

赵静、张吴明、焦中虎,2017,对东日本大地震序列潜热通量异常现象的讨论,中国地震,33(2),319~327。

对东日本大地震序列潜热通量 异常现象的讨论

赵静^{1,2)} 张吴明²⁾ 焦中虎³⁾

1) 哈尔滨工业大学深圳研究生院,深圳市南山区西丽大学城 518055

2) 北京师范大学地理科学部与遥感科学与工程研究院,北京市海淀区新街口外大街 19 号 100875

3) 中国地震局地质研究所地震动力学国家重点实验室,北京 100029

摘要 用美国国家环境预报中心的表面潜热通量数据,对 2011 年东日本大地震序列前后出现的潜热通量异常展开讨论,结合主震震中周边区域在 1991~2011 年的中强地震序列数据,分析了潜热通量异常与地震之间的关系。结果表明:①东日本大地震前的潜热通量剧烈变化不一定是异常,且不一定由此次地震活动引起;②该研究区域内 20 年间出现过多次有疑似“热异常”却无明显震例与之相对应的情况;③该研究区域内 20 年间有超过 60%的中强地震震前并无“热异常”出现;④在研究潜热通量变化是否属于异常时,应尽量多地考虑各个方面的影响因素,科学合理地设定判断参数;⑤在研究潜热通量异常与地震的关系时,应对特定区域作长时间序列分析,而不是单纯针对短期内的个别震例进行判别。

关键词: 东日本大地震 NCEP 数据 潜热通量异常 时序关系

[文章编号] 1001-4683(2017)02-0319-09 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

随着卫星遥感技术的不断发展,越来越多的科学家将卫星热红外技术用于热异常与地震关系的研究。前苏联科学家 Gorny(1988)在 20 世纪 80 年代首次利用热红外影像研究热异常与地震的关系,之后以强祖基等人为代表的国内学者使用 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)、FY 等卫星的热红外通道影像进行了相关的探索和研究(Qiang et al,1999;Lu et al,2005;马瑾等,2006;魏乐军等,2008)。近年来,不少科学工作者开始尝试使用各种相关的卫星数据产品。刘德富等(1997)利用 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)卫星射出长波辐射产品(OLR, Outgoing Longwave Radiation)研究我国在 1976~1985 年期间的强震与热异常的对应关系,发现在震前一个月强震所在区域都存在较为显著的热红外辐射异常。Ouzounov 等对 4 个中强地震震中及其周边区域的 OLR 进行连续的观测和分析,并结合震前 4 年的 NOAA 热红外格网数据来区分全球季节性和局部短时的 OLR 变化,结果表明 OLR 异常位置与主要的地震带分布区域相对应(Ouzounov et al,

[收稿日期] 2017-01-03; [修定日期] 2017-06-26

[项目类别] 中国地震局地质研究所中央级公益性科研院所基本科研业务专项基金(ICCEA1620)资助

[作者简介] 赵静,女,1987 年生,博士,主要从事定量遥感研究。E-mail:jingzhao_rs@foxmail.com

2007)。张元生等(2010)选用风云静止卫星的亮温产品(TBB, Temperature of Black Body)对2008年汶川 M_s 8.0大地震进行了研究,发现震前发生的亮温变化存在着明显的特征周期和振幅。张璇等(2017)也使用风云卫星亮温数据,采用功率谱相对变化法对2015年尼泊尔 M_s 8.1大地震前后在震中区附近出现的大范围热红外异常进行了时空分析。

