

近地地震の P 波初動節線の一作図法*

市 川 政 治**

550.34I

Nodal Line of Initial P Wave of Near Earthquake

M. Ichikawa

(Seimological Section, J. M. A.)

In order to facilitate the investigation of distribution of compression and dilatation of initial P wave, the author presents a method by which we can easily draw the nodal line of P wave in the vicinity of epicenter, for shallow and deep earthquakes.

And for the case of mechanism of the fault theory, some examples of nodal line affected by the existence of discontinuous surface in the crust, based on the method, are illustrated (Fig. 4 and 6).

Moreover, some available tables for the method are prepared (Tab. 1~3).

§ 1. ま え が き

P 波初動分布には、今日、象限型と円錐型の二種類の存在することが認められている。これらのうち、円錐型の節線の引きかたは高木¹⁾の論文中に詳しく説明されている。特にこれには、浅発地震に対していろいろの節線型が示されているので実際の調査に便利である。このほかに、円錐型の節線例は河角²⁾、水上³⁾の論文にも掲載されている。

一方、浅発地震の象限型節線は、従来、二本の直線で処理されてきていた。しかし、これではどうしても観測結果を満たしえない地震が多く出てきた。これがために、象限型の発震機構を否定し、円錐型万能を称える人さえ出てきた。しかし、象限型の場合でもモホロビッチ層を考慮すると円錐型の場合のように複雑な節線の生じうることは、すでに河角²⁾も例示されている。

モ層は地方的な相違はあるにせよ、その存在は否定することのできぬ現在、浅発地震に対しては当然これを考慮に入れて節線を引くべきであろう。

この引きかたについては前記高木の論文中にも述べられているが、その計算が多少めんどうである。ほか、円錐型の場合のように実例が示されていないので、調査にはやや不便である。また、これは複

* Received June 30, 1957.

** 気象庁地震課

難となることもあるので、ときにはあやまった節線*を引くおそれも多分にある。

そこで、ここでは、浅発象限型発震機構に対する筆者流の節線の引き方を述べるとともに、調査の目安にと思い、若干の例を示すことにした。このほか、深発地震の象限型、円錐型節線の作図に便利な表を載せることにした。

§ 2. 象限型発震機構に対する節線

I] 水平成層の存在を無視した場合

まず、上記の場合の節線を定量的に考えてみよう。

いま、震源を原点、Hodgson のいわゆる plunge plane⁶⁾ を yz 平面とする直角座標を考えよう

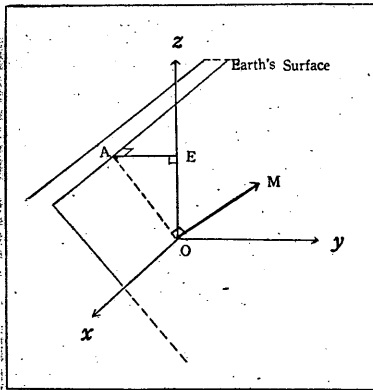


Fig. 1
O: Hypocenter,
OM: Motion vector,
E: Epicenter

(Fig. 1).

Hodgson の motion vector OM は yz 平面内に含まれ、その方程式はこの場合、

$$y/m = z/n \dots\dots\dots (1)$$

(m, n は OM の方向余弦で $m = \cos \beta, n = \cos \gamma = \sin \beta$)

で与えられる。

象限型発震機構では、当然、二節面は直交し、かつ、一節面は上記 motion vector と直交しなければならない (この面を Hodgson は auxiliary plane, また、他の一面を fault plane と呼んでいる)。

また、これら二節面の方程式は

$$my + nz = 0, \dots\dots\dots (2)$$

$$l'x + m'y + n'z = 0 \dots\dots\dots (3)$$

(l', m', n' は fault plane の方向余弦)

で表わされ、二節面の直交条件は

$$mm' + nn' = 0 \dots\dots\dots (4)$$

で与えられる。

したがって、波のわん曲を無視し震源の深さを h とすると、節線は

$$my + nh = 0, \dots\dots\dots (2')$$

$$l'x + m'y + n'h = 0 \dots\dots\dots (3')$$

* たとえば、宮本⁹⁾の福井地震に対する節線をあげることができる。このどこがあやまりであるかは、後述の筆者の方法から直ちにわかる。

のうちの残りの式を満足するよう直線を引く。これが残りの節線である。

- v) 震央から節線に立てた垂線の長さを震源の深さ h で除した商が dip の tangent になるから、これから二節面の dip γ, γ' が決まる。

この方法は波線のわん曲が無視でき、かつ、下の層の影響を受けない転回円内の節線の作図にも応用できる。

II] 水平層を仮定し、かつ、その層内に震源のある場合

この場合の節線は円錐型のそれと同様に、下層の影響を受けて複雑となることがある。この作図法は高木の論文にも説明があるが、次の方法のほうが簡単のように思える。

a) 一層の場合

転回円内の節線の作図法は I] の方法のとおりであるから、次に転回円外の節線について定量的に述べる。

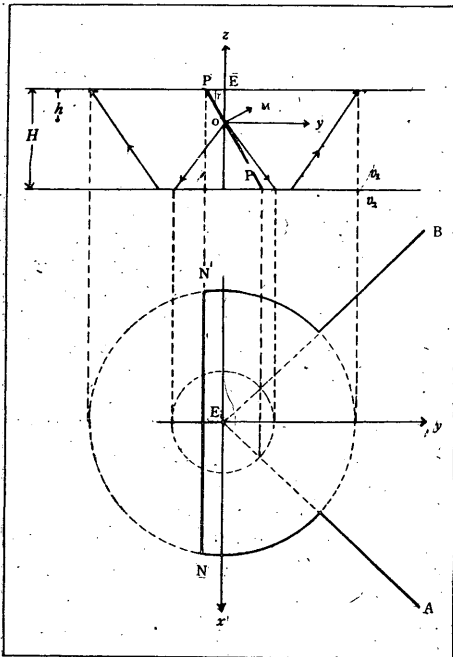


Fig. 3. Nodal plane and nodal line
 O: Hypocenter, E: Epicenter,
 OM: Motion vector, ANNB: Nodal line,
 PP: Nodal plane

