2．相模トラフで起る大地震の発生頻度

東京大学地震研究所　　松　田　時　彦

1．大磯型地震について

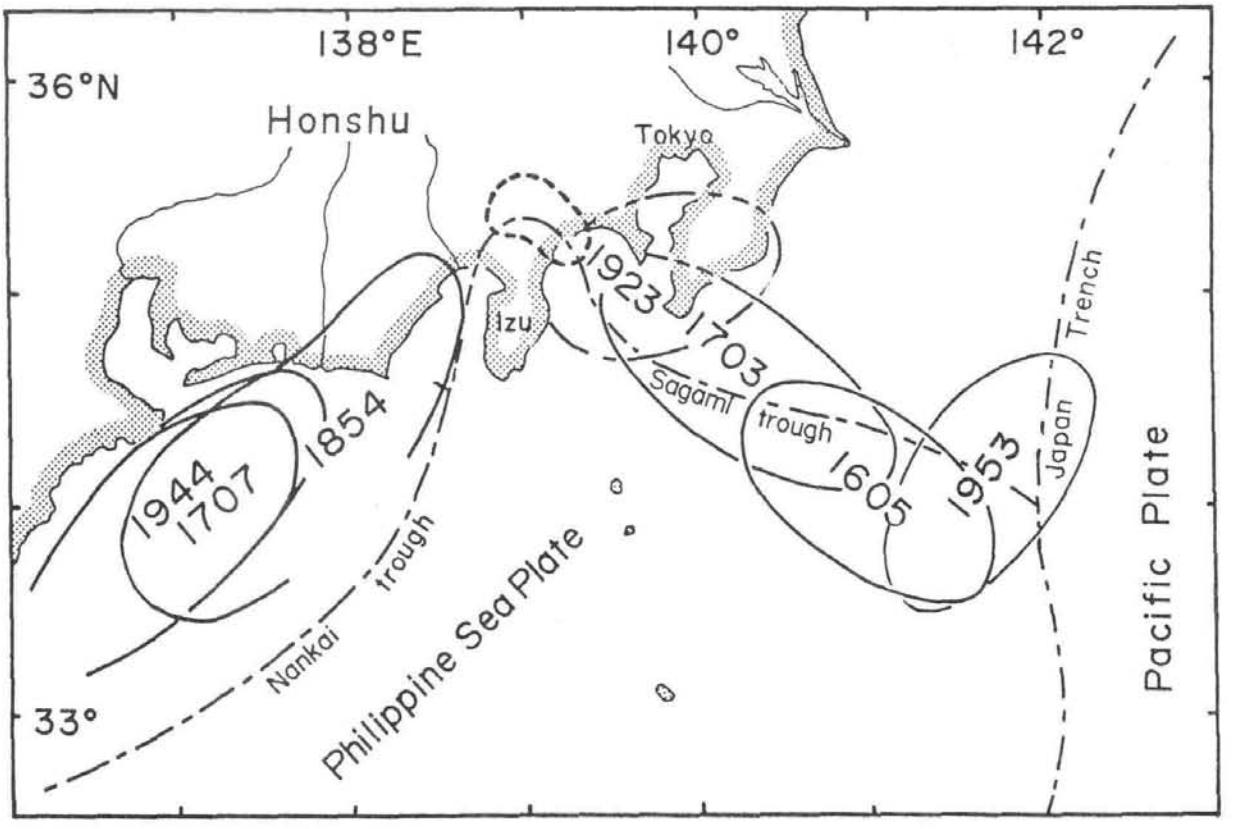
かって、松田ほか（1974）は元禄地震は大正地震と異なっていて、その発生周期は1,000年位（Matsuda et al., in pressでは約1,500年）と推定した。その時、大磯付近では、大正地震とも元禄地震とも異なる第三の型の地震（"大磯型地震"）の存在が予測されると述べた。その理由は次の2点である。

