



2019 年 12 月 5 日

水管理暨國土保全局砂防部

「因應氣候變遷之防砂技術檢討會」 ～12 月 9 日現地調查活動～

國土交通省成立「因應氣候變遷防砂技術檢討會」。

檢討會成立前先調查2019年11月第19號颱風（哈吉貝颱風）所引致主要土砂災害地點宮城縣伊具郡丸森町の土砂災害與洪水氾濫，以及群馬縣富岡市內匠緩坡坡地崩塌性地滑地點。

國土交通省為進行檢討技術性檢討提升伴隨氣候變遷浮現的嚴重土砂移動現象及防砂計畫所需相關參數（土砂量等）評估方法，成立「因應氣候變遷之防砂技術檢討會」（舉辦宗旨參考附件－1）。

檢討會預訂舉辦如下之現地調查活動。

「因應氣候變遷防砂技術檢討會」

附件－1

舉辦宗旨

IPCC（聯合國政府間氣候變遷專門委員會）第五次評估報告書（2014年11月）指出，全球氣候系統暖化已無庸置疑，到二十一世紀末為止，預測全球各地都可能產生更劇烈、更頻繁的極端降水。

在此趨勢下，2016年颱風相繼襲擊北海道與東北地方並帶來豪雨、2017年九州北部豪雨、2018年7月豪雨、2019年第19號颱風帶來豪雨等，日本近年來一再發生造成嚴重土砂災害的豪雨。因此，氣象廳深刻認為，2018年7月豪雨係地球暖化所致，地球暖化之影響越來越明顯。

為針對伴隨降雨特性變化導致預估未來將劇烈化的土砂災害，需要檢討與實施上述降雨特性改變因應對策所需參數（土砂量等）之變化應予應對適當對策。然而，氣候變遷引致之降雨特性改變會使哪些土砂災害造成之土砂移動現象（以下稱為「土砂移動現象」。）更加明顯，尚無可充分加以掌握的科學技術。此外，各地區之土砂移動現象也可能受地質、地形與氣候條件等影響，而有所不同。

因此，本檢討會議希望提升氣候變遷下降雨特性改變因而導致未來各地區可能更明顯的土砂移動現象之調查方法，以及檢討、實施對策所需相關參數之評估方法，作為實施土砂災害對策領域氣候變遷調適對策之參考。

「因應氣候變遷防砂技術檢討會」

委員名冊

內田 太郎	筑波大學生命環境系	副教授
執印 康裕	宇都宮大學 農學部	教授
中北 英一	京都大學防災研究所	教授
◎ 藤田 正治	京都大學防災研究所	教授
堀田 紀文	東京大學大學院 農學生命科學研究科	副教授
松四 雄騎	京都大學防災研究所	副教授

◎：召集人

因應氣候變遷防砂技術檢討會（第 1 次會議）議事要旨

2020年1月8日（三） 16:00～18:00

中央聯合辦公大樓 3 號館 1樓 水管理暨國土保全局 A 會議室

○針對伴隨氣候變遷而嚴重化、頻率提高之土砂移動現象及流域所產生土砂量與降雨量之關係。

- 思考對應氣候變遷之對策時，是否應思考如何針對降雨規模超過某臨界值而突然發生大規模土砂災害之地區（例如，2013年伊豆大島土砂災害等）提出對策。
- 土砂移動現象之發生不只受降雨模式影響，也會受場所（地域性）條件（集水面積等）影響，而造成各坡面災害的降雨模式可能都明顯不同。是否應詳細追蹤、調查所有坡面之場所條件是否有其難度？
- 就呈現土砂生產與降雨量關係之 B 地區圖表而言，引致土砂生產之降雨量臨界值是否還要再大些、甚至大於 A 地區土砂生產量上限值地陡峭攀升？
A 地區是否可設定為西日本酸性岩類地區？B 地區是否可設定為日本西南部與東北部火山灰堆積地區、火山岩類地區、增積岩體堆積物地區等？
- 降雨係氣候變遷引致 IDF 曲線（降雨強度、延時、頻率曲線）變化之結果，對此，是否應先建立流域土砂生產量如何反應之模型。
- 建立土砂生產量與降雨量關係模型時，是否應針對東北地方這類未曾經歷強降雨、坑溝殘留土砂大量之地區，以及預估會有岩盤崩塌或火山灰崩塌的地區，檢討坡面地下構造狀況等可歸類為 B 地區之理由，由此建立理論上應歸類為 A 地區或 B 地區之劃分方法
- 是否應依據現地探勘等結果，驗證並檢討率定土砂生產量與降雨量關係定量模式化所需之參數（土層厚度、地下水之反應等）。
- 目前氣象方面已能使用過去的試驗與未來試驗演算結果之龐大資料，進行試驗並以預測基礎預測未來的狀況。首先，是否應先確認能否以過去試驗所重現的降雨模式重現過去之災害？

- 針對土砂生產與降雨量之關係而一一檢討各種地質的降雨量指標時，若檢討之地質太多會而變成太複雜，因此，是否應儘量限定某幾個地質種類而進行檢討？
- 是否應以流域流出土砂量與降雨量之關係為非線性關係、土砂量與流量為線性關係，以及氣候變化引致之災害形態變化或過去不易發生之現象（緩坡坡面地滑等）變成容易發生等「非線性分析」或「現象變化分析」為關鍵詞而檢討之？
- 是否應彙整各災害之蛇形曲線（降雨強度與累積雨量之關係）與數據（誘因、土砂生產與流出過程、雨量、地質等）？若要廣泛彙整不只是彙整具特徵部份之數據，是否應挑選出例如喪生人數大於〇〇人之災害，彙整主要致災原因之土砂移動現象（土砂與洪水氾濫、單發土石流等）以及災害發生時的蛇形曲線？
- 今後具較大影響性的降雨方式，是否為2017年九州北部豪雨突發性強降雨以及2018年7月大範圍長時間降雨這二種類型？
- 是否應檢討土砂與洪水氾濫、深層崩塌發生時的蛇形曲線形狀以及與CL(土砂災害危險基準值/臨界線Critical Line)之位置關係？此時類似深層崩塌之情況，總雨量很大時土壤雨量指數達到上限，因此，有效雨量是否也是很好的探討方法？
- 土砂大量淤積、埋沒之山谷所流出土砂較容易發生在有基岩且地下水大量流出之地點，因此是否應檢討可以分析聲音的技術，找出這些地點？
- 湧水也可能引致緩坡坡面崩塌，因此是否應以湧水作為指標，來瞭解警戒區域外之是否有危險性？
- 類似群馬縣富岡市內匠地區崩塌性地滑火山灰堆積地點之坡面災害，可能殘存火山灰之緩坡坡地且風化進行中的地點危險性較高。此時是否能依據過去火山噴發史等，調查火山灰的堆積範圍、厚度、坡面坡度，事先評估其危險性？

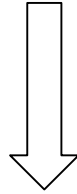
檢討會議預訂時程

檢討會議預訂時程

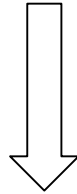
- | | |
|------------|---|
| 2019年12月9日 | 現地調査暨意見交換會議 |
| 2020年1月8日 | 第1次檢討會議 <ul style="list-style-type: none">• 嚴重化及具增加潛勢之土砂移動現象• 彙整後續檢討方向 |
| 2020年3月左右 | 第2次檢討會議 <ul style="list-style-type: none">• 彙整調查與研究方法（案）<ul style="list-style-type: none">→ 試辦調查與研究（4月～） |
| 2020年12月左右 | 第3次檢討會議 <ul style="list-style-type: none">• 彙整調查與探討方法<ul style="list-style-type: none">→ 納入技術基準類• 彙整調查與研究計畫<ul style="list-style-type: none">→ 推動調查與研究 |

本日之內容

- 【資料2】 土砂災害對策相關氣候變遷調適對策推動現況
- 【資料3】 因應氣候變遷檢討土砂災害對策之應解決課題



- 【資料4】 近年來伴隨豪雨發生的具象徵意義土砂災害
2019年10月第19號颱風伴隨產生之土砂災害（丸森町、富岡市）
- 【資料5】 氣候變遷災害災害環境之影響預測

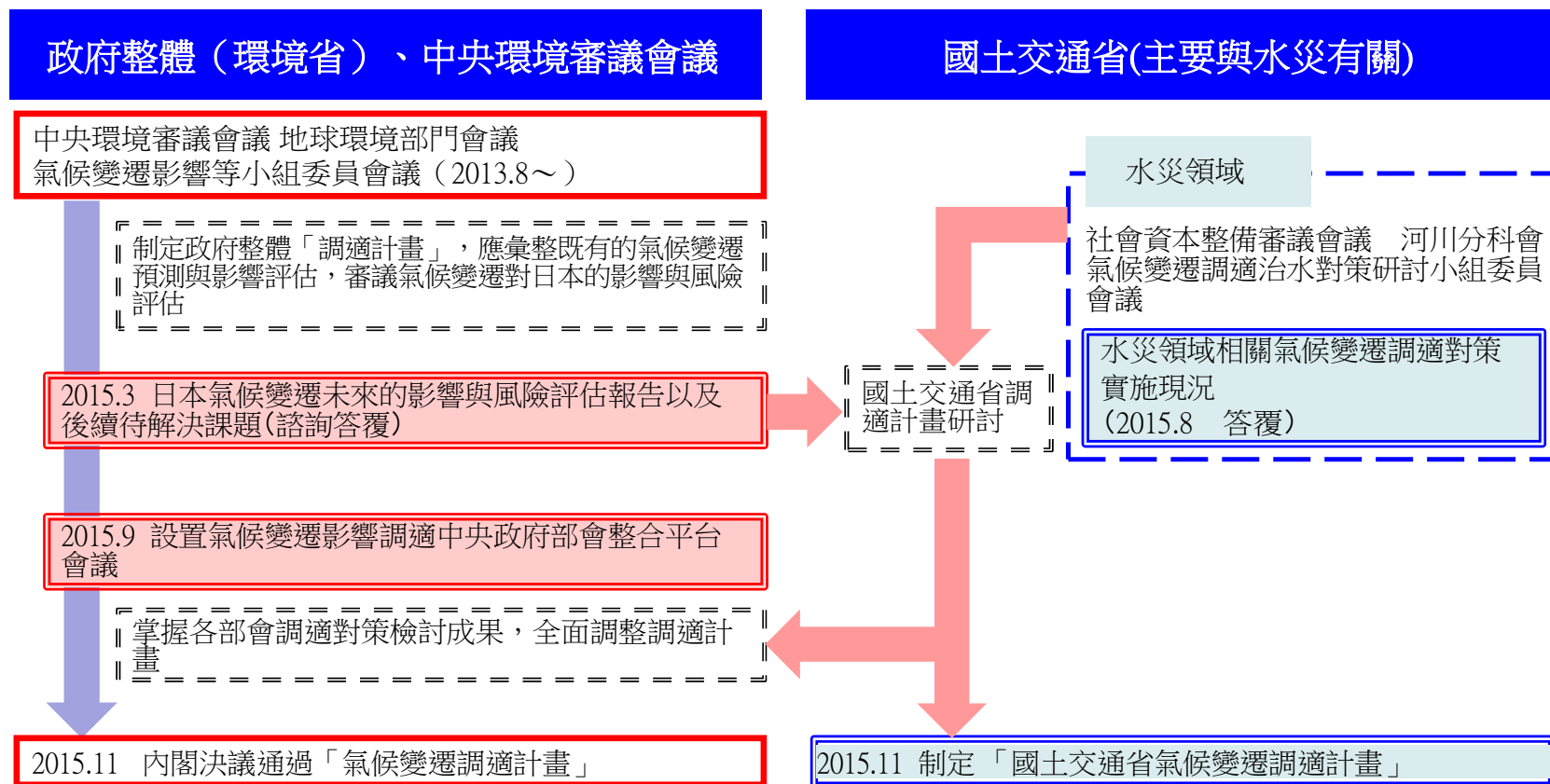


- 【資料6】 後續檢討方向

土砂災害對策相關氣候變遷調適對策推動現況

氣候變遷調適對策推動最新進度（水管理暨國土保全局砂防部）

- 2015年8月「氣候變遷調適治水對策檢討小組委員會議」答覆砂防相關對策措施的「水災領域相關氣候變遷調適對策實施現況」諮詢，並於2015年11月制定「氣候變遷影響調適計畫」，完成防砂對策措施定位。（以下流程圖）
- 2018年11月，在依據同年6月完成立法的氣候變遷調適法制訂「氣候變遷調適計畫」，其中也完成相同宗旨的防砂相關對策定位。
- 今日在本年11月設置的「因應氣候變遷水災對策檢討小組委員會議」，檢討因應氣候變遷水災對策實施現況。



氣候變遷調適計畫之土砂災害調適基本對策措施

- 氣候變遷調適計畫（2018年11月27日，內閣通過）制定氣候變遷對土砂災害的影響，以及土砂災害調適基本對策措施。

○氣象變化

模式①

突發性局部大雨增加

模式②

短延時強降雨與大雨增加

模式③

颱風帶來大雨增加

○對土砂災害的影響

- ・ 開始降雨到發生土砂災害時間縮短（模式①）
- ・ 土砂災害發生頻率提高（模式②）
- ・ 超過計畫規模之土砂災害增加（模式②、③）
- ・ 深層崩塌等增加（模式②、③）

○基本對策措施

- | | |
|----------------------|----------------|
| ①土砂災害發生頻率增加對策 | ⑥土石流跨越流域界限現象對策 |
| ②對於預警時間短的土砂災害之警戒避難對策 | ⑦漂流木災害對策 |
| ③超過計畫規模土砂移動現象對策 | ⑧上游的區域管理 |
| ④深層崩塌等的對策 | |
| ⑤不明坑溝地形地點之土砂災害對策 | |

模式① 突發性局部降雨 增加

- 主要是單獨積雨雲造成局部強降雨。
- 數小時內的現象。
- 1km～10數km
- 難以預測。

模式② 豪雨增加

- 主要是鋒面與低氣壓引致降雨。
- 數小時～1、2日之現象。
- 10km～100km左右
- 1日～數日前可大致預測。

模式③ 颱風造成破紀錄等級 的降雨雨量增加

- 颱風強度提高，出現超過1,000mm破紀錄降雨。

模式④ 颱風規模與強度 提高

- 最大風速超過45m/s的強烈颱風。

對土砂災害等的影響

- 開始降雨到發生土砂災害的時間縮短（模式①）
- 土砂災害發生頻率提高（模式②）
- 超過計畫規模之土砂災害增加（模式②、③）
- 0級序河川、深層崩塌、土砂越過山脊形成的土砂災害（模式②、③）
- 漂流木災害增加（模式②、③、④）

氣候變遷對土砂災害等的影響

- 開始降雨到發生土砂災害為止的時間縮短（模式①）
- 土砂災害發生頻率提高（模式②）
- 超過計畫規模之土砂災害增加（模式②、③）
- 0級序河川、深層崩塌、土砂越過山脊發生之土砂災害（模式②、③）
- 漂流木災害增加（模式②、③、④）

開始降雨到發生土砂災害 為止的時間縮短

- 推動硬體對策
- 強化警戒避難體制
- 提升土砂災害警報內容
- 活用SNS（社群網絡服務）等新資訊技術
- 居民自主性避難
- 有效應用清淤等所增加的庫容

土砂災害發生頻率提高

- 推動硬體對策
- 強化警戒避難體制
- 提升土砂災害警報內容
- 活用SNS（社群網絡服務）等新的資訊技術
- 有效應用清淤等所增加的庫容

0級序河川、深層崩塌、土砂越過山脊沖 溝形成的土砂災害

- 檢討0級序河川土砂災害對策
- 檢討土砂越過山脊沖溝形成災害對策
- 檢討深層崩塌對策
 - 整合軟硬體對策
 - 強化國土監測技術
 - 強化對自治體的支援（派遣「防止深層崩塌引致二次災害專家」等）

超過計畫規模之土砂災害增加

- 強而有力發揮減災效果之設施整備

漂流木災害增加

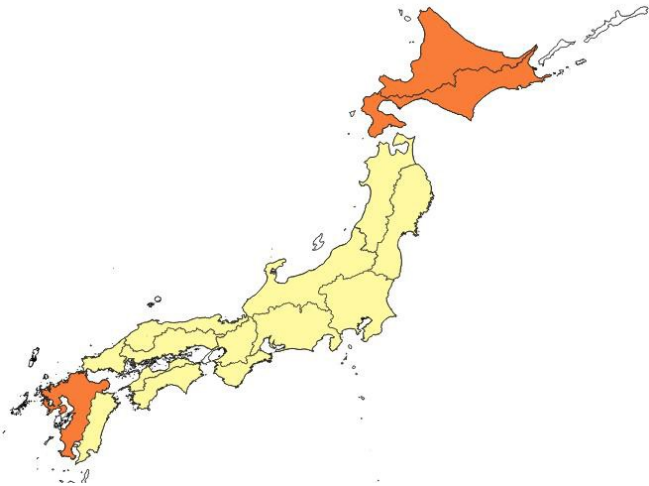
- 應用透過型防砂壩、設置漂流木攔阻設施
- 上中下游綜合實施漂流木對策

氣候變遷伴隨之降雨量與洪水發生頻率變化

- 氣溫上升 2℃ 時的降雨量變化倍率，3 個地區為 1.15 倍，其他 12 地區 1.1 倍；上升 4℃ 時的降雨量變化倍率，3 地區為 1.4 倍，其他 12 地區估算為 1.2 倍。
- 上升 4℃ 時小流域與短延時降雨影響較大，須另設降雨變化倍率。

<不同地區之降雨量變化倍率>

地區劃分	2℃ 上升 (暫定)	4℃ 上升	
			短時間
北海道北部、北海道南部、九州北西部	1.15	1.4	1.5
其他 12 地區	1.1	1.2	1.3
全國平均	1.1	1.3	1.4



※ 上升 4℃ 的降雨量變化倍率之中，「短延時」指降雨持續時間大於 3 小時而小於 12 小時

<參考> 依據降雨量變化倍率算出的洪水變化倍率與洪水發生頻率變化

氣候變遷情境	降雨量	流量	洪水發生頻率
RCP2.6 (相當於上升 2℃)	約 1.1 倍	約 1.2 倍	約 2 倍
RCP8.5 (相當於上升 4℃)	(約 1.3 倍)	(約 1.4 倍)	(約 4 倍)

※ 降雨變化倍率係相對於 20 世紀末 (過去試驗) 的 21 世紀末 (未來實驗) 時間點、一般水系治水計畫目標規模 (1/100~1/200) 降雨量變化倍率平均值
※ RCP8.5 (相當於上升 4℃) 時的降雨量變化倍率係以模擬的 d4P D F 數據所試算全球平均氣溫比產業革命前升高 4℃ 時狀況
※ 流量變化倍率係依據乘以降雨量變化倍率之降雨所算出、一般水系治水計畫目標規模 (1/100~1/200) 流量變化倍率平均值
※ 洪水發生頻率變化倍率為一般水系治水計畫目標規模 (1/100~1/200) 降雨之現在與未來發生頻率變化倍率平均值
(例如，某降雨量發生頻率目前為 1/100，若未來發生頻率變成 1/50，代表洪水發生頻率變化倍率 2 倍)

因應氣候變遷檢討土砂災害對策之應解決課題

「氣候變遷調適計畫」記載

氣候變遷調適計畫【領域別對策措施：自然災害與沿岸區域】（2018.11 內閣通過）

○海平面上升、土砂與漂流木影響檢討會議～（略）～，**檢討氣候變遷伴隨產生土砂與漂流木流出量之變化等。**

「社會資本整備審議會議 河川分科會議 因應大規模廣域豪雨水災對策 檢討小組委員會議」所指出之問題

- 「因應大規模廣域豪雨水災對策檢討小組委員會議」的答覆「因應大規模廣域豪雨水災對策實施現況～複合性災害也須有多層次緊急對策～」之中記載，應緊急實施對策之一為『釐清土砂與洪水氾濫發生機制進而開發災害推估與風險評估方法』。

「因應大規模廣域豪雨水災對策檢討小組委員會議」答覆（2018.12）

4. 應緊急實施之對策

(4)推動技術研究開發

① 風險評估精密化

○釐清各種水災的發生機制

釐清土砂與洪水氾濫發生機制進而開發災害推估與風險評估方法。此外，為支援、確保地區緊急避難地點，應依據人命攸關概念持續檢討土砂警戒區域內相對性風險評估方法。

「確保有實效避難土砂災害對策檢討委員會會議」點出之問題

- 「確保有實效避難土砂災害對策檢討委員會會議」提到確保有實效避難應實施土砂災害對策之基本構想及今後應實施對策的氣候變遷調適。

「確保有時效性避難土砂災害對策檢討委員會會議」報告書（R1.5）

3 確保有時效性避難土砂災害對策實施基本構想

地球暖化影響未來可能引致土砂災害大規模與多發化，並縮短降雨開始到發生土砂災害時間，調適時須適度提升影響預測技術，強化軟硬體對策與培育相關研究與技術人員。

4 確保有實效性避難應實施之政策措施

(6) 其他因應2018年7月豪雨土砂災害特徵之對策實施狀況

- 氣候變遷引致集中豪雨增加，為提升容易產生土砂與洪水氾濫之條件的設定方法、掌握有土砂生產量增加基本原因環境之地區的土砂生產量推估方法以及影響範圍推估方法等的，應參考工作小組意見，深入檢討。

