

# 极端降雨对森林集水区之冲击与因应对策

陈朝圳, 陈美光

(屏東科技大学 森林系, 台湾 屏东 91201)

**摘要:**近年来由于全球暖化,极端气候日渐加剧,暴雨所带来的土砂灾害,将破坏森林集水区的地景结构与功能,如何减低或因应极端气候所带来的森林集水区冲击,已是未来集水区经营必须面临的重要课题。该研究以高屏溪集水区为研究范围,以 17 a 自动测站雨量资料,进行极端降雨趋势分析,并以 2001 年与 2009 年桃芝与莫拉克台风所带来的不同降雨量,以卫星影像探讨集水区不同土地使用分区崩塌比及其变化,以及相对应之降雨量资料,探讨极端降雨与崩塌发生与土地使用分区之关系。研究结果显示 2005 年以后,高屏溪集水区发生极端气候之频、降雨量与降雨强度有升高趋势。两场不同台风之最大 24 h 延时降雨量,莫拉克台风为桃芝台风的 1.92 倍。桃芝台风所造成之崩塌比,自然保护区由灾前的 0.64% 提升至灾后的 0.86%,国土保安区由灾前的 0.95% 提升至灾后的 1.15%,该场台风降雨以地形较为陡峻之自然保护区及国土保安区新增崩塌地比例相对较高,其冲击较为严重,而莫拉克台风则因属超大豪雨(单日累积降雨量达 350 mm 以上),其降雨范围小且集中,所造成之新增的崩塌范围高出桃芝台风的 11.81 倍,对于地形相对较为平坦之经济林区,亦造成大量的新增崩塌地,显现超大豪雨级以上的极端降雨,造成林地脆弱,使诱发崩塌之地形条件门槛降低,完整的植生覆盖已无法抵挡极端降雨的冲击,未来林地使用分区经营必须要有新的思维。

**关键词:**森林集水区; 森林经营; 极端气候

**中图分类号:**S715

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2012)01-0262-04

## Impact and Adaptation Strategy of Extreme Rainfall on Forest Watershed

CHEN Chaur-tzuhn, CHEN Mei-Kuang

(Department of Forestry, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung, Taiwan 91201, China)

**Abstract:** In recent years, the global warming had increased extreme climate such as heavy rainfall events that had caused sediment disasters and destroyed the landscape structure and ecosystem function. Therefore, how to make operations or strategies for forest management to reduce the impacts of extreme weather events will be an important issue in the future. This research selected the Kao-Ping River watershed as a study site. The rainfall data of 17 years in Kao-Ping River watershed were collected to analyze the pattern of extreme rainfall. We used the remote sensing data to retrieval the landslides distribution caused by different rainfall of Toraji and Morakot typhoon. In addition, the pattern of rainfall would be used to examine the impact and relationship between the landslides and forestland use. The study results show that the frequency of extreme events, rainfall had been increased in Kao-Ping River Basin after the year 2005. The maximum 24 hours rainfall along with typhoon Morakot are 1.92 times than that of Toraji, and the landslides ratio of the Natural Reserve Area during the typhoon Toraji were collapsed from 0.64% to 0.86%, and the National Protective Area were collapsed from 0.95% to 1.15%. The proportion of new landslide of typhoon Morakot was 11.81 times with Typhoon Toraji in Reserve and Protect area due to the steep terrain and heavy rain. Typhoon Morakot also exerted a serious impact on landslides in timber management area and recreation area. The vulnerability of forestland was increased and decreased the induced threshold of landslide. The vegetation cover has been unable to resist the impact of extreme rainfall. The forest division and land use management will have to rethink in future.

