

爆破地震による地震波速度の変化の観測 (第1報)

— 実験フィールドの Background について

(関東地方に起こる地震の時間的空間的分布) —

長谷川 功* 飯塚 進*

Observations on the Time Variations of Seismic Wave Velocities
by Explosion Seismic Method (First Report)

— On the Background of Experimental Field —

By

Isao HASEGAWA & Susumu IIZUKA

Abstract

As one of the subjects of the studies on earthquake prediction, the experiment for the detection of time variations of seismic wave velocities by explosion seismic method was prepared and the southern part of Kanto district including Sagami Bay was selected as an experimental field.

Before this field experiment was done, the background of experimental field, namely, the time and spatial distributions of natural earthquakes occurred in Kanto district were examined and some interesting results were obtained.

はじめに

地震予知研究計画の一環として、爆破地震を使って地震波速度の時間的変化を検知する試みがとりあげられている。

大地震の前後で、震源領域を通過する地震波速度が変化するという事は、理屈の上でも考えられることであり、観測事実としても早川 (1951)注1) が、自然地震のデータを解析した結果にもとづいて、すでに指摘していることである。

しかしながら、自然地震を利用する場合、震源位置と発震時刻は、観測点のデータから推定する以外に方法がないので、誤差はさげられない。したがって、速度変化の検出には本質的に向いていないのであって、位置と時刻を精確におさえられる人工地震を用いる以外にない。

さて、実際の実験フィールドとしては、関東大地震の震源域であること、日本一の人口密集地であり、かつ京浜重工業地帯をひかえていることなどの理由により、関

東地方南部が選ばれた。そこで著者らは、実験を始めるに先立って、この地域の Background, すなわち、実験フィールドを中心とする地域に起こっている自然地震の時間的空間的分布とエネルギーの放出状態を調べてみた。

関東地方の地震の分布については、すでに多くの研究者が論じているが注2), いずれもある意図のもとにまとめられているので、「いつ、どこに、どのくらいの規模の地震が起こっているか」という、きわめて初歩的ではあるが、もっとも基本的な問いに十分答えてくれているのではない。この小論では、上の問いに答え、実際に実験計画を立てる場合の基礎資料を提供することが目的である。

1. 資料, 整理の方法

1) 資料は、1926年から1966年までに起こった地震で、すべて気象庁発行の「地震月報」による。1926年から1962年までは、別冊 No. 1 および No. 2 を利用した。選んだ地震は、震央位置が、東経138°~141°, 北緯34.5°~36.5° の範囲のもので、マグニチュード(M)が3.7以上のものである。

* 物理探査部

注1) 早川正巳 (1951): 地震波速度の時間的変化に関する研究, 地質調査所報告, 第142号

注2) 「文献」参照

2) 時間的分布をみるために、1926年から1966年の41年間を、次のように区切り、T-1, T-2, ……などの略号をつけた。

T-1	1926~1936
T-2	1937~1946
T-3	1947~1956
T-4	1957~1966

3) 空間的分布をみるために、震源の深さ(d)を次の5段階に区分した。

$0\text{km} \leq d \leq 20\text{km}$
$20\text{km} < d \leq 40\text{km}$
$40\text{km} < d \leq 60\text{km}$
$60\text{km} < d \leq 100\text{km}$
$100\text{km} < d$

以上の時間的空間的分布の区分により、20通りの組み合わせができる。

4) マグニチュードは、次の4段階に区分し、図では黒丸の大きさで示してある。

$3.7 \leq M < 5$
$5 \leq M < 6$
$6 \leq M < 7$
$7 \leq M$

ただし、地震月報には、 $d > 60\text{km}$ の地震については、Mが表示されていないので分類することができない。また、 $d \leq 60\text{km}$ の地震でも、Mの不明なものがある。これらはいずれも図では白ぬきの丸で示してある。

5) 以上の区分にしたがって、「いつ、どこで、どのくらいの規模の地震が起こっているか」を図示することができるわけであるが、さらに、これらの図を、2)で区分した期間ごとにまとめて、震源を東西および南北方向の断面に投影した図をつくった。

6) 各深さごとの地震活動度を、エネルギーの面から推定するために、放出量の経年変化と、エネルギーの平方根の積算値を計算してみた。ただし、使った地震は $d \leq 60\text{km}$ でMのわかっているもののみである。

2. 結果とその考察

(1) 深さ別の平面的分布

T-1からT-4まで、第1図~第20図に示してある。期間ごとに分布のようすをみていくことにしよう。

① T-1 (1926~1936)

$0 \leq d \leq 20\text{km}$ ……北伊豆地震(1930, $M=7.0$)とその余震、および西埼玉地震(1931, $M=7.0$)とその余震が主なもので

ある。その他には、丹沢山地、静岡付近、東京都心部などに $M \geq 6$ の地震が起こっていて、この期間はかなり活発な活動を示している。

$20 < d \leq 40\text{km}$ ……鹿島灘と房総沖に集中的に起こっている。また東京湾や丹沢山地でも $M \geq 6$ の地震が起こっていることは注目してよい。

$40 < d \leq 60\text{km}$ ……この深さになると、ほとんどの地震が、茨城、千葉両県に集中しており、 $M < 6$ である。

$60 < d \leq 100\text{km}$ …… $40 < d \leq 60$ にくらべて、全体がわずかに西へ移動していることと、東部の鹿島灘、房総沖と西部の関東山地にはほとんど起こらない。

$100 < d$ ……さらに西方へ移動し、地震の数も少なくなっている。

② T-2 (1937~1946)

$0 \leq d \leq 20\text{km}$ ……前期、 $M \geq 6$ の大きな地震が発生した伊豆、丹沢山地、埼玉などは、この期間全く静穏であった。大きな地震($M \geq 6$)は鹿島灘と銚子沖に起こっているだけである。ただし、東京付近に $M > 5$ の地震が2回発生していることは注目しなければならない。

$20 < d \leq 40\text{km}$ ……引き続き鹿島灘、銚子沖と、茨城、千葉両県の内陸にも起こっているが、前期にくらべると数が少ない。他方、 139.5°E 以西には全く起こっていない。

千葉県北部と銚子沖には $M \geq 6$ の地震が3回発生している。

$40 < d \leq 60\text{km}$ ……傾向は $20 < d \leq 40$ の場合と同じであるが、筑波山付近に集中的に起こっている。全体的に規模は小さい。ここでも 139.5°E 以西には全然発生していない。

$60 < d \leq 100\text{km}$ ……関東地方東部の内陸に分散して起こっていて、海では起こっていない。

$100 < d$ ……さらに内陸部へ移り、東方海域には全然発生しない。数も少ない。

③ T-3 (1947~1956)

$0 \leq d \leq 20\text{km}$ ……前2期にくらべると数が少なく、

- (第11図) しかも $M < 6$ の小さな地震ばかりである。伊豆半島、相模湾、東京湾、東京付近房総沖など全くの空白地域が大きくひろがっている。
- 20 < d ≤ 40km …… 筑波山付近、千葉県および鹿島灘、
- (第12図) 銚子沖に集中的に起こっていて、前2期にくらべて非常に活動的である。ただし、139.5° E以西に地震が起こらないのは前期の場合と同様である。
- 40 < d ≤ 60km …… 20 < d ≤ 40 とほぼ同じ場所で起こっているが、中心が内陸部へ移ってきている。東京都内と千葉県中部に $M \geq 6$ の地震が発生している。
- 60 < d ≤ 100km …… 前2期と全く同じ傾向を示しているが、数は多くなっている。特に千葉県北部に1つの集中部がある。西部山地には全然発生していない。
- 100 < d …… 西方へ移動し、数はぐっと少なくなっている。茨城、千葉以東には全然起こらなくなる。
- ④ T-4 (1957~1966)
- 0 ≤ d ≤ 20km …… 今期の特徴は、全般的に小地震が起こっていることであるが、特に大島西方海域で群発的に発生している。また、静岡付近で $M \geq 6$ の地震が発生した。
- 20 < d ≤ 40km …… 小地震が多発している点では上の場合と同様で、位置もこれまでと変わっていない。大島付近は空白になっており、きわめて浅発性の地震であったことを示している。
- 40 < d ≤ 60km …… 筑波山付近に集中的に起こっている。那珂湊付近にも、数はあまり多くないが集中的に発生した。西部山地にはほとんど起こらない。
- 60 < d ≤ 100km …… この深さでの地震は、前3期にくらべて今期が圧倒的に多い。特に千葉県北部から茨城県中部へかけて集中している。また、埼玉県でもかなり起こっている。
- 100 < d …… かなり数も多く、これまでと同じ傾向を示し、中部から西部へと移動している。
- (第20図)

以上、関東地方に発生した地震の時間的空間的分布を

みてきたが、関東大地震以後約40年間のこの地域の地震活動は、全般的にみて、第1期に北伊豆地震、西埼玉地震が起こって活発であったが、その後第2期、第3期は比較的静穏のうちに経過した。しかしながら、最近の10年間は、再び活発化の傾向をみせはじめてるように見える。

(2) 東西、南北両垂直断面上の分布

期間ごとの東西方向の垂直断面と南北方向の垂直断面を考え、この面に震源を投影した図をつくった。第21図~第24図には東西断面を、第25図~第28図には南北断面を示す。なお、ここでは深さ30km以内の地震を仮りに「地殻内地震」、それよりも深い地震を「マントル地震」と呼ぶことにする。

① 東西方向の垂直分布の特徴

地殻内地震は、ある特定の場所に、定期的起こっているわけではない。T-1では、先に述べたように北伊豆と西埼玉の地震があった。T-2, T-3の時期には、目立った地震はなく数も少ない。T-4になると、伊豆半島、大島間の海域で群発的に小地震が発生した。

それにくらべると、マントル地震は、空間的にある決った場所に、時間的にも定期的発生していることがわかる。その分布の形態は、従来からいわれているように、ロート状または板状を呈し^{注3)}、東から西へ向かってクサビ形に深くなっている。

これらの事実は、マントル地震が、定期的な造構造運動の一現象形態であることを示しているものと推定される。

② 南北方向の垂直分布

地殻内地震については、前項で述べたことがそのままあてはまる。それにくらべて、マントル地震の分布は、東西断面のような特に目立つ特徴はない。このことから、マントル地震の震源が、東から西へ向かって板状に深くなっていることが結論される。

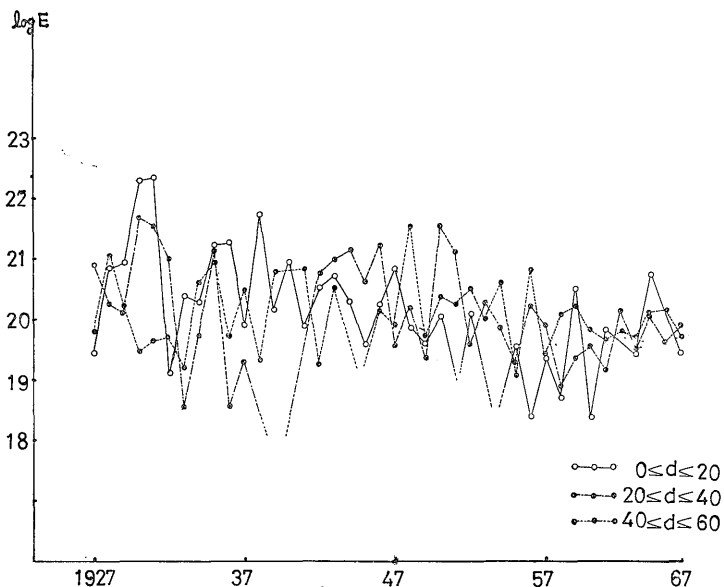
(3) エネルギー放出量からみた地震活動

地震活動度をみるためには、地震の数ばかりでなく規模をも問題にしなければならない。一方、規模(M)は、エネルギー(E)との間に $\log E = 11.8 + 1.5M$ の関係が成り立つ。そこで、Mの代わりにこのEを使うことにする。

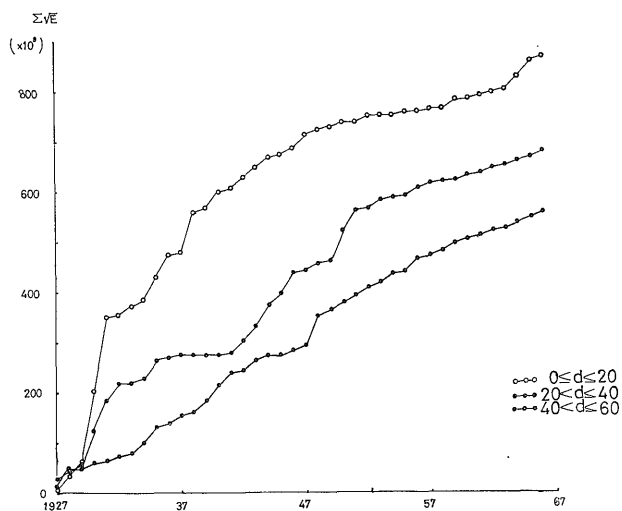
いま、エネルギー放出量からみたこの地域の地震活動度を考えるために各深さ別に計算してみることにする。深さの区分は、 $0 \leq d \leq 20\text{km}$, $20 < d \leq 40$, $40 < d \leq 60$ の3通りである。

第29図は、エネルギー放出量の経年変化を示したもの

注3) 「文献」参照



第29図 深さ別エネルギー放出量の経年変化(単位エルグ)



第30図 深さ別エネルギーの平方根の積算図

である。深さごとの差はほとんどない。また、地震の数の上では、T-1、T-4の時期が活発で、T-2、T-3は比較的静穏であったが、エネルギー放出量ではそのような傾向はみられない。このことは、T-2、T-3の時期には、数の減った分をMの大きな地震でかましていることになる。

次に各深さごとに、エネルギーの平方根の積算図(いわゆる strain release curve)をかいてみると第30図の

ようになる。まず、 $0 \leq d \leq 20$ kmの浅い地震については、北伊豆、西埼玉両地震が大ききいていることを示している。T-3からT-4の前半にかけては、平穏のうちに経過し、最近の数年再び向上している。 $20 < d \leq 40$ km、 $40 < d \leq 60$ kmについては、ほぼ3~4年ずれて同じ傾向をたどっているが、どちらかといえば、前者の方がやや複雑である。しかしながら、T-3後半から現在までは平行線をたどっている。

いずれにしろ、エネルギー放出量の面からみると、最近特に活動が活発になったと結論することは、少し無理があるように思われる。したがって比較的小さな地震が数多く起っているということになる。地震の発生回数は活動度を示す重要な指標の一つであるから、その推移には十分注意を払う必要がある。と同時に観測精度^{注4}によってその数は影響を受けるから、その事を充分に考慮しなければならない。

3. 結 び

地震予知研究の一つとして行なわれる「地震波速度の時間的変化の検出」の実験を始めるに先立って、実験フィールドの Background, すなわち、関東地方に起こる地震の時間的空間的の分布について、関東大地震以後約40年間の特徴を調べてみた。その結果明らかになった点を要約すると次の通りである。

1) 地殻内地震とマントル地震に分けて考えれば、後者は、時間的にも空間的にも規則性をもって定常的に発生している。これに反し前者は、規則性を示さない。

2) マントル地震の震源は、東から西へ向かって傾斜する板状分布を示し、これは、この地域の大きな造構造運動の一現象形態とみなすことができる。

3) われわれの実験において目的とする地震は主として地殻内地震であるが、この地域では間欠的に発生するために、規模はもちろん、場所も時間も予測することはきわめて困難である。したがって、爆破地震の観測点をどこにおくかは一義的には決め難い。

4) 鹿島灘から房総沖にかけての海底下と、筑波山付近から茨城南西部および千葉県北部の地下40~80kmには、いわゆる“地震の巣”が存在する。ここが地震活動のもっとも活発な場所である。

5) エネルギー放出量からみた地震活動は全般的には、時間的にも空間的にも大きな変動は示さない。ただし、 $0 \leq d \leq 20\text{km}$ については、最近の数年間、やや上向傾向を示し、数の上でも活発化していることとよく一致する。T-2, T-3の時期は、地震の数は少ないにもかかわらず、エネルギー放出量は特に減少していない。このことは、比較的Mの大きな地震が多発したことを示している。

今後、資料をさらに追加していかねばならないと考えている。特に、関東大地震以前の資料は、質量ともに不十分であるが、一応の目安を得るために是非調べてみたいと考えている。

注4) 気象庁では、1959年から電磁地震計への切り換えが始まり1961年から震源決定に電子計算機が導入された（地震、第2輯、20巻、記念特集号、p. 95-102）。

4. 文 献

関東地方の地震に関する文献を、筆者らの目にふれることのできる範囲で収録してみた。重要な文献で落ちていたものもあると思われるが、今後さらに補充していくつもりである。

今村明恒・保田桂二（1925）：関東地方に於ける地震活動の短期統計的研究，震研彙報，第3巻，p. 105—131

石川高見（1925）：東京湾及びその付近の地震について，験震時報，第1巻，p. 80—94

INOWUYE, W. (1927): On the correlation between the long period fluctuation of barometric gradient and the occurrence of earthquake in Kwantō district, Japan, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 5, p. 43—57.

