卡特里娜飓风对美国新奥尔良市西侧海岸线变化的影响

徐南^①, 宫鹏^{①②*}

① 清华大学地球系统科学研究中心, 地球系统数值模拟教育部重点实验室, 北京 100084;

② 全球变化研究协同创新中心, 北京 100875

* 联系人, E-mail: penggong@mail.tsinghua.edu.cn

2015-12-14 收稿, 2016-02-29 修回, 2016-03-01 接受, 2016-04-22 网络版发表

2015 年度公益性行业(气象)科研专项(201506023)资助

摘要 卡特里娜飓风及其引发的风暴潮给路易斯安那州周围的海岸造成了灾难性的破坏. 对海岸线进行连续观测有着重要意义, 一方面可以用于定量评估飓风对海岸的破坏, 另一方面有助于理解飓风对海岸的破坏过程. 本文选取新奥尔良西侧一段约180 km的海岸线为研究区, 综合使用美国陆地卫星时间序列和验潮站的水位数据得到飓风前后的海岸线变化率. 提取不同时期的海岸线, 然后进行速率估算和变化检测. 结果表明, 飓风登陆前后, 海岸线位置 and 变化速率发生了较大的改变. 卡特里娜飓风之前, 研究区有39.42%的海岸线向海洋推进, 60.58%的海岸线向陆地后退, 海岸线平均变化速率为 -2.53 m/a; 而之后有26.73%的海岸线向海洋推进, 73.27%的海岸线向陆地后退, 海岸线平均变化速率为 -3.58 m/a. 卡特里娜飓风给海岸造成了很大破坏, 86.57%的海岸在卡特里娜飓风中受到严重侵蚀, 研究区海岸线向陆地平均移动14.91 m. 计算结果表明遥感技术确实能够有效估算出飓风前后的海岸线变化. 其结果可用于评估飓风对海岸的影响, 为灾后重建提供基础信息, 也可以用于研究飓风对海岸的破坏机理. 本文显示了对地观测技术在灾害评估中发挥的巨大作用.

关键词 卡特里娜飓风, 海岸线, 自然灾害, 遥感技术, 变化检测

2005年8月29日, 5级飓风卡特里娜(Katrina)在密西西比河河口登陆. 该飓风引发的风暴潮给路易斯安那、密西西比及阿拉巴马等州带来了灾难性破坏. 庞恰特雷恩湖和新奥尔良市间的防洪堤因风暴潮而决堤, 致使该市八成地方遭受洪水淹没. 卡特里娜飓风造成约1080亿美元的经济损失, 至少1836人丧生, 整个受灾范围几乎与英国国土面积相当, 是美国史上破坏最大的飓风^[1,2]. 祸不单行, 2005年9月中旬, 等级同为5的丽塔飓风(Rita)也在该区域登陆, 两次飓风带来的风暴潮严重侵蚀了该区域海岸, 使海岸线在短时间内明显后退. 由于人类活动排放了大量

的温室气体, 全球气温升高, 海水温度也随之上升, 使得飓风更加频繁和严重^[3]. 因此, 准确及时掌握飓风对海岸的影响具有重要意义, 一方面可以帮助管理者制定合理的海岸带土地利用政策, 另一方面可以帮助决策者制定科学的灾后重建方案. 卡特里娜飓风对城市护堤的影响已广受关注, 但是这两次飓风对无防护设施的海岸线的影响, 至今未见相关研究. 因此, 本文选取飓风登陆点西侧的自然海岸作为研究对象, 着重研究飓风对海岸线位置变化的影响.

随着大量对地观测卫星的发射, 丰富的遥感数据为各种大尺度环境监测和灾害评估提供了可

引用格式: 徐南, 宫鹏. 卡特里娜飓风对美国新奥尔良市西侧海岸线变化的影响. 科学通报, 2016, 61: 1687–1694

Xu N, Gong P. The impact of Hurricane Katrina on the coastline west of New Orleans, USA (in Chinese). Chin Sci Bull, 2016, 61: 1687–1694, doi: 10.1360/N972015-01063

能^[3-8]. 考虑到卫星影像可以准确刻画水体和陆地的光谱差异, 因此将卫星成像时刻的瞬时水陆分界线定义为海岸线指示标志^[9]. 基于美国陆地卫星专题制图仪(TM)及常规陆地成像仪(OLI)的遥感数据^[10]得到多时相海岸线, 然后使用路易斯安那州的Grand Isle验潮站及德克萨斯州Rockport验潮站的水位数据对海岸线位置进行校正, 消除水位变化的影响, 以估算研究区域海岸线在卡特里娜飓风登陆前后的变化速率. 此外, 对海岸线平均位置时间序列进行突变点分析, 计算突变时刻海岸线因侵蚀而移动的距离, 即飓风对海岸造成的改变.

