第二章 連江縣氣候脆弱度指數分析

2.1 研究背景

連江縣由分散島嶼與多個港灣聚落組成。沿海低窪地帶可能遭遇豪雨積淹水及海水倒灌，供水、發電與島際交通亦有不同的空間限制。連江縣氣候變遷調適執行方案討論水資源、健康、海岸及維生基礎設施等議題。本研究以村里為評估單位，整合淹水災害、建築暴露、水源依賴、海岸緩衝、供電壓力與高溫危害六項指標，比較各村的氣候脆弱度，並辨識其主要脆弱面向。

2.2 研究目的

本研究以連江縣 22 個村里為評估單位，運用 MatsuCVI 分析各村里之氣候脆弱度，研究目的包括三項：一、計算各村里六項指標及綜合指數，比較村里間的脆弱度差異；二、透過地理資訊系統(GIS)呈現各項指標與綜合指數的空間分布，辨識各村里主要的脆弱面向；三、依據評估結果，提出應優先調查之課題與調適方向，作為後續資料更新及地方氣候變遷調適規劃之參考。

2.3 MatsuCVI 指標及計算方法

一、指標與公式

表 2.1 彙整本研究氣候脆弱度評估之六項指標、對應調適領域及計算公式，涵蓋土地利用、維生基礎設施、水資源、海洋及海岸、能源供給及產業與健康等面向。各項指標分別反映淹水災害、災害建築暴露、氣候敏感水源依賴、海岸緩衝、供電容量壓力及高溫熱危害之脆弱程度，透過相關災害程度或比例進行量化，作為比較各村里氣候脆弱度、辨識主要脆弱面向及研擬後續調適方向之依據。

表 2.1 六項指標定義與公式

Factor	調適領域	指標中文	Indicator	公式
V_F	土地利用	淹水災害脆弱度	Flood Hazard Vulnerability	$V_F = F_{max} \ / 3$
V_B	維生基礎設施	災害建築暴露脆弱度	Disaster Related Building Vulnerability	$V_B = B_{affected} \ / B_{total}$
V_W	水資源	氣候敏感水源依賴脆弱度	Climate-Sensitive Water Source Dependency	$V_D = 1 - Q_{desal}/Q_{total}$
V_C	海洋及海岸	海岸緩衝脆弱度	Coastal Buffer Vulnerability	$V_C = L_{artificial}/L_{total}$
V_E	能源供給及產業	供電容量壓力脆弱度	Power Supply Capacity Stress Vulnerability	$V_E = P_{peak}/P_{installed}$
V_H	健康	高溫熱危害脆弱度	Heat Hazard Vulnerability	$V_H = T_{32.2} \ / T_{warm}$

$$\boldsymbol{Matsu - CVI = (V_F + V_B + V_W + V_C + V_E + V_H) / 6}$$

六項指標涵蓋淹水深度、受影響建築比例、氣候敏感水源依賴、人工海岸線比例、供電容量壓力及暖季熱指數日數，均以 0 至 1 表示；數值越高，代表該指標定義下的相對脆弱程度越高。

二、六項指標公式介紹

1. 淹水災害脆弱度: $\boldsymbol{V_F = F_{max} \ / 3}$;分母的 3 為官方設定最大淹水深度(3m)作為標準化上限，F_{max}為該村官方模擬最大淹水深度。數值越高，表示該村的最大淹水深度越深，淹水災害脆弱度越高。

2. 災害建築暴露脆弱度: $\boldsymbol{V_B = B_{affected} \,/\, B_{total}}$ ； $B_{affected}$為該村里於官方災害情境下受影響的建築物數，B_{total}為該村里全部建築物數。數值越高，表示受影響建築物占全村建築物的比例越高，建築暴露脆弱度也越高。

3. 氣候敏感水源依賴脆弱度: $\boldsymbol{V_W = 1 - Q_{desal}/Q_{total}}$ ； Q_{desal}為海水淡化年供水量，Q_{total}為同一供水區、同一年度的年總供水量。這個方向代表本研究將海水淡化視為減少對易受降雨變化影響水源之依賴；數值越高，非海淡供水占比越高，水源依賴脆弱度也越高。

4. 海岸緩衝脆弱度: $\boldsymbol{V_C = L_{artificial}/L_{total}}$ ； 以村界所對應人工海岸線長度($L_{artificial}$)除以總海岸線長度(L_{total})；數值越高，表示人工海岸線所占比例越高，海岸自然緩衝就越低，導致脆弱度提高。

5. 供電容量壓力脆弱度: $\boldsymbol{V_E = P_{peak}/P_{installed}}$ ； 用於衡量各區供電系統在用電尖峰時的容量使用情形。本研究將供電系統的年度尖峰負載(P_{peak})除以裝置容量($P_{installed}$)，計算兩者的比值。數值越高，表示尖峰用電量越接近系統裝置容量，供電容量所承受的壓力越大。

