

國土技術政策總合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1222

September 2022

土砂災害區運用線性動差法於雨量分析 成果降雨機率概估之方法

中谷洋明・金澤瑛

Probability Estimation of Radar Analytical Rainfall Products based on L-Moments method
in the field of Sediment Disaster Area

NAKAYA Hiroaki
KANAZAWA Akito

國土交通省 國土技術政策總合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

土砂災害區運用線性動差法於雨量分析成果降雨機率概估之方法

中谷洋明* 金澤瑛*

Probability Estimation of Radar Analytical Rainfall Products based on L-Moments method
in the field of Sediment Disaster Area

NAKAYA Hiroaki* , KANAZAWA Akito**

概要

本資料係於土砂災害領域中土砂災害警戒資訊所用的國土交通省雨量分析成果，適用線性動差法，找出合適度較高之機率分布型態。除此之外，也針對直到百年尺度重現之雨量，將國土數值資訊三維網格化後推估以全國1平方公里網格單位的各網格機率值，並與極端值統計或氣候平均值等進行比較，檢討其適用條件。

關鍵詞：雨量分析、機率概估、線性動差法

Synopsis

L-moments method, a regional statistical parameter estimation method for probabilistic distributions, is applied to obtain fitted probability distributions for Radar analytical rainfall operationally used by the JMA in collaboration with the MLIT, which are principal rainfall products used as a basis for Sediment Disaster Alert Information in the field of sediment disaster prevention (SABO). Probabilistic rainfall values for 1-km national land numerical information tertiary grid, with return periods up to 100 years, are estimated and their applicability are studied in comparison to extreme statistics and climate values.

Key Words: Radar-based Analytical Rainfall, Probability Estimation, L-moments Method

* 土砂災害研究室長

Head, Sabo Risk-Management Division

** 土砂災害研究室研究官

Researcher, Sabo Risk-Management Division

前言

日本 為支援土砂災害警戒避難，運用土砂災害警戒資訊，2007年度以來須由全國各都道府縣砂防局處與地方氣象臺共同發布。土砂災害警戒資訊為求無遺漏而細密地覆蓋全國，不單採地面雨量計數值，而採氣象雷達與地面雨量計數值的合併、校正，使用氣象廳所提供的雨量分析及其預測值，進行短期降水預報。

土砂災害警戒資訊係以合併二項指標而成的評估判斷方法制定基準。具體而言乃是以每 10 分鐘更新的雨量分析取得 60 分鐘雨量為短期指標，由筒狀模式(Tank Model)算出的土壤雨量指數為長期指標。短期指標用以掌握溪床土砂移動等所引致土石流，長期指標用以掌握雨水滲透或坡面崩塌等所引致崩塌，二者皆可獨自或合併使用。

2000 年初葉計算座標系發生變更，國土交通省與氣象廳數據統合，此外，都道府縣所含各河川與砂防相關局處單位的地表雨量計數據合成，在演算架構時有改變的狀況下，雨量分析品質不一。因此後來為了制定土砂災害警戒資訊之雨量基準「臨界雨量線」（Critical Line, CL），運用了 1990 年代已具一定可信度、導入卷積類神經網絡（Convolutional Neural Network, CNN）中的半徑式基(放射狀基底)函數網路（Radial Basis Function Network, RBF network），建立了雨量頻率分析方法。2006 年之後雨量分析演算架構無太大改變，運用狀況趨於穩定。2019 年度時則可以使用溯及至 2006 年運用的 1 平方公里解析度的資料庫，不論資料處理與現場作業皆可開始 1 平方公里版數據的發送。

於數據量不足階段設定臨界雨量線(CL)，其雨量統計分析不得不倚靠稍具特異性之降雨頻率分析方法。目前 1 平方公里網格雨量分析數據只累積約 16 年份、尚非充足，若能累積到近 20 年並改善統計方法，則不只砂防領域，預計也可以在土木領域中獲得適用且更接近標準的機率概估法。此外，未來面對氣候變遷影響的疑慮中，取得有反映最近豪雨增加趨勢的合適機率分布型態統計數據，因此提高了其有

效性。

因此，本資料在不久將來會追加更多數據的前提下，採用目前所能使用的雨量分析數據並確認其統計特性。以近來應用案例較多的線性動差法所建立的全國 1 平方公里網格上，分析實務上常用的是以 60 分鐘雨量及 24 小時雨量分析的適用性，以及降雨趨勢。土壤雨量指數也適用以相同方法算出，分析結果整理成篇末的參考資料。土壤雨量指數與 24 小時雨量比較後，由於中間介有筒狀模式，目前尚無法充分掌握其趨勢變化，但實務上仍常用作長期指標，因此仍予以彙整作為比較參考。

若要運用並提供具更高可信度的土砂災害警戒資訊，除了須將基礎參數的雨量指標標準化、並由多面向探討其統計特性外，不僅在砂防工學，乃至於一般土木工學、應用地質學以及地形學等也都以綜合的知識見解進行探討。特別是近年來鐵道運行規定及道路通行技術準則也都普及導入雨量指標，其標準化乃當務之急。本資料所提示全國 1 平方公里網格化雨量分析資訊若能完成標準化，應可作為多面向檢討之基礎。不只包含警戒避難在內的所謂軟體對策，和砂防相關設施設計整備以及養護水準等做比較，也能進一步展開軟硬體對策制定共同規格之風險評估等作業。

今後，除了持續累積更多數據之外，希望也能應用於具體土砂災害案例，確認這些數據在尺度上的意涵，確定其適用機率分布與重現期推估的妥當性，並且明確化其適用條件。

土砂災害研究部土砂災害研究室

目錄

1	目的	1
2	使用數據之概要	3
3	檢討方法之概要	6
4	運用線性動差法於機率降雨量之計算結果	9
4.1	線性動差之計算	9
4.2	數據檢定	9
4.3	數據同質性之確認	11
4.4	分布模型之選定與適合性之判定	14
4.5	機率降雨量之計算	16
5	分析	20
5.1	機率分布模型之選定狀況	20
5.2	各氣候區所呈現的機率降雨量	26
5.3	各氣候平均值所呈現的機率降雨量	28
5.4	設計雨量所呈現的機率降雨量	31
6	結語	33

參考文獻

篇末資料

1. 目的

本資料係說明土砂災害領域特別是用來呼籲大眾警戒避難之土砂災害警戒資訊（以下，「警戒資訊」）的降雨指標所使用氣象廳、國土交通省採用雷達-AMeDAS雨量分析(以下簡稱“雨量分析”)適用具一定覆蓋面積的線性動差降雨機率的分析結果。這項方法之前 Hosking 等學者^{1),2)}已經在許多案例適用性以及演算收斂（calculation convergence）效率性，以數值實驗證明做了詳細說明，並獲得適用於美國加州地面雨量測站的年最大1小時雨量統計的成果。日本則有外山等³⁾探討全國自動氣象觀測系統(AMeDAS)適用本方法實際案例。最初 Hosking 等學者認為相對應於統計學上習慣做法（conventional），為了凸顯順序統計形成線形之「線性（linear）」意涵，在傳統 moments（動差；矩）前面加上「L-」而成為「L-moments」，因此，以下都稱為「線性動差法」，或在不產生誤解的情況下稱為「本方法」。

對應於每一百年發生一次（1/100）或五十年發生一次重現機率年數而算出降雨機率的重現期分析（Return Period Analysis，以下使用RA），實施前提（例如日本水文暨水資源手冊⁴⁾，pp.228-255）須先累積長達數十年的觀測資料並選定適合的重現期距（機率分布型態）。此外，與RA並行的DAD（Depth-Area-Duration)分析，係依據地表雨量計設定降雨強度公式係數時，也須累積地區統計分析之比較驗證案例，確保其可信度^{5),6)}。土砂災害領域DAD分析主要特徵是處理極狹窄範圍內的短期間降雨現象。亦即，Depth（降雨強度）、Area（面積）、Duration（延時）三要素中最重要的是推估Depth（降雨強度）。土砂災害領域，觀測、分析下限值，亦即DAD推估可能範圍下限值，「Area=1平方公里，Duration=1小時(60分鐘)」乃至於，推廣至更小面積區域與延時的雨量預估時，由於與統計上信賴性向上線索有關利用流域平均雨量之河川洪水相關技術課題有所差異，目前小於「1平方公里，60分鐘」現象的觀測以及降尺度觀測結果之驗證方法尚未確立。

本檢討重點在 RA（重現期分析）之關係式大多依據到 1970 年代為止所累積數據而導出，每一段時間予以更新。樣本大小超過 30 年者設定為大樣區；可信度較高的地面雨量觀測適用不假定統計分布的無母數統計法^{7),8)}。但氣候變遷與地球暖化影響越來越明顯，未來須更注意早期觀測資料的時間前後安定性。具體而言，在氣候變遷的趨勢下，即使以整體資料數目減少作為犧牲也應建立讓早期觀測資料更具妥當性的數據內涵呈現方法。此時即使觀測期間短也應利用具較高妥當性的最近資料，透過合適的降雨機率分布型態進行重現期分析(RA)而完成參數設定。重現期分析為同時以較短觀測期間並確保合適降雨機率分布型態選擇之可信度，可參考以下方法。首先，進行一個地點的推定時，可視為「小樣本問題」，適用點繪(plotting position) 法之 Weibull 公式或 Cunnane 公式⁷⁾。但檢討面積廣闊的降雨量等水文量極端值時，能假定具同質性的區域內進行無母數統計地區統計分析⁹⁾。本資料所使用線性動差法雖會增加演算量，但透過順序統計導入線形，仍具比傳統動差法更少數據變異（variation）或偏離（bias）的優點^{1),3)}。

警戒資訊所使用雨量分析具全國無遺漏、稠密覆蓋之優點。但過去即使以 10 年期距大幅改良演算方法而採小樣本，仍無法完成設定機率分布型態參數所需之統計處理。結果變成僅限於使用軟體對策警戒避難領域以機械學習完成降雨頻率分析種類之一的半徑式基函數法（Radial Basis Function）¹⁰⁾。但雨量分析品質也在 2006 年實施 1km 化（以及更新間隔縮短到 30 分鐘）之後大致保持安定、能累積更多數據，因此使用可降低數據變異與偏差(偏離)影響的線性動差法，以導出機率分布型態，即可能以機率化手法進行檢討。因此本資料乃著眼於警戒資訊降雨指標的 60 分鐘雨量與土壤雨量指數，60 分鐘雨量以其本身雨量，土壤雨量指數以其所相當的 24 小時雨量等為主，使用線性動差法適用於雨量分析成果，並探討降雨機率概估結果及其演算過程所產生的問題。

2. 所使用數據之概要

雨量分析改採1平方公里的2006年1月以後到2021年10月為止，各網格使用歷年最大值。歷年最大值各年取1個值。因此，各網格都有16個值。雨量分析所設定對象係氣象廳一次區分多邊形也有局部劃入的國土數值資訊三次網格（38萬8803網格）周邊有考量5公里緩衝的區域（圖2.1）。但因無雨量數據或最大值 $\leq 0.4\text{mm}$ 等狀況，無法取得合適機率分布的3953網格不列入計算範圍。

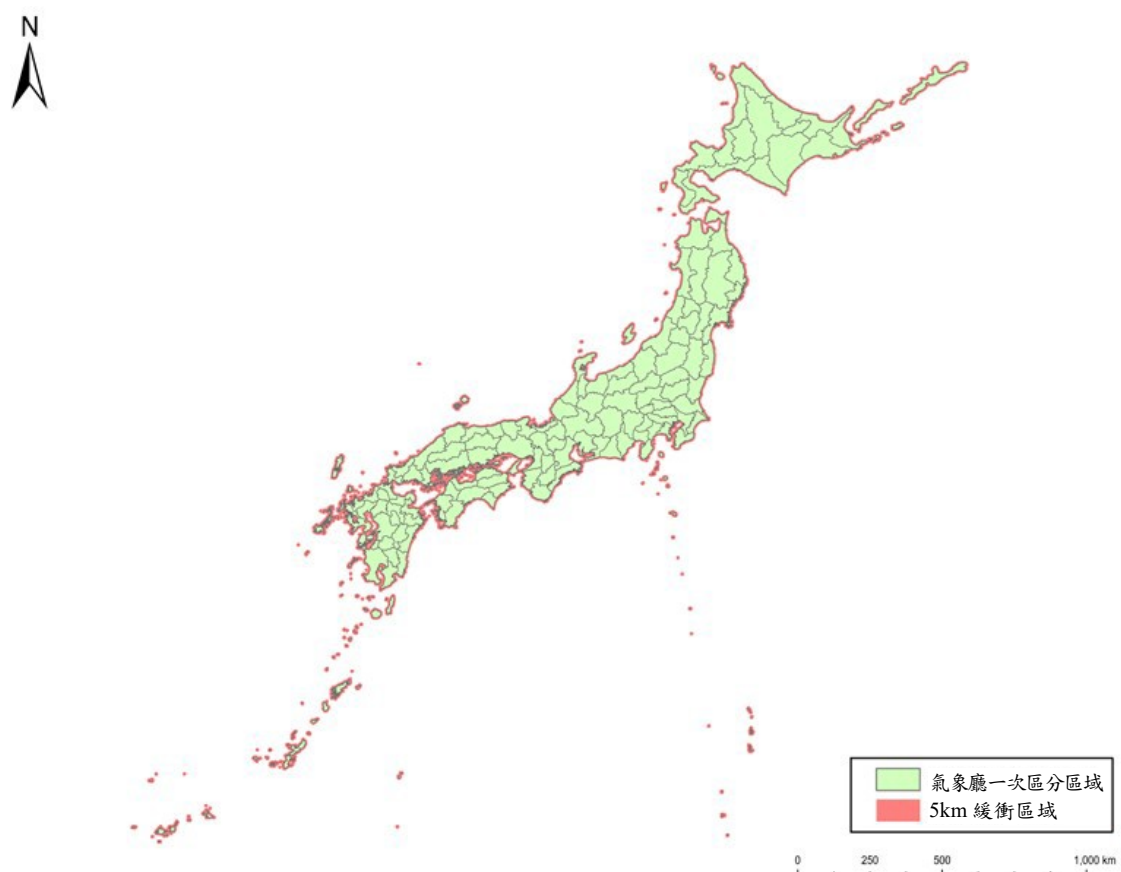


圖2.1 考量分布與形狀的降雨數據整理的對象網格與緩衝區

具體來說，西日本豪雨等降雨持續時間較長的2018年24小時雨量及東日本颱風所引致豪雨及短延時強降雨等的2019年60分鐘雨量，如圖2.2～2.3所示。

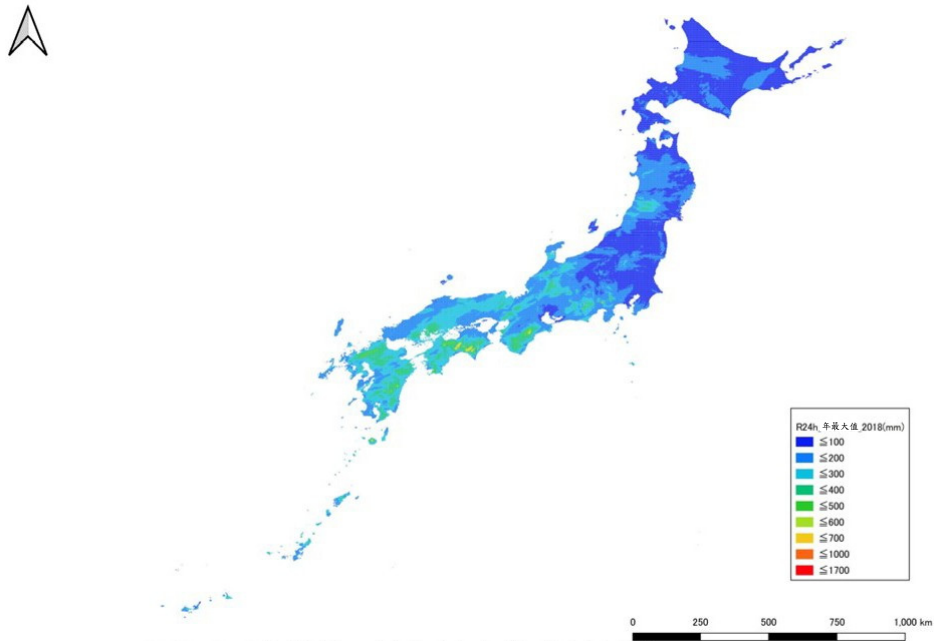


圖2.2 24 小時雨量年最大值(2018年)

