

跡津川断層系周辺における稠密地震観測

和田博夫・伊藤 潔・大見士朗・小泉 誠・平野憲雄

要 旨

跡津川断層系周辺では、稠密観測網を構築して微小地震観測を行っている。その結果、とりわけ深さ分布については、地震活動の下限が明瞭になってきた。また、断層中央部のクリップしていると指摘されている場所では、深さ 5km までの浅いところで、地震が殆ど発生していないことも明らかになった。さらに、従来震源決定出来なかったような小さい地震まで決定出来るようになり、検知能力が格段に向上し、発震機構解も小さな地震について決定できるようになった。

キーワード： 跡津川断層，地震観測，地震観測所，地震データ収録，地震活動

1. はじめに

跡津川断層沿いの微小地震活動に関しては、これまで和田・岸本（1971）以来多くなされている。それらの内容は震央分布を主とした報告であって、深さについてはあまり議論されていなかった。このことは、観測点間隔が粗く、深さの精度があまり良くなかったことによるものであった。陸域活断層フロンティア計画では、跡津川断層系の一つの断層である茂住-祐延断層を掘り抜いて観測坑を設置し、活断層の観測を実施している（安藤，2000）。また、断層を精査するため、種々の観測を開始している。その一環として微小地震の稠密観測を実施することになった（伊藤・他，1998）。衛星通信システムが京都大学上宝観測所に導入されており、この観測網と臨時観測網を結合させることによって効率的なデータ収録・解析システムの構築ができた。実際には、定常観測点の観測点間を埋めるように 6 点の臨時観測点を設置して稠密地震観測網を構築した。これらの観測網には、衛星通信によって受信している周辺地域の他機関のデータ及び、NTT回線によって受信している地質調査所（現在産業技術総合研究所と名

所変更）のデータも含まれている。ここでは、データ伝送経路とシステムの詳細について、及び稠密地震観測網による最近の跡津川断層沿いの地震活動について報告する。

2 観測およびデータ収録

跡津川断層周辺の地震観測網は、これまでは観測点間隔が 30km とかなり粗い観測点配置であり、深さ 15km 程度までの浅い地震の深さを精度よく求めるには観測点数が不十分であった。今回、定常観測点新設（立山、宮川）、6 点の臨時観測点（茂住、洞、山之村、寺地、祐延、蛭谷）設置、及び断層周辺の他機関観測点（三川原、黒四、松川等）によって断層東部については 10km 間隔の稠密地震観測網が出来上がった。しかしこの地域は冬期間積雪が大変多く、祐延観測点においては、これまで 2 回雪害により、アンテナ及び周辺機器が破損したため、昨年 10 月からはアンテナを外しており、雪解けを待って設置する予定である。この場所は人工的なノイズが低いので、貴重な観測点であり、一番静かな時に欠測せざるを得ないのは大変残念である。

