

出國報告(出國類別:其他,參加國際線上會議)

參加 2021 年瑞典斯德哥爾摩 國際水週 World Water Week 研討會

服務機關：經濟部水利署、北區水資源局

姓名職稱：陳科長芳瓊、盧工程員誼靜

派赴國家：瑞典（線上會議）

出國期間：110年8月23日~110年8月27日

報告日期：110年11月

摘要

國際水週（World Water Week）是全球領先的水議題論壇，由瑞典斯德哥爾摩國際水研究所（Stockholm International Water Institute，簡稱 SIWI）自 1991 年開始籌組，每年定期舉辦，迄今已有 30 年歷史。論壇中邀請全球各地不同領域的專家、學者及企業人士，一起解決世界上與水相關的挑戰，主題橫跨糧食安全、用水健康、環境議題、農業技術、生物多樣性和氣候危機等。本年度論壇主題為「更快地建立韌性」（Building Resilience Faster），聚焦在解決世界上與水有關的最大挑戰之解決方案，從氣候危機開始，包括水資源短缺、糧食安全、健康、生物多樣性和 Covid-19 影響等，參與者來自 188 個國家，約有 13,000 名與會者在線參加 400 多場的會議和活動。

氣候變遷的腳步加快了，在全球各地不斷遭遇天然災害包含極端降雨造成洪水、熱浪、乾旱及野火等情況下，論壇主題迫切反映出全球環境社會的狀態、遭遇的天災問題等都與水離不開關係。在開幕儀式中，各界專家們齊聲呼籲社會需進行大規模的變革，以共同創造永續發展的解決方案。本次國際水週傳達出一項重要的訊息，在解決水的危機及全球暖化的議題上，人類擁有許多解決方式，但是必須讓公眾了解這些並向政客施加壓力並透過政策的力量介入，才能擁有更充足的幫助。此外，水週主題更加關注水的價值，若低估水的價值，人類將無法妥善管理水的議題。

國際水週列出了 5 大需要與水應對之重要議題，探索「挑戰-水在改變的世界中之作用與角色」，包括 1. 建設具韌性和公平的社會是所有決策者的首要任務。Covid-19 大流行暴露了嚴重的不平等，隨著氣候危機的升級，這種不平等可能會加劇，已經脆弱的群體尤其面臨失去家園、生計甚至生命的風險。而良好的水資源治理是我們最重要的工具之一，水還可以幫助我們在應對氣候危機的同時實現永續發

展目標。2.與自然共生，避免危險的臨界點，讓大自然幫助我們解決最緊迫的挑戰。3.轉變我們的價值鏈，實現循環經濟，減少對包括水在內的自然資源的壓力。重新思考生產、消費和浪費，必須在不過度開發水資源的情況下轉向可再生能源。4.重新思考我們的城市，以不同的方式思考城市，到 2050 年，全球 70% 的人口將居住在城市內。90%的城市位於海岸線上，除對海洋健康構成巨大威脅，也面臨海平面上升和地下水位下降風險。由於城市消耗了世界三分之二的能源並產生了大部分碳排放，因此城市規劃者扮演至關重要的作用。5.投資於系統性變革，必須在地方和全球層面更好地重建，對複雜且相互關聯的世界採取更多的系統方法，需要了解這些系統如何促進韌性復原力。

目 錄

一、目的.....	1
二、2021 國際水週介紹.....	2
(一)前言.....	2
(二) 2021 年專題範圍(Thematic Scope)重點.....	2
(三)論壇5大水挑戰議題.....	4
(四)7項重要的結論.....	5
三、參加過程.....	9
(一)參加/觀看線上研討會主題.....	9
(二)會議重點議題及摘錄會議內容.....	9
四、心得與建議.....	26
五、參考文獻.....	30

一、目的

氣候變遷是現在進行式，目前世界各國正經歷前所未有的極端氣候，乾旱、洪水、暴風雨等災害都與「水」息息相關。臺灣上半年也經歷了 56 年來的大旱，中南部水庫幾乎見底，台中、苗栗地區啟動自來水停五供二分區輪流供水的因應機制，調水、找水全臺啟動，全民總動員努力下度過難關，所幸 5 月底連日梅雨為大地解渴，也慢慢解除了缺水危機。臺灣屬島國，降雨主要倚賴梅雨、颱風、西南氣流及東北季風，特殊的地理環境及降雨特性，一旦缺一，將導致供水不穩定影響民眾生計及經濟活動，受氣候變遷影響比大陸國家更敏感，風險更大，因此更需進行災害風險管理的作為，以提早因應。

為了減緩極端氣候的情況，「水」必須成為每個人心中的首要考量，提升水價值是必要的，除了仰賴水資源人才的專業外，更需要都市計畫、氣候、能源等各領域的專家共同參與。瑞典斯德哥爾摩國際水週是全球領先的水議題論壇，每年定期舉辦，迄今已有 30 年歷史，不僅如此，論壇的另一目的在於各種人才的結合，特別是加入年輕一代及重視女性的思維與力量，偕同所在地居民提供的資訊，協力創造更具韌性的世界。氣候變遷及水的議題屬跨國家、跨區域、跨部門及跨領域的課題，非單一國家、單一學門可解決，需全球各國共同努力才可減緩其變遷速度。

藉參與論壇可獲取最新國際水議題的思維、作法、解決方法等，除可提升自身於水議題上的認識外，也可將新思維引進，提供對水議題有興趣的人參考。最近幾年「氣候難民」一詞，時有耳聞，期待臺灣各界從事「水」工作者，能共同努力，不讓臺灣冠上此名詞。

二、2021 國際水週介紹

(一)前言

國際水週 (World Water Week) 是全球領先的水議題論壇，由瑞典斯德哥爾摩國際水研究所 (Stockholm International Water Institute, 簡稱 SIWI) 自 1991 年開始籌組，每年定期舉辦，迄今已有 30 年歷史。論壇中邀請全球各地不同領域的專家、學者及企業人士，一起解決世界上與水相關的挑戰，主題橫跨糧食安全、用水健康、環境議題、農業技術、生物多樣性和氣候危機等。

國際水週的願景為「共建智慧水世界」，目前 SIWI 正在執行一項多年計畫，預期將國際水週發展成為世界上最具影響力的運動，轉變全球對水的挑戰。除了對水資源的重視外，2017 年國際水週引入了黃金準則 (Gold Standard)，即至少應有 40% 的女性和至少一名 35 歲的以下的演講者參與，並將活動設計為鼓勵觀眾參與的型式。

本 (2021) 年度活動於 8 月 23 日至 27 日以線上會議方式舉行，主題為「更快地建立韌性」(Building Resilience Faster)，聚焦在解決世界上與水有關的最大挑戰之解決方案，從氣候危機開始，包括水資源短缺、糧食安全、健康、生物多樣性和 Covid-19 影響等，參與者來自 188 個國家，約有 13,000 名與會者在線參加 400 多場的會議和活動。