今村明恒（1929）：関東並に近畿地方に於ける地震活動の循環と大震前の諸現象とについて，地震，第1巻，1号，p. 4—16

那須信治（1929）：関東地方の地震活動に対する一見解，地震，第1巻，4号，p. 250—269

福富孝治（1931）：関東各地に発生する地震初動の特性，地震，第3巻，10号，p. 592—616

岸上彦彦（1932）：関東地方の地震の初動について，地震，第4巻，1号，p. 18—25

KODAIRA, T. (1933): Earthquakes of the Kwantō district, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 11, p. 350—361.

FUKUTOMI, T. (1933): Some statistical problems concerning initial earthquake motion (The First Report), *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 11, p. 510—529.

永田 武（1936）：関東地方における震源の垂直分布，震研彙報，第14巻，3号，p. 420—426

那須信治・萩原尊礼・表俊一郎（1936）：関東地方における地震の発生（其1），震研彙報，第14巻，3号，p. 427—437

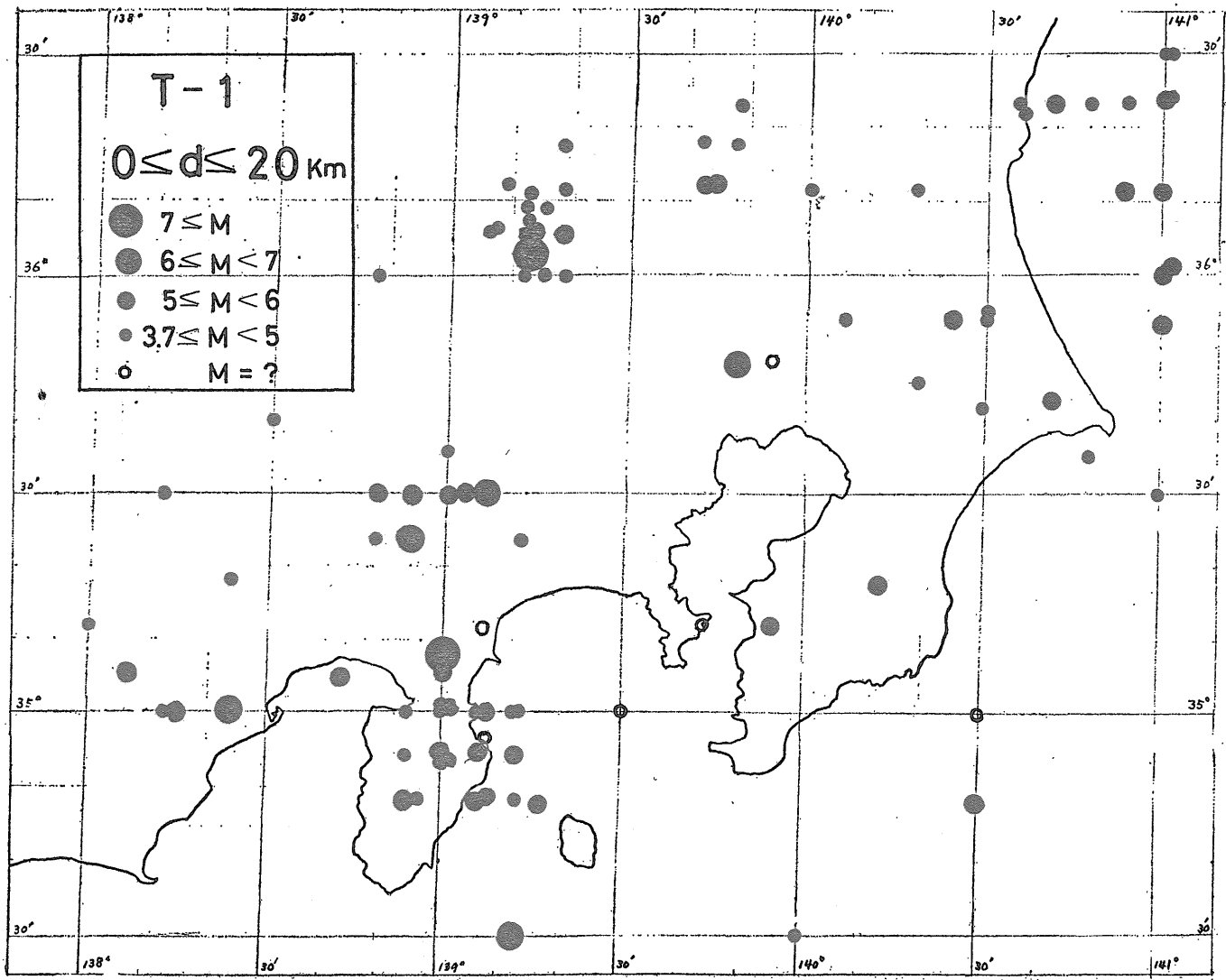
正務 章（1941）：東京有感地震のP波初動及び地震記象型と震央位置との関係，験震時報，第11巻，p. 469—511

NASU, N. & YASUDA, C. (1941): Recent earthquakes of the Kwantō district, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 19, p. 476—491.

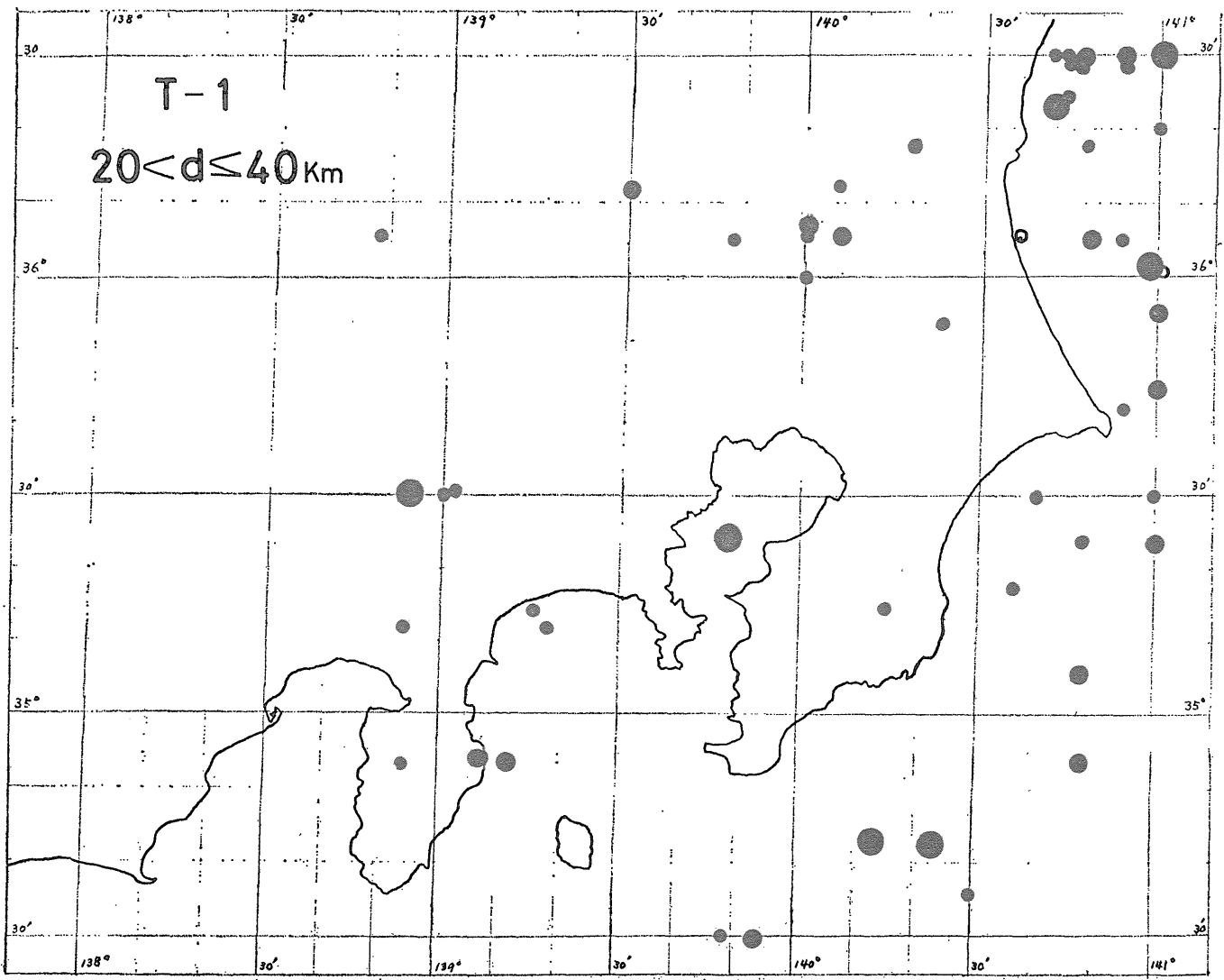
高木 聖（1950）：関東大地震の初動分布，地震2，第3巻，1号，p. 27—31

- 北沢五郎(1950):東京下町の震度分布,地震2,第3巻,1号,p.32—35
- KAWASUMI, H. (1952): Energy law of earthquake occurrence in the vicinity of Tokyo, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 30, p. 325—330.
- 小河原正己(1955):東京における次の有感地震の確率, 驗震時報, 第20巻, 3号, p. 81—92
- 市川政治(1956):関東地方に起こった地震について二, 三のこと, 驗震時報, 第21巻, 3号, p. 113—124
- 宇津徳治(1956):初動方向のかたよりについて, 驗震時報, 第21巻, p. 13—20
- 浜松音蔵(1959):東京における初動方向からみた地震活動域, 驗震時報, 第24巻, 4号, p.115—121
- ICHIKAWA, M. (1962): Statistical investigation of earthquake mechanism in Kwantō district, *Geophys. Mag.*, vol. 31, p. 243—256.
- 浅野周三(1965):関東地震後の関東地方における地震活動(第1報), 震研彙報, 第43巻, p. 421—427
- 浅野周三(1965):関東地震後の関東地方における地震活動(第2報), 震研彙報, 第43巻, p. 589—606

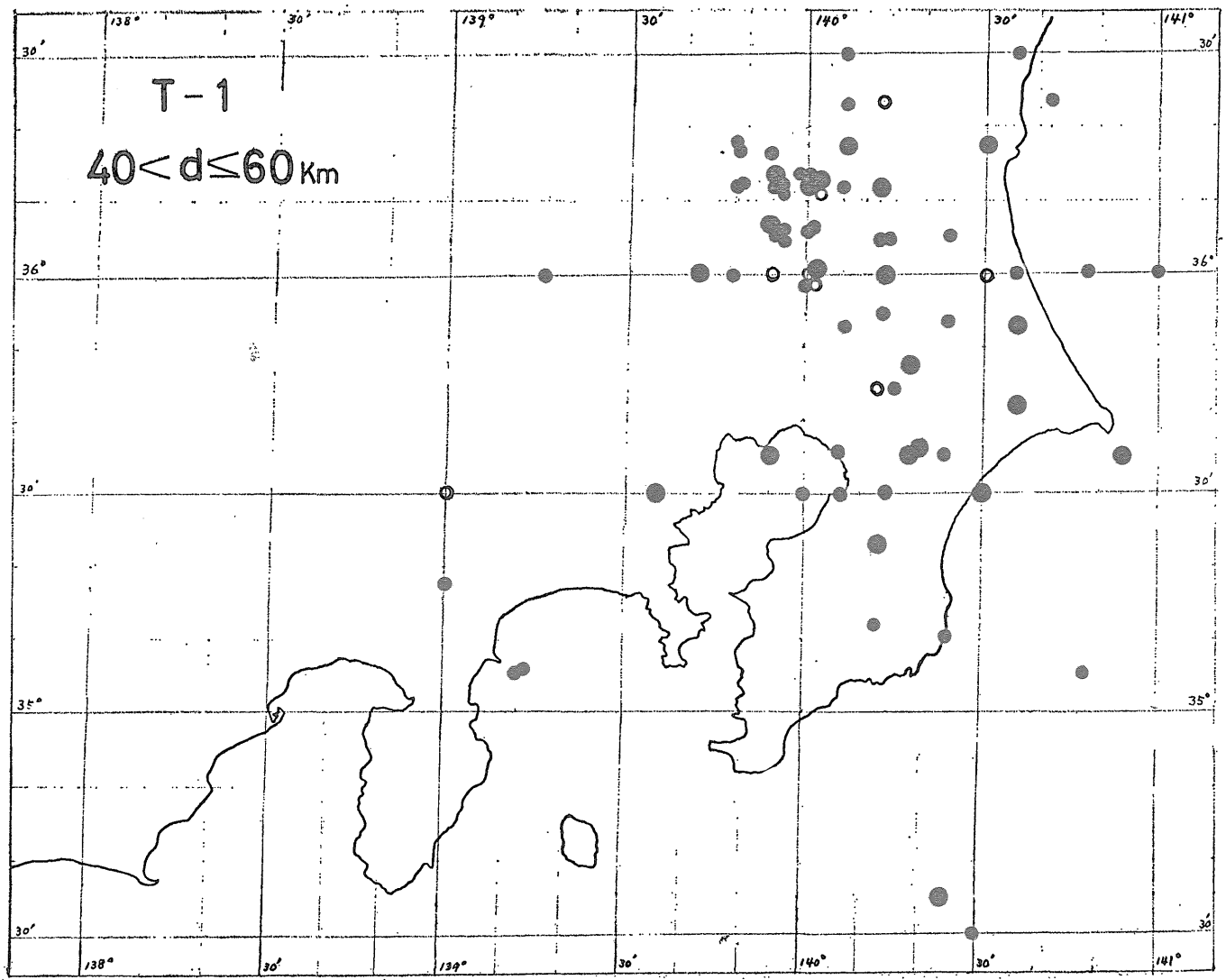
(昭和43年10月脱稿)

