第１章　機動観測システム

１.１　茨城県笠間地区における地震観測

1.1.1　はじめに

本サブ研究が実施された意図は概要に述べた通りである。研究を進める中で，暫定的に，標記のシステム（この節ではこれを仮に直下型システムと呼ぶことにする）は５年程度維持することが目標とされるようになった。地震発生の前兆が観測・認識されてから実際にそれが発生するまでの時間（以下先行時間）は，Ｍ５程度（社会生活に何等かの影響を及ぼす可能性のある大きさ）の地震では，地震そのものに関わる前兆項目（前震，b値，Q値，発震機構，地震波速度変化，地震活動パターン変化，先駆的地震活動，地震活動空白・静穏化，地震波形，周波数特性）について見ると，最大３年程度である（気象研究所地震火山研究部，1990，316p.，図F-38-(a)）。従って，５年程度という維持期間は適当な設定であったことになる。現存するシステムは，一般にごく短期間（１～２年程度）か永続（10年以上）かのどちらかを維持期間としている。気象庁は10年以上維持することを考えた（部分的な更新はある）システムのみを所有している。５年程度という維持期間の特徴は，観測フィールドの環境変化へ対応していく必要が特に強いということである。例えば，土地提供の人も１～２年なら観測点周辺を改造するのを延期してくれるが５年となるとそうはいかない。逆に，永続的観測となると改造予定がない場所が観測点として選ばれる。環境変化の影響としては，「植林木の成長による無線の障害発生」や「荒れ地の畑地化による観測点保守作業の困難性の増大」，「草刈によるケーブル切断」があり，これらを，笠間地区および由比地区（1.2　静岡県由比地区における地震観測参照）での観測を通じて経験した。

本研究では，直下型システムの設置・保守の方法，及びそれから得られたデータの処理・解析の方法が検討され，このうち，茨城県笠間地区における地震観測では，設置～解析の流れ全般について，問題点の抽出や，新しい解析手法の開発の可能性の検討など，予備的な研究が実施された。気象庁業務で利用されることを目的としてその結果を述べる。

1.1.2　観測フィールド

観測フィールドは，予備的な研究であることを念頭において当研究所（茨城県つくば市）から15～45kmの距離の範囲に設定された。これにより，設置・保守の面での効率化がはかられた（図1-1-1）。この地域の特徴について，既に知られていることを，媒質に関すること（地質・地震波速度構造・重力異常）と周囲の力学的なもの（テクトニクス），及び現象的なもの（地震活動分布，発震機構，地殻応力，活構造，地殻変動）とにわけて次に概略を述べる。

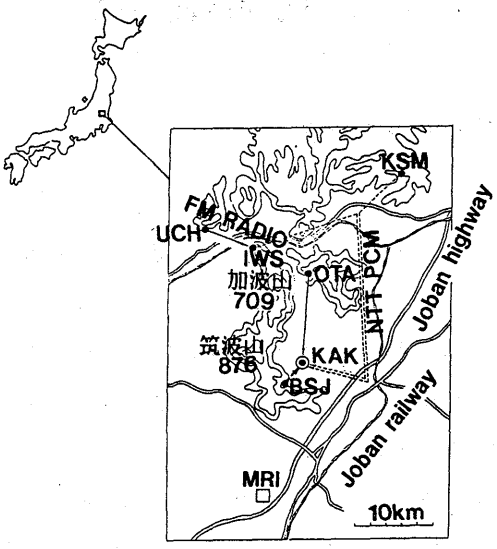


図1-1-1　観測点配置とテレメータ概要
MRIは気象研究所の位置。等高線は100mから700mまで200mおきにひいた。FM RADIOはFM方式による無線通信，NTT PCMはPCM方式によるNTT専用線通信をそれぞれ示す。

地質（図1-1-2）は，フィールドの中心に先新第三系の筑波山（876m。上部が斑れい岩で下部が花崗岩。竹内，1977）・加波山（709m）があり，その周囲は，東京での深さが3000mである新第三系基底（＝先新第三系の基盤岩の表面深度）が浅くなりながらこの地域まで広がり200mよりさらに浅くなっている（松田，1980；地質調査所・海上保安庁水路部，1989a）。新第三系基底の上はおよそ10万年前（第四紀洪積世）の海進で堆積した下末吉層（図1-1-2 のQ２に対応）に覆われており（竹内，1977），この地域における下末吉層の地表高は25～40mである（地震予知連絡会，1989a）。地震波速度構造は，人工爆破により大洗―鳩山測線及び大洗―夢の島測線に沿って推定されており（長谷川他，1983，1984；地震予知連絡会，1989b），それによると深さ３km未満の浅い部分で水平方向の非一様性が著しく，また，先新第三系の岩盤は5.6km/sである（図1-1-3）。重力（ブーゲー異常）も，この地域の水平方向の非一様性を顕著に示している（図1-1-3。地質調査所・海上保安庁水路部，1989b）。

テクトニクスとしては，太平洋プレート，フィリピン海プレート，及び東北日本が属するプレートの３つのプレートがこの地域では関わっている。これらの構造と運動は，主に次に述べる地震活動及び発震機構の分布から推定されている。浅い所については，太平洋プレートの東からの沈み込みによる東西圧縮場，及びフィリピン海プレートの北西への運動とフィリピン海プレートの自重に

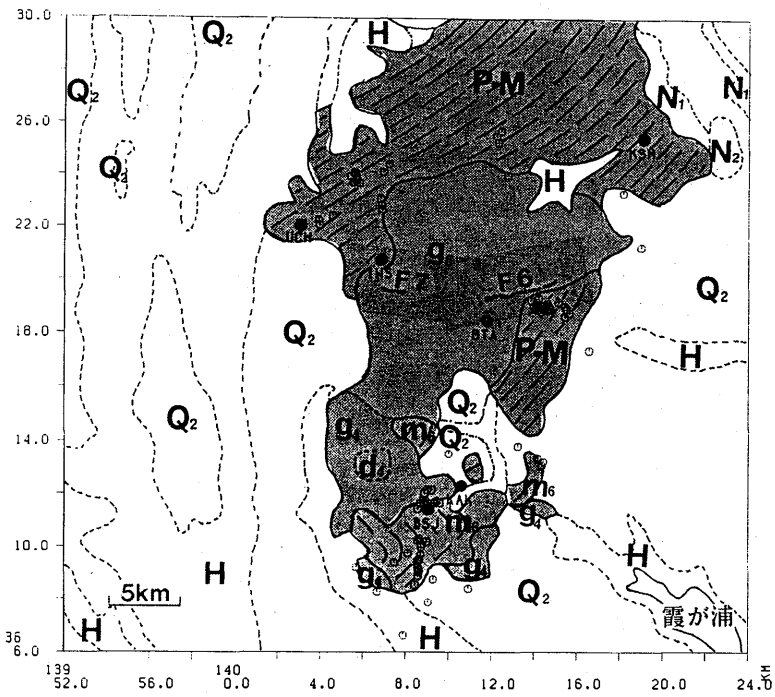


図1-1-2　地質図（地質調査所，1982）と震源決定された採石発破の分布図

砂目で覆った部分が古第三紀初期以前の地質，それ以外は新第三紀以後。P-Mは砂岩等（古生代～中生代頃），m_6は変成岩（古生代～中生代頃）。P-Mとm_6に示された線は一般走向。Hは砂・礫などの堆積物（完新世）。Q_2は礫・砂・泥及び火山灰（更新世後期），g_1は花崗岩類（白亜紀前期）g_6は花崗岩類（白亜紀後期-古第三紀初期），d_1は斑れい岩（白亜紀前期）。F６は吾国山断層，F７は雨引観音の断層。丸は深さを地表に固定して震源決定された採石発破の位置。

よる北東への沈み込みとによるフィリピン海プレート上・側面と東北日本が属するプレート下面との間に働く応力が期待される。30kmより深い所については岡田（1990）に詳しい。

地震活動は，この地域で観測される有感地震回数で見ると年平均約70回（1951～1988年の平均）であり，日本全国で見ると長野県松代・和歌山・伊豆大島の各周辺についで多い（気象庁，1989）。しかし，図1-1-2の範囲内についての震源分布を見ると，気象庁の観測では深さ30kmより浅いものは1986年から1989年の3.5年ほどで３つ（M1.7が２つとM2.1が１つ）が観測されているにすぎない（表1-1-1，図1-1-4）。しかも，これらについても験測データを吟味してみると30kmより震源が深い地震か採石発破の可能性が強い。即ち，これらのうち，地表付近にある２つは場所（図1-1-2と比較）および発生時刻から採石発破と考えられる。また，残りの１つは気象庁地震月報によると，一番震源に近い観測点のSのO－Cが1.2秒もあり，震源の深さ決定精度が悪い可能性がある。国立大学

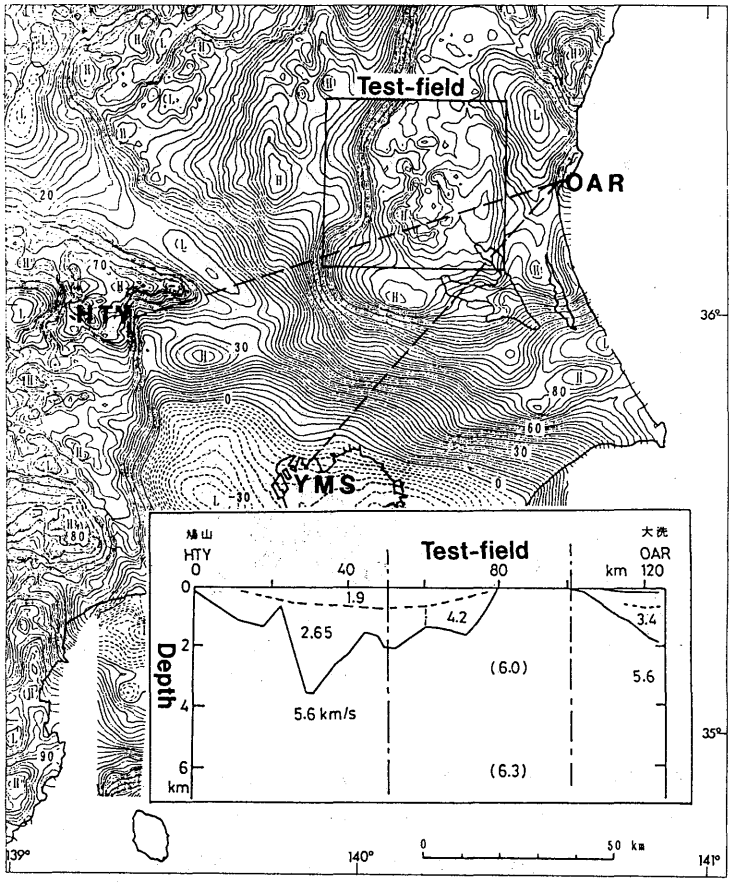


図1-1-3　ブーゲー重力異常図（地質調査所・海上保安庁水路部（1989b）に一部加筆）と地震波速度構造（大洗－鳩山測線。地震予知連絡会（1989b）から）

仮定されている密度は2.0g/cm^3，コンター間隔は2.5mgal。四角で囲った所が図1-1-2の範囲。OAR（大洗）-HTY（鳩山），OAR-YMS（夢の島）は地震波速度構造調査用測線。挿入図は地震波速度構造断面図。

観測網地震カタログにおいてはこのイベントは深さ51kmに決定されている。このイベントを気象庁と国立大学の両者の読み取り値を使い，表1-1-4の速度構造で震源計算してみると深さ52+/－3km（図1-1-4矢印の先）に決まる。また，国立大学観測網地震カタログにおいて1985年７月から1988年12月までの期間で深さ30kmより浅いイベントは２つだけであり，これらは場所および時刻からみて採石発破と考えられ，結局地震らしいものは深さ30kmより浅いところには震源決定されていない。また，最近100年間でM５以上の地震で深さ30km未満のものは１つある（表1-1-1。鬼怒川下流域，深さ20km。M5.1，図1-1-5）。これも読み取り精度の善し悪しや震央距離に応じてデータに重みを

表1-1-1　観測フィールド内での深さ30km未満の地震の震源

年　月日	緯度	経度	深さ	M
(1986 1 1-1989 6 30)				
1987 7 12 22:37	36 19.1	139 53.0	28	2.1
1988 5 31 12:03	36 22.8	140 12.5	2	1.7
1988 6 8 11:47	36 22.0	140 12.2	0	1.7
(1885 1 1-1985 12 31:M≥5.0)				
1927 9 7 19:33	36 11.0	139 58.0	20	5.1

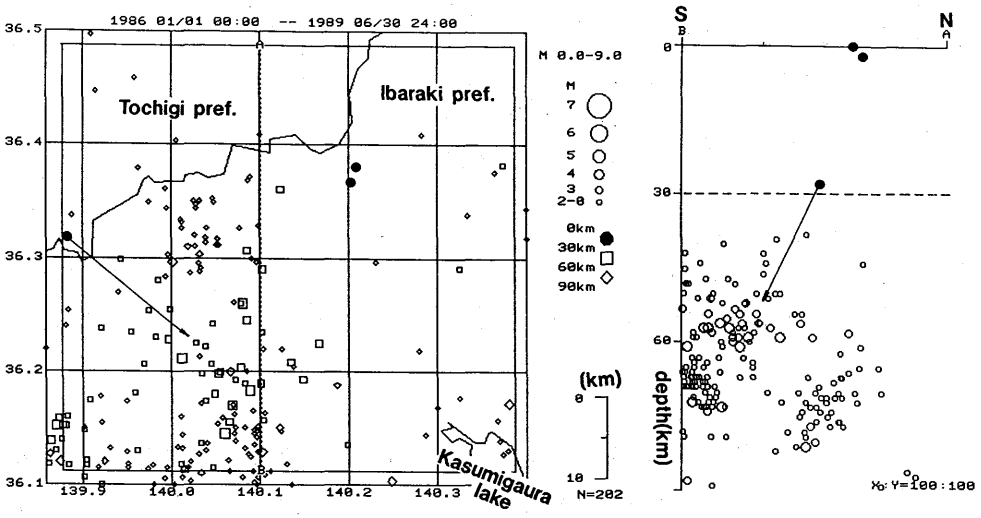


図1-1-4　1986年1月～1989年6月の気象庁震源分布

右の図は東から見た断面。深さが30km未満のものはMの大小によらず同じ大きさの黒丸とした（表1-1-1参照）。 矢印は震源再決定した結果の移動先を示す。

付けて震源再計算すると，深さは65＋/－18kmに決まる。またS－P時間を使って計算すると，深さは54＋/－9kmに決まる（図1-1-5矢印の先）。 従って，最近100年間でもＭ５以上のイベントでは深さ30kmより浅い地震は発生していないと考えられる。

図1-1-4の範囲に発生した地震の発震機構は，30km以深について，北西への低角逆断層型（鬼怒川側の地震群）と西下がり低角逆断層型または東西圧縮型（筑波側の地震群）が知られている（岡田，1990；鬼怒川側・筑波側という名称は岡田，1990によった）。 深さ90kmまでの地震のP軸（最近100年間で発震機構が決まったもののうちＭ５以上の地震）をプロットしてみると図1-1-6のようになり（石川他，1989），南部に筑波側のタイプのものが４つ見え，茨城・栃木県境及び南の縁の計２つを除いてあとは鬼怒川側のタイプである。30kmより浅い部分については発震機構の解析され

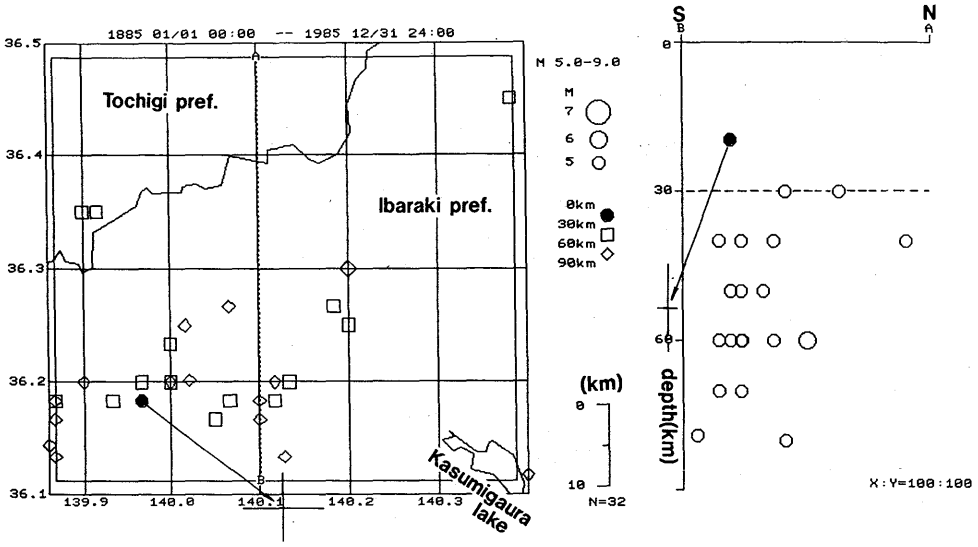


図1-1-5　1885年１月～1985年12月の気象庁震源分布

右の図は東から見た断面。Mが５以上のもののみ。矢印は震源再決定した結果の移動先を示す。十字は決定誤差の範囲を示す。

た地震がない。水圧破壊法や応力解放法からは，地表付近について北西－南東方向の圧縮場が得られている（塚原・池田，1983，1989）。活構造として２つの断層（図1-1-2のＦ６・Ｆ７）が推定されている（早川・松田，1991）が，ともに確実度は一番低いランクであるⅢ（活断層の可能性がある）である。いずれも右ずれと推定されており，その走向と併せて考えると前述の地殻応力の測定結果と符合する。地殻変動としては測量に基づく歪速度の計算の報告（橋本，1990）があり，それによればこの地域のそれは非常に小さく，関東南部に見られる南－北から北北西－南南東方向の$5x10^{-7}$/年を越える圧縮が，ここ90年間は，この地域まで伝わっていないことが推定されている。なお，地質図（図1-1-2）の砂岩（Ｐ－Ｍ）の走向が北東－南西であることも前述の地殻応力の測定に符合していると見ることができる。ただし，変成岩（m_6）については符合しない。

媒質の水平非一様性や応力場の特徴から，断層沿いや，筑波山の周囲の浅い部分で微小地震活動が観測されることが期待されたが，後述するように，少なくともM1.6以上の地震については，今回の観測システムでは震源が浅い地震は捕捉されず（図1-1-7，15km未満のイベントはすべて採石発破），地殻変動の実測値の結果（蓄積している歪量が小さいであろうと推定される）と符合した。

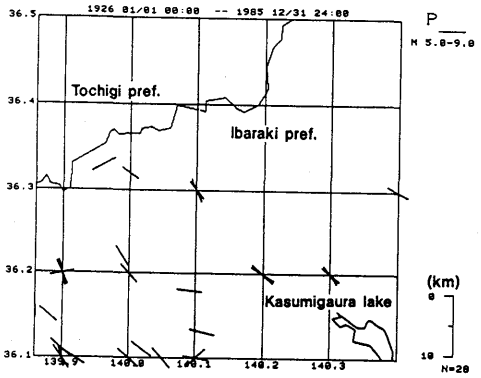


図1-1-6　1926年1月～1985年12月のP軸の分布
Mが5以上のもののみ。

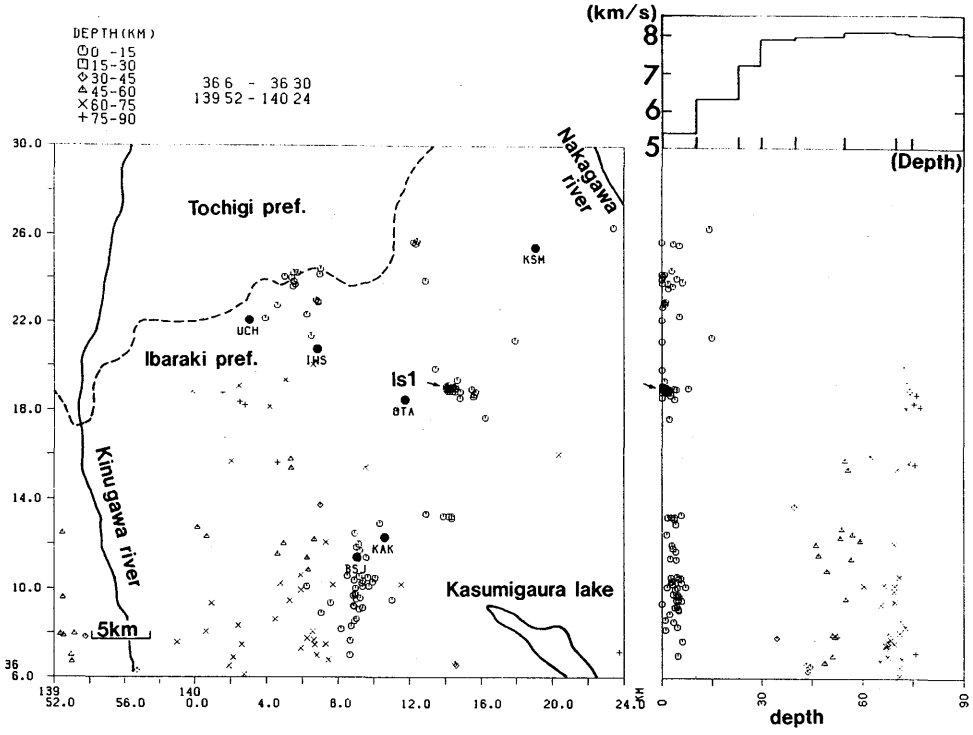


図1-1-7　直下型システム（仮称）により決定された震源

15kmより浅いものは全て採石発破。国立防災科学技術センター（1989）の図1-11（P.36），図1-12(P.37)に照らしてみると30km以深はフィリピン海プレートと他のプレートの相互作用で発生していると解釈できる。すなわち，上側は東北日本の属するプレートと，下側は太平洋プレートと，それぞれ接触して地震が発生している。従って，地震発生領域の範囲内にフィリピン海プレートが存在するとみることができる。右上は震源計算に使用した速度構造（表1-1-4参照）。Is1（矢印）は図1-1-13に示した記録の発震源（採石発破場）。

1.1.3　設置

観測点の設置場所及び伝送方式は，図1-1-1，1-1-8，1-1-9，および表1-1-2に示した。伝送方式の詳細は次節の「1.2 静岡県由比地区における地震観測」で述べる。収録関係の装置は表1-1-3に示した。ノイズレベルは夏の昼・夜，冬の昼・夜のそれぞれについて，その季節・時間帯で代表的と思われる所から1サンプル程度ずつが採られ，評価された（図1-1-10）。定常ノイズレベルは全点とも20μkinepp程度以下（図1-1-10のb，c，dの時の値から）で季節によらず一定であると推定された。昼夜についての比較から，人工によるノイズはノイズレベルに対して主たる役割を果たしてい

