

岩手火山における水準測量による圧力源の推定 (1998年7月～2000年5月)

木股文昭^{*}・宮島力雄^{*}・高山鐵朗・山本圭吾・内田和也^{**}・中村めぐみ^{**}・松島 健^{**}・
平野舟一郎^{***}・八木原 寛^{***}・立花憲司^{****}・上田英樹^{****}・佐藤峰司^{****}・植木貞人^{****}・
辻 浩^{*****}・小山悦郎^{*****}・寺田暁彦^{*****}・森 濟^{*****}・鈴木敦生^{*****}・中坊 真^{*****}

*: 名古屋大学大学院理学研究科

** : 九州大学大学院理学研究院

***: 鹿児島大学理学部

****: 東北大学大学院理学研究科

*****: 東京大学地震研究所

*****: 北海道大学大学院理学研究科

*****: 京都大学大学院理学研究科

要旨

1997年から火山活動が活発化している岩手火山において、1998年7月に80の水準点からなる40kmの水準路線を設置する。水準測量は2000年5月までに7回実施した。3-6月間隔の水準測量から各期間とも1-2cmの岩手山西部域の隆起を観測する。隆起の上下変動から増圧の球状圧力源の推定を試みる。圧力源は測量を開始した1998年7月以降、西岩手山域に求まり、北西方向へ、深さも2kmから4kmへ移動していると推定する。圧力源での体積増加は1998年7月から2000年5月までの期間で $1.5 \times 10^6 \text{m}^3$ に過ぎない。

キーワード 岩手火山 水準測量 上下変動 火山体圧力源 球状圧力源

1. はじめに

岩手火山では、1997年後半から微小地震や低周波地震が活発化し、1998年春季には岩手火山から10kmも離れる国土地理院GPS観測点でも2cmに達するような地殻水平変動が観測された。

そこで、地殻上下変動から圧力源を議論する目的で、著者らは岩手火山南山麓に水準路線を急遽設置し、1998年7月から水準測量を開始した(木股ら,1999)。地殻上下変動を時間的に詳細に議論するため、水準測量を頻繁に反復し、2000年5月までの約2年間に7回、測量を実施した。

1999年9月3日に今回の水準路線直下でM6.1の岩手県内陸北部地震が発生した。まさに、測量中に遭遇したこともあり、地震に伴う地殻変動として最大20cmの上下変動を観測した(木股ら,1998,1999; Kimata et al, 1999)。地震に伴う地殻変動は非常に限られた地域のみで観測された。しかし、1998年10月の観測でもこの地震に伴う地殻余効変動と考えられる上下変動が検出された。

