

(42) 日本およびその周辺に残る地震動記録から推定される

1923年関東地震の実像

鹿島小堀研究室 ○正員 武村雅之
鹿島技術研究所 野澤 貴

1. はじめに

1923年関東地震当時、既に日本国内には気象台を中心に一部大学も含め約70ヶ所を越える地点に地震計が配置され常時地震観測が実施されていた¹⁾。地震計も旧式の普通地震計(グレイ・ミル・ユイング地震計)から大森式地動計や簡単微動計等連続して地震動が観測できるタイプの地震計が主流になっていた。これらの地震計の中には1950年頃まで活躍していたものも多い。筆者等は数年前からこれら国内の記録の調査をすすめている^{2) 3) 4) 5)}。表1に関東地震に関して今までに解析されてきた主な国内記録をまとめた。表中に多く見られる今村式2倍強震計記録には主要動でも振り切れていないものがある。また、表にあるアルバムは全国各地で観測された記録の写真集であり気象庁に保存されているものである⁴⁾。サハリンや台湾を含む全国約40地点の記録が集められ、そのほとんどは振り切れているがP波について完全な波形を残しているものも多い。

これら計器による地震動記録の殆ど全ては周期1以上の周期帯で有用であるが1秒以下の周期帯についてはデータが無い。そこで筆者等はそれらを埋めるべく体験談の整理も行っている⁶⁾。

本稿では、これらの記録や体験談から推定される関東地震の地震学的特徴についてまとめる。

2. 本震の震源過程

関東地震の震源位置は浜田⁷⁾によってかなり正確な位置が決められている。これによれば、震央は小田原の北10から15kmの松田付近で深さは約25kmである。また、地震発生直後の測量結果から断層面上のすべり分布が求められ^{8) 9)}、それによればすべりの大きな部分は小田原付近と三浦半島付近の2ヶ所にある。先に示した表1のデータを用いて筆者等^{4) 6)}が推定した断層破壊の時間的推移を見ると以下ようになる。

松田付近で始まった小さな破壊は3ないし5秒後小田原付近で第一の大きな破壊につながり^{4) 6)}、その後三浦半島付近で10秒から15秒後に第二の大きな破壊が発生する。図1は+が震央位置⁷⁾、黒三角と白三角が、体験談と岐阜の短周期上下動記録から得られた第一震および第二震の位置⁶⁾、網掛けの領域は、アルバムのP波波形から推定される第二震の位置⁴⁾である。丸および四角は地殻変動データから求められたすべりのピークの位置である。図2はアルバムの記録のうち函館と八木(奈良県)の簡単微動計による波形である。PがP波初動、①が第一震、②が第二震に対応するP波位相であると考えられる。震源を取り囲む複数の観測点で上記3つの位相が確認され、P波初動と①の時間差からPn相の影響を考慮して初期破壊の継続時間が推定される⁴⁾。また①と②の時間差から第一震に対する第二震の相対的な位置および発生時刻が評価された⁴⁾。

図3は以上の結果に基づいて岐阜で観測された地震動記録をシミュレーションした結果である。2つの大きな破壊の地震モーメントをそれぞれ 2.5×10^{27} dyne・cm(関東地震全体の約1/3づつ)と仮定し正規モード法で求めたものである¹⁰⁾。EW成分で第一震と第二震に対応する位相が見られる。振幅の差は両イベントの震源メカニズムの変化^{8) 9)}に起因していると考えられる。

3. 余震活動

一般に大地震が発生すると、その直後から多数の余震が発生し、記録紙上での本震記録との重なりや余震記録同士の重なりによって、余震の震源決定をする妨げとなる。関東地震もその例外ではない。幸い、岐阜測候所に本震発生後約2日間の鮮明な記録があり、また、上下動の地震計が表1に示すように固有周期1秒と、当時としては珍しく短周期成分のみを記録できる状況にあった。このため上下動では、本震によるやや

