

5. *Seismometrische Untersuchungen des Erdbebens vom
2. März 1933.*

III. *Erdbeben-tätigkeit vor und nach dem Grossbeben.
Allgemeines über Nachbeben.*

Von Takeo MATUZAWA,

Institut für Erdbebenforschung.

(Vorgelegt 19. Nov. 1935.—Eingegangen 20. Dez. 1935.)

1. Erdbeben-tätigkeit in einem gegebenen Erdgebiet in einem gegebenen Zeitraum kann einwandfrei mit der totalen Energiemenge definiert werden, die während des Zeitraums in elastische Schwingung umgesetzt worden ist. Ähnlich wird die Grösse eines Erdbebens eindeutig mit der in elastische Schwingung umgesetzten Energiemenge definiert. Aber im heutigen Zustand der Seismometrie ist es nicht immer möglich, die ausgestrahlte Energiemenge bei einem Erdbeben genau abzuschätzen. Darum wird gewöhnlich die Zahl der Erdbeben als Maß der Tätigkeit in einem Gebiet in einem Zeitraum genommen. Sehr oft ist die Zahl der Beben über einer bestimmten Grösse als Maß genommen worden. Das ist natürlich nur berechtigt, wenn die Tätigkeit der Beben in jeder Grössenstufe parallel geht.

Erst wird dieser Punkt untersucht. Nach 1926 sind alle möglich bestimmte Erdbeben in Japan in Kisyô-Yôran (Monatliche Meteorologische Berichte) gegeben worden. In der folgenden statistischen Untersuchungen sind fast alle Materialien von diesem Berichte genommen worden.

2. **Erdbeben-tätigkeit in Sanriku-Oki.** Hier bedeutet Sanriku-Oki ein Gebiet, welches ungefähr zwischen 145°E und 141°E , so wie 41°N und 38°N liegt. Das Großbeben vom 1933 liegt in $\varphi=39^{\circ}15'$, $\lambda=144^{\circ}40'$. Monatliche Zahl der Beben (je gefühlt und ungefühl) in diesem Gebiet ist in den folgenden Tabellen (I, II) gezeigt.

Tabelle I.
Erdbebenhäufigkeit in Sanriku-Oki. (geföhlt)

Monat \ Jahr	1926	1927	1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934	Summe
Jan.	0	1	1	0	1	2	2	5	1	13
Feb.	1	1	1	0	0	0	0	0	1	4

(Fortsetzung folgt.)

Tabelle I. (Fortsetzung.)

Monat \ Jahr	1926	1927	1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934	Summe
März	0	3	0	7	2	3	1	32	1	49
April	2	3	0	2	0	2	2	12	2	25
Mai	0	2	9	1	0	3	0	1	1	17
Juni	2	1	11	0	2	2	4	5	0	27
Juli	3	0	2	0	0	0	1	5	3	14
Aug.	1	1	4	2	0	0	1	3	4	16
Sept.	5	1	1	1	0	0	3	4	2	17
Okt.	3	1	1	0	1	0	2	1	1	10
Nov.	2	2	0	0	1	0	0	1	0	6
Dez.	1	1	3	2	0	3	1	1	1	13
Summe	20	17	33	15	7	15	17	70	17	211

Tabelle II.

Erdbebenhäufigkeit in Sanriku-Oki (ungefühl)

Monat \ Jahr	1926	1927	1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934	Summe
Jan.	1	3	0	2	2	2	1	116	9	136
Feb.	4	2	2	0	8	0	3	10	11	40
März	1	2	0	5	9	5	3	1239	11	1275
April	0	5	1	1	1	1	8	218	4	237
Mai	7	4	57	12	4	2	2	95	5	188
Juni	6	0	48	7	1	3	1	40	0	106
Juli	10	0	2	6	0	0	2	35	5	60
Aug.	2	6	5	14	1	4	3	5	3	43
Sept.	8	4	8	7	1	1	3	24	8	64
Okt.	0	2	2	13	4	0	1	10	2	34
Nov.	6	2	4	5	0	3	3	13	9	45
Dez.	6	0	0	1	1	2	1	2	7	20
Summe	51	30	129	73	32	23	31	1807	74	2250

Aus diesen Tabellen kann man Korrelationsdiagramm der gefühlten und ungefühlten Erdbeben bilden, und dann Regressionskurven bekommen. (Tabelle III.)

Tabelle III.

Korrelationsdiagramm.

Nummer ohne Klammer, 1926~1932,

Nummer in Klammer, 1926~1934.

Gefühlt Ungefühlt	Geführt									
	0	1	2	3	4	5	7	12	32	Mittel
0	7(8)	4	1	2						0.86(0.80)
1	8	1	6		1					1.06
2	2	7(9)	3	3						1.46(1.05)
3	3	3	1	1						1.0
4	3	3	1(2)		(1)					0.7 (1.2)
5	1	(1)		2(4)	1		1			3.4 (3.0)
6	1	2	2							1.2
7	1	2(3)								0.66(0.75)
8	1	1	1(2)			1				2.0 (2.0)
9	(1)	(1)	(1)							2.0 (1.0)
10	(1)	(1)		1						3.0 (1.3)
11		(2)								(1.0)
12		1								1
13	1	(1)								0 (0.08)
14			1							2
16						(1)				(5)
24					(1)					(4)
35						(1)				(5)
40						(1)				(5)
95		(1)								(1)
218								(1)		(12)
1239									(1)	(32)
Mittel	2.6 (2.9)	3.5 (7.3)	3.5 (3.8)	3.2 (3.5)	3.0 (8.5)	8.0 (24.7)	5	(.218)	(1239)	

Fig. 1 zeigt die Regressionskurven für Intervalle 1926~1932. Für kleine Bebenhäufigkeit sind die Kurven für 1926~1934 ziemlich ähnlich, aber wegen der zahlreichen Nachbeben des Großbebens vom 1933 sind sie für große Häufigkeit ganz anders. Für kleine Häufigkeit ist jede Kurve ungefähr parallel zur Koordinatenachse, d. h. es gibt keine Korrelation zwischen der Häufigkeit der gefühlten Beben und der ungefühlten wenigstens für kleine Häufigkeit in diesem Gebiet. Im

allgemeinen hat ein Großbeben zahlreiche kleine Nachbeben, aber starke Beben begleiten nicht immer einen Schwarm zahlreicher kleiner Beben.

3. Periodizität der Bebenhäufigkeit.

F. Omori¹⁾ zeigte einmal jahreszeitliche Schwankung der Bebenhäufigkeit in mehreren Gebieten. Beobachtungsmaterial ist heute erheblich verbessert als damals. Darum wird hier auch solche Untersuchung stattfinden. Für diesen Zweck ist Anwendung der Theorie²⁾ über zufällige Schwankungen am zweckmäßigsten.

Zu erst wird jahreszeitliche Schwankung der gefühlten Beben in Tabelle I untersucht. Wir haben 13 Beobachtungen in der angenommenen Periode nämlich von Januar zu Januar des nächsten Jahres. Wir können diese Beobachtung wie folgt harmonisch darstellen.

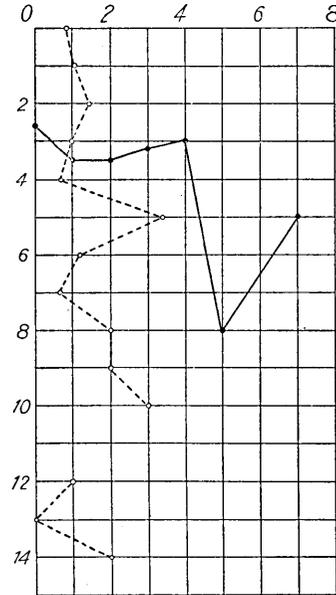


Fig. 1.

Abzissa: Zahl der gefühlten Beben
 Ordinate: " " ungefühlten "
 Ausgezogene Kurve: Mittel der
 ungefühlten Beben.
 Gestrichene Kurve: " " gefühlten Beben.

$$\phi_x(x) =$$

$$a_0 + (a_1 \cos x + b_1 \sin x) + (a_2 \cos 2x + b_2 \sin 2x) + \dots + (a_r \cos rx + b_r \sin rx),$$

r : Zahl der Beobachtungen in der gegebenen Periode,

y_p : Beobachtung Nr. p ,

$x_p = p \left(\frac{2\pi}{r} \right)$: Abscissa Nr. p .

Man kann $\phi_x(x)$ so bestimmen, daß

$$\zeta_x^2 = \sum_p [y_p - \phi_x(x_p)]^2 / r,$$

minimum ist.

Dann bekommt man

1) F. OMORI, *Rep. Earthq. Inv. Comm.*, 30 (1900); *Publ. Earthq. Inv. Comm.*, 8 (1902).

2) Z. B. sieh J. BARTELS, *Terr. Magn. and Atm. Elect.*, 40 (1935), 1~60.

$$a_0 = \frac{\sum_p y_p}{r}, \quad a_\nu = \frac{2}{r} \sum_p y_p \cos \nu x_p, \quad b_\nu = \frac{2}{r} \sum_p y_p \sin \nu x_p,$$

$$\rho = 1, 2, 3, \dots, r. \quad \nu = 1, 2, 3, \dots, k. \quad 2k+1 \leq r.$$

Wenn r gerade ist,

$$a_{\frac{r}{2}} = (-y_1 + y_2 - y_3 + \dots + y_r)/r.$$

Hier muß eines bemerkt sein, daß a_ν , b_ν , unabhängig von k sind. In unserem Fall $r=13$. Hier werden die Glieder über $\nu=2$ außer acht gelassen.

Wenn n Erdbeben sich ganz zufällig in einem Jahr verteilen, dann ist die Expektanz³⁾ der relativen Amplitude $c_\nu = \frac{\sqrt{a_\nu^2 + b_\nu^2}}{a_0}$,

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\pi}{n}}.$$

Bei der ganz zufälligen Verteilung ist die Wahrscheinlichkeit $W(k)$, daß c_ν $k\varepsilon$ überschreitet, gegeben durch $W(k) = e^{-\frac{\pi}{4}k^2}$.

Das ganze Rechenverfahren ist in Tabelle IV gezeigt.

Tabelle IV.

Analyse der Jahresschwankung der Bebenhäufigkeit (gefühl) in Sanriku-Oki.

Jahr	a_0	a_1	b_1	a_1/a_0	b_1/a_0	ε	c_1^2	c_1	c_1/ε	$W(x)$
1926	1.60	-.67	-1.01	-.42	-.63	.386	.576	.759	1.94	.047
27	1.38	.08	.55	.06	.40	.417	.162	.402	.97	.477
28	2.54	-2.39	1.37	-.94	.54	.308	1.174	1.08	3.51	.000
29	1.23	.54	.93	.44	.76	.443	.763	.874	1.97	.047
30	.69	.43	1.33	.62	.19	.590	.419	.647	1.10	.386
31	1.31	.75	1.03	.57	.79	.430	.948	.973	2.26	.018
32	1.69	.24	-.113	.14	-.07	.377	.024	.155	.41	.876
33	5.9	1.34	5.12	.23	.87	.249	.809	.900	3.61	.000
Summe				.698	2.84		4.875			
				$l=.782,$	$l_m=.276,$		$c_m=.366,$		$c_m/l_m=1.33.$	

In den Jahren mit kleiner Wahrscheinlichkeit für Zufall kamen die Erdbeben schwarmartig vor.

