GPS連続観測による有珠山の地殻変動監視について
Crustal deformation monitoring of Mt. Usu by GPS earth observation network system (GEONET)

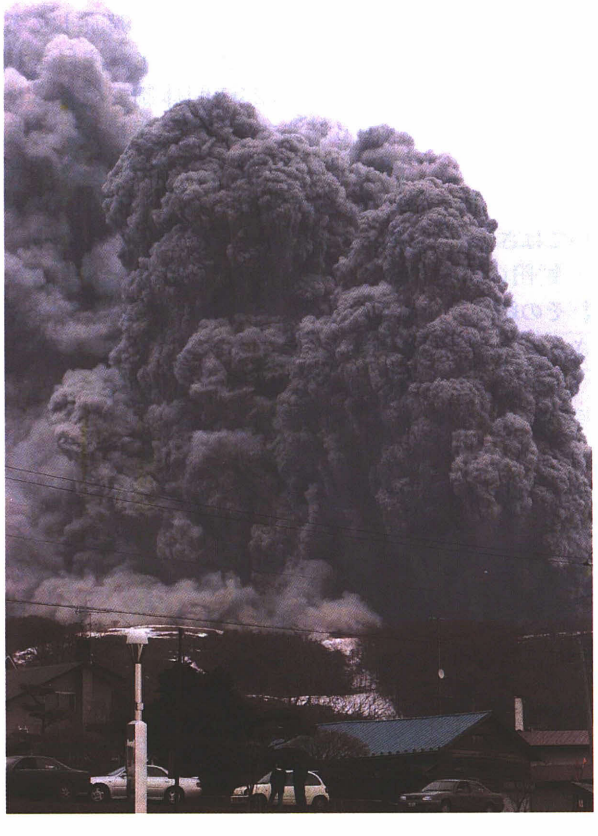
測地観測センター　地殻監視班
大瀧　茂・菅富美男・田村　孝・藤咲淳一・佐藤博行・飯塚豊久・澤田正典・山際敦史
Geodetic Observation Center
Shigeru OTAKI, Fumio SUGA, Takashi TAMURA, Jun-ichi FUJISAKU, Hiroyuki SATO, Toyohisa IIZUKA, Masanori SAWADA and Atsushi YAMAGIWA

管理班　西修二郎・今給黎哲郎・青木和夫・杉田　要・山田　明
Syujiro NISHI, Tetsuo IMAKIIRE, Kazuo AOKI, Kaname SUGITA and Akira YAMADA

近畿地方測量部　宮崎孝人
Kinki Regional Survey Department Takato MIYAZAKI

はじめに

平成12年３月31日13時10分，23年ぶりの噴火は有珠山西側の山麓から始まった（図－１）。翌４月１日には金比羅山山腹からも新たな噴火が発生した。



図－１　有珠山が噴火＝31日午後１時50分，電子基準点「虻田」と噴煙「北海道新聞　平成12年３月31日」

測地観測センターでは３月27日から火山活動が活発化している有珠山の山体変化を把握するため有珠山を囲む電子基準点，壮瞥，虻田，伊達の３点について，通常１日１回の解析を６時間のデータで３時間毎に行うように緊急解析の設定を行った。GEONETによる３時間毎の緊急解析は初めての試みであったが，困難ながらも解析を続け，火山噴火予知連絡会，有珠山噴火非常災害現地対策本部，地震調査委員会，地震予知連絡会，本省災害対策本部に資料をその都度迅速に提供してきた。国土地理院のGPS観測結果は，活動開始以前から一貫して連続した地殻変動を報告するデータとして，火山噴火予知連絡会などでは，活動の推移を判断するための重要な資料となり，防災のために大いに役立った。結果としては，虻田町，壮瞥町，伊達市の住民１万数千人に対し，安全を見極めた避難指示・避難解除ができ，ひとりの犠牲者も出さずにすんだのである。

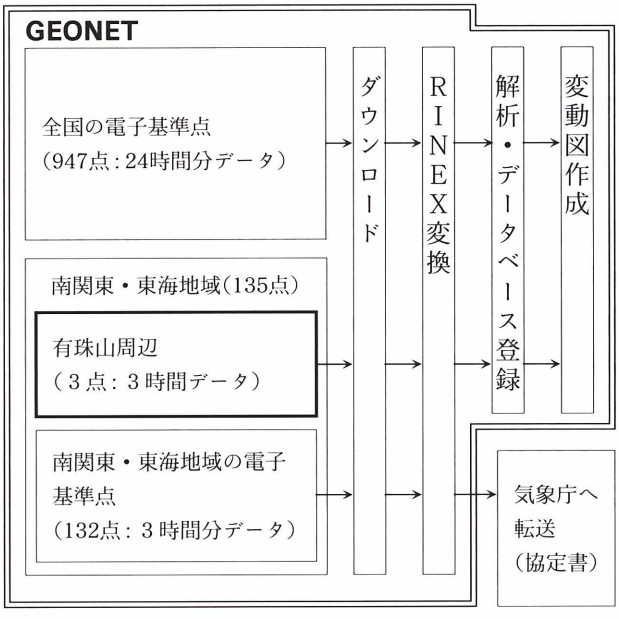
ここではGPS連続観測による一貫した地殻変動監視について報告する。

1. GEONETによる緊急解析

GPS連続観測システム（GEONET：GPS　Earth Observation NETwork System）では，全国947点の電子基準点観測データ（24時間データ）を毎日ダウンロードしている。

