

3 . 2 . 5 . 2 沿岸域の地震活動の把握

目 次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 8 か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）
 - 1) 平成 2 5 年度
 - 2) 平成 2 6 年度
 - 3) 平成 2 7 年度
 - 4) 平成 2 8 年度
 - 5) 平成 2 9 年度
 - 6) 平成 3 0 年度
 - 7) 平成 3 1 年度
 - 8) 平成 3 2 年度
- (e) 平成 2 7 年度業務目的

(2) 平成 2 7 年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法および成果
 - 1) 海域制御震源記録の読み取り
 - 2) 新潟県周辺の地震波速度構造の高度化
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成 2 8 年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

2.5.2 沿岸域の地震活動の把握

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人防災科学技術研究所 観測・予測研究領域 地震・火山防災研究ユニット	主任研究員	松原 誠
	主任研究員	武田 哲也
	主任研究員	浅野 陽一
	主任研究員	汐見 勝彦
	主任研究員	木村 尚紀
	主任研究員	松本 拓己
	主任研究員	松澤 孝紀
	主任研究員	上野 友岳
	主任研究員	木村 武志
	契約研究員	ヤノトモコエリ
		ザベス

(c) 業務の目的

陸域の自然地震観測網のデータを基に、詳細な震源分布を明らかにし、地震発生層の下限をもとに断層面の深さについて推定する。また、発震機構解を基に断層面上のすべり角を推定する。

(d) 8 か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成 25 年度：

日本海沿岸域における地震活動データから、震源断層モデルにおいて重要なパラメータである地震発生層深度とすべり角の初期的情報を提供した。地震発生層深度は、ルーチン震源データに基づき、地震発生層の下限と上限の深さ（D90 と D10）の計算を実施した。その結果を基に他のサブテーマで推定された予備震源断層の位置・形状情報から、各震源断層における地震発生層深度の見積もりを行った。一方、すべり角は、既存の地殻応力研究の結果に基づいた日本島弧の広域応力場に基づき、前述の予備震源断層の位置・形状情報の走向・傾斜角のデータから、最適なすべり角を推定した。

2) 平成 26 年度：

日本海沿岸域における地震発生層深度の改善を図ることを目的に、使用する地震波速度構造モデルとして信頼性のある三次元速度構造を用い、震源再決定を行った。これによって震源の精度（特に深さ方向）が向上することから、得られた結果を用いて地震発生層深度を推定し直し、前年度に推定した震源断層ごとのモデルパラメータの更新を行った。

3) 平成 27 年度：

沿岸域での地震活動を詳細に把握するために、地震波速度構造モデルの高精度化を図った。既存の観測網で観測された海域の制御震源の記録と自然地震のデータを用いて、三次元地震波速度構造モデルを高度化した。平成 27 年度は、新潟沖周辺の地域を対象とした。

4) 平成 28 年度：

新潟県を中心に改良された三次元地震波速度構造モデルを用いて震源再決定を実施して、震源断層モデルの地震発生層深度の情報を更新する。また、発震機構解を基に応力場を推定する。沿岸域での地震活動の詳細な把握に資する日本海沿岸の地震波速度構造の高精度化のため、既存の観測網で観測された東北地方南部および北陸・近畿地方における自然地震の直達地震波到達時刻の読み取りを行う。

5) 平成 29 年度：

平成 28 年度に読み取られた北陸・近畿沿岸地域で発生した地震の地震波走時データを用いて三次元地震波速度構造モデルの高度化を行うとともに、震源再決定を行う。その震源分布に基づき、微小地震のメカニズム解の決定を行い、北陸・近畿沿岸地域の細分化した応力場の推定を行う。これらの結果から、北陸・近畿沿岸地域の地震発生層深度と断層すべり角の情報を更新する。

6) 平成 30 年度：

山陰・九州沿岸地域で発生した地震の直達波の読み取りを行い、三次元地震波速度構造モデルの高度化を行う。その震源分布に基づき、微小地震のメカニズム解の決定を行い、山陰・九州沿岸地域の細分化した応力場の推定を行う。これらの結果から、山陰・九州地域の地震発生層深度と断層すべり角の情報を更新する。

7) 平成 31 年度：

北海道・青森沿岸地域で発生した地震の直達波の読み取りを行い、三次元地震波速度構造モデルの高度化を行う。その震源分布に基づき、微小地震のメカニズム解の決定を行い、北海道・青森沿岸地域の細分化した応力場の推定を行う。これらの結果から、北海道・青森沿岸地域の地震発生層深度と断層すべり角の情報を更新する。

8) 平成 32 年度：

これまでの調査結果を取り入れた震源再決定の結果に基づき、日本海側全域の地震発生層深度の最終的な情報を提供する。合わせて、これまで得られた微小地震メカニズム解を全て取り込み、断層すべり角の最終的な情報を提供する。

