

石器的白化現象

——以良渚文化石器爲例的研究

楊美莉
國立故宮博物院
器物處

提 要

白化現象普遍發生在玉石器經長時期的埋藏之後，是地質學上所謂的「次生變化（secondary alteration）」。導致白化現象發生的原因不只一端，石材本身的礦物性質、石器製作過程中對表面的處理、個別石器的埋藏環境等。本文擬以一批新石器時代晚期江浙地區的良渚文化（ca.3200-2100 B.C.）石器爲例，對石器在埋藏的過程，主要因石材的性質、埋藏的環境、表面處理的不同，乃至造成白化的程度、狀況不同的現象，提出幾點觀察後的研究心得。

關鍵詞：石器、良渚文化、白化現象、次生變化、江浙地區

一、前言

新石器時代各地區已普遍使用石材製作工具、武器、裝飾器甚至於禮器等。這些石器在完成人們賦予的任務之後，在當時或其後大多被埋入土中。經過長時間的埋藏後，石器表面甚至於內部，即會發生地質學上所謂的「次生變化（secondary alteration）」，此一變化較明顯的特色，是肉眼可以觀察到的白化現象。白化現象的成因有多端，石材本身礦物成分與組成、個別器物的埋藏環境、製作過程對器表所做的處理等，都可能是決定白化程度以及狀況的因素。

2002年春天，本院接受了一宗新石器時代石器的捐贈，從捐贈者提供的訊息以及石器的製作風格觀察，其大多屬於近一、二十年上海、嘉興、杭州地區出土的良渚文化（ca.3200-2100 B.C.）遺物。¹ 因此，就整個埋藏的大環境而言，此宗石器的埋藏背景有相當程度的一致性。惟就這一批石器，我們有系統地取樣，做薄片岩相學分析，² 其結果顯示此批石器所使用的石材種類雖整齊，然頗富多樣性，³ 故整體觀之，此批石器在經過長時間的埋藏之後，其產生的白化現象是不盡相同的。

過去半個世紀發掘的江、浙地區良渚文化的墓葬遺址已不下千數，⁴ 然較少有對發掘的石器做過詳細報導的，而2000年出版的上海福泉山新石器時代遺址的發掘報告，對良渚文化層以及崧澤文化層的出土石器作了岩石類型的鑑定，⁵ 此提供了本文一個相當有用的比對資料。上海福泉山良渚文化層出土的石器，從整個製作風格、石材性質、埋藏後的白化狀況觀察，其與本院接受捐贈的此批石器的雷同性是極高的。此點我們從後面陸續的引例可知。

石器的白化作用由外而內，呈漸次性的變化。由於受到外在環境的影響，使原本的礦物顆粒間之結合較為疏鬆，造成光的大量漫射或散射，以致於表面看

1 楊美莉，《石器的故事——林耀振先生捐贈石器展》（臺北：國立故宮博物院，2003），頁5-6。

2 此一檢測、分析的工作於2002年委託國立臺灣大學地質系宋聖榮教授執行完成。後文中所使用的岩種之礦物成分的資料，均根據此一檢測報告。

3 此批捐贈石器的岩石種類，參見下節的岩種分佈數據表，若再比對上海福泉山出土石器的岩種，則江、浙地區的變質岩應是最主要的石材來源。
程之牧，〈上海青浦福泉山遺址出土石器的岩石類型與特徵〉，《福泉山——新石器時代遺址發掘報告》（北京：文物出版社，2000），頁178-192。

4 陸建芳，〈良渚文化墓葬研究〉，《東方文明之光——良渚文化發現60周年紀念文集（1936-1996）》（海口市：海南國際新聞出版中心，1996），頁177。

5 程之牧，〈上海青浦福泉山遺址出土石器的岩石類型與特徵〉，《福泉山——新石器時代遺址發掘報告》（北京：文物出版社，2000），頁178-192。

來，顏色淡化乃至成泛白色，這種失色現象（de-color phenomenon）即是本文所謂的「白化現象」。同樣地，中國古代的玉器在經過長時間的埋藏後，亦會出現如此的現象。二十世紀上半葉，研究中國古代玉器的西方學者，對於玉器表面的顏色頗為關注，並嘗試解釋古玉表面出現的“off-white”（此字的字義似乎接近中文的「泛白」）現象，是一種「鈣化作用」（calcification）的結果，⁶而推測此一作用的機制，或是玉石器受到周圍環境的碳酸塩的影響，導致玉器中的鈣被碳酸化了。⁷惟此說以及「鈣化」一詞，由於陸續有學者提出質疑、修訂，80年代以後逐漸不被採用。⁸

80年代以後，中國古玉的檢測，或由於中國大陸發掘品的大量流入古物市場，真、贗文物充斥坊間，而又再度受到重視。大陸、台灣以及西方地質、礦物學界投入此一課題研究者不少，其對白化作用的機制，基本上已經不認為會造成玉本身的化學成分的變化，而直指其晶體結構間的變化，⁹尤其是對良渚文化嚴重白化現象的解釋。¹⁰亦有學者以實驗考古學的方法，進行白化現象實驗。¹¹惟對同一時期、同一地區石器的白化現象卻乏人問津。然前輩們對玉器白化現象的

-
- 6 Alfred Salmony, *Carved Jade of Ancient China* (Berkeley, CA: the Gillick Press, 1938), pl. VIII-2, XV-7, etc.
Lindsay Hughes Cooper, *An exhibition of Chinese archaic jades, C. T. Loo, Inc. arranged for Norton Gallery of Art, West Palm Beach, Florida, January 20 to March 1, 1950*, ed. by Norton Gallery and School of Art (New York: s.n., 1950).
Doris Dohenwend, *Chinese Jades in the Royal Ontario Museum* (Toronto: the Royal Ontario Museum, 1971), pp. 57-58, p.56.
Max Loehr, *Ancient Chinese Jades* (Cambridge, MA.: Fogg Art Museum, Harvard University, 1975).
- 7 Una Pope-Hennessy, *Early Chinese Jades* (New York: Frederick A. Stokes Company Publishers, 1923), p.4.
- 8 Alan M. Gaines, and Julia L. Handy, "Mineralogical alteration of Chinese tomb jades," *Nature*, v.253 (February 6, 1975), pp.433-34.
Ann Aerts, Koen Janssens, and Fred Adams, "A Chemical Investigation of Altered Chinese Jade Art Objects," *Orientation*, v.26, no.11 (November 1995), pp.79-80.
- 9 林泗濱、錢憲和、譚立平，〈蛇紋石古玉的礦物學性質及其白化現象〉，《中國古玉鑑——製作方法及礦物鑑定》（臺北：地球出版社，1998），頁129-146。
Ann Aerts, Koen Janssens, and Fred Adams, "A Chemical Investigation of Altered Chinese Jade Art Objects," *Orientation*, v.26, no.11 (November 1995), pp.79-80.
聞廣，〈中國古玉地質考古學研究的續進展〉，《故宮學術季刊》，十一卷一期（1993年10月），頁9-29。
鄭健，〈吳縣張陵山東山遺址出土玉器鑑定報告〉，《文物》，1986年10期，頁39-41。
- 10 鄭建，〈江蘇吳縣新石器時代遺址出土的古玉研究〉，《考古學集刊》第三輯，頁220。
Ann Aerts, Koen Janssens, and Fred Adams, "A Chemical Investigation of Altered Chinese Jade Art Objects," *Orientation*, v.26, no.11 (November 1995), pp.79-80.
譚立平等，〈古玉的沁色〉，《中國古玉鑑——製作方法及礦物鑑定》（臺北：地球出版社，1998），頁147-151。
黃宣珮，〈良渚玉器變白之研究（論文提要）〉，「中國古代玉器與玉文化高級研討會」論文摘要（北京：中國古代玉器與玉文化高級研討會籌備組，2000），頁19。