本論では、岩手県内陸北部地震時の変動を除いた上下変動から圧力源を推定し、その位置、規模を時間変動も含めて議論する。

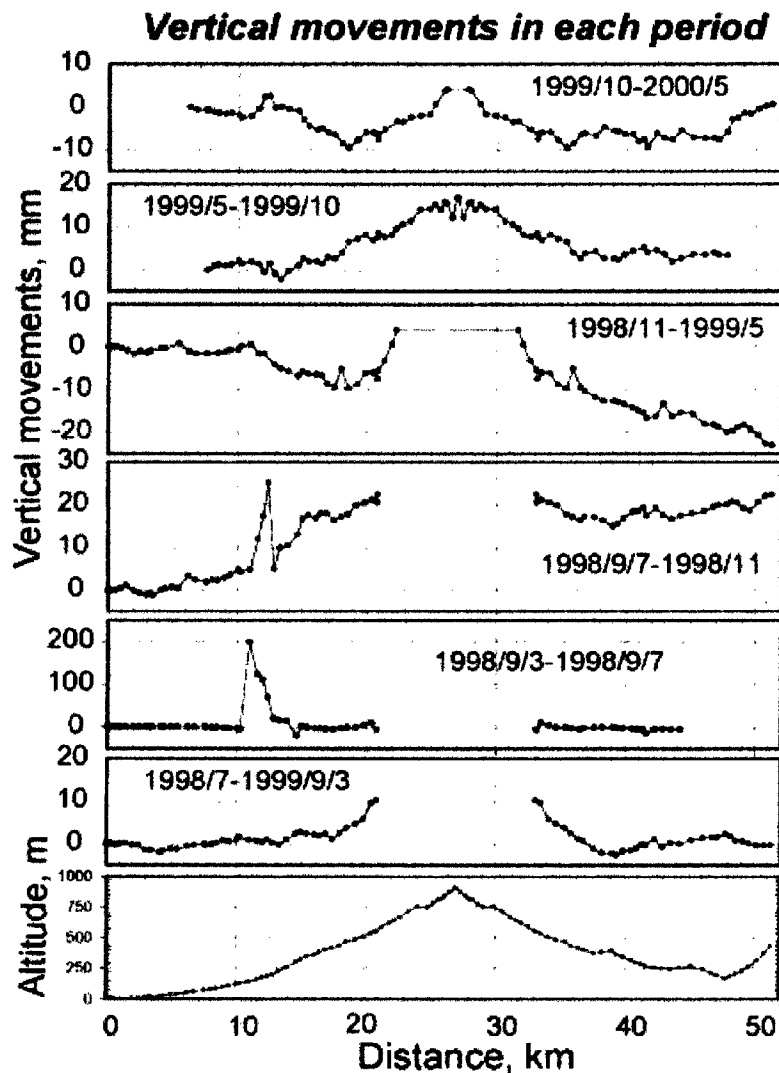


Fig.2 Vertical movements observed by precise leveling on the Iwate Volcano leveling route since July 1998 to May 2000.

下変動が余効的運動として地表まで達したと考える。

1998年9月3日の地震に伴う変動を除けば、観測された地殻変動は、概して雫石側に対し、岩手火山、とりわけ岩手火山西部域での隆起の上下変動として、観測期間を通して観測されている。しかし、その隆起量は最大でも1998年9月から10月の期間の2cmに過ぎず、他の期間は1cm程度である。

岩手火山東部域に位置する馬返し登山口では西部と比較し、複雑な上下変動が観測されている。1998年10月に2cmの隆起が観測されたのに対し、次の測量期間、対照的に1999年5月では2cmの沈降が観測されている。

雫石から網張温泉に至る水準路線は、とりわけ玄武洞から岩手高原までは盛土の道路路肩に水準点

を設置した。しかし、路線を設置した道路は建設されて間もなく、岩手県内陸北部地震時には多くの割れ目が観測されている。ゆえに、地盤の圧密化による沈降など地殻上下変動の攪乱要素が大と考える。

そこで、網張温泉から馬返し登山道に至る東西方向の水準路線に位置する水準点62を不動と仮定して求めた上下変動をFig.3に示す。時間的な変動を議論するため、1998年7月に設置した水準点に限定して示す。図左には測量開始の1998年7月から各観測期間までの変動を、図右には水準点36,37,38,39,40における1998年7月以降の上下変動を時間の関数として示す。

Fig.3 から、上下変動に関して次の二点が明確である。1) 水準点62より北西域に位置する水準点はすべて、1998年7月以降に隆起の上下変動が継続

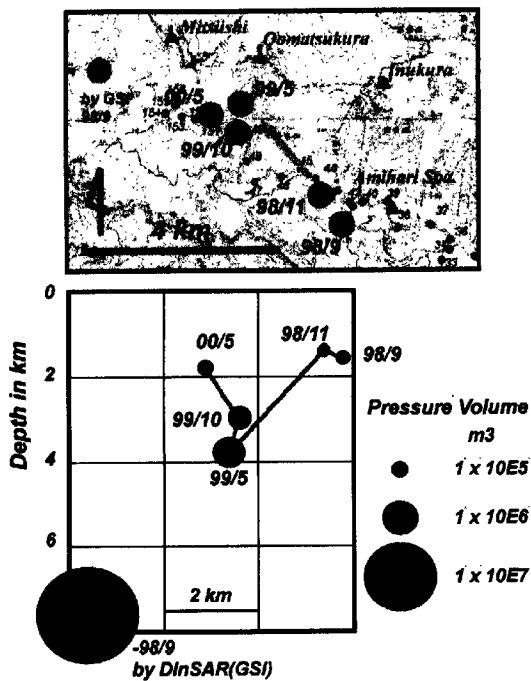


Fig.6 The locations of the point pressure sources estimated from the vertical deformation in the period of each leveling epoch. The location of the pressure source estimated from the SAR interferometry analysis(GSI, 1998) in the period until September 1989 is also shown.

