

桜島火山持木水位観測井における地下水位

火山活動研究センター
園田 忠 惟

1．はじめに

桜島火山の歴史時代の大噴火においては井戸水の異常上昇などの前兆現象が、記録されている。火山活動研究センター（当時の桜島火山観測所）では火山活動と地下水との関係を調べるために、昭和 52（1977）年から桜島の持木水位観測井において地下水位観測を始めた。1983 年 1 月から 1989 年 12 月まで 7 年間の地下水位については、すでに石原・他（1999）により報告されている。本稿では、さらにその後も継続されている観測データも含め、持木水位観測井における水位観測について報告する。



筆者近影

2．桜島の噴火

桜島火山は日本の火山の中でも最も活動の活発な火山のひとつである。桜島は、歴史時代に少なくとも 4 回にわたり山腹から溶岩を流出した。室町時代の文明 3～8（1471～1479）年の文明噴火、江戸時代後期の安永 8～9（1779～1780）年の安永噴火、それに大正 3（1914）年の噴火は、桜島の 3 大噴火といわれている。また昭和 21（1946）年にも大正 3 年の 1/10 程度の溶岩を流出した。

「日本の自然災害」によると、安永 8（1779）年 9 月末、午後 2 時頃、南岳山腹の標高 700m 付近から、大音響とともに爆発が起きた。翌 2 日の早朝からは大量の噴石が降り注ぎ、やがて溶岩も流出したほか、軽石・火山灰・火山岩塊など火山碎屑物を噴出し、麓の各村落では溶岩と噴石によって多数の家が焼失した。火山灰は多い所では 2 m 以上も積もり、軽石も 2～3 m の厚さに積もった。そのほか海底噴火も発生し、翌年にかけて北東の海中に 9 個の新島が生成された。噴火に際して各種の前兆現象があったこと、そして噴火は、安永 9（1780）年 10 月までの 1 年間で最も最盛期であったことが認められる。特筆すべき動物の異常行動を始め、地震の頻発、井戸水の変化など種々の前兆現象が見られたことである。噴火の前にタヌキ・キツネ・ウサギなどの動物が山から下りてきて、麓の村落に群がったことが記録されている。これは地震の頻発や地熱の上昇、噴気の発生などの異変が山で起きたことによると推定される。全島の井戸水や浜辺の水が沸騰して流れ出したり、海水が紫色に変色したりする異変があった。このような前兆現象は大正 3（1914）年の大噴火の際にも見られた。筆者も、大正 3 年の大噴火の前兆現象で小動物が里へと下りてきたこと、井戸水の異常上昇、海水の変色など古老から聞いたことがある。

昭和 30（1955）年 10 月 13 日 14 時 52 分に南岳の山頂噴火活動が始まり、現在まで 46 年間山頂噴火活動が継続している。その間 2001 年 10 月末現在で、爆発回数は 7616 回を数え

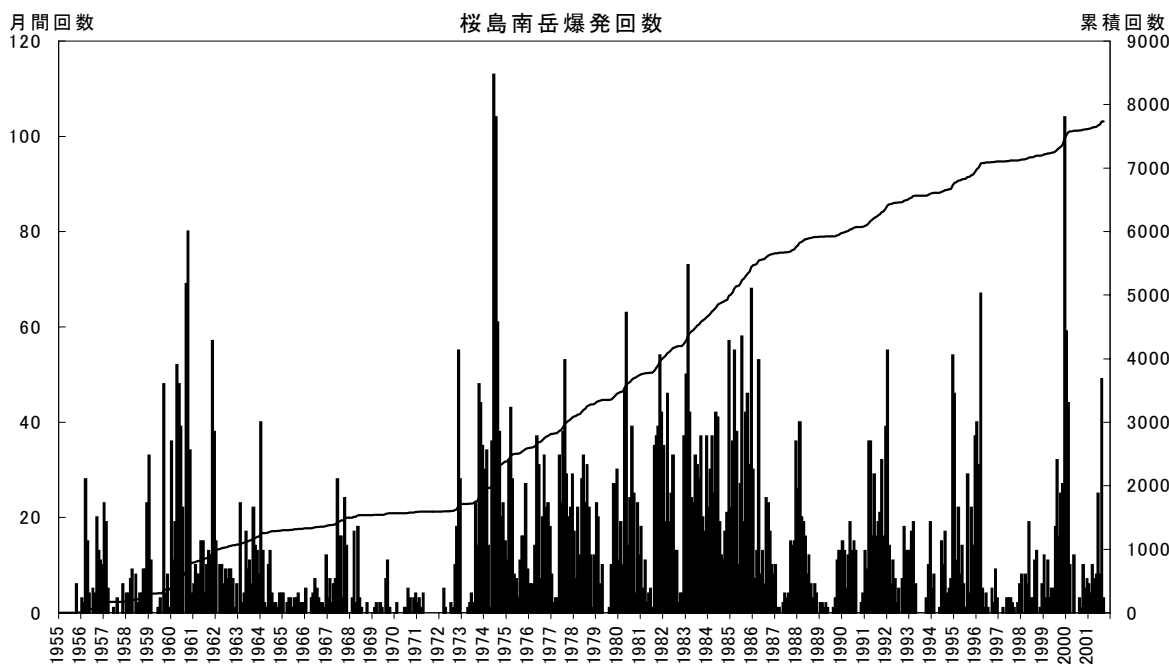
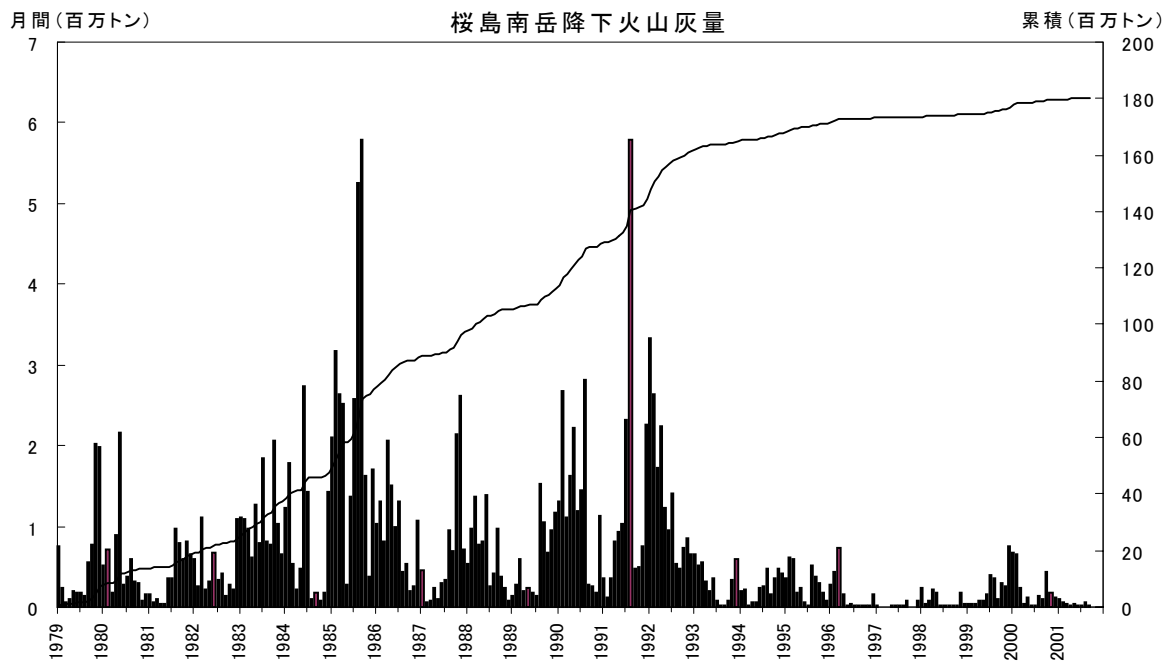