**Key words:** forest watershed; forest management; extreme rainfall

收稿日期:2011-07-18

修回日期:2011-11-06

资助项目:行政院农业委员会林务局屏东林区管理处委托研究计划系列(99-06-5-03)

作者简介:陈朝圳(1953—),男,教授,主要研究方向为森林经营、地理资讯系统、资源遥测、森林生态。E-mail:cct@gisfore.npust.edu.tw

通信作者:陈美光(1980—),男,硕士,主要研究方向为森林经营、气候变迁、极端降雨等方面的研究。E-mail:billchen3994@yahoo.com.tw

IPCC<sup>[1]</sup> 报告指出在长时间尺度下,适当的森林经营,扮演着直接缓和气候变迁的关键角色,但森林自身也遭受极端气候冲击,致使其在缓和温室效应的贡献度降低。Liu<sup>[2]</sup> 指出,IPCC 统计全球温度在 1961—2005 年间平均约增加 0.7℃,45 a 内全台湾极端降雨频率增加约 100%,如依据 IPCC 的气候模式估计,未来全球温度将再增加约 0.7℃,因此台湾前 10%强降雨在未来数年将再增加 100%。暴雨所引发之山崩、土石流会引发复合性土砂灾害,为减低集水区崩塌灾害及进行崩塌地复育工作,必须掌握崩塌地位置及其环境<sup>[3]</sup>。森林集水区为达成森林多目标利用目的,必须进行林地使用分区,包括林木经营区、生态旅游区、国土保安区及自然保护区,不同土地使用分区在不同极端降雨量下,所产生之崩塌冲击程度,为森林集水区经营所需掌握的资讯。本研究以高屏溪集水区为研究范围,以多期的卫星影像及长期气候变迁资料为材料,利用两场台风(桃芝及莫拉克)之不同降雨量,探讨其对高屏溪集水区林地使用分区之崩塌冲击,并讨论未来之因应对策。

高屏溪集水区位于台湾南部,全长 170.9 km,发源于中央山脉玉山附近,向南流经高雄、屏東两县,包扩旗山溪、浓溪、隘寮溪及高屏溪 4 个集水区,于屏东县新园乡注入台湾海峡,流域面积 3 256.9 km<sup>2</sup>,为台湾最大的河川流域面积,区域内依土地管理可分为山地保地、保安地及国有班地等,大部分覆盖好,但常有边坡稳定与崩塌发生,其主要林务管辖机关为林务局屏东林区管理处,辖管 5 个国有林事业区(旗山、荖浓、屏东、潮州、恒春)。

## 1 材料与方法

(1)遥测资料。以多期之 Landsat 及福尔摩沙二号遥测数据,以影像分类及数化取得桃芝及莫拉克台风前后之崩塌地资料。

(2)数值地形模型。以数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM),分析研究区域之海拔、坡度、坡向,并收集研究区之地质与断层线等相关地文资料。

(3)气象资料。于集水区范围内收集 1993 年至莫拉克台风侵台 2009 年为止之甲仙、新高口、旗山、古夏、阿礼、梅山、高中以及屏东 8 个气象站的气象测站资料。

(4)极端降雨的趋势分析。为探讨高屏溪集水区 1993—2009 年降雨量变迁趋势,将 17 a 降雨数据予以整理,配合卫星影像拍摄条件,选择适当的延时间距如逐年、月、日,以探讨不同时间尺度下降雨量分布

与变迁趋势,包括逐年、逐月、逐日及台风强降雨之趋势分析。

(5)以遥感探测数据萃取崩塌地分布数据。本研究以目前常使用之影像融合方式,将 Landsat 7 之 15 m 全色态影像为高解析融合材料,利用 ERDAS Image 软件之 IHS 转换进行融合,提高空间解析力。利用所取得之卫星影像,以屏幕数化方式建立崩塌地图层。