表 1 関東地震に関する国内の主な地震動記録

記録地点	地震計	計器特性 (To(s) h(%))	文 献
東京本郷	ユ-イング 地震計	6 (NS,EW)	Morioka(1980)
東京本郷	今村式 2倍強震計	9.3 21 (EW)	今村(1925)横田他(1989)
徳島測候所	今村式 2倍強震計	5.0, 4.2 10-20 (NS,EW)	片岡他(1995)
岐阜測候所	今村式 2倍強震計	4.5 17 (NS,EW) 1.0 5 (UD)	武村他(1994)
仙台向山	今村式 2倍強震計	5.5, 3.0 22 (NS,EW)	武村他(1995)
高田測候所	今村式 2倍強震計	6.8, 5.6 22 (NS,EW) 2.0 15 (UD)	武村・野澤(1995)
気象庁アルバム (約40地点)	大森式地動計、簡単微動計等		武村・浜田(1994)
体験談 (震源周辺約200地点)	周期域: 1秒前後以下		武村・池浦(1995)

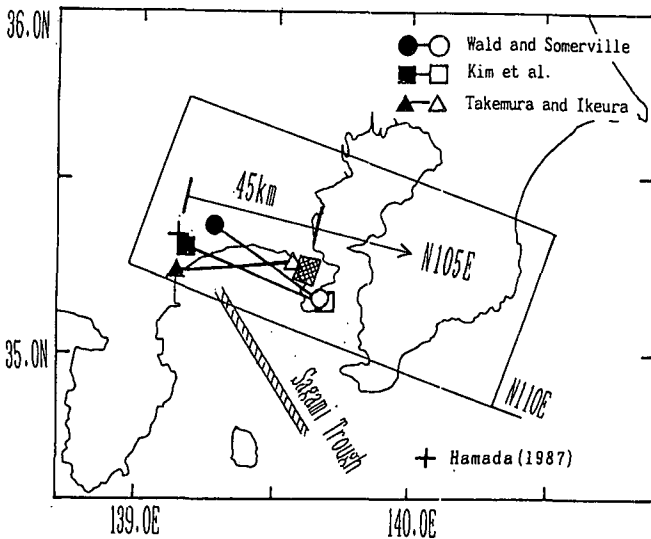


図1 本震の破壊過程⁴⁾. 断層面はKanamori(1971)による
詳細は本文参照

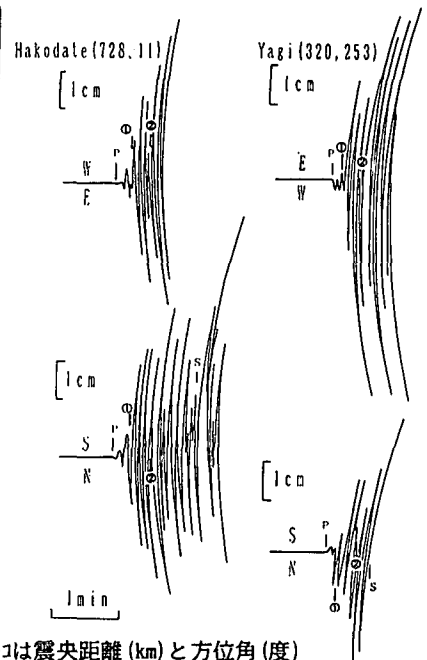


図2 函館と八木の簡単微動計記録⁴⁾. カッコは震央距離 (km)と方位角 (度)