① 大磯丘陵の過去約5,000年間における累積隆起量は房総半島南端のそれと同じ（約25m）であるにもかかわらず、元禄地震の時の大磯丘陵の隆起量は房総南端より明瞭に小さい。したがって、この不一致を解消させるような、大磯を専ら隆起させる地震を想定する必要がある。

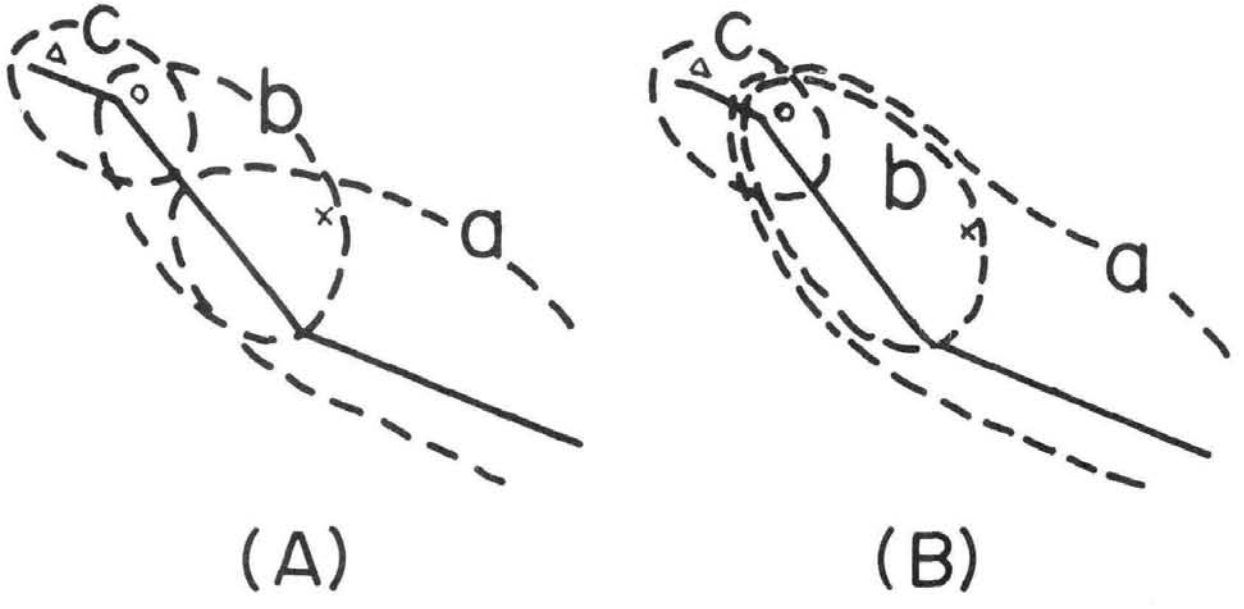
② 大磯丘陵西縁に国府津ー松田断層があって、そこに明瞭な断層崖があり、大磯丘陵の第四紀後期の隆起は急にそこで終って、酒匂川の低地帯に接している。しかし、大正地震による隆起パターンはこれと異なり大磯丘陵を中心にした東西対称的なドーム状のパターンをしていて、上述の断層崖のところで急に隆起量が減るようなことはない。つまり、大正地震が繰返し生じても、国府津・松田断層沿いの断層崖は生じない。したがって国府津・松田断層の断層崖を生長させる地震、すなわち大磯丘陵を隆起させるが大正地震とは異なる型の地震を考える必要がある。

松田ほか（1974）は元禄地震の時の大磯の隆起量は無視できる程度に僅小とみなしていたが、石橋克彦（1977およびin press）が最近見出した史料によると元禄地震の時に、大磯海岸でも顕著な海岸隆起（約2m）があったらしい。しかし、石橋によって推定されたその隆起量は、その時房総半島南端で生じた隆起量（約6m）の約1/3なので、大磯型地震の予測理由の①も②もそのままなりたっている。なお、もし地震隆起に伴う逆もどりの速度が房総南端において大磯丘陵よりも数倍も大きいのであれば、上述の大磯型地震予測の理由①は理由にならない。しかし、その場合でも②の理由は成り立っている。このように、現在の資料では大磯型地震を考えることが必要である。

