

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 地球科學科

最佳(鄉土)教材獎

030503

解密之旅-金門吳須土的調查研究

學校名稱：新北市立積穗國民中學

作者： 國二 吳定衡 國二 廖奕維 國二 黃釋興	指導老師： 張峻瑋 何黛英
---	-----------------------------

關鍵詞：吳須土、鐵質結核金門層

摘要

金門吳須土，古稱碗青，作為古代青花瓷釉彩原料，曾是金門貿易史及陶瓷藝術史上的重要角色；但卻未曾建立有岩石標本、照片，也缺乏相關研究。本研究以在白龍潭、尚義、古寧頭、西洪、白乳山等地尋得吳須土，作成分分析及比較，釐清了吳須土樣貌、特質與存在地。研究發現，吳須土位在結核層，內含物質最多的是二氧化矽，其次為三氧化二鐵，但特點在於有高含量的氧化鈷，本研究所採樣的吳須土，氧化鈷含量皆在 1% 以上。

各地吳須土樣貌差異大，有球狀、塊狀、板狀等，但與同在鐵質結核層的貓公石、鋁礬土並不相同。

壹、研究動機

媽媽是金門人，從小帶我每年至少回金門探親旅遊兩次。有回在金門白龍潭，撿到一顆外有圓球狀紅棕硬殼岩石，敲開後核心為黑色物質，對地質頗有研究的大舅判斷，這應該是金門特有的礦土「吳須土」。

明代起，金門就是青花瓷釉彩的重要產地，這種釉土礦存在於金門地層中，稱為吳須土，古代金門人稱之為「碗青」。可能因現存吳須土數量極少，缺乏相關研究結果，未曾建立岩石標本，金門人也多不清楚這深具歷史意義的岩石。我們希望能發掘出吳須土的分布、樣態及性質，讓傳說中的吳須土現出身影。

貳、研究目的

- 一、進行金門吳須土的相關文獻探討。
- 二、實地觀察金門吳須土現存地點的岩層，並進行吳須土的樣本採集。
- 三、辨識吳須土的外觀、顏色，並進行成份檢測。
- 四、推論吳須土形成的可能原因。

參、文獻探討

一、吳須土的形貌與組成

吳須土(市村毅，1943)是含錳土的酸化鈷土，金門島的吳須土外觀多樣化，塊狀密質、塊狀多孔質、球狀、粒狀、葡萄狀、鐘乳狀、板狀、或中空狀。吳須土多由石英砂或小礫石所充填膠著而成，夾雜礫石或岩片而呈岩礫狀外觀。在吳須土中含極微小或很少砂粒時，不只大多呈黑色，還有多孔質的情形。

從金門各地取樣的吳須土進行成分分析，全部都是含矽酸最多，大部分是因為含石英(59.69%)、其他岩片的關係。鐵質多的話，一般來說鈷土就不多，反而富含錳。雖非全部如此，但大致上傾向含鈷土。(數據表中僅沙仔頭(今尚義)鈷含量超過 1%)

更新世沉積是小金門島、其他的小島和中國相同的地層，由更新世沈積物質組成研究得知，金門沉積物是來自大陸。含吳須土的砂礫層被風化分解後的成分容易被搬運，殘存氧化亞鐵、氧化鐵、矽酸、礬土等形成紅土化，經地表水作用後，紅土裡的鈷土會局部豐富聚積。

二、吳須土的分佈

(一)金門的地層

構成金門島的基盤岩石為中生代的花崗片麻岩，岩盤之上依序堆疊金門層、紅土層、玄武岩層與近代沖積層，晚第三紀的玄武岩熔岩流覆蓋於已風化的花崗片麻岩或第三紀沉積岩之上(圖 1)。(吳啟騰、林英生，1998)

紅土礫石層則以移積或河流沖積形成的紅土層與礫石層為主，覆蓋在基盤岩、金門層及烈嶼玄武岩之上。(陳培源，1970)

鐵質結核層

出現在壟口、北山、南山沿岸裸露出的多孔狀鐵質結核層，俗稱「貓公石」。結核成分含褐鐵礦質、黏土，並吸附有鈷、錳等金屬成分，俗稱為吳須土。也有另一種鋁含量較多的鐵質層，由含三水鋁石及針鐵礦組成，稱鋁礬土。

金門層為不整合覆蓋在基盤岩上的含黏土細砂岩及礫岩，為古九龍江河道所堆積，分布範圍涵蓋金門島南部及烈嶼南部。(陳培源，1970)

地質年代	地層	柱狀圖	厚度	說明
第四紀	現代沉積層		不定	河床、海濱、山麓沉積物。 玄武岩流、礫岩土。
	紅土層		數公尺至數百公尺	有一層以上的厚層礫層。 有含核質薄層。 有一層以上非殘留成因的黏岩土及富鐵質結核層(又名吳須土)，分布不規則。有些部份有蟲紋。
新第三紀至第四紀	金門層		數公尺以下	泥炭層：沙美等地方的玻璃砂層或在本層末期形成。
			10公尺以下(?)	含黏土砂層：有許多交錯薄層，有些部份有蟲紋，亦有非殘留成因的礫岩土。
			0.5公尺至10公尺	上層礫土層：色白或白黃，有沿著裂隙出現的紫紅色斑紋。
			3公尺至15公尺	含黏土砂層：有交錯薄層，偶有紅土化部份。
中生代	已風化的花崗片麻岩		0.5公尺至2公尺	下層礫土層：分布範圍較上層礫土層為窄小。
			30公尺以下	含黏土砂層：其中含有數層礫石層。距片麻岩岩體15公尺以內有一層含石英質岩石之粗礫層，其它礫石層情形不詳，亦有分布不廣之薄黏土層之上界或下界偶受紅土化作用。
中生代	花崗片麻岩		15公尺以下	被地下水侵蝕、風化者，仍留有原岩組織，有紅土化現象。
				基盤岩石：以黑雲母花崗片麻岩為主，含極少脈岩，包括石英岩脈、煌斑岩脈、偉晶花崗岩脈。

圖 1 金門地質剖面圖

(二)吳須土的存在地層及地點

吳須土產地限於白土化砂層與紅土層存在的地域，產地由東到西包括西洪、新頭、上坑(今名成功)、浦山、石岩山、占望山、赤山、亭子山、積果山(今名白乳山)、後埔等地。(市村毅，1943)

三、吳須土的歷史

(一)來自金門的碗青

宋元時期的青花著色劑「土鈷」料來自閩浙交界、金門和廣東潮州一代，鈷料的特色是高錳高鐵低鈷，所以燒製出來的青花呈褐色或灰藍色(余光仁，1895)。道光十年(1830年)以前，以青花瓷器著名的景德鎮瓷器所採用的釉料，便是金門所產的「碗青」。(金門國家公園電子報)金門島的吳須土已有百年開採記錄，一直以來被當做顏料的用途。(市村毅，1943)

(二)過去吳須土的利用

先洗滌後，將吳須土放置石臼中，搗至粉碎狀後，倒入容積1丈立方的水槽中攪拌，讓雜質分離。浮在水槽水面上方的吳須土移置另外一槽，進行沉澱的工程。沉澱下來呈現出藍黑色的物體，可以塗在陶器上，燒製陶器後，會呈現美麗的藍色。(市村毅，1943)

