

商代青銅業的原料流通 與遷都問題

• 金正耀

根據文獻記載，三代都曾有過遷都之舉。特別是商代，前後遷都共達13次之多。三代王都的遷徙，目的是接近礦源，方便採礦，追求作為政治資本的銅錫金屬。張光直將三代都城的位置與產礦點加以對照，認為這些都城的遷徙，都是圍繞銅錫礦產地移動的。

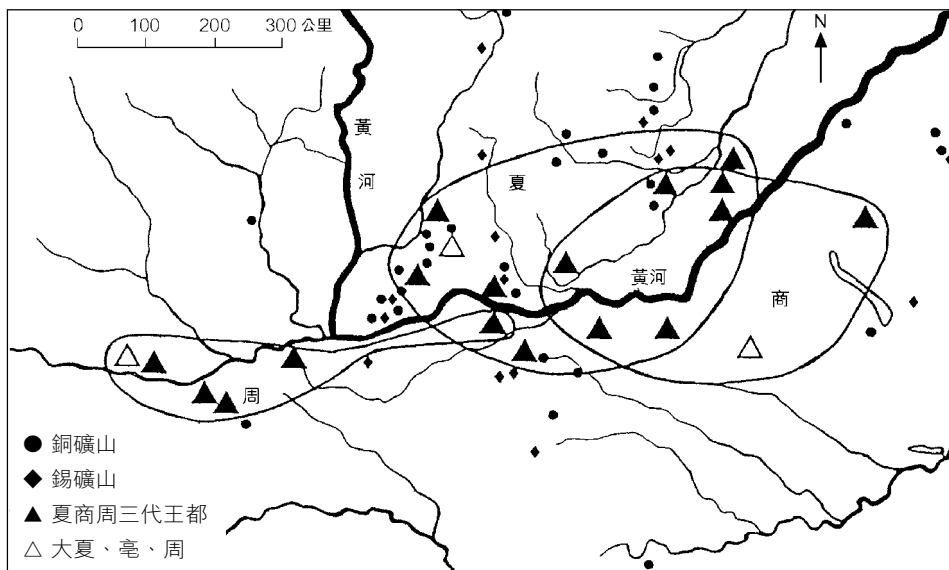
1984年8月22日，哈佛大學張光直教授開始了他在北京大學考古系為期兩周的系列演講。兩年後他的演講彙編成書，題為《考古學專題六講》，由文物出版社出版。張光直有一講談到夏商周三代遷都問題。根據文獻記載，三代都曾有過遷都之舉。特別是商代，前後遷都共達13次之多。他認為，青銅器在三代政治鬥爭中佔有中心地位。對三代王室而言，青銅器不是宮廷中的奢侈品、點綴品，而是政治權力鬥爭的必要手段。沒有青銅器，三代的朝廷就打不了天下；沒有銅錫礦，三代的朝廷就沒有青銅器。此前有些研究者認為華北大平原邊緣的山地出產銅錫，還提出了一些可能的產礦地點。張光直認為，這些礦產地的蘊藏量都有限，只能供短時間的開採利用，所以要不斷尋找新的產地。三代王都的遷徙，目的是接近礦源，方便採礦，追求作為政治資本的銅錫金屬。他將三代都城的位置與產礦點加以對照(圖1)，認為這些都城的遷徙，都是圍繞銅錫礦產地移動的①。

就在同一天，同在北京西郊，中國科學院主辦的第三屆中國科學史國

際討論會，自上午開始進入論文發表日程。在這次討論會上，筆者報告了在殷墟青銅器中發現高放射成因鉛的研究結果。三代青銅生產所用的金屬原料，主要有銅、錫和鉛三種，它們都是經過冶煉從礦石提煉出來的。無論銅礦還是錫礦，或自然界少量存在的天然銅金屬，都含有微量的金屬鉛。這些雜質性質的鉛同作為青銅生產原料之一的金屬鉛一樣，都是由四種穩定的同位素 ^{204}Pb 、 ^{206}Pb 、 ^{207}Pb 和 ^{208}Pb 組成的。四種鉛同位素中， ^{206}Pb 、 ^{207}Pb 和 ^{208}Pb 分別是由 ^{238}U 、 ^{235}U 和 ^{232}Th 放射衰變形成的，所以把它們叫做放射成因鉛。所謂「高放射成因鉛」，是指這三種鉛同位素含量特別高的金屬鉛。其中，由於 ^{206}Pb 相對於 ^{207}Pb 和 ^{208}Pb 增長更多，所以用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 這兩對比值表示時，高放射成因鉛比普通鉛數值小。