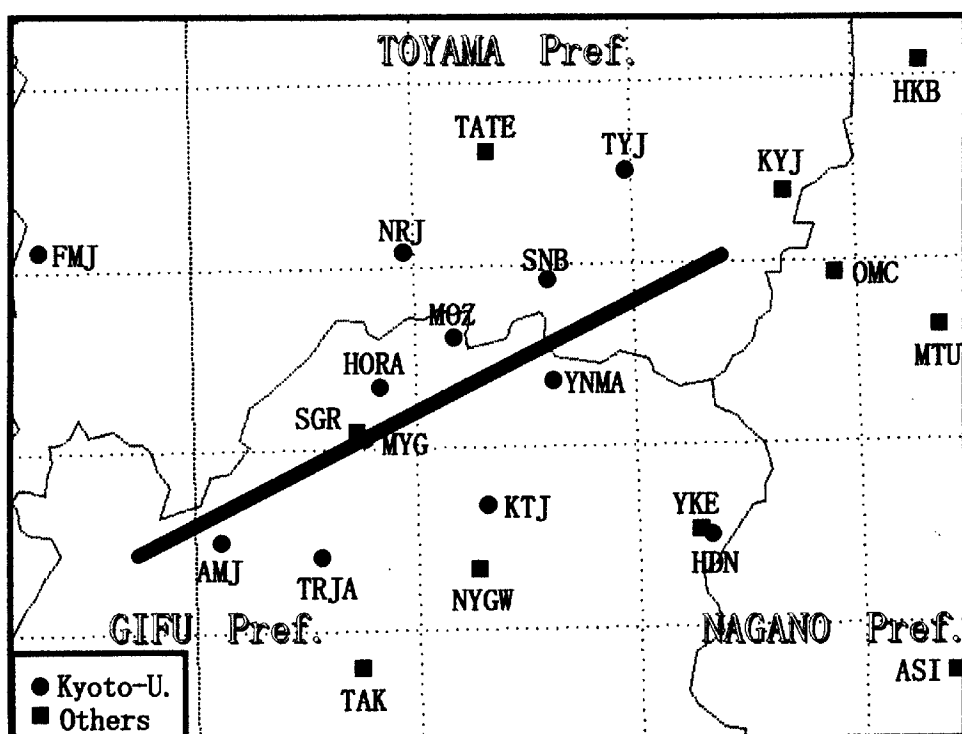


Fig.1 Observation stations near the Atotsugawa fault system.

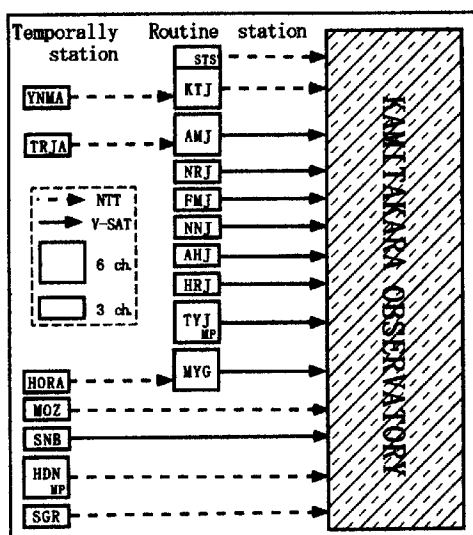


Fig.2 Block diagram of data acquisition at the Kamitakara Observatory.

臨時観測点のデータは、当初はそれぞれの観測点から直接上宝観測所へ、NTTの専用回線を用いてテレメータしていたが、経費の問題もあり、また、定常観測点に設置されているデータ変換装置（白山工業（株）製）が6ch使用可能ということもあって、洞、山之村、寺地の3観測点については、最寄りの

定常観測点（宮川、上宝、天生）に送り、その観測点から併せて送信している。また、山間部でNTT回線が届いていない祐延観測点は当初から、現地より直接衛星に打ち上げている。他機関の観測点も含めて観測点の分布をFig.1に、また自前観測点の伝送ブロックダイアグラムをFig.2に示す。なお、使用している地震計の特性については、緯度、経度等の情報とともにTable A1に示す。

伝送方式は当初、祐延観測点を除いて全て明星電気（株）製のPCM方式のテレメータ装置（Table A2）を用いて伝送していたが、後に一部観測点（洞、寺地）については、白山工業（株）製データ変換装置（LT8500）（Table A3）を用いて、現地にてA/D変換してモデムを会して、最寄りの定常観測点に送る方式に変更している。地質調査所のデータについては、地震計の出力信号を直接いただき、前述の明星電気（株）製PCM方式のテレメータ装置によって直接観測所に送り出していたが、最近白山工業（株）製の10-12bit/dataで収録していたデータを22bit/dataにすることができ、ダイナミックレンジが向上した。ただし、データを連続送信からパケット送信に変更したため、大きな地震が多発する場合にパケット落ちの危険性はある。

