



109
年度國內外水土保持技術與研究發展趨勢

氣候變遷下日本河川及土砂防災對策研析

109年國內外水土保持技術與研究發展趨勢- 氣候變遷下日本河川及土砂防災對策研析 成果報告書



109
年度

行政院農業委員會水土保持局



行政院農業委員會水土保持局
與您一起打拼



行政院農業委員會水土保持局
54044南投市中興新村光華路6號
<https://www.swcb.gov.tw>

行政院農業委員會水土保持局 編印
中華民國109年12月

109 年國內外水土保持技術與研究發展趨勢-氣候變遷下日本河川及土砂防災對策研析

**Trend for Research and Technology
Development of Soil and Water
Conservation 2020
(River and Sediment-related Disaster
Mitigation and Adaptation Strategies
under Climate Change in Japan)**

執行單位	水土保持局技術研究發展小組
研究主持人	陳振宇 副總工程司
研究人員	林家興、詹婉妤、高百毅、葉柏村、 林詠喬、林恩如、林宥伯、陳昭岑、 陳均維、吳振佑、白佩鑫

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 109 年 12 月

109 年國內外水土保持技術與研究發展趨勢—

氣候變遷下日本河川及土砂防災對策研析

摘要

面對氣候變遷衝擊與其可能衍生之複合型災害，各國政府相關單位正積極投入基礎調查、科學研究，以擬定具體因應對策。例如藉由氣候變遷情境之影響與分析等資料，建立各階段減緩與調適策略，並適時檢討因應對策以完善管理機制。但由於氣候變遷為全球長期環境交互循環影響，因此瞭解目前國際氣候變遷趨勢及防減災調適對策制定方向，有利於建立國內減緩及調適策略作為。

本研究係蒐集日本近期氣候變遷相關研究與報告，研析其因應作為、災害風險評估、調適策略制定、防減災對策等整合及應用方式，歸納整理其核心策略，結果發現，其土砂災害調適策略涵括軟體、硬體、管理及自主防災等四個面向。本研究重點摘錄日本氣候變遷情境預測、土砂災害特徵、調適策略制定方向及措施等，相關結果可作為國內未來推動氣候變遷調適相關計畫及研擬土砂災害對策時參考，期能降低氣候變遷所導致之災害風險，強化整體防救災能力，精進河川及土砂防災對策，以建立坡地智慧防災。

相較於日本國土交通省常以舉辦專家會議方式，針對各項議題研擬因應對策，建議國內如欲引用日本對於氣候變遷之河川及土砂防災對策，應藉由詳細歷史資料蒐集及基礎研究，依據科學調查及研究成果，建立適合我國之相關預測及評估模式，並整合地方及民間團隊積

極培育人才，以掌握新技術與防災知識，因應未來氣候情勢變動。此外，建議國內未來應持續研究探討評估氣候變遷之外力、考慮氣候變遷影響下風險評估方法、考慮氣候變遷外力增加情況下防減災對策，此三項議題亟需加強產官學研協力，持續進行研究並將對策措施具體化。

綜觀日本目前因應氣候變遷防減災對策，其研擬土砂災害對策、流域治理對策、河川治理對策、災害減輕對策等，係綜合考量軟體、硬體、管理及自主防災等四個面向，本研究提出以下建議：

1. **精進基礎調查方式與新技術使用**：後續國內在相關土砂災害潛勢地點調查時應優先使用 1 米 DTM 配合紅色地圖、CS 地圖等新技術圖資做為細部調查使用，以強化調查精度。

2. **整合跨機關資源強化即時資訊連結與傳遞**：當災害發生時，由於應變中心及相關單位需要即時得到第一手資訊。但若受災嚴重致使基礎設施損毀或人員傷亡而無法傳遞正確資訊，將無法即時做出正確因應對策。因此，建議我國未來應針對如何強化中央與地方政府之間資訊傳遞與資源運用，以提升救災指揮、災後恢復與復建等有效率之救災作為。

3. **整合地區資源與民眾參與提升自主防災能量**：未來應建立各民間單位與組織 (NPO、NGO、個人、企業等) 之整合機制，強化各組織資訊傳遞功能，並藉由有效分工、責任分區等方式動員人力，以提升災時自助、共助防災能量。

4. **考量氣候變遷影響因子修正設計基準**：未來應考量設施之使用年限，將氣候變遷影響一併納入評估，或修正各種相關設計基準。在掌握設施使用年限期間之外力變化情況下，避免未來因氣候變遷導致

災害外力變化，需針對設施進行補強或重複施作，以降低施工面與經濟面之負擔。

5. **公私協力強化預警操作機制**：囿於山區雨量站建置及維護成本較高，國內目前坡地範圍內之雨量站分布密度較為不足，雖已發展降水雷達 QPESUMS 系統以提供 1.3km 解析度之網格降雨推估值，惟因地形遮蔽等問題，歷年研究指出其於山區常有低估之情事。因此，建議未來可採公私協力合作方式，藉由各村里公所、防災志工或民間協力機構所提供空間架設微氣象站設備，以彌補雨量站空間密度不足之情況，並以此掌握當地雨量預警門檻值，提升村里長、防災志工等相關人員預警避難操作時間。

6. **強化山坡地災害容受力/韌性 (resilience)**：一般而言，降低災害風險的途徑有三個方向：藉由調控災害外力以降低危害度、減少受災對象以降低暴露度、提升韌性 (減少災害衝擊、提高回復力) 以降低脆弱度。因此，如何提升韌性，以確保山坡地之保全對象、經濟活動、防災設施、基礎維生管線等，不因受災害衝擊而喪失功能，並具有高回復力以提升災後復原能力，為強化山坡地災害韌性之重要課題。因此，建議應盤點並評估坡地災害潛勢區之災害容受力與災害風險程度，再擬定調適策略步驟，依「問題界定及目標建立、檢視現況、未來風險分析、綜整調適對策、推動及監測、評估及修正」等六項步驟，啟動調適對策執行時間點，訂定檢核評估及修正，以達成有效調適作為。

7. **推廣防災教育及提升民眾災害風險認知**：藉由過去水土保持局多年執行計畫成果，編撰成防災教育推廣教材，提供各地方單位、村里長、防災志工等，辦理防災教育活動，並藉由網路平台、書籍、雜誌等方式傳遞防災知識與宣導，提升民眾對於災害潛勢地區之危險

認知。

8. 持續基礎研究並加強產官學研合作：持續盤點歷年執行計畫成果，彙整水文、地文等相關資料，並掌握新技術與新興科技，以利產官學研各界後續加值應用、未來風險分析、災害衝擊評估、災害減緩及制定調適策略使用等，並適時反映於現行調適行動。

關鍵詞：氣候變遷、土砂災害、洪水災害、調適策略

Trend for Research and Technology Development of Soil and Water Conservation 2020 River and Sediment-related Disaster Mitigation and Adaptation Strategies under Climate Change in Japan

Abstract

Facing climate change impact and adverse consequences of the compound disaster resulted in catastrophic flood and sediment-related disasters. The government of various countries invests in fundamental investigation and research to figure out mitigation and adaptation strategies. Based on data collection, emission scenarios for climate change, and associated impacts to development strategic planning of each stage and implementing and modifying adaptation strategies. Climate change is a long-term atmospheric circulation and global socioeconomic and environmental interaction, hence, understanding climate change and its impacts are helping for developing mitigation and adaptation measures.

The climate change associated research and report were collected and the countermeasure, climate change-related risk assessment, developing adaptation measure, the combination of prevention and mitigation measure is base on four aspects including software, hardware, management, and self-organized communities. The literature summarizes the climate change

scenarios, characteristic of sediment-related disaster, development of adaptation measure, and can provide a supporting reference for future associated climate strategic planning. The scope of this analytical report can reduce climate risk, enhance prevention and adaptation ability, and refine river and sediment-related disaster measures to build the smart slopeland disaster prevention system.

The Japan Ministry of Land, Infrastructure, Transport, and Tourism (MLIT) organizes experts meeting to discuss mitigation, adaptation, and remedial measures. In Taiwan, the administration can take Japan's experience as an example of how to developing adaptation plans and measures. Based on detail historical data collection, fundamental and methodological research to build prediction and estimation model. The government should cultivate talents to understanding new science and technology, and integrate the local government and cooperate with local organizations to deal with climate change.

Continuous research is needed to discuss and conduct measures include three issues in climate change forces, the method for risk assessment, and countermeasures for increased climate change force.

An overview of Japan's current disaster prevention and mitigation measures in response to climate change, it has developed sediment-related disaster measures, treatment countermeasures for the basin, river governance measures, disaster mitigation measures, etc., comprehensively considering the software, hardware, management, and disaster-resistant communities. This research proposes the following suggestions:

(1) Refining basic survey methods and working on new technologies. Following-up domestic investigation on potential locations of associated sediment-related disasters, it should work priority to using the 1m DTM with red relief image maps, CS maps, and other new technology maps as detailed inspections. To avoid misinterpretation insufficient from map accuracy and information.

(2) To integrate cross-agency resources to strengthen instant information connection and transmission.

When a disaster occurs, the emergency response Center and related departments need to get first-hand instant information. However, wreak havoc from disaster causing the infrastructure breakdown or casualties and the correct information, it will be impossible to deal with correct response measures in an instant. Therefore, recommend focusing on how to strengthen the information transmission and resource utilization between the central and local governments in the future. To promote efficient relief operations such as rescue command and post-disaster reconstruction.

(3) To integrate regional resources and public participation to enhance disaster-resistant communities' prevention capabilities. Various organizations (NPO, NGO, individuals, enterprises, etc.) Should establish an integration mechanism. To strengthen the information transmission of each organization, and to mobilize human resources through the effective division of labor and responsibility divisions to enhance self-help during disasters and jointly help disaster prevention energy in the future.

(4) Revising the design criteria considering the influence factors of

climate change. In the future, the facilities should consider the service life, the impact of climate change should incorporate in the assessment, or it should revise various related design criteria. Under the condition of grasping the external force changes during the service life of the facilities, to avoid changes in external forces because of climate change in the future, it is necessary to strengthen or repeat the facilities to reduce the burden on construction and economic aspects.

(5) Public-Private Partnerships to strengthen early warning operation mechanism. For the high cost of construction and maintenance of rainfall stations in mountainous areas, the current distribution density of rainfall stations within the range of slopeland in domestic is relatively insufficient. Although the central weather bureau developed the radar precipitation system-QPESUMS to provide a grid of rainfall estimation with a resolution of 1.3km. Researchs over the years pointed out the mountainous rainfall is often underestimated because of the shadowed terrain.

Therefore, to make up for the insufficient spatial density of rainfall stations, it recommends creating Public-Private Partnerships. Such as the village offices, disaster prevention volunteers, or private cooperative institutions provide space to set up a micro-weather station. It grasped the local rainfall's early warning threshold. It helps to increase the early warning and evacuation operation time of village chiefs, disaster prevention volunteers, and other relevant personnel.

(6) Strengthening the disaster tolerance or resilience of slopeland. Reducing disaster risk is based on three aspects. By adjusting the external

force of the disaster, to reduce the damage and the victims. To reduce exposure, increase resilience (reduce disaster impact, increase resilience) to reduce vulnerability. Therefore, how to promote resilience to safeguard that the protection objects, economic activities, disaster prevention facilities, and basic lifelines of slopeland are necessary for the ultimate discussion. Which won't drop their functions because of disaster effects and have high resilience to provide disaster recovery capabilities.

It recommended taking inventory, assess the disaster tolerance, and disaster risk degree of the slope hazard potential area. Base on six steps to build the disaster prevention system by "problem definition and goal establishment, review of the current situation, future risk analysis, discuss mitigation, adaptation, promotion, and monitoring". Also start the execution time for implementing countermeasures, and determine the verification, evaluation, and correction to achieve effective adaptive programming.

(7) Promoting disaster prevention education and raise public awareness of disaster risks. Based on the results of years of implementation of the project by the Soil and Water Conservation Bureau (SWCB) in the past, it compiled into disaster prevention education promotion materials and provided to various local departments, village leaders, disaster prevention volunteers, etc. SWCB disseminated disaster prevention education activities, promote public awareness of the dangers of potential disaster areas, and through online platforms, books, magazines, etc.

(8) Continuous fundamental research and strengthen the cooperation

of government-industry-university-institute. Continuous to take an inventory of the results of the implementation plan over the years. The hydrology and physiography associated research and data were collected, and new technologies and emerging technologies were mastered. Based on the countermeasure, climate change-related risk assessment, developing adaptation measure, the combination of prevention and mitigation measure for government-industry-university-institute follow-up value-added, and future risk analysis.

Keywords : Climate change, Sediment-related disaster, Flooding, Adaptation strategies

目次

摘要.....	I
ABSTRACT.....	V
目次.....	XI
表次.....	XIV
圖次.....	XV
第一章 前言.....	1-1
第一節 研究背景.....	1-1
第二節 研究目的.....	1-3
第三節 研究報告架構.....	1-4
第四節 計畫相關用語說明.....	1-5
一、 名詞定義.....	1-5
二、 災害風險定義.....	1-14
第二章 氣候變遷情勢推估.....	2-1
第一節 氣候變遷相關文獻蒐集.....	2-1
第二節 氣候變遷所面臨課題.....	2-11
一、 極端降雨發生頻率提高.....	2-11
二、 災害規模及範圍廣大.....	2-11
三、 災害外力超越硬體工程設施防護能力.....	2-11
第三節 氣候變遷情勢推估.....	2-12
第四節 未來降雨變化相關評估.....	2-19
一、 氣候變遷預報模式資料.....	2-19
二、 應用氣候變遷模式進行影響性分析.....	2-21
三、 現在及近未來氣候變遷的影響趨勢.....	2-25

四、	未來降雨因子分析	2-27
第三章 近年土砂災害特徵..... 3-1		
第一節	致災類型	3-3
第二節	受災案例	3-4
一、	平成 30 年 (2018 年) 7 月豪雨事件	3-4
二、	平成 28 年 (2016 年) 北海道・東北地區颱風事件	3-9
三、	平成 27 年 (2015 年) 關東・東北豪雨災害	3-12
四、	令和元年 (2019 年) 東日本颱風豪雨事件	3-15
五、	小結	3-18
第三節	災害特徵與面臨問題.....	錯誤! 尚未定義書籤。
第四章 氣候變遷對河川及土砂災害的影響與衝擊..... 4-1		
第一節	河川及土砂災害影響.....	4-3
第二節	土砂災害衝擊.....	4-7
第三節	土砂災害對策.....	4-14
第四節	水災災害對策.....	4-19
第五章 日本河川及土砂災害因應氣候變遷對策研析..... 5-1		
第一節	防災對策目標設定.....	5-1
第二節	調適策略基本方針.....	5-6
一、	因應不確定性之適應性管理.....	5-8
二、	處理目前已發生事件.....	5-9
三、	將未來影響納入考量.....	5-9
四、	考量軟、硬體之綜合措施.....	5-10
五、	各種事業計畫中納入氣候變遷之影響.....	5-11
六、	與自然環境和諧共生.....	5-12
七、	考慮地域特性並推動地方政府、企業與居民等之合作.....	5-13
第三節	調適策略具體措施.....	5-15

一、	水災災害	5-15
二、	土砂災害	5-23
第四節	災害對策修正檢討	5-28
第六章 結論與後續策略參考		6-1
第一節	結論	6-1
第二節	後續策略參考	6-4
參考文獻		1

表次

表 1-1 國內外文獻定義之災害風險.....	1-17
表 2-1 氣候變遷下各領域災害面臨之課題	2-2
表 2-2 氣候變遷下降雨預測模式整理.....	2-20
表 2-3 降雨量變化倍率係數.....	2-24
表 2-4 設定目標年降雨量變化率係數.....	2-27
表 3-1 破歷史最大 24 小時雨量紀錄.....	3-13
表 4-1 氣象變遷對土砂災害影響	4-4
表 4-2 氣候變遷對河川及水災災害影響及對策方向	4-5
表 4-3 氣候變遷下之土砂移動現象.....	4-7
表 4-4 土砂災害之調適對策.....	4-16
表 4-5 流域整體綜合性治水對策	4-22
表 4-6 未來持續精進之治水對策研究課題	4-24
表 5-1 土砂災害對策、技術應用等歷年修正過程	5-28

圖次

圖 1-1 溫室效應影響下各類型災害之威脅 (國土交通省河川局，2010).....	1-2
圖 1-2 氣候變遷衝擊之風險概念 (IPCC WGII AR5, 2014, RISK OF CLIMATE-RELATED IMPACTS RESULTS FROM THE INTERACTION OF CLIMATE-RELATED HAZARDS (INCLUDING HAZARDOUS EVENTS AND TRENDS) WITH THE VULNERABILITY AND EXPOSURE OF HUMAN AND NATURAL SYSTEMS).....	1-14
圖 1-3 淹水災害風險指標 (災害管理資訊研發應用平台， HTTP://DMIP.TW/LTHREE/2017/RISKAPP/REPORT/2_3.ASPX?COUNTED=1).....	1-15
圖 1-4 坡地災害風險指標 (災害管理資訊研發應用平台， HTTP://DMIP.TW/LTHREE/2017/RISKAPP/REPORT/2_3.ASPX?COUNTED=1).....	1-16
圖 2-1 未來氣候變遷趨勢-觀測溫度年平均値 (國土交通省，2019， 氣候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会).....	2-13
圖 2-2 IPCC-AR5 預測世紀末溫度變化趨勢 (國土交通省，2019， 氣候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会).....	2-13
圖 2-3 歷史降雨量觀測値變化趨勢 (國土交通省，2018).....	2-14
圖 2-4 未來氣候變遷下強降雨及洪水發生頻率增加趨勢 (國土交通省，2018， 異常豪雨の頻発化に備えたダムの洪水調節機能に関する検討会).....	2-15

圖 2-5 超過河川氾濫危險水位之發生狀況 (國土交通省，2019， 氣候變動を踏まえた水災害対策検討小委員会).....	2-16
圖 2-6 氣候變遷下海平面上升增加趨勢 (國土交通省，2020，氣候 變動を踏まえた水災害対策検討小委員会)	2-17
圖 2-7 未來海岸沿岸地區影響情況 (國土交通省，2020，氣候變動 を踏まえた水災害対策検討小委員会).....	2-17
圖 2-8 氣候變遷引致土砂移動現象嚴重化 (國土交通省，2020，氣 候變動を踏まえた砂防技術検討会).....	2-18
圖 2-9 氣候變遷影響下土砂量增加 (國土交通省，2020，氣候變動 を踏まえた水災害対策検討小委員会).....	2-19
圖 2-10 不確定性概念圖 (國土交通省，2010)	2-21
圖 2-11 未來氣候變遷降雨預測模式流程圖 (國土交通省，2019)..	2-22
圖 2-12 降雨量變化率計算方法 (國土交通省，2019).....	2-23
圖 2-13 氣候變遷影響下降雨量倍率估算結果 (國土交通省，2019)	2-23
圖 2-14 氣候變遷預測模式之有效性驗證 (國土交通省，2019)..	2-24
圖 2-15 氣溫與飽和水蒸氣壓關係	2-26

圖 2-16 現在及近未來氣候變遷影響示意圖 (國土交通省，2019) ..	2-26
圖 2-17 溫度觀測結果及預測未來溫度變化 (圖中，使用 NHRCM20 模式在 RCP2.6 情境下，預測未來溫度上升約 1.1℃；國土交通省，2019).....	2-26
圖 2-18 未來降雨量變化率趨勢 (圖中，在 RCP2.6 情境下，北海道北部、北海道南部、九州北西部變化倍率為 1.15 倍；其他地區為 1.1 倍；國土交通省，2019).....	2-27
圖 2-19 日本各地分區降雨量變化倍率 (國土交通省，2019)	2-27
圖 2-20 階段性設定檢討之調適策略 (國土交通省，2010)	2-28
圖 2-21 受降雨影響致災地區分類 (國土交通省，2019)	2-29
圖 2-22 基準高水位尖峰流量計算方法 (國土交通省，2019)	2-30
圖 2-23 降雨時、空分布變化 (國土交通省，2019).....	2-30
圖 2-24 降雨持續時間之影響 (實測降雨、過去及未來預測，國土交通省，2019)	2-31
圖 3-1 土砂災害警戒區示意圖 (國土交通省).....	3-1
圖 3-2 土砂災害發生件數統計圖 (統計期間昭和 57 年 (1982 年)至令和元年 (2019 年)，國土交通省砂防部，2019)	3-2

圖 3-3 颱風事件伴隨發生土砂災害統計圖 (統計期間昭和 57 年 (1982) 至令和元元年 (2019)，國土交通省砂防部，2019)	3-3
圖 3-4 令和元年東日本颱風 (哈貝吉颱風) 土砂災害特徵 (國土交 通省，2019)	3-4
圖 3-5 平成 30 年 7 月(2018 年 7 月)災害情況 (國土交通省，2019， 近年の土砂災害における課題等を踏まえた土砂災害対策のあり方 について)	3-7
圖 3-6 岡山縣創敷市真備町淹水狀況 (國土交通省，2019，氣候變 動を踏まえた治水計画に係る技術検討会)	3-8
圖 3-7 各地區土砂災害狀況 (國土交通省，2019，氣候變動を踏ま えた治水計画に係る技術検討会)	3-8
圖 3-8 平成 28 年北海道・東北地區災害情況 (國土交通省， 2019，氣候變動を踏まえた治水計画に係る技術検討会).....	3-11
圖 3-9 北海道內 5 水系 6 河川水位達歷史最大值 (國土交通省， 2017).....	3-11
圖 3-10 鬼怒川洪水氾濫災害情況 (國土交通省，2015，平成 27 年 9 月關東・東北豪雨における洪水及び被害等の概要)	3-13
圖 3-11 平成 27 年 9 月 鬼怒川下游災害狀況 (國土交通省，	

2015，平成 27 年 9 月関東・東北豪雨における洪水及び被害等の概要)	3-14
圖 3-12 薮城縣常總市淹水情況 (國土交通省，2019，氣候變動を踏まえた治水計画に係る技術検討会)	3-14
圖 3-13 關東・東北土砂災害情況 (國土交通省，2016，平成 27 年 9 月關東・東北豪雨に係る被害及び復旧狀況等について)	3-15
圖 3-14 那珂川堤防潰決淹水災害 (國土交通省 關東地方整備局，2020，令和元年台風第 19 号を踏まえた「那珂川緊急治水対策プロジェクト」を開始します)	3-17
圖 3-15 長野千曲川潰堤北陸新幹線淹水災害 (朝日新聞， HTTPS://ASAICHINESE-F.COM/SOCIETY/12794022)	3-17
圖 3-16 令和元年東日本颱風豪雨事件災害情況 (國土交通省，2019，令和元年の土砂災害)	3-18
圖 3-17 因應氣候變遷土砂災害對策檢討課題 (國土交通省，2020，氣候變動を踏まえた砂防技術検討会)	3-19
圖 3-18 因應氣候變遷土砂移動現象課題 (國土交通省，2020，氣候變動を踏まえた砂防技術検討会)	3-19
圖 3-19 複合型因素形成之土砂洪水氾濫災害 (國土交通省，	

2019，氣候變動を踏まえた治水計画に係る技術検討会)..... 3-20

圖 3-20 實效性避難之土砂災害因應對策 (國土交通省，2019，実効性のある避難を確保するための土砂災害対策検討委員会) 3-23

圖 3-21 出流管制對策 (國土交通省，2020，氣候變動を踏まえた水災害対策検討小委員会)..... 3-24

圖 3-22 構築水防災意識社會對策 (國土交通省 關東地方整備局，2020，令和元年台風第 19 号を踏まえた「那珂川緊急治水対策プロジェクト」を開始します)..... 3-25

圖 3-23 考慮氣候變遷影響下之水災害防治對策 (國土交通省，2019，氣候變動を踏まえた治水計画に係る技術検討会)..... 3-26

圖 4-1 A1B 情境預測下流域最大年平均降雨量 (國土交通省，2020，河川事業概要) 4-2

圖 4-2 氣候變遷下複合災害嚴重化現象 (國土交通省，2019)..... 4-2

圖 4-3 氣象現象的規模及時間尺度 (國土交通省，2019，氣候變動を踏まえた治水計画に係る技術検討会) 4-3

圖 4-4 近年多處同時發生土砂災害狀況 (國土交通省，2020)..... 4-9

圖 4-5 近年土砂・洪水氾濫災害狀況 (國土交通省，2020，氣候變

動を踏まえた砂防技術検討会)	4-9
圖 4-6 土砂災害警戒區域指定狀況 (國土交通省，2020)	4-10
圖 4-7 土砂災害警戒區域認知狀況 (國土交通省，2020)	4-11
圖 4-8 土砂災害防災地圖公告狀況 (國土交通省，2020，近年の土砂災害における課題等を踏まえた土砂災害対策のあり方について)	4-12
圖 4-9 土砂災害警戒情報發布狀況 (國土交通省，2020，近年の土砂災害における課題等を踏まえた土砂災害対策のあり方について)	4-12
圖 4-10 0次谷土砂災害現象 (國土交通省，2015，氣候變動に適応した治水対策検討小委員会)	4-14
圖 4-11 越過山脊之土砂災害 (國土交通省，2015).....	4-15
圖 4-12 颱風強度增大造成漂流木災害 (國土交通省，2015)	4-15
圖 4-13 上游流域管理-國土監測、觀測 (國土交通省，2015)	4-18
圖 4-14 上游流域管理-里山砂防 (國土交通省，2015).....	4-18
圖 4-15 整合流域所有相關參與者合作架構 (國土交通省，2019，)	4-21
圖 4-16 水災害風險三要素及其防治對策 (國土交通省，2019，氣	

候變動を踏まえた水災害対策検討小委員会).....	4-21
圖 5-1 綜合流域治水對策 (國土交通省，2020，令和元年豪雨等を踏まえた対応).....	5-3
圖 5-2 氣候變動適應相關的基本施策 (環境省，2018，氣候變動適應計畫について).....	5-5
圖 5-3 相關單位權責分工明確化 (環境省，2018)	5-6
圖 5-4 氣候變遷相關施實策略目標 (環境省，2018).....	5-7
圖 5-5 氣候變動調適計畫進度管理示意圖 (環境省，2018，氣候變動適應計畫について)	5-7
圖 5-6 採用適應性管理的調適策略 (國土交通省，2015)	5-9
圖 5-7 目前發生氣候變動現象處理對策 (國土交通省，2015).....	5-9
圖 5-8 將未來之影響納入考量 (國土交通省，2015).....	5-10
圖 5-9 考量軟、硬體之綜合措施 (國土交通省，2015).....	5-11
圖 5-10 減少反覆施作的工程設計 (國土交通省，2015).....	5-12
圖 5-11 與自然環境和諧共生 (國土交通省，2015).....	5-13
圖 5-12 考慮地域特性並推動地方政府、企業與居民等之合作 (國土交通省，2015).....	5-14

圖 5-13 水災害調適策略的基本方向 1 (國土交通省，2015)	5-17
圖 5-14 水災害調適策略的基本方向 2 (國土交通省，2015)	5-17
圖 5-15 河川及下水道設施之綜合運用-下水道渠道串接網路化 (國 土交通省，2015).....	5-18
圖 5-16 發生頻率較高災害事件的防災對策-維護及更新措施	5-18
圖 5-17 最大化現有設施功能的運用-水壩災前放流作業 (國土交通 省，2015).....	5-19
圖 5-18 災害外力超過設施之防災能力 - (施設運用、構造、維護順 序等).....	5-20
圖 5-19 考慮災害風險之土地利用對策 (國土交通省，2015)	5-20
圖 5-20 災害外力超過設施之防災能力 - (城市規劃和社區發展合作)	5-21
圖 5-21 各單位協力整合之災害應變系統 (國土交通省，2015)..	5-22
圖 5-22 災害事件超過設施之防災能力 - (疏散避難、緊急活動、企 業持續計畫等準備工作)	5-22
圖 5-23 土砂災害調適策略 (國土交通省，2015，国土交通省の気 候変動への適応策).....	5-23

圖 5-24 土砂災害發生頻率增加之措施	5-24
圖 5-25 里山砂防理念 (資料來源： HTTPS://WWW.SFF.OR.JP/BIZ/3-2/).....	5-26
圖 5-26 促進綠化帶、里山砂防事業例 (HTTPS://WWW.MLIT.GO.JP/COMMON/001257024.PDF)	5-26
圖 5-27 土地利用及住宅使用之風險管理 (日経クロステック， HTTPS://XTECH.NIKKEI.COM/ATCL/NXT/MAG/NCR/18/00092/051800001/).....	5-27
圖 5-28 避難勧告與指示之發布範圍 (內閣府，2015).....	5-33
圖 5-29 避難準備情報之對象範圍 (內閣府，2015).....	5-34
圖 5-30 使用高精度地形圖以提升土砂災害警戒區判釋(國土交通 省，2020，近年の土砂災害における課題等を踏まえた土砂災害対 策のあり方について)	5-37

第一章 前言

第一節 研究背景

全球受到溫室效應導致氣候變遷，極端事件發生頻率與災害強度增加，其中降雨延時與強降雨之降雨型態變化，形成複合型土砂災害事件，包含淺層崩塌、土石流、深層崩塌、堰塞湖、洪水等多種災害型態，在時間、空間及其因果關連的交互作用下，不同於過往單一災害事件型態，其影響範圍及規模不斷放大；再加上海平面上升、颱風強度增加、豪雨與乾旱發生頻率增加等情況，造成暴潮及海岸侵蝕、大範圍洪水災害、土砂災害劇烈化與缺水危險性大增，使得國土保育及人民生命安全遭受巨大威脅，亦使國內河川及土砂防災治理上必須面對更加嚴峻之考驗（圖 1-1）。

例如，2009 年莫拉克颱風 (Typhoon Morakot) 期間高屏溪上游小林村遭大規模崩塌掩埋事件，於事件中形成堰塞湖而後潰決，導致下游嚴重土砂沖淤及洪水氾濫等災害；2015 年蘇迪勒颱風 (Typhoon Soudelor) 造成新北市新烏路台 9 甲線 10.5K 處大規模崩塌，使得多處上游聚落對外道路中斷形成孤島；2016 年莫蘭蒂颱風 (Typhoon Meranti) 導致台東縣紅葉村上方邊坡發生大面積崩塌，土砂衝擊聚落並造成下方道路、農田及 29 戶民宅遭土砂堆積。

面對氣候變遷衝擊與其衍生之災害造成嚴重災情，相關單位已逐步建立警戒避難系統，並適時檢討因應對策以完善管理機制。但由於氣候變遷為長期環境交互循環影響，因此，瞭解目前氣候變遷趨勢及國外防減災調適對策制定方向，有利於建立國內減緩及調適策略作為。本研究蒐集日本近期氣候變遷相關研究與報告，研析其因應作為、災

害風險評估、調適策略制定、防減災對策等整合及應用方式，同時重點摘錄氣候變遷情境預測、土砂災害特徵、調適策略制定方向及措施等，俾作為國內推動防災對策之參據，期能降低氣候變遷所導致之災害風險，強化整體防救災調適能力，精進河川及土砂防災對策，並建立坡地智慧防災。



圖 1-1 溫室效應影響下各類型災害之威脅（國土交通省河川局，2010）

第二節 研究目的

國內外目前對於氣候變遷下土砂災害進行許多研究，本研究藉蒐集國內外氣候變遷趨勢、近年土砂災害特徵、氣候變遷對土砂災害影響與衝擊、國內外對策等資料進行研析，其研究目的如下：

1. 蒐集相關文獻，並討論面臨氣候變遷衝擊問題、減緩策略、調適策略、防減災對策之制定與應對方法，以提供後續計畫參考。
2. 在氣候變遷情勢推估中，藉由歷史觀測資料、模擬情境資料、氣候變遷對降雨量變化率、未來氣候變遷趨勢、近年土砂災害課題等研究，以了解氣候變遷的變化與極端氣候事件衝擊。
3. 蒐集近年日本土砂災害事件，包含淺層崩塌、深層崩塌、土石流、洪水氾濫等，顯現出廣域且多發性、頻度高、災害外力大等災害變化特性，簡要摘錄各事件災害影響概況，彙整目前所遭遇之問題，並探討後續防災重點方向，作為未來防災對策修正與制定之用。
4. 因應降雨特性改變導致土砂災害劇烈化，日本相關單位研擬適當之防減災對策，然而，氣候變遷引致降雨特性改變與致災性土砂移動現象之關係，目前尚未有充足之科學研究資料，本研究綜整日本國土交通省因應氣候變遷在砂防技術、治水災對策、土砂災害防止對策、調適對策等資料，探討水災災害及土砂災害之影響，作為後續對策研擬之參考。

第三節 研究報告架構

第一章 前言，包含緣起、研究目的及研究報告架構。

第二章 氣候變遷情勢推估，主要是蒐集目前國內外文獻資料，藉由歷史觀測資料與分析趨勢、使用之模擬情境資料、未來氣候變遷趨勢等研究，探討氣候變遷情勢影響。

第三章 近年土砂災害的特徵，綜整日本近幾年所發生土砂災害事件，其災害皆明顯具有多處同時發生、受災範圍廣、災害外力劇烈化，嚴重土砂及洪水氾濫災害更加頻繁。由災害事件瞭解目前氣候變遷衝擊下所面臨之課題，並藉文獻蒐集與綜整各單位防災重點或建議施策方針，作為後續規劃河川及土砂防災對策參考。

第四章 氣候變遷對土砂災害的影響與衝擊，彙整國內外氣候變遷情境資料與瞭解脆弱度、危害度及災害風險評估等研究，探討洪水、土砂等災害影響與衝擊。並藉由災害外力、保全對象、災害防減災對策與設施設計標準等資料，探討未來氣候變遷潛勢衝擊下之因應對策，以作為未來規劃因應之調適策略。

第五章 日本河川及土砂災害因應氣候變遷對策研析，因應氣候變遷情境下之災害衝擊與風險評估，擬定防災目標，探討調適策略及方法的組合應用，最後檢討防災對策標準檢計，提供相關單位調適策略規劃，以達防減災之目的。

第六章 結論與後續策略參考，綜整氣候變遷情勢推估、近年土砂災害的特徵、氣候變遷對土砂災害的影響與衝擊、國內外對策等資料研析，瞭解目前日本氣候變遷對於河川及土砂防災對策等考量及制定過程，以供相關單位針對氣候變遷研擬因應之治理對策參考。

第四節 計畫相關用語說明

國內外已有許多研究針對氣候變遷情勢進行探討，本節蒐集目前相關文獻資料，藉由用語說明闡述各項名詞定義與災害風險代表涵意。有關氣候變遷相關研究之用語與定義，本報告引用聯合國國際減災戰略秘書處(UNDRR, United Nations Office for Disaster Risk Reduction) 所出版之「2009 UNISDR terminology on disaster risk reduction」及國科會所出版之「地方氣候變遷調適計畫規劃作業指引」，其說明如下：

一、 名詞定義

1. 可接受風險 (Acceptable risk)

一個社會或一個社區在現在社會、經濟、政治和環境條件下認為可以接受的潛在損失 (UNISDR, 2009)。

2. 行動計畫 (Action plan)

係指為了有效執行策略所必須採取的一序列的步驟，一項行動計畫包含 (1)具體任務：怎麼做、誰來做；(2) 時間安排：何時完成；(3) 資源分配：計畫執行的資金來源，每一項行動計畫皆有其應達成的工作與績效指標 (國發會，2018)。

3. 調適 (Adaptation)

調整人類或是自然系統以因應實際或是預期氣候的刺激(Stimuli)或它們的影響，以緩解危害或利用有益的機會 (UNISDR, 2009)。藉由對於氣候變遷的認識與了解，作各種因應的調整與準備，以適應各種氣候變化的改變，降低氣候變遷造成的衝擊，並且找尋有利的發展機會 (國發會，2018)。

4. 調適策略 (Adaptation strategy)

調適策略之訂定，基本有三大思維，即避開風險，以及降低風險。前者係優先避開高風險區位或行為，免於遭受氣候變遷的衝擊影響；後者則主要透過提升能力來降低風險，且可分為強化及預防兩種角度思考，以降低氣候變遷的衝擊（國發會，2018）。

5. 企業持續計畫 (Business Continuity Plan)

企業持續計畫為企業管理策略用以持續優先關鍵業務活動或是盡可能減少競爭對手或市場佔有度造成商業交易損失、災害中斷造成企業價值損失（內閣府，2015，「日本的災害對策」）。

6. 氣候變遷 (Climate change)

聯合國政府間氣候變遷委員會 (IPCC， Inter-governmental Panel on Climate Change)認為氣候變遷是一種氣候狀態的改變，可以藉由(統計測試)對氣候性質的平均值或變化量來確認，其變化會持續一段周期，通常是數十年或更長久。氣候變遷可能是由於自然內部的過程，也可能受到外部力量，或者是人類持續的活動改變大氣成份或土地的使用所引起；聯合國變遷綱要公約 (UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change)則是將氣候變遷定義為「直接或間接受到人類活動影響改變其全球大氣成份，且在可比較時間內觀察到自然氣候變異性。因此，UNFCCC 將氣候變遷定義主要是受到人類活動影響，而排除自然因素之影響。

7. 共效益 (Co-benefits)

由於各種原因同時執行政策的效益，包括對於氣候變遷的調適與減緩。例如氣候變遷提高暴雨發生頻率，可能增加洪水災害機率，因此水岸地區應劃設緩衝、滯洪地帶，在考量到居民安全性的同時，所保留下來的生態環境，也能提升溫室氣體的貯存量（國發會，2018）。

8. 合作 (Cooperation)

為了達到特定目標，參與者自願性投入工作、相互幫忙，而產生的集體努力。合作為協調的一部分，提供協調一個有效率的條件，反過來說，缺乏協調的合作是無效率的（國發會，2018）。

9. 協調 (Coordination)

為了追求共同目標，有秩序的安排行動，有效率的整合不同組織團體，亦即對於不同領域、地方或中央部會的參與計畫人員一同討論溝通、組織整合各項資源，以對於計畫目標達成共識（國發會，2018）。

10. 災害 (Disaster)

一個社區或社會的功能被嚴重破壞，涉及到廣泛的人、物質、經濟或環境損失和衝擊，且超出受影響社區或社會能夠以自身資源去應對；災害通常被表述為暴露於某種致災因子，現存的脆弱狀況，以及減輕或應對潛在負面後果的能力或措施不足（UNISDR，2009）。由於危害事件在脆弱的社會條件下，導致嚴重改變一個社區或是社會的正常運作，因此造成人類生命財產、經濟活動與環境的不利影響，此種情況需要立即的緊急狀況處置以滿足關鍵性的人類需求，且可能需要外界的力量支持協助復原（國發會，2018）。

11. 暴露 (Exposure)

人員、財物、系統或其它物品處在危害地區，其因此可能受到的損害。例如可以用來衡量暴露程度的有：某個地區有多少人或多少類資產，並結合暴露在某種致災因子下物體的脆弱性，來估算所關注地區與該致災因子相關的風險數值（UNISDR，2009）。

12. 可行性分析 (Feasibility analysis)

實行一項計畫前，對其技術與成本效益進行評估，以選擇最佳方

案 (國發會, 2018)。

13. 回饋機制 (Feedback mechanism)

氣候系統一部分的改變會造成其他部份改變,而被改變的部分又反過來加強或減弱原來改變的秩序,此機制即稱為氣候回饋。氣候變遷的回饋會朝兩個方向運作,正回饋 (positive feedback) 使改變增強,負回饋 (negative feedback) 則減少降低改變。例如全球平均溫度升高,促使海水蒸發加快,大氣中水汽含量增加,水蒸氣是溫室氣體,所以這是一個的正回饋,另一方面,水氣增加後會導致雲層變多,減少到達地表的太陽輻射,可以降低溫度,是一個負回饋 (國發會, 2018)。

14. 財務機制 (Financial mechanism)

經由一套制式之標準與程序,評估經費預算、募集與分配資金等,使地方政府或規劃團隊足以有效執行氣候變遷之減緩與調適工作,提高計畫之財務可行性 (國發會, 2018)。

15. 危害 (Hazard)

一種危險現象、物質、人為活動或造成生命損失狀況、受傷或其他對健康影響、財物毀壞、生計和服務損失、社會和經濟混亂、或環境損壞 (UNISDR, 2009)。可能造成生命損失、傷害或其他人身健康影響的自然或人為事件,也包含了財產、設施、生活、服務提供與環境資源的破壞與損失 (國發會, 2018)。

16. 聯合國政府間氣候變遷委員會 IPCC (Inter-governmental Panel on Climate Change)

聯合國「政府間氣候變遷委員會」(Intergovernmental Panel on Climate Change, 簡稱 IPCC) 是評估氣候變遷且具重大影響力的國際科學組織,由聯合國環境規劃署 (United Nations Environment

Programme, UNEP) 及世界氣候組織 (World Meteorological Organization, WMO) 於 1988 年共同設立。此一國際組織結合來自世界的科學家，共同提供氣候變遷的科學視野，包括氣候變遷趨勢、目前的研究程度，以及氣候對環境與社會經濟之潛在衝擊等 (國發會，2018)。

17. 地方參與 (Local involvement)

地方參與強調由下而上的參與方式，除了須邀集中央政府機關代表、地方政府與氣候變遷調適議題相關的各局處代表之外，最重要的是納入地方非利害關係人，包括非政府機構 (NGO)、社區民眾組織、教育與學術機構的氣候變遷專業人員等 (國發會，2018)。

18. 監督機制 (Monitoring mechanism)

有效落實規則，幫助政府監督執行階段及進展，找出阻礙及適用的方法 (國發會，2018)。

19. NHRCM20 (Non-Hydrostatic Regional Climate Model)

為區域氣候模式，其空間解析度為 20 米，計算範圍為日本周邊 (水平為 211*175 網格數，垂直為 40 層)，使用 Kain-Fritsch Scheme 架構計算雲層對流，以 1984 年至 2004 年為基期資料預測重現未來 2080 至 2100 氣候變遷狀況 (日本氣象廳氣象研究所，2015)。

20. 無悔 (No-Regrets)

無論是否有氣候變遷，都可以產生社會淨效益的政府。溫室氣體排放減量的無悔機會，係指那些除了帶來避免氣候變遷的效益外，還能使降低能源利用與減少地區污染物排放的效益等於或大於它們的社會成本的選擇 (國發會，2018)。

21. 韌性 / 回復力 (Resilience)

暴露於致災因子下的系統、社區或社會及時有效地抵禦、吸納和承受災害的影響，並從中恢復的能力，包括保護和修復必要的基礎工程及其功能 (UNISDR, 2009)。回復力亦有翻譯為韌性，其難以測量，要了解回復力的程度必須知道系統狀態與門檻值狀態間之差距。當系統受到干擾時，經過調適、同化、自我組織等方式回復至原穩定狀態。若所受之影響程度超過門檻值，則會產生變異並且趨於另一個系統穩定狀態而非原始之穩定。系統為了適應環境的動態變動必須不斷的進行改變，回復力的影響從未間斷，而回復的程度端視系統能在多短的時間內找到停損點，亦或在多短的時間內能回復到應有的系統規模、程度 (國發會, 2018)。

