

文章编号: 1008—2786(2000)02—0104—06

# 中国东部山地泥石流发育的 第四纪环境背景及减灾对策

贾铁飞<sup>1</sup>, 何 雨<sup>1</sup>, 李容全<sup>2</sup>

(1. 内蒙古师范大学 地理系, 内蒙古 呼和浩特 010022; 2 北京师范大学 资源环境科学系, 北京 100875)

**摘 要:** 根据中国东部山地古泥石流沉积记录, 推断在地形条件具备的前提下, 泥石流形成经过了冰(缘)期气候作用下的物质积累和间冰(缘)期气候作用下的水动力作用过程, 二者在时间上具有差异性。按照晚第四纪以来物质与水动力条件的空间波动范围, 可将中国东部泥石流的形成划分为3个区, 北部主要受控于季风降水, 中部主要受控于物质积累, 而南部则只与地形切割等因素联系密切。据此提出相应的减灾对策。

**关键词:** 泥石流; 第四纪环境; 减灾对策

**中图分类号:** P534.63

**文献标识码:** A

山地泥石流的形成必须具备以下三个条件, 即流域内陡峻的地形条件, 丰富充足的碎屑物质条件和适当的水动力条件。地形条件因主要受控于构造变化, 更新世以来, 中国东部的构造变化尚不足以从根本上改变地势形势, 因而对泥石流形成的地形条件影响不是十分显著。然而对于中国东部而言, 物质条件和水动力条件分别源于以物理风化为主的风化过程和以季风降雨为主的降水过程, 二者均与以气候变化为主的第四纪环境变化联系密切, 因而可以认为, 泥石流的形成发育与自然环境变化具有十分密切的关系。

## 1 中国东部山地古泥石流沉积记录

对于中国东部山地中具有混杂堆积特征的第四纪沉积物, 长期以来存在着冰川成因和流水等其它成因的认识分歧。但大量的研究成果表明, 中国东部中、低山地区曾被认定为“冰碛物”的沉积物, 实多为流水沉积且以泥石流堆积为主<sup>[1]</sup>。

图1为庐山大月山—庐山水泥厂第四纪沉积的综合断面图, 图中记录了二期古泥石流堆积。按照庐山新生代沉积层序<sup>[2,3]</sup>, 在早更新世赣江砾石层之上, 堆积着巨砾网纹红土层, 为中更新世的沉积物, 如图1中中长岭角和庐山水泥厂处的 $Q_2$ 堆积, 且是泥石流成因的堆积物<sup>[3]</sup>。而在该层之上与该层呈切割嵌入关系的细砾网纹红土层, 是晚更新世流水切割作用的产物<sup>[3]</sup>, 在图1断面中为 $Q_3$ 沉积。而在莲谷等处堆积的棱角状巨砾则是在黄粘泥层之上的全新世泥石流沉积物<sup>[2]</sup>( $Q_4$ 沉积)。

在华北地区的雾灵山河谷, 古泥石流堆积构成了河流的一、二、三、四级阶地(图2)。由四级阶地古泥石流堆积上覆马兰黄土可知, 四级阶地古泥石流堆积形成于马兰黄土加积之前。马兰黄土加积始于晚更新世晚期的末次冰期最盛期, 在洛川以粗粒马兰黄土的出现为标志<sup>[4]</sup>, 在鄂尔多斯以萨拉乌苏组上部风砂沉积和冰缘现象为标志<sup>[5]</sup>。因此, 四级阶地古泥石流堆积应形成于晚更新世早、中期, 相当于洛川细粒马兰黄土和萨拉乌苏河湖相堆积形成的时代。三级阶地古泥石流堆积混杂于次生马兰黄土中, 说明形成于马兰黄土披盖结束后的全新世初期, 应是气候转向暖湿的标志。二级和一级阶地则分别形

收稿日期: 1998—11—24; 改回日期: 1999—01—15

作者简介: 贾铁飞(1966—), 男(汉族), 河北省邢台市人。自然地理学、第四纪环境学专业副教授

成于全新世中、晚期。相类似的沉积记录还可见于北京东灵山、河北小五台山、山西五台山及内蒙古蛮汉山等地。

由以上沉积记录可知, 中国东部山地古泥石流堆积在时序上并不是连续的, 每两期巨砾泥石流堆积之间, 均插入了以细粒河流相沉积为主的沉积期。沉积物粒径大小的韵律变化表明流水作用强弱的变化, 同时也反映了泥石流堆积发育在时间上的节奏性, 而这一节奏性应与环境演化的节奏相一致。