6. 高溫熱危害脆弱度: $\boldsymbol{V_H = T_{32.2} \,/\, T_{warm}}$;用於衡量暖季達到勞動部設立的熱危害門檻的頻率。熱指數是結合氣溫與相對濕度，表示人體感受到的悶熱程度。本研究統計 6 月至 9 月熱指數達 32.2 的日數($T_{32.2}$)，再除以暖季總日數 122 日(T_{warm})。數值越高，表示暖季中達到該熱指數門檻的日數比例越高。

以南竿鄉福沃村為例(如表 2.2)，MatsuCVI 的值為 0.535，在連江縣 22 個村里中排名第 2。福沃村以海岸緩衝脆弱度 0.858 最高，其次為高溫危害脆弱度 0.680 及淹水災害脆弱度 0.667；各項結果顯示，福沃村的較高分數主要集中於海岸緩衝、高溫及淹水三個面向，可作為後續討論該村調適課題的依據。

MatsuCVI＝(0.667＋0.204＋0.324＋0.858＋0.475＋0.680)／6＝0.535

表 2.2 福沃村六指標計算與結果

指標	計算	脆弱度結果
淹水災害脆弱度: V_F	2.0 m／3.0 m	0.667
災害建築暴露脆弱度: V_B	37 棟／181 棟	0.204
氣候敏感水源依賴脆弱度: V_W	1－560,900／829,691 (噸／年)	0.324
海岸緩衝脆弱度: V_C	1490.39 m／1736.33 m	0.858
供電容量壓力脆弱度: V_E	13,599 kW／28,640 kW	0.475
高溫熱危害脆弱度: V_H	83 日／122 日	0.680

2.4 村里 CVI 結果與空間分布

一、村里 CVI 結果

如表 2.3 所示，連江縣 22 個村里的 MatsuCVI 綜合脆弱度分數介於 0.206 至 0.628，平均為 0.361。塘岐村以 0.628 排名第 1，其次為福沃村 0.535、介壽村 0.482、珠螺村 0.474 及津沙村 0.468；分數最低的三個村依序為西坵村 0.206、田沃村 0.215 及芹壁村 0.243。若以各鄉所屬村里的分數計算平均值，南竿鄉為 0.410、北竿鄉為 0.393、東引鄉為 0.289、莒光鄉為 0.266。整體結果呈現各村脆弱度的空間差異，後續可結合六項指標分數，辨識各村分數較高的面向。

表 2.3 連江縣 22 村 MatsuCVI 排名

排名	鄉	村	CVI	較高脆弱度指標
1	北竿	塘岐村	0.628	淹水、建築、高溫
2	南竿	福沃村	0.535	淹水、海岸、高溫
3	南竿	介壽村	0.482	淹水、高溫
4	南竿	珠螺村	0.474	淹水、高溫
5	南竿	津沙村	0.468	淹水、建築、高溫
6	北竿	后沃村	0.440	建築、高溫
7	南竿	清水村	0.440	淹水、高溫
8	北竿	坂里村	0.431	建築、高溫
9	南竿	復興村	0.418	淹水、高溫
10	南竿	仁愛村	0.361	淹水、高溫
11	莒光	大坪村	0.357	淹水
12	北竿	橋仔村	0.313	高溫
13	莒光	青帆村	0.305	高溫
14	北竿	白沙村	0.300	高溫
15	東引	中柳村	0.294	高溫
16	東引	樂華村	0.285	高溫
17	南竿	馬祖村	0.261	高溫
18	南竿	四維村	0.247	高溫
19	莒光	福正村	0.246	高溫
20	北竿	芹壁村	0.243	高溫
21	莒光	田沃村	0.215	高溫
22	莒光	西坵村	0.206	高溫

二、各指標空間分布

圖 2.1 呈現連江縣 22 個村里的淹水災害脆弱度分布。高值村里主要集中於南竿鄉，北竿鄉塘岐村亦呈現較高脆弱度。其中，介壽村、復興村、珠螺村及塘岐村的指標值最高；福沃村、清水村、仁愛村、津沙村及莒光鄉大坪村次之。後續可優先套疊高值村里的建築、公共設施與淹水潛勢圖資，辨識需加強防護及改善排水的區域。

圖 2.2 顯示，災害建築暴露脆弱度的高值主要集中於北竿鄉，以后沃村及坂里村最高，塘岐村亦明顯偏高；南竿鄉則以津沙村較為突出。相較之下，莒光鄉與東引鄉各村普遍呈現低值，南竿鄉四維村及北竿鄉芹壁村亦相對較低。此結果反映各村建築暴露程度的差異，後續宜進一步比對高值村里的建築位置、使用情形及淹水災害範圍，作為防災規劃的參考。