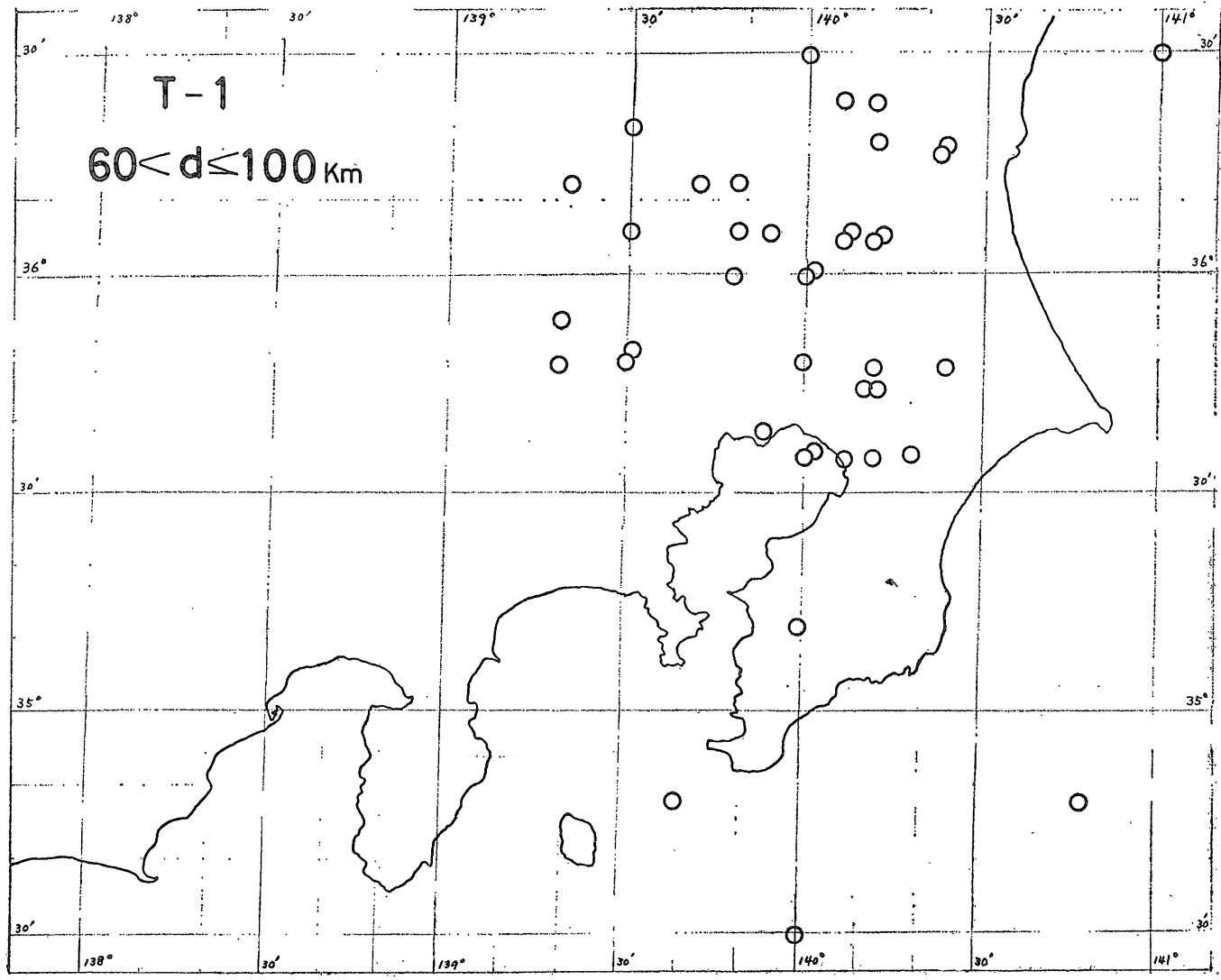


第 1 図

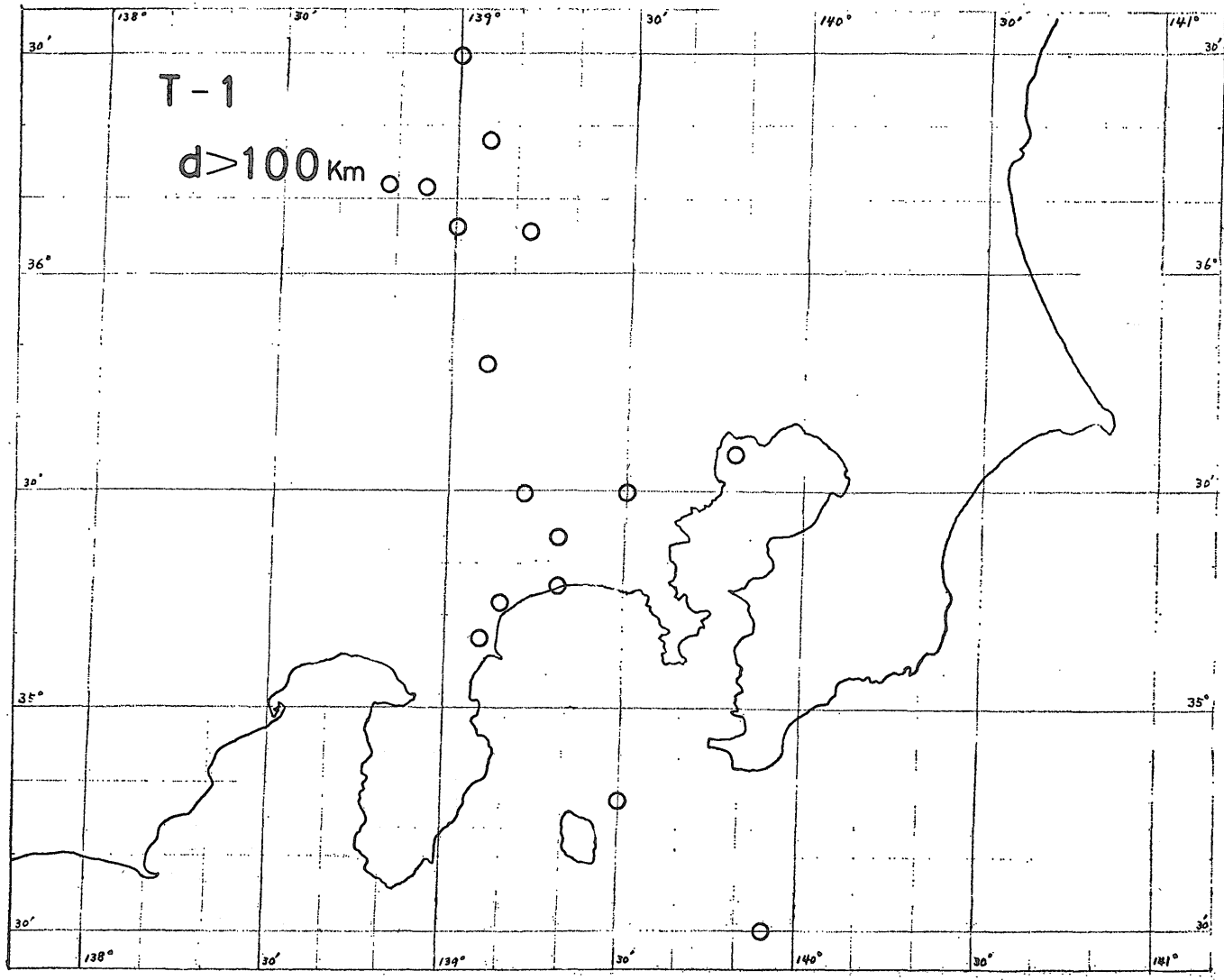


第 2 図

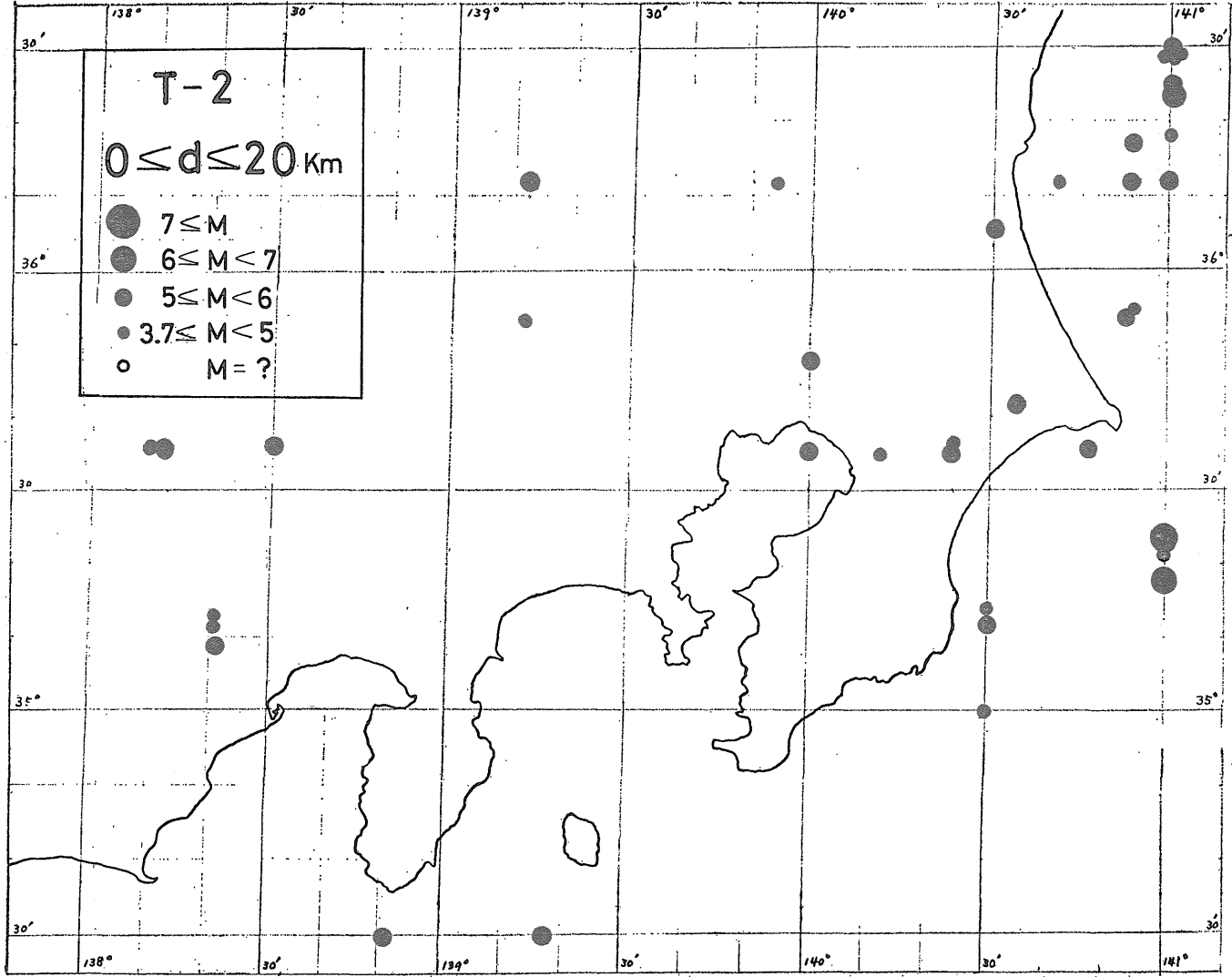




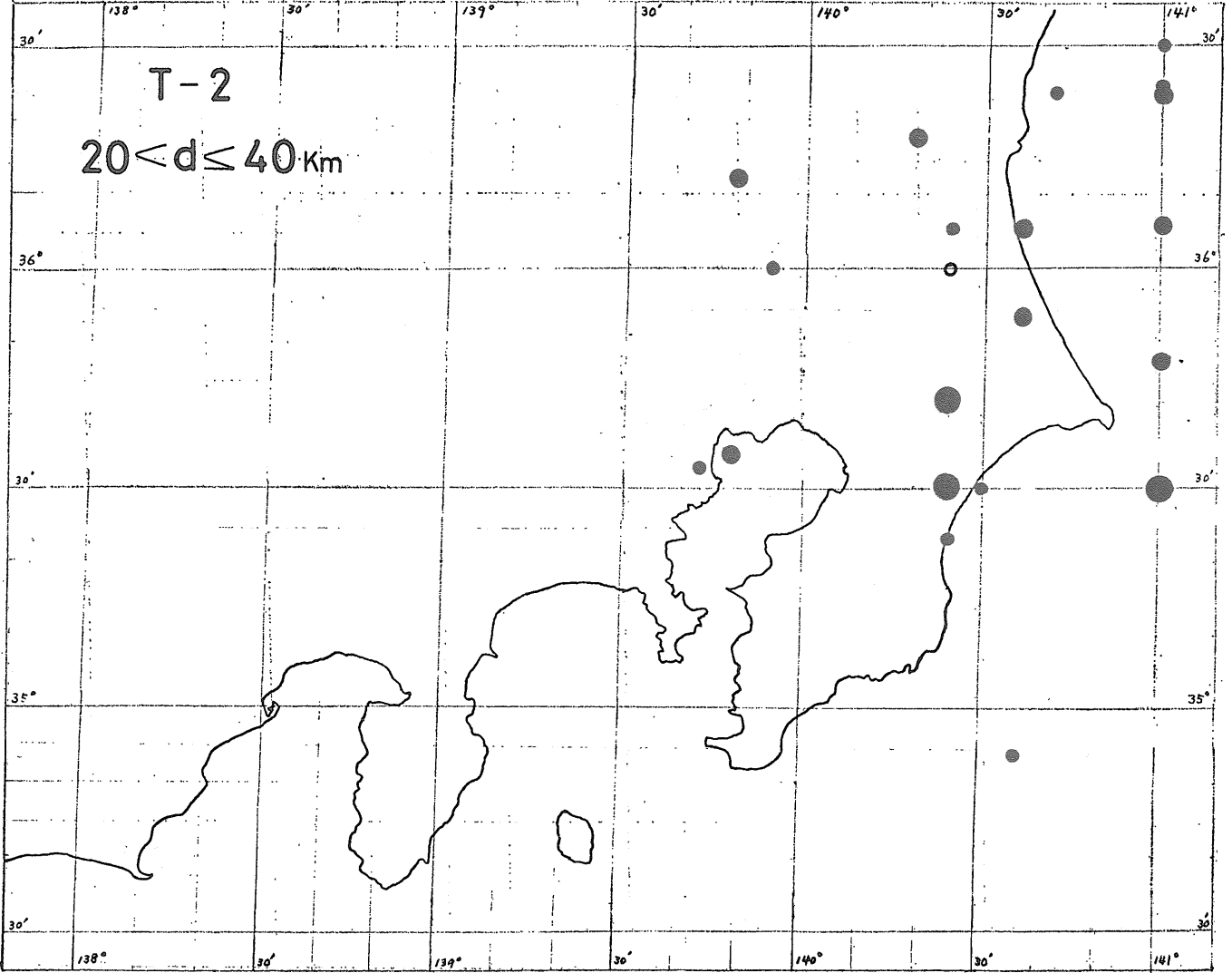
第 4 圖



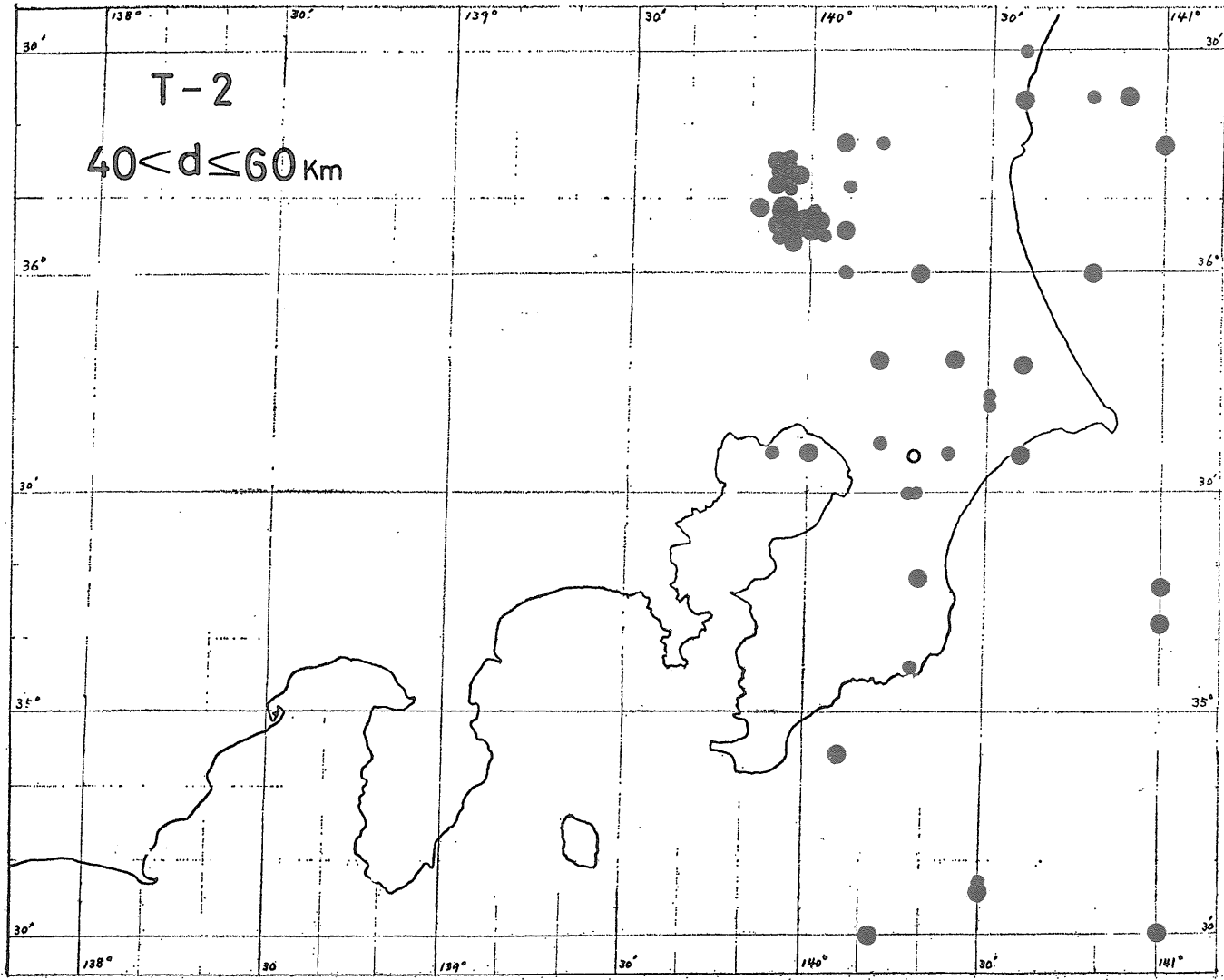