なお、データの収録および解析は京都大学防災研

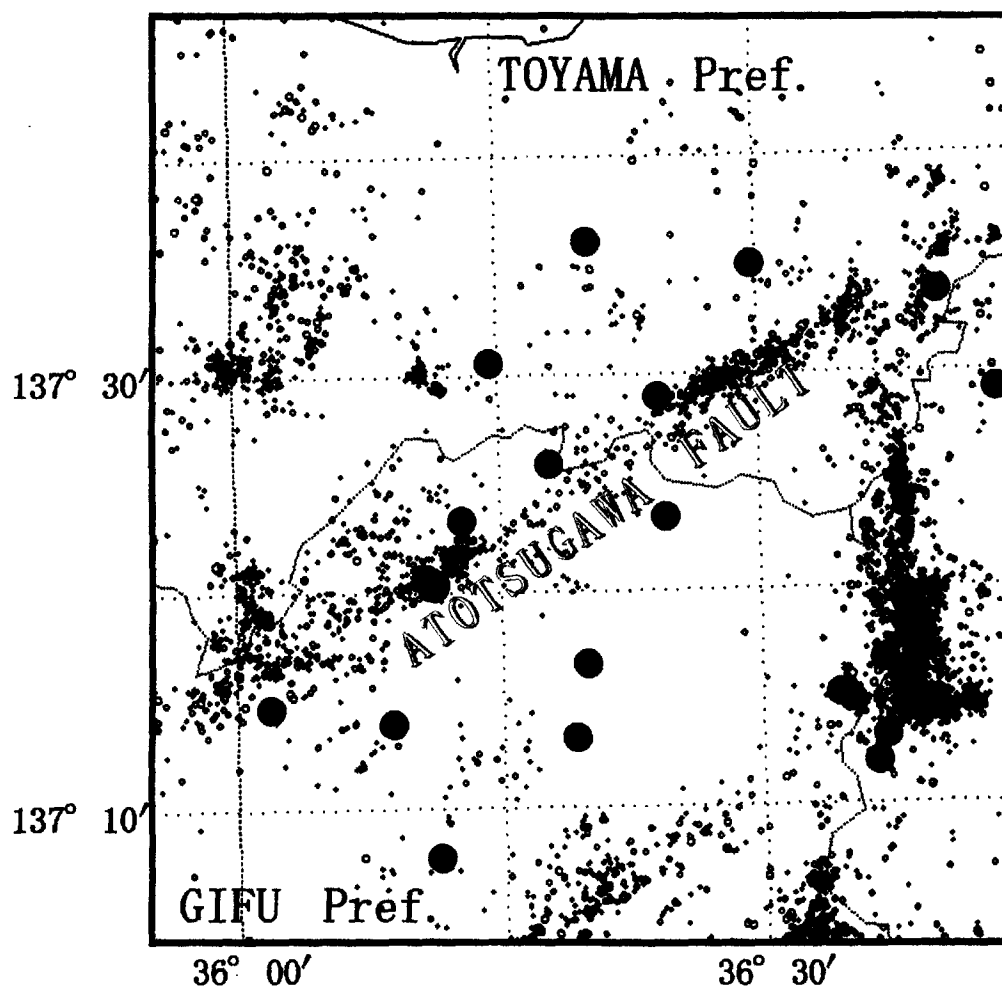


Fig.3 Epicenter distribution near the Atotsugawa fault system determined by the dense seismic network stations. Dots show stations and open circles show epicenters of earthquakes.

究所地震予知研究センターの SATARN システム（大見・他，1999）によっている。

3. 跡津川断層沿いの地震活動

稠密地震観測網設置後の、跡津川断層沿いの地震活動の震源分布を Figs. 3, 4 に示す。従来から言われているように、跡津川断層の地表面の位置から北側に狭い範囲で分布しており、その分布密度は、中央部で低く、東部及び西部において高いことが明らかである。また短期間であるためデータ量が十分でないが、北側に隣接する茂住一祐延断層や牛首断層付近にも地震活動が認められる。次に地震活動の深さであるが、断層東部の有峰湖付近で最も深く 15km となっており、そこから東側に急激に浅くなり飛騨山脈の浅い活動につながっている。一方西側へは少しずつ浅くなる傾向が見られ、全体として地震活動

の下限が非常にはっきりしてきた。また中央部のクリップしていると指摘されている場所では、活動度が低くこれまで 5km より浅部では殆ど地震の発生が

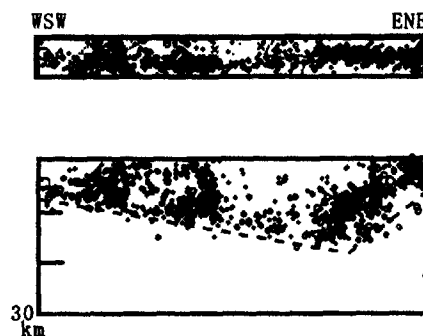


Fig.4 Epicenter (upper figure) and focal depth (lower figure) distributions of earthquakes along the Atotsugawa fault system determined by the dense seismic network stations.

