

検潮観測による桜島の垂直変動

江 頭 庸 夫

ON THE VERTICAL DISPLACEMENT AROUND THE VOLCANO SAKURAZIMA BY TIDAL OBSERVATIONS

By Tsuneo ETO

Synopsis

For the purpose of continuous observations of the vertical displacement around Sakurazima associated with volcanic activities, in addition to the tidal station at the west coast, two tidal stations were newly established in March, 1976, at the east and the south coast of Sakurazima.

Variations of the differences of daily mean sea levels between the south and the other coast of Sakurazima were found to have periodic disturbances of two weeks with the amplitude less than 4cm by the effect of the current between Kagoshima and Sakurazima.

The value derived from the differences of monthly and yearly mean sea levels between two tidal stations were compared with that of vertical displacements which were obtained by the precise levellings. The value of vertical displacements obtained from tidal data almost coincides with the result of precise levellings within the error of tidal observations.

1. は じ め に

1914年の桜島の大正噴火に伴って桜島および始良カルデラ周辺にあらわれた地殻変動に関しては、測地測量および検潮資料にもとづいた大森の研究¹⁾がある。1955年に始まった桜島南岳の山頂火山活動は現在も継続している。1972年より再び活発化した南岳の山頂爆発活動に先きんじて、桜島の北部では1968年頃より土地の隆起が再び進行しはじめ、1974年までに 250mm に達する隆起のあったことが水準測量の反復によって測定されている²⁾。

精密水準測量によって測定される垂直変動量は、その精度において優れてはいるものの、sampling 測定値であり、次の測量までの間は何ら変動の資料がえられない欠点がある。このような水準測量の欠点をおぎない桜島の垂直変動の状態を連続的に記録するためには、検潮観測によって桜島の垂直変動を連続記録できる可能性がある。Fig. 1 に1964年8月と1974年12月の水準測量結果より、袴腰の水準点 S. 17号を不動としたときの桜島内の相対的垂直変動量分布と、各検潮観測室の位置を示し

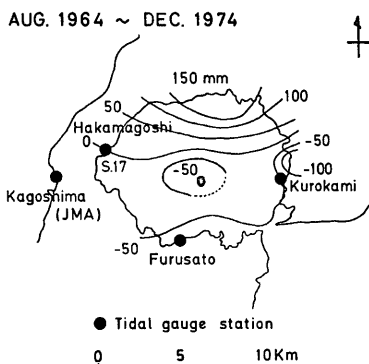


Fig. 1. Distributions of relative vertical displacements in Sakurazima referred to BM. S. 17, during Aug. 1964-Dec. 1974. Solid circles show the position of tidal gauge stations.

た。潮位を媒介として水準測量に準ずる精度で桜島の垂直変動の連続観測を行なう場合、桜島火山が鹿児島湾の海水に囲まれている地理的条件と、これまでに実施された水準測量によって測定された桜島の垂直変動量分布とを考慮し、南岳火口を中心にして桜島の東西南北のそれぞれ対面になる各港に検潮儀を設置することが適当であろう。1957年に設置された桜島西部の袴腰検潮観測室のほかに、1976年3月からは桜島南部の古里町下村港および桜島東部の黒神町塩屋ケ元港に検潮儀を新設し、潮位の連続観測をはじめた。1976年12月までに得られたこれらの検潮資料より、桜島の多点検潮観測に伴う問題点をさがすことと水準測量結果と検潮観測によって求められた垂直変動量との比較検討をこころみた。

2. 検潮観測室および検潮儀

2.1 袴腰検潮観測室

桜島の西部、桜島港岸壁に1957年より観測を続けている袴腰検潮観測室がある。ここにはロール型日巻検潮儀が設置されていて、その記録紙上の縮率は1/20である。観測室の横には火山観測所の水準点 S. 17号があり、定期的に行なわれる桜島の精密水準測量の際には同水準点が測量の基準点となっている。

吊下げワイヤーと滑車の間にスリップが生じることはロール型検潮儀の欠点の1つである。このずれの量を補正するために、週4回の記録紙交換の時に、実測した球分体から海水面までの深さと、その時の記録値より補正項を求めて記録上の潮位を補正し、1960年以来16年の観測期間を通じ検潮観測基準面を一定に保ってきた³⁾。毎正時の潮位より日平均潮位を求めているが、袴腰の検潮観測の精度は2cm程度と考えられる。

