

# 日本第 11 回科學技術預測調查 「德菲法調查結果速報」－ 農林水產/食品/生物科技領域

身處全球化時代，面對全球氣候變遷、人口結構改變、政治經濟、科技與文化的急遽變革，以及環境資源的耗用危機，日本科學技術學術政策研究所長期扮演日本國家科學創新政策智庫，半世紀以來持續以定量及定性研究方法系統化地水平掃描國際資訊，組成專家小組，研析巨量資訊所帶來的趨勢先兆，據以擘畫未來社會願景，並評估技術實現與社會實現的可能時程，描繪相應情景，發展為每五年更新一次的科技趨勢前瞻報告。科學技術學術政策研究所（National Institute of Science and Technology Policy），創設於 1988 年，隸屬日本文部科學省，屬日本科技發展智庫研究單位，負責在國家政策下提供科學技術預測報告（S&T Foresight）與科學基盤研究（NISTEP TEITEN Survey）等證據資料，協助日本科技創新委員會（Council for Science, Technology and Innovation, CSTI）制定日本國家科技創新政策。

日本內閣每五年規劃國家科學技術基本計畫，現今已進展到第五個科學技術基本計畫（2016-2020），與前階段較大不同在於，第一個五年計畫（1996-2000）開始建構新的科技研發體系。第二和第三個五年計畫（2001-2005, 2006-2010）選定特定領域，如生命科學、物質及奈米技術、資訊通訊、環境等領域重點補助，但忽略基礎研究如數學領域的資源挹注，以致在銜接今日趨勢-大數據分析的數學基礎研究上較為薄弱。第四個五年（2011-2015）著重科技研發解決社會經濟議題的目的扣合。第五個五年進一步提出具體的發展願景：Society 5.0-Super Smart Society，並且要求科技研發應界定績效指標及可量化目標。



圖 1 科學技術預測調查之歷史

本次第 11 回調查目的為集結多數專家的知識，為了下一次科學技術基本計畫等科學技術創新政策立案提供基礎資訊。第 11 回調查以 2040 年為目標年度，展望至 2050 年，其調查方法包括藉由地平線掃描(Horizon Scanning)、Visioning、Delphi 調查與情境四部分組成。描繪科學技術的未來樣貌與社會的未來藍圖，並將之整合，以擘劃科學技術發展帶來的社會未來樣貌。簡言之，日本第 11 回係以研討「社會願景」提取出的 2050 年日本社會願景及「科學技術未來的構思」時設定出的 702 項科學技術主題為基準，來探討「在科學技術發展下未來社會的構思」，其可稱之為「基礎願景方案」，而這個方案是由未來社會的構思、相關科學技術主題及其因應政策所構成的。NISTEP 將社會前景與 702 項科學技術主題串連後，提取出利於實現未來願景的 470 件科學技術主題。這 470 件都是期許能為社會帶來貢獻、受到矚目的主題。分析這些主題所屬的領域，可得知 89%是健康、醫療與生命科學相關領域；96%是農漁產品、食品、生醫領域；另外，相較於 91%是環境、資源與能源的領域，社會或科技發展基礎的 ICT、分析工具與服務領域、都市、建築、土木與交通領域、宇宙、海洋、地球與科學基礎領域分別為 67%、43%及 31%。

