

氣候變遷治水計畫應有之作為 建議 修訂版【概要】

<氣候變遷伴隨之降雨量與洪水發生頻率變化>

- 劃分降雨特性類似之不同區域計算其未來降雨量變化倍率，實施未來不同海面水溫分布之上升幅度與平均值等的評估，據此設定降雨量變化倍率。
- 氣溫上升2°C時的降雨量變化倍率，北海道為1.15倍，其他區域（含沖繩）1.1倍，上升4°C時的降雨量變化倍率，北海道與九州西北部為1.4倍，其他區域（含沖繩）1.2倍。
- 上升4°C時小流域與短延時降雨影響較大，須另設降雨量變化倍率。

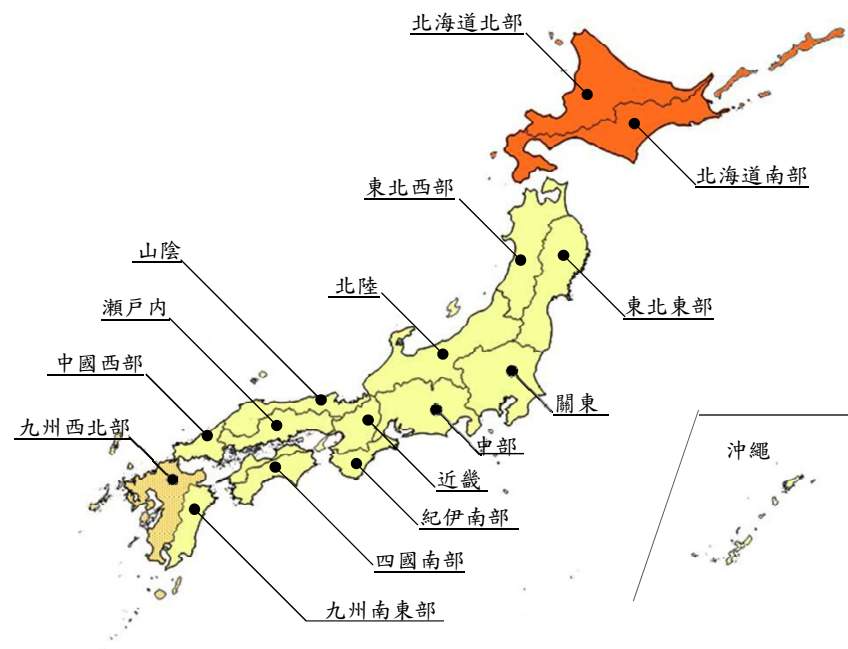
<不同區域之降雨量變化倍率>

區域劃分	上升2°C	上升4°C	
			短延時
北海道北部、北海道南部	1.15	1.4	1.5
九州西北部	1.1	1.4	1.5
其他區域（含沖繩）	1.1	1.2	1.3

※ 上升4°C的降雨量變化倍率之中，「短延時」指降雨持續時間大於3小時而小於12小時。小於3小時之降雨不適用。

※ 適用於雨域面積大於100km²者。但小於100km²時降雨量變化倍率也可能大於此次設定值，因此須注意也可能可以適用。

※ 適用於年期距重現率（重現期）大於1/200規模（更高頻率）之計畫。



<參考>依據降雨量變化倍率所算出流量變化倍率與洪水發生頻率變化之一級水系全國平均值

氣候變遷情境	降雨量	流量	洪水發生頻率
上升2°C時	約1.1倍	約1.2倍	約2倍
上升4°C時	約1.3倍	約1.4倍	約4倍

※ 溫度上升2°C、4°C時的降雨量變化倍率係以模擬的（d4PDF）數據所試算全球平均溫度和產業革命以前相比分別上升2°C、4°C時的狀況而取得

※ 流量變化倍率係依據乘以降雨量變化倍率之降雨所算出，一級水系治水計畫目標規模（1/100～1/200）流量變化倍率平均值

※ 洪水發生頻率變化倍率為一級水系治水計畫目標規模（1/100～1/200）降雨之現在與未來發生頻率變化倍率平均值
（例如，某降雨量發生頻率目前為1/100，若未來發生頻率變成1/50，代表洪水發生頻率變化倍率2倍）

氣候變遷治水計畫應有之作為

建議

2019年10月

2021年4月修訂

氣候變遷治水計畫技術檢討會

目錄

1. 前言	- 1
2. 越來越明顯的氣候變遷狀況	- 4
(1) 降雨量等增加	- 4
(2) 水災害受災增大	- 5
3. 因應氣候變遷之水災害對策構想	- 8
4. 氣候變遷情境與溫室效應氣體減排狀況	- 10
5. 未來降雨量變化等的評估	- 11
(1) 未來降雨預測資料	- 11
(2) 未來降雨預測數據之評估	- 13
(3) 運用氣候變遷預測模式的影響分析	- 14
6. 反映到治水計畫等的氣候變遷情境與注意要點	- 22
7. 因應氣候變遷之治水計畫等的構想	- 23
(1) 因應氣候變遷之治水計畫等的修正	- 23
(2) 推動「流域治水」應注意事項	- 25
(3) 一併實施之事項	- 27
8. 今後應檢討事項	- 29
9. 結語	- 30
參考文獻	- 32

1. 前言

很多人應該已察覺到這些年來氣候變遷的影響越來越明顯吧。許多地方被熱浪襲擊、豪雨災害頻生，甚至於櫻花提早盛開等等，連生活周邊也出現不少異於以往的氣候現象。

IPCC（聯合國政府間氣候變遷專門委員會）會定期公布未來各種溫室效應氣體濃度情境及其影響之氣溫等，而在評估報告書修訂時，也確認了人類活動會影響氣候變遷。2013~2014年公布的第五次評估報告書指出，「全球氣候系統暖化已無庸置疑」、「20世紀中葉以來觀測到的地球暖化關鍵原因，極可能就是人類活動所致（95～100%）」。

2008年國土交通省社會資本整備審議會河川分科會，於2008年成立「氣候變遷調適之治水對策檢討小組委員會」，依據2015年彙整的「水災領域之氣候變遷調適對策做法之答覆」，充實保護措施，以防範超過設施功能之外力而危及民眾性命等。依據2015年修訂水防法，推估最大降雨規模並劃定淹水潛勢區域，在可能發生超過設施承受能力之洪水的前提下，重新建構社會整體為「水災防範意識社會」，推動軟硬體一體化之防減災對策。

2018年7月豪雨事件許多居民來不及逃生而造成傷亡，並沖毀許多房屋，嚴重衝擊社會經濟，讓大家再次瞭解硬體對策之重要性。

此外，2019年東日本颱風(颱風19號)，日本全國有142處堤防潰堤，洪氾淹水區域達35,000公頃。一些尚未劃定淹水潛勢區範圍圖的中小型河川洪氾造成人員傷亡，及未事先發布洪氾警報等，都顯示軟體防災方面出了問題。2020年7月豪雨事件，同樣地，中央管7水系10河川、縣管58水系193河川潰堤氾濫，以九州為主的地區災情慘重。

雖然現行治水計畫、設施設計、與危機管理並未考量到未來的氣候變遷影響，但是在幾乎已能確定今後氣候變遷將會引發更頻繁、更劇烈降雨以及更嚴重災害的情況下，對於研擬出能適用於調氣候變遷的治水計畫，時是刻不容緩的事項。

本檢討會，就修訂因應氣候變遷治水計畫時，如何將氣候變遷所致外力增加量納入考量的方法，以及其外力的設定方法等，進行具體的檢討。

2015年國際間簽署巴黎協定，設定全球平均氣溫升幅以不比工業革命以前高2°C為目標，同意全球性地推動溫室效應氣體減排等工作，但地球暖化腳步並未因此而停止下來。儘管目前溫室效應氣體排放量已經到頂，但是大氣中的溫室效應氣體濃度仍持續升高中。因此，日本政府也於2018年制訂氣候變遷調適法，緩和對策與調適正齊頭並進推動中。

未來的氣候變遷確實會影響降雨特性已獲證實，至於影響程度如何各界仍有不同見解。溫室效應氣體減排仍有賴於各國共同推動，但是如何將全球平均氣溫升幅控制在不比工業革命前高2°C，仍是一大挑戰。此外，雖然目前各國已有許多可說明氣候變遷狀況的氣候變遷預測模式，但模式本身有其限制，且自然界本身動態變數多，仍無法完全精準預測。

日本的災害對策多是參考過去發生之災害經驗而制定，但是氣候變遷不僅顛覆過往的防災常識，同時也意味著未來可能發生前所未見之事態與現象。因此，日本國內的治水計畫不可只參考過往之統計資料，當務之急是改採未來風險（氣候）預測模式；切忌以氣候變遷的影響尚無確實的科學評估為由而忽略。

洪水對策領域方面，過去也是以開發各種可精確地推估不確定性現象的方法加以對應。治水計畫，為了公平且有效率地提高全國安全度，於1958年導入依據有限年數觀測數據推估極值之方法，藉此從原有的「最大主義」（設定推估最大規模降雨等）轉換成「機率主義」（發生機率高低）。有關推估最大規模方面，在2015年即不以流域為單位，而改以降雨特性類似的地區為劃分單位，藉由評估過去之降雨，確保樣本數目，設定降雨量。

此次因為氣候變遷預測模式、動力降尺度法與系集預報等演算方法，在提升了氣候變遷影響的預測技術，也成功開發了高性能演算與大規模數據等的系統，評估致災極端現象所需大量系集演算成果也已完備，因此本檢討會就今後如何將這些最新科學技術應用在治水計畫等，具體地加以探討與彙整。

截至目前長期以來推動的治水對策已經來到重要轉換點。本檢討會將原本只運用過去觀測數據的治水計畫，轉型成應用預測未來的治水計畫，往前踏出一大步。

本建議係就2019年10月提案公布後以最新整備氣候變遷預測模式所取得之系集資料，精算氣溫上升2°C時的降雨量變化倍率、島嶼部分及短延時與小流域之應用、因應氣候變遷之治水計畫具體方法等，經由本技術檢討會深入探討，於2021年4月修訂完成。

2. 越來越明顯的氣候變遷狀況

(1) 降雨量等增加

- IPCC第五次評估報告書指出，對於過去約100年左右觀測到的氣候變遷，「全球氣候系統暖化已無庸置疑¹⁾」。
- 2003～2012年期間全球平均地面氣溫較1850～1900年期間上升0.78°C²⁾。日本氣象廳觀測也發現，日本從1898年到2019年間的氣溫，平均100年上升1.24°C³⁾。
- 日本近海的平均海面水溫，也從1900年到2019年間，平均100年上升1.14°C。此上升幅度遠高於全球平均值（0.55°C/100年）。通常是陸地較易升溫，因此，受暖流影響而使靠近大陸的海域水溫上升比率較高⁴⁾。
- 此外，全球平均海面水位，從1902年到2010年間，已上升0.16m¹⁾。
- 日本氣象廳觀測指出，近年來時雨量大於50mm之短延時強降雨，發生次數約為30年前的1.4倍；而時雨量大於100mm的短延時強降雨，發生次數約增加1.7倍⁵⁾。此外，根據日本全國各地雨量觀測所的資料，在2013年之後，約三成觀測地點的時雨量破史上觀測紀錄。
- 另外氣象廳分析資料顯示，「長期以來日本的極端大雨強度呈現增大之趨勢，以地域氣象觀測系統（A MeDAS）觀測地點年最大72小時降雨量為基準，過去30年來約上升10%，背後原因，除了地球暖化導致氣溫長期性上升之外，也認為與大氣中水蒸氣量長期增加趨勢有關⁶⁾」，可見從全國各地平均的角度來看，極端降雨的狀況，確實越來越嚴重的。另外，上述數據係取自日本A MeDAS1976年到2020年連續觀測的地點，基準值為1981年到2010年平均值。
- 國土交通省指出，相對於利用2010年為止的年最大流域平均雨量計算出之1/100機率雨量，使用延續到最近年度為止的樣本求出各水系1/100機率雨量增減率顯示，取算數平均值的雖然109個一級水系的算術平均值約增加2.7%，但以個別水系來看也有減少的個案。此外，年最大觀測流量之1/100機率流量增減率，同樣地，109個一級水系的算數平均值約增加1.3%，但仍有個別水系減少。此外，1/100機率雨量與機率流量演算，適用於一般化極值分布
- 2020年12月文部科學省與氣象廳的科學知識資料、編撰完成的一本有助於協助擬訂氣候變遷對策之氣候變遷評估報告書，名為「日本氣候變遷2020」。該預報預

測日本21世紀末日雨量的年最大值，和20世紀末相比較，在21世紀末溫室效應氣體幾乎歸零時的情境（亦即，「RCP2.6」情境（RCP情境詳見第4章））時，約增加12%（約15 mm）；暖化最嚴重情境（亦即，「RCP8.5」情境）時，約增加27%（約33 mm）。降雨大於50 mm/h之頻率，則RCP2.6約增加1.6倍，RCP8.5約增加2.3倍⁷⁾。

- 預測21世紀末，日本全國各地平均大雨及短延時強降雨發生頻率，相較於20世紀末，皆明顯增加（可信度相當高）。地區別來看，也預測會普遍增加，至於增加量大小，仍極不確定。
- 預測初夏（6月）梅雨降雨帶將更明顯，位置則較目前往南移動（可信程度中等）。

（2）水災害受災增大

- 近年來，日本各地幾乎每年都遭遇到未曾經歷過的豪雨，造成嚴重水災（洪水、內水、暴潮）與土砂災害（這些災害稱為「水災害」。）。
- 2015年9月「關東與東北豪雨」事件，第18颱風轉變成低氣壓，潮濕空氣持續湧入，絡繹不絕的線狀降雨帶（線狀對流），造成關東地方總雨量達600mm，東北地方也超過500mm，超過當地9月份降雨量平均值的二倍，宮城縣、茨城縣與櫛木縣許多地點的24小時降水量也破紀錄⁸⁾。因此，鬼怒川等河川的堤防潰堤，致使洪氾沖毀房屋及長時間淹水。此外，太慢避難加重災情，出現近年來水災害罕見的大量孤立的待救助者。
- 2016年北海道與東北地方相繼遭受颱風襲擊，創下氣象廳有統計資料以來的紀錄，北海道一年內竟有三個颱風登陸，東北地方也遭遇到從東側的太平洋登陸的颱風，都造成道與縣負責管理的許多中小型河川堤防潰決，山坡地區域養老院、療養院等入住者來不及避難，傷亡慘重。
- 2017年7月九州北部豪雨係梅雨鋒面停滯、吸入大量濕暖空氣，從福岡縣到大分縣，形成長時間線狀降雨帶，筑後川右岸流域出現12小時超過600mm的大雨⁹⁾，致使赤谷川流域發生許多坡面崩塌，大量土砂與漂流木阻塞河道¹⁰⁾，小野川也有大規模坡面崩塌阻塞河道，桂川流域三處堤防潰決¹¹⁾。總計福岡縣與大分縣居

民死亡40人，2人失蹤不明，住家半毀1,470棟，住家淹水1,667棟，災情嚴重¹²⁾。

○2018年7月豪雨（西日本豪雨）係，以西日本為主全國性大範圍的破紀錄降雨，四國地區總降雨量1,800mm，東海地區超過1,200mm，有些地方降雨量達當地7月份平均降雨量四倍。特別是長時間持續降雨，氣象廳A MeDAS觀測系統的1,300個氣象站當中，觀測到48小時降雨量破紀錄的有125站、72小時降雨量破紀錄的有123站¹³⁾。因此，在大範圍同時發生多起河川氾濫、內水氾濫與土石流等，造成居民224人死亡、8人失蹤、房屋全毀與半毀21,460棟，住家淹水30,439棟，災情非常嚴重¹⁴⁾。此外，斷水一度達263,593戶等等，重損維生管線¹⁴⁾。

○2018年第21號颱風，大阪灣出現超過「第二室戶颱風」（1961年，戰後日本最大颱風）的破紀錄暴潮，關西國際機場飛機跑道與航廈淹水，關西國際機場聯外橋樑也被油輪衝撞破損，3000名旅客被關在機場。兵庫縣蘆屋市則發生民宅淹水。

○2019年東日本颱風（第19號颱風）神奈川縣箱根地區四天總降雨量達1,000mm，氣象廳A MeDAS觀測系統的1,300個氣象站當中，觀測到12小時降雨量120處、24小時降雨量破紀錄者，分別有120、103站，造成日本全國有142處堤防潰堤，河川氾濫淹沒約35,000公頃土地，死亡104人、失蹤3人，住家全倒與半倒合計70,652棟（含部分破損），住家淹水31,021棟，災情非常嚴重¹⁵⁾。此外，此次洪災當中，尚未繪製淹水潛勢區域圖地區的中小型河川氾濫而致居民受災，很明顯地是軟體防災方面應再檢討的課題。

○2020年7月豪雨從7月3日到31日，鋒面停滯在日本列島附近，濕暖空氣持續流入，各地滂沱大雨。長野縣與高知縣多處總雨量超過2,000mm。九州與九州北部、東海地區與東北地區有多處24、48、72小時降雨量打破紀錄。中央管7水系10河川與縣管58水系193河川潰堤氾濫，造成13家公司的20條鐵道被土砂流入等災害。此外，還造成死亡84人，失蹤2人，住家全倒與半倒9,628棟（含部分破損），住家淹水6,971棟，災情慘重¹⁶⁾。

○對於上述近年來所見各個的豪雨災害，可利用歸因理論（Event Attribution）評估近年來地球暖化所造成氣溫上升的影響。

※歸因理論

定量評估地球暖化對極端現象影響程度的方法總稱。其所使用的模式與方法，會因極端氣候之頻率與強度等變數而有所不同。

- 例如，2018年7月豪雨，氣象研究所指出，氣象廳以55年長期再分析（JRA-55）的重現實驗與近年來氣溫上升的實驗相比較，試算結果發現2018年7月豪雨在陸地的總降雨量，因為氣候變遷而增加約6.5%。氣象廳指出，「由此可看出隨著地球暖化使氣溫有長期上升趨勢，大氣中水蒸氣量也有長期增加趨勢（中略）。此次豪雨應該也是受地球暖化影響所致」，日本官方首度提及氣候變遷對個別災害的影響¹⁷⁾。
- 2019年東日本颱風，氣象研究所認為，推估人為所致溫室效應氣體排放增加等促使氣溫與海面水溫上升，影響了此次大雨事件。該結果，使得關東甲信地方，因為1980年以來氣溫與海面水溫上升，總降雨量提高10.9%；工業化（1850年）以來氣溫與海面水溫上升，總降雨量提高13.6%。這些降雨量增加比率遠高於由氣溫上升所推估之水蒸氣量增加率（每升高1°C增加7%水蒸氣量），主要原因可能是氣溫與海面水溫上升更容易產生颱風，且中部山區又處於迎風面，上升氣流因而更加強大¹⁸⁾。
- 此外，氣象廳針對2020年7月豪雨，日本氣象廳以7月3日～4日熊本縣與周邊的大雨為對象，設定是排除與不排除近年來氣溫上升量的兩種狀況，然後以高解析度氣象模式實施重現實驗，結果發現，與排除40年氣溫上升量的實驗結果相比，不排除者之降雨量較多。此實驗結果顯示，意味著熊本縣及周邊大雨可能，是近年來氣溫上升導致降雨量增加¹⁹⁾。
- 近年來豪雨致使河川水位超過洪氾危險水位之河川數目，以及超越河川整備目標計畫規模的河川數目都持續增加中，致使降雨量增加等的氣候變遷影響，可能已進入超過河川整備進展的新階段了²⁰⁾。

3. 因應氣候變遷之水災害對策構想

- 國土交通省在2015年9月關東與東北豪雨之後，為了要防減水災害災情，在「工程設施的功能有其極限，未來必定會發生設施無法完全防範之大洪水」考量下，乃推動社會全體重新建構軟硬體合一之防減災對策「水防災意識社會」。因應氣候變遷引致的外力不斷增強，故必須加強各相關單位人力整合，提升對策效果。
- 氣候變遷可能使各地區遭受前所未見的災害，或是原本鮮少發生的災害頻繁化等狀況，因此必須修改各地區長期以來所構築的防災架構，重新檢討國土規劃。
- 更進一步，面對氣候變遷造成水災害愈形劇烈、頻繁，面對因應其外力的增大，對於河川整治的進展，若仍依循傳統管理方法、只針對本身所負責的河川區域為主的施作硬體設施，則很難提高所規劃的治水安全度。因此，除了加速推動管理者所負責主體的事前防災對策，也應將降雨流入河川及河川氾濫視為一個系統，讓集水區、河川、洪氾區在內的整個流域相關人員，甚至於包括不相關流域的有關人士等，社會全體共體參與，以降低災害損失。
- 水災害風險，包含危害度、危險度與脆弱度三種要素。為了降低風險，須整合推動①盡可能防減因為降雨量與流量增加引致洪氾之對策，②為了避免洪氾時受害誘導居民遷居低風險區域，乃至於墊高住宅用地等，改善居住環境，以減少受災對象之對策，③提升地區居民防災意識等，充實洪氾災害警戒避難體制，以減災、迅速復舊與重建之對策。此外，最好能利用災後復舊與重建的機會，加強都市機能並提升地區與個人層級防災韌性，而為了要達成此目標，事前的災害推估與準備工作就顯得非常重要。
- 為此，首先需實施氣候變遷影響評估，開發可精確評估今後地區淹水災害風險的方法，詳細分析氣候變遷而致水災害風險升高的有關事宜，發佈淺顯易懂的未來水災害風險相關訊息給地區民眾。
- 不僅如此，也應與流域所有相關人士合作，對於氣候變遷而致水災害風險升高，進行以下因應措施。
 - 制定可防止或減輕洪水、土砂與暴潮而致河川氾濫之治水對策

- 抑制雨水、土砂與漂流木等流入河川之對策
- 洪氾發生時，可將災害降到最低限度之社區營造與土地利用
- 能保護居民性命並順利避難的對策
- 為了儘早災後復舊，需制定排除氾濫水、行政機關與企業等BCP（因應災害企業營運持續管理計畫，Business Continuity Plan）之類的危機管理對策等措施，期可防止或減輕水災害損失。

○針對上述事項，來自社會資本整備審議會「因應氣候變遷水災之對策構想（2020年7月）」的答覆。國土交通省依據該答覆修正因應氣候變遷之治水計畫，提出流域全體相關人士共同努力、在流域全區進行可永續治水對策之「流域治水」，在全國推行將集水區、河川區域、氾濫區域納入成為一體的流域範圍，配合地區特性，進行以下對策：①儘量防減洪氾之對策，②減少人員與財產損失之對策，③降低災情、早日復舊與重建之對策。

在儘量防減洪氾對策方面，須加速充實河川整治等硬體對策，以達成初期目標之治水安全度，否則的話，氣候變遷造成降雨量增加，會降低各河川治水安全度。此外，整合地區防災對策等，以提高減災效果，否則一旦發生超過目標規模的洪水，災情將會很慘重。

○為此，为了不使治水安全度下降，除了推動河川整治等之外，關於河川整治具體內容方面，須注意氣候變遷以及降雨預測的重新檢討都可能使降雨量增加，因此應致力改善整治工程施工順序與設施設計，避免作白工而須重作。此外，應配合危機管理對策，提高維護管理效率等，更有效率且持續發揮治水對策效果。

○雖然氣候變遷影響程度大小尚不甚確定，但為了要將氣候變遷影響反映到河川計畫與構造物設計上，縱使氣候變遷影響的有關事項尚不明確，但仍須定量評估可能的影響，建立可反映其影響的具體方法。

4. 氣候變遷情境與溫室效應氣體減排狀況

- IPCC第五次評估報告書列舉數種代表濃度路徑之情境（以下稱為「RCP情境」。）。
- 具體而言有四種RCP情境，其中若現行溫室效應氣體排放狀況持續，全球平均地面氣溫將是RCP8.5情境（21世紀末溫室氣體排放量較工業革命前增加二倍以上，是暖化最嚴重狀態），增溫2.6~4.8°C；若21世紀末能將溫室效應氣體減排至幾乎為零時亦即RCP2.6情境（極度抑制暖化狀態），增溫0.3~1.7°C¹⁾。
- 依據這些情境所完成的影響評估，各國於2015年12月簽署巴黎氣候協定²¹⁾，簽署國與地區達197個。該協定的全球共通長期目標，是要全球平均氣溫與工業革命以前相比較，上升幅度控制在2°C以內，甚至於希望能壓低到1.5°C，希望在21世紀後半，人類溫室效應氣體實質排放量為零。
- 巴黎氣候協定新設定目標，希望抑制全球氣溫上升幅度低於1.5°C，聯合國氣候變遷綱要公約（UNFCCC）要求IPCC提出全球氣溫上升1.5°C之影響評估，並制定溫室效應氣體排放路徑。2018年10月，IPCC公布「1.5°C特別報告書²²⁾」，其中指出，到2017年為止，全球平均氣溫已較工業革命前上升1°C，若以目前的步調持續上升的話，則2030年到2052年之間即可能就達到1.5°C。該報告書也比較了上升2°C時與1.5°C時的影響情形，並標示抑制升溫小於1.5°C之溫室氣體排放路徑。
- 氣象廳指出，10年來日本各地觀測到的二氧化碳濃度大致呈現一定比率增加態勢，全球平均濃度也年年增加²³⁾。聯合國環境計畫（UNEP）指出，2019年全球二氧化碳總排放量比起4年前，再度升高，顯示國際間因應氣候變遷所推動的抑制措施並未達標²⁴⁾。
- 因應上述狀況，日本內閣於2021年3月制定「地球暖化對策推動相關法律部分修正案」，提出利用各地區再生能源，促進無碳化經營的計畫與認證制度，推動淨零排放經營之企業碳排放量資訊數位化與資料公開化等。推動各種措施以達成「2050年碳中和」目標。
- 此外，IPCC也正準備公布2021年度「自然科學之根據」、「影響、調適與脆弱度」、「氣候變遷緩和對策」之新報告書（第6次評估報告書）²⁵⁾。

5. 未來降雨量變化等的評估

(1) 未來降雨預測資料

- 有關氣候變遷導致未來降雨之變化方面，文部科學省、氣象廳、環境省與各大學進行的各種預測演算，及整理的預測資料，均公布在文部科學省地球環境資訊平台之「數據統合分析系統」(DIAS)²⁶⁾等。
- 近年來各種氣候變遷預測模型不斷問世，解析未來氣候變遷狀況的技術也日新月異。而且，觀測誤差範圍內進行多組演算(系集演算)的資料漸趨完備，已能精準評估颱風與集中豪雨等所造成極端氣候現象。另外，動力降尺度模式(以下稱為「降尺度模式」)演算的資料亦逐漸齊全，能更精確呈現地形條件、模擬氣象現象。
- 具體而言，2015年環境省與氣象廳以IPCC第5次評估報告書所列舉4種RCP情境(RCP2.6(對應於升溫2°C之情境)、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5(對應於升溫4°C之情境))為前提，建置了計算出解析度20km之資料，並彙整成「21世紀末日本之氣候²⁷⁾」報告書。
- 2016年在RCP8.5前提下，首度完成解析度20km之多模組系集演算資料庫d4PDF²⁸⁾(d4PDF:有助於地球暖化對策之系集氣候預測資料庫(Database for Policy Decision-Making for Future Climate Change))，在氣象廳氣象研究所與京都大學防災研究所等共同參與的「氣候變遷風險資訊創生計畫²⁹⁾」已彙整完成並正式公布。
- 2017年文部科學省「氣候變遷風險資訊創生計畫」項下，氣象廳氣象研究所建置了以RCP8.5為前提、解析度5km的資料(NHRCM05:使用氣象廳氣象研究所所開發的水平解析度5km之非靜力區域氣候模式(NonHydrostatic Regional Climate Model; NHRCM05))，分析結果公布在氣象廳的「地球暖化預測資訊第9輯³⁰⁾」(以下稱為「NHRCM05」)。此外，該計畫中氣象廳氣象研究所也製作了以RCP8.5為前提、解析度2 km計算資料(NHRCM02: (水平解析度2km之非靜力學區域氣候模式))(以下稱為「NHRCM02」)。目前文部科學省的「整合型氣候模式精進研究計畫³¹⁾」正在研擬以RCP2.6為前提、解析度2km之預測資料(NHRCM02)。
- 2018年文部科學省的「SI-CAT氣候變遷調適技術社會實施計畫³²⁾」研發了RCP8.5近未來之氣候(約到2040年全球平均地面氣溫將比工業革命時上升2°C)為前提，解析度20km的多組系集預測資料模型(以下稱為「d2PDF(20km,SI-CAT)」)。

○ 然後，北海道大學在「SI-CAT」及海洋研究開發機構「地球模擬軟體特別推動課題（成果創造課題）³³⁾」之中建置了北海道及九州地方d4PDF（20km）降尺度至解析度5km的預測模式（以下稱為「d4PDF（5km,yamada）。」）。另外，依據「SI-CAT」也應用地球模擬軟體建置了北海道與沖繩之外地區的解析度 5km 降尺度模式（以下稱為「d4PDF（5km,SI-CAT）。」）。

○ 2019年北海道大學（以下稱為「d2PDF（5km, yamada）。」）及「SI-CAT」（以下稱為「d2PDF（5km,SI-CAT）。」）建置了d2PDF（20km,SI-CAT）降尺度為解析度5km之資料（以下稱為「d2PDF（5km）。」）。

○ 此外，上述資料都可藉由演算模型，進行未來氣候變遷後的預測實驗及現在氣候的重現實驗，藉由比較過去與現在狀況，評估氣象現象與災害風險之變化。

表-1 完成建置的氣候變遷預測模型

研究與發布之組織機構	氣候變遷情境	解析度	系集演算	探討地區	通稱 (以下所使用之通稱)
21 世紀末 日本之氣候 【環境省氣象廳】	RCP 2.6~8.5	20km		全國	NHRCM20
氣候變遷風險資訊 創生計畫 【文部科學省】	RCP8.5	20km	○	全國	d4PDF(20km)
		5 km		全國	NHRCM05
		2 km		全國	NHRCM02
整合型氣候模式 精進研究計畫 【文部科學省】	RCP2.6	5 km	○	全國	NHRCM05
		2 km	○	全國	NHRCM02
氣候變遷調適技術 社會實施計畫 (SI-CAT) 【文部科學省】	RCP8.5	5 km	○	全國（北海道與 沖繩除外）	d4PDF(5 km,SI-CAT)
			○	北海道、 九州	d4PDF(5 km,山田)
	RCP8.5 (升溫 2℃)	20km	○	全國	d2PDF(20km,SI-CAT)
		5 km	○	全國（北海道與 沖繩除外）	d2PDF(5 km,SI-CAT)
			○	北海道、 九州	d2PDF(5 km,山田)

※ 含正在辦理公開程序者。

※ NHRCM02已經進行了各種模式的演算，其中有些已公開（預定不久陸續公開）。

(2) 未來降雨預測數據之評估

- 治水計畫內實施整治後的目標降雨量，係評估過去降雨量的年期距重現率設定之，該重現率在，一級河川大致為 $1/100 \sim 1/200$ （重現期100~200年）。2007年公布的IPCC第4次評估報告書所設定之情境，因為未作系集演算，很難評估會致災的極端現象機率³⁴⁾。因此，國土技術政策總合研究所在2013年公布的全國一級水系各流域降雨量變化倍率，係以比較年最大降雨量平均值去計算³⁵⁾。此次系集演算d4PDF等的建置與公布，故可進行機率評估，因而也能直接評估治水計畫處理對象之氣候極端現象，這是劃時代的技術進步。
- 現在正針對以下資料進行系集演算：d4PDF（20km）及d2PDF（20km）之現在氣候，3000年分（50微擾×60年（1951~2011年））；d4PDF（20km）之未來氣候，5400年分（六海平面水溫形態（以下稱為SST模式）×15微擾×60年（2090年的氣候））；d2PDF（20km）未來氣候，3240年分（6SST模式×9微擾×60年（2040年的氣候））。但是為了要精確地呈現日本陡峭地形條件、治水計畫對象的颱風與梅雨鋒面、局部豪雨等，則應提高解析度，至少要降尺度至低於5km之模式。在北海道地方與九州地方，d4PDF（20km）與d4PDF（5km,yamada）之有關目前氣候重現實驗所得的各種降雨強度發生頻率，與實際降雨紀錄（氣象廳分析雨量）相比較，發現d4PDF（20km）的強降雨發生頻率，似乎過於低估。反之，d4PDF（5km,yamada）的結果較接近實際降雨紀錄（氣象廳分析雨量）分布，可確定重現性高。
- 但解析度5km模式，因為目前日本尚無以同一方法評估的模型，因此只能搭配使用現行的二種模式進行評估。亦即，北海道地方5400年分（6SST形態×15微擾×60年）之未來實驗，使用d4PDF（5km,yamada）；而與進行3240年分（6SST形態×9微擾×60年）的將來實驗，使用d2PDF（5km,yamada）。此外，北海道以外的其他區域，使用d4PDF（5km,SI-CAT）及d2PDF（5km,SI-CAT）兩進行方法360年分（6SST模式×2微擾×30年）未來實驗。這些模式，某種程度確保了驗證氣候極端現象所需的演算資料量，故供作此次的檢討對象資料。
- NHRCM02雖為可多組同時演算之模式，但尚未進行全國性大量系集演算，因此，此次運用更高解析度模式，驗證以d2PDF等所推估之小流域短延時降雨量變化倍率，並檢討d2PDF等推估範圍外的島嶼部分之降雨量變化倍率。

- 此外，氣候變遷演算模型除了模式本身的物理過程表現能力的問題外，解析度5公里降尺度演算方面，也因其邊界條件為解析度20公里模式之演算結果，可能因此納入颱風發生頻率等解析度20公里模式所持有的偏差，且隨著地形網格設定條件不同，可能其結果會有變化，這些問題都正在研究、改善中。因為未來預測演算所得之演算值，仍有現況再現性的問題，所以該演算值還不能直接作為全國性治水計畫等的外力來使用。
- 此外，為了校正氣候變遷預測模式的偏差，雖然有人提出比較現行氣候重現實驗與實際氣象觀測結果等種種方法，但是在此次檢討對於現行氣候校正方法是否也適用於未來氣候分析，科學證明尚未得到充足的證據，因此不採用偏差校正方法。