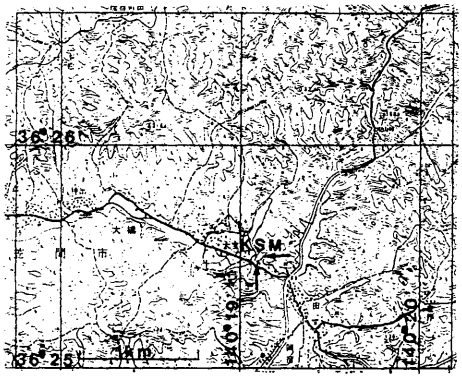


図1-1-8(a)　笠間（KSM）周辺の地形。2万5千分の1の地形図「徳蔵」に加筆。

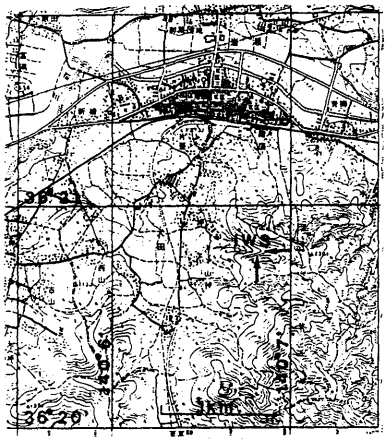


図1-1-8(b)　岩瀬（IWS）周辺の地形。2万5千分の1の地形図「岩瀬」に加筆。

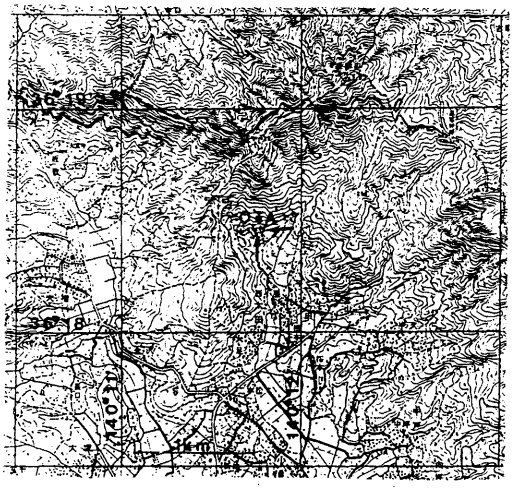


図1-1-8(c)　太田（OTA）周辺の地形。2万5千分の1の地形図「加波山」に加筆。

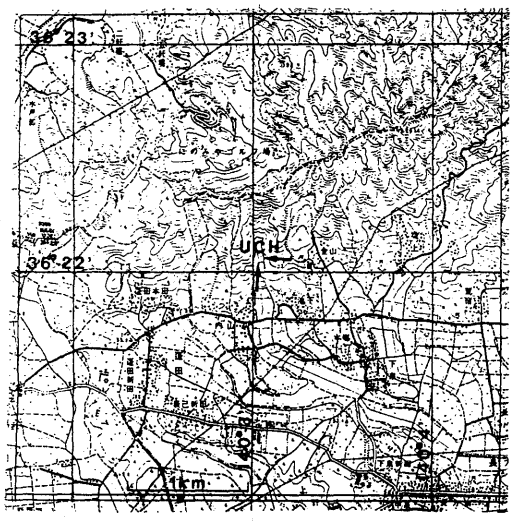


図1-1-8(d)　内山（UCH）周辺の地形。2万5千分の1の地形図「岩瀬」に加筆。

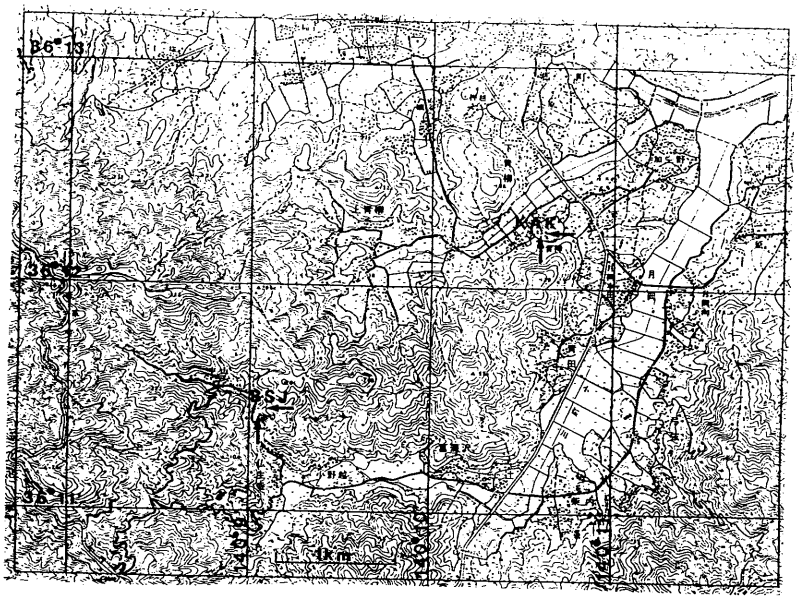


図1-1-8(e)　柿岡（KAK），仏生寺（BSJ）周辺の地形。2万5千分の1の地形図「柿岡」に加筆。

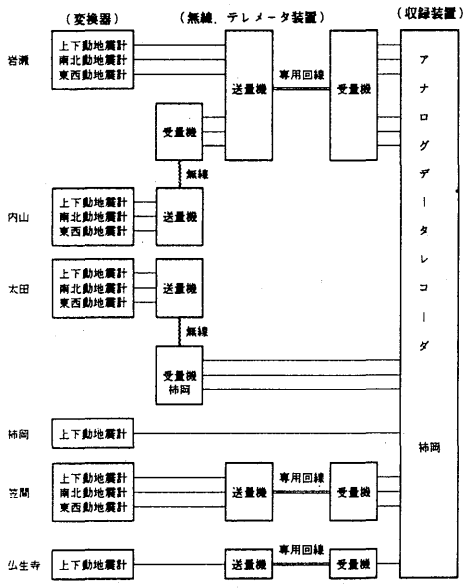


図1-1-9　直下型システム（仮称）の変換器・テレメータ関係機器の構成

表1-1-2　観測点位置・観測期間

観測点名	コード	緯度	経度	標高	観測期間
太田	OTA	36.3075	140.1960	120m	1986.1.～1987.5
内山	UCH	36.3678	140.0505	90m	1986.1.～1987.5
岩瀬	IWS	36.3463	140.1135	105m	1986.1.～1987.5
笠間	KSM	36.4240	140.3183	100m	1986.1.～1987.5
仏生寺	BSJ	36.1902	140.1508	75m	1987.1.20～1987.5
柿岡	KAK	36.205	140.1770	18m	1986.1.～1987.1.20

ないと推定される（図1-1-10のa, c, e大きい丸とb, d小さい丸との比較）。 6～30Hzの帯域のノイズは，昼夜に依存した変化をせず，また，レベルが小さい時に20Hzに揃うことから，観測システムの電気ノイズと自然環境雑微動の混ざったものであると推定される。3～5Hzの帯域のノイズは，昼間(図1-1-10のa，cの時)にレベルが上がることから人工ノイズ，1～3Hzの帯域のものは，季節昼夜に依存しないことから，その周波数の大きさも勘案して，周辺の地盤の層厚に関係して励起されるノイズ，さらに，0.3～0.5Hzのものは，周辺の地形全体が気象条件に応じて揺れて生じるノイズではないかと，それぞれ想像される。全点とも古第三紀初期以前の地質上にあり，また，柿岡(KAK)は埋設されている（深さ95m）ので短周期波動への観測サイトの減衰効果は小さいと考えられる。

各地点の周辺の地形環境は次の通りである。

笠間（KSM）は図1-1-8(a)，岩瀬（IWS）は図1-1-8(b)，太田（OTA）は図1-1-8(c)の通りである。太田ではパルス状の人工ノイズが時々出る。内山（UCH）は図1-1-8(d)の通りである。岩瀬へ無線を飛ばすため，南が開いている。柿岡（KAK）は図1-1-8(e)の通りである。気象庁76型の信号を分岐して利用した。76型は地磁気観測所から南西へ3km余り離れたところにあり，埋設されている（深さ95m）ためか低周波ノイズがない。仏生寺（BSJ）は図1-1-8(e)の通りである。回りを山で囲まれ，開いている向きがない。このためか低周波のノイズがない。

伝送については，無線もNTTの専用回線も特別な障害はなく，観測期間中良好であった。

観測装置は，写真1-1-1のようなキュービクル（箱入れ）方式とし，パンザマスト（電信柱）を立ててこれにくくりつける形（写真1-1-2）を採用した。これにより，場所の占有面積が少ない割に維持可能期間が十分延ばせることになった。

1.1.4　保守

観測期間中，大きな障害は発生しなかった。今回の観測地域の雷発生頻度は，平年値で年13回（水戸地方気象台での値なのでさらに多い可能性がある。理科年表1985年版）程度であり，全国的に見ると多い方ではなく，また，今回の観測期間1.5年について見ると，14回（気象庁年報，1986の水戸

表1-1-3　観測設備・設定パラメータ

1 変換器・テレメーター関係

(1)変換器（勝島製作所社製PK-110V,H、柿岡は気象庁76型）
固有周期 1.0秒（1.5～50Hz平坦、柿岡は1.0～15Hz平坦）
出力電圧感度 2.6V/kine（仏生寺は2.2以下、柿岡は1.6）
減衰定数0.60～0.61（柿岡は0.5）

(2)無線
陸上移動局(JUNE 1 1986～MAY 31 1991)　呼称:気象谷田部移動観測１、２

(3)テレメータ装置
利得６０ｄＢ
地震観測用ＦＭテレメータ装置
無線用（明星電気社製ＴＲＭ－８１２、ＲＣＶ－８１２）　２組
地震観測用ＰＣＭテレメータ装置
有線用（明星電気社製ＴＭＤ－１２）　２組
（明星電気社製ＧＴＡ－１３）　１組

2 収録関係

(1)収録装置
アナログＭＴレコーダー（ソニー、ユニバーサルレコーダーURF-31400AL）
14チャンネル,FM記録方式、ＭＴテープ送り速度0.19cm/s
Ｓ／Ｎ４２dB,連続記録時間209時間58分,DC～25Hz
チャンネル設定　1笠間Z，2太田→(JAN. 20 1987)柿岡Z，3笠間，4太田，5笠間
6太田Z，7岩瀬Z，8内山，9岩瀬，10内山，11岩瀬，12内山Z，
13柿岡Z→(JAN.20 1987)仏生寺Z，14時刻

(2)モニター装置
熱ペンレコーダー（Sanei,RECTI-HORIZ-8K），６チャンネル,利得250mV/cm
収録装置ではＭＴテープ面が記録ヘッドから再生ヘッドまで走行するのに
約７０秒かかる。これを遅延メモリー代わりに利用した。
チャンネル設定 1笠間Z，2岩瀬Z，　3太田Z→(May 6 1986)500mV/cm，4内山Z，
5柿岡Z→(JAN. 20 1987)仏生寺Z

(3)トリガー判定、時刻モニター（大塚1981参照）
時計付き１チャンネルモニター（高見沢サイバネティックス、SEISMO RECORDER
MODEL STR-100），
NHKの時報で１日４回自動較正,0.1～20Hz,紙送り速度4mm/s、1巻100m,
遅延メモリー4秒

(4)時計
GENERATOR，T-10,コスモデザイン（株）社製

(5)時刻コード表示装置
TIME CODE READER(TEAC CR-50)

(6)タイマー
OMRON MINY TIMER(TYPE SYS-F オムロンタテイシ電気社製)

の欄，P.20，1987，p.20）であり，平年値の2/3しか観測されなかった。アレスター程度の雷対策しかしていない観測点では，通常，雷による障害が最も多いと思われる。今回の観測では，雷そのものが少なかったことが障害発生が少なかった主な原因ではないかと想像された。システム設計に当たっては雷対策の程度を，対象地域に応じて検討・措置しておくことが必要である（気象庁観測部，1980；気象庁地震課，1983）。データ収集はトリガー方式によるモニター２種類と連続収録方式の

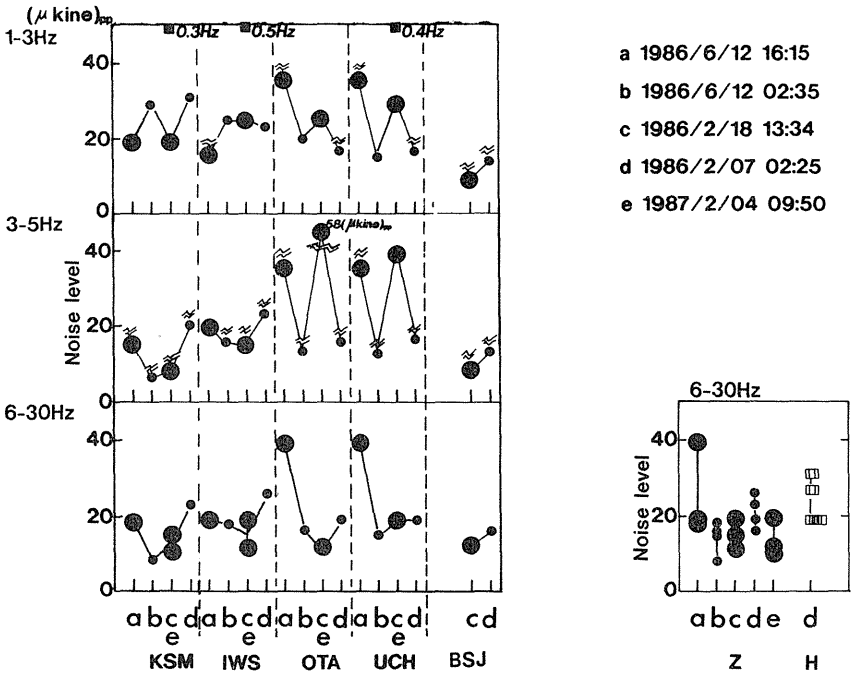


図1-1-10　ノイズレベル

左図は，上下動成分についての観測点別・周波数別に示したもの。一番上の枠の中には0.3～0.5Hzのものも四角で示した。データの上に波線を付したものはその値が波線より下であるが絶対値は不明であることを示す（6～30Hzの帯域のノイズレベルより小さい）。なお，昼間のデータは夜間より大きい丸で示した。a，b，c，d，eの時刻は図中右上に示した。

右図は，時期別。左５つが上下動で，右の一つが水平動。

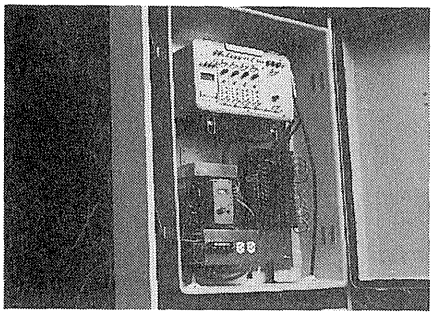


写真1-1-1　キュービクルの蓋を開けたところ

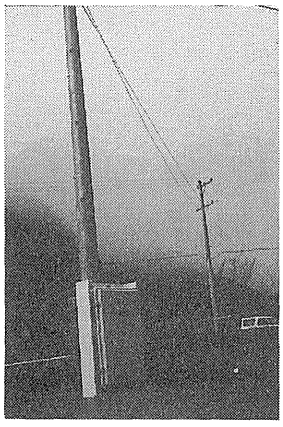


写真1-1-2
パンザマストをキュービクルにくくりつけたところ
場所は，次の節で述べる梅が島地震観測点

アナログMTとで行った。アナログMTは１本で約８日分の収録が可能で観測期間中にMT約60本分のデータが収集された。モニターは，６チャンネルの熱ペンレコーダとチャート記録とでおこなわれた。６チャンネルの熱ペンレコーダは平均して20日から１か月に１回，またチャート記録は10日に１回，それぞれ用紙が交換された。トリガーは，柿岡（76型から分岐）１点について，信号のレベルで識別する単純な方式が採用され，モニター装置の一つ（この装置の詳細は大塚，1981参照）に内蔵しているトリガー機構を利用した。パラメータ調整の期間中（1986年１月～３月）の３か月間の観測の状況はトリガー記録された530個のうち470個が地震か採石発破かのどちらかであり，ノイズは残りの60個であった。

1.1.5　データ処理

データ処理としては震源計算が実施された。予備的観測ということで，ここではモニター出力から験測した値を使用した。1989年９月からのデータについて原則としてP～S８秒以内の地震記録（深さ０～60kmで半径約50km以内の範囲に発生した地震に対応）についてP，Sの到着時刻が験測された。発破については原則として５点で観測できたものが震源計算に使われた。観測されたイベントの数は図1-1-11に示したが，直下型システムで震源決定された数と気象庁のルーチン観測でのそれとは時間的変化の傾向が似ており，９月以降験測手順を確立させた後では，深さ30km以深のイベントについて，量的に前者は後者の15倍程度となっている。また，採石発破の震源が10～20（個／月）決定された。なお，図1-1-12に示す範囲・期間（直下型システムが稼働していたのと同じ期間）で最大の地震（M4.4）は８月上旬に発生した。

震源計算には速度構造としては，図1-1-3，図1-1-13，堀江・渋谷（1979），Hasemi and Ishida（1987）を参考にして，図1-1-7，表1-1-4のようなものを使用した。計算プログラムは，次節の「1.2　静岡県由比地区における地震観測」で述べているものと同様である。走時残差は図1-1-14に与えた。深さ15～30kmの地震の震源位置は図1-1-7で与えた範囲の外であり，その震源決定精度は図1-1-7にあるものに比べ良くない。ちなみに，作図範囲を広げてみると，図1-1-15に示すように深さ15～30kmの地震は，同図地域北西側の鬼怒川上流と南縁部に起きている。なお，図1-1-14でわかるように決定精度の悪いものは，急に地震波速度が大きく変わる30km付近に集中してしまう。験測値は表1-1-5にまとめた。今回は予備的観測であったので，時刻については，システムの中での相対値を正しく保つことのみを念頭においており，絶対時刻は十分な精度を保っているわけではない。しかし，柿岡のデータを仲介として気象庁の業務データとの結合は可能である。

振幅の験測はしなかった。震源決定できた地震のマグニチュードの下限が前述したように1.6より小さいであろうことは次のようにして推定された。震源計算には３点以上の観測点からのデータが必要なので，平均的ノイズレベルが小さい方から３番目の観測点についてその代表的ノイズレベルで震源決定の下限が概ね拘束される。この観測点は柿岡であり，代表的ノイズレベルは32μkineppで

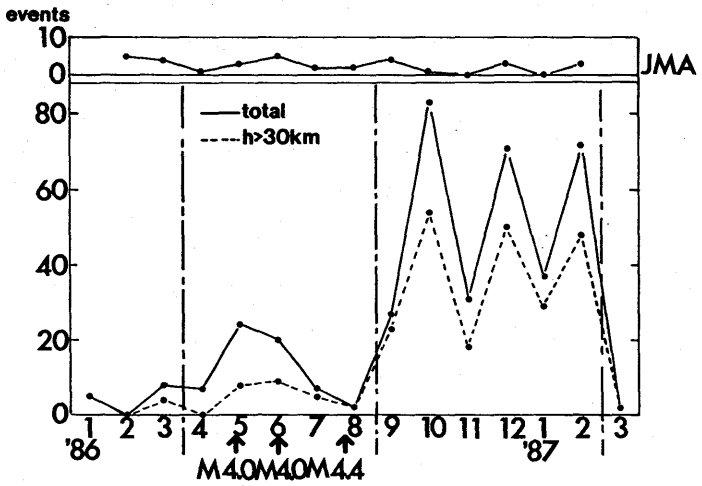


図1-1-11　震源決定されたイベントの数

1986年の１月～３月，４月～８月，1987年の３月は験測の原則（本文参照）に従って，験測していない。一番上は気象庁がこの時期に図７に示す範囲（深さ90km以浅）に決定した地震の数。下図の波線のデータは深さが30kmより深い所に決定されたイベントのみの数で，一番上(JMA)の数を数えた時間空間範囲とほぼ等しい領域のデータである。下に矢印で示した時期に，M4.0，M4.4の地震が発生した。

あった。マグニチュードの式としては変換器が地上置きタイプが多い気象庁67型について作られた式（気象庁地震月報１月号）を利用した。このフィールドでは震源までの距離が水平方向より鉛直方向の方が長く，深さは60kmを越えるものもあるので震央距離を20kmと固定した。ノイズレベルの10倍が，検知される震動の最大地動速度であると仮定し，67型用の式に0.16（mkine）op及び20kmを代入すると，マグニチュードMとしては約1.6が得られ，これが震源決定された地震のマグニチュードの下限と考えたわけである。

連続MT記録については，これをAD変換する方法として，既設のスーパーミニコンピューター，パソコン，またはディジタルイベントレコーダーを使う３つの方法がある。どの方法も現状では一長一短がある。このため，当研究所の汎用計算機での解析ソフトが比較的整っているという理由で，ディジタルイベントレコーダーをAD変換器として利用する方法を採用して，以下の解析用のデータのうち波形データについては準備した。

1.1.6　解析

前兆的な微小地震活動の検出のための新しい解析手法として，逐次的にインバージョンを行う精密震源計算法と，採石発破を利用した波動的Qの時間的変化を推定する方法の２つについて開発ない

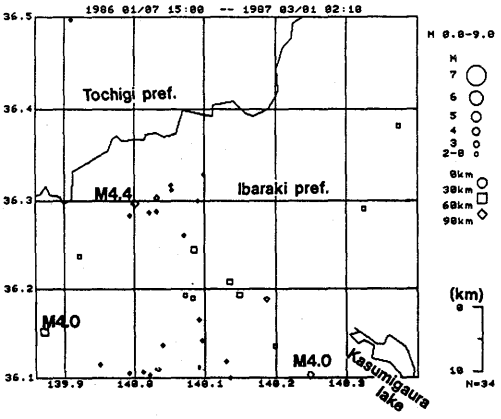


図1-1-12　気象庁によりルーチン的に震源決定された地震の数
図1-1-11一番上の図の地震と時間空間範囲は等しい。

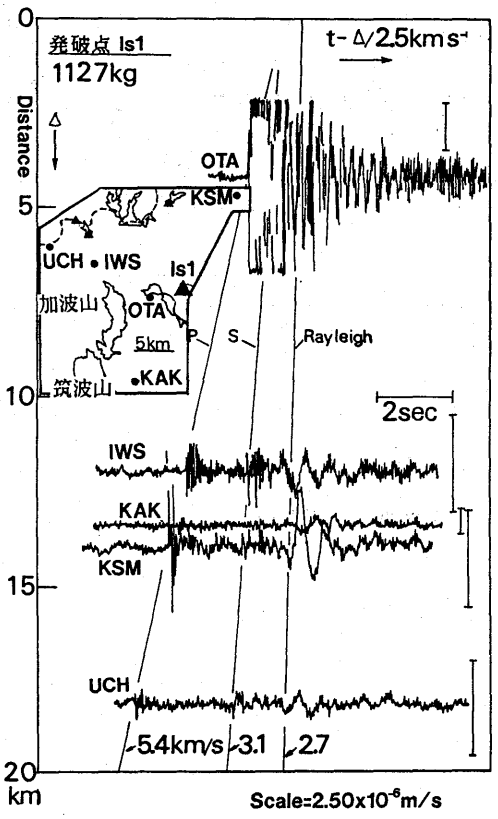


図1-1-13　採石発破実施場所Is1での発破（薬量1127 kg）による記象のペースアップ
P, S, Rayleighの各波の見かけ速度は5.4, 3.1, 2.7km/sと推定された。挿入図はIs1の位置を示し，同図のコンターは標高300mの等高線を表す。

表1-1-4　震源計算に使用した速度構造

VELOCITY	DEPTH	THICKNESS	Vp/Vs
5.400	0.0	10.000	1.730
6.300	10.00	13.000	1.730
7.200	23.00	7.000	1.730
7.900	30.00	10.000	1.730
7.950	40.00	15.000	1.730
8.100	55.00	15.000	1.730
8.050	70.00	5.000	1.730
8.000	75.00	25.000	1.730
8.050	100.00	25.000	1.730
8.100	125.00		1.730
km/s	km	km	

