

关于华北第四纪哺乳动物群的突变和气候突变的相关性问题

徐 钦 琦

(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所)

关键词 华北 第四纪 进化事件 气候突变

内 容 提 要

在晚新生代哺乳动物的进化史上曾发生过多次进化事件,即生物界的突变。它们总是出现在寒冷期的末尾。当时气候演变有如下规律:从温暖期向寒冷期过渡时,气候变迁呈渐变形式;而从寒冷期向温暖期过渡时,则呈突变形式。然而在不同的寒冷期的末尾,气候突变的程度是不同的。故只是在影响较大的寒冷期的末尾,才出现生物的进化事件,或生物界的突变现象。两者的突变具有相关性。

自从达尔文提出生物进化论以来已经100多年了。然而关于生物进化的原因(或动力)的问题至今却仍然是一个谜。据统计,到目前为止古生物学家共记述过13万个种类(Raup and Stanley, 1971)。所以,这里所谓的进化的原因并不是专指某一个种类的起源或绝灭的原因,而是泛指引起这些种类进化的、共同的、普遍的原因。由于这是当今世界上还没有解决的重大难题之一,因此在学术界存在着不同的学派乃是正常的现象。

近20多年来,国外有许多学者,如 Repenning, (1967—1984); Bonifay (1980); Lindsay *et al.*, (1980); Azzaroli (1983); Vrba (1985); 浅间一男 (1975) 等都在探索生物进化的原因。据我们了解,他们有一个共同的信仰(religion)。生物进化只是气候变迁的一种结果,或气候变迁乃是生物进化的原因。笔者是赞成这一观点的(徐钦琦, 1984—1989)。本文的目的是介绍这一派学者的基本观点,并提出我们的看法,希望与同行们共同研讨。

在晚新生代的哺乳动物的进化历史上曾经出现过多次不连续现象(discontinuities)。这种不连续常常被误解为沉积间断(hiatuses),而实际上它乃是由哺乳动物群的更替现象(faunal replacements)所造成的。换句话说,哺乳动物群的面貌在不连续之后会出现深刻的变革。对于这种不连续的现象,不同的学者曾给予不同的命名,如 Repenning (1967—1984) 命它为“扩散事件”(dispersal events); Opdyke, Lindsay and Johnson (1977) 称它为“动物群事件”(faunal events); 而 Vrba (1985) 则叫它“进化事件”(evolutionary events)。不过,在这些学者中,有两点认识乃是共同的。1. 生物进化史上的不连续现象是由持续时间相当短暂的“事件”所造成的,可以用某个生物种类的最低层位

(LSD), 或最高层位 (HSD) 来表示生物群面貌的重大变革。2. 在相邻的两次事件之间, 虽然其持续的时间相当漫长, 但是生物群的面貌却大体上保持不变。总之, 在晚新生代哺乳动物的进化史上有两种现象交替着出现: 其一是“短期内迅速突变”; 其二则是“长期内稳定少变”。

