

気象庁一元化震源に基づいた温泉地学研究所地震データベースの整備と今後の課題

永井 悟*・棚田俊收*・本多 亮*

Preliminary report of system construction for earthquake database in HSRI based on JMA unified catalog

by

Satoru NAGAI, Toshikazu TANADA, and Ryou HONDA

1. はじめに

温泉地学研究所（以下、温地研）では、「神奈川県西部地震」発生メカニズムの解明や箱根における地震活動といった、神奈川県西部やその周辺域における地震活動監視を目的として、地震観測処理を行っている（温泉地学研究所、1999；伊東ほか、2005）。温地研の地震観測処理では、所有・管理する14地震観測点（図1）によるデータの他に、「大学および国公立研究機関等間の地震観測データに関する一元化処理」協定に基づいて使用可能な他の機関による観測点のデータも使用している。また、温地研観測点のデータも「一元化処理」に基づいて他機関に提供されている。

一元化処理は、1997（平成9）年10月に始まり、気

象庁がデータ処理センターとして日常監視業務を行っている（中村、2004）。気象庁による一元化処理データ（以下、気象庁一元化地震データ）は全国で発生した地震を同基準・同方法で処理した均質なデータベースで、地震・火山月報や地震年報などのCD-ROMや出版物と公開され、地震研究者・防災関係者・一般国民が広く利用できるようになっている。このような均質な気象庁一元化地震データに基づいて、温地研における地震データベースを整備することは、地震記象に関する調査研究の基本データベースを作成することになり、種々の調査研究の基盤となるものである。

また、温地研では箱根における地震活動監視を目的として、観測点は箱根を中心に密に配置されている。さ

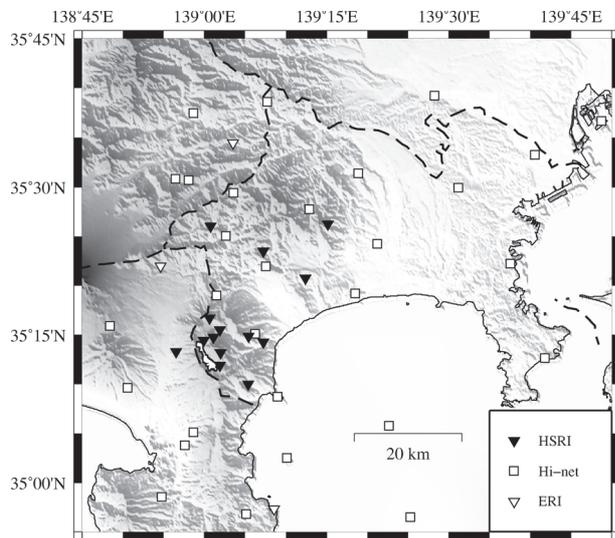


図1 温泉地学研究所地震観測処理で使用されている神奈川県及びその周辺の地震観測点（2008（平成20）年9月現在）。観測点記号の説明における略称は、HSRI：神奈川県温泉地学研究所、Hi-net：防災科学技術研究所（Hi-net）、ERI：東京大学地震研究所。

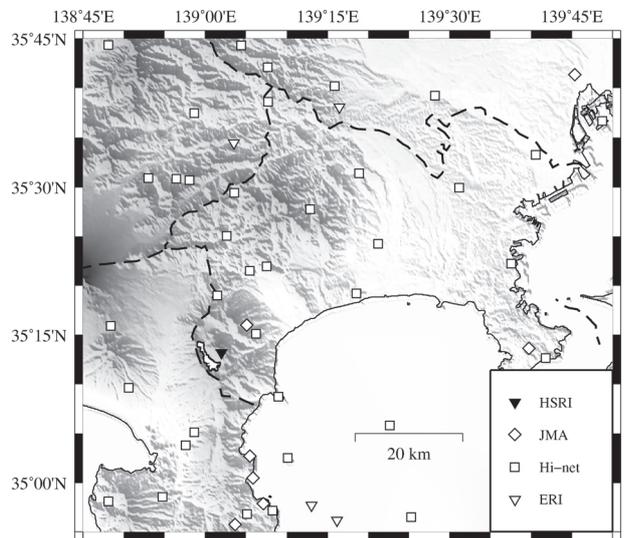


図2 気象庁一元化処理において使用されている神奈川県及びその周辺の地震観測点。観測点記号の説明における略称は、HSRI：神奈川県温泉地学研究所、JMA：気象庁、Hi-net：防災科学技術研究所（Hi-net）、ERI：東京大学地震研究所。

* 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586
報告, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第40巻, 51-58, 2008.

