

氣候智慧水資源核心研究

童慶斌* 曹榮軒** 彭柏文*** 陳沛芻****
李苑華***** 鍾秉宸*****

論文收件日期：106年11月03日
論文修訂日期：107年10月14日
論文接受日期：107年10月22日

摘 要

水資源是社會經濟發展與生態環境保育的重要元素，氣候變遷為水資源帶來新的挑戰，同時也產生新的機會。氣候智慧旨在正確的時間執行正確的作為以處理氣候之影響，並在規劃未來發展的過程中，了解氣候變遷所帶來的風險與益處，進而降低風險並取得機會。本文探討整合性水資源管理之研究議題與如何建立氣候智慧水資源服務系統，藉由回顧過去水資源管理的應用方式及成果，整理出未來面對氣候風險時所應具備的知識與需要發展的能力。服務系統的開發將以整合性水資源管理作為出發點，在供給面整合地面水與地下水；在需求面整合公共用水與農業用水，以此建構決策支援系統落實在不同使用者以及不同層級的需求。未來在因應氣候變遷可能帶來之影響，必須從中央、地方、民眾等不同層級同時推動調適措施，社區層級是在政策治理的過程中的最小治理單位，故藉由建構社區尺度的調適措施而形成的分散式系統來面對可能高衝擊與高不確定性的未來。整合性水資源管理亦必須強調不同領域對水資源管理之影響，與水資源管理對其他領域之影響，故以水資源做為出發點討論跨領域之間的交互作用已然是重要的課題。研究中所有的服務開發流程將依循智慧建模的概念，並說明如何在執行過程中循序漸進，建置概念性模型、邏輯性模型與實體性模型，並探討如何以開放資料、開放模式與開放API的方式，廣納群眾共同設計服務系統，善用群眾的智慧共同定義問題、收集資料、評估現況與未來發展、落實系統服務與後續監測，透過公民科學的參與，強化科學研究與政府部門服務的實用性與信賴感。藉由本研究所規劃的數位基礎建設系統服務，整合水資源領域研究能量，除了降低氣候變遷所帶來的風險之外，更期盼能讓所有利害關係人都能夠邁向智慧與永續的未來。

關鍵詞：水服務、知識管理、氣候智慧、開放API、智慧建模、數位基礎建設

* 教授，國立台灣大學生物環境系統工程學系，TEL：(02)33663489，E-mail：cptung@ntu.edu.tw。
** 博士候選人，國立台灣大學生物環境系統工程學系，TEL：(02)33663461，E-mail：junghsuan@gmail.com。
*** 研究助理，國立台灣大學生物環境系統工程學系，TEL：(02)33663461，E-mail：powenperng@gmail.com。
**** 博士，國立台灣大學生物環境系統工程學系，TEL：(02)33663461，E-mail：pychen52@gmail.com。
***** 博士，國立台灣大學生物環境系統工程學系，TEL：(02)33663461，E-mail：d00622006@ntu.edu.tw。
***** 博士，國立台灣大學生物環境系統工程學系，TEL：(02)33663461，E-mail：jhongbc@ntu.edu.tw。

A Core Study of Climate Smart Water Resources

Ching-Pin Tung*, Jung-Hsuan Tsao**, Po-Wen Perng***
Pei-Yuan Chen****, Yuan-Hua Li*****,
Bing-Chen Jhong*****

ABSTRACT

Climate smart aims at promoting the idea of performing correct actions at the right time. The process of implementing climate smart in planning future development helps us understand the risks and opportunities of climate change, and can further reduce the risks and obtain benefits. The goals of this study are to discuss integrated water resources management and how to establish water resources services. The system incorporates a series of Application Programming Interface (API), which is organized based on the methodologies of knowledge management. Through the open API provided by the system, people in the fields of water resources, including the programmers, the customers, the governmental agencies, or the general publics, are able to use a bunch of simple code to achieve the most efficient knowledge integration and exchange by means of machine to machine (M2M). The development of the service system will take water resources as a starting point. The system integrates surface water and underground water at the supply side and public use and agricultural use at the demand side, and establishes integral assessment model for water resources for further cross-disciplinary application and evaluation. The services developed in this study are all based on wisdom modeling, and the concept, logic, and physical data model are built step by step through the three years. Moreover, the service system is also co-designed, co-produced, co-delivered incorporating public opinion, using the wisdom of the masses to jointly define the problem, collect data, assess current and future status, implement the services and conduct follow-up monitoring. The citizen science not only bridges the scientific research and government departments, but also strengthens the practicality and reliability. The system service of electronic infrastructure proposed by this study integrates the research resources in the field of water resources. It helps reduce the risk of climate change and moves all stakeholders a step towards a smarter and more sustainable future.

Key words: Water Service, Knowledge Management, Climate-smart, Open API, Wisdom Modeling, E-infrastructure

-
- * Professor, Department of Bioenvironmental Engineering Systems, National Taiwan University, TEL: +886-2-33663489, E-mail: cptung@ntu.edu.tw.
 - ** Ph.D. Candidate, Department of Bioenvironmental Engineering Systems, National Taiwan University, TEL: +886-2-33663461, E-mail: junghsuan@gmail.com.
 - *** Research Assistant, Department of Bioenvironmental Engineering Systems, National Taiwan University, TEL: +886-2-33663461, E-mail: powenperng@gmail.com.
 - **** Ph.D., Department of Bioenvironmental Engineering Systems, National Taiwan University, TEL: +886-2-33663461, E-mail: pychen52@gmail.com.
 - ***** Ph.D., Department of Bioenvironmental Engineering Systems, National Taiwan University, TEL: +886-2-33663461, E-mail: d00622006@ntu.edu.tw.
 - ***** Ph.D., Department of Bioenvironmental Engineering Systems, National Taiwan University, TEL: +886-2-33663461, E-mail: jhongbc@ntu.edu.tw.

一、前言

國際科學理事會（International Council of Science，簡稱ICSU）推動未來地球（Future Earth）之研究架構，目的在建立科學與政策的橋樑，協助在考量環境變遷下，仍能採取適當科學基礎的行動以趨向全球永續（Global Sustainability）。全球水夥伴組織（Global Water Partnership）也在結合科學力量，確保全球水資源利用安全（Water Security）。水資源是支持地球生命之重要元素，不管維持生態環境的健康、人類社會的持續發展，水資源均扮演重要的角色。沒有適當的水資源供給，生態環境會退化，人類社會發展會受限。Oki and Kanae（2006）研究全球水循環與可利用水資源中提到，水資源是屬於可再生資源，因此，其可利用量應該是水在一個系統流動的通量，而非地面系統的儲存量。目前全球利用的水資源也遠低於可利用的水資源通量，所以其提出水資源問題的關鍵在於管理。臺灣已長期發展水資源設施與建設，在環境保育與氣候變遷加速環境脆弱度下，水資源問題應由設施管理與需求管理出發，然後再檢討必要的硬體設施建設。如果將臺灣視為一個水資源系統，則降雨即是將水資源帶入臺灣之通量，台灣年平均雨量2,550公釐，約918億噸，但集中的暴雨與降雨的時空分配不均勻會降低其可利用量，惟目前平均年使用量也還不到200億噸。管理的積極意義在於善用，而不只是限制使用，因此如何善用水資源為維持臺灣優質生態環境與支持經濟社會持續發展之關鍵。

臺灣豐枯水期雨量與流量有顯著差異，加上環境特性為河川短且坡陡流急，所以可提供之蓄水設施容量小，導致水資源調配的挑戰很大。2004年艾利颱風為石門水庫帶來高濁度的原水，導致桃園地區民生供水連續缺水高達17天；2009年的莫拉克颱風在襲擊臺灣前，南部正遭受水資源不足的抗旱計劃，但當颱風來襲時，為南部帶來最多96小時2,888毫米的雨量，比台灣年平均雨量還高，導致坡地崩塌、水庫淤積、引水設施受損，導致雖有大量雨水，短期帶來供水設施破壞，長期更因為淤積影響區域水資源供給能力。臺灣水資源受環境自然面向的氣象、水文、地理條件影響，導致供水有較高的限制，在人文社會面向上，台灣人口密度高，經濟發展帶來較高需水壓力，也增加供水穩定的挑戰。然根據圖1，臺灣水資源有616億噸（58%）的水量直接排入海中，當然其主要由於暴雨強度大、河道蓄水不易導致，但58%之雨量直接排入河川，代表水資源的利用除了原有河道攔蓄取水外，需要有新水資源利用的思維。另外，不同用水標的間如何合理調配，也是解決臺灣水資源問題之關鍵。

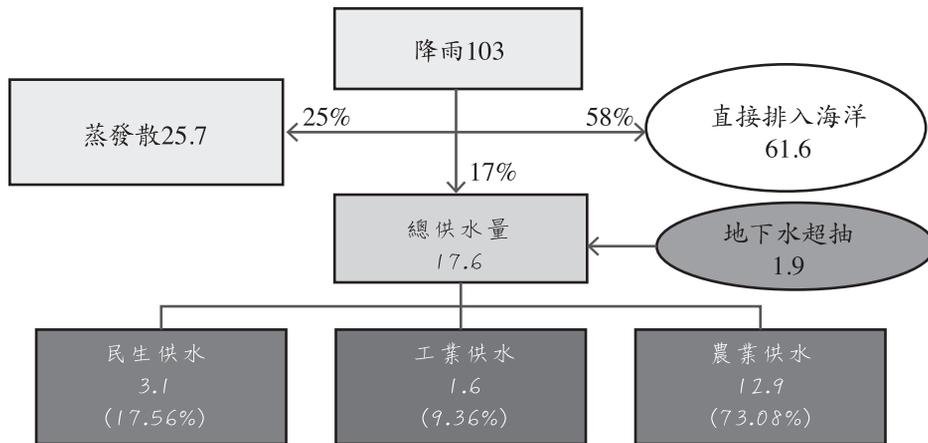


圖1 臺灣水文、水資源分佈使用（單位：10億噸）
（資料來源：修改自經濟部水利署，2012）

水資源既然是生態環境永續性與經濟社會持續發展之關鍵，其與自然系統及人類系統關係密切，要解決水資源問題就必須要良好的整合，並提供整合工具以協助規劃與評估。另一方面，水資源問題不可避免地是屬於跨領域之議題，在分析水資源問題時，必須考量其他領域之直接或間接影響；在提出解決方案時也必須考量不同領域間之協力合作（synergy）與折衷協調（tradeoff）。尤其是複雜系統問題（complex system），需要系統整合工具的協助，方能完整分析問題的癥結點與提出可行的行動與措施。