既有防砂壩的災害風險

- 2018年7月豪雨引致戰後不久施築之砌石防砂壩受災案例。※
- 氣候變遷既有設施災害風險提高，應加強外力評估方法。
- ※ 之後成立專家學者等組成的檢核小組，分析致災原因並檢討全國各地塊石壘砌防砂壩補強與改建對策。全面行政通知地方政府風險資訊等的軟體對策、實施補強、改建等硬體對策。

■ 受災前



■ 受災後



土砂災害防止對策小組委員會議之討論

2019年12月24日 土砂災害防止對策小組委員會議（第1次）資料

考察

- 第19號颱風所造成人員傷害、住宅受損等土砂災害地點，約四成發生在未指定為土砂災害警戒區域之地點。
- 未指定為土砂災害警戒區域之理由有下列三種模式。

【未指定為土砂災害警戒區域之理由模式】

- ① 仍在基礎調查（現地確認）實施期間，尚未進入土砂災害警戒區域指定程序。
- ② 基礎調查地形圖判釋難以掌握該地點，但可能需要以更詳細的地形資料圈定之
- ③ 不符合現行土砂災害警戒區域指定標準（為陡坡或確認有明顯地滑地形之地點，或有明顯坑溝地形之地點）者

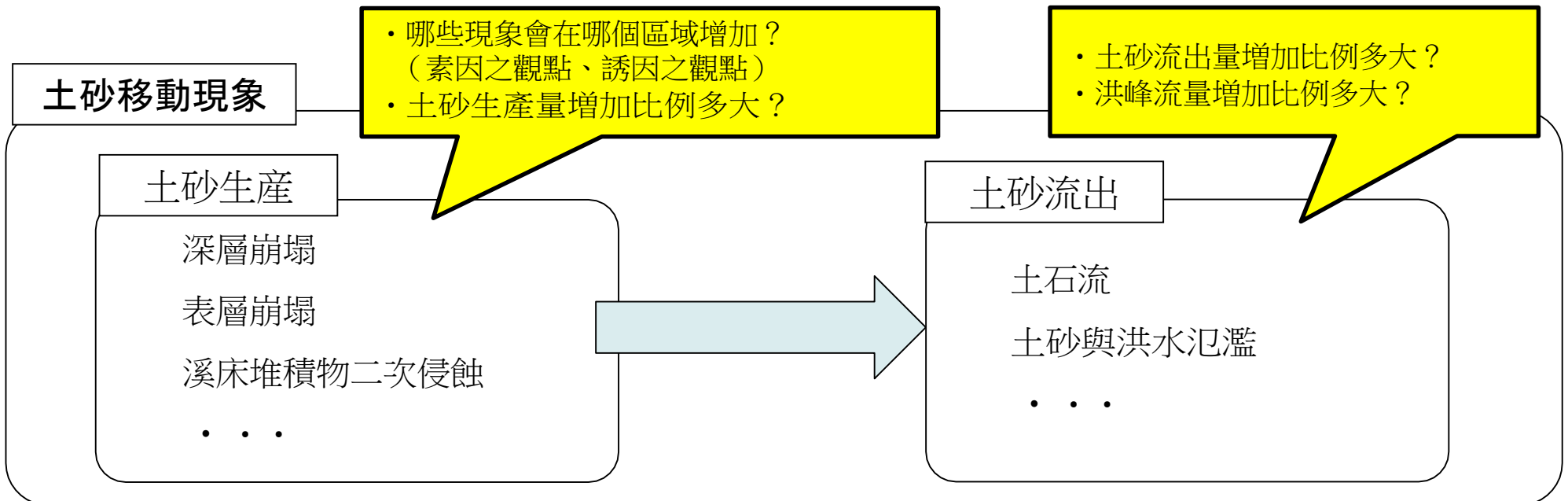
因應氣候變遷土砂災害對策應檢討課題

- 「因應氣候變遷治水計畫技術檢討會議」提案（2019年10月），推估氣候變遷引致大氣溫度上升 2°C 情境^{※1}時，降雨量為1.1倍（暫定），流量變成1.2倍（暫定）。
※1 IPCC所設定之RCP2.6（低溫室氣體排放情境）
- 氣候變遷雨量增加引致前所未見的大規模土砂移動風險。
- 擬訂有實效調適對策（軟硬體對策）時，哪種土砂移動現象會在哪裡以多高頻率發生，以及規劃、設計土砂生產量等之外力增加比率，應建立評估方法。



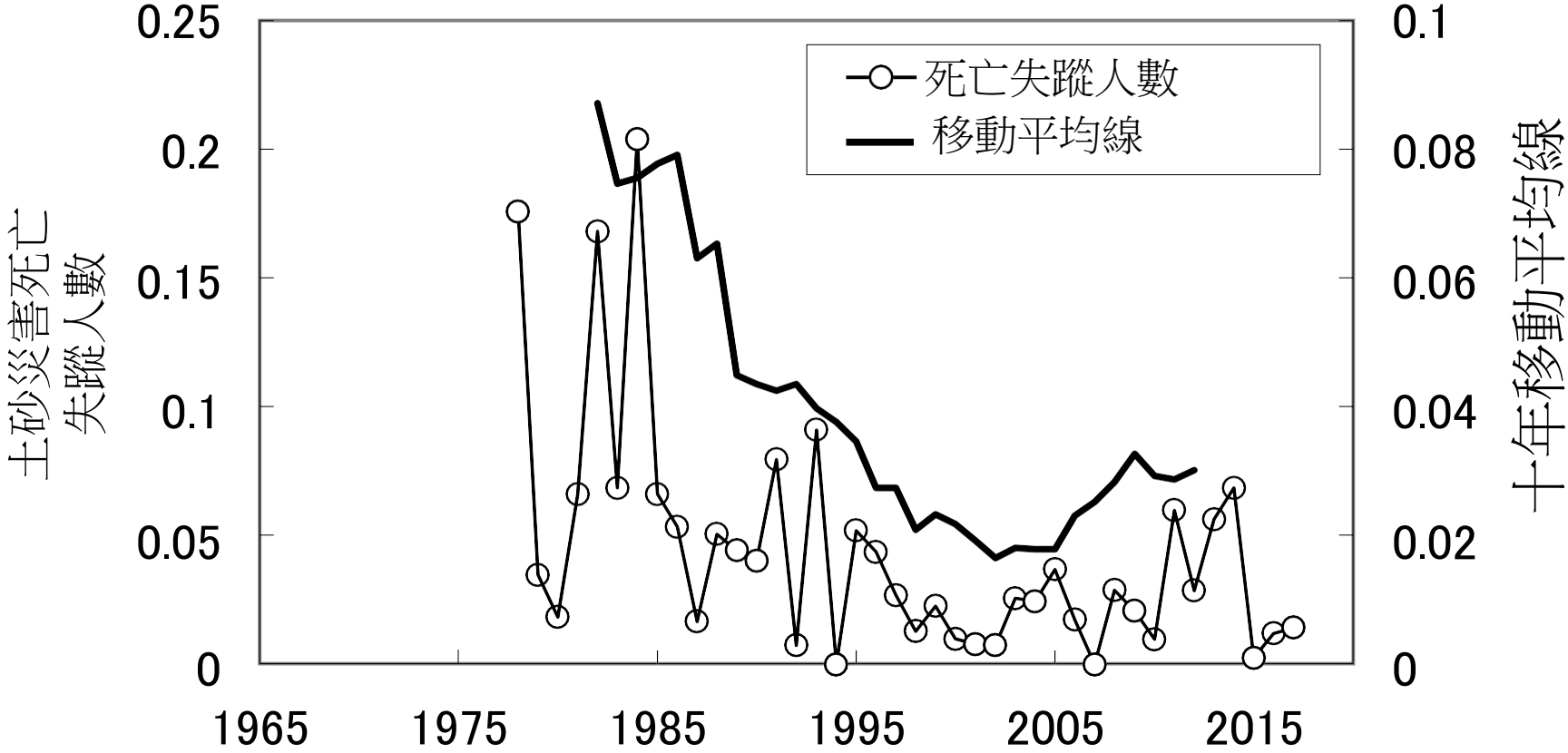
因應氣候變遷土砂災害對策應檢討課題

- 應依據目前的技術水準處理下列三項課題：
 - 依據河川暨防砂技術基準等規範外力條件之概念
 - 依據土砂災害防止法，指定「崖崩」、「地滑」、「土石流」土砂災害潛勢地點為土砂災害警戒區域等。
 - 發布土砂災害發生時期相關之土砂災害警報
- 氣候變遷下降雨改變問題之對應，應檢討下列事項，並納入技術基準。
 - 降雨量增加是否造成哪些更明顯或規模更大的土砂移動現象？
 - 所生產土砂量等規劃設計之外力改變多大？



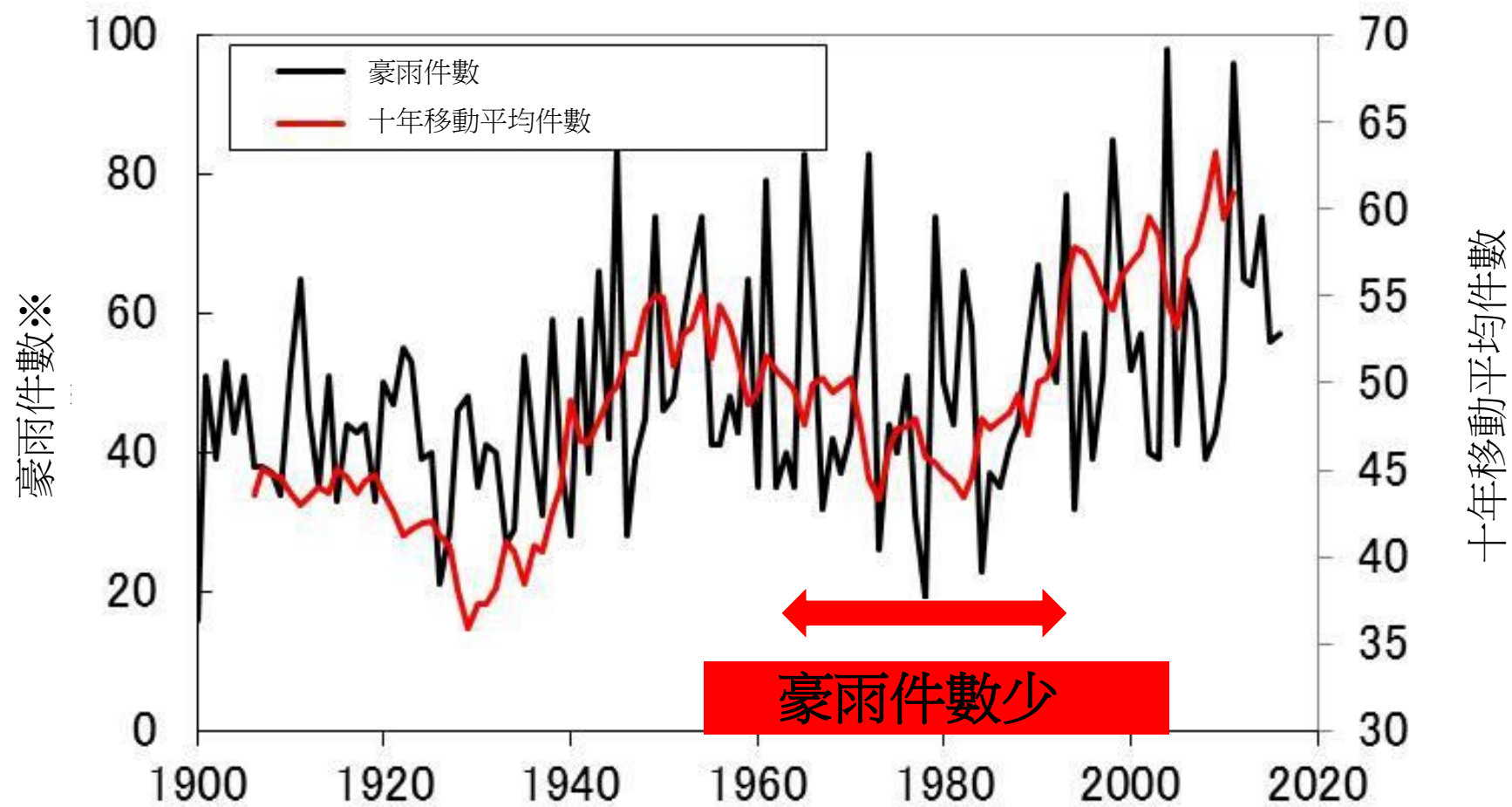
近年來伴隨豪雨發生的具象徵意義土砂災害

近年來**件別**土砂災害死亡失蹤人數變化



(内田等, 2017)

1900年之後豪雨件數變化圖



※日降雨量大於100mm之件數

(内田等, 2017)

氣候變遷可能引致更明顯、規模更大的土砂移動現象

- 大量發生破紀錄降雨伴隨表層崩塌，造成土石流、土砂與洪水氾濫等。
- 過去較少案例深層崩塌與緩坡坡面崩塌性地滑潛勢提高。

編號	災害名稱 (代表性發生地點)	災害誘因	土砂生產 過程	流出過程	雨量	地質
1	2019年第19號颱風 (宮城縣伊具郡丸森町)	第19號颱風	表層崩塌	土石流、土砂與 洪水氾濫	累積雨量607.5mm	花崗閃長岩、 花崗岩※
2	" (群馬縣富岡市內匠)	"	崩塌性地滑	崩塌性地滑	連續雨量494.5mm 時間雨量 48.5mm	階地淤積物※
3	2018年7月豪雨 (廣島縣安藝郡坂町小屋浦、 廣島縣吳市天應西條)	第7號颱風及 梅雨鋒面	表層崩塌	土石流、土砂與洪 水氾濫	累積雨量 676mm	花崗岩類
4	2017年7月九州北部豪雨 (福岡縣朝倉市杷木)	第3號颱風及 梅雨鋒面	表層崩塌	土石流、土砂與 洪水氾濫	累積雨量 829mm 時間雨量 124mm	花崗岩類、泥質 片岩、新第三紀 火成岩等
5	2016年第10號颱風 (北海道清水町)	第10號颱風 等	表層崩塌、 溪床淤積物 之侵蝕	土石流、土砂與 洪水氾濫	連續雨量超過500mm	花崗岩、花崗閃 長岩等
6	2016年第10號颱風 (岩手縣岩泉町)	第10號颱風 等	表層崩塌、 溪床淤積物 侵蝕	土石流、土砂與 洪水氾濫	最大日雨量194.5mm 時雨量 62.5mm	燧石、黏板岩、 頁岩、砂岩、花 崗岩、石灰岩

氣候變遷可能引致更明顯、規模更大的土砂移動現象

- 大量發生破紀錄降雨伴隨表層崩塌，造成土石流、土砂與洪水氾濫等。
- 過去較少案例深層崩塌與緩坡坡面崩塌性地滑潛勢提高。

編號	災害名稱 (代表性發生地點)	災害誘因	土砂生產 過程	流出過程	雨量	地質
7	2014年8月豪雨災害 (廣島縣廣島市安佐南區、安佐北區)	第12號、11 號 颱風及梅雨 鋒面	表層崩塌	土石流	累積雨量 247mm 時雨量 87mm	花崗岩類、 沉積岩類
8	2013年第26號颱風 (東京都大島町元町)	第26號颱風	表層崩塌	泥流	累積雨量 824mm 時雨量 118.5mm	火山灰落堆積物
9	2012年7月九州北部豪雨 (熊本縣阿蘇市)	梅雨鋒面	表層崩塌	土石流	累積雨量816.5mm 時雨量 108mm	火山岩類、 火山碎屑流堆積物
10	2011年第12號颱風 (奈良縣五條市等)	第12號颱風	深層崩塌	土石流、河道阻 塞、土砂與洪水 氾濫	累積雨量1812.5mm 時雨量 46mm	增積岩體 (增生柱)
11	2009年7月中國、九州北部 豪雨 (山口縣防府市)	梅雨鋒面	表層崩塌	土石流、土砂與 洪水氾濫	累積雨量264mm 時雨量 51mm	花崗岩類、變質 岩類

2009年7月 中國地方與九州北部豪雨引致土砂移動現象

- 2009年梅雨鋒面豪雨引致中國地方等大範圍土砂災害，發生多起表層崩塌與土石流。
- 雨量方面，真尾觀測所測得連續雨量264mm，最大時雨量51mm。
- 災區地質主要為花崗岩類、變質岩類（古川等，2009）。

連續雨量：264mm
最大時雨量：51mm
真尾觀測所（國土交通省）

土石流發生時的
降雨狀況

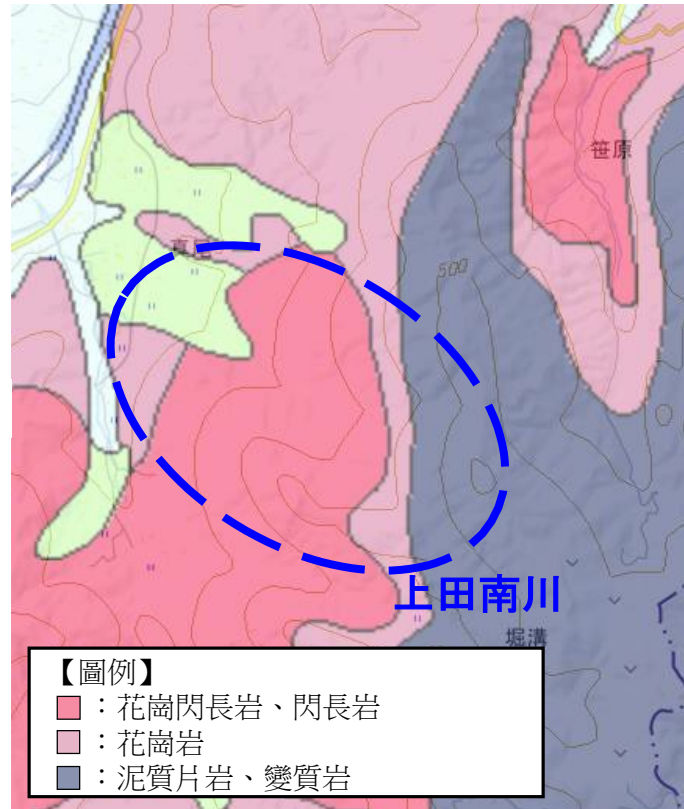
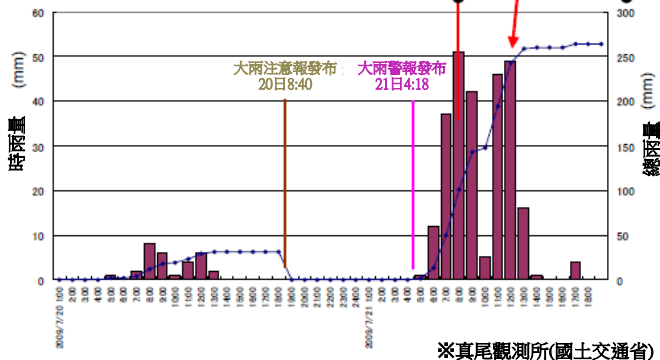
土砂災害警報（防府市）

土石流發生（日間）

發布 21日7:40
解除 22日8:15

大雨注意報發布 20日8:40

大雨警報發布 21日4:18



出處：產總研地質調查總合中心，地質圖Navi（20萬分之一日本無縫地質圖，背景地圖為地理院地圖）

山口縣防府市



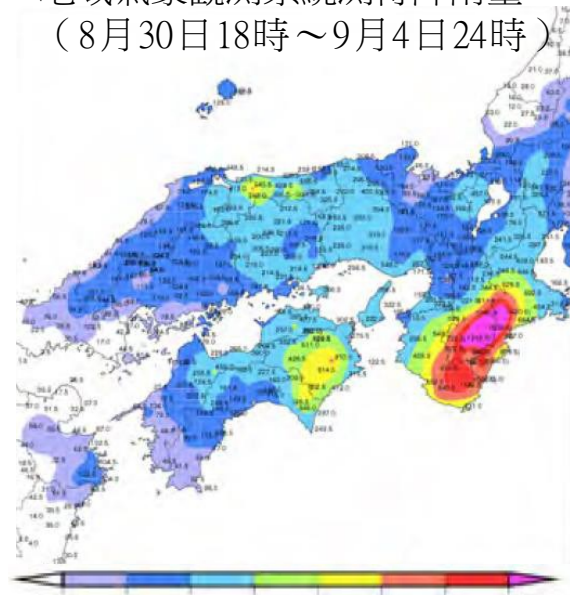
山口縣防府市真尾上田南川



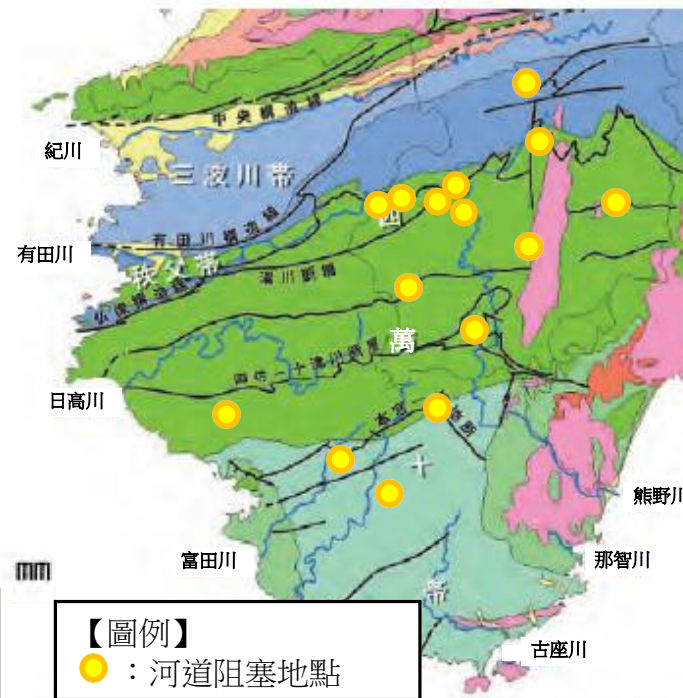
2011年颱風12號引致土砂移動現象

- 2011年第12號颱風引致紀伊半島同時發生數十處深層崩塌，奈良縣與和歌山縣形成十幾處堰塞壩（天然壩）。
- 雨量方面，上北山觀測所測得連續雨量1812mm，最大時雨量46mm。
- 四萬十帶之「增積岩體」地層，分布砂岩與泥岩互層（松村等，2012）。

