



土木工程與永續發展

洪如江／國立臺灣大學土木工程學系 名譽教授、中國土木水利工程學會 會士

引言

永續發展，指：我們這一代所使用的資源，不透支後代賴以生存的資源。

永續發展，必須「經濟」、「環境」與「社會」這三大支柱的均衡發展。這三大支柱，只要一支太短，或一支太長，必定發生人類文明大廈的傾斜或倒塌。

更高的理想是：導引大自然龐大資源於保護眾生及人類和平且永續生存。為這理想，土木工程師的力量雖然有限，但勿以善小而不為。何況，土木工程建設，常耗費龐大資源，包括人力、物力、自然資源。

人類文明演進所面臨的危機

全球暖化 (Global Warming) 與 氣候變遷 (Climate Change) (環境問題)

人類燃燒化石能源，排放二氧化碳 (CO₂) 於大氣之中，導致氣候變遷，甚至於極端氣候：例如颱風（美洲稱颶風）豪雨、乾旱、全球暖化（氣溫上升）、懸浮微粒。雖然火山爆發及森林野火，也排放二氧化碳，但其量遠遠低於人為者。

全球氣溫及空氣中二氧化碳濃度，在第一次工業革命（19世紀）期間（燃燒煤炭），明顯上升；第二次

工業革命（20世紀）期間（燃燒煤炭及石油），上升加快；二次大戰結束之後，全球人口快速增加，50%以上已經居住城市之中。台灣人口的80%以上已經居住城鎮之中。城市的土木工程，使用大量水泥、木材、鋼鐵、塑膠、等等材料。其開採、運輸、加工、使用，都耗用大量能源。城市生活，消耗大量電力於電梯、空調、照明、等等，消耗大量煤氣於烹飪，更消耗大量汽油及柴油於大量的汽、機車。總結而言，城市消耗全球飲用水的60%、能量的75%，排放80%的溫室氣體（Andrew Ka-Ching Chan, 2016）。

2018美國加洲森林（766,439公頃）野火，97平民及6消防隊員遇難，受傷者80多人（參考Wikipedia）。希臘雅典附近海邊野火，91人遇難。日本高溫（東京氣溫超過40度C），已知125人遇難。經濟學人週刊（2018.08.04～10）封面用超大字標題 In the line of fire Losing the war against climate change。

今年，巴西亞馬遜雨林野火燃燒日益嚴重，全球震驚，但巴西總統拒絕外援。

Nature 11 July 2019 VOL 571 “Europe’s mega-heatwave boosted by climate change”（作者 Quirin Schiermeier）指出：法國（位於北溫帶）東南部

Gallargues-le-Montueux 鎮的氣溫高達 45.9°C。

FT Weekend 3 August/4 August 2019（作者分別為 Ian Mount 與 Anjli Raval and Leslie Hook）顯著報導，並指出：亞非兩洲人口快速增加，預估 2040 將增加 25%，其能源需求必然大增；且強調：須注意航空器及船隻的影響。

全球暖化，氣溫上升，北極冰地萎縮，冰川後退，海面上升。一些海島與臨海城市的部分面海陸地有被海水淹沒的危機。生物多樣性也可能因而減少。

對於氣候變遷及全球暖化，聯合國（UN），歐盟（EU），美國，都努力提出對策，但似乎趕不上全球性變遷。因為：

- 世界人口日增，摩天大樓比多比高且越建越多，耗能急增
- 政治人物以拼經濟為號召，獲得相當多的支持，投資耗能產業
- 電動汽車可以減少城市的空氣污染，但必須增加電力供應
- 森林面積，因砍伐及野火燃燒，有縮小的傾向

空氣污染（環境問題）

18 世紀，英國的第一次工業革命，工廠機器、火車、輪船、戰艦，以及家庭，燃燒大量煤炭，空氣污染迅速增強。

20 世紀初，美國深井採油成功及煉油工業的發達，促進內燃機與發電機的發明。燃燒石油的汽機車開始佔領城市、鄉村、公路。工廠（包括電廠）燃燒大量的煤炭、石油、及天然氣、等化石能源。空氣污染更加嚴重。