研究成果，有助於本文對石器白化現象的探討。石、玉器白化作用的機制應是一致的，惟因礦物成分以及組成的不同，將會有些差異性產生。本文旨不在於比較兩者間的差異，而僅就良渚文化石器白化現象作初步的觀察、探討。

二、此批捐贈石器的岩種

表一：石器岩石種類以及統計數據

		石斧 (鉞)	石銚	石刀	石鑿	石犁	石鏃	總計
Metamorphic rocks(變質岩)	metabasite	49	90	3	0			142
	Basic hornfels	19	2	33	6	4	15	79
	Green-schist	14	46	0	0			60
	Amphibolite	4	50	2	0			56
	Meta-tuffaceous sandstone	34	0	10	0			44
	Meta-tuffaceous siltstone	10	21	1	0			32
	Meta-tuff	14	12	3	0			29
	Meta-graywacke	18	0	0	0			18
	Actinolite schist	4	1	4	4			13
	Meta-andesite	3	1	3	0			7
	Meta-andesitic-tuff	2	0	3	1			6
	Fine-grained meta-graywacke	6	0	0	0			6
	Green rock	4	0	0	0			4
	Meta-gabbro	4	0	0	0			4
	Silicified volcanic rock	3	0	0	0			3
	Skarn	2	0	0	0			2
	Meta-siltstone	1	0	1	0			2
	Marble	1	0	0	0			1
	Gneiss	1	0	0	0			1
	Garnet amphibole gneiss	1	0	0	0			1
	Actinolite amphibolite	1	0	0	0			1
	Chlorite schist	1	0	0	0			1

	Meta-dacitic-tuff	0	1	0	0			1
Igneous rocks (火成岩)	Diabase	16	0	1	0			17
	Andesitic tuff	4	0	0	0			4
	Rhyolite	3	0	0	0			3
Sedimentary rocks (沉積岩)	Fine-grained graywacke	16	0	0	0			16
	Medium-grained sandstone	10	0	0	0			10
	Graywacke	6	0	0	0			6
	Tuffaceous siltstone	2	0	0	0			2
	Tuffaceous sandstone	1	0	0	0			1

上述的數據是取樣自此批石器，作薄片岩相學分析鑑定岩石種類。在總共572件石器中先目測分類，再由各類取樣，取樣標本數達119件，共分出31種岩石種類。¹² 從表一的數據顯示，變質岩是良渚文化製作石器的主要石材，其佔總石器數的90%，火成岩佔4%，沉積岩佔6%。如此的比例與上海福泉山遺址所出土的石器的岩種比例比較，變質岩顯著地偏高。福泉山良渚文化製作的石器，其石材種類約有60.5%是變質岩，37.8%火成岩，有極少數的所謂「礦石」，而在該報告中所謂的「礦石」是指著兩件閃鋅礦所製作的石器。¹³ 總之，變質岩仍是此地區製作石器的主要石材種類。

而捐贈石器的變質岩奇高的原因之一，可以理解為：福泉山石器是一個較完整的崧澤、良渚文化遺址的發掘，尤以良渚文化為主，其變質岩的比例，反映環太湖東南地區良渚文化先民製作石器選用石材的一個常態比例。相對地，本院接受捐贈的此一批石器，雖然也以良渚文化為大宗，然其來源較為複雜，來自分散的、不同的遺址，又經過販賣者與收購者的主觀挑選，故不屬於常態性的比例。惟變質岩居高不下的現象，充分反映良渚文化先民製作石器，以變質岩為主要的

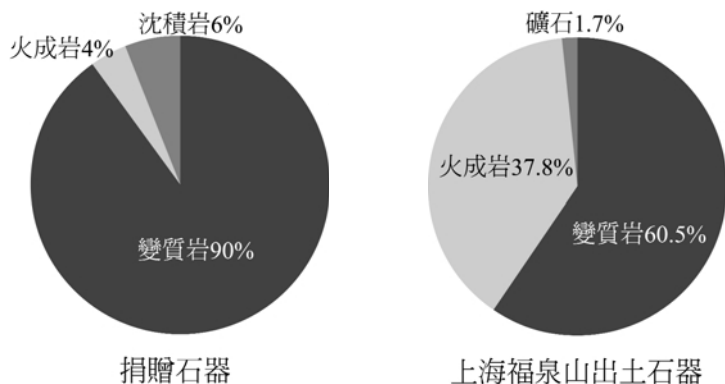
11 聞廣，〈雞骨白與象牙白古玉〉，《故宮文物月刊》，十二卷二期（1993年5月），頁116-129。

12 此一檢測報告以及目測分類乃由國立臺灣大學地質科學系宋聖榮教授所執行，目測或有些微偏差，然其數據基本上應該是在一個正確的範圍。

13 程之牧，〈上海青浦福泉山遺址出土石器的岩石類型與特徵〉，《福泉山——新石器時代遺址發掘報告》（北京：文物出版社，2000），頁179-180。

此篇檢測報告中取樣作檢測的標本共119件石器，其中變質岩佔72件，在比例上應是60.5%，該報告統計誤計作65%，提供作為更正參考。

石材，其主要的原因，可能還是與變質岩硬度較大，又易於選材、易於加工等性質有關。¹⁴



變質岩在浙江地區較老的地層存在，其分布範圍主要在今天的杭州往西南方向，延伸向江西的邊界，即富春江、新安江流域的範圍。（圖1）¹⁵ 相對地，杭州向東北方向延伸，包括現在的湖州、嘉興乃至上海地區，則是一大片沖積扇，此一沖積扇即是新石器時代晚期文化遺址，尤其是良渚文化遺址分布密集的地區。按地質調查，此一密布著新石器時代晚期遺址的沖積平原，基本上是一個沒有火成岩、沒有變質岩的地帶。¹⁶ 那麼上述提及的富春江、新安江流域的變質岩帶，可能成為當時供應杭州、嘉興，甚至更遠的湖州、上海等地的石材礦源。¹⁷

三、良渚文化石器的白化現象

有關中國玉石器白化現象的研究，近一、二十年來的研究焦點，主要集中在江南地區新石器時代晚期的玉器上，（此中有些玉實際上是屬於蛇紋岩（serpen-

14 同上註，頁180。

15 根據大陸出版的浙江省地質圖，浙江地區最大的變質岩帶是在杭州西南邊，西南斜向江西邊界，即富春江、新安江流域，其成岩年代為志留紀（Silurian）以及比較年老的震旦紀（Sinian）。浙江省地質礦產局區域地質調查大隊，《浙江省區域地質志》（北京：地質出版社，1987）。