氣候智慧（Climate Smart）是世界銀行推動氣候變遷決策之重要精神，而數位基礎建設（e-Infrastructure）在國際上是貝爾蒙論壇（Belmont Forum）積極推動的研究項目，貝爾蒙論壇為國際全球變遷政府基金聯合會（The International Group of Funding Agencies for Global Change Research, IGFA）的決策機構，透過每年召開至少一次的論壇，加強科學研究承辦機關與研究團體之間的溝通，並於論壇合作推動各會員國間的全球變遷研究相關大型計畫。我國以科技部的身分參與，為會員國之一。同時，順應這樣的國際研究趨勢，數位基礎建設也是「數位國家・創新經濟發展方案」的發展重點之一。在前瞻基礎建設中也明確訂定推廣水資源智慧管理系統，預期藉由佈建大規模智慧環境感測系統建置「智慧防汛網」、「地下水智慧監測網」、「自來水智慧型水網」，以及加強推廣節水技術，推動「雨水貯留系統建設計畫」、「產業用水輔導節水計畫」、「獎勵產業更新相關設備計畫」等，以提升水資源管理技術及使用效率，並即時取得相關資訊作為決策依據。（行政院，2017）

水資源領域面臨氣候變遷的高度不確定性，如何以氣候智慧的精神評估水資源領域在氣候變遷所遭遇之風險，並提供給政府機構、學術界、專業團隊、產業界以至於一般民眾作為決策的參考依據，成為極為重要之課題。目前數位基礎建設與數位服務的潮流已逐漸在各個研究領域蔓延，在資訊與通訊科技的協助下，不同領域的開放資源以及科學技術將可獲得更有效地整合運用。本研究的目的在於整合氣候智慧與數位基礎建設之精神，以水資源領域為核心，並透過並藉由資料建模（Data Modeling）的概念將原始的政府開放資料整合並依據DIKW（Data, Information, Knowledge, Wisdom）知識管理架構分層，逐步建構智慧水服務系統之服務架構，如圖2。

以氣候智慧水服務系統的角度而言，政府單位、產業界、學術機構，以至於一般大眾，都可能成為需要獲得「服務」的潛在對象。然而，這些「服務」往往以開放資料為基礎，再配合專業知識或工具，才能讓基礎資料可以進一步轉化為資訊、知識，甚至提供有智慧的運用。以產業為例，台灣聞名世界的晶圓代工企業對於水資源供給量的相關資訊十分重視；如果能及早預警3個月甚至半年後預警出廠房所在的水資源系統可能面臨水資源供給問題而導致停工損失的局面時，科技公司即可提早安排並尋求額外的水資源調配措施。在上述情況下，「未來水情預警」即為科技業需要之水服務。然而，水資源系統除包含地面水資源、地下水資源等水資源的

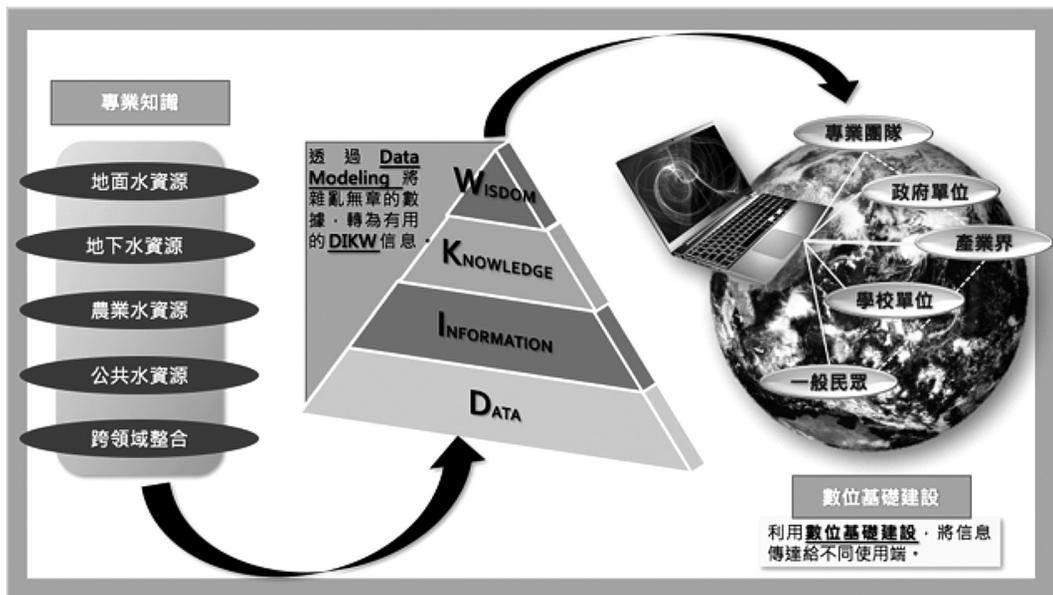


圖2 數位基礎建設與服務系統之示意圖

供給端，也包含農業水資源、公共水資源（生活與產業用水）等水資源的需求端，若要進行完整之水資源系統供需情勢之預警，除了必須憑藉開放資料之基礎外，更需要整合上述領域之專業知識，最終才有辦法將水情預警服務由理念付諸實行。因此，本研究認為要提供氣候智慧水服務，必須導入整合性水資源管理（Integrated Water Resources Management，簡稱IWRM），再透過跨領域整合與由下而上發展社區尺度的分散式調適，完整地實踐服務價值。

2015年9月，聯合國開發計畫署（United Nations Development Programme，簡稱UNDP）提出了17項永續發展目標（Sustainable Development Goals，簡稱SDGs）依序為：消除貧窮、消除飢餓、提升人類健康福祉、提高教育品質、促成性別平等、潔淨的飲用水與衛生、可負擔且潔淨之能源、提升勞動尊嚴與經濟成長、產業-革新與基礎建設、消弭不平等、永續城市與社區、生產與消費責任、氣候行動、水域生物、陸域生物、和平與正義的組織、以及朝向目標的夥伴關係。上述指標將以未來15年作為努力的目標期程，期望在西元2030年左右獲得顯著的成果。上述17項永續發展目標雖然位於不同的領域，然而彼此卻可能相互關連與交互影響。依照SDGs的目標來看，發展知識服務之數位基礎建設，可算是目標「產業-革新與基礎建設」中的一環，然而若將數位基礎建設運用於水資源關聯領域，進一步建構氣候智慧水服務系統，則與「潔淨的飲用水與衛生、永續城市與社區、氣候行動」三個永續發展目標有密切的聯結，這也是未來在水資源領域應該發展的方向共識。此外，在順著目標往永續發展的道路上，氣候變遷或許就是在這所有目標背後最大的挑戰與風險。

目前國際上對於氣候變遷風險的定義，大多參考政府間氣候變化專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change，簡稱IPCC）所發布的第五次評估報告（Fifth Assessment Report, AR5）對於風險定義之核心概念，如圖3。其中，風險代表了氣候變遷造成有價值的某項事物處於險境且結果尚不確定的可能性，IPCC認為風險乃由危害（Hazard）、脆弱度（Vulnerability）與暴露（Exposure）的相互作用而產生，即 $\text{風險} = f(\text{危害}, \text{脆弱度}, \text{暴露})$ 。其中，危害表示潛在的自然或人為物理事件或趨勢，或者物理影響，其背後象徵了環境的驅動力（Driving Force）。脆弱度表示關注系統或對象本身容易受到負面影響的傾向與本質，由敏感度與調適能力所構成，即 $\text{脆弱度} = f(\text{敏感度}, \text{調適能力})$ 。其中敏感度指的是系統在遭遇危害時的反應程度，敏感度越高表示遭遇危害時受災情形也越嚴重；調適能力則表示系統針對實際或是預期之氣候變遷影響而作的調整。對於系統而言，調適將而有助於中和或避免氣候變遷所帶來之損害。最後，暴露也是關注系統或對象的角度出