図 - 1 桜島南岳から噴出した推定降下火山灰量と桜島南岳の爆発回数。

る。図 - 1 に、鹿児島県による降下量調査資料をもとに推定された南岳火口より噴出した降下火山灰の月別推定量と、桜島南岳の爆発回数を示す。南岳火口より噴出した降下火山灰量は、調査開始（1978年6月）から1992年までの15年間に、年間約1000万トン前後の割合であったが、1993年以降急速に減少して年間120万トン前後の割合になっている。1992年までの南岳の活発な火山活動時の爆発に伴う火山灰の噴出量は、連続して多かったのが1993年以降は減少している。一方1992年まで南岳の爆発回数が多い状態が続いていたが、1993年以降は少し減少しているように見える、年によっては多い時もある。

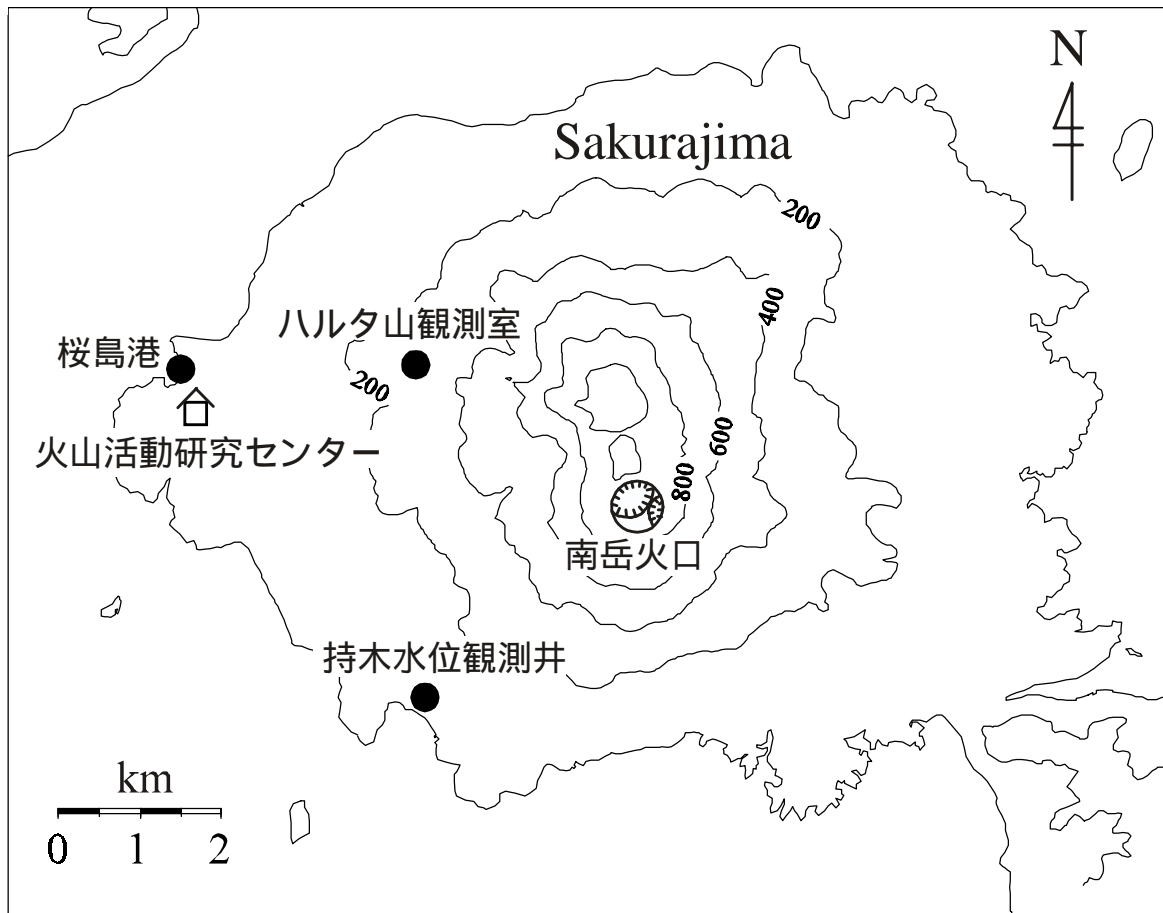


図 - 2 持木水位観測井の位置。潮位データは桜島港、雨量データはハルタ山観測室で得られたものである。

3 . 持木水位観測井

持木水位観測井は、桜島南岳山頂火口から南西方向に約 3.5 km 離れた鹿児島市の持木地区の海岸から約 200m 入った標高 59m の地点に掘削された深度 99m のボーリング孔である（図 - 2）。このボーリング孔は、もともと鹿児島市が昭和 49（1974）年桜島地区の灌漑用水のため掘削したものが、時間と経費を費やしたにもかかわらず持木地区（燃えているのか）は、水温が高く灌漑用水として適さなかった。近辺でも 2～3 箇所ボーリングを試みたが、何故かうまくできなかった。一方桜島の西半分を占める桜島町では灌漑用水として標高 180m の地点にボーリングし立派に活動している。また夏季でも水道利用の制限をされたことは記憶にないし良い水脈に恵まれているようだ。

昭和 52（1977）年当時の桜島火山観測所長の加茂幸介先生が、この持木地区の掘削されたボーリング孔の利用を桜島火山活動と水位変化の観測に利用することを発案された。観測を始めるにあたって、先ず土地の借用から始めなければならない。水位観測の借用地は段々畑で、良く区画整理されまた良く手入れされている土地だったので地主との交渉がなかなかうまくいかず苦労した。しかし根気強く観測の価値を説明して契約を結ぶことができた。大学との契約書類（土地登記簿謄本、戸籍謄本、案内図、位置図、実測図、地籍図、写真他）も多いが幸いにも昭和 49（1974）年から始まった火山噴火予知 5 ヶ年計画で、観



写真 - 1 持木観測室（左：正面、右：背面）。

測室などの借用に対する土地契約等をしていたことが勉強になった。また当時は、手書による書類が多く時間を要した。

土地借用手続きもおわり観測小屋（写真 - 1）を造ることになった。研究費の節約を考え業者に依頼するより自分達で建築することにした。基礎は、河石、溶岩などかき集め、手練りでセメントを流し2日程待つ。つぎに鉄筋を入れブロックを1個々積み上げていくが、セメント練りも大変だった。ブロック壁を漸く2日掛かりで仕上げた。入り口はタルキ材とラス板で、屋根はタルキ材とラス板、屋根とブロック壁はボルトで固定した。最初は、センサーが2mほどある（株）東邦電探のESR-3型自記水質計を使用していたので、屋根の一部を50cm角程度に開閉できるようにした。最後にカートを張りようやく完成した。素人製では立派な小屋ができたことを同僚と大喜びしたことを思い出す。保守で現在まで3回程手直している。24年間も良く観測できていると思う。

最初は、電気伝導度と水位のセンサーを使用していたが、観測井の中での水温の高さか？ボーリング孔のケーシングからの赤錆などで電気伝導度の観測がうまくいかず、昭和54（1979）年10月より（株）池田計器製作所製ADR-102WP型自記水位計による水位観測だけに切り替えた。記録計は単2乾電池だけで動作するので、電気供給も廃止した。

