

41. 1975~1978年の伊豆半島における地震活動の 半日潮周期変化および日周変化

地震研究所 島田 誠一

(昭和53年5月26日受理)

§1. はじめに

1930年の伊東群発地震とそれに引き続いた北伊豆地震の前震の回数と潮汐との間に相関があったことが知られている(今村研究室, 1930; NASU *et al.*, 1931). また, 北伊豆地震の余震について, 布良の潮位との間には相関が見られないが一日周期の活動があったことが指摘されている(松澤, 1936). 伊豆半島以外では, 1968年~1970年の岡山県矢掛付近の地震群の活動と潮汐との相関が茅野(1973)によって指摘されている. また, 世界各地の地震についても, 大地震の発生時と潮汐の位相との関係や(例えば, HEATON, 1975), 群発地震活動と半日潮との関係(例えば KLEIN, 1976)が論じられている.

この論文では1975年以降の遠笠山付近の群発地震から伊豆大島近海地震までに至る一連の伊豆半島付近の地震活動と潮汐および一日周期との相関を調べた結果について報告する.

§2. 1975年~1977年の地震活動

津村ほか(1977)によれば, 1975年から1977年までの期間に, 伊豆半島東部一帯に地震活動がみられた. まず, 1975年10月26日以降遠笠山付近の群発微小地震が急に活発になり, その後同年12月以降次第に衰えながら2年以上にわたって続いた. 河津付近にも一連の活動があり, その最大のものが1976年8月18日の $M_{2.4}$ の河津地震である. また, このほかにも半島東部の数か所に地震活動が見られた.

これらの地震活動を時間的に均質な時系列として見るには, 伊豆半島の奥野(OKN)にある地震研究所の地震観測点の記録を用いて適当な S-P 区間に分けるのがよいと考えられる(Fig. 1). この報告では, この方法によって M_2 潮(主太陰半日潮, 周期12時間25分)の位相30度の区間ごとに起こった地震数の統計をとり, 1975年9月から1977年7月までの伊豆半島東部の地震と M_2 潮との相関を調べた.

Fig. 2 にこのようにして得られた S-P 区間0.5-1.4秒の地震数を示す. この区間はほぼ遠笠山付近の活動を表わしていると考えられる. つねにノイズレベルより大きな均質なデータを得られるように地震の振幅に制限をつけて, 記録紙上で最大振幅が全振幅4mm以上の地震を選んだ. また M_2 潮による鉛直上方への加速度が最大になるときを位相 0° にとっている. Fig. 2 に示すように, 遠笠山付近の活動が最も激しかった1975年10月から

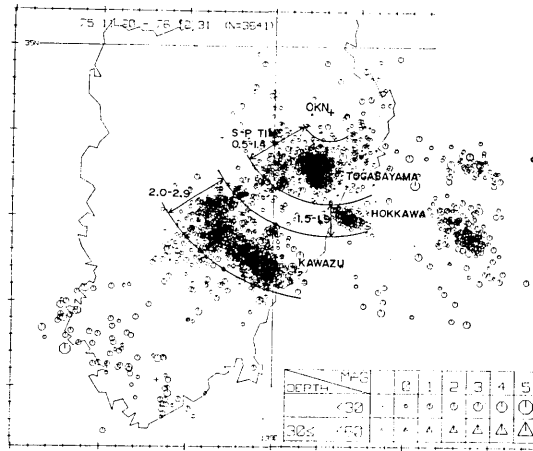


Fig. 1. Epicentral distribution of microearthquakes in the period from November 20, 1975 to December 31, 1976 (after Tsumura *et al.*, 1977) and the location of Okuno seismographic station (OKN). Earthquake activities near Mt. Togasa and around Kawazu have S—P time range 0.5-1.4 second and 2.0-2.9 second respectively.

