

# 地震發生の機巧に就いて

所員 石本巳四雄

1. 緒言
2. 地塊の存在と其の運動
3. 地震發生と氣壓勻配
4. 岩漿の性質
5. 彈性波發生の機巧
6. 地震及び此れに附隨する諸現象の解釋
7. 結語

---

## *Sur le mécanisme de la production des ondes sismiques*

(extrait)

Par **Mishio ISHIMOTO,**

Il est certain qu'un grand tremblement de terre se produit avec accompagnement de changements topographiques: les changements ont été particulièrement remarquables lors des trois derniers grands tremblements de terre survenus au Japon. Les études nous ont conduit à considérer que le changement topographique n'est pas celui qui correspond à des ondes sismiques rayonnant dans toutes les directions.

Nous pouvons maintenant mettre en évidence l'existence de blocs et leurs mouvements, en utilisant des mesures faites par le nivellement de précision. Les mesures ont ainsi montré que les mouvements de blocs sont tellement libres qu'il n'existe presque aucune corrélation entre ceux-ci et nous pouvons en déduire l'existence d'une couche malléable sous le groupement des blocs.

Le fait que le gradient de pression atmosphérique joue un rôle important sur l'apparition du tremblement de terre nous suggère l'existence d'une couche malléable dans laquelle la matière visqueuse se déplace aisément sous l'action de la différence de pression atmosphérique.

Les études sur les propriétés du magma, telles que le phénomène de différenciation, la vitesse de l'intrusion magmatique, etc., nous permettent de considérer l'origine de la production des ondes sismiques comme le résultat du choc provoqué par le changement brusque du moment cinétique de l'intrusif.

Dans le cas d'un faible tremblement de terre, il n'y aura que le choc donné par l'intrusion; mais dans celui d'un grand tremblement de terre, il pourra même se former des fissures dans la croûte terrestre à la suite de choc énorme produit.

Nous avons, en effet, de nombreuses répliques juste après le grand tremblement de terre, lesquelles s'expliquent par des injections de magma dans les fissures formées par le premier grand choc. Nous pouvons alors déduire des changements topographiques comme le résultat de mouvements d'après l'équilibre isostatique du bloc.

Les ondes sismiques s'amortissent quand elles passent une faille: la faille, soit la produite, soit la tectonique. Nous observons donc une anomalie de l'intensité sismique au passage des failles situées perpendiculairement à la direction de la propagation des ondes sismiques.

En introduisant l'effet du magma, nous pouvons aussi mieux expliquer d'autres phénomènes accompagnant le tremblement de terre.

## 1. 緒 言

地震發生の機巧に關しては種々の議論が爲されてあるが、其の中において豫め注意を要するものは、所謂地震と地形變動との問題であろう。震央附近においては地形變動が出現する場合が屢々であり、此の附近における地震動は極めて複雑のものであるから、遠地観測により得たる結果を其の儘用ひても、多くは其の實相に觸れて居ない様に感ぜられる。震央附近における地變が地震動と關係して如何なる性質のものであるか、又遠距離にも到達する地震波動が如何にして發生し傳播するかと云ふ問題に關しては、大地震の研究に俟つものが多い。關東大地震以來、但馬丹後兩度の大地震に相遇した吾々は、多くの事實を知る様になつた。その中地形變動に關するものが最も重要な位置を占めて居ると云へるであろう。著者は此等の事實を基礎として判斷を進めて行つた所、地震發生に關して従來の考へ方と多少異つた議論に到達したのであつて、地震波動の發生及び地形變動の根元を地下岩漿の存在を以て説明せんとするものである。

## 2. 地塊の存在と其の運動

地塊の存在する事は、地質學上の事實より首肯し得る事であつて、長年月に亘つて一地區が一塊をなして運動を爲した形跡は、歴然たるものがあるのである。勿論運動

と稱しても吾々の容易に認知し得るものは、實にその傾動であつて、其の運動の大なる場合には相當大なる山脈を成生するのである。

現在において地塊傾動の存在を驗するに當つては、水準測量の援助を得るが最も適當であり、又一地點における傾動の時間的變化を觀測するには、傾斜計を使用する事によつて達せられる。而して此れらの器械を用ひて觀測された地塊傾動の事實は、最近において可成りの多數に上つて居る。

關東大地震と殆ど同時に相模灣沿岸及び房州一帯に及んで、土地隆起が發現したのであるが、陸地測量部において施行せられたる測量を本として攻究せられたる結果<sup>(1)</sup>によれば地塊の存在と其の傾動の事實とは明かに證明されたのである。地塊は 7 km, 14 km の徑を有し、傾動は多種多様の方向においてある。此れらの傾動の値は、地震時の前後において施行せられた測量結果の差であるから、運動全部が地震と同時に發生したものと直ちには考へられない。然し乍ら、何れも地震に關係して生じた運動であつて、地震と前後して大部分出現したものである事は疑ひ無いものであらう。

地震とは全く關係なく施行せられた水準測量の結果の中、昨年(昭和二年)越後沿岸地方における結果<sup>(2)</sup>は最も適當な例として擧げる事が出来るのである。此の場合においても地塊の存在は明かであつて、一地塊の徑は 50 km を算し極めて緩徐なる傾動を示して居るのが明かになつたのである。而して地塊は外觀上、河川溪谷の存在位置を以て境として居るのであるから、此の運動は最近に開始せられたものに非ずして、相當長年月に亘つて運動を續行して居たかの如く思はれる。即ち地震とは全く關係無い場所においても、かゝる運動が存在すると云ふ一つの證據が得られたのである。

なほ此の測量直後、三島郡關原村附近に於いて強震の發生があり、直ちに此の部分のみの再測量の結果、強震程度の地震に於いても地變として測量し得べき變動の生ずる事實<sup>(3)</sup>が發見されたのは、偶然とは云へ非常の收獲であつたと云はねばならない。

去年(昭和二年)三月七日に發現した丹後大地震においては、前後數回に亘つて水準測量<sup>(4)</sup>が繰返へされ、大地震と同時に出現した地塊運動の外、時の経過と共に如何に其の運動が進行するかを實測されたのである。坪井(忠)氏の攻究<sup>(5)</sup>によれば、地震

- 
- (1) 熱海景良、武藤勝彦：昭和三年四月地震研究所談話會にて發表(未刊行)。
  - (2) 山崎直方：帝國學士院記事 第四卷 第二號。  
今村明恒：同上。
  - (3) 今村明恒：帝國學士院記事 第四卷 第三號。
  - (4) 陸地測量部：地震研究所彙報 第三號、第四號、第五號。
  - (5) 坪井忠二：地震研究所彙報 第六號

