

岩手山とその周辺地域の地殻変動*

Crustal deformation at Mt. Iwate and its surrounding area

国土地理院

Geographical Survey Institute

1998年3月頃から岩手山とその周辺地域を震源域とする火山性の地震活動が活発になったため、国土地理院では観測を強化する目的で、岩手山の山腹と周辺に臨時のGPS連続観測点を6月及び10月に設置し、その後、11月からは、山頂周辺に1波受信機による独立運用型の連続観測装置を配置して、総合的な観測を実施している。また、光波測距儀による自動観測装置(APS)も設置し8月から観測を続けている。さらに、宇宙開発事業団より地球資源衛星「ふよう1号」(JERS-1)の観測データの提供を受け、干渉合成開口レーダー手法(InSAR)による地殻変動解析も実施した。

図1-1から図1-3は、GPS連続観測(2波)による基線長の時系列、図2-1から2-2は、1波によるGPS観測結果の時系列、図3-1から図3-4は地震後、約4ヶ月、5ヶ月、及び6ヶ月間の地殻変動を表すベクトル図、図4-1から4-4はAPS観測結果、さらに、図5-1から5-5は合成開口レーダーの解析結果である。また、最後に、岩手山周辺で実施した重力観測の結果を示す。

岩手山周辺では、1998年3月頃から火山性地震活動が活発になったが、周辺のGPS連続観測の地殻変動を示す変化は2月頃から始まり、顕著な変動が半年ほど続いた後、9月3日、岩手山の南西を震源とするM6.1の地震が発生した。

GPSやAPSのいくつかの基線において、地震に伴うco-seismicな変動が捉えられており、これらは基本的に南北走向、東西圧縮の逆断層のメカニズムと調和的である。図1の一連の時系列からわかるように、地震を境として、⑦M田沢湖-雫石、⑩雫石-花巻、⑬岩手松尾-雫石等の基線において基線長の変化が停止したように見えるものの、①M寄木-M西山、②M寄木-雫石、④M西山-雫石等、岩手山の西側の観測点を含む基線においては、微小ではあるが、まだ変化が継続しているように見える。岩手山の西側において地殻変動が継続していることが示唆される。

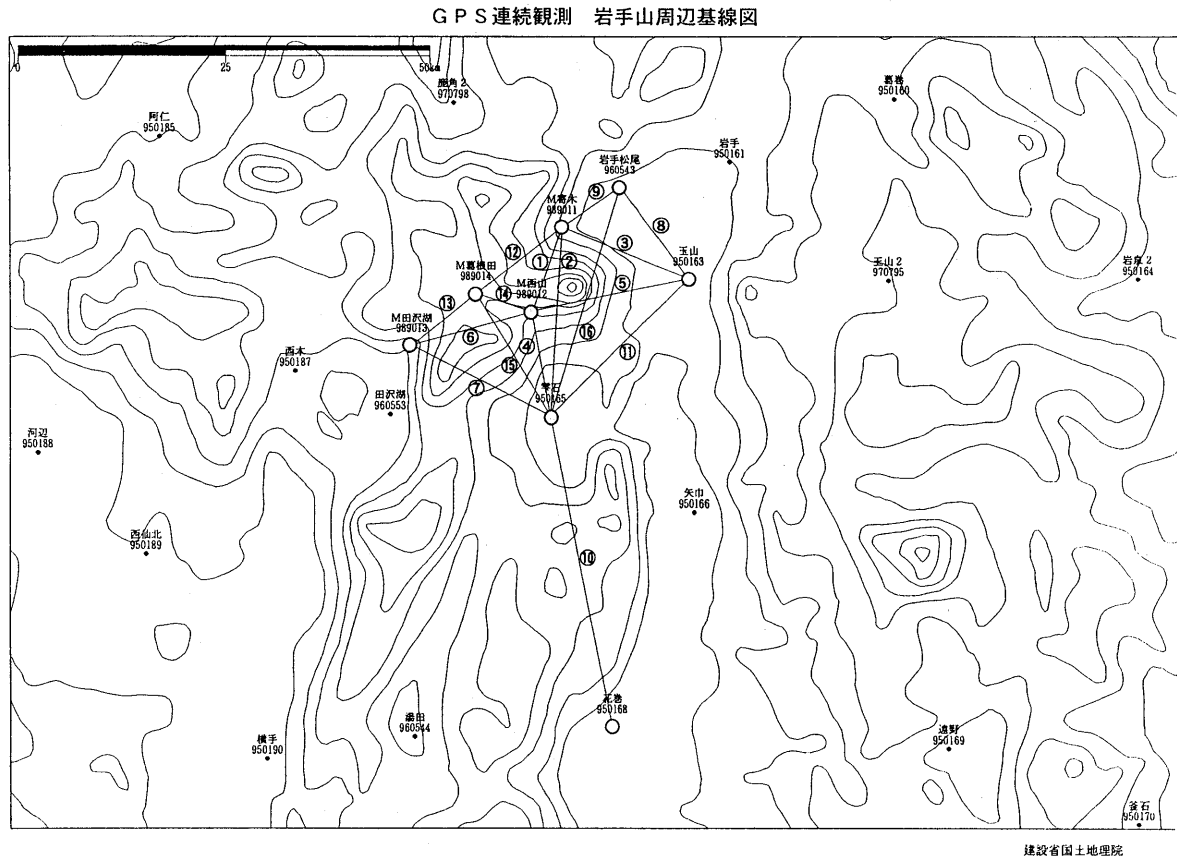
また、1997年11月と地震直後の1998年9月を比較した合成開口レーダー画像の解析から、断層周辺に局在するco-seismicな変動とともに、岩手山西側の葛根田のやや北方(深さ約7km)を中心する茂木モデル的な膨張源を強く示唆する地殻変動があったことが明らかになっている。地震後の変化が継続している観測点もこの茂木モデルが推定される位置の周辺に分布していることが興味深い。