さらに国土地理院と気象庁で協定書を交わしている南関東・東海地域の132点の電子基準点については３時間毎にデータのダウンロードを行っている。

緊急解析としてはこの南関東・東海地域の132点の処理システムを活用することとして，有珠山の３点を追加



図－2　GEONETによる緊急解析

してこの3点についても，3時間毎にデータダウンロードし，予報暦を用いて解析を行うこととした（図－2）。刻々変化することが予想される火山活動に伴う地殻変動を的確に把握するため，精度を考慮して解析には6時間データを用いた（3時間データ分重複）。

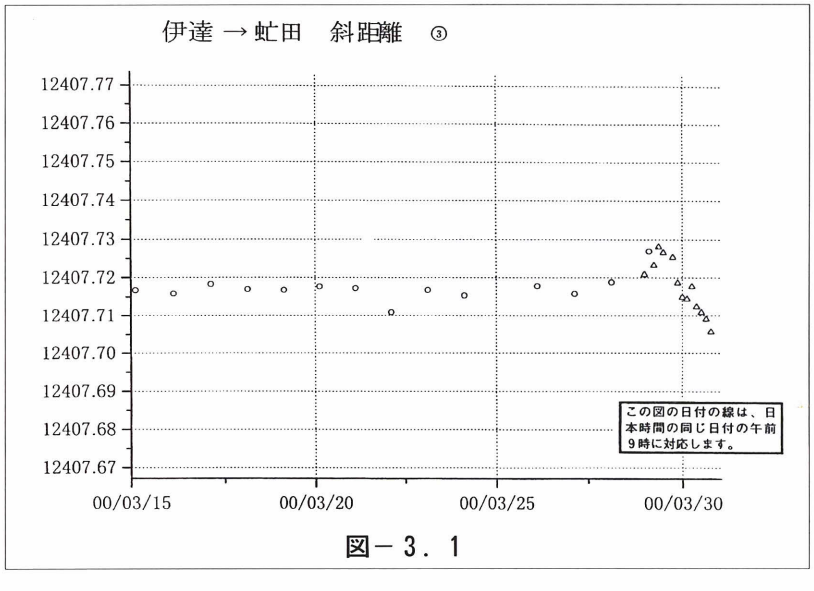
GEONETが新解析（暫定）に移行したばかりであったこともあり，この最初の緊急解析の実行においては，トラブルが発生し，解析作業は難航した。解析の自動立ち上げができるまでの間，3時間毎に手動で解析を行った。なお，解析を行う上で室蘭観測点を固定点とした。

2.　3月31日噴火までの地殻変動監視

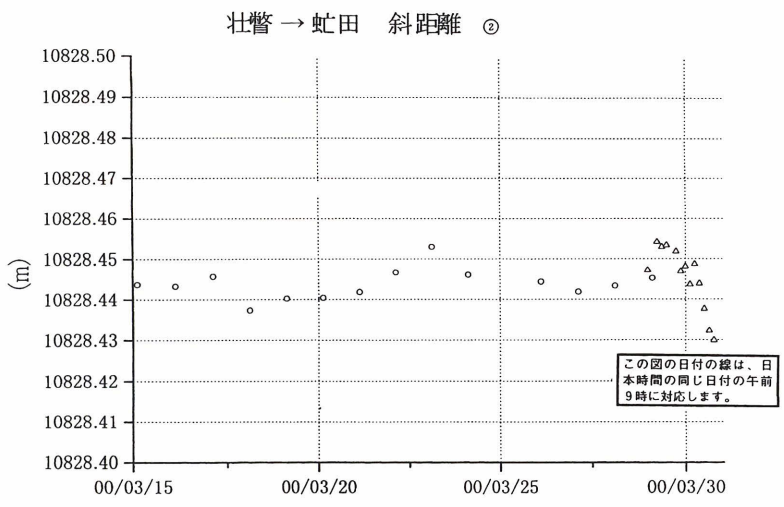
3月29日は，地震が活発になり，24時間の監視体制になった。この状況の中で，監視班としては噴火前に噴火予知連に防災に役立つ地殻変動資料を提供（地理地殻活動研究センター経由）し，合わせて記者発表をすることが緊急の目標であった。

