

## 平成 19 年（2007 年）能登半島地震合同余震観測

酒井慎一<sup>1)</sup>・加藤愛太郎<sup>1)</sup>・蔵下英司<sup>1)</sup>・飯高 隆<sup>1)</sup>・五十嵐俊博<sup>1)</sup>・平田 直<sup>1)</sup>・岩崎貴哉<sup>1)</sup>・金沢敏彦<sup>1)</sup>・渡辺 茂<sup>1)</sup>・羽田敏夫<sup>1)</sup>・小林 勝<sup>1)</sup>・三浦勝美<sup>1)</sup>・三浦禮子<sup>1)</sup>・田上貴代子<sup>1)</sup>・荻野泉<sup>1)</sup>・坂 守<sup>1)</sup>・渡邊篤志<sup>1)</sup>・宮川幸治<sup>1)</sup>・勝俣 啓<sup>1)</sup>・高橋浩晃<sup>2)</sup>・笠原 稔<sup>2)</sup>・本多 亮<sup>2)</sup>・前田宜浩<sup>2)</sup>・一柳昌義<sup>2)</sup>・山口照寛<sup>2)</sup>・小菅正裕<sup>3)</sup>・岡田知己<sup>4)</sup>・中島淳一<sup>4)</sup>・堀修一郎<sup>4)</sup>・中山貴史<sup>4)</sup>・新居恭平<sup>4)</sup>・長谷川昭<sup>4)</sup>・河野俊夫<sup>4)</sup>・鈴木秀市<sup>4)</sup>・津村紀子<sup>5)</sup>・小林里紗<sup>5)</sup>・野崎謙治<sup>5)</sup>・平松良浩<sup>6)</sup>・菅谷勝則<sup>6)</sup>・林亜以子<sup>6)</sup>・広瀬哲也<sup>6)</sup>・澤田明宏<sup>6)</sup>・田中敬介<sup>6)</sup>・山中佳子<sup>7)</sup>・中道治久<sup>7)</sup>・奥田 隆<sup>7)</sup>・飯尾能久<sup>8)</sup>・西上欽也<sup>8)</sup>・宮澤理稔<sup>8)</sup>・和田博夫<sup>8)</sup>・平野憲雄<sup>8)</sup>・中尾節郎<sup>8)</sup>・片尾 浩<sup>8)</sup>・大見士朗<sup>8)</sup>・伊藤 潔<sup>8)</sup>・澁谷拓郎<sup>8)</sup>・加納靖之<sup>8)</sup>・土井一生<sup>8)</sup>・野田俊太<sup>8)</sup>・片木武<sup>8)</sup>・西辻陽平<sup>8)</sup>・松本 聡<sup>9)</sup>・松島 健<sup>9)</sup>・雑賀 敦<sup>9)</sup>・宮町宏樹<sup>10)</sup>・今西和俊<sup>11)</sup>・桑原保人<sup>11)</sup>・長 郁夫<sup>11)</sup>・干野 真<sup>11)</sup>・武田哲也<sup>12)</sup>・浅野陽一<sup>12)</sup>・行竹洋平<sup>12)</sup>・上野友岳<sup>12)</sup>・前田拓人<sup>12)</sup>・松澤孝紀<sup>12)</sup>・関根秀太郎<sup>12)</sup>・松原 誠<sup>12)</sup>・小原一成<sup>12)</sup>

<sup>1)</sup> 東京大学地震研究所・<sup>2)</sup> 北海道大学大学院理学研究科附属地震火山研究観測センター・<sup>3)</sup> 弘前大学理工学部・<sup>4)</sup> 東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター・<sup>5)</sup> 千葉大学理学部・<sup>6)</sup> 金沢大学大学院自然科学研究科・<sup>7)</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山・防災研究センター・<sup>8)</sup> 京都大学防災研究所・<sup>9)</sup> 九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター・<sup>10)</sup> 鹿児島大学理学部・<sup>11)</sup> 産業技術総合研究所・<sup>12)</sup> 防災科学技術研究所

## Aftershock Observation for the 2007 Noto Hanto Earthquake

Shinichi Sakai<sup>1)</sup>, Aitaro Kato<sup>1)</sup>, Eiji Kurashimo<sup>1)</sup>, Takashi Iidaka<sup>1)</sup>, Toshihiro Igarashi<sup>1)</sup>, Naoshi Hirata<sup>1)</sup>, Takaya Iwasaki<sup>1)</sup>, Toshihiko Kanazawa<sup>1)</sup>, Shigeru Watanabe<sup>1)</sup>, Toshio Haneda<sup>1)</sup>, Masaru Kobayashi<sup>1)</sup>, Katsumi Miura<sup>1)</sup>, Reiko Miura<sup>1)</sup>, Kiyoko Tagami<sup>1)</sup>, Izumi Ogino<sup>1)</sup>, Mamoru Saka<sup>1)</sup>, Atshi Watanabe<sup>1)</sup>, Koji Miyakawa<sup>1)</sup>, Kei Katsumata<sup>1)</sup>, Hiroaki Takahashi<sup>2)</sup>, Minoru Kasahara<sup>2)</sup>, Ryo Honda<sup>2)</sup>, Takahiro Maeda<sup>2)</sup>, Masayoshi Ichianagi<sup>2)</sup>, Teruhiro Yamaguchi<sup>2)</sup>, Masahiro Kosuga<sup>3)</sup>, Tomomi Okada<sup>4)</sup>, Junichi Nakajima<sup>4)</sup>, Shuichi Hori<sup>4)</sup>, Takashi Nakayama<sup>4)</sup>, Kyohei Nii<sup>4)</sup>, Akira Hasegawa<sup>4)</sup>, Toshio Kono<sup>4)</sup>, Shuichi Suzuki<sup>4)</sup>, Noriko Tsumura<sup>5)</sup>, Risa Kobayashi<sup>5)</sup>, Kenji Nozaki<sup>5)</sup>, Yoshihiro Hiramatsu<sup>6)</sup>, Katsunori Sugaya<sup>6)</sup>, Aiko Hayashi<sup>6)</sup>, Tetsuya Hirose<sup>6)</sup>, Akihiro Sawada<sup>6)</sup>, Keisuke Tanaka<sup>6)</sup>, Yoshiko Yamanaka<sup>7)</sup>, Haruhisa Nnakamichi<sup>7)</sup>, Takashi Okuda<sup>7)</sup>, Yoshihisa Iio<sup>8)</sup>, Kin'ya Nishigami<sup>8)</sup>, Masatoshi Miyazawa<sup>8)</sup>, Hiroo Wada<sup>8)</sup>, Norio Hirano<sup>8)</sup>, Setsuo Nakao<sup>8)</sup>, Hiroshi Katao<sup>8)</sup>, Shiro Ohmi<sup>8)</sup>, Kiyoshi Ito<sup>8)</sup>, Takuo Shibutani<sup>8)</sup>, Yasuyuki Kano<sup>8)</sup>, Issei Doi<sup>8)</sup>, Shunta Noda<sup>8)</sup>, Takeshi Katagi<sup>8)</sup>, Yohei Nishitsuji<sup>8)</sup>, Satoshi Matsumoto<sup>9)</sup>, Ken Matsushima<sup>9)</sup>, Atsushi Saiga<sup>9)</sup>, Hiroki Miyamachi<sup>10)</sup>, Kazutoshi Imanishi<sup>11)</sup>, Yasuto Kuwahara<sup>11)</sup>, Ikuo Cho<sup>11)</sup>, Makoto Hoshino<sup>11)</sup>, Tetsuya Takeda<sup>12)</sup>, Yoichi Asano<sup>12)</sup>, Yohei Yukutake<sup>12)</sup>, Tomotake Ueno<sup>12)</sup>, Takuto Maeda<sup>12)</sup>, Takanori Matsuzawa<sup>12)</sup>, Syutaro Sekine<sup>12)</sup>, Makoto Matsubara<sup>12)</sup> and Kazushige Obara<sup>12)</sup>