肆、實驗設備和器材

一、實地採集：相機、鏟子、尺

二、標本磨製：槌子、報紙、研钵、杵、燒杯、紗布

三、標本觀察：顯微鏡

四、氧化鈷顯色實驗：陶板、電子秤、透明釉、秤量紙

五、成分分析：薊頭漏斗、錐形瓶、橡皮管、雙氧水、秤量紙、電子秤、感應偶合電漿光譜儀、磨石機、超音波震盪機、電子窯

伍、研究方法和過程

本研究主要流程如圖 2 所示：

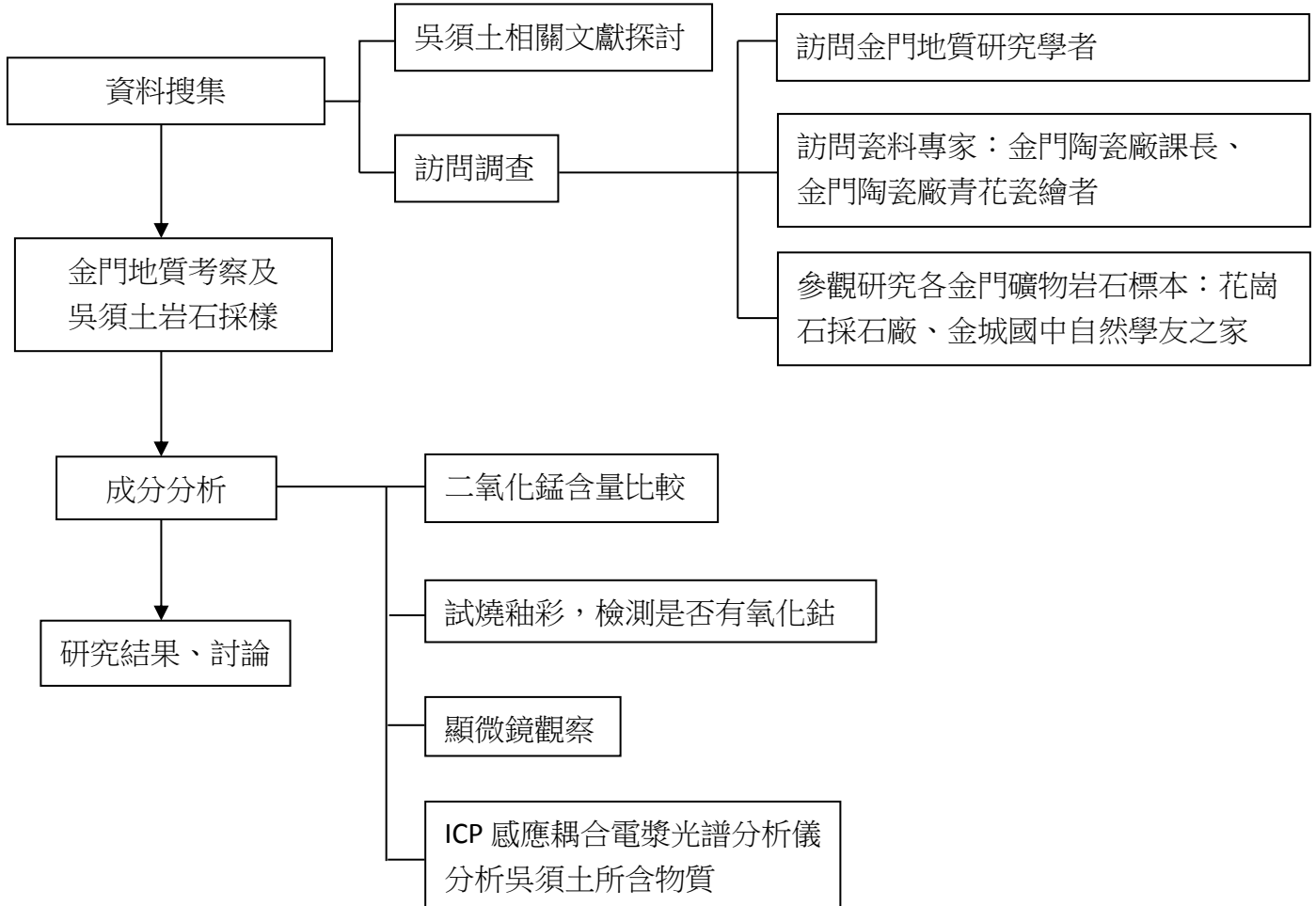


圖 2 研究流程圖

一、資料收集與訪問調查

(一)在進行文獻探討的過程，不管是 google 或是論文的網站，都沒有找到吳須土的專題研究，最後我們在中研院的歷史研究所，發現了日據期臺灣帝國大學市村毅教授所撰的研究論文，我們研究中對吳須土的樣貌及可能存在地點的判斷，即是根據此市村毅教授的論文。

(二)訪問小金門的烈嶼小學地質專家林英生校長，進一步理解吳須土的特性、存在地層及利用價值；參訪金門陶瓷廠、金門花崗石廠(現已更名為養工所)、金門自然學友，對過去金門吳須土的開採和利用進行瞭解。

二、實地探查吳須土存在地層與採樣

(一)根據市村毅文獻，查對新舊地名，前往西洪、料羅、古寧頭、白龍潭、白乳山、尚義、瓊林、成功、小金門等地，進行地層勘察，由於金門地貌變化和植被綠化的緣故，許多地點已無法尋獲吳須土，樣本成功採集的地點包括：西洪軍營工地、古寧頭北山斷崖、尚義、白乳山、過去曾採集到吳須土的白龍潭。(圖 3 中以黃色標記的地點)

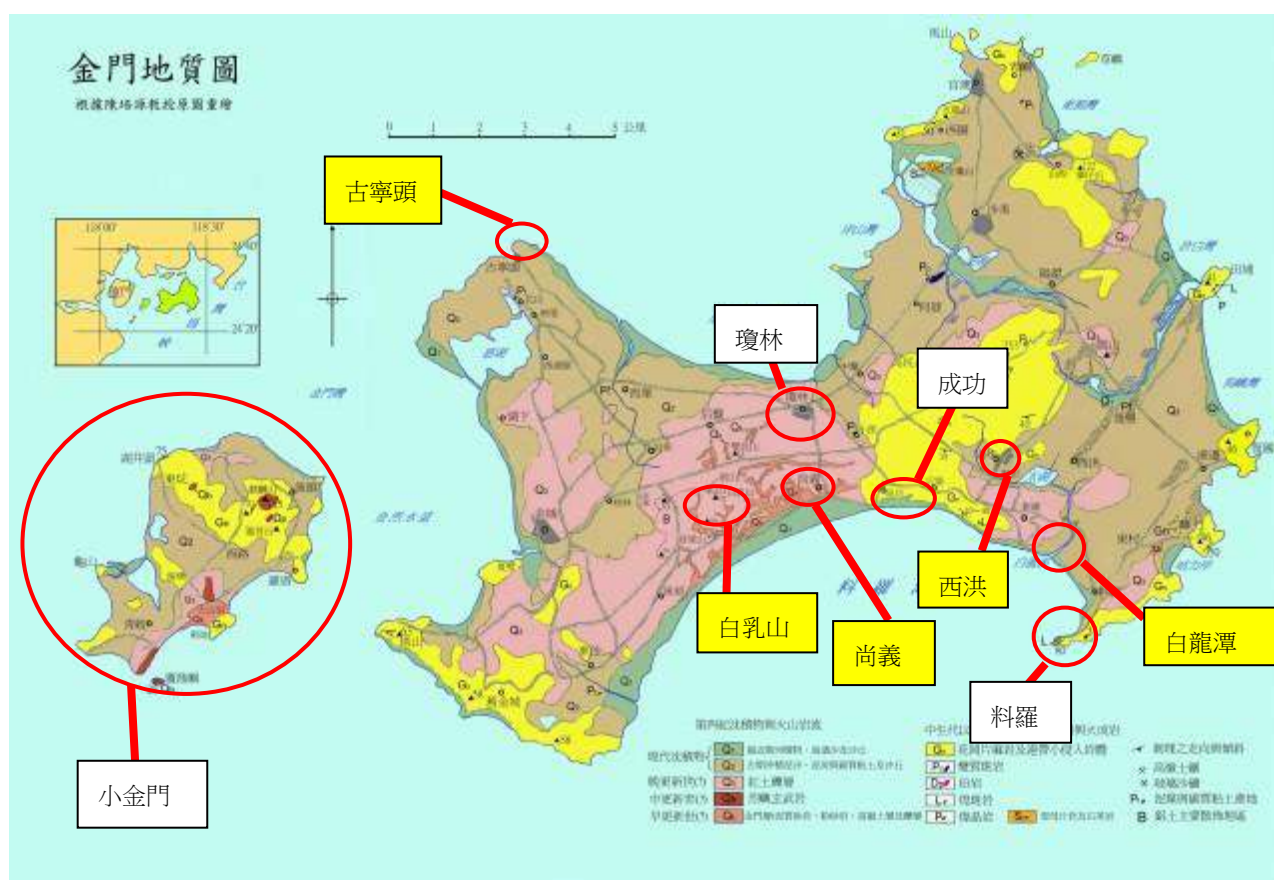


圖 3 以陳培源教授所繪金門地質圖(1970)為依據，編輯標示採樣地點

(二)研究小組根據文獻探討得知，在紅土層及白色高嶺土層之間的地層及礫石中，形狀可能為球狀、塊狀、板塊狀或葡萄狀、粒狀等，附著有黑紫色或黑青色物質的鐵質結核，即可能為吳須土，依此進行採樣。