後地塊の運動は極めて自由なものがあり、種々の形式において各地塊が個々の運動をなす事が認められたのである。此の場合地塊の径は 5 km 乃至 10 km の間にある。なほ此れと同時に三角測量が數回行はれ、地塊の水平移動の測定が爲されたのであつて、傾動と關係して水平移動の存在する事が證明されたのである。然し乍ら觀測點が少數である爲め、各地塊を云々する程度には行つて居ない。

要するに軌近水準測量によつて到着したる結果は以上の如きものであつて、全く地塊及び其の傾動の存在が明かにされたと云へるのである。以上の事實が発見されたる上は、各點の相對的位置を論ずるに當つて解析的方法を用ふる事は實際の現象を取扱ふ上に適當でない様に感ずるのである。即ち斷層附近においても、已に地殼の彎曲現象が認められないのであつて、各地塊の運動を代表すべき平面の連續を以て、地形變化が表はされなければならぬ様に思はれる。

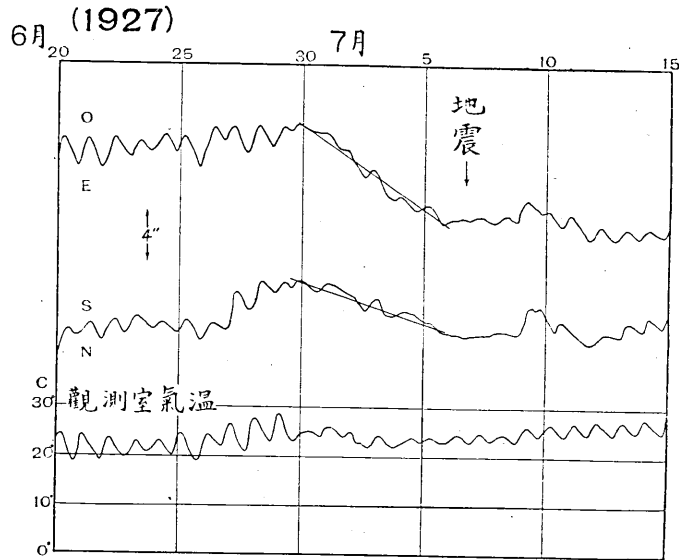
以上の事實を約言するならば、地塊運動は地震の有無に拘らず繼續されて居るが、大地震後における地塊の特長は、其の運動が極めて活潑である事と、其の形状の小である事とであつて、恐らく大地震と同時に大地塊が小地塊に分裂し運動を開始したものでないかと想像される。但しかゝる現象は未だ同一地區において經驗されたものでないから、充分立證されたものと云はれない。然し乍ら兎も角も大地震後の地塊運動は特に活潑であり、各地塊の關係も極めて自由であると云ふ事は少くとも云へるのである。

一地塊の運動を時間的に研究するには傾斜計を使用して連續的に傾斜變化を記録する方法が便利である。傾斜計による觀測は未だ日が淺く、これにより得た結果は極めて多數であるとは云へないが丹後地震後宮津及び河邊村において觀測せる結果<sup>(1)</sup>によれば、地塊運動と餘震發生との間には密接の關係が存在する事が分つたのである。器械は一地點に据付けて其の點の傾斜變化を觀測して居るのであるから、其の記録は勿論一地點における傾斜變化には相違ない。然し乍ら地塊の存在と共に運動とが立證されてある今日においては、一地點の傾斜變化は其の存在する地塊の傾斜變化を代表するものと認めて差支へ無いのである。但し溫度變化の影響は多少傾斜變化を隱蔽する傾向があるからこれは相當顧慮する必要があるのである。

宮津、河邊における傾斜觀測結果によれば、相當大なる餘震數日前に變化を生じ、地震直時においては寧ろ著しい變化が認められず、地震と共に傾斜變化が終結を告げ

(1) 石本巳四雄：地震研究所彙報 第四號。

て居るのである。此の最も代表的のものとして、昭和二年七月七日の餘震前後における傾斜變化を轉載する。



第一圖 宮津における観測

那須氏<sup>(1)</sup>は一つの餘震に換ふるに餘震群を以て此の現象の説明を試みて居られるが、結局最後に比較的大なる餘震を以て終結を告げて居るのであるから、此の最後の餘震を以て此れ等の傾斜を生じたる原因の代表と見る事が出来るのである。即ち地震前に地塊の傾動があり、結局餘震を誘導するものであつて、地震時及び其れ以後においては傾斜變化を生じて居ない。勿論この餘震は宮津地塊附近に發生したものでないから、宮津地塊の運動そのものを以て地震發生に關して云々する事は多少の誹謗を免れないものであるかも知れない。然し乍ら河邊観測においても同様の事實が明かにされて居るのであつて、然も此の場合震央は河邊地塊に極めて接近して居るのである。要するに餘震前において地塊運動が烈しく、地震後においては平穩に復歸すると云ふ現象は認めて差支へ無いものと信ずる。なほ關東地方に發生する弱震程度のものにおいても、東京三鷹等の観測において此れと同様の現象は認められて居るのである。

以上の事實は地塊運動の極めて自由であり、且つ地震現象に密接な關係を持つと云ふ證據であるが、其の原因に就いては地塊の厚さ及び此れ等の地塊下に横はる物質に

(1) 那須信治：地震研究所彙報 第六號。

論及しなければならない。地塊の厚さに關しては充分の智識は無いとしても地震波研究により 50 km 附近に不連続面の存在を認めて居る外、最近に至り我が國においても 15 km 乃至 20 km 附近にも不連続面のある事が立證<sup>(1)</sup>されて居るのである。地震波により見出されたものが直ちに地塊の厚さと合致するとは考へないが、丹後地震後發生した餘震の垂直的分布<sup>(2)</sup>に就いて見るに、15 km 及び 7 km 附近に震原が密集して居るのであるから、恐らく此の邊に地塊の限界があるらしく、15 km 乃至 7 km を以て地塊の厚さと推定して差支へ無いものであらう。

地塊の下層における物質の状態は、地塊運動の狀況より察すれば極めて流動性に富むものと云はなければならない。然らざれば地塊は斯くも自由に運動する事は出来ない筈である。吾々は少くとも此所に流動性物質を考へざるを得ない。これは如何なる物質により代表されるかと云へば、岩漿—液狀岩漿—を考へるのが最も適當であり、其の存在は火山其他の現象により信ぜられて居るものである。地下 7 km 附近に於いて已に岩漿の存在を是認する事は多少無理であると人々は云ふかも知れない。然し乍ら火山帯においては、少くとも海水面以上にかかる高温液狀物質の存在が可能である事、即ち火山における熔岩の存在が許されて居るのであるから、地下 7 km 附近に岩漿の存在する事は決して不思議の事では無いのである。又此の地下岩漿の存在は一局部即ち地震災害地方に限られてあると考へられるが、一方時間的に云ふならば、其の一局部においても常には大して流動性を帯びては居ないが、時あつてか流動状態に變ずるとも考へられる。これは大地震及び此れに引續いて地塊運動が特に烈しいと云ふ事實と、地震發現の無い地方においては地殻が比較的安定であると云ふ事實から想像されるものである。火山が時に液狀岩漿を噴火口に灌える事もあり、又或る時には全く休眠状態に陥る事もあるのと類似の現象が地下にもあると考へられる。