<sup>1)</sup> Earthquake Research Institute, University of Tokyo, <sup>2)</sup> Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science, Hokkaido University, <sup>3)</sup> Graduate School of Science and Technology, Hirosaki University, <sup>4)</sup> Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University, <sup>5)</sup> Faculty of Science, Chiba University, <sup>6)</sup> Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University, <sup>7)</sup> Research Center for Seismology,

\* e-mail: coco@eri.u-tokyo.ac.jp (〒113-0032 東京都文京区弥生 1-1-1)

Volcanology and Disaster Mitigation, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, <sup>8)</sup> Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, <sup>9)</sup> Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Sciences, Kyushu University, <sup>10)</sup> Faculty of Science, Kagoshima University, <sup>11)</sup> National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, <sup>12)</sup> National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

## Abstract

The 2007 Noto Hanto Earthquake occurred on March 25, 2007, in the Noto Peninsula, central Japan. A half day after the main shock, we started installing temporary seismic stations in order to determine the precise locations of its aftershocks. Ten universities and two research institutes deployed 89 temporary seismic stations in and around the source area. The observation lasted for about two months. We relocated 1318 aftershocks with arrival time corrections at each station. The relocated hypocenters show relatively small errors, less than 0.2 km in the horizontal direction and less than 0.4 km depth. Most of the relocated hypocenters are about 2.0 km shallower than those determined by JMA. The precise aftershock distribution extends into a shallower area than the original, and it coincides with sea floor ward extension of the active faults previously known by a sonic reflection survey.

**Key words:** 2007 Noto Hanto Earthquake, aftershock observation, hypocenter distribution

## 1. はじめに

2007年3月25日9時41分に石川県能登地方でM 6.9 (気象庁マグニチュード)の地震が発生した (Fig. 1). 石川県七尾市, 輪島市, 穴水町等で震度6強 (気象庁)を観測し, 北海道から中国四国地方までの広い地域で揺れが感じられた. この地震により微小な津波が発生し, 石川県珠洲市や金沢市で約20 cmの津波が観測された.

GPS観測を用いた解析によると, 石川県志賀町富来で約21 cmの南西方向への変位と約7 cmの隆起が観測されるなど, 周辺の観測点で地殻変動が観測された. この地震により死者1名, 負傷者338名, 建物被害約33,700棟, がけ崩れ65箇所など多くの被害をもたらした.

これまでにこの周辺地域で発生した主な地震としては, 能登半島地震の北東約70 kmの地域で, 1993年2月

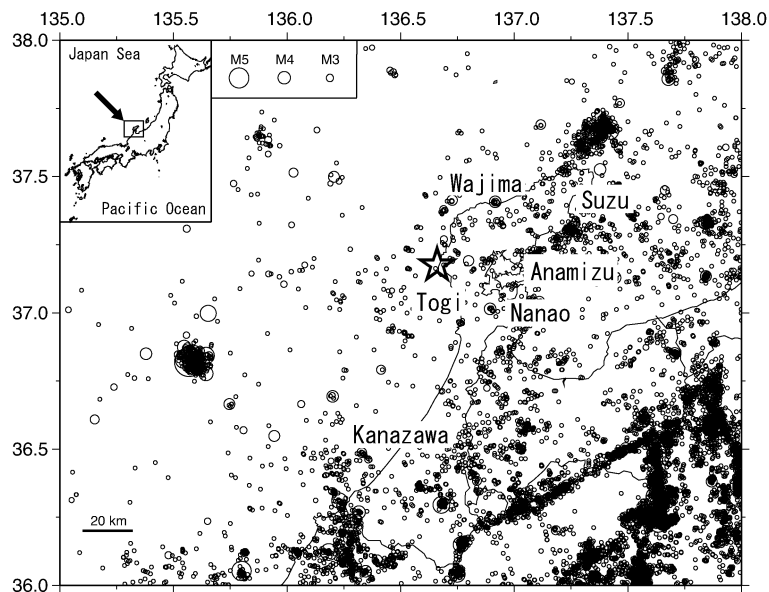


Fig. 1. Seismicity in and around the Noto Peninsula in Central Japan. Distribution of the micro earthquakes was determined by JMA. Star indicates the epicenter of the main shock of the 2007 Noto Hanto Earthquake.

