

2030年極端海平面上升對 七座亞洲城市之預期經濟影響

The Projected Economic Impact of Extreme Sea-Level Rise in Seven Asian Cities in 2030

June 2021

GREENPEACE



Cover image: Typhoon Hagibis hits Tokyo's metropolitan area.

© Masaya Noda/Greenpeace

This page: Floods in Jakarta, December 2019.

© Daviara/Greenpeace

目錄

簡介	01
摘要	03
資料與研究方法	04
結果	07
個別城市結果 (曼谷、香港、東京、雅加達、首爾、臺北、馬尼拉)	08
結論	24
參考資料	25
附註	28

Published June 2021
by Greenpeace East Asia

Copyright © 2021 Greenpeace

Writer: Jiao Wang, Mikyoung Kim
Editor: Kathryn Miller, Erin Newport
Design: Lauren Austin
Contributors: Greenpeace East Asia, Greenpeace
South East Asia, Greenpeace East Asia Research Unit
Special thanks to: Climate Central, Dr. Matti Kummu

Maps throughout this book were created using
ArcGIS® software by Esri. ArcGIS® and ArcMap™ are
the intellectual property of Esri and are used herein
under license. Copyright © Esri. All rights reserved.
For more information about Esri® software,
please visit www.esri.com.



People walk along a flooded highway in Bangbuathong area, Nonthaburi province, on the northern outskirts of Bangkok.
© Sataporn Thongma/Greenpeace

簡介

極端海平面上升與淹水對沿海城市造成威脅。本研究從亞洲選出七座身為經濟重鎮、位於或鄰近沿海地區的亞洲城市，分析在「一切照舊」的減碳情境（BAU carbon-emission scenario）下，也就是所謂的RCP8.5情境，2030年極端沿海洪災對城市經濟生產總值（GDP）的潛在影響。研究顯示，氣候危機將可能在十年不到的時間，對所分析城市之經濟造成衝擊，除非人們立即採取行動，迅速減少溫室氣體排放量。

估計在二十世紀裡，全球平均海平面高度會以每年平均1.6至1.9公分的速度上升，主要原因是人為氣候變遷（Hay et al., 2015）。除了海平面上升，居住在沿海地區的人們，也會因風暴潮、滿潮而面臨淹水的風險。熱帶風暴加劇，主要是因氣候變遷所致。氣候模擬預測顯示，整個二十一世紀中，風暴強度將會提升，伴隨更具殺傷力的風速、更高的風暴潮，以及比以往風暴所見更為極端的降雨（Knutson et al., 2020）。

綠色和平敦促全球採取更迅速且更積極的氣候行動，並呼籲各政府依循政府間氣候變遷專門委員會（IPCC）《全球升溫1.5°C 特別報告》（The Special Report on Global Warming of 1.5°C, 2018）揭示的目標，承諾在2050年前達成「淨零碳排」（net zero），將全球升溫控制在工業革命前的1.5°C以內。呼籲各政府採取具體且可達成之解決方案的實施計畫，如註釋化石燃料使用並停止資助相關產業，並轉型至以再生能源為基礎的經濟。亞洲各政府與領袖必須負起責任，達成國際氣候目標的1.5°C路徑，以保障各自的經濟、守護各地居民的生命與生計，並協助保護生物多樣性。



Typhoon Vamco aftermath in Manila @Jilson Tiu

摘要

目前地球大氣層中的二氧化碳濃度接近**412 PPM**，並持續上升中（Buis, 2019），而海平面上升的速度也在增加。估計有六億名民眾（Kirezci et al., 2020），多數為亞洲的居民，居住在低窪的沿海地區，因為海平面上升，而可能面臨淹水的風險。部分面臨淹水風險的區域，是具有可觀國內生產毛額（gross domestic product, GDP）的經濟重鎮（World Ocean Review, 2010）。

極端天氣事件包括熱浪、極端強降雨和熱帶氣旋。本報告著重於熱帶氣旋及其相關之可能影響亞洲七大城市的風暴潮、滿潮與海平面上升。熱帶氣旋為人口帶來重大風險，因此評估上述事件在未來數十年間之發生可能性的研究相當重要（Seneviratne et al., 2012）。然而，須注意的重要變數是，由於天氣系統相當複雜，而模擬預測基礎中所用的科學資料，並非總是準確或完整，所以要推估極端氣候事件及其影響特定區域的程度，變得十分地困難。此外，僅以數十年的資料為基礎進行推估，使得科學家難以確定所觀察到的變化，究竟是因為人類活動，還是自然變化，又或是綜合兩者所致。

另一個值得注意的重點為，氣候推估的準確度會因所探討的氣候事件而異。例如，全球的趨勢是預期極端高溫事件的頻率、強度和長度皆會增加（Xu et al., 2020）。然而，熱帶風暴和氣旋的頻率，是否會在二十一世紀期間增加或減少，則是未有定論（Seneviratne et al., 2012）。有證據指出全球的熱帶氣旋，可能在本世紀中因為海面溫度升高，而變得更加密集。然而，這樣推估之基礎，只有四十年來的觀察資料，且熱帶氣旋活動在不同海洋盆地之間，也可能會有區域性的差異（Seneviratne et al., 2012）。

極端海平面上升的威脅¹，意謂許多沿海和河口城市容易遭受洪水侵襲，危及民眾生命，對基礎設施和地方經濟造成破壞。

土地、人口和GDP是經濟發展的基本資源（Yong, 2021），因此準確推估海平面上升的潛在影響，有助於決策，保障當地財產、基礎設施和民眾福祉。本研究運用極端海平面上升、人口及GDP的網格資料，計算出海平面上升對七座亞洲城市的潛在影響。此分析是同類分析中，首次運用高空間解析度的資料，揭露各個城市可能因海平面上升所影響的區域，及其影響的程度。綠色和平在2020年時有做過類似的分析，但針對的是全球在2050年及2100年的情境，且利用的是相同的人口及比較舊的GDP資料集（Kirezci et al., 2020）。

本研究挑選身為經濟重鎮且位於或鄰近沿海區域的七大亞洲城市。針對每座城市，計算出在當前溫室氣體增加速率不變的情況下，2030年裡可能受極端海平面上升及沿海洪災影響的GDP、人口及土地面積。這七大城市分別為：香港、臺北、首爾、東京、雅加達、馬尼拉及曼谷。

分析結果顯示，七座城市共有7,240億美元、1,500萬民眾及1,829平方公里的土地面積，可能會受到極端海平面上升和風暴潮所影響。估計GDP影響為各城市GDP總額的0.4%至96%不等。

資料與研究方法

研究顯示海平面上升所造成的沿海衝擊，是氣候變遷相關的重要經濟損害之一（Brown et al., 2011）。其他氣候變遷所造成的經濟衝擊，包括對於健康（如：早死）、農業、能源部門及河流氾濫（Schinko et al., 2020）。亞太地區的部分沿海城市為經濟重鎮，因此極端海平面上升所致的沿海洪災，可能為這些城市及其經濟帶來更高的傷害。本研究選出七座城市，分析各個城市受極端海平面上升及風暴潮所影響的GDP、人口及土地面積。這七大城市分別為：香港、臺北、首爾、東京、雅加達、馬尼拉及曼谷。

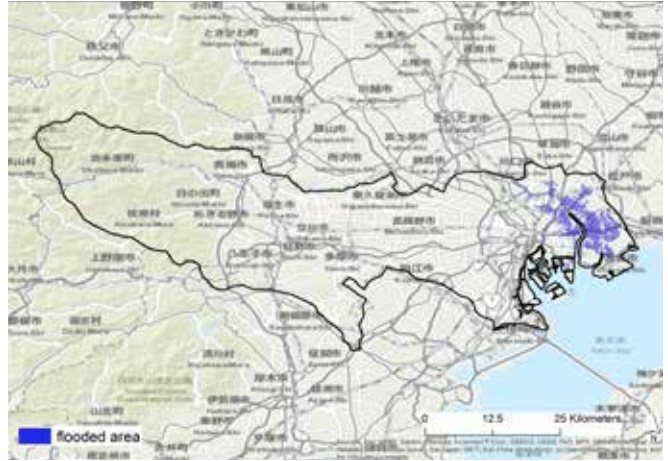


圖1：在RCP8.5情境中，2030年裡東京地區可能面臨海平面上升及沿海淹水風險的地理圖示。

本分析運用了下列三大資料集：風暴潮及滿潮所致之極端海平面上升及沿海洪災的氾濫面積（資料#1）、人口密度（資料#2）及GDP（資料#3）。

海平面上升及沿海洪災網格資料的推估，係來自美國氣候中心（Climate Central）（Kulp and Strauss, 2019），運用海拔、因暴潮所致的極端海平面高度及滿潮，確認某一地區是否會淹水。本資料集的空間解析度為30公尺。

本分析中所用的淹水設定，為當地海平面高度推估加上當地的「中度洪水」高度。中度洪水的海平面高度，每年有10%的機率會被超過——換言之就是十年一遇的洪水。

本分析中所用的情境為推估依循溫室氣體排放基線（BAU greenhouse gas emissions）到2030年，其中在二十一世紀的大部分時間裡，每年全球溫室氣體排放量會持續上升。本BAU情境符合2100年與前工業革命水準相比，全球升溫攝氏3或4度，而這樣的高碳排放量情境，又稱為RCP8.5情境。

全球人口密度的網格資料集是援引自美國航太總署社會經濟資料與應用中心。共有五年的人口資料可運用：2000、2005、2010、2015、2020（CIESIN, 2016）。本分析中使用的是最新的2020年資料，其空間解析度為1公里。

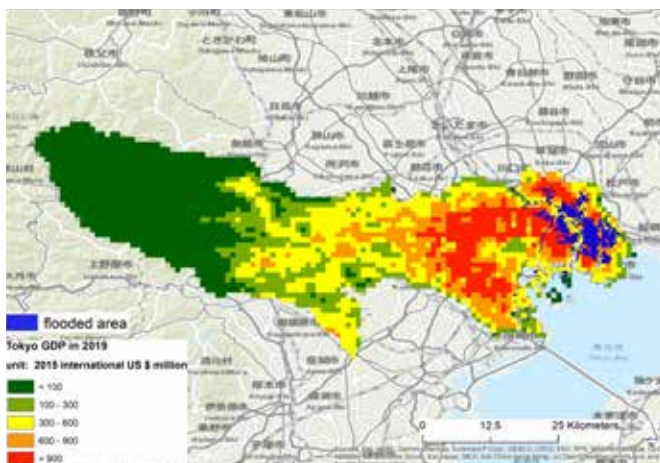


圖2：在RCP8.5情境中，2030年東京GDP及海平面上升與沿海洪災影響的地理圖示。

全球GDP（依購買力平價Purchasing Power Parity, PPP）的網格資料集，是由馬蒂·庫姆（Matti Kummu）博士所提供，GDP（PPP）考量區域財貨、服務的相對價格以及當地通貨膨脹率，能較為準確反映不同地區經濟實力差別，為世界銀行等國際組織統計的重要依據。庫姆博士曾使用相同的研究方法，發表一篇論文（Kummu et al., 2018）。GDP衡量的是，特定期間裡於特定區域中，最終使用者所購買之最終貨品與服務的貨幣價值。在庫姆已發表的論文中，最近期的資料為2015年的資料。本分析中所用的資料為最近由Kummu開發分享、準備發表所用的2019年資料。在這資料集中，常數「2019年國際美元」轉換成常數「2015年國際美元」，即世界銀行為維持資料一致性，使用於GDP（PPP）的單位。GDP之計算，係以各地區之人均GDP（PPP）資料集，與WorldPop3上解析度30角秒（赤道的1公里）的2019年人口數資料集相乘而得²。

經濟發展的基本資源，影響相關的變數如下：

1. 受影響土地面積：受影響土地面積比例 (km²)
2. 受影響人口：受影響人口比例 (人數)。
3. 受影響GDP (PPP)：受影響之GDP (PPP) 比例 (百萬美元)。

為計算對GDP（PPP）、人口與土地面積的影響，採用了兩大步驟。首先，導入資料集#1，以辨別2030年可能

受海平面上升及沿海洪災所影響的地區，並計算出受影響地區的總面積。

圖1以東京為例。藍色為（在RCP8.5情境下）2030年可能因海平面上升加上風暴潮及滿潮所影響的地區。將受影響地區與人口密度網格資料和GDP（PPP）資料集疊合，計算出受影響的人口與GDP。