世界衛生組織（WHO）2018 報告：全世界因空氣污染而死亡人數，室外達 420 萬人，室內達 380 萬人。

Lelieveld, *et al.* (2015, **Nature** Vol 525) Table 1 指出：2010 年因室外 PM2.5 及 O3（危害度遠小於 PM2.5）而英年早逝（premature death）者達 3.3 百萬人；主要發生在亞洲，且以含碳顆粒（carbonaceous particles）最毒。且預估，在 2050 年，全球因之而英年

早逝者將加倍。

Ting-Chun Lai, *et al.* (2017, **Journal of the Formosan Association**, Vol 116, Issue 1) 顯示：台灣在 2014 年因 PM2.5 而死亡者達 6281 人；其中，新北市 874 人，高雄市 829 人，台北市 619 人。

Li, *et al.* (2019, **Nature** Vol 570) 指出，空氣污染最大的元兇是 **PM2.5** 懸浮微粒。其粒徑等於或小於 2.5 微米（micrometer，百萬分之一米）。可以經由呼吸貫入人體的肝臟、心臟、血管系統。

Mark Pelling and Matthias Garschagen (2019, **Nature** Vol 569) 指出，窮人因開發落後及氣候變遷，經常受到洪水、乾旱、熱浪、等等的損傷。

在空氣傳播的自然界（例如沙漠）灰塵及微生物顆粒，也是有害的污染源。

自然災害（環境問題）

世界銀行（The World Bank, 2005）的 **Natural Disaster Hotspots, A Global Risk Analysis** 一書，指出全球可能發生自然災害的熱點（Hotspots）。該書列出暴露在 3 種或 3 種以上危險（Hazards）的 15 個國家或地區的名稱，也列出暴露在 2 種或 2 種以上危險（Hazards）的 60 個國家或地區的名稱。並特別強調：台灣有 73.1% 的面積及 73.1% 的人口，曝露在最多 4 種危險（Hazards）的威脅。

台灣的地形，還在幼年期，隆起作用與削平（物理侵蝕）作用，在快速進行中。

根據李遠輝（1975）所調查的侵蝕率（公厘/年）：

- 台灣中央山脈 5.5 公厘/年
- 台灣西部丘陵 1.5 公厘/年
- 歐洲萊茵河流域的阿爾卑斯山區 0.53 公厘/年

台灣，大甲溪岸，太魯閣溪岸，舊蘇花公路臨海段峭壁，坡度近乎垂直而且解壓節理（裂縫）發達，常因地震或豪雨而崩塌，而發生路斷災害。

台灣城鎮（台灣 80% 人口居住所在），常在颱風豪雨的八月中淹水成災，大眾傳播媒體顯著報導。

美國在其西北部太平洋山脈 1556 ~ 1976 四百多年的調查研究發現：自然力量（重力，颱風豪雨，地

震)所引發的坍方設為1,砍伐森林所引發的坍方約為10,開路上山所引發的坍方約為100或更大(Heiken, 1997)。但一般人,甚至於科技人員,常將山坡地的坍方稱為自然災害或自然山崩。

過度開發導致自然生態環境的崩潰(環境問題)

- 行政院經濟建設委員會主任委員胡勝正(國94年)在行政院經濟建設委員會發行的**悲歌美麗島**一書(齊柏林攝影,陳慧屏撰文)的序中第一段文字:

台灣經濟快速發展的背後,由於長期對自然資源保護的不足及配合經濟發展需要而造成過度開發,國土資源遭受到難以復原的傷害。

進一步了解台灣之美、台灣大地受到天災及人為傷害的第一手紀錄,參見:

- 齊柏林,2013初版,2018第35刷,**我的心,我的眼,看見台灣**,圓神出版。
- 齊柏林空拍紀錄短片,2013,**鳥目台灣**,台灣阿布電影公司出品發行影片光碟。
- 齊柏林攝影,劉克襄文字,2013,**鳥目台灣:齊柏林空拍紀錄攝影文集**,發行人文化實驗室出版紙本。
- 游牧笛撰文,影像來源台灣阿布電影公司,2016,**看見齊柏林**,大石國際文化有限公司由National Geographic Society 授權出版。

