熊本地震　～地震発生状況の即時把握技術の開発～

○溜渕功史（地震津波研究部）

1. はじめに

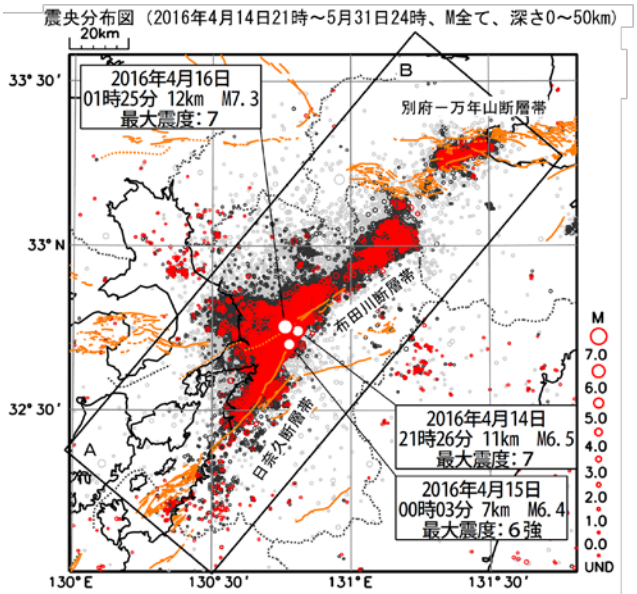
4月14日21時26分（マグニチュード（M）6.5）、4月16日01時25分（M7.3）の地震を含む平成28年（2016年）熊本地震の一連の地震活動では、熊本県で最大震度7を2回観測するなど、大きな被害が生じた。また、この一連の地震活動による震度1以上の揺れを伴う地震回数は半年間で4,000回を超え、全体としては減衰しつつも、なお活発な地震活動が続いている。本報告では、熊本地震の一連の地震発生状況と、それを即時に把握するための技術開発について紹介する。

2. 熊本地震の地震発生状況

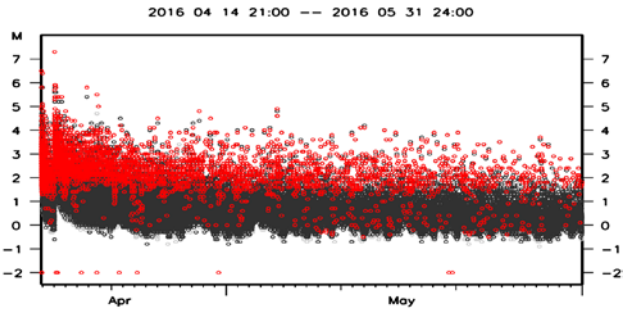
2. 1. 震源の即時推定

大規模な地震がひとたび発生すると、それに伴い数多くの余震が発生する。通常、信頼性の高い震源の推定は解析者が手動で行っているが、非常に多数の地震が発生している状況下で、迅速に全ての震源を推定することは難しい。そこで、溜渕・他（2016）[1)]は、地震多発時においても適切に震源を決定する自動処理手法を開発し、気象庁システムへの導入を進めてきた。この自動処理手法は、通常利用するP波、S波の時刻に加えて、揺れの大きさも考慮することで、通常時であれば内陸のM1.0以上の地震をほぼ全て自動的かつリアルタイムに決定することが可能となった。熊本地震では、この自動処理を活用することにより、4月14日から5月末までの期間に、体に揺れを感じない地震も含めて約70,000個もの地震が発生していることが明らかになった（第1図）。これは、解析者が決定した震源（当時約5,000個）に比べて、約14倍もの数に相当する。

震源がリアルタイムに得られることにより、震源域の広がりや地震活動の推移を即時に把握することが可能となる。震源域の広がりに着目すると、4月14日（M6.5）の地震は日奈久断層帯に沿った地震活動が見られた一方で、4月16日（M7.3）の地震以降の震源分布はさらに北東の布田川断層帯や、大分県の別府－万年山断層帯に沿って広がっていることが分かる。また、決定されたマグニチュードの下限に着目すると、人手で精査した震源はM2より大きな規模の地震が概ね決定されているのに対して、自動処理による震源はM0やM1程度の規模の地震についても多数決定できていることが分かる（第2図）。規模の小さい地震も含めて、多数の震源がリアルタイムに得られることは、地震活動の特徴を知るうえで重要な手がかりとなる。



第1図：熊本地震の震央分布図。赤色は解析者が決定した震源。黒は自動処理結果のうち、精度が良いもの。灰色はそれ以外の自動処理結果。



第2図：第1図矩形領域内の地震活動経過図。縦軸はマグニチュード、横軸は時間（日）を示す。プロットの色付けは第1図中のプロットと同様。

2. 2. 自動震源データを用いた地震活動の統計量推定

地震活動を多数の地震の集まりとして見た場合、その特徴を表す様々な統計量を求めることができる。地震の発生頻度と規模にはGutenberg-Richterの法則（G-R則）と呼ばれる経験則があり、地震の規模を表すマグニチュードが大きくなるにつれて、その規模の地震の頻度は指数関数的に減少するこ

