

铀子系法测定骨化石年龄的可靠性 研究及华北地区主要旧石器 地点的铀子系年代序列

陈铁梅 原思训 高世君

(北京大学考古学系年代测定实验室)

关键词 铀子系法测定年代;旧石器地点年代测定;华北

内 容 提 要

本文报告测定骨化石 $^{231}\text{Pa}/^{235}\text{U}$ 比值的实验方法,并根据骨化石样品的铀子系法年龄与 ^{14}C 年龄的对比,讨论了铀子系法测定哺乳动物骨化石年龄的可靠性。作者实际测定了华北地区周口店、丁村等十个重要旧石器地点的年代,尝试提出华北地区旧石器文化年表。

我国是发现古人类遗迹很多的国家。为了研究人类体质形态的进化、劳动工具和文化的发展以及第四纪哺乳动物群的演化,都需要有可靠的绝对时间尺度。碳十四年代数据的积累曾帮助考古学分析我国新石器文化的年代序列。但目前碳十四测年法的最大可测年限一般仅四万年。从四万年以上到钾氩法能比较可靠测定的最小极限年龄值一、二百万年之间,基本上是目前测年技术的一个“盲区”。而这一年代范围正是地质史上的最新时期——人类发展的第四纪。虽然近年来铀子系法、古地磁法、裂变径迹法等多种测定年代的方法都在探索和发展,并获得某些成果,但每种方法在其理论前提、实验技术以及样品采集等方面仍各有其局限与困难。目前我国古人类谱系的时代主要还是根据地层古生物学方法相对地推定的,绝对年代数据很少。本文将报告用铀子系法测定旧石器地点年代方面的一些研究成果。

一、铀子系法测定骨化石年代的可靠性

动物骨化石在第四纪堆积中是常见的,它往往与人化石、石器共存,并能代表共存的人化石和石器文化的年代。因此用铀子系法测定三十万年以来哺乳动物骨化石绝对年代的可能性是令人感兴趣的。我们曾介绍过该法的基本原理(陈铁梅等,1982),也提到其主要困难在于:在骨骼石化后,因地下水的作用,可能发生铀的后期次生迁移,从而破坏样品的封闭性。一般难以根据化石的埋藏环境和外貌特征事先估计铀的迁移情况。但是比较同一样品的 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 和 $^{231}\text{Pa}/^{235}\text{U}$ 两个比值可以判断被测样品的封闭情况。

天然铀有三种同位素。因此对同一样品可同时测 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 和 $^{231}\text{Pa}/^{235}\text{U}$ 两个比值,

分别得 ^{230}Th 年龄值和 ^{231}Pa 年龄值。因为天然铀的 $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比值在绝大部分情况下是恒定的,这样还可以计算出 $^{231}\text{Pa}/^{230}\text{Th}$ 比值,得到第三个年龄值,称为 $^{231}\text{Pa}/^{230}\text{Th}$ 年龄。三个年龄值中只有两个是独立的,但是它们间的比较却能给出关于铀的次生迁移的方向和程度的信息。例如,当其中两个年龄值相等时,第三个年龄值必然也相等,这表明样品是封闭的,所得的铀子系法年龄一般应代表化石的真实年龄。反之,若三个年龄值相互间不等,则表明样品中曾发生过铀的后期次生迁移,但此时 ^{230}Th 年龄和 $^{231}\text{Pa}/^{230}\text{Th}$ 年龄一般分别代表样品真实年龄的上下极限值。如果次生迁移不十分严重,那么可以用 ^{230}Th 年龄和 Pa/Th 年龄所限定的年代区间去估计样品的真实年龄,这虽不十不精密,然而却是可靠的,有意义的。如果从同一化石地点同一层位采集多个同时代样品进行测量,综合比较分析测定结果,这样通常可能对该化石地点的真实年代范围得到一个更为可信的数值。

铀子系法测骨化石年龄的可靠性也可通过与其他测年方法结果的比较来验证。对四万年内的样品主要是与同层位样品的 ^{14}C 年龄相比。因为研究表明,晚更新世 ^{14}C 年龄与真实年龄的差别不大于 10% (Barbetti, 1980)。前人曾作过一些两种方法的对比。表 1 是本实验室同时用铀子系法和 ^{14}C 法对几组同层位样品测定结果的对比。可以看到,当骨化石封闭时,其铀子系年龄与同层位样品的 ^{14}C 年龄在实验误差范围内一致。对早于四万年的样品, Wendorf 等 (1975) 证实坦桑尼亚伊西玛拉 (Isimila) 遗址中封闭骨化石样品的铀子系年龄和该遗址的钾氩年龄一致。另外墨西哥胡雅脱拉哥 (Hueyatlaco) 遗址的骨化石铀子系年龄与裂变径迹年龄也相吻合。

