

台灣近岸海洋研究：桃園藻礁海岸水文與沉積物初探

黃志誠

國立中央大學 水文與海洋科學研究所

摘要

台灣近岸海洋環境受到人為開發及自然變遷的衝擊產生諸多問題，然而因缺乏資源及人才的投入、整合及長期規劃，使得台灣海岸帶研究至今仍難有一整合式的全面研究。有鑒於此，劉康克教授 KK 在 2013 年起於自然處永續學門推動整合研究計劃「台灣海岸帶變遷與海陸交互作用研究：科學基礎與社會關連」，簡稱 LOICCCZ-Taiwan，此計畫為台灣開啟近岸海洋科學的整合研究之路。後學有幸參與此一整合計畫，並以桃園藻礁海岸研究來支持此整合計畫。KK 老師在世的最後 8 年左右，鞠躬盡瘁地致力於推動台灣近岸海洋研究，後學藉此研討會介紹目前藻礁海岸帶水文與沉積物初探成果及未來仍需努力的地方。KK 留下積極開創新局的精神，鼓勵著後學的我們接棒繼續承擔近岸海岸研究的使命。

溫馨感言

回想起跟 KK 老師結識、共事的過程，我只能說我是幸運的人，有機會能與他的人生重疊，向他學習。我第一次跟 KK 老師見面是 2010 年 11 月，當時我還在美國聖地牙哥 Scripps 海洋研究所從事博士後研究。KK、錢樺教授還有江文山研究員為了推動台灣近岸海洋研究，特地到美國的 Scripps 及東岸的 Duck 參觀這兩個地方的棧橋。那時候我不太認識他，但對他認真學習的態度留下深刻的印象。他勤做筆記，我們每天的參訪行程都是排到滿檔，對一個資深的老師來說，這種身體力行的態度實在少見。我還記得他對我家人相當熱絡及友善，顯露出一個基督徒具有的社會關懷態度及社會鏈結能力。與 KK 同事期間，我對他曾經鼓勵後學的言語及行為有著深刻的印象，例如，他曾經鼓勵工程背景的碩士生來念博士：「你畢業後去當工程師，每天做重複性的工作相當無聊，你資質不錯，留下來做科學研究比較有趣，知識無涯，有廣大的寶庫等你發掘」。這兩年，在他

大兒子的結婚典禮上，說到台灣近幾年的問題多了，都是少了「利他」精神，並鼓勵大家做事盡量往「利他」去思考，這樣社會才會祥和進步。自己兒女的婚禮上還關心國家社會，這也讓我印象深刻，充分展露出他的人文與社會關懷精神。三年前我的學生書報表現不理想，初當老師的我直來直往希望學生能馬上改進，但是學生有點承受不住，KK 教我應該改變方式，多鼓勵學生，循循善誘讓他們達到目標。我從他的許多學生聽聞，當他們答不出來或不知道怎麼進行下一步時，他都是給予提示，笑笑的讓學生回去再想想，展現充分的耐心，慢慢誘導及鼓勵學生。他也鼓勵我要繼續以身體力行的態度與方式跟學生一起從事研究。專題演講及學生書報討論課程，我們始終看到他坐在第一排認真聽講的身影，享受新知學習與人際互動，或許就是他從事科研與教育多年始終都能保持這麼有活力的方法。

KK 為人相當風趣，做事及生活態度相當積極，總以正向態度面對挑戰，鼓勵後學不遺餘力。他在推動近岸海洋科學的整合研究之際突然驟逝，是台灣海洋學界的一大損失，我們接棒者應努力擔負起近岸海岸研究的任務與使命，將來用成果告慰 KK 老師。一代宗師雖遠去，KK 遺留的風範及為學態度，鼓勵後學的我們繼續前進，承擔起教育、社會服務與科學研究傳承的使命。