(e) 平成 27 年度業務目的

新潟県周辺における日本海沿岸域での地震活動を詳細に把握するために、既存の観測網で観測された海域の制御震源の記録と自然地震のデータを用いて、三次元地震波速度構造モデルを高度化する。

(2) 平成 27 年度の成果

(a) 業務の要約

新潟県周辺における日本海沿岸域での地震活動を詳細に把握するために、既存の観測網で観測された海域の制御震源の記録と自然地震のデータを用いて、三次元地震波速度構造モデルを高度化した。

(b) 業務の実施方法および成果

1) 海域制御震源記録の読み取り

a) はじめに

浅部の地震波速度構造を推定するには、屈折法や広角反射法などの手法が一般的であるが、三次元的な速度構造は得られない。自然地震を用いたトモグラフィー法による三次元地震波速度構造推定では、水平方向に波線が通らない浅部の分解能が低い。海域の地下の三次元の浅部構造を推定するには、海域で行われた制御震源による探査の波を陸上の観測点で読み取り、それを用いてトモグラフィー解析をする必要がある。そのため、海洋研究開発機構が 2007 年から 2010 年にかけて行った新潟県周辺における制御震源探査の防災科研 Hi-net(Okada et al., 2004¹⁾; Obara et al., 2005²⁾)において収録された記録について、切り出し、波形重合し読み取り作業を行った。

b) 手法およびデータ

海洋研究開発機構が 2007～2010 年にかけて新潟県周辺において実施した制御震源探査の発震時刻を元に、秋田、山形、新潟、富山、石川の各県に位置する定常のノイズレベルの低い防災科研 Hi-net の 75 観測点(図 1)のデータを連続波形記録から切り出した。切り出した制御震源の測線は表 1 のとおりである。

表 1 波形重合を行った制御震源探査

NO	航海名	年	測線名	エアガン発震数
1	KR07-E01	2007	S-1	1059
			S-2	1951
			S-3	797
			S-7	258
			S-8	304
2	KY09-06	2009	EMJS0906	963
			EMJS0906a	287
3	KR09-09	2009	EMJS0902	1466
			EMJS0903	3344
			EMJS0903D	659

			EMJS0904	1648
			EMJS0905	3740
			EMJS0906	500
			EMJS0907	2854
			EMJS0908	2663
4	KR10-10	2010	EMJS1001	4811
			EMJS1002	1152
			EMJS1003	3256
			EMJS1004	3695
			EMJS1005	4878
			EMJS1006	5292
			EMJS1007	4997
			EMJS1008	2384
			EMJS1008D	870
			EMJS1009	3873
			EMJS10A	1443
			EMJS10B	3111
合計				62255

制御震源の発震位置から 80 km 以内の観測点について、初動到達時刻が含まれるように発震時刻から 20 秒間のデータを切り出した。

次に、制御震源の波形記録は微弱なため、S/N 比を向上させるために、近傍の制御震源の波形記録を重合する。制御震源の発震は 50 m 毎に実施されているが、地殻の標準的な P 波速度である 6.0 km/s を考慮すると 0.0083 秒の差である。防災科研 Hi-net の観測記録は 100 Hz サンプリングの連続データであることから、100 m ずれた震源からの地震波は 1～2 サンプリング程度、200 m ずれた震源からの地震波は 3 サンプリング程度ずれる可能性がある。しかし、これは測線と平行な方向に観測点が存在する場合であり、測線に対して波線が直交する方向の観測点では走時差はさらに小さくなる。さらに、P 波の読み取り誤差を 0.05 秒である 5 サンプル程度を考えていることから、誤差の範囲内であると考えられるので、制御震源のショットの周囲 2 ショットずつ、および 4 ショットずつを重合し、S/N 比を向上させることとした。周囲 2 ショットずつを重合すると 5 ショットの波形を重合することとなり、S/N 比は約 2 倍に、周囲 4 ショットずつ重合すると 9 ショットの波形を重合することとなるので S/N 比は 3 倍に向上する。これらの波形データをもとに、制御震源からの初動の読み取りを行った。

c) 解析結果と議論

2007 年の S1 のショットについて、石川県の観測点で観測された波形（シングルトレース）および周波数解析結果、5 ショットを重合した波形（5 重合）および周波数解析結果、

9 ショット(9 重合)および周波数解析結果を図 2 に示す。シングルトレースの波形では、ノイズが多くのもっており、4A83 や F403 の観測点では初動が読み取れるが、その他の観測点では読み取ることが難しい。5 重合、9 重合と重合数が増すに従ってノイズ部分が小さくなり、9 重合では 4A93、4AA3、4AC3 においても初動の読み取りが可能である。スペクトル解析からは、6 Hz にピークが来ていることが分かる。制御震源から発せられる波は 6Hz 付近に卓越した波であることが分かる。S3 のショットについて、新潟県の観測点で観測された波形例を図 3 に示す。シングルショットでは 4E93 や 4EA3 で波が来ている様子が見られるが、初動を読み取るのは難しい。周波数解析の結果も 5~6 Hz にやや高くなる観測点も見られるが、明瞭ではない。一方、9 重合の結果をみると、4E73、4F13 観測点でも初動の読み取りが可能となる。周波数解析の結果も 6 Hz 付近にピークが来るので、初動が到達していることが分かる。

