に位置的に規制され，プラグの外縁側に異常値が分布していることが認められる。

その他Virac にも地温及びラドンガスの異常がみられる。地表では現在地熱示徴は認められず，原因については不明である。

調査した1m深の地温，土壌中の水銀濃度及び土壌空気中のラドンガス濃度の3変量について相関係数を求めた。その結果をTable Ⅱ－2－5に，また各々の散布図をFig. Ⅱ－2－14～Fig. Ⅱ－2－16に示すが，各変量間には相関は認められない。

Table II–2–5 Correlation Coefficients Between the Different Parameters

	T	Hg (Soil)	Rn
T		−0.2	0.2
Hg (Soil)	−0.2		6.5×10^{-3}
Rn	0.2	6.5×10^{-3}	

2－3 温泉水の地化学調査

2－3－1 温泉水の湧出状況

温泉水のO／H同位体測定を目的として，調査地域内の坑内外から15試料を採取した。採取箇所をFig. Ⅱ－2－17に，また湧出地点の状況はTable Ⅱ－2－6に示すがその詳細は次のとおりである。

(1) №1（試錐 AGH－1）

AGH－1の試錐孔口から湧出してる温泉水を採取したもので，湧出量は約2ℓ／分，温度は66.2℃，PHは7.0である。試錐孔は旧期プラグの淡緑色ないし緑色安山岩質凝灰角礫岩の中を掘穿したもので，下位で地質は安山岩に移化する。

(2) №2（アンバラン川〔Ambalanga river〕）

AGH－1孔の上流約300mの位置である。地質は淡緑色の安山岩質凝灰角礫岩及びそこに貫入した安山岩類からなり，温泉水はそれらの中に発達した節理面に沿って湧出している。湧出量は約3ℓ／分で，温度は73.8℃，PHは7.0，母岩は淡緑色化の変質を被り方解石の細脈が多数分布する。

(3) №3，4，5，（Acupan 鉱山の2900レベル）

Virac花崗閃緑岩の節理面に沿って網の目状に坑壁全体から湧出している。その中で比較的多量に湧出している地点を選び採試した。各々の採試地点の湧出量は約100ℓ／分，

50ℓ／分，100～150ℓ／分，温度は各々35.9℃，43.5℃，41.7℃，PHは全て7.0である。温泉水の湧出母岩は淡緑灰色化の変質を被り，硫酸カルシウム及び硫酸第一鉄の沈澱がみられる。

(4) №6（Acupan鉱山 3,150 レベル）

坑道の床面を流れる温泉水を採試した。流量は5ℓ／分程度，温度は65℃，PHは7.5である。付近の地質はBalatocブラグの淡緑色安山岩質凝灰角礫岩からなる旧期ブラグで，一部安山岩の岩脈が貫入している。

(5) №7（Acupan 鉱山 3,150 レベル）

湧出地点には熱気の為に近寄ることができず，坑道の床面を流れる温泉水を採取した。流量は10ℓ／分，温度90℃，PH 7.5である。付近の地質は淡緑色の石英安山岩質火山礫凝灰岩ないし凝灰角礫岩で，黄鉄鉱の鉱染及び珪化が極めて強い。又，方解石の細脈も顕著である。

(6) №8（Acupan 鉱山 3,150 レベル）

熱気及び熱水を閉塞してる閉塞壁の踏前坑道面より流出してる熱水を採取した。流出量2ℓ／分，流出温度65℃，PH 7.0である。付近の地質は新期ブラグの淡緑色石英安山岩質火山礫凝灰岩～凝灰角礫岩である。

(7) №9（Acupan 鉱山 3.150 レベル）

試錐孔口及び節理面から噴気を伴ない温泉水が湧出している。坑道床面に落下し，流れている熱水を採取したが，流量は約70ℓ／分，温度75℃，PHは7.5である。付近の地質は淡緑灰色の安山岩質凝灰角礫岩で，旧期ブラグと新期ブラグとの境界付近に位置している。

(8) №10，11（Acupan 鉱山 3.150 レベル）

坑道の天盤，側盤の節理面の割れ目より湧出して坑道床面に落下流出しているものを採取した。流出量は各々50～60ℓ／分，流出温度80℃，80℃，PH 7.5 70である。付近の母岩は白灰色～白色花崗閃緑岩で珪化が著しい。№10では緑色～暗緑色安山岩の貫入が見られる。

(9) №12，13（Acupan 鉱山 3,300 レベル）

坑内温度は65℃と極めて高い。採試箇所の奥の坑道では試錐孔口から蒸気と共に熱水が噴出し，採試点の直前で熱気の流入防止の為，坑道は密閉されている。

試料は排水路を流れる熱水を採取したもので，流量はいずれも25～30ℓ／分，温度とPHは№12，№13各々57.1℃，7.0，85.8℃，7.5である。付近の母岩地質は淡緑色石英安山岩質火山礫凝灰岩～凝灰角礫岩，及び淡灰色～明灰色安山岩質凝灰角礫岩で一

部安山岩の岩脈で貫かれている。角閃石は緑泥石に変質し，黄鉄鉱が極めて多量に鉱染し珪化を強く受けている。又坑壁に接して設置されているこの付近の排気管には硫酸カルシウムの白色鉱物が多量に沈着している。

(10) No.14（Acupan 鉱山 2,300 レベル）

試料は閉塞坑道の閉塞壁面の踏前坑道面より流出しているのを採取した。流出量は100～50 ℓ／分で，流出温度32.8℃，PH7.0である。母岩の地質は淡緑色石英安山岩質火山礫凝灰岩～凝灰角礫岩である。

(11) No.15（Acupan 坑山，海抜700 m レベル）

試錐AGH－1の孔口の北西約100 mの地点から南西側に立入坑道が現在開穿中である。試料は坑壁から湧出する温泉水を採取したもので，湧出量は約5 ℓ／分，温度は73.1℃，PHは7.5である。母岩の地質は緑色ないし暗緑色の安山岩である。

2－3－2　試料の採取方法

試料容器は500 mℓのポリビンを使用した。試料水で2～3回充分に容器を洗浄した後，口元まで試料水で満し，無処理の生水のままで密閉した。試料は日本へ持ち帰り，三菱金属株式会社中央研究所で分析した。

2－3－3　O／H 同位体分析方法

水素および酸素の同位体比は，次式に示すような δ 値，すなわち，ある標準物質に対する千分率偏差（‰）により表わされる。

$$\delta \times = \left(\frac{\mathrm{Rsample}}{\mathrm{Rstandard}}\right) \times 1000$$

ここで，×は，D，^{18}O，であり，Rsample と Rstandard は，それぞれ試料および標準資料および標準試料の同位体比（D／H，$^{18}O/^{16}O$，）を表わす。標準試料は，水素と酸素では，SMOW（標準平均海水）が用いられている。

水素では，試料水を真空系内で約800℃に加熱した金属ウランと反応させ，水素ガスを発生させる。これをテフラーポンプで集め，収率を測定したのち，日立製作所製の同位体分析計（RMS－HB）によりD／H比を測定する。酸素では，試料水と二酸化炭素を真空容器中に閉じ込め，25℃の恒温水槽内で一昼夜振とう放置する。水と二酸化炭素は $^{18}O/^{16}O$ について同位体交換平衡に達するので，二酸化炭素の $^{18}O/^{16}O$ 比を比較することにより，水の同位体比を測定する。使用する測定機はVGアイソトープ社製の質量分析計マイクロマス903である。

2－3－4　O／H 同位体分析結果

Table Ⅱ－2－6に今回採取した15試料の分析結果を昨年採取した試料のうち，Acupan

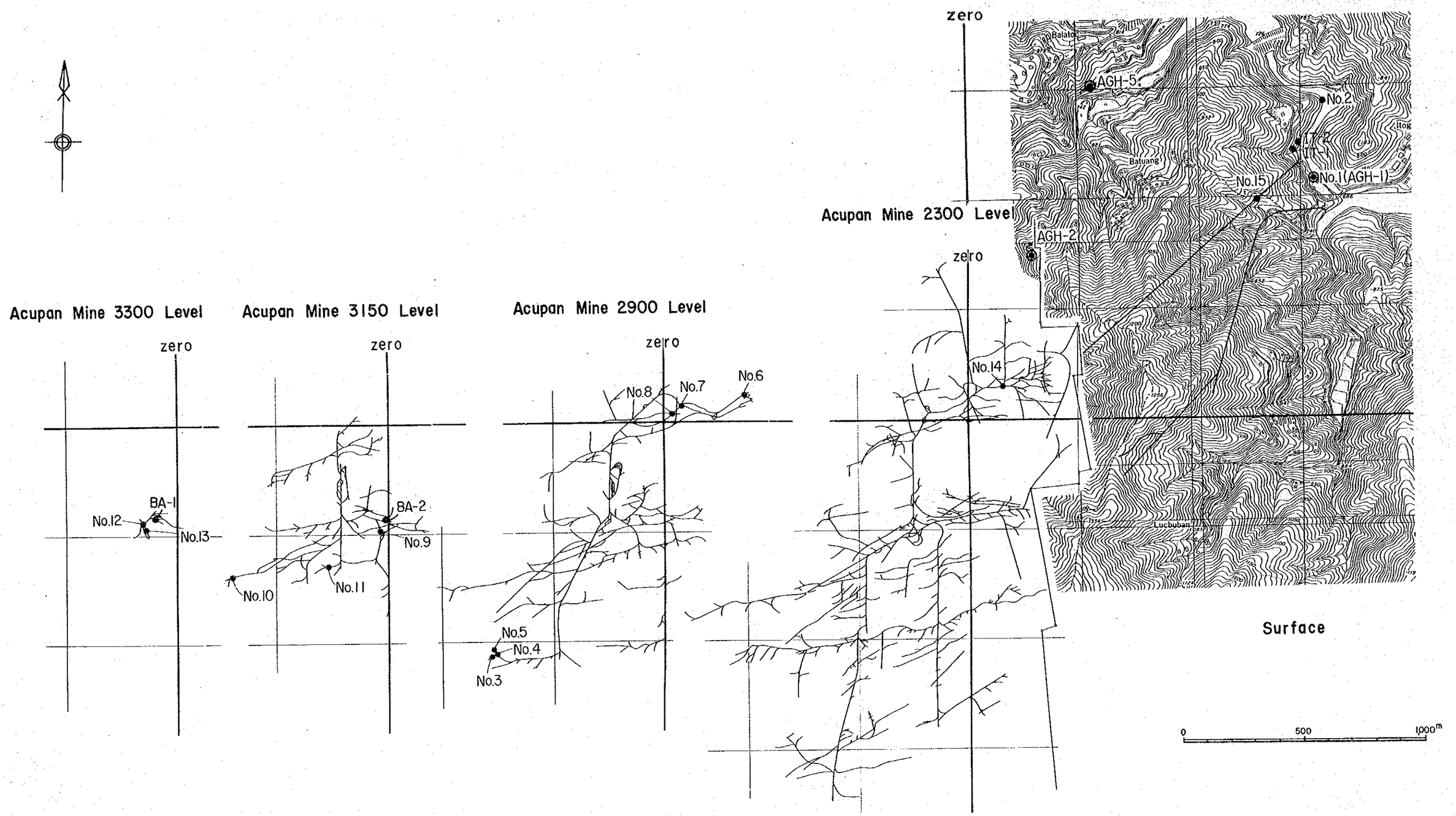


Fig. II-2-17 Location Map of Water Spring

Table II-2-6 List of Spring Water Samples and O/H Isotope Analysis

Sample No.	Sample Location	Temperature (°C)	Discharge (ℓ/min)	PH	δD (0/00)	$\delta^{18}O$ (0/00)	Remarks
1	AGH-1 Drill Hole	66.2	2	7.0	−58.9	−8.6	
2	Ambalanga River	73.8	3	7.0	−59.6	−9.3	
3	Acupan Mine 2900L	35.9	100	7.0	−66.7	−10.6	
4	Acupan Mine 2900L	43.5	50	7.0	−70.8	−10.8	
5	Acupan Mine 2900L	41.7	150 ~ 100	7.0	−70.2	−10.9	
6	Acupan Mine 3150L	65.0	5	7.5	−57.8	−8.1	
7	Acupan Mine 3150L	90.0	10	7.5	−56.5	−8.9	
8	Acupan Mine 3150L	65.0	2	7.0	−55.5	−8.7	
9	Acupan Mine 3150L	75.0	70	7.5	−55.2	−8.4	
10	Acupan Mine 3150L	80.0	60 ~ 50	7.5	−64.7	−10.1	
11	Acupan Mine 3150L	80.0	60 ~ 50	7.0	−68.0	−10.7	
12	Acupan Mine 3300L	57.1	25	7.0	−57.0	−7.8	
13	Acupan Mine 3300L	85.8	30 ~ 25	7.5	−59.6	−7.6	
14	Acupan Mine 2300L	32.8	100 ~ 50	7.0	−68.7	−10.3	
15	Acupan Mine Drainage Tunnel	73.1	5	7.5	−68.0	−9.5	
IT-1	Itogon Hot Spring	89.5	Total 10	7.7	−67.2	−9.8	Phase I
IT-2	Itogon Hot Spring	62.2		7.8	−67.6	−9.6	"
BA-1	Acupan Mine 3300L	81.0	25	8.1	−62.3	−7.7	"
BA-2	Acupan Mine 3150L	62.1	60 ~ 80	8.2	62.5	−7.6	"
DA-ST	East of Dalupirip stream				−71.0	−10.1	"
PRE	Precipitate at Baguio city				−66.9	−9.9	"
Errors					± 2	± 0.1	

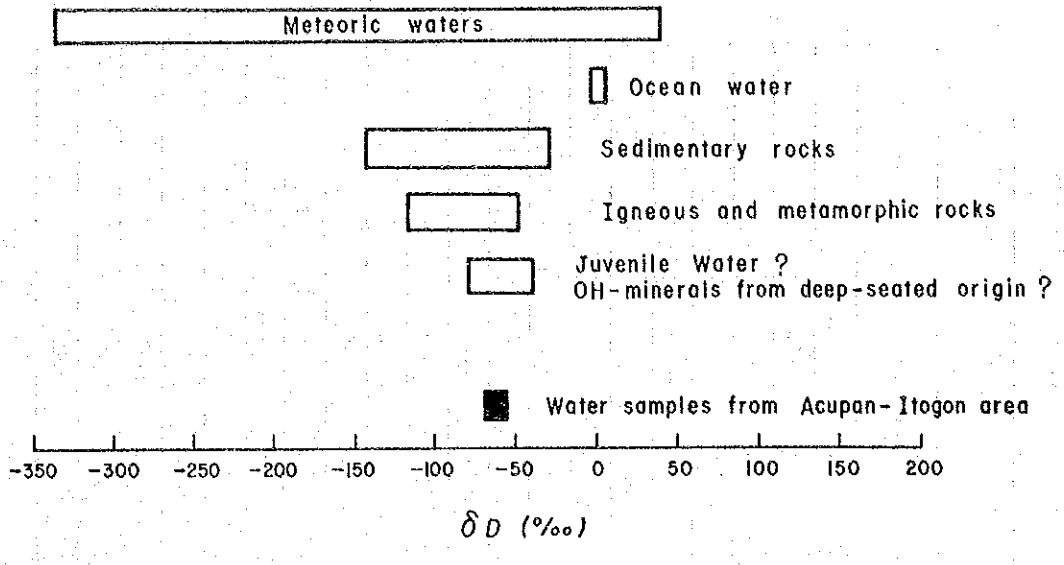


Fig. II-2-18 D/H Ratios of some Geologically Important Materials, Quoted from Hoefs (1980)

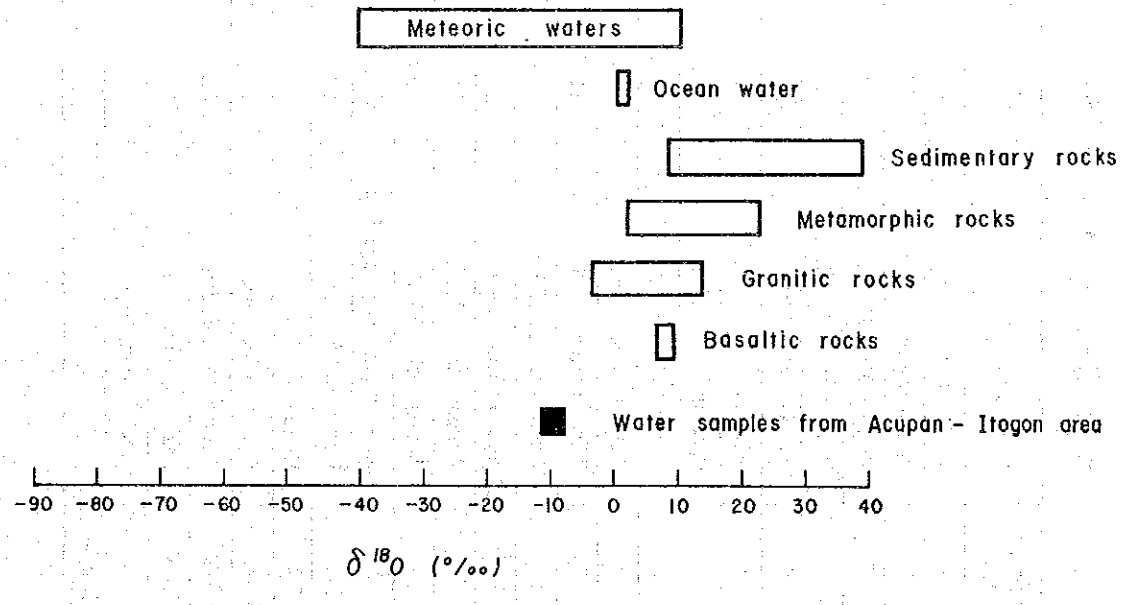


Fig. II-2-19 $^{18}O/^{16}O$ Ratios of some Important Oxygen-containing Compounds, Quoted from Hoefs (1980)