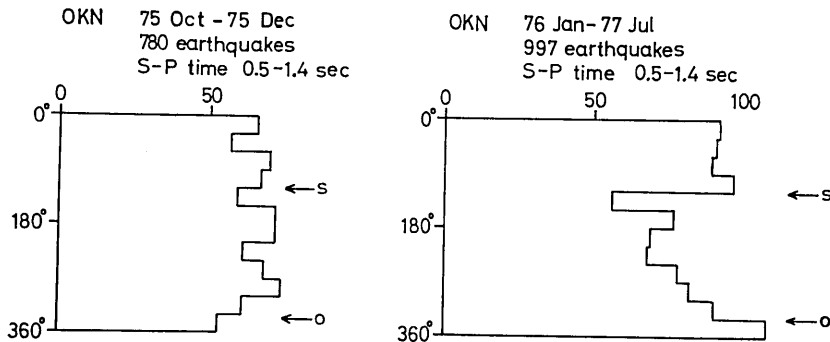


Fig. 2. Phase diagrams of semidiurnal M_2 tide for the number of earthquakes near Mt. Togasa observed at Okuno. (a) October 1975~December 1975; Schuster's Probability $p=0.48$, and (b) January 1976~July 1977: $p=0.0002$. 0° of tidal phase is taken as the peak of solid tide (maximum upward acceleration). o indicates the minimum ocean tide in the Izu area and s the maximum tidal compression stress in the $N15^\circ W$ direction, which is presumed to be the axis of tectonic compression in the crust due to the earthquake mechanism.

12月の期間では M_2 潮との相関はみられないが、1976年1月から1977年7月までの期間では相関がみられる。とくに後者の期間中では、ほぼ全期間を通じて明瞭な相関がみられる。さらに両期間とも、地震の一日周期の活動は認められない。

ところで、このような地震の周期性についての検定には、Schusterの検定法が古くから用いられている (SCHUSTER, 1897)。この方法では、ある n 個の地震群の周期性を調べたいとき、各々の地震の発生時刻がその周期の位相では θ_i ($i=1, \dots, n$) にあたると

き、それらの地震の発生がこの周期に対してランダムである確率 p は

$$p = \exp(-R/n)$$

で与えられる。ここに

$$R = \left(\sum_{i=1}^n \cos \theta_i \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n \sin \theta_i \right)^2$$

である。この方法によると、上記の1975年10月から12月の遠笠山付近の地震活動の場合の確率 p は0.48、76年1月から77年7月までの期間については0.0002であり、後者の期間の活動に M_2 周期の周期性は有意と考えられる。

次に Fig. 3 には、1975年9月から1977年7月までの期間に発生した S-P

区間 2.0-2.9 秒の地震回数の統計をとった。この区間はほぼ河津付近の地震活動を表わしていると考えられる。この場合、震源距離が遠く波動の減衰が大きいために、遠笠山付近の地震の場合と違って、地震の振幅に制限をつけずに観測されたすべての地震を用いた。このためあまり均質なデータとはいえない。この統計結果についての Schuster の方法による確率 p は0.039であり、 M_2 潮周期についてほぼ有意な周期性が認められる。この S-P 区間の地震には、1976年8月の河津地震の余震のほか、半島内部に震源をもつ地震や、一時的に大島近海の地震も含んでいるものの、ほぼ全期間を通じて、地震発生回数

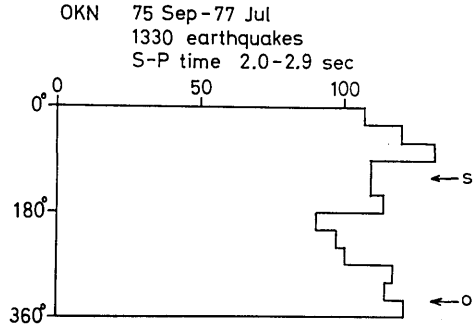


Fig. 3. Phase diagram of semidiurnal M_2 tide for the number of earthquakes around Kawazu observed at Okuno. Schuster's probability $p=0.039$. o indicates the minimum ocean tide and s the maximum tidal compression stress in the $N15^\circ W$ direction.

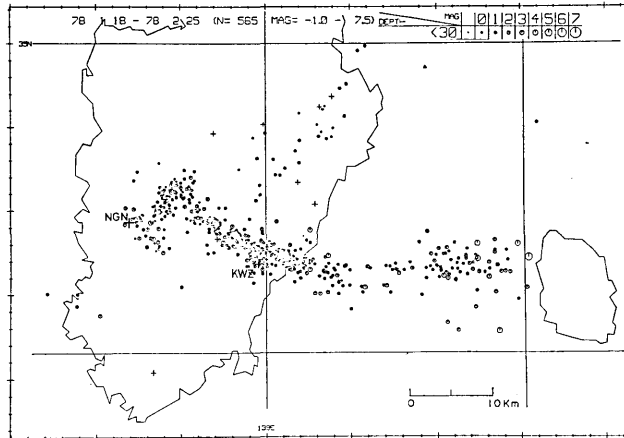


Fig. 4. Epicentral distribution of aftershocks of the 1978 "Izu-Oshima-Kinkai" earthquake in the period from January 18 to February 25, 1978 (after TSUMURA *et al.*, 1978) and the location of seismographic stations; Kawazu (KWZ) and Neginohata (NGN).