第1図の破線の領域は大磯型地震の予想震源域である。国府津・松田断層を中心として、北は神縄断層（町田ほか、1975）をふくみ、南は相模湾の中部に達すると思われる。第1図にみるように、慶長、元禄、大正の各地震の地表（海底）変動域は一



第１図　関東・東海沖の過去400年間の大地震、破線域が大磯型地震の予想震源域。他の地震の震源域は羽鳥徳太郎（1975、1976など）による。（Matsuda. et al., in press, より）



第２図　相模トラフ沿いの震源域の重複関係を示す模式図。（A）・（B）二通りの場合。
a：元禄地震、b：大正地震、c：大磯型地震、△：神縄、○：大磯丘陵、×：房総南端。

部分重複している。大磯型地震の震源域も、その南部は大正地震のそれとかなり重複する可能性が大きい。

第2図は、この重複関係を模式的に示したものである。第2図(A)は元禄地震時の大磯海岸の隆起を無視した場合であり、第2図(B)は元禄地震の隆起が大磯丘陵にまで達していたという石橋の資料に基づいたものである。

このように大磯型地震とは、大磯丘陵の西縁にある国府津・松田断層を中心的な震源断層とする地震である。この断層の性質からみて、その地震は東側隆起の垂直変位成分と右ずれの水平変位成分をもつものと考えられる。そして、この断層（神縄断層をふくむC領域）の長さ（約30㎞）からみて、それが1つの大地震を発生する場合その地震規模はM7級になると考えられる。その地震の平均的再来周期Rを、この断層の平均隆起速度 v ＝2㎜／年（町田・森山、1968）、逆もどり速度 $-v'$ ＝1～1.5㎜／年、1回の地震隆起量h＝0.5～1mとして、求めると次のようになる。

R＝h／（$v-v'$）＝140～330年……大磯型地震の再来年数

$-v'$ を1～1.5㎜／年としたのは、大正地震以後の大磯丘陵（二宮付近）の沈降速度2～3㎜／年（Kanamori 1973など）は、大正型地震と大磯型地震の両方に関連したものであると考え、仮にそれを両地震に半々に分配した。半々にしたのは、後述のように両地震の大磯の隆起に対する貢献がほぼ半々であるからである。hの値は次のようにした。この断層の変位の右ずれ成分と東側隆起の両成分の比は地形学的資料からは未詳であるが、大正地震のメカニズムや神縄断層の性質（逆断層）を参考にすると、変位の水平成分と垂直成分（隆起成分と考える）の比は1：（0.5～2）の範囲にあると考えられるので、マグニチュード7に対応する地震変位量約1.5mのうち、0.5～1.0mが隆起成分hであるとみなした。

2. 大正型地震の再来周期(1)－大磯付近の資料による

上記のように、大磯丘陵の隆起には、国府津・松田断層を中心とする領域（第2図のc）の活動による隆起分と、大正型地震の活動（領域bの活動）による隆起分との両方がふくまれている。Sugimura & Naruse（1954）以降の多くの研究者は、大磯丘陵の沼面の隆起は大正型地震の地震隆起だけの累積によるものとしている（藤井1972，Kanamori 1973，瀬野 in press）ので、大正型地震の周期の算出には大磯型地震による隆起をも考慮に入れて再考する必要がある。

一方、松田ほか（1974）は房総半島南端の資料から元禄型地震の周期を求めた際、大正地震と元禄地震とは一組になって連鎖的に生起すると考えたので、大正地震の再来周期

は元禄地震のそれ（約 1,000 年）と同様であるとみなした。しかし、垣見ほか（1976）や瀬野（in press）が指摘したように大正型地震と元禄型地震の発生頻度が1：1である必然性はないので、松田ほか（1974）が示唆した大正地震の再来周期も再考を要する。