三、成份檢測：

(一)實驗室吳須土鈷和錳檢測前置處理流程

1.清洗

將吳須土表面用水沖乾淨，去除表面黃土和其他物質。

2.磨碎

使用研钵與杵，將石頭磨成細小粉末。(還是含有黃土)

3.紗布過濾

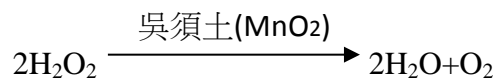
沉澱物都無法通過濾紙，因此就用了濾孔較大的紗布來代替，用水淋洗，過濾出來的物質，就會比原礦鈷和錳的純度更高。

4.傾倒

經紗布過濾的吳須土放入水中靜置，黃土懸浮於水中，五分鐘後，就能將上方含有黃土的水倒掉，留下紫黑色沉澱物，能有效的去除黃土。

(二)比較各地吳須土錳含量的多寡

我們曾將未清洗過的吳須土，滴雙氧水，發現會產生反應，於是懷疑吳須土的錳，為二氧化錳的型態，所以使用排水集氣法，使其中的二氧化錳催化雙氧水反應，根據產生氣體量判斷二氧化錳含量多寡。



1.電子秤秤取吳須土粉末 1g，放置在錐形瓶裡。(使其中的二氧化錳催化雙氧水反應)

2.用量筒取濃度 30%的雙氧水 50 毫升。

3.雙氧水由薊頭漏斗倒入，開始冒出氣泡 5 秒後，橡皮管再放入量筒裡，收集氣體 50 秒並記錄。(必須等 5 秒再收集，是為了避免收集到雙氧水倒進去而擠出來的空氣、量筒和橡皮管都有固定在水裡的位子，避免水壓影響到實驗)

(三)氧化鈷成份檢測

吳須土是過去青花瓷釉彩，以其氧化鈷當顏料。我們用兩種方法製得粉末：

- 1.依文獻將樣本經過清洗過濾，得到較純的吳須土粉末進行燒製。步驟：
 - (1) 清洗
 - (2) 磨碎
 - (3) 紗布過濾
 - (4) 傾倒
 - (5) 跟水混合塗在陶片上，一半上釉、一半乾燒。
 - (6) 電窯燒製三天後降溫。
- 2.將吳須土敲碎，選取礦石黑色物質直接磨成細粉，進行燒製。步驟：
 - (1) 敲擊選取黑色物質
 - (2) 磨碎
 - (3) 跟水混合塗在陶片上，一半上釉、一半乾燒。
 - (4) 電窯燒製三天後降溫。

青花瓷須在釉料上塗一層透明釉才會顯色，為了比較兩者，每片以半邊上透明釉、半邊不上釉方式進行燒製。

(四)顯微鏡觀察

觀察原礦鑿下來的樣本顆粒、經紗布過濾時殘留於紗布上的顆粒，以及通過紗布再經傾倒後留下的顆粒，並進行各採集地點比較。

- 1.清洗
- 2.顯微鏡觀察
- 3.磨碎
- 4.紗布過濾
- 5.顯微鏡觀察殘留於紗布上顆粒
- 6.傾倒
- 7.顯微鏡觀察

(五)前往臺灣工藝研究發展中心進行成分分析

將吳須土帶到研究中心，進行精密的成分分析。我們進行搗細、加助熔劑和配置硝酸與超純水混和溶液等過程，然後 ICP 成分分析。

1.搗細

將細碎的樣本放入鋳片、壓克力管、鋳球的組合，再以球磨機研磨。
(樣本顆粒越細越容易熔化，細如太白粉最佳)

2.加助熔劑

使用電子固液體比重計，將樣本 0.01g、硼酸 1g、碳酸鋰 0.3g 依序加上，並混合在一起，使樣本再燒結時更易熔化。

3.燒結

將加入助熔劑的樣本放入白金坩鍋，送入電窯以 1000°C 燒製。

4.泡消化溶液再進行超音波震盪

燒結完成後，白金坩鍋內的樣本已成玻璃相，接著放入事先配好的消化溶液，在超音波中震盪，加速樣本從白金坩鍋脫離。

5.上 ICP 儀器檢測(研究中心進行)

脫離後的吳須土樣本放入 ICP 儀器進行成分分析。

陸、研究結果

一、訪問調查

(一)吳須土研究現況

吳須土的定義在國內金門地質研究中仍是不太明確的，其真實樣貌、各項特質，均未經過定質定量的驗證。文獻中，吳須土的確存在於金門地質中，然而在數十年地質研究過程中，未曾真正找過吳須土，只知吳須土是塊狀膠結，看似石，硬度卻不如岩石堅硬，無法明確得知其內含成分、比例，且其外觀、成分容易與貓公石混淆，不容易區辨，而出現原因，可能是因為過去金門的火山爆發噴出鈷及錳之類的礦物，並經由長時間的水流注入結核層。另外，由於金門島全面性的美化與建設，使吳須土相關的地質學研究探討變得困難。(訪問整理)

(二)吳須土氧化鈷成分與青花瓷成色關係

在明代有種釉彩名為吳須釉，比起進口青花釉料濃豔，吳須釉的青花釉色帶黑。金門陶瓷廠自民國六十幾年起，便都採用進口的氧化鈷作為青花瓷彩繪顏料，成本低廉。

青花瓷釉料中原始色彩偏黑墨綠色的氧化鈷，經 1200°C 左右的高溫還原法燒製後，將還原出美麗清雅的鈷藍色，而多數顏料在這樣的高溫中將無法顯色，因此以高溫燒製觀察其顯色結果，是區辨是否為青花釉料氧化鈷的方法之一。若氧化鈷含錳成分偏高，將使燒製出來的青花瓷色彩偏黑，而含鐵成分較高的氧化鈷燒製後，顯色將偏紅。(訪問金門陶瓷廠的行政課課長)