写真－1

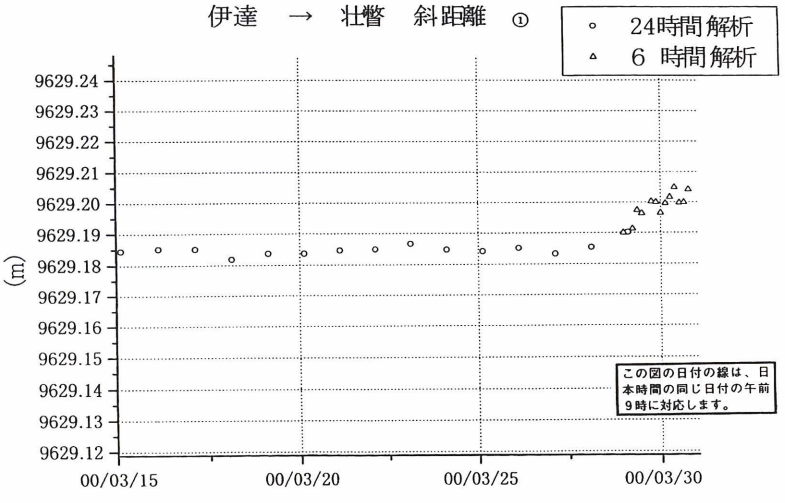
データベースへの登録処理に不具合が生じ，作表ができないため別途解析結果をロータス1・2・3で変動量を計算して資料を作成する等もあり，解析作業は徹夜になったが，有珠山の噴火が発生する前までに噴火予知連への資料作成・提供，記者発表も30日の午前6時までに行うことができた。結果は3基線にそれぞれ約1cmの伸びが観測され，マグマが上昇を続けて山体が膨張してることが確認できた。監視活動はその後の変化も注目されたので引き続き3時間毎の解析は24時間体制で続けられた（写真－1）。31日午前6時までの解析結果について噴火予知連に提供し，午前11時30分に記者発表した（図－3．1，3．2，3．3）。結果は，伊達－壮瞥の基線についてはさらに1cmの伸びが観測され，壮瞥－虻田，伊達－虻田の基線については2cm以上の縮みが観測された。その結果，マグマが浅いところまで来ているので噴火はさらに時間の問題と考えられたが，記者発表して約1時



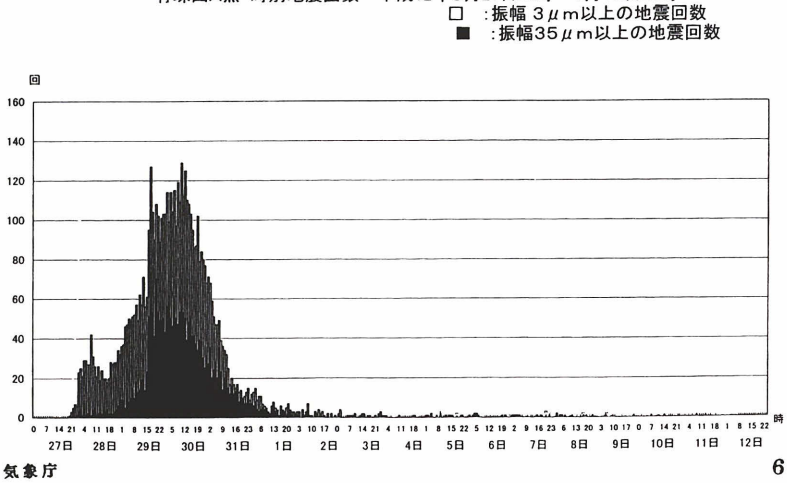
図－3．1


壮瞥 → 虻田　斜距離 ②
10828.50
10828.49
10828.48
10828.47
10828.46
10828.45
10828.44
10828.43
10828.42
10828.41
10828.40
(m)
00/03/15
00/03/20
00/03/25
00/03/30
この図の日付の線は、日本時間の同じ日付の午前9時に対応します。

図－3．2


伊達 → 壮瞥　斜距離 ①
24時間解析
6 時間解析
9629.24
9629.23
9629.22
9629.21
9629.20
9629.19
9629.18
9629.17
9629.16
9629.15
9629.14
9629.13
9629.12
(m)
00/03/15
00/03/20
00/03/25
00/03/30
この図の日付の線は、日本時間の同じ日付の午前9時に対応します。

図－3．3


有珠山A点・時別地震回数　平成12年3月27日00時～4月12日08時
□ :振幅 3μm以上の地震回数
■ :振幅35μm以上の地震回数
回
160
140
120
100
80
60
40
20
0
時
27日
28日
29日
30日
31日
1日
2日
3日
4日
5日
6日
7日
8日
9日
10日
11日
12日
気象庁
6

図－4

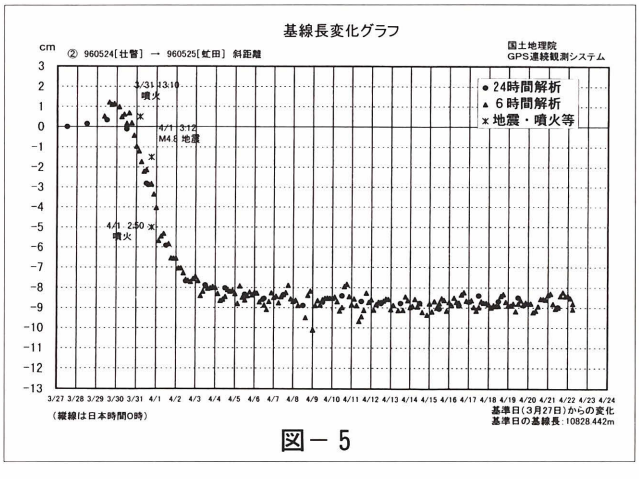
間40分後の13時10分頃有珠山北西部で噴火が発生した。4月1日2時50分にも噴火した。