Fig. 3 のように震源を原点、鉛直上方を z 軸の正方向とする直角座標を考える。

上層、下層の P 波の伝ば速度をそれぞれ v_1, v_2 とすると

$$x^2 + y^2 = z^2 \operatorname{tg}^2 (\sin^{-1} v_1 / v_2) \dots (9)$$

なる下むきの円錐面に沿って四方に射出した波は下層を屈折して地表に達し、しかも、ある震央距離以上では屈折波が直達波に先行して観測点に到着する。この二波が同時に到着する点は下層の不連続面が水平ならば、震央を中心とする円となり、いわゆる転回円内となる。

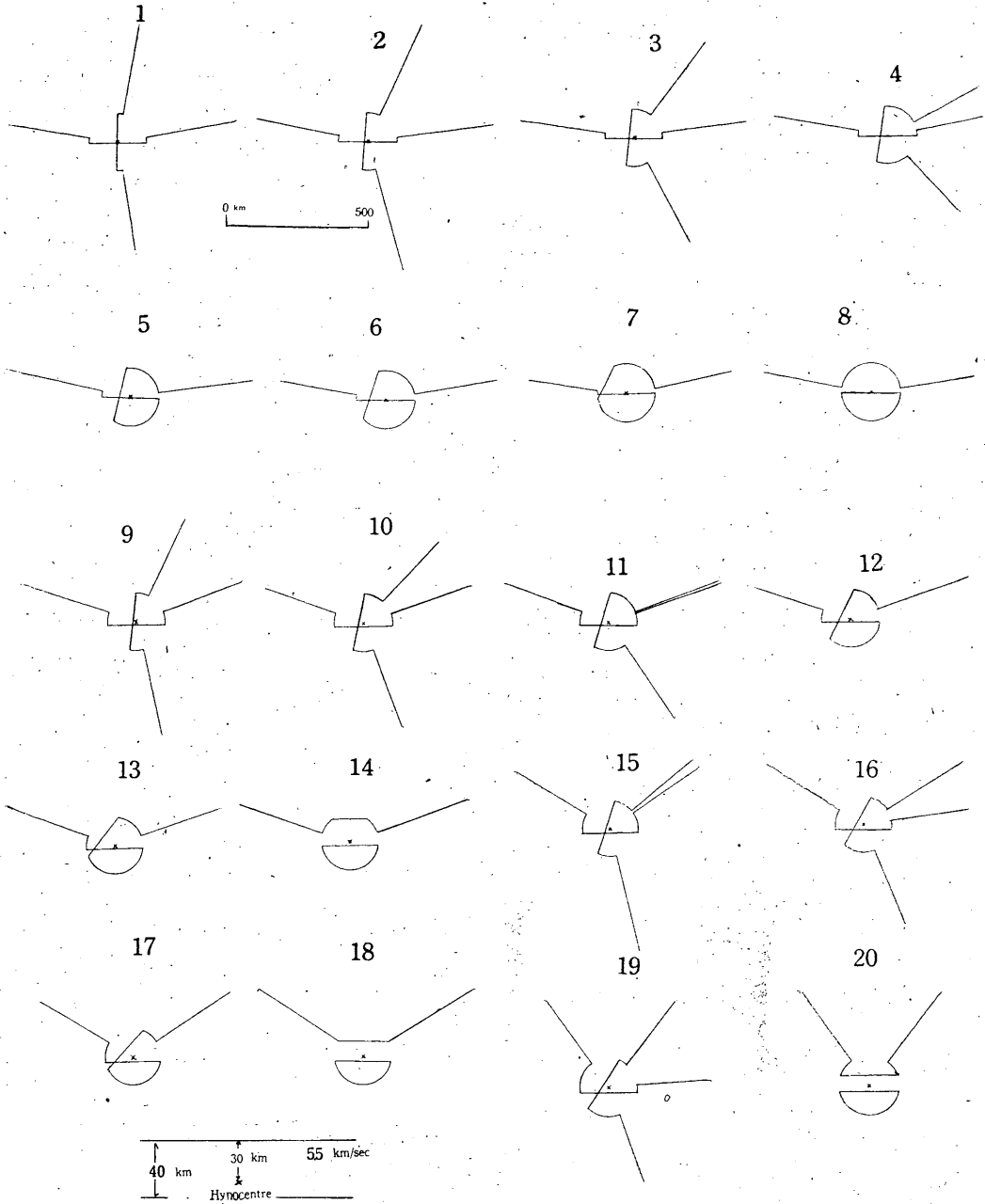
いま、§ 2 の I] と同様 yz 平面に motion vector をとると、これに直交する節面とこの円錐との交線に沿って下方に射出した波は、この交線と z 軸を含む平面に含まれるから、この平面と地表との交線は

$$x/y = \pm \operatorname{tg} \gamma \sqrt{\operatorname{tg}^2 i - \cot^2 \gamma} \dots (10)$$

$$(i = \sin^{-1} v_1 / v_2)$$

なる方程式で表わされ、これが転回円外の節線となる。

地表上に震央を原点、motion vector の地表への投影を y の正軸とする直角座標を考えるなら



7.5 Fig. 4. Examples of nodal line

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
γ	80°	//	//	//	//	30°	20°	//	70°	//
γ'	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	70°	60°
No.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
γ	70°	//	//	//	60°	//	//	//	50°	50°
γ'	50°	40°	30°	20°	60°	40°	40°	30°	50°	40°