地域氣象觀測系統測得降雨量
（8月30日18時～9月4日24時）



連續雨量：1812mm
最大時雨量：46mm
最大日雨量：661mm
奈良縣上北山觀測所
（氣象廳）



【圖例】

●：河道阻塞地點

洪積砂礫(含階地堆積物)	花崗岩類
砂岩、泥岩、礫岩等	結晶片岩類
砂岩、泥岩、礫岩等(綠色凝灰岩)	流紋岩類
砂岩、頁岩、礫岩等	
砂礫、黏土	
黏板岩、砂岩、燧石(輝綠凝灰岩)	

奈良縣五條市大塔町赤谷



奈良縣十津川村栗平

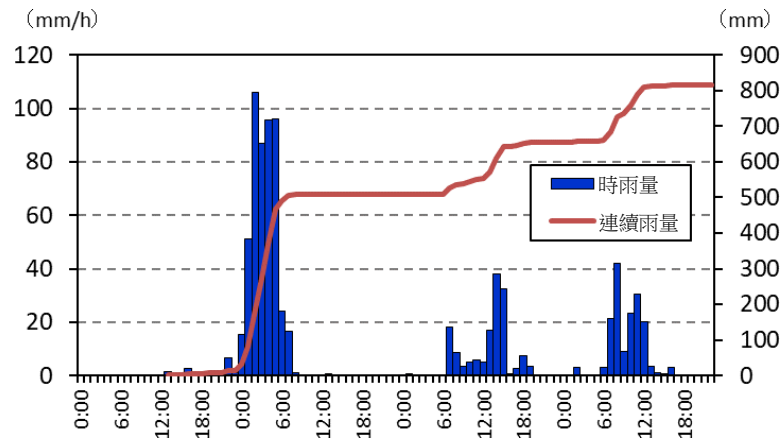


※河道阻塞發生地點係依據砂防部資料增刪而成

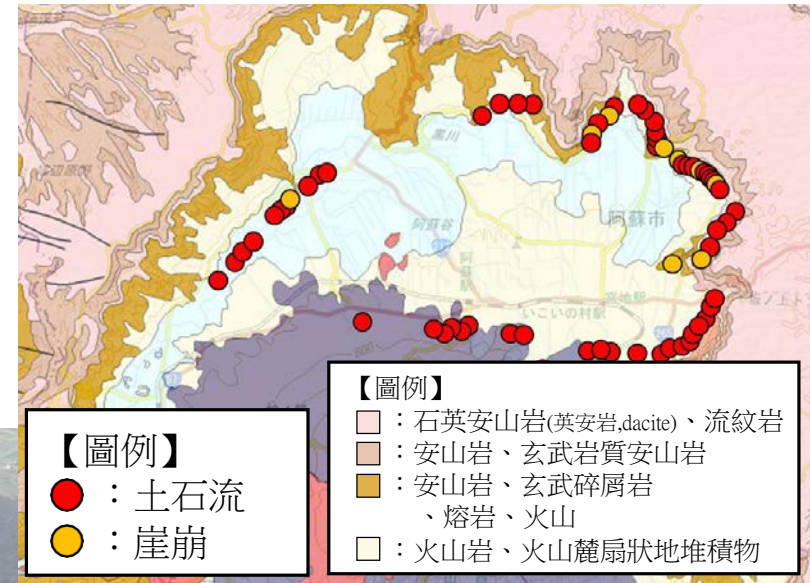
2012年7月九州北部豪雨引致土砂移動現象

- 2012年7月11日起梅雨鋒面持續豪雨，熊本縣阿蘇地方及周邊同時發生多起表層崩塌引致土石流等。
- 雨量方面，阿蘇市阿蘇乙姬總雨量816.5mm，最大時雨量108mm。
- 地質方面，破火山口牆為先阿蘇火山岩類之熔岩與火山碎屑岩及覆蓋其上之阿蘇火山碎屑流堆積物（久保田等，2012）。

連續雨量：816.5mm
最大時雨量：108mm
阿蘇乙姬（國土交通省）



熊本縣阿蘇市一之宮町坂梨

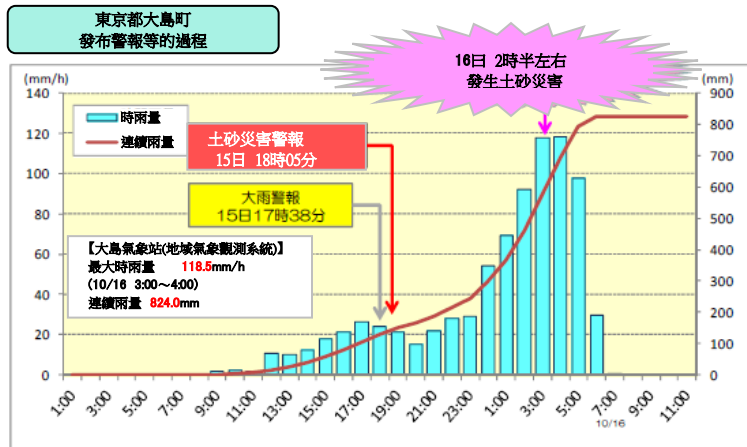


出處：產總研地質調查總合中心，地質圖Navi（20萬分之一日本無縫地質圖，背景地圖為地理院地圖）
※土石流與崖崩發生地點係依據砂防部資料增添而成

2013年第26號颱風 伊豆大島發生土砂移動

- 2013年第26號颱風豪雨火山地區大規模泥流引致嚴重災害。
- 大島氣象站測得連續雨量824mm，最大時雨量118.5mm。
- 地質由地表往下覆蓋暗色火山土化火山灰、火山渣、壤土火山灰落堆積物堆積前之地形（由基礎熔岩及其上層發泡火山渣層）（石川等，2014）。

連續雨量：824mm
最大時雨量：118.5mm
大島氣象站（地域
氣象觀測系統）



東京都大島町元町大金澤

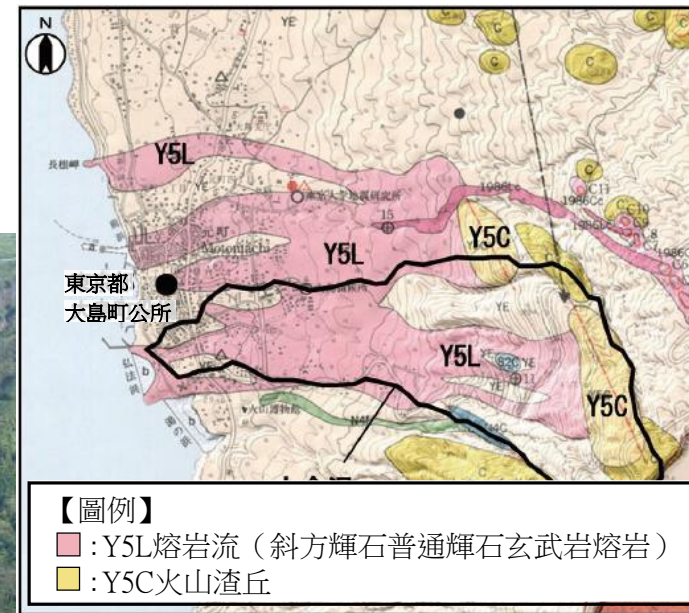


圖 大金澤周邊地區的地質（出處：依據「伊豆大島火山地質圖」川邊，1998年修改），（石川等，2014）
圖例依據石川等（2014）作品完成

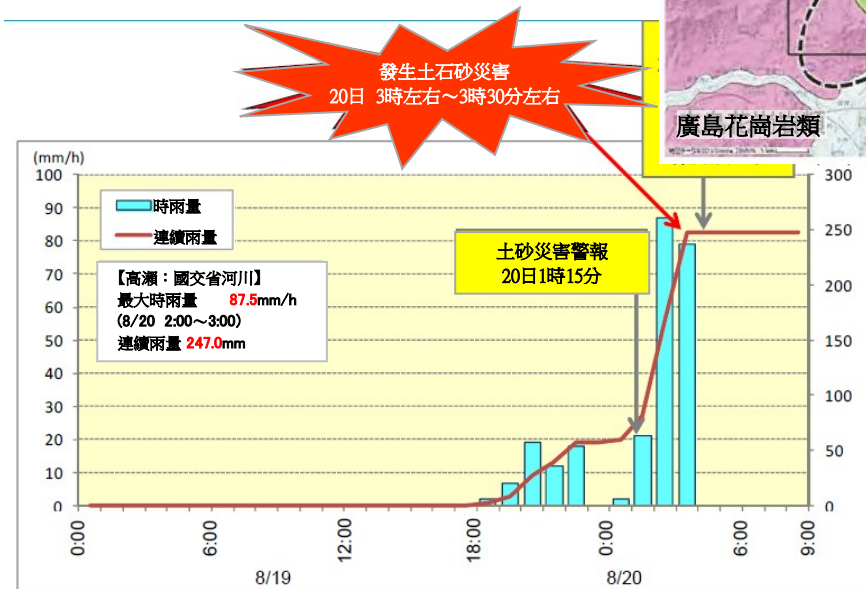
2014年8月豪雨災害引致土砂移動現象

- 8月16日起廣島縣及周邊地區大雨，同時引致多起表層崩塌與土石流。
- 高瀨氣象站測得連續雨量247mm，最大時雨量87mm。
- 地質方面，災區周邊廣泛分布廣島花崗岩類，部份為高田流紋岩類或角頁岩化沉積岩類（侏羅紀增積岩體）（海堀等，2014）。

連續雨量：247mm
最大時雨量：87mm
高瀨氣象站（國土交通省）



圖 災區周邊無縫地質圖（海堀等、2014）
(<https://gbank.gsj.jp/seamless/>)



※8/1～8/18雨量: 289.0mm

※8/19 11:00～18:00無數據



2016年第10號颱風引致土砂移動現象

- 北海道十勝川2016年第7號、第11號、第9號颱風相繼登陸，造成水災與土砂災害，後續又有第10號颱風接近，也在十勝、上川、日高等地區造成水災與土砂災害。
- 日高山脈與大雪山系部份地區總雨量超過500mm（小山内等，2017）。
- 地質方面，狩勝嶺附近經由日勝嶺到達芽室岳東側的劍山，東西長約5 km、南北長約3.5 km範圍，分布花崗岩、花崗閃綠岩、閃綠岩、石英閃長岩（小山内等，2017）。

連續雨量：超過500mm

依氣象廳地域氣象觀測系統及北海道開發局管轄河川與道路遙測雨量計觀測結果製成

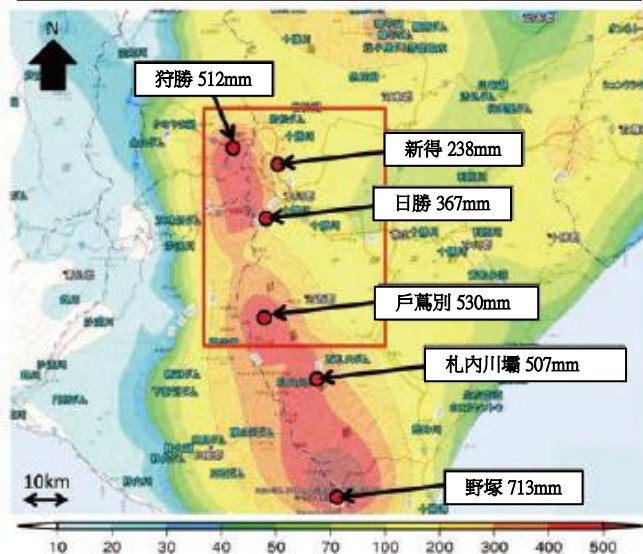


圖 日高山脈周邊降雨分布圖（圖中紅框為圖－8，9之概略範圍）（小山内等，2017）

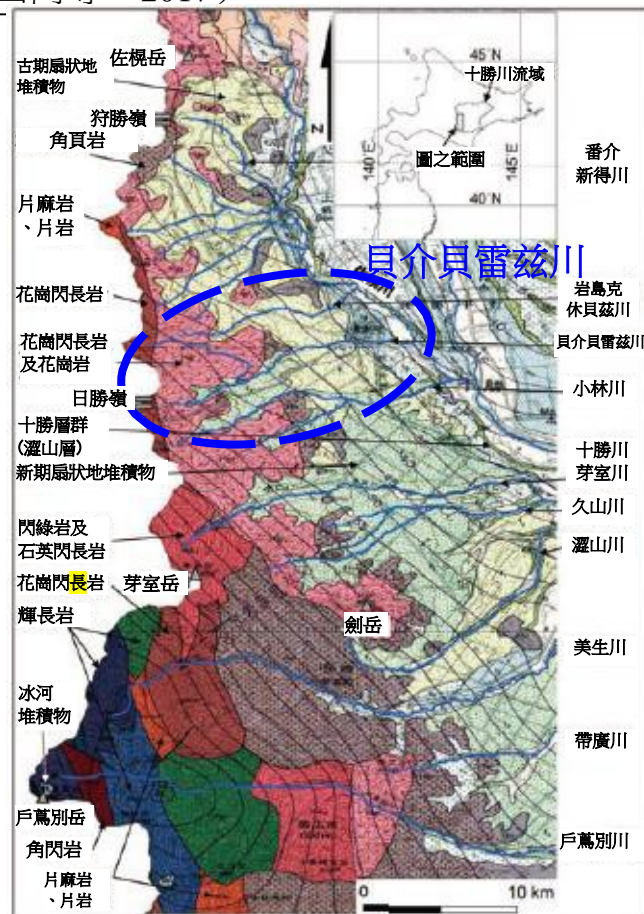


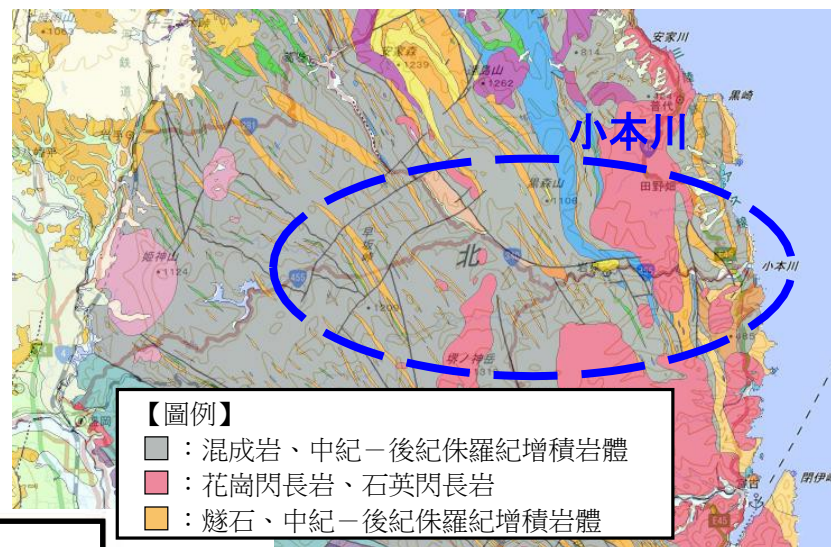
圖 十勝平原西部河川與地質圖（地質分布依據中川等（1996）作品完成）（小山内等，2017）



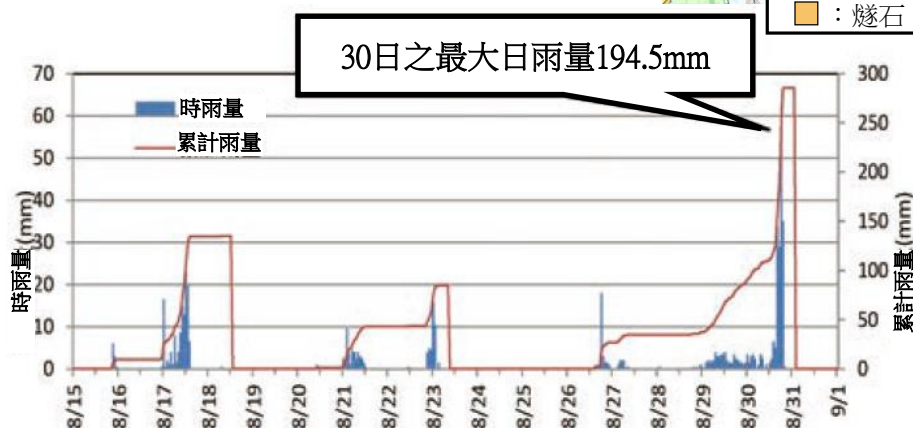
2016年第10號颱風引致土砂移動現象

- 8月30日，岩手縣北上山地東側岩泉町、宮古市、久慈市等第10號颱風集中豪雨引致溪床侵蝕、形成土砂流與漂流木流。
- 岩泉觀測所測得最大日雨量194.5mm，最大時雨量62.5mm（井良澤等，2017）。
- 地質由燧石、黏板岩、頁岩、砂岩、花崗岩、石灰岩等構成（井良澤等，2017）。

最大日雨量：194.5mm
最大時雨量：62.5mm
岩泉觀測所（氣象廳）



出處：產總研地質調查總合中心，地質圖Navi（20萬分之1日本無縫地質圖，背景地圖為地理院地圖）



出處：國土地理院

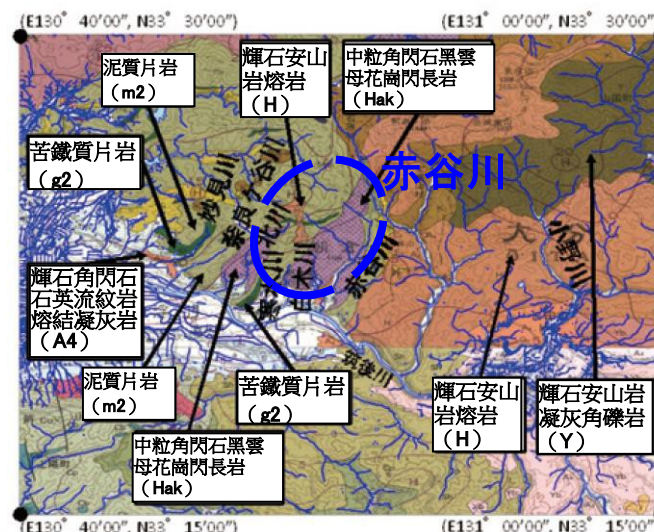
2017年7月九州北部豪雨引致土砂移動現象

- 7月5日大雨引致土砂災害，福岡縣朝倉市一帶嚴重災害。赤谷川上游區域同時多起表層崩塌造成土砂崩落與洪水氾濫、土石流。
- 北小路公民館測得24小時雨量829mm，最大時雨量124mm。
- 地層為真砂土化花崗岩類與風化泥質片岩與新第三紀火山岩脆弱地質（丸谷等，2017）。

24小時降雨量：829mm

最大時雨量：124mm

北小路公民館雨量數值（國土交通省）



○最大24小時降雨量829mm（～7月6日8時），最大時雨量124mm（7月5日）

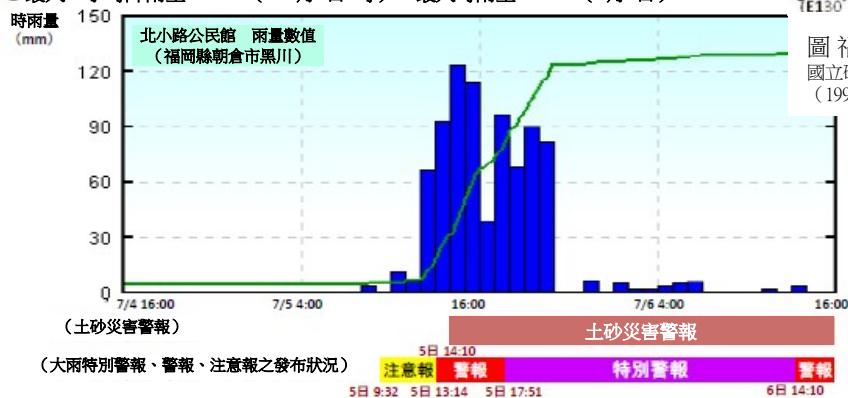


圖 福岡縣朝倉市、大分縣日田市周邊地質（丸谷等，2017）
國立研究開發法人産業技術總合研究所地質調查總中心發行之20萬分之1地質圖2）福岡（1993年）與熊本（2004年）●：四隅之座標（丸谷等，2017）

2018年7月豪雨引致土砂移動現象

- 7月5日起梅雨鋒面豪雨，西日本為主許多地區同時發生多起表層崩塌、土砂崩落與洪氾、土石流、崖崩、地滑。
- 野呂川水壩累計雨量676mm。
- 地質多半為花崗岩類且多有風化嚴重特徵（海堀等，2018）。

