

溫濕度紀錄資料的運用與管理

沈建東

國立故宮博物院長期以來針對展場及庫房環境進行溫濕度的監測，保存維護單位、空調管理部門、文物典藏單位也進行多重複查的監測，故留下不少溫濕度紀錄資料，筆者自二〇〇三年以來，接續進行這項業務，從整理近十年以來的庫房及部分特展廳溫濕度紀錄過程中，認知這些紀錄並不只是利於存檔備查作為文物展存環境的背景資料，同時還可對展存環境及各種變因，即保存工作的歷史事件加以連結，引用為對環境管理模式作為參考與研析之用，如此可勾勒出這些「無字天書」具有別於尋常之意義。

前言

每個博物館因其展場環境及管理條件的差異，也因收藏品內容的不同，其庫房及展示廳，便有其認定的環境條件；投入的人力及設備，也因管理理念的認知及政策落實的程度，有著密切的關連。無論如何，環控的大前提，是有效進行溫濕度的記錄，如此才可能提供博物館展存管理的政

策考量。因此溫濕度紀錄是一切文物環控的基礎資料，換言之，施放溫濕度記錄器及記錄溫濕度變化數據，是文物保存最基礎及重要的方法，所以管理及運用這些溫濕度紀錄，是保存科學中重要的一環。這正是文物借展，要做環境評估時的展場設備報告 (Facility Report)，為何溫濕度總是作為評估的重點。

若因管理政策上的限制，所遭逢的困難度也不同，可能導致對文物展存條件之執行上也許有混亂的思維，致推動時寬嚴不一或滯礙難行。文物保存專家 Jane Reilly 在一場述及預防性保存觀念的建立與現代保存規範的演講上，回顧兩位保存界前輩如 Harold James Penderleith 及 Garry Thomson 所建立預防性保存的觀念之貢獻時指出，

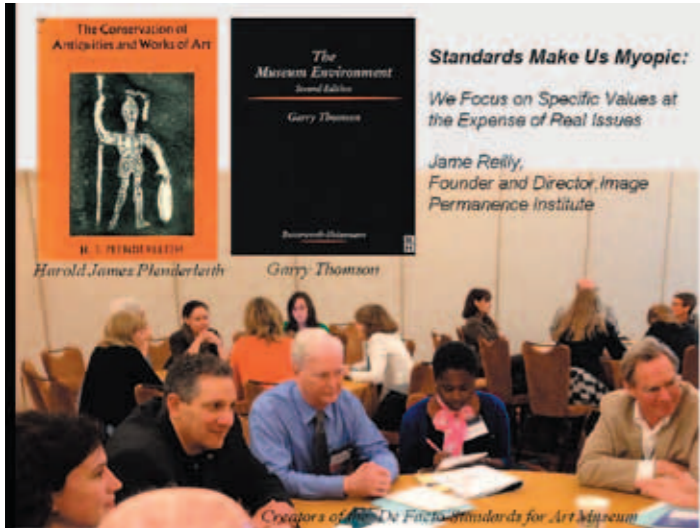
現在依循的溫濕度要求規範其實可能誤解 Garry Thomson 的想法，Jane Reilly 以為對「不同材質文物所要求的溫濕度規範中的正負容忍值，是過度簡單化的思維，其實真正維繫的因素是保存環境能否真實支撐這樣的規範，或者只流於書面或契約上的形式而已。」(註一)(圖一)因此要瞭解自身館藏管控的基本項目有三個面向，掌握這三個面向，才能評估溫濕度環控的方向及其局限。

第一是收藏內容的真實性，並瞭解造成材質劣化的可能原因及保存環

境的限制或風險為何。第二是監控並分析環境資料及溫濕度起伏狀況，需要瞭解建築結構及使用的空調性能、燈光及裝潢用材。第三是組成實際工作團隊及建立可行的環境標準。溫濕度的實際狀況包含著櫃內外的連結關係，即展示環境與展場或建築結構、空調系統都有密切的關連，所以 Reilly 氏強調分析環境資料一項，即顯示溫濕度變化的紀錄及瞭解展存環境真實面是環控作業最基礎的工作，也是制定展存規範標準的開始。

