

土砂災害警戒資訊基準設定及驗證方法之構想

2023 年 3 月

國土交通省水管理及國土保全局砂防部

氣 象 廳 大氣海洋部

國土交通省國土技術政策總合研究所

目 錄

1 · 前言	1
(土砂災害警戒資訊之基準設定)	2
2 · 適用	2
2-1 · CL (土砂災害發生臨界雨量線) 之對象災害	2
2-2 · CL 適用區域及不適用之網格	5
2-3 · CL 設定使用之雨量數據	5
3 · CL 設定方法	6
3-1 · CL 設定流程	6
3-2 · 資料蒐集與整理	7
(1) 降雨資料之蒐集與整理	7
(2) 土砂災害資料之蒐集與整理	9
3-3 · 土砂災害發生時降雨量之擷取	10
3-4 · 以 RBFN(類神經網路)設定反應曲面	11
(1) 降雨數據	11
(2) 反應曲面之設定	11
3-5 · RBFN等輸出值數據之擷取	12
3-6 · CL 之檢討順序	13

（土砂災害警戒資訊之驗證）	23
4・土砂災害警戒資訊之驗證	23
4－1・驗證數據之蒐集	24
（1）土砂災害資料之蒐集（都道府縣）	24
（2）土砂災害警戒資訊等的發布狀況及降雨資料之蒐集（地方氣象台等）	24
4－2・驗證作業	25
（1）土砂災害警戒資訊之發布次數、災害捕捉率等的統計調查	25
（2）土砂災害警戒資訊預測準確案例之探討	32
（3）土砂災害警戒資訊誤判及漏判案例之探討	33
4－3・依據驗證結果進行 CL 調整	34
◆補充資料 1 土壤雨量指數	
◆補充資料 2 利用 RBFN 法設定反應曲面之方法及分析模式	
◆補充資料 3 進行 RBFN 程式作業時所設定的參數	
◆補充資料 4 土壤雨量指數下限值具體設定方法案例	

1．前言

土砂災害警戒資訊係大雨引致土砂災害之危險度升高時，就警戒等級 4 之相當資訊所發布可適時適切支援市町村長發布避難指示等災害緊急措施執行或居民進行自主避難為目的所發布之資訊。

為了此等資訊的適切運用，在都道府縣、地方氣象台等相互合作之基礎上，調查土砂災害警戒資訊與災害發生之關係，在土砂災害警戒資訊之發布基準上，對「土砂災害發生危險基準線」（即「土砂災害發生臨界雨量線」，Critical Line：以下簡稱「CL」。）等的有效性或運用方法等，持續驗證試圖提高精度，找出課題與問題點並加以改善。

本資料說明土砂災害警戒資訊基準之設定方法及土砂災害警戒資訊的驗證與改善方針。期許未來制定都道府縣與氣象廳合作發布土砂災害警戒資訊之相關基準，或持續驗證與改善，乃至於都道府縣與市町村等土砂災害主管部門執行砂防工作時能更廣泛參考，運用本資料。

本資料彙整之基本構想如下。

- 本基準之設定以短期降雨指標 60 分鐘累積雨量與長期降雨指標土壤雨量指數等二指標配合使用。
- CL 為土砂災害發生危險性偏低而降雨出現機率較高之領域（以下稱為「未超過 CL 範圍」）與土砂災害危險性相對較高而降雨出現機率亦較高之領域（以下稱為「超過 CL 範圍」）的分界。
- CL 係依據累積雨量推估一定範圍的土砂災害危險度，而不是直接依個別陡坡等的地形、地質與植生等狀況推估土砂災害危險度。
- CL 設定後應 5 年一次依最新降雨數據、災害數據及重大災害狀況，適度地修正。

此外，本資料於未來獲得新知識見解時，應適度地予以修正。

(土砂災害警戒資訊之基準設定)

2・適用

2-1・CL(土砂災害發生臨界雨量線)之對象災害

本資料所討論之現象為降雨引致可預測之「土石流」及「同時多發性崩塌」。土砂災害警戒資訊相當於警戒等級 4，此為市町村長須進行避難指示等災害緊急對應之降雨規模。

「同時多發性崩塌」指連續降雨達峰值前後，時間集中或一定範圍內發生多處崩塌，亦即時空集中發生之崩塌。此外，不論崩塌還是土石流，若災害發生時土壤雨量指數及 60 分鐘累積雨量和連續降雨峰值差距太大，不列入對象。圖-1 與圖-2 為「同時多發性崩塌」之案例。

「同時多發性崩塌」的「同時多發」空間範圍大致如圖-1 所示，基本上含該網格邊長 5km 四方的範圍。此外，「同時多發性崩塌」之「時間集中程度」依據蛇形曲線(連續降雨期間實際雨量資料點繪所形成連續曲線圖，Snake Line)形狀及降雨模式(以降雨歷線圖確認之)加以判定(參照圖-2)。

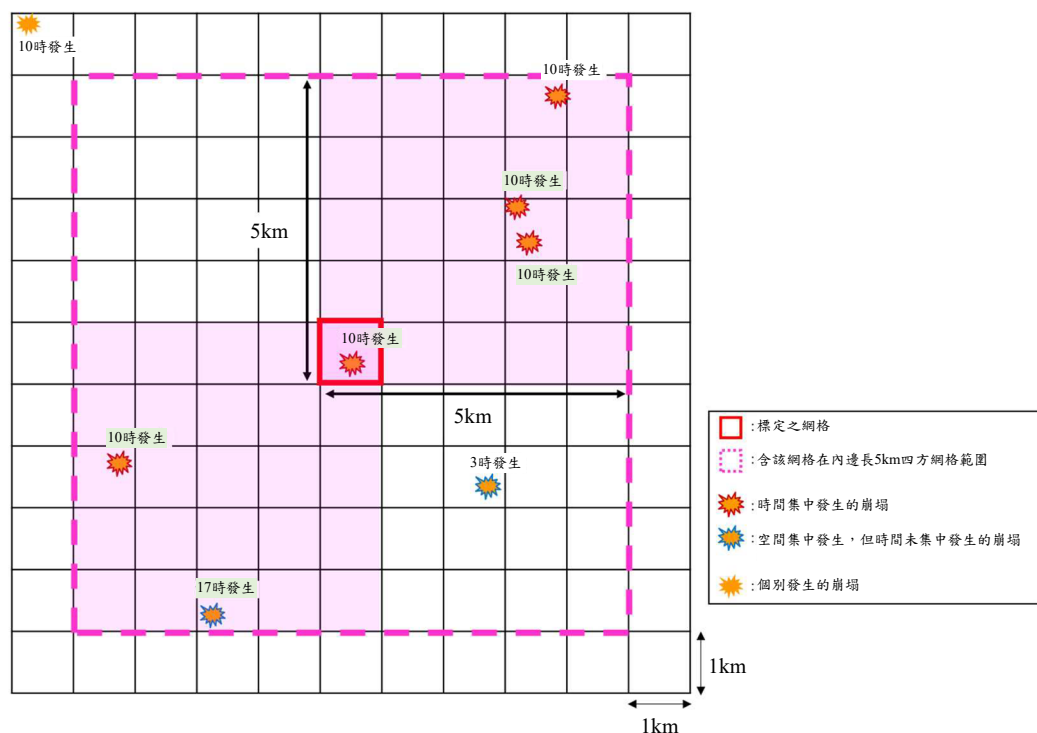


圖-1 同時多發性崩塌的案例 1

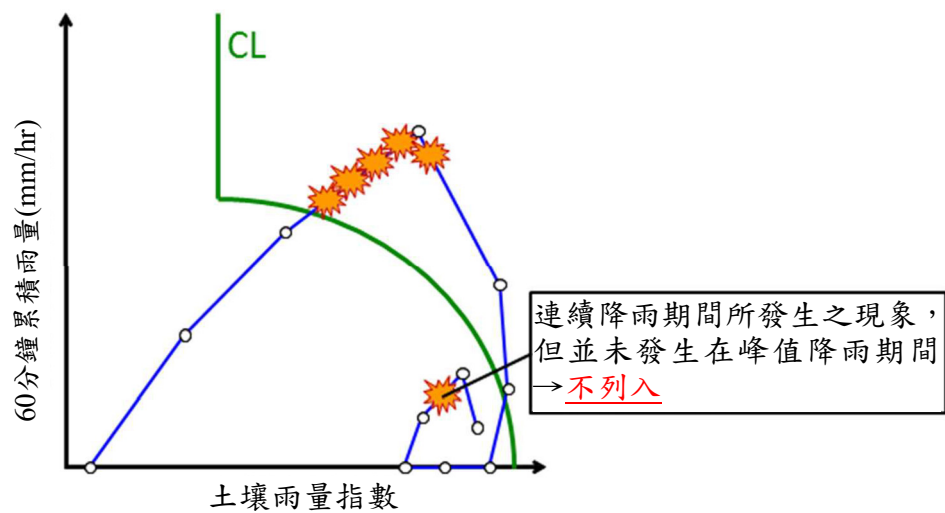


圖-2 同時多發性崩塌所選定案例 2

不僅地滑與深層崩塌，土石流與坡面崩塌也可能在土壤雨量指數與 60 分鐘累積雨量不高的狀態下發生。這類土砂災害難以用土壤雨量指數與 60 分鐘累積雨量雙軸所構成的評估方法評估其危險度，因此不列入。圖-3 是達連續降雨峰值雨量左右未發生土砂災害之案例。

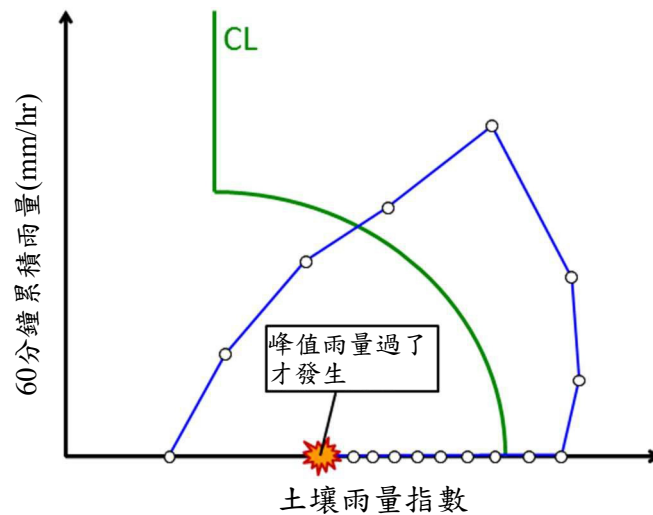


圖-3 峰值雨量左右無土砂災害發生之案例

類似「土石流」長距離流下的案例，含現象發生源之網格與含災區所在網格不同時，含現象發生源所在的網格作為災害發生網格。

土砂災害發生頻率低的地區較少可劃入 CL 對象之災害，常難以設定 CL 的情形不少。此類狀況應參考 3－6 ③無災害發生之網格等的 RBFN 輸出值線選定方法構想，設定其 CL。此外，道路與鐵道沿線發生的土石流或崩塌，可先設定坡面類型與現象規模大小等的一定條件，列為 CL 對象之現象。

<短評 1> 「同時多發性崩塌」之概念

坡面崩塌在強風或地面凍結溶解等作用下即使小降雨量也可能零散發生。這類現象主要受降雨之外的因素影響，因此很難只靠雨量預測其是否發生。相對的，於連續降雨峰值前後所同時多處發生的崩塌，降雨較可能為發生主因。因此，「同時多發性崩塌」可依雨量大小加以預測。

2-2・CL 適用區域及不適用之網格

CL 適用區域代表該區域已完成 CL 設定並進行雨量是否已超過臨界線之判定範圍，基本上以 1km 之網格為單位。但地形平坦無發生土砂災害之虞的網格，或無建物、無民眾常態活動的網格，從自然與社會條件的角度評估無引致土砂災害危險者，不適用 CL 網格，從 1km 網格單位之 CL 適用地區剔除。此外，所剔除網格不只不必蒐集土砂災害警戒資訊，也應從大雨警報(土砂災害)及大雨特別警報(土砂災害)基準超過判定對象剔除。剔除這些網格的流程如圖-4 所示。山區道路、登山步道及有觀光景點的網格處理方式，須另外綜合檢討，由氣象單位等與市町村等協議訂定。此外，相鄰都道府縣地界附近應先由都道府縣各自劃定可剔除網格。

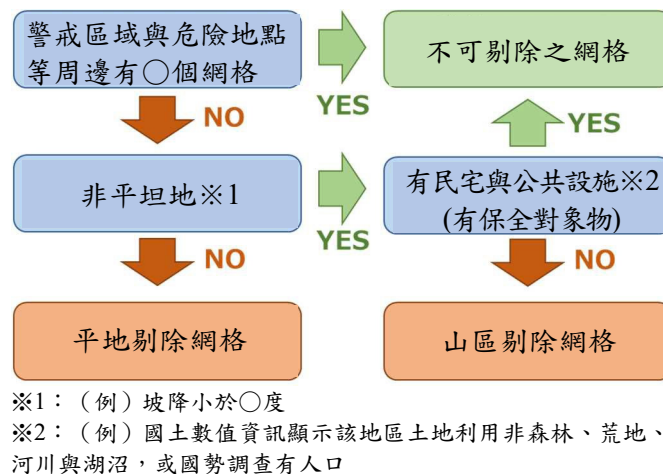


圖-4 剔除網格設定流程案例

2-3・CL 設定使用之雨量數據

CL 之設定配合使用短期降雨指標與長期降雨指標。短期降雨指標採用 60 分鐘累積雨量，長期降雨指標以降下雨量累積土壤內所推估之土壤雨量指數（土壤雨量指數詳細說明見參考資料 1，也可向地方氣象臺等申請，取得適當且必要之資訊）。

3 · CL 設定方法

3-1 · CL 設定流程

本方法係綜合考量 CL 之未超過範圍與過去土砂災害發生狀況或避難指示實況等，而設定 CL。

CL 之設定流程（含土砂災害警戒發布之驗證）如圖-5 之流程表所示。此外，CL 之未超過範圍之劃定，使用具優化之非線性判別度且能提升 CL 設定之客觀性的類神經網路（以下稱為「RBFN」。）（RBFN 詳細說明參照參考資料 2）。

