

由舊香蘭遺址玻璃質遺留的原料及 工藝談玻璃珠的交換

王冠文^{**}、李坤修^{***}、陳光祖^{****}、
飯塚義之^{*****}、Caroline Jackson^{*****}

摘 要

舊香蘭（約西元前三世紀至西元八世紀）位於臺灣東南部太麻里溪出海口，自 2003 年底展開的搶救發掘發現上千顆玻璃珠以及與玻璃珠製造相關的廢料，顯示臺灣可能在當時已有製造玻璃珠的技術。本研究使用掃描電子顯微鏡分析 44 件舊香蘭遺址的玻璃珠及玻璃廢料，發現此次分析的玻璃珠與廢料的化學成份與微結構並不完全相符，目前能支持這批玻璃珠在舊香蘭在地製造的可能性較低，且化學成份分析確認其玻璃珠（料）的交換應與環南海地區有關。除此之外，科學分析的結果也透露這批珠子的原料與加工程序的訊息，發現紅、橘色玻璃雖然都使用氧化亞銅為著色劑，銅的原料來源可能不盡相同，而橘色與黃色玻璃的微結構分析顯示其原料或加工程序與其他遺址存在差異，這些訊息顯示舊香蘭的玻璃珠再交換至其他遺址的現象並不明顯。

關鍵詞：玻璃，鐵器時代，舊香蘭，掃描電子顯微鏡，化學成份

* 通訊作者：王冠文 kwnwang@asihp.net
** 中央研究院歷史語言研究所
*** 國立臺灣史前博物館
**** 中央研究院歷史語言研究所
***** 中央研究院地球科學研究所
***** 英國雪菲爾大學考古系

The Exchange of Glass Beads Reflected by the Raw Materials and Craft of Glass Remains at Jiuxianglan

Kuan-Wen Wang^{* **}, Kun-Hsiu Lee^{***}, Kwang-Tzuu Chen^{****},
Yoshiyuki Iizuka^{*****}, Caroline Jackson^{*****}

ABSTRACT

Thousands of glass beads and beadmaking waste have been unearthed in the rescue excavation of Jiuxianglan (ca. 3rd century BC – 8th century AD), located on the alluvial fan of the Taimali Stream in southeastern Taiwan, since the end of 2003, suggesting that beadmaking may have been taken place in the early Iron Age in Taiwan. Forty-four glass artefacts from Jiuxianglan were analysed in this study, including beads and waste. The results indicate that there is not a complete match of the chemical composition and the microstructure between the finished beads and waste; therefore local production of beads analysed here is not supported by the evidence at this site and the finished glass beads may have been imported from the South China Sea region. Scientific analysis also revealed information on raw materials and the colouring process. While the red and orange glass beads are both coloured by cuprite, the source of the copper-containing raw materials appears to vary. The microstructure of orange and yellow glass beads from Jiuxianglan are also different from beads from other sites, suggesting different colouring raw materials or colouring processes. This information indicates that it was less likely that glass beads from Jiuxianglan were intensively re-exchanged to other sites.

Keywords: glass, Iron Age, Jiuxianglan, scanning electron microscope, chemical composition

* Corresponding author: Kuan-Wen Wang kwnwang@asihp.net
** Institute of History and Philology, Academia Sinica, Taiwan
*** National Museum of Prehistory, Taiwan
**** Institute of History and Philology, Academia Sinica, Taiwan
***** Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan
***** Department of Archaeology, University of Sheffield, UK

研究背景

（一）科學分析於環南海地區玻璃質遺物之應用

過去幾十年來，科學分析應用於考古出土玻璃文物的研究越來越多，早期的研究集中於西亞、埃及與歐洲的玻璃文物，這些分析時常環繞幾個中心議題，包括文物反映的生產資訊（如：Heck et al. 2003; Jackson 2005a; Rehren and Pusch 2005）、原料來源（如：Degryse and Schneider 2008; Freestone et al. 2003）、成品或半成品的交易與流通（如：Jackson 2005b; Mirti et al. 2008; Walton et al. 2009）等，大致的原則，是透過化學成份的異同，利用主、次要成份的濃度判斷原料配方，利用微量元素濃度／比值或同位素比值探討原料的地質來源，再綜合這些分析結果，討論玻璃原料、成品或半成品的流通及交換現象。近十年來，古代玻璃的科學分析逐漸廣泛出現在東亞和東南亞考古學的研究（如：Carter et al. 2017; Dussubieux 2009; Dussubieux et al. 2010; Dussubieux and Allen 2014; Lankton and Dussubieux 2013），在東南亞區域，主要是使用雷射剝蝕感應耦合電漿質譜儀（Laser Ablation – Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer, LA-ICP-MS）對玻璃文物進行無損化學分析，目前的研究成果，讓我們得以透過化學成份了解，在環南海區域史前的玻璃生產及交換，隨著時代的不同，與南亞、西亞及中國南方都有互動（相關回顧請見 Carter 2016; Wang and Jackson 2014）。然而，目前東南亞的玻璃研究，仍著重於使用 LA-ICP-MS 取得化學整體成份（bulk composition），尚未出現使用如掃描電子顯微鏡等技術進行微區分析之研究。

臺灣考古學過去也曾有過使用科學方法分析玻璃文物的例子，例如：透過掃描電子顯微鏡搭配能量色散 X 光光譜儀（Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive Spectrometer, SEM-EDS）探討淇武蘭遺址上文化層含金屬箔玻璃珠的製作技術（鄭玠甫等 2008），使用雷射剝蝕感應耦合電漿原子放射光譜儀（Laser Ablation – Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectrometer, LA-ICP-AES）分析鹿寮、古笨港及西寮遺址的玻璃珠（崔劍鋒等 2008），以及使用 SEM-EDS 分析臺灣東部支亞干（萬榮、平林）、卑南、舊香蘭、多良等遺址的玻璃珠（楊小青、李坤修 2016）。這些研究相當程度顯示了科學分析方法在臺灣考古學的研究逐漸受到重視，可惜的是未能由玻璃原料配方及工藝的角度，進一步深入探討這些化學成份及微結構資訊背後，關於物品流動及交換的資訊，較早的研究可能也受限於當時研究資訊的缺乏，而未能與環南海地區的玻璃研究進行比較。因此，本文嘗試以舊香蘭遺址出土的玻璃遺物為例，深入分

析這些玻璃遺物的化學成份及微結構資訊，將這些資訊置入環南海交易圈的脈絡下，討論其反映的玻璃生產及交換等互動資訊，同時也與臺灣鐵器時代遺址的玻璃珠進行比較。本研究使用 SEM-EDS 及 EPMA (Electron probe microanalyser) 分析所得到的資訊，也是目前環南海地區第一筆系統性分析、討論玻璃質遺留的微結構及微區成份的資料。

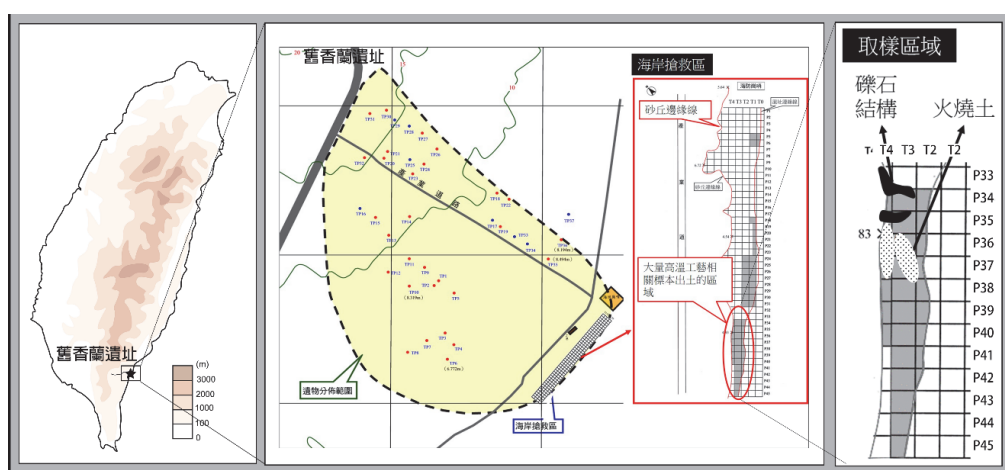
必須先說明的是，在古代玻璃的研究，玻璃生產可以分成二個階段：屬於初級生產的「玻璃製造」(glassmaking 或 primary production) 及屬於二次生產的「玻璃加工」(glassworking 或 secondary production)。玻璃製造包括原料的採集、原料的處理以及將原料(或預燒的玻砂(frit))熔融製成玻璃的階段。在某些情況下，玻璃的著色也會在第一階段的玻璃製造進行；第一階段的產物，可能在原作坊直接再進行玻璃加工，也可能以玻璃塊(glass chunk)、玻璃錠(glass ingot)或玻璃條(glass rod)的形式，被運往其他地區的作坊進行第二階段的玻璃加工。在玻璃加工的階段，玻璃料被再製成器皿、珠飾、手環等物品，這些物品之後會再經由區域間的交換等活動，分佈至不同地方；玻璃珠製造可被視為玻璃加工的一環，但在古代玻璃的討論範疇，一般會特別以「玻璃珠製造(glass beadmaking)」稱之。為避免混淆，文中使用「玻璃製造(glassmaking)」一詞皆指稱初級生產，使用「玻璃加工(glassworking)」一詞皆為第二階段的次級生產，使用「生產(production)」一詞則泛指玻璃製造與玻璃加工兩階段；提及「玻璃珠製造」則特別指稱玻璃珠工藝，以與玻璃器皿加工等生產過程做出區別；提及各顏色玻璃的上色，則特以「著色(colouring)」稱之，因為該過程可能在初級生產或次級生產進行。

(二) 舊香蘭遺址的玻璃遺物及研究目的

舊香蘭遺址(約西元前三世紀至西元八世紀)位於臺東縣太麻里溪出海口(圖一)，2003 年 9 月因杜鵑颱風過境，侵蝕了遺址東側的海岸沙丘，使得遺址暴露了約 4000 平方公尺的面積，因此於 2004 至 2007 年期間展開搶救發掘(李坤修 2005a, 2007)。海岸區搶救發掘區共發掘約 600 平方公尺的面積，其中，玻璃質標本是此次搶救發掘的重要發現之一，除了出土於墓葬，也大量出土於文化層，並且出土自文化層的玻璃珠數量遠大於出土自墓葬的數量。

在第一期發掘出土的玻璃質標本中，包含了約 2800 件的玻璃珠成品(約 1600 件)、碎片(約 1200 件)以及數百件與玻璃珠製造相關的廢料(總重量約 30g)；除了 2 件多

色珠之外，絕大部分的玻璃珠皆為單色珠，包括紅、橘、黃、綠、藍、黑等顏色。大部分的玻璃質標本出土自海岸搶救區 T3P34 至 T3P45 之間的探坑（圖一），這個區域同時也出土了其他高溫工藝的遺留（例如：金屬渣、砂岩質模具等），且發現了大面積的火燒土以及繁複的礫石結構，因此這個區域被認為可能是當時高溫工藝作坊所在（李坤修 2005a, 2005b, 2010）。考古學家大多認為這些玻璃珠製造廢料（如：玻璃條、玻璃塊）以及大量的玻璃珠成品、碎片的出現，顯示舊香蘭可能是當時玻璃珠製造的中心，同時，考古學家也認為舊香蘭可能曾是交易這些高溫工藝品的重要據點之一。



圖一 舊香蘭遺址位置、海岸搶救區以及此研究取樣區域示意圖

這些玻璃珠的形制與環南海一帶常見的「印度太平洋珠(Indo-Pacific beads)」相似；而同樣出土自舊香蘭的砂岩質模具（用於金屬工藝），其形制也與東南亞的模具相似（Hung and Bellwood 2010; Hung and Chao 2016）；雖然之前的研究顯示舊香蘭砂岩質模具的原料可能採集自臺灣（楊小青等 2012），這些形制相似的出土遺物使得學者認為舊香蘭高溫工藝（包括玻璃與金屬）的發展可能與東南亞有關（Hung and Bellwood 2010; Hung and Chao 2016）。然而，僅由這些玻璃珠或玻璃廢料單一的外觀，難以真正確認舊香蘭的玻璃珠或玻璃生產與環南海一帶是否真的相似，因此，本研究嘗試透過科學分析了解舊香蘭出土的玻璃珠與環南海一帶玻璃珠的相似度，由玻璃原料及工藝的角度探討舊香蘭的玻璃珠與東南亞或臺灣其他地區交換的可能現象。