16 有關上海地區的地質調查，見於程牧之的報告。同註5，頁181。

17 日本與浙江、江蘇、上海曾合作調查良渚文化的石器，此一計劃自2000年開始，進行了近二年，由金澤大學中村慎一教授主持，在浙江地區所做的調查工作已於2002年夏天告一段落，應該是規模較大的良渚文化石器調查工作。而日本學者曾經於杭州附近的東笕溪尋找古代的採石場遺跡，無所收穫，如此看來，富春江與新安江流域的變質岩帶更有可能是良渚文化先民製作石器的礦源。

tinite) 而不是所謂的閃玉 (nephrite))。雖然各家對於玉器白化的成因、解釋不一，然白化作用對於玉材本身所造成的結構的鬆解，導致肉眼觀察時的退色現象，此一點認識卻是一致的。圖2a是一件良渚文化先民普遍使用的葉蛇紋石 (antigorite)¹⁸ 所製作的玉器的小殘碎塊，¹⁹ 呈雞骨白顏色，經掃描電子顯微鏡 (SEM) 掃描其結構的圖像。圖3a是取現代大陸新採的葉蛇紋石做SEM掃描圖像，兩相比較下，清楚地可以發現，白化之後晶間孔隙度的增加以及結構的鬆解現象。²⁰

此一玉器白化基本的機制也同樣發生在石器的白化作用上，因此，以下的現象可以說都發生在此一機制的基礎上，惟由於石器的材料本身、埋藏環境或表面處理等個別條件的不同，而產生下列各種不同性質的白化現象。

(一) 白化現象的漸次性

白化現象是漸次性的，從外向內伸入，有些石器的白化漸次性極為清楚，明顯地可以依其顏色變化而分出層次來，呈漸層的現象，尤其在一些白化較為嚴重的變質岩所製作的石器上。標本一 (K063) (圖4) 是件變質安山岩 (meta-andesite) 所製作的石鐮刀，其礦物組成主要是由長板狀的斜長石 (plagioclase)、陽起石 (actinolite)、黑雲母 (biotite) 和顆粒狀的綠簾石 (epidote) 所組成，含少量石英 (quartz)、方解石 (calcite) 和磁鐵礦 (magnetite)。塊狀無層理，但呈火山岩的斑狀組織，可能是由火山噴發所形成的安山岩，然後經輕度的變質作用，礦物已重新再結晶。

這樣的石鐮刀在經過四、五千年的埋藏之後，其外表看來已退成淺褐色，質鬆易脆。而在一人為的新崩傷處，則清楚地觀察到白化由外向內的漸層退色現象。圖4a顯示三個不同深淺的色層，外層淺褐色，中層深褐色，內層灰黑色，內層應是接近新鮮材料時的狀態。

類似此件白化嚴重的石鐮刀的例子，在浙江良渚文化遺址也出土不少。幾件出於浙江桐鄉、海寧地區良渚文化遺址的石犁，均有類似的狀況，其中之一有較

18 在聞廣、荊志淳檢驗福泉山良渚文化的玉器標本，其中呈雞骨白的，其大多屬於蛇紋岩。聞廣、荊志淳，〈中國古玉地質考古學研究：福泉山玉器（附崧澤玉器）〉，《福泉山——新石器時代遺址發掘報告》（北京：文物出版社，2000），頁193-217。

19 此標本為浙江餘杭塘山良渚文化遺址出土的玉小碎塊。

20 兩件標本都經余炳盛教授在大漢科技學院利用拉曼光譜儀作過檢測。在此致謝。

錢憲和等，〈透閃石玉之礦物結晶生長及白化作用〉，《中國古玉鑑——製作方法及礦物鑑定》（臺北：地球出版社，1998），頁114。

清楚的圖片公布。²¹（圖5）此件石犁白化的現象與標本一的石鎌刀是極相似的，表面呈褐色，質鬆易脆，出土時容易鬆斷。這樣的石器，一般而言，其白化將是如圖4a所示的，出現漸次退色的現象。惟大多數的例子皆屬於石犁、石鎌刀之類，以變質安山岩所製作的石器為多。其製作也往往是較簡單，表面不作較仔細的拋光，僅稍作平整者。²²

一般而言，此類白化較嚴重的石器，大多數出土於墓葬遺址，因此，大陸考古界有一說：出於墓葬的石器白化較嚴重，非出於墓葬者，白化較輕微，認為是與屍體的腐壞有關。此一說若對玉器而言，根據Alan M. Gaines, Ann Aerts等人的研究，由於屍體腐爛而產生的ammonia使周圍環境呈鹼性的環境，鹼性環境將加速閃玉的分解。²³

惟材料本身的性質應該也是考慮的重點。安山岩（andesite）有時含有多孔性的結構，²⁴ 多孔性易於吸收地下水，進行更頻繁的化學反應，對石材結構的破壞較大。²⁵ 因此，此類石材所製作的石器，其經長期埋藏之後，白化的程度往往較之其他變質岩深。

（二）白化現象的間隔性

此一現象的發生，主要是出現在具有片理結構的石器上。大部分的變質岩屬於塊狀無層理，但具片理結構的岩石。此類石材製作的石器當受到白化作用的影響之後，其表面明顯地出現紋理，此一紋理隨著白化的加深而強化。（參見圖6）此中原因推測是：大多數的白化作用從片理與片理間的介面開始，一般而言，構成片理的長柱形或長板狀、纖維狀的晶體，是較不易白化的；因此，當白化作用開始時，往往從片理間的介面開始，時間愈久，介面的白化愈深，於是介面與片理間的色差愈大，造成表面所見到的紋理更形清楚。

21 浙江省文物考古研究所，《浙江考古精華》（北京：文物出版社，1999），頁102。

22 此一看法也是經由對一批石器的觀察、整理所得出的結果。一般而言，刃部明顯地沒有使用痕跡的石器，製作較精，其可能皆屬於禮器性質之物，而實際作為工具的石器，在製作上惟重視其實用，器表的平整是基本的，但不做仔細的拋光。此方面的論證，筆者將於未來發表的文章中以此一批石器為例提出說明。

23 Alan M. Gaines, and Julia L. Handy, "Mineralogical alteration of Chinese tomb jades," *Nature*, v. 253 (6 February 1975), pp.433-434.
Ann Aerts, Koen Janssens, and Fred Adams, "A Chemical Investigation of Altered Chinese Jade Art Objects," *Orientation*, v.26, no.11 (November 1995), pp.79-80.

24 陳汝勤、莊文星，《岩石學》（臺北：聯經出版事業公司，2001），頁93。

25 Richard A. Livingston, "Nondestructive Testing of Historic Structures," Ed.by Ray A. Williamson, and Paul R. Nickens, *Science and Technology in Historic Preservation*, (New York: Kluwer Academic ; Plenum Publishers, 2000), p.113.