地球的物理表面除了以热辐射的形式与外界进行能量交换,还有感热和潜热两种交换形式。感热是由于空气湍流等原因所引起的温度变化和热量交换,潜热则是由物质相变所导致的热量交换(多为水体)。Dey和Singh利用NCEP(National Centers of Environmental Prediction)再分析资料研究印度半岛及其周围海域的7个强震前后的潜热通量变化,发现沿海地区强地震前普遍存在潜热通量异常,而内陆地区的地震前则没有类似的异常现象(Dey et al, 2003)。陈梅花(2006)等同样利用NCEP潜热通量数据对苏门答腊岛地震(2004-12-26, M_w 9.0)进行了时空演化过程的分析,发现震前在震中及其附近地区出现了显著的潜热通量异常,并且最大异常出现在地震破裂带的中部,也是余震集中的区域。Cervone等引入小波变换的方法对震前的潜热信号进行数据挖掘和分析,这种方法在对希腊地震(2003-08-14, M_s 6.4; 2004-03-01, M_s 5.7)震前潜热通量异常的提取和识别工作中得到了较好的应用(Cervone et al, 2004)。此外,Cervone等(2006)还将下电离层低频信号与潜热通量观测值相结合,对Tokachi-Oki地震(2003-09-25, M_w 8.3)进行了2个参量的相关分析。Daneshvar(2014)认为水汽会对地震前的地质活动有响应,进而造成空气电离化、潜热通量升高、水汽富集和降雨等一系列天气活动。秦凯等(2016)构建了地震异常分析的岩石层-盖层-大气层耦合的理论框架,并建立了兼顾偏量-时间-空间关系的地震遥感热异常分析方法,提出了基于全球再分析数据资料的地震遥感热异常逐项元分析方法。

相关研究表明,地震前不仅会出现卫星热红外异常,还会出现潜热通量异常,但诸如云层遮盖、地形差异、地表物理性质、大气湍流等因素同样会引起热异常。例如屈春燕等(2006)人曾以内蒙古东部地震(2004-03-24, M_s 5.9)为例,使用震前3个月和震前2年同期的NOAA16卫星影像对热震关系及异常提取中所遇到的相关问题进行了较为深入的研究,指出震前出现的异常可能是大气逆温引起的红外现象,而非地震前兆异常。因此,为了尽可能地避免误判,我们应该进行更为严谨和细致的研究。

本文利用NCEP表面潜热通量日均值数据,对东日本大地震序列发生前后潜热通量的时序变化进行了研究,并对1991~2011年震中周边区域的潜热通量异常与中强地震之间的对应关系进行了深入分析,量化地探讨了地震与异常间隔的时间、标准差倍值、目标地震震级等参数对于热震关系研究的影响。研究结果表明,虽然东日本大地震序列发生前后震中区域的潜热通量日值出现了较为明显的波动,但这种波动不一定就是热异常,且不一定与此次地震序列有对应关系。

1 数据

1.1 地震序列

据美国地质调查局(USGS, United States Geology Survey)测定,2011年3月11日5点46分(UTC时间),日本东北部宫城县附近海域发生了 M_w 9.0特大地震,震中位于 38.322°N , 142.369°E ,地处太平洋板块和北美板块俯冲带边界,震源深度为24.6km,其被称为“东日本

大地震”(Great East Japan Earthquake)。在主震发生前 2 天(3 月 9 日),该区域曾发生 $M_s 7.3$ 前震,至 2011 年 4 月底,日本共发生约 900 次余震,其中有 11 次 $M_s 6.5$ 以上余震发生在主震周围 $10^\circ \times 10^\circ$ 的范围内。本文将前震、主震和这 11 次余震作为 2011 年的目标地震序列进行时间域上的分析和研究,其相关的地震参数见表 1。

日本列岛位于环太平洋火山地震带上,由欧亚大陆板块、北美板块、太平洋板块和菲律宾板块碰撞突起形成,地壳活动不稳定,历史上地震活动十分频繁。本文依据 USGS 的地震目录,选取了东日本大地震震中所在区域周边 $10^\circ \times 10^\circ$ 的范围内(即 $33^\circ \sim 43^\circ N, 137^\circ \sim 147^\circ E$)、在 1991~2011 年间、震级 $M_s \geq 5.5$ 的 99 个震例构成 21 年的目标地震序列,以分析和讨论这些震例与潜热通量变化之间的对应关系。