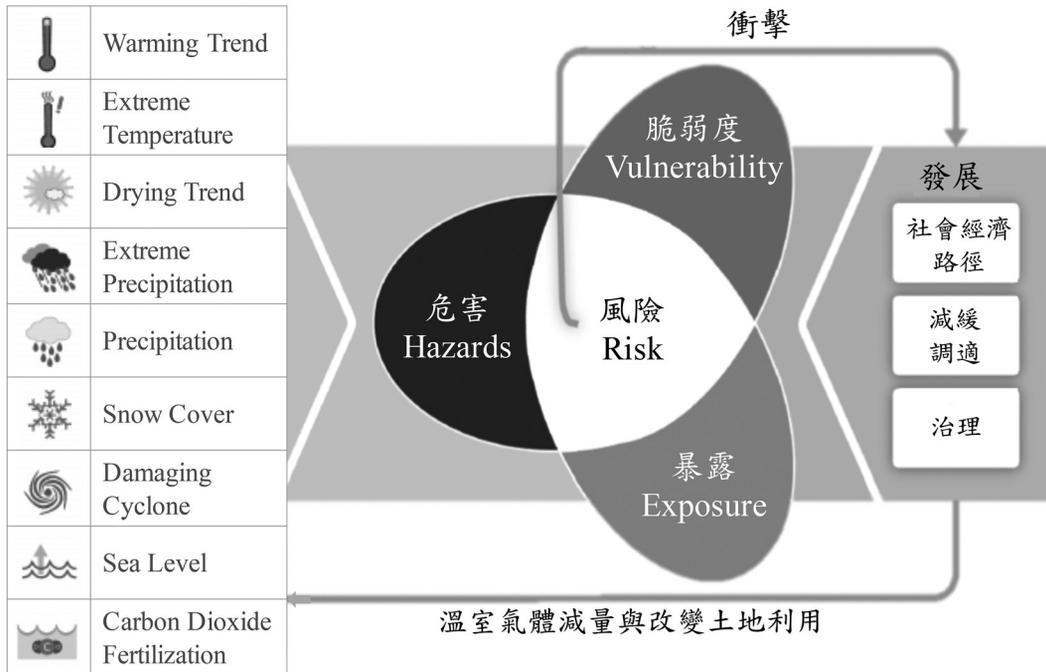


圖3 氣候變遷下的風險來源示意（來源：IPCC AR5）

發，探討人類生命、生計、物種或生態系統、環境服務與資源、基礎建設、經濟、社會與文化資產位於或被設置於有可能遭受不利影響的位置的程度。面臨相同的危害，暴露越高則表示系統承受危害的比例越高（IPCC, 2014）。

然而，面臨氣候變遷之挑戰，除了關注其所可能導致之風險外，人類或許應該思索，是否可以透過新的思維與想法因應氣候變遷，讓氣候變遷帶來的不僅只是風險。藉由改變社會經濟發展途徑，以及結合減緩、調適與治理等應對措施，一方面減少溫室氣體排放，同時改變土地利用的方式，以掌握氣候變遷所帶來的利基，建構反脆弱度的系統（Taleb, 2014），以在氣候變遷下甚至可能創造出更多的機會與可能性，如圖4。

面對氣候變遷帶來的高度不確定性，人類對於各項領域之決策必須藉由更加具有智慧且彈性的管理方式，才能在持續變化的局勢中不斷調適，以達成永續發展之目標。氣候智慧（Climate Smart）一詞發源自於森林生態學領域Nitschke and Innes（2008）認為永續森林管理必須基於長期的風險與不確定評估，然而氣候變遷卻會對自然系統產生相當大的衝擊與擾動，因此必須藉由評估土地面對未來氣候變遷下之脆弱程度，以作為現階段管理森林以及生態系統服務之依據。為因應全球氣候變

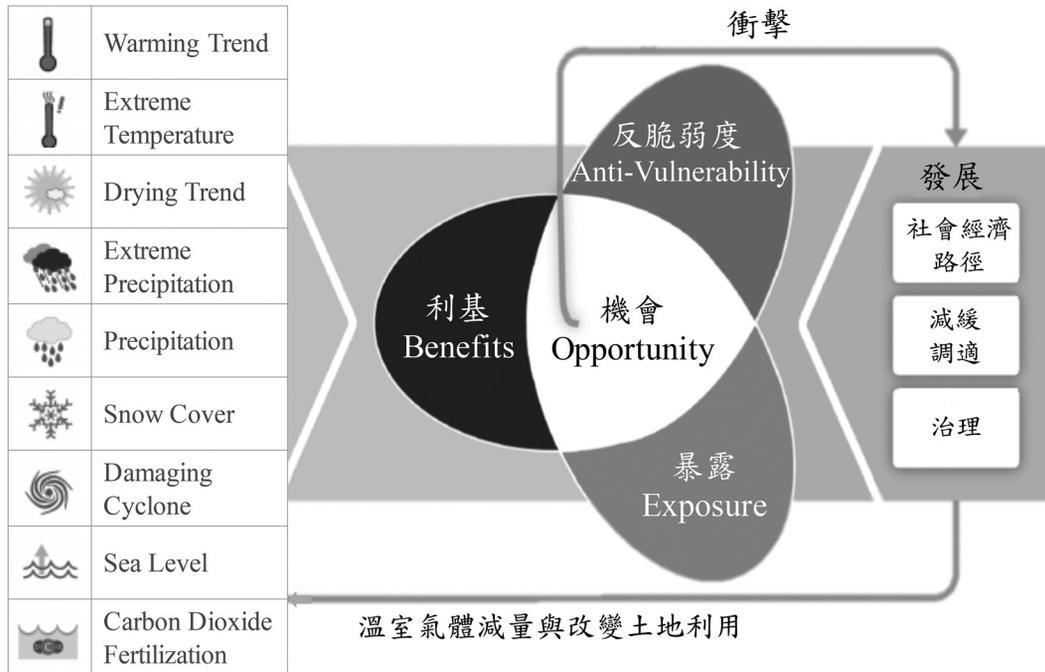


圖4 氣候變遷下的機會來源

遷之影響，聯合國糧食及農業組織（Food and Agriculture Organization of the United Nations，簡稱FAO）則於2010年提出氣候智慧農業（climate-smart agriculture，簡稱CSA）的概念（Lippe et al., 2010），並針對氣候智慧農業賦予以下三項目標：1.永續提高糧食生產力與農業收入；2.提升對應氣候變遷的調適能力與韌性；3.降低溫室氣體排放（Lipper et al., 2014）。世界銀行則將氣候智慧發展（Climate-Smart Development）的概念作為推動氣候變遷決策之重要精神（Akbar et al., 2014），認為人類在規劃未來發展的過程中，應了解氣候變遷所帶來的風險與益處，進而降低風險並取得利基。世界銀行認為，採取氣候智慧發展的相關作為，將可獲得保障生命、創造就業機會、提升糧食生產、節約能源消耗、提升GDP以及降低溫室氣體排放等益處（Harvey et al., 2014）。

氣候智慧的精髓在於「在正確的時間，執行正確的作為」，然而要如何確定「正確的時間」與「正確的作為」，背後則必須藉由完善的評估作為基礎。在氣候變遷風險與利基的相關評估上，近年來多傾向以政府提供之開放資料（Open Data）為基礎，先將最原始的開放資料整理出需要之原料，並配合各領域的評估模式或評估方法產製出有意義之資訊，進而由資訊中分析彙整出知識，以作為決策或

管理上之參考，其基礎架構與國際上經常被使用之DIKW體系（圖5）不謀而合。

我國政府部門在資料開放下已成立許多雲端服務平台，相關學術研究也累積相當多之研究成果。為讓這些資料、資訊、知識、與智慧成果（DIKW）能有系統整合，並考慮不同使用者需求提供數位服務，有必要發展整合架構。其次，為有效提供無損的知識與智慧，將根據資料建模之原則與架構發展智慧建模。國際研究組織Belmont Forum正在積極推動數位基礎建設（E-Infrastructure and Data Management，簡稱EIDM）之國際合作計畫，並著重在跨領域研究（Interdisciplinary Study），顯示此類研究之重要性。資料建模主要目的在發展模型，協助資料盡量無損的從資料產生者傳遞到資料使用者。不同使用者資料需求不同，因此模型需要能彈性調整。若將資料傳遞擴大到資訊、知識與智慧成果的傳遞，發展數位整合服務則可進化為智慧建模（Wisdom Modeling）技術。

二、核心計畫「水資源」之重點議題規劃

水資源核心計畫重點議題規劃主要根據臺灣本土主要面臨的問題與參考Future Earth中Global Water System Project（GWSP）所提出的關鍵研究課題。具體而言，推動研究目標在對內整合國內水資源領域研究，對外推動跨領域與國際合作，確保維持水資源的永續利用。水資源永續利用為水資源管理之目標，在不造成生態環境退化下，維持這個世代與下個世代之供需平衡。然供需平衡牽涉的議題包括維持穩定的供水與合理的需求、如何評量供需、如何調配管理（包括時間、空間與使用者間之差異）、如何跨領域的考量水資源對不同領域之影響與不同領域對水資源之影響？另外，多年來的水資源研究已有相當之研究基礎，有必要發展知識整合與支援決策工具，以做為相關工作推動決策參考或研究成果交流，提高水資源管理效率。另一方面，面對全球化之趨勢，全球水資源情勢之掌握有其必要性，如國際水資源供水穩定度可能影響產業國際化之佈局，也會影響國際糧食生產，進而影響國內產業與農業等。最後，推動Future Earth之相關研究，包括不同之核心主題，其彼此之間仍存在著相關性，亦有必要於推動過程建立橫向溝通機制。綜上所述，水資源核心計畫擬推動下列關鍵議題如表1。水資源管理需要研究與實務並進，我國政府擬定了多元開發、節約用水、彈性調度與有效管理四大策略，需要針對各項策略進行行動方案的開發來解決物理環境上的限制，而核心計畫的重點議題即能與實務需求相互支援。

表1 水資源主要研究議題與課題

議題項目	研究課題	政府實務策略			
		多元 開發	節約 用水	彈性 調度	有效 管理
議題一、 發展整合性水 資源管理與決 策支援系統	1.1 發展整合性水資源永續管理系統	○		○	○
	1.2 發展多元水資源管理系統	○			○
	1.3 發展水資源知識萃取技術與支援決策系統				○
議題二、 發展社區尺度 韌性水資源科 技	2.1 推動需求管理與研發適合社區發展之新興供水科技	○		○	
	2.2 發展社區尺度韌性水資源系統規劃與評估工具				○
	2.3 發展納入權利相關者之水資源決策機制	○			○
議題三、 水資源跨領域 研究	3.1 發展水資源跨領域分析與決策工具			○	○
	3.2 建立水資源、能源、糧食連結關係之研究	○		○	○
	3.3 建立水資源與健康關係之研究				○
	3.4 發展全球與區域水資源情勢掌握機制				○
議題四、 智慧水服務	4.1 建立數位基礎建設之服務系統架構			○	○
	4.2 建立跨領域氣候智慧水資源服務			○	○
	4.3 開發應用程式以促進開放資料之應用	○	○	○	○

