

### 3. 山地災害の特徴比較等分析

#### 3.1 過去の大規模な地震による山地災害に関する文献等の整理

##### 3.1.1 文献の収集

本章では、近年発生した大規模地震を対象とし山地災害の発生形態を把握するため、これまでに発表されている論文・調査報告書・書籍等から情報を収集し、整理・分析を行った。

文献調査の対象とした地震を表 3.1 に示す。東北地方太平洋沖地震については、3月11日に発生した本震および誘発地震である長野県北部地震と福島県浜通りの地震についても対象とした。

表 3.1 文献の整理の対象とした地震

| 発生年月日      | 地震名              | マグニチュード | 最大震度 | 死者・行方不明者 |
|------------|------------------|---------|------|----------|
| 2018.9.6   | 平成30年 北海道胆振東部地震  | 6.7     | 7    | 42       |
| 2016.4.14  | 平成28年 熊本地震       | 7.3     | 7    | 272      |
| 2011.3.11  | 平成23年 東北地方太平洋沖地震 | 9.0     | 7    | 22233    |
| 2008.6.14  | 平成20年 岩手・宮城内陸地震  | 7.2     | 6強   | 23       |
| 2007.7.16  | 平成19年 新潟県中越沖地震   | 6.8     | 6強   | 15       |
| 2004.10.23 | 平成16年 新潟県中越地震    | 6.8     | 7    | 68       |
| 2000.10.6  | 平成12年 鳥取県西部地震    | 7.3     | 6強   |          |
| 1995.1.17  | 平成7年 兵庫県南部地震     | 7.3     | 7    | 6437     |

表 3.1 に示した地震に関する文献等を収集し、整理を行った（収取した文献等の一覧は巻末資料に示す）。整理にあたっては表 3.2 に示す項目に関して情報を抽出した。

表 3.2 収集文献一覧表（文献数：計 180）

| 地震名        | 地質岩質 | 地形 | 運動タイプ | 規模 | 地震動 | 土塊の到達距離 | 土砂ダム | 降雨崩壊 | 漂流荒廃 | 既設対策工の効果 | 緊急対策 | 復旧対策 | ○・◎合計↓ | 文献数 |    |
|------------|------|----|-------|----|-----|---------|------|------|------|----------|------|------|--------|-----|----|
| 北海道胆振東部地震  | ○    | 2  | 4     | 1  | 2   | 3       | 1    | 0    | 0    | 1        | 0    | 0    | 2      | 14  |    |
|            | ◎    | 5  | 1     | 2  | 0   | 1       | 1    | 0    | 0    | 1        | 0    | 1    | 0      |     |    |
| 熊本地震       | ○    | 3  | 4     | 2  | 4   | 2       | 3    | 2    | 1    | 3        | 2    | 1    | 0      | 38  | 9  |
|            | ◎    | 2  | 1     | 3  | 0   | 0       | 1    | 0    | 2    | 0        | 0    | 0    | 2      |     |    |
| 東北地方太平洋沖地震 | ○    | 6  | 9     | 0  | 1   | 1       | 3    | 4    | 1    | 1        | 1    | 0    | 0      | 30  | 23 |
|            | ◎    | 0  | 0     | 2  | 0   | 1       | 0    | 0    | 0    | 0        | 0    | 0    | 0      |     |    |
| 岩手・宮城内陸地震  | ○    | 5  | 4     | 4  | 4   | 8       | 1    | 3    | 2    | 0        | 0    | 3    | 3      | 67  | 27 |
|            | ◎    | 6  | 3     | 3  | 3   | 1       | 2    | 4    | 2    | 3        | 1    | 0    | 2      |     |    |
| 新潟県中越沖地震   | ○    | 2  | 1     | 2  | 2   | 2       | 1    | 0    | 0    | 0        | 0    | 0    | 1      | 11  | 6  |
|            | ◎    | 0  | 0     | 0  | 0   | 0       | 0    | 0    | 0    | 0        | 0    | 0    | 0      |     |    |
| 新潟県中越地震    | ○    | 10 | 6     | 3  | 8   | 2       | 4    | 5    | 3    | 1        | 2    | 2    | 2      | 85  | 30 |
|            | ◎    | 7  | 7     | 6  | 2   | 1       | 2    | 3    | 2    | 0        | 3    | 1    | 3      |     |    |
| 鳥取県西部地震    | ○    | 4  | 2     | 2  | 1   | 0       | 0    | 0    | 0    | 0        | 0    | 0    | 1      | 11  | 5  |
|            | ◎    | 0  | 0     | 0  | 0   | 0       | 0    | 0    | 1    | 0        | 0    | 0    | 0      |     |    |
| 兵庫県南部地震    | ○    | 10 | 6     | 2  | 1   | 1       | 1    | 0    | 4    | 1        | 0    | 5    | 9      | 42  | 35 |
|            | ◎    | 0  | 0     | 0  | 0   | 1       | 0    | 0    | 0    | 0        | 0    | 0    | 1      |     |    |
| その他        | ○    | -  | -     | -  | -   | -       | -    | -    | -    | -        | -    | -    | -      | -   | 31 |
|            | ◎    | -  | -     | -  | -   | -       | -    | -    | -    | -        | -    | -    | -      |     |    |

○：概要が分かる  
◎：詳細な記述があり情報量が多い

### 3.1.2 地震諸元および荒廃状況等の整理

#### (1) 地震の諸元

収集した各地震の諸元一覧を表 3.3 に示す。また、各地震の推計震度分布図を図 3.1 に示す。

表 3.3 地震諸元一覧

| 地震名            |        | 発生日時                  | 震源<br>(深さ[km])           | 地震断層の<br>種類 | チュード<br>[Mj] | 最大<br>震度<br>(Mj) |
|----------------|--------|-----------------------|--------------------------|-------------|--------------|------------------|
| 北海道胆振東部地震      |        | 2018/9/6<br>(3:08)    | 胆振地方中東部<br>(37)          | 逆断層         | 6.7          | 7<br>(6.7)       |
| 熊本地震           | 前震     | 2016/4/14<br>(21:26)  | 熊本県熊本地方<br>(11)          | 横ずれ断層       | 6.5          | 7<br>(6.5)       |
|                | 本震     | 2016/4/16<br>(1:25)   | 熊本県熊本地方<br>(12)          | 横ずれ断層       | 7.3          | 7<br>(7.3)       |
| 東北地方<br>太平洋沖地震 | 本震     | 2011/3/11<br>(14:46)  | 三陸沖<br>(24)              | 海溝型         | 8.4          | 7<br>(8.4)       |
|                | 長野県北部  | 2011/3/12<br>(3:59)   | 長野県/新潟県<br>県境付近<br>(8)   | 逆断層         | 6.7          | 6強<br>(6.7)      |
|                | 福島県浜通り | 2011/4/11<br>(17:16)  | 福島県浜通り<br>(6)            | 正断層         | 7.0          | 6弱<br>(7.0)      |
| 岩手・宮城内陸地震      |        | 2008/6/14<br>(8:43)   | 岩手県内陸南部<br>(8)           | 逆断層         | 7.2          | 6強<br>(7.2)      |
| 新潟県中越沖地震       |        | 2007/7/16<br>(10:13)  | 新潟県上中越沖<br>出雲崎町沖<br>(17) | 逆断層         | 6.8          | 6強<br>(6.8)      |
| 新潟県中越地震        |        | 2004/10/23<br>(17:56) | 新潟県中越地方<br>川口町付近<br>(13) | 逆断層         | 6.8          | 7<br>(6.8)       |
| 鳥取県西部地震        |        | 2000/10/6<br>(13:30)  | 鳥取県西部 西伯郡<br>(9)         | 左横ずれ断層      | 7.3          | 6強<br>(7.3)      |
| 兵庫県南部地震        |        | 1995/1/17<br>(5:46)   | 淡路島北端<br>(16)            | 右横ずれ断層      | 7.3          | 7<br>(7.3)       |

