

1923年関東地震の震源の深さについて

浜田 信生**

Note on the Focal Depth of the 1923 Great Kanto Earthquake

Nobuo Hamada
(Meteorological Research Institute)

The hypocenter of the 1923 Great Kanto Earthquake was given by several investigators. Among them, the most widely accepted one was that given by Kanamori and Miyamura(1970). Considering the seismometrical data which are still available, their conclusions seem quite reasonable, especially in terms of its epicenter. However, the focal depth given as 0-10km or very shallow seems to be of poor resolution and require re-examination. They evaluated the hypocenter using nearly one hundred P arrival times including teleseismic data. They employed the travel time tables of Jeffreys and Bullen (1958).

Unlike them, we included all data which would contribute to hypocenter determination, including S arrivals and S-P intervals from the local network. S-P intervals were employed for stations where the time keeping of the seismogram was not reliable. But we excluded teleseismic data from the study for fear that they may cause poor depth resolution. For computation, we used the JMA standard travel time tables which are adapted to local crustal structure. Several trials with different combinations of data set indicate the solutions are quite stable and the epicenter is located at $139^{\circ} 8.9' E$, $35^{\circ} 20.8' N$, on the northern edge of the Kozu-Matsuda fault, an active Quaternary fault. The focal depth estimated at 25km with an uncertainty of 6km is consistent with the field survey conducted after the earthquake that recognized no seismic fault around the epicenter. Thus the present study indicates that the Great Kanto Earthquake started from the lower crust and adds a new example to the hypothesis that the rupture of a big thrust earthquake tends to start from the bottom of the fault. The study also proved that the quality of old seismometrical data is worth being applied to the modern hypocenter determination method.

§ 1. はじめに

関東地震(1923年)の震源, すなわち破壊が最初に始まった場所については, 諸説出されて来たが, 現在では, Kanamori & Miyamura(1970)により報告された震源($\lambda = 139.2^{\circ} E$, $\phi = 35.4^{\circ} N$, $h = 0 - 10\text{km}$)が, もっとも信頼できるものとして一般的

に受け入れられている。Matsu'ura et al. (1980)は, 同じ資料, 同じ方法により同様な結果を得ている。Kanamori & Miyamura (1970)による震源は, 特に震央については最も妥当であると考えられ, 新しい資料が発見されない限り, あえて付け加えるべきことはほとんどない。しかし詳細に検討した結果, 震源の深さについては, 若干異なる見解を持つに至

