

# 能資源循環型社會之 永續物質管理

撰文/郭乃文

地球資源與能源有限，然而人類社會對於資源之需求隨著文明發展與日俱增，而在消耗物質同時也排放出非常可觀之廢棄物，形成地球環境之一大負荷。究竟這些人類所排出之廢棄物是否全部都沒有重新再利用的價值？是否可以減少廢棄物之產出？或是從這些廢棄物中找出重新利用的契機，以減少持續對地球礦產開採之壓力，我們似乎可以重新檢視產品與服務設計、重新思考生產與分配流程，讓廢棄物從生產源頭開始減量，這些舉動都關係著一個社會對於物質使用之態度，也著實影響這個社會的永續發展，許多國家對於這類「永續物質管理」(sustainable materials management) 格外重視，以避免重蹈復活島文明大崩壞之歷史悲劇，他們著手規劃一系列之盤點與監視機制，以免「砍伐了島上最後一棵樹而不自覺」。

國際上許多先進國家在其廢棄物管理政策上，已導入生命週期理念，推動資源全回收的政策，從早期之廢棄物清理走向兼顧源頭管理、分類回收、減量、及資源循環利用的綜合性永續資源管理 (sustainable resource management)。換句話說，就是從過去搖籃到墳墓的消極性管理方式，轉變為從搖籃到搖籃的積極性管理，從消極的管末處理逐漸導向積極的永續物質 / 資源管理，目前歐盟、美國、加拿大、日本、瑞典、荷蘭等國家都根據永續發展概念積極推動永續物質 / 資源管理政策。例如：歐盟執委會於 2010 年提出「EUROPE 2020 政策」，

規劃未來 10 年發展歐盟成為具永續發展精神的社會，其中最重要的原則在於企圖使得經濟成長與能源消耗脫鉤，產業結構朝向低碳經濟發展，增加再生能源使用比例，同時提昇各項能源暨物質之使用效率。政策具體目標包含將使 2020 年的溫室氣體排放量比 1990 基準年減少至少 20%，並且讓再生能源使用比例提昇至 20%，同時增加能源使用效率 20% (Europe, 2010)。

歐盟更進一步主張在產品設計與製造時，切入產品生命週期為思考觀點，提供綠色產品市場誘因，運用以自願性措施為主，命令管制為輔之政策工具，針對產品生命週期各階段之環境衝擊，進行持續之分析與改善，以降低產品對環境的衝擊，追求經濟與環境之雙贏。在「整合性產品政策」(Integrated Product Policy, IPP) 思維架構下，訂定與產品環境友善化設計及回收再利用相關之指令，這些環保指令包括：包裝材指令、電池指令、廢電機電子設備指令 (WEEE)、廢車指令 (ELV)、有害物質限用指令 (RoHS) 及耗能產品環境友善化設計指令 (EuP)。而在與綠色採購相關政策，則有政府採購指令及公用事業採購指令 (張祖恩、盧幸成，2012)。

此外，日本更是亞洲國家中非常積極推動「循環型社會」理想的國家，他們本於「產業生態學」(Industrial Ecology) 的精神與原則，規劃建構「最適生產、最適消費、最少廢棄」的資源循環型社會，

而其循環型社會係以「環境基本計畫」為基礎，並以「循環型社會形成推進基本法」作為推動執行架構，分期訂定「循環型社會形成推進基本計畫」。循環型社會形成推進基本法的管理對象為人類活動所產生之副產物或廢棄物，不論它有價或無價，皆視為「循環資源」。日本在 2007 年推動第二階段循環型社會形成推進基本計畫，強調「3R」(Reduce, Reuse, Recycle) 行動計畫。3R 行動計畫係借助物質流分析技術 (material flow analysis)，建立各種物質不同範疇、空間、地域的詳細的物質流會計帳 (material flow account)，以幫助相關主管機關瞭解物質生產、消費、利用以及最後之資源回收的狀況，並作為政策持續改善及訂定資源再生回收目標時之具體數值。

