

### 30. *Existence d'une source quadruple au foyer sismique d'après l'étude de la distribution des mouvements initiaux des secousses sismiques.*<sup>1)</sup>

par Mishio ISHIMOTO,

Institut de Recherches sur les Tremblements de terre.

(Lu le 15 mars 1932, reçu le 20 mars 1932)

#### 1. Introduction.

Le regretté Prof. F. Omori<sup>2)</sup> a remarqué que la direction du mouvement initial des secousses sismiques enregistrées par le sismographe coïncide bien avec la direction de son épicentre. Le mouvement initial se fait dans la direction de l'épicentre ou la direction opposée respectivement selon que l'onde est tirante ou poussante. Ces deux sortes d'ondes ont été distinguées par l'inscription du sismographe de la composante verticale: l'onde tirante donne un mouvement vers le bas et l'onde poussante donne un mouvement vers le haut. Le Prof. Omori a, donc, réussi à déterminer la direction épacentrale: on a employé ce procédé pour connaître la direction épacentrale avec un seul sismogramme.

Le Prof. T. Sida<sup>3)</sup> a remarqué cependant, en 1917, que la distribution régionale des mouvements initiaux des secousses sismiques observés en plusieurs stations paraît comparativement simple. Il nous a montré que les mouvements initiaux se distribuent dans quatre quadrants pour le séisme du 18 mai 1917, dont l'épicentre se trouve au fleuve Tenryû. Pour expliquer cette distribution il a supposé au foyer un modèle exécutant l'éloignement brusque de deux disques parallèles dans la direction de leur axe.

Il a constaté aussi pour le séisme du 26 nov. 1916, dont l'épicentre se trouve auprès du détroit d'Akasi, que tous les mouvements initiaux se dirigent vers l'épicentre et il l'a considéré comme d'origine dépressionnelle. En tout cas, son procédé nous suggère le mécanisme de la production

1) L'étude préliminaire a été publiée dans *Proc. Imp. Acad. Jap.*, 8 (1932), 36.

2) F. OMORI, *Bull. Earthq. Inv. Comm.*, 6 (1912), 11.

3) Il en a parlé, en 1917 à la séance annuelle de la Société japonaise de physique-mathématique.

des ondes sismiques au foyer. Depuis cela tous les sismologues japonais se sont constamment efforcés de développer son procédé. En profitant de tous les forts séismes apparus au Japon, ils ont examiné s'il y avait plusieurs mécanismes de production des ondes.

Pourtant, au cas du séisme de Simabara en 1922, le Prof. Saém. Nakamura a constaté que les deux lignes nodales coïncident très bien avec les lignes tectonique dans la région épacentrale et il a supposé que deux portions de croûte ont exécuté un glissement le long d'une des lignes nodales. Certes, cette manière de voir donne aussi la même distribution. D'après sa considération l'origine du séisme n'est qu'une faille glissante et cela nous fait voir la possibilité de deux sortes de mécanismes au foyer. (Fig. 1)

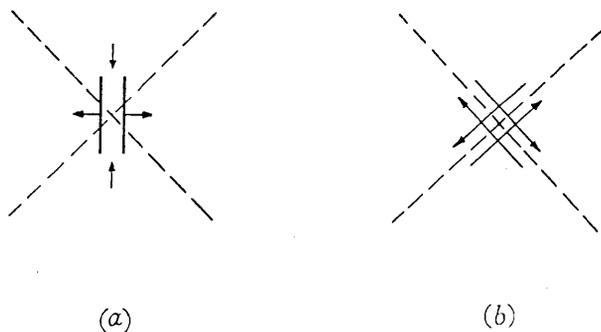


Fig. 1. Deux modèles représentant deux mécanismes différents.

En tout cas, la distribution régionale des mouvements initiaux des secousses sismiques nous donne une certaine idée du mécanisme de production des ondes sismiques au foyer ; mais la décision d'un de deux modèles resta un problème irrésolu autant qu'on ne considère que le phénomène à deux dimensions. Certes, si nous limitons notre discussion aux séismes dont les foyers restent peu profonds et dont les mouvements du foyer demeurent horizontaux à la surface terrestre, il n'y a pas de préférence : mais quand nous faisons attention surtout aux séismes dont les foyers restent comparativement profonds, nous trouvons le cas où nous aurons quelque moyen de nous décider pour l'un des deux modèles. Mais comme les séismes à foyer profond donnent toujours des distributions anormales pour les mouvements initiaux, on nous dit qu'ils auront au foyer un mécanisme différent de celui des séismes à foyer peu profond.

4) S. NAKAMURA, *Kōkyō-shyūshi* (2) 1 (1923), 1.

D'autre part, le Prof. M. Matuyama<sup>5)</sup> a fait une discussion en adoptant le modèle de deux disques et a conclu que les lignes nodales doivent être représentées par une courbe hyperbolique au lieu de deux lignes droites. Pourtant, comme le Prof. S. Nakamura a adopté le mécanisme de glissement dans le cas du séisme de Simabara, les chercheurs du Bureau Central de Météorologie ont été conduits à considérer le séisme comme ayant un glissement de faille à son foyer.

Or, les conditions des observations sismiques sont bien améliorées aujourd'hui : le Bureau Central de Météorologie s'efforce d'inaugurer des stations partout au Japon, en y installant le même type de sismographe (type de Wiechert). Ainsi, il nous permet d'une part d'obtenir les mouvements initiaux des secousses sismiques avec assez de sûreté, d'autre part d'étudier un grand nombre de séismes quoiqu'ils n'aient pas grande intensité. Nous voulons, ensuite, remarquer surtout les distributions des mouvements initiaux donnés par les séismes dont les foyers demeurent assez profonds, en espérant que nous pourrions tirer certaine influence de la profondeur hypocentrale. Cela nous permettra de considérer de mécanisme de la production des ondes sismiques avec trois dimensions.

## 2. Distribution des mouvements initiaux déjà étudiés.

Nous avons déjà dit qu'il y a deux sortes de mécanismes pour expliquer la distribution des mouvements initiaux des secousses sismiques. Nous les distinguons : a) le mouvement brusque de deux disques parallèles dans la direction de leur axe ; b) deux portions d'écorce font un glissement relatif produisant une faille. Pour le modèle-b, on suppose généralement deux glissements perpendiculaires, quoique un tel glissement n'existe pas dans la nature.

M. S. Kunitomi<sup>6)</sup> a proposé, cependant, une façon de distribution avec un seul glissement : cette fois-ci l'amplitude du mouvement devient maxima le long de la faille, tandis que la distribution en quadrants reste sans aucun changement. Nous pourrions vérifier son hypothèse avec des données précises d'observation : mais d'après l'étude de M. K. Honda<sup>7)</sup> les mouvements initiaux des secousses se trouvent maximum dans les directions bissectrices des angles donnés par deux lignes nodales.

5) M. MATUYAMA, "Bankin no Disingaku" (livre de sismologie, en japonais), 229.

6) S. KUNITOMI, *Geophys. Mag.*, 2 (1930), 65.

7) K. HONDA, *ibid.* 4 (1931), 185.

Nous savons, donc, même dans le modèle-b que la question de la distribution des mouvements initiaux n'est pas résolue simplement.

Certes, nous avons un grand nombre de résultats représentant la distribution des mouvements initiaux surtout depuis le grand tremblement de terre de 1923. Nous allons, en effet, passer en revue les résultats récemment rapportés. Quant au grand tremblement de terre de Kantô, (le 1<sup>er</sup> Sept. 1923) M. S. Kunitomi<sup>8)</sup> a publié un mémoire où nous trouvons beaucoup de résultats sismométriques.