地震活動については，27日から活発になり，図－4から29日から30日にかけて地震回数はピークになっていることが確認された。3月29日午前11時10分，気象庁からは「今後数日以内に噴火が発生する可能性が高まっている」旨の緊急火山情報が発表された。国土地理院のGPS連続観測データと合わせてみると，二つの異なる手段で観測された情報が火山活動の監視に有効であることがあらためて確認できた。

3. 噴火後の地殻変動監視

噴火後の解析結果は，噴火前と同様に伊達－壮瞥の基線は伸びが，壮瞥－虻田，伊達－虻田の基線については縮みがそれぞれ観測された。伊達－壮瞥の基線は4月1日まで伸びの傾向が続き噴火前から約1.5cm伸びたが，その後4月3日位まで縮みが継続した。その後は停滞が続いている。伊達－虻田，壮瞥－虻田の基線については，噴火前の30日位から縮みが停滞した3日までの間約8cm縮んだ。

4月3日以降は，12日までの間は，10日で約1cmの



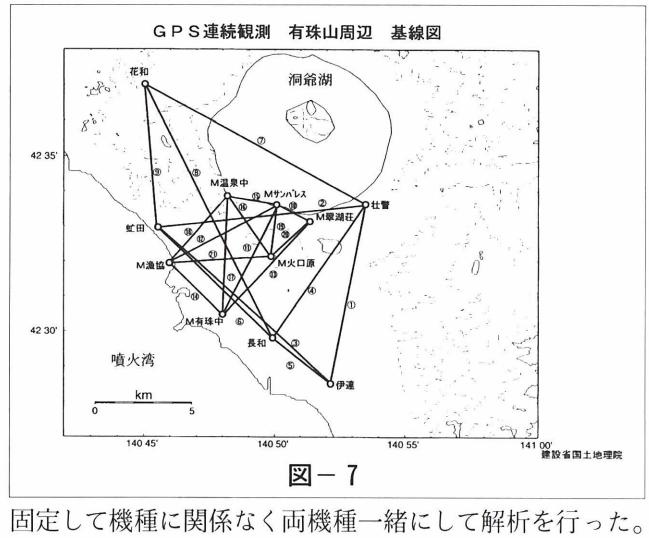
図－5

縮み位のゆっくりとした動きが見られた。13日以降は，停滞が続いた（図－5）。

また，既設の電力線・電話回線を利用可能な地点に4月2日からは長和臨時観測点，3日からは花和臨時観測点を増設（設置は測地部機動観測課）して観測を開始した。

さらに，詳細な地殻変動監視を強化するため，補正予算により機動観測点4点（Mサンパレス，M翠湖荘，M漁協，M有珠中）を増設して5月21日から観測を開始し，また，山体に近い局地的な変動を監視するために，既設の電力線・電話回線の利用が不可能な地点に2点（M温泉中，M火口原））を増設して6月17日から観測を開始した。最終的に有珠山周辺に合計11点が整備された（図－6）が，既設の電子基準点（虻田・壮瞥・伊達）及び臨時観測点（長和・花和）と機動観測点6点とでは機種が異なるので解析基線は2種類の基線図となった（図－7）。解析においては現行と同じ電子基準点室蘭を

図－6　観測点配点図



図－7

固定して機種に関係なく両機種一緒にして解析を行った。表示についても2種類の同一機種同士の表示を行った。

4. 記者発表した地殻変動の概要

解析結果は，4月17日までの間毎日1～2回のペースで記者発表を行った。記者発表（地理地殻活動研究センターと共同で行う。）の概要は，次のとおりである。

① 平成12年3月30日（木）　6時最初の記者発表

◇ 有珠山火山活動に伴う地殻変動を検出：伊達－壮瞥，壮瞥－虻田，伊達－虻田の間の距離が28日から29日にかけて約１cmの伸びを検出 ◇

② 平成12年３月31日（金）　11時30分記者発表

◇ 有珠山火山活動に伴う地殻変動を観測：伊達－壮瞥間の距離が29日から31日にかけて約１cmの伸び，壮瞥－虻田，伊達－虻田の距離が29日から31日にかけて約２cm以上の縮みを観測 ◇

③ 平成12年３月31日（金）　23時00分記者発表

◇ 有珠山火山活動に伴う地殻変動：31日の噴火後，伊達－壮瞥の間の距離は伸び，壮瞥－虻田，伊達－虻田の間の距離は縮みを観測 ◇

④ 平成12年４月１日（土）　11時00分記者発表

◇ ３月31日噴火後の有珠山の地殻変動：31日，１日の噴火後，伊達－壮瞥の間の距離は伸びが停滞，壮瞥－虻田，伊達－虻田の間の距離はやや大きな縮みを観測 ◇

⑤ 平成12年４月１日（土）　15時00分記者発表

◇ 有珠山の地殻変動－４月１日12時までの観測結果：変化が始まる前の27日の値に対して，伊達－壮瞥の間の距離の伸びは約1.5cm，壮瞥－虻田の間の距離の縮みは約5.5cm，伊達－虻田の間の距離の縮みは約６cmを観測 ◇