2) 新潟県周辺の地震波速度構造の高度化

a) はじめに

新潟県周辺には、防災科研 Hi-net の観測点に加えて、気象庁や東京大学、東北大学などの観測点も存在する。Matsubara and Obara (2011)³⁾ による三次元地震波速度構造解析では、2009 年までの地震の到達時刻データを用いているが、2004 年以前の地震について、防災科研 Hi-net 以外の観測点における読み取りを用いていなかった。そのため、2004 年以前の新潟県周辺の地震について読み取り作業を行い、そのデータをトモグラフィー解析に加えた。また、2009 年以降に防災科研 Hi-net で観測された地震の読み取りデータも併せて使い、地震波速度構造解析の高度化を行った。

b) 手法およびデータ

防災科研 Hi-net で観測された 2000 年 10 月から 2013 年 12 月の間に発生した地震から、トモグラフィー解析に用いる地震を選択する。北緯 20-48°、東経 120-148°、深さ 500 km の領域を水平方向に 0.05°(約 5 km)、深さ方向に 5 km の領域に分割し、検出数が最大となる地震を各領域内から 1 つずつ選択することにより、地震が一様に分布するようなデータセットを作成した。また、海域については、防災科研 F-net のモーメントテンソル解により決定された震源の深さに固定し、震央は動かすことで、Hi-net により読取値を活用した。その結果、海域の地下の構造も推定可能となった。防災科研 Hi-net においては、2004 年までは、防災科研と気象庁の観測点のみの読み取りを行っていたが、大学などの観測点についての読み取りを行っていなかった。新潟県周辺には、大学などの観測点もあることから、2000~2004 年までの新潟県周辺で起きた地震について追加の読み取りを実施した。大学の観測点の追加読み取りによる震源移動を図 4 に示す。これらの読み取りをトモグラフィー解析データに追加した。

手法は、Zhao et al. (1992)⁴⁾ のトモグラフィー法に、ある距離範囲内の格子点の速度に相関(スムージング)を導入した手法(Matsubara et al., 2004⁵⁾; Matsubara et al., 2005⁶⁾; Matsubara and Obara, 2011³⁾)を用いた。P 波・S 波速度構造と震源を交互に求め、残差の減少の傾向が落ち着くまで繰り返した。格子点間隔は水平方向に 0.1 度、深さ方向には 2.5~15 km である。相関を導入しているため、構造の分解能はグリッド間隔の 2 倍に当

たる水平方向 0.2° 、深さ方向に $5 \sim 30 \text{ km}$ である。初期地震波速度構造として、防災科研 Hi-net の震源決定で用いられている構造（鵜川・他，1984⁷⁾）を用いた。モホ面やプレート境界などの速度不連続面は仮定していない。

c) 解析結果と議論

新潟県周辺の深さ 5 km の P 波速度パーターベーションを図 5 に示す。本州から佐渡島に北へ延びる形で海の地下の構造も推定できる。佐渡海峡の地下は高速度領域が分布している。長岡平野から長野盆地にかけて低速度領域が分布している。深さ 10 km の P 波速度パーターベーションを図 6 に示す。本州から佐渡島の地下まで速度構造が推定されている。佐渡島の地下は低速度であるが、佐渡海峡の地下は高速度である。佐渡島から本州にかけての北西から南東に横切る断面を図 7 に示す。佐渡海峡で高速度域が浅いところまで分布している様子が分かる。

(c) 結論ならびに今後の課題

浅部構造の改善への活用のため、防災科研 Hi-net の観測点で記録された制御震源探査の記録の編集・読み取りを行った。5 重合や 9 重合すると制御震源の波形も読み取ることが可能であることが分かった。また、新潟県周辺における追加読み取りにより、新潟県と佐渡の間に P 波速度の高速度領域が、佐渡海峡下浅部に高速度域が存在する構造などが解明された。

海域の地下の浅部構造をさらに推定するには、陸上の観測点で観測された制御震源の波形の読取値を使う際の震源位置の設定について精査する必要がある。また、さらに広域における陸上の観測点で観測された制御震源の波形の読取値を用いる必要があると考えられる。