研究方法

本文研究方法分成 3 個階段進行：

(1) 先針對第一期發掘的所有玻璃質樣本進行肉眼觀測及紀錄。

(2) 根據第一階段的觀察結果及樣本出土位置，選擇部分樣本做後續的科學分析。此階段選樣有三大原則：一是取樣涵蓋出土玻璃珠各種顏色類型，二是取樣考慮玻璃珠樣本出土脈絡、以及與製作廢料的共伴關係，細節敘述於下。

(3) 科學分析分為二個部分— (a) 使用實體顯微鏡觀察表面製作痕；(b) 使用 SEM-EDS 及 EPMA 進行化學及微結構分析。

(一) 選樣策略

舊香蘭出土的玻璃珠外觀一致性頗高，為典型的「印度太平洋珠」，主要的差異在於顏色不同。由於 SEM-EDS 及 EPMA 分析較為耗時，本研究僅先選擇 44 件玻璃質標本做深入分析，其中包含 36 件玻璃珠以及 8 件玻璃廢料（表一），所有樣本皆取自疑似高溫工藝活動的區域。36 件玻璃珠樣本涵蓋紅、橘、黃、綠、藍等顏色，且皆為舊香蘭最常見的印度太平洋珠，其中 22 件（JXL01-JXL22）來自同一坑位之不同層位（T3P35），該坑座落於可能與高溫工藝有關的礫石結構旁邊；另有 5 件玻璃珠樣本取自 T3P37、T3P38 及 T3P39 坑，目的在於與同一坑位或鄰近坑位的玻璃廢料做比對，玻璃廢料則來自 T3P38、T3P39 及 T2P39，此三坑皆為廢料集中出土區，而 T3P35 鄰近之礫石結構附近並無廢料出土；此外，為了增加樣本數，另選取 8 件地表採集的玻璃珠標本，1 件來自墓葬的標本。

第一階段的肉眼觀察，發現舊香蘭玻璃廢料的總標本數並不多，且許多為細小的碎片，難以判定與玻璃珠工藝之相關性，選樣上，我們盡量避免此類細碎標本，而選擇明確與玻璃珠工藝有關之標本。考慮到本研究分析的樣本數量可能較少，我們亦將這 44 件樣本的外觀分析結果重複與第一階段的肉眼觀察紀錄做比對，以便與其他玻璃質樣本做比較討論，然而，仍必須提醒，這當中可能也有選樣的偏差所造成之誤差因素。

(二) 科學分析

我們使用實體顯微鏡詳細觀察 36 件玻璃珠樣本及 8 件玻璃廢料的外觀，根據樣本

表 1 分析樣本清單

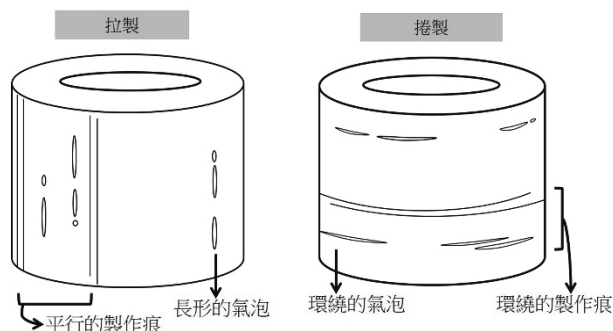
樣本 編號	遺物 類型	出土位置	長度 (mm)	直徑 (mm)	顏色	透明度	玻璃珠製 造方法
JXL01	珠子	T3P35-SE L3	2.80	4.45	紅	不透明	拉製
JXL02	珠子	T3P35-SW L4	2.75	4.21	紅	不透明	拉製
JXL03	珠子	T3P35-NW L5	3.78	4.94	黃	不透明	拉製
JXL04	珠子	T3P35-SW L5	3.32	5.96	淺藍	不透明	拉製
JXL05	珠子	T3P35-NW L6	2.38	4.64	黃	不透明	拉製
JXL06	珠子	T3P35-SW L6	n/a	n/a	淺藍	不透明	無法判定
JXL07	珠子	T3P35-SW L6	3.52	4.03	黃	不透明	拉製
JXL08	珠子	T3P35-NW L7	3.32	6.56	綠	不透明	拉製
JXL09	珠子	T3P35-SW L7	3.61	5.84	綠	不透明	拉製
JXL10	珠子	T3P35-NW L8	4.96	5.12	紅	不透明	拉製
JXL11	珠子	T3P35-NW L8	4.19	6.65	綠	不透明	拉製
JXL12	珠子	T3P35-NW L9	2.62	4.37	黃	不透明	拉製
JXL13	珠子	T3P35-NW L9	4.74	4.64	綠	不透明	拉製
JXL14	珠子	T3P35-NW L9	3.35	4.53	綠	不透明	拉製
JXL15	珠子	T3P35-NW L9	3.50	4.80	黃	不透明	拉製
JXL16	珠子	T3P35-SE L12	4.05	3.73	淺藍	不透明	拉製
JXL17	珠子	T3P35-SE L13	3.62	4.67	淺藍	不透明	拉製
JXL18	珠子	T3P35-SE L13	4.91	3.35	淺藍	不透明	拉製
JXL19	珠子	T3P35-SE L13	3.42	4.21	黃	不透明	拉製
JXL20	珠子	T3P35-SE L13	2.15	3.43	黃	不透明	拉製
JXL21	珠子	T3P35-NW L15	3.32	3.90	淺藍	不透明	拉製
JXL22	珠子	T3P35-SW L15	3.85	4.44	紅	不透明	拉製
JXL23	珠子	T3P37-NW L14	3.48	4.42	綠	不透明	拉製
JXL24	珠子	T3P38-NW L6	4.06	5.26	橘	不透明	拉製
JXL25	珠子	T3P38-NE L6	5.20	5.49	橘	不透明	拉製
JXL26	珠子	T3P38-NW L6	3.39	n/a	綠	不透明	捲製?

樣本 編號	遺物 類型	出土位置	長度 (mm)	直徑 (mm)	顏色	透明度	玻璃珠製 造方法
JXL27	珠子	T3P39-SW L3	2.40	2.63	橘	不透明	拉製
JXL28	珠子	surface	4.23	7.74	淺藍	不透明	拉製
JXL29	珠子	surface	3.62	5.94	淺藍	不透明	無法判定
JXL30	珠子	surface	4.18	5.19	綠	不透明	拉製
JXL31	珠子	surface	3.72	4.85	綠	不透明	拉製
JXL32	珠子	surface	4.75	4.52	黃	不透明	拉製
JXL33	珠子	surface	4.12	4.88	黃	不透明	拉製
JXL34	珠子	surface	5.39	4.89	紅	不透明	拉製
JXL35	珠子	surface	3.21	5.19	紅	不透明	拉製
JXL38	珠子	B2	3.83	n/a	黃	不透明	拉製
JXL39	廢料	T3P38-SE L4	n/a	n/a	淺藍	半透明	n/a
JXL41	廢料	T3P38-SE L5	n/a	n/a	水藍	半透明	n/a
JXL43	廢料	T3P39-SE L4	n/a	n/a	深藍	不透明	n/a
JXL44	廢料	T3P39-SW L4	n/a	n/a	淺藍	透明	n/a
JXL46	廢料	T2P39-NW L5	n/a	n/a	淺藍	不透明	n/a
JXL47	廢料	T3P39-SE L5	n/a	n/a	紅	不透明	n/a
JXL48	廢料	T2P39-NW L7	n/a	n/a	黃	不透明	n/a
JXL49	廢料	T2P39-NW L8	n/a	n/a	水藍	半透明	n/a

表面的製作痕或氣泡特徵判斷製作方式。拉製法製作的珠子，表面容易留下平行於穿孔的製作痕及氣泡（圖二），捲製法製成的珠子，表面所留下的製作痕或氣泡傾向於環繞穿孔。但是由於有些珠子在製作完成後，工匠會再進行研磨或拋光，玻璃珠表面的製作痕跡可能被抹去，使得玻璃珠製造方式的判定較為困難。

本文採用 SEM-EDS 分析玻璃質遺留樣品的微結構及微區成分，並以 EPMA 定量分析玻璃基質（glass matrix）成分。SEM-EDS 以及 EPMA 分析皆在中央研究院地球科學研究所進行。所有樣本（玻璃珠皆為碎片）在切割後，鑲埋於環氧樹脂中，使用鑽石液研磨、拋光至 1 μ m。SEM-EDS（JEOL JSM-7100F, Oxford EDS）的加速電壓為 15kV，電流為 0.1nA，工作距離（working distance）為 10mm。EPMA（JEOL JXA-8500F）的

分析條件為：加速電壓 12kV、電流 6nA、電子束直徑 5 μm ，並使用散焦電子束（defocused beam）。此次化學分析的精確度與準確度使用標準樣本 Corning Glass A, B, C and D 進行檢測，詳細討論請見 Wang et al. (2018)。



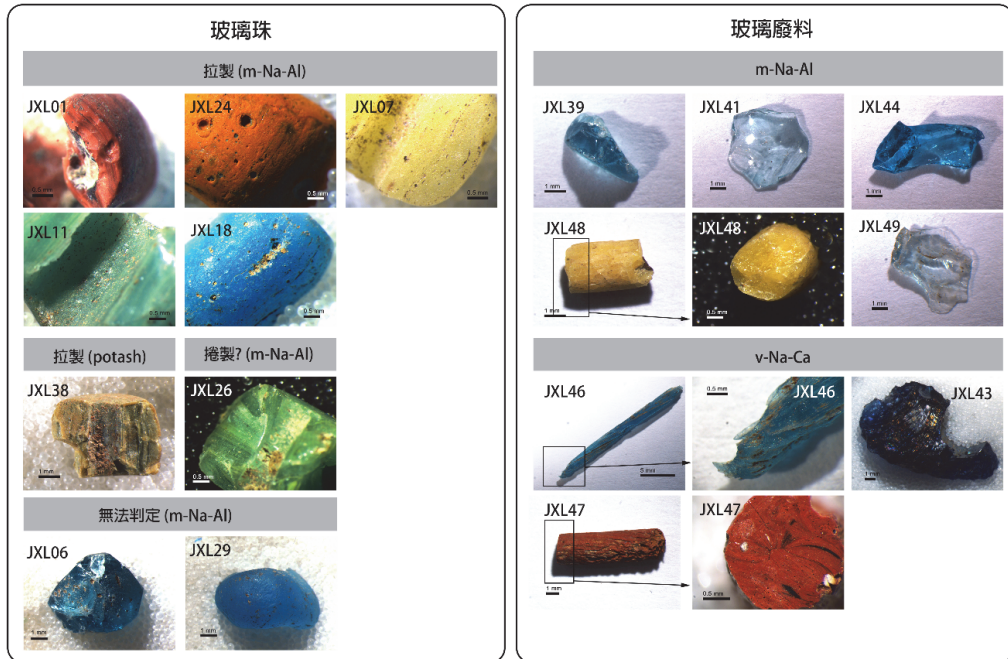
圖二 拉製法與捲製法的玻璃珠製造紋路示意圖

分析結果

微結構分析發現矽酸鹽的「礦物殘留晶體」及「新生成的晶體」並存，為免混淆，下文涉及「礦物『殘留』」一詞，皆指玻璃原料中未熔融完全而留下的物質，此類物質容易出現因為半熔融狀態而產生的融合邊界（fused boundary）；使用「結晶」一詞，則泛指在玻璃製造（glassmaking）或著色（colouring）過程，由於原料間的化學作用自玻璃基質中析出的新生成結晶物質。¹ 從主要及微量化學成份討論玻璃樣品的分析結果，另見 Wang et al. (2018) 一文，本文延伸該文分析結果，首次發表微結構及微區成份，由工藝原料的角度討論玻璃珠交換。本研究亦是環南海地區此類玻璃成份第一批 SEM-EDS 系統性的微結構分析結果。

