# 十勝岳の最近約 10 年間 (2006 年~2016 年) の活動経過

Volcanic activity of Tokachidake Volcano during the last 10 years (2006-2016)

札幌管区気象台地域火山監視・警報センター Regional Volcanic Observation and Warning Center, Sapporo Regional Headquarters, JMA

# 1. 概要

十勝岳では、2006年以降、活動火口浅部の膨張を示すと考えられる変化が継続している。また、2010年以降は、大正火口の噴煙量の増加、活動火口浅部の地震回数の増加及び火山性微動の発生が観測されているほか、2012年6月末には大正火口が明るく見える現象が発生し、数日継続した。2015年には、振子沢噴気孔群で地熱域の広がりと噴気の再開・増加といった表面活動の高まりが観測されており、十勝岳の浅部火山活動は盛衰を繰り返しながらも中長期的にやや高まった状態が継続していると考えられる。

これらを踏まえ、2006年以降の活動火口浅部の膨張を示すと考えられる地殻変動の変化傾向をもとに火山活動のステージを区分し、ステージ毎の表面活動や地震活動等をまとめるとともに、圧力源の検討を行い、最近約10年間の活動経過を整理した。

# 2. 地殻変動によるステージ区分と浅部の火山活動の経過

第2図に、望岳台観測点を基準としたGNSS連続及び繰り返し観測データの東西及び南北変動の経過を示す。活動火口浅部の膨張を示すと考えられる変化は2006年以降観測されているが(札幌管区気象台火山監視・情報センター,2009,2016など)、膨張開始以前の2003年から2006年までの期間をステージとし、膨張開始の2006年以降については、活動火口からみて磯部跡観測点より遠方に位置する山腹の観測点の変動に注目して、ステージ ~ に区分した(第2図)。さらに、ステージ 、 、 については、活動火口近傍に位置する前十勝観測点の変動に対応して、それぞれ2つの期間に細分した。なお、ステージ の変化は、平成15年(2003年)十勝沖地震の余効変動に対応するものと考えられる。以下、ステージ 以降の各ステージにおける地殻変動と、表面活動や地震活動等を概説する。

# ・ステージ - 、 (2006年~2009年)

2007年6月に実施したGNSS繰り返し観測では、2006年9月と比較して、火口浅部の膨張を示すと考えられる変動が確認された(札幌管区気象台火山監視・情報センター,2009)。第3図に示すとおり、はじめは大正火口付近を中心とする放射状の変動が観測されていたが(ステージ - ) 2008年頃からは62-2火口付近を中心とする変動に変化している(ステージ - ) 標高補正を加えた茂木モデル(福井,2008)を仮定したグリッドサーチを行った結果、膨張源は活動火口周辺の標高1000m以上(火口直下数百m)の浅い領域に求まった。

2006年頃から62-2火口の噴煙の量が減少した。現地調査によると、2005年以前は噴出直後から透明な状態で非常に勢いよく立ち上っていた62-2火口西側火口底の噴気の状態は、2006年6月の観測から噴気の勢いに低下がみられ、2006年9月には湯だまりに変化していた。400 前後で経過していた62-2火口の最高温度は、2006年以降は200 以下で経過した(第4図)。また、2007年から2009

年にかけて62-2火口周辺のごく浅部の地震の発生が減少しており、地震活動としては最近十数年間で最も静穏な時期であった。

#### ・ステージ (2010年)

GNSS観測では、火口浅部の膨張を示すと考えられる変動が鈍化しているのが観測され(第2図)推定された膨張源は、2006年~2009年に推定した所より浅く、大正火口付近に求まった(第3図)。2010年のはじめ、62-2火口周辺のごく浅部の地震(特に大正火口付近の地震)が一時的に増加した(第4図)。この頃から火口周辺の地震観測点における常時微動の振幅レベルが次第に増大し、また大正火口の噴煙の量が増加し、現地調査では噴気孔の増加がみられた。

なお、62-2火口周辺のごく浅部の地震は、2010年頃からやや多い状態となり、一時的な増加を繰り返している。

### ・ステージ - 、 (2011年~2012年)

GNSS観測では、2011年から再び火口浅部の膨張を示すと考えられる変動が大きくなった(第2図)。第3図に示すとおり、2011年9月までの1年間では、2010年までに求められた膨張源よりも深い62-2火口寄りに膨張源が求まり(ステージ - )、2011年10月から2012年9月までの1年間では大正火口浅部に求まった(ステージ - )。

2012年6月には大正火口東壁が明るく見える現象が発生した。これは、火口内での高温ガスの噴出や硫黄の燃焼等によるものと推定される。また、その後の現地調査で大正火口東壁に噴気孔の増加を確認した。(札幌管区気象台火山監視・情報センター,2014)