LOICCCZ 整合計畫架構

台灣近岸海洋環境問題嚴重，包括人為開發及氣候變遷帶來的汙染、海岸侵蝕、生態滅絕、氣象災害等問題。台灣遭遇到的海岸問題包括：(1) 氣象所造成的災害：颱風及其所帶來豪雨、西南氣流及東北季風所引起的豪雨及巨浪侵蝕及破壞海岸。東北季風所帶來的寒潮及沿海冷水入侵，影響生態及漁業環境。(2) 海岸帶崩塌災害：海岸公路受地震及強降雨，引發山崩與海岸侵蝕，常造成交通道路中斷與經營管理上的困難。(3) 污染問題：沿海工業區或河川上游人為的汙廢水，經由河流汙染傳送到河口及其附近的海域。(4) 土地利用改變：沿海農地變更為養殖池，使土壤鹽化，地層下陷。港口、海堤、魚塭等混凝土設施影響自然

棲地。防風林遭開發破壞使得大氣邊界層改變，造成風害及沙害等。(5) 海岸變遷問題：水庫及氣候變遷使得海岸沙源減少，全球暖化的海平面上升，將讓台灣的海岸變遷問題更嚴重。(6) 地層下陷與淹溢問題：人為超抽地下水及氣候變遷的海平面上升將使得地層下陷及沿海溢淹更嚴重。(7) 資源枯竭問題：受到人為污染、棲地破壞及過漁之威脅，台灣沿海的生物資源日益枯竭。

有鑑於海岸問題嚴重，KK 老師在自然處永續學門推動的整合研究計劃名稱為「台灣海岸帶變遷與海陸交互作用研究：科學基礎與社會關連」，英文 Land-Ocean Interactions in the Changing Coastal Zones of Taiwan: Scientific Basis and Societal Engagements (LOIC CZ-Taiwan)，主要由 KK 及錢樺教授執行，後學協助其中桃園藻礁海岸研究規劃。整個的計畫在海岸帶現地觀測調查的項目擬定計畫為(1) 近岸水域之調查與監測：在近岸海域範圍。利用海研二、三號進行台灣西岸與東岸之環島沿海採樣，獲取基本水文化學之沿岸分佈，並了解季節性變化之特性。(2) 近岸水域之基礎水質連續監測：在台灣西部海岸特定站點裝置近岸水域之連續監測儀器。(3)重要近岸海域之密集觀測與模擬：研究重點淡水河口、桃園藻礁及附近海域、高屏溪口及附近海域。淡水河口的研究主要以 KK 為主，進行淡水河口之氮循環過程及其與水質之關係，以了解都市污水與工業廢水，造成河川水質嚴重優養化對環境之衝擊。桃園藻礁海域的觀測乃規劃利用中央大學臨海工作站，進行海象及邊界層通量觀測。高屏溪口及附近海域乃選定於大鵬灣進行浮游生物研究。計畫中也希望發展區域性數值模式，包含(1) 區域性之數值模式：利用物理模式模擬水流、潮系、溫度等，期待發展高解析度之東海-台海-南海陸棚數值模式。(2)台灣主要河川之流域水文模式：為正確的模擬沿岸流之鹽度，必須主要河川之流量納入模式之邊界條件，藉以探討台灣河川對近岸海域之影響，及人為活動對近岸水質之衝擊。(3) 沈積物輸送之數值模式：搭配普林斯頓海洋模式(Princeton Ocean Model)，及 SWAN 海浪模式進行海浪-潮汐-環流耦合數值模式發展。

藻礁海岸水文與沉積物初探

藻礁海岸的地形變遷希望用觀測資料搭配數值模擬來重現及預測海岸受到人工結構物及氣候變遷影響下的變遷過程。為了達成這一個目標，有很多的研究工作需要進行及規劃。計畫在桃園藻礁現場海岸，實際量化並觀測懸浮沈積物濃度，並同步結合水動力紊流觀測來達到量化、參數化及推估當地懸浮沈積物改變的物理過程，並探討藻礁上沈積物濃度改變受制的機制。我們已建立相關之研究方法，例如：我們已經可以量化現場的紊流、懸浮質濃度及粒徑變化等。將所得到的物理過程做一更深入的討論及量化，以便日後給較大尺度的近岸模式使用。此一計畫之長遠目標乃在將物理過程結合藻類生長的生物過程，並應用此計畫的成果於數值模式的建立與驗證，配合觀測的參數化結果及海氣象歷史資料，推測藻礁海岸的歷史變遷過程及未來可能之變化，如此在藻礁環境監測及保育策略上方可以擬定正確的措施，達到永續海岸環境的目標。

