

# 震 源 (第6報)

## 地震波初動分布と地形変動

高 木 聖\*

### § 1 序

大地震には何等かの地形変動を伴い勝ちである。この地形変動と地震初動分布との間には必然的な関係があるように最近まで考えられたいた。それは、地震は急激な力が加はるか又は取られる事によつてでなければ起らず、その最初の力の傾向は初動分布によつて推定されるので、現在の様に断層説又は岩漿貫入説のように、最初の力の傾向と最後の変位の形とが明らかに想像出来るものは、初動分布と地形変動とは必然的に対応する関係になければならない。

こゝに言う断層説とは、如何なる原因によろうと、最後の瞬間には結局 shear により破壊が生ずると考えるものである。これに属するものには、水平圧力を主として考えるジウス (Edward Suess-以来の構造地震説<sup>(1)</sup>、ホツプス (William Herbert Hobbs) の地殻均衡説<sup>(2)</sup>、レイド (Harry Fiel ding Reid) の弾性反撥説<sup>(3)</sup>、藤原咲平博士の地渦説<sup>(4)</sup>等である。これ等はいづれも断層を伴うべきであつて、その初動分布もこの断層面を一つの節面とする四象限型となるべきであり、断層のたつた方向に「押し」の象限を有し、その両隣の象限は「引き」になるものである。もしこうなつていない時は断層説は矛盾を生じ、その説の存在性は疑はれてもよい。

岩漿貫入説は石本己四雄博士や小川琢治博士等の提唱によるものであつて<sup>(5)</sup>、岩漿が地殻の弱所を破つて貫入するのであるから、初動分布はその方向を「押し」とする円錐型となる。そして地形変動もその「押し」の部分には隆起する必要がある。こゝに注意すべきは、この機構では必ず「押し」円錐型とならなければならない事で、もし他の型式となる場合はこの説は信じ難いものとなる。(「引き」円錐型でも構はないが、それについては後に述べてある)。しかし石本博士は四象限型の地震も存在すると認めておられ、それは岩漿の貫入が平面をなして行われた結果だと考えておられる。この時もや

\* 中央气象台研修所

(1) E. Suess 著 Das Antlitz der Erde. (明. 19~明. 42. 1886~1909)

(2) W. H. Hobbs 著 Earthquakes. (明. 41. 1908)

(3) H. F. Reid: The California Earthquake of April 18, 1906. Report of the State Investigation Commission vol. 1~2 (明. 41~明. 43, 1908~1910)

(4) 藤原 咲平著 地渦、地裂及び地震 (昭. 7. 1932)

(5) 石本己四雄著 地震とその研究 (昭. 10. 1935)

小川 琢治著 地質現象の新解釈 (昭. 4. 1929)

はり「押し」の象限は隆起する必要があるのは断層説の場合と同様である。もしそうなつていなかつたならば、この説も疑はれて仕方がない。

昭和18年(1943), 岩漿爆發説が発表される迄は<sup>(6)</sup>, 初動分布を説明し得る原因説は以上の2種類でつきる。大正6年(1917)志田順博士によつて初動分布が確立されてからは<sup>(7)</sup>, これを説明し得ないような原因説は存在理由がなくなつて来たので、以上の2説だけが存続したのである。と言うのは、この2説は理論上からは初動分布によつてはつきり区別されるものであるが、昭和6年6月2日の高山附近の深発地震に於て棚橋嘉市技師がはつきりした「押し」円錐型の初動分布を発見する迄は<sup>(8)</sup>, 初動分布からでははつきりと区別する事が困難であつた。これは断層説では説明出来ず、岩漿貫入説の方に有利であつた。所が昭和15年11月18日和歌山県龍神附近の地震において、坂田勝茂技師により「引き」円錐型の初動分布が発見されてからは<sup>(9)</sup>, 岩漿貫入説も非常にあやしくなつて来た。(発見の当初はそう考えられていたが、現在では後に述べるように差仕えない。)もし全ての地震が同一の過程で起つているとすれば、一つでも説明の出来ないものが起れば、もはやその説は存在し得ないのであるが、地震を種々の機構で起るものと考えて自説で説明し得ない地震があつても、それぞれ主張をゆづらず現在に立到つたのである。しかし岩漿爆發説の立場からこれを見れば、これ等はたゞ一つの過程を通して説明しつくされるものであり、しかも矛盾多き地形変動までも簡単に説明しつくされて了う。地震計の記象を見ても、地震はそう複雑な機構で起つているとは考えられず、又種々な地震があると考えるのも、あまりに身勝手な様に思われる。もし単純な一つの過程で全ての地震が総合的に説明し得られ、それに附随した現象までも説明出来るとすれば、それに越したことはないと思う。