第 5 図

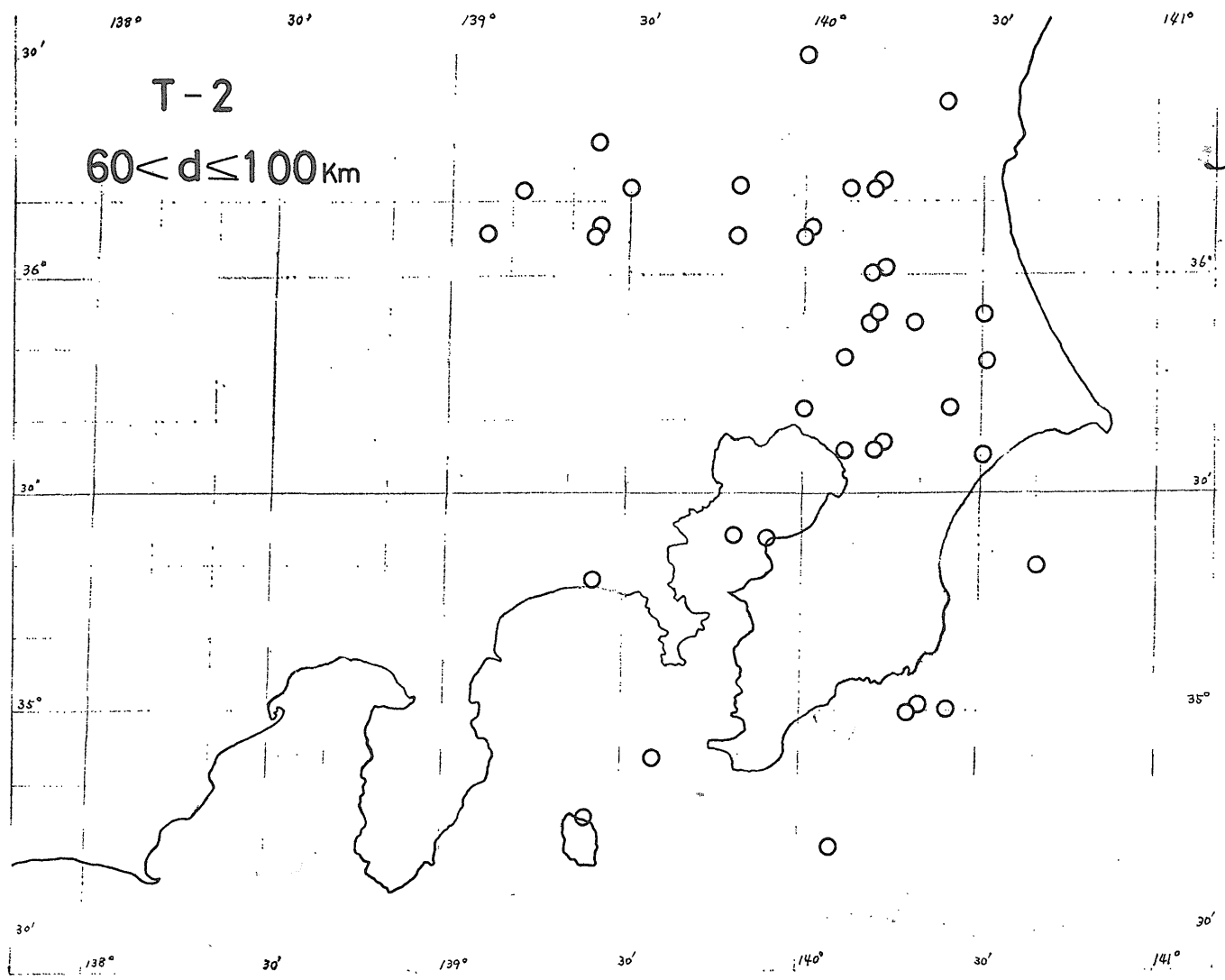


第 6 図

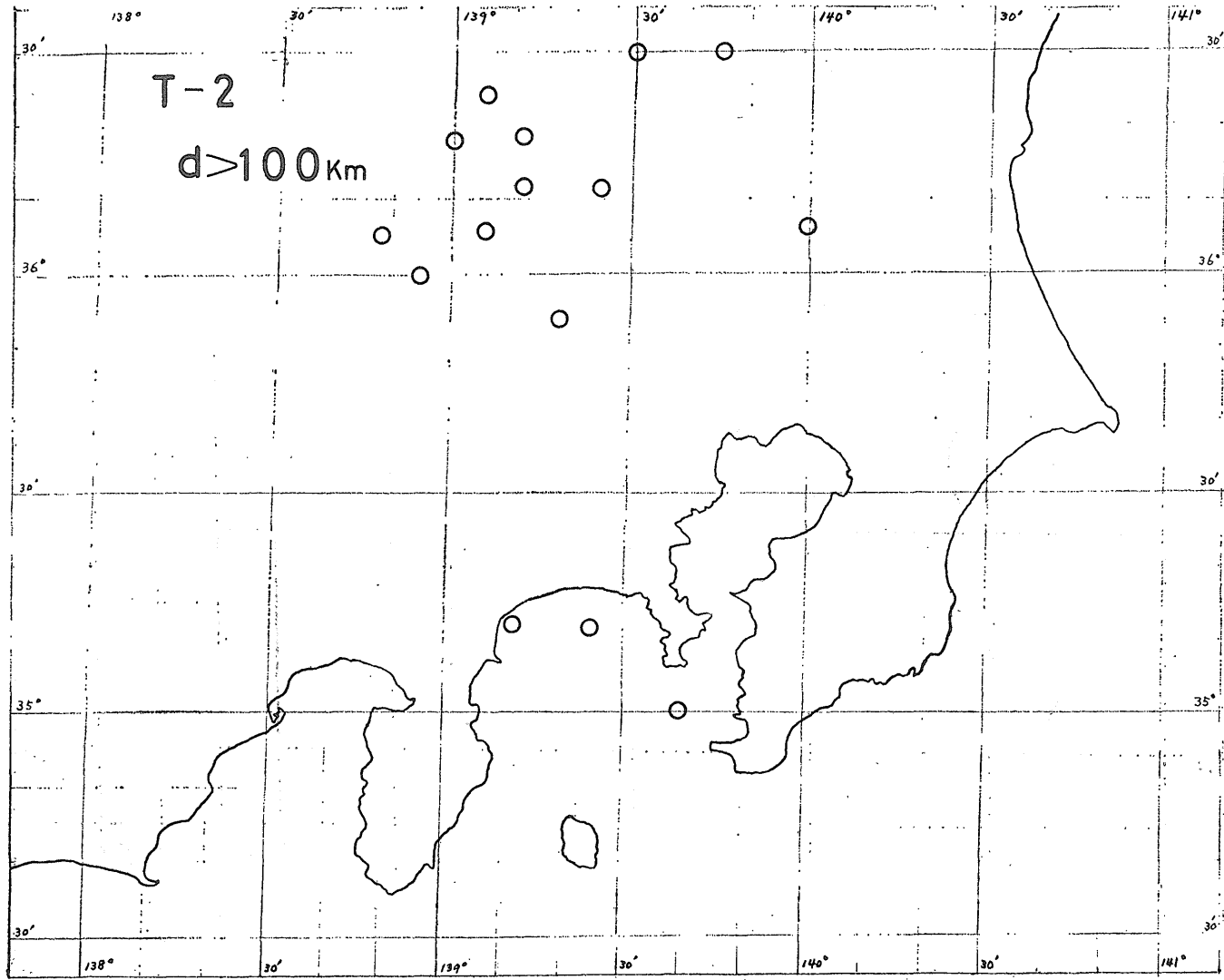


第 7 図

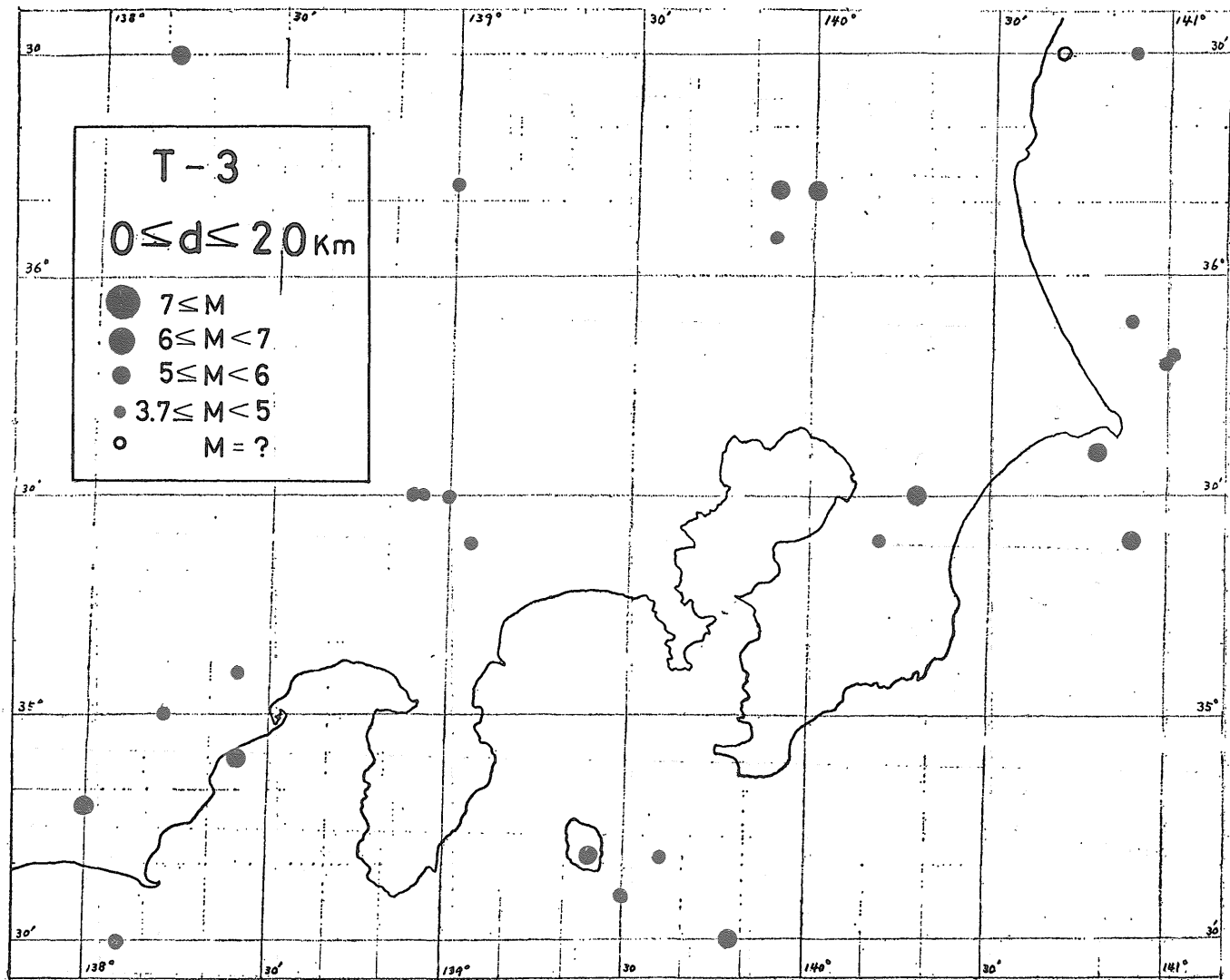




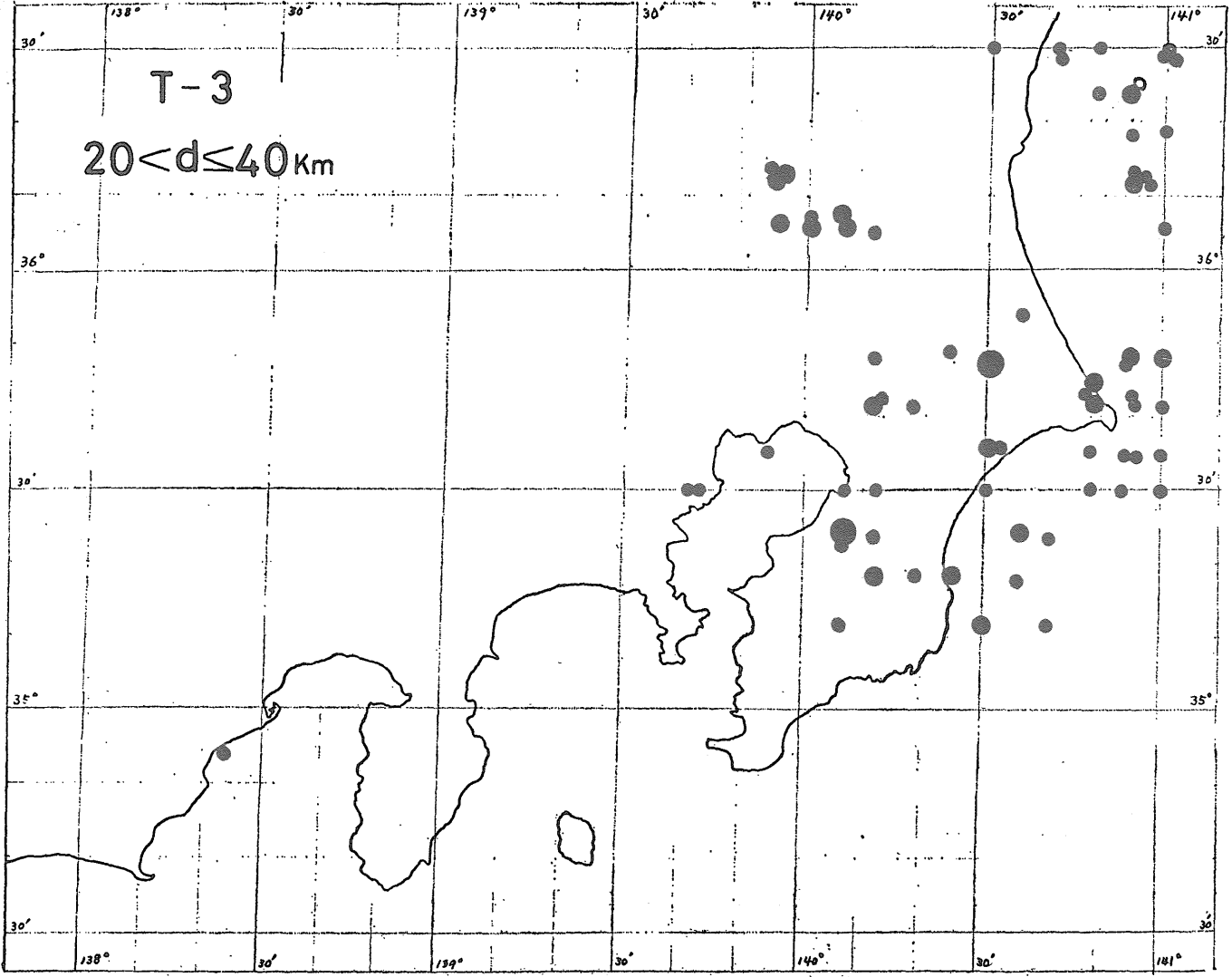
51—(275)