Um irgendeine jahreszeitliche Bevorzugung der Erdbebenentstehung zu entdecken, muß man wieder alle Vektoren im ganzen Zeitintervalle

3) Lord RAYLEIGH, *Phil. Mag.*, [v], 10 (1880). 73~78.

zusammen untersuchen und zwar im Licht der Wahrscheinlichkeitstheorie. Ganz zweckmäßig kann man die Theorie des Umherirrens (random walk) anwenden.

Der gemittelte Vektor für alle 8 Jahre ergibt sich zu,

$$\sum \frac{a_1}{a_0} / 8 = 0.0872, \quad \sum \frac{b_1}{a_0} / 8 = 0.356, \quad c_m = \text{Resultante} = 0.366.$$

Hier handelt es sich um die Theorie des Umherirrens mit veränderlichen Schritten. Die Expektanz des einzelnen Vektors ergibt sich zu

$$l = \sqrt{\frac{\sum c_i^2}{8}} = 0.782.$$

Also ist die Expektanz des gemittelten Vektors nach der Theorie

$$l_m = \frac{l}{\sqrt{8}} = 0.276.$$

Fig. 2 macht das Resultat ganz anschaulich.

Man bekommt hier $c_m/l_m = k = 1.33$. Die Wahrscheinlichkeit⁴⁾ für Überschreitung dieses Wertes ist ungefähr 0.175. Obwohl mehr Vektoren sich scheinbar in März und April sammeln, doch kann man mit dieser Wahrscheinlichkeit nichts über jahreszeitliche Schwankung schließen.

Zu nächst wird Jahresschwankung der allen Erdbeben nämlich gefühlten und ungefühlten Beben zusammen in ganz ähnlicher Weise untersucht. Das Rechenverfahren ist in Tabelle V zusammengestellt.

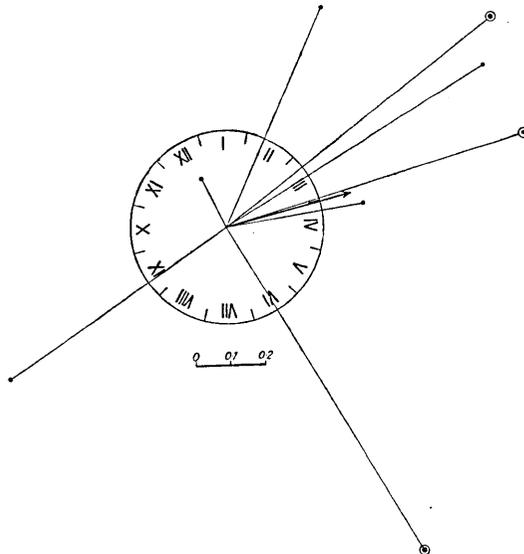


Fig. 2. Jahresschwankung der Erdbebenhäufigkeit (gefühlte) in Sanriku-Oki.

Ziffer zeigt die Monate.

Radius des Kreises zeigt die Expektanz des gemittelten Vektors. Vektor mit Pfeil ist der gemittelte Vektor.

Vektor mit Punkt im Kreis: über $\kappa = 2.2$.

4) $W'(k) = e^{-k^2}$.

Tabelle V.

Analyse der Jahresschwankung der Bebenhäufigkeit (gefühl und ungefühl zusammen) in Sanriku-Oki.

Jahr	a_0	a_1	b_1	a_1/a_0	b_1/a_0	ε	c_1^2	c_1	c_1/ε	$W(\varepsilon)$
1926	5.77	-1.95	-1.66	-0.338	-0.288	0.204	0.197	0.44	2.17	0.025
27	3.70	0.83	0.73	0.222	0.128	0.256	0.021	0.15	0.57	0.77
28	12.60	-13.85	10.60	-1.10	0.84	0.138	1.91	1.38	10.0	0.000
29	7.00	-3.12	-0.85	-0.446	-0.123	0.186	0.214	0.46	2.49	0.008
30	3.15	1.92	1.81	0.625	0.574	0.277	0.719	0.85	3.07	0.0006
31	3.15	1.08	1.35	0.343	0.429	0.277	0.302	0.55	1.99	0.044
32	13.00	18.03	0.83	1.38	0.064	0.136	1.908	1.38	10.2	0.000
33	145.20	98.00	211.6	0.675	1.46	0.041	2.585	1.61	39.3	0.000
Summe				1.161	3.084		7.856			
				$l=0.992$,	$l_m=0.350$,		$c_m=0.411$,		$c_m/l_m=1.18$.	

Außer 1926, 1927 und 1931 sind die Vektoren für sich zweifellos als Realität. Der im ganzen Intervalle gemittelte Vektor ergibt sich zu

$$\sum \frac{a_1}{a_0} / 8 = 0.145, \quad \sum \frac{b_1}{a_0} / 8 = 0.385,$$

$$c_m = 0.411.$$

Die Expektanz des einzelnen Vektors ist gleich $l = \sqrt{\frac{\sum c_1^2}{8}} = 0.992$,

und die des gemittelten Vektors ist

$$l_m = \frac{l}{\sqrt{8}} = 0.350.$$

$$lc = \frac{c_m}{l_m} = 1.175, \quad W'(lc) = 0.25.$$

Hier kann man wieder nichts über die jahreszeitliche Schwankung der Bebenhäufigkeit schliessen. Das ganze Verfahren ist in Fig. 3 anschaulich gemacht.

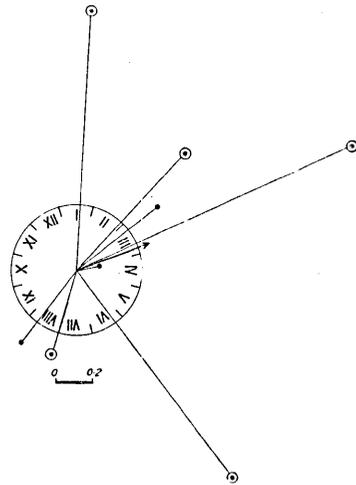


Fig. 3. Jahresschwankung der Bebenhäufigkeit (alle Beben) in Sanriku-Oki.

Ziffer: die Monate.

Radius des Kreises zeigt die Expektanz des Gemittelten Vektors.

Vektor mit Pfeil ist der gemittelte Vektor.

Vektor mit Punkt in Kreis: über $k=2.49$

4. **Zeitlicher Verlauf der Erdbebenhäufigkeit nach dem Großbeben.**
Tägliche Häufigkeit der Erdbeben in Sanriku-Oki nach dem Großbeben
ist bis zum Juli in Tabelle VI gegeben.

Tabelle VI.

Tägliche Häufigkeit des Nachbebens. (Summe gefühlte Beben und ungefühlte.)
Zahl in Klammer: gefühlte Beben. Datum. L. Z. 135°E.

Datum.	Häufigkeit	Datum.	Häufigkeit	Datum.	Häufigkeit	Datum.	Häufigkeit	Datum.	Häufigkeit
		IV 1	9 (3)	V 1	1	VI 1	0	VII 1	3
		2	12	2	8	2	0	2	3
III 3	426 (19)	3	8	3	6	3	0	3	3 (1)
4	195 (9)	4	7	4	4	4	1	4	0
5	119 (2)	5	2	5	6	5	1	5	3
6	98	6	5	6	1	6	0	6	2
7	76	7	5 (1)	7	1	7	2	7	1
8	79 (1)	8	11	8	1	8	0	8	1 (1)
9	30 (1)	9	56 (4)	9	2	9	2 (1)	9	1
10	42	10	37	10	6	10	1	10	1 (1)
11	19	11	12	11	4	11	1	11	0
12	22	12	7	12	5	12	2	12	0
13	11	13	2	13	0	13	9 (1)	13	1
14	19	14	6	14	0	14	1	14	0
15	14	15	5 (1)	15	1	15	0	15	2
16	14	16	5	16	0	16	1	16	3
17	4	17	6	17	4	17	0	17	0
18	8	18	2	18	0	18	3	18	3
19	17	19	2 (1)	19	2	19	5 (1)	19	0
20	13	20	8	20	4	20	2	20	1
21	8	21	9	21	24	21	1	21	2 (1)
22	6	22	3	22	8	22	0	22	2 (1)
23	13	23	16 (2)	23	6	23	2 (1)	23	3
24	13	24	2	24	1 (1)	24	2	24	0
25	1	25	4	25	1	25	3 (1)	25	1
26	7	26	2	26	0	26	1	26	0
27	5	27	2	27	2	27	3	27	1
28	8	28	0	28	0	28	0	28	1
29	1	29	2	29	0	29	0	29	0
30	2	30	1	30	0	30	1	30	1
31	1			31	0			31	0

Hyperbolische Abflutung der Nachbebenhäufigkeit ist bisher manchmal gemerkt worden.

Eine Formel $y = \frac{a}{b+t}$ annehmend, werden die Konstanten a , b ganz formal mit der Methoden der kleinsten Quadrat bestimmt, indem der 3. März als Anfangspunkt der Zeit genommen ist und die Berechnung bis zum Ende März erstreckt ist. Dann bekommt man folgende Formel.

$$y_1 = \frac{177.8}{.0065 + t}.$$

Wenn man die Zahl am Bebenstag (dem 3. März L. Z.) ausnimmt, bekommt man

$$y_2 = \frac{159}{t - 0.87}.$$

Die beobachtete tägliche Häufigkeit und diese Kurven sind in Fig. 4 gezeigt.