22. 減災 (Mitigation)

減輕或限制致災因子和其相關災害的不利影響 (UNISDR, 2009)。係指以人為干預的方式減少溫室氣體的排放量或增加溫室氣體的貯存量，以期能減緩氣候變遷問題的發生速度或規模 (國發會, 2018)。

23. 代表濃度途徑 (Representative Concentration Pathways, RCPs)

RCPs 情境全名為代表濃度途徑 (Representative Concentration Pathways, RCPs)，乃 IPCC 於 2007 年所提出。IPCC 第一工作分組所做的氣候變遷推估中，需要對未來溫室氣體、氣溶膠的排放或濃度，以及其他氣候驅動機制的相關訊息有所描述，這些訊息通常是以人類活動情境來表達，其設定並不納入太陽、火山或是自然界的甲烷、一氧化二氮等自然界驅動力的改變，僅僅關注在人為造成的排放。在 IPCC 第五次評估報告中，是以「代表濃度途徑」（途徑所指的是濃度的變化歷程）來重新定義四組未來變遷的情境，並以輻射強迫力在

1750 年與 2100 年之間的差異量當作指標性的數值來區分之(科技部臺灣氣候調適科技服務，
http://sdl.ae.ntu.edu.tw/TaiCATS/knowledge_detail.php?id=17)。

24. 風險 (Risk)

一個事件發生的機率和它的負面結果的綜合 (UNISDR, 2009)。依據聯合國教科文組織 (UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) 定義，風險所表達的是一程可能性或是衝擊的不確性狀況，例如突發或極端事件，如果事件發生時，對於計畫目標的實現所造成的影響為獲益或損失是無法預期的 (國發會，2018)。

25. 風險管理 (Risk management)

「風險管理」是指對一地區可能發生災害、事故的作用加以處理，以避免可能發生損失。風險管理涉及到資源的特性、作用的特性與利用資源的可能災害、損失等問題。隨著地表自然作用的規模與頻率越來越大，人類可能承受的災害風險也越來越高。因此透過系統的分析，對於將可能發生風險的地點、原因與可能發生的演變，可有更深入的瞭解，從而減少風險的損失 (國發會，2018)。

26. 排放情境 SRES (Special Report on Emissions Scenarios)

IPCC 在 2000 年發表未來發展與排放情境的特別報告，對於全球與區域的社會、經濟、科技、環境等變化設計不同的情境，分別以 A1T, A1FI, A1B, A2, B1, B2 等簡稱代表，其中數字 1 與 2 分別表示未來的社會將 (1) 更朝全球化發展或 (2) 開始著重區域特性。第一個英文字母 A 與 B 則是區別未來的經濟是 (A) 以市場導向發展為重或 (B) 以環境保護優先。A1 情境又進一步區分為：A1T 主要

是強調替代的再生能源進展迅速，大量減少化石燃料的運用；A1FI 則是假設化石燃料依舊是主要能源的生產源；A1B 則是同時運用再生能源與化石燃料，發展比較平衡（國發會，2012）。

27. 利害關係人 (Stakeholder)

在某一特定政策或措施下享有合法 / 合理利益的行為者，或其權益會受此政策影響者（國發會，2018）。

28. 策略規劃 (Strategic planning)

策略規劃的重點在於如何用一個系統性的方法形成策略，首先為檢視環境並選擇主要的議題，設定願景與建立主要目標後，分析內部資源與外在環境，並評估機會與威脅，其特別強調分析現在及未來的情境，以決定發展方向，建構對應各項議題的目標、標的與策略，最後發展行動計畫以實現目標與策略。策略規劃將規劃程序分為幾個主要階段，各階段內的工作項目與達成事項均詳細描述，階段之間亦要不定期回顧檢視修正（國發會，2018）。

29. 工程性和非工程性措施 (Structural and non-structural measures)

工程性措施，係指任何用於減輕或避免可能的致災因子影響的硬體性建設，或是工程技術的應用，以便在工程或系統中獲得對致災因子的抵抗力 (hazard-resistance) 和韌性 (resilience) (UNISDR，2009)。

非工程性措施，係指任何不涉及硬體性建設的措施，其運用知識、方法或協議來減輕風險及其影響，特別是運用政策、法律、公民意識的提高、培訓和教育 (UNISDR，2009)。

30 國土交通省緊急災害派遣隊 (Technical Emergency Control, TEC-FORCE)

TEC-FORCE 緊急災害對策派遣隊是由國土交通省於平成 20 年 (2008 年)成立，其成員由國土交通省，氣象廳、國土技術政策總合研究所、地方運輸局、地方整備局等組成。TEC-FORCE 是當大規模自然災害發生時，協助地方政府快速掌握的受災狀況、防止受災擴大、儘早恢復提供技術支援，以順利實施相關措施 (國土交通省網頁資料：<https://www.mlit.go.jp/river/bousai/pch-tec/index.html>)。

31. 權衡 (Trade-off)

在不可同時兼得的條件下考慮合適之平衡、折衷之道，是為權衡。進行權衡評估之第一步驟必須先檢視兩者或兩者以上事件、方案是否彼此有所衝突，例如在減緩與調適兩策略上，為了降低洪災所加高之傳統水泥堤防對於減少溫室氣體排放是有衝突的。因此權衡必須先對各方案有系統的、全面性的找出彼此之衝突，並在考量應如何行動時，詳細評估各方案之優劣、未來會面臨之機會與威脅，同時考慮方案間之關係，才能對各方案作出取捨，或尋求最合適、平衡的折衷方案 (國發會，2018)。

32. 脆弱度 (Vulnerability)

一個社區、系統或資產的特徵和環境使其易受到某種危害因子的破壞作用 (UNISDR，2009)。就廣義而言，脆弱度即是描述一種脆弱狀態的程度。一般將脆弱度的認定劃分成兩類：自然環境脆弱度與社會脆弱度。前者之分析重點主要是在探討災害強度、頻率，以及人類於災害地區之暴露情況，後者則是在分析人類具備面對災害的應變能力 (國發會，2018)。

二、災害風險定義

依照 IPCC AR5 風險之定義如圖 1-2 所示，考量各項因子的作用，災害風險是由危害度、脆弱度及暴露度等三項因子交互作用之衝擊結果。災害 (Disaster) 廣義定義係指人類生命財產或環境資源因危害發生而導致大量損失之事件，而災害風險則表示特定危害發生的可能性。因此，危害指的是威脅的因子，而風險則指危害發生的機率，至於災害，則指危害後果的具體實現 (范正成，2019)。

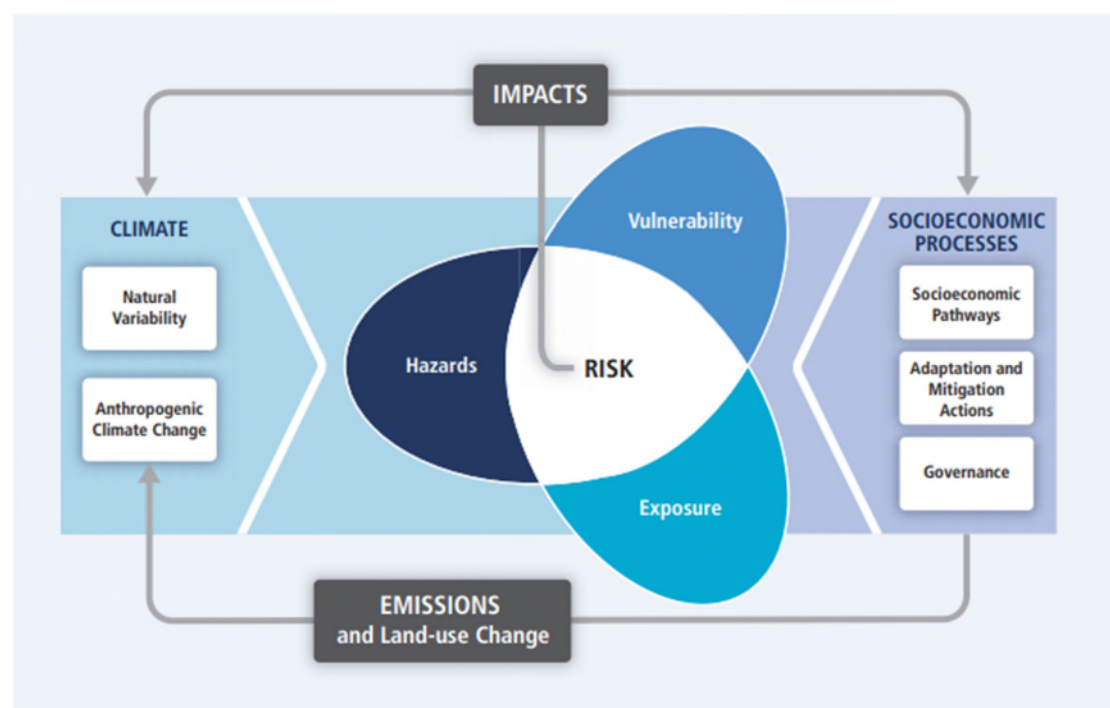


圖 1-2 氣候變遷衝擊之風險概念 (IPCC WGII AR5, 2014, Risk of climate-related impacts results from the interaction of climate-related hazards (including hazardous events and trends) with the vulnerability and exposure of human and natural systems)

由國內外文獻定義之災害風險綜合整理如表 1-1 所示，大致上依循 IPCC AR5 之定義，在應用上係依據研究面向不同而訂定符合目標之風險指標，例如科技部災害管理資訊研發應用平台之氣候變遷災害衝擊與調適項目，利用風險定義進一步評估災害風險等級，以「淹水

災害風指標」為例 (圖 1-3)，其考量因子如下：

危害度：氣候變遷導致之氣候特性變化衝擊。以基期 (1979~2003 年)與未來推估 (2075~2099 年) 期間極端降雨之發生機率 (以 24 小時內降雨超過 600mm)，統計各地區平均機率。

脆弱度：系統面臨氣候變遷危害所造成的影響程度。不同淹水深度 (淹水深度 3 公尺以上、2~2.5 公尺、1.5 ~ 2 公尺、1~ 1.5 公尺、0.5~1 公尺及無淹水等六個等級) 所涵蓋之淹水面積，各別計算其淹水深度等級權重，進而分析淹水災害評分值與淹水指標。

暴露度：災害可能影響對象。以人口密度表示。



圖 1-3 淹水災害風險指標 (災害管理資訊研發應用平台，
http://dmip.tw/Lthree/2017/riskapp/report/2_3.aspx?counted=1)

另外對於不同研究面向而言，風險指標內容會有所不同，以「坡地災害風險指標」(圖 1-4)為例，其考量因子如下：

危害度：以基期 (1979~2003 年)與未來推估 (2075~2099 年) 期間極端降雨之發生機率 (以 24 小時內降雨超過 350mm)，統計各地區

平均機率。

脆弱度：歷史崩塌指標（反映山坡地裸露現況與未來崩塌再發生之可能性）、坡度指標（參考山坡地土地可利用限度以及建築技術規則規定，計算六級坡所佔面積比例）、地質災害潛勢（係以中央地質調查所公告的地質資料，包含岩屑崩滑、岩體滑動、落石及順向坡等 4 類地質資料計算所佔面積比例）等三者作為脆弱度指標。

暴露度：以人口密度表示。

建議在選擇指標時，每類指標盡量維持 2~3 個指標，避免因指標過多相乘後，造成指標特性無法顯現。在挑撰指標時亦需考量是否具有代表性，可表示災害潛勢做為指標來分析（災害管理資訊研發應用平台）。

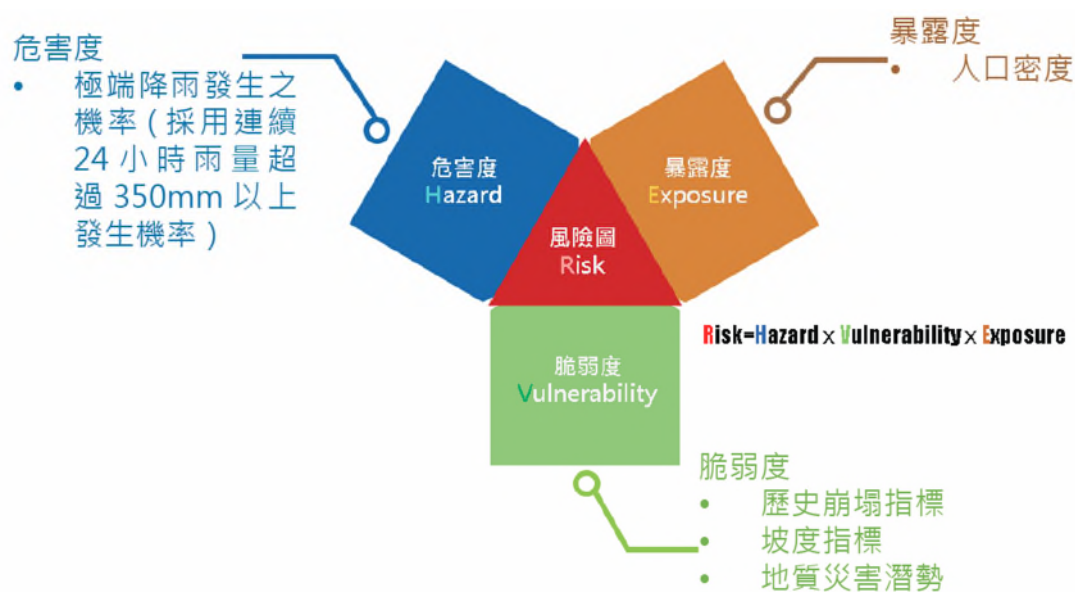


圖 1-4 坡地災害風險指標（災害管理資訊研發應用平台，

http://dmip.tw/Lthree/2017/riskapp/report/2_3.aspx?counted=1)

表 1-1 國內外文獻定義之災害風險

風險定義	資料來源
風險應為脆弱度、暴露和危害度三者相互作用下的結果。 危害度係指自然或人為產生的物理事件、趨勢或其物理影響，可能會導致傷亡或其他健康影響，以及財產、基礎設施、生計、服務供應、生態系統、環境資源的損害和損失；在此報告中，「危害」一詞通常指與氣候有關的物理事件、趨勢或其物理影響。 暴露度為在環境中可能會受到不利影響的人(與其生活)、物種或生態系統、環境機能、服務和資源、基礎設施、經濟、社會或文化資產。 脆弱度包括敏感度(sensitivity)、易受傷害以及缺乏應對和適應能力等概念。財富、社會地位和性別等一系列的因素決定與氣候相關風險的脆弱度和暴露度。	IPCC, WGII AR5, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability.
風險代表氣候變遷造成有價值的事物處於險境且結果不確定的可能性，通常為危害性事件或趨勢發生的概率乘以這些事件或趨勢發生造成的後果。 脆弱度表示系統容易受到負面影響的傾向與本質，包括其敏感性、容易受災特性、以及缺乏應付與適應的能力。 暴露則為人類生命、生計、物種或生態系統、環境服務與資源、基礎建設、經濟、社會與文化資產處於有可能遭受不利影響的位置與設置。 危害則表示可能發生的自然或人為物理事件或趨勢，或物理影響。它可造成生命損失、傷害或其它健康影響，以及財產、基礎設施、生計、服務提供、生態系統以及環境資源的損害和損失。	童慶斌等人， 2015，氣候變遷水資源風險評估與調適決策之探討

IPCC SREX (2012) 報告與 IPCC Fifth Assessment Report (簡稱為 IPCC AR5) 的定義，採用三項指標相乘積做為分析風險圖的依據。 危害度為災害發生的自然變異因素與程度，如強降雨、颱風次數增加等造成的災害。以淹水和坡地災害為例，主要考量降雨因素造成的自然危害。 脆弱度為系統面臨特定危害是否容易致災的程度，如該地區是否容易淹水或是發生坡地崩塌。 暴露度為災害可能受影響的對象，可能是人口、設施、作物、經濟行為...等。	災害管理資訊研發應用平台，氣候變遷之災害衝擊與調適 (http://dmip.tw/Lthree/2017/riskapp/report/1_2.aspx?counted=1)
氣候變遷是人類與地球系統複雜的交互作用下的產物，人類活動產生的溫室氣體驅使氣候變化，而氣候變遷的衝擊則會反過來影響人類社會。發生這些衝擊的機率或可能性即為風險，氣候變遷風險則受危害度、暴露量、脆弱度三大因素影響。 危害度：這些氣候變遷現象與極端事件之大小，例如颱風的強度。 暴露量：一個系統是否會接觸在此危害之下，其暴露程度大小為何？例如：颱風是否侵襲臺灣與登陸？ 脆弱度：此系統本身特性是否脆弱，或有能力因應此危害。例如：颱風路徑上鄉鎮的自然環境、社會經濟狀況是否脆弱？	中研院永續科學研究計畫「台灣乾旱研究：變遷、水資源衝擊、風險認知與溝通(2016-2018)計畫」，2019，「臺灣氣候變遷乾旱風險評估與調適」。

第二章 氣候變遷情勢推估

國內外已有許多研究針對氣候變情勢進行相關研究，本章蒐集目前日本相關文獻資料，整理各領域災害所面臨之課題，而後在氣候變遷情勢推估中，藉由歷史觀測資料、分析趨勢、模擬情境資料、氣候變遷對降雨量變化率、未來氣候變遷趨勢、近年土砂災害課題等研究，以了解氣候變遷的變化，如全球氣候變遷所引發升溫情境、極端高溫、降雨型態變化、水資源匱乏、海平面上升、極端氣候事件等衝擊，探討氣候變遷情勢。

第一節 氣候變遷相關文獻蒐集

本節將所蒐集之文獻內容，針對有關氣候變遷對河川及土砂影響等進行彙整，以瞭解目前氣候變遷下相關各領域所面臨之衝擊課題，並綜整如表 2-1 所示。目前整理各領域所面臨災害主要以洪水、土砂、災害外力增大、廣域災害、避難行動、預警資訊與發布、調適策略評估與調整、土地利用管制、跨域合作等議題，為氣候變遷影響下造成極端事件，以頻率、強度、空間範圍、持續時間、發生時間等氣候型態變化呈現。如極端降雨發生頻率提高，因而導致短延時強降雨、颱風規模與強度增加、廣範圍雲雨帶及滯流鋒面型等降雨型態發生，造成土砂與洪水同時發生之複合型災害。其次，考量到被害地區之災害規模及影響範圍廣大，由於突發性土砂災害難以預測，直接間接造成預警疏散反應時間不足，更使得相關單位難以制定警戒值及預警發布時間等問題出現。另外，氣候變遷影響下導致災害事件之規模與程度逐年增強，其災害外力超過硬體工程防護能力，造成目前所規劃設計之防護標準不足以因應災害事件，因此，在調適策略之制定上，除了

降低災害現象之防災減災對策外，仍需藉由歷史資料及基礎研究，依據科學調查及研究成果，建立合適之災害調適策略。

表 2-1 氣候變遷下各領域災害面臨之課題

文獻名稱	年份	領域	氣候變遷之衝擊課題
水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について(答申)(日本国土交通省社会資本整備審議)	2008	洪水災害	受到降雨量變化及豪大雨發生頻率增加影響，使防汛安全存在潛在損失。
		土砂災害	隨雨量變化及豪大雨發生頻率增加，使得崩塌、地滑災害等風險增加，致使土砂災害更嚴重。
		暴潮、海岸侵蝕	受海面上升及颱風強度增加，引發暴潮水位增加及海岸侵蝕問題。
		水資源匱乏	受到枯水期越枯、豐水期越豐之影響，用水標的需求程度變化，使乾旱危險性增加。
		河海環境變化	河川流量減少、泥砂量變化、海水水位增加、水溫增加所引起的環境改變課題。
気候変動下における水・土砂災害適応策の深化に向けて(日本學術會議 土木工學・建築學委員會)	2011	災害外力増大時之調適策略演進	1. 因應災害現象變化，建立新防災技術系統 2. 地域調適策略的檢討與實踐的提升 3. 巨大災害對世界經濟影響之研究 4. 國家、社會、經濟結構等綜合檢討及研究系統之建立
		水、土砂災害調適策略的精進	1. 製作調適對策年報 2. 基礎技術研究的精進 3. 組織間問題意識整合及研究精進 4. 國際合作與國內對策的融合，及因應育成相關人材培育
国土交通省気	2015	水災	1. 超過設施承受度的水災發生

候變動適應計畫-氣候變動 がもたらす我が国の危機に 総力で備える (国土交通省)			次數增加 2. 發生頻率較低，但外力(如豪 雨、暴潮等)明顯超出設施承受度
		土砂災害	1. 短時間強降雨增加，土砂災害 發生頻率增加 2. 突發性的局部強降雨造成土 砂災害增加，並縮短警戒避難的 時間 3. 颱風強度增加，造成深層崩塌 等災害會因颱風降雨量破紀錄 加劇土砂災害
水災害分野に おける氣候變 動適應策のあ り方について ～災害リスク 情報と危機感 を共有し、減 災に取り組む 社会へ～(答 申)(日本国土 交通省社會資 本整備審議)	2015	水災	1. 災害外力導致相對發生次數較 高水災之防止問題 2. 檢視及改善現有治水防洪工 程，如壩體加高、排洪道增加等 來強化防洪功能 3. 確實進行設施維護和更新，確 保功能正常 4. 確保水閘門正常運作及操作 人員安全，並著重於自動化及遠 端控制功能發展 5. 為促進綜合土砂管理，應建立 一個有效的組織架構，使流域內 的相關單位能有系統地持續合 作。
		土砂災害	1. 豪雨及短時間強降雨發生頻 率增加將增加土砂災害發生頻 率 2. 快速發展的積雨雲等突發性、 局部性強降雨增加、土砂災害發 生增加等，預警疏散的時間縮短 3. 颱風強度增加，致使總降雨量 超過 1000 mm 強降雨記錄頻率 增加，將引發生深層崩塌等超過 計畫規模的土砂移動事件 4. 降雨頻率的增加，使土石流於

			流域邊界發生溢流且發生於河谷地貌不明顯地區頻率增加 5. 由於颱風造成風倒和土砂移動現象頻率增加、規模擴大，導致漂流木伴隨土砂流出之災害發生頻率將增加
大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策のあり方について～複合的な災害にも多層的に備える緊急対策～(答申)(日本国土交通省社會資本整備審議)	2018	水災	1. 超出既有設施防護能力之災害事件，如大量降雨造成廣域淹水及土石流事件發生 2. 眾多因素造成水災災害發生，例如迴水現象、土砂和洪水造成河川氾濫及區域淹水等 3. 氣候變遷引起的強降雨增加趨勢明顯化
		避難撤離	逃生不及導致大量人員傷亡，由於周遭地區已處於危險之中，或是撤離時災難已發生，因而無法順利避難或逃生
		防洪設施的運作資訊	1. 在一定規模下的豪雨時，堤壩、下水道、抽水機、水閘門等設施能確保區域之安全，但居民沒有充分認知到，當超過防洪設施承載能力時，會造成危害及損失。 2. 在此種情況下，居民並不知道該處區域的風險狀況與防洪設施的運作狀況，因此沒有引起居民防災避難的緊迫感。
		廣域的災害	1. 派出人員到多個地方整備局協助災害緊急應對，但由於情報有限，無法適切對人員及資源等進行分配規劃 2. 受限廣域災害區域，災害初期很難具體掌握整體情況，並即時採取行動，例如進入私人土地清理淤砂、漂流木等
近年の土砂災	2020	土砂災	1. 在土砂災害警戒區必須建立/

害における課題等を踏まえた土砂災害対策のあり方について(答申) (日本国土交通省社會資本整備審議)	害 預 警 區 域	維護預警避難系統 2. 某些發生土砂災害地區未達到被指定為土砂災害警戒區 3. 現行土砂災害警戒區的指定標準需再研議 4. 居住於土砂災害警戒區之民眾，尚無意識到土砂災害潛在危險與損失之防災意識
	防 災 地 圖	在完成土砂災害警戒區之指定後，但尚未完成防災地圖，致使民眾無法意識到居住區域危害風險，同時缺乏對防災地圖之認知。
	土 砂 災 害 預 警 情 報	1. 土砂災害預警發佈市村町與實際發生災害市村町其誤報率過大，正確性仍有待改善 2. 發布預警後，仍未到達危險降雨量 3. 雖已達到危險降雨量，但並未發生土砂災害，且距實際發生土砂災害仍有很長時間 4. 災難已發生，且經過很長時間，但不知道期間之危險度變化情形
	警 戒 避 難 系 統	1. 夜間發出警戒避難情報，市町村難以做出避難勸告的建議。 2. 居民不瞭解土砂災害的危險性，可能不採取避難疏散行動，顯現防災教育上仍有許多不足。 3. 地方政府間對於推展防災活動並不一致。 4. 由於水災和土砂災害是同時發生的，因此很難掌握土砂災害的發生資訊，需提升土砂災害發生預測的技術，包含災害發生時間等重要資訊。

大規模氾濫に対する減災のための治水対策のあり方について～社会意識の変革による「水防災意識社会」の再構築に向けて～(答申)(日本国土交通省社会資本整備審議)	2015	水災	1. 河川管理者所提供的防災情報不易理解且説明不足，市町村、居民等對於水災風險認知和準備不足，在緊急情況下無法做出適切的判斷及行動。 2. 在河川整備開發中，除了考慮上下游平衡外還要考慮財政負擔，因此，在堤防整備不完整的地方將很難快速解除其高氾濫的危險性。 3. 在氣候變遷影響下，過往在河川內設置確保洪水順利排洪措施，能減輕多少損失是有限的。
		防災與避難疏散工作	1. 在大範圍的避難疏散工作如果沒有事前充分準備，一旦發生大規模氾濫導致大量人員需疏散，可能無法即時撤離。 2. 防救災人員負責各種不同的防災任務，但防災人員不一定有足夠的專業知識，近年來防救災工作其數量和品質上不斷增加，將造成防災人員無法適當地執行防救災工作。
中小河川等における水防災意識社会の再構築のあり方について(答申)(日本国土交通省社会資本整備審議)	2017	機關間合作的基礎軟體對策	在中央管轄河川中，由減災對策委員會研討所採用的措施已實施並有成效者，建議在地方政府管理河川中進行同樣的防減災措施。
		提供及分享情報以進行避難	1. 在緊急情況時，河川管理者的情報可能無法即時傳達給市町村長，因此發生是否確實發佈避難警報的問題 2. 對於未指定河川警戒水位的河川，無法提供發布避難疏散等的支援決策情報
		確保河	由於少子化、高齡化等人口減少

		川 管 理 設 施 的 功 能	及當地社區變化等因素，未來恐造成河川管理設施之操作人員斷層或缺少人力操作
		相 應 災 害 風 險 的 土 地 適 切 利 用	以確保安全的觀點，對於發生洪水氾濫之地區，其沿岸設施、建築年齡、被害情況等因子，由於災害風險地區之土地並不一定能有最大適切使用，應考量災害風險，作相應之土地使用。
		中 小 河 川 的 治 水 對 策	1. 考慮上下游整治及財政資源限制，其維護水準並不高，再者，由於局部地區暴雨增多情況，導致很多地區的洪水災害超過現有設施的防護能力。 2. 對道路、鐵路與農田等造成極大破壞，不僅延誤復原時間和重建規劃外，甚至影響受災地區以外地方。
		對 地 方 政 府 的 支 援	1. 都道府縣所管理的河川數量眾多，且治理長度較長，由於地方政府職員數量減少及經驗不足情況下，如發生廣域性災害，則可能對災害應對造成障礙，如情報收集與提供等。另外根據災情的不同，地方政府可能難以快速展開復原工作。 2. 由於防災人員數量減少及人口老化，弱化市町村等防災組織的防災系統，造成地方防災應對能力下降。
地方氣候變遷 調適計畫規劃 作業指引（國 發會）	2018	土砂	1. 降雨強度增加，導致坡地災害風險提高，直接衝擊山區道路、聚落安全、山區觀光與產業，以及高齡化人口與醫療資源缺乏之防災弱勢族群。 2. 降雨不均將影響土壤保水能

			力，進一步危及水土環境永續與安全
臺灣氣候變遷科學報告 2017－衝擊與調適面向（國家災害防救科技中心，童慶斌主編）	2017	坡地災害	1. 極端降雨頻率與強度增加的趨勢，使得臺灣坡地災害風有逐漸提高的趨勢。 2. 氣候變遷影響下，對於坡地災害之風險，其土砂量衝擊、土石流潛勢溪流數量等皆有影響
		淹水災害	氣候變遷衝擊下，部份河段有河道溢堤或出水高不足之情況，並影響部份地區淹水與洪水氾濫風險，有明顯增加趨勢。
		乾旱災害	降雨量減少與不降雨延時長，發生旱災的機率增加，因此呈現豐水期降雨增加，枯水期降雨減少的情況，將不利農業、工業及民生用水供應。
106 年度氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫綜合管理（水保局，2017）	2017	坡地災害	1. 大規模崩塌危險區域判釋及評估 2. 大規模土砂災害區治理與資源運用 3. 實效性大規模崩塌防減災調適策略制定 4. 建立防災物聯網機制，以提供即時防災資訊傳遞 5. 提升民眾防災意識及自主防救訓練 6. 建立相關單位之橫向連結及跨域合作
國家氣候變遷調適政策綱領（行政院經濟建設委員會，2012）	2012	災害	1. 降雨強度增加，提高淹水風險及導致嚴重複合型災害。 2. 侵台颱風頻率與強度增加，衝擊防災體系之應變與復原能力等。
		維生基礎設施	重要維生基礎建設(橋樑、道路、水利、輸配電及供水設施)因區位

			不同，受到豪雨、水位上升等災害類型及損失亦不相同。
		水資源	1. 降雨型態及水文特性改變，提高河川豐枯期差異及複合型災害風險。 2. 氣溫及雨量改變，影響灌溉需水量、生活及產業用水量，使得水資源調度困難。 3. 河川流量極端化，河川水質亦受影響。
		土地使 用	極端氣候影響，使環境脆弱與敏感程度相對提高，突顯土地資源運用的安全性與重要性等議題。
		海岸	海平面上升，原有海岸防護工程、景觀及資源遭受破壞，造成國土流失等。
		能 源 供 給 及 產 業	1. 能源需求發生變化，可能無法滿足尖峰負載需求。 2. 各產業之能源成本與供應受衝擊。 3. 企業之基礎設施受氣候變遷衝擊，引發投資損失或裝置成本增加等。
		農 業 生 產 及 生 物 多 樣 性	1. 溫度升高，降雨量不足等，打亂作物生長期，農產品產量及品質面臨不確定性，危及糧食安全；漁業生產力亦受影響。 2. 環境變化影響生態系原有棲地，造成生物多樣性流失等。
		健康	溫度上升，升高傳染性疾病流行的風險，亦增加心血管及呼吸道疾病死亡率，加重公共衛生與醫療體系負擔。

綜觀表 2-1 氣候變遷下各領域災害面臨課題，可概分為自然災害(水災、土砂災害、暴潮與海嘯)、災害潛勢區劃設(土砂災害警戒區、危險區域)、避難機制(預測模式精進、警戒避難發布機制)、防減災整備等課題。因此，為保全社會經濟、維生管線(交通與物流中斷、水資源利用、水質變化)、人民生命財產等，有必要深化基礎研究與人才培育、新技術與新興科技應用、各單位跨域與協力合作等，以具體化氣候變遷河川與土砂災害防災因應對策。

此外，氣象型態轉變包含發生頻率、強度、影響時間與空間範圍及衍生災害發生時間等發生變化，災害事件顯現出群發性、廣域性及劇烈化等特性，其災害型態不再單純為單一事件之水災或土砂災害型式，而呈現廣域之複合型災害。以高雄甲仙區小林村為例，獻肚山大規模崩塌形成天然壩堰塞湖，並衍生堰塞湖潰決產生土砂與洪峰沖擊，造成下游地區影響範圍擴大，大量土砂進入河道形成劇烈河床變化，其影響時間尺度延長，此大規模崩塌災害事件造成小林村 474 人遭到土砂掩埋死亡，其被害規模巨大。

因此，受到氣候變遷影響下，極端降雨發生頻率提高(短延時強降雨、長延時降雨)、廣域雲雨帶、梅雨鋒面提高水蒸氣流入導致降雨量增加等情形，造成土砂與洪水氾濫複合型態災害事件頻繁發生，如突發性？同時，土砂災害，影響預警避難發布時機點與民眾是否有足夠避難行動時間同時，且由於災害外力增加，對於防災設施之防護能力是否能提供足夠安全度以保護民眾與基礎設施？這些議題未來仍有待考驗。

第二節 氣候變遷所面臨課題

由上述文獻所探討各領域所面臨的問題，如考慮氣候變遷對於河川及土砂災害之影響，由於降雨型態之轉變，短延時強降雨、廣範圍雲雨帶、滯流鋒面型降雨等為誘發坡地災害之原因，導致原先所設計防減災工程標準不足以因應不同降雨型態，所帶來之災害規模與衝擊，傳統防減災機制及治理工程無法有效因應，因此河川及土砂防災對策之制定需隨時更新與精進。有關氣候變遷對於河川及土砂防災相關課題，大致上歸納其重點如下：

一、 極端降雨發生頻率提高

降雨型態改變，大雨以上等級之降雨量增加，再加上短延時強降雨、滯流鋒面型降雨等型態變化，增加自然災害影響面積及災後復原時間。颱風規模與強度改變，導致總降雨量、最大風速與颱風半徑等影響範圍增加，使得硬體工程設施防護能力不足以因應。

二、 災害規模及範圍廣大

受降雨型態改變影響，突發性土砂災害導致預警及疏散反應時間不足，如大規模土砂災害或複合型土砂災害等，相關單位難以制定警戒值，其預警發布時間難以掌控，且受災範圍廣大及影響範圍廣大，致使相關單位制定的疏散避難計畫難以實行。

三、 災害外力超越硬體工程設施防護能力

災害外力強度及發生頻率不斷增加，當發生現行硬體工程設施不足以因應災害外力時，其減災策略思考方向，除硬體工程設施之更新與改善外，更需搭配向居民提供警戒訊息、演練及避難等各項軟體措施，藉由防災訓練和防災教育等來普及民眾防災意識，並徹底通知民

眾災害潛勢區及避難路線等資訊，以確保民眾能儘早遠離高風險地區。

第三節 氣候變遷情勢推估

根據 IPCC 第五次評估報告，目前全球暖化嚴重，全球平均氣溫在 2003 ~ 2012 年間比 1850 ~ 1900 年上升 0.78°C (圖 2-1)，在未來預測情境中至 21 世紀末時全球平均氣溫將上升 $0.3 \sim 4.8^{\circ}\text{C}$ (圖 2-2)，將使海平面水位上升 0.26 ~ 0.82 公尺，致使二氧化碳濃度增加、海水位上升、颱風劇烈化、乾旱與無降雨日數增加等氣候現象發生，在此情況下短延時強降雨發生次數將增加，則預估更劇烈降雨型態將提高災害風險，導致更多水、砂災害、暴潮災害、旱災等災害規模及強度增加情形。

日本氣象廳指出，目前日本時雨量超過 50 毫米的短延時強降雨發生機率為 30 年前的 1.4 倍 (平均 174 回上升至 238 回)，時雨量超過 80 毫米 (平均 10.7 回上升至 18.1 回) 及 100 毫米 (平均 1.9 回上升至 3.2 回) 約為 1.7 倍 (圖 2-3)，顯示大雨日數增加，但與此同時，無降雨日數亦增加，而以北海道與東北地區等較少降雨地區，其發生豪雨事件機率增加，因此，依據未來受氣候變遷影響條件下，將導致各類型災害發生次數及強度都將增加。

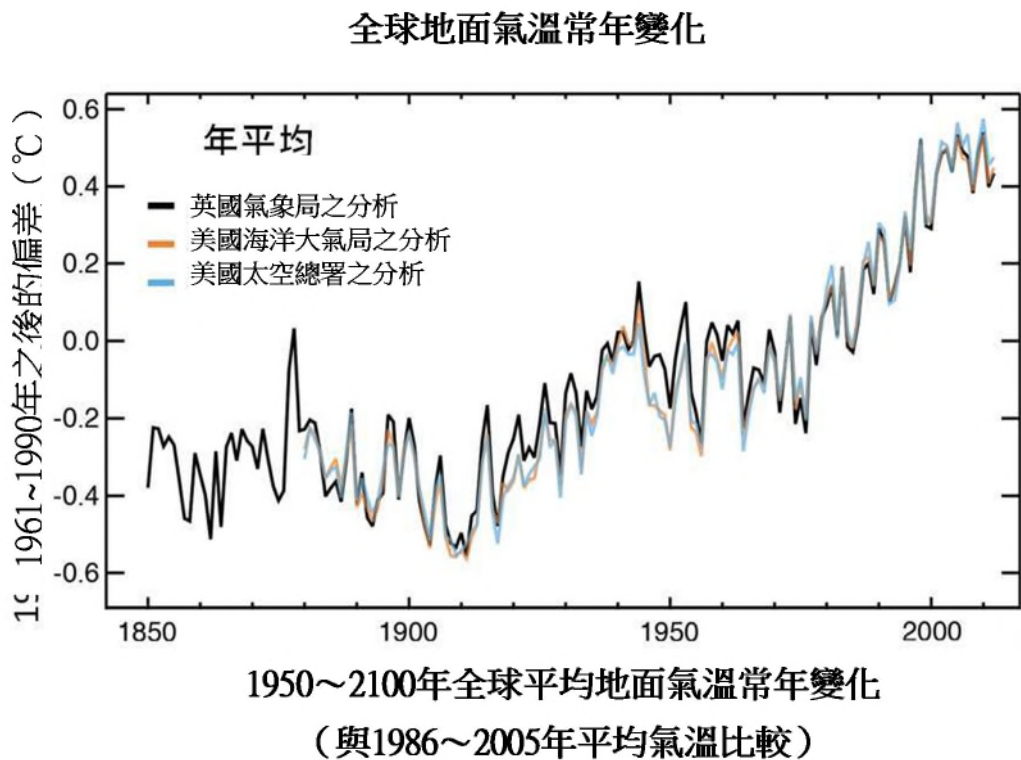


圖 2-1 未來氣候變遷趨勢-觀測溫度年平均値 (國土交通省，2019，
氣候變動を踏まえた治水計画に係る技術検討会)

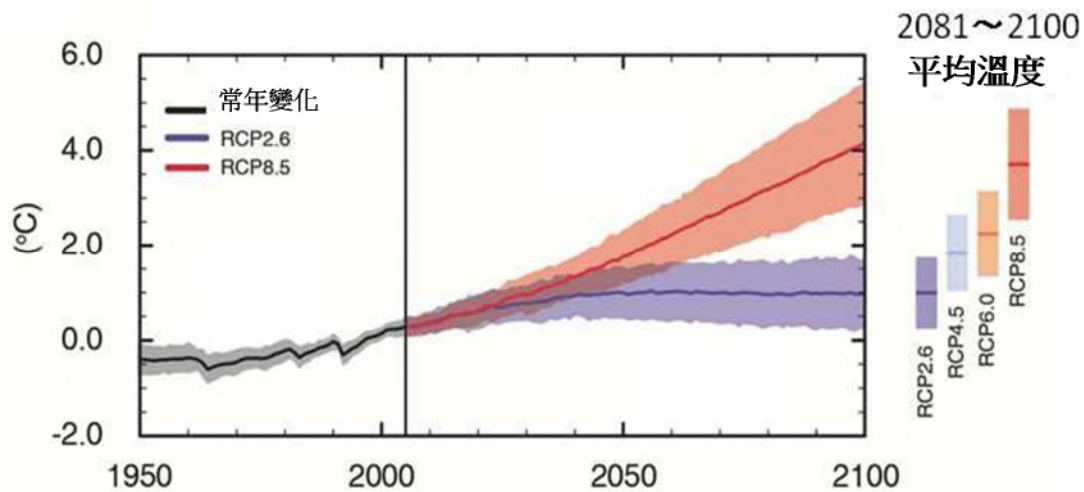


圖 2-2 IPCC-AR5 預測世紀末溫度變化趨勢 (國土交通省，2019，
氣候變動を踏まえた治水計画に係る技術検討会)

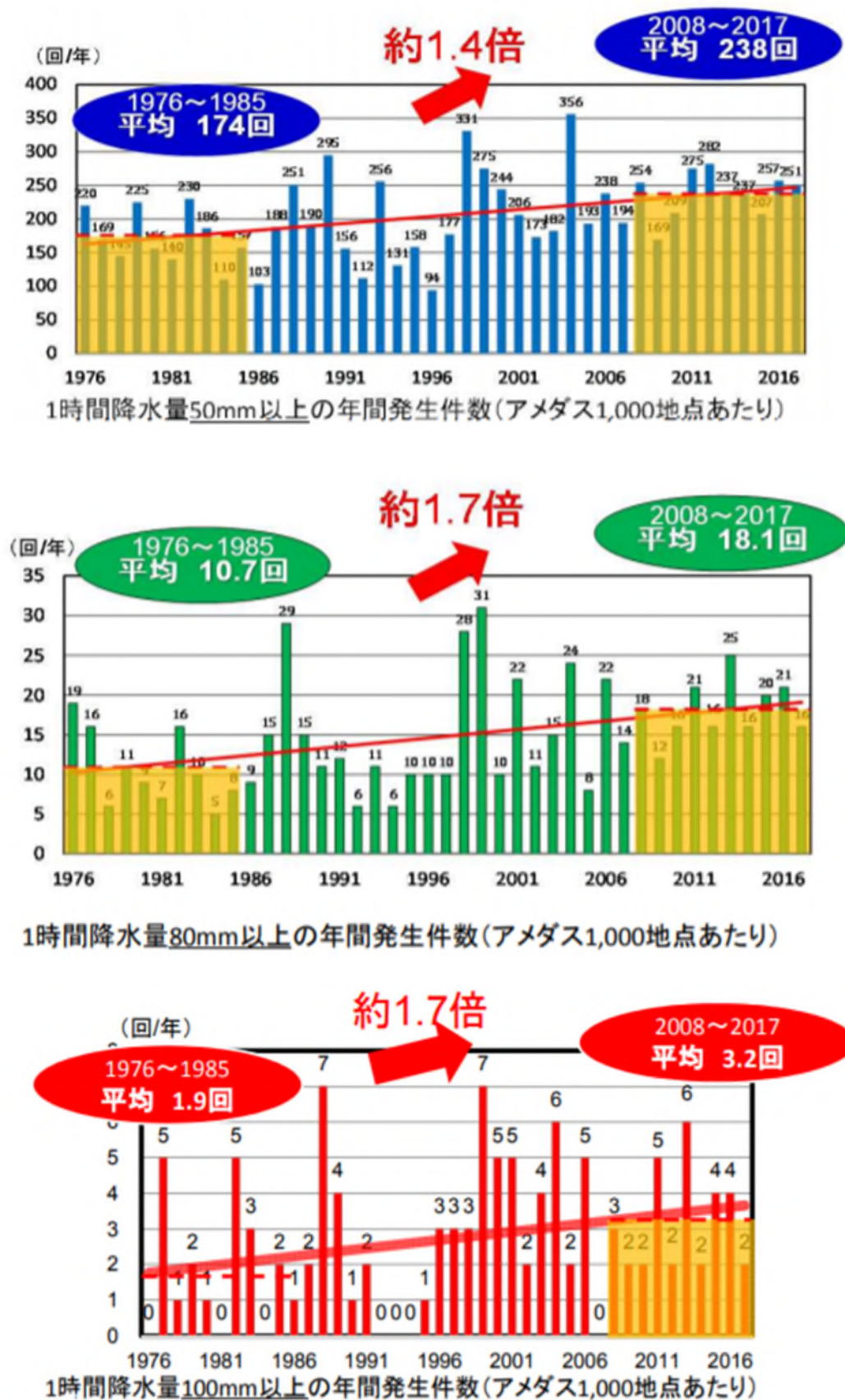


圖 2-3 歷史降雨量觀測值變化趨勢 (國土交通省，2018)

