HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	2016年6月16日に発生した函館市南茅部付近の地震（MJMA 5.3）と余震活動
Author(s)	一柳, 昌義; 高田, 真秀; 高橋, 浩晃
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 80, 1-11
Issue Date	2017-03-19
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.80.1
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/64683
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/
Type	departmental bulletin paper
File Information	GBHU_80_p1-.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学地球物理学研究報告
Geophysical Bulletin of Hokkaido University, Sapporo, Japan
No. 80, March 2017, pp. 1 － 11
doi : 10. 14943 / gbhu. 80. 1

論説

2016 年 6 月 16 日に発生した 函館市南茅部付近の地震（MJMA 5.3）と余震活動

一柳　昌義・高田　真秀・高橋　浩晃
北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

（2017 年 1 月 27 日受理）

Seismic activity associated with the 2016 Minamikayabe earthquake （MJMA5.3）in southern Hokkaido, Japan

Masayoshi ICHIYANAGI, Masamitsu TAKADA and Hiroaki TAKAHASHI
Institute of Seismology and Volcanology, Graduate school of Science, Hokkaido University

（Received January 27, 2017）

A M5.3 shallow earthquake occurred on 16 June 2016 in Minamikayabe region, southern Hokkaido. Three temporal seismic stations had been operated in the focal region from 18 June 2016 to 29 August 2016. Initial hypocenters and 1-D P-wave velocity structure were estimated from waveform data of temporal and permanent seismic stations. Fine aftershock distribution inferred from the double-difference procedure showed that the hypocenters were distributed in NW-SE direction, which might be agree with a fault plane of mainshock focal mechanism. Five foreshocks occurred near mainshock hypocenter showed similar waveform with high correlation. Characteristic persistent background seismicity and latest middle size earthquake might be related to high geothermal gradient in this region.

Ⅰ. は　じ　め　に

2016 年 6 月 16 日 14 時 21 分頃，北海道南部の函館市南茅部付近を震源とする MJMA 5.3 の地震が発生した（Fig. 1 の星印）．気象庁による震源の深さは 10.5 km である．函館市川汲町で最大震度 6 弱を観測し，北海道南部から東北地方北部の広い範囲で有感となった．軽傷者 1 人のほか，窓ガラスの破損や地割れなどの軽微な被害が発生した（北海道立総合研究機構地質研究所，2016）．本震 1 か月後の 7 月 15 日までの余震活動では，最大震度 4 が 4 回，震度 3 が 3 回，震度 2 が 20 回，震度 1 が 66 回観測されている．

北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター（以下 ISV）では，詳細な余震分布の調査を目的として，本震発生 2 日後から震源域近傍に臨時地震観測点を展開した．臨時観測

BY-NC
この論文はクリエイティブ・コモンズ 表示 - 非営利 4.0 国際 ライセンスの下に提供されています（http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/）．

から得られたデータと常時観測網データに加え，地震予知総合研究振興会が道南と下北半島に展開している地震観測点と防災科学技術研究所火山基盤観測網（V-net）の鹿部観測点のデータも利用して震源分布の詳細な検討を行ったので報告する．

Ⅱ．臨時地震観測と震源決定

Fig. 1 には震源決定に利用した観測点を示す．今回設置した 3 カ所の臨時地震観測点と，北海道大学，気象庁，防災科学技術研究所 Hi-net 及び V-net，地震予知総合研究振興会の観測点のデータを利用した．臨時観測点は，定常観測点の隙間を埋めるように設置した．

臨時観測の期間は，本震が発生した 2 日後の 2016 年 6 月 17 日から 8 月 29 日までの 74 日間である．使用した地震計はマークプロダクツ社製の L22E-3D（固有周期 2 Hz），データ収録装置は計測技研社製の HKS9550（ダイナミックレンジ 24 bit：データ容量 16 Gbyte）で，サンプリング周波数 100 Hz で CF カードにデータを収録した．データは GPS によって毎正時に時刻校正を行った．電源には 12 V のカーバッテリーを 1 台使用した．

臨時観測のデータは，ISV にリアルタイムで送られてきている定常観測点のデータと結合して 1 分ごとのファイルを作成した．次に，気象庁の検測リストに従って，イベント波形の切り出しを行った．その後，WIN（卜部・束田，1991）プログラムを用いて P 波相及び S 波相の検測作業を手動で行った．今回，検測を行った地震は 256 個である．