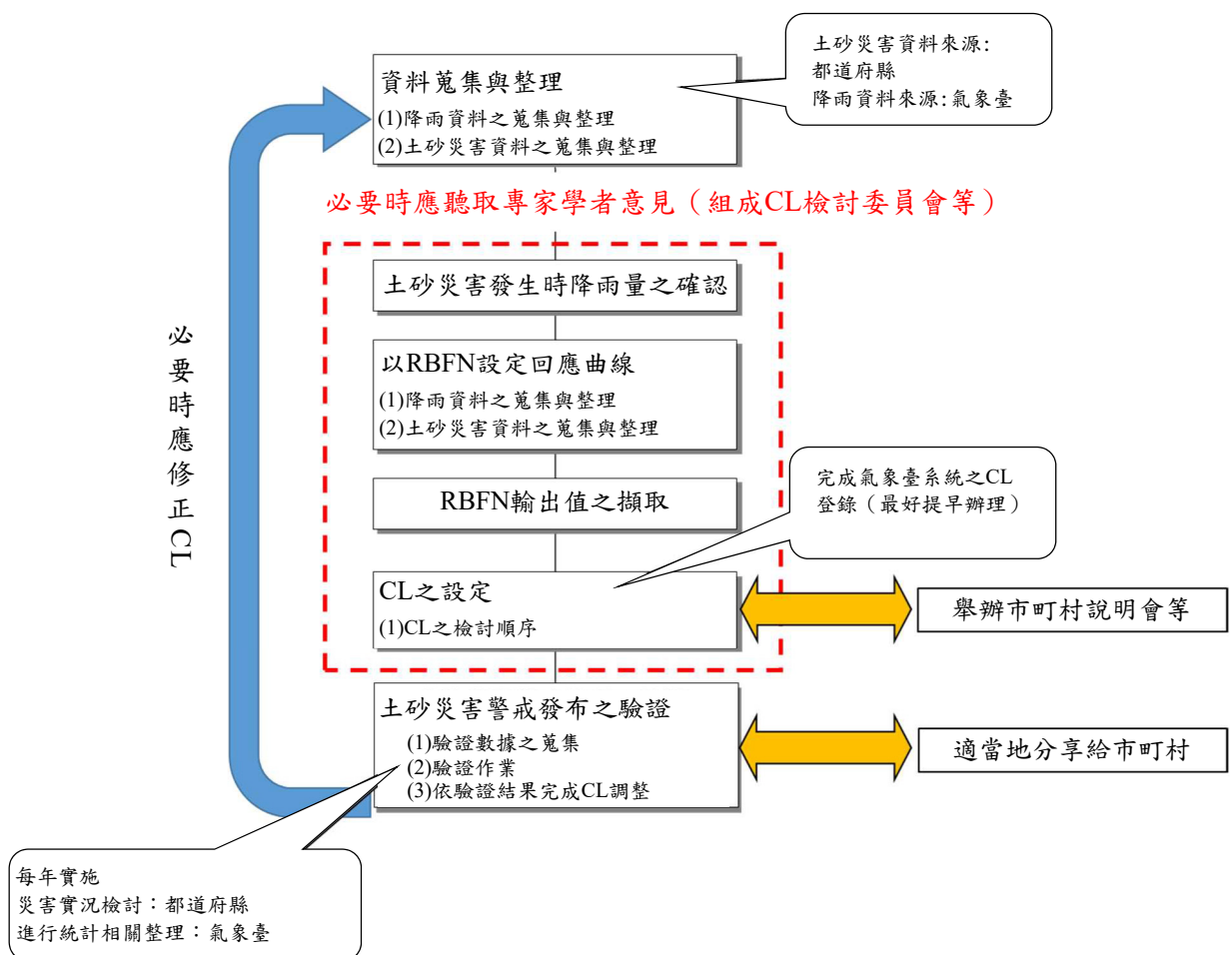


圖-5 CL 的設定流程

3－2・資料蒐集與整理

(1) 降雨資料之蒐集與整理

就各網格設定 CL 所需之歷史降雨資料(60分鐘累積雨量與土壤雨量指數)，應採用氣象廳所發布之雨量分析與土壤雨量指數。這些降雨資料都由相關地區的氣象臺調整後由當地的地方氣象臺提供給各都道府縣。

降雨資料蒐集時間越短越難呈現該雨場之降雨特性。因此在 3－4 (2) 節就反應曲面設定所需之降雨資料，蒐集期間原則上要 10 年以上。為防止漏掉重要降雨記錄，最好使用較長期降雨資料，此時，不侷限於 2006 年開始提供 1km 網格雨量分析以後的降雨資料(1km 網格解析雨量與土壤雨量指數)，也可運用 1991 年～2005 年的降雨資料(5km 或 2.5km 網格之雨量分析與土壤雨量指數)。

設定 CL 所使用氣象廳的雨量分析與土壤雨量指數，都採正時 00 分。

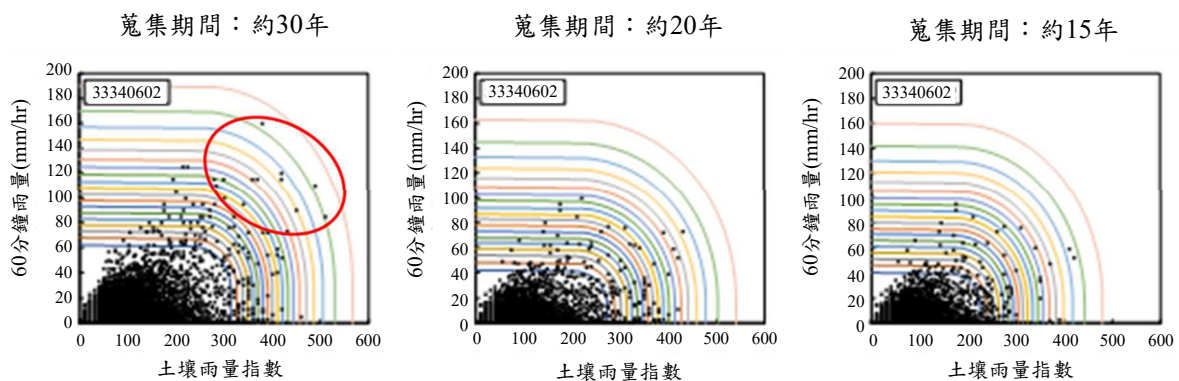
<短評2> 氣象廳作成的雨量分析與土壤雨量指數

氣象廳作成的雨量分析與土壤雨量指數數據蒐集期間與解析度等，如下表所示。使用 5km 網格雨量分析與土壤雨量指數的雨量資料，從 1988 年起就已存在但多數數據缺漏，因此基本上只採用 1991 年之後的數據。此外，雨量分析從 2003 年 6 月起除了 00 分系統標示（正時）外，也有的採 30 分鐘系統標示，但製作反應曲面時補正用的雨量觀測數據，採精度較高的 00 分系統標示。

雨量分析	期間	時間間隔	解析度	備註
	1988.4~2001.3	1小時	5km	補正只使用自動氣象觀測系統A Me DAS之雨量計
	2001.4~2003.5	1小時	2.5km	開始利用國土交通省與地方政府的雨量計補正
	2003.6~2006.2	30分	2.5km	
	2006.3~	30分	1km	正規版解析雨量
	2018.3~	10分	1km	速報版解析雨量

土壤雨量指數	期間	時間間隔	解析度	備註
	1988.4~2001.3	1小時	5km	
	2001.4~2006.2	1小時	5km	
	2006.2~2022.5	30分	5km	2021年度完成全國47都道府縣1km的解析度
	2006.4~	1小時	1km	正時系統再解析版土壤雨量指數 （非運用，而是以設定CL的00系統標示作成）
	2018.3~	10分	1km	高頻率土壤雨量指數

國土技術政策總合研究所土砂災害研究室針對降雨資料之蒐集期間與反應曲面的關係進行了全國性的敏感度分析。結果發現即使把開始蒐集降雨資料的期間往前推到 2005 年之前，就全國平均而言影響不大；反而 2005 年之前經歷較大降雨之網格（下圖）所受的影響較大。因此，依過去的降雨狀況，納入精度較低之 2005 年以前的降雨資料。



此外，2018 年 3 月開始之速報版雨量分析與高頻率土壤雨量指數。未來累積 10 年左右資料即可能用來作成反應曲面。

（2）土砂災害資料之蒐集與整理

降雨資料蒐集期間內發生的土砂災害，對其發生地點（地址、經緯度）、溪流名稱或地名、發生年月日（最好有時間單位的精度）、災害種類（土石流、山地坡面崩塌、地滑）、崩塌量、災害狀況（死者、失蹤、負傷者、房屋毀損等）、有無發布避難指示等應加以蒐集、整理。此外，也應依據所蒐集的土砂災害住址與經緯度，整理該土砂災害地點所在的網格編號。這部分都道府縣砂防局處應與地方氣象臺等合作實施。

3-3・土砂災害發生時降雨量之擷取

擷取各網格依 2-1 節定義引致土砂災害發生之連續降雨（以下稱為「發生土砂災害時的雨量」）。又，即使確認未發生 2-1 定義現象所引致土砂災害之連續降雨雨量（但確認已發生某種程度的土砂移動），但因有災情，仍以判定為「土砂災害發生時的雨量」為宜者，該雨量視為「發生土砂災害時的雨量」。另外，所蒐集降雨資料之中，除「發生土砂災害雨量」之外的，都為「未發生土砂災害時的雨量」。此處連續降雨定義為前後 24 小時以上無降雨之一場連續降雨（參照圖-6）。

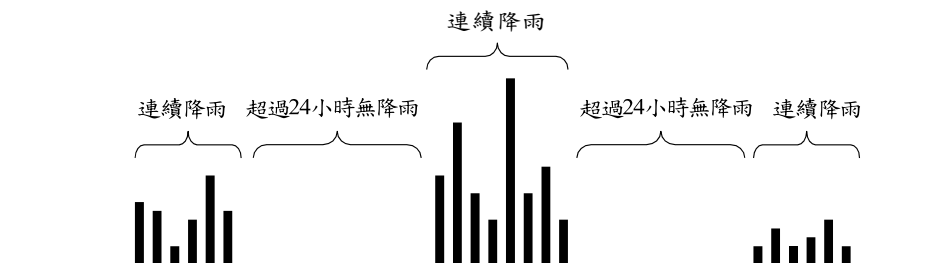


圖-6 連續降雨概念圖

3-4 · 以RBFN(類神經網路)設定反應曲面

(1) 降雨數據

反應曲面係以全部降雨數據作成，與過去是否發生土砂災害無關。

(2) 反應曲面之設定

各網格採用 RBFN，依 3-4 · (1) 節作成全部降雨數據的曲面（以下稱為「反應曲面」）。

反應曲面的 x 軸、y 軸分別代表土壤雨量指數與 60 分鐘雨量的平面上任意點降雨量發生之機率高低。在此反應曲面的 z 軸稱為 RBFN 輸出值。此外，反應曲面上的 RBFN 輸出值同值點所連成的線為 RBFN 等輸出值線，其所呈現座標之集合便是 RBFN 等輸出值數據。

該平面上雨量數據落點密集的区域 RBFN 輸出值偏高，雨量數據稀疏的区域 RBFN 輸出值偏低（圖-7）。

設定時應使用國土技術政策總合研究所土砂災害研究室所公開的 RBFN 程式（參考資料 3）。

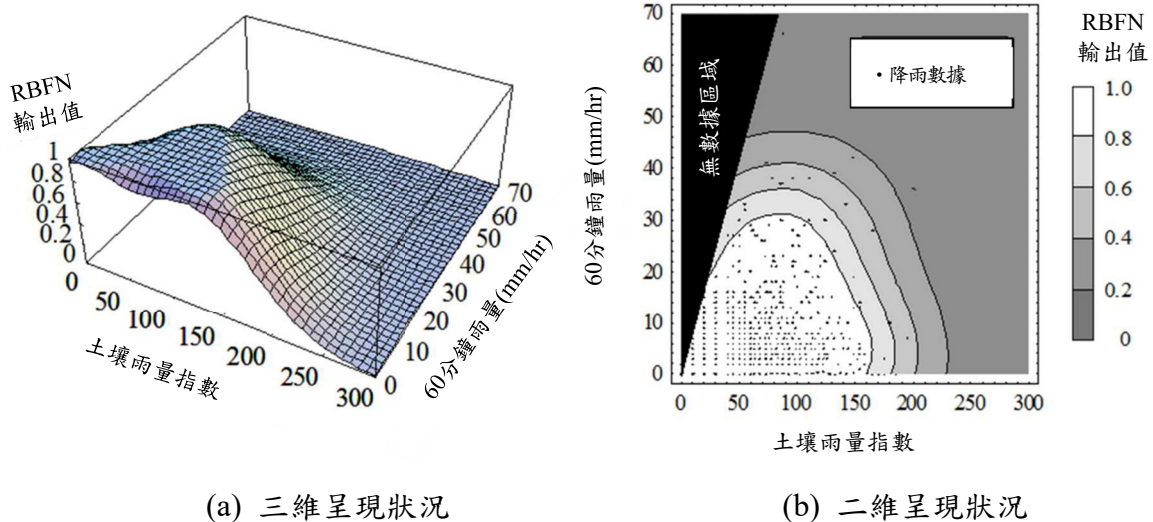


圖-7 反應曲面設定案例

3-5 · RBFN 等輸出值數據之擷取

從各網格依 3-4 節設定之反應曲面，分別擷取各該反應曲面 RBFN 輸出值 0.05~0.95 (0.05 間隔) 之 RBFN 等輸出值數據 (所有擷取 RBFN 等輸出值數據會有一個成為設定 CL 時的基本數據)。此處 RBFN 等輸出值數據所擷取的間隔 y 軸方向 (60 分鐘雨量)，以 1mm/hr 為單位，然後分別擷取對應 x 軸方向 (土壤雨量指數) 之值。