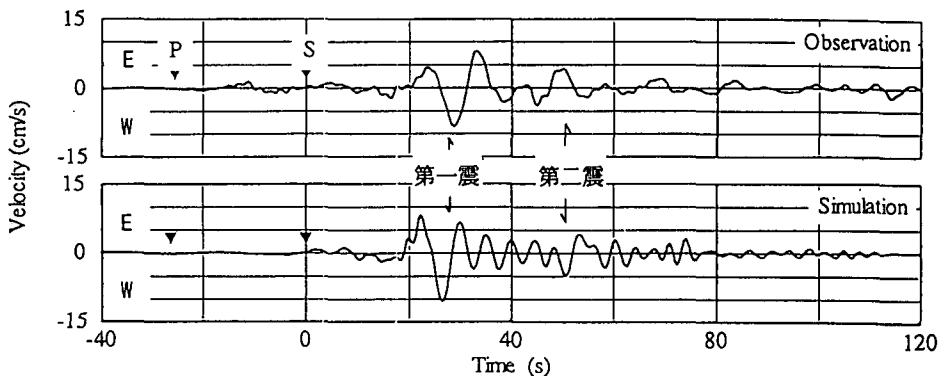


図3 岐阜のEW成分の波形のシミュレーション¹⁰⁾

長周期表面波の継続時間も短く、本震直後からの余震活動を追跡することができた²⁾。図4は、岐阜から見た本震発生直後2日間の余震活動の様子である。横軸はS-P時間から推定された震央距離で、図1の推定断層面位置と比較するとおおよその場所を推定することができる。この結果によれば、本震発生(9月1日11時58分32秒)の約3分後と4分半後に $M=7.2$ と 7.3 の2つの余震が本震の震源近くで発生していたことが分かる。その後余震活動は東方の房総方面へ移動し、再び1時間後西方で活発化した。さらにその後、今度はかなりゆっくりと東へ移動し、約1日後の9月2日11時46分に房総半島沖で $M=7.5$ の最大余震が発生している。図1の議論からも分かるように本震の断層破壊の主要部は房総半島の西側ではほぼ終了しており、その意味で、最大余震は本震とは別の断層により発生した可能性もある。

マグニチュード7以上の余震は、以上指摘したもの 외에도、12時48分頃と最大余震発生後の9月2日18時頃にあり、2日間で5回、翌年1月15日に発生した丹沢地震を入ると計6回発生したことになる。図4には岐阜で記録された地震動の卓越周期から判断した低周波地震の区別も示す²⁾。房総方面の余震は総じて低周波であり、その中でも最大余震は特別に低周波の特徴を持つ。また、西方では本震発生の一時間後より低周波の地震が見られるが、これらの地震の波形は近年伊豆半島付近で発生している地震のものとよく似ており、伊豆半島付近の活動による可能性がある。

4. 本震・余震の震源スペクトル

表1に示すように、岐阜、仙台、高田については比較的精度の良い記録が得られ、地震計の特性もかなり明確になっている^{3) 5) 11)}。そこで、本震および主な余震について震源位置を再確認するため、それぞれの地点でS-P時間を読み直した。また、関東地震の震源近傍で発生した最近の地震記録からS-P時間と震央距離 Δ の関係を示す大森公式 $[\Delta=k(S-P)]$ の定数 k を地点毎に求めた。これらの結果を用いて、本震および主な余震3つの震源位置を図5のように決定した¹¹⁾。 M は本震、 LA は最大余震、 $LA2$ は最大余震後同日18時の地震、 T は丹沢地震である。

上記4地震について地震計の固有周期が異なる記録の最大振幅値から地震規模を評価した。方法は坪井式を用い水平動は水平2成分の最大値の合成振幅、上下動は振幅の $\sqrt{2}$ 倍を用いて評価した。用いた最大振幅のみかけの周期とともに結果を図6に示す。ここで、 MVG は岐阜の上下動によるもの、 MVT は高田の上下動によるものである。 MJ は3地点の水平動より決めたもので現行の気象庁「マグニチュード」にはほぼ対応する。本震および最大余震はより長周期領域での規模 M_s 、 M_t 、 M_w 等が既に求められておりその値も付け加えた¹²⁾。図6は相対的に各地震の震源スペクトル特性を表している。どの周期帯の規模で見ても本震の規模は一番大きい。3つの余震を比べると最も短周期の MVG では、最大余震 LA とその直後の余震 $LA2$ がほぼ同じ規模で丹沢地震 T はそれより0.5程度大きい。また MVT では3余震はほぼ同じである。より長周期の MJ で見ると丹沢地震 T と余震 $LA2$ はほぼ同じ規模であるが最大余震 LA は0.5程度大きい。このことは震源域の東側で起こる余震は長周期成分に富み、その中でも最大余震が長周期成分に富むという図4の指摘を定量的に示すものである。

5. まとめ

本稿は国内に残る関東地震の記録の解析を通じ、筆者等が今までに得た知見を中間報告としてまとめたものである。記録の収集に関しては気象庁や東北大等の関係機関の方々に大変御世話になっている。これらの方々に心より感謝いたします。