# ・ステージ - (2013年~2014年)

GNSS観測では、山腹の観測点で2013年6月頃から変化が鈍化しているのに対し、前十勝観測点では2014年7月頃から一時的に変化率がやや大きくなった(第3図)。

62-2火口周辺のごく浅部の地震は、2013年8月頃からやや減少したが、2014年6月頃からは再び多い状態となった。また、同じく2014年6月頃から、活動火口近傍に設置した地震計で観測される常時微動の振幅レベルが高い状態で継続し、2014年11月には急激な増大がみられ、浅部熱水活動の高まった状態であった可能性がある。なお、常時微動の振幅レベルは、その後2014年12月上旬からは低下傾向が認められた。(札幌管区気象台火山監視・情報センター,2016)

# ・ステージ - (2015年)

GNSS観測では、2015年5月頃から7月にかけて前十勝観測点ではこれまでの最大の変化率となる変動を観測した(第3図)。GNSS繰り返し観測ではそれまでの変動傾向から大きく異なる変化は観測されておらず、前十勝観測点周辺の局所的な変動だと考えられた(札幌管区気象台火山監視・情報センター,準備中)。この局所的な変動は、SARによる地殻変動観測でも認められた(気象研究所,2015など)。

62-2火口周辺のごく浅部の地震は、2015年4月以降に一時的な増加を繰り返した。2015年6月に 実施した現地調査によると、赤外熱映像装置による観測では、62-2火口及び大正火口の地熱域に変 化は認められなかったが、振子沢噴気孔群では地熱域の広がりを観測し、強い刺激臭を伴った噴気 が出ているのを確認した。また、62-2火口南縁と振子沢噴気孔群の間の地熱を伴ったわずかな亀裂 からも噴気が出ていることを確認し、前十勝頂上付近でも複数の列状の噴気を観測した。(札幌管区 気象台火山監視・情報センター,準備中)

### ・2016 年

GNSS観測では、活動火口浅部の膨張を示すと考えられる変化が継続している。

62-2火口周辺のごく浅部の地震は、2015年7月以降顕著な増加はみられないものの、一時的にや や増加することがあった。振子沢噴気孔群の噴気は2015年6月以降、山麓の監視カメラによる観測 でも確認できるようになっている。

# 3.浅部の火山活動に関する検討(圧力源の推定と表面活動・地震活動等の対応)

ステージ毎に推定した圧力源の水平位置を地図上にプロットすると、62-2 火口寄りと大正火口寄りの2ヶ所にまとまる(第3図)。そこで、62-2 火口付近と大正火口付近の2ヶ所に圧力源を置き(第5図)、それらの水平位置・深さを固定して、各期間の体積変化量を求めた(第6~8図)。

圧力源を1つとした場合と2つとした場合のいずれも、変化傾向は、上下変動を含めて観測値と計算値で概ね整合的である(第8図)。しかし、2つの圧力源の推定体積変化量を合計したグラフ(第7図右)では、その経過は直線状となり、体積供給量が一定である可能性があることが示唆される。さらに、圧力源を2つとした場合では、大正火口観測点が相対的に大きく隆起したとき、大正火口寄りの圧力源の体積が増加している。このような隆起と体積増加の対応は、62-3火口観測点と62-2火口寄りの圧力源でもみられており、それぞれの観測値と推定体積変化量は整合的である(第7、8図)。なお、圧力源が2つあるという考えは、同時期に行われた全磁力繰り返し観測結果で62-2火口寄りと大正火口寄りの2ヶ所に消磁源が推定されている(北海道大学・札幌管区気象台,2015)こととも調和的である。

この浅部地殻変動と表面活動や地震活動とを対比すると、2011 年から 2013 年にかけて大正火口寄りの圧力源の体積増加率が大きい時期に、大正火口東壁が明るく見える現象が発生し、その後の現地調査では噴気孔の増加が認められた(第9図、詳細は札幌管区気象台火山監視・情報センター,2014)。一方、2014年から 2015年にかけて 62-2火口寄りの圧力源の体積増加率が大きい時期には、62-2火口付近のごく浅い所(海抜0km以浅)を震源とする地震の増加や振子沢噴気孔群で地熱域の拡大、前十勝付近での列状の噴気が観測された(第9図、詳細は札幌管区気象台火山監視・情報センター,準備中)。このように、それぞれの圧力源の体積増加率の変化に対応するように、表面活動や地震活動の高まりが観測されている。

