

令和元年台風19号に係る災害調査報告会

2019年台風19号による土砂災害と山地被害 ～宮城県丸森町，神奈川県相模原市，静岡県函南町～

2019年12月3日

愛媛大学 防災情報研究センター
森 伸一郎

台風19号の概要

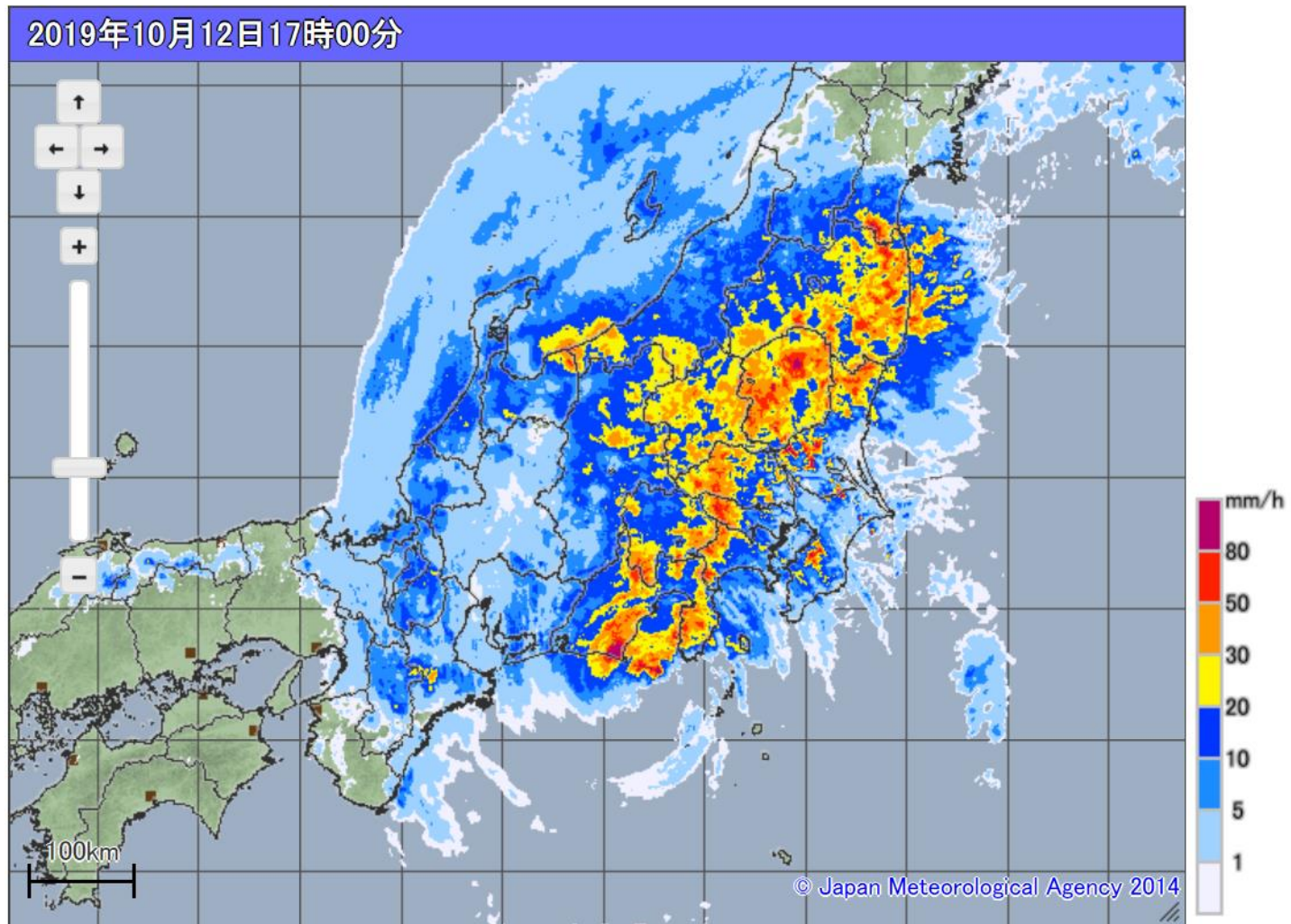
○ 台風第19号は10月12日19時前に大型で強い勢力で伊豆半島に上陸した後、関東地方を通過し、13日未明に東北地方の東海上に抜けた後、13日12時に日本の東で温帯低気圧に変わった。

○ 台風本体の発達した雨雲や台風周辺の湿った空気の影響で、静岡県や関東甲信地方、東北地方を中心に広い範囲で記録的な大雨となった。10日からの総雨量は神奈川県箱根町で1000ミリに達し、関東甲信地方と静岡県の17地点で500ミリを超えた。

この記録的な大雨により、12日15時30分に静岡県、神奈川県、東京都、埼玉県、群馬県、山梨県、長野県の7都県に、12日19時50分に茨城県、栃木県、新潟県、福島県、宮城県の5県、13日0時40分に岩手県に特別警報を発表した。

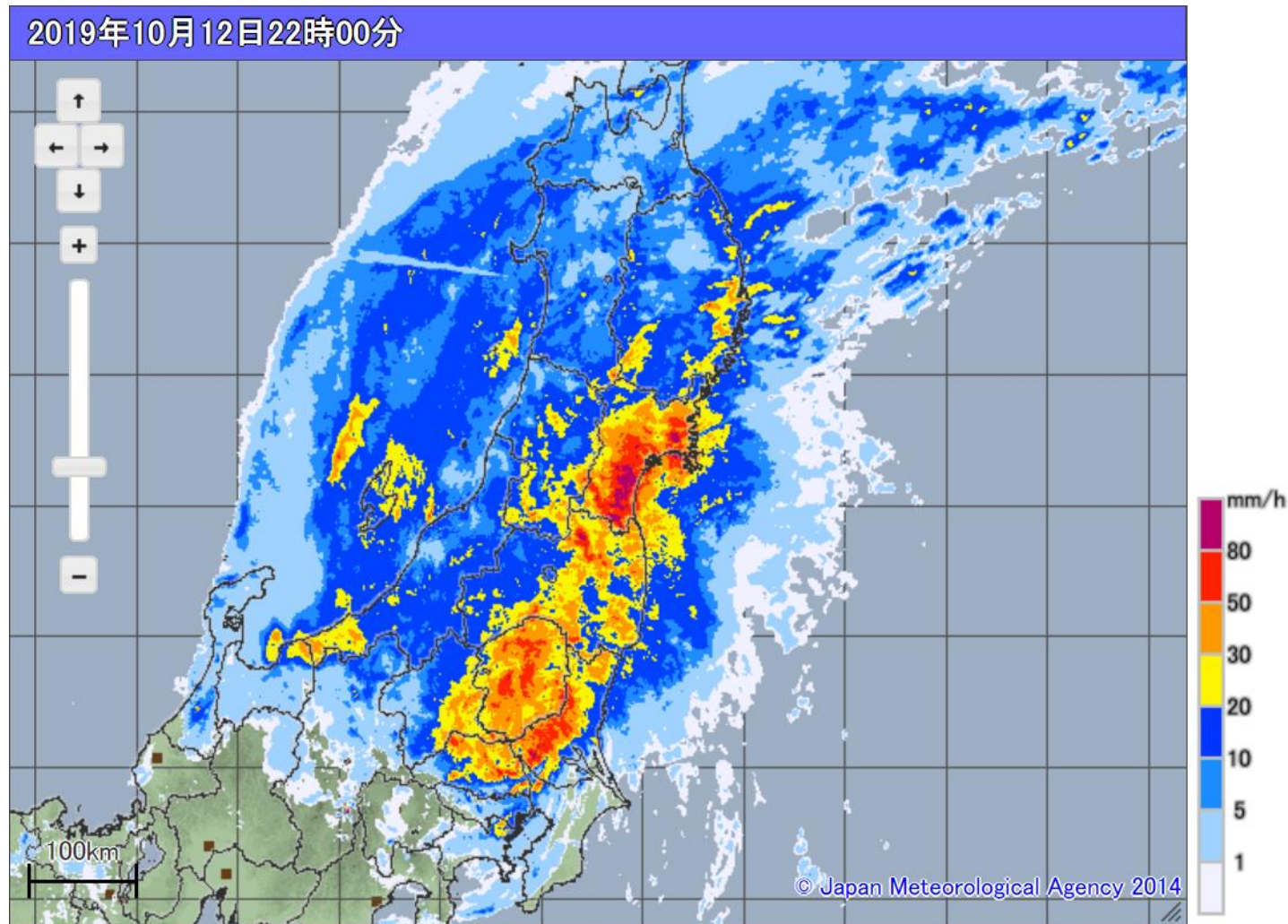
気象庁：令和元年台風第19号による被害状況等について（第8報）

リアルタイムでの降水量チェック



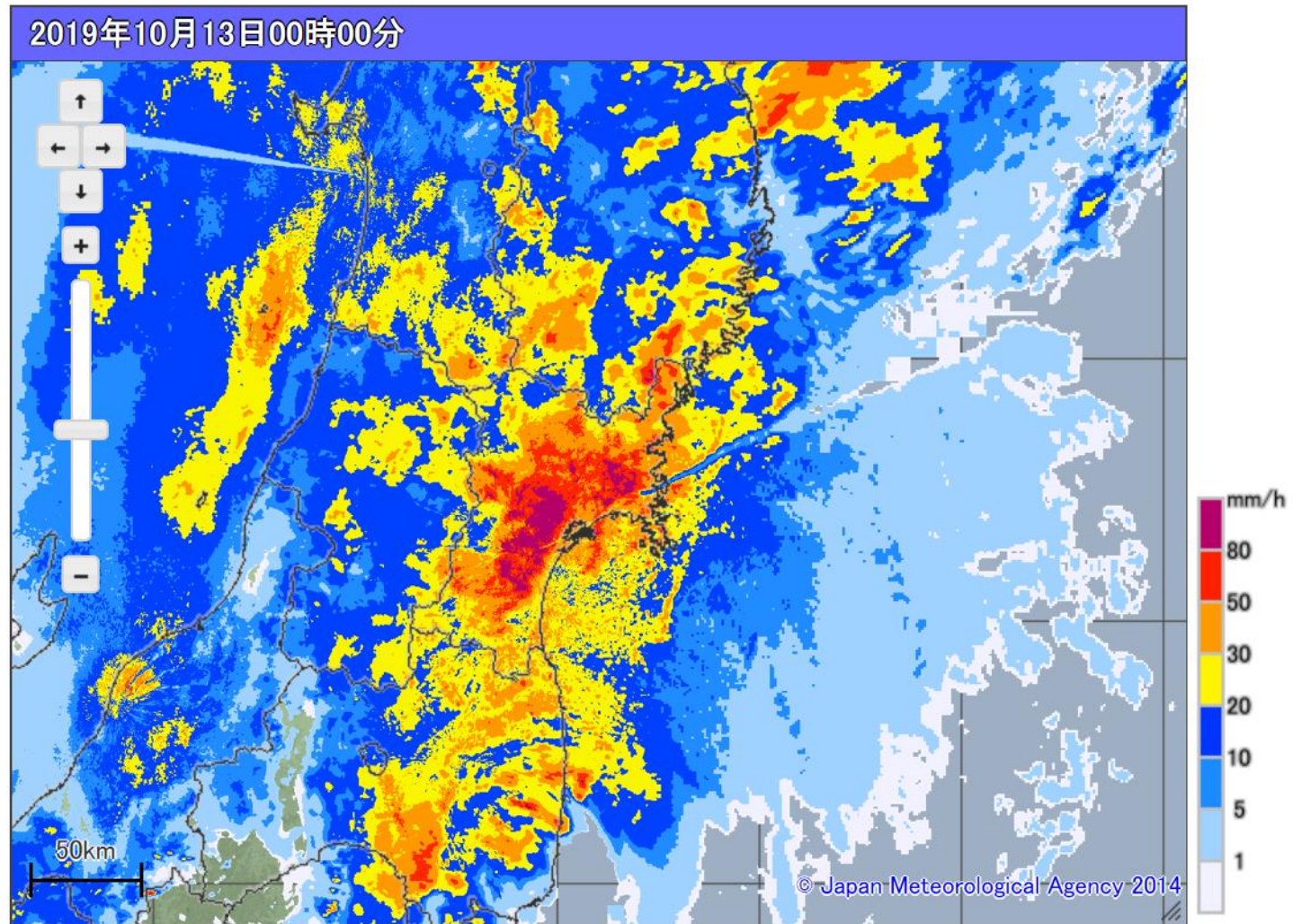
10月12日17:00 関東地方で降雨量が多い

リアルタイムでの降水量チェック



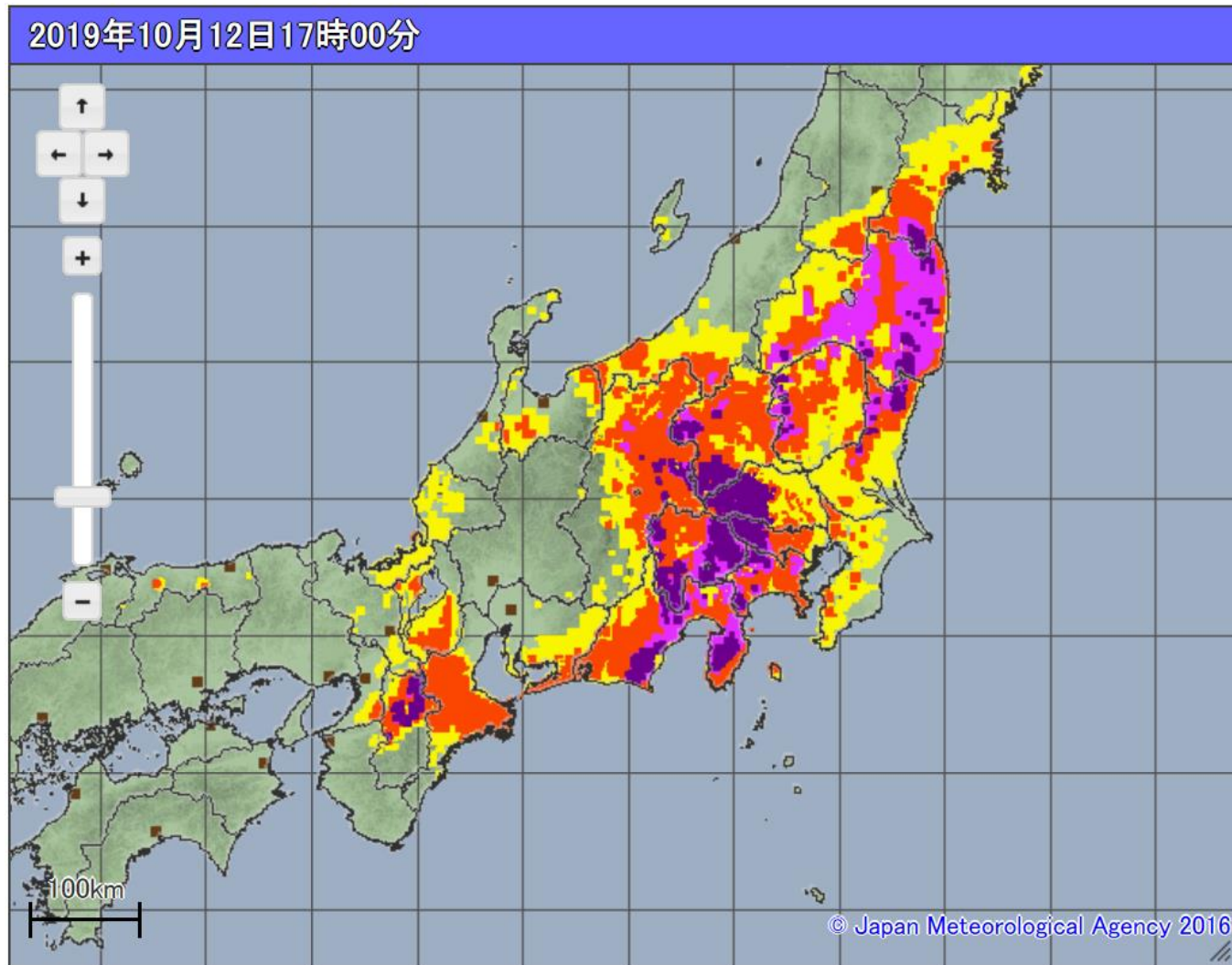
10月12日22:00 降雨量が多い領域が関東地方から東北地方へ

リアルタイムでの降水量チェック

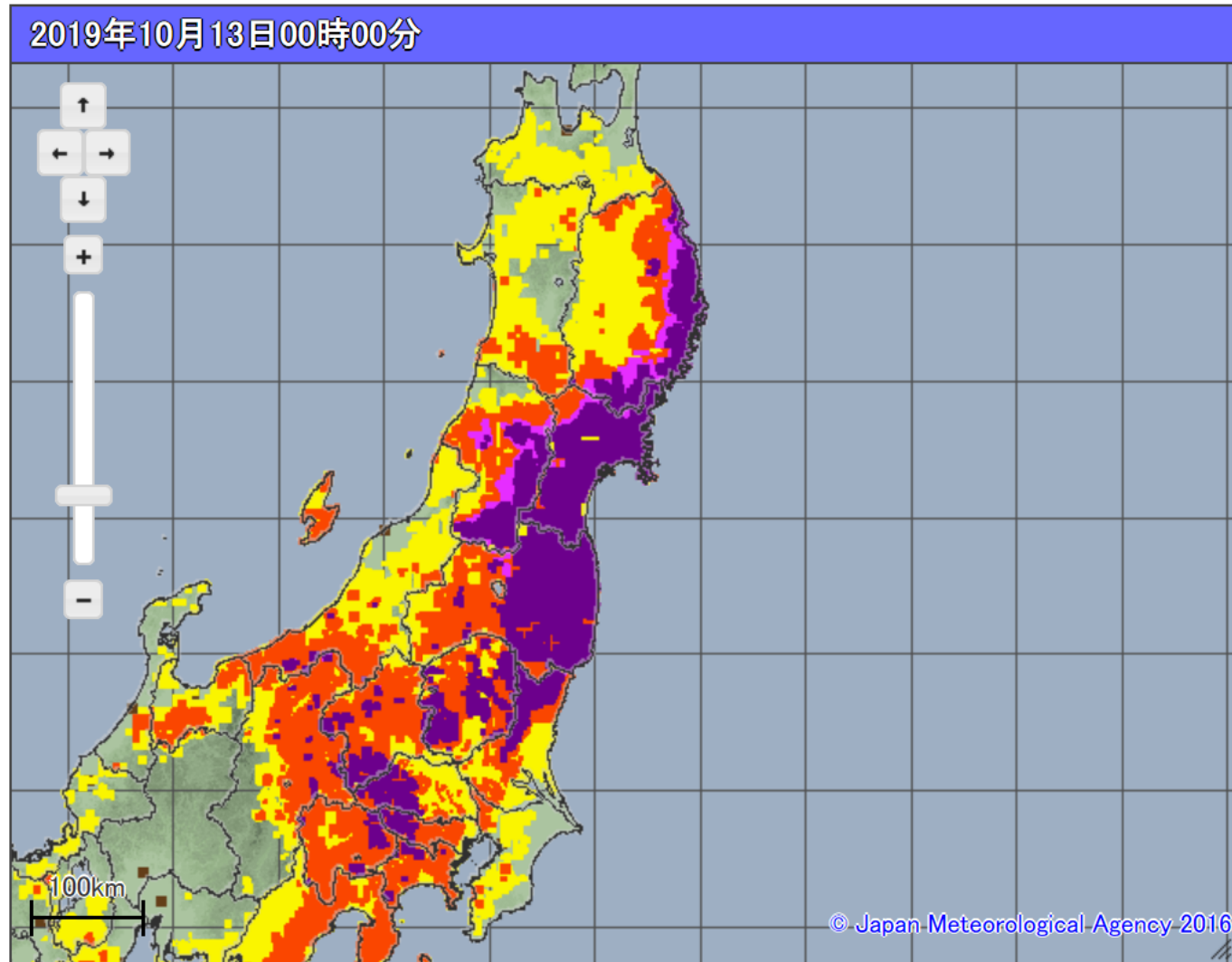


10月13日0:00 降雨量が激しい多い領域が東北地方で停滞

10月12日17時 土砂災害警戒情報：関東地方で最多



10月13日0時 土砂災害警戒情報：東北地方で最悪



大雨警報（土砂災害）の危険度分布の利活用

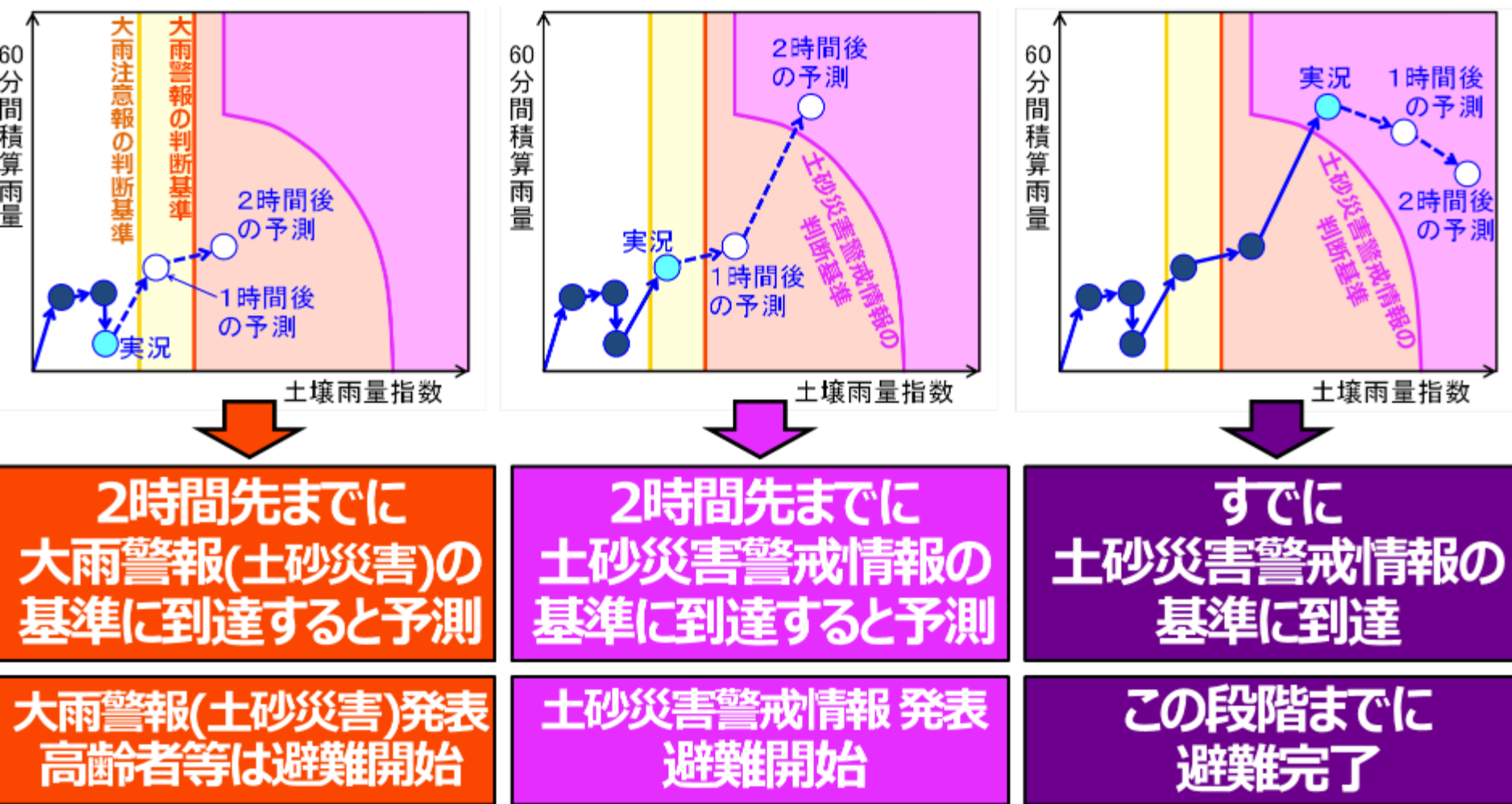
色が持つ意味	住民等の行動の例※1	内閣府のガイドラインで 発令の目安とされる 避難情報	相当する 警戒レベル※2
極めて危険 すでに 土砂災害警戒情報の 基準に到達	過去の重大な土砂災害発生時に匹敵する 極めて危険 な状況。命に危険が及ぶ土砂災害が すでに発生 していてもおかしくない。 この状況になる前に 土砂災害危険箇所や土砂災害警戒区域の外の少しでも安全な場所への 避難を完了しておく必要がある 。	避難指示 (緊急)	4 相当
非常に危険 2時間先までに 土砂災害警戒情報の 基準に到達すると予想	命に危険が及ぶ土砂災害がいつ発生してもおかしくない 非常に危険 な状況。 速やかに 土砂災害危険箇所や土砂災害警戒区域の外の少しでも安全な場所への 避難を開始する 。	避難勧告	
警戒 (警報級) 2時間先までに警報 基準に到達すると予想	避難の準備が整い次第 、土砂災害危険箇所や土砂災害警戒区域等の外の少しでも安全な場所への 避難を開始 。 高齢者等は速やかに避難を開始する 。	避難準備・ 高齢者等 避難開始	3 相当
注意 (注意報級) 2時間先までに注意報 基準に到達すると予想	ハザードマップ等により避難行動を確認する。 今後の情報や周囲の状況、雨の降り方に注意する。 特に、危険度分布をこまめに確認する。	—	2 相当
今後の 情報等に留意	今後の情報や周囲の状況、雨の降り方に留意する。	—	—