1.2 NCEP 数据

除了温度、感热通量等物理量以外,表面潜热通量(SLHF, Surface Latent

表 1 2011 年目标地震序列的地震参数

UTC 时间	东经 /(°)	北纬 /(°)	震级 M_s	震源深度 /km
2011-03-09 02:45	142.842	38.435	7.3	20.3
2011-03-11 05:46	142.351	38.320	9.0(M_w)	24.6
2011-03-11 06:08	143.370	38.969	6.7	29.6
2011-03-11 06:15	141.145	36.270	7.9	39.5
2011-03-11 06:18	142.269	36.023	6.6	49.5
2011-03-11 06:20	142.067	36.004	6.5	40.1
2011-03-11 06:25	144.591	38.058	7.7	50.2
2011-03-11 06:29	144.214	37.827	6.5	16.1
2011-03-11 08:19	141.580	36.164	6.5	23.5
2011-03-11 11:36	142.521	39.276	6.5	39.1
2011-03-12 01:47	142.648	37.594	6.5	15.4
2011-04-07 14:32	141.573	38.275	7.1	43.2
2011-04-11 08:16	140.410	36.989	6.6	12.7

Heat Flux)也可以反映地球的物理表面与大气之间的能量交换,它是指由水体的相变(蒸发、融化、凝结)所吸收或释放的热量。除了使用台站观测的方式获取外,还可以使用卫星遥感观测数据,根据相关的模型同化反演得到潜热通量数据(Schulz et al, 1997)。本文所使用的潜热通量数据集是由美国环境预报中心(NCEP)和美国大气研究中心(NCAR, National Center for Atmospheric Research)联合提供的日均值数据,数据精度为 $10 \sim 30 W/m^2$ 。潜热通量数据通过网络免费发布(<ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets>),采用高斯格网划分,纬向从赤道(纬度为 0°)到极点(纬度为正负 88.54196°)共划分 94 条高斯格网线,经向按 1.875° 的间隔划分 192 条格网线,全球共构成 18048 个潜热通量日均值数据单元。NCEP 潜热通量数据集相较于原有的单点台站观测数据集和单纯的遥感产品而言,具有时间范围长、空间范围广、全球标准统一、较少受云层干扰等优点。

2 短时间序列分析

为了掌握在东日本大地震主震前后较长时间段内潜热通量的时序变化,我们将研究的时间区间设定为 2011 年 1 月 1 日至 2011 年 4 月 30 日,研究对象为 2011 年的目标地震序列(表 1)。首先计算过去 20 年(1991~2010 年)主震震中附近格网单元(经度格网编号:76,纬度格网编号:67 和 68)在研究时间内的同日平均值 μ 及其标准差 σ ,同日平均值反映了研究单元在这段时间内的潜热通量基本背景值,再将同日平均值加减 2 倍的当日标准差作为潜热通量背景变化范围。由此可以得到主震震中附近的潜热通量变化的时间序列图(图 1),图 1 中红线是 2011 年的潜热通量变化曲线,蓝线是过去 20 年的日平均值曲线,上下两条黑线分别代表了平均值加、减 2 倍标准差($\mu + 2.0\sigma$ 和 $\mu - 2.0\sigma$)后的值,黑色箭头指明了主震和

前后 3 个较大的地震。

由图 1 可以看出,震中周围 2 个格网单元的潜热通量从 2011 年 1 月 1 日~2011 年 2 月 5 日的日均值与多年平均值的变化趋势基本类似,且在背景变化范围内;2 月 6 日~3 月 7 日,潜热通量值 2 次明显超过 $\mu+2.0\sigma$,且呈现较大幅度的波动状况,在发生 $M_s7.3$ 前震前出现了持续 1 周左右的低谷,后又有所回升;3 月 11 日 $M_w9.0$ 主震发生前 1 天,潜热通量有小幅度的回升,1 天后又急速下降约 50 W/m^2 ,之后 10 天的变化趋势与均值变化情况基本类似;3 月 23 日~4 月 12 日的 2 次波峰与 4 月 7 日和 4 月 11 日的 2 次较大余震也呈现比较好的时序对应关系;4 月 13 日~5 月 1 日,潜热通量下降到较正常的水平,波动状况明显趋缓。总的说来,可以看出此次东日本大地震序列在时间上对应着较为明显潜热通量波动情况,但是这种波动是否属于“热异常”,并且是否与地震序列存在着一定的因果关系,还需要进行进一步分析研究。