⑥ 平成12年４月２日（日）　18時30分記者発表

６時間データに比べてさらに高精度な24時間解析データによる地殻変動の把握も行った。

◇ 有珠山の地殻変動－臨時GPS観測点の設置・４月２日12時までの観測結果：臨時GPS観測点「長和」，「花和」を設置，１日，２日から観測開始，変化が始まる前の27日の値に対して，伊達－壮瞥の間の距離の伸びは約1.5cm，壮瞥－虻田の間の距離の縮みは約７cm，伊達－虻田の間の距離の縮みは約6.5cm，室蘭に対し虻田観測点は，約８cmの顕著な有珠山方向への水平変位ベクトルを観測（図－８） ◇

⑦ 平成12年４月３日（月）　21時30分記者発表

◇ 有珠山の地殻変動－４月３日15時までの観測結果－距離変化の総量が８cmに達する：変化が始まる前の27日以前からの距離変化の総量は，伊達－壮瞥の間の距離の伸びは約１cm，壮瞥－虻田の間の距離の縮みは約８cm，伊達－虻田の間の距離の縮みは約８cmを観測 ◇

⑧ 平成12年４月４日（火）　17時00分記者発表

◇ 有珠山の地殻変動－４月４日12時までの観測結果－距離変化が停滞：４月３日から距離変化が停滞，変化が始まる前の27日以前からの距離変化の総量は，伊達－壮瞥の間の距離の伸びは約1.5cm，壮瞥－虻田の間の距離の縮みは約8.5cm，伊達－虻田の間の距離の縮みは約８cmを観測 ◇

⑨ 平成12年４月５日（水）　17時00分記者発表

◇ 有珠山の地殻変動－４月５日０時までの観測結果－距離変化の停滞がつづく：４月３日から距離変化が停滞，変化が始まる前の27日以前からの距離変化の総量は，伊達－壮瞥の間の距離の伸びは約１cm，壮瞥－虻田の間の距離の縮みは約８cm，伊達－虻田の間の距離の縮みは約８cmを観測 ◇

⑩ 平成12年４月６日（木）　17時00分記者発表

◇ 有珠山の地殻変動－４月６日12時までの観測結果－距離変化の停滞がつづく◇

⑪ 平成12年４月７日（金）　17時00分記者発表

◇ 有珠山の地殻変動－４月７日９時までの観測結果－依然距離変化の停滞がつづく ◇

⑫ 平成12年４月８日（土）　16時00分記者発表

◇ 有珠山の地殻変動－４月８日12時までの観測結果－依然距離変化の停滞がつづく－局地的な地形変化を捉えるための測量を開始（４月８日から大学の有珠山総合観測班と協力して局地的な地形変化を捉えるための光波測距儀・トランシットによる測量を開始） ◇

⑬ 平成12年４月９日（日）　17時00分記者発表

◇ 有珠山の地殻変動－４月９日９時までの観測結果－依然距離変化の停滞がつづく－距離変化と同時進行した虻田と壮瞥の沈降明らかに：24時間解析の結果から虻田及び洞爺観測点については３月29日から４月３日頃にかけて，水平位置の変化だけでなく，それぞれ５cmと３cmの沈降が発生していたことが明らかになる（図－９）。マグマが地下深部から上昇したことに伴う地殻変動と考えられる。 ◇

⑭ 平成12年４月10日（月）　17時00分記者発表

◇ 有珠山の地殻変動－４月10日12時までの観測結果－依然距離変化の停滞がつづく：４月３日から停滞しているように見える。◇

⑮ 平成12年４月11日（火）　17時00分記者発表

◇ 有珠山の地殻変動－４月11日12時までの観測結果－依然距離変化の停滞がつづく－虻田・長和の沈降がつづく：３月29日から４月３日にかけて虻田が伊達に対して約５cmの沈下，新しく設置した長和観測点は，虻田に対して約４cm，花和に対して約４cm，壮瞥に対して約３cm沈降をそれぞれ観測。 ◇

⑯ 平成12年４月12日（水）　17時30分記者発表

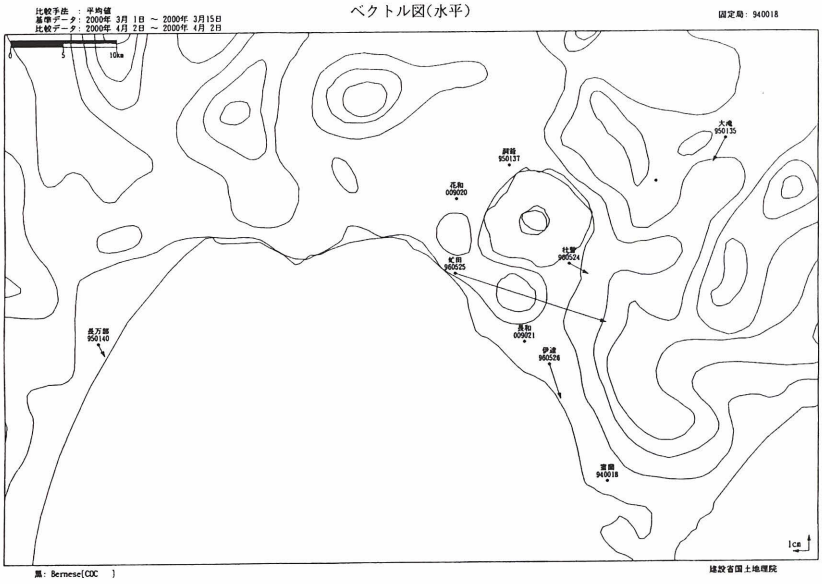
◇ 有珠山の地殻変動－４月12日12時までの観測結果－距離変化にゆったりした動きが見られる：４月３日から12日までに，壮瞥－虻田の間が約１cm，伊達－虻田の間が約１cm，壮瞥－長和の間約１cm，虻田－長和の間約1.5cm，花和－壮瞥が約１cm，花和－長和の間約1.5cmそれぞれ縮みが，長和－伊達の間が約0.5cmの伸びが観測された。 ◇

