HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	2012年に発生した渡島地方森町濁川カルデラでの群発地震活動
Author(s)	一柳, 昌義; 笠原, 稔; 高橋, 浩晃 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 77, 5-13
Issue Date	2014-03-19
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.77.5
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55263
Type	departmental bulletin paper
File Information	77_02_P5-13.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. 77, March 2014, pp. 5－13

論説

2012年に発生した渡島地方森町濁川カルデラでの群発地震活動

一柳　昌義・笠原　稔・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
岡崎　紀俊*・高橋　良
北海道立総合研究機構地質研究所
大園　真子
山形大学理学部地球環境学科

（2014年1月17日受理）

The 2012 Earthquake Swarm in Nigorikawa Caldera, Hokkaido

Masayoshi ICHIYANAGI, Minoru KASAHARA and Hiroaki TAKAHASHI
Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science,
Hokkaido University
Noritoshi OKAZAKI and Ryo TAKAHASHI
Geological Survey of Hokkaido, Hokkaido Research Organization
Mako OHZONO
Department of Earth and Environmental Science, Faculty of Science,
Yamagata University

（Received January 17, 2014）

An earthquake swarm begun at the end of January, 2012 and the activity reached a peak in middle February, then gradually decreased by the end of April, in the Nigorikawa caldera, Hokkaido. The largest earthquake was the MJMA3.6 event which occurred on 15 February 2012 with maximum intensity 3. Temporal seismic observation with two stations carried out from 20 February to 9 April in the caldera. Detailed hypocenter distribution estimated by using both data temporal and secular observations shows two clusters, one of them is aligned along the northern caldera wall and another is located at eastern outside of caldera. Strike of alignment epicenter of the north cluster shows NE-SW direction, which is in good agreement with one of the nodal plane of focal mechanism of the largest event.

* 現在，北海道立総合研究機構
* Now, Hokkaido Research Organization

Ⅰ．は　じ　め　に

2012 年 2 月 15 日 13 時 36 分頃に渡島地方森町の濁川カルデラ付近で M_{JMA}3.6 の地震が発生した（Fig. 1a の星印）．この地震で八雲町内，上の湯と熊石雲石町で震度 3 を観測した．また，同日 11 時 59 分と 14 時 55 分に八雲町上の湯でそれぞれ最大震度 2 と 1 を観測する地震が発生した．

濁川カルデラは，約 1 万年前に形成された直径約 3 km のカルデラで，地熱開発に伴う各種調査から「じょうご型」の地下構造をしていることが知られている（黒墨・土井，2003）．カルデラ内では，現在も地熱活動が見られる．また，北海道電力森地熱発電所が稼働中である．

気象庁の一元化震源カタログによれば，この付近では過去にも散発的に小さな地震が発生している．2012 年 1 月 1 日から 4 月 30 日までの M-T 分布によると（Fig. 1b），今回の地震活動は 2012 年 1 月 30 日 6 時 37 分から始まり 2 月 4 日までに 13 個の地震が発生した後静穏化し，2 月 14 日から再び活発化して 2 月 15 日に M3.6 の最大地震が発生した．この地震は，濁川カルデラ周辺の地震としては気象庁震源カタログのある 1923 年以降で最大のものである．その後，活動は徐々に低下し，2 月 24 日以降は散発的になっている．2 月 23 日までに発生した地震数は 52 個であった．

北海道大学地震火山研究観測センターと北海道立総合研究機構地質研究所は，今回の活動の調査のため 2 月 20 日からカルデラ内に 2 か所の臨時地震観測点を設置し約一ヶ月半の間観測を実施したので，その結果を報告する．