（3）運用氣候變遷預測模式的影響分析

- 評估氣候變遷對降雨量變化倍率與降雨量時間空間分布等變化以及對複合災害的影響時，因氣候變遷預測模型之重現精度有其極限，基本上不可直接採用演算結果，而應比較現在氣候與未來氣候之演算結果進行影響分析，以消除誤差。目前的做法是，根據比較過去實驗與未來實驗所算出的年重現期距1/100降雨量，設定降雨量變化倍率，再反映到治水計畫等之中。
- 治水計畫目標規模有一定的範圍（1/10～1/200），應採用不同機率規模，確認降雨量變化倍率之變化趨勢。該等結果，即使是作為治水計畫所設定目標的機率規模，也要確認能得到與年重現期距1/100降雨量變化倍率相同程度的值；可適用於年重現期距1/200以上規模計畫的降雨量變化倍率，則可採用年重現期距1/100降雨量的推估值。此外，降雨量變化倍率演算所使用的系集數目有其限制，無法評估年重現期距遠低於1/200的低頻率現象（可推定之最大降雨量等）。
- 此外，在致災規模的降雨方面，雖然已評估了颱風、鋒面、局部豪雨等各個氣象因素之變化，但實際反映到治水計畫，目前只完成模範區域的定量評估檢討。此外，在降雨時空間分布方面，雖然對於降雨持續時間、主支流洪水匯流時間差同時發生性，作了示範的檢討，但仍無法評估全國性的變化趨勢。

- 此外，關於暴潮與洪水同時發生、土砂與洪氾等複合性因素致災之發生現象方面，目前技術性評估仍有困難。
- 雖然已討論過汎用性的方法，但在各地方作精細檢討時，為了要反映氣候變遷之影響，採用其他方法亦無妨。

（3－1）降雨量變化倍率

（演算條件及評估之構想）

- 檢討降雨量變化時，首先應計算目前氣候與未來氣候之降雨量的比率（降雨量變化倍率），乘以過去實際降雨量所統計算出之機率雨量，作為考量到氣候變遷的計畫目標降雨量。此外，近年來的降雨資料，可能已納入氣候變遷影響的成份，故不可作為演算之樣本對象，應注意。
- 此時以降雨特性類似區域為劃分單位（暫稱為“區域”）進行評估，則實施降雨量分析時，增加對應於目標降雨區域面積的降雨量資料數量，不但可提高其信賴度，而且也較易分析誘發水災害之氣候因素等。
- 此外，以這樣的區域為劃分單位來設定降雨量變化倍率的方法，亦可適用於估算二級水系或支流小流域降雨量變化倍率。
- 區域劃分，係採用推估最大規模降雨的降雨量，依降雨特性類似性，將日本全國劃分為15個區域（詳見附件1）。此外，沖繩部分將另行檢討與評估，但其他解析度5公里模式領域外的島嶼部分，則並未納入本建言檢討。
- 降雨量變化倍率，係使用d4PDF（5km,SI-CAT）、d4PDF（5km,yamada）、d2PDF（5km,SI-CAT）及d2PDF（5km,yamada）之現在氣候及未來氣候的演算結果，以DAD解析計算出6個SST形態的降雨持續時間及各降雨區域面積的降雨量，然後與年重現期距1/100之降雨量相比較而完成設定（詳見附件2）。
- 目前情境RCP2.6、解析度5公里的系集演算之出來的資料，尚未完備。因此，升溫2℃時的降雨量變化倍率，係參考①運用NHRCM20情境RCP8.5與RCP2.6排名前5%降水事件的日雨量關係，換算成d4PDF（5km,SI-CAT）、d4PDF（5km,yamada）所估算之降雨量變化倍率，以及②以RCP8.5升溫2℃時間點為前提、解析度5公里，系集演算d2PDF（5km,SI-CAT）、d2PDF（5km,yamada）得出之降雨量變化倍率，據以設定。

（降雨量變化倍率）（詳見附件3）

- 以區域為劃分單位，算出每個SST形態之降雨量變化倍率，求取該6SST形態的幅度與平均值，然後依據其於全國分布狀況，設定全國平均降雨量變化倍率。但有些地域因為SST形態的關係，降雨量變化倍率的幅度明顯異於全國性的趨勢，除了應研判、瞭解其機制，並另行設定降雨量變化倍率。
- 使用升溫4°C時的d4PDF降雨量變化倍率值，全國性的升幅約1.0~1.5倍。但北海道與九州西北部的各種SST形態，降雨量變化倍率皆高於全國平均值，因此已另外分析其原因。
- 北海道與九州西北部，因為它們周邊海水所有SST形態的水溫上升量均高於其他地區，因此另外設定其降雨量變化倍率。
- 另外，預測越高緯度的氣溫上升量及上升率越高，氣候變遷所引致降雨量變化，因為氣溫上升也連帶影響大氣飽和水蒸氣變化，所以推估北海道降雨量變化倍率應會升高。
- 依據上述上下區間不同的演算結果，以及氣溫上升連動大氣飽和水蒸氣變化比率之結果，除去北海道及九州西北部兩地域，設定全國12個區域平均降雨量變化倍率為1.2倍；而北海道及九州西北部則是1.4倍（表-2）。
- 使用升溫2°C時的d2PDF降雨量變化倍率值，全國性的幅度約為0.9~1.3倍。但在北海道各種SST形態的降雨量變化倍率仍高於全國平均值，其原因另行分析。
- 與升溫4°C時相同，北海道各種SST形態的海面水溫上升量仍大於其他區域，因此另行設定其降雨量變化倍率。
- 依據上述上下區間不同的演算結果，以及氣溫上升連動大氣飽和水蒸氣變化比率之結果，除了北海道之外，設定全國13個區域平均降雨量變化倍率為1.1倍，北海道則是1.15倍（表-2）。
- 另外，針對升溫4°C時倍率較高的九州西北部，分析了其升溫2°C降雨量變化倍率與其他地區相差不多的原因，確認是升溫4°C時，九州西北部附近海面水溫明顯上升的狀況並未在升溫2°C時出現。此外，用來估算降雨量變化倍率的d2PDF等，在造成九州西北部豪雨因素之中，已將預估未來會增加的大型鋒面性豪雨納入考量，並從氣象因素的角度，確認所估算的該降雨量變化倍率的正確性。此外，此次係依據目前時間點可使用之資料來分析，未來累積更多新的資料與科學知識見解，應視必要重新分析。

- 另外，升溫4°C時400平方公里雨域面積的每個持續降雨時間的降雨量變化倍率，大多數區域，以採3小時及6小時短延時倍率為多，1小時及2小時倍率則隨區域不同而定。因此，降雨延時小於3小時之降雨量變化倍率仍有必要再檢討。
- 此外，山田等的研究³⁶⁾指出，短延時變化倍率似乎有越來越大趨勢，升溫2°C時的變化倍率不像升溫4°C時來得明顯，此次d2PDF分析也得到相同結果，故只考慮升溫4°C時的狀況。因此，升溫2°C時的降雨量變化倍率可能適用於預測更小流域以及更短延時的降雨。
- 島嶼地區的沖繩以涵蓋該區域的NHRCM02確認其降雨量變化倍率值，除了北海道之外，與其他地區大約相同。另外，依據NHRCM02求出的全國各地區域降雨量變化倍率，結果大概與d2PDF相同。由以上可知，沖繩區域降雨量變化倍率估算值可適用於除了北海道之外的其他區域。
- 另外，關於雨域面積小於400平方公里的降雨量變化倍率，在降雨延時3、6、12小時且年重現期距1/100條件下，比較d2PDF・d4PDF與NHRCM02之結果一一評估之。雨域面積大小對降雨量變化倍率變動的影響較小，因此斟酌配合適當d2PDF等空間解析度，則仍可適用於雨域面積大於100平方公里的降雨狀況。
- 如上，降雨量變化倍率設定如表-2所示。此次所設定的變化倍率也納入升溫連帶飽和水蒸氣量的上升率，今後仍可進行各類演算，所取得結果和上述演算數據差距應該不會很大。此外須注意，升溫2°C時的降雨量變化倍率，係以升溫4°C時的換算值及RCP8.5升溫2°C（d2PDF）為前提的系集演算結果據以設定。
- 此外，若將表-2的降雨量變化倍率套用到流域面積小於100平方公里水系及下水道計畫時，則無法評估因對流使積雨雲發達等而造成的局部性大雨，其降雨量變化倍率可能比此次設定值還大，須要留意。未來應持續累積技術相關知識見解，進一步檢討。

表-2 降雨量變化倍率

		降雨延時 大於12小時	降雨延時 大於3小時小於12小時	降雨延時 小於3小時
升溫4℃		1.3	1.4	—
	北海道、九州西北部	1.4	1.5	—
	其他地區 (含沖繩)	1.2	1.3	—
升溫2℃		1.1	1.1	1.1
	北海道	1.15	1.15	1.15
	其他地區 (含沖繩)	1.1	1.1	1.1

【適用範圍】

- 上升4℃時，降雨延時小於12小時之值，不適用於降雨延時小於3小時者。
- 適用於雨域面積大於100平方公里者。關於雨域面積小於100平方公里，雖然其降雨量變化倍率可能大於此次設定值，但仍可適用。
- 適用於發生頻率大於年重現期距1/200之目標降雨計畫。

【注意事項】

- 降雨量變化倍率係表示相對於目前氣候之未來氣候的狀態。此外，升溫4℃時的降雨量變化倍率乃21世紀末之未來氣候，升溫2℃時的降雨量變化倍率在RCP2.6情況下，2040年之後的氣溫上升將走平，因此可作為2040年之後的預測值。

【演算條件】

- 目前氣候的實驗期間，d4PDF（5km,SI-CAT）為1980～2011年（中間年1995年），d4PDF（5km,yamada）為1951～2010年（中間年1980年），雖然中間年差距15年，但現行治水計畫主要參考戰後數據，因此以d4PDF（5km,yamada）之實驗期間1951～2010年為基準。此外，若以1951～1980年為基準，d4PDF（5km,SI-CAT）之降雨量變化倍率約低估0.02倍，這部分納入考量的數據即如上所述。
- 降雨量變化倍率係以年重現期距1/100規模降雨量進行設定，適用的治水計畫目標規模高低不同，因此使用不同的機率規模，分析降雨量變化倍率感度。結果各種不同機率規模都與年重現期距1/100降雨量變化倍率約略相同的值，搭配使用計算降雨量變化倍率之系集數，則此降雨量變化倍率可適用於年重現期距大於1/200規模之計畫。
- 沖繩不在d4PDF等演算範圍內，因此使用NHRCM02計算年重現期距1/30～1/50規模之降雨量變化倍率，其他地區則以d4PDF等計算年重現期距1/100規模降雨量變化倍率。

（目前及不久未來之氣候變遷影響）（詳見附件3）

- 氣象研究所發布了氣候變遷對2018年7月豪雨與2019年東日本颱風等的影響報告，發現氣候變遷的影響越來越嚴重。因此，檢討治水計畫、設施設計、危機管理時，也應將氣候變遷影響納入考量。此外，氣候變遷影響會越來越明顯，對於使用年限較短的設施，也應將近未來之氣候變遷影響納入考量。

- 在此，將近年來以及到2040年為止的近未來的氣溫上升視為固定，則由氣溫與飽和水蒸氣量的關係所求出之豪雨變化比率也幾乎固定，由此即可算出各目標期間之變化倍率（表-3）。

表-3 不同目標設定年之降雨量變化倍率

目標年	1.15倍時 (2地區)	1.1倍時 (13地區)
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

（流量變化倍率與洪水發生頻率之變化）

- 將各種氣溫上升情境降雨量變化倍率，套用在日本全國各一級水系治水計畫作為目標降雨，試算出來的流量變化倍率與洪水發生機率之變化倍率的全國平均值，如下所示。
- 結果，升溫2℃時的變化，如下所示，發現影響非常大。
- ・ 降雨量變化倍率為1.1倍，但治水計畫目標規模（年重現期距1/100）之洪水流量變化倍率約為1.2倍。
 - ・ 從現行河川計畫所設定目標降雨量與流量來看，其規模洪水發生頻率約變成2倍。

表-4 降雨量、流量之變化倍率與洪水發生頻率之變化

	降雨量	流量	洪水發生頻率
升溫4℃	1.3倍	約1.4倍	約4倍
升溫2℃	1.1倍	約1.2倍	約2倍

（3－2） 未來降雨重要因素等的分析

- 氣候變遷造成各地區致災性降雨的氣象因素及複合性因素致災的發生頻率等變化，除了山田等的研究³⁶⁾之外，本檢討會也針對部分地區做了研究。今後對於依氣候區劃分的全國性趨勢狀況，必須開發更先進的方法，持續分析。

（地區災害重要因素降雨量之變化）

- 不同地區大規模災害之降雨氣象因素，各有其特徵。依區域劃分，探討一級水系的洪水主要原因，發現九州西北部、北陸地方、東北西部等靠日本海側地區，主要原因是降雨鋒面；九州南部到北海道南部的太平洋側，主要原因是颱風；而瀨戶內海地區則鋒面與颱風各占相當比例。
- 關於氣候變遷對各種氣象現象的影響，若大氣穩定則颱風會減少，但有專家認為，近年來日本南方海面出現猛烈颱風的頻率提高，且颱風路徑偏北。雖然鋒面出現大氣停滯形態的次數並無增加跡象，但是因流入水蒸氣量增加，總降雨量也增加了。局部豪雨則有人發現，發生次數與降雨量雙雙提高。
- 在各區域治水計畫及地區有關單位所推估之洪水，多係參考過去該流域發生過的洪水。具體地說，目前研擬治水計畫時，都用過去的降雨水文歷線（形態），再延伸到計畫規模之降雨量，然後算出治水計畫之目標流量。因此，各地區洪水致災因素有無改變，是相當關鍵。
- 山田等人曾針對氣候變遷對北海道各大小河川發生致災性洪水氣象因素影響的程度進行研究³⁶⁾，其結論是，升溫4℃時颱風受影響的程度大幅提高。此外，本檢討會也分析了九州西北部及周邊地區的颱風與鋒面等氣象擾動形態之未來變化趨勢，結果是鋒面受影響程度將增加。目前氣候變遷對全國性致災洪水氣象因素影響的相關研究尚未十分完備，仍有待進一步研究、開發各種更精準的評估方法。

（未來降雨之時空間分布）

- 目前氣候變遷預測模式所取得之演算值，尚難符合實用所需的精度，目前很難以該演算值當做評估結果使用。
- 以流域為單位進行降雨與逕流分析時，可使用系集未來預測降雨水文歷線，掌握降雨延時長短變化，搭配群團分析（Cluster analysis），進行降雨空間分布分類，並可評估其頻率的變化、主流與支流同時發生機率等。

例如，「北海道地方因應氣候變遷治水對策技術檢討會」為瞭解未來降雨時空間分布之變化，利用氣候變遷預測模式求出的系集未來預測降雨水文歷線圖，分析過去實驗與未來實驗（升溫2°C時與升溫4°C時）年最大降雨量之降雨空間分布群團³⁷⁾。結果發現，將十勝川流域分割成5個小流域，其中流域西南部降雨集中群團發生比率增加，常呂川流域則在其東北部降雨集中的群團發生比率增加，上述研究成果或可用來決定對策地點的優先順位，以及如何選定減災對策等的施作地點。

（海平面平均高度上升等的影響）

- 今後應參照氣候變遷影響海平面的上升量、暴潮與異常巨浪（瘋狗浪）的評估結果，重新檢討、評估河川河口區域暴潮發生風險。

（複合性主要因素所導致的災害）

- 關於暴潮與洪水是否可能同時發生方面，一般認為颱風等所致的暴潮很少同時出現洪水高峰，過去洪水計畫基本上不考慮這個問題。但今後檢討海平面上升量及暴潮、異常巨浪同時受到氣候變遷影響時，應進一步檢討開發暴潮與洪水同時發生風險之評估方法。
- 有關上游土砂災害等所供給土砂被洪水輸送到下游，發生土砂與洪水氾濫的問題，其降雨量與土砂供給的關係，仍有許多未解之處。今後應做相關研究，檢討降雨增加對土砂供給的影響，在研擬河道計畫時應整體檢討。

6. 反映到治水計畫等的氣候變遷情境與注意要點

- 治水計畫等選定RCP情境時，若採用大於將來氣溫實際上升幅度的情境，則所施作之設施強度可能高於治水計畫目標應對之外力。反之，若採氣溫上升幅度較小的情境，未來可能得修改治水計畫或所施作無效率設施未來可能得重做。
- 各種不同大氣升溫情境，也可能因為不同氣候變遷預測模式而產生不同雨量預測結果，升溫幅度較小情境之降雨量預測分布，與升溫幅度較大情境之降雨量預測分布可能會有部分重疊等等，預測結果總是會有些差距。
- 如上述，風險與預測雖各有高低變化幅度，若不立刻確認未來氣候變遷影響程度，並對未來降雨量的增加採取相關對策，則日後可能得經常重擬計畫或實施追加對策，治水對策幾乎無效率可言，而且河川整治所需時間也可能拉得非常長。
- 巴黎氣候協定訂出「將全球平均氣溫上升幅度，抑制在與工業革命前的水平相比最多 2°C ，甚至希望能壓低到 1.5°C 」的目標，因此必須推動抑制溫室效應氣體排放的對策。此外，從所有河川整治最終目標安全度的角度來看，目前的安全度偏低，得須要相當時間才能達成最終目標。
- 由以上可知，現行治水計畫所反映的外力基準，亦即RCP情境，基本上為上升 2°C 時的平均外力值。但是上升 2°C 時的外力，其變化有大有小，況且氣溫上升也可能大於 2°C ，因此也應參考上升 4°C 時的平均外力值。
- 目前可供全國性且定量評估的外力變化內容，只有降雨量變化倍率一項，但擬訂各河川治水計畫、個別構造物設計時，也個別進行各種檢討，並將結果反映到治水計畫與構造物設計上。
- 不只是全球氣溫上升 2°C ，上升 4°C 時也是一樣，未來治水計畫整備清單的檢核、減災對策風險評估、檢討河川管理設施危機管理，乃至於考量未來工程設施重作的設施設計等，都應適當地列入參考，加以應用。

7. 因應氣候變遷之治水計畫等的構想

- 關於氣候變遷致使未來豪雨劇烈化與頻繁化程度的預測，因為溫室效應氣體減排政策實施狀況及氣候變遷預測不確定性，仍有很大的差距。因此，檢討治水計畫與設施設計等時，除了直接將降雨量增加等的外力增加反映到現行計畫與設計上，也應追加外力增加所需之經費，必要時亦可考慮提高外力預估值。

(1) 因應氣候變遷之治水計畫等的修正

(1-1) 河川整備基本方針之修正

- 為了在持續暖化的氣候條件下仍能確保目標之治水安全度，基本上應事先運用因應氣候變遷影響的降雨預測演算結果等，適當地推估未來氣候狀況，設定基準地點的基本洪水之洪峰流量。
- 現行河川正在整備中，許多河川整治的計畫目標仍低於河川整治基本方針之目標，因此應加速朝向目前河川整治基本方針，優先加速整治工作。
- 氣候變遷預測仍有不確定性，所完成預測結果未來也可能須要修正，因此，河川整治基本方針亦應配合實際狀況修正。具體而言，河川整治基本方針制定後，若發生超過基本洪水量洪峰流量之大規模洪水，或是檢討河川整治計畫過程中，有必要改變洪水調節設施與河道分配流量之河川時，則應依序運用所算出的降雨量變化倍率等，設定因應氣候變遷之基本洪水量。
- 計畫目標降雨之降雨量，係以實際降雨資料進行水文統計分析取得之機率降雨，再乘以降雨量變化倍率。近年來的實際降雨可能已經受到了氣候變遷影響，因此有必要配合各河川降雨實際狀況，適當地設定計算機率降雨時的樣本期間。目前具體的應對方法是，首先瞭解目前所使用的降雨量變化倍率，其實驗期間係到2010年為止，因此，應該以到2010年為止的雨量樣本，進行常態水文統計分析，算出機率雨量，乘以降雨量變化倍率，再以其值作為計畫降雨之降雨量。

此外，實施評估近年來雨量樣本、非常態分析與常態水文統計分析所算出的機率雨量、以掌握氣候變遷之影響，也是很重要的。

- 過去相關研究，以水文統計資料為對象，進行非常態分析的水文統計方法³⁸⁾，後續應推動以氣溫及時間為自變數之非常態分析研究等。
- 雖然早期決定基本洪水量時，係使用以往累積的實際雨量與流量資料，從「依據雨量資料檢討機率」或「依據流量資料檢討機率」、「依據過去的洪水進行檢討」等的觀點綜合判斷，但是今後設定反映氣候變遷影響之基本洪水量時，亦可考慮應用系集未來預測降雨形態之時空間分布的檢討結果，評估未來可能發生之現象。
- 例如，
 - 基本洪水量之洪峰流量，是否完全在以計畫目標降雨相當之降雨量的系集未來預測降雨波形求得的流量歷線群洪峰流量最大值與最小值範圍內，可用來確認所決定之基本洪水量是否妥當。
 - 實際降雨套用到計畫目標降雨之降雨量時，對於短延時或小流域所呈現實際降雨若與計畫規模乖離太大而放棄使用的實際降雨部分，這些放棄的歷線形態，也可以系集未來預測降雨形態，驗證未來是否可能出現這種降雨。
- 針對近年來發生的洪水，氣象廳等使用模擬暖化方法，證實受到氣候變遷影響（其作法包括進行氣候變遷對實際洪水的影響評估，以及算出未來氣候推估流量等）。上述內容都納入評估，就可瞭解目前氣候變遷的影響是否已經很明顯？程度多嚴重？乃至於未來降雨量與流量會增幅多大？可依據這些評估結果進行綜合判斷，未來擬定治水計畫也應加以運用。
- 此外，配合氣候變遷預測模式精進以及資料庫擴充等相關技術進展狀況，有關單位應合作檢討各流域單位治水計畫之研擬方法。

（1－2）河川整治計畫目標之修正

- 為了實現河川整治基本方針、在制定未來20～30年河川整治內容的河川整治計畫時，在多數的一級河川，都是以過去（主要是二次大戰後）曾發生過最大的豪雨亦可防止災害發生為目標。現行做法係以豪雨期間觀測到或演算所得流量作為河川整治計畫目標，這就意味著未來受氣候變遷影響，實質的目標安全度將一年低於一年。
- 另一方面，日本河川整治還在半路上，許多河川整治計畫的目標仍遠低於河川整治基本方針之目標安全度，因此，應盡早完成河川整治計畫，修正河川整治計畫，並將氣候變遷影響納入考量。

- 河川整治計畫修正之目標應設定為，即使到了河川整治計畫完成的目標時間點，也能確保相當於現行河川整治計畫的目標洪水治水安全度，因此有必要應用降雨量變化倍率等，設定適當之目標。

（1－3）河川整治清單等的修正

- 修正須整治河川清單等時，也應推估氣候變遷引致外力進一步增加之狀況，同時探討即使在該狀況下，也能如何儘量減少重新施工，進行有效率的河川整治。
- 此外，關於2018年7月豪雨造成洪水與土砂氾濫、河川主支流匯流點產生迴水（逆流）現象，內水與外水及暴潮與洪水同時發生等複合因素造成的災害，雖然目前尚未對該等影響更嚴重時的狀況進行定量評估。但是配合需求，在驗證具效果的對策上，並實施該評估工作仍是很重要的。

（2）推動「流域治水」應注意事項

- 為了推動流域治水³⁹⁾，應與整個流域相關人士一起合作。基於氣候變遷影響及其評估的不確定性等，除了修訂治水計畫之外，還要注重以下事項。

（2－1）充實減災與危機管理之對策

- 未來一定會發生超過目前設施承受能力，或是超過河川整治基本方針與河川整治計畫目標之洪水，由此角度來看，若要為了因應未來可能產生的風險，降低地區洪水災害風險，對於超過目標流量洪水與異於主支流降雨形態之洪水等的減災對策，必須加強充實。
- 上述的檢討，在針對未來各種可能發生的洪水，廣泛擬定各種防減災效果佳之計畫。要達成此目標，不能只參考之前所設定的基本洪水量及過去實際洪水量，也應參考目標規模以及超過目標規模的規模降雨量系集降雨預報（含時空間分布），實施檢討。
- 連合地區的各種對策，為了能讓居民有充分避難時間、加強危機管理型硬體對策，檢討強化水災害高風險地區之堤防，確保緊急避難場所及各種水災防護資材與機具。

- 檢討提升水庫氣象預報精度的方法，以及整建滯洪池的溢流堤閘門等，有效運用庫容量，以提升洪水調節設施之防減災效果。
- 今後操作河川管理設施，不能只掌握過去的觀測資料，也應瞭解現今氣候狀況及近未來氣候變遷狀況，探討更有效的操作方法。此外，修正推估最大規模降雨，以及檢核在那種情況下河川管理設施耐力，並事先檢查超過設施能力之洪水發生時的操作方法等，都是有必要的。

（2－2）擴大集水區蓄水機能等

- 對於氣候變遷影響引致外力增大，只靠河川管理單位與下水道管理單位強化及加速推動對策，仍難以防減受災。須建立所有相關人士同心協力參與的「流域治水」概念，集水區也應進行抑制洪水流進河川之對策。
- 今年汛期開始推動既有水利水庫之新型態運用（依據治水協定水庫提前洩洪），目前日本全國已有122個水庫實施提前洩洪（其中63個為水利水庫）。這部分應檢討如何進行有效果的提前洩洪，此時應與設施管理單位相互取得理解與合作。
- 另外，部分地區正由地方主導推動活用水田蓄水與農田蓄水池等的防災措施。此外，也有些地區的社區營造也納入都市綠化等綠色基礎建設的概念。為了提高民眾參與推動這些措施之意願、推廣「流域一體」，必須對各個措施以及河川沿岸具保水與滯洪機能之土地等，對於河川內的影響效果，實施定量與定性評估。
- 這些措施的規模與實施地點各不相同，成效會因降雨規模、時空間分布與流域特性的不同而產生相當大的差異，很難全國整齊劃一評估，但仍應與相關人士合作，蒐集實際降雨數據，利用包含了流域對策之逕流演算模式加以驗證等。此外，已確認有效時，也應一併檢討所搭配實施的治水計畫。不僅如此，相關人士應分享各自推動對策的成果，讓對策普及成為固定做法，並進一步檢討如何更有效率地應用以及應追加實施哪些對策。

（2－3）充實可提升社區營造與住宅防災能力之風險資訊

- 為了能讓洪氾地區即使遭遇超過現行設施能力之洪水也能防減受災，應推動都市計畫或土地利用計畫之社區營造及提升住宅防災能力。在此目標之下，為讓避難行動更順暢以守護居民為由河川管理單位等公布災害風險資訊之外，未來也應加強提供可應用於社區營造、不同機率規模的（多階段）淹水狀況推估及設施整治前後淹水狀況推估等多階段災害風險資訊。除此之外，也應注意受氣候變遷影響，大規模洪氾發生潛勢提高，應開發更精確地重現洪水流在氾濫區的流速與流向等模型，並予以活用。

（3）一併實施之事項

（3－1）設施設計之構想

- 設計河川管理設施時，應事先確認設施或資材必須有足夠耐用年限之安全性。為此，設施的設計納入氣候變遷影響因素時，必須應用耐用年數經過時間點的降雨量變化倍率，修正外力。
- 另外，因為未來外力變化之預測仍含有不確定性，如何處理在應對外力進一步增加的作為方向，如何讓設施在外力擴大時能容易地改建，或是在外力增大趨勢明確時才改建等問題，都應事先制訂方針。
- 具體而言，新設河川管理設施時，至少應採用全球氣溫上升2°C時的外力大小進行設計，至於水壩、堰以及大規模水門等耐用期限較長的設施，必要時可事先以能承受氣溫更加上升（例如上升4°C時）的狀況進行設計，如此即使氣候變遷引致河川流量超過目標值，也能簡單且便宜地改建設施。除此，設計抽水機等設施時，亦最好能考量該設施耐用年數經過時間點氣候變遷的影響因素。
- 不僅如此，若能事先與治水計畫整合成一體，事先強化河川管理設施的構造，即使遭遇到超過設施能力的洪水，仍能發揮減災效果。

（3－2）因應氣候變遷治水計畫之流域監測

- 研究指出，部分水系治水計畫所使用的雨量與流量數據的水文統計量，有逐年增加之趨勢，有關近年來發生的洪水因為受到了氣候變遷影響致使降雨量也增加了。為因應這類狀況，不只強化氣候變遷預測模式，也應適度掌握氣候變遷所

造成雨量與流量之變化，並運用實際的資料，將氣候變遷影響納入考量，擬定治水計畫。因此，為了能掌握流域整體狀況，應使用危機管理型水位計在內之儀器、進行點連成面的全面觀測流域的水位與雨量等，掌握流域之逕流特性與洪水流傳播特性等，必要時將這些成果反映到治水計畫。此外，蒐集累積觀測與預測數據並資料庫化，與流域之相關人士分享，可更快速、更有效地推動各該單位負責執行的流域治水工作。

8. 今後應檢討事項

- 因應氣候變遷影響，推動有效的防減災對策工作，目前氣候變遷連動外力提高、相關的定量評估與機制分析仍有不足，關於地區災害風險受氣候變遷影響而會產生怎樣的變化，目前各地區也尚未能取得定量且淺顯易懂的相關資料。
- 因應氣候變遷所連動各種外力變化，應強化社會整體防減災對策，且要修正治水對策推動方法，希望有效率地降低災害風險。
- 前次（2019年10月）公布建言之後，對於全球氣溫上升2°C情境下的降雨量變化倍率、島嶼部分（沖繩）降雨量變化倍率、短延時與小流域降雨量變化倍率，以及納入氣候變遷考量的具體基本洪水量設定方法等議題，都加以檢討。接下來將針對以下課題，加強產官學合作並推動具體研究與落實對策。

（氣候變遷引致土砂與漂流木流出現象相關評估）

- 山地流域土砂與漂流木生產量以及往河道的流出量變化
- 劃定土砂與洪氾潛勢高的流域並整理其劃定的條件

（因應氣候變遷影響之河道變化與災害風險評估方法）

- 氣溫、降雨與土砂流出變化引致河道變化之預測及河道設計、維護管理方法等之精進
- 地區社會變化及承受災害脆弱度之變化
- 大規模水災害引致災情與防減災對策效果之評估方法

（因應氣候變遷引致外力增加之防減災對策）

- 對於氣候變遷引致區域災害風險之變化，發布可讓國民理解其狀況的資訊
- 應對超過計畫洪水的流域整體減災對策
- 因應氣候變遷影響的設計基準
- 運用氣象預測之設施操作方法

9. 結語

面對近年來氣候變遷影響年年擴大，日本幾乎每年都發生嚴重災害之狀況，當務之急乃是處理氣候變遷問題，但2018年7月豪雨災害，本檢討會不得不暫停運作。而因有2018年7月豪雨經驗，本檢討會也追加檢討致災氣象原因之變化、降雨時空間分布變化，以及氣候變遷影響相關之現在到未來長年性質的分析方法等業務內容。

此外，2019年10月提出建言之後，除了以新建置的資料庫等，深入檢討結果之外，也進一步檢討成果反映到實務治水計畫的相關事宜。

此次，為了將過去只運用過去降雨資料制定之治水計畫，轉換成運用未來預測數據之治水計畫，即使目前對未來降雨變化相關預測，仍有部分可靠性不足問題，本檢討會仍將運用持續探討迄今所取得最先進研究成果，實施把未來預測數據納入治水計畫的技術評估。目前氣候變遷預測相關研究，主要參考資料是RCP8.5，但此次針對RCP2.6之影響，以及對現在與不久未來之影響，也提出新的推估手法，已可進行定量評估。

在此過程中，我們發現全國性的研究以及RCP情境相關研究，以及導致洪水災害風險改變之氣象現象評估相關研究等，仍有研究不足的項目。此外，氣候變遷預測的精準度也還不足的問題，今後應配合各種技術的進展，逐步提升其精準度。

過去為了推動防災領域相關的氣候變遷領域研究，藉由各個領域機構的參與所建構的合作體制，已創造新價值並進行各種新技術研究，但因應即將公布的2021年度聯合國新IPCC報告，未來除了進一步強化已建立的合作體制、開發新技術，也應深化過去逐步試用的技術，加強推廣。

另一方面，即便未來更進一步研究，氣候變遷預測仍有無法完全精確的問題，因此，此次本會針對這種精準度不足狀況，也建議了擬定計畫與設計的參考對策方向。今後也有必要具體檢討如何制定河川整治基本方針與河川整治計畫；詳細檢討設計方法等，並反映到技術基準與技術手冊之中。

氣候變遷意味著國土規劃應徹底地改變相關思維。日本未來將遭遇人口減少與高齡化等社會結構的改變、產業結構改變以及AI與大數據等帶來技術革新等巨大衝擊。未來若要依據氣候變遷所改變的地區風險評估，強化災害風險減輕對策，不可拘泥於過往經驗，而須運用新的科學知識見解，並且必須全民參與。

多年來各方曾警告氣候變遷影響之嚴重性，也建議將此現象反映到治水計畫，但預測模式等技術水準仍然不足而未能實現。但近年來科技提升，本建言所提到將氣候變遷影響因素反映到現實事務上的方法，亦已彙整完成。這些堪稱是「氣候變遷調適技術社會實施計畫（SI-CAT）」與「深化統合性氣候模型之研究計畫」等，產官學共同努力之成果。

負責守護國民安全、安心的國土交通省，應發展更多更高之科技，並與氣象廳等相關單位合作，強化可應用於治水計畫的預測資料，改善治水計畫擬定方法，擬定後視需要彈性修正。

另外，國土交通省應依據社會資本整備審議會答覆之「因應氣候變遷洪水災害對策實施狀況」，與流域所有相關人士合作共同推廣「流域治水」，並於全國各地推展「流域治水計畫」。除此之外，可提高「流域治水」實效性的法律架構方面，內閣於2021年2月通過「流域治水相關法案」，並於4月完成立法。未來各流域實施本計畫，除了可加速河川整備，也能透過相關人士合作，擬訂各種更具實效性、更紮實的對策方案。不僅如此，未來面對各項問題，同樣希望相關人士交換意見、檢討不足之處，並推動可在現場實施之對策措施。

未來本會將繼續針對各種問題領域加強與國土交通省合作，並期許國土交通省在氣候變遷影響分析與評估及「流域治水」實踐上扮演主導角色。此外，希望國土交通省積極向國際社會宣傳本建言，發揮本建言之功能與價值。