关于事件的成因问题 Repenning 曾给予解释。他认为, 扩散事件是由生物地理区的开放所造成的。在相邻的两次扩散事件之间, 各大洲的哺乳动物群都处于相互隔离的、孤立的、封闭的分布状态。所以在各大洲的哺乳动物群的内部, 在各种生物之间, 和谐关系或平衡状态处于支配的地位。在这样的条件下, 物种是相当稳定的。于是在哺乳动物的进化史上便显示出“长期内稳定少变”的现象。但是, 当生物的扩散事件发生时, 虽然持续的时间非常短暂, 然而在各大洲的哺乳动物群之间却出现了相互开放、相互交流、相互迁徙的、活跃的局面, 从而使各大洲的哺乳动物群内部的和谐关系或平衡状态遭到了破坏。于是一批新的种类出现了, 它们代替了另一批旧的种类, 从而建立起新的和谐关系或平衡状态。系统科学称这种现象为生物界的“自组织现象”(self-organization)。换言之, 生物进化史上“长期内稳定少变”的现象是由生物地理区的封闭所造成的; 而“短期内迅速突变”则是由生物地理区的开放所产生的。当然, 问题到这里并没有结束, 人们一定会追问: 生物地理区的封闭和开放又是由什么因素促成的呢? Repenning (1984) 回答了这个问题。他认为, 生物地理区的开放, 或生物的扩散事件“明显地发生在草地的最大的扩展时期的末尾”。Vrba (1985) 在研究了非洲晚新生代的哺乳动物的进化与气候变迁的关系后, 得到了与 Repenning 相似的见解。Vrba 认为, 这种草地的扩展“是以森林和林地面积的缩小为代价的。它很可能是由全球性的温度下降, 及与此相伴随的降水带的移动所引起的”。显然, Vrba 所讲的“全球性的温度下降”相当于古气候学家所谓的“寒冷期”。于是按照 Repenning, Vrba 等的观点, 生物的扩散事件与气候变迁直接地联系起来, 因为它们都发生在寒冷期的末尾。Repenning 的这一套观点在近年来已被许多有影响的古生物学家, 如 Lindsay, Azzaroli 等所接受了。不过, 这一套观点所解释的是生物的“扩散事件”, 它能不能解释所有的“事件”呢? 这个问题尚需各国古生物学家继续研究。

根据我们(1984—1989)研究, 在过去的 300 万年内, 在华北地区共发生过 9 次哺乳动物的进化事件: 1. 真象最低层位 (*Elephas youheensis* LSD, 距今约 300 万年); 2. 真马最低层位 (*Equus* LSD, 距今约 250 万年); 3. 狼的最低层位 (*Canis* LSD, 距今 185—190 万年); 4. 葛氏斑鹿最低层位 (*Pseudaxis grayi* LSD, 距今约 140 万年); 5. 丽牛最高层位 (*Leptobos* HSD, 距今约 90 万年); 6. 丁氏鼯鼠最高层位 (*Myospalax tingi* HSD, 距今约 62 万年); 7. 中国鬣狗最高层位 (*Hyaena sinensis* HSD, 距今约 24 万年); 8. 原始牛最低层位 (*Bos primigenius* LSD, 距今约 12.7 万年); 9. 更新世末绝灭事件 (the terminal pleistocene extinction, 距今约 1.1 万年)。它们可以与欧美的相应事件进行对比(徐钦琦, 1989)。图 1 所示的则是在第四纪所发生的 7 次事件(徐钦琦, 1984, 1986 a)。

在第四纪研究中, 许多学者都采用氧同位素地层学方法。按国际惯例, 氧同位素偶数阶段(如第 2—4, 6, 8, ……等阶段)代表寒冷期; 而奇数阶段(如第 1, 5, 7, 9, ……等阶段)则代表温暖期(图 1 a)。按照时间的先后为序, 从奇数阶段开始, 到偶数阶段结束, 如