7 日に発生した能登半島沖地震（M 6.6）がある。この地震の震源域では現在も地震活動が続いていて、地震の規模に比べてその後の余震活動の継続時間が長い活動である。この地震の発震機構解は、東西方向に圧縮軸を持つ逆断層型であるが、余震分布からは明瞭な面状分布が見られず、地震断層を特定することはできていない。一方、能登半島地震の南西約 100 km の地域でも 2000 年 6 月 7 日に M 6.2 の地震が発生していた。陸域の地震観測網から 100 km 以上離れているため検知能力が低い、上記の能登半島沖地震とは違い、余震活動度は低調である。このような周辺の地震活動に対し、今回の能登半島地震の余震域では、地震観測網が展開された最近の約 100 年間、顕著な地震活動は観測されていない。陸域には活断層が見出されてなかったが、海域では片川ら（2007）によって、活断層が報告されている。

臨時観測点の設置は本震発生当日深夜から始まり、東京大学地震研究所、北海道大学、弘前大学、東北大学、千葉大学、名古屋大学、金沢大学、京都大学防災研究所、九州大学、鹿児島大学の 10 大学および産業技術総合研究所と防災科学技術研究所の 2 機関からなる 2007 年能登半島地震合同余震観測グループにより、全部で 89 観測点が設置された。本稿では、これらの観測および得られたデータに関して報告する。なお、海域には 4 月 5 日

に地震研究所、北海道大学、東北大学、九州大学によって 10 台の自己浮上式海底地震計が設置され、5 月 7 日に回収された（Yamada *et al.*, 2007）。

## 2. 合同余震観測

この地域では、東京大学地震研究所、京都大学防災研究所、防災科学技術研究所（Obara *et al.*, 2002）および気象庁などによって地震観測点が整備されていた。さらに「地震予知のための新たな観測研究計画（第 2 次）」の一環として、平成 16 年度から 5 カ年計画で全国の研究者が地球物理的な大規模共同総合観測を実施している（跡津川合同観測）。そのテレメータ地震観測点が設置されていたため、全体として約 15 km 間隔という比較的高密度な地震観測網が展開されていた地域であった。しかし本震の深さは約 12 km と浅く、余震分布が陸域と海域の両者に広がっているため、より詳細な震源分布や地殻の情報を得るために、臨時観測点をさらに稠密に展開した（Fig. 2）。

臨時観測点の設置は、本震当日深夜に北海道大学が設置したのを皮切りに、それぞれの大学の観測チームが現地に観測機材を持ち込んだ。地震発生直後であり、道路・建造物や電力線・電話線等の被害状況が不明な中で、お互いに連絡を取り合いながら設置可能な観測場所

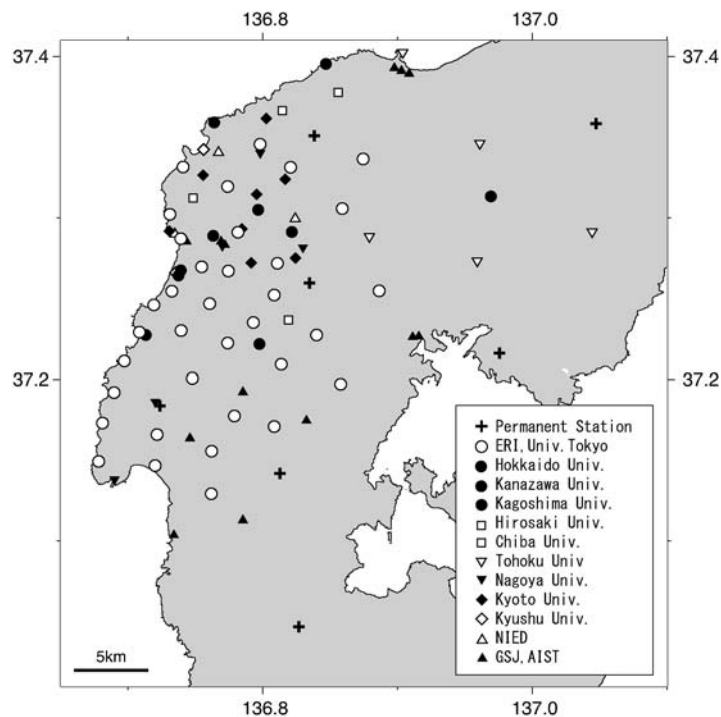


Fig. 2. Location map of the stations by the group for the 2007 Noto hanto Earthquake with the telemetered seismic stations.

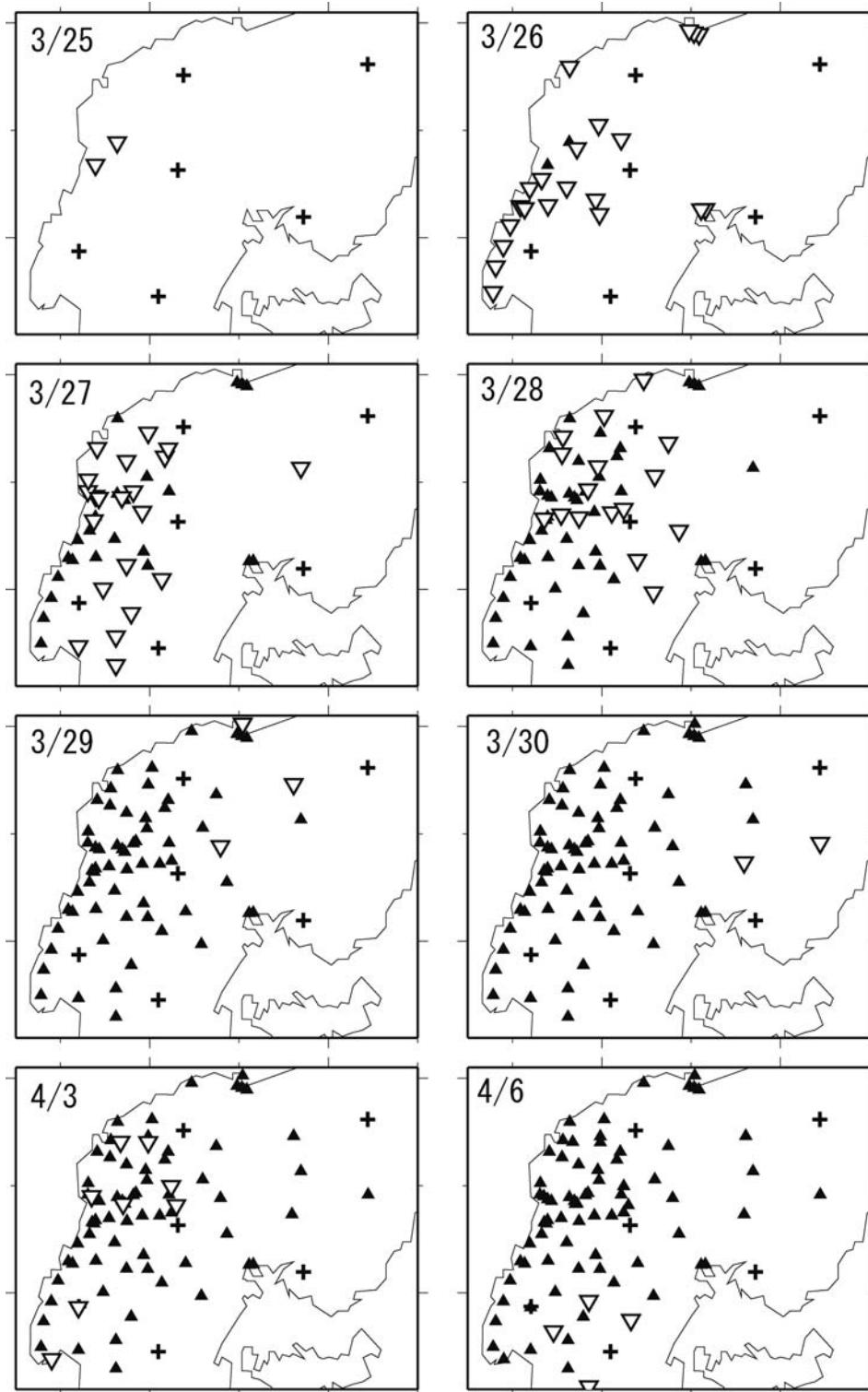


Fig. 3. Spatial and temporal distribution of the seismic stations. Open triangles, the solid triangles and the crosses indicate the stations that newly set up, the stations that have been set up and the telemetered stations, respectively.

