

P 波初動分布について*

市川 政治**

550.341

Sur Distribution des Compressions et Dilatations d'Onde *P*

M. Ichikawa

(Section de Séismologie, C. M. O.)

L'étude de distribution des compressions et dilatations d'onde *P* au Japon nous a conduit aux deux différentes hypothèses pour le mécanisme des séismes. Ce sont l'hypothèse de quadrantes et de cône. Mais, on n'a pu pas encore décider que laquelle d'elles est vraie ou elles sont vraies tous les deux, parceque le nombre d'observatoire séismologique au Japon n'est pas suffisant pour déterminer exactement le lignes nodales d'onde *P*. Mais, il me semble que une utilisation des resultats obtenus en observatoires lointaines rend possible de résoudre cette question.

Au point du vue, l'auteur investiga les trois séismes du séisme du 29 fev., 1950, du séisme du 4 Mars, 1952 et du séisme du 18 Juillet, 1952, par la méthode de Hodgson et de Hodgson développé, et trouva que l'hypothèse de quadrants est plus préférable que l'hypothèse de cône pour ces séismes.

§ 1. 序

P 波初動分布型式から発震機構を究明しようとする試みは、昔から多くの学者、おもに日本の学者たちのあいだで盛んに行われている。特に高木聖氏は長年月にわたる研究結果を驗震時報その他に発表されている。同論文中には、すべての地震の *P* 波初動の分布は、彼の持論である岩しょう爆発説により、なんら矛盾なく説明できることが強調されている。しかし、その研究対象が日本および旧日本領内での観測結果に限られているという点に一まつの不安が残る。

事実、象限型としても、また、円錐型としても説明できるも例も多々ある。これは以前からいわれているように観測網密度が疎であるためによる。しかし、その数が多くなればなるほど複雑な地下構造の影響を受け、特に、浅い地震の初動分布は現在のように水平成層の仮定では充分説明できなくなるような結果も生ずるものではないかとも思われる。

それはさておき、象限型か円錐型かの対決は外国の資料を利用すればあるいはできるのではないだろうか。今日、外国の資料は地震発生後おそくとも1年後には入手でき、特に、Bureau Central

* Received Nov. 15, 1955

** 中央気象台地震課

International Séismologique の月報には *P* 波初動の compression または dilatation が大体において明記されているのでこの目的には非常に有用である。また、調査方法としては Byerly の方法*を用いると波線のわん曲や地図によるひずみを全然考慮しなくてもよろしいので、つごうが良い。

この観点から、Byerly およびその拡張方法と、従来からわれわれの取つている方法により三つの地震を調査したので、その結果を述べる。

§ 2. Byerly の方法

まず、Byerly の方法の概略を説明しよう。地球を異方とすると波線のわん曲を考慮しなくては行けないので問題は複雑となる。そこで、Byerly は地球を均一の方と仮定し、地震波のわん曲による問題の複雑化を避けている。すなわち、次のように考えた：

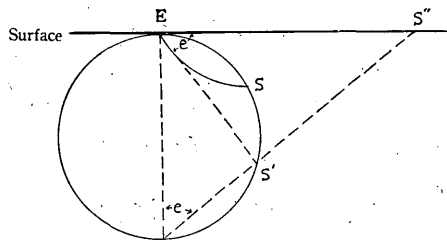


Fig. 1. Relation entre station et position étendue. E: Epicentre, S: Station, S': Position étendue, ES': Distance étendue

地球上の一点 E から出発した波は、地球を異方不均一とするならば S 点に到着するわけであるが (Fig. 1 参照)、均一の方と考えるならばその波は直進し、波線は ES' となる。この S' 点を extended position と呼んでいる。この場合、節面も deform することなく、象限型の場合は二枚の平面そのままに、また、円錐型の場合は円錐となる。

いま、震央で地球に切する平面を mapping plane として、extended position をこの上に投影するならば、節線は象限型の場合は震央で交る二つの円となるが、円錐型の場合はこのままでは少々複雑となるので後に述べる方法をとる (実際には、下に示す extended distance を $\frac{1}{2}$ ですませるため、mapping plane は地心に置く)。

ところで、Fig. 1 から明らかのように extended position S' は地図上 S'' に投影されるので、ES'' は地球の半径を R とすると、

$$ES'' = 2R \operatorname{tge} \dots\dots\dots (1)$$

(ここに e は射出角とする)