沼面形成以降（約5,000～6,000 年以降）の大磯丘陵の隆起は大正型地震（第2図bの領域）によるものと、前述した国府津・松田断層の活動による大磯型地震（第2図のcの領域）によるものとが重なっているから両者を分離すると次の(3)、(4)のようになる。

(1) 大磯丘陵（二宮付近）の沼面高度＝26 m（米倉ほか1973）

(2) 沼面形成以降（5,000～6,000 年）の隆起量＝21～25 m〔26－(3±2)m、海面低下量を3±2 mとした〕

(3) 同期間における国府津－松田断層による隆起量＝10～12 m〔2㎜／年×(5,000～6,000)年〕

(4) 同上、大正型地震による隆起量＝9～15 m〔(21～25)－(10～12)m〕

(5) 大正型地震による平均隆起速度 v＝1.5～3.0㎜／年〔(9～15)m／(5,000～6,000年)〕

(6) 逆もどり速度 $-v'$＝1～1.5㎜／年〔大磯丘陵の沈降速度2～3㎜／年(Kanamori 1973，瀬野，in press)の1／2〕

(7) 大正型地震の1回の地震隆起量 h＝1.5 m

以上の数値を用いて、大正型地震の平均的再来周期Rを求めると、$R = h/(v - v')$ ＝1.5 m／〔(1.5～3.0)＋(1～1.5)〕㎜＝330～600 年が得られる。

なお、瀬野（in press）は大磯丘陵の沼面高度と藤沢J 35.1 との高度差から、大正地震の再来周期を求めて180～315 年を得たが、それと全く同じ方法で、ただし国府津・松田断層による貢献を除外した $\bar{v}_{up}$（＝1～2㎜／年）を用い、$\bar{v}_{sub}$ は1～1.5㎜／年として計算しなおすと、瀬野（1977）のダイアグラムから、大正型地震の再来周期は約350～800 年となる。

この周期は、第2図(B)のモデルによれば、元禄型地震による貢献も含んでいるので、それをのぞいた大正型地震だけの周期はこの値よりも大きくなる。また第2図の(A)のモデルによると、元禄型地震はこれとは別に存在する。

したがって大正型地震（大磯と房総南端の両方をほぼ等量隆起させ、国府津・松田断層崖の成長には寄与しない 1923 年タイプの地震）の再来周期は、330～800 年（第2図Aの場合）またはそれ以上（第2図Bの場合）である。

3. 大正型地震の再来周期 (2) ー房総の資料によるー

房総南端の隆起には元禄型地震（松田ほか，1974）と大正型地震とが関与しているので、これを分離する必要がある。元禄型地震および大正型地震のそれぞれの再来周期をR_a、R_b、沼面形成以後の平均隆起速度をそれぞれv_a、v_b、1回の地震隆起量をそれぞれh_a、h_b、逆もどり速度をそれぞれ$-v'_a$、$-v'_b$とすると

$R_a = h_a / (v_a - v'_a)$

$R_b = h_b / (v_b - v'_b)$

$v = v_a + v_b =$（21～25）m／（5,000～6,000）年＝3.5～5.0（㎜／年）

$v' = v'_a + v'_b =$ −（2～3）㎜／年（Kanamori，1973，瀬野，in press）

R_a、h_b、h_aは既知（それぞれ約6m、1.5m、1,500年とする）であり、$v'_a / v_a = v'_b / v_b$（瀬野 in press）であるから、上の連立方程式をといて、大正型地震の再来周期R_bとして375～1004年が得られる。これは大磯で求めたRの値（330～800年）と大体一致する。

4. まとめ

大磯丘陵の隆起を大正型関東地震と国府津・松田断層の活動の合成と考え、房総南端の隆起を元禄型地震と大正型地震の合成と考えた時、関連する諸資料に調和するように求めた各地震の平均再来周期は次のようである。