※1 大雨警報（土砂災害）の危険度分布に関わらず、自治体から避難勧告（警戒レベル4）等が発令された場合には速やかに避難行動をとってください。

※2 警戒レベルについては内閣府ホームページをご覧ください。

<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/bosai/doshakeikai.html>

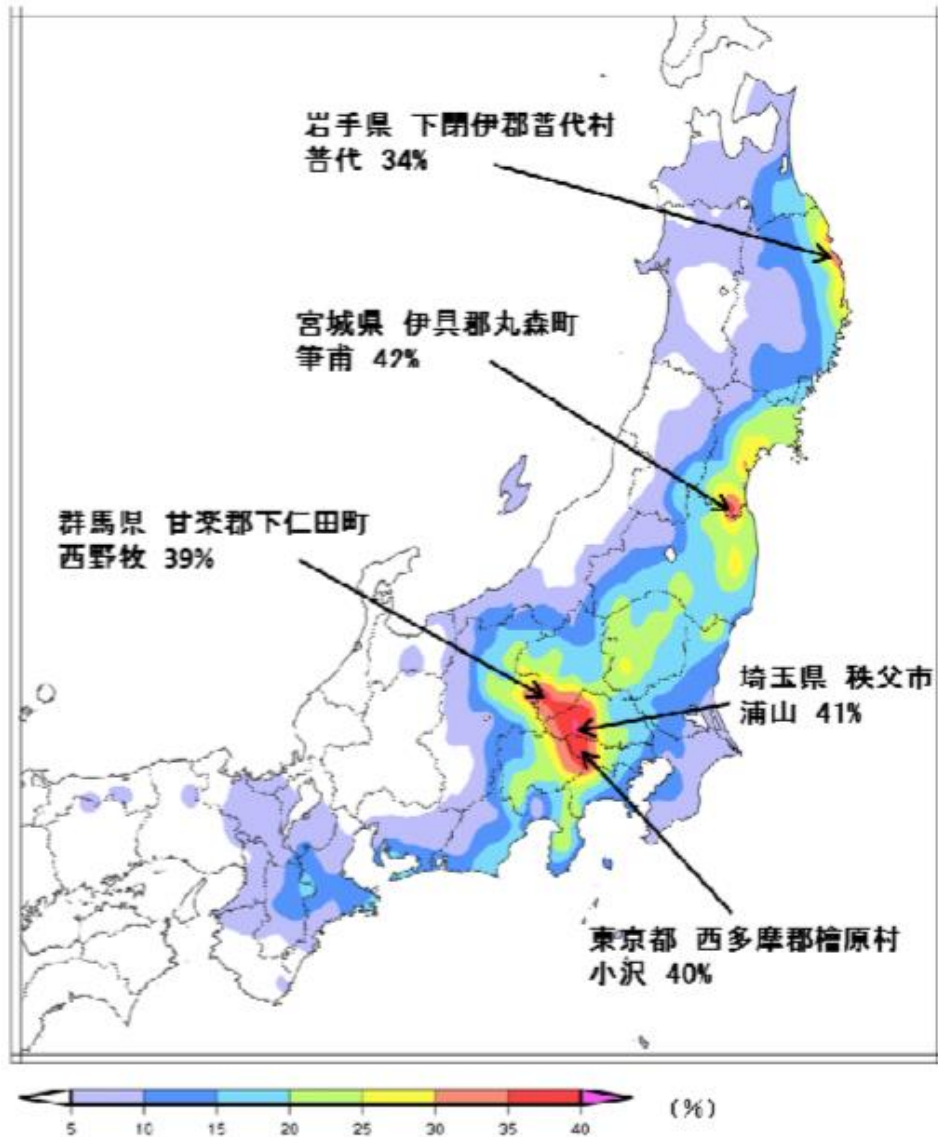
大雨警報（土砂災害）の危険度分布の判定の仕組み



<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/bosai/doshakeikai.html>

大雨警報基準 市町内全メッシュ土砂災害警戒基準の最小値

期間降水量と平年値(年の降水量)との比較図
(10月10日0時～10月13日24時)



降水量平年値との比率

土砂災害は、単純な降水量の大小ではなく、平年値との比率が重要

普段から降雨の多い地域（多雨地域）の斜面は、降雨に強く、普段から降雨の少ない地域（寡雨地域）の斜面は降雨に弱い。

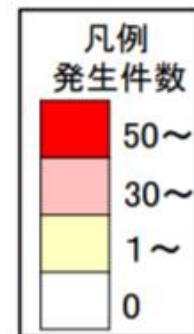
気象庁：jyun_sokuji20191010-1013-台風第19号による大雨、暴風等.pdf

都道府県別発生件数

宮城県	294件	東京都	23件
福島県	138件	茨城県	15件
岩手県	97件	山梨県	11件
神奈川県	94件	山形県	3件
群馬県	67件	千葉県	2件
長野県	60件	青森県	1件
新潟県	45件	秋田県	1件
静岡県	44件	石川県	1件
栃木県	36件	三重県	1件
埼玉県	28件	和歌山県	1件

※発生件数及び人的・人家被害については、確認中であるため、今後数値等が変わる可能性があります。

【台風第19号経路】

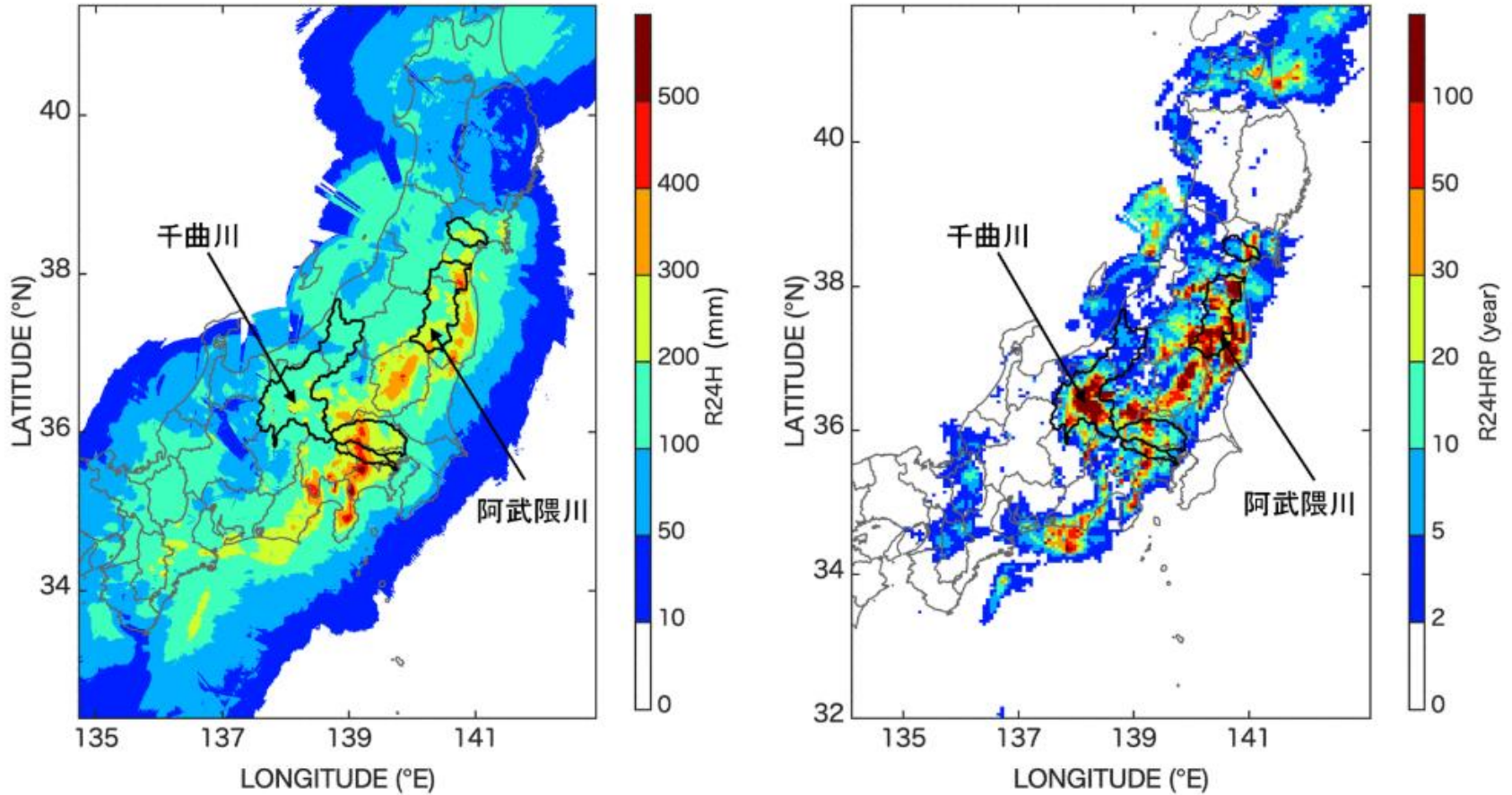


値との比率

土砂災害は、単純な降水量の大小ではなく、平年値との比率が重要

普段から降雨の多い地域（多雨地域）の斜面は、降雨に強く、普段から降雨の少ない地域（寡雨地域）の斜面は降雨に弱い。

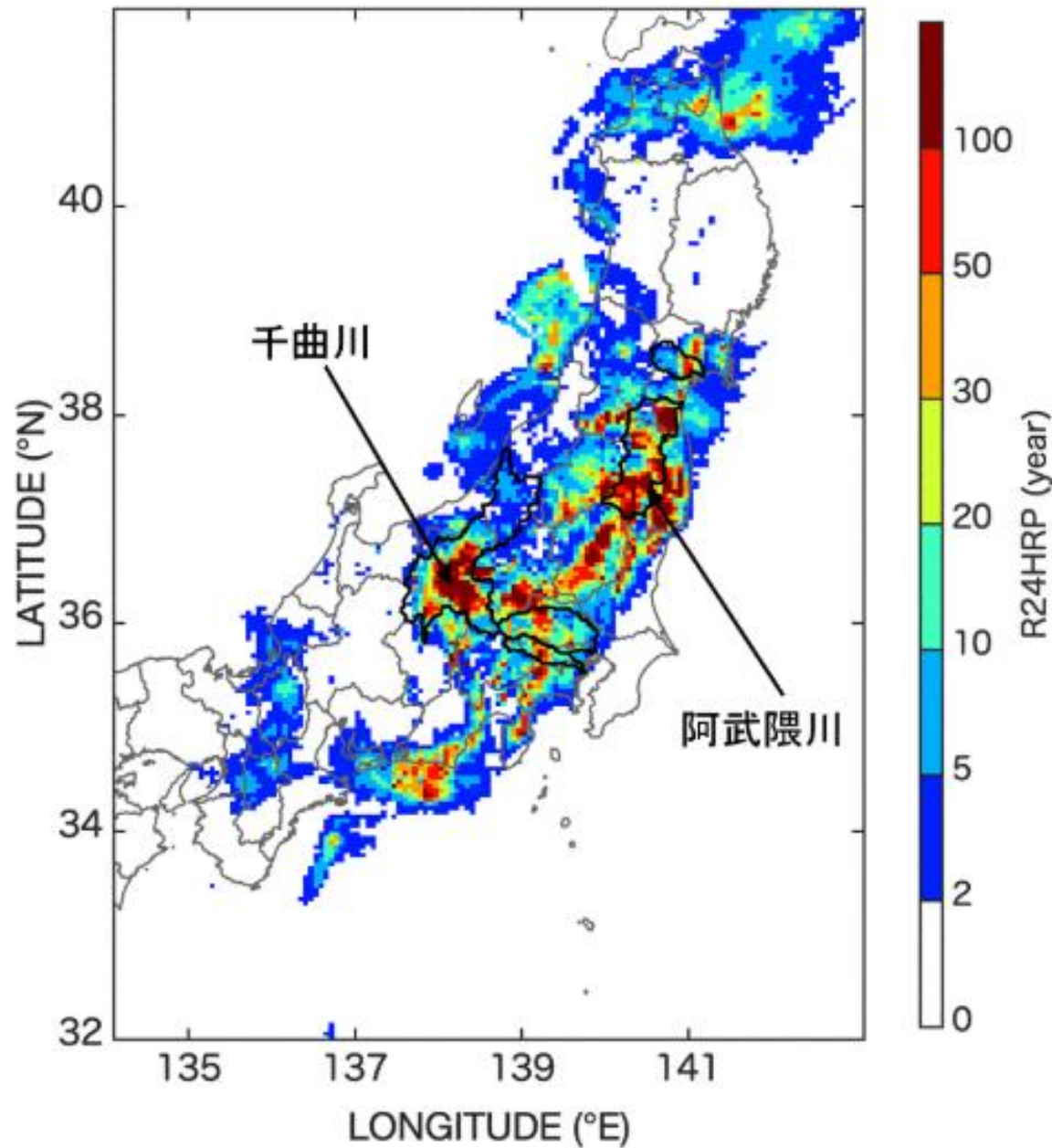
防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門
24時間降水量の「再現期間」



極値統計理論に基づき算出した台風19号に伴う10月13日0時時点で記録された前24時間降水量の再現期間を、5kmメッシュで計算。千曲川流域や阿武隈川流域では、24時間降水量の再現期間が百年を超えている箇所が多くあり（右図）、それぞれの流域において「非常に稀な降水量であった」ことが分かる。（上記ホームページより）

<http://mizu.bosai.go.jp/wiki2/wiki.cgi?page=%CE%E1%CF%C2%B8%B5%C7%AF%C2%E6%C9%F7%C2%E8%19%B9%E6%A4%CB%C8%BC%A4%A6%C2%E7%B1%AB%A4%C8%B6%AF%C9%F7%A4%CB%A4%C4%A4%A4%A4%C6%A1%CA%C2%AE%CA%F3%A1%CB>

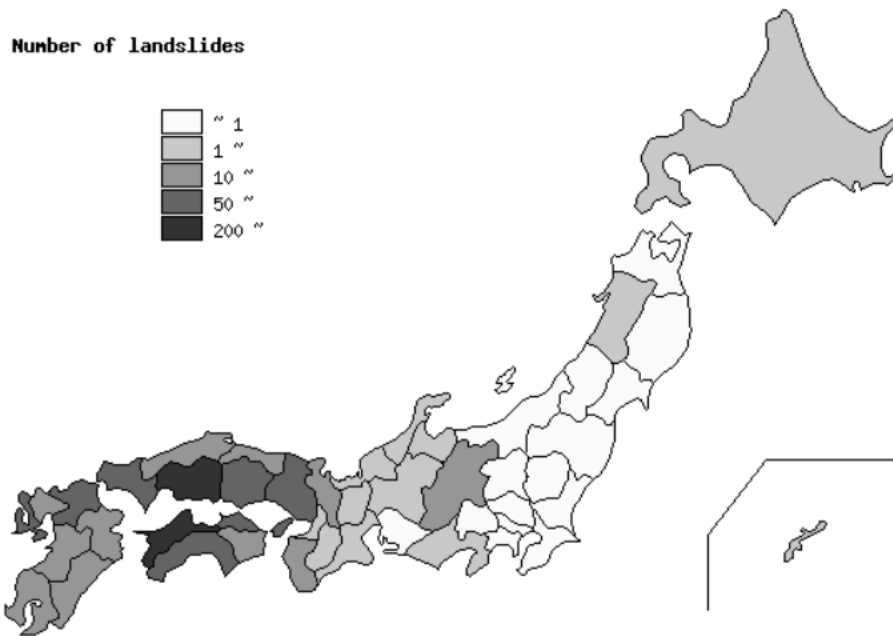
防災科学技術研究所
水・土砂防災研究部門
24時間降水量の「再現
期間」



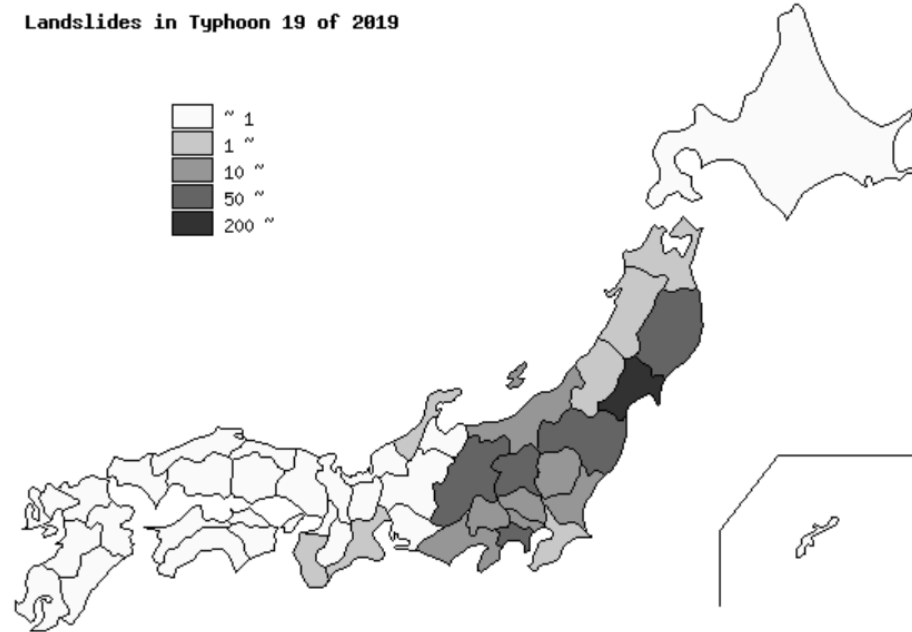
極値統計理論に基づき算出した台風19号に伴う10月13日0時時点で記録された前24時間降水量の再現期間を、5kmメッシュで計算。千曲川流域や阿武隈川流域では、24時間降水量の再現期間が百年を超えている箇所が多くあり（右図）、それぞれの流域において「非常に稀な降水量であった」ことが分かる。（上記ホームページより）

<http://mizu.bosai.go.jp/wiki2/wiki.cgi?page=%CE%E1%CF%C2%B8%B5%C7%AF%C2%E6%C9%F7%C2%E819%B9%E6%A4%CB%C8%BC%A4%A6%C2%E7%B1%AB%A4%C8%B6%AF%C9%F7%A4%CB%A4%C4%A4%A4%A4%C6%A1%CA%C2%AE%CA%F3%A1%CB>

土砂災害の箇所数分布



平成30年7月豪雨
(西日本豪雨)

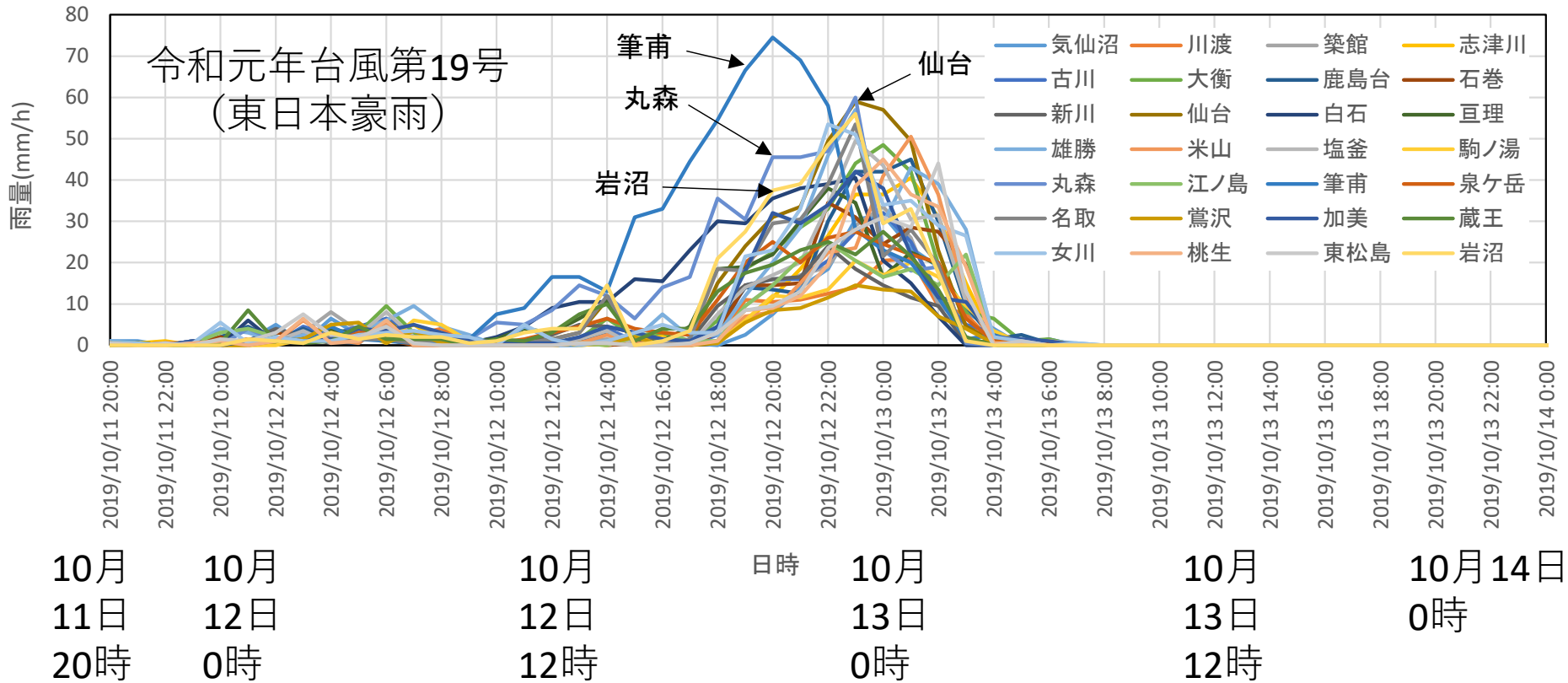


令和元年台風第19号
(東日本豪雨)

全国で1,724か所:データ出典
国交省災害情報 第49報

平成30年7月豪雨により西日本全域で、令和元年台風第19号で東日本全域で土砂災害に見舞われた。

宮城県の降雨



宮城県では、JMA筆甫が他の地点に比べて、飛びぬけて降雨量が多い。次いで、JMA丸森、JMA仙台、JMA雄勝、JMA女川、JMA白石、JMA岩沼と続く。10/11-10/14の総雨量は、613, 442, 402, 392, 376, 374, 373である。

宮城県内では、10月12日10時から始まり、10月12日20時から13日2時にかけて単調増加的に降雨量が伸び、13日6時には降雨が終了するという短期的大雨となった。

