関東地方の地震と飛騨地方の稍深発地震の相関再考

吉 田 明 夫*

Re-examination of the Correlation between Earthquakes in Kanto Region and Intermediate-depth Earthquakes in Hida Region, Central Japan

Akio YOSHIDA*

Abstract

Correlation between earthquakes in Kanto region and intermediate-depth earthquakes in Hida region, central Japan is re-investigated. We found that a significant correlation exists between earthquakes with depth of 70 km and deeper in western Kanto and intermediate-depth earthquakes in Hida region, but such a correlation is not seen for earthquakes in eastern Kanto. This result shows that earthquakes occurring in the Pacific slab are well correlated each other, but earthquakes which occur in relation to the subduction of the Philippine Sea plate are not correlated with intermediate-depth earthquakes in the Pacific plate. Intermediate-depth earthquakes in Hida region have a tendency to precede earthquakes in western Kanto. This feature may be related to the dynamics of the plate motion which oceanic plate is pulled by the subducted slab.

I. はじめに

宇津 (1975) は、関東地方の地震と飛騨地方の稍深発地震との間に偶然とは見なしえない相関の認められることを指摘した。それは離れた地域間の地震活動の関連性を統計的な手法を用いて検証した先駆的な論文で、以後、同様な方法を用いて茨城県沖のプレート間地震と茨城県南西部の地震との相関 (Ohtake, 1986) や、石廊崎-静岡構造線 (茂木, 1977) とその延長線 (吉田, 1983) 沿いの活動の相関 (吉田・谷渡, 1984) などが調べられ、それぞれ有意な関連性が指摘されている。

ところで、宇津 (1975) の論文は1924年から1974年までの51年間のデータを用いて解析したもので、それ以後20年近いデータの蓄積がある。ま

た、用いた地震データは種々のカタログ (気象庁地震月報のほかに気象庁地震課 (1971) や勝又 (1970), Gutenberg and Richter (1954) など) からとっており、取捨選択の基準が必ずしも明確とはいえない。そこで1926-1960年については震源を再計算した気象庁地震月報別冊第6号 (気象庁, 1982) を用い、また1961年以降は気象庁地震月報を用いて、1992年までの67年間のデータから飛騨の稍深発地震と関東の地震との相関を再調査してみた。その結果、飛騨地方の稍深発地震と良い相関を示すのは関東地方西部に発生する70km以深の地震で、関東地方東部の地震についてはむしろ関連があるとはいえないという新たな知見が得られたので報告する。なお、地震の時空間分布および発生時系列の作成には SEIS-PC (石川ほか,

* 気象研究所地震火山研究部

* Seismology and Volcanology Research Department, Meteorological Research Institute

1985) を用いた。

II. 解析と結果

図 1 (a) は 1926-1992 年間に発生した $M \geq 5$, 深さ 70-320km の地震の震央分布で, 図 1 (b) はその中の矩形領域内に発生した地震について, 東西方向に切った震源断面図である。深さ 70km 以深の地震をとったのは, 飛驒地方の稍深発地震が太平洋プレート内の地震であることを考慮して, 関東地方に発生する地震のうち, 浅い地殻内の地震およびフィリピン海プレートの沈み込みに関連した地震を除いてみようとしたためである。また, 320km までとしたのは, 飛驒では 300km 以深の地震も起きているが, 320km を超えるものはこれまでにないからである。図 1 (b) から, これら矩形内の地震は西に傾き下がる面に沿って分布している様子が見られるが, このことは最初に意図したように, 浅い地殻内の地震及びフィリピン海プレートの沈み込みに関連した地震が除かれて, 太平洋プレートの沈み込みに関連した地震のみがここにプロットされていることを示すと見てよいだろう。なお, ここでもう一つ注意してほしいのは, 矩形領域の東縁をほぼ東経 140° の線で区切っていることで, このため関東地方で最も活動度の高い茨城県南西部から千葉県中部にかけての地震は入っていない。このことの意味は後で論じることにして, まず上の矩形領域内の地震活動の相関について調べてみよう。

図 1 (c) は図 1 (a) の矩形領域内の地震の時空間分布で, 東側の 200km よりも浅い地震は上部に丸で, また西側の 200km よりも深い地震は下部に四角でプロットされている。これから, これら東西の領域における地震発生の関連性は明らかと思われるが, 宇津 (1975) にならって, 更にその統計的な有意性を検証してみる。

図 1 (d) は関東地方の地震の発生年を上段に, また飛驒地方の稍深発地震の発生年を下段にとつて並べて示したものである。中間部に描かれている斜線の入った区間は飛驒地方で地震が発生した直後の 3 年間を示し, この区間に発生した関東地方の地震は黒丸でプロットされている。斜線区間