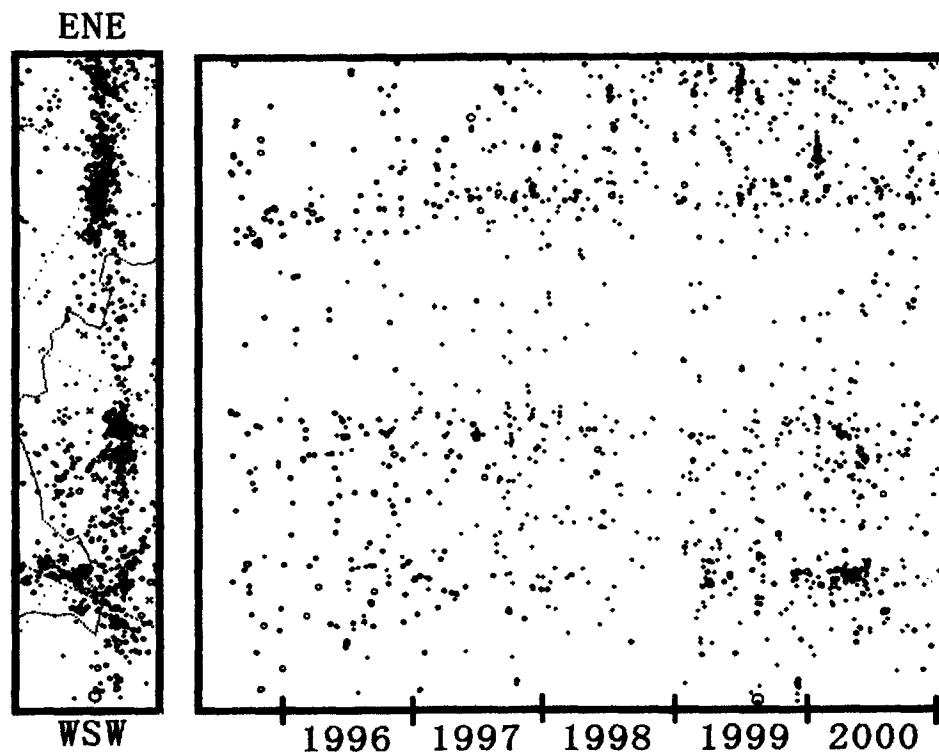


Fig.5 Epicenter distribution (left figure) and space-time diagram (right figure) of earthquakes near the Atotsugawa fault system from 1995-2000.

見られなかったが、最近になって 5km 付近に微小地震活動が観測された。このことはクリープ領域に発生している可能性を考えた場合、大変興味深い事実である。Fig. 5 には、1995 年以降の地震活動の時間的変化を示す。全体的に大きな群発活動は見られず、ほぼ定常的な活動の様子を表している。しかしよく見ると、小規模な活動の塊が見られ、稠密地震観測網による検知能力が向上したと考えられる。検知能力の向上を明らかにするために、1996 年から 2000 年の 5 年間における、定常観測点のデータのみ

による結果（白）と、臨時観測点を含めて併合処理した結果（黒）の規模別頻度分布を Fig. 6 に示す。マ

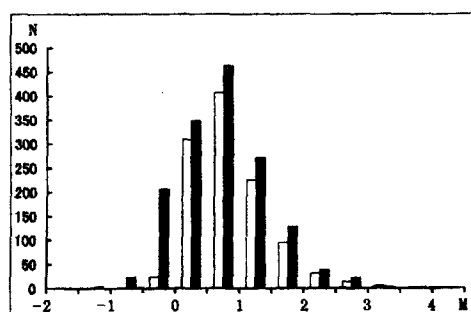


Fig.6 Comparison of numbers of events determined by the routine network (white) and by the newly installed dense network (black) from 1996-2000.

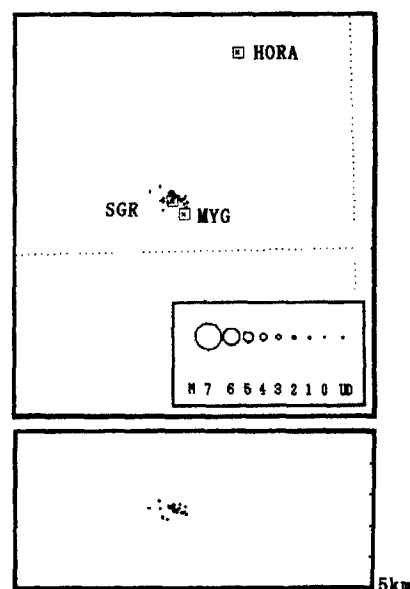


Fig.7 Epicenter (upper figure) and focal depth (lower figure) of a very shallow and small earthquake swarm occurred at the middle part of the Atotsugawa fault.