卡特里娜飓风和丽塔飓风登陆时间间隔很近, 加上天气和陆地卫星重访周期为16 d等原因, 难以单独监测两次飓风对无防护海岸线的影响. 因此, 本文单独提及卡特里娜飓风对海岸线的影响实际是指卡特里娜飓风与丽塔飓风两次飓风, 特此说明.

1 研究区域及数据

研究区域位于卡特里娜飓风登陆点西侧, 横跨路易斯安那州和德克萨斯州(图1), 其中色宾河为两州的州界. 本研究使用美国的陆地卫星作为主要数

据源, 包括379景TM图像(1984年3月~2011年11月)和40景OLI图像(2013年2月至今). ETM+数据因其影像条带影响了海岸线提取而未被采用. 所有陆地卫星数据均使用气候数据集(Climate Data Records, CDR)产品, 该产品已经过系统辐射校正和几何精校正. 将所有图像依据其地理坐标叠加到一起, 得到大小一致的遥感图像时间序列数据集. 使用Grand Isle验潮站和Rockport验潮站的多年平均水位作为研究区基准水位, 以便将不同水位条件下观测得到的海岸线校正至该基准水位. 遥感影像的云覆盖比例构成的时间序列没有随时间呈现出显著的变化趋势, 因此不会带来系统偏差; 而成像时刻对应的水位则有明显的上升趋势, 这和全球变暖的背景相吻合.

2 海岸线变化速率

为方便描述海岸线的位置, 需要定义海岸线的基线. 在该研究区域中, 选择海岸线所在图像的第0行像元作为标定海岸线位置的基线, 因为研究区的海岸线呈现近似水平的方向, 海岸线的位置可以用对应像元的行号表示(行号乘以图像分辨率30 m得到海岸线至基线的实际距离).

图1 研究区域位置图. 黄线和紫线分别表示卡特里娜飓风和丽塔飓风的登陆路径. 浅蓝色曲线表示研究区域附近的河流, 灰色多边形则表示本文的研究区

Figure 1 Location of the study area. The yellow line and purple line show the paths of hurricane Katrina and hurricane Rita, respectively. The light blue curves indicate the rivers around the study area and the grey polygon represents the study area of this paper

本研究使用短波红外波段提取海岸线,因为相对于其他波段,该波段特定的波长范围(对TM数据,波段5波长范围为1.550~1.750 μm ;对OLI数据,波段6波长范围为1.560~1.660 μm)可以更好地区分水体和陆地^[11]。Otsu方法是一种基于类间方差最大法则进行图像分割的方法,已被广泛应用于卫星影像分割中,我们选取该方法进行水体提取^[12-16]。首先将每一景图像分割为500×500的单元,使用Otsu方法对每个单元进行最优二值分割,取各单元的并集并进行膨胀腐蚀等形态学操作,获取的结果作为水体区域^[15,16],提取水体的边界作为初始海岸线^[17]。然后以该海岸线为中心线3个像元为半径建立海岸线缓冲区,并认为真实海岸线位于该缓冲区内。再次根据Otsu方法计算该缓冲区的最优分割值,如果各海岸线像元与水平方向夹角小于45°,则搜索该像元及沿水平方向前后各2个像元,否则沿竖直方向,计算5个像元与最优分割值的差,最小的差的绝对值所对应的像元被认为是海岸线像元。为保证海岸线的连续性,使用Savitzky-Golay方法对所得海岸线像元的坐标进行平滑。所有卫星图像都按照上述操作进行统一处理以获取不同卫星成像时刻的海岸线。