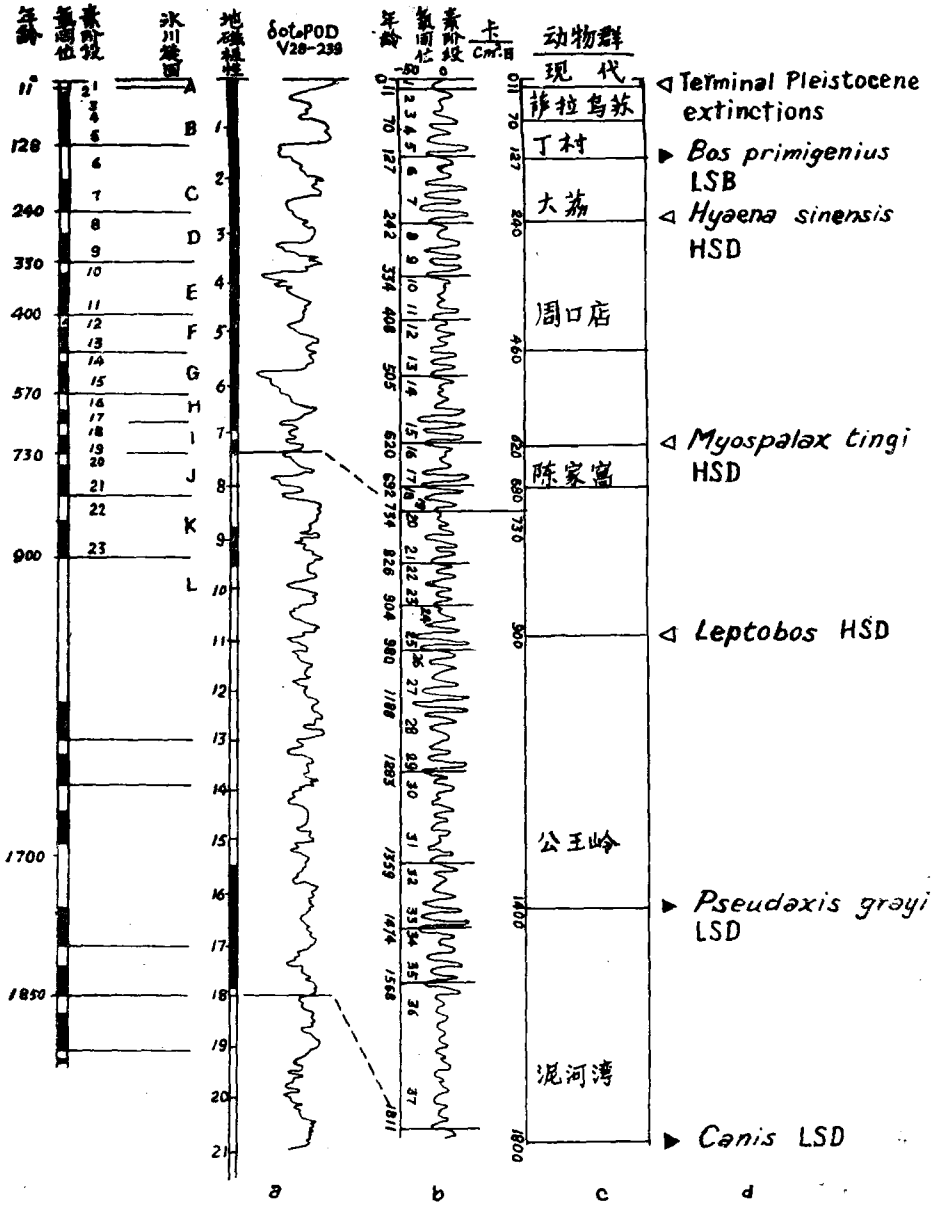


图 1 华北第四纪哺乳动物群与深海氧同位素记录的对比

Fig. 1 Correlation between the oxygen isotope record and the Pleistocene mammalian faunas in North China

a: 氧同位素记录 Key oxygen isotope record (after Kukla, 1977); b: 北纬 35° 地区天文辐射冬半年总量的变化 (以 1950 年的值为零点) The distribution of winter insolation at 35°N in comparison with that of 1950 A.D. (after Vernekar, 1972); c: 华北第四纪哺乳动物群 The Pleistocene mammalian faunas in North China; d: 第四纪的 7 次哺乳动物的进化事件 The mammalian evolutionary events in Pleistocene

第 2—5、6—7、8—9、……等阶段分别代表冰川旋回, 以 B, C, D, ……等表示之 (图 1 a)。如图 1d 所示, 第四纪的最晚的 4 次生物的进化事件都是发生在影响重大的寒冷期

(如第 16、6、2 等阶段)的末尾,或者在相当突出的温暖期(如第 15、7、5、1 等阶段)的前夕(徐钦琦, 1984、1986a、1987a、1987b)。正如本文前一部分所介绍的,我们的研究结果与 Repenning 等的观点是不谋而合的:“事件”都发生在寒冷期的末尾。上述观点是否符合事实,希望各国的古生物学家和古气候学家在实践中予以检验。