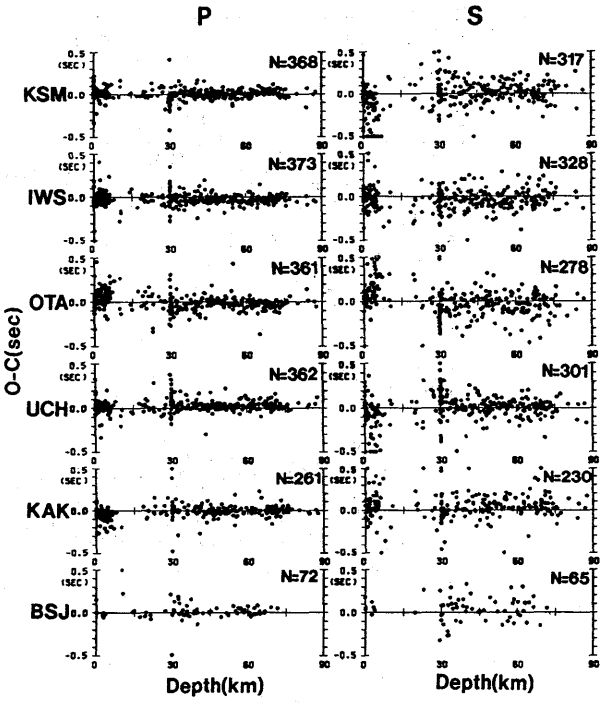


図1-1-14　観測点別走時残差

横軸は深さ。Nの数字はデータ数。

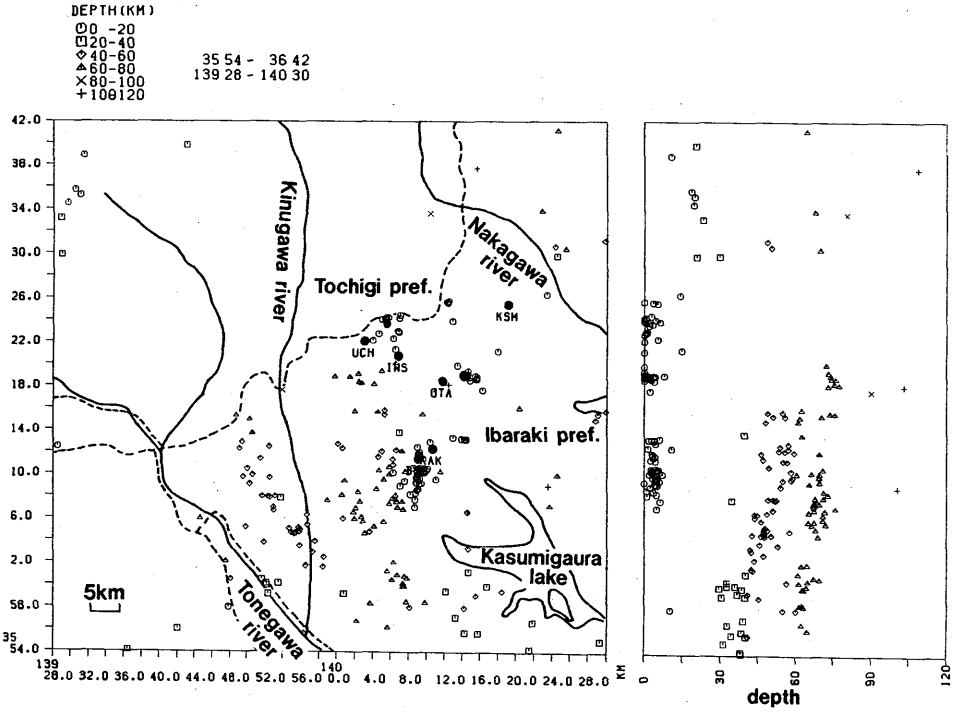


図1-1-15　直下型システム（仮称）により決定された震源

図1-1-7より表示範囲が広げてある。

表1-1-5　験測値

	Y	M	D	H	M	KSM P	KSM S	IWS P	IWS S	OTA P	OTA S	UCH P	UCH S	KAK P	KAK S	BSJ P	BSJ S
1	86	1	7	15	4	5.2	8.4	3.0	5.3					0.8	1.7		
2	86	1	8	10	1	5.3	9.9	3.2	5.8					0.5	1.6		
3	86	1	10	10	0	5.4	9.9	3.2	6.0					0.6	1.7		
4	86	1	10	12	3	1.5	3.4	1.0	2.6					1.4	3.2		
5	86	1	11	12	45	1.4	3.3	1.0	2.6					1.3	3.3		
6	86	3	11	9	46	4.5	7.6	3.4	5.9	2.1	3.5	4.4	7.5	1.2	2.1		
7	86	3	11	17	3	6.6	10.2	4.4	7.3	3.8	6.2	5.2	8.5	1.8	3.0		
8	86	3	12	11	51	4.5	7.2	1.8	2.7	3.3	5.2	1.6	2.3				
9	86	3	13	17	50	3.1	11.4	1.3	8.4	1.5	8.6	1.3	8.3	0.9	7.4		
10	86	3	14	0	53	2.8	10.5	1.9	9.6	1.9	9.5	2.1	9.7	1.6	9.2		
11	86	3	16	20	3	4.4	12.3	3.6	10.9	3.4	10.8	3.8	11.3	3.1	10.2		
12	86	3	17	1	45	3.9	12.2	2.9	10.8	2.9	10.7	3.0	10.9	2.5	10.4		
13	86	3	17	11	49	4.5	7.1	1.9	2.9	3.3	5.3	1.7	2.5				
14	86	4	21	15	45	3.5	5.2	3.5	5.5	2.1		4.7	7.3	3.6	5.7		
15	86	4	22	16	35	3.1	4.4	2.6	3.6	1.1	1.7	3.7	5.1				
16	86	4	24	17	0	5.6	10.1	2.9	5.9	2.3	4.7	3.6	6.9	0.3	1.3		
17	86	4	26	10	7	3.9	7.0	2.8	5.3	1.5	3.1	3.8	6.5	0.6	1.5		
18	86	4	28	15	31	5.4	9.5	3.2	6.1	2.6	4.9	3.0	5.8	0.5	1.6		
19	86	4	30	10	0	6.3	9.9	4.2	7.0	3.5	5.8	4.9	8.2	1.5	2.5		
20	86	4	30	12	5	5.6	9.2	3.4	6.0	2.8	4.8	4.2	7.0	0.7	1.2		
21	86	5	1	12	0	5.5	9.8	3.3	6.1	2.7	5.1	4.0	7.3	0.6	1.7		
22	86	5	2	17	0	1.7	3.7	1.4	3.0	0.7	1.7	2.5	5.0	1.7	3.5		
23	86	5	2	17	0	5.4	9.1	3.6	6.5	3.0	5.8	4.4	7.7	0.7	2.1		
24	86	5	3	16	0	6.2	10.5	3.9	6.8	3.3	5.7	4.7	8.1	0.8	2.6		
25	86	5	14	9	45	4.2	7.0	3.1	5.3	1.8	3.3			0.8	1.8		
26	86	5	14	12	0	6.3	9.8	4.1	6.7	3.5	5.8	4.8		1.4	2.8		
27	86	5	14	16	1	6.1	10.4	3.8	6.6	3.2	5.5	4.6	7.9	1.1	2.1		
28	86	5	15	15	0	5.7	9.6	3.5	6.4	2.9	5.7	4.2	7.5	0.8	1.9		
29	86	5	16	20	53	2.3	10.2	1.6	9.4	1.7	9.5	1.6	9.1	1.8	9.7		
30	86	5	17	1	12	2.9	10.8	2.0	9.5	1.9	9.4	2.3	9.7	1.6	8.7		
31	86	5	17	22	46	2.8	9.6	1.5	7.6	1.6	7.8	1.6	7.6	1.4	7.4		
32	86	5	18	9	14	2.1	10.4	2.0	10.5	1.7	10.1	2.5	11.4	1.4	9.5		
33	86	5	19	17	0	6.1	10.5	3.9	6.8	3.3	5.6	4.6	8.0	1.2	2.3		
34	86	5	19	18	58	3.2	13.3	2.4	11.5	2.6	12.0	2.3	11.5	2.6	12.1		
35	86	5	20	12	4	4.3	12.2	3.4	10.7	3.3	10.5	3.2	10.4	2.9	10.0		
36	86	5	21	16	12	4.1	6.0	3.6	5.0	2.2	2.8	4.8	7.0	4.0	5.9		
37	86	5	21	17	0	5.2	8.7	3.0	5.3	2.4	4.2	3.7	6.2	0.4	1.2		
38	86	5	22	10	7			0.9	1.7	3.3	5.6	0.6	1.2				
39	86	5	22	16	31	5.7	9.3	3.5	5.8	2.9	5.1	4.2	7.0	0.9	1.9		
40	86	5	23	6	55	3.7	11.7	2.9	10.3	2.8	10.3	3.1	10.6	2.6	9.9		
41	86	5	24	0	30	3.2	13.0	4.7	15.1	4.4	14.2	5.1	15.6	4.7	15.0		
42	86	5	28	16	0	6.2	10.5	3.9	6.7	3.2	5.6	4.7	7.9	1.3	2.2		
43	86	5	28	16	30	6.8	10.1	4.6	6.8	4.0	6.1	5.3	7.6	1.9	3.0		
44	86	5	29	12	10	4.7	7.8	3.6	5.9	2.3	3.9	4.2	6.9	1.4	2.3		
45	86	6	1	4	24	3.9	11.7	2.2	8.8	2.3	9.0	2.2	8.8	1.7	7.8		
46	86	6	6	8	18	5.5	13.1	3.8	10.0	3.7	10.0	4.1	10.5	2.6	8.2		
47	86	6	6	8	18	8.6	16.7	6.4	13.5	6.5	13.5	6.9	14.0	5.4	11.8		
48	86	6	6	16	2	6.1	10.3	3.9	6.7	3.3	5.6	4.7	8.0	1.3	2.2		
49	86	6	6	16	30	5.7	9.4	3.5	6.3	2.9	5.4	4.3	7.6	0.9	2.6		
50	86	6	7	2	47	2.3	11.1	3.2	13.1	2.9	12.5	3.7	13.8	3.2	13.1		

	Y	M	D	H	M	KASAMA P	KASAMA S	IWASE P	IWASE S	OHTA P	OHTA S	UCHIYA P	UCHIYA S	KAKIOK P	KAKIOK S	BUSSHO P	BUSSHO S
51	86	6	9	12	12	3.0	5.0	2.7	4.3	1.3	1.9	3.9	6.5	3.1	5.1		
52	86	6	11	10	0	6.8	10.0	4.6	6.9	4.0	6.1	5.3	7.7	1.9	3.2		
53	86	6	14	16	46	2.7	4.5	2.7	4.6	1.3	2.2						
54	86	6	16	5	48	3.4	11.7	2.7		2.8		2.6	10.2	2.9	10.8		
55	86	6	16	17	2	1.0	9.4	0.4	8.3	0.5	8.4	0.3	8.1	0.6	8.5		
56	86	6	16	21	25	0.9	9.4	0.3	8.1	0.5	8.4	0.3	8.4	0.5	8.5		
57	86	6	17	12	19	5.3	9.7	3.0	5.7	2.6	5.0	4.0	6.5	0.6	1.6		
58	86	6	17	14	42	3.1	13.2	2.0	11.5	1.8	10.9	2.3	11.8	0.9	9.4		
59	86	6	19	12	2	5.1	8.4	2.8	4.7	2.2	4.1	3.6	5.8	0.2	1.1		
60	86	6	20	14	20	2.7	5.1	0.4	1.3	1.7	3.5	0.6	1.7				
61	86	6	23	11	22	2.8	5.3	0.7	1.7	1.9	3.9	0.9	2.1				
62	86	6	26	12	5	3.2	5.6	0.4	1.1	1.3	3.6	0.6	1.5				
63	86	6	26	12	16			2.0	2.7	3.6	5.4	1.6	2.0				
64	86	6	26	16	56	1.4	8.0	0.6	6.5	0.6	6.5	0.7	6.7	0.6	6.7		
65	86	7	3	10	47	2.2	4.1	1.9	3.5	0.5	1.0	3.0	5.3	2.2	4.1		
66	86	7	3	13	13	4.6	15.0	3.7	13.4	3.2	12.1	4.1	14.0	2.0	10.5		
67	86	7	4	6	35	1.1	12.4	2.9	15.4	2.5	14.8	3.4	16.3	3.2	16.0		
68	86	7	6	17	35	0.9	6.9	1.7	8.2	1.1	7.1	2.3	9.0	1.2	7.1		
69	86	7	9	2	2	2.3	10.0	0.5	6.9	0.8	7.3	0.4	6.6	0.2	6.5		
70	86	7	9	8	7	3.4	11.1	1.6	7.8	1.9	8.7	1.6	8.0	1.3	7.2		
71	86	7	12	12	1	3.0	4.7	3.1	4.9	1.2	2.4	4.2	6.7	3.1	4.8		
72	86	8	27	19	0	2.2	10.6	1.5	9.2	1.6	9.2	1.5	9.2	1.6	9.2		
73	86	8	28	20	43	2.1	12.3	2.0	12.4	2.0	12.6	2.1	12.2	1.9	12.2		
74	86	9	3	23	26	1.6	8.8	0.7	7.1	0.7	7.1	1.1	7.6	0.6	7.0		
75	86	9	10	21	38	2.3	11.7	0.6	8.7	0.9	9.1	0.4	8.4	0.4	8.4		
76	86	9	11	13	42	2.7	13.2	2.8	13.3	2.5	12.9	3.1	13.7	2.3	12.6		
77	86	9	11	22	51	2.1		1.4		1.3		1.6		1.1	8.3		
78	86	9	12	11	39	2.5	10.8	1.1	8.1	1.4	9.0	1.0	7.8	1.2	8.5		
79	86	9	12	15	38	2.7	10.0	1.0	7.3	1.1		1.0	7.3	0.4	6.3		
80	86	9	12	22	53	3.0	11.1	1.4	8.3	1.7	9.0	1.2	8.1	1.3	8.3		
81	86	9	13	6	1	3.3	10.9	1.6	7.8	1.7	7.9	1.6	7.9	1.0	7.0		
82	86	9	13	19	23	1.2	8.0	2.5	10.5	2.0	9.6	3.1	11.4	2.4	10.3		
83	86	9	14	4	49	1.2	6.9	2.6	9.4	2.4	8.9	3.1	10.1	3.2	10.4		
84	86	9	14	15	29	4.2	12.0	2.5	8.9	2.7	9.3	2.4	8.9	2.1	8.5		
85	86	9	15	4	30	3.6	11.9	2.6	10.3	2.5	10.2	2.8	10.5	2.1	9.3		
86	86	9	16	3	40	3.4	12.0	2.3	10.0	2.3	9.9	2.3	10.1	2.0	9.4		
87	86	9	19	17	31	1.0	9.0	0.5	8.0	0.5	7.9	0.5	8.1	0.7	8.5		
88	86	9	20	2	45	4.1		2.4		2.5		2.5		1.7	7.4		
89	86	9	20	18	29	2.3	10.1	0.6	7.1	0.8	7.6	0.5	7.0	0.3	6.8		
90	86	9	21	1	19	2.0	10.4	1.4	9.2	1.5	9.2	1.4	9.1	1.6	9.5		
91	86	9	21	5	58	3.5	10.9	1.8	8.0	1.9	8.0	1.9	8.2	0.9	6.5		
92	86	9	22	1	33	3.2	11.7	2.2	10.0	2.0	9.5	2.5	10.5	1.2	8.4		
93	86	9	25	11	50	2.1	3.4	2.3	3.8	2.4	4.1	3.0	5.0	4.1	6.6		
94	86	9	27	10	11	2.3	4.3	2.0	3.7	0.6	1.2	3.2	5.6	2.3	4.3		
95	86	9	27	12	4	3.9	5.7	4.0	5.8	2.5	3.4	5.1	7.6	3.4	5.3		
96	86	9	27	21	21	4.0	11.0	2.5	8.4	2.5	8.6	2.7	8.5	1.8	7.4		
97	86	9	28	21	27	2.8	10.8	1.3	8.0	1.6	8.5	1.3	7.6	1.4	8.1		
98	86	9	29	16	54	2.5	4.4	2.0	3.6	0.6	1.2	3.2	5.5	2.3	4.2		
99	86	9	30	1	15	0.3	6.2	1.1	7.7	0.5	6.8	1.7	8.8	0.6	6.9		
100	86	9	30	15	18	1.2	9.6	0.6	8.5	0.7	8.6	0.7	8.5	0.7	8.3		

	Y	M	D	H	M	KASAMA P	KASAMA S	IWASE P	IWASE S	OHTA P	OHTA S	UCHIYA P	UCHIYA S	KAKIOK P	KAKIOK S	BUSSHO P	BUSSHO S
101	86	10	1	7	29	3.9	12.4	2.9	10.8	2.8	10.8	3.0	11.1	2.4	10.1		
102	86	10	1	13	32	1.7	9.9	0.8	8.5	0.7	8.4	1.0	8.6	0.4	8.1		
103	86	10	1	13	33	0.5	7.7	2.5	10.5	1.4	9.0		11.9		9.2		
104	86	10	1	16	18	2.5	4.5	2.0		0.6		3.2		2.4			
105	86	10	1	20	39	3.5	12.2	1.3	8.7	2.7	11.6	0.5	7.5	3.7	10.0		
106	86	10	1	23	36	0.1		1.5	13.4	0.4	11.3	2.6	14.9	0.4	10.5		
107	86	10	2	5	2	0.1		2.4		1.6		3.2		2.1	11.9		
108	86	10	2	10	0	5.4		6.1		2.5	5.0	3.9	7.3	0.5	1.6		
109	86	10	2	12	3	5.5		3.3	6.2	2.6	5.1	4.0		0.6			
110	86	10	2	15	19	2.0	3.0	1.2	3.3	0.3		2.9	5.4	2.0			
111	86	10	2	18	50		7.1	1.3	10.2	0.2	8.5	2.1	11.5		8.4		
112	86	10	3	11	14	3.1	13.3	2.1	11.9	1.5	11.3	2.6	12.8	0.3			
113	86	10	3	17	0	5.0		2.7	6.0	2.1		3.5		0.1			
114	86	10	4	3	57	1.0		0.3	7.7	0.2	7.5	0.5	7.9	0.1	7.4		
115	86	10	4	10	0	5.1		2.9		2.3		3.6		0.2			
116	86	10	5	7	32	1.2		2.1		1.0		3.0		0.5			
117	86	10	5	16	53			1.6	9.9	0.6	8.4	2.5	11.6	0.8	8.9		
118	86	10	5	17	29	1.5	9.5	0.7	8.0	0.5	8.1	0.9	8.4	0.3	7.3		
119	86	10	6	15	7	3.0		3.3		0.4		4.4		3.3	9.8		
120	86	10	6	15	40	0.4	6.6	1.2	8.0	0.6	6.9	1.8	9.0	0.7	6.7		
121	86	10	6	17	0	5.1		2.8		2.2		3.6		0.2			
122	86	10	6	17	29	0.3	6.1	1.1	7.7	0.5	6.6	1.7	8.6	0.6	6.9		
123	86	10	6	17	50	0.5		2.1	12.3	1.0		3.0	16.4	1.9	15.9		
124	86	10	6	21	33	2.1	10.1	2.2	10.1	1.2	8.5	2.9	11.2	0.2	6.5		
125	86	10	7	8	30	2.2	10.7	1.2	9.0	1.0	8.6	1.5	9.5	0.3	8.1		
126	86	10	7	19	45	0.2	5.8	1.3	7.7	1.1	7.4	1.6	8.2	1.9	8.9		
127	86	10	8	4	53	2.3	11.3	1.2	9.6	1.0	8.9	1.5	9.7	0.2	7.7		
128	86	10	8	18	32	0.4	7.1	1.8	9.5	1.3	8.8	2.4	10.4	2.1	10.2		
129	86	10	8	19	7	0.1		1.7	13.3	0.5	11.0	2.5	14.4	0.6			
130	86	10	8	19	22	4.2	12.5	2.8	9.9	3.1	10.6	2.5	9.4	3.0	10.3		
131	86	10	9	2	19				10.4	2.6	12.9	0.4	8.9				
132	86	10	9	11	56	4.3	6.3	3.8		2.4		5.0	7.3	4.2	6.0		
133	86	10	9	15	0	4.9		2.7		2.1		3.4		0.1			
134	86	10	9	15	59	2.3	4.2	1.9	3.6	0.5		3.1	5.5	2.3	4.2		
135	86	10	9	16	20	0.1	7.7	0.9	9.1	0.4	8.4	1.4	10.0	0.5			
136	86	10	9	20	59	2.7	10.4	1.0	7.4	1.1		1.0	7.3	0.4			
137	86	10	10	4	7	1.1	7.7	0.3	6.3	0.3	6.3	0.4	6.4	0.2	6.5		
138	86	10	11	3	46	3.7	13.9	1.3		1.6		1.1		0.6	8.6		
139	86	10	11	9	57	1.8	9.7	0.9	8.3	0.8	8.3	1.1	8.6	0.4	7.6		
140	86	10	11	10	7	1.7	9.7	0.9	8.2	0.8	8.2	1.1	8.6	0.4	7.5		
141	86	10	11	11	35	2.0	10.2	1.0	8.5	1.0	8.4	1.1	8.7	0.6	7.8		
142	86	10	11	12	31	0.5		1.3	9.3	1.1		1.6	9.7	1.8	10.1		
143	86	10	11	15	0	5.3		3.1		2.5		3.9		0.5			
144	86	10	11	22	14	1.8	9.9	1.0	8.4	0.9	8.3	1.2	8.8	0.5	7.6		
145	86	10	11	22	46	2.4	11.1	1.5	9.5	1.2	8.8	1.8	9.8	0.5	8.8		
146	86	10	12	2	40	2.8	10.4	1.1	7.5	1.1	7.5	1.2	7.6	0.3	6.4		
147	86	10	12	5	35	0.6	9.0	3.1	13.0	2.2	12.1	3.6	13.8	3.3	13.1		
148	86	10	12	15	52	3.3	13.8	2.1	11.9	1.6	11.0	2.5	12.5	0.5	9.0		
149	86	10	12	17	7	0.3		2.2		1.4		2.8		1.2	10.5		
150	86	10	13	11	50	3.3	6.0	0.6		2.1		0.4		3.6	6.5		

	Y	M	D	H	M	KASAMA P	KASAMA S	IWASE P	IWASE S	OHTA P	OHTA S	UCHIYA P	UCHIYA S	KAKIOK P	KAKIOK S	BUSSHO P	BUSSHO S
151	86	10	13	13	10	2.0	10.6	0.9	9.0	0.9	8.8	1.2	8.5	0.7	8.2		
152	86	10	13	13	10	3.4		2.3		2.4		2.6		2.1			
153	86	10	13	15	0	5.1		2.9		2.3		3.7		0.3			
154	86	10	13	15	40	1.8	8.1	1.2	6.9	0.9	6.2	1.7	7.7	0.2	5.2		
155	86	10	14	3	56	0.5	9.3	2.6	12.6	1.8	10.7	3.5	13.9		11.5		
156	86	10	14	16	31	2.1	4.0	1.6	3.3	0.2		2.8		2.1	4.0		
157	86	10	15	11	44	4.6	11.5	3.2	9.0	3.1	8.5	3.4	9.3	2.3	7.5		
158	86	10	15	11	51			0.4				0.2	0.9				
159	86	10	15	22	12	3.5	10.0	1.8	7.7	1.8	7.5	1.3	7.7	0.9	6.7		
160	86	10	16	16	26	4.3	6.3	3.8	5.3	2.4		4.9	7.5	4.2	6.1		
161	86	10	16	16	36	1.5	3.4	3.6	5.3	2.2	2.9	4.8	7.3	4.1			
162	86	10	17	11	48	4.3	6.9	1.6		2.9	4.4	1.9					
163	86	10	18	7	13	0.1		2.2		1.5		2.9		2.2	11.2		
164	86	10	18	11	53	5.0	7.2	2.3	3.4	3.8	5.7	2.2					
165	86	10	18	15	0	2.0	9.7	3.8	12.8	2.8	11.0	4.7	14.3				
166	86	10	18	23	5	1.4	8.4	3.3	11.6	2.3	9.8	4.1	12.3	2.7	10.3		
167	86	10	20	10	0	5.2		3.0	5.8	2.4	4.8	3.2		0.3	1.4		
168	86	10	20	11	45	2.3	11.5	2.4	11.0	1.5	9.2	3.3	12.2	0.5	7.1		
169	86	10	20	13	30	0.6	10.5	3.3	14.9	2.3	13.4	3.9	16.1				
170	86	10	21	16	39	2.0	3.9	1.6	3.3	0.3		2.8	5.3	1.9			
171	86	10	22	0	57	0.3	6.4	1.8	9.3	1.2	8.0	2.4	10.2				
172	86	10	22	2	36	2.7	10.7	1.8	9.2	1.3	8.4	2.1	9.4	1.4	8.4		
173	86	10	24	6	21	0.2	6.2	0.9	7.3	0.3		1.5	8.6	0.4	6.9		
174	86	10	25	11	54	1.9	3.8	1.4	3.0	0.1		2.6		1.8			
175	86	10	25	16	17	1.8	3.8	1.5	3.2	0.1	1.2	2.7	5.1				
176	86	10	26	6	58	1.7	10.1	4.2	14.1	3.1	12.3	5.0	15.4				
177	86	10	26	7	21	2.8	12.3	1.5	10.2	1.3	9.6	1.8	10.5	0.3	8.0		
178	86	10	26	12	35	2.4	10.9	2.5	11.0	2.7	11.2	2.6	11.1	3.3	12.5		
179	86	10	26	16	49	2.2	9.7	4.0	12.8			5.0	14.0				
180	86	10	27	2	55	0.5	6.7	2.1	9.3	1.6	8.4	2.7	10.2				
181	86	10	27	12	3	2.1		2.1		0.8	1.6						
182	86	10	28	2	0	4.3	13.7	2.2	10.0	3.6	11.5	1.4	8.7				
183	86	10	28	18	30	3.3		1.6		1.7		1.6		1.0	6.9		
184	86	11	12	16	30	6.8				4.0	6.4	5.4		2.0	3.1		
185	86	11	12	16	56	0.9	2.3	1.2	2.9	1.4	3.4	1.8	3.9				
186	86	11	12	21	51	3.6	13.2	1.4	9.4	2.2	10.4	0.5	7.5	3.2	12.7		
187	86	11	13	16	31	5.8	10.4	3.6	6.5	2.9		4.3	7.7	0.9	2.1		
188	86	11	15	15	52	1.4	8.6	3.8	12.6	2.7	10.7	4.5		3.3			
189	86	11	15	17	36	1.1	8.5	3.4	12.2	2.5	10.5	4.2	14.2	2.8	11.3		
190	86	11	15	21	9	0.3	7.5	2.6	11.3	1.6	9.5	3.4	13.0	2.2	10.3		
191	86	11	15	22	25	0.8	8.2	3.2	12.0	2.1	10.0	3.8	13.3	2.6	11.0		
192	86	11	16	1	16	0.4	7.7	2.7	11.3	1.7	9.8	3.5	12.7	2.1	10.2		
193	86	11	16	13	14	0.6	8.0	2.9	11.7	1.9	9.9	3.7	12.9	2.3	10.7		
194	86	11	16	17	7	4.4	13.0	3.6	11.6	2.8	10.6	4.1	12.6	1.6	8.1		
195	86	11	18	10	46	3.8	5.7	3.5	5.1	2.1		4.7	7.5	3.8			
196	86	11	18	11	54	4.2	6.6	1.5	2.3	2.9	4.9	1.3	1.8	4.5	7.5		
197	86	11	19	15	54	5.1	7.4	2.3	2.9	3.7	5.2	2.7	3.5	5.3			
198	86	11	21	0	36	3.6	12.0	2.7	10.5	2.4	9.9	3.0	11.0	1.7	8.6		
199	86	11	22	12	0	3.6	6.7	2.5	4.9	1.2	2.8	3.6	6.7	0.3	1.5		
200	86	11	22	19	55	2.7	10.0	1.7	8.3	1.1	7.4	2.2	9.1	0.1	5.5		