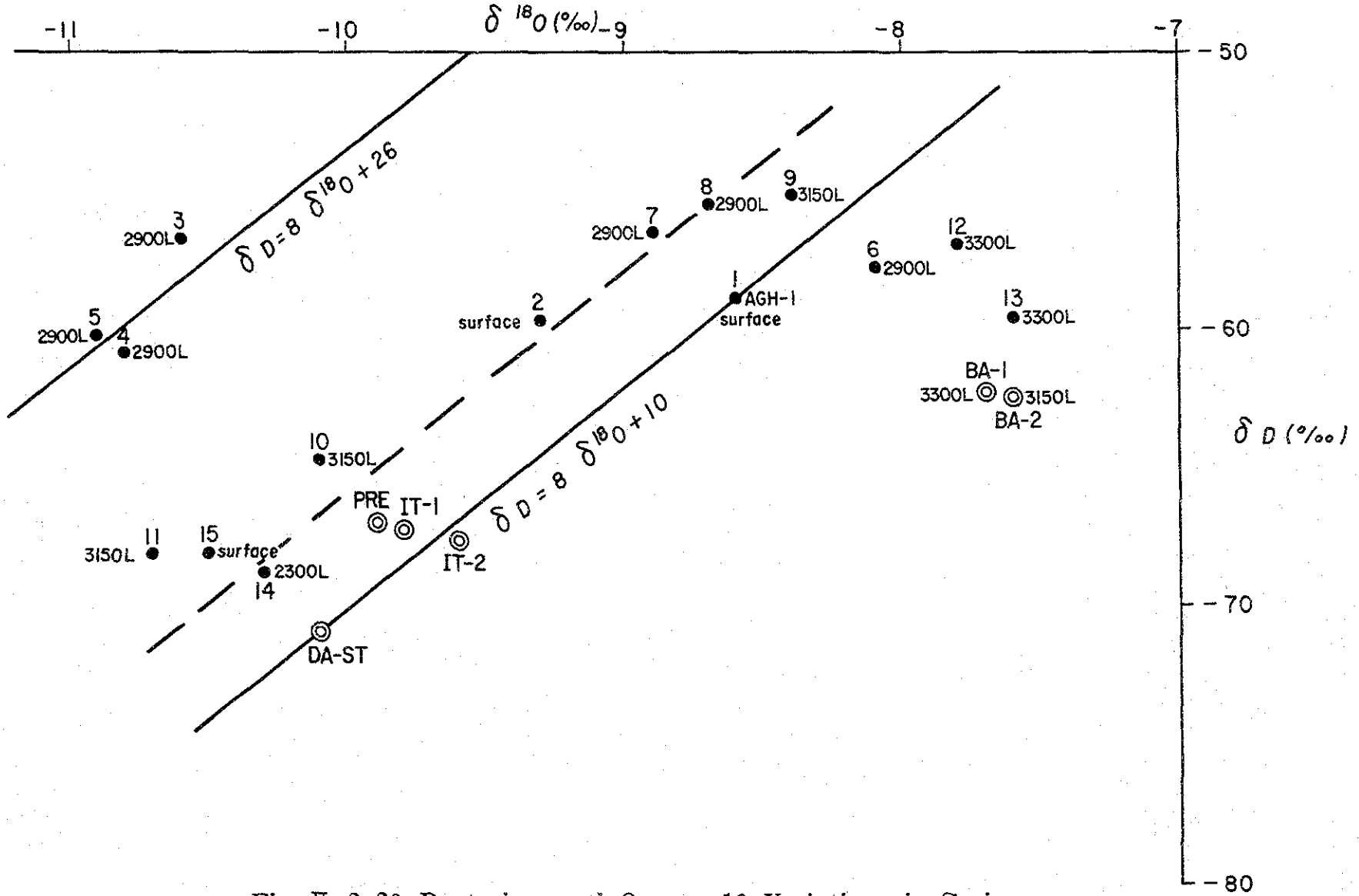


Fig. II-2-20 Deuterium and Oxygen-18 Variations in Spring Water Samples

鉱山の坑内及びItogon橋の温泉から採取した温泉水4試料の分析結果と共に示す。

2－3－5　温泉水のO／H同位体組成上の特徴

調査地域内温泉水のD／H及び$^{18}O/^{16}O$測定値の幅は各々－70.8～－55.2‰，－10.9～－7.6‰の範囲にある。これをHoets（1980）の図を引用してFig.Ⅱ－2－18及びFig.Ⅱ－2－19に示す。調査試料の測定値をみると，特に$\delta^{18}O$の値で明らかなように，温泉水の起源は天水起源の水に求められるであろう。

次にO／H同位体組成の相関をFig.Ⅱ－2－20に示す。

図中に示すMeteouic water lineは

$\delta D = 8 \cdot \delta^{18}O + 10$　太平洋側の降水（Craig：1961）

$\delta D = 8 \cdot \delta^{18}O + 26$　日本海側の降水（酒井・大木：1978）

である。ここで，Acupan鉱山の3,150^{L}（№9，10，11）2,900^{L}（№7，8），2,300^{L}（№14），立入坑道（№15）及び地表のAmbalang川で採取した温泉水は略一直線上にあり，この直線はCraig（1961）の式より左側にずれているも，Craig（1961）の直線に平行関係にあることから天水起源の水であると考えられる。ここで，昨年取水したダルピリップ（Dalupirip）東の沢水（DA－ST）及びバギオ（Baguio）市の東で採取した降雨水（PRE）のD／H，$^{18}O/^{16}O$の測定値は各々－71.0‰，－10.1‰（DA－ST），－66.9‰，－9.9‰（PRE）で略Craig（1961）の直線に乗っていたことと対比すると，今回採取した試料についての分析値は全体的に多少ながら左側にシフトしており，季節変動に依るのかも知れない。

次にAcupan鉱山3,300^{L}（№12，13，BA－1），3,150^{L}（BA－2）及び2,900^{L}（№6）は若干ながらオキシジェン・シフトが認められ，熱水と貯留層母岩との間に化学的な相互作用があったものと推察され，比較的深部からの熱水と考えられる。

これに対し，2,900^{L}の№3，4，5についての$\delta^{18}O$及びδDはその他の試料に比較して異なった組成を示す。その組成は日本海側の降雨水（酒井・大木：1978）に近く，酸素18に乏しい降雨水に由来する水と考えられる。気温が低く，同位体分別係数が大きい条件下での降雨水に起源を持つものと推定されるが，その様な天水の流入条件，挙動については不明である。

近接する試料間での$\delta^{18}O$値のバラツキも注目に値する。つまり3,150^{L}での試料№9，10，11はその採試位置が平面的に互いに300～400 mしか離れておらず，又全てがMeteouc water line上にあるにもかかわらず№9と№11との間では$\delta^{18}O$値の差が2.3‰にも達している。

これは金鉱床を胚胎する鉱脈の裂か沿いに熱水が流動し，その熱水の起源となる天水は鉱

脈裂かごとに多様性を持っていることに依ると推定される。

温泉水の$\delta^{18}O$値の分布を Fig. Ⅱ－2－21 に示す。熱水と貯留層母岩との化学的相互作用がより高温で，かつ長時間継続することに依って$\delta^{18}O$値が増大すると考えれば高$\delta^{18}O$値の分布は，より深部から由来する熱水の分布を示唆するものと考えられる。Fig. Ⅱ－2－21 にも明らかなとおり Acupan 鉱山の Balatoc プラグ及び Itogon 橋付近の Itogon プラグを略中心とし，$\delta^{18}O$の高い値がみられ，それが全体的にはNE－SW方向に伸長しているとみなすことができる。さらに前記したオキシジェンシフトを示す熱水の分布上限は試料№6の 2, 900^{L} 程度ではないかと考えられる。

2－3－6　ま　と　め

第2次調査では温泉水のO／H同位体分析を15試料について実施した。その分析結果を第1次調査の結果と総合し，Acupan－Itogon地区の地熱系を推定すると次のとおりである。

(1) Acupan 鉱山の坑内及び Itogon 橋の付近には沸騰泉の分布がみられ，PHはいずれも略中性である。

(2) 温泉水はいずれも降雨水で涵養された地下水にその起源を求めることができる。

(3) 温泉水はその化学組成から Na／Cl 型，Ca／SO_4型及び Na／SO_4－HCO_3型に分けられ，Ca／SO_4型は Na／Cl 型の温泉水からの蒸気加熱に依り，また，Na／SO_4－HCO_3型は，前二者の漸移型として形成されたと考えられる。

(4) 温泉水の化学組成から地下温度を推定すると，Na／Cl 型温泉水の場合でT_{sio_2}は 147～229℃，T_{Na}－K－Ca は 193～236℃の高温が期待される。

(5) Na／Cl 型の温泉水は新期貫入岩のプラグに規制され，その分布はプラグ内及びその縁辺に限られる。一方，その外測には Ca／SO_4型の温泉水が分布し，全体的にはプラグに沿った Na／Cl 型温泉水のドーム状構造が推定される。

(6) Na／Cl 型の温泉水はオキシジェンシフトを示し Ca／SO_4型の温泉水の水素・酸素同位体組成が Meteouc water line 上にあることと際立った差異を示す。

(7) オキシジェンシフトを示す温泉水の分布もプラグの形態に規制され，全体的には Balatoc プラグから Itogon プラグへのNE－SW方向の伸長を示す。

(8) オキシジェンシフトを示す温泉水の湧出する上限レベルは Acupan 鉱山で約 2,900^{L}である。

(9) 熱水は金鉱床を胚胎する鉱脈裂かに沿って流動し，その熱水の起源となる天水で涵養された地下水は鉱脈裂かごとに多様性を示す。

2－4　地化学探査のまとめ

1 m深の地化学調査として199測点に於いて地温測定，土壌中の水銀濃度測定及び土壌空

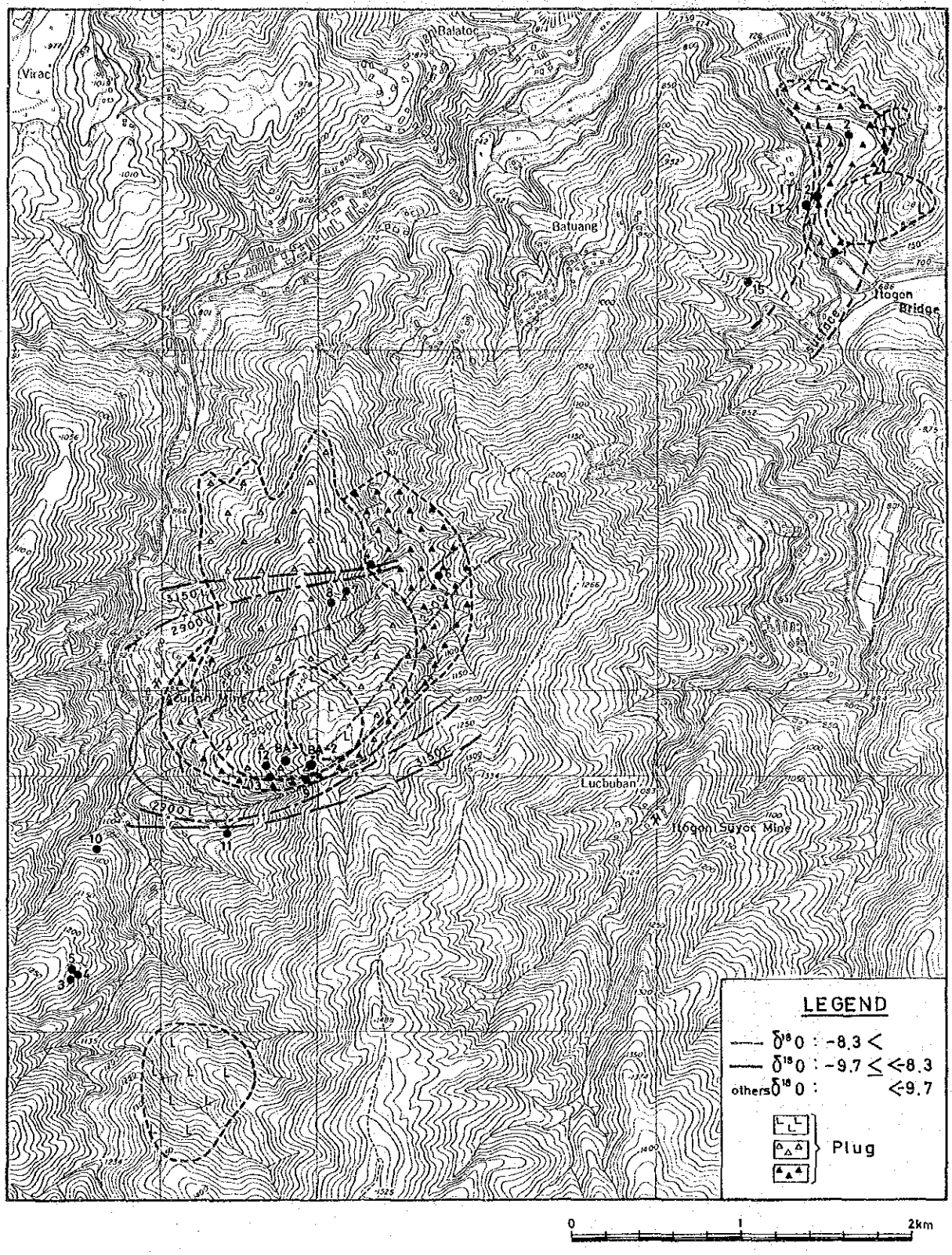


Fig. Ⅱ-2-21 Contour Map of $\delta^{18}O$ Values of Spring Water Samples

気中のラドンガス濃度測定を実施した。これら3変量の高異常値は，全体的にはAcupan 鉱山とItogon橋を結ぶNE－SW方向に配列するが，特に水銀濃度分布で示される如く，異常値はAcupan鉱山とItogon橋付近とにその分布が2大別される。さらに異常値の分布は細かく見ると，新期火成活動の産物であるブラグに位置的に規制され，ブラグの外縁側に異常値が分布するのが認められる。

温泉水のO／H同位体分析を15試料について実施したがその結果を第1次調査の温泉水の化学分析結果等と総合すると次のとおりに要約される。

(1) Acupan鉱山の坑内及びItogon橋付近にはPHが中性の沸騰泉の分布がみられ，それらは化学組成上からNa／Cl型，Ca／SO_4型及びNa／SO_4－HCO_3型に分類される。いずれも降雨水で涵養された地下水にその起源を持つが，Na／Cl型はオキシジェンシフトを示し，化学組成から推定される地下温度もT_{SiO_2}で147℃，229℃，$T_{Na-K-Ca}$で193～236℃と高温である。

(2) Ca／SO_4型の温泉水はNa／Cl型の熱水中から解離したガスが地表近くの地下水を加熱することに依って形成されたもので，Na／Cl型の熱水の上位及び側方に分布する。またNa／SO_4－HCO_3型温泉水はNa／Cl型の熱水層のレベルが時間の経過と共に低下することに依りカルシウム分の沈澱と，またH_2S及びCO_2ガス分が残留側の熱水に富むことに依って形成された熱水層と考えられる。

上記の3型の熱水層は下位にNa／Cl型，上位にCa／SO_4型，その中間の漸移帯として，Na／SO_4－HCO_3型が基本的には層状に分布しているものと考えられる。

(3) Na／Cl型の熱水層の分布は基本的には新期火成活動の産物であるBalatoc及びItogonブラグの分布に規制される他，それらを切るNE－SW方向の鉱脈裂か系にも規制され，全体的にはNE－SW方向の伸長を示す。ここでNa／Cl型の熱水は程度の差はあるがオキシジェンシフトを示し，Acupan鉱山ではシフトを示す上限レベルは約2,900^{L}である。