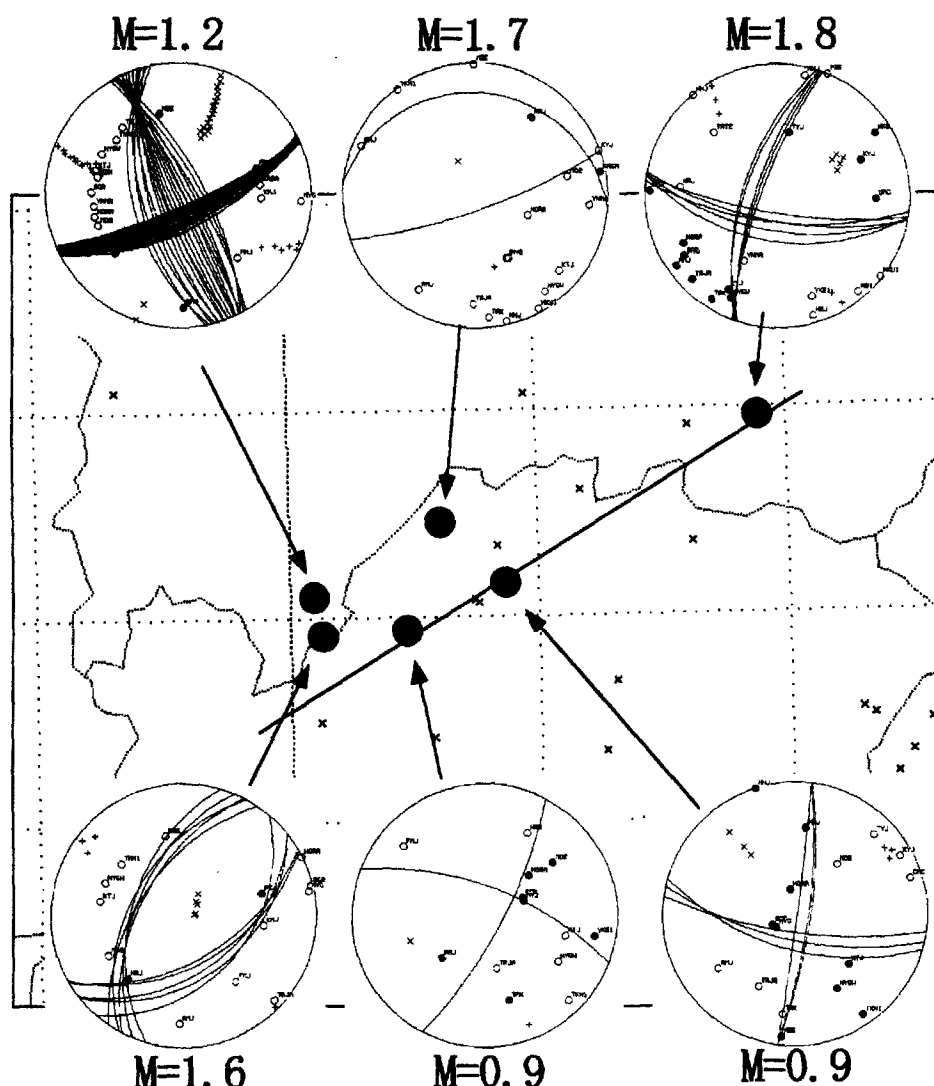


Fig.8 Examples of focal mechanisms determined from first motions of P-waves for small earthquakes near the Atotsugawa fault. Dots show epicenters.

グニチュード(M)が0以下の微小地震について、震源決定された個数が、稠密観測網のデータを加えることによって、明らかに多くなっていることが明白である。Fig.7には、跡津川断層宮川付近に発生したMが0以下の小規模な群発地震の震源分布を示す。これらの地震は、定常観測網では捉えられないような極微小地震であり、稠密地震観測網の設置によって明らかになった活動である。

これまで観測点が少なく、メカニズム解が決められる地震はMが3以上であったが、今回の稠密観測網設置によって小さな地震まで、精度よく決められるようになった。その内の6個について震央分布図上に示す(Fig.8)。決められたMはM=0.9からM=1.8であった。これらの解は跡津川断層の右横ずれを指示するものが多いが、逆断層型等も含まれて