γ, γ' : Dip of nodal plane, × : Epicenter

ば、この節線は震央を通りその方向係数が

$$\pm \frac{\cot \gamma}{\sqrt{\text{tg}^2 i - \cot^2 \gamma}} \dots \dots \dots (11)$$

である y 軸に関し対象な二本の直線であることがわかる。

以上から実際には、次のようにして節線を作図するとよいことがわかる。

- i) まず、走時曲線から層の厚さ、震源の深さ、各層内の P 波伝ば速度、転向円の半径を決める*。
- ii) 前記のように転向円内の節線は下層の影響を受けない点に着目し、[] の方法で円内の節線を作図し、同時に節面の dip を求める。
- iii) 震央を原点とし、これを通り転向円内の一節線と直交する直線を y 軸（震央に関して節線の反対側を正方向とする）とする直角座標をとると、この節線の転向円外の節線は

$$x/y = \pm \text{tg} \gamma \sqrt{\text{tg}^2 i - \cot^2 \gamma}$$

なる y 軸に関し対称なる直線で与えられ、これと転向円内の節線、転向円の一部と組み合わせさせて一節面に対する節線が得られる。

- iv) 他の節面に対する節線も ii), iii) の方法で作図できる。
- v) 上の二つの節線を組み合わせることにより、所期の節線が得られる。特に、各面の dip の状況によっては節線は複雑となるから注意を要する。

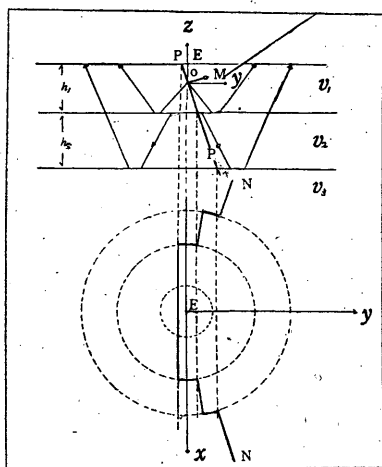


Fig. 5

O: Hypocenter, E: Epicenter,
OM: Motion vector
NN: Nodal line, PP: Nodal plane

いろいろの場合についての節線の例を Fig. 4 に示す。

b) 二層よりなり震源が上層中にある場合

この場合、転向円は原則として二つできるので (Fig. 5 参照)、いま、内側からそれぞれ第 1、第 2 転向円と呼ぶことにする。

第 1 転向円内から第 2 転向円までの節線は a) と全く同じ方法で引ける。第 2 転向円外の節線は a) の場合と同様、節線の方程式は

$$x/y = \pm \text{tg} \gamma \sqrt{\text{tg}^2 i_2 - \cot^2 \gamma} \dots \dots \dots (12)$$

(ここで、 $i_2 = \sin^{-1}(v_1/v_3)$, v_3 は下層の P 波速度)

で与えられる。

したがって、実際には次のようにして作図できる。

* 震源の深さを h 、震央距離を Δ 、上層中の P 波速度を v_1 、下層のそれを v_2 、層の厚さを H とすると $\sqrt{h^2 + \Delta^2}/v_1 = \Delta/v_2 + (2H-h)\sqrt{v_2^2 - v_1^2}/v_1 v_2$ なる関係を上の各値は満足しなければならない。