（一）玻璃珠與玻璃廢料（glass waste）的外觀

本文分析的 36 件玻璃珠樣本中，有 33 件明確使用拉製法製成，珠子的表面或橫載面可以明顯地觀察到與穿孔平行的痕跡；只有 1 件（JXL26）可能是捲製，另有 2 件樣本無法從外觀判定玻璃珠製造方式（表一、圖三）。以肉眼檢視其他未分析的玻璃珠樣本，多數珠子表面也隱約可見平行的拉製紋，顯示舊香蘭遺址出土的玻璃珠樣本，絕



圖三 舊香蘭玻璃珠與玻璃廢料的外觀觀察結果

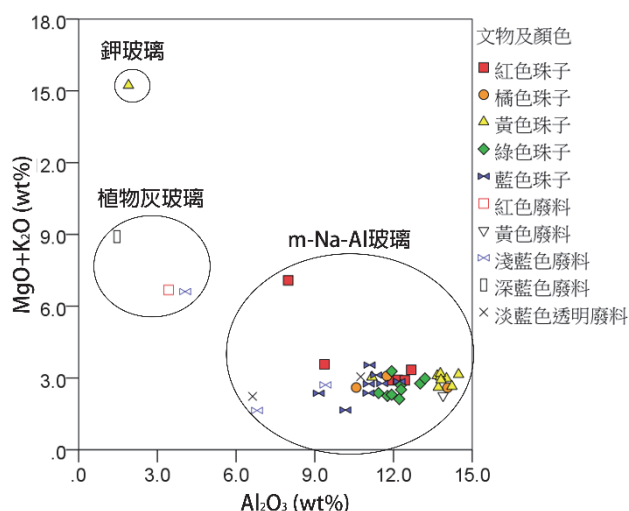
大部分是拉製珠，這個現象符合印度太平洋珠為拉製珠的特色。

相對於此，本文分析的玻璃廢料並未顯示拉製珠的製造技術，舊香蘭遺址出土的捲製珠數量有限，本文觀察分析，僅有一件 (JXL26) 可能是捲製；這些廢料並無任何管狀的殘留，也與 Peter Francis (2002: 21-23) 及 Kanungo (2016) 在南亞所見的拉製工藝殘留廢料外觀不相符 (見第 4 節討論)，特別是拉製珠工藝應出現的「空心玻璃管」遺留，目前在舊香蘭並無任何發現。由圖三可以明顯看出 JXL47 與 JXL48 皆為實心玻璃條，而 JXL46 實心玻璃條的尾端則可能是捲製法的珠子在最後成形時所遺留的痕跡；另外考慮舊香蘭出土的一件附著在鐵棒上的玻璃廢料 (李坤修 2005b)，這件廢料呈現玻璃珠環繞在鐵棒前端的現象；因此，綜合考量這些證據，推測舊香蘭的玻璃珠工藝技術可能主要是捲製法。根據拉製珠技法的民族誌及考古研究 (Francis 2002: 28; Kanungo 2016, 見 4.2 討論)，目前舊香蘭出土的現象及廢料外觀沒有證據確認拉製法的存在，因此，關於拉製法在舊香蘭發展的可能性，未來或許需要進一步的分析，才能得到較確切的結論。另外，值得注意的是，舊香蘭是否存在拉製珠技術，以及其生產的玻璃珠是否也在本遺址出土，則有賴未來更豐富的製作廢料出土及研究、對出土

玻璃珠全面細緻的觀察，以及廢料和玻璃珠成份的比對，這可能是下一階段的研究必須特別關注的議題。

（二）微結構與化學成份

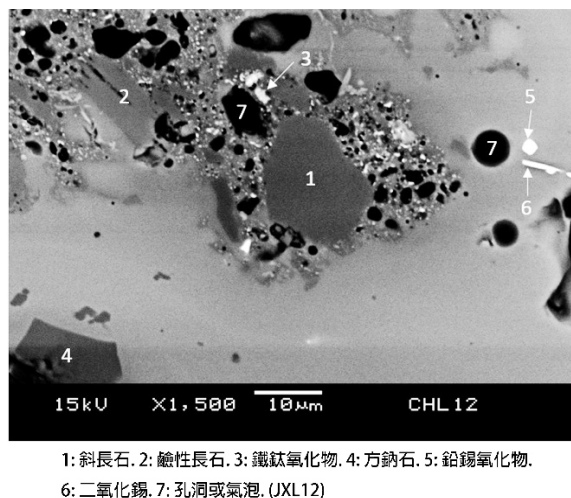
化學分析的結果（附錄一）顯示這次分析的樣本主要有三個化學組別：(1) m-Na-Al 玻璃、(2) v-Na-Ca 玻璃、(3) 鉀玻璃（potash glass），此三種組別所反映的，是玻璃製造（glassmaking）原料的不同。在圖四的 Al_2O_3 -($\text{MgO}+\text{K}_2\text{O}$) 雙軸圖可以明確區分這三個組別，其中，m-Na-Al 玻璃的 Al_2O_3 偏高，平均高於 6 wt%；v-Na-Ca 玻璃的 Al_2O_3 約低於 3 wt%，但 MgO 含量比 m-Na-Al 高，平均高於 1.5 wt%；鉀玻璃的 K_2O 含量（約 13 wt%）遠高於另外兩類玻璃，因此在圖四經由 $\text{MgO}+\text{K}_2\text{O}$ 的總合便可明確分辨鉀玻璃與 v-Na-Ca 玻璃。臺灣至目前為止並無發現任何玻璃製造的遺留現象，因此這三類玻璃的原料及玻璃製造皆來自海外，其考古意義將討論於後。



圖四 舊香蘭玻璃樣本的化學成份分佈(wt%)

在微結構的部分，一般而言，m-Na-Al 玻璃容易有較多氣泡、未熔融完全的原料或是在高溫反應形成的結晶。圖五為 m-Na-Al 玻璃的微結構示意圖，在圖中可以看到斜長石（plagioclase）（標號 1）、鹼性長石（alkali feldspar）（標號 2）、鐵鈦氧化物（Fe-Ti oxide）（標號 3）的殘留，這些長石類礦物的融合邊界及周圍出現的孔洞（可能是熔融完的礦物所遺留的孔洞），加上周圍出現的鐵鈦氧化物，顯示這個區塊可能是未熔融完

全的玻璃原料，除了圖中所標示的礦物之外，鋯石（zircon）也是 m-Na-Al 玻璃中時常可見的原料殘留，這些礦物殘留可做為支持 m-Na-Al 玻璃使用花崗岩質砂（granite sand）（Dussubieux et al. 2010）做為原料的證據。同時，也可以看到方鈉石結晶（sodalite, $\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{Cl}_2$ ）（標號 4）的出現，這些晶體的規則外形及明確的邊界顯示可能是原料間的反应所新生成的礦物結晶，而非原料的殘留。此外，某些顏色的玻璃也能從微結構發現著色劑結晶的出現，例如圖五為黃色玻璃，因此可以發現與黃色著色劑相關的鉛錫氧化物（lead tin oxide）（標號 5）或錫氧化物（tin oxide）（標號 6）的結晶。



圖五 m-Na-Al 玻璃微結構示意圖

v-Na-Ca 玻璃的微結構則呈現均質的現象，基質（matrix）幾乎沒有未熔融完全的礦物原料或高溫下新形成的結晶，比較常見的是與著色劑相關的結晶，而非未著色的玻璃製造（glassmaking）的原料殘留。鉀玻璃的微結構，由於僅有一件黃色玻璃珠樣本（JXL38），因此在黃色玻璃的部分再做說明，此件樣本也是此次分析中，唯一出土自墓葬的樣本。

值得注意的是，是這次分析的「玻璃珠」樣本，除了一件為鉀玻璃之外，其餘 35 件皆為 m-Na-Al 玻璃（圖四）；在「玻璃廢料」中，有 5 件為 m-Na-Al 玻璃，3 件為 v-Na-Ca 玻璃，但是此次分析並無發現任何玻璃珠樣本為 v-Na-Ca 玻璃的化學組成。而化學組成皆為 m-Na-Al 玻璃的珠子與廢料，其微結構也不盡相同，顯示此次分析的玻璃珠和廢料之間的相關性並不高（Wang et al. 2018）。微結構分析結果亦相當程度的透露了著色

劑原料的使用，下面段落我們將分述各顏色玻璃的著色劑原料資訊，並與臺灣其他鐵器時代遺址比較，以討論舊香蘭玻璃珠的交易或再交易的可能現象，可惜的是，目前環南海地區的玻璃遺留並無任何 SEM-EDS 分析結果，因此無法將微結構的比較研究拓展至該區域。

1. 紅色玻璃

此次共分析了 7 件紅色玻璃，其中，6 件玻璃珠(JXL01、JXL02、JXL10、JXL22、JXL34、JXL35)為 m-Na-Al 玻璃，而僅有 1 件玻璃廢料(JXL47)為 v-Na-Ca 玻璃，此玻璃廢料為實心玻璃條，並非拉製珠工藝的殘留。兩者截然不同的化學成份組成，顯示這些紅色玻璃珠與廢料的玻璃製造原料完全不同，廢料和玻璃珠沒有任何直接關係。

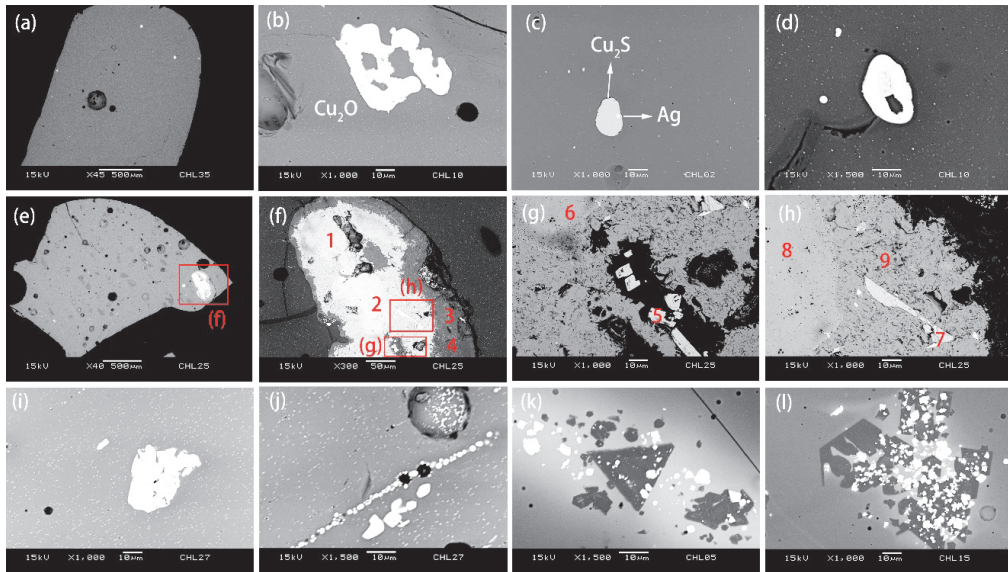
透過微結構分析，發現 7 件紅色玻璃的著色劑為氧化亞銅(Cu_2O)或金屬銅(metallic copper)。在此次發表的資料中，銅含量一律以 CuO 表示。這些紅色玻璃的 CuO 含量皆小於 2 wt%，無論是 m-Na-Al 玻璃珠或 v-Na-Ca 玻璃廢料，皆可發現含銅的微小顆粒散布在基質中(圖六(a))，這些微小的顆粒可能是金屬銅的粒子(Freestone and Barber 1992)，但由於其尺寸過小，無法使用 SEM-EDS 加以確認。另外，在紅色玻璃時常可見尺寸較大的氧化亞銅或硫化亞銅(Cu_2S)的顆粒，平均直徑約 $10\ \mu\text{m}$ ，形狀略不規則(圖六(b)-(d))，有些顆粒可能是在高溫過程中再析出的結晶，例如：圖六(b)，其邊界圓滑但略不規則的形狀，顯示結晶的析出溫度可能低於銅金屬的熔點(1083°C)，是以結晶相的狀態(crystalline phase)析出，而不是在高於熔點的狀況下先以液態相(liquid phase)析出(Freestone and Barber 1992)，因此受晶體成長條件的影響，並非生成圓形的銅氧化物結晶。但是，在一些樣本中，部分尺寸較大的含銅顆粒可能並非再析出的結晶相，而是著色劑原料的殘留，如圖六(c)和(d)所示，圖六(c)的硫化亞銅顆粒夾帶有銀的殘留，且圖六(c)與(d)的含銅顆粒形態，皆呈現較不圓滑的形狀，顯示兩者可能並非析出的結晶，而是未完全熔融的原料。