* Received Feb 5, 1986

** 気象研究所

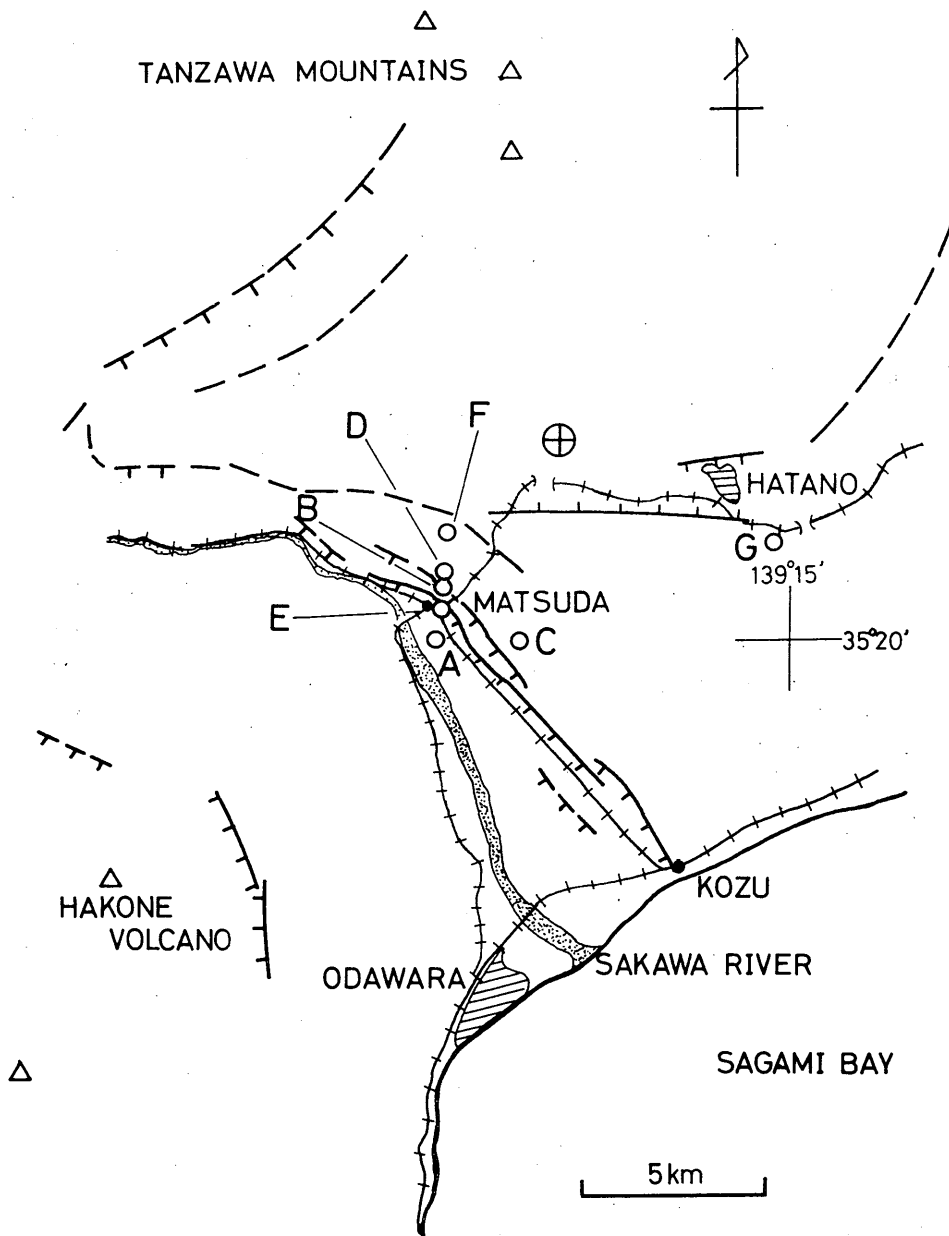


Fig.1 Open circles show epicenters obtained by different combinations of data set. A is obtained from data within 100km from the epicenter; B and C are within 200km and 300km respectively. D is obtained in the same way as B but without S-P data. E is located by P arrivals only and F by S arrivals only. To obtain G, all the data are used in the form of S-P intervals. Open circle with cross indicate the epicenter given by Kanamori and Miyamura (1970). Active faults listed by the Research Group for Active Fault (1980) are indicated by hatched lines and thick lines with sticks on one side. Other significant geographical features such as railways rivers, coast lines, towns and mountains are also indicated.

Method	Latitude(N)	Longitude(E)	Depth(km)	Number of Elements
A	35° 20.1'±1.9'	139° 8.7'±1.8'	23 ±32.6	11
B	35° 20.8'±1.8'	139° 8.9'±1.4'	25 ± 5.6	23
C	35° 20.0'±1.6'	139° 10.0'±1.1'	21.4± 4.5	26
D	35° 21.0'±2.0'	139° 8.8'±1.5'	25 ± 6.2	19
E	35° 20.5'±3.1'	139° 8.9'±2.3'	27 ±10.1	11
F	35° 21.6'±2.6'	139° 8.9'±2.1'	20 ±10.5	7
G	35° 21.5'±3.4'	139° 14.9'±4.4'	25 (Fix)	12

Table 1 List of epicenters and focal depths determined by different methods and different combinations of data. Numbers of elements (P,S and S-P data) which were used in the estimation are also listed.