三、整合性水資源管理

整合性水資源管理（IWRM）由全球水夥伴組織（Global Water Partnership，簡稱GWP）提出逾半世紀，但在1990年代之後有更多的研究能量匯入（Biswas, 2004）。GWP目標在確立世界之用水安全，並透過水資源治理與管理，促進永續與公平正義的發展。國內已有相當多之水資源個別研究推動，但加以進行系統性整合卻較不足。發展整合自然與人類的管理系統，可以確保環境生態保育、水資源供給系統穩定，進而提高生活品質。以水資源之自然系統，流域為例，為穩定提供水資源，上游保育到下游需水管理都需要有系統性的方法，也就是整合性水資源管

理。未來科學研究除了建立新的研究方法與發現知識外，更重要的是如何應用科學協助政策的擬定，尤其是協助建立科學支持的行動計畫。另一方面需建立知識轉移與累積的機制，綜合前述兩大目的，發展整合決策系統非常重要，更重要的是透過建立網路知識平台，更有效率的整合過去及進行中之研究發展成果。舉凡過去研究之標準流程、評估工具、資料來源、資訊、知識產出與主要研究結論等，強化支援決策之能力。

整合性水資源的觀念提供了完整的想法，在後續的相關研究上也被證實了在實際應用上的價值，因此能夠吸引更多的政策治理方針與跨國資金奧援。Giordano and Shah (2014) 利用整合性水資源管理，藉由地下水與地面水整合調度，解決中國和印度城鄉之間的供水問題。Liu et al. (2013) 以生態系統服務架構支持整合性水資源管理，解決在澳洲因為過度使用灌溉用水而損害淡水生態系統的問題。在廣泛調查了公眾對生態系統服務的理解和所關心的優先議題，利用多準則決策分析將結果與生態系統服務提供的指標相結合。這類型的決策支持工具，能夠應對灌溉與環境之間水資源分配的挑戰，也能夠應用在具有衝突的資源分配問題。水資源供需決策複雜且須考慮的因素多元，過去曾有研究利用乾旱決策模型模擬在乾旱時的決策。Rousta and Araghinejad (2015) 發展水資源決策輔助系統的空間多準則決策工具 (Spatial Multi Criteria Decision Making Tool)，其利用多準則決策 (Multi Criteria Decision Making) 與WEAP程式 (Water Evaluation and Planning System) 進行水資源設施規劃的決策模擬，挑選出排名最高的決策做為建議決策。利用水供需平衡、乾旱調適、經濟效益三個準則進行分析，以伊朗北部河川為例，並利用WEAP程式模擬興建海水淡化廠、興建水庫、增加取水管線等等的決策組合，進行排名並以多準則決策方式排出建議的名次。即便在科學研究的層面能將以模式計算出環境與人類社會之間的最佳解，但是知識的解讀與對於結果的信賴程度，硬生的劃出一道介於學術研究與實際政策執行的鴻溝。為了弭平這樣的隔閡，聯合國環境規劃署 (United Nations Environment Programme, UNEP) 在2014年所發表的調適缺口報告中明確指出，讓所有階層的利害關係人獲得整合與轉譯後的資訊是首要要務，藉以促發公民參與契機 (Schaeffer, 2014)。

Cheng et al. (2014) 回顧了中國第一個流域生態救援的實際案例-黑河流域生態引水工程，得出內陸河川流域要達到經濟社會與環境層面的永續發展，必須要求將做全面性的整體考慮，並讓上游、中游和下游地區之間的關係流域協調適當。Wang and Davies (2015) 則利用遊戲的方式來模擬群眾在乾旱時會進行的決策，並實際舉辦乾旱邀請賽 (Invitational Drought Tournament) 讓參與的玩家在比賽中以

角色扮演的方式進行模擬。主辦方提供氣候預報與乾旱資訊供玩家參考，要求各隊的玩家要在有限的資源內做出決策，如限水、休耕、增加淨水廠數量、興建水庫等等決策，最後利用遊戲模式模擬出各隊決策後的成果如農作物產量、缺水率、總缺水量等等，發現透過比賽的結果與模式與最佳化模擬的結果相差不大。利用一般社會大眾所模擬的結果，可作為決策者進行實際決策的依據與參考，更可以將公民參與的過程作為政治決策上的背書。但是在實際的案例操作上，也必須注意公民參與的限制與適用性，Jacobs et al. (2016) 研究的結果指出兩個重點，首先是藉由公民參與水資源決策過程似乎在短期和易於調整的決策（如水權分配決策）就有效，對於長期的基礎設施以及高風險決策的效果不佳。第二個重要的觀察結論是，允許有意義的利害關係人參與水管理決策過程所花費的成本沒有被廣泛認可。但公民以共同設計（co-design）與共同執行（co-product）以及共同落實（co-delivery）於水資源研究的精神絕對是未來學術研究與政策執行必須遵循的軌跡。

近年來國內積極推動高能量的開放資料資源，政府各部門也積極的在進行相關推行，可期未來在開放資料上的資源只會越來越多、品質越來越精，若能直接或是間接使用現成的政府開放資源，不只能增強服務效能，更能鼓勵政府對開放資料推行之決心，甚至回饋改善開放資料的品質及廣度。同時以小尺度的社區單位作為操作案例，讓公民參與能在有限的空間與時間上得到成果也能加速鼓勵水資源整合管理的成效。

四、發展社區尺度韌性水資源科技

未來在因應氣候變遷可能帶來之影響，必須從中央、地方、民眾等不同層級同時推動調適措施。以水資源供給策略為例，過去國內研究多注重於大型集中式供水系統，如水庫、攔河堰等，但分散式供水措施的效用則較少被探討，雖然水利署近年來積極推動多元供水系統，但較少以社區（Community-based）為系統與社區韌性為觀點之探討。而且，面對可能高衝擊與高不確定性的未來，必須採取分散性措施來因應，不管人類居住社區、科學園區、工業區、校園，均屬於社區尺度之單元。

氣候變遷雖然牽涉到全球尺度的氣溫與降雨型態改變，但探討極端事件的影響範圍仍多為區域或州、省尺度，或範圍更小的城市或社區尺度。氣候變遷對社區的影響仍是有跡可循，根據IPCC第五次評估報告（AR5）中針對各領域及各地區之分析，氣候變遷下社區尺度的關鍵脆弱度在於鄉村、偏遠甚至北極海附近低地都市社區，而其受限的社區供水調適能力則是由於基礎設施潛在損壞的可能性；關鍵風

險則為社區及公共衛生基礎設施損壞而導致傳染性疾病蔓延或海水入侵；未來可能風險則包含水質逐漸惡化、水量不符需求而導致感染、其他醫療問題及收容問題；以衝擊分布比例而言，弱勢民眾及社區受到的影響最大，其中水資源可及性的影響遍布全球，歐、亞、澳、中南美洲皆積極累積相關調適經驗（Field et al., 2014）。各面向的氣候變遷衝擊中，水資源系統受到相當的關注，各地發生的事件證實了氣候變遷造成的影響，根據Warner and van der Geest（2013）研究說明氣候驅動力造成的結果主要是洪水或乾旱，部分地區甚至同時受到衝擊。

聯合國環境規劃署（UNEP，2011）針對水資源領域建議了6種調適途徑與11種相對應的調適科技，包含增置地下水水井、海水淡化、居家水資源、增強水井抗洪的回復力、提升人類用水效率、輸水管線健檢、區域水情掌控、地表雨水儲集、屋頂雨水儲集、利用迴歸水資源、保全水資源計畫等，然而社區尺度的調適更需要具有彈性，因此分散式與講究在水資源循環之源頭就進行改變的低衝擊開發設施成為本計畫中關注之調適選項，包含地表雨水儲集、屋頂雨水儲集、利用濕地等元件處理迴歸水等皆可視為可能之調適選項。

1992年里約熱內盧地球高峰會會中共同簽署的《21世紀議程》（Agenda 21），其中提出「為了達到永續的人類居住的目標，有必要展出一種先進的社區模式，並建立它們之間資訊交換的管道」。2012年之第三次地球高峰會中，ICLEI（地方環境行動國際委員會）積極地倡議在全球推動回復力（resilience）計畫以因應氣候變遷，更強化了永續社區發展存在的必要性。聯合國永續發展目標（Sustainable Development Goals，簡稱SDG）17項中第11項特別寫出永續城市與社區，而其中更強調在國家或區域層級決策中即將較小尺度的城市和社區之需求或特徵納入考慮，足見社區發展的重要性不亞於城市發展，也說明跨層級治理有助於永續社區的發展；另外，目前台灣正推動的數位國家、創新經濟發展方案中，建設智慧社區為智慧城鄉議題的其中一個細項工作，主要概念即為由地方尺度出發連結至中央，運用物聯網與數位基礎建設等相關科技，以提升國土利用效益、維護環境品質及確保居住安全，達成永續發展之長期目標。

五、水資源跨領域研究

整合性水資源管理亦必須強調不同領域對水資源管理之影響，與水資源管理對其他領域之影響。在推動水資源政策與措施時，不可避免會與其他領域有關。例

如，水資源公共供給可能因為糧食生產的引水與水質污染而影響，當然水資源的總量也會影響灌溉給水，進而影響糧食生產。此外，氣候變遷會影響作物生長期與作物需水量，進而影響農業灌溉用水需求，如要滿足灌溉需求或確保糧食生產，就必須調整水資源管理。為了因應環境變遷的衝擊，不同領域均會採取調適措施，然不同領域調適措施間，有的是會互斥，有的會互利。因此，必須探討措施間的協同合作（synergy）與折衷協調（tradeoff）。