圖六(c)與(d)中的原料殘留，進一步暗示用於紅色玻璃著色劑的原料，可能同時含有銅的硫化物以及氧化物，目前初步推測，製作這些紅色玻璃的著色劑原料可能與煉銅過程的中間產物有關，這些中間產物可能也夾帶鐵的雜質(來自銅礦)(未發表結果)，因此，紅色玻璃的鐵含量通常比其他顏色的玻璃來得高(除了橘色玻璃之外)。

2. 橘色玻璃

舊香蘭遺址並沒有發現任何橘色玻璃的廢料。此次分析了 3 件橘色玻璃珠 (JXL24、JXL25、JXL27)，且皆為 m-Na-Al 玻璃的化學成份。

微結構分析的結果顯示這 3 件橘色玻璃的著色劑也都是氧化亞銅或金屬銅，與紅色玻璃相似。橘色玻璃的 CuO 含量遠高於紅色玻璃，約在 3-8 wt% 之間。但微結構分析結果顯示橘色玻璃的銅原料來源可能與紅色玻璃不同。



圖六 紅色、橘色、黃色 m-Na-Al 玻璃的微結構

((a)-(d)：紅色。(e)-(j)：橘色。(k)-(l)黃色。)

(a) 整體基質(matrix)綜覽；(b) 不規則 Cu_2O 顆粒；(c) Cu_2S 顆粒；(d) Cu_2O 顆粒；(e) 基質綜覽；(f) 與青銅相關的金屬小球(prill)；(g)和(h) 在金屬小球中發現可能氧化的青銅；(i) 氧化物(tin oxide)的晶體；(j) 氧化亞銅的晶體；(k) 成份分佈不均勻的基質與結晶相；(l) 黃色玻璃中常見鉛錫氧化物與霞石結晶聚集在一起。

在 JXL25 這件樣本發現可能是銅錫氧化物的殘留(圖六(e)-(h))(長度約 $450\mu\text{m}$)，由圖六與表二的資料可以看出，這個顆粒內部區域(標號 1、2)的銅含量極高(>85 wt%)，而外部區域(標號 3、4)的銅含量約為 30 wt%，顯示外部可能為氧化的區域；同時，也在內部區域發現銅-錫晶體(標號 5、7)，形狀為方形或長方形，銅與錫的含量分別約為 15 wt%及 50 wt%，這些銅-錫晶體附近區域的銅含量也都偏高(標號 6、8)，但在靠近銅-錫晶體的區域範圍，有較明顯的氧化現象(銅約 80 wt%，氧約 15

wt%)。透過這些結果，再考慮錫並非橘色玻璃著色所必須的成份，推論這個大尺寸的顆粒可能與青銅或青銅煉製過程的產物有關，顯示用來做為橘色玻璃的銅著色劑原料可能與是帶有錫的銅原料。其中的銅成份，可能在玻璃著色的過程中，熔進玻璃基質，或再析出成銅／銅氧化物的結晶，而銅／銅氧化物的結晶在此次的橘色玻璃樣本也時有發現；錫的成份，亦可能融進基質後，再析出成錫氧化物的結晶。

另外 2 件橘色玻璃珠的樣本，雖然沒有發現如 JXL25 一樣大尺寸的銅錫氧化物殘留，卻能發現錫氧化物的結晶（圖六(i)），這類結晶便可能是上述的錫氧化物的再結晶。由於錫並非橘色玻璃著色不可或缺的元素，因此，錫氧化物結晶的出現可能也是使用青銅做為銅著色劑原料的證據。² 有趣的是，並非所有臺灣鐵器時代遺址的玻璃珠都出現銅錫氧化物或錫氧化物的殘留，顯示其原料種類或製造作坊可能不同（討論於後）。

表 2 圖六(e)-(h)中標號 1-9 晶體的 EDS 分析結果(wt%)

標號 (圖二)	Cu	Sn	Na	Al	Si	Cl	Ca	O	總和	備註
1	86.9			0.8	3.1	0.5		7.4	98.6	CuO/Cu?
2	86.4			0.6	2.8			6.8	96.6	CuO/Cu?
3	29.4		1.2	0.7	15.0	0.5	0.4	30.0	77.2	
4	27.7			0.8	13.6			28.6	70.6	
5	15.4	51.5	1.3		2.6			39.4	110.2	銅錫氧化物
6	86.3				2.8			6.3	95.3	CuO/Cu?
7	17.9	52.2	1.2		2.0			40.6	114.0	銅錫氧化物
8	86.9				3.0			6.6	96.4	CuO/Cu?
9	81.6			0.7	2.6			15.3	100.2	CuO

3. 黃色玻璃

此次分析了 10 件黃色玻璃，其中 9 件為玻璃珠(JXL03、JXL05、JXL07、JXL12、JXL15、JXL19、JXL20、JXL32、JXL33)，1 件為玻璃廢料(JXL48)，亦為實心玻璃條。所有的樣本皆為 m-Na-Al 玻璃。在這些黃色玻璃中，玻璃珠與廢料的化學組成並

不相似，大致而言，黃色玻璃珠的 CaO、Sr 以及 Ba 含量皆高於黃色玻璃廢料，且兩者的 SnO₂、PbO 含量及比例也不相同，這些化學成份的差異顯示這些舊香蘭黃色玻璃珠與玻璃廢料之間並無關連（Wang et al. 2018）。

在微結構的部分，玻璃珠與廢料則沒有呈現任何差別，兩者的著色劑皆為鉛錫氧化物，圖六(k)、(l)為舊香蘭黃色玻璃的微結構示意圖，可以明顯看出玻璃的基質呈現不均勻分佈的現象，比較亮的部分為鉛含量較高的區域，PbO 可以高達 9 wt%，比較暗的區域的 PbO 含量則低至 1 wt%。黃色玻璃的微結構時常出現鉛錫氧化物與霞石結晶（nepheline, NaAlSi₃O₈）群聚的現象，偶爾也可見方鈉石結晶（sodalite）的生成，此類結晶並非未熔融的礦物殘留，而是在高溫過程新生成的結晶；除此之外，這些鉛錫氧化物通常都帶有約 4-5 atomic%的矽，顯示鉛錫氧化物實際上的化學組成可能是 Pb（Sn,Si）O₃ 而非 PbSnO₃（Heck et al. 2003; Welter et al. 2007）。目前，我們僅在舊香蘭遺址的黃色玻璃觀察到明顯的鉛錫氧化物與霞石或方鈉石結晶群聚的現象，其他遺址（如：龜山、道爺）的玻璃珠雖有出現，但結晶尺寸極小，顯示燒製條件（如：持溫時間、降溫時間等）應有所差異，因此可能也透露其製作來源的不同。但是，值得注意的是，龜山遺址其中一類帶有骨灰混合物的黃色玻璃珠，其化學成份與微結構似乎與舊香蘭的黃色玻璃廢料相似（作者未發表之結果），這是否能做為兩遺址之間玻璃珠交換的佐證，目前仍在分析確認中。

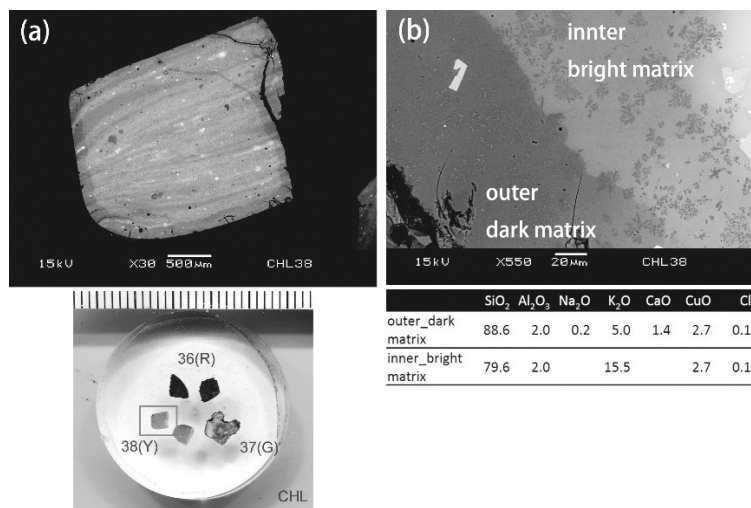
這次分析的玻璃珠僅有一件為鉀玻璃（JXL38），外觀為黃色，是唯一一件出土自墓葬的樣本。但是在進一步分析後，發現這件「黃色」鉀玻璃實際上應為腐蝕後的「綠色」玻璃。由圖七(a)可以看出，JXL38的外層為黃色，但內層呈現綠色，在 SEM 之下，透過背散射電子影像（BSE image）可以發現內、外兩層的化學成份也存在差異。

進一步分析這兩個區域後，發現外層黃色區域的 SiO₂ 含量高達 89%（圖七(b)），K₂O 含量僅有 5%，而內層綠色區域則有約 80%的 SiO₂，K₂O 的含量約為 15 wt%；除此之外，外層區域的非標準化總和（unnormalised total）僅有約 83 wt%，這些結果顯示外層的黃色區域應是綠色玻璃被腐蝕後所產生的現象，而非刻意裝飾的結果，因此，這件 JXL38 的樣本原本應為綠色的鉀玻璃，而非現在外觀所見的黃色玻璃。

4. 綠色玻璃

此研究共分析了 9 件綠色玻璃（JXL08、JXL09、JXL11、JXL13、JXL14、JXL23、JXL26、JXL30、JXL31），全部皆為 m-Na-Al 玻璃組成的珠子，沒有任何廢料。這些綠

色玻璃的著色劑同時有鉛錫氧化物與銅氧化物，CuO 含量約在 0.5-1.5 wt%之間，PbO 約在 2-6 wt%，SnO₂ 則小於 0.5 wt%。



圖七

(a) 由 JXL38 的截面可以發現內部呈現綠色，且在 SEM 的 BSE 模式下，可以發現黃色與綠色部分的化學組成並不相同。(b) 外層黃色區域的微結構及化學成份及內層綠色區的微結構及化學成份有明顯不同。(wt%)

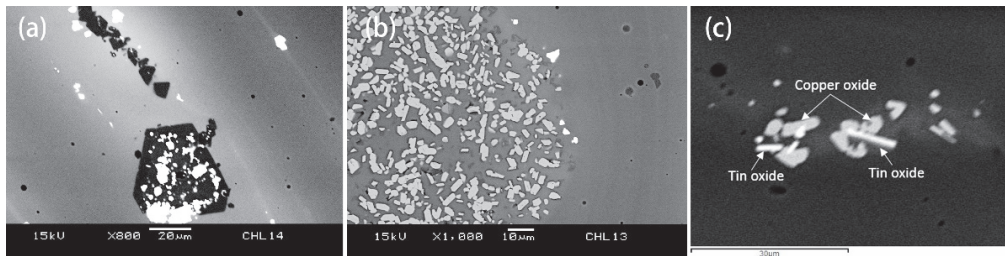
與黃色玻璃相似，這些綠色玻璃微結構的基質也呈現分佈不均的現象，如圖八(a)、(b)所示，基質中較亮的區域 PbO 含量可達 10%，較暗的區域則僅有 4% 的 PbO；在綠色玻璃中，也同樣發現鉛錫氧化物與霞石或方鈉石群聚的現象。在 JXL33 這件樣本中，則發現鐵氧化物的殘留，可能是偶發性的玻璃珠製造或玻璃生產過程的工具碎屑殘留。