(二)2021 年專題範圍(Thematic Scope)重點

- 1.2021 年國際水週將解決人類面臨的最重要挑戰之一：氣候危機。在年輕一代強烈呼籲的推動下，世界各地的有關民眾和政治領導人要求聽取科學家提供的數據和信息，並要求制定一項政治議程，承認氣候變化危機是最大的單一對世界的威脅。2021 年國際水週通過關注水的作用和角色(role of water)和將氣候風險轉化為參與

及行動來做出貢獻。

2. 氣候危機強調了向真正有韌性社會過渡的必要性，並強調了水和發展面臨的重大風險。為了加快行動並更快地建立韌性，我們需要重點關注具體的例子和案例：哪些有效，哪些無效，以及我們學到了什麼？ Covid-19 危機提供了重要的經驗教訓，因為建立重視水和抵禦流行病的社會與建立抵禦氣候變化的能力有著鮮明的相似之處。
3. 氣候變化已經給很脆弱的人帶來了不成比例的壓力，就像他們遭受 Covid-19 一樣。更好地重建需要加強對複合災害的抵禦能力，並認識到水通常是壓力倍增器。建立信任、刺激創新、調動資源，最重要的是重視水的價值至關重要。例如，我們必須討論基於自然的解決方案如何幫助解決水和衛生問題，需要哪些方法來改善弱勢婦女和兒童的福祉，以及我們如何通過金融機制和合作夥伴加強韌性復原力。
4. 另一個要探索的優先事項是促進氣候變化減緩和調適之間的協同增效作用。農業、林業、能源生產及水的管理與治理需要更加綜合、整合地考量。Covid-19 的影響和持續的氣候危機顯示，城市水資源管理系統是多麼脆弱，以及它們如何影響城市居民的生計和健康，尤其是在低收入住區。公用事業面臨著為所有人提供供水的挑戰，同時必須確保回收之成本及增強其恢復能力。
5. 氣候、生態系統、社會和經濟動態相互作用，水是其中的連接器。跨部門和跨界接受多樣水資源價值對於應對氣候變化和 Covid-19 引發的經濟衰退等共同風險至關重要。可以通過使用數據和信息、實地調查、治理和正義來增強韌性。
6. 2021 年世界水週專注於創新和科學，以建設一個有韌性的未來，並通過實例和想法加以說明。我們沒有理由不採取行動：有足夠的

事實、解決方案、經驗和日益增加的急迫感，可以立即採取行動。

(三)論壇 5 大水挑戰議題

2021 國際水週列出了 5 大需要與水應對之重要議題，探索「挑戰-水在改變的世界中之作用與角色,Challenges – the role of water in transforming the world)」，列如下：

1.建設具韌性和公平的社會,Building resilient and fair societies

建設具韌性和公平的社會是所有決策者的首要任務。Covid-19 大流行暴露了嚴重的不平等，隨著氣候危機的升級，這種不平等可能會加劇。已經脆弱的群體尤其面臨失去家園、生計甚至生命的風險。飢餓、極端天氣、災害和失業都在上升，這會加劇衝突並破壞社會穩定。但是，我們可以扭轉趨勢。良好的水資源治理是我們最重要的工具之一，因為氣候危機通常以乾旱或洪水等極端水資源的形式出現。水還可以幫助我們在應對氣候危機的同時實現永續發展目標。

2.與自然共生,Working together with nature

強調自然的作用，需要避免危險的臨界點。因此，必須同時努力控制碳排放，適應全球變暖不可避免的後果，扭轉自然退化。憑藉當今的科學理解和技術知識，選擇一條不同的道路，讓大自然幫助我們解決最緊迫的挑戰。

3.轉變我們的價值鏈,Transforming our value chains

必須實現循環經濟，減少對包括水在內的自然資源的壓力。為此，需要重新思考生產、消費和浪費。在未來幾年內，農業需要使用更少的水和化學品生產更有營養的食物，工業必須減少水和能源的消耗。必須在不過度開發水資源的情況下轉向可再生能源。交通、水利基礎設施和消費品的生產需要一種新的邏輯，以使其具有長期韌性並減少溫室氣體排放。

4.重新思考我們的城市,Rethinking our cities

以不同的方式思考城市，到 2050 年，全球 70% 的人口將居住在城市內。90%的城市位於海岸線上，除對海洋健康構成巨大威脅，也面臨海平面上升和地下水位下降風險。由於城市消耗了世界三分之二的能源並產生了大部分碳排放，因此城市規劃者扮演至關重要的作用。他們在減緩和調適氣候變化、住宅、能源生產、交通和衛生方面的選擇將深刻影響未來。尤其在改善生活在貧民窟的近 10 億人的安全和服務上最為重要。

5.投資於系統性變革, Investing in systemic change

必須在地方和全球層面更好地重建。這將需要對我們複雜且相互關聯的世界採取更多的系統方法。認識到巨大的力量正在以數位化、指數技術、貿易模式、行為趨勢和全球金融體系的形式發揮作用，這些系統如何促進韌性復原力。

(四)7 項重要的結論

來自 188 個國家的參與者分享經驗共同尋找創造「Building Resilience Faster,更快的建立韌性」的解決對策，由大會的紀錄觀察員參加各場次論壇，並經討論獲得以下 7 個結論:

1.人們對韌性復原力的興趣日益增加,There is growing interest in resilience

更快地建立韌性復原力的主題似乎真的引起了國際水週參與者的共鳴。許多人將 2021 年描述為整個世界正在經歷健康威脅和氣候相關災害的第一年，這些災害以前主要影響全球南方的低收入國家。這種想法正在迅速改變世界談論氣候風險的方式，並使經常被遺忘的調適問題成為人們關注的焦點。如果這些劇烈的氣候影響今天已經開始顯現，氣溫升高 1.1 攝氏度，那麼即

使設法將全球變暖控制在攝氏 1.5 或 2 度，也必須為未來幾年更加極端和危險的事件做好準備。

2. 必須使社會的每個部門都適應氣候變化, We must climate-proof every sector of society

2021 年國際水週充滿了討論及研討會議，來自不同部門的代表分享如何對其營運進行氣候防護的最佳實踐範例。在世界各地，從農民、市長、政府機構到水務公司，他們開始意識到，如果沒有手冊來指導他們，他們將繼續面臨全新的威脅。然而，他們能做的是與其他國家的同行合作並向他們學習。國際水週為此提供一個重要的聚會場所。

3. 專注於重大轉型的途徑, Focus on pathways to major transformations

現在不僅需要解決問題，還需要重新定義如何產生能源、生產食品和消費品以及管理土地。國際水週的一個強勁趨勢是，越來越多的會議討論如何創建路徑或路線圖以改變整個部門、行業或國家。不丹在 2015 年成為第一個承諾到 2050 年實現淨零碳排放的國家後，已有 50 多個國家效仿，越來越多的公司也紛紛效仿。國際水週正在發揮重要作用，作為規劃這些轉變所涉及的步驟和討論水影響的場所。