En ramassant les données sur les mouvements initiaux des secousses étudiées par plusieurs personnes, il a donné sa conclusion. Il explique la distribution par un effet de réflexion des ondes sur une couche située à 50 km de profondeur. Suivant cette idée il fixe la profondeur hypocentrale à 28 km qui est assez petite quand on la compare aux résultats obtenus par les autres moyens. Il a adopté cette manière d'explication aussi pour le tremblement de terre de Sekihara.<sup>9)</sup> (le 27 Oct. 1927.) D'après notre point de vue, cependant, l'adoption d'un phénomène de réflexion n'est pas nécessaire: nous la discuterons dans les chapitres plus loin.

MM. K. Sagisaka et H. Satô<sup>10)</sup> ont étudié le tremblement de terre du 3 août 1926, dont l'épicentre se trouve près de Yokohama. Ils supposent une ligne nodale de direction SE-NO qui coïncide avec une ligne tectonique. Ils n'ont pas, cependant, réussi à expliquer l'existence d'une onde poussante enregistrée à Kakioka.

Pour le grand tremblement de terre de Tango (le 7 mai 1927) M. S. Kunitomi<sup>11)</sup> a fait une carte représentant la distribution des mouvements initiaux. Il constate dans celle-ci qu'une des deux lignes nodales coïncide avec la faille produite dans la région épiscopentrale et cherche à expliquer la distribution avec un seul glissement de faille. Naturellement il considère la distribution des mouvements initiaux comme un problème à deux dimensions, parce que la profondeur hypocentrale a été fixé à 15 km.

M. K. Sagisaka<sup>12)</sup> a publié un mémoire sur le séisme du 21 mai 1928, dont l'épicentre se trouve auprès de la ville de Tiba. Il a montré qu'il y a une région d'ondes poussantes en forme de lentille. Pour

8) S. KUNITOMI, *Geophys. Mag.*, 3 (1931), 149.

9) S. KUNITOMI, *Kisyô-syûsi*, (2) 6 (1928), 59.

10) K. SAGISAKA et H. SATO, *ibid.*, (2) 4 (1926), 301.

11) S. KUNITOMI, *loc. cit.*

12) K. SAGISAKA, *Kisyô-syûsi*, (2) 6 (1928), 326.

expliquer cela il considère une faille au foyer ; mais il est assez difficile de comprendre le mécanisme qui donnera un domaine des ondes poussantes en forme de lentille. Il a aussi exécuté une étude sur un tremblement de terre<sup>13)</sup> à foyer profond dont l'épicentre se trouve près de la presqu'île de Sima (le 3 juin 1929) ; nous en parlons au chapitre suivant.

D'autre côté, M. K. Tanahasi<sup>14)</sup> a publié un mémoire sur le séisme du 4 juillet 1929 dont l'épicentre se trouve dans la presqu'île de Kii. Il a fait une carte représentant la distribution des mouvements initiaux. Pour expliquer cela il adopte la réflexion des ondes sur une couche dans la croûte. Il a publié aussi une autre mémoire sur le séisme<sup>15)</sup> du 2 juin 1931 dont l'épicentre se trouve près de Takayama : comme ce séisme a son foyer assez profond nous voulons en parler au chapitre suivant.

Récemment, M. S. Kunitomi a exécuté des études, d'une part sur un séisme,<sup>16)</sup> un de plus grands séisme dans la foule sismique d'Itô ; d'autre part sur le grand tremblement de terre d'Idu<sup>17)</sup> du 26 nov. 1930. En constatant que les mouvements initiaux de ces séismes se partagent en quatre quadrants, il conclut que ce sont des séisme d'origine tectonique : c'est-à-dire que les ondes sismiques ont été causées par la production d'une faille. Cette fois-ci, les épicentres restaient auprès de la surface terrestre et nous n'avons aucune préférence parmi les deux modèles. Comme nous l'avons déjà dit, M. K. Honda a étudié surtout les amplitudes des mouvements initiaux sur le dernier tremblement de terre.

M. K. Hukutomi<sup>18)</sup> a étudié les séismes apparus dans la région de Kantô où le réseau des stations a des mailles assez serrées. Il a employé l'inscription du sismographe de composante verticale pour distinguer les deux sortes d'ondes. Il constate qu'il y a des séismes qui ne donnent pas de distribution en quadrant, lesquels occupent une certaine partie de Kantô : il a tracé une ligne droite passant par l'épicentre, en considérant qu'elle représente la faille produite.

Ce que nous avons déjà dit sont les résultats des études sur les mouvements initiaux des secousses sismiques ; sur lesquels la plupart des sismologues considèrent le mécanisme de la production d'une faille au foyer avec le rayonnement des ondes sismiques. Comme nous

13) K. SAGISAKA, *Kensin-zihô*, 3 (1929), 313 ; *Geophys. Mag.*, 3 (1930), 165.

14) K. TANAHASI, *Umi to Sora*, 9 (1929), 197.

15) K. TANAHASI, *ibid.*, 11 (1931), 277.

16) S. KUNITOMI, "Iwanami-Kôza", sur physique et chimie, section physique 8.

17) S. KUNITOMI, *Geophys. Mag.*, 4 (1931), 73.

18) K. HUKUTOMI, *Zisin.*, 3 (1931), 592.

l'avons déjà indiqué, la distribution donnée par deux sortes de mécanismes reste toujours le même autant que nous occupons des séismes dont l'hypocentre demeure auprès de la surface terrestre. Certes, nous avons dit, que les distributions des mouvements initiaux données par les séismes à foyer profond restent toujours assez irrégulières pour qu'on ne puisse pas tracer de ligne droite nodale. Il nous semble, cependant, qu'il faut examiner tout d'abord la distribution dans les séismes à foyer profond : cette étude nous donnera des idées pour connaître le mécanisme de la production des ondes au foyer en considérant le cas de trois dimensions.

### 3. Distributions pour les séismes à foyer profond.

Nous avons dit que les distributions des mouvements initiaux pour les séismes à foyer profond donnent quelque chose d'assez irrégulier pour qu'on ne puisse pas tracer de courbe nodale. Nous remarquons, cependant, deux ou trois exemples de distributions déjà rapportées. Nous pouvons d'abord indiquer un mémoire publié par M. K. Tanahasi<sup>19)</sup>. La figure 2 représente la distribution des mouvements initiaux obtenue pour le séisme du 2 juin 1931, dont l'épicentre se trouve au près de Takayama et dont la profondeur hypocentrale en de 240 km. En constatant que la courbe nodale ressemble à une hyperbole, il a adopté pour mécanisme de la production des ondes sismiques au foyer avec le modèle-a ;

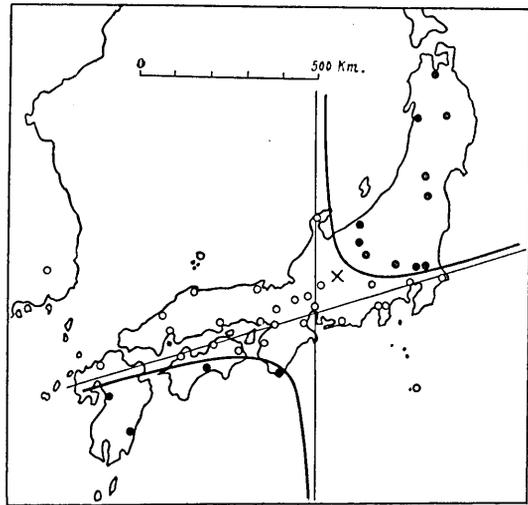


Fig. 2. Distribution des mouvements initiaux pour le séisme du 2 juin 1931. (d'après M. K. Tanahasi) Profondeur hypocentrale 240 km.

● onde poussante, ○ onde tirante, × épicentre.

c'est-à-dire deux disques qui s'éloignent subitement dans la direction de leur axe. Bien que ce modèle ait été proposé premièrement par le prof. T. Sida et puis par le Prof. M. Matuyama, il était abandonné depuis l'apparition du séisme de Simabara. Le moment est venu de

19) K. TANAHASI, *loc. cit.*

réfléchir à l'origine des deux modèles de mécanisme. Il nous semble qu'il est presque impossible de rendre compte de la distribution des mouvements initiaux avec le modèle-b manifestant le phénomène du glissement de faille au foyer.

