



農業部農村發展及水土保持署
Agency of Rural Development and Soil and Water Conservation, MOA

土砂災害警戒資訊基準 設定與驗證構想文獻導讀

從統計模型到動態驗證：提升預警精確度的下一步

減災監測組
紀治宇聘用副研究員
114年12月23日



土砂災害警戒資訊基準設定 及驗證方法之構想

邁向更精準的防災預警體系



簡報大綱

前言：背景與基本構思

適用對象：災害種類與區域劃分

CL設定方法：RBFN響應曲面模型

資訊驗證：捕捉率、誤報率與改進建議

附錄：土壤雨量指數與計算參數



導讀內容介紹

文獻名稱：國土交通省氣候變遷調適計畫

文獻日期：令和5年3月(2023.03)

內容簡介：文獻核心在於以降雨臨界線（CL）為基準，透過降雨資料與歷史災害案例建立警戒指標，並持續驗證與修正。最終目標是提升預警資訊的即時性與可靠度，提供政府與防救災單位更有效的決策支援，降低災害風險。

翻譯連結：<https://tech.ardswc.gov.tw/Results/ResultsTranslation>

原文連結：https://www.mlit.go.jp/river/sabo/doshakei_manual.html





前言：背景與目的



支援避難決策

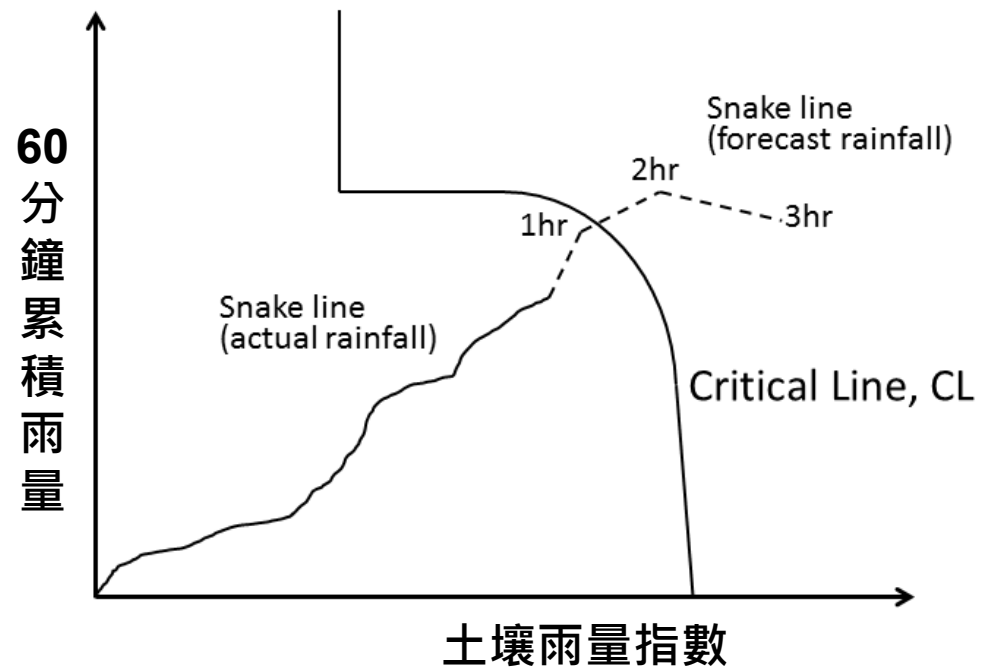
當土砂災害危險度提升時，發布警戒等級 4 資訊，
支援市町村長的避難指示及住民的自主避難行為。



持續性的精進

透過都道府縣與氣象台的合作，驗證 CL 基準線的
有效性，並根據最新災害案例不斷調整基準，提升
預報精度。

基準設定的基本構思



- 雙指標組合：採用「60分雨量」(短期) 與「土壤雨量指數」(長期) 結合評估。
- CL 基準線：劃分危險性高低區域的境界線，當降雨軌跡超過此線則發布警戒。
- 定期檢討：原則上每 5 年或發生重大災害時，利用新數據進行檢視修正。