4. 與大自然交朋友, Make friends with nature

許多國際水週會議都倡導基於自然的解決方案和概念，將人類福祉、動物和生態系統聯繫起來。政府間氣候變化專門委員會在最新報告中強調一個重要的話題，即水循環改變後的風險。斯德哥爾摩水獎的兩位獲獎者 John Cherry 博士（2020 年）和 Sandra Postel 博士（2021 年）是世界上關於淡水長期威脅的最具影響力的思想領導者，淡水威脅例如地下水的過度抽取和污染

以及對河流和湖泊的盲目開發等，國際水週期間，他們分享了重要的觀點，重點是這些知識如何為新的解決方案打開大門。正如 Sandra Postel 在頒獎典禮上所說「我們沒有時間一次又一次地解決水、氣候和生物多樣性危機」。

5. 包容及納入將加快進展的速度, Inclusion will speed up progress

國際水週期間許多會議的一個重要經驗是包容和平等如何加快實現韌性復原力。這通常是一個被遺忘的一面，也阻礙了必要的進展。在國際水週期間，有很多很好的例子，例如將本土在地的知識融入基於自然的解決方案設計等會議中所指出，在地的知識對於開發基於自然的解決方案通常至關重要；會議中來自法國水資源夥伴關係的 Andrea Ferret 鼓勵更多年輕人選擇注重基於自然的解決方案的教育和職業，從而使這些成為更加主流；許多會議都強調了女性的領導力，例如 Breaking Silos 打破壁壘：通過女性領導力實現 WASH 的氣候韌性適應力。

6. 平等和正義必須是重中之重, Equality and justice must be a top priority

國際水週的許多參與者擔心，世界沒有對日益擴大的貧富差距給予足夠的關注，而貧富差距往往受氣候相關災害的影響最大。孟加拉國研究機構 ICDDR 的 Mahmud Zahid Hayat 博士在「Building Climate Change Resilience: Integrated Solutions for WASH-related Disease Control, 建設氣候變化韌性復原力：WASH 相關災害控制的整合解決方案」研討會中評論：「當你一遍又一遍地面臨同樣的災難時，事情會變得更糟。」，幾個研討會探討了 COVID-19、氣候變化和其他壓力因素對不同群體的影響，並詢問如何防止弱勢群體被拋在後面。

來自孟買非政府組織區域資源中心促進協會 (SPARC) 的 Sheela Patel 在「從烏托邦到現實的城市水資源韌性復原力」研討會上說「能說算不上什麼，重要的是展示出解決方案」。

7.投資於系統性變革,Investing in systemic change

2020 年獲得斯德哥爾摩水獎者 John Cherry 博士強調，我們已經擁有所需的大部分科學和工程專業知識，並且許多解決方案已在世界各地試用。他說：「在人類歷史上這個驚人的轉折點，我們擁有解決重大水問題的所有手段，現在只需要讓公眾了解這些問題並向政客施加壓力。」

通常是缺乏資金使世界無法足夠快地適應。根據聯合國的一份報告，發展中國家適應氣候變化的年度成本正在快速上升，到 2050 年可能達到每年 5000 億美元。然而，早期投資可以顯著降低成本並提供一系列其他協同效益。加強跨國界和部門之間的合作也可以獲得很多好處。在國際水週期間強調的一個例子是，從源頭到海洋的管理對於以更協調的方式管理資源和拯救我們的海洋至關重要。需要跨越行政邊界開展工作，讓城市、農業和其他參與者和部門對其下游產生的影響負責。

三、參加過程

(一)參加/觀看線上研討會主題

日期/時間	論壇名稱/session topic
8/23 15:00-15:15	Centre stage/ SIWI Corner: Building Resilience Faster
8/23 14:00-15:00	Working together with nature/ Nature as a partner: Implementing nature-based solutions globally
8/23 16:00-16:25	Water management in oil and gas operations and the SDGs
8/23 16:45-17:45	Centre stage/ Using Holistic Thinking to be "Water Positive" by 2030
8/23 20:00-21:00	Building resilience and fair society/ Managing Floods and Droughts: The Governance Challenges
8/23 21:00-22:30	Opening Plenary
8/24 4:00-5:00	Water and Stability; Towards a Resilient World
8/25 00:00-01:00	Building resilience and fair society/ Integrated drought resilience in a changing climate
8/25 16:45-17:45	Impacting Society Through Smart, Data-Enabled Water Ecosystems
8/26 16:00-17:00	Building resilience and fair society/ Managing floods and droughts together: The technical challenges
8/27 20:00-21:00	Building resilience and fair society/ World Water Day 2022 - Groundwater, Making the invisible, visible

(二)會議重點議題及摘錄會議內容

2-1 地球限度 Planetary Boundaries

德國波茨坦氣候影響研究所 (Potsdam Institute for Climate Impact Research) 所長及波茨坦大學 (University of Potsdam) 地球系統科學學系教授 Johan Rockström 在 Opening Plenary 中點出近兩年極端氣候事件對全球生存環境的影響，包含 2020 年的孟加拉

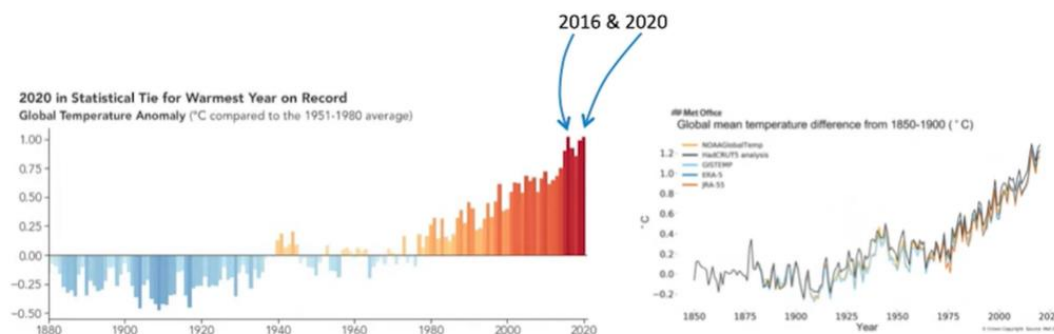
水災、澳洲野火、2021 年的歐洲寒冬、西伯利亞野火及北美熱浪等，都與人類的行為脫離不了關係。甚至在 2020 年時，我們經歷了冰河時期過後第二次高溫。