圖3則是馬尼拉。馬尼拉大都會（Metro Manila）包含16個城市及1個自治市。馬尼拉市為16個城市之一，也是本分析中馬尼拉的範圍。

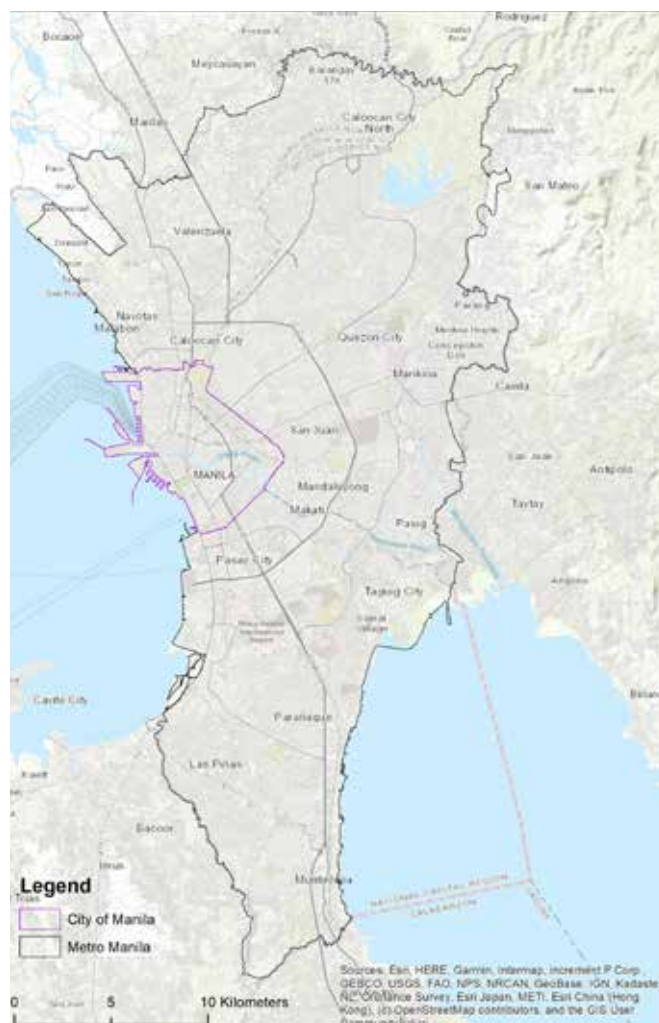


圖3：馬尼拉大都會及馬尼拉市的地理圖示。

研究限制與注意事項：

本研究運用2030年受極端海平面上升所影響之地區的網格資料、人口數據及GDP，計算對七座城市的民眾、土地及GDP的影響。相對於傳統評估中著重整座城市的方式，本研究藉由高空間解析度的資料，分析出各個城市可能影響最深的區域，運用了更多的細節計算出其經濟影響。分析顯示較可能受淹水嚴重影響的地點與面積，更加準確地評估其經濟影響，有助於政策的制定與實施，並有效分配如洪災措施等資源。

綠色和平2020年曾進行類似的分析，利用相同的人口，但比較舊的GDP資料集及不同的洪災推估資料集，針對2050年及2100年進行全球規模的分析（Kirezci et al, 2020）。Kirezci et al. (2020) 在土地高程用的是SRTM v4.1 DEM資料集，而本研究的資料集用的則是CoastalDEM，作為減少SRTM錯誤的新數值高程模型（DEM）（Kulp and Strauss, 2019）。

在本分析中，海平面上升與淹水對GDP及人口的影響，不該理解為損失或完全傷害。舉例來說，當極端淹水事件發生時，住在洪氾區的民眾可能會困在室內，最糟則可能因淹水失去生命。

有些城市，像是雅加達（Setiadi et al., 2020）及東京（C40, 2016）的部分地區，已建有或規劃建設防洪堤（強化版河堤）及海堤，用以保護居住於低窪地區的民眾。由於缺乏相關資料，防洪堤及海堤並未包含在海平面上升模擬（Kulp and Strauss, 2019），也因此未包含在本次分析當中。建有防洪堤及海堤的城市，依其保護措施有效性而定，其受到風暴潮與滿潮的極端海平面上升所影響的GDP可能較少。

CoastalDEM利用的是「浴缸模型（bathtub model）」。浴缸模型中，所有低於一定水位高度且與海洋相連之土地，便曝露於極端沿海水位風險之中。當海上有風暴時，水需要時間在陸地移動，以在內陸導致淹水情況。海上的洪水可能會在水往內陸移動、淹沒所有區域前消退。因此，該模型可能高估暴露於偶發性洪災的風險，特別是在小的空間尺度上（Kulp and Strauss, 2019）。

針對香港的受影響地區，本研究利用香港特別行政區政府開發的數值地形模型（Digital Terrain Model, DTM）。根據香港天文台，利用10年淹水重現期推估，維多利亞港的極端海平面高度為3.8公尺（Lee et al., 2010）。由於數值地形模型資料是以整數值呈現，本研究將3.8公尺四捨五入為4公尺。首先，本研究建立低於海平面4公尺的沿海地區資料層，接著將這些地區跟GDP與人口資料集疊合，其他城市也是比照辦理。

洪氾區模擬所用的空間解析度誤差為30公尺，而人口密度及GDP的則是1公里，這些也會影響結果，也可能會高估介於邊緣之地區的數值。

本分析所用之人口及GDP資料集為過去與目前的數值，並非針對2030年的推估數值；也利用2020年人口密度及2019年GDP資料，揭露相對於當前發展模式的洪災風險。



Bus passengers look at boats on the same in the flooded street at Bang Kae district in Bangkok.
© Athit Perawongmetha/Greenpeace

結果

表1以城市規模排序，整理出2030年七座亞洲城市之GDP（PPP）、人口及面積的預期影響。這些城市的受影響面積，從少於20平方公里至多於1,500平方公里；受影響GDP（PPP）從少於30億美元至多於5千億美元。受影響人口從少於10萬人至多於1千萬人。

表1：以城市總規模（平方公里）排序，2030年海平面上升及洪災所影響的GDP（PPP）、人口及面積推估。

城市	受影響面積 (單位:km ²)	受影響GDP(PPP) (單位:十億美元)	受影響人口 (單位:百萬)
曼谷	1512.94	512.28	10.45
香港	27.36	2.24	0.09
東京	79.28	68.19	0.83
雅加達	109.38	68.20	1.80
首爾	16.52	4.69	0.13
臺北	46.93	29.64	0.43
馬尼拉	37.29	39.24	1.54

個別城市結果

曼谷

曼谷坐落於亞洲大三角洲之一，平均海拔高度為1.5公尺。曼谷非常容易受水災侵襲，特別是在雨季期間。軟土質、高度都市化及地層下陷，更加劇該城市淹水的程度。曼谷每年地層下陷最多可達30毫米（Phien-wej et al., 2005）。這些因素都使曼谷特別容易受氣候變遷及海平面上升所影響。極端風暴潮的增加，會侵蝕沿海地區並可能造成重大洪災。鹽水入侵亦會對飲用水源造成負面影響³。

根據本研究在RCP8.5情境下所做的分析推估，若在2030年發生10年一遇的洪水⁴，有超過96%的曼谷土地面積會低於海平面上升後的高度（見圖4）。可能淹沒的地區包含市中心的高密度住宅區和商業區、市中心以外的中低度住宅區、工業區及城市郊區大片的農業區。部分曼谷的中心商業區——是隆路/沙吞路及無線路/奔集路（Silom/Sathorn and Wireless/Ploenchit）區域，可能會受到影響。

泰國新國會所在地的國會大廈（Sappaya-Sapasathan）（見圖5）可能會淹沒。沿海及昭披耶河沿岸的紅樹林也可能會有淹水的風險。

圖6為2019年曼谷的GDP。本研究推估曼谷在2030年面臨極端海平面上升及後續洪災時，共有5,122.8億美元的GDP（PPP）及1,045萬的民眾受到威脅。受影響GDP（PPP）占曼谷總GDP（PPP）的96%。



圖4：在RCP8.5情境中，2030年曼谷可能受海平面上升與風暴潮影響的地理圖示。



圖5：泰國新國會所在地的國會大廈為曼谷的地標性建築，但在RCP8.5情境中，若2030年曼谷面臨海平面上升及風暴潮，便可能因此淹水。
© Greenpeace

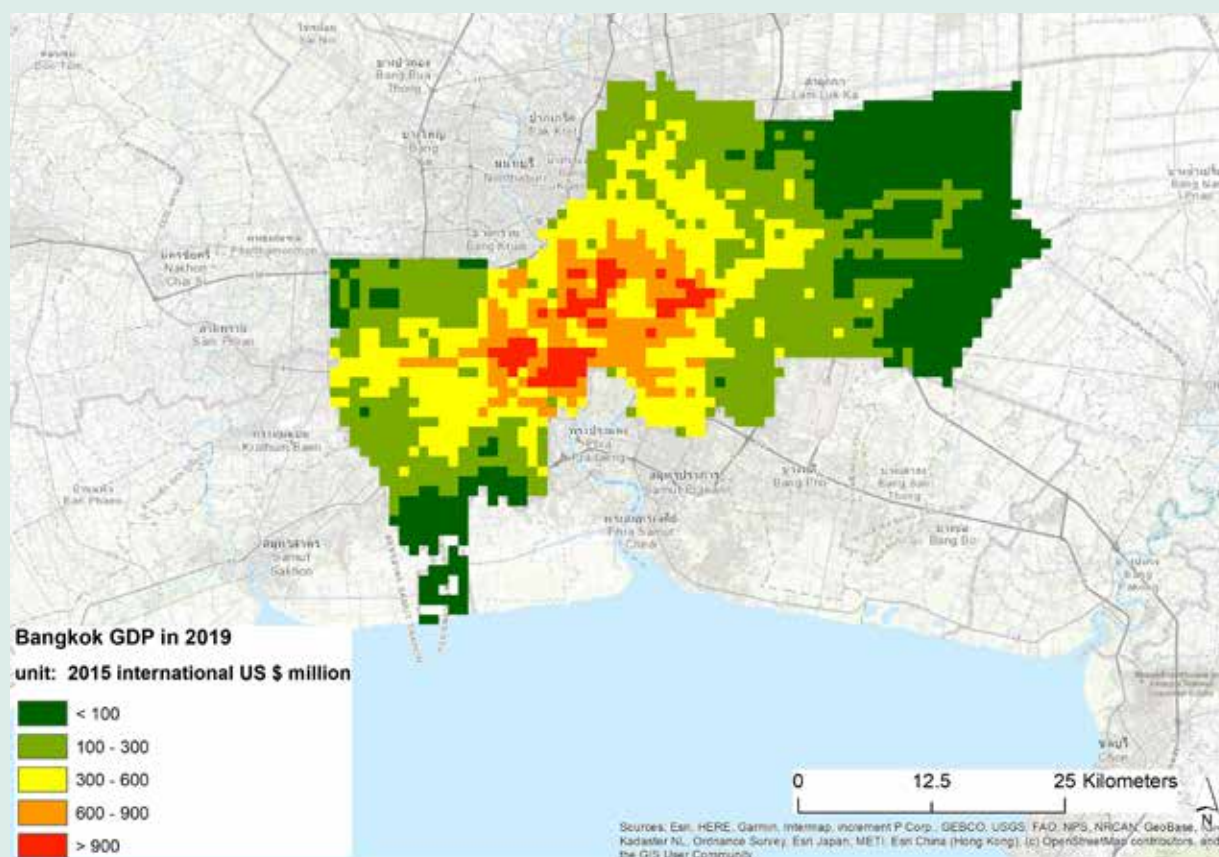


圖6：2019年曼谷GDP（PPP）的地理圖示。

香港

香港三面皆受南海包圍，除了北面沿著深圳河與深圳市比鄰。

香港受每年年際與年代際的熱帶氣旋數目波動所影響。最低紀錄為1997年與2007年的兩個熱帶氣旋，最高則是1974年的十一個熱帶氣旋。平均每年影響香港的熱帶氣旋數目為五到七個之間。熱帶氣旋會造成風暴潮，而過去的最極端事件中，則有海平面超過潮位3公尺的情形（Lee et al., 2010），為沿海低窪地區帶來嚴重淹水災情。