#### 4. 深部の火山活動に関する検討

地方独立行政法人北海道立総合研究機構地質研究所(以下、道総研地質研究所という)が山腹の温泉で測定している温泉成分については、CI/SO4 モル比と塩化物イオン濃度が 2012 年から 2013 年にかけてわずかに上昇が認められた。これらのモル比と濃度は、1988 年のマグマ噴火の前に大きく上昇していたことが明らかになっている(道総研地質研究所,2014)。また、2012 年 12 月にはグラウンド火口付近のやや深い所を震源とする比較的大きな火山性地震が一時的に増加したが、GNSS 観測では、より深部の膨張を示すと考えられる湯の滝観測点と望岳台観測点や翁温泉観測点と結ぶ基線(水平距離十数 km)において特段の変化は無かった。しかし、これらの基線では、2015 年 4 月から 7 月頃にかけてわずかながら伸張がみられた。この期間には、グラウンド火口周辺や旧噴火口付近の浅い所(海抜下0~3 km 程度)を震源とする周辺の地震がわずかながら増加しており(第 10 図)より深部からの熱や物質の供給があった可能性がある。

さらに深部の活動に関して、最近約10年間、十勝岳を囲む水平距離50km程度の長い基線において

は、第 11 図に示すように、大地震によるステップや余効変動と考えられる動きの他は東西圧縮の広域 応力場を反映していると考えられる変化が認められるのみであり、十勝岳の活動に起因するとみなせ るような変化は捉えられていない。また、深部低周波地震は最近約 10 年間断続的に発生しているが、 短期間に急増するなどの現象は観測されていない(第 11 図)。

#### 5.最近約10年間及び今後の火山活動に関する考察

2006 年以降の浅部地殻変動について、62-2 火口付近及び大正火口付近の 2 つの圧力源(第5図)の 変動で説明することを試みる。このモデルによると、2006 年以降、より深部から 2 つの圧力源への熱 や物質の供給はほぼ一定と考えられる。また、それぞれの圧力源への供給量の割合の変化が、各火口付近の表面活動や地震活動につながったとすると整合的である。

浅部の地殻変動は継続していることから、より深部からの熱や物質の供給は継続していると考えられる。しかし、最近の噴気活動や火口直下の地震活動によって、浅部の体積膨張は解消されていない。

最近約 10 年間と同程度の割合で浅部の圧力源への熱や物質の供給が継続するならば、今後も、2006 年以降に観測されたような、山体膨張を示唆する地殻変動、一時的な地震増加、火口が明るく見える現象、噴煙活動の上昇などの現象が発生する可能性がある。また、この圧力源への熱水等の蓄積が進行することで、いずれ火口周辺に影響を及ぼす噴火(小規模な水蒸気噴火)に至る可能性が考えられる。

# 6.火口周辺の観測点の変化に関する考察

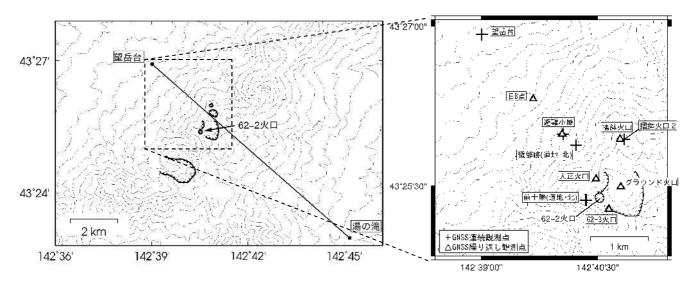
十勝岳の GNSS 観測結果について、変化量の大きい火口周辺の 4 点について、各期間で求められた水平方向の変化の軌跡図を作成した(第 12 図上)。その結果、火口の東側の 2 観測点では、最初の時期は東又は東南東方向へ動いていたのが、徐々に南北に開くような方向に変動方向が変化していることが分かる。このような変動を単一の圧力源で説明することは難しい。なお、圧力源を 2 つとした場合の火口周辺の 4 観測点で計算される水平方向の変化の軌跡についても第 12 図下に示した。観測値と計算値を比較した場合、前十勝観測点の変化量を除き、変化方向や量は概ね整合的である。しかし、計算値は動きにばらつきはあるもののほぼ一定方向へ動いていて、東側の 2 観測点における東又は東南東方向への変化が、徐々に南北方向に開くような方向には変化していない。このため、単純な球状の圧力源ではなく、膨張が進むにつれ圧力源の形状が変化している可能性も考えられる(第 13 図)。

なお、GNSS 観測において、火口に最も近い前十勝観測点の変動量が他の火口近傍の観測点に比べて大きく観測されていることについては、前十勝観測点が火口縁に設置されている影響が最も大きいと考えられる(第14、15 図)。

# 7.参考文献

- 1) 気象研究所 (2015): ALOS-2/PALSAR-2 データを用いた十勝岳周辺における SAR 干渉解析結果.第 113 回火山噴火予知連絡会資料 (その5の1),53-54.
- 2) 坂井孝行 (2008): 火口地形が地殻変動に及ぼす影響. 気象研究所技術報告,53,28-34.
- 3) 札幌管区気象台火山監視・情報センター(2009): 十勝岳 繰り返し GPS 観測で捉えられた 62 火口 群周辺の地殻変動、火山噴火予知連絡会会報, 98, 5-10.
- 4) 札幌管区気象台火山監視・情報センター(2014): 十勝岳で発生した大正火口が夜間に高感度カメラで明るく見える現象、火山噴火予知連絡会会報,113,6-19.