						KASAMA		IWASE		OHTA		UCHIYA		KAKIOK		BUSSHO	
	Y	M	D	H	M	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S
201	86	11	22	21	27	2.2	10.0	4.6	13.1	3.5	11.5	5.2	14.5	4.0	12.1		
202	86	11	23	3	27	3.9	11.5	3.1	10.1	2.4	8.9	3.6	11.1	1.1	6.6		
203	86	11	23	19	44	0.9	8.6	1.1	9.2	0.6	8.2	1.4	9.6				
204	86	11	24	3	47	1.1	9.3	0.5	8.1	0.5	8.0	0.6	8.1	0.8	8.3		
205	86	11	24	18	48	5.2	15.0	4.3	13.5	3.7	12.3	4.8	14.6	2.4	10.5		
206	86	11	24	16	30	5.6		3.4	6.3	2.8	5.2	4.2	7.5	0.8	1.9		
207	86	11	24	16	34	1.6	3.0	1.9	3.6	2.1	4.2	2.5	4.7	4.1			
208	86	11	24	4	53	0.6	7.8	2.7	11.4	1.8		3.5	13.0	2.2	10.4		
209	86	11	27	10	49	3.0		2.7	4.3	1.3	2.6	3.8		3.0			
210	86	11	27	15	57	2.6	4.5	2.0	3.7	0.6	1.4	3.2	5.6	2.4			
211	86	11	27	16	5	0.3	6.9	2.6	11.2	1.6	9.5	3.3	12.8	2.0	10.2		
212	86	11	27	16	41	3.0	9.2	1.8	7.2	1.8	7.3	2.0	7.6	1.5	6.8		
213	86	11	28	20	24	4.7	13.8	3.7	11.7	3.3	10.8	4.0	12.5	2.2	9.2		
214	86	11	30	20	34	1.3	7.9			2.3	9.5						
215	86	12	2	0	8	4.4	12.7	3.5	11.2	2.8	10.2	4.0		1.7	7.9		
216	86	12	2	3	1	0.2	8.4	2.8	12.7	1.8	11.1	3.5	14.0				
217	86	12	2	5	58	2.5	10.9	1.5	9.3	1.3	8.8	1.8	9.7	0.6	7.9		
218	86	12	3	9	23	2.5	10.9	1.5	9.1	1.4		1.8	9.3	0.6	7.5		
219	86	12	3	11	52	5.3	7.9	2.7	3.4	4.1	6.0	2.5	3.1	5.6			
220	86	12	6	18	13	1.8	8.8	0.6	6.6	0.7	6.9	0.6	6.7	0.5	6.5		
221	86	12	7	1	13	3.7	11.7	3.8	11.7	2.9	10.2	4.5	12.8	1.8	8.2		
222	86	12	7	15	56					4.4	11.2	3.7	10.1	2.5	8.2		
223	86	12	8	2	38	2.5	8.6	3.7	10.7	3.4	10.1	4.1	11.5	3.9	11.4		
224	86	12	8	17	55	3.9	12.0	2.0	8.7	2.3	9.2	1.9	8.5	1.6	8.0		
225	86	12	9	15	59	4.5	6.7	1.7	2.3	3.1	4.6	2.1	2.8	4.7	7.3		
226	86	12	10	15	38	3.9	5.8	3.4	5.0	2.0		4.6	7.0	3.8			
227	86	12	13	14	56	2.2	4.2	1.7	3.8	0.3	0.9	2.7	5.7	2.1	4.0		
228	86	12	14	0	3	4.1	11.3	3.3	10.1	2.8	9.2	3.8	11.0	2.0	7.5		
229	86	12	14	2	18	3.8	11.6	2.9	10.2	2.2	9.0	3.4	11.0	1.0	6.9		
230	86	12	16	0	11			0.9	6.4	1.0	6.2	1.1	6.6		5.8		
231	86	12	16	5	34	3.1	11.5	2.2	9.8	1.9	9.4	2.4	10.2	1.2	8.3		
232	86	12	16	7	30	1.0	8.2	1.8	9.6	1.7	9.6	2.0	10.0	2.5			
233	86	12	16	17	8	3.2		1.0	9.1	2.4	11.6	0.2		3.5	16.1		
234	86	12	16	17	17	0.2	11.1	0.5	11.7	0.6	11.8		11.9	1.1	13.0		
235	86	12	17	0	1	1.9		2.4		1.3		3.1		0.5	7.7		
236	86	12	17	1	27	0.4	7.0	2.6	11.5	1.7	9.6	3.4	12.9	2.2	10.3		
237	86	12	17	7	11	0.2	7.3	2.4	10.9	1.4	9.2	3.2	12.6		10.1		
238	86	12	17	8	52	0.1	8.6	2.7	12.5	1.8	11.1	3.6	13.9	3.2	12.1		
239	86	12	17	13	37	1.9	10.4	0.8	8.7	0.8	8.7	1.0	8.9	0.5	7.9		
240	86	12	17	17	33	2.6	9.7	2.0	8.6	1.4	7.2	2.6	9.6	0.5	6.0		
241	86	12	17	11	9	2.0		1.7	3.3	0.3		2.8		2.0			
242	86	12	17	19	35	3.0	12.3	0.6	8.5	0.9	8.9	0.5	8.2		7.1		
243	86	12	17	20	59	2.9	12.0	2.0	10.4	1.4	9.3	2.5	11.6	0.2	7.2		
244	86	12	18	17	5	2.5	10.2	0.8	7.0	0.9		0.8		0.2	6.0		
245	86	12	18	20	52	3.1	15.9							0.4			
246	86	12	18	23	6	0.6	8.2	1.6	9.9	1.6	10.0	1.9	10.4	2.9	11.3		
247	86	12	19	16	20	3.0	5.7	0.4	1.9	1.8	3.8	0.2	0.9	3.4	6.3		
248	86	12	19	16	53	1.0	10.7	0.9	10.6	1.9	12.3	0.6	9.6	3.8	14.9		
249	86	12	20	6	26	0.2		0.8		0.3		1.4	11.5	0.3	10.2		
250	86	12	20	23	47	1.7		0.7		0.5		1.0					

						KASAMA		IWASE		OHTA		UCHIYA		KAKIOK		BUSSHO	
	Y	M	D	H	M	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S
251	86	12	20	23	47	7.0		5.3		5.1		5.5		3.2	13.6		
252	86	12	21	11	33	0.3	6.4	1.6	8.6	1.4	8.1	2.0	9.5	1.9	9.3		
253	86	12	21	13	33	0.5	7.2	2.8	11.5	1.8	9.7	3.6	13.2	2.3	10.4		
254	86	12	21	17	17	2.5	10.2	0.9	7.6	2.2		0.1	6.2	3.3	11.7		
255	86	12	22	6	24	2.6	11.2	1.4	9.4	1.2	8.9	1.6	9.6	0.5	7.7		
256	86	12	20	12	33	0.8		0.4		0.4		0.4		0.6	8.2		
257	86	12	22	13	13	0.4	7.7	2.0	10.8	1.0	8.9	2.8	12.2	1.0	9.3		
258	86	12	22	13	13			16.8		15.7				15.8			
259	86	12	22	14	12	2.4	10.2	0.7	7.2	1.0	7.6	0.6	7.1	0.4	6.8		
260	86	12	22	18	8	0.4	8.2	2.5	11.9	1.6		3.3	13.4	1.9	11.0		
261	86	12	22	22	29	2.9	13.9	0.6	10.0	0.9	10.4	0.5	9.6				
262	86	12	22	23	50	0.5	8.5	2.6	12.0	1.5		3.4	13.1	1.0	11.2		
263	86	12	23	4	30	0.4	7.7	2.4	11.2	1.5	9.6	3.3	12.5	2.0	10.3		
264	86	12	23	13	4	2.1	10.5	1.1	8.8	0.9		1.4		0.2	6.0		
265	86	12	23	15	0	5.2		3.0		2.4		3.7		0.4			
266	86	12	24	2	54	0.8		2.7		1.7		3.5		1.9			
267	86	12	24	4	29	4.0	13.1	3.3	12.2	2.4	10.8	3.9		1.2	8.5		
268	86	12	25	5	56	2.9	11.7	1.6	9.5	1.4	9.2	1.8	10.0	0.6	8.1		
269	86	12	25	11	13	3.4		3.1		1.7		4.2		3.4			
270	86	12	26	9	1	1.1	8.7	2.9	11.7	1.8	9.9	4.1	12.9	2.1	10.2		
271	86	12	26	10	32	0.8	7.0	3.0		2.1		3.9		2.5	10.5		
272	86	12	27	7	44	2.8	10.3	2.8	10.4			3.4	11.6	0.8	6.9		
273	86	12	27	10	0	2.5		0.9		1.7		0.9		0.7			
274	86	12	27	11	35	1.4	9.4	0.6	8.0	0.5	8.0	0.7	8.3	0.2	7.6		
275	86	12	27	11	37	0.6	6.0	1.9	8.7	1.4		2.5		1.8	8.6		
276	86	12	27	18	5	0.9		1.3		1.5		2.0		3.8			
277	86	12	29	6	28	0.7		2.4		1.4		3.3		1.4			
278	86	12	29	15	15	1.1	7.7	3.4	11.6	2.4	10.2	4.2	13.3	2.8	10.8		
279	86	12	30	5	53	4.2	13.8	2.0	9.7	3.3		1.1	8.3	4.1			
280	86	12	30	11	57	3.4	10.9	1.6	7.8	1.6		1.6		0.6	6.5		
281	86	12	30	13	22	0.7		2.6		1.5		3.5		1.6	9.7		
282	86	12	30	14	46	0.5	7.6	2.2	10.5	1.3	8.8	3.0	11.6	1.5	9.1		
283	86	12	31	3	38	1.8	9.8	0.9	8.4	0.8	8.1	1.2	8.6	0.4	8.0		
284	86	12	31	17	43	3.0	12.7	1.9		1.6	10.4	2.2	11.4	0.8	9.0		
285	86	12	31	23	34	0.2	8.0	2.5	11.6	1.5	9.9	3.3	13.3	2.0	10.7		
286	87	1	2	12	35	3.1	10.8	1.4	7.8	1.6	8.1	1.3	7.7	1.1	7.4		
287	87	1	3	3	39	0.8	7.9	2.3	10.6	1.4	9.2	3.0	11.5	1.4	9.4		
288	87	1	3	21	48	0.6	8.6	3.3	13.3	2.5	11.8	4.0	14.3	3.1	13.3		
289	87	1	4	14	6	0.6	8.2	2.5	11.5	1.5	9.5	3.3	12.9	1.5	10.1		
290	87	1	5	3	51	2.8	10.3	1.1	7.3	1.1	7.3	1.2	7.5	0.1	5.8		
291	87	1	6	20	46	0.7	3.8	3.1	7.7	2.6	7.1	3.7	8.5	4.1	9.6		
292	87	1	6	22	55	2.9		1.8		1.7		2.1		1.0	7.8		
293	87	1	7	17	41	1.5	8.8	3.3	11.8	2.2	10.2	4.0	13.3	2.3	10.5		
294	87	1	7	19	48	2.1	10.5	1.1	8.9	1.0	8.9	1.2	9.1	0.6	8.2		
295	87	1	8	6	43	0.6	7.6	2.5	10.7	1.4		3.3		1.6	11.2		
296	87	1	12	12	5	2.0	3.8	2.0	3.8	0.6	1.4	3.2					
297	87	1	12	16	30	6.2		4.0		3.9		4.7		1.3	2.4		
298	87	1	14	11	50	4.3		1.7	2.5	3.2	2.6	1.5	2.2				
299	87	1	14	19	45	3.8	13.0	1.6	9.3			0.8	7.7	3.5	13.0		
300	87	1	15	8	12	0.3	6.0	1.1	7.5			1.7	8.8	0.4			

	Y	M	D	H	M	KASAMA P	KASAMA S	IWASE P	IWASE S	OHTA P	OHTA S	UCHIYA P	UCHIYA S	KAKIOK P	KAKIOK S	BUSSHO P	BUSSHO S
301	87	1	16	12	41	3.6	6.2	1.0				0.8		3.9			
302	87	1	18	8	42	1.0		0.6	7.9			0.7	8.2	0.5			
303	87	1	18	19	41	2.5	9.4	1.6	7.9			1.8	8.2		7.4		
304	87	1	19	4	29	3.7	10.7	2.6	9.3				10.2	0.7	6.3		
305	87	1	19	6	26	4.8	14.4	1.3	9.1			0.7	7.8		10.1		
306	87	1	19	10	46	2.8	11.2	1.7	9.2			1.9	9.6	1.3			
307	87	1	21	18	49	4.1	13.6	1.8	9.8	3.2	12.2	1.0	8.3			4.3	
308	87	1	21	22	41	1.5	8.7	0.9	7.5	0.7	7.3	1.3	8.1			0.5	7.0
309	87	1	22	17	17	0.7	7.6	2.0	9.7			3.0	10.8			2.0	9.7
310	87	1	23	4	30	1.8	10.2	0.7	8.7	0.7	8.5	0.9	8.8			0.2	7.3
311	87	1	23	16	17	0.4	7.4	2.0	9.8	1.3	8.9		11.2			1.8	9.8
312	87	1	24	10	45	2.5	10.6	0.9	7.5	1.2	8.4	0.7	7.2			0.8	
313	87	1	24	23	50		10.0	1.8	9.1	1.1	7.8		10.2				
314	87	1	26	13	30	0.9	8.2	2.7	11.4	1.7		3.5	12.8			2.3	10.4
315	87	1	28	5	39	2.0	10.3	1.2	9.2	0.5	8.1	1.7	9.9				
316	87	1	28	20	7	0.5	7.4	2.7	11.0	1.7	9.7	3.5	12.6			2.6	11.1
317	87	1	29	6	1	3.4	10.6	3.0	9.9	2.1	8.3	3.6	10.7			1.0	6.5
318	87	1	29	11	43	3.3		2.5		1.7		3.0				0.5	7.2
319	87	1	29	14	30	3.0	9.9	2.3	8.6	1.7	7.5	2.9	9.5			0.7	5.9
320	87	1	29	18	54	0.5		2.2		1.6		2.9				2.4	9.8
321	87	1	30	10	55	1.1	8.6	3.1	11.8	2.2	10.0		12.5				11.3
322	87	1	31	16	38	3.5	11.4	2.7	10.1	1.9	9.0	3.2	10.9			0.7	6.1
323	87	2	1	0	27	2.2		1.3	8.5	1.3		1.5				1.0	8.0
324	87	2	1	5	56	2.2	10.1	0.8	8.0	1.1	8.5	0.5	7.2			0.8	7.9
325	87	2	1	7	9	2.4	8.6	1.8	7.6	1.3	6.9	2.2	8.3			0.8	5.9
326	87	2	2	4	32	0.5	7.0	2.8	11.3	1.7	9.6	3.5	12.8			2.6	
327	87	2	3	6	29	2.0	10.7	1.0	8.8	0.9	8.8	1.2	9.0			0.6	8.1
328	87	2	4	3	18	3.6		1.4	9.4	2.8	12.4	0.6	8.1			3.2	15.7
329	87	2	4	9	50	3.7		1.5	9.1	2.8	12.0	0.6				3.3	12.5
330	87	2	4	12	5	5.4	9.6	3.1	5.9	2.5	4.3	3.9				0.1	0.7
331	87	2	4	18	42	0.6		2.4		1.2		3.3				1.4	
332	87	2	5	12	14	2.5	4.4	1.9	3.5	0.5		3.1	5.5			2.8	5.0
333	87	2	5	15	20	1.9	3.8	1.6	3.2	0.2		2.7	4.8			2.3	4.5
334	87	2	6	8	32	2.8	12.2	1.1	9.2	1.3	9.6	1.0	9.2			0.5	
335	87	2	6	21	21	0.3	8.0	2.2	11.1	1.0	9.2	2.9	12.3			1.8	10.
336	87	2	6	21	24	0.3		3.1		2.3		3.8				3.7	
337	87	2	7	0	46	0.2		2.8		2.0		3.6					
338	87	2	7	0	52	0.5		3.4		2.6		4.1					
339	87	2	7	17	7	0.5	8.7	2.5	11.9	2.1	11.3	3.0	12.9			3.2	13.0
340	87	2	7	18	22	0.6		3.2		2.5		3.8				4.4	
341	87	2	7	21	5	0.5		3.1	13.3	1.9	11.3	3.8	14.7				
342	87	2	8	2	32	2.0	10.4	1.0	8.9	0.8	8.4	1.4	9.1			0.1	7.3
343	87	2	8	16	1	0.5		3.2		2.7		4.1				4.2	
344	87	2	9	5	11	3.8	16.2	0.6	10.8	1.4	12.1	0.2	10.1				
345	87	2	9	8	43	0.3	7.7	2.5	11.4	1.5	9.8	3.3	12.8			2.5	11.0
346	87	2	9	13	13	4.5	7.5	0.3		2.8		0.2				4.1	7.0
347	87	2	9	14	10	2.1		1.8	15.7	0.4	15.0						
348	87	2	10	4	0	0.8	9.4	1.6	10.7	0.6	9.0	2.7	12.3			0.3	8.6
349	87	2	10	12	0	2.9	5.6	0.3		1.7		0.1				7.2	8.1
350	87	2	10	14	32	0.5	7.4	0.6	7.5	0.3		1.1	8.2			0.6	7.4

	Y	M	D	H	M	KASAMA P	KASAMA S	IWASE P	IWASE S	OHTA P	OHTA S	UCHIYA P	UCHIYA S	KAKIOK P	KAKIOK S	BUSSHO P	BUSSHO S
351	87	2	10	17	33	0.5		3.1		2.3		4.0				3.2	
352	87	2	10	18	15	2.4	9.0	1.7	7.7	1.2		2.2	8.4			0.4	5.5
353	87	2	11	9	51	2.3	3.0	0.9	1.5	1.1		0.5	1.3			0.7	
354	87	2	11	15	17	2.0	3.8	1.6	3.3	0.2		2.8	5.2				4.7
355	87	2	11	15	30	5.3		3.1		2.4		3.9				0.1	
356	87	2	11	17	54	1.8		0.1		0.4		0.1				1.6	
357	87	2	11	19	55	2.3	10.6	0.6	7.6	0.9	8.1	0.5	7.5			0.4	7.4
358	87	2	11	22	46	3.0	14.2	1.8	12.2	1.4	11.5	2.1	12.8			0.2	9.1
359	87	2	12	2	6	0.4	8.3	2.9	12.1	1.8	10.6	3.6	13.5				12.2
360	87	2	12	10	9	3.5	11.8	1.3	7.5	1.3	7.7	1.2	7.7			0.1	4.8
361	87	2	12	14	45	2.3	10.4	0.6	7.6	0.8	8.0	0.5	7.5			0.4	7.4
362	87	2	12	19	45	2.1	10.3	0.4	7.2	0.7		0.3				0.2	6.5
363	87	2	12	22	8	3.4	11.5	1.2	7.5	1.4	7.7	1.5				0.1	5.6
364	87	2	13	3	41	3.2		1.0		1.9		0.1	16.9				
365	87	2	13	6	30	3.9	12.2	1.7	7.9	1.7	8.1	1.7	8.1			0.3	5.6
366	87	2	13	6	53	3.8	12.0	1.5	7.9	1.6	8.0	1.6	8.0			0.5	5.4
367	87	2	13	8	45	3.8	12.0	1.6	7.8	1.6	8.0	1.5	8.0			0.5	5.5
368	87	2	13	10	0	5.6		3.4	6.5	2.7		4.1				0.3	1.2
369	87	2	13	10	21	2.0	9.7	0.3	7.0	0.6		0.2	6.7			0.2	6.7
370	87	2	13	12	4	5.4	9.7	3.2	5.9	2.5		4.0	7.2			0.2	0.8
371	87	2	13	13	17	0.2		2.5	10.6	1.4	9.6	3.2	11.9			0.7	
372	87	2	13	16	46	1.6	10.0	1.0	8.9	2.3	11.1	0.4	8.1			4.6	
373	87	2	14	12	5	5.6	8.3	6.0	8.3		7.0		9.5			0.4	1.0
374	87	2	14	15	24		8.5		11.0	1.0	9.1	3.6	12.5				9.6
375	87	2	16	1	0	2.8	11.1	1.1	8.2	1.2	8.1	1.3	8.3			0.6	7.5
376	87	2	16	17	48	1.9	10.0	0.9	8.4	0.7	8.0	1.1	8.7			0.3	7.5
377	87	2	16	20	40	0.7	8.1	2.6	11.0	1.4	9.2	3.8	12.3				10.4
378	87	2	17	21	57	3.9	11.5	2.6	9.9	2.0	8.9	3.2	10.7			0.5	6.6
379	87	2	18	10	25	0.7	8.3	2.5	10.8	1.4	9.1	3.3	12.4			1.8	9.9
380	87	2	18	15	44	3.4	10.2	2.3	8.5	1.8	7.5	2.8	9.2			0.6	5.7
381	87	2	19	12	58	2.8	10.4	1.1	7.4	1.2	7.6	1.1	7.5			0.4	6.0
382	87	2	21	4	29	3.0	9.7	2.2	8.3	1.6	7.4	2.7	9.1			0.7	5.8
383	87	2	23	10	6	2.4	10.8	1.4	8.5	1.2	8.2	1.7	9.4			0.5	7.6
384	87	2	23	19	57	2.4	10.8	1.4	9.2	1.2	8.6	1.7	9.5			0.4	7.5
385	87	2	24	1	15	0.5		2.3		1.6		2.9				2.5	10.1
386	87	2	24	5	44	3.2	12.5	1.4	9.1	1.6	9.5	1.4	9.0			0.7	7.7
387	87	2	24	17	18	0.5	8.1	2.4	11.5	1.3	9.5	3.2	13.8			1.7	10.4
388	87	2	25	0	21		14.5	5.1	10.9	4.9	10.9		11.1				9.6
389	87	2	25	7	33	2.0	10.4	2.2	10.5	1.2	8.8	3.0	11.0			0.3	7.2
390	87	2	26	17	42	2.2	10.7	1.5	9.3	1.0	8.5	2.0	9.8			0.4	7.2
391	87	2	26	22	51	3.3	10.6	2.5	9.2	1.8		2.9				0.5	6.6
392	87	2	26	23	24	3.3	11.3	2.4	10.0	1.7	8.3	2.9	10.6			0.5	6.6
393	87	2	28	4	46	2.2	10.2	0.6	7.5	0.9	7.9	0.3	7.1			0.6	7.3
394	87	2	28	13	38	2.4	10.2	2.4	10.1	1.6	8.5	3.2	11.5			0.5	6.8
395	87	3	1	2	28	3.4	10.1	1.1	6.5	1.5	7.0	1.1	6.4			0.5	5.4
396	87	3	1	2	7	2.0	8.4	1.0	6.6	0.9	6.5	1.2	7.0			0.5	6.1

し開発の可能性の検討が行われた。これらの詳細を次に述べる。

(i) 3次元速度構造解析

直下型地震の予知に有用とされる前震活動の検知・特徴の把握には精度のよい震源決定が不可欠である。このためには，対象域について①その地殻の詳細な速度構造の把握及び②これに基づくリアルタイムの震源計算が必要である。また，速度構造の時間変化の検知可能性についての検討にも利用できればさらに有用である。ここではこれらについて研究が実施された。

①詳細な速度構造の把握

浅所（主に地殻の部分）の構造把握には，人工地震と多数のセンサーとを使って行う方法が確立している。この方法は費用と人手をかければ人工密集地域を除いて実施は可能である。一方，より深い所の構造把握についても自然地震を使う方法がやはり確立している。従って，残された問題は「人工密集地域における構造把握」と，「既に確立している方法について，経済効率やリアルタイム運用での実用性などを検討し，改善すること」である。今回は，このうち，後者について研究が実施された。以下この研究内容を記す。なお，前者については，基礎的事項の研究が必要であり，別途研究が進められている。

非一様な媒質の速度構造を調べるには，3次元波線追跡が不可欠である。これは，一般に非線形微分方程式の境界値問題に帰着されるもので，種々の数値解法が提案されている（Julian and Gubbins, 1977；Pereyra et al., 1980）が，解の存在が保証されない，計算に多大な時間を要するなどの難点がある。自然地震を利用して速度構造を調べる場合，震源を同時に求める必要があり，また，利用できる地震の数が多い程その構造の推定精度が上がるので，地震発生毎に逐次データを追加して，構造の改善を図ることが実用上有用である。従って，後述する震源把握における必要性とも相まって，3次元波線追跡には時間がかからないことが望まれる。精密震源把握への利用の必要性から計算時間短縮のための近似方法も開発されている（Thurber and Ellsworth,1980；Thurber,1983；宮武，1987；Hasemi and Ishida,1987）。これらのうち，局地的な領域を対象にして作られた方法は，地熱地帯での構造解析に応用された例もあり（杉原他，1986），また走時を求める上では十分の精度を有していると考えられるが，波線通過経路について近似しているため，構造解析の面から見ると，詳細な構造を推定するのには適当な近似ではない可能性がある。このため，今回の研究では，数値解法の新しいアルゴリズムが開発された（関田，1987）。この方法は，従来の方法（Pereyra *et al.*, 1980）に比べ，同程度の精度を得るための計算時間が20%程度であり，また，笠間地区の採石発破によるデータに適用された結果，この地域の浅い部分の速度構造と地形との関係が求められた（関田他，1988）。また，この結果は，人工地震による構造解析結果と符合するものであった。