根據本研究在RCP8.5情境下所做的分析，若在2030年發生10年一遇的洪水，約有2%的香港土地面積會低於海平面上升後的高度（見圖7）。像是香港島的金融中心等具有較高GDP的地區，影響程度則較小。另一方面，生物多樣性及生態功能豐富的地區則可能面臨更高的淹水風險。香港的西北部，例如米埔自然護理區及

有大片紅樹林與濕地的土地，海拔高度十分低，容易受海平面上升所影響。在東亞澳洲遷徙線（East Asian-Australasian Flyway）上，米埔為超過8萬隻冬季過境的水鳥提供棲地（Wikramanayake et al., 2020）。位於香港西南部的大澳也可能遭遇淹水災情（見圖8）。

圖9為2019年香港的GDP。本研究推估香港在2030年面臨極端海平面上升及後續洪災時，共有22.4億美元的GDP（PPP）及9萬名民眾受到威脅。受影響GDP（PPP）占香港總GDP（PPP）的0.4%，其受影響GDP比例較一些其他亞洲城市來得小，原因是香港高GDP的地區，預期所受到的影響不若某些城市來得多。然而海平面上升及沿海洪災的預期影響依然顯著。



圖7：在RCP8.5情境中，2030年香港面臨海平面上升及沿海洪災時的潛在洪氾區地理圖示。

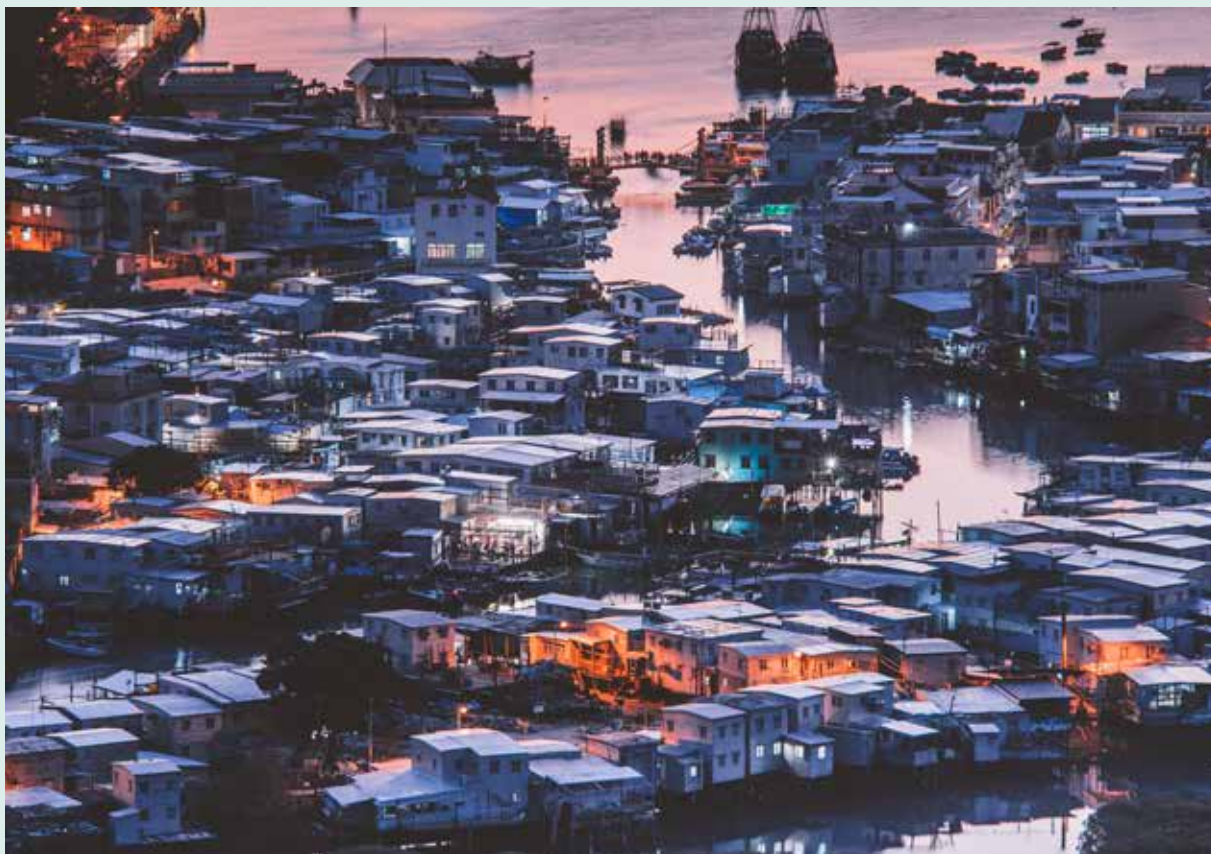


圖8：在RCP8.5情境中，2030年大澳面臨海平面上升及沿海洪災時，這個位於大嶼山的漁村可能因此淹水。© Joseph Chan/Unsplash

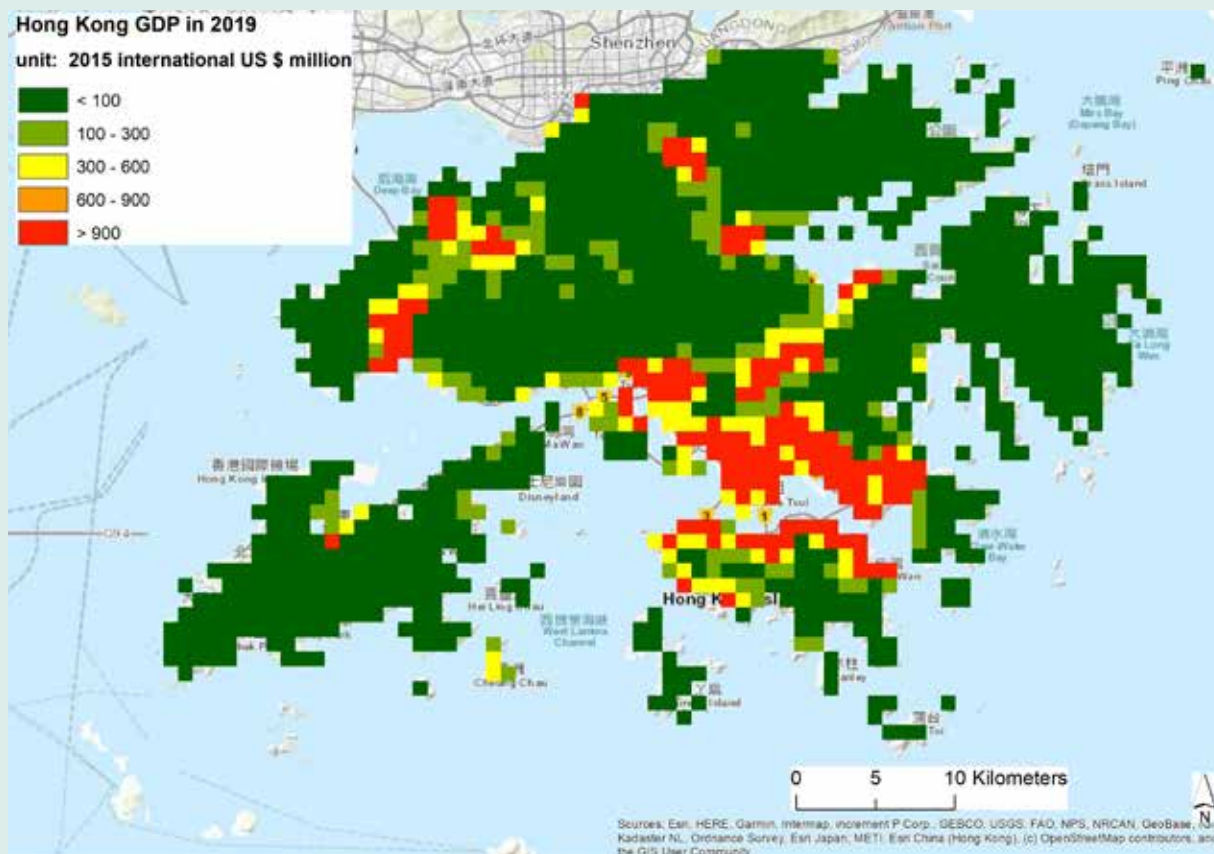


圖9：2019年香港GDP的地理圖示。

東京 (23個特別區)

熱帶氣旋通常會造成海平面上升——「風暴潮」——及沿岸淹水。每年約有11個颱風登陸日本（Yamashita and Mitsumata, 2013）。近年來日本的暴風及暴雨的頻率及強度皆有上升（日本氣象廳，2020）。於此同時，颱風期間風暴潮造成的淹水情形，因為海平面上升而變得更加嚴重。

儘管東京的平均海拔高度為40公尺，一些低窪地區仍有淹水的風險。根據東京都港灣局統計，東京與海平面等高地區約占「東京23個特別區」面積的20%，居住著約150萬居民。23個特別區中有40%的面積是高於低潮位水準5公尺，而這部分住有3百萬名居民（東京都港灣局，2021）。流經東京的主要河川有：江戶川、中川、荒川、神田川及隅田川，其中有些河川的沿岸建有高堤防，一旦潰堤的話，可能會帶來災害。

根據本研究在RCP8.5情境下所做的分析，若在2030年發生10年一遇的洪水，約有4%的東京土地面積會低於海平面上升後的高度（見圖10）。具洪災風險的地區，

主要是住宅區和商業區。東京東部、低窪的「江東五大特別區」（墨田、江東、足立、葛飾及江戶川）大部分位於零海拔區內，在RCP8.5情境下，2030年會受海平面上升和風暴潮所影響。估計有250萬的民眾居住在易淹水地區。江戶川區有70%的土地面積低於海平面，那裡過去也曾遭逢毀滅性的洪災。若海平面持續上升，其他地區也會面臨洪災的風險，例如建在海埔新生地的葛西臨海公園（包括葛西臨海水族園），以及荒川沿岸的河濱公園，這些公園也是春天賞櫻的熱門景點。坐落在墨田、東京代表性地標的東京晴空塔，也可能會有部分區域會淹水（見圖11）。

圖12為2019年東京的GDP。研究推估東京在2030年面臨極端海平面上升及後續洪災時，共有681.9億美元的GDP（PPP）及83萬名民眾受到威脅。受影響GDP（PPP）占東京總GDP（PPP）的7%。