圖 2.3 顯示，氣候敏感水源依賴脆弱度以南竿鄉最高，莒光鄉次之，北竿鄉較低，東引鄉最低。由於同一鄉內各村的分數一致，此項指標主要反映各鄉供水結構的差異。依指標設定，南竿鄉對氣候敏感水源的依賴程度相對較高，後續供水調適宜優先評估降雨變動對水源穩定性的影響，並檢視多元水源及備援調度能力。

圖 2.4 顯示，海岸緩衝脆弱度的高值分散於不同島嶼，以南竿鄉福沃村最為突出，莒光鄉青帆村、北竿鄉塘岐村及南竿鄉清水村亦相對較高。南竿鄉復興村、仁愛村、津沙村，以及北竿鄉芹壁村、坂里村則呈現較低值。此項指標具有明顯的村里差異，後續可針對高值村里檢視海岸線組成、緩衝空間及沿岸設施分布，研議適切的防護與管理措施。

圖 2.5 顯示，供電容量壓力脆弱度以南竿鄉及北竿鄉最高，東引鄉略低，三地分數相近；莒光鄉則明顯較低。依指標設定，南竿、北竿及東引的尖峰用電量相對於裝置容量較高，因此呈現較高的容量壓力脆弱度。由於各鄉內村里分數一致，此圖主

要反映鄉際差異，可作為後續檢視尖峰負載、供電備援及節能措施的參考。

圖 2.6 顯示，高溫危害脆弱度以東引鄉最高，北竿鄉次之，南竿鄉略低，莒光鄉相對較低。惟四鄉分數差距有限，顯示各地均需關注夏季高溫影響。由於同一鄉內各村分數相同，此項結果主要呈現鄉際高溫危害差異；後續可結合人口結構、戶外活動及涼適空間分布，進一步辨識優先保護的族群與場所。

圖 2.7 呈現連江縣各村的 MatsuCVI 綜合脆弱度。高值主要分布於北竿鄉及南竿鄉，其中以塘岐村最高、福沃村次之，介壽村、珠螺村及津沙村亦相對偏高；低值則以莒光鄉西坵村及田沃村最為明顯，東引鄉兩村亦相對較低。六項指標整合後，各村仍呈現不同程度的脆弱性，後續宜回溯個別指標的貢獻，辨識主要風險來源，據以安排調適措施與資源投入的優先順序。