参考文献

- 1) 気候変動に関する政府間パネル (IPCC): 第5次評価報告書統合報告書 政策決定者向け要約, 2014
- 2) 気候変動に関する政府間パネル (IPCC): 第5次評価報告書 第1作業部会報告書 政策決定者向け要約, 2013
- 3) 気象庁ホームページ「日本の年平均気温」
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_jpn.html
- 4) 気象庁ホームページ「海面水温の長期変化傾向 (日本近海)」
https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/shindan/a_1/japan_warm/japan_warm.html
- 5) 気象庁ホームページ「大雨や猛暑日など (極端現象) のこれまでの変化」
http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html
- 6) 気象庁「令和2年7月の記録的大雨や日照不足の特徴とその要因について」
<http://www.jma.go.jp/jma/press/2008/20a/kentoukai20200820.pdf>
- 7) 文部科学省・気象庁: 「日本の気候変動2020」
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/2020/pdf/cc2020_shousai.pdf
- 8) 国土交通省「平成27年9月関東・東北豪雨災害の概要」
<http://www.bousai.go.jp/fusuigai/suigaiworking/pdf/dai1kai/siryoi.pdf>
- 9) 国土交通省「筑後川右岸流域 河川・砂防復旧技術検討委員会 報告書」
http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/bousai_joho/tecforce/H29hokubugouu_data/171122houkokusyo11.pdf
- 10) 国土交通省「赤谷川流域の被災状況」
http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/bousai_joho/tecforce/H29hokubugouu_data/171122houkokusyo2.pdf
- 11) 国土交通省「筑後川右岸流域 河川・砂防復旧技術検討委員会【概要説明資料】」
http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/bousai_joho/tecforce/H29hokubugouu_data/171122gaiyou2.pdf
- 12) 消防庁「平成29年6月30日からの梅雨前線に伴う大雨及び台風第3号の被害状況及び消防機関等の対応状況について (第77報)」
<https://www.fdma.go.jp/disaster/info/items/b415db68eb0850414c74aca2f164cf3dbda5c43a.pdf>
- 13) 気象庁「平成30年7月豪雨 (前線及び台風第7号による大雨等) 平成30年 (2018年) 6月28日～7月8日」
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2018/20180713/20180713.html>
- 14) 内閣府 平成30年台風第7号及び前線等による被害状況等について (平成31年1月9日17時00分)
http://www.bousai.go.jp/updates/h30typhoon7/pdf/310109_1700_h30typhoon7_01.pdf
- 15) 内閣府: 令和元年台風第19号等に係る被害状況等について (令和2年4月10日9:00 現在)
- 16) 内閣府: 令和2年7月豪雨による被害状況等について (令和3年1月7日14:00 現在)
- 17) 気象庁「「平成30年7月豪雨」及び7月中旬以降の記録的な高温の特徴と要因について」
<https://www.jma.go.jp/jma/press/1808/10c/h30goukouon20180810.html>
- 18) 気象研究所「近年の気温上昇が令和元年東日本台風の大雨に与えた影響」
<https://safe.menlosecurity.com/docview/viewer/docN576822ECDEA1498440d742128e06ee22c4b2070aacc3700a581f53a3dc8c519ee56c967eb736>
- 19) 気象研究所「令和2年7月豪雨における九州の記録的大雨の要因を調査」
https://www.mri-jma.go.jp/Topics/R02/021224-2/press_release021224-2.pdf
- 20) 国土交通省「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～ 対応すべき課題・実施すべき対策に関する参考資料」
http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/daikibokouikigouu/pdf/daikibokouikigouu_ss1.pdf
- 21) United Nations: Report of Conference of Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015, 2015
- 22) 気候変動に関する政府間パネル (IPCC): 1.5℃の地球温暖化: 気候変動の脅威への世界的な対応の強化、持続可能な開発及び貧困撲滅への努力の文脈における、工業化以前の水準から1.5℃の地球温暖化による影響及び関連する地球全体での温室ガス (GHG) 排出経路に関する IPCC 特別報告書 政策決定者向け要約の概要, 2018
- 23) 気象庁ホームページ「二酸化炭素濃度の経年変化」
https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/co2_trend.html
- 24) UNEP: Emissions Gap Report 2018, 2018
- 25) <http://www.env.go.jp/earth/ipcc/6th/index.html> (環境省)
- 26) DIAS: データ統合・解析システム (Data Integration and Analysis System)
<https://dias.jp.net/>

- 27) 環境省, 気象庁: 21 世紀末における日本の気候, 2015.3
http://www.env.go.jp/earth/ondanka/pamph_tekiou/2015/jpnclim_full.pdf
- 28) d4PDF: 地球温暖化に資するアンサンブル気候予測データベース (database for Policy Decision making forFuture climate change)
高解像度全球大気モデルおよび高解像度領域大気モデルを用い、これまでになく多数 (最大 100 メンバ) のアンサンブル実験を行うことによって作成された気候予測データベース。文科省・気候変動リスク情報創生プログラムおよび海洋研究開発機構・地球シミュレータ特別推進課題において作成。
<http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/index.html>
- 29) 気候変動リスク情報創生プログラム: 気候変動によって生じる多様なリスクの管理に必要な基盤的情報の創出を目的としたプログラム
<https://www.jamstec.go.jp/sousei/>
- 30) 気象庁: 地球温暖化予測情報 第 9 巻, 2017
<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/GWP/Vol9/pdf/all.pdf>
- 31) 統合的気候モデル高度化研究プログラム: 気候変動対策のために、気候モデルをさらに発展させ、社会経済シナリオとの連携を図り、具体的な地域での適応計画に気候モデルの知見を反映することを目的とした研究プログラム
<http://www.jamstec.go.jp/tougou/index.html>
- 32) SI-CAT: 気候変動適応技術社会実装プログラム (Social Implementation Program on Climate Change Adaptation Technology)
日本全国の地方自治体等が行う気候変動対応策の検討・策定に汎用的に生かされるような信頼性の高い近未来の気候変動予測技術や気候変動影響に対する適応策の効果の評価を可能とする技術を開発するプログラム
- 33) 地球シミュレータ特別推進課題 (成果創出課題): 新地球シミュレータの能力を最大限に活かして海洋地球科学分野における画期的な成果創出を加速するために、平成 27 年度から新しく設定された地球シミュレータの資源配分の枠組み
- 34) 気候変動に関する政府間パネル (IPCC): 第 4 次評価報告書統合報告書 政策決定者向け要約, 2007
- 35) 国土技術政策総合研究所: 国総研資料 第 749 号 気候変動適応策に関する研究 (中間報告), 2013
- 36) 第 4 回気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会 山田委員提供資料
- 37) 北海道地方における気候変動を踏まえた治水対策技術検討会 中間とりまとめ
https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kn/kawa_kei/splaat000001offi.html
- 38) 国土交通省: 河川砂防技術基準 (調査編) 3 章 水文解析 第 1 節 水文統計解析 1・4 非定常な水文量の頻度解析
https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/chousa/pdf/00.pdf
- 39) 国土交通省ホームページ 「「流域治水」の基本的な考え方」
https://www.mlit.go.jp/river/kasen/suisin/pdf/01_kangaekata.pdf

因應氣候變遷治水計畫相關技術檢討會

委員名冊

- 天野 邦彦 國土技術政策總合研究所 (第 1 次～第 5 次)
- 池内 幸司 東京大學大學院工學系研究科 教授
東京大學地球觀測數據統融合合作研究機構 機構長
- 大原 美保 (國研)土木研究所水災害及風險管理國際中心
水災害研究小組主任研究員
- ◎小池 俊雄 (國研)土木研究所水災害及風險管理國際中心長
- 小林 潔司 京都大學經營管理大學院 特任教授
- 佐々木 隆 國土技術政策總合研究所 (第 6 次～第 7 次)
- 清水 康行 北海道大學大學院工學研究院 教授
- 清水 義彦 群馬大學大學院理工學府 教授
- 高薮 出 氣象研究所氣候暨環境研究部 主任研究官
- 戸田 祐嗣 名古屋大學大學院工學研究科 教授
- 中北 英一 京都大學防災研究所 所長
- 平林 由希子 芝浦工業大學 工學部土木工學科 教授
- 古米 弘明 東京大學大學院工學系研究科附屬
水環境工學研究中心教授(第 6 次～第 7 次)
- 矢野 真一郎 九州大學工學研究院 教授
- 山田 朋人 北海道大學大學院工學研究院 副教授

◎：主席（敬稱略、按五十音順）

＜附件 1＞區域劃分方法妥當性之驗證

1. 區域劃分方法之構想

日本有些地區的氣象相類似，因此可將全國劃分成幾個區域，針對各劃分的區域（以下稱為「區域劃分」）檢討其治水計畫標的之規模降雨量的未來變化。

因此，此次試算未來降雨量變化倍率時，係依據水文與氣象領域已成熟的區域劃分方法，進行後述三種區域劃分方法，檢核現行氣候與未來氣候年最大降雨機率分布之同質性，完成區域劃分方法妥當性的比較驗證。

2. 使用的數據組

檢討所使用的數據組，是取自氣象廳氣象研究所區域氣候模型 NHRCM20 的現行氣候與未來氣候（RCP8.5）降雨資料（※）。關於陸地的每個網格點所算出降雨延時（6、12、24、48、72小時）別的年最大降雨量，係依據順位和測驗求出各網格點，與包含該網格點的區域劃分內之年最大降雨機率分布，視為相同的網格數，然後將其所占該區域劃分內總網格數的比率（以下稱為「適合比率」），當作比較區域劃分方法妥當性所需之指標並彙整之。

此外，所使用之資料組也可考慮採用試算降雨量變化倍率時所使用的 5km 解析度大量系集輸出值，但此次主要目的係相對性地比較複數區域劃分方法妥當性，因而仿效過去研究¹⁾之方法，採用演算年數與空間解析度等類似之 NHRCM20 數據。此外，島嶼部分幾乎都無網格數，因此除了其中部分之外，基本上不列入此次驗證之範圍。

（※）檢討時所使用之資料組，乃「2013年度環境省掌握地球暖化影響之氣候變遷預測等實施委託業務」及「2014年度環境省掌握地球暖化影響之氣候變遷預測等實施委託業務」，在氣象廳與文部科學省氣象變遷風險資訊創生計畫協助下，利用氣象廳氣象研究所所開發氣候模式完成並提供²⁾。其主要單元項目如下。

- 演算年數：目前19年(1985年～2003年)，未來19年(2081年～2099年)
- 時間解析度：1小時 空間解析度：20km
- 目前氣候：HPA_m02，未來氣候：HFA_rcp85_c3（RCP8.5）

3. 區域的劃分方法

用來比較區域劃分方法妥善性的三種地區劃分方法，如圖-1～3所示。各地區劃分方法之地區劃分名稱與網格數，如表-1所示。

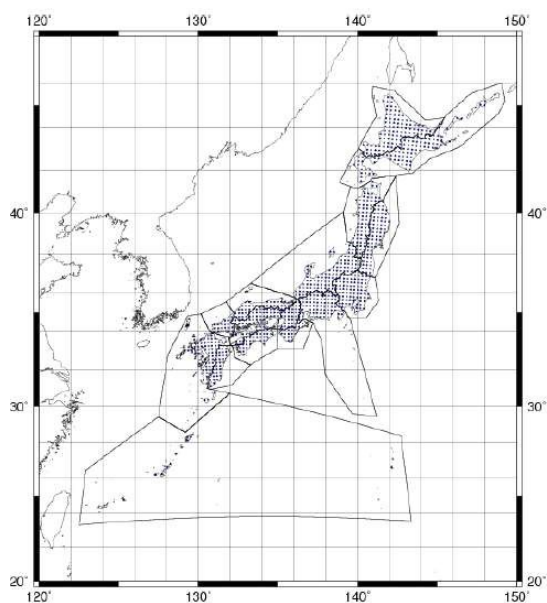


圖-1 區域劃分方法①

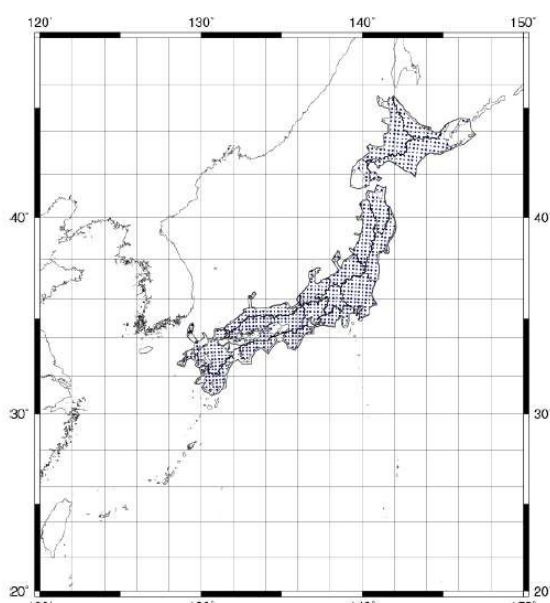


圖-2 區域劃分方法②

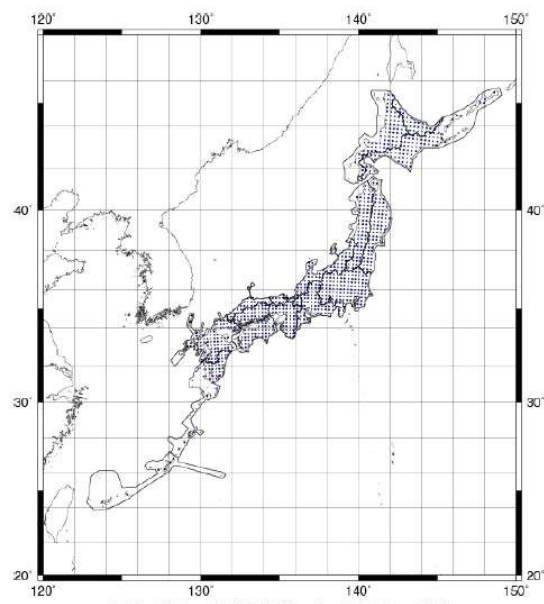


圖-3 區域劃分方法③

區域劃分方法①（圖-1）乃以推估最大規模降雨之相關區域劃分方法³⁾；區域劃分方法②（圖-2）為依據地區別比流量圖，而修正成同質性比例提高的區域劃分方法⁴⁾；區域劃分方法③（圖-3）則屬氣象廳與地方季節預報之預報區域劃分⁵⁾。

表-1 各區域劃分方法的地區劃分名稱及網格數

區域編號	區域劃分方法①		區域劃分方法②		區域劃分方法③	
	區域劃分名稱	網格數	區域劃分名稱	網格數	區域劃分名稱	網格數
1	北海道北部	96	北海道俄霍次克海側	30	北海道俄霍次克海側	29
2	北海道南部	97	北海道日本海側	76	北海道日本海側	78
3	東北西部	69	北海道太平洋側	82	北海道太平洋側	86
4	東北東部	69	東北北	38	東北日本海側	76
5	關東	82	東北東	49	東北太平洋側	78
6	北陸	95	東北西	54	關東甲信地方	119
7	中部	74	北陸東	44	北陸地方	59
8	近畿	30	北陸西	34	東海地方	69
9	紀伊南部	21	關東	77	近畿日本海側	19
10	山陰	40	長野盆地	32	近畿太平洋側	48
11	瀨戶內	55	中部東	29	山陰	22
12	中國西部	20	中部西	30	山陽	37
13	四國南部	34	山陰	54	四國	46
14	九州西北部	66	瀨戶內	86	九州北部地方	76
15	九州東南部	31	九州北	66	九州南部與奄美地方	42
16	南日本	11	西南日本	90	沖繩地方	5

4. 年最大降雨之機率分布同質性檢定

針對目前氣候與未來氣候之各種模式降雨延時（6、12、24、48、72小時）別的年最大降雨量，依據順位和測驗，檢核區域劃分內網格數全部數值與各網格數數值之年最大降雨機率分布同質性，算出各區域劃分之5%及1%顯著水準的同質性比率¹⁾。具體操作順序如下：

① 針對區域劃分內之網格設定如下二種樣本。

- 樣本A：各網格演算年數分之數值
- 樣本B：區域劃分內之演算年數x網格數全部數值

② 混合樣本A與樣本B，數值由小到大依次排序。同值的部分，算出順位的平均值。算出該當於樣本A的數值順位和W。

- ③ 樣本B的樣本數較大，W的平均值設定為 $E(W)$ ，離散設定為 $V(W)$ ，則W視為符合 $E(W)$ 與 $V(W)$ 之正規分布。若以W減去W的平均值作為標準值Z，則

$$Z = \frac{|W - E(W)|}{\sqrt{V(W)}} \left[E(W) = \frac{m(m+n+1)}{2}, V(W) = \frac{mn(m+n+1)}{12} \right]$$

m與n為目標數據群之數據數，在此，m為樣本A之樣本數，n為樣本B之樣本數。亦即，此時同質性之判定，應以區域劃分內有網格之機率分布（演算年數為19年，因此是19個所構成之分布）是否視為與該區域劃分之機率分布（19x區域劃分內網格數所構成）相同而判定之。相對於兩側顯著水準為 $\alpha\%$ 時標準正規分布之正規變量 Z_α ， $Z < Z_\alpha$ 成立時，則可視為在 $\alpha\%$ 顯著水準時具有同質性。

5. 正確率之比較

各區域劃分方法之降雨延時別之正確率全國平均值及高低變化狀況，如表-2所示。

此次所比較三個種類區域之劃分方法，目前與未來的正確率，對於任何一個降雨延時都幾乎相同。亦即，由區域劃分內最大降雨機率分布的同質性觀點來看，可認定用來試算未來降雨量變化倍率之區域劃分方法是妥當的。

另一方面，河川計畫相關之檢討，過去多是以水系為單位，就其區內發生之降雨事件進行檢討，因此，即便未來降雨量變化倍率之試算，分析時亦應避免切割相同水系內之降雨事件。如表-3所示，區域劃分方法②及③存在著跨區域劃分之水系，因此，對於未來實施降雨量變化倍率分析時可能產生數個水系降雨事件被切割的狀況，區域劃分方法①無跨區域劃分之水系，較適用於此次之分析。

此外，關於區域劃分方法①之各降雨延時別區域劃分之正確率，其目前氣候及將來氣候的值如表-4~5所示。各區域劃分方法之不同區域劃分在任何降雨延時情況下，目前與未來的正確率相較於目前的正確率都未顯著降低。因此，區域劃分方法①雖依據目前氣候之降雨特性作進行區域劃分，但即使進行未來氣候評估，也可使用相同的區域劃分。

表-2 各區域劃分方法之正確率

顯著水準5%
目前氣候

降雨延時	6小時	12小時	24小時	48小時	72小時	平均
區域劃分方法①	0.73 (0.56~0.94)	0.67 (0.46~0.89)	0.61 (0.41~0.88)	0.57 (0.35~0.85)	0.55 (0.34~0.80)	0.63
區域劃分方法②	0.72 (0.50~0.97)	0.68 (0.47~0.87)	0.63 (0.41~0.82)	0.62 (0.37~0.79)	0.58 (0.33~0.76)	0.65
區域劃分方法③	0.71 (0.49~0.89)	0.64 (0.46~0.82)	0.61 (0.39~0.79)	0.58 (0.37~0.79)	0.54 (0.32~0.73)	0.62

顯著水準5%
未來氣候

降雨延時	6小時	12小時	24小時	48小時	72小時	平均
區域劃分方法①	0.79 (0.53~1.00)	0.72 (0.47~0.90)	0.64 (0.38~0.90)	0.59 (0.38~0.90)	0.57 (0.33~0.88)	0.66
區域劃分方法②	0.77 (0.62~0.97)	0.73 (0.55~0.92)	0.67 (0.43~0.93)	0.64 (0.43~0.97)	0.61 (0.41~0.93)	0.68
區域劃分方法③	0.74 (0.59~0.97)	0.69 (0.48~0.91)	0.63 (0.35~0.86)	0.59 (0.35~0.86)	0.57 (0.33~0.90)	0.64

顯著水準1%
目前氣候

降雨延時	6小時	12小時	24小時	48小時	72小時	平均
區域劃分方法①	0.84 (0.65~0.98)	0.81 (0.57~0.95)	0.76 (0.55~0.95)	0.72 (0.49~0.90)	0.69 (0.46~0.88)	0.76
區域劃分方法②	0.83 (0.56~1.00)	0.80 (0.53~0.98)	0.76 (0.53~0.97)	0.74 (0.43~0.97)	0.71 (0.43~0.90)	0.77
區域劃分方法③	0.82 (0.66~1.00)	0.78 (0.57~0.93)	0.73 (0.54~0.92)	0.70 (0.45~0.91)	0.67 (0.43~0.86)	0.74

顯著水準1%
未來氣候

降雨延時	6小時	12小時	24小時	48小時	72小時	平均
區域劃分方法①	0.90 (0.70~1.00)	0.86 (0.68~1.00)	0.78 (0.53~0.95)	0.72 (0.41~0.93)	0.69 (0.41~0.90)	0.79
區域劃分方法②	0.89 (0.77~1.00)	0.85 (0.74~0.97)	0.78 (0.39~0.97)	0.77 (0.59~1.00)	0.73 (0.52~1.00)	0.81
區域劃分方法③	0.87 (0.72~1.00)	0.81 (0.68~1.00)	0.75 (0.52~1.00)	0.70 (0.48~0.91)	0.68 (0.46~0.91)	0.76

表-3 全國一級水系與區域編號

水系番号	水系名	該当地域番号			水系番号	水系名	該当地域番号			水系番号	水系名	該当地域番号			水系番号	水系名	該当地域番号		
		区分①	区分②	区分③			区分①	区分②	区分③			区分①	区分②	区分③			区分①	区分②	区分③
1	天塩川	1	1,2	2	31	鶴見川	5	9	8	61	大和川	8	14	10	86	蘇川	11	16	13
2	清瀬川	1	1	1	32	相模川	5	10,11	8	62	円山川	10	13	9	87	物部川	13	16	13
3	湯別川	1	1	1	33	荒川	6	6,7	4,7	63	加古川	11	13,14	10	88	仁淀川	13	16	13
4	常呂川	1	1,3	1	34	阿賀野川	6	6,7,8	4,7	64	揖保川	11	13,14	10	89	瀬川	13	16	13
5	網走川	1	1,3	1	35	信濃川	6	7,8,10	6,7	65	紀ノ川	8	14,16	10	90	濃賀川	14	15	14
6	留萌川	1	2	2	36	関川	6	7	6,7	66	新宮川	9	16	8,10	91	山国川	14	15	14
7	石狩川	1	1,2,3	2	37	姫川	6	8	6,7	67	九段薮川	6	8,13	7	92	筑後川	14	15	14
8	厚別川	1	2	2	38	黒部川	6	8	7	68	北川	10	13	7	93	矢部川	14	15	14
9	後志利別川	2	2	2	39	常願寺川	6	8	7	69	千代川	10	13	11	94	松浦川	14	15	14
10	森川	2	2,3	2,3	40	神通川	6	8,10	7,8	70	天神川	10	13	11	95	六角川	14	15	14
11	沙流川	2	3	3	41	庄川	6	8	7,8	71	目野川	10	13	11	96	嘉瀬川	14	15	14
12	釧路川	2	3	3	42	小矢部川	6	8	7	72	磐梯川	10	13	11	97	本明川	14	15	14
13	十勝川	2	3	3	43	手取川	6	8	7	73	江ノ川	10	13,14	11,12	98	菊池川	14	15	14
14	岩木川	3	4,6	4	44	樺川	6	8	7	74	高津川	12	13	11	99	白川	14	15	14
15	喜望峯川	3	4	5	45	狩野川	7	11	8	75	青井川	11	13,14	12	100	緑川	14	15	14
16	馬場川	4	4	5	46	富士川	7	10,11	6,8	76	旭川	11	13,14	12	101	球磨川	14	15	14
17	北上川	4	4,5,6	5	47	安倍川	7	11	8	77	高梁川	11	13,14	12	102	大分川	15	15	14
18	鳴瀬川	4	5,6	5	48	大井川	7	11	8	78	芦田川	11	14	12	103	大野川	15	15	14
19	名取川	4	5	5	49	菊川	7	11	8	79	太田川	11	13,14	12	104	香取川	15	16	14
20	阿武隈川	4	5,9	5	50	天童川	7	10,11	6,8	80	小笠原川	12	14	12	105	五ヶ瀬川	15	15,16	15
21	米代川	3	4,6	4,5	51	豊川	7	11	8	81	佐波川	12	13	14	106	小丸川	15	16	15
22	碓氷川	3	6	4	52	矢作川	7	11,12	6,8	82	青野川	13	14,16	13	107	大湫川	15	15,16	14,15
23	子吉川	3	6	4	53	庄内川	7	12	8	83	那賀川	13	16	13	108	川内川	14	16	15
24	最上川	3	6	4	54	木曾川	7	8,10,12	6,8	84	土讃川	11	14	13	109	肝原川	15	16	15
25	赤川	3	6	4	55	鈴鹿川	7	12	8	85	重信川	11	14	13					
26	久慈川	5	5,9	5,6	56	敷出川	7	12,16	8										
27	那珂川	5	9	6	57	櫛田川	9	16	8										
28	利根川	5	7,9,10	6	58	荒川	9	16	8										
29	荒川	5	9	6	59	由良川	10	13	9,10										
30	多摩川	5	9,10	6	60	淀川	8	12,14	8,9,10										

表-4 区域劃分方法①之降雨延時別の各區域劃分之正確率（顯著水準 5%，目前氣候）

降雨延時	6小時	12小時	24小時	48小時	72小時
北海道北部	0.73	0.74	0.78	0.77	0.74
北海道南部	0.64	0.62	0.55	0.58	0.59
東北西部	0.75	0.62	0.51	0.46	0.39
東北東部	0.64	0.62	0.67	0.64	0.64
關東	0.73	0.68	0.60	0.60	0.60
北陸	0.56	0.56	0.47	0.44	0.47
中部	0.57	0.46	0.42	0.42	0.34
近畿	0.80	0.77	0.63	0.67	0.67
紀伊南部	0.81	0.71	0.52	0.48	0.48
山陰	0.78	0.80	0.88	0.85	0.80
瀬戸内	0.93	0.89	0.80	0.69	0.64
中國西部	0.80	0.55	0.60	0.55	0.55
四國南部	0.71	0.65	0.41	0.35	0.35
九州西北部	0.94	0.86	0.77	0.53	0.45
九州東南部	0.65	0.58	0.48	0.52	0.55
南日本	0.82	0.82	0.82	0.73	0.73

表-5 區域劃分方法①之降雨延時別的各區域劃分之正確率（顯著水準 5%，未來氣候）

降雨延時	6小時	12小時	24小時	48小時	72小時
北海道北部	0.79	0.74	0.84	0.86	0.85
北海道南部	0.75	0.68	0.63	0.58	0.61
東北西部	0.70	0.57	0.46	0.48	0.46
東北東部	0.58	0.61	0.58	0.61	0.58
關東	0.74	0.73	0.67	0.60	0.52
北陸	0.72	0.55	0.54	0.52	0.44
中部	0.65	0.57	0.47	0.39	0.38
近畿	0.90	0.90	0.87	0.77	0.77
紀伊南部	0.91	0.71	0.43	0.43	0.33
山陰	0.88	0.90	0.90	0.90	0.88
瀨戶內	0.86	0.85	0.84	0.67	0.67
中國西部	0.90	0.80	0.65	0.60	0.55
四國南部	0.53	0.47	0.38	0.38	0.41
九州西北部	0.97	0.85	0.59	0.45	0.48
九州東南部	1.00	0.90	0.71	0.61	0.61
南日本	0.82	0.73	0.73	0.73	0.64

如上述，檢討降雨量變化倍率時使用區域劃分方法①，則各區域劃分之邊界及該當之一級水系如圖-4～8所示。



圖-4 區域劃分擴大圖（北海道北部與北海道南部）

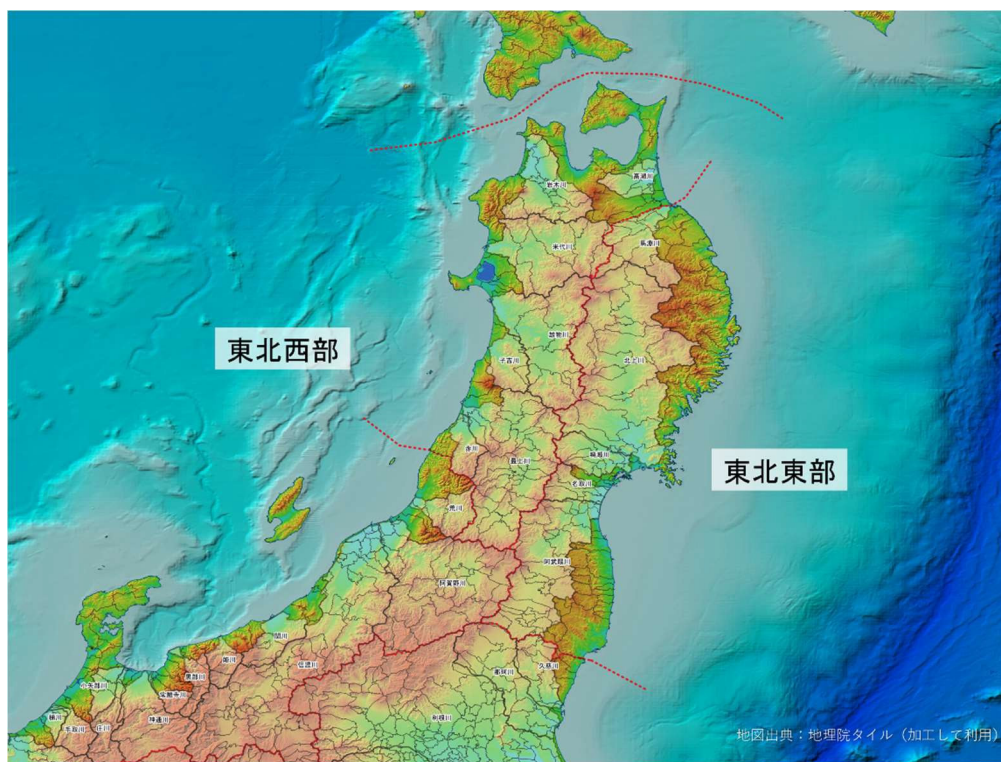


圖-5 區域劃分擴大圖（東北西部與東北東部）

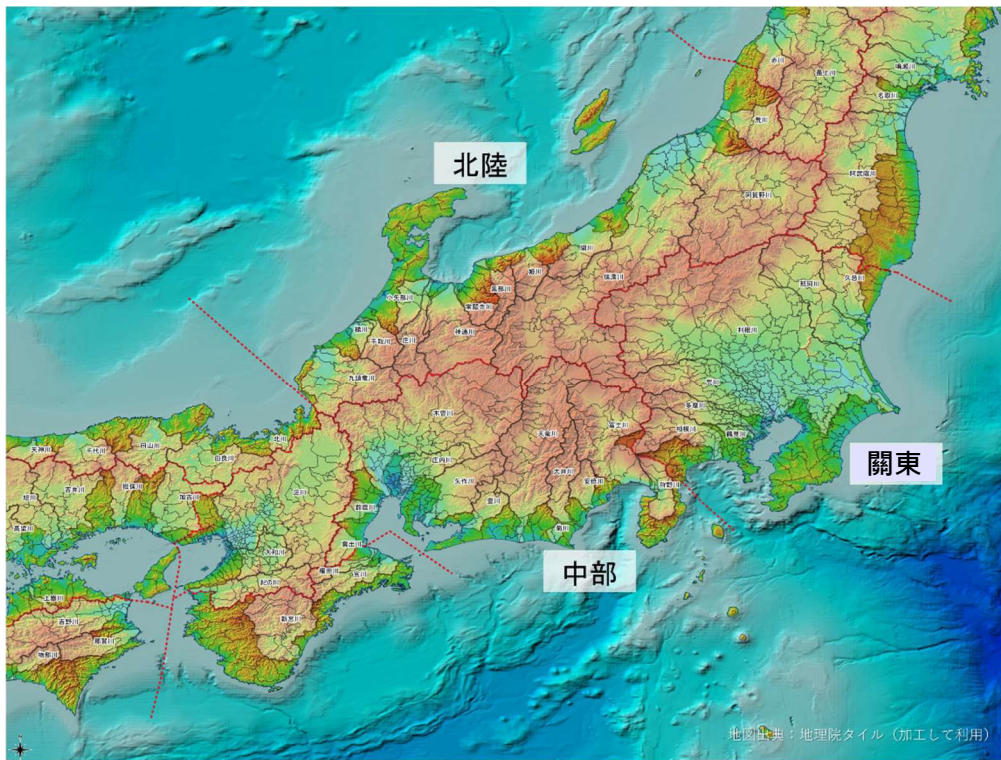


圖-6 區域劃分擴大圖（關東、北陸、中部）

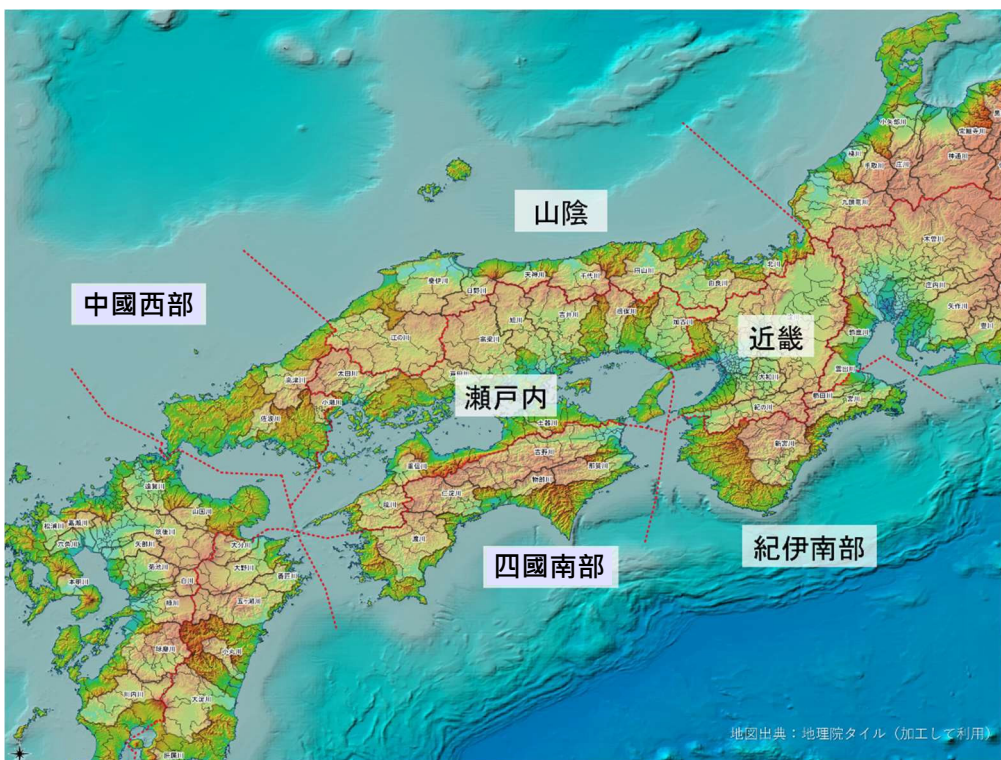


圖-7 區域劃分擴大圖（近畿、紀伊南部、山陰、瀬戸内、中国西部、四國南部）

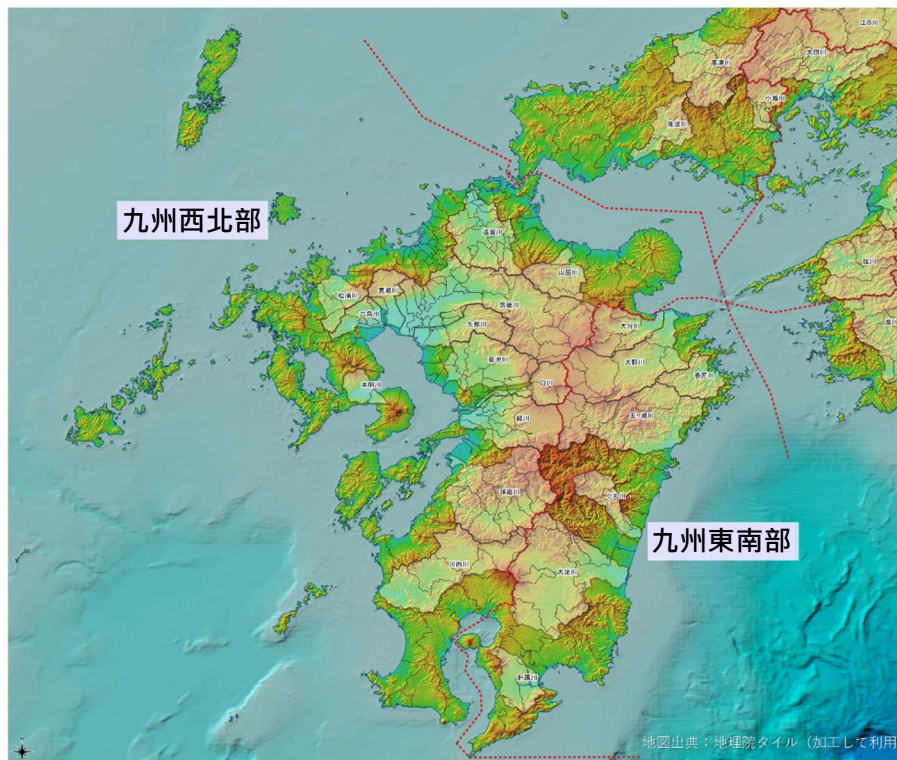


圖-8 區域劃分擴大圖（九州西北部與九州東南部）

6. 參考文獻

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：気候変動による豪雨時の降雨量変化予測－GCM20 による評価を中心に－、国土技術政策総合研究所資料、第 462 号、平成 20 年 5 月
- 2) このデータセットは、文部科学省の委託事業により開発・運用されているデータ統合・解析システム DIAS（Data Integration and Analysis System：<https://diasjp.net/>、課題番号：JPMXD0716808999）の下で、収集・提供されたものである。
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局：浸水想定（洪水、内水）の作成等のための想定最大外力の設定手法、平成 27 年 7 月
- 4) 国土交通省国土技術政策総合研究所：気候変動適応策に関する研究（中間報告）、国土技術政策総合研究所資料、第 749 号、平成 25 年 8 月
- 5) 気象庁：
http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kisetsu_riyou/image/png/chihou_kubun.png

