

## 桜島における観測点分布の震源決定精度に及ぼす影響

著者	佐藤 泰夫, 石原 和彦
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要. 地学・生物学
巻	16
ページ	67-73
別言語のタイトル	Accuracy of the Determination of Earthquake Parameters due to the Geographical Distribution of Seismic Stations in Sakurajima Volcanic Area
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10232/00001713">http://hdl.handle.net/10232/00001713</a>

## 桜島における観測点分布の震源 決定精度に及ぼす影響

佐藤 泰夫\*・石原 和彦\*

(1983年9月10日受理)

Accuracy of the Determination of Earthquake Parameters due to the  
Geographical Distribution of Seismic Stations  
in Sakurajima Volcanic Area

Yasuo SATÔ\* and Kazuhiko ISHIHARA\*

### Abstract

Earthquake source parameters are usually determined based on arrival times at seismic stations. The accuracy of determination, however, is strongly affected by the geographical distribution of seismic observation points and the epicenter location. In this paper, this problem is discussed by the method of simulation based on Monte Carlo method. The equation for the error of the earthquake parameters is given as follows;

$$\frac{\partial T}{\partial \Delta} \frac{\partial \Delta}{\partial x} \delta x + \frac{\partial T}{\partial \Delta} \frac{\partial \Delta}{\partial y} \delta y + \frac{\partial T}{\partial z} \delta z + \delta t = \varepsilon$$

where :

$T$  is the travel time,

$\Delta$  is the epicentral distance,

$\delta x, \delta y, \delta z, \delta t$  are the errors of earthquake parameters,

$\varepsilon$  is the observation error given by random number.

The above equation is solved by the method of least squares for the unknown parameters  $\delta x, \delta y, \delta z$  and  $\delta t$  repeatedly, and the expected value of the error is calculated as the mean value. In this way, the desirable distribution of seismic observation points in Sakurajima volcanic area is discussed for the future study of volcanic earthquakes.

### § 1 はじめに

地震波の到着時を用いて震源パラメータを求めることは、地震学の基本的作業の一つである。近年、観測機器は精密さを増しているが、震源位置や発震時の決定精度は、単に機器の精度ばかりでは定まらない。観測点付近の地質、地形、地下構造、さらに観測点の地理的分布および地震発生場所に強い影響を受ける(佐藤, 1965)。この論文は、桜島に発生する火山性地震について、震源決定精度に影響する上記の要因のうち、特に観測点分布について調べたものである。観測点としては、桜島における京都大学防災研究所桜島火山観測所、鹿児島地方気象台のものを調べさせていただき、これに鹿児島大学臨時観測網を加えた。地震としては、桜島の下に発

\* 鹿児島大学理学部地学教室 Institute of Earth Sciences, Faculty of Science, Kagoshima University, Kagoshima, Japan.

生ずる火山性地震を扱った。

更に将来の臨時観測のために、道路状況までも考慮に入れ、実現しうる望ましい観測点分布を求めた。

## § 2 方 法

震源決定のための、線形化した基本方程式を示す (SKOKO, D and Y. SATÔ, 1966)。

$$\frac{\partial T_k}{\partial \Delta_k} \frac{\partial \Delta_k}{\partial x} \delta x + \frac{\partial T_k}{\partial \Delta_k} \frac{\partial \Delta_k}{\partial y} \delta y + \frac{\partial T_k}{\partial z} \delta z + \delta t = e_k$$

$X_0, Y_0; X_k, Y_k$  震央および観測点座標,  
( $k=1, 2, \dots$ )

$T_k, e_k$  ( $X_k, Y_k$ ) における走時および観測誤差,

$\Delta_k$  震央距離 ( $=\sqrt{(X_k - X_0)^2 + (Y_k - Y_0)^2}$ )

$\delta x, \delta y, \delta z, \delta t$  震源の東西, 南北, 深さ成分および発震時の誤差

上式を  $\delta x, \delta y, \delta z, \delta t$  を未知数とする観測方程式とし,  $e_k$  としては正規分布をなす乱数を与える。これらの誤差を含むデータを基に最小二乗法により,  $\delta x, \delta y, \delta z, \delta t$  等を求める。結果は与えられた乱数の組み合わせにより強い影響を受けるので, その操作を多数回繰り返し, その値の RMS を誤差の期待値とする。