日本非常積極地從法規面著手，立法要求相關業者配合政府政策，逐步擴大約束管理對象，一步一步往循環型社會的理想邁進。日本政府所架構相關法規包括：循環型社會基本法、廢棄物處理法、資源有效利用促進法、容器包裝回收再利用法、家電回收再利用法、汽車回收再利用法、建設資材回收再利用法、食品回收再利用法、農林漁業生質燃料法等。

此外，聯合國環境規劃署 (UNEP) 於 2007 年成立國際資源專家委員會 (International Resource Panel, IRP)，該組織目的在於透過專家諮詢顧問群，協助國家能夠善用自然資源，讓經濟發展和環境劣化能夠脫鉤。並透過其專業評估，建立全世界朝向永續消費和永續生產的新經濟型態。該委員會倡導綠色經濟 (Green Economy) 活動之運作，成立之初特別關心生質燃料和金屬礦產之物質使用。

## 永續物質管理 (Sustainable Materials Management, SMM)

根據經濟合作發展組織 (Organization for Economic Cooperation and Development, OECD) 定義「永續物質管理」是一種審視物質全生命週期，考量經濟效率和社會公平的措施，以促進永續物質

使用，並透過整合行動來減少環境負面衝擊和保存自然資產 (OECD, 2012)。簡言之，永續物質管理是一種系統的工具，協助我們在物質的全生命週期中更具生產力地使用或再次利用這些物質。永續物質管理的目標通常設定如下：

1. 以最具生產力方式善用物質，同時強調使用越少越好。
2. 減少物質生命週期中相關有毒化學物質以及環境衝擊。
3. 確保我們有足夠的資源能夠滿足我們現在以及未來世代之需求。

OECD 從西元 2001 年起積極推動永續物質管理概念，並展開一系列相關物質調查研究，例如：鋁、塑膠、木材等，同時出版各類報告與出版品，宣揚推動永續物質管理之重要性，可減緩人類對自然環境有限資源消耗之速率。OECD 於 2009 年的調查報告中，指出各國常用的物質管理方法為物質流分析 (material flow analysis) 與生命週期評估 (life cycle assessment, LCA) 技術。應用物質流分析技術，可建立資源投入、廢棄物產出、中間處理、再利用以及末端處置等各階段之數量及流向平衡圖，使得我們能夠更有效地控管各程序之物質流動與使用效率。而透過生命週期評估技術，則可以使我們更完整地瞭解產品、服務、活動等所可能產生之各面向環境衝擊，包含能資源消耗、溫室氣體排放、空氣污染、水體排放、陸域生態等，可協助我們進行綠色設計、減少物質消耗與浪費、改善生產流程、減少各類型污染排放等。

物質流分析 (material flow analysis, 以下簡稱為 MFA)，可以用於資源管理、廢棄物管理以及環境管理，支援其決策分析。物質流分析係以系統性的方式，評估一個特定的區域 (或空間) 及時間範圍內，物質的流量 (flow) 及存量 (stock)。此系統包含物質的來源 (sources)、去向 (pathways)、中間轉換 (intermediate)、以及最終流向 (final sink)。根據物質不滅定律，物質流分析的結果可以運用質量平

衡的計算來完整掌握各程序 (process) 中的輸入、輸出、存量，此為物質流分析的特性。物質流分析可以描述人類圈與環境圈的物質互動關係，人為系統 (anthropogenic systems)，又稱經濟系統，可大幅影響「物質」在自然生態系統的存量與平衡，同時也造成許多資源消耗或環境污染的問題，透過物質流分析可傳遞一個完整且一致的資訊，即一個系統中由許多程序、流量與存量所組成。物質流分析可檢核輸入與輸出是否平衡，故能清楚掌握廢棄物產量、去向以及所造成的環境負荷，對應的物質的來源也可以明確被區辨。透過物質流分析的協助，可以產生預警機制，及早發覺資源存量消耗或廢棄物累積趨勢，發現未來潛在的威脅與衝擊，故能提早擬定因應對策，改善或分散物質使用風險。