Ⅱ．臨時地震観測と震源決定

今回の地震活動の震源域である濁川カルデラに一番近い地震観測点は，気象庁八雲観測点（以下 YAKM）（Fig. 1a）である．臨時地震観測点は，YAKM を含め均等な配置になるようカルデラの南北 2 か所に設置した（Fig. 1a の SEK と MNM）．臨時地震観測には，中国中装集団社製 CDJ-S2C 地震計（固有周期 2 Hz），データ収録装置として白山工業社製 LS7000XT（ダイナミックレンジ 24 bit：サンプリング周波数 100 Hz：連続記録データモード）を利用し，電源は 12Volt40Ah のカーバッテリー 2 個を使用した．データは収録装置に内蔵した 2 Gbyte の CF カードに WIN フォーマット（卜部・束田，1991）に 1 分ごとに 1 ファイルで書き込まれていて，観測期間中に一度データ回収とバッテリー交換を行った．臨時観測を実施した期間は，2012 年 2 月 20 日から 4 月 9 日までの 49 日間である（但し，SEK 観測点は電源切れのため 4 月 7 日で終了）．

回収されたデータを用いて，定常観測点である YAKM 観測点との併合処理を行った．まず臨時観測点が設置された期間について，YAKM 観測点の連続波形記録の長時間平均と短時間平均の比（STA/LTA）が 2.5 倍を超えた場合に地震と判定し，イベント波形データを作成してハードディスクに収録する．そのデータと同時刻の 2 つの臨時観測点の波形データを win（卜部，