Gはやや東よりに求められた。誤差の範囲内ともいえるが、誤差が最も大きくS-Pの走時残差を最小にする震源決定法の精度の限界を示すように思われる。このことは、当時の刻時精度でも、P、Sの発震時を独立に用いて震源を求める方が、良い結果が得られることを示唆している。Fig.2に、AとBの場合の深さと走時残差の関係を示す。震源の深さが15 km以浅であることは、まずあり得ない。ここでは、現在の気象庁の震源決定法、資料の用い方も参考にして、Bによる震源 ($\lambda = 139^\circ 8.9' \pm 1.4'$, $\phi = 35^\circ 20.8' \pm 1.8'$, $h = 25$ km, $OT = 11d58m31.6 \pm 0.3s$) を関東地震の震源として採用する。Table 2に、BについてのP、S、S-Pの走時残差を示した。比較のためにKanamori & Miyamura (1970)によるP波の走時残差も示す。時計が分のオーダーでずれ、しかもPの読み取りしか報告されていない足尾や宇都宮など、震源決定に利用できない観測点を除くと、震央距離200 km以内の他の観測点は、いずれも何らかの形で震源決定に寄与している。刻時がずれているか、わからない布良、浜松、松本、岐阜のS-Pは走時に乗り、その他の観測点のP、Sは、高山のSを除くといずれも走時によく合っている。

今回求められた震央は、ちょうど国府津・松田断層の北端部、松田町付近に位置する。関東地震の際、国府津・松田断層沿いに地割れは認められたものの、地震断層は確認されていない。もし震源の深さがKanamori & Miyamura (1970)が報告しているように、「very shallow」0~10 kmであるならば、地震の規模から考えて、地震断層が出現しても、しか

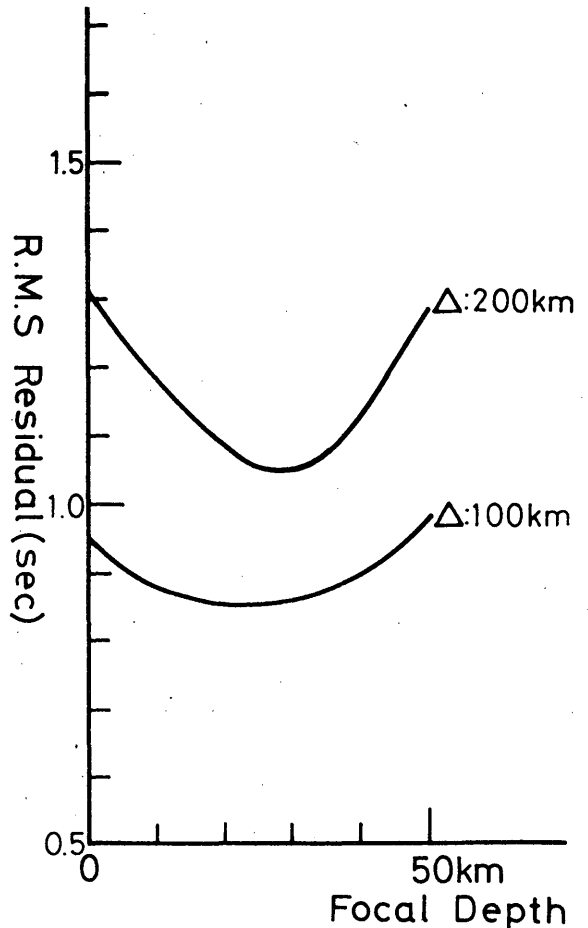


Fig.2 Root mean square residuals of travel times as a function of focal depth. Only results for A and B are indicated.

Station	Distance (km)	Travel Time Residuals (sec)			P Residuals by (K & M)
		O-C(P)	O-C(S)	O-C(S-P)	
NUMAZU	38.5	-0.5	1.3		- 0.87
YOKOSUKA	47.7	-0.3	-2.7		0.11
KOFU	64.1	0.3	-0.8		- 0.31
TOKYO	67.0	1.5	1.8		0.77
TOMISAKI(MERA)	78.0			-2.4	
KUMAGAYA	91.3	-0.3	-1.0		3.18
MAEBASHI	117.3	-8.4	-7.9	0.4	-10.17
TSUKUBASAN	129.3	0.7			- 1.05
MATSUMOTO	145.5	9.4	9.9	0.5	6.85
HAMAMATSU	148.0			-1.5	
CHOSHI	159.4	0.2	1.1		- 2.09
MITO	165.5	-1.4	0.4		- 3.48
NAGANO	169.1	-1.9			- 4.39
TAKAYAMA	193.1	1.8	16.0		- 0.84
NAGOYA	199.3	-0.0	0.1		- 2.94
TAKADA	211.2	7.0	17.8		4.33
GIFU	216.6			2.3	
FUSHIKI	247.2	1.6	2.4		- 0.70
TSU	250.4	1.9			- 0.51
KANAZAWA	261.9	45.7			
HIKONE	263.9	2.9			0.76
NIIGATA	284.6	0.7			- 1.41
KYOTO	313.0	15.5	13.5	-2.2	13.39
KASHIWARA(YAGI)	319.9	2.8	7.3		0.52