應用物質流分析技術，我們可以由流向與流量鑑別各資源運用與污染物排出所造成之環境衝擊熱點，藉此聚焦於發展新的製程方法與活動方案，提升資源生產力與降低環境衝擊，達到永續物質管理之目的。因此，世界資源研究所 (World Resource Institute) 認為物質流分析在國家制定相關環境政策時是重要的輔助工具，許多國家已參酌使用，例如：日本。如同一般會計用來檢視資金之收支平衡，物質流分析方法可用來檢視物質的投入產出情形，並加以改善能資源的效率或供需平衡，運用於大尺度的系統，物質流分析可檢視人類圈物質的循環情形。若運於中小尺度的系統，例如：都市，這項工具則可提供決策者物質消費及使用效率等相關資訊，協助都市治理、強化都市韌性以及進一步建構發展成為永續城市。若應用於實質產業或工廠管理，則可協助經營者發掘問題，減少資源物質逸散與排放，改善製程減少原物料成本支出，以及回收再利用，亦或進行產業物質交換、串起生態工業網絡。

「明智善用物質」可說是對永續物質管理之最佳註解，我們需調整轉變過去傳統工業活動中開放式線性形態之思維，仿效生態系統運作之機制，使物質代謝構成一封閉式迴路，物質不以廢棄物方式離

開系統，而是能重新投入新的製程，使物質循環於人類活動之中，達到永續使用的目標。這種將生態學理論應用於工業系統即為「產業生態學」(Industrial Ecology) 之基本概念。根據國際產業生態學期刊 (Journal of Industrial Ecology) 所揭櫫，產業生態學在科學研究與實務產業管理可應用之層面包括以下幾項：

1. 物質流與能量流研究 (工業代謝)。
2. 去物質化與去碳化。
3. 評估人類技術改變對環境之影響。
4. 具生命週期思考之規劃、設計與評估。
5. 環境化設計。
6. 延伸生產者責任。
7. 生態工業園區。
8. 產品導向之環境政策。
9. 生態效率。

產業生態學有兩個重要脈絡：一是著重於環境圈與經濟圈間之互動關係，尤其是人類活動 (經濟圈) 所造成之環境衝擊 (環境圈)；其次是對物質的探討應思考其完整生命週期，而非侷限於末端廢棄物與污染物排放。因此，產業生態學的理論與方法變成了永續物質管理重要的立論依據與輔助工具，特別是物質流分析和生命週期評估技術。重新審視我們的工業區設計、創新工業活動與服務模式、改變消費習慣、以「服務」取代「擁有」，仿效生態系統運作之機制，使物質代謝構成一封閉循環系統，讓物質能夠持續在人類體系流動、循環再生利用，一方面降低對新物質投入需求，同時減少物質排放與流布至環境中，減少環境污染與生態負荷與衝擊。

### 日本在循環型社會之推動經驗

日本政府於 2000 年完成「循環型社會形成推進基本法」之立法 (平成 12 年法律第 110 號)，開始逐步推動各項方案與措施，力求相關產業與社會大眾配合與主動落實循環型社會之實踐。在循環型社會形成推進基本法下，定期制定「循環型社會形成推進基本計畫」，並定期進行檢討分析，第一期循環

型社會形成推進基本計畫於 2003 年推動，並於五年後進行計畫修正。以最新一版的「循環型社會形成推進基本計畫」（2013 年 5 月）為例，特別針對東日本大地震發生後產生之大量災害廢棄物處理問題進行分析。同時在此計畫中也非常重視國際之永續資源管理，特別是 UNEP 的 IRP 委員會、國際間有害物質之流動與管理、國際化學物質管理 (SAICM)、電器電子產品有關之有害廢棄物。特別值得一提的是，The Strategic Approach to International Chemicals Management (SAICM) 係由聯合國環境規劃署 (UNEP) 於 2006 年成立，目的在指引與規範全世界化學品之使用與管理，他們認為化學品必須在儘量減少對環境生態以及人類健康的衝擊影響下被製造與使用。SAICM 定期召開世界化學品管理會議 (The International Conference on Chemicals Management, ICCM)，第一次會議於 2006 年 2 月於杜拜召開，第二次會議於 2009 年於瑞典召開，之後持續每三年召開一次。目前特別關心之化學品為油漆中的鉛、電子電機產品生命週期中相關之危害化學物質，環境荷爾蒙、奈米科技和商業化奈米產品等。