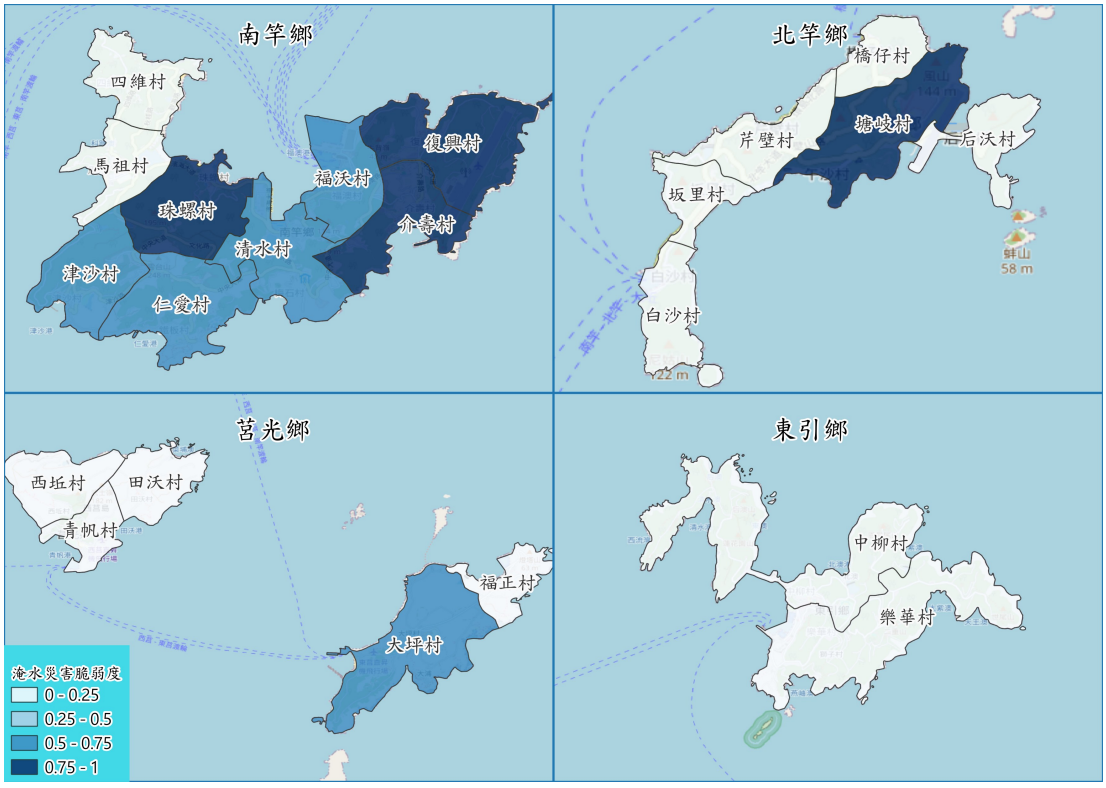


圖 2.1 連江縣各村淹水災害脆弱度

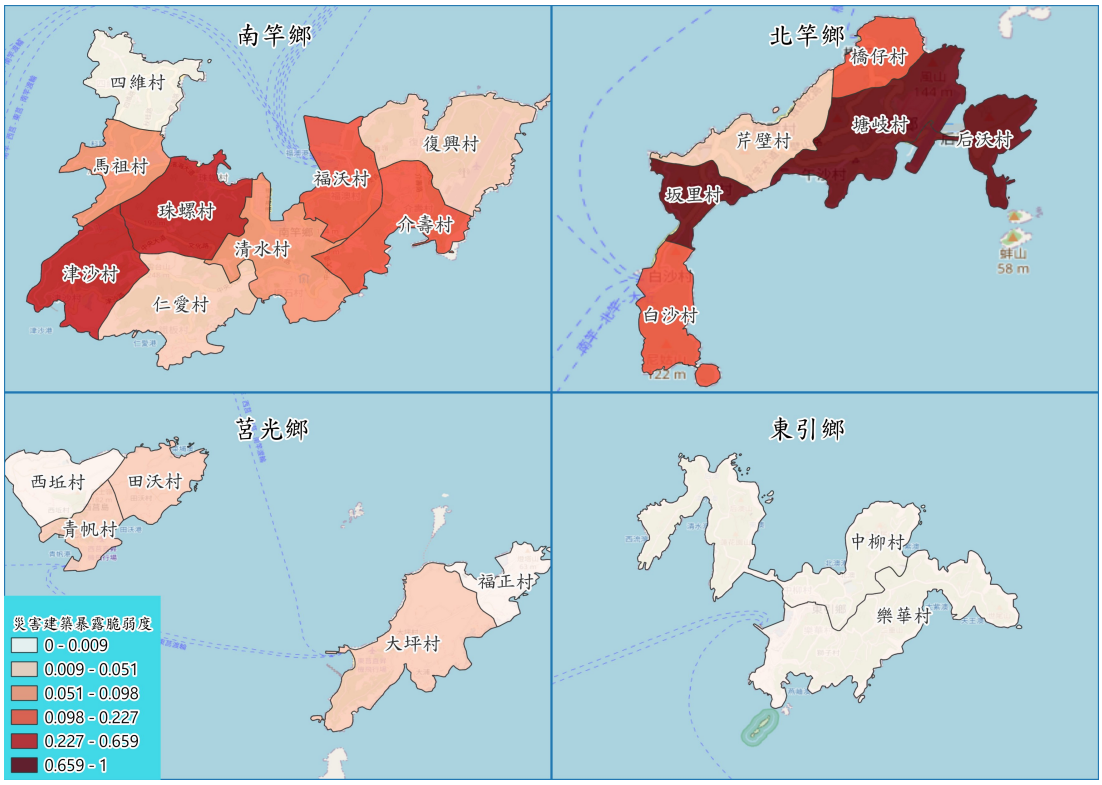


圖 2.2 連江縣各村災害建築暴露脆弱度

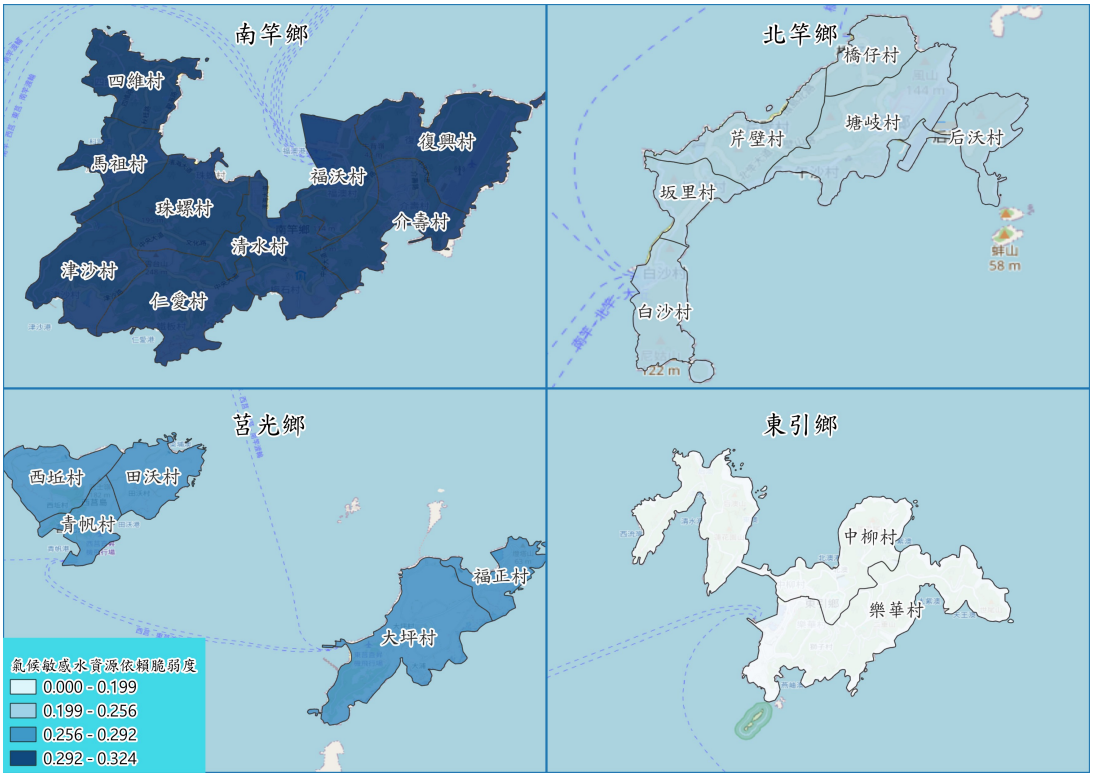


圖 2.3 連江縣各村氣候敏感水源依賴脆弱度