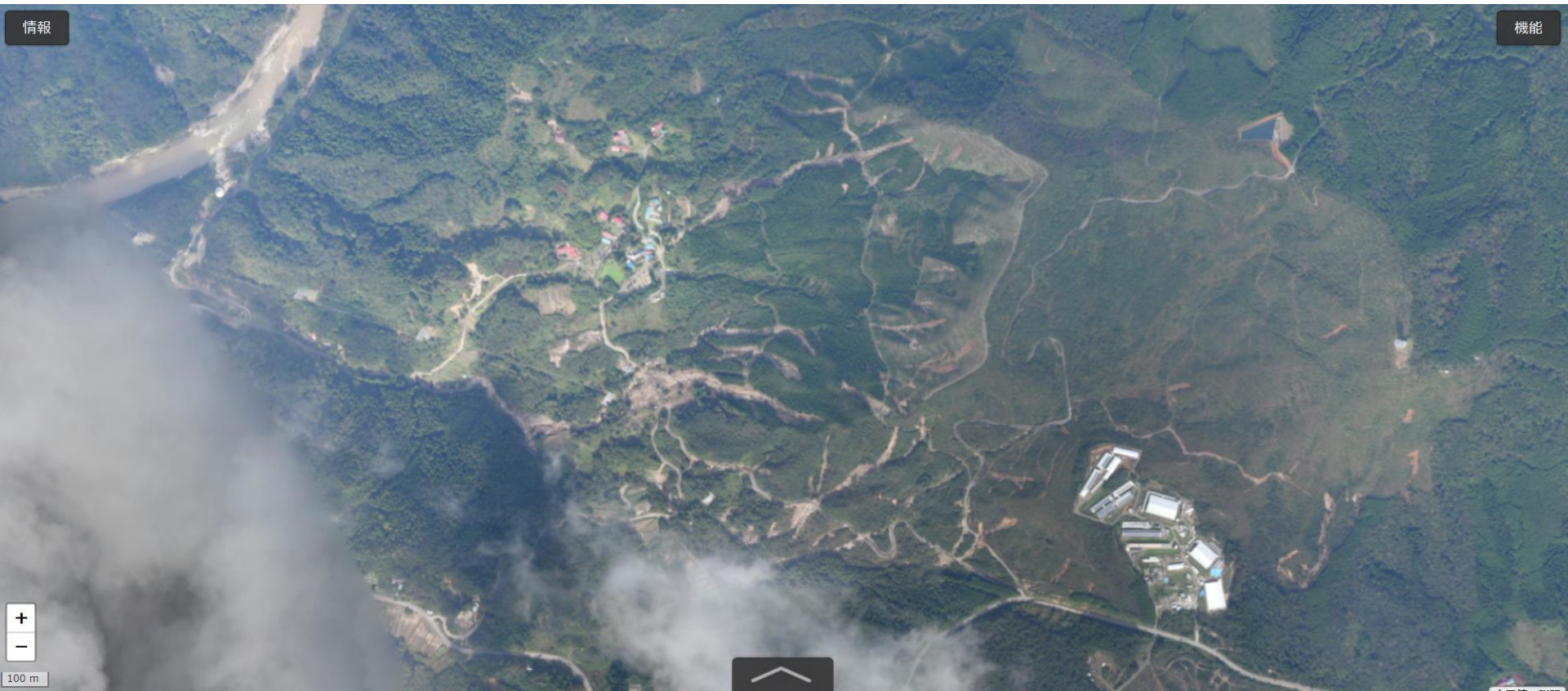
国土地理院 斜面崩壊・堆積分布図（丸森町）



<https://maps.gsi.go.jp>

丸森町では、筆甫（ひっぽ）、廻倉（めぐりくら）で土石流が多数発生

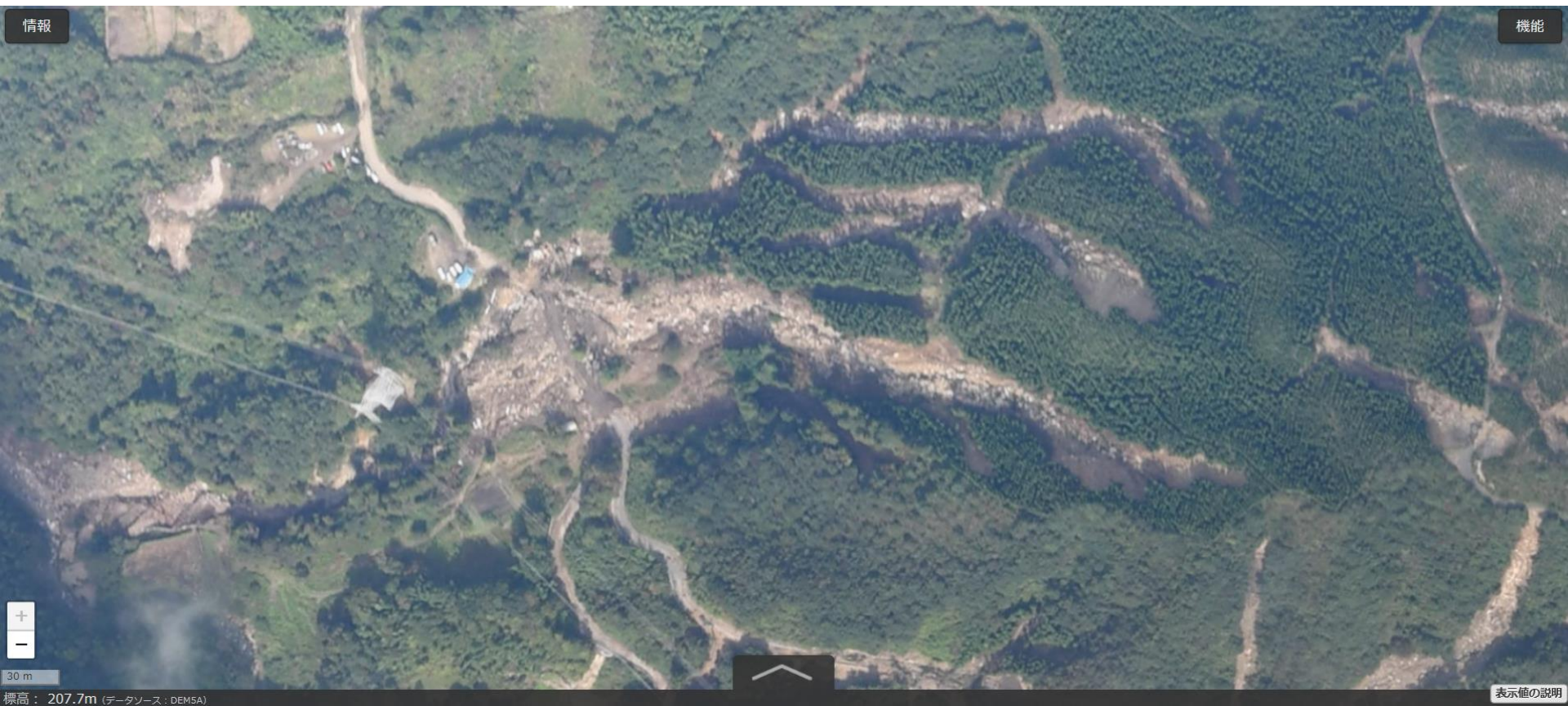
丸森町廻倉・子安 多数の土石流



地質は花崗岩

国土地理院 空中写真

丸森町廻倉 土石流：源頭部滑落崖



滑落崖には、花崗岩の転石は見られず、溪流部に堆積している。

丸森町廻倉 土石流：下部の流出住宅の跡地



丸森町廻倉 土石流：下部の流出住宅の跡地



住宅前の道路も削剥され，流出している

丸森町廻倉 土石流：下部の住宅の上方



長径で3～4mのコアストーン



住居・畑の跡地にはコアストーンだらけ
2019年台風19号による土砂災害と山地被害

少し登れば、基盤の花崗岩が現れる

丸森町廻倉 土石流：中腹部



コアストーン：今回動いた石と動いていない石（転石）



巨大なガリに残されたコアストーン

すべり側方滑落崖の面は、表土層

丸森町廻倉 土石流：中腹部



土石流谷の狭窄部に集中堆積したコアストーン



狭窄部側方滑落崖



側方滑落崖をすべり落ちてきたコアストーン



落下コアストーンとともに滑落した表土

丸森町廻倉 土石流：源頭部



狭窄部より上方の側方滑落面



側方滑落面の上部：土砂化している



側方滑落崖の上方の土砂化（まさ化）した表層



表土

丸森町廻倉 土石流：源頭部



滑落崖冠部



側方滑落面の上部：土砂化している

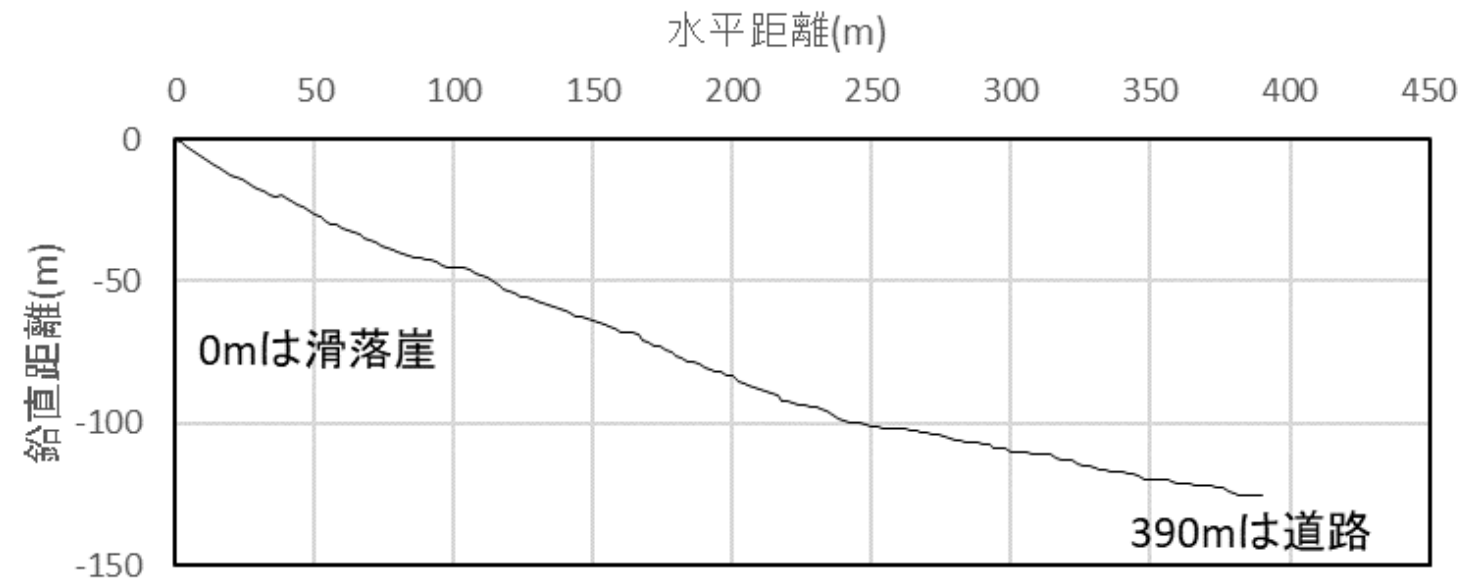


滑落崖冠部の直下

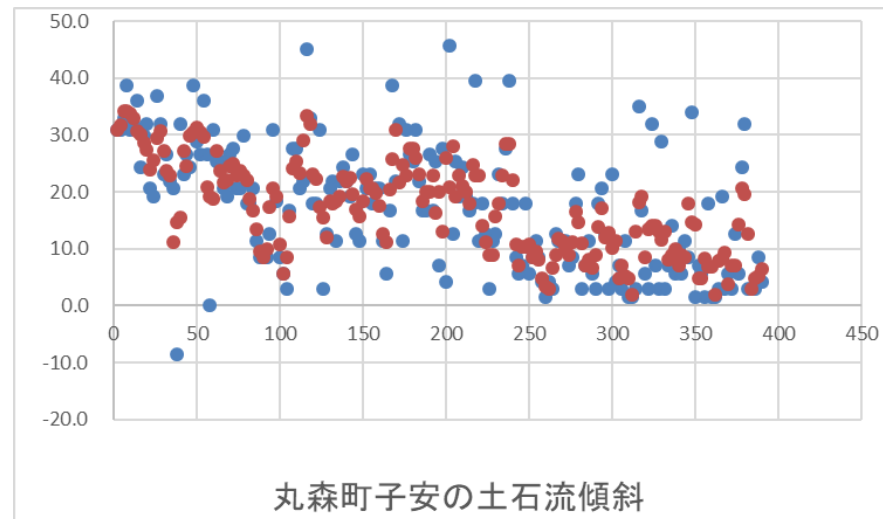


溪流全長にわたり水平2m間隔で傾斜測定

丸森町廻倉 土石流：測量傾斜



丸森町子安の土石流斜面



滑落崖冠部の直下

溪流全長にわたり水平2m間隔で傾斜測定

丸森町子安 土石流：源頭部滑落崖



滑落崖には、花崗岩の転石は見られず、溪流部に堆積している。

丸森町廻倉 道路盛土路肩崩壊



滑落崖には、花崗岩の転石は見られず、溪流部に堆積している。

丸森町廻倉 道路斜面切土崩壊



花崗岩の転石が多数見られた。

丸森町廻倉 山間地の河川の氾濫・土砂堆積



丸森町

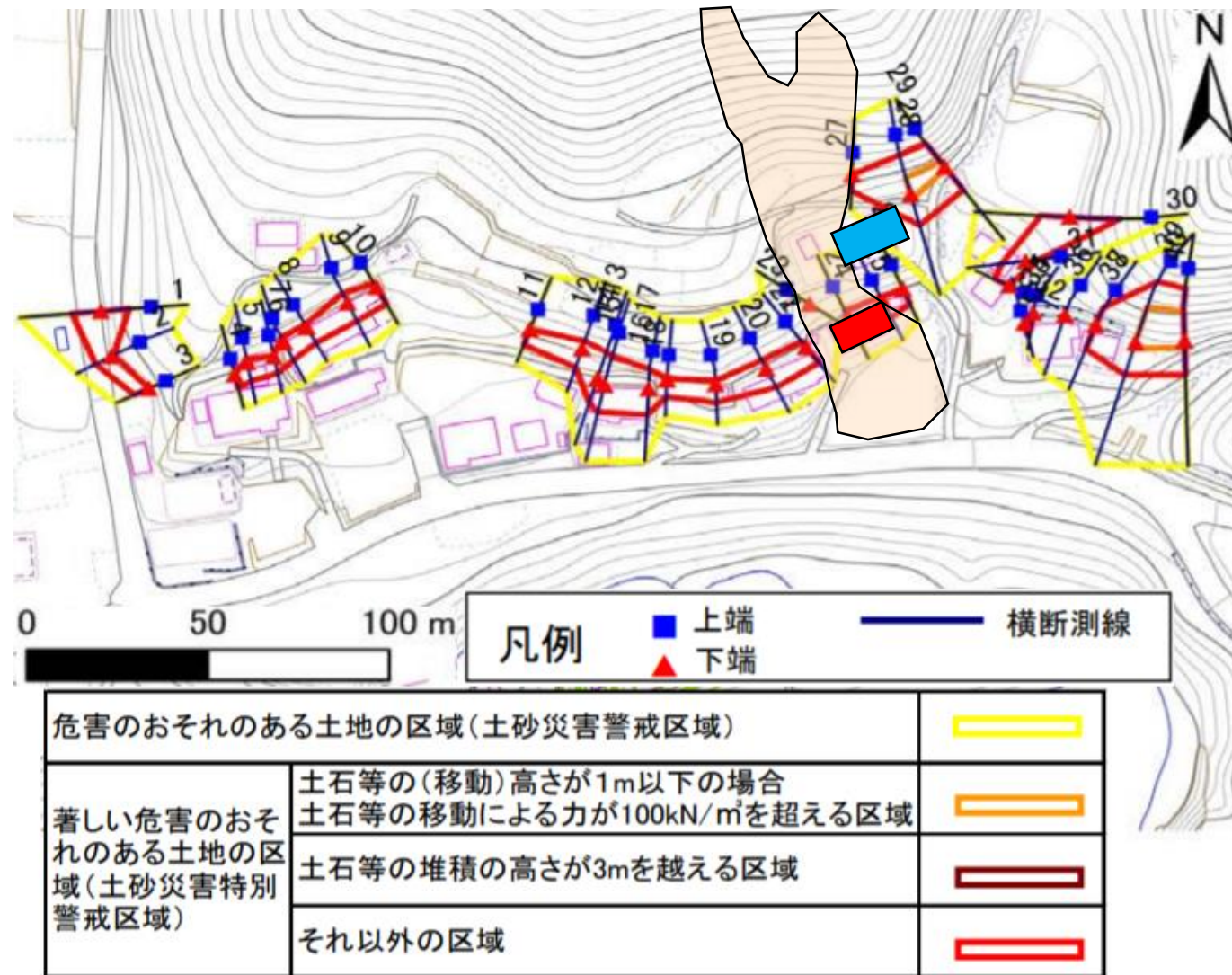






2019年台風19号による土砂災害と山地被害

丸森町沼の上の斜面崩壊（がけ崩れ）



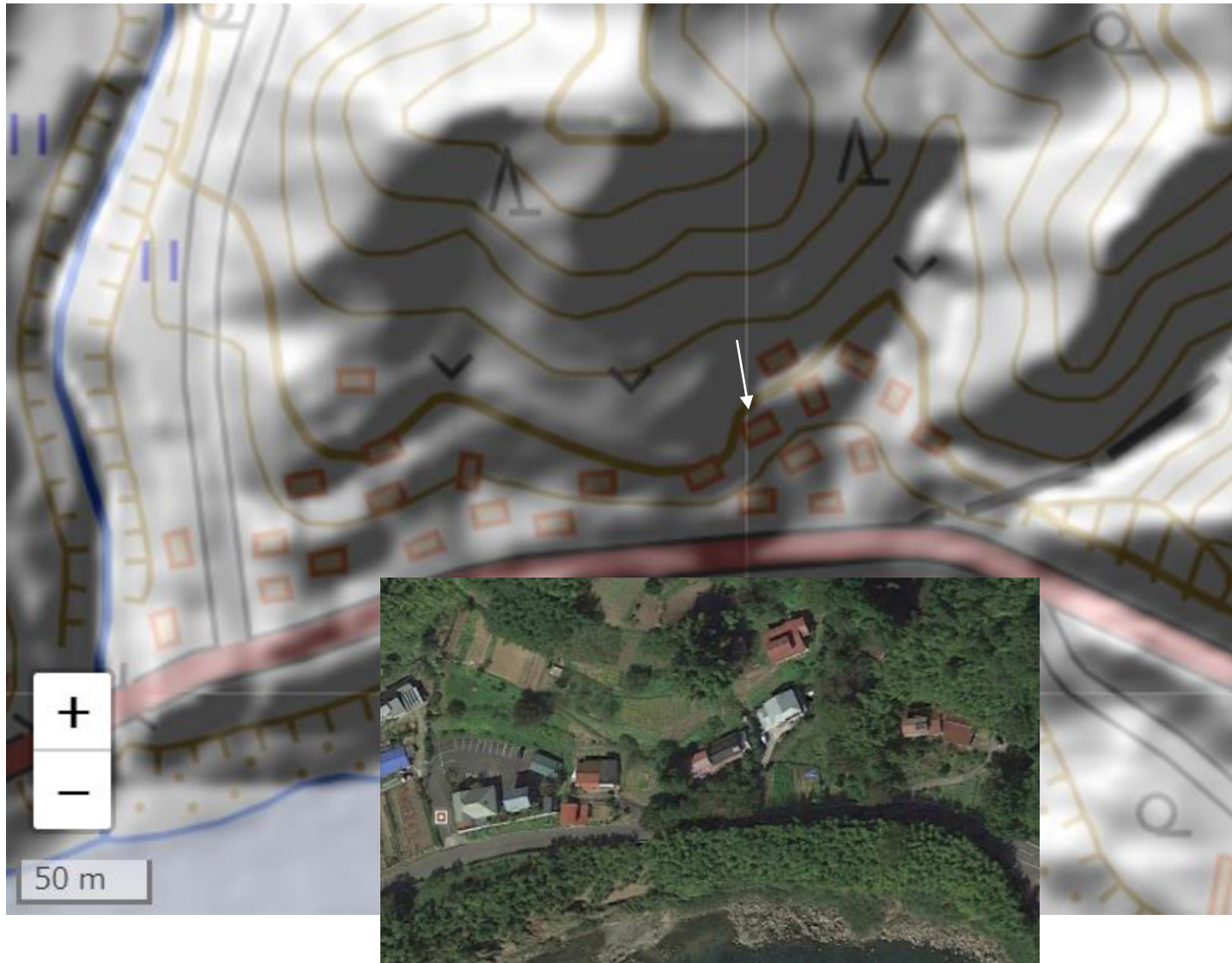
土砂災害警戒区域に指定されていた。

ただし、想定されている急傾斜地の崩壊ではなく、背後の0次谷の崩壊であった。

<https://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/642721.pdf>

土砂災害警戒区域等の指定の告示に係る図書（その2）沼の上

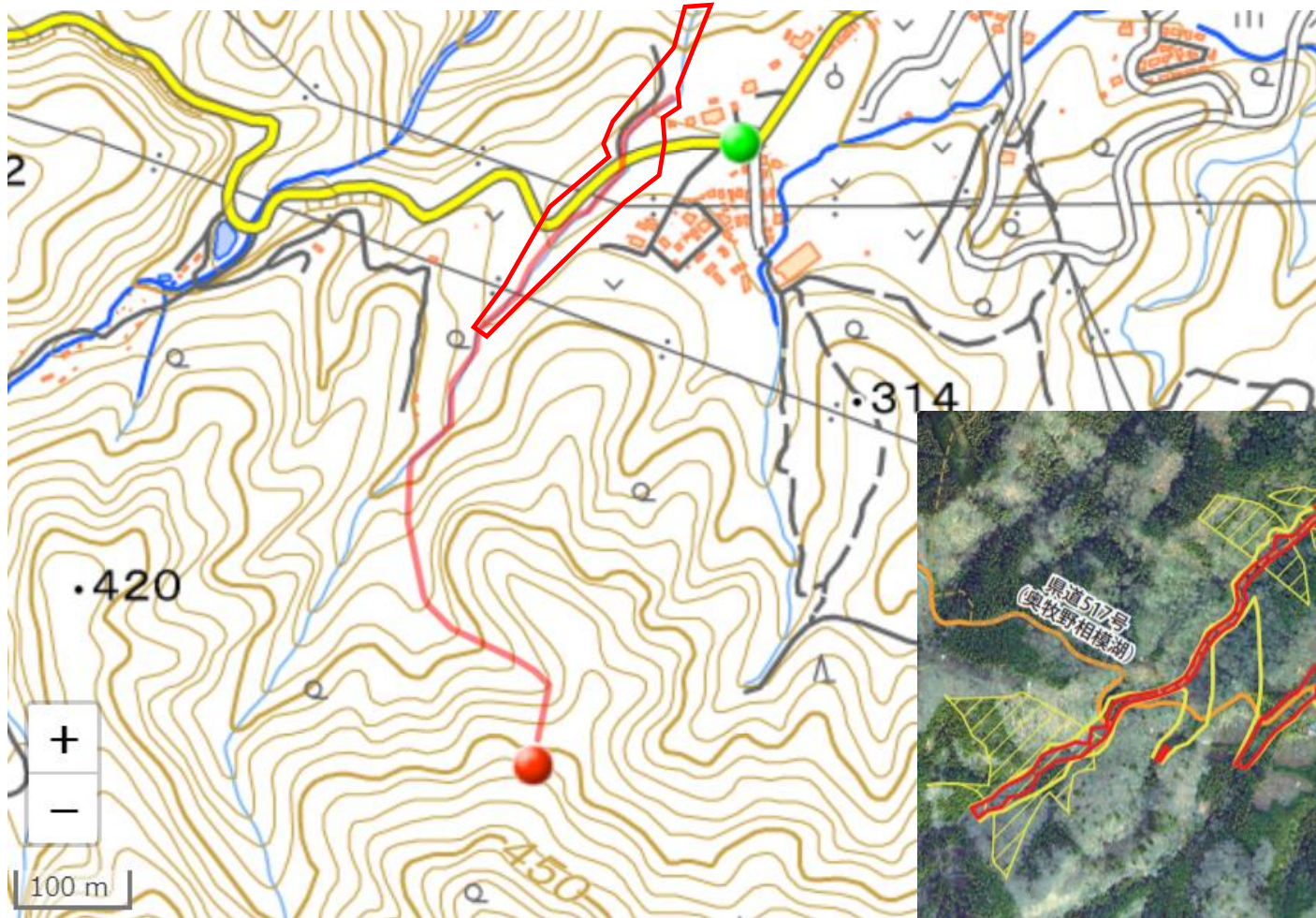
丸森町



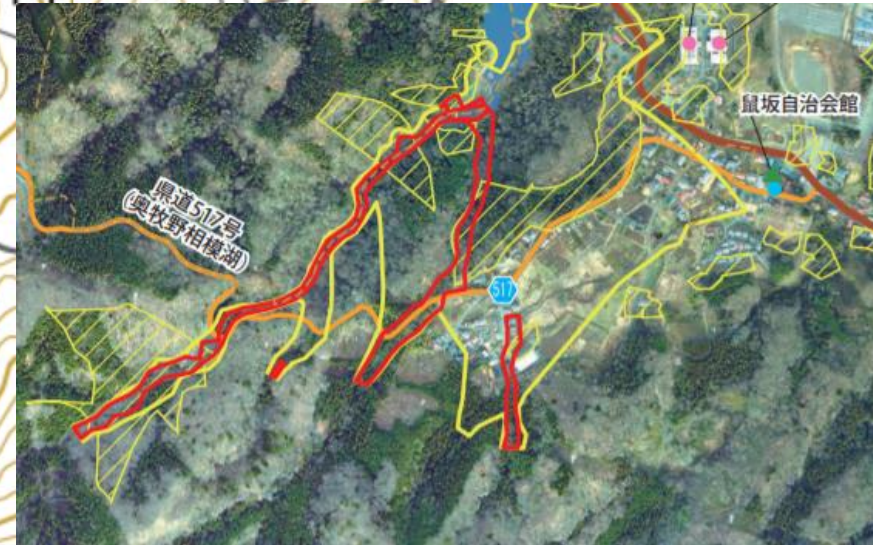
土砂災害

神奈川県 相模原市

神奈川県相模原市緑区寸沢嵐（すわらし）



http://www.city.sagamihara.kanagawa.jp/_res/projects/default_project/_page/001/013/029/map_wakayanagi_suwarashi_2.pdf