## § 3 問 題 設 定

計算を行うにあたり, 次のデータは既知のものとして扱う。

- 1) 観測点の位置。
- 2) 地下構造および地震波速度。
- 3) 震源の位置および発震時。

また次の仮定を行う。

- 1)  $\delta x, \delta y, \delta z, \delta t$  は微小量とする。
- 2) 観測誤差は, 標準偏差  $\epsilon$ , 平均値 0 の正規分布をする。
- 3) 地震波は一種類 (例えば P 波) のみを考える。
- 4) 各層内での地震波速度は一定で, 横方向の変化はない。

今回の研究では, 速度の誤差は考慮しておらず, 未知数は,  $\delta x, \delta y, \delta z, \delta t$  の最大 4 個である。

地震が起こった際の震源決定と本文で論ずる精度決定のちがいは, 端的には次の通りである。

震源決定では, 普通仮の震源を与え, 観測走時から得られる観測方程式を解いて補正項を求め, 次にこうした計算を繰り返し行い, 逐次近似によって震源パラメータを得るものである。

一方精度検定では, 観測点位置, 震源位置および走時は真の値がわかっており, 観測誤差を与えることにより計算された震源パラメータの真の値からのズレを求めるものである。

## § 4 桜島における火山性地震の分布

第 1 図に桜島におこる火山性地震の震央分布域を示す (西, 1971, 1976; 波平, 1981)。

A 型地震は, 活動火口南々東部に多くみられ, 火口直下 2 km 付近まで垂直に分布する。2 km 以深では, 南方に向かい深さを増す。震央の分布は, 北岳~南岳活動火口~古里付近~桜島南方海域と広範囲である。海面下 0.5~2.5 km 付近に多くみられる。

B型地震は、震源の決めにくい地震である。一般的に火口周辺に分布するもので、深さは火口より数百m以内の浅い所で山体内に分布する。

爆発地震は、火口直下1~3 km に垂直に分布し、A型地震の上部と重なる。震央は火口付近、特に南東部に集中し、南方に向かい深さを増す。

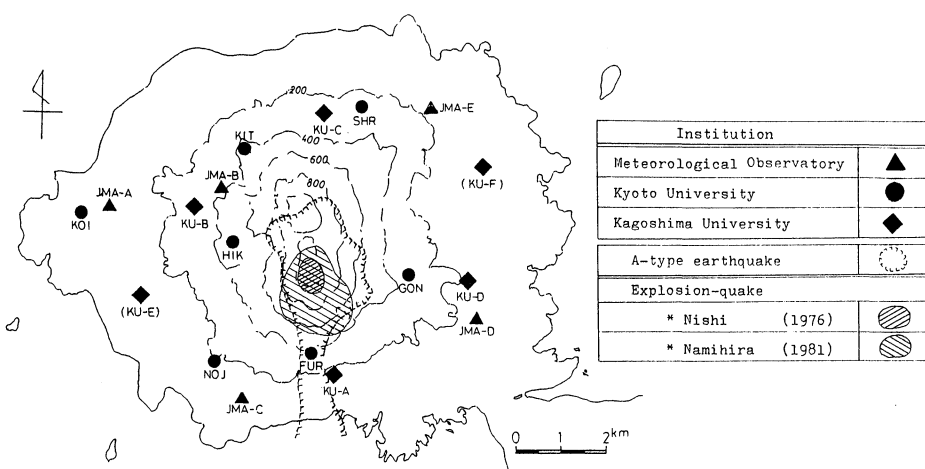
### § 5 桜島の地震観測網

§ 1にも述べたように、桜島には第1表および第1図に示すような観測網がある。鹿児島地方気象台および京都大学防災研究所では常時観測が行われており、鹿児島大学のは臨時観測である。