干渉合成開口レーダーの解析から、観測された地殻変動パターン図5-1を再現するため、震源断層と茂木モデルの組み合わせを拘束条件とし、インバージョンを試みたところ、図5-2のように地殻変動が再現された。決定された茂木モデルは深さ約7kmで、図5-2の黒丸がその中心である。画像が挟む期間が1997年11月から地震直後までの間であることから、この茂木モデル的な膨張は地震の前に発生していた可能性が高く、周辺で実施された水準測量でもこのあたりの隆起が示唆されている。この茂木モデルによる隆起は中心の直上で約10cmであったと推定される。図5-3は、この膨張源を仮定して推定した、9月3日のM6.1地震を加速させる歪み変化成分分布(ΔCFF)である。地震を発生させる歪み変化成分(ΔCFF)の大きいところ(図5-3の黒い■)から地震が始まっていること、この場所の ΔCFF が地震による応力降下量の約10%程度と大きいことから、地震に先立つ火山性の膨張がきっかけとなって地震が惹起されたという解釈が可能である。図5-4は、東及び西の2方向からの観測を総合的に解析することにより得られた東西断面内での水平及び上下変動の詳細な分布である。2方向からの観測を利用することにより、上下及び東西方向の地殻変動を分離したものである。図の右側の1-6は左の地図に示した東西断面であり、それぞれの面内における地

* Received 7 Sep., 1999

殻変動を示している。震源断層の地表への延長部分、及び地震断層を境界とする地殻変動の不連続が見られる。

図5-5は、異なる期間におけるJERS-1の干渉画像を時系列的に示したものであり、地震前の1998/04/14-1998/07/11及び1998/04/30-1998/07/27には岩手山西側の膨張が明瞭に捉えられている。この2つの画像はそれぞれ独立した南行及び北行軌道の観測から作成されており、両者に変動が現れていることは、観測の信頼性を高めている。一連の活動および地震を挟む1997/11/05-1998/09/09には膨張とco-seismicな地殻変動が捉えられている。

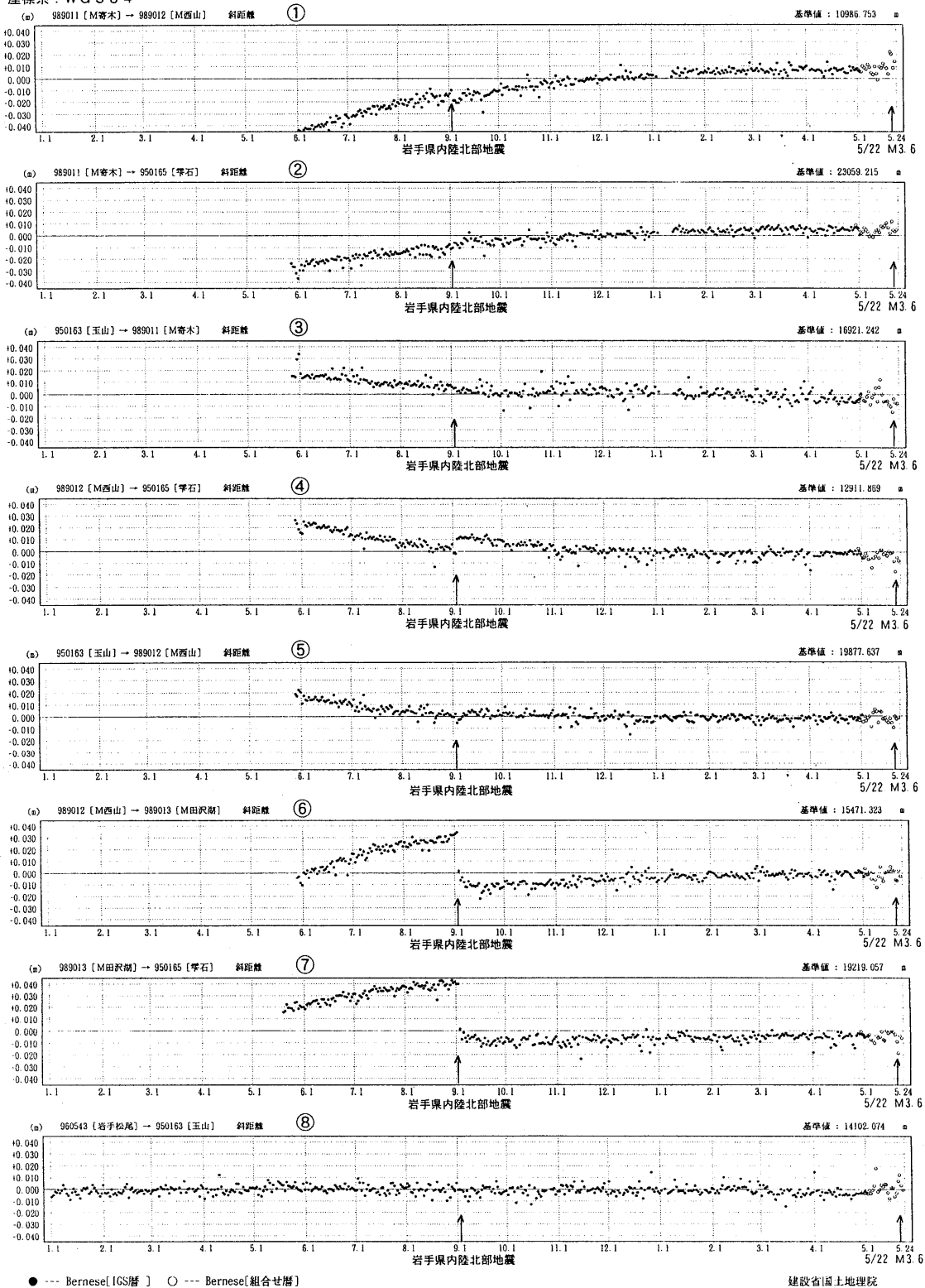


第1-1図 岩手山周辺のGPS連続観測配点図（2周波）

Fig.1-1 Map showing the continuous GPS observation points (dual frequency) around Mt. Iwate