(6)不同极端降雨量对崩塌之影响。以崩塌地面积与总面积的比率称为崩塌比(Landslide ratio),并以不同崩塌类型探讨不同极端降雨量对崩塌之影响。

## 2 结果与分析

### 2.1 高屏溪集水区降雨趋势之探讨

本研究逐年、逐月及逐日降雨量时间分布趋势,利用高屏溪集水区 1993—2009 年中央气象局自动测站逐时雨量资料,统计分析年、月累积降雨量。得知 2001 年之后年累积降雨量型态产生明显差异,极端降雨与干旱频度有增强的趋势;中央气象局指出全台湾 20 世纪后半期降雨变化呈现的频率为大幅震荡且反复发生了 4 次干旱(1960 年代中期,1980 年前后,1990 年代初期,以及 2000 年代初期于年平均降雨量 1 814 mm 之下),幅度渐次极端<sup>[4]</sup>。高屏溪集水区年降雨量于 2002—2004 年干旱期(年平均降雨量 2 792 mm 以下)之后,具普遍高于平均年降雨量的趋势,运用经验次数分析 17 a 降雨机率分布,并采用柯司检定求其适合性,得知以 1995 年后每 5 a 观察频率,符合观测之分布累积率与选用之分布累积率之最大绝对偏差,小于临界值(0.25),故采用每隔 5 a 为观察频率(1995—1999 年为第一期、2000—2004 年为第二期与 2005—2009 年第三期),供为探讨降雨分布特性,利用成对样本 *T* 检验,结果显示 1995—2004 间年降雨量的趋势差异不显著( $P < 0.05$ ),2005 年后其降雨量产生差异显著( $P > 0.05$ )。

为了解逐月累积降雨量之曲线分布趋势,本研究统计逐月降雨量之偏态系数(Skewness),藉以表示单一月份降雨量发生次数的对称程度,而峰度系数(Kurtosis)显示与常态分配相比较,单一年度月降雨量尖峰程度,并以逐月降雨量标准偏差和变异数解释其降雨量离散程度或异质性,其统计结果可知,17 a 间偏态系数均  $> 0$  表示为右偏分配,其值有越趋升高的趋势,即每年逐月降雨量次数越趋分配集中在低降雨量月份,故单一年度可能干季增长。峰度系数则显示单年度逐月降雨量分布呈高狭峰( $> 3$ ),分布较为尖峰集中之次数增加,逐月降雨量之变异数、标准偏

差则逐年越趋增大,表示与逐月降雨量平均值间离散程度越大,同构型越低。结果显示 2005 年后极端降雨集中的现象增加,且具单月累积降雨量趋于升高的现象,其次数具有逐渐增多的趋势。台湾地区正常月平均降雨量的变化范围在 110~340 mm 间,若大于 380 mm 表示有水患发生,假使连续数月低于 100 mm 则会造成干旱<sup>[4]</sup>。

由高屏溪集水区各月平均降雨量趋势呈现全年度仅少数月份较符合正常平均降雨变化范围,其他 7 个月份均属干燥,故高屏溪集水区整年度属于季长湿季短且集中之类型;17 a 间该地区降雨高于全台平均值之时期集中于 6—8 月,然而台风侵袭主要集中于 7—9 月,为了解 17 a 间各月平均降雨量是否和台风每月侵袭统计次数具相关性,进一步利用 SPSS 进行相关性分析,分析结果呈现显著性  $p = 0.001$  ( $<0.05$ ) 达显著相关,综合高屏溪集水区各年度、月累积降雨量综合趋势可推测,每年 8 月份属台风、降雨之高峰期。

极端降雨之定义系参考台湾中央气象局 2010 年 9 月公布之雨量分级制度,将旧有的两级外新增大豪雨及超大豪雨两级;综合以上,大雨定义为未来 24 h 内累积雨量达到 50 mm 以上,豪雨、大豪雨、超大豪雨的分别,依序是未来 24 h 内累积雨量达到 130, 200, 350 mm 以上。17 a 来逐日降雨量分级趋势显示,大雨级共发生 137 次,豪雨级 25 次,大豪雨级 26 次,超大豪雨级则为 7 次。而根据分布次数可见超大豪雨于 2005 年后始逐次发生,且以莫拉克台风 8 月 8 号累积降雨量为历年之冠,而大豪雨级分布次数,2005 年后有明显增多之趋势。

## 2.2 平均降雨量之空间分布推估

台湾平地与山区降雨受到地形与季节的影响,年总雨量的空间分布具有明显之区别<sup>[5]</sup>。依据高屏溪集水区近年来之降雨型态,以全年平均降雨量高峰期之前三个月,进行降雨量之 Kriging 空间分析,结果显示区域降雨量,明显集中于中部地区。本研究为量化降雨量与降雨强度,以周仲岛<sup>[6]</sup>之降雨指数为依据,定义降雨指数,作为分析之对象。强降雨台风乃是定义上述不同降雨指数所显示之侵台台风降雨量或降雨强度占排名 90% (约前 10 名) 与 95% (约前 5 名) 的极端降雨台风事件为强降雨台风。本研究将范围缩小至高屏溪集水区并依照上述降雨指数,定义相对于该地区之强降雨台风。侵袭台风降雨指数分析结果以各指数排名前 5 名所示且具有以下特性:根据筛选出的强降雨和极端降雨台风大多数同为台湾带来严重灾害的台风如莫拉克、海棠、敏督利、辛乐克等