Certes, nous sommes tout à fait libres quant au choix des deux modèles, autant qu'on étudie seulement les séismes à foyer peu profond. Mais, nous inclinons à choisir le modèle-a pour les séismes à foyer profond. Pour appuyer ce point de vue, nous avons essayé de chercher la distribution des mouvements initiaux surtout pour les séismes à foyer profond espérant que cela nous donnerait certaines suggestions.

Un mémoire publié par M. K. Sagisaka<sup>20)</sup> nous donne un autre exemple. Il a étudié le séisme du 3 juin 1929, dont l'épicentre se trouve auprès de la presqu'île de Sima et dont la profondeur hypocentrale se trouve à 300 km environ. Il met deux lignes nodales pour représenter la faille produite au foyer et fait passer l'une des deux par l'épicentre. Nous voulons, cependant, représenter la courbe nodale suivant le mécanisme du modèle-a. Nous mettons une ellipse au lieu de deux lignes dont l'intérieur est occupé par les ondes poussantes. (Fig. 3)

Représenter la ligne nodale par une ellipse paraîtra étrange surtout pour ceux qui considèrent toujours la production des ondes sismiques comme due au glissement d'une faille. C'est, cependant, une simple conséquence de l'adoption du modèle-a. Nous allons développer cette manière de voir dans les chapitres suivants.

Ces deux exemples nous suggèrent l'idée que les courbes nodales sont les sections d'un cône. Nous avons, donc, essayé d'étudier les dis-

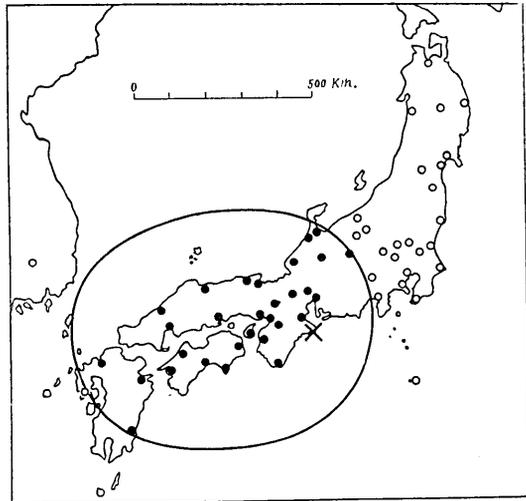


Fig. 3. Distribution des mouvements initiaux pour le séisme du 3 juin 1929. (d'après les données de M. K. Sagisaka) Profondeur hypocentrale 300 km.

● onde poussante, ○ onde tirante, × épicentre.

20) K. SAGISAKA, *loc. cit.*

tributions des mouvements initiaux surtout pour les séismes à foyer profond. Bien que nous efforcions de faire la carte avec les données figurant dans *Kisyô-yôran*, la plupart des séismes ne satisfont pas nos conditions : quelque-fois l'épicentre se place mal dans la mer, quelque-fois l'inscription est faite seulement en plusieurs stations autour de l'épicentre à cause d'une trop petite intensité. En tout cas, nous avons réussi à trouver un exemple montrant les courbes nodales avec les sections coniques. La figure 4 montre la distribution des mouvements initiaux pour le séisme du 15 janvier 1927 dont l'épicentre se trouve au large de Kyôgasaki. ( $\lambda=134^{\circ}38'E$ ,  $\varphi=36^{\circ}18'N$ )

La profondeur de ce séisme a été étudiée spécialement par M. H. Kawasumi<sup>21)</sup> et il l'a fixée à 450 km, la plus grande profondeur parmi les séismes étudiés. On comprendra, tout de suite, que la courbe nodale soit une partie d'hyperbole.

Suivant le fait que nous pouvons représenter les lignes nodales avec les courbes de sections coniques, nous voulons savoir la forme du cône dont l'intérieur est occupé par des ondes poussantes. D'autre part, nous trouvons la profondeur hypocentrale par les données sur l'occurrence de temps ou la durée des secousses préliminaires. Quand nous connaissons la forme de la ligne nodale et la profondeur hypocentrale, nous pouvons déterminer du cône en supposant que l'écorce terrestre est un milieu homogène et isotrope. Au moyen de la géométrie perspective, nous trouvons que le cône a un angle de  $45^{\circ}$  environ : cet angle coïncide, cependant, très bien avec l'angle de deux lignes nodales obtenues surtout pour les séismes à foyer peu profond. Nous pouvons dire, donc, que la grandeur de la courbe dépend de la profondeur hypocentrale et que la forme de la courbe dépend de l'orientation de l'axe du cône.

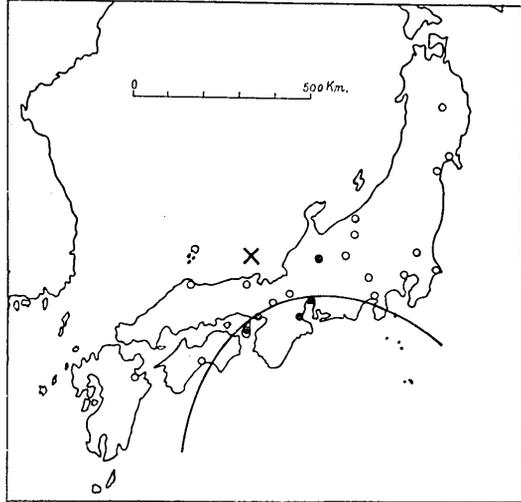


Fig. 4. Distribution des mouvements initiaux pour le séisme du 15 jan. 1927. Profondeur hypocentrale 450 km

• onde poussante, ○ onde tirante, × épicentre.

21) H. KAWASUMI, *Kisyô-syûsi*, (2) 5 (1927), 232.

#### 4. Adoption de la courbe de section conique pour les courbes nodales.

Avec l'idée que les courbes nodales seront représentées par les courbes de section conique, nous avons essayé de faire une révision des résultats, soit d'après les cartes faites par les sismologues, soit d'après les données de Kisyo-yôran.

La figure 5 représente la courbe nodale du grand tremblement de terre de 1923 d'après les données de M. S. Kunitomi<sup>22)</sup>: l'épicentre a été déterminé:  $\lambda=139^{\circ}17'E$ ,  $\varphi=35^{\circ}22'N$ . Nous mettons une ellipse pour la courbe nodale. Certes, nous sommes obligés de comparer la profondeur hypocentrale pour décider de la grandeur de l'ellipse. Suivant la grandeur de l'ellipse tracée, il nous semble que le foyer reste assez profond. Mais, d'après la détermination de la profondeur hypocentrale exécutée avec les résultats d'observations surtout des stations voisines, nous constatons que le foyer reste comparativement peu profond. Il nous paraît, donc, que les ondes ont été rayonnées d'un foyer ayant une dimension étendue dans une direction verticale. Il

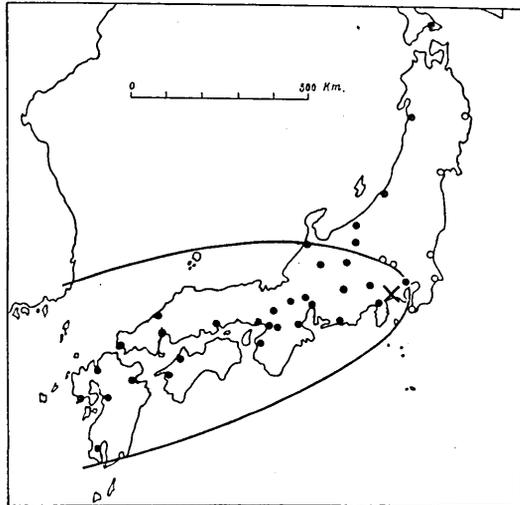


Fig. 5. Distribution des mouvements initiaux pour le séisme du 1<sup>er</sup> sept. 1923.

● onde poussante, ○ onde tirante, × épicentre.