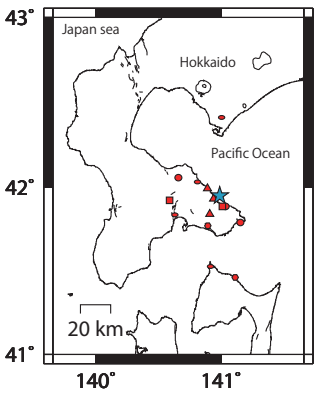

Fig. 1. Seismic stations used in this study. Red squares, circles, ellipses and polygons indicated permanent stations by Hokkaido University, Japan Meteorological Agency（JMA），National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience（Hi-net, V-net）and Association for the Development of Earthquake Prediction, respectively. Red triangles were temporal seismic stations. A blue star was main shock epicenter by JMA（M_{JMA} 5.3）. Solid lines indicated active faults.

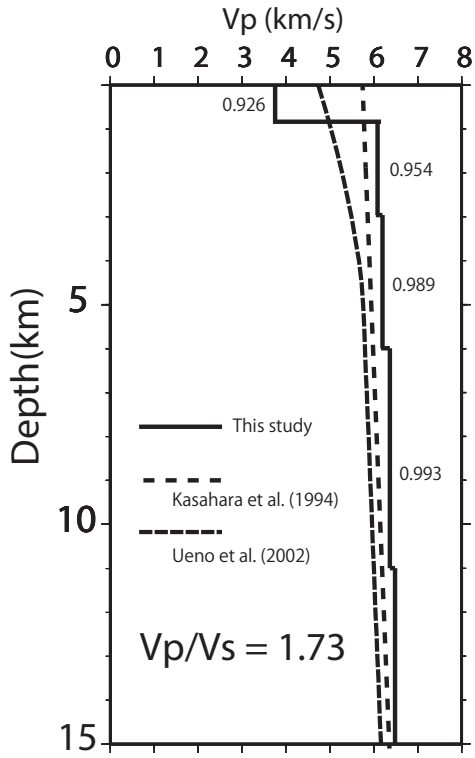

Fig. 2. One dimensional P-wave velocity structure models. Solid, dash and dotted lines were estimated in this study, initial model（Kasahara et al., 1993）and Ueno et al., 2002 used by JMA, respectively. Values of resolution matrix for each layer were also shown.

続いて，検測データを用いて震源決定を行った．利用した震源決定アルゴリズムは HYPOMH（Hirata and Matsu'ura, 1987）である．はじめに，ISV がルーチンで使用している速度構造（Fig. 2）（笠原・他，1994）により初期震源を求めた．次に，震源付近の表層部の P 波速度構造を Crosson（1976）の手法で推定した．笠原・他（1994）の構造を初期構造として，深さや速度を変えながら試行錯誤的に Resolution matrix の対角項が最大の 1 に近づくように繰り返し計算し，走時残差が 0.001 秒未満となった時に解が収束したと判断した．こうして得られた速度構造が Fig. 2 の黒実線である．深さ 1 km には 3.72 km/s と遅い層があるが，2 層目以降は笠原・他（1994）に近い値になった．また，5 層目以深は笠原・他（1994）の深さ 15 km と同じ値を採用した．

推定された P 波速度構造を用いて，Double-Difference 法（以下 DD 法）（Waldhauser and Ellsworth, 2000）を用いて震源再計算を行った．Vp/Vs 比は 1.73 とした．DD 法では，2 つの初期震源に対して求められる各観測点間の走時差に加え，観測点ペアに対し 2-8 Hz のバンドパスフィルタをかけた地震波形の P 波部分の相関係数をパラメータとして与えた．その結果，247 個の震源を決定することができた．

Ⅲ．地震活動の特徴

はじめに，気象庁一元化震源カタログを用いて今回の地震活動の特徴を概観する．Fig. 3a は，2016 年 6 月 16 日から 7 月 15 日までの日別地震回数と積算回数を示している．日別地震回数は，本震発生当日の 146 回が最大で，その後徐々に回数を減らしている．Fig. 3b は，東西方向に投影した本震発生 2 日間（6 月 16 日－ 17 日）の時空間分布を示している．本震発生前の 9 時台と 10 時台に計 5 回の前震が発生している．また，本震発生後，余震域が時間とともに拡大するような特徴は見られない．