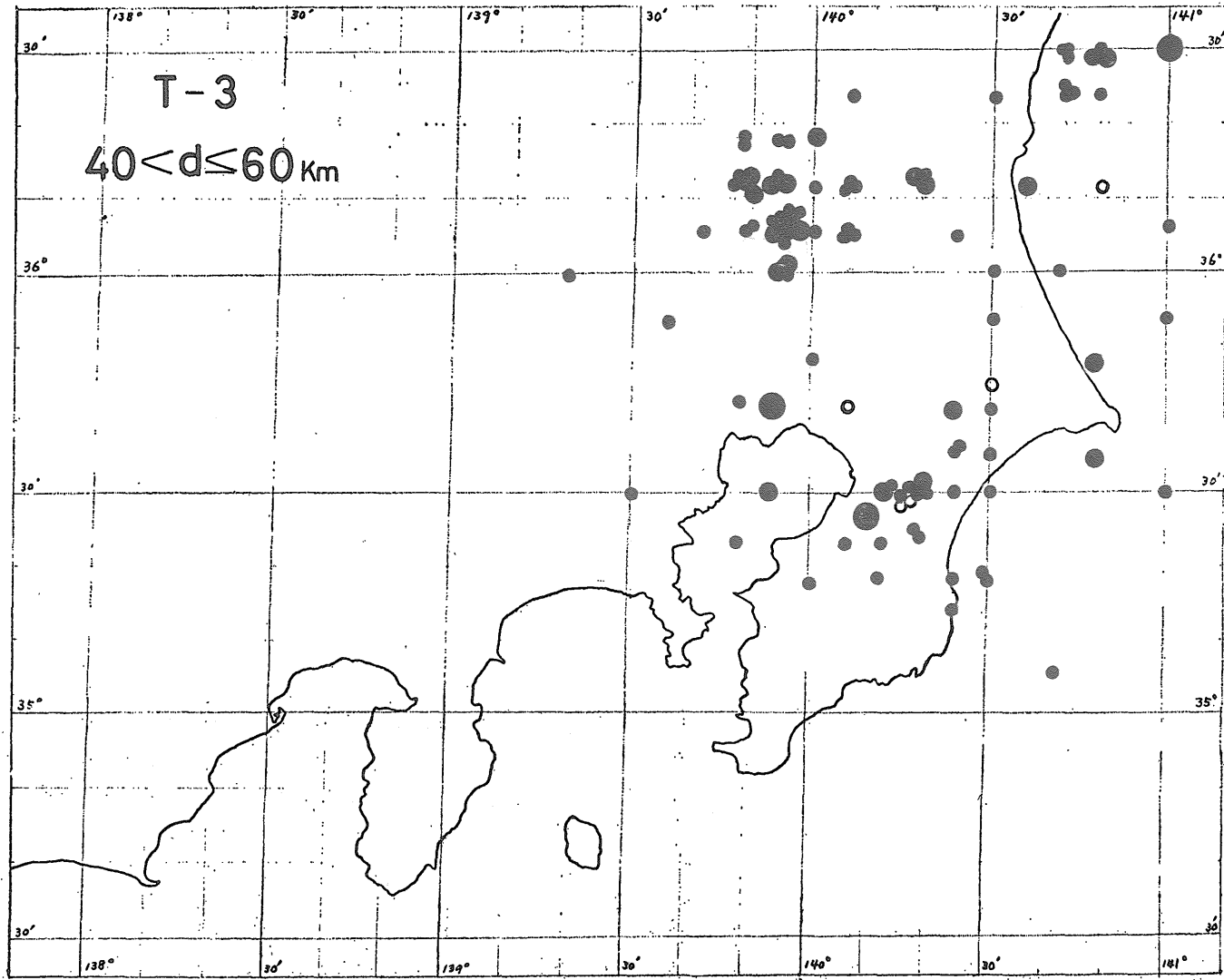
第 10 圖

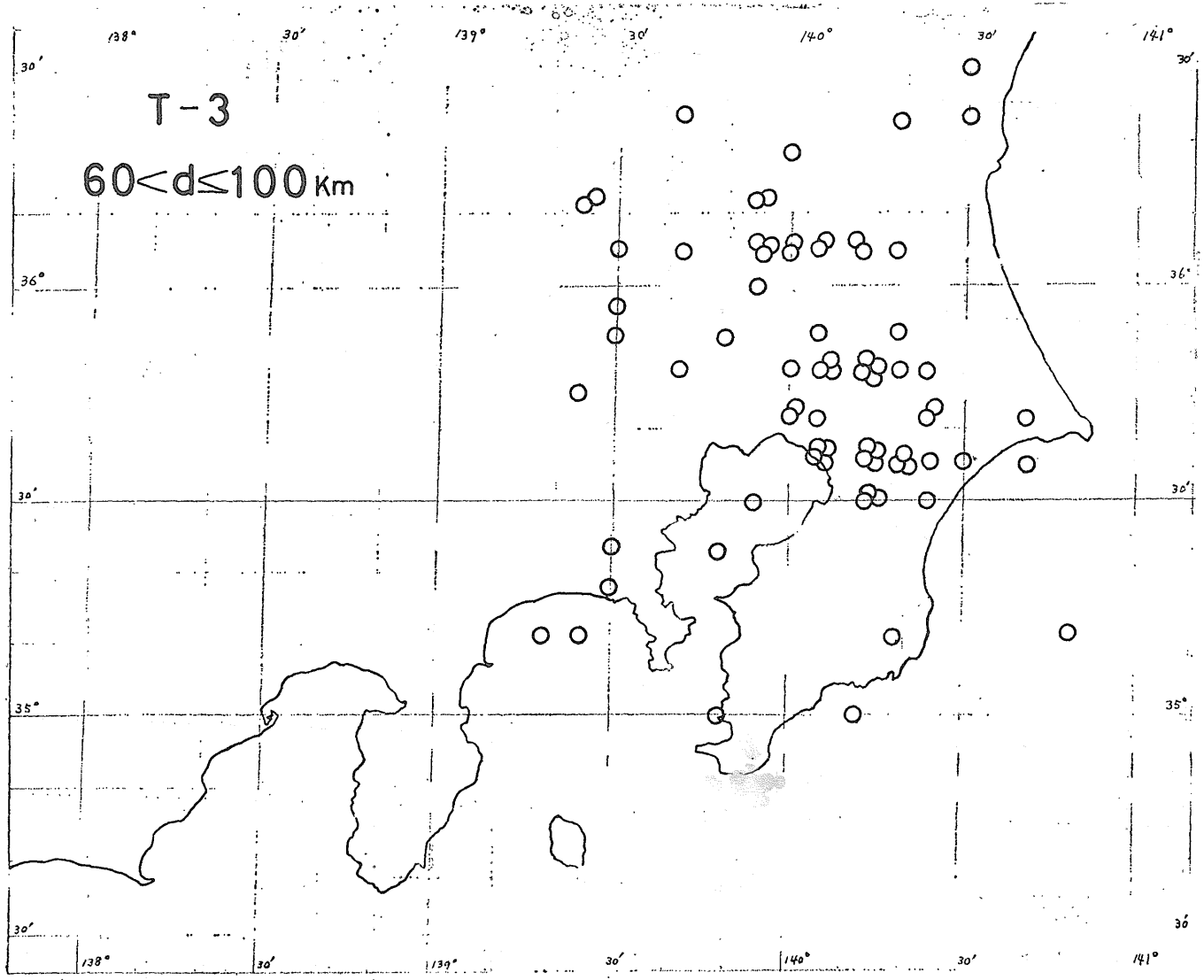


第 11 図

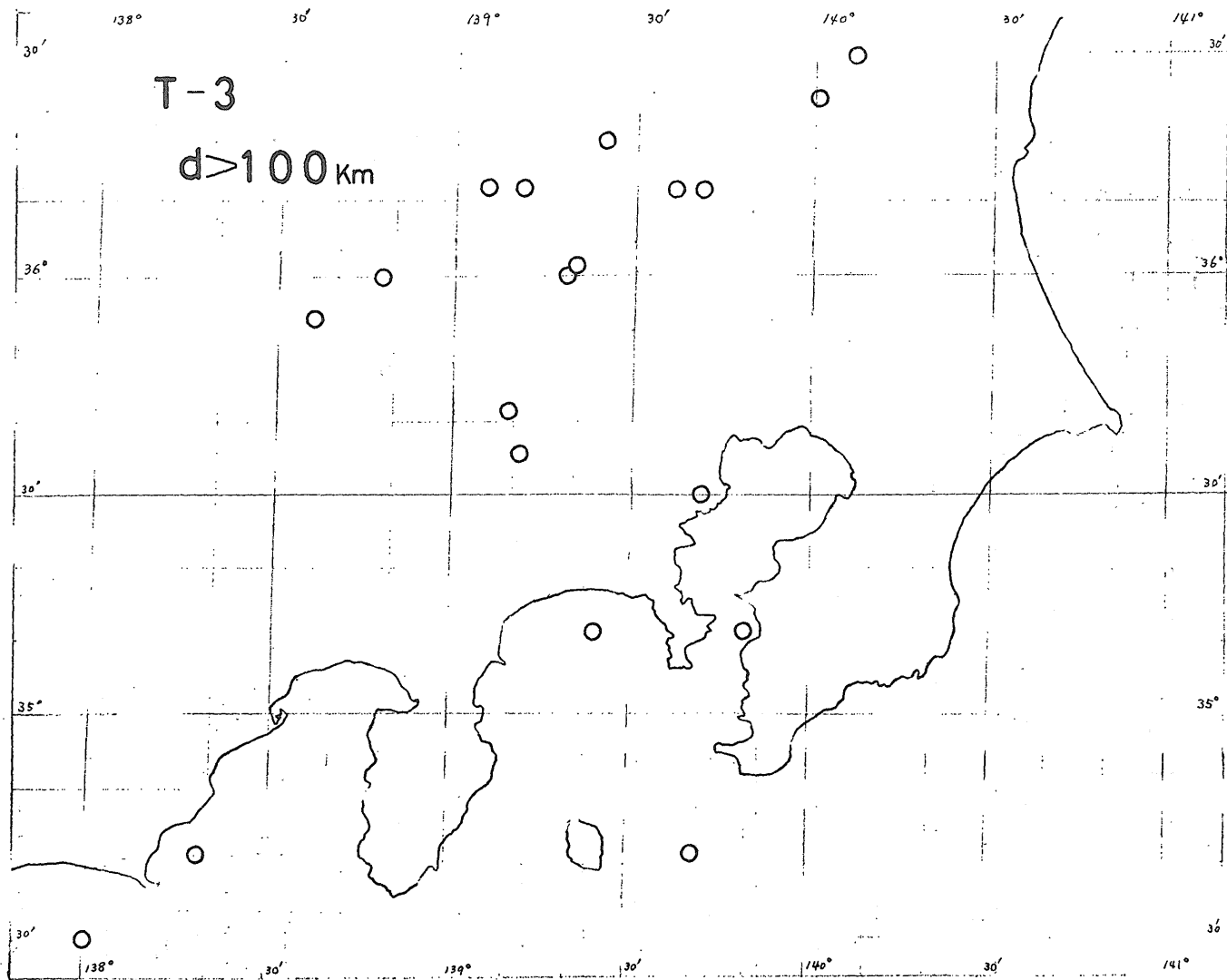


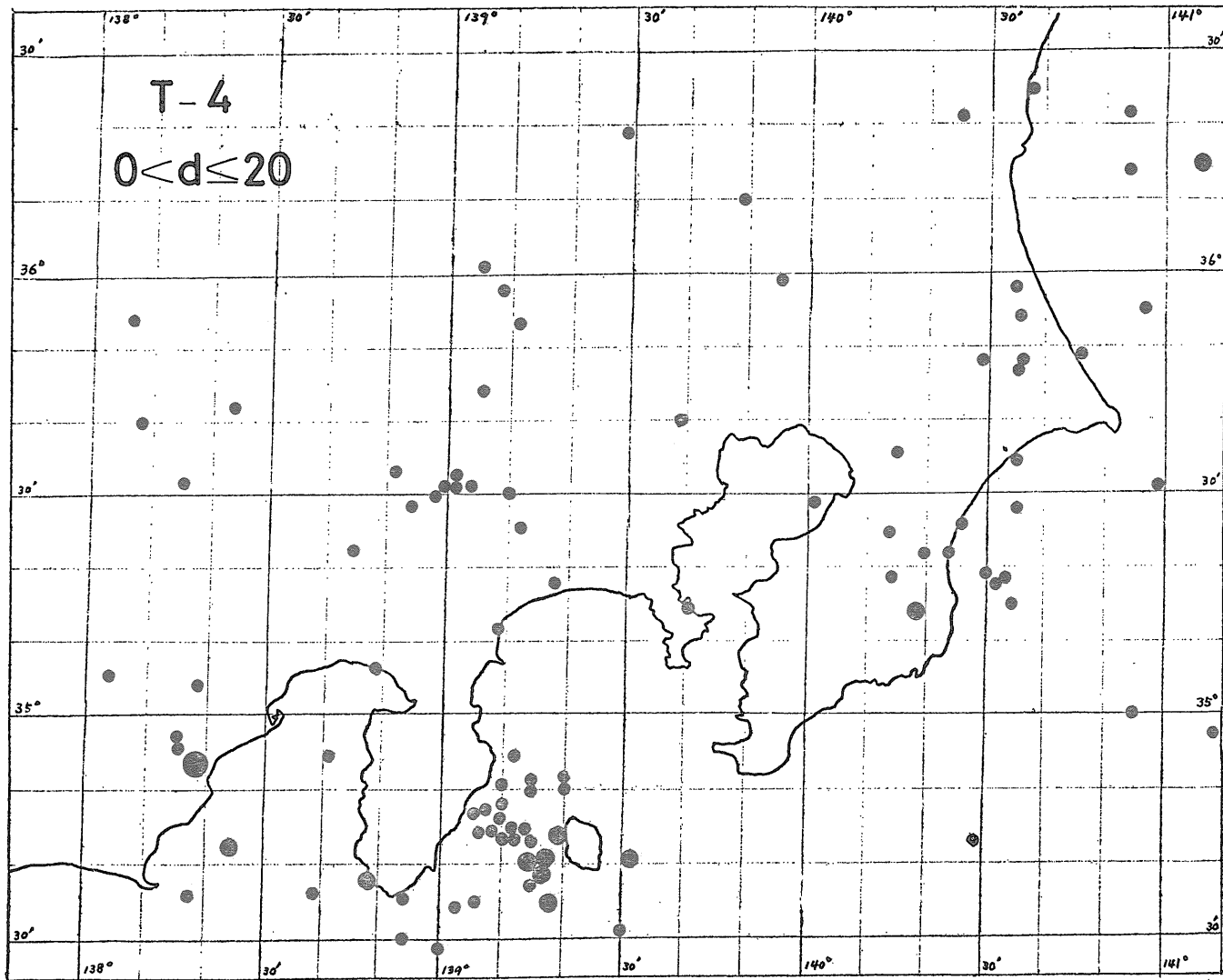
第 12 図