2 泥石流发育的物质条件与水动力条件的差异性节奏变化

泥石流堆积的物质来源, 是流域汇水盆内的松散碎屑物。这些物质的形成, 一方面来自于岩石的风化, 另一方面来自于构造运动和构造变形。由于更新世以来, 中国东部并非构造变动激烈的地区, 其构造运动和构造变形仅限于局部地段, 因此泥石流碎屑物应主要源于风化作用。通常情况下, 泥石流沉积的物质为以较粗大的砾石为主的混杂堆积, 而粗粒碎屑物是以物理风化为主的风化过程的产物, 非化学风化或深度化学风化的产物。因此, 泥石流的物质来源

主要是山地基岩遭受以物理风化为主的风化作用的结果。物理风化过程是一个以冰冻风化、冰劈、冻胀等寒冷气候或天气过程作用为主的过程<sup>9</sup>, 因而在相对寒冷的时期正是该过程较旺盛的时期。对于中国东部而言, 第四纪以来因受冰期气候和冰缘期气候的影响, 北方山地一定海拔高度以上的基岩由于冻融崩解作用而形成大量松散的岩石碎砾, 以致形成石海、石河等地貌现象; 在长江流域及以南地区, 冰期与冰缘期气候则使该区域遭受寒潮侵袭的频率与强度均较间冰期、间冰缘期气候时增高增强, 由此使霜冻作用和寒冻风化作用大大加强, 也形成大量松散粗粒碎屑物质的积累。因此, 冰期、冰缘期是泥石流物质条件积累的最主要时期。

导致泥石流爆发的水动力条件, 在中国东部主要是湿润气候下的降水作用。第四纪以来, 全球性冰

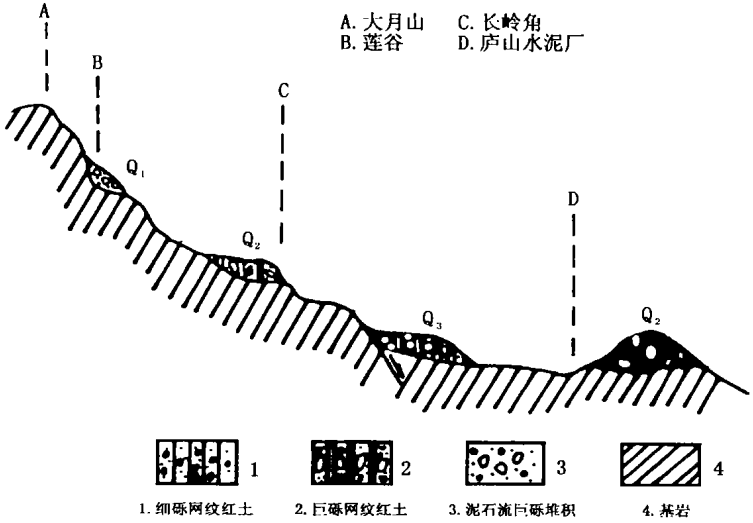


图1 庐山第四纪古泥石流堆积综合断面图  
Fig. 1 Synthesized vertical profile of quaternary deposit of Lushan Mountain

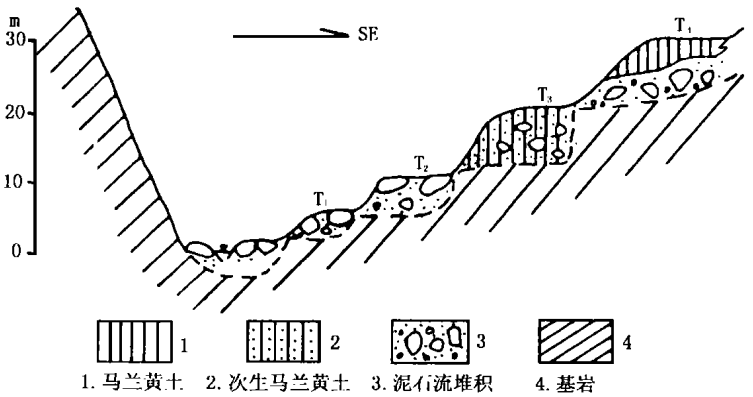


图2 雾灵山河谷古泥石流堆积剖面图  
Fig. 2 Vertical profile of debris flow deposit in Wuling Mountain