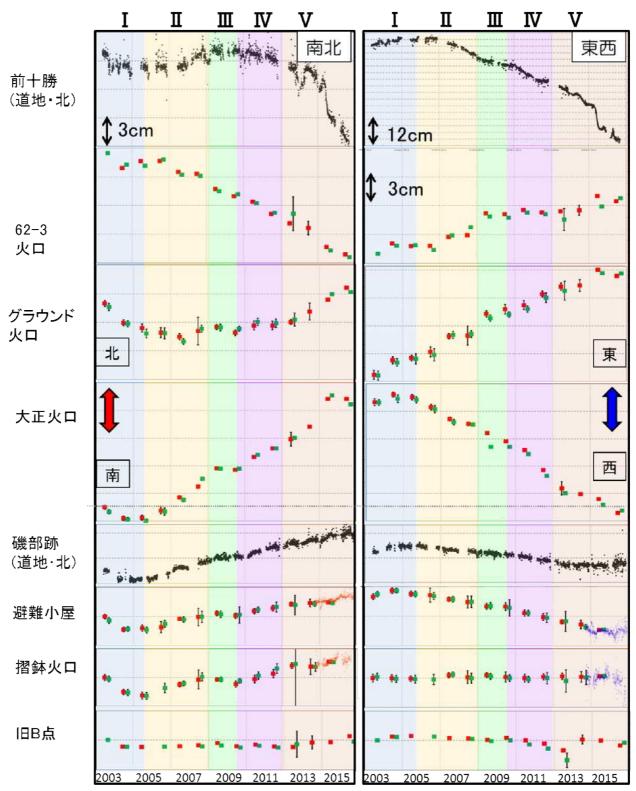
- 5) 札幌管区気象台火山監視・情報センター(2016): 十勝岳の地殻変動及び浅部火山活動.火山噴火 予知連絡会会報, 120,5-17.
- 6) 札幌管区気象台火山監視・情報センター(準備中): 十勝岳の地殻変動及び浅部火山活動(2015年6月~9月). 火山噴火予知連絡会会報.
- 7) 地方独立行政法人北海道立総合研究機構地質研究所 (2014): 十勝岳周辺の温泉の成分変化.火山噴火予知連絡会会報,**117**,5.
- 8) 福井敬一(2008): 標高補正茂木モデルの有効性と適用範囲. 気象研究所技術報告,53,105-122.
- 9) 北海道大学・札幌管区気象台(2015):第133回火山噴火予知連絡会資料(その5の1),61-62.



第1図 十勝岳 GNSS 連続及び繰り返し観測点配置図

- ・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。
- ・(道地・北)は、地方独立行政法人北海道立総合研究機構地質研究所・北海道大学の観測点であることを示す。

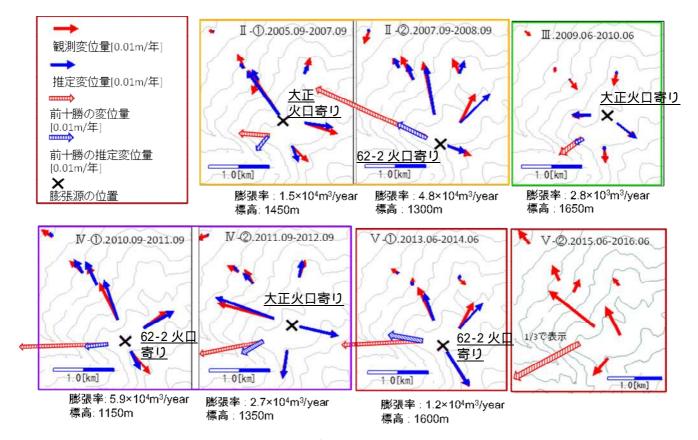
Fig. 1. Distribution of GNSS continuous and campaign observation point at Tokachidake Volcano.



第2図 十勝岳 望岳台観測点を基準とした GNSS 連続及び繰り返し観測データの東西及び南北変動 (2003年5月~2016年11月) ( :6月 :9月 :連続観測)

- ・観測データは62-2 火口からの距離順に上からプロットしている(観測点配置は第1図参照)。
- ・ステージ で観測されている南東方向への動きは、2003年十勝沖地震の余効変動によるものだと考えられる。
- ・避難小屋観測点と摺鉢火口観測点については、2014年以降連続データもプロットしている。

Fig. 2. Result of GNSS observation around Tokachidake Volcano (May, 2003-Nobember, 2016).