人口爆增並向城市集中(環境問題,社會問題)

世界人口呈爆炸性成長,地球將更為擁擠,而擁擠必然增加衝突的機會;居住、糧食、用水、等等問題將更趨嚴重。世界人口最多的國家是中國與印度。到2050年,中國人口將達14.37億,印度人口將暴增至16.28億。開發中國家,人口超過千萬的巨無霸城市,持續增加、膨脹。

混凝土叢林逐步取代天然叢林。大部分的人類,在城市之中忍受擁擠、汽機車廢氣、噪音、熱島效應、等等遠離自然的生活。

城鄉差距拉大,年輕人多到城市討生活,鄉村多留下老人和小孩。

貧富差距擴大,可能引發貧富衝突(經濟問題,社會問題)

世界銀行(2017)**World Development Indicators**一書,對2015年217個國家的研究報告,大致上可以貧、富,將全世界分為下列四地區:

- **最富裕地區**:北美(人均國民所得在\$5萬以上)
- **次富裕地區**:歐洲及中亞(人均國民所得約\$2.5萬)
- **中下所得地區**:東亞及太平洋地區(人均國民所得略低於\$1萬)
- **貧窮地區**:南亞,非洲撒哈拉沙漠以南(人均國民所得低於\$2千)

一般而言,城市人口百分比(%)較高的國家,多較為富裕,但貧富懸殊。

貧富差距擴大,必然發生不同型態與不同程度的「貧富衝突」。這不但是一個國家內部問題,也是區域性問題,甚至是全球性的問題。

摩天大樓空屋:新時代的金字塔(經濟問題,社會問題)

台灣空屋高達80多萬戶,許多年輕人卻因為買不起房屋而不敢結婚生子,成為國家級的危機。

這些空屋,多在摩天大樓之內,耗費龐大的財力,排擠教育、科技研發、基礎建設、社會福利、國防、等等急需的資源,相當於埃及古文明與馬雅古文明的金字塔。筆者稱之為:新時代的金字塔。中華民國,假使難以永續生存的話,這些新型態的金字塔會是原因之一。

面對人類文明演進危機的對策

全球暖化問題的對策

對全球暖化問題的對策,多主張停止利用化石能源於發電,而以再生能源(例如太陽能、風能、生質能、水力)發電,但進展緩慢。

汽機車、土建工程的施工機械,宜改用電力。數量龐大的飛機及輪船,除了少數核能軍艦艇之外,目前看不出改用電力的可能。

面對核能發電的疑慮，土木工程界或可以加強核電廠的縱深防衛工程及核廢料深埋地下（包括深地下坑洞）的設計及安全性，向社會說明。日本六所村（遠離人口眾多及水源地）的核廢料再處理工程，宜先由工程界前往了解後，再邀請民意代表及有意了解的民眾前往參訪，消滅疑慮。但該再處理工程，必須花費很長時間及很龐大經費。

德國已經決定：以再生能源取代核能發電與化石燃料發電，參考 2015 年 11 月 *國家地理雜誌* (*National Geographic*) 中文版 NO 168 期；其封面大標題為：為地球退燒，降溫求生指南。其 42 頁至 65 頁一文標題為「向高溫挑戰 改變的決心」，撰文 Robert Kunzig，攝影 Luca Locatelli。

核融合 (Fusion) 發電，已經有幾個國家，或國家集團，開始研發；例如 ITER，最快可能在 20 年後發電，參見 Wikipedia 大幅報導。土木工程界的任務，有如大哈得龍對撞機 (Large Hadron Collider，重約 30,000 噸) 工程一樣，任務艱鉅。