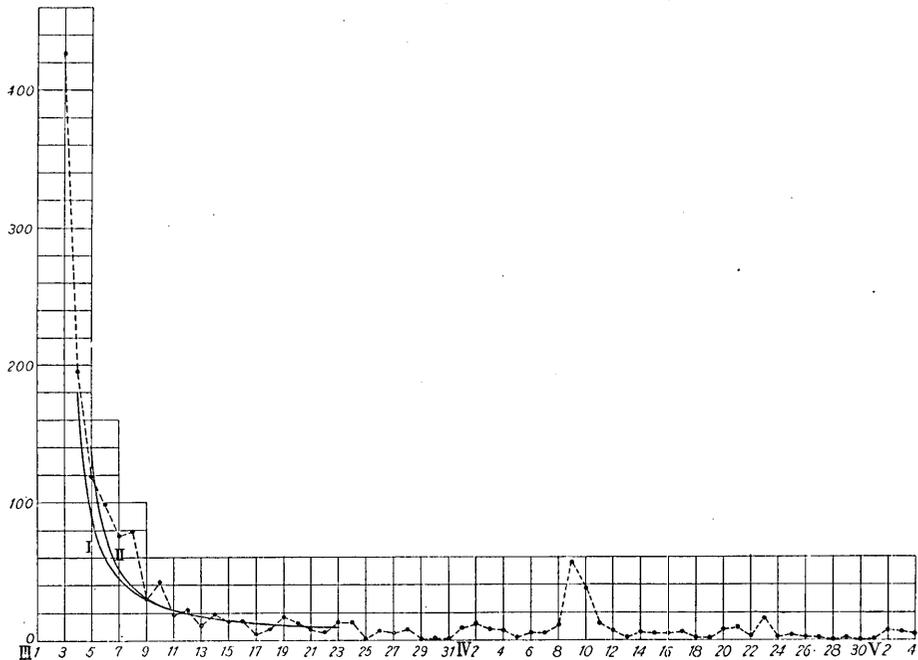


Fig. 4.

$$\text{Kurve I, } y = \frac{177.8}{.0065 + t} . \quad \text{Kurve II, } y = \frac{159}{t - 0.87} .$$

Die Bebenhäufigkeit flaute mit der Zeit schwankend ab, und zwar

im ersten Anblick ähnlich wie Hyperbelkurve. Aber die Abweichung von der Formel ist wie folgt (Tabelle VII).

Tabelle VII.

<i>t</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$y-y_1$	-27000	+17	+30	+33	31	43	1	17	-3	3	-7	3	-1
$y-y_2$		-1030	-23	+23	25	40	-1	16	-3	4	-6	3	0
y	425	195	119	98	76	79	30	42	19	22	11	19	14

<i>t</i>	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$y-y_1$	0	-9	-4	6	3	-2	-3	4	5	-7	-1	-2	1
$y-y_2$	1	-8	-3	7	3	-1	-3	5	5	-7	0	-2	1
y	14	4	8	17	13	8	6	13	13	1	7	5	8

Die Abweichung ist immer groß in der Nähe vom Hauptbeben. Lange nach dem Hauptbeben scheint es doch natürlich, daß die Abweichung immer kleiner wird, weil die Asymptote der Hyperbel parallel zur Zeitachse ist. Als ein Physikalisches Gesetz mag die Hypelbel-formel zu groß sein. Das gilt auch von exponentiellen Formeln.

5. **Untersuchungen über tägliche Schwankung des Nachbebens.**⁷⁾ Die Häufigkeit der Nachbeben ist stundenweise in Tabelle VIII zusammengestellt.

Tabelle VIII.
Stündliche Häufigkeit des Nachbebens.

Datum	III	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
0~1	13	3	1	4	4	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	
1~2	7	6	4	1	4	0	5	1	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	
2~3	4	12	7	8	6	4	0	2	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	
3~4	29	8	3	3	4	4	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
4~5	39	9	5	8	3	2	1	2	1	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	
5~6	31	6	4	5	0	2	3	2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
6~7	32	5	5	2	4	1	2	0	1	1	0	1	0	0	0	0	3	1	0	1	2	0	0	1	0	1	

(Fortsetzung folgt.)

5) Definition des Nachbebens. Wenn in einem beschränkten Teil der Erde Erdbeben mit übernormaler Häufigkeit vorkommen, so ist die ganze Menge von allen diesen Erdbeben ein Bebenschwarm genannt. Die Beschränktheit des Gebietes zeichnet sich durch Dichtigkeit der Raumverteilung der Hypozetren aus. Das allergrößte Erdbeben in dem Erdbebenschwarm ein Hauptbeben genannt. Alle Erdbeben in diesem Schwarm, welche nach dem Hauptbeben entstehen, sind Nachbeben. Vorfall von mehreren sekundären Häufigkeitsmaxima wird nicht ausgeschlossen.

Tabelle VIII. (Fortsetzung.)

Datum Uhr	III	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
7~8	21	9	8	4	1	4	1	1	4	1	1	0	0	1	1	0	4	1	1	0	0	1	0	0	1	0	
8~9	19	7	4	6	3	4	3	1	0	1	0	2	2	0	0	0	1	0	0	2	0	1	0	0	0	1	
9~10	19	11	6	1	2	1	1	1	1	1	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
10~11	17	4	2	5	3	2	1	2	0	2	0	1	3	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	2	
11~12	16	6	10	3	1	3	1	5	0	2	0	0	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12~13	22	8	2	4	3	2	1	1	0	2	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
13~14	20	7	5	6	6	3	1	0	2	1	0	3	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	
14~15	17	6	8	3	4	2	2	3	0	4	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	
15~16	17	9	7	5	3	3	1	2	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	
16~17	12	9	5	2	8	2	2	3	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	1	0	
17~18	18	6	7	8	2	3	1	2	1	1	0	0	1	2	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	
18~19	18	10	3	5	3	3	1	2	1	0	1	0	0	2	0	2	1	0	0	3	2	0	0	0	0	0	
19~20	22	8	5	3	7	2	4	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	3	0	1	1	0	0	1	0	0	
20~21	9	8	5	3	4	6	0	2	2	0	2	0	0	2	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	
21~22	13	5	3	4	2	5	1	1	0	0	1	2	0	1	0	0	1	2	1	0	1	1	1	1	1	0	
22~23	5	8	1	3	1	8	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2	0	1	
23~24	7	5	3	2	1	4	1	2	3	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	

Diese Beobachtung ist in ganz ähnlicher Weise wie im 3. Abschnitt untersucht. Das Rechenverfahren ist in Tabelle IX dargestellt.

Merkwürdigerweise hat jede tägliche Schwankung der Häufigkeit außer der vom 19. März beträchtliche Wahrscheinlichkeit als Zufall. In Bezug auf die halbtägige Schwankung scheinen sie alle zufällige Verteilung der Entstehung zu haben.

Die Verhältnis der gemittelten Amplitude der Schwankung zu der Expektanz ist auch klein. Also kann man hier auch nichts über tägliche Schwankung der Häufigkeit

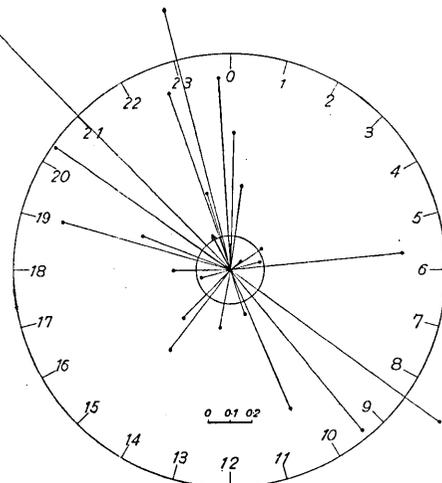


Fig. 5. Eintägige Schwankung der Nachbeben des Großanrikubebens im 1933.
Vektor mit Pfeil: der gemittelte Vektor.
Radius des inneren Kreises: Expektanz des gemittelten Vektors.

Tabelle IX.

Analyse der täglichen Schwankung der Bebenhäufigkeit in Sanriku-Oki nach dem Großbeben vom 1933.

Datum	a_0	a_1	b_1	a_2	b_2	a_1/a_0	b_1/a_0	c_1^2	c_1	a_2/a_0	b_2/a_0	c_2^2	c_2	ϵ	c_1/ϵ	c_2/ϵ
III 5	4.80	-.97	.32	-.23	.79	-.20	.07	.045	.21	-.05	.17	.029	.17	.162	1.30	1.01
6	4.08	.15	.20	-.19	.96	-.04	.05	.004	.06	-.05	.24	.057	.24	.173	.35	1.39
7	3.20	-.01	-.84	.09	.89	-.00	-.26	.069	.26	.03	.28	.078	.28	.198	1.31	1.41
8	3.16	1.10	-.35	.57	-.72	.35	-.11	.134	.37	.18	-.23	.085	.29	.199	1.86	1.46
9	1.20	-.32	-.06	-.62	-.09	-.27	-.05	.073	.27	-.51	-.08	.269	.52	.323	.84	1.61
10	1.68	-.06	-.22	.48	.40	-.10	-.13	.019	.14	.29	-.24	.139	.37	.273	.51	1.35
11	.76	.07	.11	-.21	-.27	.10	.14	.029	.17	-.28	-.35	.201	.46	.406	.42	1.13
12	.88	-.56	.25	.58	.03	-.63	.28	.477	.69	.66	.03	.430	.66	.378	1.83	1.75
13	.48	.39	-.14	.10	.15	.80	-.29	.725	.85	.20	.31	.138	.37	.511	1.66	.72
14	.76	.09	-.00	.42	.08	-.12	-.00	.014	.12	.55	.11	.309	.56	.406	.30	1.38
15	.56	-.41	.34	.30	.14	-.74	.61	.911	.96	.53	.25	.344	.59	.473	2.03	1.25
16	.56	.31	-.45	-.37	-.10	.56	-.81	.960	.98	-.66	-.18	.462	.68	.473	2.07	1.44
17	.16	.06	.01	-.25	.11	.38	.05	.147	.38	1.55	-.69	2.87	1.70	.885	.44	1.92
18	.32	-.07	-.07	-.21	.03	-.22	-.22	.096	.31	-.66	-.09	.443	.67	.625	.50	1.07
19	.68	-.48	.65	-.31	-.42	-.70	.96	1.410	1.19	-.46	-.62	.585	.77	.430	2.77	1.79
20	.56	-.09	-.23	-.22	.03	.15	-.41	.186	.43	-.39	-.06	.152	.39	.473	.91	.82
21	.32	.07	-.25	0	-.08	.21	-.77	.640	.80	0	-.25	.063	.25	.627	1.27	.40
22	.28	.02	.22	-.07	-.18	.07	.79	.633	.80	-.25	-.64	.463	.68	.670	1.19	1.01
23	.52	.33	.00	.01	.03	.63	.01	.390	.63	.02	-.06	.003	.06	.491	1.28	.12
24	.52	-.19	-.14	-.07	.18	-.37	-.28	.212	.46	-.13	.34	.135	.37	.491	.94	.75
25	.04	.06	-.06	0	.08	1.42	-.1.42	4.04	2.01	0	2.00	4.00	2.00	1.77	1.14	1.13
26	.28	.33	-.09	-.04	-.23	1.19	-.30	1.51	1.23	-.14	.82	.690	.88	.670	1.84	1.24
27	.24	.21	-.01	.04	-.01	.88	-.05	.768	.88	.17	-.04	.030	.17	.723	1.22	.24
28	.32	-.01	-.04	-.03	-.35	-.03	.13	.019	.14	-.09	-.1.08	1.173	1.08	.626	.22	1.43
Σ						3.76	-.2.01	13.51		.51	.80	13.15				
Mittel						.16	-.08			.02	.03					

$$l_1 = .752, \quad l_{1m} = .153, \quad c_{1m} = .18, \quad \frac{c_{1m}}{l_{1m}} = 1.17, \quad l_2 = .74, \quad l_{2m} = .151, \quad c_{2m} = .04, \quad \frac{c_{2m}}{l_{2m}} = .27.$$

schliessen. Expektanz der Schwankung für jede Periode (eintägig und halbtägig) ist fast gleich mit einander, was im Falle der zufällige Entstehung natürlich als Prinzip der Gleichverteilung der Schwankung (Equipartition of variance) erwartet wird. Das ganze Rechenverfahren ist in Fig. 5 ersichtlich.