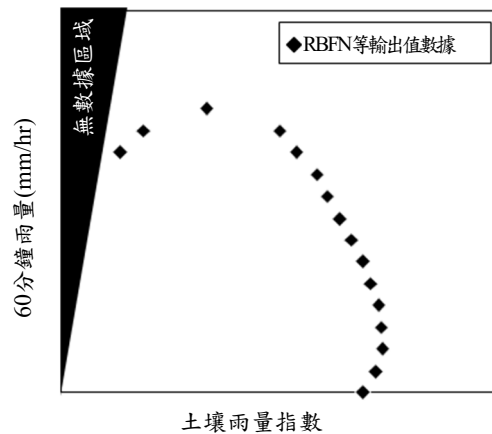


圖-8 RBFN等輸出值數據之擷取案例

3-6 · CL 之檢討順序

依以下①～⑤的順序檢討CL（土砂災害臨界雨量線）。

① RBFN等輸出值數據之修正

3-5節擷取之各項RBFN等輸出值數據，為避免和實際狀況及土砂危險度不一致，應以下列方法修正。

- 1) 如圖-9 所示，若存在 60 分鐘雨量值比RBFN等輸出值數據中土壤雨量指數值最大點（A1）還小的點（A2，A3），A2 與 A3 之土壤雨量指數值應修正到與 A1 點土壤雨量指數值同值。

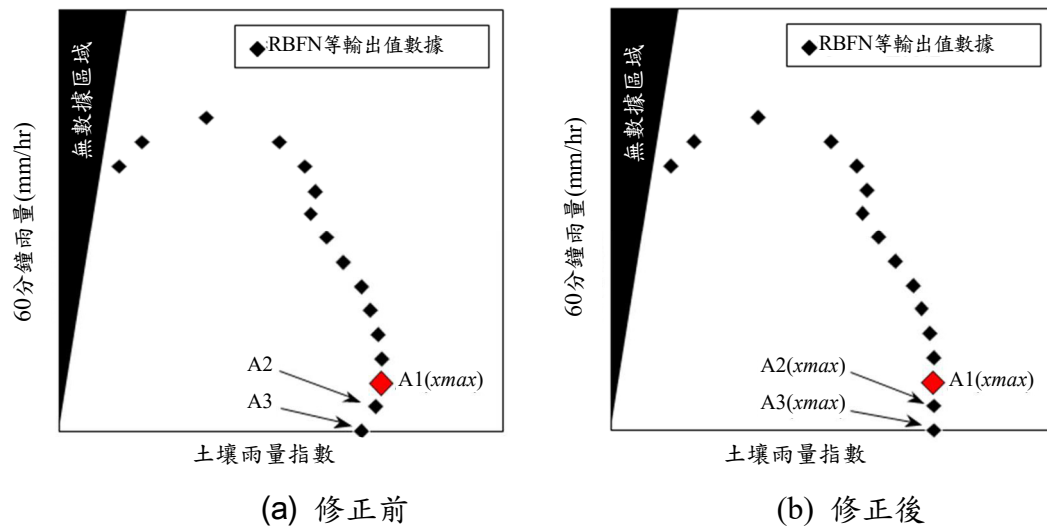


圖-9 RBFN等輸出值數據之修正方法

（60 分鐘雨量非最小但土壤雨量指數最大時）

- 2) 如圖-10 所示，若存在土壤雨量指數值比RBFN等輸出值資料 60 分鐘雨量值最大點（B1）還小的點（B2，B3），B2 與 B3 的 60 分鐘雨量值應修正到和 B1 的 60 分鐘雨量值同值。

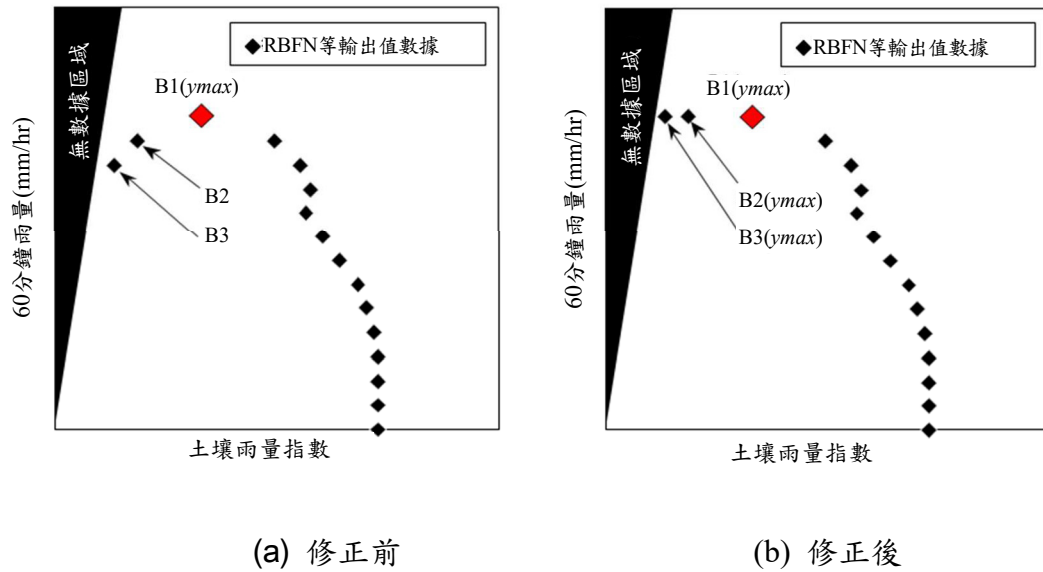


圖-10 RBFN等輸出值數據之修正方法

(土壤雨量指數非最小但 60 分鐘雨量最大時)

- 3) 即使完成上述1)、2)之修正，如圖-11 所示，若連結連續 2 點的RBFN等 輸出值數據(C1,C2)直線傾斜度大於 0，應修正 C2 土壤雨量指數值到與 C1 點的土壤雨量指數值同值。

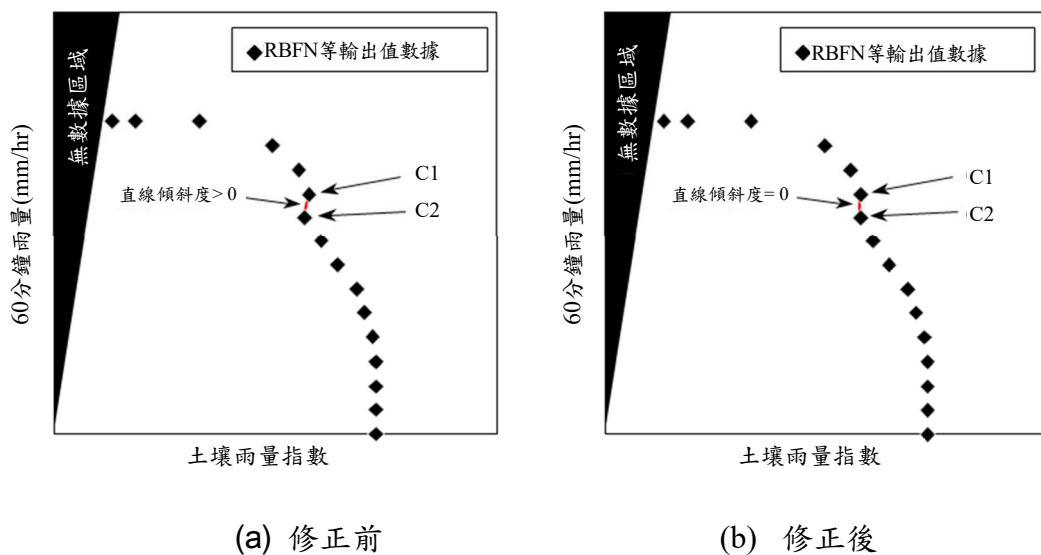


圖-11 RBFN等輸出值數據之修正方法 (2 點間的直線傾斜度>0 時)

② 土壤雨量指數下限值的檢討

若直接以依前述①方法畫成的曲線作為 CL，有些地域可能如圖-12(a)斜線（▨）所示的區域會經常誤報（大致在無先期降雨的傍晚等）。為避免這種虛報，參考短延時強降雨所可能引致對象土砂災害發生時的雨量與無土砂災害雨量蛇形曲線的趨勢與關係，劃定土壤雨量指數下限值作為土砂災害發生時未超過 CL 範圍與超過 CL 範圍的分界線。土壤雨量指數設有以下限值時，①所設定之曲線應從土壤雨量指數下限值那點沿左側的線與 y 軸平行向上彎折（參照圖-12(b)）。

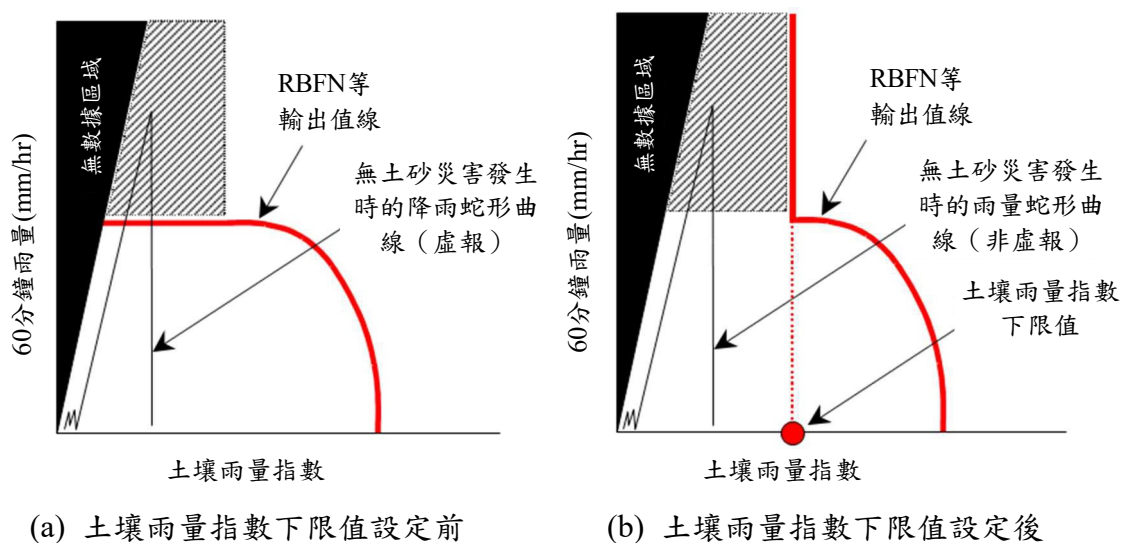


圖-12 土壤雨量指數下限值之設定方法

此外，設定時 CL 超過領域的災害發生頻率或災害發生機率，以及未經歷降雨領域等應加以注意。無充足歷史災例地區應同時注意其對象災害發生的降雨及無土砂災害發生時的降雨，才能更有效設定土壤雨量指數下限值。此外，即使有充足對象災害紀錄的地區，也可能出現容易造成避難警戒誤報的短延時強降雨，此時應進行對象災害精查，確認土壤雨量指數下限值的有效性。可參考圖-13 土壤雨量指數下限值設定方法與注意要點。下限值基本上應對每個網格擴大一定之比例或數值。（具體設定方法案例參照附件資料4）。

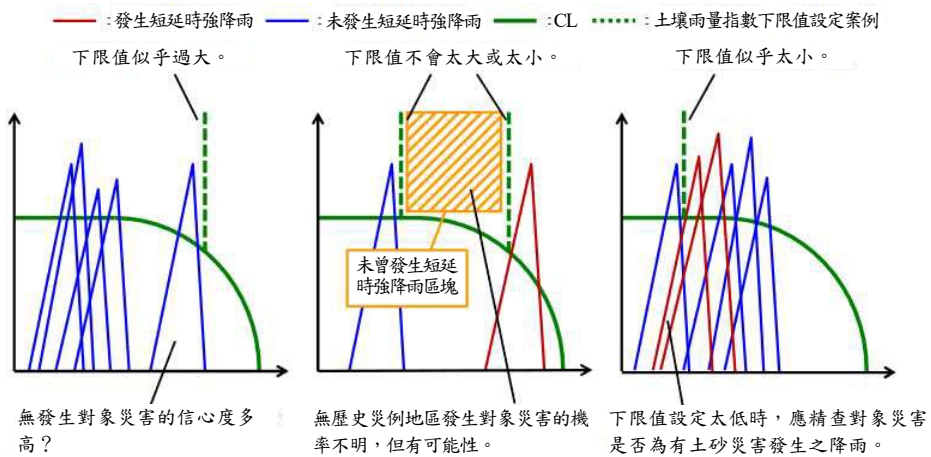
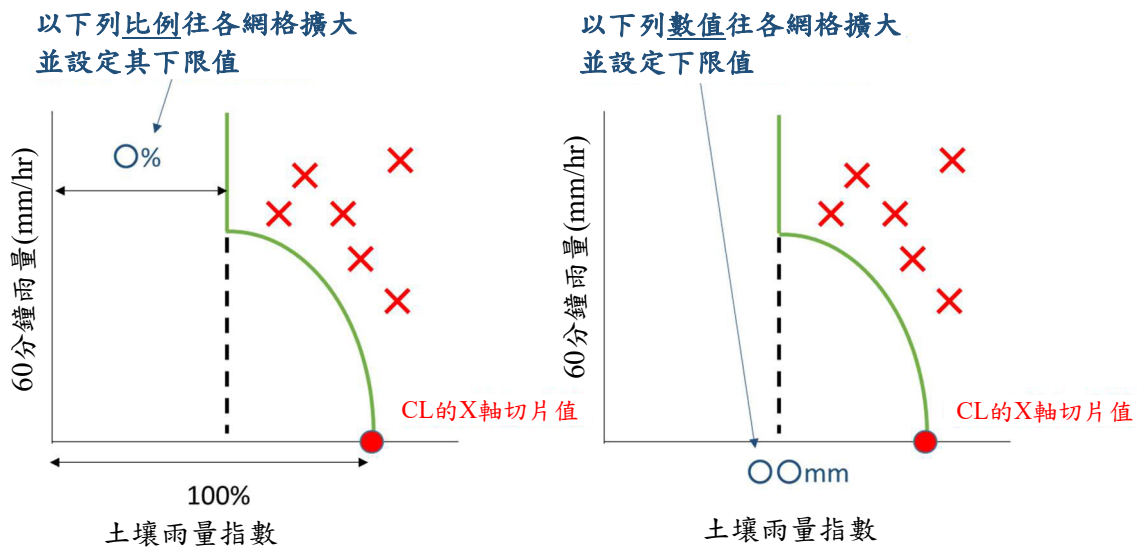