第一部分

適用對象與範圍

適用災害種類

本基準主要針對受降雨影響而可預測的現象：

- 土石流：溪流中土砂隨水流動之現象。
- 同時多發性崩塌：在特定時空間內集中發生的大規模坡面崩塌。



「同時多發性崩塌」的概念



空間集中度

以網格及其周邊約 5km 四方範圍
為基本考慮單位。



時間集中度

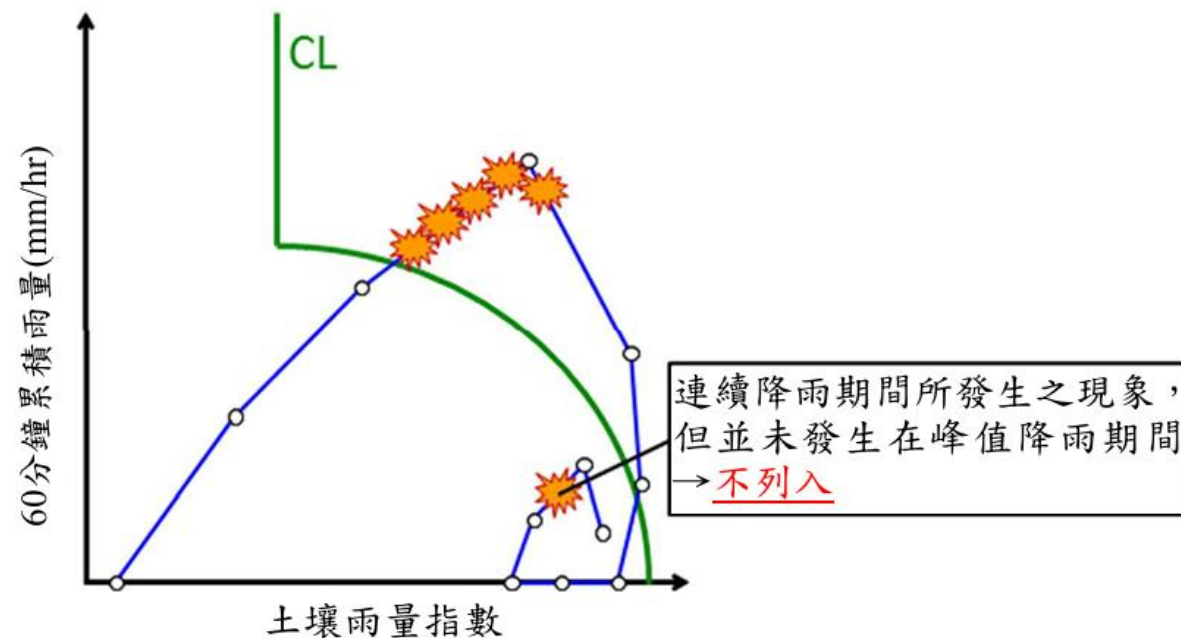
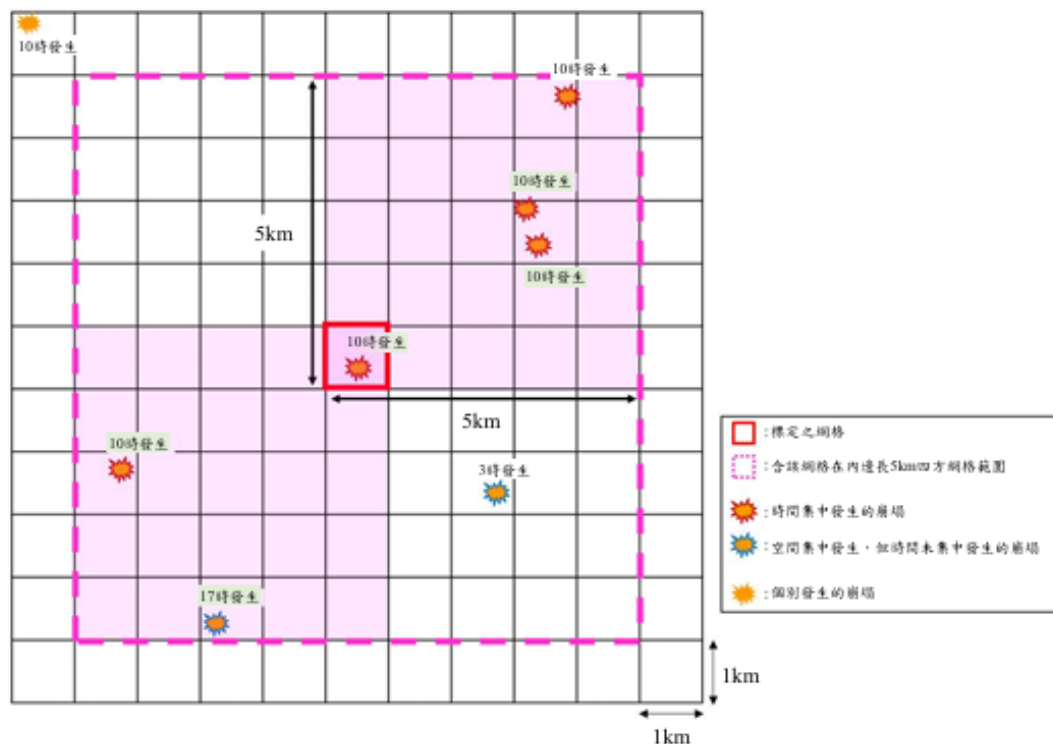
伴隨一連串降雨的峰值，在短時間
內密集發生。



降雨因果性

排除因凍結融解或零星發生的
偶發性崩塌案例。

「同時多發性崩塌」的概念

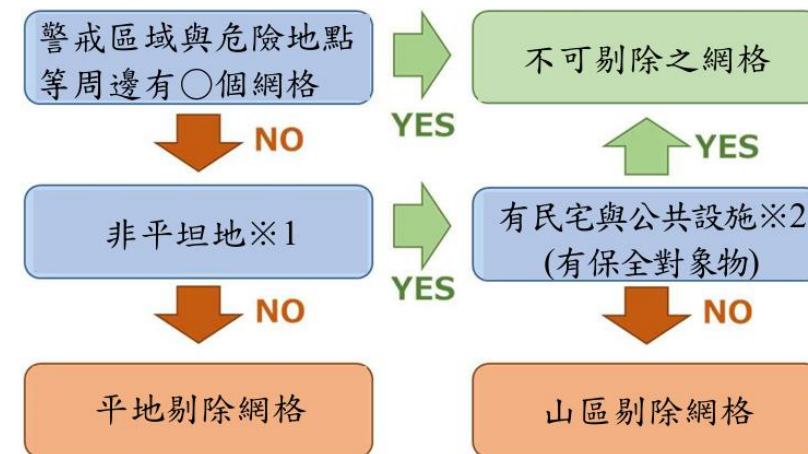




排除網格的設定原則

並非所有 1km 網格皆適用 CL，需排除無土砂災害風險或無保護對象之區域：

分類	判斷基準	處置方式
平地網格	地勢平坦、坡度極小之區域。	排除，不進行基準判定。
無保護對象網格	無建築物、無民眾常態活動（如森林深處）。	排除(登山步道或旅遊景點另外綜合檢討)。
特殊區域	鄰近都道府縣邊界、涉及特定市町村協議。	經協議後決定是否保留。