(4) 鉱脈裂か系に沿って熱水が流動し，熱水の起源となる天水で涵養された地下水も裂か系ごと多様性を示す。

第3章　微小地震探査

第 3 章　微小地震探査

3,－1, 調　査　目　的

第１次調査の結果，バラトックプラグ（Balatoc plug）群とその周辺地域が最も有望な地熱地域であることが判明した。

一般に，第２次調査では，地熱流体賦存域を推定する目的で各種の電気探査法が実施されている。しかし，バラトックプラグ群周辺では，Acupan 鉱山や Itogon-Suyoc 鉱山が稼動中であり，坑内電車等による電気的ノイズが非常に大きく，電気探査法を実施することは非常に困難な状況となった。このため，代替法として微小地震探査法を採用した。

この手法は，地熱探査の分野において，近年注目を浴びている手法であり，フィリピン共和国エネルギー省エネルギー開発局（B.E.D.；Bureau of Energy Development）の強い要請もあり，実施したものである。

米国，アイスランド等の地熱地帯では，この手法により地熱流体の賦存域や通路または地熱源の形状が解明された，という報告がなされている。日本においても，各地の地熱地帯において，地熱流体賦存域を把握する目的でこの手法が採用されている。

本調査は，微小地震を観測し，本調査地域およびその周辺の地震の発生状況および震源分布等を把握することにより，当該地域周辺の地震活動と地熱構造との関連を考察することを目的としている。

３－２　地　震　概　説

３－２－１　地震と地震動

地震とは，地球を構成している岩石が部分的に急激な運動を起こし，そこから地震波を発生させる現象であり，また，地震動は地震波による地中や地表の振動のことをいう。

地震波は，地球が弾性体であることから地中または地表に沿って伝播する弾性波にほかならない。地球内部を伝播する地震波を実体波といい，体積変化の疎密波であるＰ波と，非体積変化のねじれ波であるＳ波とがある。一方，地表に沿って伝播する波を表面波といい，レイリー波とラブ波とがある。

波の進行方向に平行に振動する縦波であるＰ波の伝播速度Ｖｐは，進行方向に直角に振動する横波であるＳ波の伝播速度Ｖｓよりも大きい。従って，ある観測点ではＰ波とＳ波の到達時刻に差が生じる。この時刻差を初期微動継続時間またはＳ－Ｐ時間という。Ｓ－Ｐ時間は，観測点と震源との距離，即ち，震源距離に比例する。また，Ｐ波が到達してから地震動が終焉するまでの時間を振動継続時間またはＦ－Ｐ時間という。

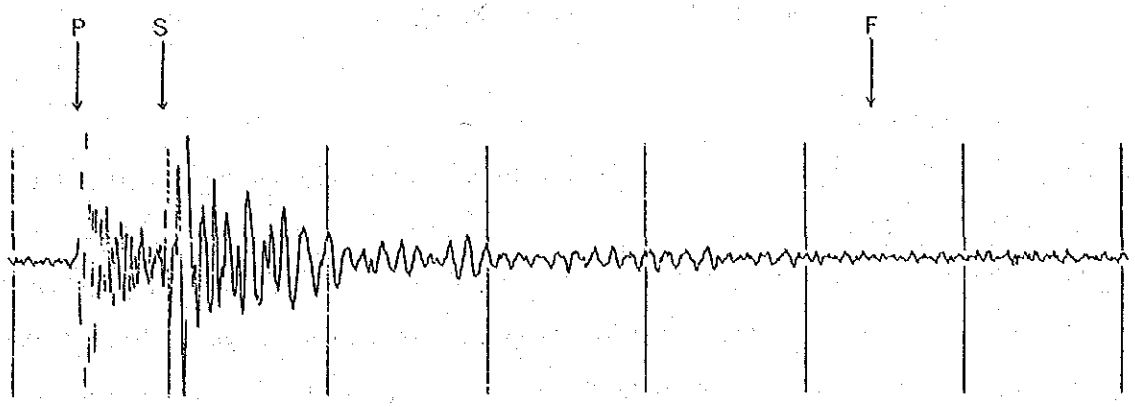


Fig. II–3–1　Seismogram

3－2－2　震源と震央

地震は地球内部の岩石破壊に伴って生じると考えられ，この破壊が生じた領域を震源域という。震源域は，ときには数１０㎞から数１００㎞の広がりに達するが，各地の観測からは点として求められる。この点は岩石破壊が最初に発生した点であり，震源と呼ばれている。震源の直上の地表の点を震央といい，震源の位置は震央の緯度，経度と震源の深さで示される。

地震は震源の深さによって，浅発地震，やや深発地震および深発地震に分けられる。この境界は，B.Gutenberg and C.F.Richter（１９４９）に従って，７０㎞と３００㎞とにとることが多い。

また，震源距離に対して，震央と観測点間の距離を震央距離という。震央距離は震央と観測点を通る大円にそって測るが，大円の弧が中心に対して張る角度，すなわち，角距離で表現されることもある。

3－2－3　地震動の強さと地震の大きさ

ある地点の地震動の強弱を表わす数値を震度という。震度を表わすには，地震動の加速度を用いるのが最も定量的であるが，一般には，体感や被害状況によって震度を設定している。日本では，震度０から７までの８階級の気象庁震度階（Japan Meteorological Agency Intensity Scale）が用いられているが，国際的には，１２階級の改正メルカリ震度階（modified Mercalli Intensity Scale）が用いられている。

一般に，地下構造が均質であれば，震度は震央距離に反比例する。実際には，地下構造は不均質であるため，地盤の性質，地震動の伝達経路の違い等によって，震度分布は複雑なパターンを示す。

地震の大小を表わすものとしてマグニチュードが定義されている。マグニチュードとしては，C.F.Richter（１９３５）の定義に基づくものが世界的に用いられている。Richterは，地震のマグニチュードを"震央距離１００㎞の点に置かれたWood-Anderson型地震計が記録した記

録紙上の最大振幅をμ（ミクロン）単位で読み取り，それを常用対数で表わしたもの”と定義した。しかし，実際には，同型の地震計が常に震央距離１００㎞の地点に設置されていることは稀れであり，様々な震央距離に対応するように改良が加えられている。また，Wood-Anderson 型地震計とは異なる地震計が採用されており，それらの地震計記録からマグニチュードを求める方法が多く報告されている。各々の方法で求めたマグニチュードは，同じ地震でも系統的に異なることがある。また，ある地震のマグニチュードを同一の方法で求めても，地震計や観測点が異なる場合には，やや異なる値になる。

日本ではマグニチュードMによって，地震を階級区分し，M≧７の地震を大地震，７＞M≧３を小地震，３＞M≧１を微小地震，および１＞Mを極微小地震としている。

大きい地震ほどその発生度数が少ないことは，よく知られており，Gutenberg と Richter（１９４１）はこの性質を量的に表現した。地震の発生度数（ｎ(M)）は，マグニチュードMが大きくなるとともに指数関数的に減少し，

$$\log n(M) = a - bM \quad \cdots\cdots (1)$$

という形で示される。(1)式はGutenberg-Richterの式と呼ばれている。この式で，係数ｂの値は一般に0.7～1.0程度であり，この値はその地震の集団の性質を示す重要なパラメーターとなっている。

３－２－４　地　震　活　動

地震活動の量的な表現をサイスミシティという。サイスミシティは数値として表現されるものではなく，地震の発生度数や大きさについて考察するとき，単に高低で表現される。サイスミシティは地域的に著しく異なることがあり，また同地域でも時間的に変動しているのが普通である。サイスミシティを示した図をサイスミシティ・マップといい，地震の大きさ，震央，観測時期などが表現されている。

浅発地震は特定の期間に群発発生することがある。これら一群の地震の中で一つだけ特に大きいものがあれば本震，本震前に発生したものを前震および本震後のものを余震と称している。前震，本震および余震の発生形式が不明瞭なものや本震を含まない一群の地震を群発地震という。

群発地震の典型として火山性地震がある。一般に，活火山の周辺では，浅発地震の群発活動がみられるが，これらの地震群は，火山の噴火活動に直接関係するものばかりではなく，地下の地熱流体の挙動を反映するものも含まれている。従って，火山および地熱地帯と浅発地震発生域の分布にはかなり良い相関がみられる。

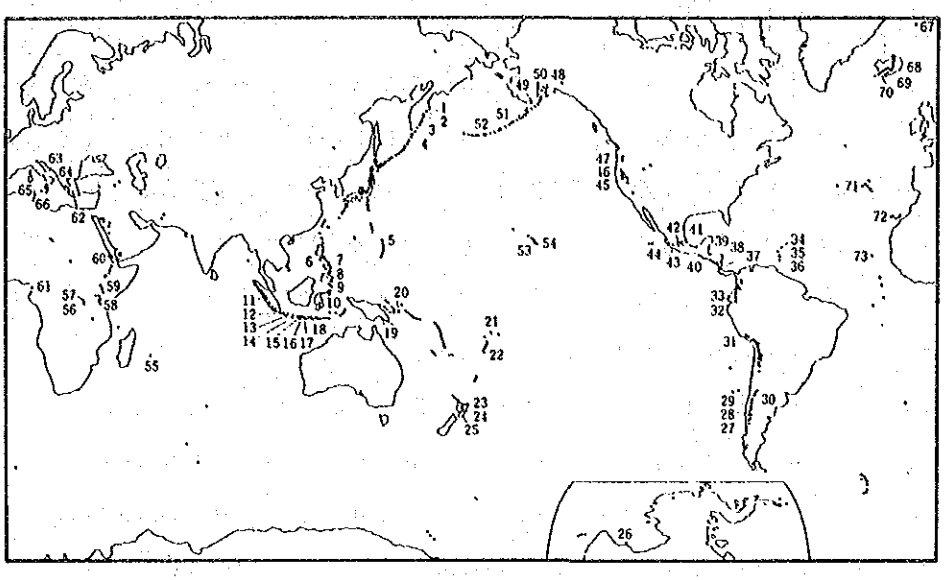


Fig. II–3–4　Distribution of Volcanoes in the World

3－2－5　地震計と地震観測

地震動を記録する機器を地震計といい，その記録を地震記録という。地震計は，普通，2個の水平動成分と1個の上下動成分の計3成分の地震計から構成されている。地震計は振り子の原理を応用しており，この振子と地面との相対的運動の記録方式の違いにより，次の3種類がある。

(1)振り子の運動を機械的に拡大して記録する機械式地震計，(2)機械的な拡大には限界があるので，拡大部分に光のてこを応用した光学式地震計，そして，(3)振り子の運動を電気的な振動に変換し，電気的に記録する電磁式地震計である。

また，地震動のどの物理量を観測するかで次の3種類がある。(i)地震動の変位量(μ)を記録する変位地震計，(ii)地震動の速度（cm／sec＝kine）を記録する速度地震計，および(iii)地震動の加速度（gal）を記録する加速度地震計。

地震動はその周期や振幅の範囲が非常に広く，大地震は周期数10分に及ぶ地球の自由振動を励起したり，時には倍率1倍の地震計の記録を振り切れさせたりし，一方，極微小地震は，周期0.1秒以下の地震波動が卓越し，倍率100万倍以上の地震計が使用される。従って，観測の目的や対象とする地震の規模によって，長周期地震計，短周期地震計，高倍率地震計，低倍率地震計などが選択される。

地震観測は，目的および対象とする地震によって，使用する地震計の種類や個数および地震計配置が異なる。地震計配置を一般に観測網といい，その規模は数10km^2から全世界的なものまである。かつては，各観測所毎の煤書き記録方式が普通であったが，最近では，電磁式地震

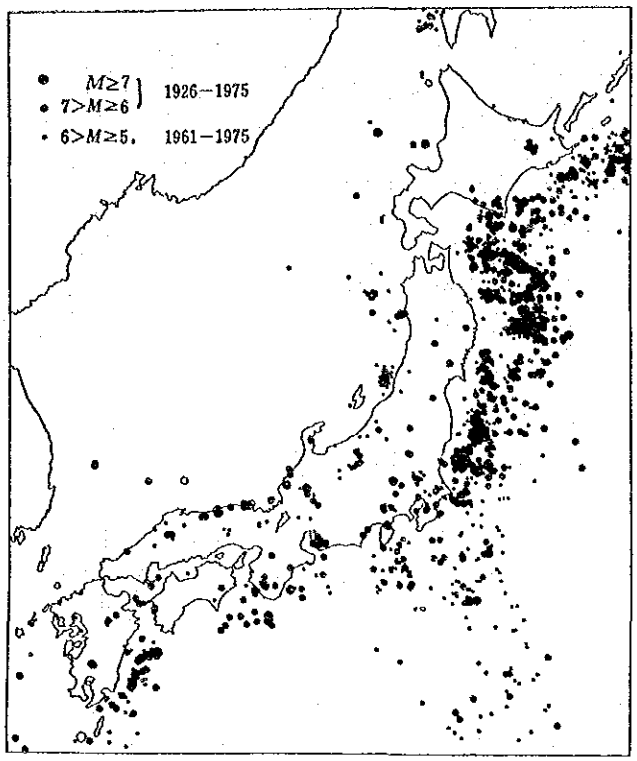
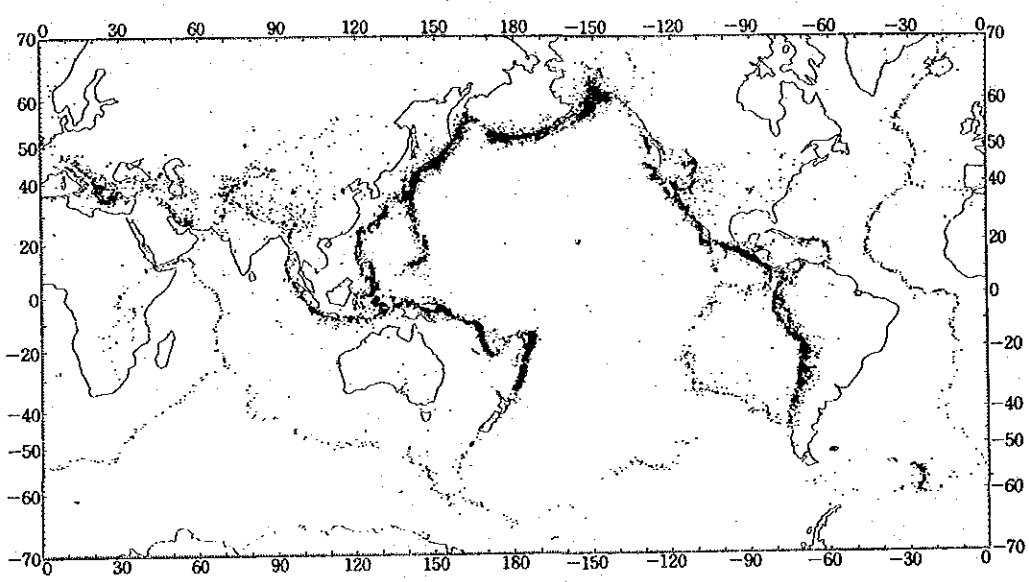


Fig. Ⅱ-3-2 Seismicity Map



Depth: 10 ~ 100 km

Fig. Ⅱ-3-3 Seismicity Map in the World (d≦100Km, M≧4,1961~1967)

計の発達に伴い，地震波形を電気的に記録するようになった。また，地震計の出力を電話回線などで伝送する有線方式や，変調後，電波で搬送する無線方式などによる遠隔記録が可能となっている。これらの方式を総称してテレメータ方式と呼ぶ。また，連続観測で使用される記録紙は大量であるが，このうち対象とする地震の記録量はごくわずかである。この点を改良するために対象とする地震波だけを記録する装置が考案されている。この種の装置を信号遅延装置と呼ぶ。同装置は，地震波信号を一定時間記憶する信号遅延部（信号記憶部）と，設定電圧を超える信号が入力したとき記録計を作動させる起動部から構成されている。現在は，テレメータ方式や信号遅延方式を利用した地震観測が主流であり，デジタルデータ集録システムの発達によりコンピュータ利用の即時解析も可能となってきている。

3－2－6　地熱地帯における地震観測

一般的な地熱構造モデル図には，表層の熱変質部，低透水性の帽岩，透水層，熱源，断層，割れ目，地熱流体の移動や水の相変化の状況などが描かれていることが多い。各要素には，それぞれ地熱学的性質が含まれており，また，特殊な地震学的性質が備わっている。地熱地帯で発生する地震を評価し，熱水の生産・還元に関連する地震活動を解釈するには地震学の知識が要求される。

発破などの人工震源を利用する反射法や屈折法を能動的地震探査と呼び，従来から地熱構造探査に応用されているが，最近では自然発生地震を利用する受動的地震探査法が注目されてきている。

受動的探査には，当該地域の地震活動を把握する調査，遠地地震を利用する走時残差（P－delay）や減衰（P－attenuation）の研究および地熱源をノイズ源と考える方法などがあり，それぞれ，微小地震探査，遠地地震観測およびノイズ調査と呼んでいる。