圖-13 土壤雨量指數下限值設定方法與注意要點

<短評3> 60分鐘雨量下限值的設定

溪流堆積土砂引致土石流多半在10分鐘到數十分鐘短延時強降雨後發生。但10分鐘短延時強降雨預測精度偏低，很難只依10分鐘雨量建構警戒避難體制，實務上多以60分鐘雨量作為短期降雨指標。因此，土壤雨量指數下限值之設定，應一併掌握土石流發生狀況與降雨預測精度等，完成60分鐘雨量下限值設定。

③ 未發生土砂災害網格之RBFN等輸出值線選定方法案例

不會發生災害網格之 CL 設定，CL RBFN等輸出值線之選定，有a.參考地質特性等潛因條件視為相同的災害發生網格選定結

果，而利用降雨發生頻率與發生機率、雨量歷史數據順位等選定之，及b.參考該地區大規模雨量選定之方法等。

a.的方法之中 RBFN 輸出值代表降雨出現機率高低，但仍須找出機率多高才會發生土砂災害的絕對值。選定等RBFN 輸出值線的方法有以下二種。

- (a) 參考已發生災害網格所設定 CL 之 RBFN 輸出值、致災雨量發生頻率、發生機率、雨量預測誤判的發生頻率與發生機率，採用與災害發生網格相同的條件選出不會發生災害網格的 RBFN 輸出值。
- (b) 既有研究顯示，歷史高順位雨量有較高機率會發生土砂災害。據此便可由對象災害發生雨量之歷史數據順位，設定可能發生對象災害雨量之歷史數據順位基準，適用於不會發生災害的網格而選定 RBFN 輸出值。此外，此處的雨量歷史數據順位指對象雨量以及與之前雨量相比較高（例如 RBFN 輸出值與土壤雨量指數等）的順位。

b.的方法如地震後的 CL 暫定基準構想，可依據過去多次雨量統計的結果，並參考雨量歷史數據順位二以下的雨量，選定 RBFN 輸出值。但若大規模雨量發生頻率低且如圖-14 這類地區的 RBFN 輸出值高低差異很大，也可參考雨量歷史數據順位最高者。

<相鄰網格大規模雨量之差異>

- 假定土壤雨量指數下限值為100，以RBFN輸出值雨量歷史數據順位第二者設定CL。
- 相鄰網格也有時會如下出現CL明顯差異。

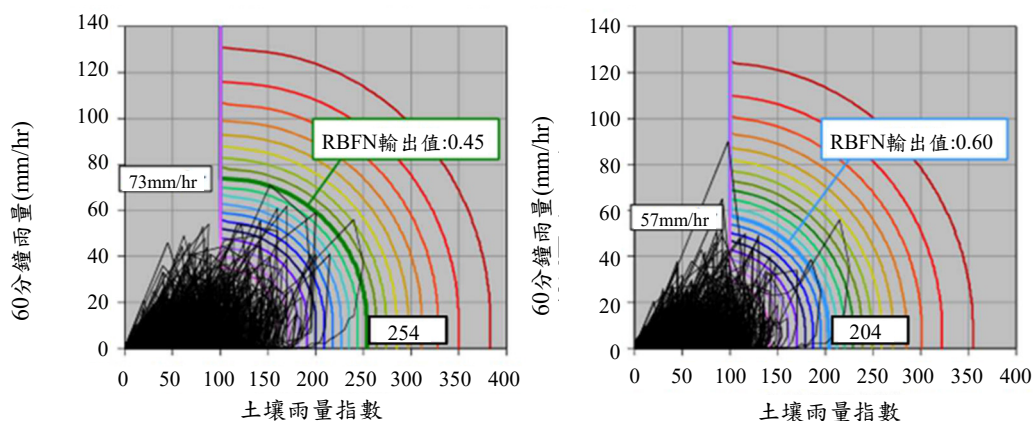


圖-14 參考大規模降雨進行選定時的注意要點

<短評 4> 因應地形與地質等潛因危險降雨量設定方法之標準化作法案例

依據土砂災害防止對策基本指引五，就法規第 27 條第 1 項所訂危險降雨量（雨量基準，以下稱為「CL」）之設定，應「整體瞭解過去的降雨狀況與土砂災害發生狀況等」，採用「降雨狀況＋發生狀況」的方式。發生狀況的數據同時反映會影響發生災害時間點的降雨數據（誘因）及會影響發生地點的潛因。亦即雨量之要素不只「雨量狀況」，同時包含「發生狀況」，依學術彙整方法設定為「誘因＋潛因＝發生」。當然，土砂災害未必會土砂移動，但基本上「較容易發生且發生次數較多」。從數據科學的角度看，土砂災害發生的數據為典型的「不均衡數據」，基本上難以進行具高信賴度分類。因此，若短期間小範圍區域所取得發生狀況的數據進行誘因與潛因試誤，多半會有偏差或錯誤的學習結果。誘因可使用氣象廳改善技術後所提出實務運用效果穩定、品質均一的雨量分析成果。其他潛因方面，除了各都道府縣試誤所掌握的之外，中央政府所提供技術性參考資料仍有所不足。

因此，為了彌補過去各都道府縣別潛因完成區域分割之不足、劃定評估輔助線，已公開免費提供 1996～2018 年 23 年間全國發生狀況之災害潛勢地圖化，公開在國總研資料第 1120 號及配備資料(圖-a)。所使用基礎資料與過去並無不同，但改用期間較長、全國統一分類的潛因分類。已依據充分追加調查與學術調查資料繪製潛因地圖的都道府縣，可利用這些資料驗證目前的設定分類是否妥當。潛因地圖可靠性不高，或過去只作工程學或實務判斷用途的都道府縣，可利用這些新公開資料，也可追加調查與分析，製作更詳細的災害潛勢地圖。

CL 設定於有土砂災害發生的網格與無土砂災害發生的網格差異很大。有發生災害網格單純依據過去所掌握的發生狀況及到發生推定時刻為止的降雨數據，便能無疑慮自動完成 CL 設定。必要作潛因分類的是對無發生災害網格。雖然日本土砂災害發生頻繁，但絕大多數國土網格都屬無災害發生網格，特別是完成 1km 網格化之後，這項比率更高。亦即，只需針對無災害發生網格評估其潛因風險。

具體做法與傳統潛因風險區域劃分相同，即「相同類別採相同 CL 設定方法」（主要採用頻率分析法之一的 RBFN 法推估。其他水文指標的短或長期運用，基本上方法相同。）

- ① 相同類別有發生災害之網格，推估發生乃至峰值雨量時之 RBFN 值直方圖。
- ② 選出此直方圖代表值（標準做法是以接近中值或均值的值或依 3—6 ③節之中高順位的雨量歷史數據。但若特別重視基準設定尺度下的捕捉率時，也可以變曲點定之。
- ③ 無法提供 CL 設定參考資料的「非災害發生網格」，則以上述各分類的災害發生網格代表值為基準方案，進行試算。
- ④ 算出驗證期間的災害預測準確率（捕捉率）與誤報率（有時可用發布頻率代替）。
- ⑤ 若有可負責且能妥善運用的範圍，可請教專家學者確認是否適當。若須調整，可重新回到上述代表值選定試誤階段，重新評估。

以下為依此方式檢討並達成共識的 2020 年度山梨縣案例，如圖-b 所示。

非直接採此方式，潛因風險使用該縣長期以來特有的切割方式，驗證時利用國總研資料第 1120 號資料熊本縣 2020 年度的做法，如圖-c 所示。

前者以較直接的，後者以較間接的引用案例。傳統上土砂災害危險降雨量臨界值 CL 會反映各該地區的地形與地質正負面潛因資訊；若採用本方法，除了能以 CL 所反映全國性潛因共同性有效達成標準化，還可減少 CL 檢討階段之裁量負擔，提升 CL 設定之透明性與客觀性。

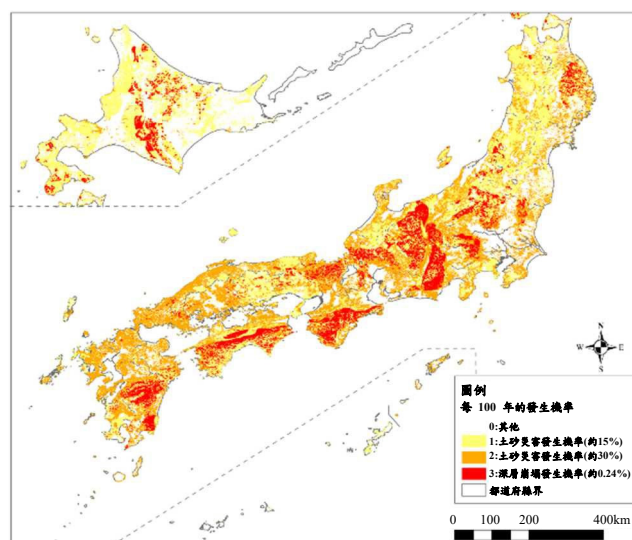


圖-a: 依據地形與地質潛因繪製土砂災害發生機率地圖的案例
(引自國總研資料第 1120 號)

	方法A (A-1) <<參考>>	方法B (B-3)	方法C (C-2)
構想	現行CL相同	國總研 採用土砂災害發生機率地圖(案)	使用雨量歷史數據第3順位
設定單位	市町村	1km 網格	1km 網格
有CL對象災害地區的CL設定	選定能正確判定CL對象災害發生RBFN下限值的相等RBFN輸出值線		
無CL對象災害地區的CL設定	無CL對象災害之市町村適用該市町村所屬二階劃分發生時的RBFN特徵。	以災害發生網格為中心，其 3km 四方之 9 網格視為災害發生網格 依據由地形與地質潛因所繪製的土砂災害發生機率地圖(案)，排行時Rank0適用雨量歷史數據第2位，Rank1適用第3位，Rank2適用第3位。	無CL對象災害的網格之中適用雨量歷史數據排名第3位的RBFN輸出值。
設定結果			
方法之特徵	・以市町村為單位劃設統一之CL，因此市町村內差距不大。	・可選定反映各網格降雨特性與類似地區特性的CL。	・變成只反映各網格降雨特性的CL。
災害發生地區的特性	可選用	可選用	不選用
各網格的降雨特性	不太反映	有反映	有反映
誤報率	全縣平均 0.55次/年 X 全縣平均：0.56次/年 各市町村 1次/年 X 笠崎市、南阿爾卑斯市、鳴澤村大於1次/年。	全縣平均：0.48次/年 超過1次/年的市町村無。	全縣平均：0.52次/年 超過1次/年的市町村無。
綜合判定	X 誤報率未達目標。	◎ ・誤報率壓到最低。 ・除了反映各網格的降雨特性之外，也反映了各種地形與地質土砂災害發生機率，因此能配合地區特性詳細設定。	○ ・縣內一律只適用相同的雨量歷史數據第3順位，完全不考慮實際發生災害地區的特性。

國-b: 直接使用國總研資料第 1120 號所製作潛因風險地圖之案例
(山梨縣砂防課提供)

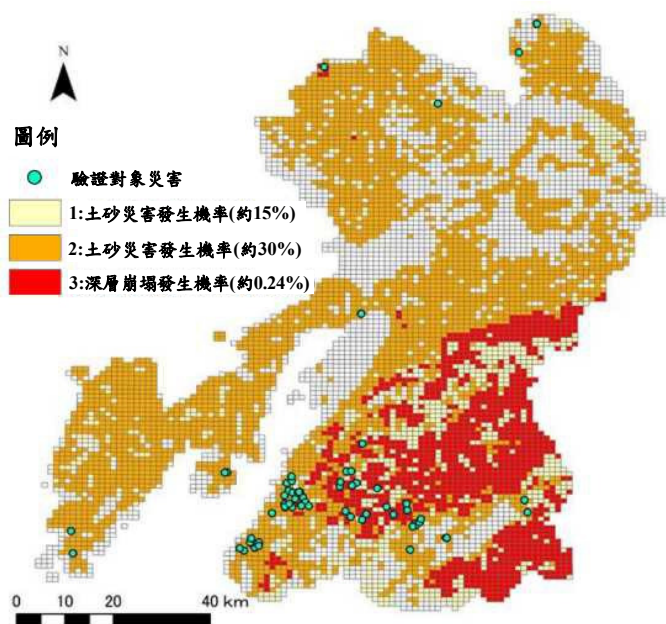


圖-c: 間接使用國總研資料第 1120 號繪製潛因風險地圖之案例
(熊本縣砂防課提供)

<參考文獻>

松田昌之・中谷洋明(2020)『地形・地質に関する主題図を用いた全国における土砂災害発生リスク推定法に関する考察』、国総研資料第 1120 号
能登ら(2021)『令和2年7月豪雨を踏まえた熊本県の土砂災害警戒情報について』、2021 年度砂防学会研究発表会概要集、P1-055

④ 最終 CL 案之選定

依上述①、②、③完成修正的各項 CL 方案(分別對應 RBFN 輸出值 0.05~0.95)，檢討相關 CL 及資訊發布單位(市町村等)的災害捕捉率、發布頻率等之後，選出判斷最適合的最終 CL 方案。

災害捕捉率、發布頻率的計算方法

● 災害捕捉率

發生土砂災害降雨之各 CL 適用地區，分別算出其依據 3—6 節所完成檢討各 CL 案(分別對應 RBFN 輸出值 0.05~0.95)之發生土砂災害的超過 CL 降雨次數與發生土砂災害的未超過 CL 降雨次數。超過 CL 的降雨次數與未超過 CL 的降雨次數，依各 CL 方案(對應 RBFN 輸出值 0.05~0.95)分別整理特定地區(彙整各 CL 適用地區或多個 CL 適用地區的警戒發布單位等)，依下列定義算出各 CL 方案的災害捕捉率(%)。

$$\text{災害捕捉率(\%)} = \frac{\text{發生土砂災害的超過CL降雨次數}}{\text{發生土砂災害的超過CL降雨次數} + \text{發生土砂災害的未超過CL降雨次數}}$$