大磯型地震……140～330年

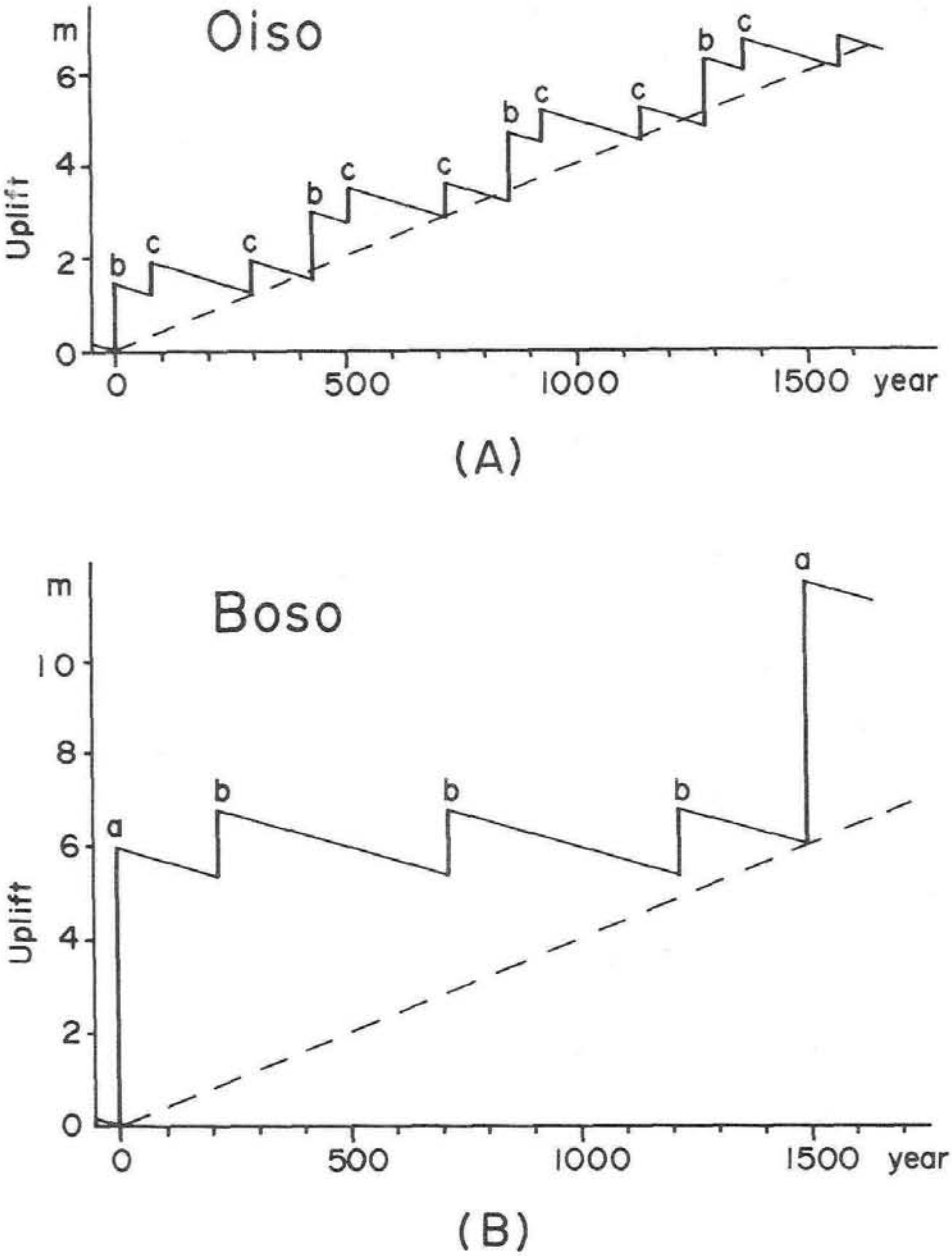
大正型地震　1）330～600年（大磯－国府津）

　　2）350～800年（大磯－藤沢）

　　3）375～1,000年（房総南端）

（元禄型地震　1,500年、房総南端）

上記の三つの型の地震のうち、大磯型地震はその再来周期が140～330年であるのに、そのような明確な歴史地震の記録はない。1,600年代以後小田原付近に強震が多く知られているが、そのうちM7級の最近の大地震は1782年（M7.3）である。仮にこれを大磯型地震であるとしても、それからすでに約200年を経過しているので、活断層としての要注意度（再来周期Rと無地震経過年数tの比、t/R，松田 1977参照）が他の二型の地震の場合に比してきわだって高い。大磯型地震はt/Rが0.6～1.3以上であるのに、大正型関東地震も元禄型地震もいずれもt/Rは0.2以下である。以上のことから相模トラフからの地震に対しては神縄断層・国府津・松田断層をふくむ相模トラフ断層系の最北端部分をとくに注意すべきであると考える。



第３図　大磯丘陵（A）と房総南端（B）の隆起様式の差異を示す概念図。縦の実線：地震隆起（a：元禄型地震、h＝6 m、R＝1500年；b：大正型地震、h＝1.5 m；c：大磯型地震、h＝0.75m）斜めの実線：地震間沈降（－ v'＝3 mm／年）。斜めの破線：平均隆起速度（ v＝4mm／年）。

上記の各数値を用いた時、地震周期は、地震bはR＝428年（大磯）～500年（房総）、地震cは c'＝214年になる。各数値のとり得る範囲については本文参照。各地震の周期の位相関係は次のようにした。横軸の原点を1703年（元禄地震）とし、大磯では地震cをそれに約80年おくらせ（1782年小田原地震）、房総では地震bを220年おくらせた（1923 大正地震）。