(d) 引用文献

- 1) Okada, Y., Kasahara, K., Hori, S., Obara, K., Sekiguchi, S., Fujiwara, H., and Yamamoto, A.: Recent progress of seismic observation networks in Japan -Hi-net, F-net, K-NET and KiK-net -,Earth, Planets and Space, 56, pp. xv-xviii, 2004.
- 2) Obara, K., Kasahara, K., Hori, S., and Okada, Y.: A densely distributed high-sensitivity seismograph network in Japan: Hi-net by National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Review of Scientific Instruments, 76, 021301-doi:10.1063/1.1854197, 2005.
- 3) Matsubara M. and Obara K.: The 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku earthquake related to a strong velocity gradient with the Pacific plate, Earth Planets Space, 63, pp.663-667, 2011.
- 4) Zhao, D., Hasegawa, A., and Horiuchi, S.: Tomographic imaging of P and S wave velocity structure beneath northeastern Japan, J. Geophys. Res., 97, pp.19,909-19,928, 1992.
- 5) Matsubara, M., Hirata, N., Sato, H., and Sakai, S.: Lower crustal fluid distribution in the northeastern Japan arc revealed by high resolution 3D seismic tomography,

Tectonophysics, 388, 33-45, doi:10.1016/j.tecto.2004.07.046, 2004.

6) Matsubara, M., Hayashi, H., Obara, K., and Kasahara, K.: Low-velocity oceanic crust at the top of the Philippine Sea and Pacific plates beneath the Kanto region, central Japan, imaged by seismic tomography, J. Geophys. Res., 110, B12304, doi:10.1029/2005JB003673, 2005.

7) 鵜川元雄・石田瑞穂・松村正三・笠原敬司：関東・東海地域地震観測網による震源決定方法について，国立防災科学技術センター研究速報，Vol.53, pp.1-88，1984.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
松原誠	日本海沿岸域における地震発生層深度（ポスター発表）	日本地球惑星科学連合 2015年大会	平成27年5月27日
Matsubara M. and H. Sato	Thickness and Lower Limit Seismogenic Layer within the Crust beneath Japanese Islands on the Japan Sea Side（ポスター発表）	AGU Fall Meeting（サンフランシスコ）	平成27年12月18日

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成28年度業務計画案

新潟県を中心に改良された三次元地震波速度構造モデルを用いて震源再決定を実施して、震源断層モデルの地震発生層深度の情報を更新する。沿岸域での地震活動の詳細な把握に資する日本海沿岸の速度構造の高精度化のため、既存の観測網で観測された東北地方南部および北陸・近畿地方における自然地震の地震波到達時刻の読取を行う。また、発震機構解を基に応力場を推定する。