累計雨量：676mm
野呂川壩雨量數值（國土交通省）

【降雨狀況與土砂災害警報等的發布狀況】（廣島縣吳市）

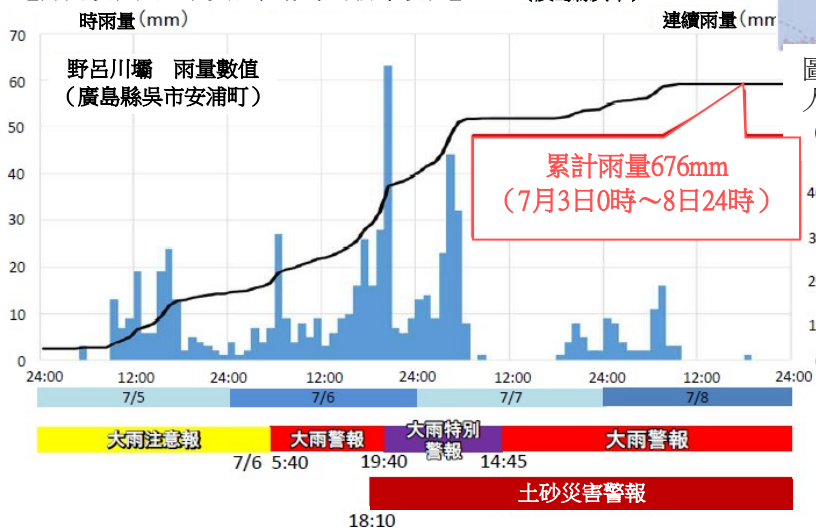


圖 地質圖（地質圖Navi：國立研究開發法人產業技術綜合研究所<https://gbank.gsj.jp/geonavi/>）（海堀等、2018）

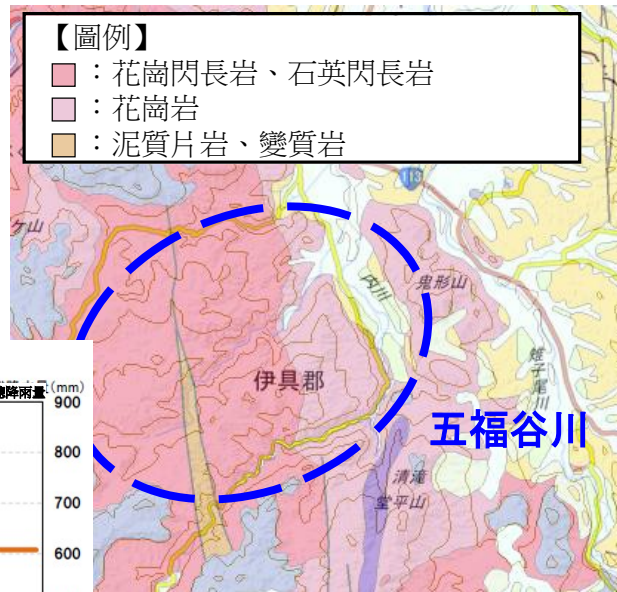


2019年第19號颱風引致土砂移動現象

- 2019年第19號颱風造成東日本等地20個都縣、超過950件土砂災害。
- 筆甫觀測所（氣象廳）測得累計雨量607mm。
- 地質參考日本無縫地質圖V2（產業技術總合研究所地質調查總合中心）資料，分布花崗閃長岩、花崗岩。

累計雨量：607.5mm

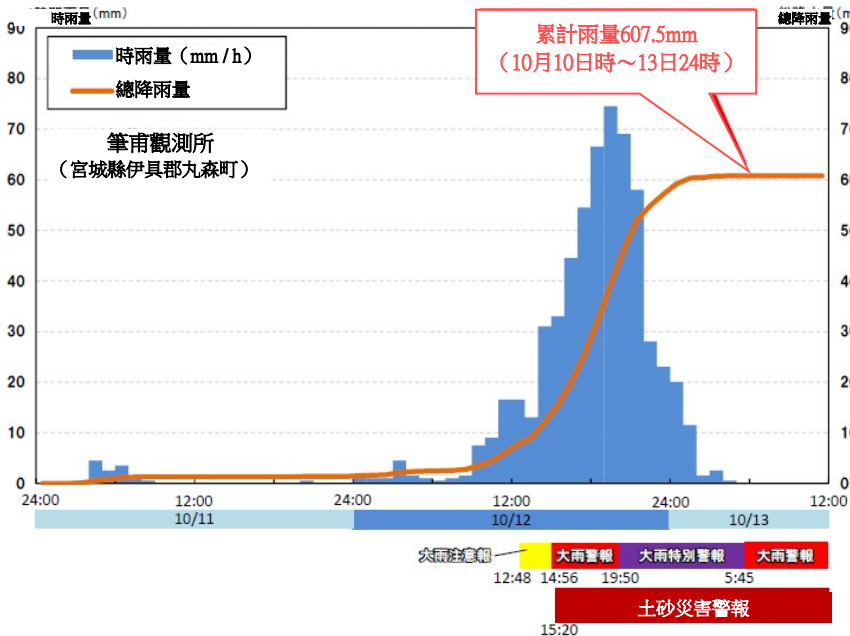
筆甫觀測所（氣象廳）



【降雨狀況與土砂災害警報等的發布狀況】

（宮城縣伊具郡丸森町）

累計雨量607.5mm
（10月10日時～13日24時）

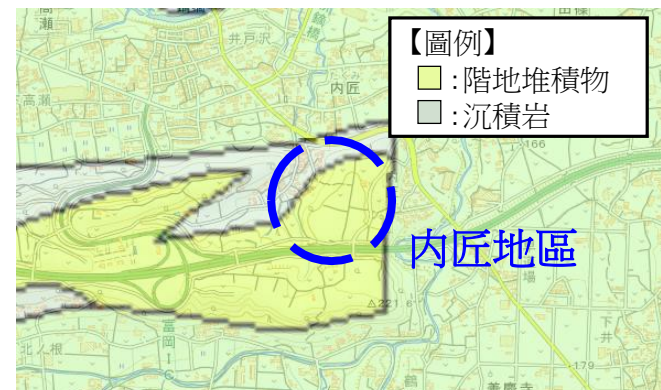
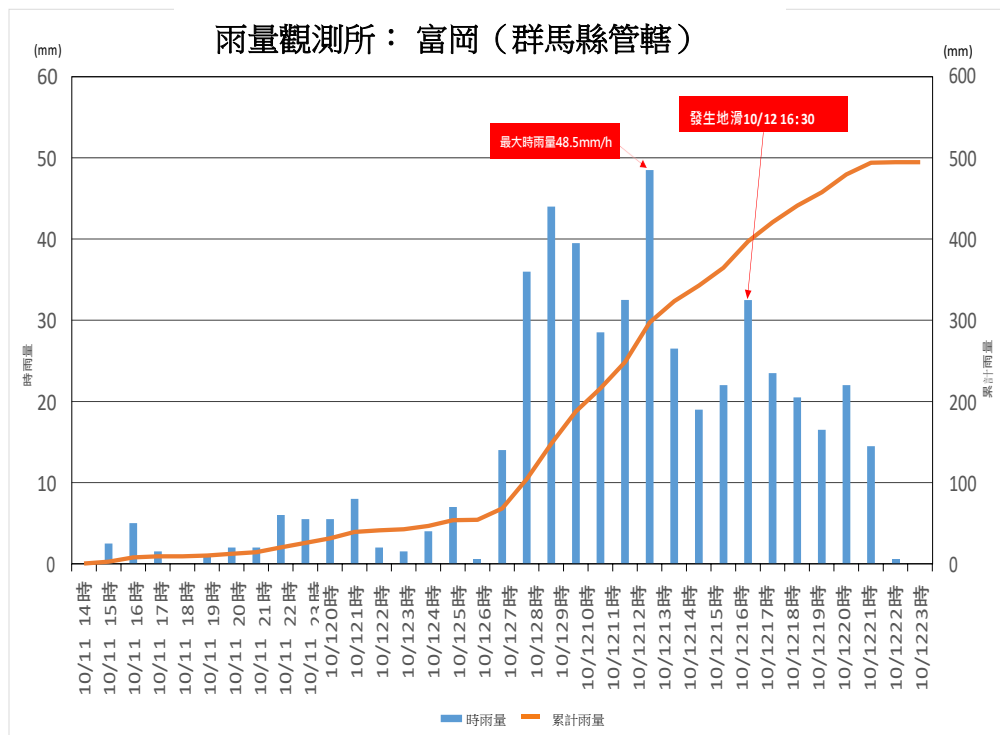


出處：産総研地質調査総合中心，地質圖
Navi（20萬分之1日本無縫地質圖，背景地
圖為地理院地圖）

2019年第19號颱風引致土砂移動現象

- 2019年第19號颱風造成東日本等地20個都縣、超過950件土砂災害。
- 富岡雨量觀測所測得連續雨量494.5mm，時雨量48.5mm。
- 地質依據日本無縫地質圖V2（產業技術總合研究所地質調查總合中心）資料，分布階地堆積物。

連續雨量：494.5mm
最大時雨量：48.5mm
富岡雨量觀測所（群馬縣管轄）



出處：產總研地質調查總合中心，地質圖Navi（20萬分之1日本無縫地質圖，背景地圖為地理院地圖）



攝影暨照片提供：PASCO股份公司

近年來同時多發表層崩塌與土石流引致土砂災害



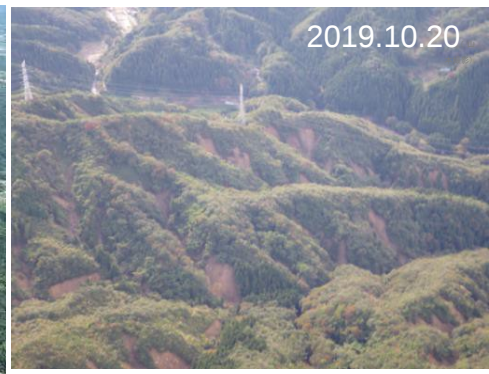
2009年7月中國地方與九州北部豪雨
(山口縣防府市)



2014年8月豪雨
(廣島縣廣島市)



2018年7月豪雨
(廣島縣吳市)



2019.10.20

2019年第19號颱風
(宮城縣丸森町)



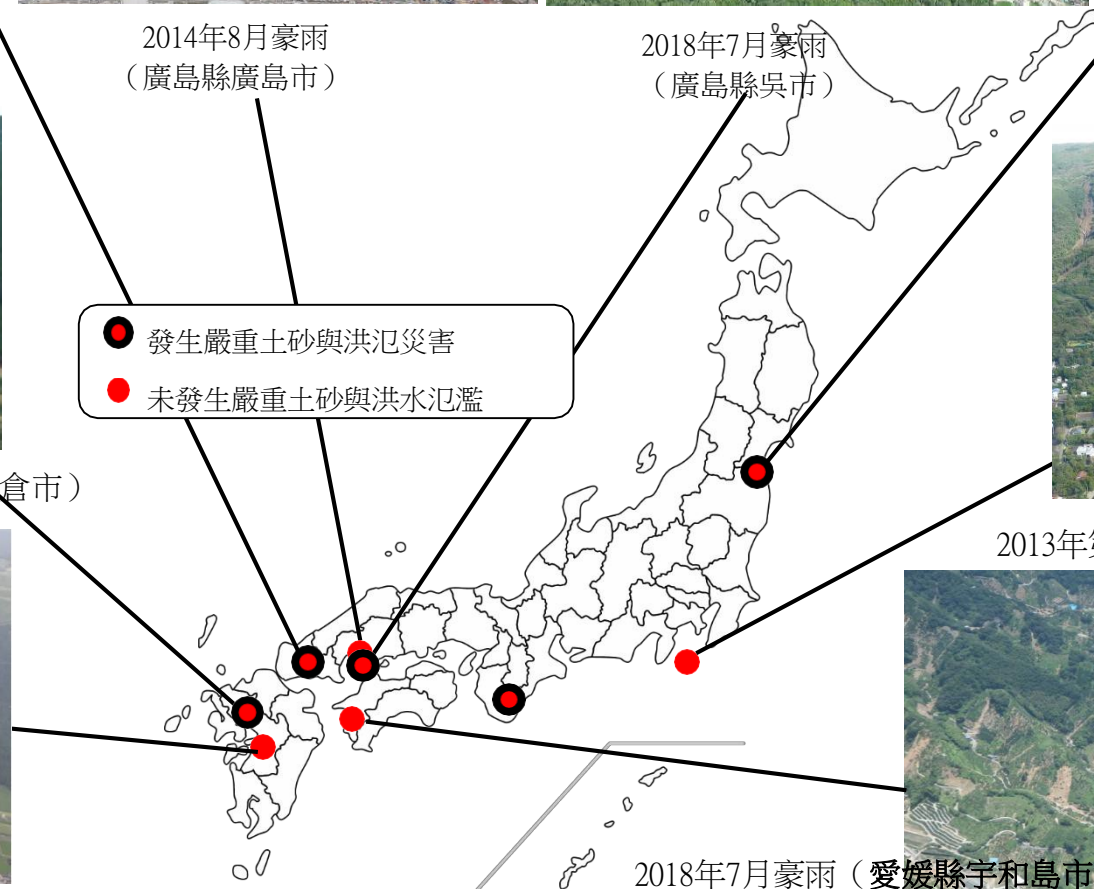
福岡縣朝倉市 北川

2017年7月九州北部豪雨(福岡縣朝倉市)



2012年7月九州北部豪雨(熊本縣阿蘇市)

- 發生嚴重土砂與洪水氾濫
- 未發生嚴重土砂與洪水氾濫



2013年第26號颱風(東京都大島町)



2018年7月豪雨(愛媛縣宇和島市)

近年來主要土砂與洪水氾濫



2011年第12號颱風（和歌山縣那智勝浦町）



2019年第19號颱風（長野縣佐久市）



2016年第10號颱風（北海道十勝川）

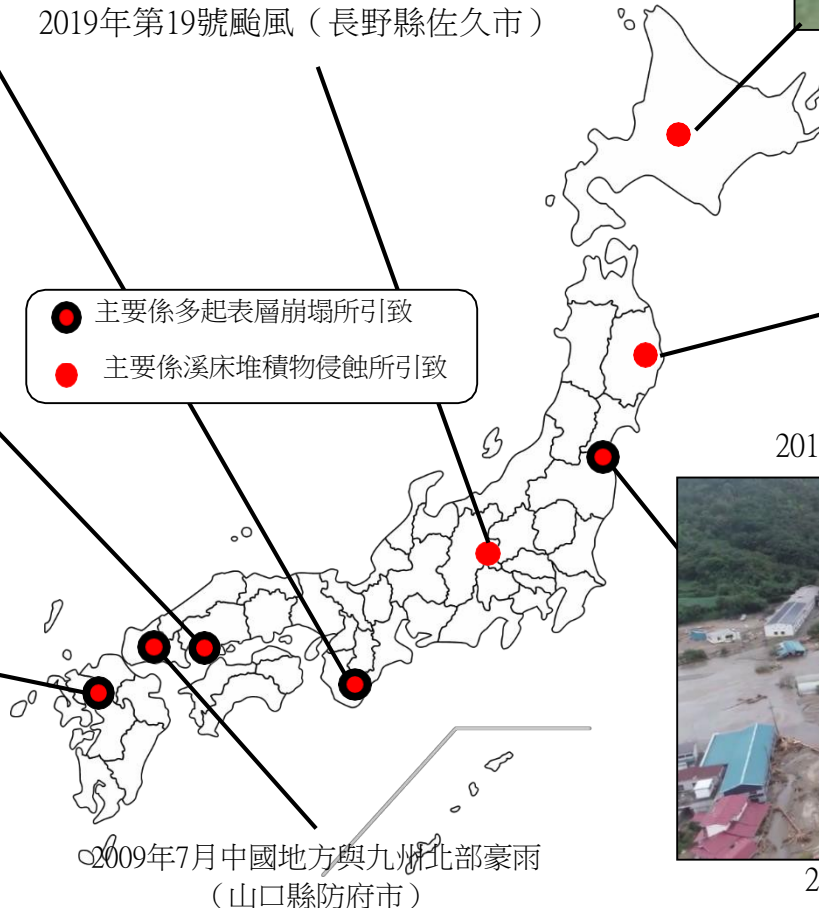


2018年7月豪雨（廣島縣坂町）



出處：國土地理院

2017年7月九州北部豪雨（福岡縣朝倉市）



2016年第10號颱風（岩手縣岩泉町小本川）



2019年第19號颱風（宮城縣丸森町）

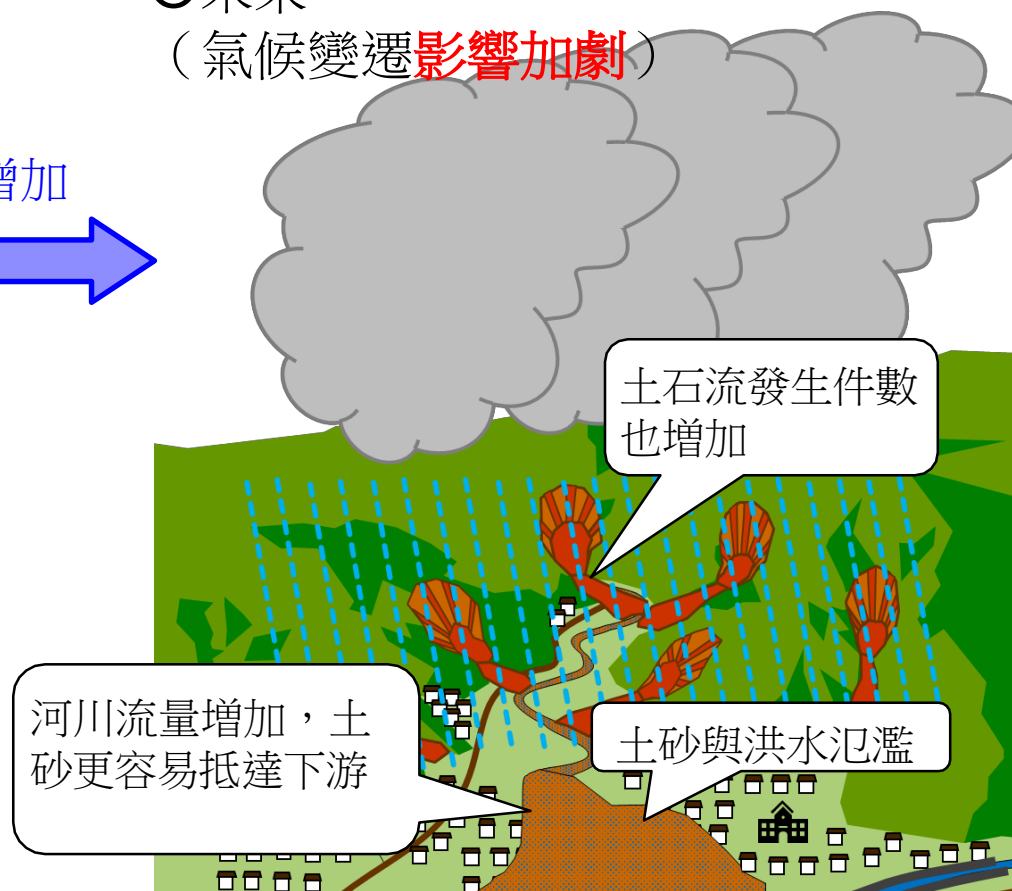
氣候變遷引致土砂移動現象嚴重化

- 氣候變遷降雨量增加不只容易同時發生多處表層崩塌，河川流量增加上游生產土砂更容易到達下游，發生土砂與洪水氾濫。

○目前
(氣候變遷影響尚小)



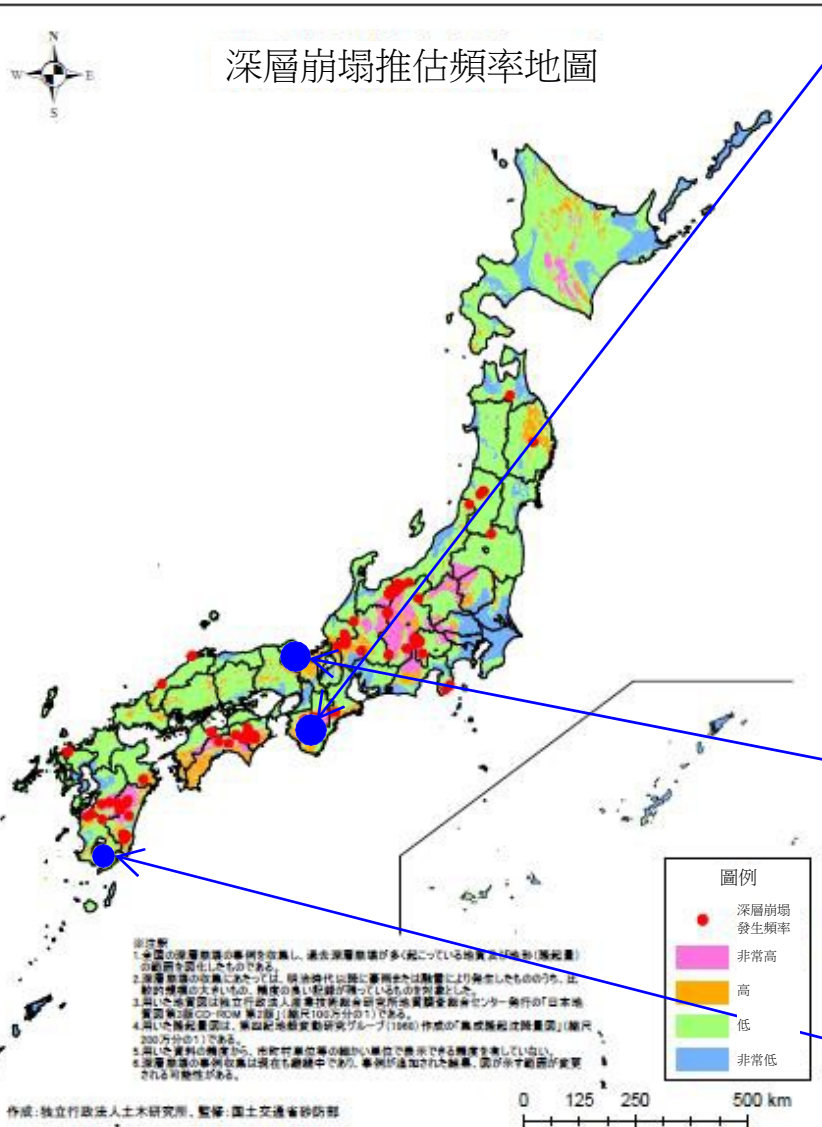
○未來
(氣候變遷影響加劇)