研究至此又出现了两个新的问题: 1. 既然第四纪气候变迁的特点是寒冷期和温暖期的、反复的、频繁的交替出现,那么为什么“生物的进化事件”总是发生在寒冷期的末尾,而不是出现在温暖期的末尾呢? 为什么温暖期和寒冷期在“机会”上如此不均等呢? 2. 第四纪的寒冷期出现的平均周期是 10 万年 (Imbrie 等, 1984), 所以它是十分频繁的。为什么“事件”的次数远远少于寒冷期的数目呢? 对于这两个问题, Repenning 等都没有作过答复。它们也曾使我们在近年来深感困惑。直到最近我们才悟出一点道理来。原来这两个问题都与气候变迁的方式有着密切的关系。这个论点是否有理,愿与同行们一起探讨。

据 Broecker 等 (1970) 研究,从温暖期向寒冷期过渡时,气候变迁往往呈现渐变的形式;而从寒冷期向温暖期过渡时,气候变迁则往往呈现突变的形式(图 2、3)。所以我们认为,在生物界的突变(即生物的“进化事件”出现时)与气候的突变之间具有良好的相关关系。生物的进化事件之所以没有出现在温暖期的末尾,正是因为那时的气候变迁不是呈现“突变”形式的缘故。

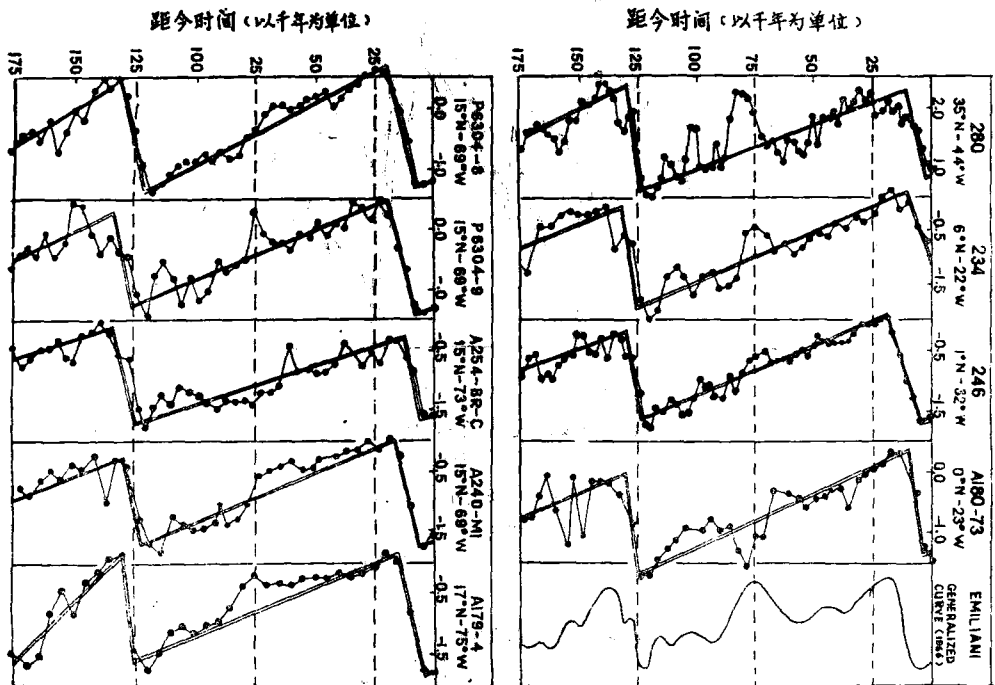


图 2 9 个深海钻孔的氧同位素记录所反映的,在过去 17.5 万年内海水温度的变化。每条曲线的上方注有钻孔编号、地理位置及氧同位素记录的数值。其值越小,反映当时的水温越高。右上角的曲线是理想的曲线(据 Broecker 等, 1970)

Fig. 2 Plots of δO^{18} versus time, the upper part of nine of the eleven North Atlantic and Caribbean cores analyzed by Emiliani. The idealized curve of Emiliani (1966) is given for comparison (after Broecker, et al., 1970)