以 2015 年度調查數據為例，日本全國物質之循環利用率約為 14-15%，循環利用率=循環利用量／(循環利用量+天然資源等投入量)。而全年所產出之最終廢棄物總量約為 23 百萬公噸，其中產業廢棄物之最終廢棄物總量約為 1,426 萬公噸 (2010 年度)，與 2000 年度相比約削減了 67%。而前瞻未來，日本政府將平成 32 年度的達成目標 (2020 年度) 設定為：全國物質之循環利用率為 17%，最終廢棄物總量目標質設定為 1,700 萬公噸，而資源生產力為 46 萬日元／每公噸。

而這幾年日本政府更著力於有機系、生質物質之回收再生利用，於 2000 年便制訂與食品循環資源再生利用相關之法律 (平成 12 年法律第 116 號)。推動至平成 2010 年度時全國食品產業已有高達 82% 採用與執行廢棄食物資再生利用計畫。日本也是亞洲地區少數幾個立法推動環境教育的國家，

日本於 2003 年制訂「環境教育等促進法」(平成 15 年法律第 130 號)，訂定各項國家環境教育推動之主要目標，而在 2009 年時更修正國家環境教育在環境保全活動方面之推動目標，明確宣示日後在環境保全活動的主要目的在於邁向「循環型社會之形成」，要全面推動以學校或地域環境為本之循環型社會形成教育方案與活動。

另外，東日本大地震災害所誘發之「核電安全省思」、「新電力發展」問題，讓日本在循環型社會推動計畫中特別納入廢棄物發電，回收熱能等方案，希望在力求電力供應更多元化、安全化的思量下，透過廢棄物之再資源化利用，可以產生熱能或電能，形成都市或鄉村地區新能源供應來源，這也為日本從事廢棄物產電或能源化之產業帶來一股新的發展契機。而首波重點工作在於盤點目前全國之廢棄物焚燒處理設施之發電概況以及相關熱能利用狀況，包含如：發電設備數量、發電設備容量、總發電量、熱能利用設施數量、總熱能回收利用量等。

日本於 2012 年 4 月 27 日經內閣會議決議將國家第四次環境基本計畫之發展目標定調為將日本逐步打造成為一個循環型社會、低碳素社會、自然共生社會的理想國度。日本政府為避免全國地域發展過度集中於幾大都市圈，因此一直非常重視地域活化的課題，希望透過各種可能之地域活化發展方案，讓每個地域、鄉村、山村、海邊都能夠找到適性發展之方案。而在這一波推動循環型社會、低碳素社會、自然共生社會的風潮下，相關部門希望能透過可行之地域活化方式，在活絡與創造地方經濟之時，同步實踐地域能資源物質循環圈。例如：在農山漁村地域，推動生廚餘肥料化或是飼料化，使得生廚餘中 useful 之有機物質和營養成分 (氮和磷) 能夠重新回到農業生產體系使用，除了減少生廚餘的處理，同時可以讓農家減少生產投入之支出。在此同時，若該地域有充足之木材資源，應力求充分有效地完整利用，包含廢棄木材燃料化、生質化、堆肥料等應用處理方式。而在都市的近鄰地域，則