(缘)期、间冰(缘)期气候的交替变化以及东亚季风的形成和加强,使中国东部自然环境演化中呈现了冷干同步,雨热同期的气候变化特点。这说明,形成泥石流的物质条件和水动力条件不是同步形成的,前者在寒冷的冰期、冰缘期积累旺盛,而在温暖的间冰期、间冰缘期趋于停滞;后者则是在冰期、冰缘期削弱,而在间冰期、间冰缘期变得十分强盛。这一节奏上的差异也体现在了沉积物的时序变化上,且这一变化与中国东部具有气候变化指示意义的堆积相一致(图3)。因此,可以认为,中国东部第四纪以来泥石流的形成,在地形条件具备且变化不显著的情况下,经历了冰(缘)期气候下的物质累积和间冰(缘)期

气候下降水量增大这样两个过程(图4),而多期泥石流的发育也正是这两个过程交替作用的产物。

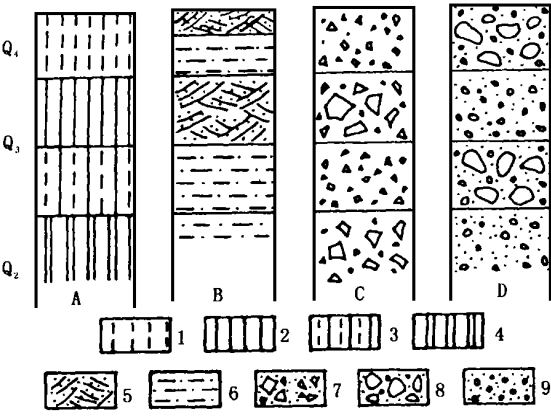
3 泥石流发育物质条件与水动力条件的空间波动范围

山地基岩接受物理风化而形成泥石流源的过程,实质上是接受寒冷气候下寒冻风化的过程。在中国东部的山地中,除台湾山脉主峰玉山(海拔3 997 m)和秦岭主峰太白山(海拔3 767 m)外,其余均为接近或低于3 000 m的中、低山地。对于这些中、低山地来讲,其山地基岩物理风化的强弱,除受控于海拔高度对气候的影响外,更重要的是受控于极地冷气团南侵造成的寒冷气候的空间波动。第四纪以来,随着冰(缘)期、间冰(缘)期气候的交替,极地冷气团影响的范围也相应地涨缩于中国东部的空间中。现代中国东部多年冻土的范围只占据了东北黑龙江、内蒙古北部的一隅,而在晚更新世晚期的盛冰期

时,多年冻土南界抵达今大连—北京以南—太原—兰州—一线<sup>7,8</sup>,使华北大部和东北均发育多种类型的冰缘现象。这个时期,马兰黄土的分布更是跨越了秦岭,向东南直抵长江中下游的太湖北岸,周廷儒教授认为,这表明冷气团极峰已达到长江以南<sup>9</sup>,且长江下游的江南地区已成为冷气团极峰滞留徘徊的地带,因而如庐山、黄山、天目山等中、低山地均可能遭受雪蚀和寒冻风化作用<sup>10</sup>。因此,在第四纪内中国东部山地基岩强物理风化而导致泥石流物质来源旺盛积累的最南界线,应至少在长江以南的天目山—黄山—庐山—一线(图5)。

中国东部除东南沿海地带存在台风降水外,其余地区的降水均多源自东南季风所携水汽。第四纪以来的冰(缘)期、间冰(缘)期气候的交替,也使东南季风极锋的位置发生大幅度空间波动:冰(缘)期时,季风势力萎缩,极锋向东、向南后撤,间冰(缘)期时,季风势力扩张,极锋向西、向北扩展。在季风势力的涨缩中,降水变率最大的当是季风尾间区。根据张兰生教授复原的晚更新世盛冰期时的150 mm年均降水量线<sup>11</sup>,此时的季风极锋在辽东半岛南部—北京以南—太原—兰州—一线,与该时期多年冻土南界惊人相似(图5)。而在全新世中期大暖期时,东南季风极锋沿40°N线竟可达到97°E~98°E附近,较现代位置西移了9个经距<sup>12</sup>。因此,满足泥石流水动力条件的季风降水在季风势力最强盛时可达中国西北地区的东缘(图5),即整个东北、华北均在满足降水条件的范围之内。