由于云和阴影的干扰,云的边界或者海岸线缓冲区的边界会被错误地识别为海岸线,因此需要剔除海岸线至基线距离的时间序列中的错误值。首先,计算时间序列的频率直方图,搜索直方图的峰值,以该峰值对应距离为中心,筛选出与该距离差值的绝对值小于一定范围的值,将其作为可用数据。对可用数据及其对应成像日期进行线性回归,剔除95%置信区间以外的数据,再对剩下的数据进行线性回归,得到的斜率即为该海岸线像元内海岸线的变化速率。陆地卫星图像的空间分辨率为30 m,因此得到海岸线至基线的距离是被离散化至30 m的结果。基线距离的采样误差会带来基线变化速率的误差,使得计算得到的海岸线至基线的变化速率在空间上存在明显的局部震荡。因此,使用Savitzky-Golay方法对得到的海岸线变化速率进行空间平滑^[18,19]。海岸线变化速率大于0代表海岸线向海洋推进,速率小于0则代表海岸线向陆地后退。

1984年3月~2015年7月间,该研究区37.90%的海岸线(共67.59 km)向海洋推进,62.10%的海岸线(共110.73 km)向陆地后退(图2)。对每个海岸线像元的变化趋势进行显著性检验(T 检验),认为 P 值小于0.05时

可通过显著性检验,计算表明共有96.36%的海岸线像元存在显著的变化趋势。

3 海岸线时间序列分析

为描述飓风前后海岸线变化速率的差异,我们定义海岸线时空矩阵,时刻代表不同的卫星成像时刻,时间间隔为陆地卫星的重访周期(16 d)或者其整数倍(因为云及其阴影的干扰会带来数据的缺失),而空间则是沿着海岸线对应基线的方向,空间分辨率为30 m。矩阵中每个元素代表某成像时刻海岸线上某像元至基线的距离。取每一景陆地卫星图像的CFmask中的云和云阴影的并集作为云覆盖信息^[20],海岸带区域的平均云覆盖率(共419景图像)为34.16%。云及其阴影会带来时空矩阵中部分元素的缺失,这些缺失值将通过水位和海岸线至基线距离的线性模型进行插补。

将同一成像时刻研究区内所有海岸线像元至基线的距离的平均值作为该区域海岸线平均位置的指标,计算得到区域海岸线平均位置时间序列。海岸线的位置由成像时刻水位与地形共同决定,为更好地分析海岸线对飓风的响应,将Grand Isle验潮站和Rockport验潮站的1984~2015年的平均水位作为研究区基准水位,再根据基准水位对海岸线位置进行校正,消除水位变化对海岸线位置的影响。对每一个卫星成像时刻,搜索前后5个时刻的区域海岸线平均位置与对应水位,建立线性回归模型,斜率即为成像时刻的区域海岸平均坡度,根据海岸坡度将海岸线位置校正至1984~2015年该区域的平均水位。可以发现,校正之后的时间序列虽然消除了水位变化趋势,但未能消除水位波动,因为水位在空间和时间上均存在波动,故两个站点的平均水位时间序列难以真正代替整个研究区域的平均水位时间序列。从图3(b)可发现成像时刻较为接近的水位距离间的相关性较高。

使用如下方法对校正后的海岸线时间序列进行突变点探测:

$$C_i = \frac{\sum_{j=i+1}^{i+5} D_j - \sum_{j=i-5}^{i-1} D_j}{5}, \quad (1)$$

式中, D_i 表示第 i 个成像时刻的海岸线至基线的距离, C_i 为海岸线突变度量时间序列,用来度量该时刻是否发生突变。然后再计算 C_i 的均值 μ_c 和标准差 σ_c 。正值代表海岸线位置向海洋方向突变,负值代表海岸线向陆地方向突变。海岸线突变度量时间序列如图

图2 海岸线变化速率分布图以及频率图。(a) 沿海岸线方向变化速率分布图。横轴代表沿着自西向东沿着海岸线以30 m像元为单位的距离。(b) 海岸线变化速率的频率图。(c) 海岸线各个像元的变化速率

Figure 2 Spatial distribution of coastline change rate and its frequency. (a) Change rate along the coastline. The x-axis represents the distance along the coastline from west to east and each coastline pixel is 30 m in size. (b) The frequency histogram of the coastline change rate. (c) The change rate at each coastline pixel