らに神奈川県西部及びその周辺の観測点を補うために他機関の観測点を使用しているが、これらの観測点密度は一元化処理における観測点密度とほぼ変わらない(図2)。以上から、温地研における処理では箱根での地震検出能力は高く、一方で、箱根から離れるほど温地研での検出能力と一元化処理の検出能力は変わらないことが予想される。

温地研では、日常の地震観測処理において、目視による地震検出、及び、震源決定を行っている。これによって、箱根周辺の地震については、非常に精密な震源分布が得られている。しかし、一方で、低周波地震や遠地地震の取り扱い、精査といった作業は大変な労力を要するうえ、目視による会話的検測には検測漏れや誤認という問題もある。気象庁一元化地震データを用いて、あらかじめ情報を得ることで、温地研における日常の地震観測処理における、地震の震源・種類の判断や検測処理をより簡便に行うことが可能となることも期待される。

本報告では、現在進めている気象庁一元化地震データに基づいた温地研の地震データベース整備とその処理システム作成について、その概要、震源カタログ照合処理、今後の展望及び問題点について報告する。

2. 温泉地学研究所における地震観測データ処理

温地研における地震観測処理は、温地研独自の観測点における地動記録の他に、インターネット回線を通して伝送される東京大学地震研究所(以下、地震研)、独立行政法人防災科学技術研究所(以下、防災科研)による地震観測点における地動記録を加えて、WINシステム(卜部・東田、1992; 卜部、1994)で行われている。使用されている観測点数は、温泉地学研究所の14点の他に、2008(平成20)年9月現在、地震研4点、防災科研(Hi-net)35点の計53点である。そのうち、神奈川県及びその周辺の地震観測点の位置を図1に示す。

次に、温地研における処理手順を簡単に示す。統合されたデータは、グループトリガー方式を用いた自動処理によりイベント検出される。グループトリガー方式とは、複数の観測点でほぼ同時に一定以上の地動振幅変化が検知された際にイベントであると判断する方法である。この方法における観測点の選択、判断の確実性をあげるための観測点の領域分けによるグループ化、検知振幅変化のレベルなどは、独自に設定でき、任意性がある。検出されたイベント情報に基づいて、それを含むイベントファイルを作成、観測点毎に自己回帰(AR)モデルに基づく自動検測、震源決定が行われる。イベントは、目視による会話的検測・精査を行い、地震か否かを判断

した後、検測値と震源要素を最終値として確定する。なお、これらのデータは準リアルタイムで、ウェブ上で公開されている(本多ほか、2006)。しかしながら、検測処理では、自動検測、会話的検測、いずれの場合でも、地震波の位相(以下、地震相)、また、他の相との誤認をすることがあり、効率よく、かつ正確に、検測を行うことは大変な労力を要する。

3. 気象庁一元化地震データ

気象庁本庁・管区気象台等で処理された気象庁一元化地震データは、品質管理・データ統合を経て、翌日夕方には暫定値として利用可能となる。その後、精査された最終的な気象庁一元化地震データが作成され、気象業務支援センターから配布される。気象庁一元化地震データは、震源カタログとそれに伴う検測値データからなる。

気象庁一元化処理において、全国均一な分布になるように選択された地震観測点を使用しており(図2)、そのうち、温地研観測点は駒ヶ岳観測点のみである。したがって、箱根およびその周辺地域においては、温地研における処理よりも検出能力が劣ることが容易に予想される(図1および図2)。一方で、神奈川県西部周辺地域では、気象庁一元化処理の方が使用する観測点が多い。よって、気象庁一元化処理の方が温地研での処理に比べて、同程度以上の検出能力であることが期待される。また、気象庁一元化地震データは日本全国の均質なデータベースであるため、低周波地震や神奈川県外で発生した地震も含まれている。

4. 気象庁一元化地震データに基づく温泉地学研究所地震データベース整備

気象庁一元化地震データの優位性を利用すれば、労力を軽減し、地震観測処理の効率化が期待できる。そこで、日常の地震観測処理での利用も含めて、気象庁一元化地震データに基づく温地研の地震観測データベースの整備を以下の手順で構築した(図3)。

- 1) 気象庁一元化地震データ(暫定値を含む)のFTPサイトを利用した日常的な入手
 - 2) 気象庁一元化震源カタログとイベントファイルとの照合処理
 - 3) 気象庁一元化震源カタログと温地研震源カタログとの照合処理
 - 4) 気象庁一元化地震データと温地研処理地震データと検測値データ整理
 - 5) 震源カタログと検測値によるデータベース作成
- 以上は、WINシステムを利用したスクリプト、また