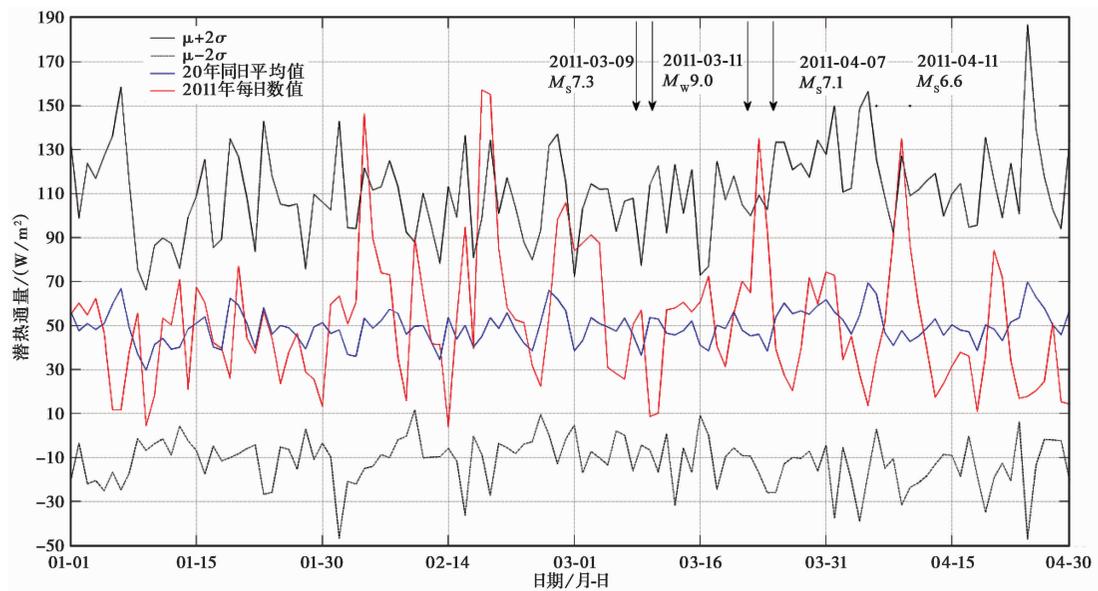


图 1 东日本大地震主震震中附近单元潜热通量的时序变化

3 长时间序列分析

为方便下文的描述和分析,先假定所有潜热通量值超过 $\mu+2.0\sigma$ 的部分均为热异常。首先需要收集并筛选东日本大地震主震震中周边区域 ($33^\circ\sim43^\circ\text{N}, 137^\circ\sim147^\circ\text{E}$) 在 1991~2011 年期间发生的中强地震的相关信息,构成 21 年的目标地震序列;再将地震和异常两者的关系进行分类;然后针对这些分类作进一步统计分析。

3.1 热震对应关系的分类

据地震和热异常两者是否出现,利用二进制的计数方法将其对应关系分为 3 种情况:“01”(无地震有异常)、“10”(有地震无异常)、“11”(有地震有异常)。图 2 展示了研究区域内地震序列与热异常之间的 3 种对应关系,纵坐标为潜热通量日均值。图 2(a)代表了第一种情况,即无地震发生却有热异常出现,由图 2(a)可以明显看出在 2010 年 3 月 21 日~5 月

20 日 2 个月内,出现了 3 次较为明显的热异常,潜热通量日均值在 4 月 10 日到达了 148 W/m^2 ,明显高于 20 年同日平均值,且比上边界线 $\mu+2.0\sigma$ 超出 20.3 W/m^2 ;之后在 5 月 3 日及 11 日,潜热通量日均值再次超过对应的上边界。然而,在此期间,该网格所在区域 $10^\circ \times 10^\circ$ 的范围内并无地震发生。图 2(b)代表了第 2 种情况,即有地震发生却没有出现对应的热异常,2004 年 3 月 25 日发生 $M_s 5.8$ 地震,震前潜热通量日均值均在上下界线内变化,无明显热异常出现。图 2(c)代表了第三种情况,即地震和热异常均有出现,由图可见 1999 年 2 月 20 日、3 月 2 日和 3 月 18 日分别发生了 $M_s 5.5$ 、 $M_s 5.9$ 和 $M_s 5.9$ 三次中强地震,2 月 17 日有明显热异常出现,潜热通量日均值高于上边界约 70 W/m^2 ,热异常和地震呈现出较好的时间对应关系。

