

出國報告（出國類別：其他）

竹林整備技術及二氧化碳減量效果之研究

服務機關：行政院農業委員會林業試驗所

姓名職稱：陳財輝 研究員

派赴國家：日本

出國期間：101 年 10 月 08 日 ~ 12 月 14 日

報告日期：102 年 1 月 31 日

摘要

利用國科會經費至日本京都大學野外科學教育中心研習，收集日本竹林整備技術相關研究報告，並承蒙柴田昌三教授指導日本竹產業研究利用發展現況，以及日本竹產業連合會渡邊政俊博士說明日本最新竹產業運作模式，並前往京都近郊、九州、高知及四國等地，實地研習竹林整備現況。

日本竹林地僅佔人工林（約1,000萬公頃）的比率約為1.7%，竹林面積雖不多，但其經濟性產值遠高於一般森林主副產品。近年來，竹材的伐採利用大為式微，不僅竹林逐漸向林地及周邊農地蔓延擴大，且多無任何伐採管理，皆成為老齡竹充斥之荒廢狀態，因此日本林野廳之林業再生計畫中，針對竹林整備方面，結合中央與地方政府、森林組合、NGO、學者專家、志工等團體，進行竹林整備利用及技術開發等共同發展作業。日本森林總合研究所於2011年已發表竹林的生質碳蓄積量和吸收量的計算模式，此項研究調查從北福島縣到南鹿兒島等18府縣21地點的竹林固定樣區資料，開發出全國竹林碳蓄積量之推估模式，同時配合利用各地區之森林調查簿、航空照片等調查技術，推估兩時期竹林分佈面積之變化，建立日本全國性竹林生質碳素吸收量推估計算方法。本次前往瞭解此一計算模式之精確度，且直接與日本森林總合研究人員實地討論，做為繼續從事今後竹林減碳效果研究調查的重要參考依據。

【關鍵詞】 竹林整備、竹林碳蓄積量、二氧化碳減量

目 次

一、研習目的.....	02
二、研習過程.....	03
三、研習心得.....	06
四、建議事項.....	13
五、照片.....	14

一、研習目的

竹林在第三世界國家中被視為窮人的寶物，因為竹林可以提供一般人民衣食住行等各項民生所需。竹子具有快速生長的能力，在植物界中被視為最具節能減碳功效者，因此，竹林的整備技術等經營管理方案，在日本、中國及印度等主要國家皆被高度受到重視。尤其，竹林生長與碳減量效果的相關性極高，此竹林減碳議題，在世界主要擁有竹林的國家中，皆積極研究正確地計算模式及其竹林經營認證等相關議題，供探討竹林在CO₂減量的新環境經濟價值。

台灣及日本對於竹類所面臨亟待研究發展議題雖不盡相同，然而台灣熱帶、亞熱帶竹類資源的經營管理技術與實務經驗等，可借日方散生型竹林減碳效果研究之方案，以及提高竹林利用的經濟價值模式，作為台灣加強研究節能減碳效果之參考。

本計畫目的瞭解日本最新的竹林整備技術，此項工作係以日本林野廳為核心，藉由中央與地方政府、森林組合、竹材加工利用開發、學術研究團隊及志工團體等諸多單位相互搭配，在有經費、有人力、有方法等條件支援下，具體執行竹林整備工作，此等竹林整備相關作法值得參考學習。日本主要研究之竹種，為散生竹，如孟宗竹及剛竹等，臺灣竹林種類遠較日本為多，尤其熱帶叢生型竹類為日本所無。基於全球化思維，未來針對叢生竹減碳的模式及效果調查實證樣區，可作為未來我國及第三世界開發中國家竹林減碳的效果等參考依據。台灣面積不大、交通便捷、研究人力充沛等諸多有利條件支援下，此一叢生竹類資源的減碳效果研究有待繼續深入探討。