全長700mの土石流。土石流特別警戒区域に指定されていた。山の所有者は「知らない。」

神奈川県相模原市緑区寸沢嵐



2019年11月3日

神奈川県相模原市緑区寸沢嵐



長径3m, 短径1.6mの砂礫岩の巨大なもの

神奈川県相模原市緑区寸沢嵐

2019年11月3日



固結度の高い古い円礫の礫岩

2019年10月 台風19号

愛媛大学 森 伸一郎

神奈川県相模原市緑区寸沢嵐



Google Earth Street View 2019年1月



2019年11月3日

写真で道路の左側（東側）を流れる渓流におびただしい量の礫岩が流れてきて、渓流を削剥し、両側の樹木をなぎ倒し、道路のガードレールを流出させ、道路には土石が堆積した。

神奈川県相模原市緑区寸沢嵐



Google Earth Street View 2019年1月



2019年11月3日

神奈川県相模原市緑区寸沢嵐



Google Earth Street View 2019年1月



2019年11月3日

道路沿いの電柱が消えている。
道路左側の樹木が消えている。右側も手前の木々は消えている。
道路に面した階段の金属製手すりが歪んでいる。

神奈川県相模原市緑区寸沢嵐



Google Earth Street View 2019年1月



2019年11月3日

関川橋は高欄が消滅している。
橋の左側（南側）の樹木は根こそぎ消滅。
橋の右側（北側）の樹木も幅15-20mにわたり
消滅。



相模原市緑区寸沢嵐 土石流：源頭部滑落崖



源頭部滑落崖には、大きな岩塊は見られない。

相模原市緑区寸沢嵐 土石流：源頭部滑落崖



源頭部滑落崖には、大きな岩塊は見られない。

相模原市緑区寸沢嵐 土石流：源頭部滑落崖



源頭部滑落崖には、大きな岩塊は見られない。

相模原市緑区寸沢嵐 土石流：源頭部滑落崖



源頭部滑落崖には、大きな岩塊は見られない。

相模原市緑区寸沢嵐 土石流：源頭部滑落崖



源頭部滑落崖には、大きな岩塊は見られない。

相模原市緑区寸沢嵐 土石流：源頭部滑落崖



源頭部滑落崖には、大きな岩塊は見られない。

相模原市緑区寸沢嵐 土石流：源頭部滑落崖



源頭部滑落崖には、大きな岩塊は見られない。

相模原市緑区寸沢嵐 土石流：源頭部滑落崖



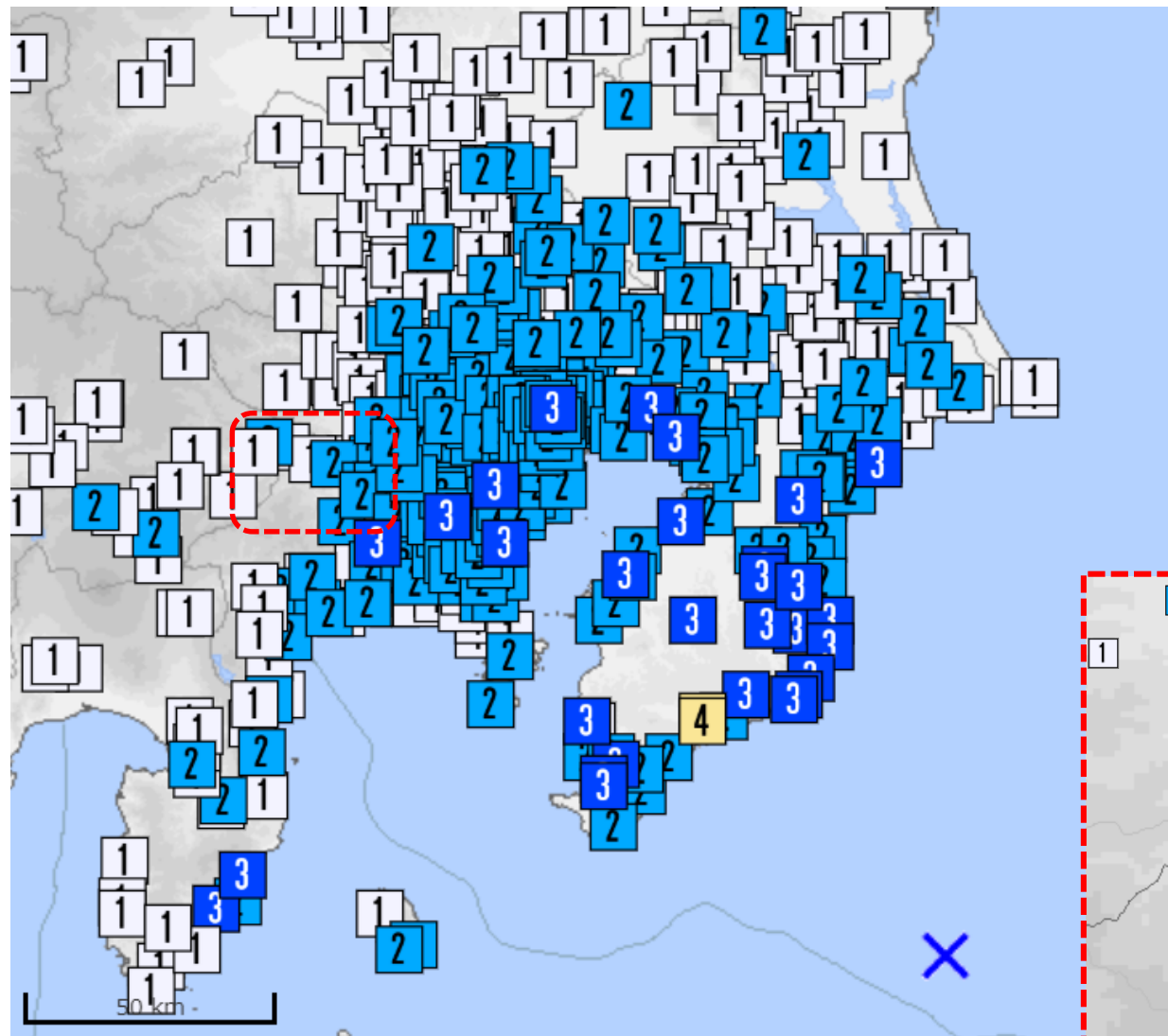
源頭部滑落崖には、大きな岩塊は見られない。

相模原市緑区寸沢嵐 土石流：源頭部滑落崖



源頭部滑落崖には、大きな岩塊は見られない。

斜面崩壊の引き金となった地震



地震発生日時

2019/10/12 18:21:53.6

震源 千葉県南東沖

緯度 $34^{\circ} 40.4'N$

経度 $140^{\circ} 38.9'E$

深さ 75km

マグニチュードM5.4

最大震度 4



<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/Event.php?ID=9903170>

寸沢嵐斜面崩壊の引き金となった地震？



地震のゆれ18:22
相模原では、震度1～2

そのとき、JMA相模原中央
では、時間雨量14mm、土
壌雨量指数180mm程度で
あった。

関川橋の下流に住む住人の話

「テレビを見てて大きな地震があった。それから5分くらいしたら、ものすごい音がしたって子供が言ってた。私はテレビを一生懸命見ていたからその音には気付かなかった。そのとき、テレビで言ってた。この辺の震度は3（実際は震度2）と言っていた。千葉の方は震度4だと言ってた。そのとき、鉄砲が破裂するような大きい音がしたんだって。そのときに流れたのではないのでしょうか。

神奈川県相模原市の道路の通行止めと迂回路

近隣市町村等への迂回路について（※11月18日（月）午前10時現在）



主に土砂災害による道路の通行止め

http://www.city.sagamihara.kanagawa.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/012/971/20191118_ukairo.pdf

神奈川県相模原市緑区寸沢嵐



神奈川県相模原市緑区寸沢嵐



神奈川県相模原市緑区寸沢嵐



神奈川県相模原市緑区寸沢嵐



神奈川県相模原市緑区寸沢嵐



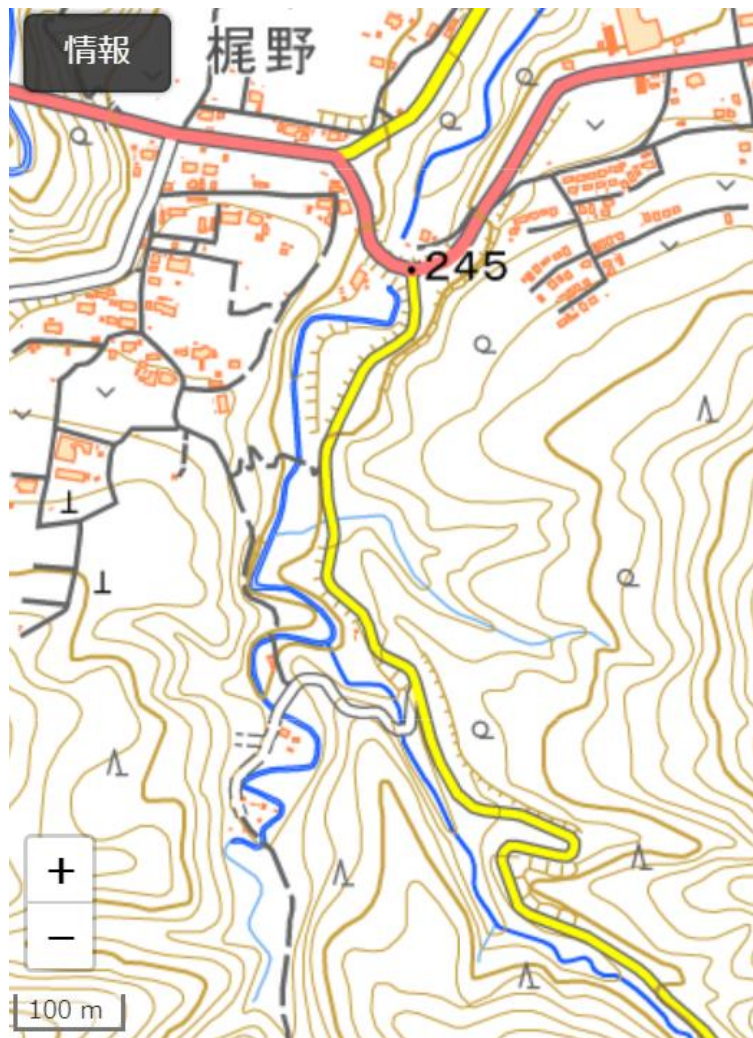
神奈川県相模原市緑区寸沢嵐



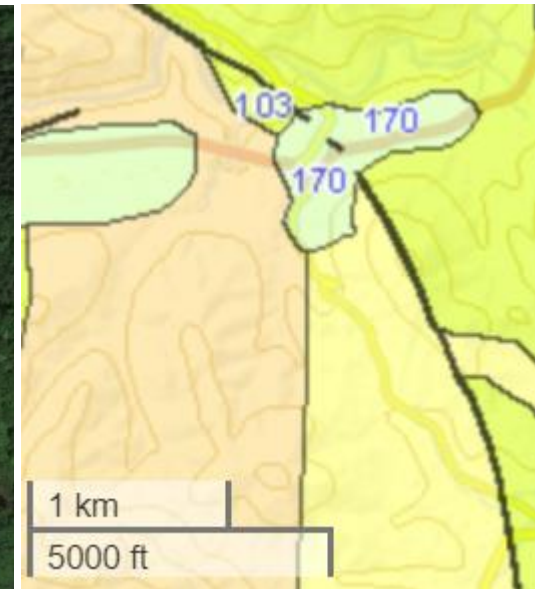
神奈川県相模原市緑区寸沢嵐



神奈川県相模原市緑区梶野



170 後期更新世(Q3)の低位段
丘堆積物



7 中-後期中新世(N2)の海成ま
たは非海成堆積岩類

神奈川県相模原市緑区 梶野



試料袋に「青野原」

ローム化した凝灰質土の表層崩壊。最大幅17m，高さ25m，滑落崖高さ0.6-2.0m

神奈川県相模原市緑区 梶野



試料袋に「青野原」

ローム化した凝灰質土の表層崩壊

神奈川県相模原市緑区 梶野



試料袋に「青野原」

ローム化した凝灰質土の表層崩壊

神奈川県相模原市緑区 梶野



試料袋に「青野原」

ローム化した凝灰質土の表層崩壊

台風19号による土砂崩れ現場 相模原



60代の夫婦 神奈川県相模原市遺体は行方不明の妻と確認 2019年11月10日 22時11分

とで、土
こ所察、土
る力警り、
上6やあ
に1防も
所は消れ
力で、恐
6区ずる
9地ら降
で、野おが
で牧て雨
在、っ大
現しかて
時中分け
5集だか
後にまに
午部い日
日間が9
8山方1る。
1の行。い
、区のるて
ぎ緑婦いし
次に夫て増
相特のけは
が。代続安
れた0を不
崩っ6動の
砂かむ活民
土分住素住
はでに捜の
でめ区がへ
内と地隊大
市ま同衛拡
原の。自害
模市落上災
相が崩陸砂



神奈川県相模原市緑区 牧野（まぎの）



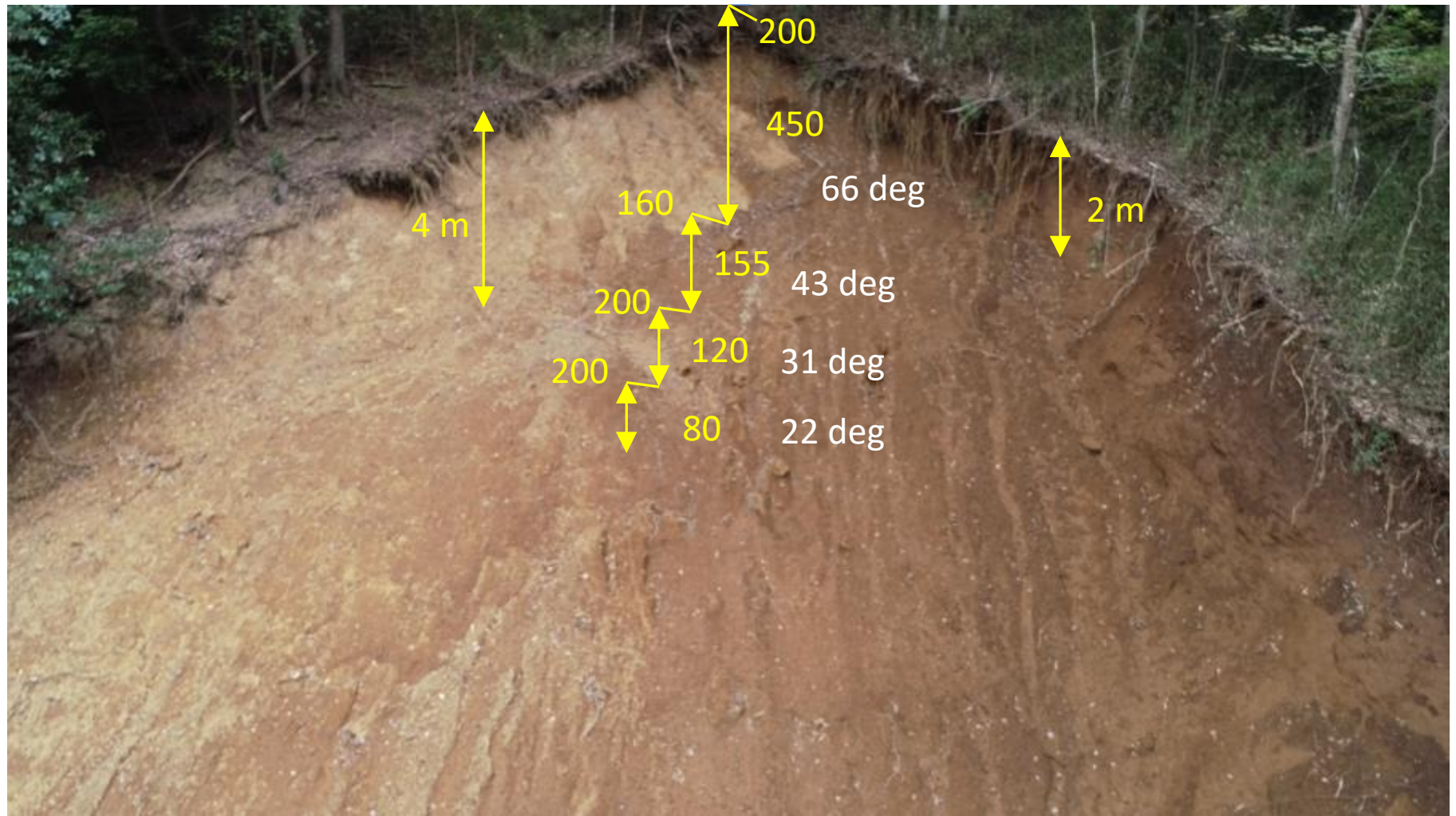
神奈川県相模原市緑区 牧野（まぎの）



神奈川県相模原市緑区牧野



神奈川県相模原市緑区牧野



表層崩壊だが，表層が厚い（2～4m）．火山灰

神奈川県相模原市緑区牧野



神奈川県相模原市緑区牧野



神奈川県相模原市緑区牧野



神奈川県相模原市緑区牧野



神奈川県相模原市緑区牧野



神奈川県相模原市 緑区中野



神奈川県相模原市緑区中野



静岡県函南町平井

かなみ



別荘地の住宅背後斜面崩壊

静岡県函南町平井

かなみ



住宅背後地盤と側方地盤が崩落



転石の多くは溶結凝灰岩



住宅背後斜面の崩壊，火山灰質土の中に玉石状の溶結凝灰岩の転石



静岡県函南町平井

かなみ



住宅背後地盤滑落崖には表層内の転石が見える

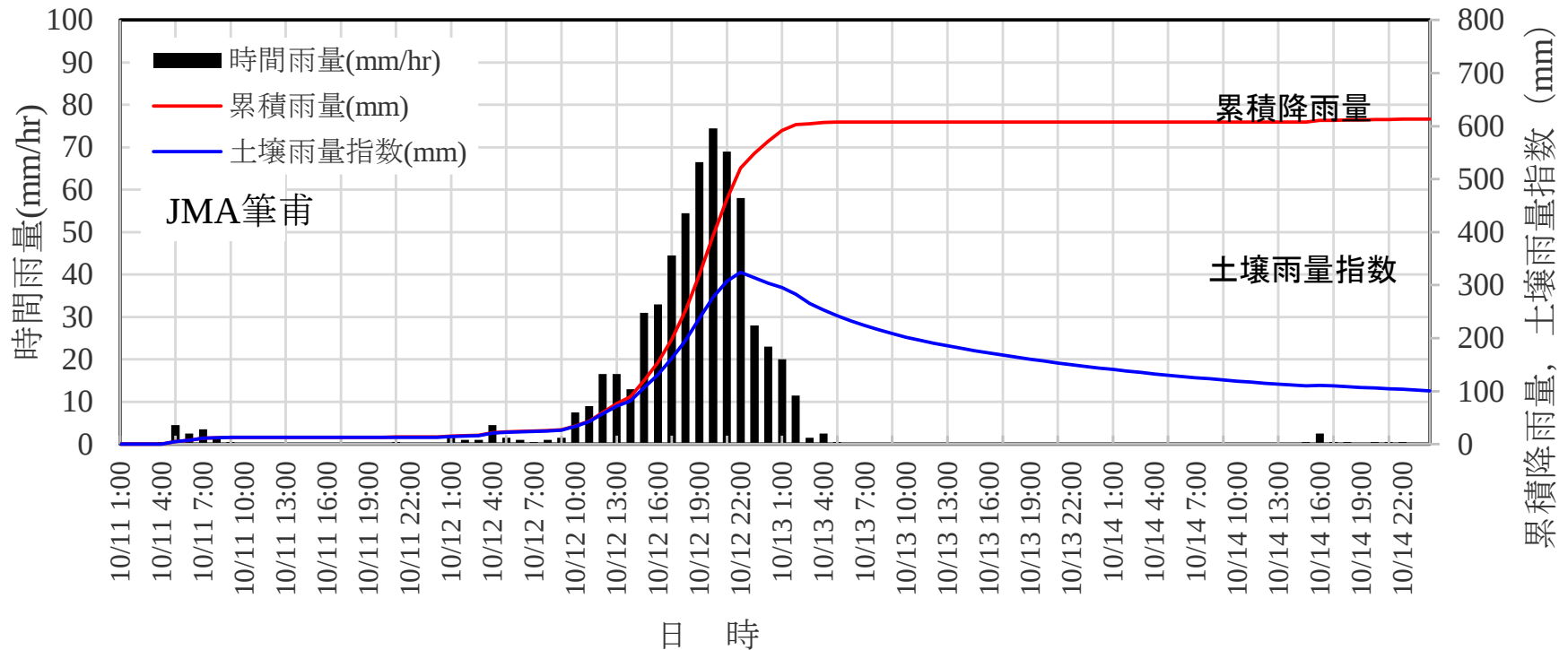


2019年台風19号による土砂災害と山地被害



別荘地の住宅背後斜面崩壊

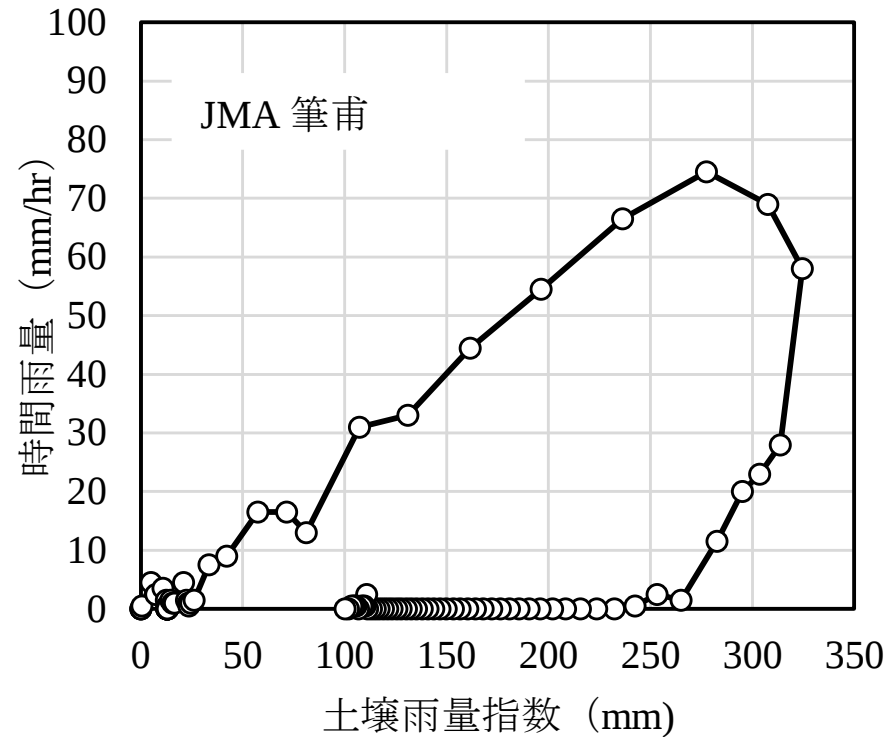
宮城県JMA筆甫（ひっぽ）の降雨時刻歴



降雨量、累積降雨量、土壌雨量指数の時刻歴（JMA筆甫、2019/10/11-10/14）

宮城県では、JMA筆甫が他の地点に比べて、飛びぬけて降雨量が多い。次いで、JMA丸森、JMA仙台、JMA雄勝、JMA女川、JMA白石、JMA岩沼と続く。10/11-10/14の総雨量は、613, 442, 402, 392, 376, 374, 373である。