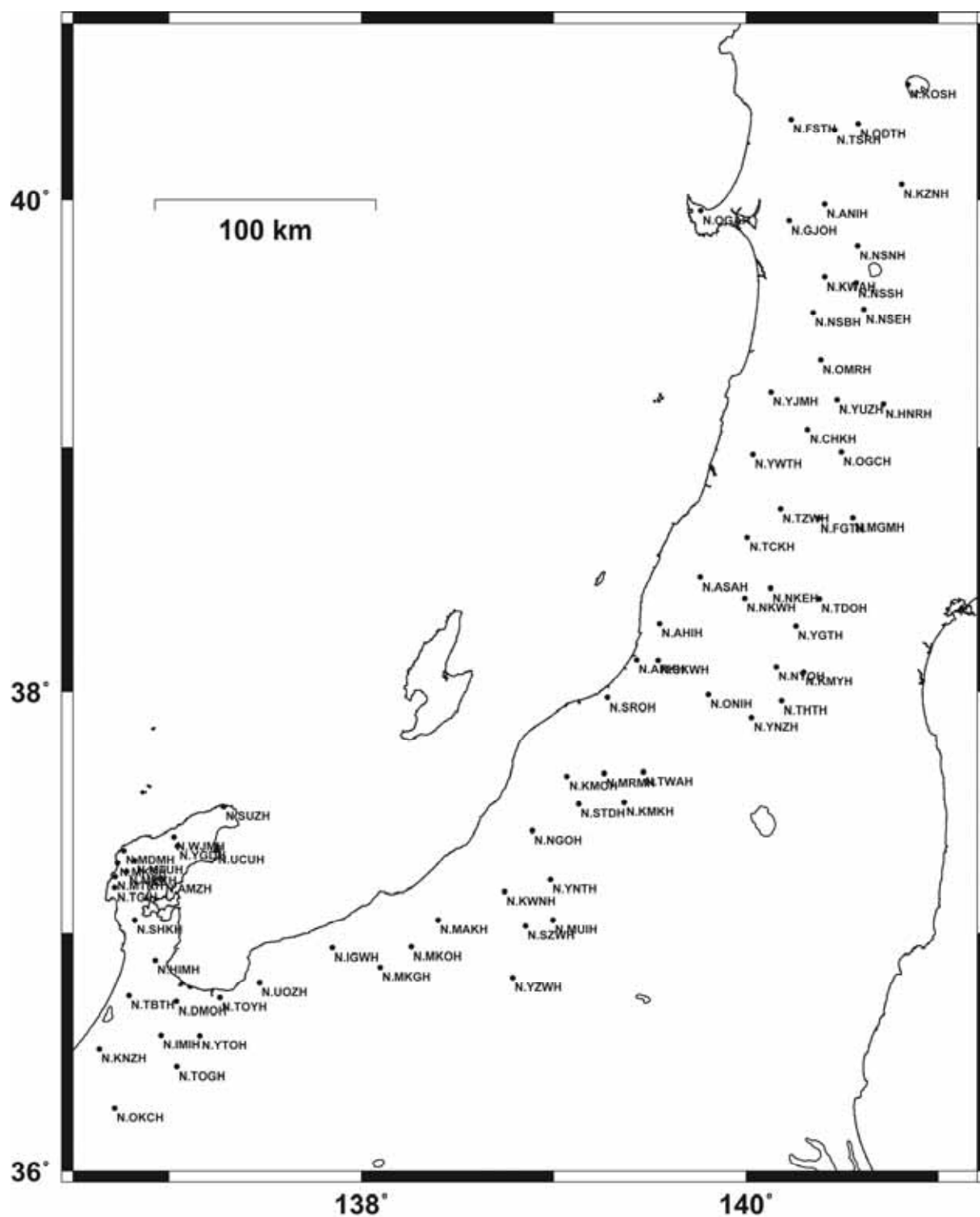


図 1 制御震源探査の記録を切り出した防災科研 Hi-net の観測点分布

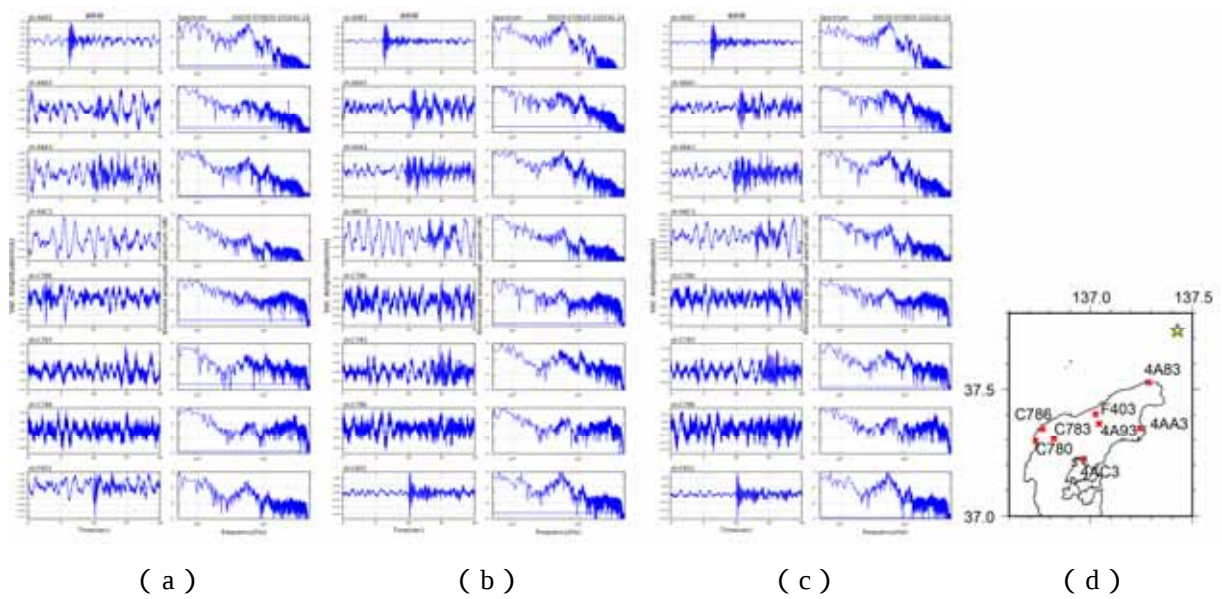


図2 S1ショットの石川県で観測された波形と周波数解析結果(a)シングルトレース(b)5ショット重合(c)9ショット重合(d)発震位置(黄星)と観測点分布(赤×)。