②精密震源計算

震源決定の精度を向上させるため，震源と同時に速度構造も併せて決定する方法が採用された。

直下型システムではさまざまな制約から，観測点数が少なくなる（今回は５点）ことが想定され，これが震源決定での重要な制約条件になると想像された。このため，得られる情報は最大限利用することとし，速度構造解析には，自然地震のみならず採石発破のデータも利用し，また，発破の震源の深さは地表面に固定する方法が採られた。笠間地区では，深さ30km以浅の浅い地震が発生していないため，採石発破のデータのみで速度構造解析が実施されたが，実際に浅い地震が多発している地域については，この手法による速度構造及び震源の同時決定が可能である。また，これらの計算をフィールド観測用の小型の計算機を用いて，リアルタイムで処理できるように，これまでに得られた情報を利用しつつ，新しいデータが得られる毎に，逐次的にインヴァージョンを行い精度を上げていく手法が開発された（関田，1986）。

なお，今回の観測期間中に福島県沖で群発地震が発生した。このイベント群を捕捉した直下型システムの記録の中にはP，S以外に明瞭な相が３種類（以下X相と呼ぶ）検出された。これらが，観測フィールド直下の構造を反映したものであるかどうか，気象庁の広域的な地震観測データも利用して，その同定が行なわれた。現在までの研究では，今回のテストフィールドの下に沈み込む太平洋プレートの内部構造に起因したものであると考えられている（Mori, 1990）。

(ii)採石発破を利用したQの監視解析

地震動の距離減衰を表す指標であるQは，時間とともに変化する例が観測から知られており，気象研究所（1990, pp.59-65）にまとめられている。これは伝播の途中での地震波の吸収・散乱の特性がそこの媒質特性の時間変化に応じて変わっていくためと考えられている。従って，Qの時間変化を監視することが地震予知に役立つ可能性があり，多くの研究者がこの種の研究を進めている。

ここでは表層の媒質の影響を強く受けている表面波について，Qの時間変化を調べた。深さ10km未満に震源がある地震では，多くの場合地表に地殻変動が明瞭に現れる。従って，震源が極浅い地震については，その発生の前兆として表層の媒質にも変化が現れることが期待される。時間変化を調べるには，定常的にデータを収集・解析することが必要である。このためには，時間的に制御可能な発震手段を持つ必要がある。採石発破は，日本全国ほぼ隈なく行われているのでこれを発震手段として利用するのが適当であると考えられた。今回の研究では，手法の開発の可能性の検討のため，気象研究所周辺について調べられた（森他，1988）。結果の詳細は「人工震源（採石発破）を利用した表層の波動的Qの監視解析」（森他，1993）に記されている。一度に比較しうるデータを増やすため発破の薬量で観測値を補正して使用したが，通常発破は縦穴に２段，その底の部分で横に２段～４段（根切り）の発破を一度にかけるので，各段の時間ずれの毎回の変化や，段の数によって，薬量が等しくてもピーク周波数や最大振幅が変化し，薬量だけで単純に補正するのでは十分でないことが多い。しかし，簡単のため今回は薬量だけによる補正を行なった。Qの推定値に大きい分散があるのは主としてこのためであると考えられる。薬量だけによる単純な補正を行う方法でQの変化を検出するには，データにばらつきが大きいので，Qが30～50%変化することが必要である。実際

にこれだけの大きい変化が地震発生前に起こるかどうか観測例はないのでわからない。より小さいQの変化を検出できるようこの方法は改良を重ねることが必要と考えられる。

1.1.7　考察と結論

今回のテストフィールドでは地殻内地震が全くなかった。活断層付近についても同様であった。「潜在的に地震が発生しないのか，または歪が十分蓄積するに至っていないので地震が発生しないのか」を考えることは，前兆的な微小地震活動の検出をはかるという目的に沿っている。そこで，以下でこれについて考察する。

少なくとも報告されている地殻変動の結果からは歪速度が遅いことがわかり，歪が十分蓄積していない可能性が高いことがわかる。一方，この地域の地殻へ作用する応力としては，太平洋プレートの西向きの運動による同方向への押し，及びフィリピン海プレートの自重による北東への沈み込みと北西への運動とによる相模トラフでの北東～北への押しが考えられる。フィリピン海プレートからの影響は，殆どが関東南部の地殻変動に吸収されているようである。地殻応力の測定からも北西向きの応力が推定されているように，フィリピン海プレートの影響は存在するとしてもわずかで，大部分は太平洋プレートの影響のようである。その太平洋プレートと，東北日本が属しているプレートとの力学境界域は，日本海溝より陸寄り（嶋本，1990）としても，今回の観測地域からの距離は200km程度離れており，今回のテストフィールドまで及ぶ応力は小さいのであろう。結局，この地域にはまだ歪が十分蓄積するに至っていないために地震が発生しないと考えられる。但し，十分歪が蓄積した時にそれが非地震性の地殻変動に吸収されるか地震となるかは結論できない。一方，岩石の流動実験によると脆性から延性への遷移温度は石英で300度，長石で400度とのことであり（古川・山野，1989），キュリー点（450度程度）深度（大久保，1989）が今回の観測地域で浅くなっている可能性もある（東北地方からの類推から）。この場合には，徐々に蓄積される地殻歪は，大部分非地震性の地殻変動に吸収されるということになろう。

以上のように笠間地区では歪が十分蓄積しておらず，1.5年間の予備研究の範囲では直下型システム（前兆的な微小地震活動の検出をはかるシステム）の設置～解析の流れの中でこのシステムの問題点を見いだすに至らなかった。しかし，現在業務的にテストできる状況にないが，２つの新しい手法の開発ないし開発の可能性の検討がなされた。開発された手法の評価は，今後業務的に処理ができるようにした時点で行いたい。

（謝辞）

柿岡でのMT・用紙の交換には桑島正幸氏をはじめとする1986年～1987年当時の地磁気観測所の技術課の方々の多大な御協力を頂いた。また，石川有三・関田康雄両氏には本文の改善に有用な意見を頂いた。記して感謝する。なお，発震機構・一部の震源の分布の作図・検索にSEIS－PC（石川他，

1985）が利用された。また，走時残差・一部の震源の計算・作図に関田康雄氏のプログラムが使用された。（森　滋男）

参考文献

地質調査所，1982：100万分の１地質図，日本地質アトラス，p.11.

地質調査所・海上保安庁水路部，1989a：関東平野及びその周辺の基盤深度図．首都及びその周辺の地震予知（その２），建設省国土地理院編，p.136.

地質調査所・海上保安庁水路部，1989b：関東平野及びその周辺のブーゲー異常図・首都及びその周辺の地震予知（その２），建設省国土地理院編，p.135.

橋本　学，1990：測地測量により求めた日本列島の地震間の平均的な地殻水平歪速度（Ｉ）本州・四国・九州．地震2，**43**，3-26.

長谷川　功・伊東公介・佐藤隆司・楠瀬勤一郎・小野晃司・相原輝雄・渡辺史朗・曽屋龍典・衣笠善博・下川浩一・粟田泰夫，1983：首都圏北部の地下構造，地震学会講演予稿集，No１，47.

長谷川　功・佐藤隆司・伊東公介・鈴木慰元・小玉喜三郎，1984：夢の島～大洗の地下構造．地震学会講演予稿集，No２，232.

早川唯弘・松田時彦，1991：1:新編日本の活断層――分布図と資料――．活断層研究会編，東京大学出版会，pp.164-165.

堀江晶子・渋谷和雄，1979：関東地方の深さ150kmまでのP波速度構造．地震２，**32**，125-140.

古川善紹・山野　誠，1989：日本列島下の熱的構造．月刊海洋，**21**，39-46.

石川有三・望月英志・佐久間喜代志・山本雅博・成戸健之，1989：発震機構のコンパイル．月刊地球（群発地震――群発地震と広域応力場），219-223.

石川有三・松村一男・横山博文・松本英照，1985：SEIS-PCの開発――概要――．情報地質，**10**，19-34.

地震予知連絡会，1989a：首都圏における活曲動・活褶曲の分布．首都及びその周辺の地震予知（その２），建設省国土地理院編，p.131.

地震予知連絡会，1989b：鳩山（HTY）－大洗（OAR）測線地殻構造，夢の島（YMS）－大洗（OAR）測線地殻構造．首都及びその周辺の地震予知（その２）建設省国土地理院編．p.141.

気象庁，1989：気象官署における1951年-1988年（38年間）の年平均有感地震分布．首都及びその周辺の地震予知（その２），建設省国土地理院編，p.11.

気象庁地震課，1983：76型地震計用耐雷トランスの設置について．地震火山技術通信，**59**，44-46.

気象研究所地震火山研究部，1990：地震前兆現象のデータベース．気象研究所技術報告第26号，329p.

気象庁観測部，1980：観測機器雷対策について．測候時報，**47**，137-182.

国立防災科学技術センター，1989：首都及びその周辺のおける微小地震の垂直分布図．首都及びその周辺の地震予知（その２），建設省国土地理院編，pp.36-39.

岡田義光，1990：南関東地域のサイスモテクトニクス．地震２，**43**，153-175.

大久保泰邦，1989：日本列島下のキュリー点深度．月刊海洋，21，33-38.

大塚道男，1981：簡易地震計の開発――その必要性と試作――．地震２，**34**，175-187.

関田康雄，1986：データが逐次得られる場合のInversion（Baysian approachの応用）．地震学会講演予稿集，No２，76.

関田康雄，1987：準線形化法による３次元波線追跡の試み．地震学会講演予稿集，No１，68.

関田康雄・後藤和彦・森　滋男・吉田明夫，1988：準線形化法による３次元速度構造解析．地震学会講演予稿集，No１，95.

嶋本利彦，1990：比較沈み込み学のレオロジー的基礎．号外地球，**3**，112-117.

杉原光彦・伊東久男・平原和朗，1986：数百ｍスケールでの３次元P波速度構造．地震学会講演予稿集，No１，95.

竹内　均，1977：日本列島地学散歩（北海道・東北・北関東編）．平凡社カラー新書69，pp.130-131.

塚原弘昭・池田隆司，1983：関東・東海地域の地殻応力．地震２，36，571-586.

塚原弘昭・池田隆司，1989：首都圏及びその周辺における地殻応力の分布図．首都及びその周辺の地震予知（その２），建設省国土地理院編，p.123.

松田時彦，1980：日本の地質．岩波講座地球科学15，勘米良亀齢・橋本光男・松田時彦編，p.163.

宮武　隆，1987：近似波線法による３次元不均質構造内での走時について．地震２，**40**，99-110.

森　滋男・関田康雄・後藤和彦・吉田明夫，1988：茨城県笠間周辺地域での表面波の減衰について．地震学会講演予稿集，No１，96.

森　滋男・関田康雄・後藤和彦・吉田明夫，1993：人工震源(採石発破)を利用した表層の監視解析．準備中.

Hasemi, A. and M. Ishida, 1987, Travel Times and Hypocenter Determinations by Using the Three-Dimensional Velocity Model of the Kanto-Tokai District, Japan. *J. Phys. Earth,* **35**, 255-271.

Julian, B. R. and D. Gubbins, 1977 : Three-dimensional Sesmic Ray Tracing. *J. of Geophys.,* **43**, 95-113.

Mori, S., 1990, Thickness of the Low Velocity Layer in the Descending Oceanic Plate, Estimated by Later Phases Observed in the Recordings of Off-Fukushima-Earthquakes. *EOS,* **71**, 898.

Pereyra, V., W. H. K. Lee and H. B. Keller, 1980, Solving Two-point Seismic Ray Tracing Problems in a Heterogeneous Medium. *Bull. Seism. Soc. Am.,* **70**, 79-99.

Thurber, C. H., and W. L. Ellsworth, 1980,Rapid Solution of Ray Tracing Problems in Heterogeneous Media. *Bull. Seism. Soc. Am.,* **70**, 1137-1148.

Thurber, C. H., 1983, Earthquake Locations and Three-Dimensional Crustal Structure in the Coyote Lake Area, Central California. *J. Geophys. Res.* **88**, 8226-8236.

1.2　静岡県由比地区における地震観測

1.2.1　概要

茨城県笠間地区での予備的な試験観測の成果を受けて，1987年８月16日から静岡県由比地区において本格的な試験観測を開始した。観測点の配置を図1-2-1に，観測点の諸要素を表1-2-1に示す。観測網は，体積歪計（第２章参照）が設置されている静岡県由比町を取り囲むように配置された５つの地震観測点で構成されている。なお，1988年７月に清水観測点が廃止され，新たに梅ケ島観測点が設置された。これらの観測データは，無線あるいは有線テレメータで静岡地方気象台に伝送され，同地方気象台で集中収録された。収録方法は，当初，アナログ・データレコーダで連続収録さ

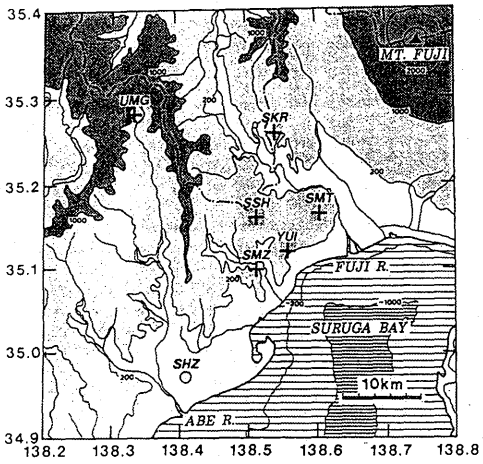


図1-2-1　静岡県由比地区の試験観測網の配置およびその周辺の地形図。＋印は観測点，○印は静岡地方気象台の位置。等高（深）線の数値の単位はメートル。SMT：南松野，SKR：桜峠，SSH：宍原，SMZ：清水，YUI：由比，SHZ：静岡地方気象台。

表1-2-1　観測点の諸要素

観測点	コード	緯度(°N)	経度(°E)	標高(m)	観測期間
南松野	SMT	35.1643	138.6048	160	1987/08/16-1989/03/02
桜　峠	SKR	35.2580	138.5451	450	1987/08/16-1989/03/02
宍　原	SSH	35.1604	138.5150	-65	1987/08/16-1989/03/02
清　水	SMZ	35.0985	138.5142	250	1987/08/16-1988/07/12
由　比	YUI	35.1195	138.5589	10	1987/08/16-1989/03/02
梅ケ島	UMG	35.2792	138.3327	760	1988/07/13-1989/03/02

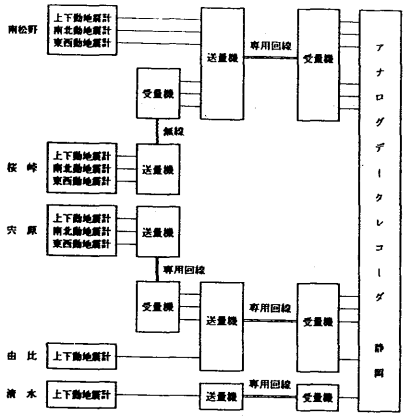


図1-2-2(a)　観測網の構成（1987年８月16日－1988年３月31日）。

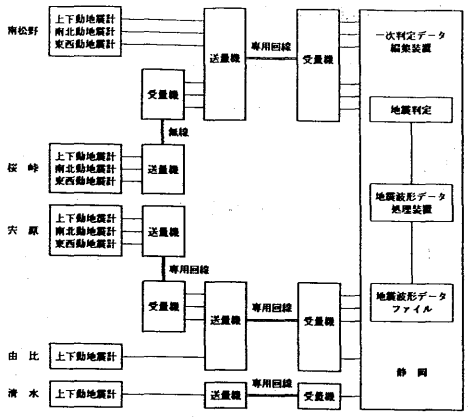


図1-2-2(b)　観測網の構成（1988年４月11日－1988年７月12日）。

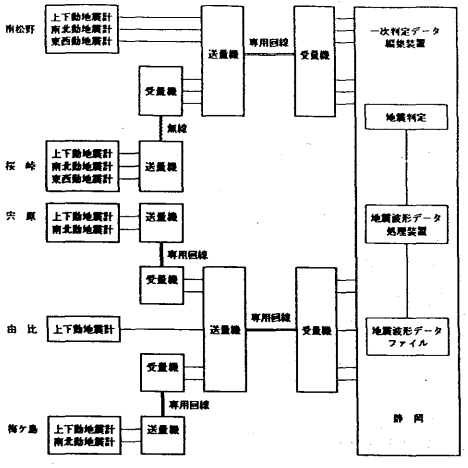


図1-2-2(c)　観測網の構成（1988年７月13日－1989年３月２日）。

れていたが，1988年４月以降は一次判定データ編集装置の導入によりイベント・トリガ方式でのディジタル収録となった。図1-2-2には観測網の構成を期間毎に示す。収録されたデータは磁気テープに保存され，気象研究所において処理・解析されている。

なお，このシステムによる観測は，システムの拡充を行って現在も継続している。ここでは1989年３月までについて報告する。

1.2.2　地震観測点について

1987年８月16日の観測開始から1989年３月２日までの全期間を通して，同時に観測していた観測点は５点である。南松野，桜峠，宍原，由比の４観測点は全期間，清水観測点は1987年８月16日から1988年７月12日まで，梅ケ島観測点は1988年７月13日から1989年３月２日まで観測を行った。図1-2-2は観測網周辺の活構造図である。また，各地震観測点でのノイズ・レベルを図1-2-4に，ノイズの速度スペクトルを図1-2-5に示す。以下に，各観測点の状況を述べる。

1.2.2.1　南松野観測点

南松野観測点は，観測網の東隅の火山岩類からなる地域に位置しており，固有周期１秒の地震計で３成分観測が行われている。地震計は，小高い山の中腹の果樹園と雑木林の境界の斜面の露岩上にコンクリートを履って設置されている。ノイズ・レベルは上下動成分で30μkine, 水平動成分で50-70μkine程度である。この観測点では，図1-2-4に見られるように，観測点を含む山体全体の震動と思われる長周期のノイズが特徴的である。

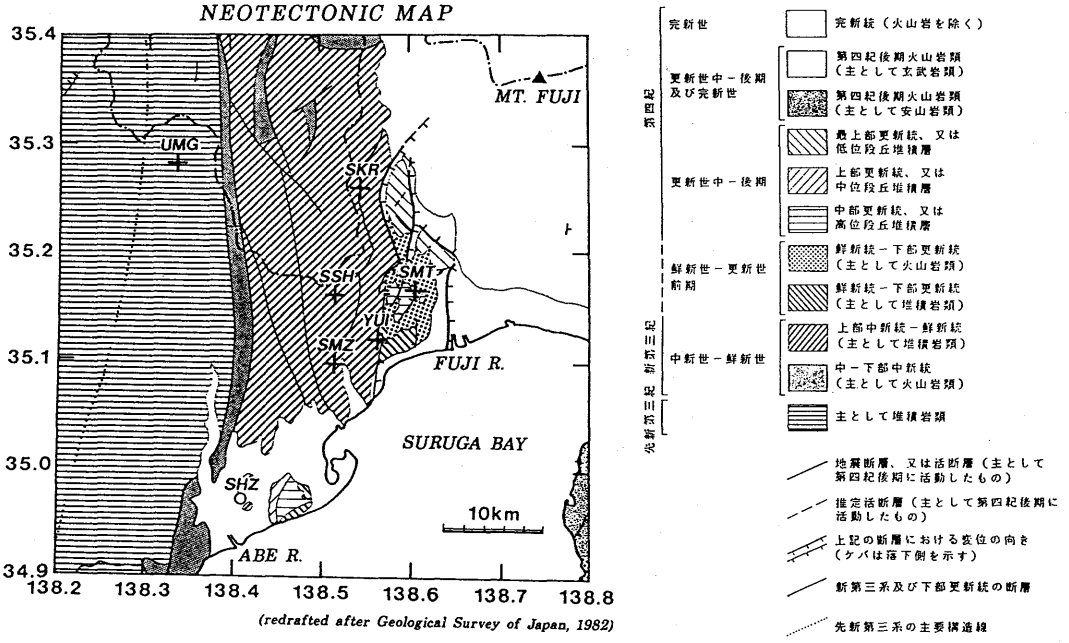


図1-2-3　観測網周辺の活動構造図（地質調査所，1982）と地震観測点の配置。＋印は観測点，○印は静岡地方気象台の位置。

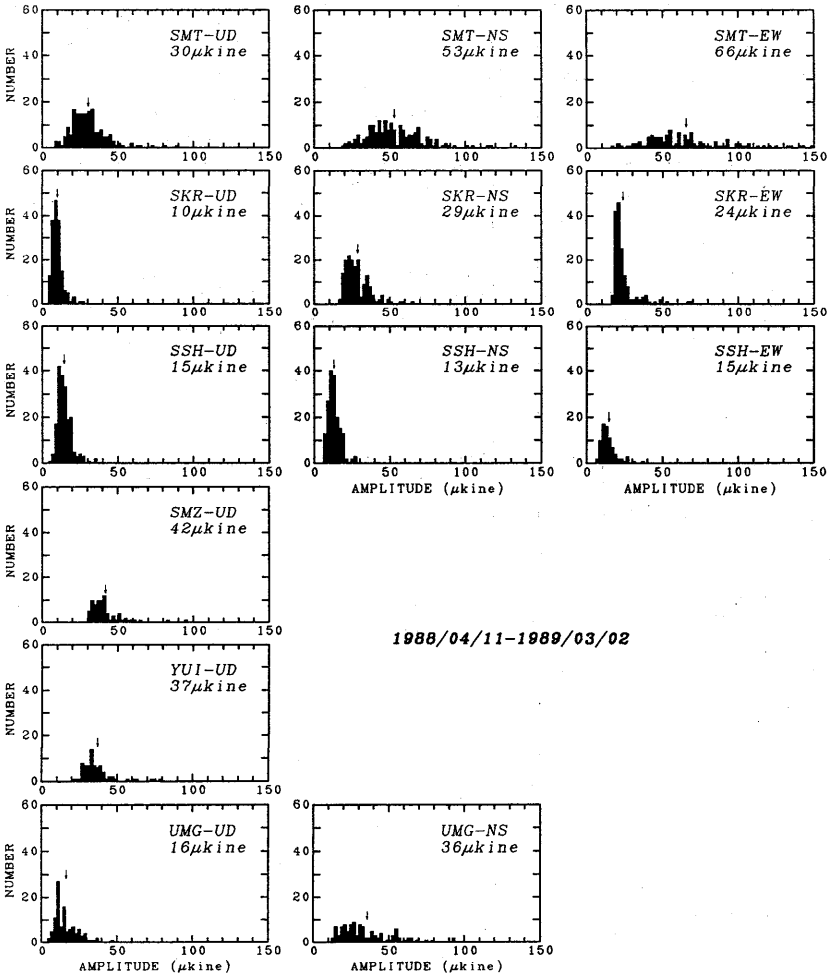


図1-2-4　観測点－成分毎のノイズ・レベルの頻度分布と平均値。ノイズ・レベルは，収録された地震データのP波初動前２秒間の速度振幅の自乗平均値である。矢印は平均値を示す。

1.2.2.2　桜峠観測点

桜峠観測点は，人家から離れた峠からさらに尾根づたいに約100メートル山中に入った植林地の中にある。周辺は表土が厚く適当な露岩がないため，地中約１メートルの深さにコンクリート台を設け，その上に地震計を置いて埋設している。ここでは，固有周期１秒の地震計で３成分観測が行われている。ノイズ・レベルは上下動成分で10μkine，水平動成分で20-30μkine程度であり，良好な記録が取られている。ただし，近くの峠は車両の通行が時々あり，これに伴うノイズが見られる。また，強風時には植林木の震動による長周期の地動が記録されている。

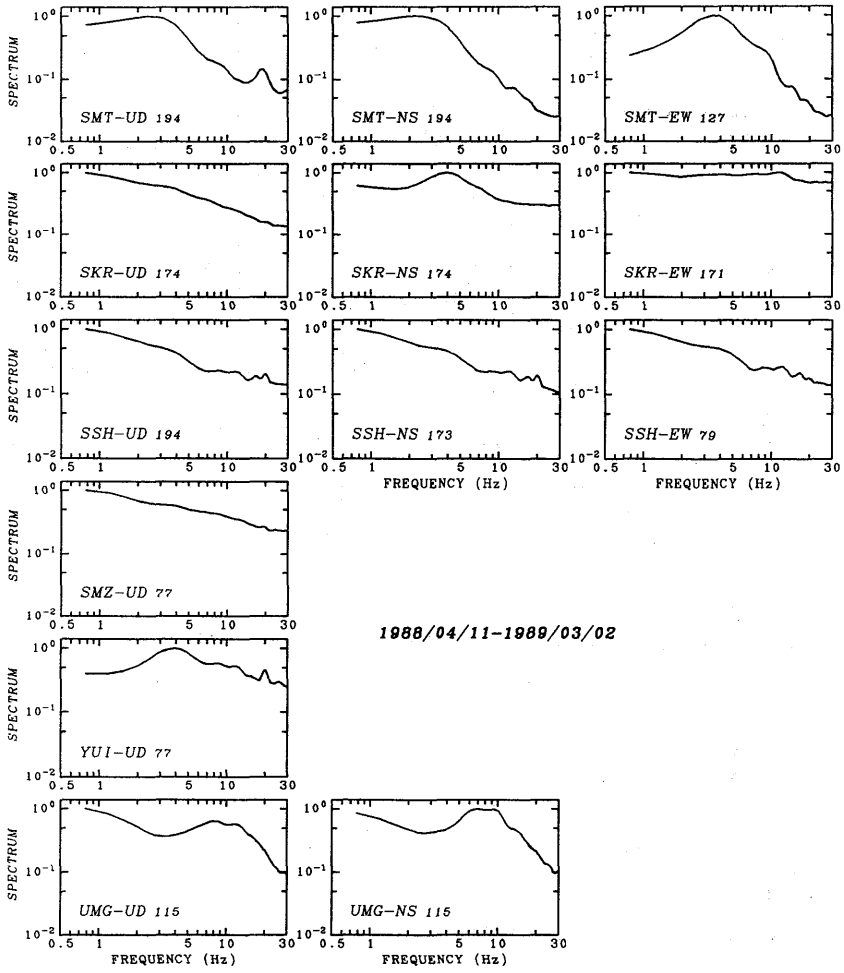


図1-2-5　観測点－成分毎のグランド・ノイズの速度スペクトル。図に示されているスペクトルは，複数のノイズ記録を重ね合わせて求めたもの。重ね合わしたノイズ記録の個数は観測点－成分名の横に示してある。