※1：（例）坡降小於○度

※2：（例）國土數值資訊顯示該地區土地利用非森林、荒地、河川與湖沼，或國勢調查有人口

基準設定採用的指標



短期指標：60 分雨量

反映即時降雨強度對地表崩塌或土石流的誘發程度。



長期指標：土壤雨量指數

模擬水分在土壤中的蓄積與排除情形，
反映地層含水飽和度。



第二部分

CL 基準線設定方法



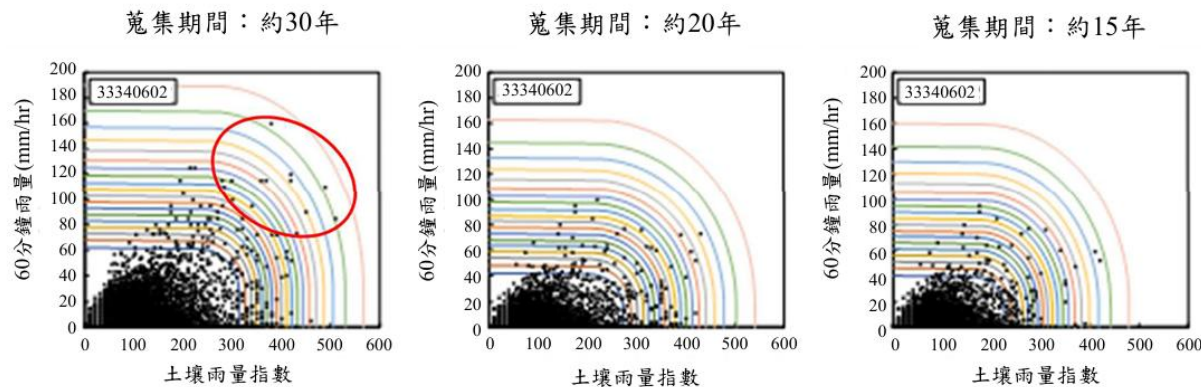
CL 設定標準作業流程



降雨與災害資料的蒐集與整理

降雨資料：解析雨量

由氣象廳提供 1km 網格的解析雨量與土壤雨量指數。原則需涵蓋 10-30 年之數據，以捕捉極端降雨特徵。



災害資料：歷史履歷

- 確定災害發生的正確網格
- 判別是否為 CL 適用災害
- 確認避難指示發布紀錄

蒐集項目：

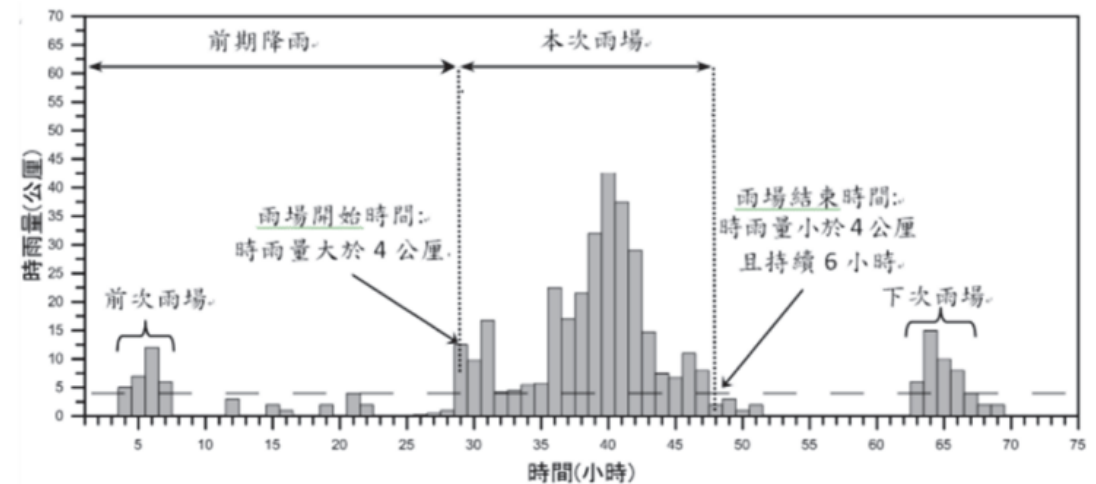
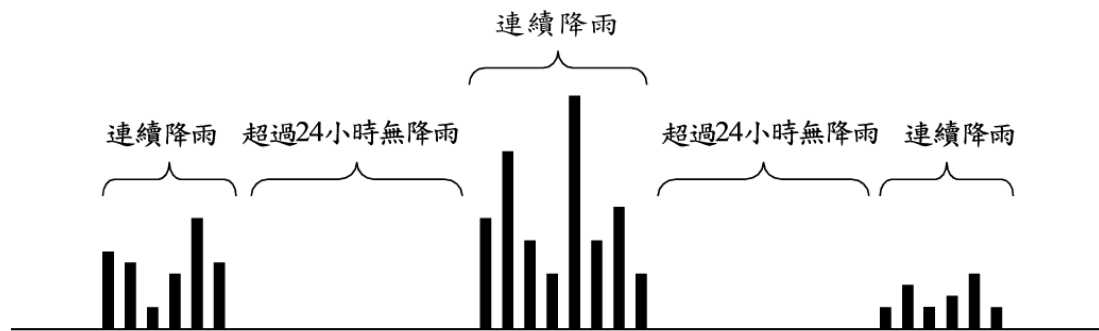
1. 發生地點(地址、緯經度)及溪流名稱或地名。
2. 發生時間(年月日外，更理想的是精確到小時)
3. 災害種類(土石流、山地坡面崩塌、地滑)
4. 崩塌規模
5. 災害狀況(傷亡及失蹤人數、建物毀損)

發生災害時降雨量之擷取

定義「一連串降雨」為前後間隔 24 小時以上無降雨之事件群，
並標定出導致災害發生的降雨軌跡。

國內研究：

以時雨量大於 4mm 處為本次降雨開始時刻，
再以時雨量連續六小時均小於 4mm 處為該
雨場降雨結束時刻(李明燾，2006)