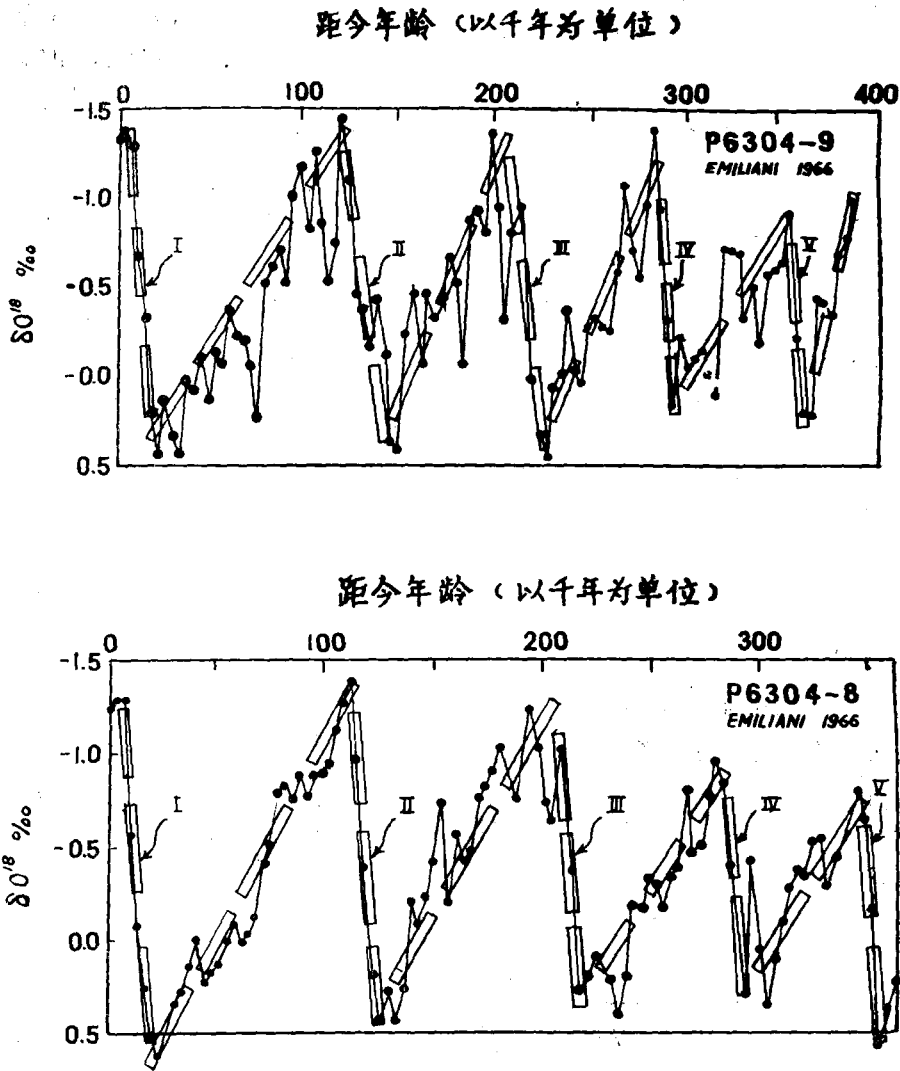


图3 两个深海钻孔的氧同位素记录所反映的过去40万年内海水温度的变化。氧同位素的值越小,反映当时的水温越高(据 Broecker 等, 1970)

Fig. 3 Plot of δO^{18} versus time in cores P6304-9 and P6304-8. The dots are data points and the heavy dashed line represents the proposed primary sawtoothed cycle (after Broecker, *et al.*, 1970)