⑰ 平成12年４月13日（木）　17時00分記者発表

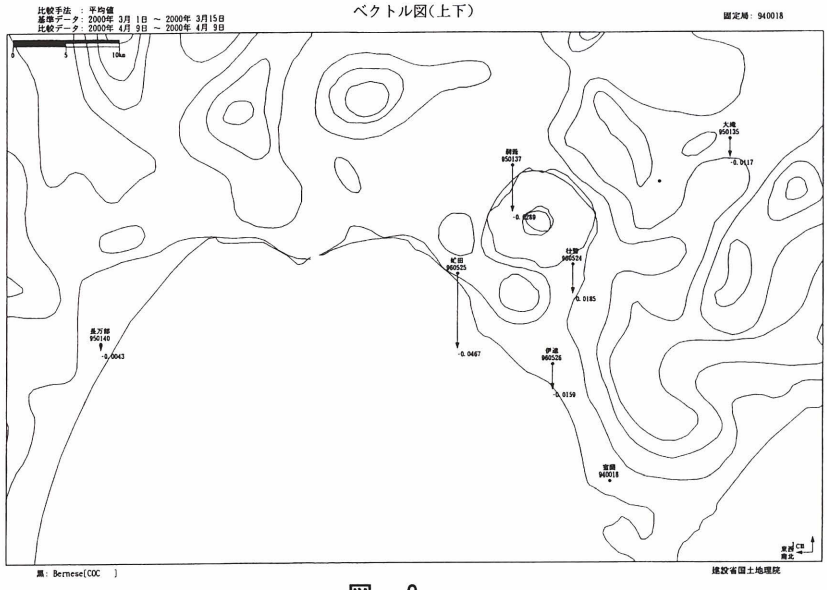
◇ 有珠山の地殻変動－４月13日12時までの観測結果－距離変化はゆったりとした動きから停滞へ。 ◇

⑱ 平成12年４月14日（金）　17時00分記者発表

◇ 有珠山の地殻変動－４月14日12時までの観測結果－距離変化の停滞がつづく：臨時観測点花和・長和に関する各基線の距離変化もここ数日停滞。４月３日から停滞



図－8



図－9

しているように見える。 ◇

⑲ 平成12年４月15日（土）　17時00分記者発表

◇ 有珠山の地殻変動－４月15日12時までの観測結果－距離変化の停滞がつづく－局地的な地形変化が観測される：大学の有珠山総合観測班と協力して局地的な地形変化を捉えるための測量結果（４月８日から14日の６日間）から，西山北西麓付近で上下方向に約2.5m，北東に約2.5mの位置変化を観測。 ◇