(1)　微小地震探査

微小地震探査は，地熱地帯および周辺で発生する微小地震および極微小地震の発生頻度や震源分布を調べることにより，当該地域の地熱構造と地震活動の関連を考察する手法である。微小地震探査の結果から，地熱流体の通路となりうる断層，地熱構造を規制するテクトニクス，割れ目，マグマ溜りなどの位置，および熱水の生産，還元に伴う地震発生の有無などを知ることができる。

微小地震観測は，世界の多くの地熱地帯で実施されており，多くの成功例が報告されているが，必ずしも有望な探査結果が得られるわけではない。これは，各地域の地熱構造がそれぞれ異なっており，さらに，地震活動が定常ではなく，常に変化しているためと考えられている。

(2) 遠地地震観測

地熱地帯では，深部にマグマ溜りや本源マグマのような熱源が存在すると考えられている。熱源は全体または部分的に溶融しているため，熱源を通過する地震波が減衰を受けたり，その伝播速度が低下するなどの影響を受けており，熱源は低速度帯として機能していると考えられている。従って，この低速度帯を通過する地震波は，他の地域を通過してくる地震波と比較して遅く到達し，また，その振幅は小さくなる。このような熱源の地震学的性質を利用して，その賦存域，形状などを解明しようとする方法が遠地地震観測である。

遠地地震観測は，地熱地帯全域を覆うような観測網に，時には数１００台の地震計を配置して実施される。対象とする地震は，あらゆる方向から伝わって来る局地地震，地域地震および遠地地震である。この観測は，一般にＰ波の走時残差や減衰を利用するため，Ｐ波遅延，Ｐ波減衰とも呼ばれている。

(3) ノイズ調査

地熱地帯では，地熱流体の移動や相変化などの種々の原因によって，ある種の地震動が発生しており，これらを総称して微動ノイズまたは単にノイズと呼ばれている。これらのノイズについては，多くの調査例や研究例が報告されているが，その発生原因，観測方法および観測結果の解釈について多種多様な考え方が提起されており，現在，確立されたものはないといえる。

３－３ 調査方法

前述（３－２－６）のように，自然地震を利用する受動的地震探査法が世界の地熱地帯で実施されているが，本調査地域はこの種の探査法に関しては処女地であり，調査地域およびその周辺での地震活動に関する情報が極めて少なく，本調査以前に本地域の地震活動を予想することは困難であった。このため，観測網の観測点間隔を２～４㎞と比較的広く設定し，また，対象とする地震は微小地震（３＞M≧１）とした。

３－３－１ 観測方法

微小地震観測は，３成分速度型地震計１台と上下動成分速度型地震計４台の計５台の地震計を用いて実施した。これら５台の地震計からの地震波信号を1,０００倍増幅した後無線テレメーター方式で送信し，１ケ所で集中記録を行った。記録方式としては連続記録方式と選択記録方式を併用した。連続記録はモニター記録とし，ペン書記録計で記録した。また，選択記録は信号遅延装置を利用し，磁気記録計で記録した。刻時装置は高精度のデジタル水晶時計を使用し，この刻時信号を地震波信号と同時に記録した。

3－3－2　地震計設置

(1)　地震計設置予定点の選定

地震計設置予定点は，以下に述べる事項に留意して，1／25,000地形図および1／10,000地形図上で選定した。

1）観測地点間隔は2～4㎞で計画した。また，観測点間の地形が急峻なため，信号線を敷設し地震波信号を長距離伝送するのは困難と考え，無線方式で地震波を伝送することとした。この場合，送信点から受信点を見通せなければならない。

2）地域中央付近では，Acupan 鉱山および Itogon-Suyoc鉱山が現在稼働中である。これら稼働中の鉱山は多種多様な振動を発生しており，一種の人工震動源といえる。特に，坑内発破による震動は，自然地震に類似した波形を示すため，これら人工地震と自然地震とを識別することが必要である。従って，人工地震の影響を受けない地点を選定するとともに，少くとも1点以上は人工地震モニター可能な地点に観測点を設置する。

3）本調査地域内では鉱山開発が盛んなため，人口密度が高く，交通網も発達している。微小地震探査では，車輌走行等に伴なうノイズを可能な限り避けることが望ましく，これら人工震動源から充分離れた地点に観測点を設置する。

4）テレメーター送信機は比較的大電力を消費するため，大容量の鉛蓄電池が必要であり，2～4日毎に交換しなければならない。従って，観測点の選定にあたっては交通の便が極端に悪い地点を避ける。

(2)　ノイズ測定

前述の条件のもとで選定した地震計設置予定点周辺で，Fig.Ⅱ－3－5に示すシステムにより地動ノイズを測定した。

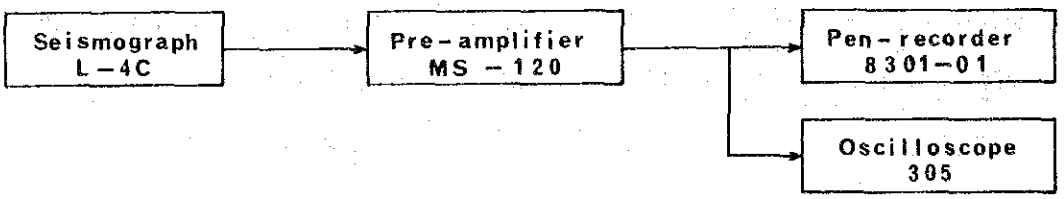


Fig. II–3–5　Noise Measuring System

この測定で得た記録から地動ノイズの平均振幅を読み取り，ノイズの小さな地点を数ケ所選定した。ペンレコーダーまたはオシロスコープで読み取った振幅をa（Volt），増幅率をn，地震計の電圧感度をt（V／kine）とすると，地動の振幅A（kine）は

下式で求められる。

$$A = \frac{a}{n \cdot t} \quad \cdots\cdots (2)$$

ノイズが最も小さな数地点の中から，地震計設置に最適な地点を地震計設置点とした。また，同時に設置点付近で無線信号の受信状態を調べ，テレメーター送信機およびアンテナの設置点を選定した。

(3) 地震計設置

地震計設置孔はFig.II－3－6に示すように径約1 m，深さ約1 mの孔を掘り，その孔底を鉄棒とモルタルで補強した。孔底の硬度が不充分な場合には，孔底に径約10 cmのハンドドリルで50 cm程度の孔を掘り，モルタルを流し込んだ。

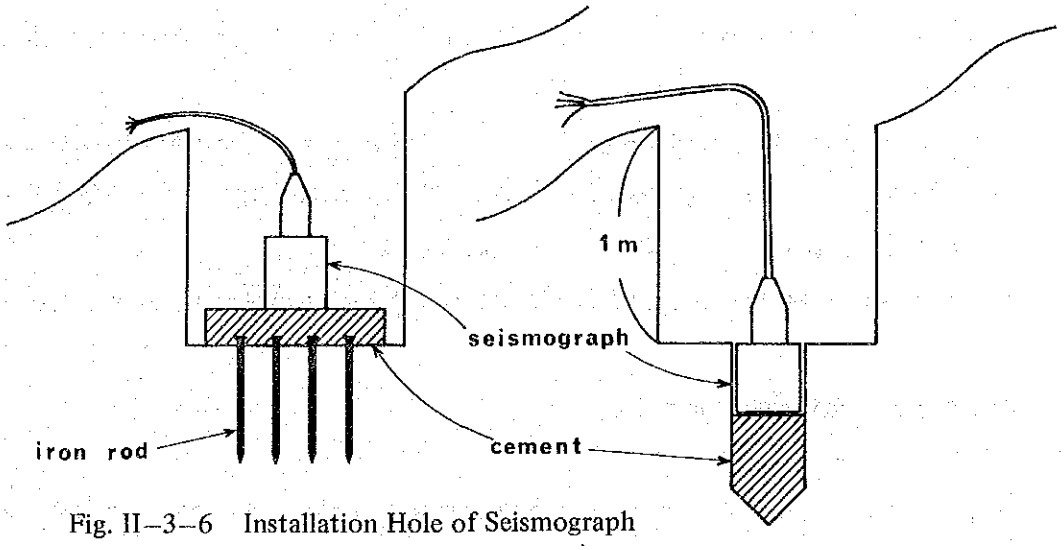


Fig. II–3–6 Installation Hole of Seismograph

地震計を孔底に設置し，完全に埋設するとともに地震計からの信号線は，獣害を防ぐためテレメーター送信機まで埋設した。同様に，送信機とバッテリーは木製の箱の中に設置し，アンテナも含め鉄条網で囲い，獣害および人害を避けることとした。

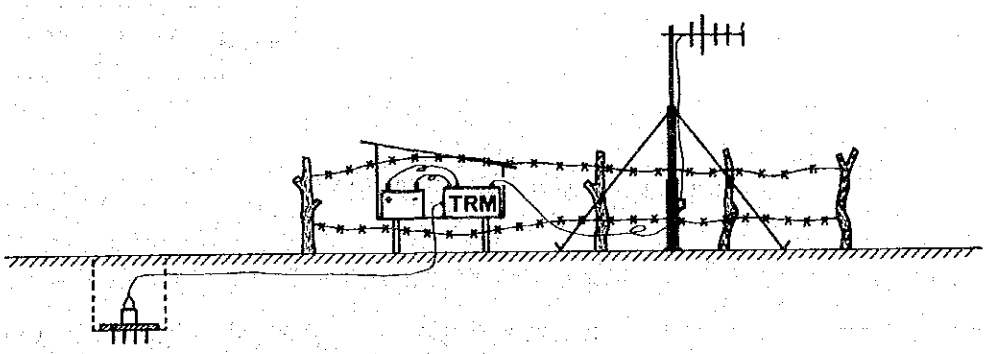


Fig. II–3–7 Seismographical Station

(4) 測　　量

地震計設置点位置は，トランシットを使用したスタジアトラバース法と三角測量法とを併用して求めた。本測量はB.E.D.測量班が実施し，測量結果をFig.Ⅱ－３－９，Table Ⅱ－３－１に示す。なお，基準点はB.C.（Benguet Corporation）のベンチマークを使用し，座標はB.C.の座標系で示した。

Table II-3-1　Coordinates of Network

No.	LATITUDE	LONGITUDE	X	Y	ELEVATION(m)
1	16°21.18'N	120°39.91'E	763.66E	5,647.77S	1,246.83
2	16°22.48'N	120°40.03'E	1,003.14E	3,226.54S	986.87
3	16°21.74'N	120°40.98'E	2,703.25E	4,628.85S	835.66
4	16°20.03'N	120°39.95'E	836.71E	7,828.71S	1,508.61
5	16°21.25'N	120°38.45'E	1,837.41W	5,385.78S	1,249.87

３－３－３　観　測　装　置

本調査は，局発の微小地震を対象としており，調査地域周辺で発生する地震を捕捉し，可能な限り高精度の震源決定を行うために，高分解能の機器を観測装置として採用している。また，本調査地域内は地形が急峻であり，地震計設置点の間隔も２～４㎞と広く，有線方式による集中観測は極めて困難であったため，無線テレメーター方式による集中観測を実施した。

Table Ⅱ－３－２に本調査に使用した観測装置の仕様を，Fig.Ⅱ－３－８に観測システムを示す。

地震計からの地震波信号は，テレメーター送信機で60dB（1,０００倍）増幅した後，400MHz帯のＦＭ波で送信した。送信信号は地震観測網の北西方約９㎞のBaguio市内のBaguio Town House（標高1,５１０ｍ）内に設けた観測所で集中受信した。観測所では，これら受信信号をテレメーター受信機で復調し，水晶時計の刻時信号と共にペン書き記録計で同時記録した。この記録はモニター記録として用いた。また，復調信号は信号遅延装置による選択記録方式で磁気記録計に記録した。

信号遅延装置は，起動部と信号遅延部で構成されている。起動部は，３観測点以上の地震波信号が設定電圧をそれぞれ越えた時検出トリガーを発性し，タイマーの設定時間だけ磁気記録計に出力する。信号遅延部は地震波信号をＡ／Ｄ変換し，変換されたデジタル信号を順次ＩＣメモリーに送り，信号を８秒間保持する。起動部からの検出トリガーにより順次古い信号からＤ／Ａ変換し磁気記録計に出力する。

本調査では，テレメーター送信機の増幅率を60dB（1,０００倍），ペン書き記録計の紙送り速度を通常５㎜／sec，起動部の設定電圧は±２００～±７００ｍＶおよびタイマーを約７０

秒に設定した。本観測の総合分解能は約４０μkineであり，選択記録方式では震源距離２０kmでM≧１，震源距離５kmでM≧０の極微小地震以上の地震を捕捉できた。

３－４　観　測　経　過

ノイズ測定は１９８３年１０月８日から開始し，地震計設置点，テレメーター送信機・アンテナ設置点の選定は，１０月１４日までにすべて終了した。設置孔掘削，地震計設置およびアンテナ設置作業は，１０月１０日より開始し，１０月１７日に終了した。

地震観測は，№３と№４の地震設置が完了した１０月１４日から開始し，１２月７日までの延５５日間実施した。観測期間中，テレメーター送信機の不調，獣害による信号線の断線，および蓄電池の盗難などのため短時間の観測の中断があったが，他は蓄電池交換時を除き連続観測を実施できた。

モニター記録計では４５０m長の記録紙を使用し，１日１回の記録紙交換とした。このモニター記録により地震の発生状況やトラブルを監視した。選択記録用の磁気テープは，テープ切れによる空録音が生じないように，残量と地震発生状況を考慮しながら適時交換した。

テレメーターの送受信機の電源には鉛蓄電池（１２Ｖ７０ＡＨ）を使用し，バッテリー交換は各観測点での消費電力を考慮しながら２～４日毎に実施した。

水晶時計の時刻は，ＪＪＹまたはＢＰＶにより適時較正した。ＪＪＹ，ＢＰＶは共に協定世界時の短波標準電波報時である。前者は郵政省電波研究所の管理下で東京都小金井より，また，後者は上海の中華人民共和国科学院陝西天文台からそれぞれ発信されている。いずれも10MHzを利用した。

１０月は天候が不順で，３度台風に見舞われたほか，午後になると雷雲が発生し，落雷する日が続いたが，観測を中断するような被害は被っていない。１１月以降，天候は徐々に回復し，観測の後半は晴天の日が続いた。

３－５　整理解析方法

本調査では，微小地震を観測の対象とした。本観測システムの分解能は最大速度振幅４０μkine程度である。従って，後述する渡辺のマグニチュードによれば，震源距離４０kmでM＝１の微小地震まで検出可能である。ここで，本調査地域には閃緑岩および花崗閃緑岩が広く分布しているが，これらの岩石の一般的なＶｐ，Ｖｓを参考にすると，本地域周辺の大森係数ｋは約８km／secと考えられるので，本観測でのＳ－Ｐ時間の限界は約５秒である。

従って，Ｓ－Ｐ時間５秒以下の地震を解析対象とすれば，本調査地域およびその周辺の微小地震活動を把握することができる。

Table II-3-2 Specification of Recording System

Instrument	Manufacturer	Model	Q'ty	Specification
Seismograph	Mark Products	L-4C-3D	1	3-component, Natural frequency 1.0 Hz, Coil resistance 5,500 Ω, Transduction 2.76 V/kine (open)
		L-4C	5	Vertical component, Natural frequency 1.0 Hz, Coil resistance 5,500 Ω, Transduction 2.76 V/kine (open)
Amplifier	Chiba Denshi Labo., JAPAN	MS-120	1	Frequency Response DC ~ 50 Hz flat, Gain 0, 20, 40, 60, 80 dB, 1ch
		MS-140	2	Frequency Response DC ~ 50 Hz flat, Gain −20, 0, 20 dB, 3ch
Radio-Telemeter	Meisei Electric Co., Ltd., JAPAN	TRM-812	6	4ch, Gain 0 ~ 60 dB 6 dB step, Frequency Response DC ~ 30 Hz flat, Frequency Modulation 400 Hz, Power 1W
		RCV-812	6	4ch, Sensitivity 3mV ~ 3V rms, 400 Hz, Receiving sensitivity less than 1 μV
Pen Recorder	NEC-Sanei Instrument Co., Ltd., JAPAN	8K23-1L	1	8ch, Heat Pen, DC ~ 80 Hz, Maximum sensitivity 0.5 mV/cm, Chart speed 1 mm/min ~ 100 mm/sec,
		8K13-1L	1	8ch, Heat Pen, DC ~ 80 Hz, Maximum sensitivity 0.5 mV/cm, Chart speed 1 mm/min ~ 100 mm/sec
	Hioki E.E. Co., JAPAN	8301-01	1	1ch, Heat Pen, DC ~ 100 Hz, Maximum sensitivity 2.5 mV/cm, Chart speed 1 ~ 25 mm/sec
Data Recorder	Sony Magnescale Inc., JAPAN	FE39-A	1	8ch, EL cassette tape, DC ~ 1 kHz, Analog FM, Tape speed 3.8, 9.5, 19 cm/sec
Signal Delay	Sanei Instrument Co., Ltd., JAPAN	9A08	1	Signal Delay Unit 8ch, 8 bits, 4 k word IC Memory, Delay time 8 sec, DC ~ 50 Hz, Sampling 100 Hz
				Trigger Unit Trigger level ± 50 ~ ± 500 mV, 10ch, Trigger mode 3/4/5 ch AND/ON
Time Code Generator	Citizen Corp., JAPAN	8621A-43	1	Digital Quartz Clock 8.192 Hz, Output BCD, 1 Hz Busy, 12 hours, 1 hour, 1 min., 1 sec Pulse, TTL, etc., Deviation 0.05 sec/day
Oscilloscope	Sony Tectronix Co., JAPAN	305		Frequency DC ~ 5 MHz, sensitivity 5 mV/div ~ 10 V/div
JJY Receiver	Sony Co., JAPAN	ICF-2001	1	Receiving Frequency AM 150 ~ 29999 Hz FM 76 ~ 108 Hz