# 第3図 十勝岳 各ステージの水平変動量及び推定された圧力源の位置と膨張量

- ・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。
- ・標高補正を加えた茂木モデル(福井,2008)を仮定したグリッドサーチにより推定。
- ・水平2成分で推定。
- ・摺鉢火口及び避難小屋観測点については2015.06-2016.06のみ連続データを表示。
- ・前十勝観測点については2015.06-2016.06のみ1/3の大きさで表示。
- ・季節変動があるため、同じ時期(6月と6月又は9月と9月)を比較している。

Fig. 3. Distribution of observed and estimated horizontal displacement and location of evaluated pressure source.

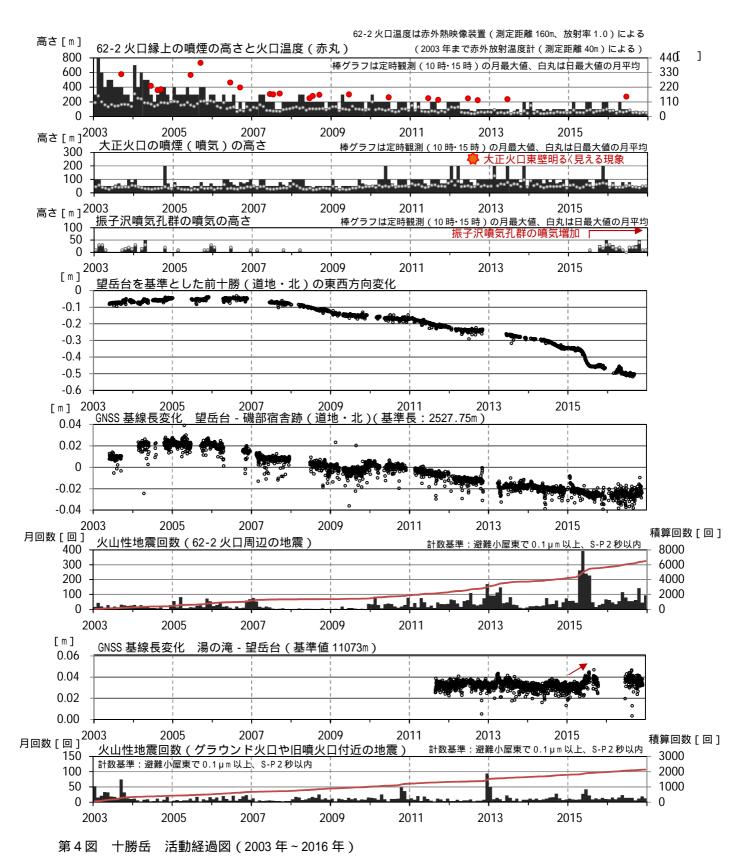
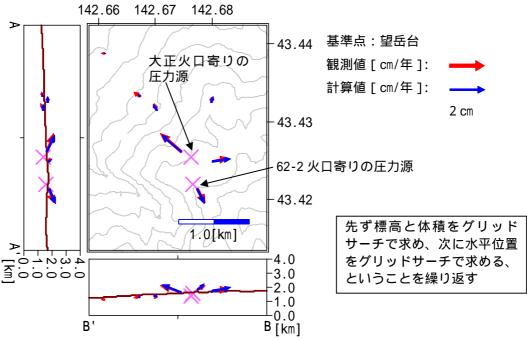


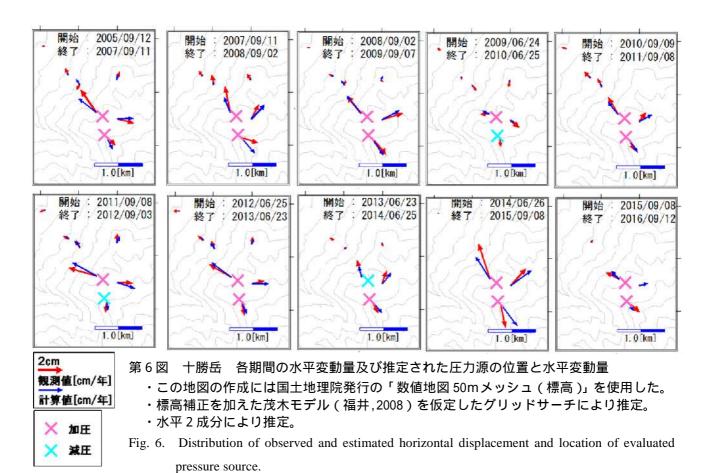
Fig. 4. Summary of volcanic activities at Tokachidake volcano (2003 - 2016).



