速報解]

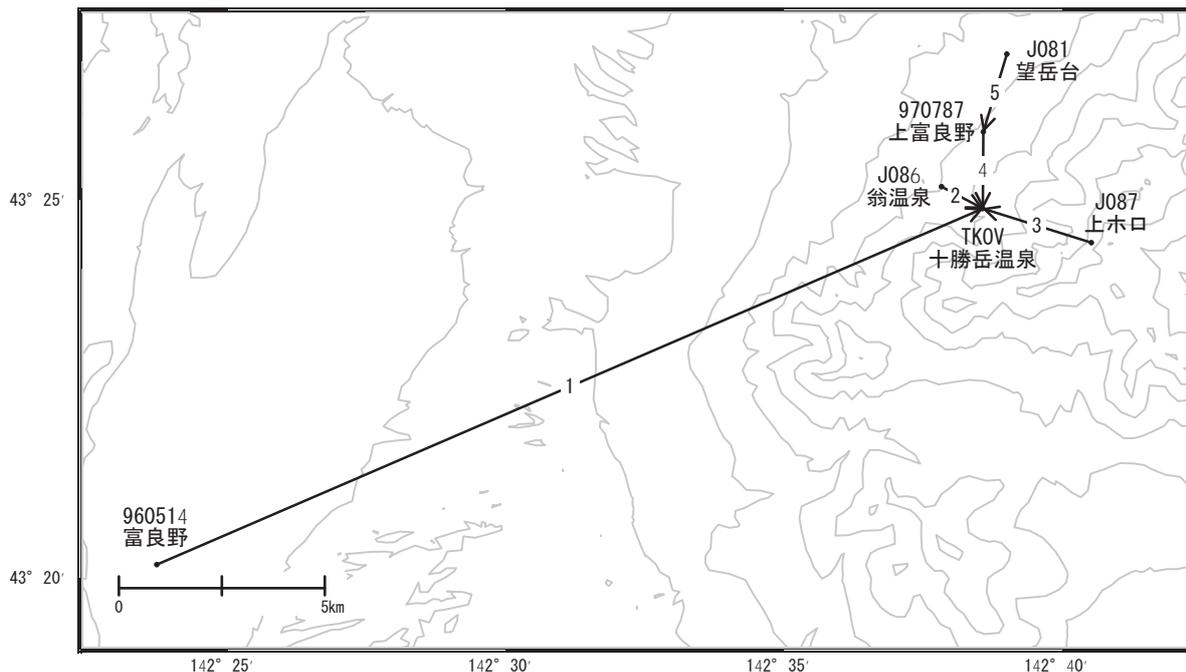
国土地理院

※[R3:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

第2図 十勝岳周辺のGNSS連続観測による基線変化グラフ

(左列：2015年11月～2020年11月、右列：2019年11月～2020年11月)

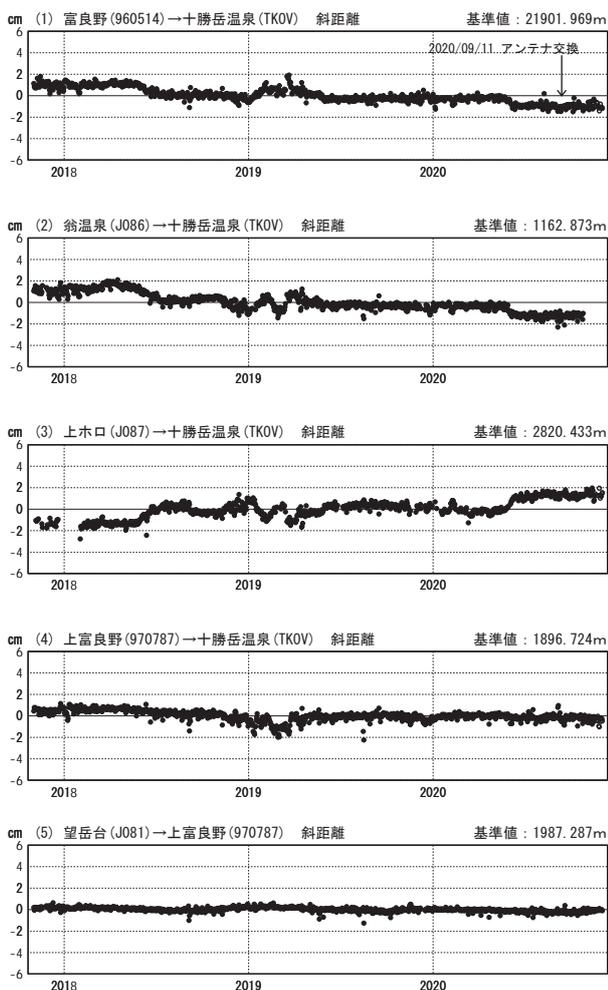
十勝岳周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図(2)



