

## 24. Feldtheorie der Erdbeben: Näheres über das Quellengebiet.

Von Takeo MATUZAWA,

Geophysikalisches Institut.

(Vorgelegt den 28. Sept. 1954.—Eingegangen den 29. Sept. 1954.)

### 1. Weiteres über die Energetik der Grossbeben.

In der ersten Mitteilung<sup>1)</sup> wurde eine Erdbebenmaschine vorgelegt und zwar ganz schematisch erörtert. Dabei wurde die Idee des Quellengebietes eingeführt, wo der Phasenübergang zwischen den festen und flüssigen Zuständen stattfinden müsste. Dort wurde angenommen, dass das Quellengebiet sich unter dem durch dessen Druckzunahme gespannten Krustenteile ebenenartig befindet. Bei dieser Annahme war die Erklärung der Wärmebilanz ohne Einführung irgendeiner Konvektion der Wärme unter der Kruste ziemlich schwer. Nach der Schätzung von K. Aki<sup>2)</sup> unter der Voraussetzung von Konvektion in Zähflüssigkeit ist ziemlich starke Strömung der Materie, z.B. 50 m/Jahre nötig, um die nötigen Zuführung der Wärme zu bewirken, wenn die lineäre Dimension der Zirkulation etwa 100 km ist.

Andererseits wurde auch bemerkt, dass die meisten Nachbeben in dem Krustenteile gleich oberhalb des Quellengebietes entstehen werden. Nämlich, nach meiner Meinung muss das Nachbebengebiet mit dem vor dem Hauptbeben wesentlich gespannten Krustenteile übereinstimmen.

In dieser Beziehung muss die Arbeit von S. Honma und A. Seki<sup>3)</sup> eingeführt werden. Sie forschten die Beziehung zwischen der horizontalen Flächengröße des Nachbebengebietes und der grössten Entfernung des Ortes, wo das Hauptbeben menschlich gefühlt wurde.

Andererseits zeigte K. Sagisaka<sup>4)</sup> die Beziehung zwischen der Wellenenergie eines Grossbebens und dessen grössten Entfernung von menschlich fühlbaren Orten.

Diese beiden Resultate sind in Fig. 1 zusammenfassend eingetragen. Daraus bekommt man Fig. 2, wo die Beziehung zwischen der

1) T. MATUZAWA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **31** (1953), 179–201.

2) K. AKI, *Zisin*, [ii], **7** (1954), no. 2, 65–76.

3) S. HONMA and A. SEKI, *Zisin*, [ii], **2** (1949), 37–40; **3** (1951), 45–48.

4) K. SAGISAKA, *Kensin-zihô*, **10** (1940), 385–448.

Wellenenergie des Grossbebens und der Nachbarbebengebietes gezeigt wird.

Abgesehen von den Verschiedenheiten zwischen den Landbeben und Ozeanbeben, können wir ganz klar sehen, dass die Energie ganz schnell im Vergleich mit dem Nachbarbebengebiet wächst und zwar wenigstens schneller als die zweiten Potenz von Nachbarbebengebiet.