可思考將都市和近鄰地區所產出之食品廢棄物，儘可能將其回收製成肥料再利用，創造都市和農村連攜之發展計畫。

而在幾個大型都市地區（例如：東京都、大阪府、名古屋市等），則應徹底做好資源之分類與回收，將可用物質回收；而都市一般垃圾大都採焚化處理，應儘可能提高在焚化過程可回收之熱能，同時思考焚化後剩餘底渣與飛灰之再資源化利用方案，例如將焚化底渣視為「都市礦山」，進行都市採礦，利用融溶等技術回收金屬物質。而污水處理廠所沉澱產生之大量下水道污泥，也被日本政府視為重要之生質物質，其中一個再生利用方案為將下水道污泥與部分生質物質（例如：廚餘）一起進行厭氧共發酵，除了可以產生生質氣體供發電利用外，發酵後之殘渣也可供作肥料使用，重新施用於農田。目前已有多个城市已有實廠設置案例，而且許多都市也都朝此方向發展，許多新的處理廠正在規劃或是興建中，下水道污泥與生廚餘厭氧共發酵處理已成為日本目前都市重要之發展方向。從都市代謝的角度來看，這些都市靜脈產業是否能妥適運行非常重要，其牽動著都市維生系統、支持系統，是維持正常都市運作機能很重要的一環。

## 磷物質的管理

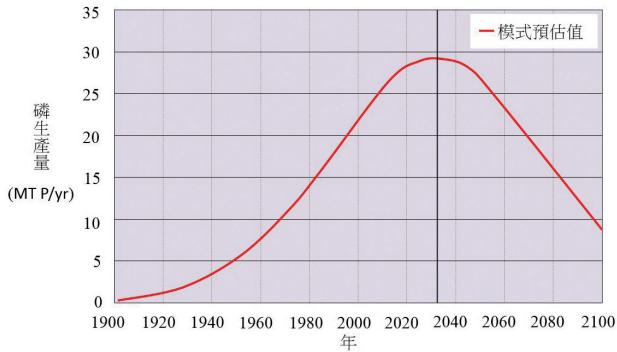
過去多數關於永續物質管理的研究多聚焦於金屬和能源物質，但是有某種物質和石油一樣，為不可再生資源，且按照人類社會目前之使用消耗速率，很快就可能面臨資源耗盡枯竭的窘境，那就是磷（phosphorus）。

磷為植物生長所需養分，是現代化農業重要物質，世界糧食生產供應十分依賴磷肥的投入，但大家似乎都忽略了磷物質永續利用與管理的重要性。Cordell 等人於 2009 年發表 "The story of phosphorus: Global food security and food for thought" 文章 (Cordell *et al.*, 2009)，呼籲全世界必須正視全球磷物質缺乏的問題，磷是農業食物生產非常仰賴之重要物質，倘若全世界出現磷短缺問

題勢必將影響全球糧食安全之供應。這篇文章一發表，引起學術界極大迴響，許多研究者投入磷議題之相關研究，特別是透過物質流分析技術，探討在都市代謝中磷物質之逸散環節，以及討論如何從都市或是現行農業系統中減少磷物質之排出，如何有效回收與再利用磷資源已成為重要之研究課題 (Ashley *et al.*, 2011; Blocher *et al.*, 2011; Cordell *et al.*, 2011; Tan and Lagerkvist, 2011)。

目前全世界人類每年約開採 17.5 百萬噸的磷礦，Cordell 等人在其研究中指出，因食品消費和飲食習慣的改變，預計到 2050 年全球對磷的需求量將增加 50-100%，但是磷是一種不可再生資源，而且目前科學界還無法研發出其他替代品，一旦磷資源使用耗盡後，我們將陷入沒有新的磷肥可投入農業生產之窘境。全球磷礦開採生產的高峰推估將落在 2033 年左右（圖一），過了這個高峰期，世界磷的供應量將逐漸減少，而且高品質的天然磷礦場將越來越少。世界磷礦只集中蘊藏於摩洛哥、中國和美國，因此全世界磷之供應受地緣政治影響極深，摩洛哥幾乎壟斷整個西撒哈拉地區，而中國正在大幅減少磷物質出口，以延長國內供應年限，美國存量離枯竭已剩不到 30 年，西歐、印度和世界其他地區則是完全依賴進口。