目前我們已經完成了光學及聲學儀器對均勻及現場懸浮質濃度的率定及比較研究。另外，我們在桃園藻礁上進行為期約一個月的先期現場實驗研究來測試研究的可行性，其中一處觀測點的實驗儀器佈置如圖 2 所示。我們已經可以利用多種儀器及方法成功獲得藻礁上懸浮沈積物濃度的資料。初步結果顯示藻礁沈積物懸浮濃度受制於潮汐、波浪、潮流、碎波等不同的驅動力使得懸浮物濃度呈現和潮汐週期變化的類似反應，此顯示藻礁的沈積物變化過程及其物理機制相當複雜，有待進一步研究。另外，我們已在實驗室水槽用實際藻礁上的海水再次進行光學濁度計法和高頻聲波回波強度法與實際懸浮沈積物濃度的率定。此濃度觀測研究成果可以推廣以便在未來建立長期的觀測及資料系統來監測這些複雜的藻礁生態環境因子。

初步已完成沈積物濃度與水動力參數的比較與耦合關係建立。因為高頻流速儀具有可同時觀測懸浮沈積物濃度與紊流的特性，因此由流速儀分析獲得的水文資料及紊流特性將作為建立此耦合的關係重要參數。因為先前的研究已經可以獲

得紊流特性參數，量化結果並結合邊界層理論將觀測到的水動力數值進行參數化，初步結果如圖 3 所示，該結果顯示藻礁區的沉積物質和紊流有高度的關係。因為強風及碎波增強了混攪(mixing)強度，而使得水體和風速及碎波也呈現高度相關。因此，本計畫可以將所觀測到的懸浮物濃度配合邊界層理論與沈積物懸浮濃度進行耦合關係的建立，以作為日後大規模及長期模擬藻礁區的懸浮沈積物濃度之用。

本研究目前仍在初始階段，未來仍需完成的工作包含：(1) 建立沉積物與水動力的耦合理論架構及討論；(2) 利用地形變化及輸送守恒方程式來量化傳輸量及地形變遷過程；(3) 大規模的近岸潮間帶及海底地形變遷調查；(4) 建立近岸水動力物理模式重現及預測地形變遷。