以下初動分布と地形変動のはつきりした大地震を順を追つて説明しようと思う。

## § 2 地形変動と初動分布

明治24年10月28日の濃尾大地震には地形変動があつて、日本に南北に横断する大断層を生じたけれども、初動の観測されたものがないので、こゝでは取上げる事が出来ない。

### 關東大地震の場合

大正12年9月1日突如として帝都を襲つた大地震であり、災害も世界で稀な位大きく、歴史的な世界地震の一つであつた。当時の学界は全智全能を傾けてこの調査研究に没頭したが、それにも拘らず、遂にその初動分布は完全な解析を見ずして、不可思議の地震として永年の間葬り去られていたのであ

(6) 高木 聖: 震源 験震時報 第13巻 (昭.18. 1943)

(7) 志田 順: 地球及地殻の剛性並に地震動に関する研究回顧 東京学芸雑誌 第45巻 (昭.4. 1929)

(8) 棚橋嘉市: 昭和6年6月2日 本州中部に發生した深層地震に就いて 海と空 第11巻 (昭6. 1931)

(9) 坂田勝茂: 引円錐型発震機構を示す地震に就いて 海と空 第21巻 (昭.16. 1941)

る。最近筆者はこれに手を染め、計らずとも簡単にその解決を見出したのである(10)。それによると第1図の様な初動分布になるが、これに用いた初動方向は国富信一博士の求められたもの(11)そのまま用いた。これは地震後数年を経た後の調査であり、他の観測も参照しておられるので、比較的正確であると言える。

震央は当時相模湾であつたり、小田原附近であつたり、学者によりまちまちであつたが、丹沢山北西附近とするのが妥当である(12)。

この初動分布は四象限型には決してならない。中村左衛門太郎博士(13)や国富博士(14)は四象限型にしようとして努力せられたが、せつかくの努力にも拘らず、いづれも間違っている事が指摘せられている(15)。従つてこの地震は断層型式では起つていない事が分る。この初動分布はモホロビチツク層中の「押し」円錐型の地震である事を示している。

地形変動は陸地測量部の測定の結果(16)、第1図の様に相模湾の東部が隆起し、その東縁の三浦半島、房総半島が隆起したが、それを囲むように西部北部は沈下した。しかし断層らしいものは生じなかつた。

この地形変動の形は強いて断層型式に考えられない事はない。即ち小田原附近を北西から南東へ走る線を境にして、垂直に近い断層が出来たとしても説明出来ない事はない。この様な考えは中村博士により考えられた所であるが、初動分布はこれと一致しない。元来断層説は初動分布と地形変動とが一致するのが本当であるが、この場合は一致しない。従つてこの様な断層を考える事は間違いである。国富博士は中村博士と逆の断層を考えられ、今村明恒博士は複合断層を考えておられるが(17)。