台风,最大单站累积降雨量主要在山区为主如高中、甲仙。

## 2.3 高屏溪集水区两期台风事件降雨量对崩塌之影响

本研究以 2001 年桃芝台风与 2009 年莫拉克台风,代表非极端降雨台风与极端降雨台风,统计两期台风事件降雨资料并比较其降雨量与崩塌之影响。两场台风降雨所造成之林地崩塌数量与面积变化可知 2001 年桃芝台风侵袭前后,崩塌面积由 14.1 km<sup>2</sup> 上升为 16.89 km<sup>2</sup>,崩塌比从 0.4% 提高至 0.5%,其崩塌分布不具显著差异性。而 2009 年莫拉克台风期间则由 26.4 km<sup>2</sup> 上升至 226.10 km<sup>2</sup>,相较于 2000 年崩塌面积,受天然灾害之影响增加的面积急剧变化。以气象局数据统计,平均降雨量桃芝为 2.9 mm/h,莫拉克为 11.07 mm/h,而根据台风降雨指数比较,8 个测站中最大 24 h 降雨量莫拉克为桃芝的 1.9 倍,最大总雨量为 3.8 倍,前两大降雨量平均 3.7 倍,台风整场平均降雨则为 5.8 倍。新增的崩塌范围莫拉克较桃芝高出 11.8 倍,扩崩地 22.82 倍,维持不变崩塌地 6.5 倍。综合以上可知台风所至强降雨若增加 1 倍,新增崩塌地、扩崩地、维持不变崩塌地、植生恢复地将增加 3.5, 6.8, 1.9, 1.0 倍。虽造成崩塌的环境因子极为复杂,不单只具有降雨一个气候因子,但由研究可知,极端降雨对崩塌地的影响进而冲击森林覆盖范围广泛的高屏溪集水区,其将会是呈倍数成长之相关性。

高屏溪集水区两场台风事件对不同林地使用分区之崩塌冲击,各不同林地使用分区再两场台风降雨所造成之崩塌比统计如表 1 所示。

表 1 桃芝台风与莫拉克台风前后高屏溪流域崩塌比与崩塌面积比较

事件	流域 面积/km <sup>2</sup>	崩塌 面积/km <sup>2</sup>	崩塌比/ %	崩塌地 数量
桃芝台风前	3256.9	14.1	0.4	708
桃芝台风后		16.9	0.5	793
莫拉克台风前		26.4	0.8	2869
莫拉克台风后		226.1	6.9	14843

由表 1 可知,桃芝台风降雨造成自保护区及国土保安区约有 0.2% 的增加率,而林木经营区及生态旅游区其崩塌比之平均增加率仅为 0.01%,相对于莫拉克台风强降雨,由于降雨量分布显示 24 h 极端降雨等级最高之超大豪雨分布比例较为局部且集中,且明显集中于林木经营区、生态旅游区,如图 2 所示大豪雨级分布比例则皆为 35%~41% 平均分布,其所造成之崩塌比,自然保护区及国土保安区增加率约 7.8%,林木经营区及生态旅游区其崩塌比之增加率

则达 9.9%。就过去森林经营状况,国际间均认为保留天然森林并规划保安林地是对土地及生物多样性最合适的治理方法;但实际上在桃芝台风的事例却发现,保安林地确实在高崩塌比率状态下,符合限度开发指标,但于极端气候冲击中,其耐受程度较为不佳,而面对自然保护区着重封山保林之政策,反不利于部分森林生态系的健全与发展。由莫拉克台风崩塌比率可知各分区冲击均明显提高,且分区间后期差异不显著,对各经营模式皆具重大影响,为一次明显的冲击事例。