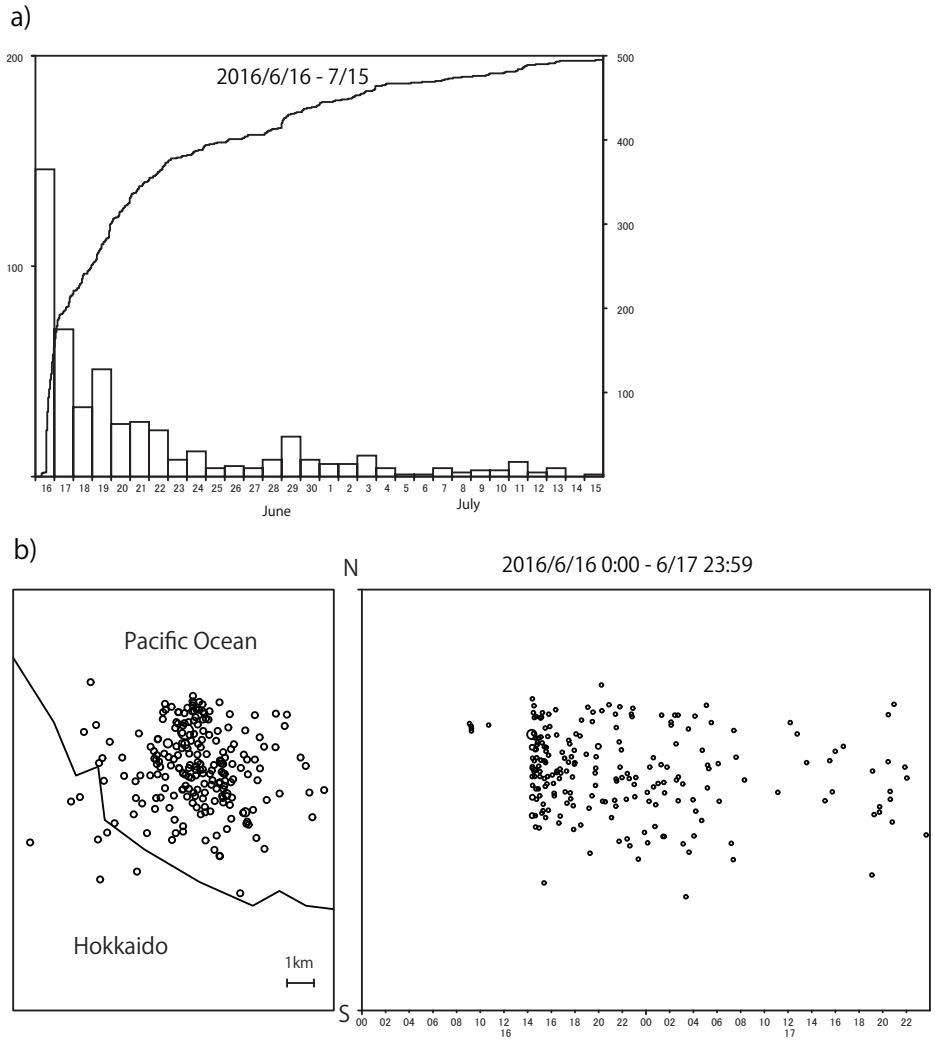

Fig. 3. a）Daily and cumulative earthquake number for one month from the mainshock by JMA hypocenter catalogue, b）Space-time distribution of epicenters along N-S profile from June 16 to June 17, 2016.

この 5 回の前震および本震について，定常観測点のデータと DD 法を用いた震源再決定を行った．速度構造は，Fig. 2 の黒実線で示した本研究で求められたものを利用した．求められた震源（Fig. 4a）によると，5 個の前震と本震の震央位置はほぼ同じであり，深さ方向についても 9 時台に発生した 2 つの地震がやや浅く求まっているものの，おおよそ 2 km 以内で一致していることが分かる．Fig. 4b には，各地震の震源から定常観測点で最も近い恵山（ESH）観測点の速度型地震計の上下動成分の波形を示している．一番上に示した最初の前震と各地震との波形相関係数は，P 波 S 波部分とも 0.8 ～ 0.9 の高い値を示した．