在中國地質上，高放射成因鉛的金屬鉛礦以及銅礦，在四川南部和雲南東部及貴州接鄰的地區有發現，這一地區屬於中國西南部。筆者在報告中舉出了雲南永善金沙及會澤等地礦山的數據，它們跟殷墟青銅器的高放

圖1 張光直假說示意圖：三代王朝分布與銅錫礦山分布的地理關係



資料來源：張光直：《考古學專題六講》(北京：文物出版社，1986)，頁127。

射成因鉛數據十分接近。因此提出，殷墟時期黃河流域的青銅生產使用了來自中國西南，也就是長江上游地區的金屬原料。因為鉛礦在華北平原出產地很多，西南地區的這種高放射成因鉛出現在黃河流域生產的青銅器中，實際上反映了西南地區銅錫礦原料輸入中原的事實^②。

這篇報告是中國第一篇將鉛同位素分析技術應用於考古研究的科學報告，也是首次發現商代青銅器中含有高放射成因鉛。報告中將中原地區商代的青銅生產與中國西南地區礦產相聯繫的結論，極大地衝擊了傳統的看法。報告發表之後，很快引起美國和日本研究者的注意^③。

但是，中國考古學家疑慮難消：從長江上游的西南地區到華北平原的腹地，如此大的空間跨度，為甚麼中間沒有考古發現的環節？然而就在兩年後，也就是1986年，從成都平原的三星堆傳來發現商代祭祀坑的消息；再過三年，在江西新干又發現商代大墓。

80年代的這些考古發現，引起了全世界的注目。

一 黃河流域：商代王都遺址與出土青銅器的鉛同位素比值

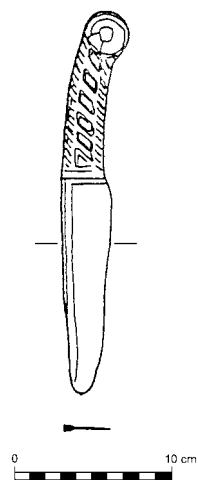
90年代以來，由中日美科研人員組成的研究小組堅持進行關於中國出土青銅器合作研究，已經完成很多重要考古遺址出土青銅器的鉛同位素以及化學組成研究。其中包括河南偃師二里頭和商城遺址、安陽殷墟、湖北盤龍城、江西新干商代大墓、四川三星堆祭祀坑以及湖北隨州曾國墓地遺址等等。

按照目前中國考古學界大多數人的意見，位於河南省偃師縣境內的二里頭遺址，是夏代王都遺址。研究人員對61件二里頭青銅器進行了鉛同位素比值研究，對其中13件作了化學組成分析。這些成果揭示了二里頭時代青銅技術的發展高度(圖2)，也揭示了探索中的夏代文明的若干重要歷史面貌^④。我們特別注意到，在二里頭青銅器中，沒有發現類似殷墟青銅器中的那種高放射成因鉛。

偃師商城和鄭州商城是商王早期都城。偃師商城出土三件青銅

筆者曾提出，殷墟時期黃河流域的青銅生產使用了長江上游地區的金屬原料。因為鉛礦在華北平原出產地很多，西南地區的這種高放射成因鉛出現在黃河流域生產的青銅器中，實際上反映了西南地區銅錫礦原料輸入中原的事實。這個結論，極大地衝擊了傳統的看法。