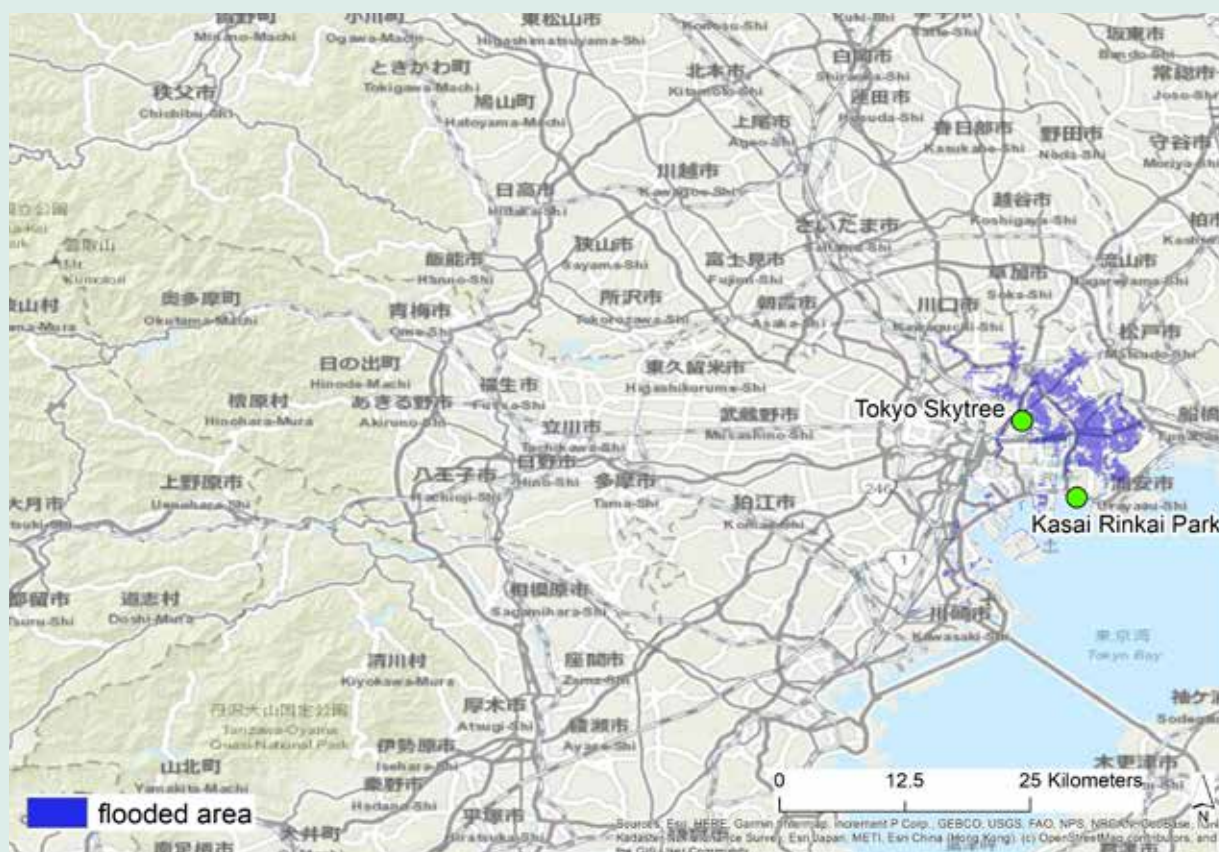


圖10：在RCP8.5情境中，2030年東京面臨海平面上升及沿海洪災的潛在洪氾區地理圖示。



圖11：在RCP8.5情境中，2030年東京面臨海平面上升及沿海洪災時，東京晴空塔可能有部分區域淹水。© Shutterstock

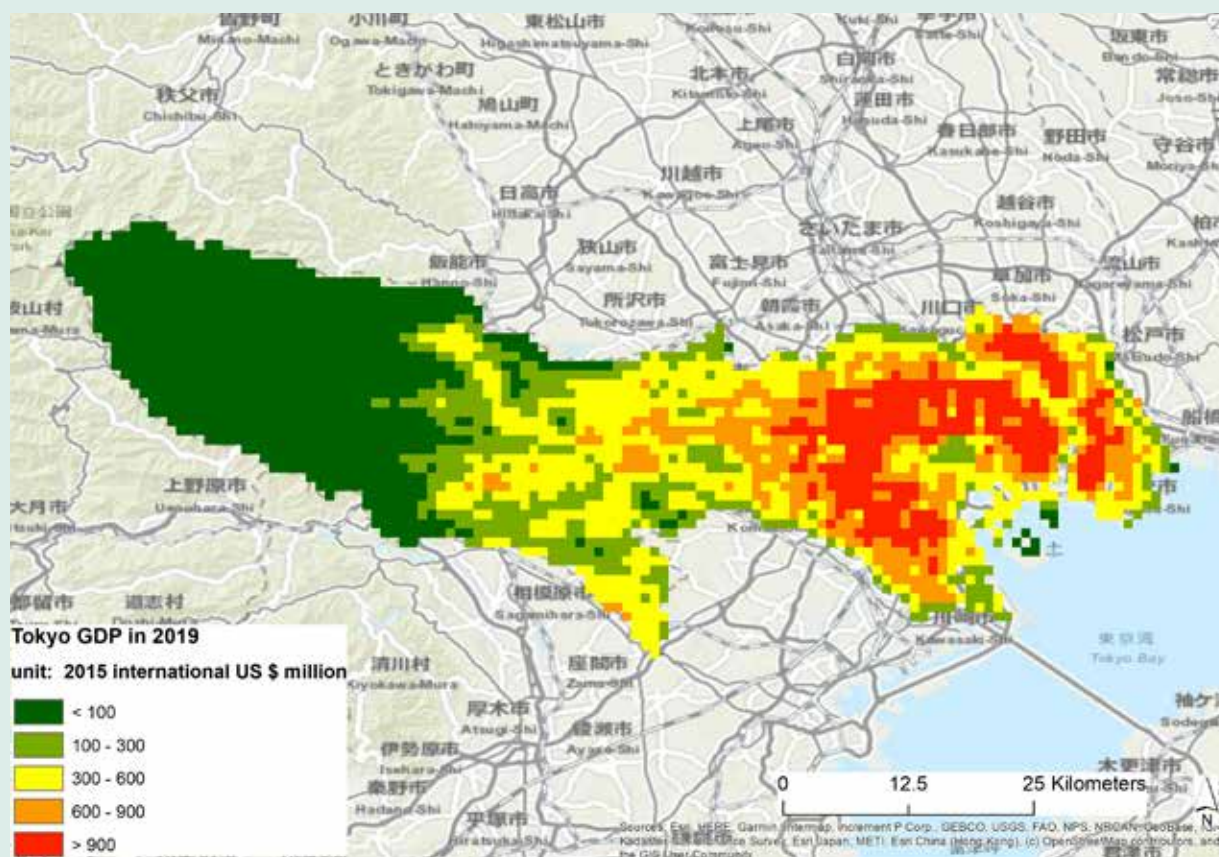


圖12：2019年東京GDP的地理圖示。

雅加達

雅加達位於爪哇島的西北岸、雅加達灣的吉利翁河口。坐落在低緩的沖積平原，雅加達的海拔高度介於-2至50公尺，平均海拔高度為8公尺。十三條流經雅加達的河川因排水不順而阻塞，進而使該城易受淹水之苦（Akmalah and Grigg, 2011）。

雅加達每年都會面臨強降雨、高河流排流量、滿潮，及隨之而來的洪災（Surya et al., 2019）。2007年時，北雅加達遭受不尋常的滿潮及強降雨侵襲，有近七成的雅加達土地淹沒（Rukmana, 2016）。2020年時，印尼氣象、氣候和地球物理局（Meteorology Climatology and Geophysics Agency）警告可能會出現巨浪及海水上升或高達4公尺的漲潮，特別是在雅加達的北岸地區（CSRI, 2019）。此外，過度抽取地下水也造成雅加達每年平均1至15公分的地層下陷（Abidin et al., 2011）。特別是沿海地區，部分雅加達地區已下陷3至4.1公尺之多（Rahman et al., 2018）。部分的雅加達可能在2050年前完全淹沒（Kummu et al., 2018）。2019年，《衛報》報導指出，印尼首都將在不久的未來，從雅加達

遷往遠在1,000公里以外，一個位於婆羅洲、尚未興建的城市（Lyons, 2019）。

研究分析在RCP8.5情境下，若在2030年發生10年一遇的洪水，約有17%的雅加達土地總面積會低於海平面上升後的高度（見圖13）。雅加達北部因海拔較低，海平面上升時，出現洪災的風險也是最高。潛在影響地區為住宅及商業建築、國家紀念塔、雅加達市政府及沿岸的購物中心（見圖14）。

圖15為2019年雅加達的GDP。研究推估雅加達在2030年面臨極端海平面上升及後續洪災時，共有682億美元的GDP（PPP）及180萬名民眾受到威脅。受影響GDP（PPP）估計占雅加達總GDP（PPP）的18%。

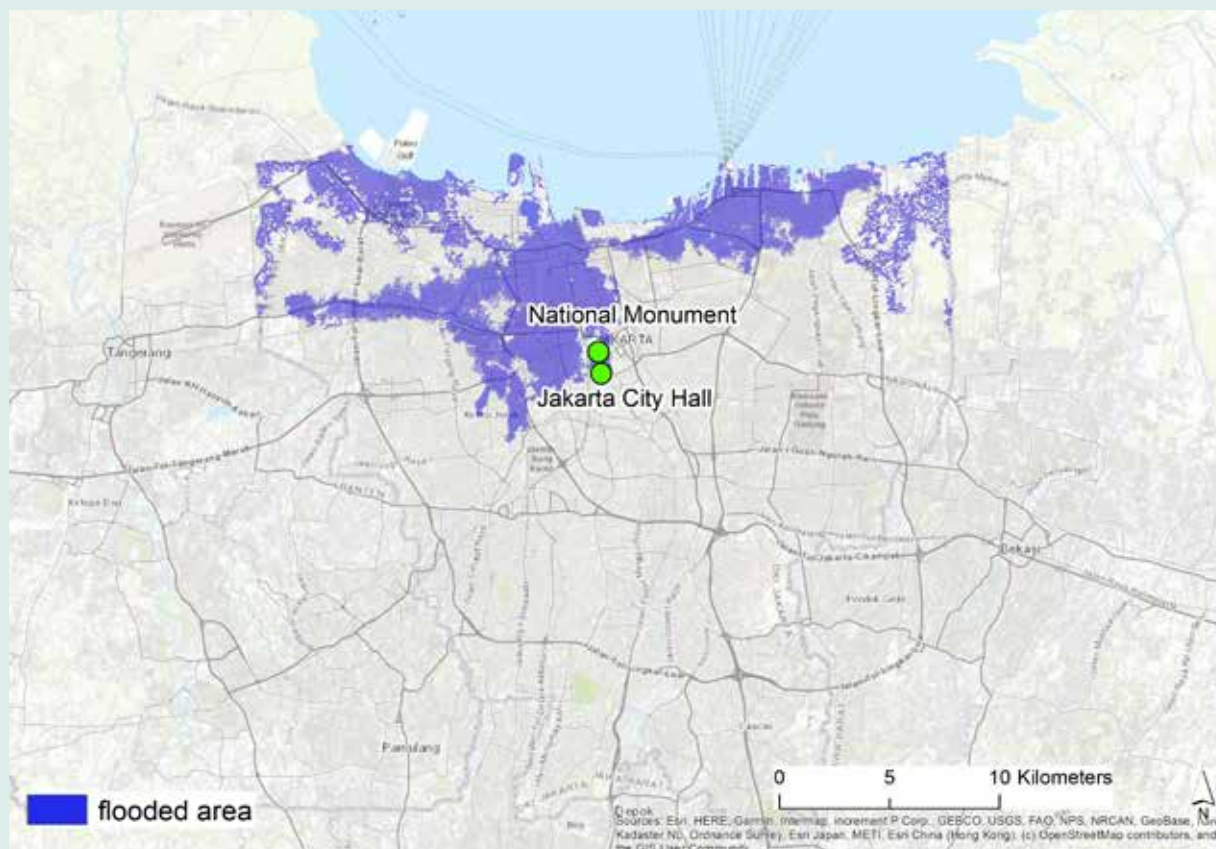


圖13：在RCP8.5情境中，2030年雅加達面臨海平面上升及沿海洪災時的潛在洪氾區地理圖示。



圖14：在RCP8.5情境中，2030年雅加達面臨海平面上升及沿海洪災時，印尼國家紀念塔可能會因此淹水。
©Jurnasyanto Sukarno/Greenpeace