Payne et al. (2004) 針對氣候變遷對美國哥倫比亞河集水區（Columbia River Basin）之水資源系統進行衝擊評估，在不同的氣候模式以及降尺度模擬後，分析冬季溫度的改變影響融雪時間與融雪帶來的水量，進而影響到水庫的蓄水與相關水力發電的問題，最後考慮生態保育與上述一連串的問題，並列舉不同的調適策略來達到衝擊最小化的目的。在這個案例中利用主成分分析法（Principal components analysis，簡稱PCA）作為模擬決策的依據，縱然在數學計算上能夠找到水資源供給、發電與生態的可行解與最佳解，但是仍要注意所有的模式都有其限制與簡化，絕對不可能百分之百呈現現實世界的問題，著名的統計學家同時也是時間序列大師 Box G. E. 就曾說過：「所有模式都是錯的」（Box, 1976）。在利用模式模擬現實的同時更應該以問題導向的角度去看待模式輸出結果，特別是在氣候變遷下水資源這樣容易進行跨領域決策的問題（Wise, 2014）。

Schellnhuber (2014) 以瞎子摸象的故事來描述在受限制的單領域研究對於氣候變遷研究的謬誤。我們對於氣候變遷的相關研究廣度不足，無論在領域上或是空間上往往落入見樹不見林的困境。針對單一主題進行的深入相關研究，僅能在有限的資訊與知識下對於氣候變遷這樣一個高度不確定性的問題進行探討與判斷，得到的結果如同被分開不能溝通的盲人，拼拼湊湊之後，大象的鼻子可能變成一條蛇、象牙可能被描述為鋒利的弓箭、象腿變成了柱子，在明眼人看來，這是多麼不可思議的一個描述與存在，但是，在氣候變遷的研究中，我們真的有足夠的能力可以成為這樣一個明眼人，觀察到氣候變遷的本質與全貌嘛？如果不行的話，如何藉由不同的片段訊息進行溝通與拼湊，盡可能地賦予大象最真實的面貌就是一個值得我們努力的方向。故氣候變遷下的風險溝通，跨領域的研究方法與系統整合都是解決這類問題需要發展的方向。

在行政院經濟建設委員會所頒布的「氣候變遷調適政策綱領」中，將調適的領域一共分為災害、水資源、維生基礎設施、產業及能源供給經濟、海岸土地保護、農業生產與生物多樣性、健康、土地使用規劃與管理八個不同的面向，每個領域皆由各方專業人士針對該領域釐清氣候變遷產生的原因與機制，接著評估未來氣候變

遷所帶來的風險，最後界定調適的範疇以提出每個領域的調適政策綱領作為整體國家發展的政策主軸。生活世界中所面臨的氣候變遷衝擊往往是橫跨諸多領域的，各領域彼此交互影響。單一領域的評估可能忽略某其他領域因子或細微甚至關鍵的影響，削弱了評估的精確性與可信度；並且，在諸多價值相互競逐的今日，根據不同領域的脆弱度評估結果採取實際調適作為時，常會面臨權衡問題，因此，我們迫切需要整合式的評估工具與資訊服務，能夠讓不同層級、不同領域的公民參與共同規劃合適的調適策略。Harou et al. (2010) 根據古氣候學以及樹輪上的證據，推測美國加州地區曾經在西元930-1130年間以及1250-1350年間發生過兩次嚴重的乾旱，其河川的入流量僅為歷史流量的40-60%，研究中將這樣的乾旱事件以現在的經濟社會情形進行模擬，建置一水文經濟整合性評估模式CALVIN (California Value Integrated Network) 推估會對現存的水資源系統帶來多大的影響以及對於經濟層面的衝擊。Bucx et al. (2014) 利用計分卡 (scorecard) 方式評估河口三角洲所面對的氣候變遷問題。研究中將未來社會面的經濟成長、科技發展結合自然面的氣候變遷影響與海平面上升的情形來評比世界主要河口沖積扇的回復能力以及永續發展，並挑選DPSIR (Driving force、Pressure、State、Impact and Response) 之分析架構中的驅動力 (Driving force)、環境壓力 (Pressure) 兩面向，來探討三角洲目前所遇到的急迫性問題，最後以基礎建設、自然資源、政府治理與調適能力等面向來分析回復能力與調適能力。此方法除了可以彰顯問題的重要性外，在管理者決策時能明確制定政策之優先次序，更能有效引導政府部門政策推動，非常值得參考。而在調適能力的評量部分，分析了技術研發、生態保育、經濟發展與基礎建設，以及面臨氣候變遷所推行的體制措施。水資源的管理一直圍繞在自然環境與經濟社會發展所關心的諸多領域，除了解決基本的自然環境與社會發展的問題外，更應該視為在國家整體政策面評估的核心跨領域議題。

然而，跨領域議題在政策決策的過程中一直是一個棘手的難題，特別是在聯合國2016年提出17項永續發展指標後，開始產生以下的問題：這些指標如何有系統地被評估？經費預算是否允許做全部指標的改善？應該從哪項指標改善優先下手？Collste et al. (2014) 整合永續發展指標規劃模式 (Integrated Sustainable Development Goals planning model, 簡稱iSDG) 提供上述問題一個良好的解決方案。以系統動力模式Vensim作為開發基礎，輔以視覺化互動介面，iSDG可作為有效的永續發展策略設計模型。其中包含78個永續指標的細項評比標準，可以在每個不同的年代進行在有限經費下的改善評估報告，在2016年~2030年共分為五個不同區間，每個區間由使用這自行決定投入GDP的百分比，藉以確認不同領域之間的

相依性與在政策介入之後是否往同一個方向發展，比較政策介入前後的指標分數與改善效果。在此步驟的具體產出即是彙整類似iSDG這樣的跨領域評估成果，讓整體計畫能有一個借鏡與參考的方向，為後續研究奠下更明確的目標。Harrison et al. (2013) 將不同領域的知識整合，同時以量化與質化的方式評估多個領域之間的交互關係並加入與利害相關者的互動，以建立一個跨領域的整合平台IAP。此外，後續將平台以線上即時運算的方式提供使用者友善的介面，可讓需要的使用者隨時得到氣候變遷衝擊的影響與脆弱度 (Harrison, 2015)。以水資源為核心分析跨領域議題，提供友善介面與利害關係人互動，考慮使用者的需求使其成為氣候智慧服務的一部份，是未來各個層級的使用者的需求，也是後續研究的動力 (Hewitt et al., 2012)。

六、氣候智慧水服務

Vaughan (2016) 界定氣候服務的種類與發展現況，統計各個地區與各地領域的研究議題，其中以水資源為近年度氣候服務研究的重點。多數的使用者迫切需要整合式服務，這樣的服務結合前一小節所描述的知識管理架構，在此將研究開發者與服務對象之間的關係如圖5所示。Connolly and Begg (2005) 詳細描述資料庫系統的設計、落實與管理，包含了整個資料建模的流程，亦即從概念性模型的建置到

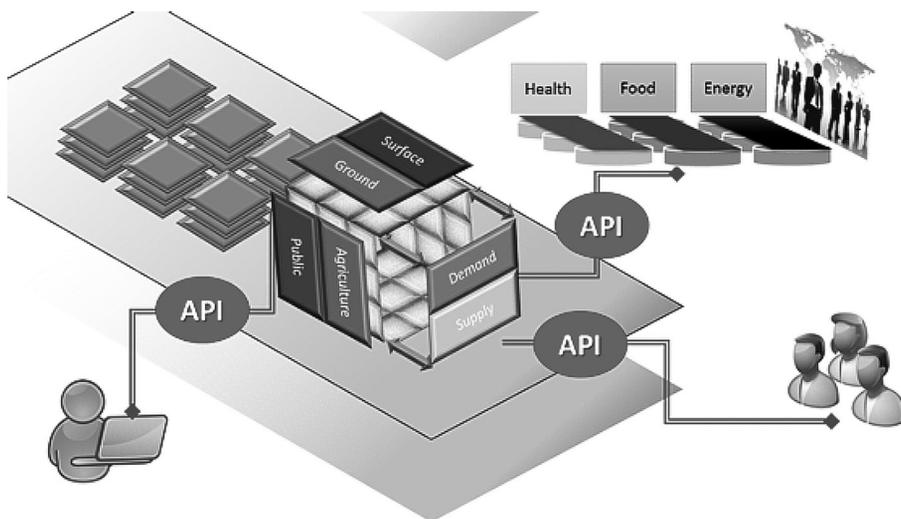


圖5 以API串接服務核心，建立實體性模式

實體性模型的應用以及資料庫與前端網頁的整合架構。若將資料建模的概念加以延伸，在定義系統元件時就了解系統中使用端與供給開發端的需求，即是完成概念性模型；若將使用端、開發端與服務核心做工需整合的串接，即是完成邏輯性模型；最後以API的方式確認需求傳輸接口規格，就是完成實體性模型。上述的整個流程就是智慧水資源服務的核心：智慧建模。

現階段水資源在智慧建模的發展，多以開發端為主，在使用者需求的界定較薄弱。故歐盟在規劃下一階段的氣候服務時，明確界定氣候調適服務包含整合氣候相關資料、資訊以及知識以建置面對氣候變遷衝擊挑戰的智慧（Street et al., 2015），故根據歐盟針對Horizon 2020的路徑規劃報告，在此將DIKW過程中的產品針對不同使用者的需求加以包裝，提供一互動式的平台加速整體氣候產業的開發，其中可以包含不同提供者供應商的分類以及決策的需求背景（如表2及表3）。