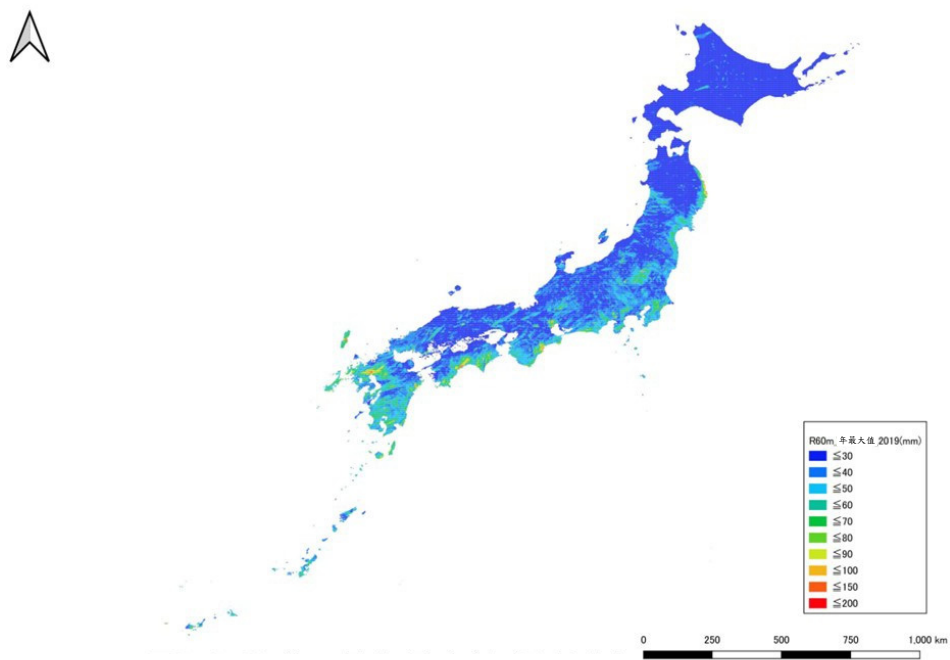


圖2.3 60分鐘雨量年最大值(2019年)

全國網格 60 分鐘雨量的樣本變異係數($CV:\sigma/\mu$)及樣本最大/樣本平均值(Max/μ)約為 3.32×10^{-1} 及約 1.75。同樣的，全國網格 60 分鐘雨量的樣本變異係數 ($CV:\sigma/\mu$)及樣本最大/樣本平均值(Max/μ)約 3.82×10^{-1} 及約 1.91。為了能綜合二者並與過去的極端值統計^{11),12)}做比較，列出對象期間全國網格的 1 小時雨量及日雨量前 20 名，如圖 2.4 及 2.5 所示。

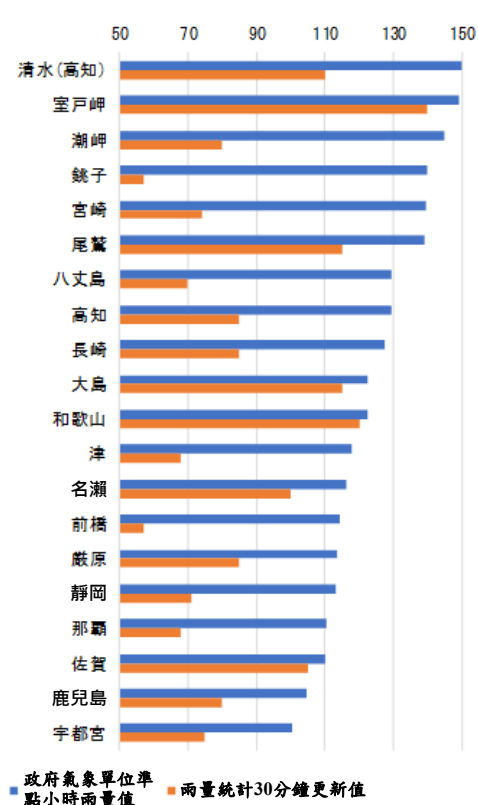


圖2.4: 全國前1~20名氣象單位及該點頭頂上網格的極端值比較* (60分鐘雨量,mm)

*出處:理科年表 2022

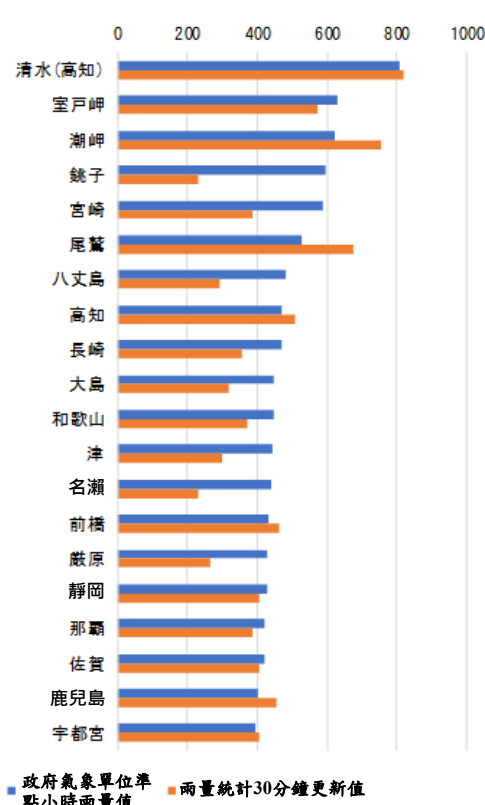


圖2.5: 全國前1~20名氣象單位及該點頭頂上網格的極端值比較* (24小時雨量,mm)

*出處:理科年表 2022

全部數據期間記錄第1名及第2名以後的網格各年比率，如圖2.6所示。數據期間後半有發現更新第1名網格比率較高的年份，但並未呈現持續增加態勢。

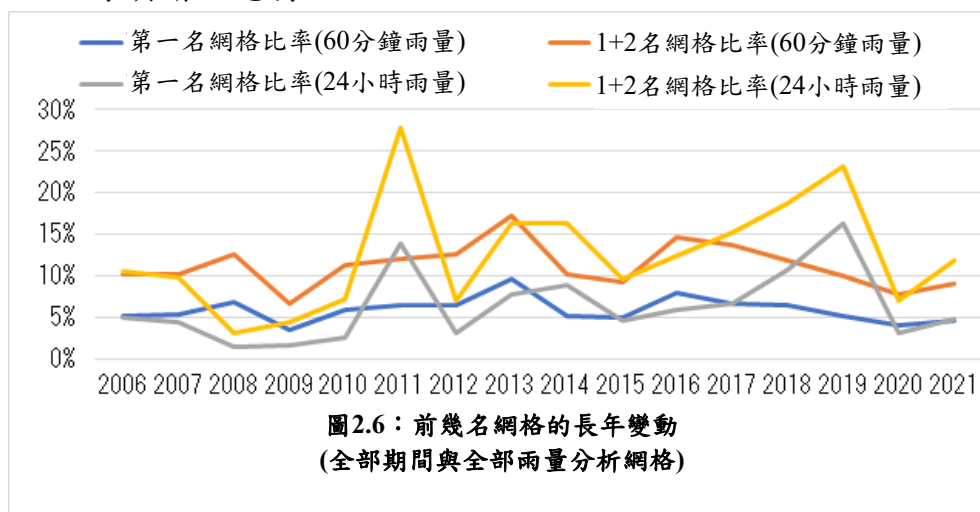


圖2.6: 前幾名網格的長年變動
(全部期間與全部雨量分析網格)

3. 檢討方法之概要

線性動差法原則上與氣象廳外山等^{3),13)}的自動氣象觀測系統(AMeDAS)所用手法相同。外山等³⁾依據觀測站區域特性設定了假設具數據同質性的區塊。本檢討主要處理網格雨量，鄰近網格儘量縮小，所檢討之區塊為圖3.1所示 $n \times n$ 正方形以及 3×3 除去四角的5網格十字形狀區域。有種方法是在整個輪廓形狀固定之下外擴，僅考慮鄰近網格，因此實施 DAD時，其適用案例也有不必擔心下雨區域中斷不連續的優點⁵⁾。本檢討之中有關線性動差法的適用，執行單位並非觀測站，而是以所設定檢討區塊中央的 1平方公里網格為單位進行。若是偶數網格區塊，考量雷達雨量會有下雨區域偏離狀況，因此以中心的東南側為「中央」（位置偏離問題參照牧原¹⁴⁾之研究）。檢討區塊的數據案例如表3.1所示。

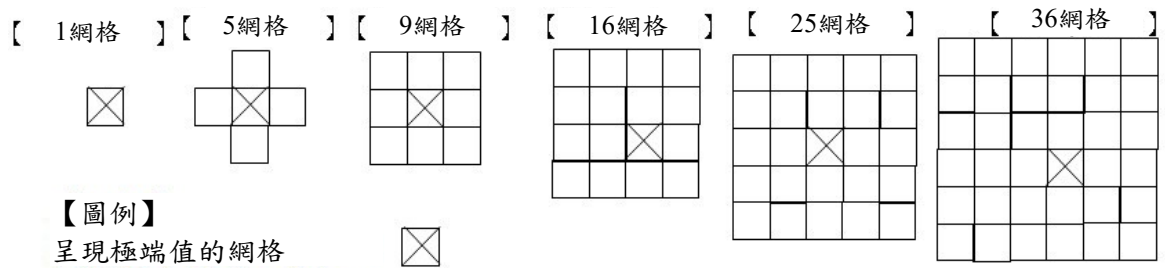


圖3.1 檢討對象之區塊與展開的模式

表3.1 檢討區域之數據案例

Station No.	Station Name	Area	Area	Area	Area	Area	Area	Area	Area	Area	Area	Area
1001	1001.0	1001.0	1001.0	1001.0	1001.0	1001.0	1001.0	1001.0	1001.0	1001.0	1001.0	1001.0
1002	1002.0	1002.0	1002.0	1002.0	1002.0	1002.0	1002.0	1002.0	1002.0	1002.0	1002.0	1002.0
1003	1003.0	1003.0	1003.0	1003.0	1003.0	1003.0	1003.0	1003.0	1003.0	1003.0	1003.0	1003.0
1004	1004.0	1004.0	1004.0	1004.0	1004.0	1004.0	1004.0	1004.0	1004.0	1004.0	1004.0	1004.0
1005	1005.0	1005.0	1005.0	1005.0	1005.0	1005.0	1005.0	1005.0	1005.0	1005.0	1005.0	1005.0
1006	1006.0	1006.0	1006.0	1006.0	1006.0	1006.0	1006.0	1006.0	1006.0	1006.0	1006.0	1006.0
1007	1007.0	1007.0	1007.0	1007.0	1007.0	1007.0	1007.0	1007.0	1007.0	1007.0	1007.0	1007.0
1008	1008.0	1008.0	1008.0	1008.0	1008.0	1008.0	1008.0	1008.0	1008.0	1008.0	1008.0	1008.0
1009	1009.0	1009.0	1009.0	1009.0	1009.0	1009.0	1009.0	1009.0	1009.0	1009.0	1009.0	1009.0
1010	1010.0	1010.0	1010.0	1010.0	1010.0	1010.0	1010.0	1010.0	1010.0	1010.0	1010.0	1010.0
1011	1011.0	1011.0	1011.0	1011.0	1011.0	1011.0	1011.0	1011.0	1011.0	1011.0	1011.0	1011.0
1012	1012.0	1012.0	1012.0	1012.0	1012.0	1012.0	1012.0	1012.0	1012.0	1012.0	1012.0	1012.0
1013	1013.0	1013.0	1013.0	1013.0	1013.0	1013.0	1013.0	1013.0	1013.0	1013.0	1013.0	1013.0
1014	1014.0	1014.0	1014.0	1014.0	1014.0	1014.0	1014.0	1014.0	1014.0	1014.0	1014.0	1014.0
1015	1015.0	1015.0	1015.0	1015.0	1015.0	1015.0	1015.0	1015.0	1015.0	1015.0	1015.0	1015.0
1016	1016.0	1016.0	1016.0	1016.0	1016.0	1016.0	1016.0	1016.0	1016.0	1016.0	1016.0	1016.0
1017	1017.0	1017.0	1017.0	1017.0	1017.0	1017.0	1017.0	1017.0	1017.0	1017.0	1017.0	1017.0
1018	1018.0	1018.0	1018.0	1018.0	1018.0	1018.0	1018.0	1018.0	1018.0	1018.0	1018.0	1018.0
1019	1019.0	1019.0	1019.0	1019.0	1019.0	1019.0	1019.0	1019.0	1019.0	1019.0	1019.0	1019.0
1020	1020.0	1020.0	1020.0	1020.0	1020.0	1020.0	1020.0	1020.0	1020.0	1020.0	1020.0	1020.0
1021	1021.0	1021.0	1021.0	1021.0	1021.0	1021.0	1021.0	1021.0	1021.0	1021.0	1021.0	1021.0
1022	1022.0	1022.0	1022.0	1022.0	1022.0	1022.0	1022.0	1022.0	1022.0	1022.0	1022.0	1022.0
1023	1023.0	1023.0	1023.0	1023.0	1023.0	1023.0	1023.0	1023.0	1023.0	1023.0	1023.0	1023.0
1024	1024.0	1024.0	1024.0	1024.0	1024.0	1024.0	1024.0	1024.0	1024.0	1024.0	1024.0	1024.0
1025	1025.0	1025.0	1025.0	1025.0	1025.0	1025.0	1025.0	1025.0	1025.0	1025.0	1025.0	1025.0
1026	1026.0	1026.0	1026.0	1026.0	1026.0	1026.0	1026.0	1026.0	1026.0	1026.0	1026.0	1026.0
1027	1027.0	1027.0	1027.0	1027.0	1027.0	1027.0	1027.0	1027.0	1027.0	1027.0	1027.0	1027.0
1028	1028.0	1028.0	1028.0	1028.0	1028.0	1028.0	1028.0	1028.0	1028.0	1028.0	1028.0	1028.0
1029	1029.0	1029.0	1029.0	1029.0	1029.0	1029.0	1029.0	1029.0	1029.0	1029.0	1029.0	1029.0
1030	1030.0	1030.0	1030.0	1030.0	1030.0	1030.0	1030.0	1030.0	1030.0	1030.0	1030.0	1030.0
1031	1031.0	1031.0	1031.0	1031.0	1031.0	1031.0	1031.0	1031.0	1031.0	1031.0	1031.0	1031.0
1032	1032.0	1032.0	1032.0	1032.0	1032.0	1032.0	1032.0	1032.0	1032.0	1032.0	1032.0	1032.0
1033	1033.0	1033.0	1033.0	1033.0	1033.0	1033.0	1033.0	1033.0	1033.0	1033.0	1033.0	1033.0
1034	1034.0	1034.0	1034.0	1034.0	1034.0	1034.0	1034.0	1034.0	1034.0	1034.0	1034.0	1034.0
1035	1035.0	1035.0	1035.0	1035.0	1035.0	1035.0	1035.0	1035.0	1035.0	1035.0	1035.0	1035.0
1036	1036.0	1036.0	1036.0	1036.0	1036.0	1036.0	1036.0	1036.0	1036.0	1036.0	1036.0	1036.0
1037	1037.0	1037.0	1037.0	1037.0	1037.0	1037.0	1037.0	1037.0	1037.0	1037.0	1037.0	1037.0
1038	1038.0	1038.0	1038.0	1038.0	1038.0	1038.0	1038.0	1038.0	1038.0	1038.0	1038.0	1038.0
1039	1039.0	1039.0	1039.0	1039.0	1039.0	1039.0	1039.0	1039.0	1039.0	1039.0	1039.0	1039.0
1040	1040.0	1040.0	1040.0	1040.0	1040.0	1040.0	1040.0	1040.0	1040.0	1040.0	1040.0	1040.0
1041	1041.0	1041.0	1041.0	1041.0	1041.0	1041.0	1041.0	1041.0	1041.0	1041.0	1041.0	1041.0
1042	1042.0	1042.0	1042.0	1042.0	1042.0	1042.0	1042.0	1042.0	1042.0	1042.0	1042.0	1042.0
1043	1043.0	1043.0	1043.0	1043.0	1043.0	1043.0	1043.0	1043.0	1043.0	1043.0	1043.0	1043.0
1044	1044.0	1044.0	1044.0	1044.0	1044.0	1044.0	1044.0	1044.0	1044.0	1044.0	1044.0	1044.0
1045	1045.0	1045.0	1045.0	1045.0	1045.0	1045.0	1045.0	1045.0	1045.0	1045.0	1045.0	1045.0
1046	1046.0	1046.0	1046.0	1046.0	1046.0	1046.0	1046.0	1046.0	1046.0	1046.0	1046.0	1046.0
1047	1047.0	1047.0	1047.0	1047.0	1047.0	1047.0	1047.0	1047.0	1047.0	1047.0	1047.0	1047.0
1048	1048.0	1048.0	1048.0	1048.0	1048.0	1048.0	1048.0	1048.0	1048.0	1048.0	1048.0	1048.0
1049	1049.0	1049.0	1049.0	1049.0	1049.0	1049.0	1049.0	1049.0	1049.0	1049.0	1049.0	1049.0
1050	1050.0	1050.0	1050.0	1050.0	1050.0	1050.0	1050.0	1050.0	1050.0	1050.0	1050.0	1050.0
1051	1051.0	1051.0	1051.0	1051.0	1051.0	1051.0	1051.0	1051.0	1051.0	1051.0	1051.0	1051.0
1052	1052.0	1052.0	1052.0	1052.0	1052.0	1052.0	1052.0	1052.0	1052.0	1052.0	1052.0	1052.0
1053	1053.0	1053.0	1053.0	1053.0	1053.0	1053.0	1053.0	1053.0	1053.0	1053.0	1053.0	1053.0
1054	1054.0	1054.0	1054.0	1054.0	1054.0	1054.0	1054.0	1054.0	1054.0	1054.0	1054.0	1054.0
1055	1055.0	1055.0	1055.0	1055.0	1055.0	1055.0	1055.0	1055.0	1055.0	1055.0	1055.0	1055.0
1056	1056.0	1056.0	1056.0	1056.0	1056.0	1056.0	1056.0	1056.0	1056.0	1056.0	1056.0	1056.0
1057	1057.0	1057.0	1057.0	1057.0	1057.0	1057.0	1057.0	1057.0	1057.0	1057.0	1057.0	1057.0
1058	1058.0	1058.0	1058.0	1058.0	1058.0	1058.0	1058.0	1058.0	1058.0	1058.0	1058.0	1058.0
1059	1059.0	1059.0	1059.0	1059.0	1059.0	1059.0	1059.0	1059.0	1059.0	1059.0	1059.0	1059.0
1060	1060.0	1060.0	1060.0	1060.0	1060.0	1060.0	1060.0	1060.0	1060.0	1060.0	1060.0	1060.0
1061	1061.0	1061.0	1061.0	1061.0	1061.0	1061.0	1061.0	1061.0	1061.0	1061.0	1061.0	1061.0
1062	1062.0	1062.0	1062.0	1062.0	1062.0	1062.0	1062.0	1062.0	1062.0	1062.0	1062.0	1062.0
1063	1063.0	1063.0	1063.0	1063.0	1063.0	1063.0	1063.0	1063.0	1063.0	1063.0	1063.0	1063.0
1064	1064.0	1064.0	1064.0	1064.0	1064.0	1064.0	1064.0	1064.0	1064.0	1064.0	1064.0	1064.0
1065	1065.0	1065.0	1065.0	1065.0	1065.0	1065.0	1065.0	1065.0	1065.0	1065.0	1065.0	1065.0
1066	1066.0	1066.0	1066.0	1066.0	1066.0	1066.0	1066.0	1066.0	1066.0	1066.0	1066.0	1066.0
1067	1067.0	1067.0	1067.0	1067.0	1067.0	1067.0	1067.0	1067.0	1067.0	1067.0	1067.0	1067.0
1068	1068.0	1068.0	1068.0	1068.0	1068.0	1068.0	1068.0	1068.0	1068.0	1068.0	1068.0	1068.0
1069	1069.0	1069.0	1069.0	1069.0	1069.0	1069.0	1069.0	1069.0	1069.0	1069.0	1069.0	1069.0
1070	1070.0	1070.0	1070.0	1070.0	1070.0	1070.0	1070.0	1070.0	1070.0	1070.0	1070.0	1070.0
1071	1071.0	1071.0	1071.0	1071.0	1071.0	1071.0	1071.0	1071.0	1071.0	1071.0	1071.0	1071.0
1072	1072.0	1072.0	1072.0	1072.0	1072.0	1072.0	1072.0	1072.0	1072.0	1072.0	1072.0	1072.0
1073	1073.0	1073.0	1073.0	1073.0	1073.0	1073.0	1073.0	1073.0	1073.0	1073.0	1073.0	1073.0
1074	1074.0	1074.0	1074.0	1074.0	1074.0	1074.0	1074.0	1074.0	1074.0	1074.0	1074.0	1074.0
1075	1075.0	1075.0	1075.0	1075.0	1075.0	1075.0	1075.0	1075.0	1075.0	1075.0	1075.0	1075.0
1076	1076.0	1076.0	1076.0	1076.0	1076.0	1076.0	1076.0	1076.0	1076.0	1076.0	1076.0	1076.0
1077	1077.0	1077.0	1077.0	1077.0	1077.0	1077.0	1077.0	1077.0	1077.0	1077.0	1077.0	1077.0
1078	1078.0	1078.0	1078.0	1078.0	1078.0	1078.0	1078.0	1078.0	1078.0	1078.0	1078.0	1078.0
1079	1079.0	1079.0	1079.0	1079.0	1079.0	1079.0	1079.0	1079.0	1079.0	1079.0	1079.0	1079.0
1080	1080.0	1080.0	1080.0	1080.0	1080.0	1080.0	1080.0	1080.0	1080.0	1080.0	1080.0	1080.0
1081	1081.0	1081.0	1081.0	1081.0	1081.0	1081.0	1081.0	1081.0	1081.0	1081.0	1081.0	1081.0
1082	1082.0	1082.0	1082.0	1082.0	1082.0	1082.0	1082.0	1082.0	1082.0	1082.0	1082.0	1082.0
1083	1083.0	1083.0	1083.0	1083.0	1083.0	1083.0	1083.0	1083.0	1083.0	1083.0	108	