を探した。観測点分布は、本震震源域を中心として近くでは密に、離れるにしたがって疎になるように配置し、

お互いのチームで観測点が重なり合わないよう配慮しながら、観測点を設置した (Fig. 3).



平成 19 年（2007 年）能登半島地震合同余震観測

Table 1. Summary of the operation period, recorder, sensor, sensitivity, natural frequency, and locations of the temporary stations.

Station	Start date	End date	Recorder	Sensor	Sensitivity (V/unit)	unit	Natural Freq. (Hz)	Latitude (degree)	Longitude (degree)	Height (m)	organization
EN01	3/27 18:12	5/23 15:25	DAT-5	LE-3D	400	m/s	1	37.33344	136.81728	244	E.R.I., Univ. of Tokyo
EN02	3/27 17:30	5/23 15:03	DAT-5	LE-3D	400	m/s	1	37.34916	136.79498	100	
EN03	3/27 16:47	5/15 13:58	LS7000XT	L-4-3D	270	m/s	1	37.33395	136.73596	48	
EN04	3/27 15:01	5/11 14:43	LS7000XT	L-4-3D	270	m/s	1	37.31890	136.76382	304	
EN05	3/28 11:15	5/23 09:04	DAT-5	LE-3D	400	m/s	1	37.34132	136.87209	79	
EN06	3/28 10:30	5/23 09:24	DAT-5	LE-3D	400	m/s	1	37.30890	136.85748	124	
EN07	3/27 13:34	5/14 04:58	LS7000XT	L-4-3D	270	m/s	1	37.30571	136.72829	24	
EN09	3/27 11:30	5/23 14:27	DAT-5	LE-3D	400	m/s	1	37.29547	136.77867	28	
EN12	3/28 09:34	5/23 09:58	DAT-5	LE-3D	400	m/s	1	37.25694	136.88330	46	
EN13	3/27 10:45	-----	LS7000XT	L-4-3D	270	m/s	1	37.29027	136.73550	8	
EN14	3/28 18:35	5/23 15:21	DAT-5	LE-3D	400	m/s	1	37.27222	136.75359	203	
EN15	3/28 17:15	5/23 14:44	DAT-5	LE-3D	400	m/s	1	37.26939	136.76913	201	
EN16	3/28 15:54	5/23 16:20	DAT-5	LE-3D	400	m/s	1	37.27793	136.80450	98	
EN17	3/26 16:15	5/23 13:46	DAT-4	LE-3D	400	m/s	1	37.25726	136.72978	24	
EN18	3/26 17:11	5/23 14:09	DAT-4	LE-3D	400	m/s	1	37.24982	136.75748	123	
EN19	3/26 17:54	5/12 14:59	LS7000XT	L-4-3D	270	m/s	1	37.23904	136.79025	312	
EN20	3/28 11:55	5/23 09:29	DAT-5	LE-3D	400	m/s	1	37.23484	136.84192	154	
EN22	3/26 15:00	5/23 13:17	DAT-4	LE-3D	400	m/s	1	37.25005	136.71634	11	
EN23	3/26 13:36	5/13 04:57	LS7000XT	L-4-3D	270	m/s	1	37.23400	136.73679	89	
EN24	3/27 16:20	5/23 11:18	DAT-5	LE-3D	400	m/s	1	37.22612	136.77071	252	
EN25	3/27 15:20	5/22 17:47	DAT-5	LE-3D	400	m/s	1	37.21332	136.81094	143	
EN26	3/28 09:40	5/23 10:23	DAT-5	LE-3D	400	m/s	1	37.19899	136.85315	221	
EN27	3/26 13:35	5/20 16:58	LS7000XT	L-4-3D	270	m/s	1	37.23266	136.70528	8	
EN28	3/26 12:26	5/17 02:50	LS7000XT	L-4-3D	270	m/s	1	37.21485	136.69513	33	
EN30	3/27 17:37	5/23 11:56	DAT-5	LE-3D	400	m/s	1	37.20261	136.74466	170	
EN31	3/26 11:47	5/13 19:20	LS7000XT	L-4-3D	270	m/s	1	37.19498	136.68919	40	
EN32	3/27 14:25	5/22 17:28	DAT-5	LE-3D	400	m/s	1	37.19639	136.80022	101	
EN34	3/26 10:56	5/22 16:00	DAT-4	LE-3D	400	m/s	1	37.17544	136.67731	8	
EN36	3/27 13:15	5/22 16:15	DAT-5	LE-3D	400	m/s	1	37.15924	136.75940	5	
EN38	3/26 09:45	5/22 15:39	DAT-4	LE-3D	400	m/s	1	37.15427	136.67538	15	
EN39	3/27 11:00	5/22 16:49	DAT-4	LE-3D	400	m/s	1	37.14842	136.71640	14	Hokkaido Univ., Kanazawa Univ., and Kagoshima Univ.
EN40	3/27 10:46	5/22 15:30	DAT-4	LE-3D	400	m/s	1	37.13261	136.76230	89	
EN41	4/16 13:55	5/24 16:45	DAT-4	LE-3D	400	m/s	1	37.25550	136.80545	260	
EN42	4/17 09:20	5/24 17:54	DAT-4	LE-3D	400	m/s	1	37.16781	136.71739	10	
EN43	4/17 11:50	5/24 18:40	DAT-4	LE-3D	400	m/s	1	37.17456	136.80510	160	
HU.MNZ	3/25 22:45	5/14 13:11	LS7000XT	JEP6A3	0.2	m/s/s		37.29220	136.76030	21	
HU.CHY	3/25 23:30	3/26 15:39	LS7000XT	JEP6A3	0.2	m/s/s		37.26810	136.73610	90	
HU.URK	3/26 10:10	5/14 13:11	LS7000XT	JEP6A3	0.2	m/s/s		37.30830	136.79350	43	
HU.KOT	3/26 15:22	5/14 13:11	LS7000XT	JEP6A3	0.2	m/s/s		37.23070	136.71021	26	
HU.MTI	3/26 11:15	5/14 13:11	LS7000XT	JEP6A3	0.2	m/s/s		37.31660	136.89960	130	
HU.BNB	3/26 12:00	5/18 11:42	DAT	LE-3D	400	m/s	1	37.36244	136.76096	167	Hirotsaki Univ. and Chiba Univ.
HU.TKN	3/26 09:00	5/18 13:04	DAT	LE-3D	400	m/s	1	37.29469	136.81847	72	
HU.KWE	3/26 16:00	5/18 13:44	DAT	LE-3D	400	m/s	1	37.22513	136.79466	329	