3(c)所示, 取小于均值以下2倍标准差的时刻作为发生海岸线侵蚀突变的时刻。结果表明, 1998年6月、2006年1月和2008年8月为海岸线位置突变时刻。图3(d)为研究区1984~2015年发生的飓风及其等级, 所有数据均从网站 <http://weather.unisys.com/hurricane/> 获取(为更好地研究飓风对海岸的影响, 此处以登陆时刻等级为准, 因此部分飓风与公开等级数据有偏差)。登陆时刻强度大于1的飓风为: Georges, Katrina, Rita, Ike和Gustav; 对应时刻分别为1998年9月、2005年8~9月和2008年8月。这3个时刻与海岸线时间序列检测得到的突变时刻较为一致, 但存在一定时间偏差。同一时刻不同空间位置的水位有差异, 因此使用个别站点水位数据进行海岸线位置校正会使得校正后的海岸线位置时间序列仍然存在波动性, 海岸线位置的波动性会干扰突变点的检测, 不可避免地带来一定误差。因此, 可以认为飓风确实会破坏海岸。值得注意的是, 1988年7月也有一个变化程度较大的点, 该时刻前后有3次等级为1的飓风登陆, 海岸线变化较平缓。

根据3个突变点将1984年3月~2015年7月划分为4个阶段: 1984年3月~1998年6月、1998年6月~2006年1月、2006年1月~2008年8月、2008年8月~2015年7月。结果表明, 4个时间段内海岸线变化速率分别为-2.22, -2.53, -3.58和-3.29 m/a。1998年9月Georges飓风使得海岸线向陆地后退6.95 m, 海岸线变化速率由-2.22 m/a变为-2.53 m/a; 2005年8月的卡特里娜(Katrina)飓风和2005年9月的丽塔(Rita)飓风使得海岸线向陆地后退14.91 m, 海岸线变化速率由-2.53 m/a变为-3.58 m/a; 2008年8月的Ike飓风和Gustav飓风使得海岸线向陆地后退11.66 m, 海岸线变化速率由-3.58 m/a变为-3.29 m/a(图3(a))。

卡特里娜飓风发生之前, 研究区内有60.58%的海岸(108.03 km)发生侵蚀, 39.42%的海岸(70.29 km)发生淤积(图4(a)); 飓风发生之后, 73.27%的海岸(130.65 km)发生侵蚀, 26.73%的海岸(47.67 km)发生淤积(图4(b)), 58.46%的海岸(104.25 km)变化速率减小(图4(c)), 86.57%的海岸(154.38 km)在卡特里娜飓风登陆之后发生侵蚀, 海岸线位置向陆地移动(图

图 3 海岸线时间序列展示和分析. (a) 海岸线时间序列及校正结果. 浅灰色曲线和深灰色曲线分别代表海岸线时间序列与水位校正之后的海岸线时间序列. (b) 海岸线及其对应水位. 展示了成像时刻水位和海岸线位置之间的关系, 相近的颜色代表成像时刻较为接近. (c) 海岸线位置突变探测. (d) 研究区飓风及对应等级(以登陆时刻等级为准)

Figure 3 Demonstration and analysis of coastline time series. (a) Coastline time series and corrected results. Coastline time series and corrected time series were labeled by light grey and dark grey, respectively. (b) Coastline position and corresponding water level. It shows the relationship between coastline position and water level. Similar colors indicate similar imaging time. (c) Coastline regime shift detection. (d) The hurricane and corresponding scale of wind in the study area (the scale at landfall was adopted)

4(d)). 卡特里娜飓风给海岸造成了破坏, 并具有一定持续性, 飓风发生之后, 海岸侵蚀最为严重, 海岸线侵蚀速率达到最大.

4 结论和讨论

卡特里娜飓风使得受灾海岸短时间内发生严重侵蚀, 海岸线向陆地大幅后退, 移动的平均距离达 14.91 m, 卡特里娜飓风之后 3 年内海岸线变化速率为 -3.58 m/a , 高于 1984~2015 年的平均变化速率. 随着人类活动排放出大量温室气体, 全球气候持续变暖, 飓风的频率和强度可能会进一步增强, 因此对海岸进

行连续观测极具意义. 准确的海岸变化信息, 有助于决策者制定海岸带土地利用政策和开展灾后重建工作. 本文使用美国陆地卫星作为数据源进行海岸变化探测, 有效估算了飓风前后的海岸线位置变化. 但是, 由于云和阴影的干扰以及卫星重访周期较长, 仍存在时间频率不够高的缺陷, 而这对于监测飓风对海岸的短期影响尤为重要, 以后可采用多源观测数据弥补这一缺陷. 此外, 海岸线的位置受到多个因素的影响, 比如潮汐波动、水位波动、波候变化、飓风干扰和人类活动等, 未来将进一步探索各个因子对海岸变化的影响, 以更准确地揭示飓风对海岸的破坏.