の総計は全期間 (67 年間) の約 53% にあたるが, 注目されるのは関東地方の 21 個の地震のうち 18 個がこの斜線区間で発生していることである。もし関東地方の地震がランダムに起きているとすると, 21 個中 18 個以上の地震がこの区間に発生する確率は 1.7×10^{-3} となって非常に小さく, 二つの領域の地震が偶然同期して発生しているという帰無仮説は有意水準 1% で棄却される。

先に, 図 1 (a) の矩形領域の東側には茨城県南西部から千葉県中部にかけて活動度の高い地域が存在することを述べた。次にここに発生する地震と飛驒地方の稍深発地震との間の関連性を見てみる。図 2 (b) は図 2 (a) の中の二つの矩形領域内の地震について, その発生時系列を並べて示したものである。上段が関東地方, 下段が飛驒の地震にあたる。中間部の斜線領域は図 1 (c) と同じく飛驒の地震が発生した後の 3 年間を示し, この区間に起きた関東の地震は黒丸でプロットされている。図 2 (b) から一見してわかるように, 黒丸の数は相対的にそれほど多いとはいえない。上段の 30 個の地震のうち対応する地震は 17 個でその割合は 0.57 であり, 全期間に対する斜線区間の割合 0.53 とそれほど変わらない。実際, 30 個中 17 個以上が斜線区間に発生する確率は 0.41 となって, これは飛驒の地震に関係なくランダムに起きているとみなして問題のない数値である。

ところで, 図 2 (a), (b) には深さ 70km 以深の地震がプロットされているが, 茨城県南西部から千葉県中部にかけては深さ 40-70km の地震が多く発生することが知られている。従って, 図 2 (a) の右側の矩形領域内に関しては, 70km 以深の地震だけをとったのでは, その区域の真の活動の変化を見ることにならないと推定される。そこで図 2 (b) の地震に加えて 0-69km の地震を合わせて飛驒地方の稍深発地震と比べて見たのが図 2 (c) である。上段において四角でプロットされているのは 70km 以深の地震で, これは図 2 (b) 上段の地震にそのまま対応する。深さ 0-69km の地震は丸で表わされており, 四角と合わせて全部で 94 個の地震がある。このうち黒丸もしくは黒四角で示したものの, すなわち飛驒で稍深発地震が

図 1 (a) 1926–1992年間に発生した $M \geq 5$, 深さ70–320km の地震の震央分布
 (b) (a) 図の矩形領域内の地震について東西方向に切った震源断面図. 縦横の縮尺比は 1 : 1. また,
 (a) 図の縮尺とも同率.
 (c) (a) 図の矩形領域内の地震について東西方向に投影した時空間分布.
 (d) 上段 : 関東地方に発生した地震の時系列. 黒丸は飛騨の地震の発生後 3 年以内に起きた地震を示す.
 下段 : 飛騨地方に発生した稍深発地震の時系列.

Fig. 1 (a) Epicentral distribution of earthquakes with $M \geq 5$, depth 70–320km during the period 1926–1992.

- (b) Cross section of earthquakes within the rectangular region of Fig. 1 (a). Vertical and horizontal reduced scales are the same.
- (c) Space-time distribution of earthquakes within the rectangular region of Fig. 1 (a).
- (d) Upper side : Occurrence time and magnitude of earthquakes in the Kanto region. Lower side : Occurrence time and magnitude of intermediate-depth earthquakes in the Hida region.

図 2 (a) 1926-1992 年間に発生した $M \geq 5$, 深さ 70-320km の地震の震央分布。

(b) 上段：関東地方東部に発生した地震の時系列。黒丸は飛騨の地震の発生後 3 年以内に起きた地震を示す。

下段：飛騨地方に発生した稍深発地震の時系列。

(c) 上段：関東地方東部に発生した $M \geq 5$, depth ≤ 150 km の地震の時系列。

発生した直後の 3 年間に起きているものは 48 個で、その割合は 0.51 となり、これは全期間に対する斜線区間の割合 0.53 よりもむしろ小さい。特に 0-69km の地震だけをとれば 64 個中 31 個（比率は 0.48）となって、逆相関的な様子さえ見られる。