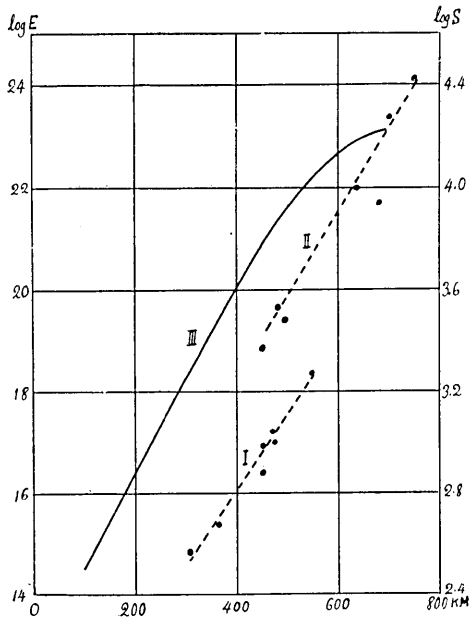
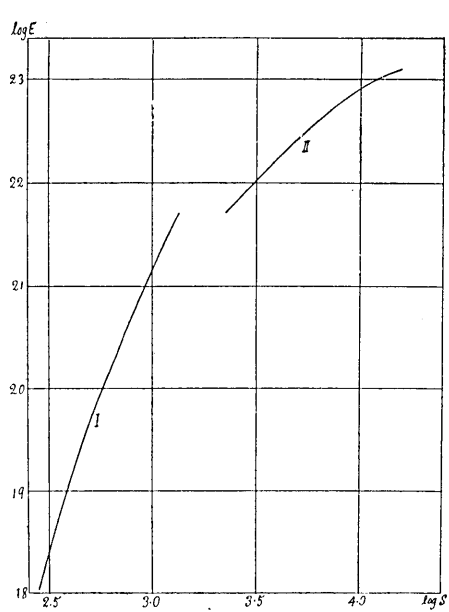


Fig. 1.

- I: log S, Landbeben.
- II: log S, Ozeanbeben.
- III: log E
- E Erg:S Km<sup>2</sup>.

Fig. 2. E Erg:S Km<sup>2</sup>.

In anderen Worten, je kleiner das Hauptbeben ist, desto grösser ist das Nachbarbebengebiet im Vergleich mit der Wellenenergie des Hauptbebens.

Nun müssen die obengenannten Tatsachen erklärt werden und die Energetik der Grossbeben muss verbessert werden.

Gelegentlich möchte ich hier eine Erwiderung zur Kritik von H. Kawasumi<sup>5)</sup> gegen die potentielle Energie der Hebungen und Senkungen der Kruste in meiner Arbeit hinzufügen. Der Kernpunkt seiner Kritik

5) H. KAWASUMI, *International Association of Seismology and Physics of the Interior of the Earth. Rome Assembly, Sept. 1954. Seismology and Physics of the Interior of the Earth in Japan, 1951-1953. National report presented by the Section of Seismology, National Committee for Geodesy and Geophysics, Science Council of Japan.*

ist mir etwas unklar, aber es scheint mir, dass er weitere Beschreibung gewissen kausalen Zusammenhanges zwischen der Wellen-Energie und der potentielle Energie erfordert hätte. Aber nach meiner Überlegung kann man sie beide in diesem Falle vereinzelt betrachten. Nämlich stammen beide Formen Energie gleichfalls von der Druckänderung im Quellengebiet. Also auch wenn die Änderung der potentielle Energie nicht mit der Wellenenergie übereinstimmte, sollte man sich um nichts kümmern.

Beim Gross-Kantôbeben vom 1. Sept. 1923 z.B. fanden grosse Hebungen ausnahmslos in Gegenden mit grossen positiven Anomalien der Schwere, d. h. in entgegengesetzter Richtung zur Isostasieförderung, statt<sup>6)7)</sup>. Daher müsste diese Arbeit gegen die Schwere durch gewisse andere Kraft als die Schwere geleistet werden. In diesem Falle, nämlich, kann man sehr wahrscheinlich vermuten, dass die Wellenenergie dieses Bebens nicht durch die Schwere erzeugt wurde.

Selbstverständlich will ich nicht alle Möglichkeiten der Erzeugung der Erdbeben durch die Schwere ausschliessen. Ein gutes Beispiel davon ist der Fall der Johannesburger Beben, die von P. G. Gane, A. L. Hales, H. A. Oliver, und P. L. Willmore<sup>8)</sup> untersucht worden sind. In diesem Falle bildet der Minengang sozusagen das Quellengebiet mit negativem Zusatzdruck (in Wirklichkeit Nulldruck) und die umgebende Kruste wird durch die Schwere verzerrt. Dieses Quellengebiet wird natürlich durch menschliche Arbeit erzeugt.