6. Raumverteilung der Epizentren im Sanriku-Oki Gebiet im 1933. Raum- und Zeitkoordinaten der Beben sind in Tabelle X zusammengestellt, insofern sie gegeben worden sind.

Tabelle X.

M. Merkwürdig (Kentyo): über 300 Km gefühlt.

Z. M. Ziemlich Merkwürdig (Yaya Kentyo): bis 300~200 Km gefühlt.

K. Klein: innerhalb 200 Km gefühlt.

Datum			λ	φ	Bemerkung	
1933 I	d	h	m			
	4	0	27	144°0	40°4	Z. M.
	7	13	07	144°0	40°3	M.
	7	"	54	143°4	40°3	Z. M.
	7	1	00	141°0	38°0	K.
	7	15	24	143°7	40°3	K.
	7	18	15	144°0	40°4	K.
III	3	2	31	144°4	39°15	M. Das Hauptbeben.
	3	2	40	144°2	40°1	M.
	3	2	57	144	39	M.
	3	3	26	144	39	M.
	3	3	44	143	40	Z. M.
	3	3	48	144°2	40°5	Z. M.
	3	4	42	143°2	39°4	M.
	3	5	07	143	40°6	M.
	3	5	42	144°6	39°3	M.
	3	6	48	143	39°2	K.
	3	7	35	143°7	39°6	Z. M.
	3	8	58	142°8	39°4	K.
	3	9	43	142°4	39°8	K.
	3	13	38	143°6	39	Z. M.
	3	18	13	143	39	M.
	3	18	39	143	39	M.
	3	19	04	144	39	M.
3	19	32	143	39°7	M.	
3	20	57	145	38°2	M.	
4	0	02	144°4	39	M.	
4	0	08	144	39°4	M.	

(Fortsetzung folgt.)

Tabelle X. (Fortsetzung.)

Datum			λ	φ	Bemerkung
III	d	h m			
	4	0 51	143·7	39°	M.
	4	1 12	145·1	39·1	Z. M.
	4	3 47	143·8	38·8	Z. M.
	4	4 08	144·4	39	M.
	4	4 51	143·5	39·3	Z. M.
	4	5 20	143·5	39·5	Z. M.
	4	21 40	144·8	39·2	M.
	5	5 28	144·7	39·3	M.
	5	10 26	143·5	39·4	Z. M.
	8	10 36	144	39·6	M.
	9	18 55	143·4	39·6	K.
IV	2	0 59	143·5	39·5	M.
	2	7 41	144·8	38·6	M.
	2	19 11	144·0	39·4	M.
	7	0 12	144·3	39·7	M.
	9	11 47	144·0	39·2	M.
	9	11 57	144·0	39·3	Z. M.
	9	15 28	144·0	39·4	Z. M.
	9	19 30	144·2	39·2	M.
	15	20 09	144·2	40·5	Z. M.
	19	11 55	144·5	39·6	M.
	23	16 14	143·6	39·7	M.
	23	16 26	143·3	39·4	K.
V	24	8 34	143·9	39·5	M.
VI	9	3 11	144·0	40·2	M.
	13	6 08	141·7	38·8	M.
	19	6 37	142·8	38·5	M.
	25	10 48	143·4	39·4	K.
VII	3	1 48	142·8	40·1	Z. M.
	10	9 22	144·8	38·9	M.
	21	8 14	144·8	38·5	M.
VIII	7	9 42	144·7	39·4	M.
IX	21	18 48	143·0	39·3	Z. M.
	12	14 05	143·6	39·6	K.
	21	22 42	143·3	39·4	K.
	25	1 06	143·0	39·3	K.
XI	28	04 14	143·2	39·7	Z. M.

Fig. 6 zeigt die Raumverteilung der Beben, die in Tabelle X gegeben sind.

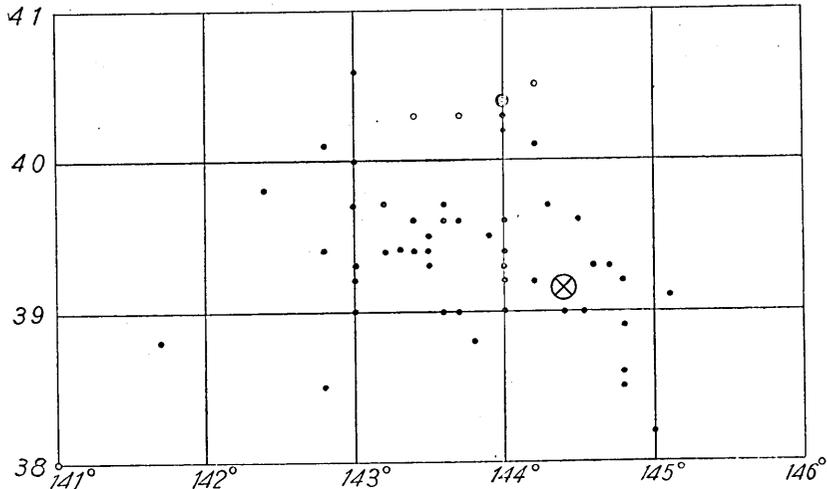


Fig. 6. Verteilung der Nachbeben des Großbebens vom 1933.

Kreuz im Kreis: Hauptbeben.

Punkt: Nachbeben.

Kreis: Bebenschwarm im Januar.

Ganz merkwürdigerweise liegt das Hauptbeben ziemlich seitlich im Bebengebiet. Diese merkwürdige Tatsache wird nachher auch in anderen Fällen verifiziert und diskutiert.

7. **Über die Folge der Entstehung.** Bei Untersuchungen der Nachbeben ist manchmal vermutet, daß es irgendeine räumliche Persistenz der hintereinander folgenden Nachbeben gäbe. Hier werden zu diesem Zwecke Vektoren von der folgenden Bedeutung gebildet.

$$A_{\mu} = \lambda_{\mu+1} - \lambda_{\mu},$$

$$\Phi_{\mu} = \varphi_{\mu+1} - \varphi_{\mu},$$

wo $\lambda_1 = 144.40^{\circ} \text{E}$, $\varphi_1 = 39.15^{\circ} \text{N}$,

λ_{μ} , φ_{μ} , Koordinaten des vom Hauptbeben μ ten Bebens in Tabelle X. Zu diesen Vektoren kann man hier auch zweckmäßig die Theorie des Umherirrens anwenden. Diese Vektoren sind in Fig. 7 gezeigt.

Expektanz von A , Φ heißt $l = \sqrt{\frac{\sum (A_{\mu}^2 + \Phi_{\mu}^2)}{57}} = 1.11$, und $l_m = 0.15$.

$$\sum A_{\mu}/57 = -0.02, \quad \sum \Phi_{\mu}/57 = 0.007. \quad C_m/l_m = 0.14.$$

Also als ganzes hat es keine Persistenz.

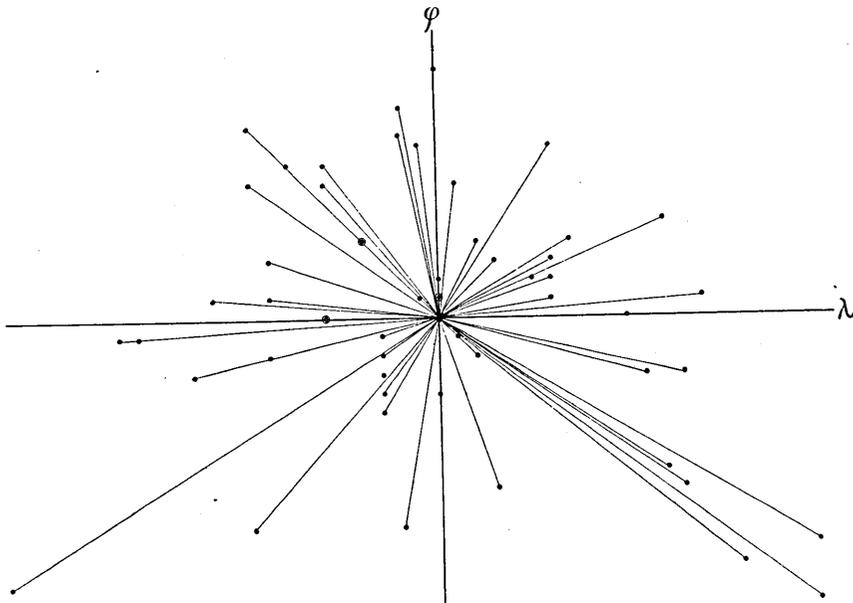


Fig. 7.

Zunächst bilde man folgende Vektoren;

$$\begin{cases} {}_2A_\mu = A_\mu + A_{\mu+1}, \\ {}_2\Phi_\mu = \Phi_\mu + \Phi_{\mu+1}, \\ \\ {}_3A_\mu = A_\mu + A_{\mu+1} + A_{\mu+2}, \\ {}_3\Phi_\mu = \Phi_\mu + \Phi_{\mu+1} + \Phi_{\mu+2}, \\ \dots \end{cases}$$

und $({}_2l)$, $({}_3l)$, Expektanz des einzelnen Vektors.

Bei der zufälligen Verteilung ist nach Wahrscheinlichkeitstheorie

$$l = \frac{({}_2l)}{\sqrt{2}} = \frac{({}_3l)}{\sqrt{3}} = \dots \dots \dots,$$

bei der vollständigen Persistenz

$$l = \frac{({}_2l)}{2} = \frac{({}_3l)}{3} = \dots \dots \dots,$$

und bei Quasi-persistenz

$$l < \sqrt{2} ({}_2l) < \sqrt{3} ({}_3l) < \dots \dots \dots$$

In diesem Falle bekommt man

$$l = 0.15, \quad {}_2l = 0.154, \quad {}_3l = 0.150. \quad \dots \dots \dots$$

Merkwürdigerweise ist jede Expektanz fast gleich mit einander. Das kommt sicher von spezieller Reihenfolge der Vektoren her.