Unsafe territory: Extreme events in 2020/2021



2020 年及 2021 年全球極端氣候災害，圖片來源：Johan Rockström 簡報

2020 ties with 2016 as warmest year on record



2016 年及 2020 年高溫事件，圖片來源：Johan Rockström 簡報

2-1-1 緣起與背景

自工業革命以來，人類的行為已從根本上改變了調節地球穩定性的自然過程，並正在面臨到使整個地球失去平衡的風險，這是造成生態系統崩壞、溫室效應加劇的惡性循環。

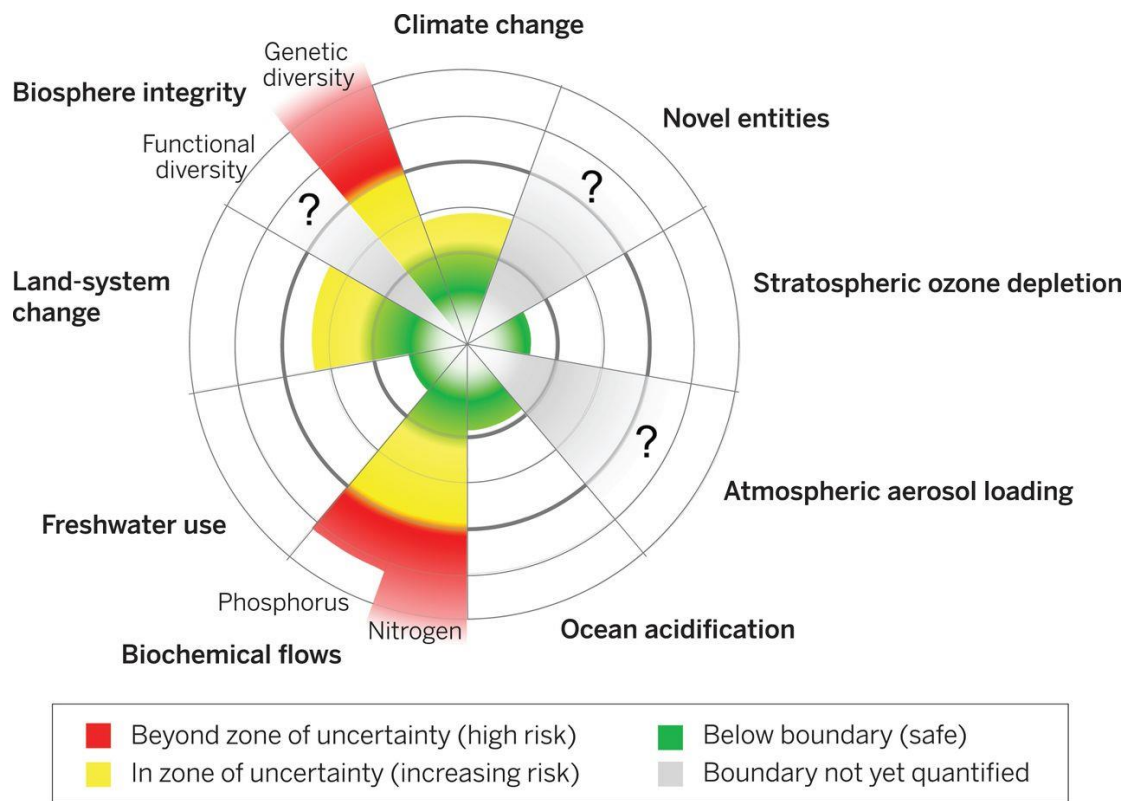
為了深入了解地球系統的穩定性與韌性，Rockström 教授率領

28 位國際知名科學家的研究團隊在 2009 年時，首次提出了「地球限度」(Planetary Boundaries) 的理論，並定義出九項指標及其各自邊界閾值，為人類持續發展及繁衍後代提供定量依據。若某項指標超越了邊界閾值，將引發不可逆轉的環境變化風險。

● 「地球限度」理論之九項指標：

1. 平流層臭氧破壞 (Stratospheric ozone depletion)
2. 生物多樣性喪失／物種滅絕 (Loss of biosphere integrity/biodiversity loss and extinctions)
3. 化學污染和新物質的導入 (Chemical pollution and the release of novel entities)
4. 氣候變遷 (Climate Change)
5. 海洋酸化 (Ocean acidification)
6. 淡水消耗與全球水文循環 (Freshwater consumption and the global hydrological cycle)
7. 土地系統改變 (Land system change)
8. 氮和磷流入生物圈和海洋 (Nitrogen and phosphorus flows to the biosphere and oceans)
9. 大氣中懸浮微粒承載 (Atmospheric aerosol loading)

2015 年，《科學》(Science) 期刊上的文章「地球限度：變動地球上的人類發展指引」(Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet) 顯示，氣候變遷、生物多樣性喪失、土地系統改變及氮和磷流入生物圈和海洋等四項指標，已超出了人類安全操作空間 (safe operating space)。該文章結論表示，雖然「地球限度」無法主宰社會該如何發展，因為政策決定必須考量人類維度，但至少辨識出安全操作空間後，「地球限度」框架將可為決策者對制定社會發展的各項路線做出寶貴的貢獻。



2015 年《科學》期刊登載知地球限度，圖片來源：Science 網站

2-1-2 九項指標定義

依據斯德哥爾摩大學（Stockholm University）韌性中心針對上述九項指標的介紹，以下列出各項目是由何種人類活動所引起，以及國際間刻正辦理的解決之道：

1. 平流層臭氧破壞（Stratospheric ozone depletion）

大氣中的平流層臭氧層能夠過濾掉來自太陽的紫外線（ultraviolet, UV）輻射。如果這層臭氧減少，更多的紫外線輻射將到達地面，這會導致人類皮膚癌的發病率增加，而且也會對陸地及海洋生物系統造成損害。

南極臭氧層破洞的出現證明，人為消耗臭氧層化學物質的濃度增加，並與極地平流雲氣產生相互作用，已經超過了臨界點，這使南極平流層進入了一個新的狀態。

聯合國《蒙特婁議定書》(Montreal Protocol)的訂定，正是為了避免工業產品中的氟氯碳化物對地球臭氧層繼續造成惡化及損害所採取的行動，以保護生態環境和人類避免繼續受紫外線傷害。

2. 生物多樣性喪失／物種滅絕 (Loss of biosphere integrity/biodiversity loss and extinctions)

《千禧年生態系統評估》(Millennium Ecosystem Assessment)在 2005 年的結論為，過去 50 年內人類活動導致生態系統的變化，比人類歷史上任何時期都要快，且增加了無法逆轉的風險。

變化的主要驅動力是對食物、水和自然資源的需求，導致生物多樣性嚴重喪失，並更進一步使生態系統產生變化。這些驅動力未曾顯示隨時間而下降的跡象，甚至強度正在增加。

人類可以透過努力保護生物圈的完整性、改善棲地與生態系統之間的連結，並同時保持所需的高農業生產力，減緩當前生態系統被破壞及滅絕的發生頻率。

3. 化學污染和新物質的導入 (Chemical pollution and the release of novel entities)