期間：1998年1月1日～1999年5月24日
 座標系：WGS 84

基線長変化グラフ

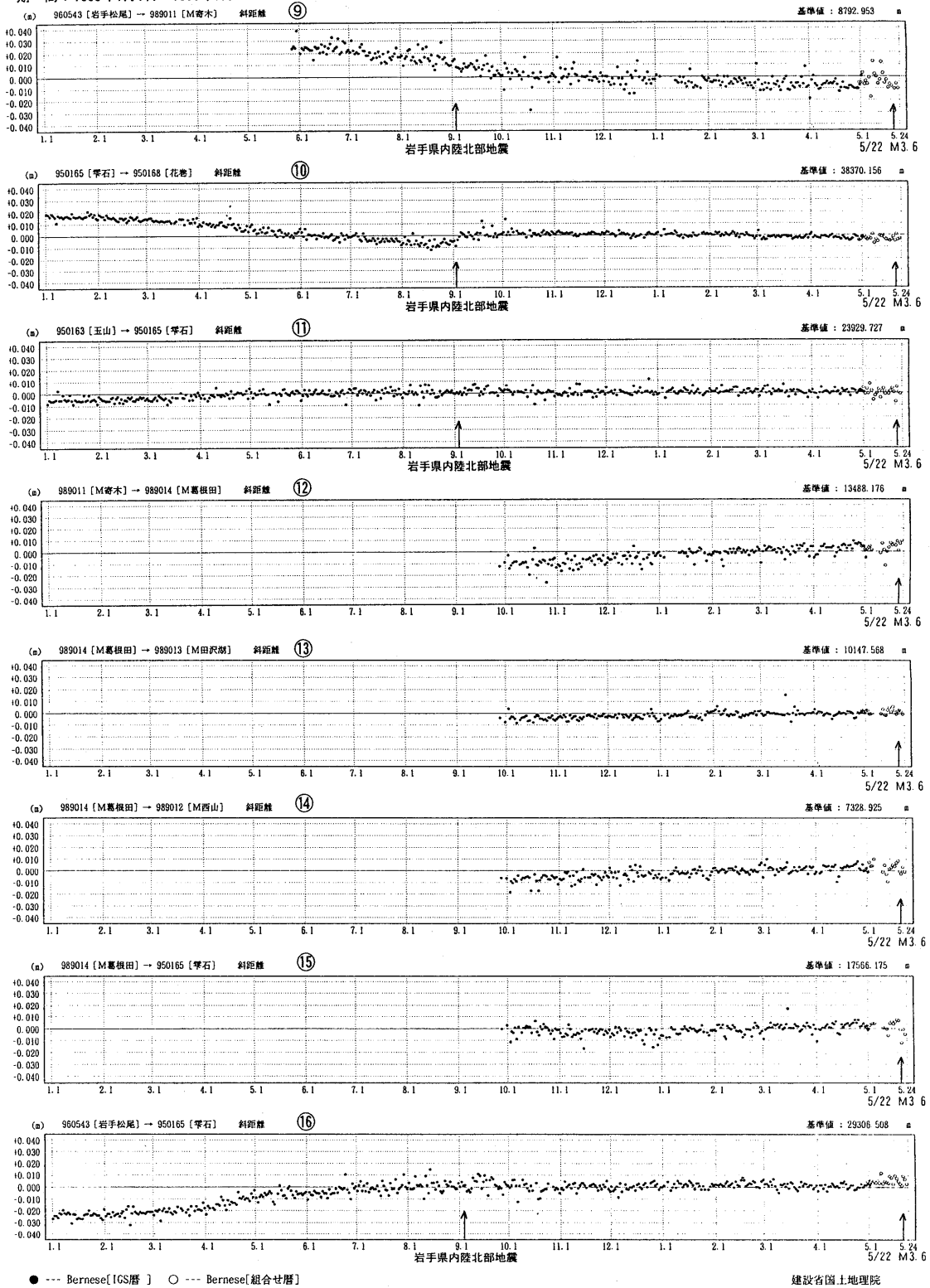


第1-2図 岩手山周辺各GPS観測点間の基線長変化 1998年1月-1999年5月

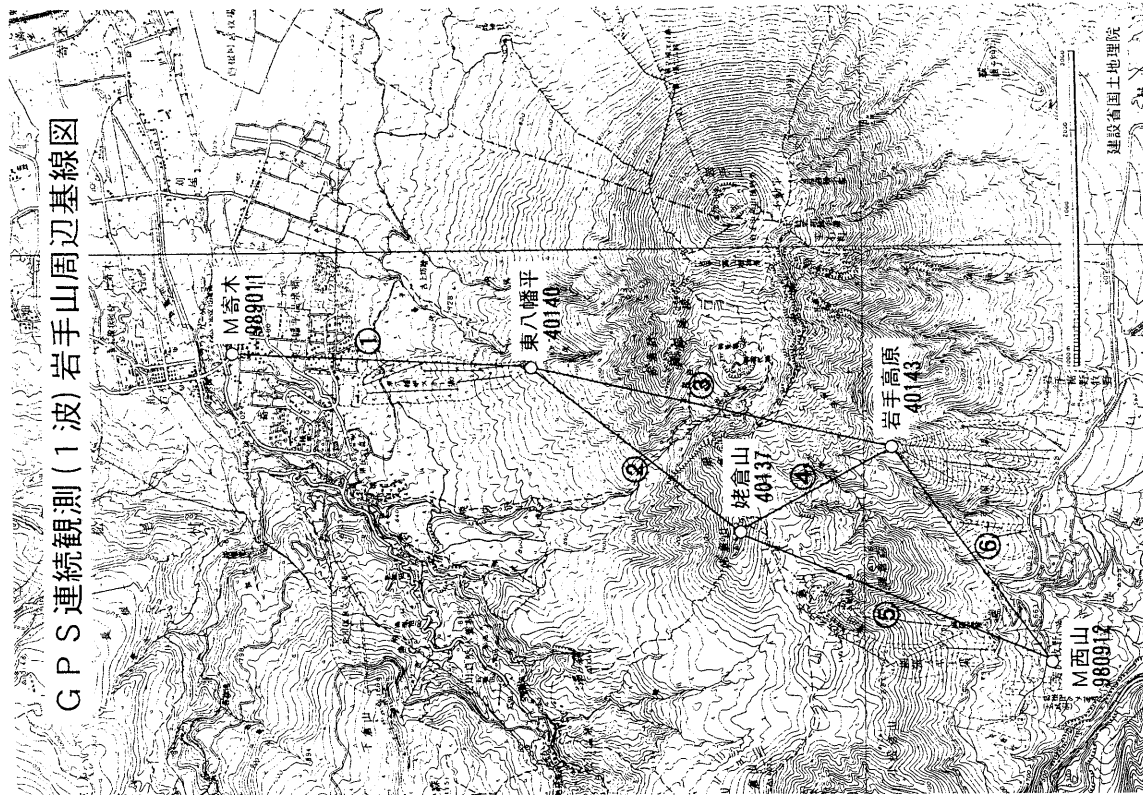
Fig.1-2 Time Series plots of distance by GPS Measurements (dual frequency) around Mt. Iwate. 1998 Jan. - 1999 May.