二、研習過程

1. 研習方法

行前對相關資料及文獻收集，並與前往研究機構人員接洽，以及研究期間研究進度之安排等做好準備與事先之溝通，務必達成抵達後便能展開預定研究項目，順利達成預定之研究目標。具體達成之方法如下：

- (1) 出發前對研究主題相關資料和文獻，積極收集與閱讀。
- (2) 出發前以電子郵件和前往研究機構人員接洽，和研究人員做充分溝通與聯絡。
- (3) 抵達後立即展開相關研究工作，並設定研究進度之時程表。
- (4) 研究過程中隨時紀錄研究所發現結果，並就研究主題與相關研究人員進行實際之討論、觀摩和學習。
- (5) 配合研究主題，以當地案例進行分析，研擬未來具體可行之推展方案。

2. 研習機構

研習進修期間主要在日本京都大學野外科學教育中心柴田昌三教授研究室收集相關資料、學習與討論，並利用部分時間前往日本總合森林研究所關西支所、高知大學和日本全日本竹竹產業連合會。參赴之相關機構概述如下：

(1) 日本京都大學農學部野外科學教育中心

京都大學農學部野外科學教育中心於 2003 年設立，進行森(林地)、里(村落)、海(海域)連環學等總合性的教育研究活動。目前野外科學教育中心包括農學研究科及理學研究科，在北海道、京都府、和歌山縣、山口縣等 10 個

地方，分別有森、里、海等專門領域研究據點，局本部設置於京都大學農學部。

京都大學農學部野外科學教育中心突破傳統，以林業單一之實驗林設置，而以森、里、海連環學相互關係探究為主軸，將林業、里山(農林業及景觀)、漁業串聯在一起，在森、里、海等河川系列之自然共生關係下，研發里山及林業的再生技術。竹林為目前日本里山重要的構成景觀，由於竹林日益擴大的危害，里山竹類資源整備利用現況，以及人文科學等項目皆為研究對象。

京都大學森、里、海連環學，係因應日本最新的社會情勢所設立，在森、里、海等河川系列與自然共生的思維下，實踐研究里山及林業等自然的再生技術。在相關的研究議題上，主要從矢竹等小型竹之造園利用研究開始，研究對象擴及造園、綠化及竹類等里山之環境林研究等。

日本最有名的竹林地為京都嵯峨野之西山一帶，其次為九州鹿兒島、四國香川縣及靜岡縣等地，上田(1898-1991)為京都大學名譽教授，是世界知名的竹類研究學者，其研究調查足跡也遍及臺灣各地。同時，戰後上田也參與全國竹產業聯合會創立及相關活動，直接推動日本竹產業的活絡，對日本竹類研究及竹產業發展貢獻極大。

(2)日本總合森林研究所關西支所

日本總合森林研究所為日本農林水產省所管轄之獨立行政法人，共有5個分所(北海道支所、東北支所、關西支所、四國支所及九州支所)，分別針對森林生態、森林經營、保育及林產品開發等林業相關項目進行研究，為日本林業相關研究之核心單位。近年來，以發展森林管理系統和技術、森林和林

業的再生，促進林木利用及推廣木材資源的開發、森林環境保護機能的維持(減緩地球暖化，水源的維護、國土保安及生物多樣性)等主題進行研究。關西支所近年來針對竹林資源相關研究，如建立竹林碳吸存量的評估模式，以及建構可持續利用的竹林示範區、碳吸存量等應用研究。

(3) 高知大學農學部林學科

高知大學於 1922 年建立，1949 年開設大學教育的日本國立大學。2003 年 10 月 1 日由舊高知大學與舊高知醫科大學合併而成。高知大學設有人文學部、教育學部、理學部、醫學部、農學部，大學院設有綜合人類自然科學研究科、教育學研究科、理學研究科、醫學系研究科、農學研究科等。本次前往位於四國高知縣南國校區，前往請教農學部林學科於竹林的伐採及集材作業之方法，並由古川 泰教授帶領實地觀摩學習。研習期間由古川 泰教授講授竹林經濟，後藤純一教授講授竹材採運方式及竹林航空照片之判釋等竹林相關議題，對未來竹林集材有一初步了解。。