溫濕度紀錄資料的產生及其意義

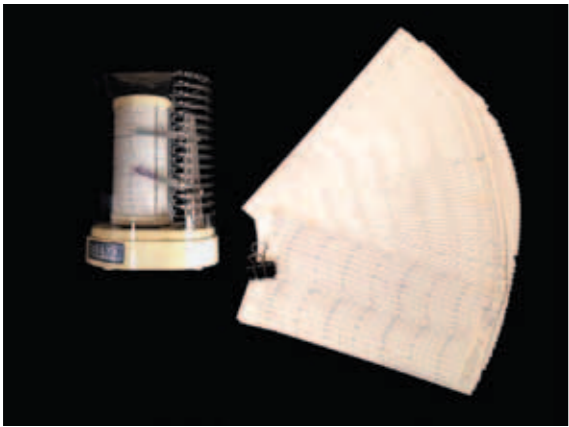
溫濕度的紀錄資料是指由溫濕度記錄器材所感應偵測，利用機械筆在捲紙上定時將數據劃出線條或以下載、傳輸後，經電腦軟體繪製後，將數據轉換成溫度與相對濕度的變化曲線圖。這些資料的產生隨著記錄器機型及下載取得方式，系統軟體的不同而型式規格、功能也不同，過去也與現在不同，未來也會改變。若是簡易式溫濕度顯示器，並無記錄功能，除非以人力定時定量的巡檢抄錄數據，經整理轉成線圖，才能成為紀錄資料，然其數據的連續性則不足；又即使有下載式記錄器，在封櫃狀態下無法隨時下載，待撤展開櫃後始可得到下載資料，故必須以巡檢作業輔之。(圖二)現今則以無線即時傳輸數據監控，不過也可能易流於眼見監視時之數據，而忽略夜間或前一段時間眼所未見的數據資料。由此可知，數據要轉成有效的圖形資料，成為易判讀的連續曲線，才不致遺漏其中數據的變化情形。記得有次向某機電單位要



圖一 2013年美國文物保存協會年會，由Jane Reilly (藍衣者) 演講針對過去保存理念的發展發表演講(右上方為講題)及分組座談。筆者攝影與製作



圖二 2007年「世界文明瑰寶展」展出期間的溫濕度巡檢數據記錄簿



圖四 毛髮式小型記錄器，每七日換紙一次。

雖然目前記錄器已捨棄傳統捲紙方式，改為機身變為小型輕巧，運用下載傳輸的記錄器 (Data logger)，軟體運用於作業中，更能加速整理解讀及傳輸管理上的便利。

以往的環境控制，限於空調規畫及電子技術尚未發達，保存觀念未為普遍，存在著客觀上的困難，對過去前輩始創艱辛經營，頗懷感念，就筆者片面所悉，加以略述。目前本單位可見早期使用的溫濕度記錄器是一九七八年產的日系毛髮式撥轉發條傳動的機型，可記錄一週的曲線變化資料，記錄紙一週更換一次，筆



圖三 溫濕度記錄器、偵測器定期進行準度校正。

溫濕度資料，所得到的是一本非常厚的下載數據，這便是沒有轉換成有效資訊的結果。

早期以機械式卷紙登錄資料的方式須有幾項必填寫的訊息，如記錄器所在地點，起迄時間、相關文物及記錄器編號，若是記錄這些訊息時覺覺性不夠，則資料可能空有線圖而無可考。筆者始接觸溫濕度業務之際，日誌曾記載著：

(二〇〇三年) 九月十日。星期三。接收一箱過去溫濕度紀錄紙卷 (ST100型約半年換紙一次) 共七十卷盒，其中六十三卷記有機型

號或地點，皆兩者缺一，或日期不連貫，或中間有空窗期者多矣，或有起日無迄日記載，七卷無任何紀錄可查。

卷盒上正確的記載當為：地點位置、機型編號、起迄日期、特展 (器物材質) 名稱，大事記，記載應不嫌繁多，惟有利後來有效、有系統之檔案管理與研究。若紀錄不詳，需從新追蹤整理，或恐皆成缺略無帳。