圖2 代表二里頭早期青銅技術的武器



環首刀：原圖見《考古》，1983年3期，頁204圖10：09。

表1 黃河流域商代早中期遺址出土青銅器及銅礦石的鉛同位素比值

No.	實驗號	器名	原編號	出土地	207/206	208/206	206/204	207/204
1	ZY-455	罍	89YSIVM13:1	偃師商城	0.8777	2.1472	17.524	15.381
2	ZY-456	爵	89YSIVM13:2	偃師商城	0.7573	1.9849	21.059	15.947
3	ZY-457	殘片	92YSVIIJ2H20:1	偃師商城	0.7190	1.9229	22.394	16.101
4	ZY-660	殘片	紫荊山公園T1	鄭州商城	0.7238	1.9296	22.188	16.060
5	ZY-661	殘片	紫荊山公園T1	鄭州商城	0.7866	2.0196	20.036	15.761
6	ZY-662	孔雀石	紫荊山公園	鄭州商城	0.7684	1.9030	20.345	15.634
7	ZY-006	方鼎	H1:2	鄭州	0.7526	1.9567	21.197	15.953
8	ZY-005	盤	H1:7	鄭州	0.9057	2.1883	16.885	15.293

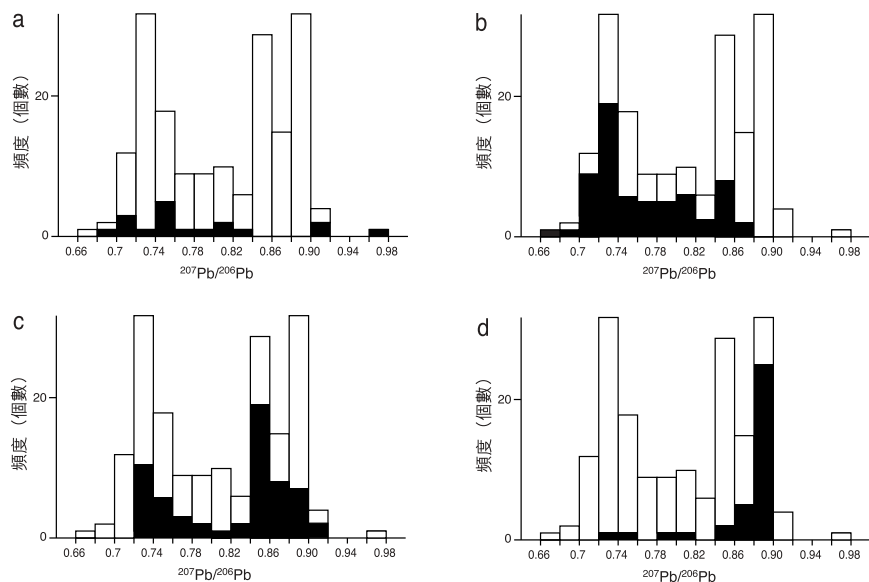
器，鄭州商城出土二件青銅器和一件孔雀石銅礦樣品，以及屬於商代中期遺址的鄭州二里岡窖藏二件青銅器，經過鉛同位素測定研究，發現其中五件青銅器和一件孔雀石都含有高放射成因鉛，它們的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 都在0.70-0.80之間（見表1）。

殷墟時期是商代青銅器製作的鼎盛時期，一共178件殷墟青銅器的

179個樣品經過鉛同位素測定分析，結果表明，殷墟第一二期共82件青銅器中，有66件屬於含高放射成因鉛器物，比例佔80%。第三期61件青銅器中，有23件屬於含高放射成因鉛器物，比例佔38%。第四期36件中只有4件屬於含高放射成因鉛器物^⑥（參見圖3）。

根據以上鉛同位素研究結果，可以看出整個商代供應黃河流域青銅器

圖3 殷墟178件青銅器品的鉛同位素比值分布頻度圖



「高放射成因鉛」的 ^{206}Pb 相對 ^{207}Pb 和 ^{208}Pb 增長更多，所以 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 數值較小，普通鉛則一般大於0.83。

a 殷墟第一期(黑色部分)：18件青銅器中14件屬於高放射成因鉛；b 殷墟第二期(黑色部分)：64件青銅器中52件屬於高放射成因鉛；c 殷墟第三期(黑色部分)：61件青銅器中23件屬於高放射成因鉛；d 殷墟第四期(黑色部分)：36件青銅器中四件屬於高放射成因鉛，其中兩件實際上分期不明。它們可能屬於重新熔鑄器物。