Hier möchte ich wieder bemerken, dass die Tiefe der hiesigen kleinen Beben ungefähr 1.6 km ist, wo Druck von etwa 300~500 Atm. herrschen muss. Meiner Meinung nach ist nicht nötig, dass die Energie der Hebung der Gesteine, nämlich  $10^{22}$  erg/Jahre nach der Schätzung von den Autoren, ganz in Wellenenergie verwandelt wird. Das Leistungsvermögen der hiesigen Erdbebenmaschine ist nicht nötig, 100 Prozent zu sein.

Schwärme von ganz kleinen Beben neben den grossen Deichen für Wasserbecken, welche von P. Caloi<sup>9)</sup> untersucht wurden, sind auch Beispiele im gleichen Sinne.

6) LAND SURVEY DEPARTMENT, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **1** (1926), 65.

7) C. TSUBOI, A. JITSUKAWA und H. TAJIMA. *Proc. Jap. Acad.*, **29** (1953), No. 10. 556-560.

8) P. G. GANE, A. L. HALES and H. A. OLIVER, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **36** (1946), No. 2. 49-80: P. L. WILLMORE, A. L. HALES, and P. G. GANE, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **42** (1952), No. 1. 53-80.

9) P. CALOI, *Ann. d. Geofisica*, **6** (1953), n. 3, 321-366.

## 2. Form des Quellengebietes und Zweiphasen-Konvektion.

Wenn die Wellenenergie eines Grossbebens mit oberflächennahen Herd von der Ordnung von  $10^{25}$  erg ist, dann ist die Schmelzwärme unter meiner Hypothese von der Ordnung von  $10^{27}$  erg unbedingt nötig. Um die Schwierigkeiten der zu starken Wärmeleitung oder Konvektion

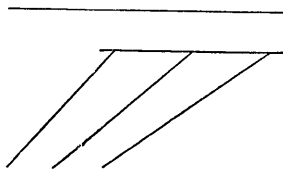


Fig. 3.

bei der Wärmezufuhr von unten zu vermeiden, müsste man den Flächeninhalt des Quellengebietes vermehren, z.B. es sich verzweigen lassen, etwa wie in Fig. 3 schematisch gezeigt.

Bei der Abspannung der oberen Kruste, beziehungsweise der Druckverminderung im oberen Teil des Quellengebietes, wird das Arbeitsmittel im flüssigen Zustand in unteren Zweigen nach oben geschoben, und folglich muss die umgebende Materie im festen Zustand sicher sich senken. In dieser Weise auch kann die Zweiphasen-Konvektion stattfinden, wie schon in meiner früheren Arbeit<sup>10)</sup> anderweitig bemerkt wurde.

In dieser Beziehung interessieren uns die Arbeiten von N. Nasu, T. Hagiwara, und S. Omote<sup>11)</sup> oder von K. Wadati und Y. Iwai<sup>12)</sup>. Nach Nasu u.a. war die Raumverteilung der Bebenherde in Kantô Distrikt nach dem Gross-Kantôbeben vom 1923 ungefähr trichterförmig und zwar der Mund des Trichters dehnt sich gangweise seitwärts und neigt sich schief nach unten. Die Arbeit von K. Wadati und Y. Iwai zeigt im grossen und ganzen auch ähnliche Verteilung. Auch interessiert uns sehr die Tatsache, dass das Gebiet der stärksten Senkung beim Grossbeben ungefähr mit dem Bereich oberhalb des gangartigen Gebietes mit Mitteltiefherdbeben übereinstimmt<sup>13)</sup>.

Durch die Einführung der Verzweigung ist die Form des Quellengebietes immer ähnlicher der bienenstockartigen Konstruktion des Kessels der Dampfmaschine geworden.

Nun liegt die Vermutung nahe, dass je weniger die Verzweigung des Quellengebietes ist, desto kleiner das Hauptbeben ist. In dieser Weise kann man die Beziehung zwischen der Energie des Hauptbebens und der Nachbarbebengebiete von S. Honma und A. Seki gut erklären.

10) T. MATUZAWA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **31** (1953), 194.