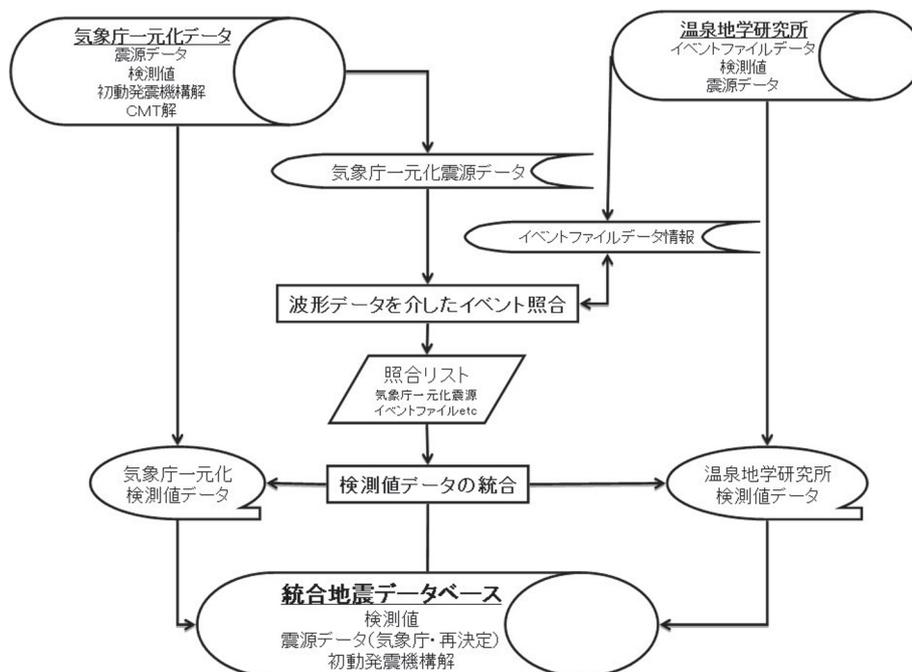


図3：気象庁一元化地震データによる処理フローチャート。「波形データを介したイベント照合」についての詳細は図4に詳細を示す。

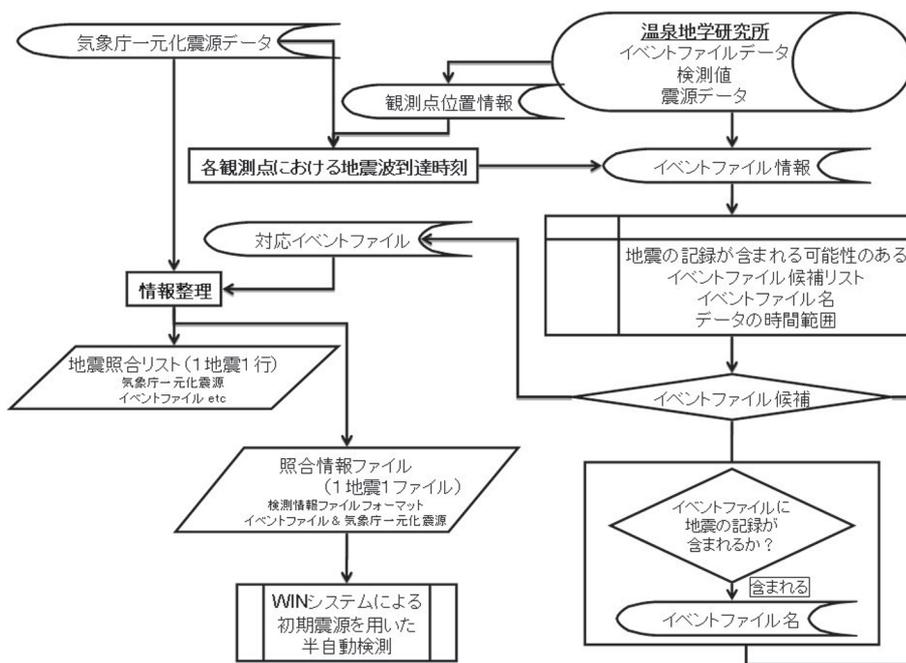


図4：気象庁一元化震源カタログのイベントファイル照合処理のフローチャート。

他のプログラムによって処理される。基本的なスクリプト及び気象庁一元化地震データ変換プログラムは地震研で使用されている既存のものを改良して利用することとした。そのため、すべての処理は Unix を OS とする PC 上で実行できる。本章では、データ入手からカタログ照合処理について述べる。

4.1. 気象庁一元化地震データの入手方法

気象庁一元化地震データの利用を希望する、教育・研究機関等に所属する研究者向けに提供される気象庁 FTP サイトから日常的にデータを温地研所内のハードディスクに入手することを最初の作業とした。FTP サイトには、前日までの暫定データも含まれている。実際の処理は、`lftp` というコマンドラインで使用できる FTP クライアントソフトを利用して、スクリプトファイルを用いたサイトミラーリングにより行った。FTP サイト内には