1.2.2.3　宍原観測点

宍原観測点では，固有周期１秒の地震計で３成分観測が行われている。地震計は，人家から数100メートル離れた沢づたいの崖にでている露岩の上に作ったコンクリート台に設置されている。ノイズ・レベルは上下動成分，水平動成分とも15μkine程度であり，由比観測網の観測点の中で最も良好な記録が得られている。

1.2.2.4　清水観測点

清水観測点は，気象庁の体積歪計の観測施設を利用したものである。地震計も既設のものであり，国道から50メートル程度離れた深さ125メートルに埋設されている固有周波数4.5Hzの上下動地震計を用いている。この観測点では車両などの人為的な雑音が大きく，ノイズ・レベルは42μkineであり，あまり良い記録は取れていない。なお，清水観測点は，後述の梅ケ島観測点の新設に伴い1988年7月12日で観測を停止した。

1.2.2.5　由比観測点

由比観測点は，図1-2-3で見られるように，入山断層が雁行し，堆積岩類と火山岩類が接した複雑な構造の所に位置する。なお，本特別研究で設置した体積歪計の観測点とは同位置である。地震計は体積歪計とともに深さ50メートルに埋設されている。用いている地震計の固有周波数は4.5Hzであり，上下動成分の観測のみ行っている。この観測点は国道から約50メートル離れた由比川沿いにあり，ノイズ・レベルは37μkineとかなり大きい。なお，図1-2-5で見られる20Hz前後でのスペクトルの小さなピークは，南松野の上下動成分や宍原の上下動成分あるいは南北動成分にも見られ，これらは自然のものではなくデータ伝送に係わるノイズと思われる。

1.2.2.6　梅ケ島観測点

梅ケ島観測点は，後述する震源分布（図1-2-8）より明らかなように，観測網の西側の観測点の不足を補うために1988年7月13日に新設された。この地域は，糸魚川－静岡構造線の近くである。また，大谷崩れの近くで，多量の降雨があるとすぐに土砂崩れに伴って通行止めとなることから分かるように，脆くて壊れやすい岩が安部川のすぐ際までせまっているところである。地震計は，安部川の支流の小さな扇状地の端の崖沿いの大きな転石の上にコンクリートの台を作って，その上に設置されており，3成分の観測を行っている。ノイズ・レベルは上下動成分で16μkine，水平動成分で40μkien程度であり，比較的良好な記録が取られている。ただし，近くの川では，川床に溜った土砂の撤去作業を行うことがあり，それに伴う雑音が少々見られる。なお，図1-2-5で3Hz前後にスペクトルの鞍部が見られるが原因は不明である。

1.2.3　データ伝送について

観測データは，無線あるいは有線テレメータを用いて伝送され，静岡地方気象台で集中収録されている。現有のテレメータ装置に限りがあるため，この観測網では3種類のテレメータ装置を用いている。また，図1-2-2に示されているように，観測データを中継して伝送しており，伝送系列は複雑である。以下，各伝送系について述べる。

1.2.3.1　桜峠観測点－南松野観測点

桜峠観測点は山中で近くにNTT回線がないために，無線で南松野観測点までデータの伝送を行っている。伝送方式は，送信周波数400MHz帯のFM－FM方式である。搬送波周波数は1080，1560，2040，2520Hzであり，周波数変調の偏位は±125Hzである。桜峠観測点と南松野観測点はおよそ10km離れているが，桜峠観測点の選定の際には南松野観測点が見通せることを条件としたため，南松野観測点での受信状況は非常に良好である。なお，送信出力は1Wである。

桜峠観測点での電力は，近くに商用電源がないため太陽電池を用いている。太陽電池の出力は電流制限器を通して鉛蓄電池に接続し，鉛蓄電池から送信機に電力が供給されている。送信機の消費電力はおよそ8Wであるが，太陽電池はおよそその5倍の能力を持っている。また，鉛蓄電池は100AHを2個並列で用いている。容量的にはかなり余裕を持った設計となっており，1988年末までの期間は電力供給に関する故障は生じなかった。しかし，1989年初め頃からは，太陽電池設備の周辺の植林木の成長に伴う日照不足の状態となり，徐々に欠測が見られるようになってきた。なお，その後，太陽電池を高くする改修工事を行い，現在は順調に観測データが得られている。

1.2.3.2　南松野観測点－静岡地方気象台

南松野観測点では，桜峠観測点から無線テレメータで伝送されてきた観測データと自観測点の観測データを併せて静岡地方気象台に有線テレメータで伝送している。伝送は，NTTの4線式D－1回線（3.4KHz）9600BPSの専用回線を使用している。その際，観測データは，10bit，120Hzサンプリングでパルス方式の変調がなされている。

1.2.3.3　宍原観測点－由比観測点

宍原観測点のデータは，NTTの2線式D－1回線（3.4KHz）9600BPSの専用回線を使用し，FM－FM方式で伝送している。テレメータ装置は桜峠観測点－南松野観測点の無線テレメータで用いている装置と同一機種である。

1.2.3.4　由比観測点－静岡地方気象台

由比観測点では，宍原観測点から伝送されてきた観測データと自観測点の地震観測データおよび体積歪計関係のデータを併せて静岡地方気象台に有線テレメータで伝送している。伝送は，NTTの4線式D－1回線（3.4KHz）9600BPSの専用回線を使用している。その際，地震観測データは12bit，120Hzサンプリングでパルス方式の変調がなされている。1988年7月13日以降は，梅ケ島観測点の観測データも由比観測点に伝送されて来るようになり，このデータも併せて静岡地方気象台に伝送されるようになった。

1.2.3.5　清水観測点－静岡地方気象台

清水観測点の観測データは，NTTの4線式D－1回線（3.4KHz）9600BPSの専用回線を使用して静岡地方気象台に伝送されている。テレメータ装置は，南松野観測点－静岡地方気象台で用いているものと同一機種であり，10bit，120HzサンプリングのPCM変調データに変換されて伝送されている。なお，この伝送系は，清水観測点の撤去に伴い，1988年7月12日に閉鎖された。

1.2.3.6　梅ケ島観測点－由比観測点

1988年7月13日の梅ケ島観測点の新設に伴い，梅ケ島観測点の観測データは，NTTの4線式D－1回線（3.4KHz）9600BPSの専用回線を使用して由比観測点に伝送されるようになった。テレメータ装置は清水観測点－静岡地方気象台の伝送に用いていた装置を転用しており，データは10bit，120HzサンプリングでPCM変調されている。

1.2.4　観測データの収録装置について

無線あるいは有線テレメータで静岡地方気象台に伝送されてきた各観測点のディジタル・データは，受信機で再びアナログ・データに変換されたあと，同地方気象台で刻時出力とともに集中収録される。図1-2-2に示されているように，収録方法は当初アナログ収録であったが，1988年4月11日からはディジタル収録に変更された。

1.2.4.1　アナログ収録方式

1987年8月16日から1988年3月31日まではアナログ・データレコーダによる連続収録方式が採用された。この方式は，機動的観測システムの予備的な試験観測が実施された茨城県笠間地区で用いていたものであり，由比地区での観測にそのまま転用したものである。

1.2.4.2　デジタル収録方式

1988年4月11日から1989年3月2日までは一次判定データ編集装置の導入によりイベント・トリガ方式でのデジタル収録方式となった。

1.2.5　観測データのルーチン処理について

1987年8月16日から1988年3月31日までのアナログ・データは，記録紙上に再生して，主に震源決定を行い，由比地区の観測網周辺の地震活動を調べるために用いた。その後，1988年4月11日から観測データがディジタル量として収録されるようになり，計算機での処理が容易になったため，

能率的にデータの解析が行えるようになった。ここでは，主に1988年４月11日以降のデータ処理について述べる。なお，1988年３月以前のアナログ・データの処理は，機動的観測システムの予備的な試験観測が実施された茨城県笠間地区のデータ処理と同じである（1.1節を参照）。

1.2.5.1　観測データの編集

静岡地方気象台で一次判定データ編集装置内の磁気ディスクに収録された観測データは，およそ１週間毎に磁気テープに吸い上げられて気象研究所に送られてくる。このテープにはトリガされた全記録が収録されており，膨大な量に達する。図1-2-6の白抜きの棒グラフで示されているのは，日別のトリガの回数である。全期間では6358回，１日当りにすると平均21回トリガされている。なお，図1-2-6から明らかなように，トリガ回数は時期的にかなり変化している。観測開始当初はシステムのパラメータの調整でトリガの回数が多い。1988年７月から８月にかけては，伊豆半島東方沖の群発地震によりトリガ回数が増加しており，最も多い日は１日に347回のトリガがかかっている。また，1988年10月以降はそれ以前よりトリガ回数が多くなっているが，これは梅ケ島観測点周辺での土木工事によって発生する雑音が主要因である。そのほか，観測期間中に収録システムのトリガ・パラメータを変更した影響も図1-2-6には含まれている。

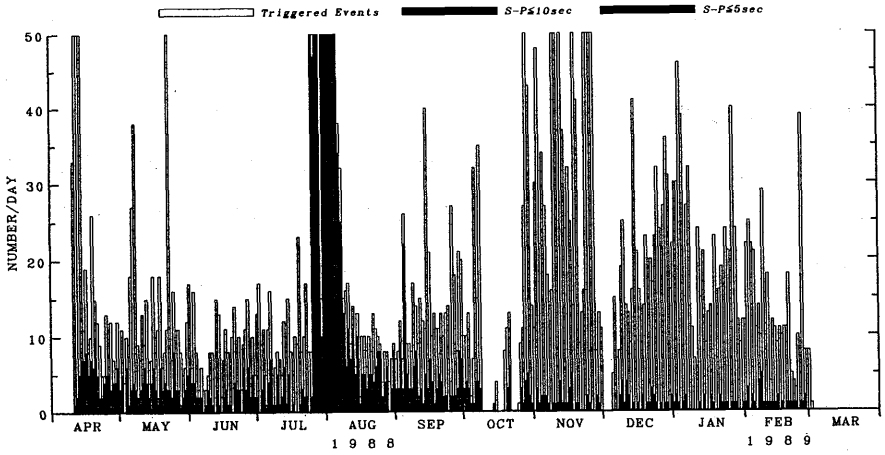


図1-2-6　由比観測網でのトリガ，S-P時間が10（20）秒以下の地震およびS-P時間が５（10）秒以下の地震の日別回数。なお，上の括弧内の20あるいは10は1988年８月上旬までの値，10あるいは５は1988年８月中旬以降の値である。S-P時間が10（20）秒以下の地震は，磁気テープに記録が保存されている。また，S-P時間が５（10）秒以下の地震は震源が決定されている。なお，1988年10月中ごろと12月初めは欠測である。

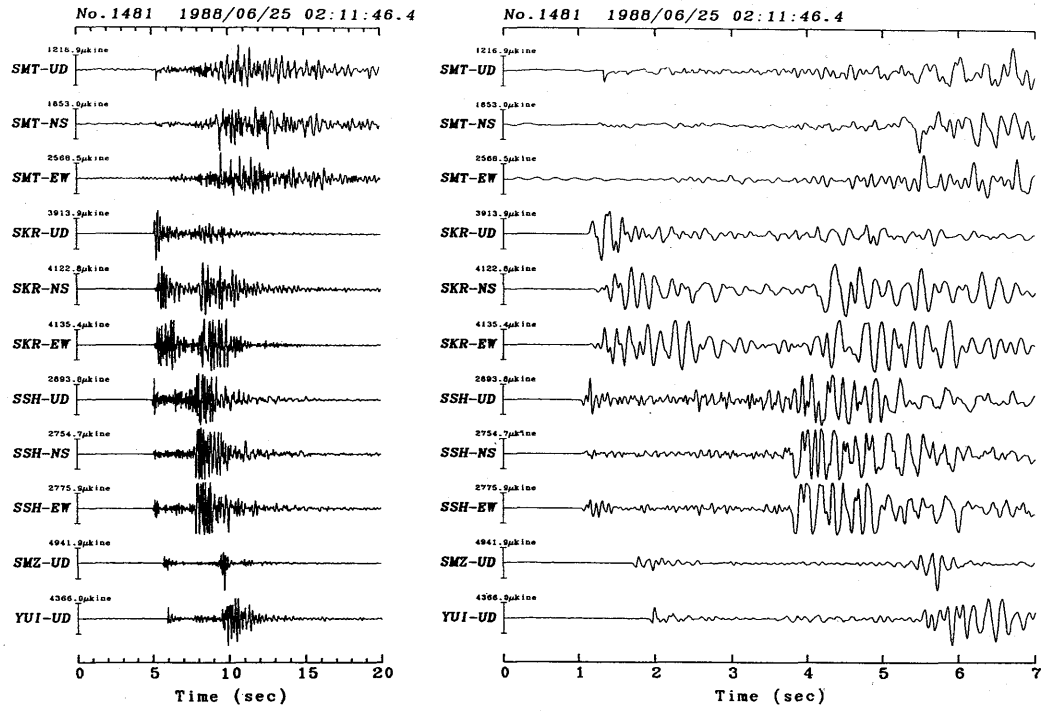


図1-2-7　地震記録例。左は遅送り，右は同じ地震の早送り記録である。

膨大な量のトリガされた全記録を保管することは大変であるので，我々は，それらの中から有効な地震データを抽出して，その記録だけを編集して磁気テープに保存している。有効な地震としては，1988年８月上旬まではS-P時間が20秒以下，８月中旬以降はS-P時間が10秒以下のものを選んでいる。1989年３月２日までに磁気テープに保存されている地震の総数は2143個である。図1-2-7は，観測網に比較的近い地震の波形例である。

なお，図1-2-6に見られる1988年10月中旬と12月初めのトリガ回数が零の日は，システム調整などによる欠測期間である。

1.2.5.2　震源決定

抽出した地震データのうち，観測網に比較的近い地震については震源を決めている。対象とした地震は，1988年８月上旬まではS-P時間が10秒以下，８月中旬以降はS-P時間が５秒以下のものである。

震源の決定は，気象研究所のスーパーミニコンピュータを用いて対話形式で行っている。震源決定法はHerrmann（1979）の震源決定プログラムFASTHYPOを用いている。また，速度構造は，静岡県中央部での結果（久保田，1980；1985）を参考にして，表1-2-2に示したような水平成層構造を

仮定している。図1-2-8は対話形式で震源決定を行う際の，CRTの画面の例である。図1-2-8(a)は，P波とS波の到来時間を験測しているところである。また，図1-2-8(b)は震源決定された結果を示している。なお，震源決定は，3点以上の観測点でP波あるいはS波の到達時間の験測値が5個以上あり，かつ1個以上のS波の験測値を含む地震について行った。

図1-2-6の黒塗りは，震源決定された地震の日別回数である。1988年4月11日から1989年3月2日までの総数は166個，1日あたり約0.5個である。図1-2-9には求められた震源の震央分布，震源の東西断面および南北断面が示されている。図1-2-9(a)は，1988年7月12日までの清水観測点が稼働していた期間であり，1988年3月以前のアナログ・データの期間の震源決定結果も合わせて表示されている。また，図1-2-9(b)は，1988年7月13日の梅ケ島観測点が設置されて以降の震源分布である。図から明らかなように，観測開始当初の清水観測点を含む5観測点の観測網の中ではほとんど地震が発生しておらず，むしろ観測網の西側で地震活動が高くなっている。そして，それらの活動が，図1-2-9(a)では北緯35.2-35.3度の範囲では東西に帯状に分布しているように見えるが，図1-2-9(b)では東経138.4-138.5度付近に集中しているように見える。この違いが，期間の違いに伴う地震活動の変化なのか，梅ケ島観測点を新設したことによるものかは，必ずしも明かではない。

1988年4月11日から1989年3月2日までに震源決定された地震のうちで，震源決定に各観測点のP波およびS波の験測値が寄与した割合が図1-2-10に示されている。この図より明らかなように，桜峠と宍原観測点の験測値は，P波S波とも寄与率が高く，梅ケ島と南松野観測点は少し落ちるものの60%程度以上寄与しているが，清水と由比観測点は寄与率が低くなっている。図1-2-10と図1-2-4を

表1-2-2　震源決定で用いた速度構造

深さ（km）	Vp(km/sec)
0.0	
	4.2
2.2	
	5.5
5.0	
	6.0
18.0	
	6.8
33.0	
	7.65

Vp/Vs=1.73
Vp：P波速度、Vs：S波速度

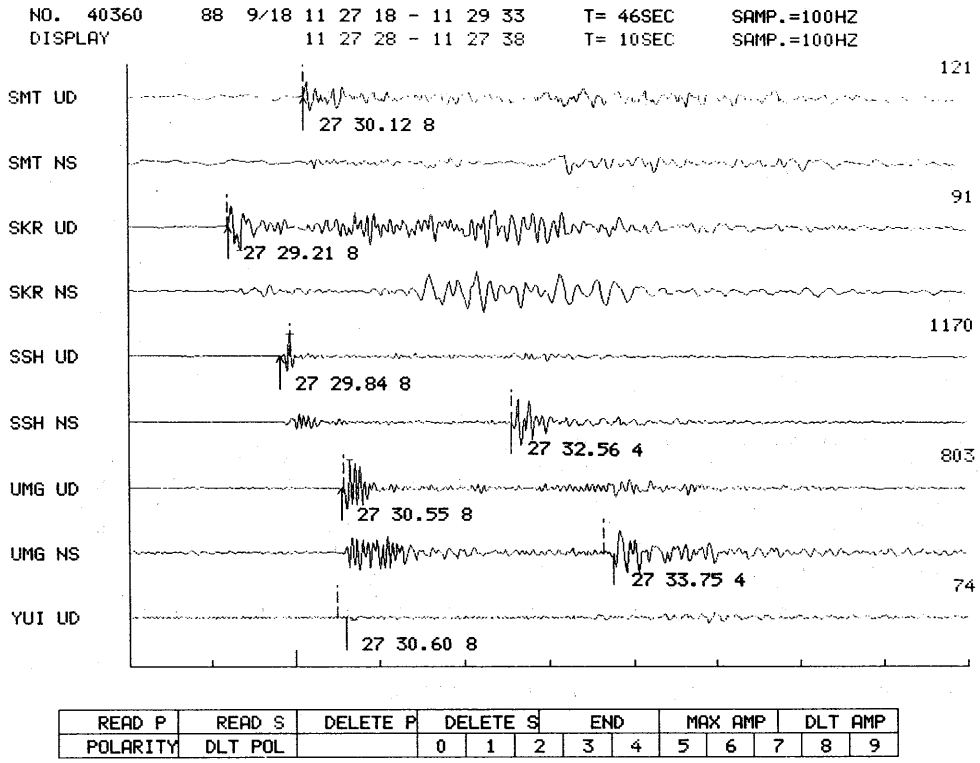


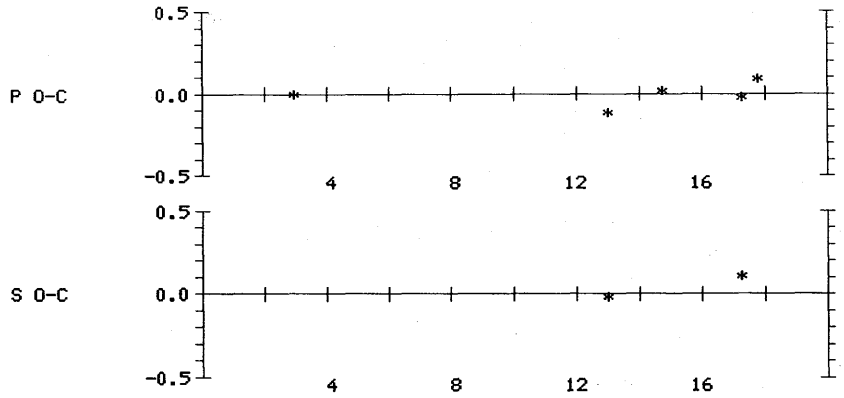
図1-2-8(a)　対話形式での震源決定を行う際のCRT画面表示の例。P波とS波の到来時間の験測。画面に表示する観測点－成分は選択でき，また任意の所を拡大して験測できる。各地震波形の下の棒は験測値，上の棒は震源決定を行って得られる理論到来時刻。下の棒の矢印は初動の方向。右端の数字は最大振幅。験測には重み（0-9）を与えられるようになっている。横軸の区切りが1秒。

比較して見ると，震源決定への寄与率が低い観測点ほどノイズ・レベルが高いことが分かる。当然であるが，効率的な観測網の構築において，ノイズ・レベルの低い観測点を選定することの重要性が分かる。

1.2.5.3　マグニチュード

地震のマグニチュードは，各観測点の上下動成分の最大速度振幅から求めたマグニチュードの平均値を採用している。その際には，

$$M=\log(Az)+b\cdot\log(\Delta)+c \qquad (1)$$




```
EQ NO.=  40360  88  9/18 11:27 26.31 +/-0.18  MAG  1.1  RMS RES.= 0.11
35.2779N +/-0.0077  0.85KM  138.5229E +/-0.0071  0.65KM   DEP= 15.23KM +/- 1.23
   STN    DIST   AZM  P-TIME P-CAL P-RES WT  S-TIME S-CAL S-RES WT  MAXAMP  MAG IM
   SMT   14.72 148.9   30.12 30.13 -0.00  8         32.87                121  1.0  U
   SKR    2.99 137.5   29.21 29.20  0.01  8         31.29                 91 -0.1  U
   SMZ   19.92 182.3         30.76                  33.96
   SSH   13.05 183.2   29.84 29.95 -0.11  8   32.56 32.57 -0.01  4    1170  1.7  U
   YUI   17.87 169.4   30.60 30.50  0.10  8         33.51                 74  0.8
   UMG   17.31 270.5   30.55 30.57 -0.02  8   33.75 33.64  0.11  4     803  2.2  U
```

SAVE	MAP	PRINT	KENSOKU	INITIAL		

図1-2-8(b) 対話形式での震源決定を行う際のCRT画面表示の例。震源決定の結果の表示。メニューのMAPを選択することにより，震源の位置を地図上に示し，過去の震源と比較することができる。その結果によって，オペレータは再験測を行える。

M：マグニチュード

Az：上下動成分の最大振幅（mkine）

Δ：震央距離（km）

b，c：定数（表1-2-3）

の式を仮定している。

式(1)で求められるマグニチュードは，気象庁のマグニチュードに準拠するようになっている。すなわち，気象庁でマグニチュードが決められている由比観測網からの距離がおよそ100km以内の地震の，各観測点の最大振幅を読み取り，気象庁のマグニチュードに合うように最小自乗法で定数b，cを決めている。その際には，まず定数bは観測点に依らず一定と仮定し，最大振幅全読み取り値を用いbを決める。そして，その値を用いて，定数cを各観測点毎に求めている。図1-2-11(a)に見られるように，定数bは1.82±0.13である。なお，参考までに，各観測点毎にbを求めると1.63～2.22となる。次に，このb＝1.82を用いて，各観測点毎のcを求めた結果が図1-2-11(b)～(f)であり，cは

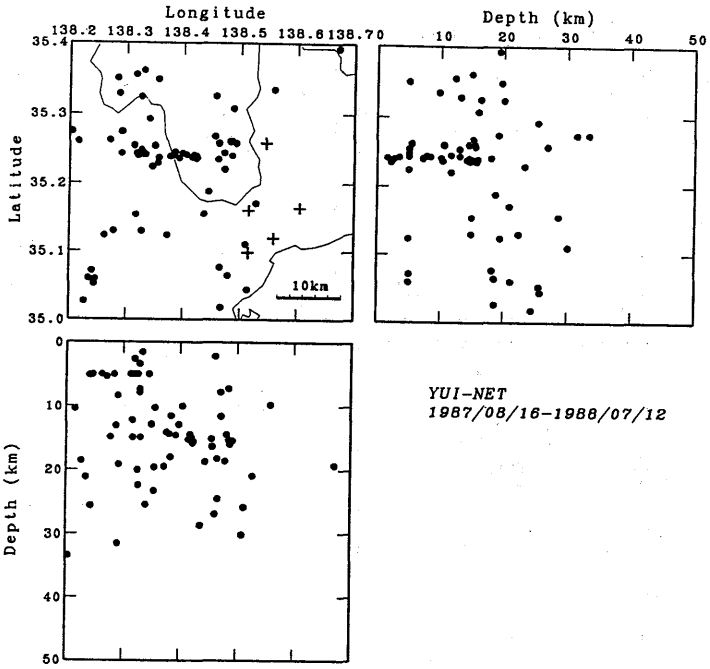


図1-2-9(a)　1987年８月16日から1988年７月12日までの期間に震源決定された地震の震央分布，東西断面図および南北断面図。アナログ・データによって決められた震源も合わせて表示されている。＋印は，この期間に稼働していた観測点の位置。