おり、また求められた横ずれ型でもいずれか一方の断層面が跡津川断層の走向と一致しない解も見られ、このことがMが小さいためのばらつきなのか、実際に異なった地震の発生があるのか大変興味深いことであり、今後更に詳しく調べてみたい。

4. まとめ

衛星通信システムの導入により、臨時観測点を設置して、定常観測点経由で地震波のデータを送ることが容易になり、経費的にも随分効率的になっている。現在の観測網は跡津川断層系の中央部から東部にかけては稠密な観測網となっているが、西部については地形などの事情により満足出来る観測網とはなっていない。今後更に調査を進め1, 2点の臨時

観測点を設置して跡津川断層全体にわたって稠密観測網が構築出来るよう考慮したい。

稠密地震観測網の設置によって、地震の検知能力が向上して、場所によっては非常に小さな地震活動も把握出来るようになった。地震の深さの下限が明らかになり、15kmより深いところでの発生は殆ど見られない。また、中央部の浅部での発生も殆ど見られない。

これまで比較的中規模の地震についてのメカニズム解しか求められていなかったが、稠密地震観測網の設置によって M が 2 以下の地震についても解を求めることが出来た。その結果、跡津川断層の右横ずれを示唆するような解が多い反面、逆に断層面が跡津川断層の走向と一致しないような解も存在することがわかった。

謝 辞

終わりにになりましたが、定常観測室及び、臨時観測点の設置に御理解、御協力いただいている各観測室（点）地主及び関係者を以下に列挙して感謝の意を表します。

上宝観測室 : 榎田茂芳
天生観測室 : 関西電力（株）
楡原観測室 : 田中正夫, 町長土地改良区
福光観測室 : 松永次一郎
七尾観測室 : 七尾市役所
朝日観測室 : 山本保一, 山本隆男,
山本ゆり, 南保財産区
宝立観測室 : 高 義雄, 高 重政,
山口定男, 万寿木造,
中谷行定
立山観測室 : 芦峯寺生産組合
宮川観測室 : 宮川徳義
茂住観測点 : 神岡鉱業所
洞 観測点 : 澤之向 豊
山之村観測点 : 橋本達也
寺地観測点 : 森腰 守
祐延観測点 : 北陸電力（株）常願寺電力部

また、地震計信号の分岐を快く承諾していただいた地質調査所の伊藤久男氏他関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 安藤雅孝(1998): 活断層帯での地殻活動研究(地震フロンティア研究) 概要, 月刊地球, Vol. 20, pp. 127-132.
- 白山工業株式会社: DATAMARK LT8500 ユーザーズマニュアル.
- 伊藤 潔・和田博夫・和田一成(1998): 地震活動で断層の動きを追う, 月刊地球, Vol. 20, pp. 136-141.
- 明星電気株式会社: GTA-34 型 PCM テレメータ取扱説明書.
- 大見士朗・他 16 名(1999): 微小地震観測網 SATARN システムの現状と概要, 京都大学防災研究所年報, 第 42 号 B-1, pp. 45-60.
- 和田博夫(2000): 跡津川断層沿いに発生する地震活動の特徴—30 年間の成果—, 東京大学地震研究所技術報告, No. 6, pp. 168-171.
- 和田博夫・伊藤 潔(1995): 跡津川断層付近の地震活動, 京都大学防災研究所年報, 第 38 号 B-1, pp. 235-250.
- 和田博夫・伊藤 潔・安藤雅孝・和田一成(1996): 神岡鉱山・茂住坑における地震観測, 京都大学防災研究所年報, 第 39 号 B-1, pp. 241-250.
- 和田博夫・伊藤 潔・大見士朗・岩岡圭美・池田直人・北田和幸(1999): 1998 年飛騨山脈群発地震, 京都大学防災研究所年報, 第 42 号 B-1, pp. 81-96.
- 和田博夫・岸本兆方(1974): 跡津川断層における微小地震活動 第 1 報, 地震 2, 第 27 巻, 第 1 号, p. 1-9.