となる。この ES'' を Byerly は extended distance と呼んでいる。

この二節面の dip をそれぞれ δ , δ' とすると節線円の半径は $\operatorname{tg}\delta$, $\operatorname{tg}\delta'$ となる。また、この二円のうち断層面による節線円を fault plane circle と呼び、他の円を auxiliary plane circle と呼んでいる。いま、断層面内の運動方向の dip を plunge と呼びこれを θ で表わすと θ , δ' のあいだには、

$$\theta + \delta' = \frac{\pi}{2} \dots\dots\dots (2)$$

* J. H. Hodgson が 1951 年以來、B. S. S. A. に調査結果を発表している。

なる関係がある (Fig. 2 参照).

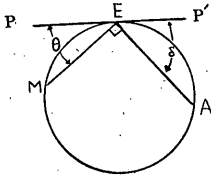


Fig. 2. Relation entre inclinaison (dip en anglais) et plongée de direction de mouvement (plunge en anglais)
EM : Direction de mouvement. EA : Plan de faille auxiliaire

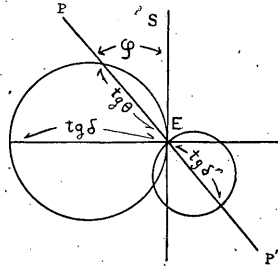


Fig. 3. Lignes nodales d'onde P dans le cas du mécanisme des séismes de type quadrants. ES : Direction de faille

次に、断層面内の運動方向を含み地表に直交する平面を *plunge plane* と定義し、Fig. 3 に示すように *plunge plane* と地表との交線と断層の *strike* との交角を φ とすると、前記、 θ 、 δ とのあいだには、

$$\text{tg}\theta = \text{tg}\delta \cdot \sin\varphi \quad \dots\dots(3)$$

なる関係が成立する。

上の (2) 式または (3) 式は描かれた節線円が断層説に適合するかいなかの重要な判定条件式である。

§ 3. 拡張した Byerly の方法 (Hodgsonの方法)*

前節で述べた方法は震源の深さ h が 0 km ないしは 0 km とみなしうる範囲の地震についてだけ有効で、これ以外の地震に対しては直接この方法は適用できないという不便さがある。しかし、震源の深さが 0 km とみなしうる状態に地球と震源との関係を置いてやることにより、この不便さをのぞくことができる。すなわち、震源の深さに相当する厚さだけ本来の地球からはいだ状態にしてやれば、上の方法はそのまま、この地球 (いわゆる *stripped earth*) に対し用いるわけである。この際、震源における射出角をいかに求めるかという点が問題となる。 $h \cong 0$ km ならば、走時曲線の *tangent*、すなわち、震波の見掛けの速度 $\frac{d\Delta}{dt}$ および地表での震波速度 v と下式から射出角 e は求められる。すなわち、

$$e = \cos^{-1} \frac{v}{\frac{d\Delta}{dt}} \quad \dots\dots(4)$$

しかし、 $h \neq 0$ km のときは、Bendorff の式

$$\frac{r_0}{v_0} \cos e_0 = \frac{r_h}{v_h} \cos e_h \quad \dots\dots(5)$$

(ここで、0 は震央、 h は震源の意を示す。)

と (4) 式から

*筆者とは独立に J. H. Hodgson が全く同じ考えで Byerly の方法を拡張している。しかし、*extended distance* の求めかたは筆者のそれとは異なり、まず、既製走時表を根本にして、あたらしく *stripped earth* に対する走時曲線を求め、それから射出角を求めている。筆者は和達らの走時表を用いたが、Hodgson は Jeffreys-Bullen の表を用いている。両走時表の基礎となる速度分布は比較的浅いところで、その差が大きい。このため浅い地震に対する *extended distance* は両者のあいだに相当の開きがある。

$$\cos e_h = \frac{r_0 v_h}{r_h \left(\frac{d\Delta}{dt} \right)_h} \dots\dots\dots (6)$$

が得られ、これから震源における射出角 e_h を求めることができる。Table 1* に筆者が求めた和達らの走時曲線による Δ と extended distance との関係を示す。