頻頻發生過去案例少的土砂與洪水氾濫

近年來主要深層崩塌發生狀況

深層崩塌推估頻率地圖



○2011年第12号颱風（奈良縣、和歌山縣）



○2018年7月豪雨
（京都府福知山市谷河川）

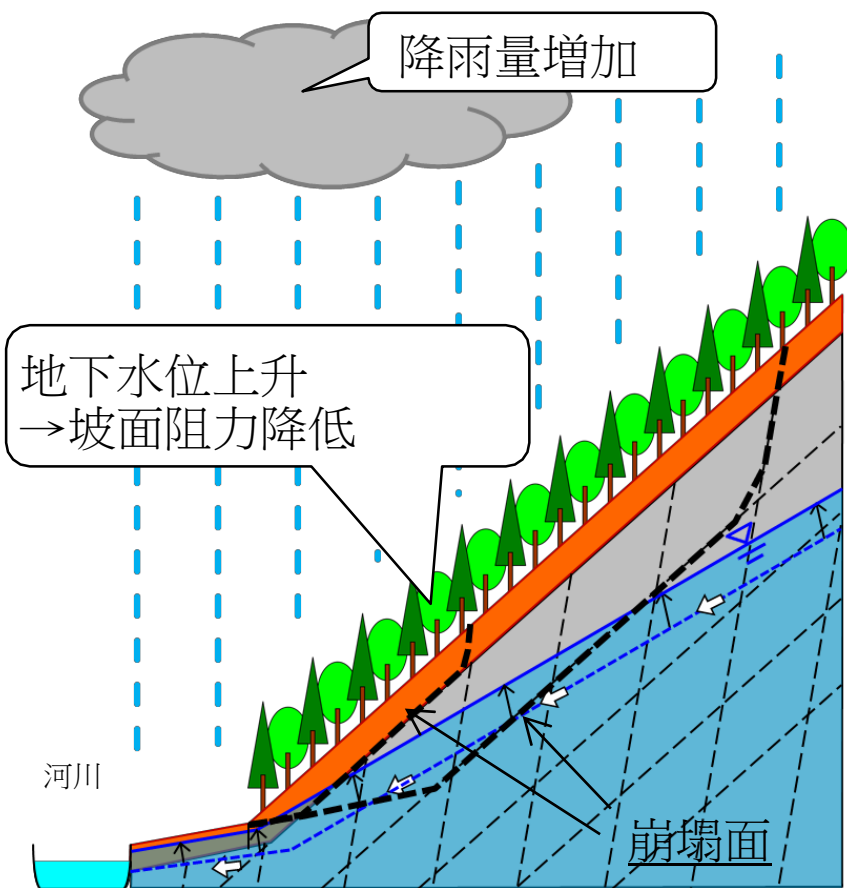


○2010年7月
（鹿児島縣南大隅町 船石川）

氣候變遷引致大量出現土砂移動現象

○ 氣候變遷降雨量增加因而改變坡面地下水位，深層崩塌發生潛勢升高。

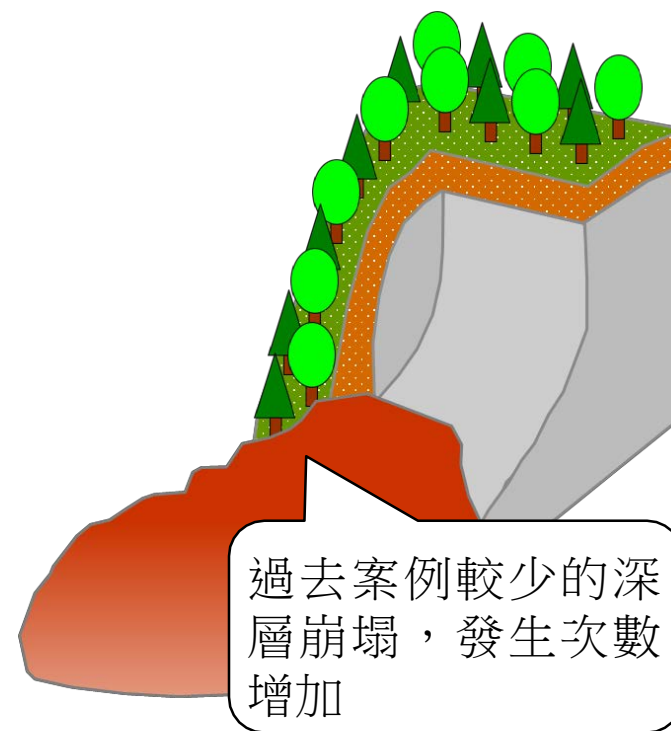
○ 氣候變遷引致地下水位變化



→ 坡面崩塌狀況改變

○ 坡面崩塌模式改變

深層崩塌

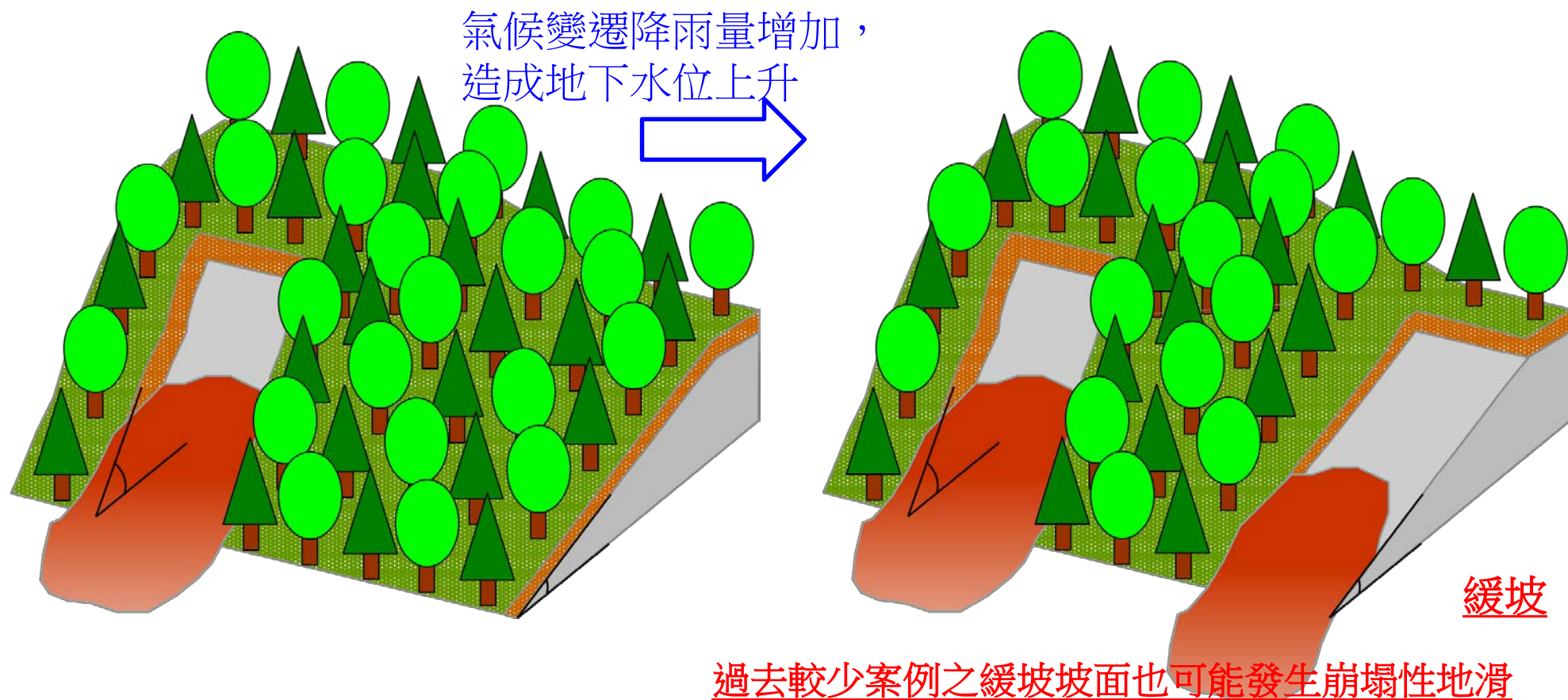


• 深層崩塌發生次數增加

氣候變遷引致大量出現土砂移動現象

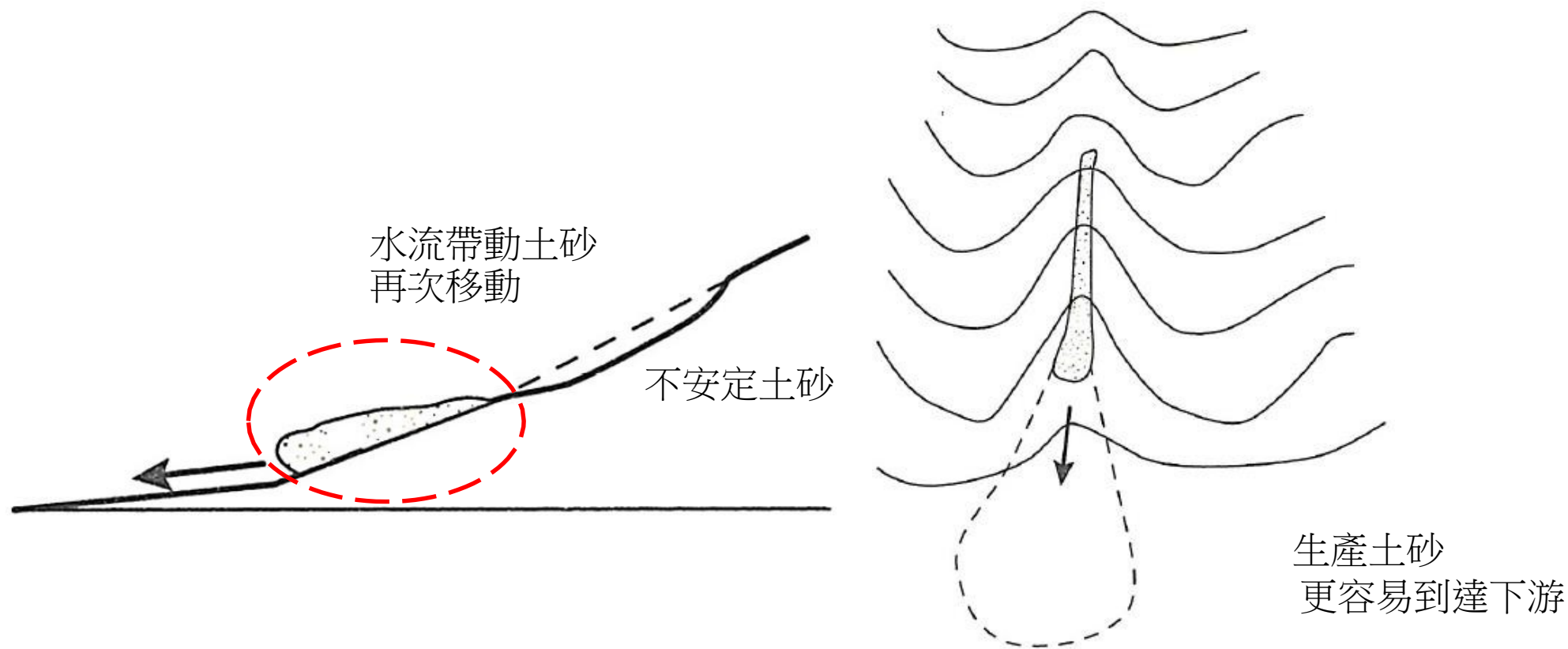
- 氣候變遷降雨量增加因而改變坡面地下水位，過去較少案例之緩坡坡面崩塌性地滑潛勢升高。

○ 氣候變遷對地滑的影響



氣候變遷引致大量出現土砂移動現象

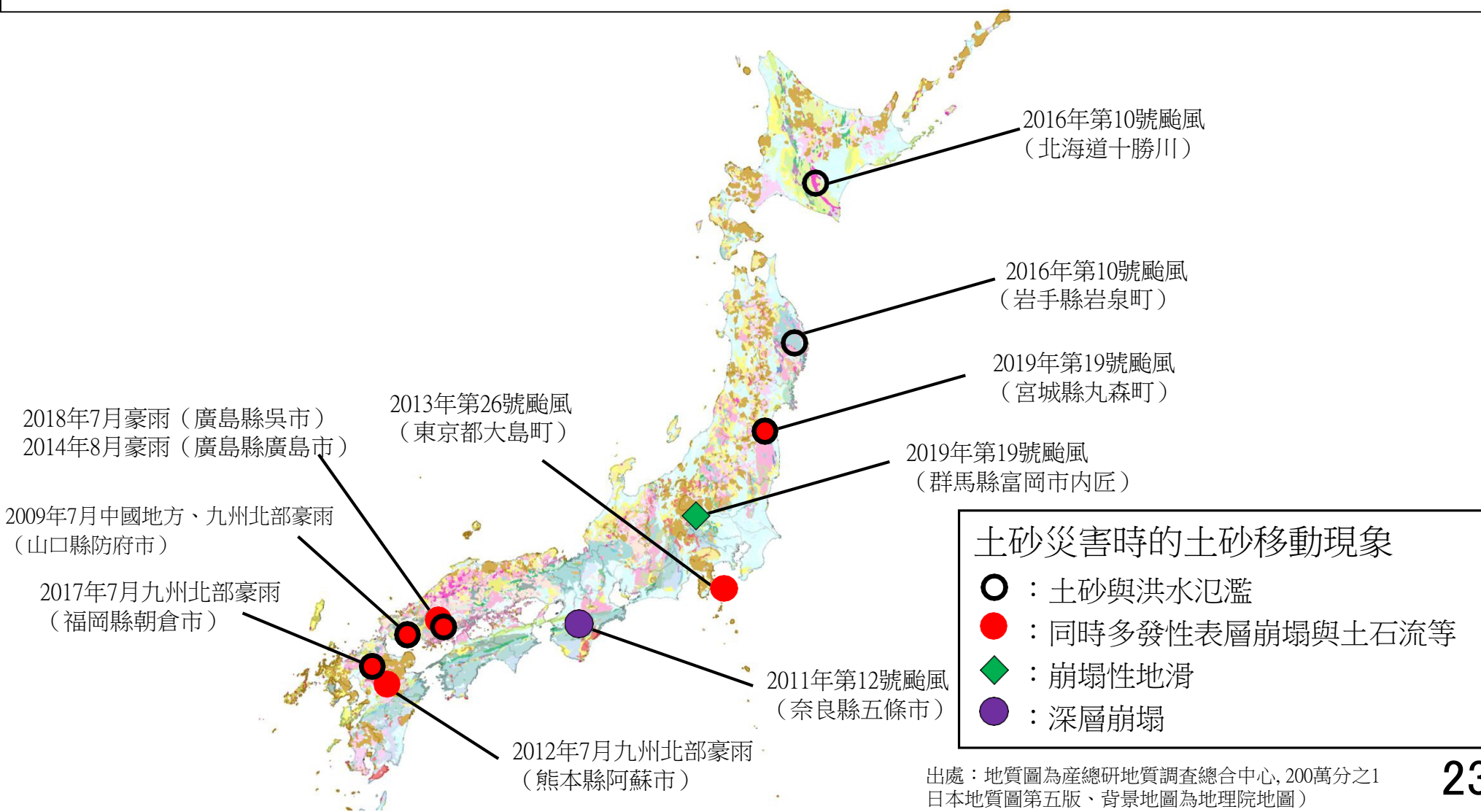
- 氣候變遷降雨量增加，帶動流量增加、溪床堆積物二次移動容易生產土砂，上游生產土砂也更容易到達下游而升高土砂與洪水氾濫潛勢。



引自 土石流發生形態分類圖（丸谷等，2019）

近年來主要土砂災害（土砂移動現象）發生地點

- 同時多發性表層崩塌與土石流除了發生在日本西南地帶花崗岩類分布區域之外，也可能出現在分布有火山灰火山碎屑流堆積物分布等有各種土砂移動現象之地區。



2019年10月 宮城縣丸森町土砂與洪水氾濫等
（國土技術政策總合研究所提供話題）

土砂與洪水氾濫等的發生狀況

■ 内川、五福谷川與新川都確認平原河段發生土砂與洪水氾濫，五福谷川最嚴重。



五福谷川下游狀況（宮城縣伊具郡丸森町）（10月17日）



河床上升、橋樑堆積漂流木

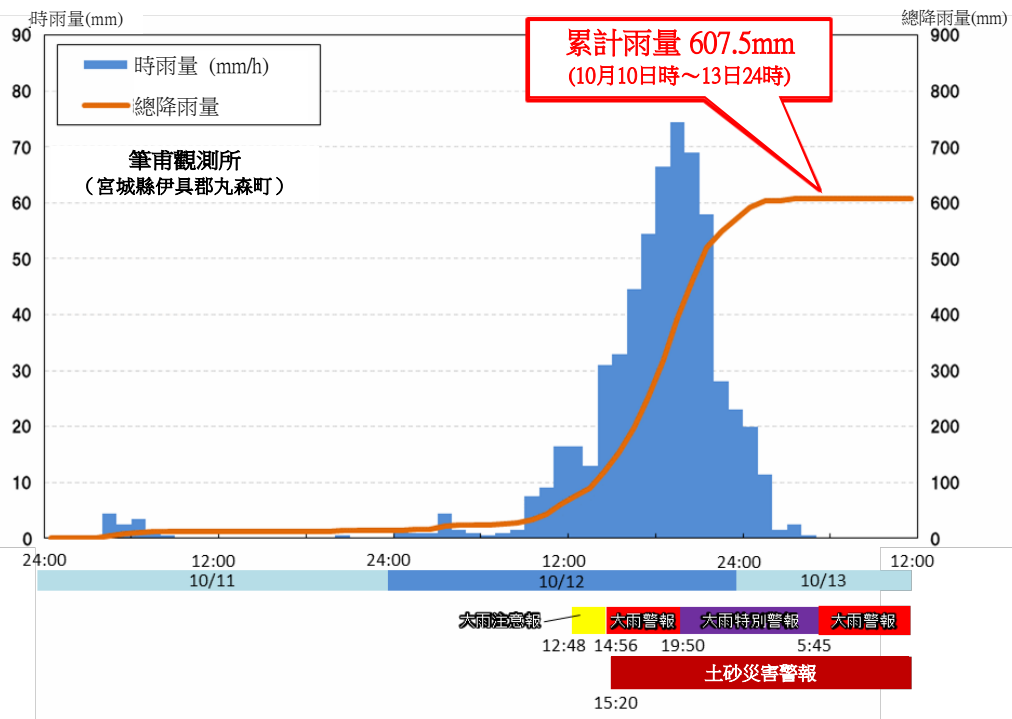


土砂與洪水氾濫（河床變動引致氾濫）

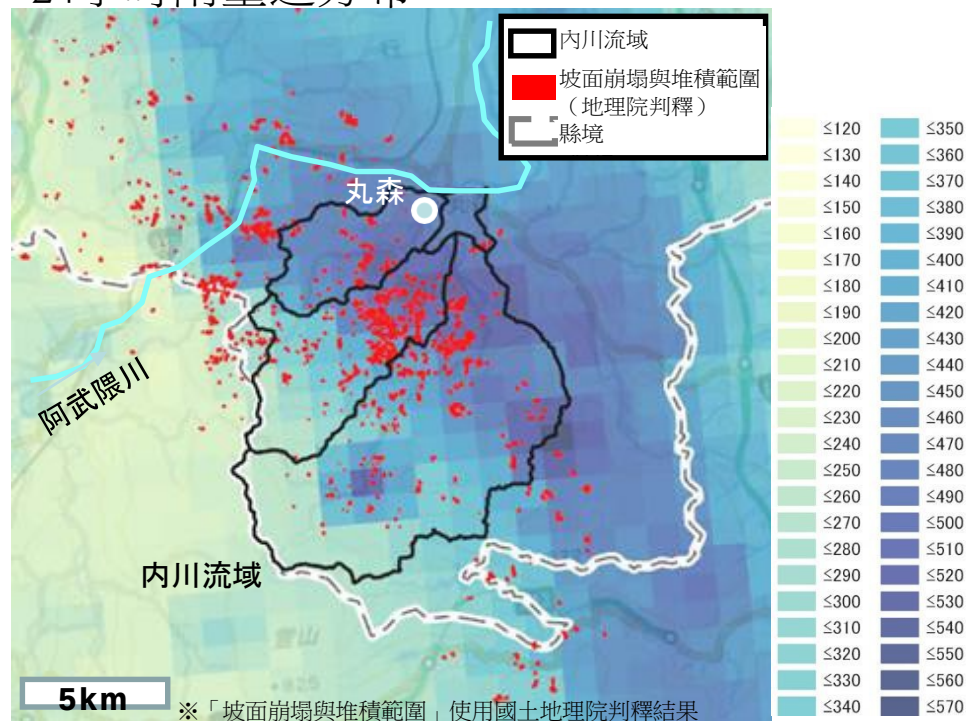
降雨狀況

- 該觀測點所記錄到最大12小時雨量(517.5mm)，超過過去颱風前降雨紀錄2倍
- 崩塌地分布大致與24小時雨量較多之範圍一致

【降雨狀況】 (宮城縣伊具郡丸森町)