筆者當時已意識到溫濕度紀錄應有效的加以管理及作為相關議題之參攷研究，才能使過往的資料有用及顯現文物保存的意義。如以同款式記錄器而言，編號登錄的重要性是與其校正值相關，每台偏差及校正值不同，若無編號則可能判斷上會產生誤差。(圖三) 又過去地點採用展櫃門號，不料日後裝修改置，改採用室號及新櫃號，或櫃門已不見等，若無考證及無文物品名，則後人無法得知記錄地點。電腦化以後的無線偵測，在軟體製圖管理上是方便的，但歷史資料的分類、匯出與備份管理，仍是方興未

者手邊並無存紀錄資料，或只為實驗之用。普遍使用於展場環境偵測的是 Haenni 系統的記錄器，這一類型水筆式記錄器亦有兩階段的發展，如記錄紙經變速齒輪調整轉速，可改一天為七天或一週改為一個月兩類，動力亦有發條式及電池式兩類，因數量較多，於一九八〇至九〇年代主要使用於庫房及展場、特展或相關核畫工作室等。

Haenni 系統一個月記錄週期的機型也適合用於三個月の特展展場，每月更換一次記錄紙，這類機型延用至一九九九及二〇〇〇年時的特展，如馬王堆文物特展及蒙古草原文化特展。

櫃內可使用的記錄器體積不能過大，除 Haenni 系統外，過去曾採用瑞士 Kryptonik 生產 Agent HT1 小型溫濕度無顯示型記錄器，為當時已較精密及可下載資料的記錄器，缺點是無數據顯示及數年電池耗盡後，須送回國外原廠校正及更換。Agent HT1 會使用於 RPK (一九九七) · Art Sorb (二〇〇〇) 等脫氧劑、調濕劑的封袋實

艾的課題。總之，有了這些基礎的溫濕度紀錄，配合對文物材質特性的了解，始能開始著手進行合宜的環控管理。

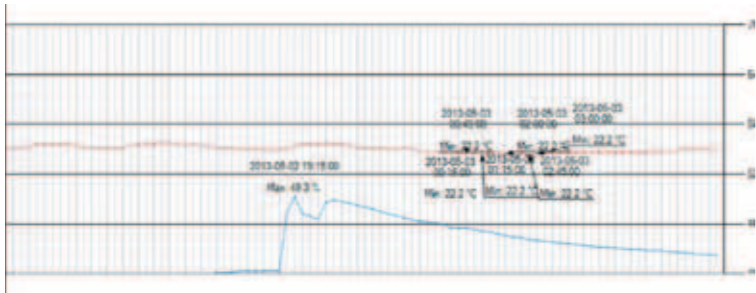
溫濕度管理的過去與現在

定時校正的溫濕度記錄器，可真實反應所在環境的溫濕度狀況，也是環控非常重要的環節，目前以每兩年進行分批校正。溫濕度線條越平穩，代表環境變化越小，櫃內通常比櫃外來得平穩；溫濕曲線擠壓程度和記錄紙轉速 (設定時間之記錄筆數相同時，記錄紙的轉速不同) 有關，傳統捲軸式的記錄紙如書畫手卷般 (或折頁式) 打開，理想上可記錄達半年資料，即一小時移半公分，可得到比較無擠壓感的曲線變化。軟體的下載資料，線條的起伏曲折或有時呈現擠壓感，則限於電腦螢幕大小所致，看來只能點選局部放大，才能清楚瞭解曲線變化是否逐漸的改變或急速變化，所以無法像傳統捲紙式一氣呵成展現詳細的變化狀態。然由於機件老化、生產線停產及紙張耗材的緣故，

驗、赴外展裝箱內的紀錄 (一九九八赴法展)，如青銅文物赴台灣史前博物館展櫃內監測 (二〇〇一) 或參與相關文物機構展示環境的測量任務，由於此型記錄器數量有限，除任務外，針對特定的文物如甲骨、象牙套球、毛公鼎、北魏鑿金佛等進行每年短期抽測或中長期監測。此外 Kryptonik 顯示型記錄器於二〇〇一年始用於甲骨櫃內的測試，甲骨櫃原是使用毛髮式小型記錄器，每七日換紙一次，目前可見保存紀錄資料為二〇〇一至二〇〇四年三月撤展為止。(圖四)