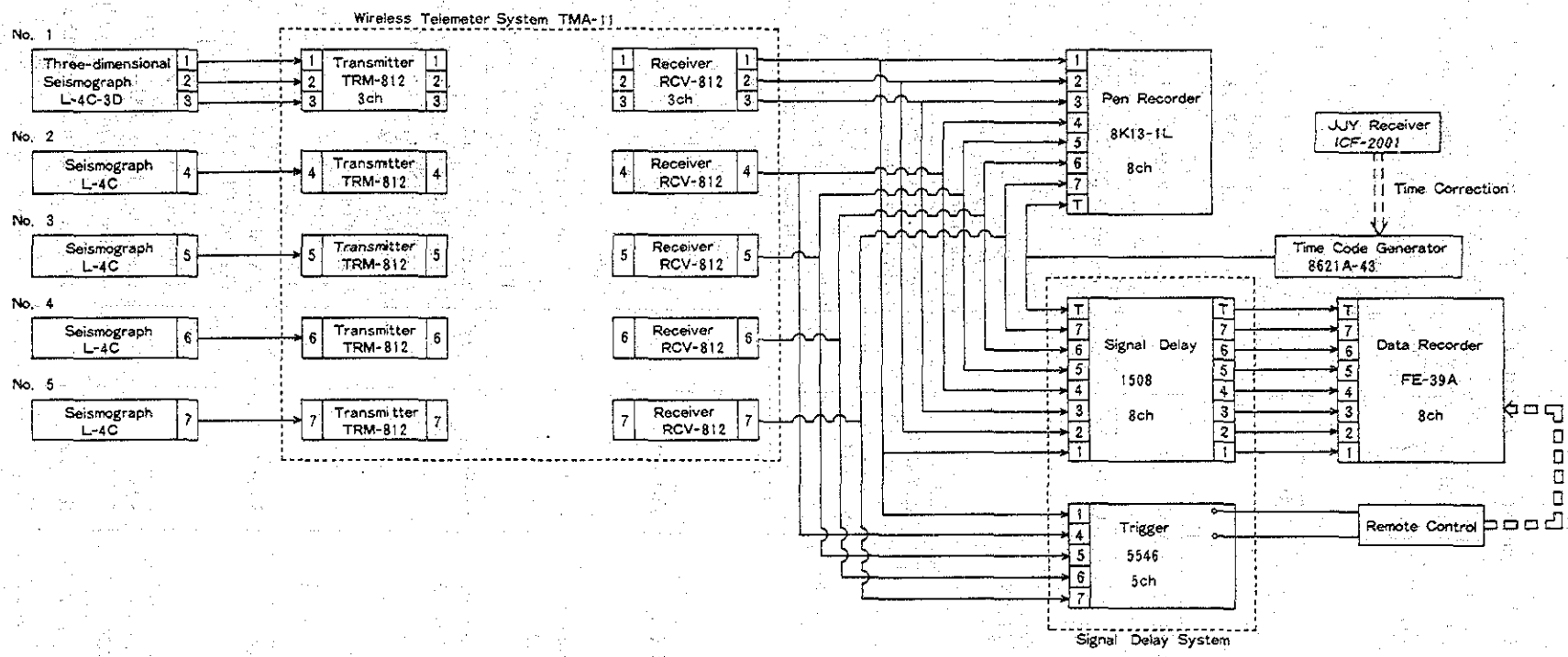


Fig. II-3-8 Recording System

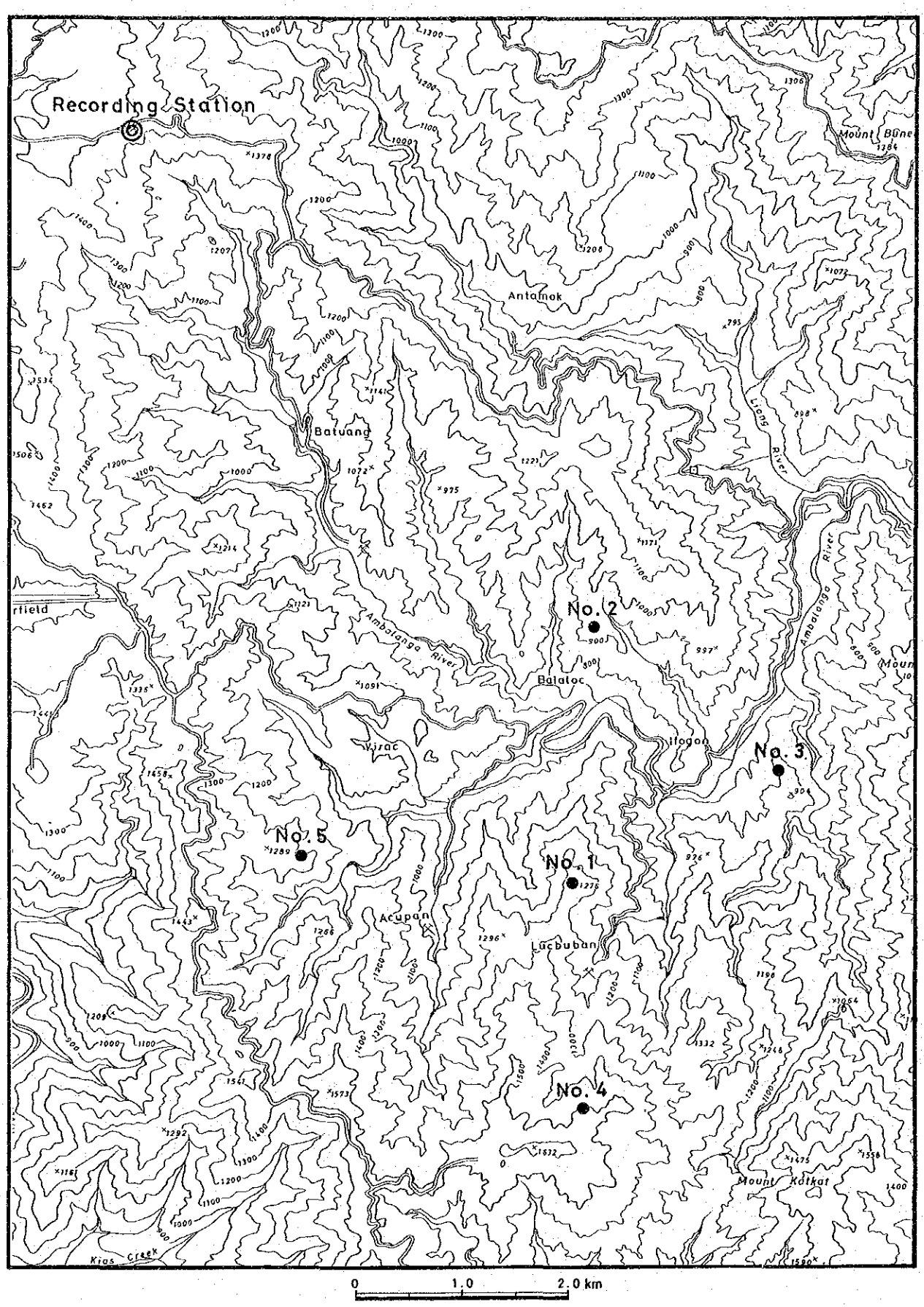


Fig. II-3-9 Location Map of Seismographs

3－5－1　地震波記録の読み取り

連続記録方式で得られたモニター記録は，地震無発生時でも記録するため，1日当り450m長の記録紙を必要とする。この記録は，記録紙交換後直ちに検索し，地震波信号のみ抽出した。検索時には，おおよその初動到達時刻，S－P時間およびF－P時間を読みとり，発生地震一覧表として整理した。同時に，各観測点のノイズ変化などを読み取り，信号遅延装置の設定電圧微調整時の参考にした。発生地震一覧表は，選択記録の再生および読み取りの参考資料とした。

磁気テープに記録した選択記録は，観測終了後に2，5，10mm／secの3種類の紙送り速度でペン書き記録計に再生した。このうち，5mm／secの再生記録はB.E.D.に保管されている。

検出された地震波記録から，P波到達時刻，S波到達時刻，これらの信頼度，P波の初動極性，最大速度振幅および振動終焉時刻などが読み取られ，電子計算機の入力データとした。時刻データに対しては，フィリピン国標準時刻へ補正するとともに，ペン書き記録計のペン補正を施した。

上記の入力データは，震源決定，マグニチュード決定に使用し，両計算結果と共に地震一覧表として整理した。

なお，磁気テープに記録されなかった地震については，モニター記録から読み取った。

3－5－2　地震発生頻度分布の作成

本調査で観測された全地震について日別およびS－P時間別地震発生頻度分布を求め，さらに，S－P時間5秒以下の地震についてS－P時間別およびマグニチュード別地震発生頻度分布を求めた。

日別頻度分布は，S－P時間別に区分けし，S－P時間5秒以下は黒，5秒以上30秒未満は斜線，30秒以上は空白でそれぞれ示した。

S－P時間別頻度分布は，全地震については30秒までを1秒毎，30秒以上を一括して示し，一方，5秒以下の地震については0.2秒毎に区分して示した。

マグニチュード別頻度分布は，津村および渡辺の2種類のマグニチュードについて，それぞれ，0.2毎に区分して求めた。また，累積頻度を併せて示した。

3－5－3　震源決定方法

少数観測点のデータから，震源距離の比較的短い地震の震源を求める場合，地表は平面，地下構造は一様と仮定することが多い。

観測点の座標を（x_i，y_i，z_i），P波到達時刻をt_i，震源の座標を（x_o，y_o，z_o），発震時をt_oおよびP波速度をV_pとすれば，下式が各観測点について得られる。

$$(x_i-x_o)^2+(y_i-y_o)^2+(z_i-z_o)^2=V_p^2(t_i-t_o)^2 \quad \cdots\cdots\cdots (3)$$

この連立方程式を解けば震源（x_o，y_o，z_o）が求められることになる。

(1)　3点のS－P時間を用いる方法

S－P時間tは震源距離Rに比例し，次式が成り立つ。

$$R = k\,t \quad \cdots\cdots (4)$$

(4)式を大森公式といい，この比例係数kを大森係数という。

kはVp，Vsより，

$$k = Vp\,Vs / (Vp - Vs) \quad \cdots\cdots (5)$$

と表わされ，この値は地域によって異なるが，経験的に4～9 km／sec程度であることが知られている。

(3)，(4)式より，

$$(xi - xo)^2 + (yi - yo)^2 + (zi - zo)^2 = k^2\,ti^2 \quad \cdots\cdots (6)$$

が成り立つ。従って，3点でのS－P時間を知り，kの値を仮定すれば，震源座標を求めることができる。kの値は，その地域の平均的なVp，Vsが既知であれば，(6)式より容易に求められる。また，Vsの値が未知であっても，Vpとポアソン比σが既知であれば，kを得ることができる。さらに，σが未知の場合はσの一般的な値0.25を採用することによりkを仮定できる。

3点のS－P時間を利用する方法は，通常作図法によって行われている（Fig.II－3－10）

(2)　4点のS－P時間を用いる方法

この方法の場合はkを未知数として取り扱う。そこで，4点のS－P時間から(6)式でkを未知数として震源を求める。

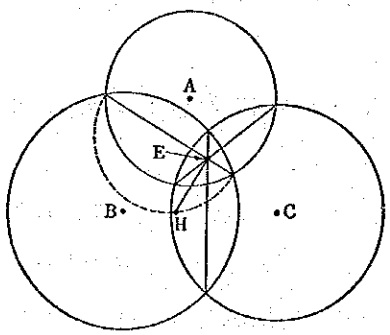


Fig. II–3–10　Determination of Hypocenters by Drawing

(3)　S－P時間とP波到達時刻を用いる方法

地下の速度構造が不均一であるとしても，ポアソン比が一定である限り，各観測点から得られるS－P時間とP波到達時刻との間には線形の関係がある。この関係を表わすグラフを和達ダイアグラムという。震源におけるS－P時間は0秒であるから，和達ダイアグラムから各点を通る直線とS－P時間0との交点より発震時toが求められる。従って震源距離Riは Vp が既知であれば次式で求められる。

$$Ri = Vp(ti - to) \quad \cdots\cdots (7)$$

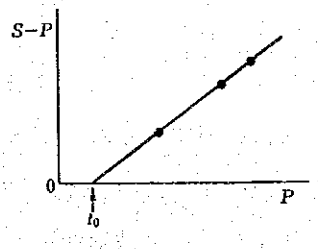


Fig. II–3–11　Wadachi Diagram

3観測点の震源距離が得られると，(1)の方法と同様にして震源が決定される。4観測点の場合，Vpを未知数として(2)の方法と同様にして震源が求められる。

(4) P波到達時刻による方法

電子計算機を利用し数値計算法により震源を求めるとき，大森係数と3点でのS－P時間を使用するのが最も未知数が少ない方法であるが，Vsやポアソン比が既知であることは極めて少ない。このため，数値解法の場合，通常，S波速度およびS波到達時刻を未知数とし，4観測点以上のP波到達時刻とVpから(3)式を解いている。

(5) P波，S波の走時曲線より近地地震の震源を求める方法

種々の深さの地震に対するP波とS波の走時表または走時曲線が与えられていれば，震源の深さを仮定することによって，S－P時間から震央が求められる。従って，各観測点を中心とし，仮定深度に対する震央距離を半径とする円を描いたとき，仮定深度が正しければ，各円弧は1点で交わる。このときの点が震央ということになる。実際には，各観測点に与えられる走時は，近似的なものであることが多いため，円が唯1点で交わることはまれである。このような場合には，種々な深さのうち，各円弧の交点が最も良く集中する点を震央とし，その時の深さを震源深度とする。

この方法は，観測網内またはその周辺に震央を持つ近地地震の震源決定法として，古くから採用されている。かつては作図法によることが多かったが，現在ではコンピュータにより処理されることが多い。また，この方法では，得られる震央の分布範囲や決定精度が各観測点間の距離に左右される。

(6) 最小自乗法を利用する方法

仮震源の緯度，経度，深さ，発震時をそれぞれλ，φ，h，tとし，真の震源のそれを$\lambda+\Delta\lambda$，$\varphi+\Delta\varphi$，$h+\Delta h$，$t+\Delta t$として，$\Delta\lambda$，$\Delta\varphi$，Δh，Δtを最小自乗法により求める。仮震源に対するある観測点の観測走時をOi，標準走時表による計算走時をCiとすると最小自乗法の観測方程式は，

$$\frac{\partial Ci}{\partial\Delta i}\frac{\partial\Delta i}{\partial\lambda}\Delta\lambda+\frac{\partial Ci}{\partial\Delta i}\frac{\partial\Delta i}{\partial\varphi}\Delta\varphi+\frac{\partial Ci}{\partial h}\Delta h+\Delta t=Ci-Oi \quad \cdots\cdots (8)$$

となる。ここで，$Oi=ti-t$，Δiは震央距離，そして，$\partial Ci/\partial\Delta i$と$\partial Ci/\partial h$は標準走時表から求められる。また，震央からみた観測点の方位をθiとすれば，

$$\partial\Delta i/\partial\lambda=\sin\theta i\cos\varphi \quad \cdots\cdots (9)$$

$$\partial\Delta i/\partial\varphi=\cos\theta i \quad \cdots\cdots (10)$$

である。これによって，$\Delta\lambda$，$\Delta\varphi$，Δh，Δtが求まったならば，これらをλ，φ，h，tにそれぞれ加える。この結果を新たな仮震源要素をλ，φ，h，tとして，再び同様の手

順で$\Delta\lambda$，$\Delta\varphi$，Δh，Δtを求める。この手順を数回繰り返せば，$\Delta\lambda$，$\Delta\varphi$，Δh，Δtは0に近づき，λ，φ，h，tは真の震源要素の近似値として得られる。