11) N. NASU, T. HAGIWARA und S. OMOTE, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **14** (1936), 427-437.

12) K. WADATI und Y. IWAI, *Geophys. Mag.*, **25** (1954), no. 3-4, 167-173.

13) *loc. cit.* (6).

### 3. Tiefherdbeben und Mangel an Nachbeben davon.

Bei Tiefherdbeben kann die isostatische Störung ausser acht gelassen werden. Dagegen kann der Vorgang wie unsere Erdbebenmaschine auch im Tiefherdbebengebiet unter günstigen Umständen vorkommen. Bei sehr tiefen Quellengebieten, etwa über 200Km., kann die wesentliche Wirkung der Erdoberfläche fast vernachlässigt werden. Nämlich, kann ein Quellengebiet als vereinzelt angesehen werden. Darauf können wir z.B. den von T. Hirono und T. Usami<sup>14)</sup> gerechneten Spannungszustand in der Umgebung von einem sphäroidischen Raum, in dem hydrostatischer Druck wirkt, anwenden.

Nun wenn der Druck im Quellengebiet genug erhöht wird, die angespannten Umgebung zu brechen, dann wird die feste Umgebung sich brechen und ein Erdbeben kann entstehen. Dabei wird der Volumininhalt des Quellengebietes plötzlich zunehmen und das Arbeitsmittel im Quellengebiet wird adiabatisch ausgedehnt. Folglich wird dessen Druck vermindert. Bei oberflächennahen Grossbeben erreichen die Verwerfungen die Erdoberfläche und der Krustenteil oberhalb des Quellengebietes muss ziemlich schwach gemacht werden, und Brechungen können hintereinander folgen, nämlich können viele Nachbeben folgen.

Dagegen in der grossen Tiefe kann die Bruchstärke der Umgebung nach einem Beben fast ungeändert wie vor der Abspannung bleiben. Die Erzeugung der Gleitung bei der Abspannung mag nichts zu tun mit dem Fortschritt der Brechung haben, weil dort sehr hoher Druck herrscht, und die Reibungskraft keinen Unterschied von der Schubkraft haben kann<sup>15)</sup>.

Daher können wir leicht den Mangel an Nachbeben bei Tiefherdbeben vermuten. In Wirklichkeit haben wir bisher fast kein Beispiel von Nachbeben bei Tiefherdbeben gehabt, obgleich die letzten von der bedeutenden Grösse waren. Diese Tatsache wurde schon von K. Wadati und K. Masuda<sup>16)</sup> einmal betont. Nach ihnen schien das Tiefherdbeben vom 26. Mai 1932 im Süden von Fiji Inseln nur einzige Ausnahme zu sein. Der Erdbebenbericht vom Dominion Observatory, Wellington, New Zealand, sagte, sechs kleine Nachbeben würden registriert in 12 Stunden nach dem Hauptbeben. Wenn alle diese kleinen Beben von derselben

14) T. HIRONO and T. USAMI, *Papers in Meteorology and Geophysics*: 5 (1954), no. 1, 64-88.

15) Dies kann auch die Erwiderung zur Kritik von H. Kawasumi gegen meine Arbeit sein, loc. cit. (5), obschon dieser Umstand auch schon dort kurz bemerkt wurde.

16) K. WADATI und K. MASUDA, *Kensin-Ziho*, 8 (1934), no. 1, 11-20.

Herkunft sein wären, dann hätte es eine echte Ausnahme sein können.

Nach K. Wadati und K. Masuda war dieses Beben ein Doppelbeben. Daher liegt eine Vermutung nahe, dass zwei naheliegende Quellengebiete fast gleichzeitig tätig geworden wären. In solchem Falle können sie leicht miteinander gekoppelt werden und im dazwischen liegenden Bereiche können möglicherweise mehrere Nachbeben folgen.

In diesem Sinne können wir sagen, dass das oberflächennahe Quellengebiet mit der Erdoberfläche gekoppelt ist.