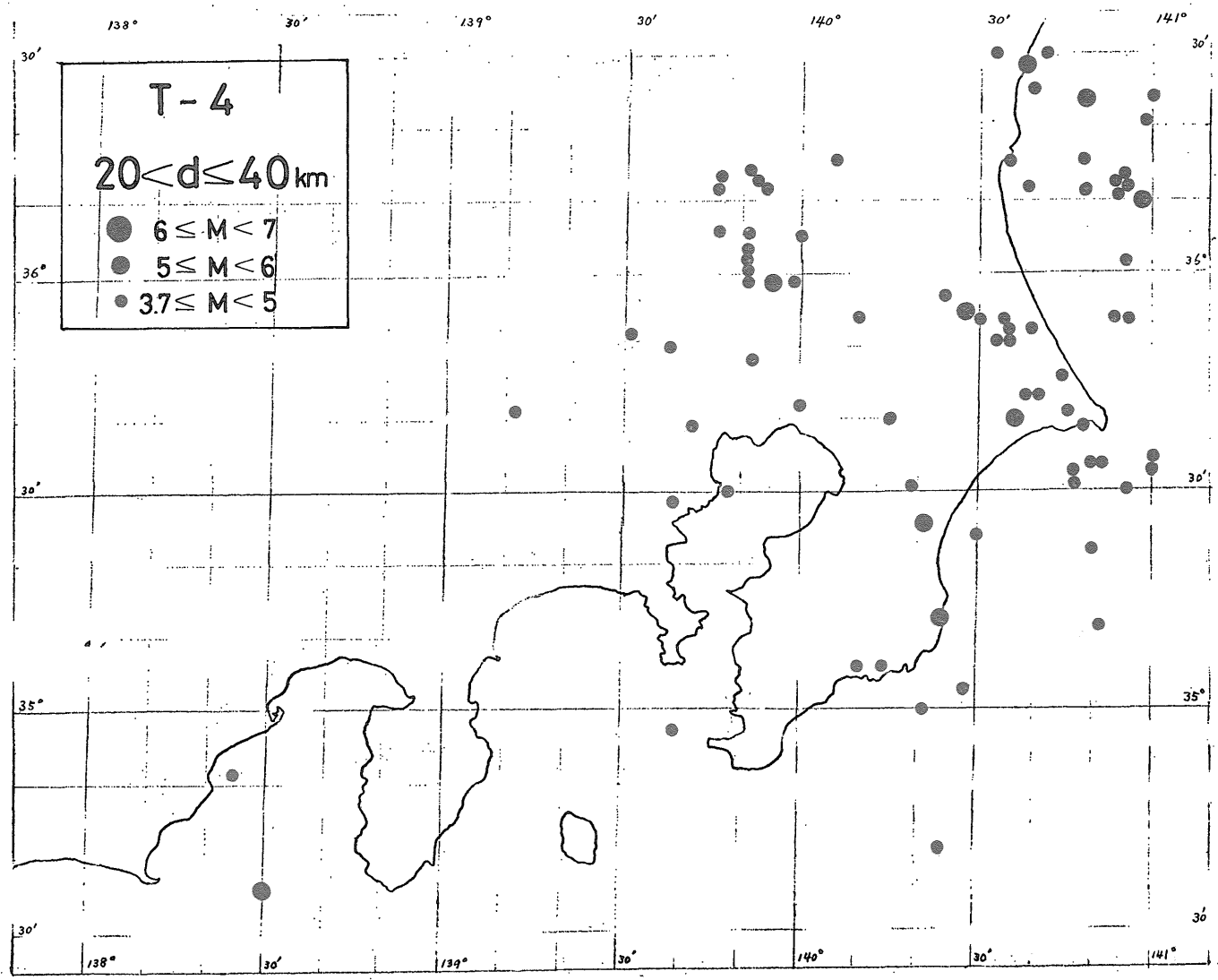


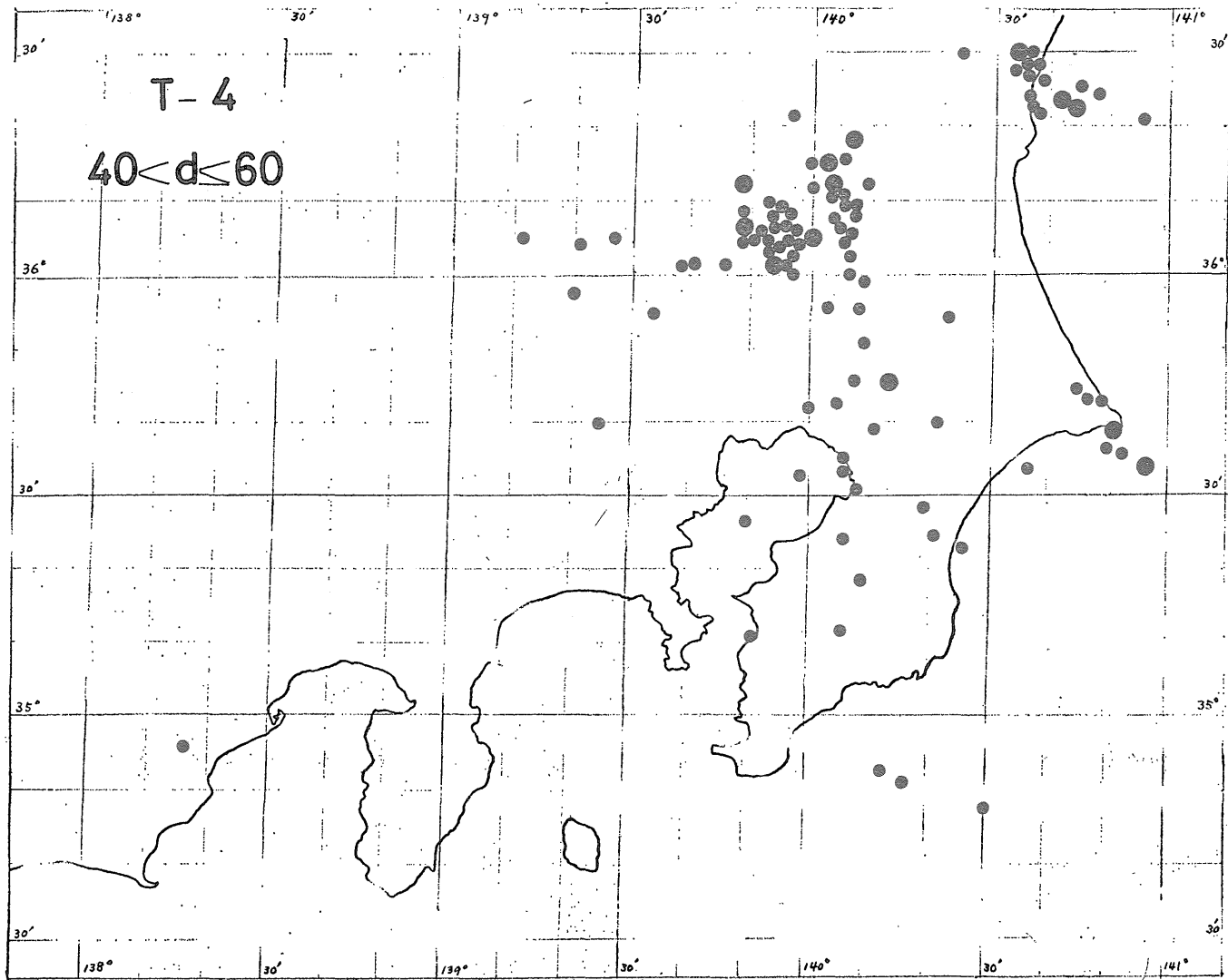


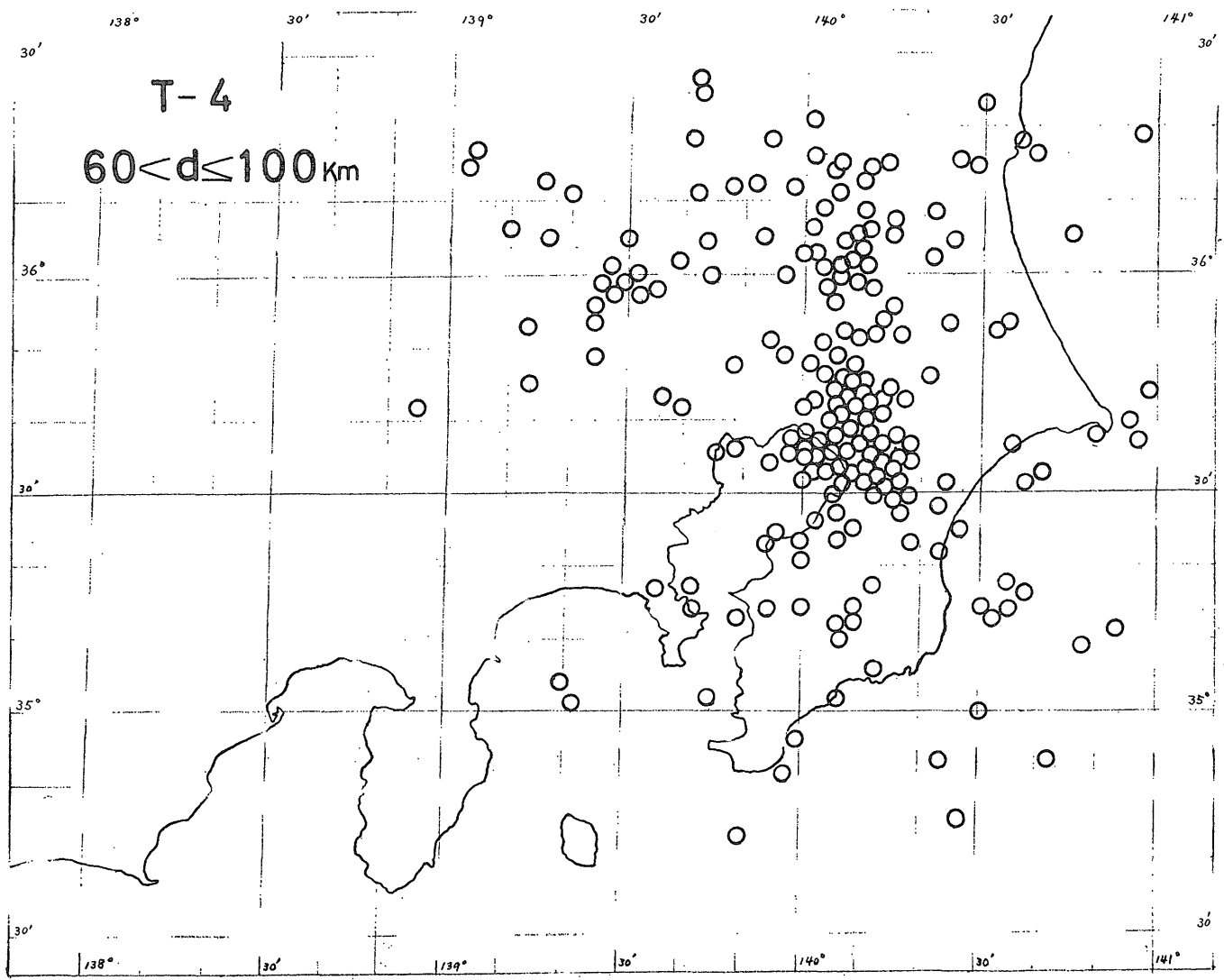
第 14 圖



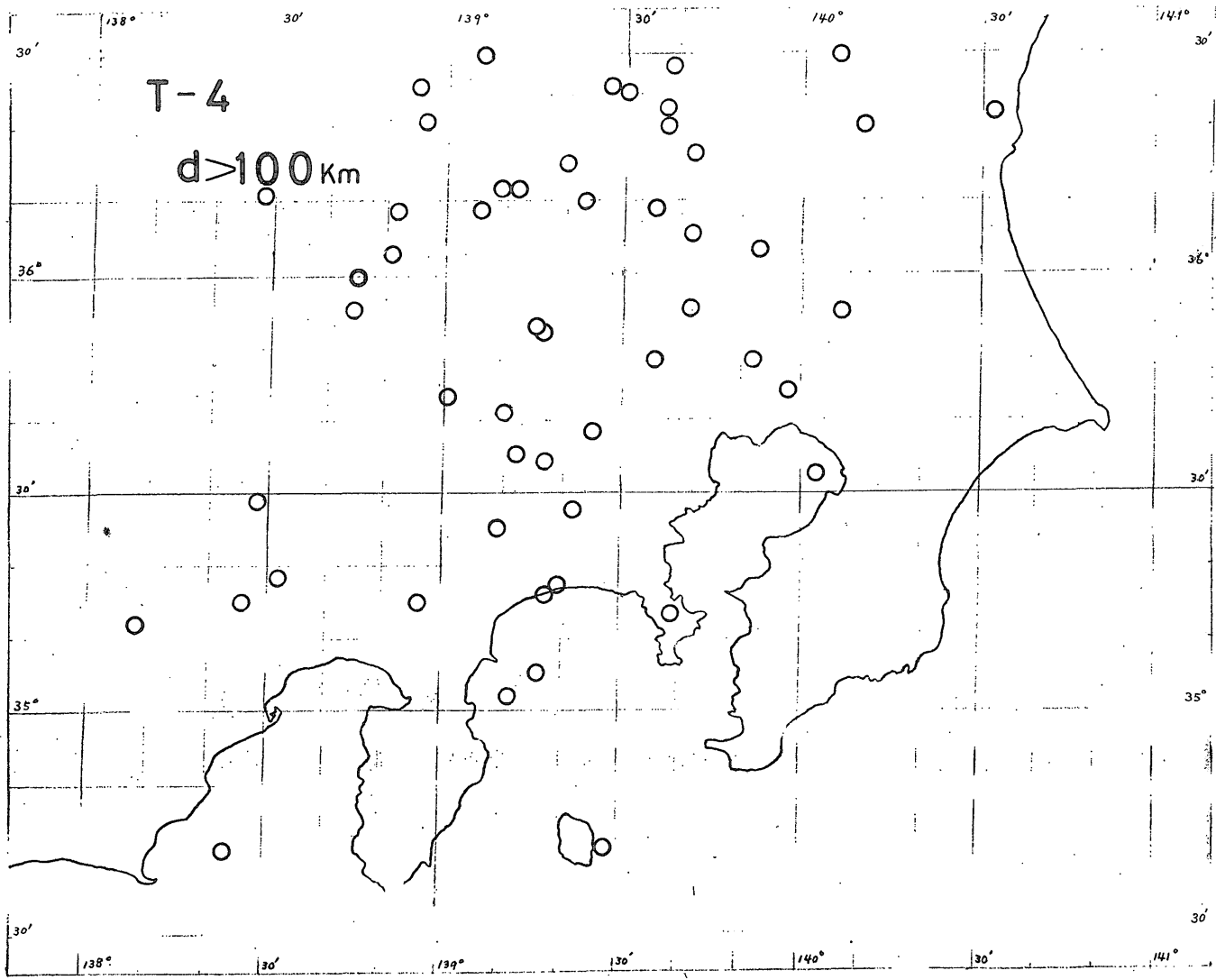




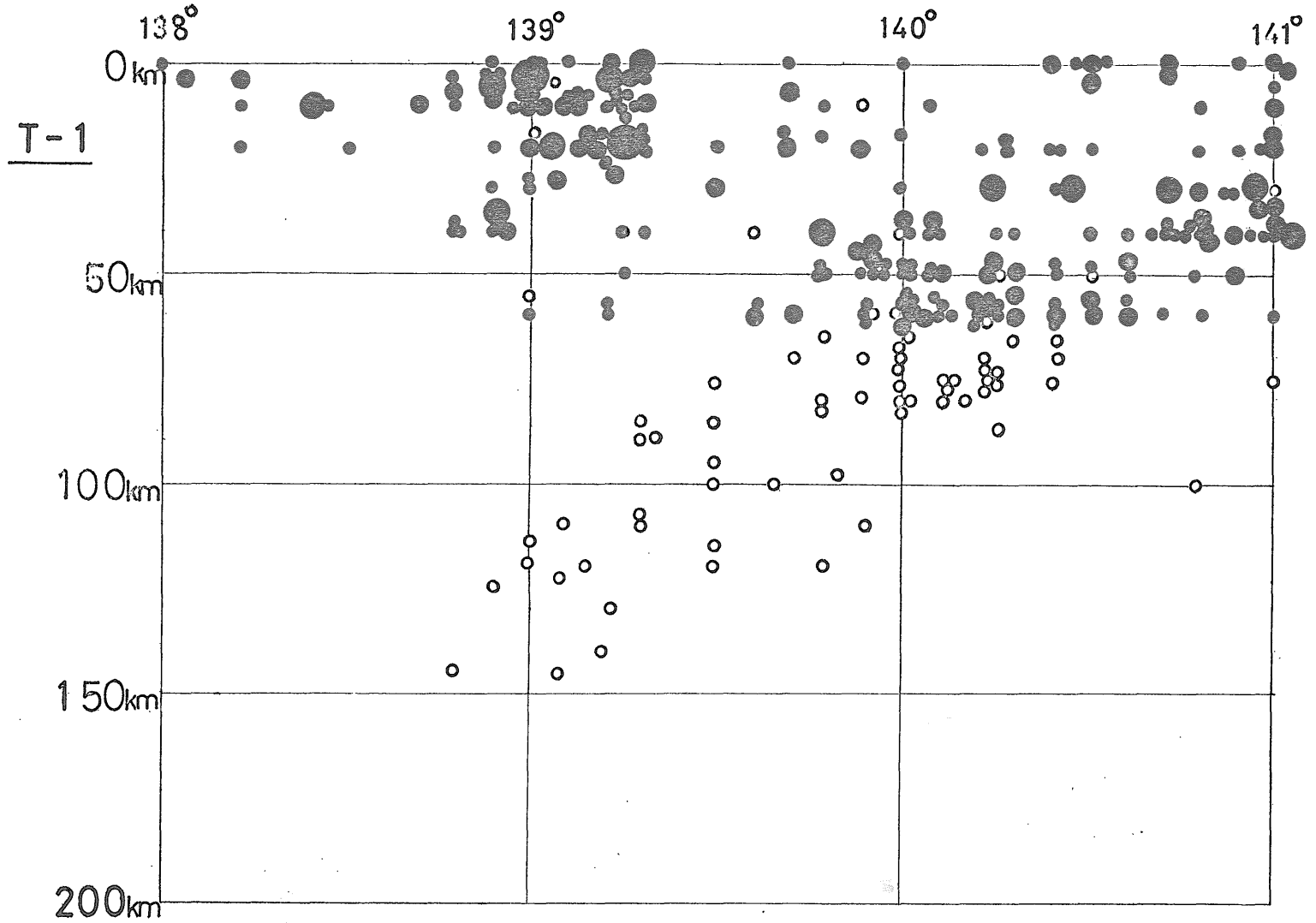