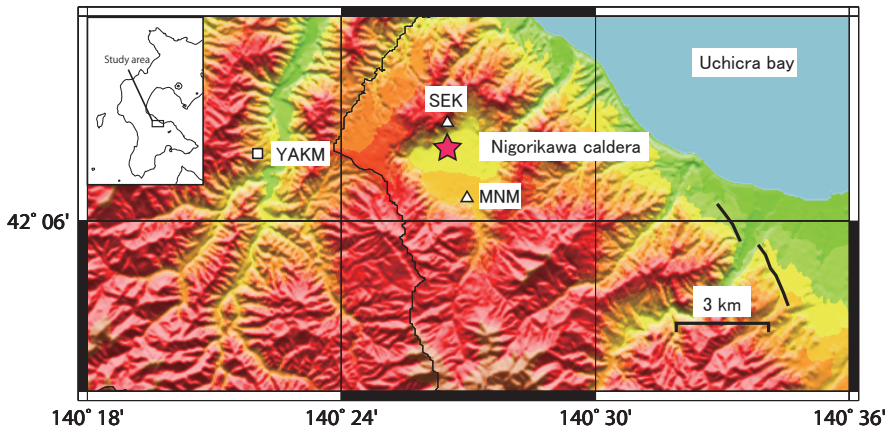

Fig. 1a

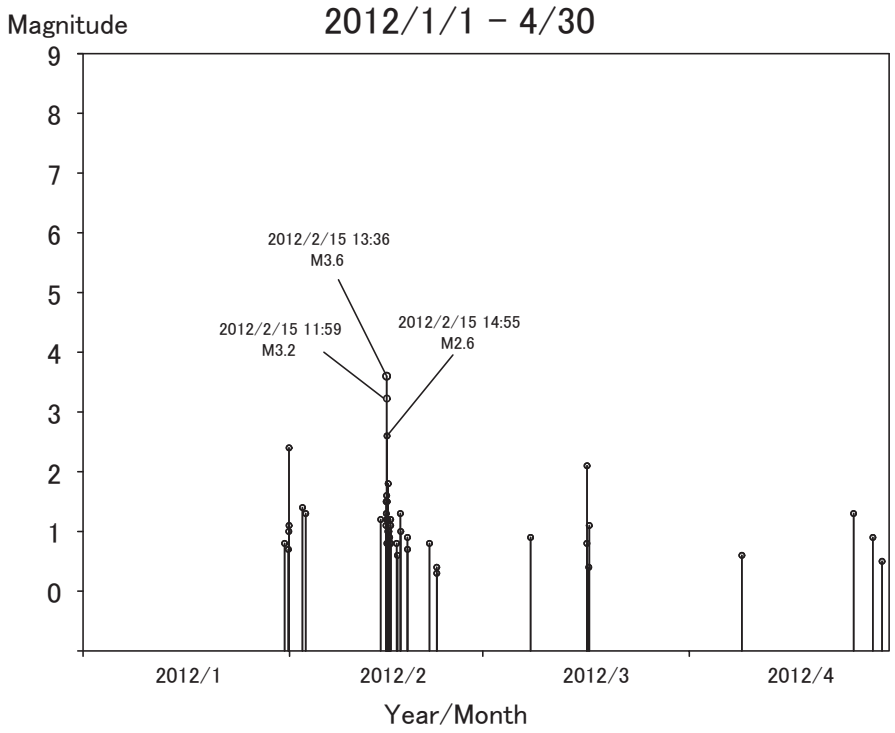

Fig. 1b

Fig. 1. (a) Seismic stations used in this study. An open square and triangles indicated YAKM permanent station of Japan Meteorological Agency (JMA) and temporal stations, respectively. A red star is epicenter of the M3.6 largest earthquake at 13:36 on 15 February 2012, determined by JMA. Solid lines indicated active faults. (b) Magnitude-time distribution of earthquakes in this area from 1 January 2012 to 30 April 2012 according to the earthquake catalogue of JMA.

1994）の wadd プログラムで結合したのち，これらの 3 観測点での P 波相及び S 波相の検測を行った．その結果，2 か所の臨時観測点が稼働していた 2012 年 2 月 20 日から 4 月 7 日までの期間に 42 個の地震が検測された．この期間に気象庁が震源を決定できた地震数は 13 個であり，臨時観測により地震の検知能力が大幅に向上したことがわかる．

震源決定には，Hirata and Matsuura（1987）の震源計算プログラム HYPOMH を使用し，臨時観測点と YAKM 観測点の 3 観測点 5 要素（P 波相が 3 個，S 波相が 2 個）以上の検測値を用いて震源決定を行った．これは，一部の地震で YAKM 観測点と SEK 観測点で S 波相を読み取ることができなかったためである．1 次元 P 波速度構造には北海道大学の定常観測で使用している速度構造モデル（笠原・他，1993）を基本とするが（Fig. 2 の破線），浅部の堆積層については防災科学技術研究所の地震ハザードステーション（J-SHIS, 2014）にまとめられている，この附近での S 波の地盤構造モデルを参考に Vp/Vs 比を 1.73 と仮定して P 波速度構造モデルを設定した（Fig. 2 の実線）．

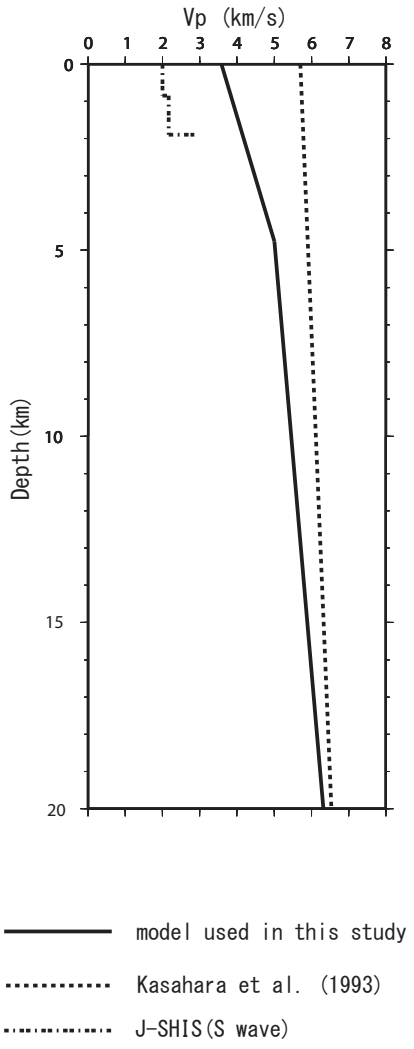

Fig. 2. One dimensional P- and S-wave velocity structure models.