圖 1. KK、錢樺及江文山博士參觀 Scripps 棧橋的留影，由我幫忙攝影。

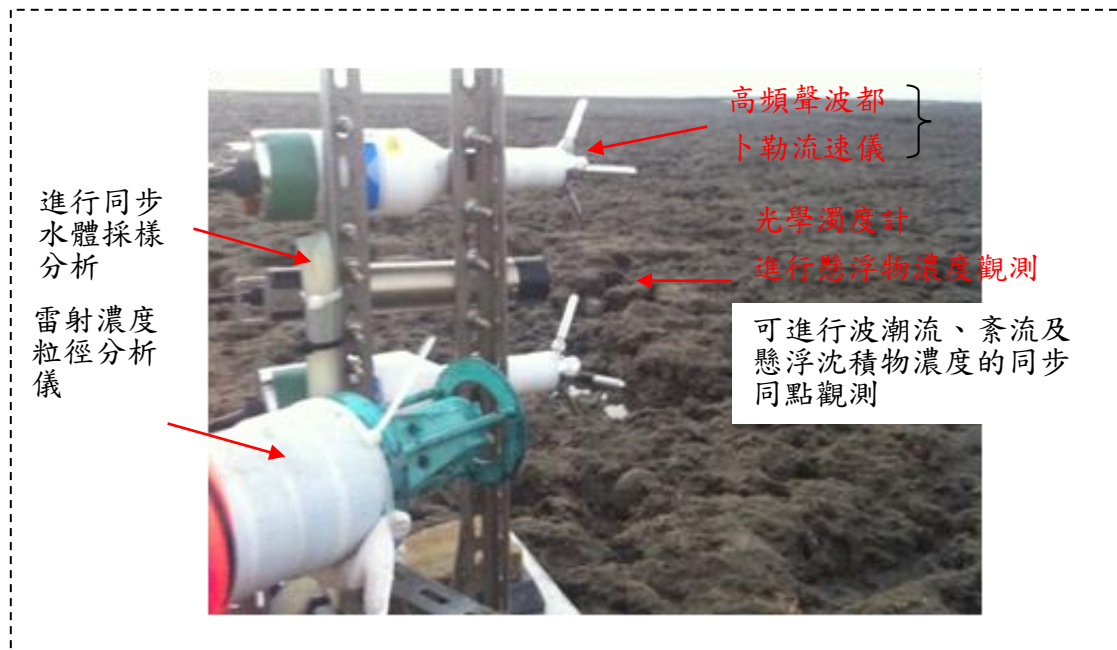


圖 2. 藻礁區觀測儀器部佈置圖。研究將利用流速儀陣列測量水動力及紊流，並利用取樣的水體進行聲波強度(ABS)及懸浮質濃度(SSC)的率定，利用光學濁度計陣列來測量懸浮質通量，利用雷射濃度粒徑分析儀進行懸浮質粒徑分析，並同步抽取水樣進行實驗室的驗證及分析。

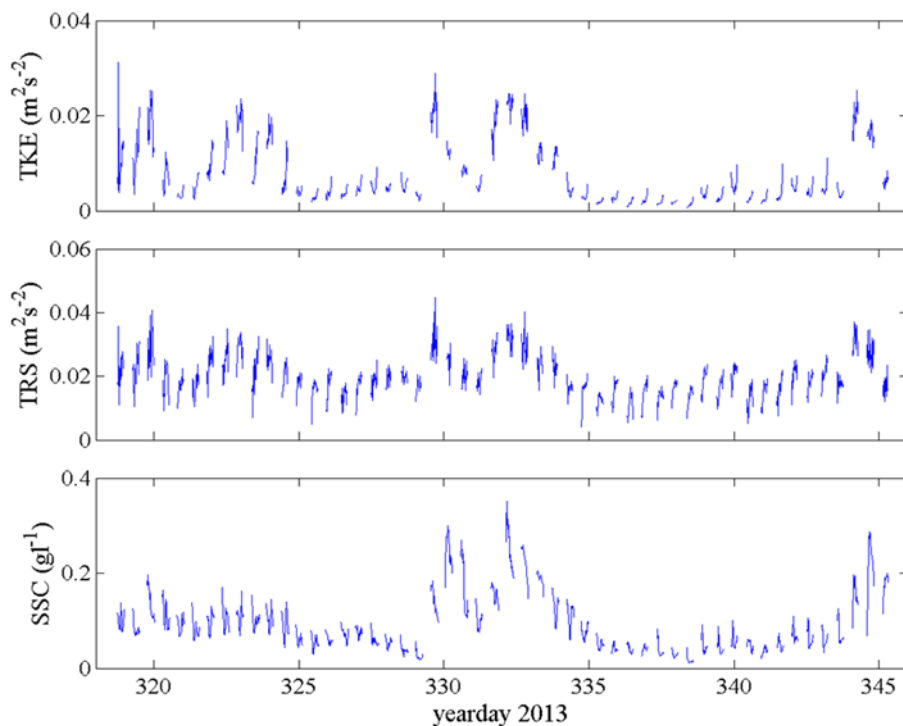


圖 3. 藻礁區觀測到的紊流動能(turbulent kinetic energy, TKE)，紊流剪應力(Turbulent Reynolds stress, TRS)，及懸浮質濃度時序列圖(suspended sediment concentration, SSC)。此結果顯示藻礁區的懸浮質濃度和紊流呈現高度相關。