持木水位観測井の地下水面は、孔口から55～56mにあり、孔口から約59m深の水位基準面（ほぼ平均海水面）からの水面の高さを観測する（図 - 3）。記録計の記録方式はインク書き（サイホン式）で記録される。

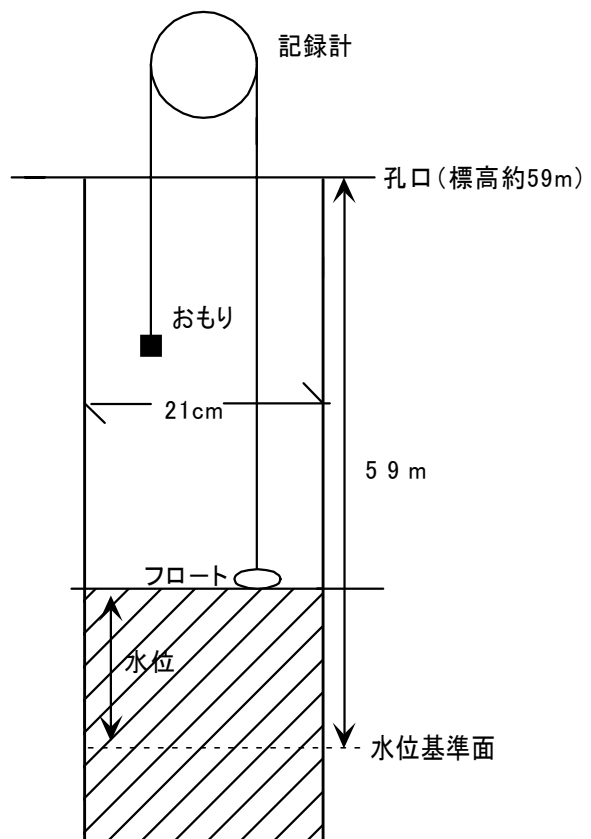


図 - 3 持木観測井の水位観測。

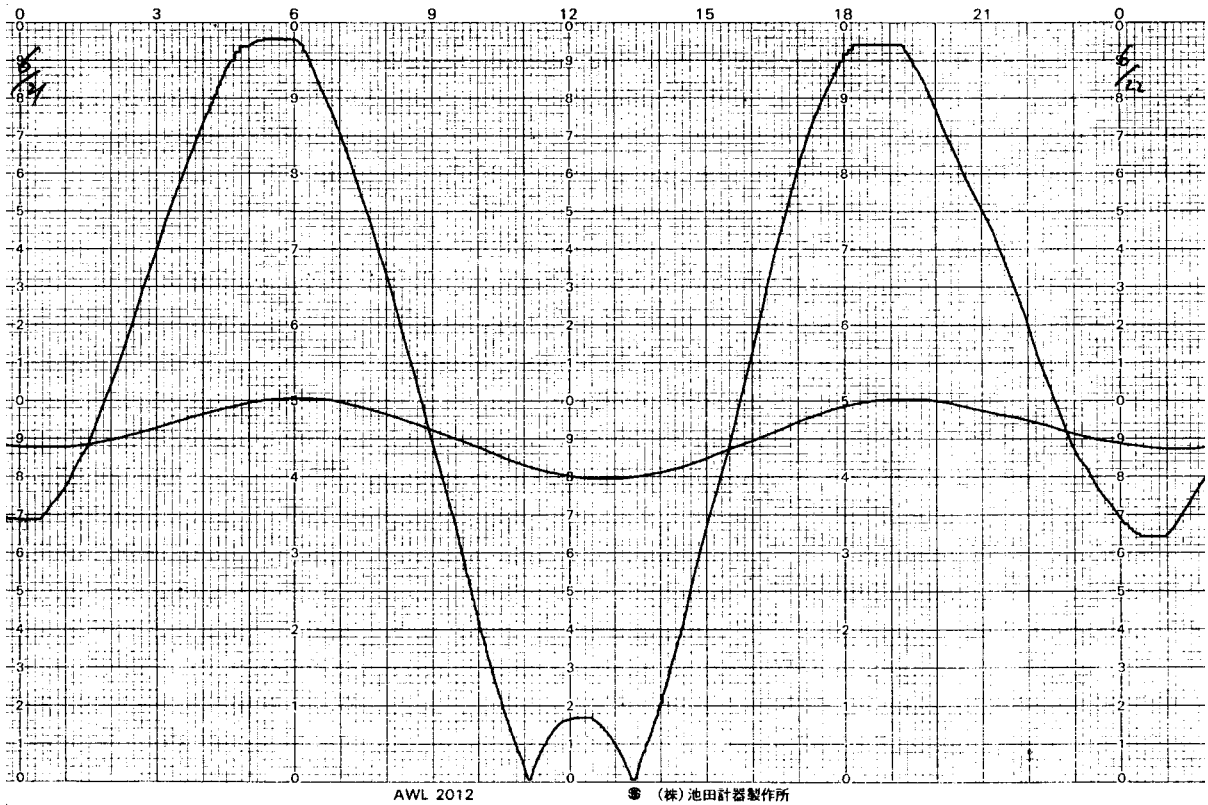


図 - 4 持木観測井で記録された大潮時の1日分の水位変化。

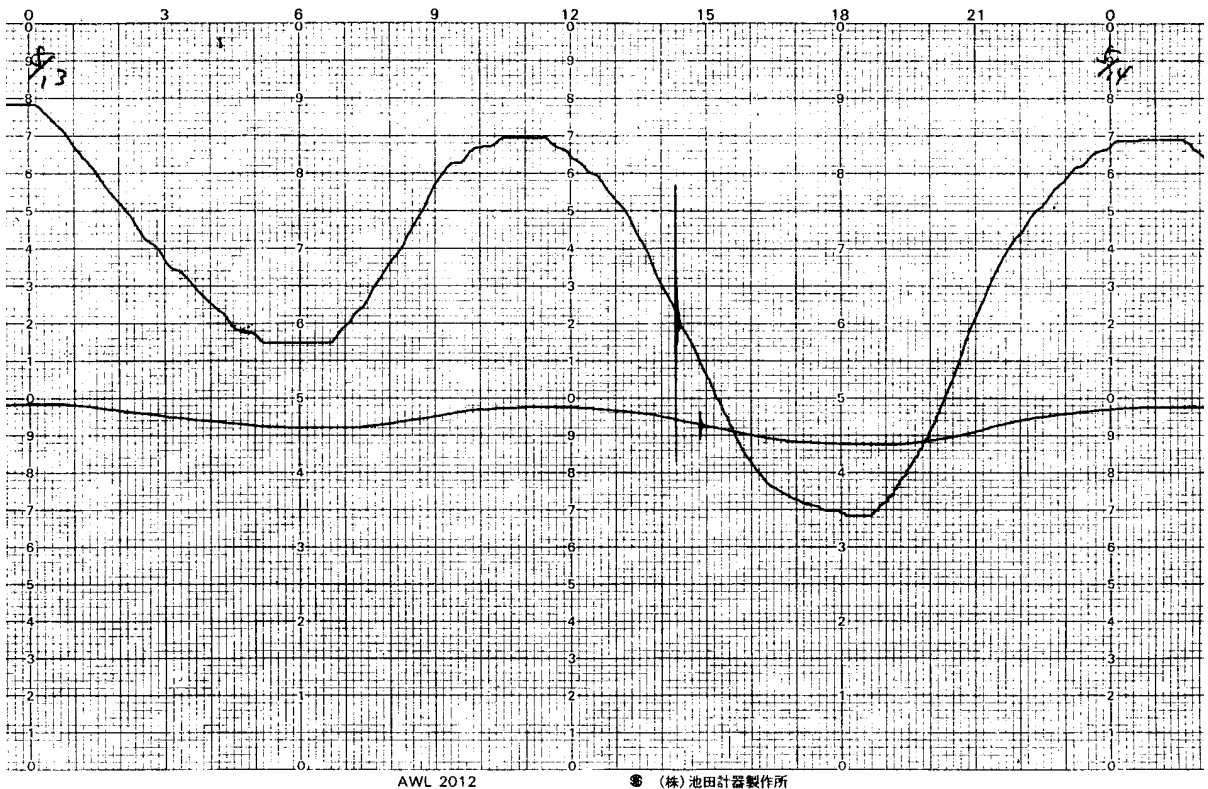


図 - 5 平成9年5月13日の記録。鹿児島県北西部地震（M6.2、鹿児島市で震度4）が記録された。

現地で連続観測して記録することは、古式的ではあるが根気がある。商用電気を使用して観測することが比較的多い現代だが、記録紙送りは、単2乾電池1個で2～3ヶ月モータ

ーが駆動している。定期的に乾電池交換しないと記録計（1ヶ月巻き）はストップしてしまう。ペン先のインク詰まりもしばしば起こる。これは、当初現地でアルコールで掃除していたが、最近では、ペン先を持ち帰り超音波洗浄器にて洗浄することにより解決できるようになった。水位観測室は、記録計・ボーリング孔と観測者が記録交換する程度の広さしかなく、狭く造ったことにより地下水面を検測するのに不便さを感じる。しかしこれは最初の地主との交渉でのことであって、観測室を設計し建築することは大事なことが理解できた。

図 - 4 および図 - 5 は、持木水位観測井における水位の記録の例である。図 - 4 は、大潮の日の記録で、約半日周期で水位が上下しており海岸から 200m 入った標高 59m の地点でも潮の干満の影響を受けていることがわかる。図 - 5 は、平成 9 (1997) 年 5 月 13 日の鹿児島県北西部地震が記録された例である。約 1 m の振幅で水位が上下している。記録の読み取りは、毎時の水位を読みとり 1 日分の平均時間値を平均し 1 ヶ月分の平均時間値を平均することにより坑口（標高 59m）からの平均水位を計算する。更に水位基準面よりの平均水位を求める。当初は、読み取りは定規をあて毎時の水位を記帳して算盤か、手廻し計算機で計算していた、次にやっと電卓の時代になり、さらにパソコン時代が来ている。時の流れを感じる。

4 . 水位の経年変化と潮位および降水量との関係

昭和 58 (1983) 年 1 月から平成 12 (2000) 年 12 月まで 19 年間の持木観測井の水位と桜島（袴腰）港の潮位月平均値、および月毎の降水量を表 - 1 および図 - 6 に示した。水位は孔口から 59m 深（ほぼ平均海面）を基準とした月平均値、潮位は袴腰潮位観測室の観測基準面（平均海面から約 1.7m 深）からの月平均値、雨量のデータはハルタ山観測室における毎月の降水量を示した。1998 年から月平均水位が、乱れているのは記録計の劣化などによることが多い。また月平均潮位の 1996 年 8 月～1998 年 4 月まで観測はされているが、読み取り不能のため月平均値を求められず欠測とした。