この種の方法としては，ガイガー（Geiger）の方法が有名であるが，通常，10点以上の観測データで行われている。しかし，(8)式より，5点以上のデータがあれば4つの未知数が求められ，また，P波とS波の到達時刻を用いれば3点のデータで十分な解を求められることができる。

本調査では，(6)の方法により行ったが，この方法では少数点の観測データで震源決定を試みた場合，満足のいく結果が得られることは少ない。そこで，(1)，(2)，(3)の方法の長所を取り入れ，ガイガーの方法を改良したものを採用した。また，震源決定と同時に算出される種々の誤差を考慮し，誤差の大きな震源については，地震記録の読み直しをするなど，観測データの質の向上を計った。

3－5－4　マグニチュードの決定方法

マグニチュードの決定方法は，3－2－3で前述したようにRichterの定義に準処して種々報告されている。これらの方法は，地震計の種類や特性などを考慮に入れ，Gutenterg & Richter（1949，1954）が発表した世界の主要な地震のマグニチュードに合うように考案されている。

本調査では，使用した地震計の性能を考慮し，速度型地震計に対応する2種類の方法でマグニチュードを決定した。

(1)　津村の方法

津村（1967）は，地震動の継続時間がマグニチュードに指数的に比例することに着目し，震央距離が200㎞未満の地震に対し，次の関係式を求めた。

$$M_T = -2.36 + 2.85 \log Td \quad \cdots\cdots (11)$$

この式において，M_Tは津村のマグニチュード，Td（sec）は振動継続時間である。

この方法から，地震記象が振り切れて，最大振幅が読み取れないときや，震央距離が不明なときでもマグニチュードを推定することができる。

(2)　渡辺の方法

地震動の最大速度振幅Av（kine）と震源距離r(㎞)からMを求める式が考案されている。このような式としては，村松（1964），寺島（1968），渡辺（1971）などの式がある。本調査では，この中から渡辺の式を採用した。

$$0.85Mw = 1.73 \log r + \log Av + 2.50 \quad \cdots\cdots (12)$$

前述の津村の方法では，ノイズレベルが大きいときや，地震が連続的に発生して地震波が重なっている場合にはM_Tを求めることができないという欠点があるが，渡辺の方

式では，震源が決定されており，しかも，振り切れていない地表のMwを求めることができる。

日本国内で実施される微小地震観測では，この2種類の方法が良く用いられている。

M_TまたはMwの一方しか求められなかった地震については，他方をM_TとMwの関係式により算出した。

3－6 観 測 結 果

本調査では，55日間の観測で総数973個の地震が観測され，このうち，解析対象としたS－P時間5秒以下の地震は213個である。これらの地震から読み取られたデータは電子計算機で処理した。使用した電子計算機およびその周辺機器を下表に示す。

Table II–3–3 Data Processing System

Instrument	Maker	Model	Specification
Desk Top Computer	Hewlett Packard Inc.	HP9845B	187 Kbyte RAM, addition 270 μsec
		HP9826S	832 Kbyte RAM, addition 137 μsec
Graphics Printer		HP2631G	7x9 dot matrix, 132 Char./Line
		HP2671G	7x9 dot matrix, 80 Char./Line
Flexible Disk Drive		HP9885M	1 drive, 0.51 Mbyte
		HP9895A	2 drive, 2.36 Mbyte
Graphics Plotter		HP7580A	8 pen, size A4 ～ A1, 25μ
Graphics Tablette		HP9111A	reading 60 point/sec, 0.1 mm

本調査で観測された全地震を巻末に示す。また，S－P時間5秒以下の地震の震源座標，マグニチュードおよび発震時をTable II－3－4に示す。

3－6－1 日別地震発生頻度分布

日別地震発生頻度分布は観測された全地震について求め，この結果をFig. II－3－12に示す。

観測時間の短い10月14日と12月8日を除くと，最も発生個数の多かった日は11月16日の31個，少ない日は12月5日の8個である。1日当りの平均発生個数は約18個である。解析対象となったS－P時間5秒以下の地震は0～9個の範囲で発生しており，1日当りの平均発生個数は約4個である。

S－P時間5秒以下の地震および5秒以上の地震についても，顕著な群発発生はみられない。

3－6－2 S－P時間別地震発生頻度分布

S－P時間別地震発生頻度分布は３０秒以下の地震と５秒以下の地震について求め，Fig.Ⅱ－３－１３に示す。

S－P時間３０秒以下の頻度分布は１秒毎の区間で求めた。この分布によればS－P時間１～４秒，１２～１３秒，１６～１８秒および２６～２７秒でピークがみられる。また，S－P時間５秒以下の頻度分布は0.2秒毎の区間で求め，この分布には顕著なピークはみられないがS－P時間２秒以下の地震は少ない。

３－６－３　マグニチュード別地震発生頻度分布

マグニチュード別地震発生頻度分布は，津村および渡辺のマグニチュードについて，ともに0.2の区間で求め，Fig.Ⅱ－３－１４に示す。

津村のマグニチュードは－0.8～3.6の範囲に分布し，0.8～1.0でピークを形成し，ほぼ正規分布を示している。また，渡辺のマグニチュードは0.2～2.8の範囲に分布し，1.2～1.6および2.0～2.2でピークを形成している。

３－６－４　震　源　分　布

本調査地域周辺では，P波速度に関する情報が非常に少なく，的確な速度構造を仮定するのは困難である。そこで，本調査地域に広く分布する閃緑岩類のP波速度の一般値，測温孔岩芯のP波速度および他の探査結果等から，種々の速度構造を仮定し，それぞれについて震源決定計算を行ない，比較した。この結果，第１層のP波速度Vp＝4.5 km／sec，層厚0.5 km，第２層のVp＝6.0 km／sec，層厚9.5 kmおよび第３層のVp＝8 km／secという速度構造モデルの結果が最も誤差が小さかったため，この速度構造モデルを採用した。また，各地震のP波およびS波の到達時刻より和達ダイアグラムを作成し，本調査地域のVp／Vsについて検討した結果，Vp／Vsの平均値は1.71，ポアソン比は0.24であった。

なお，震源決定は，３－５－３(6)で述べた方法を採用した。

(1)　震　央　分　布

震央は，(1)観測網内および周辺，(2)観測網北方の２地区で比較的集中して分布している。他の地区では疎らに震央が分布しており，特に観測網以東および調査地域の南西方では震央が全く分布していないことが特筆される。

(2)　震源投影断面

Fig.Ⅱ－３－１５上の全震源の南北，東西投影断面をFig.Ⅱ－３－１６に示す。また，Fig.Ⅱ－３－１６に東経120°40′を中心に東西にそれぞれ５km，東方５～１８kmおよび西方５～１８kmの３本の帯に区分し，それぞれについての南北断面をも併せて示した。

また同様にして東西断面も北緯16°20′を中心として区分された３種の断面とこれらを合せたものの４種類の断面をFig.Ⅱ－３－１６に示す。

Table Ⅱ-3-4 List of Hypocenters (1)-(5)

(1)

No.	Eq. No.	Time of Commencement	Hypocentral Coordinate			Magnitude	
			Lat.	Lon.	Depth	Tsumura	Watanabe
1	6	1983 10 15 12 21				1.07	1.16
2	11	1983 10 15 17 23				0.57	1.37
3	15	1983 10 15 22 29				-0.64	1.08
4	17	1983 10 16 0 31				-0.08	0.99
5	19	1983 10 16 1 8				1.12	2.34
6	24	1983 10 16 5 29				1.21	2.23
7	25	1983 10 16 7 31				2.70	2.68
8	29	1983 10 16 14 20				-1.23	0.78
9	31	1983 10 16 15 2				1.04	2.09
10	32	1983 10 16 16 29 41.28	15 59.38	120 29.94	18.96	1.11	1.78
11	33	1983 10 16 17 40				1.11	1.36
12	36	1983 10 16 22 46 36.03	16 27.04	120 35.37	40.67	0.82	1.50
13	41	1983 10 17 3 42 50.22	16 21.84	120 54.63	27.42	1.97	2.37
14	53	1983 10 17 7 43 9.25	16 26.41	120 43.52	3.65	-0.63	0.99
15	54	1983 10 17 8 27 35.93	16 24.55	120 50.92	19.79	0.09	1.31
16	62	1983 10 18 3 10 28.65	16 30.12	120 28.20	30.31	0.20	1.44
17	63	1983 10 18 3 44 25.86	16 32.18	120 32.10	26.29	1.41	2.28
18	64	1983 10 18 4 19 28.61	16 25.55	120 41.69	10.31	-0.38	1.45
19	67	1983 10 18 12 16 37.73	16 21.35	120 33.51	21.99	0.50	1.89
20	73	1983 10 19 1 27 21.83	16 35.27	120 32.00	20.31	1.35	1.82
21	74	1983 10 19 1 38 36.35	16 41.15	120 38.55	16.54	0.92	1.44
22	77	1983 10 19 2 52 55.79	16 35.40	120 29.44	11.96	0.60	1.40
23	81	1983 10 19 11 58 41.38	16 32.01	120 30.49	25.49	1.14	2.15
24	82	1983 10 19 13 10 41.98	16 28.52	120 51.17	24.21	0.72	1.74
25	86	1983 10 19 21 26 24.94	16 23.19	120 24.49	30.31	2.28	2.30
26	93	1983 10 20 1 34 41.34	16 21.72	120 27.66	21.95	0.59	1.74
27	94	1983 10 20 2 12 23.12	16 18.67	120 25.46	29.67	0.71	1.26
28	98	1983 10 20 14 45 46.36	16 8.47	120 31.97	28.38	1.62	2.19
29	99	1983 10 20 14 46 10.04	16 7.44	120 29.70	10.61	1.17	2.07
30	106	1983 10 20 20 50 11.56	16 21.28	120 40.01	46.98	2.03	1.63
31	116	1983 10 21 5 21 21.01	16 21.28	120 40.01	32.39	1.78	1.64
32	125	1983 10 21 20 9 7.38	16 21.35	120 22.85	26.46	0.84	2.10
33	132	1983 10 22 11 35 59.11	16 28.35	120 43.50	2.67	-0.82	0.87
34	134	1983 10 22 15 50 42.39	16 5.21	120 30.92	27.76	0.90	2.21
35	135	1983 10 22 15 52 15.28	16 9.31	120 33.09	28.70	1.24	1.81
36	136	1983 10 22 23 5 42.13	16 24.70	120 25.61	31.35	1.96	2.34
37	137	1983 10 22 23 15 50.97	16 21.35	120 21.78	34.80	0.91	2.35
38	138	1983 10 23 1 42 20.98	16 28.43	120 38.55	18.65	0.23	1.32
39	141	1983 10 23 2 47 43.15	16 25.41	120 40.76	5.26	0.49	1.35
40	147	1983 10 23 7 46 40.50	16 15.58	120 24.18	32.31	1.25	2.15
41	151	1983 10 23 11 27 53.49	16 26.74	120 32.91	15.18	-0.22	1.33
42	166	1983 10 23 23 42 23.96	16 25.12	120 52.81	26.13	1.17	1.88
43	167	1983 10 23 23 59 17.57	16 15.81	120 27.83	27.10	0.33	1.42
44	169	1983 10 24 1 27 36.43	16 17.64	120 24.73	31.27	1.48	2.21
45	177	1983 10 24 14 47 16.97	16 7.75	120 34.27	23.76	1.62	1.99
46	178	1983 10 24 14 47 3.76	16 9.21	120 33.23	27.90	1.15	1.79
47	179	1983 10 24 17 48 15.66	16 27.74	120 55.62	34.32	0.84	2.09
48	181	1983 10 24 18 58 50.81	16 20.13	120 40.05	34.48	0.94	1.49
49	182	1983 10 24 20 17 27.35	16 21.35	120 38.55	27.26	0.58	1.60
50	183	1983 10 24 21 33 30.26	16 24.79	120 23.44	33.52	1.47	2.00

(2)

No.	Eq. No.	Time of Commencement	Hypocentral Coordinate			Magnitude	
			Lat.	Lon.	Depth	Tsumura	Watanabe
51	184	1983 10 24 22 17 24.87	16 32.97	120 33.71	29.67	0.13	1.40
52	185	1983 10 24 22 33 30.76	16 41.73	120 41.08	35.28	2.78	1.64
53	192	1983 10 25 6 23 46.10	16 5.63	120 43.80	32.39	1.30	2.14
54	199	1983 10 25 11 26 7.00	16 14.03	120 35.58	18.89	1.24	1.61
55	204	1983 10 25 19 8 0.99	16 11.70	120 40.05	25.14	2.19	2.30
56	215	1983 10 26 5 16 9.27	16 36.32	120 35.23	32.72	0.78	1.53
57	223	1983 10 26 22 7 42.85	16 20.13	120 40.05	21.15	-0.07	1.23
58	233	1983 10 27 4 52 46.52	16 20.13	120 38.83	5.27	-1.07	0.31
59	247	1983 10 27 17 16 57.29	16 7.02	120 31.44	19.39	1.17	1.92
60	248	1983 10 27 17 16 20.64	16 9.32	120 33.07	27.74	2.31	2.21
61	255	1983 10 28 2 47 48.62	16 13.04	120 24.33	34.80	0.95	1.80
62	263	1983 10 28 19 4				0.41	1.54
63	265	1983 10 28 20 2 39.03	16 29.22	120 34.79	20.18	0.49	1.24
64	266	1983 10 28 21 54 35.63	16 27.35	120 29.91	13.25	1.46	2.10
65	280	1983 10 29 15 4 6.25	16 33.10	120 33.06	31.91	1.25	1.99
66	282	1983 10 29 17 58 56.96	16 25.81	120 23.84	30.23	1.71	2.53
67	308	1983 10 31 10 1 16.43	16 21.35	120 38.55	29.99	1.34	2.00
68	318	1983 10 31 22 24 50.13	16 20.13	120 40.05	26.70	-0.32	1.14
69	338	1983 11 1 20 24				0.71	1.67
70	341	1983 11 1 21 10 55.65	16 27.67	120 53.43	28.22	1.68	1.52
71	343	1983 11 2 1 6 42.25	16 21.35	120 20.93	36.40	2.71	2.57
72	344	1983 11 2 3 32 34.42	16 21.35	120 20.70	35.31	1.41	2.15
73	352	1983 11 2 12 9 31.98	16 30.97	120 30.45	0.84	1.94	2.24
74	353	1983 11 2 12 27 52.02	16 30.24	120 36.16	17.44	1.51	2.03
75	356	1983 11 2 14 22				1.33	1.65
76	357	1983 11 2 14 36 54.49	16 27.29	120 40.13	11.87	0.70	1.79
77	359	1983 11 2 16 6				0.18	0.35
78	360	1983 11 2 23 14				0.90	1.48
79	361	1983 11 2 23 27				-0.20	0.80
80	363	1983 11 3 1 20 58.95	16 28.34	120 38.55	17.28	0.20	1.20
81	365	1983 11 3 1 56 26.53	16 37.52	120 46.53	35.12	2.52	2.75
82	366	1983 11 3 2 24 40.00	16 42.94	120 38.55	37.05	1.13	2.00
83	369	1983 11 3 5 51 51.89	16 23.69	120 36.33	8.64	-0.20	0.45
84	375	1983 11 3 15 49 34.86	16 28.21	120 26.18	9.82	1.11	1.80
85	381	1983 11 3 21 53 42.92	16 26.30	120 40.41	2.72	0.67	1.52
86	384	1983 11 3 23 54 39.49	16 21.71	120 40.01	3.72	-1.74	0.53
87	391	1983 11 4 11 6 12.33	16 7.22	120 29.75	18.38	1.60	2.07
88	393	1983 11 4 13 9 7.51	16 29.22	120 42.77	4.57	0.05	1.49
89	395	1983 11 4 15 18 44.14	16 30.55	120 43.65	8.75	0.38	1.38
90	401	1983 11 5 5 26 25.34	16 27.65	120 56.53	34.16	0.97	1.79
91	407	1983 11 5 11 42				0.72	1.39
92	408	1983 11 5 12 50 53.73	16 24.97	120 29.41	23.08	1.79	2.17
93	411	1983 11 5 16 26 45.59	16 25.07	120 41.32	4.37	-0.25	1.62
94	424	1983 11 6 21 37 3.38	16 30.41	120 54.17	10.62	0.77	1.87
95	429	1983 11 7 4 42 12.54	16 30.93	120 36.95	5.00	-0.07	1.41
96	436	1983 11 7 11 2				-0.45	1.01
97	438	1983 11 7 14 32 45.45	16 7.72	120 31.09	18.42	0.87	1.72
98	439	1983 11 7 15 39				0.02	1.19
99	457	1983 11 8 8 45 19.28	16 7.29	120 32.19	32.39	1.06	1.70
100	466	1983 11 8 15 42 59.56	16 21.35	120 38.55	50.77	1.24	2.13