依據 RCP2.6 及 RCP8.5 情境下，未來受到氣候變遷影響，其降雨量可能增加 1.1 倍至 1.3 倍，而洪水發生機率可能上升 2 到 4 倍，意即在現在情況下 200 年一次洪水事件規模，在未來變成 100 年一次洪水事件規模，且發生次數將增加，而現行治水設施防護能力將不足以因應未來氣候變遷的治水安全度（圖 2-4，國土交通省，2018，異常豪雨の頻発化に備えたダムの洪水調節機能に関する検討会）。

＜気候変動による将来の降雨量、洪水発生確率の変化倍率＞

前提となる気候シナリオ	降雨量変化倍率 (全国一般水系の平均値)	洪水発生確率の変化倍率 (全国一般水系の平均値)
RCP8.5(4℃上昇に相当)	約1.3倍	約4倍
RCP2.6(2℃上昇に相当)	約1.1倍	約2倍

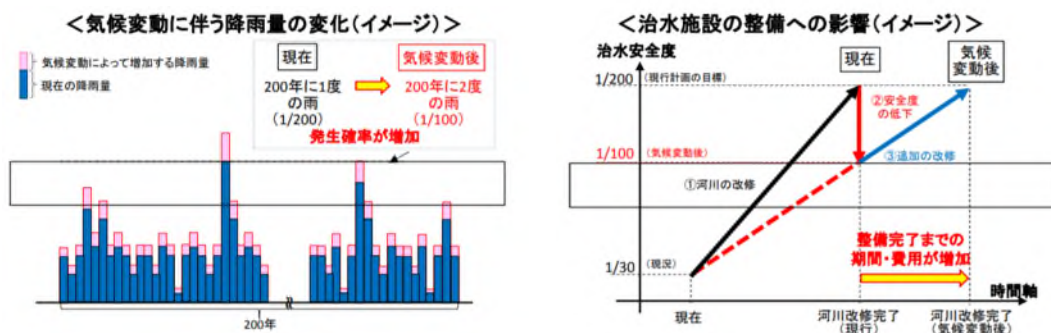


圖 2-4 未來氣候變遷下強降雨及洪水發生頻率增加趨勢（國土交通省，2018，異常豪雨の頻発化に備えたダムの洪水調節機能に関する検討会）

在氣候變遷影響下，豪雨次數增加，相對使得河川氾濫發生頻率增加，降低防洪構造物安全性。雖然藉由水庫、河道行水區及河道疏浚等降低河川水位對策，但統計結果發現中央管理河川超過氾濫危險水位數目從 2014 年到 2018 年由 429 條增至 448 條，在都道府縣管理河川從 2014 年到 2018 年由 1559 條增至 1629 條，顯示受氣候變遷影響下超過河川氾濫危險水位之河川有逐年增加趨勢（圖 2-5）。

對於海岸地區之影響，於 IPCC 預測海平面上升情況，以 RCP2.6 情境下為 0.29~0.59m，RCP8.5 則為 0.61~1.1m (圖 2-6)。因此在平常情況下受到氣溫上升陸地融雪增加、海水溫度上升海水產生熱膨脹等、黑潮路徑變動等影響下使得海水位上升。在海平面上升、沿岸漂砂收支變動、河川土砂供給量變動等影響下使得海岸線退縮。

在異常時 (颱風來襲時及低氣壓等天候狀況)，受到颱風中心氣壓降低及最大風速增加情形下，伴隨著氣壓降低使得海水面被往上吸、風勢捲動海水向中心靠攏等現象，將造成暴潮偏差增大。且受到颱風中心最大風速增大影響下，吹起更大波浪，造成波浪強度增大等情形 (圖 2-7)，對於海岸線沙灘地維護、防波堤設施設計等需考量未來氣候變遷外力之影響程度外，還需提升暴潮預測技術、劃定淹水潛勢地區及管制土地使用等方法，以適時調整因應措施。

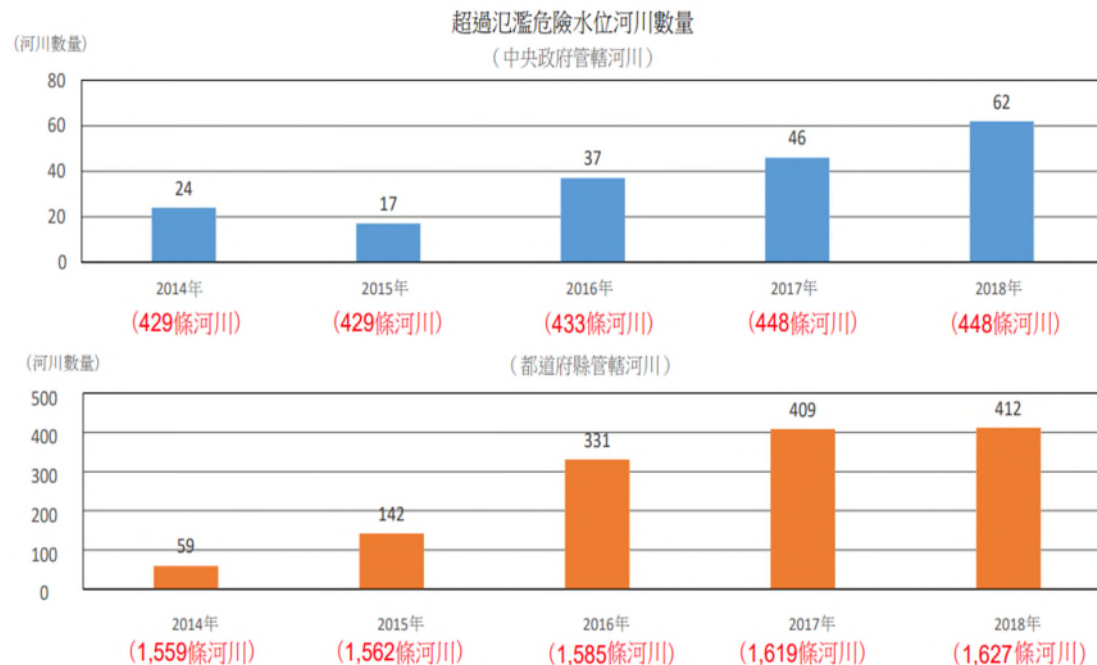


圖 2-5 超過河川氾濫危險水位之發生狀況 (國土交通省，2019，
氣候變動を踏まえた水災害対策検討小委員会)

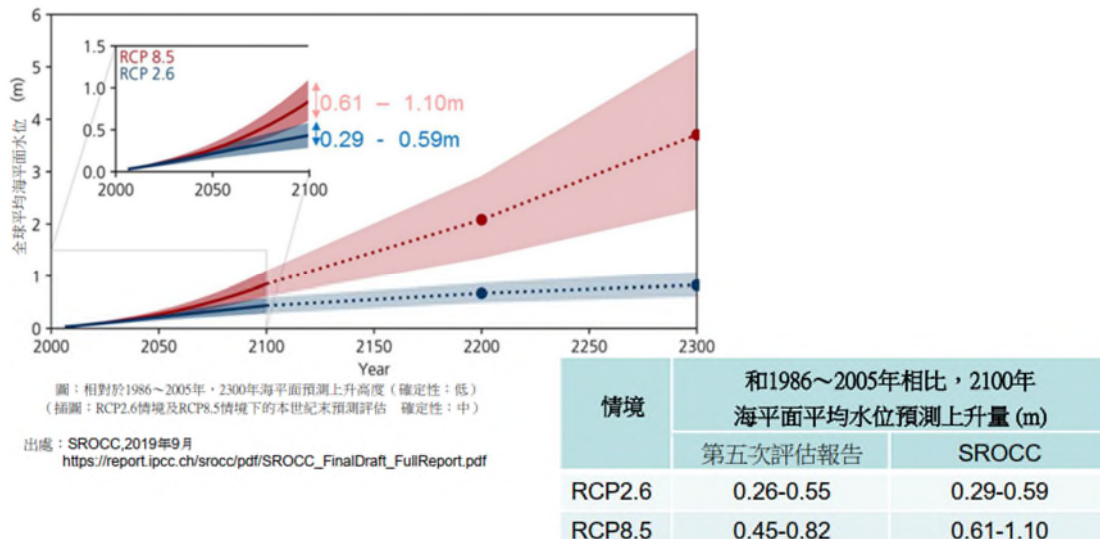


圖 2-6 氣候變遷下海平面上升增加趨勢（國土交通省，2020，氣候變動を踏まえた水災害対策検討小委員会）

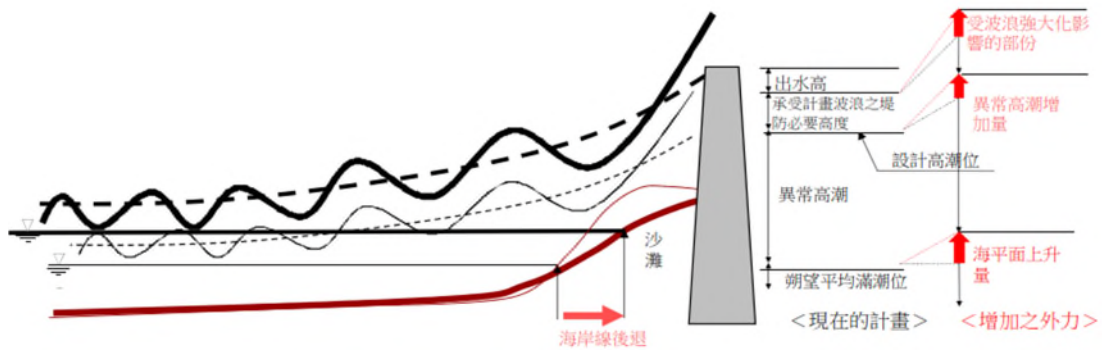


圖 2-7 未來海岸沿岸地區影響情況（國土交通省，2020，氣候變動を踏まえた水災害対策検討小委員会）

在氣候變遷影響下，土砂移動現象將嚴重化並增加河道土砂量變化。例如，由於降雨量增加形成多處山區崩塌發生，且河川流量增加更容易使上游產生土砂運移至下游，發生土砂與洪水氾濫。再者降雨量增加亦改變地下水位，使得深層崩塌、地滑等災害潛勢升高。因此，氣候變遷影響可能導致崩塌所產生土砂往下游流出，以及深層崩塌、地滑、河道土砂堆積、土砂與洪水氾濫等災害發生（圖 2-8），有必要適時修正砂防事業計畫，並定期檢討未來氣候變遷影響下流量、土砂量等定量演算方法（圖 2-9）。

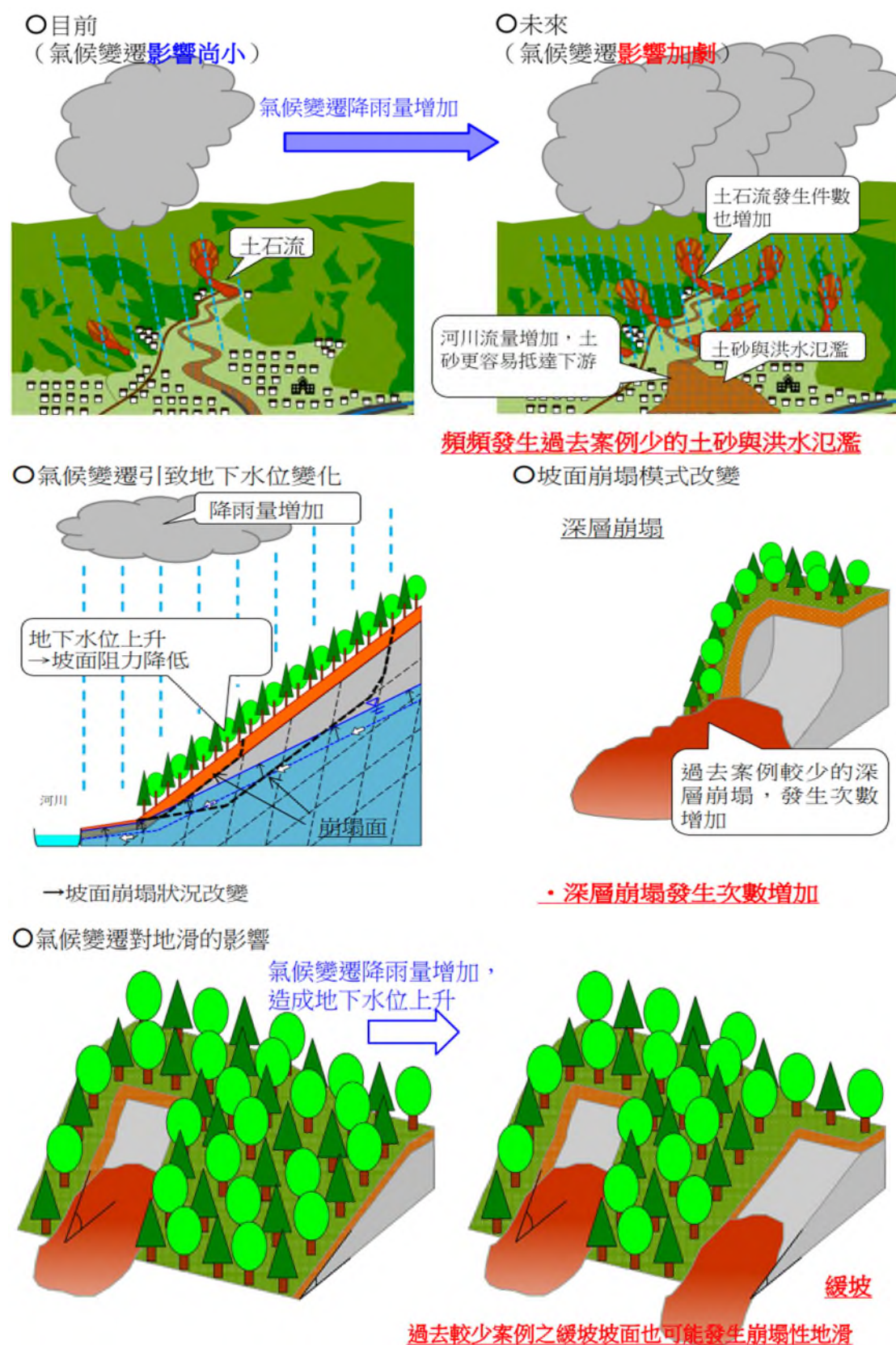


圖 2-8 氣候變遷引致土砂移動現象嚴重化 (國土交通省，2020，氣候變動を踏まえた砂防技術検討会)

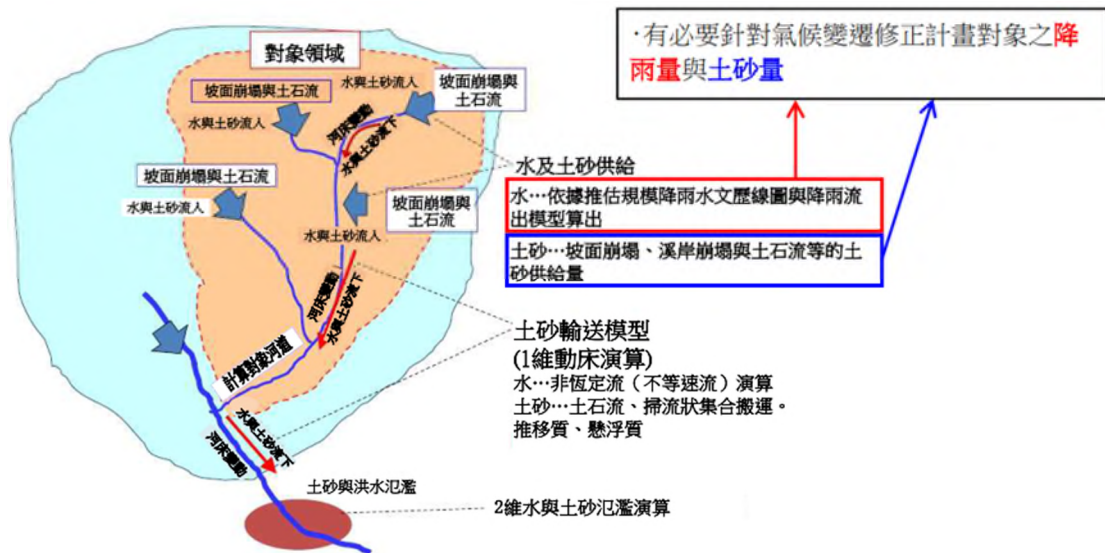


圖 2-9 氣候變遷影響下土砂量增加 (國土交通省，2020，氣候變動を踏まえた水災害対策検討小委員会)

第四節 未來降雨變化相關評估

一、氣候變遷預報模式資料

對於氣候變遷對未來降雨量變化之情形，由日本文部科學省、氣象廳、環境省、各大學等進行預測計算，其預測成果由文部科學省的地球環境情報平台進行整合解析並公開發布 (表 2-2)。除了預測未來的氣候變遷情況，利用計算模型進行未來氣候變化的預測實驗及現在氣候情況下的重現實驗，並且比較過去和現在氣候變遷以評估氣象情境危害 (hazard) 的變化。

近年來，對於氣候變遷模式的迅速發展，有助於瞭解未來情況趨勢，對於未來預測值之不確定性關係，隨著預測技術及解析精度提升而減少解算時間。在預測值幅度變動減小情況下，更應適時地審查調適對策之措施，如圖 2-10 所示，以 2010 年之預測技術為例，其預測精度及變動幅度誤差較大，但隨著時間推移，於 2035 年之預測值變化幅度較小，而預測精度較前期成果提升。因此，根據監測氣候變動

資料、預測模式更新、防災措施新技術等，適時地更新並調整氣候變遷調適策略措施，以因應未來預測氣候變遷之不確定性。

數值天氣預報系統無法避免預測之不確定性，因其受初始條件、邊界條件、控制方程式、數值方法、網格解析度與參數代表性等影響，再加上大氣變動現象為非線性過程，故單一決定性預報無法完全代表變動過程亦無法提供預報過程中之不確定性資訊，此為單一預報模式限制（李志昕，洪景山，2014）。為彌補單一預報模式之不足，透過使用系集運算（アンサンブル計算），其擾動量在觀測誤差範圍內，可在一定準確率下評估颱風、集中豪雨等災害極端事件。再利用降尺度模型（Downscaling）資料，可以更準確顯示地形條件和模擬氣候現象。

表 2-2 氣候變遷下降雨預測模式整理

検討・公表の枠組み	氣候變動シナリオ	解像度	アンサンブル計算	検討地域	通称 (以下この通称を使用する)
21世紀末における日本の氣候 【環境省・気象庁】	RCP 2.6~8.5	20km		全国	NHRCM20
氣候變動リスク情報創生プログラム 【文部科学省】	RCP8.5	20km	○	全国	d4PDF(20km)
		5 km		全国	NHRCM05
		2 km		全国	NHRCM02
統合的氣候モデル高度化研究プログラム 【文部科学省】	RCP2.6	5 km		全国	NHRCM05
		2 km		全国	NHRCM02
SI-CAT 氣候變動適応技術社会実装プログラム 【文部科学省】	RCP8.5	5 km	○	全国（北海道、沖縄除く）	d4PDF(5 km,SI-CAT)
			○	北海道、九州	d4PDF(5 km,yamada)
	RCP8.5 (2度上昇)	20km	○	全国	d2PDF(20km,SI-CAT)

※ 公開手続き中のものを含む。

※ NHRCM02については、複数パターンの計算が行われており、そのうち一部が公開されている（今後、順次公開予定）。

資料來源：国土交通省，2019，「氣候變動を踏まえた治水計画のあり方」，

氣候變動を踏まえた治水計画に係る技術検討会。

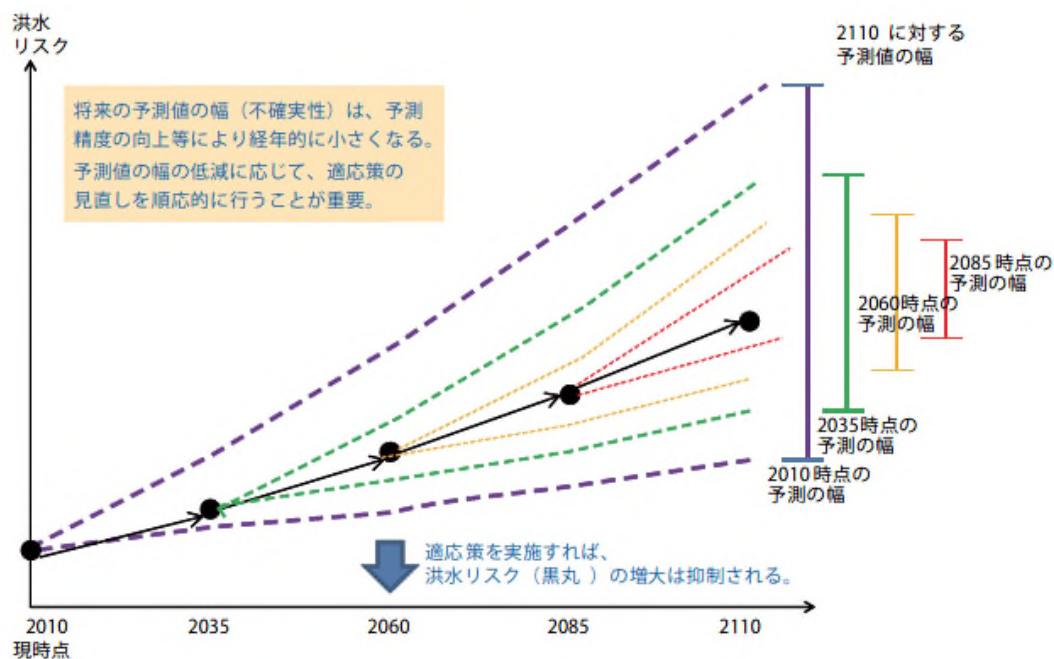


圖 2-10 不確定性概念圖（國土交通省，2010）

二、應用氣候變遷模式進行影響性分析

在評估氣候變遷對降雨量變化率、降雨時空間分布變化及複合型災害影響時，受限於氣候變遷預測模型重現精準度、解析度及大氣擾動量等相關因素，依據現在和未來預測結果進行影響性分析，用以評估消除偏差(バイアス)。目前，日本政府在國家層級採用降雨量變化率進行定量評估，並反映在治水計畫之措施。

在降雨量變化倍率估算方面，係利用不同預測模式與模擬情境設定，對研究分析區域進行估算（圖 2-11），再透過比較過去和未來預測數據計算重現期 100 年之雨量資料（圖 2-12），最後得出未來降雨量變化倍率（圖 2-13）、氣候變遷對各分析區域影響、現在與未來氣候狀況等三項評估結果，並由相關調查研究等結果綜合討論模式預測計算值、飽和水蒸氣量變化及近年氣候變遷等現象，以確定各項預測結果之妥適性，俾作為未來降雨量推估，並用於歷史觀測記錄與降雨

量變化倍率係數之乘積推估 (表 2-3)。

面對颱風、鋒面、局部豪雨等各種氣象因素所造成災害事件，日本已開始嘗試使用預測模式分析研究各地區之定量評估試驗，並將其預測成果反映於治水計畫中。關於全國尺度降雨時空間分布之預測研究，考量降雨持續之時間差、降雨同時發生等特性，因各項特性在主流上之差異仍有待克服，因此尚無法在全國尺度之內評估其影響 (圖 2-14)。此外，由於暴潮、淹水、土砂及洪水氾濫同時發生等複合因素所引起的災害現象，以目前技術還難以評估此類災害事件。

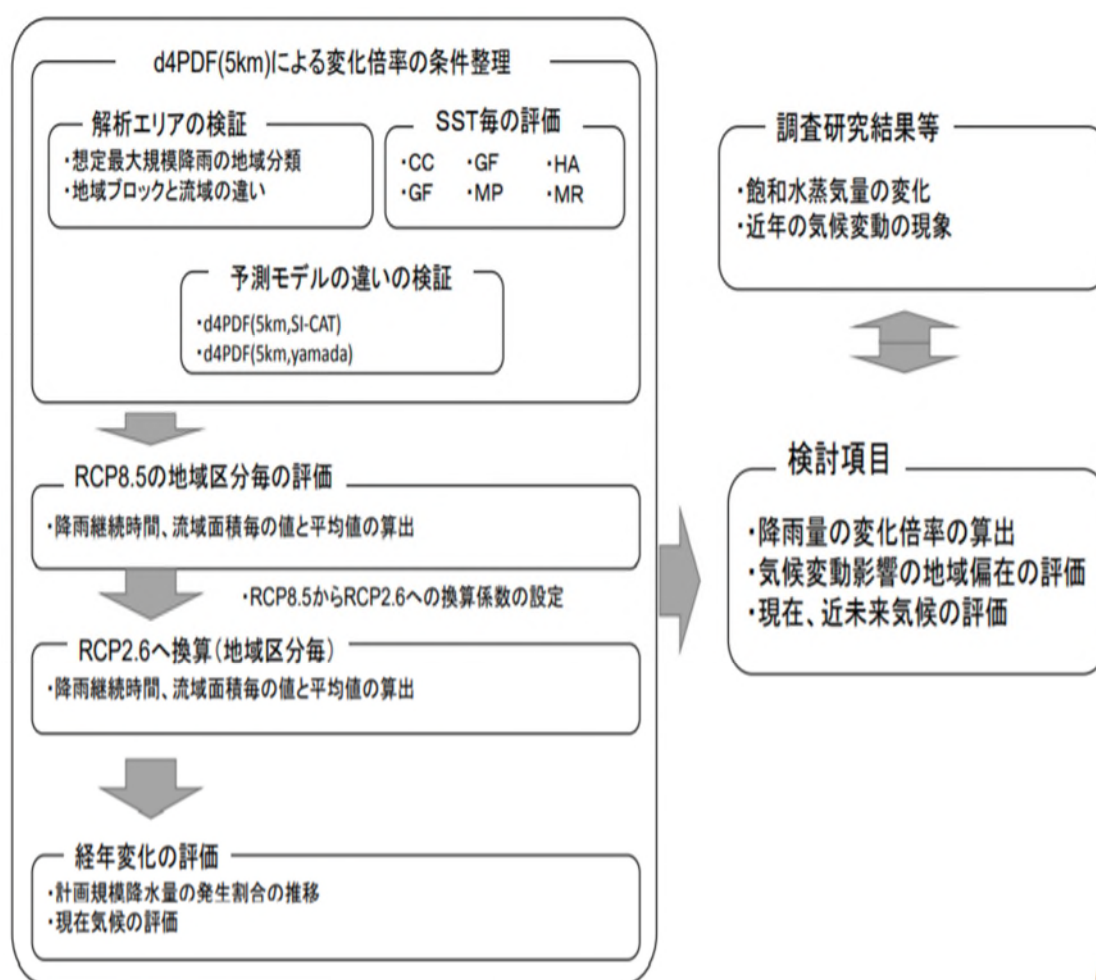


圖 2-11 未來氣候變遷降雨預測模式流程圖 (國土交通省，2019)

①年最大雨量データの作成

現在気候及び将来気候について、地域区分毎に任意の降雨継続時間および雨域面積における年最大雨量を算出

※地域区分は想定最大規模降雨に関する地域区分を用いた

②降雨量の変化倍率の算出

①で計算した年最大雨量を、Gumbel分布の確率密度関数を当てはめることで、100年確率雨量を現在気候及び将来気候について算出し、降雨量変化倍率を算出した。(下図の場合:降雨量変化倍率=Y/X)

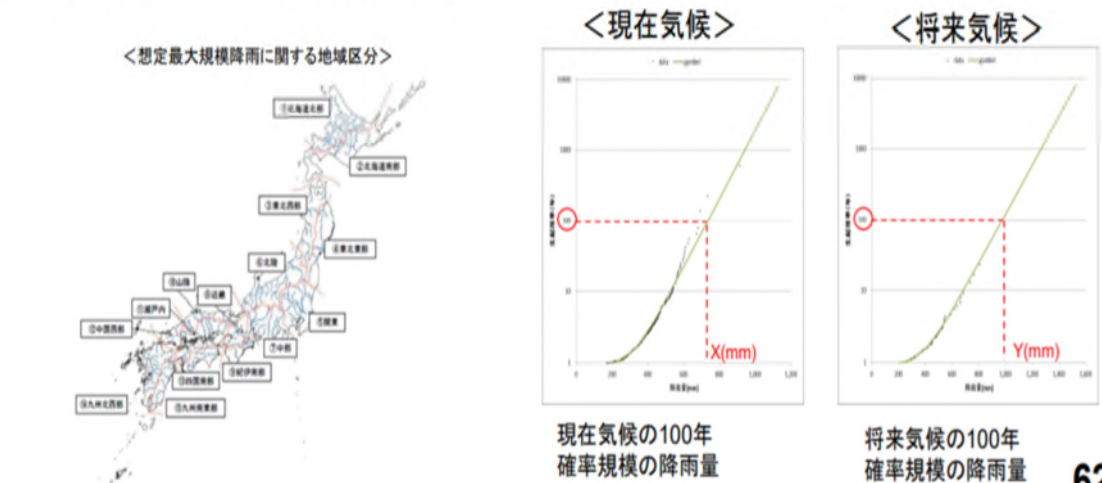


圖 2-12 降雨量變化率計算方法 (國土交通省，2019)

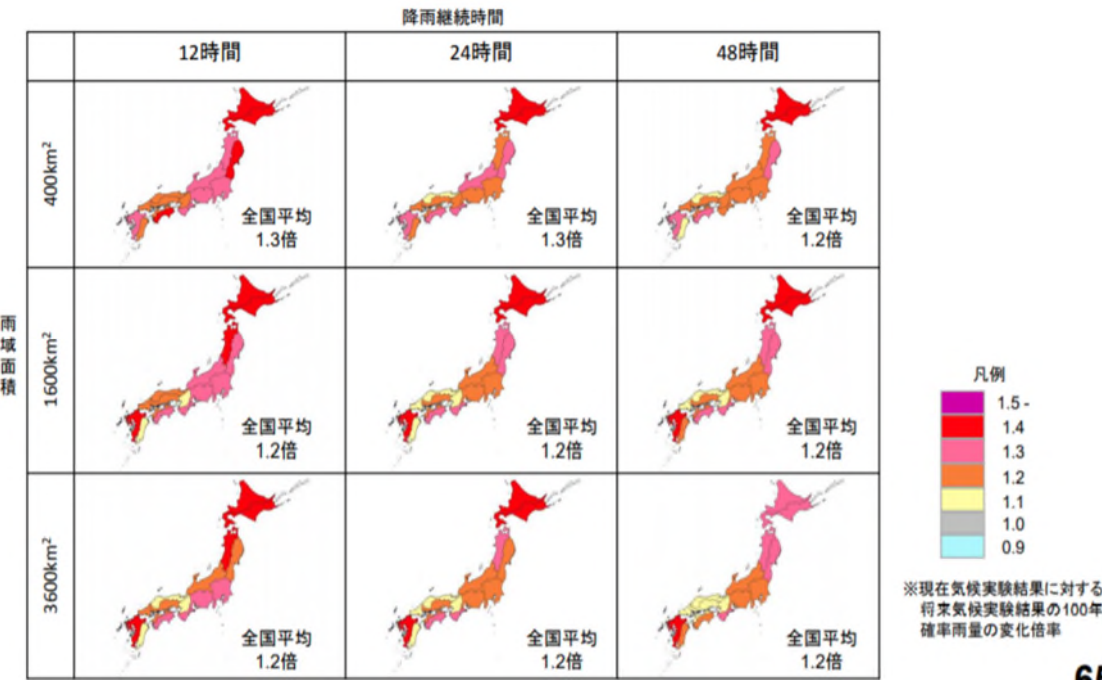


圖 2-13 氣候變遷影響下降雨量倍率估算結果 (國土交通省，2019)

同一性の検定方法:ウィルコクソンの順位和検定
地域内の各グリッドの年最大雨量データについて、確率密度分布の同一性を検定する。

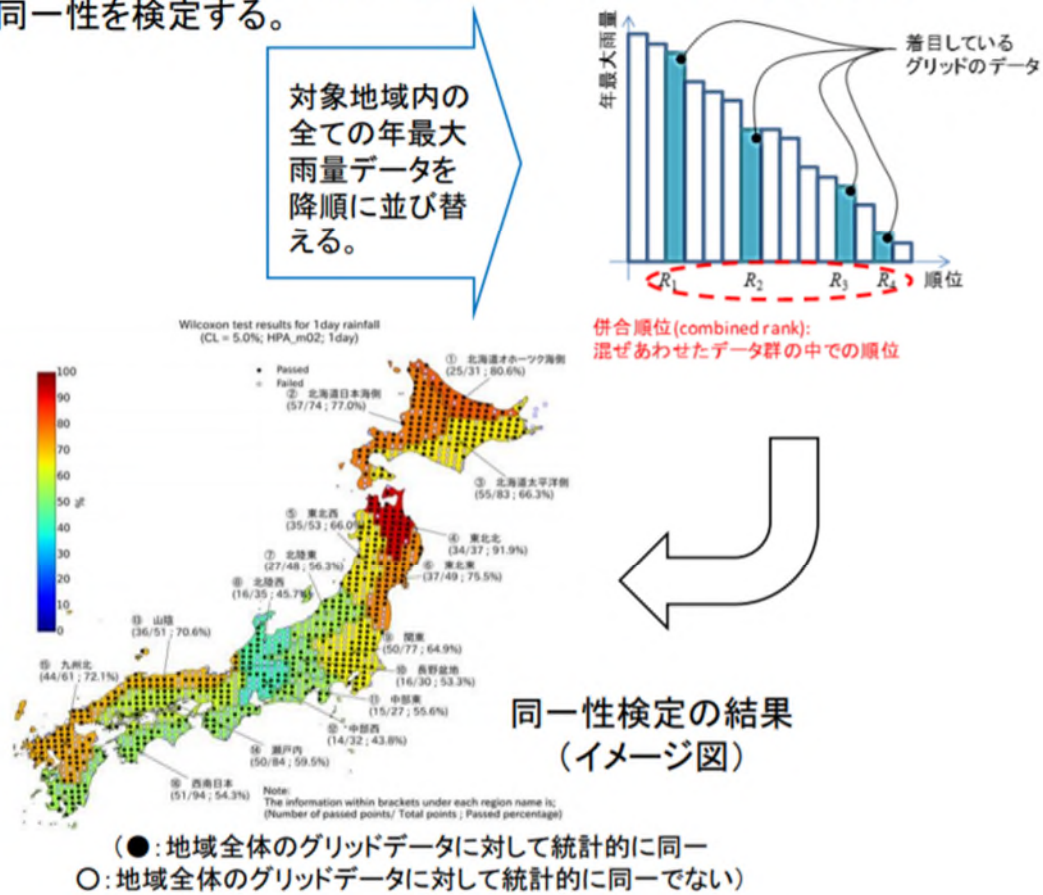


圖 2-14 氣候變遷預測模式之有效性驗證 (國土交通省，2019)

表 2-3 降雨量變化倍率係數

		降雨継続時間12時間以上	降雨継続時間12時間未満
4℃上昇 (RCP8.5)		1.3	1.4
	北海道、九州北西部	1.4	1.5
	その他の地域	1.2	1.3
2℃上昇 (RCP2.6) (暫定値)		1.1	1.1
	北海道、九州北西部	1.15	1.15
	その他の地域	1.1	1.1

三、現在及近未來氣候變遷的影響趨勢

由於氣候變遷所伴隨降雨量及洪水發生頻率改變，假設降雨量變化率固定情況下，藉由溫度與水蒸汽之間關係式 (圖 2-15)，配合歷史資料與氣候變遷預測可推估近未來降雨量變化情況。近未來降雨量倍率之計算，則以 1980 年為降雨量變化倍率基準年 (以 1951 至 2010 年之降雨量資料計算)，推估 2045 年的降雨量變化倍率 (在 RCP2.6 中，2050 年溫度與世紀末溫度相差不大，因此使用 2045 年變化倍率)，通過線性相似 (linear approximation) 計算近未來倍率係數值 (圖 2-16 ~ 圖 2-18)，以圖 2-17 為例，使用 NHRCM20 (Non-Hydrostatic Regional Climate Model) 模式，在 RCP2.6 情境下，預測未來溫度上升約 1.1°C ；在 RCP8.5 情境下，預測未來溫度上升約 4.4°C 。而在未來降雨量變化趨勢方面，如圖 2-18 所示，在 RCP2.6 情境下，北海道北部、北海道南部、九州北西部變化倍率為 1.15；其他地區為 1.1 倍。

在目前時間點上，氣候變遷的影響已經在發生中，此外，氣候變化的影響在未來逐漸明顯化，因此對於使用壽命年限較短的防護設施，有必要考慮近期的影響。假設近幾年和 2040 年溫度上升幅度及豪雨變化率沒有變化情況下，比較計算近未來溫度變化的參考資料為 21 世紀末日本氣候資料 (資料基準期 1984~2004 年) 與 d4PDF (database for Policy Decision making for Future climate change, d4PDF, 5km, yamada)，由於模式過去所使用資料 (資料基準期 1951~2010) 不同，因此使用日本氣象廳年平均溫度偏差進行補正 (圖 2-17)，計算出各期目標年降雨量變化率係數 (圖 2-19，表 2-4)。由圖 2-19 中可以看出，在溫度上升 4°C 情境下，由於小流域面積 (降雨面積 400km^2 以下) 受短時間降雨影響較大，因此其降雨量變化倍率數值較大。

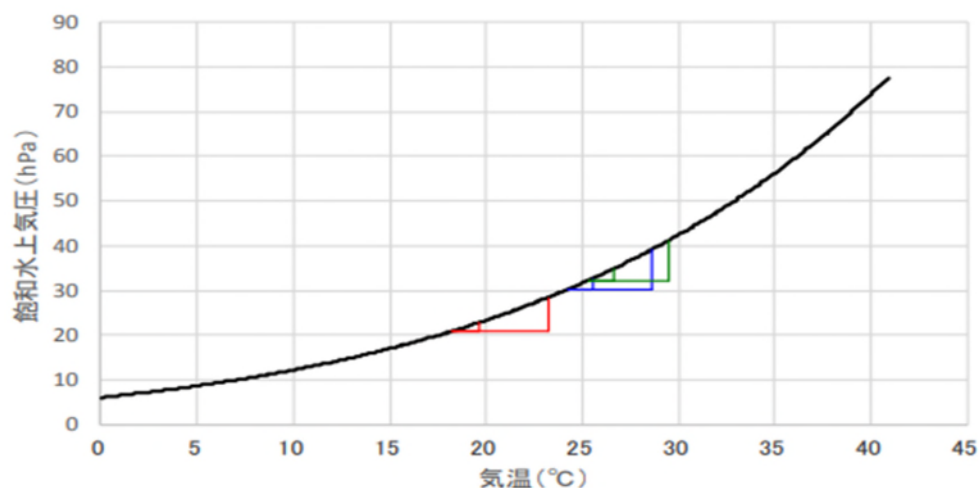


圖 2-15 氣溫與飽和水蒸氣壓關係

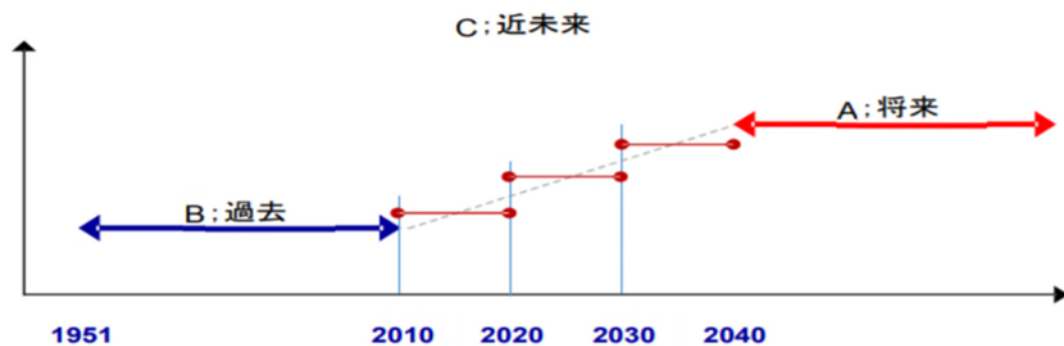


圖 2-16 現在及近未來氣候變遷影響示意圖 (國土交通省, 2019)

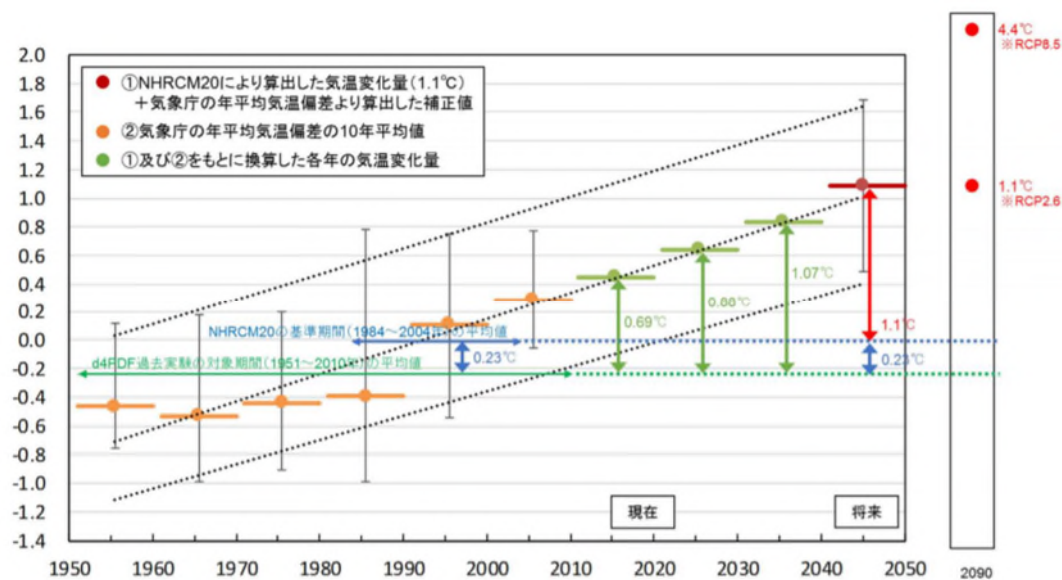


圖 2-17 溫度觀測結果及預測未來溫度變化 (國土交通省, 2019)