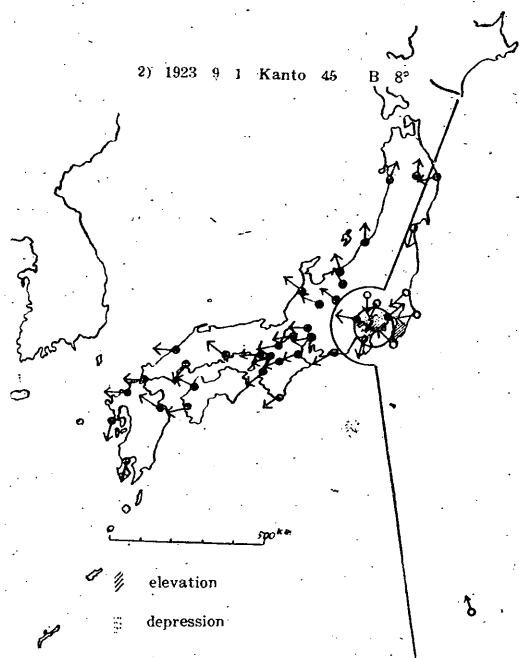


Fig. 1 関東大震災の初動分布と地形変動

(10), (12) 高木 聖: 関東大地震の験震学的決定調査 神戸海洋気象台要報 第11号 (昭.22. 1947) 地震 第3巻 (昭.25. 1950)

(11) 国富信一: 関東大地震の験震学的考察 験震時報 第3巻 (昭.4. 1924)

(13) 中村左衛門太郎: 関東大震災の調査報告 震災予防調査会報告 第百号 (大正14. 1925)

(14) (11) を参照

(15) 河角 広: 浅発地震の発震機巧, 初動分布と地殻構造 地震 第6巻 (昭.9. 1934)

(16) 陸地測量部: 関東震災地復旧測量記事 (昭.2. 1927)

いづれも地形変動は説明し得るとしても、初動分布がそのようになっていたので、どうにも仕方がなかつた。石本巳四雄博士<sup>(18)</sup>や小川琢治博士<sup>(19)</sup>はこれを説明するために岩漿の流動を考えられた。石本博士は岩漿が急激に殆んど垂直に貫入したと考えられた。従つて前記隆起の部分の説明もつくどされた。この説からは必然的に、押し、円錐型の初動分布が生れるが、これは第1図の初動分布とよく一致している。まだ石本博士在世中にはこの地震の初動分布は決定していなかつたのであるが、石本博士はその後昭和4年7月24日丹沢山附近の地震<sup>(20)</sup>と初動分布は同一型式と洞察され、この説を主張されたのであるが、今から考えてみると敬服の至りである。この事から岩漿貫入説はこの地震にはよくあてはまるように思われる。

### 奥丹後大地震の場合

昭和2年3月7日未だ上巳の白酒の酔いさめやらぬ頃、丹後地方並びに大阪地区をかなり震撼した地震であつた。この時丹後地方には2つの互いに直角の著しい2断層が地表に出来た。一つを郷村断層と言ひ他を山田断層と言う。後の測量の結果<sup>(21)</sup>、地形変動は郷村断層を境にして東側は北西に移動して沈下し、西側は南方へ移動して上昇しているが、山田断層を境にしては特別な水平移動なく、こゝではかえつて北側が上昇し、南側はそれよりもほんの少し上昇した程度で、垂直に近い断層が出来た。即ち郷村断層の勢を山田断層で喰ひ止めた形になっている。

一方初動分布の方は郷村断層を境にして四象限型に分れており、あたかもこの断層生成を同一の横たりの力が作用して地震を起こした形になっている。(第2図参照)