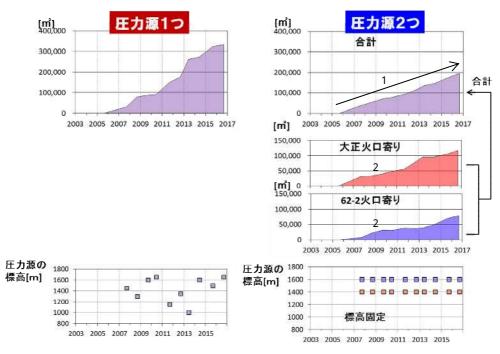
第5図 十勝岳 2005年6月から2014年6月の膨張率から求めた圧力源と体積増加量

- ・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。
- ・標高補正を加えた茂木モデル(福井,2008)を仮定したグリッドサーチにより推定。
- ・水平・上下3成分により推定。
- ・大正火口寄り:標高 1,400m 膨張率 1.13×10<sup>4</sup> [ m³/年]
- ・62-2 火口寄り:標高 1,600m 膨張率 0.42×10<sup>4</sup> [ m³/年]

Fig. 5. Distribution of observed and estimated horizontal displacement and location of evaluated pressure source.



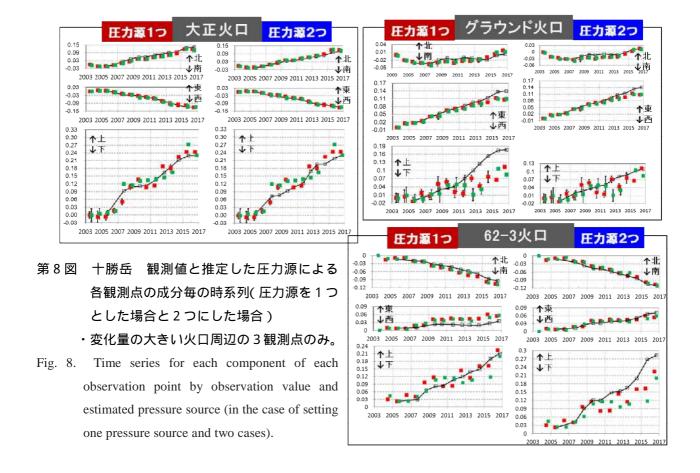
十勝岳

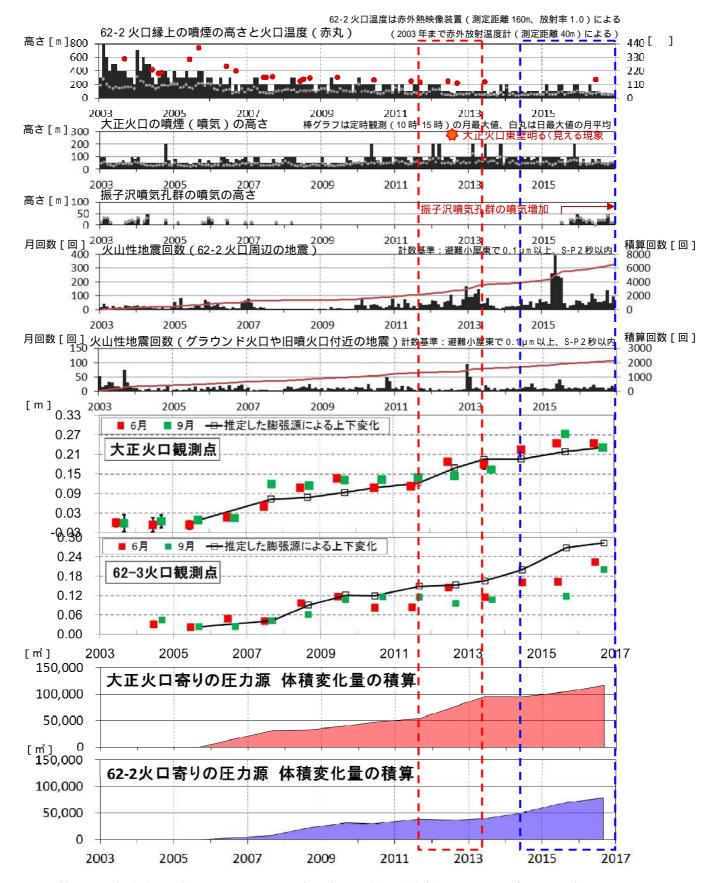


第7図 十勝岳 圧力源を1つとした場合と、2つとした場合の体積増加量の積算と標高

- 1 直線的に増加している。
- 2 2 つの圧力源の体積増加量は増加 鈍化を繰り返している。 大正火口寄りの圧力源が増加した後、62-2 火口寄りが増加している。