基線長変化グラフ

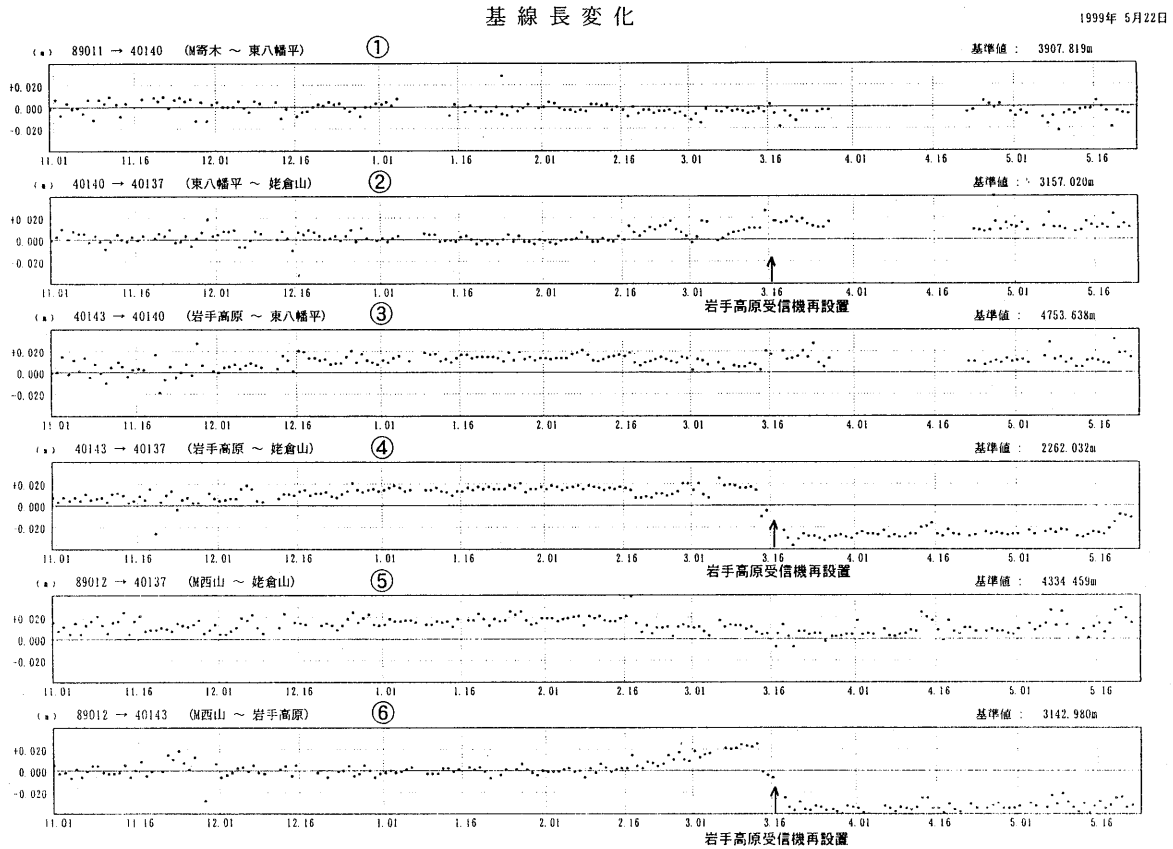
期 間：1998年1月1日～1999年5月24日



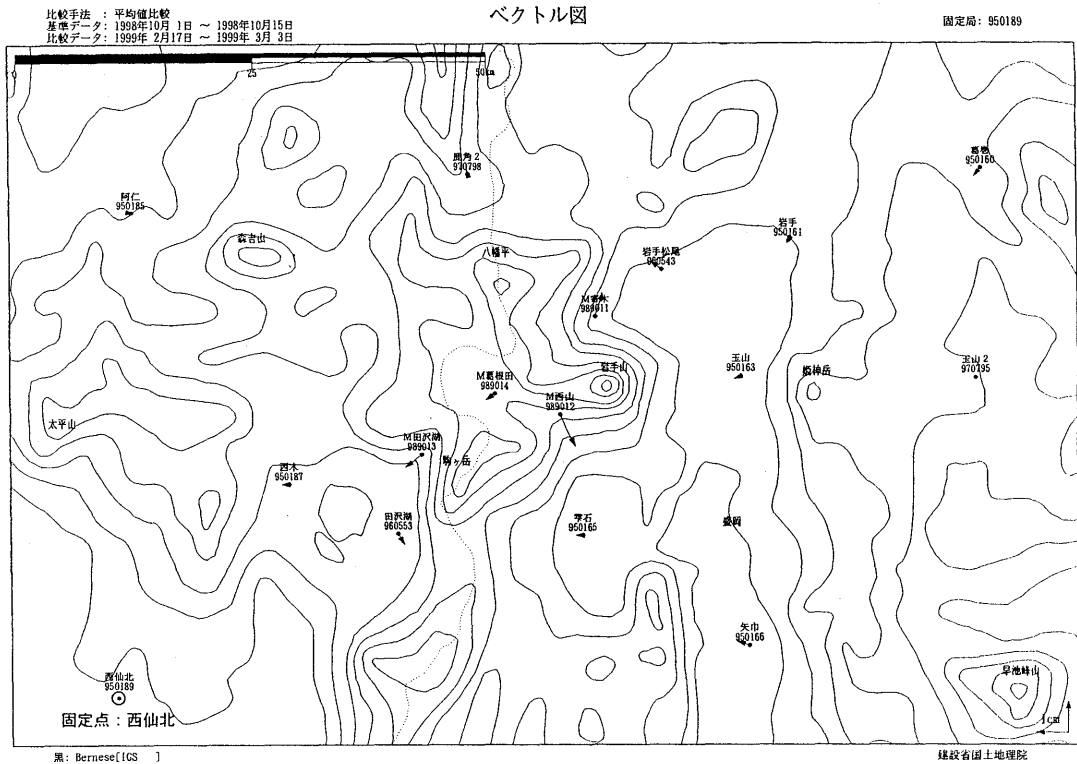
第1-3図 岩手山周辺各GPS観測点間の基線長変化 1998年1月-1999年5月
 Fig.1-3 Time Series plots of distance by GPS Measurements (dual frequency) around Mt. Iwate. 1998 Jan. - 1999 May.