表 1 几组样品的铀子系法年龄和 ^{14}C 年龄的比较

	铀 子 系 法				^{14}C 法		
	实验室编号 BKY	材 料	^{231}Th 年龄 (万年)	^{231}Pa 年龄 (万年)	实验室编号 BK	材 料	^{14}C 年龄 (年)
桐梓 马鞍山遗址 第三层	82037	鹿 牙	1.8 ± 0.1	1.7 ± 0.1	82062	木 炭	15100 ± 1500
资阳 黄鳝溪 小砾石层	81024	牙化石	0.90 ± 0.06	未 测	81038	木 炭	7660 ± 120
柳州 白莲洞东剖面 骨化石胶结于两层钙 板之间	82239	骨化石	0.80 ± 0.08	0.87 ± 0.24	82092	上层钙板	7700 ± 140
					82096	下层钙板	11670 ± 150
柳州 白莲洞西剖面 骨化石胶结于两层钙 板之间	82141	骨化石	2.8 ± 0.2	2.5 ± 0.4	82098	上层钙板	26680 ± 630
					82101	下层钙板	37000 ± 2000

二、测定骨化石 $^{231}\text{Pa}/^{235}\text{U}$ 比值和 ^{231}Pa 年龄的实验方法

我们已报道测量骨化石样品的 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 和 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 比值以定其 ^{230}Th 年龄的实验方法(陈铁梅等, 1982)。下面简述本实验室测 $^{231}\text{Pa}/^{235}\text{U}$ 比值,从而定化石的 ^{231}Pa 年龄的实验方法。 ^{235}U 衰变系列如图 1 所示。

由于 ^{235}U 的放射性仅为 ^{238}U 放射性的 1/22, 加上质量数为奇数的核素的 α 谱较复杂,因此测定 ^{231}Pa 年龄比 ^{230}Th 年龄在技术上稍复杂。Mangini 等(1977)在测深海沉积