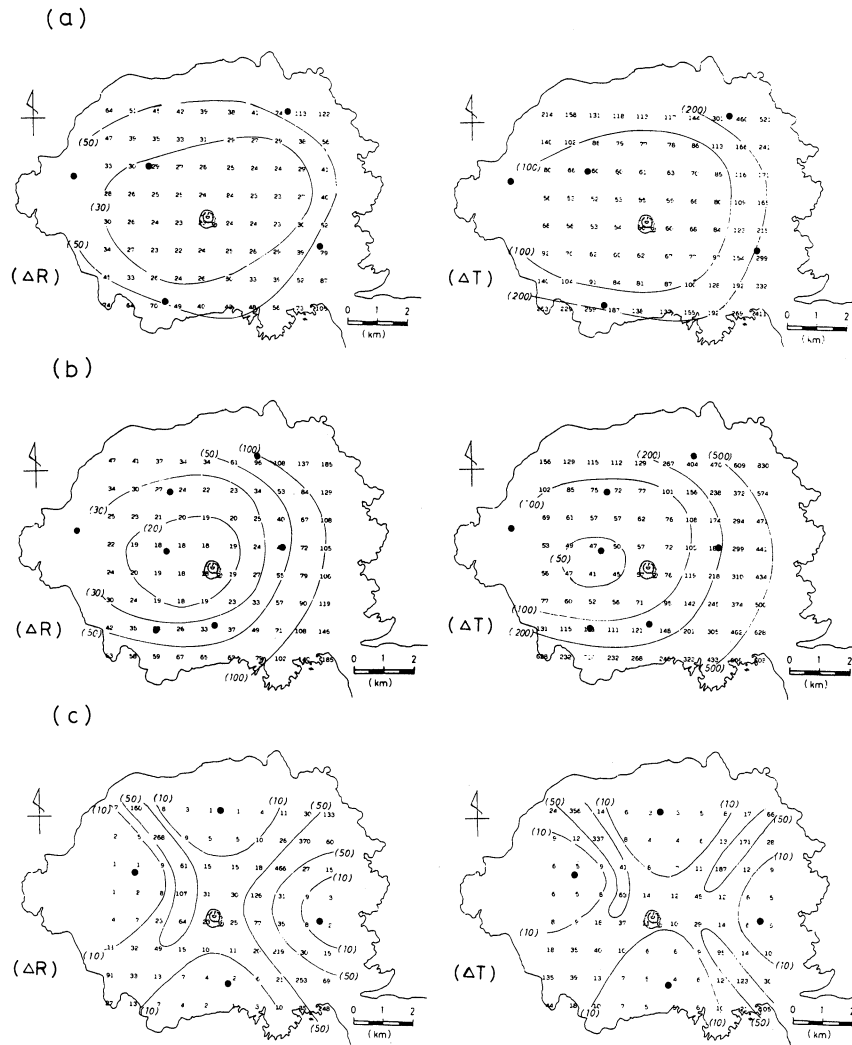
これらの観測網による時の震源決定精度の計算結果  $\Delta R, \Delta T$  (震央, 発震時の誤差)を示したのが第2図である。未知数は  $\delta x, \delta y, \delta z, \delta t$  の4つで、計算には次の様な値を用いた。