綠色植物，尤其是森林，在雨天，可以由樹體及根系網絡所及的土地，儲存大量水分 (圖 1)，形成自然地下水庫，於乾旱時經由樹葉蒸發水汽，降低氣溫。

綠色植物，以光合作用吸收空氣中的二氧化碳 (CO_2)，經根系共生微生物網絡分解成樹木所需要的

養分及氧氣；將氧氣釋放至空氣之中，將多餘養份，分享給落葉樹或矮樹，加快其成長，一起吸收更多二氧化碳 (CO_2)。

關於樹林與空氣 (溫度、品質) 的研究，非常之多，僅舉例如下：

- 鍾彥儒、萊恩，威廉斯，2018 年 6 月「會溝通的樹木」，*國家地理雜誌* (*National Geographic*) 中文版 NO 199。
- Schiermeier, Quirin, 11 July 2019, “Europes mega-heatwave boosted by climate change”, *Nature*, Vol 571 / Issue 7764。
- Steidinger, B.S. et al, 16 May 2019, “Climatic controls of decomposition drive the global biogeography of forest – tree symbioses”, *Nature*, Vol 569 / Issue 7756.
- Ambasz, Emilio, 1992, *Invention, The Reality of the Ideal*, Rizzoli International Publications, Inc. (360 pages)。本書著作者 Ambasz，以道法自然哲思，將樹林結合房屋建築及少數土木工程。有的長橋，居然在每一橋柱頂端種樹，雖然稀罕，卻是高度創新之作，值得效法。



圖 1 在豪雨侵襲下，樹林保水能力最強 (台灣水土保持局野外模型實驗) (洪如江攝)

瑞典首都斯德哥爾摩住宅區與森林共生遠景，示於圖 2；其近景示於圖 3。

中國新疆火焰山地區酷熱，寸草不長（圖 4）。其吐魯番，以「坎兒井」地下隧道導引天山溶化冰水造林為綠洲（圖 5），灌溉生產大量水果（尤其是葡萄，圖 6）。

巴黎舊高架鐵路原線，改為森林步道（圖 7），與兩側住宅區共生。

義大利米蘭（Milan）的高樓 Bosco Verticale，樓頂及四周凸出外牆的陽台種滿樹林，減少污染並冷卻夏季高溫。參見 Joy Lo Dico, “Breathing life into the city”, *FTWeekend Asia edition*, 10 August/11 August 2019

文章及照片。

台灣，也已經有些建築結合綠化，值得尊敬；但多是孤軍奮鬥。新加坡以長期規劃，建設 17 個新市鎮（New Town，或稱花園城市）及永久保護區，新加坡城市的公共綠色空間百分比（% of public green space）高達 47%，世界第一。



圖 2 瑞典首都斯德哥爾摩住宅區與森林共生遠景（洪如江攝）↑



圖 3 瑞典首都斯德哥爾摩住宅區與森林共生近景（洪如江攝）→



圖 4 新疆吐魯番的火焰山，高溫，乾燥，無雨（洪如江攝）



圖 5 中國新疆沙漠火焰山地區的吐魯番，以「坎兒井」地下隧道引天山冰水從事造林及灌溉而成為綠洲，並生產大量水果（尤其是葡萄）（洪如江攝）



圖 6 吐魯番葡萄園近景 (洪如江攝)



圖 7 法國巴黎舊高架鐵路，改為森林步道，與兩側住宅區共生 (洪如江攝)

空氣污染問題的對策

開發再生能源及核融合 (Fusion) 發電 (參見：作者 / 菲利浦 鮑爾、譯者 / 高英哲，2019.01，「核融合的逆襲」，《BBC 知識》國際中文版 *Knowledge, vol.89*)。

文中並列出世界上 6 個研發中的核融合發電機的實體反應爐照片及說明。

茂密的樹林 (參考圖 1 至圖 7)，其葉片氣孔及絨毛，不但可以吸收空氣中的二氧化碳 (CO₂)、排放新鮮氧氣及汽態水、調節微氣候；還可以吸附空氣中的懸浮微粒。整棵樹體，也有吸收空氣中污染物質的能力。

住家房間內，難免累積有害 (甚至於有毒) 氣體及懸浮微粒。室內綠色植物盆栽是一種自然之道，除了去污、消毒之外，也具有賞心悅目功能。當然，摩登而不想費力於盆栽的人，可以替每一個房間買一部電動去污機。