Table 1. Valeurs des distances étendues d'onde P calculées à l'aide des tables de Wadati-Masuda

h	0 km	80	160	240	320	400	500
Δ	tg e_0	tg e_{80}	tg e_{160}	tg e_{240}	tg e_{320}	tg e_{400}	tg e_{500}
0°	0.00	—	—	—	—	—	—
2	0.74	—	—	—	—	—	—
4	1.04	0.29	—	—	—	—	—
6	1.21	0.47	0.16	—	—	—	—
8	1.34	0.60	0.26	0.22	0.12	—	—
10	1.43	0.66	0.36	0.31	0.21	0.19	—
2	1.52	0.72	0.46	0.40	0.30	0.25	0.16
4	1.62	0.80	0.54	0.47	0.38	0.31	0.20
6	1.72	0.87	0.61	0.56	0.43	0.36	0.26
8	1.80	0.94	0.68	0.63	0.53	0.41	0.32
20	1.88	1.02	0.75	0.68	0.61	0.47	0.44
2	1.95	1.09	0.82	0.74	0.66	0.53	0.48
4	2.03	1.16	0.88	0.80	0.70	0.58	0.53
6	2.12	1.23	0.95	0.86	0.76	0.64	0.57
8	2.18	1.31	1.01	0.92	0.82	0.71	0.62
30	2.25	1.38	1.07	0.98	0.87	0.77	0.67
2	2.32	1.45	1.13	1.04	0.93	0.84	0.72
4	2.39	1.51	1.18	1.10	0.98	0.90	0.76
6	2.45	1.58	1.24	1.15	1.04	0.95	0.81
8	2.50	1.64	1.29	1.20	1.10	1.01	0.86
40	2.55	1.69	1.33	1.26	1.15	1.06	0.90
2	2.61	1.74	1.37	1.30	1.20	1.10	0.95
4	2.66	1.78	1.41	1.35	1.24	1.14	1.00
6	2.73	1.83	1.45	1.39	1.28	1.18	1.04
8	2.77	1.88	1.50	1.44	1.32	1.21	1.08
50	2.84	1.91	1.53	1.48	1.36	1.26	1.11
2	2.89	1.94	1.57	1.50	1.40	1.30	1.14
4	2.94	1.97	1.61	1.52	1.43	1.34	1.16
6	3.01	2.00	1.65	1.55	1.46	1.37	1.19
8	3.05	2.02	1.68	1.58	1.48	1.41	1.22
60	3.10	2.04	1.72	1.61	1.50	1.45	1.26
2	3.16	2.06	1.75	1.64	1.55	1.48	1.28
4	3.22	2.10	1.78	1.68	1.59	1.52	1.32
6	3.27	2.14	1.81	1.74	1.63	1.56	1.35
8	3.34	2.21	1.87	1.78	1.68	1.62	1.40
70	3.40	2.28	1.93	1.82	1.73	1.66	1.46
2	3.48	2.36	1.99	1.88	1.78	1.71	1.51
4	3.56	2.45	2.06	1.94	1.86	1.78	1.56
6	3.64	2.53	2.12	2.01	1.90	1.84	1.63
8	3.74	2.62	2.20	2.09	1.96	1.88	1.70

*和達らの走時では近地用と遠地用の同じ深さ、同じ震央距離の発現時のあいだに若干の相違があるため、extended distance の値も当然一致しない。このため、10° くらいまでの値は $h=0\text{km}$ をのぞいては、両者の中間をとるようにした。

h	0 km	80	160	240	320	400	500
Δ	$tg e_0$	$tg e_{80}$	$tg e_{160}$	$tg e_{240}$	$tg e_{320}$	$tg e_{400}$	$tg e_{500}$
80	3.86	2.72	2.27	2.16	2.04	1.95	1.75
2	4.00	2.81	2.35	2.24	2.11	2.01	1.80
4	4.14	2.91	2.42	2.38	2.19	2.08	1.87
6	4.25	3.00	2.51	2.41	2.28	2.15	1.94
8	4.40	3.10	2.60	2.50	2.36	2.24	2.01
90	4.53	3.18	2.70	2.60	2.46	2.32	2.08
2	4.66	3.26	2.78	2.71	2.55	2.40	2.16
4	4.79	3.33	2.86	2.79	2.65	2.47	2.24
6	4.98	3.38	2.95	2.88	2.74	2.54	2.32
8	5.18	3.45	3.03	2.97	2.83	2.61	2.36
100	5.38	3.51	3.11	3.06	2.92	2.68	2.43