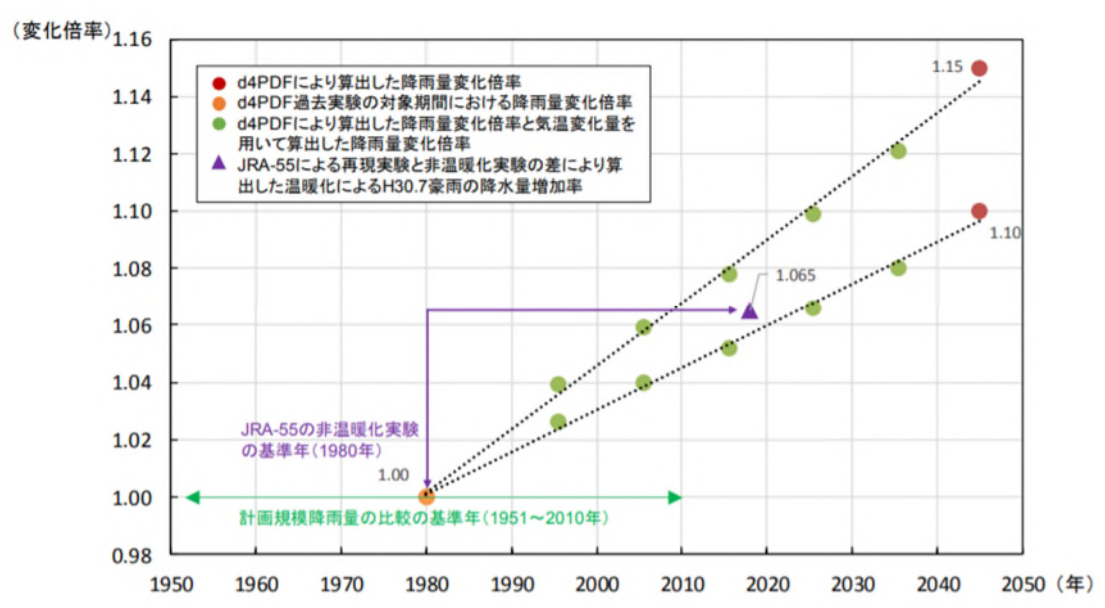


圖 2-18 未來降雨量變化率趨勢 (國土交通省，2019)

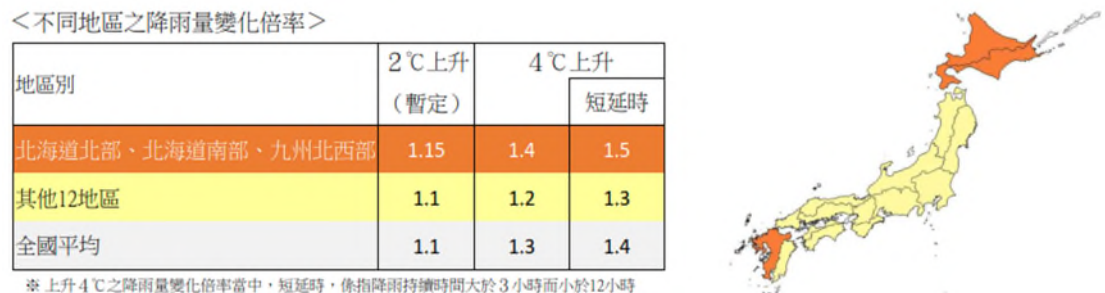


圖 2-19 日本各地分區降雨量變化倍率 (國土交通省，2019)

表 2-4 設定目標年降雨量變化率係數

目標年	1.15 倍の場合 (3 地域)	1.1 倍の場合 (12 地域)
2011～2020 年	1.08	1.05
2020～2030 年	1.10	1.07
2030～2040 年	1.12	1.09
2040～2050 年	1.15	1.10

四、 未來降雨因子分析

由於氣候變遷情勢之推估是由長期資料所推衍，在制定調適策略

時，必須要從長期角度進行規劃，並加以考量對於實施標的的長期影響與提供氣候變化預測的年份等資料，而且根據氣候變遷預測趨勢，各模式情境預測值之結果各異，因此對模式預測之不確定需特別注意(圖 2-20)。

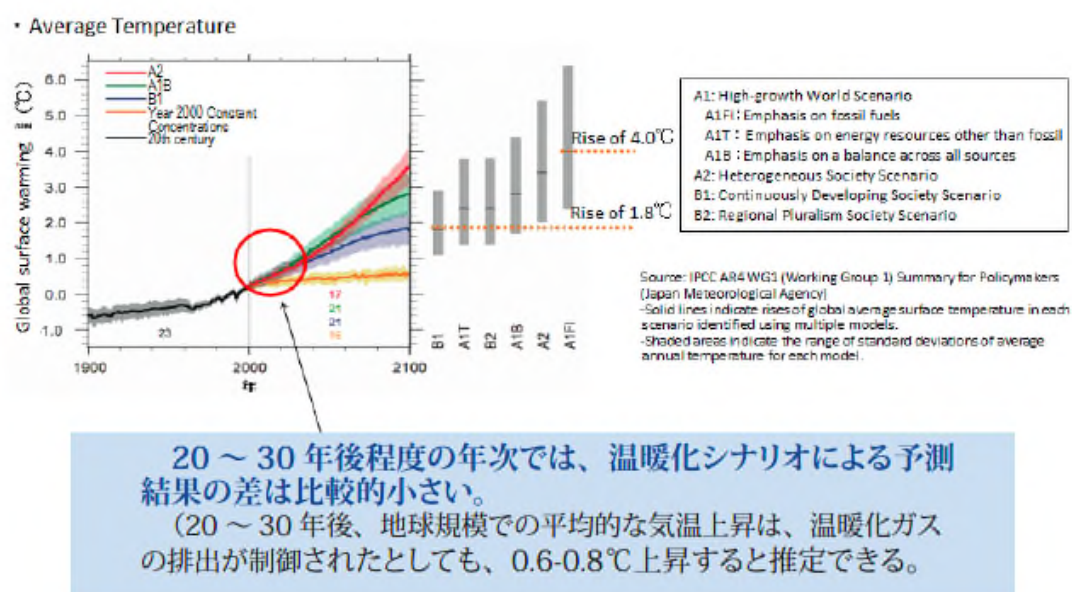


圖 2-20 階段性設定檢討之調適策略 (國土交通省，2010)

受氣候變遷影響，由於大氣安定化使得颱風數量減少，但發生在日本南海強烈颱風出現頻率卻增加；在鋒面方面，停滯的大氣型態並沒有增加，但由於海水平均溫度上升使得水蒸氣量流入增加，形成總雨量增加，導致局部豪雨、降雨量和發生次數都增加。由於降雨因素變化造成各地區發生洪水災害，根據所在地區的不同，其降雨所造成大規模災害的氣象特徵，以發生洪水地區將之分類，在九州北西部、北陸及東北西部等日本海一側地區常有鋒面，在九州南部到北海道南部位於太平洋一側地區常有颱風，由此可知各種因素 (颱風、熱帶低氣壓、低氣壓、峰面、其他等) 都佔有一定比例 (圖 2-21)。

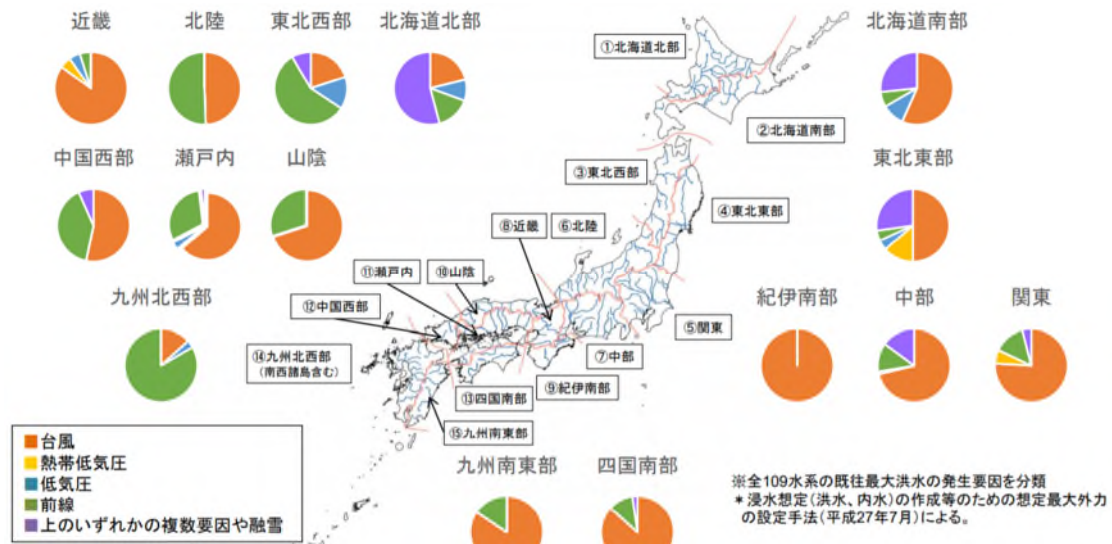


圖 2-21 受降雨影響致災地區分類 (國土交通省，2019)

目前在防洪計畫中，大多使用過去發生事件之降雨雨型、設計事件降雨量與降雨延時等，藉由降雨逕流模式計算防洪計畫之目標水文量，並以此設置基準高水位 (圖 2-22)，亦即，主要係依據各地區降雨量、河川保全重要度與降雨持續時間等要素決定治水計畫規模，以因應各個地區不同氣象特徵因素所引起洪水災害。因此，未來需要努力提升各種氣候變遷預測模式之影響分析精度，以回饋於目前防洪計畫中。

以目前而言，由於難以確保氣候變遷預測的準確性，不易將計算值本身作為評估結果。通過氣候變遷預測模式的系集計算 (アンサンブル計算) 資料，根據流域單元分析降雨、逕流量，評估降雨持續時間的變化，對降雨之時空間分布利用群集分析 (クラスター分析) 進行分類，藉以評估出現頻度 (次數) 發生變化之場所，以作為修正檢討該地區主、支流洪水治理計畫之參考 (圖 2-23)。再者，由於洪水尖峰流量受降雨持續時間影響，藉由確認實測降雨、過去及未來模擬實驗 (d4PDF 模式) 之變化，探討對於洪峰到達時間、基準地點尖峰流量及時雨量、加強降雨強度持續時間的影響等，來整理評估主支流

增加之風險程度、主支流合流時間差之變化等，作為修正治水計畫之輔助資料（圖 2-24）。

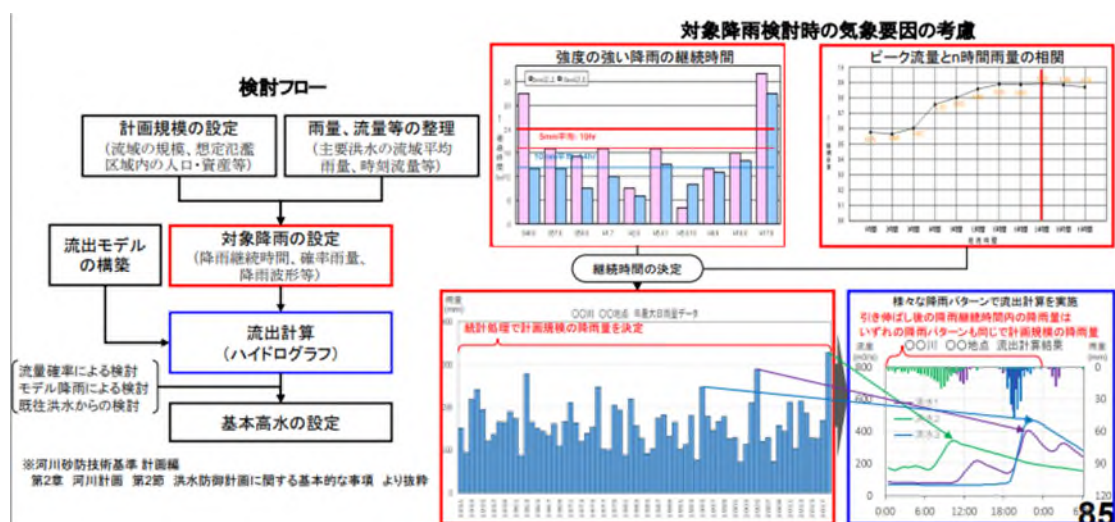


圖 2-22 基準高水位尖峰流量計算方法（國土交通省，2019）

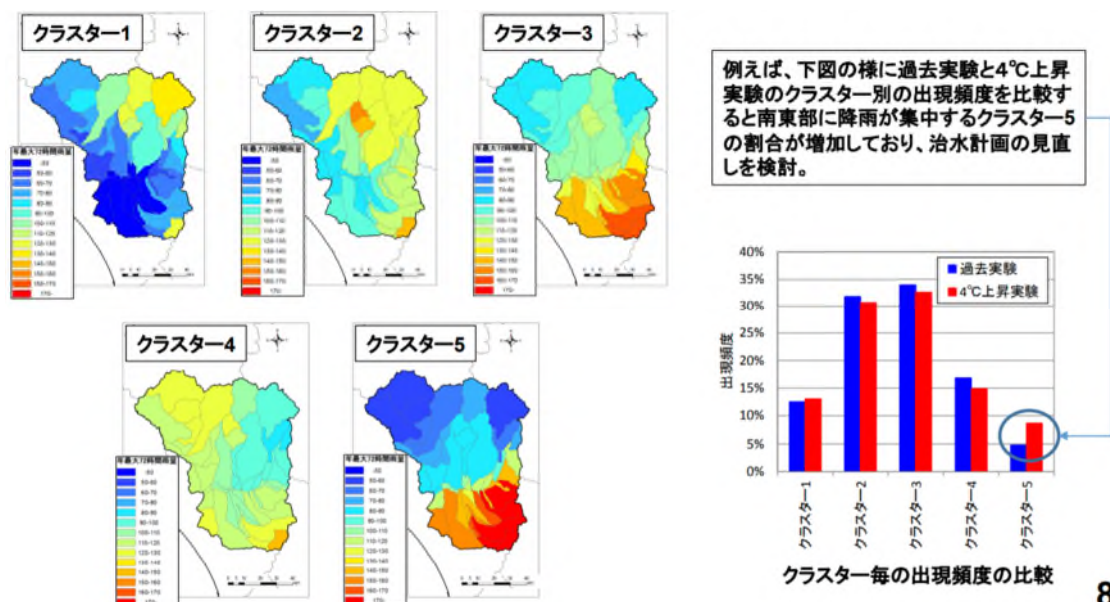


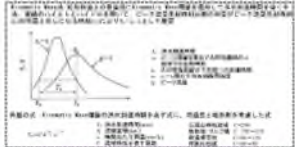
圖 2-23 降雨時、空分布變化（國土交通省，2019）

実績降雨、過去実験・将来実験の降雨継続時間

- 洪水のピーク流量は降雨継続時間に大きく影響されるため、実績降雨、過去実験・将来実験での変化を確認する。
- 基本方針検討時の実績降雨とd4PDFの過去実験・将来実験データを用いて、理論式等より求めた洪水到達時間、ピーク流量とピーク流量発生時刻から遡る短時間雨量との相関関係、主要洪水における強い降雨強度の継続時間を整理。

Kinematic Wave法及び角屋の式による洪水到達時間の検討

- Kinematic Wave法及び角屋の式により、下記の3データから洪水到達時間を算出
 - ・ 基本方針検討時の実績降雨
 - ・ d4PDF過去実験データ
 - ・ d4PDF将来実験データ



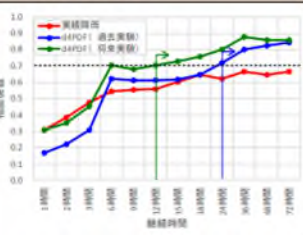
- <実績降雨における算出例>
 - Kinematic Wave法による洪水到達時間: 7~40時間 (平均21時間) と推定
 - 角屋の式による洪水到達時間: 11~16時間 (平均14時間) と推定

No.	ピーク流量 (m ³ /s)	算定結果 (hr)	算定結果 (hr)
1	0.724	11	14
2	0.785	10	13
3	11.535	25	4.4
4	0.989	21	9.2
5	0.845	22	9.5
6	0.821	21	8.4
7	1.084	21	1
8	1.371	26	8.2
9	1.211	21	7.1
10	0.951	21	8.1
平均値	—	21	—

基準地点ピーク流量とn時間雨量との相関の検討

- 左記検討で用いた3データ(基本方針検討時の実績降雨、d4PDF過去実験、d4PDF将来実験)から、基準地点における年最大流量を記録した洪水を対象に、ピーク流量とピーク流量発生時刻から遡る短時間雨量(1~3、6、9、12、15、18、24、36、48、72時間)との相関関係を把握

- <3データにおける相関係数の検討例>
 - 実績降雨は、相関が最も高いのは72時間であるが、全体的に低い相関となっている。
 - d4PDF過去実験による降雨は、相関性が高い降雨は概ね24時間以上であり、最も相関が高いのは72時間となっている。
 - d4PDF将来実験による降雨は、相関性が高い降雨は概ね12時間以上であり、最も相関が高いのは36時間となっている。



強い降雨強度の継続時間の検討

- 左記検討で用いた3データ(基本方針検討時の実績降雨、d4PDF過去実験、d4PDF将来実験)から、基準地点における年最大流量を記録した洪水等の主要洪水を対象として、強い降雨強度(ここでは3mm/hr及び5mm/hr)の継続時間を整理

- <実績降雨における算出例>
 - 主要洪水における降雨量3mm/hrの継続時間の平均値は23.2時間、降雨量5mm/hrの継続時間の平均値は12.1時間となる。

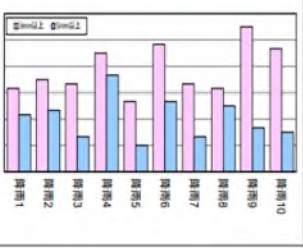


図 2-24 降雨持続時間之影響 (實測降雨、過去及未来予測，国土交通省，2019)

第三章 近年土砂災害特徴

根據日本土砂災害防止法(砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律施行令，平成十三年政令第八十四号)，土砂災害的定義係包含陡坡崩塌（坡度30度以上之坡面崩塌的現象）、土石流（山腹崩塌所產生土石或溪流內之土石等與雨水混合後流動之現象）、地滑（土地局部因地下水等原因，導致滑動的自然現象或伴隨產生移動現象），或河道阻塞形成堰塞湖導致迴水（土石等阻塞河道、造成上游水位升高現象）等自然現象；其中土砂災害防止法中亦規定，日本政府需針對陡坡崩塌、土石流及地滑等三種土砂災害潛勢地區，依現地基礎調查結果，分別劃設土砂災害警戒區(黃區)及土石災害特別警戒區(紅區)(圖 3-1)。而上述土石流、陡坡崩塌、地滑及河道阻塞淹水等造成之土砂災害，因其發生時間難以預測，且其土砂移動現象快速，經常造成嚴重人命傷亡及財物損失（日本內閣府，2015）。

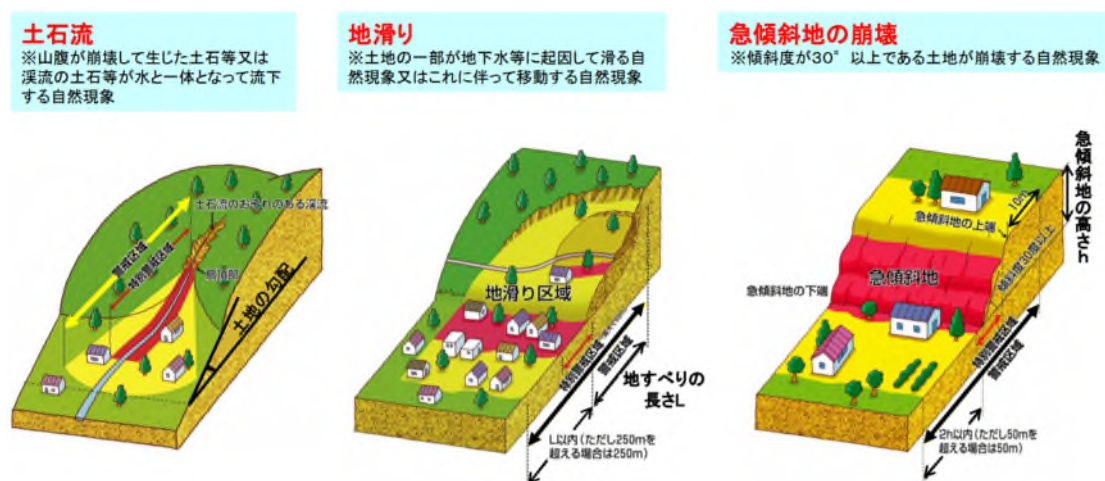


圖 3-1 土砂災害警戒區示意圖（國土交通省）

日本因地文（地質脆弱、地形陡峭）因素，具備高土砂災害風險特性；氣象因素方面，在梅雨季鋒面雨、颱風、豪雨季節，長期間降雨及短延時強降雨等不同降雨型態，造成日本全國各地經常出現土砂災害，以平成 30 年（2018 年）發生 3,459 件土砂災害事件為歷年最多，遠高於年平均土砂災害事件約 1,100 件（圖 3-2）。而近年由颱風事件所伴隨發生之土砂災害事件，則以平成 16 年（2004 年）計 8 場颱風造成 1,682 件土砂災害事件為歷年為最多，亦遠高於其年平均土砂災害事件約 300 件（圖 3-3），其中又以令和元年（2019 年）東日本颱風事件（哈吉貝颱風），創下單一颱風發生 952 件土砂災害事件之歷史紀錄，計 20 個都縣受到影響，超過平成 16 年（2004 年）颱風 23 號（納坦颱風）所造成 800 件土砂災害事件，為單場颱風發生土砂災害事件紀錄之最。

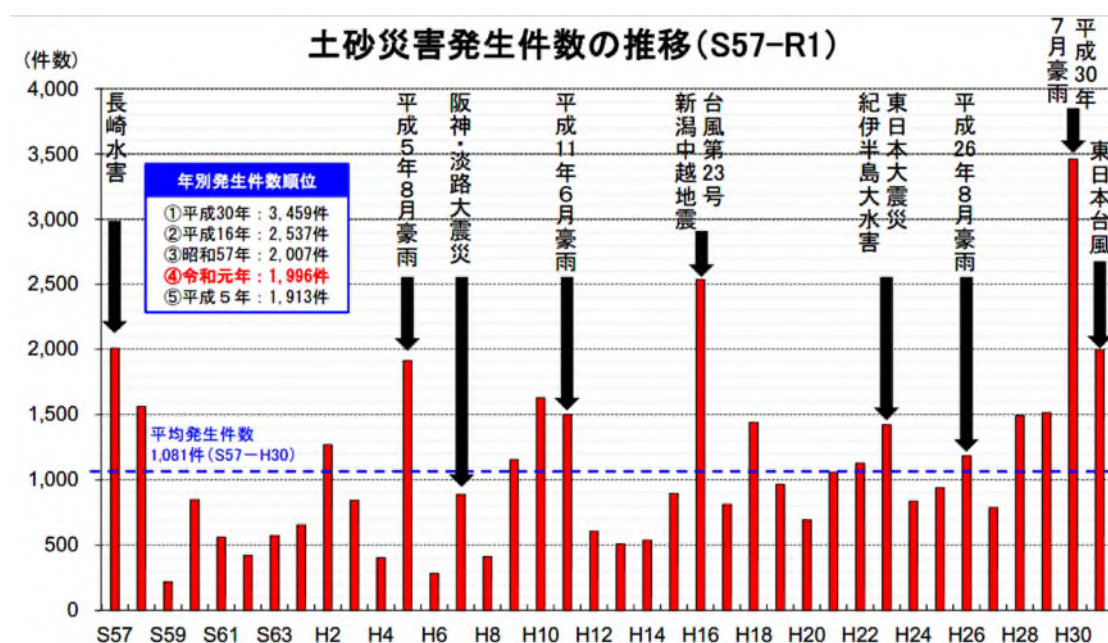


圖 3-2 土砂災害發生件數統計圖（統計期間昭和 57 年（1982 年）至令和元年（2019 年），國土交通省砂防部，2019）

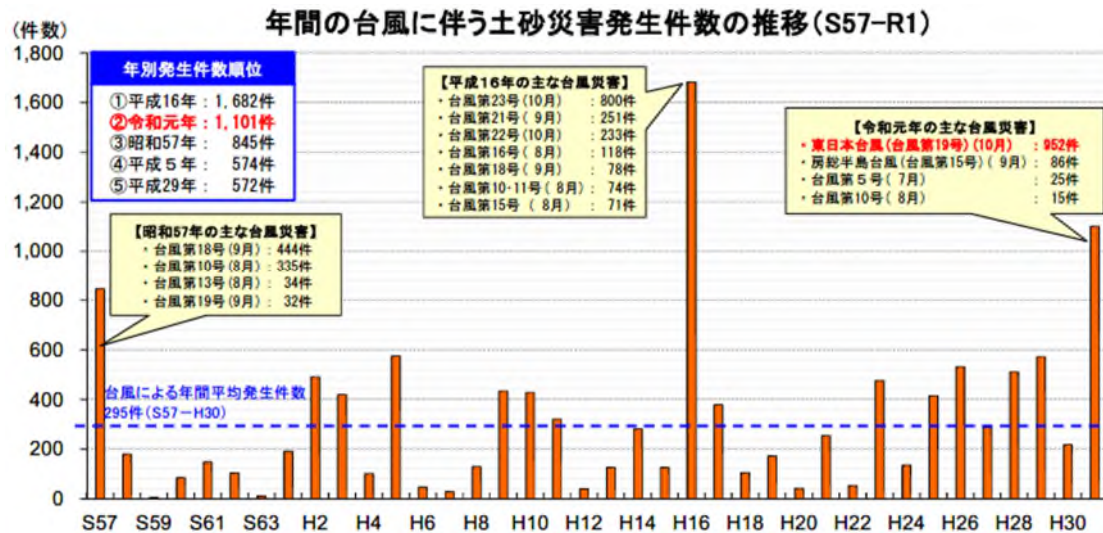


圖 3-3 颱風事件伴隨發生土砂災害統計圖 (統計期間昭和 57 年 (1982) 至令和元元年 (2019)，國土交通省砂防部，2019)

第一節 致災類型

本報告蒐集並綜整歷年日本土砂災害案例，其致災類型包含淺層崩塌、深層崩塌、土石流、跨越山脊之土砂災害、天然壩、漂流木、洪水氾濫等。以令和元年 (2019 年) 東日本颱風事件為例，近年土砂災害事件顯現出群發性 (同時多處發生)、廣域性及颱風強度劇烈化等特性，形成災害比過往規模大、頻繁發生的土砂與洪水氾濫災害事件，造成 20 個都縣受影響，共發生 952 件土砂災害事件 (土石流 407 件、地滑 44 件、崩塌 501 件)。對比過往 10 年間土砂災害事件發生件數超過 100 件的致災型颱風進行統計，致災型颱風所造成之土砂災害其平均值為 210 件土砂事件，但此次哈貝吉颱風卻高達 952 件。又如平成 29 年 (2017 年) 九州北部豪雨、平成 30 年 (2018 年) 西日本豪雨、令和元年 (2019 年) 東日本颱風等造成嚴重土砂及洪水氾濫等災害 (圖 3-4)，似乎顯示日本全國各地在氣候變遷影響下，頻繁發生

水災、土砂災害等事件。下節綜整蒐集近年日本土砂災害事件，簡要摘錄各事件災害影響概況，彙整目前所遭遇到之問題，並探討後續防災重點方向，作為未來防災對策修正與制定之用。



圖 3-4 令和元年哈貝吉颱風土砂災害特徵 (國土交通省，2019)

第二節 受災案例

一、 平成30年 (2018年) 7月豪雨事件

日本平成 30 年 7 月颱風巴比倫 (Prapiroon Typhoon) 登陸日本，引進西南氣流再加上 6 月 28 日梅雨鋒面滯留，誘發西日本多個縣市降下超大豪雨，導致以西日本為中心發生廣域性河川氾濫、區域淹水、土石流等災害事件，造成 224 名人員死亡、8 人失蹤、住宅毀壞 21,460 棟 (全毀與半毀合計)、住宅淹水 30,430 棟、263,593 戶斷水。期間日本政府發佈避難指示 (緊急情況) 計 915,849 戶，2,007,849 人，另發佈避難勸告計 985,555 戶，共 2,304,296 人(國土交通省，2018)。

茲簡要摘錄國土交通省社會資本整備審議會 2018 年「大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策のあり方について」災害資料如下：

(一) 降雨概況資料

受梅雨鋒面影響，從 6 月 28 日到 7 月 8 日為止，各地總降雨量分別為：四國地區 1,800 mm，東海地區 1,200 mm，九州北部地區 900 mm，近畿地區 600 mm，中國地區 500 mm 以上，為往年 7 月平均降雨量之 2 至 4 倍，而前述地區多處測站之 24、48、72 小時降雨皆創下歷史紀錄。

(二) 土砂災害簡要資料

此次事件中合計對 1 道 2 府 31 縣計 505 市町村發佈土砂災害警戒情報，其中廣島縣、愛媛縣發生廣域性土砂災害，約為近 10 年土砂災害發生平均事件數的 2.3 倍，總計 2,512 件 (圖 3-5)。廣島縣的大屋川及總頭川等多數河川其上游發生土砂災害，大量土砂進入河道中，影響下游地區形成土砂及洪水氾濫災情。另外在廣島縣內有一些平時在定期檢查中並無出現變形、毀損等情況的防砂壩、堰及堤防等設施，在本次事件中，由於土石流等災害，造成破損、變形、流失等情形 (圖 3-6、圖 3-7)。

(三) 人員傷亡簡要資料

此次事件造成人員傷亡主要位於岡山縣、廣島縣、愛媛縣。廣島縣共 109 人死亡，其中 87 人因土砂災害傷亡，岡山縣 61 人死亡則是因水災事件造成。但值得注意的是，此次在廣島縣土砂災害死者及岡山縣倉敷市死者約 9 成都是 65 歲以上高齡者。

(四) 支援災害應變

國土交通省緊急災害派遣隊 (Technical Emergency Control, TEC-FORCE) 在全國各地總計派員 10,820 人，每天最多有 607 人派往地方政府進行災害緊急應對支援。災害緊急應對包括派遣灑水車、路面清掃車、防塵對策、支援供水、受災者生活支援等。在岡山縣倉敷市真備町，由於水災嚴重，故實施 24 小時緊急排水作業，約 1200 公頃淹水地區在 3 日內排除；在廣島縣吳市則以支援清除堆積散落在市區道路及河道之土砂、漂流木、雜物等堆積物為主。

(五) 救援活動

日本防衛省在此次事件投入人力 33,100 名、船艦 28 隻、飛機 38 架進行救援活動，總計救助 2,284 人。消防廳在岡山縣、廣島縣、愛媛縣、高知縣等四縣約派出 15,000 名人員、271 架直升機進行救援活動，總計救助 397 人。

(六) 道路、鐵道等交道路網中斷

在中部九州南部大範圍道路受到土砂流入及橋樑毀損、積淹水等情況影響，造成 63 條公路與 77 地區間交通中斷；在鐵道方面，由於土砂流入、路線積水、橋樑流失等問題，造成 32 家鐵道運輸業者約 115 條路線停止運行；在物流方面，因 JR 貨物停止運送，其運送量約佔全國 3 成，造成替代輸送、繞道輸送等物流費用損失。

(七) 維生管線災害

以西日本為中心，廣大範圍地區之電線、自水來、污水管線等設施遭受嚴重損害，在岡山縣、廣島縣、愛媛縣等多處發生停電，且由於土石流災害影響，多處淨水場、抽水站損壞，造成斷水情形，甚至導致下水道處理場因淹水而無法運作。

(八) 醫療、護理設施災害

全國有 95 處醫療設施院所，受到淹水、斷水等災害情形影響，其中在倉敷市真備町醫院，大規模河川氾濫造成嚴重淹水，民眾約 300 人陷入孤立無援狀態。在高齡者長照機構方面，全國 268 處設施由於淹水情形發生，約有 30 處設施，合計 657 人被迫撤離到其他療養院及醫院避難。

(九) 產業影響

在農林水產相關產業受災損失金額方面，農業相關受損約 1,675 億日元、林業相關受損約 1,608 億日元、水產相關受損約 20 億日元，合計約 3,303 億日元。在廣島縣三原市、岡山縣岡山市及多處工業園區，由於鄰近堤防潰堤發生淹水災害，損失慘重。



圖 3-5 平成 30 年 7 月(2018 年 7 月)災害情況 (國土交通省，2019，
近年の土砂災害における課題等を踏まえた土砂災害対策のあり方
について)



圖 3-6 岡山縣創敷市真備町淹水狀況 (國土交通省，2019，氣候變動を踏まえた治水計画に係る技術検討会)



圖 3-7 各地區土砂災害狀況 (國土交通省，2019，氣候變動を踏まえた治水計画に係る技術検討会)

二、平成28年(2016年)北海道・東北地區颱風事件

2016年8月獅子山颱風(Lionrock Typhoon, 10號颱風)侵襲日本,北海道地區之中央政府管轄一級河川中,有4條河川發生堤防潰壞、5處河川洪水氾濫;都道府管轄河川中,有5處河川發生堤防潰壞、73處河川發生洪水氾濫,造成3名人員死亡、2名失蹤、輕重傷者13名、住宅全毀30棟、半壞或部份毀損1,019棟、住宅淹水927棟(國土交通省,2017)。此外,在東北地區之縣管河川(岩手縣、青森縣、宮城縣)有12個流域、20條河川發生淹水災害,岩手縣有20名死者、3名失蹤、輕重傷者4名、住宅全壞472棟、半壞或部份毀損2,359棟、住宅淹水1,466棟(圖3-8)。以下簡要摘錄國土交通省社會資本整備審議會2017年「中小河川等における水防災意識社会の再構築のあり方について」災害資料。

(一) 降雨概況資料

獅子山颱風(Lionrock Typhoon)於8月侵襲日本,造成戶蔦別川上流觀測所3天累積505mm降雨紀錄、石狩川水系空知川上游串內觀測所12小時雨量292mm、狩勝觀測所12小時雨量255mm、岩手縣岩泉觀測所最大時雨量66mm/hr(其中24小時累積雨量211mm)、常呂川北見觀測所12小時雨量105mm、上川沿觀測所12小時雨量98mm,因此造成北海道內5水系6河川分別為石狩川水系空知川、十勝川水系十勝川及札內川、常呂川、網走川、釧路川等水位達歷史最大值(圖3-9)。

(二) 北海道災害概況

在十勝川水系內的札內川,由於支流戶蔦別川發生崩塌導致洪水氾濫,使得札內川堤防潰決,造成該處周圍大約50公頃淹水災情。

石狩川水系內空知川，其上游堤防潰決，導致下游堤防亦潰堤且洪水氾濫，造成約 130 公頃地區發生淹水，影響 183 戶住宅及食品加工場等災損。常呂川水系，在主流有 4 處地區發生溢流情況、支流柴山沢川堤防潰決，造成約 504 公頃農地淹水，使得田間土壤受氾濫洪水影響而流失。

(三) 交通網絡災害概況

通往十勝地區的國道上，發生多處斷橋，特別是在 38 號和 274 號國道上，造成日高山區境內國道關閉，在中部和東部地區則是暫時處於孤島狀態。鐵路部分，由於各路線橋樑或橋墩流失，造成北海道東部路網中斷。

(四) 農業災害概況

此次日本農業災損，受一系列颱風災害影響，農業災損面積達 38,927 公頃，災損金額約 543 億日元。農作物損害約佔總產量的一半，其中受災地區之馬鈴薯生產量佔全國 83%，胡蘿蔔佔全國 92%，導致農作物價格急劇上漲。由於淹水災害所造成的破壞，使得田間土壤流失嚴重，需要相當長久時間恢復，對當地產業造成巨大影響。

(五) 岩手縣災害概要

岩手縣管理河川中，久慈川及安家川發生大量漂流木隨洪水而下，使得沿岸住宅、橋梁受土砂或漂流木堆積掩埋。在小本川部分，大量土砂及漂流木造成沿岸約 340 公頃土地遭到淹沒，有 844 戶住宅發生淹水災害。

交通路網方面，由於洪水的關係，沿河川的國道及主要地方道路中斷，使得各地區村庄超過 1,000 名居民處於孤島狀態。在小本川沿岸大部分土地被淹沒，由於破記錄大雨造成河川水位急劇上升，使得

有特別需求者（如高齡者、行動不便者、殘障者、嬰幼兒等），因逃生不及而發生傷亡情況。



圖 3-8 平成 28 年北海道・東北地區災害情況（國土交通省，2019，氣候變動を踏まえた治水計画に係る技術検討会）



圖 3-9 北海道內 5 水系 6 河川水位達歷史最大值（國土交通省，2017）

三、 平成27年 (2015年) 關東・東北豪雨災害

2015 年 9 月艾陶颱風 (Etau Typhoon) 引起的西南氣流，造成關東地區及東北地區大量降雨，以栃木縣日光市五十里雨量觀測站記錄到 24 小時雨量達 551 mm 最多，總計多達 16 處觀測站最大 24 小時雨量值皆超過歷史最大值如表 3-1 所示。鬼怒川流域觀測到流域平均 24 小時雨量達歷史上最大值 410 mm，並在鬼怒川的平方及水海道兩處地點觀測到史上最大流量，因此造成 19 處河川堤防潰堤、67 處河川洪水氾濫等 (圖 3-10、圖 3-11)。

受洪水影響，常總市三坂町周邊地區因河川溢堤造成堤防潰壞，在沿河破堤周圍多處住宅遭洪水沖擊流失毀損，若宮戶周邊地區發生淹水災害，在常總市約有三分之一的地區淹水，災害面積約 40 平方公里。除了大範圍地區淹水外，由於市町村發布疏散警告不及，以及居民缺乏自主避難行動，造成許多居民處於被孤立、隔離狀態，約有 4,300 人需要救援 (圖 3-12)。

雖然洪水期間，很多地方都實施相關防洪措施，但由於多處地點發生堤防漏水、溢堤及區域淹水等情況，需要進行疏散避難，且並非所有地區都能夠堆積沙袋防止漏水、減少溢淹情況。另外，在常總市由於許多避難者受到淹水影響，無法到達該市指定避難場所，因此緊急與鄰近市町進行協調，將超過半數以上避難者撤離到市區外避難場所進行避難。

在土砂災害方面，計有 17 都縣共 177 處地點發生土砂災害。其中栃木縣鹿沼市日吉町發生崩塌造成 1 名人員死者，受傷者 1 名；栃木縣日光市芹沢地區則有 9 處發生土石流，造成 7 處房屋毀損 (圖 3-13)。

表 3-1 破歴史最大 24 小時雨量紀錄

都道府縣	市區町村	降雨量 (mm)	都道府縣	市區町村	降雨量 (mm)
宮城縣	栗原市	194.5	栃木県	日光市 土呂部	444
宮城縣	加美郡 加美町	238	栃木県	日光市 今市	541
宮城縣	仙台市泉區	293	栃木県	鹿沼市	444
宮城縣	刈田郡 藏王町	180.5	栃木県	宇都宮市	251.5
福島縣	南会津郡南 会津町南郷	161.5	栃木県	佐野市	216.5
福島縣	南会津郡南 会津町館岩	262	栃木県	栃木市	356.5
茨城縣	古河市	247	栃木県	小山市	268.5
栃木県	日光市 五十里	551	栃木県	越谷市	238

資料來源：國土交通省，2015，平成 27 年 9 月関東・東北豪雨に係る被害及び
復旧状況等について

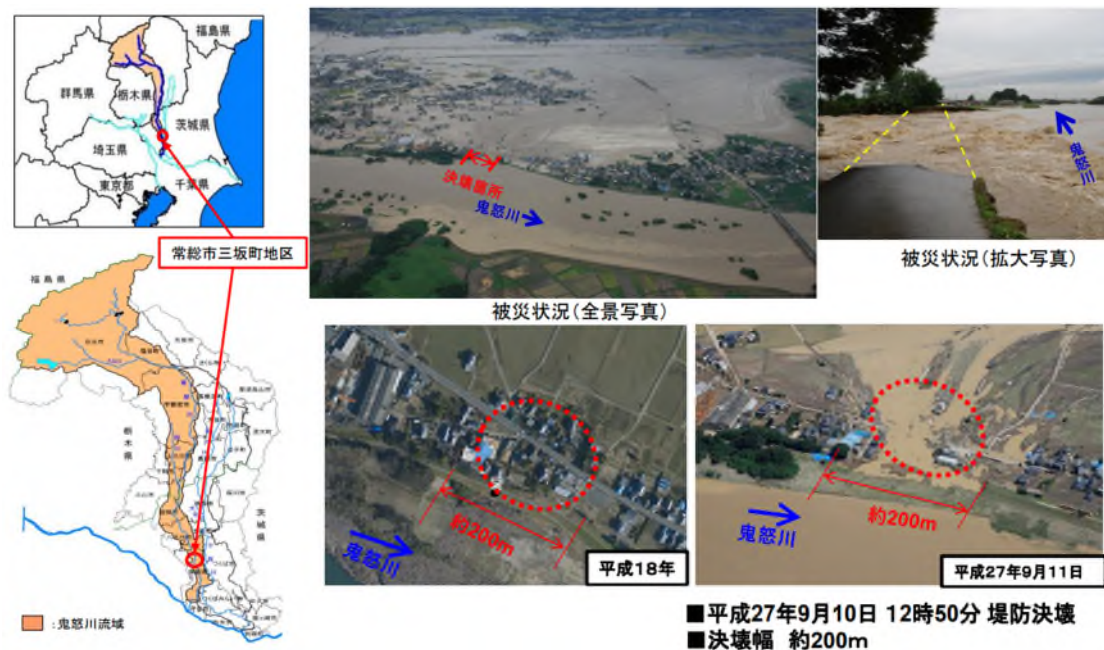


圖 3-10 鬼怒川洪水氾濫災害情況 (國土交通省，2015，平成 27 年
9 月関東・東北豪雨における洪水及び被害等の概要)