算出到第 4 階為止的線性動差及變異係數 L-CV、線性偏態(偏度)與線性峰度，然後將變異係數、線性偏態(偏度)與線性峰度之馬氏平方距離(Mahalanobis square distance)進行數據檢定並剔除異常值，採用到第 4 階為止的線性動差比區塊內平均所取得的卡帕(kappa)分布反函數(逆函數)，以均勻亂數能取得的均一性質指標(H(式 3.1))，檢討各區塊均一性。

$$H = \frac{V_0 - \mu_V}{\sigma_V} \quad \text{式3.1}$$

此式， H ：代表異質性的統計量， V_0 ：數據的離散程度， μ_V ：以卡帕(kappa)分布反函數(逆函數)所取得的平均值， σ_V ：標準偏差。

檢討其合適性的降雨機率分布模型有耿貝爾分布 (GUM)、一般化 (通用) 極端值分布(GEV)、皮爾遜第三類(型)分布(PE3)、標準 (通用) 羅吉斯分布(GLO)、3 母數對數正規分布(GNO)、廣義 (通用) 帕雷托(Pareto)分布(GPA)六種。上述幾種候補統計分布方案不合適時，可採 5 參數之威克拜分布(Wakeby Distribution)，由線性動差算出威克拜分布的參數。

各地點能取得線性動差比所算出的變異係數 $L-CV(t^i)$ ，以及無因次偏態 (偏度) 係數 t_3^i 、無因次峰度係數 (t_4^i)。各地點記錄長度實施加權的地區平均值，能取得 t^R 、 t_3^R 、 t_4^R (記錄長度於全部地點 (網格) 基本上 16 年都相同)。算出由地區平均值 (1 、 t^R 、 t_3^R) 取得分布方案之三參數，並以外山等³⁾ 的公式由各分布的參數算出 t_4 。由各分布參數算出 t_4 並設定為 τ_4^{DIST} ，其與 t_4^R 的類似度以 Z^{DIST} (式3.2) 估量。各網格之中選出 $Z^{DIST} \leq 1.64$ 的分布型態中 Z^{DIST} 變成最小的機率分布模型。整體做法流程如圖3.2所示。

$$Z^{DIST} = \frac{\tau_4^{DIST} - t_4^R + B_4}{\sigma_4} \quad \text{式3.2}$$

此式， Z^{DIST} ：適合度估量指標， B_4 ： t_4^R 的偏度， σ_4 ： t_4^R 的標準偏差。

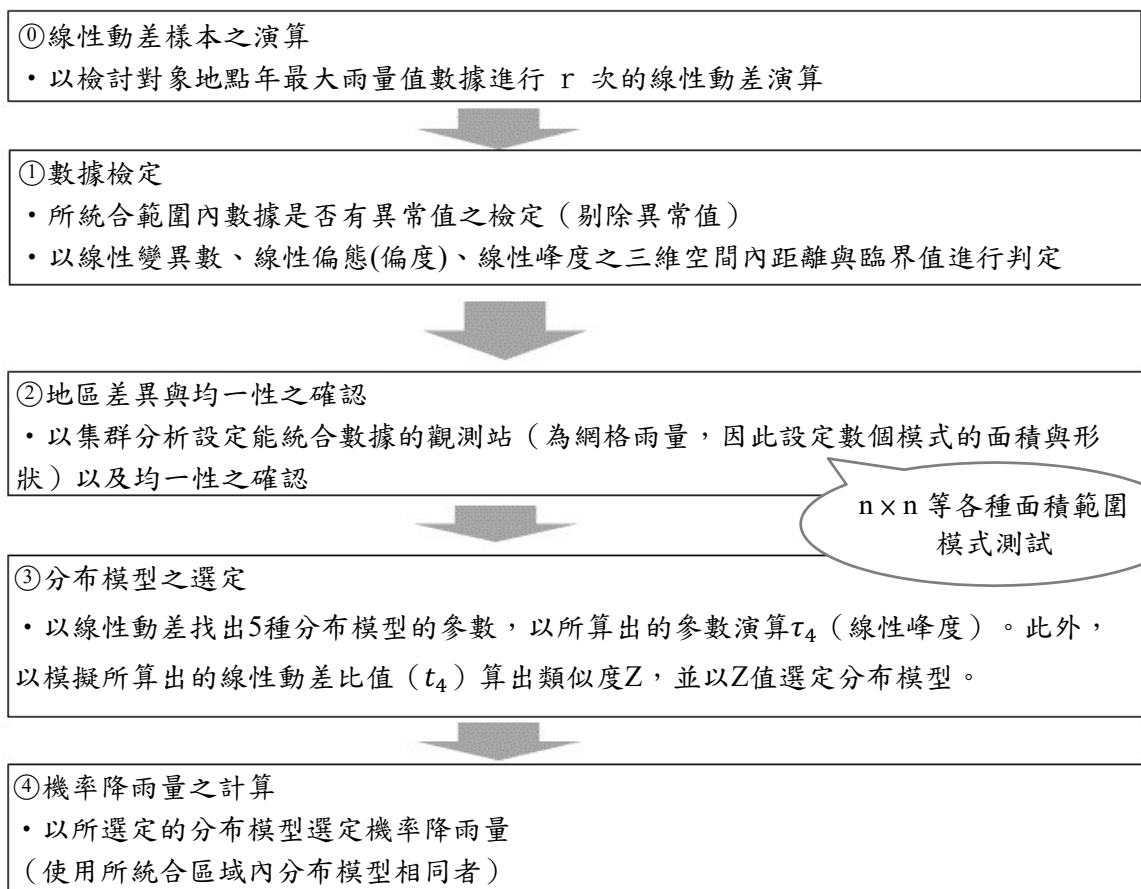


圖3.2 雨量分析之各網格進行線性動差區域降雨頻率分析的適用方法

4. 運用線性動差法於機率降雨量之計算結果

4.1 線性動差之計算

算出檢討對象各 3 次網格 60 分鐘雨量（以下稱，「R60min」）與 24 小時雨量（R24h）之對象期間各年最大值，然後算出 $l_1 \sim l_4$ 的線性動差，以及 t_3 、 t_4 的樣本動差及 t （樣本 L-CV）。

此處的 $l_1 \sim l_4$ 之中， l_1 ：平均， l_2 ：離散， l_3 ：偏態(偏度)， l_4 ：峰度，

樣本線性動差（L-skewness：無因次偏態(偏度)係數） $t_3 = l_3 / l_2$

樣本線性動差（L-kurtosis：無因次峰度係數） $t_4 = l_4 / l_2$

樣本 變異係數 L-CV $t = l_2 / l_1$

R60min 與 R24h 的 $l_1 \sim l_4$ 388,803 網格平均、離散程度、最大、最小值如表 4.1 及 4.2 所示。

表4.1: R60min 的線性動差統計（1網格時）

L1			
平均	離散程度	最大值	最小值
32.33	104.44	85.13	0.40
L2			
平均	離散程度	最大值	最小值
5.86	4.18	18.73	0.00
L3			
平均	離散程度	最大值	最小值
1.13	1.02	9.22	-2.74
L4			
平均	離散程度	最大值	最小值
0.89	0.66	9.37	-1.94

表4.2: R24hr 的線性動差統計（1網格時）

L1			
平均	離散程度	最大值	最小值
138.05	3047.46	646.45	0.40
L2			
平均	離散程度	最大值	最小值
28.88	211.04	210.20	0.00
L3			
平均	離散程度	最大值	最小值
6.88	34.74	92.33	-20.29
L4			
平均	離散程度	最大值	最小值
4.85	21.54	72.17	-14.57

4.2 數據檢定

找出雨量分析之中可能含有的異常值，可進行數據均質性（異常值）檢定。合計 N 網格所構成的群集（叢集）之中，第 i 個網格的線性動差推估量之向量，定義如式 4.1 所示。

$$\mathbf{u}_i = [t^{(i)} \quad t_3^{(i)} \quad t_4^{(i)}]^T \quad \text{式4.1}$$

N 地點（網格）分的 $\mathbf{u}_i$ 平均值如式 4.2 所示。

$$\bar{\mathbf{u}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{u}_i \quad \text{式4.2}$$

此處以式 4.3 算出 3×3 之行列 A。

$$\mathbf{A} = \sum_{i=1}^N (\mathbf{u}_i - \bar{\mathbf{u}})(\mathbf{u}_i - \bar{\mathbf{u}})^T \quad \text{式4.3}$$

由上可知， D_i 的定義如式 4.4 所示。

$$D_i = \frac{1}{3} N (\mathbf{u}_i - \bar{\mathbf{u}})^T \mathbf{A}^{-1} (\mathbf{u}_i - \bar{\mathbf{u}}) \quad \text{式4.4}$$

D_i 為馬氏平方距離(Mahalanobis distance)之中考量數據離散程度與樣本平均值的距離。

在顯著性水準 α (0.1%) 機率下至少 1 網格，判定和其他網格有偏差（異常值，outlier）的臨界值 $\max D_i$ 如表 4.3 所示³⁾。此處當 $N \leq 3$ 時無法演算， $N=4$ 時臨界值為 1。具體而言，正確操作順序是先設定異常值之臨界值，對每個網格與每一年最大降雨指標數據進行前處理，接著進行數據檢定，然後取得 $\max D_i$ 之檢定結果。

表4.3: D_i 的臨界值*

地點數	Max D_i
5	1.333
6	1.648
7	1.917
8	2.14
9	2.329
10	2.491
11	2.632
12	2.757
13	2.869
14	2.971
15以上	3

*出處: 外山等, 2002

過去地面雨量檢討案例之中，正確完成計測的數據不需剔除。但雨量分析中也會有年間最大值 0.4mm 這樣的網格，因為是異常值仍加以剔除。

R60min 與 R24h 降雨展開的網格尺寸及剔除網格尺寸之關係，如表 4.4 及 4.5 所示。R60min 與 R24h 都是網格範圍越寬，剔除網格數越多。所剔除的平均網格數，不論網格範圍大小，都算 1 網格。數據檢定結果顯示，網格分布(展開)大小與形狀無太大差異，範圍設定與此無關。

表4.4：以 R60min 馬氏距離進行數據檢定的結果

展開形狀(網格數)	全部網格數	無剔除的網格數①	有剔除的網格數②	有剔除的網格數② 平均所剔除數目	②之中剔除1網格	②之中剔除2網格	②之中剔除3網格	②之中剔除4網格	剔除網格之比例
5網格	388803	349165	39638	1.06	37816	1449	372	0	0.10
9網格	388803	343966	44837	1.03	43341	1474	22	0	0.12
16網格	388803	316949	71854	1.05	68167	1641	46	0	0.18
25網格	388803	224534	164269	1.17	138372	24496	1366	35	0.42
36網格	388803	150612	238191	1.35	165081	62575	9801	691	0.61
氣象廳一階預報區	142	2	140	85.44	1	0	1	0	0.99

表4.5：以 R24h 馬氏距離進行數據檢定的結果

展開形狀(網格數)	全部網格數	無剔除的網格數①	有剔除的網格數②	有剔除的網格數② 平均所剔除數目	②之中剔除1網格	②之中剔除2網格	②之中剔除3網格	②之中剔除4網格	剔除網格之比例
5網格	388803	348978	39825	1.05	38135	1491	198	1	0.10
9網格	388803	344371	44432	1.03	43034	1379	19	0	0.11
16網格	388803	316264	72539	1.05	68899	3588	52	0	0.19
25網格	388803	222954	165849	1.17	139403	24898	1509	36	0.43
36網格	388803	150092	238711	1.37	164369	62503	10806	982	0.61
氣象廳一階預報區	142	2	140	82.11	1	1	1	0	0.99

4.3 數據同質性之確認

使用 AMeDAS數據的區域統計分析案例^{3),13)}之中，依各觀測站的區域特性，進行完成統合的觀測站數據群集之集群分析，確認數據之同質性。以此類方法，本檢討也確認了 N 網格範圍的數據之同質性。在此使用式 4.1 所示的線性動差量 t，調查其不同質性。t 區域內的離散程度(變異)如式 4.5 所示。

$$V = \sqrt{\sum_{i=1}^N n_i (t^{(i)} - t^R)^2 / \sum_{i=1}^N n_i} \quad \text{式4.5}$$

此式，N：區域內的地點數目 n，i：第 i 個網格的數據長度，t(i)：第 i 個項目網格的 t

$$t^R = \sum_{i=1}^N n_i t^{(i)} / \sum_{i=1}^N n_i \quad \text{式4.6}$$

V 的部分，依實際數據序列所算出者設定為 V_0 。

進行此網格分布設定為均質時的比較，以如下同質性指標計算順序①~③找出指標H，以④ n 判定基準判定範圍內的同質性。

- ① '由樣本線性動差的網格分布內平均 ($1, t^R, t_3^R, t_4^R$) 算出 4 個卡帕 (kappa) 分布的參數 ξ, α, k, h 。
- ② 使用所算出卡帕分布的參數，以卡帕分布之亂數產生 N 網格。使產生(0,1)相同的亂數，以卡帕分布的反函數算出 x。

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left(\frac{1 - F^h}{h} \right)^k \right\} \quad \text{式4.7}$$