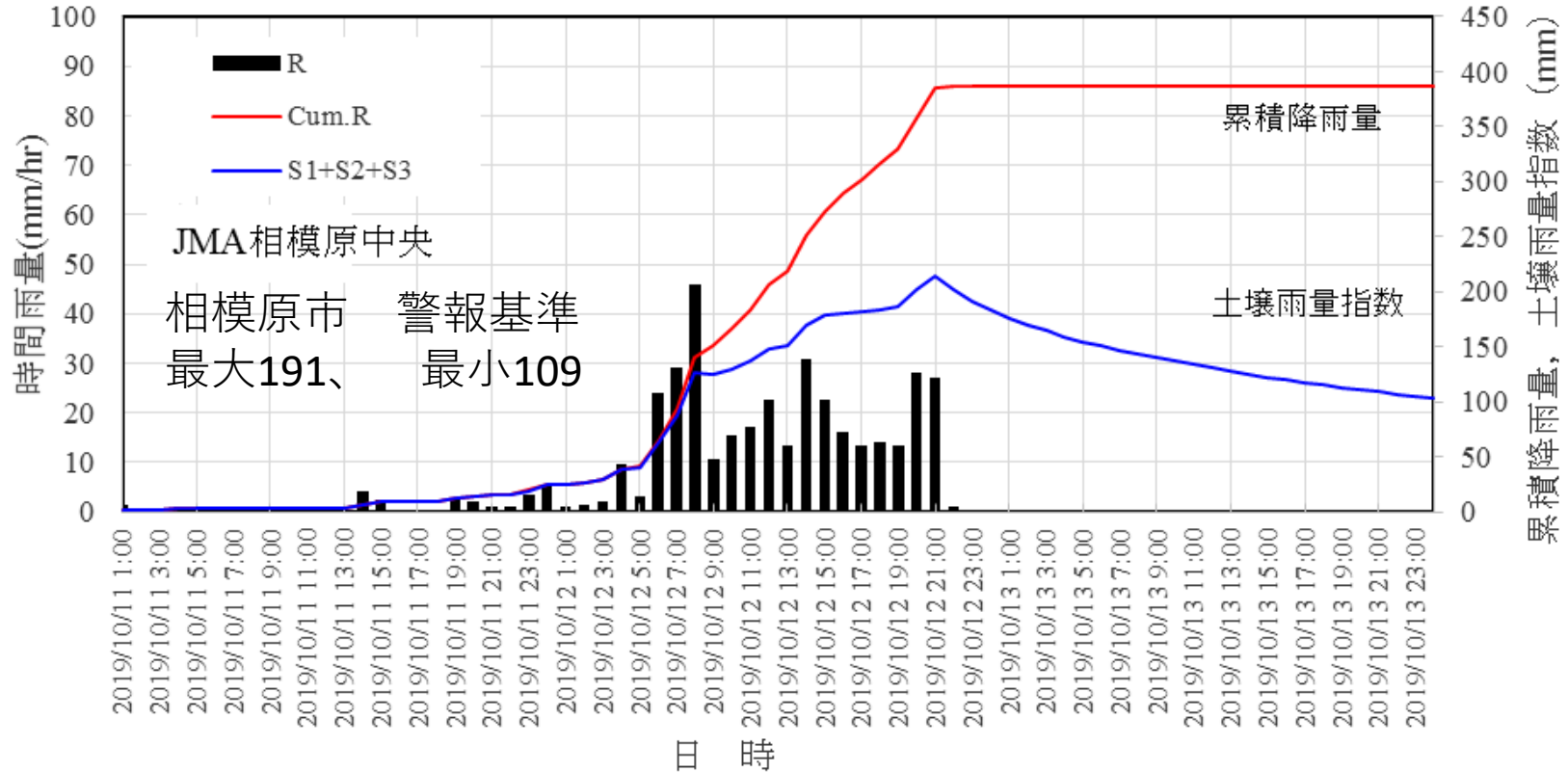
宮城県JMA筆甫（ひっぽ）のスネーク曲線



スネーク曲線（筆甫2019/10/11-14）

JMA筆甫では、時間降雨量が時間とともに伸びて、土壌雨量指数もとても大きなものになった。

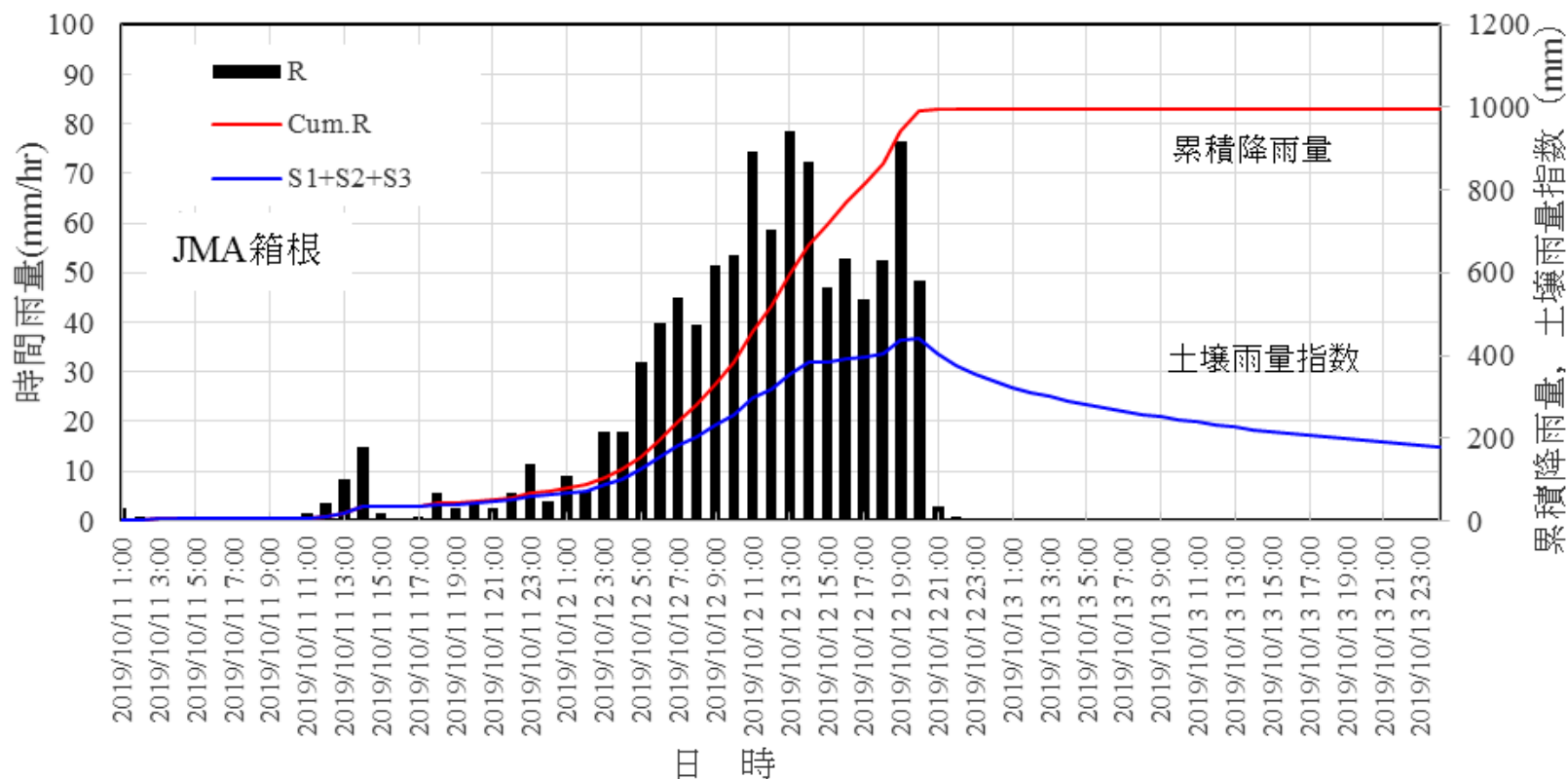
神奈川県JMA相模原中央の降雨時刻歴



降雨量、累積降雨量、土壌雨量指数の時刻歴(相模原中央、2019/10/11-10/16)

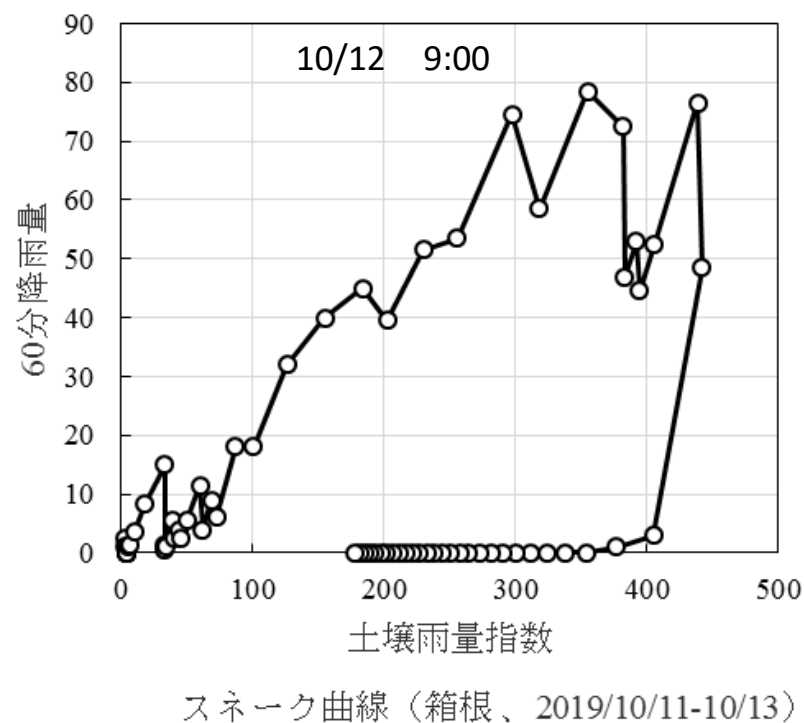
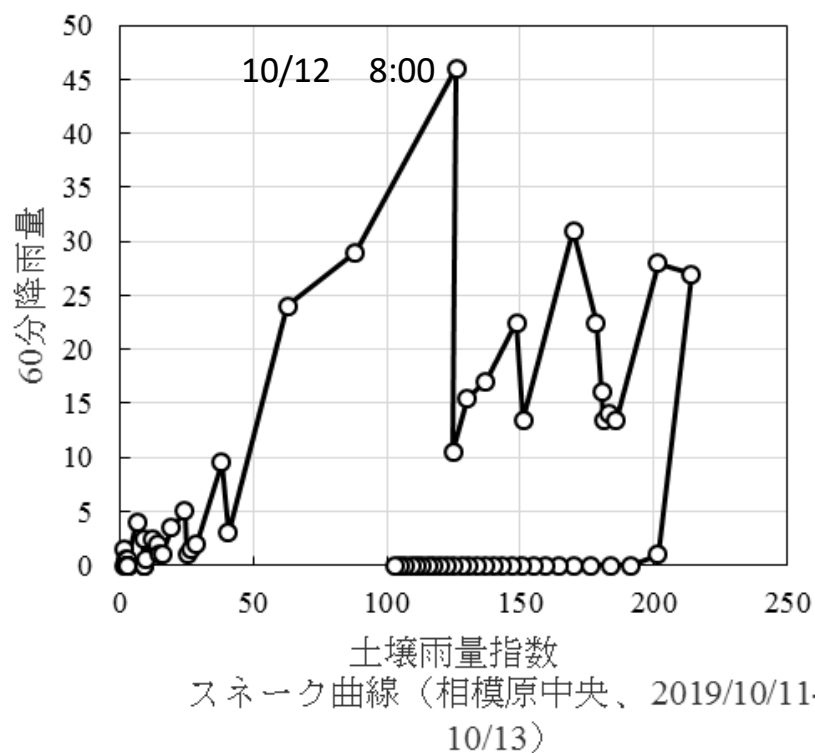
宮城県では、JMA筆甫が他の地点に比べて、飛びぬけて降雨量が多い。次いで、JMA丸森、JMA仙台、JMA雄勝、JMA女川、JMA白石、JMA岩沼と続く。10/11-10/14の総雨量は、613, 442, 402, 392, 376, 374, 373である。

神奈川県JMA箱根の降雨時刻歴



宮城県では、JMA筆甫が他の地点に比べて、飛びぬけて降雨量が多い。次いで、JMA丸森、JMA仙台、JMA雄勝、JMA女川、JMA白石、JMA岩沼と続く。10/11-10/14の総雨量は、613, 442, 402, 392, 376, 374, 373である。

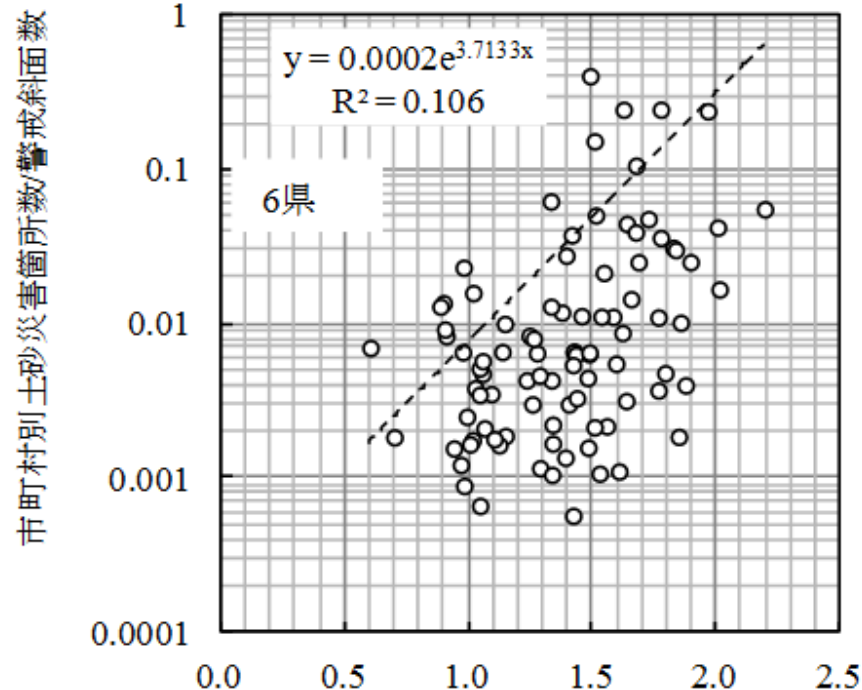
宮城県JMA筆甫（ひっぽ）のスネーク曲線



JMA筆甫では、時間降雨量が時間とともに伸びて、土壌雨量指数もとても大きなものになった。

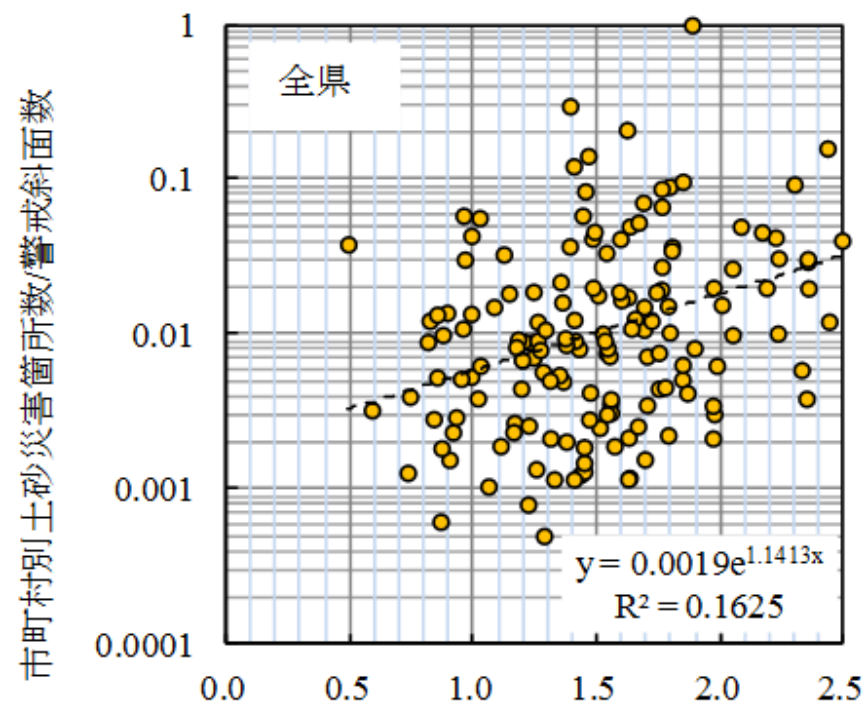
降雨耐性超過率と土砂災害リスク発現率

Excess ratio of rain resistance and landslide incidence rate



土壌雨量指数の警戒基準値超過率

平成30年7月豪雨（6県）



土壌雨量指数の警戒基準値超過率

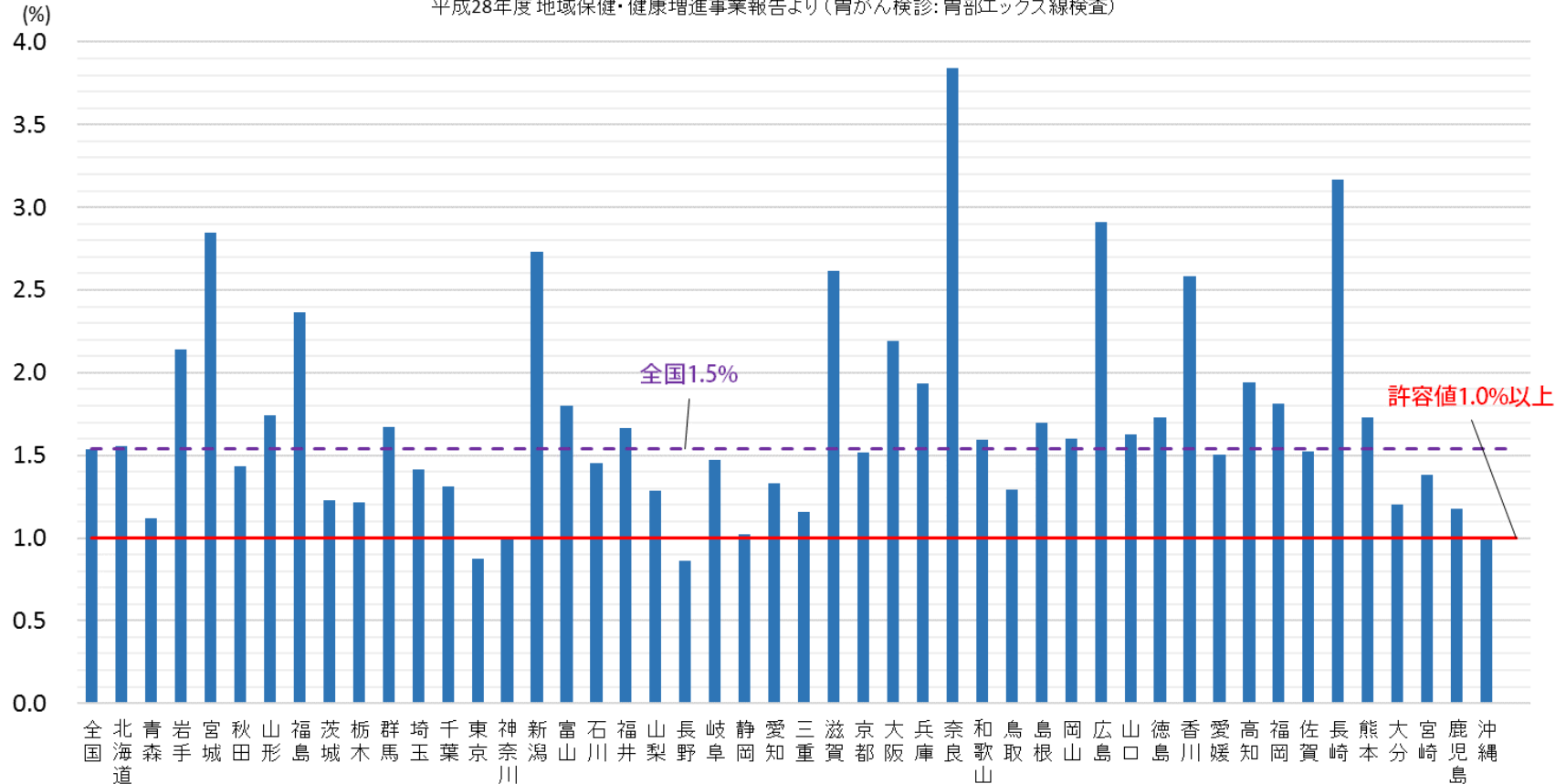
令和元年台風19号（19県）

土壌雨量指数の警戒基準をどれほど超えたか、その割合が大きいほど、土砂災害警戒斜面数の内で土砂災害が起きる割合が増える傾向がある。西日本では敏感で、東日本では鈍感であるという傾向がある。

胃がん検診-陽性反応適中度

胃がん検診-陽性反応適中度(40-74歳 男女計・平成27年度)

平成28年度 地域保健・健康増進事業報告より(胃がん検診:胃部エックス線検査)