第1表 桜島における各機関の地震観測点

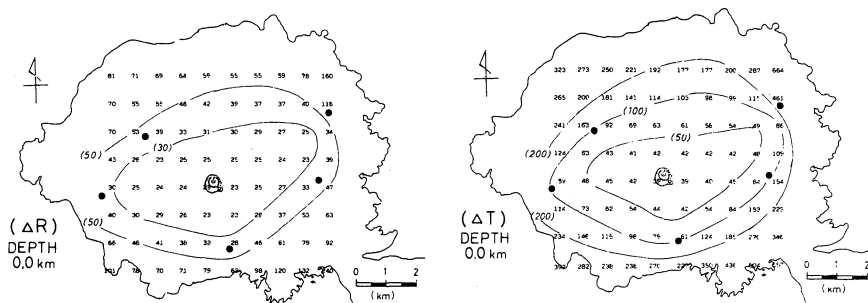
Station	Longitude	Latitude	Height	Code	Institution
YOKOYAMA	130° 36' 52" E	31° 35' 15" N	46(m)	JMA-A	Kagoshima Meteorological Observatory
AKOUBARU	38' 23"	35' 30"	455	JMA-B	
YUNOMOTO	38' 44"	33' 02"	119	JMA-C	
NABEYAMA	41' 48"	34' 06"	130	JMA-D	
WARIGARI	41' 18"	36' 30"	135	JMA-E	
HIKINOHIRA	130° 38' 38" E	31° 34' 49" N	550(m)	HIK	Disaster Prevention Research Institute Kyoto University
FURUSATO	39' 41"	33' 39"	360	FUR	
GONGEN	41' 09"	34' 57"	270	GON	
KITADAKE	38' 46"	35' 57"	450	KIT	
NOJIRI	38' 19"	33' 31"	150	NOJ	
SHIRAHAMA	40' 30"	36' 36"	160	SHR	
KOIKE	36' 46"	35' 14"	40	KOI	
ARIMURA	130° 39.9E	31° 33.4N	200(m)	KU-A	Kagoshima University
YUNOHIRA	38.3	35.3	370	KU-B	
FUTAMATA	39.7	36.4	275	KU-C	
KUROGAMI	41.7	34.6	110	KU-D	
ATAGOYAMA	37.2	34.3	120	(KU-E)	
KOUMEN	42.0	35.8	100	(KU-F)	



第1図 桜島に発生する火山性地震の分布および観測点



第2図 a) 気象台所属, b) 京都大学所属, c) 鹿児島大学所属の観測点による  $\Delta R$  と  $\Delta T$ 。(c)のみは最小二乗法による計算ではない)  $\Delta R$  の単位は a), b) では m, c) では 100 m,  $\Delta T$  の単位は a), b) では 0.1 msec, c) では 10 msec



第3図 望ましい観測点(5点)分布による場合の  $\Delta R$  と  $\Delta T$ 。 $\Delta R$  の単位は m,  $\Delta T$  の単位は 0.1 msec

- 1) 地震波速度 2.1 km/sec
- 2) 震源の深さ 0
- 3) 観測誤差 ( $\epsilon$ ) 0.01 sec

a) 鹿児島地方気象台 (第2図-a)

$\Delta R$  の等値線は、活動火口付近を中心に北東から南西方向に傾いた楕円形、また  $\Delta T$  は火口西部を中心として東西に伸びる楕円形を示す。観測点が高い分布をしているため、山体内で精度の急な変化はみられず精度の良い所が広く覆っている。これは5個の観測の場合、ネット内で精度良く決まるといふレンズ状分布となっているためであろう (SATÔ, Y. and D. SKOKO, 1965)。

b) 京都大学防災研究所桜島火山観測所 (第2図-b)

$\Delta R$ ,  $\Delta T$  ともに火口西部引ノ平付近を中心とした楕円形を示す。観測網が西側に偏っているため、火口東方で精度が急に下がるが、これは震央が観測点の分布より外にでるためである。外周にある観測点が強影響しているのがわかる。しかし、観測点が高い気象台より多いため引ノ平付近で極めて良い精度となっている。A型、爆発地震の集中している火口付近では、2つの観測網はほぼ同じ精度を示している。

c) 鹿児島大学臨時観測網 (第2図-c)