- ③ 進行網格分布統計對象數據同質性之判定。使用所產生的亂數求取 V。此模擬過程參考 $N_{\text{sim}} = 500$ 次反覆^{3),13)}，依據 Hosking 等¹⁵⁾的做法設定為 500 次。V 之平均 μ_v ，標準偏差為 σ_v ，進行式 3.1 的計算。

$$H = \frac{V_0 - \mu_v}{\sigma_v} \quad \text{式3.1 (再次使用)}$$

- ④ 同質性判定基準如表 4.6 所示。此外，完成最深積雪調查的大西等¹³⁾指出，實際上 $H < 2$ 不會構成問題。

表4.6：H值與同質性之判定基準

H之範圍	同質性之判定
$H < -2$	各網格之數據具明顯同質性*
$H < 1$	數據同質性高，可相互套用
$1 \leq H < 2$	可能異質
$H > 2$	絕對異質

*以AMeDAS數據判定的外山等(2002)認為應依據觀測量驗證數據是否有異常進行調整

表 4.7 及表 4.8 為 R60min 與 R24h 的計算結果。R60min 與 R24h 的大多數網格都是 $H < 1$ （數據同質性高，可相互套用）。和 5 網格相比， $3 \times 3(9)$ 網格的 $H < -2$ 網格數比例較大，亦即呈現 $3 \times 3(9)$ 網格範圍的數據相關性比 5 網格還高。

表4.7：R60min 的分布（網格數）與指標 H 之關係

展開形狀(網格數)	全網格數	$H < -2$	$-2 \leq H < 1$	$1 \leq H < 2$	$2 \leq H$	N / A	∞
5網格	385329	28830	351064	4136	777	513	9
9網格	385381	123767	255620	4280	1185	519	10
16網格	385430	206085	170876	5648	2268	545	8
25網格	385475	247910	126913	6392	3692	562	6
36網格	385497	258382	114102	7276	5175	560	2
氣象廳一階預報區	142	79	25	2	36	0	0

表4.8：R24h 的分布（網格數）與指標 H 之關係

展開形狀(網格數)	全部網格數	$H < -2$	$-2 \leq H < 1$	$1 \leq H < 2$	$2 \leq H$	N / A	∞
5網格	385330	168828	215844	358	173	120	7
9網格	385381	327523	57024	400	294	128	12
16網格	385430	367445	16677	554	614	126	14
25網格	385475	372719	11109	667	859	107	14
36網格	385497	373265	10151	733	1237	94	17
氣象廳一階預報區	142	111	9	1	21	0	0

4.4 分布模型之選定與適合性之判定

R60min 與 R24h 係以下列順序進行確認①耿貝爾(Gumbel)分布(GUM)，②一般化(通用)極端值分布(GEV)，③皮爾遜第三類(型)分布(PE3)，④標準(通用)羅吉斯分布(GLO)，⑤3 母數對數正規分布(GNO)，⑥廣義(通用)帕雷托分布(GPA)，⑦威克拜分布之中選定。

一個網格分布的範圍會有 N 個數據，第 i 個網格的記錄長度設定為 n_i ，樣本線性動差比為 t_i, t_3^i, t_4^i 。算出以各網格記錄長度進行加權的地區平均 t^R, t_3^R, t_4^R (本檢討之中多數網格的記錄長度為 16，都相同。)

$$t^R = \sum_{i=1}^N n_i t^{(i)} / \sum_{i=1}^N n_i, \quad t_3^R = \sum_{i=1}^N n_i t_3^{(i)} / \sum_{i=1}^N n_i, \quad t_4^R = \sum_{i=1}^N n_i t_4^{(i)} / \sum_{i=1}^N n_i \quad \text{式4.8~4.10}$$

其次，各分布由地區平均($1, t^R, t_3^R$)求出 3 個參數。

由各分布的參數算出 t_4 時，使用外山等³⁾於附錄所記載的公式(算出線性動差值，就能取得各分布模型的係數)。

由所取得的分布參數算出 t_4 ，以此設定為 τ_4^{DIST} 。

所選定的 5 種分布利用式 4.11 算出呈現 τ_4^{DIST} 與 t_4^R 類似度之 Z^{DIST} 。

$$Z^{\text{DIST}} = \frac{\tau_4^{\text{DIST}} - t_4^R + B_4}{\sigma_4} \quad \text{式4.11}$$

此式， B_4 與 σ_4 分別為以式 4.12 及 4.13 所列的 t_4^R 偏斜度(偏離)及標準偏差，由地區平均($1, t^R, t_3^R, t_4^R$)算出卡帕分布之參數 ξ, α, k, h ，以此分布之亂數產生 N 網格(第 i 個網格有 n_i 個數據)，此項模擬係進行 N_{sim} 次(照 Hosking 等¹⁵⁾的做法是 500 次)而取得數據。

$t_4^{[m]}$ 為第 m 次模擬所算出的 t_4 地區平均值。

$$B_4 = \frac{1}{N_{\text{sim}}} \sum_{m=1}^{N_{\text{sim}}} (t_4^{[m]} - t_4^R) \quad \text{式4.12}$$

$$\sigma_4 = \sqrt{\frac{1}{N_{\text{sim}} - 1} \sum_{m=1}^{N_{\text{sim}}} \left\{ (t_4^{[m]} - t_4^R)^2 - N_{\text{sim}} B_4^2 \right\}} \quad \text{式4.13}$$

算出各分布的 Z^{DIST} ，若 $|Z^{\text{DIST}}| \leq 1.64$ 可視為屬於這種分布形態。
 $|Z^{\text{DIST}}| \leq 1.64$ 分布形態之中採 $|Z^{\text{DIST}}|$ 最小的分布形態。

5 種分布形態之中若沒有 $|Z^{\text{DIST}}| \leq 1.64$ ，則採有 5 個參數的⑦威克拜 (Wakeby) 分布(WAK)，然後由線性動差算出威克拜分布的 5 種參數。

中心網格適用以周邊 N 網格數據算出的分布參數（有偶數個時，設在中心的東南側）。結果如表4.9 及 4.10 所示。

表4.9：R60min 所採用的模型與 ZDIST 平均值

展開形狀(網格數)	GUM	GEV	PE3	GLO	GNO	GPA	WAK	不採用	ZDIST平均*	ZDIST分散*
1網格	25471	41926	35111	112234	20699	128751	20561	493	-0.050	0.279
5網格	26587	50309	48910	82729	24685	107277	44316	432	-0.024	0.374
9網格	27105	50837	54067	72929	25866	94051	59995	396	-0.011	0.456
16網格	29006	47325	57992	67659	27386	75394	80097	387	0.000	0.473
25網格	30912	46431	59166	63695	28786	62595	93289	372	0.012	0.479
36網格	32774	45598	58035	60417	30040	49984	108031	367	0.025	0.486
氣象廳一階預報區	39580	44412	33340	5041	35117	0	227756	0	-0.092	0.676

*所採用模型數值加總計算(WAK及不採用者剔除)

表4.10：R24h 所採用的模型與 ZDIST 平均值

展開形狀(網格數)	GUM	GEV	PE3	GLO	GNO	GPA	WAK	不採用	ZDIST平均*	ZDIST分散*
1網格	26130	36432	34841	126142	23376	120969	17462	167	-0.065	0.290
5網格	24606	37822	36514	87020	24346	101912	72934	92	-0.020	0.417
9網格	23147	36694	36676	73859	24586	89043	101189	52	-0.019	0.466
16網格	21793	34292	36346	64793	24928	75865	127197	32	-0.019	0.482
25網格	21203	33441	35080	59188	25383	67227	143710	14	-0.018	0.485
36網格	20710	32640	33207	54107	25990	58885	159694	13	-0.020	0.494
氣象廳一階預報區	11490	35079	6966	18320	17728	4378	291285	0	-0.399	0.690

*所採用模型數值加總計算(WAK及不採用者剔除)

R60min 與 R24h 之分布模型的合適性因網格範圍大小而異，大體上網格範圍越大威克拜分布數值越高。

Z^{DIST} 代表模型合適度高低，數值越小合適度越高。網格範圍越寬數值越大，平均值則比 1.64 小得多。數值檢定結果發現，從平均剔除網格角度來看所檢討區塊之間並無太大差異，也就是從數據同質性指標來看，幾乎所有區塊尺寸都是 $H < 1$ ，數據同質性相當高，可相互套用。3×3(9) 網格形狀下同質性更高的 $H < 2$ 所占比率最大。所選定最多機率分布模型為 GPA，其次為 GLO。

4.5 機率降雨量之計算

每個網格分別進行重現期年數轉換成對應推估降雨量，以及雨量轉換成重現期年數的變換。表現分布形態的參數設定，各網格展開形狀都相同，設定為 $l_1^R=1$ 。檢討形狀之展開內第 i 個網格特性，分別以各網格所算出的 1 階樣本線性動差 l_1^i 進行估算。

$$T = \frac{1}{1 - F} \quad \text{式4.14}$$

依據重現期 T 年與非超過重現期 F 年之關係，將重現期年數轉換成對應雨量，係以 $l_1^i x(F)$ 進行（ $x(F)$ 係網格面積 $3 \times 3(9)$ 各中心所分別算出的分布函數）。雨量轉換成重現期年數，使用 $F(x/l_1^i)$ 。

使用所選定機率分布模型，依據不同面積範圍網格面積之區域統計所完成的雨量分析與 24 小時雨量之機率降雨量全國平均值、標準偏差與最大值。結果如表 4.11 及 4.12 所示。

重現頻率較低的重現期年數（100 年或 200 年等）會多少產生重現期降雨值高低差，但大範圍分布所形成的重現期降雨值平均值差異不大。這是氣象現象所造成結果還是雨量分析特性所致，有必要另行檢討。

表4.11：R60min 的重現期推估降雨量

展開形狀(網格數)	統計值	2年重現值	3年重現值	5年重現值	10年重現值	20年重現值	30年重現值	50年重現值	100年重現值	200年重現值
1網格	平均	30.14	34.65	39.55	45.56	51.39	54.88	59.48	66.31	74.18
	標準偏差	9.64	10.80	12.08	13.76	15.71	17.16	19.52	24.14	31.18
	最大	88.15	104.20	116.79	126.30	140.48	161.62	191.16	238.83	331.26
5網格	平均	30.13	34.64	39.56	45.62	51.47	54.95	59.49	66.18	73.28
	標準偏差	9.62	10.76	12.03	13.66	15.48	16.80	18.93	23.13	29.61
	最大	83.98	100.74	114.87	128.51	138.12	149.93	178.90	229.05	295.59
9網格	平均	30.13	34.64	39.56	45.63	51.50	54.99	59.54	66.22	73.77
	標準偏差	9.61	10.75	12.02	13.63	15.42	16.71	18.79	22.88	29.19
	最大	83.05	99.40	113.81	126.79	136.17	147.78	176.09	225.18	290.44
16網格	平均	30.13	34.63	39.56	45.66	51.56	55.05	59.61	66.25	73.71
	標準偏差	9.61	10.73	11.99	13.59	15.34	16.59	18.59	22.48	28.44
	最大	80.89	96.45	111.65	126.44	136.40	143.83	163.45	201.97	267.72
25網格	平均	30.13	34.63	39.57	45.70	51.61	55.11	59.66	66.25	73.58
	標準偏差	9.60	10.72	11.98	13.57	15.30	16.52	18.46	22.20	27.88
	最大	81.44	97.61	112.93	127.26	136.90	141.65	159.62	199.92	261.69
36網格	平均	30.13	34.63	39.58	45.72	51.66	55.16	59.70	66.24	73.47
	標準偏差	9.60	10.72	11.96	13.54	15.25	16.45	18.33	21.91	27.31
	最大	79.86	95.67	111.75	128.23	140.14	145.50	159.52	200.76	274.79
氣象廳一階預報區	平均	30.18	34.62	39.69	46.07	52.07	55.44	59.59	65.06	70.38
	標準偏差	9.60	10.64	11.79	13.22	14.59	15.40	16.46	18.03	19.82
	最大	81.37	92.65	104.78	119.31	132.55	139.89	148.83	162.19	206.18

表4.12：R24h 的重現期推估降雨量

展開形狀(網格數)	統計值	2年重現值	3年重現值	5年重現值	10年重現值	20年重現值	30年重現值	50年重現值	100年重現值	200年重現值
1網格	平均	127.31	149.62	174.78	207.06	239.78	259.98	287.29	329.13	378.77
	標準偏差	52.58	63.34	75.41	90.67	106.82	117.74	134.33	164.83	209.95
	最大	622.46	833.20	1017.11	1171.54	1271.08	1398.78	1555.39	2225.41	3261.45
5網格	平均	127.36	149.51	174.49	206.61	239.23	259.42	286.81	329.02	379.62
	標準偏差	52.56	63.28	75.34	90.56	106.52	117.27	133.61	163.91	209.48
	最大	627.91	783.01	945.38	1107.05	1283.02	1403.82	1549.75	1737.15	1990.58
9網格	平均	127.34	149.44	174.40	206.53	239.19	259.43	286.89	329.25	380.08
	標準偏差	52.54	63.24	75.29	90.51	106.48	117.25	133.59	163.86	209.31
	最大	626.28	777.90	931.35	1097.68	1269.53	1384.12	1521.18	1694.87	2007.12
16網格	平均	127.29	149.41	174.41	206.61	239.34	259.60	287.07	329.40	380.12
	標準偏差	52.51	63.26	75.37	90.64	106.61	117.32	133.53	163.45	208.24
	最大	613.78	772.50	933.24	1097.36	1215.38	1292.16	1403.58	1540.90	2009.26
25網格	平均	127.21	149.37	174.47	206.80	239.62	259.87	287.27	329.32	379.47
	標準偏差	52.44	63.18	75.31	90.63	106.56	117.19	133.19	162.47	206.01
	最大	614.75	756.09	904.56	1068.58	1198.32	1261.27	1329.23	1491.83	1964.04
36網格	平均	127.05	149.22	174.41	206.90	239.89	260.26	287.82	330.08	380.46
	標準偏差	52.38	63.09	75.26	90.72	106.87	117.64	133.81	163.29	206.92
	最大	614.75	756.09	904.56	1068.58	1198.32	1261.27	1329.23	1491.83	1964.04
氣象廳一階預報區	平均	126.95	149.18	175.20	209.14	242.85	262.88	288.77	325.71	365.66
	標準偏差	52.12	61.98	73.52	88.34	103.07	112.14	124.66	144.96	171.50
	最大	570.81	699.25	855.45	1049.81	1225.66	1320.66	1432.70	1572.11	1707.18

以最合適機率分布於 9 個網格算出的 60 分鐘雨量(R60)及 24 小時雨量之 1/50 及 1/100 之機率降雨量，如圖 4.1~4.4 所示。

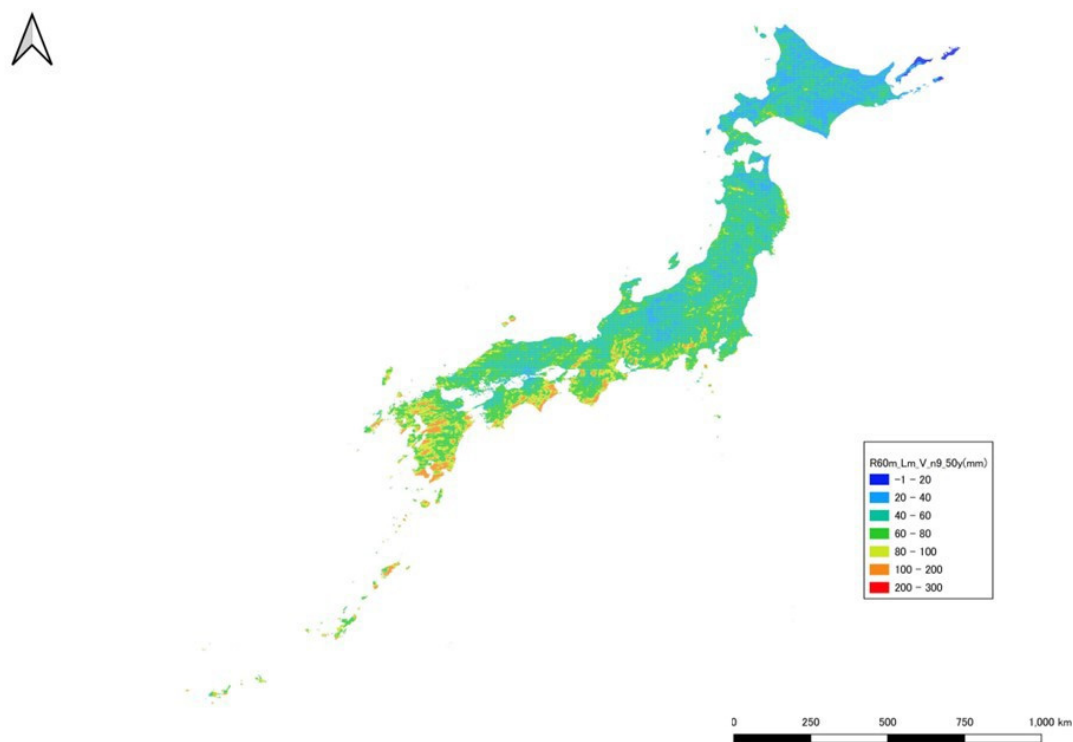


圖4.1 60分鐘雨量機率降雨量(1/50，重現期50年，9(3×3)網格)