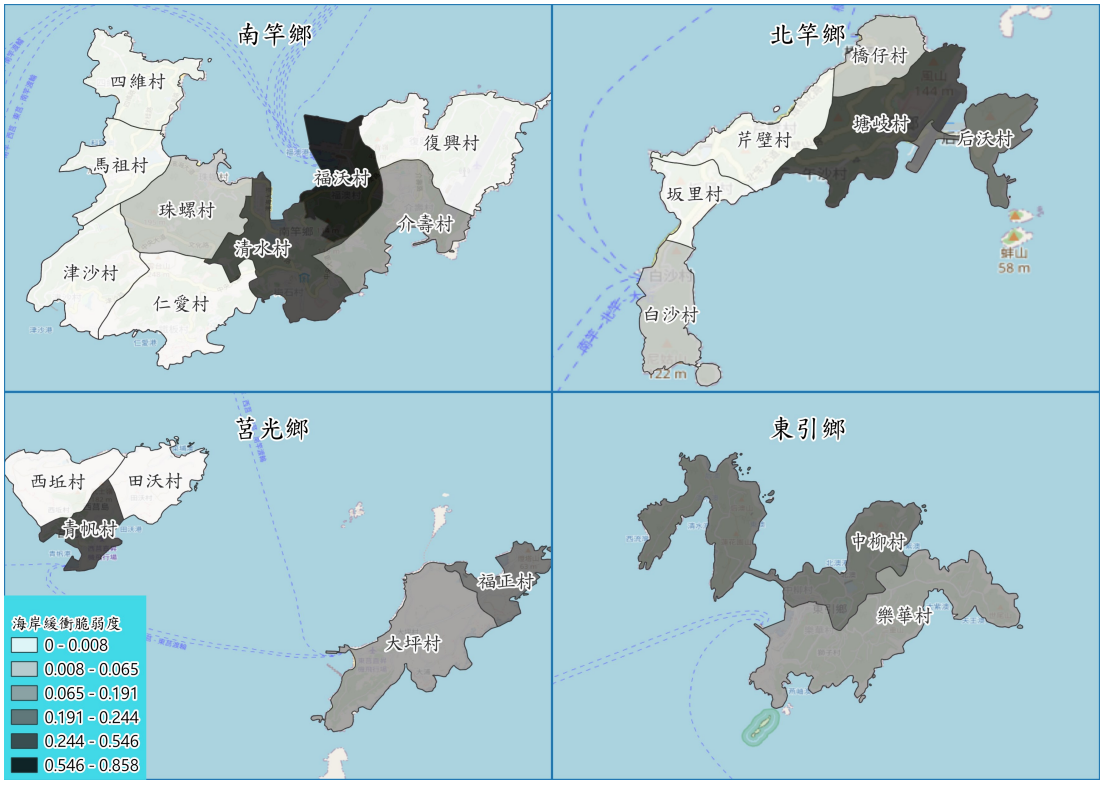


圖 2.4 連江縣各村海岸緩衝脆弱度

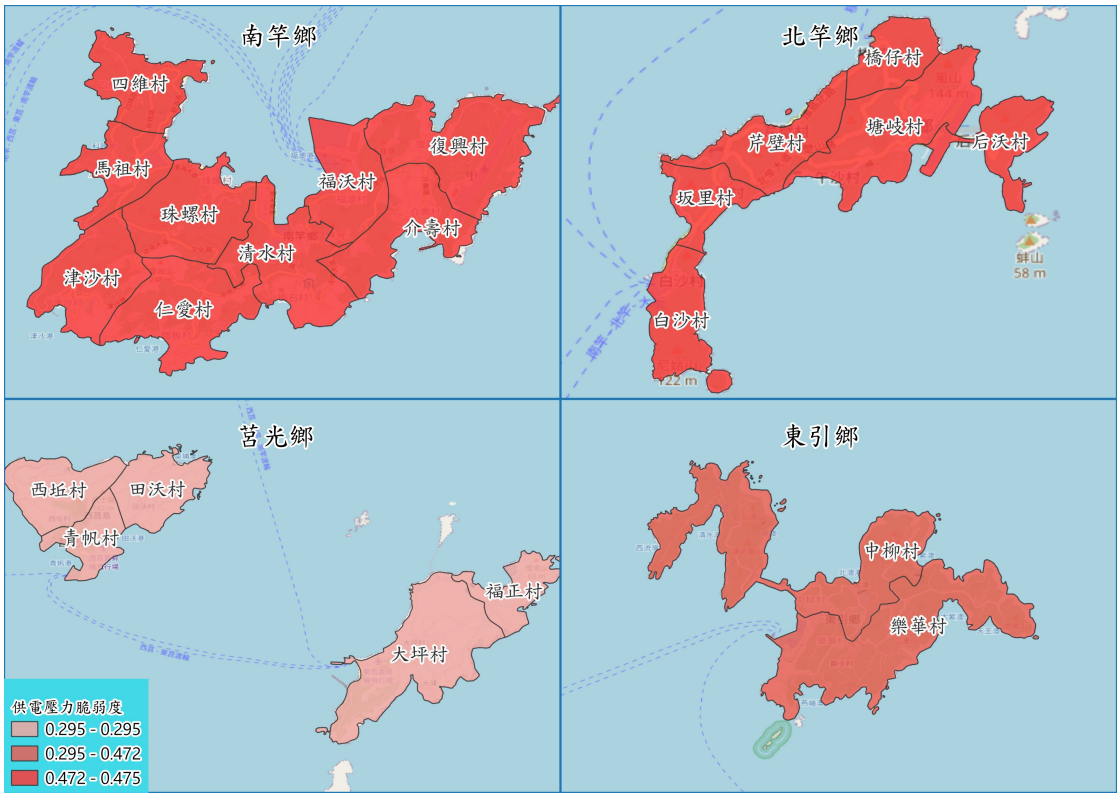


圖 2.5 連江縣各村供電壓力脆弱度

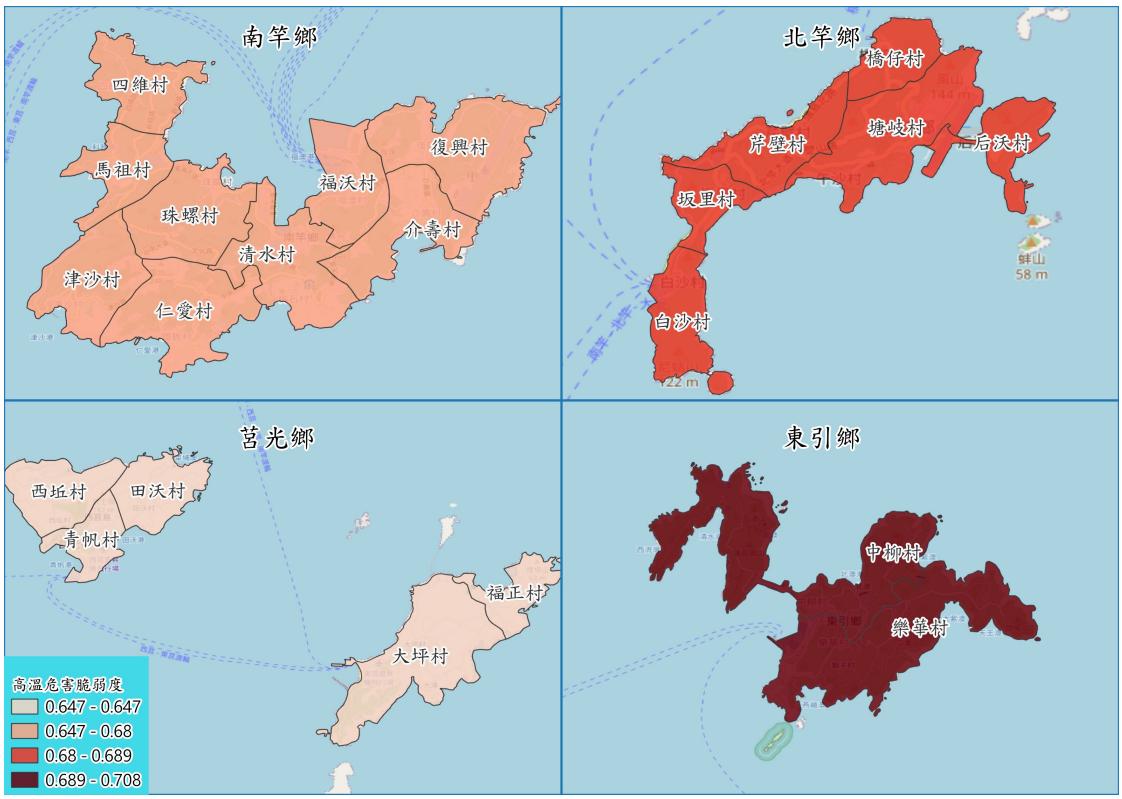


圖 2.6 連江縣各村高溫危害脆弱度

三、綜合分析

表 2.4 及圖 2.7 為彙整連江縣 22 個村里的六項脆弱度指標、MatsuCVI 綜合分數與排名。塘岐村的綜合脆弱度最高，主要由淹水災害及災害建築暴露兩項較高分數構成；排名第 2 的福沃村則以海岸緩衝脆弱度最為突出，並同時呈現較高的高溫及淹水脆弱度。相較之下，西坵村與田沃村的綜合分數最低。表中也可看出，即使村里的綜合分數相近，六項指標的組成仍可能不同，因此比較排名時，仍需一併檢視各村分項結果。