5. 藍色玻璃³

此次分析了 11 件不透明的淺藍色 (light blue) 玻璃的樣本，其中 8 件為玻璃珠 (JXL04、JXL06、JXL16、JXL17、JXL18、JXL21、JXL28、JXL29)，皆為 m-Na-Al 玻璃的化學組成；在 3 件淺藍色玻璃廢料中，2 件為 m-Na-Al 玻璃 (JXL39、JXL44)，1 件為 v-Na-Ca 玻璃 (JXL46)。所有淺藍色玻璃的著色劑皆為氧化銅，CuO 含量約在

0.3-1.5%之間。由於這次並沒有任何玻璃珠是 v-Na-Ca 玻璃的化學組成，這件 v-Na-Ca 玻璃廢料的出現，與此次分析的玻璃珠並無任何關連。同為 m-Na-Al 玻璃的珠子與廢料，化學成份並沒有太大的差異，但微結構卻略有不同，顯示雖然玻璃珠與廢料都為 m-Na-Al 玻璃的化學組成，但兩者的燒製條件應不相同，因此並不支持這些 m-Na-Al 玻璃珠是使用這類 m-Na-Al 玻璃廢料加工的可能性（Wang et al. 2018）。

在 JXL28 這件樣本發現銅氧化物與錫氧化物晶體的群聚（圖八(c)），在其他樣本中，也不時發現錫氧化物的晶體，由於錫並非淺藍色玻璃著色所必須的原料，因此，這類晶體的出現可能顯示銅原料的來源與青銅或相關工藝遺留有關。



圖八 舊香蘭綠色玻璃及藍色的微結構示意圖

((a)-(b)：綠色。(c)：藍色)

(a) 不均勻的基質與散布其中的鉛錫氧化物和霞石結晶；(b) 鐵氧化物的晶體；(c) JXL28 中，銅氧化物與氧化物的晶體。

此次分析了一件深藍色（dark blue）玻璃廢料（JXL43），為 v-Na-Ca 玻璃的化學組成，著色劑為鈷（Co），由於這次並沒有分析任何舊香蘭出土的深藍色玻璃珠，因此我們無法討論舊香蘭深藍色玻璃廢料與玻璃珠之間的關係。與其他鐵器時代遺址的深藍色玻璃珠相比，舊香蘭遺址的鈷含量（約 800ppm）高於龜山遺址（200-400ppm），且 PbO 含量（近乎零）低於淇武蘭遺址（高於 0.5 wt%）（Wang 2016: 193-194），後續研究值得關注這些遺址深藍色玻璃的鈷原料來源或配方是否不同。

另有兩件透明的水藍色（aqua）玻璃廢料（JXL41 和 JXL49），顏色比上述淺藍色玻璃來得淡，兩者皆為 m-Na-Al 玻璃。JXL41 含有約 0.2%的 CuO 和 1.2%的 FeO，而在 JXL49 中，CuO 及 FeO 的含量低到幾乎可以忽視，可能都是玻璃製造的原料的摻雜物（亦即，非刻意加入）。這兩件樣本都是完全透明的玻璃，微結構沒有任何矽酸鹽礦物

遺留及氣泡，但偶爾可見鋯石的晶體。這樣的微結構與前述 m-Na-Al 玻璃珠的現象並不相符，因此無法說明這兩件廢料與玻璃珠之間有任何直接關係（Wang et al. 2018）。在舊香蘭並無發現玻璃著色的證據，且其他遺址出土的 m-Na-Al 玻璃珠的微結構也時常出現矽酸鹽礦物遺留及氣泡，明顯與這兩件樣本的現象不符，因此目前我們無法具體說明這類玻璃廢料與其他遺址的玻璃珠是否有任何關聯性。

討 論

前述提及玻璃生產分為「玻璃製造（glassmaking）」與「玻璃加工（glassworking）」兩階段，其中，玻璃加工又包含「玻璃珠製造」。由於舊香蘭出土的玻璃工藝證據，並不指向初級生產的玻璃製造，目前臺灣各地也無初級生產的玻璃製造存在的現象，因此，這些玻璃珠的原料（raw glass）應來自海外，亦即，無論玻璃珠是否在舊香蘭當地製造，玻璃皆為海外產物。下方討論，我們先由化學成份反映的玻璃製造原料切入，討論化學成份反映的海外原料來源，並由此討論玻璃珠（料）可能的海外交易。⁴ 關於舊香蘭玻璃珠工藝的討論，則著重於討論拉製與捲製工藝之差別，以及捲製工藝可能的來源。最後，雖然目前我們的研究顯示本次分析的玻璃珠可能不是舊香蘭本土製造，但仍無法排除舊香蘭玻璃珠交易到外地的可能，因此我們亦討論舊香蘭玻璃珠交換或再交換的可能性。

必須提醒的是，本文討論是基於此次分析的 44 件玻璃質樣本所做之初步探討，目的在於拋磚引玉，嘗試由玻璃原料及工藝討論古代玻璃交換，然而我們亦強調，關於舊香蘭遺址的玻璃工藝及交換，仍有待日後更多的分析，才能有更全面的理解。

（一）舊香蘭玻璃珠與環南海一帶之關連

這次分析的結果顯示 36 件玻璃珠樣本中，35 件為 m-Na-Al 玻璃，1 件為鉀玻璃，但沒有任何 v-Na-Ca 玻璃組成的珠子；在 8 件玻璃廢料的樣本中，5 件為 m-Na-Al 玻璃，3 件為 v-Na-Ca 玻璃，這三類玻璃顯示的是三種不同的玻璃製造傳統。整體而言，m-Na-Al 玻璃是最常見的化學成份組別。

這幾件玻璃的來源有東南亞與中國兩個可能性，若我們考慮環南海一帶的玻璃化學成份，可以發現來自於東南亞與來自於中國的玻璃不僅在化學成份特徵有明顯的不同，流行的年代也有差異。大致而言，在西元之前，環南海一帶的玻璃以鉀玻璃最為

常見，特別是在東南亞大陸與中國南方一帶，但是鉀玻璃確切的生產地點仍然尚未釐清（Lankton and Dussubieux 2006, 2013）。西元之後，m-Na-Al 玻璃逐漸取代鉀玻璃（Lankton and Dussubieux 2013），m-Na-Al 玻璃的來源可能與南亞的拉製玻璃工藝有關，這種成份的玻璃廣泛地分佈在東亞、東南亞、南亞以及非洲等地（Dussubieux et al. 2010），化學成份分析顯示舊香蘭的 m-Na-Al 玻璃的微量元素的組成（高鋇低鈾）與東南亞的 m-Na-Al 玻璃極為相似（Wang 2016: 137-138），因此這批舊香蘭的 m-Na-Al 玻璃應與東南亞有密切關連。

在大約西元六至七世紀以後，v-Na-Ca 玻璃開始大量出現在環南海一帶（Brill 1999: 376-387; Dussubieux 2009; Dussubieux and Allen 2014; Lankton and Dussubieux 2006），這類 v-Na-Ca 玻璃應是由西亞進口至東南亞，顯示在這個時期，東南亞的玻璃珠或玻璃料的來源開始產生轉變，舊香蘭 v-Na-Ca 玻璃的出現，可能是受到這個轉變影響的結果。此外，Peter Francis（2002: 76-78）透過分析玻璃珠製造技術的方式，提出約在西元十二世紀前後，中國的捲製玻璃珠開始取代早期印度太平洋拉製玻璃珠在環南海交易圈的地位，但是中國「捲製玻璃珠」技術的起源以及確切的生產地點目前仍沒有足夠的考古證據能加以證實。

至於中國南方的玻璃化學成份，除了東南亞也常見的鉀玻璃之外，鉛含量豐富的高鉛玻璃也是常見的類型，例如戰國（476-221 BC）及西漢時期（206 BC-AD 9）的鉛鋇玻璃（黃啟善 2005；Gan 2007）以及六朝（AD 220-589）之後的鉛矽酸鹽玻璃（lead silicate glass）以及鉀鉛矽酸鹽玻璃（potash lead silicate glass）（Brill et al. 1991; Gan 2007），但是在舊香蘭遺址的年代，除了前述段落提及的鉀玻璃（不含鉛）之外，其餘這些生產於中國本土的高鉛玻璃成份並不常見於環南海一帶（Wang and Jackson 2014）。

透過上述討論，大致上可以確定此次分析的舊香蘭遺址玻璃，來自東南亞的可能性高於來自中國的可能性，這些具有南亞特色的 m-Na-Al 玻璃，及具有西亞特色的 v-Na-Ca 玻璃，可能是交換至東南亞後，再輾轉地由東南亞交換至臺灣。若考慮 m-Na-Al 玻璃為此次分析最常見的玻璃化學成份，暗示舊香蘭的玻璃交換活動可能集中在西元之後，而非西元之前。至於玻璃廢料出現 v-Na-Ca 玻璃的現象，可能暗示在西元六至七世紀後，舊香蘭的玻璃來源受環南海的玻璃珠（料）供給的影響，間接地影響進口的玻璃種類。

（二）舊香蘭玻璃工藝的發展

對於一個區域是否有玻璃製造的可能性，必須視該地是否有相關的玻璃遺留、製造工具以及相關的設備遺留來判定（如：熔爐、坩鍋或附著在坩鍋上的玻璃等），在大部分的情況下，因為相關證據的缺乏，要確切地證明一地曾經有玻璃製造的活動，並不是一件容易的事，這也是目前環南海一帶玻璃的考古研究面對的難題之一。雖然考古學家認為某些特定區域有玻璃製造的可能性，但這些證據大多來自化學分析結果的判讀，而非相關設備遺留的發現。目前仍不清楚環南海區域是否自行製造玻璃，大部分與玻璃生產有關的證據，都僅能指向玻璃加工（特別是玻璃珠製造）。

大致而言，環南海一帶的 m-Na-Al 玻璃珠多使用拉製法製成，這一點在此次分析的 m-Na-Al 玻璃珠也可得到映證。這類拉製珠的技術最早可能源自南亞（Francis 1991），Peter Francis（2002: 21-23）稱之為「lada」技術。在拉製珠的製造過程，其中一個工匠必須站在熔爐後方，使用長鐵棒不斷將玻璃捲成錐狀，防止熔融的玻璃受重力影響而垂落至地上，這個長鐵棒就稱之為「lada」，而在熔爐的另一方，則有另一位工匠從熔融的玻璃中直接拉出長玻璃管，之後再將玻璃管切剪成較小的管珠，這些珠子可能再經由進一步的加熱或滾磨過程將其銳利的邊角融成較圓滑的邊角，換言之，該類玻璃珠製造是比較勞力密集的工藝；同時，由於玻璃原料熔融、著色、拉管、切製、滾磨皆在同一地點進行，應容易發現相關的空間結構及各階段的廢料殘留。Peter Francis 認為若在某地發現了長玻璃管、尾端有夾捏狀遺留的玻璃條以及類似 lada 的工具等證據，即表示此地極可能也使用 lada 技術生產印度太平洋珠。

但是，此次針對舊香蘭的玻璃廢料及相關出土遺留的分析觀察結果，並無法明確看到有使用拉製法的證據，這是因為目前在舊香蘭並無發現上述「長玻璃管」、「尾端有夾捏狀遺留的玻璃條」、「類似 lada 的工具」的遺留；此外，根據 Peter Francis（2002: 21-23）的研究以及 Kanungo（2016）在印度的民族誌和考古研究，這類拉製珠的作坊，可能需要較大型的熔爐來融化玻璃，該熔爐需有置入燃料及玻璃原料之空間；而捲製珠所需的熔爐結構不太相同，可能是熔爐周邊有數個開口，讓多位工匠能由熔爐內拉出玻璃條，或是不需要熔爐，僅需坩鍋及火源，便可熔融玻璃，製作珠子。目前舊香蘭遺址沒有發現類似拉製珠熔爐的結構或相關活動遺留的證據，因此目前由玻璃廢料或其他遺留的現象，欲判斷舊香蘭是否曾為拉製珠的製造中心，仍有討論的空間。相反地，這些玻璃廢料的外觀，特別是實心的玻璃條，以及舊香蘭出土的纏繞玻璃珠的

金屬棒，似乎傾向於暗示舊香蘭當地使用捲製法的技術，若是如此，這個結果暗示這次分析的 m-Na-Al 拉製珠也有可能並非舊香蘭當地所製造，也產生了更多關於舊香蘭玻璃珠工藝的來源與發展的疑問，這些疑問有待日後更多的考古研究來釐清。