● 發布頻率

各適用地區分別算出其依據 3—6 節所完成檢討各 CL 案(分別對應 RBFN 輸出值 0.05~0.95)之超過 CL 降雨次數。超過 CL 降雨次數依各 CL 方案完成特定地區彙整(各 CL 適用地區或多個 CL 適用地區的警戒發布單位等)後，依下列定義算出各 CL 方案各年度的超過基準值頻率。

$$(\text{警戒})\text{發布頻率(次/年)} = \frac{\text{雨量超過CL方案的連續降雨次數}}{\text{對象期間(年)}}$$

⑤ CL 的決定

上述依④所選定的最終 CL 方案，確認其是否捕捉到過去發生嚴重土砂災害或發出避難指示時有發生土砂災害的降雨事件，萬一無法捕捉到發生土砂災害時之降雨，除了重新檢討②、③、④之外，最好也以圖-15(a)或(b)的方法修正 CL 之形狀。

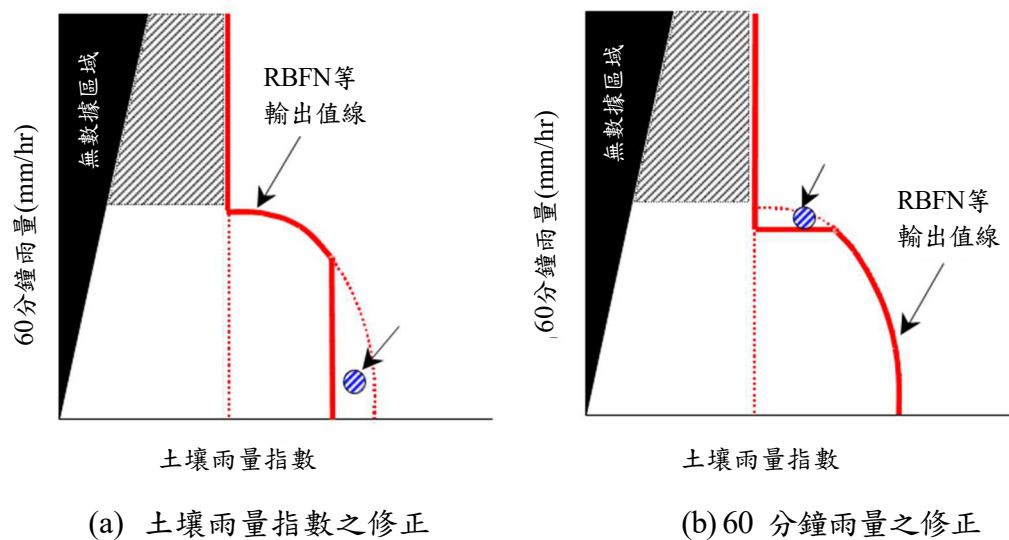


圖-15 CL 案之修正方法

決定適合的 CL，市町村長應適時適切地進行防災活動或給居民避難指示等災害緊急對應。都道府縣與地方氣象臺除了密切聯繫之外，希望參考市町村長等氣象預報資料利用者或專業知識者的意見作決定。此外，相鄰都道府縣的地界周邊，各都道府縣最好先把握 CL 設定之構想。

此外，已決定的 CL 氣象廳應登錄在土砂災害警戒資訊彙整及警戒發布用的資料處理系統。為此，數據格式與地方氣象臺等調節後，設定之。此外，登錄各該網格所定之 CL 資訊處理系統，應採用約 1km 格網單位，但以 2—2 節所定自然與社會條件觀點評估無法確認其有土砂災害危險性的網格，不登錄該 CL。

各地方政府所彙整及設定之土砂災害發生數據或 CL 數據等，皆為土砂災害發生危險度評估重要參考依據。為了今後 CL 設定方法之修正能靈活運用，檢討修正 CL 時須向國土技術政策總合研究所土砂災害研究室提出以下數據資料。

- 1) 土砂災害發生數據一覽表
- 2) 對象災害發生數據一覽表
- 3) 反應曲面數據（電子檔）
- 4) CL 的 XY 座標數據

（土砂災害警戒資訊之驗證）

4・土砂災害警戒資訊之驗證

都道府縣與地方氣象臺等應合作調查土砂災害警戒資訊與災害發生之關係等、持續驗證土砂災害警戒發布基準 CL 等的有效性或運用方法的適當性等，提升警戒發布精度，並提供適當的課題要點或問題點，進行必要的改善。這類驗證須每年實施，基本上驗證項目如下。

- 土砂災害警戒資訊之發布次數、災害捕捉率等的統計調查
- 土砂災害警戒資訊預測準確案例之檢討
- 土砂災害警戒資訊誤判及漏判案例之檢討

地方氣象臺應主動完成各種資料統計與整理、製作圖表，檢討所預測雨量。另一方面，都道府縣應主動進行災害發生狀況之各種檢討。驗證結果除了活用於 CL 修正，也應檢討是否公布在都道府縣等的網頁或與市町村等分享該資訊。

4-1・驗證數據之蒐集

(1) 土砂災害資料之蒐集（都道府縣）

表-1 土砂災害數據

數據蒐集	蒐集內容
土砂災害發生地點	位置（市町村名、地區名等）、經緯度
土砂災害發生時間	年月日時分※1
種類別	土石流、坡面崩塌、（其他土砂災害※2） 是否應列入CL對象災害
規模※3	土砂量或崩塌土砂量
災害狀況※3	死亡人數（含失蹤）、受傷人數 房屋毀損（全倒、半倒、部分破損）等
避難狀況※3	自主避難、避難指示發布時間、避難戶數（人數）、避難完成時間等
網格編號※4	災害發生網格編號

※1：應儘量詳細掌握驗證所需重要資訊之土砂災害發生日期時間。

※2：必要時應細分「其他土砂災害」為地滑、深層崩塌與山體崩塌等。此外，零散坡面崩塌與其他土砂災害雖非CL對象災害，仍應儘量蒐集數據，做為CL調整等的參考資料。

※3：所蒐集規模、災害狀況與避難狀況之資料可當作改善土砂災害警戒運用體制基礎資料。

※4：災害發生網格方面，若災害地點與現象發生源網格不同，應先標示兩者之編號，然後如2-1節所述，利用後者來設定CL。

表-2 土砂災害警戒區域等的資料

數據蒐集	蒐集內容
指定為土砂災害警戒區的地點	指定為土砂災害警戒區的區域基礎調查備忘錄等※5 （土石流、陡坡崩塌、地滑）

※5：土石流土砂災害警戒範圍通常不含發生源，須驗證基礎調查所確認溪流位置是否與災害發生網格一致。

(2) 土砂災害警戒資訊等的發布狀況及降雨資料之蒐集（地方氣象台等）

表-3 土砂災害警戒資訊等的資料

數據蒐集	蒐集內容
大雨注意報、大雨警報（土砂災害）、土砂災害警戒資訊、大雨特別警報（土砂災害）發布狀況	發布時間、對象市町村

表-4 雨量資料

雨量數據	提供的時間 間隔	網格間隔	備註
警戒判定網格數據	每 10 分	1km 網格	
1 小時降水量解析值	每 10 分	1km 網格	
1 小時降水量預測值	每 10 分	1km 網格	預測時間 1~6 小時前
土壤雨量指數解析值	每 10 分	1km 網格	
土壤雨量指數預測值	每 10 分	1km 網格	預測時間 1~6 小時前

※此外，驗證結果若需更詳細的驗證，應配合驗證目的蒐集地面雨量計資料（國土交通省及都道府縣的觀測資料由都道府縣蒐集。）

以下為了方便說明，將「1小時降水量解析值」寫作「實測雨量」，「1小時降水量預測值」寫作「預測雨量」。

4-2・驗證作業

(1) 土砂災害警戒資訊之發布次數、災害捕捉率等的統計調查

為驗證土砂災害警戒資訊之有效性，依據土砂災害警戒資訊發布時的實測雨量或預測雨量，針對超過C L的地區進行土砂災害捕捉率、誤判率以及至土砂災害發生時間為止的統計調查。

①土砂災害警戒資訊之年間發布次數

土砂災害警戒資訊之年間發布次數係各地區年間發布次數的合計。可參考圖-16。

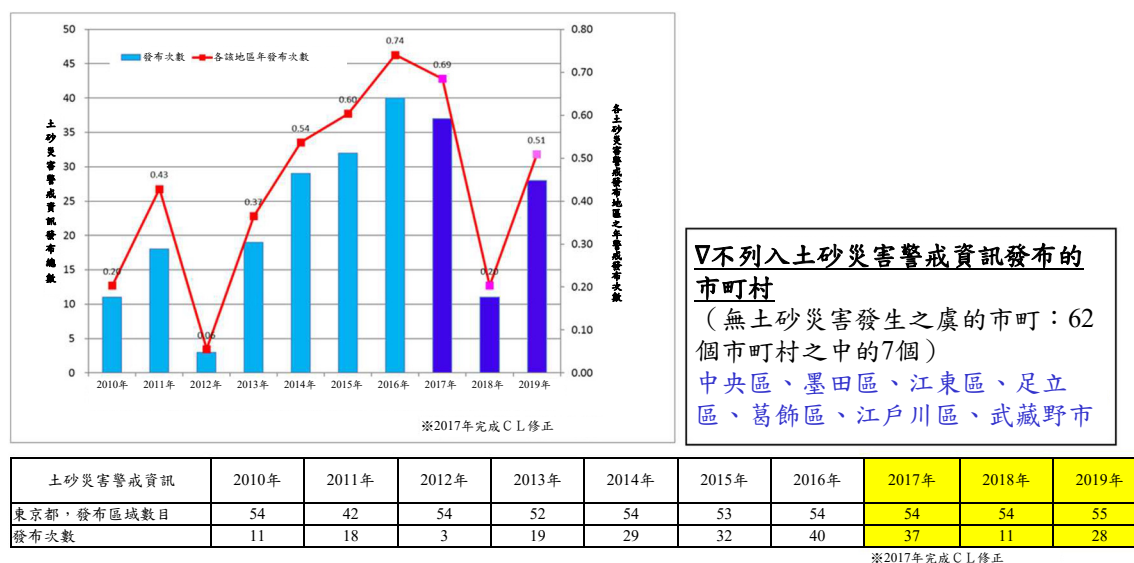


圖-16 土砂災害警戒資訊年間發布次數彙整圖

②土砂災害警戒資訊與C L對象災害之關係

土砂災害警戒資訊發布地區數目與超過C L的災害發生次數彙整後，可看出發生C L對象災害時的災害發生率（各地災害預測準確率）、災害捕捉率及漏判率。圖-17為土砂災害警戒資訊發布時的土砂災害捕捉案例。圖-18為相關說明。

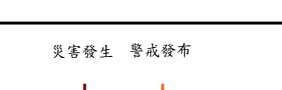
案例	超過CL（土砂災害警戒臨界線）與災害發生狀況	災害捕捉判定
土砂災害警戒資訊發布是否捕捉到	災害發生前已發布土砂災害警戒資訊 警戒發布 災害發生 	○
	災害發生與土砂災害警戒資訊發布同時 警戒發布 災害發生 	○
	災害發生後才發布土砂災害警戒資訊 災害發生 警戒發布 	×

圖-17 土砂災害捕捉的案例

		2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	10年間通算
土砂災害警戒資訊發布市町村總數		11	18	3	19	29	32	40	37	11	28	228
有發布土砂災害警戒	超過CL的災害發生次數	0	1	0	1	0	1	2	3	0	0	8
	災害發生率	0.0%	5.6%	0.0%	5.3%	0.0%	3.1%	5.0%	8.1%	0.0%	0.0%	3.5%
	災害捕捉率	0.0%	100.0%	0.0%	100.0%	0.0%	100.0%	100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	100.0%
未發布土砂災害警戒	超過CL的災害發生次數	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	漏判率	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	未超過CL的次數	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

※2017年完成CL修正

【圖表說明】

- ① 土砂災害警戒資訊發布總次數：各發布單位（市町村）之發布總次數，但暫定運用期間之對象市町村除外。
- ② 災害發生率（各地方警戒發布準確率）：土砂災害警戒發布後發生CL對象災害的市町村比率。
- ③ 災害捕捉率：災害發生前或當時有發布土砂災害警戒之比率。
- ④ 漏判率：發生CL對象災害之中無發布土砂災害警戒者所佔比率。
- ⑤ 驗證期間：2010年6月1日～2018年12月31日（暫定基準適用期間之累計不列入）。
- ⑥ 災害資料取材自東京都河川部防災課。

【運用期間發生之土砂災害】

10年間東京都統計土砂災害含坡面崩塌48件（其中29件發生時刻不明），土石流21件。

【東京都CL對象災害認定標準】

發生土石流及同地區多次發生而造成住家或公共設施災情的坡面崩塌。

○除了上述之外，也應一併記載CL修正時所試算之預估誤判率、災害捕捉率。

※案例說明

CL修正時的預估漏判率與災害捕捉率（修正後的推估值）

CL修正：●年●月●日	
預估之誤判率	84.2%
預估之災害捕捉率	100.0%

圖-18 土砂災害警戒資訊發布與CL對象災害關係圖

各指標之計算方法（土砂災害警戒資訊發布之驗證）

●土砂災害警戒資訊的災害捕捉率

特定地區（有發布土砂災害警戒資訊之單位及涵括各發布單位的區域）所統計CL對象災害發生狀況（降雨次數及災害件數）及土砂災害警戒資訊中對象災害發生狀況（降雨次數及災害件數），可依下列定義算出其土砂災害警戒災害捕捉率（%）。

$$\text{災害捕捉率【降雨次數】（\%）} = \frac{\text{土砂災害警戒資訊發布中發生超過CL值的對象災害降雨次數}}{\text{發生超過CL對象災害降雨次數}} \times 100$$

（註）同一地區確認發生多起CL對象災害時，只計算其第一個發生的CL對象災害。

$$\text{災害捕捉率【災害件數】(\%)} = \frac{\text{土砂災害警戒資訊發布中的CL對象災害發生件數}}{\text{CL對象災害之發生件數}} \times 100$$