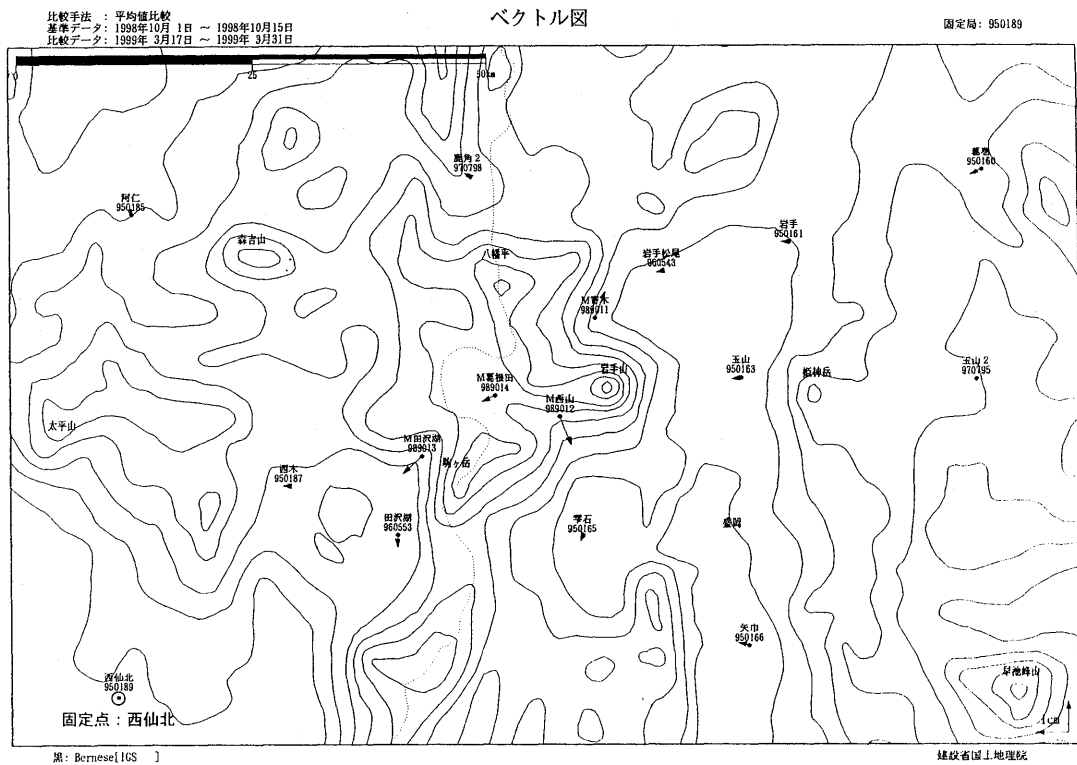
第2-1図 岩手山周辺のGPS連続観測配点図(1周波)
 Fig.2-1 Map showing the stand-alone continuous GPS observation points (single frequency) around Mt. Iwate.



第2-2図 岩手山周辺各GPS観測点間の基線長変化(1周波)1998年11月-1999年5月
 Fig.2-2 Time series plots of distance by the GPS measurement (single frequency) around Mt. Iwate. 1998 Nov. - 1999 May.

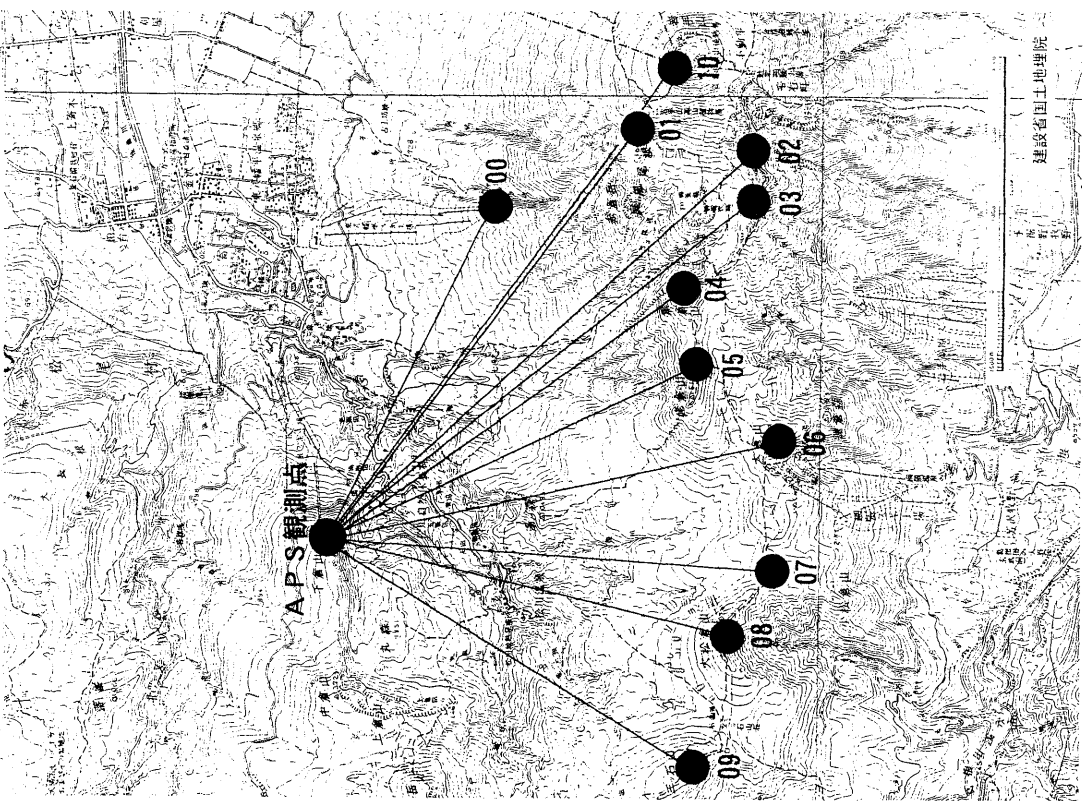


第3-1図 岩手山周辺の水平地殻変動 期間: 1998年10月~1999年3月前半 固定点: 西仙北
 Fig.3-1 Horizontal crustal displacement around Mt. Iwate during the period from October, 1998 to first half of March 1999, Fixed point is Nishisenboku.



第3-2図 岩手山周辺の水平地殻変動 期間: 1998年10月~1999年3月後半 固定点: 西仙北
 Fig.3-2 Horizontal crustal displacement around Mt. Iwate during the period from October, 1998 to latter half of March 1999, Fixed point is Nishisenboku.