標本二（A022），是一件具有良好片理構造的陽起石片岩（actinolite schist）所製造的石斧（鉞），其礦物成份主要是陽起石（actinolite）和斜長石（plagioclase）。片理主要是由長柱狀的陽起石和斜長石排列而成。以肉眼或顯微鏡觀察新崩傷處，清楚地可以區分出表面一薄層的白化面，惟其白化層尚淺。以OCT（optical coherence tomography）系統掃描器面約4-5mm，²⁶則見其白化伸入表面底下的情況，此一伸入呈不規律的間隔現象。（圖7、7a、7b）圖7b的色點（紅、橙、黃、綠）是表示光的穿透，光的穿透愈深，表示其組成的礦物晶體間孔隙度的增加，²⁷亦即其結構較鬆了，也即表示其白化較深，而這些地方即是片理間的介面的部分。此件標本由於其白化甚淺，故而從表面觀察，間隔性的色差是不明顯的，然OCT則可細微地呈現其內部的變化。

由於介面的嚴重白化，而造成器表明顯地出現間隔性的色差現象的例子不少。標本三（D030）是一件具片理結構的變質基性岩（metabasite）所製作的石鏹。此一石材主要的組成是由細粒、均質的變質礦物斜長石和綠簾石所組成，含少量的陽起石、絹雲母、石英、方解石和磁鐵礦。塊狀無層理、但稍具片理，片理主要是由不規則板狀的陽起石、斜長石和絹雲母的排列所形成的，而綠簾石則呈現不規則粒狀的特徵。惟由於長期的埋藏，片理間的介面白化作用加深，導致此一部分結構較鬆，顏色較淡，故而出現不規律性的間隔白化現象。（圖8、8a）

以顯微鏡觀察其新崩傷處，則清楚地見到由外緣往內伸展的白化現象，其間可見灰黑、淺褐、褐白色不規則的細條帶狀結構，雖不整齊，卻是沿著介面的發展方向前進的。相對於褐白色的介面，片理本身的顏色是灰黑色的，其顏色應是比較接近原本新鮮材料的顏色，兩部分間的色差是明顯的。

類似的例子也出現在上海福泉山良渚文化層所出土的石器上。圖9即是其中之一例，此件石鏹據上海市地質礦物局的檢測，屬霏細岩，其器表可見淺灰、淺褐、灰白相間的條帶狀結構，條帶常屬不連續的。²⁸器表此一非規律性的間隔白

26 有關OCT（optical coherence tomography）的掃描玉石器的技術，參見下面二文。

Yang M.-L.; Lu C. -W.; Hsu I.-J.; Yang C. C. "The Use of Optical Coherence Tomography for Monitoring the Subsurface Morphologies of Archaic Jades," *Archaeometry*, v.46, no.2 (May 2004), pp. 171-182.

Chih-Wei Lu, I-Jen Hsu, Mei-Li Yang, and C. C. Yang, "Optic Coherence Tomography Used for Monitoring the Subsurface Morphology of Archaic Jades," *Optics and Photonics Taiwan, 2002 [proceeding]* (December 2002: Taipei, Taiwan, R. O. C.).

27 錢憲和等，〈透閃石玉之礦物結晶生長及白化作用〉，《中國古玉鑑——製作方法及礦物鑑定》（臺北：地球出版社，1998），頁114。

28 程之牧，〈上海青浦福泉山遺址出土石器的岩石類型與特徵〉，《福泉山——新石器時代遺址發掘報告》（北京：文物出版社，2000），頁189。

化現象，推測其石材亦屬具片理結構者。此類岩種，就其礦物結構而言，由於其片理是由不規則的片理結構，因此，片理與片理間的介面就顯得錯雜而不規則，由此而產生的間隔白化現象也是斷續而細碎的。

另一種岩種，由於其介面與片理間的距離較疏朗，而使白化現象顯得頗具規律性的間隔。標本四（D043），是一件具有良好片理結構的綠色片岩（green schist）所製作的石鏃。其礦物組成主要是由長板狀的斜長石、綠簾石、陽起石和絹雲母（sericite）的排列所組成，含少量的石英、方解石和磁鐵礦。具有良好的片理構造，片理構造主要是由長板狀的陽起石、斜長石和絹雲母排列而成，綠簾石則呈現不規則粒狀。

肉眼觀察此標本的表面，清楚地可見較規律性的深淺交替間隔色差，間隔距離較寬。以顯微鏡觀察新崩傷的斷面，則清楚地可見到白化作用自外緣伸展向內速度不一，且出現波浪狀的白化帶的現象。（圖10、10a）在波浪狀的底線，我們清楚地觀察到一深褐色的帶狀部分。

此一深褐色的產生，乃因石器在埋藏過程，由於地下水的流動，而致使石材中的磁鐵礦（magnetite, Fe_3O_4 ）²⁹ 氧化成赤鐵礦（hematite, Fe_2O_3 ）。赤鐵礦在一般情況下是菱鐵礦（siderite, FeCO_3 ）、磁鐵礦及其他含鐵礦物的風化產物，它幾乎是普遍地成為沉積岩和其他岩石的染色劑。³⁰ 推測我們在圖10a所見的褐黑色帶狀的礦物即是赤鐵礦。

（三）有捕獲岩的白化現象

捕獲岩（xenoliths）對本體岩而言，顯然屬於異質物，其或者比本體岩易於白化，或許較本體岩更不易白化，易於白化者或已脫落而不見了，不易白化者則顯得極為醒目。此批捐贈的良渚文化石器中，以基性角頁岩（basic hornfels）為材料所製作的石器，其表面常出現一、二處顏色極深的捕獲岩，是屬於不易白化的捕獲岩。

標本五（K032），一件良渚文化的三角形石刀，器表面已白化成白褐色，一面下端有一處形狀不規則的捕獲岩，在顯微鏡下觀察，捕獲岩顯得色深而光澤，似乎還保留原來製器時的磨擦痕（拋光），惟其周圍的器面均已呈白化面。（圖

29 Cornelis Klein, and Cornelius S. Hurlbut, Jr., *Manual of Mineralogy*, Revised 21st Edition (New York : John Wiley & Sons, Inc., 1999), p.588.

30 同上註，頁385-387。

廖瑞銘，《大不列顛百科全書 中文版3》（臺北：丹青圖書有限公司，1987），頁283。

11、11a）此器由其新崩傷的斷面觀察，可以發現原材料屬於青黑色的角頁岩，（圖11b）其原本與捕獲岩的顏色應是頗為一致的，推測在埋藏的過程中，兩者間的白化作用速度落差極大，而出現如此明顯的色差現象。

捕獲岩是火成岩岩漿在向上移動過程中，捕獲周圍或上覆的岩塊，此岩塊沒入岩漿中而形成的捕獲岩，³¹ 其或完全溶於岩漿中，或不溶。屬於後者的捕獲岩，將與其周圍的主體岩產生非同步的白化現象。在此一批捐贈石器中，具有不易白化的捕獲岩者，大多屬於基性角頁岩，其原岩可能為安山岩質的岩石，後來被侵入岩侵入，發生接觸變質作用所形成的，故原來大的斜長石斑晶，已發生變化，但仍保持著斑狀組織，分布於細粒的綠簾石、綠泥石和絹雲母的基質中。組織特性為塊狀無層理，並未有片理的發育。

捐贈品中另一件有捕獲岩的基性角頁岩所製作的石斧（鉞），（國贈31282）全器表面呈均勻的薄層白化現象，惟捕獲岩處呈深黑色而帶光澤。（參見展覽圖錄³²）捕獲岩與其主體岩之間的膠結處，似乎也往往是較容易發生膠結鬆脫的地方。