●土砂災害警戒資訊發布之預警時間

一定地區（土砂災害警戒資訊發布單位或涵蓋多個發布單位的地區等）彙整土砂災害警戒資訊發布時刻及CL對象災害發生時刻，依以下定義算出預警時間（小時）。

預警時間（小時）＝土砂災害警戒資訊發布時刻到CL對象災害發生時刻的時間

註）同一地區內確認發生多起CL對象災害時，只計算到第一件CL對象災害發生的時間。

●土砂災害警戒資訊發布頻率

一定地區（土砂災害警戒資訊發布單位或涵蓋多個發布單位的地區等）彙整有發布土砂災害警戒之連續降雨次數，依以下定義算出年間發布頻率。

$$(\text{警戒})\text{發布頻率}(\text{次}/\text{年}) = \frac{\text{發布土砂災害警戒資訊之連續降雨次數}}{\text{對象期間}(\text{年})}$$

③實測雨量資料超過CL與CL對象災害之關係

為驗證CL之有效性，需彙整實測雨量超過CL後的土砂災害狀況等，並彙整災害捕捉率、實測雨量超過CL之頻率及災害漏判率等作為參考資料。圖-19為土砂災害警戒發布是否捕捉到之舉例。圖-20為過去所彙整參考資料。未來必要時應彙整超過預估CL時的土砂災害發生狀況及所預估CL的災害捕捉率與警戒發布頻率等。

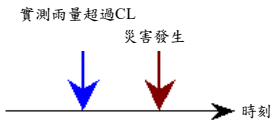
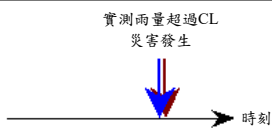
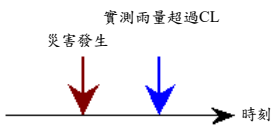
案例	CL超過及災害發生之狀況	災害捕捉判定
以實測雨量捕捉	災害發生前實測雨量超過CL 	○
	災害發生的同時實測雨量超過CL 	○
	災害發生後實測雨量才超過CL 	×

圖-19 土砂災害捕捉案例（實測雨量）

	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	10年間 總計
實測雨量超過CL的全部次數	21	23	5	12	12	18	40	17	9	28	185
實測雨量超過CL時	CL對象災害發生次數	0	1	0	1	0	1	2	3	0	8
	災害發生率	0%	4%	0%	8%	0%	6%	5%	18%	0%	4%
	災害捕捉率	—	100%	—	100%	—	100%	100%	—	—	100%
實測雨量未超過CL時	CL對象災害發生次數	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	漏判率	—	0%	—	0%	—	—	0%	0%	—	0%
	F T1及F T2預測都未超過CL的次數	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

※2017年完成CL修正

圖-20 實測雨量超過CL與CL對象災害關係彙整表

各指標之計算方法（以實測雨量之驗證）

●以實測雨量進行的災害捕捉率

一定地區（1km網格單位、土砂災害警戒資訊發布單位或涵蓋多個發布單位的地區等）所彙整C L對象災害發生狀況（降雨次數及土砂災害件數）及由實測雨量所掌握超過C L之後的C L對象災害發生狀況（降雨次數及土砂災害件數），依以下定義可算出土砂災害捕捉率（%）。

災害捕捉率【降雨次數】（%）

$$= \frac{\text{實測雨量超過C L之後發生C L對象災害的連續降雨次數}}{\text{發生C L對象災害的連續降雨次數}} \times 100$$

註）同一地區確認發生多起C L對象災害時，只計算第一個發生的C L對象災害。

$$\text{災害捕捉率【土砂災害件數】（%）} = \frac{\text{實測雨量超過C L基準值之後發生C L對象災害的件數}}{\text{C L對象災害發生件數}} \times 100$$

●實測雨量之災害誤報率

$$\text{土砂災害誤報率（%）} = \frac{\text{實測雨量超過C L基準值的連續降雨之中C L對象中未發生災害的降雨次數}}{\text{實測雨量超過C L的連續降雨次數}} \times 100$$

註）同一地區確認發生多起C L對象災害時，只計算第一個發生的C L對象災害。

●實測雨量之預警時間

一定區域（1km網格單位、土砂災害警戒資訊發布單位或涵蓋多個發布單位的地區等）所彙整以實測雨量掌握的超過C L時刻及C L對象災害發生時刻，依下列定義可算出土砂災害發生預警時間。

預警時間(小時) = 實測雨量超過C L到C L對象災害發生的時間

註）同一地區確認發生多起C L對象災害時，只計算到發生第一個C L對象災害為止的時間(小時)。

●實測雨量超過C L之頻率

一定地區（土砂災害警戒資訊發布單位及多個發布單位整合區域等）彙整實測雨量超過C L的連續降雨次數，依以下定義可算出年間超過C L的頻率。

$$\text{超過C L的頻率（次／年）} = \frac{\text{實測雨量超過C L基準值的連續降雨次數}}{\text{對象期間（年）}}$$

各指標之計算方法（依預測雨量驗證）

●依預測雨量之災害捕捉率

一定區域（1km網格單位、土砂災害警戒資訊發布單位或涵蓋多個發布單位的地區等）所彙整C L對象災害發生狀況（降雨次數及土砂災害件數）及由預測雨量所算出超過C L之後的C L對象災害發生狀況（降雨次數及土砂災害件數），依以下定義算出土砂災害警戒基準值捕捉率（%）。

$$\text{災害捕捉率【降雨次數】（\%）} = \frac{\text{預測雨量超過C L基準值之後發生C L對象災害的連續降雨次數}}{\text{C L對象災害發生件數}} \times 100$$

註）同一地區確認發生多起C L對象災害時，只計算第一個發生的C L對象災害。

●依預測雨量之災害誤報率

災害誤報率（%）

$$= \frac{\text{預測雨量超過C L基準值的連續降雨之中C L對象災害之中未發生災害的降雨次數}}{\text{預測雨量所算出的超過C L基準值的連續降雨次數}} \times 100$$

註）同一地區確認發生多起C L對象災害時，只計算第一個發生的C L對象災害。

●預測準確率

一定地區（土砂災害警戒資訊發布單位或整合多個發布單位的區域等）所彙整預測雨量超過C L基準值的網格（預測超過C L的網格）數目及預測準確網格數，依以下定義算出預測之準確率（%）。

$$\text{預測準確率（\%）} = \frac{\text{預測準確之網格數目}}{\text{預測超過C L基準值的網格數目}} \times 100$$

註）「預測準確」指依「預測雨量」判斷雨量即將超過C L之後實測雨量超過C L者。此外，預測之同時實測雨量超過C L者，不計入預測準確。

●依預測雨量之預警時間

一定區域（1km網格單位、土砂災害警戒資訊發布單位或整合多個發布單位的地區等）所彙整預測雨量超過C L到C L對象災害發生為止的時間，依以下定義算出。

預警時間(小時)=預測雨量將超過C L的時刻到C L對象災害發生時刻為止的時間

註）同一地區確認發生多起C L對象災害時，只計算到第一件C L對象災害發生的時間。

●依預測雨量超過C L之頻率

一定區域(土砂災害警戒資訊發布單位及多發布單位所整合的區域等)內所彙整之由預測雨量所算出的超過C L的連續降雨次數，依以下定義算出年間超過C L基準值的頻率。

$$\text{超過C L基準值的頻率(次/年)} = \frac{\text{由預測雨量所掌握超過C L的連續降雨次數}}{\text{對象期間(年)}}$$

④土砂災害警戒資訊發布時間點

為驗證災害雨量臨界線（C L）資訊之有效性，需彙整的資料有土砂災害警戒資訊發布時間點與實測雨量是否超過C L、氣象現象別之關係以及C L對象災害發生時的土砂災害警戒資訊發布時間點，如圖-21、圖-22所示。

- 已發布土砂災害警戒資訊的案例之中67%實際雨量超過C L。
- 已發布土砂災害警戒資訊的案例之中，57%在實測雨量超過C L之前已發布土砂災害警戒資訊。

土砂災害警戒發布的時間點	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	東京都 10年間總計
預測雨量將達到C L且實測雨量也達到的比例	3	5	0	2	6	7	13	6	0	13	55
	27%	28%	0%	11%	21%	22%	33%	16%	0%	46%	24%
預測雨量達到C L但實測雨量未達到之比例	2	2	0	8	18	14	7	21	3	0	75
	18%	11%	0%	42%	62%	44%	18%	57%	27%	0%	33%
實測雨量超過C L之後發布警戒的比例	6	11	3	9	5	11	20	10	8	15	98
	55%	61%	100%	47%	17%	34%	50%	27%	73%	54%	43%
土砂災害警戒發布總次數	11	18	3	19	29	32	40	37	11	28	228

※2017年完成C L修正

- 依氣象現象，發布土砂災害警戒資訊最多的案例為颱風，比例高達8成，與其他氣象比較，比例偏高。
- 鋒面滯留與氣象不穩定時難以預測，依實測雨量發布警戒的比例高。

土砂災害警戒發布的時間點	颱風		低氣壓		鋒面滯留		氣象不穩定		10年間通算	
預測雨量將達到C L且實測雨量也達到的比例	51	28%	6	25%	2	22%	1	10%	60	26%
預測雨量達到C L但實測雨量未達到之比例	67	36%	7	29%	0	0%	2	20%	76	33%
實測雨量超過C L之後發布警戒的比例	67	36%	11	46%	7	78%	7	70%	92	40%
土砂災害警戒發布總次數	185		24		9		10		228	

圖-21 土砂災害警戒資訊發布時間點彙整

- 8件都是颱風之案例。依實測雨量發布警戒的3件之中有2件於預測C L超過時間點已展開發布作業，實測雨量超過C L之後才發布。

土砂災害警戒發布的時間點	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	東京都 10年間總計
預測雨量將達到C L且實測雨量也達到的比例	0	0	0	1	0	1	1	2	0	0	5
	—	0%	—	0	—	—	50%	67%	—	—	63%
預測雨量達到C L但實測雨量未達到之比例	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	—	0%	—	0%	—	—	0%	0%	—	—	0%
實測雨量超過C L之後發布警戒的比例	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	3
	—	100%	—	0%	—	—	50%	33%	—	—	38%
土砂災害警戒發布總次數	0	1	0	1	0	1	2	3	0	0	8

※2017年完成C L修正

圖-22 土砂災害警戒資訊發布時間點（C L對象災害）彙整

（2）土砂災害警戒資訊預測準確案例之檢討

土砂災害警戒資訊預測準確之案例（災害發生正確判斷之案例）之中代表性的案例，彙整其土砂災害警戒資訊、各種警報以及土砂災害危險度分布狀況。為了依時間序列簡單明瞭掌握土砂災害的發生狀

況，必要時應製作雨量歷線圖或雨量蛇形線等。此外，用來製作圖表的雨量數據，原則上應使用發生土砂災害網格或附近網格之中，實測雨量確認超過C L的網格實測雨量數據。此外，必要時也可使用附近地面雨量計的數據資料。圖-23為參考雨量蛇形線等的案例。

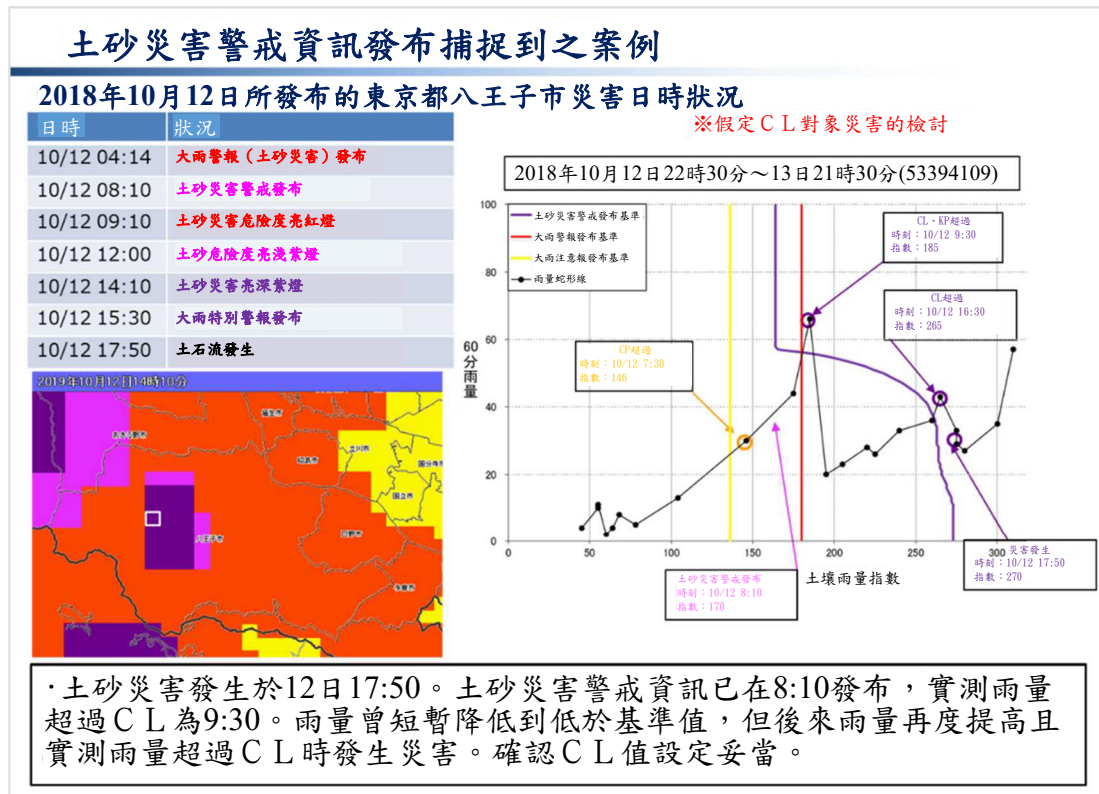


圖-23 土砂災害警戒資訊發布捕捉到之案例

（3）土砂災害警戒資訊誤判與漏判案例之檢討

土砂災害警戒資訊發布誤判與漏判案例之中，彙整其土砂災害警戒資訊、各種警報與土砂災害危險度分布的狀況。若要依時間序列簡單明瞭掌握土砂災害的發生狀況，必要時應製作雨量歷線圖與雨量蛇形線等。此外，用來製作圖表的雨量數據原則上應使用發生土砂災害的網格或附近網格之中實測雨量確認超過C L的網格實測雨量數據。