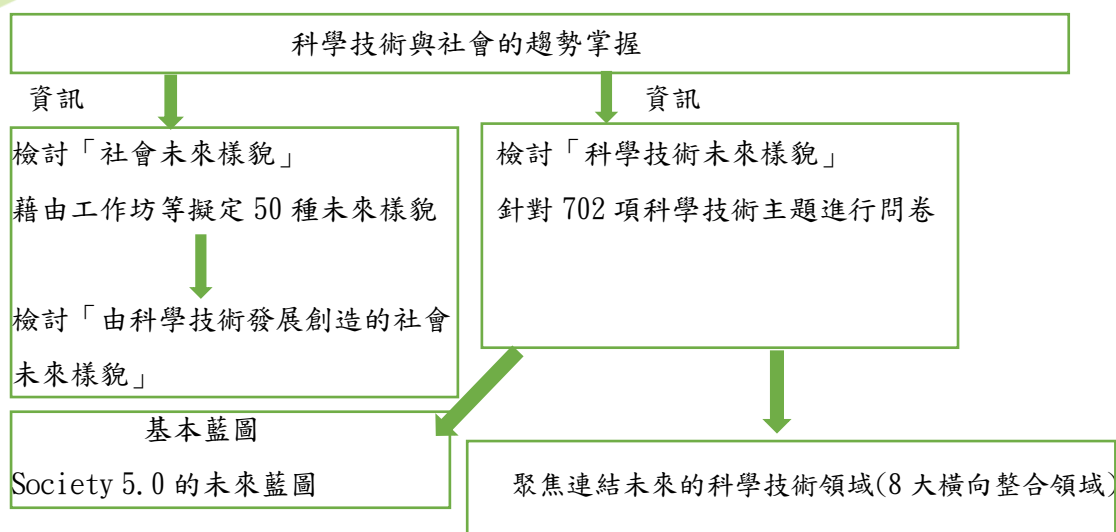


圖 2 預測法之未來樣貌與回溯分析法之未來樣貌

表 1 透過德爾菲調查法所採用之八大領域與次分類

領域	次分類	
健康、醫療、生命科學 (96)	醫藥品 (20) 醫療機器開發 (12) 老化及非感染性疾病 (19) 腦部科學 (10)	健康危機管理 (10) 資訊與健康、社會醫學 (13) 生命科學基礎技術 (12)
農林漁牧、糧食、生物科技 (97)	生產生態系統 (19) 糧食生態系統 (12) 資源生態系統 (14) 系統基礎 (12)	次世代生物科技 (15) 生物質 (9) 安全、安心、健康 (9) 社群 (7)
環境、資源、能源 (106)	能源轉換 (25) 能源系統 (12) 資源開發、減少、再利用、再生 (28)	水 (12) 全球暖化 (7) 環境保護 (16) 危機管理 (6)
ICT、分析、服務 (107)	未來社會設計 (5) 數據科學、AI (11) 電腦系統 (12) IoT、機器人學 (9) 網路、基礎建設 (11) 防禦措施、隱私權 (10)	服務科學 (12) 產業、商業、經營應用 (10) 政策、支援制度設計相關技術 (8) 社會實踐 (10) 互動 (9)
原物料、設備、生產流	物質、材料 (11) 生產流程、生產鏈 (12)	應用設備、系統(環境、能源領域) (9) 應用設備、系統(基礎建設、通訊設備)

領域	次分類	
程 (101)	計算科學、數據科學 (13) 先端統計、分析手法 (16) 應用設備、系統 (ICT、納電子學領域) (14)	(11) 應用設備、系統(生命、生物領域)(15)
都市、建築、土木工程、交通 (95)	國土利用與保衛 (11) 建築 (12) 社會基礎設施 (11) 都市、環境 (9) 建設生產系統 (9)	交通系統 (12) 車輛、鐵路、船舶、航空 (13) 防災、降災技術 (9)
外太空、海洋、地球、科學基礎 (100)	外太空 (11) 海洋 (10) 地球 (13) 觀測、預測 (10) 計算、數理、資訊科學 (11)	基本粒子、原子核、加速器 (9) 量子束：放射光 (12) 量子束：中性子、中子、帶電粒子等(13) 光、量子技術 (11)

農林漁牧、糧食、生物科技領域是基於認識到單純仰賴科學或技術將難以前進，必須從「生態圈(Ecosystem)」的概念，理解系統與支持系統運作的關鍵技術與科學整體。換言之其必須從兼顧生產與環境保護的角度，以及提高環保型農林水產食品業產能的觀點，以推動該領域發展。

次分類	關鍵字	科學技術主題數
生產生態系統	將野生種的栽培變成作物、機能性高分子等生產技術、封閉型陸地循環養殖、減輕環境負擔的飼料、採伐等自動化技術、生育預測、診斷系統、自動化、無人化循環型植物工廠、超高速育種、生態共處型農業生產系統、農業機器人	19
糧食生態系統	以數據驅動的糧食生產、食品加工智慧整合感控系統(CPS)、數位行銷(Digital marketing)、人工蛋白質、做菜機器人、可追蹤追溯制度(Traceability)、食物美味的設計、食品組學(Foodomics)、糧食損耗(Foodlose)、新保存技術、昆蟲資源、食物 3D 列印、飲食電商(EC)化、食物生態系統	12
資源生態系統	魚類生殖細胞銀行、精密生命週期紀錄(Lifetime logging)、創新的防獸類禍害技術、因應病害蟲對策技術、防災的森林管理技術、ICT 養殖管理、自動掌握森林地質技術、海洋塑膠垃圾、環境 DNA、環境	14