(三) 訪問金門花崗石採石廠及金城國中自然學友之家

1.白龍潭過去長年乾涸，潭底盡為白色高嶺土，其中曾見過許多粒狀紅色鐵質結核，敲開來內部是同心圓狀一層層的不同物質。此敘述十分接近我們正在尋找的吳須土。

2.自然學友之家金門各種岩石標本陳列頗多，唯不見吳須土標本。

(四)各項訪問調查結果：

吳須土定義不明確，特質未經定質定量驗證，且目前相當難尋。

二、實地探查與標本採樣

(一)吳須土存在地層實地探查，明顯可以觀察地層斷面的地點包括古寧頭、料羅、新頭、西洪、白乳山、尚義(圖 4)，但並非所有地點均採集到吳須土。

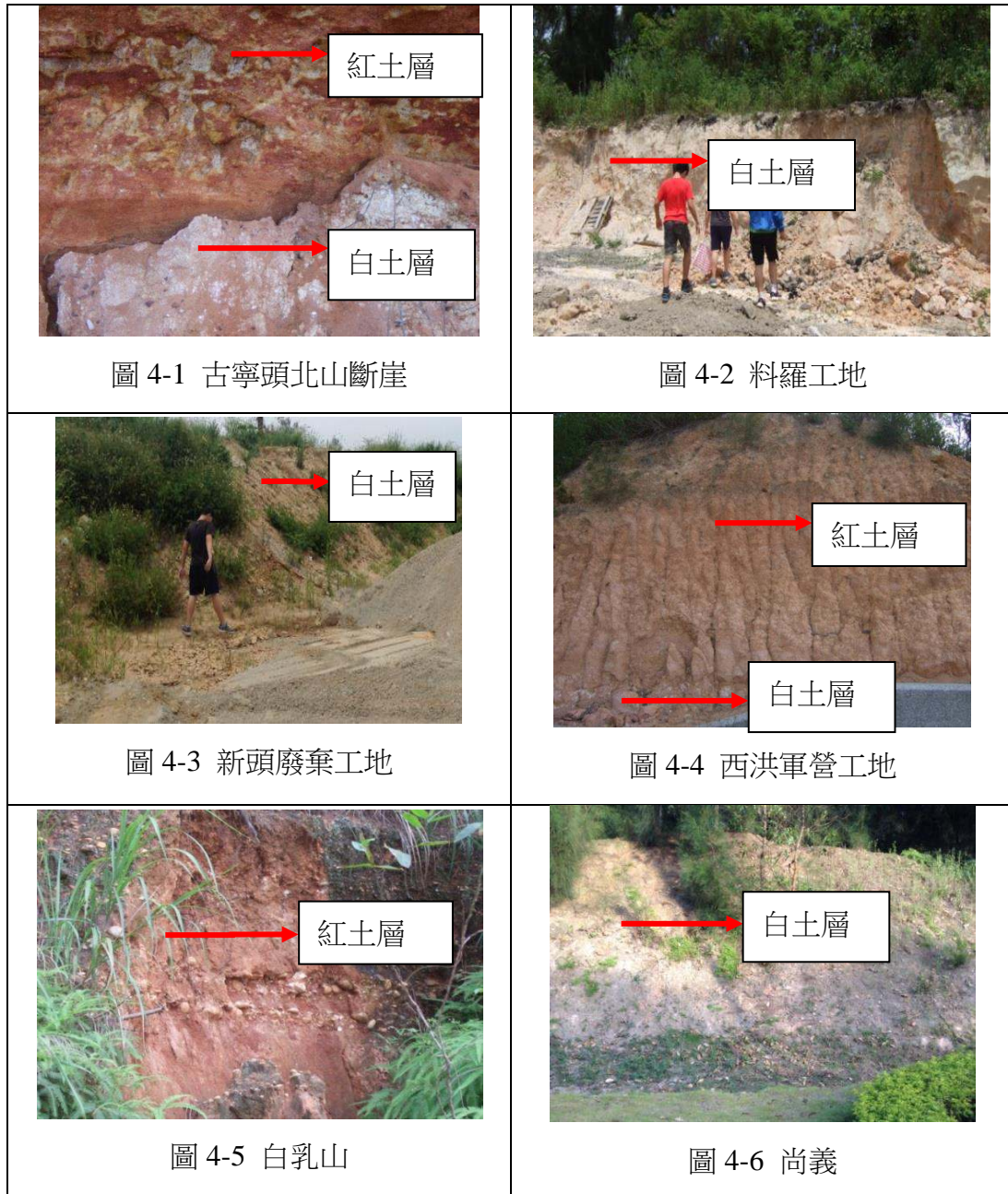


圖 4 考察地點的地層照片

(二)實地勘查地點中，採集到吳須土的地點包含古寧頭、西洪、尚義、白龍潭及白乳山。

1.古寧頭位在海岸線附近，可以清楚的看到白土層及鐵質結核，直接於地面挖取應為吳須土的鐵質結核(圖 5)。



圖5-1 古寧頭吳須土採集地點



圖5-2 古寧頭吳須土礦石外觀



圖5-3 古寧頭吳須土礦石剖面

圖 5 古寧頭吳須土採集地點及所採集礦石外觀、剖面照片

2.西洪採集地點的白土層和鐵質結核層，混雜在現代沉積層間裸露，可於近地面白土層中挖出應為吳須土的鐵質結核(圖 6)。

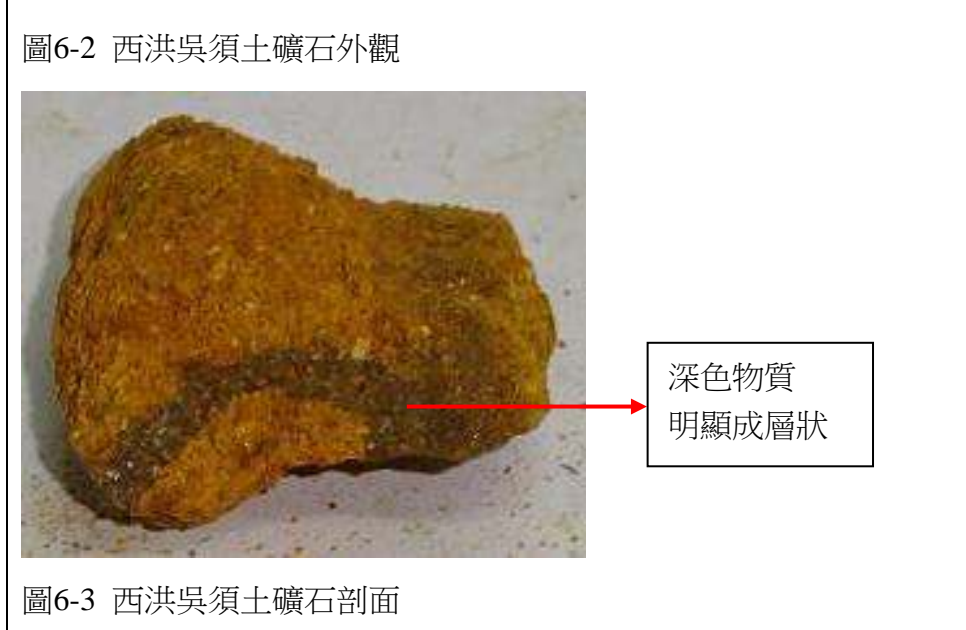
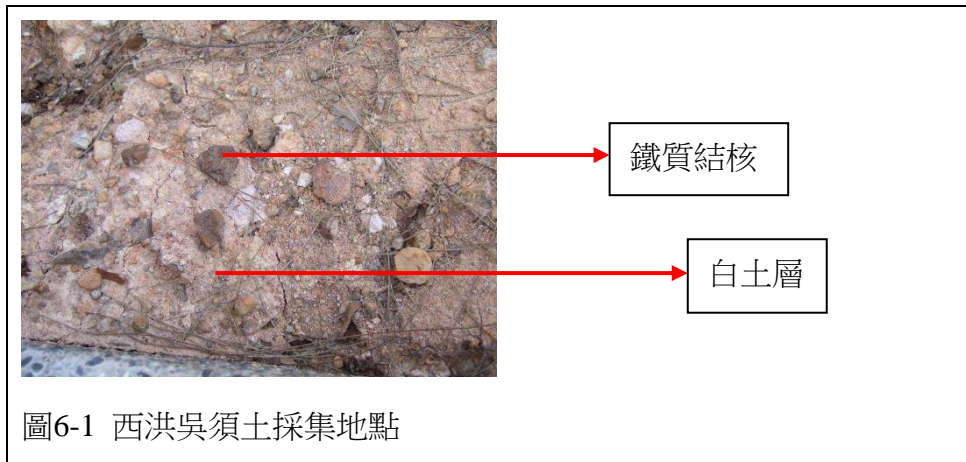