瑞士，上山多採用纜車、或三軌電力火車 (洪如江，2017.12，「土木工程與自然」，*土木水利雙月刊* 第 46 卷第 6 期圖 15。台灣山路，宜多用纜車。

新加坡城的公共綠地百分比 47%，管制私人小汽車總量，建設 17 個英國式花園城市 (新市鎮)，並以多層次 (綠草，花木、矮樹、高樹) 綠帶隔開住宅區與過境汽車道。並提供軌道式捷運系統至每一新市鎮，降低國民購車需求。

台灣城市的公共綠地百分比，普遍太小。為市民



圖 8 台北市大安森林公園北端部分 Google Earth 影像 (credit Google Earth)

健康及生命，應該多建類似大安森林公園 (圖 8) 的公共綠地 (樹林、草地、水池)。

自然災害問題的對策

老子道德經第 25 章「人法地，地法天，天法道，道法自然」。我們應該：

- 了解大地 (地形，地質，水域) 的靜態現象及動態演化的各種法則。
- 了解大地的許多靜態現象及動態演化及其受到天域制衡的各種法則。
- 了解常態天氣及氣候變遷 (Climate Change) 對大地及人類的影響；進而善用相關科技，在土木工程作業 (規劃，設計，施工，使用，復育) 的每一階段中，遵循大地及天域的法則。

針對城市淹水問題，日本東京，積極將街道改為透水鋪面（圖 9，圖 10）；並且建設一個大型地下蓄洪（水）空間（圖 11）及完善的進水及排水管道。



圖 9 日本東京街道的透水鋪面（洪如江攝）



圖 10 日本東京街道透水鋪面近照（洪如江攝）



圖 11 日本東京的一個地下蓄洪（水）空間局部（陳正興教授攝）

過度開發導致自然生態環境崩潰問題的對策

嚴禁濫墾濫伐，減少不必要的開發。必要的開發，採用足用的最小量體並與自然和諧的工程方法。參考洪如江（201712）「土木工程與自然」，洪如江（201804）「土木工程與文化（二）土木工程之美」；洪如江（201902）「土木工程與環境」。

人口爆增及向城市集中問題的對策

針對全球人口爆增問題，至少有三種方法解決：

- 學習中國新疆吐魯番，引水將沙漠變綠地，建立新社區，生產水果及糧食。準此，可以利用廣大的沙漠土地。
- 阿拉伯聯合大公國可以將沙漠邊緣小鎮變成全世界最富裕城市杜拜，證明傳統土木工程結合現代科技可以開發沙漠成為有名的富裕城市。
- 嘗試經濟學人週刊（*The Economist*）2011.12.03 的 Cities on the Ocean（封面，p12 ~ p14）的構想。土木工程應有能力先在海床樹立多支巨柱，支撐規模遠遠大於大西洋北海的鑽採油平台。或以預力混凝土建造浮在海域的巨型平台，然後在其上建設城市。

針對人口向城市集中的問題，倫敦以寬約 20 公里永久綠帶環繞城市，使之不向外擴張成巨無霸城市。並將倫敦東區已經沒落的工業區內居民，保持其社會關係，搬遷到永久綠帶之外新建而高品質（包括就業機會）的花園城市（新市鎮）。

針對台灣鄉村青少年移居城市就讀或就業的問題，應該向新加坡學習，以長期規劃，將已經沒落的鄉村（或空地），建設為新市鎮，使相當部分就業人口在其居住的新市鎮上班，每一新市鎮對外交通都有軌道式捷運系統的便利，方便居民對外活動。

貧富差距擴大，可能引發貧富衝突的對策

南（半球）北（半球）貧富差距的基本原因在於「氣候」與「地理」。地球上最適合人類文明誕生與發展的地區在溫帶。地球的北溫帶（北緯 23.5 度～66.5 度），有一片非常大的歐亞大陸、北美洲大陸、與北非。在南溫帶（南緯 23.5 度～66.5 度）中，只剩狹窄的非洲南端、美洲的南端、澳洲、紐西蘭、一些孤立的小島。南半球的大面積陸地集中在熱帶。人類科技再厲害，也不可能把地球的陸塊重新加以改變。北半球的富裕國家有義務將財富分一小部分給南半球窮人。