#### (2) 地震前降雨

地震による山地災害の発生には、地震発生以前の降雨も影響すると考えられる。地震前降雨の影響を評価するにあたって適切な期間は、各地震が発生した地形地質条件によって異なるため、地震発生直前までの30日間降雨、20日間降雨、10日間降雨を表 3.4 に整理した。各地震前の降雨の詳細は図 3.2 から図 3.12 に示した。また、2004年に発生した新潟県中越地震については、地震発生3か月前の台風豪雨時の降雨状況も併せて示す。

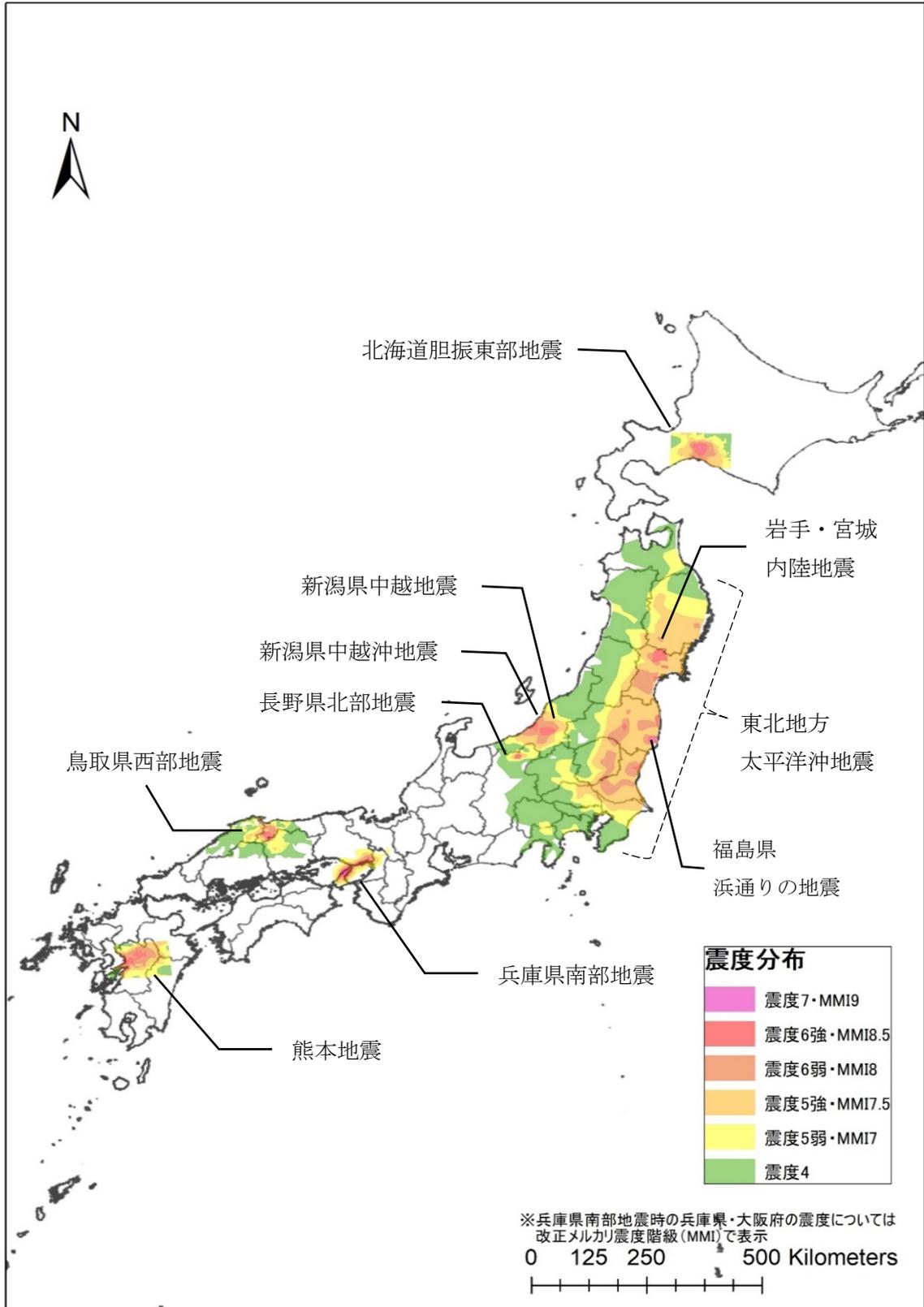


図 3.1 対象地震の推計震度分布図

表 3.4 地震前降雨一覧

| 地震名             | 地点   | 地震前の降雨量[mm] |       |       |
|-----------------|------|-------------|-------|-------|
|                 |      | 30日間        | 20日間  | 10日間  |
| 平成30年北海道胆振東部地震  | 厚真   | 225.0       | 80.0  | 29.5  |
| 平成28年熊本地震       | 阿蘇乙姫 | 168.5       | 146.0 | 97.5  |
| 平成23年福島県浜通りの地震  | 小名浜  | 43.0        | 23.5  | 15.0  |
| 平成23年長野県北部地震    | 津南   | 139.5       | 85.0  | 48.5  |
| 平成23年東北地方太平洋沖地震 | 白河   | 80.0        | 28.5  | 11.5  |
| 平成20年岩手・宮城内陸地震  | 駒の湯  | 282.5       | 137.0 | 89.0  |
| 平成19年新潟県中越沖地震   | 柏崎   | 332.0       | 150.0 | 49.0  |
| 平成16年新潟県中越地震    | 小出   | 362.0       | 303.0 | 157.0 |
| 平成12年鳥取県西部地震    | 江尾   | 238.0       | 170.0 | 36.0  |
| 平成7年兵庫県南部地震     | 神戸   | 37.5        | 37.5  | 0.0   |

【北海道胆振東部地震】

地震前日に日雨量 12.0mm、まとまった雨量としては 20～24 日前に連続雨量 109mm が記録されている。

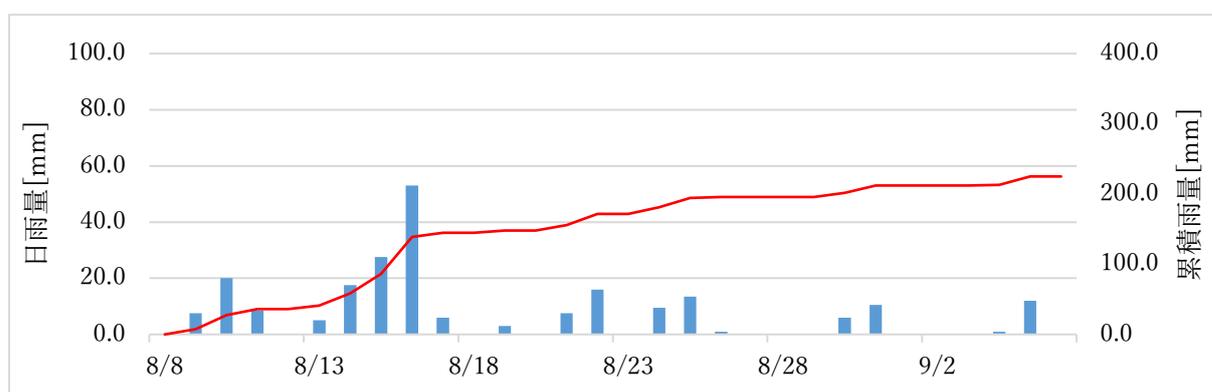


図 3.2 北海道胆振東部地震発生前 30 日間降雨 (厚真)