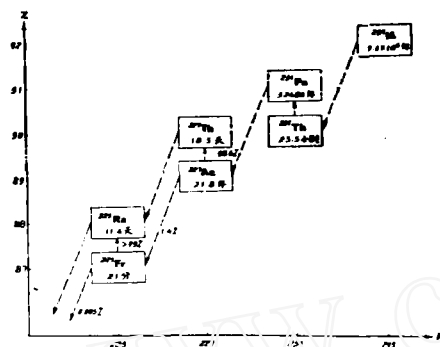


图 1 ^{235}U 衰变系列
Decay Series of ^{235}U

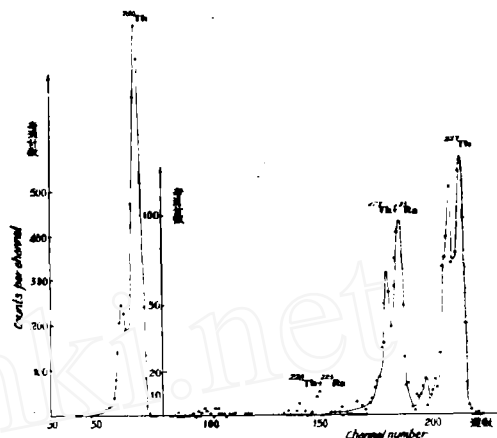


图2 钍源片的 α 谱
 α -Spectrum of Thorium Sample

物的 ^{231}Pa 年龄时,选择测量 5.9—6.05 MeV 能量范围内 ^{227}Th 的 α 粒子。这可避免海泥中 ^{228}Th α 粒子的干扰。但 ^{227}Th 的 α 谱线复杂,目前同位素表中关于 ^{227}Th 各 α 线相对强度的不确定性会影响 ^{231}Pa 年龄的精确度。Rona 等(1965)通过测 ^{215}Po 的 7.38 MeV α 粒子强度来定 $^{231}\text{Pa}/^{235}\text{U}$ 比值,其优点是在 7.38 MeV 附近无其他同位素 α 线的干扰。但我们的实验表明, ^{215}Po 的母体 ^{219}Rn 会从放射源片上逸失,致使 ^{215}Po 并不与 ^{227}Th 达到平衡,而且 ^{219}Rn 逸失程度的涨落很大,难以校正。也可用 ^{233}Pa 示踪剂标定 ^{231}Pa 的化学回收率(刘明林等,1982),其优点也是能排除样品中 ^{232}Th 和 ^{228}Th 的干扰。但 ^{233}Pa 是 β 放射性,通常要通过测量伴随的 γ 射线强度来定回收率。 γ 射线的强度不易测准,而且化学流程也较繁杂。由于骨化石样品中 ^{228}Th 含量极低,我们测量样品钍组分 α 能谱中 5.5—6.05 MeV 能量范围内 ^{231}Pa 的子体 ^{227}Th 和 ^{223}Ra 的强度,再与 4.62 MeV 和 4.69 MeV 的 ^{230}Th 强度相比较,就能定出 $^{227}\text{Th}/^{230}\text{Th}$ 比值。再利用已经测得的 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比值和固定的 $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比值,可计算得到 $^{227}\text{Th}/^{235}\text{U}$ 比值。根据 ^{227}Th 衰变的分支比最后得到 $^{231}\text{Pa}/^{235}\text{U}$ 比值。实际的制样及测量流程如下:(1) 盐酸及高氯酸溶样;(2) 743 型强酸性阳离子交换树脂初步分离钍;(3) 0.2 克分子的 TTA 苯溶液萃取钍,使 ^{227}Th 与其母体 ^{227}Ac 完全分离;(4) 钍的草酸铵溶液中电沉积制源;(5) 钍源片的 α 能谱测量。图 2 是测得的典型 α 能谱,4.69 MeV ^{230}Th 峰的半高宽度约为 45 keV。

专门安排的实验表明, ^{227}Th 与其母体 ^{227}Ac 的分离有相当部分在萃取这一步实现, 分离是完全的, 苯有机相中残留的钍小于 1%。离子交换和萃取两步紧接, 因此 ^{227}Th 和 ^{227}Ac 分离时间是确定的, 从而能对 ^{227}Th 失去 ^{227}Ac 支持后的衰变作校正。实验表明, 在所采用的电沉积制源条件下, 溶液中的镭不随钍沉积到不锈钢源片上。测量到的镭是由源片上的 ^{227}Th 衰变形成的, 因此根据制源和 α 能谱测量间的时间间隔, 可计算出所选能量范围内 ^{226}Ra α 粒子的贡献, 并加以校正。

上述实验方法的可靠性是通过多次对同一样品重复制样测量,并对已制得的钍源片间隔不同的时间多次测量验证的。各种条件下所测得的 $^{231}\text{Pa}/^{230}\text{Th}$ 比值在测量的误差范

围内一致。我们还曾用上述方法对比测量了国际标准样品 RKM-5。RKM-5 是国际上十多个实验室共同对比测量过年代的珊瑚样。表 2 列出了本实验室的测量结果与十六个实验室测量的平均值(夏明等, 1979)之间的比较。表中本实验室测量数据的误差仅表示计数的纯泊松误差, 而平均值的误差是十六个实验室测量数据间的标准差。国际标准样对比计划中没有直接测 $^{231}\text{Pa}/^{235}\text{U}$ 比值, 因此表 2 中 $^{231}\text{Pa}/^{235}\text{U}$ 平均值是根据已测得的年龄值 13.1 万年按 ^{231}Pa 的增长公式计算而得的。数据表明, 我们的测量值与十六个实验室的平均值很接近。综上所述, 可以认为本文所报告的关于测量化石的 $^{231}\text{Pa}/^{235}\text{U}$ 比值及其 ^{231}Pa 年龄的实验方法是可靠的。

表 2 RKM-5 国际标准样品的对比测量结果

	铀 含 量 (ppm)	$^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	年 龄 (千年)	$^{231}\text{Pa}/^{235}\text{U}$
16 个实验室 的平均值	3.25 ± 0.11	1.100 ± 0.016	0.710 ± 0.025	131 ± 9	0.94
本实验室	3.29 ± 0.05	1.114 ± 0.020	0.689 ± 0.017	124 ± 6	0.96 ± 0.06

三、年代测定结果

表 3 列出周口店等华北地区九个旧石器地点共二十六个样品的年代测定结果。已发表的许家窑遗址(陈铁梅等, 1982)和萨拉乌苏遗址(原思训等, 1983)的年龄数据未再列入。所标误差仅是放射性测量的统计误差, 取一个标准偏差。山顶洞与小南海的样品因量太少未能测定其 ^{231}Pa 年龄, 但这二地点已有 ^{14}C 年龄数据可供对照。表中第十二列是最终得到的铀子系年龄, 对于封闭性差的样品, 该列给出由 ^{230}Th 年龄和 $^{231}\text{Pa}/^{230}\text{Th}$ 年龄所限定的样品石化年龄的上下极限值。下面分别讨论各石器地点的测定结果。