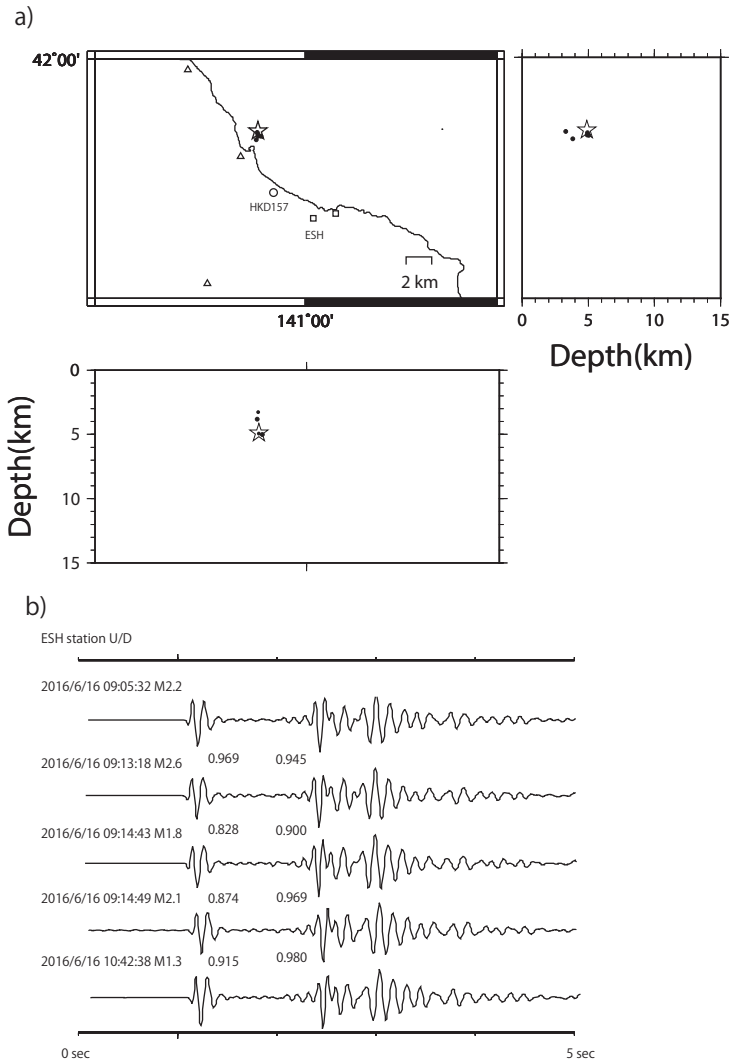

Fig. 4. a）Hypocenter distribution of main shock and foreshocks used double-difference method, b）Comparison of seismographs of five foreshocks. Values of correlation coefficient for each P- and S-wave packets were also shown.

次に，本震発生 2 日後に設置した臨時地震観測点を用いて震源決定を行った結果について検討する．Fig. 5a は臨時観測データを用いた震源分布，Fig. 5b は気象庁一元化震源による震源分布，Fig. 5c は M2.0 以上の震源位置の比較を示している．Fig. 5c を見ると，臨時観測による震源は気象庁一元化震源の震央位置と比較して相対的に西南西方向に約 4 km 程度移動して分布しているのが分かる．また，深さも 5 km 程度浅くなっているのが分かる．この違いの原因として，本研究の震源は震源域近くのデータを用いていることや，この地域のローカルな速度構造を利用していることに対し，気象庁一元化震源では日本周辺の平均的な速度構造 JMA2001（上野・他，2002）を使用していることが考えられる．また，震源域の大きさも，臨時観測の方がやや小さくまとまっていることが分かる．臨時観測の震源では，相対的な位置を高精度で推定できる DD 法を使用しているためと考えられる．