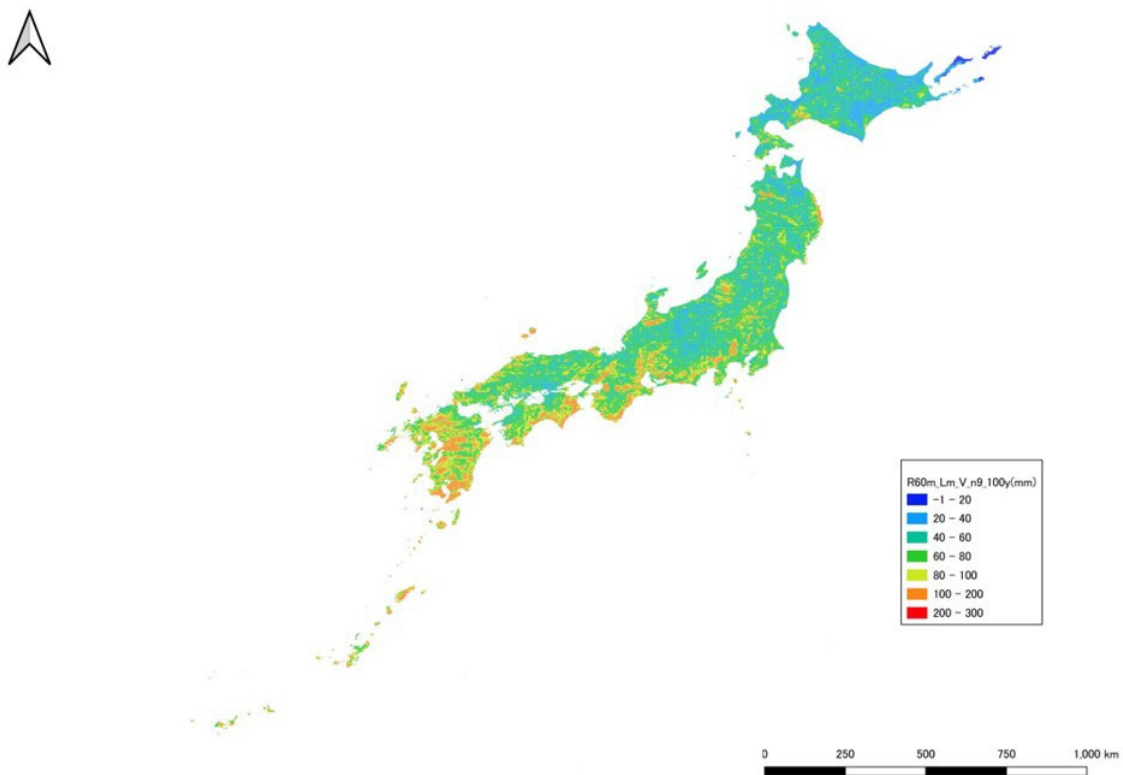


圖4.2 60分鐘雨量的機率降雨量(1/100，重現期100年，9(3×3)網格)

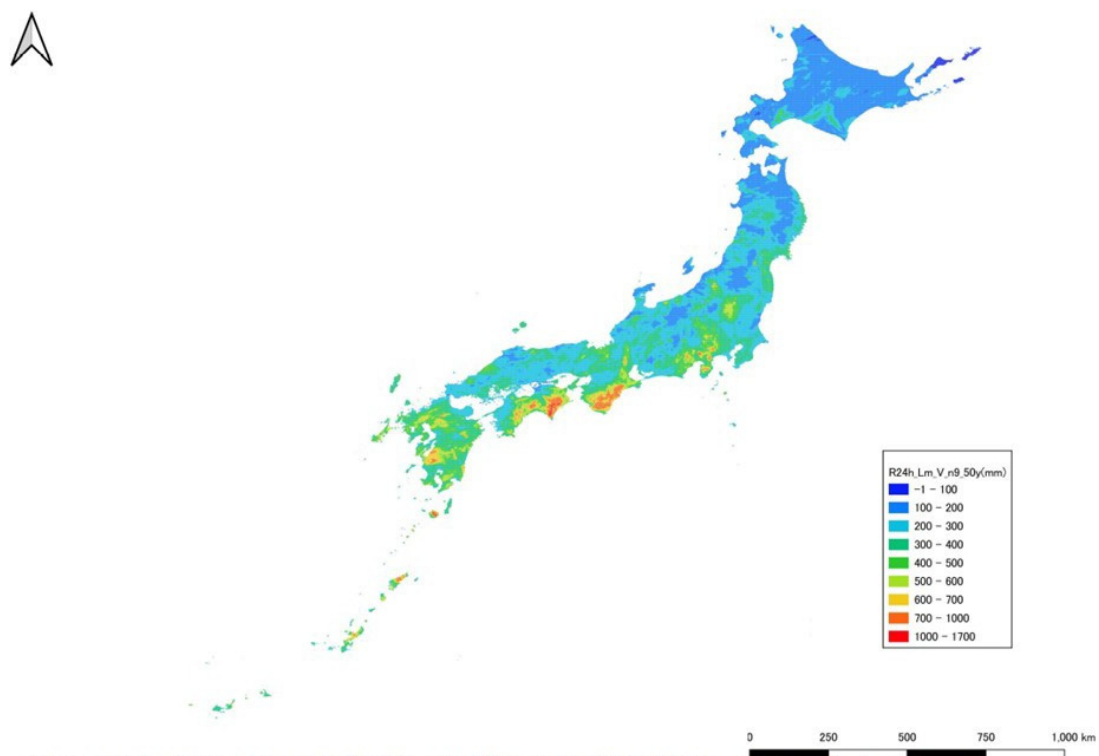


圖4.3 24小時雨量的機率降雨量(1/50，重現期50年，9(3×3)網格)

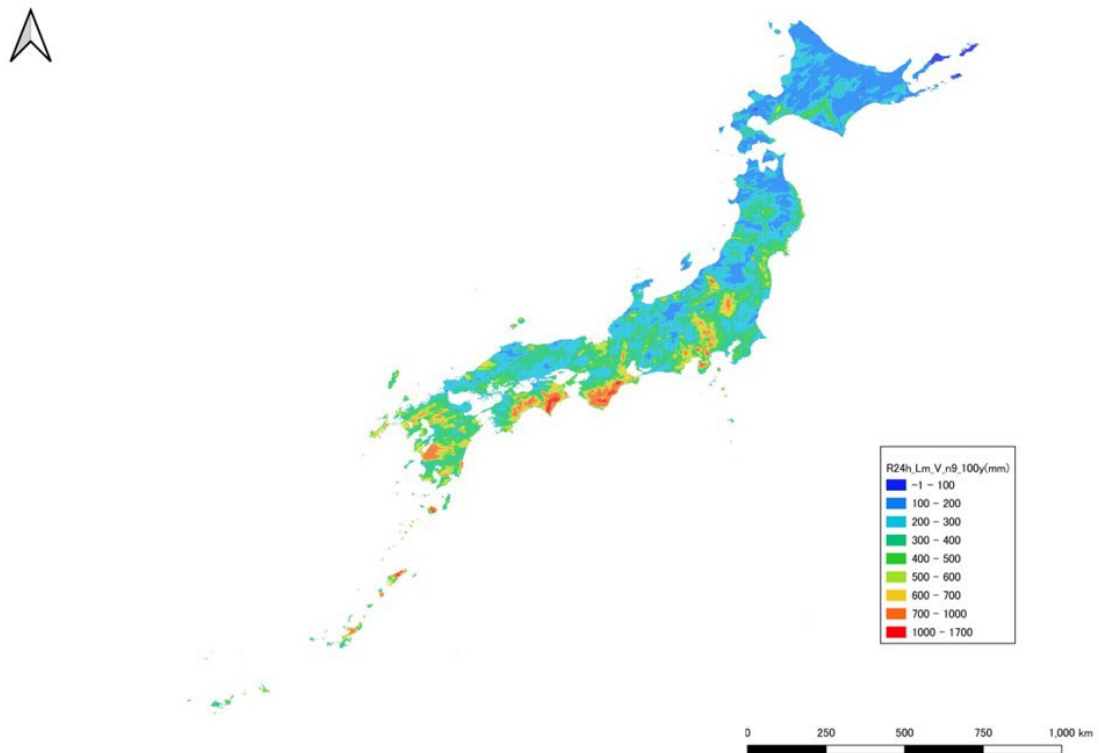


圖4.4 24小時雨量的機率降雨量(1/100，重現期100年，9(3x3)網格)

5. 分析

5.1 機率分布模型之選定狀況

依據本檢討所完成雨量分析而選定之機率分布模型及以自動氣象觀測系統（AMeDAS）地面雨量觀測站所選定之機率分布模型，如表 5.1 所示。雨量分析依據附近的分布與形狀選定 3×3(9) 網格。AMeDAS 係以區域統計的方式，將彼此有點距離的雨量觀測局，集合統合其降雨統計特性而來進行選定。

表 5.1：線性動差法所選出的雨量分析網格數及 AMeDAS 地點數之比較表

機率分布模型	雨量分析（本檢討）				AMeDAS 設置地點			
	60分鐘雨量		24小時雨量		1小時降雨量		日降雨量	
	所採用網格數	率(%)*	所採用網格數	率(%)	地點數	率(%)	地點數	率(%)
耿貝爾分布(GUM, I 型廣義極值分布)	27105	7	23147	6	-	-	-	-
一般化極值分布(GEV)	50837	13.2	36694	9.5	345	40.1	291	33.6
皮爾遜第三類(型)分布(PE3)	54067	14	36676	9.5	167	19.4	216	24.9
標準羅吉斯分布(GLO)	72929	18.9	73859	19.2	152	17.7	162	18.7
3母數對數正規分布(GNO)	25866	6.7	24586	6.4	136	15.8	152	17.5
廣義帕雷托分布(GPA)	94051	24.4	89043	23.1	40	4.7	46	5.3
威克拜分布(WAK)	59995	15.6	101189	26.3	20	2.3	0	0

*去除不採用網格後的比率

雨量分析計算之中 GPA 為機率最適化方法，其次為 GLO。另外，自動氣象觀測系統(AMeDAS)之中的機率最適化方法為 GEV，其次為 PE3。面的雨量分析與點的自動氣象觀測系統(AMeDAS)地面雨量觀測站所呈現機率最適化分布，結果並不相同。在此，採用自動氣象觀測系統(AMeDAS)需注意的是區域數量的規模(數目)是不確定的(包括形狀)。此外，是否規定需採整點小時觀測，也會讓 1 小時與 60 分鐘、日降雨量與 24 小時觀測值產生差異。但短期降雨指標與長期降雨指標的共同點是，其具高機率適合度的分布模型都相同。

依據外山等³⁾所製作表格作成的相同地點雨量分析及自動氣象觀測系統(AMeDAS)所估算機率雨量（最合適的九個網格所算出）之比較

結果，如表 5.2 所示。雨量分析是一個面的代表值，即使在氣象單位觀測地點也不會被地面觀測值取代，所以會與原始數據有所不同。因此即使同樣適用線性動差法，50 年的重現值與 100 年的重現值也會呈現不同結果。表 5.2 中 10 個地點之中 8 個地點的雨量分析結果變大，顯示該期間的雨量分析有走高的傾向。牧原¹⁴⁾指出，雨量分析係該區的代表值，因此估算時強降雨區平均而言會略略少算，且以 1 公里網格進行統計 100mm 的降水會偏低估算為 94 mm 左右，應該加以注意。就某一點而言，雨量分析在強降雨區和極端值都低於地面觀測值。然而，平均每 17 平方公里設置 1 處的 AMeDAS 地面觀測站，能取得更具覆蓋性且多出 2 位數的數據量，因而可說提高了強降雨的捕捉率。雖然用 100 年重現值除以 50 年重現值有助於評估推估方法的安定性，但即使都採用線性動差法，所分析的雨量分析之中 100 年重現值有時仍多出近四成，安定性不一。

表5.2：雨量分析及氣象單位(AMeDAS)地點重現期推估降雨量比較表(單位：mm)

氣象單位觀測地點	3維網格GSI碼	雨量分析24小時數值(本檢討)			氣象單位地點日降雨量*		
		50年重現值	100年重現值	「100年/50年」倍率	50年重現值	100年重現值	「100年/50年」倍率
水戸	54404357	218.9	232.7	106.3%	241.0	267.0	110.8%
日光	55390480	584.5	629.8	107.8%	500.0	541.0	108.2%
前橋	54394084	361.5	446.8	123.6%	205.0	227.0	110.7%
熊谷	54391380	344.7	399.7	115.9%	262.0	290.0	110.7%
秩父	53397085	427.8	596.9	139.6%	328.0	345.0	105.2%
東京	53394630	302.8	326.9	108.0%	284.0	314.0	110.6%
三宅島	51391441	567.9	616.1	108.5%	338.0	353.0	104.4%
八丈島	49395642	328.6	337.2	102.6%	394.0	415.0	105.3%
勝浦	52405284	412.2	469.5	113.9%	319.0	367.0	115.0%
横濱	53391522	342.3	392.4	114.6%	302.0	334.0	110.6%

*出處：外山等(2002)表8(p.70)

同樣的，依據外山等³⁾所發表數字表而製作的東京轄區內相同地點年最大 24 小時雨量及與之相當的日降雨量極端值、50 年重現期推估降雨量之比較結果，如表 5.3 所示。在此需注意，氣象單位所發布的數值為 50 年極端值，雨量分析係觀測期間最大值，二者觀測期間不同。雨量分析推估值多半有大於地面觀測數值的傾向，這部份和表 5.2 相同，都需特別注意。到 1985 年為止氣象單位所取得的 50 年極端值被 2006 年之後的 16 年間雨量分析極端值超越。由此數據追加(附加)效果來看，22 個觀測點之中過半 12 處極端值創新高。可見使用較新數據的重要性。以 50 年重現期為基準出現的極端值除以觀測得到的值，氣象單位觀測地點部份最多會超過 6~7 成，但本檢討所取得的雨量分析 24 小時值頂多超過 3 成，出現極端值越來越不少見。由此可見，有必要檢討重現期(return period)是否可能逐漸變短。

表5.3：氣象單位觀測地點所取得極端值及重現期推估降雨量之比較表
(50年(相當)值，單位：mm)

氣象單位 觀測地點	3維網格 GSI碼	雨量分析24小時數值(本檢討)			氣象單位地點日降雨量*		
		數據期間 極端值	50年 重現值	「極端值/重現 值」倍率(%)	相當於50 年的 極端值	50年 重現值	「極端值/重現 值」倍率(%)
水戸	54404357	197	218.9	90.0%	276.6	241.3	114.6%
前橋	54394084	277.2	361.5	76.7%	357.4	205.1	174.3%
熊谷	54391380	299.6	344.7	86.9%	301.5	262.4	114.9%
秩父	53397085	554	427.8	129.5%	519.7	327.8	158.5%
東京	53394630	259	302.8	85.5%	392.5	284.4	138.0%
八丈島	49395642	312.4	328.6	95.1%	438.9	397.1	110.5%
勝浦	52405284	378.4	412.2	91.8%	277.5	319.3	86.9%
横濱	53391522	321	342.3	93.8%	287.2	301.7	95.2%
長野	54387195	148.2	155.1	95.6%	132	126.5	104.3%
輕井澤	54384413	339	399.5	84.8%	318.8	199.4	159.9%
松本	54372797	184.4	221.5	83.3%	153	155	98.7%
飯田	53372625	223	237.5	93.9%	325.3	216.7	150.1%
河口湖	53382600	340	418.0	81.3%	463.5	366.2	126.6%
三島	52385734	377	432.8	87.1%	316	285.1	110.8%
濱松	52371506	271.4	262.2	103.5%	301.1	266.6	112.9%
御前崎	51387127	296	301.3	98.2%	293.2	273.8	107.1%
名古屋	52366707	266.6	334.5	79.7%	428	283.6	150.9%
高山	54371280	251.8	268.8	93.7%	220	187.4	117.4%
岐阜	53360681	220	237.3	92.7%	260.2	216.3	120.3%
高田	55385129	266.8	298.6	89.4%	176	181.2	97.1%
伏木	55371054	241.2	276.0	87.4%	174	164.3	105.9%
福井	54360167	182	197.0	92.4%	150.5	162.4	92.7%

*出處：外山等(2002)表9(p.71)之中1936~1985年的50年極端值依據長野及名古屋2022年度理科年表修正而成。

全國各地所選出的機率分布模型(型態)分別進行60分鐘雨量與24小時雨量地圖著色，如圖5.1及圖5.2所示。這些分布模型就區域別而言，從北海道到九州與沖繩都能分別找出最合適機率分布模型的比率如表5.4及表5.5所示，從全國的角度看，呈現廣義帕雷托分布(GPA)的地方最多，但中國地方(日本本州島最西部地區的合稱，含鳥取、島根、廣島、岡山與山口五縣)與奄美大島(沖繩)則標準羅吉斯分布(GLO)呈現相對高適合性。目前一般並不認為氣候型態的不同會造成高合適度機率分布模型差異。因此，今後有必要隨著相關數據的蓄積與分析的繼續，探討伴隨氣候變遷與地球暖化，高合適度機率分布模型是否也會跟著改變。