2.2 古里および黒神の検潮観測井

1976年3月に桜島南部の古里町下村港と東部の黒神町塩屋ケ元港に新たに検潮儀を設置した。Fig. 1 に鹿児島港（鹿児島地方気象台）、袴腰、古里および黒神の各検潮観測室の位置を示した。

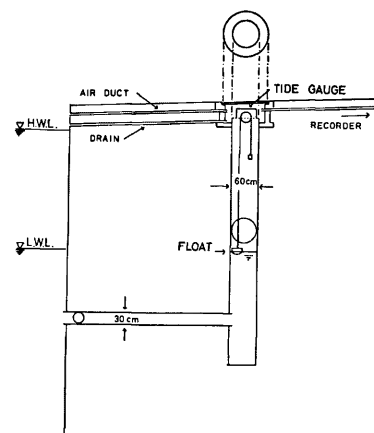


Fig. 2. The well of the tidal gauge station at Furusato.

古里および黒神港は緊急避難港なので、物揚場上面に突起した建造物の設置をさけてマンホール型の検潮儀を工夫した。Fig. 2 に古里港の検潮井の構造を示した。黒神港の検潮井も同じ構造である。検潮観測室は検潮井より15~50m離れた位置に設置し、遠隔記録方式とした。

2.3 古里および黒神の検潮儀

新たに設置された検潮儀は発信器、変換器と記録計の各部から構成されている。

(1) 発信器

発信器はマンホール内の検潮井上部に固定されている。潮位の上下はフロートとすべり止めの玉付ワイヤーによって滑車の回転に変えられる。滑車の回転により発信器内の油浸ポテンシオメーターを回転させ、潮位の上下を抵抗値の変化に変換する。同発信器は0~5mの範囲の潮位を観測することができる。

(2) 変換器および記録計

発信器からの潮位に比例した抵抗変化を0~1Vの電圧に変換する。記録方式はアナログで、全行程0~5mと、割算回路を介して部分行程0~120cmの検潮記録を得る。記録計はパルスモーター駆動の記録紙速度25mm/時(1ヵ月巻)の打点記録計である。Fig. 3 に黒神の検潮記録例を示したが、図中の実線は全行程0~5mを、点線は部分行程0~120cmを表示している。この検潮儀の電源は交直両用で停電対策がとれるようになっている。記録紙上の総合直線性は検定によると0.2%以内であった。測定範囲は0~5m

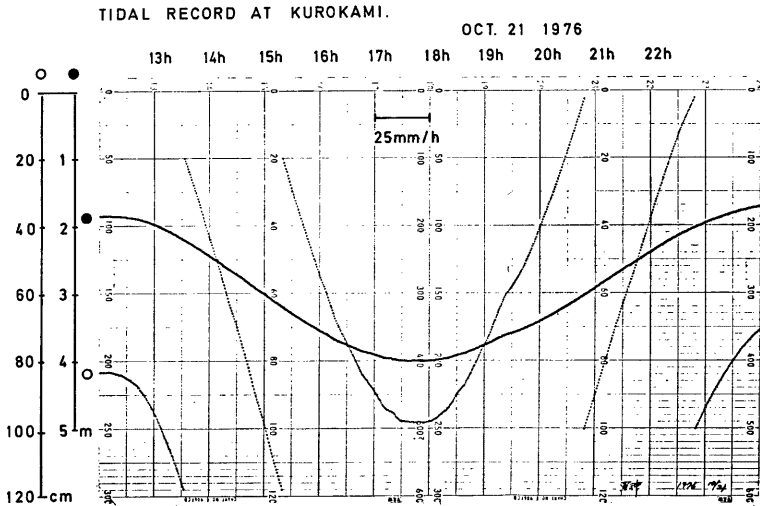


Fig. 3. A record of the tidal gauge at Kurokami station, Oct. 21, 1976.