既に最終値として公開されているデータも含まれているため、膨大であり、全データをミラーリングするのは、週に一度のみとし、暫定値に関してのみ、一日二度、朝夕にミラーリングするようにした。これらのデータは、温地研の地震観測データを維持・管理している HDD に保存されている。

4.2. 気象庁一元化震源カタログとのトリガーイベントとの照合処理

震源情報は直接的な観測情報ではなく、解析処理結果であり、2つの震源カタログを対応付ける際に、震源要素（位置と時間）だけで対応をつけるのは、震源決定誤差等も考慮した上で行わなければならない。また、地震相の誤認により、本来同じ地震のはずであるにも関わらず、まったく違う地震のようにそれぞれの震源カタログに存在している可能性もありうる。地動記録において同じ地震相を認識しているかを比較すれば、対応付けは容易である。本処理システムでは、震源情報の比較ではなく、イベントファイルを介した地震相の到着時刻を用いた震源カタログの照合処理を行う（図4）。

気象庁一元化震源カタログに対するイベントファイル照合処理では、WIN システムにおける震源決定プログラム hypomh (Hirata & Matsu'ura, 1987) に 2001 年に導入された理論走時計算モードを使用する。まず、

hypomh 理論走時計算モードの入力フォーマットファイルを作成する。気象庁一元化震源データから 1 震源 1 入力ファイルを作成する。それぞれの震源について、必要な観測点の位置情報とともに、hypomh を用いて、各観測点における地震波到着時刻を求める。それらの時刻が含まれるイベントファイルを探し出す。もし対応するイベントファイルが見つからない時はエラーとして報告され、見つかった時は気象庁一元化震源とイベントファイル及びそのイベントファイルに含まれる最も早い時刻の地震波到着時刻を 1 地震 1 行の情報としてファイルに出力される。次に、イベントファイルを介しての震源カタログ照合処理を行うことになる。

4.3. 2007 年気象庁一元化震源カタログと温地研震源カタログとの照合結果

2007 年において気象庁一元化震源カタログ中の地震数は 127,054 個、そのうち温地研での処理対象となる地域（本多ほか、2008）の地震数は 1,402 個であった（図 5 及び表 1）。これは温地研で震源決定した総地震数（本多ほか、2008）を上回っている。2007 年気象庁一元化震源全てに対して、イベントファイル照合処理を行った。このうち、地震波到着時刻が含まれるイベントファイルと照合できた温地研での処理対象となる地域の地震数は半数の 701 個であった。つまり、気象庁一元化震源カタ