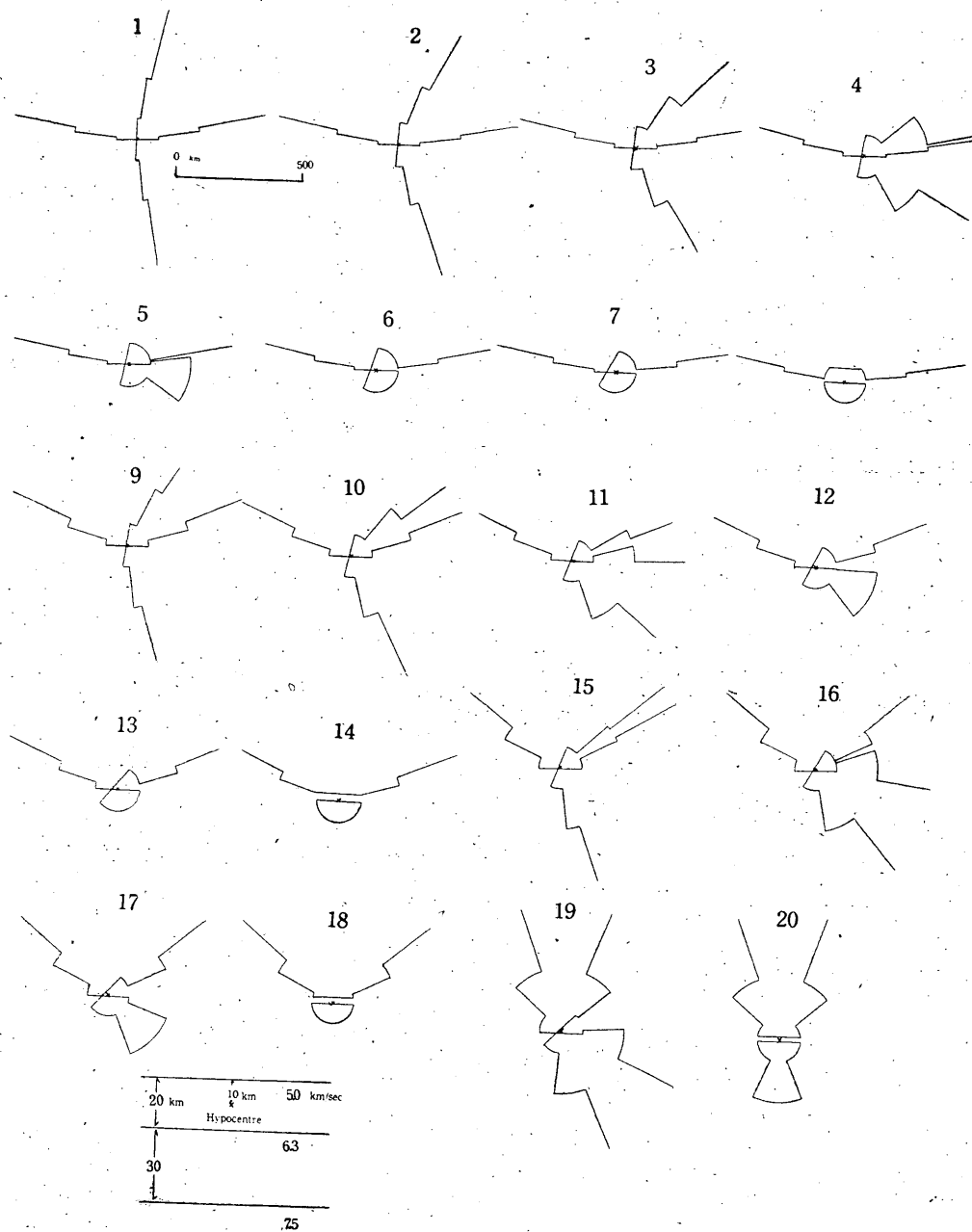


Fig. 6. Examples of nodal line

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
γ	80°	//	//	//	//	//	//	//	70°	//
γ'	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	70°	60°
No.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
γ	70°	//	//	//	60°	//	//	//	50°	50°
γ'	50°	40°	30°	20°	60°	50°	40°	30°	50°	40°

γ, γ' : Dip of nodal plane,

×: Epicenter

- i)~iii) a) の i)~iii) の方法と同じである.
 - iv) (12) 式に従って震央を通る直線を描くと、これが第2 転向円外の節線となる.
 - v) 他の節面に対する節線を上記 i)~iv) の方法で作図できる.
 - vi) この二つの節線を組み合わせることにより、所期の節線が得られる.
- この場合の節線は a) の場合よりも更に複雑となる.

いろいろの場合についての節線の例を Fig. 6 に示す.

c) 二層よりなり、震源が第2 層中にある場合

この場合、転向円外の節線は a) と同じ要領で作図できる. 転向円内の節線は第1 層、第2 層との不連続面で、多少、屈折するので、この点を考慮しなくてはならない.

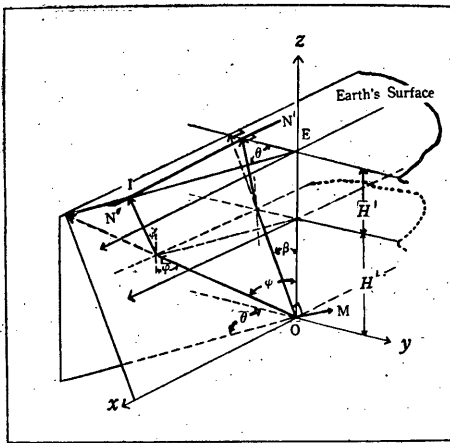


Fig. 7

O: Hypocenter, E: Epicenter,
OM: Motion vector, NN': Nodal line

いま、Fig. 7 において節面にそって射出した波の地表への射出点を I とすると EI は

$$\overline{EI} = H_2 \operatorname{tg} \varphi + H_1 \operatorname{tg} \varphi' \dots (13)$$

で与えられる.

$$\text{ここで、} \varphi' = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\frac{v_1}{v_2} \sin \varphi}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_1}{v_2} \sin \varphi\right)^2}} \dots (14)$$

$$\operatorname{tg} \beta = \cos \theta \operatorname{tg} \varphi \dots (15)$$

そこで、上の (13) 式から転向円内の節線を引くことができる.

実際には、Hodgson の方法で各節面の dip がわかっているならばこの場合の作図は比較的簡単であるが、

dip のわかっていない場合の作図は II] a), b) の場合より困難である. しかし、不連続面での屈折を無視するならば作図は II] a) の方法に準じて行えばよい.

II] 深発地震の場合

深発地震の場合は波のわん曲を考慮しないわけにはいかない. この場合の節線の作図法は本多、高木らの方法がある. 次の方法は浅発地震の場合と同様、二節面の直交性を考慮のうえ、これを分離してそれに対応する節線を引くようにしているが、このほうが作図には便利である.