一九九五年起添購的 ST100 電子式捲紙複寫式記錄器，這一機型能提供記錄達六個月的資料，開始用於庫房及展場或展櫃內，取代 Haenni 系統的記錄器。由於更換記錄紙的時間相對減少，因而有利於減輕換紙負荷，也無水筆更換的問題，一直是精準可靠的工作夥伴。

新一款機型 ST505 於二〇〇三年構入，以逐步取代因老舊及停產問題的 ST100，此機型為折頁紙水筆式，使用人員若不留意裝紙技巧，易造成卡



圖六 2013年5月進行櫃內清潔，金銅佛獨立櫃開櫃時相對濕度（藍線）的變化及回復。



圖七 圖書文獻處滿蒙藏文庫房自2003至2013年，最近10年長期監測的捲紙式溫濕度資料。

工作，可於事先預報，以利於調濕的準備及監測的加強。（圖六）這類資料可能於發生的時間軸上不是太長，通常當日或數日便能恢復，理想上可依事件的分類加以歸檔，電子資訊也應包括發生時間及地點，如展場或櫃名物名為何、曲線變化情形、發生原因及處理回復等情形加以略記；往後在相似的情況發生時，可引為參考比對之用。

任務型的資訊：這類下載資料的時間軸較長，比如赴外借展三個月，隨著特定文物裝箱、佈展、展示、撤展、運回等過程，完成一趟伴隨文物監測所在環境的任務，如〈清明上河圖赴奧地利展溫濕度資料〉，其中資料提供了空運打盤過程溫度變化情形及展示空間溫濕度管理恰當與否等資料，以作為裝運箱強化保溫的依據及保存展示全程完整的溫濕度資

紙，另電池消耗較快及卡紙時水筆漏液之慮，因此策略上未加推廣使用。二〇〇三年以後的管理政策，除展場監測外，更增加櫃內小型記錄器，或簡易溫濕度顯示器數量，以利於強化巡檢記錄及真實反應櫃內溫濕度狀況，並參與策展佈展時，展櫃的微環境控制，透過多次的佈展調濕經

濕度偵測，更可從辦公室監測即時數據，及區段變化的資料，以利狀況的即時處理與資料的即時運用。（註三）展望未來，無線偵測系統的普及發展是必然的，溫濕度資料的取得已不是



圖五 本單位歷來使用溫濕度記錄器的演變過程

驗，而增加環控的技巧，並對各項展示裝潢材訂定除濕及檢測含水量的施作流程。

這些小型記錄器以Rotronic及Comet顯示型為主，可定時下載資料，另搭配簡易顯示器以利巡檢抄錄，數量會多達五十多處。所以這時期對展場展櫃位置的環境狀況已能充足掌握，爾後針對展場空調與展櫃內環境依漸近式管理及雙層保護概念下，進行微調，以取得櫃內溫濕度紀錄線形更趨平穩，以及增長調濕劑效能時間，減少開櫃頻率，並評估開放空間不利漸近原則的青銅展櫃，施用櫃下除濕設備，也可見成效。（註二）赴外展文物亦採隨箱隨物佈展的原則，以完整記錄文物所在環境的溫濕度資料，目前以Rotronic顯示型及非顯示型為主。（圖五）

早期為機型功能、數量所限，資料倍以艱辛而得；但就精準度的掌握及電源供應、長時段累積的下載資料電子檔案之管理與保存，當是強化及探討的使力點。所以早期至現在的發展，溫濕度管理是從「了解環境、處理問題」進而轉成「設計環境、預防問題」的過程。