图4 海岸线变化空间分布。(a) 1998年6月~2006年1月海岸线变化速率空间分布图; (b) 2006年1月~2008年8月海岸线变化速率空间分布图; (c) 1998年6月~2006年1月与2006年1月~2008年8月海岸线变化速率差; (d) 卡特里娜飓风前后海岸线位置变化图

Figure 4 Spatial pattern of coastline change. (a) Spatial distribution of coastline change rate from 1998-06 to 2006-01; (b) spatial distribution of coastline change rate from 2006-01 to 2008-08; (c) the difference between the change rate from 1998-06 to 2006-01 and 2006-01 to 2008-08; (d) the coastline change before and after Hurricane Katrina

参考文献

- 1 Liu D F, Pang L, Xie B T. The lesson from Hurricane Katrina 2005—Risk analysis for coastal, offshore, and hydraulic engineering (in Chinese). Eng Sci, 2007, 9: 24–29 [刘德辅, 庞亮, 谢波涛, 等. 卡特里娜飓风的启示——有关海洋和水利工程的风险分析. 中国工程科学, 2007, 9: 24–29]
- 2 Zheng J J, Xu Y, Jin F N. Inspiration drawn from hurricane “Katrina” to disaster-preventing pre-planning (in Chinese). J Nat Disasters, 2007, 16: 12–16 [郑晶晶, 徐迎, 金丰年. “卡特里娜”飓风对防灾预案的启示. 自然灾害学报, 2007, 16: 12–16]
- 3 Webster P J, Holland G J, Curry J A, et al. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. Science, 2005, 309: 1844–1846
- 4 Gong P. Remote sensing of environmental change over China: A review. Chin Sci Bull, 2012, 57: 2793–2801 [宫鹏. 拓展与深化中国全境的环境变化遥感应用. 科学通报, 2012, 57: 1379–1387]

- 5 Gong P, Zhang H, Zhang H Y, et al. Mapping tsunami damaged area caused by the magnitude 9.0 Japan earthquake using China's HJ-1 satellite imagery (in Chinese). *J Remote Sens*, 2011, 15: 863–868 [宫鹏, 张哈, 张海英, 等. 用中国环境减灾卫星 1 号数据评估日本仙台 9.0 级大地震引发海啸淹没区. *遥感学报*, 2011, 15: 863–868]
- 6 Su F H, Liu H J, Han Y S. The extraction of mountain hazard induced by Wenchuan earthquake and analysis of its distributing characteristic (in Chinese). *J Remote Sens*, 2008, 12: 956–963 [苏凤环, 刘洪江, 韩用顺. 汶川地震山地灾害遥感快速提取及其分布特点分析. *遥感学报*, 2008, 12: 956–963]
- 7 Wang W, Qu J J, Hao X, et al. Post-hurricane forest damage assessment using satellite remote sensing. *Agric Forest Meteorol*, 2010, 150: 122–132
- 8 Wang J, Xu S Y, Shi C, et al. Dynamic assessment of typhoon disaster condition based on multi-sources remote sensing imagery: Research progress (in Chinese). *J Nat Disasters*, 2008, 17: 22–28 [王军, 许世远, 石纯, 等. 基于多源遥感影像的台风灾情动态评估——研究进展. *自然灾害学报*, 2008, 17: 22–28]
- 9 Zhang M J, Zhang J H, Liu S J, et al. TY-3A-based remote sensing monitoring of “Nesat” typhoon damage to rubber plantations in Hainan Island (in Chinese). *J Nat Disasters*, 2014, 23: 86–92 [张明洁, 张京红, 刘少军, 等. 基于 FY-3A 的海南岛橡胶林台风灾害遥感监测——以“纳沙”台风为例. *自然灾害学报*, 2014, 23: 86–92]
- 10 Klemas V V. The role of remote sensing in predicting and determining coastal storm impacts. *J Coastal Res*, 2009, 25: 1264–1275
- 11 Brock J C, Purkis S J. The emerging role of lidar remote sensing in coastal research and resource management. *J Coastal Res*, 2009, 25: 1–5
- 12 Alesheikh A A, Ghorbanali A, Nouri N. Coastline change detection using remote sensing. *Int J Environ Sci Technol*, 2007, 4: 61–66
- 13 Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms. *Automatica*, 1975, 11: 23–27
- 14 Du Z, Li W, Zhou D, et al. Analysis of Landsat-8 OLI imagery for land surface water mapping. *Remote Sens Lett*, 2014, 5: 672–681
- 15 Haralick R M, Sternberg S R, Zhuang X. Image analysis using mathematical morphology. *IEEE Trans Patt Anal Mach Intell*, 1987, 9: 532–550
- 16 Soille P, Pesaresi M. Advances in mathematical morphology applied to geoscience and remote sensing. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 2002, 40: 2042–2055
- 17 Gens R. Remote sensing of coastlines: Detection, extraction and monitoring. *Int J Remote Sens*, 2010, 31: 1819–1836
- 18 Bian J H, Li A N, Song M Q, et al. Reconstruction of NDVI time-series datasets of MODIS based on Savitzky-Golay filter (in Chinese). *J Remote Sens*, 2010, 14: 725–741 [边金虎, 李爱农, 宋孟强, 等. MODIS 植被指数时间序列 Savitzky-Golay 滤波算法重构. *遥感学报*, 2010, 14: 725–741]
- 19 Chen J, Jönsson P, Tamura M, et al. A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky-Golay filter. *Remote Sens Environ*, 2004, 91: 332–344
- 20 Zhu Z, Woodcock C E. Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. *Remote Sens Environ*, 2012, 118: 83–94