另外與捕獲岩類似的，具有侵入的異質岩體的石材所製作的石器，在長時間的埋藏之後，其白化作用亦出現非同步的現象，標本六即是一例。（圖12，國贈31447）此件三角形石刀製作精緻，是典型的良渚文化特有的三角形石刀類型，其岩種亦屬於基性角頁岩，器面明顯地出現侵入的異質岩成條帶狀，其與主體岩的白化不同步的現象也是清楚的。（圖12a）類似的例子尚不少。

（四）白化現象的兩面差異性

埋藏過的石器普遍出現器身兩面深淺不一的白化現象，其造成兩面退色程度不一、光澤度不同。在顯微鏡下觀察此類石器的斷口面，則清楚地可以區分出器一面白化較深一面較淺，尤其是變質岩類的石器。

標本七（A074），是一件基性變質岩（metabasite）製作的石斧（鉞），此器主要的礦物組織特性，是由細粒、均質的變質礦物綠泥石和斜長石所組成，含少量的絹雲母、石英、方解石和磁鐵礦。塊狀無層理、但稍具片理，片理主要是由不規則的板狀的斜長石、綠泥石和絹雲母的排列所形成的。全器製作精整，形制屬於良渚文化特有的弧刃兩端微彎翹的「風」字形石鉞，器身略薄而器面拋光。

31 陳汝勤、莊文星，《岩石學》（臺北：聯經出版事業公司，2001），頁59-60、68。

32 楊美莉，《石器的故事——林耀振先生捐贈石器展》（臺北：國立故宮博物院，2003），頁58、104。

惟在經過四、五千年的埋藏之後，已見表面白化現象。

器兩面的退色程度不一，一面已成石膏白，且失去原有的拋光光澤，另一面白中微帶褐灰，光澤尚留。圖13a可以清楚地看到兩面的差異性白化狀況。而有趣地是，在深層白化的一面，我們尚可觀察到白化過程中顏色的漸層變化：最外一層（a）呈白色，中外層（b）呈黑褐色，中內層（c）呈土褐色，內層（d）呈青灰色。內層的青灰色應是此石器材料的原色。淺層白化的一面，僅見薄薄的一層白色緊貼於內層上。

這種差異性白化現象的產生，固然是埋藏環境對石器所起的作用。埋藏環境的變數頗多且大，酸性環境或鹼性環境，均可能造成加深白化的現象。因此，我們的推測是，深層白化的一面在埋藏的過程中，可能是朝上的一面。由於朝上，其表面所接受的環境變數較多，對埋藏物而言，都屬較大的傷害。³³ 相對地，朝下而緊貼於下面原生土壤的一面，由於土壤的緻密結構（不像上面被人為翻過的土壤），減少環境的變數，而使其處於較穩定的環境。因此，朝上的一面往往是深層白化層。上海福泉山良渚文化遺址74號墓出土的一件玉鉞，（全器圖參見圖18）出土時，器面朝上的一面白化較深，朝下的一面較淺，圖14以及14a顯示得極為清楚。

而圖13a所見到的色層變化，b層出現的褐黑色薄層，是我們在前面已經提及的鐵的氧化產物。（參見間隔性的白化現象一節）淺層的一面，應也是尋此一程序進行白化作用，惟其白化極淺，故而區分不出來。此標本的岩種，雖屬稍具片理的基性變質岩，然其片理極不明顯，主要是由細粒、均質的綠泥石、斜長石所構成，因此，全體的白化現象屬於較均勻性的現象，惟兩面因環境不同而有差異性變化。

一器兩面出現差異性白化現象的例子極為普遍，惟兩面的差異程度各例不同。再舉一差異較明顯，而層理不是那麼整齊的例子。標本八（A035），一件大理岩所製作的石斧（鉞），（圖15）此大理岩主要是由非常細粒、顆粒狀的方解石（calcite）晶體所構成，含少量的綠泥石、長石（feldspar）、石英、絹雲母、榍石（sphene）和磁鐵礦等礦物，長石為鈉長石（albite）。組織特性呈塊狀無片理構造。

33 Richard A. Livingston, "Nondestructive Testing of Historic Structures," Edited by Ray A. Williamson, and Paul R. Nickens, *Science and Technology in Historic Preservation* (New York: Kluwer Academic; Plenum Publishers, 2000), p.113.

大理岩（marble）為變質石灰岩，其為結晶質岩石，主要含方解石顆粒，偶爾亦含白雲石，像石灰岩一樣，大理岩本身亦不太堅硬，且遇酸會發泡。³⁴ 由於遇酸會發泡乃至器表出現一個個小窪洞。就此件石鉞而言，兩面顯然出現差異性的白化狀況，一面成石灰白且密佈窪洞，另一面雖然光澤已經消失，呈石灰白色，然表面尚稱平整。在顯微鏡下觀察一處新崩傷的斷面，則清楚地觀察到兩面白化深淺不一的現象，（圖15a）而白化作用不像圖13者的層理整齊。

致於深層白化面密佈小蝕洞的現象，則與白化是一體的，誠如上述所言，大理岩主要的成分是方解石，方解石的成分為 CaCO_3 ，其遇冷的稀酸即會起泡，而造成器面一個個的小窪洞。推測此器在埋藏過程，曾經有微酸的侵蝕。顯微鏡下觀察此標本新崩傷處的斷面，可見白化普遍較深，斷面上有一些可能是赤鐵礦的染色痕跡，（褐紅色的漬斑部分）中間兩塊深青灰色區，是新鮮石料的顏色，其周圍已經白化。惟白化伸展的範圍並不是那麼規律，然仍可見一面（圖的下面）白化較深，另一面較淺。

（五）拋光或裝柄影響白化現象

此一現象明顯地出現在一些有裝柄設計的石斧上，在同一器面上，裝柄部分與器身部分，出現不同程度的白化現象。兩部分由於所牽涉到的變數主要有二，其中之一是拋光的程度不同，（或拋光的有無）之二是實際帶柄與否的問題。由於古代石器的柄常屬有機材質，如木、象牙、骨角等質材作柄，其本身的腐壞將對其所接觸到的石器部分，造成加速或加重白化作用的效應，因此，容易造成兩部分不同程度的白化現象。而良渚文化石斧的製作，習慣性地在裝柄部分是不加拋光的，因此，拋光與未拋光部分，所受的白化作用亦不同。

標本九（國贈31294）可能是一件未裝柄使用的禮器性質的石斧（鉞），（因其刃部無任何使用痕）此器材料屬於矽卡岩（skarn），³⁵ 主要是由顆粒狀的方解石和綠簾石所組成，含少量的斜長石、綠泥石、磁鐵礦、絹雲母和石英。塊狀無層理，片理也不發達。其可能是石灰岩質的岩石，經由岩漿熱液換質作用所形成的。器面有非常光亮的拋光，器背（柄端）表面略顯暗淡無光澤。

34 Comelis Klein, and Cornelius S. Hurlbut, Jr., *Manual of Mineralogy*, Revised 21st Edition (New York : John Wiley & Sons, Inc., 1999), p.588. 黃怡禎譯，《礦物學》（臺北：地球科學文教基金會，2000），頁615。