しかしこれを詳しく調査する時は、小川博

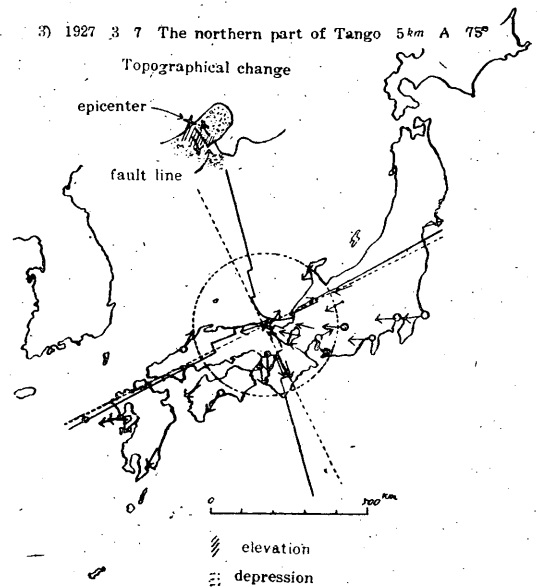


Fig. 2 奥丹後大地震と初動分布と地形変動

- (17) 今村明恒: 大正12年関東大地震震源の多元性と此の地震に関連せる断層系との関係について  
地震 第1巻 (昭.4. 1929)
- (18) (5) 参照
- (19) (6) 参照
- (20) (15) 参照
- (21) 陸地測量部: 丹後震災地復旧測量記事 (昭.4. 1929)

士の調査のように<sup>(22)</sup>、断層の走向と節線<sup>(23)</sup>の方向とは一致しているとは言えない。山田断層は二次的に出来たものとしても、地形変動に説明し切れないものがあるらしいけれども、大ざっぱに見れば大体断層説に有利に思われる。しかしこれも岩漿貫入の立場から、石本博士は水平に貫入したものとして説明しておられる<sup>(23)</sup>。それによると震央附近は沈下し、その両側が隆起する形となるが、その一方が陸上に現われていると考えられた。従つて初動分布も、その隆起した部分に「押し」を持つ曲線型に引きなおしておられる。第2図の実線がそれである。現在の様な測点の密度では、この型式のものはこの例のように初動分布はどちらの型式にも引ける。以下この型式のものに対し、実線の節線は円錐型を示し、破線のものは四象限型を示す事にする。

この様にこの種のもは地形変動も初動分布も両様に説明がつくので、この種のものからは、どちらの機構で地震が起つているかを区別するのに、あまり多くを期待出来ない。にも拘らず断層学者はこれを主張し、その後十数年間と言うもの大地震はこの種のものばかりであつた。一般に断層説を信するようになったのも又むべなるかなである。

#### 北伊豆大地震の場合

昭和5年11月26日北伊豆を南北に縦断する一本の水平断層が出来た。地形変動も本多弘吉博士が数学的実験を試みられたもの<sup>(24)</sup>と同一の傾向、即ち断層の北東部は上昇し、南東部は沈下北西部が沈下し、南西部が上昇した。

初動分布も断層を境にした四象限型をなしている。厳密に云へば断層は正南北であるが、節線はそれから $10^{\circ}$ 東に傾いている。しかしこれも双曲線型に引きなおす事が出来、地形変動もどちらでも説明がつくから、発震機構はどちらとも決し兼ねるものである。

たまたまこの断層線を横切つて丹那トンネルの工事中であり、この時断層の出来たあたりは難場としてしばしば死者を出した所であつた。

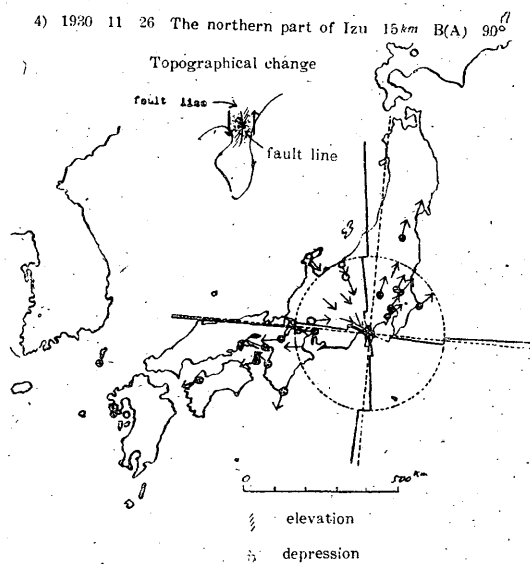


Fig. 3 北伊豆大地震の初動分布と地形変動

(22) 小川琢治: 丹後峰山地震の現象と其解釈 地球 第7巻 (昭.2. 1927)

(23) (5) 参照

(24) H. Honda and B. Miura: On the Strain Produced in a Semi-infinite Elastic Solid by Statical Surface Force, with Some Applications to Seismology. Geophys. Mag. 9 (昭.10. 1935)