有毒及長期存在的物質的排放，如：合成有機污染物、重金屬化合物和放射性物質，代表了人類驅動地球環境的一些關鍵變化。這些化合物透過大氣與氣候傳遞，對生物體及物理環境產生潛在不可逆轉的影響。

即使當化學污染的吸收與生物積累對生物體處於亞致死狀態，生育力下降的影響及潛在的永久性遺傳損害也會對距離污染源遙

遠的生態系統產生嚴重影響。例如，持久性有機化合物導致鳥類數量急劇減少，並對海洋哺乳動物的繁殖與發育造成傷害。

這些化合物有許多附加及協同作用的案例，但這些在科學上仍然甚少被了解。目前，人類尚無法量化單一的化學污染界線，不過這個足以跨越地球系統門檻的風險已被認為明確到需要將它列在首要預防行為，並進行更深入研究的清單上。

4. 氣候變遷 (Climate Change)

最近的證據表明，地球大氣中的二氧化碳濃度已超過 390 ppmv，這已經超過地球限度並正在接近幾個地球系統的極限門檻。

人類已經到了夏季極地冰海消失到了幾乎可以肯定無法逆轉的地步。這是一個定義明確的門檻的案例，快速物理反饋機制能將地球系統推進一個海平面比現在高出數米、更溫暖的狀態。陸地碳彙的減弱或逆轉，例如熱帶雨林的持續破壞，是另一個潛在的引爆點，氣候-碳循環反應加速地球暖化並加劇氣候影響。

最主要問題是，在無法避免這種不可逆的變化下，人類能夠在這個限度維持多久。

5. 海洋酸化 (Ocean acidification)

人類排放到大氣中的二氧化碳大約也四分之一最終溶解在海洋中，並在海中形成碳酸，改變海洋化學性質並造成海面表水 pH 值降低。增加的酸度減少了可用的碳酸根離子數量，碳酸根離子是許多海洋物種用於形成殼及骨架的基本構建。

海洋酸化程度若超過閾值濃度，上升的酸度使珊瑚、一些貝類和浮游生物等難以生存。這些物種的消失將改變海洋生態系統

的結構，並可能導致魚類種類急劇減少。目前情況與工業化前的時代相比，表層海洋酸度已經增加了 30%。

與大多數其他人類對局部海洋環境的影響不同的是，海洋酸化對整個地球都有影響。這也是個界線間緊密相互相連動的案例，雖然氣候及海洋酸化是根據不同的地球系統閾值定義，但大氣 CO₂ 濃度卻同時是兩者的基本控制變量。

6. 淡水消耗與全球水文循環 (Freshwater consumption and the global hydrological cycle)

淡水循環受氣候變化的強烈影響，其界限與氣候界限密切相關，但目前人類壓力是決定全球淡水系統功能和分佈的主要驅動力。

人類改造水體的後果，包含全球性的河流流量變化和土地利用變化引起的蒸汽流量變化，這些轉變對水文系統可能是猛烈且不可逆轉的。水變得越來越稀缺，到 2050 年，大約有 5 億人可能面臨缺水問題，增加了干涉供水系統的壓力。

7. 土地系統改變 (Land system change)

地球上的土地被轉化為人類使用，森林、草原、濕地和其他植被類型已主要被轉為農業用地。這類土地利用改變是生物多樣性嚴重減少的驅動力之一，也對水流、碳、氮、磷等重要元素的生物地球化學循環產生影響。

雖然每次地表變化事件都是局部範圍，但綜合下來的影響可能會影起全球性的地球系統影響。人類改變土地系統的限度不僅需要反映土地絕對數量，還需要反映其功能、質量和空間分佈。森林在控制土地利用和氣候的相關動態方面發揮著特別重要的作用，並也是土地系統變化的界線著重焦點。

8. 氮和磷流入生物圈和海洋 (Nitrogen and phosphorus flows to the

biosphere and oceans)

由於許多工業和農業發展，人類已經徹底改變了氮和磷的生物地球化學循環。氮和磷都是植物生長的必需元素，因此肥料製造及施用是最主要的問題。

現今，人類的行為將更多大氣中的氮轉化為活性形式，比起地球上所有陸地過程的總和還要多。大部分這種新的活性氮被以各種形式排放到大氣中，而非被農作物吸收。下雨時，它會污染水陸和沿海地區，或在陸地生物圈中積累。同樣地，用於糧食生產系統的磷肥中只有一小部分被植物吸收，人類引入的大部分磷最終也會進入水循環系統，這造成細菌消耗更多因高營養而生長的藻類，而讓水質缺氧。

人類施放的氮和磷中有很大大一部分進入海洋，並且促使海洋及水系統超過自身可承受的生態閾值，其中一個區域性案例是，由於化肥從美國中西部的河流中流進海洋，導致墨西哥灣「dead zone」區域的蝦捕撈量下降。

9. 大氣中懸浮微粒承載 (Atmospheric aerosol loading)

提出大氣懸浮微粒行星限度主要是因為懸浮微粒對地球氣候系統的影響。透過與水蒸氣的相互作用，懸浮微粒不論在影響雲的形成、全球尺度和區域大氣環流模式的水文循環中發揮著至關重要的作用，例如熱帶地區的季風系統。懸浮微粒亦會改變大氣中太陽輻射的反射或吸收狀況，並對氣候產生直接影響。

人類活動排放的大氣污染物改變了懸浮微粒承載，許多污染物氣體凝結成液滴和顆粒，加上土地利用變化也增加向空氣中的灰塵和煙霧。在高度污染的環境中，已可看到氣候治理和季風系統的轉變，為懸浮微粒界線提供了可量化的區域測量。

懸浮微粒許多生物體有不利影響。吸入高度污染的空氣每年導致大約八十萬人過早死亡。因此，懸浮微粒的毒理學和生態效應可能與其他地球系統閾值有關。然而，懸浮微粒在大氣中的行為極其複雜，取決於它們的化學成分、地理位置及大氣中的高度。

雖然懸浮微粒、氣候和生態系統之間的許多關係已經確立，但許多因果關係仍有待確定。

2-2 石油與天然氣產業的水管理

本主題論壇內容是由國際石油工業環保協會（International Petroleum Industry Environmental Conservation Association, IPIECA）環保部門經理 Madeleine Gray 主講，分享傳統能源產業在上游挖掘過程中所產生之廢水處理案例。

IPIECA 組織介紹與願景

IPIECA 總部位於倫敦的非營利、非遊說協會，旨在讓石油和天然氣行業的運營和產品滿足對環境和社會績效的期望，是傳統能源產業與聯合國接觸的主要管道，其獨特的地位使協會成員能夠支持能源轉型並為可永續發展的環境做出貢獻。

目前 IPIECA 有 72 個企業與協會會員。



Making our vision a reality
IPIECA cares about climate, nature, people and sustainability

Climate Nature People Sustainability

Our strategy provides leadership for the global oil and gas industry on advancing climate action, environmental responsibility, social performance and mainstreaming sustainability.