§ 4. PP に対する extended distance

pP や PP の押し、引きからその反射点の押し、引きが推定でき、これを用いることにより観測点数をふやすことができる。この場合、 pP もしくは PP の extended distance は次のようにして求める。

Fig. 4 において HRS なる波線の PP を考えることにする。

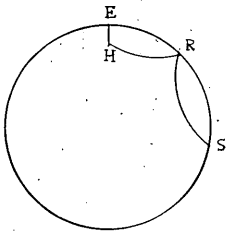


Fig. 4. E : Epicentre,
H : Hypocentre,
S : Station

この場合、R における入射角と反射角は等しいことから、逆に \widehat{ES} は深さ h の P 波の $e_h - e_0 - \widehat{ER}$ と、 $e_0 - \widehat{RS}$ ($h=0$ km ときの e_0 と Δ の関係) の組合せから、反射点 R の extended distance は求められる。これらの関係はすでに P 波の extended distance の計算の際に求めてあるので算出は簡単である。

Table 2 に PP の extended distance を示す。

Table 2. Valeurs des distances étendues de phase PP

h	80(km)	160	240	320	400	500
Δ°	$tg e_{80}$	$tg e_{160}$	$tg e_{240}$	$tg e_{320}$	$tg e_{400}$	$tg e_{500}$
20	0.50	0.35	—	—	—	—
25	0.61	0.46	0.39	—	—	—
30	0.71	0.55	0.48	0.52	—	—
35	0.81	0.66	0.56	0.58	0.55	0.33
40	0.91	0.74	0.64	0.64	0.59	0.40
45	1.00	0.82	0.72	0.70	0.63	0.46
50	1.08	0.89	0.80	0.76	0.67	0.52
55	1.16	0.98	0.88	0.82	0.71	0.58
60	1.24	1.05	0.94	0.88	0.76	0.64
65	1.31	1.13	1.01	0.94	0.80	0.70
70	1.38	1.20	1.08	1.00	0.85	0.76
75	1.45	1.26	1.14	1.05	0.90	0.81
80	1.52	1.31	1.21	1.10	0.94	0.86
85	1.58	1.37	1.27	1.15	1.00	0.91
90	1.64	1.42	1.32	1.20	1.05	0.96

§ 5. 円錐型発震機構の初動分布

への応用

震央付近の初動分布から求めた円錐の頂角とその傾きが、はたして遠方の資料をも満足するかどうかの検討に、Byerly の extended distance の思想を借りれば、比較的容易にこの目的を達することができる。

この場合は mapping plane と光源の位置を上とは逆にし、震源に光源を置く。こうすれば nodal line は高木の

h	80(km)	160	240	320	400	500
	$tg e_{80}$	$tg e_{160}$	$tg e_{240}$	$tg e_{320}$	$tg e_{400}$	$tg e_{500}$
95	1.69	1.47	1.38	1.25	1.10	1.01
100	1.75	1.52	1.42	1.30	1.16	1.06
105	1.80	1.57	1.48	1.34	1.21	1.10
110	1.86	1.62	1.52	1.38	1.26	1.15
115	1.91	1.66	1.56	1.42	1.30	1.19
120	1.96	1.71	1.62	1.46	1.34	1.23
125	2.00	1.76	1.68	1.51	1.40	1.28
130	2.05	1.80	1.73	1.56	1.45	1.32
135	2.10	1.86	1.79	1.61	1.51	1.38
140	2.15	1.93	1.86	1.68	1.58	1.43
145	2.22	2.00	1.92	1.74	1.64	1.49
150	2.30	2.08	2.00	1.80	1.70	1.56
155	2.39	2.16	2.08	1.88	1.78	1.62
160	2.48	2.24	2.16	1.96	1.85	1.70
165	2.59	2.35	2.28	2.06	1.92	1.77
170	2.70	2.43	2.38	2.16	2.00	1.86
175	2.81	2.54	2.48	2.27	2.09	1.94
180	2.93	2.66	2.60	2.37	2.17	2.03

導入した式*がそのまま使用できる。このときの extended distance は、上の extended distance の逆数となる。

§ 6. 例**

i) 昭和25年(1950)2月28日オホーック海南部の深発地震 ($46^{\circ}12' N$, $143^{\circ}30' E$, $h=320km$)

