神奈川県西部地方の地殻変動とその地学的意味

多 田 堯*

Crustal Deformations in the Western Kanagawa Prefecture and its Tectonic Implication

Takashi TADA*

I. はじめに

小田原では記録がはっきりしている江戸時代以降、地震の規模は別にして、「大きな被害を与える地震がほぼ70年間隔で発生している」ということは大方の一致した認識であろう。問題はこの地震——便宜上「神奈川県西部地震」と呼ぶ——の震源断層がどこにあって、どのような形態を持っているのか、で議論が分かれていることである。筆者は地殻変動からこの問題にアプローチを試みているが、ここでは主として湘南地方における水準測量の検討結果について報告する。

II. 神奈川県西部地震断層

神奈川県西部地方はフィリピン海プレートと北米プレート、もしくはユーラシアプレートとの境界に当たる地学的に大変重要な位置にある。しかし、現在のところこの境界線がどこを通っているかについては諸説粉々としており、定説がない状態になっている。杉村（1972）が国府津・松田断層をプレート境界と位置づけたが、その後1923年関東大地震でこの断層が活動しなかったことから、Tada and Sakata（1977）はこれをプレート境界から高角で立ち上がる陸側プレート内の副次的断層であるという考えを提唱した。最近ではこの考えを踏襲する説が大勢を占めている（Scholz and Kato, 1978；松田, 1985；坂田, 1987；大河内,

1990など）。丹沢山地が関東地震タイプの地震で沈降するが、第四紀を通じては隆起していることから、丹沢山地を隆起させる地震＝丹沢地震（松田, 1987）が想定され、これが小田原に被害を与える地震の候補の一つではないかと考えられている（地震予知総合研究振興会, 1990）。

一方石橋（1988）は、フィリピン海プレート北東端での沈み込みが伊豆外弧と内弧で差別的に行なわれているため、プレート内部に亀裂が生じていると主張し、これが小田原地域に被害をもたらす地震の震源断層（西相模湾断裂）であると考えている。

さらに70年間隔が偶然であるという立場にたてば、特定の震源断層を想定しなくてもよいという考えも有り得よう。

現在のところ石橋説が有力のように見えるが、最大の弱点は西相模湾断裂が確認されていないという点である。

III. 丹沢地震説の検証方法

神奈川県西部地震についての仮説のうち、どれが真実に近いかを判断できるほどのデータが揃っていないため混沌としているのが現状である。消去法によって一つずつ候補を消していくのが、回り道ではあるが確実な手段であろう。

筆者は地殻変動の立場から各仮説の検討を行っている。丹沢地震説を検討するには実際に丹沢

* 国土地理院地殻調査部

* Crustal Dynamics Department, Geographical Survey Institute

山地が1923年関東地震以後どの様な上下変動をしているのかを確かめればよい。丹沢山地は第四紀を通じて平均的には2-4 mm/年 の隆起速度で隆起（地震予知総合研究振興会，1990）しているが，地震時に沈降する（1923年関東地震では平均1 m）ので，関東地震の再来間隔を数100年とすれば地震間の隆起速度は5-7 mm/年 程度になる。従って丹沢山地が1923年関東地震以後ずると隆起しているならば，現在までに約40cm 隆起していると推定される。もしこの程度の隆起量が観測されれば丹沢地震説は棄却されるし，観測誤差程度の変動しか観測されなければ，いずれ丹沢山地を隆起させる地震が発生することになる。

丹沢地震説の当否は丹沢山地の高さを測れば決着がつけられよう。現在では高さは GPS で比較的簡単に測定できるので，山の高さを測ることはさほど困難なことではない。国土地理院ではこの観点から，1年以内の決着を目指して丹沢山地の高さを測る準備を進めている。

IV. 湘南地方の上下変動

次に地殻上下変動から国府津・松田断層，西相模湾断裂に関する情報が得られるかどうか検討する。ここでは主として湘南海岸沿いに行なわれている水準測量データを整理して議論する。この地域では1884年（明治17年）から繰り返し水準測量が実施されており，1923年関東地震以前の地殻上下変動も得られているので，地震前，地震時，地震後の地殻上下変動が検討できる。

図1，2は藤沢（J36-1）から熱海（J52）間の1884年から1992年迄に行なわれた水準測量から計算した相模湾西部沿岸地域の水準点の標高変化を，各期間毎にまとめて表示したものである。藤沢（J36-1）を仮不動点とし，相模トラフに直交する方向（北東-南西方向）の断面に投影してある。1987年までの原データは水準点変動図集録——南関東・伊豆——（国土地理院，1989）を，それ以後は地震予知連絡会会報（国土地理院，1992）を使用した。藤沢（J36-1）から熱海（J52）を通して伊豆半島東海岸を南下へがる水準路線の測量は回数が少なく，1930年の伊東の異常隆起，