ANTICIPATING ENABLING INFORMING

4 IPIECA – World Water Week ipieca

IPIECA 策略，圖片來源：Madeleine Gray 簡報



IPIECA 願景，圖片來源：Madeleine Gray 簡報

2-2-1 案例一：西方石油公司之採出水回收

西方石油公司 (Occidental Petroleum Corporation) 2019 年與新墨西哥州政府環境部門及新墨西哥州立大學合作組成「新墨西哥州採出水研究聯盟」(New Mexico Produced Water Research Consortium)，主要研究採出水 (produced water) 的再利用與潛在方法。

傳統能源公司執行水力壓裂作業 (hydraulic fracking)，鑽掘過程中，水伴隨著石油及天然氣從底層頁岩來到表層，這些廢水含有副產物，譬如高鹽度，有時甚至會含有有毒物質。

傳統上這些廢水會再加壓打回地底下，或回收作往後壓裂作業使用，平均每 1 桶 (barrel) 石油大約可以產生 10 桶的採出水。

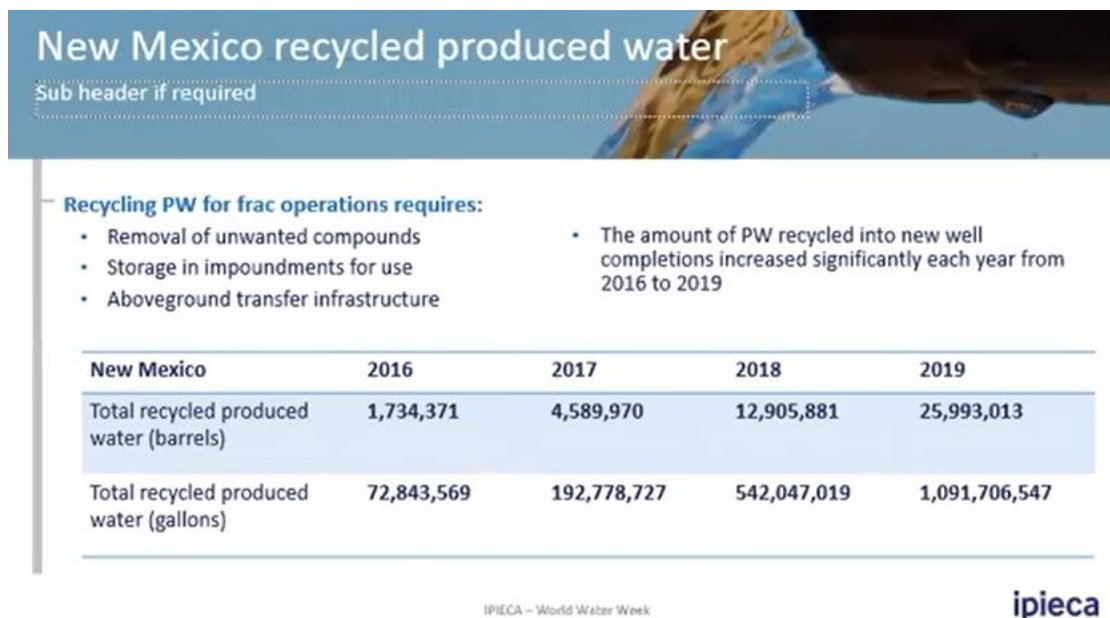
前導研究將探討採出水經過技術處理後可否應用於其他產業，像是農業，作為新的新墨西哥州珍貴的新水資源供應來源。

依據 IPIECA 資料顯示，回收採出水會需要以下需求：

- 移除不需要的化合物
- 存儲在蓄水設備等待後續使用
- 地面上的載運基礎設施

統計結果顯示，採出水在這期間的回收量從 2016 年的 173 萬桶顯著增加至 2,599 萬桶。接下來，西方石油公司的用水目標如下：

- 使新鮮水及半鹹水 (brackish water) 最小化
- 使壓裂作業後的採出水處理方式更大化
- 開發可行的技術，如：提煉具社會效益的可利用水、利用油層產出水處理 (salt water disposal) 來減少採出水回到地球
- 在水管理部分具有領導地位



西方石油公司採出水回收量，圖片來源：Madeleine Gray 簡報

2-2-2 案例二：阿曼 Nimr 油田與人工濕地淨水系統

在阿曼 (Oman) 南部，工程師利用自然淨化方式來處理石油生產帶至表層的水。他們引導這些水經過特別栽種的淨水蘆葦叢 (reed bed)，使這個過程變得更節能。

阿曼南部的 Nimr 油田，在挖掘原油及天然氣的過程中，如同案例一西方石油公司的生產結果，大量的含油廢水 (採出水) 會浮出水

面，過去是通過深井將水重新注入含水層，但這是一個耗能且營運、維護成本高昂的作業。

2010 年底，Bauer Nimr LLC 公司展開第一階段計畫，最初設計用於處理 45,000 立方公尺／天的採出水。這個 12 平方公里蘆葦叢及蒸發池構成的 Nimr 水處理廠 (Nimr Water Treatment Plant)，同時也是世界最大的商業人工濕地，靠著蘆葦浸在水裡莖葉上的附生生物 (藻類及細菌菌膜) 捕獲石油並分解碳氫化合物分子，達到淨化水質目的。流出的水然後排入蒸發池，最終變成白色的鹽晶體。

處理設施包含以被動水力漩流器裝置將上游油水分離的過程，其中 90% 以上的含油量在沒有任何能源輸入或化學成分使用的情況下被回收。接著水藉由重力通過一個長分配池流入一系列的地表人工濕地盆地，其面積在第一階段占地 250 萬平方公尺。在這裡，殘餘油含量通過微生物過程自然降解，並滿足嚴格的阿曼國家標準污水限值 0.5 ppm。

這個人工濕地系統被建置在曾經是乾旱的沙漠中，現在裡頭種植了五種當地蘆葦，濕地與池塘系統在沙漠中創造了一個新的珍貴棲息地，除了讓過去不曾有的魚類物種出現外，也吸引了 100 多種鳥類前來築巢與覓食。

因為第一階段人工濕地水處理計畫的成功，2015 年及 2019 年分別完成了第二次及第三次擴建，將處理能力提升至 175,000 平方公尺／天。這個設施處理汙水的效率極高，與傳統方法相比，遠遠降低了 99% 的耗能。

目前可持續發展的工作主要著重在處理過的半鹹廢水再利用，一個 220,000 平方公尺的實驗田地被建置來嘗試灌溉具有終端商業價值的耐鹽植物，期待最終全部的廢水都能被重新用於生物鹽水灌溉。