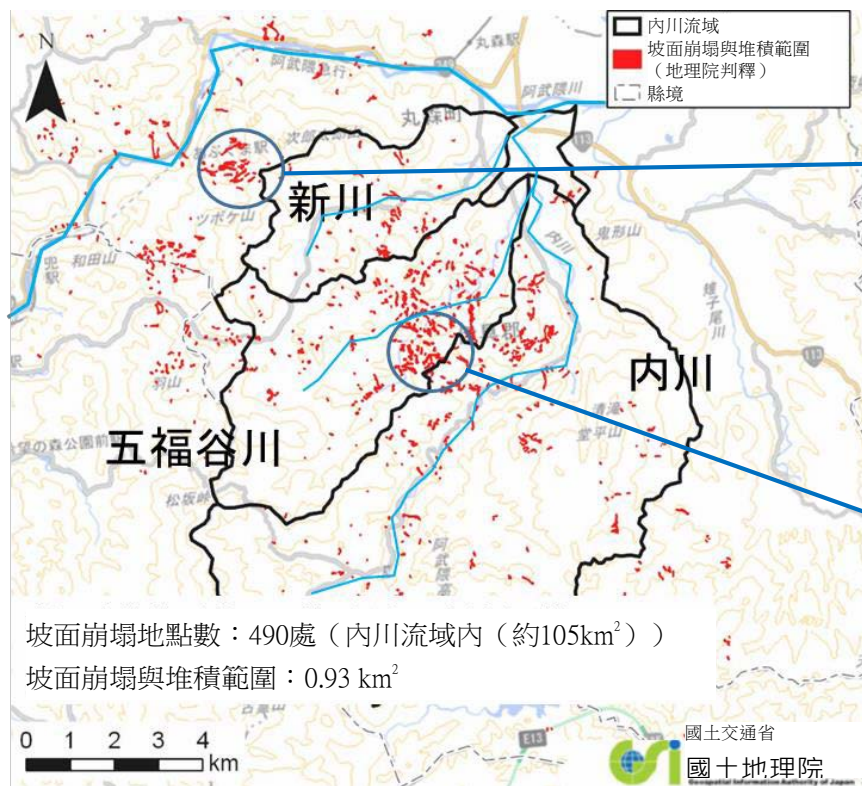


24小時雨量之分布



坡面崩塌等的發生狀況

■ 各支流中游區域發生許多坡面崩塌與土石流，五福谷川流域密度最高





以向東坡面為主，發生許多表層崩塌（五福谷川）

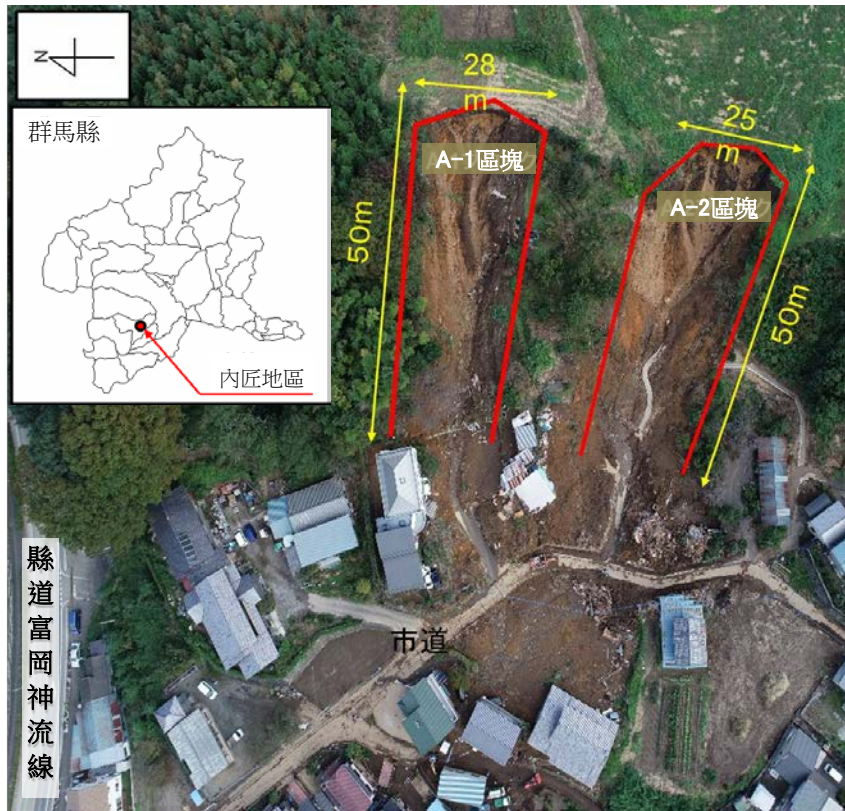


廻倉與子安地區土石流造成人員傷害

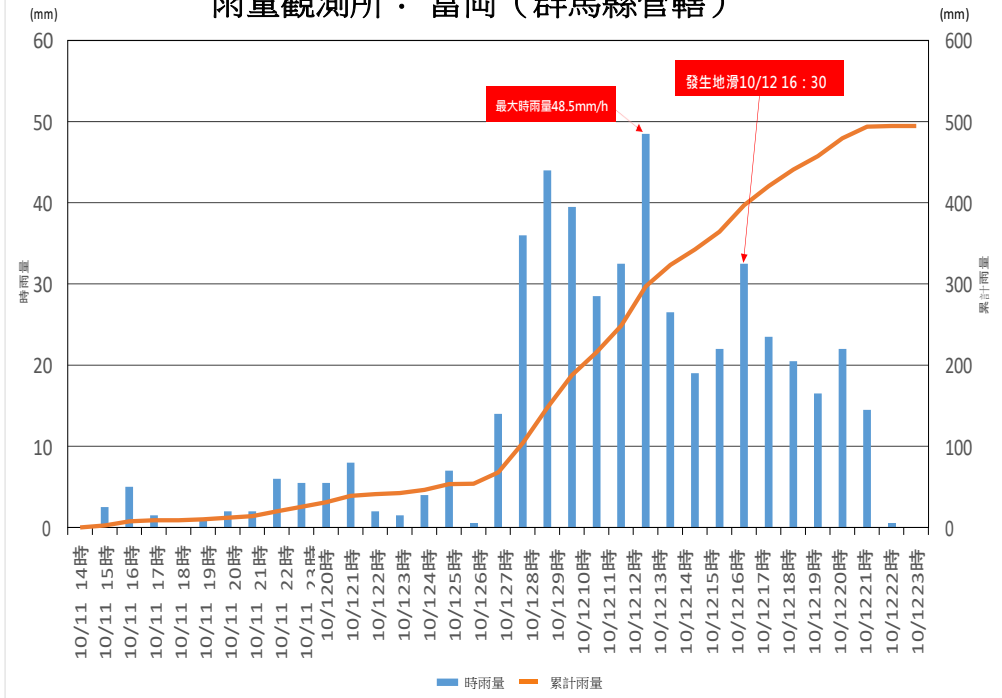
2019年10月 群馬縣富岡市内匠地區崩塌性地滑
(土木研究所提供話題)

富岡市内匠地區土砂災害

發生時間 2019年10月12日 16:30
人員受害 死者: 3 人, 負傷者: 3 人
民宅等受害 全毀: 1 戶, 半毀: 5 戶, 非住宅全毀: 1 戶
連續雨量 494.5mm (10/11 14:00~10/12 23:00)
最大時雨量 48.5mm (10/12 12:00~10/12 13:00)

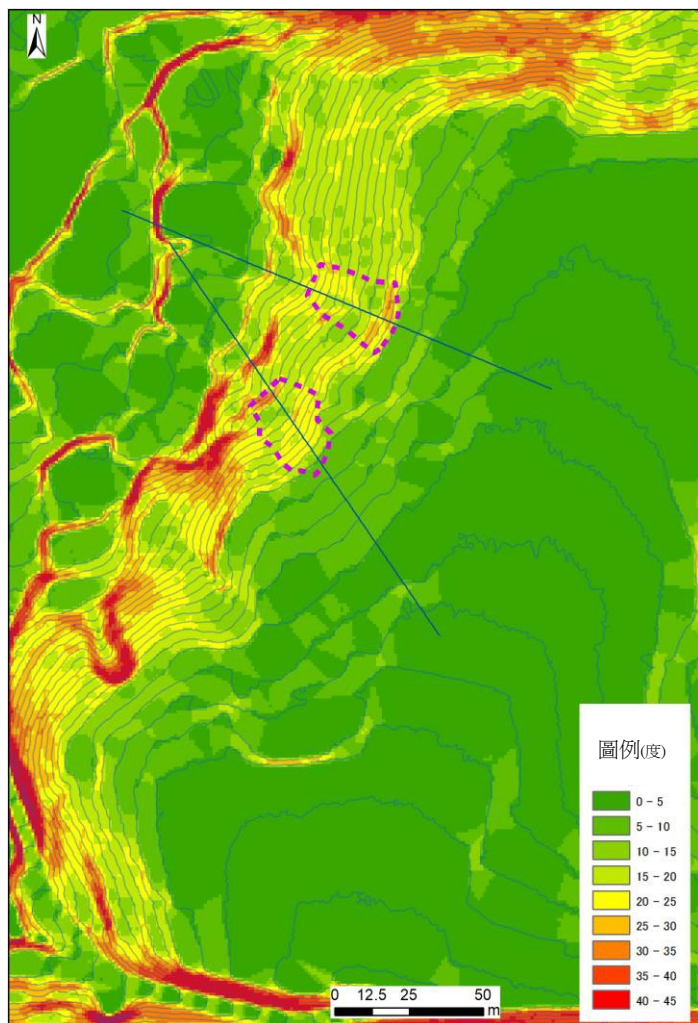


雨量觀測所：富岡（群馬縣管轄）

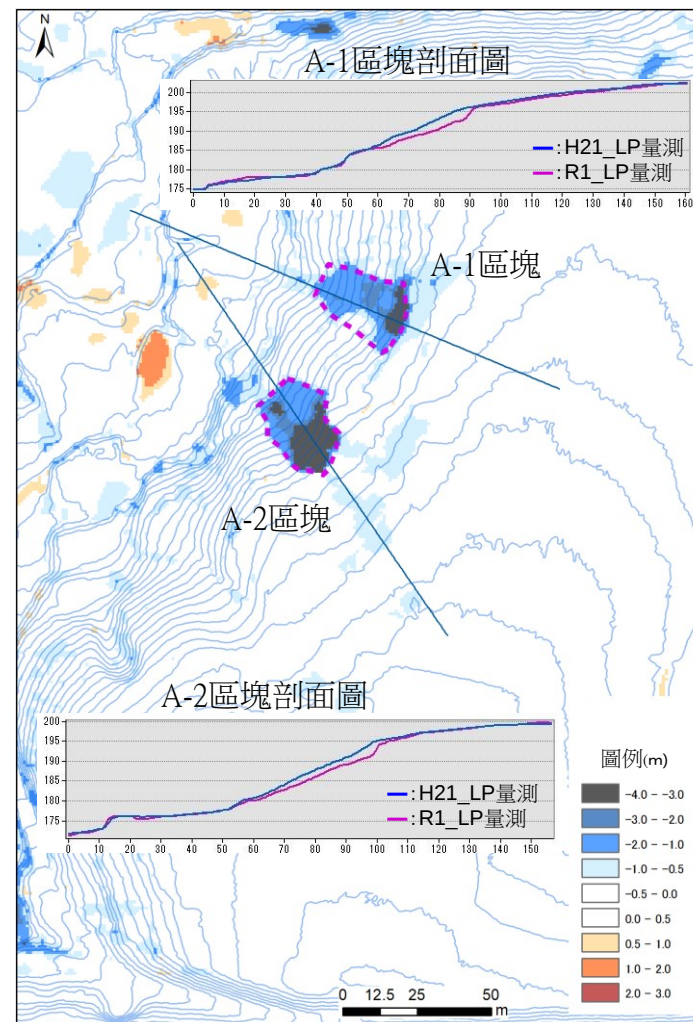


資料：群馬縣政府

- 崩塌性地滑發生在15~25度緩坡坡面。
- 崩塌性地滑最大深度約3~4m。



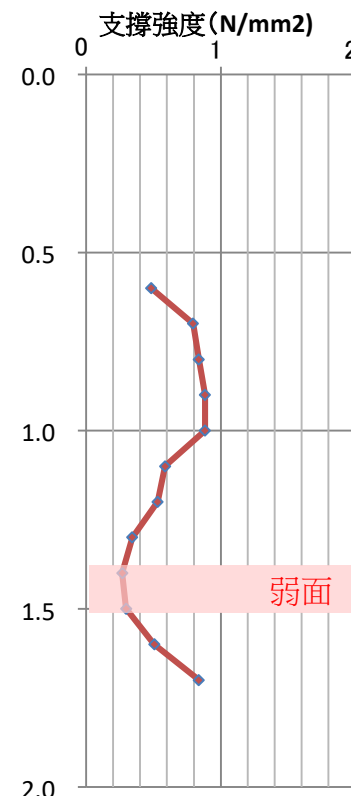
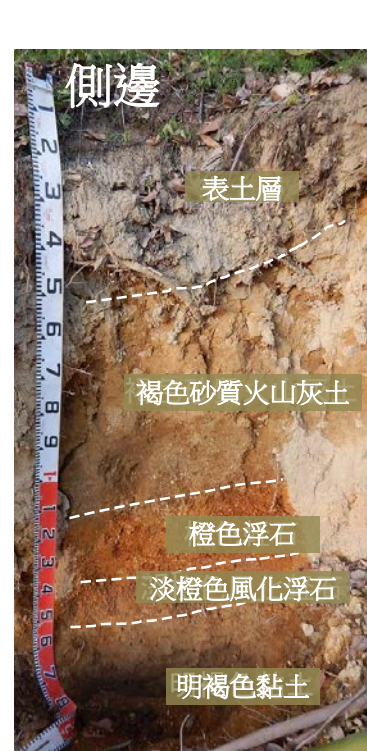
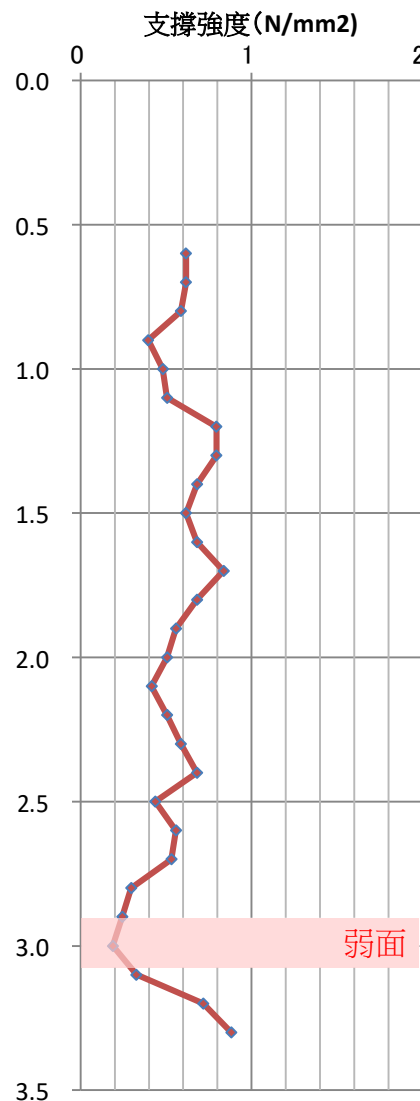
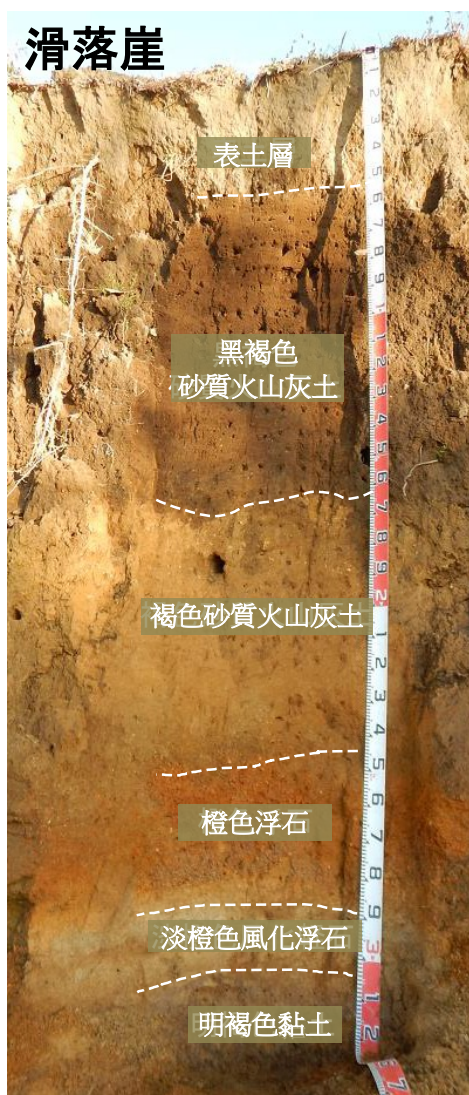
發生前地形傾斜量圖



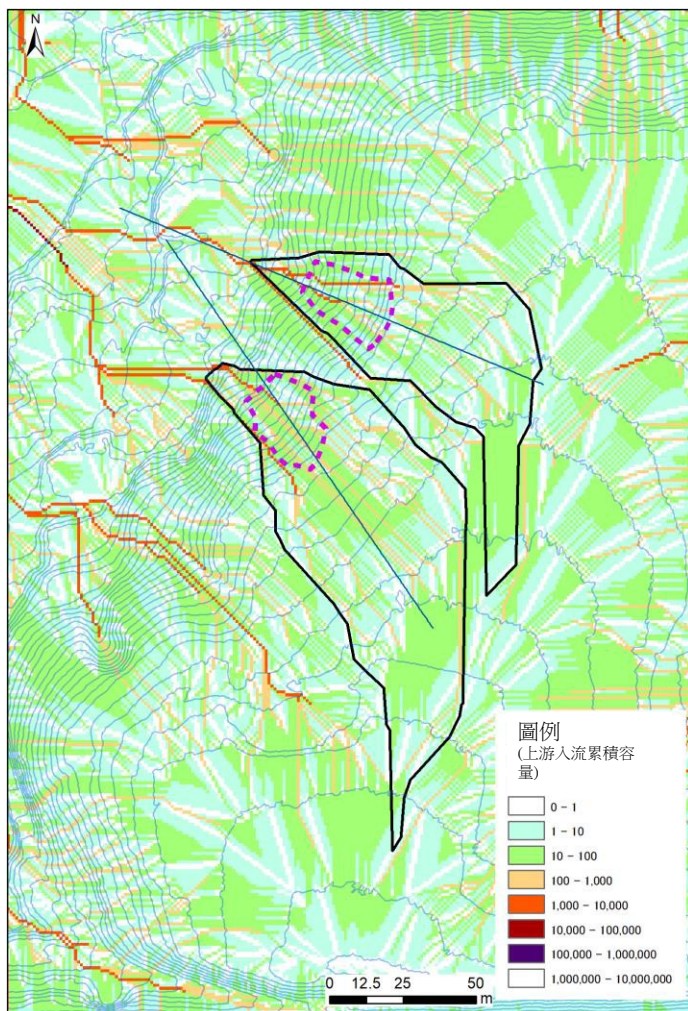
發生前後之高程差

發生前：2009年（利根川水系砂防）
發生後：2019年（群馬縣）

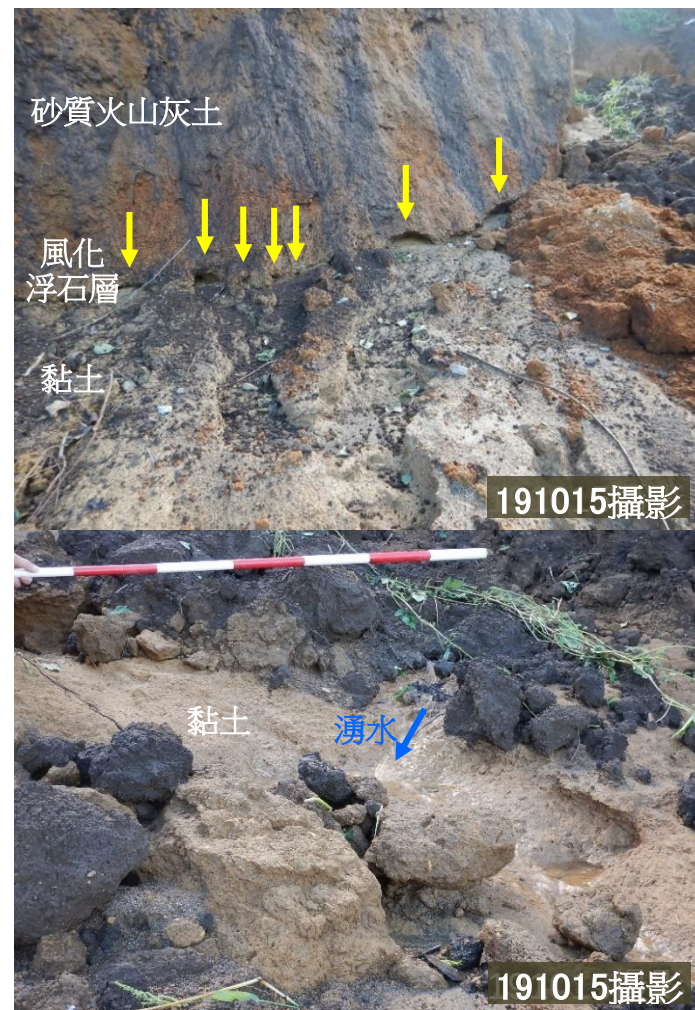
- 低強度風化浮石（火山石）層沿坡面呈順向坡狀堆積。
- 風化浮石層上半部為高透水性浮石與砂質火山灰土，下半部為低透水性黏土。