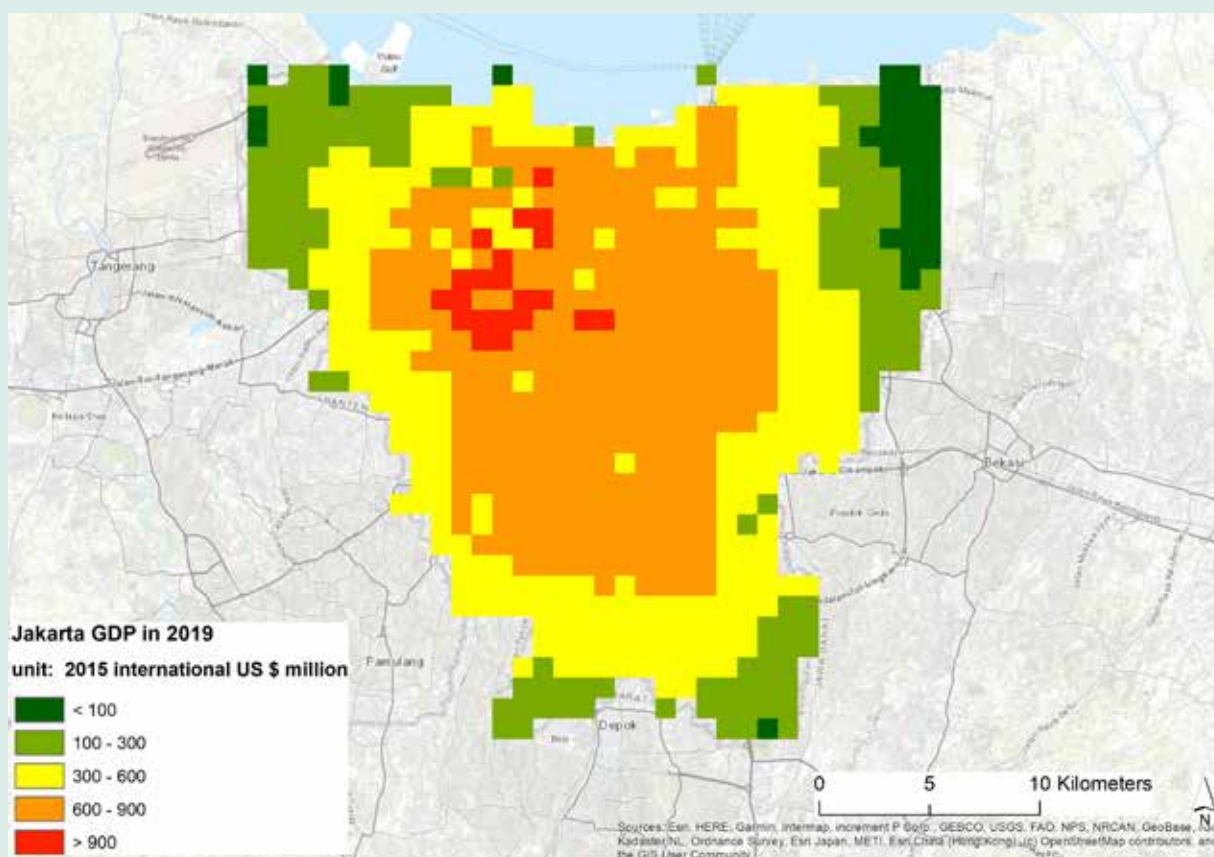


圖15：2019年雅加達GDP（PPP）的地理圖示。

首爾

首爾因漢江流經，而與黃海相接。

研究分析在RCP8.5情境下，若在2030年發生10年一遇的洪水，約有3%的首爾土地面積會低於海平面上升後的高度（見圖16）。大多數可能受到海平面上升影響之區域位在首爾的西部，主要是漢江南岸的江西區及安陽川的兩岸。本研究分析顯示受影響地區主要是住宅區和農業區。金浦國際機場的西北角可能會有些許淹水情形（見圖17）。首爾的主要金融及投資銀行區汝矣島等具高GDP的地區，離海較遠且較不會受到影響。江西沼澤生態公園可能有洪災的風險。江西沼澤生態公園有沼澤濕地、水壩及豐富的水生植物與野生動物，也是個熱門的賞鳥景點，在此可見許多候鳥物種（Visitseoul, 2021）。

圖18為2019年首爾的GDP。研究推估首爾在2030年面臨極端海平面上升及後續洪災時，共有46.9億美元的GDP（PPP）及13萬名民眾受到威脅。受影響GDP（PPP）估計占首爾總GDP（PPP）的1%，其受影響GDP比例較一些其他亞洲城市來得小，然而海平面上升及沿海洪災的預期影響依然顯著。



圖16：在RCP8.5情境中，2030年首爾面臨海平面上升及沿海洪災時的潛在洪氾區地理圖示。



圖17：在RCP8.5情境中，2030年首爾面臨海平面上升及沿海洪災時，首爾金浦國際機場可能會因此淹水。© Shutterstock

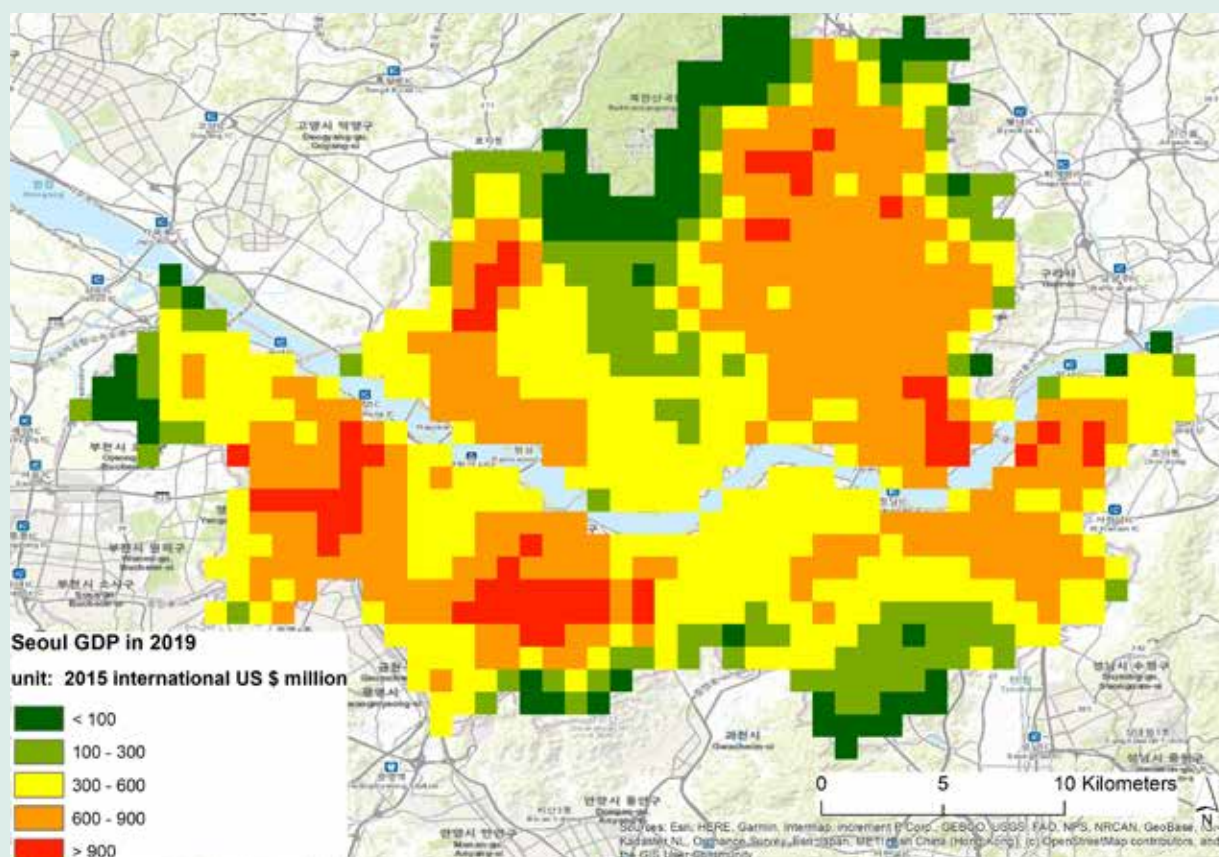


圖18：2019年首爾GDP（PPP）的地理圖示。

臺北

臺北坐落於臺北盆地中，南臨新店溪、西接淡水河。

如先前所述，在熱帶氣旋侵襲期間，往往出現風暴潮或是短暫的海平面上升。根據臺灣的中央氣象局過去百年的颱風紀錄，平均每年會有4個颱風登陸臺灣，而往年的颱風強度與規模也有所上升（Hsu et al., 2017）。颱風往往會造成台灣沿海地區嚴重的淹水情況（Hsu et al., 2014）。2001年納莉颱風期間，強降雨適逢風暴潮與滿潮，為臺北帶來重大淹水災情。媒體也曾報導該城市的捷運系統因洪水而嚴重受損，將近六個月的期間都無法運作（BBC, 2001）。

研究分析在RCP8.5情境下，若在2030年發生10年一遇的洪水，約有17%的臺北土地面積會低於海平面上升後

的高度（見圖19）。在海平面上升的情況下，臺北的西面，特別是淡水河沿岸地區，將會受到相較於城市其他地區更大的影響。預計受影響的地區，主要是中部的住宅區和商業區，以及北部的農業區。歷史悠久的市中心大同區和重要交通樞紐臺北火車站可能會因此淹水（見圖20）。熱門賞鳥景點的社子島濕地，也可能被洪水淹沒（eBird, 2021）。

圖21為2019年臺北的GDP。研究推估臺北在2030年面臨極端海平面上升及後續洪災時，共有296.4億美元的GDP（PPP）及43萬名民眾受到威脅。受影響GDP（PPP）占臺北總GDP（PPP）的24%。