1975年から続いている現在の伊東異常隆起を除いた静穏な期間内では1回しかない。従って伊豆半島東岸の地殻上下変動についてはここでは言及しない。

図1のAは1884年-1896年間の，1923年関東大地震前の12年間の地殻上下変動である。藤沢を基準にすれば，茅ヶ崎-小田原間が相対的に沈降し，小田原-熱海間では相対的な変化がみられない。この期間にこの地域では地学的には何事も起きていない。従って唯一例しかないが，この地殻変動のパターンが「関東地震」の発生前の静穏期における相模トラフからのフィリピン海プレートの沈み込みに伴う陸側プレートの「基本的な地殻変動パターン」と考えてよいであろう。二宮付近における藤沢に対する相対沈降速度は2 mm/年 であり，これが地震間の定常的な値と思われる。

図1のBは1923年関東大地震による地殻変動であるが，厳密に言えば地震前27年間の地殻変動が含まれている。最大隆起地点は地震前の最大沈降地点と一致している。この地殻変動からは国府津・松田断層や西相模湾断裂が1923年関東大地震と同時に動いた形跡は認められない。

図1のCは地震直後の1924年-1925年の1年間の地殻変動である。小田原の西，早川口（HKW）から真鶴（M）にかけての地殻変動は異常で，早川口を境にして地殻変動に不連続があり，地下に断層が存在する可能性を示唆している。相対的に西側が急激に隆起しており，熱海（J52）の藤沢（J36-1）に対する相対的な隆起速度は37mm/年である。真鶴から熱海にかけてはほぼ平坦な地殻変動パターンである。Scholz and Kato (1978) は早川口付近の地殻変動からこの位置に潜在正断層（小田原断層と命名）の存在を推定し，これが非地震的断層運動をしたと解釈した。すなわち図1Cの地殻変動を藤沢側沈降と見なした。

図1のDは1925年-1930年の5年間の変動である。水準点45-1が欠測になっているので，早川口（HKW）で図1のCのようなはっきりした地殻変動のギャップは認められない。しかし，地殻変動に不連続があることは確かで，図1のCとほぼ同じパターンで相対的に熱海側が隆起している

図1 藤沢 (J36-1)～熱海 (J52) 間の水準点の標高変化 (仮不動点: J36-1) 1884年-1930年
 黒丸: 観測データ. Cの白丸は図5のモデル計算値. F: 藤沢, N: 二宮, O: 小田原,
 M: 真鶴岬, A: 熱海, KMF: 国府津・松田断層, HKW: 早川河口

様に見える。熱海 (J52) の藤沢 (J36-1) に対する相対的な隆起速度は、18mm/年と図1のCのおよそ半分になっている。早川口から東側は「基本的な地殻変動パターン」を示しているが、二宮付近の沈降速度は6 mm/年とやや大きい。一方これらの期間、国府津・松田断層付近には地殻変動の異常はみられない。

図2のAは1930年-1950年の20年間の地殻変動

である。藤沢に対する熱海側の相対的な隆起は続いているが、早川口付近での地殻変動の不連続はみられず、連続的に熱海側が隆起している。水準点J52の隆起速度は3 mm/年であるが、隆起の立ち上がり地点が東側にずれてきている。早川口から東側の地殻変動は基本的な「地殻変動パターン」を示し、二宮付近の沈降速度は2 mm/年と地震間の沈降率に戻った。

図 2 藤沢 (J36-1)～熱海 (J52) 間の水準点の標高変化 (仮不動点: J36-1) 1930 年-1992 年
F: 藤沢, N: 二宮, O: 小田原, M: 真鶴岬, A: 熱海, KMF: 国府津・松田断層,
HKW: 早川河口

図 2 の B は 1950 年-1970 年の 20 年間 の 地殻変動で、基本的には前の期間と同じ地殻変動パターンである。熱海側の隆起は続いているが、隆起の傾斜は更に緩くなり、隆起の立ち上がり地点も東に移動している。水準点 J52 の隆起速度は 3 mm/年で前の期間と同じである。茅ヶ崎付近の著しい沈下は地下水汲み上げに起因する地盤沈下である。