とが知られている。この減少の程度をb値という指標で表す。b値が低いと、相対的に規模の大きな地震の発生頻度が多いことに対応する。余震確率の計算では、このb値が重要なパラメータとなっている。また、2011年東北地方太平洋沖地震に先行してb値が低下していたことが報告されており[2)]、規模が大きな地震の発生を予測するうえで重要な指標と考えられる。自動処理による震源は、人手を介しての処理に比べて圧倒的に迅速かつ数多く決定できることから、このような統計量の算出にとって、有用なデータとなる。

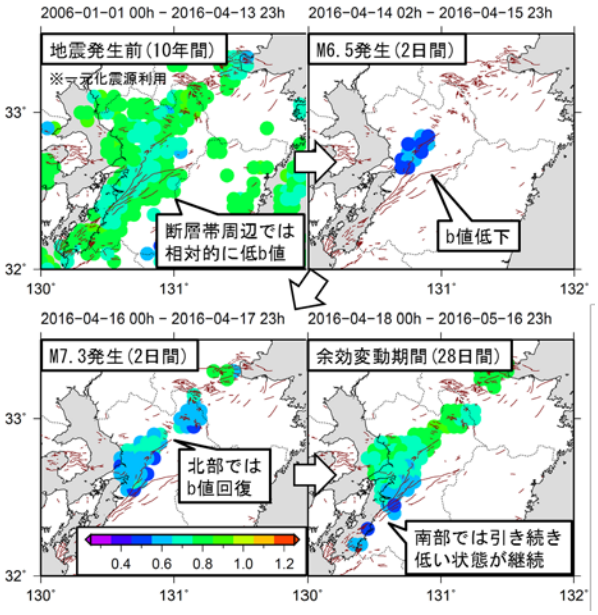
そこで、自動震源を使用して、b値の推定を行った（第3図）。通常、b値を求める際には、解析対象のM下限を検知力以上の値に設定して解析するが、リアルタイムかつ客観的に算出することを目的として、G-R則のフィッティング具合から自動的にM下限を設定する手法を用いた[3)]。

4月14日（M6.5）の地震の発生前の10年間は、b値は概ね0.8程度の値であったが、4月14日の地震後に0.5～0.6程度に低下した。4月16日にはM7.3の地震が発生し、布田川断層帯の北部ではb値は回復した。一方で、その後の地震活動は、ほとんどの領域で地震発生前のb値の状態に回復しているものの、日奈久断層帯の南部では引き続きb値の低い状態が継続していることが明らかになった。このb値の空間分布と合成開口レーダ（SAR）干渉解析による余効変動（大きな地震の後に長期間に渡ってゆっくりと進行する地殻変動）の分布を比較すると、余効変動が大きな領域ではb値は回復しており、日奈久断層帯南部の余効変動が小さな領域では引き続きb値が低いといった対応関係が見られた。

このような高い分解能でb値の空間分布や時間変化を解析するためには、数多くの震源が必要なため、これまで解析を行うことが難しかったが、本研究による自動処理技術の高度化により可能となりつつある。

3. まとめ

自動処理手法の開発により、従来よりも迅速かつ大量に震源を推定することが可能となった。これを熊本地震に対して適用したところ、従来の約14倍にあたる数の震源を自動的に得ることができた。また、この自動処理によって得られた震源を用いて地震活動の統計量の一つであるb値を算出すると、日奈久断層帯北部では4月14日（M6.5）の地震に伴いb値が低下し、4月16日（M7.3）の地震後に回復するといった現象が確認できた。今後、このような地震活動の統計量を迅速かつ安定して推定することにより、地震活動の推移把握の高度化を目指す。さらに、内陸の地震のみならず、海域の地震活動についての自動決定手法を向上させることにより、南海トラフなどの海溝沿いの巨大地震の地震像を即時に把握する技術の開発を進める。



第3図：b値の空間分布

謝辞

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、国立研究開発法人防災科学技術研究所、国立研究開発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、国立研究開発法人海洋研究開発機構及び気象庁の地震波形と、その波形を気象庁と文部科学省が協力してデータ処理した一元化震源を使用しました。

参考文献

(1) 溜渕功史・森脇健・上野寛・東田進也 2016: ベイズ推定を用いた一元化震源のための自動震源推定手法, 験震時報, 79, 1-13.

(2) Nanjo, K. Z., N. Hirata, K. Obara and K. Kasahara 2012: Decade-scale decrease in b value prior to the M9-class 2011 Tohoku and 2004 Sumatra quakes, Geophys. Res. Lett., 39, L20304, doi:10.1029/2012GL052997.

(3) Wiemer, S. and M. Wyss 2002: Mapping spatial variability of the frequency-magnitude distribution of earthquakes, in "Advances in Geophysics", ed. by R. Dmowska and B. Saltzman, 45, Academic Press, 259-302.