【熊本地震】

4 月 7 日に 56 mm のまとまった日雨量を記録して以降、地震発生までの降雨はわずかであった。

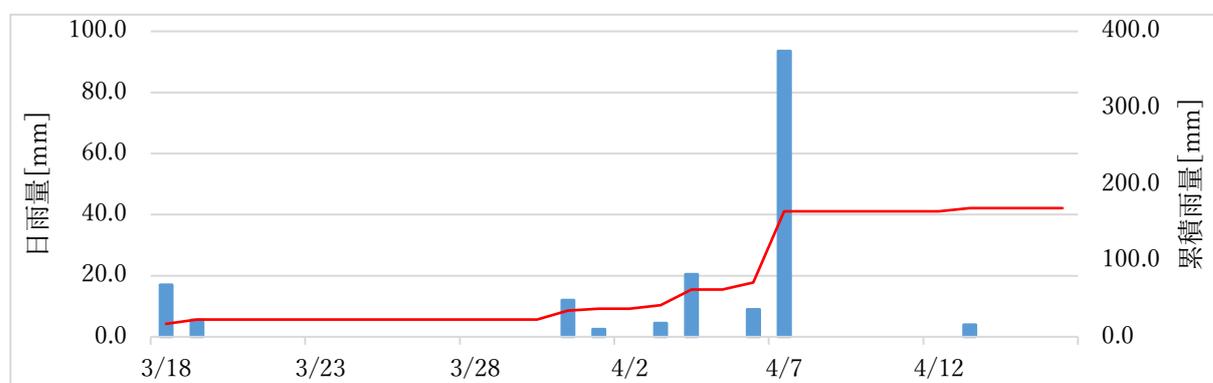


図 3.3 熊本地震発生前 30 日間降雨 (阿蘇乙姫)

【東北地方太平洋沖地震】

2月下旬に白河市・那須烏山市周辺で50mm前後の降雨があったが、それ以降の降雨は少量である。

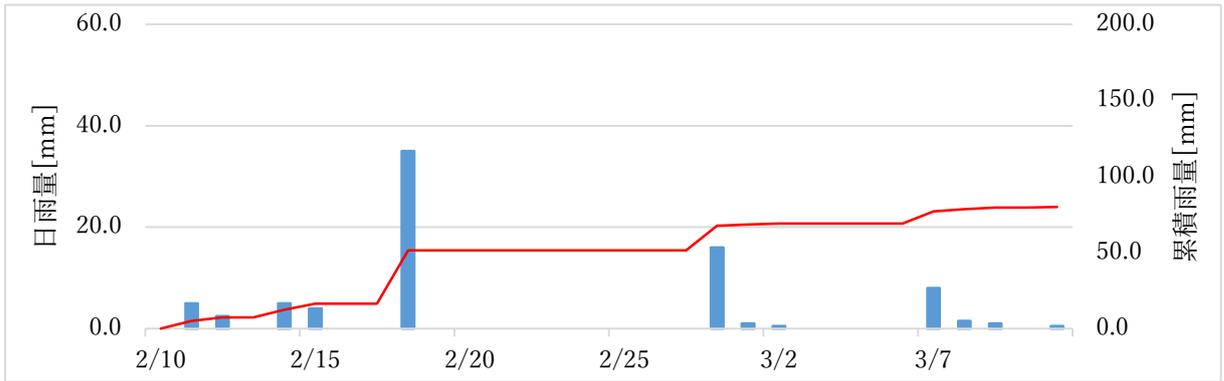


図 3.4 東北地方太平洋沖地震発生前 30 日間降雨（白河）

地震発生当日の積雪深は227cm(林内はさらに深い可能性あり)であった。この地域は浅い地すべり地形の分布が多く、多量の積雪がすべり面に働く有効応力を増加させ、強度低下を抑制した可能性が指摘されている。