HU.CHY2	3/27 12:15	5/14 13:11	LS7000XT	JEP6A3	0.2	m/s/s		37.26760	136.73441	111	
HU.ZZB	3/28 11:45	5/14 13:11	LS7000XT	LE-3D	400	m/s	4.5	37.39890	136.84380	99	
HCCR	4/14	6/3	DAT	LE-3D	400	m/s	1	37.31564	136.74531	201	
HCKM	4/14	5/28 10:16	LS7000	LE-3D	400	m/s	1	37.24010	136.81600	236	
HCCCL	4/14	5/26 6:02	LS7000	LE-3D	400	m/s	1	37.38110	136.85300	212	
HCOS	4/14	5/29 9:02	LS7000	LE-3D	400	m/s	1	37.36960	136.81140	187	
THK1	3/29	5/9	LS7000XT	L-22D	56	m/s	2	37.29210	136.87660	136	Tohoku Univ.
THK2	3/29	4/17	LS7000XT	L-22D	56	m/s	2	37.40550	136.90050	11	
THK3	3/29	5/9	LS7000XT	L-22D	56	m/s	2	37.34950	136.95799	265	
THK4	3/30	5/9	LS7000XT	L-22D	56	m/s	2	37.29480	137.04120	113	
THK5	3/30	5/9	LS7000XT	L-22D	56	m/s	2	37.27670	136.95599	146	
THK6	4/17	5/9	LS7000XT	L-22D	56	m/s	2	37.37860	136.86360	105	
NU.GSJ	3/31 12:01	7/05 16:57	LS7000	Trillium	1500	m/s	40	37.34347	136.79511	155	Nagoya Univ.
NU.GSJ	3/31 12:01	7/05 16:57	LS7000	JEP6A3	0.12	m/s/s		37.34347	136.79511	155	
NU.MNZK	3/31 10:44	7/05 15:19	LS7000	CMG-40T	800	m/s	30	37.28600	136.76700	21	
NU.HONG	4/1 17:07	7/05 15:53	LS7000	Trillium	1500	m/s	40	37.28494	136.82672	53	
NU.HONG	4/1 17:07	7/05 15:53	LS7000	JEP6A3	0.12	m/s/s		37.28494	136.82672	53	
NU.TGJ	4/3 17:31	7/06 10:44	LS7000	Trillium	1500	m/s	40	37.14156	136.68697	15	
NU.TGJ	4/3 17:31	7/06 10:44	LS7000	JEP6A3	0.12	m/s/s		37.14156	136.68697	15	
NU.TGIH	3/31 12:59	7/05 18:13	LS7000	CMG-40T	800	m/s	30	37.18972	136.71706	59	
NU.TGIH	3/31 12:59	7/05 18:13	LS7000	JEP6A3	0.2	m/s/s		37.18972	136.71706	59	
DP01	3/27	5/31	LS7000XT	L-4C	170	m/s	1	37.29489	136.72760	10	DPRI, Kyoto Univ.
DP02	3/27	5/14	LS7000XT	L-4C	170	m/s	1	37.32706	136.81360	165	
DP03	3/27	5/31	LS7000XT	L-4C	170	m/s	1	37.27538	136.78841	40	
DP04	3/28	5/31	LS7000XT	L-4C	170	m/s	1	37.32970	136.75250	145	
DP05	3/28	5/14	LS7000XT	L-4C	170	m/s	1	37.36489	136.79939	170	
DP06	3/28	5/31	LS7000XT	L-4C	170	m/s	1	37.31764	136.79225	50	
DP07	3/28	5/31	LS7000XT	L-4C	170	m/s	1	37.27826	136.82121	85	
DP08	3/28	5/14	LS7000XT	L-4C	170	m/s	1	37.29630	136.78149	45	
DP09	3/29	5/14	LS7000XT	L-4C	170	m/s	1	37.25892	136.76520	185	
DP10	3/29	5/31	LS7000XT	L-4C	170	m/s	1	37.24986	136.74699	140	
KU.NWMU	3/28	10/3	LS7000XT	LE-3D	400	m/s	1	37.34550	136.75310	12	Kyushu Univ.
KU.NMSD	3/28	10/3	LS7000XT	LE-3D	400	m/s	1	37.26910	136.73241	53	
GS.AYK	3/26 12:15	4/18 23:59	LS7000XT	JEP6A3	0.2	m/s/s		37.22975	136.91278	14	Geological Survey of Japan, AIST
GS.APO	3/26 12:40	4/18 23:59	LS7000XT	JEP6A3	0.2	m/s/s		37.22931	136.90822	2	
GS.WSB	3/26 15:25	4/18 23:59	LS7000XT	JEP6A3	0.2	m/s/s		37.39267	136.90556	2	
GS.WKW	3/26 16:00	4/18 23:59	LS7000XT	JEP6A3	0.2	m/s/s		37.39436	136.89986	3	
GS.WFG	3/26 16:30	4/18 23:59	LS7000XT	JEP6A3	0.2	m/s/s		37.39628	136.89467	8	
GS.MHS	3/26 18:00	4/18 23:59	LS7000XT	JEP6A3	0.2	m/s/s		37.28644	136.76894	20	
GS.MTG	3/27 9:10	4/13 23:59	LS7000XT	JEP6A3	2	m/s/s		37.28872	136.74017	4	
GS.MZP	3/26 10:25	3/27 9:30	LS7000XT	JEP6A3	0.2	m/s/s		37.28769	136.73953	5	
GS.MJD	3/27 10:25	4/17 23:59	LS7000XT	JEP6A3	0.2	m/s/s		37.28875	136.76589	10	
GSJ1	4/6 13:50	5/31 08:42	LS7000	L22E	41.8	m/s	2	37.19570	136.78210	202	NIED
GSJ2	4/7 14:37	5/31 14:20	LS7000	L22E	41.8	m/s	2	37.17800	136.82930	141	
GSJ3	4/6 15:54	5/31 13:10	LS7000	L22E	41.8	m/s	2	37.11620	136.78220	94	
GSJ4	4/6 15:45	5/30 16:25	LS7000	L22E	41.8	m/s	2	37.10690	136.73090	72	
GSJ5	4/6 17:21	5/31 10:07	LS7000	L22E	41.8	m/s	2	37.16710	136.74300	39	
MKSH	3/30 14:33	4/17 02:00	HKS-9200	L-4C	175	m/s	1	37.29318	136.73169	6	
MTUH	3/30 08:56	5/13 08:00	HKS-9200	L-4C	175	m/s	1	37.30271	136.82111	105	NIED
NDNH	3/31 12:13	4/1 17:00	HKS-9200	L-4C	175	m/s	1	37.34383	136.76413	117	