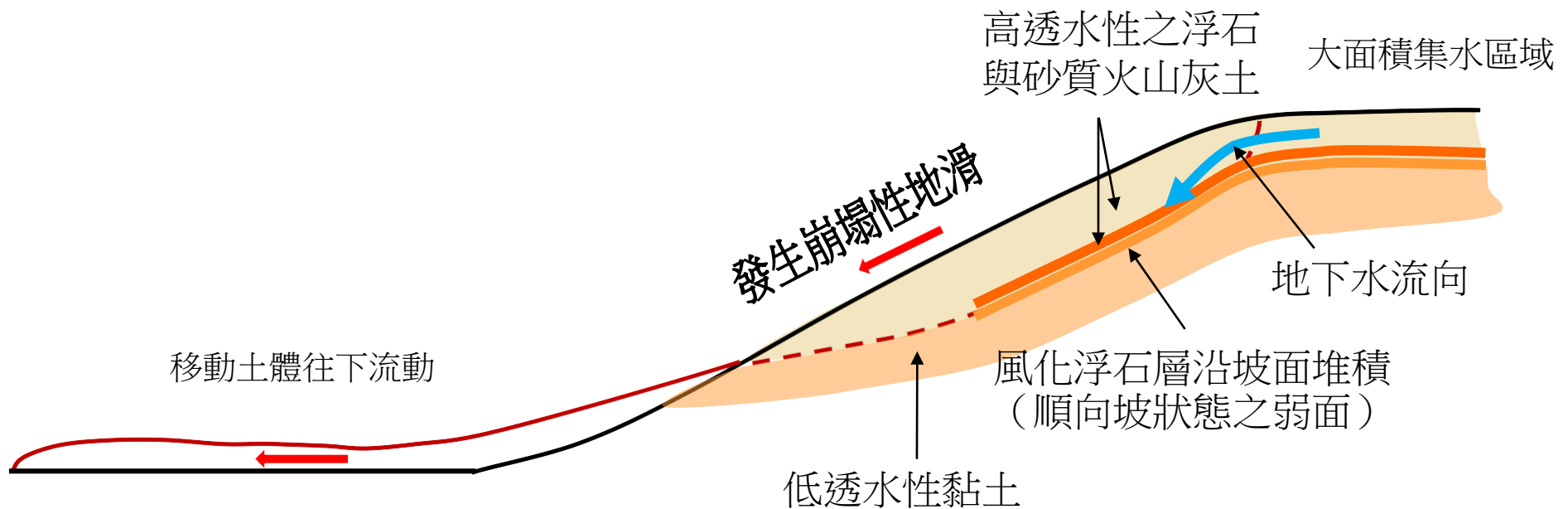
- 坡面上半部為大面積緩坡，集水面積較大。
- 現地確認有推估為管湧之孔洞，且崩塌後立刻出現湧水。



各網格之集水面積（發生前地形：2009）



- 風化浮石層沿坡面堆積（順向坡狀態之弱面）
- 風化浮石層上半部為高透水性浮石與砂質火山灰土，下半部為低透水性黏土，風化浮石層具易生孔隙水壓條件
- 坡面上半部大面積緩坡（集水面積較大）



後續檢討方向

12月9日舉辦現地調查會暨意見交換會

- 調查第19號颱風引致土砂災害代表性地點宮城縣伊具郡丸森町之土砂與洪水氾濫，以及群馬縣富岡市内匠緩坡坡面崩塌性地滑發生地點。
- 調查結束後意見交換會，討論未來對策措施實施方向。



現地調查會進行狀況



委員們交換意見

- 1・時間 2019年12月9日（一）9:00～15:45
- 2・地點 現地調查 ①宮城縣伊具郡丸森町，②群馬縣富岡市内匠
意見交換（富岡合同廳舍 1 樓大會議室）
- 3・參加者 召集人 藤田正治 京都大學防災研究所教授
内田太郎 筑波大學生命環境系副教授
執印康裕 宇都宮大學農學部教授
中北 英一 京都大學防災研究所 教授
堀田 紀文 東京大學大學院農學生命科學研究科 副教授

○ 主要意見

- ・ 富岡市内匠地區發生緩坡坡面土砂移動現象，原因不只高強度短延時降雨，是否也可能與長期降雨土壤含水量增加有關？
- ・ 預測氣候變遷引致土砂移動現象，應整理過去發生之土砂災害與引致該災害之降雨模式的關係，以此作為根據，輸入未來預估增加之降雨模式，進行預測。
- ・ 分析過去之土砂災害，應注意當時森林狀況等流域特性變化。
- ・ 擬定緩坡坡面土砂移動現象對策，應檢討危險度評估方法。

過去土砂災害及其成因降雨模式之分析應注意事項 (森林狀況改變與土砂生產形態變化(示意圖))

- 流域荒野化時，溪床常態生產土砂會經常被中小型洪水冲刷流出。
- 荒野狀況整治後土砂供給減緩，過去所生產、堆積溪床之土砂則可能被大規模洪水冲刷而流出。
- 近年來大規模降雨伴隨同時多發性崩塌所供給之大量土砂生產，被大規模洪水冲刷流出。
- 依據過去災害實際狀況進行分析，應注意流域狀況變化。

流域荒野化時

近年來

中小型洪水時表面侵蝕，
頻繁發生小規模崩塌所造成之坡面土砂生產

實施荒野對策，造林減緩了
坡面土砂生產

大規模降雨多發性崩塌
造成坡面大量土砂生產

荒野坡面常態供給而堆積溪床之土砂，中小型洪水時被冲刷流出

明治時代六甲山荒野狀況
(神戸市收藏)

過去上游大量供給、堆積溪床之土砂被大規模洪水冲刷流出

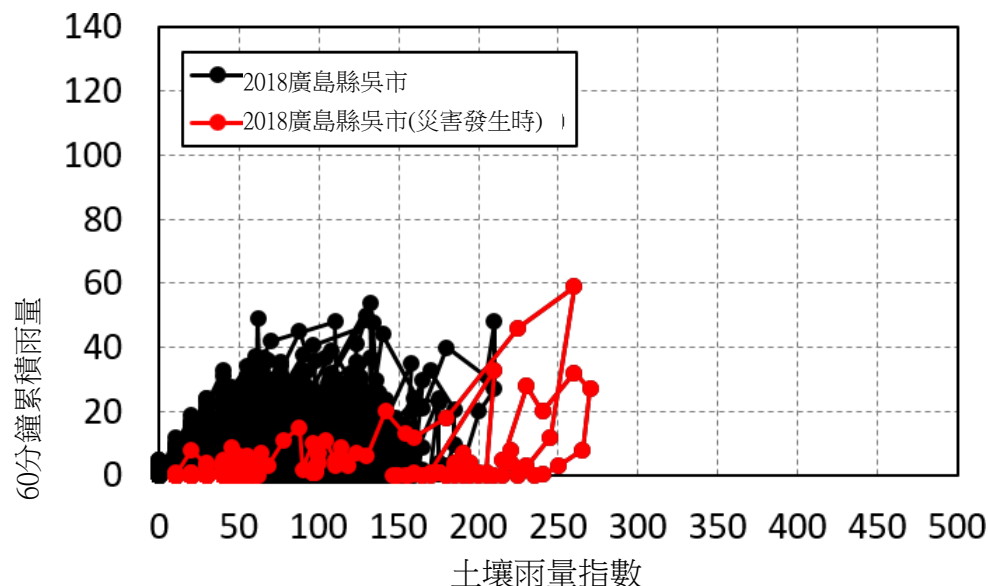
同時多發性崩塌所供給土砂被大規模洪水冲刷流出

阪神大水災時的土砂生產(1938年)

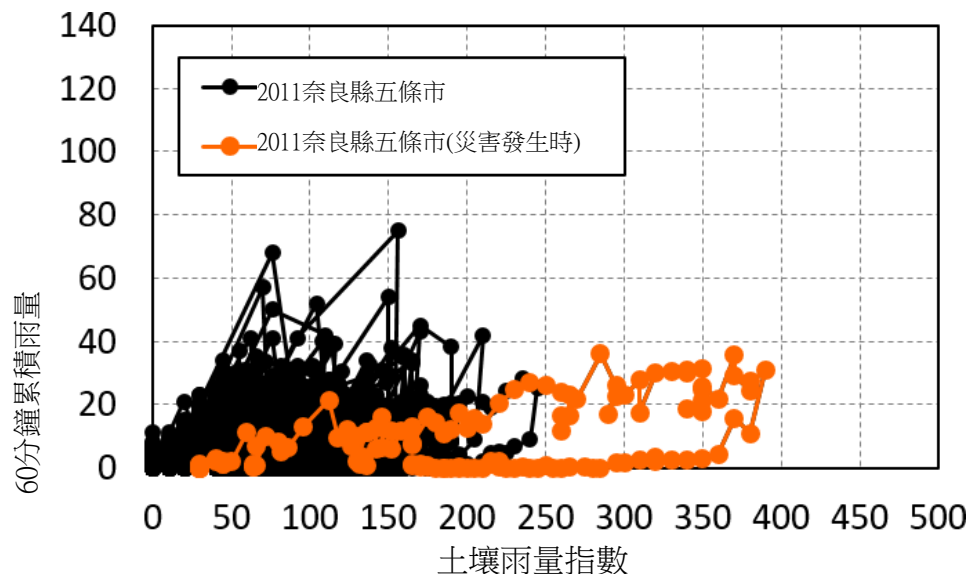
土砂移動現象與降雨特性分析之方向（分析①）

- 能否由所推估之未來降雨特性（降雨模式）推測該地區有顯著化、增加土砂移動潛勢之現象？
- 評估降雨模式時，可否應用「發生與非發生」之高分離性降雨指標、組合土壤雨量指數與60分鐘雨量而成的「蛇形線形狀」，歸納降雨特性與哪種土砂移動現象關聯性較高？
- 與這些土砂移動現象關係密切之基本原因（地形與地質等），是否也可實施其與降雨特性的關聯分析？

土砂與洪水氾濫



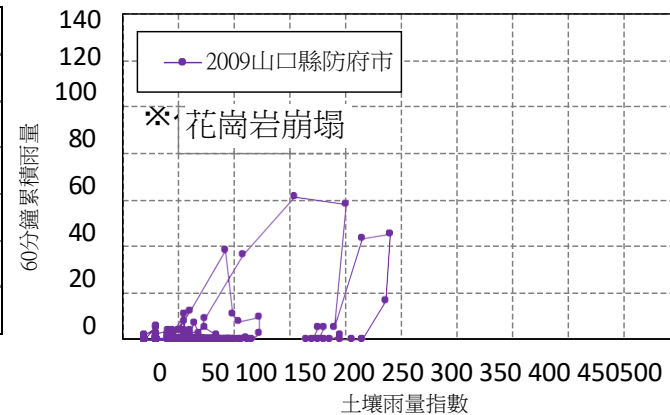
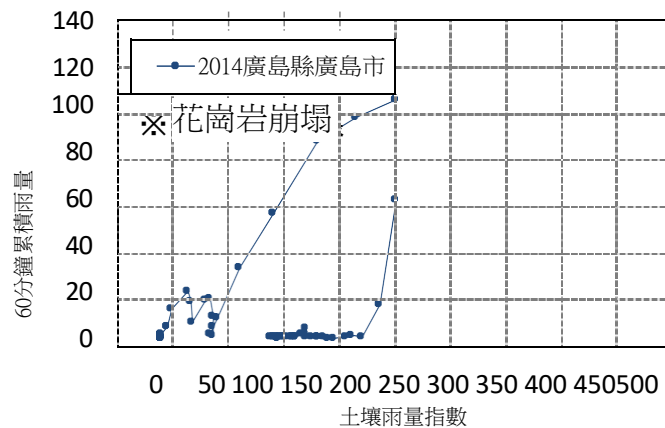
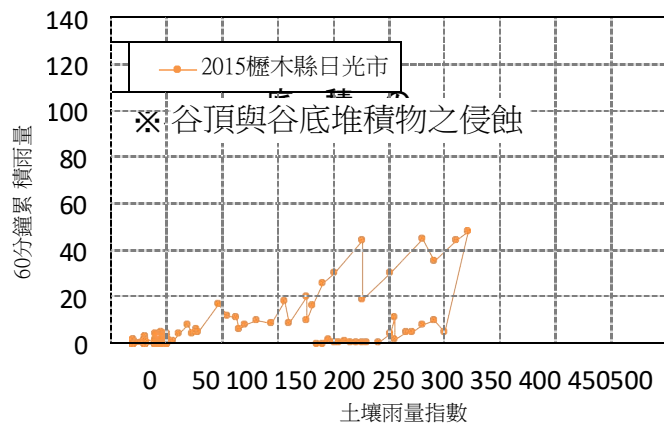
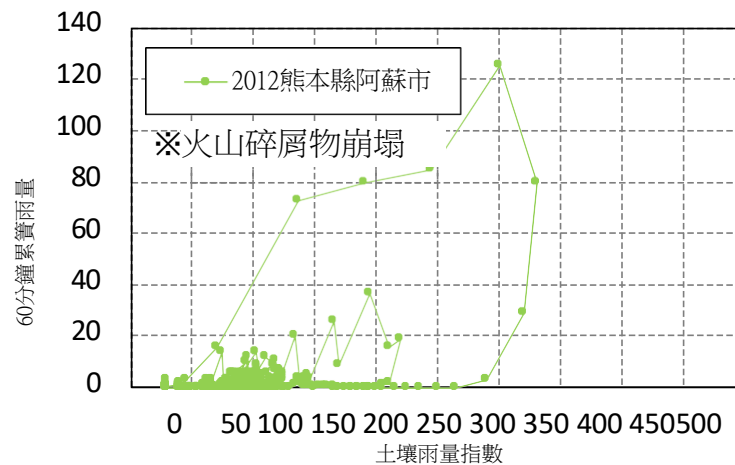
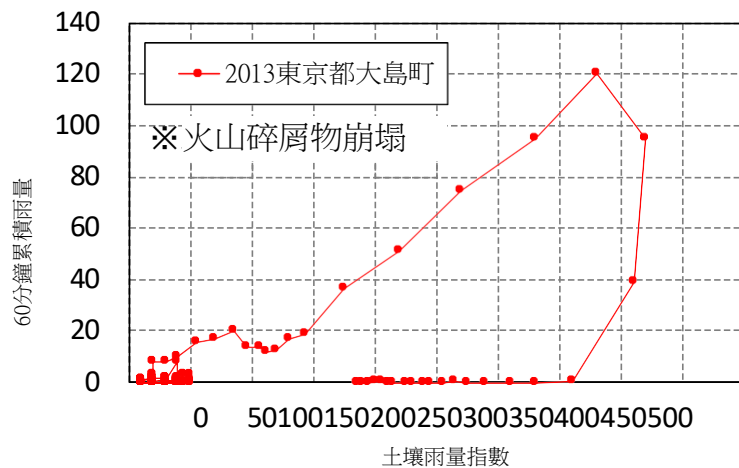
深層崩塌



土砂移動現象與降雨特性分析之方向

- 可看出同時多發性表層崩塌與土石流災害蛇形線之60分鐘累積雨量（短期降雨指標）呈現很大或較大形狀。

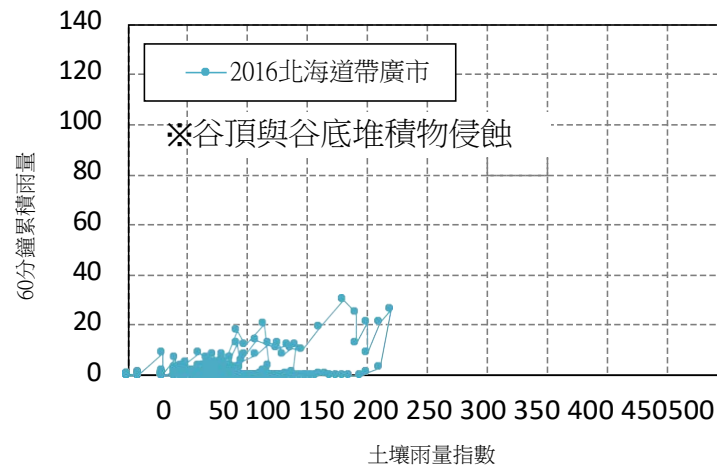
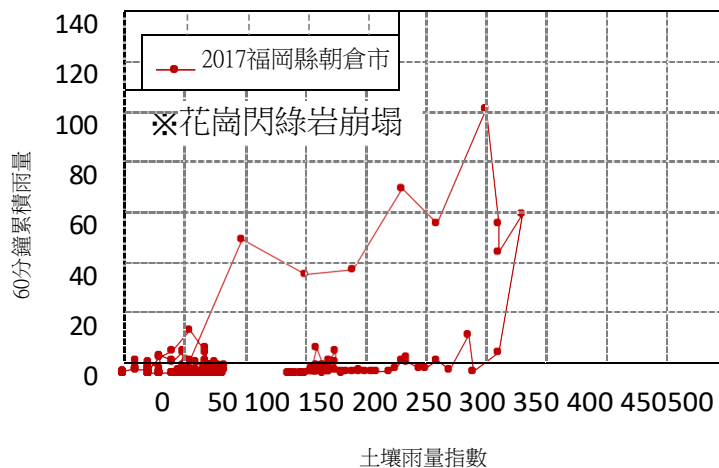
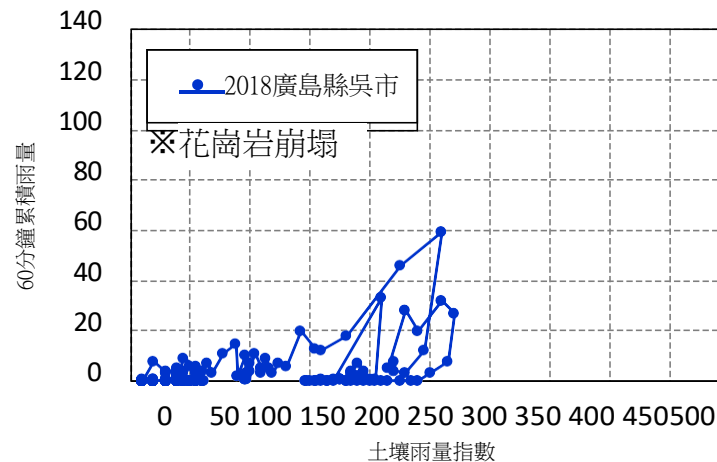
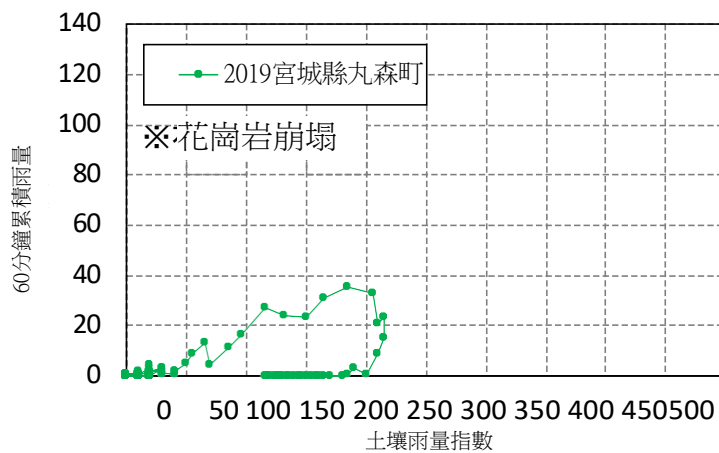
表層崩塌與土石流