これはもともとこの断層の所には断層があつた事を示すものであつて(15)、石本博士の説明のように、元あつた断層がこの地震により動いたと考へても差支えない。即ちこれを以つて地震は断層により生ずると決めるわけにゆかなくなる。

**鳥取大地震の場合**

昭和18年9月10日鹿野断層と吉岡断層を生じた地震である。この2断層は殆んど平行している。この時の地形変動は戦時中だつたので詳しい調査はなされなかつたが、初動分布はこの断層を境にして四象限型になつていた。これも双曲線により境される事は前同様であり、地形変動も初動分布も共にどちらでも説明がつくものである。

**東南海大地震の場合**

昭和19年12月7日新宮沖に震央を有する大地震が起り、東海道方面の重工業地帯に深酷な被害を与へ、終戦を早めた一つの原因ともなつた。しかも津浪を伴い紀伊半島の東岸に甚大な損害をもたらしたが断層は陸上に出来なかつた。たゞ紀伊半島が一带に沈下した傾向があつた。これも戦時中だつたので詳しい水準測量は行はれなかつたがこの事実は明らかであつた(26)。

初動分布は関東大地震と全く同一と思はれるのであるが、惜しい事に海上の観測がないので、やはり第5図の様に二元的となる。一つは断層型式の四象限型で、震央を通る一本の直線と転向円とによつて境される。かうする時はこの直線を断層線とし、北西側が沈り落ち、南東側が沈り上る垂直断層を意味する。他の一つは円錐

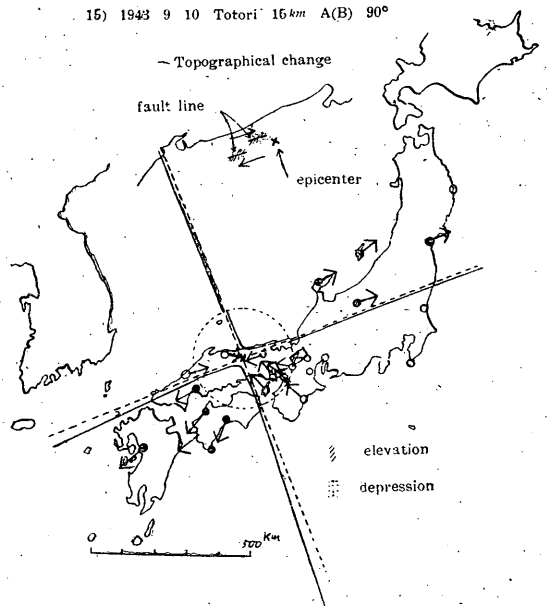


Fig. 4 鳥取大地震の初動分布と地形変動

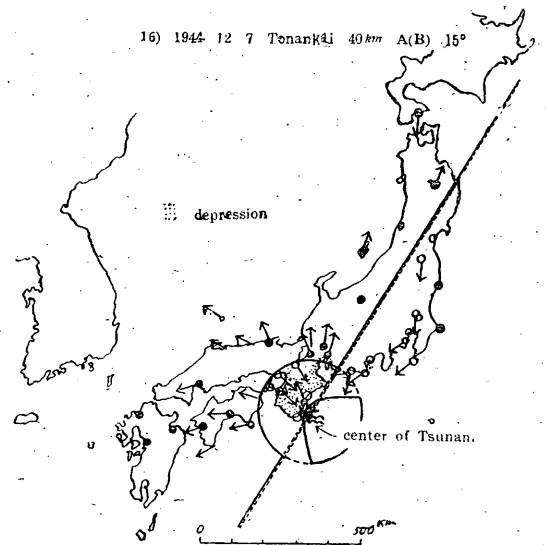


Fig. 5 東南海大地震の初期分布と地形変動

(25) 鉄道省編 丹那トンネルの話 (昭.10. 1935)

(26) 中央気象台編 東南海大地震調査概報 (昭.20. 1945)