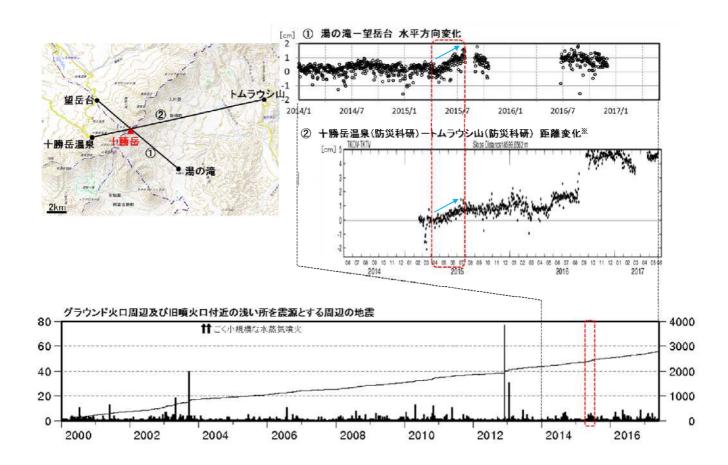
Fig. 7. Accumulation of volume increment and elevation for one pressure source and two pressure cases.





第9図 十勝岳 圧力源を2つとした場合の膨張量変化と活動経過図(2003年~2016年)

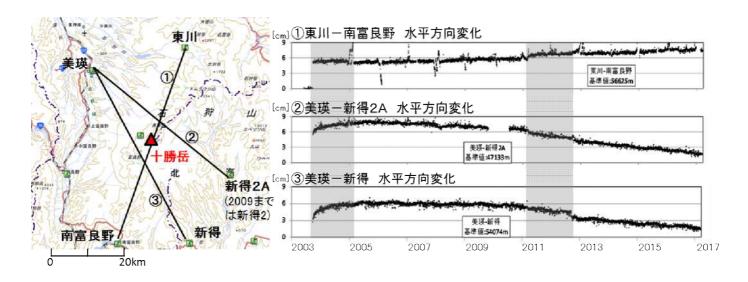
- ・赤点線枠:大正火口寄りの圧力源の体積増加率が大きくなった時期
- ・青点線枠:62-2火口寄りの圧力源の体積増加率が大きくなった時期

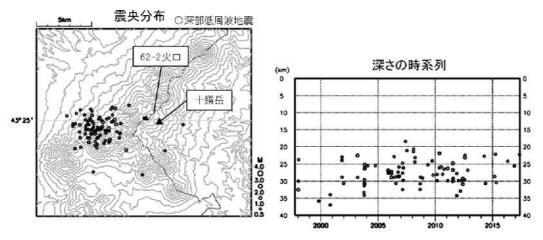


第10図 十勝岳 やや広域の地殻変動(上)と地震活動(下)

- ・GNSS 基線 は左上図の に対応している。
- ・GNSS 基線の空白部分は欠測を示す。
- ・ の基線とも、2015年4月から7月にかけて、山体内のやや深い所での膨張と示唆される変動が認められる。
- ・この頃、グラウンド火口周辺及び旧噴火口付近の浅い所を震源とする地震がわずかに増加した。
- ・地図の作成には、「国土地理院地図」を使用した。
  の 基 線 図 は 、 防 災 科 学 技 術 研 究 所 「 火 山 活 動 連 続 観 測 網 VIVA Ver.2 」
  (http://vivaweb2.bosai.go.jp/viva/v\_index.html) をもとに作成した。

Fig. 10. Ground deformation (upper) and volcanic earthquake activity (lower) at Tokachidake Volcano.

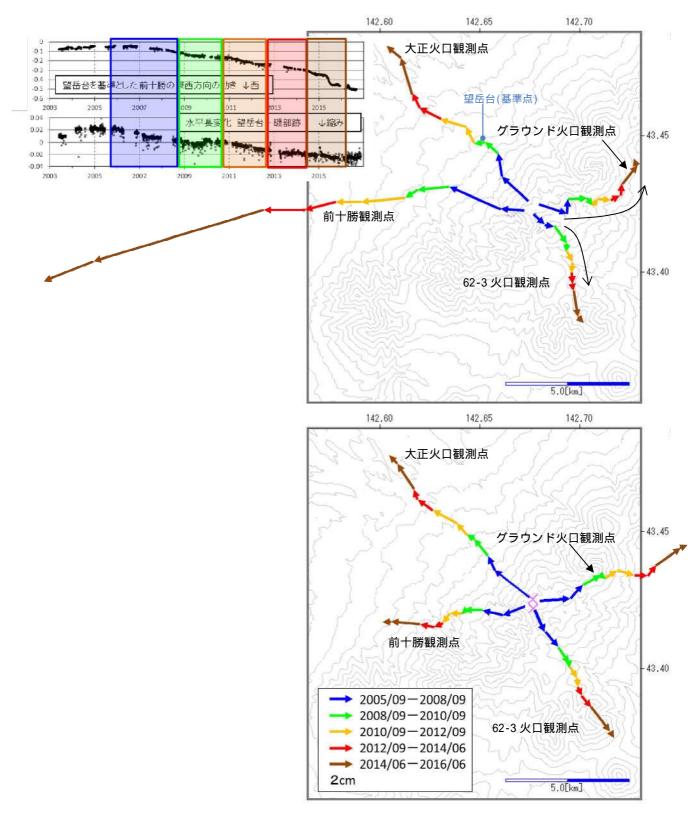




第11図 十勝岳 広域の地殻変動(上)と深部低周波地震活動(下)