⑳ 平成12年４月16日（日）　16時00分記者発表

◇ 有珠山の地殻変動－４月16日12時までの観測結果－距離変化の停滞がつづく◇

㉑ 平成12年4月17日（月）　17時00分記者発表

◇ 有珠山の地殻変動－４月17日12時までの観測結果－距離変化の停滞がつづく：ここ数日すべての基線において距離変化が停滞していることを観測。 ◇

5.　４月17日の記者発表後の地殻変動

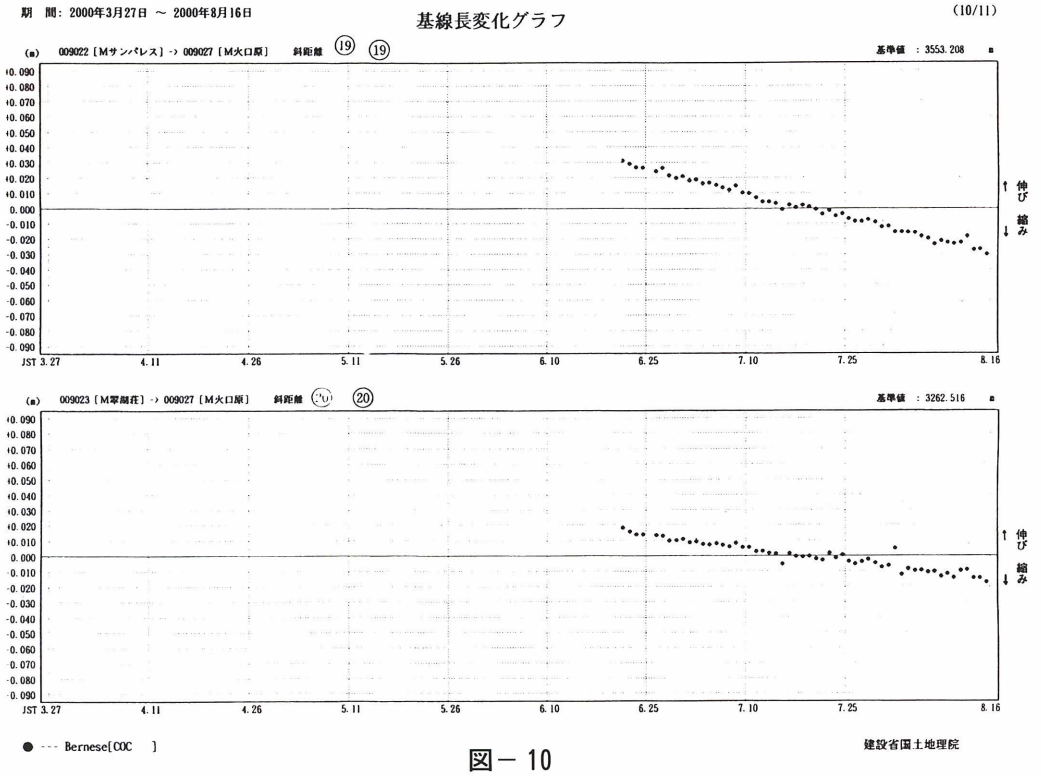
４月18日～５月29日間の地殻変動の動き

◇ 距離変化が停滞 ◇

５月30日～６月１日間の地殻変動の動き

◇５月21日新たに観測を開始した「Mサンパレス」，「M翠湖荘」，「M漁協」，「M有珠中」の４点の約10日間の観測結果には，西山山麓及び金比羅山周辺を挟む基線で距離変化に穏やかな伸び，距離変化の大きさは約10日間で５mm以内，有珠山北西部の局地的な地殻変動に伴う変化と考えられる。この結果は距離観測の結果と整合している。◇

６月２日～７月１日間の地殻変動の動き



図－10

◇ 距離変化が停滞：6月30日国土地理院現地緊急測量調査班の廃止 ◇

7月2日～8月1日間の地殻変動の動き

◇ 距離変化が停滞：7月24日国土地理院は有珠山現地対策本部から撤収 ◇

8月2日～12月1日間の地殻変動の動き

◇ 全体的に距離変化は停滞している。ただし，マグマの収縮に伴う山体中心部に向けた縮みの傾向が次の基線について続いている（図－10）。Mサンパレス－M有珠中，Mサンパレス－M漁協，M翠湖荘－M有珠中，M新温泉中－Mサンパレス，M新温泉中－M火口原，M新温泉中－M有珠中，M新温泉中－M漁協，Mサンパレス－M火口原，M翠湖荘－M火口原，M火口原－M漁協：8月11日有珠山噴火非常災害現地対策本部の解散 ◇

5. 緊急解析システムの導入

（1）緊急解析システムの必要性

今回の活動のような緊急時における火山監視においては，数時間レベルで急変する　地域変動に特化した迅速な対応が必要となる。そのため，補正予算により既存の電子基準点や機動・臨時GPS連続観測点等のデータを用いて変動地域の連続監視を強化するため，高速で高頻度な解析を可能とし，GEONETから独立した緊急解析システムを新たに導入した。

（2）緊急解析システムの特徴

基本的な構成は，図－11に示すとおりである。通信装置からダウンロードされた電子基準点，機動・臨時GPS連続観測点からのデータは，予め設定されたスケジュールに従って緊急解析装置で解析される。解析結果は表示装置にグラフ化して表示され，火山噴火予知連絡会等に提出される資料として利用してきた。

解析そのもののルーチンは，既に国土地理院で運用されているGEONETと同一であるが，緊急解析システムにおいては，急速な地殻変動に対し早急な対応を行うため，次のような特徴をもっている。

① 1度に解析に使用できる観測点数は約30点であり，ある程度広域な地殻変動現象の把握にも耐え得る。

② 最大3箇所の地域での同時緊急解析が可能である。

③ 実際の解析に要する時間は約30分であり（6時間データを用いた場合），通常の解析と比べて非常に高速である。また，ダウンロード処理と合わせて1時間以内で処理できるシステムである。