1998年7月以降に推定した圧力源モデルから計算される上下変動隆起のピークは前期間までの網張温泉付近から網張温泉北西5kmに移動する。そして、累積隆起量も4cmに達する。

4.5 1999年10月-2000年5月

この期間で観測された上下変動は最大隆起量が1cm、隆起が観測された範囲が圧力源から半径4kmと、1998年7-9月3日の期間と相似する。

推定された圧力源は前・前々期間とほぼ同じ水平位置で、深さのみが1.9kmと前期間よりさらに浅くなる。圧力源での体積増加量も前回からさらに減少し、 $0.9 \times 10^5 \text{ m}^3$ 、 $1.6 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ と推定される。

以上を整理すると、上下変動から推定する圧力源は1998年7月-11月に期間は網張温泉付近の1.5-1.6kmと非常に浅い地域に推定される。その後、圧力源は網張温泉の北西5km、深さ4kmへ1999年5月に移動したと推定される。そして、1999年10月から2000年5月にかけて再び深さ2km前後まで浅くなったと考える。

圧力源における体積増加は、観測の全期間となる1998年7月から2000年5月までの約2年間でも、

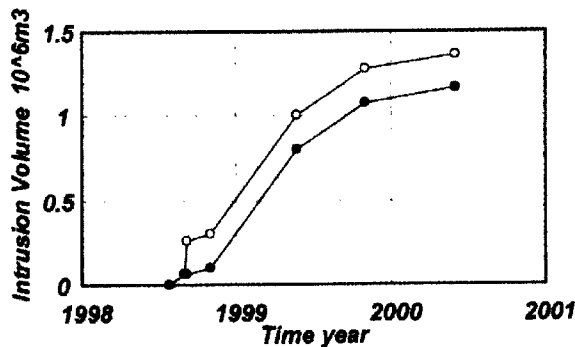


Fig.7 Time series of intrusion volume at the pressure sources since July 1998. Open circles show the changes including the observation data at the Iwateken-Nairiku-Hokubu earthquake on September 3, 1998. Open circle mean the results removed the data at the earthquake.

$1.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ に過ぎない。そして、各期間でも、とりわけ1998年11月から1999年5月の期間に最大の体積増が推定される。しかし、その体積増加は、 $0.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ に過ぎない。しかも、1998年9月以降、圧力源における体積増加率は指数関数的に減少していることが明らかである。ちなみに、1998年9月までの期間に衛星合成開口レーダ干渉から推定された体積増は $1 \times 10^7 \text{ m}^3$ である(国土地理院,1999)。1998年7月以降に推定された体積増加量はその10-20%に過ぎない。

5. 圧力源の位置と規模の時間変化

上述したように、1998年7月以降、岩手火山で観測した上下変動にもとづき推定される圧力源の規模は体積増にして $1.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ に過ぎない。火山活動としては大規模な活動でない。周辺域でGPS観測により検出された地殻変動(東北大学理学部,1998;国土地理院,1998)を検討しても、岩手火山域における地殻変動は主に1998年7月の水準測量開始以前と考えられる。しかも、水準測量の期間中に体積増加率は確実に指数関数的に減少している。このような状況下において、上下変動から推定される圧力源の活動を時間的に検討する。

圧力源は、まず1998年7月から1998年10月までの期間に網張温泉近傍の深さ1.5km前後に推定される。その後、圧力源は、北西方向へ移動し、1999年5月以降に大松倉山南の深さ2-4km前後に推定される。

1998年10月から1999年5月の期間に網張温泉から北西方向へ2km、上下方向として1-2km深い方向へ圧力源が移動したことになる。そして、1999

年5月から2000年5月にかけて、推定される圧力源は水平方向には移動しないが、深さが4km, 3km, 2kmと浅部へ移動する。

圧力源における体積増加は深さと関連する。深くなるほど大きく、1999年5月に深さ4kmに推定された時は $0.7 \times 10^6 \text{m}^3$ 、2kmよりも浅部となる1998年9月、10月、2000年5月には $1 \times 10^5 \text{m}^3$ 以下まで低下する。