1. 周口店几个石器地点的年代

周口店的第一地点, 新洞和山顶洞分别代表前后三个时期。赵树森等(1980)曾报道了用铀子系法测第一地点骨化石的 ^{230}Th 年龄, 但因未测 ^{231}Pa 年龄, 无法判断样品是否封闭。本文测量了第一地点 1—3 层的一个鹿角样品 BKY 83001 (赵文中报道该样品的 ^{230}Th 年龄为 $25.6^{+6.2}_{-4.0}$ 万年), 所得 ^{230}Th 年龄和 ^{231}Pa 年龄一致, 分别为 $25.1^{+4.1}_{-3.1}$ 万年和大于 15 万年, 说明样品的封闭性良好。因此可认为铀子系年龄值 $25.1^{+4.1}_{-3.1}$ 万年应代表第一地点该样品所在层堆积的时代。

新洞 6—7 水平层两个鹿牙样 BKY 82098-1 和 BKY 82098-2 是封闭的, 它们的年龄值相近, 分别为 $17.1^{+1.5}_{-1.3}$ 和 $15.6^{+1.3}_{-1.1}$ 万年, 七层的 BKY 82056 样品有铀的后期加入, 其年龄范围为 12.4—16.0 万年。三、四水平层的两个样品 BKY 82090; BKY 82054 不封闭, 因此所测年龄范围较宽, 分别为 12.2—17.1 和 11.0—16.0 万年。顾玉珉(1978)报道新洞上下层的动物群组成没有明显的变化, 只是大动物化石在第五水平层多些, 人牙化石也

出自该层。综合分析这五个年代数据,我们考虑以 13.5—17.5 万年作为新洞人及其文化的年代范围。

山顶洞二个鹿牙样品 BKY 80017 和 BKY 80018 系 1933 年和 1934 年采集。其 ^{230}Th 年龄分别为 1.9 ± 0.1 万年和 2.1 ± 0.4 万年,因样品量太少无法测 $^{231}\text{Pa}/^{235}\text{U}$ 比值以判断其封闭情况。其中 1934 年采集的 BKY 80018 样的 ^{230}Th 年龄值与 ^{14}C 年龄数据 18865 ± 420 年颇为接近,两种方法能在一定程度上相互印证。

2. 大荔遗址和丁村 54:100 地点的年代

大荔样品均采自 78006A 地点。第三层 BKY 82025 牛牙样封闭,年代值为 20.9 ± 2.3 万年。第四层 BKY 82023 赤鹿角有少量铀的后期加入,测定的年代范围为 18.2—22.6 万年,与 BKY 82025 样年龄相近。第三层另外两个样品的封闭性差,测得的年代范围相当宽。第五层只测了一个样品,基本封闭,其年代明显要晚些,在 11.4—14.6 万年间。据吴新智等(1979)的发掘资料,大荔人头骨出自三层,动物化石也主要出自三层,五层化石较少。因此将出大荔人化石及动物化石那一层位的年代定为 18—23 万年。

关于丁村文化的时代问题历来有不同的看法。本文仅限于测定汾河三级阶地砂砾石互层中下部的 54:100 地点和汾河西岸吉家沟 76007 地点的年代,两地点的层位是相当的。同时在测丁村样品的年代时我们更为谨慎, BKY 80057、81076 和 81078 等样品均多次重复测量,数据的重复性是良好的。

54:100 地点的五个样品中 BKY 80057 牛牙样品封闭, BKY 81078 鹿牙有少量铀的后期加入,它们的年龄值分别为 20.0 ± 1.8 万年和 16.1—21 万年。其他三个样品和另一个采自吉家沟 76007 地点的 BKY 81079 样品虽不封闭,不能定出确切的年代,但除 54:100 地点砂砾石层下部的 BKY 81076 样品可能稍偏老外, BKY 81077, 81079 样品的年代范围中心值在 18 万年。看来这些化石基本上是同时代的,距今为 16—21 万年。