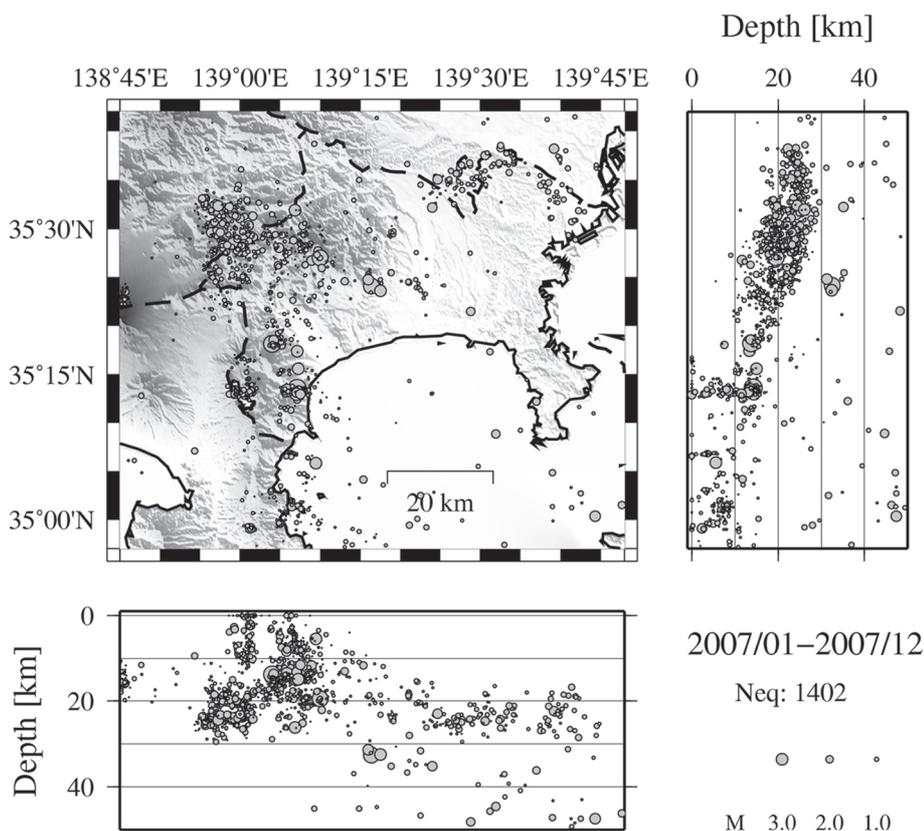


図 5：気象庁一元化震源（2007 年）による神奈川県及びその周辺の震源分布。

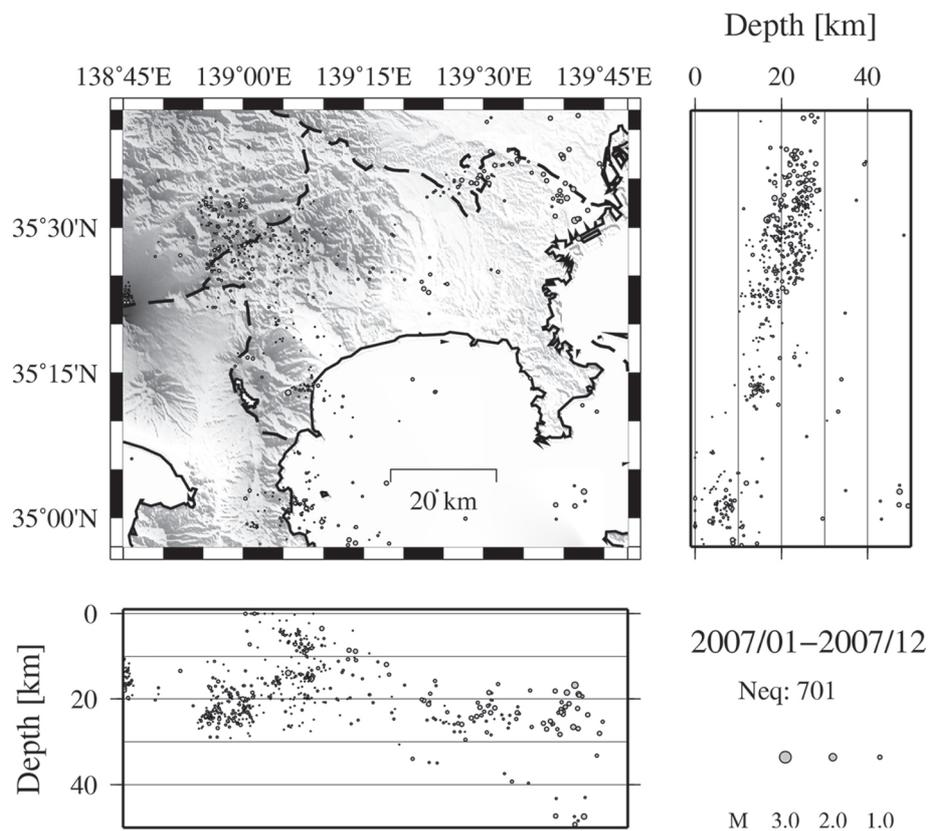


図6：気象庁一元化震源（2007年）のうち、温泉地学研究所での現処理でイベント検出されていない（処理対象にならない）神奈川県及びその周辺の震源分布。ここで示す震源には対応するイベントファイルが存在しない。

