

12-14 「余震と誘発地震について」概要

Summary of intensive discussion subject “aftershocks and induced earthquakes”

遠田 晋次 (京都大学防災研究所)

Shinji Toda (Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University)

第190回地震予知連絡会では、3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に関して提出された資料を5つのトピックに分けてレビューした。本稿は、余震と誘発地震活動、すなわち広義の余震活動についての概要を述べる。

1. 狭義の余震の時系列

気象庁は、震源域よりも若干広い範囲を便宜上「余震域」と定義している(第1図)。この余震域内に発生したM5以上の余震については、ほぼ問題なく検知されている。それによると、若干の活動のゆらぎはあるが、全体として大森・宇津則にしたがって順調に減衰している($p \sim 1$)。統計数理研究所のETASを用いた解析でも、二次余震の影響は小さく、単純な大森・宇津則で説明できるとされている(第1図)。なお、統計数理研究所によると、1923年以降のM5以上の地震のETAS解析では、今回のM9の余震数は想定よりも1.25倍多いことが示された。

2. 誘発地震活動

誘発地震活動と震源断層面に沿う狭義の余震活動を厳密に区別することはできないが、その震源位置やメカニズムから、誘発地震のタイプを次の3つに分類することができる。1) 震源域プレート境界の両端延長部で起こる地震、2) スラブ内地震、アウターライズ型正断層地震、などの太平洋プレート内で発生する地震、3) 陸棚斜面と日本海東縁も含めた内陸地殻内地震。それぞれ、過去の地震では大規模な誘発地震が発生した事例も多い。1) については2004年のスマトラアンダマン地震(M9.1)の3ヶ月後に隣接セグメントでM8.7地震が発生した例、2) では、千島列島で発生した2006年Mw8.3のプレート境界地震後の2ヶ月後にアウターライズ型Mw8.1地震が発生した例、3) は1896年の明治三陸地震の後、2.5ヶ月後に陸羽地震(M7.2)が発生した例などが代表的である。

2.1 隣接プレート境界

関東地方の複雑なプレート境界面で発生する地震にも変化が見られる。東京大学地震研究所は関東地方で過去に発生した30,000個あまりの地震のメカニズム解を、受け手側のメカニズム解としてクーロン応力変化(ΔCFF)を計算し、 ΔCFF が増加した地域で地震活動の活発化があることを示した。その中に、関東北部の30-100kmで発生しているプレート境界付近の地震活動が含まれる。また、防災科研は関東地方のプレート境界面で発生している相似地震の繰り返し間隔が本震後顕著に短くなり、すべりが加速されていることを示した。

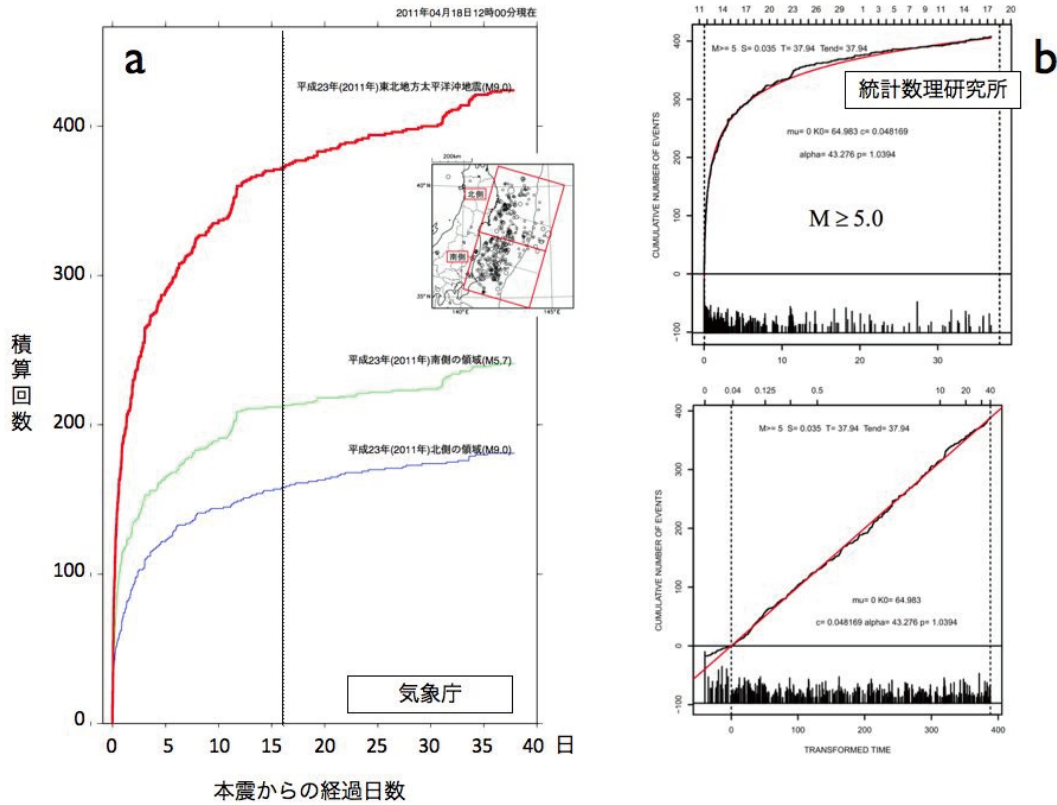
太平洋プレート内(スラブ内地震、アウターライズ型地震)