61—(285)

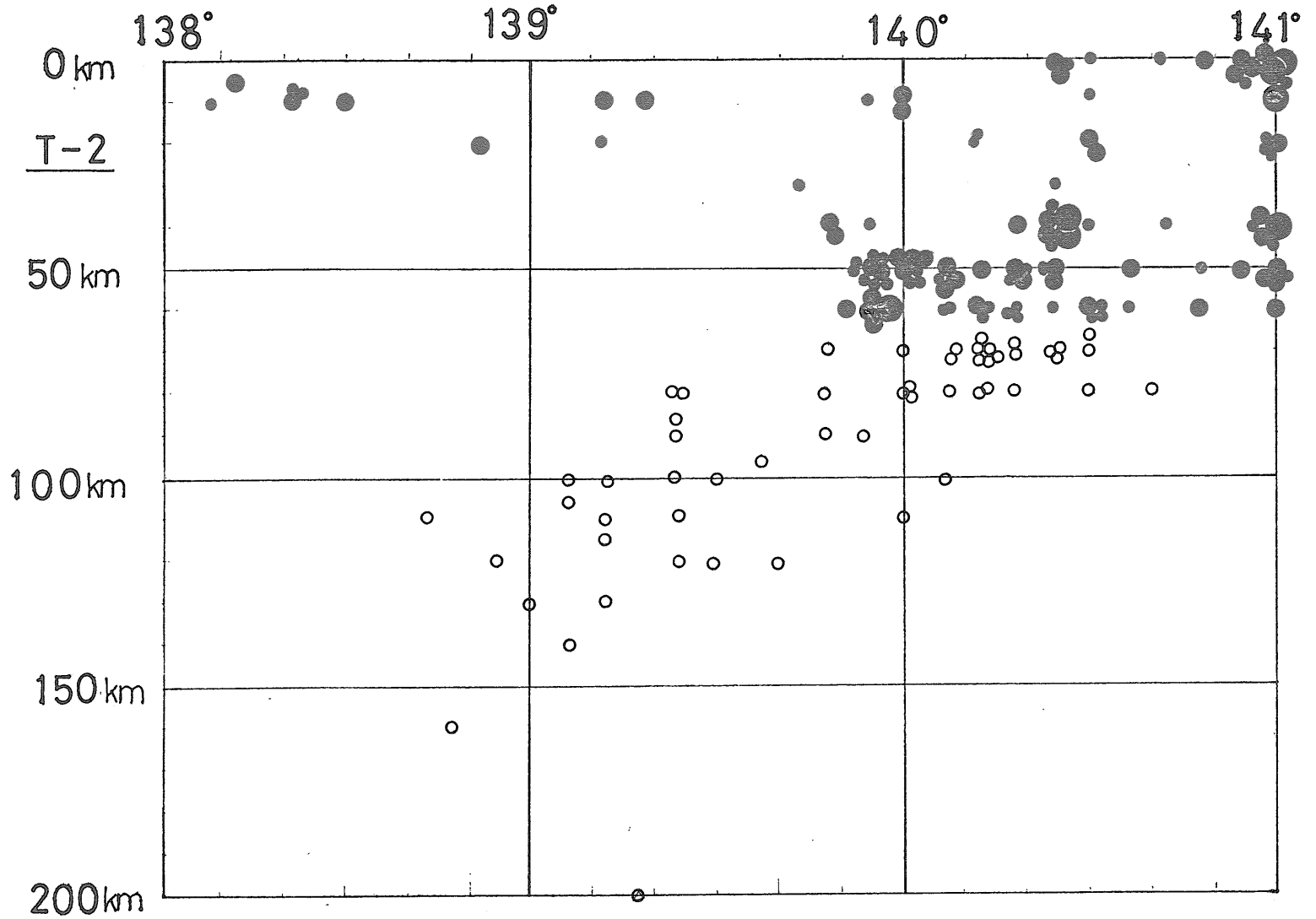


第 20 圖

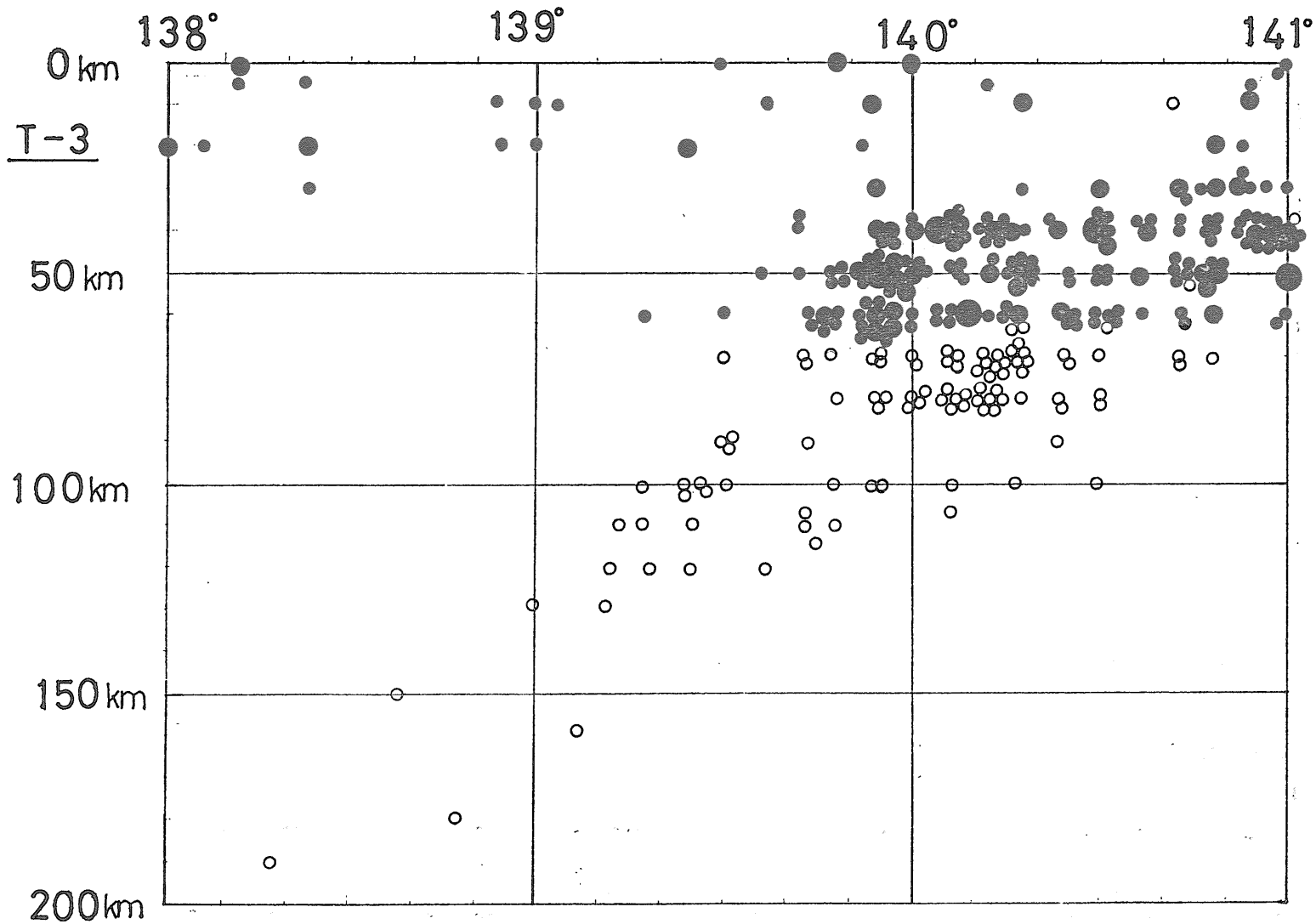


63—(287)—

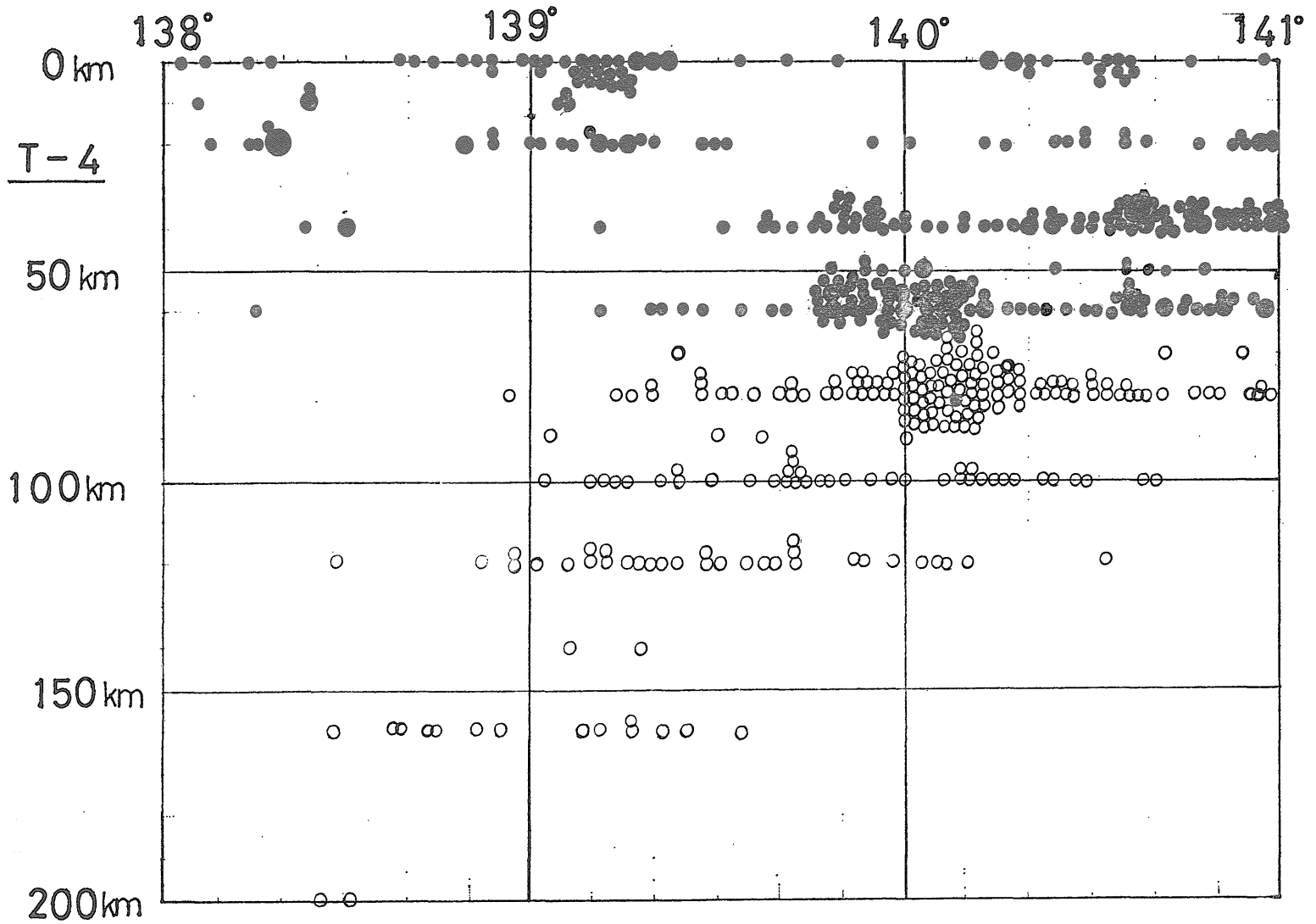
第 21 図 震源分布の東西断面図 (1926—1936)



第22図 震源分布の東西断面図(1937—1946)