Fig. 8 において dip γ の一節面と、それに沿って射出した波 (射出角 φ) および plunge plane と地表との交線とこの波線との交角を θ とすると、 γ, φ, θ の間には

$$\operatorname{tg} \varphi \cos \theta = \cot \gamma = \operatorname{tg} \beta \dots (15')$$

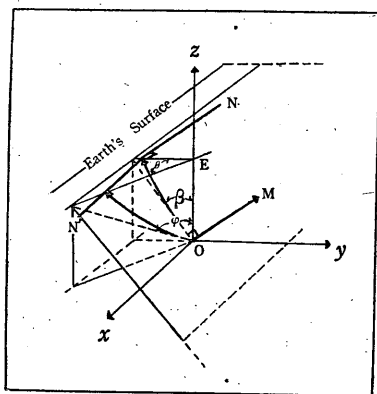


Fig. 8

O: Hypocenter, E: Epicenter,
OM: Motion vector, NN': Nodal line

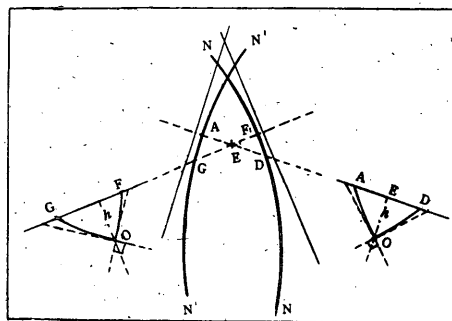


Fig. 9

O: Hypocenter, E: Epicenter,
h: Focal depth, NN, N'N': Nodal line

なる関係が成立する。

したがって、ある震源の深さに対する射出角と震央距離との関係がわかっているならば、上の式から震波のわん曲を考慮にいれた節線を作図することができる。また、Fig. 9 において \overline{EA} , \overline{ED} に対応する射出角の和は節面の直交性から $\pi/2$ とならねばならぬことは、浅発地震の場合と同様である。 \overline{EF} , \overline{EG} についても同様である。さらに \overline{EA} , \overline{EF} に対応する射出角 θ_A , θ_F とすると節面の dip は $\pi/2 - \theta_A$, $\pi/2 - \theta_F$ でそれぞれ与えられる。実際には Tab. 1 (和達らの走時曲線から求めた射出角～震央距離の関係*) と Tab. 2 ((15') 式の表) とから、まず観測結果を満たす一節線を引き、次に Fig. 9 の D (または G) に対応する点を求める。最後にこの点を通り上に述べた節面の直交条件、および観測結果を満たす節線を引く。また、外国の資料を用いて Hodgson の方法から節面の dip が求められていれば、上の方法から簡単に震央付近の節線を引くことができる。

§ 3. 円錐型節線の一作図法 (特に、深発地震の場合)

浅い地震の場合は波線のわん曲を無視できるので、高木の方法で転向円内の節線を計算できるが、深い場合はわん曲を考えねばならないので、この方法では、少々、不便である。しかし、次に示すように (Fig. 10) 円錐の方程式を極座標で表わすことにより、節円錐面に沿って射出した波の射出角とその波の射出点の方位角が簡単に計算できる。したがって、Tab. 1 とから波のわん曲を考慮した円錐型の節線を引くことができる。なお、Tab. 2 において、 θ' に対する \angle を Tab. 1 から求めるかわりに $h \operatorname{tg} \theta'$ (h は震源の深さ) から、波のわん曲を考慮しない場合の円錐型節線を引くことができる。

* 多少、補正をほどこしてある。

Tab. 1. Relation between epicentral distance Δ and emergent angle θ_h (h : focal depth)
derived from Wadati's table

Δ	θ_{80}	θ_{80}	θ_{100}	θ_{120}	θ_{160}	θ_{200}	θ_{240}	θ_{280}	θ_{320}	θ_{360}	θ_{400}	θ_{450}	θ_{500}
km													
10	10°56'	8°18'	6°04'	5°05'	3°51'	3°19'	3°05'	2°50'	2°35'	2°10'	1°57'	1°37'	1°30'
20	21 24	16 03	12 21	10 22	7 42	6 47	6 00	5 11	4 42	4 09	3 56	3 02	3 00
30	30 53	23 20	18 21	15 28	11 54	10 17	8 31	7 33	6 48	6 10	5 40	5 01	4 30
40	39 35	29 53	24 33	20 19	16 28	13 22	11 17	9 56	8 46	8 01	7 26	6 38	6 00
50	47 16	36 21	29 24	24 53	18 38	16 10	13 57	12 10	10 53	9 54	9 13	8 04	7 19
60	52 14	42 04	33 38	29 08	21 57	19 00	16 20	14 16	12 53	11 33	10 52	9 31	8 50
70	57 49	47 30	38 49	33 22	25 20	21 54	18 45	16 23	14 42	13 17	12 28	10 58	10 09
80	62 54	51 55	42 50	37 18	28 18	24 11	21 02	18 22	16 33	14 58	14 05	12 25	11 29
90	66 50	55 45	47 06	40 51	31 12	26 30	23 02	20 21	18 15	16 43	15 33	13 54	12 38
100	70 16	59 31	50 37	44 12	33 50	28 44	25 03	22 03	19 57	18 15	17 13	15 11	13 59
200	86 30	79 39	72 07	66 12	55 49	48 00	42 03	37 51	34 55	32 16	30 33	27 41	25 44
300	98 09	87 30	79 20	76 10	67 41	60 30	56 09	50 50	47 24	44 08	42 56	38 49	36 28
400	101 00	91 30	83 58	82 15	75 41	70 05	65 16	61 14	57 28	54 20	53 14	48 10	45 30
500	102 07	94 15	87 40	86 00	82 10	77 40	73 20	70 00	65 39	62 36	62 33	57 00	54 05
600	102 45	96 26	90 00	89 10	87 20	83 40	80 30	76 35	72 30	69 07	71 05	64 22	61 51
700	103 23	97 36	92 00	91 55	91 00	88 10	86 00	82 40	78 00	75 04	79 24	70 50	68 33
800	103 58	98 38	94 20	94 05	92 40	91 00	90 30	88 00	82 52	79 37	85 00	75 50	74 15
900	104 32	99 31	96 00	96 03	93 40	92 40	93 00	91 15	87 10	85 40	88 00	80 35	79 26
1000	105 35	100 21	97 35	98 15	94 50	94 10	94 43	93 00	95 50	90 00	89 30	85 30	83 55
1100	106 36	101 08	99 17	99 30	95 54	94 44	96 50	94 30	92 55	92 30	90 30	89 30	87 30
1200	107 05	102 31	100 08	100 30	97 14	95 05	97 35	95 30	94 15	94 50	91 20	92 20	90 30
1300	107 34	103 45	101 25	101 30	98 10	95 25	98 40	95 50	95 25	97 00	91 30	94 50	103 00
1400	108 27	104 55	102 30	102 20	99 15	95 36	99 40	96 15	96 30	98 30	91 45	95 50	105 00
1500	109 19	105 28	103 38	102 33	100 08	95 55	100 30	96 30	97 30	99 30	92 00	96 30	106 00