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

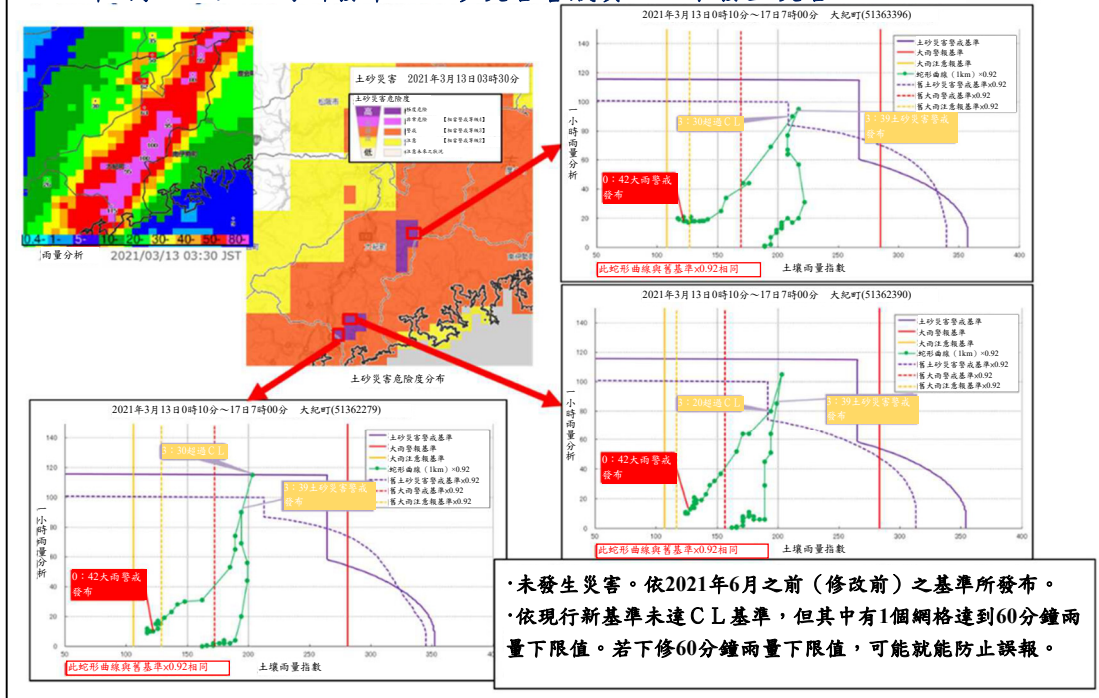


圖-24 土砂災害警戒資訊誤報案例之檢討

4-3 · 依據驗證結果進行CL調整

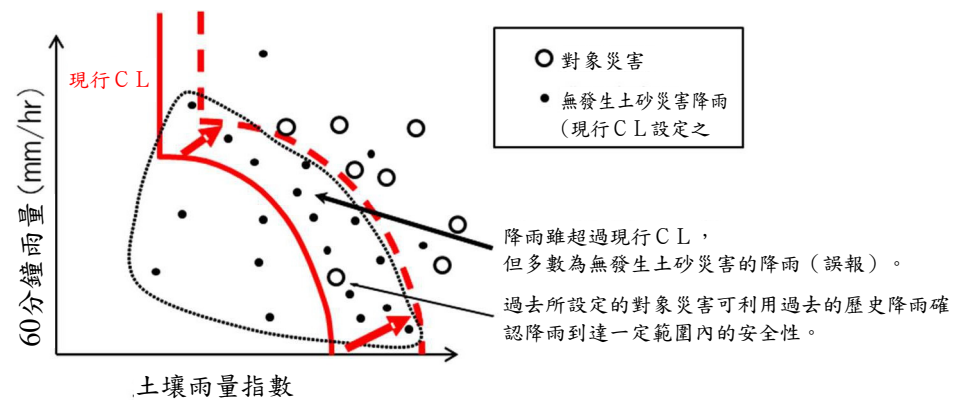
彙整土砂災害警戒資訊等的結果可用來驗證土砂災害警戒資訊成效並檢討改善。彙整土砂災害警戒資訊的災害捕捉率與發布頻率，發現有問題時，必要時應修正CL。即使不需修正CL，也應進一步蒐集、累積數據，找出可進一步改善土砂災害警戒資訊的課題。

● 以實測雨量調整CL

依據實測雨量判定已經超過CL之災害捕捉率（雨量大小及降雨次數）非常低、誤報率非常高或發布頻率過高時，應配合CL對象災害發生狀況考慮調整CL。

進一步檢討擴大或縮小CL範圍的具體做法，參考圖-25。

(a) 擴大CL範圍的檢討案例



(b) 縮小CL的檢討案例

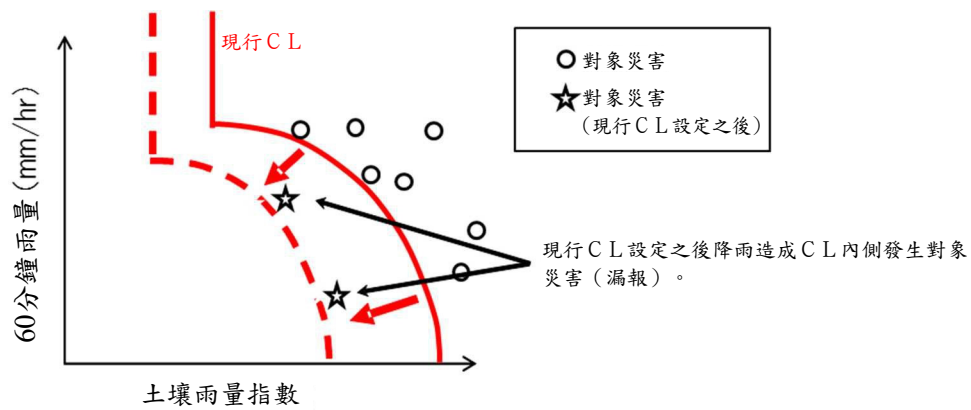


圖-25 土砂災害發生狀況與CL之關係

◆ 土壤雨量指數

1．使用的雨量數據

氣象廳結合以針尖正確觀測雨量的區域自動氣象觀測系統與國土交通省、地方政府等的雨量計，及能大範圍進行面的觀測的氣象雷達的優點，開發並運用將全國切割成無數網格而精確計算雨量之「雨量分析」。

雨量計雖能正確觀測雨量，但以雨量計進行觀測會產生面的空隙。反之，氣象雷達能以雨粒回波之強度，無面的空隙推估雨量，但觀測精度仍低於雨量計。「雨量分析」則結合二者之優點，搭配使用區域自動氣象觀測系統、國土交通省與地方政府等的雨量計所實施之觀測，即可修正氣象雷達的觀測結果，無面之空隙地算出1km四方小範圍的正確雨量分布。「雨量分析」係每30分鐘計算一次時雨量；「速報雨量分析」則每10分鐘進行時雨量估算。

設定基準的土壤雨量指數係以「雨量分析」每10分鐘1km×1km格子的雨量來推算。

2．土壤雨量指數

土壤雨量指數乃用來掌握降雨引致土砂災害危險程度之指標。伴隨大雨所發生的土砂災害（崩塌、土石流）不只與當前的降雨有關，也可能起因於過去降雨所儲存在土壤中的水分量，而土壤雨量指數乃是以筒狀模式將過去降雨累積在土壤中成為水分量進行數值化。計算土壤雨量指數可如圖-1所示，使用降雨通過土壤內部之後流出的底部各有孔水筒進行模式化，亦即「筒狀模式」。土壤雨量指數乃各筒殘留水分（貯留量）之合計，相當於土壤內的水分量。

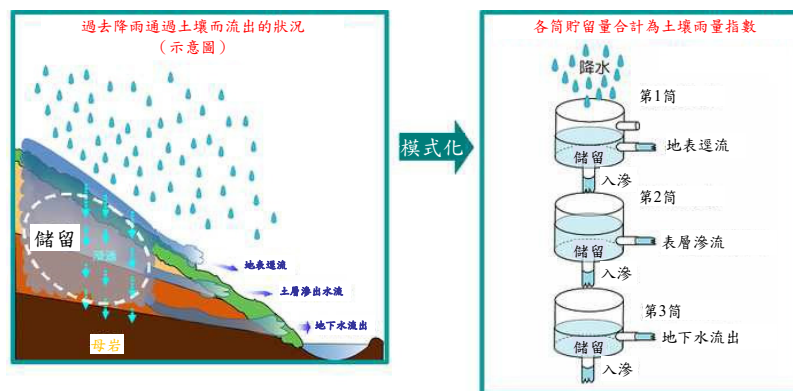


圖-1 雨水儲存土壤內部的狀況與筒狀模式之對應

◆土壤雨量指數各種筒狀模式與參數

土壤雨量指數所使用的直列3段筒狀模式（參照圖-2）之中，第1筒所流出的量視為地表逕流，第2筒所流出的量視為表層滲流，第3段的筒所流出的視為地下水流出量，上下3段的流出量公式如下。

$$q_1(t) = \alpha_1 \{S_1(t) - L_1\} + \alpha_2 \{S_1(t) - L_2\}$$

$$q_2(t) = \alpha_3 \{S_2(t) - L_3\}$$

$$q_3(t) = \alpha_4 \{S_3(t) - L_4\}$$

在此， α_1 、 α_2 、 α_3 、 α_4 為各流出孔的逕流係數

L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 為各流出孔的高度

S_i ($i=1, 2, 3$) 第*i*段筒的貯留量

β_1 、 β_2 、 β_3 為各滲流孔的入滲係數

R 為降雨量

$$S_1(t + \Delta t) = (1 - \beta_1 \Delta t) \cdot S_1(t) - q_1(t) \cdot \Delta t + R(t + \Delta t)$$

$$S_2(t + \Delta t) = (1 - \beta_2 \Delta t) \cdot S_2(t) - q_2(t) \cdot \Delta t + \beta_1 \cdot S_1(t) \cdot \Delta t$$

$$S_3(t + \Delta t) = (1 - \beta_3 \Delta t) \cdot S_3(t) - q_3(t) \cdot \Delta t + \beta_2 \cdot S_2(t) \cdot \Delta t$$

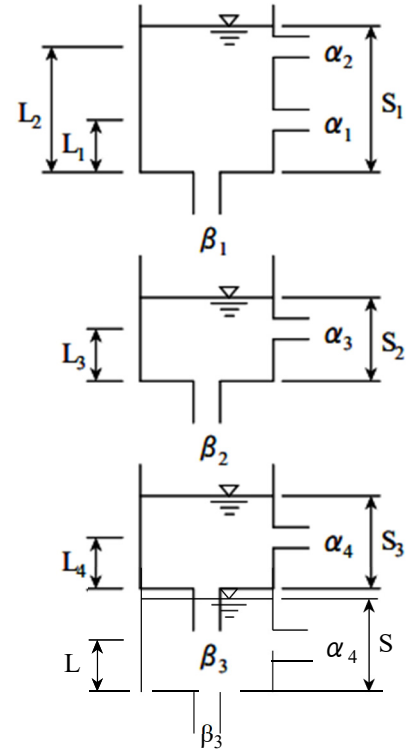


圖-2 直列3段筒狀模式

土壤雨量指數的指數值依各筒貯留量的和（ $=S_1 + S_2 + S_3$ ）而定。此外，筒狀模式的特徵是即使指數值相同，之後指數值的變化由各筒貯留量多寡而定。

2012年5月17日13時變更筒狀模式的輸入雨量及指數運算時間間隔（time step）。因此，00分系（每正時）與30分系之指數值不再有上下變動。

◆ 土壤雨量歷史數據順位

土壤雨量歷史數據順位乃是各網格過去一定期間內出現的指數值重新依高低排序而成。算出土壤雨量歷史數據順位，可用來掌握目前降雨雨量所可能形成的指數值高低順位，以此方法只要過去曾有與現行土壤雨量歷史順位相同的雨量因而發生土砂災害，即可推定目前土砂災害發生危險度相當高。此外，土砂災害發生危險度與土壤雨量指數值的對應關係因地而異，但土砂災害發生與雨量歷史數據順位之對應關係，各地差異不大。由此即可針對無法取得過去土砂災害發生記錄的網格，利用其他能取得災害記錄網格的資訊類推其危險度。

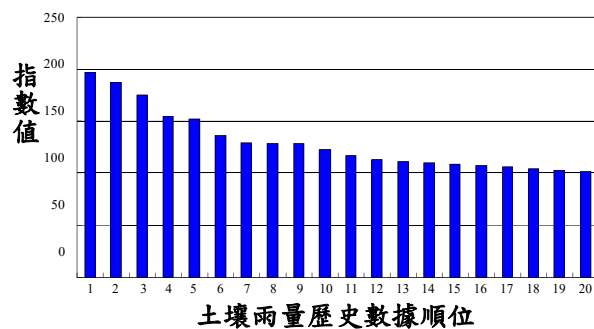


圖-3 土壤雨量指數值與雨量歷史數據順位對應關係案例

< 參考文獻 >

牧原康隆(2020)『氣象防災の知識と実践』、気象学ライブラリー1、朝倉書店

齋藤公一・太田琢磨(2012)『第4章 土壤雨量指数と流域雨量指数の改善』、量的予報技術資料（予報技術研修テキスト）第18巻

<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/yohkens/18/chapter4.pdf>

補充資料2

◆利用 RBFN 法設定反應曲面之方法及分析模式

1. RBF 網路之概要

(1) RBF 網路之構成

RBF 網路係以大腦或神經網路為模型的階層構造，由圖-1 所示的輸入層（元素數目 n 個）、中間層（元素數目 m 個）及輸出層（元素數目 1 個）三層所構成。各層由進行輸出的元素構成，各層之間的元素以連結線連結，相同層內的元素則不相互結合。

中間層的第 j 個元素輸出主要使用基底函數之一的鐘形高斯函數（圖-2）。高斯函數如式(1)所示，考慮基底函數從中心到同心圓狀的影響。

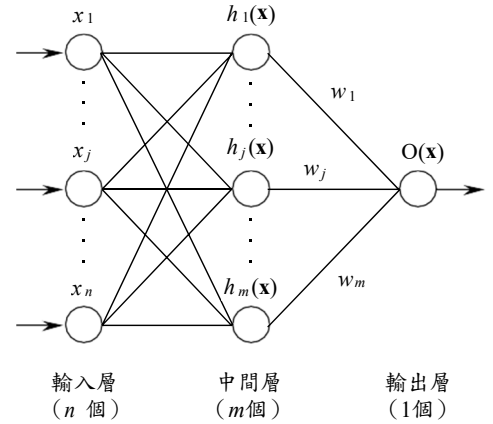


圖-1 RBF 網路之構造

$$h_j(\mathbf{x}) = \exp\left(-\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_j\|^2 / r^2\right) \quad (1)$$