要するに地塊運動は其の下層部に存在する岩漿の状態により惹起されるものらしく、若し一つの地塊が單獨に存在する場合には最も安定の平衡を保つ方向に運動するものとなるであらう。地塊相互において水平方向に如何なる力が作用して居るかは不明であるが、三角測量の結果は水平移動が垂直移動に比較して同程度であると云ふ事實を示して居るのであるから、相當これも問題とすべきであり、此所に水平力即ち横壓力に關しても議論が爲されなければならない。兎もあれ、地塊下における岩漿の存在は何れの場合においても必要とするのである。

(1) 松澤武雄：地震研究所彙報 第五號。

(2) 那須信治：同上 第六號。

なほ日本における地下熱上昇の割合を見るに、此れは比較的大であつて、20 m にて  $1^{\circ}$  上昇する場合を普通とするのである。此の割合を以て進むとしても、7 km にては  $350^{\circ}$ 、15 km にては  $750^{\circ}$  にて岩石熔融の温度には成らないのである。然し乍ら、前述の如く火山地帯においては地表迄も岩漿の上昇する事は敢て不可能の事では無いから、或る地域を限つて地下に岩漿溜の存在を想像しても差支へ無いものと信ずる。

要するに地變を生ずべきものは結局地下岩漿の作用に起因するものであつて、大地震により潤渴せる温泉の更生、或ひは新温泉の噴出の如きは、地變を生ずる岩漿運動の熱的作用に起因するものであらう。

### 3. 地震發生と氣壓勾配

地下流動岩漿の存在を更に確かむる現象として氣壓勾配が地震發生に密接の關係を有する事實を挙げ度い。一地點における氣壓の高低が其の地方における地震發生に關係を有する事實<sup>(1)</sup>を詳細に研究されたのは故大森教授であらう。教授は全國に亘つて一日中の地震回数分布は其の地方における氣壓の一日變化に關係ある事を確められたのである。又日本全國に亘つて地震發生回数の季節により異なる事實<sup>(2)</sup>は、氣壓配置に起因するものとして説明された。寺田教授<sup>(3)</sup>は氣壓の絶對値を採用する替りに其の勾配が地震頻度と關係を有つ事を指摘され、其後此の方面の研究は極めて多數に上つて居る。而して何れの研究も氣壓勾配が地震發生に與つて力ある事を立證して居るのである。寺田教授は 100 km に對して 2 mm 乃至 3 mm の氣壓差が地震發生を左右すると云ふ事實は極めて不思議な現象として述べられて居るが、地震發生の機巧も此の事實から考へ直さなければならぬのである。

中村(左)教授<sup>(4)</sup>は關東大地震の餘震について其の關係を研究されたが、小田原附近に震央を有する餘震は殊に著しく氣壓勾配の影響により發生して居る現象を見出した。又長谷川氏<sup>(5)</sup>は濃尾斷層附近に發生した小地震に就いて研究された結果、氣壓勾配の方向が斷層に直角である場合地震が發生すると云ふ事實が確められたのである。此の研究は地下に想像し得べき斷層に對して氣壓勾配が如何なる方向をとるかと云ふ極めて興味ある研究に相違ない。然し乍ら、今一步地震發生の機巧に迄も立入つて此

(5) 大森房吉：震災豫防調査會報告 第二號。

(1) 大森房吉：震災豫防調査會報告 第三〇號。

(2) 寺田寅彦：氣象集誌 第二八年 第一號。

(3) 中村左衛門太郎：天文地球物理學叢報 第三卷 第二號。

(4) 長谷川謙二：氣象集誌 三二年 第一一號。

の現象は説明さるべきものではあるまいか。

丹後地震の餘震に就いては著者<sup>(1)</sup>も多少の研究を試みたのである。氣壓勾配としては毎日午前六時における京都、神戸、境、福井等の氣壓値と宮津における同時刻のものとの差を求めて圖に表はして見た。然し乍ら京都—宮津、神戸—宮津の氣壓差は類似の曲線であり、又此れが最もよく餘震の發生と關係を有つ事が判明したのである。即ち京都、神戸方面において數日に亘つて次第に氣壓差が増加する場合には、結局丹後地方に餘震が發生するのである。此の場合氣壓勾配の方向（氣壓の減ずる方向）は西北であつて、地震と同時に出現した主な斷層—鄉村斷層—に對しては並行であると云はねばならない。なほ此れ迄の研究においては多く地震當時における氣壓勾配を論じて居るものが多いのであるが、著者は寧ろ氣壓勾配の變化する道程に着目し度いのである。如何となれば、宮津、河邊における地表傾斜變化は數日間に亘る變化を示して居るからである。即ち氣壓勾配そのものが直接地震發生を促すものに非ずして氣壓勾配の時間的變化が地塊の運動を促し、結局地震發生に終ると見なければ成らないのである。石川氏<sup>(2)</sup>も氣壓勾配の變化と地震及び火山噴火との間に關係ある事を指摘され、多くの例證が擧げられて居るが、又最近井上氏<sup>(3)</sup>の研究によれば、關東地方に發生する地震は比較的長周期に變化する氣壓勾配に關係を有すると云はれて居る。

なほ茲に一言附加し度き事は、傾斜觀測による地塊運動は時間的に働く力を考へに入れても、なほ説明し難いものがあるのである。其れは京都—宮津間にて求めたる氣壓勾配が次第に大となるものに對してのみ地塊の運動が開始されると云ふ事實であつて、京都—宮津間における氣壓差よりも、今一層廣い面積に亘る氣壓配置が寧ろ其の原因となつて地塊運動を生ぜしむるかの如く見受けられる。此れは要するに吾々の氣壓勾配に對する、或ひは地塊運動に對する智識が不充分である結果に過ぎないのであつて、將來の研究問題として殘されるものである。

以上の事實の説明に關しては、著者は地塊運動の場合と同じく地下岩漿の存在を以て解決を試みんとするものである。今假りに廣い面積に亘り液狀岩漿層が極めて自由に運動し得る地塊下に存在するものと考へやう。かゝる假想地殼に氣壓差が生ずれば如何なる現象が起るのであらうか。此の問題は大洋における氣壓配置の問題と比較されるものとなる。若し海水面<sup>(4)</sup>の昇降が氣壓を全部補償するものと爲すならば、驗潮