APS (測角・測距自動観測装置) 配置図



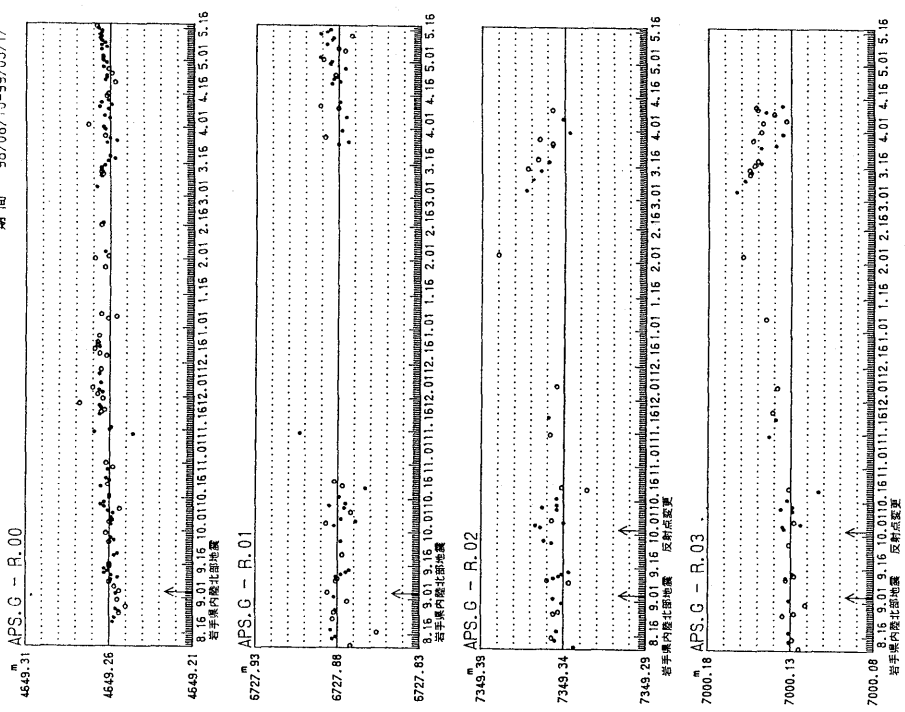
第4-1図 岩手山周辺の自動辺長連続観測 (APS) 配点図

Fig.4-1 Map showing the stand-alone continuous EDM observation (APS) points (one Transmitter site and nine Reflector sites) around Mt. Iwate.

岩手山連続観測 (辺長) 日平均結果

建設省国土地理院

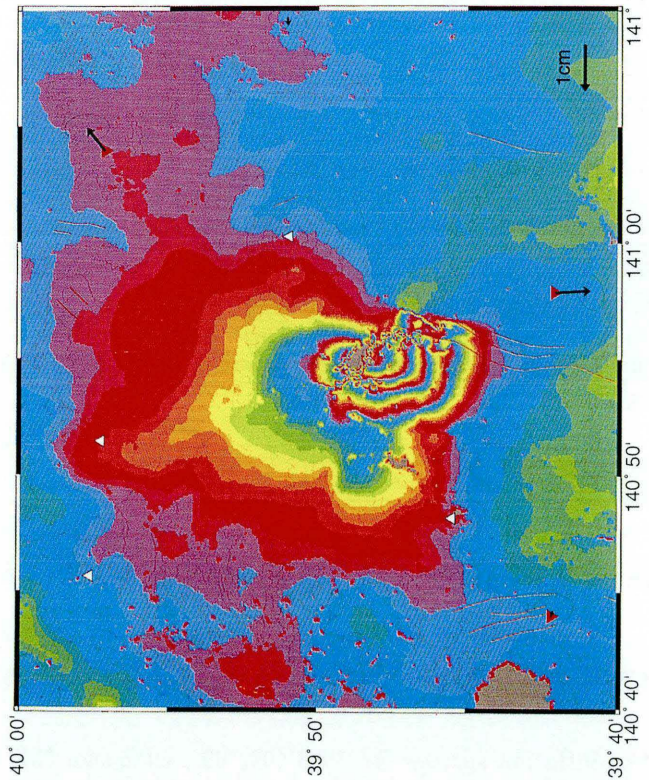
期間 98/08/10-99/05/17



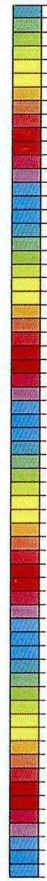
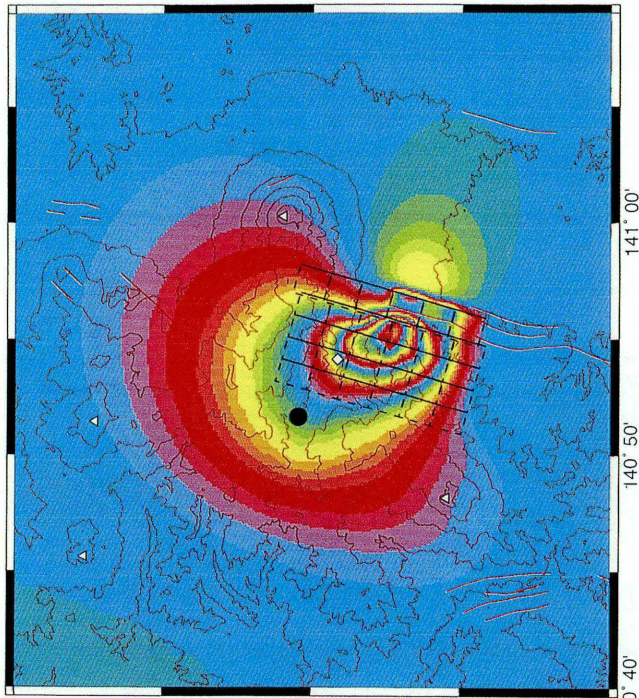
第4-2図 岩手山周辺各APS観測点間の基線長変化 1998年8月-1999年5月
Time Series of observed distances by APS around Mt. Iwate.
1998 Aug. - 1999 May.

1日5回 (2,0,2,2,0,2,4時)のうち
●...3回以上の平均 ○...2回以下の平均

観測値



モデル



視線方向の距離変化 (1 cycle=11.8cm)

JERS-1 SAR干渉処理による岩手山周辺の地殻変動 (1997/11/25-1998/09/09)

観測による干渉図 (左) およびモデルによるシミュレーション画像 (右)

第5-1図 地球資源衛星「ふよう1号」合成開口レーダー干渉図 (1997年11月9日-1998年9月9日)。カラースケールの1周期が11.8cmの衛星の視線方向の地殻変動を表す。