54:100 地点和 76007 地点分处在汾河东西两岸,相距十多里。但两地的化石密度都较大,它们的铀子系年龄又相当一致。测年的化石有牛、马、鹿和犀等多种,它们的磨圆度差,有棱有角。根据这些特点分析,它们似乎不像是从某一更老的地层中再次搬运来的。因此可以认为 16—21 万年应代表 54:100 地点的动物群及其共存的石器文化的年代。

大荔人化石及其共存的石器、脊椎动物化石出自洛河三级阶地中下部的砾石层中,而丁村 54:100 地点的人牙及石器等出自汾河三级阶地中下部的砂、砾石互层中。两地的地层颇相似,都是一套河湖相堆积,下面都界有一不整合面而叠压在三门组地层之上,上面都分别为细砂层及黄色土层,黄色土层中均夹有几条淡红色古土壤层。两地的动物群有不少相同的种属,但大荔有肿骨鹿,马也更接近三门马。从年代测定来看两者很接近或大荔稍早些。

3. 许家窑文化的年代

许家窑遗址的化石及石器集中分布在地表下八米及十二米左右两层。我们曾报道了对 74093 地点化石样品的铀子系年代测定结果(陈铁梅等,1982),由于当时所测的样品均不封闭,仅能给出十二米处化石的上限年龄为大于十万年。最近我们又测量了出自

表 3 铀子系法年龄测量结果

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
地点名	样品编号 BKY	材 料	层位及原编号	铀 量 (ppm)	$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	^{230}Th 年龄 (万年)	$^{231}\text{Pa}/^{232}\text{U}$	^{231}Pa 年龄 (万年)	是否封闭	铀子系年龄 (万年)
周口店 第一地点	83001	鹿 角	1—3 层	21.6±0.7	1.30±0.04	0.959±0.039	25.1 $^{+4.1}_{-3.1}$	1.003±0.076	>15	是	25.1 $^{+4.1}_{-3.1}$
	82090	鹿 牙	第3水平层	61±2	1.47±0.04	0.844±0.034	17.1 $^{+1.6}_{-1.4}$	1.172±0.067		析出	12.2—17.1
	82054	鹿 牙	第4水平层	149±3	1.38±0.02	0.661±0.023	11.0±0.6	0.786±0.050	7.2±1.2	加入	11.0—16.0
	82098-1	鹿 牙	第6—7水平层	51.0±1.5	1.30±0.03	0.831±0.031	17.1 $^{+1.5}_{-1.3}$	0.980±0.058	>15	是	17.1 $^{+1.5}_{-1.3}$
	82098-2	鹿 牙	同 上	51.4±1.5	1.26±0.03	0.793±0.029	15.6 $^{+1.3}_{-1.1}$	1.044±0.062	>15	是	15.6 $^{+1.3}_{-1.1}$
周口店 山顶洞	82056	鹿 牙	第7水平层	56.3±1.8	1.32±0.03	0.706±0.026	12.4±0.8	0.847±0.048	8.8 $^{+1.7}_{-1.3}$	加入	12.4—16.0
	80017	鹿 牙	UC-33-41-06	36.5±1.0	1.26±0.03	0.160±0.006	1.9±0.1				
大荔 78006A 地点	80018	鹿 牙	UC-J6-34-11	4.1±0.4	1.27±0.11	0.176±0.028	2.1±0.4				
	80045	牙	5 层	165±3	1.79±0.03	0.796±0.020	14.6±0.8	1.05±0.05		析出	11.4—14.6
	82028	赤鹿角	4 层	117±2	1.72±0.02	0.887±0.026	18.2 $^{+1.4}_{-1.2}$	0.906±0.038	10.6 $^{+3.1}_{-2.0}$	加入	18.2—22.6
	82025	牛 牙	3 层	177±6	1.93±0.04	0.954±0.038	20.9 $^{+2.3}_{-1.9}$	0.997±0.043	>15	是	20.9±2.3
	80039	鹿 牙	3 层	212±4	1.77±0.02	0.669±0.020	10.6±0.5	0.698±0.033	5.6±0.4	加入	10.6—21.6
	80038	马 牙	3 层	151±4	2.03±0.04	1.14±0.03	38 $^{+7}_{-6}$	1.285±0.060		析出	17.2—38