設置場所は緊急の臨時観測であるため、岩盤をくりぬいた横穴やボアホールではなく、道路脇のコンクリート上や土中埋設などで、必ずしも観測環境はよくない。用いた地震計は、固有周期が主に 1 Hz（その他 0.2~2.0 Hz）である（Table 1）。ほとんどの臨時観測点は、オフラインのデータレコーダによる現地収録で、乾電池もしくは充電式バッテリーで約 1 ヶ月間の連続観測が可能なのである。100 Hz~200 Hz でサンプリングし、ダイナミックレンジは 16~24 bit で、GPS 信号を受信して内部時計を校正するため、0.01 秒以下の時刻精度をもつ。記録は DAT テープ、ハードディスク、CF カード等に収録するため、回収・交換作業が容易である。一方で観測点数が多いこととデータ媒体の種類が多いことのため、

データ回収後の処理に若干の手間がかかる。

臨時観測点のうち、能登半島西岸に位置する 2 観測点は、九州大学によってテレメータ観測が行われ、3 月 28 日から全国の研究者にリアルタイムでデータを配信することができた。このデータは、気象庁へも伝送され、気象庁の地震活動監視にも役立てられた。

### 3. 震源決定

オフライン観測点から回収した波形データは、周辺のテレメータ観測点といっしょにまとめられ、気象庁一元化震源に基づいて切り出した。このデータには、跡津川合同観測として設置されたテレメータ観測網のデータも含められている。切り出された地震波形のうち、気象庁マグニチュード 1.8 以上の 1,343 個（2007 年 3 月 25 日 22 時 41 分~5 月 22 日 16 時 21 分）に関してモニタ画面上で P 相・S 相の検出をし、Hypomh（Hirata and Matsuura, 1987）で震源決定を行った。その際、Mikumo *et al.*（1988）を元にした 1 次元速度構造（Table 2）を用い、走時残差の平均値を観測点補正值として震源決定を行った。P 波の補正值は 0.2 秒以下であったが、S 波の補正值は最大で約 0.6 秒になった（Fig. 4）。この緊急震源は、対応する一元化震源と比べて約 3 km 浅くなっている（Fig. 5）。その結果、余震域は深さ 0~13 km に広がり、深さ 4 km 前後と深さ 9 km 前後の部分に集中が見られる。本震は余震域中央のやや深い場所（深さ 8.6 km）で

Table 2. *P*-wave velocity structure models used for hypocenter determination.  $V_p/V_s$  is assumed to be 1.73.

Depth(km)	<i>P</i> -wave velocity (km/s)
0	5.40
2	5.41
3	6.00
5	6.14
14	6.26
20	6.42
28	6.91
30	7.45
44	7.75

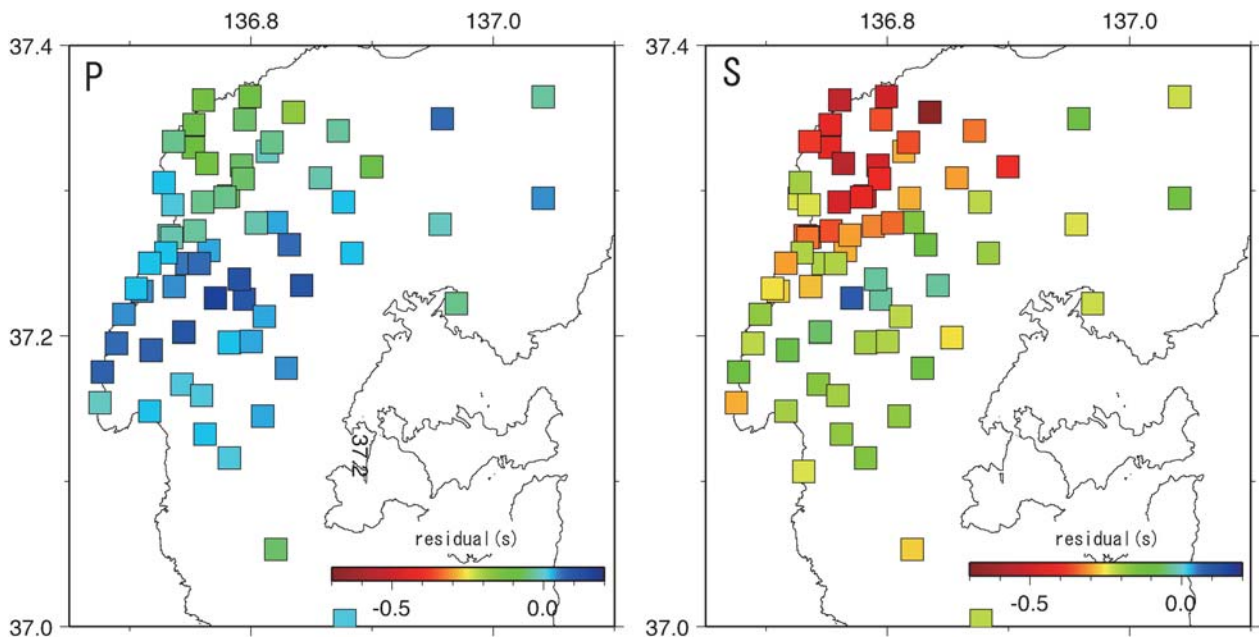


Fig. 4. Station corrections of *P* and *S* waves. Value of the station correction is color coded, blue corresponds to the thin sediment and red corresponds to the thick sediment.