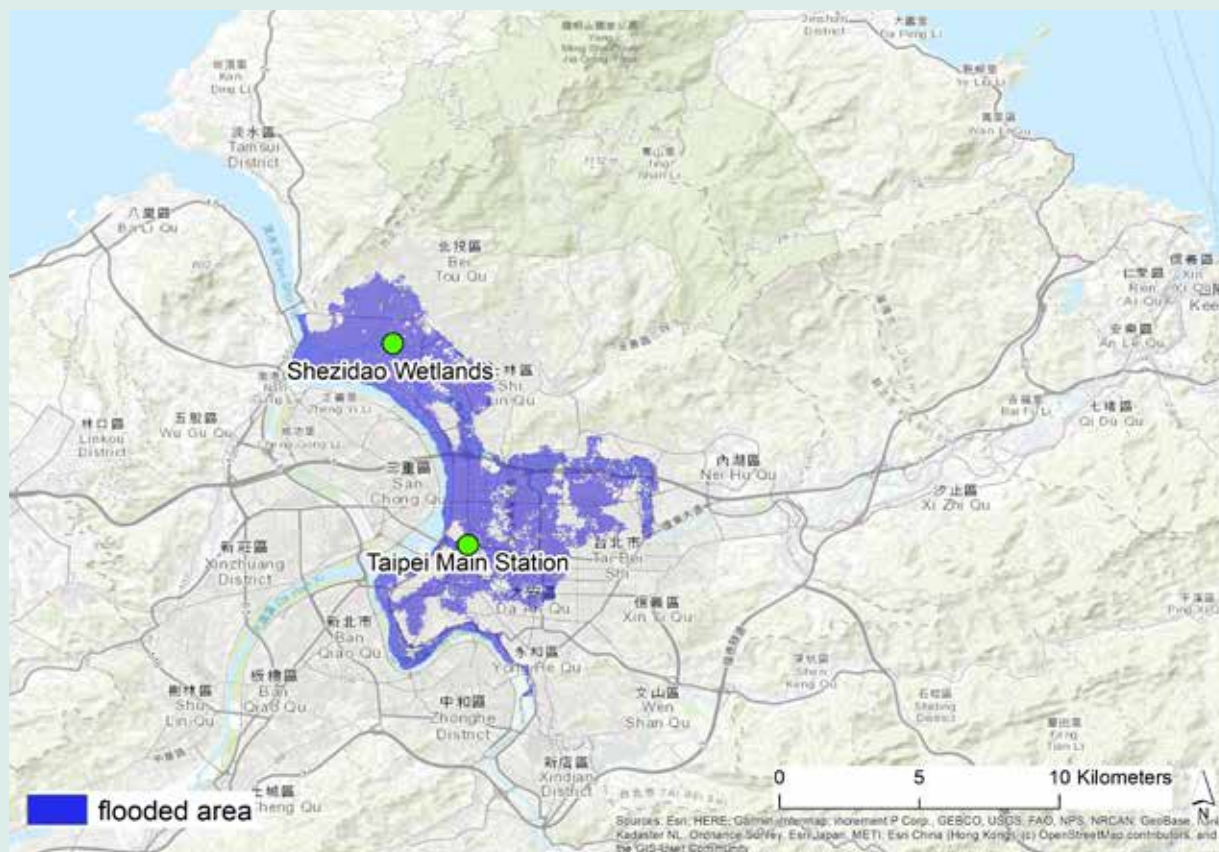


圖19：在RCP8.5情境中，2030年臺北面臨海平面上升及沿海洪災時的潛在洪氾區地理圖示。



圖20：在RCP8.5情境中，2030年臺北面臨海平面上升及沿海洪災時，臺北火車站可能會因此淹水。© Shutterstock

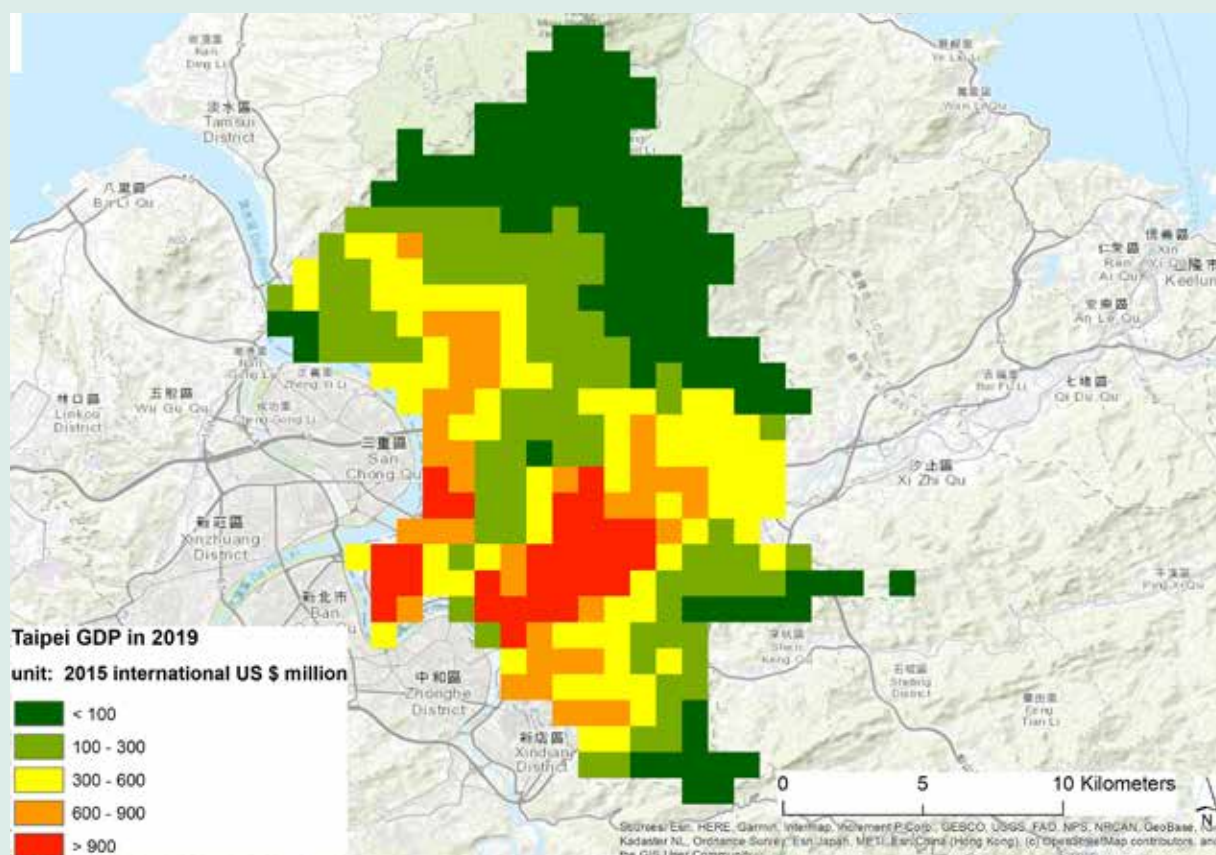


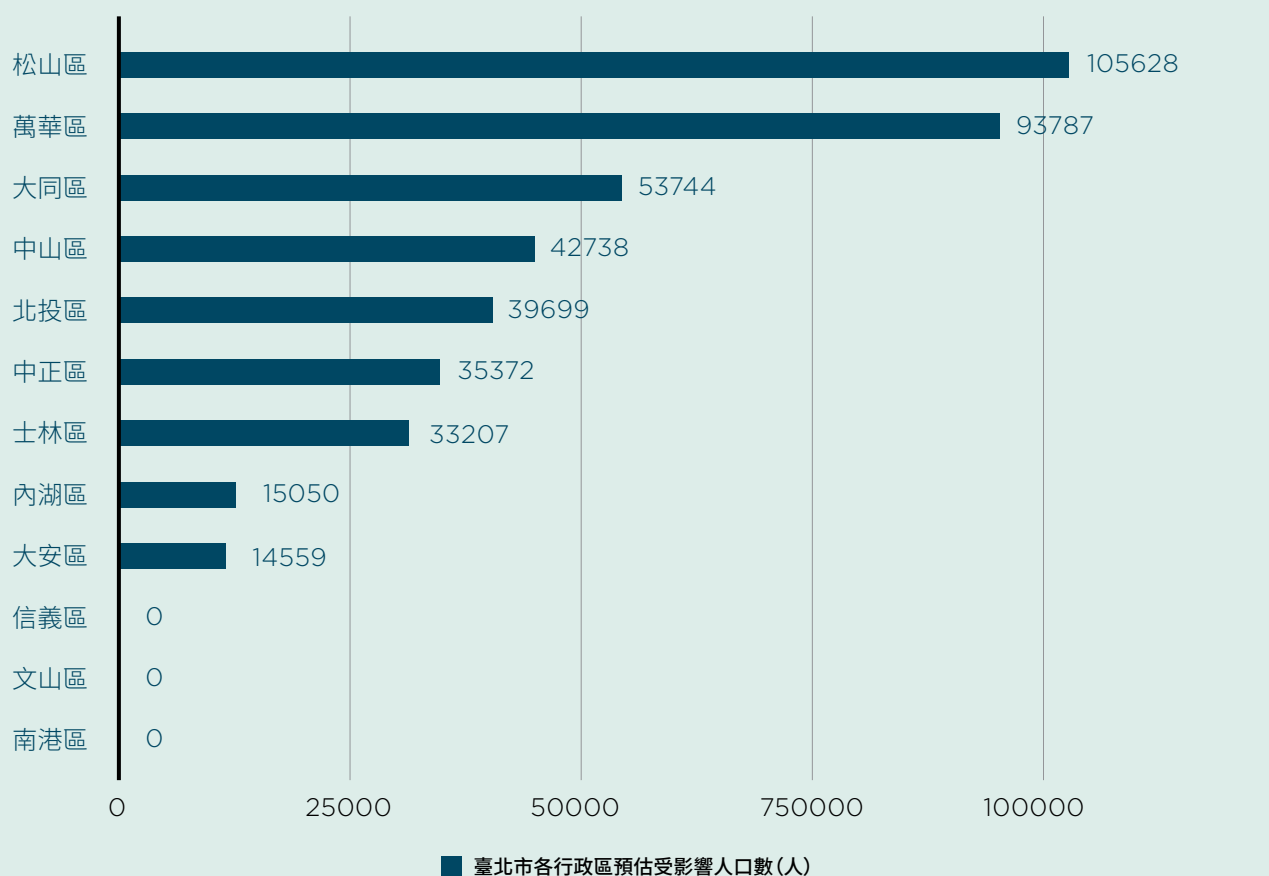
圖21：2019年臺北GDP（PPP）的地理圖示。

臺北市的氣候脆弱區

城市應針對氣候風險研擬因應策略，基於海平面上升與風暴潮造成臺北市之經濟衝擊數據，研究進一步分析社會層面之衝擊，進而作為城市研擬氣候調適政策之基礎。具不同社會脆弱度的民眾，在承受災害衝擊時，將導致不同的後果，決定社會脆弱度的因素包含產業特性、人口組成、衛生醫療、種族與階級、貧窮與社會不公平等（許耿銘，2017），當一個地區社會脆弱度越高的時候，代表氣候災難發生時所承受的衝擊越高，而且在災後回復原有生活品質的能力也較低。

研究預估2030年臺北市受海平面上升和風暴潮影響人口最多的地區依序為松山區、萬華區、大同區，由於這些地區氣候風險下的生命財產暴露量高，風暴潮來襲可能造成重大的損失。

*人口資料來源：Climate Central/Socioeconomic Data and Applications Center



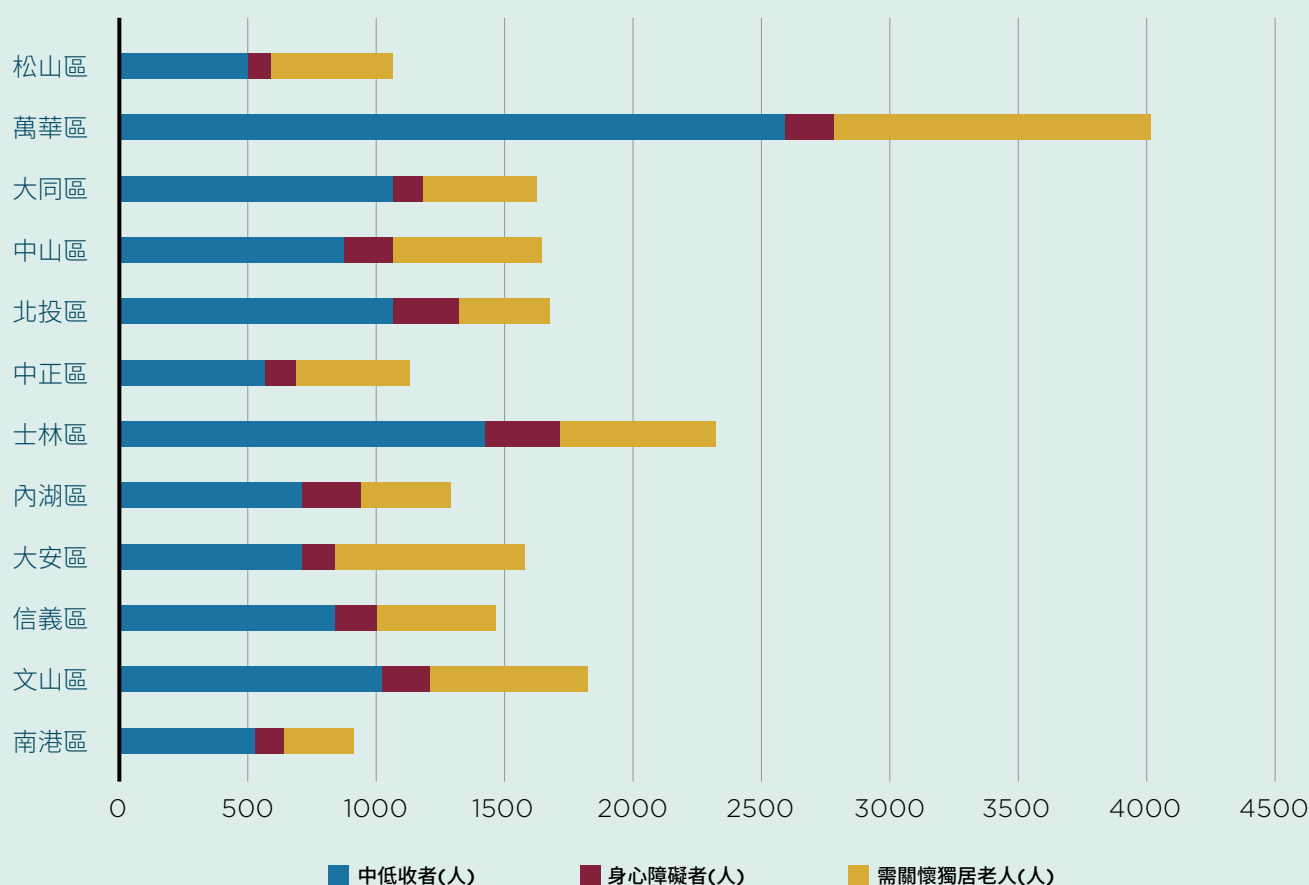
圖i：本研究推估2030年海平面上升與風暴潮下，臺北市各行政區預估受影響人口數（人）。

研究預估2030年臺北市受海平面上升和風暴潮影響人口最多的地區依序為松山區、萬華區、大同區，由於這些地區氣候風險下的生命財產暴露量高，風暴潮來襲可能造成重大的損失。

進一步以「中低收入者」、「身心障礙者」、「需關懷獨居老人」等指標檢視這些地區的社會脆弱度，依據臺北市社會局統計資料發現，萬華區在這三項指標的數據皆高於松山區與大同區，且其中低收入者和獨居老人的人數皆是臺北市最多，顯示該地區社會脆弱度高。

身處高風險地區的弱勢族群，在風暴潮發生時可能缺乏衛生保健、建築結構修復、通訊、水和食物等資源，在同樣的氣候災害發生時，該族衝擊明顯較其他地區嚴重。

政府機關在規劃氣候變遷調適政策時，除了仰賴硬體防災工程之外，應關注氣候風險下的社會脆弱性，依照不同地區受影響的範圍和人口組成，地方政府應規劃符合該地區的災害治理策略，並透過社會政策適當分配資源，以保護弱勢族群之權益。