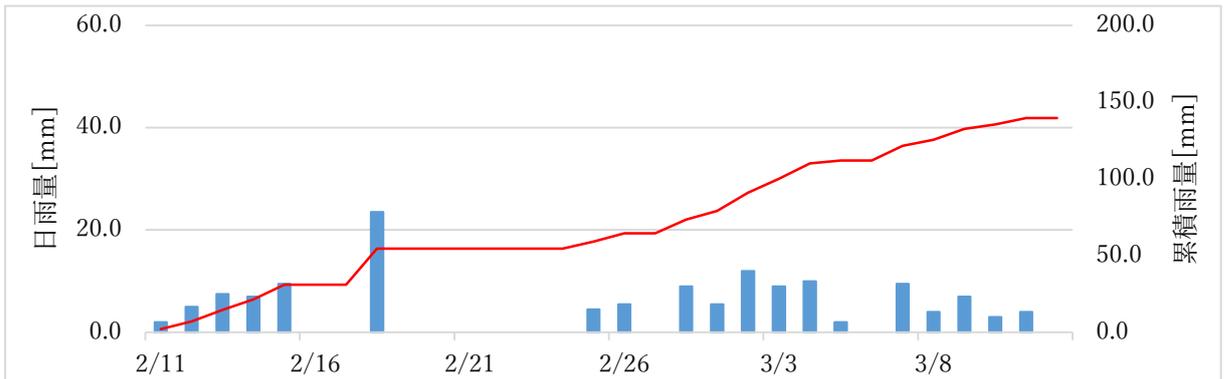


図 3.5 長野県北部地震発生前 30 日間降雨（津南）

地震発生の2日前に日雨量15.0mmの降雨を記録している。

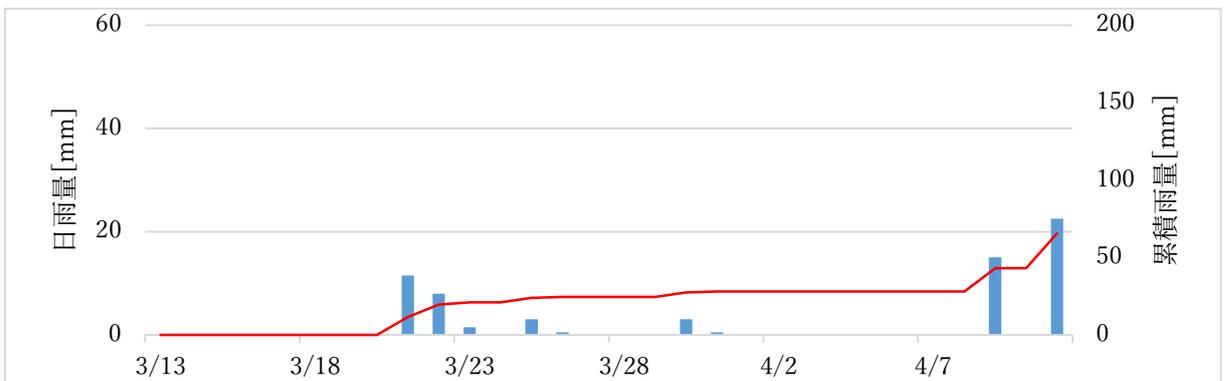


図 3.6 福島県浜通りの地震発生前 30 日間降雨（小名浜）

**【岩手・宮城内陸地震】**

地震発生の8～9日前に連続雨量86.0mmのまとまった雨量を記録している。

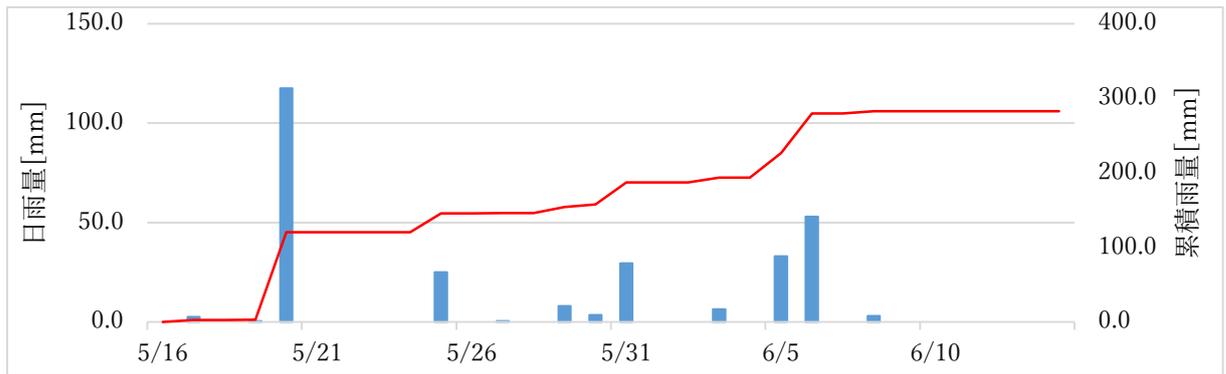


図 3.7 岩手・宮城内陸地震発生前 30 日間降雨（駒の湯）

**【新潟県中越沖地震】**

地震発生の21日前（6月25日）に日雨量87mm、17日前に日雨量53mmを記録している。

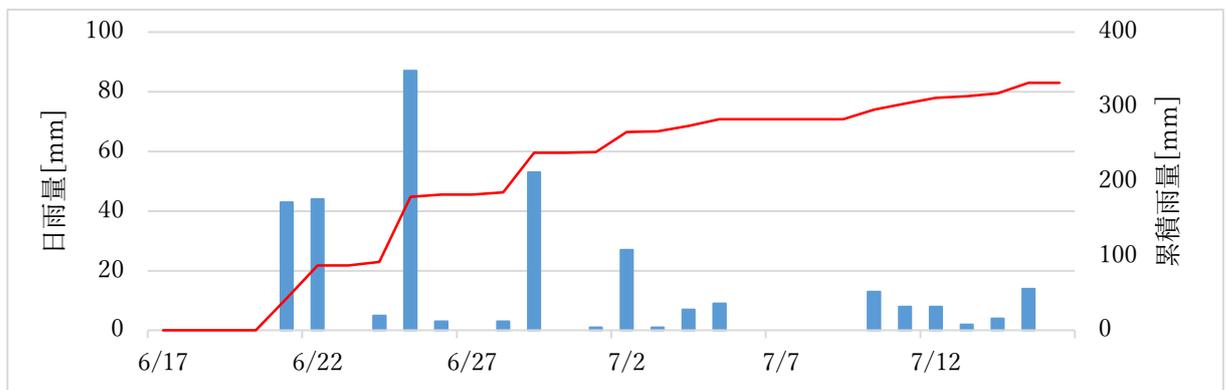


図 3.8 新潟県中越沖地震発生前 30 日間降雨（柏崎）

**【新潟県中越地震】**

地震発生の約3か月前（7月13日）と3日前に台風豪雨があり表層崩壊が多発していた。地震発生時は、地すべり地形において過剰間隙水圧が上昇し、すべり面のせん断抵抗力の低下に影響した可能性が指摘されている。

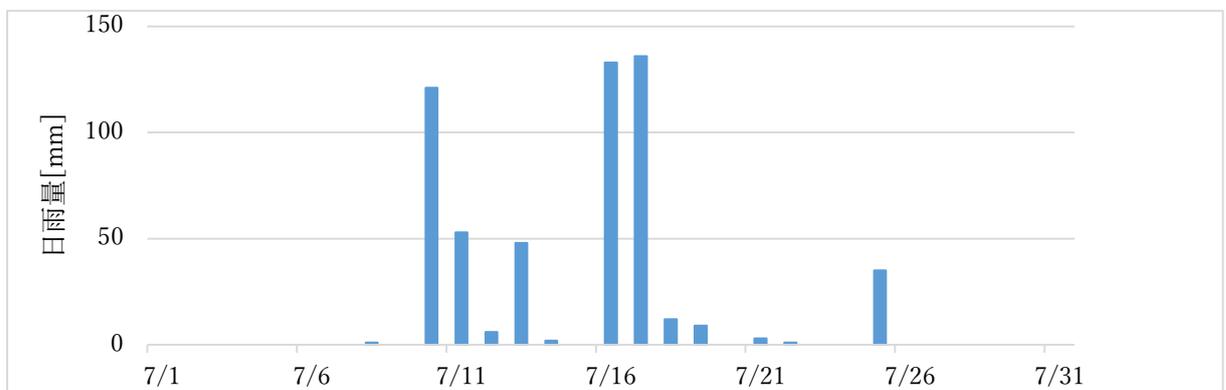


図 3.9 地震同年7月の台風襲来前後の降雨状況（小出）

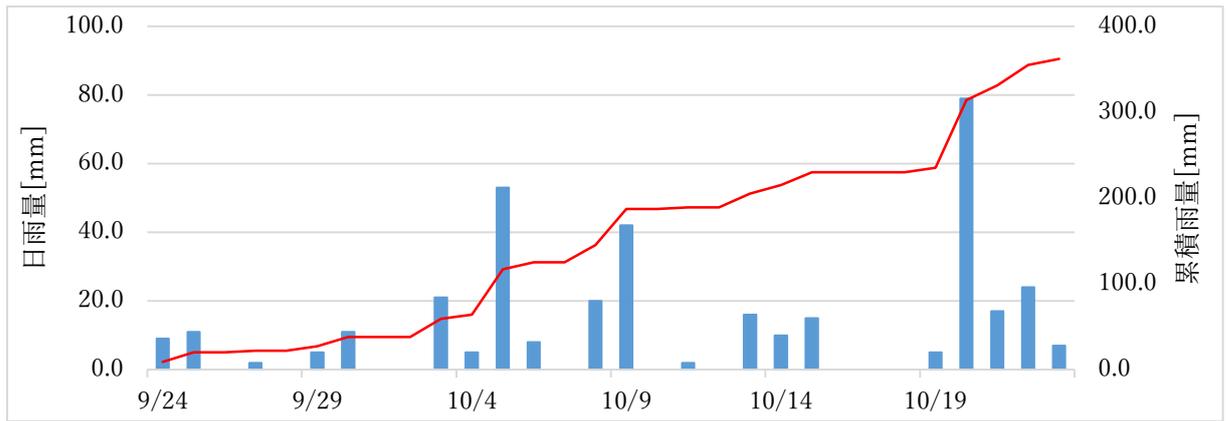


図 3.10 新潟県中越地震発生前 30 日間降雨 (小出)