圖 3-11 平成 27 年 9 月 鬼怒川下游災害状況 (国土交通省，2015，平成 27 年 9 月関東・東北豪雨における洪水及び被害等の概要)



圖 3-12 茨城県常総市淹水状況 (国土交通省，2019，気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会)

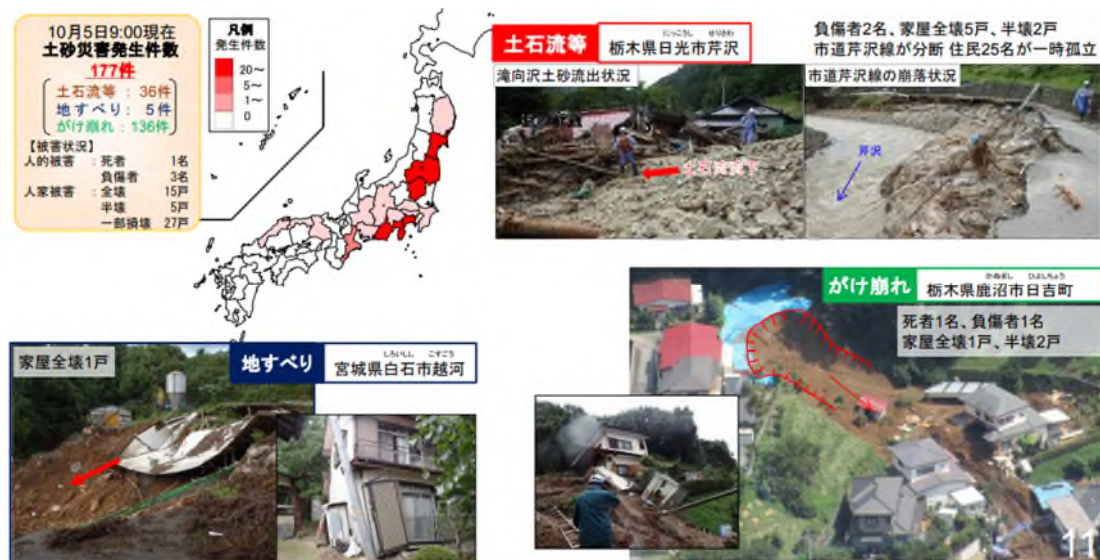


圖 3-13 關東・東北土砂災害情況 (國土交通省，2016，平成 27 年 9 月關東・東北豪雨に係る被害及び復旧狀況等について)

四、 令和元年 (2019年) 東日本颱風豪雨事件

2019 年 10 月哈吉貝颱風 (Hagibis Typhoon) 在南鳥近海，在 12 日 19 時登陸伊豆半島，之後於 13 日 12 時通過關東地區，轉為溫帶低氣壓。哈吉貝颱風在日本關東甲信、靜岡縣、新潟縣、東北等各地區之 3、6、9 小時降雨量皆創下歷史紀錄，最大 1 小時降雨發生在岩手縣閉伊郡普代村普代觀測站降雨量 95 mm，最大 24 小時降雨在神奈川縣足柄下郡箱根町箱根觀測站降雨量 942.5 mm，靜岡縣伊豆市湯島站降雨量 717.5 mm，埼玉縣秩父市浦山站降雨量 647.5 mm。

總降雨量在神奈川縣箱根觀測站達到 1,000 毫米，東日本各地計 17 個地區降雨量皆超過 500 毫米。特別是在靜岡縣、新潟縣、關東甲信、東北地區等多個地點，其 3、6、12 及 24 小時降雨量均超過歷史記錄值。日本氣象廳在 1 都 12 縣 (東京都、靜岡縣、神奈川縣、埼玉縣、群馬縣、山梨縣、長野縣、茨城縣、栃木縣、新潟縣、福島縣、宮城縣、岩手縣) 發布大雨特別警報，其危險度為極端危險。

受到降雨影響，發生廣域的河川氾濫及土砂災害，造成人員及房屋損害傷亡，電力、自來水、道路、鐵路等維生管線及交通路網亦嚴重毀損，飛機和鐵路等交通嚴重停擺 (圖 3-14)。

國土交通省統計，JR 東日本北陸新幹線長野車輛中心，受千曲川長達 70 公尺潰堤影響，導致 8 列 E7 系與 2 列 W7 系列車合計 10 編組 120 節車箱泡水，造成約 328.11 億日圓(約新台幣 92.75 億元)損失 (圖 3-15)。

由於低氣壓影響，千葉縣、福島縣等降雨量記錄超過 300 毫米，其中宮城縣、福島縣、千葉縣、埼玉縣等縣管河川計 20 水系 34 河川發生溢堤、排水不良情況，約 2,400 公頃淹水。依據日本消防廳 12 月 12 日資料顯示，共計 99 人死亡、3 人失蹤、3,081 棟房屋全毀、24,998 棟房屋半毀，床上浸水 12,817 棟、床下浸水 24,472 棟。

依據國土交通省資料，東日本颱風豪雨事件，造成日本全國發生 952 件土砂災害 (包括 407 件土石流災害、44 件地滑災害、501 件坡面崩塌)，非常接近全國年平均災害事件數量 (約為 1,100 件/年)。在東北、關東地區等多個地方發生土砂災害皆超過 100 件 (超越過去 10 年颱風引起土砂災害件事平均值)，其中宮城縣為 254 件、岩手縣為 144 件、福島縣為 98 件、神奈川縣 94 件等 (圖 3-16)。

此次事件颱風伴隨著豪雨，形成降雨區域移動，造成以東日本為中心的廣域土砂災害發生，其中一部分土砂災害並不在指定之土砂災害警戒區域內，且多數中小型河川上游發生土砂災害，大量土砂進入河道，導致下游發生「土砂・洪水氾濫」災情。



圖 3-14 那珂川堤防潰決淹水災害 (國土交通省 關東地方整備局，
2020，令和元年台風第 19 号を踏まえた「那珂川緊急治水対策プロ
ジェクト」を開始します)



圖 3-15 長野千曲川潰堤北陸新幹線淹水災害 (朝日新聞，
<https://asahichinese-f.com/society/12794022>)



圖 3-16 令和元年東日本颱風豪雨事件災害情況 (國土交通省，
2019，令和元年の土砂災害)

五、 小結

日本在氣候變遷溫度上升 2°C 情境下，降雨量恐將增為 1.1 倍，流量變為 1.2 倍，降雨量增加將引致群發性且更大規模的土砂災害，近年歷史災害事件資料亦顯示，受災程度及災害影響規模有增加之趨勢 (圖 3-2、圖 3-3)。因此如欲擬訂具實效性之調適對策時，需先建立土砂災害類型、發生規模及頻率、超過設計土砂生產量之災害外力增加程度等評估方法 (圖 3-17)，並且瞭解土砂移動現象受到那些基因因素與誘因之影響，及其所造成土砂生產量增加比例之變化。最後應進一步研究這些變化會造成那些災害現象發生，其潛在發生地點等都是需要檢討的項目，且在設計和規劃中考慮土砂流出與尖峰流量增加程度，並反映在技術基準中(圖 3-18)。



圖 3-17 因應氣候變遷土砂災害對策檢討課題 (國土交通省，2020，氣候變動を踏まえた砂防技術検討会)

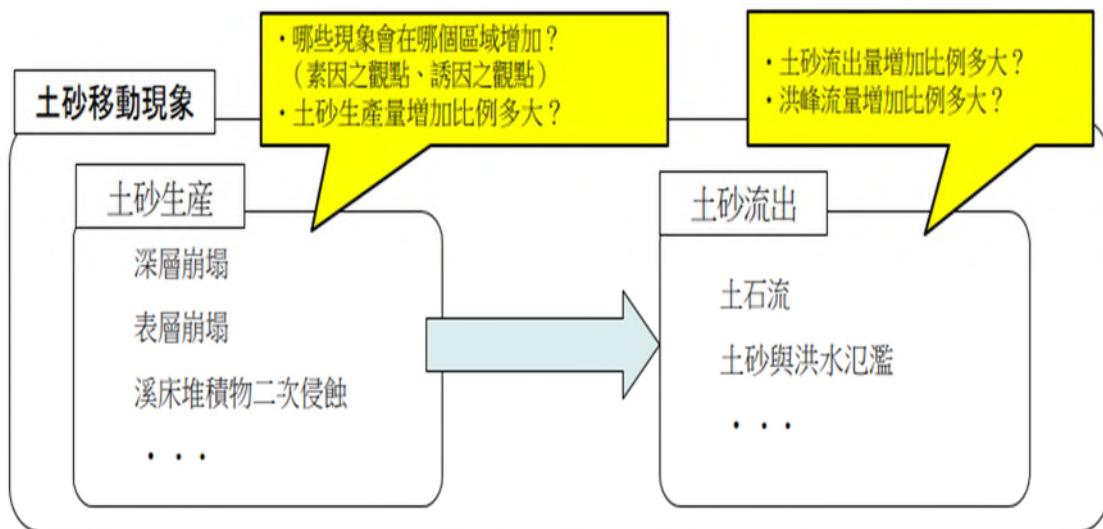


圖 3-18 因應氣候變遷土砂移動現象課題 (國土交通省，2020，氣候變動を踏まえた砂防技術検討会)

第三節 災害特徵與面臨問題

近年來全球暖化的情況加劇，氣候變遷影響所帶來的衝擊，導致大雨發生機率增加、短延時強降雨及無降雨日亦增，並有海平面上升、旱災與熱浪等情形。在此情況下，日本全國各地相繼發生多起災害事件，其中受突發性局部大雨、大規模與複合型土砂災害等多重因素，形成群發性、廣域的「土砂・洪水氾濫」災害（圖 3-19），且由於預警疏散反應時間極短，常導致人們避難不及而發生傷亡。



圖 3-19 複合型因素形成之土砂洪水氾濫災害（國土交通省，
2019，氣候變動を踏まえた治水計画に係る技術検討会）

日本內閣府於推動綜合土砂災害防止對策報告中指出（內閣府，2015，総合的な土砂災害対策の推進について），由 2014 年廣島土砂災害事件討論豪雨造成之土砂災害問題，目前既有的防災制度與防災情報並非完善，且市町村等單位多無法充分運用現有防災機制。與洪水等其他水災災害相比，由於土砂災害之突發性、預測不確定性等特性，可歸納出以下四個問題點：

1. 居民無法充分掌握突發性高且難以預測的土砂災害風險；

2. 無法徹底活用氣象預報與土砂災害警戒情報，進而儘早發布避難準備情報、避難勸告等命令；
3. 在豪雨事件期間無法依原規劃路線避難撤離之際，政府尚無法充分通知民眾，可往鄰近堅固房屋避難，或往自家較高樓層，離山坡遠一點的房間躲避，也是有效的避難行動；
4. 社區營造與都市規劃顯然未充分考慮土砂災害風險。

針對上述問題點，內閣府綜合土砂災害防止對策檢討工作小組，研擬之土砂災害對策建議，可分為下列事項（內閣府，2015，総合的な土砂災害対策の推進について）：

1. 掌握並分享土砂災害特徵與災害危險地區資訊；
2. 將防災情報充份傳達給民眾；
3. 強化居民的避難行動；
4. 推動社區營造與國土保全對策；
5. 災害發生時的迅速救災行動；

以上建議事項為日本中央政府記取 2014 年廣島土砂災害事件，全面調查近年全日本各地豪雨發生狀況之後，藉由推動國土強韌化、創造地方工作機會的角度進行探討，除了解各區域土砂災害承受度，並提出綜合性對策。因此，國土交通省除了強化防砂壩整備等硬體對策外，並積極推動土砂災害警戒區劃定、土砂災害防災地圖製作、強化警戒避難系統，並修訂土砂災害防止法相關規定，在土砂災害警戒區完成劃定前，應先公布調查結果並公告民眾周知。

雖然多年來國土交通省積極推動各項防減災對策，且於 2014 年廣島土砂災害後修訂土砂災害防止法，但 2018 年 7 月豪雨仍造成日

本平成年代最大土砂災害事件，為避免類似災害再度發生，國土交通省水管理・國土保全局成立「確保實效性避難之土砂災害對策檢討委員會」，進行災害情境及防減災對策之有效性驗證，並檢討在確保實效性之避難目標下，提出因應未來土砂防災對策如下(圖 3-20，國土交通省，2019，実効性のある避難を確保するための土砂災害対策のあり方について)：

1. 提升土砂災害警戒資訊之精度；
2. 提升土砂災害警戒區之識別度；
3. 建構提升市町村防災力之支援體系；
4. 依據地區防災計畫而建構之警戒避難體系；
5. 整合地區防災計畫共同整備的砂防設施；
6. 其他掌握 2018 年 7 月豪雨土砂災害特徵之對策。

在此次事件中，某些災情嚴重地區，因當地居民自主防災及合作關係，未有人罹難。因此若能讓以居民為主導的「地區防災計畫」與政府部門主導之「區域防災計畫」互相配合，可發揮居民蒐集資訊自主行動力（自助），將有助於強化地區自主防災活動（共助）與公部門實施防災措施結合（公助），以提升地區防災力，強化避難實效性，並達成減少土砂災害傷亡損失之目的。

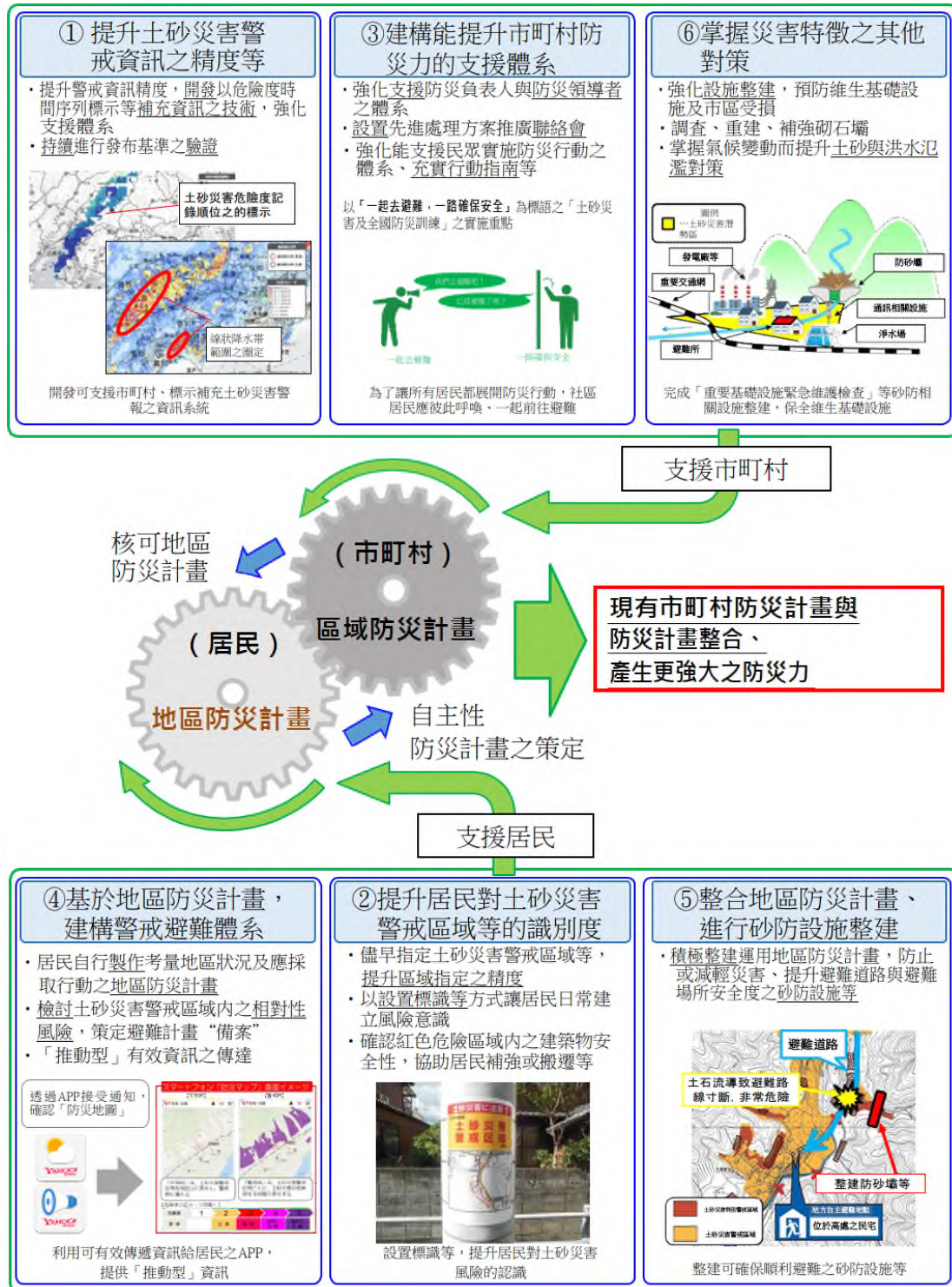


圖 3-20 實效性避難之土砂災害因應對策 (國土交通省，2019，实效性のある避難を確保するための土砂災害対策検討委員会)

此外，對於評估氣候變遷的影響，將研發能更準確評估各地區受災風險之方法，並深入分析受氣候變遷導致災害風險增加之狀況，以

簡單易懂的方式向當地民眾傳達未來相關災害風險資訊。為減輕災害衝擊損失，並考量設施防護能力有限，在發生超過設施防護力之重大洪水事件下，將推動建立一個整合軟、硬體防減災措施的「水災預防意識社會」（圖 3-21、圖 3-22）。由於氣候變遷引致之災害外力（暴潮及海岸侵蝕、洪水、土砂災害、旱災等）有發現劇烈化的趨勢，因此有必要進一步運用各種軟體、硬體、管理、自主防災等複合式防減災對策，並通過各相關利害關係人的共同努力以提高對策有效性。



圖 3-21 出流管制對策（國土交通省，2020，氣候變動を踏まえた水災害対策検討小委員会）



圖 3-22 構築水防災意識社會對策（國土交通省 關東地方整備局，2020，令和元年台風第 19 号を踏まえた「那珂川緊急治水対策プロジェクト」を開始します）

重要的是，為了因應氣候變遷所導致之災害，各單位應共同合作制定相關調適對策，以減輕氣候變遷所帶來的影響。以國土交通省 2019 年因應氣候變遷治水計畫方針為例，提出在建立水災預防意識社會的前提下，為減輕災害事件衝擊所實施之對策構想如下：（圖 3-23，國土交通省，2019，氣候變動を踏まえた治水計画のあり方）：

1. 防止和減輕來自洪水、土砂、暴潮和其他來自河川洪氾的防洪對策；
2. 控制雨水、土砂、漂流木等流入河川的抑制對策；
3. 有效抗災的社區發展和土地使用管制對策，以最大程度減少洪氾發生時之災害損失；
4. 促進順利疏散以保護民眾生命安全對策；

5. 以促進災害儘早恢復、消除洪氾、制定行政機關及企業等
BCP 的危機管理對策。

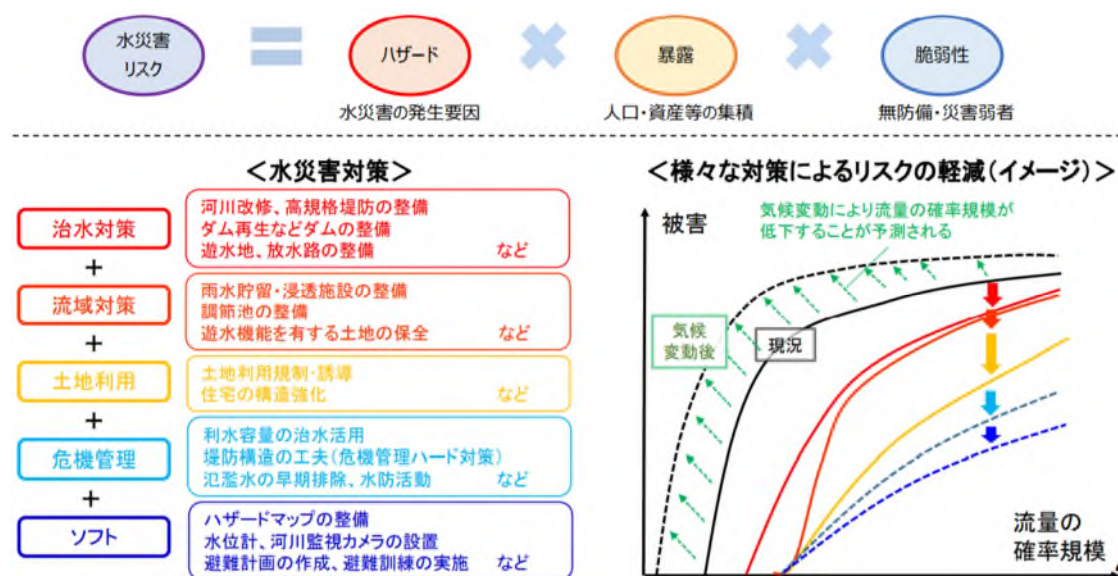


圖 3-23 考慮氣候變遷影響下之水災害防治對策 (國土交通省，

2019，氣候變動を踏まえた治水計画に係る技術検討会)

以目前預測未來降雨強度將持續增加的情況下，未來災害外力必將超過現有防災設施之防護能力，故傳統防災機制與思維恐將無法有效因應。要讓土砂災害傷亡最小化，除了政府部門（中央政府、地方都道府縣、市町村）應進行技術及財力支援外，尚需加入企業、民間組織（自治會、自主防災組織、社福協會、志工等）及民眾本身等彼此合作，因此除了硬體工程外，亦需考量軟體、管理（法律、規範、管制等）、自主防災等面向來推動土砂災害調適策略，並持續檢討修正實施對策之效果，以發展有效率及有效果之措施與技術。

第四章 氣候變遷對河川及土砂災害的影響與 衝擊

藉由歷史降雨、颱風、氣象溫度、災害事件等資料分析顯示，日本時雨量超過 50 毫米的短延時強降雨發生機率約為 30 年前的 1.4 倍，日本氣象廳指出，若溫室效應提升全球氣溫，則短延時強降雨發生次數將再增加。利用 A1B 情境模擬下，以日本一級河川為對象，預測流域最大年平均雨量約為目前的 1.1 及 1.3 倍 (圖 4-1)，且 2016 年 8 月日本首次出現一個月內 3 個颱風登陸事件，氣候變遷影響下形成颱風頻率提高，另在鋒面方面，由於梅雨鋒面停滯 (梅雨前線 が停滯し) 提高水蒸氣流入引致降雨量提高，造成許多觀測站降雨量破歷史紀錄。因此氣候變化異常現象，如降雨量增加、颱風強度、路徑與風速改變、鋒面與局部豪雨狀況改變、海平面上升等，引致複合災害劇烈化，包含洪水、內水氾濫、土砂災害、暴潮與波浪等劇烈化現象，造成日本近年來「洪水與土砂氾濫」災害頻繁出現 (圖 4-2，國土交通省，2019，水管理國土保全局河川計畫課，因應氣候變遷水災對策檢討小組委員會議)。

日本近年來頻繁發生嚴重土砂災害，如 2016 年北海道與東北地區災害事件、2017 年九州北部豪雨事件、2018 年 7 月豪雨事件、2019 年第 19 號颱風 (哈吉貝颱風) 豪雨事件等，因應降雨特性改變而形成劇烈化土砂災害，日本相關單位正研擬相應之防減災對策。然而，氣候變遷引致降雨特性改變將形成何種致災性土砂移動現象與土砂災害，目前尚未有充分科學技術說明。此外，土砂移動現象受地文、水文、氣候條件等影響，亦可能造成各區域災害情況皆不相同 (國土

交通省，2019，因應氣候變遷防砂技術檢討會議)。

因此，本章節藉由國土交通省相關因應氣候變遷在砂防技術、治水災對策、土砂災害防止對策、調適對策等進行資料蒐集，並綜整探討水災及土砂災害之影響，以作為後續對策研擬之參考。

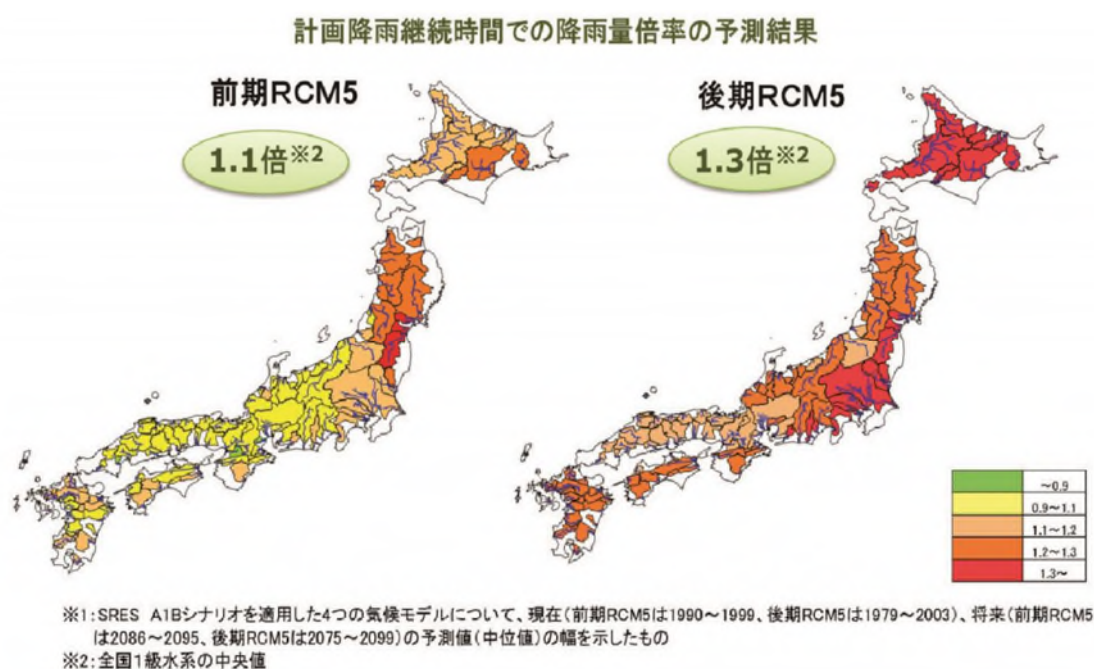


圖 4-1 A1B 情境預測下流域最大年平均降雨量 (國土交通省，2020，河川事業概要)

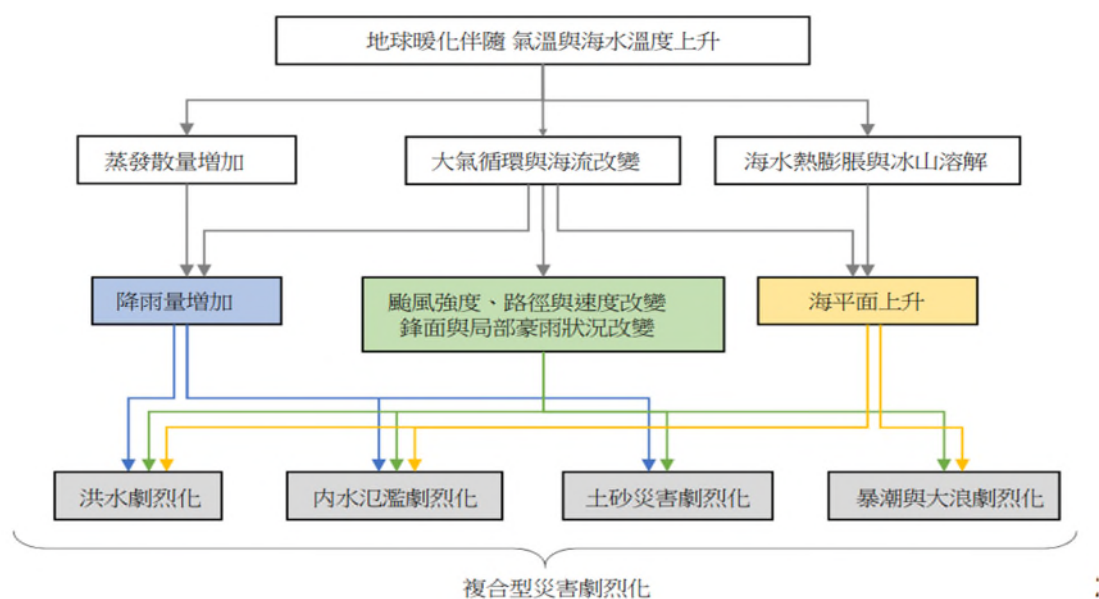


圖 4-2 氣候變遷下複合災害嚴重化現象 (國土交通省，2019)

第一節 河川及土砂災害影響

氣候現象變化形態如突發性局部大雨（主要為單獨積雨雲局部地區劇烈化，通常發生時間在數小時以內，影響範圍在 1 公里至數 10 公里之間，其預測非常困難）、短延時強降雨（主要由於峰面、低氣壓所影響之降雨型態，通常發生時間在數小時至 1 到 2 日內現象，影響範圍在 10 公里至 100 公里程度，可以在發生前 1 日至數日前預測）、颱風強度增強（颱風降雨量超過 1000 毫米以上歷史記錄大雨、颱風最大風速超過 45m/s，約為 14 級風）等（圖 4-3），其對土砂災害的影響分別如表 4-1 所示：

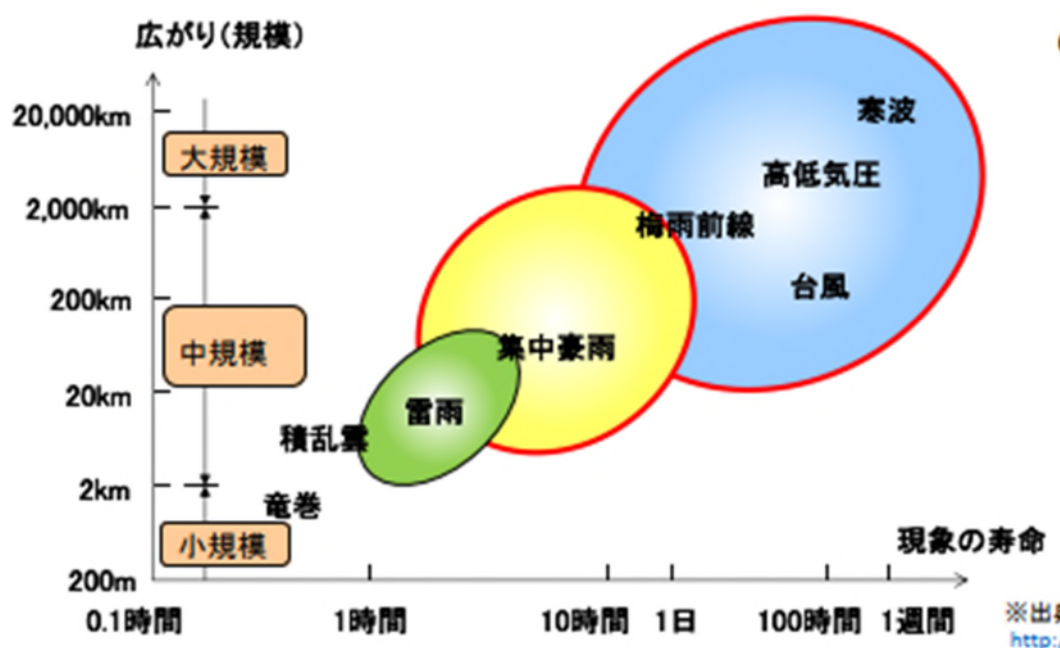


圖 4-3 氣象現象的規模及時間尺度（國土交通省，2019，氣候變動を踏まえた治水計画に係る技術検討会）

表 4-1 氣象變遷對土砂災害影響

氣象變化	土砂災害變化	基本措施
突發性局部大雨	1. 降雨開始至土砂災害發生時間縮短	1. 土砂災害發生頻率增加之對策
短延時強降雨	1. 土砂災害發生頻率增加 2. 超越計劃規模土砂災害增加 3. 深層崩壞、0 次谷、越過山脊現象之土砂災害等災害類型發生 4. 漂流木災害增加	2. 土砂災害造成警戒避難反應時間短之對策 3. 超過計劃規模之土砂移動現象對策 4. 深層崩壞等災害對策 5. 谷地地形不明顯地點之土砂災害對策
颱風雨量、風速增強	1. 超越計劃規模土砂災害增加 2. 深層崩壞等災害增加 3. 漂流木災害增加	6. 土石流越過流域邊界之對策 7. 漂流木災害對策 8. 上游集水區管理對策

資料來源：國土交通省，2020，氣候變動を踏まえた砂防技術検討会

針對突發性大雨、短延時強降雨、颱風強度增加所造成土砂災害變化，主要反應在發生頻率增加、反應時間變短、土砂量增加、深層崩塌發生、漂流木增加等災害現象。因此其基礎調查工作成果，應反應於土砂災害警戒區劃設、避難準備-勸告-指示發布時機點、防災設施之防護標準設定是否完善，藉由降低預測錯誤及誤報資訊傳遞，以加速執行避難行動。然而，在避難行動之判斷上，仍應仰賴民眾之自主防災意識，因此加強警戒區域及危險地區之資訊傳遞、落實防減災科普教育，實屬必要，以提升民眾自主防災意識與能力。

除了氣候變遷影響造成未來降雨強度更頻繁與劇烈化，社會結構改變如人口減少、高齡化及少子化等問題，都將使得防災對策需加以因應調整（如表 4-2 所列）。國交土通省在面對令和元年（2019 年）東

日本颱風事件災害所顯現出之問題，已針對氣候變遷影響、社會結構變化與災害影響評估等未來可能面臨問題，深入研究並建立對策，藉由政府部門整合企業與民眾能量，檢討制定未來河川及水災對策之方向。

表 4-2 氣候變遷對河川及水災災害影響及對策方向

氣象變化 (hazard)	社會結構變化 (exposure & vulnerability)	2019 年第 19 號颱風 災後影響評估 (Risk)	對策方向
➤ 颱風勢能超過設施防護能力 ➤ 未來可能出現超過計劃規模之颱風事件 ➤ 未來提升各地區安全度等級無法符合預期規劃	➤ 因應人口減少、高齡化與少子化，採取最適當之國土與土地利用 ➤ 國際化趨勢 ➤ 產業結構改變	1. 部分地區過去所推動防患未然硬體工程對策發揮效果 2. 在全國各地安全度較低場所，發生堤防潰決、溢堤、淹水與土砂災害 3. 部分水庫提前進行洪水防災操作，提升洪水調節容量 4. 事前發布各種災害情報，避難行動人數增加，部分避難場所擁擠 5. 危機時未收到防災情報，未列入淹水或土砂災害危險區域地點卻發生災害 6. 高齡者避難延遲或行車途中發生人員傷害 7. 鐵道停開及高速公路封閉，社會需有因應方案	➤ 調控洪水及內水，防範氾濫、淹水對策 ● 推動治水對策 (推動河川整備計劃) ● 抑制河川入流量 (維護疏洪功能、整備雨水儲留設施) ● 降低洪水時水位 (運用水壩調節洪水、設置沉砂池、漂流木攔阻工) ● 活用既有設施 (流出抑制、洪水調節) ● 內水災害防止及減輕 (強化排水設施) ➤ 減少洪水及內水受災對象 ● 管制或輔導土地利用 (管制危險地區新宅地開發、緊密城市 compact city 防災規劃、輔導河川沿岸聚落遷村) ● 調控氾濫洪水

		8. 市政府、區公所與需特別照顧者利用設施淹水、交通及物流中斷，造成重建活動障礙 9. 災情嚴重者，地方政府難以順利進行恢復與重建工作	(副堤、月堤等施作) ➢防範減輕洪水與內水災害，並提升回復力 ●整備避難架構 (活用 my timeline 等個人避難規劃、確保民間大樓與高台等緊急避難場所) ●確保住宅耐災強韌度 (提高住宅基礎，高於淹水深度的居住空間設置) ●推動地方政府與企業BCP (事前防範淹水對策與淹水時緊急對策) ●排除氾濫水 (運用氾濫水排水設施與抽水機) ●鼓勵民眾買水災保險 ●災害時 TEC-FORCE 支援災區地方政府
--	--	---	---

資料來源：國土交通省，2019，氣候變動を踏まえた水災害対策検討小委員会

綜上，在氣候變遷所引起之土砂、河川及水災相關對策，應考量防護設施設計標準、災害外力規模(以颱風為主)、各地區治水安全度標準此三項，由調洪、滯洪、防洪等措施調控或減輕洪氾災害，並由土地使用管制措施，以減少受災對象並提升災害強韌度，同時藉由整合企業與民間防黨資源，以減緩災害影響，提升災後復原能力。

第二節 土砂災害衝擊

氣候變遷對土砂災害之衝擊，伴隨災害外力增強可能引致更顯著及巨大量體之土砂移動現象。綜整過去歷史災害資料如表 4-3 所示，伴隨破紀錄雨量，日本發生大量淺層崩塌，造成土石流及土砂與洪水氾濫等災害增加，且過去較少發生案例之深層崩塌與緩坡崩壞性地滑潛勢亦提高。近年來這些土砂災害事件，主要類型為多處同時發生之群發型淺層崩塌、土石流、土砂與洪水氾濫等現象（圖 4-4、圖 4-5）。因此，受到氣候變遷導致災害外力增強情況下，使得土砂運動現象劇烈化並增加土砂量侵蝕與淤積作用，加之短延時強降雨更激化上游山區土砂生產量及河川流量增加，形成巨量土砂被大規模洪水沖刷搬運至下游流出，造成土砂與洪水氾濫災害事件。再者地下水位受累積降雨量增加影響而上升，誘發深層崩塌、崩壞性地滑等災害潛勢升高，並衍生河道閉塞、溪床堆積體二次移動等二次災害情況。

表 4-3 氣候變遷下之土砂移動現象

編號	災害名稱 (代表性發生地點)	災害誘因	土砂生產過程	流出過程	雨量	地質岩性
1	2019 年第 19 號颱風 (宮城縣伊具郡丸森町)	第 19 號颱風 (哈吉貝颱風)	表層崩塌	土石流、土砂與洪水氾濫	累積雨量 607.5mm	花崗閃綠岩、花崗岩
2	2019 年第 19 號颱風 (群馬縣富岡市內匠)	第 19 號颱風 (哈吉貝颱風)	崩塌性地滑	崩塌性地滑	連續雨量 494.5mm 時雨量 48.5mm	階地淤積物
3	2018 年 7 月豪雨 (廣島縣安藝群坂町小屋浦、吳市天應)	第 7 號颱風 (派安比颱風) 及 梅雨峰面	表層崩塌	土石流、土砂與洪水氾濫	累積雨量 676mm	花崗岩類

	西條)					
4	2017 年 7 月九州北部豪雨	第 3 號颱風(南瑪都颱風)及梅雨鋒面	表層崩塌	土石流、土砂與洪水氾濫	累積雨量 829mm 時雨量 124mm	花崗岩類、泥質片岩、新第三紀火成岩等
5	2016 年第 10 號颱風(北海道清水町)	第 10 號颱風(獅子山颱風)	表層崩塌、溪床淤積物侵蝕	土石流、土砂與洪水氾濫	連續雨量超過 500mm	花崗岩、花崗閃綠岩等
6	2016 年第 10 號颱風(岩手縣岩泉町)	第 10 號颱風(獅子山颱風)	表層崩塌、溪床淤積物侵蝕	土石流、土砂與洪水氾濫	最大日雨量 194.5mm 時雨量 62.5mm	燧石、粘板岩、頁岩、砂岩、花崗岩、石灰岩
7	2014 年 8 月豪雨災害(廣島縣廣島市安佐南區、安佐北區)	第 11、12 號颱風(哈隆颱風、娜基莉颱風)及梅雨鋒面	表層崩塌	土石流	累積雨量 247mm 時雨量 87mm	花崗岩類、沉積岩類
8	2013 年第 26 號颱風(東京都大島町元町)	第 26 號颱風(韋帕颱風)	表層崩塌	泥流	累積雨量 824mm 時雨量 118.5mm	火山灰降下堆積物
9	2012 年 7 月九州北部豪雨(熊本縣阿蘇市)	梅雨鋒面	表層崩塌	土石流	累積雨量 816.5mm 時雨量 108mm	火山岩類、火山碎屑流堆積物
10	2011 年第 12 號颱風(奈良縣五條市等)	第 12 號颱風(塔拉斯颱風)	深層崩塌	土石流、河道阻塞、土砂與洪水氾濫	累積雨量 1812.5mm 時雨量 46mm	增積岩體(增生柱)
11	2009 年 7 月中國、九州北部豪雨(山口縣防府市)	梅雨鋒面	表層崩塌	土石流、土砂與洪水氾濫	累積雨量 264mm 時雨量 51mm	花崗岩類、變質岩類

資料來源：國土交通省，2020，氣候變動を踏まえた砂防技術検討会



圖 4-4 近年多處同時發生土砂災害狀況 (國土交通省，2020)



圖 4-5 近年土砂・洪水氾濫災害狀況 (國土交通省，2020，氣候變動を踏まえた砂防技術検討会)

此外，由國土交通省土砂災害對策方法專門調查（土砂災害対策のあり方の専門的調査）資料顯示，以 2018 年 7 月豪雨土砂災害致死案例共 49 個地點，有 32 處（約 65%）為指定之土砂災害警戒區，有 10 處（約 21%）為公告之土砂災害危險地點，有 7 處（約 14%）未納入土砂災害警戒區，以令和元年（2019 年）台風 19 號土砂災害共 259 地點（含人員死亡、失蹤、受傷、房舍受損事件）資料顯示，有 147 處（約 57%）為指定之土砂災害警戒區，有 112 處未在土砂災害警戒區內，其中可以分為以下三個類別(圖 4-6)：

1. 已在進行基礎調查，惟尚未指定為土砂災害警戒區 (9 處約 3%，另有 28 處約 11%已完成調查公告，但未指定完成)
2. 以目前基礎調查地形圖判讀後，尚難以掌握之地點，需要更詳細地形資料以判定危險程度 (51 處約 20%)
3. 不符合目前土砂災害警戒區域之指定基準(亦即不具明顯陡坡、地滑地形場所、明顯谷地地形場所，24 處約 9%)