35 矽卡岩（Skarn rock）為碳酸鹽岩石與侵入火成岩體因受接觸變質和換質作用所造成之岩石。Comelis Klein, and Cornelius S. Hurlbut, Jr., *Manual of Mineralogy*, Revised 21st Edition (New York : John Wiley & Sons, Inc., 1999), p.590. 黃怡禎譯，《礦物學》（臺北：地球科學文教基金會，2000），頁617。

此類石材製作的石器，在浙北的良渚文化遺址也常見出土例，其數量不多，一般同出於隨葬玉器的墓，在當時可能也屬比較珍貴之物，一墓出一或二件，器型較小。³⁶ 此類石器由於其石材呈斑塊的暗紅、褐黃色交錯，表面一經拋光，光亮照人，故推測在當時或也是被視為玉器之物，而受到重視。矽卡岩在良渚文化的取得、使用情況，是一個有趣的課題，而有關中國大陸矽卡岩的產狀亦是許多關心良渚文化石器製作的學者關心的資料，而大陸相關資料的發表，³⁷ 希望將來能提出較具體的相關論述。

以OCT 分別掃描標本九的柄端（未拋光）和器面（拋光），則出現不同的光穿透深度，推測兩部分白化的程度不一。（圖16a、16b）如此在一器之上，出現如此不同程度的白化作用的現象也是普遍的。上海福泉山良渚文化遺址出土石、玉斧（鉞）的墓葬，可以見到大多數的石、玉斧，其裝柄的一端的顏色往往比器身的顏色淡許多。（圖17）³⁸

而一件出土於上海福泉山良渚文化墓葬遺址的玉鉞，（圖18）³⁹ 由照片清楚地可見其裝柄端，沿著邊緣一長條帶狀的失色現象，其與器身溫潤的牙黃光澤形成明顯地對比。可以推斷其柄端白化較深。而此玉鉞隨墓葬中時，一般可能是帶柄的。⁴⁰ 因此，柄端白化的嚴重固然有未拋光的因素，然可能也涉及到柄的腐壞所造成的影響。

古代的匠人們在石、玉器，或骨、角器，以及金屬器等的制作程序上，往往在完成之前的最後一道工序，是器表的拋光處理。拋光的首要功能或許是為求美觀，然從此批石器表面普遍拋光的事實看來，似乎拋光並不完全是為求美觀，大多數屬於工具性質的石器，仍然被或多或少地拋光，因此，無可否認的，拋光對古代製器的意義，恐怕也非單純地為美觀。惟拋光之後的器物，在長期的埋藏過程中，卻對器物表面構成保護的功能。

拋光的機制究竟如何發揮此一層保護功能？拋光工序普遍使用在古代各類材

36 浙江餘杭瑤山良渚文化墓葬遺址出土此類石鉞的情況如下：二號墓出土2件、三號墓出土1件、七號墓3件、九號墓1件、十號墓2件等。參見浙江省文物考古研究所，《瑤山》（北京：文物出版社，2003）。

37 趙斌，《中國主要矽卡岩及矽卡岩型礦床》（北京：地球科學出版社，1989）。

38 黃宣佩，《福泉山——新石器時代遺址發掘報告》（北京：文物出版社，2000），彩版七-1。

39 同上註，彩版一二-2。

40 因此玉鉞出土時，其周圍尚存在裝飾柄用的玉帽、玉鐲以及一些珠、管等，故推測此鉞是全套裝備隨葬的。同上註，頁49。

質的工藝技術上，除了玉、石器之外，金屬、木質、骨質、牙角、竹器等，其或因為拋光之後，造成器表的平滑光順，使周圍環境的異物，包括水等液態物質不易停滯其上，故減少化學反應的機率，減緩白化作用的效應。我們檢測幾件良渚文化的石器，由於此一時期製作石斧（鉞）、石鏃的習慣，常將器面拋得光澤細亮，而裝柄端常保留著原來的粗糙磨面，其目地或為了固定木柄防滑，或為節省一點人力、時間？即便此件石器並不綁柄，也仍然依照這種方式製作。因此，大多數屬於裝柄器的石器，兩部分的白化程度即出現此種不一的現象。

四、小 結

岩石材料的特性與埋藏後的白化狀況的確有密切的關係，不同岩石種類，在相同的埋藏環境下，有不同的白化狀況；同一岩石種類不同的組成礦物含量，也將出現不同的白化狀況；而事實上，礦物晶體間以及片理間的膠結狀況，也是影響白化的因素。白化現象對於研究玉石器者而言，始終是一個有趣的課題，而地質學、礦物學方面新的檢測技術，以及其他材料科學方面的檢測技術的不斷發展，均有助於此一課題的深入研究。

埋藏環境在玉石器的白化過程是極關鍵性的因素，惟此一因素一直是考古工作較容易疏忽的工作，埋藏環境的調查、分析，尤其是土壤酸鹼值的測定、土壤成分的分析，以及出土物上的附著物之檢測，都是重要的工作。誠如上述我們在前言中提及的，影響埋藏物白化的三個主要因素中，埋藏環境的還原是較困難的工作，一方面固然是發掘時不易控制，另一方面也因埋藏過程的過於長久，許多的變數是較不容易掌握的。

而不可否認的是，製作或使用過程人為的表面處理，也將影響此石器的白化作用。拋光的處理，是中國古代以來製器的基本工序，其對器物的白化作用，構成保護的功能，可能也是當時人始料未及的。本文針對此批屬於新石器時代晚期江、浙地區的石器做觀察、分析，主要的是我們有比較確切的石材種類的分析資料，（此點必須感謝捐贈者—林志憲先生提供的研究品）因此在解讀這些多樣性的白化現象時，多少有一些幫助。然由於埋藏環境以及古代製作技術方面的資訊的缺乏，因此，較難全面性地說明，此也是極遺憾之事。



