

最新日本科技前瞻 - 農業課題初探

台灣經濟研究院 李秉璋

日本為地狹人稠之海島國家，就其農業體系而言，農地為集約化小農生產型態，以稻米為主食作物，而農業經濟條件上，面臨高齡化、新進農事者欠缺等問題，雖擁有傲人的品質與技術，仍須對抗自由貿易壓力下低價進口農產品的挑戰；比照今日我國農業發展狀況，背景環境甚多相似之處。近年來日本政府除積極導入農業所得直接給付制度、全力支持國內農業之外，並宣示糧食自給率 50% 的政策目標，而其科技層面之發展重點要如何加以配合，或有值得國人參考、借鏡之處。

科技前瞻凝聚學術發展共識

自上世紀 1970 年代以來，日本文部科學省定期召集全國各領域卓越科技人才，執行「科技前瞻(Technology Foresight)」調查，探索未來 20 至 30 年間最具發展前景的重點技術，做為政府科技發展策略的參考依據；其邀集卓越科技人才，大規模利用德菲法(Delphi method)進行技術預測的作法亦倍受各國矚目，經年累積的成果，使日本堪稱全球進行科技前瞻最有系統、最具經驗的國家。最新一期「第九回科學技術預測調查」已由日本「科學技術政策研究所」於今年三月正式發表，本文將彙整報告書中農業科技關聯項目，以在第一時間提供讀者初探日本最新農業科技發展趨勢。

農業科技項目大幅增加，跨領域知識整合益發顯著

日本第九回前瞻報告中，有鑑於「科際整合」已成為今後趨勢，融合人文、社會科學的系統思維重要性越來越高，故各學科群組的分類依據，捨棄沿用已久的「領域別」，而改用「核心議題」來分組區別，因此向來是日本科技前瞻中固定要角的「農業、食品領域」已不再獨立存在，轉而分散至各種不同的議題群組。然而相較五年前的第八回前瞻報告，農業相關科技課題的數量呈現大幅成長，由原本 67 題增加為 85 題，下表即為日本第九回前瞻報告中農業相關課題：