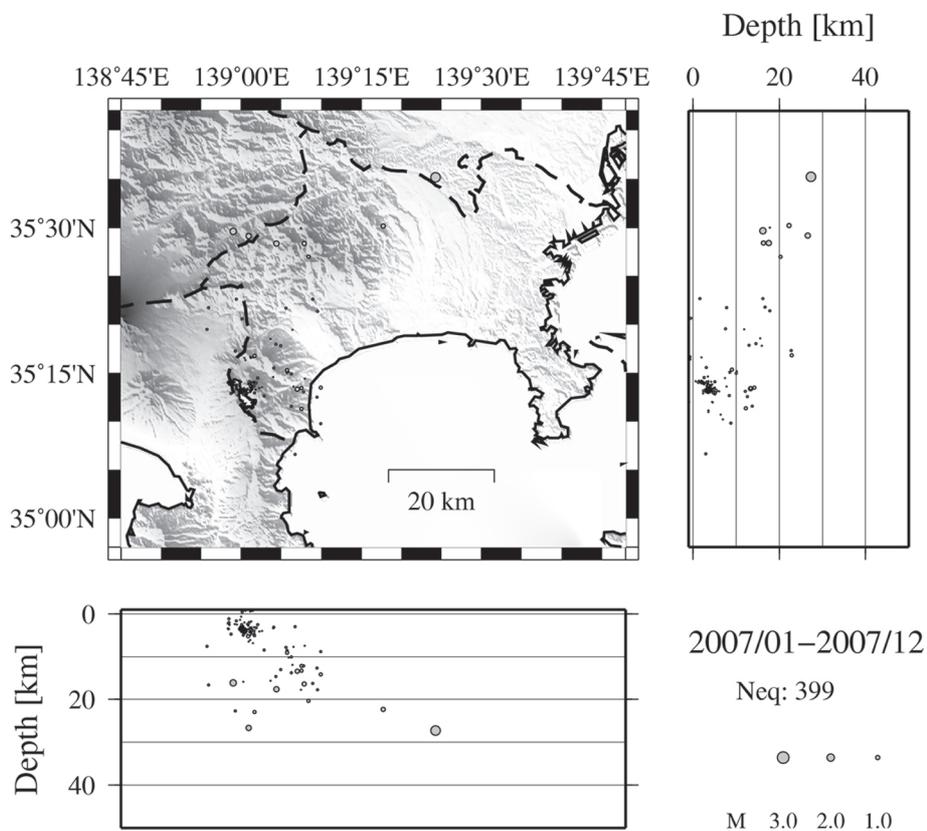


図7：温泉地学研究所で独自に検出されている地震の震源分布（2007年）。

ログの半数は温地研において、イベント検出がなされていなかった（図6及び表2）。また、照合できた地震数は温地研で震源決定した地震数を下回り、温地研で独自に検出された地震（図7及び表3）があることを示す。これらは使用している観測点（図1及び図2）から容易に予想はできる。では、温地研における地震観測処理では、どのような地震が検出されず、どのような地震について独自の検出がなされているのか。以下にそれぞれについて述べる。なお、照合できた地震について、気象庁一元化震源と温地研震源との比較は、処理方法に差異があること、また、イベントファイルがあるのも関わらず

検出をしていない地震もあったため、ここでは示さないことにする。

照合できなかった701個の地震は、箱根及びその周辺を除いて、ほぼ全域にわたって分布している（図6）。照合できた地震のマグニチュード頻度分布を気象庁一元化震源カタログ全てのマグニチュード頻度分布と比較した（図8）。照合できなかった地震は、その多くがM1を下回る規模が小さい地震であることから、温地研の現処理での検出レベルを下回っている可能性がある。しかしながら、一元化処理では使用されていない温地研観測点がある領域（たとえば、湯河原付近）にも未検出の地

	箱根	足柄平野	丹沢山地	県東部	相模湾	伊豆	静岡東部	計
1月	20	16	28	10	2	63	10	149
2月	43	26	32	16	1	15	8	141
3月	17	15	51	21	1	48	0	153
4月	11	11	36	10	2	5	2	77
5月	9	22	36	13	7	14	3	104
6月	8	23	34	23	3	9	3	103
7月	4	43	56	15	1	11	5	135
8月	1	15	33	16	5	22	10	102
9月	9	20	52	14	1	18	2	116
10月	28	57	24	13	3	7	6	138
11月	7	17	48	9	6	9	0	96
12月	5	17	28	14	3	19	2	88
累積数	162	282	458	174	35	240	51	1402

表1：2007年気象庁一元化震源による神奈川県及びその周辺の区域別地震数。

	箱根	足柄平野	丹沢山地	県東部	相模湾	伊豆	静岡東部	計
1月	3	5	14	6	0	37	9	74
2月	0	8	9	9	1	12	7	46
3月	1	8	26	10	1	26	0	72
4月	2	4	19	5	2	3	2	37
5月	1	7	18	9	4	10	3	52
6月	1	11	18	10	3	8	3	54
7月	1	16	33	7	1	9	4	71
8月	0	5	17	9	4	18	10	63
9月	0	11	31	10	0	15	1	68
10月	4	33	16	5	2	6	6	72
11月	2	6	23	2	2	8	0	43
12月	1	6	16	10	1	14	1	49
累積数	16	120	240	92	21	166	46	701

表2：温地研でイベント検出されていない2007年気象庁一元化震源の神奈川県及びその周辺の区域別地震数。

	箱根	足柄平野	丹沢山地	県東部	相模湾	伊豆	静岡東部	計
1月	62	5	0	0	0	0	0	67
2月	175	3	2	0	0	0	0	180
3月	24	2	1	0	0	1	0	28
4月	17	1	2	1	0	0	1	22
5月	20	2	0	0	0	0	0	22
6月	9	1	0	0	0	0	0	10
7月	9	1	0	1	0	0	0	11
8月	10	2	0	0	0	0	0	12
9月	3	2	0	0	0	0	0	5
10月	21	4	0	0	0	0	0	25
11月	5	0	1	0	0	0	0	6
12月	9	1	1	0	0	0	0	11
累積数	364	24	7	2	0	1	1	399