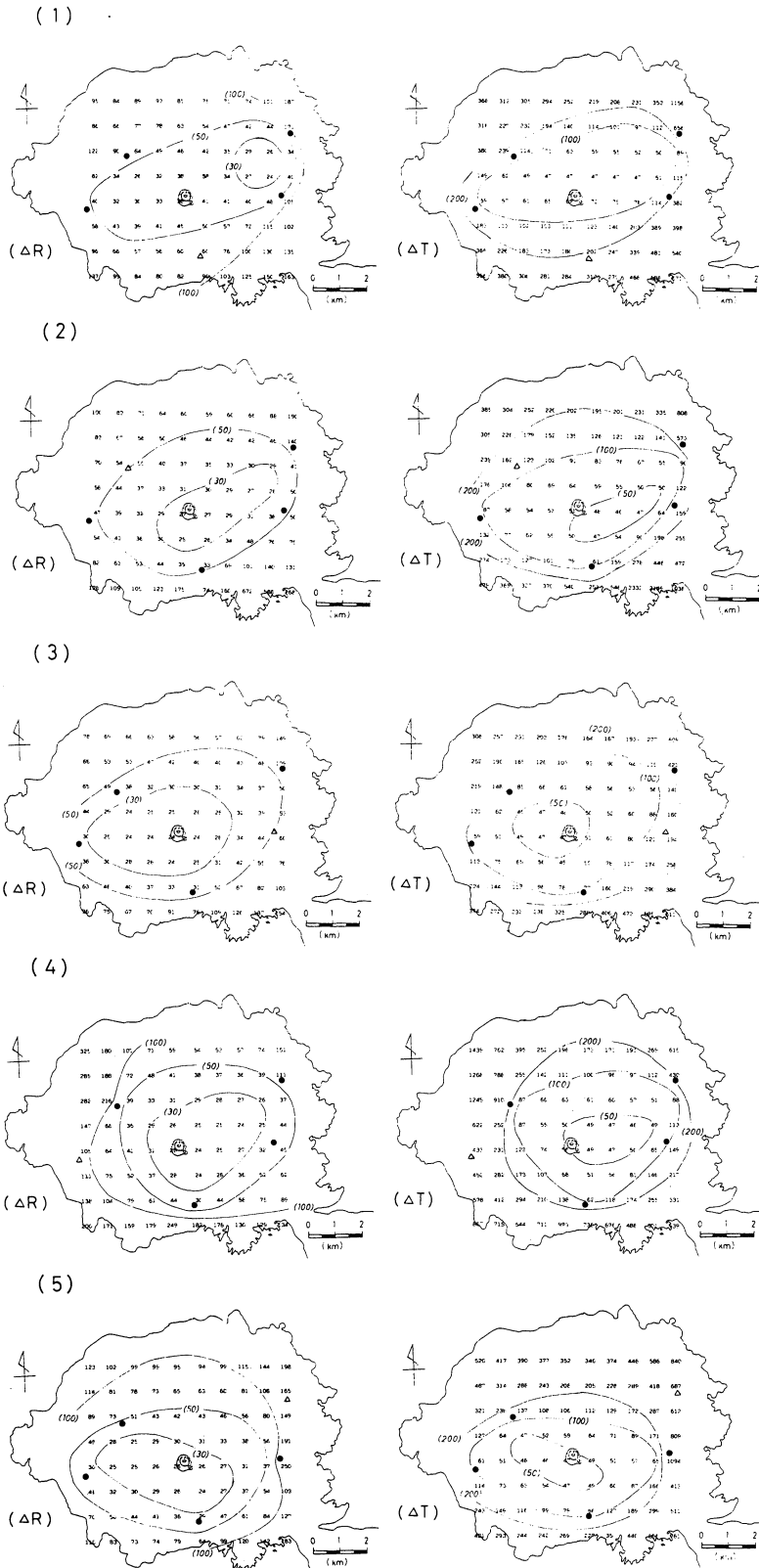
1980年に行った臨時観測は第1表のKU-A~Dの4点で、計算結果は第2図-cに示す。観測点が少ない、しかも平たかない四辺形でその中央部付近に震央があるという4点分布の中でもよくない形をしている(佐藤, 1965)。そのため、 $\Delta R$ ,  $\Delta T$  とも火口付近では精度は良いが、少し離れると急に悪くなり、上記のいずれと比べても数十倍大きな値を示す。

§ 6 桜島に望ましい観測点分布

鹿児島大学で、今後桜島に発生する火山性地震の観測を行う時のことを考え、有効な観測点分布を検討してみる。観測点の個数は、使用可能な観測機器、構成しうる観測班等を考慮して5点とし、計算にあたり未知数は  $\delta x$ ,  $\delta y$ ,  $\delta t$  の3個のみを採り、地震波速度などは§5と同じ値を用いた。機動観測のため、道路発達状態を中心に地理的条件を考慮し、A型、B型、爆発型の各火山性地震の震源分布域で精度よく決まり、山体内で精度が急に悪くならないような分布を考えた。