在此， $h_j(\mathbf{x})$ = 中間層元素的輸出值

$\mathbf{x} (= x_1, \dots, x_n)$ = 輸入層元素的輸入數據

$\mathbf{c}_j$ = 基底函數的中心點

r = 基底函數的半徑

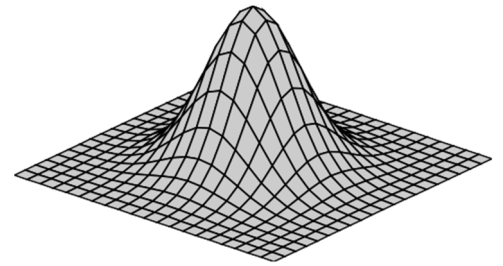


圖-2 高斯函數的形狀

式(1)所示的基底函數， r 越大面積越大，且輸入數據越靠近基底函數中心的部分其輸出值越大。此外，若 $\mathbf{c}_j = c_{j1}, \dots, c_{jn}$ ，也可如式(2)所示成為橢圓形的基底函數。

$$h_j(\mathbf{x}) = \exp\left(-\sum_{k=1}^n (x_k - c_{jk})^2 / r_k^2\right) \quad (2)$$

RBFN 數據係由輸入層往輸出層移動，來自輸入層的數據經由中間層輸出函數處理後輸出到輸出層。此時中間層與輸出層的元素會在載荷係數這種加權聯結線作用下結合，因此，往輸出層元素的輸出如式(3)所示，可視為各自中間層元素輸出與組合係數（權重）乘積之加總。

$$O(\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^m w_j h_j(\mathbf{x}) \quad (3)$$

在此， $O(\mathbf{x})$ = 輸出層元素的輸出值
 w_j = 組合係數

(2) 學習

利用神經網路 (Neural Network) 進行函數逼近時，如何正確地重現給定的輸出與輸入的數據組，及提供其附近具有汎化性，此乃課題所在。RBFN 同樣須讓所給予的數據組正確重現，因此須決定最佳組合係數。RBFN 法決定其組合係數的過程稱為「學習」。

RBFN 的學習使用 p 個學習數據 $\mathbf{x}_i (i = 1, \dots, p)$ 、教師數據 $y_i (i = 1, \dots, p)$ ，以及 m 個基底函數，先算出教師值與輸出值差的平方和，再算出加上組合係數 $w_j (j = 1, \dots, m)$ (以下稱為「 $\mathbf{w}$ 」) 控制項之後最小數值式(4)時的 $\mathbf{w}$ 。

$$E = \sum_{i=1}^p (y_i - O(\mathbf{x}_i))^2 + \sum_{j=1}^m \lambda_j w_j^2 \rightarrow \text{Min} \quad (4)$$

在此， λ_j ：正規化參數

以 w_j 進行式(4)右邊偏微分，在式=0 的情況下可算出 $\mathbf{w}$ 。中間層的輸出行列 $\mathbf{H}$ 與教師數據的向量 $\mathbf{y}$ 分別為式(5)， $\mathbf{w}$ 則為式(6)。

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_1(\mathbf{x}_1) & h_2(\mathbf{x}_1) & \cdots & h_m(\mathbf{x}_1) \\ h_1(\mathbf{x}_2) & h_2(\mathbf{x}_2) & \cdots & h_m(\mathbf{x}_2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_1(\mathbf{x}_p) & h_2(\mathbf{x}_p) & \cdots & h_m(\mathbf{x}_p) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_p \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{w} = (\mathbf{H}^T \mathbf{H} + \Lambda)^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{y} \quad (6)$$

但 Λ 為以 $\lambda_1, \dots, \lambda_m$ 為對角成分的對角矩陣。由上可知，RBFN 的學習和計算反矩陣 $A^{-1} = (H^T H + \Lambda)^{-1}$ 相同，且 Λ 為輸出之一定值，在此情況下的學習與輸出無關，只需利用式(6)配合各自的輸出值決定組合係數即可。亦即這代表只靠輸入即可完成學習。

2. 利用 RBFN 設定反應曲面

RBFN 基本上是針對各數據組設定基底函數，然後以套疊的方式設定反應曲面。但若處理的數據量太過龐大，雖然基底函數分配到所有數據組之後有機會完全學習，但也可能因為行列規模太大而難以計算。且數據之分布可能因此產生偏差，而有形成低泛化能力反應曲面之虞。因此，若要有效率地利用 RBFN 來設定具高泛化能力的反應曲面，應儘可能減少基底函數的數目或讓數據密度平均。做法如圖-3 所示，在有雨量數據的範圍內分別設定 x 軸與 y 軸上面一定間隔 $(\Delta R_x, \Delta R_y)$ 的網格，只要所設定網格之中存在數據，就能在該網格左下方設定基底函數。此外，雨量數據應針對每個網格利用重心法進行群集分析，設定該地區內的群集代表點（參照圖-4）。該代表點使用 RBFN 學習用的數據組。且基底函數的信心度會因為其周邊所含數據數目差異而有不同，這部分應配合各網格所含數據數目使其分別產生 λ 變化，而在系統上反映信心度。此外，伴隨數據數目的 λ 由式(7)取得。

$$\lambda = \lambda_{\min} + \frac{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}}{1 + count} \quad (7)$$

在此， $\lambda_{\max}$ ： λ 的最大值

$\lambda_{\min}$ ： λ 的最小值

$count$ ：各網格所含的數據數目

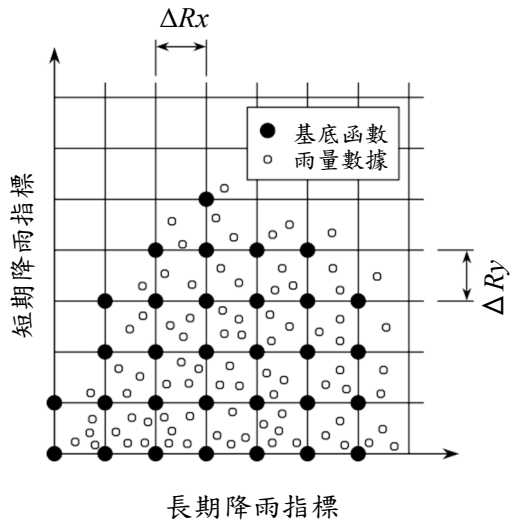


圖-3 網格及基底函數之設定

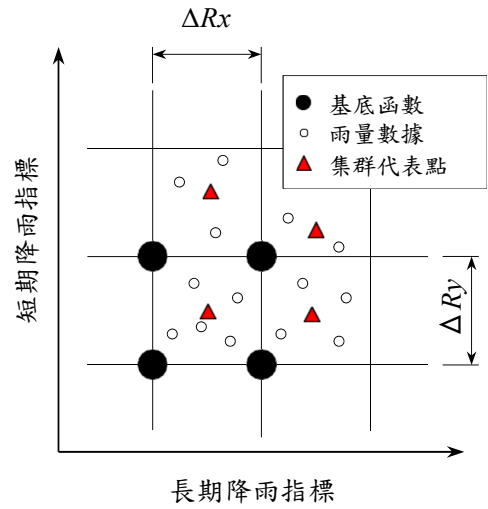


圖-4 群集分析概念圖

式(7)之 λ_{max} 、 λ_{min} 的值可在能滿足 $\lambda_{max} \geq \lambda_{min}$ 的範圍內任意設定。

如此就能有效降低基底函數，同時讓數據頻率平均。此外，讓基底函數的信心度反映到系統上，能更客觀呈現降雨所造成的土砂災害危險度。

補充資料3

◆進行 RBFN 程式作業時所設定的參數

1. RBFN 程式設定之參數

反應曲面係利用國土技術政策總合研究所土砂災害研究室所公布之 RBFN 程式作成，計算時所設定之參數基本上為表-1 之新推薦值。新推薦值係參考近年來的降雨特性等而調整讓RBFN等 輸出值線的 XY 平面上之超過機率接近相等的參數。此外，此新推薦值也調整讓全國 5km 網格平均而成為接近相等的超過機率。

表-1 RBFN 法所設定之參數

參數名稱	舊推薦值 (程式預設值)	新推薦值 (2017.11.6~)
網格間隔 X 軸	5	5
網格間隔 Y 軸	1	1
半徑 X 軸	75	145
半徑 Y 軸	15	80
正規化參數 λ_{max}	500	10,000
正規化參數 λ_{min}	1	1

2. 設定方法

在計算參數對話框上同時按 Ctrl 鍵與 Insert 鍵，即可變更參數。各項目輸入數值完成更新後點擊關閉。

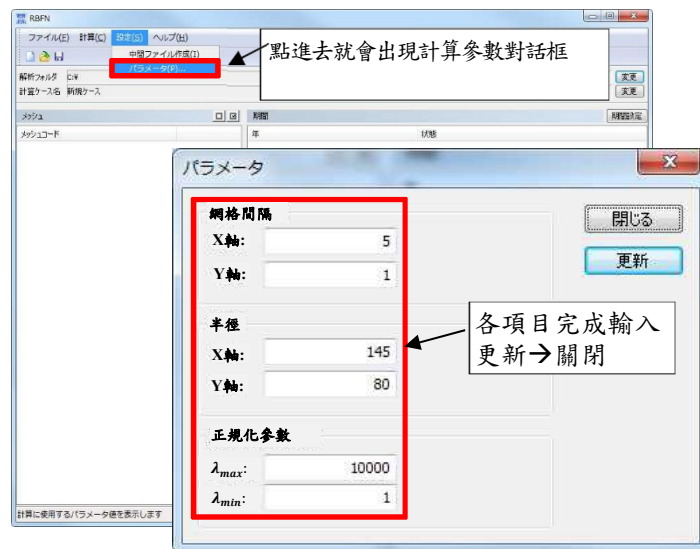


圖-1 RBFN 程式計算參數之設定

補充資料4

◆土壤雨量指數下限值具體設定方法案例

土壤雨量指數下限值若以市町村為單位進行設定，可採用以下①～③的順序。

- ①首先檢討尚未設定土壤雨量指數下限值時的 RBFN 輸出值，決定RBFN 輸出值（圖-1）。

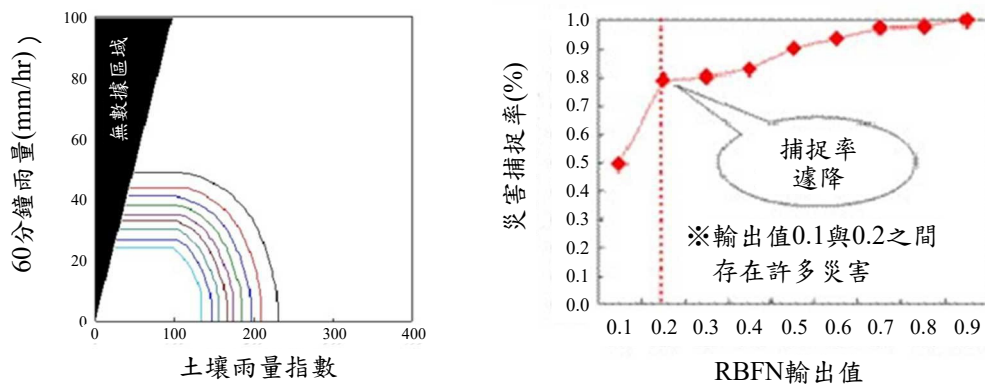
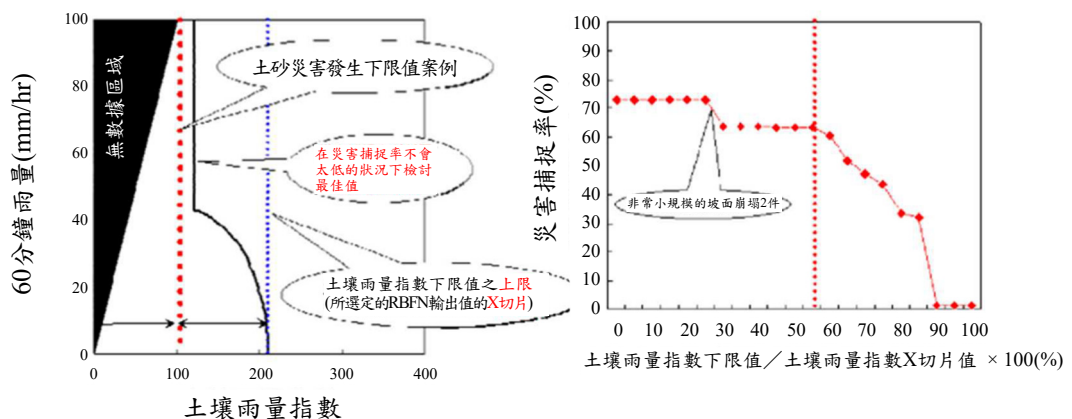


圖-1 RBFN 輸出值檢討案例（上述市町村採用RBFN=0.2）

- ②所決定之 RBFN 輸出值為基礎，由提升預測準確率（減少誤報）或降低災害警戒發布頻率的角度，在不會讓災害捕捉率極度降低的狀況下檢討土壤雨量指數之下限值（圖-2(a)）。設定土壤雨量指數下限值之後若災害捕捉率仍低，應仔細確認各災害案例的詳細狀況，決定各該市町村的最終下限值比例（圖-2(b)）。



(a) 土壤雨量指數下限值檢討

(b) 災害案例之詳細狀況確認

圖-2 RBFN 輸出值決定後的下限值檢討案例

③所決定下限值之比例適用到各該市町村內的全部網格，就能演算各網格的下限值。（圖-2 的案例之中，該市町村之各網格下限值為各網格土壤雨量指數X切片值x55(%)。）

編譯：農業部農村發展及水土保持署

Agency of Rural Development & Soil and Water Conservation

January 2024

本文件之翻譯及轉載，均符合日本著作權法相關規定。