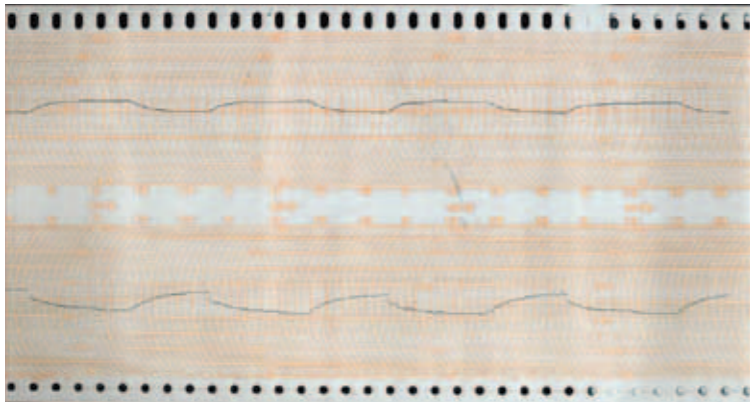
溫濕度紀錄所反應的訊息類別

無論是上述那類型記錄器的紀錄，都是環境資料的真實呈現，溫濕度紀錄資料的類型以功能區分，分為三類，可對文物所在的环境提供研析與判斷。

短期及突發狀況的資訊：這類資料大致來自巡檢回報或無線網路監測時所發現溫濕度有異常狀態，此類段的溫濕度變化曲線應以檔案方式列管，並記錄時間、發生狀態及原因，這類短期或突發狀態的發生，如展場溫濕度的驟升、驟降，可能是空調工程維修，有時定期櫃內清潔工作開櫃清理維護或提件，也會造成相對濕度的變化，這些櫃內的例行性或臨時性

料。（註四）館內三個月的特展，依合約所要求的櫃內微環境溫濕度紀錄，及調濕成效的監測也是屬任務型的資訊，這些資訊待整理後也成為履行合約的依據。另展前櫃內調濕作業時所記錄的調濕階段變化的資料，也是控管展場施作進度及達成調濕成效的依據。比如展前一至二星期對裝潢材料進行除濕作業及回復要求的溫濕度範圍之過程，或櫃內階段式的調降等。另外還包括實驗性質之紀錄，及針對有機材質之燈光照明因日開夜閉造成溫濕度變化的測量。

長期監控的資訊：這類資訊提供一較長時段文物較少變動的環境資料，如庫房（圖七）、常設展場櫃內外需長期定點監測的地方，長時段的資料可提供整個展場溫濕度月份年份的總體變化情況，藉以瞭解展場環境的特性、展櫃與展場漸近模式及雙層保護的成效。另外能對空調機能及建築結構提供體檢的參考數據，如換氣時的溫濕度變化、歷來颱風季濕度有無影響、冬夏季節性的溫度影響、日照牆面產生溫度效應的區域等訊息，藉此長時段的監測資料，可以作為修

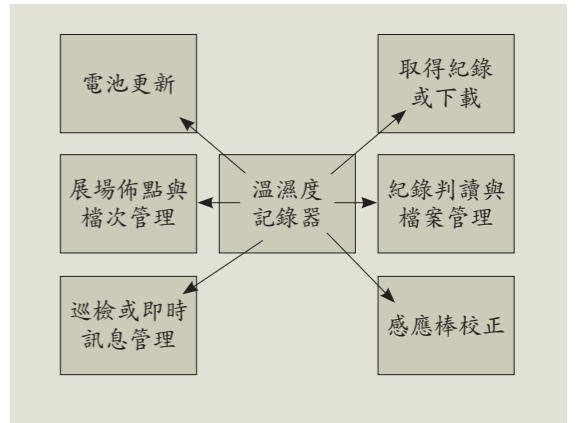


圖十 除濕機組夜間斷電熄燈後舊展櫃受溫度效應及展場較高相對濕度的影響，相對濕度曲線產生規律且較明顯的波動。記錄機型ST100，編號4L1149，地點304，2005年5月16日至2005年5月19日上溫度下相對濕度。

內除濕設備方才運作，可降至百分之五十以下，由記錄紙可明顯看到濕度規律的起伏。於是增加櫃門的密封壓條以減少櫃外濕度的影響，後續再改採不斷電方式運作。這樣的經驗，讓筆者最初體驗青銅文物與展櫃密合方式及空調之間的相互影響關係，順著新陳列室的改建，逐步形成以展場環控漸近及雙層保護的原則維持金屬文物的適合環境。

溫濕度紀錄運用及管理的實例
溫濕度控制是一種管理學，除了估算全部展廳展櫃所要偵測的地點及記錄器的數量以因應常設展、特展及赴外展用量，還包括機器送校時的替代及電池的補充，狀況處理的項目，繁瑣不待贅言（圖八），然而長期以

正改善硬體的依據。青銅櫃的調濕作業也是依照相對濕度的逐漸增加而規畫開櫃調降，從長時段的曲線圖可得到相隔兩次調降作業間的濕度變化模式，其與展場展櫃性質、調濕劑用量及空調設定有密切的關連。