雖然在上個小節我們提到「捲製珠」技術在環南海交易圈的發展脈絡與中國有關，但是舊香蘭的年代遠早於中國捲製珠在環南海一帶出現的時間（約十二世紀），因此，我們並不認為舊香蘭捲製珠技術的發展與中國有關。但是，在環南海一帶也尚未看到相關的研究顯示特定區域或遺址使用捲製法進行玻璃珠製造。但在現階段，我們也尚無法將這個現象認為是「捲製法工藝在舊香蘭獨立發展」的證據，這是由於環南海一帶的玻璃生產仍然有許多未明之處，缺少足夠的資料加以討論。在另一方面，我們認為這可能顯示在環南海一帶，玻璃珠製造的技術比目前理解的更為多元，並不僅限於拉製珠的技術，例如在泰國 Khao Sam Kaeo 及 Khao Sek 遺址發現了使用類似寶石磨製等冷加工的玻璃珠工藝技術（Bellina and Silapanth 2006; Lankton and Dussubieux 2013; Dussubieux and Bellina In press），在東爪哇一帶，該地的工匠重融來自於不同地區的玻璃，重新製成帶有當地特色的多彩 Jatim 玻璃珠（Lankton et al. 2008）。

（三）舊香蘭玻璃珠的交換與再交換現象

舊香蘭遺址玻璃珠工藝以及大量玻璃珠與較少量廢料的出現，使得許多考古學者認為舊香蘭可能是當時臺灣玻璃珠製造或交易的中心之一，然而目前的分析結果尚無法明確支持這個論點。下方本文將分成兩個部分進行討論：(1) 舊香蘭進口的玻璃珠再交換至其他區域的可能性；(2) 舊香蘭製造的玻璃珠交換至其他區域的可能性。

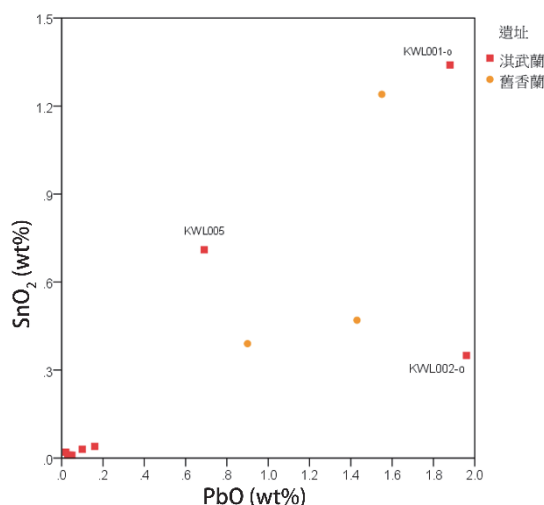
（1）舊香蘭遺址交換取得的完整玻璃珠再交換至其他區域的可能性

目前僅能比對龜山、淇武蘭下文化層、道爺以及十三行等遺址，將此次分析結果與其他遺址資料比對後，顯示許多此次分析的舊香蘭玻璃珠的微結構與其他同時期遺址的 m-Na-Al 玻璃珠並不相似，化學成份也存在差異（李匡悌等 2016；Wang 2016）。

例如：臺灣鐵器時代出土的橘色玻璃珠並不多，目前僅在北部（十三行）及東北部（淇武蘭）的遺址發現大量的橘色玻璃珠（臧振華、劉益昌 2001；Wang 2016），幾個與舊香蘭年代重疊的遺址，如：南部龜山遺址（約 5-10 世紀）、西南部道爺遺址（約 2-6 世紀），都沒有發現類似形制的橘色玻璃珠出土（Wang 2016）；在十三行遺址及年代稍晚的淇武蘭遺址下文化層（約 4-12 世紀），出土了數量不少的橘色玻璃，數量高於舊香蘭遺址，大多為拉製珠，外觀尺寸比較多樣化，有部分珠子外形與舊香蘭的珠子

相仿，然而，化學組成並不相似。

淇武蘭下文化層的橘色玻璃致色成份同樣是氧化亞銅或金屬銅。圖九顯示了舊香蘭與淇武蘭遺址的橘色玻璃的 PbO 與 SnO₂ 含量，可以發現舊香蘭橘色玻璃的 SnO₂ 及 PbO 含量高於淇武蘭下文化層的玻璃，顯示兩者的銅原料來源可能並不相同，亦即，舊香蘭遺址的樣本應使用含有錫的銅原料（tin-containing copper），原料來源可能與青銅相關遺留有關，淇武蘭遺址的樣本則可能使用不含錫的銅原料（tin-free copper）。在圖九中，淇武蘭的 KWL001-o 與 KWL002-o 含有偏高的 SnO₂ 及 PbO，這兩件樣本與舊香蘭以及其他淇武蘭遺址的橘色玻璃外觀並不相同，成份組成也較複雜，因此不在此次的討論範圍之內。十三行遺址的第 3 類珠外形相似（臧振華、劉益昌 2001：96），化學成份雖缺少 SnO₂ 的資訊，但 PbO 含量亦趨近零，與舊香蘭並不相同。



圖九 舊香蘭與淇武蘭遺址橘色玻璃 PbO 與 SnO₂ 含量(wt%)

另外一個例子是黃色玻璃珠，舊香蘭的黃色玻璃與其他鐵器時代遺址的黃色玻璃（m-Na-Al）的微結構並不完全相似。出土自龜山與道爺遺址的黃色玻璃珠，印度太平洋珠仍是最常見的類型，都由鉛錫氧化物著色而成，但並無與霞石或方鈉石結晶群聚的微結構現象，甚至沒有發現霞石或方鈉石的結晶（李匡悌等 2016；Wang 2016: 170-172）。目前推測這可能反映兩種不同的著色程序——在舊香蘭黃色玻璃的部分，含有鉛與錫的原料可能是一併加入未著色的玻璃（或在玻璃製造過程直接與玻璃原料一起燒製），再生成鉛錫氧化物；而其他遺址的黃色玻璃，則可能是先將著色劑製備完成，再

加入未著色的玻璃（Wang 2016: 169-173）。這個現象顯示這幾件舊香蘭黃色玻璃珠的作坊來源與其他遺址可能並不相同。

因此，若考量較廣泛的地理區域，這些帶有 m-Na-Al 玻璃成份的玻璃珠若是交換到舊香蘭的，目前無法明顯看出再從舊香蘭交換至其他區域的現象。特別是出土遺物及文化特徵和舊香蘭相似的龜山遺址，目前由兩地玻璃珠的外形、化學成份或微結構分析結果，並不容易看出兩地之間有十分密集的玻璃珠交換行為（李匡悌等 2016；Wang 2016: 112-121, 137-179）。

（2）舊香蘭製造的捲製玻璃珠交換至其他區域的可能性

這個議題目前缺乏足夠的證據進行比對，以探討舊香蘭製造的玻璃珠交換至其他區域的可能性，大致而言，在 m-Na-Al 玻璃的部分，目前很少在前述幾個遺址發現與舊香蘭遺址玻璃廢料的化學成份或微結構特徵相似的珠子。但是，龜山遺址另有一類黃色玻璃珠，微結構分析發現帶有骨灰混合物，這類珠子在龜山出土的數量極少，其中的 PbO、SnO₂ 及部分微量成份含量與舊香蘭的黃色玻璃廢料相似，但並非捲製珠，期望進一步的分析能確認這類珠子與舊香蘭的黃色廢料是否有關。而在 v-Na-Ca 玻璃的部分，與舊香蘭同時期的遺址中，目前較少發現此類化學成份的玻璃珠，大多數的 v-Na-Ca 玻璃珠出土的年代多在西元七至八世紀後，目前亦無法證明由舊香蘭 v-Na-Ca 玻璃料所製成的珠子是否可能交換至其他地區，特別是龜山遺址雖有出土深藍色及水藍色的 v-Na-Ca 玻璃珠，龜山的深藍色玻璃珠為拉製珠，且鈷含量低於舊香蘭的深藍玻璃廢料，龜山的水藍色珠子應是捲製珠，但銅含量（皆為 0.4 wt%）低於舊香蘭的藍色玻璃廢料（1 wt%）（李匡悌等 2016），表示兩者的著色劑原料含量可能並不相同，因此兩地之間目前似乎看不出明顯的玻璃珠交換現象。

結論與未來研究展望

本研究顯示透過科學分析可以讓我們對於玻璃的原料、製造配方與玻璃珠製造工藝有更多理解，這些資訊除了提供我們探討玻璃珠來源地的訊息之外，也讓我們了解不同時期或地區的作坊的生產傳統，這些生產傳統通常反映在原料使用與製造工序的差別之上，其所產生的原料及工藝資訊，則可以用於討論玻璃（珠）交換的行為。

透過分析舊香蘭的玻璃珠與玻璃廢料，發現此次分析的玻璃珠與廢料在玻璃珠製

造方式、化學成份與微結構等工藝特徵上並不相符；結合其他未採樣的玻璃質樣本及相關遺留的外觀觀察後，目前舊香蘭的玻璃珠工藝指向捲製技術，無法判斷是否存在拉製技術。這些玻璃的化學成份顯示來源與東南亞較為相關，可能由該地輾轉交換至舊香蘭，因而確認舊香蘭玻璃珠交換與環南海地區之連結。然而與其他臺灣鐵器時代遺址（如龜山、道爺、淇武蘭等）的玻璃比對後，也發現舊香蘭玻璃珠再交換至這些地區的現象並不明顯，這主要反映在與著色劑有關的原料及配方，原料類型及配方的不同，可能顯示作坊來源的差異，亦表示舊香蘭與這些遺址大多數的玻璃珠來源應不相同。

我們初步認為，這些玻璃珠自海外進口至舊香蘭的可能、以及玻璃工藝的出現，都反映當時舊香蘭涉及了在環南海交易圈的「物」的交換關係。這些物的交換，可能進一步與當時舊香蘭的社會發展及組織有關，也可能與不同地區的玻璃珠交換脈絡、資源掌控等因素有關，因此，研究結果呈現舊香蘭玻璃珠與其他地區的交換並不明顯的現象，可能暗示日後的研究應再擴增其他樣本、更細緻考慮較小地域範圍、較短或相近年代尺度的資料比對，本結果所初步反映的，或許是鐵器時代多尺度且多元的交換及互動網絡。以舊香蘭跨近千年的定年資訊，這樣的結果或許不讓人意外，未來的研究可能也需要再著重了解在這約一千年的時間跨幅裡，舊香蘭的社會組織潛在的發展軌跡，以期能對該地區的史前社會、文化發展以及其對區域互動的影響有更多的理解。

最後，關於舊香蘭的玻璃工藝，目前仍有許多尚待釐清之處，即使我們的研究顯示此次分析的珠子可能不是本土製造，此結果並非否定玻璃工藝在舊香蘭發展的可能性，其顯示的是未來仍需針對更多樣本及考古脈絡進行更細緻的研究，才能對史前玻璃工藝及玻璃珠交換有較全面的理解，特別是拉製技法是否曾在舊香蘭發展；此外，此次僅深入分析 36 件玻璃珠樣本，雖然其他樣本的眼肉檢視隱約發現平行的拉製痕，未來若是能再針對更多樣本做分析，也能進一步驗證或補足此次分析的不足之處。

誌 謝

感謝美國 The Field Museum Laure Dussubieux 博士在研究期間針對玻璃成份的討論給予許多寶貴的意見。也感謝中研院地球科學研究所電子微探儀實驗室王宇祥先生與謝惠合小姐在樣品製備以及儀器操作上提供許多協助，以及徐苡庭小姐對於文章初稿