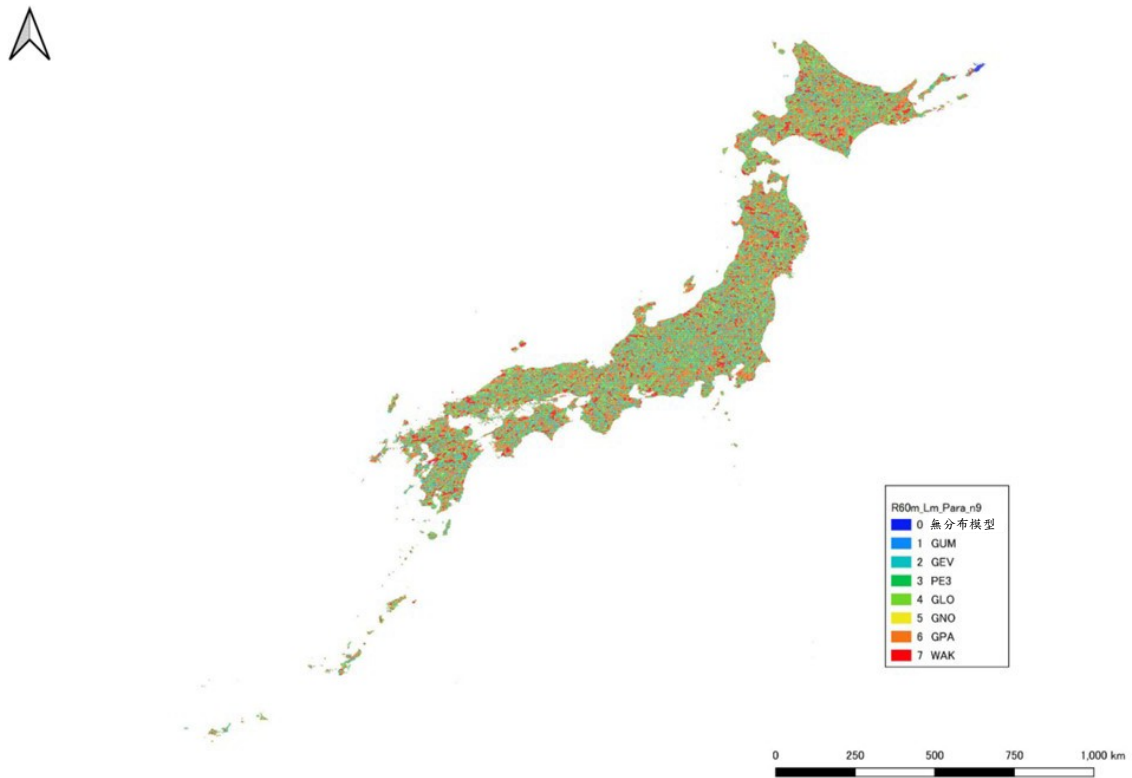


圖5.1 全國之中最合適於描述地區雨量特性的機率分布模型（60分鐘雨量，9(3×3)網格）

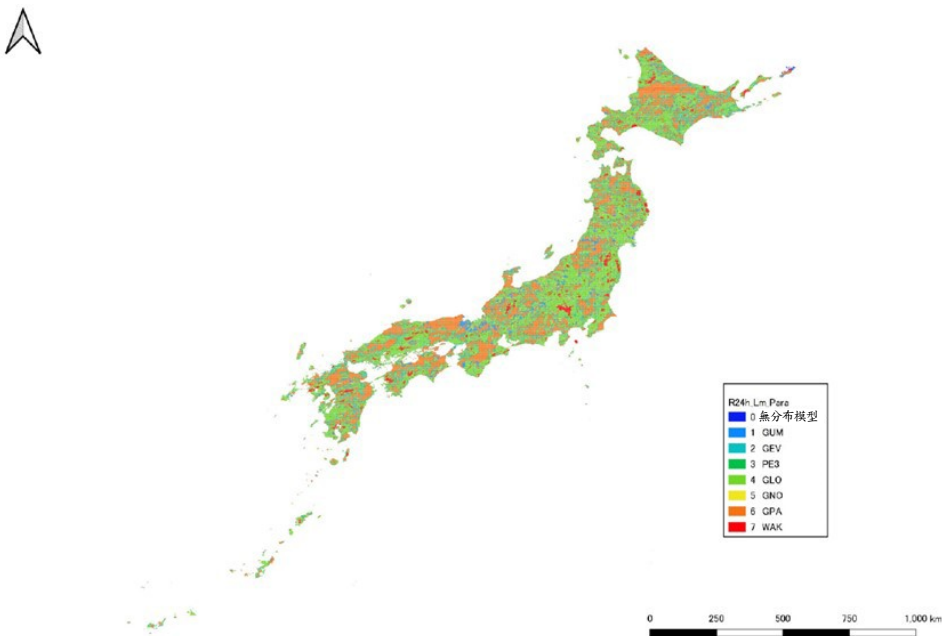


圖5.2 全國之中最合適於描述地區雨量特性的機率分布模型（24小時雨量，9(3×3)網格）

表5.4 60分鐘雨量的各地方機率分布模型採用率

地方名稱	坎貝爾分布 (%)	一般化極端 值分布 (GEV)(%)	皮爾遜第三 類(型)分布 (PE3)(%)	標準羅吉斯 分布 (GLO)(%)	3母數對數 正規分布 (GNO)(%)	廣義 帕雷拖分布 (GPA)(%)	威克拜分布 (%)
北海道	6.63	12.16	14.21	18.38	6.98	25.90	15.73
東北	6.90	12.42	13.98	19.55	6.75	24.59	15.80
北陸	7.02	12.63	14.10	20.33	7.17	22.42	16.34
關東甲信	7.62	14.79	15.53	18.48	6.31	23.74	13.53
東海	7.29	14.01	14.46	19.63	6.36	24.54	13.71
近畿	6.88	13.04	14.28	17.67	6.91	26.99	14.24
中國	7.27	12.84	14.10	21.25	7.32	22.08	15.14
四國	7.23	13.93	13.68	15.88	5.94	27.08	16.26
九州北部	7.02	13.37	12.12	18.74	6.21	22.99	19.55
九州南部	7.83	16.83	12.15	19.48	6.90	20.27	16.53
奄美大島	4.63	8.92	12.81	23.40	7.95	23.80	18.48
沖繩	6.77	15.76	13.00	19.98	6.98	23.33	14.17

*著色部分是各地區之中採用率最高的一般化極端值分布

表5.5 24小時雨量的各地方機率分布模型採用率

地方名稱	坎貝爾分布 (%)	一般化極端 值分布 (GEV)(%)	皮爾遜第三 類(型)分布 (PE3)(%)	標準羅吉斯 分布 (GLO)(%)	3母數對數 正規分布 (GNO)(%)	廣義 帕雷拖分布 (GPA)(%)	威克拜分布 (%)
北海道	5.71	10.15	9.84	20.08	6.06	22.53	25.63
東北	6.01	9.52	9.19	21.71	6.38	20.38	26.80
北陸	7.83	9.95	11.16	15.06	8.11	27.91	19.99
關東甲信	4.96	8.49	9.28	23.25	7.44	19.14	27.45
東海	6.45	9.27	10.01	17.84	6.81	26.29	23.33
近畿	9.09	7.12	9.80	12.79	5.29	29.05	26.88
中國	3.76	8.04	6.26	19.67	5.72	22.90	33.64
四國	6.76	8.72	10.06	14.73	5.88	24.18	29.67
九州北部	5.99	11.24	11.15	15.85	6.25	24.68	24.84
九州南部	5.23	12.55	7.52	20.58	5.16	23.74	25.22
奄美大島	5.03	7.95	10.47	22.65	7.38	18.31	28.20
沖繩	5.15	13.48	7.71	21.95	5.63	24.09	21.98

*著色部分是各地區之中採用率最高的一般化極端值分布

5.2 各氣候區所呈現的機率降雨量

圖 4.1~4.4 為氣候區別適用最合適機率分布模型所取得的 60 分鐘雨量及 24 小時雨量 50 年重現值及 100 年重現值，平均值如表 5.6 所示。60 分鐘雨量 100 年重現值之中超過 80mm 的是九州、四國等西南地區，關東甲信地區則是 63.5mm，北海道低於 50mm。這些區域之間很大的差異是 50 年重現值與 100 年重現值之差距與倍率，低者只有高者的 1~2 成值得特別注意。24 小時雨量 100 年重現值奄美大島 611mm，四國 521mm，沖繩諸島低於 500mm，瀨戶內海氣候區所在的中國地方 313mm 比四國地方很少超過 200mm。北海道、東北與北陸少於中國地方，特別是北海道 100 年重現值低於 200mm。近年來氣候變遷與地球暖化越來越嚴重，最近 16 年的 24 小時雨量顯示，廣義日本東北地區的降雨量在統計上仍未超過西南地區。反之，未來如果像日本西南地區或西日本地區一般降雨發生的話，將會大幅超過過去最大值。這部分必須一併注意積雪與融雪量增減，以及雪和雨所占比率之變化。

由雨量分析算出的 100 年重現值和其他由水文觀測所取得指標，如 100 年重現期比流量相比，呈較大數值。北陸地方來看，100 年重現期比流量 $9.9\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 所取得相當降雨機率強度 60 分鐘值 35.6mm 之 1.81 倍。另外也可參考配合「比例換算定律」(scaling law) 所算出的集水面積與 100 年重現期洪水流量關係，若 $Q=4.7162A^{0.9056}$ 為例，代入 10km^2 可得到相當機率降雨強度 60 分鐘值 13.66mm 的 4.6 倍⁹⁾。

表5.6 各地方60分鐘雨量及24小時雨量的

50年與100年重現值平均

地理區名稱	60分鐘雨量平均 [mm]		24小時雨量平均[mm]	
	50年重現值	100年重現值	50年重現值	100年重現值
北海道	43.5	49.2	172.8	197.2
東北	53.5	60.1	239.2	279.5
北陸	57.4	64.3	259.8	299.3
關東甲信	57.8	63.5	307.2	365.6
東海	70.8	77.9	369.9	419.4
近畿	60.0	67.0	362.0	411.8
中國	66.6	73.8	271.1	313.8
四國	74.0	80.6	463.9	520.6
九州北部	81.5	90.3	403.1	452.8
九州南部	86.9	95.8	434.1	485.9
奄美大島	95.3	110.2	500.2	610.6
沖繩	80.5	88.4	416.1	477.2

5.3 各氣候平均值所呈現的機率降雨量

60 分鐘雨量及 24 小時雨量 50 年重現值及 100 年重現值除以各網格的氣候平均值(climate normal, CN)，其結果如圖 5.3～5.6 所示。氣候平均值（理科年表亦同）係月別值，因此使用一年之間最多降雨量的月份，60 分鐘雨量及 24 小時雨量與月間降雨量比率分別超過 5%、25% 的地區主要是包含中部山區等太平洋側廣大地區。另一方面，與月間降水量的比率在日本海側影響則有限。未來伴隨氣候變遷，60 分鐘雨量、24 小時雨量以及月間降水量是否同比率改變（增加），或者 60 分鐘雨量所代表的短期降雨指標明顯增加，有必要繼續蒐集數據與分析。

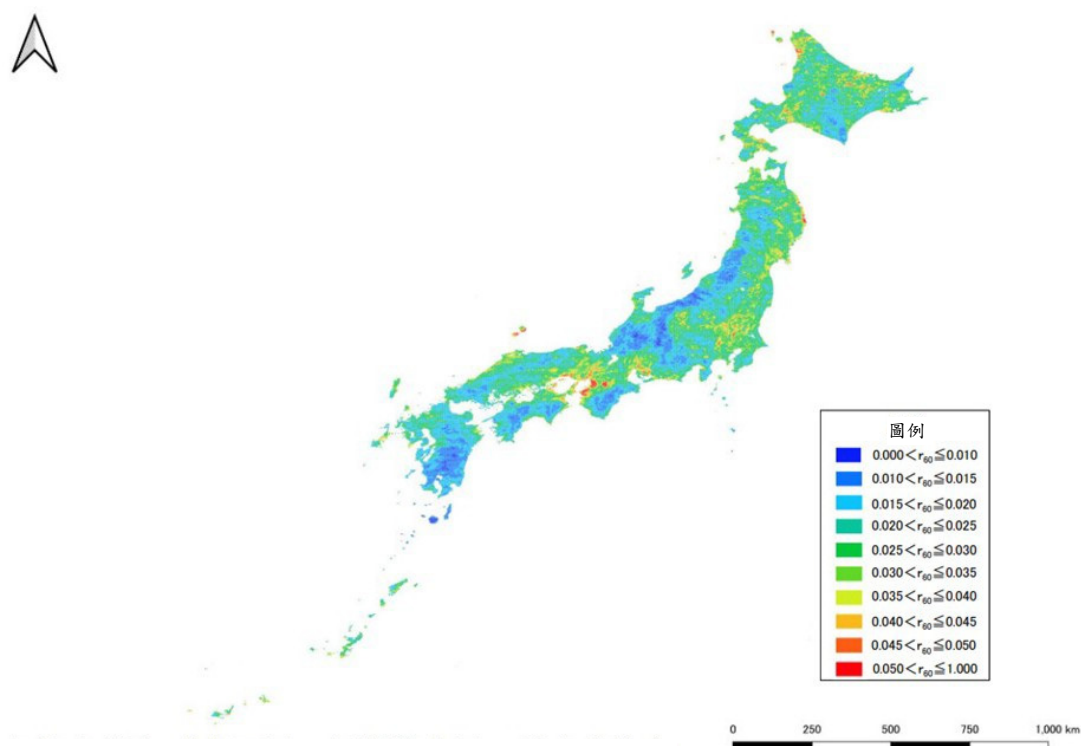


圖5.3 50年機率降雨量與月間降水量的比率
（60分鐘雨量，年間最多雨量月間降水量）

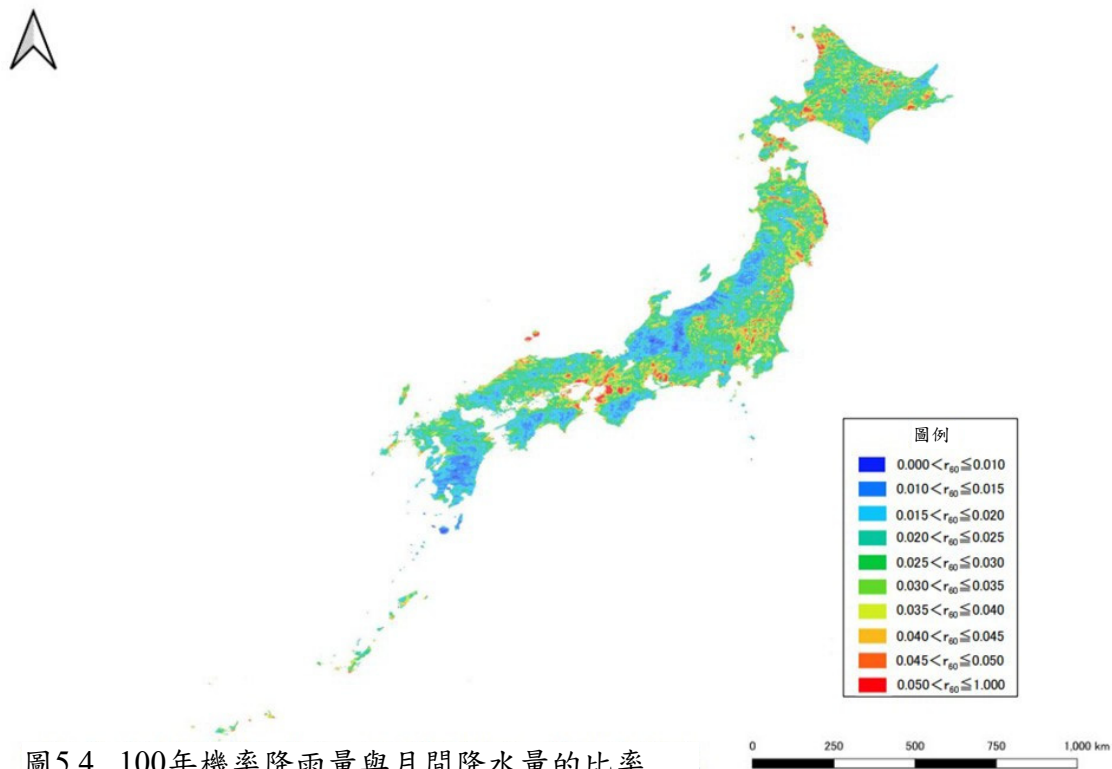


圖5.4 100年機率降雨量與月間降水量的比率
(60分鐘雨量，年間最多雨量月間降水量)