上述极地冷气团和东亚季风在空间上的进退,表现在时间上恰是反相的,呈此长彼消、此消彼长之



A. 黄土地层 B. 萨拉乌苏地层  
C. 山地基岩物理风化堆积 D. 泥石流堆积  
1. 全新世黄土 2. 粗粒马兰黄土 3. 马兰黄土  
4. 离石黄土 5. 风成砂 6. 河、湖相沉积  
7. 基岩物理风化堆积 8. 泥石流堆积 9. 河流沉积

图3 泥石流堆积、基岩物理风化堆积与气候地层的对比

Fig.3 Contrast of debris flow, physical weathering and climatic stratigraphy

势。泥石流的形成正是这种彼此消长过程作用于山地后所导致的结果, 而中国东部山地泥石流的分布, 除个别东南山地地区因切割较深或构造变形与化学风化强烈而碎屑物较多且降水量很高导致泥石流(如台湾山地)外, 其余山地泥石流均分布于上述两种气团影响范围的重叠地区。不同气候期内不同性质气团在时间、空间上的相互交替与重叠, 正是第四纪以来中国东部山地泥石流发育的自然环境背景。

4 中国东部山地泥石流发育分区与减灾对策

在满足地形条件的前提下, 中国东部山地泥石流的分布, 实质上是极地冷气团南侵和东南暖湿气团北上相叠加的范围。由于二者势力在空间上的衰退方向是相反的, 因此它们在空间中的组合存在着较大的差异, 反映在泥石流物源条件和水动力条件上就是: 纬度越高, 受冷气团影响越强, 泥石泥物质来源条件越好, 但水动力条件越差; 纬度越低, 受暖湿气团影响越强, 泥石流的水动力条件越好, 但物源条件相对要差。基于这样的空间差异性, 中国东部山地泥石流的分布可以划分为以下几个区(图 5):

I 区: 强物质累积—弱水动力区。该区西北以全新世大暖期时夏季风极锋位置为界, 东南以盛冰期时多年冻土南界(与盛冰期时夏季风极锋北界十分相近)为限。这一区域的特点是, 山地基岩物理风化强烈, 粗粒碎屑物累积旺盛, 尤其是冰(缘)期气候时, 寒冻风化产生大量基岩碎屑。但该区因受到夏季风所携的暖湿气团作用较弱, 降水已处于季风降水的尾闾衰减范围内, 所以水动力条件并不优越。

II 区: 较强物质累积—较强水动力区。该区北界以盛冰期时夏季风极锋北界(与盛冰期时多年冻土南界十分相近)为界, 南界以盛冰期时极地冷气团极锋南界为限。该区域的特点是, 因能遭受北方冷空气的侵袭, 山地基岩具有较强烈的寒冻风化或霜冻风化, 从而在冰(缘)期气候时产生较旺盛的粗粒物质累积; 同时, 该区亦为中国东部季风降水强盛地区, 形成泥石流的水动力条件较优越。

III 区: 弱物质累积—强水动力区。该区北界为盛冰期时极地冷气团极锋南界, 向南直抵大陆与台湾岛海岸。该区因已少有北方冷空气的入侵, 山地基岩的物理风化过程并不强烈, 因而粗粒风化碎屑物质

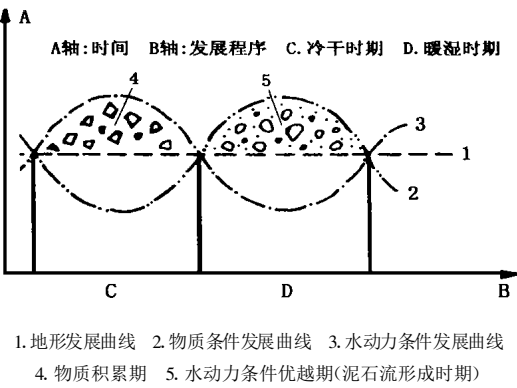
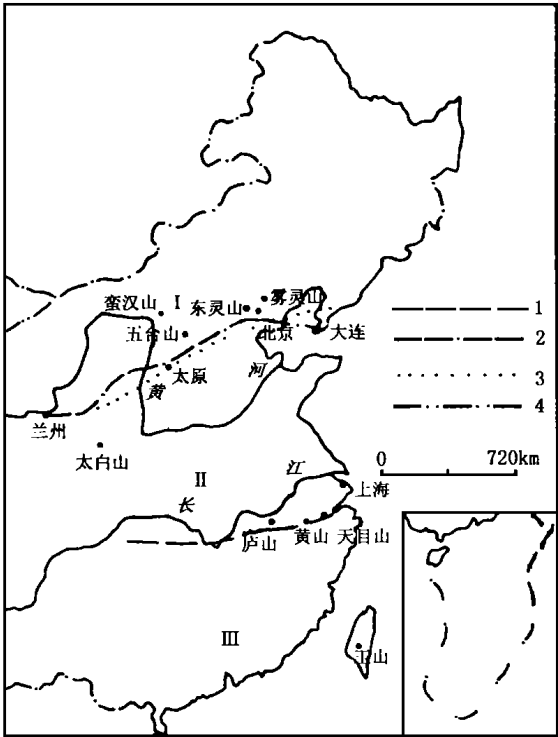