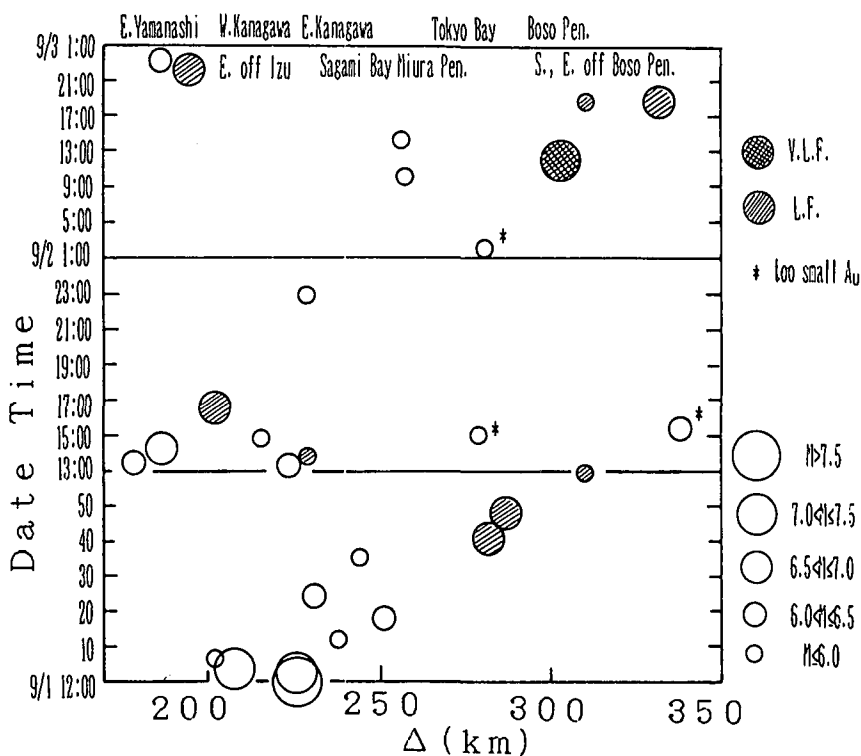


図4 岐阜測候所記録から見た余震活動²⁾. V.L.F.はVery Low Frequency, L.F.はLow Frequency

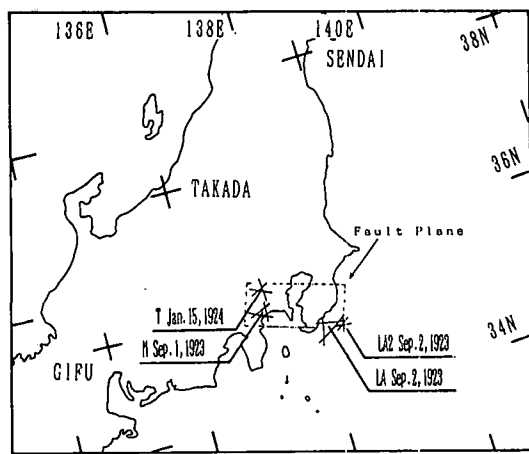


図5 本震・余震の震源の再決定結果¹¹⁾

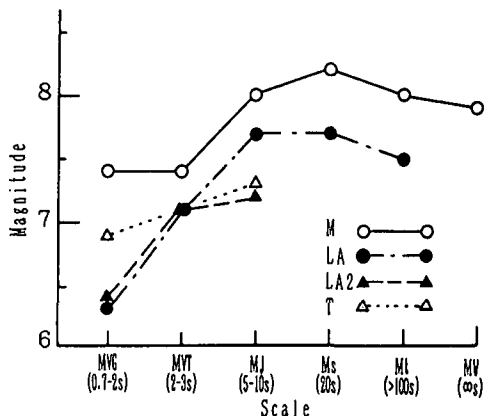


図6 本震・余震の周期別マグニチュード¹¹⁾

参考文献

- 1) 浜松 (1981) 地震, 34, 73-91.
- 2) 武村 (1994) 地震, 46, 439-455.
- 3) 武村他 (1994) 地震, 47, 193-200.
- 4) 武村・浜田 (1994) 第52回東工大工学地震学地震工学談話会
- 5) 武村他 (1995) 地震 (印刷中).
- 6) 武村・池浦 (1994) 地震, 47, 351-364.
- 7) 浜田 (1987) 駿震時報, 50, 1-2号別冊, 1-6.
- 8) Kim他 (1989) 地震学会予稿集, 2, 51.
- 9) Wald and Somerville (1995) BSSA, 85, 159-177.
- 10) 野沢他 (1995) 地震 (投稿中).
- 11) 武村・野沢 (1995) 地球惑星関連学会, 184.
- 12) 渡辺 (1985) 日本被害津波総覧, 東大出版会.