Ⅲ．2012 年地震活動の特徴

Fig. 3 に前述の方法で決定した 2012 年 2 月 20 日から 4 月 7 日までの臨時観測による震源分布を示す．地震は濁川カルデラの北部とカルデラ壁を越えた東部の 2 か所にクラスター状に発生していて，地震の深さは北部が約 3 km，東側はやや深く約 5 km であった．

臨時地震観測開始前に発生した 3 つの有感地震の震源位置について検討を行うため，気象庁一元化震源カタログにある地震の YAKM 観測点での S-P 時間（Fig. 4a），本研究により YAKM で検知された地震の S-P 時間（Fig. 4b），SEK 観測点の S-P 時間分布（Fig. 4c）を示す．SEK 観測点では S-P 時間は 0.7 秒を境にして 2 つのグループに分類することができ，0.7 秒以下はカルデラ北部の浅い地震群，0.7 秒以上は東部のやや深い地震群に対応する．また，YAKM 観測点で

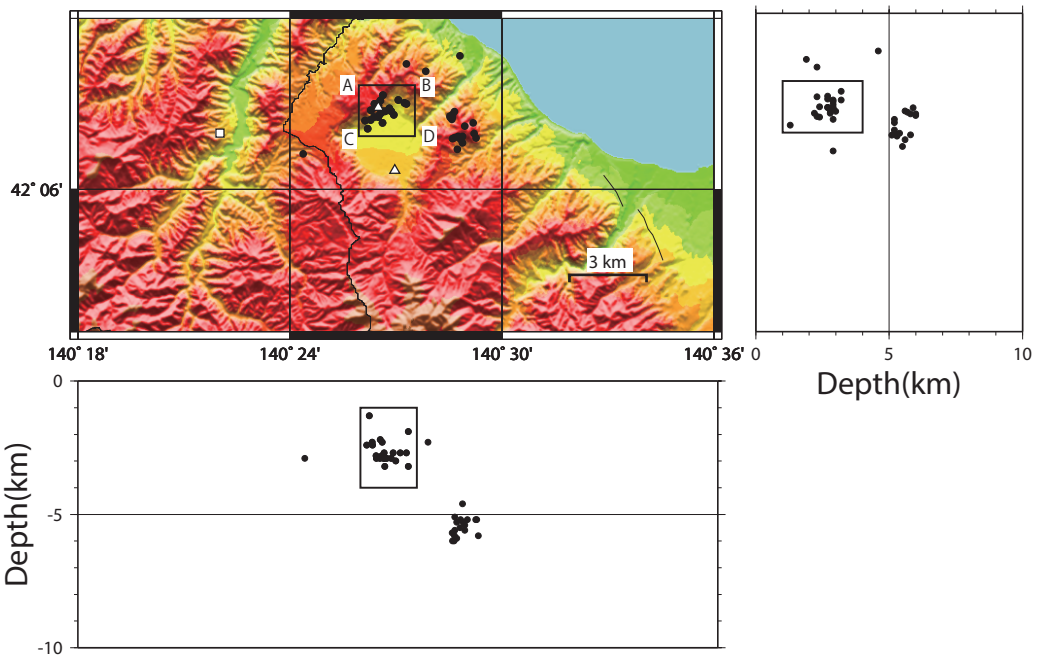

Fig. 3. Hypocenter distribution from 20 February to 7 April, 2012 determined in this study. A rectangular subscripted with A – D is for Fig. 5.