次分類	關鍵字	科學技術 主題數
	生態衝擊評估	
系統基礎	農林水產資源廣域監測系統、地球範圍的感測網絡利用、全球網格資料庫(Grid database)化、資源變動預測、管理技術、高空間、高時間解析氣象預測、ICT 漁場管理、ICT 森林管理技術、微生物即時監控	12
次世代生物科技	生殖細胞製造技術、生育模擬、基因改變技術、賦予固氮作用、異種移植、對昆蟲行動的控制、監視技術、植物機能完整的可視化、促進萌芽更新技術、二氧化碳大量、大規模固定、表觀基因組(Epigenome)控制、高精密度作物建模(Modeling)、生物記憶解讀	15
生物質 (Biomass)	植物性纖維分解利用技術、耕畜共同生產系統、中高層木造建築物、高度耐用性木材、高效率低成本發電、發熱利用技術、生物分解性、光分解性素材、替代化石來源製品、提高副產品之附加價值	9
安全、安心、健康	人獸共通感染病症、食品防護系統(Food Defense System)、毒性評估、Big Data 與 AI 技術、病蟲害防除材質、重金屬、放射性物質、無病化處理技術、可追蹤性	9
社群	家族農業、網路、生物經濟(Bioeconomy)、森林療法、食品供需預測、水產資源管理、傳統料理法、水產品可追蹤性、社會的可見化、區塊鏈(Blockchain)、SDGs、多世代共創、擁有復原能力(Resilience)的地方社會	7

本回合調查結果顯示最為重要的科技發展項目是「替代人類的農業機器人」。其次重要科研項目為「應用人工衛星、氣象觀測資料等的氣象預測與災害風險評估系統」，以及「以地球暖化對於農林水產資源影響評估為基礎，所進行的資源變動預測、管理技術」等之類建構系統基礎的科學技術。此外，下列主題的重要度也名列前茅：例如「針對降低食物損耗的食物價值鏈(Food Value Chain)的監測、解析技術」，或是融合食物與資訊技術的科學技術「為食物與健康醫療而建構的大數據，以利於促進健康的 AI 應用技術」。

此外調查結果顯示國際競爭力相對高的主題，重要度亦高的為「應用人工衛星、氣象觀測數據等的氣象預測與災害風險評估系統」，以及「因應高齡社會的飲食組合而開發的多項機能性食品」；在科學技術性的實現預測相對落後的主題是「資源生態系統」，而為了實現該主題，多數受調者回答要多投入「研發費」作為政策手段的比率相當高。

社會實現的預測相對落後的主題是「次世代生物科技」，為實現該主題，回答「人才培育、保障」為政策手段的比率相當高。最後，為了落實科學技術面、社會面的政策手段，在「完善法規制度」方面回答率最高的主題是「安全、安心、健康」。

#### 〈農林漁牧、糧食、生物科技領域〉重要度前 5 名

科學技術主題	科學技術	社會
取代人類之農業機器人。	2026	2029
活用人造衛星、氣象觀測數據等，可即時進行高空間、高時間解析度的氣象預測與災害風險評估系統。	2028	2030
評估全球暖化對農林漁牧業造成的影響之預測與管理技術。	2028	2031
防範土石災害等森林管理技術。	2031	2033
為減少糧食損失與碳排放之食品價值鏈的監控、分析技術。	2027	2028

#### 〈農林漁牧、糧食、生物科技領域〉具競爭力前 5 名

科學技術主題	科學技術	社會
應用人造衛星、氣象觀測數據等，可即時進行高空間、高時間解析度的氣象預測與災害風險評估系統。	2028	2030
因應高齡社會的飲食組合而開發的多項機能性食品。	2027	2029
不需冷凍即可維持生鮮食品新鮮度的短期保存技術。	2026	2027
可偵測食品生產線是否混入有機物（毛髮等）的識別技術。	2025	2026
以非破壞方式，即可於生產地檢測農林漁牧產品品質（成分、物理性質、成熟度）的分析系統。	2026	2028