※ 2019年12月27日18:00之資訊（災害資訊不明確地區的資料不列入統計）。
 ※ 依據都縣訪談結果整理而成。
 ※ 速報值，未來精查後資訊可能修正。

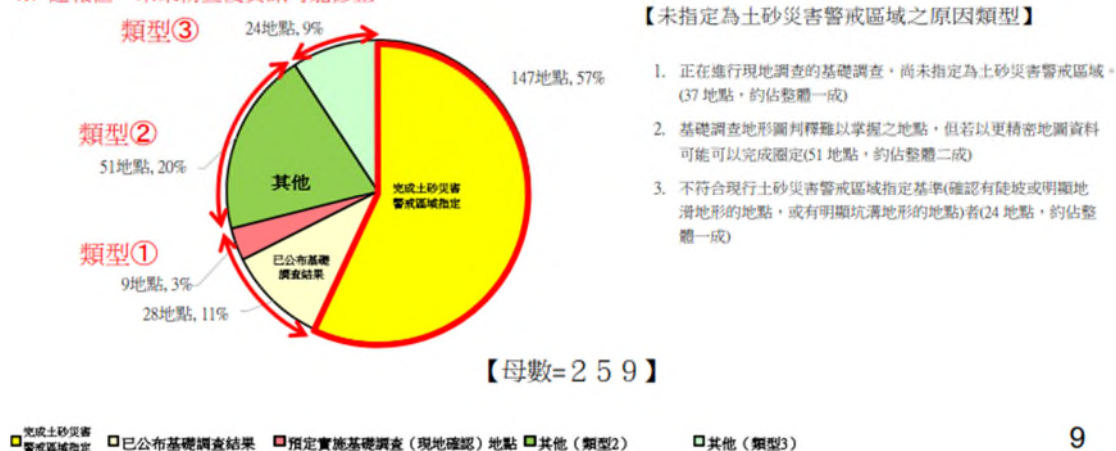


圖 4-6 土砂災害警戒區域指定狀況（國土交通省，2020）

對於土砂災害警戒區域的認知狀況，以平成 30 年 7 月豪雨事件 (2018 年) 災害發生地點對民眾進行對於自宅是否在土砂災害警戒區域內之問卷調查結果，約 24% 受訪者有正確認知，約 10% 錯誤認知，約 66% 受訪者完全不知道自宅在土砂災害警戒區域內 (圖 4-7)。

在土砂災害防災地圖 (hazard map) 公告狀況方面，根據土砂災害防止法第 8 條第 3 項規定，已經指定或預定指定為土砂災害警戒區域的市町村中，約有 84% 係以網頁公布防災地圖或以印刷物方式發送資訊於民眾 (圖 4-8)。

在土砂災害警戒情報發布狀況方面，在 2018 年 7 月豪雨事件，共計發布 505 個市町村，其中有 208 個市町村發生土砂災害 (約 41%)，無災害發生有 297 個市町村 (約 59%)；在 2019 年颱風 19 號事件，共計發布 437 個市町村，其中 141 個市町村發生土砂災害 (約 35%)，無災害發生 286 個市町村 (約 59%)，此二次事件之統計資料顯示出，土砂災害警戒情報準確率仍有待提升 (圖 4-9)。

【Q】瞭解自家是否位於土砂災害警戒區域內？

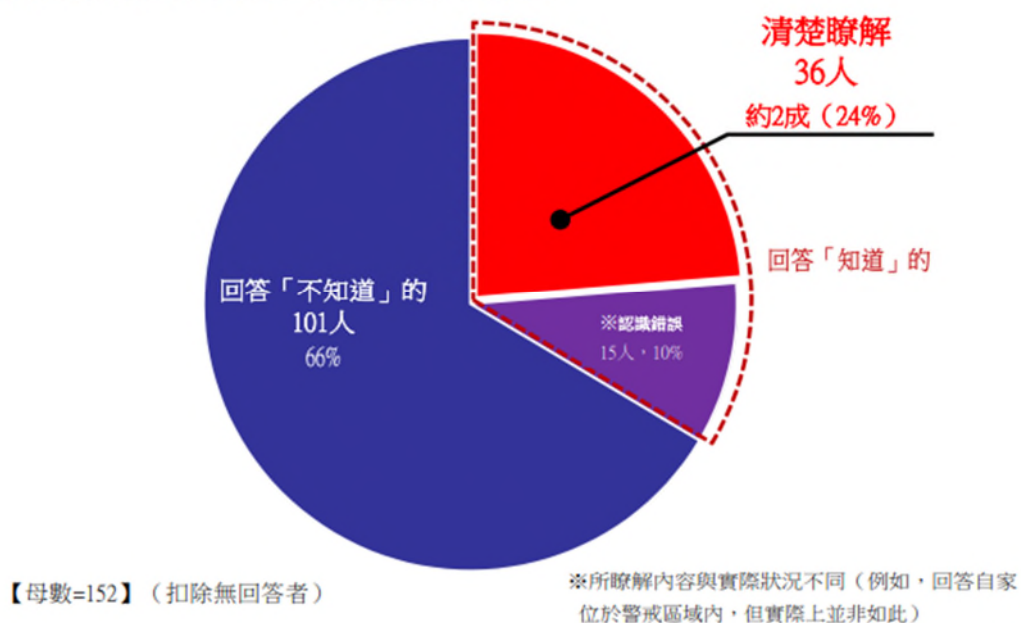


圖 4-7 土砂災害警戒區域認知狀況 (國土交通省，2020)

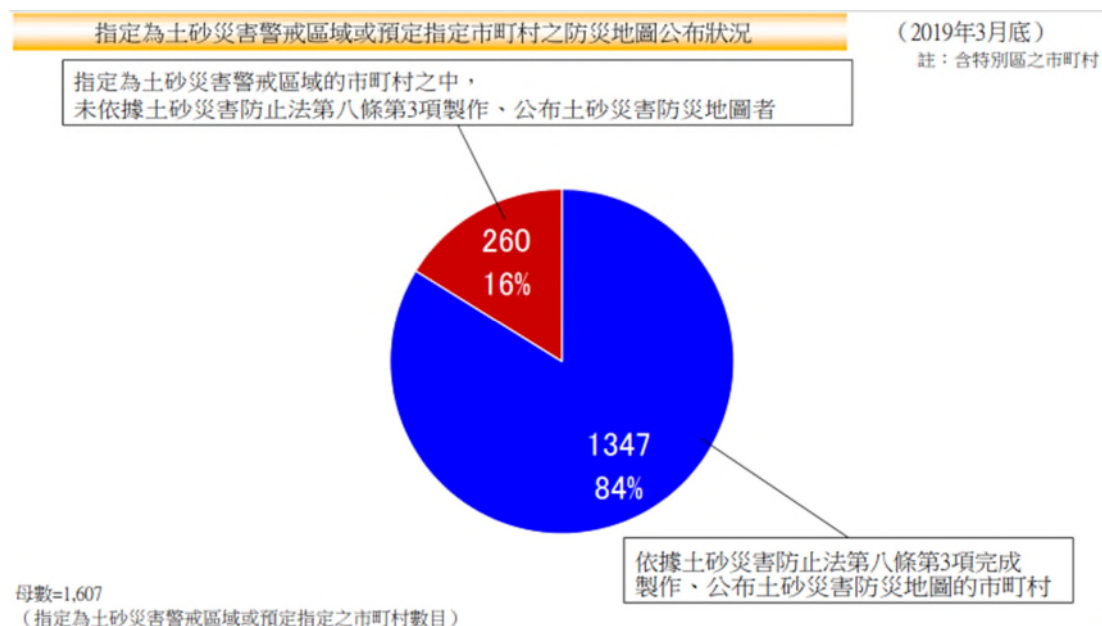


圖 4-8 土砂災害防災地圖公告狀況 (國土交通省，2020，近年の土砂災害における課題等を踏まえた土砂災害対策のあり方について)

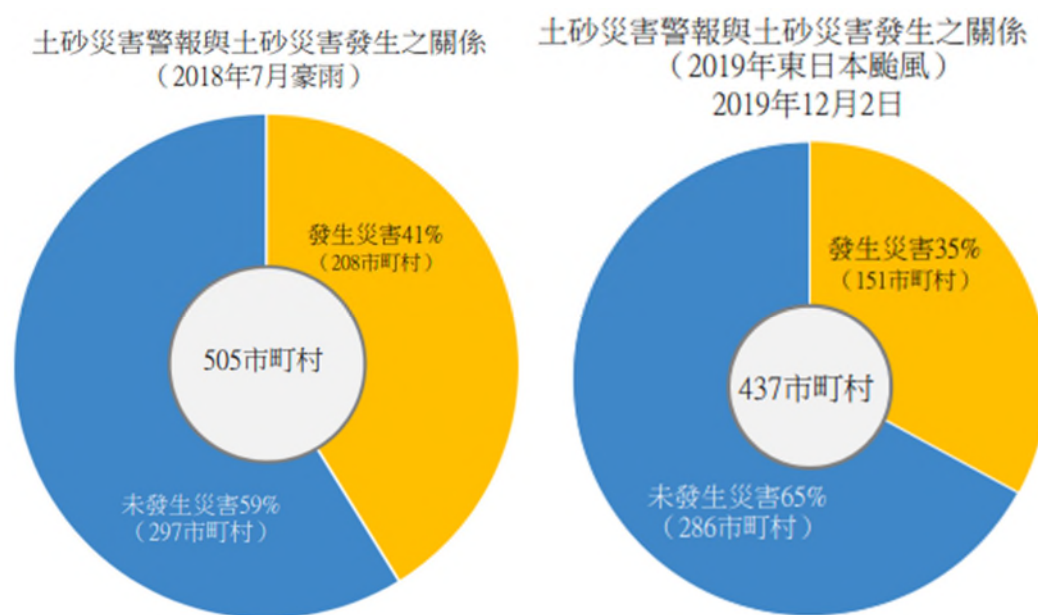


圖 4-9 土砂災害警戒情報發布狀況 (國土交通省，2020，近年の土砂災害における課題等を踏まえた土砂災害対策のあり方について)

雖然 2014 年 8 月豪雨事件造成廣島縣發生嚴重土砂災害後，日本政府已修訂「土砂災害警戒區域之土砂災害防止對策推動相關法 (土砂災害警戒區域等における土砂災害防止対策の推進に関する法

律)」，加強依法實施公開基礎調查之義務、公告通知土砂災害可能發生場所、推動指定土砂災害警戒區域等。但由歷史災害事件如 2017 年 7 月九州北部豪雨、2018 年 7 月豪雨、2019 年東日本颱風等仍發生嚴重土砂災害可知，其待解決之課題如下：

1. 民眾預警避難反應時間極短，使得民眾來不及逃離土砂災害；
2. 眾多未完成調查之土砂災害警戒區仍待指定；
3. 雖指定為土砂災害警戒區，但尚未完成防災地圖製作，民眾不瞭解當地土砂災害危險潛勢；
4. 土砂災害警報正確率仍待提升；
5. 預報發布時間與災害發生時間相隔過久，使得民眾誤以為無災害，卻於返家發生災害；
6. 發布警報時未達危險雨量，過一段時間後才達到危險雨量；
7. 已達危險雨量，但經過相當長的時間才發生土砂災害；
8. 災害經過很長時間才發生，期間不知道危險度變化情形；
9. 夜間達危險雨量時，是否發布避難疏散之兩難困境；
10. 當地政府及民眾對於防災演練之參與度不足；
11. 防災教育與防災意識等普及度不足；
12. 雖然自令和元年導入大雨警戒分級，政府部門工作重點，在掌握土砂災害發生資訊與發布警報，但東日本颱風事件，同時發生多處水災與土砂災害，以目前的警戒模式仍難以全面預測複合型土砂災害，未來仍有待提升土砂災害預測技術。

第三節 土砂災害對策

由前節土砂災害的衝擊可知，受氣候變遷影響災害外力增強，加劇土砂運動現象並增加土砂生產量，且強降雨及高累積雨量加大洪峰流量，使得上游產生巨量土砂隨洪峰往下游輸送，造成大規模、廣範圍之「土砂・洪水氾濫」類型災害，並提高深層崩塌、天然壩、地滑等災害潛勢及其衍生之二次災害事件，國土交通省藉由專家會議綜合討論土砂災害防減災調適策略，如 0 次谷 (Zero basin) 土砂災害 (圖 4-10)、越過山脊所造成鄰近流域之土砂災害 (圖 4-11)、颱風強度增大造成漂流木災害等現象 (圖 4-12)，目前將受氣候變遷情況影響之土砂災害變化現象歸納如表 4-4 所示。

パターン② 0次谷での土砂災害

○ 平成24年九州北部豪雨における熊本県阿蘇地方の土砂災害では、明瞭な谷地形を呈さない箇において、土砂災害が発生し大きな被害をもたらした。



圖 4-10 0 次谷土砂災害現象 (國土交通省，2015，氣候變動に適應した治水対策検討小委員会)

パターン② 尾根越え現象による土砂災害

○ 平成25年10月東京都大島町で発生した土石流は、尾根を乗越え、別の流域を流下したため被害が拡大した。



圖 4-11 越過山脊之土砂災害 (國土交通省，2015)

パターン④ 台風の勢力増大→流木災害

○ 平成3年9月台風第19号の暴風の影響により、220km²に及ぶ広い範囲で風倒木被害が発生。平成5年9月台風第13号では、風倒木被害が発生した地域で土砂災害が発生。土石流とともに流れ出た風倒木により、被害が拡大した。



圖 4-12 颱風強度増大造成漂流木災害 (國土交通省，2015)

表 4-4 土砂災害之調適對策

土砂災害變化	防減災調適對策
降雨開始至土砂災害發生時間縮短	➢ 精進硬體對策 ➢ 強化警戒避難體制 ➢ 進階化土砂災害警戒情報 ➢ 利用 SNS(社群網路服務)等新情報技術 ➢ 民眾自主避難 ➢ 通過清除石塊等方式有效利用現有儲砂量
土砂災害發生頻率增加	➢ 精進硬體對策 ➢ 強化警戒避難體制 ➢ 進階化土砂災害警戒情報 ➢ 利用 SNS(社群網路服務)等新情報技術 ➢ 通過清除石塊等方式有效利用現有儲砂量
0 次谷、深層崩壞、越過山脊現象之土砂災害等災害事件發生	➢ 研析 0 次谷土砂災害對策 ➢ 研析越過山脊現象之土砂災害對策 ➢ 研析深層崩壞對策 ● 軟硬體防減災對策 ● 強化國土監視技術 ● 強化自治體支援(派遣深層崩壞衍生二次災害等災害防止專家)
超越計劃規模土砂災害增加	➢ 改善及強化具有防減災效果之設施
漂流木災害增加	➢ 活用透過型堰、堤等構造物設置漂流木攔阻設施 ➢ 上中下游綜合漂流木對策

資料來源：國土交通省，2020，氣候變動を踏まえた砂防技術検討会

由土砂災害變化與其對應之防減災調適對策可知，未來土砂災害

可能發生之規模與影響層面都有所升高，並且自降雨開始到土砂災害發生時間縮短之現象，反映相關單位難以掌握預警避難發布時機點、民眾避難反應時間是否足夠之問題。另外受到氣候變遷災害外力增強情境下，可能導致的深層崩塌、越過山脊之土砂災害等，有需要加強軟硬體防減災對策、國土監(觀)測技術及技術專家支援系統。由於考量施工時效與財政負擔，防災設施之防護能力是否能提供足夠安全度等問題，除了對老化及損傷之設施進行改善及延壽維護外，亦需要搭配土地利用管制及自主防災等措施對策，讓民眾遠離土砂災害危險區域，並有基本自主避難疏散能力。為了因應各種土砂災害變化現象，除表 4-4 土砂災害調適對策外，有必要強化軟硬體對策、提升預測技術、掌握與應用新興技術、培育相關研究與技術人員，以因應未來土砂移動（土砂生產及流出）現象的變化。

為強化上游集水區管理措施，應加強監測集水區整體變動狀況，以掌握集水區變動發生之時間點，俾提早進行上游工程防護整備或下游災害情報傳遞，讓各單位可進行相關因應作業（圖 4-13）。而在里山砂防方面，藉由降低可能發生危害來源，規劃以居民參與為主體進行各項計畫，如源頭治理以減少漂流木發生，改善山區交通道路，豐富自然環境，除可提高土砂災害之安全性外，亦可強化山區抗災能力，使得山區開發配合流域整備、流域管理、砂防設施等規劃管理，並協助山區居民產生一定規模之經濟性，更有利於當地土地活化利用（圖 4-14）。



圖 4-13 上游流域管理-國土監測、觀測 (國土交通省，2015)



圖 4-14 上游流域管理-里山砂防 (國土交通省，2015)

第四節 水災災害對策

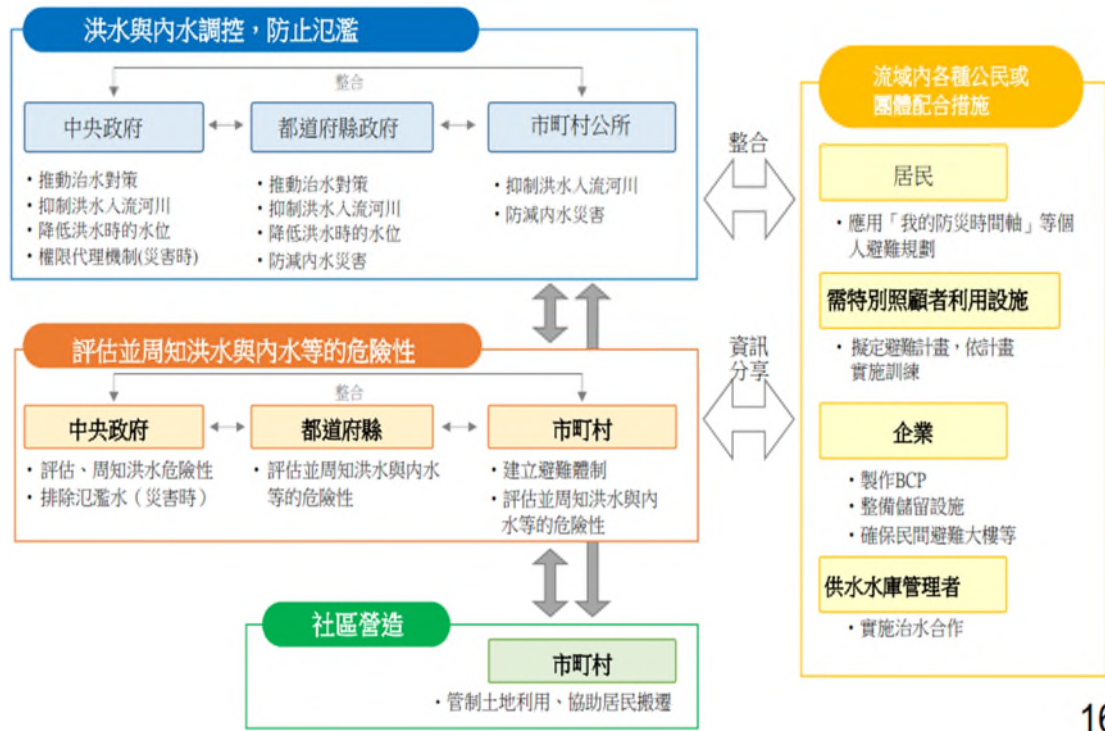
在水災災害對策方面，日本近年來著眼於如何建立中央-地方-民間之縱橫向連結及跨域合作，以提升策略之實效性、資源運用與共享最大化，並對於氣候變遷治水對策之制度及相關措施整備，以因應降雨量增加引致水災害頻繁與劇烈化。因此，針對是否應建立中央政府、都道府縣、市町村、企業、民間團體 (NGO、NPO、組織協會) 之整合協力機制，推動治水所需制度與相關措施等相關問題綜整如下：

1. 未來應從自助、共助與公助觀點，讓更多民眾自主性參與、實施降低水災害風險對策。為此，應釐清中央政府、縣、市、企業及居民等角度立場，同時，是否應建立一個整合治理系統，來加強水災災害對策力度。
2. 是否應從結合推動軟硬體對策的觀點，擬定軟體對策，維持管理與硬體要件整備。
3. 隨著人口下降加速，有必要以國土、土地利用最適化方式減少民眾暴露於害風險中。例如，洪水淹水潛勢區內的人口與資產，是否應實施建築管制及促進搬遷等事項。
4. 有鑑於洪水氾濫時疏洪機能之重要性，是否建立既有疏洪機能之保全及功能強化制度與配套措施。
5. 未列入洪水預報或水位示警通知之河川，在缺乏水災風險情報之河川周邊區域，是否將危險情報通知當地民眾。
6. 中央政府、都道府縣與市町村實施水災災害基礎建設整備與更時新，是否應根據氣候變動如降雨量增加等狀況，以反映修正相關防災設施基準。

到目前為止，日本國土交通省依據「關於中小河川等再建構水防災意識社會方式（中小河川等における水防災意識社会の再構築のあり方について），2017，社会資本整備審議会」此報告，積極促進建立「水防災意識社會」於中央政府及都道府縣管轄河川，持續推動政府與民眾合作，並從自助、共助和公助之觀點，強化更多利害關係者參與，促進提供風險情報和加強合作協助，以提升避難實效性，減少土砂災害損壞傷亡（圖 4-15）。

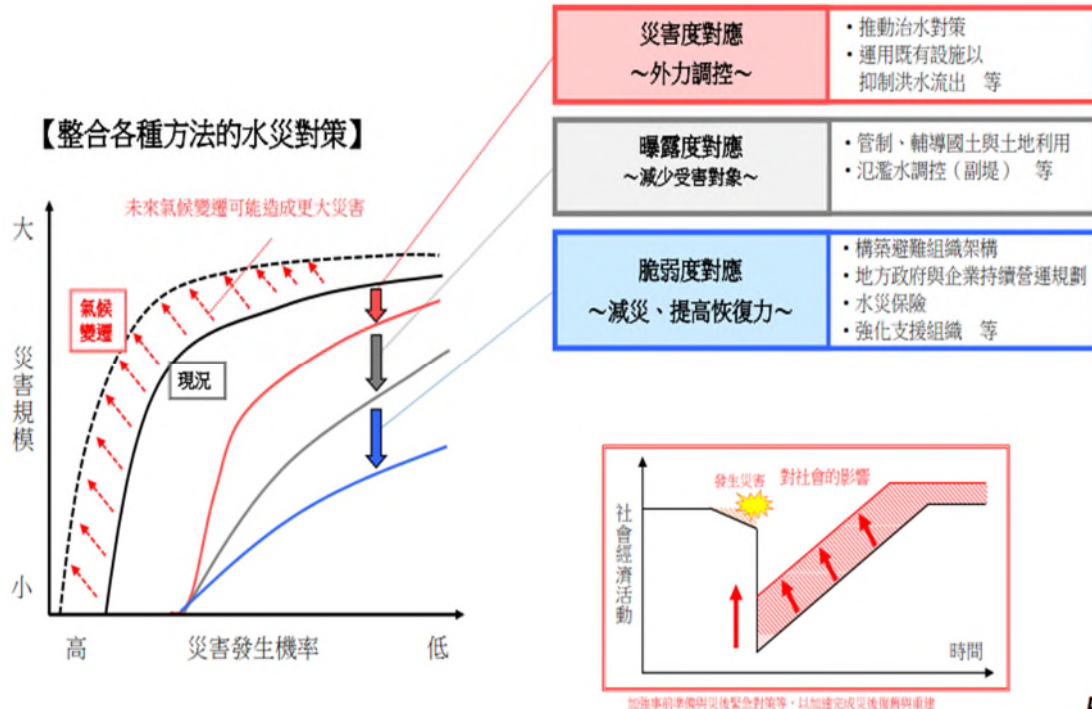
此外，對於治水對策制度與相關措施整備問題，則在「因應氣候變遷水災對策檢討委員會」進行討論，並考量 2019 年第 19 號颱風（哈吉貝颱風）、氣候變遷、社會情勢改變的未來方向性，整合中央政府、都道府縣、市村町、企業及民眾等各方團體，制定結合軟硬體之流域整體綜合性水災害對策，以推動安全安心之社會。圖 4-16 顯示藉由災害風險管理概念，將災害外力調控對應於危害度 (hazard)、減少受災對象對應於暴露度 (exposure)、減輕災害與提升恢復力對應於脆弱度 (vulnerability) 等三項，搭配各種方法降低災害風險，其具體治水對策如表 4-5 所示。

表 4-5 綜合治水對策所欲推動及實施項目非常多，在考量目前依據氣候變遷情境預設之結果及相關調查資料等，仍有相當多不確定性因素存在，因此，國土交通省藉由專家會議討論考量氣候變遷影響下治水計畫及相關技術研討會，建議未來應持續研究探討評估氣候變遷之外力、考慮氣候變遷影響下河道變化與風險評估方法、考慮氣候變遷外力增加情況下防減災對策，此三項議題未來需加強產官學協力，並需持續進行研究和措施之具體化，以輔助各項對策措施制定並提升對策效果。針對此三項議題相關之各研究課題內容整理如表 4-6 所示。



16

圖 4-15 整合流域所有相關參與者合作架構 (國土交通省，2019，)



5

圖 4-16 水災害風險三要素及其防治對策 (國土交通省，2019，氣候變動を踏まえた水災害対策検討小委員会)

表 4-5 流域整體綜合性治水對策

外力調控 (危害對應)	減少受災對象 (暴露對應)	減輕災害、提 升恢復力 (脆弱性對應)	可實現對應事 項的主要對策 措施
➢ 修正治水計畫等目標 ● 修正河川整備基本方針、河川整備計畫目標流量 ● 修正海岸保全目標潮位 ● 修正下水道計畫目標降雨量 ➢ 修正設施整備構想 ● 妥善規劃考量超過設施洪水防護能力之設施構造 ● 暴潮與洪水、主流與支流等危害重疊地區整備 ● 發生土砂與洪水氾濫地點，實施集中砂防設施整備 ● 納入更新前外力變化評估以實施適應性設施整備 ➢ 新的整備內容	➢ 因應災害風險之社區營造與土地利用 ● 檢討可活用於社區營造之災害資訊 ● 整合社區營造因應災害風險的土地利用 ● 施築線狀、面狀的高台與建築群，推動高台社區營造 ➢ 實施調控氾濫水對策 ● 實施可限定淹水範圍之副堤等整備與保全	➢ 推動可儘早排除氾濫水對策 ● 強化淹水時迅速消除洪水之排水對策 ➢ 充實各種主體降低風險方法 ● 實施配合設施性質與用途之建築構造管制規則等 ● 協助自治體與企業制定BCP(企業持續推動計畫)納入水災考量 ● 促進使用水災保險制度 ➢ 強化整合所有主體強化之避難系統 ● 消除淹水推估情報空白地帶 ● 加強以居民為主體之避難行	➢ 修正計畫擬訂與設施設計相關基準等 ➢ 建立有計畫集中實施含中小型河川的改良與更新對策措施 ➢ 建立企業與居民參與之工作系統 ➢ 建立整合軟硬體對策之工作系統 ➢ 建立充實災害資訊並據以推動土地利用之工作系統

與充實對策方法 ➢ 實施高淹水風險地區防災整備 ● 強化堤防以提高防災、減災效果 ➢ 活用水壩等既有設施 ● 強化既有水壩洪水調節功能 ● 實施有效水壩操作，改善資訊提供方法 ● 實施水壩再生、疏洪道改造等，以強化洪水調節機能 ➢ 整合企業與居民等協力對策 ● 河川流入抑制之儲留設施整備 ➢ 依據治水計畫等推動確實整備 ● 推動一勞永逸之防災基礎建設整備（疏洪道、水壩、分洪道、沉砂池） ● 有計畫推動老舊設施更新		動情報提供 ● 建立具實效性的避難系統 ● 建立活用高台或民間大樓的警戒避難機制 ➢ 強化 TEC-FORCE 等系統（含整合民間企業） ● 提升 TEC-FORCE 隊員能力，補強災害對策用物資及設備 ● 培育民間人才，習得相關技術	
--	--	---	--

資料來源：國土交通省，2019，氣候變動を踏まえた水災害対策検討小委員会

表 4-6 未來持續精進之治水對策研究課題

未來持續議題	需具體化之研究和對策措施
評估氣候變遷之外力	1. 提升氣候變遷預測模式的再現性及預測精度 2. 小流域(400km² 以下)及短時間降雨之影響評估 3. 瞭解海平面上升量對暴潮及波浪之影響 4. 降雨量變化倍率詳細調查 (溫度升高 2°C時) 5. 各地域豪雨氣象因素的變化 6. 降雨時空間分布的變化 7. 土砂及漂流木流出量的變化 8. 開發島嶼降雨變化相關評估方法 9. 暴潮、洪水等複合因素對於災害發生率之變化
考慮氣候變遷影響下河道變化與風險評估方法	1. 溫度、降雨及土砂流出變化對於預測河道變化、河道設計及維持管理方法之精進 2. 社會環境轉變及災害對於脆弱性之變化 3. 大規模水災害造成破壞、防災減災對策效果的評估方法
考慮氣候變遷外力增加情況下防減災對策	1. 強化資訊傳遞促進國民理解氣候變遷對於地域災害風險變化 2. 超過計劃洪水上限之流域整體減災對策 3. 根據氣候變動影響之設計標準 4. 活用氣象預報的設施操作方法

第五章 日本河川及土砂災害因應氣候變遷對策研析

第一節 防災對策目標設定

參考國土交通省 2010 年洪水相關之氣候變遷調適策略指引(洪水に関する気候変化の適応策検討ガイドライン)，其治水對策之目標設定，係根據風險發生頻率與破壞影響等的大小程度，結合以往發生的災害狀況、流域自然及社會特性、國家未來願景（發展目標）、投資能力限制等，考量如何避免、減少、轉移及自留風險，並明確化設定目標，且必要時依需求設定多個目標，以達成減緩及調適之目的。當目標設定時，對於發生地點及造成人命損失、經濟損失、社會影響程度，應確保公平性及考量重點影響因子。因此，考慮到流域與氾濫區域的土地利用狀況、都市化過程（都市區域擴張、都市更新及高樓化）等情況，必要時應從長期角度檢討人口及產業聚集場所之促進或抑制規則。根據這些條件，概略目標設定如下：

1. 受災死亡人數最小化
2. 避免首都機能癱瘓
3. 避免毀滅性的損害
4. 避免都市地區發生 30 年一次洪水氾濫損害
5. 控制洪水氾濫發生頻率在 X 年一次程度

當目標設定後，利用時間軸及設立成果來具體化規劃目標，並以簡單易理解方式展示。國土交通省在 2010 年洪水相關之氣候變遷調適策略指引手冊中，依上列所設定目標，研擬其防洪調適對策，包含

六大項對策分別對應到河川對策、流域對策、被害減輕對策，並組合成一綜合流域治水對策(圖 5-1)，六大對策概述如下：

1. 氾濫危險性減輕對策 (河道疏濬、築堤、排水及截水渠道、水閘門、水壩、滯洪池、內水排水系統等)
2. 氾濫流量控制對策 (副堤、開口堤防、輪中堤等)
3. 氾濫洪水平原災害減輕對策 (土地使用管制、建築物基準升高、安裝電力與機械設備於高處等)
4. 避難・疏散等對策 (避難・疏散、預測及警戒情報、避難設施等)
5. 緊急對策 (洪水防治、圍堰、排水對策、防災訓練、防災教育等)
6. 迅速恢復及重建對策 (防災基地、運輸網路、防災業務計畫、企業持續計畫 BCP、水災害廢棄物處理等)

當特定複數對策分年分期執行時，必須評估對策組合下所帶來的衝擊和效果，例如已執行中計畫或既有設施已發展到一定程度時，則考量最有效果方法來削減或增加即有措施，重要的是以最有效方式來利用這些設施。因此，在考量防洪調適與防減災對策效益時，需考量以下四點進行綜合檢討評估。

(1)災害減輕效果 (人命、經濟(資產)、社會機能等)；(2)維持管理的成本；(3)對社會及環境的衝擊；(4)實現可能性及達成安全度。在決策過程中，著重於採取必要措施以反映當地居民意見。



圖 5-1 綜合流域治水對策 (國土交通省，2020，令和元年豪雨等を踏まえた対応)

IPCC 於 2013 年 9 月至 2014 年 11 月期間公布第五次氣候變遷評估報告，利用危害度、暴露度、脆弱度來評估氣候（自然變異、人類對氣候影響）、社會經濟過程（社會經濟路徑、調適和減緩行動、治理）及排放和土地使用改變三者交互影響，並將三者之交互作用集合定義為風險，以表示氣候變遷之衝擊程度（圖 1-2）。針對 IPCC 日本受氣候變遷影響部分之報告，日本中央環境審議會制定政府全體之「調適計畫」，於 2015 年 3 月提出「日本受氣候變遷影響評估報告和未來課題（日本における氣候変動による影響の評価に関する報告と今後の課題について）」。

然在 2018 年 7 月豪雨事件，造成嚴重傷亡及廣域受災情形，再加以考量溫度上升、大雨頻率增加、農作物品質劣化、動植物分布區域改變、熱中暑風險增加等情況，日本已加速氣候變遷適應法之推動。日本環境省根據氣候變遷適應法（平成 30 年（2018 年）6 月立法，12 月 1 日施行）制定氣候變遷適應計畫（氣候変動適応法（平成 30 年

法律第 50 號) 第 7 條第 1 項), 藉由減緩及調適對策、政府相關單位、推進地球溫暖化對策相關法律 (平成 10 年 (1998 年) 法律第 117 號), 以地球暖化對策計劃、氣候變遷適應法及氣候變遷適應計劃為基礎, 推動因應氣候變遷對策。因此, 有鑑於生活、社會、經濟及自然環境等長期受氣候變遷影響擴大, 氣候變遷適應對策之推動, 在考量現在及未來國民健康、確保文化生活之目的下, 日本推動綜合氣候變遷適應相關措施計畫, 其基本目標如下:

1. 防止及減輕因氣候變遷導致的災害
2. 安定國民生活
3. 社會及經濟之健全發展
4. 保護自然環境及規劃國土強韌化
5. 建構安全及安心永續社會

因此在規劃推動綜合氣候變遷調適相關措施計畫時, 由上述目標設定之下, 其推動氣候變遷適應施策之基本戰略如下 (圖 5-2):

1. 將氣候變遷調適納入所有相關措施
2. 依據科學知識促進氣候變遷調適
3. 整合國內研究機構之智慧, 完善資訊基礎設施
4. 根據地域實際情況促進地方政府推動氣候變遷調適
5. 促進有助於企業氣候變遷調適及資助商業活動 (加深國民理解、促進因應氣候變遷商業活動)
6. 促進及確保氣候變遷相關等國際合作 (有助於提升發展中國家調適能力)

7. 確保行政機關相互合作以促進氣候變遷相關調適措施推動 (確保相關行政機關間緊密合作體制)

藉由以上 7 項基本戰略來促進調適之基本施策，其重點在於基礎資料收集、整理、分析及確保情報提供系統、促進國際互助協力、促進企業氣候變化調適、有助於氣候變化調適之商業活動、促進地方公共團體之氣候變化調適相關施策、活用及充實氣候變動相關科學知識等戰略，且定期持續進行氣候變遷影響評估及調適計劃進度管理，並根據調查結果適時修正計畫實行順序，以促進氣候變遷調適效果。



圖 5-2 氣候變動適應相關的基本施策 (環境省，2018，氣候變動適應計畫について)

第二節 調適策略基本方針

綜整氣候變遷情勢推估、近年土砂災害特徵、氣候變遷對土砂災害的影響等各章節資料，顯示氣候變遷所產生狀況對於日本民眾生命安全與健康、社會經濟活動、基礎維生設施等造成嚴重影響。加上預測未來情勢，如短延時強降雨頻率增加、災害外力增強、土砂災害規模增強、土砂移動頻率提高等狀況，顯示日本目前正處於氣候變遷緊急狀態，實施調適對策之重要性與急迫性，遠高於其他國家。

藉由國土交通省於 2015 年所制定「国土交通省氣候變動適應計畫」及 2018 年日本環境省所制定「氣候變動適應計畫」等資料顯示，日本政府各權責單位與利害關係人已分工合作（包含日本氣象廳、國土地理院、國土技術政策總合研究所、相關省廳、地方公共團體、國民、NPO、企業參與等），並計畫將目前已產生之災害或未來氣候變遷影響下可能引致災害潛在損失降到最低（圖 5-3）。

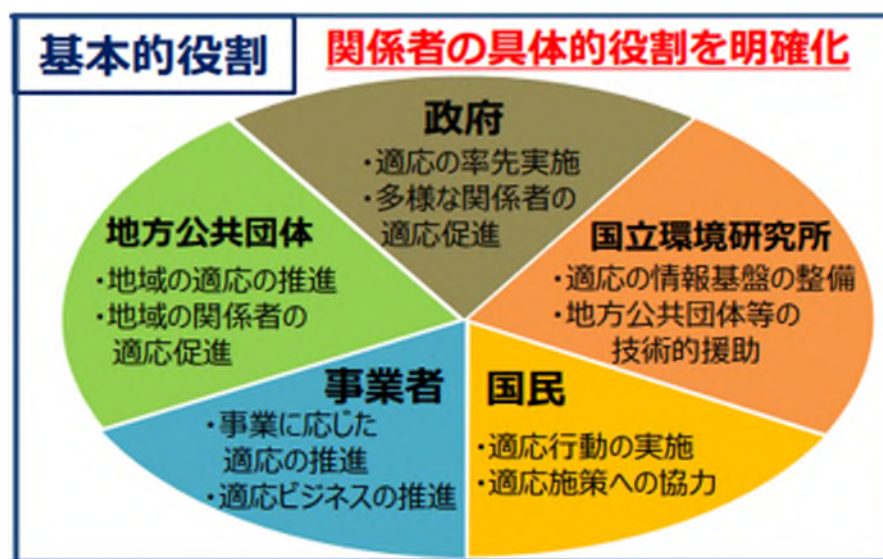


圖 5-3 相關單位權責分工明確化 (環境省，2018)

為促進調適策略的推動，國土交通省已設定 4 點調適對策理念：
 (1)保護人民生命與財產；(2)確保基礎設施和系統的功能運作，以支持社會與經濟活動；(3)維持人民生活品質；(4)適時反應發生變化的狀況

等 4 點為基本理念。同時，日本環境省亦設定 5 點調適策略施策目標：(1)防止及減輕因氣候變遷導致的災害；(2)安定國民生活；(3)社會及經濟之健全發展；(4)保護自然環境及規劃國土強韌化；(5)建構安全及安心永續社會。並利用 PDCA Cycle (Plan, Do, Check, Action Cycle) 檢視持續循環過程，適時掌握調適策略進度與評估成效，隨時改善施策及計劃，以因應氣候變遷之變化情況 (圖 5-4、圖 5-5)。

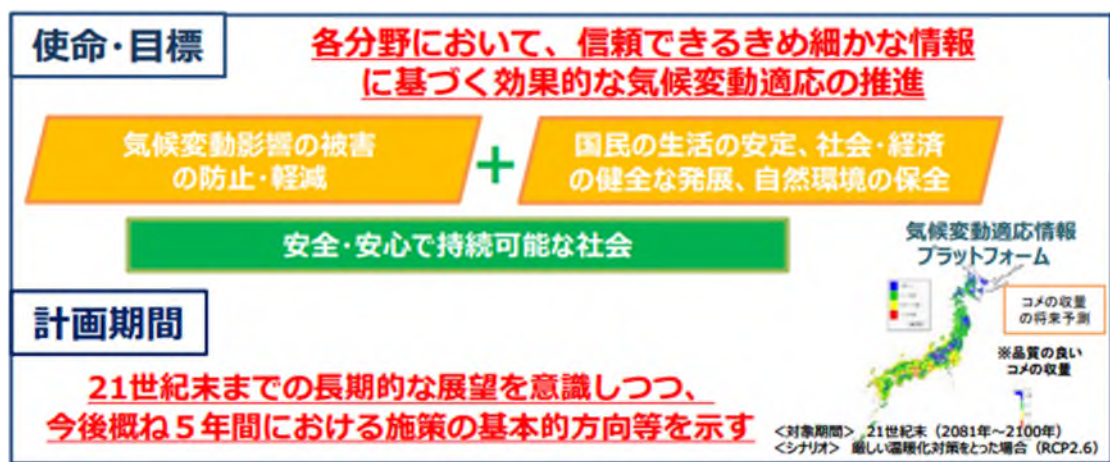


圖 5-4 氣候變遷相關施實策略目標 (環境省，2018)

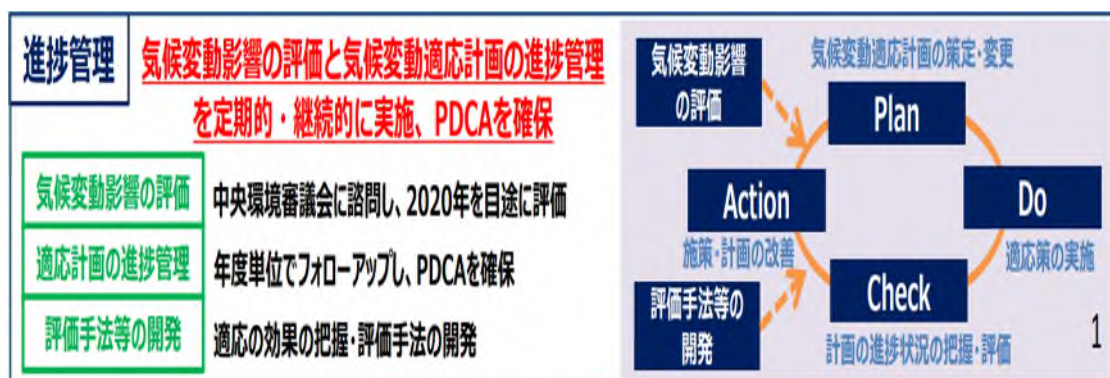


圖 5-5 氣候變動調適計劃進度管理示意圖 (環境省，2018，氣候變動適應計劃について)

考量氣候變遷影響規模與層面逐年增加，現有防減災對策恐將無法有效因應，且調適有效性亦需逐年檢視修正，因此，應將現有實施減緩措施及未來調適策略互相結合，以制定全球暖化對策，並積極促進有助於減緩及調適的措施，其調適策略之基本概念（制定）方針如下(國土交通省，2015，「国土交通省氣候變動適應計畫」)：

一、因應不確定性之適應性管理

一般而言，在預測人口、經濟趨勢、技術水準及生活方式等社會經濟狀況的未來變化是相當困難的。因此，在預測未來氣候變化時，必須要對未來全球的溫室氣體排放量、當地社會經濟狀況作出某些假設，用以評估氣候變遷的後果和風險。此外，根據所使用的氣候變遷模型，其預測結果也有所不同，因此，在預測氣候變動的未來影響（如發生時間、場所、程度等），其伴隨著一定程度的不確定性。

在推動調適策略時，應採用適應性管理，根據氣候變動的進展，包括持續監測氣候變化狀況、最新的氣候預測數據、當地社會經濟條件的變化以及考慮到現有和新措施對降低風險方面之效果，以便確保在適當地時機裡選擇正確的調適策略與措施（圖 5-6）。