(4) 全日本竹產業連合會

全日本竹產業連合會，建立於昭和35年(西元1960年)，為竹產業界在全國各府縣單位組織，全國性聯合組織，同時也是日本唯一的竹產業界的聯合組織，致力於日本竹產業之發展，並鼓勵竹產品的開發及竹文化的延續傳承。每年均會集合全國竹產業界的相關組織，進行全國性竹產業之會議，討論相關議題及表揚有功人員，可為日本竹產業界具有代表性之會議。

全日本竹產業連合會主要由各竹林相關產業或協會所組成，日本竹文化振興協會便是其中一員，其目的為振興竹類文化。因近年來生活方式近趨於西洋化，導致許多竹產品消失或減產，這對於日本竹產業及既有的竹林文化

產生相當大的衝擊。日本地區竹林資源豐富，竹材可廣泛且持續利用，在日本文化中的插花及茶道均須利用到竹材，竹材更被林業界稱為特殊用途竹產物，可見竹材在日本人的心中占有相當重要的地位。

另外，竹林在防汛、山崩及地震等天然災害均有保護國土及生命財產安全之公用，近年來更作為綠化觀賞植物，故日本竹文化協會便提倡竹文化的振興，舉辦許多相關活動及發表刊物，如竹栽植活動，經由指導中小學生如何栽植竹，使小朋友從小就認識竹；一年發行4期「竹」會刊及一年發行1期的Bamboo Journal，前者屬於竹文化相關之刊物，後者屬於研究類型刊物，於國際上頗具好評。贊助支持日本竹相關產業、協會或團體召開之活動，為日本的竹產業發展及竹文化的發揚不遺餘力。

3. 研習內容

2012年10~11月份，由全日本竹產業連合會研究員濱田甫先生帶領至鹿兒島竹林；全日本竹產業連合會有川副會長至熊本竹林以及竹本光一副會長至別府竹林進行觀摩，並會同北九州大學副教授岩松文代教授、福岡縣林業試驗場主任研究員野中重之，至九州福岡進行竹林整備研習。另外，由日本總合森林研究所關西支所人員帶領至京都一帶實地竹林觀摩研習。

2012年12月份前往高知大學觀摩高知縣南國市一帶竹林，並聽取高知大學農學部古川 泰教授、後藤純一教授講授竹林航空照片之判譯、林業經濟、竹材伐運作業等研習課程。另外，由高知市春野辦事處中曾根先生講授竹材的失敗利用及竹林的伐採整備；高知縣工業技術所藤原副所長講解竹材的加工利用，以及青野社長講解竹材的先進加工技術。

三、研習心得

1. 上賀茂竹類標本園

京都大學野外科學教育研究中心上賀茂試驗地，為上田弘一郎教授所設立，具有悠久歷史之竹類標本園。本試驗地最初於1926年購買大阪營林署位於京都市上賀茂山的國有林，作為京都大學農學部附屬實驗林上賀茂試驗地。目前總面積為46.8 ha。2003年4月，隨著實驗林、瀨戶臨海實驗所、亞熱帶植物實驗所及水產實驗所等合併為京都大學野外科學教育研究中心，現在的名稱也隨著變更。本試驗地主要是外來樹種引種所建立之樹木標本園，最初與外國的植物園及研究所等進行種子交換開始，陸續收集許多外來松類樹種。1955年以後，雖實施竹(大型竹)筴(小型竹)類相關試驗、松屬林木生長調查及雜交試驗等，但1970年代以後松林大量枯死，松材線蟲研究及被害抑制等研究，及以松屬樹種生長為主的研究。