**【鳥取県西部地震】**

地震発生の前日に 12.5mm、1 週間前に連続雨量 27.5mm の降雨を記録している。

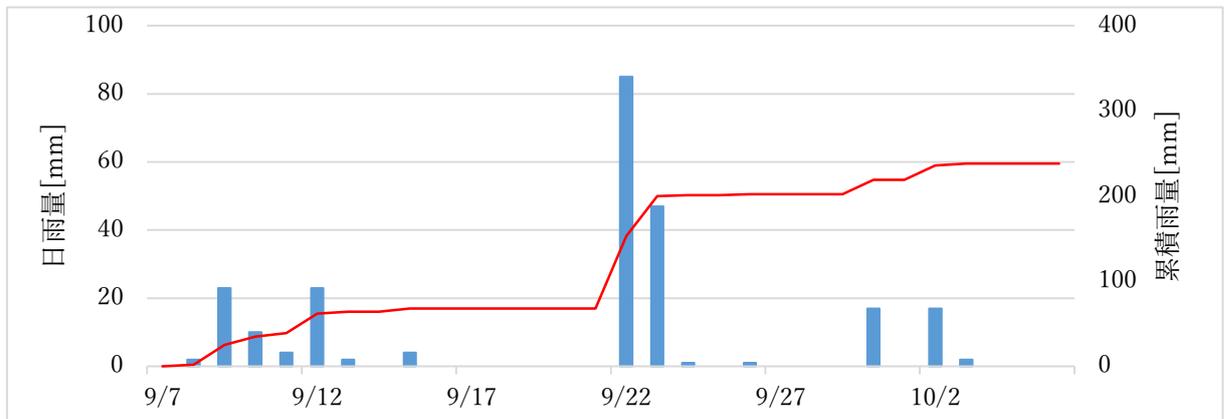


図 3.11 鳥取県西部地震発生前 30 日間降雨 (江尾)

**【兵庫県南部地震】**

冬季のため極めて少雨。地震発生の 2 週間前に連続雨量 25.5 mm の降雨があるが、崩壊発生に関与したとは考えにくい。

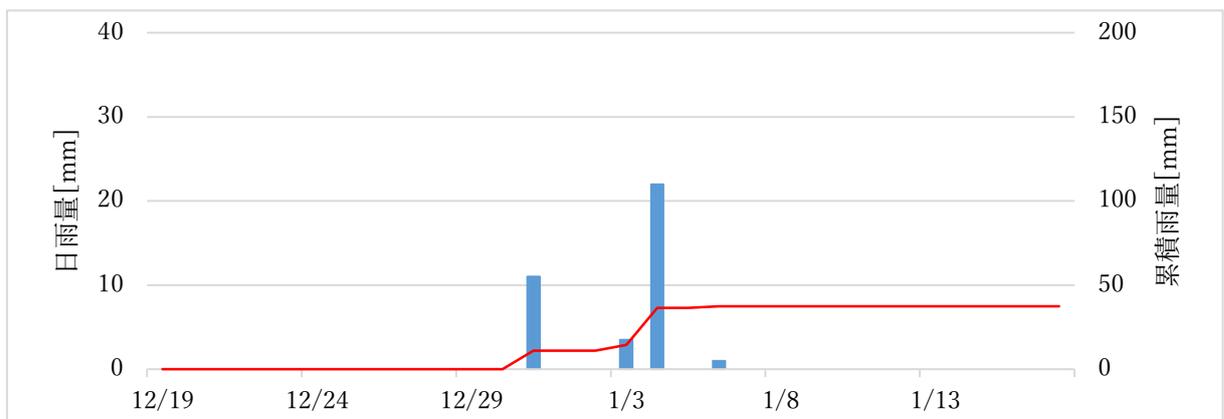


図 3.12 兵庫県南部地震発生前 30 日間降雨 (神戸)

### (3) 地震による山地災害の発生状況（荒廃状況）

以下に文献調査の対象とした 10 件の地震により発生した山地災害の概要をまとめる。

#### (i) 2018 年北海道胆振東部地震

山地災害は強震域中心のやや東方の厚真川流域に集中しており、テフラが厚く分布するなだらかな地形条件で発生する崩壊が大半を占めた。テフラの崩壊で発生した不安定土砂は、崩壊地直下で多量に堆積しており、細粒なため降雨時に容易に二次移動する可能性がある。基盤岩が露出した崩壊斜面内は風化により脆弱化するため、ガリーの発達が著しい。また、新第三紀堆積岩の並進性地すべりも散見され、移動土塊末端で土砂ダムが形成された事例もある。

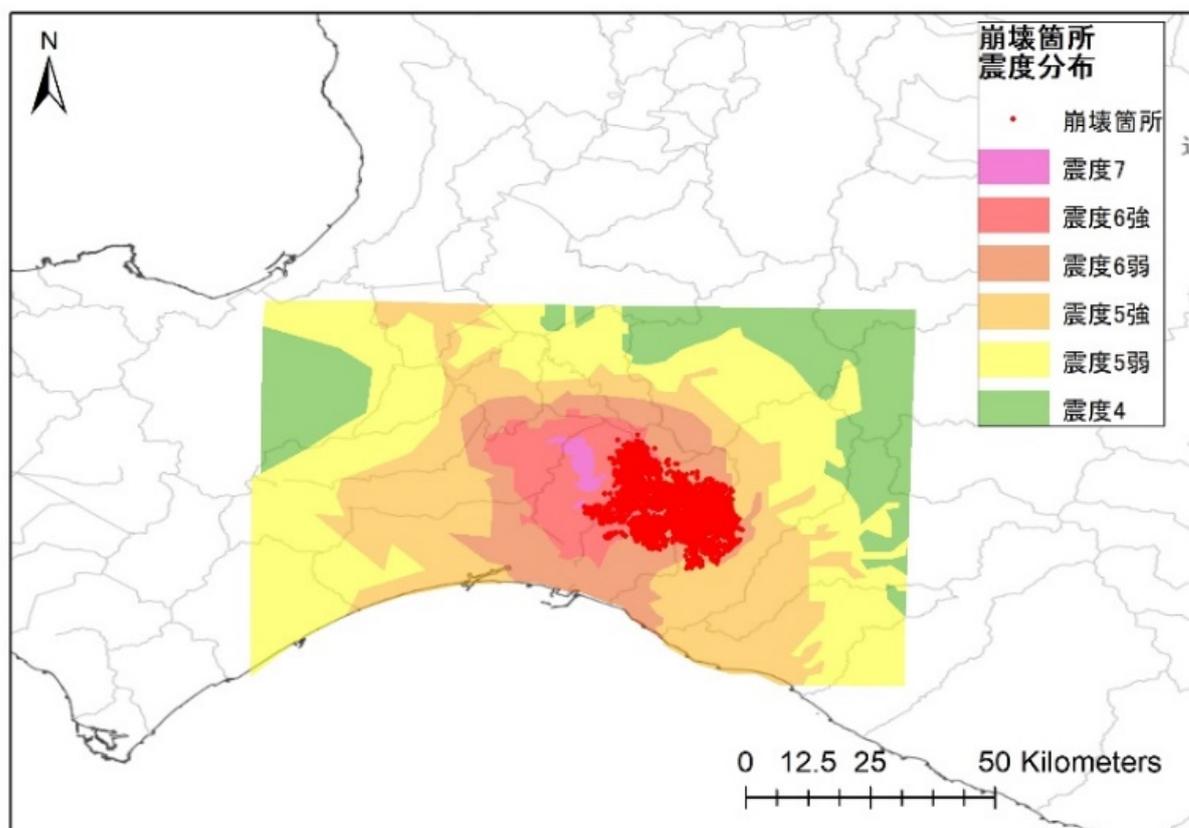


図 3.13 北海道胆振東部地震の震度分布と崩壊箇所

## (ii) 2016年熊本地震

4月14日の前震と16日の本震が発生しているが、山地斜面災害の多くは本震時に発生したものとされており、前震が崩壊発生にどの程度関与したかは不明である。震度6以上の範囲は断層帯に沿って広く分布しているが、山地災害の発生は阿蘇地方の布田川断層付近に集中している。