Tab. 3. $\sin \Phi_{\theta} = -\cot \theta \cdot \cot \theta' \pm \cos \varphi \cdot \operatorname{cosec} \theta \cdot \operatorname{cosec} \theta'$
(cf. Fig. 10)

$\varphi = 40^{\circ}$

$\varphi = 45^{\circ}$

θ'	Φ_{10}	Φ_{20}	Φ_{30}	Φ_{40}	Φ_{50}	Φ_{60}	Φ_{70}	Φ_{80}	Φ_{90}	Φ_{10}
0°				0°00'						
2				1 03						
4(5*)				2 18						
6				3 32						
8				4 44						
10			-90°00'	5 57	90°00'					
2			-51 17	7 10	56 31					
4(15*)			-37 55	8 24	50 11					
6			-28 52	9 38	44 34					
8			-21 55	10 52	40 49					
20		-90°00'	-16 14	12 06	38 12	90°00'				
2		-55 15	-11 23	13 23	36 21	68 46				
4(25*)		-43 12	-7 06	14 40	35 02	61 23				
6		-31 37	-3 14	15 58	34 07	56 30				
8		-23 23	+0 19	17 16	33 30	52 57				
30	-90°00'	-16 15	3 40	18 37	33 08	50 15	90°00'			
2	-47 59	-09 49	6 17	19 58	32 59	48 10	72 55			
4(35*)	-31 10	-03 55	9 53	21 21	32 59	46 32	66 39			-90°00'
6	-17 25	+01 38	12 51	22 46	33 07	45 15	62 22			-61 26
8	-5 15	06 58	15 45	24 13	33 23	44 15	59 07			-40 08
40	+6 03	12 06	18 36	25 41	33 46	43 28	56 33	90°00'		-25 06
2	17 17	17 13	21 28	27 13	34 14	42 53	54 29	75 09		-12 18
4	28 39	22 17	24 19	28 47	34 48	42 25	52 49	69 34		-0 36
6	41 06	27 24	27 12	30 23	35 27	42 13	51 26	65 39		+10 36
8	56 12	32 40	30 08	32 02	36 10	42 05	50 17	62 37		21 54
50	90 00	38 51	33 08	33 45	36 58	42 04	49 22	60 09	90°00'	33 50
2		44 04	36 13	35 32	37 07	42 10	48 36	58 08	76 26	47 26
4		50 34	39 27	37 24	38 48	42 22	48 01	56 26	71 15	65 57
6(55*)		58 01	42 49	39 19	39 48	42 38	47 33	55 01	67 30	90°00'
8		67 31	46 24	41 20	40 54	43 01	47 12	53 44	64 36	
60		90 00	50 16	43 29	42 05	43 28	46 59	52 47	62 11	
2			54 30	45 45	43 21	44 01	46 52	51 56	60 11	
4			59 18	48 09	44 42	44 38	46 51	51 12	58 28	
6(65*)			64 56	50 42	46 08	45 20	46 54	50 37	56 59	
8			72 16	53 29	48 33	46 06	47 04	50 09	55 42	
70			90 00	56 33	49 22	46 59	47 19	49 46	54 37	
2				58 39	51 10	47 57	47 38	49 31	53 39	
4				63 54	53 06	49 00	48 03	49 20	52 50	
6(75*)				68 39	55 14	50 09	48 32	49 15	52 08	
8				74 47	57 33	51 23	49 07	49 15	51 33	
80				90 00	60 10	52 47	49 47	49 21	51 04	
2					63 07	54 18	50 33	49 31	50 40	
4					66 32	55 58	51 23	49 47	50 22	
6(85*)					70 41	57 48	52 20	50 07	50 09	
8					76 14	59 52	53 25	50 33	50 02	
90					90 00	62 21	54 37	51 03	50 00	
2						64 51	55 56	51 40		
4						67 58	57 25	52 22		
6(95*)						71 50	59 06	53 11		
8						76 59	60 58	54 07		
100						90 00	63 08	55 11		
2							65 37	56 22		
4							68 34	57 44		
6(105*)							72 16	59 50		
8							77 18	61 04		

Tab. 3. (continued)