所給予的建議。也感謝兩位審查人及編輯給予的意見，使文章論述更加完整。

附 註

1. 結晶的生成，除了受基質玻璃（glass matrix）本身狀態（如：黏滯性、過飽和度）的影響之外，亦受整個基質體系的微區化學現象（local chemistry）及表面能（surface energy）的影響；結晶物質的原子為規則的週期性排列（玻璃基質為非結晶物質），晶體不同方向的成長模式及成長速率不同（晶體的異向性 anisotropy），但基本上仍為有序排列的原子空間集合，因此新生成的結晶大多呈現規則的幾何多面體狀態。
2. 氧化錫是常見的玻璃乳濁劑（opacifier），此類玻璃的微結構常見氧化錫晶體叢聚的現象（Tite et al. 2008），然而本文舊香蘭橘色玻璃的氧化錫結晶出現頻率極低，顯示不透明現象主要不是氧化錫造成。關於此類玻璃的不透明度，玻璃科學研究有幾個論點：(1) 由氧化亞銅的樹枝狀晶體結構（dendritic crystal）造成；(2) 由金屬銅粒子的尺寸造成，粒子在幾百奈米的尺度會使玻璃變成不透明。目前的研究結果無法判斷舊香蘭橘色玻璃的不透明度是何種原因。此外，這幾件橘色樣本少量的錫成份，可能有加強銅金屬或氧化亞銅還原效果的功用（Bring and Jonson 2007），但我們無法得知古代工匠是否基於此原因，刻意選擇含有錫的銅原料製作橘色玻璃。
3. 藍色系列玻璃的顏色敘述，往往是描述玻璃遺留的難題，本文使用「淺藍色」（light blue）指以銅著色的藍色玻璃，「深藍色」（dark blue）指以鈷著色的玻璃，「水藍色」（aqua）泛指自然著色的玻璃。所謂的「自然著色」玻璃，是因為在玻璃製作過程，使用的矽質砂往往帶有雜質，最常見的是鐵，鐵本身有著色劑的功能，因此玻璃燒製完後，並非完全透明無色，而會由於這類雜質的存在，帶有極淡的水藍色，在古代玻璃的研究中，以 aqua glass（水藍色玻璃）稱之。
4. 古代玻璃的研究，實務上難以確切找到原料在「地質上的來源」，考古出土的作坊證據亦不多，從化學成份明確判定玻璃的「地質」或「作坊」的位置並不容易；然而，目前各地玻璃化學成份分析的結果，確實顯示玻璃原料的種類不同，其差異可能與工匠採集原料的地質來源有關，也可能與作坊的原料配方傳統有關，因此，此處所謂的「來源」泛指各地區玻璃原料種類或配方所反映的來源。在討論古代玻璃交換時，從化學成份分析所做之探討，是基於「原料種類或配方來源」之異同的概念來做討論。由於環南海地區玻璃加工的相關發現仍不多，因此目前無法完整討論

王冠文、李坤修、陳光祖、飯塚義之、Caroline Jackson・
由舊香蘭遺址玻璃質遺留的原料及工藝談玻璃珠的交換

由玻璃製造、玻璃加工至玻璃消費地的交換過程，僅能先由玻璃原料的角度，較廣泛的探討玻璃珠（料）的交換。

參考書目

李匡悌、王冠文、飯塚義之、Caroline Jackson

- 2016 〈鐵器時代臺灣南端聚落與東海岸的文化交流〉。「臺灣東半部一千年前後的文化樣相研討會」宣讀論文，中央研究院歷史語言研究所，11月15日。

李坤修

- 2005a 《臺東縣舊香蘭遺址搶救發掘計畫期末報告》。臺東縣政府委託國立臺灣史前文化博物館。
- 2005b 〈舊香蘭遺址出土的玻璃質標本及其相關問題初探〉。「臺灣地區外來物質：珠子與玻璃環玦形器」宣讀論文，中央研究院歷史語言研究所，10月22-23日。
- 2007 《臺東縣舊香蘭遺址搶救發掘計畫第二期計畫期末報告》。臺東縣政府委託國立臺灣史前文化博物館。
- 2010 《舊香蘭標本整理計畫期末報告 I- 文化層與墓葬》。臺東縣政府委託國立臺灣史前文化博物館。

崔劍鋒、何傳坤、劉克竑、吳小紅

- 2008 〈臺灣出土部分古代玻璃珠的科學分析〉。《南方文物》4：109-114。

楊小青、李坤修、陳文山

- 2012 〈岩象分析方法於考古研究之應用：以臺東縣舊香蘭遺址砂岩質石器及陶片為例〉。《南島研究學報》3：71-88。 doi: 10.29884/JAS.201212.0003

楊小青、李坤修

- 2016 〈臺灣東部鐵器時代遺址出土玻璃珠之科學檢測〉。《國立臺灣博物館學刊》69(4)：77-96。 doi: 10.6532/JNTM.2016.69(4).04

鄭玠甫、飯塚義之、陳光祖

- 2008 〈淇武蘭遺址出土含金屬箔玻璃珠之電子顯微鏡研究〉。刊於《淇武蘭遺址搶

救發掘報告(六)》。陳有貝、邱水金、李貞瑩編，頁 188-200。宜蘭：宜蘭縣立蘭陽博物館。

臧振華、劉益昌

2001 《十三行遺址搶救與初步研究》。臺北：臺北縣政府文化局。

黃啟善

2005 〈中國南方與西南方的古代玻璃技術〉。刊於《中國古代玻璃技術的發展》。干福熹編，頁 182-199。上海：上海科學技術出版社。

Bellina, Bérénice, and Praon Silapanth

2006 Khao Sam Kaeo and the Upper Thai Peninsula: Understanding the Mechanisms of Early Trans-Asiatic Trade and Cultural Exchange. *In* Uncovering Southeast Asia's Past - Selected Papers from the Tenth Biennial Conference of the European Association of Southeast Asian Archaeologists. Elisabeth A. Bacus, Ian C. Glover, and Vincent C. Pigott, eds. Pp. 379-392. Singapore: NUS Press.

Bring, Torun, and Bo Jonson

2007 Colour Development in Copper Ruby Alkali Silicate Glasses. Part 1. The Impact of Tin (II) Oxide, Time and Temperature. *Glass Technology: European Journal of Glass Science and Technology Part A* 48(2): 101-108.

Brill, Robert H.

1999 Chemical Analyses of Early Glasses, vol. 1. New York: The Corning Museum of Glass.

Brill, Robert H., Stephen S. C. Tong, and Doris Dohrenwend

1991 Chemical Analyses on Some Early Chinese Glasses. *In* Scientific Research in Early Chinese Glass. Robert H. Brill and John H. Martin, eds. Pp. 31-58. New York: The Corning Museum of Glass.

Carter, Alison K.

2016 The Production and Exchange of Glass and Stone Beads in Southeast Asia from 500 BCE to the Early Second Millennium CE: An Assessment of the Work of Peter Francis in Light of Recent Research. *Archaeological Research in Asia* 6: 16-29. doi:

10.1016/j.ara.2016.02.004

Carter, Alison K., Laure Dussubieux, Martin Polkinghorne, and Christophe Pottier

2017 Glass Artifacts at Angkor: Evidence for Exchange. *Archaeological and Anthropological Sciences*. doi: 10.1007/s12520-017-0586-2

Degryse, Patrick, and Jens Schneider

2008 Pliny the Elder and Sr-Nd Isotopes: Tracing the Provenance of Raw Materials for Roman Glass Production. *Journal of Archaeological Science* 35(7): 1993-2000. doi: 10.1016/j.jas.2008.01.002

Dussubieux, Laure

2009 Compositional Analysis of Ancient Glass Fragments from North Sumatra, Indonesia. *In Histoire de Barus III: Regards sur une place marchande de l'océan Indien (XIIe-milieu du XVIIe s.)*. Daniel Perret and Heddy Surachman, eds. Pp. 385-417. Paris: Association Archipel/EFEO.

Dussubieux, Laure, Bernard Gratuze, and Maryse Blet-Lemarquand

2010 Mineral Soda Alumina Glass: Occurrence and Meaning. *Journal of Archaeological Science* 37: 1646-1655. doi: 10.1016/j.jas.2010.01.025

Dussubieux, Laure, and Jane Allen

2014 Compositions of Glass Artifacts from Malaysia New data from the sites of Pengkalan Bujang and Sungai Mas. *In Ancient Glassware in Malaysia: The Pengkalan Bujang Collection*. David Perret and Zulkifli Jaafar, eds. Pp. 119-161. Kuala Lumpur: Department of Museums Malaysia.

Dussubieux, Laure, and Bérénice Bellina

In press Glass Ornament Production and Trade Politics in the Upper-Thai Peninsula during the Early Iron Age. *Archaeological Research in Asia*. doi: 10.1016/j.ara.2017.08.001

Francis, Peter

1991 Beadmaking at Arikamedu and beyond. *World Archaeology* 23: 28-44. doi: 10.1080/00438243.1991.9980157

- 2002 Asia's Maritime Bead Trade: 300 B.C. to the Present. Honolulu: University of Hawai'i Press.

Freestone, Ian C., K. A. Leslie, Matthew Thirlwall, and Yael Gorin-Rosen

- 2003 Strontium Isotopes in the Investigation of Early Glass Production: Byzantine and Early Islamic Glass from the Near East. *Archaeometry* 45(1): 19-32. doi: 10.1111/1475-4754.00094

Freestone, Ian C., and David J. Barber

- 1992 The Development of the Colour of Sacrificial Red Glaze with Special Reference to a Qing Dynasty Saucer Dish. *In* Chinese Copper Red Wares. Rosemary E. Scott, ed. Pp. 53-62. London: University of London.

Gan, Fuxi

- 2007 Ancient Chinese Glass and Ancient Silk Road - Keynote Speech of the 2004 Urumchi Symposium on Ancient Glasses in Northern China. *In* Study on Ancient Glass along the Silk Road - Proceedings of 2004 Urumqi Symposium on Ancient Glass in Northern China and 2005 Shanghai International Workshop of Archaeology of Glass. Fuxi Gan, ed. Pp. 1-29. Urumqi, China: Fudan University Press.

Heck, Martin, Thilo Rehren, and Peter S. Hoffmann

- 2003 The Production of Lead - Tin Yellow at Merovingian Schleithem (Switzerland). *Archaeometry* 45: 33-44. doi: 10.1111/1475-4754.00095

Hung, Hsiao-chun, and Peter Bellwood

- 2010 Movement of Raw Materials and Manufactured Goods across the South China Sea after 500 BCE: from Taiwan to Thailand, and Back. *In* 50 Years of Archaeology in Southeast Asia: Essays in Honour of Ian Glover. Bérénice Bellina, Elisabeth A. Bacus, Thomas Oliver Pryce, and Jane Wisseman Christie, eds. Pp. 234-245. Bangkok: River Books.

Hung, Hsiao-chun, and Chin-yun Chao

- 2016 Taiwan's Early Metal Age and Southeast Asian Trading Systems. *Antiquity* 90(354): 1537-1551. doi: 10.15184/aqy.2016.184

Jackson, Caroline M

- 2005a Making Colourless Glass in the Roman Period. *Archaeometry* 47(4): 763-780. doi: 10.1111/j.1475-4754.2005.00231.x
- 2005b Glassmaking in Bronze-Age Egypt. *Science* 308(5729): 1750-1752. doi: 10.1126/science.1112553

Kanungo, Alok K

- 2016 Mapping the Indo-Pacific Beads Vis-a-Vis Papanaidupet. New Delhi: Aryan Books International.