第2表 欠測点がある場合の  $\Delta R$  と  $\Delta T$  の特徴

欠測地点	震 央 精 度 ( $\Delta R$ )	発 震 時 精 度 ( $\Delta T$ )
有 村 第4図(1)	湯ノ平, 黒神地域の精度は良いが、火口付近, 震源域の南部をカバーしていない。	山体北方で精度が良いが、この地域は震源域に対して北へ偏っている。
湯ノ平 第4図(2)	火口を含み、火口南方から南東方へと精度よくネットしている。	火口南東方で精度が良いが、有村~黒神を結ぶ線を越すと急に悪くなる。
黒 神 第4図(3)	火口を含み、南方と西方で精度が良い。多少西に偏っているが、震源域をよくカバーする。	同 左
愛宕山 第4図(4)	火口を含み、南方と北東方で精度が良い。山体西方で分布は急変する。	火口東部を中心として精度が良い。山体西方で分布は急変する。
高 免 第4図(5)	火口を含み、北西~南東に傾いた楕円形の精度分布をする。	同 左



第4図 前の図の観測網で、ある一点が欠けた場合の  $\Delta R$  と  $\Delta T$ 。1) 有村, 2) 湯ノ平, 3) 黒神, 4) 愛宕山, 5) 高免の観測点が欠除。単位は、 $\Delta R$  がm,  $\Delta T$  が0.1 msec

桜島は海に囲まれた活発な火山で、しかも最近の活動により登山は禁止されており進入できる場所は限られている。そのため、観測点分布は火口付近の震源域から等距離の分布や、平たくなき多角形など精度の良くない分布になり易い。こうした条件のもとで、様々試みた結果各成分とも比較的良好な精度で覆っていると思われるのが、第1表の KU-A, B, D, E, F の観測点分布である。この分布は、先に述べた鹿児島地方気象台の観測網と似ており、観測点がレンズ状に分布するものである。精度分布は第3図のとおりである。 $\Delta R$ ,  $\Delta T$  は、精度良い所が火口付近となり、その地域を中心にやや西南方に偏った楕円形を示している。この形は、爆発地震の震源域はうまく覆っているが、深くなるにつれて南方に伸びる A 型地震の震源域から多少はずれている。

次にこの観測網で一つの観測点が欠除した場合、精度分布がどのように影響されるかを調べたのが、第2表、第4図である。有村の観測点(KU-A)が欠けた場合、震央、発震時とも震源付近を誤差最小域が覆っておらず、値自体も他の4点いずれが欠けた場合より2割以上悪い値を示している。上記の特徴を考えると、桜島におこる火山性地震の観測において、震源域に近い有村観測点の重要性がわかる。

この望ましい観測網の決定において、道路発達状況は十分に考慮したが、地質など地震計設置点の基盤状態などは含まれておらず十分とは言えないが、今後の観測の観測網決定に対し一つの指標となりうるであろう。

## § 7 む す び

観測点分布による震源決定精度の変化を桜島の観測網について論じた。このような研究は、観測点分布が与えられた時、これに基づく精度分布がわかり、地震解析、走時曲線、地下構造等を論ずるのに参考となる。また、震源域が与えられれば、これに対する観測点の最良分布が決定できる。このことは、火山性地震など一定の地域内に限って起こる地震の観測計画の重要な資料となる。他に、既存の観測点に新しい観測点を加える時など有効な手がかりを提供するものであろう。

## 文 献

- 波平和光：熊本県球磨郡湯前町北部の地質および爆発地震からみた桜島火山活動の特徴，鹿児島大学理学部地学科 1981 年度卒業論文（手記）。
- 西 潔：桜島火山の火山性微小地震と爆発の研究(2)―火山性地震の震源分布，京大防災研年報，第 14 号 A，1971，pp. 113-121.
- 西 潔：桜島火山の爆発地震について，京大防災研年報，第 19 号 B-1，1976，pp. 69-73.
- 佐藤泰夫：地震観測点の最良分布，地震 2，18（1965），pp. 9-14.
- SATÔ, Y. and D. SKOKO: Optimum Distribution of Seismic Observation Points. II. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 43 (1965), pp. 451-455.
- SKOKO, D. and Y. SATÔ: Optimum Distribution of Seismic Observation Points. III. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 44 (1966), pp. 13-22.