(1) 石本巳四雄：地震研究所彙報 第四號。

(2) 石川高見：氣象集誌 第二輯 第三卷 第二號。

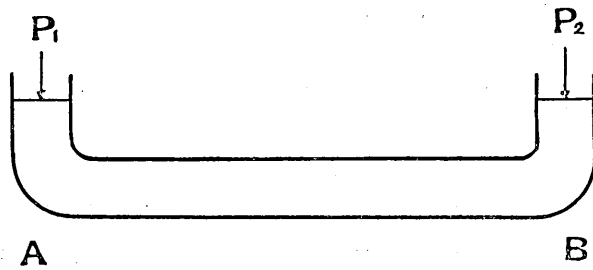
(3) 井上宇胤：地震研究所彙報 第五號。

(4) 潮汐による海水面の昇降は此の場合考へない事とする。



儀により求められた異常潮位は少くとも大洋全部に關する氣壓配置に追従するものとなるべきであつて、結局その地點の絶對氣壓に關係を持つと考へて大差ない。此の現象を假想地殻の問題に當て嵌めるならば、岩漿流動はその地點の氣壓値に追従するものと云へるであらう。此れは大森教授の云はれた氣壓絶對値に關係する地震發生に相當する説明ではあるまいか。然るに實際において、かゝる假想地殻は天體の引力に起因する潮汐の觀測上甚だしく實在性の乏しいものであつて、岩漿層の存在は相當限界されたる部分にあるらしく、其の部分において岩漿運動を考へる時には兩端における氣壓差に注意する方が至當であると云ふ事になる。

岩漿の存在を是認する事によつて尙有利となる事は、氣壓差が靜水壓として傳達される結果、二點間の距離に關係しないで其のまゝの力が働くと云ふ事である。例を以て云ふならば第二圖の如き U 字管に水を満たし一方に壓力を加へるとする。加へら



第 二 圖

れた力は其のまゝ管の水に傳へられるが、水が自由に運動する場合には一方の水面の上昇により釣合ふのである。此の場合管の長さには無關係である。若し此れと類似の現象が地下に行はれて居るならば、氣壓勾配よりも、氣壓差が寧ろ問題となるべきであらう。100 km にて 2 mm 乃至 3 mm の水銀柱の差は勾配としては相當小なるものであるが、力として傳達されるものは此の差に相當するのである。但し地表においては地塊の存在がある事、又液狀岩漿も多少の粘性を有する爲か或ひは他の原因により一時的の力に對しては相當の抵抗をするものらしく、數日間同じ力が同一方向から働く場合には壓力が傳達され岩漿流動が行はれるものと見られる。此の事實は丹後大地震發生の場合に明かに見出されたものである。氣壓の變化のみならず潮位の差が地震發生に關係を指す事<sup>(1)</sup>も事實らしいが、此の影響は氣壓程著しいもので無い様である。

以上の説明は地震發生に關する岩漿流動を單に物理的現象として見たものである

(1) 中村左衛門太郎：前掲。

が、此所に化學的變化迄も顧慮する場合には多少の改竄を必要とするものである。即ち岩漿の分漿作用と蒸氣壓に關する現象が當然問題とならなければならぬ。此等の事實は岩漿流動現象の説明には極めて都合よきものであり、又此の化學的變化は地震を發生せしむべき本體であると考へて差支無いものであるかも知れない。恐らくそれが事實であらう。然し乍ら此の中には將來の研究に俟つべきものが多々あるのであるから、著者は敢て此の問題に深入りせず單に分漿作用により極めて大なる蒸氣壓を發生し得べき機巧<sup>(1)</sup>のある事を指摘し、岩漿流動の極めて容易に行はれる事實を擧げるに止めて置き度い。

斯様に岩漿の流動と地塊運動とは同一現象であつて、切放して考へる事の出來ない問題であり乍ら、吾々の觀測し得るものは單に地塊運動のみであつて、此の結果として地震が發生すると云ふ現象しか見て居ないのである。然し乍ら、地塊運動の現象は塊下に岩漿の存在を是認して初めて、説明し得ると信するのである。かくて著者は此の地塊運動の結果として生ずる彈性波發生の機巧に論及せんとするものであるが、先づ岩漿の性狀に關して理解を進め度いと思ふのである。

#### 4. 岩 漿 の 性 質

岩漿の諸性質に關しては火山の噴火口に湛へられた高熱液狀の物質を直接研究するものもあるが、多くは且て火口壁を越えて流出した熔岩、或ひは地質學上深成岩として發見される岩石に就いて攻究を進めたものが其の主なるものであらう。

火山において研究される高熱の熔岩は地下における岩漿其のものでは無く、寧ろ本體である原始岩漿は尙ほ深所に存在し、其れより誘導されたものが多いと考へられて居る。なほ深成岩に於いても同じく誘導岩漿の地殻内空隙を満したものと考へられて居るから、其の間には密接な關係がある事が云はれて居る。即ち何れの場合においても、極めて深所に存在する原始岩漿の分漿作用により生成されたものとして稍淺い場所に来り、なほ分漿作用を續けつゝ岩漿溜を作ると想像されて居る。此の分漿現象は岩漿の化學的研究に俟つ外は無いのであるが、其の様式は多種多様であつて一般に未だ不明の點が多い様である。然し乍ら其の中二三の事實、例へば花崗岩の岩漿は極めて稀薄なる溶液となつて遠方に到達し、狭い小脈をも充填すると云はれて居る。即ち或る岩漿の粘度は極めて小なるものがあつて、壓力變化に伴つて流動が生ずると考へられて居る。然るに此の流動も單に器械的壓力の増減のみにより行はれるものとして

(1) G. W. Morey: Journ. Wash. Acad. Sci. 12 (1922) 219.