適應性管理，也稱為適應性資源管理或適應性環境評估和管理，是一種結構化、疊代的過程，可以在面對不確定性時做出穩健的決策，旨在通過系統監控來減少隨著時間推移的不確定性。這樣，決策過程就可以同時滿足一個或多個資源管理目標，並且可以被動地或主動地獲得改進未來管理所需的資訊（維基百科，https://en.wikipedia.org/wiki/Adaptive_management）。

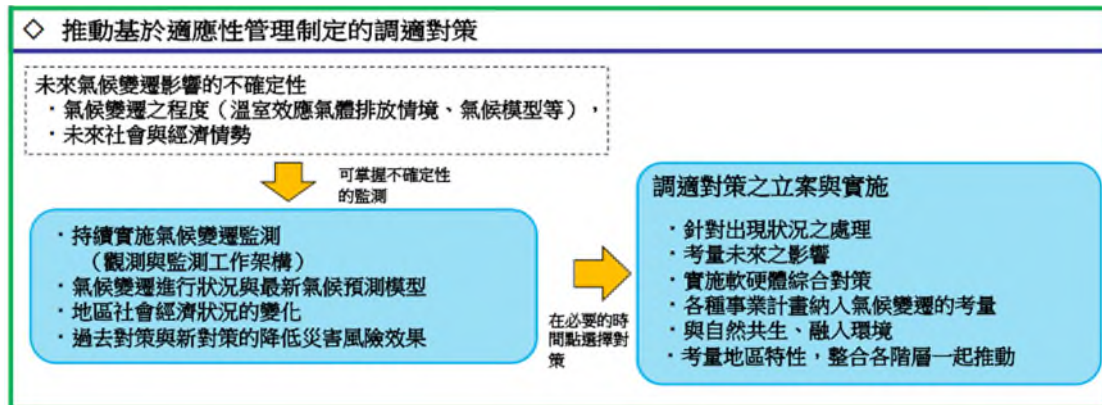


圖 5-6 採用適應性管理的調適策略（國土交通省，2015）

二、處理目前已發生事件

目前日本觀察到氣候變遷常伴隨短延時強降雨及豪大雨發生頻率增加、乾旱日數增加等現象。然而，針對這些現象及事件，包含已實施之防災措施，基本上可將其定調為調適措施，並進一步來推廣（圖 5-7），且因應未來氣候變遷之調適，首先應減緩面對氣候變動影響的脆弱性與曝露度程度，以降低災害規模與影響範圍。

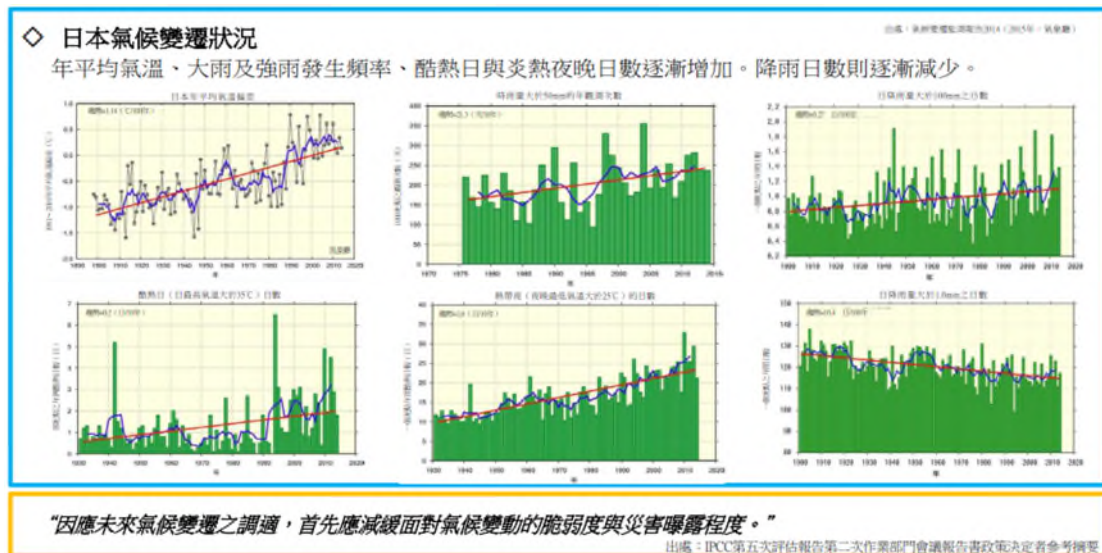


圖 5-7 目前發生氣候變動現象處理對策（國土交通省，2015）

三、將未來影響納入考量

儘管未來氣候變遷的影響程度和發現時間點存在很大的不確定

性，但隨著氣候變遷的發展，大規模災害事件對社會將產生重大影響。因此，在考慮氣候變遷影響的對策時，需注意事件的發生頻率將因氣候變遷而產生變化，包含發生頻率低但產生大規模影響的事件，盡可能考慮各種事件並思考對應處理方法（圖 5-8），包含推估最大災害外力等各種規模降雨為對象，進行洪氾、淹水等潛勢地圖，作為避難檢討、社區營造與投資等判斷之參考。

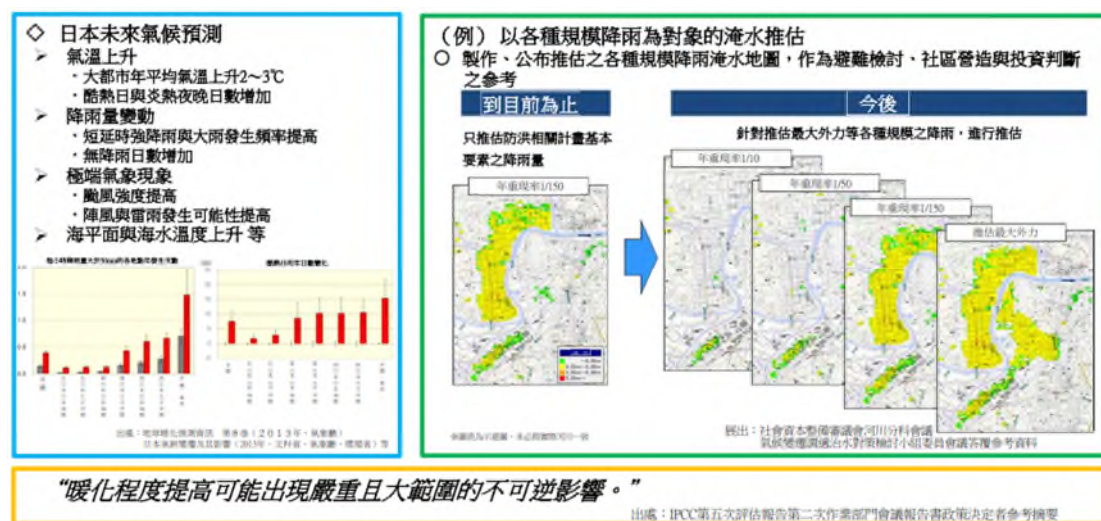


圖 5-8 將未來之影響納入考量（國土交通省，2015）

四、考量軟、硬體之綜合措施

考慮氣候變遷所造成風險程度以及地域特性之影響，調適策略應同時考量設施整備等硬體措施，以及相關軟體防災措施，例如向居民提供情報、情報發布演練、避難、緊急活動、企業持續計畫等準備，以及為儘早復原災損而進行的事前檢討研究等各種軟體措施。應積極使用資訊及通訊技術 (ICT) 來傳達、發布預警或避難疏散情報給居民，並活用大數據資料，提升傳遞資訊給民眾之效率。從降低民眾與社區脆弱度與危害度觀點來看，推動對策之時機點應考量人口、區位、經濟等條件，如在都市與淺山地區持續實施因應人口減少等狀況的社

區與地區重劃，且除已推估之災害風險外，應注意因應氣候變遷之災害，推動社區營造、地區營造與土地利用（包含引導居民遷居區域之設定、設施整備、考量災害風險之土地利用方式）(圖 5-9)。

五、各種事業計畫中納入氣候變遷之影響

為了有效實施調適策略，應將調適氣候變遷的影響納入各種事業計畫中。此外，在基礎設施和系統的維護、管理及更新的同時，必需要考慮未來氣候變遷的影響，對這些設施未來的設計進行檢討，避免落入反覆施作的困境中 (圖 5-10)。

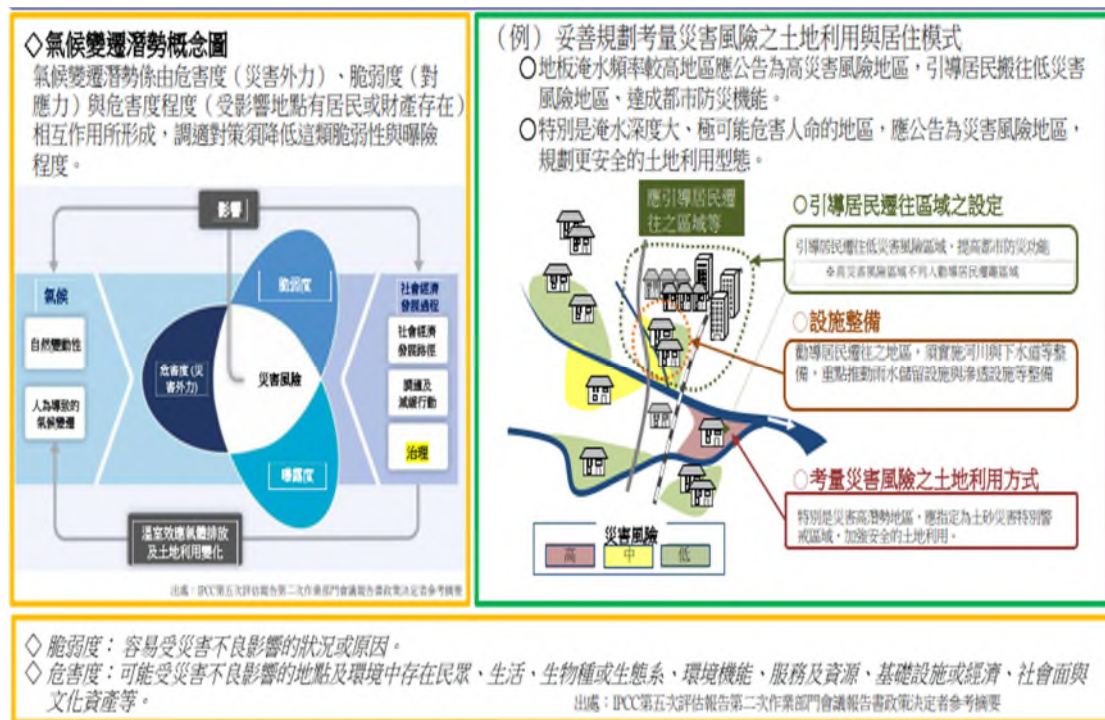


圖 5-9 考量軟、硬體之綜合措施 (國土交通省，2015)

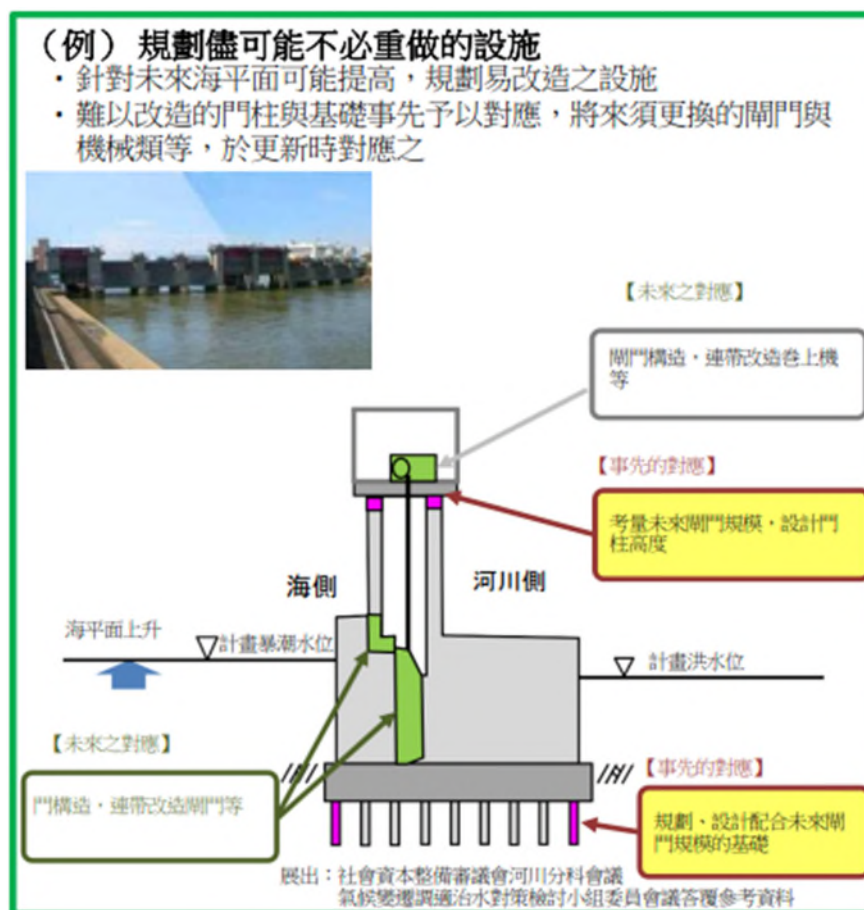


圖 5-10 減少反覆施作的工程設計 (國土交通省，2015)

六、與自然環境和諧共生

利用各地特性來發揮自然機能的同時，考量與自然和諧共生，以保全自然多樣性及可持續利用的角度出發，對於自然環境的保護、再生和創造採取措施。同樣地，在規劃和實施調適策略時，應考慮自然環境之保全、再生及創造。再者，根據目的地的地域特徵，利用自然環境的多樣性功能 (如綠色基礎設施)，為生物提供棲息及生育場所、形成良好的景觀、抑制溫度上升，以達成與自然共生、友善環境、和諧相處之目的 (圖 5-11)。

- 國土交通省社會資本整備維護自然發展，配合地區特性持續應用自然具備之功能，融入大自然，從保護生物多樣性與永續發展、利用的觀點，推動保護、創造自然環境或再生之對策措施。
- 立案與實施調適對策，同樣應重視自然環境之保護、再生與創造。
- 此外，應配合計畫之目的與地區特性，應用自然環境提供生物棲息與生長場所、形成良好景觀、抑制氣溫上升等之多樣化功能（綠色基礎建設）。

什麼是綠色基礎建設？

於國土與社區永續發展目標下進行社會資本整備與土地利用時，積極應用自然環境所具備多樣機能（提供生物棲息與生長場所、形成良好景觀、抑制氣溫上升等）。



圖 5-11 與自然環境和諧共生（國土交通省，2015）

七、考慮地域特性並推動地方政府、企業與居民等之合作

脆弱度及曝露度受氣候變遷的影響因地域不同而異，在推動調適策略時，應考慮地域特性不同並適時靈活調整對策。從促進地方政府、企業、居民等不同參與者之間合作的觀點來看，提前準備將來所採用之措施項目及其實施之時機點，有助於因應氣候變遷影響的嚴重性，且同時考慮各種措施及應對方法之有效性。再者，政府單位可以提供相關支援，例如以防災和環境等議題為例，可向居民傳達有關氣候變遷及調適策略的資訊（圖 5-12）。

- 氣候變遷曝險狀態及脆弱度各地不同，推動調適對策應配合各地區特性，儘量採取具彈性之對策。
- 此外，應注意須從整合地方公共團體、事業者、居民等多樣化主體共同推動對策的角度，事先設定在什麼時間點推出什麼氣候變遷不良影響因應對策之情境，才有效用。
- 此外，以防災及環境等民眾周遭的問題為例，中央政府也應儘量支援、充分宣導居民氣候變遷之影響與政府正在實施的調適對策等。

(例) 宣導推廣防災教育等



地球暖化對地區的影響因地區自然資源、產業結構與氣候特性等而異，應精確掌握各地區目前與未來可能受影響狀況，以地區有關機關與人士為主體地推動調適對策。

環境基本計畫（2012.4）

圖 5-12 考慮地域特性並推動地方政府、企業與居民等之合作（國土交通省，2015)

持續監測氣候變遷的影響，對於促進適應策略的調整管理是不可欠缺的。但目前在某些知識領域內，對於未來氣候變遷的影響和調適策略還沒有充足的瞭解。因此，以採取合理、適當的氣候變遷調適策略為基礎，需積極的充實和強化相關知識，包括「觀測和監測系統」、「氣候變遷預測和風險評估」、「調查研究及技術開發」等項目，並利用其研究成果來獲得適切的調適策略以因應氣候變化。

對此，以持續監測等各種方式所獲得的知識，根據氣候變動的情況，應利用過去實施調適策略所獲得的經驗，盡可能運用氣候變動預測和風險評估、調查研究和技術開發等方面最新知識，同時考慮政府對於調適計畫的實施進度，根據需求適時地進行評估，定期檢討調適對策。

第三節 調適策略具體措施

在自然災害領域方面本文以水災災害及土砂災害為例，對其受氣候變遷影響及相關調適策略分述如下。個別調適策略所考慮事項和執行，可利用上節「調適策略制定方向」所述進行制定（國土交通省，2015，*国土交通省氣候變動適應計畫*）。

一、水災災害

在制定水災災害方面的調適策略，應考慮「影響程度/影響性」、「調適策略的基本/制定方針/方向」、「災害風險評估」等三個主要方向作為制定調適策略相關措施。

在「影響性」方面，主要是由於短延時強降雨發生頻率增加（時雨量超過 50mm 以上）、豪大雨之總降雨量（總雨量大於數百毫米或數千毫米）增大，此兩種情況造成嚴重的洪水、淹水、暴潮等災害。

在水災的「調適策略制定方向」上，對於發生頻率相對高的災害事件（比較的発生頻度の高い外力に対しては）條件下，應持續改善堤防、洪水調節、下水道等硬體設施並進行維護，且適時進行更新設備或機具組件，以確保設施之功能及防災能力。藉由這些措施，旨在預防水災災害的發生。此外，參照其他國家的調適策略，考慮到未來氣候變動可能導致災害事件的規模及影響性擴大，應盡量減少重覆施作之設計，並採取適應性管理維護和保養等對策。

在災害事件超過設施之防災能力（施設の能力を上回る外力に対しては）方面，藉由防災設施的運作、構造、維護程序等措施來減少災害程度，同時為促進社區發展和城市規劃等應考慮其災害風險，以強化避難、緊急活動、企性持續性等方面預為準備工作，以期藉由這些準備工作盡可能達成減少生命、財產、社會經濟的損害。在促進

城市發展和疏散避難等對策中，根據各種假設條件下所發生的水災災害事件，地方政府、企業、居民等要做好準備應對可能發生的損害，根據實際情況來採取應變措施 (圖 5-13、圖 5-14)。

特別是針對災害事件大幅度超出防災設施能力時，在最壞情況下，中央政府、地方政府、公益團體、私人企業等彼此積極協調合作，著重在採用軟體對策的設置及實施，盡可能地減少人命傷亡，並避免對社會經濟造成毀滅性損失。

在「災害風險評估」方面，地方政府、企業、居民等對於災害發生可能性、發生頻率及程度等需有一定程度的瞭解。因此，對各單位而言，應提供詳細災害風險資訊，使其易於理解並採取相對應之調適及防減災對策。除了提供單一規模的災害設定外，亦應提供各種規模之淹水災害模擬情況、淹水發生頻率、人命損失風險、設施能力及維護狀況等資訊。再者，更重要的是各級政府、非政府及民間團體等(如中央政府、地方政府、公益團體、企業、居民等)應參與各種會議來分享、共享災害風險情報，並積極促進調適策略、措施的推廣。

各單位在實施對應策略時，應根據當地實際情況進行，並考慮淹水地區的人口和資產的集中程度、基礎設施和維生管道及醫院等醫療救護設施的位置、當地產業結構和地理位置、老年人口狀況等進行災害損失情況之評估。因此當考慮以最壞情況為前提進行準備時，假設淹水區域所受之災害外力 (如洪水、河川溢堤、都市淹水、暴潮等) 規模為最大，在此種情況下，提供淹水深度及淹水持續時間等相關情報，以協助地方政府、企業、自治組織、居民、救災團體等必要時採取疏散避難等措施。



圖 5-13 水災害調適策略的基本方向 1 (國土交通省，2015)

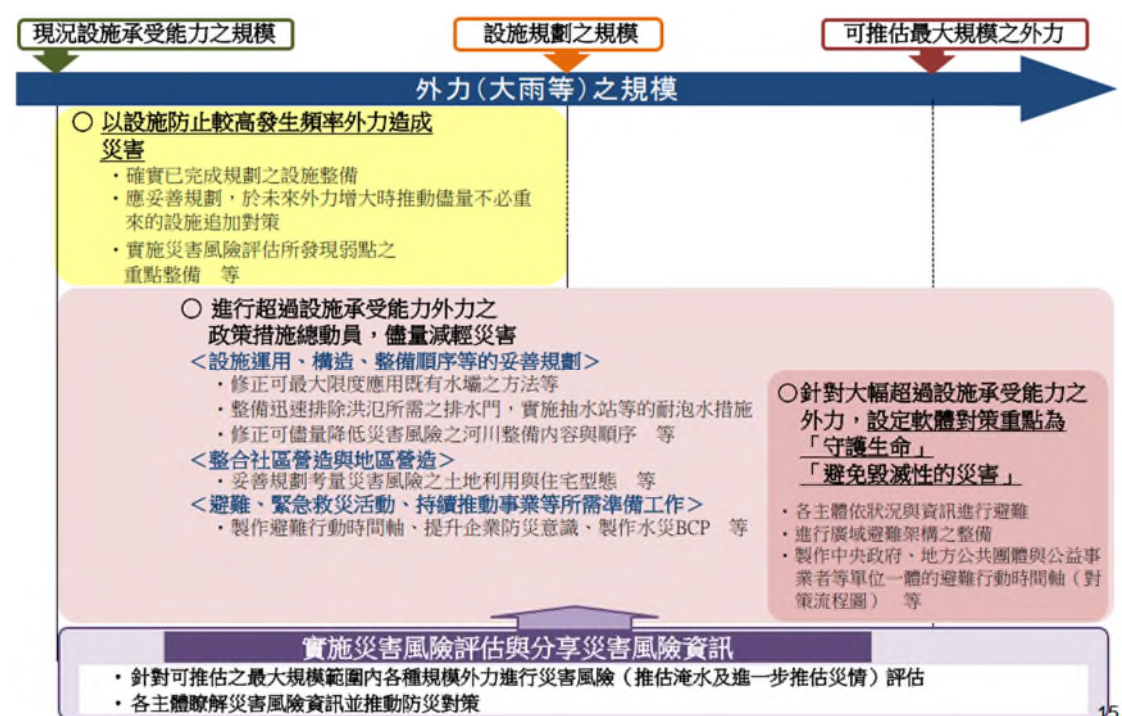


圖 5-14 水災害調適策略的基本方向 2 (國土交通省，2015)

以下針對「發生頻率較高外力」及「超過設施防護能力上限外力」等兩項，考量外力規模之防災及減災對策進行說明如下：

1. 發生頻率較高外力之防災對策

對於發生頻率較高的災害事件，將採取適當維護及更新措施，並定期持續對現存防災設施進行維護及升級，以預防水災災害（洪水、淹水等）發生，其使用之措施可以分為兩大類，其一是持續推動之工

作，包括防災設施之確實維護、既有設施機能之提升、確實維護管理及更新、水閘門等設施操作之遠端化(自動化)、綜合土砂管理措施；其二是未來持續調整檢討之工作，包括設計減少重複施工之設施、提升氣候變動預測技術用於設施規劃和設計等、海平面上升及漂流木影響檢討、河川及下水道設施之綜合運用 (圖 5-15、圖 5-16)。

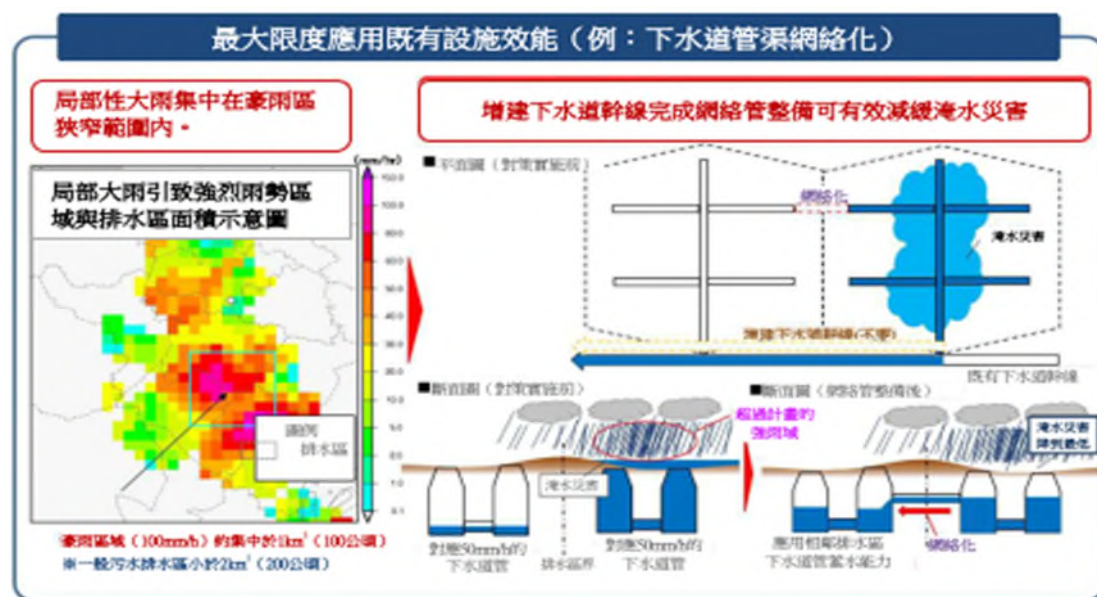


圖 5-15 河川及下水道設施之綜合運用-下水道渠道串接網路化 (國土交通省，2015)

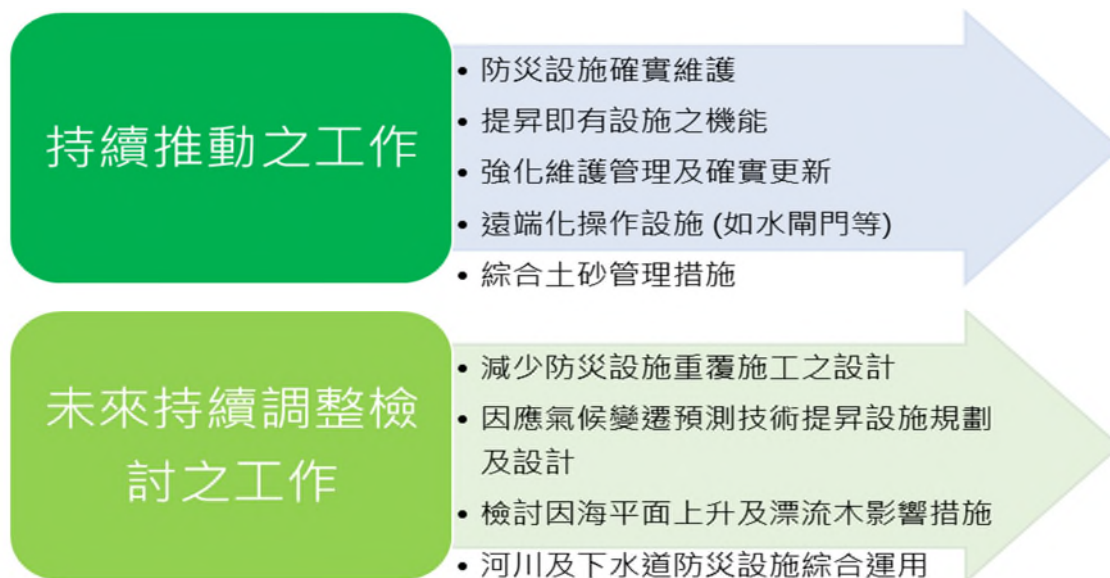


圖 5-16 發生頻率較高災害事件的防災對策-維護及更新措施

2. 超過設施防護能力之減災對策

對於災害事件超過設施之防護能力，需透過規劃和設計防災設施之運作、構造、維護順序等來減少災害。此外，考慮到社區發展和城市規劃之災害風險，以最大限度地減少災害損失為前提，並確實準備疏散、緊急活動、企業持續計畫等整備工作及措施。因此，對於超過設施防護能力之減災對策（施設の運用、構造、整備手順等の工夫），其採用之措施分為兩大類，其一是持續推動之工作，包含強化觀測系統、強化水災災害防治系統、活用河川管理設施確保避難地點安全；其二是未來持續調整檢討之工作，包含根據外力所造成之災害風險對河川維護計畫等進行盤點及審查、探討如何延長潰壞時間之堤防結構、最大化運用現有設施之防災機能（例如水庫提前放水）、進行大規模構造物的盤點與檢查（圖 5-17、圖 5-18）。

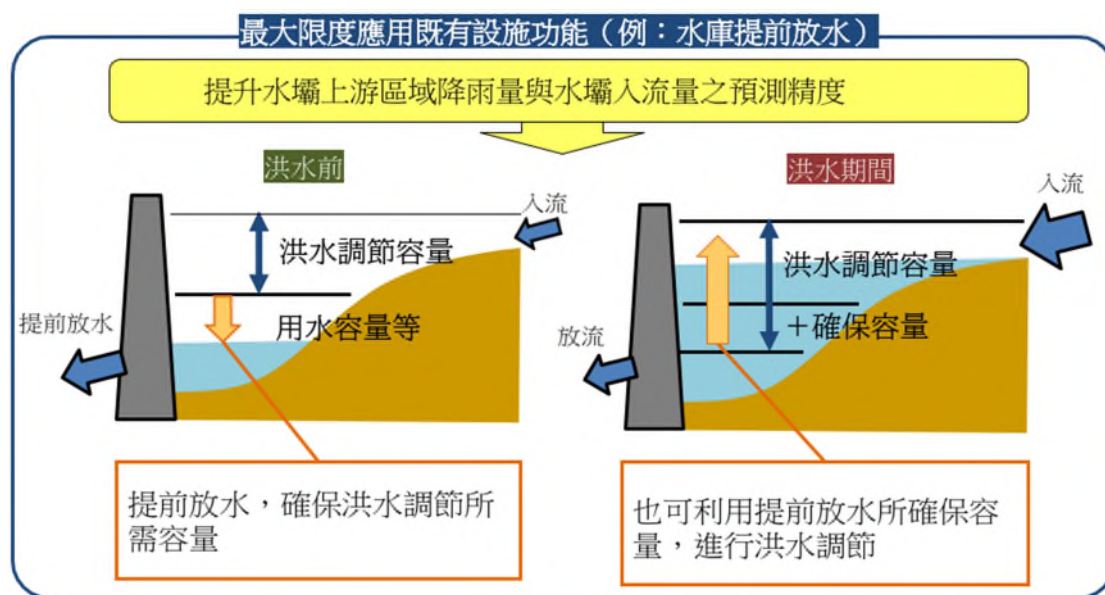


圖 5-17 最大化現有設施功能的運用-水壩災前放流作業（國土交通省，2015）

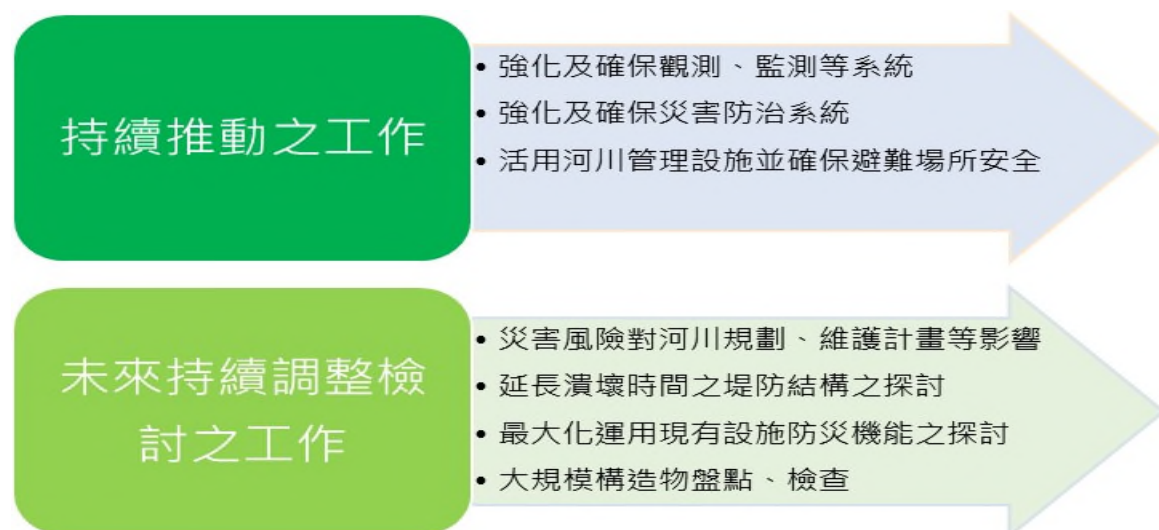


圖 5-18 災害外力超過設施之防災能力 - (施設運用、構造、維護順序等)

於城市規劃和社區發展之合作 (まちづくり・地域づくりとの連携)項，其採用之措施分為兩大類，其一是持續推動的工作，包含綜合淹水對策、考慮土地利用狀況的治水對策、地下空間的淹水對策；其二是未來持續調整檢討之工作，包括詳細介紹和共享災害風險情報、提供城市規劃及居住相關災害風險情報、城市規劃及區域發展合作的淹水減災對策、城市規劃及區域發展合作的洪水氾濫抑制工作 (圖 5-19、圖 5-20)。

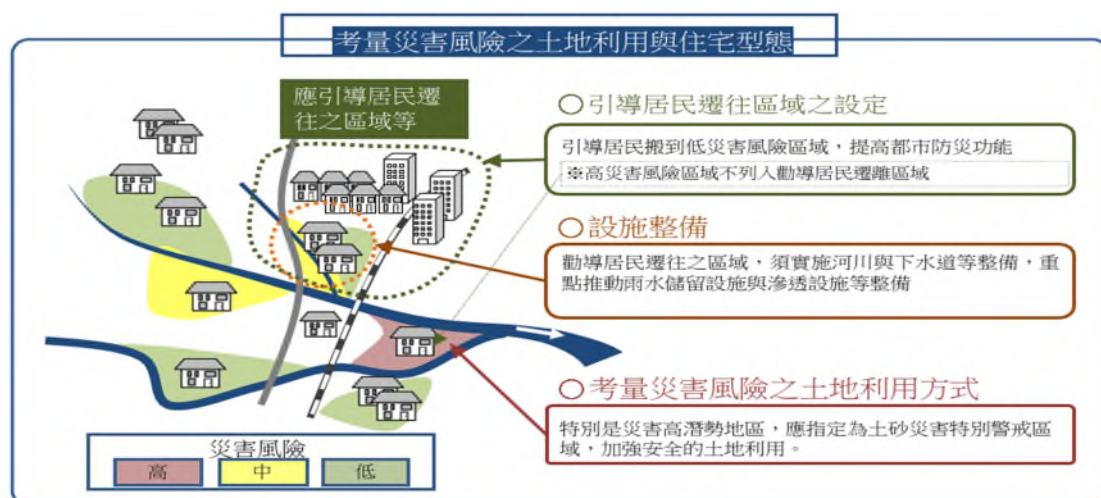


圖 5-19 考慮災害風險之土地利用對策 (國土交通省，2015)

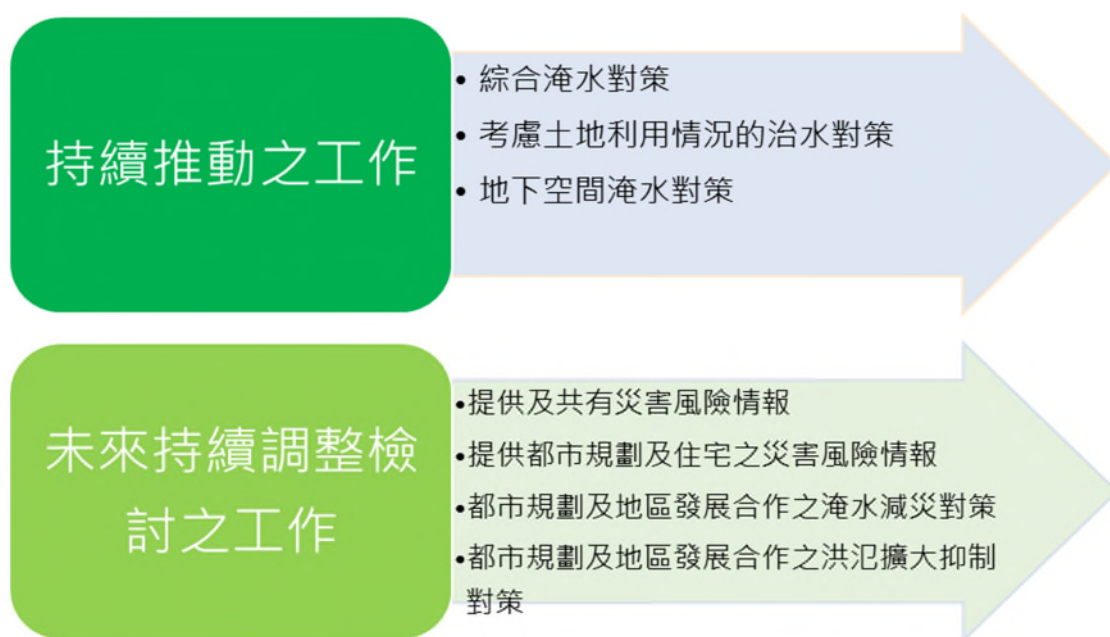


圖 5-20 災害外力超過設施之防災能力 - (城市規劃和社區發展合作)

於疏散避難、緊急活動、企業持續計畫等準備工作（避難、応急活動、事業継続等のための備え），在疏散避難方面，其持續推動工作項目為支援市町村長發布準確疏散避難勸告，強化災害發生時市町村之支援系統；在未來持續調整檢討工作項目，則有提供易於理解的情報以促進疏散避難、加強事前準備為迅速及順利進行疏散避難、改善疏散避難和救援等準備工作等三項。在緊急活動及企業持續計畫方面，其持續推動工作項目，為強化災害發生時市町村之支援系統，在未來重新檢討工作項目則有制定防災相關機關和公益團體等企業持續計畫、抑制洪水氾濫擴大和消除洪水、提高企業防災意識及建立水災災害企業持續計畫、各單位協調整合之災害應變系統（圖 5-21、圖 5-22）。

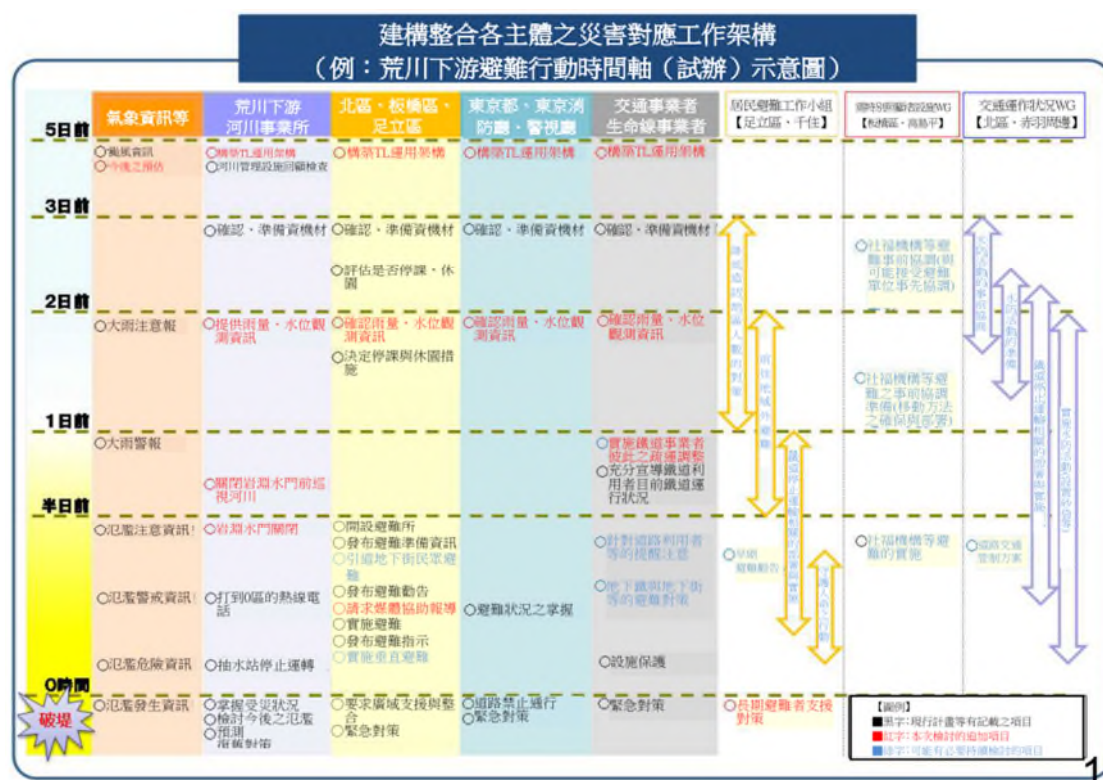


圖 5-21 各單位協力整合之災害應變系統 (國土交通省，2015)

持續推動之工作

- 支援市町村長發布準確疏散避難勸告
- 強化災害發生時市町村之支援系統

未來持續調整檢討之工作

- 提供易於理解情報以促進疏散避難
- 加強事前規劃以迅速進行疏散避難
- 改善疏散避難和救援等準備
- 制定防災相關單位和公益團體等企業持續計畫
- 抑制及排除洪水擴大及氾濫
- 提高企業防災意識及建立水災害企業持續計畫
- 各單位協調整合之災害應變系統

圖 5-22 災害事件超過設施之防災能力 - (疏散避難、緊急活動、企業持續計畫等準備工作)

二、土砂災害

近年來在日本全國各地土砂災害發生頻率增加且災情慘重（詳第三章），由於氣候形態轉變，短延時強降雨的增加，更增加了土砂災害發生頻度，且突發性、局部性豪大雨使得預警避難反應時間短之土砂災害事件增加。颱風降雨量增強因素影響方面，其所形成破歷史記錄之降雨量伴隨著深層崩塌發生，更是讓人們擔心不已。因此對於土砂災害的調適策略，針對其類別可以分為九個項目（圖 5-23），細項說明如下：