製作生產的主要金屬原料產地在不同時期的變化。具體說來，從商代早中期一直到殷墟第二期，出產含高放射成因鉛的青銅原料的礦山是其主要原料供應地。其他礦山產地來源的原料供應只佔很小比例。到殷墟第三期，含高放射成因鉛的青銅原料供應量明顯減少，鉛同位素比值 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 在0.84-0.90之間，青銅原料佔大部分。進入第四期，絕大多數青銅器的鉛同位素比值 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 在0.88-0.90之間，這說明第四期利用的主要青銅原料供應地，與第三期相比又有所變化。

黃河流域的青銅器製作生產，到了三代中最後一個朝代的周代，很少見利用這種含高放射成因鉛的青銅原料。在陝西寶雞強國墓地12件青銅器和山西晉國墓地71件青銅器中，只發現三件這種高放射成因鉛同位素組成的器物。周代以及殷墟第四期少數這種高放射成因鉛的器物，可能屬於前代遺物或者舊有器物的重新熔煉和鑄造。

二 長江流域：商代遺址與出土青銅器的鉛同位素比值

長江流域發現的商代遺址中，湖北盤龍城是商代中期的一處商城遺址，年代最早，出土的青銅器很多。江西新干商代大墓，墓葬年代在殷墟第二三期之間，出土青銅器475件。四川三星堆遺址的兩個祭祀坑，年代與新干大墓相近，也相當於殷墟中期，其中出土了大量青銅面具、立人像等精美青銅器。

湖北黃陂盤龍城五件和白木港一件青銅器，經過鉛同位素測定研究，有四件屬於含高放射成因鉛的器物；江西新干大墓出土11件青銅器，無論是中原青銅器風格的容器，還是南方青銅文化特徵的工具和武器，都屬於這種高放射成因鉛同位素組成的器物^⑥，具體數據參見表2。

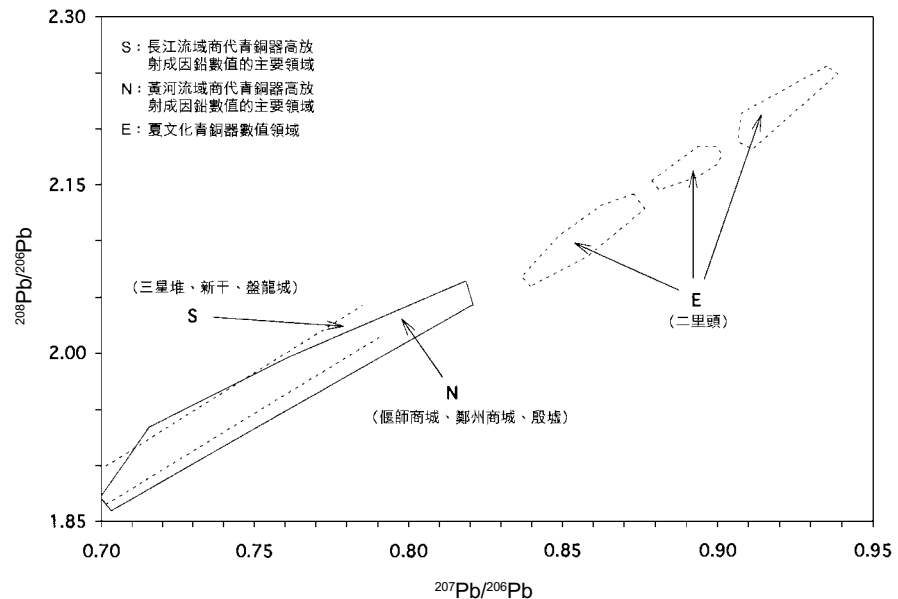
在長江上游成都平原的三星堆遺址，1986年發現兩個祭祀坑。我們從

出產高放射成因鉛的青銅原料的礦山產地，主要開採利用於商代，是黃河流域商王都的青銅業的主要原料供應地。其開發利用的具體時間，開始於商建國之初，即偃師商城和鄭州商城時期；衰落和停止則在殷墟遺址。