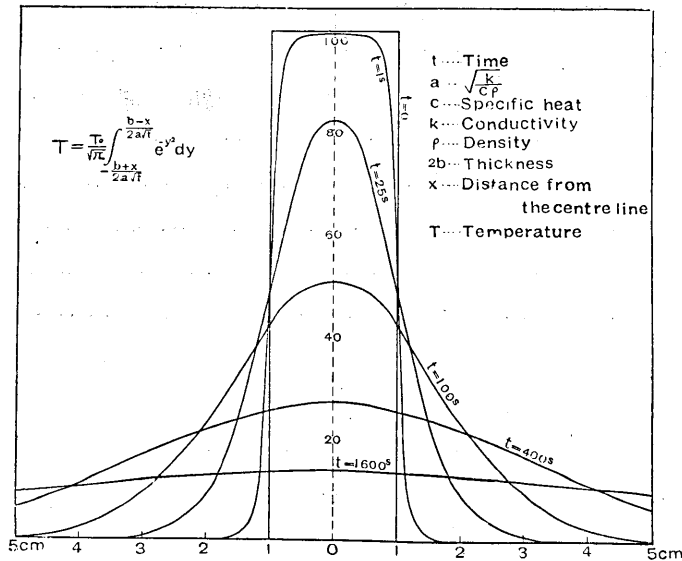
説明をするのは困難であつて、氣壓差による力が直ちに岩漿流動を支配するとは考へられない。岩漿溜においては分漿作用が行はれて居り、溫度變化に従つて成分の平衡が次第に變化して行くが吾々の問題とする物理的變化特に其の蒸氣壓の變化には著しいものがあるのである。溫度の低下に従つて岩漿の蒸氣壓は増加し、<sup>(1)</sup> 遂に外壓以上に及ぶ場合に於いては爆發か或ひは岩漿の流動が惹起されなければならない。氣壓勾配による壓力も外力の一つであるから、若し岩漿の蒸氣壓が極めて外壓に接近して居る場合に於いては、氣壓の消長は岩漿流動を助長する上に當然の原因であつて差支へない。即ち氣壓及び氣壓勾配の影響は直接岩漿を流動せしめる役を演ずると云ふよりも、寧ろ此等の壓力が蒸氣壓を通じて猛烈なる流動を惹起すと考ふる方が適當であらう。

岩漿の流動する速度は同一間隙においては岩漿の粘度と共に加へられたる壓力とにより決定されるものである。相當狭い間隙を通じて岩漿の流動する場合には、其の速度が問題となる。即ち目下存在する岩脈が果して幾何の時間を以て充填されたかを明瞭にし度いのである。貫入當時においては少くとも液狀を呈して居たのであるから、其の溫度は 1000°C 附近であると推定出来る。又地質學上接觸變成岩成生の事實は、周圍の岩石と岩漿との間には可なり溫度差の存在を意味するものであり、岩漿溜は相當遠距離にある事が自ら必要となるものである。即ち貫入岩の中には高溫の液狀物質が相當溫度差のある物體の中に充填されたるものと見られ、此の事實に従つて考察を進めるのである。而して先づ高溫の液體岩漿が間隙中にて如何なる速度を以て冷却し行くか考へ度いのである。

二次限の空間において幅員 2 cm を有する無限大の距離に達する間隙を想像し、高熱の岩漿も周圍の岩石も何れも等しい比熱 ( $c$ ) 傳熱度 ( $k$ ) 及び比重 ( $\rho$ ) を有するとする。時刻  $T=0$  において間隙が充填され、時と共に冷却する有様を百分率に表はしたものは第三圖である。但し常數はすべて花崗岩の値が用ひられてある。( $c=0.13$ ,  $k=5.3 \times 10^{-3}$ ,  $\rho=2.5$ ,  $a=\sqrt{\frac{kc}{\rho}}=0.105$  e.g.s.)

第三圖の示す如く僅か 100 秒時後には岩漿の溫度差は 1/2 となるのである。液狀岩漿の溫度 (1000°) が半減されたる場合 (500°) においては、岩漿は全く固體化すると考へて差支へないのであらう。岩漿の貫入距離は幾程であるか明瞭には分つて居ないとしても、接觸變成岩の成生される程度の溫度差を持つものであるから、岩漿溜か

(1) 杉健一：地質學雜誌 第四二三號。



第 三 圖

らは相當遠距離にあるものと見ざるを得ない。先づ數百米より數軒に亘ると假定して差支へ無いものであろう。此の距離を100秒にて到達すると爲すならば、其の速度は極めて早いものと云はねばならない。實際に於いては岩脈の幅員は數ミリメートル程度のもも存在するのであるから、その速度も極めて早いものがあると想像される。勿論速度が大である關係上多少の粘性のために熱の發生する事も考へ得べき事ではあるが、岩漿の粘性に関する吾々の智識は不充分であるため論議を進める事は困難に陥る。即ち粘性は極めて小であると云ふ假定の下に論を進めて居るに過ぎない。なほ幅員の大きな岩脈において、其の單位面積に加へらるべき壓力が等しい場合においては、其の速度は益々大なるものとなるであらう。何となれば此の速度を阻害するものは岩漿の粘性効果によるものであつて幅員の増加に伴つて此の影響は著しく軽減されるものであるからである。

以上は岩脈に就いての議論であるが、深成岩中に底盤 (Batholith) 餅盤 (Laccolith) の如きものがあつて、此等の成生が岩脈と同じ貫入作用によつて成生されたものとするれば、極めて迅速の運動を以て空隙が充填されたであらう。又假令その岩漿の運動は速かた無くとも運動量は極めて大であると想像出来るのである。著者は地震の勢力が極めて大であるのは斯様の現象が地下において行はれ、地震波動が發生するものと説明を試みるものであるが、同じく貫入岩の成生は極めて單時間であると云ふ説明をし

て居る地質學者は多いのである。而してその結果として火山爆發と同様の現象を生ずると論じて居る例<sup>(1)</sup>もある。

These considerations show that the extend dike intrusions resemble volcanic eruptions in that both take place in an intermittent and paroxysmal manner.....

斯様の考を以てすれば、火山現象も液状岩漿上昇により説明されるが、火山においては噴火口存在のために現在に於いては大規模の底盤成全の如きものは發生しないのを普通とするであらう。一般火山爆發において小地震を伴ふは、地表附近における岩脈成生に原因するものらしく、ヴェスヴィオ火山火口において、或ひは富士寶永山火口において岩脈の存在する事は有名の事に屬する。即ち火山地震と稱せられるものは極めて表面的のものと見られ、大地震後に發生する餘震に比べ得べきものにて、單に小規模の岩漿貫入が行はれるに過ぎないものであらう。

小川教授<sup>(2)</sup>は地質學の立場より地震發生の本體は岩漿運動にありとせられ、種々の例證を擧げて説明を試みられたるは敬服に値するものであるが、地震動發生の機巧に就いては詳しく論ぜられて居ない。石川氏<sup>(3)</sup>は異常震域の研究に附隨して日本海地震が火山性地層と密接なる關係ある事を指摘せられ、地震發生が岩漿の作用によるものと主張されて居る、著者は勿論此れ等論者と同意見ではあるが、岩漿運動を以て急激なる運動即ち地震波發生の機巧をも説明せんとするものである。

## 5. 彈性波發生の機巧

此れ迄述べ來つた現象から地震波動即ち彈性波が如何なる作用によつて發生されるかを考察して見たいのである。著者は地塊の存在及び其の運動が極めて自由である事實より地塊下には流動性物質を想像し、此れが恰も氣壓勾配に促進されて移動する事を述べたのである。而して地震發生と地塊運動との關係に就いては、地震前に傾斜變化を生じ地震發生と共に終結を告げて居る事實を述べたのである。即ち地塊運動は岩漿移動の表面的發現であつて、彈性波發生は結局岩漿運動の急激に停止する際に生ぜられた衝撃と考へるのである。即ち岩漿は流動する事によつて極めて大なる運動量を持つと考へられ、此れが一時に停止する時において其の運動量は衝撃となり、此所に彈

(1) J. Barrell: Prof. Paper No. 57, (1907) 157-159.