＜附件 2＞DAD 分析之方法與結果

1. 所使用之數據

DAD 分析所使用數據如表-1所示。

表-1 DAD 分析所使用資料

資料種類	空間解析度	目標領域	演算期間	分析所使用資料年數
d4PDF (5km,yamada) ¹⁾	5km	• 北海道 • 九州	目前氣候： 1950 年 9 月～2011 年 8 月 未來氣候： 60 年間（2090 年的氣候）	目前氣候：3,000 年 (60 年×50 微擾) 未來氣候：5,400 年 (60 年×6SST×15 微擾) ※此次分析係以 1 月～12 月為 1 年單位， 目前氣候使用 1951 年 1 月～2010 年 12 月之數據。 ※各年 6 月 1 日到 12 月 1 日之間篩選出 北海道領域的石狩川流域、常呂川流域、十勝川流域，九州領域的筑後川流域之流域平均雨量最大之 15 日期間數據。 ※d4PDF(20km)之領域模式（目前 50 微擾，未來 15 微擾）進行降尺度。
d4PDF (5km,SI-CAT) ²⁾	5km	• 北海道、 沖繩以外	目前氣候： 1980 年 9 月～2011 年 8 月 未來氣候： 30 年間（2090 年的氣候）	目前氣候：360 年 (30 年×12 微擾) 未來氣候：360 年 (30 年×6SST×2 微擾) ※此次分析係以 1 月～12 月為 1 年單位， 目前氣候使用 1981 年 1 月～2010 年 12 月之數據。 ※d4PDF(20km) 之領域模型目前 50，未來 15 微擾， 因此分別針對目前與未來隨機選出 12 及 2 微擾進行降尺度。

d2PDF (5km,yamada) ¹⁾ (d4PDF2 度升溫實驗)	5km	- 北海道 - 九州	目前氣候： 1950 年9 月～2011 年8 月 未來氣候： 60 年間（2040 年的氣候）	目前氣候：3,000 年 (60 年×50微擾) 未來氣候：3,240 年 (60 年×6SST×9微擾) ※此次分析係以1月～12 月為1 年單位， 目前氣候使用1951 年1 月～2010 年12 月之數據。 ※各年6 月1 日到12 月1 日之間篩選出，北海道領域選石狩川流域、常呂川流域、十勝川流域；九州領域選筑後川流域における流域流域之流域平均雨量最大之15 日期間的數據。 ※d2PDF(20km) 之領域模式（目前50微擾，未來9微擾）進行降尺度。
d2PDF (5km,SI-CAT) ²⁾ (d4PDF2 度升溫實驗)	5km	北海道、 沖繩以外	目前氣候： 1980 年9 月～2011 年8 月 未來氣候： 30 年間（2040 年的氣候）	目前氣候：360 年 (30 年×12微擾) 未來氣候：360 年 (30 年×6SST×2微擾) ※此次分析係以1月～12 月為1 年單位， 目前氣候使用1981 年1 月～2010 年12 月之數據。 ※d2PDF(20km) 之領域模式目前50，未來9微擾，分別針對目前與未來隨機選出12及2微擾進行降尺度。

此次檢討，以d4PDF³⁾及 d2PDF、水平解析度約20km，覆蓋日本全部區域的領域實驗輸出結果（以下分別稱為d4PDF(20km)、d2PDF(20km)）之中，對於過去實驗、未來升溫4℃實驗及未來升溫2℃實驗，使用了以氣象研究所的非靜力學區域氣候模式 NHRCM，將水平解析度降尺度至約5km的二種輸出結果。其中一種是文部科學省的氣候變遷調適技術社會實施計畫（SI-CAT）及海洋研究開發機構的「地球模擬特別推動課題（成果創造課題）」之中，以北海道及九州作為目標領域、分別將d4PDF(20km)及 d2PDF(20km)水平解析度降尺度至約5km的輸出結果⁴⁾⁵⁾（以下稱為d4PDF(5km,yamada)、d2PDF(5km,yamada)）。

d4PDF(5km,yamada)、d2PDF(5km,yamada)係分別針對d4PDF(20km)、d2PDF(20km)各年 6 月 1 日到 12 月 1 日之間，北海道領域的石狩川流域、常呂川流域、十勝川流域以及九州領域筑後川流域之包含流域平均雨量最大期間在內的15天，實施降尺度的成果。此外，地形模型乃是使用各網格內標高之平均值 Grid mean 模式。目標領域如圖-1與圖-2所示。

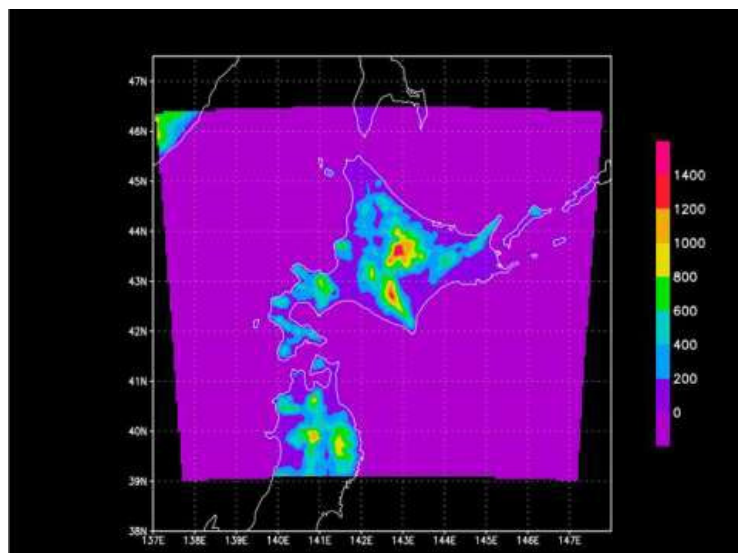


圖-1 d4PDF(5km,yamada) 之北海道目標領域
(彩色等值線圖 (高程) 之範圍為目標領域)

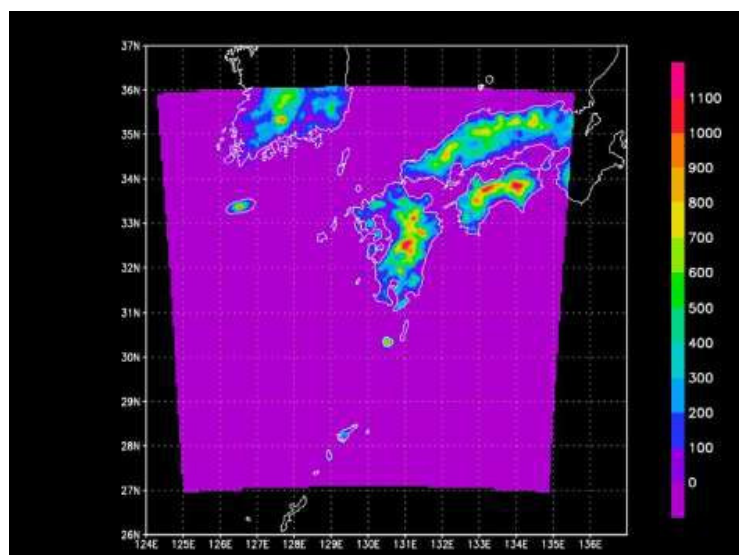


圖-2 d4PDF(5km,yamada) 之九州目標領域
(彩色等值線圖 (高程) 之範圍為目標領域)

另一方面，文部科學省氣候變遷調適技術社會實施計畫(SI-CAT)內，除去以北海道、沖繩之外的地區為目標領域，使用地球模擬系統，將d4PDF及d2PDF動力降尺度輸出的結果⁶⁾⁷⁾⁸⁾（以下稱為d4PDF(5km,SI-CAT)、d2PDF(5km,SI-CAT)）。

d4PDF(5km,SI-CAT)及 d2PDF(5km,SI-CAT)，係分別針對d4PDF(20km)及d2PDF(20km)，聚焦在演算年數及系集數，實施一整年降尺度的結果。此外，高程數據使用GTOPO30；地形模型則是網格內平均值加上各網格內高程之離散，以強調山地高度的 Envelope mountain 模型。目標領域如圖-3所示。

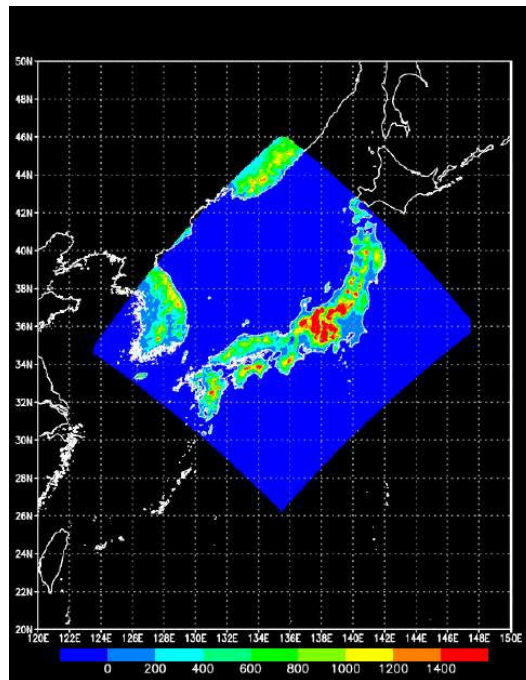


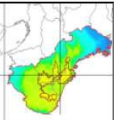
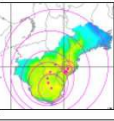
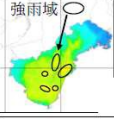
圖-3 d4PDF(5km,SI-CAT)之目標領域
（彩色等值線圖（高程）之範圍為目標領域）

2. 分析方法

考量到不同下雨區域形狀所形成的面積不同，因此反覆挑出任意的累積雨量以上的雨域，彙整出累積雨量 D (Depth) 與雨域面積 A (Area) 及降雨延時 D (Duration) 之關係。

關於這種 DAD 分析方法，係為了淹水推估（洪水、內水）等的推估最大外力設定方法＜參考資料 2＞「不同地區最大降雨量之分析方法等」⁹⁾之中，依據目前日本所使用的方法¹⁰⁾以及 WMO（世界氣象組織：World Meteorological Organization）的手冊¹¹⁾，彙整出如表-2 所示三種類型的分析方法及其特徵。其中，FEM 法（變形面積法）將空間上連續的雨域，一個網格一個網格地累加，依雨域形狀算出累積雨量，堪稱是能取得極精密 DA 關係之分析方法，但是對於此次檢討需使用龐大的長期系集氣候資料，若要採用這種分析方法，從演算所需時間的角度來看並不適當。因此，本次檢討乃參考過去類似研究¹⁰⁾¹²⁾所使用的方法，使用表-2⁹⁾的 FRM 法（雨量固定法）。但考量表-2 所示 FRM 法的注意要點（會將完全不同的雨域當作一個雨域進行評估），篩選出來的數個強降雨區域之中，將無空間連續性的部分，當作其他雨域加以彙整。具體的解析步驟如下 1)~7)所示。

表-2 面積雨量之分析方法

分析方法	特徵
FEM法（變形面積法） 	• 追蹤降雨量最大值，將連續的任意形狀設定為雨域，算出其最大的面積雨量
CAM法（面積固定法） 	• 在目標區域內以同心圓形狀讓固定形狀移動到每個區塊，算出最大面積雨量 • 分析結果有時會少於河川流域實際面積雨量
FRM法（雨量固定法） 	• 彙集大於雨量閾值之雨域，算出最大的面積雨量 • 累計範圍很廣時，有時會將其其他完全無關的雨域視為一個雨域

1) 每個計算網格都以一小時為單位，算出各雨量累積時間(1,2,3,6,12,24,48,72)的累積雨量。

2) 若計算的目標是資料中的全部時刻，則資料量將非常大，因此按照圖-4所示之流程，選定各種雨量累積時間、各種分析範圍以及每一年的 DAD 分析目標時刻，然後以所選定之時刻作為標的進行分析。

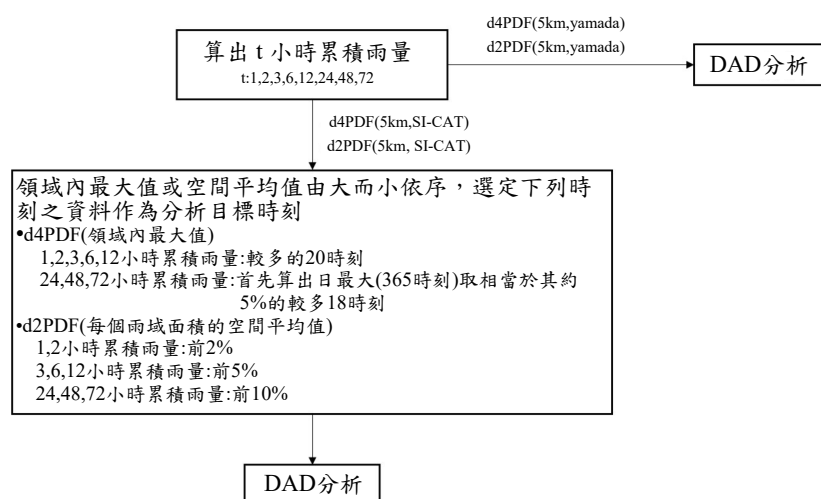


圖-4 DAD 分析目標時刻之選定流程

3) 對於分析目標時刻之降雨分布，設定如表-3所示之雨量閾值，然後從降雨分布之中篩選出有大於閾值的累積雨量之相鄰網格，作為一個雨域（圖-5）。此外，若所篩選出來的雨域存在著小於閾值的雨量網格點，該網格點也視為雨域的一部分，求出其雨域面積。

表-3 雨量閾值之設定

（d4PDF 時※）

1,2,3 小時累積雨量	雨量(R)範圍[mm]	$2 \leq R < 10$	$10 \leq R < 250$	$250 \leq R$
	尺寸[mm]	2	10	50
6 小時累積雨量	雨量(R)範圍[mm]	$10 \leq R < 250$	$250 \leq R$	-
	尺寸[mm]	10	50	-
12,24,48,72 小時累積雨量	雨量(R)範圍[mm]	$10 \leq R$	-	-
	尺寸[mm]	50	-	-

（d2PDF 時※）

1,2,3 小時累積雨量	雨量(R)範圍[mm]	$4 \leq R$	-
	尺寸[mm]	4	-
6 小時累積雨量	雨量(R)範圍[mm]	$10 \leq R$	-
	尺寸[mm]	10	-
12,24 小時累積雨量	雨量(R)範圍[mm]	$10 \leq R < 20$	$20 \leq R$
	尺寸[mm]	10	20
48,72 小時累積雨量	雨量(R)範圍[mm]	$10 \leq R < 40$	$40 \leq R$
	尺寸[mm]	30	40

※為更有效率篩選出作為標的之降雨，以兩種模式設定不同的閾值

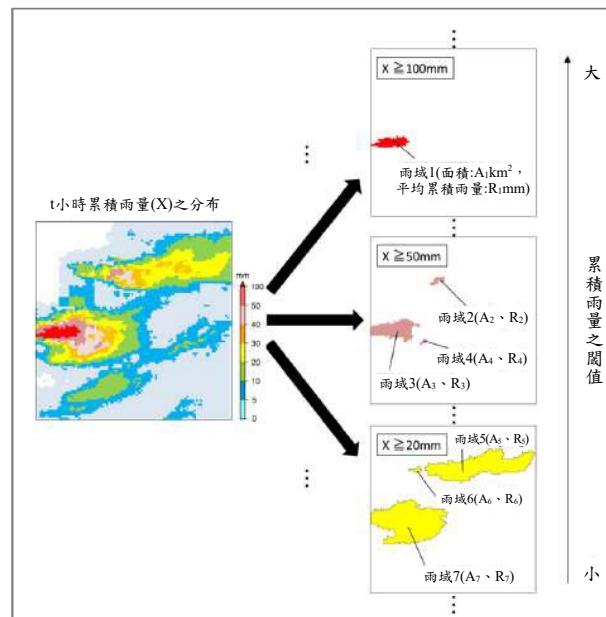


圖-5 大於閾值的累積雨量雨域篩選示意圖

- 4) 算出所篩選雨域之面積及雨域之平均雨量。
- 5) 重複3)、4)步驟，然後進行多數累積雨量與雨域面積之資料取樣，將每年資料都製作成如圖-6 左圖。依據此圖，求出累積雨量隨著雨域面積變大而變小的包絡線，如圖-6 右圖所示，然後可選出對應於任意雨域面積之累積雨量的最大值。此外，以上述步驟選出最大雨量的結果，對於被稀疏化的面積之最大雨量部分，可參考推估淹水（洪水、內水）之推估最大外力設定方法¹³⁾，以線性內插法求出。

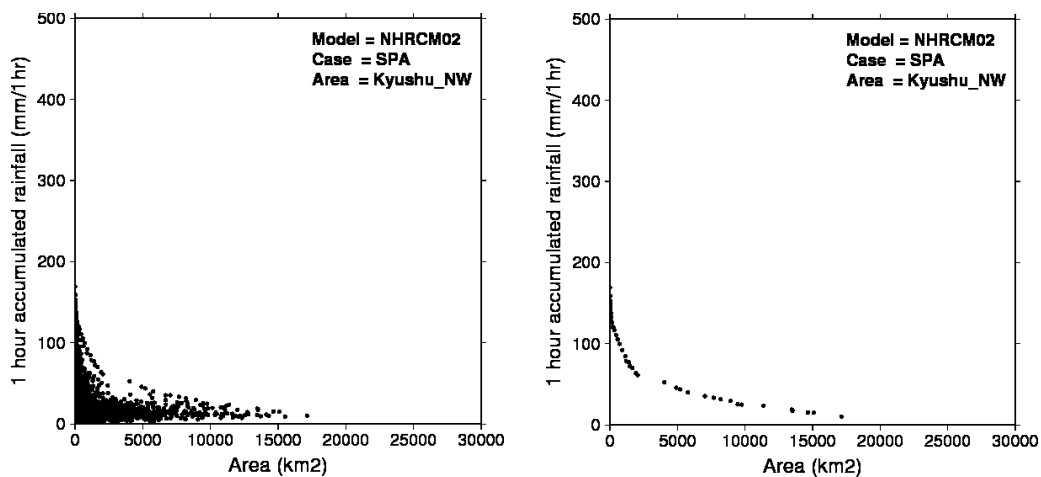


圖-6 最大雨量篩選方法範例（左圖：DAD 分析之結果，右圖：篩選最大雨量之結果）

- 6) 分別求出目前氣候與未來氣候年重現期 1/100 降雨量。年重現期 1/100 之降雨量，係以年最大雨量數值代入 Gumbel 分布之機率密度函數而算出，Gumbel 分布之母數以線性動差法（L-moments）推定之¹⁴⁾。
- 7) 針對累積雨量之平均年最大雨量及年重現期 1/100 之降雨量二者，求出其目前氣候與未來氣候之比值（未來氣候/目前氣候）。

3. 分析之條件

<區域劃分>

以 DAD 分析求取降雨量變化倍率之做法，已在用推估最大規模降雨相關之區域劃分¹³⁾的15個區域劃分一一實施。圖-7 為15個區域劃分地圖。

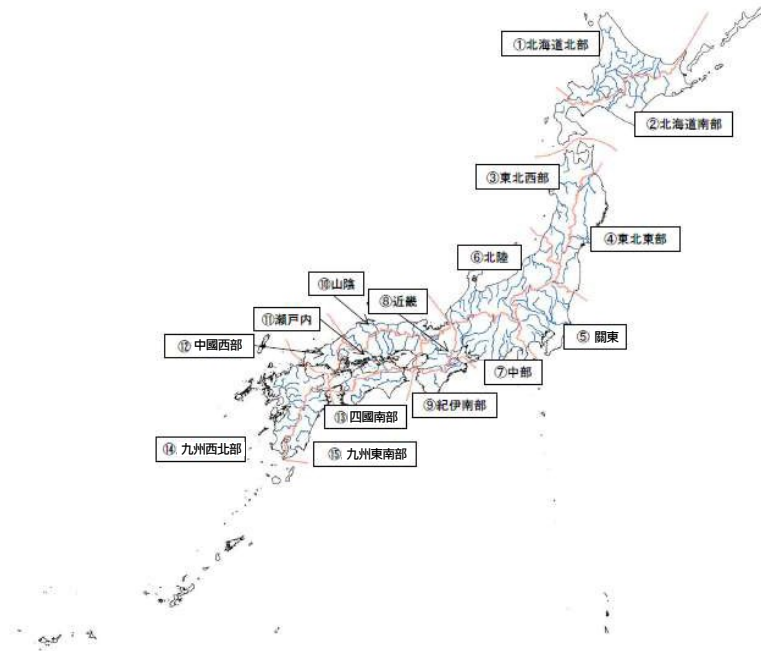


圖-7 推估最大規模降雨相關之區域劃分

<各區域劃分所使用的資料>

北海道北部與北海道南部使用d4PDF(5km,yamada)及d2PDF(5km,yamada)，其他區域劃分使用d4PDF(5km,SI-CAT) 及d2PDF(5km,SI-CAT)之結果。

※d4PDF(5km,yamada)及d2PDF(5km,yamada)與d4PDF(5km,SI-CAT) 及d2PDF(5km,SI-CAT)彼此間的資料期間與詳細演算條件不同，因此，北海道北部區塊及北海道南部區塊要求其他13個區域的分析結果一併進行廣泛解釋時，須注意這點。此外，針對筑後川流域，比較d4PDF(5km,yamada)與d4PDF(5km,SI-CAT)分析的結果，如〈參考1〉所示。

<流域面積與降雨延時>

一級河川的河川治理基本方針之中，依據基準地點上游面積與目標降雨的降雨延時的關係，流域面積 400km² 以下者，降雨延時設定為 6~12 小時；流域面積大於 400km²，則設定降雨延時大於 12 小時（圖-8）。

因此，將評估降雨量倍率之對象分成兩種，首先，大河川流域將流域面積分成 400km²、1,600km²、3,600km² 三種，降雨延時則分 12 小時、24 小時、48 小時三種，合計九種情形進行評估。其次，中小河川流域則實施 400km²、更短延時的降雨評估。

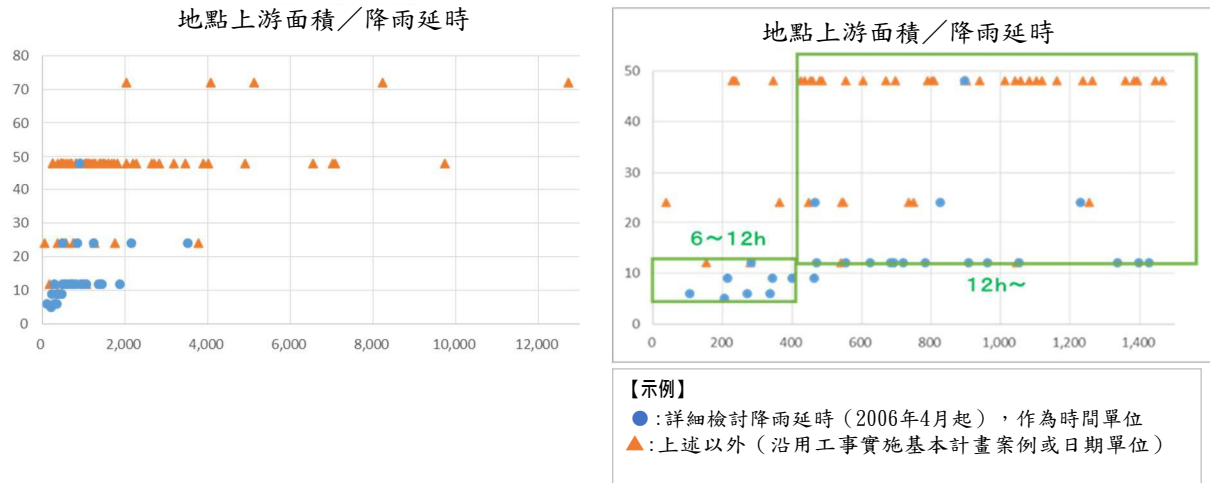


圖-8 基準地點上游面積與降雨延時之關係

< SST 與微擾之處理 >

各個 SST 係世界各種 CGCM 所演算出有關日本近海海面水溫分布而加以分類的，但各種 SST 應該都有不同的系統誤差（偏差、乖離率，bias）。若把各 SST 所算出之結果當作同一母集團的樣本處理時，可能會將誤差不同的模式輸出結果混合在一起去作統計分析，因此還是各個 SST 分開處理。

另外，微擾的目的是為了在比觀測誤差更小範圍內，增加各 SST 演算樣本數，若是相同的模式，則誤差可視為相同。此外，從確保統計分析樣本數的角度來看，不必進行各個微擾的評估，而只需整合一起處理即可。

4. d4PDF 之分析結果

＜大河川流域降雨量變化倍率之計算＞

以全國 15 個地區作為標的，以降雨延時 12 小時、24 小時、48 小時的累積雨量，計算出相對於目前氣候的未來氣候年重現率 1/100 之降雨量變化倍率。每一種降雨延時的各區域劃分不同海面水溫之降雨量變化倍率，如圖-9~11 所示。

比較各區域劃分發現，北海道北部與北海道南部的變化倍率明顯大於其他區域，而且可看出各區域不同海面水溫模式所造成的變化倍率高低差距相當大。

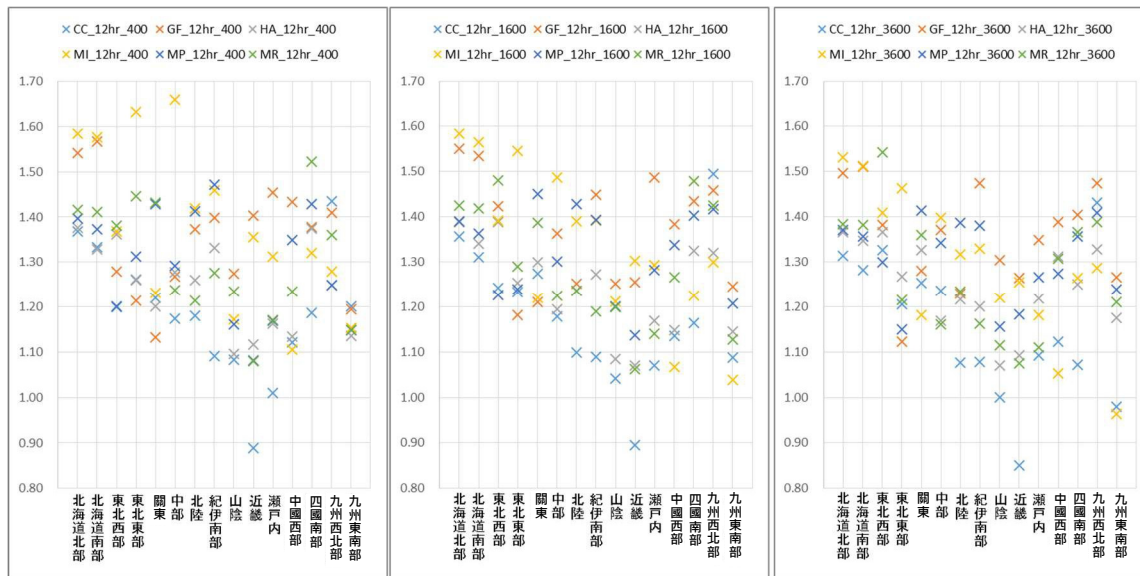


圖-9 各區域劃分之降雨延時 12 小時不同海面水溫模式的降雨量變化倍率
(由左起，雨域面積 400km²、1600km²、3600km²)

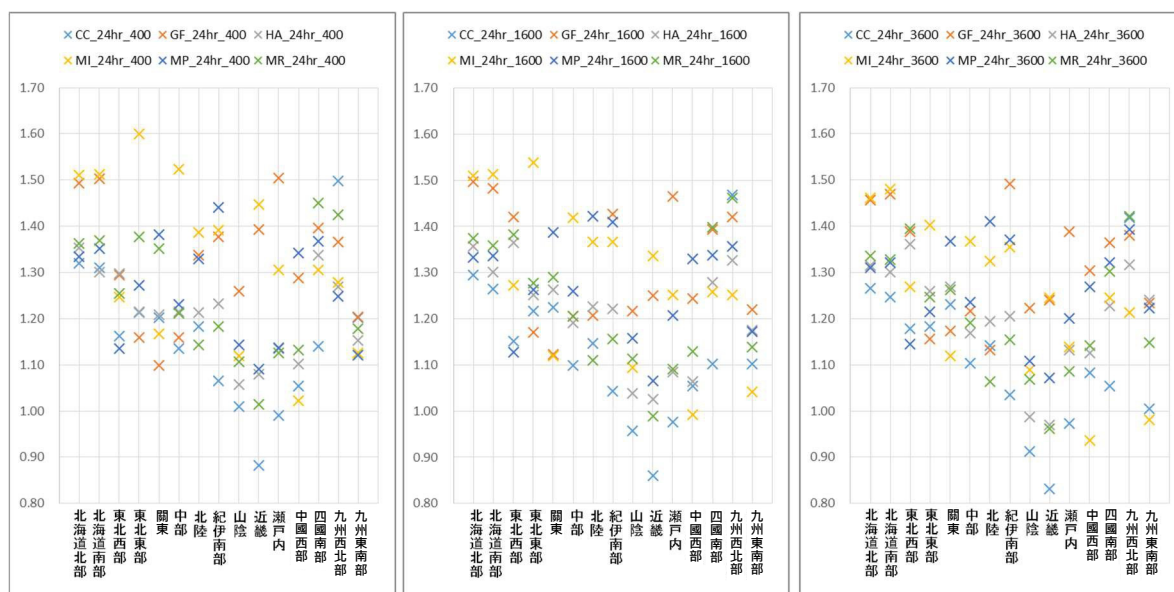


圖-10 各區域劃分之降雨延時 24 小時不同海面水溫模式的降雨量變化倍率
(由左起，雨域面積 400km²、1600km²、3600km²)