図 - 6 からわかるように持木観測井の水位の月平均地下水位と桜島港の月平均潮位には一年周期の変化がみとめられ、水位と潮位は同調しているように見える。その変化の幅は、月平均水位が最大幅約 20cm、月平均潮位が最大幅も約 35cm である。また、降水量が多い梅雨期は地下水位が上昇している。1993 年 8 月 1 日および 8 月 5 日夜から 6 日にかけて鹿児島県中部地方を襲った記録的な集中豪雨は、死者 40 名、不明者 25 名、国道決壊、3 石橋の流失、列車の流失、土石流、家屋の決壊、河川の氾濫による自動車の流失、鹿児島市内 95000 世帯の停電など大被害をもたらした（のちに 8.6 鹿児島水害と命名）。ハルタ山観測室の降雨量でも、1993 年 6 月から 8 月にかけて、平年の年間雨量に匹敵する 2503 ミリの雨量を観測している。持木観測井の月平均水位がこの時期に約 20cm ほど上昇していることがみられる。8 月の月平均水位は欠測（観測日数の不足から月平均を割り出すことができなかった）となっているが、若し 8 月の平均水位が計算されていればもう少し水位上昇の幅が大きかったかもしれない。このような多雨の影響は 1993 年 11 月ころまで続いている。

石原・他（1999）は 1983 年から 1989 年まで 9 年間のデータを使用し、潮位の年周変化は、その振幅の 40% に相当する振幅の水位変化を引き起こすとした。また、降水量の影響

が時間とともに指数関数的に減少するモデル（次式）を用いて $\tau = 6$ ヶ月、 $c = 0.23$ のとき水位変化をうまく再現できることを示した。

$$W = C \sum_{j=0}^{\infty} R(j) \cdot \exp(-j/\tau)$$

ここで W はある月の水位、 $R(j)$ はその j ヶ月前の降水量 ($j = 0 \sim 24$)、 τ は時定数、 C は定数である。

5. 地下水位と火山活動との関係

地下水位と火山活動との関係を調べるため、前章でみられたような潮位および降水量の影響を補正することを計った。安定してデータの得られている 1983 年 7 月までの期間について、潮位および降水量のそれぞれについて石原・他（1999）と同様の方法で水位と最も相関のよくなる係数を求めた。その結果、潮位変化と水位変化の比例定数 $K = 0.38$ 、水位と降水量について $\tau = 4.3$ ヶ月および $C = 0.25$ と石原・他とさほど変わらない値が得られた。図 - 7 にこれらの係数を用いて潮位変化と降水の影響を補正した地下水位と桜島南岳から噴出された推定降下火山灰量を示す。

補正した月平均値水位は、1983 年以来徐々に上昇していたが 1992 年 10 月ごろから下降に転じている。これは、1992 年後半ごろから桜島の火山活動が、やや穏やかになってきていることと対応しているようにみえる。火山活動の静穏化にともなう圧力変化が、このような水位変化に現れているのかもしれない。

なお、記録的な多雨であった 1993 年 6～7 月に月補正水位が下降しているのは、多量の降雨が地下に浸透せず地表を流れる水の割合が大きいために過補正になっているためと考えられる。

6. おわりに

地下水位と桜島の火山活動との関係は密接であり、20 年以上に渉って連続観測することによりいろいろな変化をみることができた。現在の水位計は、設置以来 19 年を経て老朽化が進み欠測が時々ある。またペン書きのみの記録は読み取りやデータの解析に時間を要する。今後は、観測をロガー方式、解析を電算化する体制に入りたい。参考までに、2001 年編集による火山活動研究センターの火山観測施設、研究、共同研究、研究成果を添付する。

謝辞

技術報告書作成にあたり助言していただいた火山活動研究センター石原和弘教授、資料提供していただいた井口正人助教授、資料提供、助言、資料作成していただいた味喜大介助手に深く感謝しお礼申し上げます。

参考文献

日本の自然災害（力武常次・竹田 厚 監修）：国会資料編纂会、1998、p 397 - 399。
石原和弘・園田忠惟・江頭庸夫：桜島火山の地下水・熱水系に関する研究、1999、p 9 - 18。