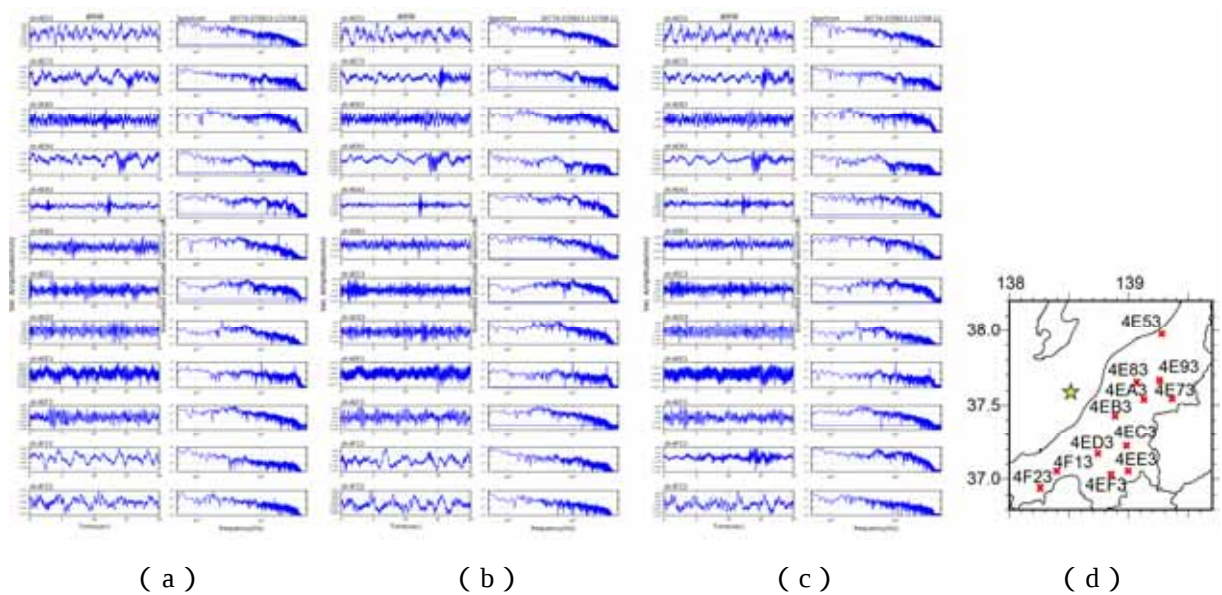


図3 S3ショットの新潟県で観測された波形と周波数解析結果(a)シングルとレース(b)5ショット重合(c)9ショット重合(d)発震位置(黄星)と観測点分布(赤×)。