Nimr 油田與濕地的設施技術和環境性能使其成為石油和天然氣

產業的里程碑，並獲得了無數獎項。



Nimr 水處理廠，圖片來源：IEES 網站

2-3 參與會議摘錄-SIWI Corner

SIWI Corner 是一個脫口秀節目，主持人 Georgette Mrakadeh-Keane 與有趣的客人一起探索世界上一些最重要的水話題。在這一集中，邀請 Jennifer Jun, SIWI 及 Owen Gaffney(Potsdam Institute for Climate Impact Research and Stockholm Resilience Centre)談論的重點是韌性的真正含義以及最大的挑戰是什麼。



呼應開幕式所提地球限度，剪輯 NETFLIX 影片-Breaking Boundaries: The Science Of Our Planet，提及「現在地球的危機，

我們在 2020-2030 年間的作為將會決定人類在地球的未來，未來還沒定論，操之在我們手裡。現在是一個重要的時刻，肩負著需果斷行動的重大責任，已經沒有失敗的時間，現在所面臨的地球危機要做出的反應如同聽到明天將有慧星撞地球，必須趕快聚焦在解決問題上，不惜一切代價」為開端進行討論。

2-4 參與會議摘錄-洪水與乾旱風險管理的創新治理作法- EPIC Response Framework

世界銀行與荷蘭三角洲研究中心 Deltares 於 2021 年 6 月提出「An EPIC Response: Innovative Governance for Flood and Drought Risk Management」報告，報告指出水文氣候的危害不會變成災害，只要能積極管理其風險。在過去的幾十年裡，在仙台框架、巴黎氣候協定和永續發展目標等國際倡議的支持下，許多國家在管理水文氣候風險方面取得了重大進展。但各國政府往往以各自獨立的方式處理洪水和乾旱，而沒有充分考慮這兩種災害之間的複雜性和相互關聯性。

EPIC Response Framework 結合了洪水和乾旱風險管理，並探討了不同國家機構的作用以及它們如何合作以確保政府共同努力應對氣候調適挑戰。

Enable : Fostering an Enabling Environment

Plan : Planning to Reduce Risk

Invest : Investing in Healthy Watersheds and Water Resources
Infrastructure

Control : Controlling Water Use and Floodplain Development

The EPIC Response Framework



制定 EPIC Response 是一個漸進的過程，且一個國家進行該框架的能力取決於很多因素，包含整體經濟發展及治理狀況。各機關應本權責執行其具體業務工作外，機關間需合作才能完整實現 EPIC Response。國家級策略計畫是加速 EPIC Response 演變的關鍵工具：政府應定期（大約每五年一次）制定相互關聯的國家水、災害風險管理和乾旱策略計畫。這些計畫需要通過嚴格的監控、評估和調整，不斷努力提高績效。

National Agency Roles for Hydro-Climatic Risk Management



各機關在水文氣候風險管理上的角色

2-5 參與會議摘錄-2022 世界水資源日，地下水:讓無形變得可見-

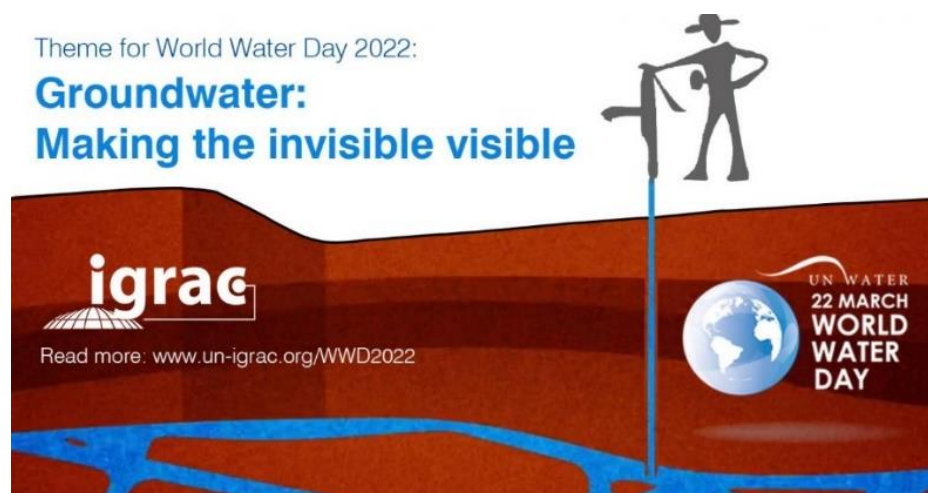
World Water Day 2022 - Groundwater, Making the invisible, visible

地下水提供了全世界幾乎一半的飲用水，供應約 40% 的灌溉農業用水和約 1/3 的工業用水。它維持生態系統，維持河川的基流量並防止地層下陷和海水入侵，地下水也是氣候變化調適過程中的重要組成部分，通常是無法獲得安全用水人們的解決方案。儘管有這些令人印象深刻的事實和數字，顯現其重要性，但對於大多數人來說，無形的地下水是看不見的，而看不見，往往也意味著不受重視(out of mind)。

但隨著氣候變遷及人類活動，地面水減少，對地下水的依賴愈來愈重。然而，我們對全球地下水資源狀況的了解仍然不夠，對含水層的管理也不夠好，加上歷來的不重視，使地下水有遭受污染或超抽枯竭問題。因此聯合國水資源組織(UN-Water)特訂定 2022 年為地下水年，世界水資源日的主題為「Groundwater, Making the

invisible, visible」，以喚起各界的重視並保護地下水資源。專門針對地下水的《世界水資源開發報告》正在編寫中，將於 2022 年 3 月 22 日世界水資源日、塞內加爾達喀爾第九屆世界水資源論壇 (WWF9) 期間發布。2022 年也有一連串活動促進全世界的民眾、政府單位、專家學者、企業等各界重視此議題。

此次線上研討會中，其中美國內華達大學的 David Kreamer 教授提起，在進行喚起民眾意識看不見的地下水的重要性作法中，最重要的一項即為「教育」，甚至也要包含學校的學生。他也發現有一點被忽略，很多時候，地下水科學研究的進步在學術界、工商界和實際現場從業者間差距越來越大。現場工作者常常不知道最新的科學研究結果，用了不適當的方法在開發使用或管理地下水，這些問題應該被好好重視並加以解決。