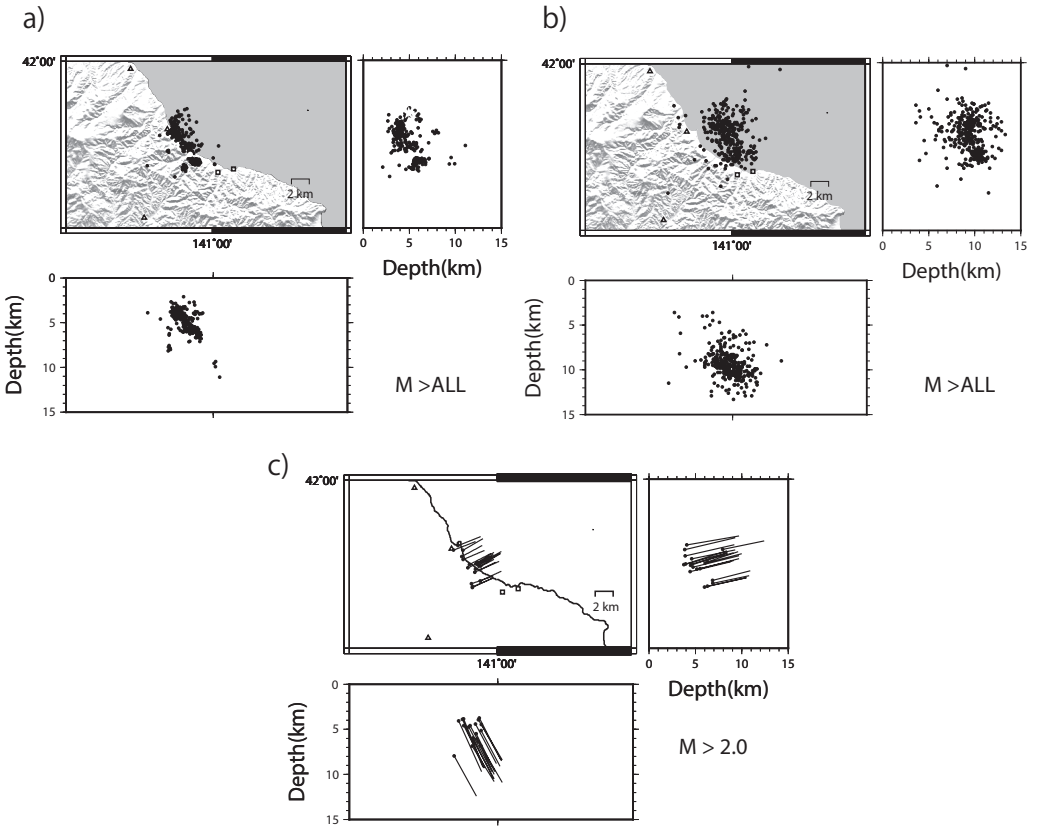

Fig. 5. a）Relocated hypocenter distribution from June 17 to August 29, 2016 using the double-difference hypocenter determination method by three temporal stations and permanent stations. b）Hypocenter determined by JMA. c）Hypocenter comparison of a）(solid circles）and b）(Tip of the bar connected to a solid circle).

Fig. 6 には，臨時観測による震源分布の長軸方向と短軸方向に投影した震源分布と，防災科学技術研究所 F-net による本震の CMT 解を示している．また，本震の震源（星印）については，以下のような操作を行ったものを示した．気象庁一元化震源のうち，臨時観測期間中に発生した最も本震に近い地震について，臨時観測による震源位置と気象庁震源との差を求め，これを本震の位置に加えた．その結果，震源の長軸の方向は，メカニズム解の節面のうち南北走行のものに近い．また，この南北節面は高角であるが，震源の深さ分布もほぼ垂直を示す．また，今回推定した本震位置は，震源域の北端に位置していることから，破壊は震源から南東方向に進行したことが示唆される．