圖ii：臺北市各行政區社會脆弱度指標族群人數（累積）。

馬尼拉市

身為馬尼拉大都會16個城市之一的馬尼拉市，坐落在馬尼拉灣東岸。流經馬尼拉的巴石河，將該城分成南北兩部分。其平均海拔高度為5公尺。部分馬尼拉的沿海地區十分低窪，海拔高度較平均海拔高度低2到3公尺（Morin et al., 2016）。

在1902至2005年期間，約有3.6到6.0個熱帶氣旋登陸菲律賓（Takagi & Esteban, 2016）。2009年的馬尼拉大都會遭遇最嚴重的淹水災情，凱莎娜颱風淹沒近乎整個大都會及鄰近省分，影響將近5百萬名民眾（菲律賓國家災害風險降低與管理中心，2009）。2020年，馬尼拉大都會再度因梵高颱風襲擊而癱瘓。根據媒體報導，大都會區及鄰近省分中，約有190萬戶家庭停電（Al Jazeera and news agencies, 2020）。在馬尼拉大都會的部分地區中，水深高至腰際。馬尼拉灣的海平面高度，是以每年13.24公釐上升當中（Tseng, 2014）。此外，馬尼拉大都會也因超抽地下水的關係（Clemente et al., 2001），而以每年10公分的速度下陷（Kramer, 2018）。

研究分析RCP8.5情境下，若在2030年發生10年一遇的洪水，約有87%的馬尼拉市土地面積會低於海平面上升後的高度（見圖22）。若海平面上升，潛在洪氾區包括高人口密度的地區、市中心的商業區和文化區、市中心以外的高密度住宅區、工業區，以及政府機關所在地。包括岷倫洛、王城區、馬拉坎南宮及黎剎公園中的黎剎紀念碑等歷史地標和熱門旅遊景點，可能會淹水（見圖23）。黎剎公園被視為亞洲最大的都會公園之一，擁有各式各樣的野生動物（Gonzales & Magnaye, 2017）。

圖24為2019年馬尼拉的GDP。研究推估馬尼拉在2030年面臨極端海平面上升及後續洪災時，共有392.4億美元的GDP（PPP）及154萬名民眾受到威脅。受影響GDP（PPP）占馬尼拉總GDP（PPP）的87%。

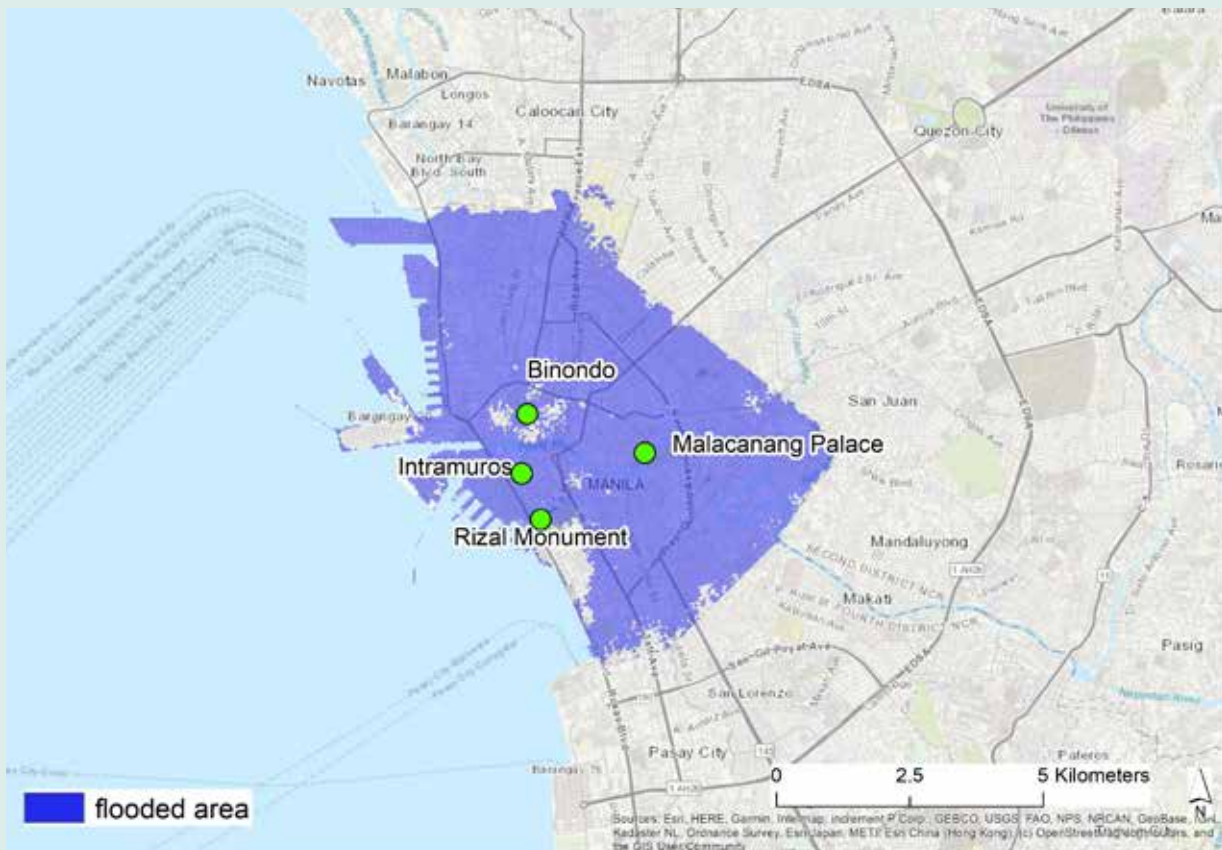


圖22：在RCP8.5情境中，2030年馬尼拉市面臨海平面上升及沿海洪災時的潛在洪氾區地理圖示。



圖23：在RCP8.5情境中，2030年馬尼拉市面臨海平面上升及沿海洪災時，黎剎紀念碑可能會因此淹水。© Jilson Ti

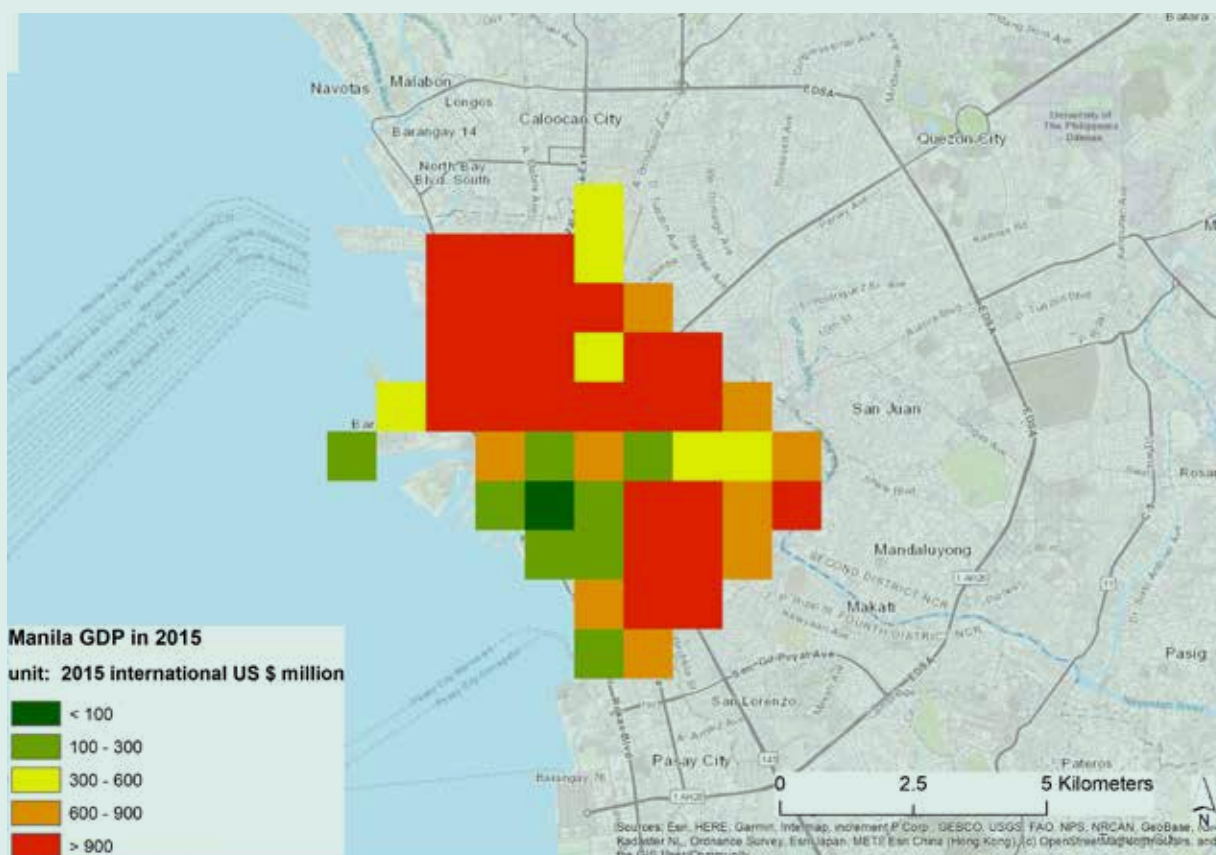


圖24：2019年馬尼拉GDP（PPP）的地理圖示。

結論

本報告所進行的分析，模擬出在RCP8.5情境下（RCP8.5視為「最壞情況」），2030年七座亞洲城市可能會受海平面上升及沿海洪災影響的面積、人口及GDP。本研究分析的七座亞洲城市之預期影響相當顯著。因此，分析中各個城市的政府與企業，一定要盡快汰除化石燃料的使用與融資，保障各個城市的經濟並保護其居民。

綠色和平敦促各政府與企業加快採取實際行動，如：停止投資煤炭並轉換至大規模的再生能源，將全球升溫控制在攝氏1.5度以內。綠色和平呼籲政府展開一致的氣候行動、抑制溫室氣體排放，讓社區有能力應對氣候衝擊。具體而言，請政府：

1. 在第26屆聯合國氣候變化綱要公約締約方大會（COP26）前，訂定更積極、符合《巴黎協議》1.5°C限制的國家自主貢獻目標（NDC）⁵
2. 取消所有規劃興建的新燃煤電廠、加速汰除燃煤電廠及核能電廠，並以潔淨的再生能源，加快能源轉型
3. 停止對海外化石燃料市場的所有投資
4. 停止所有形式的森林砍伐及泥炭地轉作
5. 採取下列措施，讓城市及社區得以建立氣候韌性：
 - a. 更新基礎設施，包含建立預警系統
 - b. 氣候資訊去中心化，
讓更多的人能為氣候衝擊做準備
 - c. 強化以社區為基礎的降低災害風險及
應對氣候衝擊的能力

海平面上升會衝擊城市的GDP，並導致家園、生計與工作的損失，也會影響健康及淡水與糧食的供給。沿海洪災、風暴潮與極端天氣事件也會對大眾致力保護的野生動物及生態系帶來負面影響。當前的氣候行動，包括國家自主貢獻目標，都不足以避免嚴重沿海洪災的風險。若執政者不能正視氣候危機的嚴重程度，其公民的生計與整體社會的經濟，都會變得越來越容易受到海平面上升、熱帶氣旋與風暴潮的影響，預期影響程度也會因人為氣候變遷，在未來數十年內變得愈加嚴重。