(2) 小川琢治: 地球 第一卷 第三號。

(3) 石川高見: 氣象集誌 第二輯 第六卷 第三號。

性波が発生し四方に傳播されるものと考へられる。又分漿作用も合せ考ふる時には、地下に於いて已に外壓に對抗すべき蒸氣壓が発生したる場合には、上層に位する地塊は全く不安定の状態となり動搖を開始するであらう。而して或る方向に傾斜する事により空隙が生じ、此の空間に岩漿の貫入する事によつて蒸氣壓も減じ地塊も安定すると見られる。勿論小地震或ひは深層地震の如きは地塊の不安定を惹起せざるべく、地塊の動搖に關しては無關係のものとして存在するであらう。

大地震の場合においては地下に行はるべき岩漿の運動量ば極めて大であり、従つて此の大衝撃の爲めに地殻に裂虧の生ずる事も想像される。即ち物質破壊の極限以上の振幅を有する弾性波の存在は不可能となるからである。此の意味において震源においては物質破壊限度だけの弾性波が発生するのであつて、恰も裂虧生成により地震波が放射されたかの如き現象を呈する。而して此の波動が比較的強度の小なる弾性體に突入する場合には、此所にも亦破壊が生じ得べく、従つて勢力の減衰も行はれるであらう。即ち言葉を替えて云ふならば、裂虧は地震を發生するものに非ずして反つて地震波を減衰する役を演ずるものと考へられる。

地震動の原因が全く岩漿運動の衝撃による結果であると云ふ現象に關聯して地表における衝撃の結果が記象上何等差別の無い地震動を發生した例を挙げたい。Galizin<sup>(1)</sup>は Pamir 地方において  $2 \text{ km}^3$  乃至  $3 \text{ km}^3$  の容積を有する岩石が 300 m 乃至 600 m 落下して災害を生じた事實を研究した結果、同日 Pulkovo にて記録せられた地震の原動力は落下による衝撃により發生せられたものであると云ふ結論を得たのである。即ち此の程度の衝撃においても遠距離迄も到達する振動を與へ得る大地震が發生したのである。地下における衝撃においても此れ以上の勢力を有するものは極めて多かるべく、適當の假説の下にその勢力を計算する事も可能であると思ふ。

大地震後の地塊の状態は其の大きいさの小である事と、其の運動が極めて自由であると云ふ事である。此の爲めに地塊下の物質は液狀を呈すると云ふ論斷を下したのであるが、其の形狀の小であると云ふ事は大地震の際生じたる波動のストレスに堪える事なく小分裂を生じたのであるかも知れない。其れも本來の弱線である構造線に沿ふて發生したものと見られるのである。斯様にして地塊は極めて自由になつたのであるから、地塊下の岩漿流動に従つて最も安定なる平衡に達する運動、或ひは水平力の存在がありとすれば其の力に従つて地塊の移動が生ずるであらう。かくて此れらの地塊

(1) B. Galizin: C. R. 160 (1915) 810-813.

運動が烈しい場合においては地表に所謂斷層の發現を見るのであつて、斷層の出現を以て地震の本體であるとは考へられない。

大地震の場合においては衝撃が極めて猛烈である爲めに地塊に裂虧を生ぜしめ、或ひは小地塊に分裂せしめるであらうが、小地震、或ひは餘震の場合には斯様の現象は無く地塊間隙又は裂虧を求めて岩漿の貫入があり、單なる岩漿衝擊の結果が地震波動を放射するのであろう。即ち大地震は底盤或ひは餅盤の成生に例へられるが、餘震程度の地震は單なる岩脈成生と考へられる。

#### 6. 地震及び此れに附隨する諸現象の解釋

以上論じ來りたる事を地震及び此れに關係する諸現象に對照して其説明を試み度いのである。

震原の深さに就いては種々研究の結果が報告されてあるが、大地震後の餘震には餘り深い震原はなく、丹後地震の場合には7 km 及び15 km 附近に密集して居り、30 km を越へるものは殆ど無いと云ふ状態である。地震の原因に就いては已に岩漿の蒸氣壓を問題として居るのであるから、此等の深さに相當して其所の壓力以上の蒸氣壓の存在が想像出来るのである。關東地方等に發生する地震においては40 km 程度のものも多數あるが、和達技師<sup>(1)</sup>の研究による深層地震においては300 km—500 km に及ぶ深さを有するものがある。此の地震の原因は岩漿自體の中に生じた變化であるが、其の機巧は同じく分漿作用による蒸氣壓の變化を以て説明さるべきものと信ずる。斯様な深い所に於いて發せられる地震は極めて其の勢力が大であるにも拘らず餘震を伴ふ事が全く無いのは要するに此の部分における物質の状態に異るものがあるのであつて、地表に近いものとは異つて大衝撃によりても裂虧の生ぜざる物質である事の證據ではあるまいか。

地震發生の機巧として地震計に記録された初動方向から、地下に發生した斷層が想像されて居るが此れは必ずしも地震の本源が斷層であると云ふ説明にはならない。岩漿の衝擊の方向により震原において發せられる震動は、其の方向に従つた彈性波である事も又地塊それ自身にある振動方向を持つて居て、此れが四方に放射されると考へるならば、裂虧の發生は敢えて問題とはならぬであらう。

火山地震における記象と一般構造地震と稱せらるゝ記象との間には區別がある様に

(1) 和達清夫：氣象集誌 第二輯 第五卷 第六號。

云はれて居る。然るに丹後大地震後發生した餘震の記象においては、全く火山地震の共れと區別出來ぬものが大部分であつた様である。<sup>(1)</sup> 此れは餘震の震原が比較的淺かつた事及び地震波の通路が比較的簡單であつた事に起因するものと解釋される。即ち此の事實は火山地震及び構造地震は勢力の大小こそはあれ、その發生の機巧において差異の無いものであると云ふ事實を示すものであつて、同じく岩漿運動の結果に外ならないと思はれる。