であるので観測誤差は最大 1cm 程度である。

1976年9月10日には17号台風による高潮と波浪により、古里検潮井のフロートが流されて欠測の原因となった。マンホール型の検潮井は高潮時の波浪により発信器が海水をかぶる可能性のあるのが短所である。

袴腰、古里、黒神の各検潮儀にはそれぞれ S. 17号、古里検潮水準点、黒神検潮水準点が附属し、検潮観測（連続観測）による垂直変動量と水準測量（抜きとり観測）による変動量との比較検定に使用される。

3. 検潮資料の解析

検潮資料より垂直変動を求める際、潮位におよぼす気象や海況の複雑な影響をいかに取除くかが問題となる。気象や海況の変化による潮位の変化分が広い範囲に共通している事実を利用して、比較的近距离にある2検潮所の平均潮位差をとり、共通の影響を消去する方法が佐野⁴⁾によって報告されている。津村⁵⁾⁶⁾は日本の沿岸を潮位変化が共通している海域にわけ、同じ海域内の2点の平均潮位差より地殻変動を調査している。桜島の場合、一番離れている袴腰～黒神でも直線距離が11kmと比較的近距离にあり、各検潮所はいずれも鹿児島湾内にあるので、2検潮室間の平均潮位差をとることで気象の影響が消去されると仮定し、平均潮位差によって垂直変動を調べることにする。ここでは日平均潮位差と月平均潮位差について調べ、鹿児島と袴腰に関しては年平均潮位差についても調べた。火山活動に伴う地殻変動を調べるには、もし可能であれば日々の変動まで検出できることが望ましいし、水準測量結果との比較検定をするには測量に要する時間から月単位あるいは年単位の変動量を比較すればよいからである。

3.1

鹿児島、袴腰、古里および黒神の各検潮儀による日平均潮位の値より（鹿児島～袴腰）、（袴腰～黒神）、（袴腰～古里）、（古里～黒神）の4組の日平均潮位差を求め Fig. 4 に示した。同図で、（袴腰～古里）および（古里～黒神）の日平均潮位差曲線には、月齢に関連して約2週間周期で振幅 4cm 程度の周期的変動が認められる。桜島付近では大潮時の干満差が 3m 程度あり、鹿児島市と桜島間の水道の潮流が早くなることが観察される。鹿児島港と袴腰はこの水道付近に位置している。黒神はこの水道を通して鹿児島湾の最奥

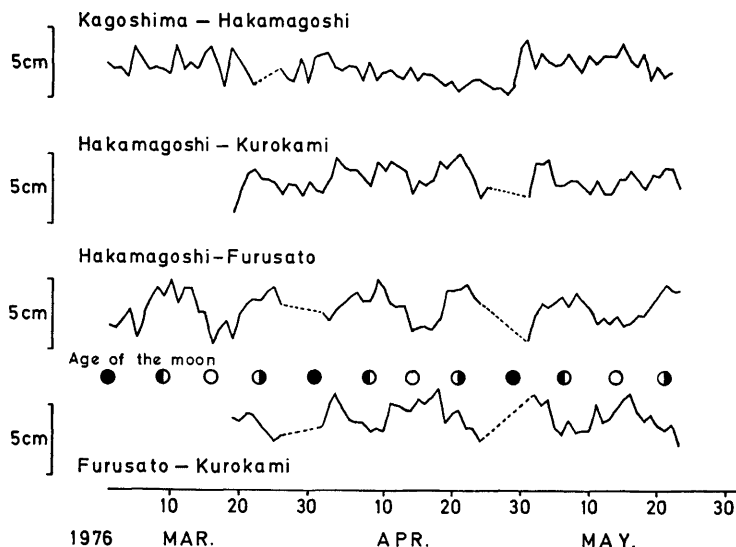


Fig. 4. Variations of differences of daily mean sea levels between each two stations.

にあるのに反し、古里はこの水道の外洋側にある (Fig. 8 参照)。したがって、(袴腰—古里) と (古里—黒神) の日平均潮位差に出現する約 2 週間周期の変動はこの潮流の影響によるものと考えられる。この変動を除去するために 4 組の日平均潮位差について 15 日間の移動平均をして平滑化した曲線が Fig. 5 である。同図の曲線は、他の影響がほとんどないと仮定するならば、潮位を媒介とした 2 検潮室間の地面の垂直変動を示しているものと考えられる。さらに精密水準測量結果との比較のため、日平均潮位差より月平均潮位差を求め Fig. 6 に示した。桜島周辺の場合、単に 2 点の日平均潮位差をとるだけでは 4cm 程度以下の垂直変動を検出するのは困難であり、潮流の影響と考えられる約 2 週間周期の変動を除去するなどの操作をほどこさなければならないことがわかった。