人類對磷礦使用成癮，但卻未能有效善用，由於大多地區磷肥售價便宜，往往造成過度施用的情形，無法被植物吸收的磷流入水體，形成營養過剩而產生水域優養化問題。從全世界磷的物質流分析圖（圖二），可發現全世界每年約有 8 百萬噸磷從農業環境中逸散，大部分進到水體中。而人類與飲食相關活動每年約有 3 百萬噸磷的輸入，由於人體吸收利用僅佔極少比率，所以大部分磷都會隨著廚餘、尿液、排泄物而排出，現代文明社會使用抽水馬桶，人類代謝排泄物排入水體，而非回到土中，因而磷資源回收再利用比率極低，都市成了磷資源回收利用之重要熱點。例如：人類尿液富含磷物質，在瑞典許多地區開始採用固液分離的廁所系統，將



資料來源：Cordell *et al.*, 2009.

圖一 全球磷使用預測高峰值

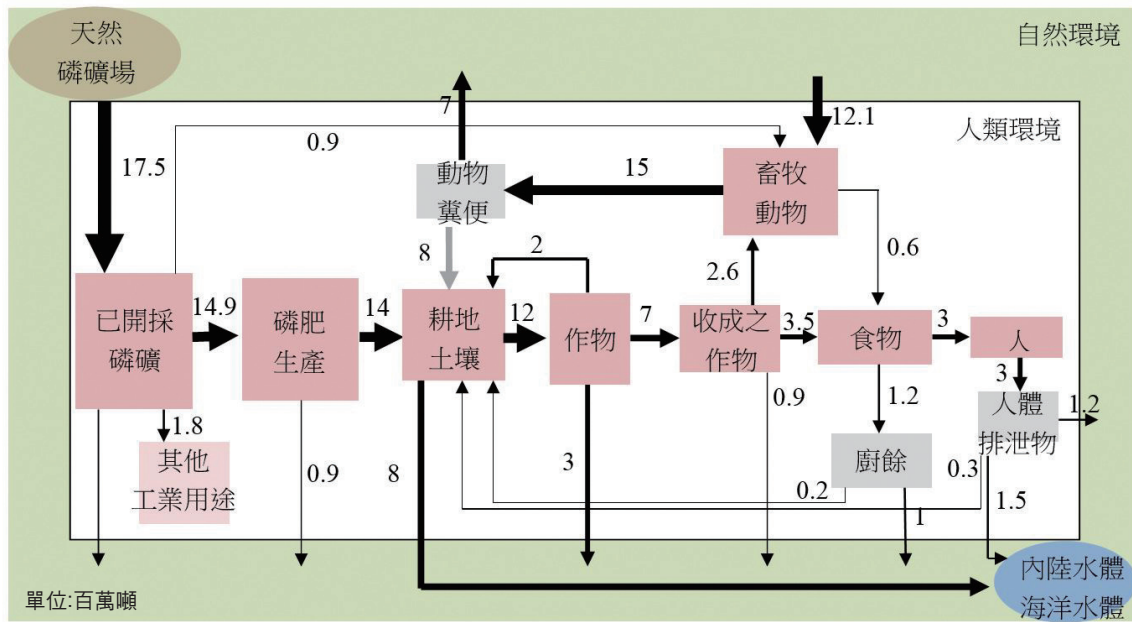
尿液分開、另行處理。

## 日本磷物質回收與管理

日本每年約輸入 55.5 萬公噸的磷，使用後約 5.5 萬公噸進入下水道系統，而經過污水處理廠處理後，多數磷物質集中於污泥中，過去將下水道污泥中磷物質供作農業肥料使用的量不多，近年來政府產官學界積極推動將下水道污泥肥料化，重新提供作為農田肥料。其中一個發展方向為將廚餘與下水