$\varphi=50^\circ$								$\varphi=60^\circ$		
θ	Φ_{30}	Φ_{40}	Φ_{50}	Φ_{60}	Φ_{70}	Φ_{80}	Φ_{90}	Φ_{10}	Φ_{20}	Φ_{30}
0°			0°00'							
2			0 51							
4			1 40							
6			2 31							
8			3 22							
10		-90°00'	4 13	90°00'						
2		-52 52	5 04	58 35						
4		-40 17	5 55	48 46						
6		-31 53	6 47	42 46						
8		-25 35	7 38	38 37						
20	-90°00'	-20 32	8 31	35 42	90°00'					
2	-58 47	-16 17	9 23	33 31	67 43					
4	-46 52	-12 36	10 17	32 33	59 54					
6	-38 13	- 9 20	11 11	30 37	54 31					
8	-30 55	- 6 24	12 05	29 40	50 34					
30	-25 24	- 3 41	13 00	28 58	47 33	90°00'				-90°00'
2	-20 14	- 1 13	13 56	28 28	45 07	71 44				-62 14
4	-15 36	+ 1 13	14 52	28 07	43 55	64 56				-51 14
6	-11 21	3 30	15 50	27 54	41 31	59 31				-43 03
8	- 7 24	5 41	16 48	27 47	40 11	56 35				-36 21
40	- 3 41	7 47	17 47	27 48	39 05	53 38	90°00'		-90°00'	-30 34
2	- 1 24	9 50	18 48	27 54	38 11	51 14	73 55		-60 04	-25 25
4	+ 3 17	11 52	19 49	28 05	37 26	49 12	67 44		-47 46	-20 44
6	6 34	13 51	20 52	28 19	36 50	47 29	63 20		-38 23	-16 25
8	9 48	15 49	21 56	28 36	36 21	46 01	59 53		-30 27	-12 21
50	12 59	17 47	23 02	28 58	36 00	44 45	57 03	-90°00'	-23 23	- 9 06
2	16 09	19 45	24 09	29 24	35 43	43 41	54 39	-50 59	-16 57	- 4 50
4	19 19	21 44	25 19	29 52	35 32	42 45	52 37	-34 08	-10 54	- 1 17
6	22 29	23 43	26 30	30 23	35 26	41 57	50 50	-20 37	- 5 10	+ 2 10
8	25 42	25 45	27 43	30 58	35 24	41 13	49 17	- 8 36	+ 0 24	5 33
60	28 59	27 49	28 58	31 35	35 26	40 42	47 55	+ 2 53	5 50	8 54
2	32 21	29 56	30 57	32 15	35 31	40 12	46 43	14 14	11 14	12 13
4	35 52	32 06	31 38	32 58	35 43	39 48	45 40	25 58	17 00	15 32
6	39 30	34 20	33 01	33 44	35 56	39 29	44 43	38 49	22 09	18 53
8	43 22	36 39	34 49	34 33	36 29	39 15	43 54	54 31	27 49	27 50
70	47 32	39 05	35 58	35 25	36 33	39 05	43.10	90 00	33 46	25 42
2	52 06	41 38	37 34	36 21	36 52	38 59	42 32		40 08	29 15
4	57 14	44 19	39 13	37 21	37 24	38 56	41 58		47 09	32 56
6	63 16	47 11	40 58	38 23	37 54	38 57	41 29		55 15	36 47
8	71 06	50 15	42 48	36 30	38 28	39 02	41 05		65 34	40 51
80	90 00	53 38	44 55	40 41	39 05	39 11	40 45		90 00	45 14
2		57 24	46 50	41 57	39 46	39 22	40 28			50 02
4		61 40	49 04	43 17	40 31	39 38	40 16			55 26
6		66 48	51 29	44 43	41 20	39 57	40 07			59 46
8		75 42	54 08	46 15	42 12	40 19	40 02			70 04
90		90 00	57 03	47 55	43 10	40 45	40 00			90 00
2			60 20	49 43	44 12	41 15				
4			64 08	51 40	45 19	41 48				
6			67 12	53 48	46 34	42 26				
8			74 51	59 10	47 54	43 09				
100			90 00	58 48	49 22	43 56				
2				61 50	50 58	44 49				
4				65 20	52 43	45 47				
6				69 39	54 42	46 51				
8				75 28	56 53	48 02				