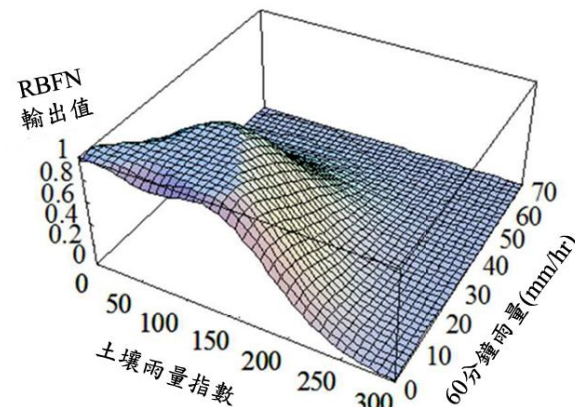
RBFN 響應曲面模型

降雨機率密度之體現

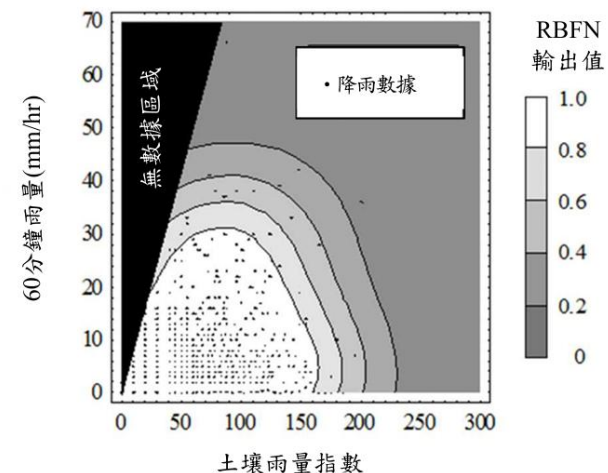
曲面的 Z 軸代表降雨發生的機率密度（RBFN 輸出值）。

- 高 RBFN 值：降雨數據密集的区域（常發生）。
- 低 RBFN 值：降雨數據稀疏的区域（罕見，具危險性）。

我們取等輸出值線作為 CL 線形的雛形。



(a) 三維呈現狀況

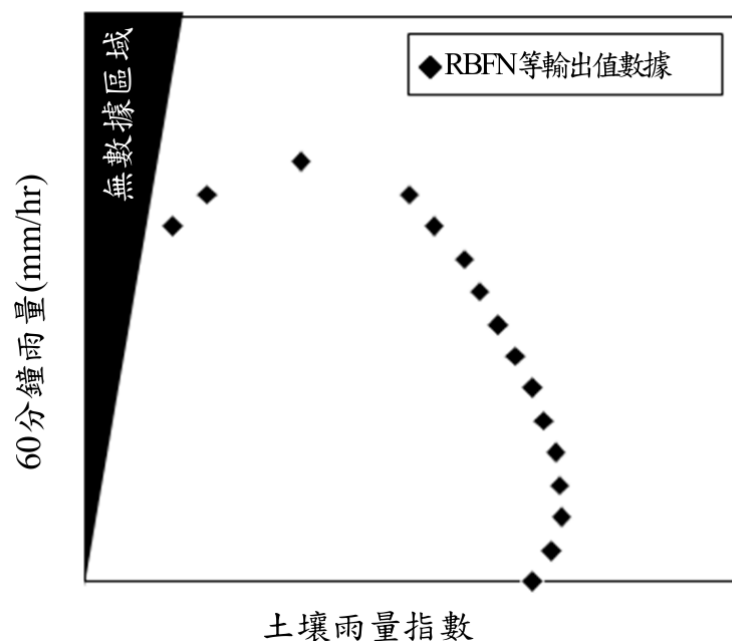


(b) 二維呈現狀況

RBFN 建模關鍵參數

0.05-0.95

RBFN 輸出值間隔



使用放射狀基底函數網路（RBFN）非線性判別，自動擬合降雨出現機率。主要參數設定如下：(2017.11.6~迄今)

- 網格間隔：X軸(土壤) 5mm, Y軸(60分) 1mm
- 影響半徑：新推薦值 X軸 145, Y軸 80
- 正則化參數： $\lambda_{\max}$ 10,000 / $\lambda_{\min}$ 1

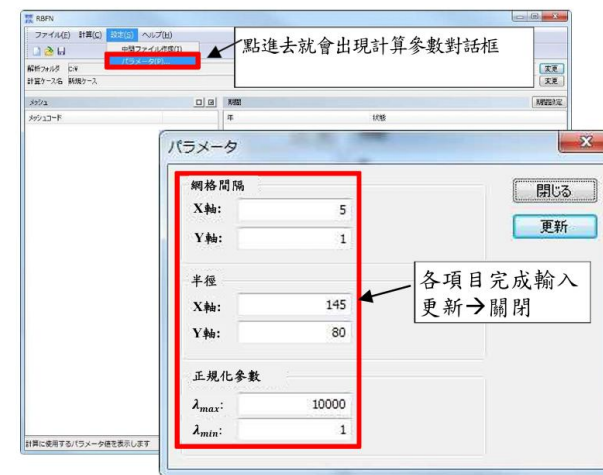


圖-1 RBFN 程式計算參數之設定

CL 檢討步驟 1：線形修正

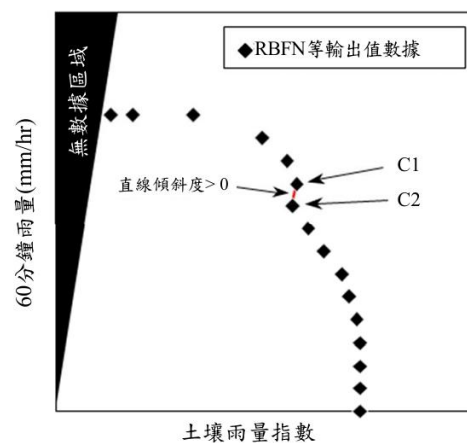
原始 RBFN 線形需根據物理邏輯與實際危險度進行幾何修正，確保符合「雨大則險」的原則：