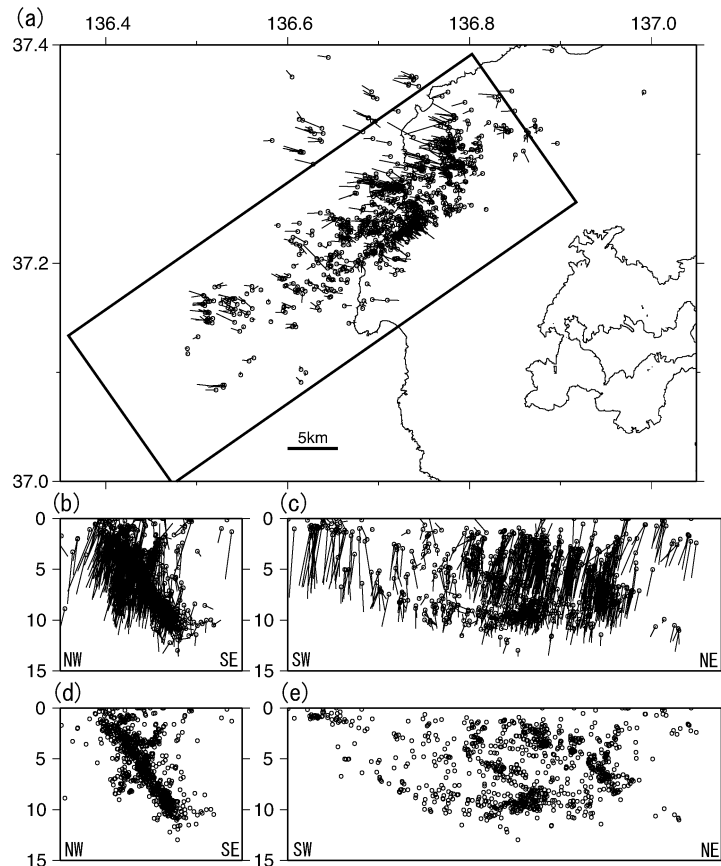


Fig. 5. (a) Comparison between the hypocenters determined by JMA (end of line) and those determined in this study (open circle). (b) NE-SW striking vertical cross-section view of the hypocenters. The strike of the cross-section is 55 degree from north to east and perpendicular to the direction of the geological structure in this region. (c) NW-SE striking vertical cross-section view of the hypocenters. The epicenters determined by this temporary observation are located approximate 2km shallower of those reported by the JMA routine catalogue. (d) NE-SW striking vertical cross-section view of the hypocenters in this study. (e) NW-SE striking vertical cross-section view of the hypocenters.

発生し、その近傍では余震活動度が高いが、深さ 6 km 前後に余震活動度の低い部分が見られる。これは、断層面上のすべり量の大きな領域と対応する可能性が考えられる（たとえば、Yamanaka, 2007）。余震域の深さの下限は本震周辺がもっとも深く、端に行くにつれ下限が浅くなるような下に凸の形状をしている。

能登半島地震は本震-余震型で、地震活動度は順調に低下しているが、半年過ぎた現在でも一日数個の余震と見られる地震活動が観測されている。最大余震は、本震発生 8 時間半後の 3 月 25 日 18 時 11 分に余震域の北東端の陸域で発生した地震、および本震発生約 21 時間後の 3 月 26 日 7 時 16 分に余震域の南西端の海域で発生した地震であった。マグニチュードはどちらも M 5.3 で、それぞれそれまでの余震域の端で発生し、余震域の広が

りはこの最大余震の範囲で概ね規定される。余震域の北東端で発生した最大余震と余震域の間には地震の発生していない領域が存在するが、南西端で発生した最大余震の周辺ではその後も余震が発生していて、その後さらに南西方向へ余震活動域が伸び、全体として約 40 km の範囲に広がった (Fig. 6)。

P 波初動押し引き分布から見た本震のメカニズム解は横ずれ型であるが、モーメントテンソル解は逆断層型である（防災科学技術研究所, 2007）。これら二つのメカニズム解は、どちらも北西-南東方向に圧縮軸を持ち、北東-南西方向の走向の断層面を持つが、すべり方向が若干異なる。余震分布は、ほぼ北東-南西方向に並び、南東方向に傾斜する面状分布をしていて、P 波初動メカニズム解やモーメントテンソル解から推定される地震断層面と