一方、水準路線は、1998年10月に網張温泉から北西方向に延長している。ゆえに、1998年10月までの期間に路線の最北西端に推定される圧力源が、水準路線配置による見かけであり、実際の圧力源がより北西方向に存在する可能性も考えられる。たとえば、合成開口レーダ干渉による1998年9月までの期間で推定された圧力源(国土地理院, 1998)や、GPS観測から推定された圧力源(Miura et al., 2000)は上述したように水準測量から推定した圧力源から北西方向に3kmほど離れる。

一方、地震の震源分布は岩手火山直下から西方向に伸び(Tanaka et al., 2000)、本論で求めた圧力源の位置が群発地震域に含まれる。合成開口レーダ干渉やGPS観測で推定した圧力源は群発地震域外となる。

圧力源の位置の移動に関しては、球状圧力源や開口クラックといった圧力源のモデル、そして圧力源における体積増加も含めた議論、地殻変動も水平方向と上下方向のデータを含めた議論が必要と考える。

検出された圧力源の移動に関し、1999年5月を境に、観測点配置が異なるなどデータの母集団が異なる。ゆえに、1998年10月までの期間に推定した圧力源の時空間変動について、検討の余地が残る。しかし、1998年10月以後の期間に推定した圧力源の時空間変動、主として深さ4kmから2kmへ上昇すると同時に体積増の規模が減少することは、水準点の配置などから信頼性が高いと考える。

零星GPS観測点における水平変動でも、主たる変動が1998年9月までに終了している(国土地理院, 1998)。すなわち、今回議論している1998年7月以降の地殻上下変動は、1997年以降の岩手火山における一連の火山活動から検討する限り、主要な活動が終了し、それ以降の活動が加速されなかった時期に該当すると考える。

6. 結論

1998年7月以降、2000年5月までに岩手火山南麓で7回的水準測量を実施し、上下変動を検出した。観測された上下変動にもとづき、同域での圧力

源を球状と仮定し、茂木モデルから推定した。そして、圧力源の規模も含め、時空間的な変動を議論した。

1) 3-6ヶ月毎に繰り返した7回的水準測量では1-2cmの岩手火山西部を中心とする隆起の上下変動を継続して観測した。

2) 球状圧力源は岩手火山西部域の深さ2-4kmに推定される。

3) 圧力源における体積増加は今回の全期間で $1.4 \times 10^6 \text{m}^3$ であり、時間経過と共にその増加量は指数関数的に減少する。1999年11月から2000年5月の期間には $0.9 \times 10^5 \text{m}^3$ 、 $1.6 \times 10^5 \text{m}^3/\text{yr}$ まで減少した。

4) 圧力源は1998年9月から2000年5月までに網張温泉近傍の深さ1.5km前後から、2000年5月までに北西方向へ3km、深さ4kmまで移動したと考えられる。この延長方向に1998年9月9日までの期間で合成開口レーダ干渉、および1998年8月までの期間におけるGPS観測から球状圧力源が推定される。

5) 1998年10月までに網張温泉南方に推定された圧力源については、水準点配置などから再検討の必要がある。しかし、1998年10月以降に推定された圧力源が4kmから2kmの浅部に移動することは水準点配置などから有意な変動と考える。

このように水準測量は非常に古典的な観測手法ながらも、観測点配置などに考慮すれば、火山体圧力源の時空間変動を詳細に議論するに有効な観測手法と考える。

謝辞

測量に際し、文部省「岩手山の火山活動の評価に関する特別経費(平成10年度)」、防災研究所平成12年度共同研究費も使用した。岩手県と国民休暇村岩手山(当時)には測量に際し、ご協力いただいた。また、浜口博之東北大学大学院理学研究科教授と石原和弘京都大学防災研究所教授には多方面で援助をいただいた。これらの方々に深く感謝する。

参考文献

- 木股文昭・森濟・松島健・山本圭吾・八木原寛・宮島力雄・高山哲朗・辻浩・鈴木淳生・内田和也・佐藤峰司(1998): 岩手県北西部地震の直前・直後における地殻上下変動—地震発生時の震源域での水準測量、地震学会ニュースレター, 10, 3, 18-20
- 木股文昭・石原和弘・植木貞人・内田和也・小山悦郎・