The impact of Hurricane Katrina on the coastline west of New Orleans, USA

XU Nan¹ & GONG Peng^{1,2}

¹ Ministry of Education Key Laboratory for Earth System Modeling, Center for Earth System Science, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

² Joint Center for Global Change Studies, Beijing 100875, China

Forms of coastline are constantly modified by such driving forces as waves, sea level change, storms and winds. Among various driving forces, the effects of hurricanes can be the greatest and fastest. It is critical to continuously observe coastline changes in order to improve our understanding on the role of hurricane storms. One way is to make frequent field measurements along the coast before and after hurricane events. This is clearly labor-intensive at the regional scale. Remotely sensed data with sufficiently high acquisition frequency and spatial resolution can serve the purpose. Our question is if freely accessible Landsat data can be used to solve this problem. We used a 180-km long coast west of New Orleans that was affected by Hurricane Katrina as a case study. The storm surge induced by Hurricane Katrina caused well-known catastrophic damages in human lives and economic values. However, to what extent it has changed the coastline at the regional scale is an open question. We used Landsat time-series data (1984–2015) to estimate the rate of coastline change. First, the shortwave-infrared (1.55 μm) band of each Landsat image was selected to separate water and land. Water body detection was carried out using a simple threshold-based method. The optimal threshold was determined with a method based on the maximum inter-class variance criterion. Second, the boundary of the ocean water body was delineated as the coastline. Third, a linear regression model between water level and coastline position was established and an interpolation was conducted to remove the impact of clouds or shadows. To better analyze the impact of hurricanes on the coast, we removed the variation of water levels due to waves. Each average coastline position was corrected to the long-term mean water level. The change rates were estimated during different observation periods. The results demonstrate that both the position and change rate of the coastline changed dramatically after the hurricane. Before Hurricane Katrina, 39% of the coastline advanced to ocean and 61% retreated to land, and the regional average change rate was -2.53 m/a. After Hurricane Katrina, 27% of the coastline advanced to ocean and 73% retreated to land, and the regional average change rate was -3.58 m/a. After Hurricane Katrina 87% of the coast suffered from serious erosion and the coastline shifted to land by 14.91 m during the hurricane. Further, we collected hurricane records in the study area from the National Hurricane Center and selected greater than level one hurricanes. We conducted an analysis of regime changes for coastline positions and found three regime turning points. We discovered that the regime turning points detected from Landsat time-series data matched well with the hurricane records. We conclude that there is a profound relationship between hurricane and coastline change. Landsat-level remote sensing data with 30 m spatial resolution can effectively estimate coastline changes caused by hurricanes in sediment dominated coastal areas. Coastline information derived from Landsat images could be used to assess impacts of hurricanes on the coast and to develop post-disaster reconstruction and restoration plans.

Hurricane Katrina, coastline, natural hazard, remote sensing, change detection

doi: 10.1360/N972015-01063