#### 2.4 极端降雨对森林集水区经营冲击之因应对策

森林集水区之空间规划与使用管制:林地使用区划,虽不乏许多法令与规范<sup>[6]</sup>,却均以维持现状与管制使用为目的,并非基于因应极端气候冲击,故缺乏评估与机制。因此必须检讨与建立对应的因应策略与调适机制,并依短、中、长期进行经营治理与管制的调适法规或空间规划。如林务局将国有林事业区依其土地经营条件区分为自然保护区、国土保安区、森林育乐区及林木经营区等四区,各分区均有其划设条件及经营原则,应加以适度且合理经营,如人工林区应施以营造混合树种复层林,并于密植之后适时除伐、疏伐,保持适量繁茂之地被植物;待各林区林相老化后,应适当进行择伐更新、移除过量之枯死木以促进天然更新等。于山地部分,应考虑极端气候的影响,区分可规划林业经营、混农林业经营与应维持自然状态的区位,在气候变迁的长期趋势下,依据适合不同土地类型及生态区位经营模式,实属预防、避免林地持续劣化之重点,进而减少森林成为未来漂流木的主要来源。

强化森林健康及降低脆弱性,确保森林永续经营:森林本身会因气候变迁或人为因素的影响下,降低其协助减缓气候变迁的功能,其中绝大部分的变化是环境改变的结果,无法避免只能选择调适,然而在采取调适策略之前,应对于变迁的情境与发展有所了解,因此必须建立有效指标以及林地的长期监测系统如依据林地坡度、土壤、坡向、地被状况、地质条件等,将溪流上游及易崩塌之林地加以标定并监测,建立山区巡护,收集与整合气候变迁对生态环境领域所造成之冲击,并予以汇整分析,建立气候冲击之情境模式,以及评估风险与脆弱性,进而拟订相关因应调适策略,如若发现属劣化之林相、生物量超过土地承载量时,应适时移除部分老朽林木,并适度促进天然更新,育成健壮森林以减少林地崩塌夹杂漂流木之灾源,必

要时应施行之崩塌地源头整治等相关技术,进行森林集水区之治理<sup>[7]</sup>。

重新评估开发程度及改变部分地区之经营管理模式:由于极端降雨已使高屏溪集水区之林木经营区及森林游乐区产生严重崩塌,建议应进一步重新依据地形、地质及气候条件,检视林木经营区及游乐区划设之适宜性,对于各林地使用分区,重新建立新的经营模式。

### 3 结 论

17 a 来随着气候持续变迁,高屏溪集水区干旱期越趋频繁,而平均降雨量则显示 2005 年后将进入极端降雨频率增加之年代,雨季之雨量增加水患发生时期由 8 月延长至 9 月,而干季则越趋干旱。降雨分布由中高海拔地区转移至中低海拔地区,造成林木经营区及森林游乐区严重崩塌,极端降雨已导致各林地使用分区之崩塌比差异不显著,其对各林地使用分区皆带来严重影响,由 IPCC 报告显示未来气候变迁仍然无法快速减缓,极端气候所带来的冲击威胁是人类以后必须面临的严重课题。以森林集水区而言,极端气候已造成林地脆弱度增加,因此林地使用分区必须加入极端气候因素,重新规划与注入新的经营管理方式,减缓极端降雨所带来的冲击,让森林能真正发挥生态服务功能。

#### 参考文献:

- [1] Fourth Assessment Report of the IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change Impacts, Adaptation, and Vulnerability Climate Change [M]. UK: Cambridge University Press, 2007.
- [2] Liu S C, Fu C, Shiu C J, et al. Temperature dependence of global precipitation extremes [J]. Geophysical Research Letters, 2009, 36, L17702, 4 PP.
- [3] Bell F G. Geological Hazards; Their Assessment [M]. New York: E & F N Spon, 1999.
- [4] 汪中和. 台湾降雨的长期变化及对环境的冲击 [C]. 台湾:行政院农业委员会林业试验所, 2004.
- [5] 周仲岛. 台湾地区剧雨与侵台台风变化趋势与辨识研究 [M]. 台湾:气候变迁对灾害防治冲击调适与因应策略整合研究:子计划, 2006.
- [6] 林务局. 国有林区森林生态系经营计划编订手册 [M]. 台湾:行政院农业委员会, 2001.
- [7] 陈财辉. 漂流木的处理对策及资源利用 [J]. 台湾林业专讯十月号, 2009, 35(5): 11-15.