- 佐藤峰司・鈴木敦生・高山鉄朗・竹田豊太郎・辻浩・寺田暁彦・中坊真・浜口博之・平野舟一郎・松島健・宮島力雄・森 濟・八木原 寛・山本圭吾・渡辺秀文 (1999): 水準測量による岩手山南山麓における上下変動(1998年7~11月). 京都大学防災研究所年報, 第42号B-1, 35-43.
- 国土地理院(1998): 岩手山とその周辺地域の地殻変動, 火山噴火予知連絡会会報, 71, 22-27.
- 東北大学理学部(1998): 岩手火山における地震活動と地殻変動活動, 火山噴火予知連絡会会報, 71, 3-15.
- 海野徳仁・岡田知己・中村綾子・中嶋淳一・佐藤俊也・堀修一郎・河野俊夫・似田交市・植木真人・松澤暢・長谷川昭・浜口博之(1998): 1998年9月3日岩手県磐石町に発生した地震(M6.1)の余震分布, 活断層研究, 17, 1-8.
- Kimata, F., Matsushima, T., Mori, H., Nakabo, M., Sato, M., Terada, A., Ueki, S., Yagiwara, H., Yamamoto, K., Hirano, S., Koyama, E., Miyajima, R., Suzuki, A., Takayama, T., Takeda, T., Tsuji, H., and Uchida, K. (1999): Pre-seismic, co-seismic and post-seismic deformations in the Iwateken-nairiku-hokubu earthquake, Japan (Sept. 3, 1998, M_L : 6.1) –Leveling in epicentral area just before and after earthquake -, *Proceedings of 9th FIG International Symposium on Deformation Measurements, 27-30 September, 1999, Olsztyn, Poland*, 57-63.
- Miura, S., Ueki, S., Sato T., Tachibana K., and Hamaguchi, H. (2000): Crustal deformation associated with the 1998 seismo-volcanic crisis of Iwate Volcano, northeastern Japan, as observed by a dense GPS network, *Earth Planets Space*, 52, 1003-1008.
- Tanaka, S., Hamaguchi, H., Ueki, S., Sto, M. and H. Nakamichi(2000): Migration of seismic activity during the 1998 volcanic unrest at Iwate volcano, northeastern Japan, with reference to P and S wave velocity anomaly and crustal deformation, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, (in press).

Estimation of the Point Pressure Source at the Iwate Volcano, Northeast Japan from the Vertical Deformation Detected by Leveling in the period July 1998 to May 2000.

Fumiaki KIMATA*, Rikio MIYAJIMA*, Tetsuro TAKAYAMA, Keigo YAMAMOTO, Kazunari UCHIDA**, Megumi NAKAMURA**, Takeshi MATSUSHIMA**, Shuichiro HIRANO***, Hiroshi YAGIWARA***, Kenji TACHIBANA ****, Hideki UEDA****, Minemori SATO** **, Sadato UEKI****, Hiroshi TSUJI*****, Etsuro KOYAMA*****, Akihiko TERADA*****, Hitoshi MORI*****, Atsuo SUZUKI*****, and Makoto NAKABO*****

* Graduate School of Science, Nagoya University

** Faculty of Sciences, Kyushu University

*** Faculty of Science, Kagoshima University

**** Graduate School of Science, Tohoku University

***** Earthquake Research Institute, University of Tokyo

***** Graduate School of Science, Hokkaido University

***** Faculty of Science, Kyoto University

Synopsis

Volcano earthquakes and volcano deformation had been observed to be active around the Iwate Volcano since 1998. Authors have repeated precise leveling seven times on the southern foot of the volcano in the period July 1998 to May 2000. Uplifts of 1 to 3 cm at the volcano are observed in the every survey epoch. Authors estimate the point pressure sources from the uplift using the Mogi solution. Estimated pressure sources are shifted to northwest of 5 km with the depth of 2 km from the Amihari Spa. The total volume of intrusion is estimated to be $1.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ and the rate of intrusion is decreasing with time.

Keywords: Iwate Volcano, leveling, Vertical movements, pressure source of volcano, migration of pressure source