陽性反応適中度の意味

精検が必要と判定された人（要精検者）のうち、がんが発見された人の割合

まとめ

- ・1724か所の土砂災害が認められ、平成30年7月豪雨で西日本全域が、令和元年台風第19号で東日本全域が土砂災害に見舞われた。
- ・降雨量そのものではなく、対平年降雨量の比率が大きいところで土砂災害が多く発生した。
- ・丸森町では、廻倉・子安周辺では多くの土石流があり、調査した全帯で、おびただしいコアストーンが流下・堆積し、下万が花崗岩地帯で、道路を流出させた。踏査により地形や堆積物には過去の土石流が発生した痕跡が現れていた。
- 丸森町では、まさ土斜面のがけ崩れもあった。
- ・神奈川県相模原市では、多くの土砂災害があった。寸沢嵐で礫岩の大規模強土石流が見られた。多くの斜面崩壊は風化の凝灰岩や2次堆積火山灰質土からなる表層崩壊であった。
- ・函南町平井では、風化火山岩や火山灰質土の斜面崩壊が見られた。
- ・土砂災害警戒区域など斜面崩壊の危険区域に指定されているところでも避難しようとはしていなかった。住民の多くは、知らなかったり、知っていても避難しなかった。
- ・平成30年豪雨で見られた西日本における降雨耐性超過率と土砂災害リスク発現率の相関は、台風19号での東日本の統計分析でも見られた。ただ、西日本で敏感、東日本で鈍感な関係にあった。

降雨耐性超過率とリスク発現率

森 伸一郎, 田中 文那, 小野 耕平: 平成30年7月豪雨における土砂災害発生リスク評価指標, 令和元年度地盤工学会四国支部技術研究発表会, pp.89-90, 2019年11月

背景と目的

背景 土砂災害警戒情報：

降雨特性 短期：時間降雨量（HR），長期土壌雨量指数（SWI）

スネーク曲線 SWI-HR平面での経時曲線

判断基準 CL（クリティカル・ライン：事前に気象庁と砂防で決定）

先行研究

平成30年7月豪雨における愛媛県内の土砂災害が20市町の内17市町で発生し，413箇所の土砂災害¹⁾を基に，森²⁾は，**土壌雨量指数（Soil Water Index: SWI）の最大値（SWI-max）の大雨警報基準値（SWI-CL）に対する超過率が1以上で斜面災害が生じ，超過率が大きくなるほど斜面災害の発生割合が大きくなり，大雨警報基準値の超過率（ER-SWI）がリスク評価指標を表す可能性**があることを示した。

目的 ここでは6県のデータを基にその普遍性を検討する。

キーワード 平成30年7月豪雨，降雨耐性，リスク発現率

降雨耐性の定義と指標

降雨による土砂災害の発生特性は、降雨量のみならず、地域の降雨特性、地形・地質、土砂災害履歴により異なる。

降雨の際に斜面上の土層が示す土砂移動に対する抵抗性を「降雨耐性」と定義する。

降雨特性がその地点の既往最大値などで特徴付けられる土砂移動発生基準値を上回ると、降雨による外力作用が降雨に対する抵抗性を上回って土砂移動が起きるという概念モデルが挙げられる。

この概念モデルからは、同じ降雨量に対して、多雨な地域は寡雨な地域に比べて斜面の降雨耐性は高いと言える。また、抵抗性のばらつきを考慮すれば、土砂移動発生基準値を上回る度合い（超過率）が大きくなると土砂移動の発生数が増える。

したがって、土砂移動発生基準値が降雨耐性を示し、その超過率はリスク発現率の指標となる可能性がある。

降雨耐性の指標

現在、気象庁では、短期雨量特性に1時間雨量を、長期雨量特性には土壌雨量指数（SWI）を用いている。

SWIの最大値（SWI-max）の現在値や2時間後予測値を大雨警報（土砂災害）や土砂災害警戒情報等の判断基準値（SWI-CL）に用いられている。

各都道府県砂防部局と気象庁各官署が共同で、土砂災害の発生状況と降雨の状況の履歴を考慮して、市町村ごと、地域ごと、5kmメッシュごとに警報基準値（SWI-CL）が設定・見直しがなされており、SWI-CLの大小は、その地域の斜面の降雨耐性の指標とみなすことができる。

降雨耐性とリスク発現率の分析

土砂災害発生件数の上位6県に着目して、降雨耐性とリスク発現率指標を市町単位で検討する。

土壌雨量指数（SWI）に焦点を当て、その最大値（SWI-max）と大雨警戒基準値（SWI-CL）を検討する。

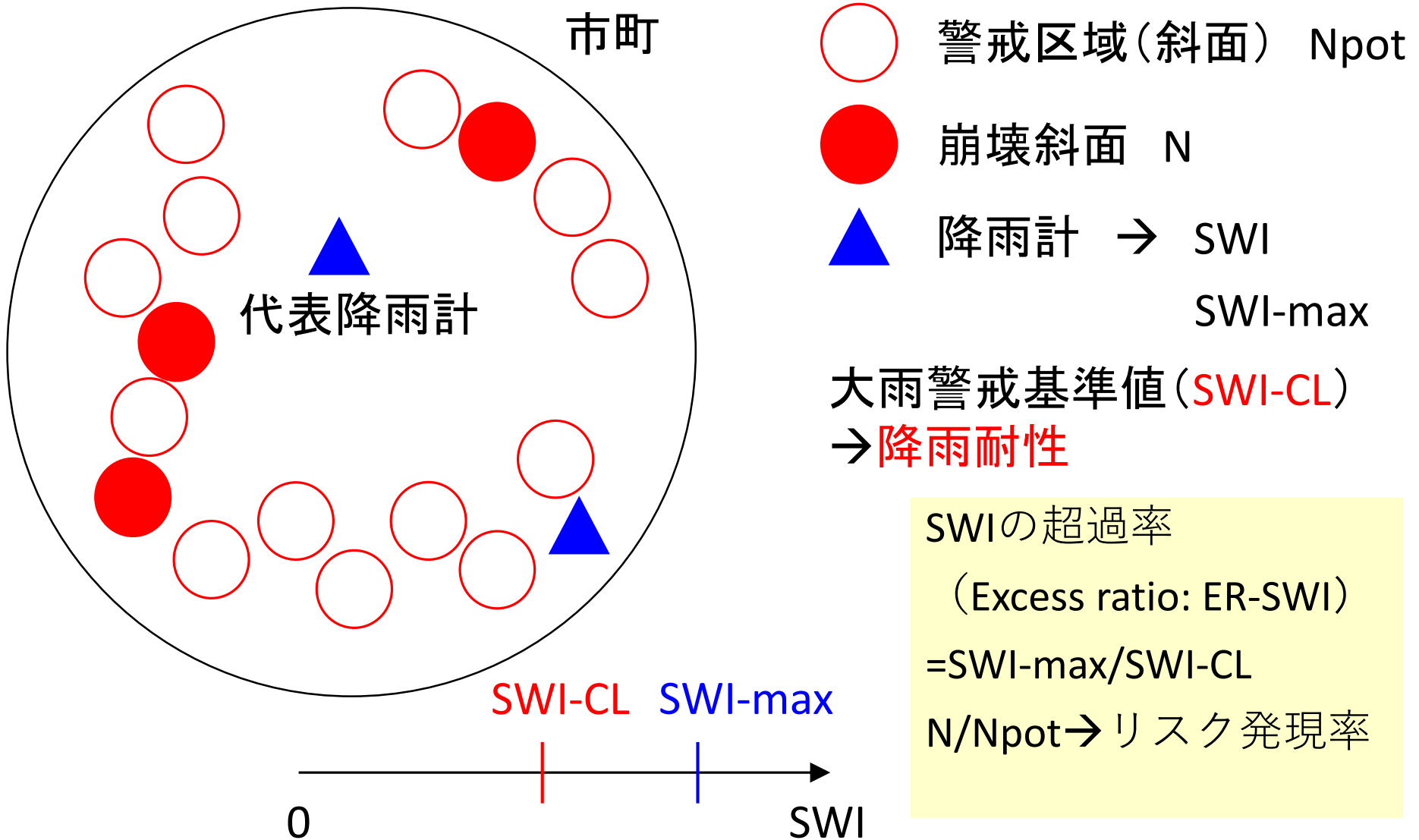
各市町を代表する地点での雨量計を気象庁・国土交通省河川・都道府県の雨量計から選定し、1時間間隔の雨量時刻歴を用いて気象庁の計算法に則り10分単位に分割して、10分ステップでSWIの時刻歴を計算し、SWI-maxを求めた。

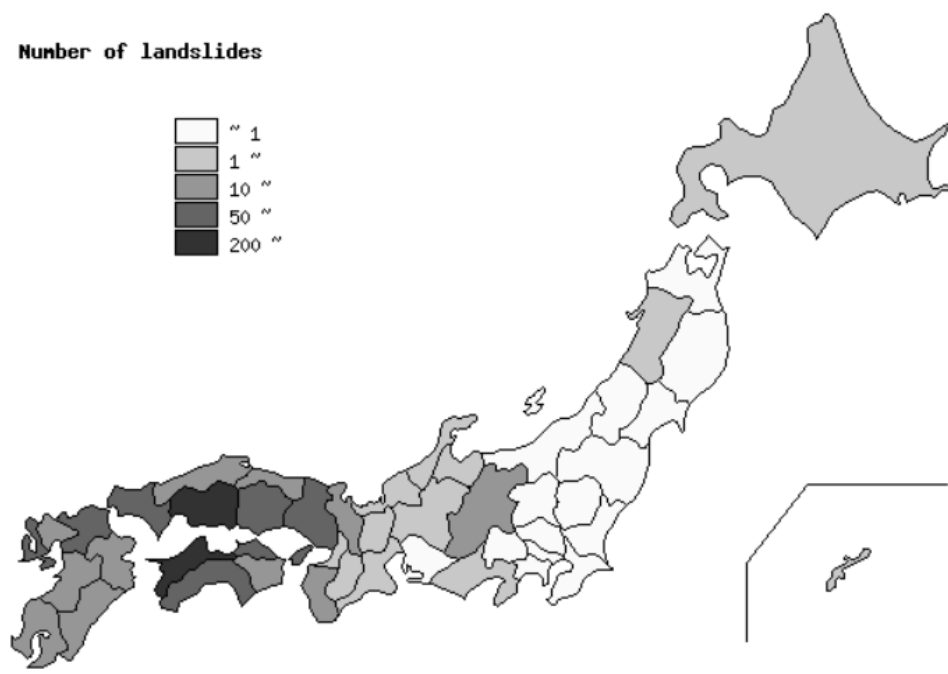
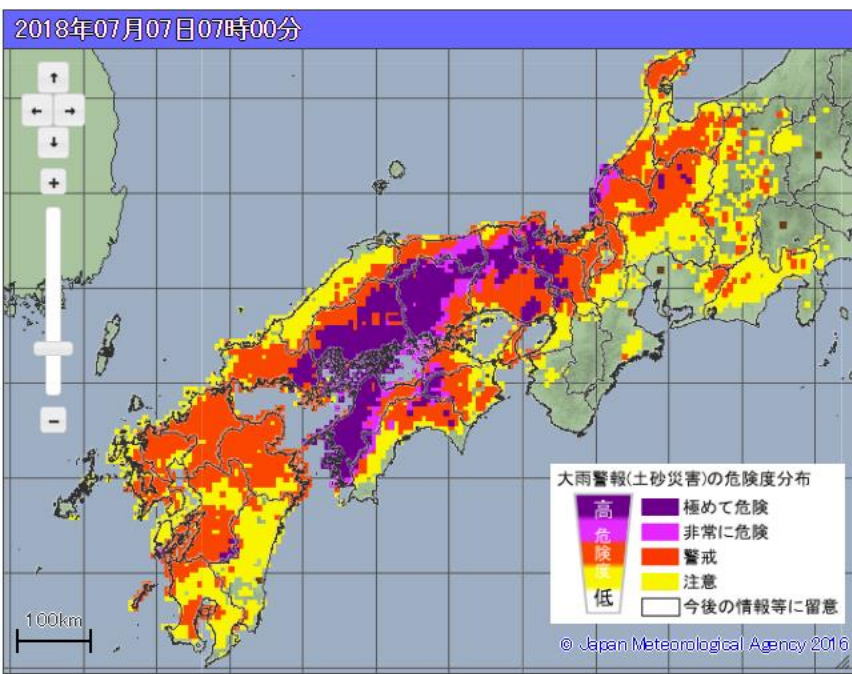
大雨警報基準値SWI-CLは、5kmメッシュで与えられ公開されており、市町村内の全メッシュでの最小値をSWI-CLとして扱うこととした。

したがって、SWI-max/SWI-CLをSWIの超過率（Excess ratio: ER-SWI）を検討対象とする。

リスク発現量は土砂災害件数（N）であるが、土砂災害警戒区域数をリスク潜在量（Npot）とみなし、 N/N_{pot} をリスク発現率と捉える。

降雨耐性とリスク発現率の分析





上位 6 県の土砂災害一覧

都道府県	土砂災害発生件数				市町村数			相関係数		
	土石流	地すべり	がけ崩れ	合計	被災	全て	被災割合	SWI-max-log(N)	ER-SWI-log(N)	ER-SWI-log(N/Npot)
広島県	609	1	632	1,242	19	23	0.83	0.50	0.52	0.36
愛媛県	81	7	325	413	17	20	0.85	0.55	0.65	0.70
山口県	11		173	184	11	19	0.58	0.54	0.77	0.79
高知県	3	2	121	126	21	34	0.62	0.36	0.50	0.31
福岡県	3	1	109	113	23	60	0.38	0.16	0.26	0.09
兵庫県	16	3	54	73	20	41	0.49	0.26	0.37	0.23
6県合計	723	14	1,414	2,151	111	197	0.56	0.17	0.58	0.33
全国合計	791	56	1,734	2,581	267	1,724	0.15			

土砂災害の発生は、上位 6 県で全体の83%を占め、広島県では83%の市町が被災し被災市町あたり平均 65.4 件であるが、6位の兵庫県では49%の市町が被災して平均 3.7件である。

愛媛県の例（土砂災害数, SWI-CL, SWI-max）

地方	市町	国交省 (N=413)	愛媛県 (N=997)	土壌雨量指数 の警報基準		最大値/基準値		雨量観測点	期間雨量	最大土 壌雨量 指数
				下限	上限	下限	上限			
東予	今治市	52	10	104	165	2.11	1.33	JMA今治	464	219
	新居浜市	1	1	124	210	1.08	0.64	JMA新居浜	284.5	134
	西条市	0	0	122	211	1.28	0.74	JMA西条	284	156
	四国中央市	6	4	135	229	1.12	0.66	JMA四国中央	373.5	151
	上島町	14	148	99	121	2.07	1.69	県・岩城	406	204
中予	松山市	73	269	128	177	1.44	1.04	JMA松山	361.5	185
	伊予市	6	2	130	185	1.57	1.10	JMA中山	397	204
	東温市	1	1	130	193	1.26	0.85	国河川・山之内	306	164
	久万高原町	1	0	149	311	1.03	0.49	JMA久万	334	153
	松前町							県・伊予		
	砥部町	1	0	136	177	1.35	1.04	国河川・砥部	315	183
南予	宇和島市	153	363	112	179	1.77	1.11	JMA宇和島	384	198
	八幡浜市	14	6	121	229	1.73	0.92	JMA八幡浜	397.5	210
	大洲市	39	58	126	229	1.49	0.82	JMA大洲	340	188
	西予市	27	53	116	226	2.17	1.11	JMA宇和	543	251
	内子町	10	66	128	226	1.32	0.75	国河川・内子	329	169
	伊方町	0	0	140	180	1.14	0.88	JMA瀬戸	321	159
	松野町	1	0	147	179	1.89	1.55	国河川・目黒*	705	277
	鬼北町	9	8	138	241	1.79	1.02	JMA近永	584.5	247
	愛南町	5	8	114	166	1.46	1.00	JMA御荘	302	167
	合計	413	997							

SWI期間最大値と土砂災害箇所数の関係

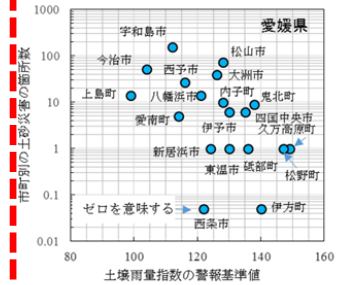
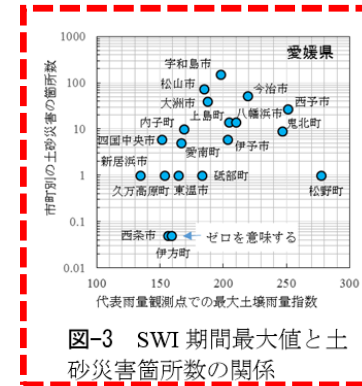
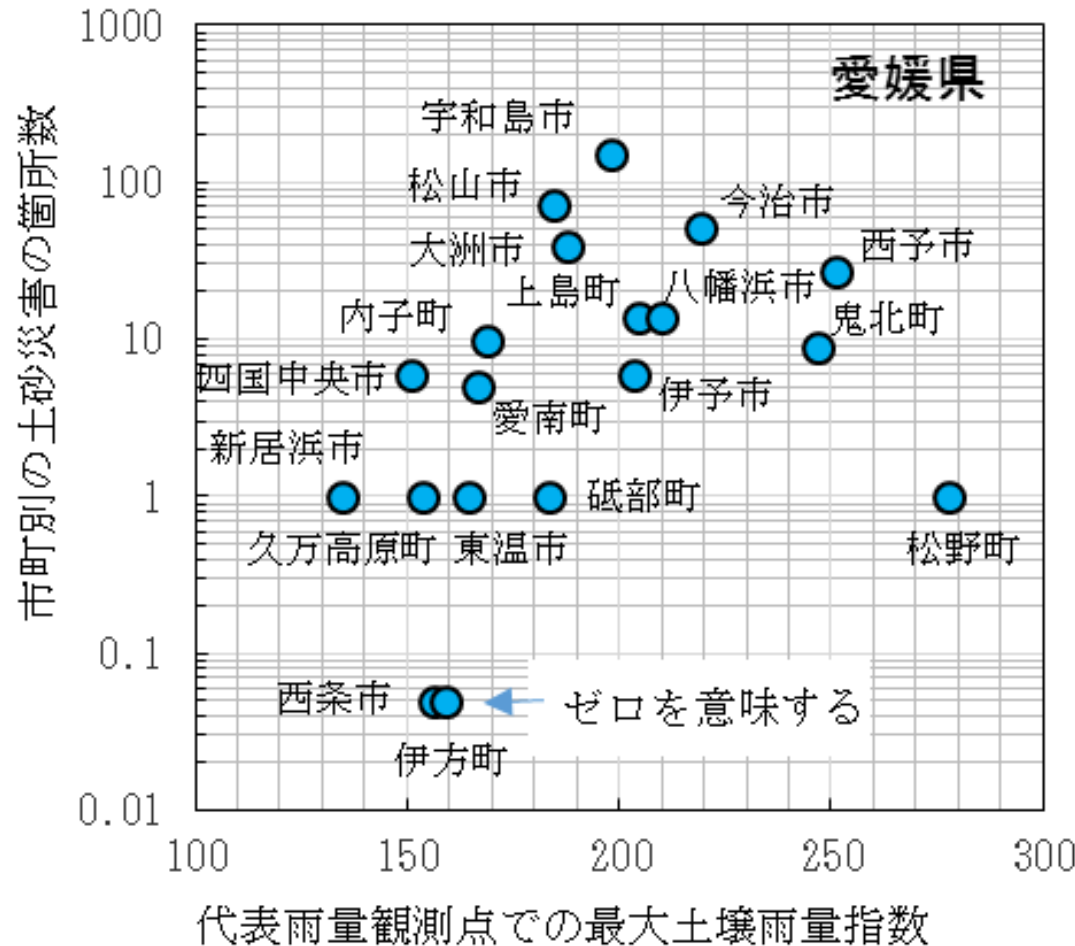


図-4 SWI 大雨警報基準と土砂災害箇所数の関係

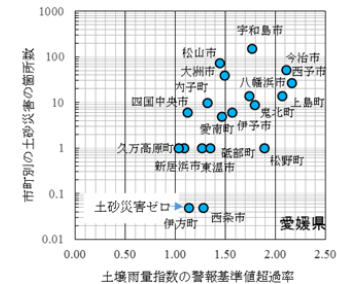


図-5 SWI 警報基準超過率と土砂災害箇所数の関係

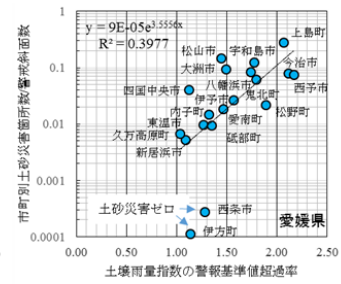


図-6 SWI 警報基準超過率と土砂災害リスク発現率の関係

降雨の影響=SWI

市町別の土砂災害の箇所数（の対数）は、市町代表雨量観測地点の最大土壌雨量指数（SWI）と正の相関がある。ばらつきは大きい。

SWI大雨警報基準と土砂災害箇所数の関係

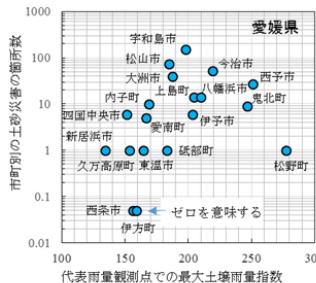
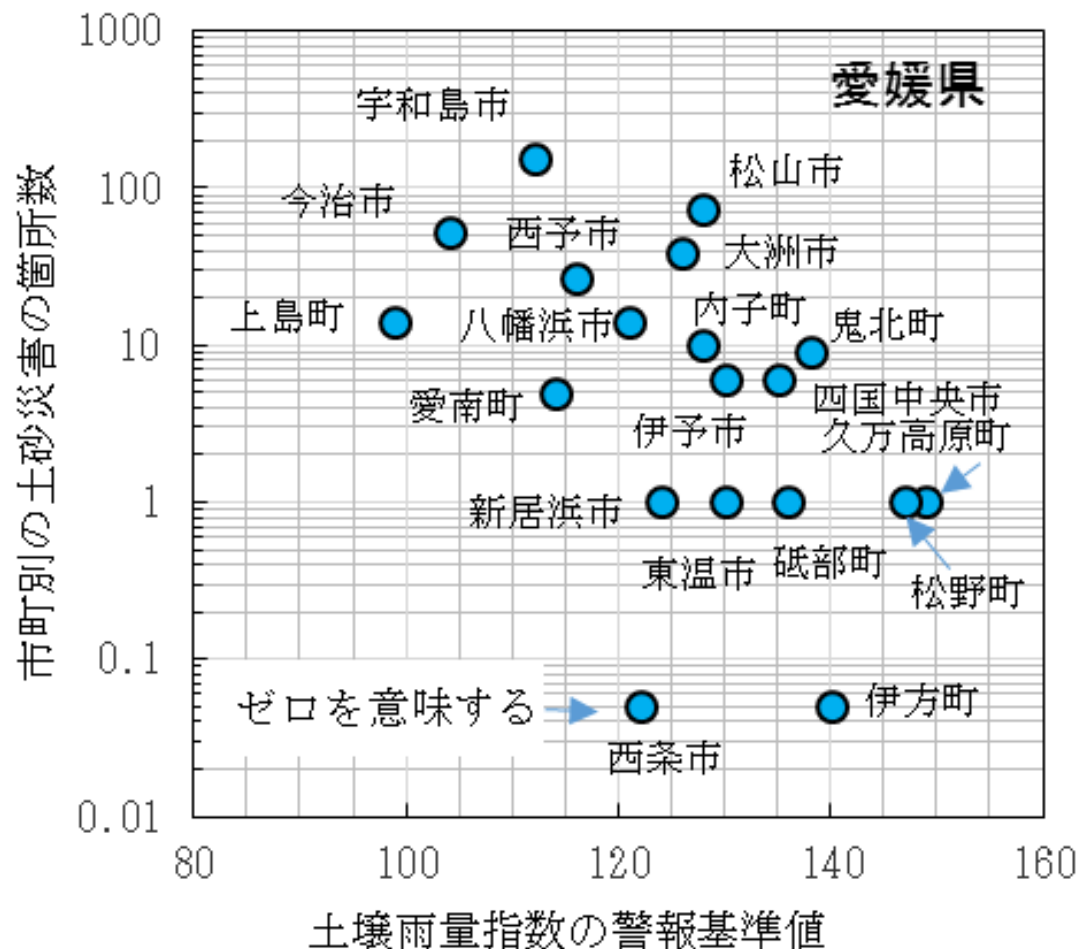