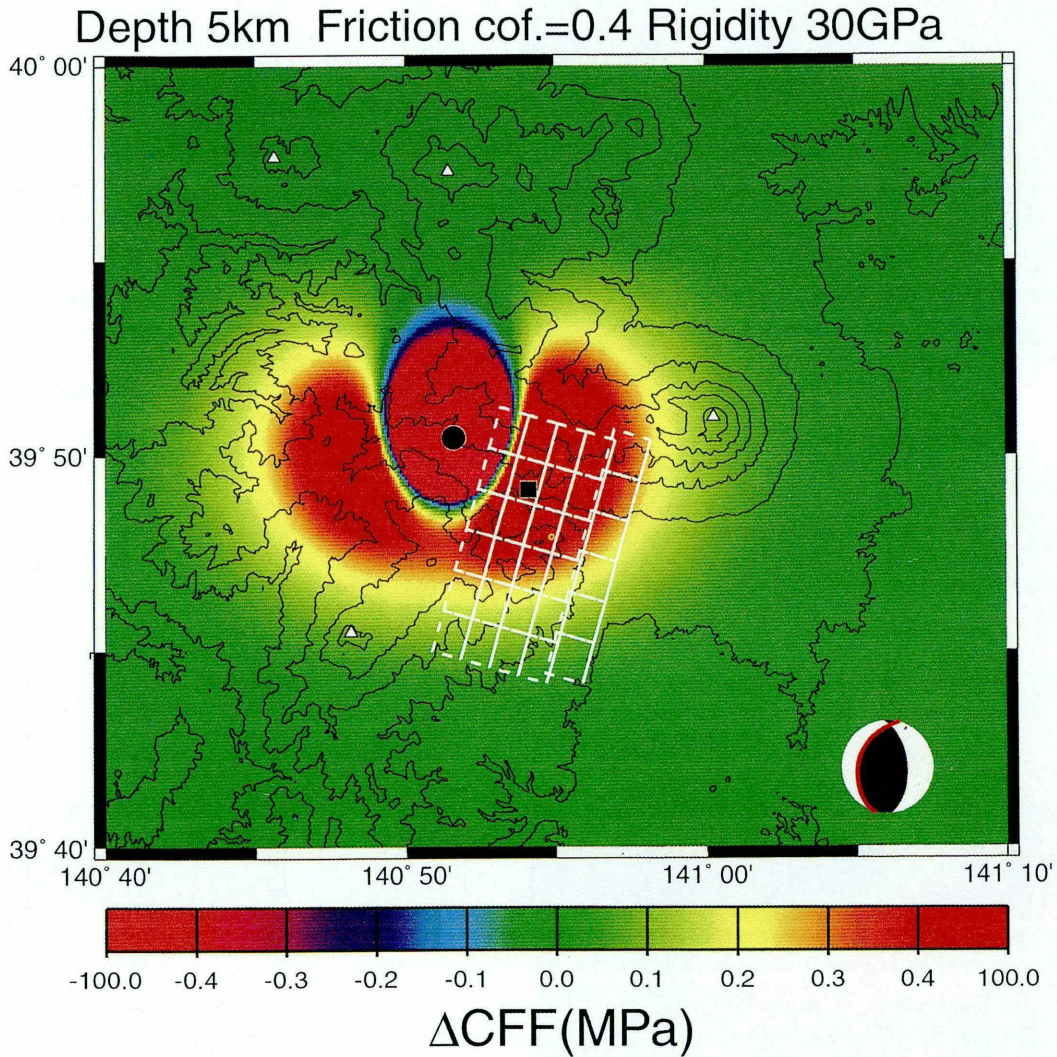
第5-2図 震源断層と茂木モデルを仮定したインバージョン結果によるシミュレーション干渉図。震源断層をメッシュで、茂木モデルの位置を黒丸でそれぞれ示す。茂木モデルの深さは約7kmである。

Fig.5-1 Interferogram derived from JERS-1 SAR observed on Nov. 9, 1997 and Sept. 9, 1998 depicting crustal deformations around Mt. Iwate. One cycle of the color scale corresponds to 11.8cm line

source mechanism and a Mogi-inflation source with a depth of 7km. The position of Mogi source is indicated by a black circle. The fault model is shown by a mesh.

仮定した茂木モデルによるCFFの変化分布図

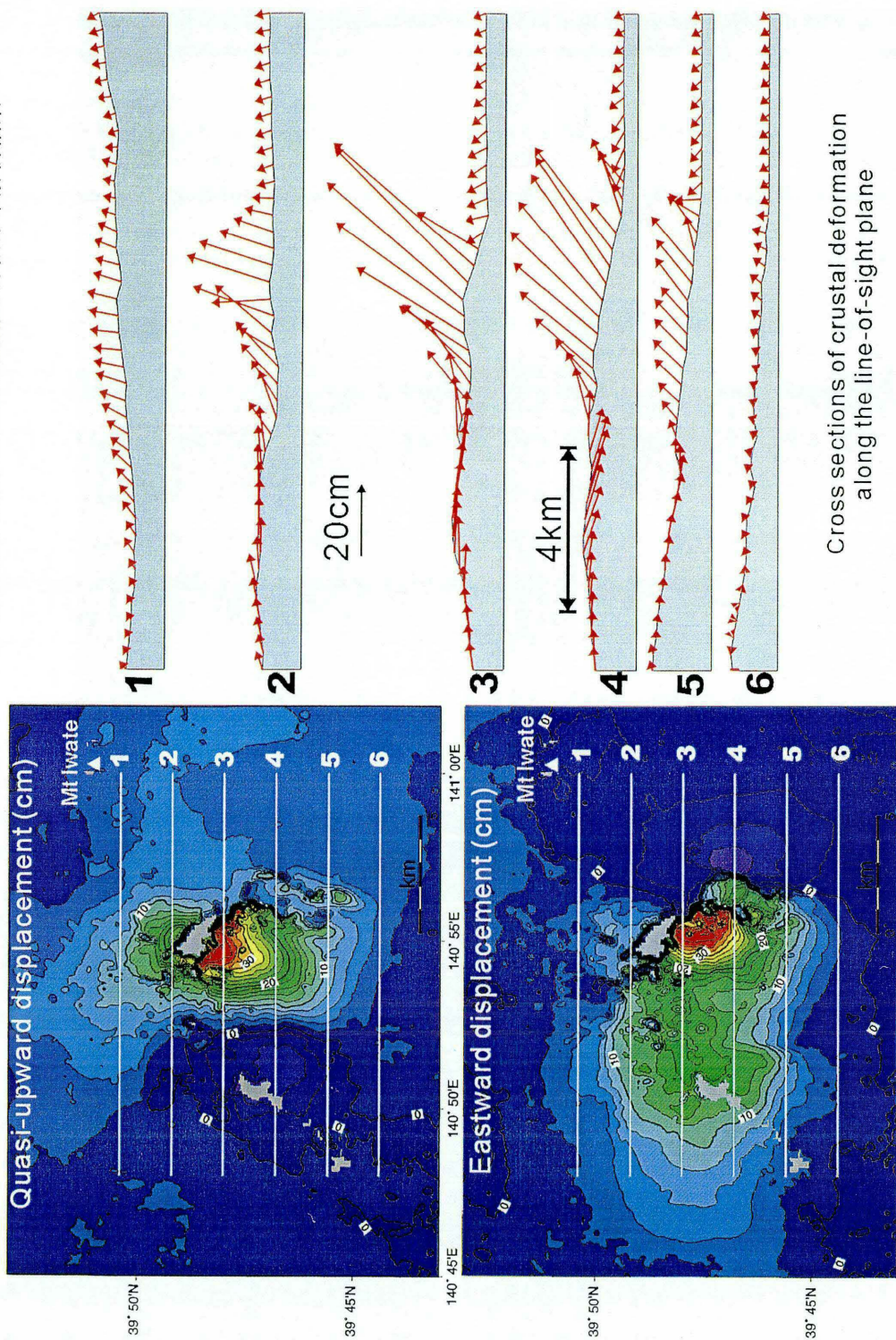
1998/09/03のM6.1地震のメカニズムを仮定している。
茂木モデルの位置 (●)、推定した2枚の断層面、および震央 (■) を示した。