国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

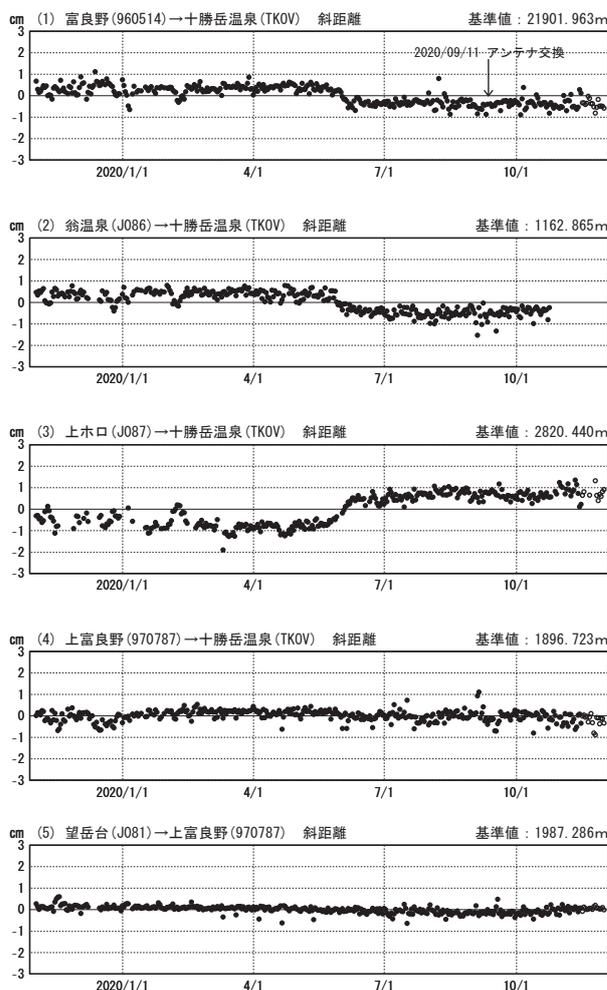
基線変化グラフ(長期)

期間: 2017/11/01~2020/11/30 JST



基線変化グラフ(短期)