$\varphi=60^\circ$

$\varphi=70^\circ$

Φ_{40}	Φ_{50}	Φ_{60}	Φ_{70}	Φ_{80}	Φ_{90}	Φ_{50}	Φ_{60}	Φ_{70}	Φ_{80}	Φ_{90}
		0°00'						0°00'		
		0 35						0 02		
		1 10						0 44		
		1 44						1 06		
		2 19						1 27		
	-90°00'	2 54	90°00'				-90°00'	1 49	90°00'	
	-53 56	3 29	57 51				-54 47	2 11	57 15	
	-41 53	4 04	47 41				-43 07	2 34	46 46	
	-33 56	4 39	41 23				-35 31	2 56	40 11	
	-28 03	5 15	36 59				-29 57	3 18	35 32	
-90°00'	-23 24	5 51	33 46	90°00'		-90°00'	-25 35	3 41	32 04	90°00'
-60 52	-19 33	6 27	31 18	66 46		-62 16	-21 21	4 04	29 23	65 55
-49 52	-16 15	7 03	29 23	58 27		-51 55	-19 01	4 27	27 15	57 14
-42 00	-13 23	7 40	27 52	52 49		-45 24	-16 27	4 29	25 35	51 17
-35 47	-10 49	8 18	26 40	48 34		-38 51	-14 10	5 16	24 05	46 46
-30 35	- 8 31	8 54	25 43	45 14	90°00'	-34 06	-12 08	5 36	22 55	43 57
-26 04	- 6 23	9 32	24 56	42 32	70 40	-30 02	-10 18	6 00	21 55	40 12
-22 06	- 4 24	10 10	24 20	40 17	63 24	-26 28	- 8 37	6 23	21 01	37 42
-18 29	- 2 33	10 49	23 51	38 23	58 17	-23 17	- 7 03	6 48	20 23	35 35
-15 11	- 0 47	11 28	23 29	36 48	54 19	-20 25	- 5 36	7 12	19 47	33 55
-12 09	+ 0 53	12 08	23 12	35 26	51 04	-17 47	- 4 14	7 37	19 17	32 08
- 9 17	2 30	12 48	23 01	34 16	48 22	-15 21	- 2 56	8 02	18 51	30 44
- 6 34	4 03	13 30	22 54	33 15	46 02	-13 05	- 1 41	8 28	18 30	29 30
- 4 00	5 34	14 11	22 51	32 23	44 02	-10 56	- 0 28	8 53	18 11	28 23
- 1 31	7 03	14 54	22 51	31 38	42 17	- 8 54	+ 0 40	9 20	17 59	27 24
+ 0 52	8 30	15 37	22 54	30 59	40 45	- 6 59	1 46	9 47	17 47	26 31
3 12	9 22	16 21	23 00	30 26	39 23	- 5 07	2 52	10 14	17 38	25 43
5 29	11 22	17 08	23 10	29 58	38 11	- 3 19	3 56	10 42	17 32	25 00
7 43	12 47	17 53	23 21	29 34	37 06	- 1 35	4 49	11 10	17 27	24 22
9 21	14 12	18 40	23 35	29 13	36 08	+ 0 07	6 01	11 38	17 23	23 47
12 36	15 37	19 28	23 50	28 58	35 16	1 46	7 03	12 08	17 25	23 16
14 19	17 03	20 18	24 09	28 46	34 30	3 25	8 04	12 38	17 27	22 47
16 31	18 29	21 09	24 29	28 37	33 48	5 01	9 05	13 09	17 29	22 22
18 43	19 56	22 01	24 51	28 31	33 11	6 36	10 05	13 40	17 33	21 59
20 56	21 43	22 55	25 16	28 27	32 38	8 29	11 06	14 13	17 40	21 39
23 15	22 54	23 51	25 43	28 26	32 09	9 46	12 08	14 46	17 47	21 21
25 31	24 26	24 48	26 11	28 27	31 43	11 21	13 09	15 20	17 56	21 05
27 52	26 00	25 48	26 41	28 32	31 21	12 56	14 12	15 55	18 06	20 51
30 18	27 37	26 49	27 14	28 38	31 01	14 31	15 15	16 32	18 18	20 38
32 48	29 16	27 52	27 49	28 47	30 45	16 09	16 19	17 08	18 31	20 28
35 26	30 59	28 59	28 26	28 54	30 31	17 41	17 25	17 47	18 45	20 19
38 10	32 46	30 08	29 05	29 12	30 20	20 03	18 31	18 27	19 01	20 12
40 18	34 37	31 20	29 47	29 28	30 11	21 09	19 40	19 08	19 19	20 07
44 08	36 33	32 35	30 32	29 47	30 05	22 53	20 49	19 51	19 37	20 03
47 27	38 36	33 53	31 19	30 07	30 01	24 40	22 01	20 35	19 57	20 01
51 04	40 45	35 16	32 09	30 31	30 00	26 31	23 16	21 21	20 19	20 00
55 05	43 02	36 43	33 02	30 57		28 25	24 32	22 08	20 43	
59 39	45 29	38 16	33 58	31 25		30 24	25 14	22 59	21 08	
65 09	48 07	39 53	34 59	31 56		32 29	27 15	23 51	21 35	
72 20	50 59	41 37	36 03	32 31		34 40	28 41	24 45	22 03	
90 00	54 10	43 29	37 12	33 08		36 57	30 11	25 42	22 34	
	57 45	45 29	38 25	33 49		39 24	31 46	26 43	23 07	
	61 52	47 39	39 44	34 33		42 00	33 26	27 46	23 42	
	66 52	50 01	41 09	35 22		44 50	35 54	28 53	24 19	
	73 31	52 38	42 40	36 14		47 54	37 04	30 04	24 59	

Tab. 3. (continued)

θ'	$\varphi=40^\circ$		$\varphi=45^\circ$		$\varphi=50^\circ$		$\varphi=60^\circ$		$\varphi=70^\circ$	
	Φ_{70}	Φ_{80}	Φ_{70}	Φ_{80}	Φ_{60}	Φ_{70}	Φ_{80}	Φ_{60}	Φ_{70}	Φ_{80}
110°	90°00'	63°07'	68°57'	55°55'	90°00'	49°22'	90°00'	55°34'	44°20'	37°12'
2		65°31'	73°29'	57°44'	59°22'	50°49'	58°46'	58°46'	46°08'	38°14'
4		68°25'	80°20'	59°49'	62°14'	52°27'	62°46'	62°46'	48°07'	39°17'
6(115*)		72°04'	90°*00'	62°14'	69°49'	54°19'	67°31'	67°31'	50°19'	40°37'
8		77°05'		65°05'	75°32'	56°24'	73°57'	73°57'	52°46'	41°58'
120		90°00'		68°35'	90°00'	58°49'	90°00'	90°00'	55°33'	43°28'
2				73°13'	59°22'	61°41'	58°46'	55°45'	58°46'	45°11'
4				79°54'	62°14'	64°59'	62°32'	59°59'	62°32'	47°00'
6(125*)				90°*00'	67°39'	67°39'	67°14'	65°11'	67°14'	49°05'
8					75°01'	75°01'	73°40'	65°11'	73°40'	51°27'
130					90°00'	90°00'	90°00'	90°00'	90°00'	54°10'
2								90°00'	54°50'	57°21'
4									59°02'	61°11'
6									64°17'	66°00'
8									71°30'	72°41'
140									90°00'	90°00'
2										48°37'
4										52°10'
6										56°28'
8										61°57'
150										69°39'
										90°00'