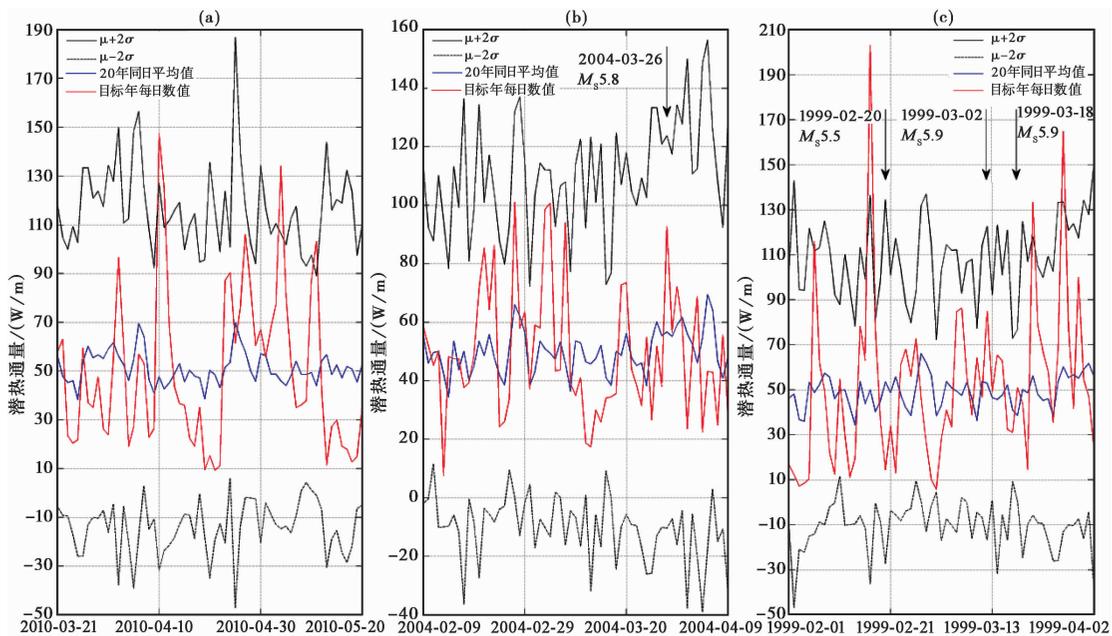


图 2 地震序列与潜热通量异常的 3 种时序关系

3.2 地震与热异常

针对上述情况,首先按照震例来统计热异常出现的次数。分别计算 21 年的目标地震序列中各震例在震前 60、50、40、30、20 和 10 天内日均值超过 $\mu+2.0\sigma$ 的次数,按此计算结果统计“10”和“11”的个数,并计算其百分比;在此地震序列的基础上筛选出 $M_s \geq 7.0$ 的震例,对其进行相同的计算和统计(结果如表 2)。

由表 2 可以看出,不管是 $M_s 5.5$ 还是 $M_s 7.0$ 及以上的地震序列,随着震前热异常出现的时间窗口由长变短,有地震无异常情况(“10”)的百分比均由低变高,与之相反,有地震有异常(“11”)的百分比均由高变低。这反映了时间窗口的设定在研究地震和热异常的关系时具有重要意义,它直接关系到是否可将一个热异常判断为地震前兆。此外,由表 2 还可以看出即使是采用 60 天的时间窗口时,有地震且有异常的情况(“11”)也仅占整个 21 年目标地震序列的 65%左右,因此前文中直接将出现的“11”情况作为潜热通量异常与地震相关的证据欠妥。

表 2 “10”和“11”两种情况发生次数统计

统计项	热震间隔时间						震级	震例个数
	60天	50天	40天	30天	20天	10天		
“10”个数	32	42	49	60	75	91	$M_s \geq 5.5$	99
“10”百分比	32.3%	42.4%	49.5%	60.6%	75.8%	91.9%		
“11”个数	67	57	50	39	24	8		
“11”百分比	67.7%	57.6%	50.5%	39.4%	24.2%	8.1%		
“10”个数	8	12	12	13	16	18	$M_s \geq 7.0$	22
“10”百分比	36.4%	54.5%	54.5%	59.1%	72.7%	81.8%		
“11”个数	14	10	10	9	6	4		
“11”百分比	63.6%	45.5%	45.5%	40.9%	27.3%	18.2%		