Es sei $A_\mu = C_\mu \cos \theta_\mu$, $\phi_\mu = C_\mu \sin \theta_\mu$,
dann

$$\begin{aligned} ({}_2l)^2 &= \frac{1}{n} \sum (C_\mu \cos \theta_\mu + C_{\mu+1} \cos \theta_{\mu+1})^2 + \frac{1}{n} \sum (C_\mu \sin \theta_\mu + C_{\mu+1} \sin \theta_{\mu+1})^2 \\ &= \frac{1}{n} \sum (C_\mu^2 + C_{\mu+1}^2) + \frac{2}{n} \sum C_\mu C_{\mu+1} \cos(\theta_\mu - \theta_{\mu+1}). \end{aligned}$$

Wenn n groß ist,

$$({}_2l)^2 = \frac{2}{n} \sum C_\mu^2 + \frac{2}{n} \sum C_\mu C_{\mu+1} \cos(\theta_\mu - \theta_{\mu+1}).$$

Wenn die Verteilung der Vektoren ganz zufällig ist,

$$({}_2l)^2 = 2(l^2),$$

was schon erwähnt ist.

Unser Fall sagt,

$$({}_2l)^2 = (l)^2,$$

nämlich,

$$\frac{2}{n} \sum C_\mu C_{\mu+1} \cos(\theta_\mu - \theta_{\mu+1}) = -\frac{1}{n} \sum c_\mu^2.$$

Bei zufälliger Verteilung von C_μ bekommt man diese Folge, wenn

$$\cos(\theta_\mu - \theta_{\mu+1}) = -\frac{1}{2}, \text{ nämlich } \theta_\mu - \theta_{\mu+1} = \pm 120^\circ,$$

was leicht bewiesen wird. Wenn diese Bedingung erfüllt ist, dann ist wieder $({}_3l)^2 = (l)^2$ u. s. w. In solchem Fall kann man höheren Wert von k erwarten, wenn man jeden hintereinander folgenden vierten Vektor $(\lambda_\mu, \varphi_\mu)$, $(\lambda_{\mu+3}, \varphi_{\mu+3})$ u. s. w. auswählt.

Z. B. vom λ_1, φ_1 anfangend, ergibt sich zu

$$(l_m)_4 = 0.26, \quad (C_m)_4 = 0.362.$$

Also $(C_m)_4 / (l_m)_4 = 1.4$, was wirklich größer ist als $\frac{C_m}{l_m} = 0.14$.

Aber dieser Wert $k=1.4$ lässt natürlich noch keine Persistenz mehr als Zufälligkeit schliessen.

8. **Zeitverlauf der Häufigkeit der Nachbeben vom Nord-Idu-Grossbeben vom 26. Nov. 1930.** Stündliche Häufigkeit der Nachbeben ist von S. Sagisaka⁶⁾ gegeben.

6) S. SAGISAKA, *Kensin-Zihô* (Erdbebenberichte), 5 (1931), 136~137; Tabelle III.

Bei diesem Fall war die Abflautung der Bebenhäufigkeit ganz anders als Hyperbelformel. Man kann sie in mehrere Schwärme einteilen. Vom 27. Nov. 1930 bis zum 27. Dez. 1930 sind sie wieder in eintägige und halbtägige Schwankung analysiert. (Tabelle XI)

In diesem Falle sind die Tagesschwabungen am 27., 28., 30. Nov., 2., 5., 7., 10., und 25. Dez. ganz sicher als Realität.

In ganz ähnlicher Weise wie in Abschnitt 3 wird wieder Tagesperiodizität untersucht. Mit denselben Rechenzeichen bekommt man

$$k_1 = C_{1m}/l_{1m} = 2.25, \quad W'(k_1) = .006,$$

$$k_2 = C_{2m}/l_{2m} = 1.14, \quad W'(k_2) = .27.$$

Also ist die eintägige Schwabung ziemlich wahrscheinlich als Realität. Die halbtägige Schwabung muß dagegen nur als Zufall angesehen werden. Das ganze Verfahren für eintägige Schwabung ist in Fig. 8 gezeigt.

Die Summe der eintägigen Schwabungen ist in Fig. 9 ersichtlich, was sehr merkwürdig ist.

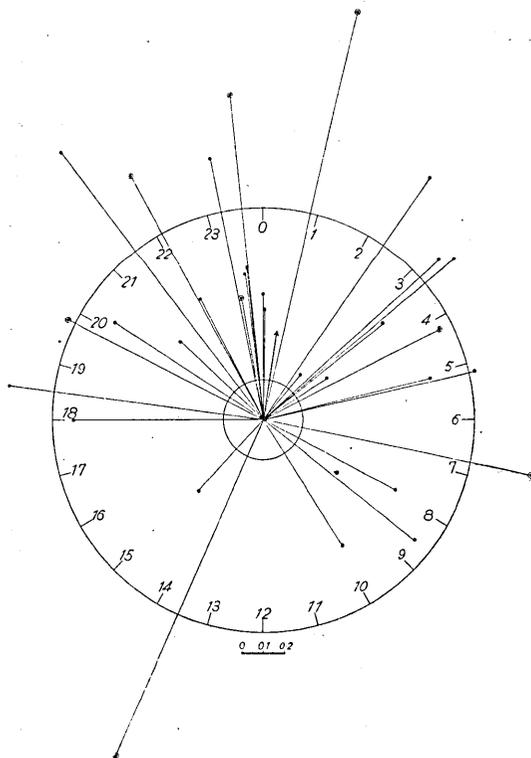


Fig. 8.

Punkt im Kreis: Vektor mit großer Wahrscheinlichkeit.
 Vektor mit Pfeil: der gemittelte Vektor.
 Der innere Kreis: mit Radius von Expektanz.

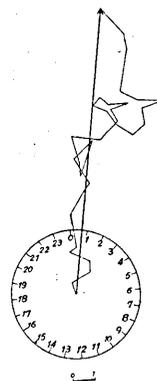


Fig. 9. Summe der eintägigen Schwabungen der Nachbeben des Groß-Nord-Idu-Bebens im 1930.

In Fig. 8 oder in Fig. 9 sieht man den Summenvektor zwischen

Tabelle XI.
Analyse der täglichen Schwankung der Bebenhängigkeit in Nord-Idu nach dem Großbeben vom 1930.

Datum	a_0	a_1	b_1	a_2	b_2	$\frac{a_1}{a_0}$	$\frac{b_1}{a_0}$	$\frac{a_2}{a_0}$	$\frac{b_2}{a_0}$	$\sqrt{\frac{\pi}{n}}$	c_1^2	c_1	c_2^2	c_2
XI 27	4.44	2.54	-0.45	0.04	0.42	0.572	-1.01	0.010	0.095	0.168	0.337	0.581	0.009	0.095
28	3.48	1.47	2.91	-1.79	0.30	0.423	0.837	-0.515	0.085	0.190	0.879	0.938	0.272	0.522
29	1.40	0.73	0.01	-0.07	0.24	0.520	0.008	-0.050	0.169	0.299	0.270	0.520	0.031	0.716
30	1.32	0.62	-1.22	-0.79	-0.31	0.468	-0.925	-0.600	-0.283	0.308	1.075	1.04	0.414	0.644
XII 1	0.76	0.15	0.23	-0.05	0.19	0.193	0.304	-0.066	0.249	0.360	0.130	0.360	0.066	0.258
2	4.56	7.00	-0.70	3.59	-2.94	1.53	-1.54	0.788	-0.623	0.166	2.37	1.54	1.009	1.004
3	9.08	10.39	7.19	4.12	9.00	1.14	0.792	0.458	0.99	1.17	1.927	1.338	1.19	1.09
4	1.16	0.25	0.20	0.26	0.72	0.211	0.175	0.225	0.622	0.329	0.075	0.274	0.438	0.661
5	1.52	1.75	-0.96	0.39	-0.80	1.15	-0.632	0.256	-0.524	0.287	1.72	1.31	0.340	0.583
6	0.60	0.45	0.50	-0.20	0.36	0.75	0.833	-0.33	0.597	0.457	1.256	1.121	0.465	0.682
7	8.28	-13.09	-5.80	9.41	8.90	-1.58	-0.70	1.14	1.07	0.123	2.986	1.728	2.245	1.498
8	0.60	0.36	0	0.05	0.26	0.594	0	0.080	-0.432	0.457	0.353	0.594	0.193	0.439
9	0.12	0.15	-0.03	-0.02	-0.02	1.23	-0.25	-0.125	-0.125	1.02	1.575	1.255	0.0312	0.177
10	18.05	-4.81	22.90	-10.02	0.05	-0.266	1.27	-0.557	0.003	0.083	1.684	1.293	0.310	0.557
11	0.52	0.39	0.47	0.28	0.15	0.752	0.907	0.539	0.287	0.490	1.388	1.178	0.373	0.611
12	1.40	0.79	-0.42	1.35	-0.30	0.565	-0.299	0.965	-0.213	0.299	0.409	0.639	0.977	0.988
13	0.80	0.15	0.64	0	0.31	0.192	0.794	0	-0.386	0.396	0.667	0.817	0.149	0.386
14	0.36	0	-0.32	-0.19	0.19	0	-0.903	-0.525	-0.525	0.590	0.816	0.903	0.551	0.742
15	0.44	0.16	-0.17	0.29	-0.27	0.362	-0.395	0.659	-0.612	0.533	0.287	0.536	0.809	0.899
16	0.24	-0.08	-0.07	0	0.08	-0.333	-0.308	0	-0.333	0.723	0.206	0.454	0.111	0.333
17	0.64	-0.21	0.40	0.20	-0.54	0.628	0.628	0.308	-0.843	0.443	0.503	0.710	0.806	0.898
18	0.40	0.24	0.15	0.26	0.21	-0.590	-0.378	0.648	-0.562	0.560	0.491	0.701	0.736	0.858
19	0.44	-0.25	0.32	-0.03	0.31	-0.562	0.718	-0.066	-0.698	0.831	0.912	0.912	0.492	0.701
20	0.16	0.07	0.16	-0.14	-0.08	0.45	0.569	-0.863	-0.50	0.885	0.526	0.726	0.995	0.997
21	0.32	0.23	-0.02	-0.29	-0.12	-0.075	-0.075	-0.901	-0.325	0.625	0.518	0.720	0.917	0.958
22	0.32	0.07	0.32	-0.36	0	0.223	1.005	-1.12	0	0.625	1.060	1.030	1.254	1.12
23	0.08	0.27	-0.10	0.04	0.01	0.160	-1.21	0.50	0.130	1.25	1.490	1.221	0.267	0.517
24	0.60	0.27	-0.42	-0.41	-0.11	0.458	-0.705	-0.680	-0.183	0.457	0.702	0.438	0.496	0.704
25	0.32	0.62	0.14	0.55	0.27	1.92	0.45	1.71	0.841	0.625	3.89	1.972	0.363	1.91
26	0.12	0.08	-0.01	0.23	0.04	0.687	-0.086	1.91	-0.333	1.02	0.479	0.692	2.76	1.66
27	0.08	0.10	-0.08	0.01	-0.04	1.26	-0.965	1.30	-0.50	1.25	2.52	1.59	0.267	0.517
Σ						12.86	1.96	3.93	3.72		33.42		22.6	
Mittel						0.415	-0.63	0.127	0.120					
		$l_{1m} = 187,$	$C_{1m} = 420,$	$\frac{C_{1m}}{l_{1m}} = 2.25,$	$l_{2m} = 153,$	$C_{2m} = 175,$	$\frac{C_{2m}}{l_{2m}} = 1.14,$							

24^h und 1^h Mitternacht liegen. In Fig. 8 ist auch auffällig, daß sich mehrere Vektoren in der Nacht als am Tage sammeln. Das erinnert uns an irgendeine Korrelation mit Temperaturverlauf, was E. Tams⁷⁾ auch bei der vogtländischen Erdbebenschwärmern bemerkt hatte.