3. 2

鹿児島港と袴腰の検潮資料より 1960 年から 16 年間の月平均潮位差を求めた。(鹿児島—袴腰) の月平均潮位差は長期間にわたる観測の間、欠測などによってかなりばらついた値を示すので月平均潮位差について 13 カ月間の移動平均をほどこして平滑化し、Fig. 7 に図示した。同図には火山活動に伴うかなり長期にわたる鹿児島に対する袴腰の垂直変動の様子が見られている。石原²¹⁾ は (鹿児島—袴腰) の月平均潮位差と桜島内の水準測量結果より、山頂噴火活動と垂直地盤変動の関係を調べている。

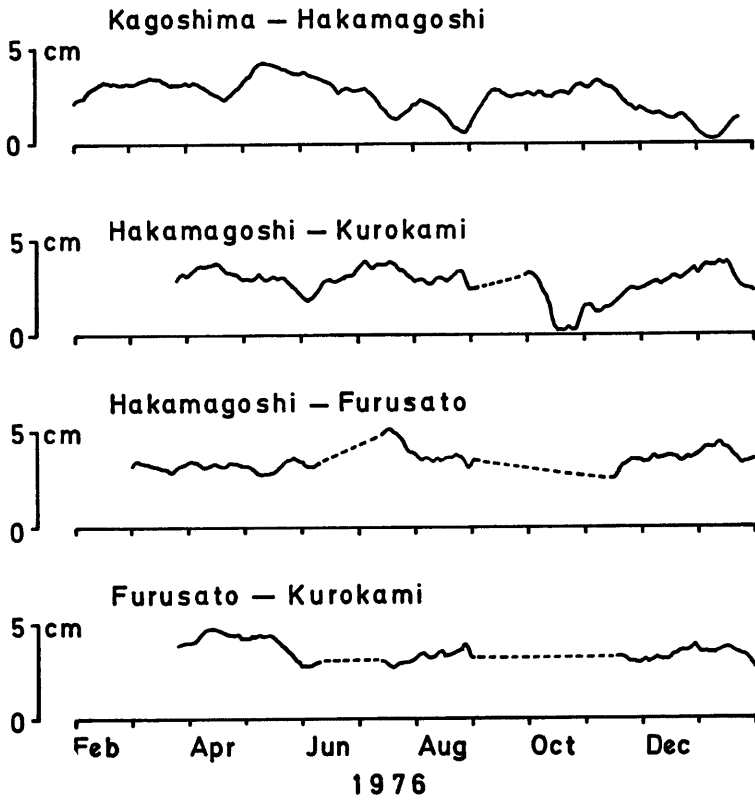


Fig. 5. Variations of differences of daily mean sea levels between each two stations smoothed by the running mean for 15 days.

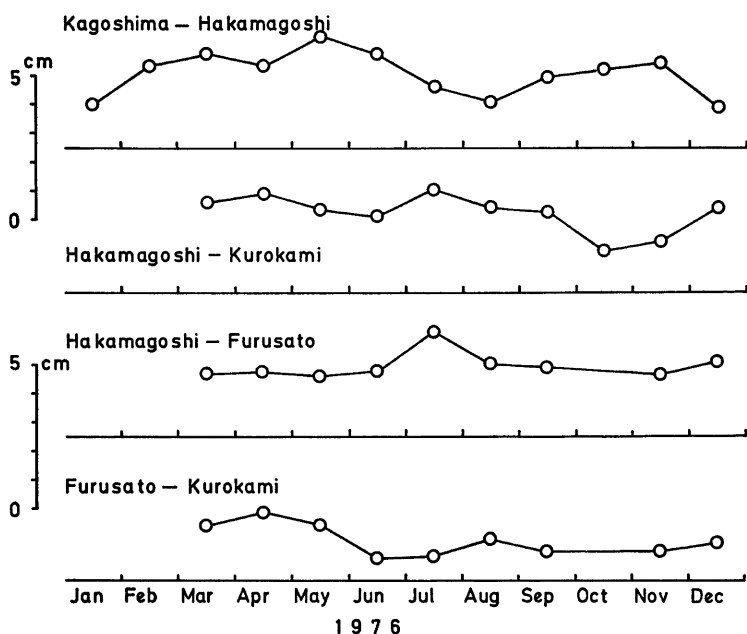


Fig. 6. Variations of differences of monthly mean sea levels between each two stations.