Lankton, James W., Laura Dussubieux, and Thilo Rehren

- 2008 A Study of Mid-first Millennium CE Southeast Asian Specialized Glass Beadmaking traditions. *In* Interpreting Southeast Asia's Past: Monument, Image and Text: Selected Papers from the 10th International Conference of the European Association of Southeast Asian Archaeologists. Elisabeth A. Bacus, Ian C. Glover, and Peter C. Sharrock, eds. Pp. 335-356. Singapore: NUS Press. doi: 10.2307/j.ctv1nthr2.32

Lankton, James W., and Laure Dussubieux

- 2006 Early Glass in Asian Maritime Trade: a Review and an Interpretation of Compositional Analyses. *Journal of Glass Studies* 48: 121-144.
- 2013 Early Glass in Southeast Asia. *In* Modern Methods for Analysing Archaeological and Historical Glass, Vol. 2. Koen Janssens, ed. Pp. 415-443. New York: John Wiley & Sons, Ltd. doi: 10.1002/9781118314234.ch20

Mirti, Piero, Marco Pace, Maria Maddalena Negro Ponzi, and Maurizio Aceto

- 2008 ICP-MS Analysis of Glass Fragments of Parthian and Sasanian Epoch from Seleucia and Veh Ardasir (Central Iraq). *Archaeometry* 50(3): 429-450. doi: 10.1111/j.1475-4754.2007.00344.x

Rehren, Thilo, and Edgar B. Pusch

- 2005 Late Bronze Age Glass Production at Qantir-Pirameses, Egypt. *Science* 308:

1756-1758. doi: 10.1126/science.1110466

Tite, Michael S, T. Pradell, and A. Shortland

- 2008 Discovery, Production and Use of Tin-Based Opacifiers in Glasses, Enamels and Glazes from the Late Iron Age Onwards: A Reassessment. *Archaeometry* 50(1): 67-84. doi: 10.1111/j.1475-4754.2007.00339.x

Walton, Marc S., Andrew J. Shortland, S. Kirk, and Patrick Degryse

- 2009 Evidence for the Trade of Mesopotamian and Egyptian Glass to Mycenaean Greece. *Journal of Archaeological Science* 36(7): 1496-1503. doi: 10.1016/j.jas.2009.02.012

Wang, Kuan-wen

- 2016 Cultural and Socio-economic Interaction Reflected by Glass Beads in Early Iron Age Taiwan. PhD thesis, Department of Archaeology, University of Sheffield.

Wang, Kuan-wen, and Caroline M. Jackson

- 2014 A Review of Glass Compositions around the South China Sea region (the late 1st Millennium BC to the 1st Millennium AD): Placing Iron Age Glass Beads from Taiwan in Context. *Journal of Indo-Pacific Archaeology* 34: 51-60. doi: 10.7152/jipa.v34i0.14701

Wang, Kuan-wen, Yoshiyuki Iizuka, Yi-kong Hsieh, Kun-hsiu Lee, Kwang-tzuu Chen, Chu-fang Wang, and Caroline M. Jackson

- 2018 The Anomaly of Glass Beads and Glass Beadmaking Waste at Jiuxianglan, Taiwan. *Archaeological and Anthropological Sciences*. doi: 10.1007/s12520-017-0593-3.

Welter, Nele, Uli Schüssler, and Wolfgang Kiefer

- 2007 Characterisation of Inorganic Pigments in Ancient glass beads by Means of Raman Microspectroscopy, Microprobe Analysis and X-ray Diffractometry. *Journal of Raman Spectroscopy* 38: 113-121. doi: 10.1002/jrs.1637

附錄一 舊香蘭玻璃樣本的化學成份(wt% by EPMA)

樣本編號	顏色	遺物類型	次數	成份類型	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	MgO (%)	CaO (%)	FeO (%)	MnO (%)	CuO (%)	SnO ₂ (%)	PbO (%)	Cl (%)	SO ₃ (%)	Ti (%)	Ba (%)
JXL01	紅	珠子	48	m-Na-Al	59.29	11.41	18.49	2.24	0.55	3.15	1.10	0.07	1.17	0.06	0.86	1.01	0.15	0.35	0.16
JXL02	紅	珠子	44	m-Na-Al	59.44	11.72	18.55	2.34	0.47	2.57	1.15	0.05	1.14	0.06	0.78	1.07	0.15	0.37	0.14
JXL03	黃	珠子	39	m-Na-Al	57.02	13.27	18.08	2.49	0.33	2.37	1.07	0.04	0.08	0.14	3.06	0.91	0.13	0.32	0.23
JXL04	藍	珠子	29	m-Na-Al	61.83	10.65	18.38	3.29	0.11	1.19	0.62	0.05	1.05	0.00	0.30	0.86	0.18	0.28	0.12
JXL05	黃	珠子	35	m-Na-Al	55.65	13.23	21.19	2.58	0.42	2.58	1.12	0.04	0.09	0.04	1.22	1.12	0.24	0.40	0.24
JXL06	藍	珠子	44	m-Na-Al	59.33	8.87	21.15	1.82	0.48	4.09	1.24	0.06	0.52	0.01	0.05	0.61	0.42	0.31	0.10
JXL07	黃	珠子	46	m-Na-Al	56.45	12.96	19.09	2.16	0.30	2.35	1.23	0.06	0.05	0.11	2.31	1.09	0.14	0.47	0.25
JXL08	綠	珠子	55	m-Na-Al	60.92	11.22	16.63	2.89	0.20	1.38	0.79	0.04	0.52	0.10	3.11	0.99	0.07	0.26	0.10
JXL09	綠	珠子	36	m-Na-Al	57.31	10.78	17.94	1.72	0.35	2.30	1.21	0.04	0.52	0.38	4.15	1.05	0.29	0.38	0.14
JXL10	紅	珠子	32	m-Na-Al	59.27	8.90	19.40	1.95	1.45	2.09	1.86	0.15	1.61	0.13	0.34	0.97	0.29	0.43	0.10
JXL11	綠	珠子	32	m-Na-Al	59.20	11.32	15.84	2.14	0.35	2.20	1.14	0.07	0.72	0.22	3.95	0.88	0.08	0.35	0.16
JXL12	黃	珠子	27	m-Na-Al	55.99	12.87	18.03	2.45	0.40	2.29	1.34	0.03	0.07	0.31	3.08	0.95	0.10	0.41	0.21
JXL13	綠	珠子	38	m-Na-Al	57.93	12.20	17.08	2.23	0.37	2.54	1.34	0.07	0.53	0.31	3.38	0.86	0.11	0.39	0.21
JXL14	綠	珠子	26	m-Na-Al	58.18	11.27	16.39	1.91	0.39	2.31	1.28	0.04	0.88	0.33	4.01	0.92	0.09	0.36	0.14
JXL15	黃	珠子	32	m-Na-Al	56.04	12.99	18.56	2.58	0.42	2.34	1.27	0.05	0.06	0.09	2.37	0.98	0.11	0.38	0.25

樣本 編號	顏色	遺物 類型	次數	成份 類型	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	MgO (%)	CaO (%)	FeO (%)	MnO (%)	CuO (%)	SnO ₂ (%)	PbO (%)	Cl (%)	SO ₃ (%)	Ti (%)	Ba (%)
JXL16	藍	珠子	39	m-Na-Al	62.28	10.46	16.33	2.30	0.30	1.91	0.95	0.05	1.16	0.11	1.35	0.97	0.08	0.27	0.12
JXL17	藍	珠子	48	m-Na-Al	63.17	10.62	17.20	2.06	0.22	1.77	1.07	0.13	0.93	0.05	0.23	1.06	0.06	0.46	0.17
JXL18	藍	珠子	43	m-Na-Al	62.08	10.94	17.93	2.74	0.27	1.48	0.98	0.04	1.03	0.01	0.04	1.05	0.06	0.32	0.10
JXL19	黃	珠子	36	m-Na-Al	55.87	12.80	17.91	2.41	0.31	2.26	1.17	0.04	0.07	0.09	4.03	0.98	0.12	0.42	0.23
JXL20	黃	珠子	47	m-Na-Al	62.48	10.65	17.13	2.64	0.25	1.35	0.73	0.03	0.05	0.05	2.26	1.17	0.04	0.31	0.12
JXL21	藍	珠子	32	m-Na-Al	60.39	11.86	19.54	2.55	0.22	1.61	0.84	0.03	1.33	0.15	0.19	1.22	0.08	0.28	0.14
JXL22	紅	珠子	45	m-Na-Al	58.59	12.07	17.49	2.59	0.59	2.58	1.27	0.06	1.23	0.06	0.61	0.97	0.12	0.41	0.17
JXL23	綠	珠子	33	m-Na-Al	57.18	12.01	15.86	2.43	0.28	2.15	1.10	0.03	1.36	0.43	5.62	0.96	0.08	0.34	0.20
JXL24	橘	珠子	28	m-Na-Al	52.73	12.55	15.52	1.47	0.85	3.62	2.55	0.03	7.45	1.24	1.55	0.49	0.26	0.33	0.09
JXL25	橘	珠子	34	m-Na-Al	57.38	9.63	16.62	1.50	0.87	3.05	1.94	0.05	4.75	0.47	1.43	0.95	0.21	0.25	0.09
JXL26	綠	珠子	42	m-Na-Al	60.31	10.70	17.07	1.92	0.30	2.16	1.14	0.04	1.08	0.13	2.70	1.04	0.10	0.38	0.15
JXL27	橘	珠子	58	m-Na-Al	58.99	10.81	14.48	2.04	0.79	3.18	1.70	0.03	5.20	0.39	0.90	0.84	0.28	0.20	0.10
JXL28	藍	珠子	53	m-Na-Al	63.45	11.28	17.52	2.48	0.23	1.69	0.83	0.05	0.86	0.03	0.26	1.07	0.09	0.25	0.11
JXL29	藍	珠子	36	m-Na-Al	62.78	9.86	19.89	1.38	0.23	1.97	0.79	0.07	0.87	0.05	0.21	1.33	0.11	0.29	0.09
JXL30	綠	珠子	47	m-Na-Al	60.86	11.56	16.59	1.62	0.38	2.38	1.19	0.07	0.69	0.11	2.11	1.04	0.10	0.39	0.16
JXL31	綠	珠子	32	m-Na-Al	61.40	11.13	15.33	1.81	0.33	2.23	1.08	0.09	0.71	0.11	2.70	0.88	0.09	0.35	0.15
JXL32	黃	珠子	37	m-Na-Al	56.34	13.37	18.42	2.18	0.31	2.22	1.12	0.03	0.05	0.20	2.64	1.06	0.12	0.40	0.24

樣本 編號	顏色	遺物 類型	次數	成份 類型	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	MgO (%)	CaO (%)	FeO (%)	MnO (%)	CuO (%)	SnO ₂ (%)	PbO (%)	Cl (%)	SO ₃ (%)	Ti (%)	Ba (%)
JXL33	黃	珠子	47	m-Na-Al	57.83	13.89	17.50	2.63	0.39	2.45	1.28	0.04	0.05	0.08	1.66	0.98	0.08	0.45	0.22
JXL34	red	珠子	15	m-Na-Al	61.88	7.64	14.41	4.73	2.04	3.61	1.24	0.10	0.94	0.06	0.33	0.80	0.06	0.21	0.16
JXL35	red	珠子	49	m-Na-Al	61.53	12.03	16.77	2.36	0.44	2.37	1.25	0.05	1.29	0.15	0.34	0.92	0.10	0.40	0.20
JXL38	黃	珠子	27	potash	73.43	1.72	0.40	13.64	0.16	0.90	0.41	0.20	1.85	0.10	3.55	0.13	0.06	0.03	0.07
JXL39	藍	廢料	45	m-Na-Al	63.08	9.19	19.81	2.32	0.32	1.88	1.04	0.04	0.31	0.01	0.09	0.42	0.37	0.32	0.08
JXL41	水藍	廢料	39	m-Na-Al	67.60	6.45	18.06	1.78	0.39	1.83	1.21	0.05	0.21	0.01	0.03	0.46	0.38	0.29	0.11
JXL43	深藍	廢料	58	v-Na-Ca	64.03	1.40	15.84	2.79	5.80	5.29	1.19	1.57	0.24	0.00	0.02	0.59	0.28	0.06	0.04
JXL44	藍	廢料	33	m-Na-Al	66.90	6.57	18.03	1.34	0.24	2.37	1.14	0.07	0.82	0.06	0.06	0.51	0.33	0.36	0.10
JXL46	藍	廢料	48	v-Na-Ca	60.26	3.93	19.78	2.66	3.73	5.47	0.83	0.03	0.98	0.00	0.04	1.17	0.21	0.09	0.05
JXL47	紅	廢料	40	v-Na-Ca	59.33	3.28	16.46	2.50	3.89	8.52	1.65	0.48	1.26	0.06	0.34	0.59	0.33	0.11	0.06
JXL48	黃	廢料	36	m-Na-Al	54.27	12.62	19.51	1.94	0.12	1.75	0.67	0.03	0.06	0.62	5.83	0.88	0.30	0.27	0.13
JXL49	水藍	廢料	40	m-Na-Al	62.26	10.53	19.49	2.70	0.28	1.91	0.73	0.04	0.20	0.00	0.02	0.40	0.22	0.30	0.13