Fig. 10 zeigt den Barometerverlauf, die dritteltägige (6^h, 14^h, 22^h) Temperatur, c_1 und a_0 . Temperatur um 6^h und 14^h entspricht im allgemeinen respektiv dem Minimum und Maximum am gewöhn-

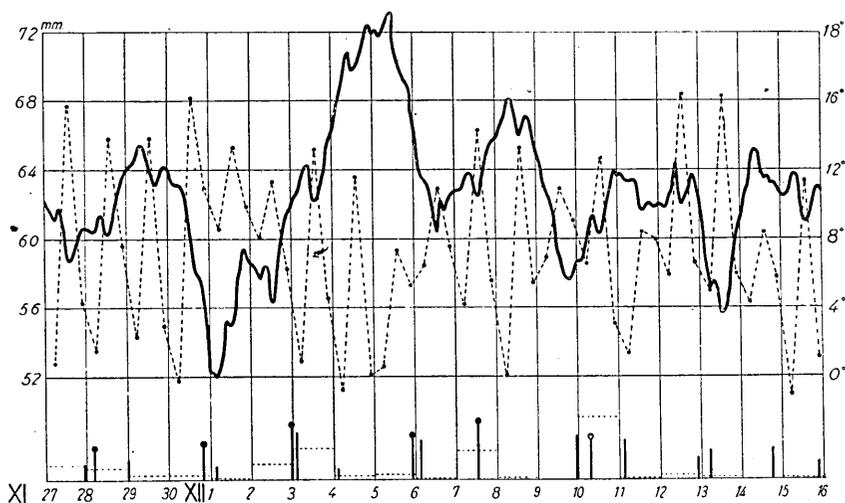


Fig. 10. Ausgezogene Kurve: Barometer. Gestrichene Linie mit Punkt: Dritteltägige Temperatur in Misima. Ausgezogene Ordinate ganz unten: c_1 in Tabelle X. Gestrichene horizontale Linie: a_0 in Tabelle X.

lichen Tag. Wir sehen in Fig. 10 merkwürdige Zusammenhang der Bebenschwegung mit dem Temperaturverlauf mit wenigen Ausnahmen.

Fig. 11 zeigt Gezeiten des Meeres in Mera und Bebenschwegung. Im groben Anblick scheint das Bebenmaximum im allgemeinen dem Gezeitenminimum zu entsprechen. Korrelationsausnahme z. B. am 7. Dez. entspricht dem zweiten Minimum der Gezeiten.

N. Nasu⁸⁾ u. a. oder S. I. Kunitomi⁹⁾ bemerkten solche Korrelation nur in der früheren Stufe des Bebenschwärmes. In diesem Falle fielen fast alle Gezeitenminima in der Nähe von Mitternacht, wo nächtliche Abkühlung auch heftig ist. Darum ist es möglich, daß beide Faktoren gleichzeitig zusammenwirken.

7) E. TAMS, *Z. f. Angw. Geophys.*, **1** (1925), 193~213.

8) N. NASU, F. KISHINOUE und T. KODAIRA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **9** (1931), 22~35.

9) S. I. KUNITOMI, *The Geophys. Mag. Cent. Met. Obs. Tôkyô*, **4** (1931), 79~80.

9. **Gezeiten des Meeres und Erdbebenhäufigkeit.** Die Erdbebenhäufigkeit in ihren Beziehungen zu den Gezeiten des Meeres oder zu den der festen Erde ist ein ziemlich veraltetes Problem. Doch ist es immer wieder untersucht und diskutiert.¹⁰⁾

S. Yamaguti¹¹⁾ untersuchte manche Fälle der japanischen Beben und er hat behauptet, daß einige Beziehungen bestehen. Dabei hat er leider keine wahrscheinlichkeitstheoretische Betrachtung zugeschlagen.

Hier wird auch dieses Problem für den Fall des Nord-Idu-Bebenschwarmes untersucht. Die Zeit der Mondkulmination in Tôkyô und die des niedrigsten Wasserstandes in Mera (Fig. 11) sind in Tabelle XII gezeigt.

Die Methode der Analyse ist ganz dieselbe wie vor. Zeitintervall von einem niedrigsten Wasserstandes zum nächsten niedrigsten Wasserstandes ist als Periode der Analyse genommen. Dabei sind die Minuten ungeachtet geblieben, was aber für jetzigen Zweck belanglos sein soll. Darum ist das Intervall manchmal in 24 Stunden und manchmal in 25 Stunden eingeteilt. Das ganze Rechenverfahren ist in Tabelle XIII zusammengestellt und in Fig. 12, Fig. 13 graphisch dargestellt.

Tabelle XII.

Zeit der Mondkulmination in Tokyo.
Zeit des niedrigsten Wasserstandes in Mera.

Datum	XI 27	28
Mondkulmination	17 ^h 12 ^m	17 54
der niedrigste Wasserstand	2 ^h 15 ^m	3 15

(Fortsetzung folgt.)

10) Sieh z. B. V. CONRAD, „die zeitliche Folge der Erdbeben und bebenauslösende Ursachen,“ *Handb. d. Geophys.*, 4 (1932), Lieferung 4.

11) S. YAMAGUTI, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 8 (1930), 393~408.

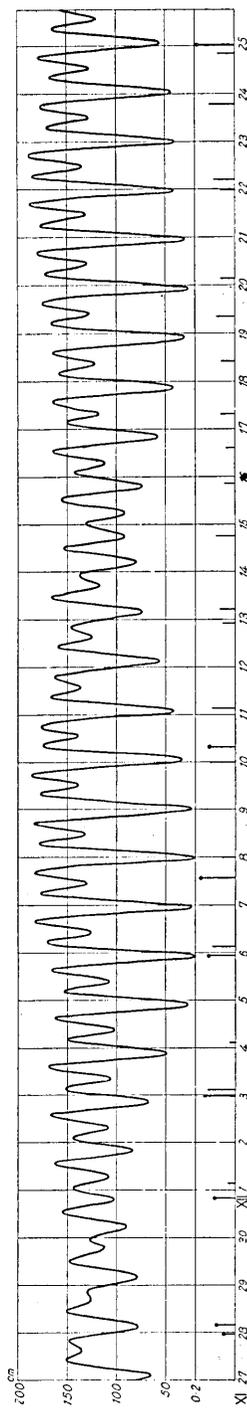


Fig. 11. Dicke Kurve, Gezeiten des Meeres in Mera. Dicke Ordinate, C_1 in Tabelle X.

Tabelle XII. (Fortsetzung.)

XI 29	30	XII 1	2	3	4	5	6 ○
18 ^h 34 ^m	19 14	19 54	20 36	21 21	22 11	23 05	
4 ^h 20 ^m	5 10	20 00	20 15	21 05	21 40	22 10	22 55
XII 7	8	9	10	11	12	13 (14
0 ^h 04 ^m	1 09	2 09	3 10	4 06	4 58	5 47	6 34
23 ^h 35 ^m		0 20	1 10	1 50	2 35	3 40	4 50
XII 15	16	17	18	19	20 ●	21	22
7 ^h 21 ^m	8 08	8 58	9 50	10 45	11 41	12 36	13 29
19 ^h 20 ^m	20 15	21 00	21 45	2 15	22 55	23 25	
XII 23	24	25	26	27)			
14 ^h 19 ^m	15 06	15 49	16 30	17 09			
0 ^h 00 ^m	1 50	1 20	1 50	2 25			

(am XII 1 und XII 15 findet der Phasensprung des niedrigsten Wassers statt.)

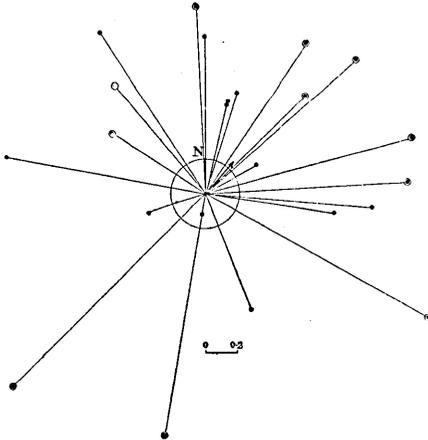


Fig. 12. Gezeiten und Erdbebenhäufigkeit. (Ein periodisch)
 N, Phase des niedrigsten Wasserstandes.
 Vektor mit Pfeil, der gemittelte Vektor.
 Kreis mit Radius der Expektanz.
 Punkt im Kreis, Vektor mit k über 2.2.

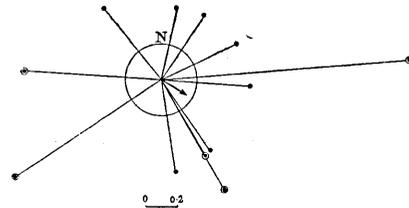


Fig. 13. Gezeiten und Erdbebenhäufigkeit. (halbperiodisch)
 N, Phase des niedrigsten Wasserstandes.
 Vektor mit Pfeil, der gemittelte Vektor.
 Kreis, mit Radius der Expektanz.
 Punkt in Kreis, Vektor mit k über 3.

Für $k_1 = \frac{C_{1m}}{l_{1m}} = 1.24$ und $k_2 = \frac{C_{2m}}{l_{2m}} = 0.80$ bekommt man respektiv $W'(k_1) = 0.214$ und $W'(k_2) = 0.527$.

Mit solchen kleinen Werten von k ist die Beziehung zwischen den Gezeiten des Meeres und der Erdbebenhäufigkeit von kleiner Bedeutung.

10. Großbeben und räumliche Verteilung der Nachbeben. Über

Tabelle XIII.