目前，樹木園及標本園重新再整備，竹類標本園也設置1~10 m²水泥格框，供大小型竹子永久調查之用，竹類標本園收集14屬88種。竹類的開花周期長達數十年，從種子苗到開花的期間能確認的事例極少。本試驗地之孟宗竹分別在1979年及1997年，在第67年時開花記錄得到確認。其他如業平竹等竹種開花周期雖無法確認，但從1998年秋到2000年春開花結實之種子苗，已經定植，可供下一世代持續研究調查之用。1959年以原竹建造外壁之標本館，收集第二次世界大戰前從庫頁島、南北韓、臺灣各研究林，收集5,000件木材標本、700件種子標本及其他標本，總計約1萬件標本。其中松類的毬果、種子、針葉等系統性整理之外，孟宗竹地下莖的形態標本及竹稈、竹製品等也收集不少。

2. 京都市洛西竹林公園

京都市為日本的古都，東、西、北三方被山地圍繞，其中西山從蹉峨野、嵐山到京都府日向市等地區，竹林面積廣達300 ha，古來(舊乙訓郡)即為有名的孟宗竹竹筍及竹材產地。1970年代左右，京都市積極開發洛西新市鎮作為住宅使用，現在新市鎮周邊雖仍留存約260 ha竹林地景觀，但因新市鎮建設伐除極多的竹林。因應市民積極保存竹林之聲高漲，作為新市鎮紀念事業之一，京都市住宅供給公社於1970年代期間，在上田弘一郎教授指導下，規劃建設洛西竹林公園，並於1981年6月開園供民眾免費使用，迄今已有30年歷史。

自古以來，竹雖與東方民族之生活、產業、文化、藝術等有極深的關連，而一般人也雖常見、但卻是不甚了解的植物之一。因此，洛西竹林公園在相關單位協助之下，從日本各地收集許多竹類，甚至也從臺灣引進綠竹，栽植在「生態園」、以及將貴重的竹類資料在「竹類資料館」展示，對竹的優點、精美特殊處及竹的不可思議等，讓大家再加以認識。

「竹類資料館」為日式建築設計，館內擺飾京銘竹、愛迪生電燈泡，以及18片竹的生理生態特性之說明看板，並在室內展示各種竹稈及京都的傳統竹製品等。外圍之「生態園」則以迴遊式日式庭園設計，沿著步道邊散步、可順道觀察竹(大型竹)及筴(小型竹)的生態。

「生態園」僅約5分地，但其為日式和風庭園設計，鯉魚池、岩石層疊而成、並搭配小瀑布，園內有網狀之迴遊式步道，可享受竹林浴。生態園所收集約110種竹類中，京都特產之龜甲竹沿邊坡而生，另外還有黃金色鮮明之天然紀念物(金明孟宗竹)開始，接著黑竹、今明竹、布袋竹、絲紡竹等。園區內坡面栽植阿龜筴、姬篠、稚兒筴、熊筴、禿筴等為地被，各種型色之矮

性竹(筴)所構成之景觀，為其他地方所無。

另外，此生態園的特點之一，不僅栽植竹類及營造竹筴景觀而已，亦可供竹類的生理生態特性研究使用。尤其，竹類非草非木，其開花生理與一般林木大不相同，亦即竹類繁殖常藉無性生殖繁衍後代，母竹完成有性生殖後常會枯死，且竹筴的開花周期通常很長久，一般人很難追蹤紀錄。諸如，1969年開花的種子所培育之孟宗竹，以及1965年代全日本廣泛開花枯死之日本剛竹，亦有植栽開花結實種子竹苗，並以石柱記載開花時間，做為永久性紀錄，為竹類開花周期研究教育上極為珍貴的資料。

京都市洛西竹林公園不僅是日本國內最早建立，目前在國際也為知名的竹林公園，將生態園、標本園及資料館相結合，除為教育研究及學習的場所外，也為遊憩優良場所，尤其廣闊的周遭，經過整理之竹林景觀，令人心曠神怡，其以公園式景觀考量之營造方式值得觀摩學習。