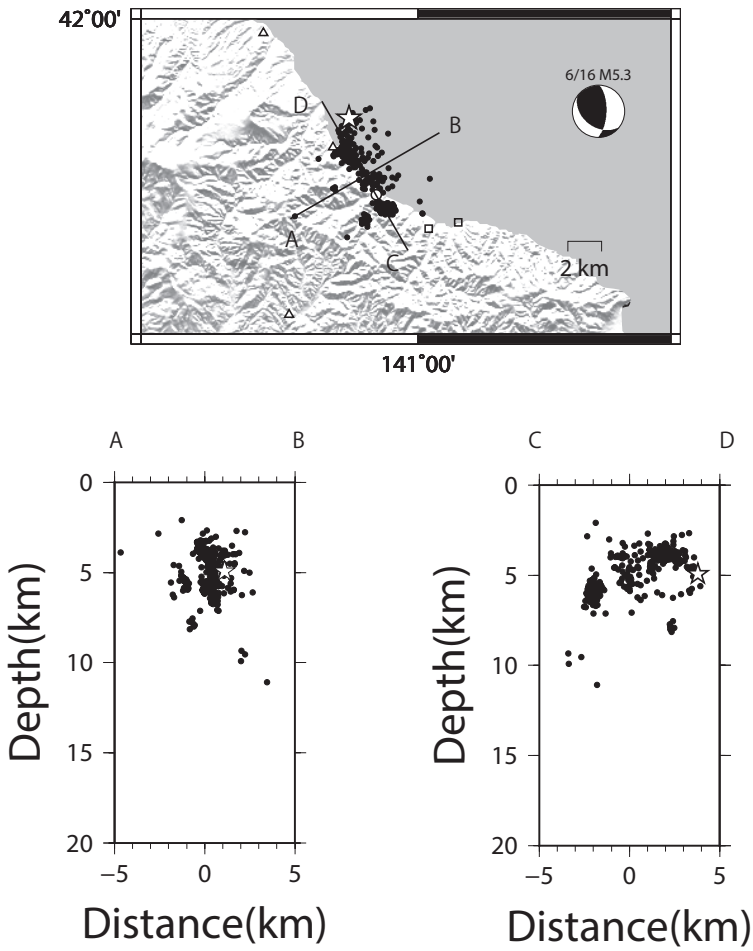

Fig. 6. Vertical section of relocated hypocenters from June 17 to August 29, 2016 determined. An open star indicated main shock determined in this study. CMT solution of the main shock determined by F-net was also shown. Hypocenter data is attached as a supplemental file.

防災科学技術研究所の Hi-net 地震観測網の設置が完了した 2002 年 1 月 1 日から 2016 年 11 月 30 日までに得られた気象庁一元化震源について，DD 法により震源再決定を行った．Fig. 7a に震央分布を，Fig. 7b に利用した観測点，Fig. 7c に南北方向に投影した時空間分布を示している．再決定には走時差のみを使い，波形相関は使用していない．2009 年前半や，2010 年末から 2011 年前半にかけて，今回の震源域の南側で一時的に地震活動が活発な時期がみられるものの，2002 年以降はほぼ定常的に地震が発生していたことが分かる．2014 年後半から今回の地震の発生までの期間は地震活動がやや低調であった．

気象庁震源カタログによれば，今回の震源域である函館市南茅部付近では 1977 年 6 月 M2.7 や 1993 年 12 月の M3.6 など，震度 1 から 2 程度の有感地震が時折発生する地域である．ところで，