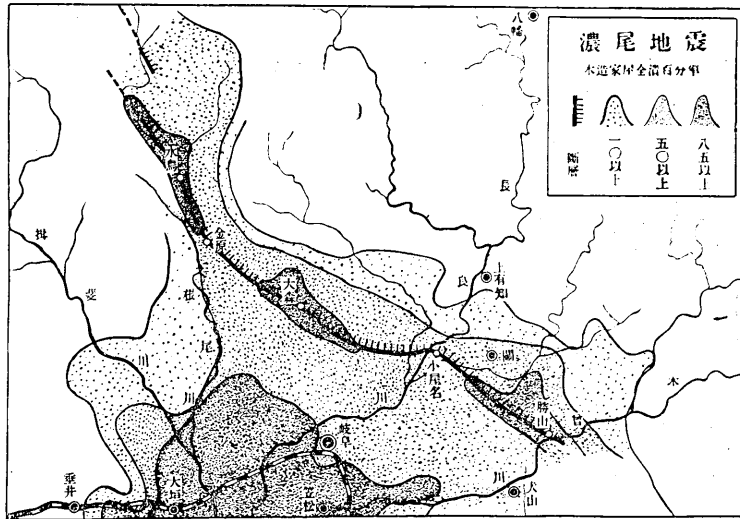
大地震の際に生じたる地變に就いて多少の考察を爲すならば、濃尾地震において根尾谷斷層を第一に注意して見たい。地變としては此斷層が最も鮮かに發現したのである。然るに最も災害の激烈を極めた地域は此の斷層附近と云ふよりも、岐阜大垣の中間を経て名古屋の西方に至る方面であつたのである。此の地震後此の地方に施行せられた水準測量の結果によれば、此の最激震地方に相當して土地の隆起沈降が發見されたのである。大森教授は此所に地下斷層を想像され、<sup>(2)</sup> 被害大のであつた事を説明して居られるが、假令此所の地下に斷層が生じたとするも、其の大いさにおいては根尾谷斷層に比敵すべきものには無いのである。なほ教授は此地區において何物か地下より急激に突上げたものゝ存在がある様であると述べられて居るが、此の意味は此の地區において最も烈しく衝撃を感じたものと解釋しては如何なものであらうか。而してこの衝撃により地塊が分裂せられ自由に運動を開始した爲め所謂斷層が發生したのであると著者は解釋をし度いのである。斯様な判断を下す事によつて此の斷層の出現が地震後であつた事、然かも急激に非ずしてツルツルと段違ひを生じたと云ふ事が充分に納得出來ると思ふ。

地震波—彈性波—のストレスが地殼の有する強度以上に達する場合には破壊が生ずるのであるが、地殼に弱い部分が存在して居る時には、進行して來た地な波は此所に破壊を發生せしめ地塊の運動に従つて所謂斷層と認められるものが成生されるのである。前述の如く根尾谷斷層はかくして出現したと思はれるが、假令破壊はあつても一般には所謂斷層を成生するとは限らぬ様である。又地震波が比較的弱い部分即ち地塊の境界等を通過する場合、その勢力の一部分は反射され、一部分は減衰され、残部は通過して行くのであるから、斷層線に沿ふて震度の異常が認められる事を常とする。根尾川下流においては地震と共に所謂斷層の出現は認められなかつたが、此の谷の兩側

(1) 今村明恒：地震研究所彙報 第四號 一九五頁。

(2) 大森房吉：地震學講話 三四〇頁。





第四圖

において著しく震度の異なる事実が存在するのである(第四圖)。<sup>(1)</sup> 即ち根尾川の震央側において60%-70%の被害率は此の川を越える事によつて約25%に激減して居るのである。此れと類似の現象は他の大震の場合にも明かに認められる事であるが、一種の異常震域として將來研究せられなければならない。

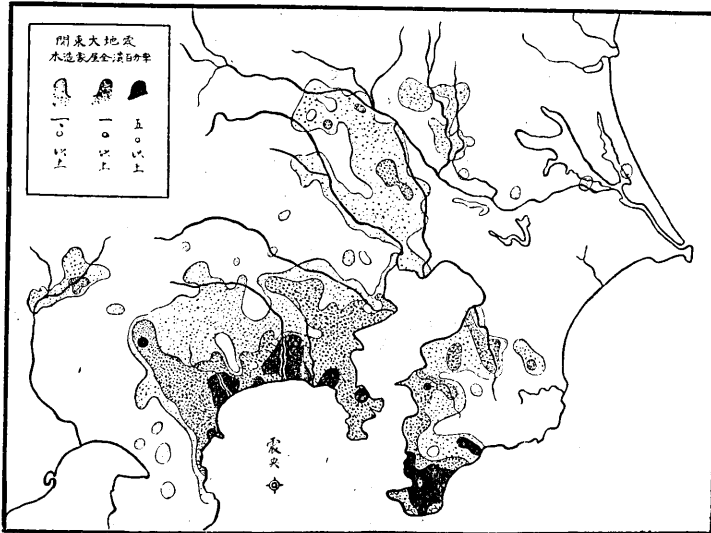
關東大地震においては著しい斷層が地表に出現しなかつたのである。此の事實は頗る意外として海底に斷層の存在を考へる論者もあるが、著者は必ずしも斷層の存在を必要とはしないのである。相模灣底における斷層の有無は兎も角、地表における災害程度を検する時は隆起部分と著しく合致する事が見出せるのである。此れは岩漿運動の結果斯様の地變を出現し、又此の地域下より地震波が発生したと見られるのである。即ち此の考を以てすれば相模海底における陥没地帯も岩漿運動に伴ふ結果として自ら明かなものであつて、彼の櫻島噴火に際し噴火口附近即ち島の中央においては土地隆起を生じ、島の周圍においては反つて沈降を示じた類似現象<sup>(2)</sup>として考へられるものである。

關東大地震の場合には地震に先立つて地變は發生しなかつた様である。大地震の衝撃により地塊は分裂し、運動を開始したのであらうが、各地塊の相互的運動が烈しく

(1) 岐波測候所濃尾大震報告により製作。

(2) 大森房吉：震災豫防調査會歐文報告 第八卷 第二號。

無かつた爲めに所謂斷層は出現しなかつたのである。なほ此の地震による被害状況を見るに、前述の如く構造上斷層と目されて居る地帯を地震波が通過する時には、其の勢力が著しく減ぜられるのを發見するのである。



第五圖 (松澤氏による)