土砂移動現象與降雨特性分析之方向

- 可看出同時多發性土砂與洪水氾濫災害蛇形線之土壤雨量指數（長期降雨指標）呈現很大或較大的形狀。

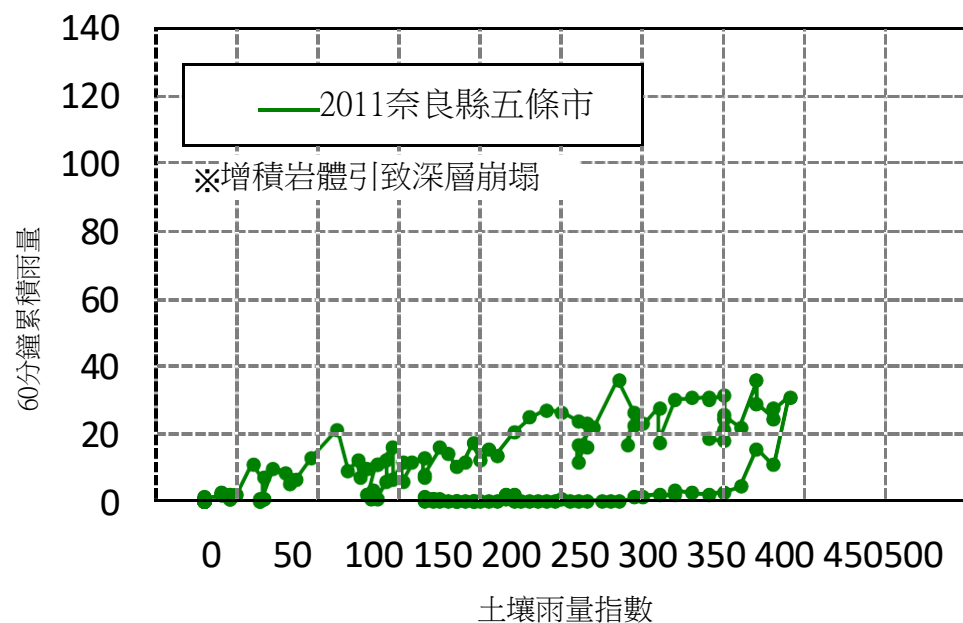
土砂與洪水氾濫



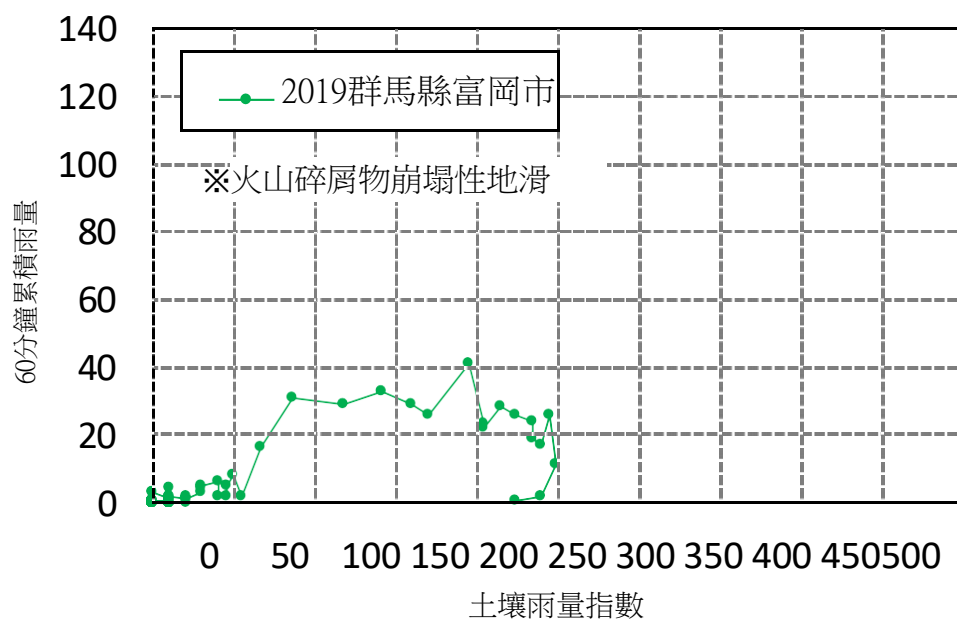
土砂移動現象與降雨特性分析之方向

- 可看出同時多發性的深層崩塌災害蛇形線之土壤雨量指數（長期降雨指標）呈現非常大的形狀。

深層崩塌

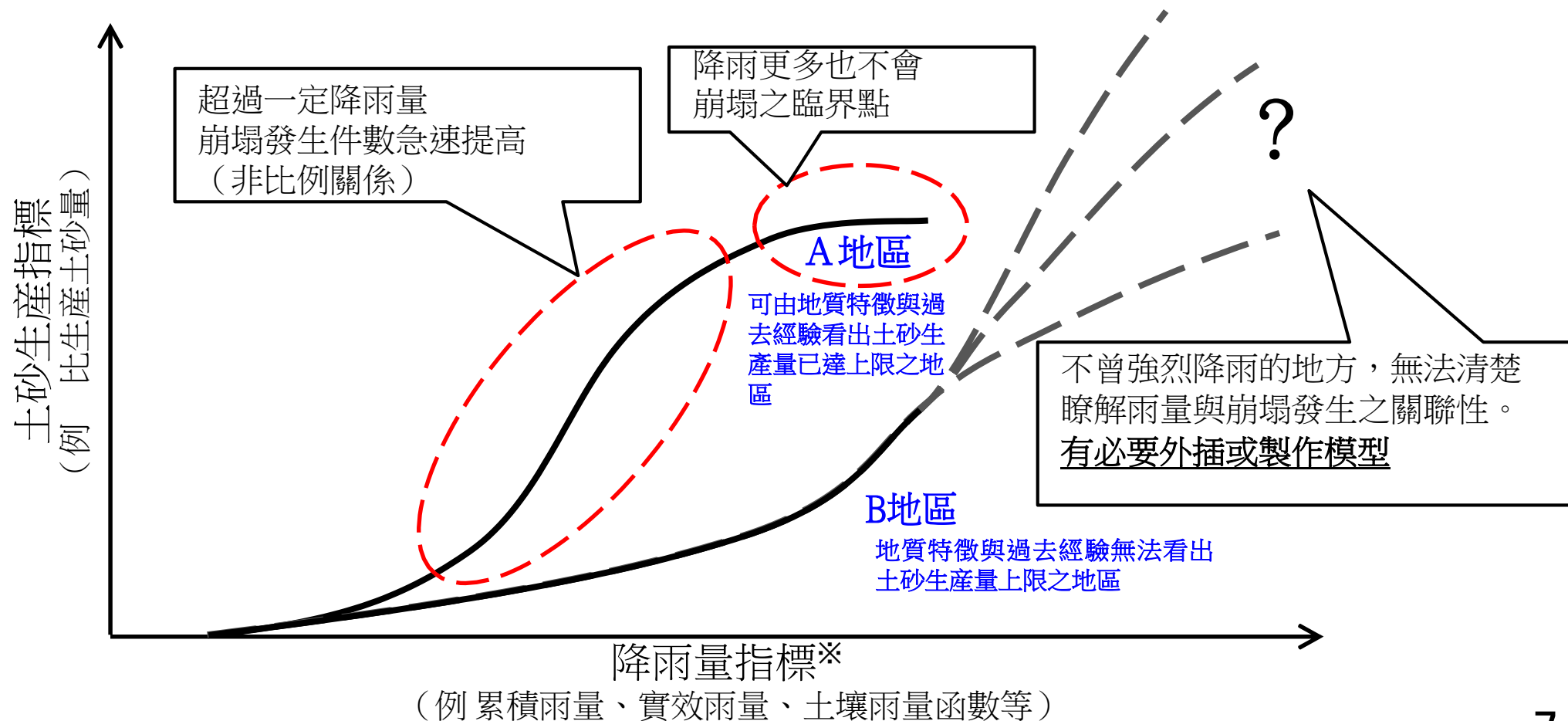


崩塌性地滑



過去土砂災害與其成因降雨特性之關聯性彙整（分析②）

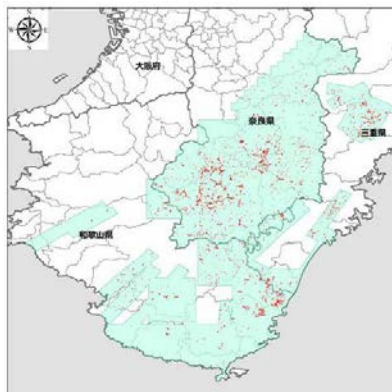
- 過去的土砂災害實際狀況能否彙整出降雨量指標與土砂生產量（崩塌土砂量）的關聯性，並推估未來受降雨影響而形成的土砂生產量。
- 超過經驗值降雨量的土砂生產量，能否以外插方法或模型分析算出？



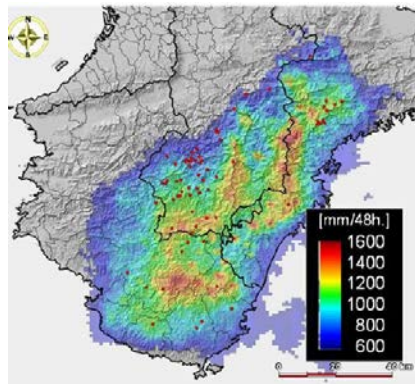
※針對個別土砂移動對現象與地質，一一檢討指

(過去的分析案例) 土砂災害及其成因降雨特性的關聯分析

- 內田等 (2012) 針對2011年第12號颱風分析了降雨量與坡面崩塌密度的關係。
- 崩塌密度非線性地隨降雨量提高而提高 (非單純的比例關係)
- 各地區都能同樣看出降雨量與坡面崩塌密度之關聯性



照片判釋區域與崩塌地分布



最大48小時雨量分布狀況

$$\text{相對性的崩塌密度} = \frac{n(r)}{a(r)} \div \frac{N}{A}$$

$n(r)$...某雨量(r)範圍之崩塌地數目

$a(r)$...雨量 r 範圍之面積

N ...全部調查對象範圍崩塌地數目

A ...全部調查對象面積

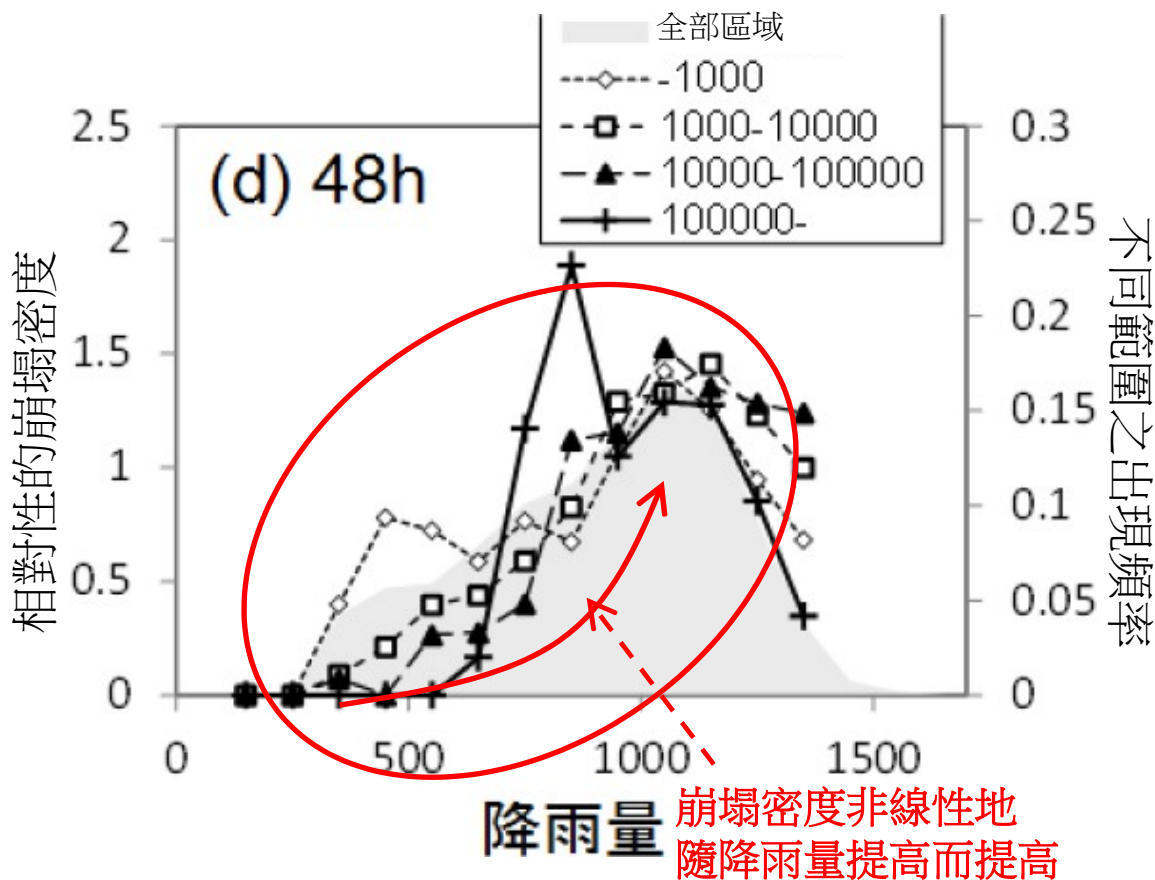
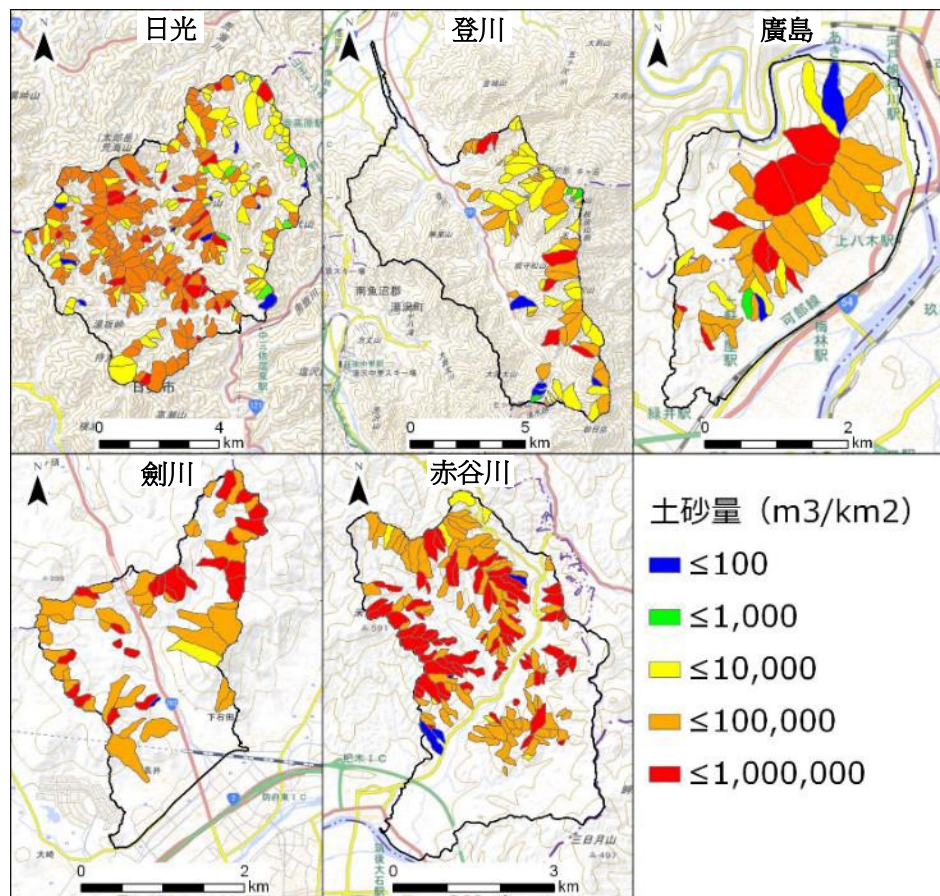


圖 2011年紀伊半島大水災最大48小時雨量與坡面崩塌相對崩塌密度之關係，圖例之數字為崩塌土砂量 (m^3)

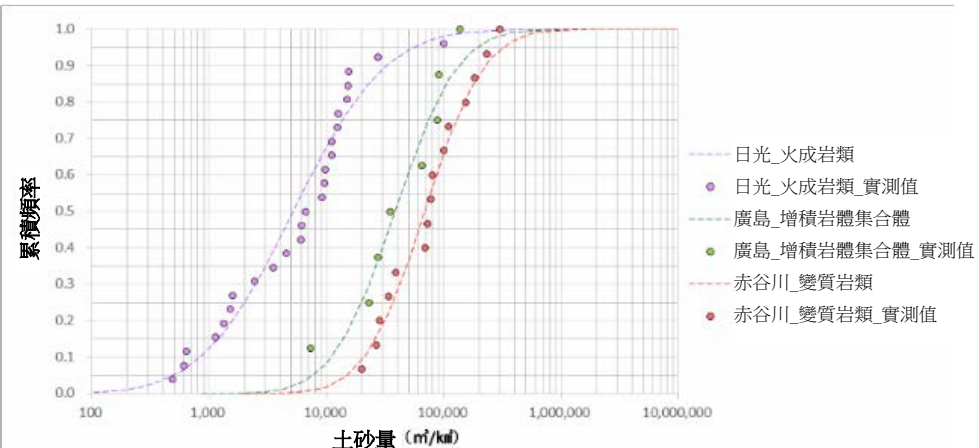
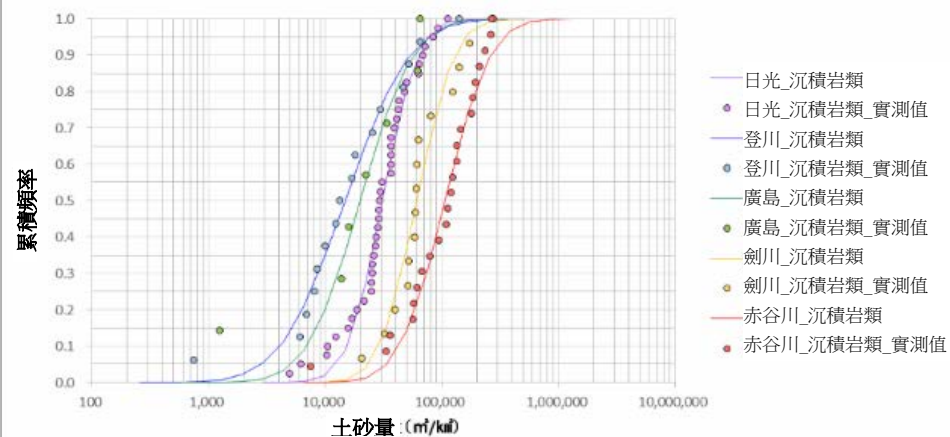
內田等 (2012)

（過去的案例分析） 掌握土砂生產量實況之過去研究案例

- 土砂流出量空間分布格式出現頻率可以對數常態分布算出，土砂流出量之不確定性可能可以用對數常態分布評估之。



比土砂生產量之空間分布



比土砂生產量累積頻率分布

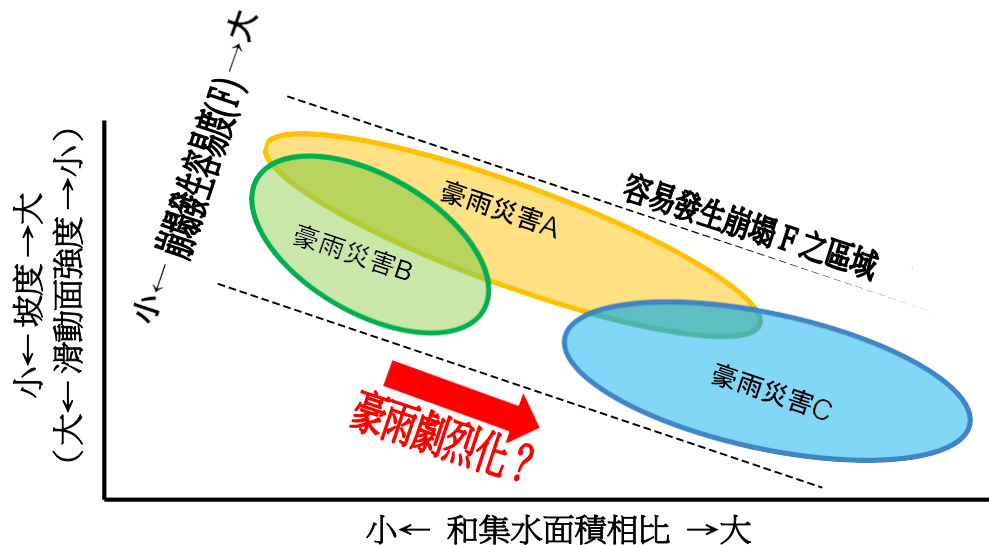
緩坡坡面也發生崩塌條件探討（分析③）

- 過去豪雨災害之崩塌發生條件，能否以容易取得之地形因子數據加以比較？
- 例如，羽田野提出的地形滑動力指數，可否用來說明降雨量增加會引致緩坡崩塌？

- 羽田野提出以**地形滑動力指數**，作為以地形因子說明崩塌容易發生度之指標。

地形的滑動力指數 $F = \tan\theta \times a^{1/3}$

大集水面積之坡面即使緩坡仍然崩塌，
小集水面積之坡面只有陡坡容易崩塌。



【課題與討論重點】

- 探討氣候變遷狀況下的土砂災害對策時，應評估哪種土砂移動現象可能在何時、何地發生，影響範圍多大，而以目前的對策措施與研究水準，應優先解決哪些技術性課題？
- 評估土砂移動現象受氣候變遷的影響、分析各土砂移動現象與降雨模式關係時的注意事項。
 - 降雨指標觀點
 - 地質等的分類
 - 森林狀況等的影響 等
- 如何評估氣候變遷（降雨特性變化）引致之土砂移動現象變化？
 - 怎樣的土砂移動現象會在哪些地區嚴重化、發生次數增加
 - 規劃與設計上的外力會怎樣改變？ 等

編譯：水土保持局技術研究發展小組

Research and Technology Development Team, SWCB, COA

December 2020

本文件之翻譯及轉載，均符合日本著作權法相關規定。