排除負斜率

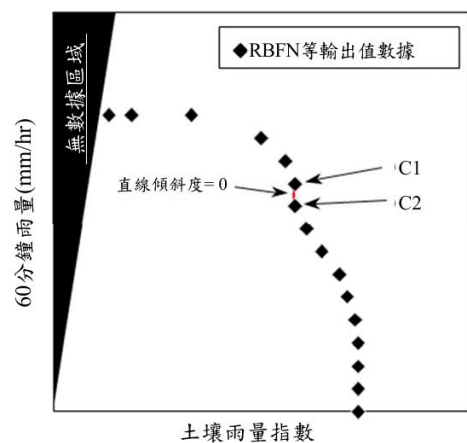
當降雨強度增加時，不應出現土壤雨量指數需求反而增加的矛盾現象。

最大值飽和處理

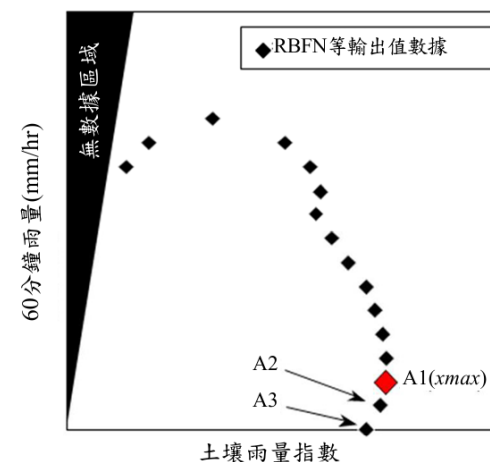
修正等值線中的凹陷處，確保線形在座標系中具有單調遞減或持平的特性。



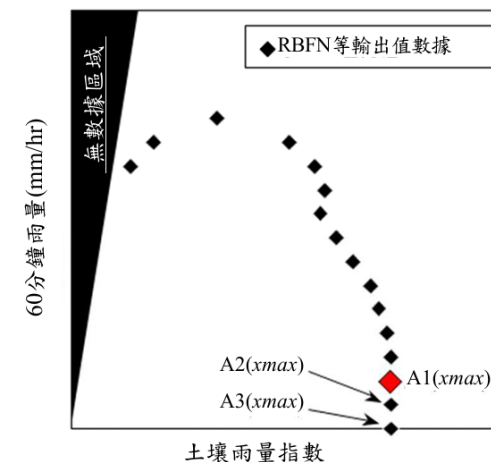
(a) 修正前



(b) 修正後



(a) 修正前



(b) 修正後

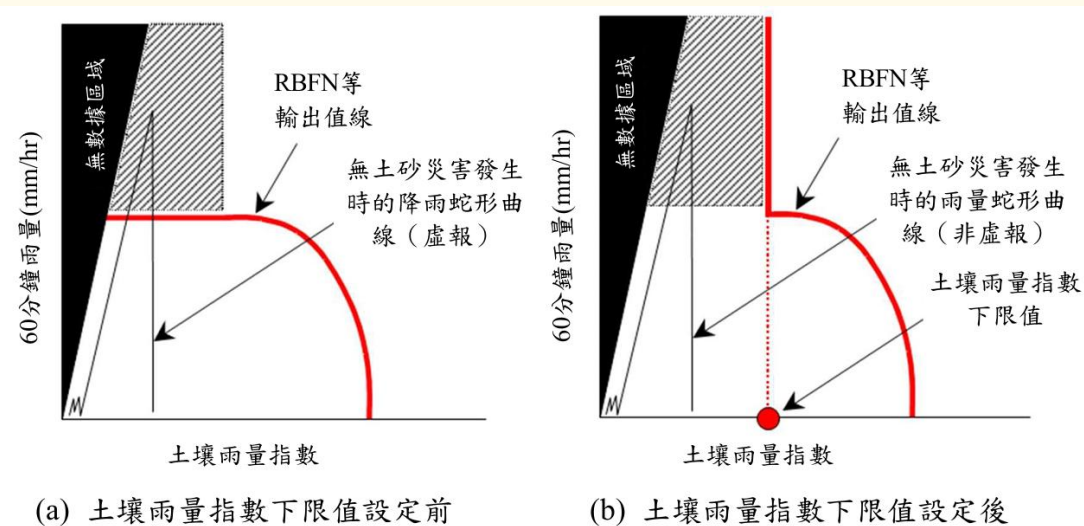
CL 檢討步驟 2：設定下限值

目的：避免「短延時強降雨誤報」

 即使 60 分雨量極大，若土壤含水量過低，土砂災害風險相對較低。

 透過設定「土壤雨量指數下限值」，將短期強降雨引起的誤報有效攔截。

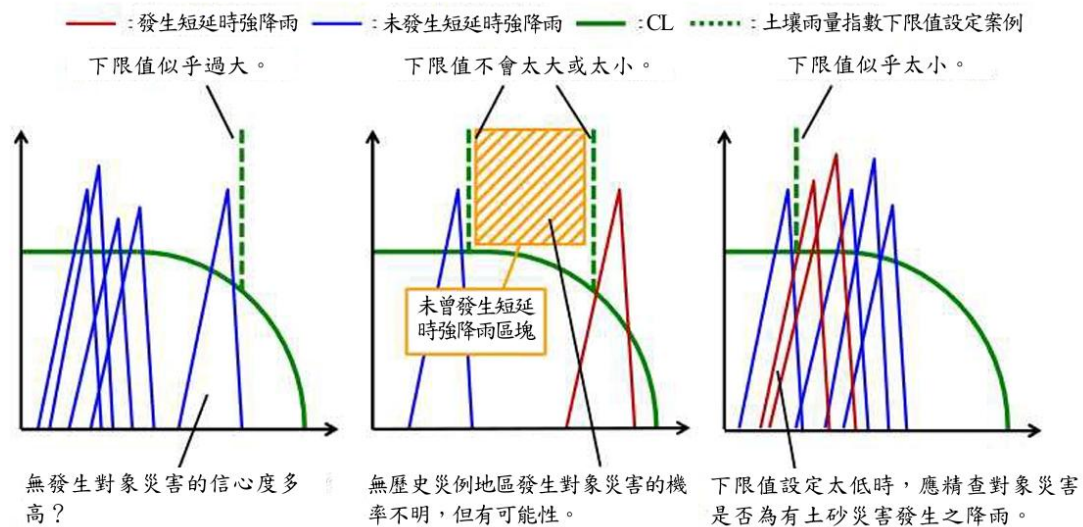
 參考過去短時間強雨引發之災害案例，確定下限值切線位置。



下限值設定的實務

圖中顯示了下限值設定前後的區域差異。設定後，左側（低土壤雨量）的區域即使降雨強度高，也不會觸發警戒，這符合夏季午後熱對流降雨的實務處理需求。

關鍵決策點：需平衡「捕捉率」與「誤報頻率」





CL 檢討步驟 3：無災害網格

針對過去無災害紀錄的區域，CL 的設定採取「區域類推」與「歷史頻率」法：

地質因素類推

參考地質、地形特徵相似的災害發生區域，選定同等級的 RBFN 輸出值。

歷史降雨排位

參考該網格歷史前兩名的大規模降雨，將基準設定在超過歷史紀錄的高度。