高野台地すべりで見られた特徴的なテフラの崩壊は、阿蘇中央火口丘群を被覆するテフラの堆積が卓越する緩斜面で多く発生している。崩壊斜面は集水地形を呈しており、火山灰層底部の粘土化あるいは地下水の関与が指摘されている。水分条件が豊富な斜面では、崩壊に誘起され土石流化に至った事例もある（山王谷川）。

阿蘇カルデラ壁に集中してみられる岩盤崩落は、急崖の節理発達部や形成年代が異なる火山岩類の境界付近を弱面として発生した。阿蘇大橋の大規模な岩盤崩落は、立野火口瀬の急斜面を高速で流下した例であり、一時的に河道を閉塞する多量の土砂が発生した。

山体の尾根付近には多数の亀裂が発生し、地震後降雨による荒廃の原因となった。

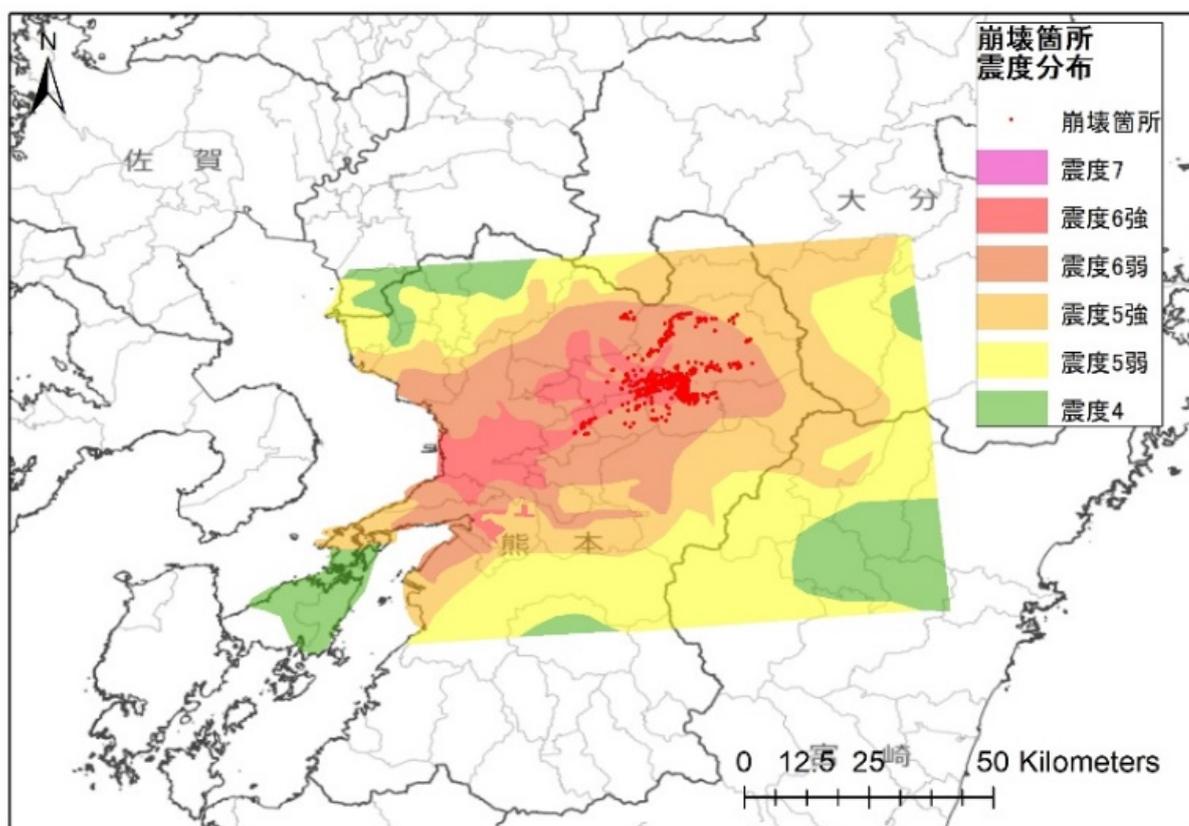


図 3.14 熊本地震の震度分布と崩壊箇所

### (iii) 2011年東北地方太平洋沖地震

本地震は今回収集した地震例のうち、唯一の海溝型地震である。3月11日の本震時は広範囲に地震動が伝播しており、山地災害の発生は岩手県から栃木県北部にかけて、各分布地質で特徴の異なる崩壊が報告されている。

宮城県松島町の島嶼部～丘陵地端部にかけて第三紀堆積岩の風化層で小規模な崩壊が高密度で発生した。三陸海岸～牡鹿半島では風化岩の小規模な崩壊が低起伏山地で発生しており、白亜紀以前の硬質な地質が分布する地域において地震による山地災害が発生した稀有な事例となっている。福島県白河市～栃木県那須郡那珂川町にかけての地域では、テフラの崩壊が発生しており、強風化火山灰層主体の軟弱な高含水層をすべり面として非常に流動性の高い土砂移動がみられた。葉ノ木平地すべりはじめとし、このような崩壊がみられた斜面は、集水地形を呈しており湧水が確認されたことが共通している。

3月12日に発生した長野県北部地震の強振動域には、魚沼層群などの第四紀の安山岩と、第三紀堆積岩が分布する。第四紀火山岩分布域にあたる千曲川支流の中条川と奈免沢川溪岸斜面で既往地すべりブロック周縁部の崩壊や新規崩壊が発生し、そのうち数箇所では土砂ダムの形成が報告されている。土砂の長距離移動・土石流化が報告されている事例では、融雪水が土層内に浸透していた、あるいは、流下途中で積雪を巻き込み土塊が発散しやすい環境下にあったことが指摘されている。一方で、本地震は、当日に2mを超える積雪が記録されており、浅い地すべり地が多く分布する地域では、積雪がすべり面に対する有効応力を増加させ大規模ブロックの滑動を抑制した可能性が指摘されている。

本地震は、2004年に発生した新潟県中越地震と同様に、第三紀地すべり地帯かつ内陸の逆断層で発生した地震であるため、文献には両地震を対比した報告もあった。地震発生時の水分条件の違いが山地災害発生数の差に影響したことが指摘されている。

4月11日に発生した福島県浜通りの地震による斜面崩壊は井戸沢断層と湯ノ岳断層周辺部に集中しており、同地域には第三紀始新世～漸新世の堆積岩と先第三紀の阿武隈変成岩が分布する。正断層の活動による地震で発生した稀な事例である。

崩壊がみられた地域に分布する地質は堆積岩や変成岩である場合が多く、層理や片理構造に規制された崩壊が主となる。この崩壊は、地震動によって弱部が破壊されることで発生すると指摘されており、一定の外力に達すると破壊が急増することを示している。