科技與工程，在改善世界窮人的生活環境，應該還有更大的努力空間；在這一方面，佛教慈濟基金會已經在做，而且已經很有成就。

在科技與工程能有所貢獻的面向，應該在於提供全民能夠共享的維生系統（自來水、電力、瓦斯、等等）、大眾捷運系統、步道、腳踏車道、公園綠地、公共開放空間、等等基礎建設。

摩天大樓空屋問題的對策

台灣幾個大城的摩天大樓空屋已經太多，公共綠地公園少得荒謬，不該為極少數人想炒高地價發大財而再增建摩天大樓、而使得年輕人（甚至於中年人）因買不起住宅而不敢結婚的國安危機。

應該效法西班牙的巴塞隆納，將政府所有的空屋或空地（例如台北市仁愛路的舊空軍總司令部），改建公共開放空間或公共綠地公園。一個偉大的城市，應該加強發展城市文化（City Culture），而不是把城市擠滿摩天大樓創造更多空屋。

參考文獻

1. Heiken, Doug (1997), Landslides and Clearcut: What does the Science Really Say 網頁。
2. Huntington, Samuel P. (1996), *The Clash of Civilizations and the Remaking of World Order*, Simon & Schuster, NY.
3. Lelieveld, et al. (2015), "The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale," *Nature* 525, 367-371.
4. Ting-Chun Lai, et al. (2017), Burden of disease attributable to ambient fine particulate matter exposure in Taiwan. *Journal of the Formosan Association*, January 2017, Volume 116, Issue 1, Page 32-40.
5. 其他參考文獻，已在文中列舉者，不在此重複；請見諒。

附錄 A、台灣永續發展的國際評鑑

A1 經濟競爭力

世界經濟論壇（World Economic Forum，縮寫 WEF）評估 2018 年全球 140 國家（或地區，例如香港）的全球競爭力指標（Global Competitiveness Index，縮寫 GCI）排行榜（Rankings），前 20 名依序為：美國（1）、新加坡（2）、德國（3）、瑞士（4）、日本（5）、荷蘭（6）、香港（7）、英國（8）、瑞典（9）、丹麥（10）、芬蘭（11）、加拿大（12）、**台灣（13）**、澳洲（14）、韓國（15）、挪威（16）、法國（17）、紐西蘭（18）、盧森堡（19）、以色列（20）。這 20 個經濟競爭力最強的國家之中；多是社會主義國家，或市場經濟國家。

A.2 環境成就

耶魯大學 2017 年對全球 178 國家所作的**環境成就指標**（Environmental Performance Index）排行榜（Rankings），**台灣排名第 46**。前 15 名依序為：瑞士、盧森堡、澳洲、新加坡、捷克、德國、西班牙、奧地利、瑞典、挪威、荷蘭、英國、丹麥、冰島、斯洛凡尼亞。

A.3 社會進步指標

Wikipedia 2015 的**社會進步指標**（List of countries by Social Progress Index）排行榜前 15 名為：挪威、瑞典、瑞士、冰島、紐西蘭、加拿大、芬蘭、丹麥、荷蘭、澳洲、英國、愛爾蘭、奧地利、德國、日本。台灣未列入排名。

ROBECOSAM 2016 年 10 月的**國家永續性排行榜**（Country sustainability ranking），**台灣名列第 21**，在台灣之前者為：挪威、瑞典、芬蘭、瑞士、紐西蘭、荷蘭、加拿大、丹麥、澳洲、盧森堡、愛爾蘭、英國、德國、奧地利、美國。

A.4 國民幸福感排行榜

根據 Helliwel, J., Layard, R., and Sachs, J. (2019) World Happiness Report，世界 120 國家在 2016～2018 年的幸福感排行榜，其前 10 名為：芬蘭 1、丹麥 2、挪威 3、冰島 4、荷蘭 5、瑞士 6、瑞典 7、紐西蘭 8、加拿大 9、奧地利 10。美國 19，台灣 25，新加坡 34，南韓 54，日本 58，俄羅斯 68，香港 76。🇳🇵