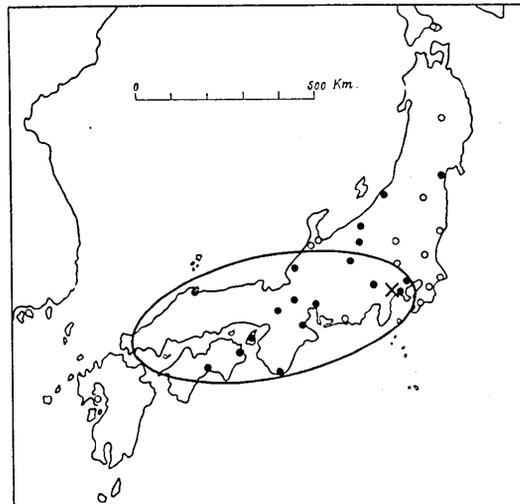


Fig. 6. Distribution des mouvements initiaux pour le séisme du 27 juillet 1929.

● onde poussante, ○ onde tirante, × épicentre.

22) S. KUNITOMI, *loc. cit.*

est possible que les ondes rayonnées près de la surface aient été aperçues surtout par les stations voisines, les ondes rayonnées au sein de la croûte l'ayant été par les stations lointaines. Quoique M. S. Kunitomi ait considéré la réflexion des ondes sur une couche située plus bas, elle est inutile avec notre point de vue.

La figure 6 montre la distribution des mouvements initiaux du séisme du 27 juillet 1929 dont l'épicentre se trouve au près de Tanzawayama. ( $\lambda = 139^{\circ}2$  E,  $\varphi = 35^{\circ}5$  N) Certes, l'ellipse tracée pour la ligne nodale coïncide très bien avec celle obtenue dans le cas du grand tremblement terre de 1923. Nous considérons, donc, que ces deux séismes ont le même mécanisme de production des ondes sismiques malgré l'intensité. Il est plausible que nous pourrions assurer beaucoup d'évidences en étudiant le dernier au lieu du premier. En tout cas, il nous semble que son foyer a eu une dimension étendue aussi dans la direction verticale.

D'après les données de M. K. Sagisaka<sup>23)</sup> et les autres sur le séisme apparu au près de Yokohama le 3 août 1926, nous pouvons mettre une hyperbole dont l'intérieur coïncide avec la région des ondes poussantes. (Fig. 7) Quand on veut employer la distribution en quadrants, il n'est pas possible de placer l'onde tirante observée à Tôkyô. Il est bien naturel de tracer une courbe hyperbolique pour distinguer entièrement les deux sortes d'ondes.

Pour le séisme du 21 mai 1928 M. K. Sagisaka<sup>24)</sup> a publié un mémoire dans lequel il discute la distribution des mouvements initi-

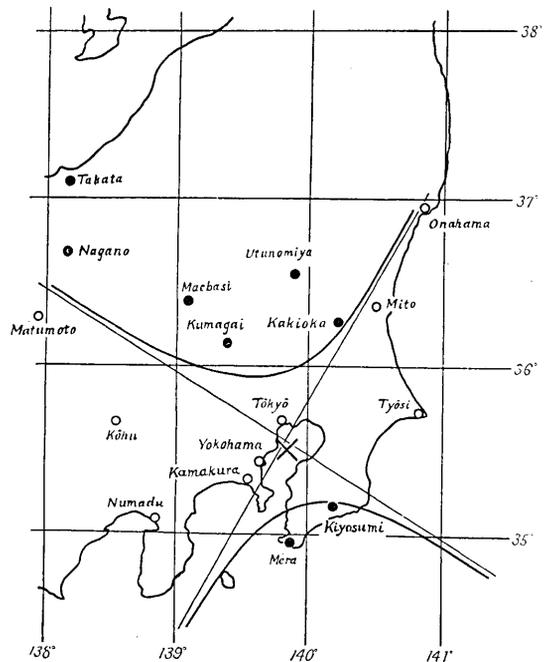


Fig. 7. Distribution des mouvements initiaux pour le séisme du 3 août 1926. Profondeur hypocentrale 40 km  
● onde poussante, ○ onde tirante, × épicentre.

23) K. SAGISAKA, *loc. cit.*

24) K. SAGISAKA, *loc. cit.*

aux. (Fig. 8) L'épicentre de ce séisme se trouve au près de Tiba ( $\lambda=140^{\circ}1 E$   $\varphi=35^{\circ}6 N$ ) et le foyer est à 63 km de profondeur. Il a mis une courbe en forme de lentille pour déterminer la région des ondes poussantes. Cette manière d'explication nous paraît qu'il traite une condition assez compliquée. Sa forme, qu'est ce qu'elle signifie? Il est tout à fait naturel de tracer une section conique pour la courbe nodale avec l'idée que la source de la production des ondes sismiques demeure simple. Nous mettons une ellipse pour déterminer la région occupée par les ondes poussantes. Certes, la profondeur hypocentrale détermine la grandeur de l'ellipse. Nous constatons que la profondeur déterminée d'après sa grandeur demeure très voisine de celle calculée par les autres procédés.

D'autre part M. K. Tanahasi<sup>25)</sup> a étudié le séisme du 4 juillet 1929 dont l'épicentre se trouve dans le presqu'île de Kii. (Fig.9) Il a employé la réflexion

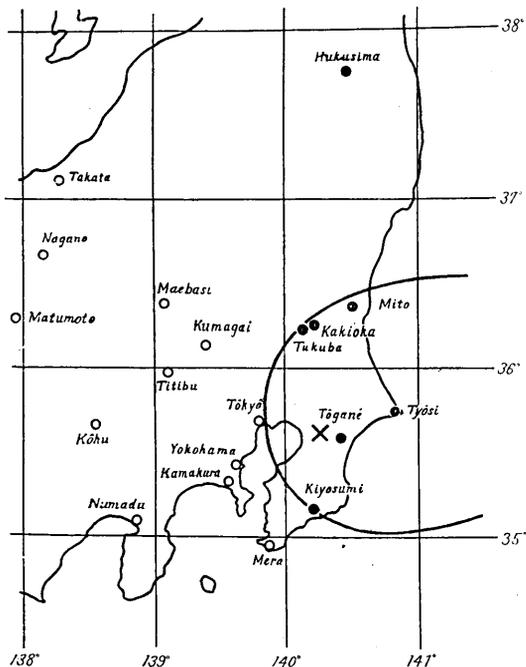


Fig. 8. Distribution des mouvements initiaux pour le séisme du 21 mai 1928. Profondeur hypocentrale 63 km.

● onde poussante, ○ onde tirante, × épicentre.

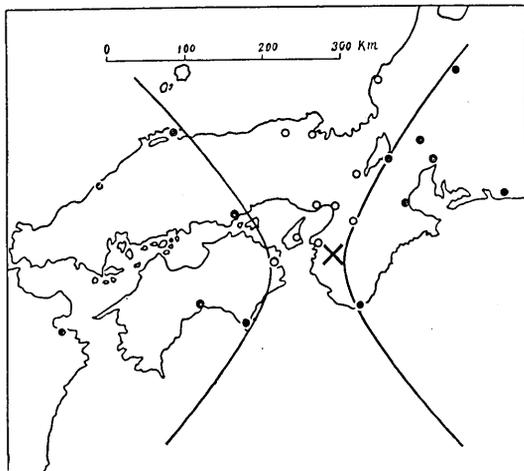


Fig. 9. Distribution des mouvements initiaux pour le séisme du 4 juillet 1929. (d'après les données de M. K. Tanahasi) Profondeur hypocentrale 28 km.

● onde poussante, ○ onde tirante, × épicentre.

25) K. TANAHASI, *loc. cit.*

des ondes sur une couche située vers le bas pour distinguer les deux sortes d'ondes. En mettant une hyperbole dans sa carte, nous avons réussi à les distinguer. Naturellement, nous avons exécuté une petite correction dans la carte d'après les données de Kisyô-yôran. C'est pour la donnée de Kôbé. Nous avons adopté la donnée de Kisyô-yôran sur la composante verticale pour décider entre les deux sortes d'ondes. En tout cas l'hyperbole écrite, nous suggère que la profondeur hypocentrale reste faible: elle correspond à la valeur 28 km déterminée avec un autre procédé.