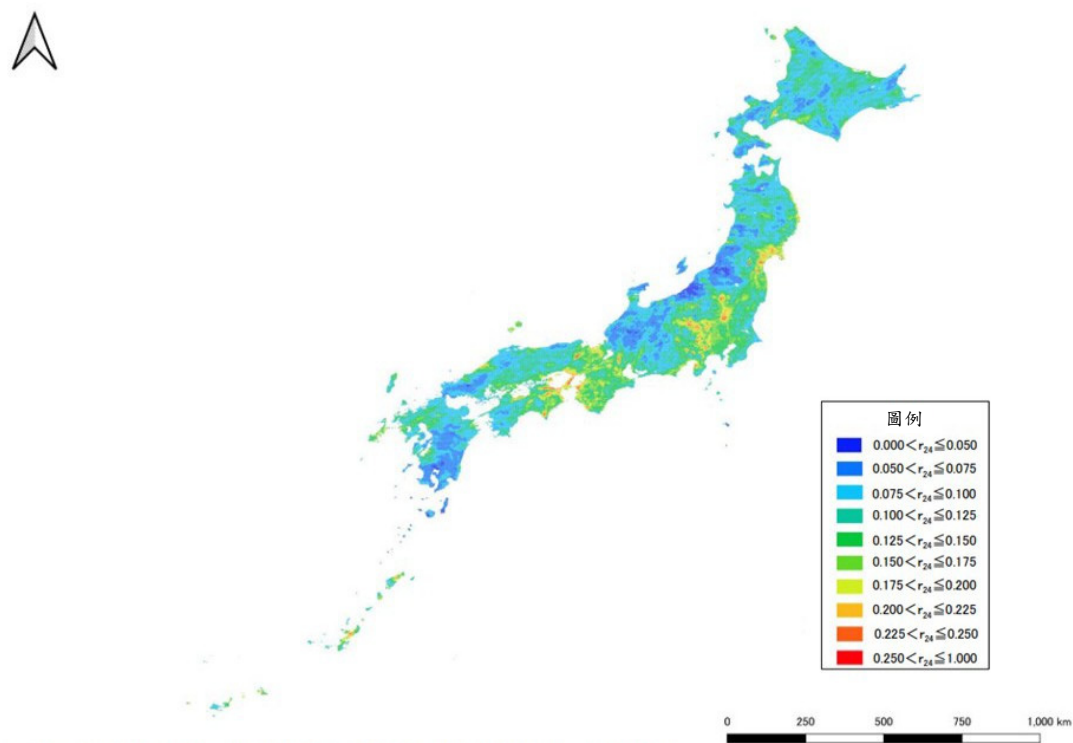


圖5.5 50年機率降雨量與月間降水量的比率
(24小時雨量，年間最多雨量月間降水量)

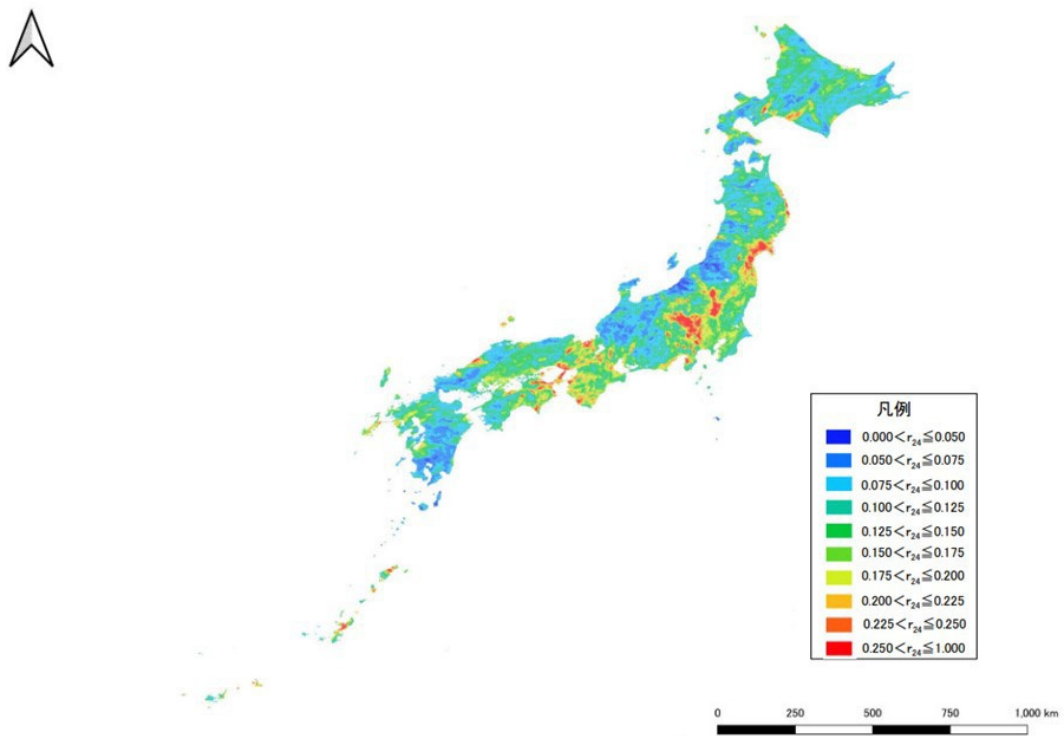


圖5.6 100年機率降雨量與月間降水量的比率
(24小時雨量，年間最多雨量月間降水量)

5.4 設計雨量所呈現的機率降雨量

以砂防領域為主各都道府縣目前所推動邊坡對策及排水對策設備等設計規劃，其所使用的計畫雨量 60 分鐘雨量換算值(mm/hr) 100 年重現值如圖 5.7 所示。全國各地國土數值三維網格以本方法分別導出的 100 年重現值是否超過設計降雨強度，結果如圖 5.8 所示。此圖係以 1km^2 單位來表現全國網格機率降雨量超過砂防整備水準的情況。以本方法所取得的統計數字「100 年一遇降雨」，其中 23.5% 網格出現超過 100 年 1 次的設計降雨強度。由 100 年重現值降雨量除以設計降雨強度之基本統計量來看，平均值為 0.79，尚屬「安全」（中間值只有 0.82）。換言之，平均約 26% 設計降雨強度超過 100 年機率降雨量，亦即未來若砂防計畫完成 100%、達到目標整備水準，應該能對應最近的下雨狀況（但這終究只是假設，並不完全考慮整建過程中設施的實際整備率，這點需特別注意）。

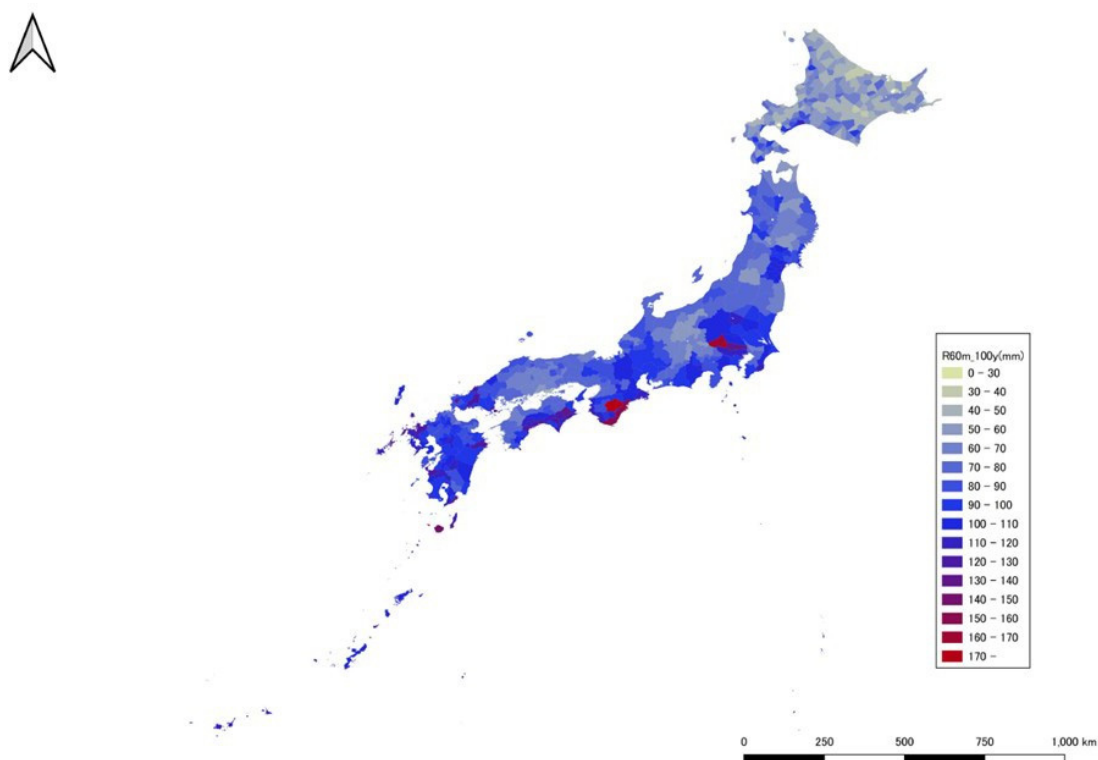


圖5.7 60分鐘雨量之重現值（1/100，砂防相關設施用的設計降雨強度）

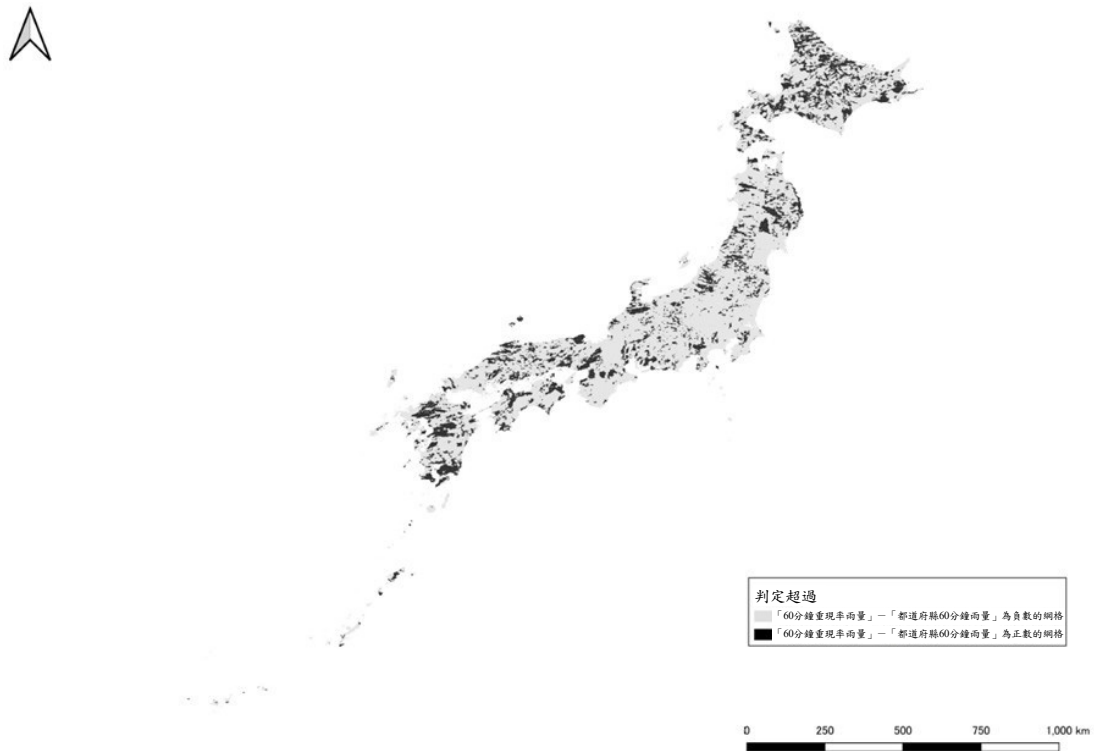


圖5.8 機率雨量超過設計降雨強度的網格（1/100，60分鐘雨量）

由統計量來看，最小值為 0.21，最低四分位數 0.69，最高四分位數 0.99，整體約 3/4 達到整備水準，應能對應百年一遇機率降雨量。另一方面，最大值為 2.96，因此有必要針對剩下的約 1/4 進行慎重評估。

以本方法推估機率降雨量之可信度仍有努力空間。設計降雨強度是否足夠仍難斷定。目前全國各地超過設計降雨強度的地區及其比率與超過的程度，若能累積更多數據進行修正，這些數據也會跟著改變。接下來數年如果能繼續累積到約達 20 年份數據、能在大體判斷推估降雨量時確保穩定性時，即可針對全國約 1/4 左右地區，以雨量分析統計資料庫的重現值進行各地區詳細的目標整備水準驗證。若能事先從重現機率角度評估目前整備水準是否足夠，即可期待未來氣候變遷影響持續提高之短時間強降雨等，也能以完成 100% 整備提高相關流域與區域的安全到某種程度。

當然，設施整備所包含之實際防護水準評估中，應留意在設計上須納入安全率即「餘裕緩衝空間」，避免超過一定機率降雨量就馬上造成設施受損。

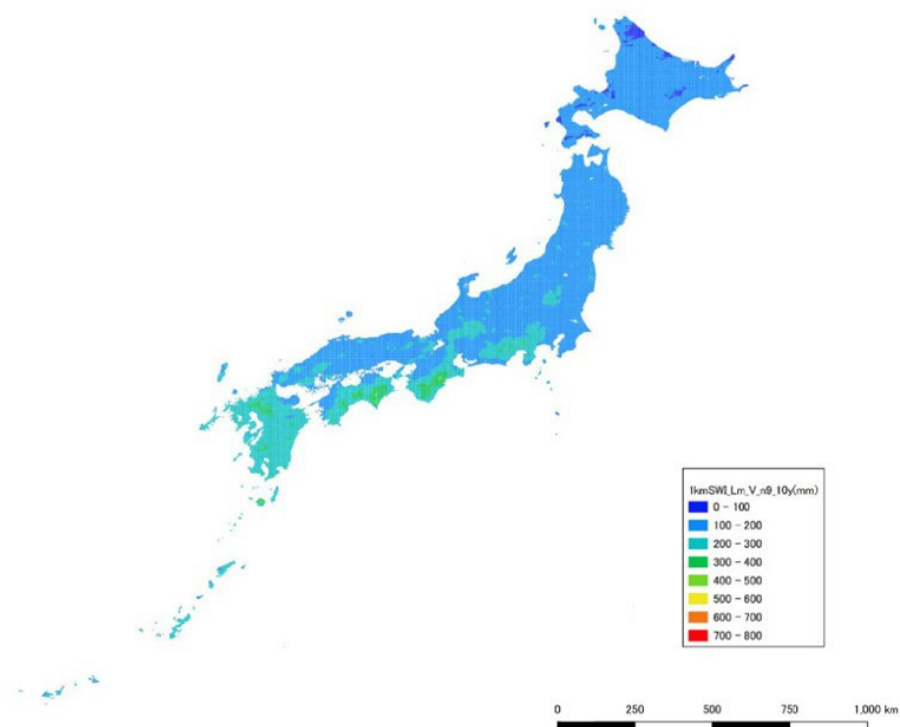
6. 結語

本資料發現進行雨量分析時可適用線性動差法，找出合適於描述各地區雨量統計特性的機率分布，算出1平方公里 機率降雨量。雨量分析雖稠密覆蓋全日本，但所能利用的數據期間只有大約 16 年。這顯然比已累積 50 年的自動氣象觀測系統(AMeDAS)或各都道府縣雨量觀測站所蒐集數據還少，也低於以線性動差法概估降雨機率取得充分精度所需之 20 年累積數據¹⁾。因此，所推估之降雨機率可信度仍有待觀察。然而，以順序統計法操作為優點的線性動差法，可用形成線性量的線性動差對極端值進行解析。但線性動差法作為地區統計分析之方法，也需假定其具同質性。以某面積內代表值的雨量分析作為確保強降雨區域分布的同質性，這點是可被接受。但其獨立性仍有慎重檢討之必要。過去許多調查研究所累積的地面雨量觀測都認為，相距 10 ~100公里的觀測站各有獨立性，但採網格值的雨量分析都相鄰且只距離 1公里的數據，因此有必要另行調查研究。當然，從氣象雷達數位訊號彼此獨立的角度來看，所取得的數據各自獨立。但降雨現象內部相鄰 1公里 左右領域之獨立性，具高度時間解析度與空間解析度的精密觀察（例如參考文獻¹²⁾）時則並非各自獨立。同質性應該也不穩定。因此，進一步提升影像解析度後，統計處理可能會變得困難，迄今為止的調查研究尚未能夠釐清此點。本檢討則假定不具備現象獨立性而具備統計獨立性，因此設定以 1平方公里 為單位的面積與形狀來進行 60 分鐘雨量與 24 小時雨量統計。實務上土砂災害警戒資訊的降雨指標等，今後仍應利用機率降雨量來進行統計分析。但 1公里 左右距離畢竟仍有位置偏移(離)，即使能掌握這種雨量分析特性，也有必要進一步由氣象學考察降水現象尺度。其中包括檢討相關係數 r 、積雲對流範圍，以及降水時風所造成水平方向移流等雷達雨量分析值獨立性。這將可能導致得重新分析過去所累積資料，並可能大大延長雨量分析數據可以使用期限，影響重大。今後我想應該有更多人來注意雨量分析數據的同質性與獨立性問題，並且提升數據可信度、累積能提升土砂災害警戒資訊可信度之統計分析成果。