S-P 時間 1.5 秒以下のものはカルデラ北部の地震群，1.5 秒以上のものはカルデラ東部の地震群に対応する（Fig. 4b）．

Table 1 に 2 月 15 日に発生した 3 つの有感地震の発震時刻及び YAKM 観測点での S-P 時間を示す．13 時 36 分に発生した M3.6 の最大地震の S-P 時間は 1.30 秒，14 時 55 分に発生した M2.6 の地震は 1.32 秒であることから（Fig. 4a 緑色の丸印），これらの地震の震源はカルデラ北部であった可能性が高い．気象庁が求めた震源もカルデラの中北部に決まっている（Fig. 1a）．11 時 59 分に発生した M3.2 の地震の S-P 時間は 0.42 秒で（Fig. 4a の赤丸印），前述の 2 つの地震と比較して S-P 時間が極端に短い．地震活動が活発だった 1 月から 4 月までの期間を通して，短い S-P 時間を持つ地震は他には観測されておらず，11 時 59 分の地震だけは YAKM 観測点近くで発生した単発のイベントであったと考えられる．

Table 1. Origin time and S-P times of YAKM station for three felt earthquakes occurred on 15 February in the Nigorikawa caldera.

DATE	TIME	Magnitude	S-P time(sec)
2012/2/15	11:59	3.2	0.42
2012/2/15	13:36	3.6	1.30
2012/2/15	14:55	2.6	1.32

次に，13 時 36 分 M3.6 と 14 時 55 分 M2.6 の地震の P 波初動メカニズム解の節面の検討を行った．メカニズム解推定における震央位置および深さの影響を評価するため，震央位置を Fig. 3 に

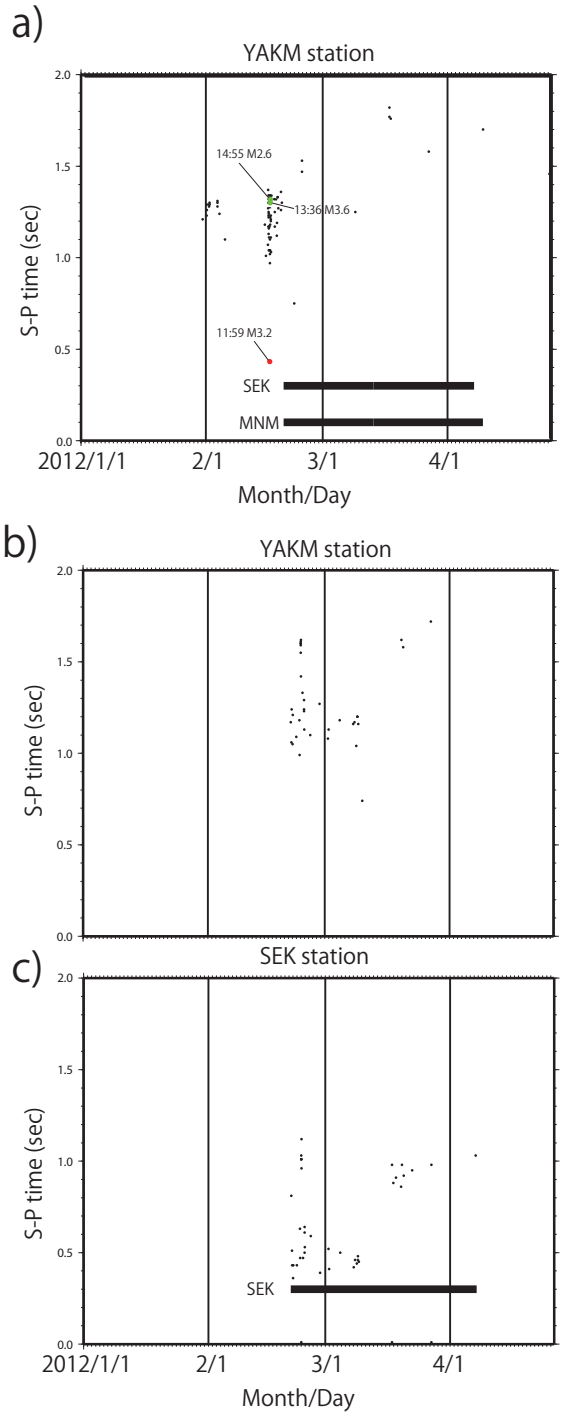

Fig. 4. The S-P time distribution of (a) YAKM station taken from JMA earthquake catalog, (b) YAKM station and (c) SEK station determined in this study. Solid lines indicate observation period of temporal seismic stations. Green dots and red dot indicate the S-P time of YAKM station for the three events listed in the Table 1.