四、心得及建議

1. 本次國際水週主題「更快地建立韌性」(Building Resilience Faster) 迫切反映出全球環境社會的狀態、遭遇的天災問題等都與水離不開關係。在開幕儀式中，各界專家們齊聲呼籲社會需進行大規模的變革，以共同創造可持續發展的解決方案。
2. 本次國際水週傳達出一項重要的訊息，在解決水的危機及全球暖化的議題上，人類還擁有許多解決方式，但是這些必須透過政策的力量介入，才能擁有更充足的幫助。
3. 2022 年的國際水週主題將更加關注水的價值，SIWI 執行董事 Torgny Holmgren 表示如果持續低估水的價值，人類將無法進行妥善管理，下一年度的議題將特別關注看不見的水，譬如地下水，因為這對人類的生存來說至關重要。
4. 從 Johan Rockström 及其研究團隊所提出的「地球限度」理論中，可發現解決水與氣候的議題不再只是單一個人、環保團體或政府的責任，特別是化學污染源及海洋酸化等會隨著水循環與大氣的移動，對全球產生連帶影響，未來可預見各國政府將更加頻繁地舉行跨國籍、跨部門的合作，共同研擬更周全的政策，以在經濟發展與環境永續的前提下，做出妥適的選擇。
5. 如同 NETFLIX 影片 -Breaking Boundaries: The Science Of Our Planet 所敘「現在地球的危機，我們在 2020-2030 年間的作為將會決定人類在地球的未來，未來還沒定論，操之在我們手裡。」，氣候變遷已進行中，現在關鍵重要時刻，必須趕快聚焦在解決問題上，不惜一切代價。
6. 有著「瑞典環保少女」之稱的 Greta Thunberg，為了提高世界對全球暖化和氣候變遷問題的警覺，自 2018 年開始發起罷課行動，她的影響力遍布全球，甚至被提名為諾貝爾和平獎候選人。目前

的社會氛圍下，水、氣候與環境的議題不再只能仰賴政府與學者的合作，更需要廣納不同年齡層的視角，透過各方資源與影響力，使理念或政策的推動上更具效益。斯德哥爾摩青少年水獎（Stockholm Junior Water Prize）即是一項針對年齡 15 至 20 歲的學生，提供在水議題解決方上做出重大突破的獎項，自 1997 年迄今已選出 25 位青年。目前全球約有 7 億人口缺乏乾淨水，今年獎項的得主是來自美國的高中學生—Eshani Jha，她研究出如何以簡單且具效益的方式去除水中污染物，如殺蟲劑、微塑料、藥物和重金屬（即鉛和汞）。促使她推出這項研究的動機源自於一趟家庭之旅，當她拜訪印度家鄉 Bihar 的一個貧民窟，看到因為飲用污染水源而導致畸形、失去四肢的孩童，啟發她創造出經濟實惠，每月估計只需要 1 美元的過濾器。

7. 為增進年輕一代對臺灣水議題、水文化的深入了解，水利署截至目前舉辦了 7 屆「水利青年營」活動，除了鼓勵青年積極參與國家政策討論外，也歡迎他們對臺灣的水環境提出新穎的想法，進而達成多方交流的目的。
8. 世界銀行與荷蘭三角洲研究中心 Deltares 於 2021 年 6 月提出「An EPIC Response: Innovative Governance for Flood and Drought Risk Management」報告，報告指出「水文氣候的危害不會變成災害，只要能積極管理其風險。但各國政府往往以各自獨立的方式處理洪水和乾旱，而沒有充分考慮這兩種災害之間的複雜性和相互關聯性。」，過去淹水災害在臺灣常發生，經過防洪治理工程計畫的執行，已大幅減少災害的損失，除非極端降雨非工程可控制範圍，然近年乾旱事件在臺灣發生的期距似有縮短的情勢，從近 60 年降雨統計可發現，豐水年與枯水年差距逐漸加大，且枯水年的次數有增加的跡象。亦即極端氣候發生的機率變大了，洪水與乾

旱發生的機率變大，建議在進行災害風險管理時，也許應如同報告所提，好好思考二種災害間的複雜度及其相互關聯性，以尋求最適解決方案。

9. 氣候變遷下，對地下水的的需求日增，聯合國水資源組織(UN-Water)特訂定 2022 年為地下水年，世界水資源日的主題為「Groundwater, Making the invisible, visible」，以喚起各界的重視並保護地下水資源。地下水看不到摸不到，雖常被用到，但卻常被忽視。地下水在臺灣使用率普遍，全臺百分之 30 用水來自地下水，供應各項產業用水包含民生、農業及工業等。地下水為抗旱時救命水，臺灣上半年經歷百年大旱，地下水在此次抗旱過程中更是扮演重要的角色，突顯平時保育地下水資源的重要性及必要性。惟地下水也存在砷、鐵、鎢、鎘等重金屬污染及水質不佳與過量抽取可能引發地層下陷、海水入侵等無法回復的環境災害問題。在未來氣候變遷不確定因素，地下水使用可能增加情境下，建議政府各部門應重視地下水污染及過量抽取地下水可能造成環境災害問題。
10. 如同在線上研討會中，美國內華達大學的 David Kremer 教授提起在進行喚起民眾意識看不見的地下水的重要性作法中，最重要的一項即為「教育」。體認到從小紮根，讓小朋友從小認知地下水及水資源的重要性，進而愛護水資源是非常重要的一件事，水利署在進行地下水保育教育推廣工作時，其中重要的工作之一即於國小辦理地下水保育與地層下陷防治校園行動劇活動，讓小朋友於看劇的過程中了解地下水的重要性及過度超抽地下水可能引發的災害。另外 David Kremer 教授也發現很多時候，地下水科學研究的進步在學術界、工商界和實際現場從業者間差距越來越大。現場工作者常常不知道最新的科學研究結果，用了不適當

的方法在開發使用或管理地下水，這些問題應該被好好重視並加以解決。在臺灣也存在如前述相同問題，歸結其原因還是在對地下水的重視度不足，解決之道仍需靠教育，建議政府各部門應重視及加強教育宣導工作。

11. 本次論壇因疫情關係，採線上參與方式，論壇研討會採線上直播或預錄方式進行，雖有時差問題但會後亦可上其網站再觀看，隨時可選擇不同主題的研討會觀看，提供參與者更多的彈性。
12. 本次論壇適逢疫情期間，大會以線上或預錄方式進行研討會或討論，其線上研討會安排可即時線上提問、問卷及可看出參與人員等，並由主辦方安排固定的人員蒐集及回應線上問題，其「即時性」可做為水利署辦理線上研討會或論壇之參考。

五、參考資料

1. Stockholm Resilience Centre from Stockholm University: The nine planetary boundaries
<https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries/the-nine-planetary-boundaries.html>
2. Science: Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet
<https://www.science.org/doi/10.1126/science.1259855#Fa>
3. Occidental Petroleum partners with New Mexico State University on produced water research
https://chancellor.nmsu.edu/news/clips/carlsbad_20201028_Occidental%20Petroleum%20partners%20with%20New%20Mexico%20State%20University%20on%20produced%20water%20research.pdf
4. Expansion for Oman’s flagship industrial constructed wetland
<https://www.thesourcemagazine.org/expansion-for-omans-flagship-industrial-constructed-wetland/>
5. An EPIC Response: Innovative Governance for Flood and Drought Risk Management
<https://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/an-epic-response-innovative-governance-for-flood-and-drought-risk-management>
6. Making the invisible visible: 2022, the year of groundwater
[“Groundwater: Making the Invisible Visible” the theme of World Water Day 2022 | IGRAC \(un-igrac.org\)](https://www.igrac.org/groundwater-making-the-invisible-visible-the-theme-of-world-water-day-2022)