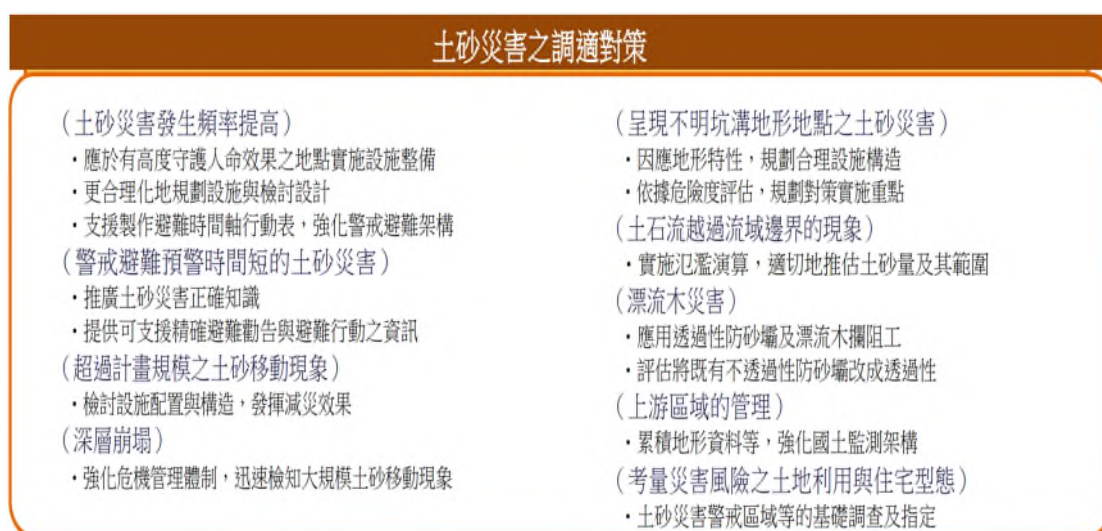


圖 5-23 土砂災害調適策略（國土交通省，2015，国土交通省の氣候變動への適応策）

1. 對於土砂災害發生頻率增加之調適措施

防災以保護人命安全為主要考量，藉由改善防災設施、避難處所、避難路線及公共設備，以保護民眾安全並保障社會經濟活動。此外，為更有效地使用現有設施，適時地清除防砂壩淤積土石，檢討更合理的規劃設計方法和材料使用方式，以提升設施之防護力並提高對人命安全守護之效果（圖 5-24）。

由於土砂災害是由複雜誘因、相互關聯的因子所造成，是以相當

難以準確預測其發生（時間、規模、位置等），因此，整合軟、硬體對策是相當重要的。日本根據土砂災害防止法，需針對土砂災害潛勢地區進行現地基礎調查並據以指定為土砂災害警戒區(黃區)及土砂災害特別警戒區(紅區)；惟因在指定土砂災害警戒區前，尚需辦理居民說明會及相關行政程序等，往往所需時間甚長，為避免資訊落差，日本砂防部建議地方政府在指定土砂災害警戒區前即先公布基礎調查結果，以儘早告知居民當地土砂災害之風險。此外，藉由規劃制定災害潛勢圖和各階段行動計畫來強化預警避難系統，並對地方政府公務人員和居民進行防災教育，以培育瞭解土砂災害知識之人才。



圖 5-24 土砂災害發生頻率增加之措施

2 預警避難反應時間短之土砂災害事件對策

通過實際防災訓練和防災教育等來普及如何應對土砂災害的正確知識，並徹底通知民眾有關危險處所、逃生路線和方向等資訊，以確保民眾能盡早遠離危險處所。對此，除了改善土砂災害警戒情報，

應活用社群媒體等資訊收集和共享方式，以有效改善預警時間相對變短之災害事件。

3 土砂運動現象超過計劃規模的對策

對於砂防設施如防砂壩、堤防、堰堤等配置及構造進行檢查，以確保長期亦能發揮減災機能，此外，藉由軟、硬體共同運用等方式來確保居民的避難時間及處所，維護保全避難路線安全。

4 深層崩塌的對策

利用衛星影像強化國土監測，可及早發現深層崩塌所衍生之河道阻塞、天然壩形成等現象，促進危機管理系統的維護。此外，亦可使用新技術如空中電磁探查等，以提升探查準確度。另外在假設因河道阻塞等造成嚴重災害的情況下，由緊急調查之結果，向市町村提供情報，並與相關單位聯合進行實際演練、導入無人機調查等方法，以快速勘查災情並提升災害事件應對措施。

5 在坑溝地形不明顯地區的土砂災害防災對策

先瞭解需要提出重點對策的場所，依據地形特性探討危險度評估的方法，以考慮更合理的設施構造。

6 土石流越過流域邊界的對策

適當的推估越過流域邊界的土砂量及範圍，並就評估結果使用；適當的軟、硬體對策。

7 漂流木災害對策

使用高透過型防砂壩來提高捕捉漂流木效果，設置漂流木防止設施，並改良既有不透過型為透過型防砂壩。

8 上游集水區管理

由持續累積的衛星及航空測量獲得詳細的地形資料，用以強化國

土監測系統。從國土管理觀點來看，為防止上游流域荒廢化，推動里山水土保持治理工程、綠化帶維護等項目，藉由軟、硬體綜合方法等各種支援措施來控制、防止土砂災害，以提高區域防災能力並振興與活化當地社會（圖 5-25 及圖 5-26）。

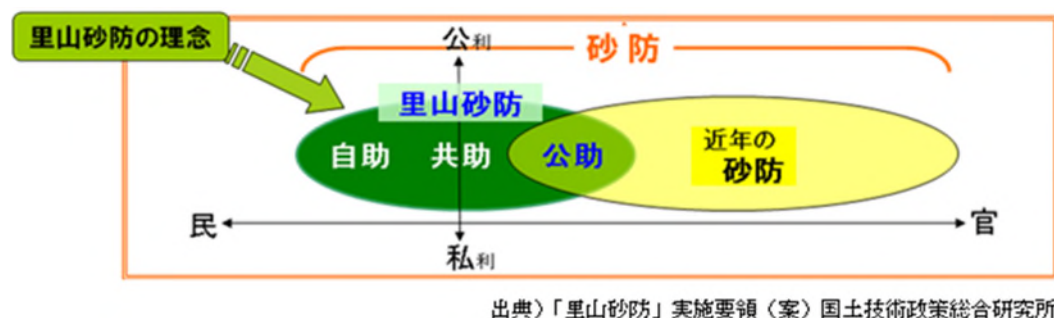


圖 5-25 里山砂防理念（資料來源：<https://www.sff.or.jp/biz/3-2/>）

グリーンベルト事業、里山砂防事業の推進

基本理念、基本方針等

< 基本理念 >

土砂川流域グリーンベルト整備事業は、互いの連携・協力のもと、はげ山から再生した丘陵を、より安全で豊かな都市山麓につくりあげていくものである。

< 基本方針 >

- ・山麓斜面を防災的に強い樹林地とし、土砂災害を防止する
- ・土砂災害の恐れのある地域に対し、適正な土地利用に誘導する
- ・防災機能が高く、種の多様性に富む樹林地を保全・創出する
- ・生活に憩いをもたらす自然景観を保全する
- ・身近な自然体験（園芸学習や森林レクリエーション）の場を提供する

< 活動状況 >

ワークショップの様子

地元の中学生との協働作業

樹林整備活動の様子

地域住民による間伐作業

倒木・立枯れ木の除去

圖 5-26 促進綠化帶、里山砂防事業例

(<https://www.mlit.go.jp/common/001257024.pdf>)

9 考慮災害風險的土地利用及住宅使用方式

藉由指定土砂災害警戒區及公布基礎調查結果來推動更安全的土地利用方式，著重於確保有特別需求者（如高齡者、行動不便者、殘障者、嬰幼兒等）使用之社福設施和防災基地的安全。

針對災害風險特別高的地區，將指定為土砂災害警戒區，對其建築物之建築技術規則及住宅開發等進行限制措施，並促進危險地域之住宅移轉到安全地域，例如靠近懸崖之房屋進行搬遷，或位於洪氾與淹水區域房屋搬遷至高台整備地上或河階台地上（圖 5-27）。

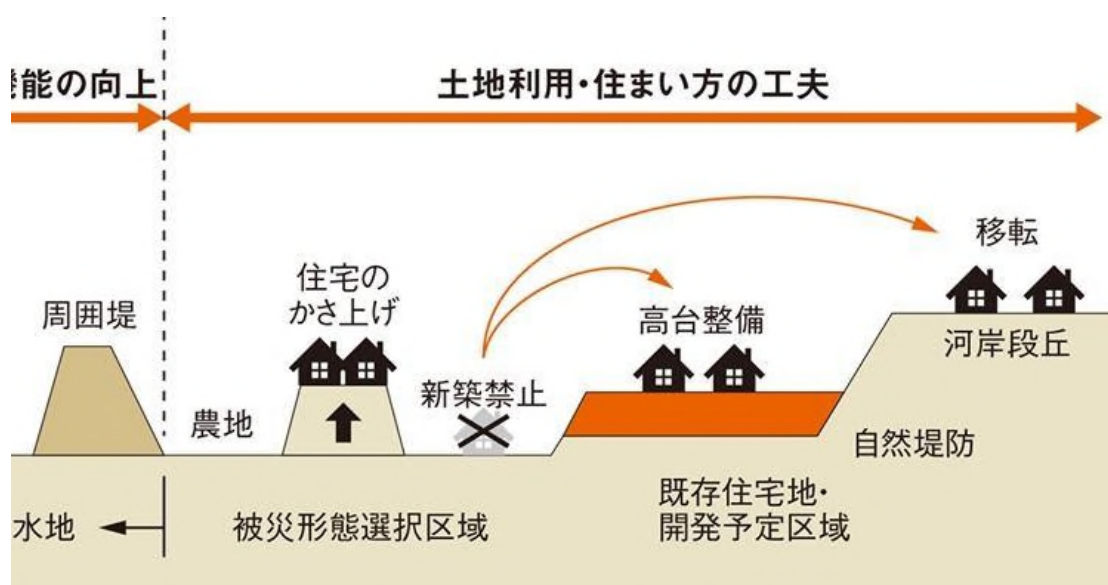


圖 5-27 土地利用及住宅使用之風險管理（日経クロステック，
<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/mag/ncr/18/00092/051800001/>）

第四節 災害對策修正檢討

對於土砂災害對策檢討，本文以土砂災害防止法歷年修正過程為例，日本政府根據從大規模災難中汲取教訓，依據《災害對策基本法》不斷修正相關災害對策，反映歷次災害事件所衍生問題，藉由災害對策、新技術應用、指南製作、防災演練等方式，確實掌握土砂災害情報，使災害規模損失及人員傷亡最小化，其修正契機及制度過程如下表 5-1 所示。

表 5-1 土砂災害對策、技術應用等歷年修正過程

年代	引發修正災害事件	災害對策、新技術應用等制定或修正	法律制度、對策行動等說明
1983	1982 年 7 月長崎土砂災害	制定土砂災害防止月(土砂災害防止月間の制定)	推動全國性土砂災害防範統一防災訓練與集會等
1988	-	氣象廳回應國民要求，提供高精度、詳細短期降雨預報	5m 網格降雨解析度、預測未來 3 小時之時雨量
2000	1999 年廣島土砂災害	土砂災害防止法制定(土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律)(平成 12 年法律第 57 號)	1 明確定義土砂災害警戒區域、土砂災害特別警戒區域 2 在土砂災害潛勢區通知民眾注意危險 3 警戒避難體制整備 4 抑制住宅等新建築數量管制 5 促進既有住宅搬遷
2001	-	1 土砂災害警戒區域等土砂災害防止對策相關法施行令公布(平成 13 年政令第 84 號) 2 建築基準法施行令部分修正政令公布(平成 13 年政令第 85 號) 3 土砂災害警戒區域等土砂災害防止對策相關法施行規則制定(平成 13 年國土交通省令第 71 號)	

		4 土砂災害防止對策基本指針制定 (平成 13 年國土交通省告示策 1119 號)	
2003	-	廣島縣-全國首次實施土砂災害警戒區域指定 (13 區域)	
2005	2004 新潟・福島豪雨 2004 新潟縣中越地震	避難勸告等判斷及傳達手冊製作指南 (避難勸告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドラインの策定)	1 協助民眾瞭解避難勸告與避難指示等區別 2 協助民眾判斷避難行動 3 豪雨時等情報傳達及高齡者避難支援 4 市町村發布避難勸告等判斷基準
2005		開始發布土砂災害警戒情報	1 都道府縣及氣象廳共同發布「土砂災害警戒情報」 2 短延時強降雨及長時間降雨之土砂災害危險度評估 3 短延時降雨指標(60 分鐘累積雨量) 4 長時間降雨指標(土壤雨量指數)
2005		1 土砂災害警戒區域等土砂災害防止對策相關法部分修正 (平成 17 年 法律第 37 號) 2 土砂災害警戒區域等土砂災害防止對策相關法施行規則部分修正 (平成 17 年 國土交通省令第 62 號)	
2007	-	土砂災害警戒避難指南研擬	1 支援市町村建立土砂災害警戒避難體制整備 2 土砂災害注意事項 (情報蒐集及傳達、發布避難勸告等、開設及運作避難場所、支援災害時需支援者、防止二次災害、提升防災意識 3 擬定「土砂災害警戒避難指南」

2010		開始在大雨警報中註明土砂災害	1 大雨警報區分對象為淹水災害與土砂災害 2 市町村發布「避難準備情報」時，可利用大雨警報(土砂災害)作為判斷材料
2010		土砂災害警戒區域等土砂災害防止對策相關法部分修正 (平成 22 年 法律第 52 號)	
2011	2011 年第 12 號颱風 (紀伊半島災害) 2011 東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災)	1 土砂災害警戒區域等土砂災害防止對策相關法施行令部分修正 (平成 23 年 政令第 10 號) 2 土砂災害防止對策基本指針變更 (平成 23 年國土交通省告示第 439 號) 3 國土交通省實施全國首次火山噴引致土石流相關緊急調查 (宮崎縣霧島山、鹿兒縣櫻島) 4 國土交通省實施全國首次河道塞迴水引致土石流相關緊急調查 (奈良縣、和歌山縣)	
2013	2011 年第 12 號颱風 (紀伊半島災害) 2011 東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災)	2012 年及 2013 年兩次災害對策基本法修正	1 廣域大規模災害應對 2 經驗傳承、強化防災教育及通過各單位參與，提升地區防災能力 3 確實支援被害者 4 確保民眾順暢安全地避難 5 強化廣域大規模災害即時應對能力 6 強化平時防災對策
2013	2012 年九州北部豪雨	公告土砂災害警戒判斷網格情報 (土砂災害警戒判定メッシュ情報の公表)	1 補充土砂災害警戒情報 2 土砂災害發生危險度分成 5 等級 (5km 網格資料)，判定土砂災害警戒情報及大雨警報到達基準 3 透過土砂災害警戒區、危險場所及高危險度網格疊合，有助縮小避難勸告發布區域

			4 確保避難所需時間，以未來 2 小時預測雨量判定危險度
2013		導入特別警報	1 針對超過警報發布基準之自然災害 2 要求民眾留意市町村發布避難指示、避難勸告等資訊 3 立即採取行動保護自己
2014	2013 年第 18 號颱風豪雨	避難勸告等指南修正	1 不必擔心錯發避難勸告 (狼來了效應)，基本上宜盡早發布 2 留在住家內相對安全處也是「避難行動」的選項之一
2014	2013 年 10 月第 26 號颱風伊豆大島土砂災害	開始提供高解析度即時降雨預報 (高解像度降水ナウキャストの提供開始)	1 氣象廳更新全國 20 處氣象都卜勒雷達設備 2 觀測降雨強度-強化 250m 網格資料處理能力(由空間解析度 1km 提升至 250m) 3 提供高解析度降水預報 (每 5 分鐘預測 30 分鐘後降雨資料)
2015	2014 年廣島土砂災害	1 土砂災害警戒區域等土砂災害防止對策相關法部分修正 (平成 27 年政令第 6 號) 2 土砂災害警戒區域等土砂災害防止對策相關法部份修正 (平成 27 年 國土交通省告示第 35 號)	
2017	2015 年關東暨東北豪雨事件	1 土砂災害警戒區 487,899 區域指定 2 土砂災害特別警戒區域 331,466 區域指定 3 水防法部分修正 (平成 29 年法律第 31 號) 4 土砂災害防止對策基本指針變更 (平成 29 年國土交通省告示第 752 號)	

資料來源：內閣府，2015，総合的な土砂災害対策の推進について

在 2014 年 8 月廣島土砂災害發生後，為瞭解避難勸告等發布狀況實際情況，內閣府與消防廳以災害發生後發布避難勸告、避難指示

等自治體為對象進行問卷調查，總計 392 市町村，調查期間為 2014 年 12 月 15 日到 2015 年 2 月 27 日，市町村回收率為 94.5% (370/392)、案例回收率為 88.2% (784/889)，用以探討防災制度、防災情報、避難情報等相關問題 (引自 2015 內閣府-総合的な土砂災害対策の推進について)。

1. 2014 年 8 月廣島土砂災害檢討

(1) 於避難勸告與災害發生調查中，以土砂災害為對象發布避難勸告及指示 440 個案例部分，有 192 市町村發生土砂災害佔約 43%，雖然誤判案例並不多，但仍有待提升準確率。

(2) 避難勸告等發布時機調查中，顯示有必要加以分析實際災害時間的關係，避難勸告發布約 385 個案例，在夜間發布者 102 個 (晚間 18 時至早上 6 時，約 2 成 5)，在早上發布者 81 案例 (早上 6 時至 9 時，約 2 成)。實際發生土砂災害 159 個案例中，災害發生前發布避難勸告的有 63 例，約佔 4 成，而災害發生前來不及發布仍佔多數。

(3) 發布避難勸告等與對象區域

發布避難勸告或指示的 440 個案例中，統計各個類別發布情況，以土砂災害警戒區域與危險場所等為對象有 191 個案例，以網格情報 (メッシュ情報) 危險度升高地域為對象有 80 個案例，同時考慮兩者的對象區域有 43 個案例，因此鎖定危險度高區域為對象範圍而發布的案例相當少。另一方面，市町村全域為對象區域有 95 個案例 (圖 5-28)。

(4) 發布避難準備情報與對象區域

發布避難勸告與避難指示的 440 個案例中，有 181 個案例發布避難準備情報約佔全體 40%。在 181 個案例中，以土砂災害警戒區域、

危險場所為對象範圍的有 50 個案例，以網格情報危險度升高地區為對象範圍有 24 個案例，其中有 14 個案例(少於 10%)同時考慮此兩方面為對象區域，將鎖定危險度高區域 (含土砂災害警戒區域、土砂災害危險區域與網格情報危險度升高地區) 為對象範圍而發布的案例較避難勸告少，另一方面，以市町村全區為對象發布有 91 個案例 (圖 5-29)。

(5)開設避難場所

發布避難準備情報的 181 個案例中，有 29 個案例未開設避難場所，也有的雖有發出避難準備情報，但卻未提及是否有開設避難場所。發布避難勸告或避難指示的 440 個案例中，有 426 個案例 (約 97%) 在發布命令前已開設部分避難場所，即大多數是在避難場所開設之後才發布避難勸告或避難指示命令。在以土砂災害為對象發布避難勸告等命令的 230 個市町村中，當地社區與地區自治會、自主防災組織合作開設避難場所只有 97 個市町村。



圖 5-28 避難勸告與指示之發布範圍 (內閣府，2015)

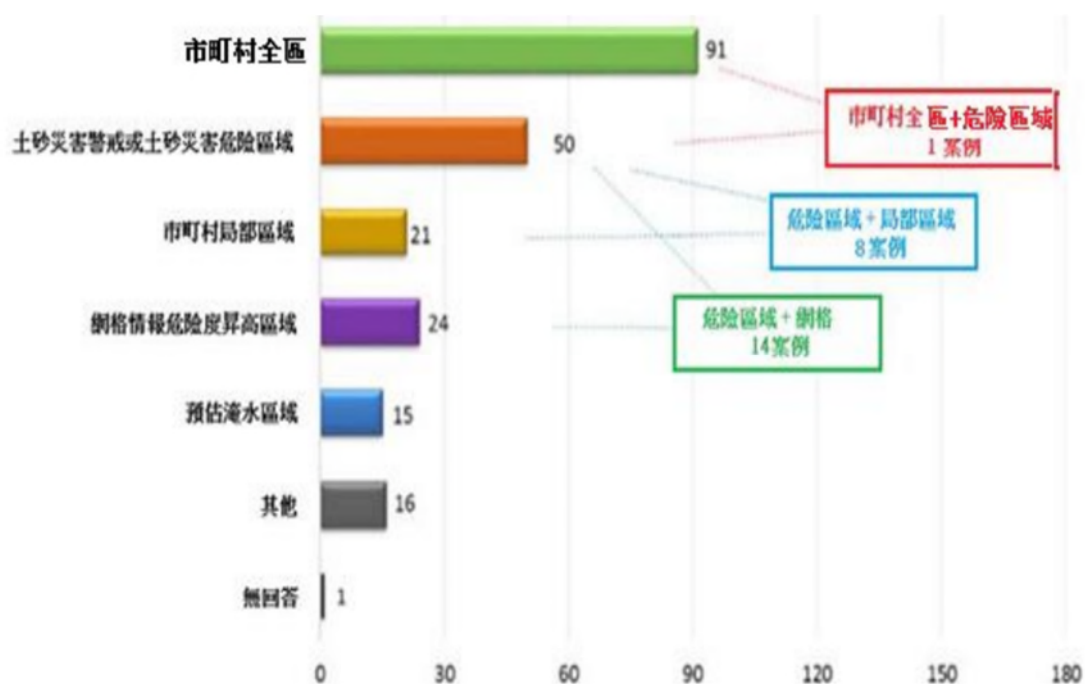


圖 5-29 避難準備情報之對象範圍 (內閣府，2015)

經由 2014 年廣島土砂災害事件，日本相關單位積極推動各項防減災對策，但 2018 年 7 月豪雨卻造成近年死亡人數最多之災害事件，國土交通省以 2018 年 7 月豪雨事件進行驗證、檢討土砂災害防減災作法之有效性，由現場調查、委員會、工作坊及問卷調查等方式，綜整出目前推動之防災方向與作法是否正確，其需再改善及再檢討項目如下 (引自，2019-実効性のある避難を確保するための土砂災害対策検討委員会)：

2.2018 年 7 月豪雨事件檢討

(1) 於土砂災害警戒區災害事件調查中，土石流沖毀民宅案例中，有 96% 出現於土砂災害警戒區域內，顯示未來需加以考慮災害風險，從而限制區域開發或都市計畫開發之土地使用，以避免住宅、商業、工業之土地使用位於高致災區域中。

(2) 在土砂災害警戒區外受災喪生案例中，因為基本資料不全、資料品質及精度不佳，使得研判土砂災害之坑溝地形或陡坡地形錯誤，

造成高潛勢區域未劃入土砂災害警戒區，以致土砂災害罹難者受害事件發生在此區域 (圖 5-30)。

(3) 在土砂災害警戒資訊調查中，34 都道府縣針對 505 個市町村發土砂災害警戒資訊，其中約 208 個市町村發生土砂災害 (此顯示出土砂災害警戒資訊誤判情形過高)，另外在出現罹難者的 53 個地點之市町村都是在災前公告土砂災害警戒資訊區域，在其中 37 處地區是於災前發布避難勸告，但由於從發布完成到實際發生災害為止經過相當長時間，使得事件期間並未能讓居民瞭解危險度高低，且有些人員喪生案例是在未劃定為土砂災害潛勢地點，顯示土砂災害警戒資訊之發布流程與作法仍有待精進。

(4) 在土砂災害警戒資訊調查中，調查過去 2015 至 2017 年間約有 70% 資料顯示，當發布大雨警報到發布土砂災害警戒資訊之間少於 1 小時，造成居民疏散避難反應時間不足約有 30%，但在 2018 年 7 月豪雨事件，發布大雨警報後到發布土砂災害警戒資訊為止，有超過 1 小時之案例為 94%，但仍有許多人喪生。調查結果顯示，許多反應時間長之地方，市町村卻未發布疏散避難之地點，且由於其時間為深夜或黎明，為避免夜間避難時罹難風險之問題，市町村不敢發布疏散避難警告，僅呼籲居民自主避難，造成居民受困於自宅或於避難期間傷亡。

(5) 民眾前往避難處所之理由中，依多寡排列分別是，收到「發布避難勸告與指示 (含土砂災害警戒資訊)」、「周圍環境產生變化」、「左鄰右舍招喚前往避難」此三項。而在未前往避難理由中，則是「判斷待在家中安全」、「判斷前往避難很危險」、「鄰居皆無避難行動」此三項為最常見。顯示居民自身災害意識不足，導致在接受到避難勸

告，但由於鄰居街坊無行動，或是自身感覺家中安全之理由而未進行避難行動，形成後續傷亡事件。

(6) 在 2018 年 7 月豪雨罹難人數最多的廣島縣吳市西條 3 丁目地區，其中往避難所的路線上都位於土砂災害警戒區內，且前往避難所需跨越土砂與洪水氾濫之大屋大川，雖然已收到行政部門發布避難勸告相關防災資訊，推測由於從住宅前往避難所路徑處於危險狀態，居民因而無法進行撤離。

(7) 部份地方自治協會，其自主製作防災手冊與防災地圖，經常舉辦防災演練、分配支援給需特別照顧者（老年者、行動不便者、小孩、孕婦等），因此該地區無人員傷亡。除了經常教導民眾瞭解居住區域之災害危險程度，讓其具有防災意識，並藉由防災演練熟悉避難流程與避難地點路線，以提升疏散避難成效。

由以上兩場事件之探討可以歸納出：

- (1)土砂災害事件突發性高，
- (2)使用網格(メッシュ)預測模式之解析度及準確率有待提升，
- (3)民眾防災意識不足，
- (4)建議應提早發布避難準備-勸告-指示等命令，
- (5)避免預警避難資訊不足，以致難以充分判斷是否進行避難行動，
- (6)在通知民眾避難時，除了前往避難場所外，待在屋內或往高地安全處避難亦是可能的選項。
- (7)後續期能藉由提高民眾災害風險意識，達到確實避難，減少人員傷亡。

以高精度地圖提升土砂災害警戒區域圈定精度之作法

- 基礎調查時進行地形圖判釋並未圈定為「土砂災害潛勢區」因而未指定為土砂災害警戒區域之地點發生土砂災害。
- 若使用5m網格DEM（數值地形模型）分析，可圈定為「土砂災害潛勢區」，因此，未來應使用高精度地形資訊進行基礎調查。



22

圖 5-30 使用高精度地形圖以提升土砂災害警戒區判釋(國土交通
省，2020，近年の土砂災害における課題等を踏まえた土砂災害対
策のあり方について)

第六章 結論與後續策略參考

第一節 結論

由於氣候變遷情勢之推估是由長期資料所推衍，在制定調適策略時，必須要從長期角度進行規劃，並參考氣候變遷的預測趨勢及變動年份等資料，才能充份考量對於實施標地的長期影響。但由於各國所發展大氣循環模式 (Atmospheric General Circulation Model, AGCM)、海洋循環模式 (Ocean General Circulation Model, OGCM)、大氣海洋結合氣候模式 (Atmospheric Ocean General Circulation Model, AOGCM) 皆不相同，各氣候模式情境預測值之結果與空間解析度亦差異甚大，因此對預測模式之解析度與不確定性等需特別注意。建議在使用模式預測資料作後續研究時，需注意其使用氣象資料時期、設定情境、參數、空間解析度、不同動力降尺度 (Dynamical downscaling) 技術等資料，盡可能減少影響結果之不確定性，以獲得較適合該研究區域之模擬預測資料。

氣候變遷下極端事件強度增加，如降雨量增加、災害外力超過防護設施，為避免與減緩民眾及社會經濟之影響，其治理計畫與對策該如何制定，以往作法主要以硬體工程手段為主；例如提高設計規劃標準，調節流量、擴大滯洪容量、加速河川通洪能力，再配合流出抑制對策等方式。但由日本近年之災害事例來看，發生超過防護能力之降雨及洪水，常造成堤防潰決、內水淹水、土砂與洪水氾濫等複合災害，因此強化災害外力調節與控制對策、改善受災對象減災對策、受災恢復與重建對策等，是目前急需各相關單位依據基礎調查與科學研究等資料依影響程度大小，規劃各階段調適對策，如訂定防災設施設計標

準與維護計畫、研擬防災與減災整備項目、建立跨機關協同合作之制度與支援對策制定等。

因應氣候變遷下土砂移動現象及制定相應砂防整備計畫，需精進目前對於土砂量體之評估技術，因此如何推估氣候變遷導致豪雨增加情況下，土砂生產量、土砂運動影響範圍、何種土砂災害將更頻繁等議題更顯重要。目前國外經驗多藉由歷史災害事件，綜整降雨特性變化造成何種土砂移動現象及頻率改變，並考量地質、地形、氣候水文條件等各方面影響，設定不同土砂生產情境，以推估土砂移動現象可能影響範圍，以持續精進調查與評估土砂量法準確性。

為使民眾瞭解土砂災害特徵與危險地區情報，藉由土砂災害警戒區劃設與建立預警疏散系統，強化土砂防範的重要性，並提升民眾防災意識與自主防災能力，以落實地區防災整備，進行迅速確實的避難行動。因此，具體應對方法為提升土砂災害警戒區劃設之精確度，並針對已完成土砂災害現場與基礎調查地區，研討該地區現行土砂災害對策具體實施方法是否合宜。對於建立民眾防災意識方面，則需進一步推動民眾瞭解土砂災害警戒區及危險區域之認識，除利用宣導說明會、公聽會等方法，配合地區自治會、自主防災組織等民眾力量，促進形成自助與共助之地區避難疏散體制，並設置如防災工具間方式，以支援民眾自助救災環境，另外製作簡單易理解之危險標誌，使民眾瞭解周遭居住環境危險程度。對於提升地區防災整備方面，除和相關單位合作，培育防災人才、防災地圖之製作與修訂以支援防救災行動外，應實施防災訓練和防災教育，以強化民眾防災能力，並考慮推行區域聯防應變，藉由設定情境腳本、兵棋推演及災害事件通報等，整合運用區域聯防能量，支援受災地區所需之防救災人員、醫療場所、

避難場所等資源。

由於氣候變遷影響引致災害外力（暴潮及海岸侵蝕、洪水、土砂災害、旱災等）劇烈化情形下，未來災害外力必將超過現況防災設施之防護能力，傳統防災機制與思維無法有效因應，要讓土砂災害傷亡最小化，除了各級政府（中央政府、地方都道府縣、市町村）進行技術及財力支援外，尚需加入企業、民間組織（自治會、自主防災組織、社福協會、志工等）及民眾本身等彼此合作，因此有必要進一步運用各種硬體工程、軟體防災措施、管理（法律、規範、管制等）、自主防災等此四個面向來推動土砂災害調適策略，通過各相關利害關係人的共同努力，提高對策有效性，並持續檢討修正實施對策之效果，以發展精進有效率、有效果之技術與對策措施。

以災害協力治理觀點而言，目前日本積極推動「水防災意識社會」，中央政府及都道府縣管轄河川，持續推動政府與民眾合作，從自助、共助和公助之觀點，強化更多關係者參與，促進提供風險情報和加強合作協助，以提升避難時效性，減少土砂災害損壞傷亡。其目的主要是藉由強化由下而上的關係，建立政府、地方單位與民間協力網路關係。在水平方向建立災害支援網路方面，則是由各地方政府單位互相支援，提升災害援助能量；在民間協力部分，則是積極建立企業、NPO、民間組織等基層協力關係，得以在災時分工互相支援。因此，在建立中央政府、地方政府、民間組織等垂直及水平防災網絡時，必須特別注意各方之協調機制，避免中央垂直系統過於龐大雜亂、中央與地方間整合不明確，形成各權責單位分工不清，喪失各部門資源共享及聯合運用之防災能量。

由於山坡地範圍幅原廣大，其土砂災害發生源頭、土砂運移範圍、

受災地區涉及多個相關單位，因此如何建立中央-地方-民間之縱橫向連結及跨域合作，使得各項監（觀）測資料連結與傳遞、防災構造物設置、避難所配置、跨機關防災聯合演練等資源運用與共享最大化，以提升各項策略之實效性，係為重要議題。

以日本為例，日本國土交通省多藉由專家會議針對各項議題研擬因應對策，國內或可效仿。國內相關單位如欲引用日本對於氣候變遷對於河川及土砂防災對策，應先藉由詳細歷史資料蒐集及基礎研究，依據科學調查及研究成果，建立適合我國之相關預測及評估模式，掌握新技術與防災知識推廣，積極培育人才，並整合地方及民間團隊，因應未來氣候情勢變動。再者，建議未來應持續研究探討評估氣候變遷之外力、考慮氣候變遷影響下河道變化與風險評估方法、考慮氣候變遷外力增加情況下防減災對策，此三項議題未來需加強產官學研協力，持續進行研究並將對策措施具體化。

第二節 後續策略參考

綜觀日本目前因應氣候變遷防減災對策，係綜合考量軟體、硬體、管理及自主防災等四個面向。藉由研究分析日本河川與土砂災害對策、流域對策、被害減輕對策等組合成綜合流域治水對策，本研究提出以下建議：

1. **精進基礎調查方式與新興技術使用：**日本目前在進行土砂災害潛勢地點之基礎調查時，係使用二千五百分之一比例尺之地形圖，其精度對於提供土砂災害警戒區判斷資訊不足，因此建議後續國內在相關土砂災害潛勢地點調查時應優先使用 1 米 DTM 配合紅色地圖、CS 地圖等新技術圖資做為細部調查使用，以強化調查精度，避免發

生地圖精度及資訊不足，造成誤判。

2. **整合跨機關資源強化即時資訊連結與傳遞：**當災害發生時，由於中央主管機關需要即時得到地方政府、村里長、防災志工提供正確資訊與需求，以因應災害所需之救援能量（包含人力、器具、物資輸送、避難收容等）之資源配置，此皆仰賴第一線人員所發出資訊。但如受災嚴重致使基礎設施損毀或人員傷亡而無法傳遞正確資訊，將使中央收不到訊息，無法即時做出正確因應對策。因此，建議我國未來應針對如何強化中央與地方政府之間資訊傳遞與資源運用，以提升救災指揮、災後恢復與復建等有效率之救災作為。

3. **整合地區資源與民眾參與提升自主防災能量：**日本在阪神地震前是以「由上到下」的垂直型防災社會，之後逐漸轉變為以地方自治體的「水平協力網絡」方向發展。但在東日本大地震後，則積極提升基層防救災能力，提升「由下而上」的防救能力，以建構水平減災協力社會（林淑馨，2017）。然而過程中卻出現過於相信法制化所帶來的成效，而忽略建構協力社會的主體並非都能納入正式體制，以致無法有效整合協力防災關係。因此，建議我國未來應建立各民間單位與組織（NPO、NGO、個人、企業等）之整合機制，強化各組織資訊傳遞功能，並藉由有效分工、責任分區等方式動員人力，以提升災時自助、共助防災能量。

4. **將氣候變遷影響因子納入設計考量：**目前在進行防災硬體設施等規劃設計時，多依據過往發生之現象與紀錄，作為防災設施設計及淹水範圍等推估災害潛勢區域之基準，並據以推估最大外力。未來應考量該設施之使用年限，將氣候變遷造成之影響一併納入評估。在掌握設施使用年限期間之外力變化情況下，避免未來因氣候變遷導致外

力變化，需針對設施進行補強或重複施作，以降低施工面與經濟面之負擔。

5. **公私協力強化預警操作機制**：因應局部地區強降雨致災情況，日本氣象廳以提升預報網格解析度（由 1 km 逐步提升為 250 m）、延長預報時間範圍（未來 1 小時、未來 2 小時、未來 6 小時）及增加預報發布頻率（每 30 分鐘、每 10 分鐘、每 5 分鐘）等方式，強化即時高精度降雨預報。囿於山區雨量站建置及維護成本較高，國內目前坡地範圍內之雨量站分布密度較為不足，雖已發展降水雷達 QPESUMS 系統以提供 1.3km 解析度之網格降雨推估值，惟因地形遮蔽等問題，歷年研究指出其於山區常有低估之情事。因此，建議未來除優先採用國內新建立之降水雷達資料（空間解析度 250 m）外，亦可採公私協力合作方式，藉由各村里公所、防災志工或民間協力機構所提供空間架設微氣象站設備，以彌補雨量站空間密度不足之情況，並藉由掌握當地雨量預警門檻值，提升村里長、防災志工等相關人員預警避難操作時間。

6. **強化山坡地災害容受力/韌性 (resilience)**：一般而言，降低災害風險的途徑有三個方向：藉由調控災害外力以降低危害度、減少受災對象以降低暴露度、提升韌性（減少災害衝擊、提高回復力）以降低脆弱度。就目前氣候變遷及人口集中化的情境下，危害度及暴露度似有增加趨勢。因此，如何提升韌性，以確保山坡地之保全對象、經濟活動、防災設施、基礎維生管線等，不因受災害衝擊而喪失功能，並具有高回復力以提供災後復原能力，為未來的重要課題。因此，建議應盤點並評估坡地災害潛勢區之災害容受力與災害風險程度，再藉由臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台所提供調適構面方法，擬定

調適策略步驟，依「問題界定及目標建立、檢視現況、未來風險分析、綜整調適對策、推動及監測、評估及修正」等六項步驟，啟動調適對策執行時間點，訂定檢核評估及修正以達成有效調適作為。

7. 推廣防災教育及提升民眾災害風險認知：藉由過去水土保持局多年執行計畫成果，編撰成防災教育推廣教材，提供各地方單位、村里長、防災志工等，以辦理防災教育活動，並藉由網路平台、書籍、雜誌等方式傳遞防災知識宣導，提升民眾對於災害潛勢地區之危險認知。

8. 持續基礎研究並加強產官學研合作：藉由蒐集詳細歷史資料以分析監測氣候變動情勢，除可提供產官學研等作為基礎研究資料，對於建立風險分析模式、災害衝擊評估模式及參數資料庫，亦是重要基礎資料來源。建議後續可持續盤點歷年執行計畫成果，彙整水文、地文等相關資料，並掌握新技術與新興科技，以利產官學研各界後續加值應用、未來風險分析、災害衝擊評估、災害減緩及制定調適策略，並適時反映於現行調適行動。

參考文獻

1. 行政院農業委員會水土保持局，2014，「氣候變遷對水土保持衝擊與調適策略評估(1/2)」。
2. 行政院農業委員會水土保持局，2014，「103 年氣候變遷衝擊下坡地災害風險評估及調適能力之研究」。
3. 行政院農業委員會水土保持局，2015，「氣候變遷對水土保持衝擊與調適策略評估(2/2)」。
4. 行政院農業委員會水土保持局，2017，「106 年度氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫綜合管理」。
5. 李志昕、洪景山，2014，「區域系集預報系統研究：系集成員產生方式之評估」，大氣科學，第四十二期，第二號，頁 153-179。
6. 林淑馨，2017，「從協力治理檢視日本的災害防救-以東日本大地望為例」，行政暨政策學報，65 期，頁 1-37。
7. 范正成，2019，「氣候變遷下集水區土砂管理之風險評估與動態調適策略研究」，行政院農業委員會水土保持局。
8. 國家災害防救科技中心，2017，「臺灣氣候變遷科學報告 2017-物理現象與機制」。
9. 國家災害防救科技中心，2017，「臺灣氣候變遷科學報告 2017-衝擊與調適面向」。
10. 國家災害防救科技中心，2018，「臺灣氣候的過去與未來-臺灣氣候變遷科學報告 2017-物理現象與機制-重點摘錄」。
11. 國家災害防救科技中心，2019，「臺灣氣候變遷乾旱風險評估

- 與調適」，中研院永續科學研究計畫 (2016-2018):「台灣乾旱研究：變遷、水資源衝擊、風險認知與溝通計畫」。
12. 國家發展委員會，2012，「國家氣候變遷調適政策綱領」。
 13. 國家發展委員會，2018，「地方氣候變遷調適計畫規劃作業指引」。
 14. 陳韻如、林欣靜、黃嫻蓁、陳永明，2015，「氣候變遷之災害衝擊與調適-面對未來的災害風險」，土木水利，42 卷 5 期，頁 25-32。
 15. 童慶斌、劉子明、林嘉佑、曹榮軒、李明旭，2016，「氣候變遷水資源風險評估與調適決策之探討」，土木水利，42 卷 4 期，頁 30-45。
 16. 蕭逸華、李欣輯，2019，「暖化情境下農業淹水災害之調適效益分析-以大甲溪流域為例」，農業工程學報，65 卷 1 期，頁 83-95。
 17. 日本內閣府，2015，「総合的な土砂災害対策の推進について」，総合的な土砂災害対策検討ワーキンググループ。
 18. 日本內閣府，土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律施行令 (平成十三年政令第八十四号)，
https://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=413CO0000000084。
 19. 氣象廳氣象研究所，2015，「地域氣候變動預測資料之解析」(地域氣候變動予測データの解析)，氣象研究所技術報告，第 73 號，頁 63-74。[https://mri-3.mri-](https://mri-3.mri.go.jp/)

jma.go.jp/Publish/Technical/DATA/VOL_73/07.pdf

20. 国土交通省，2015，気候変動に適応した治水対策検討小委員会，
http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/s204_kikouhendou01.html。
21. 国土交通省，2015，「国土交通省の気候変動への適応策」，
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_mn_000013.html。
22. 国土交通省，2015，「新たなステージに対応した防災・減災のあり方」，<https://www.mlit.go.jp/saigai/newstage.html>。
23. 国土交通省，2018，大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策検討小委員会，
http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/s304_daikibokouikigouu01.html。
24. 国土交通省，2018，大規模氾濫に対する減災のための治水対策検討小委員会，
http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouiinkai/daikibohanran/index.html。
25. 国土交通省，2019，「令和元年の土砂災害」，
<https://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/r1dosha/r1doshasagainogaiyou.pdf>。
26. 国土交通省，2019，気候変動を踏まえた水災害対策検討小委員会，
http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouiinkai/kikouhendou_suigai/index.html。

27. 國土交通省，2019，氣候變動を踏まえた治水計画に係る技術検討会，
https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/chisui_kentoukai/index.html。
28. 國土交通省，2019，実効性のある避難を確保するための土砂災害対策検討委員会，
https://www.mlit.go.jp/river/sabo/committee_jikkousei.html。
29. 國土交通省，2020，土砂災害防止対策小委員会，
http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/s204_doshasaigai01.html。
30. 國土交通省，2020，氣候變動を踏まえた砂防技術検討会，
https://www.mlit.go.jp/river/sabo/committee_kikohendo.html。
31. 國土交通省河川局，2010，「洪水に関する気候変化の適応策検討ガイドライン」。
http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/english/climate.html
32. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.
33. IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report

- on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.- O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. Weyer (eds.)]. In press.
34. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), 2009, “2009 UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction”, UN Office for Disaster Risk Reduction.