確認使用者需求後，現今ICT的發展為提供智慧水資源服務奠定一個非常強大的基礎。Boulmakoul et al. (2012) 整合衛星定位、無線射頻識別系統（Radio Frequency Identification，簡稱RFID）、攝影技術與資料處理技術將空間與監測測系統建置一個詮釋模式（meta-model），以三度空間的軸向探討在系統中不同元件的移動與連接關係，藉以獲得資訊流動的架構，並更進一步以資料處理技術建立資

表2 提供者與供應商類型說明

氣候服務提供者/ 供應商類型	優點	缺點	背景
衛星遙測服務延伸	強健的基礎建設	主要針對物理性資料，社會經濟方面受限	遙測/水文
公共氣候服務中心 （非遙測）	根據需求提供	商業導向方面受限	多領域 （multidisciplinary）
由大學提供的服務 或大學的單位	研究導向，包含物理與社會經濟層面的比較	使用者知識受限	多領域、學術
一般企業	商業導向與使用者知識	需要外部的氣候資訊獲取	多領域、商業
氣候資訊的企業顧問機構	優秀的使用者需求知識，成本導向	氣候知識受限	經濟、商業、市場

表3 決策分類說明

決策分類	使用團體	服務特色
完全界定或是單一領域的複雜資訊短中期決策	農業、風力發電、太陽能	高度針對性與客製化
完全界定或是單一領域的複雜資訊長期決策	基礎建設開發（水壩、鐵路、能源網路）、林業	中度針對性與客製化
需要整合的跨領域複雜資訊決策	城市規劃者、複雜價值鏈中敏感的公司	高度整合、跨領域（trans-disciplinary）
重大資產決策	防洪管理者、保險業、銀行、投資者	成本的相關元素
政策開發	政策管理者、企業組織、公會、市民	主要與調適/減緩策略以及經濟評估有關

料庫已完成整體的詮釋模式資訊流。在水資源領域的實際操作上，可以藉由定義不同的空間、評估模式與治理元件，接著以多維度探討空間、模式與治理之間的交互關係，最後建立空間層級的詮釋模式與資訊流動，以利後續能夠進行跨領域、跨空間與跨層級的整合調適評估。詮釋模式建立的目的是在於簡化現有較為複雜的模式，能夠在同一個時間了解模式與模式之間的銜接關係，更進一步了解模式之間資訊流動的關係。將空間作為詮釋模式建立的單元，建立時間與空間之間的交互關係，即能進一步達到跨空間的目的。Monitoring and Evaluation to Assess and Use Results Evaluation (MEASURE) 提出與資訊服務類似的概念框架用於輔助證據本位 (evidence-based) 之決策，其主要係藉由探討資料需求與資訊使用 (data demand and information use, 簡稱DDIU)，DDIU包含以下元素：健全的資料需求、資料蒐集與分析、提供決策資訊以及強化資訊使用。決策者藉由資訊輔助進行決策，一旦有良好的使用者體驗，DDIU系統則更容易有機會獲得改善。採用類似概念進行水資源資訊服務介面初步規劃，可協調服務提供者與使用者（包含民眾、民間企業、政府單位及學術單位），讓資料、資訊、知識以及智慧之傳遞更有效率 (Ikamari, 2005)，其在氣候智慧扮演非常關鍵之角色。Kavis (2014) 完整描述雲端計算服務的模式，依據不同的需求以及提供的軟硬體整合可細分成四大類型：

(一) 軟體服務 (Software-as-a-Service, 簡稱SaaS)

軟體服務，是指以服務的模式提供用戶軟體使用，網路應用程式 (Cloud Application) 可提供各種SaaS服務，使用者不需要下載或安裝任何程式，就可以直

接透過網際網路存取網路應用程式所提供的功能與服務，改變過去購置以套裝軟體為主的應用市場，使用者可依據需求挑選所需要的軟體服務，透過網路授權，啟用軟體服務，進一步降低使用費用與管理作業的成本，SaaS的運作方式徹底改變了軟體市場的供應模式。

（二）儲存服務（data-Storage-as-a-Service，簡稱dSaaS）

儲存服務，是利用網際網路進行資料的儲存及分享大量的實體資料，儲存於系統的資料庫上，當偵測到有新增檔案或是檔案內容有更動時會自動同步，並可瀏覽異動資料，於網路上共享資料夾允許多人協同使用一組的檔案，可設定存取權限的控管。

（三）平台服務（Platform-as-a-Service，簡稱PaaS）

平台服務主要是提供程式設計使用者應用程式的執行平台，程式設計人員可利用此平台來開發、部署和管理SaaS 應用。平台服務範圍包含資料庫、中介軟體及開發工具，以服務形式透過網際網路方式傳遞。這類基礎架構軟體的基礎往往是採用虛擬化和叢集網格運算架構。PaaS 仰賴網路基礎設施之資源，支援網路應用的各式功能，並提供整合的應用程式介面（Application Programming Interface，簡稱API）。

（四）設備服務（Infrastructure-as-a-Service，簡稱IaaS）。

設備服務，為網路服務分層最底層的基礎服務，主要是提供資訊虛擬化所需的電腦架構及設備整合服務，以服務為形式派送的系統、儲存和網路硬體，將運算、儲存及網路等資源轉化為標準化服務，以提供內外部使用者存取之用。這類基礎架構一般是利用網格運算架構建構虛擬化的環境，因此虛擬化、叢集和動態供應軟體也被納歸為IaaS之下。

智慧水資源資訊服務主要朝平台服務（PaaS）來進行規劃，不只是提供軟體服務（SaaS）給使用者，更希望能夠吸引到開發者根據提供的資訊服務發展後續的加值應用，以提升水資源領域的資訊服務能量及公民參與。此外，亦可參考空氣盒子整合PaaS與IaaS的推行概念，結合台灣ICT領域開發感測技術的力量作為公民參與實際的行動方案。Schnase et al., (2017) 描述大數據（Big Data）在氣候變遷科學應用上的挑戰，建置MERRA（Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications）分析服務系統，以NASA氣候服務API為例建置氣候分析為服務（Climate Analytics-as-a-Service，簡稱CAaaS）的系統架構。在建構整體智慧水資源服務仍需以軟體工程中的架構模式：MVC模式（Model-View-Controller）作為架構主體，示意圖如圖6。MVC把軟體系統分為三個基本部分：模型（Model）、視

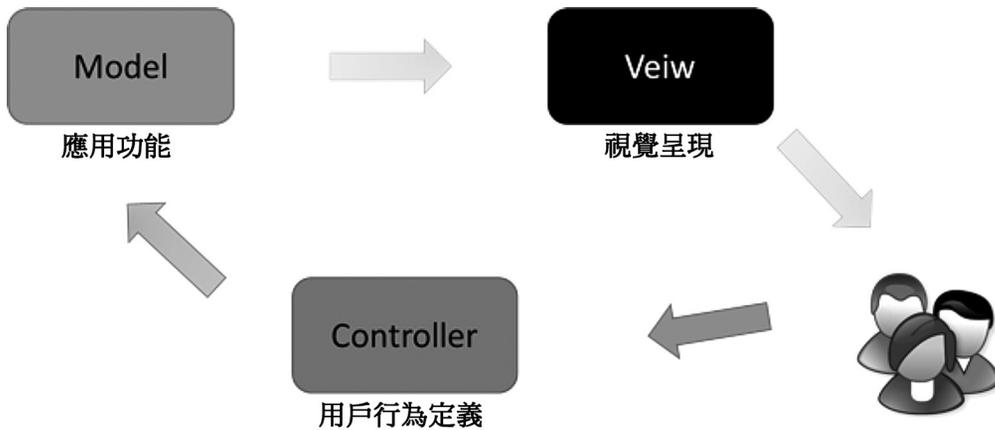


圖6 MVC架構示意圖

圖（View）和控制器（Controller），最早由TrygvReenskaug（1978）年提出，是全錄帕羅奧多研究中心（Xerox PARC）在20世紀80年代為程式語言Smalltalk發明的一種軟體架構。MVC模式的目的是實作一種動態的程式設計，使後續對程式的修改和擴充功能簡化，並且使程式某一部分的重複利用成為可能。除此之外，此模式通過對複雜度的簡化，使程式結構更加直覺。軟體系統通過對自身基本部分分離的同時也賦予了各個基本部分應有的功能。專業人員可以通過自身的專長分組：

- （一）控制器（Controller）：負責轉發請求，對請求進行處理。
- （二）視圖（View）：介面設計人員進行圖形介面設計。
- （三）模型（Model）：程式設計師編寫程式應有的功能（實作演算法等等）、資料庫專家進行資料管理和資料庫設計（可以實作具體的功能）。

應用程式介面（Application Programming Interface，簡稱API），又稱為應用編程介面，係軟體系統在不同組成部分時，彼此銜接的約定。由於近年來軟體的規模日益龐大，常常需要把複雜的系統劃分成小的組成部分，編程介面的設計十分重要。程式設計的實踐中，編程介面的設計首先要使軟體系統的職責得到合理劃分。良好的介面設計可以降低系統各部分的相互依賴，提高組成單元在設計上的獨立性，降低單元間的耦合程度，使系統的維護和功能擴充在日後有更大彈性。

應用程式介面的設計可複雜亦可簡單，一般內含數個複雜的函式和副程式，可讓程式設計師將需求的工作項目，譬如「讀取檔案」、「顯示選單」、「在視窗中顯示網頁」等等寫入其中。作業系統的API甚至可用來分配記憶體或讀取檔案。目前現行許多系統應用程式藉由API介面來實現，像是圖形系統、資料庫、網路。透