表3：温泉地学研究所で独自に検出された神奈川県及びその周辺の区域別地震数。

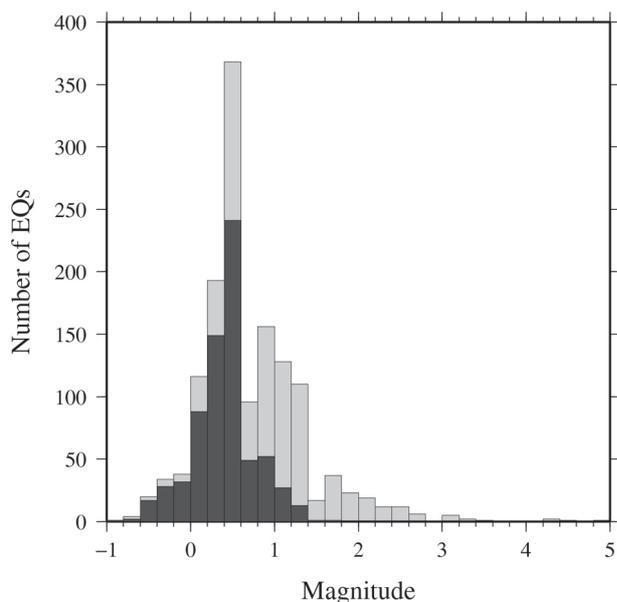


図8：神奈川県及びその周辺に決定された気象庁一元化震源カタログのマグニチュード頻度分布。灰色部は全地震による頻度分布、黒色部は温地研でイベント検出されていない地震の頻度分布。

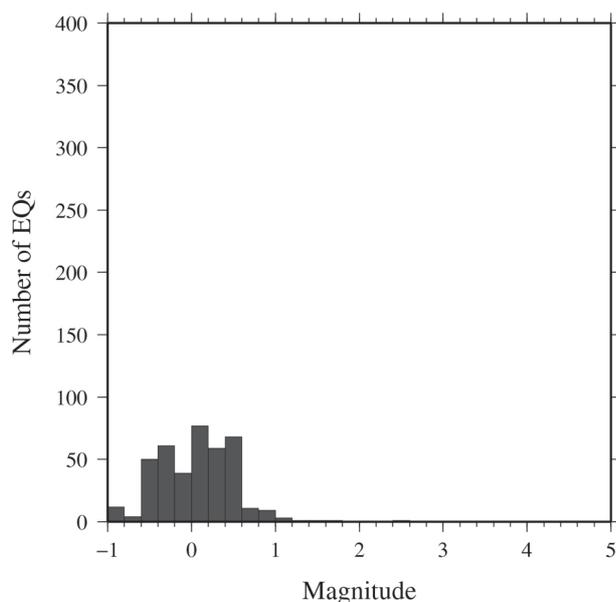


図9：温泉地学研究所で独自に検出されている地震のマグニチュード頻度分布。

震があることは他の要因も検討すべきである（図6）。

温地研震源カタログにおいて、気象庁一元化震源と対応が見つかった地震を取り除いた地震数は399地震で、主に箱根で発生した地震であった（図7）。この399地震には、温地研の処理での処理対象地域外の地震との照合結果及び目視によって、対象地域外の地震による地震相に相当する部分を誤認したためによって誤って決定された震源である可能性が高いと判明したものは、含まれていない。ここで、本多ほか（2008）によって報告されている地震の総数が合わないのは、再度検出処理がなされている、または、イベントファイルと照合できた一元化震源の中に温地研における検出漏れがあるためである。温地研で独自に検出された地震は、M-1~1の範囲であり（図9）、気象庁一元化震源のうち照合できなかったマグニチュード頻度分布（図8）に似た傾向を示す。これらは、気象庁一元化処理に比べて、温地研における処理は箱根では非常に検出能力が高いことを示している。

5. 今後の展望について

本処理では、気象庁一元化及び温地研の統合検出値データベースの作成、また、日常の地震観測処理への応用を目指している。気象庁一元化データ基本処理プログラム群は、地震研で使用されているプログラム群を基本としているが、これは気象庁一元化検出値を原データとして、連続記録からのイベントファイル作成、再検出処

理を前提に作られている。そのため、すでにイベント検出がなされているデータベースへの検出値データの統合処理に使用するには、プログラム改良を必要とし、今後の課題である。