Datum	a_0	a_1	b_1	$\frac{a_1}{a_0}$	$\frac{b_1}{a_0}$	ϵ	c_1	κ_1	a_2	b_2	$\frac{a_2}{a_0}$	$\frac{b_2}{a_0}$	c_2	κ_2
XIII~2	1.24	-9.63	1.76	-7.8	1.42	.318	1.62	5.09	-7.55	-1.15	-608	-928	1.11	3.49
2~3	11.35	3.99	14.90	.352	1.31	.103	1.35	13.1	-7.80	4.51	-688	.398	.795	7.72
3~4	1.28	.233	.414	.182	.324	.313	.372	1.19	-5.63	.397	-440	.310	.538	1.72
4~5	1.31	1.55	-.071	1.18	-.054	.304	1.18	3.88	.593	-.480	.453	-.367	.569	1.87
5~6	1.04	.981	.673	.943	.647	.348	1.26	3.62	.469	.098	.451	.094	.461	1.32
6~7	7.93	-9.05	-9.71	-1.20	-1.22	.123	1.55	12.6	1.035	12.57	.130	1.58	1.59	13.0
7~8	.615	.360	.088	.585	.143	.443	.854	1.93	-.024	.346	-.039	.562	.563	1.27
9	.115	.117	-.077	1.02	-.667	1.02	1.30	1.27	-.067	.01	-.58	.087	.587	.576
10~11	18.10	1.36	23.4	.075	1.29	.084	1.31	15.6	-8.68	5.06	-.479	.280	.555	6.7
11~12	.423	.357	.408	.843	.964	.534	1.34	2.52	.175	.113	.413	.267	.492	.92
12~13	1.54	.592	-.898	.384	-.583	.280	.98	3.50	-.086	-1.34	-.056	-.870	.872	3.11
13~14	.654	.406	.419	.620	.641	.430	1.13	2.62	.151	.309	.231	.473	.527	1.23
15~16	.385	.249	.080	.647	.207	.561	.680	1.21						
16~17	.480	-.730	-.124	-.152	-.259	.512	1.540	3.01						
17~18	.50	-.067	-.007	-.134	-.015	.492	.141	.29						
18~19	.462	-.337	.135	-.730	.292	.512	.786	1.53						
19~20	.160	-.015	.170	-.094	1.06	.89	1.065	1.20						
20~21	.308	.175	.043	.569	.140	.626	.586	.94						
21~22	.350	-.0386	.262	-.121	.820	.627	.830	1.32						
22~23	.077	.0184	-.097	.239	-1.26	1.25	1.279	1.02						
24~25	.770	.530	-.444	.688	-.576	.396	.898	2.27						
25~26	.360	.555	0	.990	0	.670	.990	1.48						
26~27	.077	-.009	.028	-.115	-.357	1.25	.375	.30						
		$\sum \frac{a_1}{a_0} = 4.62,$		$\sum \frac{b_1}{a_0} = 4.27,$		$\sum \epsilon_1^2 = 25.86$			$\sum \frac{a_2}{a_0} = -1.10,$		$\sum \frac{b_2}{a_0} = 1.89,$		$\sum \epsilon_2^2 = 7.47$	
		$l_{1m} = .220,$	$c_{1m} = .274,$	$\frac{c_{1m}}{l_{1m}} = 1.24$					$l_{2m} = .228,$	$c_{2m} = .182,$	$\frac{c_{2m}}{l_{2m}} = .80$			

die Raumverteilung der Nachbeben des Großbebens vom 2. März 1933 ist schon in Abschnitt 6 (Fig. 6) einiges bemerkt. Hier werden mehrere andre Fälle gezeigt.

(1) Das Großbeben vom 26. Nov. 1930 in Nord-Idu. Vom Zeitverlauf dieses Bebens ist schon im vorigen Abschnitt die Rede gewesen. Die Raumverteilung ist in Fig. 14 ersichtlich.

Das Epizentrum des Hauptbebens war von A. Imamura¹²⁾ in $\lambda=139^{\circ}0'E$, $\varphi=35^{\circ}2'N$ und von H. Honda¹³⁾ in $\lambda=138^{\circ}59'E$, $\varphi=35^{\circ}03'N$ gegeben. Der kleine Unterschied ist in dieser Diskussion unwesentlich. Es ist ungefähr auf der Bodenverwerfung orientiert, und fast alle Nachbeben sind ganz westlich derselben zerstreut. Materialschäden durch das Hauptbeben waren auch an dieser Seite ganz merkwürdiger als an der anderen Seite.

(2) Das Großbeben vom 21. April 1935 in Taiwan (Formosa.) Fig. 15.

Seismometrisch ist das Epizentrum von H. Honda¹⁴⁾ ungefähr in $\lambda=120^{\circ}49'E$, $\varphi=24^{\circ}21'N$ gegeben, und die Herdtiefe innerhalb 10 km. In Fig. 15 sieht man wieder, daß das Epizentrum des Hauptbebens ungefähr auf der Verwerfung liegt und die Majorität der Nachbeben ist auf der westlichen Seite des Epizentrums bzw. Verwerfung orientiert. Obgleich die Genauigkeit der Herdbestimmung der Nachbeben nicht sehr hoch sein sollte, doch kann man innerhalb der Genauigkeit sagen, daß diese merkwürdige Erscheinung Realität sei.

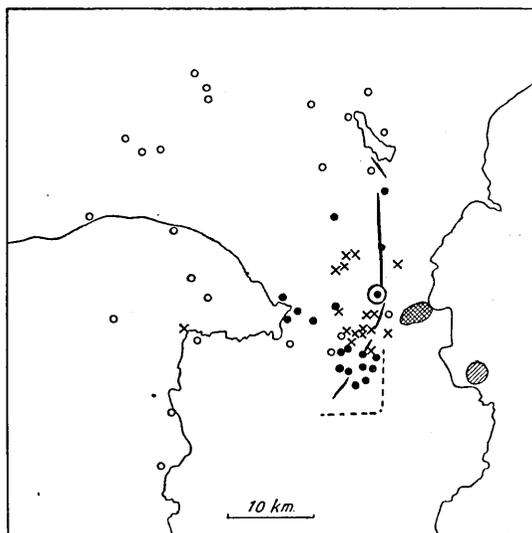


Fig. 14. Punkt im Kreis: Hauptbeben. Das einmal schraffierte Gebiet: Bebenschwarm vom Feb. bis zum Mai 1930. Das zweimal schraffierte Gebiet: Bebenschwarm im Nov. 1930. Kreuz: Vorbeben nach K. Hayata. Kreis: Nachbeben nach K. Hayata. Punkt: Nachbeben nach N. Nasu u. a. Dicke Linie: Beim Beben erzeugte Bodenverwerfungen.

(3) Das Großbeben vom 7. März 1927 in Nord-Tango und dessen

12) A. IMAMURA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 9 (1931), 36~49.

13) H. HONDA, *Kensin-Zihō*, 5 (1931), 94.

14) H. HONDA, *Kensin-Zihō*, 9 (1935), 1.

Nachbeben. (Fig. 16)

Die Nachbeben vom 12. März 1927 bis zum 31. Aug. 1928 dieses Erdbebens waren von N. Nasu¹⁵⁾ untersucht worden. Fig. 16, welche die Raumverteilung der Nachbeben zeigt, ist die Zusammenfassung der N. Nasu'schen Beobachtungen. Das Epizentrum des Hauptbebens ist auch von mehreren Forschern seismometrisch untersucht worden. Im Durchschnitt ist es in Fig. 16 mit Punkt im Kreis gegeben. Es liegt wieder ungefähr auf den Ketten der Verwerfungen. Die Nachbeben verteilen sich meistens westlich von den Ketten der Verwerfungen bzw. vom Epizentrum. Nur kleines Prozent davon zerstreut sich auf der anderen Seite.

(4) Das Großbeben vom 1. Sept. 1923 in Kwantô und dessen Nachbeben.

Dieses Erdbeben wurde von sehr vielen Forschern untersucht und eine Menge Berichte erschien. Wegen des damaligen Mangels der Genauigkeit der Beobachtungen war das Epizentrum von jedem Forscher ziemlich verschieden bestimmt. Das schraffierte Gebiet in Fig. 17 enthält fast alle Bestimmungen von jedem Forscher.

Die Epizentren der Nachbeben in Fig. 17 sind aus der Angabe von A. Imamura¹⁶⁾ und K. Hasegawa genommen. Die durch Landmessungen und Tiefseelotungen entdeckten Bodenverwerfungen waren auch am merkwürdigsten in der Nähe vom Epizentralgebiet des Hauptbebens. Es ist wieder ganz merkwürdig, daß die große Mehrzahl der Nachbeben ganz ostlich davon entstand.

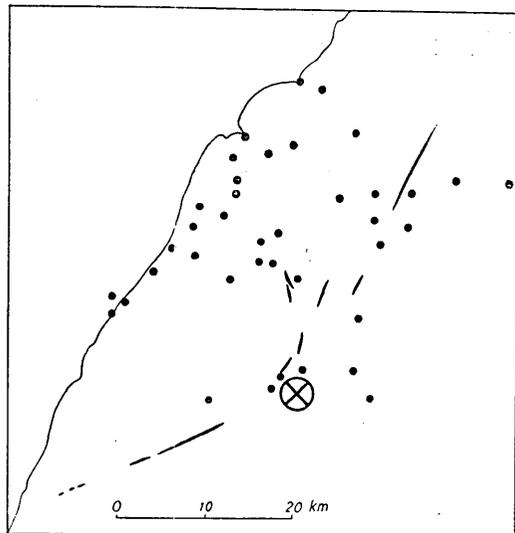


Fig. 15. Verteilung der Nachbeben des Bebens von 1935 in Taiwan. (nach T. Isikawa)
Kreuz im Kreis: Hauptbeben. Punkt: Nachbeben vom 21. April bis zum 30. April 1935.
Dicke Line: Bodenverwerfungen beim Hauptbeben.

15) N. NASU, *Jour. Fac. Sci. Tôkyô Imp. Univ.*, [ii], 3 (1929), 29~129; *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 13 (1935), 335~399.

16) A. IMAMURA und K. HASEGAWA, *Bull. Imp. Earthq. Inv. Com.*, 11 (1928), 64~92.

11. Die allen oben erwähnten fünf Fälle zusammenfassend kann man die folgenden wichtigen Eigenschaften sehen;

(i) Das seismometrisch bestimmte Epizentrum eines Großbebens liegt ganz seitlich im von Nachbeben geregten Gebiet.

(ii) Es hat immer irgendeinen Platz auf den Ketten der beim Erdbeben erschienenen Bodenverwerfungen genommen, wenigstens in so fern sie sichtbar erschienen sind.

Diese Erscheinungen werden einen wichtigen Anhaltspunkt zur Theorie der Entstehung des Großbebens geben. Ein seismometrisch zubestimmender Herd bedeutet den Entstehungspunkt der Erdbebenwellen oder dessen Äquivalent. Die Tatsache (ii) lässt uns vermuten, daß die erste wichtige Welle plötzliche Umwandlung der Verzerrungsenergie in die Wellenenergie gleichzeitig mit der Formation neuer Diskontinuität im Boden bedeutet.