圖 6 西洪吳須土採集地點及所採集礦石外觀、剖面照片

3.尚義採集地點的白土層裸露，但因進行綠化工程，所以白土層與鐵質結核較不明顯，要仔細尋找才能發現(圖 7)。

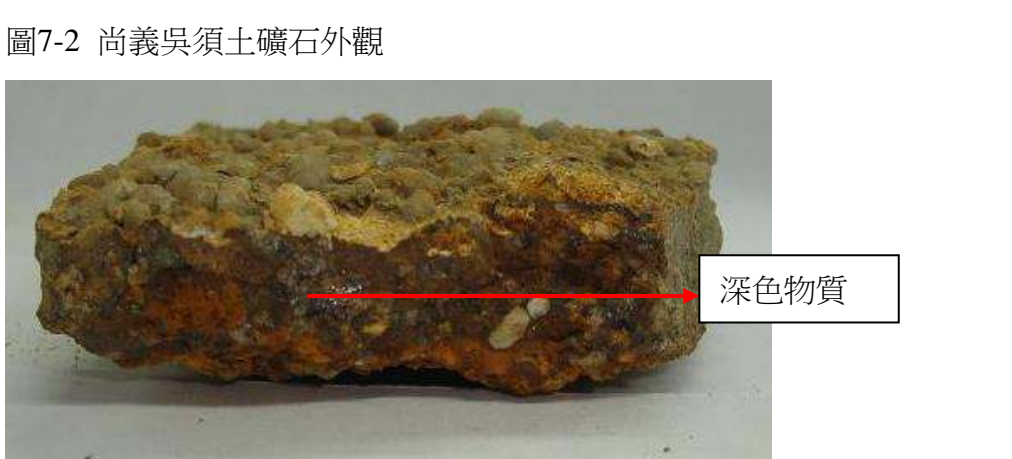


圖 7 尚義吳須土採集地點及所採集礦石外觀、剖面照片

4.白龍潭已被施工，所以無法見到裸露地層，所研究的吳須土礦石為多年前拾獲(圖 8)。



圖 8-1 白龍潭吳須土採集地點



紅黃色外殼

圖8-2 白龍潭吳須土礦石外觀



深色物質
明顯成層狀

圖8-3 白龍潭吳須土礦石剖面

圖 8 白龍潭吳須土採集地點及所採集礦石外觀、剖面照片

5.白乳山過去就是金門白土層裸露的著名地點，故名積菓山，於地表即可撿拾應為吳須土的鐵質結核(圖 9)。



圖9-1 尚義吳須土採集地點

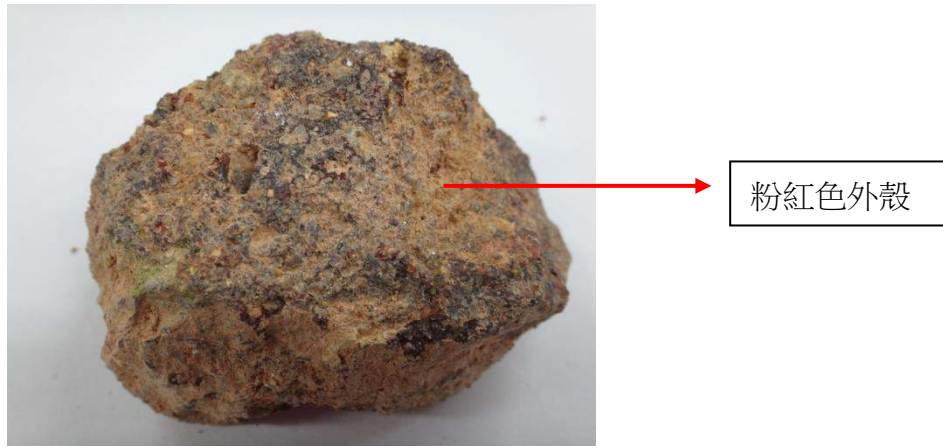


圖9-2 白乳山吳須土礦石外觀

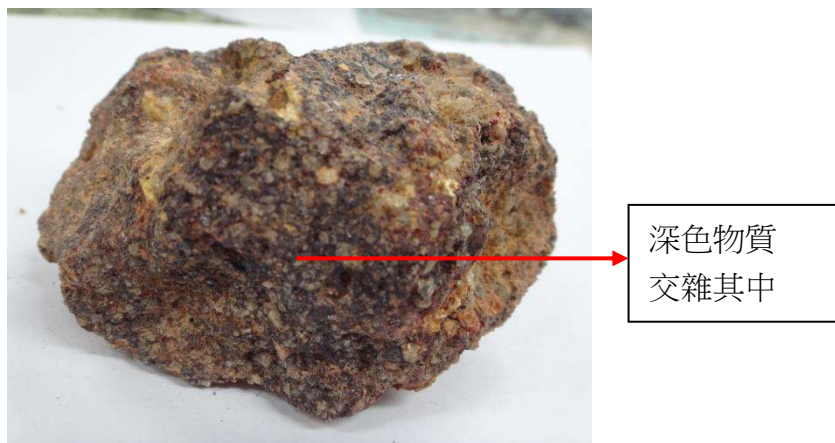


圖9-3 白乳山吳須土礦石剖面

圖 9 尚義吳須土採集地點及所採集礦石外觀、剖面照片

三、成份檢測

(一) 比較各地吳須土錳含量的多寡

表 1 各地點吳須土加入雙氧水後產生的氣體量(以 mL 為單位)

地點 樣本編號	白龍潭	尚義	古寧頭	西洪	白乳山
樣本 A 反應產生氧氣量(mL)	17.0	0.5	0.0	0.0	16.0
樣本 B 反應產生氧氣量(mL)	25.0	0.0	0.5	0.0	37.5
平均(mL)	21.0	0.25	0.25	0.0	26.73

註：表中 0 mL 均為已產生氣體至橡膠管中，但未達量筒。

- 1.五個地點的吳須土粉末皆能與雙氧水產生反應，但除了白龍潭及白乳山以外，其他三地點都未產生劇烈反應。
- 2.白龍潭及白乳山的吳須土中錳含量明顯較高，尚義、古寧頭、西洪三地點錳含量則差異不大。

(二)氧化鈷成份檢測

1.樣本 A 為取礦石內部物質磨碎並經過濾及傾倒後，進行陶片燒製(圖 10)。



圖 10 各地點樣本 A 的氧化鈷粉末燒製陶片結果

- (1) 上透明釉部分，只有白乳山只有顯現藍黑色，其他都是黑褐色。
 - (2) 未上透明釉部分，白乳山呈現黑
 - (3) 灰色，尚義的陶片呈現暗紅色，其他三地則呈咖啡黑色。
- 2.樣本 B 為儘量選取礦石黑色物質直接磨成細粉，即進行陶片燒製(圖 11)。



白龍潭 B 尚義 B 古寧頭 B 西洪 B

圖 11 各地點樣本 B 的氧化鈷粉末燒製陶片結果

- (1) 上透明釉部分，均有顯現出藍黑色。
- (2) 未上透明釉部分，尚義和古寧頭的陶片呈暗紅色，其他二地呈黑灰色。

(三)顯微鏡觀察(所有樣本放大倍率均為 400x)