參考資料

- Abidin, H.Z., Andreas, H., Gumilar, I. *et al.* 2011. Land subsidence of Jakarta (Indonesia) and its relation with urban development. *Nat Hazards* 59, 1753. doi:10.1007/s11069-011-9866-9
- Akmalah, E., & Grigg, N. 2011. Jakarta flooding: Systems study of socio-technical forces. *Water International*, 36(6), 733-77. doi:10.1080/02508060.2011.610729
- Al Jazeera and news agencies. 2020. Manila paralysed after Typhoon Vamco sweeps across Philippines. 12 Nov 2020 <https://www.aljazeera.com/news/2020/11/12/manila-paralysed-after-typhoon-vamco-sweeps-across-philippines>
- BBC. 2001. Typhoon Nari kills 48 in Taiwan. 18 September 2001. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/asia-pacific/1550748.stm>
- Brown, S., Nicholls, R.J., Vafeidis, A., Hinkel, J. & Watkiss, P. 2011. The Impacts and Economic Costs of Sea-Level Rise in Europe and the Costs and Benefits of Adaptation. Summary of Results from the EC RTD ClimateCost Project. In The ClimateCost Project. Final Report (eds. P. Watkiss). Volume 1: Europe. Published by the Stockholm Environment Institute, Sweden. http://www.climatecost.cc/images/Policy_brief_2_Coastal_10_lowres.pdf
- Buis, A. 2019. The Atmosphere: Getting a Handle on Carbon Dioxide. 9 October 2019. <https://climate.nasa.gov/news/2915/the-atmosphere-getting-a-handle-on-carbon-dioxide/>
- C40. 2016. C40 Good Practice Guides: Tokyo - Super levees. 15th February, 2016. https://www.c40.org/case_studies/c40-good-practice-guides-tokyo-super-levees
- Center for International Earth Science Information Network - CIESIN - Columbia University. 2016. Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4): Population Density Adjusted to Match 2015 Revision UN WPP Country Totals. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). doi:10.7927/H4HX19NJ. Accessed 14 May 2021.
- Clemente, R. *et al.* 2001. Groundwater Supply in Metro Manila: Distribution, Environmental and Economic Assessment. DISCUSSION PAPER SERIES NO. 2001-06. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.155.1356&rep=rep1&type=pdf>
- CSRI. 2019. Cabinet Secretariat of the Republic of Indonesia. BMKG Warns Against Heavy Rain on Christmas, New Year Holiday. Published online December 24, 2019. Available at: <https://setkab.go.id/en/bmkg-warns-against-heavy-rain-on-christmas-new-year-holiday/> [Accessed June 4, 2021.]
- Ebird. 2021. <https://ebird.org/hotspot/L6675201>
- Edogawa City Planning. 2019. Edogawa City Hazard Map. May 2019. <https://www.city.edogawa.tokyo.jp/documents/519/sassi-en.pdf>
- GFDL. 2021. Global Warming and Hurricanes An Overview of Current Research Results. <https://www.gfdl.noaa.gov/global-warming-and-hurricanes/>
- Gonzales, L. & Magnaye, D. 2017. Measuring the Urban Biodiversity of Green Spaces in a Highly Urbanizing Environment and Its Implications for Human Settlement Resiliency Planning: The Case of Manila City, Philippines, *Procedia Environmental Sciences* 37: 83-100
- Hay, C., Morrow, E., Kopp, R. *et al.* 2015 Probabilistic reanalysis of twentieth-century sea-level rise. *Nature* 517, 481-484. doi:10.1038/nature14093
- Hsu, T.-W., Shih, D.-S., Li, C.-Y., Lan, Y.-J., & Lin, Y.-C. 2017. A Study on Coastal Flooding and Risk Assessment under Climate Change in the Mid-Western Coast of Taiwan. *Water*, 9, 390. doi:10.3390/w9060390 <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29HE.1943-5584.0001069>
- IPCC. 2018. Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)].
- Japan Meteorological Agency. 2020. Special feature To protect lives and livelihoods from the intensifying heavy rain disaster. <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/hakusho/2020/index1.html>

- Kirezci, E., Young, I.R., Ranasinghe, R. *et al.* 2020. Projections of global-scale extreme sea levels and resulting episodic coastal flooding over the 21st Century. *Sci Rep* 10, 11629 doi:10.1038/s41598-020-67736-6
- Knutson, T., *et al.* 2020. Tropical Cyclones and Climate Change Assessment: Part II: Projected Response to Anthropogenic Warming. *Bulletin of the American Meteorological Society* 101(3). https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/101/3/bams-d-18-0194.1.xml?tab_body=pdf
- Kossin, J.P. Knapp, K.R. Olander, T.L. & Velden, C.S. 2020. Global increase in major tropical cyclone exceedance probability over the past four decades. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117 (22) 11975-1980. doi: 10.1073/pnas.1920849117 <https://www.pnas.org/content/117/22/11975>
- Kramer, K. 2018. Sinking Cities, Rising Seas: A perfect storm of climate change and bad development choices. Christian Aid. <https://www.christianaid.org.uk/sites/default/files/2018-10/Christian-Aid-Sinking-cities-rising-seas-report.pdf>
- Kulp, S.A. & Strauss, B.H. 2019. New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. *Nature Communications* 10: 4844 . doi:10.1038/s41467-019-12808-z <https://www.nature.com/articles/s41467-019-12808-z>
- Kummu, M., Taka, M. & Guillaume, J. 2018. Gridded global datasets for Gross Domestic Product and Human Development Index over 1990–2015. *Scientific Data* 5, 180004 doi:10.1038/sdata.2018.4 <https://www.nature.com/articles/sdata20184>
- Lee, B.Y. , Wong, W.T. & Woo, W.C. 2010. Sea-level Rise and Storm Surge –Impacts of Climate Change on Hong Kong. HKIE Civil Division Conference 2010, 12-14 April 2010, Hong Kong. _ <https://www.hko.gov.hk/en/publica/reprint/files/r915.pdf>
- Lyons, K. 2019. Why is Indonesia moving its capital city? Everything you need to know. 27 August, 2019. <https://www.theguardian.com/world/2019/aug/27/why-is-indonesia-moving-its-capital-city-everything-you-need-to-know>
- Morin, V.M., Warnitchai, P. & Weesakul, S. 2016. Storm surge hazard in Manila Bay: Typhoon Nesat (Pedring) and the SW monsoon. *Natural Hazards* (81), 1569–1588. doi.org:10.1007/s11069-016-2146-y
- National Disaster Coordinating Council, 2009. Final report on tropical storm “Ondoy”. https://ndrrmc.gov.ph/attachments/article/1543/Update_Final_Report_TS_Ondoy_and_Pepeng_24-27SEP2009and30SEP-20OCT2009.pdf
- Phien-wej N. Giao, PH. Nutalaya, P. 2006. Land subsidence in Bangkok, Thailand. *Eng Geol* 82:187–210. https://www.researchgate.net/publication/223622817_Land_subsidence_in_Bangkok_Thailand
- Rahman, S., Sumotarto, U., & Pramudito, H. 2018. Influence the condition land subsidence and groundwater impact of Jakarta coastal area. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 106 012006. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/106/1/012006/meta>
- Rukmana, D. 2016. Flood Governance in Jakarta: The Role of CBOs in Mitigating Annual Floods. 7th January, 2016. <https://www.mei.edu/publications/flood-governance-jakarta-role-cbos-mitigating-annual-floods>
- Schinko, T., *et al.* 2020. Economy-wide effects of coastal flooding due to sea level rise: a multi-model simultaneous treatment of mitigation, adaptation, and residual impacts. *Environmental Research Communications* 2(1) 015002 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2515-7620/ab6368#fnref-ercab6368bib61>
- Seneviratne, S.I., N. Nicholls, D. Easterling, C.M. Goodess, S. Kanae, J. Kossin, Y. Luo, J. Marengo, K. McInnes, M. Rahimi, M. Reichstein, A. Sorteberg, C. Vera, and X. Zhang. 2012. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 109–230. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX-Chap3_FINAL-1.pdf

- Setiadi, R., Baumeister, J; Burton, P; Nalau, J. 2020. Extending Urban Development on Water: Jakarta Case Study. *Environment and Urbanization ASIA*, doi: 10.1177/0975425320938539 <https://research-repository.griffith.edu.au/bitstream/handle/10072/397378/Burton442235-Accepted.pdf;jsessionid=03F286BE96F60BCFD98D5D82F2F506E4?sequence=3>
- Surya, M.Y., He, Z. Xia, Y. & Li, L. 2019. Impacts of Sea Level Rise and River Discharge on the Hydrodynamics Characteristics of Jakarta Bay (Indonesia). *Water* 11, 1384, doi:10.3390/w11071384
- Takagi, H., Esteban, M. 2016. Statistics of tropical cyclone landfalls in the Philippines: unusual characteristics of 2013 Typhoon Haiyan. *Nat Hazards* 80, 211-222. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1965-6>
- Tokyo Bureau of Port and Harbor. 2021. A Tokyoite is protected from a tsunami and a tidal wave. <https://kouwan-metro-tokyo-lg-jp.j-server.com/LUCKOUWAN/ns/tl.cgi/https://www.kouwan.metro.tokyo.lg.jp/jigyo/madoguchi/kensetsu-jimusyo/UmetateKankyo/?SLANG=ja&TLANG=en&XMODE=0&XC HARSET=utf-8&XJSID=0>
- Tseng, Y., TDing, JJ. & Lou, JY. 2014. Global sea level change in the past century. OCEANS 2014 - TAIPEI. IEEE. doi: 10.1109/OCEANS-TAIPEI.2014.6964580 <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6964580>
- Visitseoul. 2021. https://english.visitseoul.net/nature/Gangseo-Marsh-Ecological-Park_/24154
- Wikramanayake, E., Or, C., Costa, F., Wen, X., Cheung, F. & Shapiro, A. 2020. A climate adaptation strategy for Mai Po Inner Deep Bay Ramsar site: Steppingstone to climate proofing the East Asian-Australasian Flyway. *PLoS ONE* 15(10): e0239945. doi:10.1371/journal.pone.0239945
- World Ocean Review. 2010. 1 Living with the oceans – A report on the state of the world's oceans. *maribus gGmbH*, Pickhuben 2, 20457 Hamburg, Germany. ISBN 978-3-86648-012-4. https://worldoceanreview.com/wp-content/downloads/wor1/WOR1_en_chapter_3.pdf
- Xu, C., Kohler, T. A., Lenton, T. M. 2020. Svenning, J.-C. & Scheffer, M. Future of the human climate niche. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 117, 11350-11355. DOI: 10.1073/pnas.1910114117
- Yamashita, M. & Mitsumata, J. 2013. Does Global Warming Affect Typhoon Patterns in Japan? Discussion from the Viewpoints of the Numbers of Typhoons That Develop, Approach, and Hit Japan, and Their Intensities. *Resources and Environment* 3(5): 115-128, doi:10.5923/j.re.20130305.02
- Yong, E. 2021. Understanding the economic impacts of sea-level rise on tourism prosperity: Conceptualization and panel data evidence, *Advances in Climate Change Research* 12(2): 240-253. /doi:10.1016/j.accre.2021.03.009.

附註

- 1 本報告中，「極端海平面上升」係為滿潮及所導致之海平面上升，例如十年一遇的洪水事件（即：重現期為十年的事件）。
- 2 <https://www.worldpop.org/>
- 3 <https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/saltwater-intrusion>
- 4 本報告中，「十年一遇的洪災」係為因暴潮及滿潮所導致的沿海洪災事件，每年有10%的機率會高於該洪災的海平面高度。
- 5 國家自主貢獻（nationally determined contribution，NDC）是各國家及地區為減少溫室氣體排放及符合巴黎協議目標所做出的承諾。



Buses and trucks are seen as they drive on a flooded street at Bang Kae district in Bangkok.
© Athit Perawongmetha/Greenpeace



**綠色和平是一個獨立的全球性環保組織，
致力於以實際行動推動積極改變，
保護地球環境與世界和平。**

著作權及免責聲明

本報告為綠色和平東亞辦公室發布，由綠色和平臺北辦公室（以下稱「綠色和平」）翻譯出版。閱讀本報告即表示您已閱讀、理解並接受下列著作權及免責聲明條款的約束。

著作權聲明

本報告由綠色和平發布，
綠色和平是本報告的唯一合法著作權所有人。

免責聲明

本報告作環保公益和資訊分享目的使用，不作為公眾及任何協力廠商的投資和決策參考，綠色和平亦不承擔因此引發的相關責任。

本報告為綠色和平於研究期間內基於各種公開訊息獨立調查研究產出的成果，綠色和平不對報告中所涉及資訊的即時性、準確性和完整性擔保。

本報告所使用的地圖邊界、地名以及文本中的數據反應所使用的資料來源，並不代表綠色和平的政治立場。

如您有任何問題或建議，請聯繫

inquiry.tw@greenpeace.org

綠色和平臺北辦公室 2021年出版

臺北市中正區重慶南路一段109號

+886 22361 2351

www.greenpeace.org/taiwan/zh