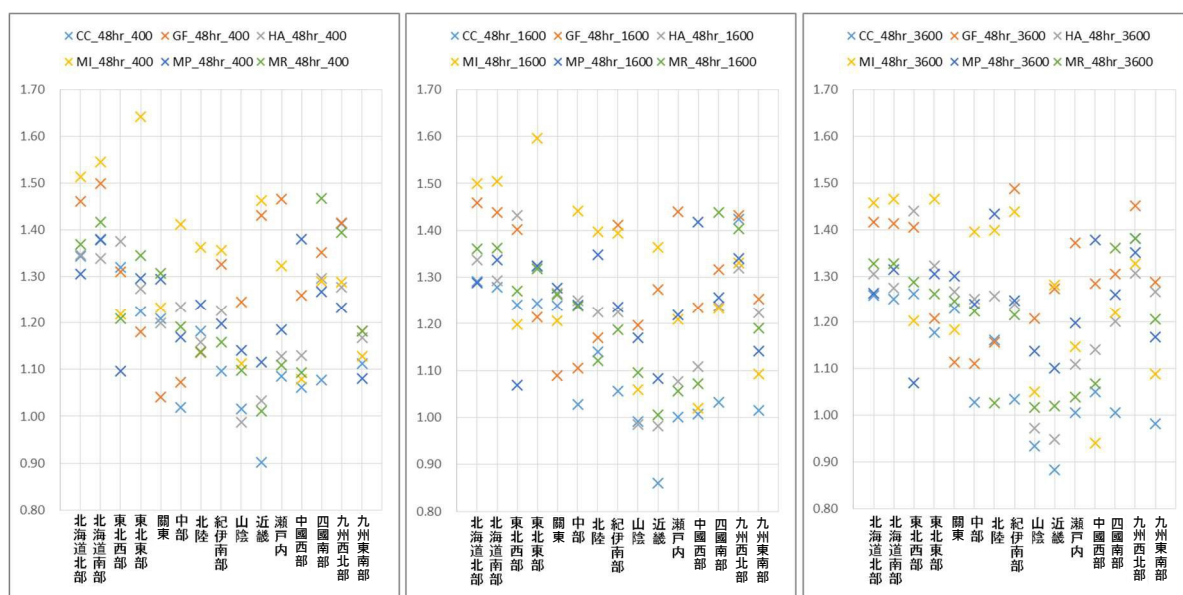


圖-11 各區域劃分之降雨延時 48 小時不同海面水溫模式的降雨量變化倍率
(由左起，雨域面積 400km²、1600km²、3600km²)

其次，各區域劃分不同雨域面積與降雨延時的降雨量變化倍率，如圖-12 所示。

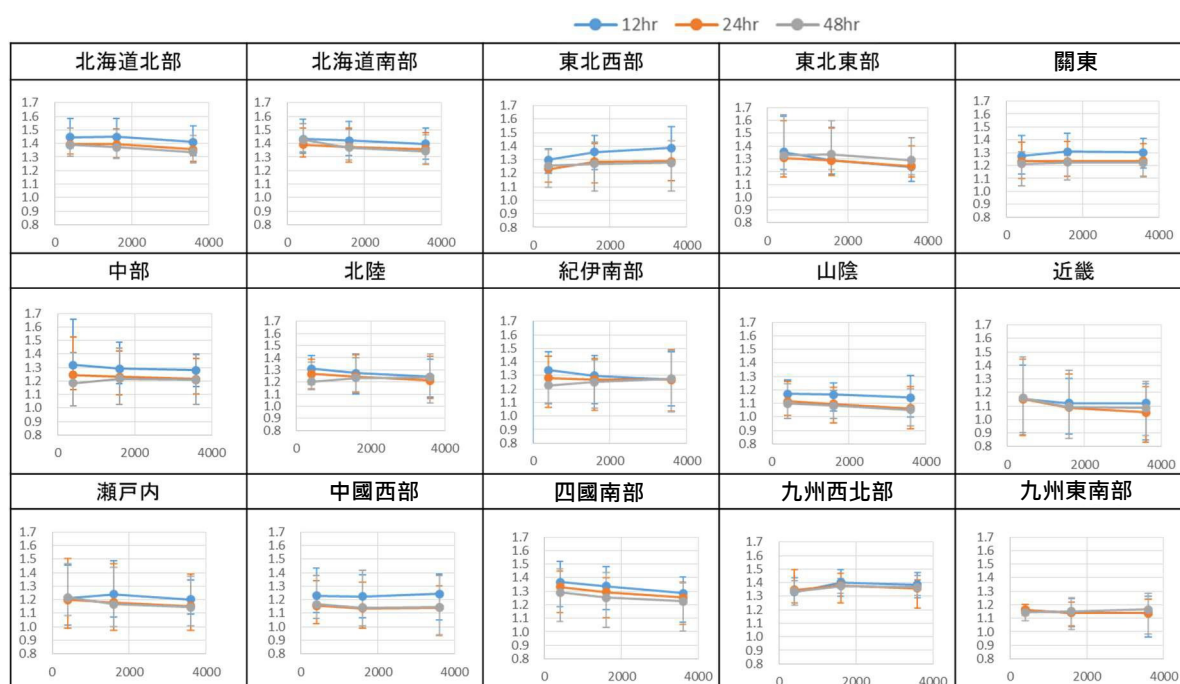


圖-12 各區域劃分不同雨域面積與降雨量變化倍率的關聯性
(降雨延時 12 小時為藍色線，24 小時為橘色線，48 小時為灰色線)

此外，不同海面水溫的降雨量變化倍率平均值，搭配雨域面積（400、1600、3600km²）與降雨延時（12、24、48 小時）之不同組合結果，如圖-13 所示。

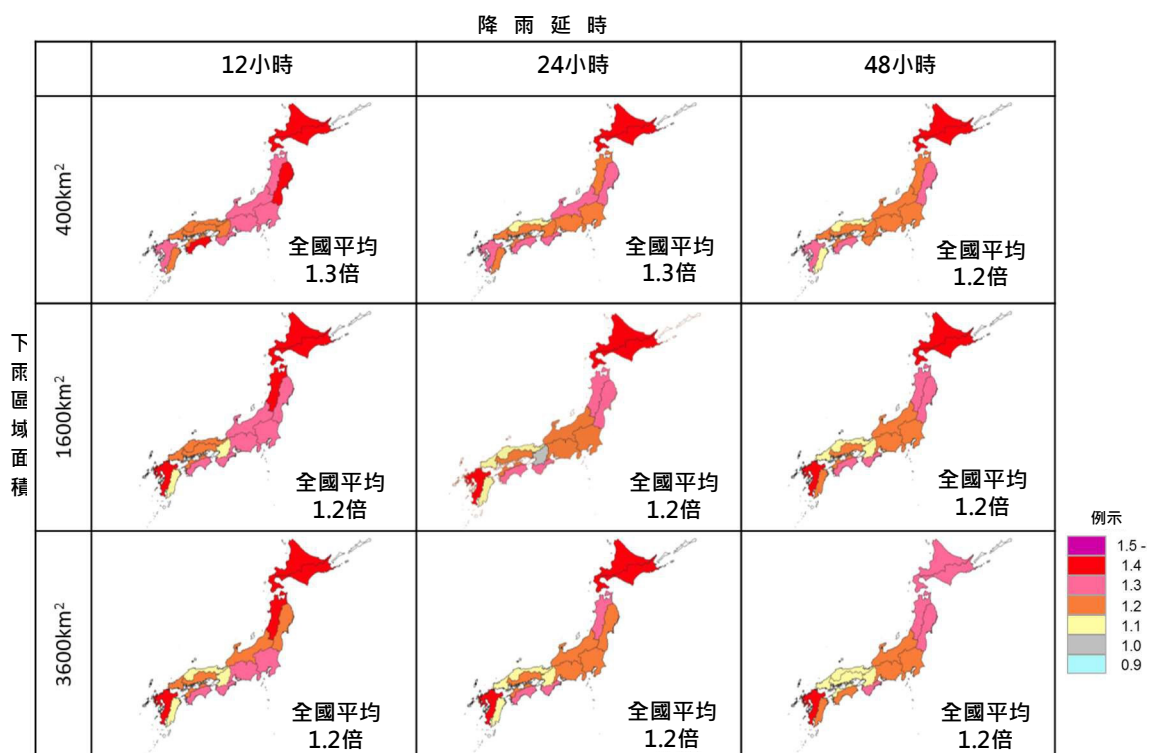


圖-13 各區域劃分6種海面水溫形態的降雨量變化倍率平均值

< 中小河川流域降雨量變化倍率之計算 >

以全國 15 個地區為標的，利用雨域面積 400km²、降雨延時(1,2,3,6,12,24,48,72 小時)之累積雨量，計算出相對於目前氣候的未來氣候年重現率 1/100 降雨量變化倍率。每一種降雨延時的各區域劃分不同海面水溫降雨量變化倍率如圖-14~16 所示。

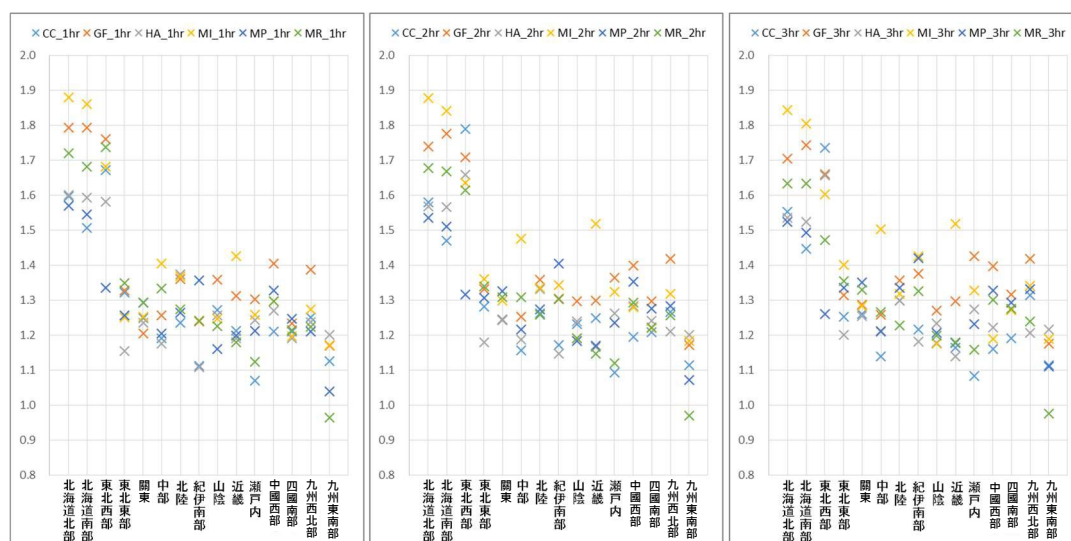


圖-14 各區域劃分雨域面積 400km² 不同海面水溫模式的降雨量變化倍率
 （由左起，降雨延時 1 小時、2 小時、3 小時）

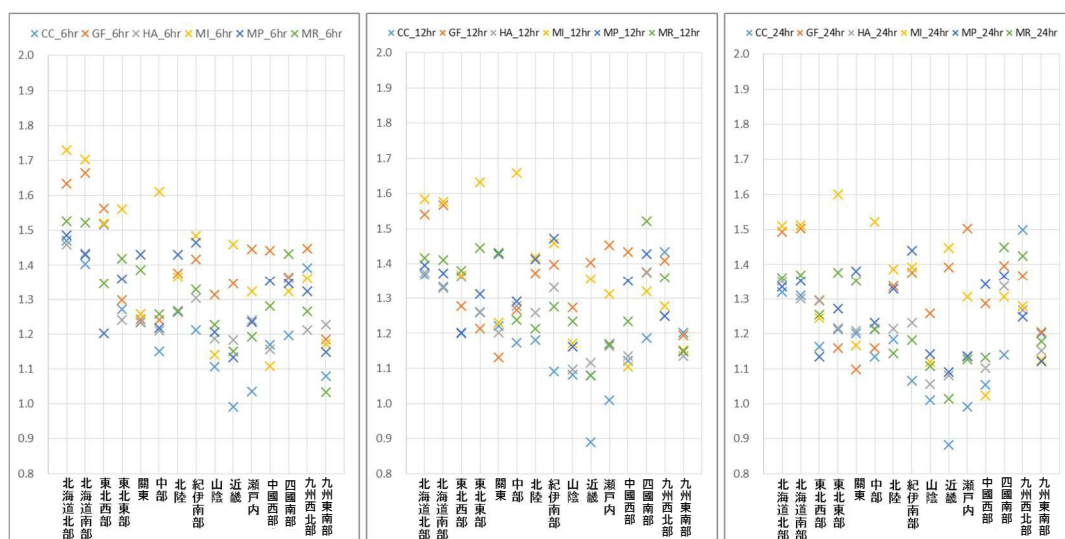


圖-15 各區域劃分之雨域面積 400km² 不同海面水溫模型的降雨量變化倍率

(由左起，降雨延時 6 小時、12 小時、24 小時) ※降雨延時 12 小時與 24 小時的部分重覆引用

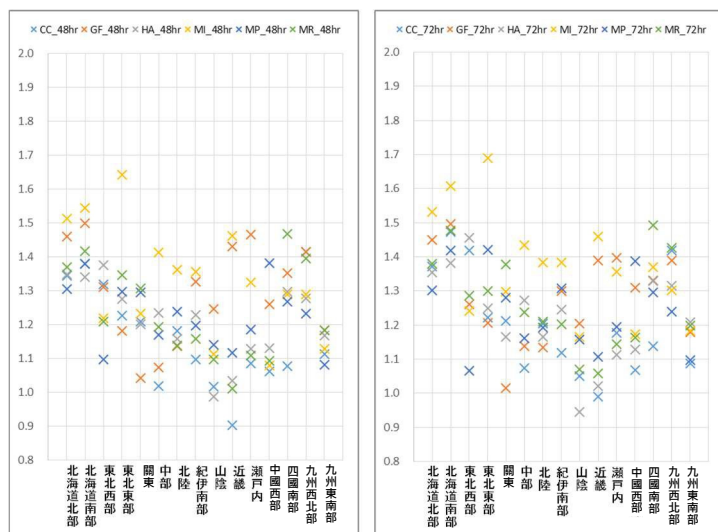


圖-16 各區域劃分之雨域面積 400km² 不同海面水溫模型之降雨量變化倍率

(由左起，降雨延時 48 小時、72 小時) ※降雨延時 48 小時的部份重覆引用

其次，關於各區域劃分雨域面積 400km² 的年重現率 1/100 降雨量，彙整了不同降雨延時之降雨量變化倍率，未來氣候海面水溫 6 種形態所產生的結果高低幅度與平均值，如圖-17 所示。

就 3~6 小時降雨延時之變化倍率而言，與 12~48 小時之降雨延時的變化倍率相比較，發現北海道北部、北海道南部與東北西部的變化倍率有明顯變大趨勢。

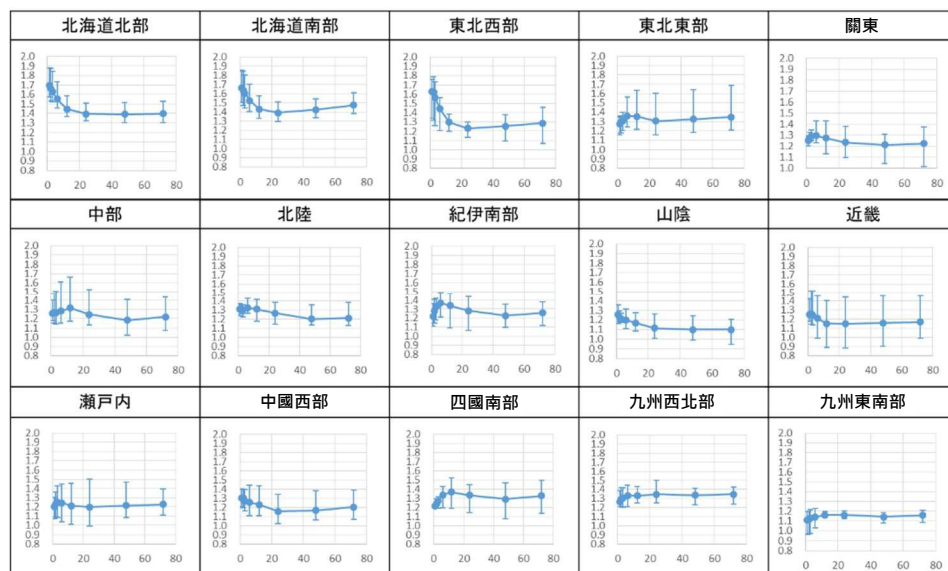


圖-17 各區域劃分降雨延時與降雨量變化倍率之關係

5. d2PDF 之分析結果

＜大河川流域降雨量變化倍率之計算＞

與 d4PDF 分析結果相同，以全國 15 個區域為標的，用降雨延時 12 小時、24 小時、48 小時的累積雨量計算出相對於目前氣候的未來氣候年重現率 1/100 之降雨量變化倍率。各區域劃分每一種降雨延時的各個海面水溫之降雨量變化倍率，如圖-18~20 所示。

比較各地區劃分發現，北海道北部與北海道南部的變化倍率明顯大於其他地區，而且可看出各地區不同海面水溫模式所造成的變化倍率高低差距相當大。

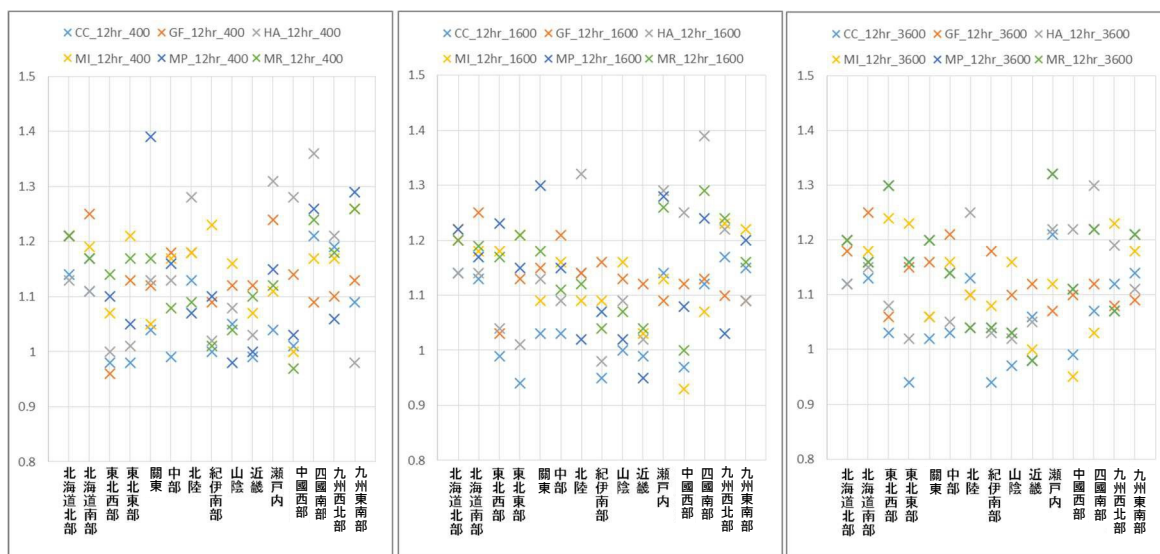


圖-18 各區域劃分之降雨延時 12 小時各個海面水溫模式的降雨量變化倍率
(由左起，雨域面積 400km²、1600km²、3600km²)

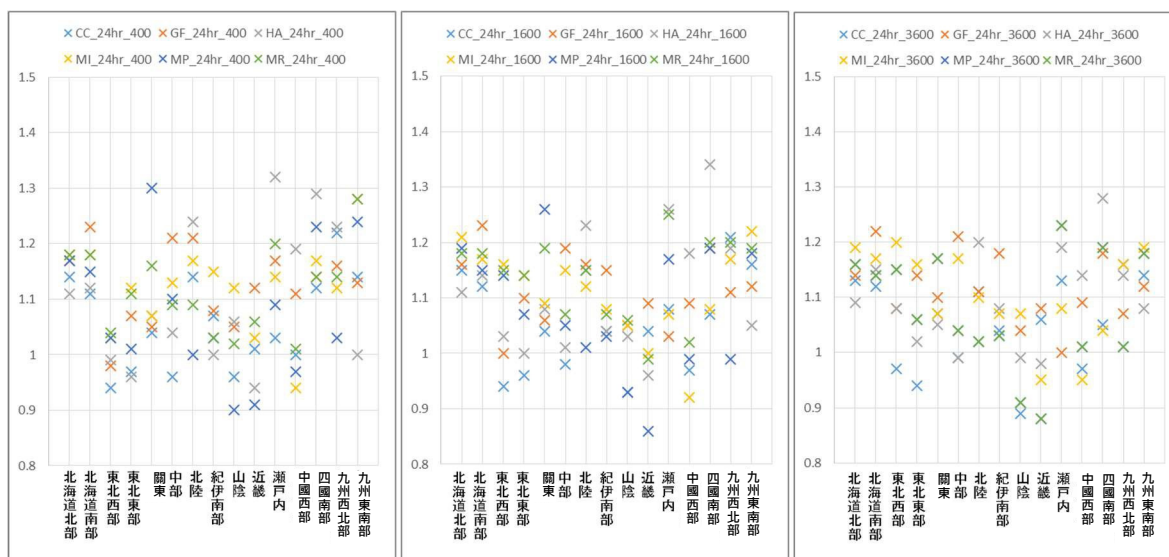


圖-19 各區域劃分之降雨延時 24 小時各個海面水溫模式的降雨量變化倍率
(由左起，雨域面積 400km²、1600km²、3600km²)

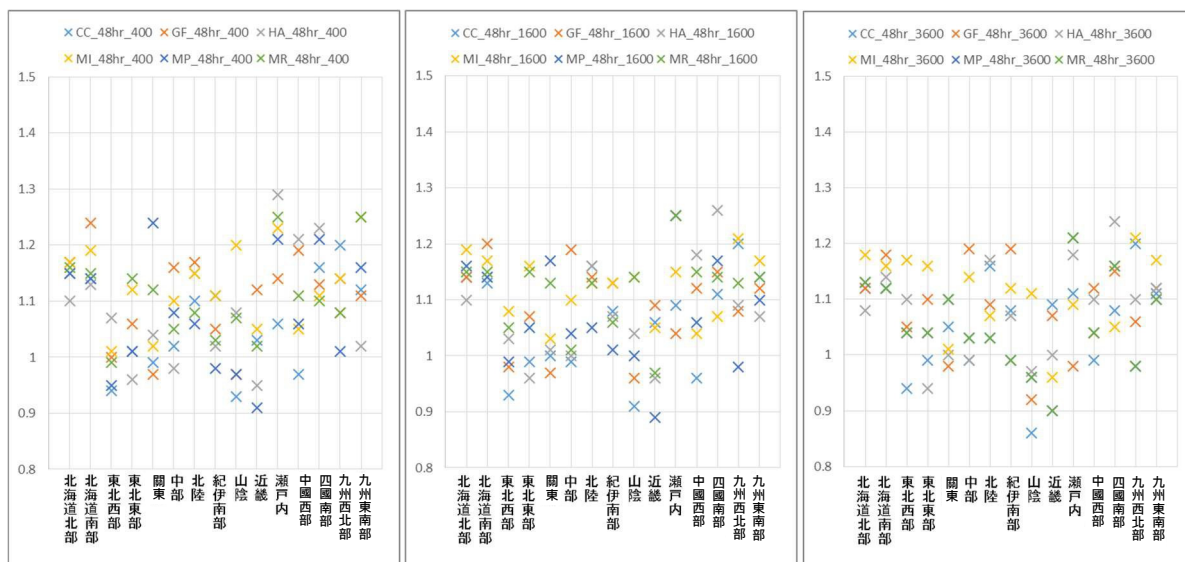


圖-20 各區域劃分之降雨延時 48 小時各個海面水溫模式的降雨量變化倍率
(由左起，雨域面積 400km²、1600km²、3600km²)

其次，各區域劃分不同下雨區域面積與降雨延時的降雨量變化倍率，如圖-21 所示。

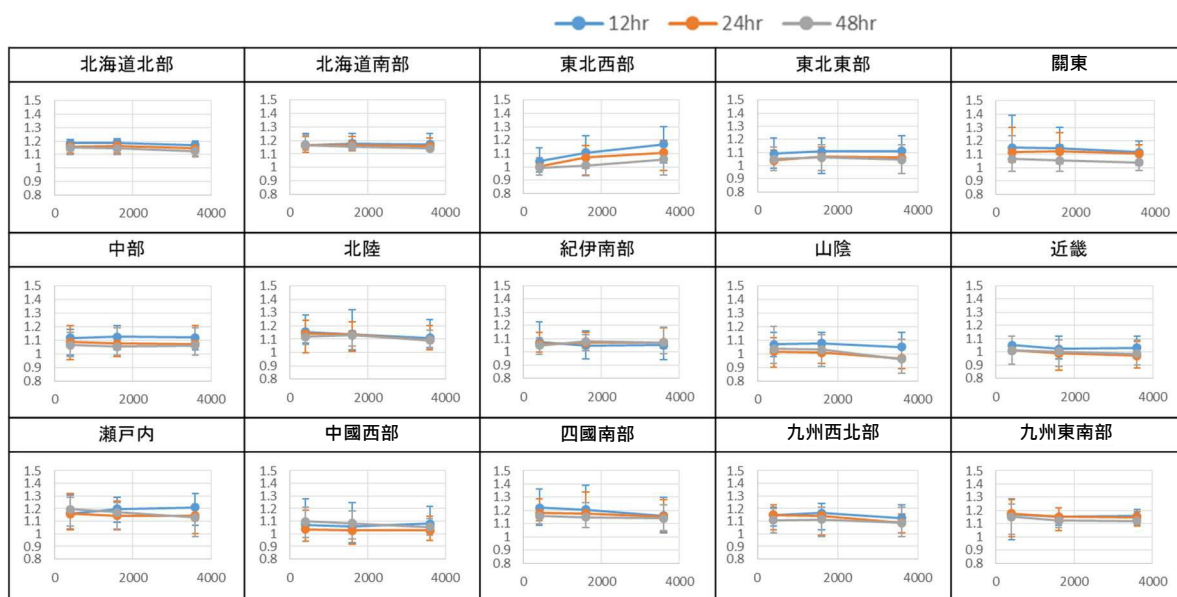


圖-21 各區域劃分不同雨域面積與降雨量變化倍率的關聯性
(降雨延時 12 小時為藍色線，24 小時為橘色線，48 小時為灰色線)

此外，不同海面水溫形態的降雨量變化倍率平均值，搭配雨域面積（400、1600、3600km²）與降雨延時（12、24、48 小時）之不同組合結果，如圖-22 所示。

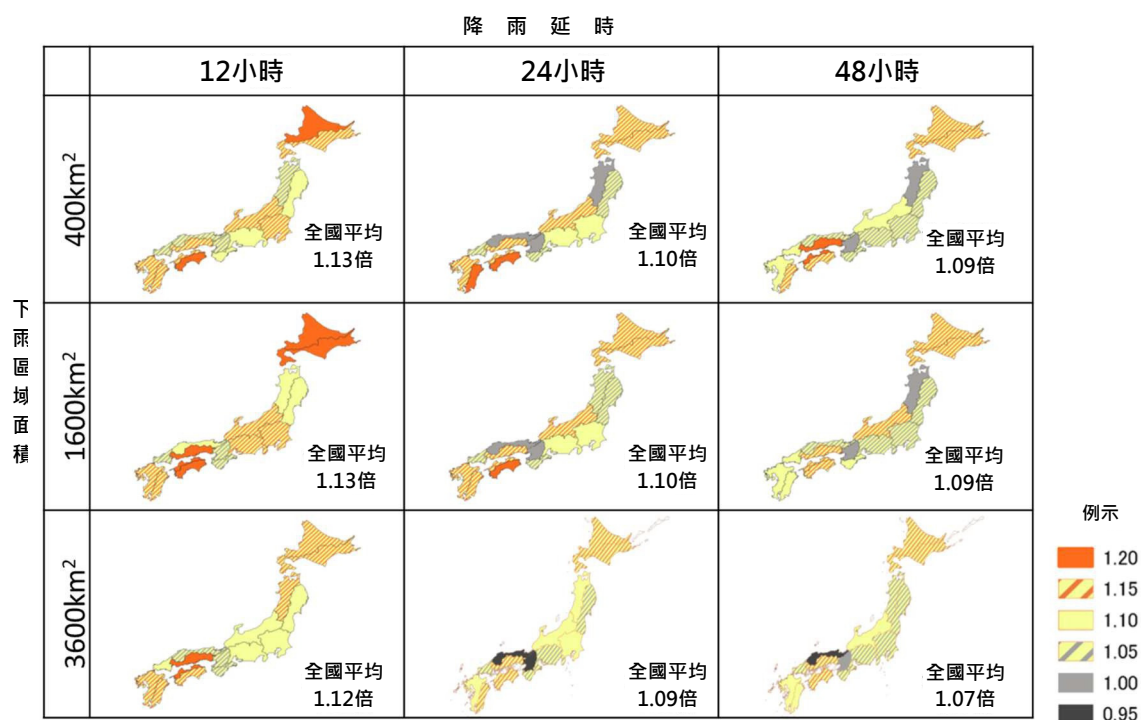


圖-22 區域劃分6種海面水溫形態的降雨量變化倍率平均值

< 中小河川流域降雨量變化倍率之計算 >

以全國 15 個地區為標的，利用雨域面積 400km²、降雨延時(1,2,3,6,12,24,48,72 小時)之累積雨量，計算出相對於目前氣候的未來氣候年重現率 1/100 降雨量變化倍率。各區域劃分每一種降雨延時的不同海面水溫降雨量變化倍率如圖-23~25 所示。

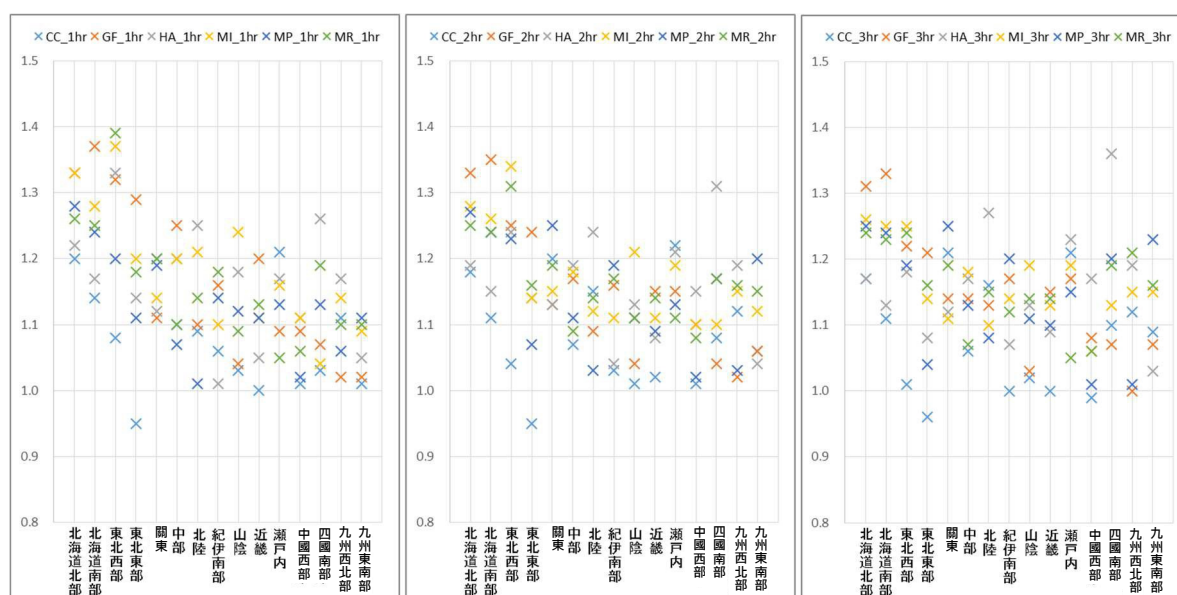


圖-23 各區域劃分雨域面積 400km² 的各個海面水溫模式降雨量變化倍率

(由左起，降雨延時 1 小時、2 小時、3 小時)

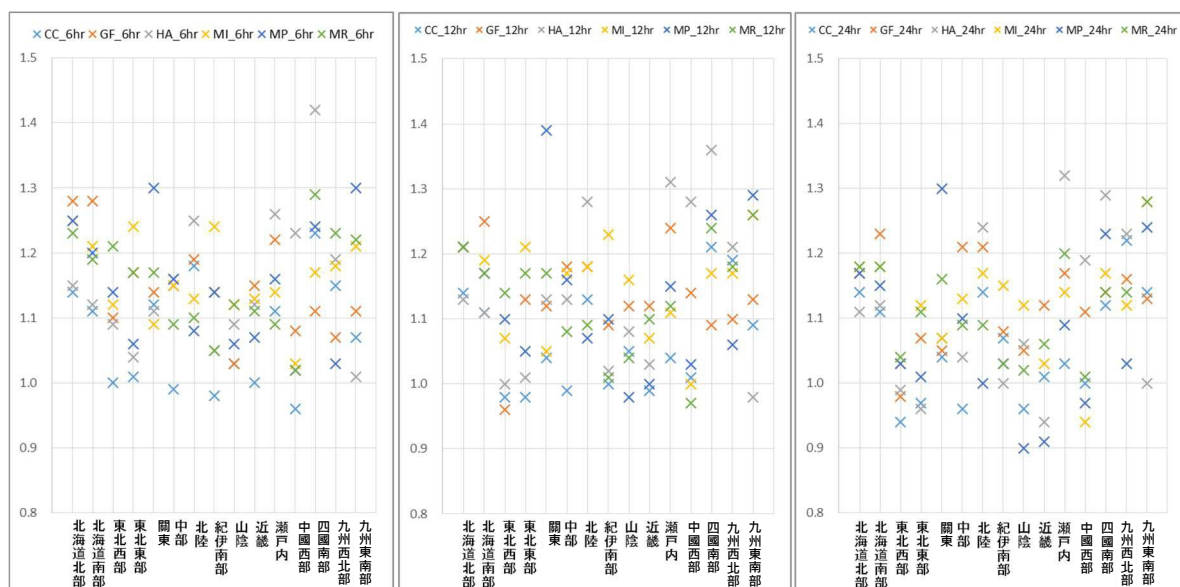


圖-24 各區域劃分雨域面積 400km² 的各個海面水溫模式降雨量變化倍率

(由左起，降雨延時 6 小時、12 小時、24 小時) ※降雨延時 12 小時與 24 小時的部分重覆引用

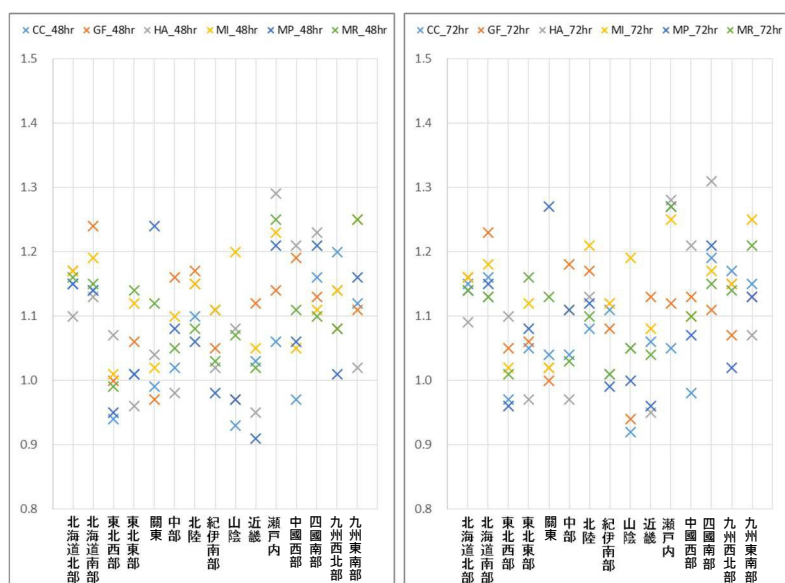


圖-25 各區域劃分雨域面積 400km² 的各個海面水溫模式降雨量變化倍率

(由左起，降雨延時 48 小時、72 小時) ※降雨延時 48 小時的部份重覆引用

其次，關於各區域劃分雨域面積 400km² 的年重現率 1/100 降雨量，彙整出各個降雨延時之降雨量變化倍率，未來氣候海面水溫 6 種形態所產生的結果高低幅度與平均值，如圖-26 所示。