1.將各地吳須土礦石中的深色物質部分敲下，於顯微鏡下觀察顆粒(圖 12)。

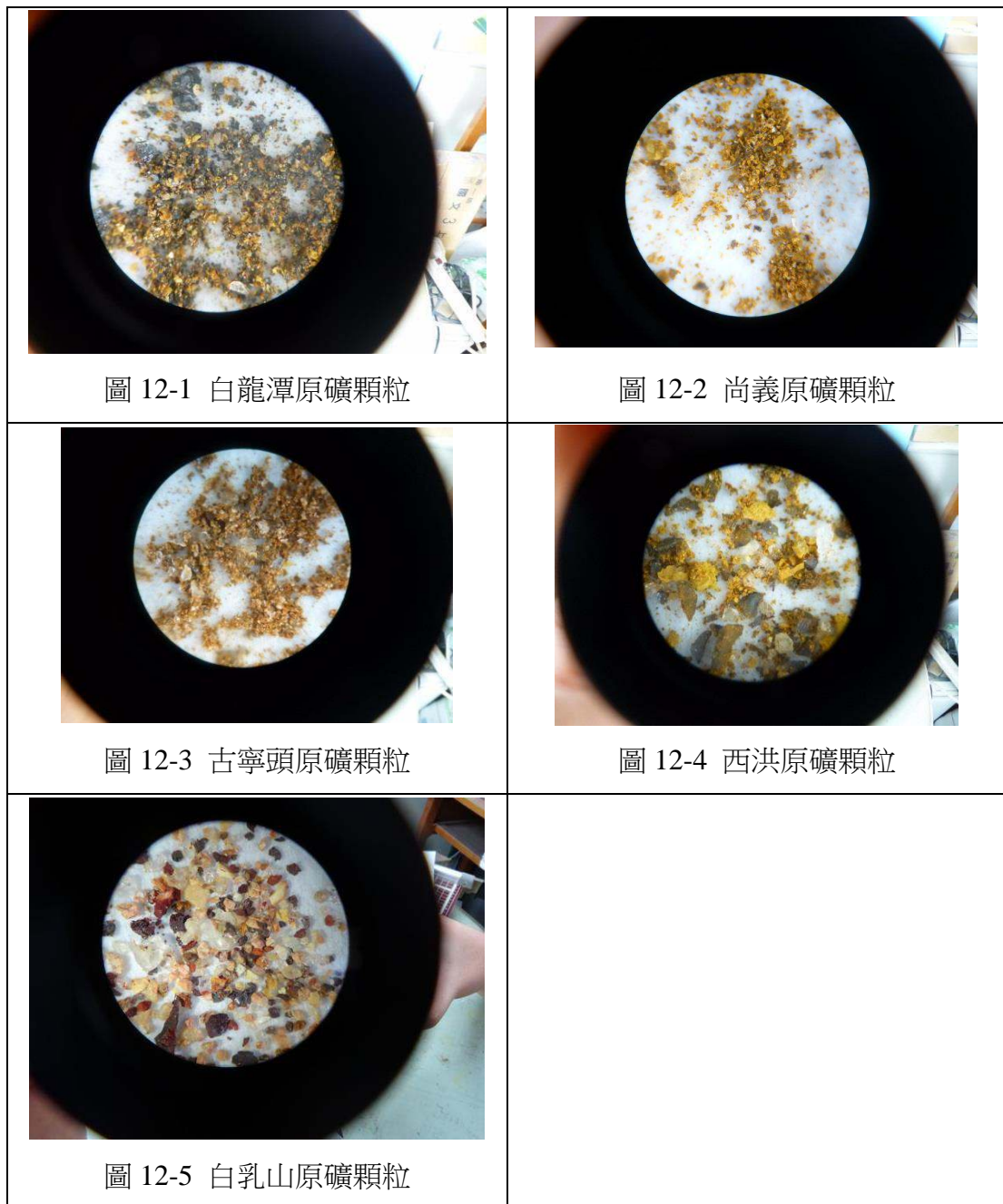


圖 12 各地吳須土原礦顆粒的顯微鏡觀察結果

- (1) 白龍潭、西洪的礦石顆粒明顯有黑色顆粒；尚義和古寧頭的礦石顆粒則大多是黃土；白乳山的礦石顆粒中有不同於其他樣本的紅色顆粒。
- (2) 五個地點都明顯含有石英顆粒。

2. 各地吳須土經過濾後殘留於紗布上的顆粒，以顯微鏡觀察發現(圖 13)。

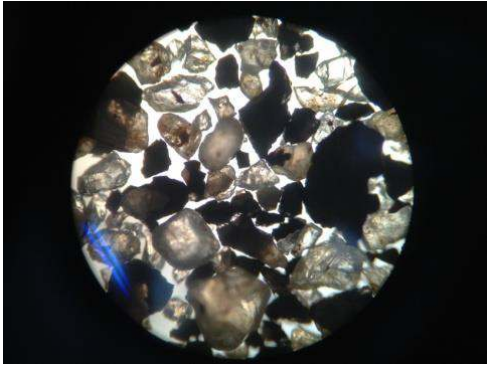
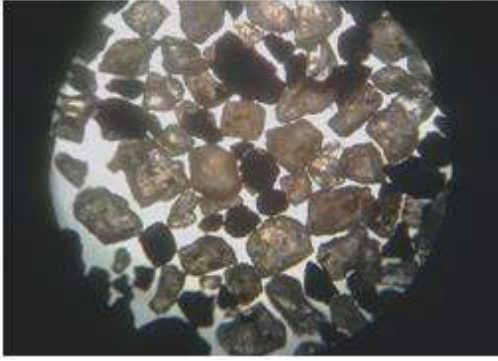
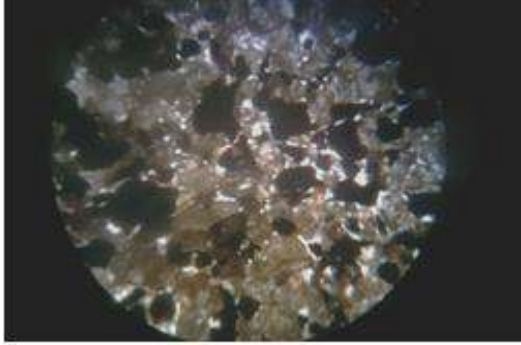

<p>顆粒全數通過，所以沒有照片</p> <p>白龍潭紗布上顆粒照</p>	 <p>圖 13-1 尚義紗布上顆粒</p>
 <p>圖 13-2 古寧頭紗布上顆粒</p>	 <p>圖 13-3 西洪紗布上顆粒</p>
 <p>圖 13-4 白乳山紗布上顆粒</p>	

圖 13 顯微鏡觀察紗布過濾時留在紗布上的吳須土顆粒

- (1) 各地點所見主要均為石英顆粒及黑色顆粒。
- (2) 白龍潭顆粒全部通過紗布，無殘留。

3. 各地吳須土經過濾並傾倒後的細顆粒，以顯微鏡觀察發現(圖 14)，此粉末即為樣本 A 塗在陶片上燒製用的粉末。

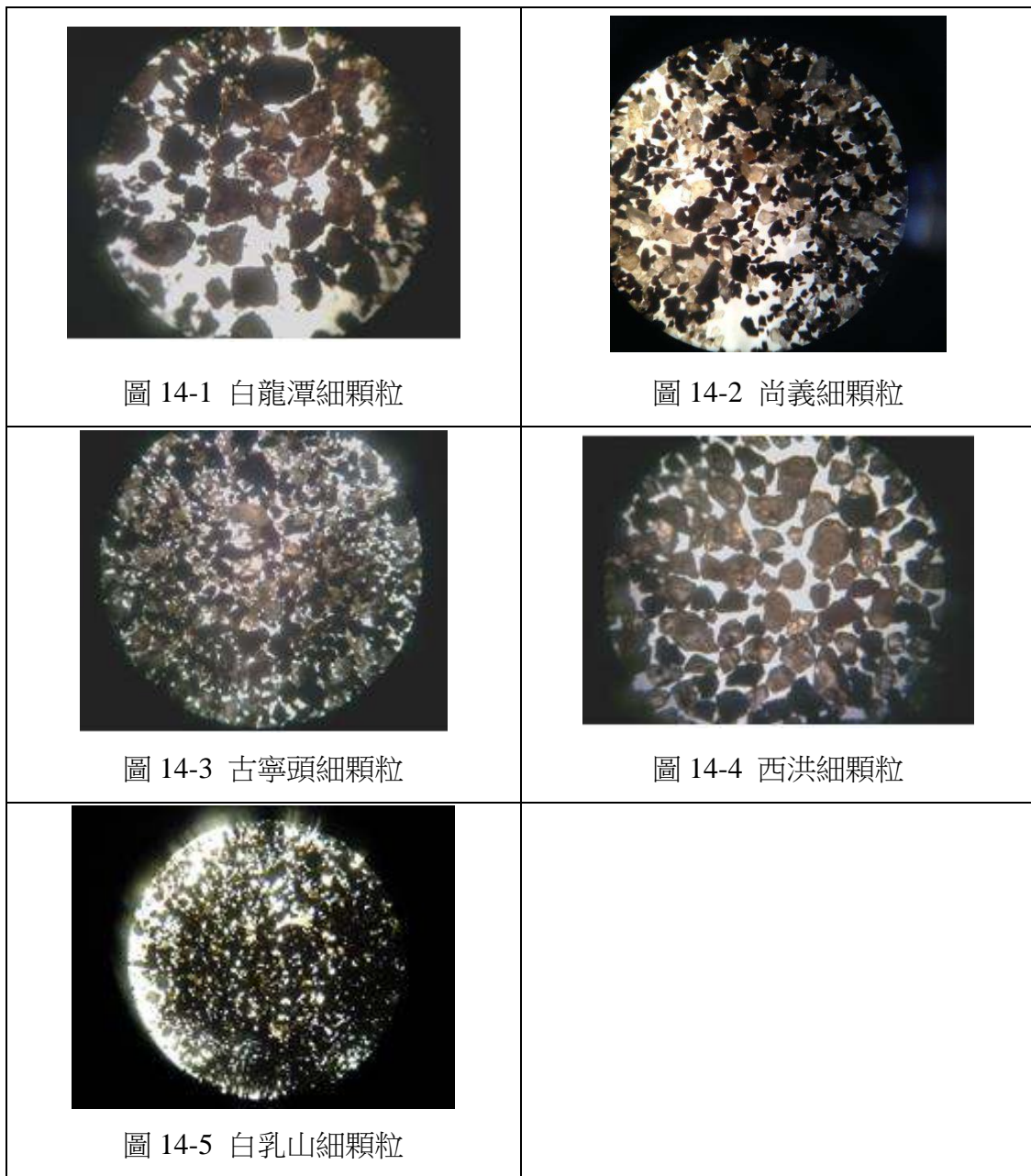


圖 14 顯微鏡觀察塗在陶片上的吳須土粉末

- (1) 經過濾後顆粒明顯比紗布上顆粒細小，但黑色物質比例較高，主要為石英顆粒及黑色顆粒，。
- (2) 白龍潭和白乳山的吳須土粉末的黑色物質量相對較多，應是因為鈷錳含量較高。