据古气候学家研究,气候变迁具有全球性的意义。图2上9条曲线的彼此相似性也展示了这一规律。所以图3上的两条曲线实际上代表了过去40万年内全球性的温度变化。它们清楚地告诉我们:虽然在每次寒冷期的末尾,海水的温度都会显示出突变式的飞跃,但是它们上升的幅度却是各不相同的。例如最后的3次,其升温的幅度醒目地高于其前的两次。正是因为这个缘故,并不是每次寒冷期的末尾都会发生“进化事件”所以“事件”的次数才会明显地少于寒冷期的数目。由图3上方所标的年代表可知,上述3次升温幅度较大的气候突变分别发生在距今22.5、12.7、及1.1万年的前后。不过图3的年龄数据

是 1970 年的产物,其精确度还比较差。根据 Imbrie 等 (1984) 的研究,上述 3 次突变应分别发生在距今 24.5、12.8 及 1.2 万年的左右。在图 1 上,这 3 个年龄数据与最晚的 3 次生物进化事件的地质年代相当接近。以上事实表明:在气候突变与生物界的突变之间确实具有某种微妙的和谐关系。气候变迁对生物的进化起着控制的作用。

当然,这里所论述的都是发生在第四纪中晚期的现象。在此以前,是不是具有类似的现象呢?希望古生物学家与古气候学家共同探索。

上述观点与系统论的思想是一致的。系统科学认为,生物界不是一个封闭体系,它只是地球表层系统的一个子系统,因而它是向该系统开放的。所以要研究生物的进化问题,必需同时研究与地球表层学有关的各门学科。系统科学认为,如果地球表层系统(包括大气圈、水圈、岩石圈、生物圈等)的某项因素的变化局限在一定的范围之内,“没有超越其临界阈值”,没有越出该系统的弹性范围,那么地球表层系统尚能保持平衡,保持稳定。一旦地球表层系统的某项因素(如温度)的变化超越了其临界阈值,那么该系统的和谐关系或平衡状态便会遭到破坏,于是该系统的其它诸因素(如生物群)便会随之而发生相应的变化,即产生自组织现象,以建立新的和谐关系或平衡状态。生物的进化事件便是在这样的条件下发生的。很显然,不是每次寒冷期末尾的“气候突变”都能超越其临界阈值的,所以在每次寒冷期的末尾才不会都出现生物的进化事件。简言之,按照系统科学的观点,生物界的突变,或生物进化事件的出现,或生物群的自组织现象乃是影响较大的气候突变的后果之一。考虑到气候的突变还会导致整个地球表层系统发生“自组织现象”,即有时它会引起地球表层系统的各个子系统都发生深刻的变革。在这种情况下,我们称它为“群发性地球异常事件”(任振球、张国栋、徐道一、徐钦琦,1986)。总之,采用这种观点进行研究的,在国外被列入“地圈生物圈计划”,或被称为“全球变化”(global change)的研究。钱学森命名它为“地球表层学”,国内许多中青年学者则把它叫做“天地生综合研究”对于上述学科的研究,世界各国都只是刚刚起步。所以各国学者在目前基本上都站在同一条起跑线上。关于生物进化的原因问题只是其中一个研究课题。在我们看来,它是值得探索的。

在本文的写作过程中,邱占祥曾给予许多宝贵的帮助,又蒙戴加生清绘插图,作者向他们表示感谢。

(1989年9月7日收稿)

参 考 文 献

- 尼科里斯、普列高津,1986:探索复杂性。四川教育出版社,第1—312页。
任振球、张国栋、徐道一、徐钦琦,1986:群发性地球异常事件。科学,第38卷,第4期,第291—297页。
殷鸿福、徐道一、吴瑞棠,1988:地质演化突变观。中国地质大学出版社,第1—201页。
徐钦琦,1984:华北更新世人和哺乳动物的进化与气候变迁的关系。史前研究,第2期(总4期),第93—98页。
徐钦琦,1986a:东亚更新世哺乳动物的南迁活动及其与气候演变的关系。《中国古生物学会第13、14届学术年会论文选集》,安徽科学技术出版社,第271—278页。
徐钦琦,1986b:关于哺乳动物早期进化缓慢的原因——古气候学或古天文学的解释。《天文地质学进展》(张勤文、徐道一主编),海洋出版社,第151—157页。
徐钦琦,1987a:论地球轨道变化对生物进化的影响。大自然探索,6(3),44—52。
徐钦琦,1987b:中国北方更新世哺乳动物的进化与气候变迁。太平洋,第1期(试刊),第94—100页。
徐钦琦,1989:华北晚新生代哺乳动物的进化事件及其与欧美的对比。古脊椎动物学报,27(2),117—127。