型である。即ち震央を含む楕円形の「押し」の部分(海中にて観測不能)と、轉向円による部分とに分けられる。轉向円外は震央で交はる2本の直線で境され、これが先の四象限型の場合の断層線と一致する。こうすると「押し」の部分に岩漿が貫入した事になり、「引き」の部分の紀伊半島は沈下する事になる。これも関東大地震の時と違つて、肝心の所が海中に没しているので、どちらで説明しても説明がつく形となつた。

### 三河大地震の場合

東南海大地震の一ヶ月程後、昭和20年1月13日三河に珍らしく垂直断層を生じた地震である。この断層はL形をしてをるけれども、その西側が上昇し、東側が沈下した垂直断層型であつた。これも戦時中の故に水準測量はなされなかつたが、誰にも認め得る明かな垂直断層型であつた。

この様な垂直断層が出来たのだから、断層説の立場から言へば、断層線と共通の一本の直線を境にしてる四象限型の初動分布にならなければならない筈であるが、そうはなつていないで第6図の様な型であつた。これは「押し」円錐型であり、断層の西側の隆起部へ少し斜めに岩漿が貫入したと考へれば、非常によく説明のつくものである。こゝに至つて始めて断層説は明かに間違つていた事がはつきりして来た。

### 南海道大地震の場合

東南海大地震の2年後、昭和21年12月21日またまた同じあたりに大地震が起つた。先の地震より震央は少し南であり、深さも幾分増してゐるが、南海道一帯に大津浪を生じた。しかもその浪源は震央とは大分西に寄つた所と観測されている(27)。

地形変動は戦後であるから、恐らく地理調査所かどこかで測量する事と思はれるが、不幸にして未だ確報に接していない。しかし吾々の踏査結果から、先の地震の時の逆に紀伊半島の南端は隆起した(28)。津浪を伴つたけれども陸上に断層は出来なかつた。

初動分布は前のものと全く同じ型式であつて、たゞ轉向円が小さくなつたに過ぎない。これも残念

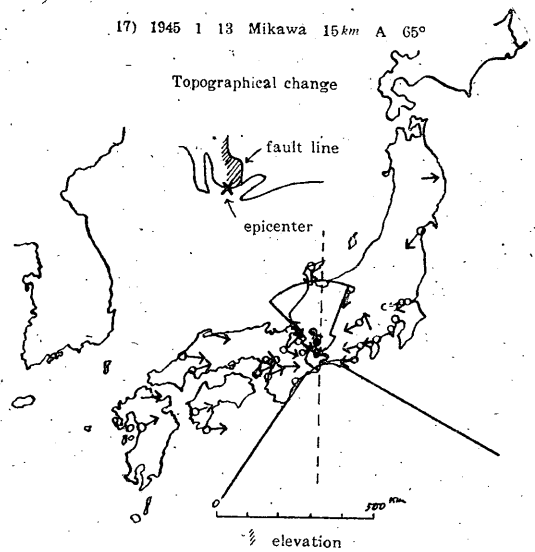


Fig. 6 三河大地震の初動分布と地形変動  
(もし断層により地震が起つたとすれば、初動分布は波線を境にして逆対称型にならねばならぬ。実際はそうなつていない。)

(27) 地震研究所編：昭和21年12月21日 南海大地震調査報告 震研彙報 第5号 (昭.22. 1947)

(28) 中央気象台編：昭和21年12月21日 南海道大地震調査概報 (昭.22. 1947)

この論文脱稿後、地理調査所より非常に詳しい報告が出た。

ながら重要な部分が海中に没しているので、二元的に論じられるものである。もしこれを四象限型と考へ、初動分布が示すように、西側が沈り落ち東側が沈り上つたとすれば、その沈下の象限にある紀伊半島は、前同様沈下すべきであるが、今回は上昇している。又岩漿貫入説としても、岩漿は海中に貫入した形になつてをるから、やはり紀伊半島は沈下すべきであるのに、実際は上昇している。