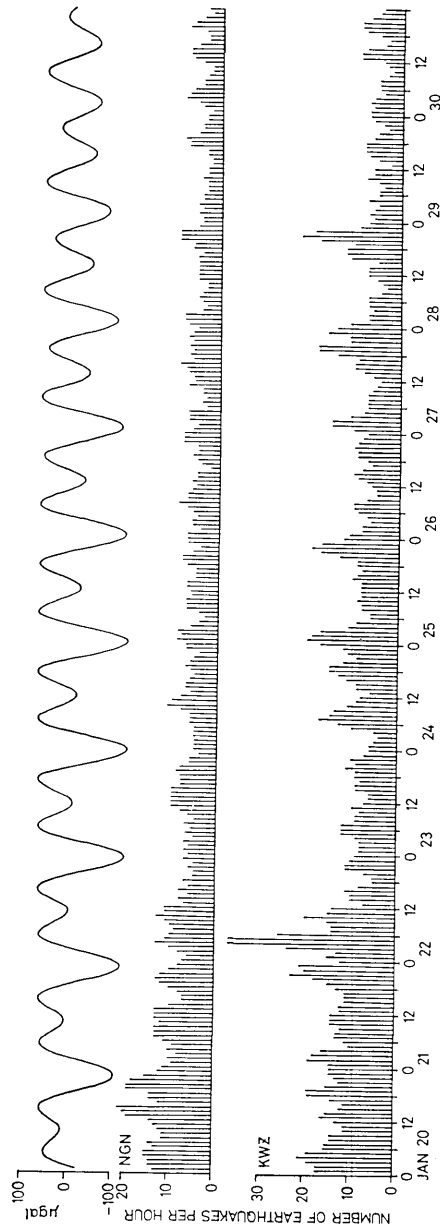


Fig. 5. Downward acceleration of gravity tide at Izu Peninsula and the number of aftershocks per hour observed at Neginohata (NGN) and Kawazu (KWZ) in January 1978. Numbers are calculated by running mean of three hours.

と M_2 潮との相関が認められる。またこの S-P 区間の一日周期との相関は、地震の振幅に制限をつけずに夜間に地震数が多いが、記録紙上で最大振幅が全振幅 4mm 以上の地震だけを選ぶとその周期性がなくなることから、地震発生に一日周期はないと考えられる。

§3. 1978年伊豆大島近海地震の余震

1978年1月14日の伊豆大島近海地震 ($M7.0$) と15日のその最大余震 ($M5.8$) の余震は、それぞれ伊豆半島東部と西部にたがいに共役と考えられる断層線上に沿って直線状に発生している。地震研究所の河津 (KWZ) および禰宜(ねぎ)ノ畑 (NGN) の地震観測点はそれぞれ、伊豆半島の2つの余震域のごく近くに位置している (Fig. 4)。そのため両観測点の記象から振幅の大きな地震の数を読みとることで、それぞれの余震域の地震数に関する比較的均質なデータが得られる。ここでは記録紙上で最大振幅が全振幅 4mm 以上の地震をデータとした。

Fig. 5 には、両観測点での1978年1月20日から31日までの最大振幅 4mm 以上の地震の1時間ごとの数と、伊豆半島中部の鉛直下方への重力潮汐の理論値を示す。地震数には短周期の変動が大きいので3時間ごとの移動平均をとってある。この図において25日から28日頃にわたって河津の地震数に顕著な周期性がみられるであろう。この変動について潮汐との相関と一日周期との相関を調べてみると、潮汐との間には相関がなく、一日周期の変動であることがわかる。

Fig. 6 に1978年1月19日から29日までの10日間の河津の地震数の1時間ごとの統計を

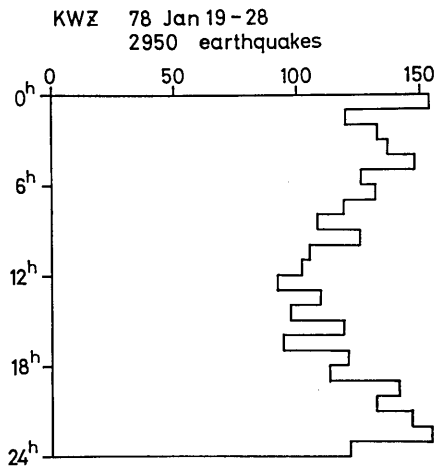


Fig. 6. Daily variation of aftershocks observed at Kawazu during January 19~28, 1978. Schuster's probability $p=5 \times 10^{-7}$