表2 長江中游地區商代遺址出土青銅器的鉛同位素比值

No	實驗號	器名	原編號	出土地	207/206	208/206	206/204	207/204
1	ZY-007	壘	74HP.南M1:2	盤龍城	0.9035	2.1795	16.951	15.315
2	ZY-008	罍	80HP.M7	盤龍城	0.9141	2.2015	16.744	15.306
3	ZY-009	鼎	63HP.M4	盤龍城	0.7023	1.8903	23.086	16.213
4	ZY-010	殘片	75HP.F3西	盤龍城	0.7815	2.0088	20.206	15.791
5	ZY-011	戈		盤龍城	0.8013	2.0519	19.677	15.767
6	ZY-094	罍		黃陂白木港	0.7335	1.9432	16.133	21.994
7	ZY-460	圓鼎	XDM:1	新干大墓	0.7496	1.9765	21.414	16.052
8	ZY-461	夔足鼎	XDM:14	新干大墓	0.7641	1.9975	20.881	15.955
9	ZY-462	罇	XDM:63	新干大墓	0.7477	1.9715	21.476	16.057
10	ZY-463	方鼎	XDM:68	新干大墓	0.7679	1.9994	20.812	15.983
11	ZY-464	雙尾虎	XDM:68	新干大墓	0.7798	2.0204	20.394	15.903
12	ZY-465	三足卣	XDM:48	新干大墓	0.7267	1.9292	22.162	16.106
13	ZY-466	龍首戈	XDM:499	新干大墓	0.7107	1.8962	22.901	16.275
14	ZY-467	扣形器	XDM:62	新干大墓	0.7696	1.9907	20.659	15.898
15	ZY-468	三足卣	XDM:49	新干大墓	0.7555	1.9797	21.170	15.995
16	ZY-469	刀	XDM:422	新干大墓	0.7657	1.9916	20.834	15.953
17	ZY-470	直內戈	XDM:116	新干大墓	0.7142	1.9159	22.755	16.252

圖4 黃河流域與長江流域商代青銅器的高放射成因鉛同位素比值分布比較圖



在夏商兩代，黃河流域青銅器的製作生產集中在王都，而所需要的銅錫礦金屬原料則從出產地運來。在這些王都遺址沒有發現冶煉礦石必然會有的礦渣等遺物遺迹，所以，當時採取的辦法，是在礦山產地將礦石經過初步冶煉變成粗金屬後，再運到王都的鑄造作坊。

這兩個祭祀坑的出土青銅器物中，選取了包括面具、立人像、頭像、神樹、容器、武器和銅瑗等近50件器物共53個樣品，進行了鉛同位素測定，它們全部含有這種高放射成因鉛^⑦。

在對出土器物已經進行鉛同位素組成測定的這些商代遺址中，只有三

星堆祭祀坑和江西新干大墓所出青銅器幾乎全部屬於這種高放射成因鉛。長江流域這些商代青銅器中所含的高放射成因鉛與黃河流域商王都遺址出土青銅器中所含的高放射成因鉛，鉛同位素組成特徵十分相似(圖4)，它們應該來自相同的礦山產地^⑧。

這種高放射成因鉛的金屬礦，在全世界都是十分少見的。目前所知，在中國的鄰近地區，只有朝鮮半島南部個別礦山和西伯利亞貝加爾湖附近的一處鉛鋅礦，是這種鉛同位素組成的高放射成因鉛^⑨。

長江流域的周代遺址，例如湖北隨州出土春秋戰國時期青銅器中，65件經過測定分析，沒有一件含這種高放射成因鉛的。

三 從長江流域到黃河流域：商代青銅業的原料流通

從上述夏商周三考古遺址出土青銅器的鉛同位素研究結果(參閱表3)，我們獲得很多知見。

表3 夏商周三代遺址出土青銅器的鉛同位素研究結果簡表

年代 紀元前	文化 王朝	時代 區分	黃河流域 遺址	長江流域 遺址	鉛同位素 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$			
2000	二里頭文化(夏)	一期	偃師 二里頭		>0.83			
1600		二期						
		三期						
		四期						
1100	商 王 朝	早期	偃師商城 鄭州商城	湖北盤龍城	「高放射成 因鉛」出現			
		中期	鄭州二里崗					
		後期	殷 墟			一期	四川三星堆	「高放射成 因鉛」成為中心 供應衰減、 停止
						二期	祭祀坑江西	
三期	新干大墓							
四期								
1100	周 王 朝		陝西寶雞		>0.83			
			強國墓地 山西晉國墓地					