群組1：邁向Ubiquitous社會的電子、通信科技
可對應農事作業、生產工程變動等複雜的環境，具有自動判斷功能的自律型機器人
群組2：以資訊處理技術擴大傳媒、文化產業
大半以上的食品導入全球性的產銷履歷
群組3：以生技與奈米科技貢獻人類
闡明控制植物成長(成形、生殖、分化)的整體基因網絡
提高作物環境適應力(耐鹽、耐乾、耐寒)並控制其成長，用於沙漠綠化、生產作物
為了生產有用物質，從最小的基因組來打造人工細胞的分子農場技術
使農事作業完全自動化的機器人技術
以開發商業化水產養殖品種為目標的優秀性狀殖入技術(耐病性、高成長速度、無過敏原)
以預防生活習慣疾病為目的，量身打造的個人化機能性食品
能降低疾病罹患機率的食品
運用未利用深海微生物的生理機能，生產食品、藥品的技術
防止高齡者腦功能、抗氧化機能、咀嚼機能降低，可支援健康高齡社會的食品與飲食方法
對於出貨前農、畜、水產品的成份與品質特性感測、分析的精密機器人
利用DNA晶片與分光光度器等各種感測器，使食品從產地到餐桌的監控過程沒有斷層、防止有害物質混入的感測器網路
利用基因修飾等技術闡明細胞核遺傳re-programming的機制，用以複製家畜體細胞
闡明植物成長調節物質的合成、輸送、受體與訊號傳遞的機制，以控制農作物、樹林的成長
利用時期與部位特異基因的基因調控研究，培育人工轉殖基因不會擴散至環境的基改作物
以石油為原料的聚合物，半數以上由可再生利用的biomass資源製成
使農藥、化肥使用減半的生物性整合病蟲害防治法(真菌、Plant Activator、天敵生物、費洛蒙、毒他作用等)術
早期偵測作物病蟲害、禽流感、家畜疾病，在田間、畜舍、養殖地建置即時監控環境資訊與生物資訊的感測網路
群組4：以IT科技帶動醫療技術達成國民的健康生活
人類對高致病性禽流感的預防、治療法
透過改進生態系、環境等大規模系統的模擬模式，預測傳染病發生風險
群組5：瞭解宇宙、地球的動態機制，擴大人類活動領域
本國陸地至海岸線20km內的近海域，劃分為水平方向10km*10km、鉛直方向2.5km的區塊，結合雲量與降雨的監控與現有觀測技術，建立以防災為目的的統合水管理系統
造成漁業設施損壞的沿岸急速潮流與大浪之觀測、預測技術
以人為造成大規模湧昇海流，使生物資源增加的技术
採用生物學與多樣工學技術，達成最佳化環境管理的海洋牧場
確立海洋生態系的數值模型
群組6：多樣化的能源科技革新
將biomass發酵、汽化的混合型生質燃料/氫氣合併生產程序
在熱帶地區等高日照量陽光地帶，利用高植物生產力的閒置土地，種植可生產BIOMASS的資源作物
利用地方農林業資源與有機廢棄物做為生質能源，朝zero-emission(零污染排放)發展的低成本農林業、農村
將水生植物用於水質淨化並做為生質燃料、化學原料生產系統
群組7：處理水、食物、礦物等等必要資源
以社區為單位，活用未利用自然能源，形成物質循環的技術
有助於生物多樣性保全的迴游魚類(真鮪等)統合利用技術
闡明花形、大小、花期等植物生長控制基因的基本網絡
利用基因標誌等基因組解析技術，開發、養殖具有優秀性狀(抗逆境、抗病害)的水產養殖生物
在沙漠(乾燥地帶)進行高效率的植被再生技術
能從大氣固氮、土壤中磷酸利用能力飛躍性提升的植物基因組技術
利用遠感網絡技術，對於森林、海藻、海草等農林水產資源進行廣域監測
在中高緯度溫帶地區也能運作的高收成、可輪作的草本植物BIOMASS商業生產技術
將植物、微生物所生產的BIOMASS串聯運用，製造燃料和生化產品的技術
以保障養殖漁業與水產資源為目的的沿岸周邊水循環(淨化、再利用)系統
瞭解陸域、河川、沿岸之物質循環系統，以研發沿岸藻場、潮間帶的環境復育技術
對於農產品生產、製造所需水量(virtual water)，透過分析運輸和全球進出口體系，建立國際交易系統