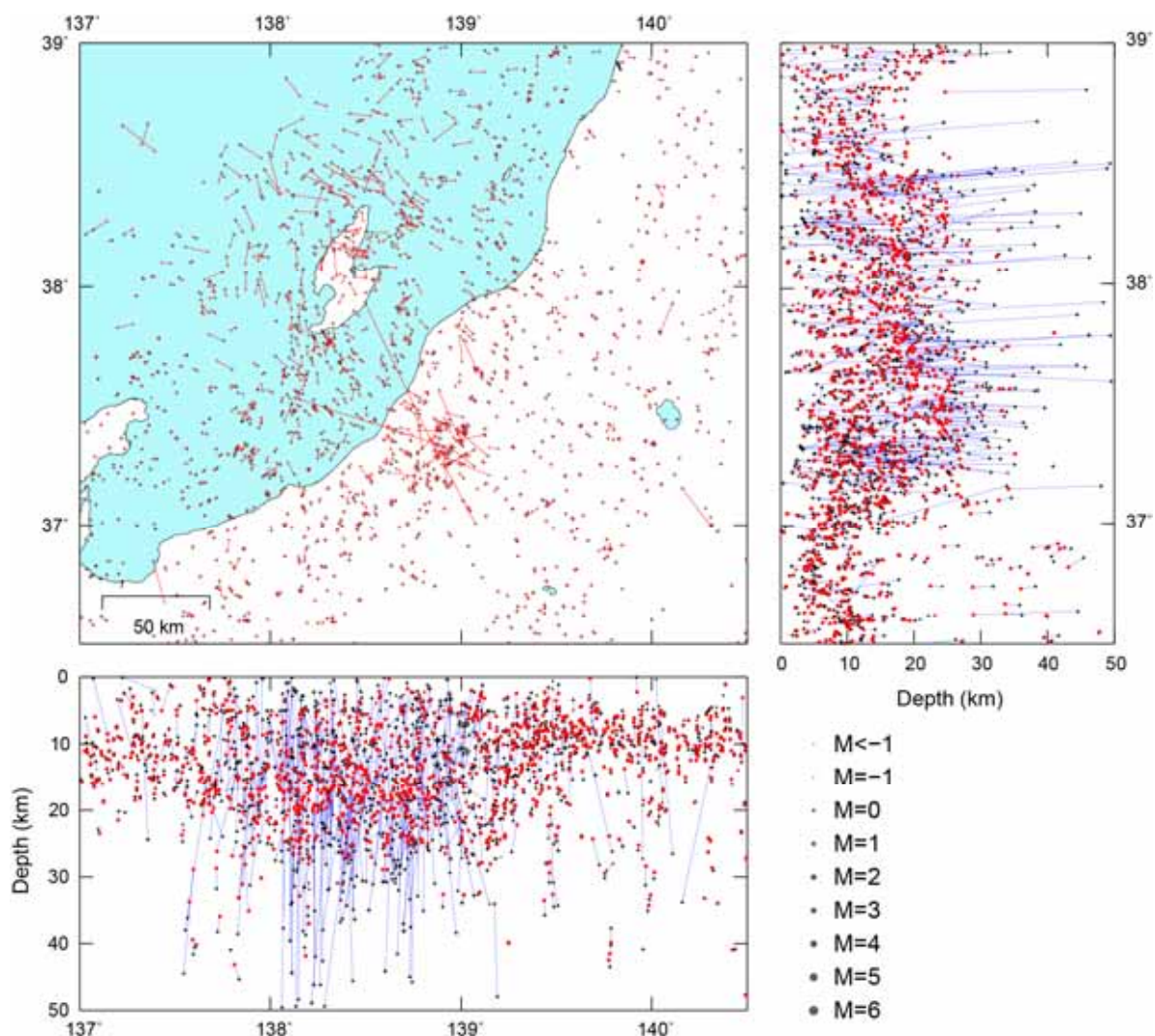


図 4 新潟県周辺の追加読み取りによる震源分布の移動。青十字は追加読み取り前の震源分布を、赤丸が追加読み取り後の震源分布を示す。

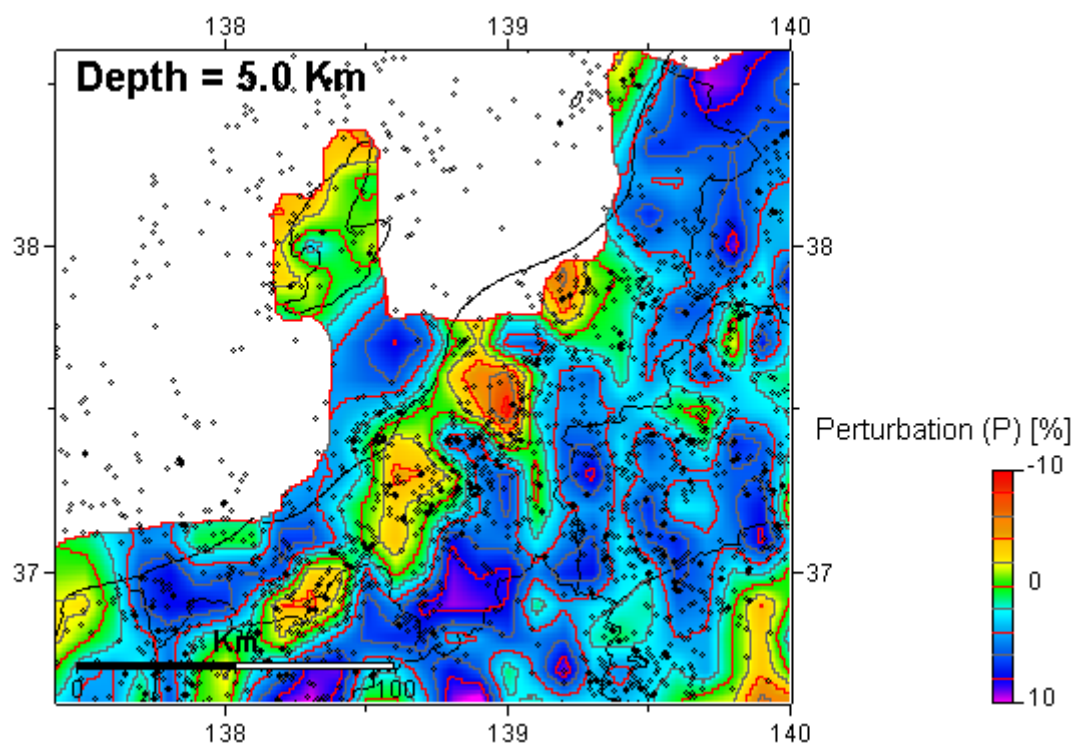


図 5 新潟県周辺の深さ 5 km の P 波速度パーターベーションの分布。