過應用程式介面的應用，將動態資訊透過系統建立於資料庫之中，而系統同時提供多種應用程式介面，因應不同的命令，進行不同的運算工作，包括資料庫內的資料讀寫。同時，在視覺呈現的前端設計上，就只要將應用程式介面串接起來，讓使用者在網頁操作時，能夠觸發應用程式介面設計好的函式。如此，前端設計只需要考慮美感及視覺呈現上的需求，不需要多考量資訊的串接與後續動態的維護。若說應用程式介面的開發，屬於一種服務的開發。那服務並不只支援網頁資訊的呈現，諸如現行普及的行動裝置亦可支援，當然也包含個人電腦上的應用程式。

應用程式介面的傳輸格式須遵守超文字傳輸協定（HyperText Transfer Protocol，簡稱HTTP），是網際網路上應用最為廣泛的一種網路協議。設計HTTP最初的目的是為了提供一種發布和接收HTML頁面的方法，也就是前端網頁的一種傳輸協定。現行的應用程式介面皆可基於HTTP協定來開發，所以在串接、使用應用程式介面的時候，其實是透過一串俗稱的「網址」來執行，當系統端接收到使用者端發出的請求，解析其HTTP協定並呼叫對應的函式進行運算並回傳資訊給使用者端。拜網路的普及與發展，應用程式介面的應用無所不在，大如搜尋引擎Google，小至行動裝置內的APP程式皆可見其蹤跡。

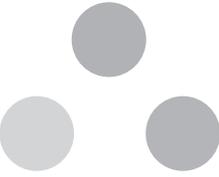
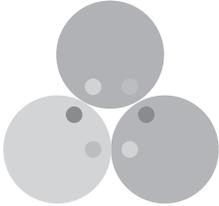
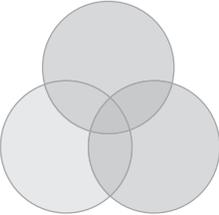
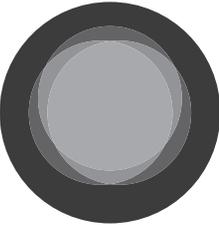
API的建置需要考慮到不同使用者的需求，故世界銀行在氣候變遷領域一共開放三個API，分別針對指標（或時間序列資料）、專案計畫（或世界銀行營運計畫）以及世界銀行財務資料，以最基本的指標API指令為例，只要模式開發人員在程式碼中加上字串¹，即可直接讀取世界銀行伺服器中所建置的資料。舉例而言，字串中country代表需要的資料將以國家尺度作為分類，start與end代表起始與結束的時間年份，ISO3代表不同國家的代碼，具體的代碼與所代表意義在世界銀行的API開發使用者說明中都有詳細介紹。透過上述的開放API，可以讓每個程式開發者略過繁瑣的資料蒐集與整理，直接在程式中加入一行不同需求的程式碼就可以得到世界銀行所提供的資料。世界銀行的API建置是一個單向式服務設計，純粹從使用者端讀取伺服器的資料，若API的服務目的是以雙向式做為設計，則使用者還能將所開發的程式、資料或是資訊上傳到伺服器端，如此即可為參與式的公民科學建構一個完善的服務系統，藉由群眾的開發與使用，讓計畫內部完成的水資源整合分析模型能夠延伸更多更廣的觸角，貼近不同領域不同族群的使用，利用共同產出（co-delivery）的精神完成水資源跨領域研究應用。Lausch（2015）提出連結式開發資料（Linked Open Data，簡稱LOD）法，提出在開放資料俯拾皆是

1 字串：[http://climatedataapi.worldbank.org/climateweb/rest/v1/country/type/var/start/end/ISO3\[.ext\]](http://climatedataapi.worldbank.org/climateweb/rest/v1/country/type/var/start/end/ISO3[.ext])

(Web Service) 的方向發展，其為服務導向架構 (Service-Oriented Architecture, 簡稱SOA) 常見的一種實作技術，藉此可串接與整合不同的資料來源。美國先進水文科學大學聯盟 (CUAHSI, the Consortium of Universities for the Advancement of Hydrologic Science, Inc.) 所發展的水文資訊系統 (HIS, Hydrologic Information System) 即為智慧水資源服務一個很好的案例，其發展目的即為解決水文環境資料整合的各式問題 (Maidment, 2008)。CUAHSI-HIS是一個以服務為導向架構為基礎所發展之水文資料共享系統，可整合來自不同聯邦、州和本地端來源的水文觀測資料。此系統是資料庫和伺服器藉由網路服務連接所組成，包含資料發布 (Data Publication)、資料探索 (Data Discovery) 和資料存取 (Data Access) 等功能。可應用整合式資訊系統來倉儲、管理與分享異種資料來源之水文或地下水觀測資料，對於下游使用者或服務對象即可簡單地以單一存取方式使用這些資料，亦可省略許多無謂的前置資料處理動作。Mutongi (2016) 以綠葉模型整合DIKW與ICT之間的結構關係，也闡述了ICT的發展將有助於加速知識管理的整合與薈萃。

如同世界銀行將有關氣候變遷不同種類的資料與資訊分為三種不同的API，氣候智慧水資源服務應遵循知識管理的架構，亦將API的存取分為四個種類，分別是Data-API、Information-API、Knowledge-API與Wisdom-API (以下將簡稱為D-API, I-API, K-API, and W-API)。每一個種類的API即是對應該知識管理中不同階段的產品，以最後的W-API作為說明，就是將各種決策應用的經驗，在訂定相同的傳輸格式後儲存到服務平台的伺服器中，類似於世界銀行的報告API，讓群眾可以自由存取水資源相關的應用，並將自身的經驗透過相同的格式上傳；K-API指的是模式評估結果的整合，向後提供智慧決策利用，向前接續模式評估過程的輸入，在自身的所有知識中，可以進一步比較不同模式或是不同領域的評估成果，若單純的僅利用K-API進行跨領域研究，可視為表4中的多領域研究 (multi-disciplinary)，常見的呈現方式有將不同模式的評估結果，以套圖疊合的方式呈現，模式與模式在評估的過程中並沒有任何交流，僅在最後的結果共同呈現，這算是跨領域研究的第一步；I-API提供不同模式的評估資訊，在此可以交換不同領域在不同情形下需要考量的因素有哪些，把實際考量的因素轉換成模式的輸入資料或是參數，透過互通有無的方式強化自身原本的模式，可視為弱跨領域 (cross-disciplinary)；D-API將可提供觀測資料、資料庫資料以及連結外部開放資料，諸如氣溫、雨量或是人口這些常用的模式輸入資料，大部分都是D-API的範疇，若利用不同領域的原始資料視不同情境下的需求開發新的模式，就是做到強跨領域 (inter-disciplinary) 的研究，不同API與跨領域比較如表4所示。

表4 跨領域智慧建模對照表

名稱	示意圖	定義	說明
多領域 Multi-disciplinary		各領域僅平行進行自身領域內的研究，無任何的交互重疊空間。	將各領域視為模型架構中的一個元件，分別列出單一領域的研究範疇。
弱跨領域 Cross-disciplinary		各領域之間拉近彼此距離，在進行自身研究的同時，會考量到其他領域的影響或者是如何影響到其他領域。整體而言的研究進行還是以單領域為出發點。	考慮兩兩領域之間的交互作用影響，包含資料或資訊的傳遞與互相支援的性質。
強跨領域 Inter-disciplinary		各個領域之間已經有重疊的部分，針對這些重疊的研究課題，必須透過各個領域原有的基礎，再加以資料、資訊與知識的流動交互討論，定義出研究課題的因應方法。	開發的重點在於領域之間API的串接，需要針對不同領域的使用者、開發者屬性建置API應用。
超領域 Trans-disciplinary		領域之間幾乎重疊在一起，進而衍生出一個超越原本各個領域的新形態科學，不屬於任何一個領域卻又包含每個領域，是一種科學研究整合的創新突破。	將科學領域研究的範疇向外延伸，原本的研究成果可能藉由多觸角的發展進而應用到不在原本規劃中的領域。

此外，在知識管理的過程，DIKW四者之間的串接也是十分重要的一點，故服務系統在建置不同API的背後，更應該讓DIKW存取的資料庫本身形成同一個網路系統而非獨立的四個存取窗口，藉以了解從資料到資訊之間的關係；從資訊到知識之間的途徑；從知識到智慧之間的原則（Cooper, 2010）。若以提供服務切入探討，除了資料、資訊、知識與智慧可視為服務項目外，兩兩之間串接的工具與方法更應獨立出來為服務的重點。

六、結 論

水資源一直是全球關注之議題，在豐枯水期降雨差異顯著與人口密高的臺灣，整合性水資源管理更是不能忽略的議題。此外，人工智慧已逐漸成為未來重要發展，然其需要完整正確的數位資料與資訊支持。數位基礎建設的目的在於孕育出開放科學（Open Science），利用資訊與通訊科技的協助，藉由整合不同領域的開放資源以及科學技術，並透過分享成果與開放合作的方式發揮更大的效用。本研究以水資源領域為核心，其目標在於提出建構氣候智慧水資源服務之數位基礎建設，並建立氣候智慧水服務系統之構想。

我國政府在開放資料領域的努力成果有目共睹，甚至於2016年榮獲全球開放資料指數（Global Open Data Index）評比為世界第一的佳績。然而，就DIKW知識管理體系而言，開放資料所提供之內容多僅屬Data層級，僅能算是基礎的工具層面，離「服務」的層級尚有距離。欲建構以氣候智慧水資源服務，「提供服務」的關鍵在於被服務的對象能獲得「解決方案」，而非只是給予層次較低的資料或是工具。本研究基於建構氣候智慧水資源服務的目的，認為應藉由各個研究領域的專業知識為基礎，並藉由資料建模的概念將原始的開放資料彙整成DIKW層級，進而產製對應的服務給使用者。此外，台灣在微型感測軟硬體上的技術，也應該與水利界的專業做結合，將這樣的強項應用在data的蒐集，藉由工具與專業知識將蒐集到的data轉譯為information與knowledge，可將這樣的成果實際應用至精緻灌溉、水庫安全、動態地下水及防汛減災各個水利署所要積極發展的領域。