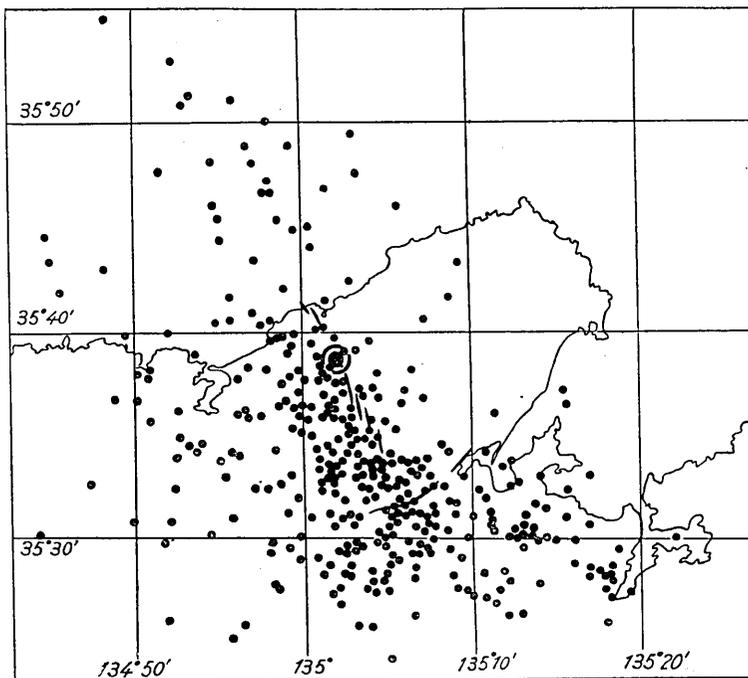


Fig. 16. Verteilung der Nachbeben des Großtangobebens in 1927. Punkt im Kreis: Hauptbeben. Punkt: Nachbeben vom 12. März bis zum 31. Aug. 1927. Dicke Kurve: Verwerfungen beim Hauptbeben.

Im großen und ganzen kann die Erde als eine Wärmemaschine oder deren Kombination angesehen werden, weil sie Wärmereservoirs und auch Arbeitsmittel hat. Man denke sich einen Teil Erdkruste. Der

erste Hauptsatz der Thermodynamik sagt in Bezug auf diesen Teil,

$$\Delta U \equiv U_b - U_a = Q + A,$$

wo U_b , U_a , innere Energie des Zustandes (b) bzw. (a) bedeuten, Q , die während der Zustandsänderung in den Teil zugeführte Wärmemenge ist, und A , die zugeführte Arbeit ist.

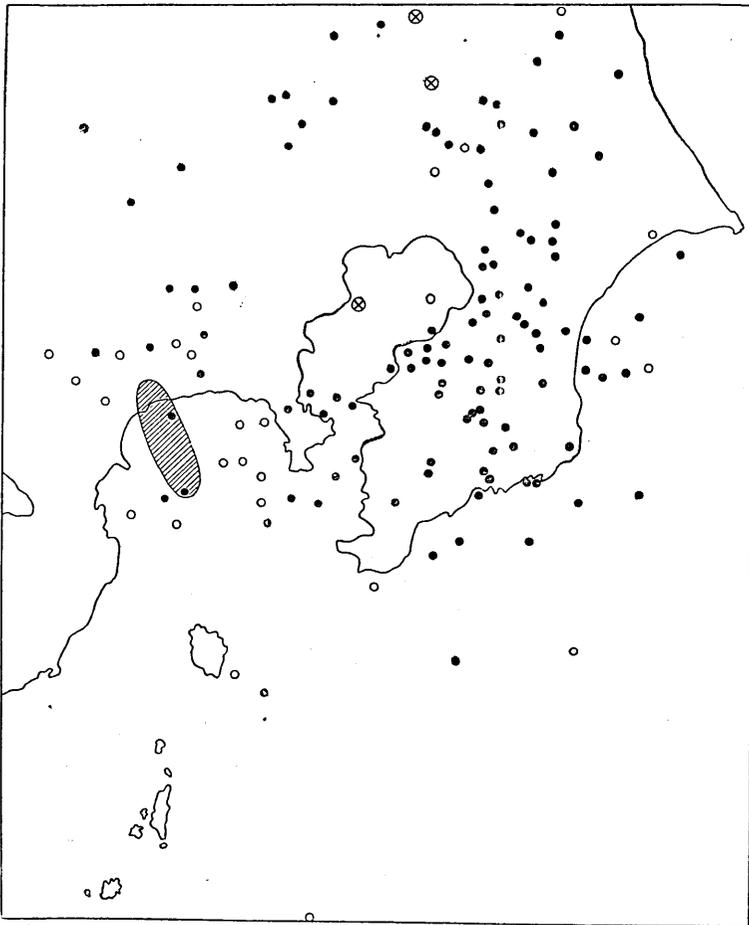


Fig. 17. Verteilung der Nachbeben des Groß-kwantô-bebens in 1923. Punkt: kleine Nachbeben im Sept. 1923. Kreis: Wichtige Nachbeben. bis zum 18. Sept. 1924. Kreuz im Kreis: Erdbeben vom 3. Aug. 1926 bis zum 12. Feb. 1928. Das schraffierte Gebiet enthält das Epizentrum des Hauptbebens von allen Forschern, die dieses Erdbeben untersuchten.

Die Zustandsänderung des Bodenteilchens vor einem Erdbeben wird als quasistatischer Vorgang angesehen.

Die innere Energie ΔU wird hier bequemlichkeithalber in vier Teile eingeteilt, nämlich Gestaltänderungsenergie δQ , Volumenänderungsenergie δL im Sinne von A. Nadai,¹⁷⁾ durch Formänderung verursachte Gravitationspotentielleenergie δV und andere Art Energie δM . Also

$$\Delta U = \delta Q + \delta L + \delta V + \delta M.$$

Nach der Theorie von R. v. Mises und von H. Hencky kommt Störung des elastischen Äquilibrium vor, wenn die Gestaltänderungsenergie in einem Einheitsvolumen einen bestimmten Wert erreicht.

$$\tau_1^2 + \tau_2^2 + \tau_3^2 = 2k^2,$$

wo τ_1, τ_2, τ_3 , Hauptschubspannungen sind, $2k$ die Fließgrenze bei der reinen Zugbeanspruchung ist. Dieser Vorgang kann natürlich auch ohne Energiezufuhr (oder Abzug) von außen ($Q=0, A=0$) vorkommen, z. B. durch Umwandlung von δM in δQ etc., was z. B. bei der Radioaktivität vermutet wird. Aber im allgemeinen ist ein Teil Erdkruste nicht ein abgeschlossenes System. Darum ist Energiezufuhr (oder Abzug) von außen unvermeidlich. Bei Erdbebenentstehung handelt es sich nur um Zuwachs von δQ .¹⁸⁾ Das kann auch bei Abzug der Wärme $-|Q|$ stattfinden, z. B. Druckerhöhung in bestimmten magmatischen Vorgängen bei Wärmeabzug, oder Bodenverzerrung bei der Abkühlung der Erdrinde.

Wann und wie δQ zuwächst, hängt von dem mechanischen Zusammenhang und dem thermodynamischen Zustand des betreffenden Erdteils ab.

Bei dem Erdbeben selbst mag der Vorgang fast adiabatisch vor sich gehen. Sehr wahrscheinlich werden neue Diskontinuitäten erzeugt. Dabei wird nur ein Teil Formänderungsenergie als Wellenenergie nach außen ausgesandt, was einen Teil von $-|A|$ bildet. Wesentliche Abspannung soll im allgemeinen nur in der Nähe von Diskontinuität stattfinden. Anderer Teil Formänderungsenergie wird in andere Arten Energie übergehen, z. B. in Reibungswärme, Grenzflächenenergie, u. s. w. Es ist sehr wahrscheinlich, daß je mehr Diskontinuitäten erzeugt werden, desto leichter Erreichung von $2k^2$ der Gestaltänderungsenergie stattfinden kann, weil effektive Querschnitte für Aushaltung der den betreffenden Teil beanspruchenden Kraft immer kleiner werden. Von dieser Betrachtung ist die Möglichkeit der sogenannten sympathischen

17) A. NADAI, Der bildsame Zustand der Werkstoffe, Julius Springer, (1929), 49.

18) Hier sind die Ishimoto Theorie des Stoßes von Magma oder die Galitzin Theorie über das Pamirbeben von 1911 ausser acht gelassen, die beide Umwandlung von kinetischer Energie in Wellenenergie behaupten.

Erdbebenaktivität von weit entfernten Gebieten nicht ausgeschlossen, weil jeder Teil der Erde mehr oder weniger mechanisch gekoppelt sein muß. Die ungeheure Menge Nachbeben eines Großbebens wird in dieser Weise erklärt. Die Abflautung der Nachbeben bedeutet Abnahme von $\frac{d\Omega}{dt}$, bis nur vorläufiges mechanisches Äquilibrium des ganzen betreffenden Systems erreicht wird. Darum kann der Typus des Zeitverlaufes der Nachbebenhäufigkeit mannigfaltig sein gemäß des mechanischen Zusammenhanges und des thermodynamischen Zustandes.

Die Tatsache (i) lehrt uns etwas detailliertes Bild der Großbebenentstehung. Dazu ist die Untersuchung der Nachbeben des Tangobebens von N. Nasu¹⁹⁾ sehr lehrreich. Dabei gab es ein prismatisches Stück Erdkruste in der Nähe von Erdoberfläche, in dem fast keine Nachbeben vorkamen, indem außerhalb dessen Mehrzahl der Beben entstand. Die Bodenverwerfungen bzw. das Epizentrum des Hauptbebens sollten als oberflächliche Spur der Grenze dieses Stückes angesehen werden. Das prismatische Stück wurde wahrscheinlich schüppentartig von der Erdkruste getrennt und war fast unabhängiges System geworden, in so fern es den Verlauf von $\delta\Omega$ in demselben anbetrifft.

Bei stark beanspruchten Werkstoffen ist in der Regel erwartet, daß ein prismatisches Stückchen in der Nähe von Oberfläche keilförmig abgetrennt wird. In der Nähe von beanspruchter Erdoberfläche kann auch solches vorkommen. In der Nähe von Keilgrenze wird der mechanische Zustand günstiger zur Erreichung von $2k^2$ der Gestaltungsenergie als vorher. Dann werden als natürliche Folge die Tatsachen (i) und (ii) erwartet.

19) N. NASU, *l. c.*

5. 昭和8年3月3日の大地震

III. 大地震前後の三陸沖の地震活動及一般に大地震の餘震に就て

地震研究所 松 澤 武 雄

1. 三陸沖及北伊豆地方の地震の回数に就て統計的研究を試みた。多くの場合は時間的に見て偶然な分布さえらぶ所がない。北伊豆大地震の餘震の場合は夜中に多く起つてゐてもし偶然な出来事としてみるゝその確率は $\cdot 006$ 位に過ぎない。

潮との關係は潮の最底から $\frac{1}{8}$ 週期位おくれた所に多いが偶然な出来事としてみても $0\cdot 214$ 位の確率はある。

2. 地震波の観測から定まる大地震の震央は其餘震の多く起る區域の片端にある場合の多いことを注意する。そしてまた地上に現れた地變の上に位する。したがつて地變の體係はまた餘震區域の端の堺になつてゐる。斯様なことは張合ひを受けた地殼の壞れ方から見れば寧ろ當然なことに思はれる。