Nous pouvons tirer un grand nombre d'exemples du mémoire de M. K. Hukutomi.<sup>23)</sup> Maintenant nous ne voulons pas toucher aux séismes ayant la distribution en quadrants et examiner spécialement les séismes ayant des distributions anormales. Nous avons un séisme apparu le 1<sup>er</sup> jan. 1928 dont l'épicentre se trouve sur le fleuve de Kinu ( $\lambda=140^{\circ}0E$ ,  $\varphi=36^{\circ}0N$ ). (Fig. 10) Les ondes poussantes ont été observées dans les stations, Tôkyô, Mito, Kakioka et Tyôsi, tandis que les ondes tirantes l'ont été dans les autres stations. Nous pouvons, donc, tracer une ellipse contenant l'épicentre ainsi que ces quatre stations. D'un autre côté sa profondeur hypocentrale a été fixée à 55 km; laquelle coïncide très bien avec la grandeur d'ellipse supposant que l'angle du cône ait la valeur  $45^{\circ}$ .

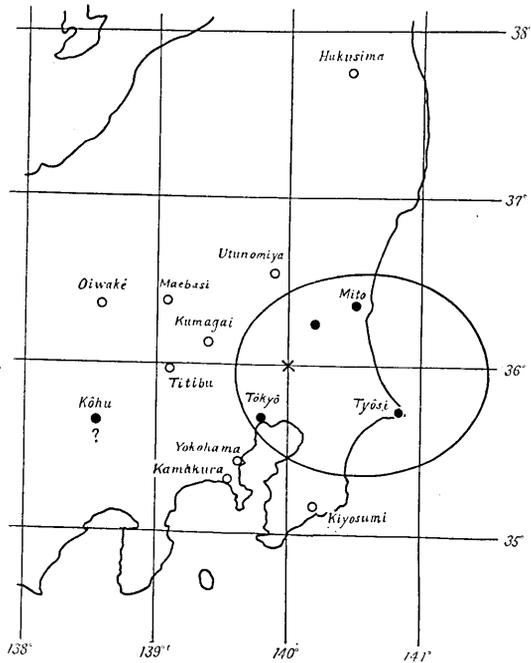


Fig. 10. Distribution des mouvements initiaux pour le séisme du 1<sup>er</sup> jan. 1928. Profondeur hypocentrale 55 km

• onde poussante, ○ onde tirante, × épicentre.

Pour le séisme du 1<sup>er</sup> mai 1930, dont l'épicentre se trouve près de Tyôsi ( $\lambda=140^{\circ}3E$ ,  $\varphi=35^{\circ}7N$ ), l'onde poussante a été observée seulement à

26) K. HUKUTOMI, *loc. cit.*

la station Tyôsi et les ondes tirantes aux autres stations. (Fig. 11) Cela nous permet ainsi de tracer une ellipse avec beaucoup de liberté. Mais la région des ondes poussantes sera mieux représentée avec une ellipse qu'avec les courbes autres que l'ellipse.

Nous voulons ajouter quelques mots sur le séisme du 26 nov. 1916 étudié par les Prof. Sida et Matuyama. Quand nous voyons la carte représentant la distribution des mouvements initiaux pour ce séisme, nous comprenons tout de suite que les mouvements sont distingués par une hyperbole. Malheureusement, nous n'avons aucune station

dans la région des ondes poussantes. L'onde tirante observée à Kôbe est le simple résultat d'une distribution hyperbolique; nous voyons le même exemple à la station de Tôkyô à l'occasion du séisme du 3 août 1926.

Pour traiter les données observées à chaque station, nous sommes obligés de considérer leur poids. Il faut compter avec la nature du sismographe aussi bien qu'avec la nature du terrain. Si le terrain d'une station n'est pas constitué par des roches, le sismographe écrit habituellement les perturbations à la surface qui nous empêchent de constater surtout les mouvements initiaux des secousses sismiques. Suivant ces circonstances, il faut exécuter une sélection parmi les données de Kisyô-yôran et on verra plusieurs exemples dans les figures déjà données.

En tout cas, les courbes nodales de la distribution des mouvements initiaux sont représentées par les courbes de la section conique. Nous allons, donc, étudier la propagation sphérique des ondes dans l'écorce représentant de telles sortes de courbes nodales quand elles arriveront à la surface terrestre.

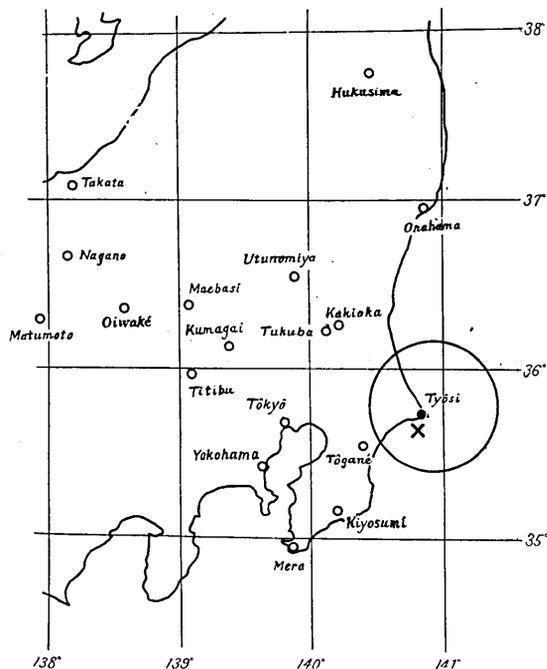


Fig. 11. Distribution des mouvements initiaux pour le séisme du 1<sup>er</sup> mai 1930. Profondeur hypocentrale 40 km.

● onde poussante, ○ onde tirante, × épicerentre.

### 5. Hypothèse de l'existence d'une source quadruple au foyer.

Nous avons constaté que les courbes séparant la région des ondes poussantes et la région des ondes tirantes sont représentées par la section d'un cône dont l'angle au sommet est toujours à peu près  $45^\circ$ . Il est, donc, certain qu'il y a dans l'écorce un mécanisme envoyant les ondes sphériques contenant un cône constitué par les ondes poussantes.

Nous voulons ainsi étudier la propagation sphérique des ondes ayant une source dans un milieu infini.<sup>27)</sup> Considérons seulement les ondes longitudinales : car nous regarderons seulement les mouvements initiaux des secousses sismiques. La propagation sphérique des ondes est représentée par l'équation fondamentale :

$$(\nabla^2 + k^2) \phi = 0$$

où  $\phi$  le potentiel des vitesses et  $k^2 = \frac{\rho p^2}{\lambda + 2\mu}$ . Désignons par  $\phi_0$ ,  $\phi_1$  et  $\phi_2$  les solutions de cette équation correspondant respectivement aux trois sortes de sources : unique, double et quadruple. Ils sont représentés par

$$\phi_0 = P_0(\cos \theta) \frac{e^{ik(rt-r')}}{r},$$

$$\phi_1 = P_1(\cos \theta) \frac{e^{ik(rt-r')}}{r} f_1(ikr),$$

$$\phi_2 = P_2(\cos \theta) \frac{e^{ik(rt-r')}}{r} f_2(ikr),$$

où  $f_1$  et  $f_2$  sont les fonctions devenant l'unité pour les grandes valeurs de  $r$ . Nous donnons, alors, à ces fonctions la valeur un dans le domaine en question.