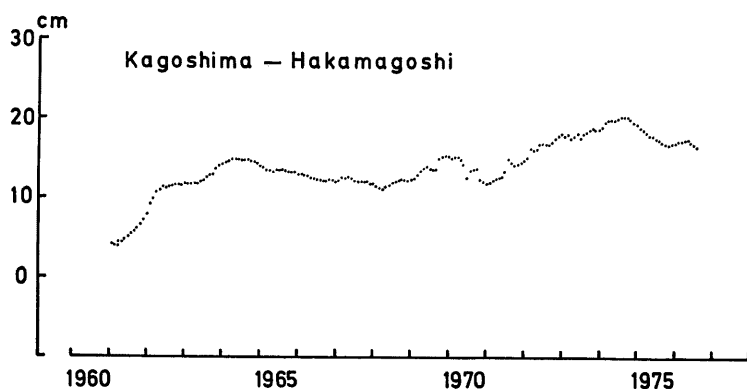


Fig. 7. Variations of differences of monthly mean sea levels between Kagoshima and Hakamagoshi smoothed by the running mean for 13 months.

4. 検潮観測と水準測量による垂直変動量の比較

桜島およびその周辺の水準測量路線と各検潮観測室の位置を Fig. 8 に示した。

4.1 袴腰～古里

袴腰 (S. 17) と古里検潮水準点とを結ぶ水準測量は 1976年9月と11月に実施した。測量器機は Zeiss, Ni 2 自動水準儀 (No. 59494) と 5mm 平行平面板 マイクロメーターおよび 3m インバール水準標尺である。各水準点間の往復誤差は一等水準測量の許容誤差以内である。

上記の2回の測量によって袴腰に対する古里検潮水準点の相対的垂直変動量は、同期間内に -3.7mm と測定された。一方、Fig. 6 に示したように、検潮観測による同期間の月平均潮位差の変化量より袴腰に対して古里は -3mm 変動したことになる。1976年9月10日、17号台風の高潮によって古里検潮儀のフロートが流され、その後10月31日まで欠測した。検潮観測を復活したときに検潮観測基準面を欠測前と同一に保ったので、欠測の前後の検潮資料は連続している。1976年9月から11月に至る期間の検潮観測による袴腰に対する古里の垂直変動量 (-3mm) と水準測量結果による両所間の変動量 (-3.7mm) とは良い一致を示した。

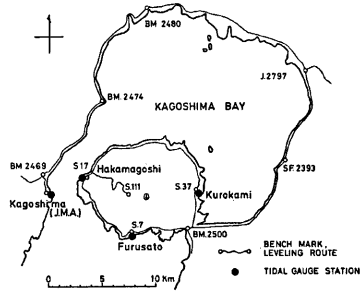


Fig. 8. Distribution of levelling routes and tidal gauge stations in and out of the Volcano Sakurazima.

4.2 袴腰～黒神

袴腰と黒神検潮水準点間の水準測量は、1975年12月と1976年11月に行なわれた桜島一周の水準測量の際に黒神の水準点 S. 37号より分岐して測量を実施した。袴腰に対して黒神検潮水準点は、同期間内に 19.0mm 沈降したことが測定された。一方、1976年3月から11月までの間の月平均潮位差の変化量より、黒神は 13mm の沈降となる。黒神の昭和溶岩流付近は、過去18年間の水準測量によると袴腰に対して年間 15mm 程度の速度で沈降を続ける特異な地区である。黒神検潮水準点に取つた最初の測量時期と検潮観測の開始が3カ月ずれていることを考慮すれば、前記の水準測量結果 (-19.0mm) および検潮観測による黒神の沈降量 (-13mm) は検潮の観測誤差範囲内 (2cm) ではほぼ一致している。

古里と黒神の各検潮水準点間の水準測量は1976年11月に最初の測量を行なったので、ここでは水準測量結果との比較はまだできない。

4.3 鹿児島～袴腰

Fig. 8 に示したように、BM. 2469 (鹿児島市) より鹿児島湾北部を一周し BM. 2500 (桜島口) を経由して袴腰に至る間の水準測量結果より、鹿児島市側と袴腰間の相対的垂直変動量を求めることができる。鹿児島湾北部を一周する最近の水準測量は1968年に国土地理院が実施している。1975年にはJ. 2797 (亀割峠) より桜島口までは京都大学防災研究所が、亀割峠より鹿児島市方面は国土地理院が測量を実施している⁸⁾。BM. 2500 と S. 17 (袴腰) の間は京都大学防災研究所が1965年と1975年に測量を行なっている。これらの水準測量結果より求めると、1968年から1975年の間に BM. 2469 に対して袴腰は 72mm の隆起であった。