- 浦汉昕, 1983: 地球表层的系统与进化。自然杂志, 6(2), 第 126—128 页。
- 浅间一男, 1975: 被子植物的起源。谷祖纲等译 (1988), 海洋出版社, 第 1—220 页。
- 钱学森, 1983: 保护环境的工程技术——环境系统工程。新华文摘, 第 9 期, 第 214—217 页。
- Azzaroli, A., 1983: Quaternary mammals and the “end—Villafranchian” dispersal event — a turning point in the history of Eurasia. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 44, 117—139.
- Bonifay, M. F., 1980: Relations entre les donnees isotopiques et l'histoire des grandesses europeennes plioleustocenes. *Quaternary Research*, 14, 251—263.
- Bonifay, M. F., 1983: L'environnement climatique base sur les grandes faunes villafranchiennes. *Bulletin de l'Association francaise pour l'etude du Quaternaire*, 20, 71—79.
- Broecker, W. S. and J. Van Donk., 1970: Insolation changes ice volumes, and the O record in deep-sea cores. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 8, 169—198.
- Imbrie, J., et al., 1984: The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine O record. In *Milankovitch and Climate* (Berger, A., et al., Eds.). Reidel, Dordrecht. 269—305.
- Kukla, G. J., 1977: Pleistocene land-sea correlation 1. Europe. *Earth Science Reviews*, 13, 307—374.
- Lindsay, E. H., et al., 1980: Pliocene dispersal of the horse *Equus* and late Cenozoic mammalian dispersal events. *Nature*, 287, 135—138.
- Repenning, C. A., 1967: Nearctic mammalian dispersal in late Cenozoic. In *The Bering Land Bridge* (Hopkins, D. M., Ed.). Stanford University Press, Palo Alto, CA, 208—311.
- Rpepenning, C. A., 1980: Faunal exchanges between Siberia and North America. *Canadian Journal of Anthropology*, 1, 37—44.
- Repenning, C. A., 1984: Quaternary rodent biochronology and its correlation with climatic and magnetic stratigraphies. In *Correlation of Quaternary Chronologies* (Mahaney, W. C., Ed.). Geo Books, England. 105—118.
- Shackleton, N. J., and N. D. Opdyke, 1973: Oxygen-isotope and paleomagnetic evidence for early northern hemisphere glaciation. *Nature*, 270, 216—219.
- Vrba, E. S., 1985: Ecological and adaptive changes associated with early hominid evolution. In *Ancestors: the Hard Evidence* (Delson, E., Ed.). Alan R. Liss, Inc. New York. 63—71.

CORRELATION BETWEEN MAMMALIAN EVOLUTIONARY EVENTS AND ABRUPT CLIMATIC CHANGES IN NORTH CHINA DURING QUATERNARY

Xu Qinqi

(Institute of Vertebrate Palaeontology and Palaeoanthropology, Academia Sinica)

Key words Quaternary; North China; Evolutionary Events; Abrupt Climatic Changes

The history of mammalian faunas in the late Cenozoic is characterized by discontinuities that were initially interpreted as hiatuses in the record but which, in fact, are due to faunal replacement. The discontinuities were named “dispersal events” by Repenning (1967, 1980, 1984). He said, “Mammalian ages of continental scope tend to begin with an episode of intercontinental faunal dispersal” (Repenning, 1967). The concept of “dispersal events” introduced by Repenning (1967) was developed further by the same author (1980, 1984) to deal with Asia and North America. Lindsay *et al.* (1980), and Azzaroli (1983) applied the concept to Asian and Europe. So the discontinuities are due to short periods of rapid intercontinental dispersal. The discontinuities were also called “faunal events” by Opdyke, Lindsay and Johnson (1977); and “evolutionary events” by Vrba (1985). These events were defined by the datum levels of the lowest stratigraphic occurrence (LSD) or those of the highest stratigraphic

occurrence (HSD).