道污泥進行厭氧共消化處理，先產生甲烷等生質氣體供發電使用，剩餘發酵液也可供作肥料使用；而分別依據都市和鄉村特性適性發展。以下特別介紹一個鄉村型的磷物質循環利用案例：福岡縣大木町有機物循環利用事業。

福岡縣大木町是個典型的農業鄉村，卻創造出有機物循環利用的地域活化作業。大木町從 2001 年 11 月起開始實施生廚餘分開收集處理，他們興建厭氧發酵槽，利用生廚餘、濃縮污泥、屎尿進行厭氧發酵，產生液體肥料，並將這些液肥利用噴灌車直接施用於農田，而在發酵同時也產生生質氣體，後續導入發電機直接發電。目前大木町每年約可處理 3,000 公噸的生廚餘，以及 4,000 公噸的濃縮污泥和 14,000 公噸的屎尿；經發酵處理後每年約可產生 25,000 公噸的液體肥料，每年約產生 46,000 立方公尺的甲烷氣體，投入發電後每年約可產生 827,000 kWh 的電力，提供相關設施使用，同時提供溫水（每年相當於 5,000,000 MJ），提供管理大樓暖房空調使用。



資料來源：Cordell *et al.*, 2009.

圖二 全世界與食物相關之磷物質流

廚餘發酵的液體肥料肥分充足，全氮量達 0.27%，總磷也達 0.08%，而在重金屬物質殘留上都低於國家肥料所規定之容許值，因此也取得肥料證號。農夫也樂於使用這些液肥，因為可以大大減少其他化學肥料的購買與投入，可以省下支出成本，也使得磷物質得以循環回收利用。筆者於 2015 年參訪大木町時，發現大木町市役所更是將這有機物循環利用事業擴大經營，於處理園區附近開設村民食堂，將農民的農產品直接加工烹煮，地產地消形成極大賣點，吸引許多民眾前來消費，創造出極佳的循環性地方經濟。

目前日本已有多處的類似發酵處理設施，例如：京都市、新潟縣長岡市等，而大阪市政府也於 2011 年 11 月開始展開生廚餘與下水道污泥共發酵處理的試驗研究，於大阪市中濱下水道處理廠進行，後續亦朝興建大型發酵槽進行規劃。愛知縣政府也展開類似建設，於 2014 年年底開始於豐橋市興建生廚餘與下水道污泥共發酵處理廠，預計興建 5,000 m<sup>3</sup> 發酵槽 2 座，預計每天可以產生 24,000 kWh 的電力，而發酵後的殘渣則將碳化成燃料，預估每天可產生 6.5 公噸的碳化燃料。

日本近幾年非常重視食品廢棄物之妥善處理，根據農林水產省之統計資料 (2012)，日本人每年約消費 8,460 萬公噸食物，一般家庭每年約製造產出 1,014 萬公噸的廚餘；而食品製造業、零售業與外食業者每年約製造產生 1,760 萬公噸的食品廢棄物，其中約有 1,046 萬公噸直接進入回收處理業者飼料化或是肥料化，剩下 714 萬公噸需妥善進行後續處理。過去日本各縣市政府大多採用焚化處理方式來處理廚餘和食品廢棄物，1,014 萬公噸的家庭廚餘中約有 952 萬公噸採焚化處理；而 714 萬公噸未資源化的產業食品廢棄物中也有 379 萬噸採焚化處理。近年來則積極推動將食品廢棄物發酵處理，使得其中含有之碳、氮、磷物質能夠循環利用。