就 3~6 小時降雨延時之變化倍率而言，與 12~48 小時之降雨延時的變化倍率相比較，並未見到如 d4PDF 所示的短延時降雨變化倍率明顯變大趨勢。

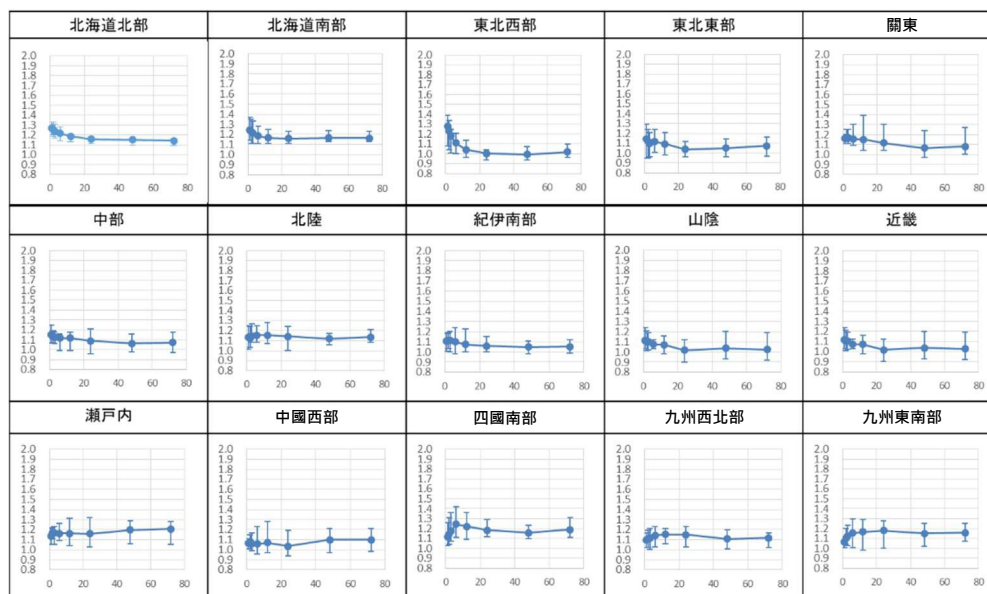


圖-26 各區域劃分降雨延時與降雨量變化倍率的關係

〈參考1〉筑後川流域之 d4PDF(5km,SI-CAT)、d4PDF(5km,yamada)的比較

以筑後川流域為標的，使用降雨延時 12 小時、24 小時、48 小時累積雨量，計算了相對於現在氣候之未來氣候年重現率 1/100 降雨量變化倍率。未來氣候海面水溫 6 種形態所產生的結果高低變化及平均值如圖-27 所示。

比較 d4PDF(5km,SI-CAT)與d4PDF(5km,yamada)的結果，發現d4PDF(5km,SI-CAT)之結果隨海面水溫的不同而致變化倍率高低差距較大的趨勢。

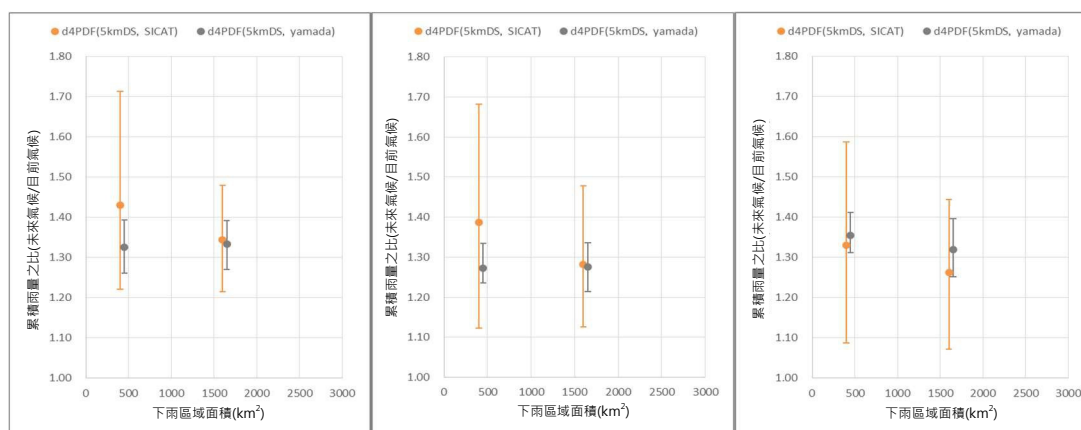


圖-27 筑後川流域 d4PDF(5km,SI-CAT)、
d4PDF(5km,yamada)所計算出來的降雨量變化倍率之比較
(由左到右為降雨延時 12 小時、24 小時、48 小時)

〈參考2〉筑後川流域與九州西北部使用 d4PDF(5km,SI-CAT)所算出來的降雨量變化倍率

以筑後川流域與九州西北部作為標的，使用降雨延時 12 小時、24 小時、48 小時累積雨量，計算相對於現在氣候之未來氣候年重現率 1/100 降雨量變化倍率。未來氣候海面水溫 6 種形態所產生的結果高低變化及平均值如圖-28 所示。

分別以筑後川流域及筑後川流域在內九州西北部區塊作為分析區域，比較這兩區的降雨量變化倍率發現，以九州西北部區塊分析的結果，其海面水溫差異所造成變化倍率幅度小於以筑後川流域分析的結果，但兩者各自不同降雨延時的平均變化倍率值並未明顯乖離。

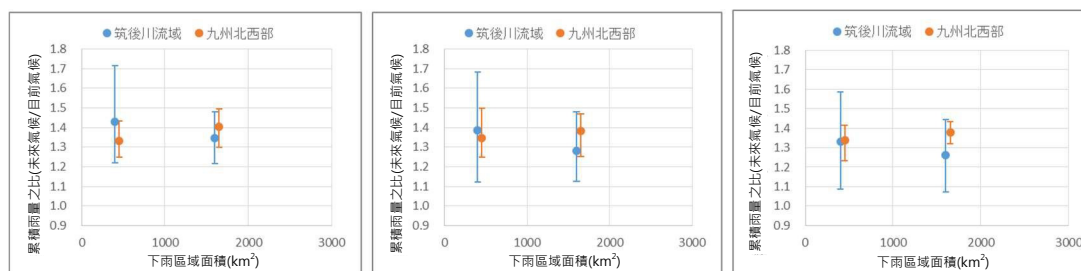


圖-28 筑後川流域與九州西北部使用 d4PDF(5km,SI-CAT)所算出的降雨量變化倍率
(由左到右為降雨延時 12 小時、24 小時、48 小時)

6. 参考文献

- 1) d4PDF(5km,yamada)及びd2PDF(5km,yamada)のデータは、北海道大学大学院工学研究院・山田朋人准教授より提供を受けた。
- 2) d4PDF(5km,SI-CAT)及びd2PDF(5km,SI-CAT)のデータは、気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT)より提供を受けた。
- 3) 地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース：<http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/index.html>
- 4) 山田ほか：「北海道における気候変動による洪水リスク変化の評価」『地球シミュレータ 平成29年度アニュアルレポート 地球シミュレータ特別推進課題』，2017
[https://www.jamstec.go.jp/ceist/j/publication/annual/annual2017/pdf/2project/chapter3/3-2_yamada.pdf]
- 5) 山田ほか：「気候変動による今後の極端降水および洪水リスクの変化」『地球シミュレータ 平成30年度アニュアルレポート 地球シミュレータ特別推進課題』，2018
[https://www.jamstec.go.jp/ceist/j/publication/annual/annual2018/pdf/2project/chapter3/3-3_yamada.pdf]
- 6) Sasai et al. : Future Projection of Extreme Heavy Snowfall Events With a 5-km Large Ensemble Regional Climate Simulation, 2019,[<https://doi.org/10.1029/2019JD030781>]
- 7) Kawase et al. : Characteristics of Synoptic Conditions for Heavy Snowfall in Western to Northeastern Japan Analyzed by the 5-km Regional Climate Ensemble Experiments, 2018,[<https://doi.org/10.2151/jmsj.2018-022>]
- 8) Sugimoto et al. : Impact of Spatial Resolution on Simulated Consecutive Dry Days and Near-Surface Temperature over the Central Mountains in Japan, 2018, [<https://doi.org/10.2151/sola.2018-008>]
- 9) 国土交通省水管理・国土保全局：「浸水想定（洪水、内水）の作成等のための想定最大外力の設定方法＜参考資料2＞地域ごとの最大降雨量に関する解析方法等について」，平成27年7月
- 10) 宝馨，端野典平，中尾忠彦：「DAD 解析におけるレーダ雨量と非線形最適化手法の適用」，土木学会論文集No.691/II-57，pp.1-11，2001.11
- 11) WMO：MANUAL FOR DEPTH-AREA-DURATION ANALYSIS OF STORM PRECIPITATION, p49
- 12) 星野剛，山田朋人，稲津將，佐藤友徳，川瀬宏明，杉本志織：「大量アンサンブル気候予測データを用いた大雨の時空間特性とその将来変化の分析」，土木学会論文集B1(水工学) Vol.74, No.5, I_13-I_18, 2018.
- 13) 国土交通省水管理・国土保全局：「浸水想定（洪水、内水）の作成等のための想定最大外力の設定方法」，平成27年7月
- 14) 例えば、国土交通省水管理・国土保全局：「河川砂防技術基準（調査編）第3章水文解析」，平成24年6月改定

<附件3> 各個區域劃分的降雨量變化倍率之設定

1. 升溫 4°C 時設定降雨量變化倍率之構想

氣象預測模式、動力降尺度法、系集未來預測等，與預測未來氣候變遷影響有關的方法與技術提升，以及高性能演算與大規模數據應用等的系統開發成果等，近年來的科技進展，使得擬定治水計畫時已可將極端氣候現象納入評估。另一方面，目前還無法完全評估目前氣候之重現性，且物理過程的表現力之課題，以及颱風發生頻率等解析度 20km 模式的誤差可能有部分被納入應用，由地形之設定條件可確認降雨結果明顯地改變。因此，本次檢討並非直接運用演算結果，基本上是為了消除誤差，而是取得現在氣候與未來氣候之實驗降雨量之比，進行評估。首先求出各 SST 所演算出來的值及其離散、它們的平均值。此外，各 SST 之中會包含上下幅度較大的地區，因此要算出中間值，並確認該中間值與平均值差異不大。

計算降雨量變化倍率時，因為增加該當流域面積之降雨量的資料數量可提高其精度，因此將全國劃分成幾個降雨特性類似之區域，然後將全部區域劃分之平均值適用到全國。但是對於明顯地異於全國性趨勢的區域劃分，除了分析、瞭解其機制之外，同時也另行設定不同的值。

具體狀況是，全部區域劃分的各種雨域面積與各個降雨延時之算術平均值約為 1.25 倍，但是北海道北部與北海道南部、九州西北部，六種 SST（海面水溫模式）全都超過全國平均值，因此這三個地區另行評估並設定為 1.4 倍。這些地區當中，氣溫上升比率與海面水溫升溫幅度較高的地區，即判定為明顯受氣候變遷影響的地區。此外，其餘的山陰地方等 12 個地區，雖然有些算出來的值較低，但是可確認這些地區劃分，隨 SST 模式不同所產生高低幅度的算術平均約 1.22 倍，故評估為 1.2 倍。各區域劃分的評估結果如圖-1、圖-2、表-1 所示。

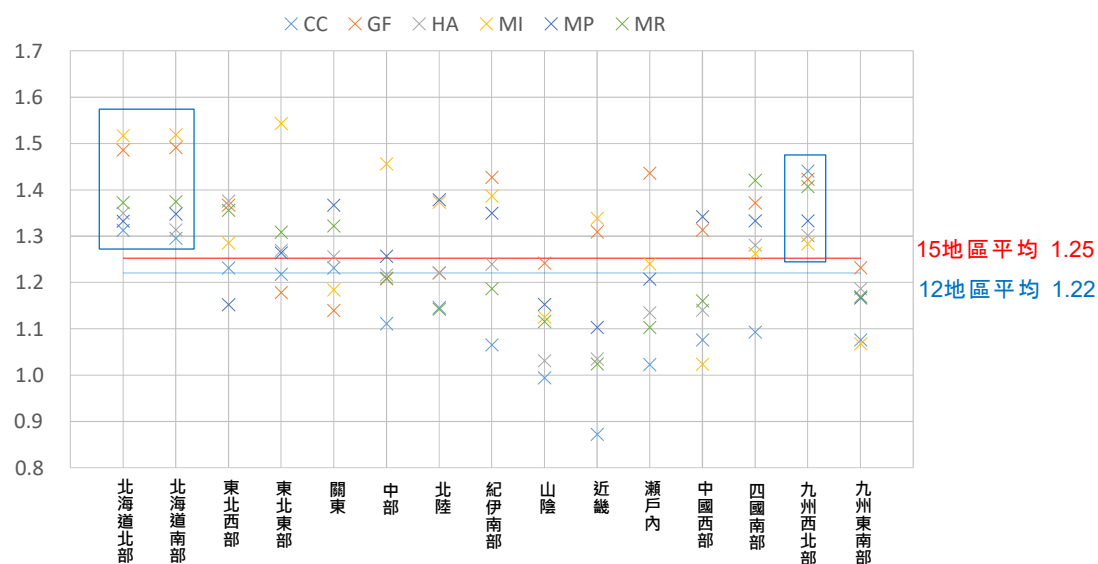


圖-1 各 SST 的降雨量變化倍率（升溫4°C）

表-1 各區域劃分之降雨量變化倍率及討論（升溫4℃）

升溫 4℃	計算結果			決定值	討論
	平均值	中間值	6SST		
北海道 北部	1.39	1.36	1.31~1.52	1.4	- 試算結果1.3~1.5的6SST離散幅度平均值為1.39，高於全國平均值1.25，未在6SST之離散幅度內，因此各區塊平均值設定為1.4。 - 可能是北海道地區氣溫低，氣候變遷致使氣溫上升更大，因此飽和水蒸氣增加率也變高。
北海道 南部	1.39	1.36	1.30~1.52	1.4	
東北西部	1.29	1.32	1.15~1.38	1.2	- 試算結果1.1~1.4的6SST高低幅度平均值為1.29，略高於北海道北部等三個區域之外的全國平均值1.22，全國平均值也都收斂在6SST的離散幅度範圍內。 - 雖然氣溫不像北海道那麼低，但東北地方氣溫仍偏低，氣候變遷同樣會產生更大的氣溫上升，導致較高的飽和水蒸氣量增加率。
東北東部	1.30	1.27	1.18~1.54	1.2	
關東	1.25	1.24	1.14~1.37	1.2	與北海道北部等三個區域之外的全國平均值1.22比較，各區塊試算結果呈現較高升溫狀況，但仍在6SST的離散範圍內。
中部	1.24	1.21	1.11~1.46	1.2	
北陸	1.25	1.22	1.14~1.38	1.2	
紀伊南部	1.28	1.29	1.07~1.43	1.2	
山陰	1.11	1.12	0.99~1.24	1.2	與北海道北部等三個區域之外的全國平均值1.22比較，各區塊的試算結果呈現較低升溫狀況，但仍收斂在6SST的離散範圍內。
近畿	1.11	1.07	0.87~1.34	1.2	
瀨戶內	1.19	1.17	1.02~1.44	1.2	
中國西部	1.18	1.15	1.02~1.34	1.2	
四國南部	1.29	1.31	1.09~1.42	1.2	平均值為1.29，略高於北海道北部等三個區域之外的全國平均值1.22，但仍在6SST的離散範圍內。
九州 西北部	1.36	1.37	1.28~1.44	1.4	- 試算結果在1.3~1.5的幅度範圍內，其平均值1.39，略高於全國平均值1.25，但仍在6SST變化幅度內，因此取狀況類似的北海道北部、北海道南部三個地區之平均值。 - 這是因為九州西北部附近海面水溫高、水蒸氣供給量大，且偏西風撞及南北走向的九州山地，因此讓山地西側更容易降雨。
九州 東南部	1.15	1.17	1.07~1.23	1.2	試算結果，1.0~1.2之6SST幅度，平均值為1.15，略低於上述三個區域之外的全國平均值1.22，但仍在6SST離散範圍內。

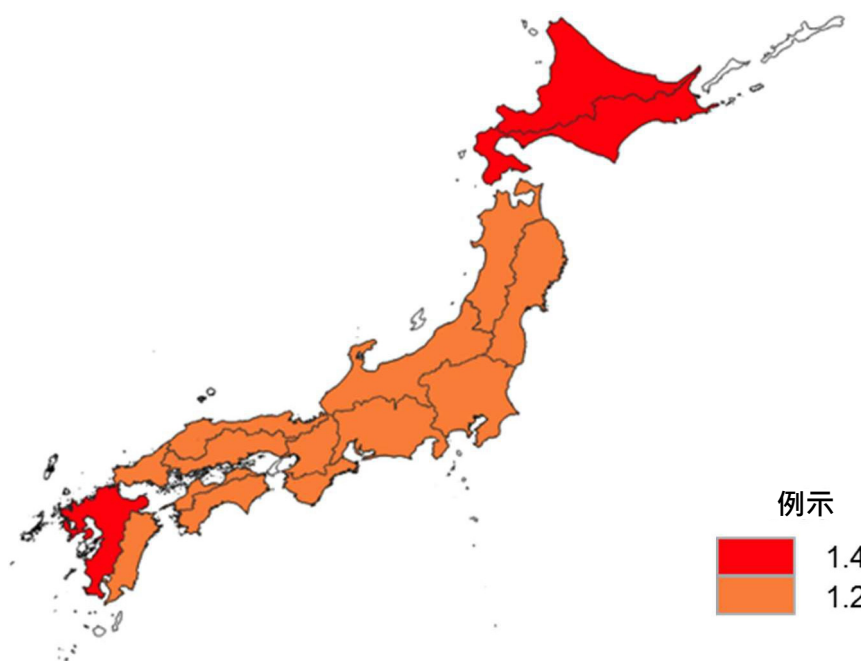


圖-2 RCP8.5 的降雨量變化倍率（決定值）

2. 升溫2°C時降雨量變化倍率設定之構想

目前尚無以 RCP2.6 為前提的數百～數千年規模之大量系集演算。因此，若使用既有資料（「21 世紀之日本氣候」）換算，即可以 RCP8.5 升溫 2°C 時間點為前提之大量系集演算（d2PDF），設定對應升溫 2°C 時的降雨量變化倍率。

＜換算值之計算方法＞

使用既有數據求換算值的方法，係應用「21 世紀末之日本氣候」的 RCP8.5 與 RCP2.6 前 5% 降雨事件所產生日降雨量（表-2），從升溫 4°C 時的降雨量變化倍率，算出升溫 2°C 時降雨量變化倍率之各區域劃分的換算係數。

「21 世紀末之日本氣候」與此次所算出降雨量變化倍率，其所採用的地區劃分並不相同。因此，依其面積比率進行校正（表-3）。

此外，所謂前 5% 降雨事件，係指一年期間內所發生日降雨量排序的前 5%，亦即七天內左右所發生較高發生頻率的日降雨量。本事件從治水計畫的角度來看，與年重現率 1/100 等規模的降雨量不同，但因可運用之資料，目前也只有該數據，故仍予以採用。

表-2 前 5% 降水事件所造成日降雨量之變化率

	全國	北日本 日本海側	北日本 太平洋側	東日本 日本海側	東日本 太平洋側	西日本 日本海側	西日本 太平洋側
RCP2.6	10.3 (7.9~14.5)	7.8 (5.2~9.4)	11.3 (9.2~12.8)	8.5 (7.4~10.6)	10.9 (7.4~14.6)	7.5 (3.5~14.6)	12.4 (7.3~18.9)
RCP4.5	13.2 (8.0~16.0)	13.0 (9.0~15.5)	16.4 (6.8~24.5)	11.1 (8.8~14.4)	12.7 (8.1~15.3)	12.6 (7.6~16.9)	12.7 (8.6~15.9)
RCP6.0	16.0 (14.8~18.2)	18.1 (16.5~19.0)	18.2 (16.7~19.5)	19.0 (15.7~22.4)	14.7 (13.0~16.2)	13.2 (9.2~18.6)	16.5 (14.1~19.0)
RCP8.5	25.5 (18.8~35.8)	28.9 (18.0~38.9)	25.7 (13.6~37.5)	29.9 (23.8~38.3)	22.4 (15.3~36.0)	24.0 (16.7~30.3)	27.2 (18.8~38.6)

※RCP2.6、4.6、6.0（3案例）、RCP8.5（9案例）的未來氣候預測（2080～2100 年平均）與目前氣候（1984～2004 年平均）之變化率

※為各情境下全部案例的平均值，括弧內數字表示平均值最小案例與最大案例（並非包含各年變動等在內的不確定性幅度）

出處：考量日本國內氣候變遷預測不確定性之結果（公告）【環境省氣象廳】

表-3 校正後的區域別換算值

	北日本 日本海側	北日本 太平洋側	東日本 日本海側	東日本 太平洋側	西日本 日本海側	西日本 太平洋側	區域別 換算值
換算值	0.25	0.45	0.3	0.5	0.3	0.45	
①北海道北部	74%	26%					0.30
②北海道南部	13%	87%					0.42
③東北西部	87%	13%					0.28
④東北東部		100%					0.45
⑤關東		1%		99%			0.50
⑥北陸	15%		58%	27%			0.35
⑦中部				100%			0.50
⑧近畿				5%	19%	75%	0.42
⑨紀伊南部				38%		62%	0.47
⑩山陰			7%		76%	18%	0.33
⑪瀨戶內					1%	99%	0.45
⑫中國西部					99%	1%	0.30
⑬四國南部						100%	0.45
⑭九州西北部					78%	22%	0.33
⑮九州東南部					28%	72%	0.41

RCP2.6 氣溫上升之影響較 RCP8.5 小，故易受演算誤差影響。因此，為了進一步瞭解現象，也應以 RCP8.5 分析其變化趨勢，並依據其結果，設定 RCP2.6 的值。

RCP2.6 降雨量變化倍率，係以 RCP8.5 算出的降雨量變化倍率乘以各區域劃分之換算係數而得出。RCP2.6 受氣溫上升影響的程度比 RCP8.5 還小，但推測其趨勢一致，因此 RCP8.5 降雨量變化倍率決定值相同的各個區域劃分，都評定了它們在升溫 2°C 時的降雨量變化倍率。結果是，升溫 4°C 時具有較高數值傾向的北海道北部與北海道南部、九州西北部之平均值設定為 1.15 倍，其他 12 個地區劃分的平均值則設定為 1.1 倍（表-4、圖-3、圖-4）。

表-4 各區域劃分RCP2.6之降雨量變化倍率（換算值）

升溫 2°C之換算值	演算結果		決定值
	平均值	6SST	
北海道北部	1.12	1.09~1.16	1.15
北海道南部	1.17	1.12~1.22	1.15
東北西部	1.08	1.04~1.11	1.1
東北東部	1.13	1.08~1.24	1.1
關東	1.12	1.06~1.18	1.1
中部	1.12	1.05~1.23	1.1
北陸	1.09	1.04~1.14	1.1
紀伊南部	1.08	1.02~1.13	1.1
山陰	1.03	1.00~1.07	1.1
近畿	1.04	0.96~1.12	1.1
瀬戸内	1.09	1.01~1.16	1.1
中國西部	1.05	1.01~1.11	1.1
四國南部	1.13	1.04~1.22	1.1
九州西北部	1.12	1.09~1.15	1.15
九州東南部	1.06	1.02~1.10	1.1

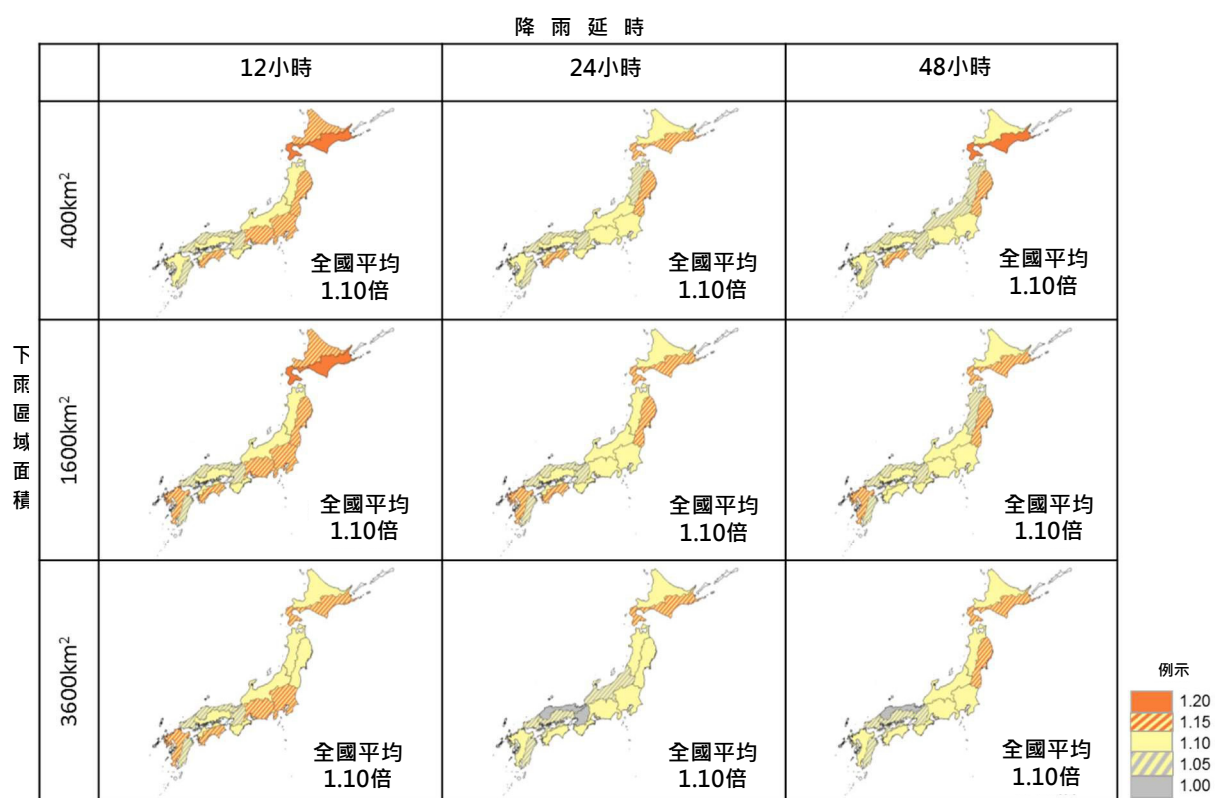


圖-3 RCP2.6情境不同雨域面積與降雨延時的降雨量變化倍率（換算值）

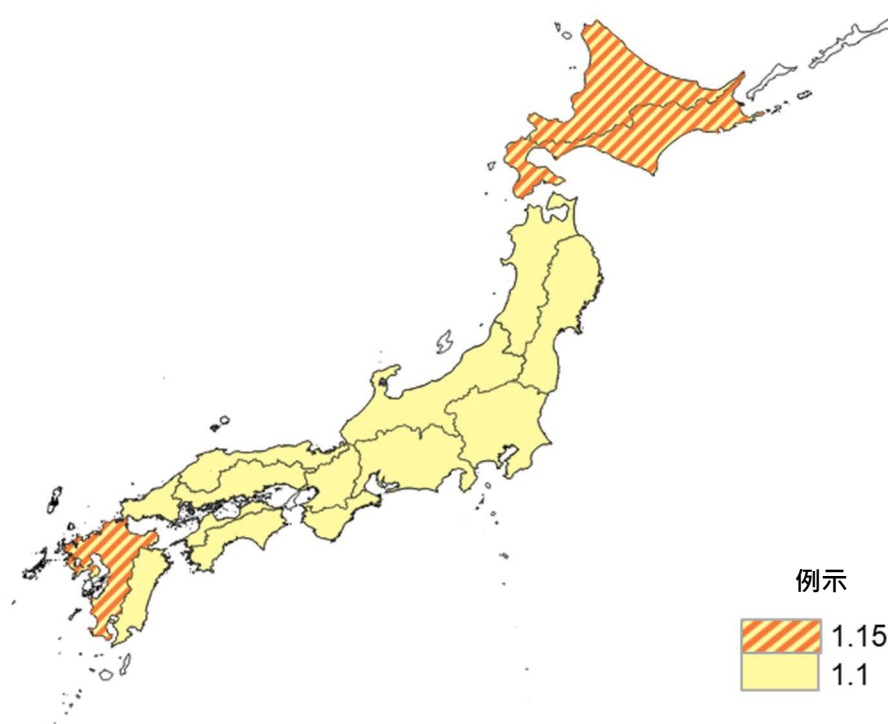


圖-4 RCP2.6情境的降雨量變化倍率（換算值）

<d2PDF 所算出之倍率>

其次，利用 d2PDF（5km），並在與 RCP8.5 升溫 4°C 時相同的條件（雨域面積 400,1600,3600km²、降雨延時 12,24,48 小時）下，算出RCP8.5 升溫 2°C 時間點的降雨量變化倍率。各區域劃分的推估值如圖-5、表-5 所示。

全國各區域劃分的雨域面積與不同降雨延時之降雨量變化倍率算術平均約為 1.10 倍，但北海道北部與北海道南部的 6STT 全部案例都大於全國平均值，因此，另行評估此二地區，設定為1.15 倍。其餘 13 個地區，包含升溫 4°C 時全部 6SST 案例皆超過全國平均值的九州西北部在內，所有地區劃分都確認不同 SST 模式所產生差異幅度，平均值約1.09 倍，最後設定為 1.1 倍。

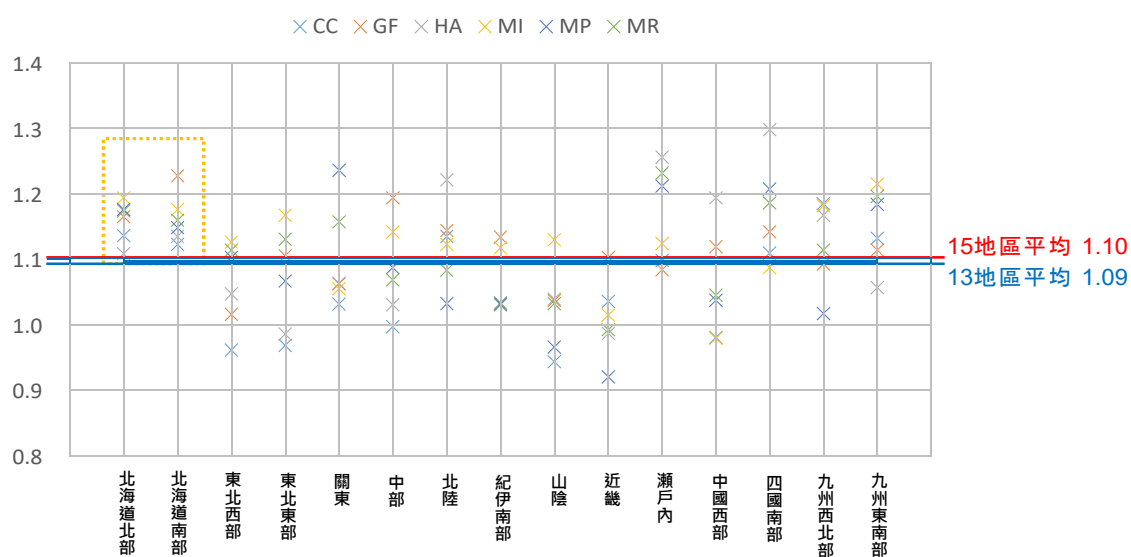


圖-5 各SST之降雨量變化倍率（升溫2°C時）

表-5 各區域劃分之降雨量變化倍率及討論（升溫2℃）

升溫 2℃	計算結果			決定值	討論
	平均值	中間值	6SST		
北海道 北部	1.16	1.17	1.11~1.19	1.15	- 試算結果1.11~1.23的6SST離散幅度平均值為1.16，高於全國平均值1.10，且未在6SST之離散幅度內收斂，因此二區塊之平均值設定為1.15。 - 可能是因為北海道地區氣溫低、氣候變遷致使氣溫上升大，因此飽和水蒸氣增加率變高。
北海道 南部	1.16	1.15	1.12~1.23	1.15	
東北西部	1.06	1.08	0.96~1.13	1.1	試算結果0.96~1.17的6SST離散幅度之平均值，略低於北海道北部等二個區域之外的全國平均值1.09，但全國平均值都在6SST的離散幅度範圍內。
東北東部	1.07	1.09	0.97~1.17	1.1	
關東	1.10	1.06	1.03~1.24	1.1	與除了北海道北部等二個區域之外的全國平均值1.09相比較，各區塊的試算結果呈現較高的升溫狀況，但全國平均值仍收在6SST的離散範圍內。
中部	1.09	1.08	1.00~1.19	1.1	
北陸	1.12	1.13	1.03~1.22	1.1	
紀伊南部	1.06	1.03	1.03~1.13	1.1	與除了北海道北部等二個區域之外的全國平均值1.09相比較，各區塊的試算結果呈現較低的升溫狀況，但全國平均值仍收在6SST的離散範圍內。
山陰	1.03	1.04	0.94~1.13	1.1	
近畿	1.01	1.00	0.92~1.10	1.1	
瀨戶內	1.17	1.17	1.08~1.26	1.1	與除了北海道北部等二個區域之外的全國平均值1.09相比較，各區塊的試算結果呈現較高的升溫狀況，但全國平均值仍收在6SST的離散範圍內。
中國西部	1.06	1.04	0.98~1.19	1.1	與除了北海道北部等二個區域之外的全國平均值1.09相比較，各區塊的試算結果呈現較低的升溫狀況，但全國平均值仍收在6SST的離散範圍內。
四國南部	1.17	1.16	1.09~1.30	1.1	- 與除了北海道北部等二個區域之外的全國平均值1.09相比較，各區塊的試算結果呈現較高的升溫狀況，但全國平均值仍在6SST的離散範圍內。 - 倍率低於換算值，係升溫4℃時九州西北部附近海面水溫有升高的趨勢，但這種現象在升溫2℃時並未明顯出現，乃因該地區之降雨量變化倍率也和其他地區差不多之故。
九州 西北部	1.13	1.14	1.02~1.19	1.1	
九州 東南部	1.15	1.16	1.06~1.22	1.1	