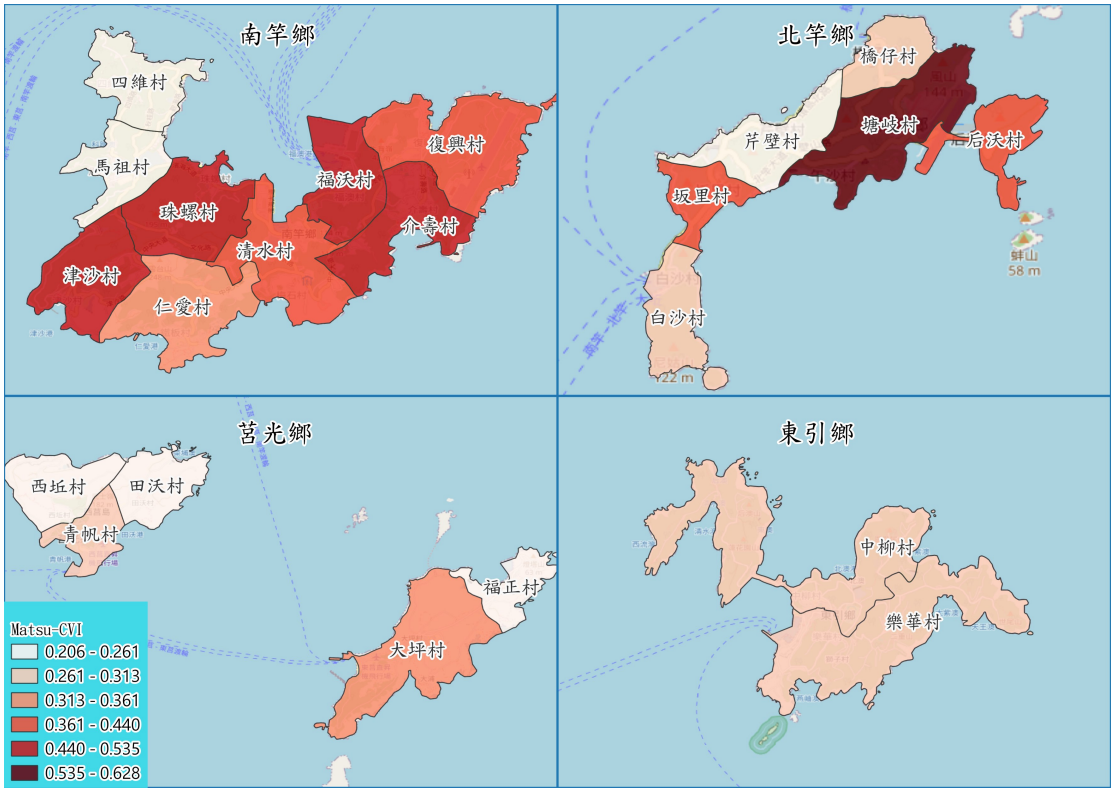


圖 2.7 連江縣 MatsuCVI 綜合分布

表 2.4 本縣 22 村六項指標與 MatsuCVI 數值

村	V_F	V_B	V_W	V_C	V_E	V_H	CVI	排名
介壽村	1.000	0.222	0.324	0.191	0.475	0.680	0.482	3
復興村	1.000	0.027	0.324	0.000	0.475	0.680	0.418	9
福沃村	0.667	0.204	0.324	0.858	0.475	0.680	0.535	2
清水村	0.667	0.098	0.324	0.393	0.475	0.680	0.440	7
仁愛村	0.667	0.022	0.324	0.000	0.475	0.680	0.361	10
津沙村	0.667	0.659	0.324	0.000	0.475	0.680	0.468	5
馬祖村	0.000	0.087	0.324	0.000	0.475	0.680	0.261	17
珠螺村	1.000	0.308	0.324	0.058	0.475	0.680	0.474	4
四維村	0.000	0.000	0.324	0.000	0.475	0.680	0.247	18
塘岐村	1.000	0.907	0.256	0.438	0.475	0.689	0.628	1
后沃村	0.000	1.000	0.256	0.219	0.475	0.689	0.440	6
橋仔村	0.167	0.227	0.256	0.065	0.475	0.689	0.313	12
芹壁村	0.000	0.038	0.256	0.000	0.475	0.689	0.243	20
坂里村	0.167	1.000	0.256	0.000	0.475	0.689	0.431	8
白沙村	0.167	0.170	0.256	0.041	0.475	0.689	0.300	14
青帆村	0.000	0.051	0.292	0.546	0.295	0.647	0.305	13
田沃村	0.000	0.045	0.292	0.008	0.295	0.647	0.215	21
西坵村	0.000	0.000	0.292	0.000	0.295	0.647	0.206	22
福正村	0.000	0.000	0.292	0.244	0.295	0.647	0.246	19
大坪村	0.667	0.048	0.292	0.190	0.295	0.647	0.357	11
中柳村	0.167	0.009	0.199	0.208	0.472	0.708	0.294	15
樂華村	0.167	0.000	0.199	0.164	0.472	0.708	0.285	16

2.5 結果討論與調適策略

一、淹水與建築暴露調適