この様に地形変動はどちらからしても説明が出来ない。この地震は2年前のものと初動分布も震央も大体同じであつたのに、地形変動だけは逆の形を取つた所に面白い所がある。これは明らかに地形変動と初動分布とは一致しない事を示している。

#### 今市地震の場合

昭和24年12月26日、栃木県今市附近に一寸した大地震が起つた。この初動分布は非常に特異な形をしていて、なかなか従来の分布型式にはならない。しかし第8図の様な引円錐型式には区分出来る。よつてこれも断層学派には都合の悪い地震である。地形変動の方は地理調査所の井上英二氏の調査されたものがある<sup>(29)</sup>。それによれば第8図の様に震央附近は上昇していて、その周囲は沈下している。この型式の初動分布は岩漿貫入説で説明がつくのであるが<sup>(30)</sup>、それによると殆んど水平にぐるりに岩漿が貫入した事を意味しているから、その直上の部分、即ち

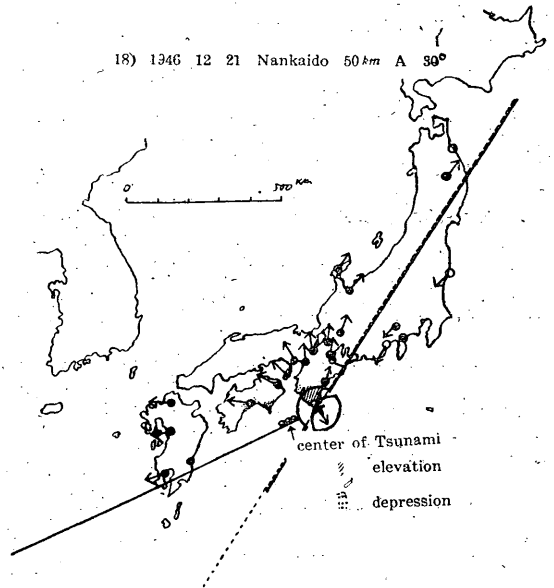


Fig. 7 南海道大地震の初動分布と地形変動

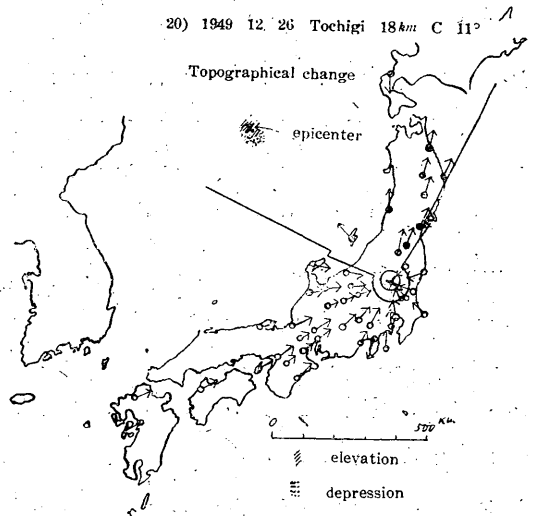


Fig. 8 今市地震の初動分布と地形変動

(29) 井上英二：今市地震（1949）に伴う地殻の垂直変動について 震研彙報 第29号（昭.26.1951）

(30) 坂田勝茂技師が引円錐型初動分布を発見した当時は、この型は岩漿貫入説からは生じないように考へられていた。しかし岩漿溜から岩漿がその周囲に平面をなしてぐるりに貫入すれば、この型式の初動分布は生じ得る。その時の地形変動は引の部分沈下すべきである。



この地震の震央の附近は必然的に沈下すべきが当然である。しかし実際はその逆に上昇している。これは岩漿貫入説が必ずしも正しくない事を示している。

### § 3 結

以上の説明から、関東大地震は岩漿貫入説に有利であつたが、その後十数年間の地変を伴つた大地震は水平断層を生じ、初動分布もそれを境とする四象限型にも引けた事から、やはり断層地震の存在が考へられて来た。しかし三河大地震においては、その初動分布は断層から予想したようにはなつておらず、かえつて岩漿貫入説に有利であつた。この事からやはり岩漿貫入説の方が存在価値が高いように思はれたが、最近南海道方面の二つの大地震に伴つた地形変動から、両説とも不十分である事が分つて来た。その上、今市地震に於ては、岩漿貫入説からしても、初動分布と地形変動との間の不一致は説明出来ず、こゝに到つて両説とも全く不十分な仮説である事が分つて来た。