持木観測井月平均水位 単位:cm

年月	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	平均値
1月	318.7	327.8	316.7	318.8	328.9	330.4	333.2	336.4	330.3	337.4	338.7	350.5	---	326.0	341.5	320.3	338.0	328.7	349.3	331.8
2月	320.9	325.1	324.5	321.6	324.4	332.2	331.0	331.2	334.0	334.0	329.0	341.9	359.0	320.8	342.3	317.5	336.9	347.1	321.2	331.3
3月	325.6	324.1	323.4	329.6	328.6	338.4	336.4	336.2	335.4	339.9	337.8	339.5	350.3	323.4	342.1	352.9	318.5	350.0	330.1	334.9
4月	329.2	328.5	322.2	328.0	333.2	337.9	337.0	345.0	335.7	347.8	342.0	348.3	348.8	323.8	335.0	362.6	346.0	359.1	353.3	340.2
5月	339.5	330.7	329.1	325.3	338.1	337.7	340.5	340.7	335.0	345.2	341.0	347.6	347.2	332.0	357.4	369.7	341.8	356.1	359.4	342.8
6月	355.7	335.8	337.6	332.0	343.2	345.3	342.1	345.2	341.6	---	341.2	349.6	349.8	343.0	354.4	357.1	342.5	349.6	337.0	344.6
7月	358.6	336.6	345.7	342.7	350.1	348.2	353.9	344.2	352.7	361.5	358.1	349.1	352.5	---	353.8	321.8	357.9	341.6	340.0	348.3
8月	354.3	335.8	341.4	349.3	351.8	350.3	366.6	343.2	355.9	358.2	---	---	342.6	348.0	347.0	359.3	355.8	360.2	358.5	351.7
9月	350.2	338.4	332.2	349.2	350.0	351.7	357.8	348.3	355.5	360.3	379.9	342.1	345.9	364.1	335.7	351.6	354.6	350.4	---	351.0
10月	346.6	343.1	336.4	333.2	348.2	354.6	350.9	350.7	356.7	356.9	362.0	335.1	342.2	356.9	314.1	342.7	366.9	368.1	---	348.1
11月	335.6	336.0	335.7	329.8	339.9	339.3	347.5	345.4	345.5	348.7	349.4	326.0	330.5	352.8	310.4	355.4	342.3	345.2	---	339.7
12月	331.5	327.2	321.1	338.5	339.0	333.4	347.4	---	342.7	335.8	344.9	322.5	331.8	342.5	311.6	364.4	365.7	355.9	---	338.6
年平均値	338.9	332.4	330.5	333.2	339.6	341.6	345.4	342.4	343.4	347.8	347.6	341.1	345.5	339.4	337.1	347.9	347.2	351.0	343.6	341.8

桜島港月平均潮位 単位:cm

年月	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	平均値
1月	157.6	160.7	154.2	157.1	169.1	162.9	166.3	170.3	165.5	173.3	176.3	181.7	173.4	168.8	---	---	176.0	181.2	---	168.4
2月	159.1	157.6	163.1	159.8	162.7	165.5	162.2	164.4	169.0	168.0	164.3	171.5	175.5	162.2	---	---	169.4	180.5	---	165.9
3月	164.7	158.0	162.1	169.7	167.5	173.8	169.3	171.2	172.3	177.5	175.4	170.6	171.0	166.6	---	---	186.5	181.6	---	171.1
4月	163.0	166.1	161.4	168.6	171.4	174.7	173.0	181.0	174.8	185.3	181.2	184.0	175.5	168.7	---	---	187.6	178.1	---	174.7
5月	174.4	172.4	173.6	166.4	177.8	176.0	179.7	175.1	175.9	183.1	179.7	180.1	183.4	180.9	---	190.1	183.2	187.3	---	178.8
6月	187.7	183.0	186.4	177.0	185.8	186.0	183.4	187.4	186.4	189.9	175.5	185.4	188.0	185.7	---	207.9	197.8	191.9	---	187.4
7月	188.1	184.6	190.7	189.6	189.1	191.0	196.9	195.0	194.5	193.4	194.7	194.4	186.4	195.5	---	208.0	206.2	203.4	---	194.2
8月	192.5	186.4	193.7	202.5	193.1	194.2	211.5	205.3	212.9	197.5	202.3	204.6	188.3	---	---	199.2	213.0	208.9	---	200.4
9月	192.7	186.2	182.9	197.7	---	190.7	205.9	202.7	205.6	206.0	203.3	204.5	198.2	---	---	209.0	213.4	215.5	---	201.0
10月	185.8	---	187.2	180.6	192.5	197.2	193.5	193.7	204.4	203.9	200.1	196.2	194.3	---	---	206.6	217.1	201.9	---	197.0
11月	171.4	181.7	182.4	174.2	176.5	174.8	189.0	185.9	185.7	190.3	177.9	184.3	176.8	---	---	195.8	206.8	193.9	---	184.2
12月	166.2	169.3	161.5	183.5	174.0	166.9	186.7	166.5	181.5	173.2	173.4	175.2	177.2	---	---	182.1	179.9	186.5	---	175.2
年平均値	175.3	173.3	174.9	177.2	178.1	179.5	184.8	183.2	185.7	186.8	183.7	186.0	182.3	175.5	---	199.8	194.7	192.6	---	183.1

ハルタ山観測室月間降水量 単位:mm

年月	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	平均値
1月	78.5	47.0	27.0	38.0	87.0	20.0	148.0	144.0	38.5	65.5	90.5	88.5	46.0	78.0	34.5	183.5	35.0	63.0	90.0	73.8
2月	118.0	66.0	240.0	9.0	60.0	80.0	251.0	223.0	126.0	62.0	96.0	120.0	88.5	49.5	57.5	148.0	95.0	46.5	95.0	106.9
3月	353.5	145.0	268.0	125.0	291.0	183.0	129.0	198.0	188.5	357.0	177.5	117.5	155.0	130.0	171.0	148.0	210.0	116.0	100.0	187.5
4月	480.0	205.0	121.0	174.0	241.0	228.0	101.0	251.5	41.0	223.5	151.0	423.0	404.0	170.0	149.5	440.5	136.0	161.0	171.0	224.8
5月	444.0	172.0	179.0	252.0	220.0	227.0	337.0	314.5	246.0	85.0	203.5	113.0	276.0	142.5	130.5	351.5	284.0	287.5	75.5	228.4
6月	642.0	373.0	169.0	400.0	147.0	472.0	310.0	495.5	418.5	635.5	816.0	491.5	728.0	380.5	380.5	503.5	641.0	655.0	464.5	480.2
7月	370.0	145.0	342.0	321.0	596.0	279.0	590.0	145.0	141.5	321.0	1075.0	62.0	253.5	522.0	360.5	197.5	334.0	404.0	187.5	349.8
8月	206.0	320.0	287.0	93.0	296.0	643.0	190.0	186.0	329.0	293.0	615.0	181.5	249.5	50.0	156.5	72.5	507.5	469.0	66.5	274.3
9月	496.0	130.0	120.0	248.0	154.0	296.0	324.0	231.5	170.5	17.5	296.5	23.5	142.0	96.5	318.5	156.0	290.5	193.0	421.0	217.1
10月	97.0	49.0	118.0	95.0	412.0	38.0	22.0	202.0	45.5	24.0	74.5	30.5	110.0	13.5	21.5	313.5	49.5	208.5	---	106.9
11月	20.0	40.0	46.0	28.0	150.0	66.0	31.0	84.5	49.0	34.0	71.5	32.5	69.5	57.0	128.5	51.5	45.5	96.0	---	61.1
12月	23.0	45.0	35.0	99.0	50.0	34.0	33.0	32.0	74.0	95.0	86.0	92.0	3.0	92.5	86.0	9.5	14.0	69.0	---	54.0
年平均値	332.0	173.7	195.2	188.2	270.4	256.6	246.6	250.7	186.8	221.3	375.3	177.5	252.5	178.2	199.0	257.5	264.2	276.5	167.1	235.2