本地震は日本では根室をのぞいて、すべて押しであるため、これから節線を正しく引くことは不可能に近い。外国の資料から Fig. 5 に示すような象

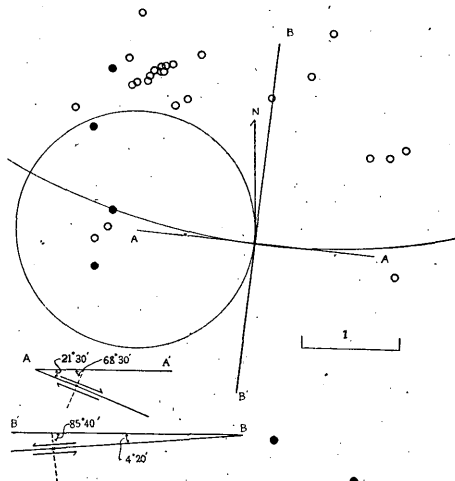


Fig. 5. Distribution des compressions et dilatations initiales observées, et les lignes nodales dans le monde pour le séisme du 28 Fev., 1950 (par la méthode de Hodgson)
 x : Epicentre, o : Compression, ● : Dilatation

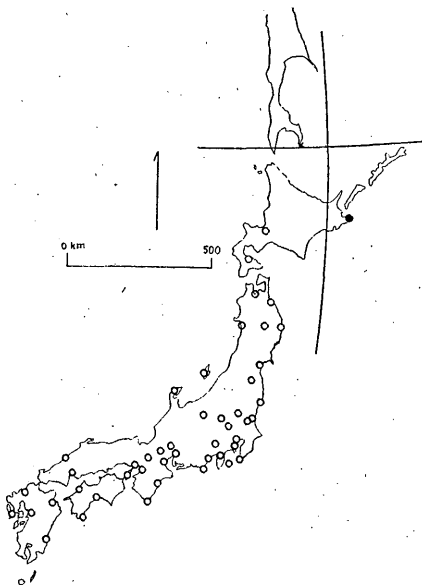


Fig. 6. Distribution des compressions et dilatations initiales observées, et lignes nodales au voisinage du Japon pour le séisme du 28 Fev., 1950
 x : Ep., o : C., ● : D

*高木聖：震源(第10報), 験震時報 18, No. 2 (1953), 49~65.

**次に示す例の外に昭和8年(1933)の三陸沖地震, 昭和28年(1953)の房総沖地震についても調査した。それらの結果は紙面のつごう上, 次報にまわす。

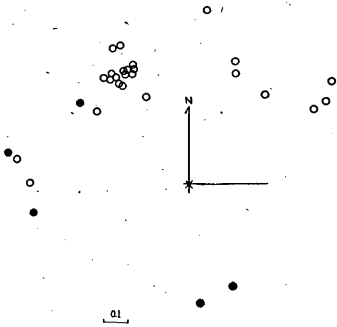


Fig. 7. Distribution des compressions et dilatations observées pour le séisme du 28 Fev., 1950 (par la méthode moi-même)
 ×: Antihypocentre, ○: C, ●: D

限型の節線を引くことができる。この結果から日本付近の節線を引くと Fig. 6 のようになる。一方、円錐型とした場合どうなるか試みた結果が Fig. 7 で、これだけの資料から決定的な節線を引くことはできない。

象限型とした場合、その節線から下のような発震機構が考えられる。

(A) A円を fault plane circle とするならば、走行が $N 5^{\circ} E$, dip は $68^{\circ} 30'$ の断層ができたことになる。

または、(B) B円を fault plane circle とするならば走行が $N 84^{\circ} W$, dip は $85^{\circ} 40'$ の断層ができたことになる。

ii) 昭和27年 (1952) 3月4日十勝沖地震* ($42^{\circ} 09' N$, $143^{\circ} 52' E$, $h=40km$)

この地震に関する外国の資料は少なく、したがって、外国の資料から正確な節線を求めることは困難であつた。しかし、日本付近では、とくに震央付近で節線をうまく捕えているので、これから地震の機構を決め、その結果を外国の資料にあてはめてみた。

日本の資料から、Fig. 8** に示すような、

(1) 軸が $S 74^{\circ} E$ に傾く頂角 120° の円錐内で押し
 いわゆる押し円錐型

(2) 走行が $N 16^{\circ} W$ に走り dip が 85° または 5° の断層によるとする象限型

の二つが考えられる (ただし、Fig. 8 は象限型の節線で、円錐型の場合は震央付近の半円が、楕円の一部分となる)。これら両機構のとき遠方でどのような節線が得られるか計算した結果が Fig. 9 および Fig. 10 である。

前にも述べたように資料が少なすぎるためはつきりしたことはいえないが、Fig. 9 のほう、すなわち、象限型とし

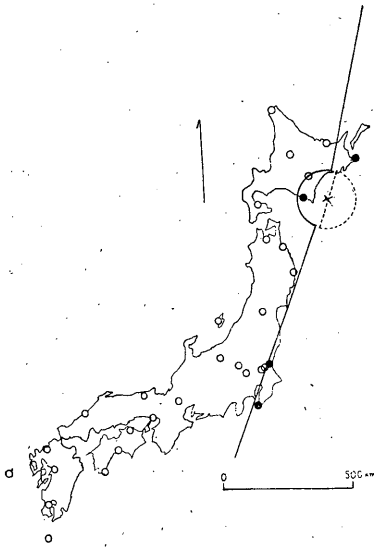


Fig. 8. Distribution des compressions et dilatations initiales observées, et les lignes nodales au voisinage du Japon pour le séisme du 4 Mars, 1952
 ×: Epicentre, ○: C, ●: D

* 地震課 : 十勝地震の気象官署における観測結果, 験震時報 17 No. 1~2 (1953), 3~12

** 地殻構造としては高木のモデル (震源第10報参照) を用いた。

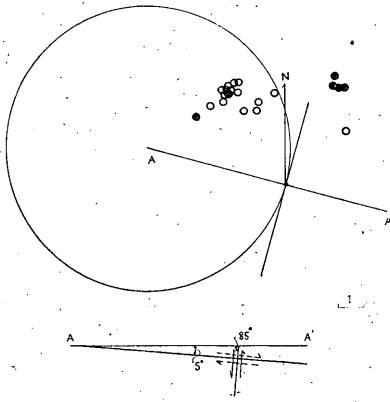


Fig. 9. Distribution des compressions et dilatations initiales observées, et les lignes nodales dans le monde pour le séisme du 4 Mars, 1952 (par la méthode de Hodgson)

○ : C, ● : D

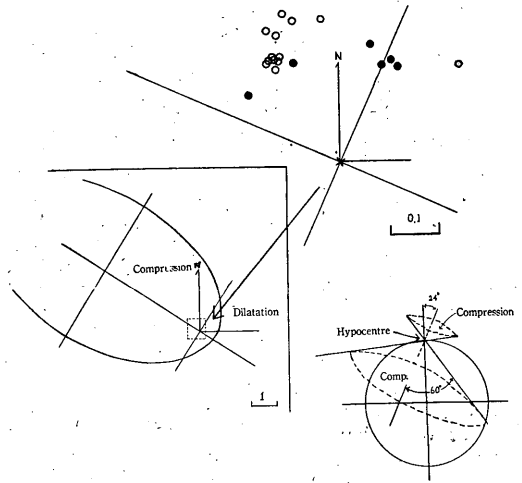


Fig. 10. Distribution des compressions et dilatations initiales observées, et les lignes nodales du séisme du 4 Mars, 1952

(par la méthode moi-même)

× : Antihypocentre, ○ : C, ● : D

たほうがよさそうである。もし象限型とするならば、

(A) A円を fault plane circle をとするならば、走行が $N16^{\circ}W$ に走り、その dip は 85°

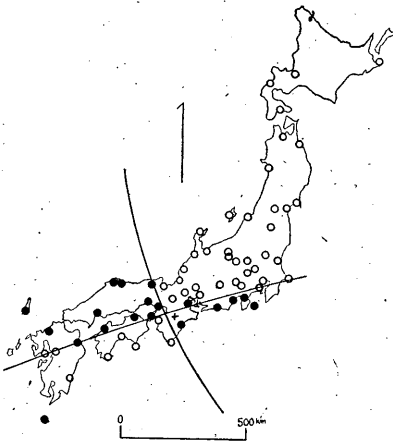


Fig. 11. Distribution des compressions et dilatations initiales observées, et les lignes nodales dans le cas du mécanisme des séismes de type de quadrants pour le séismes du 18 Juillet, 1952