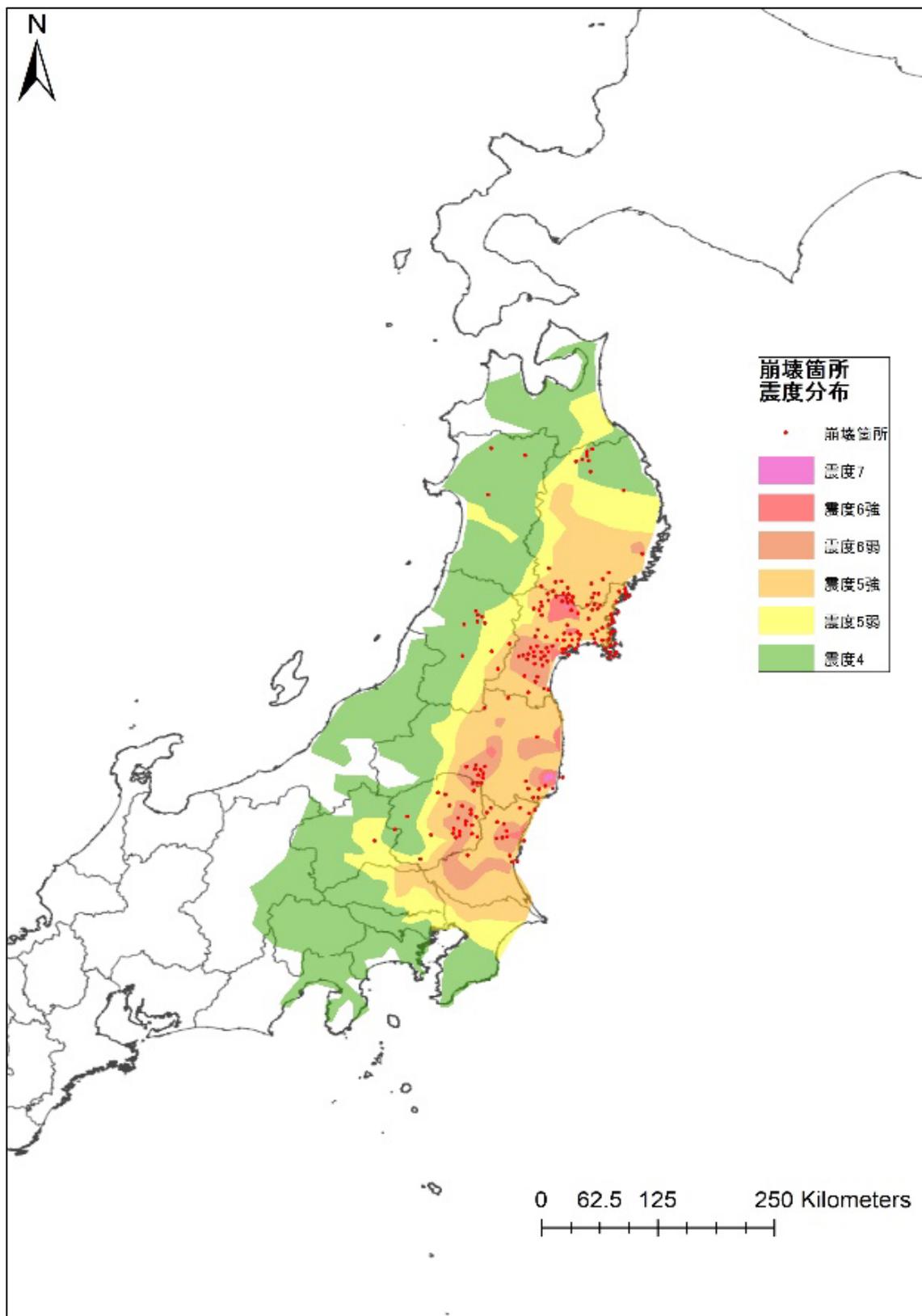


図 3.15 東北地方太平洋沖地震の震度分布と崩壊箇所

#### (iv) 2008年岩手・宮城内陸地震

栗駒山を中心とする山地全体で2322箇所の崩壊が報告されており、崩壊に伴う流域の荒廃が報告されている。これらの崩壊は、栗駒山南麓の震度弱6弱以上の強震に見舞われた範囲内の流域に集中している（一迫川、三迫川、産女川など）。

第三紀堆積岩や火山岩類分布地域で大規模な地すべりが発生し、15箇所で土砂ダムが形成された。大規模な地すべり等は堆積岩・火山岩類のどちらでも発生が報告されているが、栗駒山南麓斜面の新第三紀堆積岩で比較的大規模化しやすい傾向がみられた。また、地すべりの発生は逆断層の上盤側に偏在しており、上盤効果が顕著に現れていた。並進地すべりの多くは非常に緩いすべり面傾斜で滑動しているため、地震後、土塊自体の安定性は比較的高い。

表層崩壊は固結度の低い地質体や風化岩に起因しており、小規模だが高密度で発生したため、渓流内不安定土砂の主たる供給源となった。

地震発生当時は一週間前までは無降雨状態が継続していたが、1000m以上の高標高地においては融雪期であったため、定常的に供給される融雪水が地震前降雨としてはたらき、大規模な地すべりの発生や崩壊土砂の長距離移動に関与したことが指摘されている。

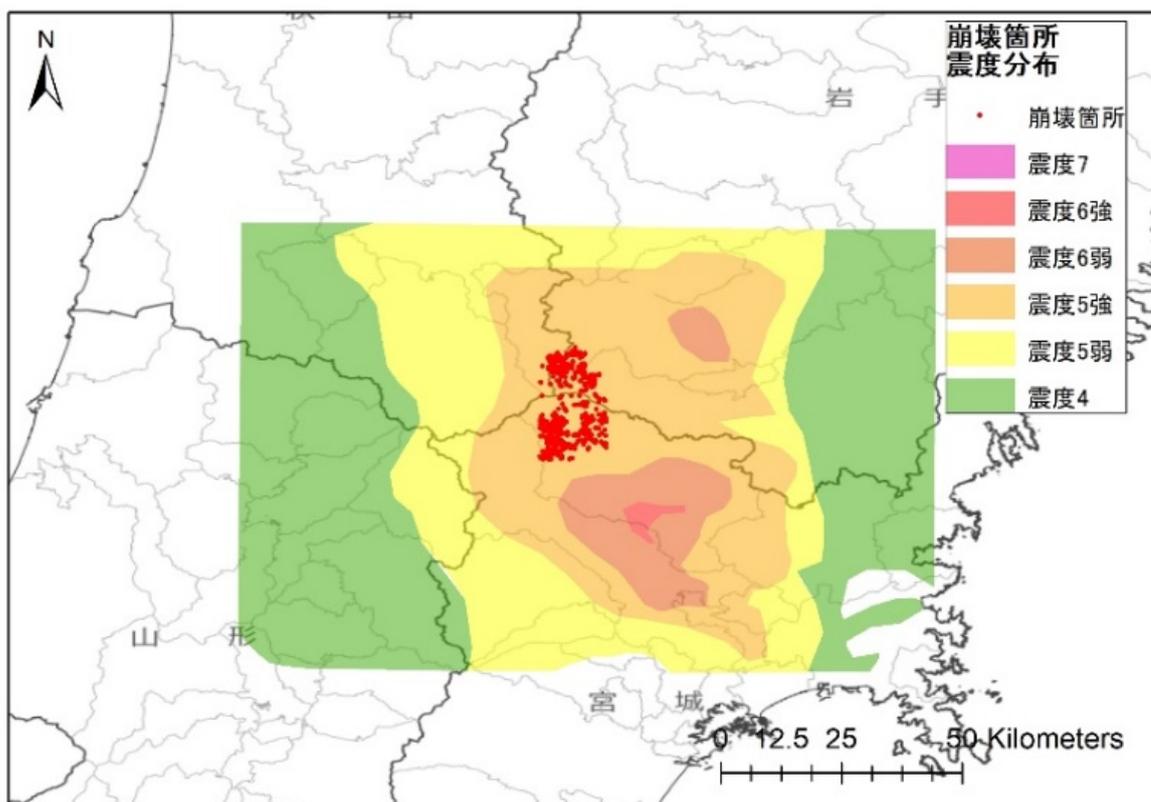


図 3.16 岩手・宮城内陸地震の震度分布と崩壊箇所

(v) 2007年新潟県中越沖地震

本地震の強振動域には後述する中越地震で崩壊が発生した地域と同様に新第三紀堆積岩が分布しているが、主な崩壊集中域は柏崎市街を除く南北の沿岸部に限定され、内陸部の地すべり地形周辺での崩壊発生は少ない。代表的な斜面変動としては、海岸に面した流れ盤斜面で発生した聖ヶ鼻の初生並進地すべりや、観音岬の崩壊、青海川駅背後の斜面で発生した第三紀火山岩の円弧性の崩壊がある。