＜升溫 2°C 時降雨量變化倍率之設定＞

依據升溫 4°C 時降雨量變化倍率所換算之倍率（換算值）及以 d2PDF 演算的結果，升溫 2°C 時的降雨量變化倍率，在北海道北部與北海道南部為 1.15 倍，其他區域設定為 1.1 倍（圖-6）。九州西北部部分，d2PDF 算出之倍率值比換算值還低，這應該是因為升溫 4°C 時會出現的九州西北部附近海面水溫升高狀況，但是在升溫 2°C 時卻未明顯地出現。此外，有人指出，根據氣候變遷會導致梅雨豪雨發生頻率增加的分析結果¹⁾，分析九州西北部降雨氣象擾動類型，確認鋒面所造成之降雨，即使 d2PDF 也可以充分演算出來（詳見後述）。由以上可知，九州西北部降雨量變化倍率與除了北海道之外的全國各地區相同，都設定為 1.1 倍。

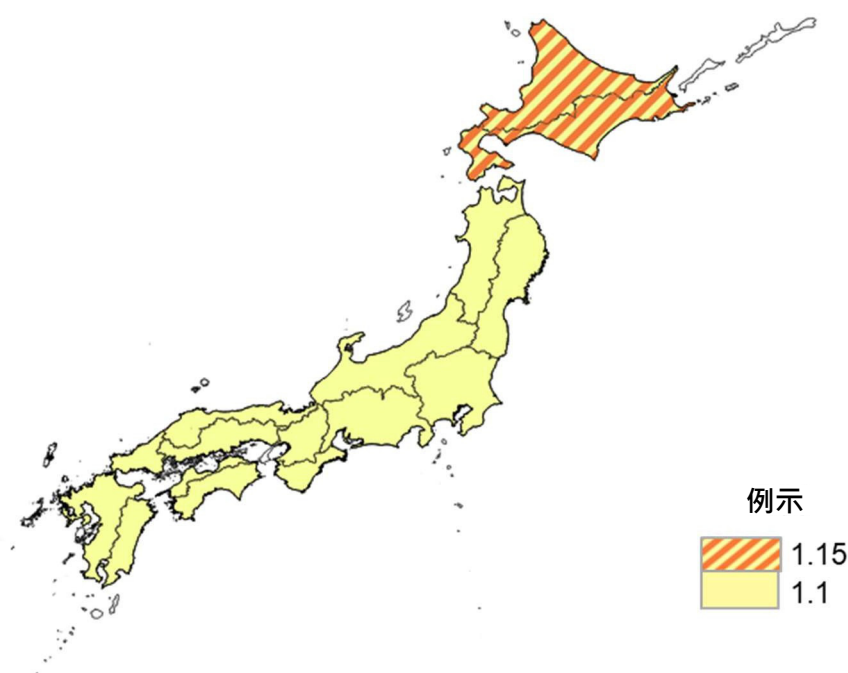


圖-6 升溫2°C時的降雨量變化倍率（決定值）

＜依據氣溫與海面水溫上升等評估降雨量變化倍率＞

關於d4PDF(5km)與d2PDF(5km)的演算結果，為了探討各區域劃分降雨量變化倍率不一樣的原因，乃整理了隨未來氣溫變化出現的飽和水蒸氣量變化、海面水溫變化以及氣象擾動類型之變化。

(a) 氣溫之變化

一般而言，緯度越高氣候變遷所造成升溫比率越大，其中 RCP8.5 未來年均溫變化，在札幌約 5°C，東京則是約 4.4°C，福岡 4.2°C，沖繩 3.5°C。此結果顯示，從氣溫與飽和水蒸氣壓的關係式（Tetens公式）來看，北海道降雨量變化倍率可能會持續增高（圖-7、表-6）。

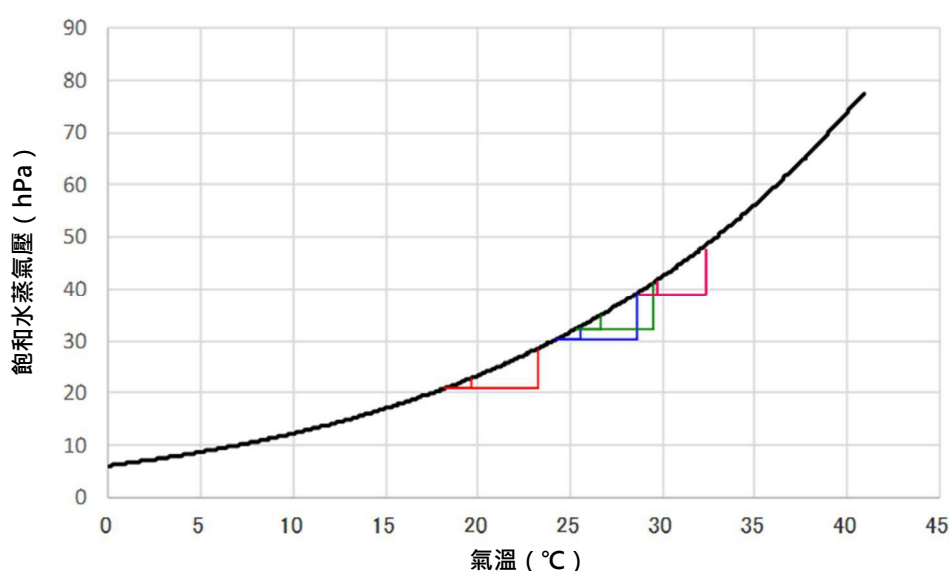


圖-7 氣溫與飽和水蒸氣壓之關係

表-6 依Tetens公式所算出氣溫上升時的飽和水蒸氣量

		目前氣候	RCP2.6	RCP8.5
札幌	平均氣溫(6月~10月)	18.2°C※1	19.6°C※2	23.2°C※3
	飽和水蒸氣壓	20.9hPa	22.8hPa(+9%)	28.4hPa(+36%)
	飽和水蒸氣量	15.6g/m ³	16.9g/m ³ (+8%)	20.8g/m ³ (+33%)
東京	平均氣溫(6月~10月)	24.2°C※1	25.5°C※2	28.6°C※3
	飽和水蒸氣壓	30.2hPa	32.6hPa(+8%)	39.2hPa(+30%)
	飽和水蒸氣量	22.0g/m ³	23.7g/m ³ (+8%)	28.2g/m ³ (+28%)
福岡	平均氣溫(6月~10月)	25.3°C※1	26.6°C※2	29.5°C※3
	飽和水蒸氣壓	32.3hPa	34.8hPa(+8%)	41.2hPa(+28%)
	飽和水蒸氣量	23.5g/m ³	25.2g/m ³ (+7%)	29.6g/m ³ (+26%)
沖繩	平均氣溫(6月~10月)	27.4°C※1	28.5°C※2	30.9°C※3
	飽和水蒸氣壓	36.5hPa	38.9hPa(+7%)	44.7hPa(+22%)
	飽和水蒸氣量	26.4g/m ³	28.0g/m ³ (+6%)	31.9g/m ³ (+21%)

※1：氣象廳2018年6月~10月（汛期）的平均氣溫

※2：目前氣候之氣溫加上 RCP2.6 情境下未來年平均變化量之平均值及 0.2°C※4 所成

※3：目前氣候之氣溫加上 RCP8.5 情境下未來年平均變化量之平均值及 0.2°C※4 所成

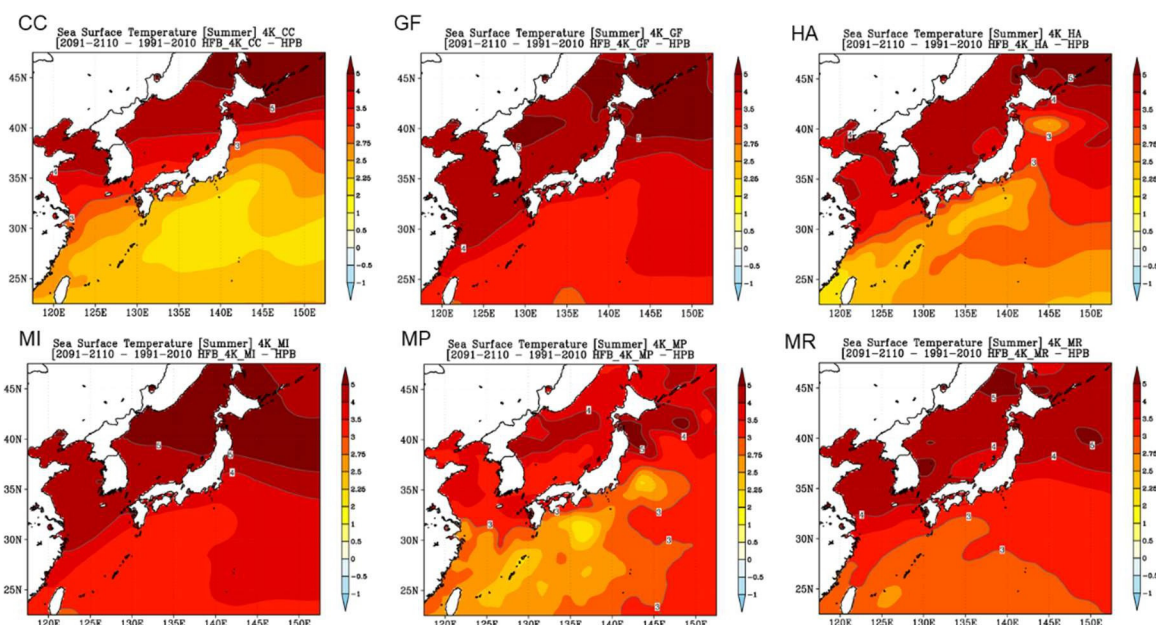
※4：NHRCM 基準期間（1984~2004 年）之平均值與 d4PDF 過去實驗標的期間（1951~2010 年）平均值的差異

(b) 海面水溫之變化

d4PDF 與 d2PDF 未來預測之海面水溫，係將所觀測到的海面水溫減去趨勢成分（Trend component），加上依CMIP5（第 5 次整合模式相互比較計畫）主要六種 SST 模式所推估未來海面水溫變化形態所得出的值，設定為海面水溫臨界值。由各個 SST 模式海面水溫上升量來看，升溫 4°C 時（圖-8），所有模式都顯示北海道周邊海面水溫上升量大，九州西北部上升量也大。另外，大太平洋沿岸區域，隨分析模式的不同，所求得之海面水溫上升量差異相當大。

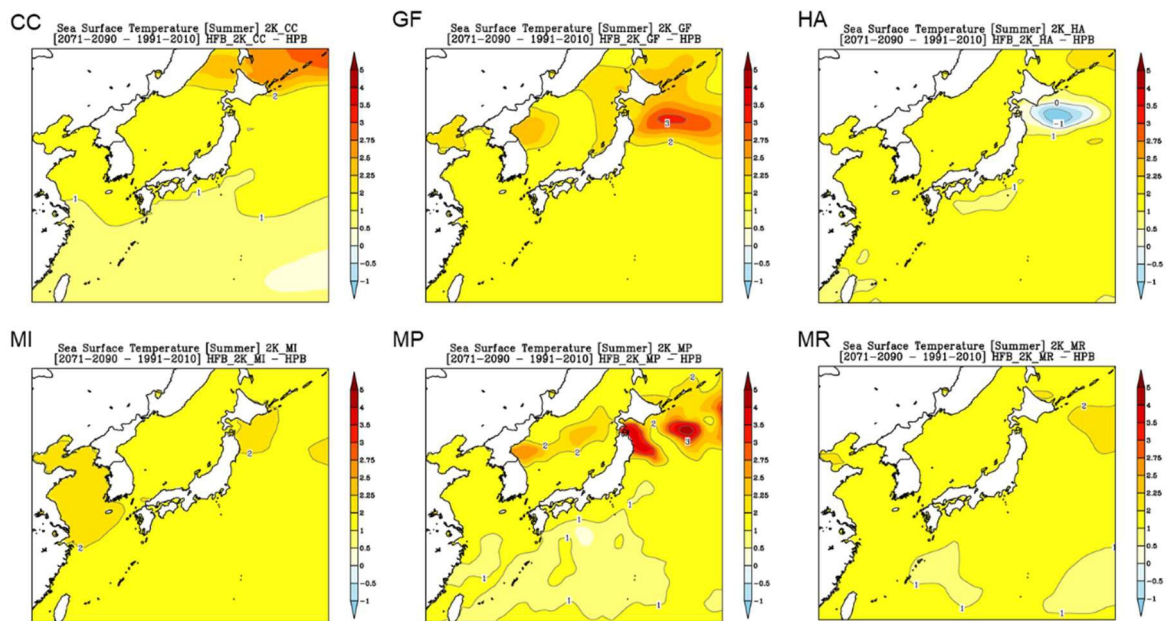
另一方面，升溫 2°C 時（圖-9），全部模式都顯示北海道周邊海面水溫上升量大，但是九州西北部上升量並不大。九州西北部只有在升溫 4°C 時降雨量變化倍率值才會變大，推估是受該處海面水溫上升度不同的影響所致。

此外，d4PDF 等的海面水溫，係依據解析度約 100km~200km 模式設定，可能無法套用於大部分為水深小於 200m 之大陸棚，容易受氣候變遷影響的東海海面水溫變化。因此，下一節將使用更高解析度的海洋模型，確認 d4PDF 等是否適合於用來推估未來東海海面水溫。



※d4PDF(20km) 過去實驗（1991 年~2010 年平均值）與升溫 4°C 實驗（2091 年~2110 年：常態）之夏季（6~8 月平均）海面水溫差

圖-8 各個SST的海面水溫上升度（升溫4°C）



※d2PDF(20km) 過去實驗 (1991 年~2010 年平均) 與升溫2°C實驗 (2071 年~2090 年：常態) 之夏季

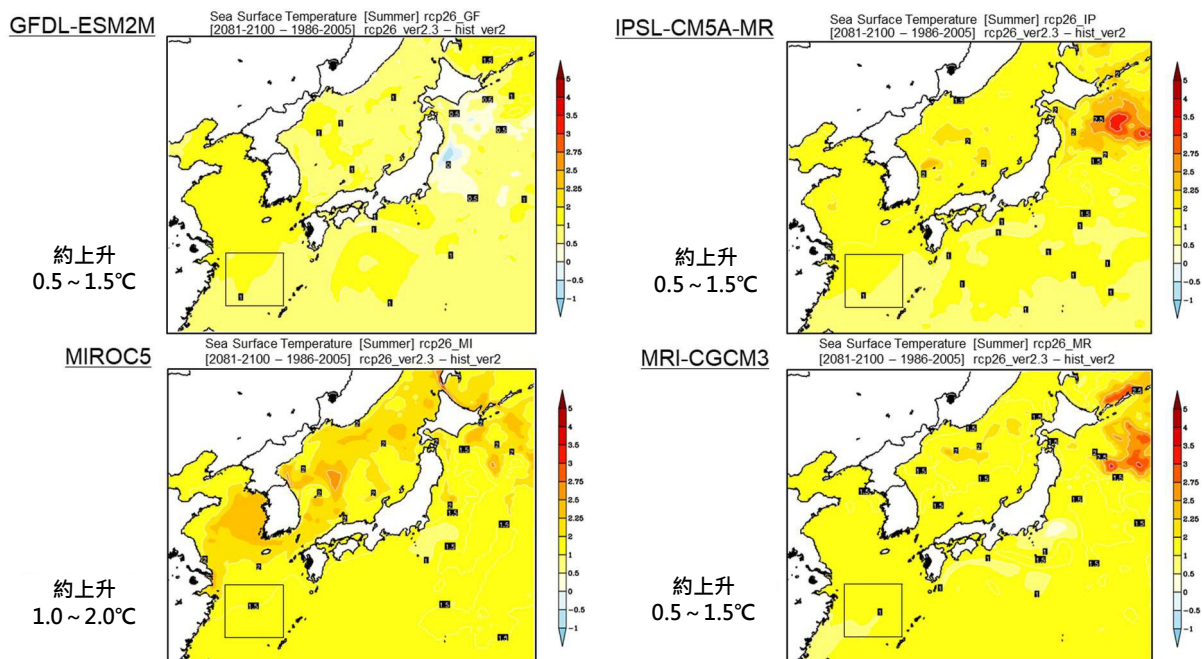
季 (6~8月平均) 海面水溫差

圖-9 各個SST的海面水溫上升度 (升溫2°C)

(c) 東海未來的海面水溫變化

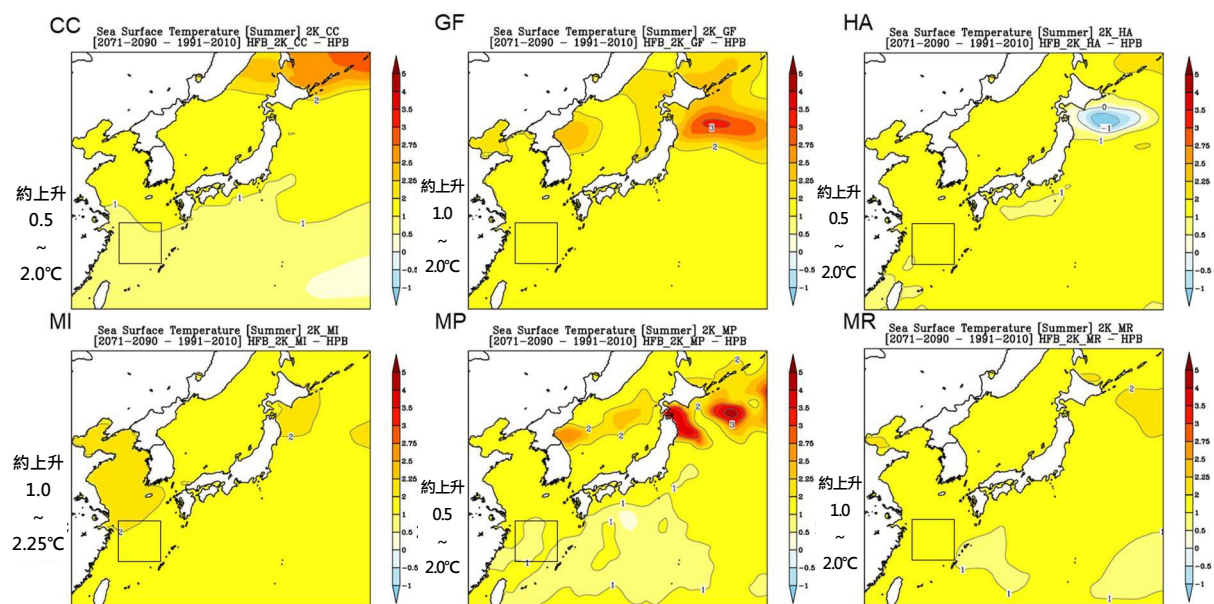
如前述，d2PDF 與 d4PDF 之未來預測海面水溫，係以將所觀測到的海面水溫減去趨勢成分，加上 CMIP5 主要六種 SST 模式所推估未來海面水溫變化形態，以其所得出的值設定為海面水溫之臨界值。但解析度約 100~200km 的 CMIP5 模式，可能並不適用於多為水深小於 200m 的大陸棚，易於受氣候變遷影響的東海海面水溫變化，因此須使用更高解析度之海洋模式來驗證。所使用海洋模式，係 SI-CAT 旗下海洋研究開發機構所開發的 FORP (Future Ocean Regional Projection data set) -NP10 version2 (以下稱為 FORP-NP10) ²⁾³⁾。FORP-NP10，係依據水平解析度約10km 的北太平洋海域模式，進行 1981 年到 2100 年為止連續演算所得之北太平洋海域之海洋未來預測資料，其中有將 CMIP5 四種 SST 模式所取得的大氣資料設定為外力。

FORP-NP10 之未來海面水溫變化預測，以及 d4PDF(20km)・d2PDF(20km) 之未來海面水溫設定，如圖-10~13 所示。圖內小方塊所示為東海西南部，研究指出該區域 6 月到 7 月的季節性海面水溫上升會促進九州發生集中豪雨⁴⁾。該區域海面水溫上升量如表-7 所示，和 FORP-NP10 與 d2PDF・d4PDF 分析結果並無太大差距。這顯示，d2PDF・d4PDF 可適用於設定東海的海面水溫上升量。



※各圖左側東海西南部 (27° N-31° N,123° E-128° E) (圖內小方塊所示區域) 的溫度上升量

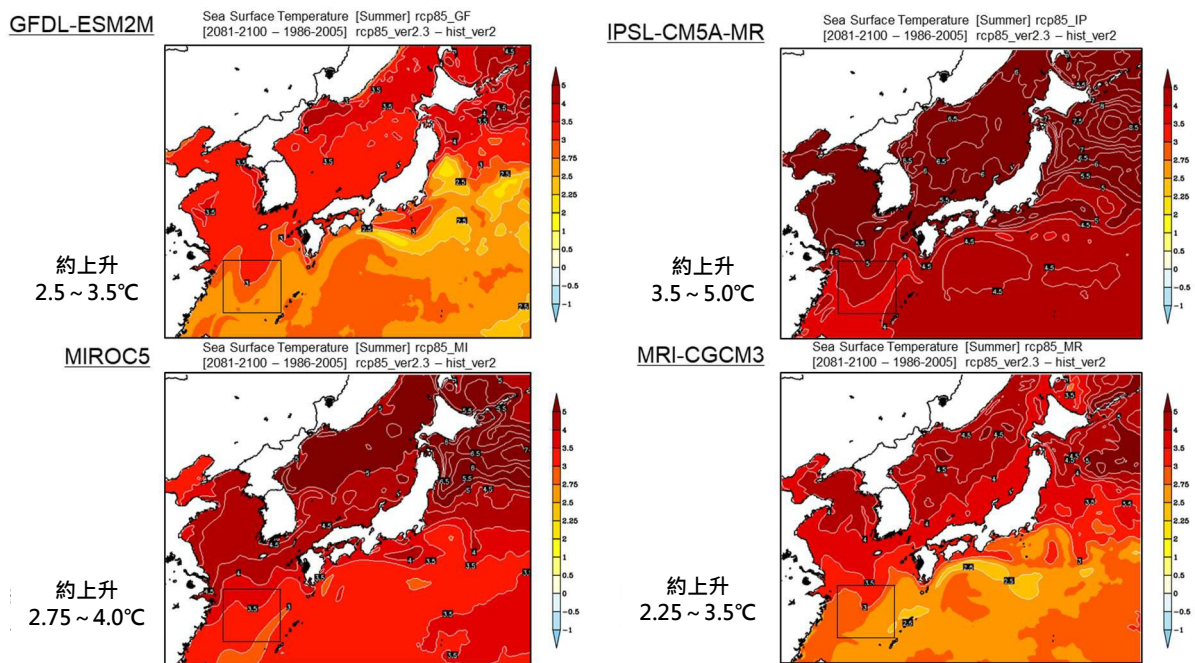
圖-10 RCP2.6 實驗之夏季海面水溫變化圖 (FORP-NP10)



※各圖左側東海西南部 (27° N-31° N,123° E-128° E) (圖內小方塊所示區域) 的溫度上升量

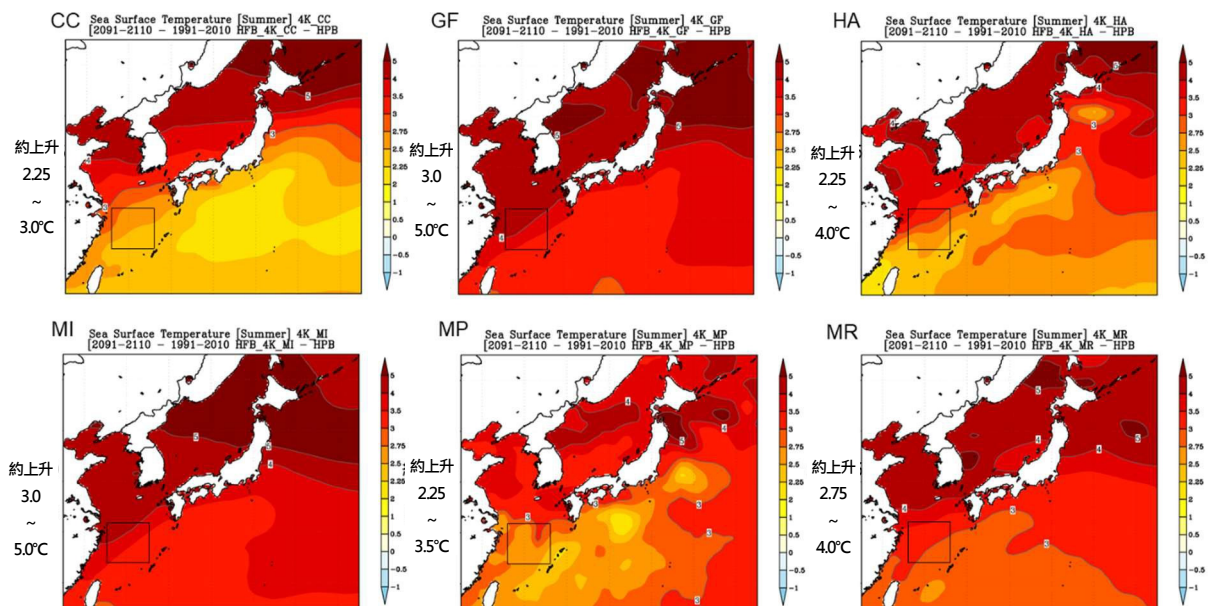
※d2PDF(20km)過去實驗 (1991 年~2010 年平均值) 與升溫2°C實驗 (2071 年~2090 年: 常態) 之夏季 (6~8月平均) 海面水溫之差

圖-11 升溫2°C實驗之海面水溫變化圖 (d2PDF)



※各圖左側東海西南部 (27° N-31° N, 123° E-128° E) (圖內小方塊所示區域) 的溫度上升量

圖-12 RCP8.5實驗 (升溫4°C) 之夏季海面水溫變化圖 (FORP-NP10)



※d4PDF(20km)過去實驗 (1991 年~2010 年平均) 與升溫4°C實驗 (2091 年~2110 年: 常態) 之夏季 (6 ~8月平均) 海面水溫之差

※各圖左側東海西南部 (27° N-31° N, 123° E-128° E) (圖內小方塊所示區域) 的溫度上升量

圖-13 升溫4°C實驗之海面水溫變化圖 (d4PDF)

表-7 不同模式分析的東海海面水溫上升量

d4PDF/d2PDF	升溫2℃	升溫4℃	FORP-NP10	RCP2.6	RCP8.5
CCSM4	0.5~2.0℃	2.25~3.0℃	GFDL-ESM2M	0.5~1.5℃	2.5~3.5℃
GFDL-CM3	1.0~2.0℃	3.0~5.0℃	IPSL-CM5A-MR	0.5~1.5℃	3.5~5.0℃
HadGEM2-AO	0.5~2.0℃	2.25~4.0℃	MIROC5	1.0~2.0℃	2.75~4.0℃
MIROC5	1.0~2.25℃	3.0~5.0℃	MRI-CGCM3	0.5~1.5℃	2.25~3.5℃
MPI-ESM-MR	0.5~2.0℃	2.25~3.5℃	最小~最大	0.5~2.0℃	2.25~5.0℃
MRI-CGCM3	1.0~2.0℃	2.75~4.0℃			
最小~最大	0.5~2.25℃	2.25~5.0℃			

(d) 九州西北部的擾動類型

關於九州西北部降雨量變化倍率計算依據的 d4PDF(5km,SI-CAT)・d2PDF(5km,SI-CAT)，為了確認能否充分考量鋒面之影響，以九州西北部與筑後川流域（治水基準點（荒瀬）上游區域）作為標的，整理了由 d4PDF・d2PDF 及實際降雨資料求出年最大流域（雨域）平均雨量之降雨事件的擾動形式（颱風與鋒面等）。標的資料如表-8 所示。

機械分類，係使用改變了部分參數的內海等（2016）⁵⁾之方法。適用本方法時，為了進行精度驗證，在比較不會產生地區偏頗的十勝川、利根川與筑後川水系，由各自的過去實驗或升溫 4℃ 實驗名列前二十的豪雨事件中，選出 100 個案例，與以目視所設定真值（邏輯值）比較。所選定之 100 個案例的擾動形式（真值），有 37 個颱風案例、55 個鋒面案例以及其他 8 個案例等，其中過去實驗有 51 個案例，將來實驗有 49 個案例。100 個案例之中，77 個可依據真值分類，顯示命中率 77%（表-9）。

表-8 擾動形式分類之目標資料

目標地區	九州西北部	筑後川流域 （治水基準點（荒瀬）上游區域）	筑後川流域 （治水基準點（荒瀬）上游區域）
標的資料	d4PDF, d2PDF 過去實驗：360 年 升溫 2℃：360 年 升溫 4℃：360 年	d4PDF, d2PDF 過去實驗：上位 20 年※ 升溫 4℃：上位 20 年※ ※依據年最大流域平均雨量等	實際降雨 1943~2019 年：77 年
流域（雨域）面積、降雨延時	400km ² 、12 小時 （DAD 分析）	約 1,440km ² 、48 小時	約 1,440km ² 、48 小時
分類方法	機械分類	目視	目視
分類數目	三種 （颱風、鋒面、其他）	八種 （颱風、颱風與滯留鋒面、颱風與移動性低氣壓、滯留鋒面、滯留鋒面（有受到颱風影響）、滯留鋒面與移動性低氣壓、移動性低氣壓、溫暖氣流）	三種 （颱風、鋒面、低氣壓）

表-9 機械分類的精度驗證結果

		真值（目視判定）			計
		颱風	鋒面	其他	
機械分類 結果	颱風	30	2	0	32
	鋒面	6	43	4	53
	其他	1	10	4	15
計		37	55	8	100

※粗體字部分為可按照真值分類的案例數目

以機械分類與目視所進行的 d4PDF・d2PDF 擾動類型分類結果，如表-10～12 所示。機械分類與目視兩種方法之中，過去實驗與未來實驗共同部分，在九州西北部與筑後川流域乃是以「鋒面」為主的主要氣象擾動類型。機械分類之中即使鎖定前 1/10 豪雨案例作為分析標的，也呈現相同的狀況。此外，就實際降雨事件彙整其中筑後川流域帶來年最大雨量之氣象擾動結果，顯示 1943 年～2019 年合計 77 事件之中，颱風占 9 事件，鋒面 63 事件，低氣壓 5 事件，實際數據也顯示「鋒面」為主要氣象擾動類型，確認產生與 d4PDF 等相同的狀況。

由上述結果可推論，作為九州西北部降雨量變化倍率演算依據的 d4PDF 與 d2PDF，可充分地將鋒面的影響納入考量。

表-10 機械分類之擾動類型分類結果（九州西北部、全部案例）

擾動類型	過去實驗	升溫 2℃實驗	升溫 4℃實驗
颱風	49 (14%)	37 (10%)	34 (9%)
鋒面	219 (61%)	260 (72%)	291 (81%)
其他	92 (26%)	63 (18%)	35 (10%)
合計	360 (100%)	360 (100%)	360 (100%)

表-11 機械分類之擾動類型分類結果（九州西北部，前 1/10：36 案例）

擾動類型	過去實驗	升溫 2℃實驗	升溫 4℃實驗
颱風	2 (6%)	5 (14%)	1 (3%)
鋒面	18 (50%)	23 (64%)	34 (94%)
其他	16 (44%)	8 (22%)	1 (3%)
合計	36 (100%)	36 (100%)	36 (100%)

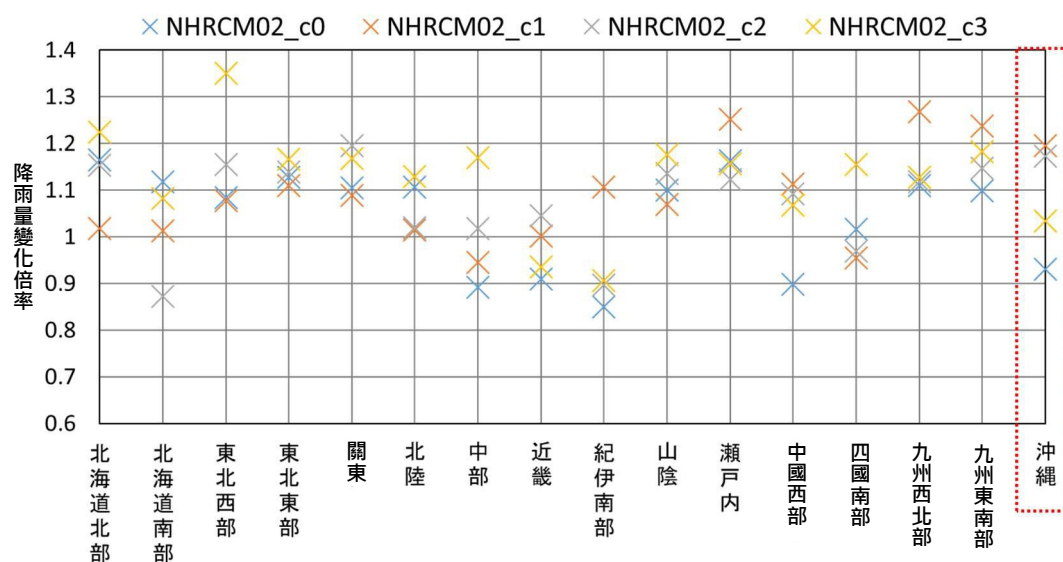
表-12 目視分類之擾動類型分類的結果（筑後川流域）

擾動類型	過去實驗	升溫 4℃實驗
颱風		2 (10%)
颱風與滯留鋒面	1 (5%)	2 (10%)
颱風與移動性低氣壓		
滯留鋒面	16 (80%)	11 (55%)
滯留鋒面（有受到颱風影響）	1 (5%)	1 (5%)
滯留鋒面與移動性低氣壓		
移動性低氣壓	2 (10%)	3 (15%)
濕暖氣流		1 (5%)
合計	20 (100%)	20 (100%)