× : Ep., ○ : C, ● : D

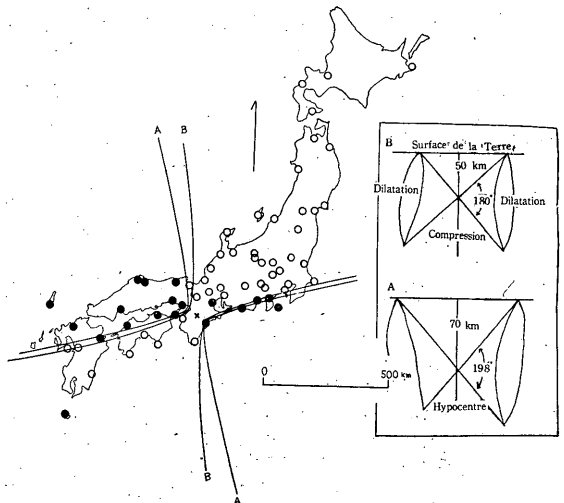


Fig. 12. Distribution des compressions et dilatations initiales observées, et les lignes nodales dans le cas du mécanisme des séismes de type de cônes pour le séismes du 18 Juillet, 1952

× : Ep., ○ : C, ● : D

の断層ができたことになる。

または (B) B円を fault plane circle とするならば、走行が $N16^{\circ}W$ 、その dip が 5° の断層ができたことになる。

十勝平野での地変や墓石のてん倒方向などから判断するならば*、(A) のほうが適当と思われる。

iii) 昭和27年7月18日 (1952) 吉野地震** (34.4°N, 135.8°E, $h=70\text{km}$)

この地震の日本における初動分布から Fig. 11 のような象限型の節線 (震源の深さ 70km) か、Fig. 12 に示すように震源の深さを 50km とし、頂角 90° で軸が $E30^{\circ}S$ の方向に 90° 傾いた円錐、または、震源の深さ 70km で頂角で 98° 軸が上よりは少々南の方向に 90° 傾いた円錐内で引きとしたときの節線が引ける。ただし、象限型の場合の節線は震波線がわん曲するとして計算したが、円錐の場合は波は直進するものとした。もし、わん曲を考えに入れるならば、二本の節線は震央付近で互に接近するから、地震の深さをもう少し深くしたほうがぐあいがい (地震課での調査によると、本地震の深さはやく 70km となつている)。このように一応、象限型としても円

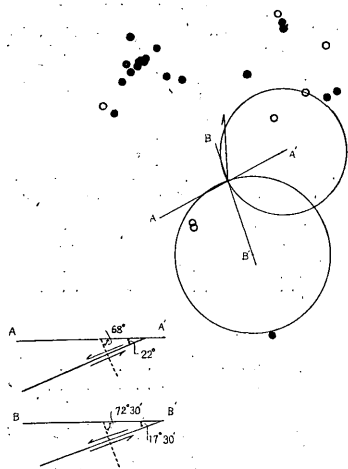


Fig. 13. Distribution des compressions et dilatations initiales observées, et les lignes nodales pour séisme du 18 Juillet, 1952 (par la méthode de Hodgson)
○ : C, ● : D

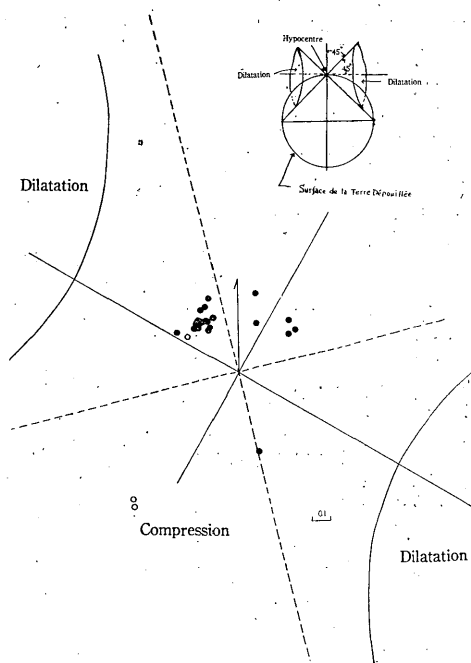


Fig. 14. Distribution des compressions et dilatations initiales observées, et les lignes nodales pour le séisme du 18 Juillet, 1952 (par la méthode moi-même)
○ : C, ● : D

*地震課：十勝沖地震調査報告，踏査報告（北海道の部），験震地報 17 (1953), 24~82.