5.1. 検出値統合処理における問題点

検出値統合においては、気象庁一元化処理と温地研処理における観測点名の統一が最初の障害となるが、既存プログラムで対応されている。次に問題となるのは、ある観測点において、気象庁一元化地震データと温地研地震データとの双方に検出値がある場合である。つまり、どちらの検出値をどういう基準で採用するかということである。どちらが正しいかということは、実際に地震記録波形とそれぞれの検出値を比較して、選択することが最も適切な作業である。しかしながら、全データに対して目視確認を行うことはかなりの労力を要する。目視ではなく、プログラムで機械的に判断する要素として、その検出誤差の大きさなどが考えられる。

5.2. 日常の地震観測処理への適用

本処理を気象庁一元化処理の暫定値に対して実行すれば、日常の地震監視処理へも応用できる。暫定値による処理結果を利用すれば、温地研での処理対象地域の地震かどうかといった判断や会話的検出への負担の軽減が期待される。また、地震の検出漏れを減らすことができ

る。同時に、グループトリガーの基準を変更すれば、さらなる負担の軽減となる。しかしながら、問題点は暫定値公開がなされるのは翌日夕方であるため、処理が1～2日程度遅れるために、リアルタイム処理ではない。グループトリガーの基準を変更すれば、最初にイベント検出された領域から、処理対象地域の内側か外側かの最初の判断ができる。処理対象のイベントについて、箱根を中心とした神奈川県西部であれば、会話的検測をリアルタイムで行い、それ以外であれば、気象庁一元化震源暫定値の公表後に処理をする。以上のようにすれば、かなりの負担軽減が予想される。本章で述べたカタログ照合結果等を参考にした会話的検測手順を作成・採用すれば、本処理は日常の地震監視処理において有効利用ができる。

6. まとめ

気象庁一元化地震データに基づいた温地研の地震データベース処理システム作成を現在進めており、その概要、震源カタログ照合処理、今後の展望及び問題点について報告した。

気象庁一元化地震データの震源カタログ、イベントファイル及び温地研震源カタログとの照合を2007年1年間のデータについて処理した。神奈川県及びその周辺域に震源決定された気象庁一元化震源カタログの半数の地震が温地研における処理ではイベント検出がなされていなかった。対して、照合処理の結果から、温地研で独自に検出された地震は399個で、主に箱根で発生した地震であった。

カタログ照合結果から、気象庁一元化地震データと同程度の検出能力を得るために、温地研処理での観測点のグループ分けといったイベント検出基準の変更が必要と考えられる。また、暫定値による照合結果を日常の検測処理に組み込めば、会話的検測処理への負担を軽減できる。

今後はこのカタログ照合結果を参照に検測値まで含めた地震データの処理システムの完成を目指す。

謝辞

本報告では、気象庁FTPサーバを経由して入手可能な、気象庁一元化地震データを使用しました。気象庁一元化地震データは独立行政法人防災科学技術研究所、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、気象庁、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、静岡県及び神奈川県温泉地学研究所の地震観測データを使用して、気象庁が文部科学省と協力して整理したものです。また、気象庁一元化データファイルを処理するにあたり、東京大学地震研究所地震予知情報センター中川茂樹助教より、処理プログラムを提供して頂き、これらに修正を加えることで使用しました。また、図の一部はGeneric Mapping Tools (Wessel and Smith, 1995)によって作成しました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- Hirata, N. and M. Matsu'ura (1987) Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **47**, 50-61.
- 伊東博・宮下雄次・棚田俊收・代田寧・倉石隆介・加藤正造 (2005) 新たな総合研究システムについて、*温地研観測だより*, **55**, 23-34.
- 本多亮・丹保俊哉・原田昌武・伊東博・板寺一洋・棚田俊收 (2006) 温地研におけるウェブ上での地震および地殻変動データ公開用サブシステムの開発、*温地研報告*, **38**, 53-62.
- 本多亮・永井悟・伊東博 (2008) 神奈川県内及びその周辺における2007(平成19)年の地震活動、*温地研観測だより*, **58**, 49-53.
- 気象庁地震火山部地震予知情報課データ処理係 (1998) 検測マニュアル、*地震火山技術通信*, **72**, 37-82.
- 中村浩二 (2004) 何が変わったか? 検証この10年「観測網もボーダレス: 一元化データ処理」、*日本地震学会*, 広報紙なみふる, **43**, 6-7.
- 温泉地学研究所 (1999) 温地研における「神奈川県西部地震」の取り組み、*温地研報告*, **29**, 3-40.
- ト部卓・束田進也 (1992) win-微小地震観測網波形検測支援のためのワークステーション・プログラム(強化版)、*地震学会講演予稿集*, No.2, 331.
- ト部卓 (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*, No.2, 384.
- Wessel, P. and Smith, W. (1995) New version of the genericmapping tools, *EOS. Trans. Am. Geophys. Un.*, **76**, 329.