付 録 1

Tabel A1 Coordinates and parametrs of instruments for seismological observation stations of which data are recorded at the Kamitakara Observatory. G, F and h show sensitivity in m/s, natural frequency in Hz and damping constant of a seismometer, respectively. Amp and D indicate amplification in db and volt/bit for a record, respectively. The last column show observatory name or institute to which the station belong.

chno	sta	Lat	Long	H	G	f	h	Amp	D	
8420	KTJ	36.2800	137.3269	760	300	1.0	0.70	12	7.63E-06	Kamitakara
8443	AMJ	36.2491	137.0283	820	300	1.0	0.70	12	7.63E-06	
8456	NRJ	36.5130	137.2382	220	300	1.0	0.70	12	7.63E-06	
8459	FMJ	36.5178	136.8297	290	300	1.0	0.70	12	7.63E-06	
845F	NNJ	36.9820	136.9871	340	300	1.0	0.70	12	7.63E-06	
8465	AHJ	36.9203	137.5957	230	300	1.0	0.70	12	7.63E-06	
846B	HRJ	37.3980	137.1410	210	300	1.0	0.70	12	7.63E-06	
8481	TYJ	36.5858	137.4922	785	300	1.0	0.70	12	7.63E-06	
8497	MYB	36.3441	137.4014	1420	180	1.0	0.70	0	7.63E-06	
8418	NOZ	36.4347	137.2930	363	300	1.0	0.70	60	2.44E-03	Temp (Kyoto)
841B	HORA	36.3908	137.2085	620	180	1.0	0.70	12	7.63E-06	
841E	YNMA	36.3930	137.4056	955	60	0.5	0.70	60	2.44E-03	
8409	TRJA	36.2352	137.1417	550	60	0.5	0.70	66	2.44E-03	
8486	SNB	36.4960	137.4014	1420	180	1.0	0.70	12	7.63E-06	
8480	HDN	36.2508	137.5807	1235	180	1.0	0.70	12	7.63E-06	
8300	KMJ	36.3845	136.5057	70	300	1.0	0.70	60	2.44E-03	Hokuriku
8303	FKJ	36.0941	136.1233	90	300	1.0	0.70	60	2.44E-03	
8306	KAJ	36.0486	136.5281	300	300	1.0	0.70	60	2.44E-03	
8309	IMJ	35.7982	136.3028	240	300	1.0	0.70	60	2.44E-03	
8320	HKJ	35.9379	136.2125	20	300	1.0	0.70	12	7.63E-06	
830F	WHJ	35.5306	135.9789	269	300	1.0	0.70	60	2.44E-03	
830C	AZJ	35.4772	136.3239	370	300	1.0	0.70	60	2.44E-03	
91F1	TAK	36.1328	137.1842	700	230	1.0	0.70	48	7.63E-06	Nagoya
9231	YKE1	36.2555	137.5698	1150	136	1.0	0.70	12	7.63E-06	
9241	TKN1	35.9837	137.5341	1282	230	1.0	0.70	12	7.63E-06	
9221	MZE	35.8912	137.1553	590	136	1.0	0.70	0	7.63E-06	
9261	MKO	35.8220	137.6048	890	230	1.0	0.70	12	7.63E-06	
9107	TKC1	35.8525	137.4687	550	230	1.0	0.70	14	7.63E-06	
9171	ITD1	35.7447	136.7731	276	540	1.0	0.70	0	7.63E-06	
0400	WJM	37.3511	136.8382	360	240	1.0	0.70	0	9.54E-06	ERI
0403	HGR	37.8485	138.9214	10	240	1.0	0.70	0	9.54E-06	
0410	FKA	37.8186	138.2243	160	238	1.0	0.70	6	9.54E-06	
0440	HKB	36.6792	137.8258	930	241	1.0	0.70	6	9.54E-06	
0446	TGA	36.6593	138.0847	760	241	1.0	0.70	6	9.54E-06	
0440	MTU	36.4396	137.8392	680	235	1.0	0.70	12	9.54E-06	
0452	ASI	36.1223	137.8528	880	238	1.0	0.70	12	9.54E-06	
0458	UED	36.4204	138.1526	660	236	1.0	0.70	12	9.54E-06	
047C	OMJ	36.6677	138.1820	506	240	1.0	0.70	12	9.54E-06	
0070	KYJ	36.5640	137.6892	1390	240	1.0	0.70	18	7.63E-06	
04CA	MJJ2	37.0489	138.0299	210	240	1.0	0.70	6	7.63E-06	
840F	SQR	36.3481	137.1845	85	175	1.0	0.70	72	2.44E-03	GSJ
COFF	OMC	36.4892	137.7237	1070	1	1.0	0.70	0	2.44E-03	NIDP
400F	HEGR	37.8483	136.9200	12	1	1.0	0.64	0	1.72E-08	JMA
4012	KAGA	36.2767	136.3317	25	1	1.0	0.64	0	1.71E-08	
4044	SADA	38.0370	138.2603	146	1	1.0	0.64	0	1.67E-08	
4053	TKAT	35.8750	138.1383	1180	1	1.0	0.64	0	1.70E-08	
4056	TATE	36.6050	137.3333	236	1	1.0	0.64	0	1.72E-08	
408F	YASU	35.3583	137.8617	800	1	1.0	0.64	0	1.70E-08	
4092	SUZU	37.4483	137.3633	10	1	1.0	0.64	0	1.68E-08	
4095	NYGW	36.2232	137.3153	775	1	1.0	0.64	0	1.70E-08	
40C4	IZMZ	37.5317	138.7095	40	1	1.0	0.64	0	1.70E-08	
40D0	SAKI	36.4067	138.1000	930	1	1.0	0.64	0	1.71E-08	
40D3	HKUJ	36.9250	136.7817	35	1	1.0	0.64	0	1.70E-08	
4530	MTSR	36.5433	138.2067	406	1	1.0	0.64	0	9.54E-10	