公園與植物園不同的地方，主要在施作、功能及表現等有所差異，公園最主要是提供民眾散步及放鬆之綠地，只重視休憩功能。植物園所要達成的目標，主要在於學術研究、教育展示、資源保育和提供休憩場所等。日本植物園協會針對植物園與公園的差異性看法也類似，其說明如下：植物園與公園皆具有都市公園的機能，但植物園必須再具備植物學的機能，而公園則不需要。所謂都市公園的機能，係指具有綠地及可提供開闊的空間、休憩的場所；而植物學的機能則是為下列內容：具有執行植物相關研究調查能力，收集各種植物、進行植生系統保存及生物多樣性保全；將所收集的植物，在教育的考慮下，進行植栽、按順序配置及展示等；各種植物設置標示，必要時加以解說；為求利用者知能提升的要求，需積極的進行各項活動及親自參與

行動；植物園及公開展示的植物，具有做為小、中、高等學校的植物學及生態學等之學校教育，或者是社會教育、生涯教育之教材及場所等機能；植物園及收集的植物，可做為高等教育的教育與研究對象；植物有關之資訊整理，以及實施組織性的資訊提供。

3. 竹林資源的循環利用

以四國愛媛縣林務課之竹林資源利用事例做法，將竹資源循環利用方法分成三階段實行，分別為短期目標、中期目標及長期目標，以下為各期間進行之方法及目標。

(1) 短期目標

首先，以促進竹資源循環利用之區域為對象，規劃生產竹林的管理體制及建立在地性的竹林永續利用組織，以此為基礎來制定竹林的施業方針等措施。

另外，舉辦相關議題之活動或研習會，啟發當地居民對竹林保育及循環利用之意識，使其觀念普及化，且結合學童環境教育，辦理當地竹林體驗活動，使地方透過經驗學習活動主要理念，建立竹林循環利用之概念。對竹林有不同以往的看法，使之對竹林有不同的價值觀。同時也引導居民對當地竹林具有保護及利用之觀念。

(2) 中期目標

由當地的竹林永續利用組織進行竹林整備，依據區域性的不同分別規劃竹林的施業方針，讓當地居民實際參與竹林的整備，並實現當地竹林資源的再生。

前期之環境教育應持續進行，與居民進行當地竹林資源利用之討論，

形成一相對之溝通管道，合作建立竹林相關產業之連結，由當地生產之竹材，作為竹產業之來源，開拓當地竹林市場，增加當地居民經濟來源。

(3) 長期目標

正確評估竹林應有之價值及功能，並且對竹林資源循環利用之期待能實現，透過竹林管理技術及竹材加工技術的發展，使竹林資源循環利用，減輕環境壓力，恢復竹林應有之生態價值。

4. 竹材利用之新技術研發

竹材資源利用方面，不僅可做為紙漿原料材且廣泛應用在手工編織用具等用途。近年來，竹炭、竹醋液、竹層積材、竹纖維板、竹鑽泥板等竹產品的開發，使竹材利用技術逐步提升，目前臺灣市場尚未有效發展，以致竹材資源的使用仍十分有限。

日本地區竹資源雖不是很豐富，但其新技術研發及利用呈現多元發展，利用竹纖維堅韌的特性，使用於建築及竹林魚礁的建造上，且利用竹材不同部位的特性，研發出竹建築不同的接合方式，且利用化學加工法增加竹纖維之機械強度。另外，竹所提煉出的竹茹、竹瀝、竹鹽、竹醋液及竹炭等亦有相關技術正在研發中；竹的提煉物也應用於假牙抗菌性的功能上，其多方面的新技術開發，值得學習。

臺灣的竹林資源之經濟價值潛力不輸於一般林木，目前竹材傳統利用技術沒落，有關竹林之培育技術、有機竹筍栽培技術、竹林擇伐經營模式、竹高密度燃料材(pellet)、竹材炭化技術等仍須持續研究，開發竹材利用之新技術及新方向。