なお、第２図（A）のモデルによれば地震aは大磯に隆起をもたらさないとみなして第３図（A）では無視されている。第２図（B）のモデルによれば第３図（A）の地震bのうち、1500年ごとにその１つが元禄型地震による隆起である。

このことは次のように考えてもよい。

上記の各型の地震がそれぞれ独立して、その再来周期で活動した場合、これら地震の震源域（第2図a，b，cの領域）全体からの地震発生の平均間隔Rmは約55～212年である（$\frac{1}{Rm}=\frac{1}{140\sim330}+\frac{1}{330\sim1000}+\frac{1}{1500}$）。最近の地震（1923年大正地震）からすでに54年経過しており、相模トラフ北部での地震発生の平均間隔にほぼ達している。発生の場所はt/Rの最も大きな大磯－神縄地域と考えるのが妥当である。

本稿でのべた各型の地震の組合せによる大磯丘陵および房総南端の地震隆起の様子を模式的にそれぞれ第3図(A)、(B)に示す。両地域の段丘地形の特徴の相違はこのような隆起様式の相異と関係があると思われる。

石橋克彦・瀬野徹三の両氏からこの問題を考えるのに有益な示唆を受けた。両氏に感謝する。

あとがき（77－9－21）　本稿投稿後、その内容に対して瀬野徹三氏からコメント*を受けたので、以下のような再検討を行った。その結果に新しい地学的資料（町田の私信、瀬野のコメント中に引用されている数値）を入れて再来周期を求め直したところ、大磯型地震の周期は96～231年、大正型地震の再来周期は大磯丘陵付近の現資料だけでは不定（ただし約200年よりは長い）となった。したがって、本稿の**4.**（まとめ）に示した各地震の再来周期（平均の発生間隔）の値を次のように訂正する。