潛因風險地圖的標準化運用

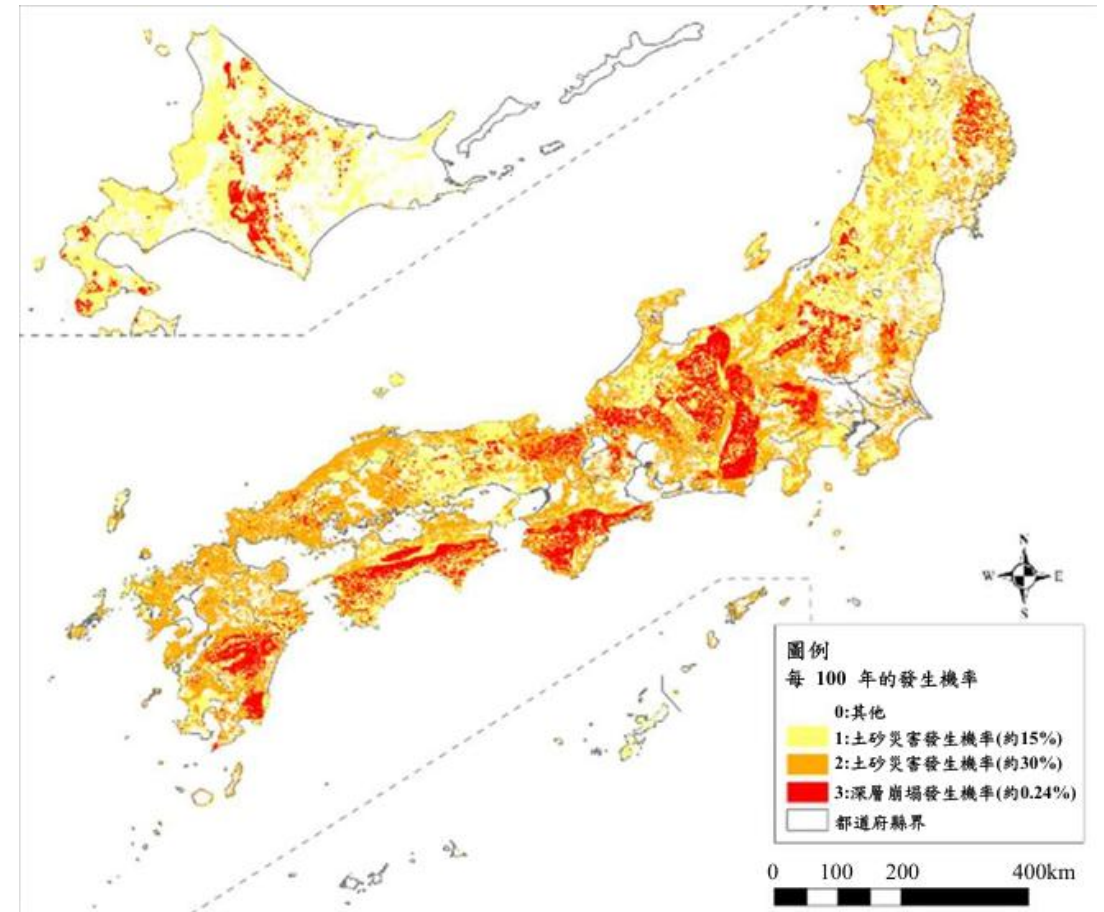
為了克服數據不平衡問題，國總研利用全國 1996-2018 年的災害數據，建立了全國共通的「地形・地質素因風險地圖」。

- 提供客觀的輔助線，檢驗各都道府縣設定區域的合理性。
- 減少人工裁量的偏差，提高標準的透明度與客觀性。



標準化對標：

將各網格風險分級與全國水平同步。





CL 檢討步驟 4：最終方案選定

比較不同 RBFN 方案的效能（捕捉率越高越安全，但發表頻度越高則疲勞）：



結論：選取能在確保高捕捉率的前提下，使發布頻度維持在社會可接受範圍的方案。

CL 基準的決定與登錄



意見徵詢與共識

與地方氣象台、專家及市町村避難決策者充分協商，
確保基準符合防災實務所需。



氣象廳系統登錄

將 1km 網格的 CL 參數轉化為數據格式，登錄至氣象廳
預報系統中，正式啟用。

第三部分

土砂災害警戒資訊驗證

驗證的目的與機制

驗證非一次性工作，分為以下三大核心項目：



統計性整理

年度發布次數、捕捉率的全面盤點。



成功案例檢討

分析「準確」案例中的領先時間與
避難關聯。



誤報/漏報分析

針對失敗案例查找原因，作為 CL
調整依據。



驗證資料的權責分工

資料類別	負責單位	關鍵內容
土砂災害資料	都道府縣	發生日時、地點(網格)、規模、被害狀況。
預報與發布紀錄	地方氣象台	大雨警報、警戒資訊發布時間、區域。
降雨實測與預測	地方氣象台	1小時雨量解析值、各網格預測雨量、土壤指數。
避難執行狀況	市町村	避難指示發布、住民實際避難人數與時間。