表 - 1 持木観測井における月平均水位、桜島港における月平均潮位、およびハルタ山における月間降水量(1983年1月~2001年9月)

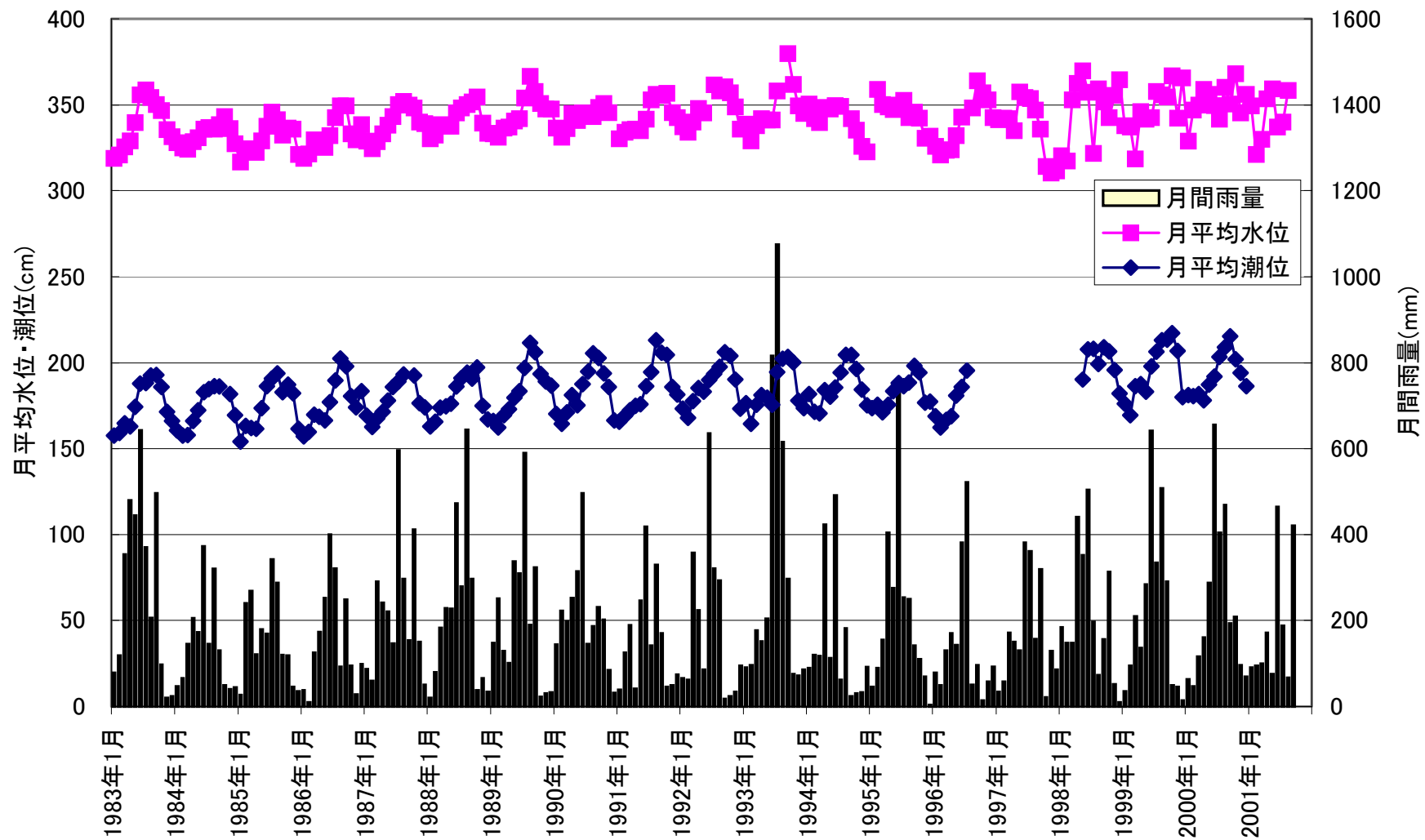


図 - 6 持木観測井における月平均水位、桜島港における月平均潮位、およびハルタ山における毎月の降水量（1983年～2000年）。

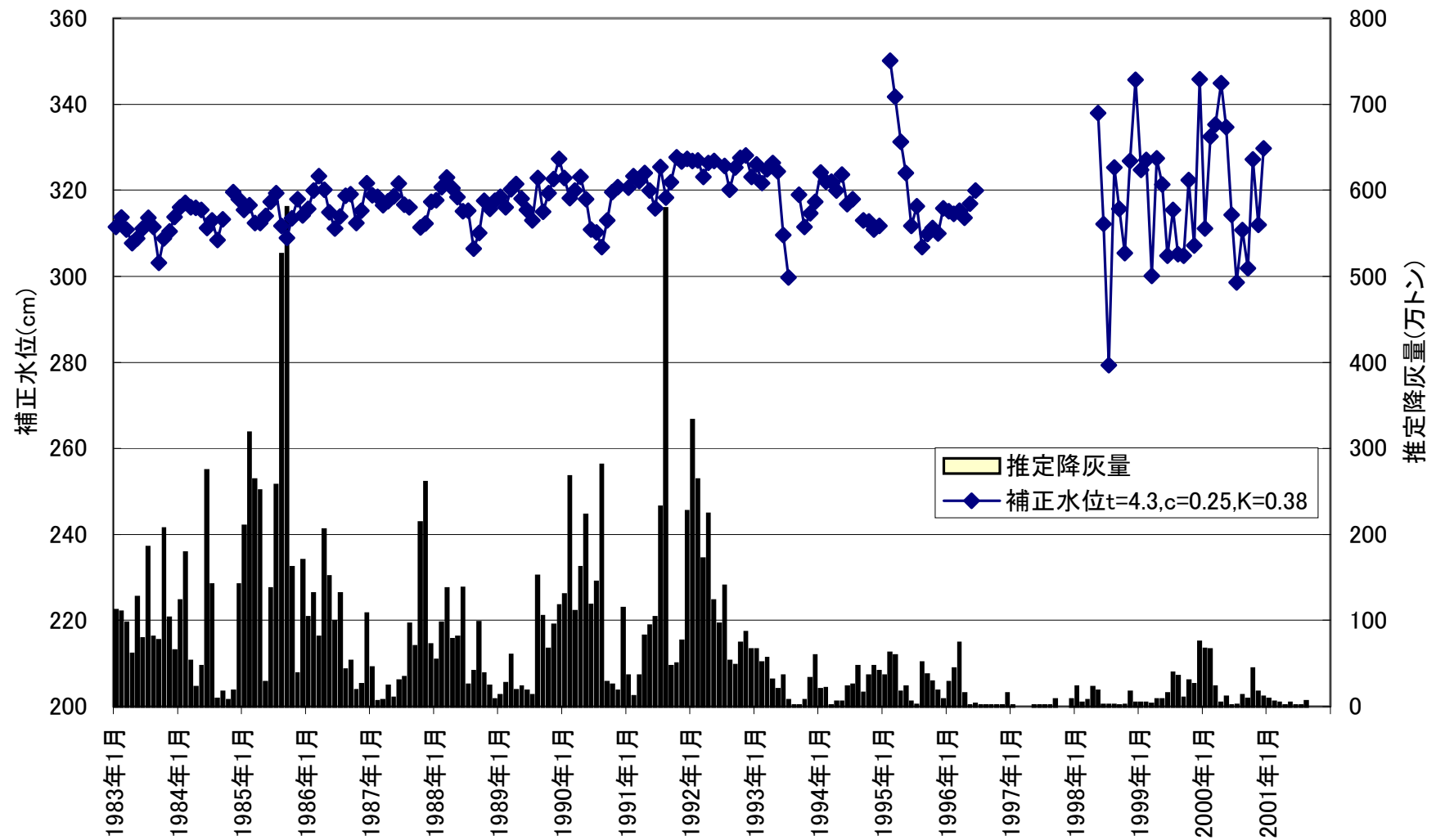
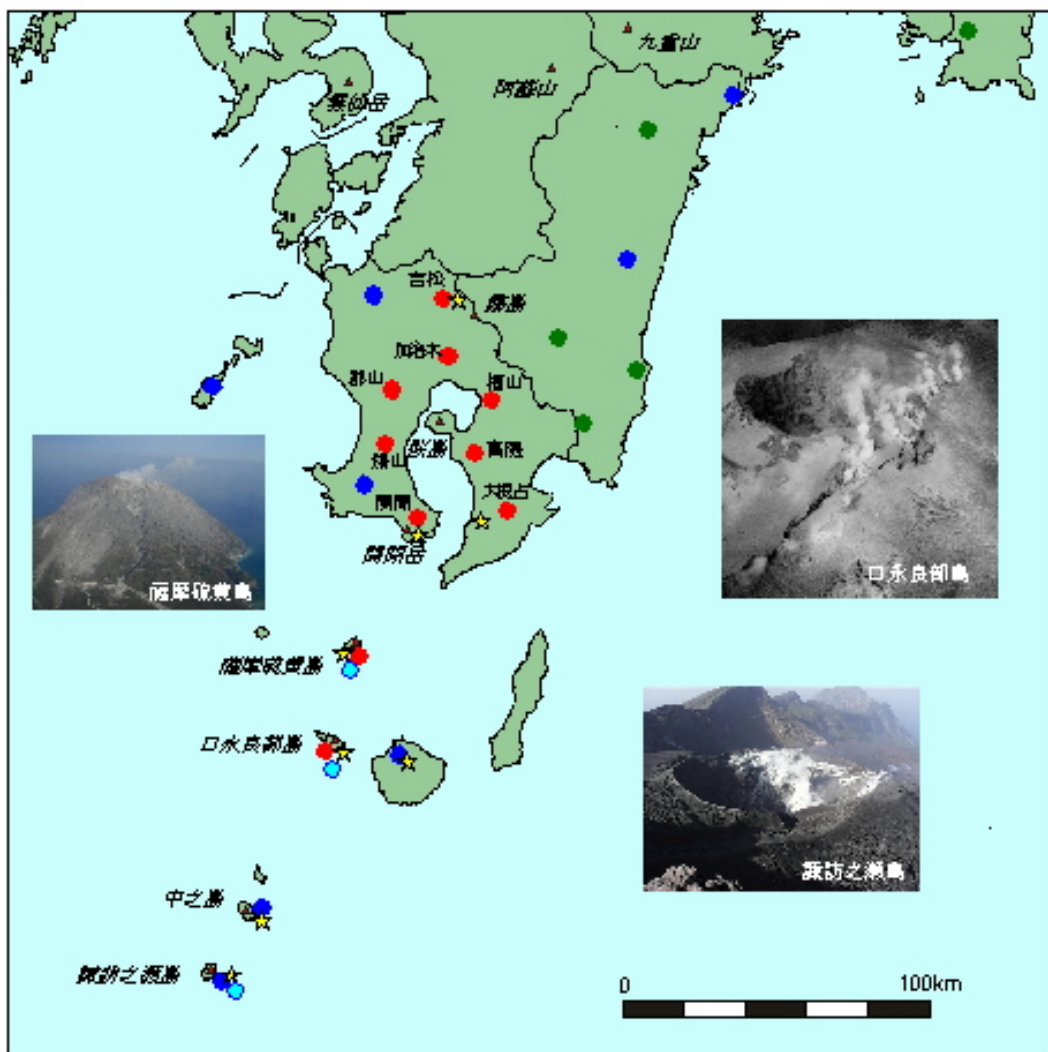
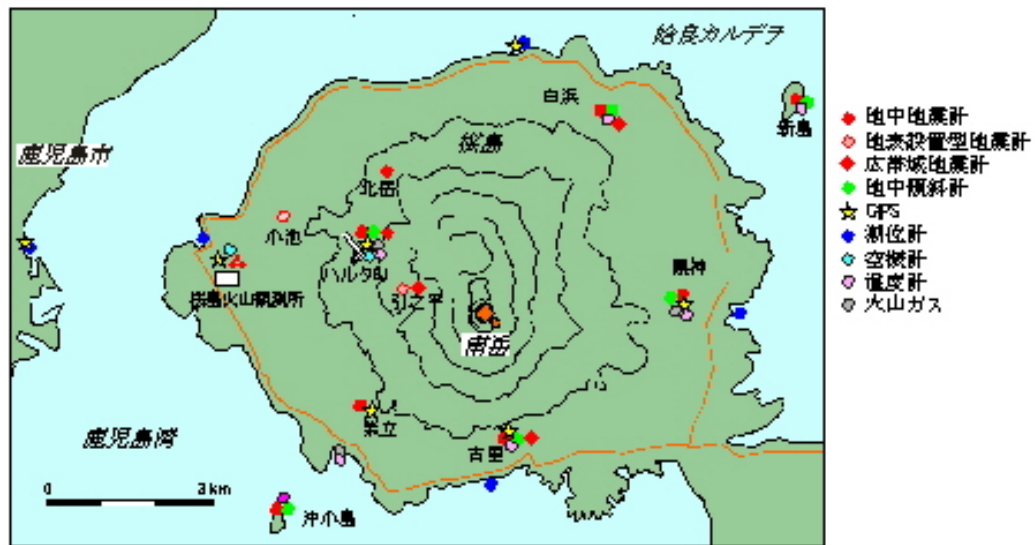