図 2 の C は 1970 年-1990 年の 20 年間 の 地殻変動である。熱海側の隆起は続いているが、前の期間

に比べ、傾斜は益々緩やかになり、はっきりした隆起の立ち上がりはみられなくなった。熱海-真鶴間ではこれまでの地殻変動パターンとは異なり、直線的な傾動になっている。これはこの期間内の 1975 年に始まった伊豆半島北東部における異常地殻隆起現象が熱海、真鶴付近まで及んでいるため、J52 の隆起速度も 5 mm/年 と大きくなっている。早川口から東側は「基本的な地殻変動パターン」を示しており、二宮付近の沈降速度は 2

図3 小田原とその周辺地域の上下変動——1992年-1987年——（国土地理院，1992）

mm/年 で地震間の値である。

図2のDは1987年-1992年の最近5年間の地殻変動である。図2のCと同じパターンであるが、手石海丘噴火を含む伊東付近の活発な地殻活動を反映してJ52の隆起速度は6mm/年と大きな値を示している。早川口から東側は「基本的な地殻変動パターン」で、二宮付近の沈降速度も2mm/年と地震間の値である。この期間には小田原周辺で特別観測が実施されており、大磯丘陵に水準路線が設置された。図3（国土地理院，1992）はこの5年間の小田原とその周辺地域における藤沢（J36-1）を基準にした地殻上下変動である。大磯丘陵も2mm/年前後の速度で沈降していることが初めて明らかになった。

V. 議論および結論

前章でみてきたように藤沢を基準にした湘南海岸沿いの相対的な地殻上下変動には、二宮付近の沈降、熱海側の隆起という共通したパターンがみられる。特に図2のC、Dの1923年関東大地震直後の地殻変動には早川口（HKW）を境にして相対的に熱海側を隆起させる断層運動の存在を示唆

するようなシャープな変化がみられる。ここで問題になるのが絶対的な地殻変動は熱海側が隆起なのか、あるいは藤沢側が沈降なのかということである。このことについて少し検討する。図2からわかるように1924年から65年間の熱海や真鶴の藤沢に対する相対的な累積隆起量は30数cmに達しており、平均5-6mm/年の速度で隆起したことになる。熱海や真鶴は、1923年関東大地震の時隆起している。その上この速度で長期間隆起すれば真鶴岬には隆起地形が残るはずであるが、その様な地形はみられない（松田，私信）。このことは地震間では熱海、真鶴は沈降していることを意味している。

図4（国土地理院，1992）は1967年-1991年の24年間の内浦駿潮場を基準、すなわち海面を基準としたときの伊豆半島北部の地殻上下変動である。図から海面に対して熱海は3cm程度隆起していることがわかる。この期間伊東付近では大きな隆起があり、熱海の隆起はそのためである。従って図2のDは熱海隆起と判断できる。同じパターンであり、期間も図3に含まれる図2のCも熱海隆起と判断できる。

図 4 伊豆半島の地殻上下変動——1991年-1967年——（国土地理院，1992）

図 5 は熱海（J52）から西へ沼津（J60）へ向かう水準路線の測量結果を図 2 と同じ期間でまとめ、熱海（J52）を基準にして示したものである。内浦校潮場と沼津（J60）の間では相対的な上下変動はほとんどない（国土地理院，1989）ので、図 5 の変動は図 4 と同様に海面基準と見なせる。図 5 の A は 1923 年関東大地震前の地殻変動である。J60 まで測量されていないが、変動の様子から熱海は僅かながら沈降していた可能性がある。1930 年-1970 年の 40 年間（図 5 の B, C）では熱海と沼津間の相対的な高さにはほとんど変化がみられ

ない、すなわち熱海は海面に対してほとんど不動であったといえる。同じ様なことが熱海—南伊豆校潮場（静岡県南伊豆町）間の水準測量結果（国土地理院，1989）からも認められる。図 5 の D は 1990 年-1970 年の 20 年間の地殻変動であるが、熱海は沼津に対して 3 cm の隆起で、当然のことながら図 4 の結果と一致している。これらのことから熱海は 1970 年以降数 cm 程度隆起したが、1930 年-1970 年の 40 年間では殆ど地殻変動がなかった、すなわち不動であったといえることができる。従って図 2 の A, B の地殻変動は藤沢側沈降と結論

図 5 熱海 (J52)～沼津 (J60) 間の水準点の標高変化 (仮不動点: J52)
A: 熱海, M: 三島, N: 沼津, TF (破線): 丹那断層, TT (一点破線): 丹那トンネル