图 4 泥石流形成条件发展曲线图  
Fig. 4 Composition of forming factors of debris flow



1. 盛冰期时极地冷气团极锋南界 2. 盛冰期时多年冻土南界  
3. 盛冰期时东亚季风极锋北界  
4. 全新世大暖期时东亚季风极锋北(西)界  
图 5 中国东部山地泥石流发育的环境与分区示意图

Fig. 5 The Background and regionalization of debris evolution in East China

积累不旺盛,形成泥石流的物质条件往往通过山地的强烈切割或深度化学风化来满足;而在另一方面,该区域已属台风降水范围,水动力条件十分优越,在切割度较高的山地可形成泥石流,如台湾的玉山地区(中部山区)。

根据上述各区的特点可知,泥石流的物质条件和水动力条件的组合强度在不同区域是不同的,这便决定了各区减轻泥石流灾害的对策也应不同。

对于Ⅰ区而言,泥石流形成与否的制约条件是水动力条件,即降水条件。全新世以来,该区基本处于季风尾闾区内,暖湿气团势力的空间波动性很强,因此也形成了降水的强波动性,所以泥石流的发育与季风尾闾的强弱摆动具有密切联系,应加强对季风强弱波动的预测研究以确定泥石流发生的旺盛期与非旺盛期。此外,由于第四纪以来该区山地寒冻风化碎屑物质的积累过程直到现在仍在延续,大量寒冻风化碎屑物仍堆积在山地一定的海拔高度以下(如:石海、石河、岩屑坡等),今后随着季风降水的强弱变化及局地地形的影响,仍将会有相当长的泥石流发育、泥石流灾害严重的时期,但由于降水时空的波动性较大,泥石流爆发的频率不会很高。因此,应十分注重山地汇水范围内有大量松散碎屑物的沟谷下游的防灾工作,且应十分加强致使夏季风势力衰减的山地迎风坡一侧降水过程的预报与防灾工作。

在Ⅱ区中,现代寒冻风化所引起的粗粒碎屑物质积累过程并不强烈,而水动力条件却较优越,泥石流形成的制约条件是物源条件而非水动力条件。对于该区的大部分山地而言,由于粗粒碎屑物质累积速度较慢,又经过地表流水的长期搬运,泥石流形成的频率已很低。只是在第四纪以来遭受冷空气侵袭较强烈的少数山地地区,仍在一定海拔高度上存在松散粗粒碎屑物堆积,具有泥石流灾害的危险。因此,该区泥石流灾害的减灾途径应建立在对物源有效控制的基础上,如加固、围挡等措施。

Ⅲ区中的泥石流主要发生于地表起伏差异大、切割程度强烈、构造变形或深度化学风化严重的山区,泥石流灾害的防范也应重点围绕这些地区开展。

## 5 结 语

现代中国东部的泥石流灾害是现代间冰(缘)期气候条件下,在对前期寒冷气候作用产物的再调整和再平衡过程中形成的。在地形条件具备的山地地区,泥石流的形成主要受控于季风气候下的降水条件和前期物质积累条件,前者对后者在时间上的继承正是泥石流形成的过程。对于中国东部的北部地区(Ⅰ区)而言,泥石流的形成主要受制于季风降水的时空波动,因而应加强对季风尾闾强弱摆动规律的研究,尤其是在对夏季风势力衰减起决定作用的正地形区域,要着重对降水过程加强预报研究。对于中部地区(Ⅱ区),泥石流的形成主要受控于物源条件,因而特别重视对古泥石流堆积的上游范围内松散物质的侵蚀、搬运、堆积过程的监控研究。南部地区(Ⅲ区)则着重考虑地形及化学风化等因素对泥石流形成的作用。