Nine mammalian evolutionary events in North China during the last 3 million years (my) were recognized and described by present author as follows: 1. the *Elephas youheensis* LSD (3 Million years ago, Ma); 2. the *Equus* LSD (2.5 Ma); 3. the *Canis* LSD (1.85—1.9 Ma); 4. the *Pseudaxis grayi* LSD (1.4 Ma); 5. the *Leptobos* HSD (0.9 Ma); 6. the *Myospalax tingi* HSD (0.62 Ma); 7. the *Hyaena sinensis* HSD (0.24 Ma); 8. the *Bos primigenius* LSD (0.127 Ma); 9. the terminal Pleistocene extinction (0.01 Ma) (Xu Qinqi, 1989). The last four datum levels occurred in the beginnings of warm oxygen isotopic Stages 15, 7, 5, and 1 respectively, or at the ends of cold Stages 16, 8, 6, and 2 separately (Fig. 1). Kukla (1977) believed that cold Stages 16, 6, and 2 were found to be marked on the average by deeper and/or longer lasting isotopic records. I suggest that the climate was much warmer and more wildly fluctuating during Stage 15 than the others around it (i.e. Stages 13, and 17), as was the climate during Stages 7, 5, and 1 (Xu Qinqi, 1984, 1987b). Bonifay (1980) argued that the warm oxygen isotopic Stages 15, 7, and 5 were much more important than the other warm stages and that the cold Stages 22, 18, 16, and 6 were much more important than the other cold stages (Fig. 2). Thus the last four evolutionary events clearly occurred at the ends of the marked cold stages or in the beginnings of the noticeable warm stages.

According to Repenning (1984), the dispersal events apparently occurred near the ends of episodes of most extensive grassland and could be dated with 25,000 years possible error on the basis of present evidence. Vrba (1985) argued that the spread of open grassland at the expense of shrinking forests and woodlands, was probably caused by a global reduction in temperature and associated alterations in rainfall. The interval of a global reduction in temperature unquestionably represents a cold stage in the late Cenozoic. From the view-point of Repenning and Vrba, the evolutionary events must have occurred near the ends of the marked cold stages. So our views happened to coincide with each other without prior discussion.

It is well known that there are at least total of 17 glacial cycles in the last 1.7 million years and that there are at least 9 warm stages and 8 cold stages during the last 0.7 million years. Why did the evolutionary events only occur at the ends of cold stages, not at the ends of warm stages?

On the basis of the work of Broecker and Donk (1970), the temperature decreased gradually over a long period of time from a warm stage to a cold stage, while the temperature increased abruptly during a relatively short period of time from a cold stage to a warm stage. I argue that the evolutionary events did not occur at the ends of warm stages because the climate did not change abruptly then.

Although the climate changed abruptly at the ends of all the cold stages, the extent of the temperature increases were different from one another. Fig. 4 shows that there are 5 times of abrupt climatic changes at the ends of cold stages in the last 400,000 years (i.e. at the ends of Stages 2, 6, 8, 10 and 12 in order of increasing age). The extent of the temperature increases of the latter three times (i.e. I, II, III, or at the ends of Stages 2, 6, and 8) were much greater than that of the former two times (i.e. IV, V, or at the ends of Stages 10, and 12). Thus the evolutionary events appeared at the ends of the stages 2, 6, and 8, and did not occur at the ends of the former two stages because the extent of the temperature increases were much less then.

In summary, the evolutionary events (i.e. the sudden mammalian faunal replacements) were coincident with the abrupt climatic changes. These events occurred at the ends of cold

stages 2, 6, 8, and 16; or in the beginnings of warm stages 1, 5, 7, and 15 respectively, because the extent of the temperature increases were much greater at those times.