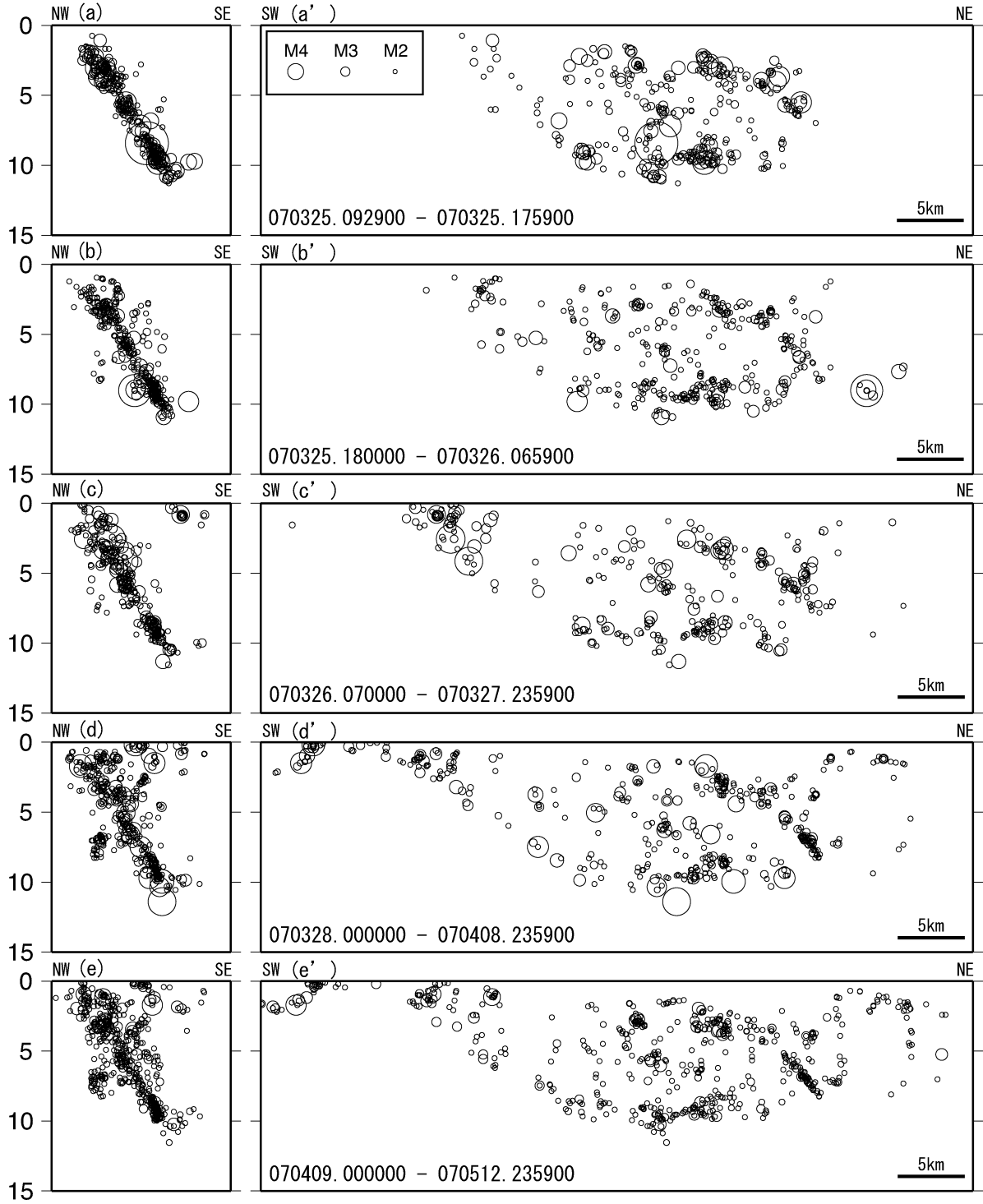


Fig. 6. Spatial and temporal distribution of the aftershocks. Left is NE-SW striking vertical cross-section view. Right is NW-SE striking vertical cross-section view. (a) (a') Aftershocks for 8 hours after the main shock were represented. (b) (b') Aftershocks from 18 o'clock Mar. 25 to 7 o'clock Mar. 26 were shown. (c) (c') Aftershocks from 7 o'clock 26 Mar. to 24 o'clock were shown. (d) (d') Aftershocks from 28 Mar. to 8 Apr. were shown. (e) (e') Aftershocks from 9 Apr. to 12 May were shown.



一致する。この地域の陸域では、対応する北東-南西方向の活断層は知られていないが、北陸電力が能登半島西方沖で実施した音波探査 (片川ほか, 2005) によると、そこに見られる北西側低下の高角度の逆断層の走向が、震源断層の走向や傾斜とはほぼ一致している。

#### 4. 終わりに

2007 年能登半島地震が発生し、全国の 10 大学と 2 機関によって合同余震観測グループが作られ、稠密な臨時観測網が作られた。地震発生当日に現地入りして臨時観測点が作られ、全部で 89 観測点が設置された。3 月 25 日から 5 月 22 日までの約 2 ヶ月間、観測が続けられ、3,000 個以上の地震を観測し、そのうち 1,343 個の地震を検出し、震源決定を行った。

このデータを用いた基礎的な解析として、震源分布 (Sakai *et al.*, 2007), 速度構造トモグラフィ (Kato *et al.*, 2008) に関する論文が出されている。Sakai *et al.* (2008) では、本震の約 0.5 秒前に発生した M 4.4 の地震が報告され、P 波初動による発震機構解と広帯域波形を用いたモーメントテンソル解との微妙な差が、この地震に対応することを示している。さらに、本震の約 12 分前に発生した M 2.2 の地震の存在も報告され、この発震機構解は M 4.4 の地震の発震機構解と似ていること、震源が近接していることから、この地震が前震活動であったことを示唆した。これらの地震の震源は、本震の約 1.5 km 南西方向で、本震より約 0.6 km 深い位置であった。Kato *et al.* (2008) では、余震分布が地震波トモグラフィから求めた速度構造の境界に位置し、震源分布の傾斜角が約 60 度と高角なため、この地域がかつて引張場であった際にできた正断層が、圧縮場の現在において再活動したものであるとしている。

#### 謝 辞

本研究は、文部科学省の科学研究費補助金 (特別研究促進費) 「2007 年能登半島地震の余震に関する調査研究 (研究代表者: 金沢敏彦)」の一環として行われた。

#### 参考文献

- Hirata, N. and M. Matsu'ura, Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique, 1987, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **47**, 50-61.
- 片川秀基・浜田昌明・吉田 進・廉澤 宏・三橋 明・河野芳輝・衣笠善博, 2005, 能登半島西方海域の新第三紀~第四紀地質構造形成, 地学雑誌, **114**, 791-810.
- Kato, A., S. Sakai, T. Iidaka, T. Iwasaki, E. Kurashimo, T. Igarashi, N. Hirata, T. Kanazawa, and Group for the aftershock observations of the 2007 Noto Hanto Earthquake, 2008, Three-dimensional velocity structure in the source region of the Noto Hanto Earthquake in 2007 imaged by a dense seismic observation: Rift structure related to the opening of the Japan Sea, *Earth Planets Space*, **60**, 105-110.
- Mikumo, T., H. Wada and M. Koizumi, 1988, Seismotectonics of the Hida region, central Honshu, Japan, *Tectonophysics*, **147**, 95-119.
- National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED), Earthquake mechanism information, 2007, <http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/niigata/070716/>.
- Obara, K., S. Hori, K. Kasahara, Y. Okada and S. Aoi, Hi-net: High sensitivity seismograph network in Japan, 2002, *Eos Trans. AGU*, **81** (48), Fall Meet. Suppl., Abstract S71 A-04.
- Sakai, S., N. Hirata, A. Kato, E. Kurashimo, T. Iwasaki, and T. Kanazawa, Multi-fault system of the 2004 Mid-Niigata Prefecture Earthquake and its aftershocks, 2005, *Earth Planets Space*, **57**, 417-422.
- Sakai, S., A. Kato, T. Iidaka, T. Iwasaki, E. Kurashimo, T. Igarashi, N. Hirata, T. Kanazawa, and Group for the aftershock observations of the 2007 Noto Hanto Earthquake, 2008, Highly resolved distribution of aftershocks of the 2007 Noto Hanto Earthquake by a dense seismic observation, *Earth Planets Space*, **60**, 83-88.
- Yamada, T., K. Mochizuki, M. Shinohara, T. Kanazawa, A. Kuwano, K. Nakahigashi, R. Hino, K. Uehira, T. Yagi, N. Takeda, and S. Hashimoto, 2007, Aftershock observation of the Noto Hanto earthquake in 2007 using ocean bottom seismometers, *Earth Planets Space* (in submitted).
- Yamanaka, Y., EIC Seismological Note, 2007, [http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sanchu/Seismo\\_Note/2007/EIC185.html](http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/2007/EIC185.html), (in Japanese).

(Received January 10, 2008)

(Accepted January 25, 2008)