No.	Eq. No.	Time of Commencement	Hypocentral Coordinate			Magnitude	
			Lat.	Lon.	Depth	Tsumura	Watanabe
101	479	1983 11 9 10 27				1.20	1.93
102	481	1983 11 9 20 15 15.81	16 36.45	120 40.13	10.20	2.51	1.67
103	494	1983 11 10 16 2 46.30	16 38.99	120 40.13	18.19	2.10	2.23
104	498	1983 11 10 20 52 41.39	16 27.21	120 21.61	38.49	0.86	2.01
105	505	1983 11 11 1 49 35.77	16 25.13	120 34.86	15.66	-0.26	1.16
106	509	1983 11 11 4 54 37.49	16 5.50	120 35.77	28.95	0.35	1.23
107	513	1983 11 11 10 52 30.30	16 34.26	120 41.08	24.04	0.86	2.07
108	514	1983 11 11 11 38				0.53	1.92
109	517	1983 11 11 12 42 17.23	16 22.58	120 41.30	18.20	-0.61	1.18
110	524	1983 11 11 21 36 50.50	16 25.26	120 23.15	34.96	0.82	1.89
111	525	1983 11 11 23 59 3.21	16 14.22	120 25.02	23.55	2.02	2.37
112	539	1983 11 13 3 9 28.14	16 18.22	120 28.38	24.69	0.10	1.16
113	555	1983 11 14 2 36 40.31	16 26.97	120 34.88	16.47	-0.30	1.30
114	558	1983 11 14 6 37 25.68	16 30.07	120 26.44	23.46	2.31	2.46
115	560	1983 11 14 11 53				-0.30	0.73
116	561	1983 11 14 12 42 13.77	16 32.39	120 41.08	13.69	-0.55	1.06
117	563	1983 11 14 18 36 0.20	16 28.93	120 38.98	2.48	0.09	1.29
118	579	1983 11 15 5 57 55.24	16 21.28	120 40.01	20.07	0.83	1.82
119	582	1983 11 15 7 49 36.06	16 26.10	120 38.21	6.70	2.54	2.48
120	589	1983 11 15 18 18				-1.11	0.32
121	591	1983 11 15 19 45 23.51	16 27.09	120 39.55	7.20	1.92	2.13
122	592	1983 11 15 20 41 15.11	16 27.69	120 39.59	3.42	1.50	2.05
123	594	1983 11 15 22 54 42.71	16 27.20	120 40.13	1.70	-0.35	1.45
124	596	1983 11 16 1 20 52.61	16 37.67	120 35.10	34.64	0.93	2.04
125	601	1983 11 16 2 34 56.13	16 21.35	120 22.01	37.05	1.26	1.63
126	609	1983 11 16 11 11 49.78	16 19.10	120 42.12	6.02	-0.40	0.86
127	618	1983 11 16 20 17 56.43	16 28.94	120 39.88	2.33	0.11	1.66
128	619	1983 11 16 20 17 50.89	16 28.36	120 39.63	4.09	-1.18	1.20
129	620	1983 11 16 20 19				-0.05	1.11
130	621	1983 11 16 20 37 0.18	16 26.86	120 41.08	10.13	-0.12	1.24
131	623	1983 11 16 21 18 3.71	16 28.44	120 37.29	6.90	-0.42	1.37
132	625	1983 11 16 22 30 18.73	16 10.79	120 36.64	23.32	1.48	2.13
133	634	1983 11 17 9 17				-0.05	1.22
134	635	1983 11 17 10 14				-0.57	0.56
135	637	1983 11 17 16 59				1.47	1.81
136	642	1983 11 18 4 51 11.60	16 19.74	120 51.81	25.65	2.00	2.36
137	646	1983 11 18 11 49				0.32	1.27
138	647	1983 11 18 15 51 25.96	16 25.19	120 42.18	9.97	-0.15	1.44
139	652	1983 11 18 20 41 58.41	16 21.35	120 38.55	39.45	2.49	2.39
140	662	1983 11 19 12 35 26.87	16 21.28	120 40.01	33.68	3.50	2.08
141	664	1983 11 19 13 35 11.16	16 27.97	120 38.60	3.77	0.01	1.14
142	673	1983 11 20 7 40				-0.08	1.42
143	676	1983 11 20 13 44 35.06	16 26.14	120 42.02	10.24	-0.48	1.46
144	680	1983 11 20 15 35 41.22	16 24.55	120 40.13	7.48	-0.19	1.39
145	685	1983 11 21 1 47 44.10	16 28.78	120 41.27	2.33	-1.07	0.51
146	690	1983 11 21 13 29 40.63	16 26.48	120 56.09	30.63	2.39	2.39
147	691	1983 11 21 15 13 24.26	16 27.96	120 31.20	21.95	0.10	1.58
148	694	1983 11 22 2 22				-0.05	1.56
149	704	1983 11 22 16 29 35.68	16 25.45	120 40.13	7.53	0.15	1.44
150	705	1983 11 22 16 43 24.52	16 21.84	120 46.06	13.42	0.35	1.59

No.	Eq. No.	Time of Commencement	Hypocentral Coordinate			Magnitude	
			Lat.	Lon.	Depth	Tsumura	Watanabe
151	706	1983 11 22 16 48 42.14	16 25.56	120 39.42	5.03	1.00	1.75
152	707	1983 11 22 17 48 49.60	16 15.07	120 26.90	26.62	1.98	2.14
153	709	1983 11 22 23 39 58.95	16 14.06	120 38.78	17.76	1.09	1.91
154	714	1983 11 23 17 2				0.74	1.37
155	715	1983 11 23 17 3 6.64	16 14.39	120 24.85	31.91	1.45	2.52
156	717	1983 11 23 19 22 35.09	16 17.74	120 30.72	19.38	1.95	2.33
157	718	1983 11 23 20 4 26.28	16 27.12	120 41.08	15.02	-0.28	1.29
158	719	1983 11 23 21 20 7.08	16 25.72	120 35.87	13.39	-1.13	1.13
159	723	1983 11 24 1 27 27.51	16 29.16	120 38.69	1.84	-0.35	1.55
160	728	1983 11 24 3 29 13.32	16 27.41	120 34.67	12.23	0.46	1.86
161	735	1983 11 24 22 38 45.83	16 25.95	120 38.12	5.75	-0.20	0.66
162	736	1983 11 25 1 15 7.33	16 30.09	120 37.88	1.19	-0.37	1.37
163	737	1983 11 25 2 21 30.10	16 24.97	120 25.60	29.51	0.73	1.38
164	739	1983 11 25 4 6 55.00	16 21.28	120 40.01	19.86	0.33	1.61
165	742	1983 11 25 8 58				0.47	1.32
166	743	1983 11 25 13 19 58.99	16 21.35	120 39.65	18.65	0.69	2.04
167	756	1983 11 26 6 4 54.55	16 17.84	120 26.14	25.49	2.35	2.37
168	757	1983 11 26 6 42				0.66	1.26
169	758	1983 11 26 7 7 8.66	16 26.34	120 31.12	17.63	-0.05	1.50
170	763	1983 11 26 15 50 46.97	16 28.62	120 41.48	10.36	0.27	1.76
171	771	1983 11 27 12 33 52.06	16 17.04	120 24.56	29.18	1.85	2.20
172	772	1983 11 27 13 7 4.64	16 21.35	120 49.66	22.28	0.34	1.40
173	778	1983 11 28 3 19 45.83	16 29.41	120 35.11	20.14	0.31	1.71
174	781	1983 11 28 5 0 49.84	16 25.49	120 38.41	6.80	-1.59	1.01
175	783	1983 11 28 9 22 50.34	16 20.13	120 40.05	39.77	1.46	2.02
176	785	1983 11 28 15 37 59.31	16 29.05	120 39.33	1.21	-0.95	1.27
177	788	1983 11 28 18 36				0.54	1.48
178	789	1983 11 28 18 37				1.88	2.29
179	797	1983 11 29 3 24 32.23	16 23.08	120 30.20	19.69	0.40	1.61
180	803	1983 11 29 14 45 15.58	16 26.37	120 29.15	19.16	2.31	2.32
181	805	1983 11 29 16 4 56.59	16 28.58	120 45.48	21.79		
182	808	1983 11 29 23 57 27.80	16 28.28	120 36.93	15.18	-0.42	1.25
183	812	1983 11 30 3 26 45.44	16 31.74	120 34.26	21.22	0.62	1.75
184	816	1983 11 30 5 56 23.84	16 21.35	120 30.38	19.38	1.60	2.16
185	826	1983 11 30 17 17 37.04	16 20.13	120 40.05	18.41	-0.73	0.83
186	835	1983 12 1 1 5 10.35	16 49.01	120 40.13	37.21	1.76	2.64
187	840	1983 12 1 4 45 26.42	16 31.55	120 24.21	36.56	0.87	1.74
188	841	1983 12 1 7 36 36.42	16 17.43	120 33.30	17.60	0.47	1.48
189	845	1983 12 1 13 40 53.07	16 13.71	120 38.89	9.03	0.88	1.52
190	847	1983 12 1 14 18 30.60	16 16.07	120 39.03	11.93	0.81	1.79
191	855	1983 12 1 21 49 6.76	16 28.63	120 29.34	23.40	1.82	2.18
192	868	1983 12 2 12 39 53.05	16 11.63	120 23.65	22.73	2.22	2.45
193	870	1983 12 2 18 38				0.72	0.92
194	874	1983 12 2 22 13 16.38	16 19.72	120 39.44	4.45	-0.53	1.00
195	876	1983 12 2 23 36 20.90	16 20.13	120 40.05	22.76	0.14	1.43
196	879	1983 12 3 1 20 3.09	16 32.48	120 50.76	29.51	1.55	1.91
197	890	1983 12 3 7 27 42.67	16 6.17	120 33.60	35.76	2.51	2.41
198	903	1983 12 4 0 12 58.49	16 27.43	120 31.84	20.34	1.96	2.15
199	915	1983 12 4 12 43 11.70	16 20.13	120 40.05	22.28	0.87	2.07
200	932	1983 12 6 7 50 13.13	16 29.59	120 38.31	7.87	0.37	2.02

No.	Eq. No.	Time of Commencement	Hypocentral Coordinate			Magnitude	
			Lat.	Lon.	Depth	Tsumura	Watanabe
201	933	1983 12 6 7 50 7.99	16 28.36	120 38.36	9.05	1.24	2.08
202	934	1983 12 6 7 51 37.41	16 28.26	120 38.39	10.12	0.49	1.74
203	935	1983 12 6 7 53 19.50	16 28.51	120 36.99	11.27	0.13	1.22
204	943	1983 12 6 20 13				0.29	1.13
205	952	1983 12 7 13 40 33.75	16 21.28	120 38.64	9.46	0.76	1.73
206	953	1983 12 7 14 41 37.77	16 4.04	120 33.46	9.81	2.63	2.46
207	956	1983 12 7 16 31 54.45	16 28.60	120 38.40	16.15	0.31	1.46
208	957	1983 12 7 16 32 7.68	16 28.40	120 35.60	17.93	0.13	1.32
209	958	1983 12 7 16 32 43.39	16 30.58	120 37.51	9.84	1.47	1.92
210	960	1983 12 7 16 34 56.85	16 30.79	120 36.64	11.97	-0.52	1.51
211	967	1983 12 7 20 38 17.63	16 27.09	120 37.70	5.55	-0.26	0.95
212	970	1983 12 7 22 16 24.84	16 28.24	120 36.91	18.41	-0.24	1.27
213	973	1983 12 8 0 28				-0.16	0.87

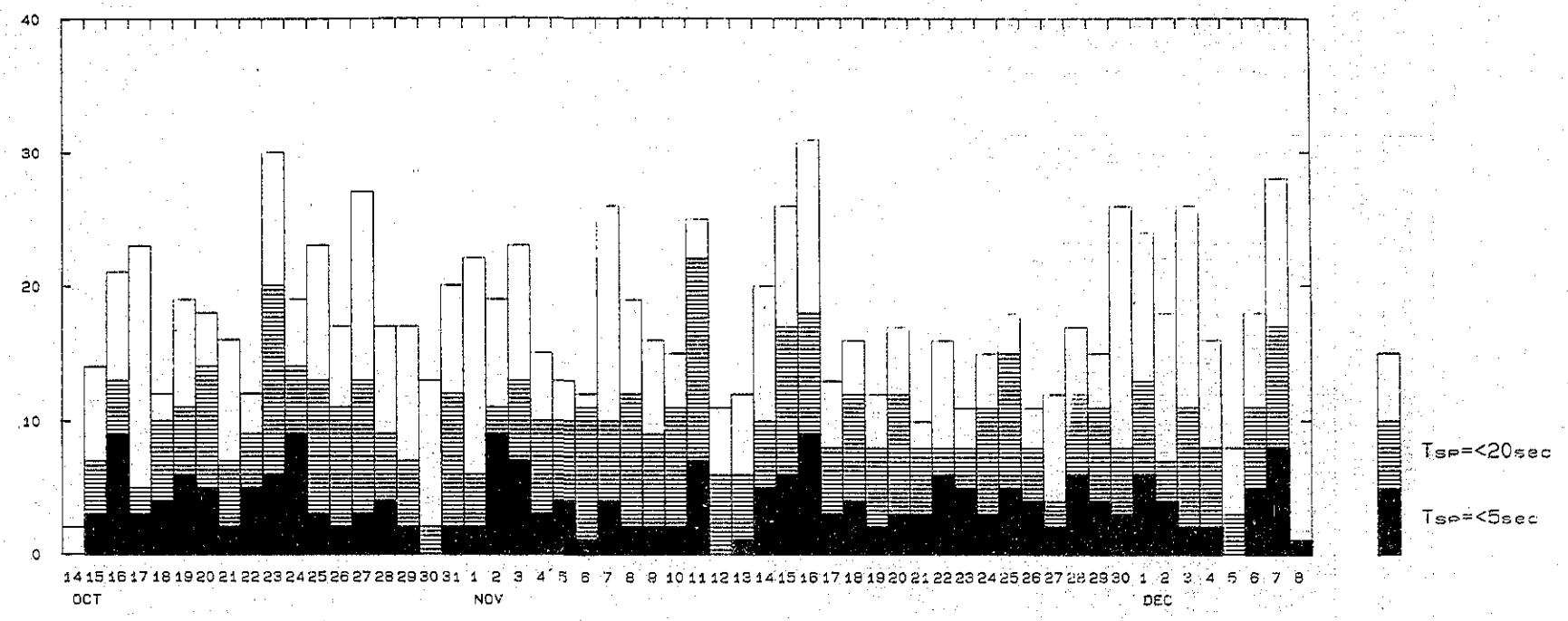
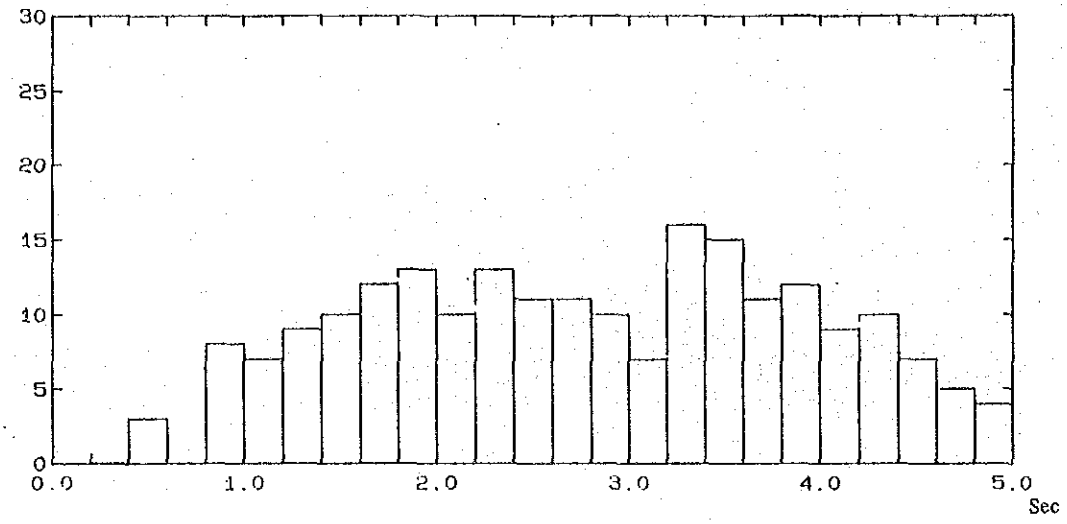