預測準確案例分析：蛇行線運用

視覺化降雨軌跡

透過蛇行線 (Snake Line) 觀察降雨發展過程：

- 軌跡何時切入 CL 超過領域？
- 與實際災害發生點的契合度。
- 是否有預測雨量帶來的提前量？

這有助於判斷 CL 線形的「傾斜度」與「高度」是否合適。

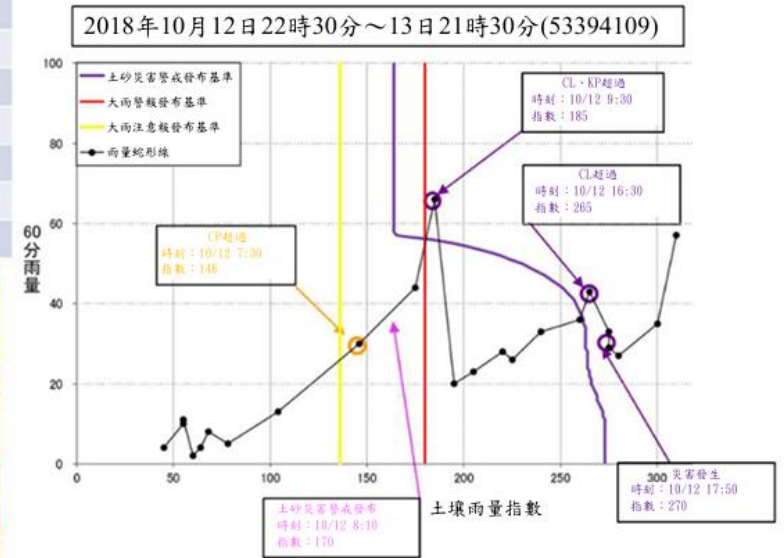
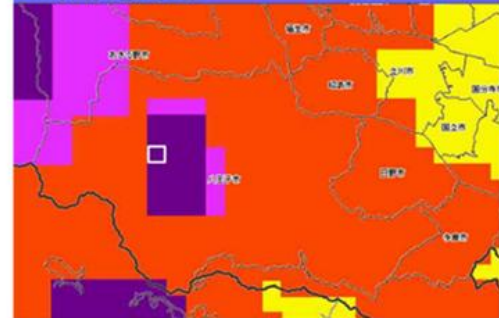
土砂災害警戒資訊發布捕捉到之案例

2018年10月12日所發布的東京都八王子市災害日時狀況

※假定CL對象災害的檢討

日時	狀況
10/12 04:14	大雨警報（土砂災害）發布
10/12 08:10	土砂災害警戒發布
10/12 09:10	土砂災害危險度亮紅燈
10/12 12:00	土砂危險度亮淺紫燈
10/12 14:10	土砂災害亮深紫燈
10/12 15:30	大雨特別警報發布
10/12 17:50	土石流發生

2019年10月12日14時10分



・土砂災害發生於12日17:50。土砂災害警戒資訊已在8:10發布，實測雨量超過C L為9:30。雨量曾短暫降低到低於基準值，但後來雨量再度提高且實測雨量超過C L時發生災害。確認C L值設定妥當。