(五)臺灣工藝研究發展中心 ICP 成分分析(以百分比為單位)

以各地吳須土礦石樣本進行 ICP 成分分析，其中樣本 A 為取礦石內部深色物質磨成細粉，樣本 B、C 則為儘量精選礦石黑色物質直接磨成細粉，各次 ICP 成分分析列於表 2~6。

註：數據表中標示 ND，表示儀器無法檢出。

表 2 白龍潭不同礦石樣本的 ICP 成分分析結果

白龍潭	樣本 A(塊狀)	樣本 B(板狀)	樣本 C(板狀)
CoO 氧化鈷	1.64	3.28	3.85
MnO ₂ 二氧化錳	0.28	0.07	0.02
SiO ₂ 二氧化矽	50.24	55.84	44.33
Fe ₂ O ₃ 三氧化二鐵	41.74	36.10	43.74
Al ₂ O ₃ 氧化鋁	5.28	3.46	7.13
Na ₂ O 氧化鈉	ND	0.65	0.35
K ₂ O 氧化鉀	0.14	0.08	ND
MgO 氧化鎂	ND	0.36	0.38
CaO 氧化鈣	0.57	0.06	0.15
TiO ₂ 二氧化鈦	0.10	0.10	0.05

表 3 尚義不同礦石樣本的 ICP 成分分析結果

尚義	樣本 A(塊狀)	樣本 B(板狀)	樣本 C(板狀)
CoO 氧化鈷	1.57	3.09	3.44
MnO ₂ 二氧化錳	0.06	0.01	0.01
SiO ₂ 二氧化矽	55.23	56.28	51.77
Fe ₂ O ₃ 三氧化二鐵	38.36	37.45	39.05
Al ₂ O ₃ 氧化鋁	2.91	2.16	4.92
Na ₂ O 氧化鈉	0.45	0.36	0.39
K ₂ O 氧化鉀	0.35	0.11	ND
MgO 氧化鎂	0.13	0.34	0.28
CaO 氧化鈣	0.75	0.13	0.01
TiO ₂ 二氧化鈦	0.18	0.06	0.14

表 4 古寧頭不同礦石樣本的 ICP 成分分析結果

古寧頭	樣本 A(塊狀)	樣本 B(板狀)	樣本 C(板狀)
CoO 氧化鈷	1.50	3.93	3.22
MnO ₂ 二氧化錳	0.03	0.01	0.01
SiO ₂ 二氧化矽	56.09	47.04	52.56
Fe ₂ O ₃ 三氧化二鐵	37.63	44.08	39.80
Al ₂ O ₃ 氧化鋁	2.89	3.63	3.93
Na ₂ O 氧化鈉	0.45	0.10	0.18
K ₂ O 氧化鉀	0.32	ND	ND
MgO 氧化鎂	0.15	0.18	0.19
CaO 氧化鈣	0.67	0.94	0.02
TiO ₂ 二氧化鈦	0.27	0.08	0.09

表 5 西洪不同礦石樣本的 ICP 成分分析結果

西洪	樣本 A(塊狀)	樣本 B(板狀)	樣本 C(板狀)
CoO 氧化鈷	1.19	3.05	3.47
MnO ₂ 二氧化錳	0.02	0.01	ND
SiO ₂ 二氧化矽	60.31	57.30	50.10
Fe ₂ O ₃ 三氧化二鐵	30.34	33.87	40.79
Al ₂ O ₃ 氧化鋁	6.76	4.58	3.72
Na ₂ O 氧化鈉	0.54	0.37	0.18
K ₂ O 氧化鉀	0.39	0.36	0.02
MgO 氧化鎂	0.16	0.30	0.28
CaO 氧化鈣	0.13	ND	1.33
TiO ₂ 二氧化鈦	0.15	0.15	0.10

表 6 白乳山不同礦石樣本的 ICP 成分分析結果

白乳山	樣本 A(板狀)
CoO 氧化鈷	3.31
MnO ₂ 二氧化錳	0.64
SiO ₂ 二氧化矽	49.49
Fe ₂ O ₃ 三氧化二鐵	39.93
Al ₂ O ₃ 氧化鋁	5.12
Na ₂ O 氧化鈉	0.77
K ₂ O 氧化鉀	0.31
MgO 氧化鎂	0.30
CaO 氧化鈣	ND
TiO ₂ 二氧化鈦	0.13

1. 各地採集的吳須土，主要成分含量最高的物質均是二氧化矽(SiO_2)、三氧化二鐵(Fe_2O_3)，這兩者是鐵質結核的主成分。
2. 我們認為深色物質主成分是二氧化錳(MnO_2)和氧化鈷(CoO)，樣本中二氧化錳含量很少，氧化鈷(CoO)含量則均超過 1%，樣本 B、C 則達 3% 左右。

柒、討論

一、吳須土原礦礦石和原礦顆粒顯微鏡照比較

西洪和白龍潭原礦有明顯的黑色物質分層，顯微鏡照也清楚可見黑色物質；古寧頭和尚義原礦是黑色物質與其他成份交雜，顯微鏡照也較難看出黑色物質；白乳山原礦表面呈較粉的紅色，剖面上黑色物質清楚可見，顯微鏡照也清楚可見黑色與紅色物質。

二、各項成分檢測結果與 ICP 光譜分析結果比較

(一)顯微鏡觀察結果與 ICP 光譜分析結果比較

顯微鏡觀察顯示吳須土含有大量石英和黑色物質，黑色物質可能就是氧化鈷和二氧化錳，ICP 光譜分析也顯示有高含量二氧化矽，氧化鈷含量也較一般鐵質結核高，結果相符。

(二)雙氧水催化反應結果與 ICP 光譜分析結果比較

雙氧水催化實驗的結果是白乳山氧氣產量最高，白龍潭其次，古寧頭、尚義、西洪三地最少且差異不大，而 ICP 光譜分析結果，古寧頭、尚義、西洪三地的二氧化錳含量，比白乳山、白龍潭少了一個數量級，結果相符。

(三)鈷燒製顯色結果與 ICP 光譜分析結果比較

1. 樣本 A 為取礦石內部深色物質磨碎並經過濾及傾倒後進行陶片燒製，大部分陶片上釉部分呈黑褐色；樣本 B 為儘量選取礦石深色物質直接磨成細粉進行陶片燒製，結果所有陶片上釉部分呈現藍黑色。

對照 ICP 檢測結果，氧化鈷含量約 1% 左右，陶片燒製呈現黑褐色；氧化鈷含量約 3% 左右，陶片燒製呈現藍黑色。

2.部分陶片在上釉與未上釉兩部分，顏色明顯不同，尤其是尚義及古寧頭的樣本 B，未上釉的顏色為紅褐色，表示氧化鈷要在有上釉的情況下，才會顯出藍色。

3.陶片釉色與元代和現代青花瓷釉色比較：

元代釉彩主要來自金門及江浙，顆粒粗大，含黑褐色斑點，其色彩、色相與樣本 A 所燒製的偏黑(含錳量高)、帶褐色(含鐵量高)的釉色十分相似(圖 15)；現代釉彩仰賴進口，研磨細緻，純化較完全，呈美麗鈷藍色，無黑色斑點，與樣本 B 的顏色較為相近(圖 16)。