2.2 防災科学技術研究所は本震前後のスラブ内地震の発震機構を調べ、4月7日M7.1のスラブ内地震メカニズム解が過去のP軸とT軸と整合せず、主軸に顕著な回転が生じている可能性を指摘した(第2図)。すなわち、本震による顕著な応力擾乱によって、スラブ内にプレート沈み込み方向に圧縮応力が増加し、M7.1のスラブ内地震が発生したといえる。逆に、海溝軸付近から東の太

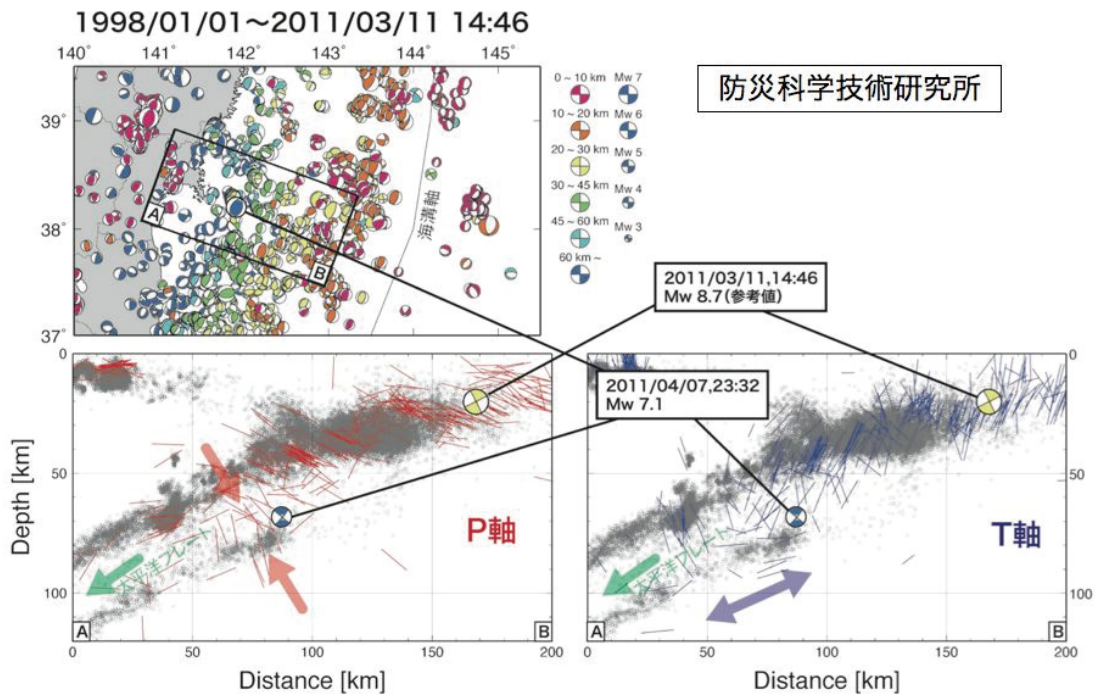
平洋プレート内では東西伸張場となり、本震後40分後に発生したM7.5をはじめとするアウトラーイズ型の正断層地震が活発化した。なお、東北大学は海溝付近の地震の応力テンソルインバージョンを行い、ほぼ完全な地震時応力降下に伴って主軸が約 30° 回転したことを指摘した。