山地部で発生する地震と、沖合で発生する地震による山地災害について対比される事例である。

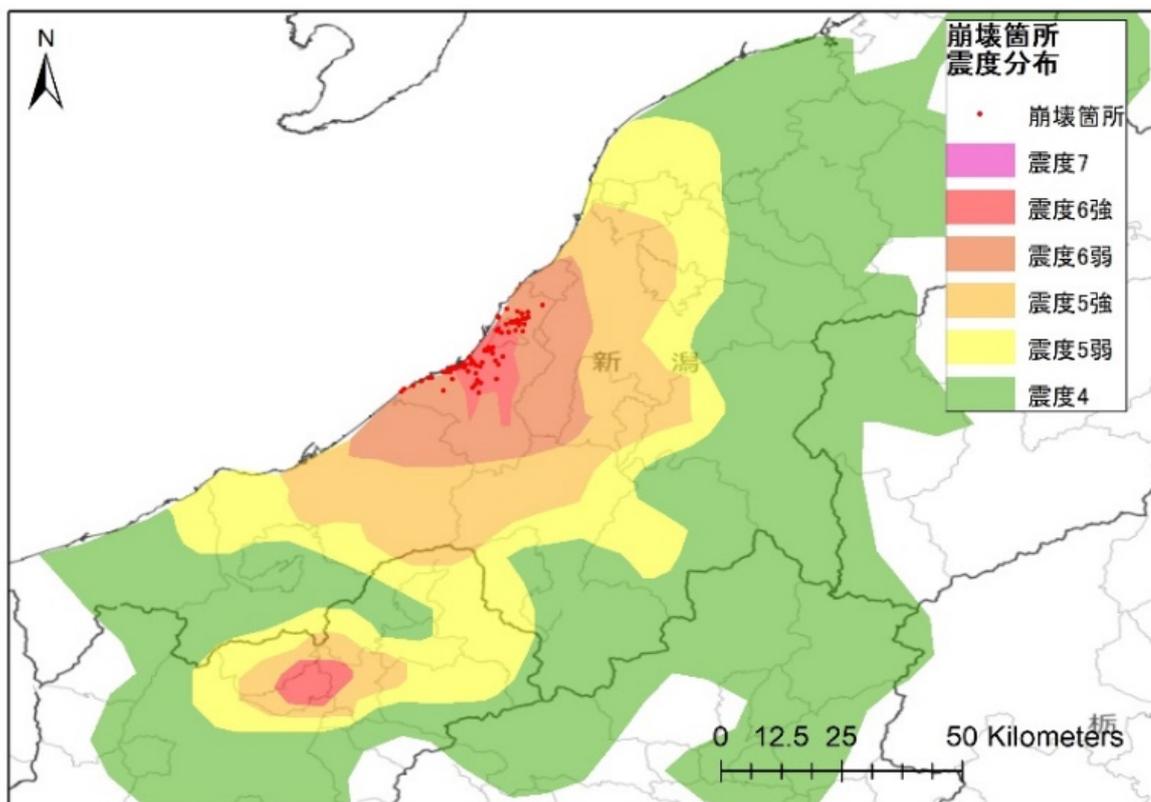


図 3.17 新潟県中越沖地震の震度分布と崩壊箇所

#### (vi) 2004 年新潟県中越地震

本地震による山地災害事例では、崩壊の誘因には地震動以外に、地震前降雨の影響が大きく関与したことが指摘されている。当地域が国内有数の第三紀地すべり密集地域であること、地震発生の前と3ヵ月前の台風豪雨が影響して新規・再活動ともに地すべりが多数発生した。芋川流域をはじめとする地すべり地形が密集する褶曲地帯に形成された、起伏のあるケスタ地形で地すべりが多発した。

本地震でみられた主要な第三紀の初生地すべりと外力の大きさの関係をみると、地すべりは、震度5強で出現しはじめ、震度6弱以上の強震域で発生数が急増する。このことから、地震時における第三紀地すべりの初生は、概ね震度5強付近が閾値になると見積もられている。

荒廃流域内の不安定土砂の主な供給源は小規模な表層崩壊地である。これらの崩壊の多くは、第三紀鮮新世の川口層分布地域に集中域がみられる。凸型を呈する斜面や尾根部で地震動が増幅されやすいことが指摘されており、表層の固結度の低い風化砂岩が振り落とされた崩壊が多数発生した。

豪雨による崩壊と比較して土塊の流動性は低く、崩壊地内や崩壊地直下に多量の土砂が残留し、勾配の緩い溪流内に細粒の土砂が大規模な堆積帯を形成した。

また、震源断層上盤側の5km~10km圏内に大規模な地すべりの偏在がみられた。しかし、第三紀泥岩地すべり地の多くでは地すべり対策が進められており、概成地すべり地で顕著な変動が発生した事例は少なく、従来の地すべり対策工は地震時にもある程度効果を発揮することが示された。

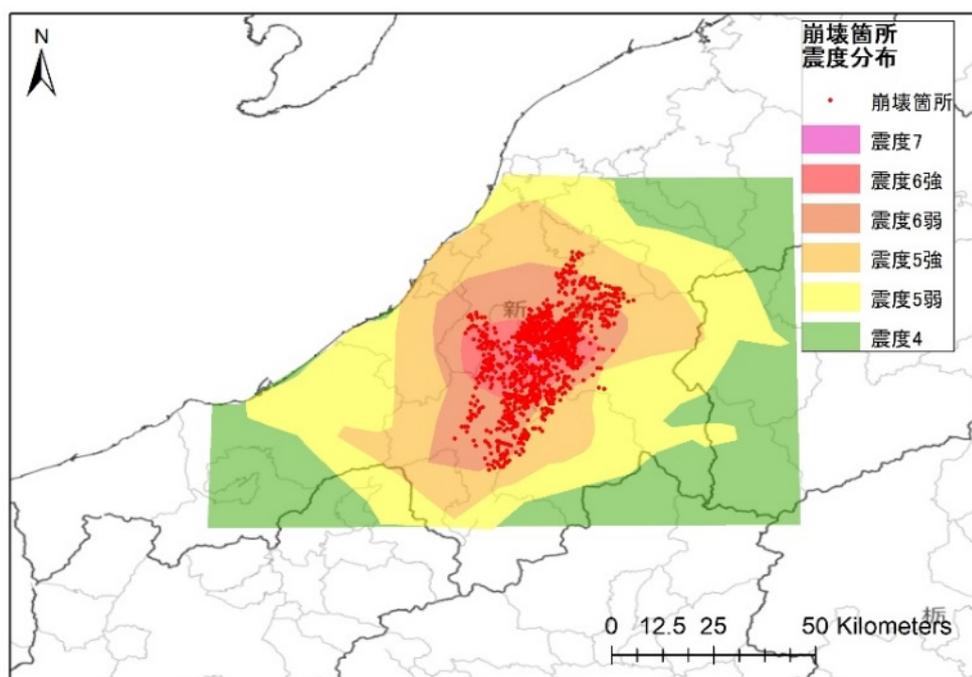


図 3.18 新潟県中越地震の震度分布と崩壊箇所