泥石流的形成与发育是自然环境变化的结果,只有正确认识泥石流的自然背景,才能寻找到科学的减灾途径。

## 参考文献:

- [1] 施雅风,李吉钧,崔之久,等.中国东部第四纪冰川与环境问题[M].北京:科学出版社,1989
- [2] 周廷儒,李容全.庐山在第四纪时期有无冰川作用问题[J].北京师范大学学报,1986,(增刊):1~7
- [3] 北京师范大学古地理研究室.对庐山地区第四纪冰川问题的探讨[A].见:中国第四纪冰川冰缘学术讨论会文集编辑组主编.中国第四纪冰川冰缘学术讨论会文集[C].北京:科学出版社,1985.149~153
- [4] 刘东生,等.黄土与环境[M].北京:科学出版社,1985
- [5] 董光荣.鄂尔多斯高原晚更新世以来的古冰缘现象及气候地层学意义[J].地理研究,1985 4(1):1~13
- [6] A. N. 斯特拉勒, A. H. 斯特拉勒.现代自然地理学[M].北京:科学出版社,1985

- [7] 张林源. 冰缘地貌的发育与历史发展过程[ A ]. 见: 杨景春主编. 中国地貌特征与演化[ C ]. 北京: 海洋出版社. 1993. 123 ~ 131
- [8] 李容全, 郑良美, 朱国荣. 内蒙古高原湖泊与环境变迁[ M ]. 北京: 北京师范大学出版社, 1990
- [9] 周廷儒. 新生代以来中国自然地带的变迁[ J ]. 中国第四纪研究, 1985, 6 (2): 89 ~ 93
- [10] 周廷儒. 中国东部第四纪冰川作用的探讨[ A ]. 中国第四纪研究委员会主编. 第三届全国第四纪学术会议论文集[ C ]. 北京: 科学出版社, 1982. 162 ~ 197
- [11] 张兰生. 我国晚更新世最后冰期气候复原[ J ]. 北京师范大学学报(自然科学版), 1980, (1): 101 ~ 118
- [12] 贾铁飞, 李容全. 中国北方全新世洪积扇形态参数与气候复原[ A ]. 见: 赵济主编. 区域、环境、自然灾害地理研究[ C ]. 北京: 科学出版社, 1990. 59 ~ 66

## THE QUATERNARY ENVIRONMENTAL BACKGROUND OF DEBRIS FLOW EVOLUTION IN EASTERN CHINA AND THE MEASUREMENT FOR HAZARDS MITIGATION

JIA Tie fei<sup>1</sup>, HE Yu<sup>1</sup>, LI Rong quan<sup>2</sup>

(1. Department of Geography, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022 PRC;

2. Department of Resources and Environmental Science, Beijing Normal University, Beijing 100875 PRC)

**Abstract:** Based on the record of old debris flow deposits in Eastern China, the forming conditions of debris flow are studied. It is stated that the materials of debris flow accumulated mainly in glacial or periglacial stages when the physical weathering was strong, and the motive power of water for debris flow formed mainly in interglacial or interperiglacial stages when the precipitation increased rapidly. According to the limits of the space change of material conditions and water motive power conditions, the formation of debris flow can be divided into three patterns: In the north part of China, the forming is controlled with monsoon precipitation. The forming is controlled by materials accumulated in the medium part of China, and is connected with landform in the south part of China. On the basis of the three patterns, the measurement for reduce disaster is discussed. It is concluded as followed: 1. The ation and evolution of debris flow is a result of the natural environmental development in the Eastern China. 2. The debris flow disaster is formed through the re-adjustment of the cold climate deposits under the conditions of the modern interglacial stage climate. 3. In different pattern region, the limited conditions of debris flow is not identical. So the measurement for reduce disaster in different region should be based on different conditions. It is important that the law of the fluctuation of the monsoon's end part be studied in the north part of the eastern China. The study on the deposits of old debris flow in the middle part and the landform condition in the south part of the Eastern China is the key work for reduce disaster.

**Key words:** Debris flow; Quaternary environment; Measurement for mitigation disaster