※註：

群組 9「支撐產業、社會、科學總體發展的製造技術」及
群組 10「在科技發展之下必須加以強化管理的對象」無
農業相關課題

群組8：形成能保護環境的循環型社會
對影響人與家畜、農業生產、自然生態系的長期性有害化學物質，發展風險降低、管理的技術
全部商品均標示環境相關資訊(碳足跡、食物里程)
通動型農業(為了生活節能、對應高齡化，讓農事者也能在地方性的都市生活)
考量適當時間點採用減農藥散布、甲烷與氧化亞氮排放控制等技術，從以生產為重心的農業轉換成降低環境負荷的農業
利用森林、木材等生物資源具有的特性開發新療法，從生理學瞭解其治療效果
能解決都市與農村的地區性環境問題、最小化環境負荷的共識形成手法
以大氣、水質、土壤汙染等環境模擬技術，進行健康風險、生態風險評估
以大規模環境系統監控、模擬技術，預測汙染物造成的災害與野生動物造成的傳染病
建立對周邊動植物的環境負荷迅速掌握的簡易生態影響指標
涵蓋都市與農村，以流域為單位，具環境考量的土地利用計劃手法
無論都市與農村的生活環境都以公平原則加以整理，以讓高齡者可以輕鬆生活，使年老後的生活據點可以自由選擇
農村自然資源復元與保全、都市環境負荷抵償(trade-off)之補償銀行(mitigation bank)等市場經濟手法
聯結農村與都市以讓氮能有效循環，建立流域氮負荷最小的循環型地方社會
有效利用地方農林業資源、有機廢棄物等生質能源，低成本生產高附加價值產品、經濟面亦可行的農林業
為舒緩都市中熱島效應、乾燥化、生物棲息地消失，使具有人工生物棲地的屋頂綠化技術和垂直綠化技術普及
農業、工業、廢棄物等氧化亞氮排放削減技術演進，使大氣氧化亞氮濃度停止增加
讓發展中國家隨意焚燒處理的生質廢棄物得以有效利用的技術能普及
透過熱帶林觀測、評估技術的進步，避免世界重要熱帶林區域的破壞並實施熱帶林再生活動
在沙漠、半乾燥地帶，透過能確保適量糧食生產的土地利用技術，使住民的生活品質提昇
土地開發計劃進行時，為了緩衝原生生物的棲息地與生態系消失的問題，以no-net-loss為基本原則的共識形成機制能夠制度化
各種生態系(含eco-town)的敏感區域，開發生態補償(mitigation,使消失的生態系與棲息地復元、再生)的相關技術
以棲地永續指數(habitat sustainability index)對累積對於稀有原生物種的瞭解，並建立適用於各地、各種計畫的日本型棲地評估流程與模式
建立外來種的入侵風險評估技術
以流域圈來區分，定量分析地區性生態系作用的技術
將考量生物多樣性價值的綜合性景觀評估納入環境評估制度
融合碳補償、生物多樣性補償概念的金融交易系統
透過闡明農地土壤中碳、氮的物質代謝程序，使溫室氣體控制對策普及
群組9：物質、材料、奈米系統、加工、測量等基礎科技
運用植物、微生物的作用，以非石化原料來開發燃料、生質塑膠的產量技術
和植物光合作用效率(1%)相若的人工光合作用技術
可以現場確認食品安全的超小型化學分析系統
群組12：支持生活、產業基礎建設的科技
將國內流域圈、生態系與災害風險分佈資訊加以整合，據以進行國土規劃、管理，並將該技術、制度實用化
植被、地型地質、水系、動植物等自然資訊，以及人工物(建築、集落、商業空間等)資訊，以1/10000至1/25000的比例製作情報圖，都市與農村集落，則以1/2500的比例製作都市計劃基礎調查情報圖，經年持續累積、更新並免費提供資訊
針對都市、農村以及地區的物質循環、產業構造以及災害風險，確立自然與人工體系一併分析的技術，使物質循環、產業構造、災害風險的分析與預測成為可能
形成都市、農村的多世代交流社群，提升街區或集落生活品質(QoL)的高品質、長壽社區規劃能普及
開發森林會計等天然財產的相關會計技術，將農村、山村對於都市的貢獻加以定量評估，讓都市的所得可以還元回到農村、山村，實現農林業再生的廣域自然管理
定量分析開發行為對自然界(地型、地質、地下水、動植物)的影響，考量開發規模、替代方案、緩衝措施與自然再生速度以進行模擬評估
根據不同氣候現象的發生(降雨、颱風、豪雨、降雪)，讓地方政府單位能防範大規模自然災害(洪水、走山、土石流、雪崩)所造成的損害，完成涵蓋大氣圈、水圈、土壤圈的全國高精度觀測系統，實現基於事前災害預測(一小時左右)的警報、避難規定
本國農作物有50%以上由具效率的大規模農企業生產(含海外生產與室內生產)
為了農地、森林的保護與再生，考量水資源重要性的社會共識與法規制度能加以確立
配合大眾環境運動的加速，如「里山(SATOYAMA)」之類的環境倡議，還有世界各國傳統的自然共生系統，使其能夠普及的評估方法
以地區為單位，盡量利用自然、可再生能源，調整法規制度以實現物質循環、地產地消
由地方政府主導，將森林資源、動物排泄物、穀類等未利用材料作為生質能源、機能性物質來加以利用，建構能源循環系統
森林保護、管理過程中產生的間伐材，運用於建築物基柱等半永久性構造，使森林和都市基礎建設機能可以兩立的系統得以實用化

日本在此次前瞻調查中，問項包括課題重要度(分為「對日本而言」與「對全球而言」)、預期實現年份、技術實現的主要推手(產、官、學、研)為何，筆者初步觀察報告書之調查結果，可發現農業科技發展脈絡將呈現六大重點趨勢，簡述整理於下：