圖八 施放與使用記錄器所衍生出相關的管理範疇



圖九 2005至2006年建置中的大佛區新陳列處

往的資訊必須篩選歸類於相關文物、回歸各種環控議題，才能發揮參酌的功能，而不使這些資訊成爲死去的資料。首先考慮的是與所在文物的結合，以明瞭環境的變化與文物維護成效的相關性。

以大型青銅鑲金佛爲例，在舊館鑲金佛陳列室歷經搬遷至新展區的過程中，環控維護經過了不少變動及改善的過程。（圖九）從溫濕度紀錄來看，舊展區受到外在環境溫濕度的影響極大，下雨時影響甚劇，故加裝櫃內除濕機以維持櫃內的相對濕度要求，資料顯示二〇〇四年八月艾利颱風

風來襲時，展廳於八月中下旬濕度即突增，夜間斷電後，濕度飆高，以二十一日至二十五日爲最劇烈，展場影響甚深，櫃內的除濕效果多少受到影響。

二〇〇六年搬遷新展區，增加除濕設備數量以因應環境的變化。同年的紀錄顯示，因展區的空間變大及新材料及展場的不穩定，使除濕的效果未如預期佳，相對濕度在百分之五十五上下波動，該年八月相對濕度已不超過百分之五十，由此顯示該新環境的環控應經歷數月甚至半年才算平穩運作，目前皆維持在百分之四十五。這些寶貴的經驗都詳實記錄在長期紀錄資料中，也提供我們對展場特性及文物搬遷新展場的過程、展區狀況穩定過程溫濕環境的改變，得以記取經驗。

再以二〇〇五年舊館青銅櫃加強櫃體密合作業爲例（圖十），展場夜間停止插座供電，加上空調系統的不穩定，有段時期使舊櫃內濕度於晚間逐漸攀升，最高可達百分之五十五左右，至隔日上因八時後恢復供電，櫃

再就〈毛公鼎〉獨立櫃展示環控的沿革來看，一九九八年以Agilent HT1-A型記錄器進行偵測的資料顯示，當年入冬展櫃溫度在攝氏十九至二十三度之間變化，相對濕度在百分之四十五至五十四之間起伏，如今同一時段，相對濕度爲持在百分之四十三至四十五，曲線起伏較爲平穩，透過資料可了解，展品移入新陳列廳採用展櫃與開放空間切開隔離後的調控成效，這些歷史資料的確帶給我們對文物長期展示環境變遷的瞭解及對環控政策的評估與改進。

結語

溫濕度的歷史紀錄反應著文物所在真實環境及其環控作業的過程，如果與文物及展存環境脫離，或記錄時資訊不全，則是無用的資料。隨著科學技術的日新月異，溫濕度的測量工具，也隨之發展，提供記錄器材小型化及下載方便的管理模式，過去的環控工作也由「認識環境，處理問題」逐步走上「設計環境，預防問題」的佳境；新進同仁目前所使用的記錄設

備，皆已是能夠下載資料及運用無線網路系統，對於過去的發展，多半不知曉，筆者特此略爲整理過去工作經驗，藉此提供新進同仁對過去的運作與經營有所認知。新技術的發展，勢將改變工作人員的運作思維，如何更有效的管理溫濕度紀錄及運用這類過往的資料，又新式的電子數據與資料如何保存？博物館環控的布局與管理如何更有效率的推動等，都是需要時時思索及關切的課題。

作者任職於本院登錄保存處

註釋

1. Jame Reilly, Standards Make Us Myopic: We Focus on Specific Values of the Expense or Real Issues, 2013 AIC Annual Meeting.
2. 沈建東，〈文物展櫃內外濕度控制的理想模式〉，《故宮文物月刊》第三二二期，二〇一〇年一月，頁二一三。
3. 岩素芳、張琳等，〈博物館溫濕度U化的優質管理〉，《故宮文物月刊》第三二二期，二〇一〇年一月，頁一八一。
4. 沈建東，〈文物赴外展的預防保存策略與作業〉，《文化資產保存學刊》二〇一一年第一七期，頁九二—一〇〇。