Faisons attention surtout à la source quadruple  $P_2(\cos \theta)$ ; elle rayonne les ondes poussantes dans un cône ayant l'angle de  $55^\circ$ . (Fig. 12)

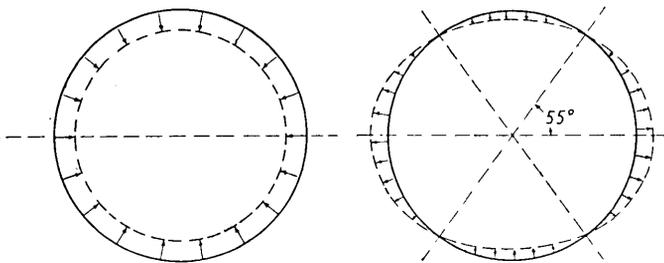


Fig. 12. Aspects généraux de  $-P_0(\cos \theta)$  et de  $P_2(\cos \theta)$ .

27) Le Prof. K. SEZAWA a déjà donné les solutions générales dans *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 2 (1927), 13.

Quand les ondes envoyées d'une source quadruple arrivent à la surface terrestre, les courbes nodales seront représentées par une section conique. Mais le fait que l'on constate en général que le cône a  $45^\circ$  d'angle au lieu de  $55^\circ$  pour les séismes à foyer peu profond, nous assure qu'il y a une superposition des ondes tirantes de  $P_0(\cos \theta)$ . Nous constatons ainsi dans le problème à deux dimensions que l'amplitude des ondes initiales aura même valeur de maxima aux quatre directions. (Fig. 13) M. K.

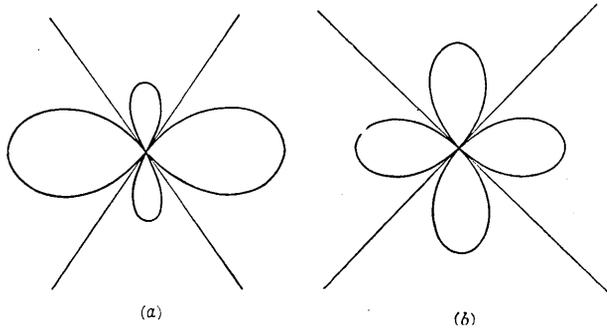


Fig. 13. Amplitudes des mouvements initiaux données par a)  $P_2(\cos \theta)$   
et b)  $P_2(\cos \theta) - \frac{1}{4} P_0(\cos \theta)$

Honda<sup>23)</sup> a constaté cela avec les secousses observées à l'occasion du grand tremblement de terre d'Idu.

Il est certain qu'on peut réaliser une source quadruple avec la séparation brusque de deux points dans le milieu et cette manière de mouvement sera produite à l'hypocentre. Il nous semble que la réalisation d'un cône des ondes poussantes sera impossible avec l'hypothèse de la production d'une faille au foyer. Pour mettre la distribution régionale des mouvements initiaux des secousses sismiques en évidence, nous pensons que le foyer sismique est une source quadruple. Naturellement ce type de source explique seulement le premier rayonnement des ondes du foyer et le mécanisme de la production des autres ondes reste inconnu.

Pour considérer la source quadruple, nous n'avons plus besoin de considérer deux points qui s'éloignent à la fois. Il est suffisant d'avoir le mouvement d'un point-masse avec la théorie de conservation du moment. Certes, comme le moment de ce système était zéro avant la production des ondes sismiques, le mouvement d'un seul point-masse doit produire une source quadruple en action et les harmoniques zonales d'ordre d'impair ne seront pas permises. Quant au mouvement d'une

23) K. HONDA, *loc. cit.*

masse nous voulons remarquer le mouvement du magma dans la croûte.

En tout cas, ce que la distribution des mouvements initiaux des secousses sismiques est la simple conséquence de l'existence d'une source quadruple au foyer, nous conduit à établir quelque idée sur l'origine du séisme. L'étude précise de la détermination de la courbe nodale nous affirmera ainsi un modèle plus exact de la production des ondes sismiques.

Quand on fixe l'angle du cône à  $45^\circ$ , la grandeur et la forme de la courbe nodale sont déterminées par la profondeur hypocentrale et l'inclinaison de l'axe du cône sur la surface terrestre. Nous pouvons, donc, considérer inversement la profondeur hypocentrale suivant la grandeur de la courbe nodale.

D'un autre côté, les ondes dans la croûte ne se propagent pas en ligne droite à cause du fait que la croûte n'est pas un milieu homogène et isotrope. Par conséquent, la trajectoire des ondes sismiques tourne sa convexité vers le bas. Nous savons que les études sur la trajectoire des ondes sismiques ont été développées par les sismologues d'Europe surtout pour les séismes lointains ; nous avons, cependant, plusieurs études surtout pour les séismes voisins. MM. T. Matuzawa,<sup>29)</sup> K. Wadati,<sup>30)</sup> H. Kawasumi,<sup>31)</sup> K. Honda,<sup>32)</sup> et K. Sagisaka<sup>33)</sup> ont publié des mémoires montrant beaucoup de faits remarquables. Certes, il faut introduire ces propriétés de la trajectoire dans les études sur la distribution des mouvements initiaux des secousses sismiques.

Vraiment, les ondes rayonnées obliquement vers le bas paraîtront à la surface plus vite que les autres suivant la distance épacentrale. Nous voulons remarquer spécialement les deux cas suivant ; a) l'axe du cône est vertical, b) l'axe du cône est horizontal. La figure 14 représente schématiquement les distributions considérées.

Nous pouvons relever deux séismes correspondant aux deux exemples<sup>34)</sup> : le séisme du 26 nov. 1930 et celui du 1<sup>er</sup> mai 1930. (Fig. 15) Quant aux discussions sur la forme de la courbe ou sur la manière

29) T. MATUZAWA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 5 (1928), 1.

30) K. WADATI, *Geophys. Mag.*, 1 (1927), 162.

31) H. KAWASUMI, *Jap. Journ. Astro-Geophys.*, 9 (1931), 14 ; *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 10 (1932), 94.

32) K. HONDA, *Geophys. Mag.*, 4 (1931), 29.

33) K. SAGISAKA, *ibid.*, 4 (1931), 148.

34) Les données sont tirées de Kisyô-yôran aussi que d'études spéciales.

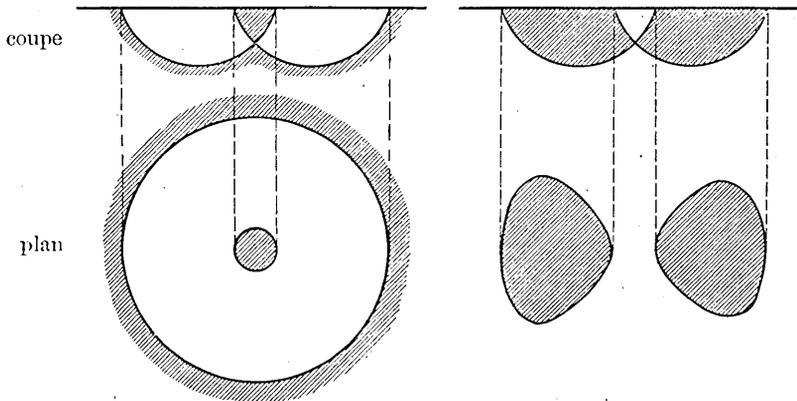


Fig. 14. Trajectoires schématiques des ondes sismiques rayonnées du foyer.

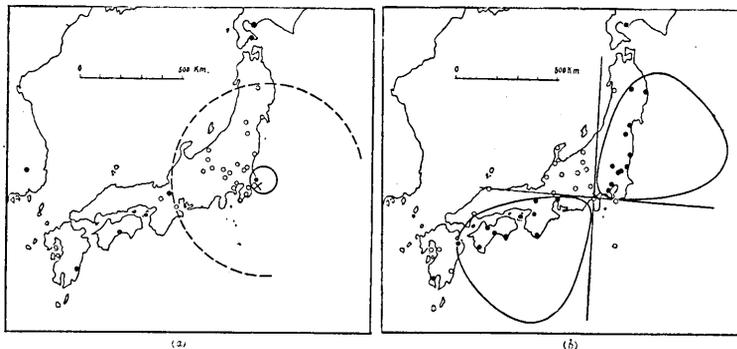


Fig. 15. Distribution des mouvements initiaux contenant les endroits lointains.