示す矩形内で A から D まで 4 か所を仮定し，それぞれの地点で深さ 1 km と 4 km に震源があるとした場合の各観測点での押し引き分布の変化を検討した．その結果，13 時 36 分 M3.6 の地震については，震源位置と深さを変えても押し引き分布はほとんど変わらず，北西―南東方向に圧縮軸を持ち，逆断層成分を含む右横ずれを示す解となった（Fig. 5a）．一方，14 時 55 分 M2.6 の地震は正断層成分を含む解となるものの，震央と深さ変化により節面が変化することが明らかになった（Fig. 5b）．これは，地震の規模が小さく，P 波相の立ち上がりが明瞭ではないためと考えられる．なお，11 時 59 分の M3.2 の地震は震源が今回の活動域から離れている可能性が高いため検討対象からはずした．

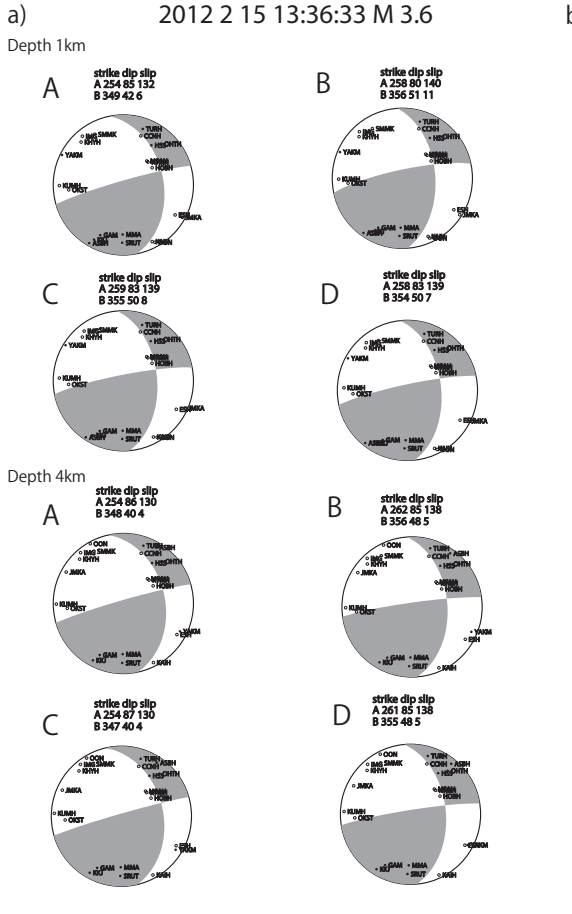

Fig. 5a

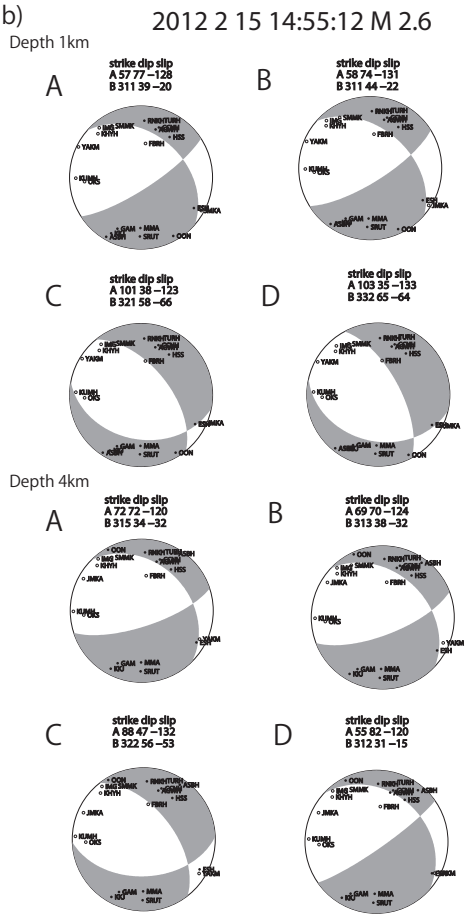

Fig. 5b

Fig. 5. Focal mechanisms estimated from P-wave polarizations for assuming epicenter location for A to D and depth for 1km and 4 km of (a) M3.6 event at 13:36 of 15 February 2013, and (b) M2.6 event at 14:55 of 15 February 2013.