付 録 2

Table A2 Specification of PCM data transmission
(GTA-34, Meisei Electric Co.ltd.)

GTA-34型PCMテレメータ (明星電気株式会社) 仕様			
* 送受主装置 (RT-34A)			
増幅部	入力チャンネル数	3ch	4ch
	入力感度	0.12~72dB(6dBステップ)	
	入力インピーダンス	1 kΩ	
	周波数特性	0.01~25Hz	
	分解能	12 bit 直線	10 bit 直線
	精度	±1 LSB	
	CPU	8 bit(HD637801×0C)	
A/D 変換部	サンプリング	100 Hz	
	伝送レート	4800BPS	
* 受主装置 (RR-34A)			
D/A 変換部	D/A 変換器	入力	12 bit 直線
		精度	±1LSB
		出力	±5V フルスケール
		負荷	1kΩ 以上
	制御用 CPU	8 bit(HD637801×0C)	
		伝送レート	4800BPS
* 総 合			
チャンネル数	入力4ch max.	出力4ch max.	(10 bit)
	入力3ch max.	出力3ch max.	(12 bit)
総合利得	0~72dB		
周波数特性	0.01Hz~25Hz		
直線性	0.2%		
S/N	54dB以上 (10 bit)		
	60dB以上 (12 bit)		

付 録 3

Table A3 Specification of data transducer. (LT8500, Hakusan Cooperation)

データ変換装置 LT8500 (白山工業株式会社) 仕様	
* 標準モジュール	
入力	6ch 平衡入力
	入力範囲と増幅率 (アンプゲイン)
	+/-10V ×1
	+/-5V ×2
	+/-2.5V ×4
	+/-1.25V ×8
	+/-625mV ×16
サンプリングレート	20/50/100/200Hzより選択
分解能	24 bit
サンプリング	20/50/100Hz:22 bit
	200Hz :20 bit
* 拡張モジュール	
デジタル出力ポート	1 回路
	外部クロック同期 (最大64Kbps)
	通信ボード (RS-232c/RS-422選択)
	データはwinフォーマット
中継用入力ポート	1 回路
	内部 (0.6Kbps/64Kbps選択) / 外部クロック同期 (最大64Kbps)
	通信ボード (RS-232c/RS-422選択)
	データはwinフォーマット
時刻校正	1 ppmの高精度時刻機能
	GPSによる時刻校正機能
	周波数を自動処理

Observation of Earthquakes by a Dense Station Network in the Atotsugawa Fault Zone, Central Honshu, Japan.

Hiroo WADA, Kiyoshi ITO, Shiro OHMI, Makoto KOIZUMI and Norio HIRANO

Synopsis

New observation stations of earthquakes have been installed to study detailed seismicity and related problems. Seven stations were set near the fault system and the obtained data greatly improved the accuracy of hypocenters, specially focal depths along the fault system. This report describes the details of the system and brief results of the observation. The change in the cutoff depths of seismicity is clearly defined as a concave shape along the fault. Furthermore, very few events are revealed to occur down to 5km below the creep section of the fault. Besides small earthquake swarms of magnitude 0 can be located in the central part of the fault. Earthquake mechanisms can be also determined as small event as M1.0 from the P-wave first motions.

Key words: Atotsugawa fault, earthquake observation, seismological observatory, data acquisition of earthquakes, seismic activity