圖 15 發色還原不佳的元代黑褐色青花瓷



圖 16 發色還原佳的現代青花瓷

三、成分分析結果與市村毅研究結果比較

(一)氧化鈷與二氧化錳成分比較：

1. 市村毅的研究發現，吳須土成分含量最高為二氧化矽，約 50-60%，與我們 ICP 的結果相當，三氧化二鐵及氧化鋁的共同含量約為 6%，但我們 ICP 的結果，三氧化二鐵含量高達 30-40%。
2. 市村毅研究發現，含鈷土成分最高的是沙仔頭(今尚義)產的板狀種，且各地吳須土氧化鈷含量，除尚義外均未達 1%；我們分析結果是尚義含氧化鈷成分低於白龍潭和白乳山，且各地吳須土氧化鈷含量均高於市村毅研究結果，最多可達 3%。
3. 市村毅研究發現，吳須土成分次高的是二氧化錳(28.99%)，而我們分析的結果，二氧化錳含量極低，不到 1%。

(二)與市村毅研究結果不同的可能原因

現在取樣自然環境條件，與 70 年前存在差異，且現今的電子儀研磨、分析技術及光譜分析儀器等，均遠優於 70 年前市村毅研究的時代。

四、金門島生產的吳須土，是一種含鈷量較高的鐵質結核，根據文獻資料，推測可能的形成原因：

(一)地殼主成分為矽酸鹽，完全風化後形成的黏土中，主要是溶解度較低的二氧化矽及鐵、鋁、鈦、鎳、錳等各種金屬離子，若再經雨水不斷淋濾，鐵、鋁等離子均以氧化物形式存在。金門層為古九龍江河道堆積的沉積層，位在九龍江上游的福建，北方也存在鈷土礦(珠明料_百度百科)，因此金門吳須土的鈷土物質，可能是隨著福建一帶的砂礫層風化搬運至金門後沈積，在此形成由石英和氧化鐵所膠結的鐵質結核，並吸附聚積了鈷、錳等礦物質，在白土層之上形成吳須土。

(二)玄武岩為基性火成岩，岩漿位在地下稍深處，含有較高的氧化鐵和氧化鎂，由於噴發時產生大量氣孔，中間空隙常被其他礦物充填，形成斑狀，有的玄武岩氣孔中還充填有銅、鈷與硫磺等礦物。金門層頂部為

紅土化玄武岩礫岩層以及玄武岩流，長年的風化淋濾，亦會使物質洗至下層，沉積於紅土層與白土層之間，與氧化鐵、石英顆粒等混合膠結形成吳須土。

五、吳須土、貓公石與鋁礬土均位在鐵質結核層，但有所差異：

(一)根據市村毅(1943)研究，金門只有吳須土作為燒製青花瓷的釉料，經燒製可顯現藍色，是因為吳須土富含氧化鈷，一般鐵質結核、貓公石、鋁礬土並沒有這種特性。

一般鈷土礦成分中，具有錳含量高、鈷品質及成分變化大的特點，鈷含量分佈區間頗大，約 0.2% - 3.0% 之間，而一般鐵礦中伴隨生成的鈷含量甚少在 0.7% 以上，含鈷黃鐵礦含鈷成分則大約介於 0.2% - 0.7% 之間，吳須土的鈷含量數值顯然高於一般鐵礦的鈷含量。

(二)貓公石出現在金門古寧頭以及烈嶼埔頭一帶，為紅褐色或黃褐色，外觀蜂窩狀多孔洞的鐵質膠結岩石，組成成分為石英、赤鐵礦及少量黏土，是鐵質膠結經海水的侵蝕作用形成的特殊地形景觀。

吳須土與貓公石外觀及成份似乎有容易混淆的問題，但其實存在可分辨的差異：吳須土外觀並非蜂窩狀，孔洞較少，石英顆粒較多，且因含有鈷、錳等微量元素，顏色偏黑；貓公石的孔洞較多，顏色偏紅，石英膠結較少(圖 17)。



貓公石

吳須土

圖 17 吳須土與貓公石的外觀比較

(三)鋁礬土是一種鋁含量較多的鐵質結核層，由含三水鋁石及針鐵礦組成，為鋁礬的一種，熱帶潮濕多雨地區，岩石風化後經雨水淋濾，鐵、鎂流失，殘留矽、鋁，易形成石英與三水鋁石等礦物。

六、過去的研究文獻中，實際有採集到吳須土並進行量化分析的，僅市村毅教授的研究，他取得吳須土的地方，通常是裸露的地層，如海邊、裸露未有植被的山頭，或是峭壁。而現在的金門大量植樹綠化，建設頗多，很多吳須土的自然存在環境已被改變，所以目前吳須土相當難尋。

民國 17-18 年後，有便宜的代用染料出現，金門的吳須土就停止開採(市村毅，1943)，後續金門地質研究，僅知在紅土層與金門層中存在吳須土，卻未見吳須土的相關研究或岩石樣本，甚至常有資料是將貓公石與吳須土混為一談的，我們的研究確認了吳須土的成分的確與金門其他鐵質結核有所不同，也真的可以燒出鈷藍色陶片，建議可以將相關資料加入金門的鄉土教學，讓更多人認識吳須土，也可以激發地景保育的觀念。

捌、結論

一、結論

- (一)金門吳須土位在鐵質結核層中，是一種鈷土礦，有高含量的氧化鈷，為古代青花瓷的釉彩顏料來源，古稱碗青。研究發現，各地吳須土中氧化鈷含量均高於一般鐵礦。
- (二)與過去唯一對金門吳須土做過定量分析市村毅研究結果比較，我們所採樣的吳須土中氧化鈷均有超過 1% 以上的高含量，其中又以白乳山的吳須土成分較為精純，非如市村毅所述，只有沙仔頭(今尚義)吳須土氧化鈷含量超過 1%。
- (三)吳須土粉末試燒釉彩，要有 3% 以上才會顯先現出藍色，但仍非十分純正的青藍色，可能是純化不足，若純化不易，現存吳須土地點又少，要繼續以吳須土為釉料來源，恐不符經濟成本。
- (四)同樣存在鐵質結核層的吳須土、貓公石、鋁礬土，外觀、成分是有所差異的，可以推行金門的鄉土教學，讓更多人了解，並激發地景保育觀念。

玖、未來展望

未來可至符合的各地層廣泛採樣，比較不同地點吳須土含量、成分、外形的差異，除了可以建立吳須土地圖，並進一步確認吳須土真正成因。

壹拾、參考文獻

書籍期刊

1. 金門地質地貌(林英生、吳啟騰，1988)
金門島の吳須土に就て (市村毅 Ichimura, Takeshi, 1943)臺灣博物學會
會報=Transactions of the Natural History Society of Taiwan;第 33 卷。
2. 金門島及烈嶼地質說明書。經濟部金門地質礦產探勘隊工作報告(陳培源，
1970)。
3. 龍村倪(2007)。景德「青花」下西洋。第 7 屆科學史研討彙刊，頁 261-278。

網路資料

- 1.金門國家公園管理處(2011)--金門國家公園地質地形:
http://www.kmnp.gov.tw/ct/index.php?option=com_content&view=category&id=93&Itemid=273
- 2.金門養護工程所 (2011)。--地質資料館-金門地質史:
<http://mrpla.kinmen.gov.tw/Data/Index3.aspx>
- 3.http://www.kmnp.gov.tw/jp/filesys/file/dl1/97-geology_paper_01.pdf
- 4.5<http://blog.udn.com/t292740/7381949>
- 5.古代陶瓷著色劑的幾個問題(余光仁，1895)
http://www.artyi.net/fav_7_9361.html
6. <http://blog.udn.com/t292740/7381949>

【評語】 030503

優點：

此研究使吾人更瞭解吳須土，與人文互相結合，增進地方特色。

缺點：

沉積物的組成很複雜，在標本處理過程中，需把吳須土和其他土分離。

建議改善事項：

需先探討如何明確分離吳須土。