5. 竹林伐採經營的減碳效應

目前台灣竹林面積估計約有20萬公頃以上，佔台灣人工造林面積半數，是具有經濟生產規模的可再生性資源。但近年來竹林的採伐量減少，這使竹林的生物多樣性及水土保持功能降低，適度伐採能使新生竹能有較好的生長空間，而竹林的二氧化碳吸存量，對於減碳的效果是值得重視的。

竹林過去規定擇伐3年生以上竹稈。目前為考量減低伐採成本，都採小面積帶狀間伐，由於未挖掘密密麻麻的地下莖，且竹林萌發更新快，對林地的傷害也不大。因此，適度砍伐竹林的減碳效果值得重視。

樹木行光合作用能吸收二氧化碳，並將碳素貯存在林木樹體上，國際上多以林木的現存量加以換算出其貯存量。一般林木幹、枝及葉各部位碳貯存量大多為45~48%，常接近50%，所以貯存量可視為現存量的一半。以台灣孟宗竹竹林的現存量推估，大概每公頃70~100噸，因此換算碳素貯存量則為每公頃35~50噸。碳吸存量的計算是以二氧化碳與碳分子量的比值換算而來，貯存量需再乘上44/12而得，因此每公頃能吸收128~183噸二氧化碳，所以孟宗竹林碳吸存效果極大。

目前日本竹林碳蓄積量之推估模式即以新生竹稈體積之增長量、擴大係數(包含枝及葉的增加)、碳素含有率、變換係數之乘積來表示，其計算公式如下：

CO_2 吸收量(kg- CO_2 / ha · 年) = 竹稈生長量 × 擴大係數 × 容積密度 × 碳素含有率 × 變換係數 × 1000。

- 竹稈生長量：一定期間的新生竹稈增長量 (m^3 / ha · 年)。
- 擴大係數：以稈增加量為基準，包含樹枝、葉等增長量之係數。
- 容積密度：單位體積之乾重 (t / m^3)。
- 碳素含有率：生物量乾重中碳素的含有比率。
- 變換係數：再由碳換算成二氧化碳之係數 (44 / 12)。

桂竹林的碳現存量不見得比其他造林樹種高，但由於竹林生長速度較一般林木快，桂竹現存量每公頃60噸乾重，輪伐期5年，每年可生長12噸。30年生台灣杉現存量每公頃270噸乾重，輪伐期30年，每年可生長9噸。桂竹伐採後會自行萌發生長，不須再花人工造林費用，換算下來竹林單位時間的現存量是明顯高於林木的。

近年來，臺灣竹林的伐採量顯著偏低，大多數竹林呈現荒廢的狀態，尤其是散生型竹林面積逐年擴大。桃園石門水庫集水區等地，有大面積的桂竹純林，不僅竹林的生物多樣性低，而且竹林邊坡崩塌防止機能也逐漸衰退。因此，竹林必須適度進行伐採利用，藉以保持竹林的高生產力，也使新生竹能有較佳的生長空間。竹林更新伐採利用相關的研究不多，但因竹林快速生長的特性，短時間內可累積比一般林木更多的生物量。若能與各界合作執行竹林的伐採更新作業、間伐面積認證等，並加強研發竹材利用的新途徑，不但能降低環境中的二氧化碳濃度，也能作為將來企業購買碳權之參考。

四、建議事項

1. 竹類標本園具有推廣教育的意義，未來需持續加強規劃竹林經營管理模式，並朝竹林公園模式建造，兼具遊憩及教育功能之竹林公園。
2. 需積極研擬適合本土性的竹林資源利用之產、官、學合作模式，以發展竹林資源循環利用最佳組合，有效達成竹子的經濟性利用。
3. 加強竹林整備及碳吸存之研究。目前臺灣竹林碳吸存之研究，僅為初步評估計算而已，但真正的竹林減碳效果應該再扣除碳釋放量或是二氧化碳釋放量後較準確，此一部份的發生量，可從測定竹林地土壤或地表有機物的呼吸作用發生量即可得知，未來應該積極進行竹林相關測定等研究。