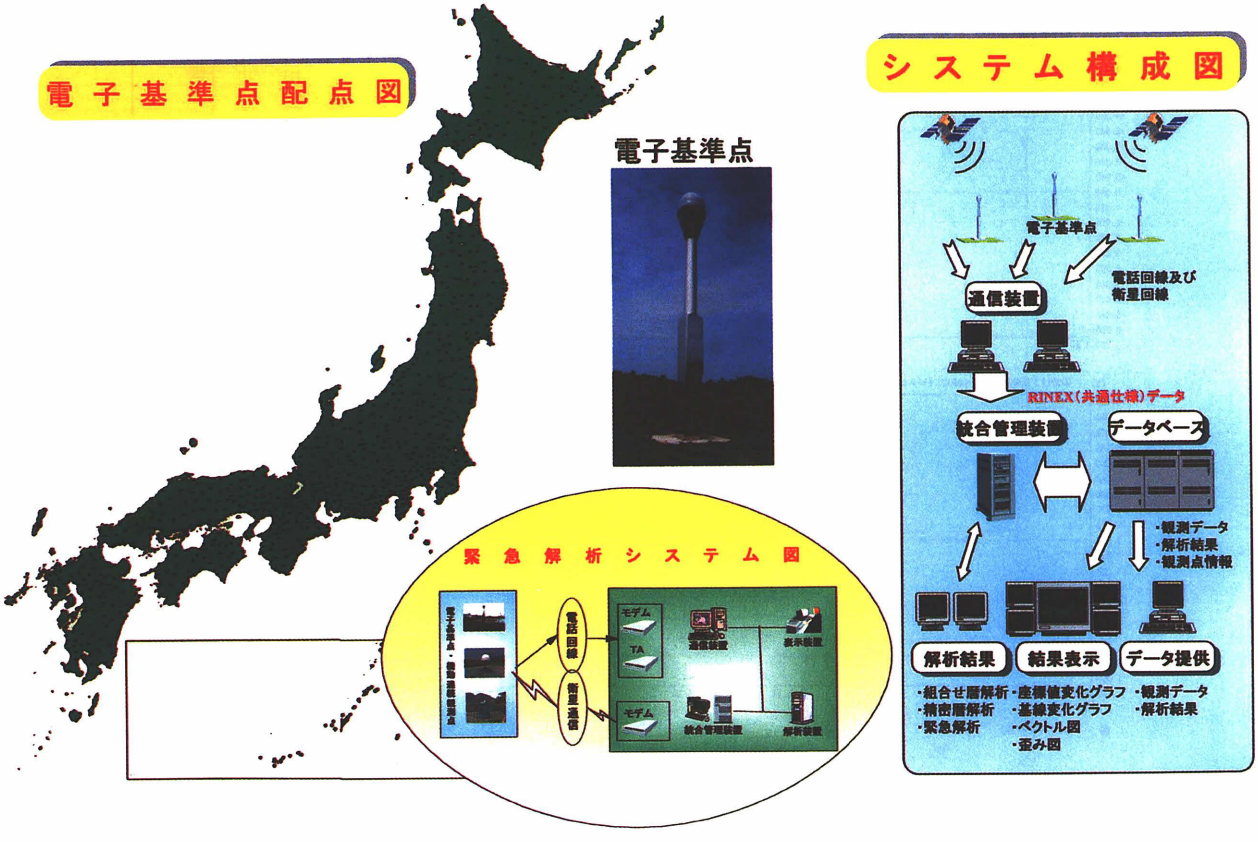
④ GEONETのトラブルの影響を受けないようにシステムが独立している。

⑤ 動作環境としては，同一観測点に対しても，完全な2重（GEONETと緊急解析システム）でダウンロード処理を行うことになっている。

⑥ 緊急解析システムの立ち上げがGEONETに比べて，簡易である。

⑦ 緊急解析システムによる表示については，GEONETでの課題を解消し，次のようなことが実現した。

- 世界時と日本時間の選択が可能
- シンボルの大きさは可変（3種類）
- コメントが表示可能



図－11

防災の最前線である現地対策本部からは，FAX送付（２回）では見えにくい，噴火や地震等の時刻は日本時間（世界時＋９時間）で表示されるなど世界時と混雑しているので時間の換算が必要になり混乱する等の意見があった。GEONETにおいては，世界時のみで表示し，一度に数年間の変動量を表示するのでシンボルの大きさも小さい。これらの要望に対応するため，GEONETの表示ソフトを修正するには時間を要するのでエクセルでの資料作成ソフトの立ち上げが完了するまでの間，手書きで日本時間の時刻線を記入したり，シンボルを手書きで大きくした（この時点では研究管理課の担当者にご支援を頂いた）。エクセルによる資料作成処理は，GEONETのデータベース　→ パソコンへのデータ転送（自動化）　→ エクセルで処理（データ入力は手動であったが最近では自動化処理が実現している。）のような行程となり，エクセルによる表示システムをスタートさせた。エクセルにより次のような課題が解消された。

- 日本時間で表示が可能になった。
- シンボルの大きさを変更することが可能になった。
- コメントの表示が可能になった。
- 電子ファイルが実現し，データ転送が簡単，ホームページへの入力が簡単，鮮明な画像が得られるようになった。

おわりに

測地観測センターでは火山噴火予知連絡会，有珠山噴火非常災害現地対策本部等へは７月12日まで毎日データを提供してきたが，７月13日～８月１日までは週２回の提供としてきた。８月２日からはホームページへのみの提供とし，現在でも月２回新しいデータに更新している。これまで噴火前，噴火時期，噴火後，停滞時期と一貫して地殻変動資料を噴火予知連等へ提供し続けてきたことにより，有珠山の火山活動に対する適切な評価に基づく噴火予知連統一見解が出され，７月24日をもって国土地理院が有珠山現地対策本部から撤退，８月11日には有珠山噴火非常災害現地対策本部が解散することができた。

これまで土・日・祭日については管理職等２名，電子基準点係１名，GPS監視グループ（監視第二係＋技術専門職）から１名の計４名編成の体制で対応してきた。また，有珠山火山活動にかかる資料として院内の地殻変動監視関係者，噴火予知連等関係機関へ提供してきたが，コピー用紙の使用枚数は，約18万枚（約４ケ月間）を超え，１年間当りに換算すると通常の年の10年分以上の量に達したことになる。しかし，有珠山周辺の住民の方々に一人の犠牲者もでずに，安全確保に十分貢献したことで苦労は報われホッとしている。この貴重な経験を今後の防災計画に活かしていきたいと考えている。