**地震課調査係：昭和27年7月18日吉野地震概報，験震時報 17 No. 4, (1953), 83~96.

錐型としても、一、二の点をのぞいては初動分布を満足する節線を引くことができる。

そこで、これらのいずれが遠方の資料をより良く満足するかを計算した結果が Fig. 13 (象限型) および Fig. 14 (円錐型) である。この結果からすると、象限型としたほうがぐあいいようである。

象限型とすると、

(A) A円を fault plane circle とするならば、走行が $N 14^{\circ} W$, dip が 68° の断層ができたことになる。

(B) B円を fault plane circle とするならば、走行が $N 74^{\circ} E$, dip が 71° の断層ができたことになる。

これらのうちいずれが適当かは、地震が 70km という深いところに起ったので、地上に顕著な地変が見られないため結論することはできない。

§ 7. 結 論

日本付近の初動分布から、象限型としても、円錐型としても説明できる発震機構の地震をたびたび経験する。しかし、現在の日本の観測資料から、両者のいずれが正しいかの結論を下すことは困難であるが、外国の資料を考慮することにより、不充分ではあるが、一応いずれが好ましいかくらいは判断できるだろうとの見地から、Byerly の extended position なる考えかたを応用して、昭和25年のオホーック海南部の地震、昭和27年の十勝沖および吉野地震を調べた。これらの地震の資料が適当でない(日本付近の資料が充分のときは、外国の資料が不足していたり、逆に外国の資料が充分のときは日本付近の資料が不足であったりして)ため、決定的なことはいえないが、いずれの地震も円錐型とするよりは象限型としたほうが、日本および外国の資料をよりよく満足せしめうる節線を引くことができた。

そこで Byerly の方法を応用することにより、円錐型か象限型かの対決が、外国の資料が充分得られれば、付けうるのではないかと思われるので、将来、適当な地震を十分に調査してみるつもりである。

最後に御教導たまわった井上地震課長、ならびに、地震学会にて本報告を代読して下さった末広技官に御礼申しあげます。

Table 3. Liste de nature de P
 1 : le séisme du 28 Fev., 1950
 2 : le séisme du 4 Mars, 1952
 3 : le séisme du 18 Juillet, 1952

Station	1	2	3	Station	1	2	3
Athenes	—	c	d	New Dehli	c	—	—
Baguio	—	—	c	Ottawa	c	d	d
Basel	c	—	d	Pasadena	c	—	d
Beograd	c	c	d	Pavia	—	d	d?
Berkeley	c	—	d	Pavoda	d	c	—
Bologna	c	c	d	Poona	c	—	—
Calcutta	d	—	—	Postdam	c	—	—
Cartuja	—	—	c	Prague	c	—	—
Chur	c	—	d	Reno	c	—	—
Cleveland	—	d	—	Resolute Bay	—	—	d
Columbia	c	—	—	Riverview	d	—	d?
Copenhagen	c	—	—	Rolphon	c	—	—
Coimbra	—	(N,E)	—	Rome	c	c	d
De Bilt	c	—	—	Rykjavik	—	c	—
Fayetteville	—	—	c	St. Louis	c	—	—
Firenze	c	—	—	Salo	c	c	—
Harvard	c	—	—	Scoresby-Sund	c	—	—
Helsinki	c	c	—	Seattle	—	c	c
Helwan	c	d	c	Shawingan Falls —	c	—	—
Honolulu	c	—	—	Strasbourg	c	—	d
Ivigut	c	—	—	Stuttgart	c	c	d
Kew	—	—	d	Trieste	—	c	d
Kodaikanal	d	—	—	Uppsala	c	c	d
Karlsruhe	c	—	—	Victoria	c	—	—
Ksara	d	—	d	Weston	—	d	c
Kirkland	—	—	d	Wellington	d	—	—
Kiruna	—	c	d	Wien	c	—	—
La Cave	c	—	—	Witteveen	—	c	—
La Paz	d	—	—	Zürich	c	—	d
Lisbon	c	—	—				
Malaga	—	d	—				
Manila	—	—	c				
Messina	d	c	—				
Mt. Hamilton	c	—	—				
Neuchâtel	c	—	—				