期間: 2019/11/01~2020/11/30 JST



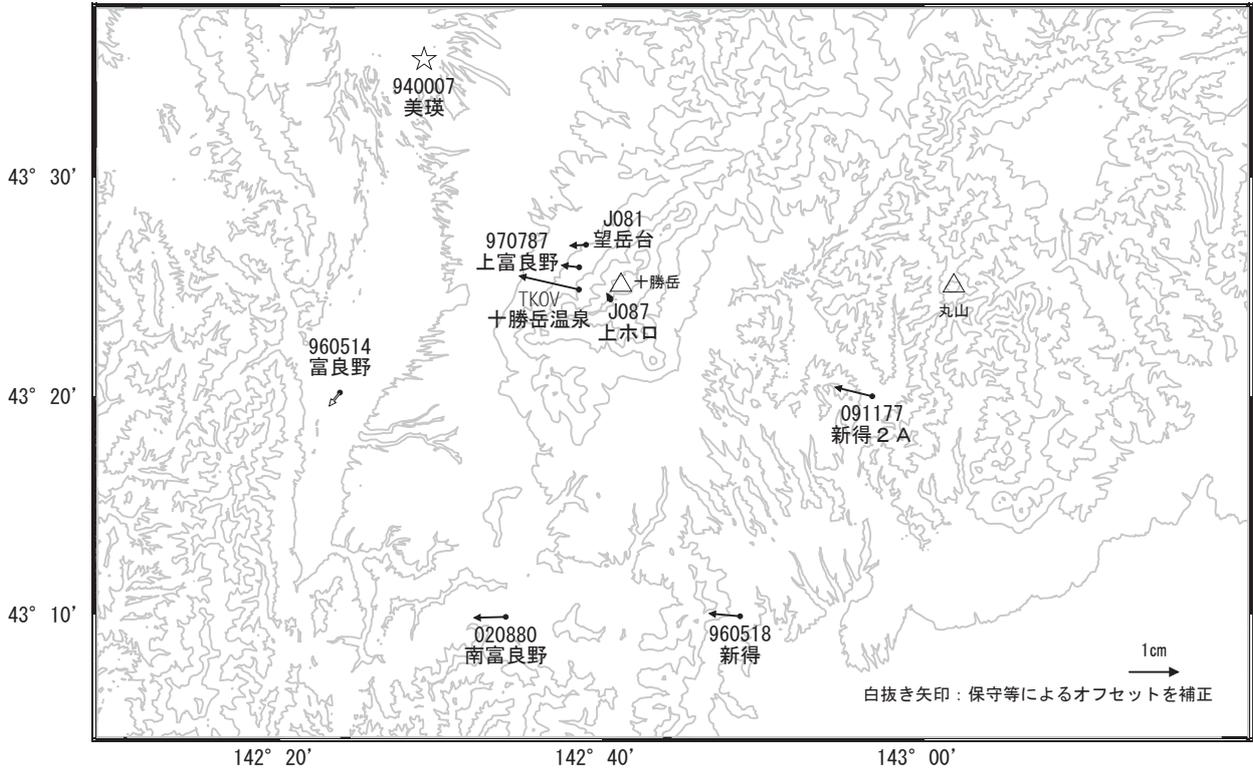
国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

第3図 十勝岳周辺のGNSS連続観測基線図(上段)と基線変化グラフ(下段)
(左列: 2017年11月~2020年11月、右列: 2019年11月~2020年11月)

十勝岳

十勝岳周辺の地殻変動(水平:1年間)

基準期間:2019/11/21~2019/11/30[F3:最終解]
 比較期間:2020/11/21~2020/11/30[R3:速報解]



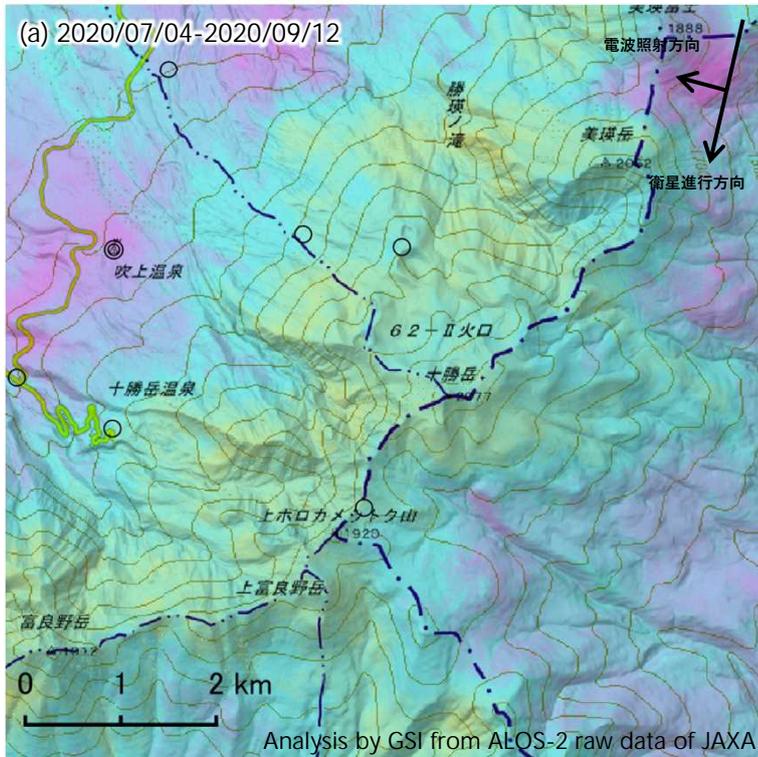
☆ 固定局:美瑛(940007)