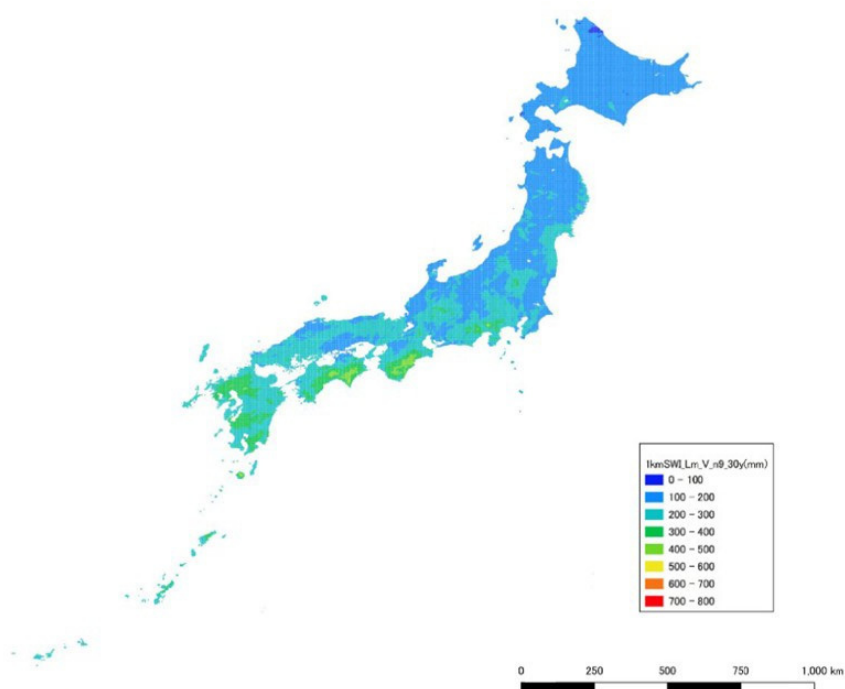
参考文献

- 1) Hosking, J.R.M(1990): L-moments: Analysis and Estimation of Distributions using Linear combinations of Other Statistics, Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological), Vol.52, Issue1, pp.105-124
- 2) J. R. M. Hosking and J.R. Wallis(1993): Some Statistics Useful in Regional Frequency Analysis, Water Resources Research, Vol.29, No.2, pp.271-281
- 3) 外山奈央子・水野量(2002): L-moments を用いた地域頻度解析による全国アメダス地点における確率雨量の推定, 気象庁研究時報, Vol.54,Nos.5-6, pp.55-99
- 4) 水文・水資源学会(1997): 水文・水資源ハンドブック, 朝倉書店, pp.228-255
- 5) 荒川英誠・宝馨(2008): レーダー・アメダス雨量分析を地域別最大雨量の評価、河川技術論文集、第14巻、2008.6月号、pp.181-186
- 6) 菅原雄太・風間聡・峠嘉哉(2018):レーダー・アメダス雨量分析を用いた豪雨の空間分布特性の分析、土木学会論文集B1(水工学), Vol.74, No.4, I_343-I-348
- 7) 宝馨(2006): 大標本時代の水文頻度解析手法-リターンピリオドを超えるようなサイズの標本に対する極値データ解析-, 京都大学防災研究所年報, 第49号B, pp7-12
- 8) 石原幸司, 仲江川敏之(2008): 全国51地点におけるノンパラメトリック手法を用いた確率降水量の算出, 水文・水資源学会誌, 第21巻, 第6号, pp.459-463
- 9) 中谷洋明(2007): 北陸地方の中小河川流域における確率洪水流量の検討, 防学会誌, Vol.60, No.2, p.25-32
- 10) 倉本和正、鉄賀博己、東寛和、荒川雅生、中山弘隆、古川浩平(2001): RBF ネットワークを用いた非線形がけ崩れ発生源会雨量線の設定手法に関する研究、土木学会論文集, 672/VI-50, pp.117-132
- 11) 国立天文台編(2021): 理科年表 2022, 丸善出版株式会社, pp.1174, 気 18(196,197) 降水量の月別平年値
- 12) 武田喬男(2003): 雨の科学, 講談社学術文庫, pp.240
- 13) 大西雄基, 水野量(2008): L-moments を用いた地域頻度解析による全国アメダス地点における年最深積雪の再現期待値, 気象学会誌, Vol.60, pp.35-74
- 14) 牧原康隆(2020): 気象防災の知識と実践 気象学ライブラリー1, pp.164
- 15) J.R.M. Hosking and J.R. Wallis (1997): Regional Frequency analysis: An Approach based on L-moments. Cambridge University Press, Cambridge UK, pp.224

篇末資料—1

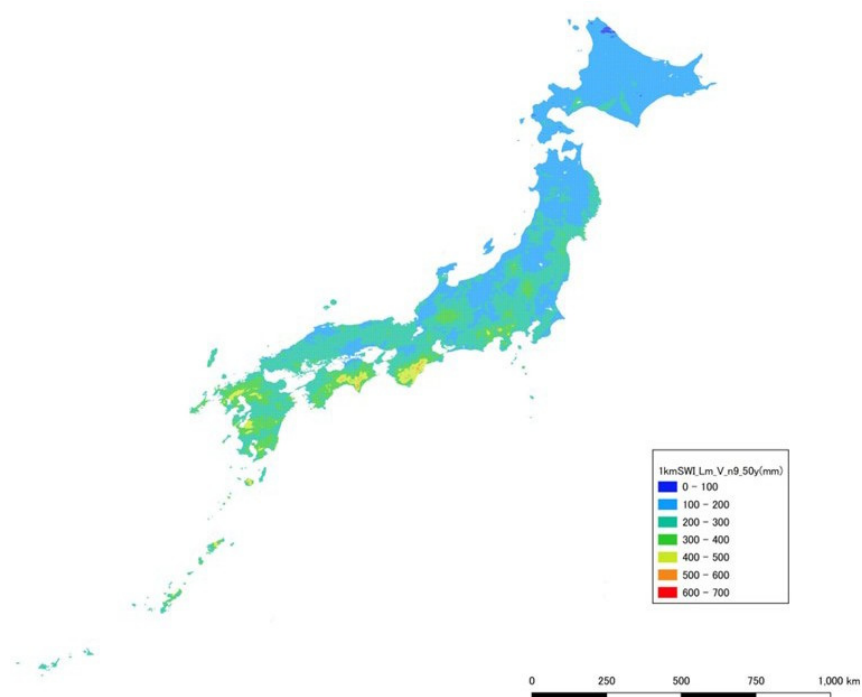


參考圖：土壤雨量指數的機率降雨量（1/10，重現期10年，9(3×3)網格）

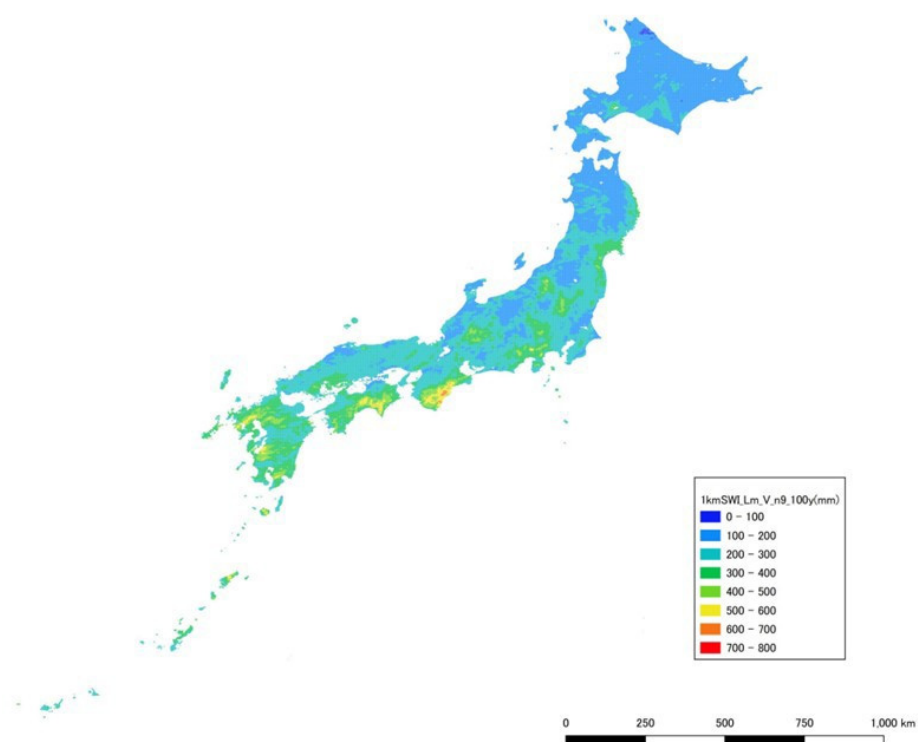


參考圖：土壤雨量指數的機率降雨量（1/30，重現期30年，9(3×3)網格）

篇末資料—1

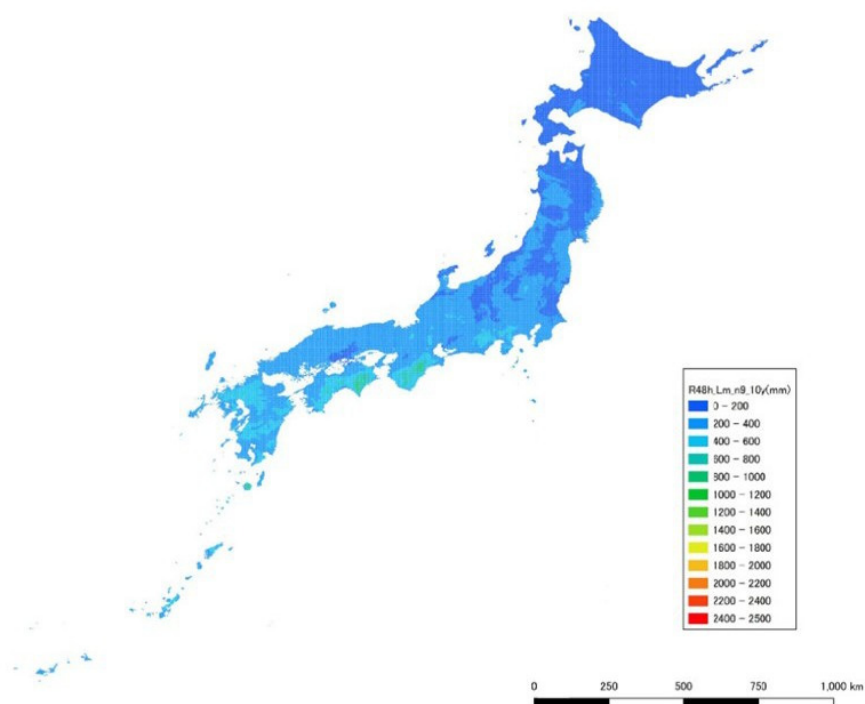


參考圖：土壤雨量指數的機率降雨量（1/50，重現期50年，9(3×3)網格）

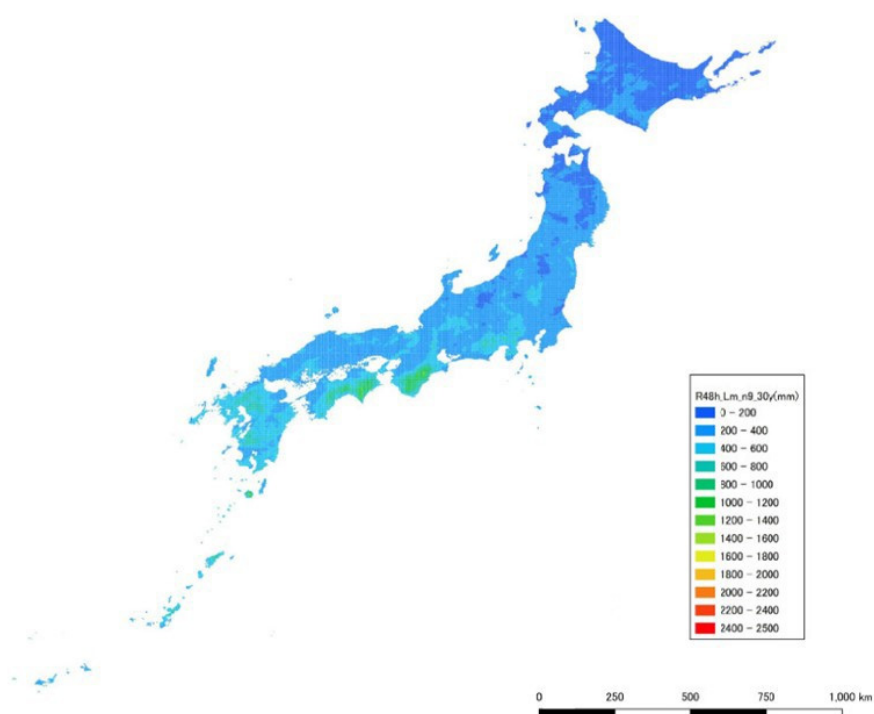


參考圖：土壤雨量指數的機率降雨量（1/100，重現期100年，9(3×3)網格）

篇末資料—2

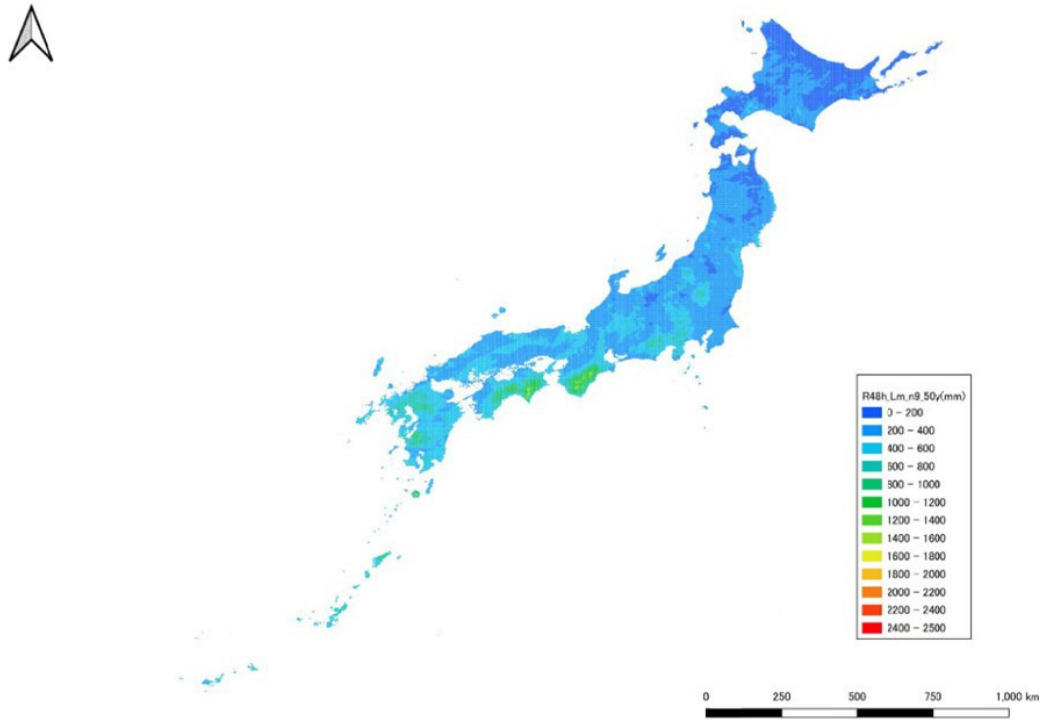


參考圖：48小時雨量的機率降雨量（1/10，重現期10年，9(3×3)網格）

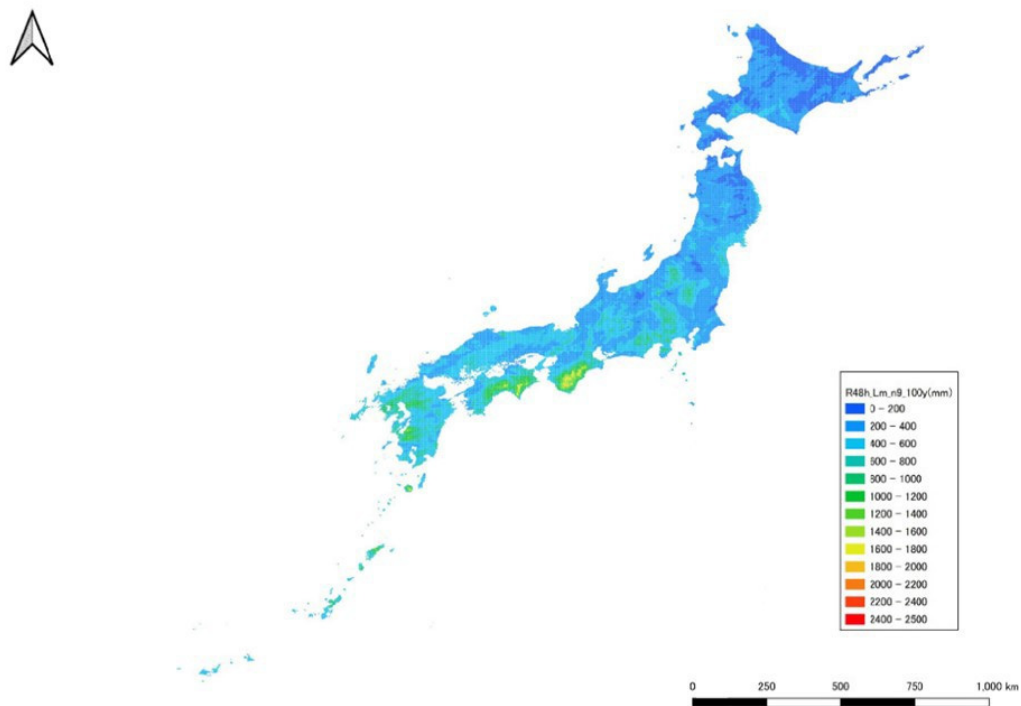


參考圖：48小時雨量的機率降雨量（1/30，重現期30年，9(3×3)網格）

篇末資料—2



參考圖：48小時雨量的機率降雨量（1/50，重現期50年，9(3×3)網格）



參考圖：48小時雨量的機率降雨量（1/100，重現期100年，9(3×3)網格）

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。