## 結語

除了重視國家尺度的永續物質管理外，我們需更注意都市區域能資源使用以及永續物質管理課題。都市為人口稠密聚集之地理空間，今日許多環境問題乃肇因於都市能資源過度耗用與不永續之生活型態。因此，都市問題研究十分重要，也形成國內外重要之研究課題 (Brunner, 2007)。而其中又以都市代謝之相關研究特別受到重視，都市代謝 (urban metabolism) 最早係由 Wolman (1965) 提出，他主要強調資源與廢棄物之關係，認為許多都市廢棄物之產生乃肇因於資源之不當使用，因此，只要我們能妥善使用各類資源將可減少廢棄物之產生，連帶降低廢棄物對環境所成之衝擊。因此，都市代謝研究集中於探討輸入都市區域能資源之盤點、能資源使用型態、都市廢棄物產生型態與形式、以及都市廢棄物之回收等，因與循環型社會建構與永續都市發展息息相關，因此都市代謝研究已成為現今都市研究之重要主題 (Marull *et al.*, 2010; Zhang, 2013)，都市代謝更是落實都市永續物質管理重要的研究取向。

總結來說，現今多數能資源集中於都市地區使用，因此，當我們在討論永續物質管理時，都市變成了重要的熱點，需優先盤點與檢討目前都市對於能資源使用之情形，適切地提出都市物質善用政策與計畫，導正都市居民的使用行為與習慣，力求各項物質的高度循環再生利用，逐步降低人均物質使用密度，才能慢慢朝向循環型社會發展。想想看我們所居住的台北市，有多少的鋼筋、砂石、水泥物質被固化在城市的建築中？而高比率的房屋卻呈現空屋未被利用狀態。而儼然成為都市礦山的幾座焚化爐，其底渣中所含之金屬物質何時能夠被重新利用？我們每天所產生之大量廚餘，便利商店、賣場、餐廳等所產生之「剩食」究竟都到哪裡去了？我們應該好好盤點一下我們的物質使用情形。

AgBIO

郭乃文 國立臺灣師範大學 地理學系 教授

## 參考文獻

1. 日本農林水產省 (2013) 平成24年食品循環資源與再生利用等實態調查報告，日本農林水產省。
2. 日本環境省 (2014) 第三次循環型社 形成推進基本計畫，平成25年5月，日本環境省。
3. 福岡縣資源循環利用綜合研究所 (2013) 生廚餘資源化：大木町有機循環事業報告，福岡縣資源循環利用綜合研究所。
4. 日本國土交通省 (2011) 下水道污泥資源化指引，日本國土交通省。
5. 張祖恩、盧幸成 (2012) 廢棄物與永續資源管理之國際趨勢。永續產業發展季刊，59:15-23。
6. Ashley, K., Cordell, D., Mavinic, D. (2011) *A brief history of phosphorus: from the philosophers stone to nutrient recovery and re-use*. Chemosphere 84: 737-746.
7. Blocher, C., Niewersch, C., Melin, T. (2012) *Phosphorus recovery from sewage sludge with a hybrid process of low pressure wet oxidation and nanofiltration*. Water Research 46: 2009-2019.
8. Brunner, P.H. (2007) *Reshaping urban metabolism*. Journal of Industrial Ecology 11: 11-13.
9. Cordell, D., Drangert, J.O., White, S. (2009) *The Story of Phosphorus: Global food security and food for thought*. Global Environmental Change 19: 292-305.
10. Cordell, D., Rosemarin, A., Schroder, J.J., Smit, A.L. (2011) *Towards global phosphorus security: A systems framework for phosphorus recovery and reuse options*. Chemosphere 84: 747-758.
11. European Commission (2010) *European Commission EUROPE 2020: A strategy for smart, sustainable and inclusive growth*. European Commission, Brussels.
12. Marull, J., Pino, J., Tello, E., Cordobilla, M.J. (2010) *Social metabolism, landscape change and land-use planning in the Barcelona Metropolitan Region*. Land Use Policy 27: 497-510.
13. OECD (2012) *Sustainable Materials Management: Making Better Use of Resources*, OECD Publishing, Paris.
14. Tan, Z.X., and Lagerkvist, A. (2011) *Phosphorus recovery from the biomass ash: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15: 3588-3602.
15. Wolman, A. (1965) *The metabolism of cities*. Scientific American 213: 179-190.
16. Zhang, Y. (2013) *Urban metabolism: A review of research methodologies*. Environmental Pollution 178: 463-473.