される。1924年-1930年については測量がないので直接的な判断はできないが、図1のC, Dは図2のA, Bと同じパターンであるので、藤沢側沈降と推定される。

Yoshioka *et al.* (1993) は、関東地方におけるフィリピン海プレートと北米プレート境界面でのカップリングを、最近20年間の地殻変動速度を基に計算している。そのために水準測量と驗潮データを統一的に整理し、上下変動速度の分布を求めている。この結果によると藤沢は5 mm/年の速度で、また二宮は7 mm/年の速度でそれぞれ沈降している。即ち二宮は藤沢に対して相対的に2 mm/年の速度で沈降していることになる。この値は前章で述べた1923年関東大地震前および

1930年以降の二宮の藤沢に対する相対的沈降速度と一致している。また1930年-1970年の40年間の二宮および藤沢の累積沈降量は、計算上それぞれおよそ20cm および30cm になるが、図2にみられるように熱海を基準にした観測上の累積沈降量もほぼこの値と一致している。

以上のことから1924年-1992年間の地殻変動は、熱海は1970年以降の一時期（多分1975年以降）の僅かな隆起を除いてほとんど変動なく、不動であり、藤沢側沈降と結論される。

また1930年以降の二宮、藤沢の沈降速度はそれぞれ7 mm/年 および5 mm/年 と推定されるが、二宮の1924年-1925年間および1925年-1930年間の沈降速度はそれぞれ40mm/年、20mm/年 と異常

図 6 1924年-1925年間の地殻変動を説明する多田・坂田モデルと計算地殻変動
 矩形：断層面の地表への投影（二重線が上端）。挿入図は断層モデルを模式的に示したもので、細実線は多田・坂田モデルの断層面、太実線は1923年関東大地震後に非地震性断層運動したと考えられる断層面を表わす。

に早かったと結論される。

藤沢側沈降という目で改めて図1のC, Dを解釈すると、早川口付近を境にして藤沢側が落ち込むような非地震性断層運動が起き、そして滑り面が時間と共に地殻深部へ移動したのではないかと推測される。この1本の水準路線だけの地殻変動から断層の走向を決めることは不可能である。仮に走向が南北方向であれば、東側落ちの正断層ということになり、Scholz and Kato (1978)の考えに一致する。東西走向であれば、北落ちのやはり正断層になり、Tada and Sakata (1977)の1923年関東大地震断層モデルの西翼のスラストの一部が地震直後にバックスリップしたことで説明できる。図6は多田・坂田断層モデルと計算地殻変動で、挿入図は多田・坂田断層モデルの模式断面である。また図1のCの白丸はこの計算値を藤沢基準にして示したものである。Tada and Sakata (1977)モデルとScholz and Kato (1978)モデルのどちらが妥当なのか判断は難しいが、最近のフィリピン海プレート境界モデルを考慮するとTada and Sakata (1977)モデルの方の可能性が高いと思われる。

1923年関東大地震以後の湘南地方の地殻上下変

動を詳しく検討したが、地殻変動からは西相模湾断裂の存在を認識することはできなかった。

文 献

- 石橋克彦 (1988)：「神奈川県西部地震」と地震予知Ⅱ。科学, 58, 771-780。
 地震予知総合研究振興会 (1990)：3章. 地形・地質・活構造. 地震予知総合研究振興会：「地震テクトニクスのモデル化及び M7 級内陸地震の予知手法に関する研究報告書」平成2年3月. 35-80。
 国土地理院 (1989)：水準点変動図集録——南関東・伊豆——。国土地理院, 204p。
 国土地理院 (1992)：関東地方の地殻変動. 地震予知連絡会会報, 48, 125-161。
 松田時彦 (1985)：大礫型地震について. 月刊地球, 7, 472-477。
 松田時彦 (1987)：百年・千年・万年の未来予測——地震と地殻変動. 第四紀学会編：百年・千年・万年後の日本の自然と人類. 古今書院, 81-103。
 大河内直彦 (1990)：相模湾の活構造とテクトニクス. 地学雑誌, 99, 458-470。
 坂田正治 (1987)：「小田原地震」は予知できる. 西さがみ庶民史録, 15, 2-8。
 Scholz, C. H. and Kato, T. (1978)：The behavior of a convergent plate boundary：Crustal deformation in the south Kanto district, Japan. J. Geophys. Res., 83, 783-797。
 杉村 新 (1972)：日本付近におけるプレートの境界. 科学, 42, 192-202。
 Tada, T. and Sakata, S. (1977)：On a fault model

of the 1923 great Kanto earthquake and its geotectonic implication. *Bull. Geogr. Surg. Inst.*, **22**, Part 2, 103-121.
Yoshioka, S., Yabuki, T., Matsu'ura, M., Sagiya,

T. and Tada, T. (1993): Interplate coupling and its tectonic implications in the Kanto district, central Japan as deduced from geodetic data inversion. *Tectonophysics*. (in press)