80056	牛 牙	54:100 地点砂砾层	191±3	1.66±0.02	1.46±0.05	$20.0^{+1.8}_{-1.5}$	2.07±0.09	析出	>10
80057	牛 牙	同 上	96±4	1.69±0.06	0.923±0.033	26^{+4}_{-3}	$10.9^{+0.975}_{-0.053}$	是	20.0±1.8
81077	犀牛牙	54:100 地点砂砾层上部	131±5	1.62±0.03	1.002±0.042		1.295±0.060	析出	12.7—26
81078	鹿 牙	离 54:100 地点 200 米探沟 层位同 54:100 地点	220±8	1.56±0.03	0.826±0.033	$16.1^{+1.5}_{-1.3}$	$16.8^{+0.878}_{-0.047}$	加入	16.1—21
81076	鹿 牙	54:100 地点砂砾层下部	182±4	1.40±0.02	1.111±0.033		1.266±0.048	析出	>20.5
81079	马 牙	吉家沟 76007 地点砂砾层	84±5	1.69±0.08	1.008±0.058	$25.5^{+5.5}_{-4}$	1.39±0.16	析出	10.7—25.5
81111	犀牛牙	74093 地点地表下 8 米	193±5	1.22±0.02	0.638±0.021	$10.4^{+0.4}_{-0.4}$	0.856±0.060	是	10.4—12.5
82042	马 牙	下文化层 80.CF 1:443	315±10	1.41±0.02	0.300±0.012	$3.8^{+0.2}_{-0.2}$	$0.575^{+0.035}_{-0.035}$	是	3.8±0.2
82043	马 牙	同 上	311±10	1.41±0.02	0.269±0.013	$3.4^{+0.2}_{-0.2}$	0.501±0.033	是	3.4±0.2
81001	牛 牙	出化石及石器的黑泥灰土层	59.2±1.5	1.59±0.04	0.366±0.012	$4.8^{+0.2}_{-0.2}$	0.677±0.046	是	4.8±0.2
82011	牛 牙	同 上	198±3	1.69±0.03	0.340±0.013	$4.4^{+0.2}_{-0.2}$	$0.612^{+0.031}_{-0.031}$	是	4.4±0.2
80053	马 牙	第六层 78A.S.C1-C6	5.8±0.2	1.26±0.06	0.174±0.010	$2.14^{+0.13}_{-0.13}$			
80054	鹿 牙	同 上	28.7±0.9	1.25±0.05	0.160±0.012	$1.89^{+0.15}_{-0.15}$			

74093 地点地表下八米处的犀牛牙样品 BKY 81111。该样品接近封闭,其年代值在 10—12.5 万年,目前可以此值代表八米深处化石层的年龄。

4. 萨拉乌苏文化及水洞沟文化的年代

本实验室曾测定范家沟湾和杨四沟湾萨拉乌苏组出人化石及石器地层的铀子系年龄为 3.7—5 万年(原思训等,1983)。

本文测定了水洞沟两个马牙样品的年龄。样品系 1980 年采自边沟北岸峭壁中出旧石器和哺乳动物化石的下文化层,即贾兰坡等(1964)称为的水洞沟第一文化层。两个样品 BKY 82042 和 82043 均有良好的封闭性,它们的年代一致,分别为 3.8 ± 0.2 万年和 3.4 ± 0.2 万年。这与以往的考古研究资料相符,水洞沟文化和萨拉乌苏文化同属旧石器文化晚期,比丁村文化和许家窑文化要晚很久。此外,这两地点本身在时间上有先后,水洞沟文化更晚些。

5. 河北迁安爪村石器地点的年代

爪村的动物化石与石器出自滦河南岸第二台地地表下 1.5—2 米的黑色泥灰土层中,爪村动物群被认为是华北地区晚更新世动物群的典型代表之一。我们测量的两个牛牙化石 BKY 81001 和 BKY 82011 均封闭,其年龄分别为 4.8 ± 0.2 万年和 4.4 ± 0.2 万年,与萨拉乌苏文化的年代相当,而稍早于水洞沟文化。

6. 小南海遗址的年代

小南海遗址是洞穴堆积。安志敏等(1965)指出除最上层是全新世堆积外,大体上连续发展了一个较长的阶段。已知第一层的 ^{14}C 年龄为 13075 ± 220 年、第二、三层 ^{14}C 年龄为 11000 ± 500 年,第六层木炭样品的 ^{14}C 年龄为 24100 ± 500 年。本文测定的 BKY 80053 马牙和 80054 鹿牙均采自第六层。因样品量少,只能测它们的 ^{230}Th 年龄,为 2.14 ± 0.13 万年和 1.89 ± 0.15 万年。铀子系年龄比同层 ^{14}C 年龄偏低四千多年,这可能是因为铀是动物死亡后在石化进程中加入动物硬组织的,而石化过程延续了相当一段时间;也可能同属六层的样品在堆积上仍有早晚。从铀子系年龄分析,小南海的最下层(第六层)晚于水洞沟,而与山顶洞遗址的年代相当。