2.3 内陸地殻内地震

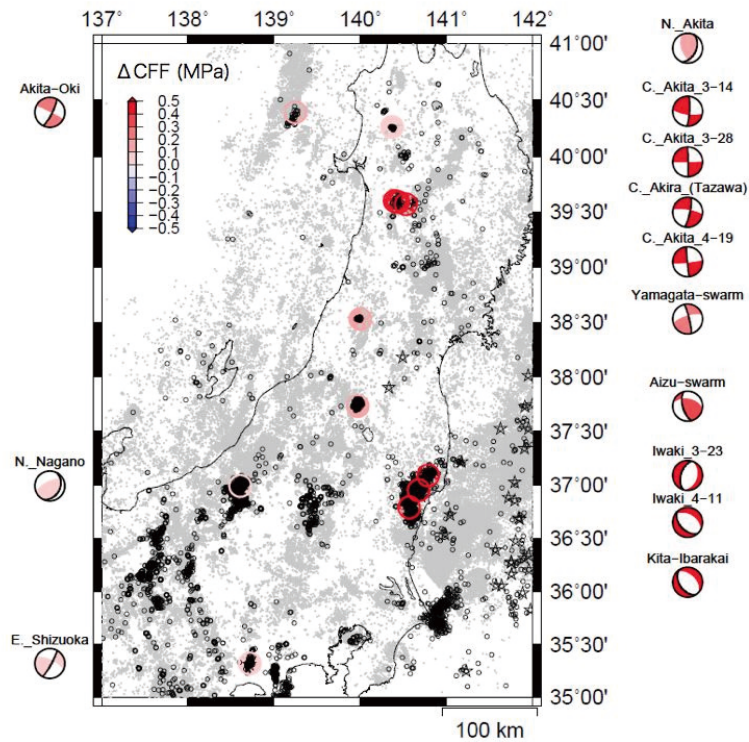
本震後、東北地方内陸を中心にいくつかの地域でスポット的に地震活動が活発になった地域がある（第3図）。これらの地域の特徴は、本震前にはそれほど地震活動は低調で、本震後に発生している地震は東西引張に整合的な横ずれ断層型もしくは正断層型が卓越する。これらの代表的メカニズム解の節面に解かれた Δ CFFは概ね正の値を示し、地震活発化と整合する（第3図）。特に、福島県と茨城県県境付近では、正断層型の浅い地震が群発し、4月11日にはM7.0の地表地震断層を伴う被害地震がいわき市で発生した。この地震では、既知の地質断層・活断層である湯ノ岳断層と井戸沢断層に沿って最大約2mの正断層崖が出現した（東京大学地震研究所と産業技術総合研究所による報告）。また、国土地理院のInSAR解析によっても最大2m程度の干渉縞のオフセットが確認されている。



第1図. 東北地方太平洋沖地震の余震の減衰過程. (a) 4月18日までのM \geq 5余震累積数(気象庁) (b) ETASモデル解析によるフィッティング(統計数理研究所).
 Figure 1. Cumulative number of M \geq 5 aftershocks as a function of time. (a) Japan Meteorological Agency and (b) ETAS model of the aftershocks (Institute of Statistical Mathematics). Red line denotes a modeled curve.