第5-3図 推定された茂木モデルの膨張が誘起する ΔCFF の分布図。 ΔCFF の大きい箇所で断層が滑り始めている (黒い■の点)。

Fig.5-3 Distribution of ΔCFF caused by the Mogi-inflation source. The 1998/09/03 earthquake (M6.1) started from the hypocenter denoted by the black square located in the area of large ΔCFF

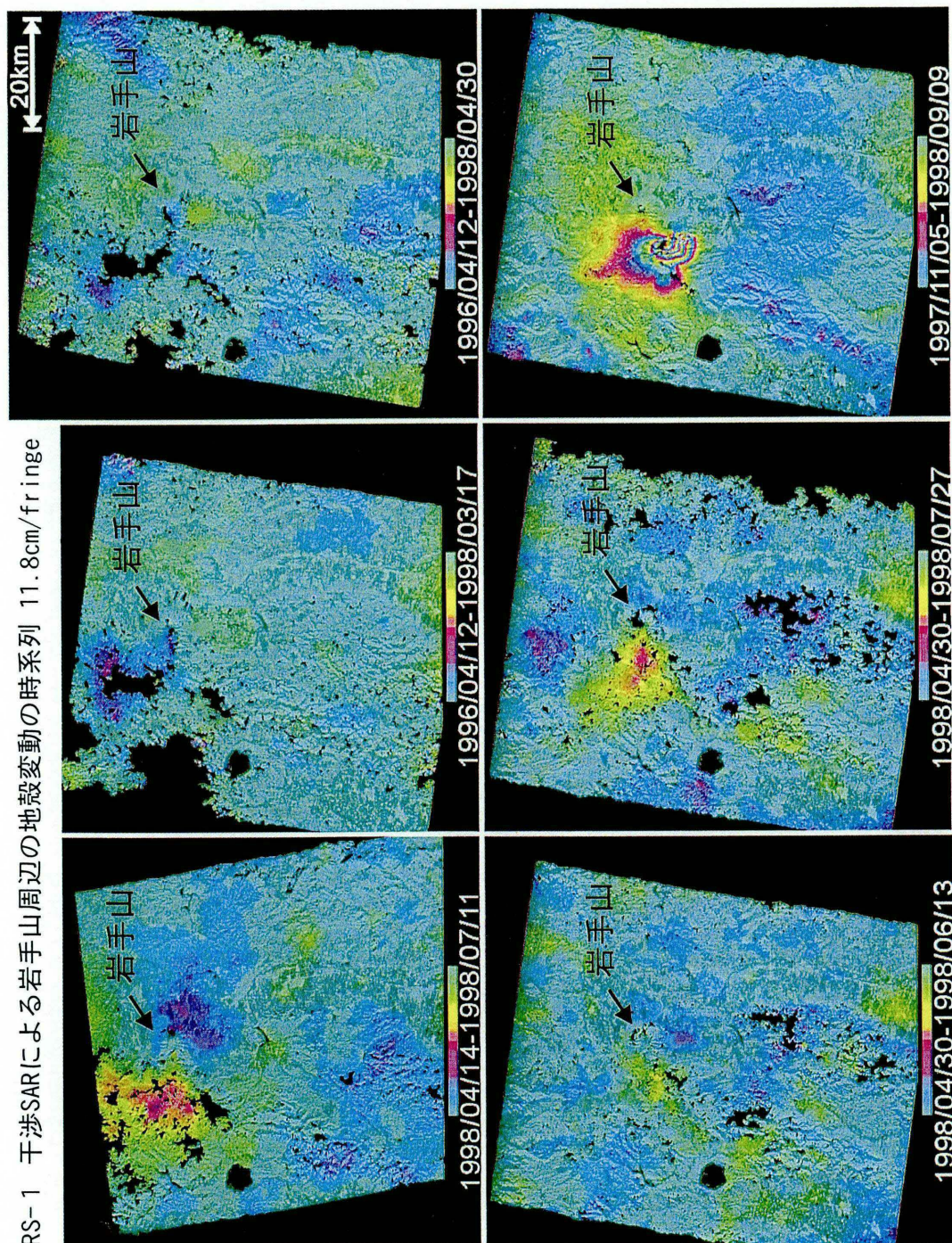
JERS-1の南行軌道(Descending)および北行軌道(Ascending)を利用したCo-seismic変動の詳細分布解析結果



第5-4図 JERS-1の南行軌道(Descending)および北行軌道(Ascending)を利用した1998/9/3地震のco-seismicな地殻変動の詳細分布解析結果

Fig.5-4 Separation of vertical and horizontal crustal deformation associated with 1998/9/3 earthquake detected by JERS-1 InSAR by simultaneous analysis of descending and ascending observations.

JERS-1 干渉SARによる岩手山周辺の地殻変動の時系列 11.8cm/fringe



第5-5図 JERS-1干渉SARによる岩手山周辺の地殻変動の時系列

Fig.5-5 Images for different time windows depicting crustal deformations around Mt. Iwate. Crustal deformations associated with activities in 1998 around Mt. Iwate are detected in the images for 1998/04/14-1998/07/11, 1998/04/30-1998/07/27, and 1997/11/05-1998/09/09.