国土地理院・気象庁

第4図 十勝岳周辺の電子基準点・気象庁GNSS観測点の統合解析による水平変動ベクトル図
 (2019年11月~2020年11月)

十勝岳のSAR干渉解析結果について

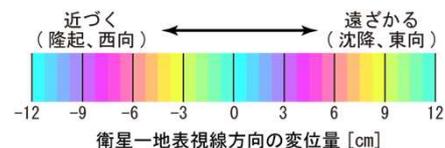
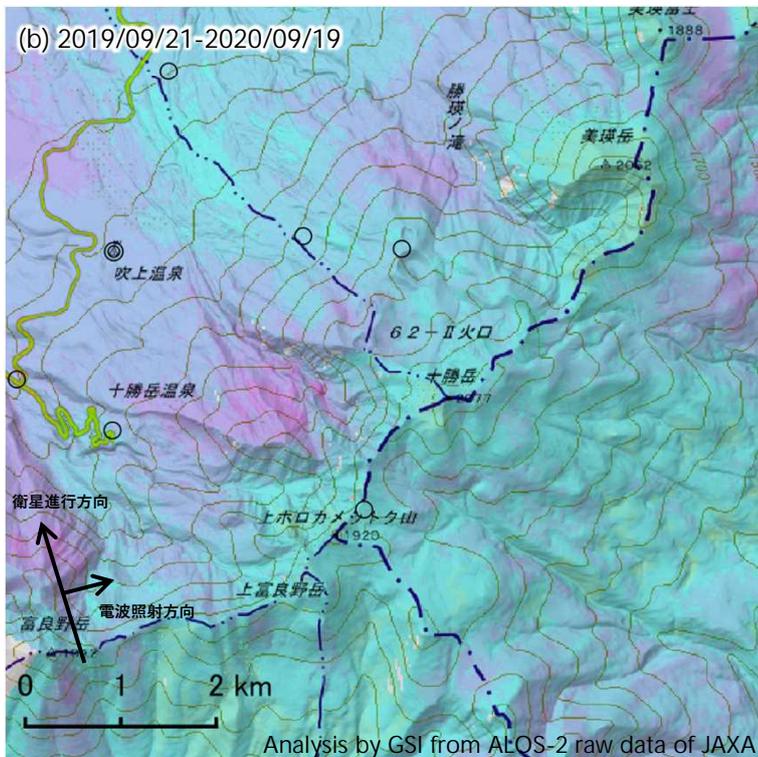
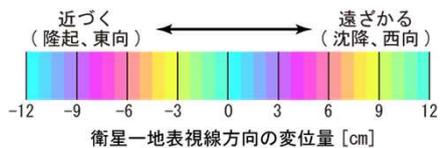
ノイズレベルを超える変動は見られません。



	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2020/07/04 2020/09/12 11:34頃 (70日間)	2019/09/21 2020/09/19 23:19頃 (364日間)
衛星進行方向	南行	北行
電波照射方向	右(西)	右(東)
観測モード*	U-U	H-H
入射角	41.9°	35.6°
偏波	HH	HH
垂直基線長	+ 50m	- 106m

* U：高分解能(3m)モード
H：高分解能(6m)モード

- ◎ 国土地理院GNSS観測点
- 国土地理院以外のGNSS観測点



背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

第5図 「だいち2号」PALSAR-2による十勝岳周辺地域の解析結果

十勝岳