圖1 浙江省地質圖，變質岩帶主要集中在浙江省的西部，即由杭州往西南走向的位置。



圖2



圖3

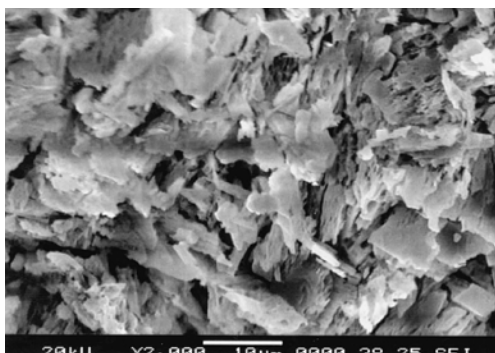


圖2a 白化的葉蛇紋石，結構疏鬆，孔隙加大 標本採集自浙江餘杭塘山良渚文化遺址

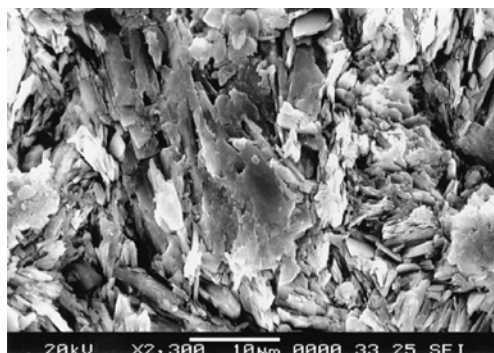


圖3a 新鮮的葉蛇紋石，結構緻密 標本採集自江浙地區

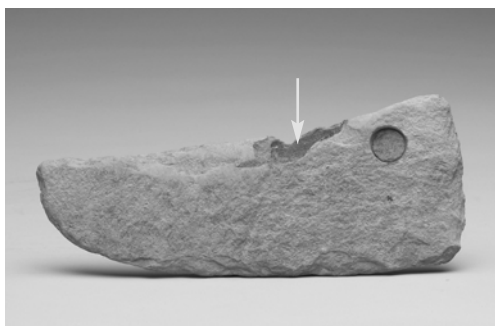


圖4 標本一 (K063) 石鐮刀 良渚文化捐贈品

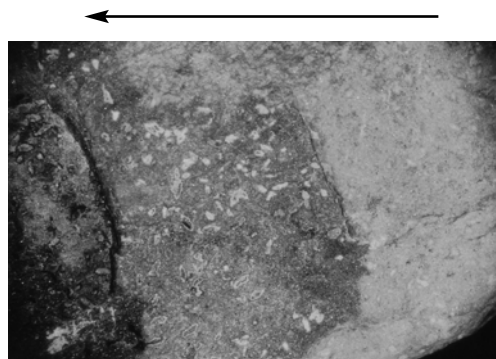


圖4a 白化現象由右 (外) 向左 (內)，呈漸次性的變化 顯微放大4倍



圖5 石犁 1988年浙江海寧荷葉地良渚文化墓葬遺址出土 (摘自《浙江考古精華》)