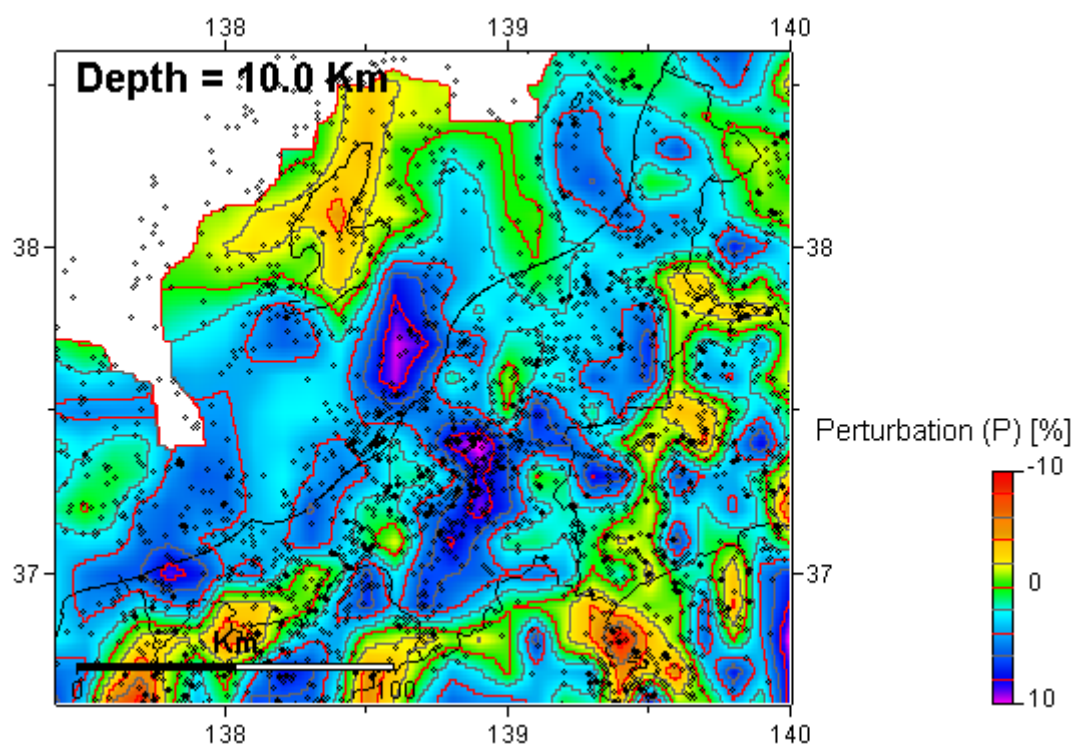


図 6 新潟県周辺の深さ 10 km の P 波速度パーターベーションの分布。

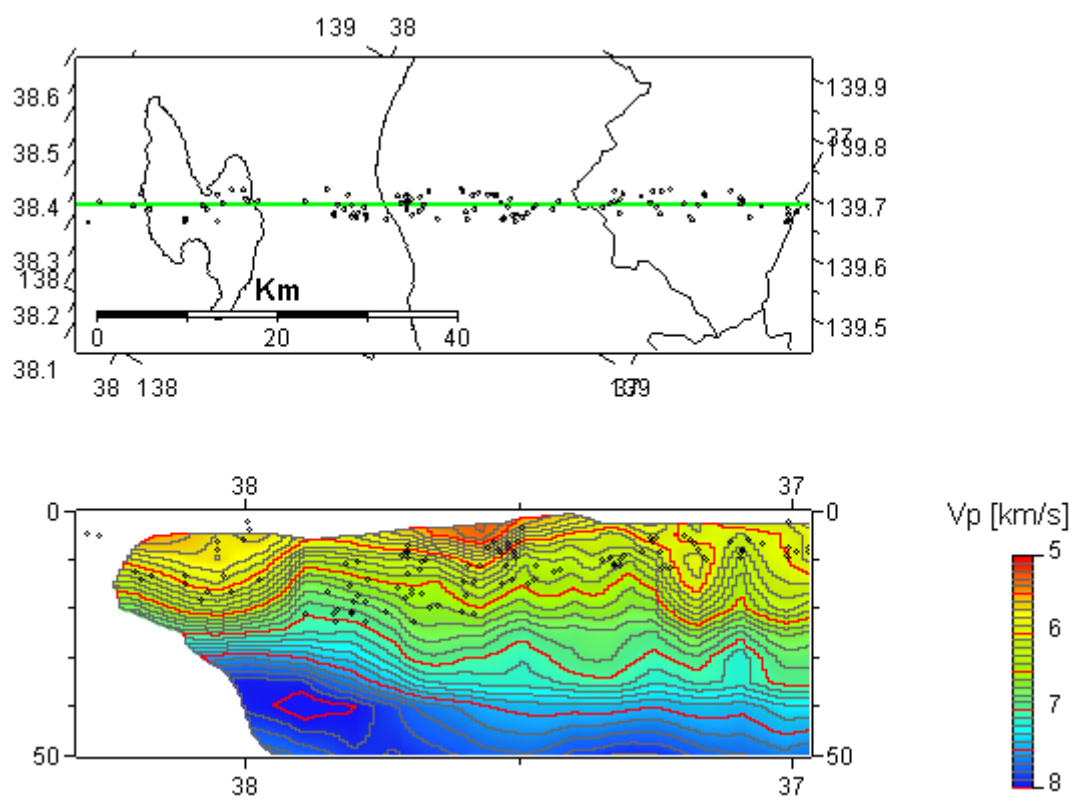


図 7 佐渡島から本州にかけての P 波速度の北西-南東断面。