Fig. 7 に示したように13カ月の移動平均を行なって平滑化した (鹿児島～袴腰) の月平均潮位差より、1968年から1975年にかけての年平均潮位差の変化量を求め、垂直変動量とみなすと、同期間に袴腰は鹿児島に対して 57mm の隆起となった。水準測量と検潮観測による1968年から1975年に至る間の垂直変動量には 15mm の差がある。これは水準測量の実施時期が不統一であることや水準測量誤差および両所の検潮観測誤差 ($2\sim 3\text{cm}$) から考えてほぼ説明のつく差である。したがって鹿児島に対して袴腰の土地は、少なくとも1968年から1975年にかけては、Fig. 7 に示したような変動に近い垂直変動を行ってきたものと考えら

れる。なお、検潮資料より桜島の垂直変動を調べるのに際し、潮流の年周変化の影響についても今後検討すべき問題である。

5. ま と め

桜島内の袴腰、古里および黒神の検潮資料、ならびに鹿児島港の検潮資料より、桜島周辺の地殻の垂直変動量を検出することを行なった。さらに水準測量の結果として測定された垂直変動量と比較検討し、次の結果がえられた。

(1) (袴腰—古里) と (古里—黒神) の各組合わせの単に 2 点の日平均潮位差をとるだけでは潮流の影響と考えられる振幅 4cm 以下で約 2 週間周期の変動が現われる。

(2) (袴腰—古里) と (袴腰—黒神) の各組合わせの月平均潮位差の変化量と水準測量によって測定された垂直変動量とを比較した結果、両者は検潮観測の誤差 (2cm) 内で一致した。

(3) (鹿児島—袴腰) の年平均潮位差の変化量と 1968 年～1975 年に実施された水準測量によって求められた垂直変動量とを比較した。水準測量時期の不統一および水準測量誤差の問題が残るが、両者は検潮観測の誤差 (2～3cm) 内で一致した。

おわりに、検潮観測の諸設備の準備から資料の検討に至るまで、終始御指導をいただいた加茂幸介教授に厚く感謝の意を表します。検潮観測、資料整理ならびに水準測量には石原和弘氏、中村貞美氏をはじめ桜島火山観測所の諸氏の御協力をいただいた。古里と黒神の検潮井工事は鹿児島県と鹿児島市の御尽力によるものである。鹿児島港の検潮資料は鹿児島地方気象台よりいただいた。また、この研究経費の一部は文部省科学研究費によった。併せて感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) Ōmori, F: The Sakura-jima Eruptions and Earthquakes II, IV, VI, Bull. Imp. Earthq. Inves. Comm., Vol. 8, 1916, 1920, 1922, pp. 134-151, 333-343, 508-511.
- 2) 江頭庸夫、石原和弘：桜島および始良カルデラ周辺の地殻変動と火山活動、自然災害特別研究、桜島火山の総合調査報告 (昭和49年12月～昭和50年3月), 1975, pp. 19-24.
- 3) 江頭庸夫：火山性地殻変動(Ⅲ)始良カルデラ周辺の地殻変動と桜島の火山活動、火山第2集, 第12巻, 1967, pp. 80-88.
- 4) 佐野凌一：月平均潮位の年周変化について、地震, 第2輯, 第5巻, 1952, pp. 116-121.
- 5) 津村建四朗：平均潮位の差から求めた地殻変動の研究, 地震第2輯, 第10巻, 1957, pp. 67-78.
- 6) 津村建四朗：日本沿岸の平均海面およびその変動の研究(Ⅰ)―潮位変化の地域分布―、測地学会誌, 第9巻, 1963, pp. 49-79.
- 7) 石原和弘：桜島火山の地殻変動について(Ⅰ), 京都大学防災研究所年報, 第19号, B-1, 1976, pp. 75-80.
- 8) 国土地理院：桜島付近一等水準点の上下変動, 火山噴火予知連絡会会報, 第7号, 1976, pp. 8-9.