Ⅳ．考察とまとめ

濁川カルデラの地下構造は地熱開発井等のデータから詳細な検討がされている．黒墨・土井（2003）によると，「じょうご型」の最深部は海抜 -1000 m であり，それ以深は直径 300 m 程度の筒状火道が推定されていて，先第三系と火道充填物との境界は海抜 -500 m 付近に推定されている．また，カルデラ中央部の海抜 0 m 付近までドーム状の後カルデラ潜在ドームの存在が推定されている．今回の地震活動の深さは，カルデラ北部の地震群で約 3 km，東部のもので約 5 km であり，震源はいずれも先第三系基盤岩内と考えられる．

広田（1978）は濁川カルデラで臨時地震観測を実施し，震源がカルデラ北部の北東－南西方向に並ぶことを見出した．また，地質構造や熱活動に関するデータから，濁川カルデラ北部に北東―南西方向の断層や構造境界の可能性を示している．今回の臨時観測で得られたカルデラ北部の震源も同様に北東－南西方向に分布しているほか，メカニズム解の 1 節面の走行は北北東―南南西方向であり，広田（1978）の結果と調和的である．これらデータは，今回の地震活動が濁川カルデラ北部にある北東―南東方向の地質構造に関連するものである可能性を示唆する．

濁川カルデラ北部には，自噴温泉や噴気孔が分布し，地下深部まで変質帯が続くなど地熱活動が活発であることが知られている（福富他，1963；浦上・西田，1977 など）．広田（1978）は，これらの地熱現象が北東―南西方向の地質構造に沿った活動である可能性を示しており，地震活動との関連性を指摘している．カルデラ内にある濁川地熱発電所では，群発地震が発生した 2012 年 1 月から 2 月にかけて発電量などの変更はなく通常の運転中であったとのことである（北海道電力森地熱発電所，私信）．カルデラは構造的に応力が集中しやすいことに加え，熱水の活動は地殻強度を低下させ地震発生を促進する場合がある．今回の地震活動にともなう温泉の温度成分などの顕著な異常は報告されていないが，地下深部流体の影響などを見積もるためにも同位体などの測定を定期的に行っておくことが必要であろう．

謝辞　臨時地震観測を行うにあたり，森町濁川地区の方々にご協力をいただきました．観測機材の準備で，北海道大学地震火山研究観測センターの山口照寛氏と黒井和典氏に協力を頂きました．また，気象庁，防災科学技術研究所 Hi-net の波形データ及び震源データを使用しました．図の作成には SEISPC95（石川・中村，1997）及び，GMT システム（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

防災科学科学技術研究所，2014，J-SHIS　地震ハザードステーション，<http://www.j-shis.bosai.go.jp>，（参照 2014-1-2）．

福富孝治・藤木忠美・須川明・大谷清隆・和田昭夫・徳永英二，1963．北海道濁川温泉の調査報告，北海道大学地球物理学研究報告，10，61-76．

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

広田知保，1978．濁川盆地とその周辺における微小地震観測，北海道立地下資源調査所報告，50，221-225．
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．
黒墨秀行・土井宣夫，2003，濁川カルデラの内部構造，火山，**48**，259-274．
卜部　卓・束田進也，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．
浦上晃一・西田泰典，1977．駒ヶ岳北部地域放熱量調査物理探査報告，地質調査所月報，28，1-20．
Wessel, P. and W. H. F. Smith, 1995, New version of the generic mapping tools released, *EOS Trans*., AGU, **76**, 329.