初動分布は断層説においては必然的に四象限型とならなければならないが、岩漿貫入説では円錐型にならなければならないのであるが、これ等は非常によく似た所があり、一つの地震で四象限型にも円錐型にも引けるものが多かつた。しかしこれ迄四象限型として発表されたものは「引き」、円錐型を考慮に入れば、円錐型（「押し」、「引き」、両型を含む）一本にまとめる事が出来る。けれども決して四象限型一本にまとめる事は出来ない。円錐型は断層説では説明が出来ないのである。これから考へても断層説は明らかに不十分であるが、その上地形変動も初動分布と対応しない事から益々不十分の感を強くする。一方岩漿貫入説の方は初動分布はよく説明し得るとは云へ、これ又地形変動と初動分布が対応しなければならぬ学説であり、実際の現象が必ずしも対応していない事より不十分の感はまぬがれない。この事より初動分布と地震変動が対応しなければならぬ。即ち地震が起る時は必然的に地形変動を伴はなければならぬような学説を考へては行けないと云う事になる。そこでその様な機構でしかも初動分布が全部説明のつくような地震説とは何かと云へば、それが岩漿爆発説である。それによると岩漿溜内の熔岩の爆発を仮定する事によつて、初動分布は完全に説明される。即ち岩漿溜の形が長方形の時は、「押し」、円錐型初動分布となり、円壩形の時は「引き」、円錐型となる<sup>(31)</sup>。この機構からは必然的な地形変動は必要なく、たゞ地震波のために地殻の弱い部分が裂け又は上昇、沈下するものと考へられる。従つてどんな断層が出来ようと上昇、沈下があるうと、それが初動分布と一致していようと、していまいと構はない事になる。こうすれば先に述べた地形変動と初動分布との矛盾は全くなくなつてしまい、一元的に説明する事が出来る。

以上は震源第6報として海洋気象台要報第11号(昭. 22. 1947)に出したものに、その後の現象を加へ、加筆したものである。

——昭. 27. 6. 6 ——

(31) 高木 聖: 震源 第1報~第5報 (驗震時報 第13~第17卷) 参照

On the Origin of Earthquake (the sixth paper)

On disagreements between the distribution of initial motions and the geographical change

S. TAKAGI (*Training School for Meteorological Observer*)

The author points out in this paper disagreements between the distribution of initial motions and the geographical change, and insurances that the magma explosion theory is more probable than other theories.

震源第2報 訂正

印刷校正上の誤差は多いが、こゝではその訂正はしない。

先般、松代地震観測所を見学した際、本間正作技官より、筆者の論文に対する有益な計算を示され、いつも乍らの御厚情と御恩愛にむせんだわけであつたが、その時、験震時報第14巻の震源第2報中不用意に書いた部分の詳しい計算を頂き感謝した次第であつた。それは同誌8頁の  $\frac{1}{S_n}$  収斂についてであるが、同誌では単に  $\frac{1}{n^3}$  の程度で収斂すると述べた。しかしこれは詳しく計算すると、

$$\frac{\xi}{\xi^2 + \eta^2} \sim \frac{1}{\sqrt{\pi(2n+1)}} \left\{ \left( \frac{ex}{2n+1} \right)^{n+\frac{1}{2}} + 4 \left( \frac{2n+1}{ex} \right)^{n+\frac{1}{2}} \right\}$$

等の形となり、 $n$  が大きい所と小さい所では収斂の形が違つて来る。しかし収斂する事は間違いなく、しかも  $n$  が大きい所では  $\frac{1}{n^n}$  の程度で収斂する事が分つた。よつて大筋の間違ひはなかつたが、こゝに訂正をして置く。

—1952. 6. 9—