図-3 SWI 期間最大値と土砂災害箇所数の関係

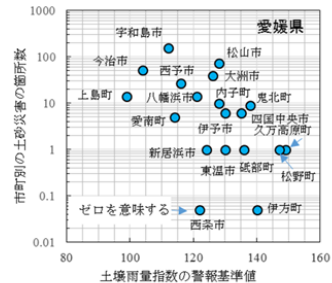


図-4 SWI 大雨警報基準と土砂災害箇所数の関係

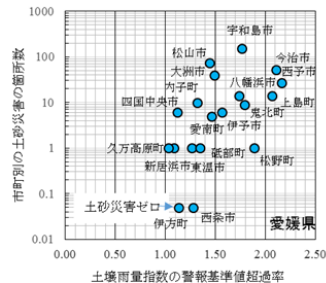


図-5 SWI 警報基準超過率と土砂災害箇所数の関係

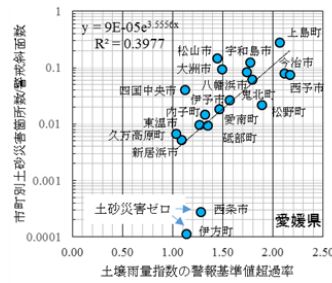


図-6 SWI 警報基準超過率と土砂災害リスク発現率の関係

斜面の降雨耐性(SWI-CL)

土壌雨量指数の警報基準値が小さいほど土砂災害の箇所が増える。雨に弱い斜面ほど土砂災害が多い。降雨量の違いが含まれない。

SWI警報基準超過率と土砂災害箇所数の関係

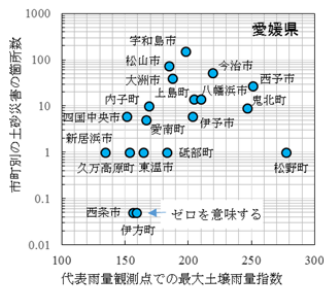
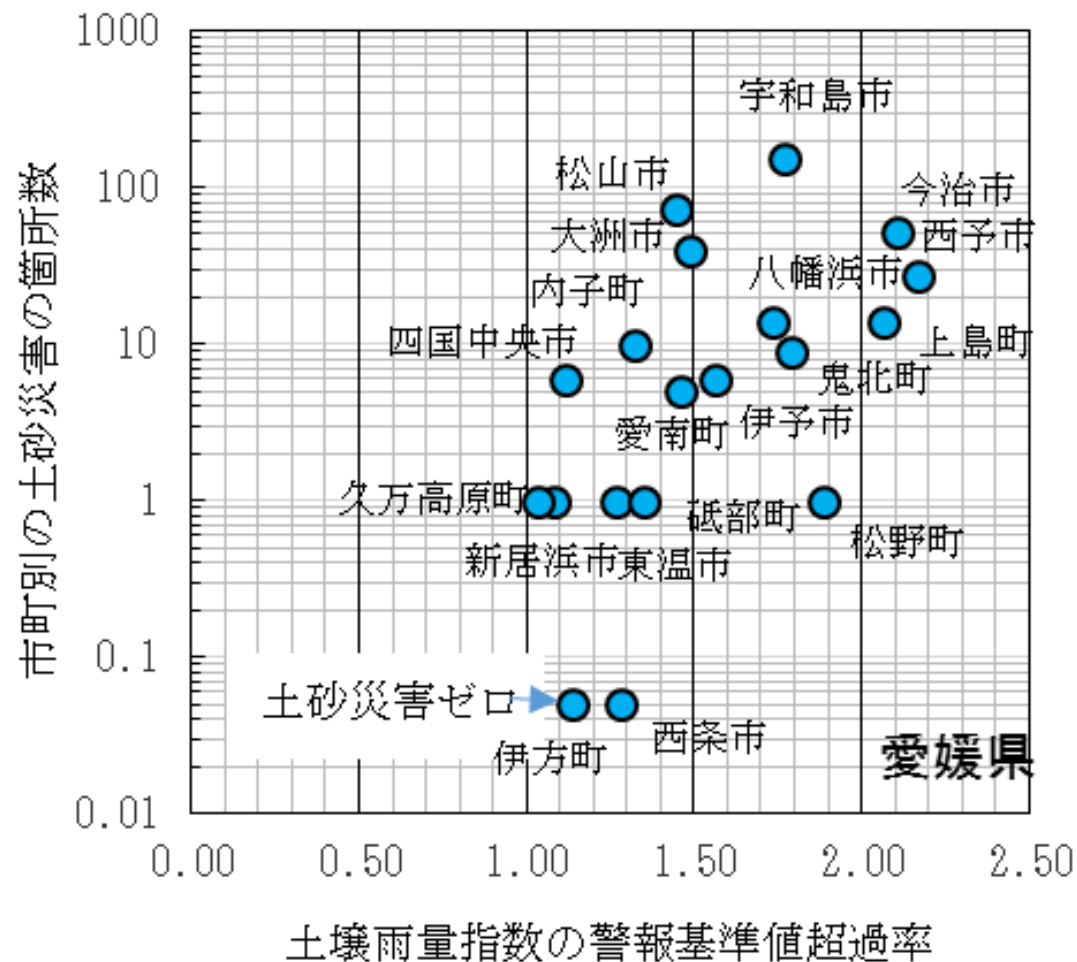


図-3 SWI 期間最大値と土砂災害箇所数の関係

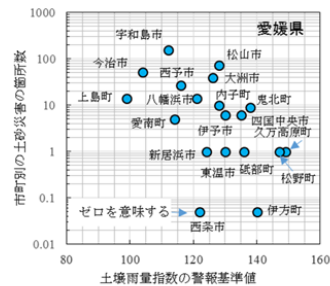


図-4 SWI 大雨警報基準と土砂災害箇所数の関係

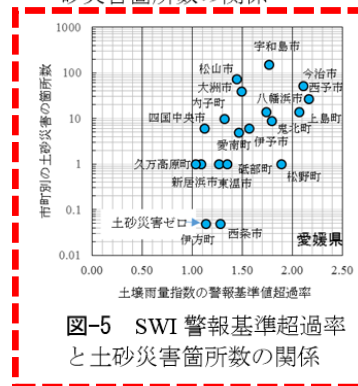


図-5 SWI 警報基準超過率と土砂災害箇所数の関係

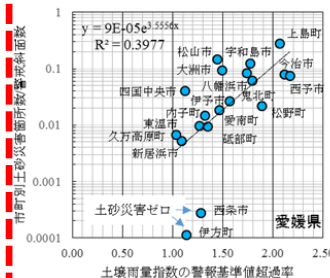


図-6 SWI 警報基準超過率と土砂災害リスク発現率の関係

耐性に対する降雨の影響

雨量観測地点の降雨耐性で正規化した最大土壌雨量指数（SWI）を警報基準超過率とすると土砂災害の箇所数と超過率は正の相関がある。ばらつきは小さくなる。

SWI警報基準超過率と土砂災害リスク発現率の関係

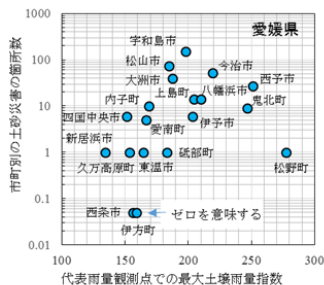
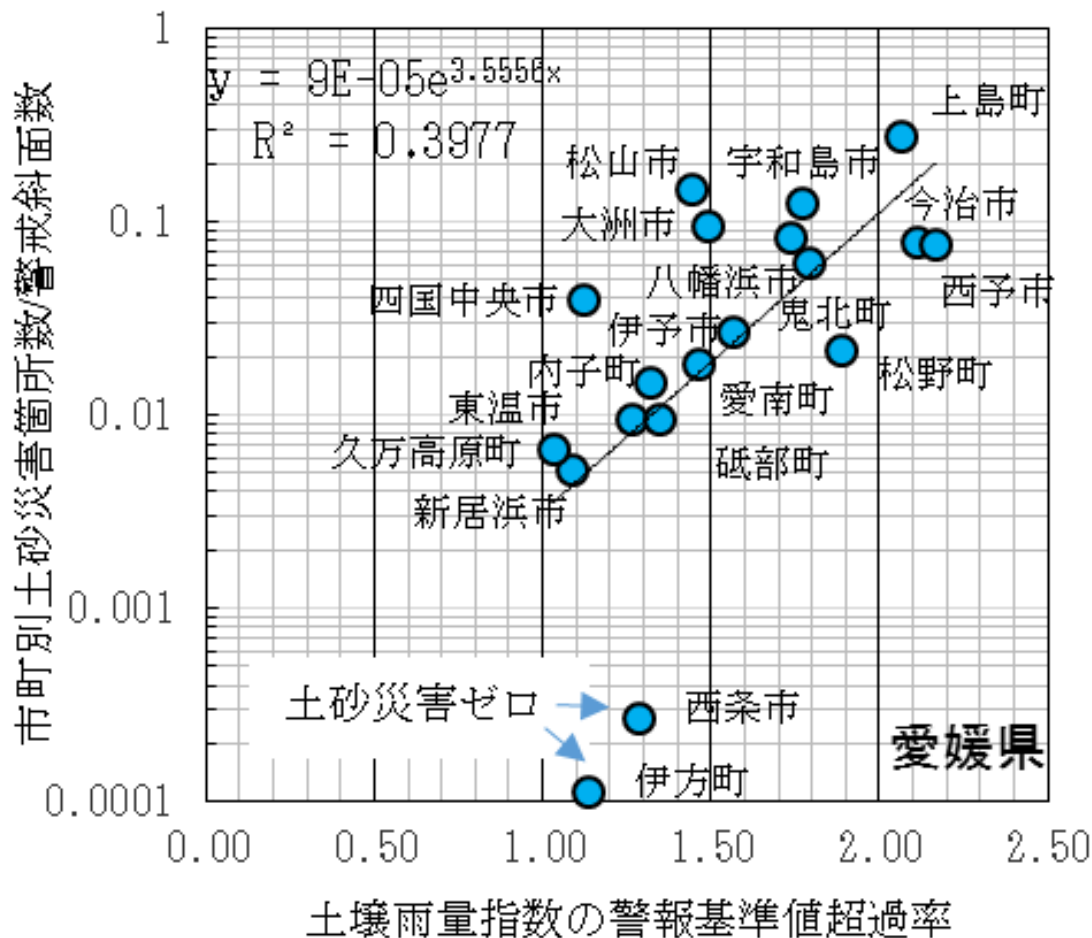


図-3 SWI 期間最大値と土砂災害箇所数の関係

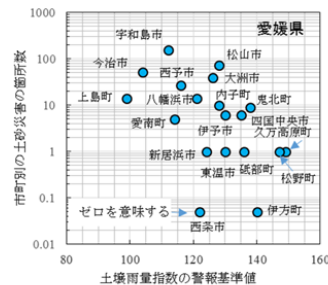


図-4 SWI 大雨警報基準と土砂災害箇所数の関係

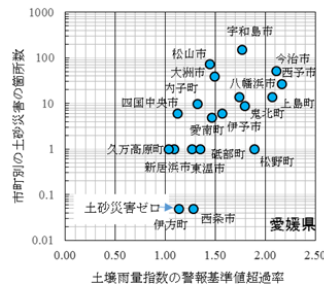


図-5 SWI 警報基準超過率と土砂災害箇所数の関係

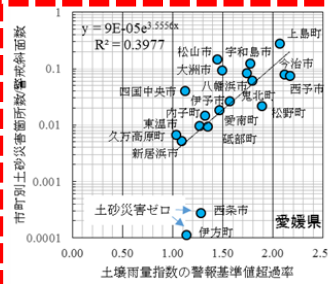
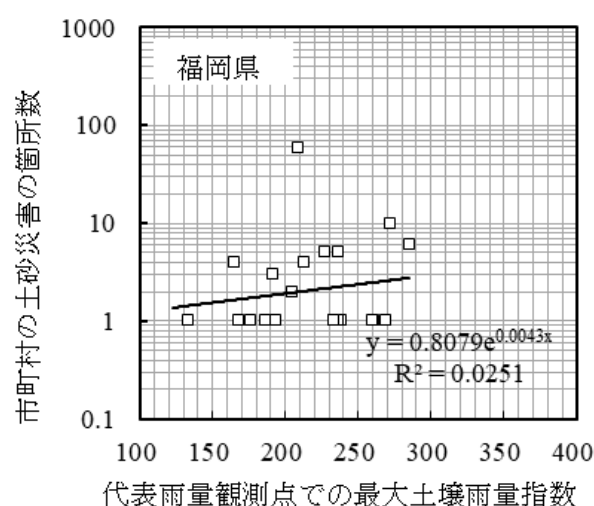
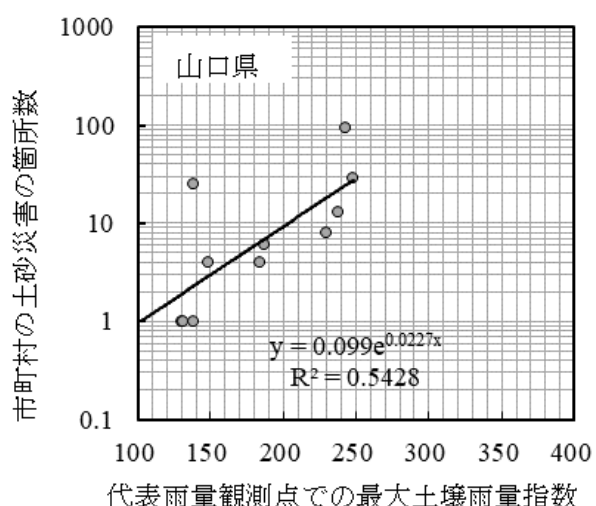
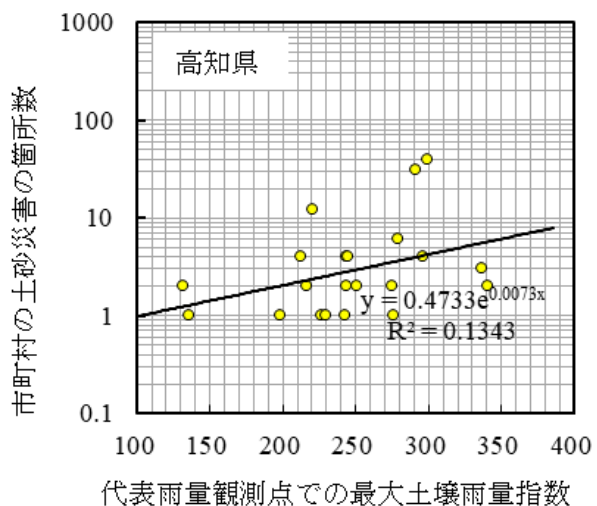
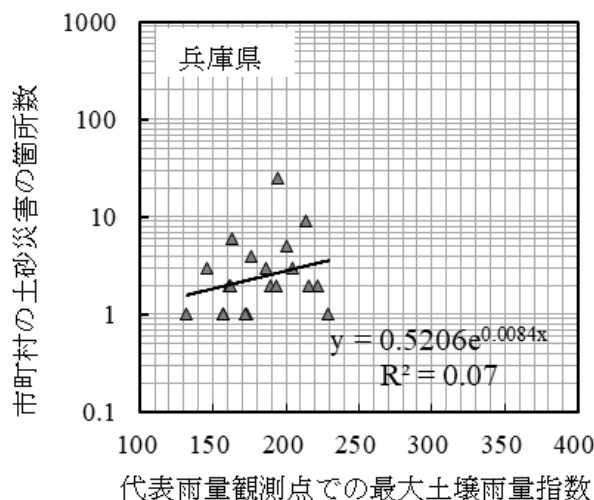
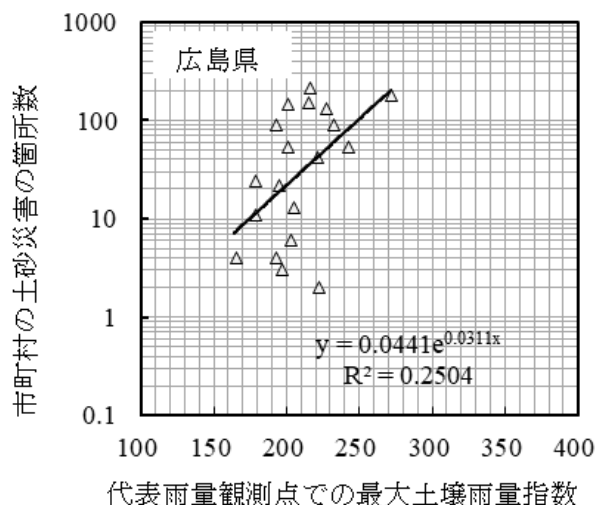
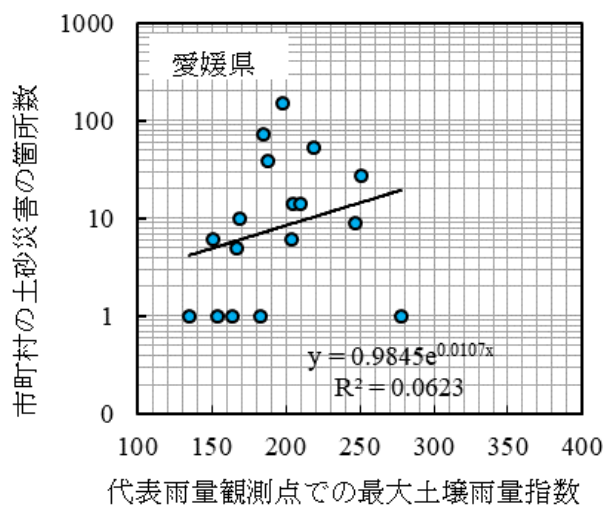


図-6 SWI 警報基準超過率と土砂災害リスク発現率の関係

土砂災害箇所数を市町内の土砂災害警戒区域数で基準化
→リスク発現率

土砂災害の箇所数（リスク発現数）を警戒斜面数（リスク数）で除したものを土砂災害リスク発現率とすると警戒基準超過率と正の相関がある。ばらつきは小さくなる。

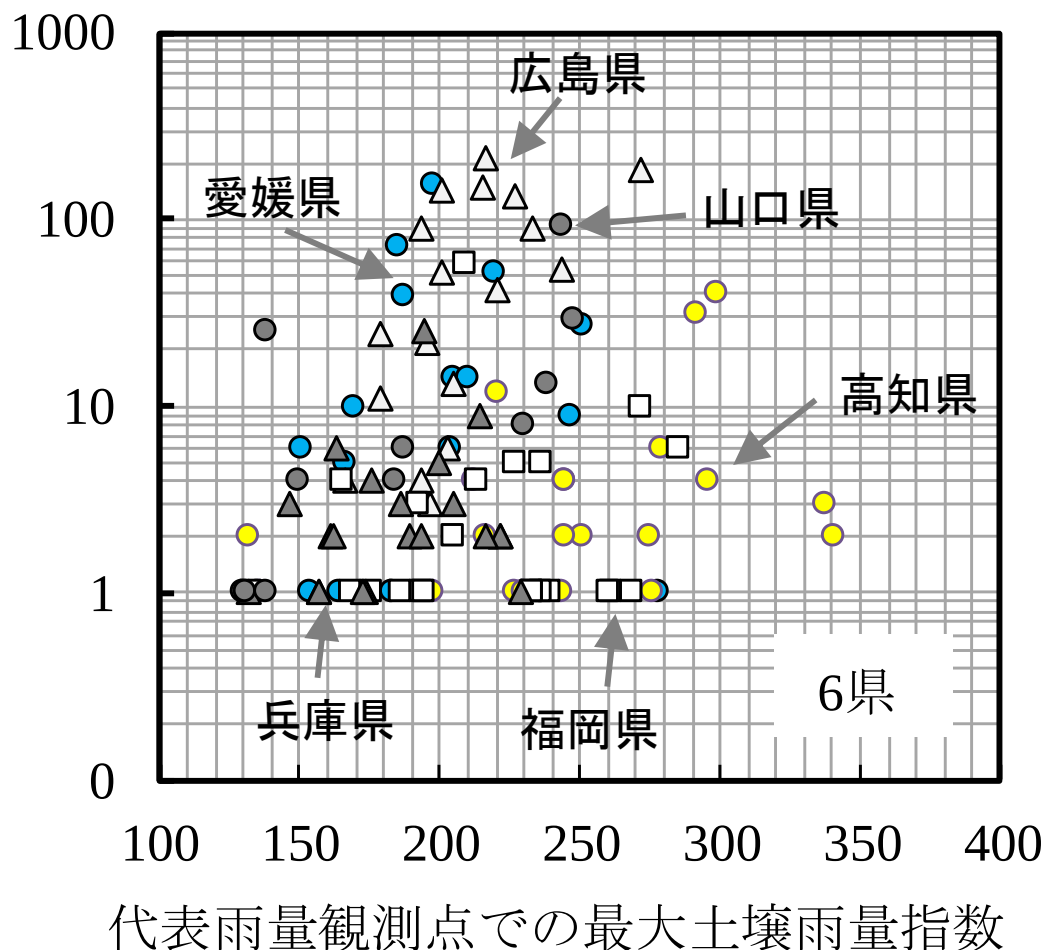
SWI-maxと土砂災害箇所数（6県）



愛媛県（松野町除く）、広島県、山口県では、係数が大きく、相関係数大きい。他方、福岡県、兵庫県、高知県は係数が小さく、相関係数は小さい。

SWI-maxと土砂災害箇所数（6県）

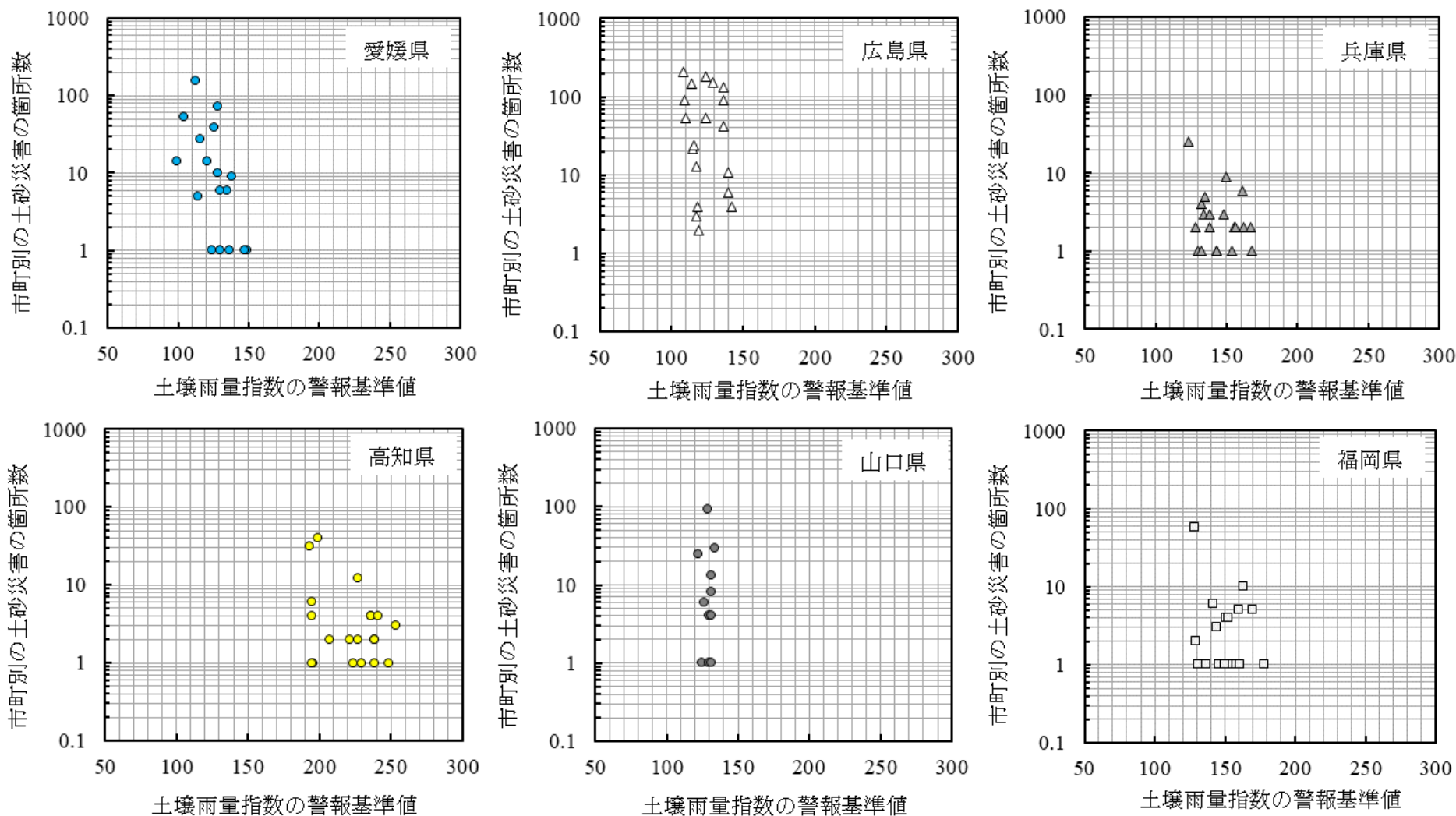
市町村の土砂災害の箇所数



正の相関があるが県で異なる。愛媛県では県内最大のSWI-maxであった松野町では土砂災害が1件のみで、他市町の分布傾向から大きく外れる。相関係数は、松野町を含めれば0.06であるが除けば0.30となる。