四、结论与几点看法

1. 铀子系法是测定三十万年以内动物化石石化年龄的一种可信方法。其关键是必须同时独立测定每一骨化石样品的 ^{230}Th 年龄和 ^{231}Pa 年龄,以判断样品中铀的后期迁移情况。同时测定并综合分析若干个属同一地层或考古层位样品的年龄,将有助于提高所得年代值的精确可靠程度。

2. 铀子系测年方法为我国华北地区十个重要的旧石器遗址或地点首次尝试提出一个绝对年代序列(表 4)。考虑到石器地点的堆积本身往往延续有一段时间,同时实验数据也有误差,表 4 中用年代区间表示各石器地点的年代。

我们曾用 Brainerd-Robinson 统计方法分析了华北地区几个动物群的相对年代先后(陈铁梅, 1983), 与表 4 的结果是一致的。

表 4 华北地区旧石器地点铀子系年代序列

旧石器地点名称	年代范围(万年)
周口店第一地点 1—3 层	22—29
大荔 78006A 地点 3—4 层	18—23
丁村 54:100 地点	16—21
周口店新洞 3—7 水平层	13.5—17.5
许家窑 74093 地点地表下八米化石层	10—12.5
迁安爪村	4.2—5
萨拉乌苏旧石器文化层	3.7—5
水洞沟旧石器文化层	3.2—4
小南海第六层	1.8—2.3
山顶洞	1.8—2.3

3. 表 4 的数据表明, 周口店第一地点上层一新洞和山顶洞在时代上并不紧密衔接, 中间有很宽的年代间隙。这与考古研究的结果相符。吴新智等(1978)曾提到在欧洲及西亚已发现不少中更新世到晚更新世早期的古人类化石, 而在东亚及我国却很少有这一时期的古人类化石。本文所测的遗址中也缺乏处在 5—10 万年间的。今后第四纪年代测定技术应有助于我国的古人类和旧石器考古工作者鉴别这一时期的人类活动遗迹。

4. 传统的地层古生物和气候地层方法对人类的发展史和第四纪地质能作出相对早晚的分期。而绝对年代测定方法的发展有可能提供统一的、定量的时间尺度。然而, 并非在所有情况下被测样品的年龄都代表样品所在地质层或考古层位形成的年代, 它们之间的关系依赖于被测样品的材料, 采样的合理性, 同时也依赖于测年方法理论基础的一些假设前提能在什么范围和多大程度上被证实。这方面还有很多工作要做, 本文所提华北旧石器文化的铀子系年代序列也有待于其他测年方法的互校验证。为此我们希望: (1) 第四纪地质工作者, 考古工作者与年代工作者之间紧密地合作, 使样品的采集和对所得年代值与样品所在地质体的关系的分析更为合理。(2) 每种测年方法公布测定结果时, 应对采样层位、样品材料、实验方法、处理数据的模式、所作过的校正等作必要的说明。这将使数据使用者对年龄数据的代表性及精确性的估计有所依据, 也使各种测年方法间的互校比对成为可能。

我们在工作中得到贾兰坡先生的关怀、支持, 得到吴新智、张森水、黄慰文、顾玉珉、卫奇、周本雄、陶富海以及我校吕遵谔等同志提供样品、地层和其他帮助。他们对本工作提出了很多宝贵意见, 谨致谢意。

(1984 年 1 月 21 日收稿)

参 考 文 献

- 中国社会科学院考古研究所, 1983. 中国考古学中碳十四年代数据集. 文物出版社.
 安志敏等, 1965. 河南安阳小南海洞穴堆积的试掘及脊椎动物化石研究. 考古学报, 1: 1—51.
 刘明林等, 1982. 碳酸盐样品中镁的分离和镁法测定年龄. 第二届全国同位素地球化学学术讨论会议文集, 364—366.
 陈铁梅等, 1982. 许家窑旧石器遗址的铀子系法年代测定. 人类学学报, 1: 91—95.