五、照片



圖1. 日本竹文化振興協會每年推廣種竹活動



圖2. 日本竹文化振興協會渡邊政俊教授向小學生說明竹的生長特性



圖3. 日本京都洛西竹林公園竹庭園景觀



圖4. 洛西竹林公園外之竹穗垣(竹梢組成)步道



圖5. 竹材(切竹)為室外文化裝置藝術主角



圖6. 日本竹垣樣式極多(建仁式垣)



圖7. 日本有名的銀閣式竹垣(架在石牆之上)

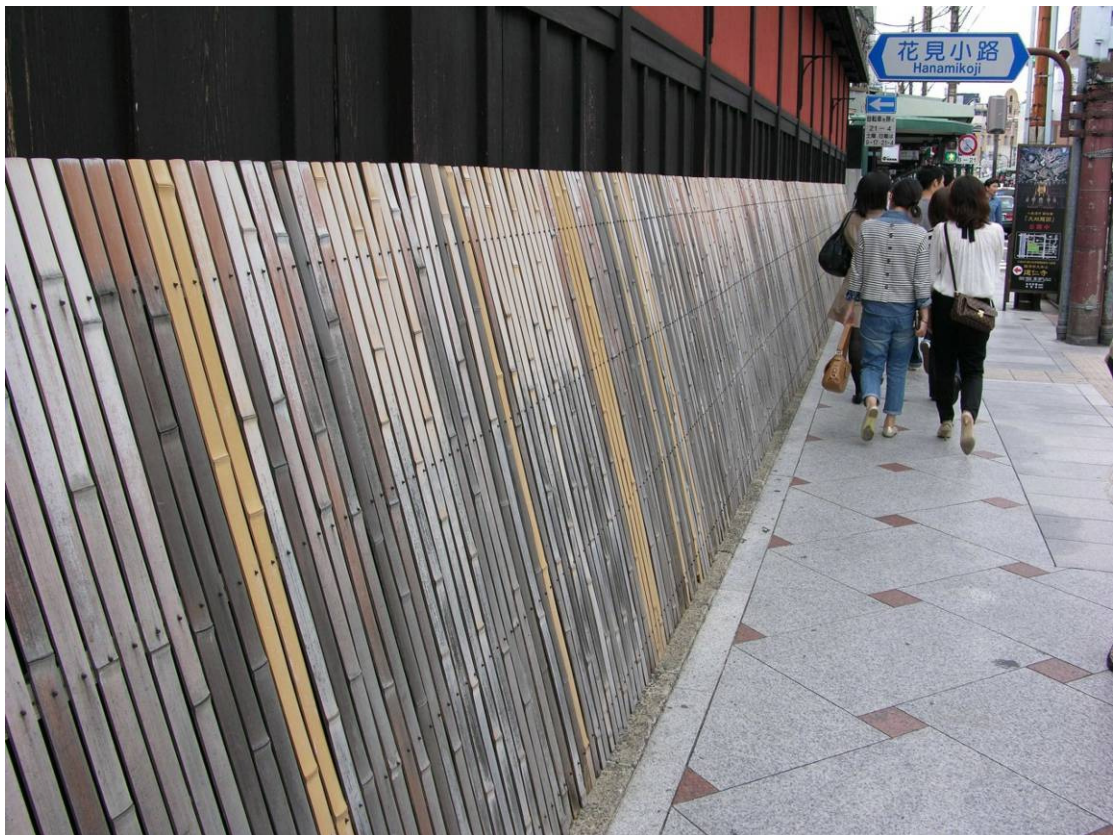


圖8. 京都市花見小路的竹垣景觀



圖9. 京都市先斗町竹垣的景觀



圖10. 金閣寺竹垣的景觀



圖11. 福岡八女竹業展示館中日本剛竹之竹編



圖12. 福岡八女竹業展示館之日本各種竹垣式樣