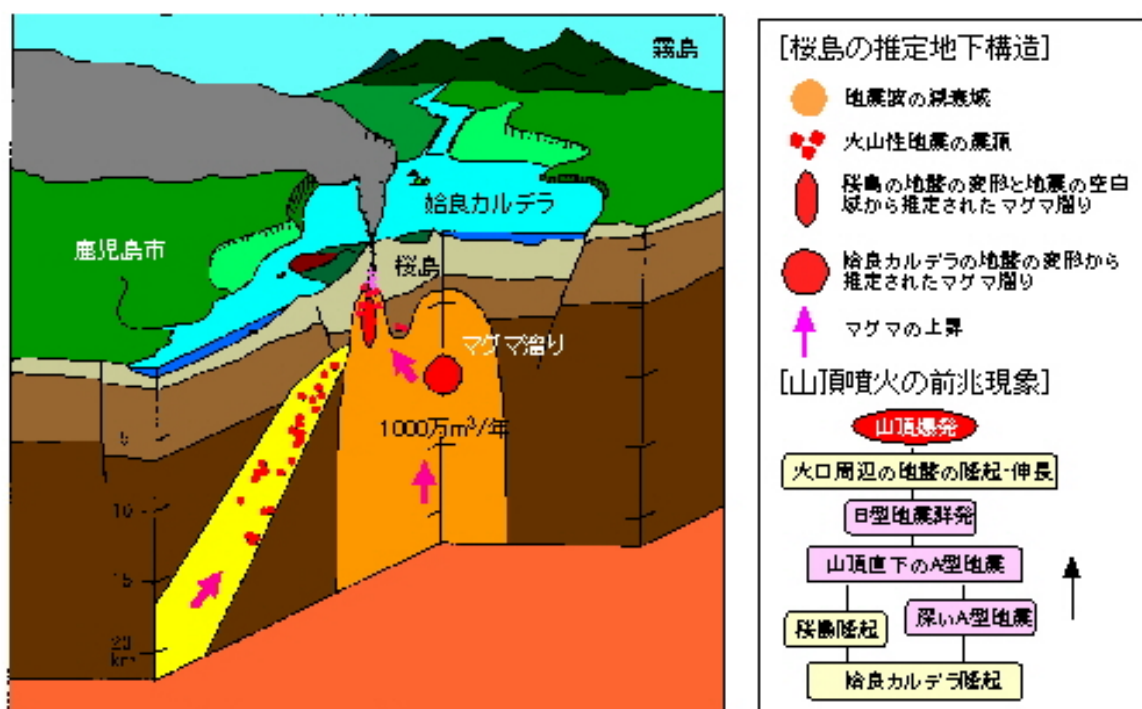
図 - 7 持木観測井における補正月平均水位と桜島南岳から放出された推定月間降灰量。

火山観測施設



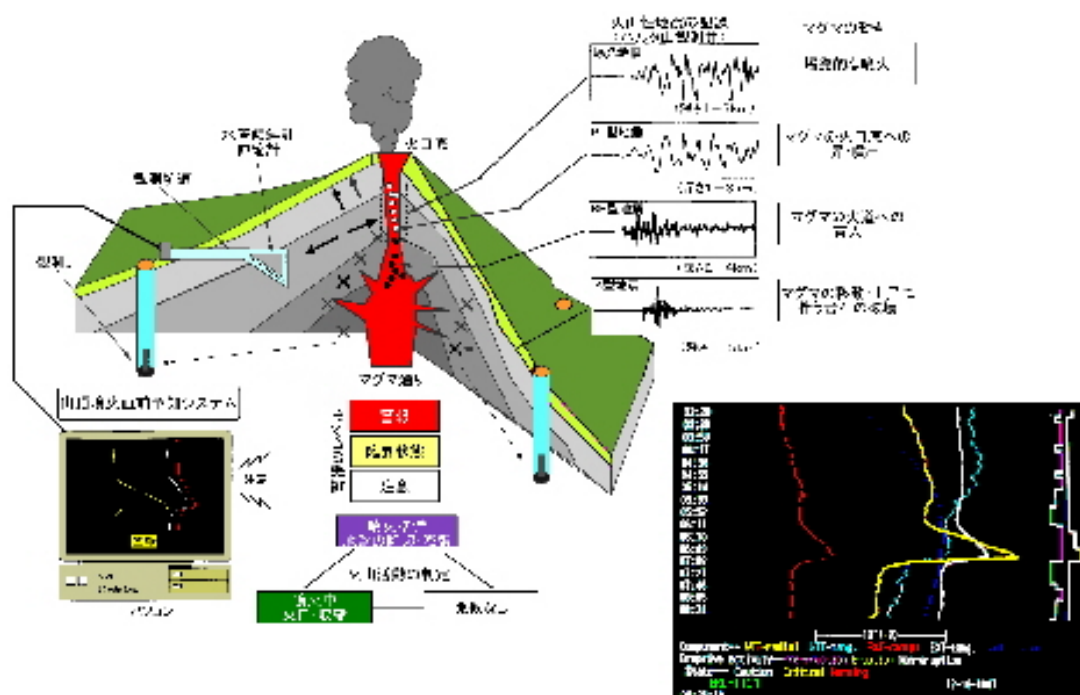
- 地震計(常時検続)
- 地震計(ダイヤルアップ検続)
- 地震計(地震予知研究センター宮崎観測所)
- ☆ GPS(霧島火山帯変動観測設備)
- 空機計

研究成果

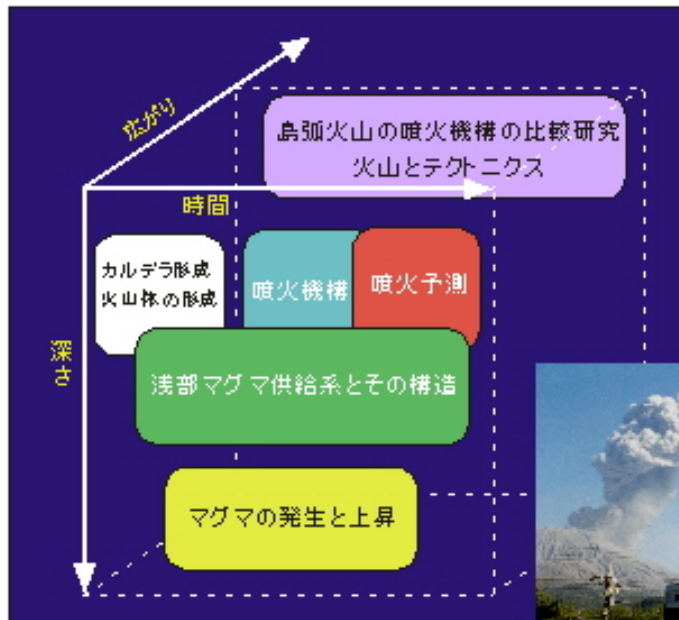


桜島火山のマグマ供給システムの巨視的モデルと山頂噴火の前兆現象

始良カルデラの深さ10km付近の主マグマ溜りへ年間約1000万立方メートルのマグマが供給されている。そこから南岳直下深さ8kmのマグマ溜りへマグマが上昇する。マグマの上昇に伴い、A型地震が発生する。また、火道内を火口唇までマグマが上昇するときにB型地震が群発し、爆発的噴火活動が活発化する。



火山活動研究センターの研究・共同研究



国際共同研究(1993年～2003年)
インドネシア・ジャワ島における火山噴火
機構とテクトニクスに関する研究
(インドネシア火山調査所)



防災研究所の共同研究(共同利用)

共同研究

- 桜島火山の地下水・熱水系に関する研究(平成9・10年)
- 波形インバージョン法による火山噴火の力学的モデルの構築(平成9年)
- 始良カルデラ噴出物の年代学的・岩石学的研究(平成9年)
- 絶対重力計・相対重力計の併用による、桜島の火山活動にともなう山体内部の密度変化の検出(平成11・12年)
- 薩摩硫黄島ガス放出に伴うマグマ活動の観測(平成11年)
- 超精密地殻変動観測網による火山体圧力源の解明(平成12年)
- 鬼界カルデラのマグマ溜りとその探査法に関する基礎的研究(平成12年)
- 火山島重力測定における海洋潮汐影響量の評価と測定データの再評価(平成13・14年)

研究集会

- マグマ探査(平成8年)
- 古地磁気学的手法を用いた火山活動史の復元(平成9年)
- 火山ガス研究集会(平成12年)
- 火山の浅部構造と火山流体(平成12年)
- マグマ活動と火山性地震・微動(平成13年)

京都大学防災研究所附属火山活動研究センター

〒891-1419 鹿児島県鹿児島郡桜島町横山1722-19
電話 099-293-2058 ファックス 099-293-4024