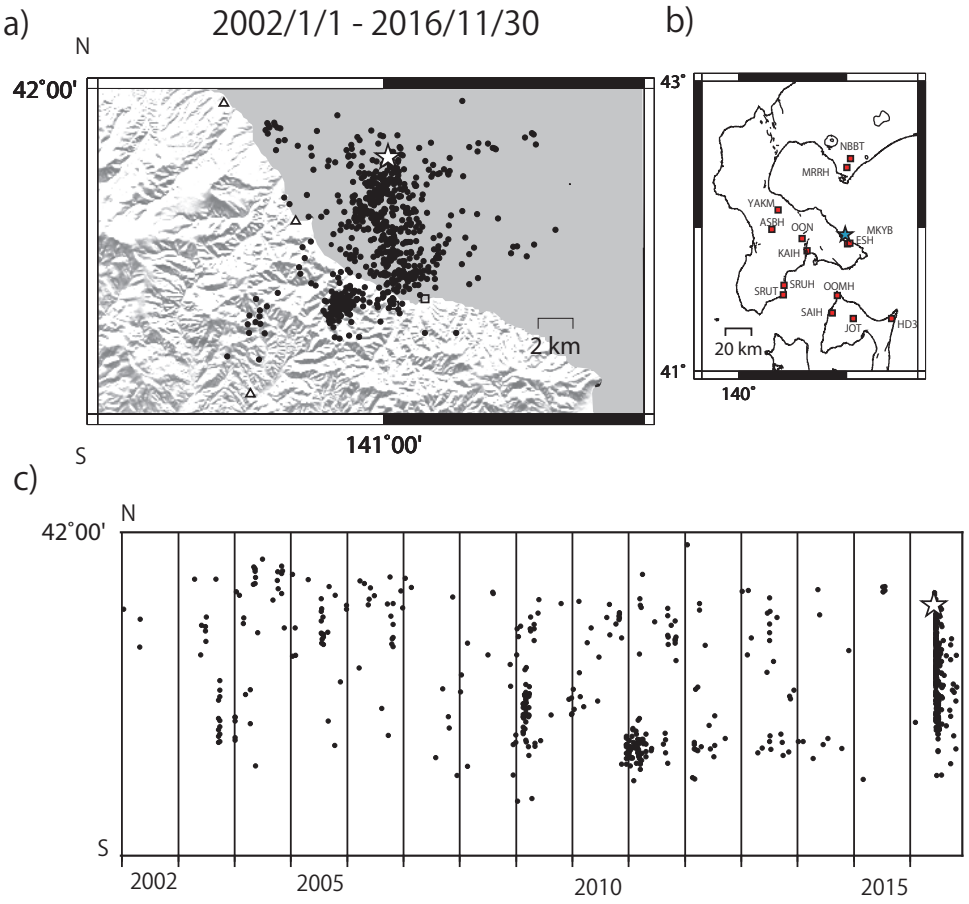

Fig. 7. a) Epicenter distribution from January 1, 2002 to November 30, 2016 determined using double-difference method using travel time data from JMA catalog. b) Station map used for hypocenter calculated. c) Space-time distribution of epicenters along N-S profile from January 1, 2002 to November 30, 2016.

今回の震源域を含む北海道南部は，内陸の浅い地震活動度が比較的高い地域となっている．中規模の地震を伴う群発的な活動を呈するケースが多く，1978 年の函館（最大 M4.2 が 2 回発生）や 1995 年松前（最大 M4.2）をはじめ，これまで多くの群発地震活動の発生が知られている．今回の地震活動については，その発生数は減衰してきているが，定常的に地震活動が見られていることから，今後も注意深く活動の推移を監視していく必要がある．Fig. 8 は，北海道南部の地温勾配図に（北海道立地下資源調査所，1995），2002 年 1 月 1 日から 2016 年 11 月 30 日までの深さ 40 km 以浅の気象庁一元化震源をプロットした．今回の地震の震源域は，10 K/100 m を超える地温勾配が高い地域に相当している．温度構造は地殻の弾性層厚に影響を与えることから，地震活動との関連性が注目される．

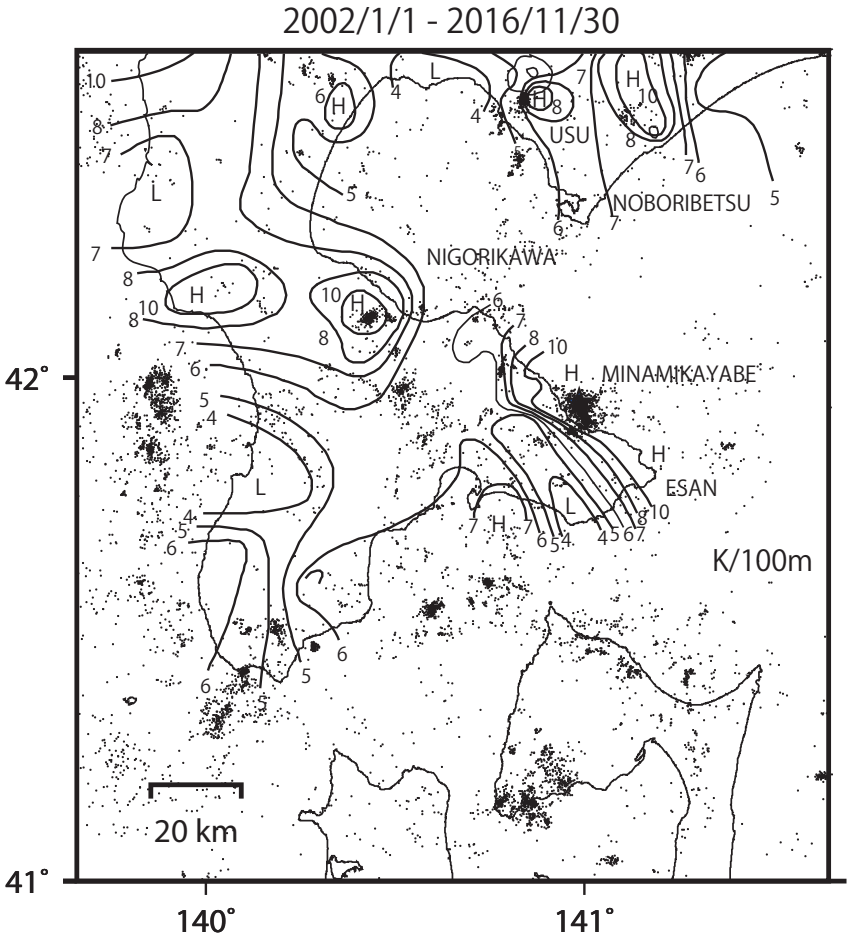

Fig. 8. Map showing geothermal gradient and shallow (> 40km) seismic activity. Geothermal gradient map was made by Geological Survey of Hokkaido (1995) and epicenters were from JMA catalog from January 1, 2002 to November 30, 2016.