• onde poussante, ○ onde tirante, × épicentre.

(a) séisme du 1<sup>er</sup> Mai, 1930,

(b) séisme du 26 Nov. 1930.

de se propagation des ondes sismiques, etc. nous occuperons prochaine fois.

En tout cas nous pouvons regarder le foyer sismique comme une source quadruple sans exception et nous n'avons plus besoin de classer les séismes suivant leurs origines diverses. D'après notre considération, il n'y a plus d'origine sismique avec glissement de faille ou chute de terrain. Nous voulons ainsi adopter le nom "*séisme plutonique*" pour tous les séismes d'après von Humboldt. Nous allons, en suite considérer le mécanisme du foyer avec le mouvement du magma.

## 6. Le mouvement du magma et la production des ondes sismiques.

Pour rendre compte d'une source quadruple existant au foyer sismique, nous introduirons le mouvement du magma demeurant au sein de

la croûte terrestre surtout dans la région volcanique. Nous avons dit que la plupart des séismes n'ont aucune relation directe avec l'activité volcanique et on incline à expliquer le phénomène sismique comme d'origine tectonique : c'est-à-dire que la production des ondes sismiques sera réalisée par la rupture de la matière dans la croûte. Mais cette manière de concevoir les choses n'était pas vaine pour développer notre idée du phénomène sismique. Maintenant, cependant, nous relevons beaucoup de faits qui ne s'accordent pas bien avec cette idée. Nous voulons faire une revue des phénomènes sismiques avec l'hypothèse de l'existence du magma dans la croûte.

Le magma se trouve soumis dans la croûte à une haute pression et à une haute température. Nous ne pouvons pas connaître directement son état actuel dans la croûte. Néanmoins, nous pouvons imaginer que l'état du magma se transforme constamment dans la croûte, d'après les études sur les volcans ainsi que sur les roches plutoniques. Nous savons qu'il y a le phénomène de la différenciation magmatique conduisant à diverses sortes de roches ignées. Au dernier étage de différenciation exécutée plutôt dans la croûte peu profonde, le magma deviendra l'eau-mère du granite sous une température inférieure à 500°C. Cette fois-ci le magma se mélange énormément avec de l'eau effectuant une transformation chimique ou simplement un changement d'état physique. MM. G. W. Morey et C. N. Fenner<sup>35)</sup> ont exécuté une expérience sur les substances,  $K_2SiO_3$  et  $K_2Si_2O_5$ , avec lesquels ils ont trouvé le diagramme de pression-température sous l'action de l'eau. Suivant ce diagramme, nous pouvons constater que la pression augmente avec la diminution de température. Pour  $K_2Si_2O_5$  la pression monte en partant de 1000°C et elle est maxima à 600°C produisant la pression de 75 atmosphères. Il n'est pas certain que le même magma se refroidisse de 1000° à 600° sous l'action du mouvement vertical. D'autre part M. G. Morey<sup>36)</sup> a montré que la tension de vapeur du système  $KNO_3$ - $H_2O$  monte brusquement avec un peu de dépression de température et il a supposé qu'un tel procédé sera exécuté dans le magma qui cause des actions volcaniques. En tout cas, il n'est pas difficile d'imaginer qu'une telle action physique se produise au sein de la croûte.

Dans la croûte, à grande ou à faible profondeur, nous pouvons imaginer des variations d'état du magma surtout dans la région volcanique. Quand l'augmentation de la pression magmatique reste inférieure

35) G. W. MOREY et C. N. FENNER, *Journ. Amer. Chem. Soc.*, **39** (1917), 1173.

36) G. W. MOREY, *Journ. Wash. Acad. Sci.*, **12** (1922), 219.

à celle de la croûte, nous n'apercevrons aucun phénomène constaté à la surface terrestre. D'autre part, quand la pression monte plus que celle de la croûte, le magma ne pourra plus rester tranquille. Naturellement, la croûte résistera ainsi contre une telle pression, mais s'il y a une augmentation incessante de pression, le magma sortira de son réservoir en brisant la portion de la croûte de moindre résistance.

Nous comparons cette manière d'agitation magmatique à une injection du magma surtout dans une certaine étape de son refroidissement; phénomène prouvé par les études géologiques. Il est plausible que les ondes sismiques ne seront pas produites au moment de l'augmentation de pression; c'est parce qu'elle est sensiblement lente pour produire des ondes sismiques quoique des variations de l'inclinaison de la surface terrestre soient produites.

D'un autre côté, la sortie du magma donnera un premier choc à la croûte qui se propagera comme le font des ondes sismiques. Certes, cette action du magma fait une source quadruple. La sortie du magma dans la direction de moindre résistance peut causer de la diminution de pression partout dans le réservoir. Cette diminution de pression produira les ondes tirantes représentées par  $P_0 (\cos \theta)$ . Nous avons, alors, une superposition de  $P_0 (\cos \theta)$  sur  $P_2 (\cos \theta)$ . Le rapport de superposition dépendra de la grandeur du réservoir aussi que de la quantité de magma injecté. Comme nous l'avons déjà dit le cône aura un angle de  $45^\circ$  avec une superposition convenable des deux sortes d'ondes. C'est là l'explication de la distribution des mouvements initiaux représentée par deux lignes droites perpendiculaires surtout pour les séismes à foyer peu profond et l'axe du cône reste horizontal.

### 7. Sur l'origine du séisme.

Nous avons déjà proposé plusieurs fois l'hypothèse que l'origine du séisme n'est autre chose que le mouvement brusque du magma. Cette considération a été constatée par l'étude des phénomènes accompagnés par des secousses sismiques. Nous avons fixé notre idée par les faits obtenus par l'observation des variations de l'inclinaison de la surface terrestre exécutée juste après le grand tremblement de terre de Tango<sup>37)</sup> en 1927. En installant deux clinographes auprès de la ville de Miyadu et à Kawana, nous avons observé que des grandes répliques apparaissent à la suite d'une variation de l'inclinaison. (Fig. 16.) Nous avons, donc,

37) M. ISHIMOTO, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 4 (1927), 203.

conclu cette fois-là que l'augmentation progressive de pression du magma pourra produire l'inclinaison à la surface et l'injection brusque du magma s'ensuit. Naturellement l'injection magmatique produit des ondes sismiques.

Des observations analogues<sup>38)</sup> ont été exécutées à Itô et Kawana en profitant de l'apparition d'une foule de séismes près de la ville d'Itô en 1930. Nous avons réussi à obtenir de la même façon des variations de l'inclinaison précédant les séismes principaux.

Nous faisons des observations analogues<sup>39)</sup> dans le tunnel de Tanna depuis

le grand tremblement de terre d'Idu en 1930. C'est parce que nous voulons éviter surtout les perturbations thermiques. Ces observations nous montrent aussi l'existence des variations de l'inclinaison précédant de quelques jours l'apparition des séismes locaux. D'un autre côté, nous pouvons citer les observations exécutées par M. W. Inoué<sup>40)</sup> à la station de Tukuba. Il a publié un mémoire constatant que les séismes n'apparaissent pas beaucoup dans le cas des grandes variations de l'inclinaison, tandis qu'un grand nombre de séismes apparaissent dans le cas des petites variations de l'inclinaison. En considérant les perturbations thermiques, nous pouvons tirer le phénomène analogue dans les observations exécutées à cet endroit. Certes, les résultats obtenus par les observations de la variation de l'inclinaison nous suggèrent l'hypothèse du mouvement magmatique.