- 陈铁梅, 1983. 用 Brainerd-Robinson 方法比较华北地区几个主要晚更新世动物群的年代顺序. 人类学学报, 2: 196—202.
- 吴新智等, 1978. 中国古人类综合研究. 古人类论文集, 28—42.
- 吴新智等, 1979. 大荔人遗址的初步观察. 古脊椎动物与古人类, 17: 294—303.
- 贾兰坡等, 1964. 水洞沟旧石器时代遗址的新材料. 古脊椎动物与古人类, 8: 75—83.
- 贾兰坡等, 1979. 许家窑旧石器遗址 1976 年发掘报告. 古脊椎动物与古人类, 17: 277—293.
- 顾玉琨, 1978. 周口店新洞人及其生活环境. 古人类论文集, 158—174. 科学出版社.
- 原思训等, 1983. 用铀子系法测定河套人和萨拉乌苏文化的年代. 人类学学报, 2: 90—94.
- 夏明等, 1979. 铀系方法鉴定国际标准样结果. 中国科学, 8: 792—799.
- 裴文中, 1940. 周口店山顶洞动物群. 中国古生物志新丙种, 第十号.
- 裴文中等, 1958. 河北迁安第四纪哺乳动物化石发掘简报. 古脊椎动物学报, 2: 214—229.
- 裴文中等, 1958. 山西襄汾县丁村旧石器时代遗址发掘报告. 科学出版社.
- 赵树森等, 1980. 应用铀系法研究北京猿人年龄. 科学通报, 4: 447.
- Barbetti, M. 1980. Geomagnetic strength over the last 50,000 years and changes in atmospheric ^{14}C concentration. *Radiocarbon*, 22: 192—200.
- Howell, F. C. et al., 1972. Uranium-series dating of bone from Isimala Prehistoric Sites, Tanzania, *Nature*, 237: 51—52.
- Mangini, A. and S. Sonntag, 1977. ^{231}Pa dating of deep-sea cores via ^{227}Th counting. *Earth and Plan. Sci. Lett.*, 37: 251—256.
- Rona, E. et al., 1965. Progress in Oceanography. v.3 p. 1, Pergamon Press, Oxford, England.
- Wendorf, F. et al., 1975. Dates for the middle stone age of East Africa. *Science*, 187: 730—742.

THE STUDY ON URANIUM-SERIES DATING OF FOSSIL BONES AND AN ABSOLUTE AGE SEQUENCE FOR THE MAIN PALEOLITHIC SITES OF NORTH CHINA

Chen Tiemei Yuan Sixun Gao Shijun

(Dating Lab., Department of Archaeology, Peking Univ.)

Key words Uranium-series dating; Dating of paleolithic sites; North China

Summary

The establishment of an absolute time scale for human evolution is of great importance to anthropology and archaeology. Thus the possibility of dating fossilized vertebrate bones by uranium-series method is quite attractive, as 1) fossil bones are frequently associated with paleolithic sites and 2) the time range immediately beyond the ^{14}C limit which spans from 40 thousand years to about 300 thousand years still remains inaccessible to most radiometric techniques.

The uranium-series dating is based on the assumption that the post-mortem U-uptake by buried bones is relatively rapid and reaches some saturation level after a time much shorter than the age of bones. Thus the restoration of the equilibrium between U and its daughter nuclei is determined by the decay-growth process only. But this is not always valid. In many cases U migrates continuously in (or out) of the bone after fossilization. This leads to the necessity to measure both ^{230}Th age and ^{231}Pa age for every sample, and the concordance between these two ages will be the proof of the validity of the

closed-system assumption.

This work suggests that if the secondary U-uptake (or loss) is small compared with the U-concentration in fossil bone, the ^{230}Th age and $^{231}\text{Pa}/^{230}\text{Th}$ age will serve as the upper and lower limits of the sample's true age. A complex analysis of several sample dates from one and same archaeological context will improve the accuracy and precision of the age ascribed to the context.

An absolute chronological sequence of 10 main paleolithic sites of North China as the results of measurement is listed below:

Locality and Stratum	Age range (10^3 years)
Zhoukoudian Loc. 1 Layer 1-3	290-296
Daili Loc. 78006A Layer 3-4	180-230
Dingcun Loc. 54.100	160-210
Zhoukoudian New cave Layer 3-7	135-175
Xujia Yao Loc. 74093 8 meters beneath earth surface	100-125
Qianan Zhuaun	37-50
Saracul Stratum of paleolithic cultures	42-50
Shuidonggou Stratum of paleolithic cultures	32-40
Xiaonanhai Layer 6	18-23
Zhoukoudian Upper cave	18-23

α -spectroscopic technique of $^{231}\text{Pa}/^{235}\text{U}$ activity ratio and ^{231}Pa age measurement is described. The validity of this technique is tested on the RKM-5 fossil coral sample which has been widely measured as an international cross-check sample by many uranium-series dating laboratories.