首先，出產這種高放射成因鉛的青銅原料的礦山產地，主要開採利用於商代，是黃河流域商王都的青銅業的主要原料供應地。其開發利用的具體時間，開始於商建國之初，即偃師商城和鄭州商城時期；衰落和停止則在殷墟遺址。

殷墟四期以後以至周代，無論黃河流域還是長江流域的遺址，出土含這種鉛的青銅器數量都很少，說明該礦山地區在商代末期已經停止大規模供應中原青銅業生產。分析美國賽可樂博物館以及日本泉屋博古館收藏的商周青銅器，也發現大量商代青銅器含有這種高放射成因鉛，商以後時代含這種鉛的青銅器數量不多^⑩。

其次，含這種高放射成因鉛的青銅器中，既有只含微量鉛的紅銅器物或銅錫合金器物，也有將鉛作為原料成分之一有意加入的青銅器物。在鄭州商城出土含這種鉛雜質的孔雀石，殷墟第三期也有這種鉛同位素組成的鉛錠出土。這就說明，商代利用的這處重要礦山，是一處出產包括銅礦和鉛礦在內的多金屬共生產礦地。

再次，在夏商兩代，黃河流域青銅器的製作生產集中在王都，而所需要的銅錫礦金屬原料則從出產地運來。在這些王都遺址沒有發現冶煉礦石必然會有的礦渣等遺物遺迹，所以，當時採取的辦法，是在礦山產地將礦石經過初步冶煉變成粗金屬後，再運到王都的鑄造作坊。少量發現於商王都遺址的孔雀石，可能是出於其他目的從產地直接運來的。黃河流域的王都是政治中心和青銅器的鑄造生產中心，長江流域的商代遺址則性質有所不同。在所有這些研究過的商代遺址中，只有江西新干大墓和四川三星堆祭祀坑青銅器幾乎全部含這種高

放射成因鉛。因此，這一多金屬共生礦產地應該位於長江流域。

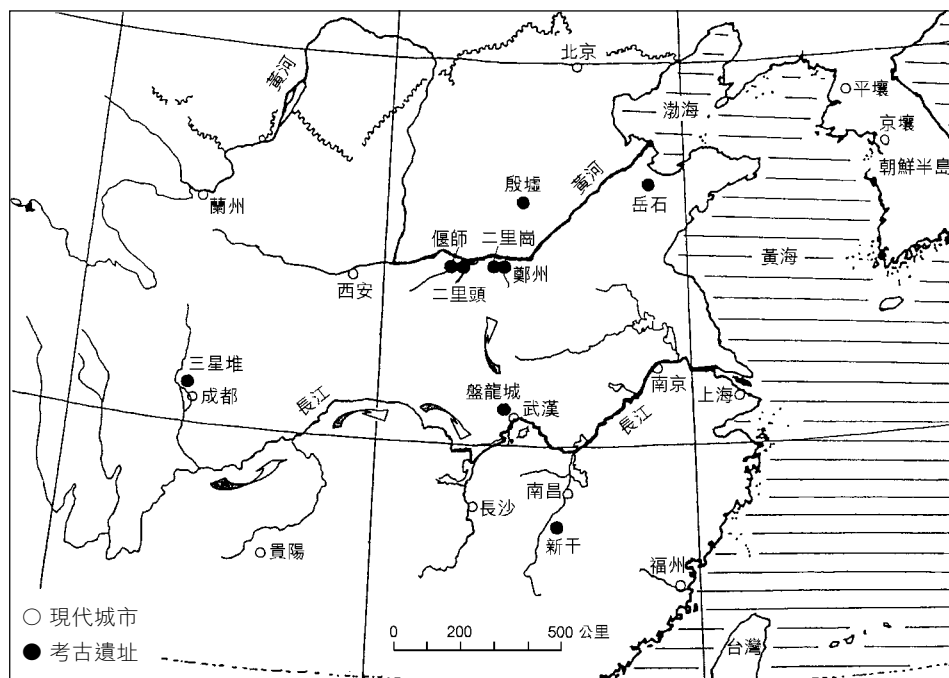
在華北平原的西部邊緣有像中條山這樣的銅礦，但中國的銅礦產地特別是錫礦產地主要還是在長江流域。像安徽境內的銅陵，曾發現古代開採遺迹；湖北盤龍城商城遺址附近，也有著名的銅錄山銅礦；在江西有瑞昌銅礦，曾發現古代採礦遺址。這些銅礦都有可能商代被不同程度地開採利用，但它們的銅礦石及冶煉遺物，經過鉛同位素分析，結果不屬於這種高放射成因鉛。所以，商代含高放射成因鉛的青銅原料的重要礦山產地，要到這些古代礦山之外的地區去尋找。