Weil die Tiefherdbeben selbstverständlich einigen Hunderten von Kilometern von Beobachtungsorten entfernt sind, können sehr kleine Beben der Beobachtung entgehen. Aber bei oberflächennahen Grossbeben mit ähnlichen Grössen und Herdentfernungen können wir meistens viele Nachbeben beobachten. Das kommt bei Tiefherdbeben gar nicht vor. Also ist der Mangel an Nachbeben wenigstens mit gewöhnlicher Energie beim Tiefherdbeben ziemlich sicher.

#### 4. Miscellaneen.

Meine Theorie steht nicht in Widerspruch mit der Benioff'schen Theorie<sup>17)</sup> der Bruchbewegungen bei Erdbeben. Die konstante äussere Kraft  $F$  in seiner Theorie entspricht dem Druck im Quellengebiet in meiner Theorie, obgleich dieser Druck säkulären Änderung unterliegt.

B. Gutenberg und C. F. Richter<sup>18)</sup> haben Existenz der Schichten mit Wellengeschwindigkeiten, die kleiner als in obenliegender Schicht sind, gezeigt. In Japan haben W. Inouye und G. Murai<sup>19)</sup> auch gezeigt, dass es eine Schicht mit niedriger S-Wellengeschwindigkeit in der Tiefe etwa 300 km. gibt.

Gutenberg'sche Vermutung<sup>20)</sup>, dass diese Verminderung der Wellengeschwindigkeiten teilweise durch Vermengungen der verflüssigten Teile verursacht würde, steht im Einklang mit meiner Idee. Aus meiner Theorie, aber, könnte von selbst folgen, dass diese Charakteristik der Erdinnere besonders in seismisch regsamen Gegenden bestehen wollte.

Gelegentlich möchte ich noch eine Bemerkung zur Temperaturerhöhung im Quellengebiet hinzufügen. Beim kreisförmigen Quellengebiet war Temperaturerhöhung von etwa 5°C im Quellengebiet nötig, um

17) H. BENIOFF, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **41** (1951), No. 1. 31-62.

18) B. GUTENBERG and C. F. RICHTER, *Bull. Seis. Soc. Am.*, **29** (1939), 531-537.

19) Vorgelegt bei der Tagung der Seismologischen Gesellschaft, Japan, den 31. Okt. 1953. den 23. April 1954.

20) B. GUTENBERG, *Bull. Geolog. Soc. Am.*, **65** (1954), 337-348.

genügende Schubkraft für Erdbeben zu erzeugen. Aber beim elliptischen Quellengebiet<sup>21)</sup> kann nur ein Drittel der Temperaturerhöhung im vorigen Fall, nämlich etwa  $1.7^{\circ}\text{C}$ , genug sein, weil die Maximum-Schubspannung 3 mal Druck im Quellengebiet erreicht.

---

24. Zisin no Ba no Ron: Sara ni kuwasiku Tikara no okoru Kuiki ni tuite.

Zisin Kenkyû-syo Matuzawa Takeo

Oozisin no Energie no Deiri no Mondai, Oozisin no Energie to Yosin-Kuiki tonon Mondai nado wo sara ni yoku setumei suru tame ni Tikara no okoru Kuiki no Katati ni tuite Kangae wo susumeta. Tumari sono Kuiki ga Edawakare site iru to suru node aru. Kono yô ni suru to Zyôki-kikan no Kama no Kôzô ni masumasu yoku nite kuru.

Sono hoka hukai Zisin ni Yosin no hotondo nai koto no Setumei wo kokoromiru. Mata Gutenberg, Inouye nado no Zisin-nami no Sokudo no osoi Sô ni tuite no Kangae wo noberu.

Ziban no Agari-sagari to Zyûryoku-Potential tonon Mondai, Zyûryoku no Sigoto ni yotte okoru Zisin ni tuiteno Tyûi wo noberu. Kono Baai no Quellengebiet wa Mawari ni kurabete Aturyoku no tiisai Kuiki to naru.

---

21) T. MATUZAWA und H. HASEGAWA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **32** (1954), 231-246.