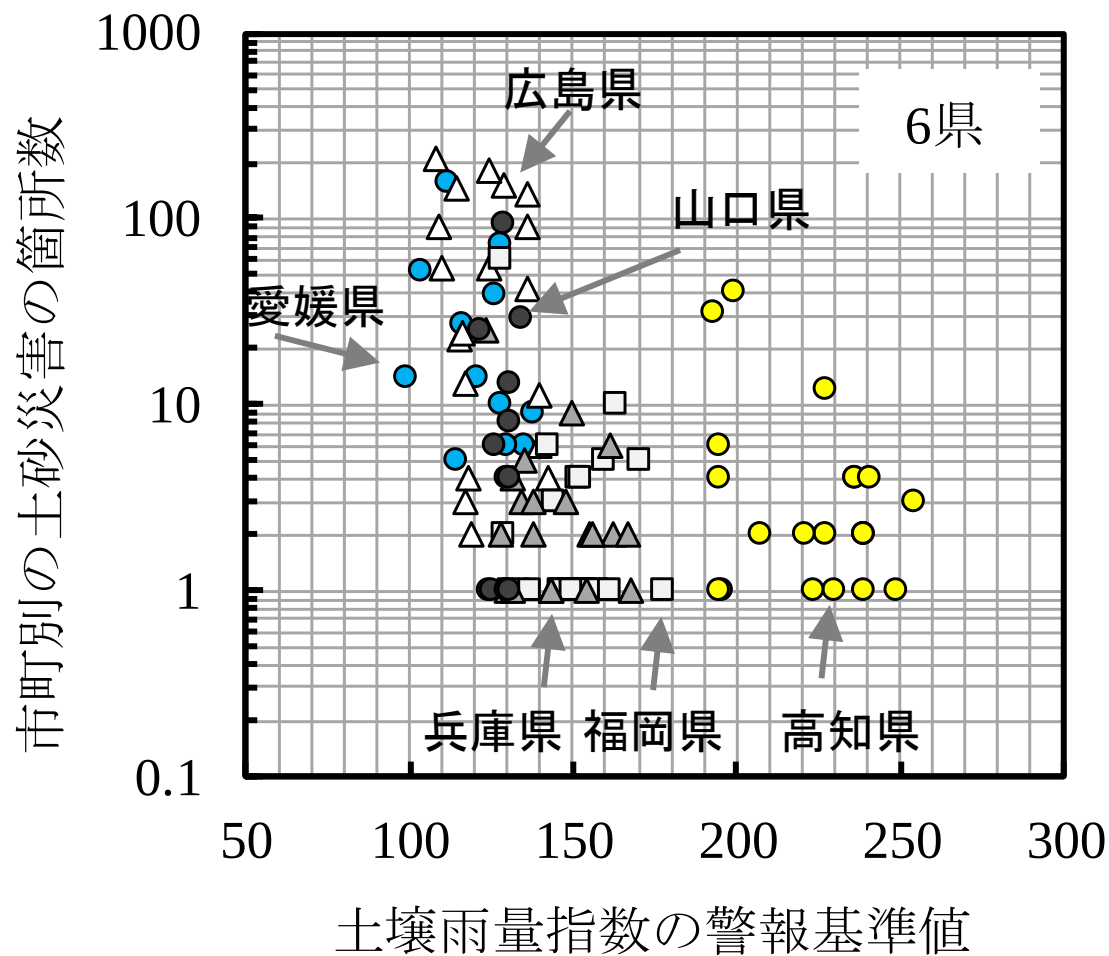
相関係数が高いのは山口県 (0.73)、愛媛県 (0.55)、広島県 (0.50) で回帰直線の傾斜が大きいのにに対して、高知県 (0.36)、兵庫県 (0.26)、福岡県 (0.16) では相関係数が小さく、傾斜が小さいという特徴がある。特徴の異なる6県を合わせると、正の相関がありながらも相関係数は0.17となる。

警報基準値 SWI-CL と土砂災害箇所数の関係



各県内では負の相関があり、降雨耐性が反映されている。6県では愛媛県が最も左側に、高知県が最も右側に分布しており、降雨耐性が最も低い県と最も高い県である。

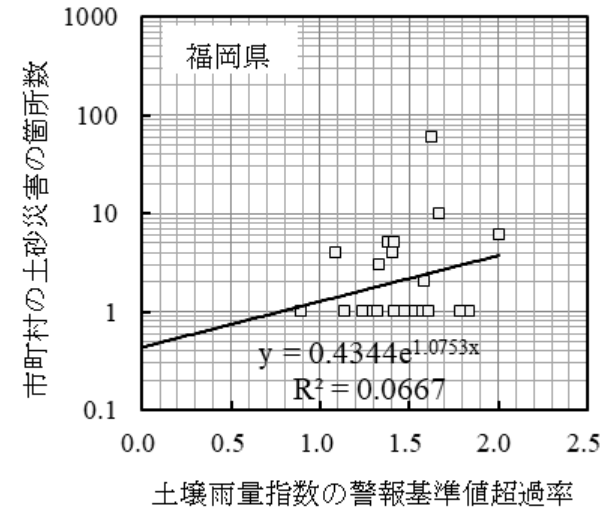
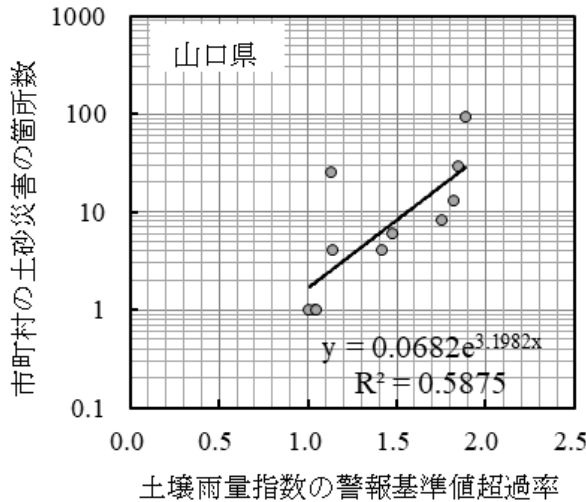
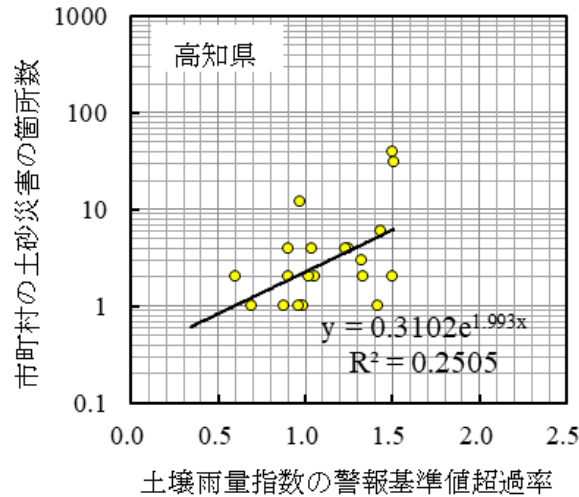
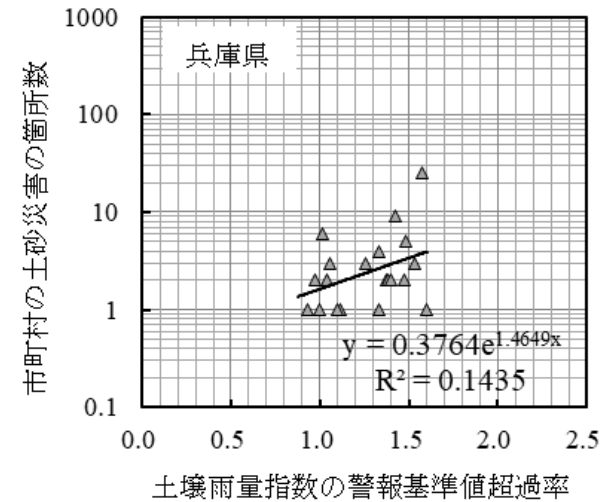
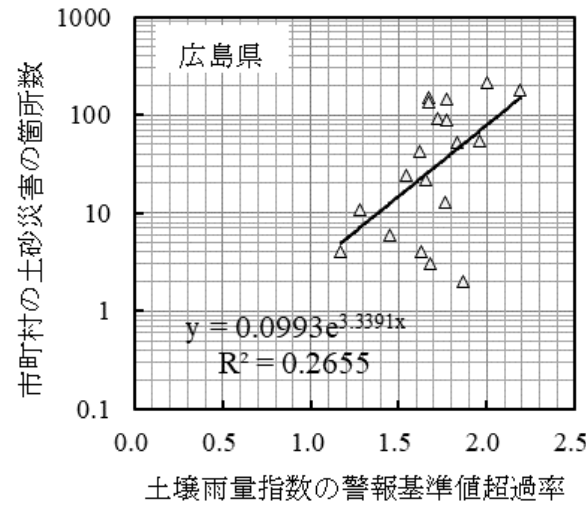
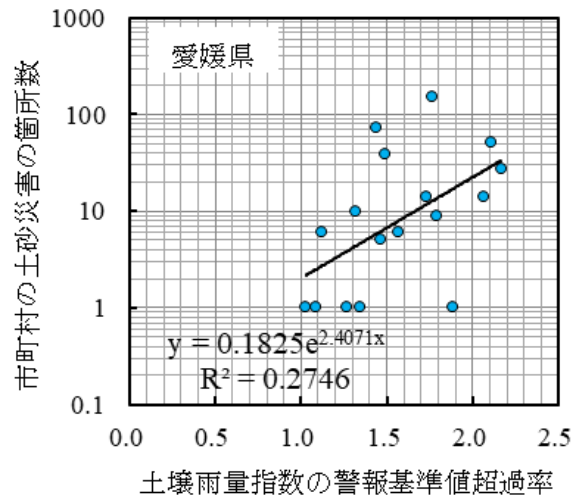
降雨耐性（SWI-CL）と土砂災害箇所数



各県内では負の相関があり、降雨耐性が反映されていることがわかる。

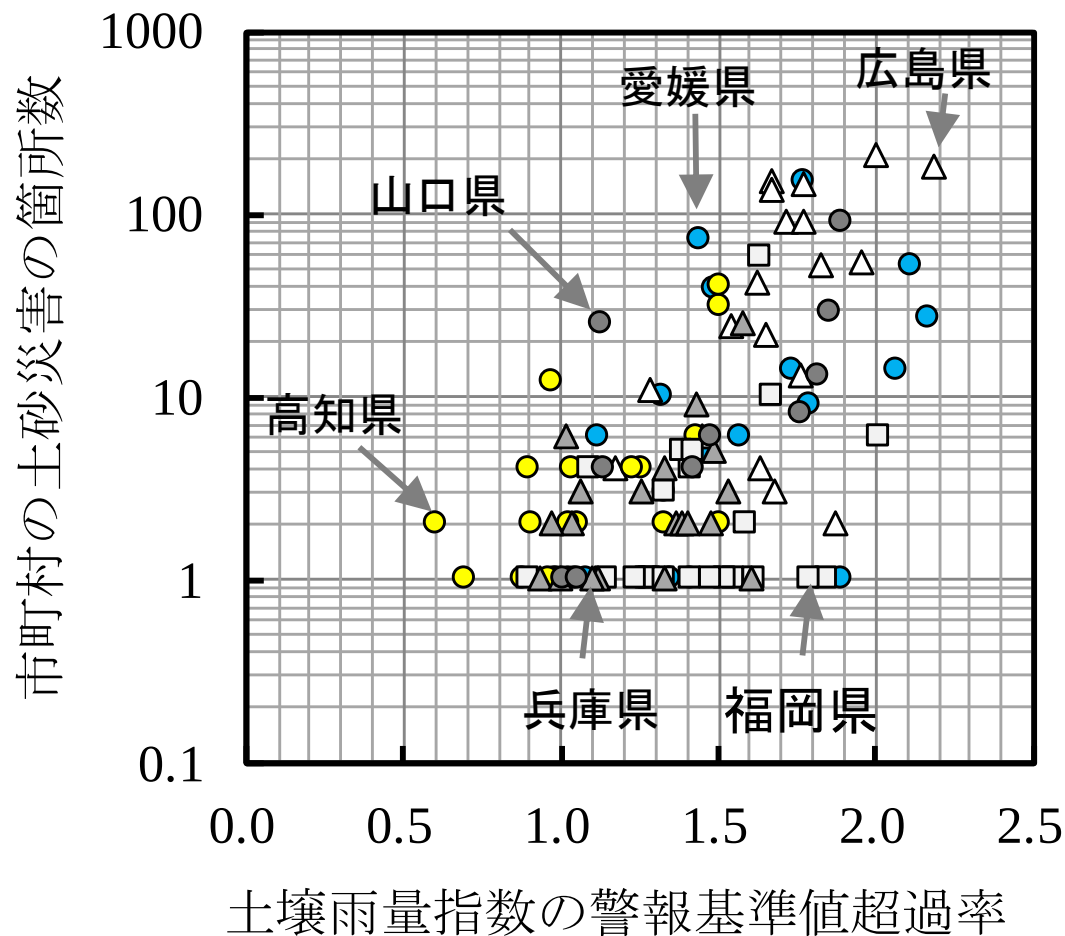
6県では愛媛県が最も左側に、高知県が最も右側に分布しており、降雨耐性が最も低い県と最も高い県であることを表している。

超過率 ER-SWI と土砂災害箇所数の関係



各県内では負の相関があり、降雨耐性が反映されている。6県では愛媛県が最も左側に、高知県が最も右側に分布しており、降雨耐性が最も低い県と最も高い県である。

超過率 ER-SWI と土砂災害箇所数の関係

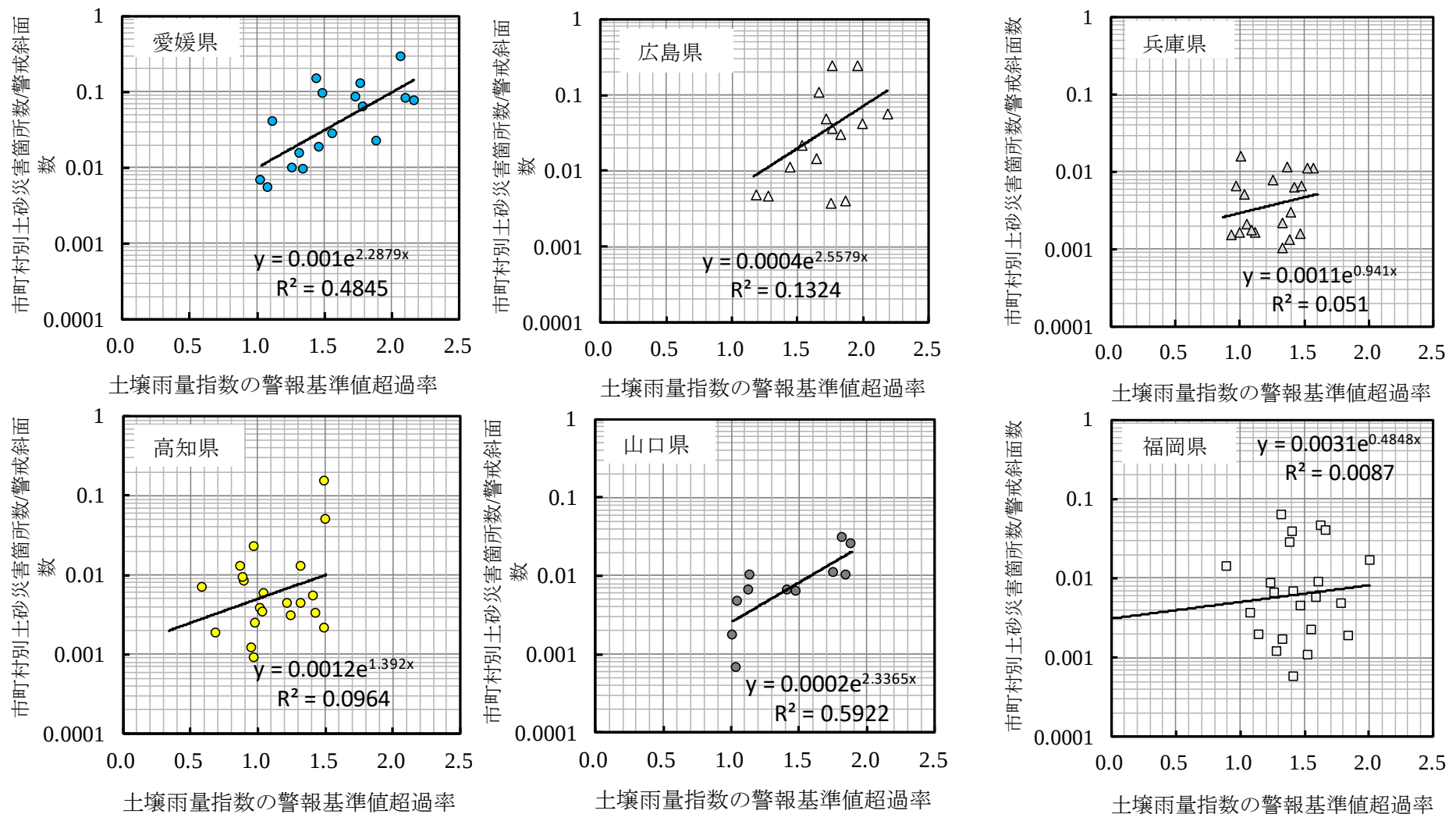


愛媛県，広島県，山口県では，**超過率1.0**以上で，福岡県では**1**，兵庫県では**2**，高知県では**8**の市町を除いて**超過率1.0**以上で土砂災害が発生しており，各県で，SWI-CLの設定・見直しが適切に行われていることがわかる。

機能として、砂移動発生基準値と降雨耐性を表していることが確認できた。

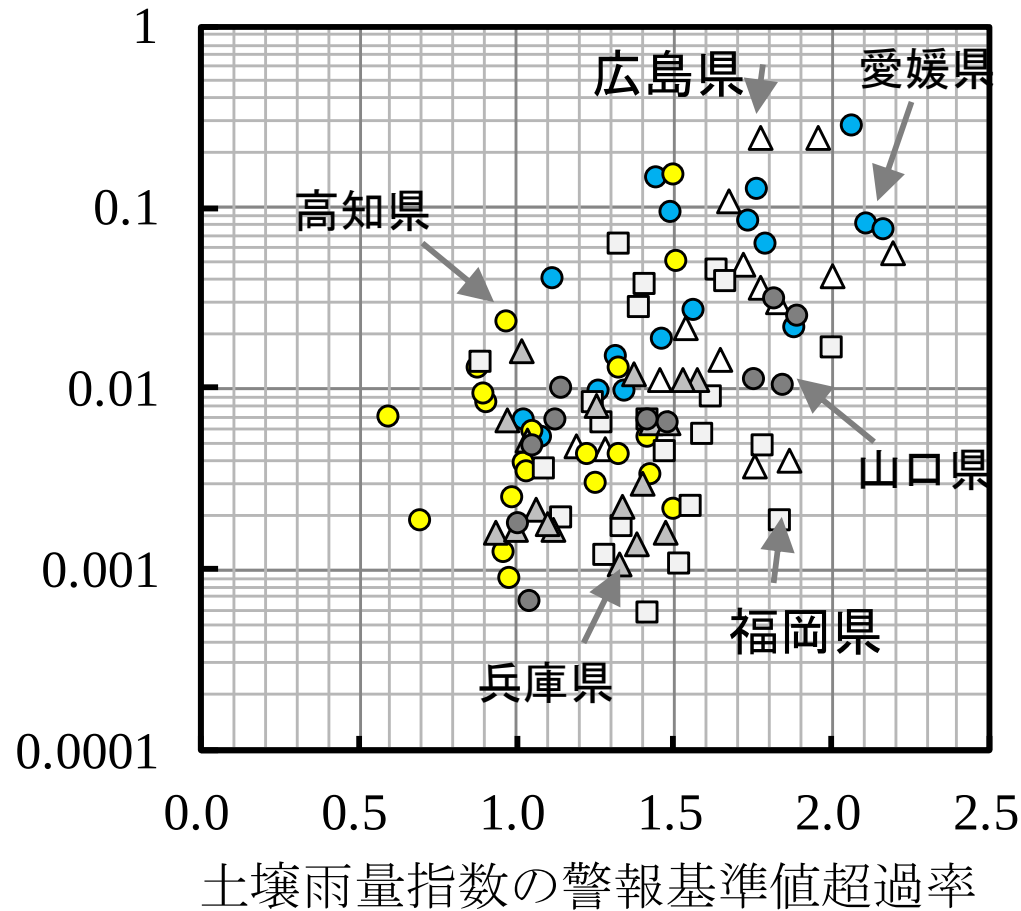
また、どの県でも正の相関であり、超過率という正規化によって相関係数が大きくなっている。さらに6県を併せた場合は、相関係数が0.58と格段に大きくなっており、異なる県を比較する際に有効であり、超過率ER-SWIは降雨耐性を適切に表していると言える

超過率 ER-SWI と土砂災害箇所数の関係



愛媛県，山口県では分布幅は狭くなり，相関係数が大きくなっているが，一方で，他の4県は相関係数も小さくなり，福岡県，兵庫県で分布のばらつきが大きくなっている。

超過率 ER-SWIとリスク発現率 N/Npot の関係



愛媛県，山口県では分布幅は狭くなり，相関係数が大きくなっているが，一方で，他の4県は相関係数も小さくなり，福岡県，兵庫県で分布のばらつきが大きくなっている。

このことから，土砂災害警戒区域は必ずしも土砂災害リスクの相対的に高いところでない可能性がある。

リスク発現率とすると相関係数は全体で0.33に低下したものの，この相関関係と回帰式

$$N/N_{pot} = 0.0002 \exp(3.7133 \cdot ER)$$

(決定係数 0.11) は，リスク発現率の量的予測の方向性を示すものと考えられる。

結 論

土壌雨量指数（SWI）の最大値（SWI_{max}）を求め、警報基準値（SWI-CL）を考慮して、降雨耐性とリスク発現率指標を検討した。

SWI-CL は土砂移動発生基準値となり、その超過率（ER-SWI）は降雨耐性を表すこと、また、その量はリスク発現量やリスク発現率の指標となりうることを示した。

今後は、市町代表地点の降雨量に替えて、解析雨量データを用いて、土砂災害警戒区域や発生区域での平均降雨特性を以て検討して普遍的な検討をしたい。