塘岐村、介壽村、珠螺村及復興村的淹水災害脆弱度均為1.000;福沃村、清水村、仁愛村、津沙村及大坪村則均為0.667。建議優先針對這九個村里，檢視淹水情境下的排水出口、道路通行及公共設施位置，依現勘結果安排排水清疏、防回堵、積水警示及替代通行路線。

調適措施亦應結合建築暴露分數判讀。塘岐村及津沙村分別為0.907及0.659，宜進一步確認暴露建物的出入口、低樓層重要設備及住戶避災需求；復興村及仁愛村分別為0.027及0.022，可優先檢視道路通行與公共服務維持需求。

后沃村及坂里村的災害建築暴露脆弱度均為1.000，但淹水災害脆弱度分別為0.000及0.167，顯示兩項指標須分別判讀。建議將兩村與塘岐村、津沙村納入建物清冊及暴露位置查核，確認各建物對應的災害情境後，再評估出入口防水、重要設備抬升，以及災時使用管理與通報措施。

二、海岸緩衝調適

福沃村的海岸緩衝脆弱度為0.858，為該村六項指標中的最高值;青帆村、塘岐村及清水村分別為0.546、0.438及0.393，亦宜優先檢視岸線條件。建議盤點人工岸線、既有岸防設施、排水出口及後方建物與道路，依各段海岸的使用情形與設施狀況，安排巡檢、修繕或改善。

其中，福沃村及清水村的淹水災害脆弱度均為0.667，塘岐村則為1.000，宜整合岸線調查與排水現勘，評估海岸條件與陸域排水的交互影響。福正村、后沃村及中柳村的海岸緩衝脆弱度分別為0.244、0.219及0.208，可納入定期巡查；如有設施更新需求，再依地形、後方土地使用及保護標的，評估工程維護與自然岸線保全等適用方式。

三、高溫調適

高溫危害脆弱度以鄉為單位呈現，東引鄉為 0.708、北竿鄉為 0.689、南竿鄉為 0.680、莒光鄉為 0.647，同一鄉內各村數值一致。因此，高溫提醒、戶外工作時段調整及長者與慢性病患者關懷，宜由各鄉統籌規劃；遮蔭、飲水及涼適場所則依各村人口需求與活動空間配置。

東引鄉中柳村及樂華村可共同檢視戶外活動場所與公共服務據點的降溫需求。馬祖村、四維村、橋仔村、白沙村、芹壁村、福正村、田沃村及西坵村等，以高溫、供水或供電為主要關注面向的村里，亦可優先推動預警提醒、關懷服務及涼適空間盤點，逐步補強在地防護措施。

四、供水與供電調適

氣候敏感水源依賴脆弱度以南竿鄉 0.324 最高，其次為莒光鄉 0.292、北竿鄉 0.256 及東引鄉 0.199。由於同鄉各村採用相同分數，漏水檢測、儲水調度、海淡設備維護及供水中斷演練，宜依各島供水系統統籌規劃，再按村內配水設施及重要用戶位置執行。南竿鄉可優先檢視氣候敏感水源的調度與備援能力，其餘各鄉則持續盤點乾旱或設備停機時的可用水源與供水量。

供電容量壓力脆弱度在南竿鄉及北竿鄉均為 0.475，東引鄉為 0.472，莒光鄉為 0.295。建議各鄉優先確認供水、醫療、通訊及避難場所的備援電源配置與定期測試情形，再依重要設施需求，評估儲能或可獨立運轉的供電方案。供水設備的備援電力應與水源調度一併檢視，確保停電期間仍能維持必要的取水、淨水及配水功能。