D'un autre côté, les changements topographiques accompagnés par

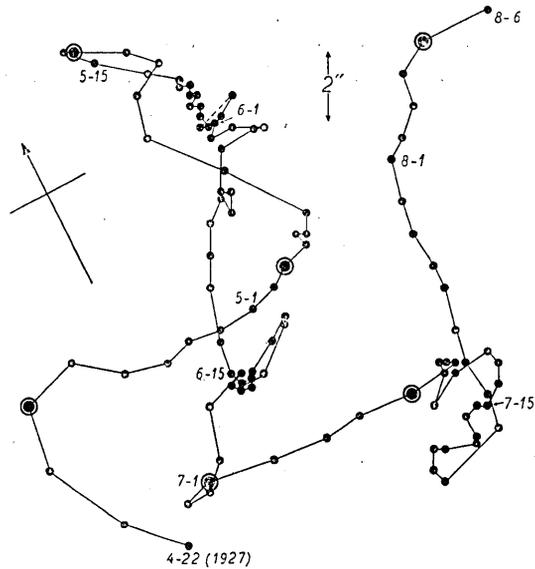


Fig. 16. Variations de l'inclinaison de la surface terrestre observées à Miyadu juste après le grand tremblement de terre de Tango.

⊙ indique le jour où nous avons la réplique dont l'intensité a été assez grande.

38) M. ISHIMOTO et R. TAKAHASHI, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 8 (1930), 427.

39) pas encore publié.

40) W. INOUE, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 8 (1930), 346.

les secousses sismiques, nous donnent aussi une certaine confirmation de l'origine du tremblement de terre. Autrefois, on a regardé plutôt les phénomènes de bordure dans les changements topographiques. Certes, on a fait attention aux endroits où le gradient de mouvement reste maximum ou plutôt le mouvement discontinu. Bien qu'il ait le mouvement d'une grande masse d'écorce, nous apercevrons seulement quelques mouvements relatifs aux bordures. La faille que nous remarquons dans la région épacentrale est le simple résultat du mouvement d'une grande masse d'écorce. Les vrais mouvements d'écorce, donc, ont échappé autrefois aux yeux de chercheurs.

Suivant les résultats obtenus surtout par les nivellements de précision, nous constatons toujours l'exhaussement de terrain dans la région épacentrale. Au tremblement de terre d'Oomati<sup>41)</sup> en 1917, il y a eu 25 cm d'exhaussement dans la région épacentrale : au tremblement de terre de Sekihara<sup>42)</sup> en 1927, il y a eu 2.1 cm d'exhaussement. Pour le grand tremblement de terre de Nôbi<sup>43)</sup> en 1891, cependant, la faille observée a été une bordure de la région épacentrale exhaussée. Pour le grand tremblement de terre de Kantô en 1923, l'exhaussement de terrain était visible au bord de la mer en comparant l'ancienne plage marquée par les coquilles blanches des huîtres. Il est très connu au Chili qu'un exhaussement de terrain apparaît à chaque grand tremblement de terre.

Ces observations nous donnent une certaine idée de la cause du séisme. Nous considérons que l'exhaussement du terrain est réalisé par l'injection magmatique qui produit en même temps les ondes sismiques. En tout cas, nous pensons que l'augmentation de la pression magmatique laisse le magma sortir de son réservoir par une partie peu résistante. Naturellement il y aura un cours principal du magma qui produira l'exhaussement du terrain dans la région épacentrale surtout pour les grands tremblements de terre. Nous constatons, d'un autre côté, que la croûte superficielle est constituée par un groupe de blocs exécutant des mouvements individuels. S'il y a quelque glissement entre les deux blocs, on aperçoit une faille. Nous pouvons dire, en effet, que l'exhaussement de terrain est le phénomène accompagné par la production des failles. L'origine sismique reste toujours dans la croûte, à une assez grande profondeur, tandis que nous voyons quelque-fois le glissement de blocs comme le résultat de l'exhaussement du terrain.

41) A. IMAMURA, *Publ. Earthq. Inv. Comm.*, 25 (1930), 82.

42) A. IMAMURA, *ibid.*, 25 (1930), 121.

43) A. IMAMURA, *ibid.*, 25 (1930), 49.

Pour terminer nous remercions le Professeur K. Sezawa qui nous à exécuté une discussion de valeur du mécanisme de la production des ondes sismiques rayonnées par la source quadruple.

### Résumé.

D'après les études de la distribution des mouvements initiaux des secousses sismiques, nous avons constaté que les lignes nodales distinguant deux sortes d'ondes, ondes tirantes et ondes poussantes, font toujours des courbes de sections coniques. Nous considérons ainsi qu'il y a une source quadruple au foyer : suivant laquelle l'onde poussante se propage dans l'espace d'un cône. Nous introduisons, donc, le mouvement du magma pour expliquer la source, au lieu du phénomène de la production de faille. Les mouvements du magma ont été déjà considérés pour expliquer les phénomènes des variations de l'inclinaison de la surface terrestre, aussi que les changements topographiques accompagnés par les ondes sismiques.

## 30. 地震初動方向分布より震源に四重源の推定

地震研究所 石本巳四雄

1. 1917年志田博士は初動方向、即ち押し波、引き波の分布が二つの直角に交る節線を境として行はれる事を確め、此の事實を説明する爲めに震源において平行面が急激に遠ざかる運動を推定した。然るに中村(左)博士は島原地震に際して初動方向分布から發震機巧を説明するに當つて、直角に交はる節線に沿つて地殻の横切りが實現したと爲した。此の結果、此所に二つの發震模型が考へられる事となつたが、震源の浅い地震、即ち初動方向分布を平面問題として取扱ふ限りは何れも同一結果を與へ區別の出来ない性質のものとなる。

2. 確に其れ以後の初動分布研究においては多くは震源において斷層が成生されると考へて議論が進められて居たのである。

3. 初動方向分布を平面問題として取扱ふ事を避ける希望から特に下記三つの深層地震を注意する事とした。

發震時	震央	震源の深さ
昭和六年 (1931) 六月二日	高山附近	240 km
昭和四年 (1929) 六月三日	志摩半島附近	300 km
昭和二年 (1927) 一月十五日	經ヶ岬沖合	450 km

而して此等地震初動の節線は何れも圓錐曲線で表はし得る事が判明した。

4. 初動方向の節線が圓錐曲線で表はし得ると云ふ考へから、從來の研究を再び見直して見ると何れも左様で差支へない事、且つ曲線の中側が常に押し波に屬する事が判つた。従つて地殻内にお

いては震源に頂點を有する圓錐形中に押し波の傳播が行はれる事が認定される。

5. 無限に擴る等方等質媒體中における縦波の源は理論上研究されて居るが、此の場合に適合するものは  $P_2(\cos \theta)$  で表はされる四重源であり、なほ一般に  $P_0(\cos \theta)$  も重複して居るらしく思はれる。此れは  $P_0(\cos \theta)$  のみでは圓錐角が  $55^\circ$  であるのに、實際に存在するものは  $45^\circ$  附近のものが多からである。なほ地殻内においては深さの増加に従つて地震波の速度も増加する關係上、遠方迄も初動方向分布を考へる時には當然此の事實を顧慮する必要があり、其の影響と思はれる分布状況も見出し得る。

6. 震源の四重源である事は岩漿の運動を考へる事が最も自然である。岩漿は適當の條件においては温度冷却に伴つて其の蒸氣壓の増加するものであり、然も此の壓力が地殻壓力を凌駕する場合においては、最も弱い方向の壁が破られて岩漿流動が行はれる。斯様の事實は地質學上岩脈、岩床の成立される機巧として考へられて居るものである。以上の如き機巧を考へるならば放射される彈性波は岩漿流動に伴ふ  $P_2(\cos \theta)$  と岩漿溜中における壓力減少による  $-P_0(\cos \theta)$  の重複したものとなる事は當然の事であり、吾々が地表において観測する如き節線を生ずるのであらう。

7. 地震の原因が岩漿運動である事は丹後地震後の地表傾斜観測結果によつて推定したものであるが、其れ以後の観測も同様の結果を興へて居る。又地震に伴ふ地形變動も水準測量の結果によれば震央附近において常に隆起地帯の見出される結果として岩漿運動を以て説明する事が最も適當であると信ずる。實際吾々が地表において目撃する地變は地下深所における原因に附隨する運動と考へられるからである。