Ⅳ. ま と め

2016 年 6 月 16 日 14 時 21 分頃函館市南茅部付近で最大震度 6 弱の地震（M5.3）が発生した．震源域は定常的に地震活動がみられる場所であり，地温勾配も高くなっている．ISV では本震発生 2 日後に 3 点の臨時観測点を震源域近傍に設置し稠密な地震観測を実施した．臨時観測を含む観測網を使って震源決定を行った結果，震源は気象庁震源と比較してより南西側に位置し，深さも 3-6 km 程度のより浅部に分布することが分かった．震央分布は北西－南東方向に，深さはやや北東側に深くなるように分布している．本震のメカニズム解は東西圧縮の逆断層解で，余震分布からは南北方向の節面が断層面である可能性が示唆される．本震発生前に 5 回の前震を観測し，震源位置と波形を比較した結果，前震の震源は本震の震源とほぼ同じ場所であった．また，5 回の前震の地震波形は高い相関を示すことが分かった．

電子付録　Fig. 6 の震源データを電子付録として掲載した．

謝辞　臨時地震観測を行うにあたり，函館市教育委員会南茅部教育事務所と北海道渡島総合振興局函館建設管理部，北海道立総合研究機構地質研究所の岡崎紀俊研究主幹に多大な協力をいただきました．また，気象庁，独立行政法人防災科学技術研究所 Hi-net，F-net，V-net，地震予知総合研究振興会，北海道大学，弘前大学，東北大学，東京大学，名古屋大学，京都大学，高知大学，九州大学，鹿児島大学，独立行政法人産業技術総合研究所，国土地理院，青森県，東京都，静岡県，神奈川県温泉地学研究所，横浜市，独立行政法人海洋研究開発機構の波形データ及び，それらのデータを使用して作成した気象庁一元化震源データを使用しました．波形相関を求めるために京都大学防災研究所附属地震予知研究センター宮崎観測所の山下祐亮博士作成のプログラムを使用させて頂きました．図の作成には SEIS-PC（石川・中村，1997），GMT（Wessel and Smith, 1995）を使用しました．これらのことについて記して感謝いたします．

文　献

Crosson, R. S., 1976. Crustal structure modeling of earthquake data. 1. Simultaneous least squares estimation of hypocenters and velocity parameters, *J. Geophys. Res.*, **81**, 23036-23046.

Hirata, N., and M. Matsu'ura, 1987. Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique, *Phys. Earth Planet. Int.*, **47**, 50-61.

北海道立地下資源調査所，1995．60 万分の 1 北海道地温勾配図．

北海道立総合研究機構地質研究所，2016．平成 28 年 6 月 16 日 14 時 21 分　内浦湾の地震被害調査報告，http://www.hro.or.jp/list/environmental/research/gsh/information/topics/topics20160616.html,（参照 2016-12-14）．

石川有三・中村浩二，1997．SEIS-PC for Windows95，地球惑星科学関連学会 1997 年合同大会予稿集，78.

笠原　稔・小平秀一・本谷義信，1994．1993 年釧路沖地震の余震活動とそれ以前の北海道周辺の地震活動，1993 年釧路沖地震による被害の調査研究，平成 5 年度文部省科学研究費突発災害調査研究成果報告，27-34.

上野　寛・畠山信一・明田川　保・舟崎　淳・浜田信生，2002．気象庁の震源決定方法の改善－浅部速度構造と重みの関数の改良－，検震時報，**65**，123-134.

卜部　卓・東田進也，1991．ワークステーションによる微小地震観測網波形検測支援システム，日本地震学会講演予稿集，1，70．

卜部　卓，1994，多チャンネル地震波形データのための共通フォーマットの提案，日本地震学会講演予稿集，2，384．

Waldhauser, F. and W. L. Ellsworth, 2000. A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the Northern Hayword Fault, California, Geophys. Bull. Seism. Sco. Am., **90**, 1353-1368.

Wessel, P. and W. H. F. Smith, 1995. New version of the generic mapping tools released, *EOS Trans*., AGU, **76**, 329.