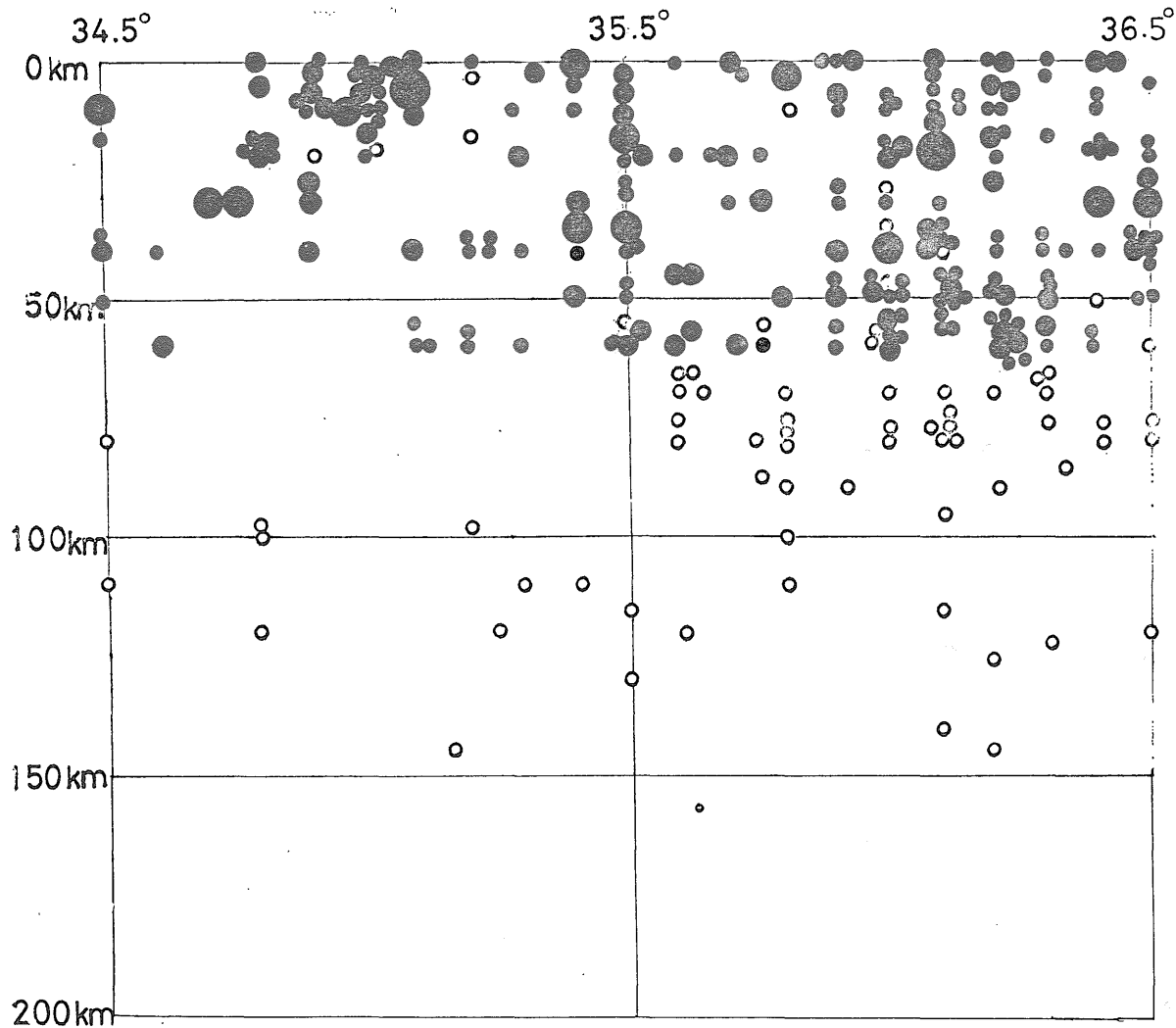


第23図 震源分布の東西断面図(1947-1956)



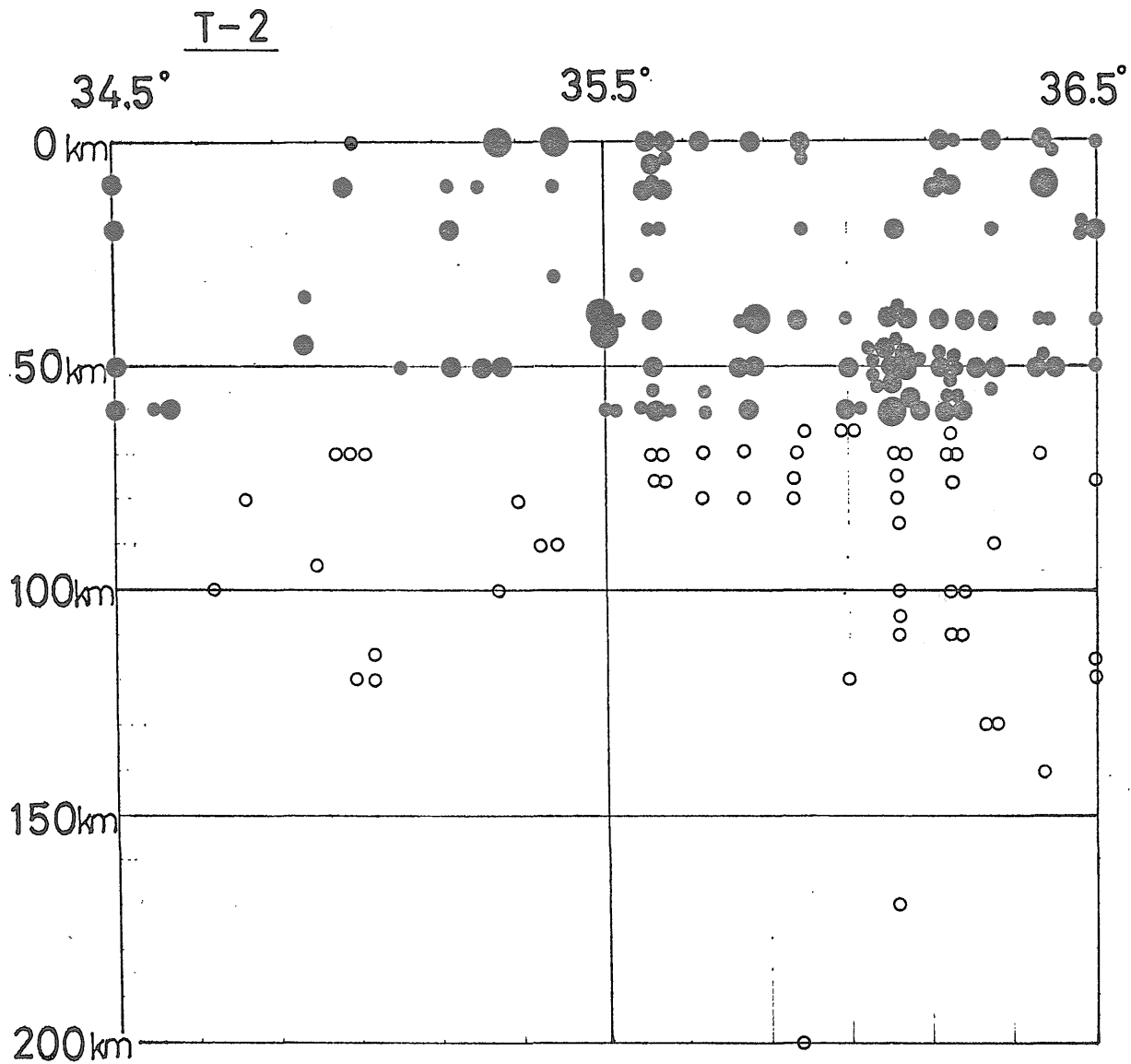
第24図 震源分布の東西断面図(1957-1966)

T-1

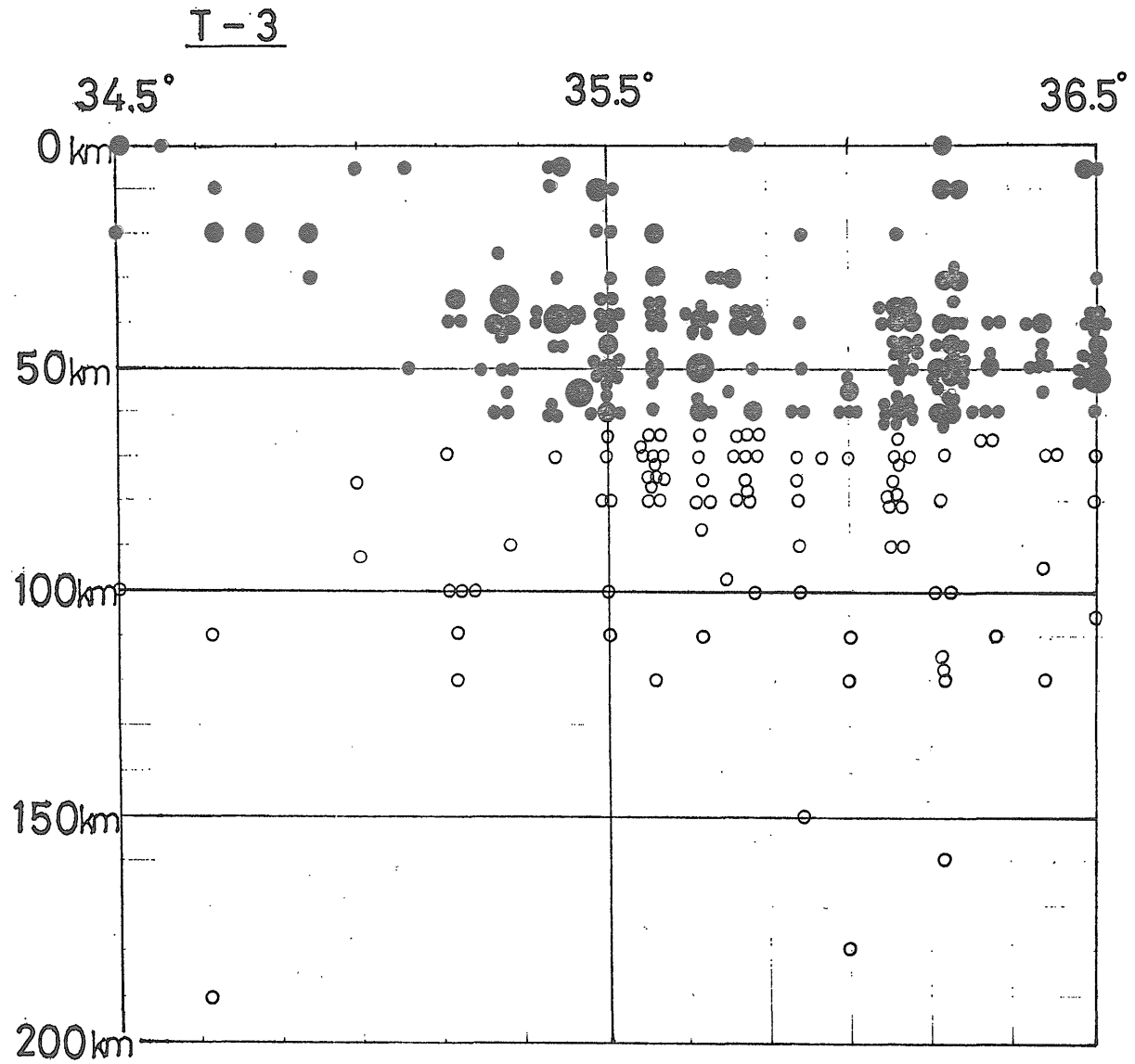


爆破地震による地震波速度の変化の観測 (第1報) (長谷川功・飯塚進)

第25図 震源分布の南北断面図 (1926—1936)



第 26 图 震源分布の南北断面图 (1937 - 1946)



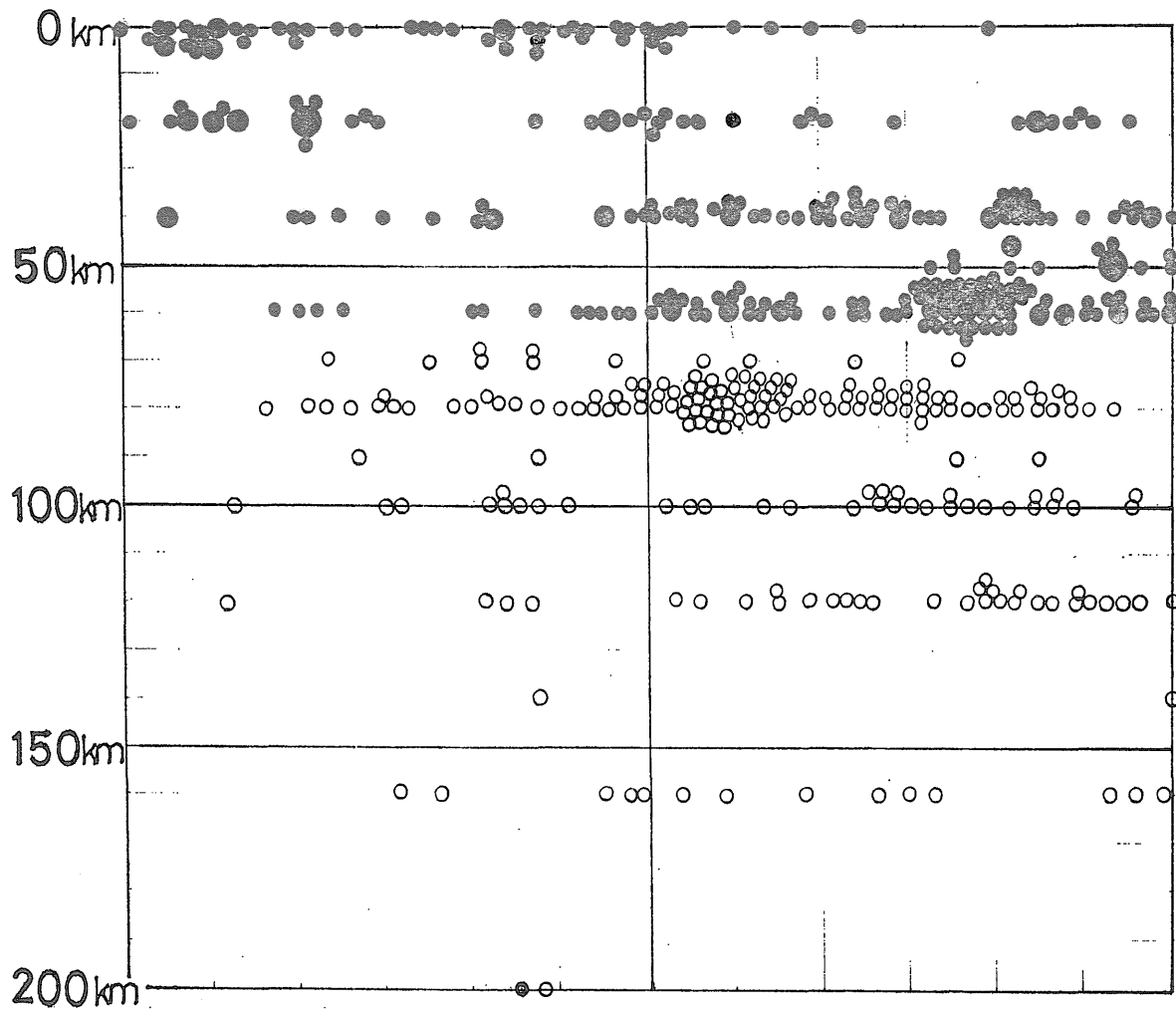
第27図 震源分布の南北断面図 (1947 - 1956)

T-4

34.5°

35.5°

36.5°



70—(294)

地質調査所月報(第20卷第4号)

第28図 震源分布の南北断面図(1957-1966)