下表為〈農林漁牧、糧食、生物科技領域〉次分類的科學技術主題內容

次分類	科學技術主題
生產生態系統	將能適應世界各種環境的野生種基因改編後，將之栽培作物化 (neo domestication)
	將作物的可食部位、蠶、牛或羊的乳汁，有效率地製成醫藥或機能性高分子的技術
	創造一套利用雜種強勢機制專門進行家畜生產的系統
	基於生態系統循環，發展鰻魚等大規模封閉型陸地養殖技術
	在闡述魚類免疫機構與其控制因子的基礎上發展感染症預防技術
	使用含有可降低環境負荷的植物、昆蟲做成的魚類飼料
	完全無法自然生育的養殖魚
	木材的砍伐、搬移、運送、加工的自動化技術
	為確保砍伐後能再生的森林現狀，研發有效且系統性的造林技術
	利用杉木、紅檜等各種樹木基因資訊的高速培育技術，栽種超級樹木
	從 X 線到兆赫輻射 (THz) 的廣域超小型光裝置、使用組學 (Omics)、化學分析與 ICT 技術的，農作物高通量篩選 (High-throughput) 攜帶型測量系統
	結合短、中期氣象預報與生物學知識以及 AI 整合出高精密度作物範本，以建構農作物的生育預測、診斷系統
	藉由控制腸內細菌提升非反芻家畜的產能技術
	基於動物福利 (Animal Welfare)，降低家畜以及養殖魚的壓力，以提高產能的技術
	以可作為在太空或極地利用為目的的自動化、無人化循環型植物工廠
	從「field omics」、「顯性組學 (phenomics)」等所獲得的大數據與 AI 進行超快速育種 (Taylor Made)
	在不損害產能的情況下實現高品質的生態調適型農業生產系統
	將微生物共生發揮到極致，進行各種微型裝置 (micro device) 的研發，以發展廣域土壤診斷的栽培、測量技術
代替人類的農業機器人	
食物生態系統	可因應餐飲店多樣化菜單需求的彈性調理系統
	研發出可在食品產線中檢驗有機物質 (如毛髮等) 混入的辨識技術
	為簡單重現「美味」，藉著將考量味覺、香味、口感 (Texture) 在內的認知科學、語言學、化學、AI 等領域整合而成的途徑，所獲得的研究成果，量化

次分類	科學技術主題
	<p>成為國際性資料庫</p> <p>在生產現場以非破壞性方式即時定量分析農林水產品的品質(成分、性質、熟度)的系統</p> <p>基於過敏原(allergen)檢測技術，製造避免引發過敏原的食品技術</p> <p>基於高齡社會意識的混合食物思維，創造出多樣化的機能性食品</p> <p>適合降低食物耗損的食物價值鏈(food value chain)監測、解析技術</p> <p>不冷凍也能維持生鮮食品新鮮度與品質的短期保存技術</p> <p>包含昆蟲資源的新形態蛋白質來源的製造加工技術</p> <p>因應縮短生產地到消費地距離(足跡(Footprints)改善)，實現大規模客製化(mass customization)的製造、加工、調理技術</p> <p>廢棄食品再利用的新資源生成技術(諸如食物 3D 列印機之類)</p> <p>生產、流通、加工、消費包含完全循環型食物價值鏈</p>
資源生態系統	<p>建立以養殖對象品種與主要漁業對象種的生殖細胞銀行，永久保存基因資源</p> <p>藉著魚群計算偵測系統(魚種判別、尺寸檢測)的高精密度，建立多種統整資源量評估技術</p> <p>藉由嵌入式超小型電子晶片，建立即時登錄水產資源生物的高精密度生命週期紀錄系統</p> <p>可辨別微型海洋生物(微生物、浮游生物等)的 3D 影像解析系統</p> <p>為管理野生動物個體數，研發有效捕獲技術與創新防範獸害技術</p> <p>森林病蟲害對策系統</p> <p>預防土石流災害等發生的森林管理技術</p> <p>透過水產養殖履歷相關的自動蒐集，與透過資料庫化的 ICT 方式，進行科學性養殖管理系統</p> <p>藉著 ICT 製作科學性森林管理計畫技術</p> <p>因應異常氣象等情況的防災型林道樣式的科學性設計技術</p> <p>使用自動掌握森林地質資訊技術的林道自動開設技術</p> <p>海洋塑膠垃圾的現況掌握、影響評估技術與減少排放系統</p> <p>援引自對於利用環境 DNA 生態系的理解和解析的稀有種保存、管理技術</p> <p>以周遭生態系統的變化為指標，有利作為農林水產業環境生態衝擊的評估方法</p>
系統	<p>應用遠距感測或網路的森林／海藻、海草等農林水產資源的廣域監測系統</p>