一、透過農業創造環保、永續的「循環型社會」

鑑於現今文明體系仍仰賴耗竭性自然資源，對能源、礦物均匱乏的日本而言，往資源再生的「循環型社會」轉型已經勢在必行，同時能避免污染物產生、創造足以永續經營的「綠色經濟」。此面向的技術關鍵在於加強發展廢棄物管理並開發尚未利用的可再生資源，其中倍受日本學者重視的課題包括「聯結農村與都市以讓氮元素有效循環」、「有效利用地方農林業資源、有機廢棄物等生質能源」、「減農藥散佈、甲烷與氧化亞氮排放控制等技術，從以生產為重心的農業轉換成降低環境負荷的農業」等。

二、適當運用尖端生物科技與奈米科技，提升農業對國民的貢獻

在生技、奈米等尖端科技面向上，由於各先進國競爭相當激烈，故日本將採取集中資源、鎖定重點目標的發展策略，尤以因應全球氣候變遷的抗逆境作物生產技術為焦點，諸如提高作物環境適應力(耐鹽、耐乾、耐寒)、沙漠綠化、減農藥化肥的生物性整合病蟲害防治法(IPM)等；此外高齡化對人類生活產生的影響亦頗受重視，「可支援健康高齡社會的食品與飲食方法」被認為對日本特別重要。

三、多方考量建立適當評估準則與技術，發揚農業多功能性

科技的價值與定位不再侷限於「物品生產」，運用科學方法實現有效「環境管理」、確保人類優質生活環境的課題，屢屢見於此次報告書中；其中主要以「定量分析」相關技術為核心概念，使生態系變化、環境負荷、環境無形價值能被合理評估，進而實現具生態、環境考量的土地利用機制，並在環境會計機制下讓「農業多功能性」能被重視與發揚。

四、確保農業能提供糧食、水、能源等重要資源

面對可預見的糧食危機與化石能源耗竭，日本欲維持現有的高生活水準，必須導入多樣化的資源體系，加強廢棄物多元利用。其中的重點課題包括「盡量利用可再生能源，調整法規制度實現地產地消」、「最佳化環境管理的海洋牧場」、「運用植物、微生物生產的BIOMASS製造燃料、聚合物與生化產品」，期許能使原本棄置的資源「點石成金」，在降低地球環境負荷之餘更創造新附加價值。

五、農業結合資通訊科技(ICT)、自動化技術以因應未來需求

由於高齡少子化衍生出勞動人口不足、體力下降等問題，日本一向居全球領先地位的自動化機器人技術將應用於農事作業，田間、畜舍、養殖池也將透過資訊「即

時監控網絡」達成穩定生產；另一方面，隨著消費者對食品安全的意識提升，導入全球性的產銷履歷亦為資通訊科技的重要發展方向。

六、強化遙測、監控系統資訊網絡，掌握環境與生態系動態

為因應威脅與日俱增的全球氣候變遷與天然災害，本報告書特別提出「地球診斷技術」與「海洋管理技術」兩大觀念，希望未來可以運用日新月異的衛星遙測與自動監控網絡，取得充分資訊建立完善的管理模式，進而「完成涵蓋大氣圈、水圈、土壤圈的全國高精確度觀測系統」、「實現基於事前災害預測(一小時左右)的警報、避難規定」、「瞭解陸域、河川、沿岸之物質循環系統」、「發展長期性有害化學物質的風險降低、管理技術」。

「三生」均衡發展為大勢所趨

綜觀以上日本第九回科技前瞻農業課題，不難發現多所著重「提供、保障讓國民可以安心的優質社會與生活環境」，焦點集中在能切確提升全體國民福祉的方向；或可預見未來日本的農業科技不會只偏重生產面，「生產、生活、生態」兼顧共榮之概念勢將成為研發首要考量的主流價值。

資料來源：

将来社会を支える科学技術の予測調査 <第9回デルファイ調査>; 日本文部科學省科學技術政策研究所; 2010/3