長江流域上游即中國的西南地區，地質構造複雜，蘊藏豐富的銅礦資源，也有豐富的錫礦資源。四川三星堆青銅器全部含有高放射成因鉛；漢代主要分布於西南地區的搖錢樹，經過分析，發現也屬於這種高放射成因鉛^⑪。結合前述地質資料，商代長時期、大規模開發利用的高放射成因鉛金屬原料，應該屬於西南地區的物產。該地青銅原料資源從長江上游地區，經中游的湖南、湖北和江西，再到黃河流域的商王都所在地，流通道路長達數千公里，影響所及的地區遍及長江和黃河兩大流域的大部分地區（圖5）。另一條通路，從成都平原越秦嶺而至關中，是秦漢時開通的重要通道，但更加艱險。所以，商代運輸西南地區的青銅原料資源，走沿長江而下的路線可能性更大。

高放射成因鉛為何在殷墟第三期以後不再普遍出現於青銅生產中，原因有待探討。或有可能是隨着商王朝國力衰弱，此原料供給線得不到保障；或有可能是原礦山高品質礦石蘊

商代長時期、大規模開發利用的高放射成因鉛金屬原料，應該屬於西南地區的物產。該地青銅原料資源從長江上游地區，經中游的湖南、湖北和江西，再到黃河流域的商王都所在地，流通道路長達數千公里，影響所及的地區遍及長江和黃河兩大流域的大部分地區。

圖5 從長江到黃河：商代高放射成因鉛青銅器出土遺址與推測的原料流通過路線



藏量有限，經過從商初到殷墟中期長期開採利用，必然有漸趨竭盡的一天。但後代仍可見斷續的開採活動，除了搖錢樹的例子外，漢唐時期流通分布於西南以外各地的玻璃製品，其中也有含這種高放射成因鉛的。

四 商代青銅文明的地域範圍與遷都問題

自然科學與考古學的聯姻，常常會有意想不到的收穫。商代青銅器中普遍存在高放射成因鉛的發現，揭示了長江、黃河兩大流域廣袤地域範圍青銅文明物質遺存之間的內在聯繫，揭示了商代青銅業原料和製品的生產和流通關係，同時也為進一步探討兩大流域之間青銅文明的傳播和交流提供了堅實的科學依據。由於商代早期中期直到殷墟中期開採利用的主要青銅原料產地已經遠在長江流域，所以，

商代不惜巨大政治和經濟成本頻繁遷徙王都是為了追逐黃河流域礦產地的假說，是不能成立的。三代為甚麼頻繁遷都，涉及中國上古史國家和文明的起源和成立，有待繼續探索。

進一步的問題，商代長期開採利用的這一具有高放射成因鉛同位素組成特徵的青銅金屬礦產地，具體究竟在西南甚麼地方？這已經是二十一世紀中國考古學的重要學術課題^②。新的發現和新的解答，緊隨其後出現又一個歷史之謎，這正是探索遠古常有的引人入勝之處。

註釋

① 張光直：《考古學專題六講》（北京：文物出版社，1986），頁124-27。

② 金正耀：〈晚商中原青銅的礦料來源〉，《第三屆中國科學史國際討論會（1984年8月）論文集》（北京：科學出版社，1990），頁287-91；金正耀：〈晚商中原青銅業的錫料來源

自然科學與考古學的聯姻，常常會有意想不到的收穫。由於商代早期中期直到殷墟中期開採利用的主要青銅原料產地已經遠在長江流域，所以，商代不惜巨大政治和經濟成本頻繁遷徙王都是為了追逐黃河流域礦產地的假說，是不能成立的。三代為甚麼頻繁遷都，則有待繼續探索。