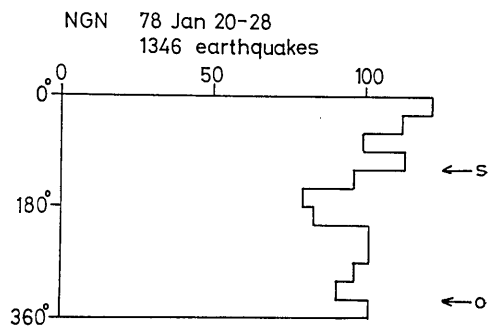


Fig. 7. Phase diagram of semidiurnal M_2 tide for number of aftershocks observed at Neginohata during January 20~28. Schuster's probability $p=0.0021$. o indicates the minimum ocean tide and s the maximum tidal compression stress in the $N15^\circ W$ direction.

示す。明らかに真夜中頃に地震の発生が多い。この時期の記象のノイズレベルはかなり低く、ノイズによるみかけ上のものとは考えられない。また、このときの Schuster の方法による確率 ρ は 5×10^{-7} となり、一日周期の変動は有意である。その後3月までの地震数にはこのような日周変化は特にみられない。また潮汐との相関もみられない。

次に福宜ノ畑の地震数についてみると、1978年1月21~22日日頃や同月29日~30日頃など、ときどき潮汐の周期との相関がみられるようである。Fig. 7 に1月20日20時から29日14時までの福宜ノ畑の地震数の M_2 潮の位相による統計を示す。Schuster の方法による確率は0.0021でこの付近の地震活動と M_2 潮周期との相関は有意といえる。その後は3月半ばまで、潮汐との相関は見られない。また、全期間を通じて一日周期も見られないようである。

§4. 考 察

すでに示してきたように、1975~1978年の伊豆半島での地震活動と M_2 潮との相関がみられる場合、いずれも M_2 潮による鉛直上方への加速度が最大になる位相 0° 付近に地震の数が多い。伊豆半島近海で海洋潮汐の M_2 潮は、潮汐による重力ポテンシャルより 150° 前後の位相の遅れが見られるので、これは海洋潮汐でいえば低潮位の時期にあたる。1930年の伊東群発地震および北伊豆地震前震のときには、低潮汐のときに地震が多く発生しており（今村研究室, 1930; NASU *et al.*, 1931）、今回も同様であったことがわかる。

震源域に働らく潮汐による応力としては、地球潮汐による直接の応力と海洋潮汐の荷重による地殻の変形による応力がある。地震活動に影響を与えそうな応力として、地震の発震機構や測地測量、断層の走向などから得られる地域のテクトニックな主圧縮軸方向の法線応力と、断層運動の方向のずり応力が考えられる。伊豆地域の主圧縮軸方向は南北ないし南南東-北北西方向と考えられているので、 $N15^\circ W$ 方向の圧縮応力を計算すると、伊豆半島東部では M_2 潮の地球潮汐による最大応力の大きさは 10 mbar、最大になる応力の位相は約 120° である。また、 M_2 潮の海洋潮汐によるものは大きさ 1 mbar、位相約 150° であり、地球潮汐による応力に比べて無視できる。ここで海洋潮汐による応力は伊豆半島東部から 200km 四方の海域について概算した。

次に、伊豆半島東部の断層の走向は西北西-東南東およびこれに直角な方向であり（村井・金子, 1974）、西北西-東南東方向の右ずれずり応力、およびこれに直角な方向の左ずれずり応力はともに、地球潮汐では 2 mbar で、最大になる位相は約 130° 、海洋潮汐による応力は 1 mbar、位相約 150° であり、合わせると 4 mbar、位相約 140° となる。Fig. 2, Fig. 3 および Fig. 7 には、海洋潮汐の最低潮および主圧縮方向の圧縮応力が最大になる位相を示してある。圧縮応力、ずり応力のどちらにしても、地震活動が活発になるのは、潮汐による応力が増大しているときと考えられる。

松澤 (1936) によれば、北伊豆地震の余震活動に一日周期の変化がみられた。これによると、1930年11月26日の北伊豆地震の翌日から12月27日までの1か月間の余震については、一日周期の活動がみられ、夜1時頃に活動のピークがある。この場合をさらに細かくみると、夜に多い活動は、とくに12月2日から9日にかけて集中していたようである。こ