−0.43〜0.44となっている。図1-2-12は，図1-2-11で得られた定数を用いて決めた各観測点のマグニチュードと気象庁のマグニチュードを比較した図である。

図1-2-13は，北緯35.20〜35.37度，東経138.23〜138.55度に発生した地震のマグニチュードを式(１)で決め，その度数分布を示したものである。マグニチュードと度数の間には，Gutenberg-Richterの式

$$\log(n(M)) = a - b \cdot \log(M) \qquad (2)$$

$n(M)$：マグニチュードMの地震数

a，b：定数

が成立することが知られており，通常b値は1.0程度である。今回の結果でもb値は0.91となっており，ほぼ通常の値である。また，図1-2-13に見られるように，式(２)の関係は，マグニチュードがおよそ1.0以上の範囲で成立している。このことから，由比観測網の前述の領域内に発生する地震のマグニチュードの下限は，ほぼ1.0程度と見なすことができる。

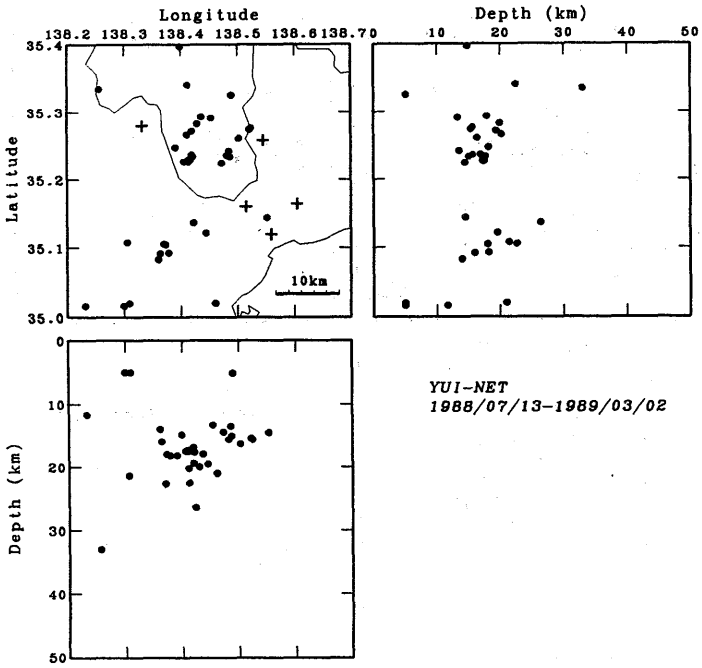


図1-2-9(b)　1988年７月13日から1989年３月２日までの期間に震源決定された地震の震央分布，東西断面図および南北断面図。＋印は，この期間に稼働していた観測点の位置。

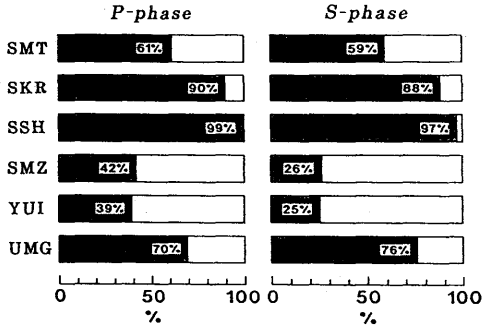


図1-2-10　震源決定における各観測点のP波とS波の験測値の寄与率。1988年４月11日から1989年３月２日までに震源決定された地震についての値である。

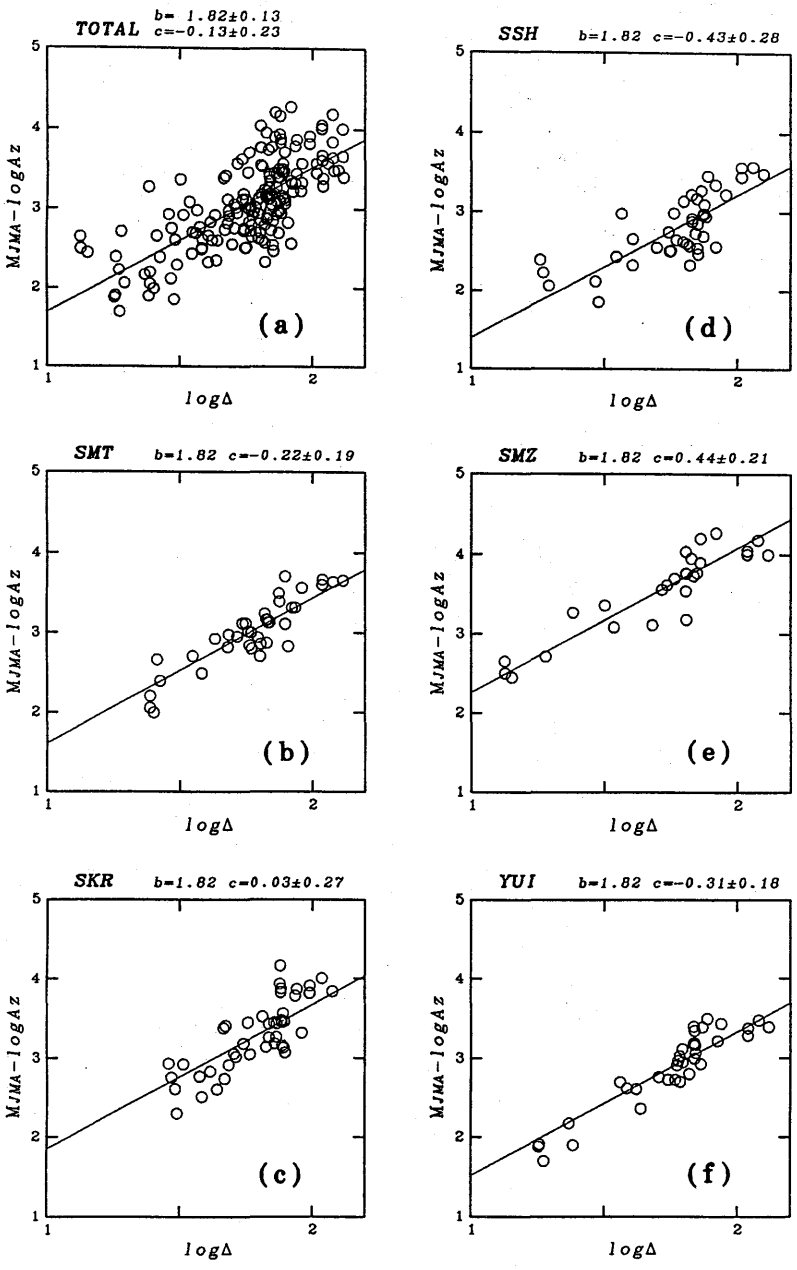


図1-2-11　式(１)の定数aとbの決定。(a)全観測点のデータを用いて定数bを決める。(b-f)各観測点毎に，(a)で決まった(b)値を用いて，定数(c)を決める。解析に用いた地震は，由比観測網から距離およそ100km以内に発生したものである。図のM_{JMA}は気象庁のマグニチュード，Azは上下動成分の最大振幅（mkine），Δは震央距離（km）である。

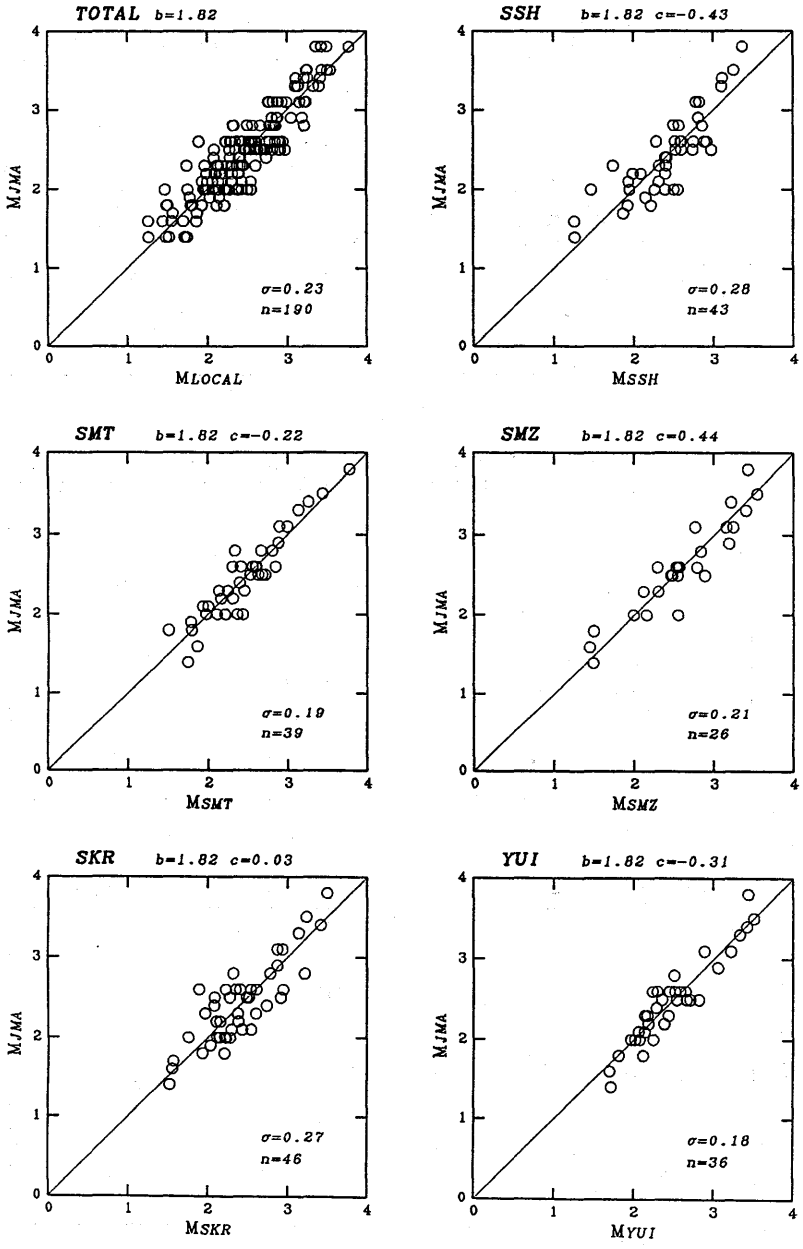


図1-2-12　式(１)で決めたマグニチュードと気象庁で決めたマグニチュード。式(１)の定数a，bは表３の値を用いた。M_{JMA}は気象庁のマグニチュード，M_{LOCAL}およびM_{SMT}などは各観測点毎に式(１)で決められたマグニチュードである。

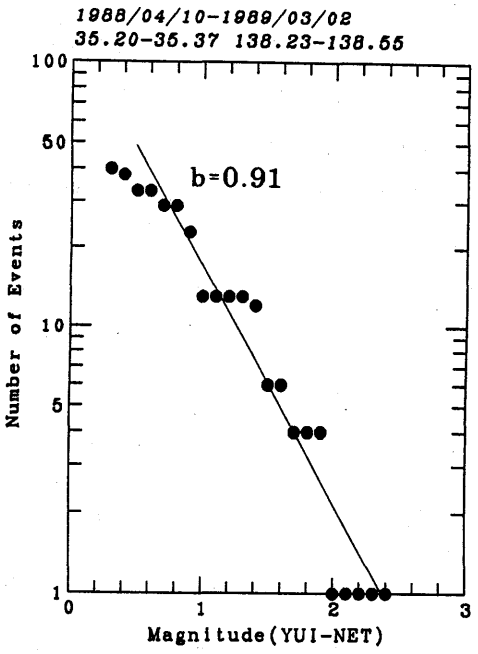


図1-2-13　マグニチュード度数分布。地震データは1988年４月11日から1989年３月２日までに北緯35.20～35.37度，東経138.23～138.55度に決められたものである。直線は度数の傾きを表し，この傾きが式(２)のb値である。

なお，表1-2-3の値は，由比観測網の観測開始当初に暫定的に求めたものであり，これらの値を求める際に用いた地震は震央距離が100kmに達する地震も含まれているので，由比観測網付近の地震のマグニチュードの決定には十分とは言えない。また，梅ケ島観測点の値は求められていない。最近，データの蓄積も進んできているので，表1-2-3の値は修正する予定である。

1.2.5.4　検知能力と震源決定精度

地震の検知能力や震源決定精度は，各観測点のノイズ・レベルや観測点の配置によって決められる。ここでは，石井・高木（1978）が行なった方法を踏襲して，由比観測網の検知能力と震源決定精度を評価した。

検知能力については，仮定した震源およびマグニチュードから期待される速度振幅がノイズ・レベルより大きい場合には験則値が得られるものとして，1.2.5.2節で述べたように，３点以上の観測点でP波あるいはS波の到達時間の験測値が５個以上あり，かつ１個以上のS波の験測値を含むものについては震源決定できるものとした。期待される速度振幅と震央距離およびマグニチュードは，式(１)および表1-2-3より得られる。なお，梅ケ島観測点については式(１)の係数b，cが求められていないので，b＝1.82，c＝0.0を仮定した。また，各観測点のノイズ・レベルは図1-2-4の値を用いて

いる。その際，P波については上下動成分の値，S波については水平動成分の値（２成分ある場合はそれらの平均値）を採用している。なお，清水観測点，由比観測点は，水平動成分の値が得られていないので，上下動成分の2.5倍を仮定した。

図1-2-14に，震源の深さが15kmの場合の検知能力を示す。図1-2-14(a)は1987年８月16日から1988年３月31日までの期間，図1-2-14(b)は1988年４月11日から1989年３月２日までの期間についてである。由比，南松野，宍原観測点に囲まれる領域内では，マグニチュード0.5程度までの地震の震源が決定できることになる。また，比較的地震活動が活発な北緯35.20～35.37度，東経138.23～138.55度の領域（図1-2-9）では，マグニチュードが1.0以上の地震はほぼ震源が決定できており，図1-2-13で示した結果と調和的である。

図1-2-14(a)と(b)を比較すると，マグニチュード0.7程度までの地震については，梅ケ島観測点を新設した効果はあまり見られないが，マグニチュード0.8以上になると梅ケ島観測点を設置した効果

表1-2-3　式(１)の定数aとb

観測点	b	c
南松野	1.82	-0.22
桜　峠	1.82	0.03
宍　原	1.82	-0.43
清　水	1.82	0.44
由　比	1.82	-0.31

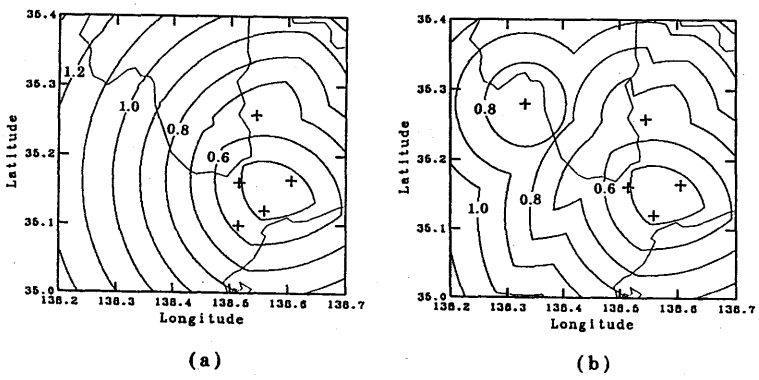


図1-2-14　由比観測網の検知能力。(a)1987年８月16日～1988年月３１日，(b)I988年４月11日～1989年月３月２日。震源の深さは15kmに仮定している。コンター上の数値は震源決定できる下限のマグニチュード，＋印は観測点の位置である。

が明らかである。一方，清水観測点を撤去した影響は認められず，1987年８月16日から1988年３月31日の期間においても，検知能力に関して清水観測点はほとんど関与していなかったものと思われる。

震源決定精度の評価については，Wolberg（1967）の予測解析法に基づいた方法を用いた。この方法は，逐次近似による震源計算をすることなしに，与えられた初動到達時刻や速度構造モデルから直接に震源要素の標準偏差を求めるものである。ここでは，検知能力のところで述べたP波あるいはS波の験測可能な観測点の初動到達時刻をデータとし，速度構造は震源決定で用いた表1-2-2のモデルを使用した。その際，初動の読み取り精度としてP波については0.05秒，S波については0.1秒の標準偏差を仮定した。また，速度構造モデルの精度として，地震波速度については0.1km/sec，層厚については0.1kmの標準偏差を仮定した。

図1-2-15，1-2-16は，震源の深さが15km，マグニチュードが1.0の場合の震源決定精度である。図1-2-15は1987年８月16日から1988年３月31日までの期間，図1-2-16は1988年４月11日から1989年

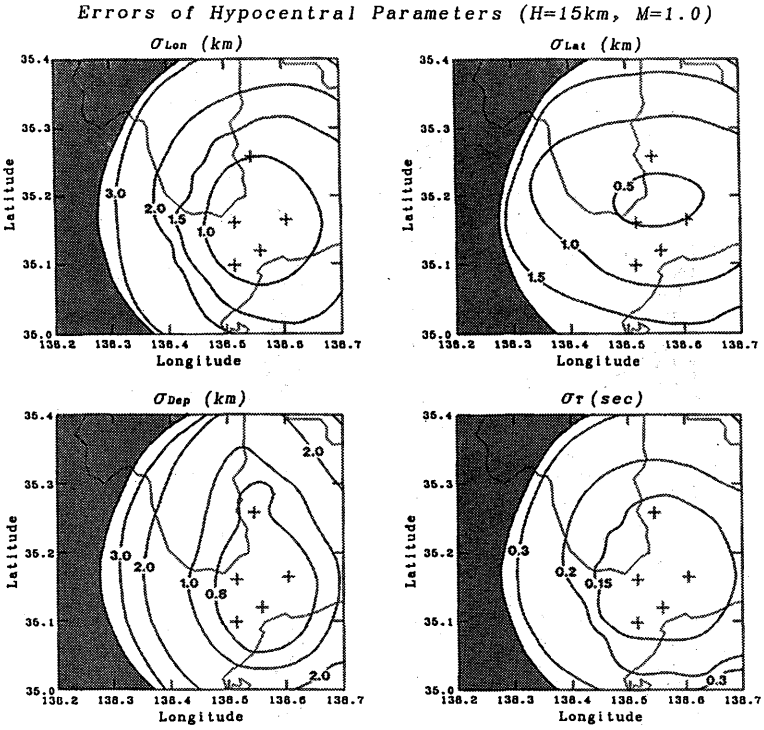


図1-2-15　1987年８月16日から1988年３月31日までの期間の由比観測網の震源決定精度。震源の深さが15km，マグニチュードが1.0の場合について示されている。左上図は緯度，右上図は経度，左下図は深さ，右下図は発震時間についての震源決定された震源要素の標準偏差である。コンター上の数値の単位は各図の括弧内に示されている。影の部分は震源決定出来ない領域である。＋印は観測点の位置である。

３月２日までの期間について示してある。当然のことであるが，精度の良い震源を決めるには，震源を囲むように観測点が配置されていることが望ましい。図1-2-15より明らかなように，梅ケ島観測点を設置する前の期間では，地震活動度が高い領域の震源決定精度はあまり良くない。梅ケ島観測点を新設した理由は，この東経138.5度以西の震源決定精度を高めるためであったが，図1-2-15と図1-2-16を比較すると，震源決定精度が大幅に改善されたことが分かる。特に，たとえば北緯35.25度，東経138.4度付近の地震では，経度方法の精度が2.0kmから0.5kmに，深さ方向の精度が1.6kmから0.9kmに，発震時が0.2秒から0.14秒に，大幅に改善されている。なお，図1-2-9で見られる地震活動がやや高い南西側の領域については，震源決定精度はあまり良くない。

実際に観測されたデータを用いて，梅ケ島観測点を設置したことによる震源決定の精度の向上について定量的に述べることは，清水観測点と梅ケ島観測点を同時に稼働させた期間がないため，むずかしい。そこで，ここでは相似地震群を用いて震源決定精度が改良されたかを検討した。相似地震群とは，地震波形がほとんど相似な様相を示す地震群であり，それらの震源はお互いにごく近傍であり発震機構もほぼ同じと考えられている（浜口・長谷川，1975）。 由比観測網では北緯35.2度，

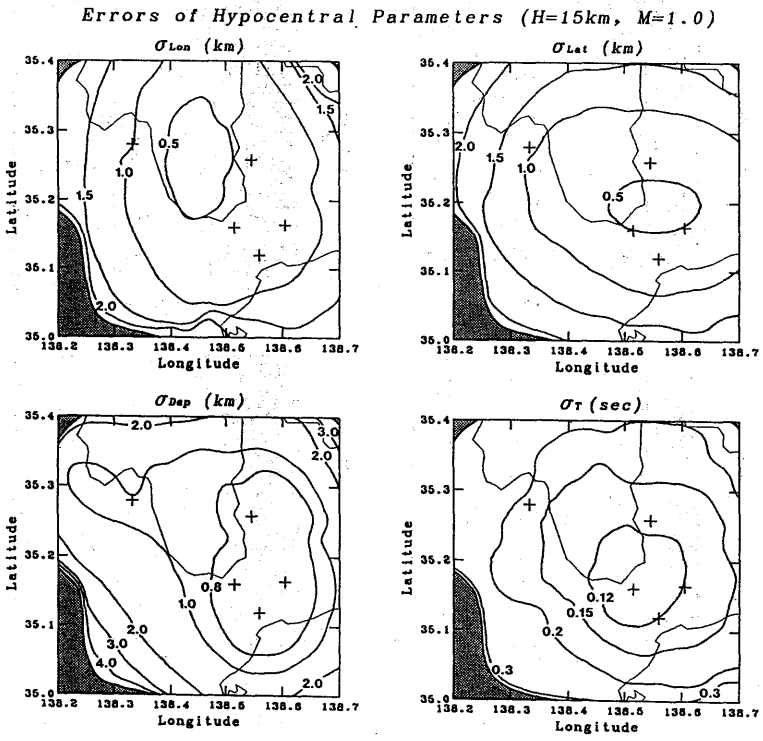


図1-2-16　1988年４月11日から1989年３月２日までの期間の由比観測網の震源決定精度。震源の深さが15 km，マグニチュードが1.0の場合について示されている。記号などは図1-2-15と同じである。

東経138.4度付近に，構成する地震数が最も多い一つの相似地震群がある（図1-2-21）。そこで，この相似地震群を構成する地震の震源要素を発生順に示したのが図1-2-17である。梅ケ島観測点を設置した後に発生した地震は＃1685以降であるが，図1-2-17では，この地震を境として，各震源要素が変化していることが分かる。特に，深さについては，＃1636以前は深さ２kmから15kmの範囲でバラつきが大きく，＃1685では深さ17km程度で安定していることは分かる。この傾向は経度についても見られる。緯度については，＃1636以前と＃1685以降でそれぞれ安定しているが，これらの地震を境にやはり系統的に変化している。前に述べたように，相似地震群を構成する地震の震源はお互いに近接しているものと考えられていることから，梅ケ島観測点設置後の震源決定精度の方が良

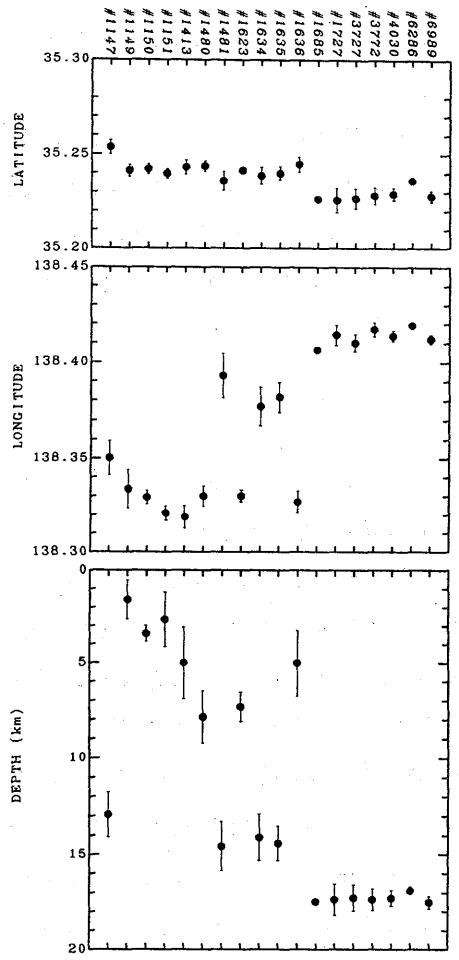


図1-2-17　相似地震群を構成する地震の震源要素の時間変化。図の上の＃印の数字は発生順につけた地震番号である。＃1636以前の地震は，清水観測点が稼働していた期間に発生した地震。＃1685以降の地震は梅ケ島観測点が設置された以降に発生した地震。梅ケ島観測点の設置により，震源決定精度の改良が見られる。