本研究認為要提供氣候智慧水服務，必須導入地面水資源、地下水資源、農業水資源、公共水資源等四個面向，再透過整合性的研究架構，由服務的供給端與需求端的角度分別盤點服務能量以及服務需求，進而找出階段氣候智慧水服務的鴻溝視為研究重點。發展社區尺度的水資源服務，能夠達到分散式調適、公民參與的

顯著效果。除此之外，氣候智慧水服務雖然以提供服務為核心目的，然而服務本身必須架構在軟體介面中，而軟體介面則需建構在服務平台上，服務平台則建構於實體的資料伺服器中，因此上述氣候智慧水服務需以提供整合方案為目標，確認不同介面間之串接規格，建構資訊整合與數位服務的研究。

氣候變遷的本質即是一直在改變，透過上述的研究發展建構，除了以科學的發展降低不確定之外，亦可作為面對氣候變遷發展高度不確定性的動態決策素材，透過即時性的氣候監測與經濟社會發展監測，選擇適當的工具作為相對的因應。最後，本研究透過智慧建模的過程，重新型塑水資源領域在過去所累積的研究能量，整合政府、學術研究、產業與一般大眾的參與，透過API串接既有的研究成果與鋪造未來的發展可能，在氣候變遷下尋求永續發展的契機。

參考文獻

- Akbar, S., Kleiman, G., Menon, S., and Segafredo, L., 2014, Climate-smart development: adding up the benefits of actions that help build prosperity, end poverty and combat climate change.
- Biswas, A. K., 2004, Integrated water resources management: a reassessment: a water forum contribution. *Water international*, 29(2), pp. 248-256.
- Boulmakoul, A., Karim, L., and Lbath, A., 2012, Moving object trajectories meta-model and spatio-temporal queries. *arXiv preprint arXiv:1205.1796*.
- Box, G. E. (1976). Science and statistics. *Journal of the American Statistical Association*, 71(356), pp. 791-799.
- Bucx, T., van Driel, W. F., de Boer, H., Graas, S., Langenberg, V., Marchand, M., and Van de Guchte, C., 2014, Comparative assessment of the vulnerability and resilience of deltas: extended version with 14 deltas: synthesis report. Delta Alliance.
- Cheng, G., Li, X., Zhao, W., Xu, Z., Feng, Q., Xiao, S., and Xiao, H., 2014, Integrated study of the water-ecosystem-economy in the Heihe River Basin. *National science review*, 1(3), pp. 413-428.
- Collste, D., Pedercini, M., and Cornell, S. E., 2014, Policy coherence to achieve the SDGs: using integrated simulation models to assess effective policies. *Sustainability Science*, pp. 1-11.

- Connolly, T. M., and Begg, C. E., 2005, Database systems: a practical approach to design, implementation, and management. Pearson Education.
- Cooper, P., 2010, Data, information and knowledge. *Anaesthesia and Intensive Care Medicine*, 11(12), pp. 505-506.
- Field, C., Barros, V., Mach, K. and Mastrandrea, M., 2014, Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In. Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, UK.
- Giordano, M., and Shah, T., 2014, From IWRM back to integrated water resources management. *International Journal of Water Resources Development*, 30(3), pp. 364-376.
- Harou, J. J., Medellín-Azuara, J., Zhu, T., Tanaka, S. K., Lund, J. R., Stine, S., Olivares, M. A., and Jenkins, M. W., 2010, Economic consequences of optimized water management for a prolonged, severe drought in California. *Water Resources Research*, 46(5), W05522.
- Harrison, P. A., Holman, I. P., and Berry, P. M., 2015, Assessing cross-sectoral climate change impacts, vulnerability and adaptation: an introduction to the CLIMSAVE project.
- Harrison, P. A., Holman, I. P., Cojocar, G., Kok, K., Kontogianni, A., Metzger, M. J., and Gramberger, M., 2013, Combining qualitative and quantitative understanding for exploring cross-sectoral climate change impacts, adaptation and vulnerability in Europe. *Regional Environmental Change*, 13(4), pp. 761-780.
- Harvey, C. A., Chacón, M., Donatti, C. I., Garen, E., Hannah, L., Andrade, A., Bede, L., ... and Clement, C., 2014, Climate-smart landscapes: opportunities and challenges for integrating adaptation and mitigation in tropical agriculture. *Conservation Letters*, 7(2), pp. 77-90.
- Hewitt, C., Mason, S., and Walland, D., 2012, The global framework for climate services. *Nature Climate Change*, 2(12), pp. 831.
- Ikamari, L., 2005, Decision Maker Perceptions in Kenya: A Rapid Assessment of Data Use Constraints. Chapel Hill NC, MEASURE Evaluation/Carolina Population Center.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014, Climate Change 2014-Impacts, Adaptation and Vulnerability: Regional Aspects. Cambridge University Press.

- Jacobs, K., Lebel, L., Buizer, J., Addams, L., Matson, P., McCullough, E., and Finan, T., 2016, Linking knowledge with action in the pursuit of sustainable water-resources management. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(17), pp. 4591-4596.
- Kavis, M. J., 2014, *Architecting the cloud: design decisions for cloud computing service models (SaaS, PaaS, and IaaS)*. John Wiley and Sons.
- Lausch, A., Schmidt, A., and Tischendorf, L., 2015, Data mining and linked open data-New perspectives for data analysis in environmental research. *Ecological Modelling*, 295, pp. 5-17.
- Lipper, L., 2010, *Climate-Smart agriculture: policies, practice and financing for food security, adaptation and migration*.
- Lipper, L., Thornton, P., Campbell, B. M., Baedeker, T., Braimoh, A., Bwalya, M., and Hottle, R., 2014, Climate-smart agriculture for food security. *Nature Climate Change*, 4(12), pp. 1068.
- Liu, S., Crossman, N. D., Nolan, M., and Ghirmay, H., 2013, Bringing ecosystem services into integrated water resources management. *Journal of Environmental Management*, 129, pp. 92-102.
- Maidment, D. R., 2008, *CUAHSI Hydrologic Information System: Overview of Version 1.1*. Consortium of Universities for the Advancement of Hydrologic Science Inc., Washington, DC.
- Mutongi, C., 2016, Revisiting Data, Information, Knowledge and Wisdom (DIKW) Model and Introducing the Green Leaf Model. *IOSR Journal of Business and Management (IOSR-JBM)* e-ISSN: 2278-487X, p-ISSN: 2319-7668, 18(7), pp. 66-71.
- Nitschke, C. R., and Innes, J. L., 2008, A tree and climate assessment tool for modelling ecosystem response to climate change. *Ecological modelling*, 210(3), pp. 263-277.
- Oki, T., and Kanae, S., 2006, Global hydrological cycles and world water resources. *science*, 313(5790), pp. 1068-1072.
- Payne, J. T., Wood, A. W., Hamlet, A. F., Palmer, R. N., and Lettenmaier, D. P., 2004, Mitigating the effects of climate change on the water resources of the Columbia River basin. *Climatic change*, 62(1), pp. 233-256.
- Reenskaug, T., 1978, *MVC XEROX PARC 1978-79*.

- Schaeffer, M., 2014, Africa's Adaptation Gap Technical Report: Climate-change Impacts, Adaptation Challenges and Costs for Africa. UNEP.
- Schellnhuber, H. J., Frieler, K., and Kabat, P., 2014, The elephant, the blind, and the intersectoral intercomparison of climate impacts.
- Schnase, J. L., Duffy, D. Q., Tamkin, G. S., Nadeau, D., Thompson, J. H., Grieg, C. M., and Webster, W. P., 2017, MERRA analytic services: meeting the big data challenges of climate science through cloud-enabled climate analytics-as-a-service. *Computers, Environment and Urban Systems*, 61, pp. 198-211.
- Street, R., Jacob, D., Parry, M., Runge, T., and Scott, J., 2015, A European research and innovation roadmap for climate services. European Commission.
- Taleb, N. N., 2014, Elements of quantitative finance: a response to Jeff Holman's review of Antifragile. *Quantitative Finance*, 14(3), pp. 401-401.
- United Nations Environment Programme (UNEP) — Risoe Centre, 2011, Technologies for Climate Change Adaptation-Water Sector, Denmark: UNEP-Riso.
- Vaughan, C., L. Lawrence, A. Kruczkiewicz, L. Goddard, 2016, Identifying research priorities to advance climate services. *Climate Services* 4, pp. 65-74.
- Wang, K., and Davies, E. G. R., 2015, A water resources simulation gaming model for the Invitational Drought Tournament. *Journal of environmental management*, 160, pp. 167-183.
- Warner, K., and van der Geest, K., 2013, Loss and damage from climate change: local-level evidence from nine vulnerable countries. *International Journal of Global Warming*, 5(4), pp. 367-386.
- Wise, R. M., Fazey, I., Smith, M. S., Park, S. E., Eakin, H. C., Van Garderen, E. A., and Campbell, B., 2014, Reconceptualising adaptation to climate change as part of pathways of change and response. *Global Environmental Change*, 28, pp. 325-336.
- Ye, T., Shi, P., Liu, L., Fan, Y., and Hu, J., 2012, China's drought disaster risk management: Perspective of severe droughts in 2009-2010. *International Journal of Disaster Risk Science*, 3(2), pp. 84-97.
- 行政院，2017，前瞻基礎建設（核定本）。
- 經濟部水利署，2012，水資源開發利用總量管制策略推動規劃總報告書。