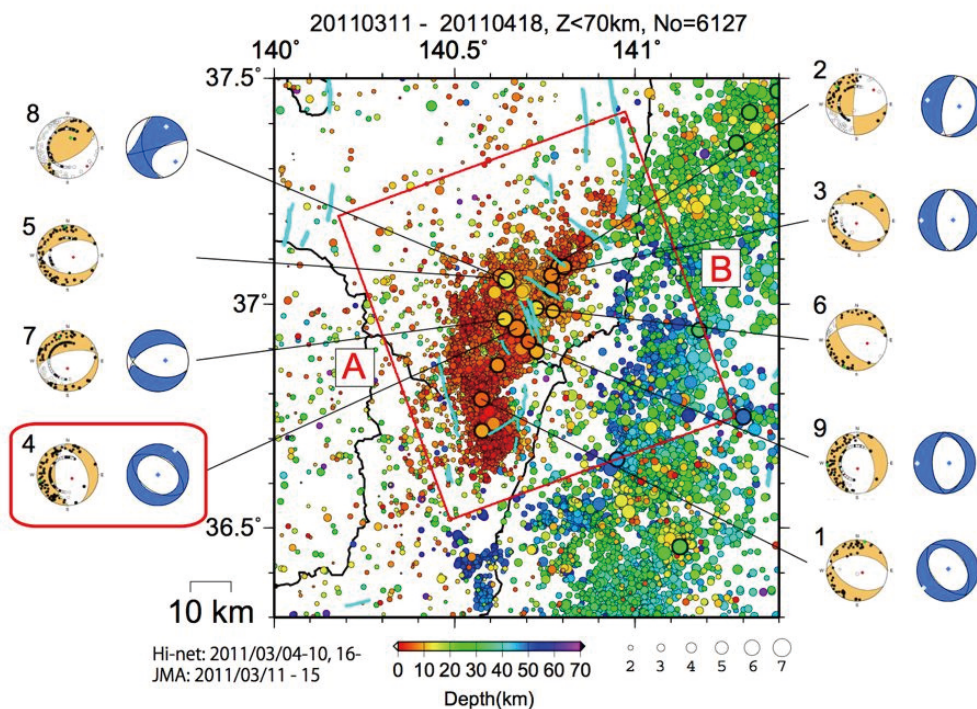


第2図. 2011年4月7日に発生した宮城県沖の地震(M7.1)と地震前後でのP軸, T軸の分布(防災科学技術研究所). 上: 1998年~2011年3月11日のF-netによるメカニズム解の分布. 左下: AB断面におけるメカニズム解のP軸分布, 右下: AB断面におけるメカニズム解のT軸分布図. 同期間の気象庁一元化震源分布を灰色丸で示す.
 Figure 2. Intra-slab earthquake of M7.1 occurred on April 11, 2011 and background mechanisms (National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention). Upper panel: Map showing focal mechanisms of earthquakes (F-net data) before the Tohoku-oki earthquake. Bottom left panel: P axes in the cross section of AB. Gray dots are earthquakes from the JMA catalog. Bottom right panel: T axes in the cross section AB.



第3図. 静的クーロン応力変化と内陸地震活動活発化域（東北大学）。メカニズム解と震源分布などから推定される断層面（太線で示す節面）に対するクーロン応力変化（ ΔCFF ）の値を○の色で示す。いずれの断層面に対しても、正の ΔCFF が推定される。震源断層モデルはInuma et al. (2011)を用い、摩擦係数を0.65とした。気象庁一元化震源の地震後1ヶ月間、深さ20kmよりも浅い地震の震央を黒丸、3月11日以前の浅い地震の震央を灰色丸、M5以上を星印として示す。

Figure 3. Spatial relationship between static Coulomb stress changes resolved on the typical regional mechanisms and off-fault aftershock zones (Tohoku University). Color-coded circles indicate amount of calculated delta CFF on the nodal planes shown out of the map. All the resolved delta CFF are positive. The source fault model of the Tohoku-oki earthquake is Inuma et al. (2011). Coefficient of friction is assumed to be 0.65. Epicenters denoted as black circles are shallower than or equal to 20 km during the first month since the mainshock. Shallow background shocks before the Tohoku-oki earthquake are gray dots. Stars represent $M \geq 5$ earthquakes.



第4図. 東北地方太平洋沖地震以降の茨城県北部・福島県東部の震央分布（防災科学技術研究所）。主な地震のHi-netおよびF-netによる発震機構をあわせて示す。正断層型の地震が卓越する。4は、4月11日いわき市で発生したMw6.6の最大地震。

Figure 4. Epicentral distribution and focal mechanisms of the earthquakes occurred after the Tohoku-oki earthquake in the regions around the border between the Fukushima and Ibaraki Prefectures (National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention). Normal faulting earthquakes are dominated. Number 4 indicates the largest earthquake of $M_w=6.6$ hit the city of Iwaki on April 11, which involved multiple traces of surface rupture.