3.3 热异常与地震

除了基于地震序列去寻找震前热异常外,我们还可依照热异常对震例进行计算和统计,也即研究“01”(无地震有异常)和“11”(有地震有异常)这二种情况。首先,我们人为设定对于所有出现的超过 $\mu+2.0\sigma$ 的日值,如果它们之间的时间间隔 ≤ 5 天,则将它们视为1次异常;然后按照这样的规则进行筛选、合并和计数,便可以得到热异常目标序列;最后分别计算和统计每次异常出现后60、50、40、30、20和10天内出现和未出现地震的次数及其百分比(结果如表3)。同样,我们也按照震级 $M_s \geq 5.5$ 和 $M_s \geq 7.0$ 分别进行统计。

表 3 “01”和“11”两种情况发生次数统计表

统计项	热震间隔天数						震级	异常次数
	60天	50天	40天	30天	20天	10天		
“01”个数	63	70	75	84	88	100	$M_s \geq 5.5$	108
“01”百分比	58.3%	64.8%	69.4%	77.8%	81.5%	92.6%		
“11”个数	45	38	33	24	20	8		
“11”百分比	41.7%	35.2%	30.6%	22.2%	18.5%	7.4%		
“01”个数	97	100	100	103	103	105	$M_s \geq 7.0$	108
“01”百分比	89.8%	92.6%	92.6%	95.4%	95.4%	97.2%		
“11”个数	11	8	8	5	5	3		
“11”百分比	10.2%	7.4%	7.4%	4.6%	4.6%	2.8%		

由表3可以看出,对于 $M_s \geq 5.5$ 和 $M_s \geq 7.0$ 的地震序列,均出现距异常出现时间越近相关的震例就越少的现象。对于 $M_s \geq 5.5$ 的震例而言,异常发生后10天内发生地震的次数仅占总统计次数的7.4%,而 $M_s \geq 7.0$ 的情况更低至2.8%。即使采用60天的大时间窗口时,有地震且有异常的“11”情况出现的百分比仍较低,仅为41.7%和10.2%。由此可以看出,该研究区域在所划定的时间范围内,热异常与地震在时间域上的相关度较低,单纯将热异常的出现情况作为地震是否发生的指标有欠科学,数据所显示的潜热通量异常现象很可能只是某日的日均值随着20年均值波动加上洋流、大气湍流运动等的综合作用的结果,并不一定都是由震前热效应所引起的。

4 讨论与结论

前文中所用到的一些参数范围多是根据前人的研究成果总结得到的,大部分是经验性的,下面我们对其中几个主要的参数进行讨论。

4.1 标准差倍值

为了方便计算和讨论,在研究最初阶段,我们人为规定潜热通量日均值超过 $\mu+2.0\sigma$, 则为热异常。前人也有将标准差倍值设置为 1.5, 即以 $\mu+1.5\sigma$ 作为该区域潜热通量日均值波动的上限。对于东日本大地震序列而言,将异常判定范围设置为 $\mu+1.5\sigma$ 后,相关计算结果如图 3 所示。