- ・GNSS 基線 ~ は、左上図の ~ に対応している。
- ・GNSS 基線の空白部分は欠測を示す。
- ・GNSS 基線図中の灰色箇所は、大地震によるステップ及びその余効変動に対応する動きと考えられる。
- ・ ~ の基線には、十勝岳深部の膨張等に対応する変動が表われる可能性があるが、大地 震の影響を除くと東西圧縮の広域的な変動に対応する動きが観測されている。
- ・震央分布及び深さの時系列には、1997 年 10 月~2017 年 5 月 31 日の深部低周波地震(M 0.5、深さ 40km 以浅)を表示しているが、この期間断続的に深部低周波地震を観測している。

Fig. 11. Ground deformation (upper) and deep low-frequency earthquake activity (lower) around Tokachidake Volcano.

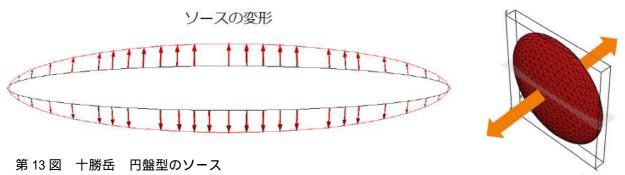


第12図 十勝岳 GNSS 観測点の水平方向の変化の軌跡 (上:観測値 下:計算値)

- ・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。
- ・前十勝観測点における、膨張率の加速・減速の期間毎に色を分けた(期間は左上の経過図に示す)。
- ・前十勝観測点が計算値の3倍大きく変化しているのは火口縁に設置されているためと推定される。

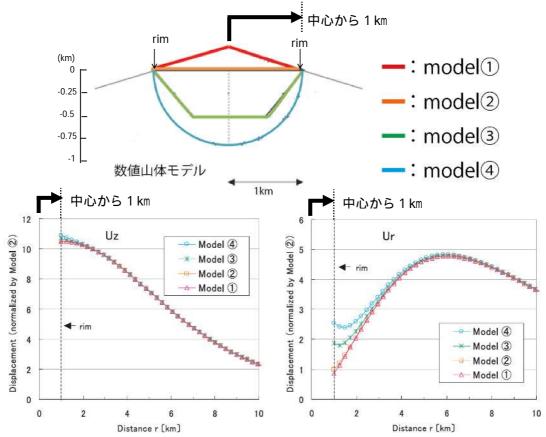
Fig. 12. The track of the change in the horizontal direction of Tokachidake GNSS observation point.

(Upper) Observation value. (Lower) Calculated value.



・広い面が膨らみ、次第に球に近づいていくとすると、広い面に直行する方向の変化は次第に広がる方向に変化すると考えられる。

Fig. 13. Disk type source spread image.



第 14 図 火口直下 4 km の深さに球状圧力源を置いた場合に計算されるモデル毎の変動量比較(坂井,2008 に加筆)

- ・model : 円錐山体、model : 円錐台山体、model : 円錐台山体から逆円錐台を差し引いたもの model : 円錐台山体から半球を差し引いたもの。
- ・グラフ上の変動量は model の円錐台山体の中心から半径 1 km の火口縁での変動量を 1 として他の 3 つの model の変動量を規格化している。
- ・グラフは、中心から 1 km の距離にある火口縁を表す r im で、上下変位 (Uz) はほとんど変らないが、水平変位 (Ur) は model に対して、model は 1.86 倍、model は 2.55 倍となることを示している。火口縁近傍では、火口地形の影響により水平変位に通常よりも 2 ~ 3 倍程度大きく変動が出る可能性がある。
- ・62-2 火口の大きさと想定される変動源の深さの関係は、概ねこの計算で用いた山体モデルと相似であり、このグラフを半径で規格化したような水平変位が生じる可能性がある。

Fig. 14 (upper) Comparison of fluctuation amount for each ~ model calculated when a spherical pressure source is placed at a depth of 4 km directly below the crater, (lower left) Results of FE analysis of Models

~ , (lower right) Ur of Models ~ when the spherical pressure source is placed at the depth of 2 km.





第 15 図 十勝岳 前十勝 GNSS 観測点 (右図中の より撮影)

・左図の黄色丸が前十勝観測点の設置場所。

Fig. 15. Visible image of Mae-Tokachi GNSS observation station.