圖6 石斧 (鉞) (國贈31272) 良渚文化捐贈品



圖7 標本二 (A022) 石鉞 良渚文化
捐贈品

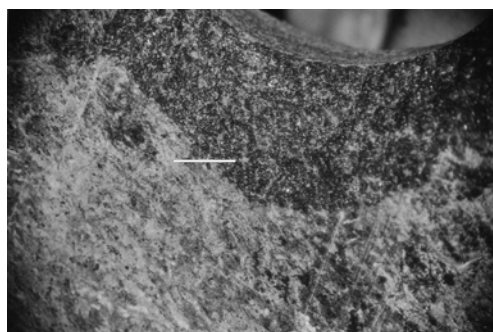


圖7a 白化面與新鮮面（上方暗色部分）
的對比（黃線部份為圖7箭頭所指處）

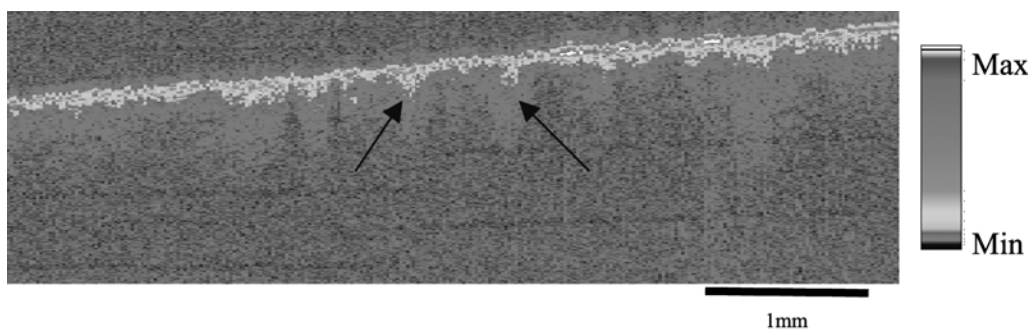


圖7b 箭頭所指為片理與片理間的介面。由於白化作用，造成結構的疏鬆，光的穿透較容易，因此，利用OCT掃描時，很清楚地分出介面與片理來。（掃描圖像為7a黃線部份）

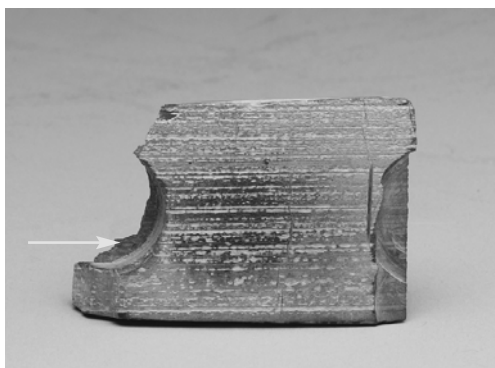


圖8 標本三 (D030) 石錛 良渚文化
捐贈品

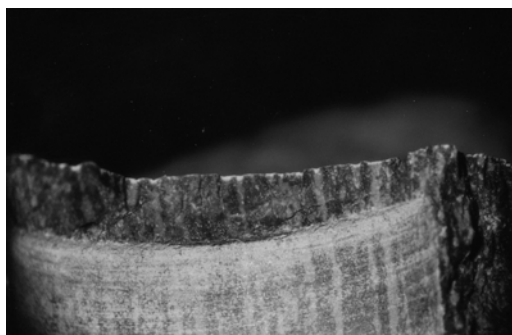


圖8a 新崩傷處斷面，箭頭所指處顯微放大
4倍



圖9 石錛 上海福泉山 良渚文化遺址出土 同
樣具片理結構的石材，細線不連續的條紋與圖8相
似（摘自《福泉山——新石器時代遺址發掘報告》）

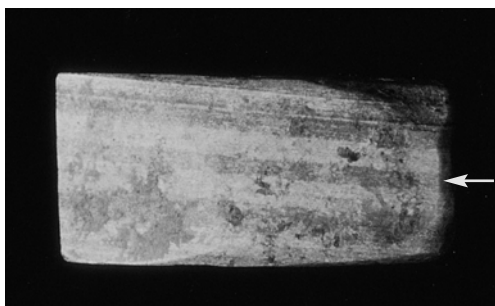


圖10 標本四 (D043) 石錛 良渚文化
捐贈品



圖10a 新崩傷斷面，箭頭背面顯微放
大4倍

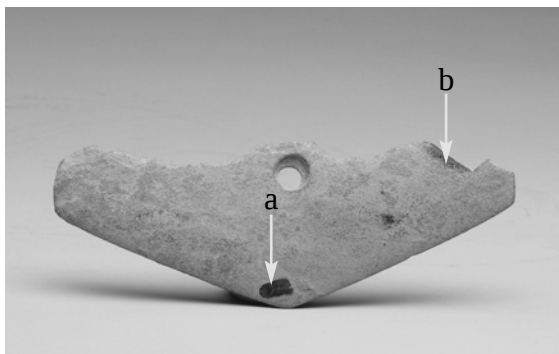


圖11 標本五 (k032) 三角形石刀 良渚文化
捐贈品

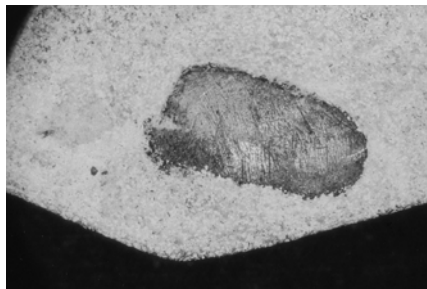


圖11a 捕獲岩與周圍的主體岩白化
不同步的現象 箭頭a所指處顯微放
大3倍

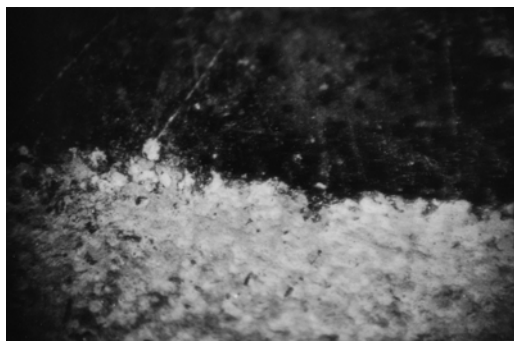


圖11b 白化面與新鮮原石材的對比，下面為白化面，
上面為原石材 箭頭b所指處顯微放大15倍

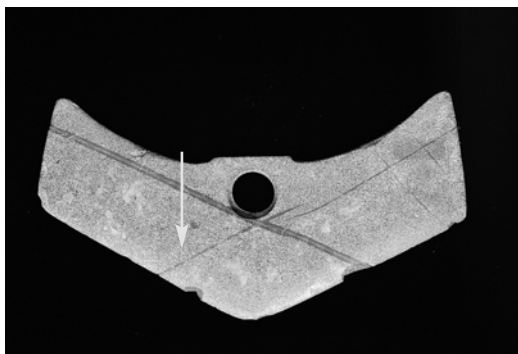


圖12 標本六 (國贈31447) 三角形石刀
良渚文化 捐贈品

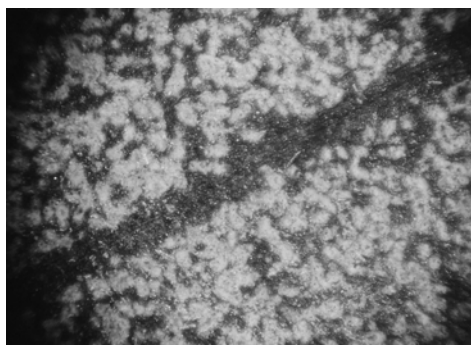


圖12a 侵入岩呈條帶狀，其兩側主體岩
呈白化面 箭頭所指處顯微放大15倍



圖13 標本七 (A074) 石鉞 良渚文化捐贈品

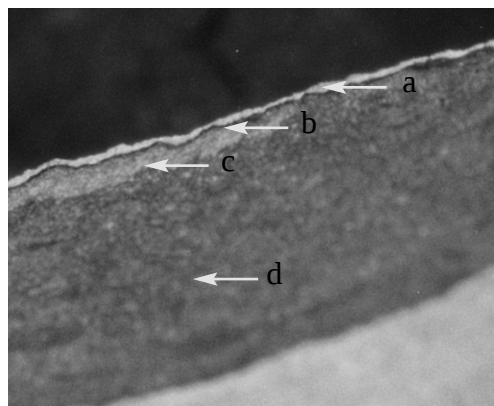


圖13a 新崩斷面，上緣部分白化深，下緣部分白化淺（顯微放大4倍，a.b.c 是白化的漸層，d是原岩材）

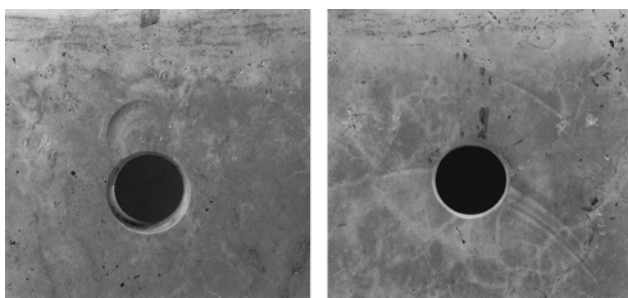


圖14 上海福泉山出土玉鉞，兩面深淺不一的白化現象（摘自《福泉山——新石器時代遺址發掘報告》）



圖14a 此件玉鉞出土時的狀況，深層白化的一面是朝上的

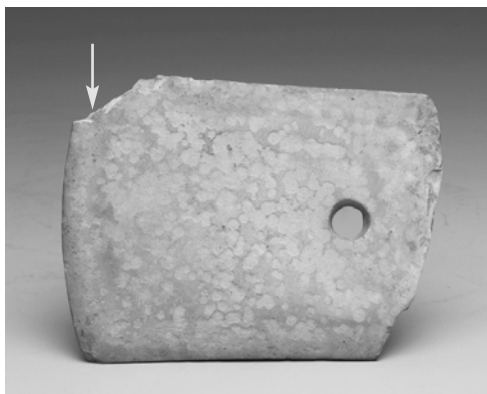


圖15 標本八 (A035) 石鉞 良渚文化捐贈品

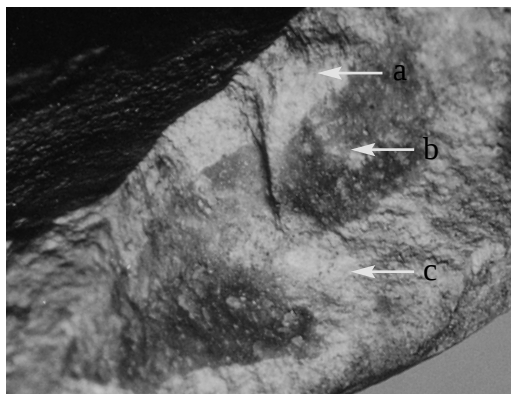


圖15a a白化淺，b原岩材部分，c白化較深部分



圖16 標本九(國贈31294)
石鉞 良渚文化 捐贈品

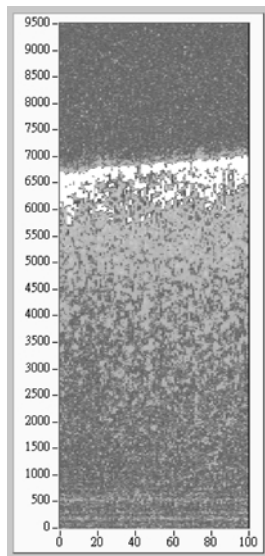


圖16a 背端未拋光處，光的穿透較深，表示其表面乃至內部的結構較疏鬆。

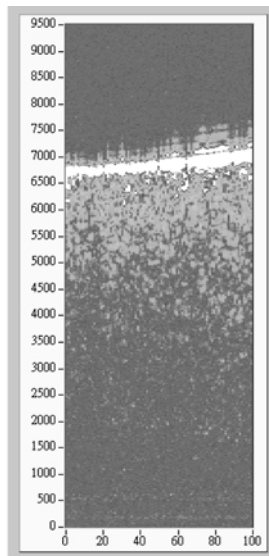


圖16b 器身拋光部份，光的穿透較淺，是其表面乃至內部的結構較緻密。



圖17 上海福泉山良渚文化遺址M139 石鉞隨葬情況，每一件石鉞的柄部顏色變白與器身保留顏色成對比(摘自《福泉山——新石器時代遺址發掘報告》)



圖18 玉鉞 良渚文化 上海福泉山出土 柄部與器身退色不一(摘自圖17同書)