茨城県南西部から千葉県中部にかけての地震集中域はフィリピン海スラブの先端部と太平洋プレートが接触しているところと考えられており（例えば、石田，1990），この地域で発生する個々の地震がどちらのプレートに関連したものであるかを判別することは難しい。特に 1960 年以前の震源データの深さの精度に関してはかなり問題があるので（浜田，1990），図 2 (c) の上段の地震それぞれについてそれらを分類することは實際上不可能であろう。また、この地域のテクトニクスから見て、そもそもどちらか一方のプレートにのみ関係して地震が起きているとするのは適当でないとも考えられる。飛騨地方の稍深発地震と関東地方の地震活動の相関を調べるのに東経 140° の線で分けてみたのは実はこうした理由に基づいている。図 1 (b) に示したように、東経 140° 線よりも西側で深さ 70km 以深の地震をとれば、ほぼ太平洋プレートに関連した地震のみが取り出されるのに対して、140° 線より東側域ではそうした分離ができない。飛騨地方の稍深発地震との相関が関東地方西部の地震については明瞭に見られるのに、関東地方東部の地震についてはそれが認められないというのは、恐らくこのことと密接に関係している

下段：飛騨地方に発生した稍深発地震の時系列。

Fig. 2 (a) Epicentral distribution of earthquakes with $M \geq 5$, depth 70-320km during the period 1926-1992.

(b) Upper side: Occurrence time and magnitude of earthquakes in eastern Kanto. Lower side: Occurrence time and magnitude of intermediate-depth earthquakes in the Hida region.

(c) Upper side: Occurrence time and magnitude of earthquakes with $M \geq 5$, depth ≤ 150 km in eastern Kanto. Lower side: Occurrence time and magnitude of intermediate-depth earthquakes in the Hida region.

ものと推定される。なお、関東地方西部で深さ69 km 以浅の地震をとると、飛騨での稍深発地震の発生後3年間に起きている割合は0.61となって、関東地方東部に比べるとやはりいくらか大きい値が得られる。しかし、その中には1930年前後の北伊豆地震や山梨県東部の地震、西埼玉地震など、1923年関東地震後の周辺地域における余効的活動が含まれていて、しかもそれらがかなり大きくこの割合に寄与しているので、0.61という数値をそのまま受け取ることではできないと思われる。

ところで、宇津 (1975) は関東地方に発生した $M \geq 5.5$ の地震と飛騨地方の $M \geq 5$ の稍深発地震とを比べている。そこで宇津 (1975) の結果と比較するために、図3 (a) の矩形領域内に発生した $M \geq 5.5$ の地震と飛騨地方の稍深発地震との相関を次に検討する。

図3 (b) は下段に飛騨の稍深発地震の発生時系列を、また上段に関東地方の $M \geq 5.5$ の地震の発生時系列をとって並べて示したものである。上段の地震のうち黒丸でプロットされているのは、図1 (c)、図2 (b) の場合と同様に、飛騨の地震の後3年以内に発生した地震を表わしている。そのような地震は60個中37個あり、その割合は0.62である。そして、関東地方の地震がランダムに起きているとした時に、60個中37個以上の地震がこの区間に入る確率は0.11となる。これはそれほど小さな値とはいえず、関東地方の地震と飛騨の稍深発地震とは相関がないとする帰無仮説は有意水準5%で棄却されない。

III. まとめと議論

宇津 (1975) によって指摘された関東地方の地震と飛騨地方の稍深発地震との相関について、1926-1992年の67年間の気象庁地震データを用いて再検討し、以下の結果を得た。

1. 東経140° 線より西側の70km 以深、 $M \geq 5$ の関東地方の地震と飛騨の稍深発地震とは良い相関が見られる。
2. 東経140° 線より東側の地震については、飛騨の稍深発地震との相関が認められない。
3. 宇津 (1975) と同じく、関東地方における

図3 (a) 1926-1992年間に発生した $M \geq 5.5$ 、深さ ≤ 150 km の地震の震央分布。

(b) 上段：関東地方に発生した地震の時系列。黒丸は飛騨の地震の発生後3年以内に起きた地震を示す。

下段：飛騨地方に発生した稍深発地震の時系列。

Fig. 3 (a) Epicentral distribution of earthquakes with $M \geq 5.5$, depth ≤ 150 km during the period 1926-1992.

(b) Upper side: Occurrence time and magnitude of earthquakes with $M \geq 5.5$ in the Kanto region.

Lower side: Occurrence time and magnitude of intermediate-depth earthquakes in the Hida region.

$M \geq 5.5$ の地震について見た場合も、飛騨の稍深発地震と有意な相関があるとはいえない。

関東地方は太平洋プレート、フィリピン海プレートがそれぞれ東、南西方向から沈み込んでいるほか、上盤陸側に関しても北米プレート（もしくは東北日本マイクロプレート、あるいはオホーツクプレート）とアジアプレートの境界に近く、テ