Table 22 List of travel time residuals and distances at each station for the hypocenter B. P and S arrivals are not used in computation for stations where S-P residuals are indicated. P travel time residuals given by Kanamori and Miyamura (1970) are also listed in the right-most column (K&M).

るべきであろう。断層が出現しなかったことは、震源の深さがやや深いことを間接的に支持するものと考えられる。もちろん、震源の深さは仮定した速度構造に左右されるから、相対的なものである。同じ震源決定法で求められている周辺で発生した地震、例えば山梨県東部で発生している地震群の深さ（15～20km）と比べると相対的な深さはほぼ等しいかやや深く、伊豆半島東方沖や伊豆大島近海で発生している地震の深さ（0～15km）よりは、明らかに深い所で発生したということである。

§ 4. 終わりに

近年、大地震の震源すなわち破壊の出発点は、震源過程を考えるうえで重要な意味を持つと考えられるようになってきたが、我々は、日本の周辺に発生した逆断層型の地震は、経験的に断層面の下部もし

くはやや深い場所から破壊が始まる例が、大部分ではないかとの認識もっている。この関東地震も、その部類に分類できそうである。震源がやや深いため、地表に認められる活断層と直接対応させることは適切でない。しかし震央が、ちょうど国府津・松田断層と神繩断層が交わる点、丹沢山地と平野部の境に位置することは興味深い。余震が震源域と考えられている南東側の相模湾に少なく、震源の北側の丹沢山地に集中していることも震源過程を考えるうえであわせて考慮していく必要がある。関東地震の断層モデルは、すでに幾つも提案されている。一枚の断層面を仮定する単純なモデルならともかく、複数の断層面を置く複雑なモデル、例えば石橋(1980)、Matsu'ura et al.(1980)などのモデルの妥当性を考える時には、今回明らかにされた震源の位置との調和は当然考慮されるべきである。

地震観測網が、十分に整備される前の時代の、しかも無線報時による時計の補正が、ようやく実施されるようになったばかりの時代の資料から、これ程の精度で震源が求められたことは予想外であった。しかし資料は、すべて国富自身が直接目を通し調査したものばかりであり、当時の通常の観測資料がすべて同じ信頼度を持つと考えることはできない。関東地震の余震の一部にも、同様な方法を試みているが、これ程の信頼できる震源が求められる例は数が少ないように思われる。しかし関東大地震の余震域や、余震活動の変化を改めて調査することの意義は、決して否定することはできないと考えられる。

参考文献

浜田信生, 吉田明夫, 橋本春次(1984) 気象庁震源計算プログラムの改良, 験震時報, **48**, 33-55.
石橋克彦(1980) 伊豆半島をめぐる現在のテクトニクス, 月刊地球, **2**, 110-119.

Jeffreys, H. and K. E. Bullen(1958) Seismological tables, 3-50., British Association for the Advancement of Science, London
Kanamori, H. and S. Miyamura(1970) Seismometrical Re-Evaluation of the Great Kanto Earthquakes of September 1, 1923, Bull. Earthq. Res. Inst., **48**, 115-125.
活断層研究会(1980) 日本の活断層, 東京大学出版会, 146-153.
Kunitomi, S.(1930) Seismometrical Study of the great Kwanto Earthquake occurred on September 1st, 1923, Geophysical Magazine, **3**, 149-164.
Matsu'ura, M., T. Iwasaki, Y. Suzuki and R. Sato(1980) Statical and Dynamical Study on Faulting Mechanism of the 1923 Kanto Earthquake, J. Phys. Earth, **28**, 119-143.