問題》，《自然辯證法通訊》，1987年第4期，頁47-56。

③ 參見山崎一雄、室住正世：〈中國古代玻璃與日本彌生時代古墓中出土玻璃之間的關係〉，載《中國玻璃研究》（北京：中國建築出版社，1986），頁47-52，附註4。

④ Jin Zhengyao, Zheng Guang, Y. Hirao, Y. Hayakawa and W. T. Chase, "Lead Isotope Study of Early Chinese Bronze Culture", *Proceedings, The Fourth International Conference on the Beginning of the Use of Metals and Alloys* (Shimane, Japan: The Japan Institute of Metals, 1998), 127-32; reprinted in *Humanities: Chinese Academy of Social Sciences* (Beijing: China Social Sciences Publishing House, 1999). 金正耀：〈二里頭青銅器的自然科學研究與夏文明探索〉，《文物》，2000年第一期。

⑤ 金正耀、W. T. Chase、平尾良光、馬淵久夫、三輪嘉六、楊錫璋：〈中國兩河流域青銅文明之間的聯繫〉，載中國社會科學院考古研究所編：《中國商文化國際學術討論會論文集》（考古學專刊甲種第24號）（北京：中國大百科全書出版社，1998），頁258-66。

⑥ 金正耀、W. T. Chase、平尾良光、彭適凡、馬淵久夫、三輪嘉六、詹開遜：〈江西新干大洋洲商墓青銅器的鉛同位素比值研究〉，《考古》，1994年第八期，頁744-47。

⑦ 金正耀、馬淵久夫、W. T. Chase、陳德安、三輪嘉六、平尾良光、趙殿增：〈廣漢三星堆遺物坑青銅器的鉛同位素比值研究〉，《文物》，1995年第二期，頁80-85；金正耀、馬淵久夫、W. T. Chase、陳德安、三輪嘉六、平尾良光、趙殿增：〈三星堆青銅器的化學組成和鉛同位素研究〉，載四川省文物考古研究所編：《三星堆祭祀坑》（北京：文物出版社，1999），頁490-99。

⑧ 金正耀、W. T. Chase、馬淵久夫、三輪嘉六、平尾良光、陳德安、趙殿增：〈商代青銅器中的高放射成因鉛：三星堆器物與A. M. Sackler博物館藏品的比較研究〉，載北京大學考古系主編：《「迎接二十一世紀的中國考古學」國際學術討論會論

文集》（北京：科學出版社，1998），頁562-69。

⑨ 馬淵久夫、平尾良光：〈東アジア鉛礦石の鉛同位體比〉，《考古學雜誌》，第73卷第2號，12，1987，頁71-117；Sergel Karpenko and M. H. Deievau and B. R. Doe, "Lead Isotope Analyses of Galenas from Selected Ore Deposits of the U.S.S.R.", *Economic Geology* 76 (1981): 716-42.

⑩ I. L. Barnes, W. T. Chase and E. C. Deal, "Lead Isotope Ratios", in *Shang Ritual Bronzes in the Arthur M. Sackler Collections*, ed. Robert W. Bagley (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1987), 558-60; W. T. Chase, I. L. Barnes and E. C. Deal, "Lead Isotope Ratios", in *Western Zhou Ritual Bronzes from the Arthur M. Sackler Collections*, V.IIA, ed. Jessica Rawson (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1990), 168-71; W. T. Chase, I. L. Barnes and E. C. Deal, "Lead Isotope Ratios", in *Eastern Zhou Ritual Bronzes from the Arthur M. Sackler Collections*, ed. Jenny F. So (New York: Harry Abrams, 1995), 489-91；平尾良光、鈴木浩子、早川泰弘、佐佐木佑二：〈泉屋博古館が所藏の中國古代青銅器の鉛同位體比〉，《泉屋博古館紀要》，15（1998），頁25-46。

⑪ 東京國立博物館收藏漢代搖錢樹，經平尾良光等測定，為高放射成因鉛。報告在發表中。

⑫ 金正耀：〈中國鉛同位素考古研究的幾個問題〉，《古代文明研究通訊》，第5期（北京：北京大學，2000）。

金正耀 中國社會科學院世界宗教研究所教授，著有《道教與煉丹術論集》、《道教與科學》、《中國道教史》（合著）及鉛同位素考古研究、道教研究論文數十篇。