地震動の進行に對して直角の位置にある構造線は震動を減衰するに反し、平行なるものは無關係であるのは當然の事であるが、第五圖<sup>(1)</sup>において見る如く多摩川下流における被害分布は兩岸において明かに異なる例を示して居るのである。なほ江戸川流域、小貝川流域においても斯様の例が見出される、勿論地質的關係の存在により、此れ等の現象は往々地盤の影響として取扱はれて居るが、單に其れのみにて説明し得るものでは無く、寧ろ斷層の兩側において其の震度の明かに異なる事實を擧げて、斷層において地震波の反射、減衰の現象のある事を指摘したいのである。なほ房總半島における震度の分布が、同じく構造線の片側に沿ふて發見して居る事も注意する事が出来るのである。

彈性波が地震と同時に生じた所謂斷層により阻害された事實は但馬、丹後の二大地震において其の例が見られるのである。但馬地震の場合其の震央<sup>(2)</sup>は津久井灣附近と推定されて居り、陸上田結附近に斷層<sup>(3)</sup>が出現したのである。而して此の地震による

- (1) 松澤武雄： 震災豫防調査會報告 第百號(甲)。  
 (2) 今村明恒： 同 上 第百一號。  
 (3) 山崎直方： 同 上 同。

被害状況を見るに田結斷層の陰に當る久美濱附近は、此れと等距離の點に比較して災害が極めて輕微であつたのである。丹後地震においては地震と殆ど同時に二大斷層が發生し、此の附近が最も災害が甚しかつたのである。然し乍ら被害分布状況を詳しく注意する時は、斷層の兩側において其の程度の著しく異なるのを發見するであろう。此の事實は實際に家屋破壊調査をされた谷口氏<sup>(1)</sup>も注意して居られる事であるが、口大野附近において僅か 3 km の距離なれども甚だしく被害の異なる事、或ひは此れと同じ現象が山田斷層において岩瀧附近に見出されるのである。此れは要するに震原にて發せられたる地震波は此の二大斷層に相當する構造線に於いて各地塊の運動を自由にすると同時に自ら反射減衰を惹起し、斯様の震度分布を發生したものと見られる。

丹後地震において震央より相當距りたる大阪附近において震動の比較的烈しかつた事は明白であるが、雑誌「地球」に發表された被害分布圖<sup>(2)</sup>においても正に其の現象が指摘されてある。此の現象は強ち大阪附近の地盤が軟弱であると云ふ理由のみで説明さるべきものでは無いと思ふ。前述の如く地震波が構造線面を通過する場合に著しくその勢力が減衰されるのは事實である。従つて構造線と平行して進行した波は大阪附近迄も相當の勢力を保持して居たと云ふ見解の下にも説明出來ると信ずる。然し乍ら此の場合には地表には推定する構造線以上に地下に特別の構造があつて地震波を導くと同時に氣壓勾配による力を傳達し得るのではあるまいか。

今村教授は日本海沿岸に出現した數回の大地震を調査された結果<sup>(3)</sup>海岸における土地隆起は多くは地震に先立つ事數時間であつたと述べられて居る。此の現象は地變と地震とが明かに別種のものである事を示すものであつて、先づ地表に認め得べき地塊運動があり、而して後岩漿衝擊が誘導されて震動を發したものであると思はれる。丹後地震の場合にも海岸地方に於ける土地隆起があり、其後の衝擊の結果として二大斷層が出現した様である。

大地震後發生する餘震數は大森教授<sup>(4)</sup>により研究せられ、其の頻度は双曲線を以て次第に減少すると云はれて居る。日下部教授<sup>(5)</sup>は歪の次第に消滅恢復するにより、其の双曲線となる事實を證明されたが、著者は餘震減少の事實を熱的現象と考へ度いのである。即ち大地震の際生じた岩漿衝擊は數多の裂虧を地殻に與へたであらうし、或

(1) 谷口忠：地震研究所 第三號。

(2) 本間不二男：地球 第九卷 第五號。

(3) 今村明恒：地震研究所彙報 第四號。

(4) 大森房吉：震災豫防調査會報告 第二號。

(5) 日下部四郎太：震災豫防調査會歐文報告 一七號。

は従前より存在して居た裂虧もあつたであらう。而してこれらの裂虧は勿論岩漿内に存在する空隙をも充填する爲めに岩漿の流動が行はれると見られる。岩漿流動は要するに温度の函数であり、岩漿溜の冷却と共に餘震の減少する事は察するに難くない事である。即ち物體冷却の定理に従へば、温度は對數曲線をなして低下するのであり、大森教授の出された實驗式と極めて類似のものとなるのである。

地震に附隨する現象としては鳴動を擧げる事が出来る。此の音色は太鼓の如しとも、遠雷の如しとも、大砲の如しとも云はれて居る。即ち何れにしても何物か地下において打突けた結果發生する如き音色である。これらの音響は地震と共に發したものと考へられるから、地震發生の機巧も自ら衝擊により誘導されたものと考へるのが適當であらう。不幸にして著者は未だ多くの鳴動を體驗して居ないので其の現象に充分の判断を下す事の出来ないのは至極残念に思ふものである。

なほ岩漿流動により地震が發生するとすれば、地殼變動のみならず重力變化も必然的に惹き起さると考へられるから、此の現象に就いて觀測研究の進捗する事を期して止まない次第である。

## 7. 結 語

地塊運動と地震とが同一根源、即ち岩漿の存在により生ずる事は以上の説明で充分であると思ふが、地質學的になほ詳細の考察を必要とするものである。土地隆起沈降に關する議論は地塊物質と次下層物質との物理的差異の結着に歸せられ、造山運動の瞬間的現象を今日見て居ると考へられる。

現在構成されて居る山岳は相當新しい地質を其の山頂に持たぬものは少ないであらうが、其の基部において深成岩の基礎を持たぬものは殆ど無いと云へるのである。深成岩は且て岩漿より誘導され固化したものであり、土地隆起の結果として地表に現はれたものと考へられる。而して現在においても尙地塊下における岩漿が時と共に分漿作用を續行して居るならば、茲に地震が發生するのである。關東地方において筑波山下に絶えず小地震の發生があるが、これは深成岩下において未だ流動岩漿の存在する事を暗示する現象なるべく、傾斜計觀測によれば此の山が氣壓の影響を受けて東西に動搖する事實<sup>(1)</sup>は益々岩漿の存在を考へしむるものである。

要するに地震發生は造山運動の副産物であるに過ぎないのであつて、火山活動と相

(1) 石本巳四雄：天文地球物理學研報 第四卷 第二號 一〇〇頁。

俟つて地殻の動搖性を示す現象と見られるのである。従つてこの原動力である岩漿の性質特に物理化學的研究を益々進捗せしめる事により、地震學の一目的は大半達し得るものと信ずる。

擱筆に臨み此の論文を草するに當つて充分の援助を賜つた高橋理學士に、又挿圖に關しては非常の努力を惜まれ無かつた大塚君に謝意を表す。

昭和三年十月

東京帝國大學地震研究所

---