の一日周期の活動は、今回河津で観測された余震活動の夜に多い一日周期の変化とよく似ている。両者はともに地震断層が地表にあらわれた地震であり、おそらく地表近くに震源をもつ余震活動が気圧などの日周変化の影響を受けたのであろう。

§5. おわりに

1975年から1978年にいたる伊豆半島での地震活動と潮汐および一日周期との相関を調べた結果、次のことが明らかになった。

1) 1975年半ばから1977年半ばまでの伊豆半島東部の地震活動のなかで、1976年1月から77年7月までの遠笠山付近の群発地震、および75年9月から77年7月までの河津付近を中心とする地震活動に M_2 潮周期の周期性がみられた。しかし、一日周期の変化はとくに明瞭ではなかった。

2) 1978年1月14日の伊豆大島近海地震の余震活動のなかで、1月24日から29日にかけて、河津では顕著な一日周期の活動がみられ、また、1月20日から28日までの期間に、伊豆半島西部の禰宜ノ畑では M_2 潮周期の活動がみられた。このような周期性は、その後みられなくなった。

3) これらの周期性をもつ活動のパターンは、1930年の伊豆半島北部の地震活動の場合とよく類似したものになっている。

4) M_2 潮の周期の活動では、潮汐による地殻応力が増大するときに地震が多く発生しているようである。

謝 辞

伊豆半島の奥野、河津および禰宜ノ畑の地震観測点の地震の読みとりデータおよび地震記象を見せてくださった地震研究所の津村助教授、唐鎌郁夫氏をはじめ地震移動観測班の皆様が心から御礼申しあげる。また、萩原助教授には原稿を見ていただき、長沢工博士ならびに花田英夫氏には原稿をまとめるにあたり、有益なご助言を頂いた。

文 献

HEATON, T. H., 1975, Tidal triggering of earthquakes, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 43, 307-326.

今村研究室, 1930, 伊東地震に就て (第二報), 地震 2, 5, 281-300.

茅野一郎, 1973, 広島および島根県地方とその周辺域における微小地震活動, 地震 2, 26, 178-203.

KLEIN, F. W., 1976, Earthquake swarms and the semidiurnal solid earth tide, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 45, 245-295.

松沢武雄, 1936, 地震回数統計的研究に対する注意, 地震 2, 8, 16-23.

村井勇・金子史朗, 1976, 南関東の活断層分布図 (関東地区災害資料の解析・総括の研究), 1~14.

NASU, N., F. KISHINOUE and T. KODAIRA, 1931, Recent seismic activities in the Idu Peninsula (Part 1.), *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 9, 22-35

SCHUSTER, A., 1897, On lunar and solar periodicities of earthquakes, *Proc. Roy. Soc.*, 61, 455-465.

津村建四朗・唐鎌郁夫・荻野泉・酒井要・高橋正義, 1977, 伊豆半島における群発地震の観測 (1975-1977), 地震研究所彙報, 52, 113-140.

津村建四朗・唐鎌郁夫・荻野泉・高橋正義, 1978, 1978年伊豆大島近海地震前後の地震活動, 地震研究所彙報, 53, 675-706.

41. *Semidiurnal and Diurnal Variations in Earthquake Swarm Activity in the Izu Peninsula during the Period from 1975 to 1978.*

By Seiichi SHIMADA,
Earthquake Research Institute.

The purpose of this paper is to study on the tidal effects on seismic activities in the Izu Peninsula during the period from 1975 to 1978. It is concluded that the number of earthquakes has been well correlated with the phase of semidiurnal M_2 tide, but not with that of daily variation in the case of the earthquake swarms near Mt. Togasa from January 1976 to July 1977. On the other hand, the hourly number of aftershocks of the 1978 "Izu-Oshima-Kinkai" earthquake (January 14, $M7.0$) observed at Kawazu indicated a marked daily variation for six days toward the end of January, but such a tendency has not been seen before and after that period. The correlation between the number of earthquakes and semidiurnal tide was also observed at Neginohata during the same period.

In conclusion, the pattern of tidal effects on the seismic activities is very similar to that of the 1930 earthquake activities including the Kita-Izu earthquake ($M7.0$) in the northern part of the Izu Peninsula. Generally speaking, the peaks of the number of earthquakes coincide with the time when the crustal stress due to the semidiurnal tide increases.