クトニクス的に非常に複雑なところにあっている。更に、伊豆大島や三宅島など活動的火山もその縁辺にあり、伊豆半島東岸では地下のマグマに由来すると見られる活発な地殻活動が近年続いている。このような複雑なテクトニクスの場にある関東地方には、種々異なった地学的背景を起源とするいろいろな起震応力場の作用していることが当然予想される。こうした点を考えれば、関東地方の地震活動が特定他地域の地震活動と長期にわたって相関をもつという方がむしろ不思議である。その意味では、飛騨の稍深発地震と関連しているのは関東地方西部の太平洋プレート内の地震であって、関東地方に発生する地震一般について有意な相関が認められるわけではないという今回得られた結果は妥当なものといえる。沈み込む海洋プレートに沿って深発地震と浅い地震とが関連して発生していると見られる例は、すでに Mogi (1973) によっていくつか紹介されている。興味深いのは、そのいずれの場合も深発地震がやや先行していることで、こうした特徴は今回の解析結果でも同様に認められる。これはプレート運動の原動力が沈み込んだスラブの引っ張り力にあるということと関係しているのかもしれない。

先に、関東地方には種々異なったテクトニックな起源をもつ応力場が作用している可能性について述べたが、実際、関東地方の地震活動が様々な要因によって変化していることを示す事実が少なからずある。例えば、茨城県南西部の地震と茨城県沖の地震とは同期して発生する傾向が見られ (Ohtake, 1986)、関東地方東部の千葉県中部から茨城県南西部、銚子付近にかけての地震活動は、1953年房総沖地震、1972年八丈島東方沖地震の前に有意に静穏化した (高山・吉田, 1993)。また、1923年関東地震の前後、首都圏域とその周辺の地震活動は明らかに活発化している (茂木, 1980)。この他、関東南方の海域に発生したフィリピン海プレートを切る大地震の後に、首都圏で深い地震が起きているという指摘があり (Okada and Kasahara, 1990)、更には、小田原付近に発生する大地震が関東地方における地震活動の活発化をもたらすという、歴史地震の解析に基づく考察もある

(石橋, 1990)。

このように、関東地方の地震活動に影響を与える要因は多く、その活動の推移予測が困難なことも容易に想像がつく。しかし、種々の時間空間的なスケールで生じる活動の変化を解きほぐして、そのサイスモテクトニックな背景と力学的なメカニズムを明らかにしていくことによって、予測への手がかりも得られるものと期待される。

文 献

- Gutenberg, B. and Richter, C. F. (1954): *Seismicity of the earth and associated phenomena*. (2nd ed.) Princeton Univ. Press, 768p.
- 浜田信生 (1990): 地震月報別冊 6 号震源の部分修正について. 地震 2, 43, 307-310.
- 石橋克彦 (1990): 首都圏直下の大地震活動の消長と東海・関東巨大地震. 地質ニュース, 432, 27-30.
- 石田瑞穂 (1990): 関東・東海地域の地震活動とプレート構造. 地質ニュース, 432, 18-26.
- 石川有三・松村一男・横山博文・松本英照 (1985): SE-IS-PC の開発一概要. 構造地質, 19, 19-27.
- 勝又 護 (1970): 日本列島およびその周辺におけるサイスミシティとそれに関連する諸問題. 験震時報, 35, 75-142.
- 気象庁 (1982): 改訂日本付近の主要地震の表 (1926-1960). 地震月報, 別冊第 6 号.
- 気象庁地震課 (1971): 東京有感地震資料 1855 年-1970 年.
- Mogi, K. (1973): Relationship between shallow and deep seismicity in the Western Pacific region. *Tectonophys.*, 17, 1-22.
- 茂木清夫 (1977): 伊豆・東海地域の最近の地殻活動の一解釈. 地震研究所彙報, 52, 315-331.
- 茂木清夫 (1980): 首都圏を含む広域の地震活動の時間的経過. 地震予知連絡会地域部会報告, 第 2 巻「首都及びその周辺の地震予知」, 20-21.
- Ohtake, M. (1986): Synchronized occurrence of off-shore and inland earthquakes in the Ibaraki region, central Japan. *Earthq. Predic. Res.*, 4, 165-173.
- Okada, Y. and Kasahara, K. (1990): Earthquake of 1987, off Chiba, central Japan and possible triggering of eastern Tokyo earthquake of 1988. *Tectonophys.*, 172, 351-364.
- 高山博之・吉田明夫 (1993): やや長期的に見たときの関東およびその南方海域の地震活動. 日本地震学会講演予稿集, No. 2, p. 150.
- 宇津徳治 (1975): 関東地方の地震と飛騨地方の稍深発地震の相関について. 地震 2, 28, 303-311.
- 吉田明夫 (1983): 駿河トラフ西側域の地震活動. 地震 2, 36, 111-113.
- 吉田明夫・谷渡直樹 (1984): 駿河トラフ西側域の地震発生の地域的相関について. 地震 2, 37, 269-279.
- (1993 年 11 月 22 日受付, 1994 年 2 月 14 日受理)