誤報與漏報案例分析

⇒ 誤報原因

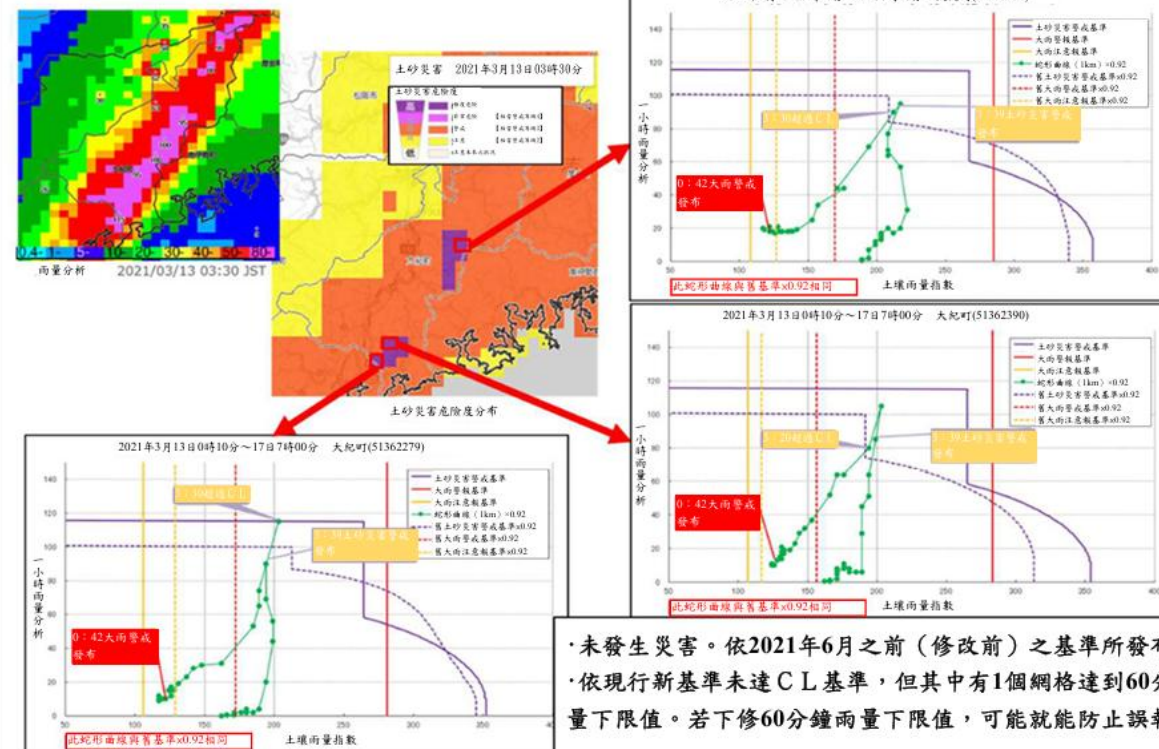
- CL 設定過低。
- 降雨預測大幅偏離實況。
- 缺乏下限值攔截雷陣雨。

❌ 漏報原因

- 降雨指標未能捕捉特定現象（如局部強降雨）。
- CL 設定過高。
- 災害屬非降雨因素引發。

土砂災害警戒資訊誤報之案例

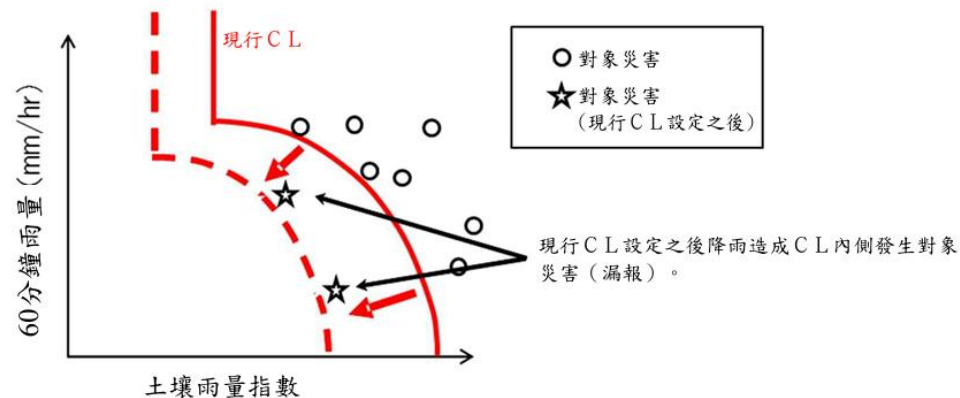
2021年3月13日大紀町所發布之土砂災害警戒資訊 未發生災害



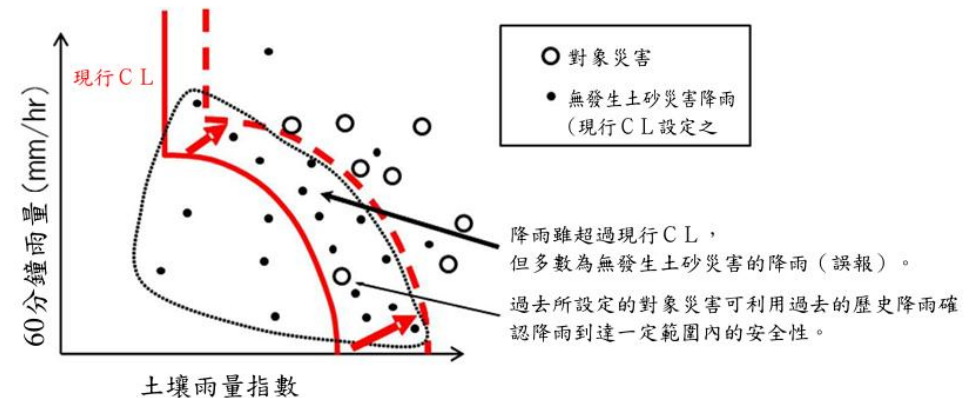
持續改進：CL 的動態調整

彙整土砂災害警戒資訊的災害捕捉率與發布頻率，若數值偏差過大，必要時應修正CL。

驗證結果回饋至下一輪的基準設定，確保預報體系隨氣候變化與數據增加而進化。

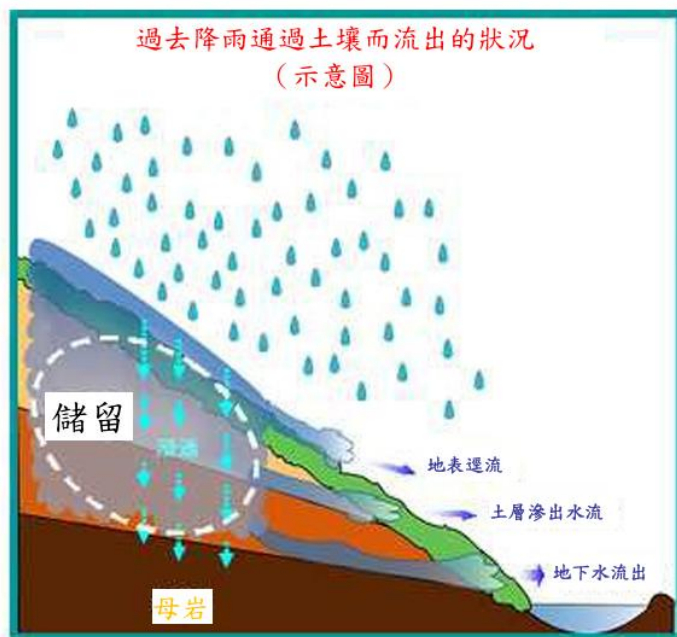


回饋1：線形局部縮小(提升靈敏度)

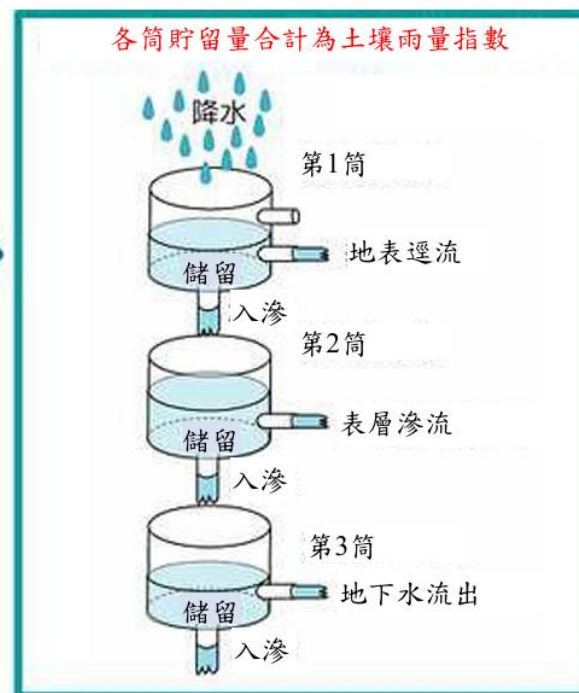


回饋2：線形局部擴大(減少誤報)

附錄：土壤雨量指數原理



模式化



三段式水箱模型 (Tank Model)

將降雨透過孔洞流出的過程模型化：

- 第一段：模擬地表流出。
- 第二段：模擬表層滲透流出。
- 第三段：模擬地下水流出。

三段水箱剩餘水分的總和，即定義為「土壤雨量指數」，代表地層之飽和程度。

報告完畢 敬請指教



農業部農村發展及水土保持署
與您一起打拼