Fig. Ⅱ-3-12 Daily Frequency Diagram



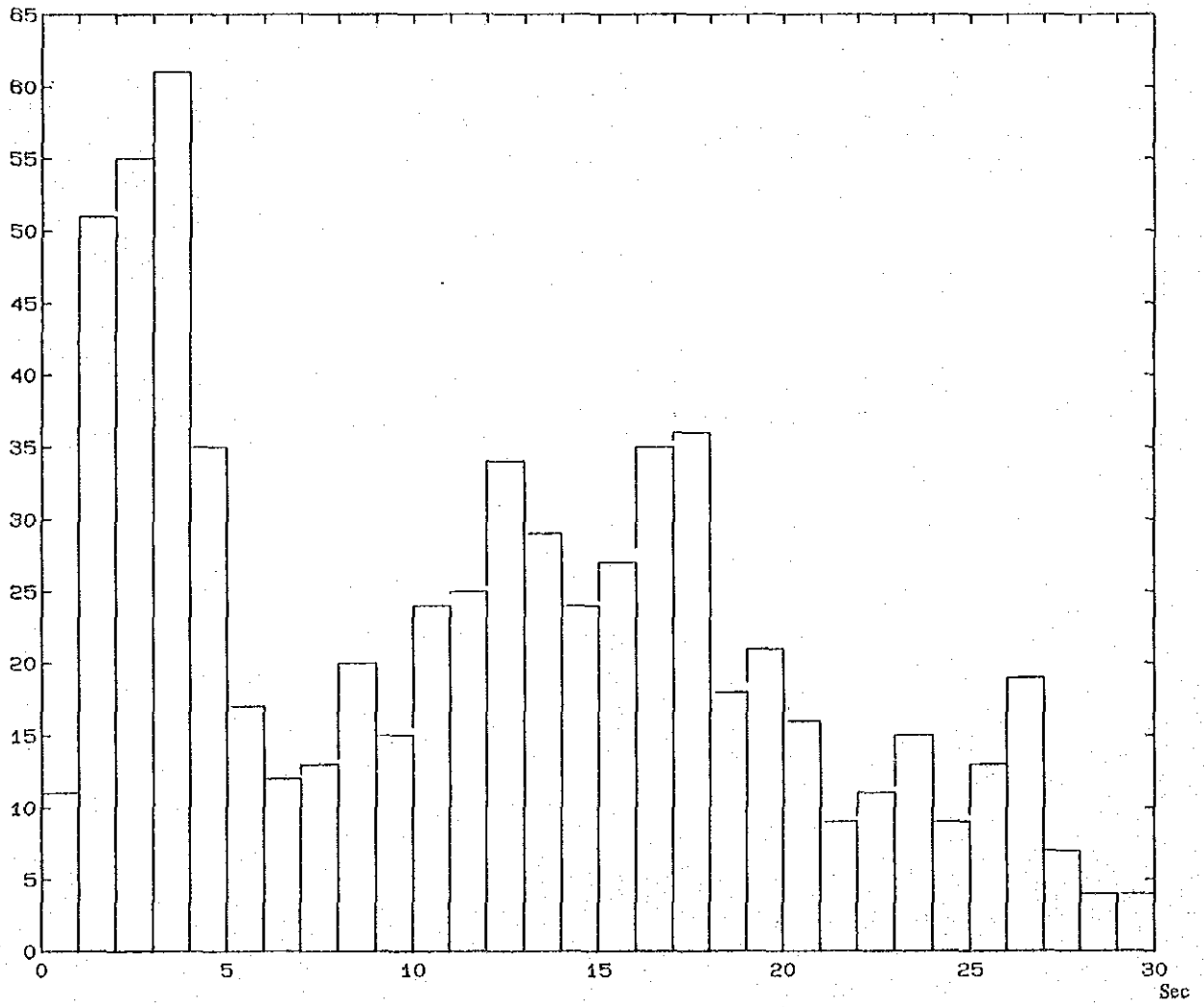


Fig. Ⅱ-3-13 S-P Time Distribution

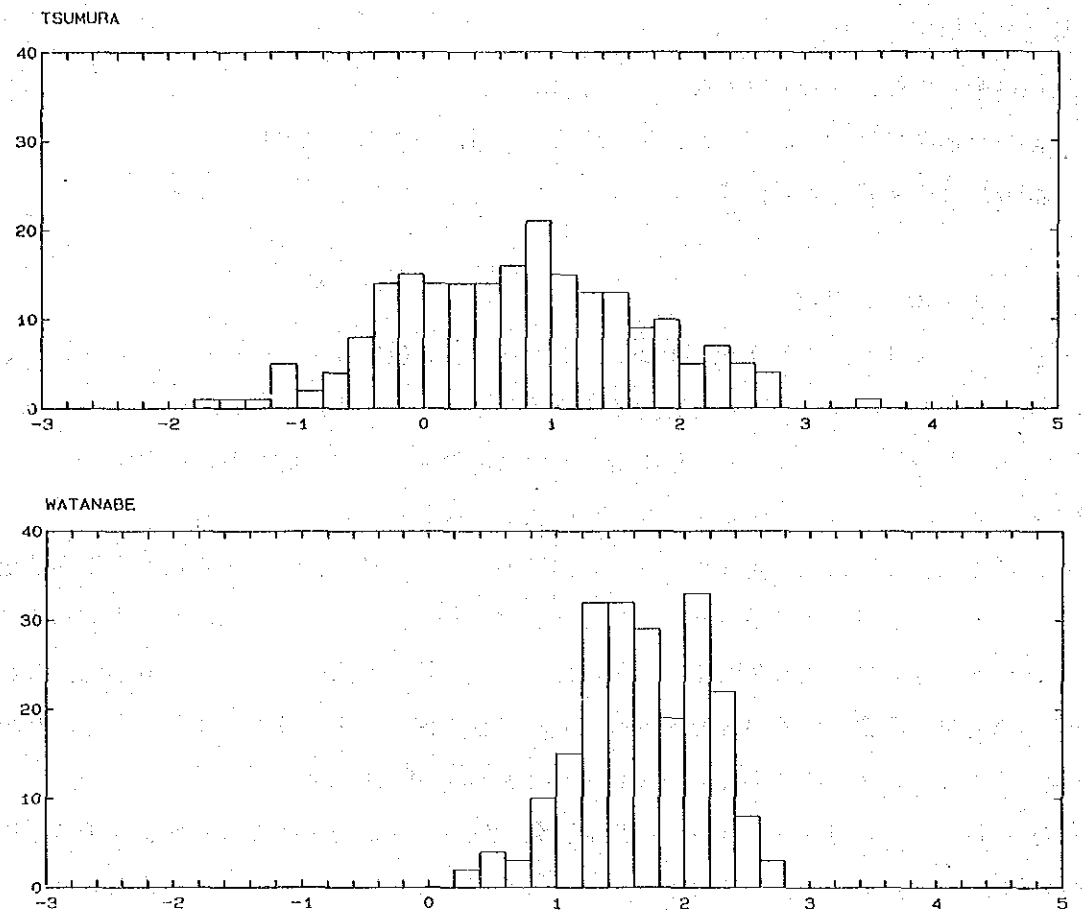


Fig. II−3−14　Magnitude Distribution

南北断面からは，北緯16°20′の北方10～18㎞にかけて深度0～20㎞の範囲に震源が分布しており，他には特徴的な分布はみられない。

東西断面からは，東経120°40′を中心とし東西方向に約5㎞，深度は約10㎞の範囲に震源が分布している。また，西方約5㎞，深度約10㎞付近から西方に向って深くなるという分布傾向もみられる。

以上の震央分布および各種の震源投影断面図を併せてみると，以下の3つの地震発生域と，3つの空白域が明らかとなる。

Ⅰ　本調査の観測網即ち調査地域の下部に浅部から深部まで断続的に連なる地震発生域。

Ⅱ　本調査地域の北方約5～15㎞，深さ10㎞程度までの範囲に不規則に震源の分布する地震発生域。

Ⅲ　本調査地域の北北西方約10㎞，深度約10㎞付近から西方深部に向って扇状に震源が

分布する地震発生域。

A　観測網の周囲，垂直方向に円筒状の空白域。

B　震央分布図で明らかなように，調査地域の東方ほぼ全域の空白域。

C　調査地域の南西方の空白域。

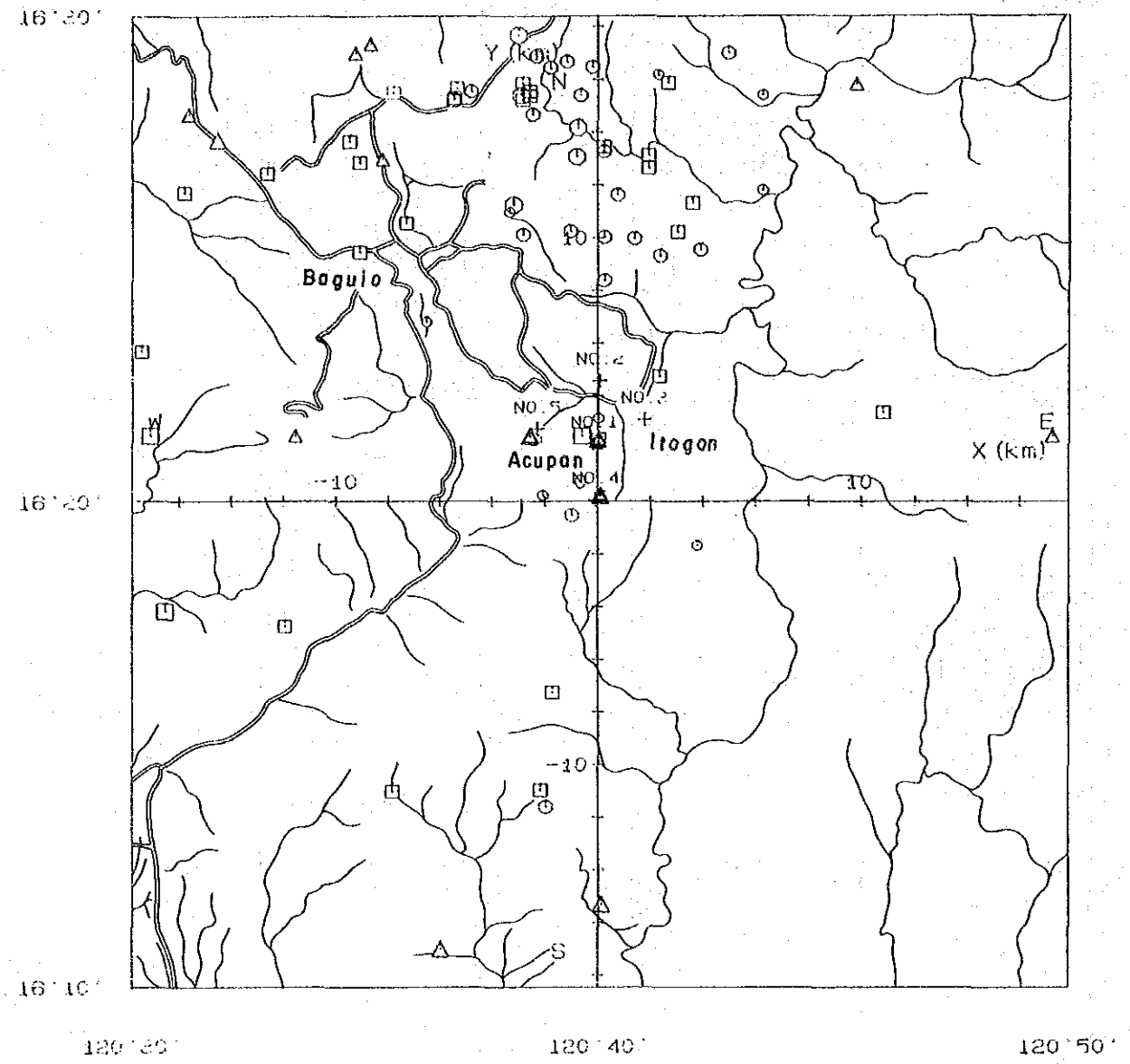
3－7　まとめおよび考察

本調査では，１９８３年１０月１４日から５５日間に，統計９７３個の地震が観測された。このうち，S－P時間5秒以下の局発地震は２１３個であり，また，これらはマグニチュード3以下の微小地震に対応している。微小地震の顕著な群発発生は確認されていない。

解析後，3地域の地震発生域と3地域の空白域が確認された。

Ⅰ地震発生域はA空白域に囲まれ，垂直方向にパイプ状を呈し，本調査地域への地熱供給源となっているプラグに対比させられる。このプラグは一般の地熱地帯と比較して生成年代が古いにもかかわらず，現在でもなお高温である。これは，地熱の通路となっていると考えられるプラグの周囲に，緻密で堅く熱伝導率の低い岩石が地下深部にまで分布しており，このために放熱量が少なく熱源の寿命が長くなっているのが原因と考えられる。

本調査地域の北方に分布するⅡおよびⅢ地震発生域は，北西方に存在する盆状構造の東縁部に対比され，この周辺の弱線帯で発生した地震を検出したものと考えられる。また，B空白域は調査地域の東方に南北に長く分布するアグノバソリスに対比され，地下深部にまで空白域が継続していることより，アグノバソリスも深部まで分布していると考えられる。



No.1
+ Seismograph

	Magnitude (M)		
Depth (Z)	0≦M<1	1≦M<2	2≦M<3
0<Z≦10	⊙	⊙	⊙
10<Z≦20	⊡	⊡	⊡
20<Z	△	△	△

Fig. Ⅱ-3-15 Epicentral Distribution

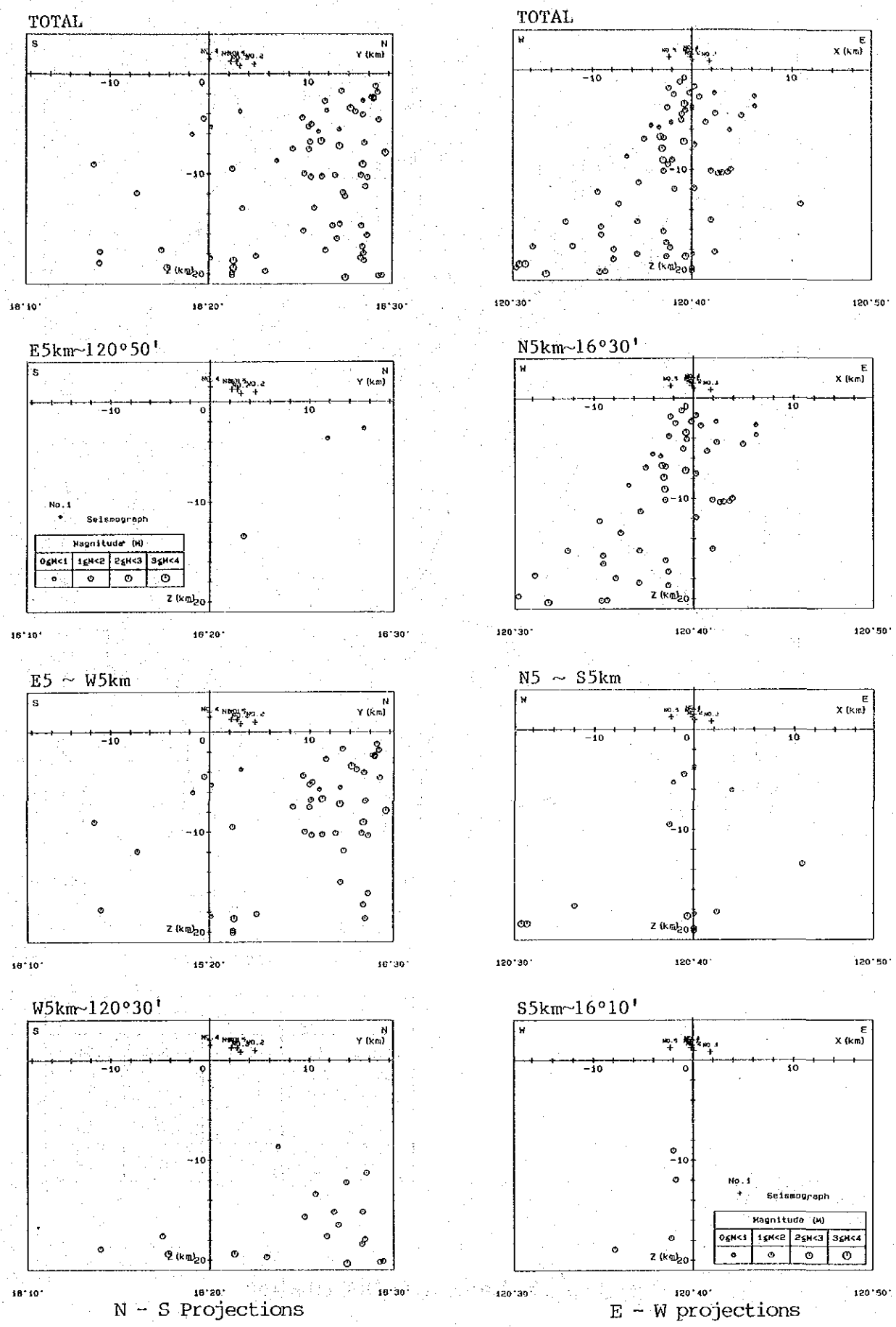


Fig. II-3-16 Hypocentral Distribution (E-W, N-S, Projections)