次分類	科學技術主題
基礎	利用涵蓋全球範圍的物聯網，建立農林水產生態系的主要元素、物質(氮、碳等)的循環監測系統
	為掌握農林水產業相關的所有資訊，將利用遠距偵測技術等的作物數據，建構全球網格(格子間距：10 公尺 x10 公尺)資料庫
	以地球暖化對農林水產資源造成的影響評估為基礎，進行資源變動預測、管理技術
	應用人工衛星、氣象觀測數據等，建構具即時性的高空間、高時間解析度氣象預測與災害風險評估系統
	以說明連結陸地、河川、沿岸地區的物質循環系統為基礎，發展海藻林(seaweed bed)、海灘等沿岸環境修復技術
	熱帶林破壞防範與再生活動的觀測、評估技術
	即時監測環境資訊或生物資訊，可在初期便察知農林水產現場異常的系統
	建造自動蒐集漁業作業履歷，與 ICT 科學性漁場管理基礎資料庫
	建造自動蒐集森林作業履歷，與 ICT 森林管理技術基礎資料庫
	對於製造、運輸、儲藏中的微生物即時監測系統
	建造準確即時性診斷作物生育資訊的全球網格資料庫
次世代 生物科 技	可控制植物與水產品的味道、形狀、芳香、老化之類與偏好相關的特徵技術
	為維持並保存瀕臨絕種之物種，發展有效率的生殖細胞創造與保存技術
	在沙漠(乾燥地帶)等不適合耕作的環境中，也能期待收成的作物
	在闡述基因、環境相互作用的基礎上，進行生育過程的模擬，以及利用此基礎進行最適化基因組成
	藉著植物基因技術，培育可發揮空中固氮作用、利用土壤磷酸等特性的植物
	從分子遺傳學闡明作物的雜種強勢與近交弱勢
	養殖醫療用樣本豬隻，以進行利用基因改變技術的異種移植
	利用超音波或震動控制昆蟲行動，以及行動監視技術
	藉各種機能感測器的 LSI 化，讓植物機能成為可視化的技術
	針對難以抽換新芽的針葉樹以及高齡的闊葉樹，研發促進新芽抽換的技術
	透過大幅提高光合成能力的植物(水稻、藻類)讓二氧化碳大量、大規模固碳(吸存(sequestering))與提高產能的系統
以高精密度的 3D 構造重建非可視部分(包含根域)的植物個體群	
藉著控制應用生物記憶的表觀基因組(epigenome)，能更主動發現特徵的技	

次分類	科學技術主題
	術
	將 AI 與生物學領域知識結合的高精密度作物模型
	從生物記憶引發過去各式各樣環境記憶的技術
生物質	用乾貨製造超越每年 50t/ha 的生物質(biomass)生產作物
	利用可降低纖維素結晶度的人工蛋白質，研發植物性纖維的分解利用技術
	利用濃縮甲烷發酵消化液等製造的成分穩定肥料生產技術，建立耕畜合作生產系統
	可望藉此替代難以減少二氧化碳排放的鋼鐵、水泥(鋼筋混凝土)，並且在達成二氧化碳減排目的，以及為實現中高層木造建築物而開發的高強度木材為基礎，所研發的木質耐火結構設計技術
	為擴大土木領域等需求為目的，高度耐久性木材可承受在室外風吹日曬 50 年的長期使用情況
	藉著木材等生物質創造的高效率低成本的發電、熱利用技術
	食物生態系統相關的生物可分解性、光分解性素材
	由森林資源替代使用化石資源製品的技術(道路鋪設、建築用材、服飾素材、塗料、消費財)
	提升木材副產物附加價值的技術(收成時的剩餘木材或不合規格的產物、在加工產線上的可食用廢棄物再利用、精煉、分離、萃取技術)
安全、安心、健康	將損害人體健康的人畜共通感染病原體等從動物體內排除的技術
	評估食品中複數危害因子相互作用導致的毒性
	為實現食物安全、安心，以食物價值鏈為對象，防止有害物質的混入或細菌污染的食物防禦系統(Food defense system)
	利用植物、微生物，將土壤中的戴奧辛類或重金屬、稀土有效去除、萃取的技術
	為食物與健康醫療而建構的大數據，以利於促進健康的 AI 應用技術
	以植物害蟲、病原菌為標的種的特異防除資材開發系統
	不會吸收重金屬、放射性的作物
	克服檢疫問題的無病化處理技術
在使用可以保證資訊透明性的區塊鏈等新技術的基礎上，建立可追蹤追溯系統	
社群	以生理面闡述森林或木材增進舒適效果的森林療法

次分類	科學技術主題
	依循世界人口增加、經濟發展與作物生產技術動向而發展出的糧食供需預測系統
	利用生物質等可再生能源的社會經濟活力、社會影響、環境負荷等的評估技術
	為管理水產資源而發展的人文社會科學，與使用 AI 的社會系統
	傳統調理方式的重新評估系統
	確立水產品追蹤的社會系統
	運用最先進數位技術的社群的可視化監測技術

本文摘譯：磯谷桂介(2019)。第 11 回科學技術予測調査 S&T Foresight 2019 総合報告書。学院科技战略咨询研究院科。