大磯型地震……96～231年

大正型地震……375～1,000年（房総南端）

（元禄型地震……1,500年、房総南端）

しかし、いずれにせよ、求められた値はいくつかの仮定と不確定の数値を用いて得られたものであり、数値の詳細は無意味である。

有益なコメントを寄せて下さった瀬野徹三氏に重ねて感謝する。また、中村一明氏、垣見俊弘氏からも有益な討論を受けた。感謝する。

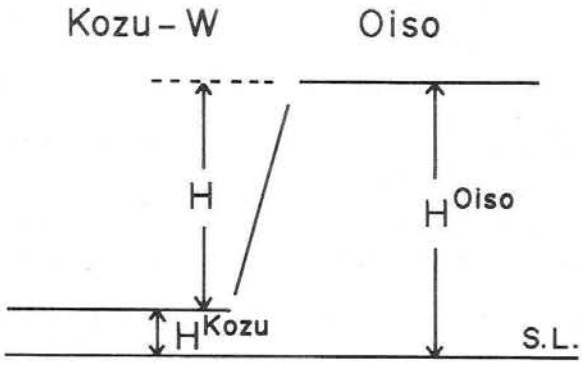
＊　瀬野徹三：垣見俊弘氏と松田時彦氏の論説に対するコメント。（本号25頁参照）

2種類の地震bとcによって生じるO（大磯丘陵）およびK（国府津西方、酒匂川低地）のT年間における現在高度〔H〕^{0}と〔H〕^{k}は、

$$[H]^0=n_b[h_b]^0+n_c[h_c]^0+[v']^0\times T+\alpha \cdots\cdots(1)$$

$$[H]^k=n_b[h_b]^k+n_c[h_c]^k+[v']^k\times T+\alpha \cdots\cdots(2)$$

n_b、n_cはそれぞれb（大正型）地震とc（大磯型）地震のT年間における回数；h_b、h_cはそれぞれ両地震の地震時隆起量、v' は非地震性隆起速度（$-v'$が逆もどり速度）である。αはT年間における海面低下量。



大正地震の地震時およびその前後の大磯－国府津西方の地殻変動の観測値から次のように仮定する。

$$[h_b]^0 = [h_b]^k = 1.5\ \mathrm{m} \qquad \cdots\cdots(3)$$

$$[v']^0 = [v']^k = -(2 \sim 3)\ \mathrm{mm}/年 \qquad \cdots\cdots(4)$$

したがって(1)、(2)式から、

$$n_c = ([H]^0 - [H]^k)/([h_c]^0 - [h_c]^k \qquad \cdots\cdots(5)$$

c地震の再来周期 R_c は、

$$R_c = T/n_c = ([h_c]^0 - [h_c]^k)T/([H]^0 - [H]^k) \cdots\cdots(6)$$

ここで、$[H]^0 = 26$ m、$[H]^k = 0$ m（町田，私信，cited in 瀬野のコメント）、$[h_c]^0 - [h_c]^k$ は本稿の1．で述べた $h = 0.5 \sim 1$ mに相当するから、

$$[h_c]^0 - [h_c]^k = 0.5 \sim 1.0 \qquad \cdots\cdots(7)$$

したがって、(5)・(6)式から

$$n_c = 26/(0.5 \sim 1) = 52 \sim 26 \cdots\cdots(8)$$

$$R_c = T/n_c = (5{,}000 \sim 6{,}000)/(52 \sim 26) = 96 \sim 231\ (年) \cdots\cdots(9)$$

次に、大正型地震の回数 n_b および周期 R_b を求める。(2)式から、

$$n_b = ([H]^k - n_c[h_c]^k - [v']^k \times T - \alpha)/[h_b]^k \qquad \cdots\cdots(10)$$

$$R_b = T \cdot [h_b]^k / ([H]^k - n_c[h_c]^k - [v']^k \times T - \alpha) \cdots\cdots(11)$$

これを解くには $[h_c]^k$ の値が必要であるが未知である。これまで知られている逆断層または横ずれ性の地震断層の例をみると、相対的に低下した方の地盤が海面に対して沈降している場合（1945年の深溝断層、1927年の山田断層）もあるし、ほとんど変化していない場合（1927年の郷村断層）もあるし、隆起している場合（1964年のPatton Bay fault）もある。

この場合、大磯型地震（国府津・松田断層）は正断層ではないから、$[h_c]^0 > 0$ すなわち(7)式から $[h_c]^k > -(0.5 \sim 1.0)$、したがって R_b は、