く，この相似地震群の震源は北緯35.23度，東経138.41度，深さ17km付近と考えられる。また，1988年7月の梅ケ島観測点設置以前のこの付近に震源決定された地震の震源については，特に深さと経度については信頼性がかなり低いことが分かる。緯度に関しては，真の値とはずれる可能性があるものの，相対的にはほぼ信頼してよさそうである。なお，図1-2-17に示した相似地震群を利用した定性的な震源精度の推定結果は，図1-2-15，図1-2-16で示した数値計算で得られた震源決定精度と調和的である。

1.2.6　観測データのその他の処理について

機動的観測システムでは，1.2.5で述べた観測データの基本的な処理のほかに，直下型地震の予知を進めていくために必要となるであろう種々の地震活動を表すパラメータの検出方法の開発とそのための基礎的な解析を進めている。

これらの処理においては，観測網の特徴を生かした形での開発が必要である。すなわち，現在気象庁が業務観測で取得しているマグニチュード3.0程度より大きな地震が対象ではなく，もっと微小な地震が対象であり，そのためには種々のパラメータの検出においても新たな工夫が必要となる。

ここでは，最近地震発生の前兆として注目されてきている地震波の減衰特性，特にコーダQの検出とそれに付随した問題について述べる。

1.2.6.1　コーダQの検出

地震波形のS波の後続波の振幅の時間変化から求まるコーダQは，地震波が伝搬する媒質の減衰特性を表すものであり，一次散乱近似の仮定のもとで定式化されている(Aki and Chouet, 1975 ; Sato, 1977)。すなわち，S波の走時の2倍の時点から後の後続波を解析することにより，得られるコーダQの値は，震源でのエネルギー輻射の方位依存性や散乱係数の方位依存性の影響をあまり受けることなく，震源と観測点を焦点とする楕円体上の減衰の平均を表すことになる。そして，この方法を用いて，減衰特性の前兆的な変化が報告されている（後藤，1990にまとめられている)。

図1-2-18は，上述の方法で宍原観測点の南北動成分の地震波形からコーダQを求めた出力例である。この例ではS波の走時の2倍の時点から7秒間を解析区間としている。推定されるコーダQは周波数毎に求められ，1.56Hzでのコーダ Qは100程度，3.13Hzでは140程度，10.94Hzでは250程度である。また，推定されたコーダQは，図1-2-18(右)に見られるように周波数の関数になっている。

図1-2-18は，かなり良好にコーダQが推定できた例であるが，この例のようにコーダQを求める解析区間をS波の走時の2倍以降とすると，解析出来る地震数は限られる。経験的には震動継続時間が少なくとも30秒程度以上の地震でなければ安定したコーダQは推定できない。津村(1967)のマグニチュードと震動継続時間Tdの関係式

$$M=-2.36+2.85\log\ (Td) \qquad (3)$$

を用いると，マグニチュードがおよそ1.8以上の地震となる。なお，図1-2-18に示されている地震のマグニチュードは2.0である。

由比観測網で観測される地震は，図1-2-13に見られるように，マグニチュード1.8より小さい地震がほとんどである。すなわち，図1-2-18で示した方法では，解析できる地震数は非常に少なく，減衰特性の時間変化を見ることは不可能である。S波の走時の２倍以降の解析区間を短くすると，解析できる地震数は若干増えるが，コーダQの推定値は安定しなくなり，またマグニチュードの下限も少し小さくなるだけであり，あまり効率的な改善とは言えない。

そこで，ここでは，S波の走時の２倍以降の代わりにS波到来時以降を解析することを考えている。しかし，先に述べたように，この場合には震源でのエネルギー輻射の方位依存性や散乱係数の方位依存性の影響が問題となる。そこで，解析の対象とする地震は，一つの相似地震群を構成する地震のみとし，また，推定されたコーダQは相対的に比較することとする。前にも述べたように，相似地震群を構成する地震は震源の位置や発震機構が互いにほぼ同じであるので，震源でのエネルギー輻射や散乱係数の方位依存性はほとんど影響しないと考えられる。また，解析するのが相似地震群の地震のみであるので，後続波の振幅の時間変化も非常に似ており，解析区間を短くしても相対的には安定した解が得られる。さらに，解析区間が短く，しかもS波の到達時以降で解析するため，推定

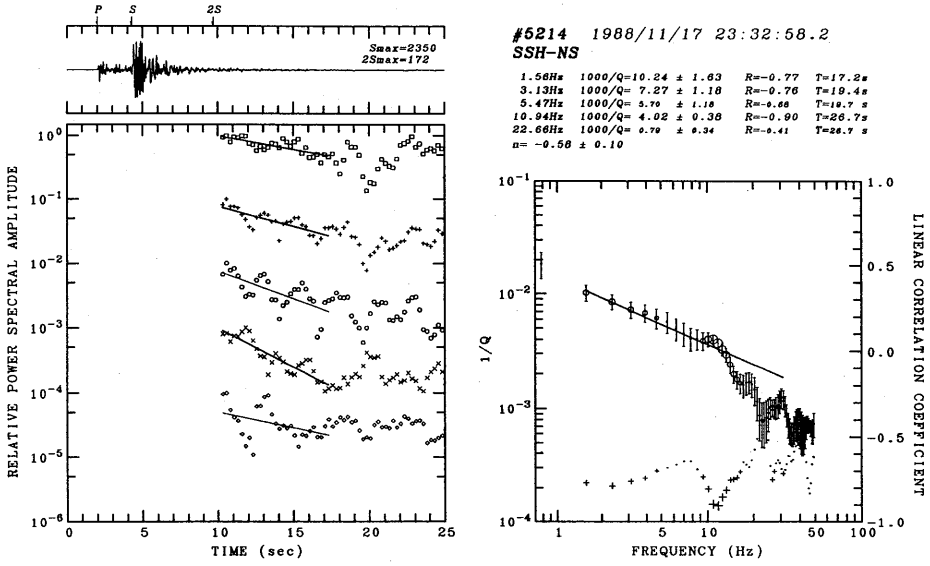


図1-2-18　コーダQを解析出力例。(左)s波の後続波の周波数毎の振幅パワーの時間変化。解析区間は斜め線が引かれているs波の走時の２倍の時点からの７秒間である。(右)推定されたコーダQの周波数依存性。

される減衰特性は震源と観測点とを含むごく狭い領域内の平均値を与えることになり，目指す領域の減衰特性の時間変化の検出にも好都合である。

しかし，この方法では，適当な相似地震群が長期間にわたって発生していなければならない。幸いにも，由比観測網では図1-2-21に示す相似地震群が観測の全期間に発生している。図1-2-19は，S波の走時到来時以降の３秒間を解析区間とした場合の減衰特性の出力例である。図1-2-20は，図1-2-21に示した相似地震群について宍原観測点南北動成分の地震記録から推定された5.47HzでのコーダQの時間変化である。なお，この図の縦軸はSato (1977) に基づいて得られた値であるが，発震機構などの影響を受けているので絶対的な値ではなく，相対的に比較する指標として見なければならない。コーダQは，いくつかの例外はあるものの，ほぼ30前後に安定して求められている。＃6989の地震のコーダQが大きくなっているが，この変化についてはその後の経過を調べなければならない。

もしコーダQが大きな地震の前兆パラメタであるならば，図1-2-20に示したようなコーダQの解析を進めることによって，前兆的な変化が捉えられるものと考えている。なお，このためには，相似地震群の抽出とそれらの地震の精度の高い震源要素が必要である。

1.2.6.2　相似地震の抽出

多量の地震の中から相似地震を抽出するには自動的に行うことが望ましく検討を進めているが，現時点では人手を介しての抽出を行っている。由比観測網で観測された相似地震群の中で，構成す

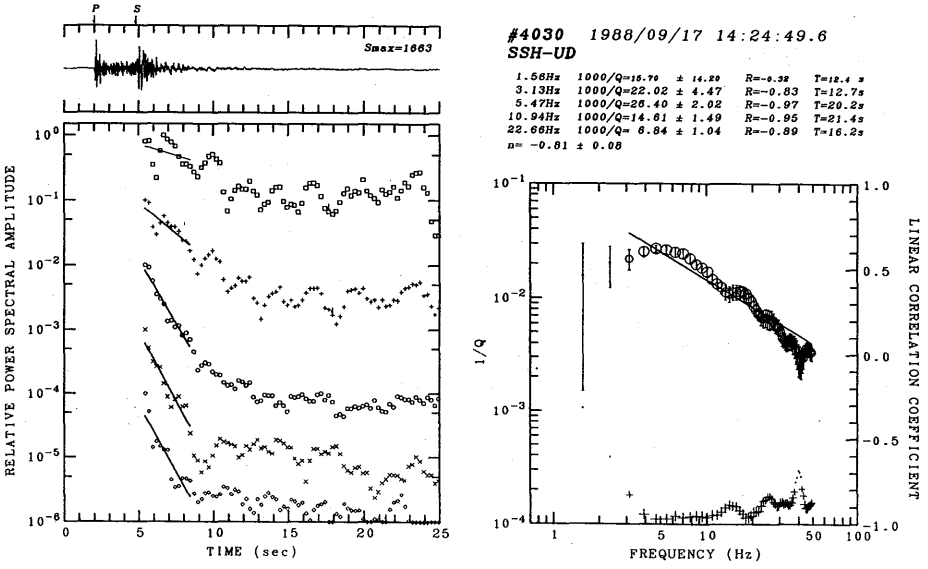


図1-2-19　コーダQの解析出力例。(左)S波の後続波の周波数毎の振幅パワーの時間変化。解析区間は斜め線が引かれているS波到来時からの３秒間である。(右)推定されたコーダQの周波数依存性。

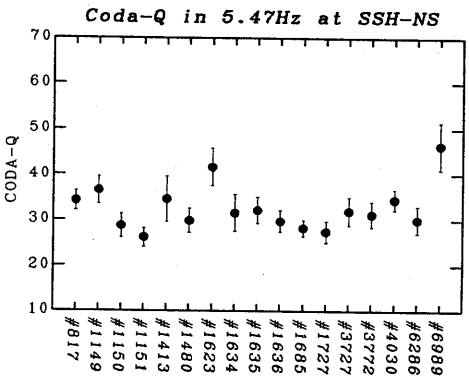


図1-2-20　相似地震群を構成する地震の5.47Hzでの減衰特性の時間変化。減衰特性は宍原観測点の南北動成分の地震記録から推定した。図の下の＃印の数字は発生順につけた地震番号である。

る地震数が最も多い相似地震群の波形を図1-2-21に示す。この相似地震群の地震は，図には示されていないが，1988年４月以前のアナログ・データの期間においても10個以上発生している。このように，この相似地震群は，由比観測網の観測の全期間にわたって発生している。前に述べたように，一つの相似地震群の地震は，震源の位置や発震機構がほぼ同じであり，コーダQだけでなく初動部分の波形やスペクトルの微妙な時間変化の検出にも有用と思われる。

1.2.6.3　相似地震の震源再決定

コーダQやその他のパラメータを，相似地震群の地震を用いて解析する場合には，それらの地震の震源が精度良く求められていることが望ましい。クロス・スペクトル法を用いるとP波やS波の観測点間の相対的な到達時刻が精度良く求められ，波形が相似な地震の相対的な震源を精度良く決めることができる（Ito, 1985）。ここでは，図1-2-21の相似地震群の中でも特に相似性が高い＃1480, 1481, 1634, 1635, 1636の５つの地震を例として，クロス・スペクトル法を用いた震源再決定の結果を述べる。

図1-2-22は，＃1634と＃1635の地震の宍原観測点での３成分記録を用いて，クロス・スペクトル法で＃1635に対する＃1634の相対的なP波とS波の到達時刻を求めた出力例である。例えば南北動成分の記録を用いると＃1634の地震のS波の到達時刻は66.594秒，東西動成分の記録を用いると66.595秒となる。ディジタル記録のサンプリングは100Hzであるが，クロス・スペクトル法を用いることにより，図1-2-22の例のように，１～２/1000秒程度の精度で到達時刻を相対的に決めることができる。＃1634と＃1635の相対的な到達時間をすべての観測点について求め，その値を用いて震源決定を行

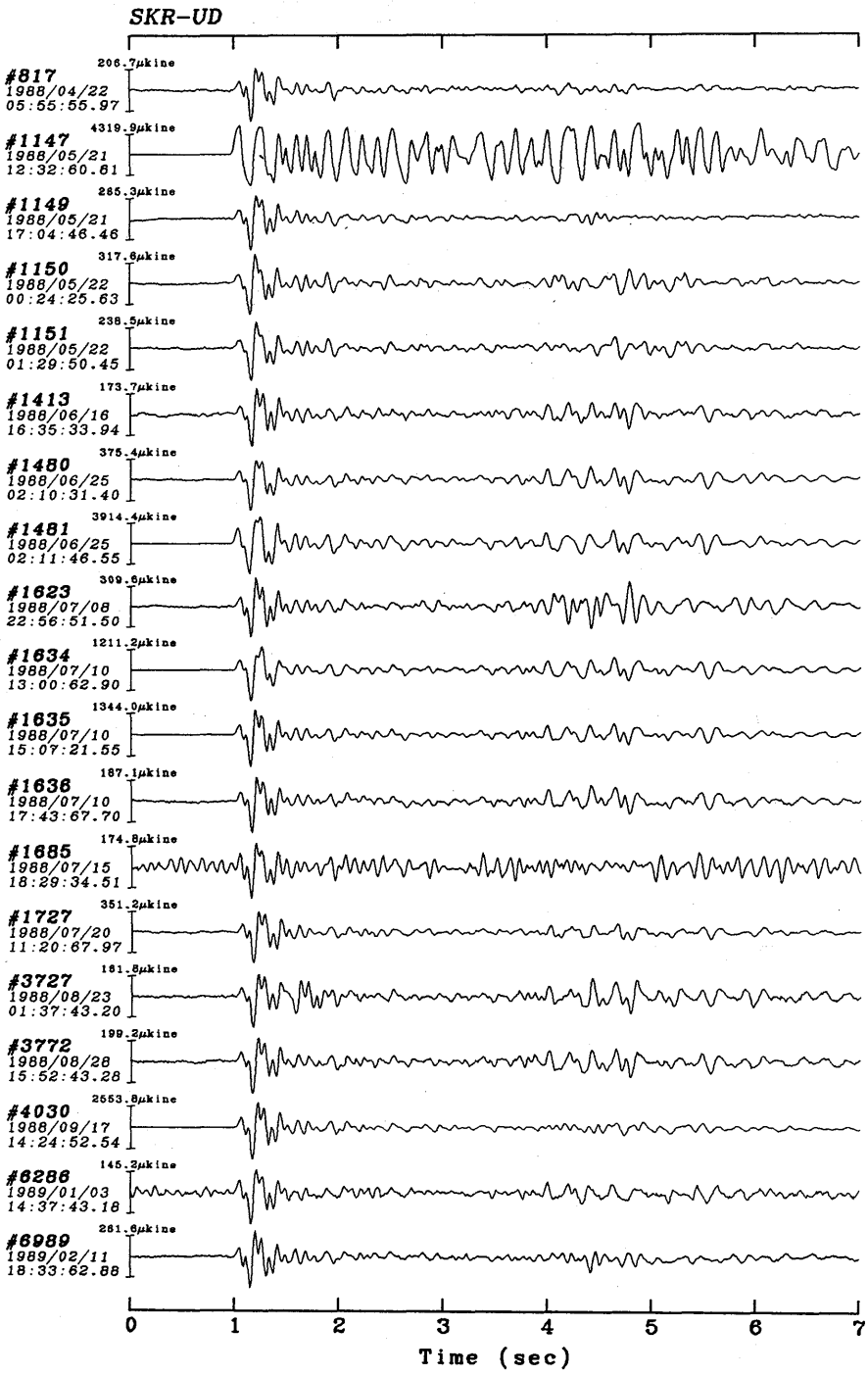


図1-2-21　相似地震群の地震波形例。桜峠観測点の上下動成分の記録。♯印の数字発生順につけた地震番号であり、図1-2-9, 1-2-16と同じである。

うと＃1635に対する＃1634の震源が相対的に精度良く決められる。

図1-2-23(b)は，このようにして震源再決定した５つの地震の震源の震央分布，東西断面，南北断面を示したものである。また，図1-2-23(a)は，ルーチンで決めた震源分布である。これらの地震の震源の位置は，1.2.5.4で述べたように，北緯35.2度，東経138.4度付近の観測網の西側であり，まだ梅ケ島観測点が稼働していない期間に発生したものであるので，ルーチンで決めた震源の精度は低いものであるが，同じデータを用いた震源再決定では５つの地震の震源がルーチンのものよりかなり集中しており，改善されていることが分かる。

これまで述べてきた震源決定においては，表1-2-2に示したような水平成層構造を仮定している。しかし，由比観測網のような比較的狭い領域内での震源決定においては，地震波速度構造の水平方向の不均質や観測点直下の構造の違いの影響が大きい。そこで，一つの地震の震源に対する複数の地震の相対的な震源と観測点補正値を同時に決めることができるJoint Hypocenetr Determination（JHD）法を適用し，クロス・スペクトル法で得られたP波とS波の到達時刻のデータを用いて震源再再決定を行った。こうして得られた震源分布を図1-2-23(c)に示す。JHDの結果，上記の５つの地

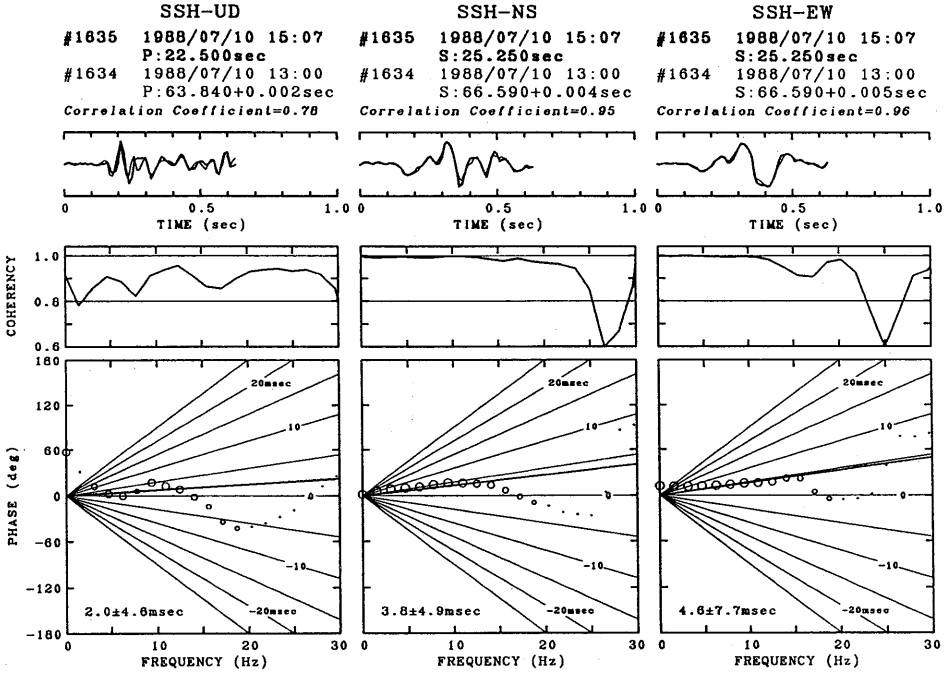


図1-2-22　クロス・スペクトル法を適用した解析例。下の図では，２つの地震の周波数ごとのフェーズのずれを表しており，コヒーレンシーが0.8以上（中の図），周波数が20Hz以下のデータを用いて２つの地震波形の時間のずれ（太い実線）が求められている。上の図では，得られた時間のずれを考慮して，２つの地震記録を重ねて示している。太線の地震波形は上側の地震番号の地震に対応する。

震の震源は，すべておよそ150m以内の領域に集中していることが明らかとなった。

表1-2-4は，JHDの結果得られたP波とS波の到来時刻についての観測点補正値である。なお，南松野観測点のP波到達時刻のデータは，JHDの際に用いていないので，補正値も得られていない。観測点補正値は大きいものでは±0.2秒以上にも達している。

全体的な地震活動を把握する場合には，1.2.5.2で述べた震源決定でも良いが，コーダQなどの解析の際には，地震波速度構造の不均質性を考慮にいれた震源決定が重要である。第1.1章で示した三次元速度構造の解析を適用したり，観測点補正値およびその方位依存性を考慮した震源決定を行う必要があろう。

1.2.7　おわりに

静岡県由比地区での機動的観測システムは，1989年7月に梅ケ島観測点の南に長妻田観測点を増設し，1990年6月現在では合計6点の観測点で観測を継続している。長妻田観測点の設置により観測網の構築と収録システムについては一応完成し，またルーチン的な処理も順調に進められている。

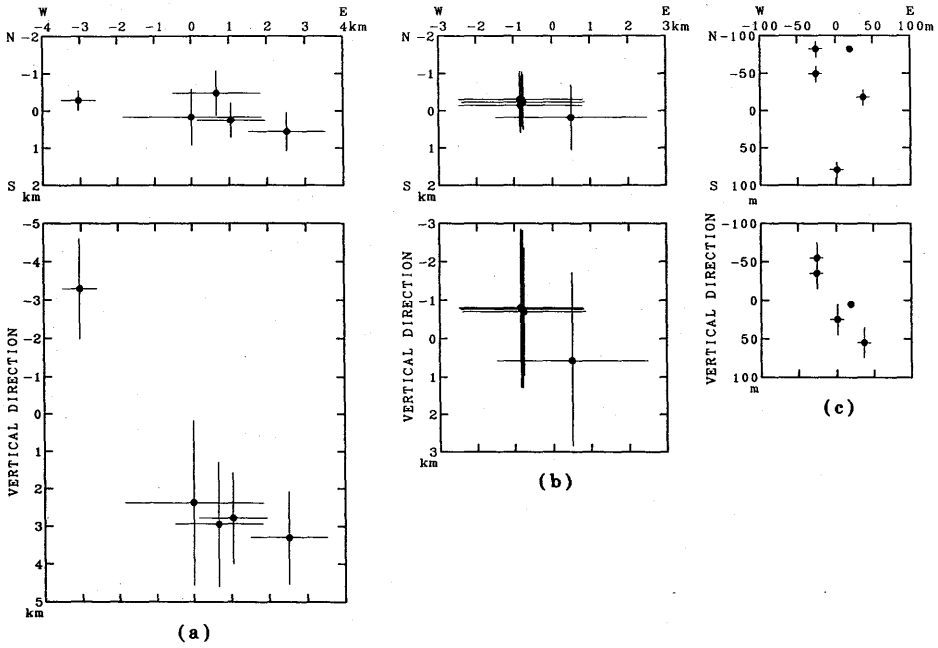


図1-2-23　ルーチンの震源決定，または震源再決定で求められた震源分布。(a)ルーチンで決められた震源。(b)クロス・スペクトル法で決められたP波とS波の到来時刻データを用いて震源再決定した震源。(c)JHDで決められた震源。到来時刻データは(b)と同じである。いずれの図とも左上図は震央分布，左下図は東西断面図，右上図は南北断面図である。スケールは(a)と(b)では1区切りが1km，(c)では100mである。

表1-2-4　到来時刻の観測点補正値

観測点	P波（秒）	S波（秒）
南松野		-0.208
桜　峠	0.030	0.111
宍　原	-0.064	-0.221
清　水	-0.016	0.201
由　比	0.030	0.177

現在は観測データの蓄積とともに，これらのデータを用いて種々の地震活動に関するパラメータの検出方法の開発を進めている途中である。この報告では1989年３月までの機動的観測システムについて記載しており，とくに1.2.6については中間報告的なものである。　（後藤和彦）

参考文献

Aki, K. and B. Chouet, 1975：Origin of coda：Source, attenuation and scattering effects. *J. Geophys. Res.*, **80**, 3322-3342.

後藤和彦，1990：地震波の減衰．気象研究所技術報告第26号：地震前兆現象のデータベース，地震火山研究部，59-65.

浜口博之・長谷川　昭，1975：波形の相似な地震の発生と二，三の問題．地震２，28，153-169.

Herrmann. R. G., 1979：FASTHYPO——A hypocenter location program. *Earthquake Notes,* **50**, 25-37.

石井　紘・高木章雄，1978：東北大学における地震・地殻変動の検知能力について．地震２，**31**，287-298.

Ito, A., 1985：High resolution relative hypocenters of similar earthquakes by cross-spectral analysis method. *J. Phys. Earth,* **33**, 279-294.

久保田隆二・棚田俊収・渡辺　茂・加藤照之・足立弘道・相澤隆生・田中ゆり子・小泉真一・窪倉　誠・加瀬良一・金子数夫，1985：富士川周辺地域の微小・極微小地震活動（その１）．地震２，**39**，81-97.

久保田隆二，1980：東海地域の地殻及び最上部マントルの構造（その１）——スペクトル比法による——．地震２，**33**，329-342.

Sato, H., 1977：Energy propagation including scattering effects single isotropic scattering approximation. *J. Phys. Earth,* **25**, 27-41.

Tsumura, K., 1967：Determination of earthquake magnitude from total dulation of oscilation. *Bull. Earthq. Res. Inst.,* **15**, 7-18.

Wolberg, J. R., 1967：Prediction analysis, D. Van Nostrand Co. Inc. Prinston, N. J.