3. 島嶼部分（沖繩）降雨量變化倍率設定之構想

島嶼部分（沖繩），因為不在 d4PDF（5km）與 d2PDF（5km）所設定區域範圍內，因此另行以利用 NHRCM02 的演算結果探討。NHRCM02 係文部科學省的「氣候變遷風險資訊創生計畫」及「深化統合性氣候模型之研究計畫」之中完成包含島嶼部分（沖繩）的全國各地區為標的區域的氣候資料，它是將全球模型實驗結果降尺度至解析度 2km 的資料。此次檢討乃是使用檢討時間點可使用的目前氣候 60 年份（1981~1999 年的 20 年×3 微擾）、未來氣候（RCP2.6、RCP8.5）各 80 年份（2076~2095 年之 20 年×4SST 模式）之資料⁶⁾，而 DAD 分析方法與 d2PDF 相同。NHRCM02 的演算年數雖比 d4PDF、d2PDF 少，但因解析度較高，適用於表現短延時降雨及局部強降雨。

以 NHRCM02 計算出各 SST 的全國降雨量變化倍率，而沖繩的倍率值，大致與北海道之外的其他地區相同（圖-14）。此外，NHRCM02 所算出各區域劃分之降雨量變化倍率大致與 d2PDF 相同（表-13）。由上可知，島嶼部分（沖繩）之降雨量變化倍率，與北海道之外其他地區的倍率相同。



※不同的海面水溫形態（4SST）之降雨延時別（1,2,3,6,12,24 小時）、雨域面積別（4,16,36,64km²）、年重現率別（1/30,1/50）之倍率平均值

圖-14 以NHRCM02（RCP2.6）算出的降雨量變化倍率

表-13 d2PDF與NHRCM02 算出的降雨量變化倍率

地區劃分	d2PDF (25、100km ² , 1、2、3、6、 12、24hr)			NHRCM02 RCP2.6 (4、16、36、64km ² , 1、2、3、 6、12、24hr)		
	平均值	中間值	6SST	平均值	中間值	4SST
北海道北部	1.21	1.23	1.14 ~ 1.25	1.14	1.16	1.02 ~ 1.22
北海道南部	1.20	1.22	1.11 ~ 1.30	1.02	1.05	0.87 ~ 1.12
東北西部	1.14	1.12	1.07 ~ 1.25	1.17	1.12	1.08 ~ 1.35
東北東部	1.12	1.11	0.98 ~ 1.24	1.14	1.13	1.11 ~ 1.17
關東	1.13	1.10	1.07 ~ 1.27	1.14	1.14	1.09 ~ 1.19
北陸	1.16	1.18	1.07 ~ 1.24	1.07	1.06	1.01 ~ 1.13
中部	1.10	1.11	1.02 ~ 1.15	1.01	0.98	0.89 ~ 1.17
近畿	1.07	1.08	0.99 ~ 1.14	0.97	0.97	0.91 ~ 1.05
紀伊南部	1.10	1.10	1.04 ~ 1.21	0.94	0.90	0.85 ~ 1.11
山陰	1.08	1.10	1.00 ~ 1.13	1.12	1.12	1.07 ~ 1.18
瀬戸内	1.15	1.14	1.07 ~ 1.26	1.17	1.16	1.12 ~ 1.25
中國西部	1.07	1.05	0.99 ~ 1.23	1.04	1.08	0.90 ~ 1.11
四國南部	1.17	1.15	1.10 ~ 1.27	1.02	0.99	0.96 ~ 1.16
九州西北部	1.10	1.11	1.03 ~ 1.17	1.16	1.12	1.11 ~ 1.27
九州東南部	1.12	1.11	0.99 ~ 1.22	1.17	1.16	1.10 ~ 1.24
沖縄	—	—	—	1.08	1.10	0.93 ~ 1.20

※年重現率 d2PDF：1/100，NHRCM02：1/30、1/50

4. 小流域與短延時的目標降雨處理方法

在治水計畫方面，降雨延時與流域面積具有相互關係，一般而言，流域面積越小降雨延時越短。未來的降雨量變化倍率，因為流域越小、降雨延時越短降雨增加率可能越高，因此對於小流域有必要檢討異於大河川的降雨量變化倍率。山田等人的北海道研究，發現小流域短延時降雨的變化倍率較高，因此開始注意降雨延時的分析。

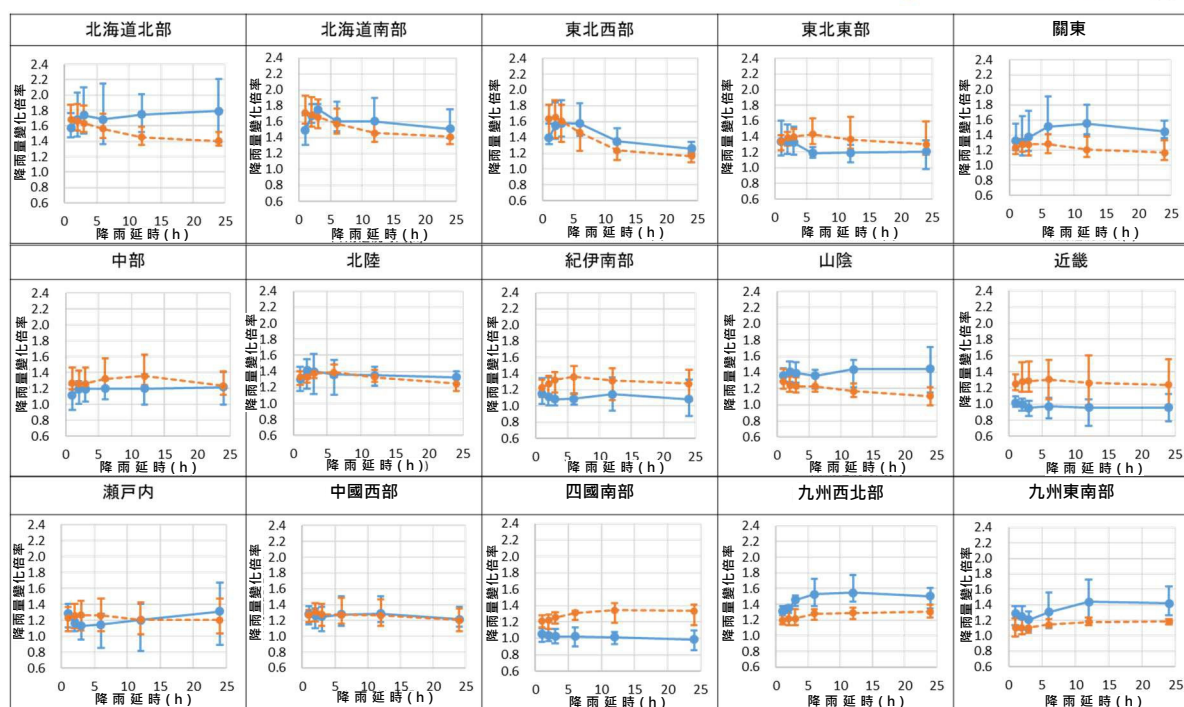
升溫 4°C 時，降雨延時若小於 12 小時，則降雨量變化倍率稍呈明顯增加，3 小時與 6 小時的數據與全國性 12 小時～48 小時降雨量變化倍率相比有增加趨勢，因此設定全國性的餘裕設計（性能過度）係數為 1.05（表-14）。

但 1、2 小時降雨延時的流域與 12 小時～48 小時降雨量變化倍率相比，卻呈現有增加也有減少的趨勢。降雨延時 1、2 小時的降雨能否從 d4PDF（5km）模式獲得充分解釋，尚不明確。因此，以解析度更細緻的模式 NHRCM02（相當於 RCP8.5 升溫 4°C）確認其倍率，結果與 d4PDF（5km）一樣，有增有減，並沒有明確趨勢（圖-15）。依據上述檢討，判斷降雨延時 1、2 小時的降雨，還需要繼續進行現象分析與機制評估，此次暫不設定預測值。此外，河川計畫之中，很多河川使用大於 3 小時的降雨延時，這部分目前在實際運用上應該沒什麼問題。

表-14 短延時降雨相關降雨量變化倍率之餘裕設計係數

400km ²	3h	6h	12h	①3h～6h 平均	②12h～48h 平均	偏度(①/②)
北海道北部	1.63	1.55	1.45	1.59	1.41	1.128
北海道南部	1.61	1.53	1.43	1.57	1.42	1.106
東北西部	1.56	1.44	1.30	1.50	1.26	1.192
東北東部	1.31	1.36	1.35	1.33	1.33	1.003
關東	1.29	1.30	1.27	1.30	1.24	1.044
北陸	1.31	1.33	1.31	1.32	1.26	1.046
中部	1.26	1.28	1.32	1.27	1.25	1.019
近畿	1.25	1.21	1.15	1.23	1.16	1.063
紀伊南部	1.32	1.37	1.34	1.35	1.29	1.048
山陰	1.21	1.20	1.17	1.20	1.13	1.066
瀨戶內	1.25	1.25	1.21	1.25	1.21	1.032
中國西部	1.27	1.25	1.23	1.26	1.18	1.063
四國南部	1.27	1.34	1.37	1.30	1.33	0.979
九州西北部	1.31	1.33	1.33	1.32	1.34	0.987
九州東南部	1.13	1.14	1.16	1.14	1.16	0.982

平均值 1.05



※不同雨域面積倍率值之平均 (d4PDF: 25,100km²的平均、NHRCM02: 4,16,36,64,100km²的平均)

※海面水溫模式之平均值以點表示，幅度以誤差棒（誤差線）標示 (d4PDF: 6SST、NHRCM02: 4SST)

圖-15 短延時降雨之降雨量變化倍率（升溫4℃時）

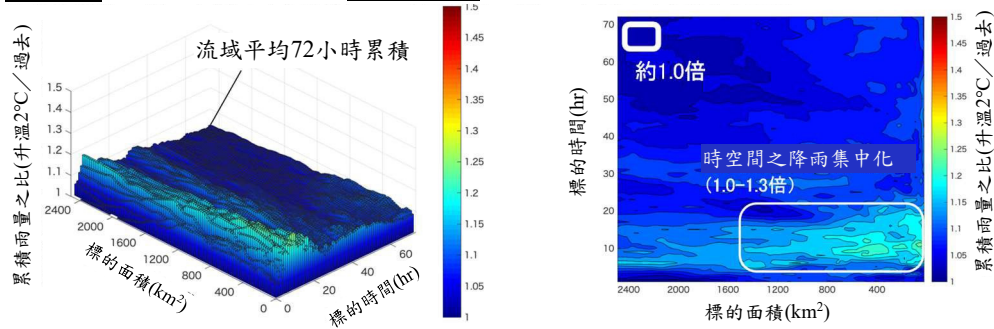
相當於升溫 2℃ 時，以 d2PDF (5km) 算出了降雨量變化倍率，3~6 小時短延時降雨變化倍率變大的狀況並不如升溫 4℃ 時明顯。此外，1、2 小時之降雨，也不見變化倍率明顯的增減。此外，山田等的北海道研究也顯示，升溫 2℃ 時短延時降雨量變化倍率變大狀況，不如升溫 4℃ 時明顯（圖-16）。依據以上所述，升溫 2℃ 時不導入餘裕設計係數。因此，升溫 2℃ 時的降雨量變化倍率，可能也可適用於更小流域或更短延時之降雨。

其次，關於不同的雨域面積而改變降雨量變化倍率方面，以雨域面積小於 400km²為目標、在降雨延時 3、6、12 小時、年重現率 1/100 條件下，利用 d2PDF 與 d4PDF 及 NHRCM02 算出降雨量變化倍率，結果並未發現隨著雨域面積大小而造成降雨量變化倍率明顯增減的情形（圖-17、18）。

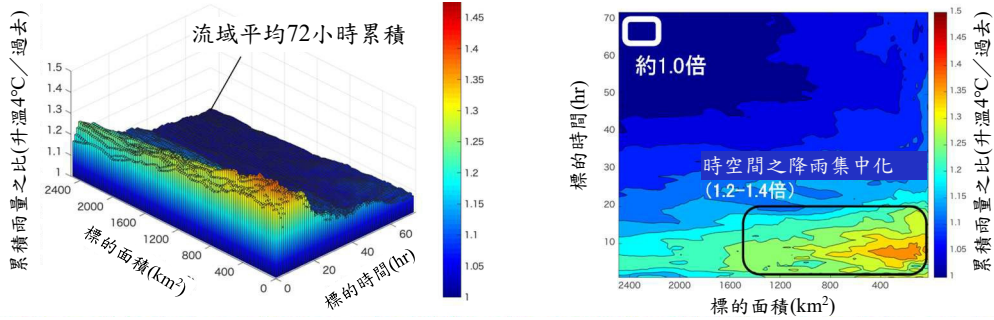
依據上述檢討結果，設定如表-15 所示的降雨量變化倍率。此外，因應雨域面積所造成降雨量變化倍率變動相當小以及 d4PDF (5km)、d2PDF (5km) 之解析度相當高，此次設定之倍率可適用於雨域面積大於 100km²之降雨。此外，此次雖然算出沖繩以外地區年重現率 1/100 規模的降雨量變化倍率，至於年重現率 1/100 之外的降雨量變化倍率如下節所示。

十勝川帶廣基準地點集水區(只以200~250mm/72hr作為標的)

•過去實驗(DS後71案例之中間值),升溫2°C實驗(DS後110案例之中間值)之比較

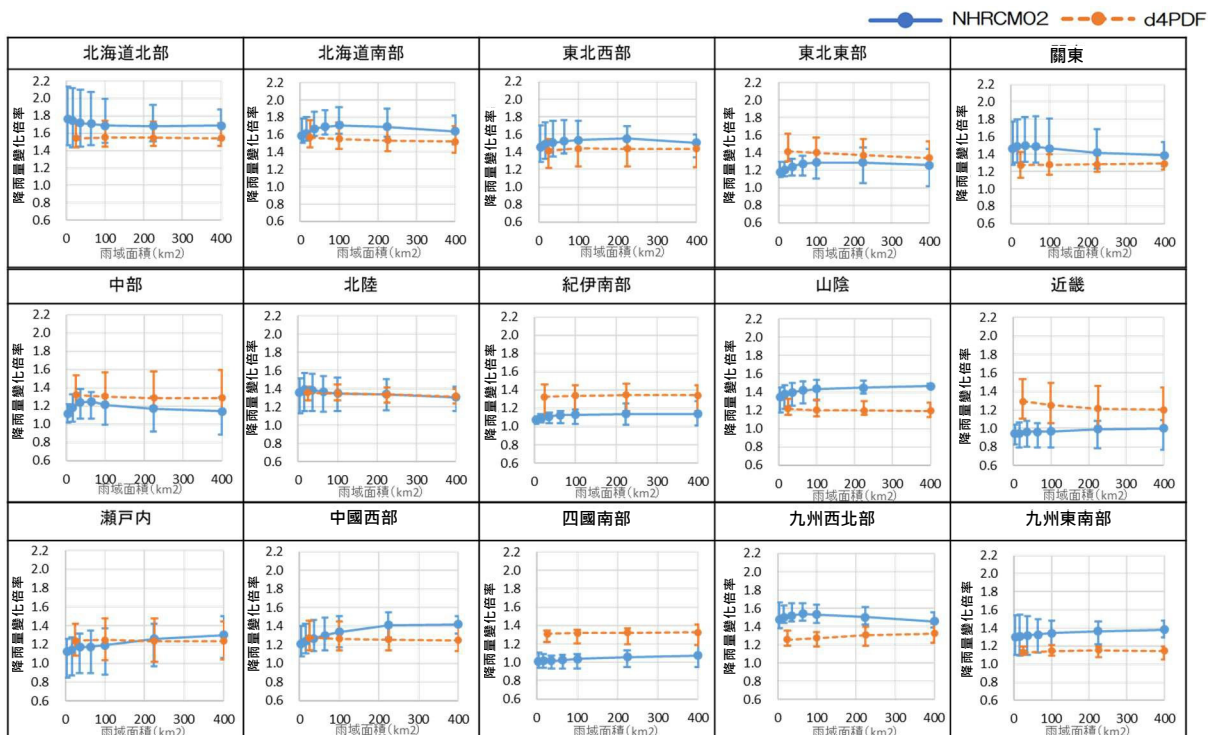


•過去實驗(DS後71案例之中間值),升溫4°C實驗(DS後314案例之中間值)之比較



隨著暖化越來越明顯，計畫規模之降雨的時空間集中度越來越高

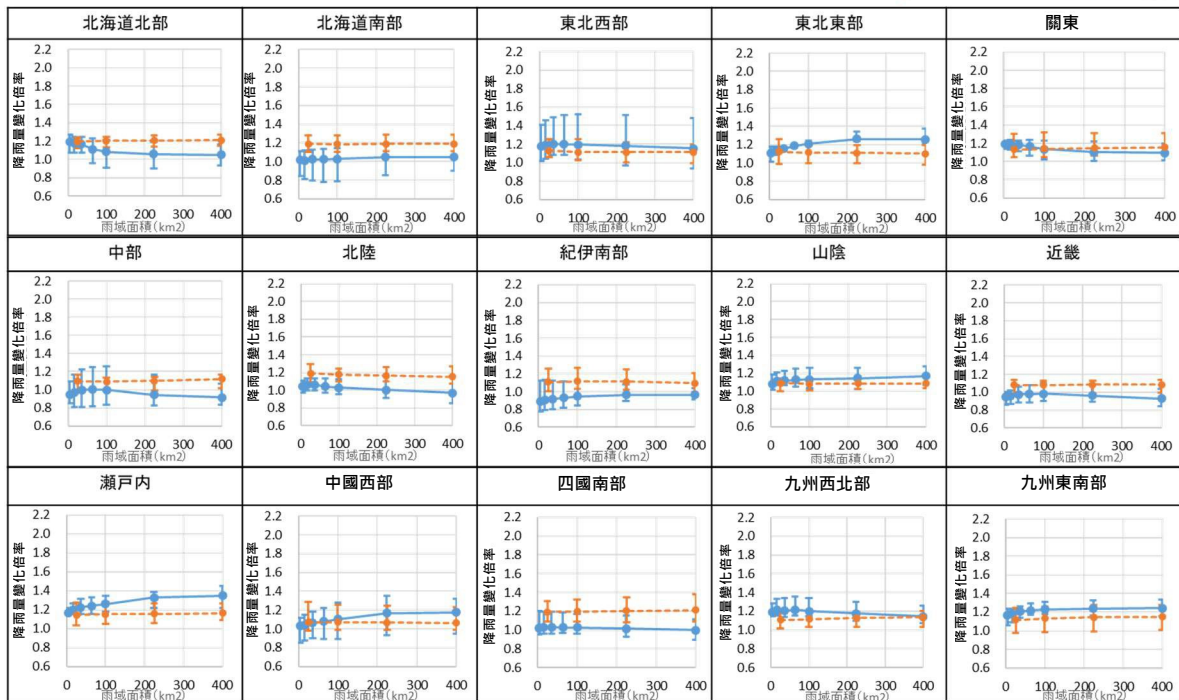
圖-16 降雨延時較短的降雨升溫2°C時與升溫4°C時之差異



※不同降雨延時之倍率平均 (3,6,12小時)

※海面水溫模式之平均值以點表示，幅度以誤差棒標示 (d4PDF：6SST、NHRCM02 (RCP8.5)：4SST)

圖-17 不同雨域面積所造成降雨量變化倍率之變化 (升溫4°C時)



※各個降雨延時之倍率平均（3,6,12小時）

※海面水溫模式之平均值以點表示，幅度以誤差棒標示（d4PDF：6SST、NHRCM02（RCP2.6）：4SST）

圖-18 不同雨域面積所造成降雨量變化倍率之變化（升溫2℃時）

表-15 不同降雨延時之降雨量變化倍率※

		降雨延時 大於12小時	餘裕設計係數	降雨延時 大於3小時 小於12小時	降雨延時 小於3小時
升溫4℃		1.3	1.05	1.4	-
	北海道、九州西北部	1.4		1.5	-
	其他地區 （含沖繩）	1.2		1.3	-
升溫2℃		1.1	1.0	1.1	1.1
	北海道	1.15		1.15	1.15
	其他地區 （含沖繩）	1.1		1.1	1.1

※適用於雨域面積大於 100km² 之降雨。但須注意，即使雨域面積小於 100km²，其降雨量變化倍率也可能大於此次的設定值，但亦可適用。

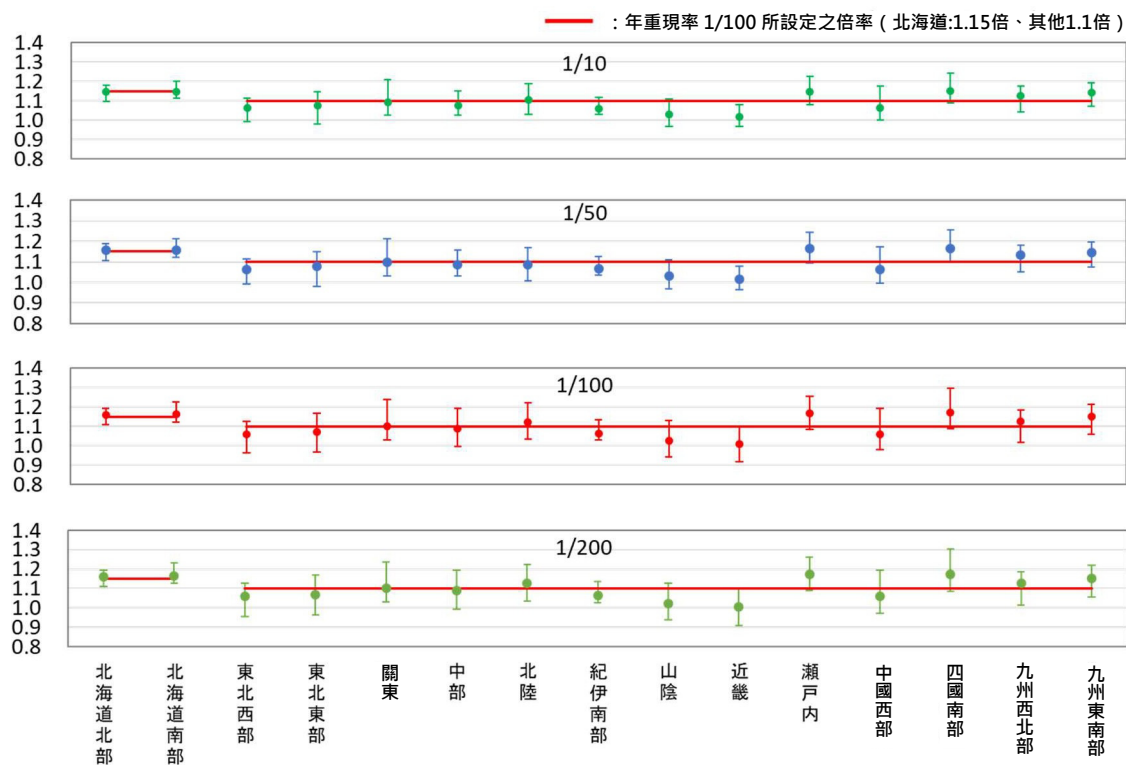
※升溫4℃之降雨量變化倍率，不適用於降雨延時小於3小時之降雨。

※適用於年重現率 1/200 以上規模之計畫。

※沖繩不在 d4PDF 等的演算領域內，因此使用 NHRCM02 計算年重現率 1/30~1/50 規模之降雨量變化倍率；其他地區則使用 d4PDF 等，計算年重現率 1/100 規模之降雨量變化倍率。

5. 年重現率 1/100 之外的降雨量變化倍率

此次所設定降雨量變化倍率，係比較過去實驗與未來實驗所算出年重現率 1/100 之降雨量來設定。但適用標的之治水計畫目標規模有大有小，因此針對升溫 2°C 時、年重現率 1/10~1/200 之標的，採用與年重現率 1/100 相同方法，以 d2PDF 算出降雨量變化倍率，並確認其變化趨勢。結果發現全部的機率規模的降雨量變化倍率值，都與年重現率 1/100 之值差不多（圖-19）。



※雨域面積 400、1600、3600km²，降雨延時 12、24、48 小時之倍率值平均

※海面水溫模式 (6SST) 之平均值為點，高低幅度則以誤差棒標示。

圖-19 各個機率規模的降雨量變化倍率（升溫2°C）

6. 目前與近未來之氣候變遷影響

氣候變遷對於豪雨的影響正逐漸出現，預估未來的影響還會逐年增大，因此建議應運用氣溫變化，內插（補入，插值）降雨量變化倍率，推估其影響。

RCP2.6 顯示，2050 年左右地球氣溫和 21 世紀末氣溫差距不大，甚至不管哪種情境下都顯示與 2040 年左右的氣溫無太大差異。此外，到 2040 年左右為止，氣溫上升比率大致固定，因此利用氣溫觀測結果與未來預測結果，採直線近似方式求出近未來氣溫變化。氣溫觀測結果採用氣象廳年平均氣溫偏差之 10 年平均值；未來預測結果則採用「21 世紀末日本之氣候（環境省氣象廳）」之 RCP2.6 年平均氣溫變化量。

其次，從氣溫與飽和水蒸氣量的關係來看，亦可假設降雨量變化比率也是固定，則可算出近未來之降雨量變化倍率。計算近未來降雨量變化倍率時，運用降雨量變化倍率基準年 1980 年（d4PDF(5km,yamada)的過去實驗期間 1951～2010 年之中間年）、2045 年的降雨量變化倍率（RCP2.6 顯示 2050 年左右的地球氣溫與 21 世紀末氣溫差距不大，因此沿用 2045 年的變化倍率。二地區為 1.15 倍、其他 13 地區為 1.1 倍。），以及上述所算出近未來氣溫變化，用直線近似的方式，求出降雨變化倍率（圖-20、21、22、表-16）。另外，由 JRA-55 所算出 2018 年 7 月豪雨重現實驗與非暖化實驗之差的氣象研究所結果來看，降雨量增加率為 6.5%，與此次所算出的近未來降雨量變化倍率相近。

此外，計算近未來氣溫變化所使用之「21 世紀末日本之氣候（環境省氣象廳）」基準期間（1984～2004 年）與 d4PDF(5km,yamada) 的過去實驗期間不同，因此使用氣象廳的年平均氣溫偏差完成校正。

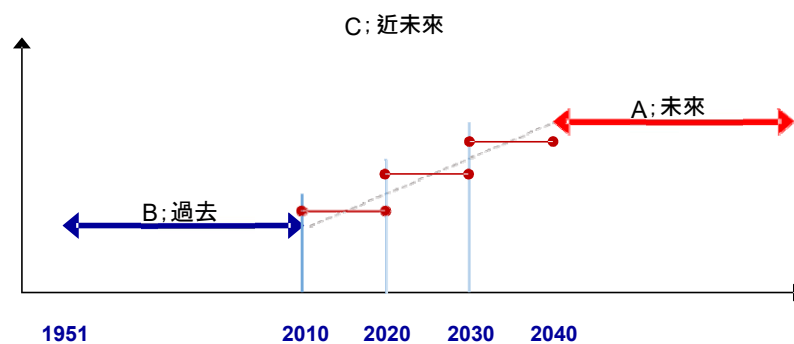


圖-20 現在與近未來之氣候變遷影響概念圖

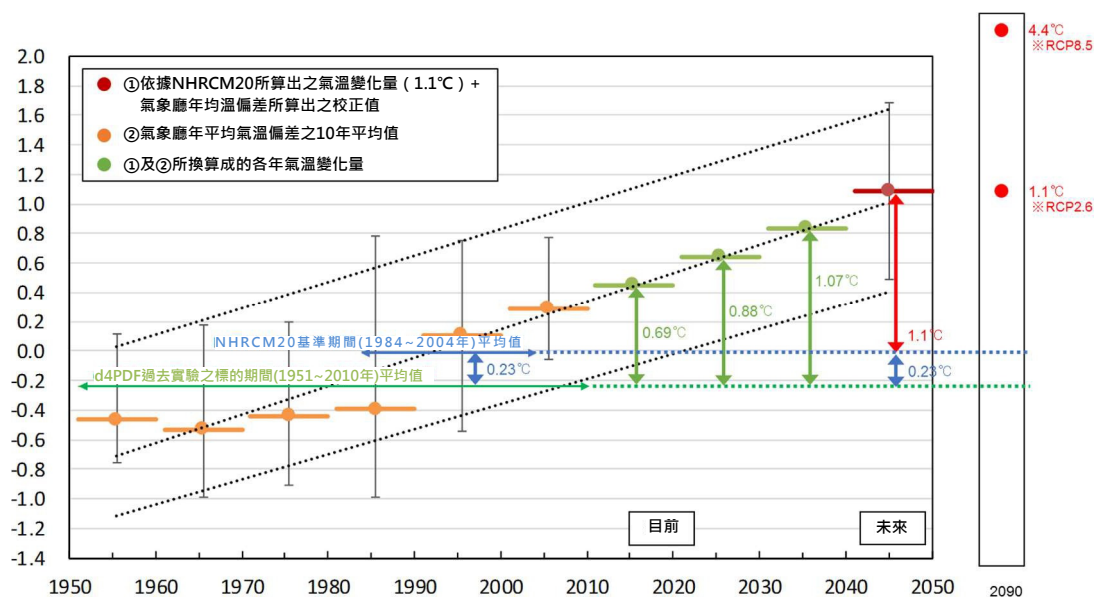


圖-21 使用氣溫之觀測結果與未來預測結果之內插值

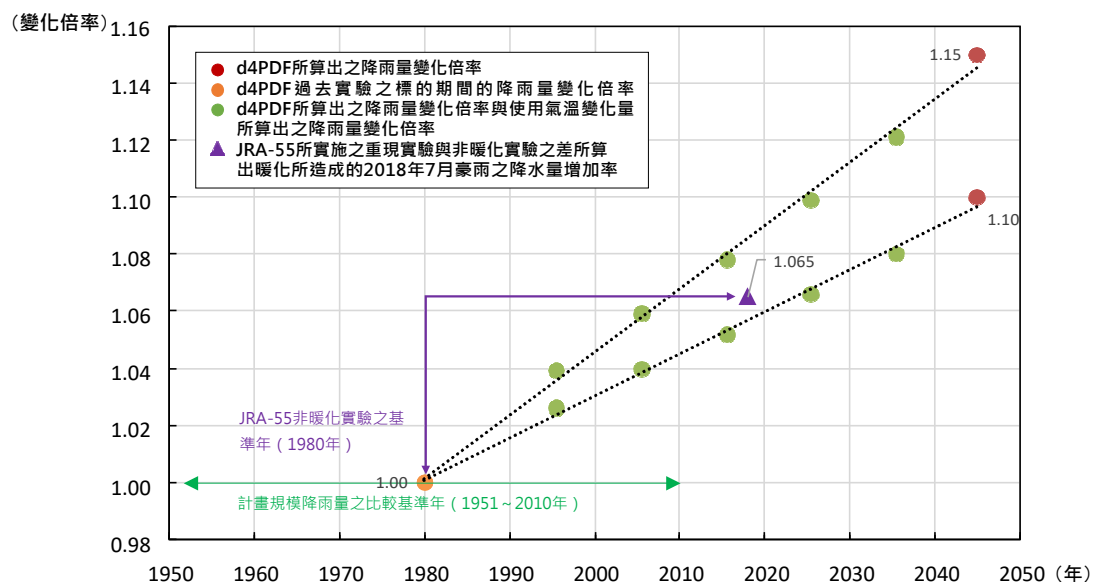


圖-22 應用氣溫內插值求出降雨量變化倍率之內插值

表-16 各目標設定年的降雨量變化倍率

目標設定年	1.15 倍時 (2 地區)	1.1 倍時 (13 地區)
2011 年~2020 年	1.08	1.05
2021 年~2030 年	1.10	1.07
2031 年~2040 年	1.12	1.09
2041 年~2050 年	1.15	1.10

7. 参考文献

- 1) 例えば、Y. Osakada, E. Nakakita, Future change of occurrence frequency of Baiu heavy rainfall and its linked atmospheric patterns by multiscale analysis, 2018, [https://doi.org/10.2151/sola.2018-014]
- 2) Nishikawa et al., Development of high-resolution future ocean regional projection datasets for coastal applications in Japan, 2021, [https://doi.org/10.1186/s40645-020-00399-z]
- 3) 本検討では、文部科学省気候変動適応技術社会実装プログラム（SI-CAT）（課題番号：JPMXD0715667163）のもと国立研究開発法人海洋研究開発機構により作成された、海洋将来予測データセット（FORP）を使用した。またこのデータセットは、文部科学省の委託事業により開発・運用されているデータ統合解析システム(DIAS, 課題番号：JPMXD071680899)の下で、収集・提供されたものである。
- 4) 万田ら, 東京大学・長崎大学記者発表「東シナ海の水温上昇が梅雨期に九州で起こる集中豪雨の発生に影響—2012年「九州北部豪雨」の事例と今後の水温上昇に伴う将来の見通し—」, 2014年7月18日, <http://www.nagasaki-u.ac.jp/ja/about/info/science/include/file/article/images/201407/20140718s.pdf>
- 5) Utsumi, N., H. Kim, S. Kanae, and T. Oki, Which weather systems are projected to cause future changes in mean and extreme precipitation in CMIP5 simulations?, 2016, [https://doi.org/10.1002/2016JD024939]
- 6) 本検討で使用したNHRCM02 データは、統合的気候モデル高度化プログラムより提供を受けたものである。

編譯：水土保持局技術研究發展小組

Research and Technology Development Team, SWCB, COA

December 2020

本文件之翻譯及轉載，均符合日本著作權法相關規定。