$R_b > 209$ 年（T＝6,000年のとき）～214年（T＝5,000年の時）

また$n_b \geqq 0$であるから、(10)式から$[h_c]^k < 0.096$（$h = 0.5$mのとき）～0.19m（$h = 1.0$mのとき）である。$[h_c]^k$が増加してこの値に近づくと、R_bは無限大に近づく。

かりに、$[h_c]^k = 0$すなわち国府津・松田断層の活動の際酒匂川側の地盤は海面に対して隆起も沈降もしないとすると、(11)式から、大正型地震の周期R_bは440～1,800年となり、3.で述べた房総南端の資料から求めた大正地震の再来周期とほぼ調和する。房総で得た大正地震の周期が正しいとした場合、$[h_c]^k \fallingdotseq 0$が最も実際に近いと思われる。

なお、1.において大磯地震の周期R_cを$R_c = h/(v - v')$としたのは、(6)式と比較してみると、(1)・(2)式あるいは(6)式において$[h_c]^k = 0$、$[H]^k = 0$、$[v']^0 \fallingdotseq [v']^k = 0$、としていたことに相当する。この再検討において$[v']^0 = [v']^k$としたことは、最近の数十年間の測量結果にもとづいているが、これが恒常的な傾向であるかどうかはなお検討すべきことである。

文　　献

藤井陽一郎　1972，二の宮付近の地殻上下変動と相模湾大地震のくりかえし周期、神奈川地学　5　（49号），125－128

羽鳥徳太郎　1975，房総沖における津波の波源－延宝（1677）、元禄（1703）・1953年房総沖津波の規模と波源域の推定－、地震研彙報　50，83－91

羽鳥徳太郎　1976，安政地震（1854年12月23日）における東海地方の津波・地殻変動の記録－明治25年静岡県下26ケ町村役場の地震報告から－地震研彙報　51，13－28

石橋　克彦　1977，「西相模湾地震」発生の可能性と東海地震の発生時期との関連　地震予知連絡会東海部会（July 25　1977）資料

石橋　克彦　in press　1703，元禄関東地震の震源域と相模湾における大地震の再来周期（第1報）　地震

垣見俊弘，佐藤　裕，津村建四朗，石田瑞穂　1976，関東における地震，地殻変動と地震予知　地震予知研究シンポジウム　21－45

Kanamori, H,　1973, Mode of strain release associated with major earthquakes in Japan. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 1, 213-239.

町田　洋・森山昭雄　1968，大磯丘陵のTephrochronologyとそれにもとづく富士および箱根火山の活動史　地理評　41，4，241－257

町田　洋・松島義章・今永　勇　1975，富士山東麓駿河小山付近の第四系－とくに古地

理の変遷と神縄断層の変動について　第四紀研究　**14**，77−89

松田　時彦　　1977，活断層と地震予知，地震予知研究シンポジウム（1976）194−202

松田時彦，太田陽子，安藤雅孝，米倉伸之　　1974，元禄関東地震（1703年）の地学的研究　「関東地方の地震と地殻変動」（垣見俊弘，鈴木尉元編）　175−192

Matsuda, T., Ota, Y., Ando M. and Yonekura, N.,
in press, Fault mechanism and recurrence time of major earthquakes in the southern Kanto District, Japan, as deduced from coastal terrace data. *Geol. Soc. Amer. Bull.*

瀬野　徹三　　1977，南関東・西南日本外帯の地震性地殻変動区における巨大地震の再来周期　地震　**2**　**30**，25−42

瀬野　徹三　in press，　地殻上下変動より推定された相模トラフ巨大地震の再来周期　地震

Sugimura, A. and Naruse, Y., 1954, Changes in sea level, seismic upheavals, and coastal terraces in the southern Kanto region, Japan. *Jap. Jour. Geol. Geogr.*, **24**, 101-113.

米倉伸之，鈴木郁夫，長谷川太洋，上杉陽，遠藤邦彦，岡田篤正，河名俊男，石川佳代，福田正己　　1968，相模湾北岸の沖積段丘、とくに下原貝層のC−14年代について　第四紀研究　**7**，49−55