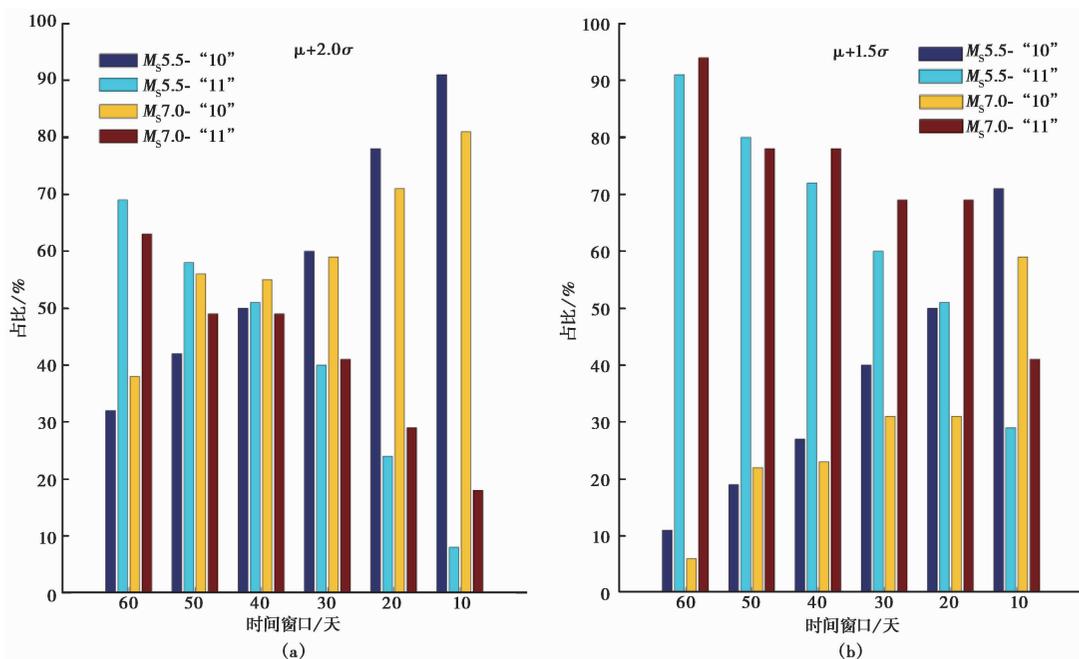


图 3 标准差倍值的 2 种设定

由图 3 可以看出,对于相同的时间窗口,倍值为 1.5 时, $M_s 5.5$ 和 $M_s 7.0$ 两种状况所对应的“11”百分比均有大幅的上升,也可视为异常日值出现的次数有了大幅增加。由此可以看出,标准差倍值的设定对于判断热异常来说非常关键,如果在地震发生之后才主观地采用某一个倍值去挑选观测值,得到的结果很可能是不客观、不科学的,且无法将其用于地震热异常前兆的识别和提取工作。此外,在本文中,仅将大于 $\mu+2.0\sigma$ 的视为热异常,即只考虑到了高值异常,尚未考虑小于 $\mu-2.0\sigma$ 时的情况,这将在以后的研究中进行探讨。

4.2 热震间隔的时间

由前文的研究我们可以看出,在 10~60 天的 6 级间隔中,随着时间窗口的减小,“01”和“10”两种情况的百分比都急剧上升,而与之相对应的“11”情况的百分比则急剧下降。可见时间窗口的设置对于判断热异常与地震之间的关系有很重要的作用,在对具体的某一时间段某一区域的热震关系进行分析时,我们应当结合多年的实际情况,设置一个变长的、自适

应的窗口进行异常的扫描,否则可能会遗漏掉一些重要信息。

4.3 时间间隔

在计算异常次数的时候,当相邻2次超过 $\mu+2.0\sigma$ 的日值之间的时间间隔 ≤ 5 天时,将其合并计为一次异常,这个取值是经验性的,对于某些潜热通量值波动较频繁的地区,该值可能需要扩大,反之则需要适当缩小。

4.4 震级大小

本文仅研究了 $M_s \geq 5.5$ 和 $M_s \geq 7.0$ 的震例,实际上震级级数覆盖面较窄、震级分段区间较宽,由表2和3均可以看出,当采用不同的震级筛选标准时,所对应的“01”(图2(a))、“10”(图2(b))和“11”(图2(c))这3种情况的出现次数有较大差异。

通过以上分析,我们可以得知虽然在东日本大地震序列发生前后出现了较为明显的潜热通量波动现象,但是由该研究区域多年的潜热通量时序变化与震例之间的对应关系分析可以看出,这些看似“异常”的波动却并不一定是由此次地震序列引起的。尽管海面的潜热通量变化相较于陆地的而言,少了地形、地貌、下垫面等因素的影响,但仍有一些除地震以外的其他因素会影响其变化,例如洋流运动等。因此,我们在进行震前热异常的提取工作时,应当尽量多地考虑到各种因素对于观测量的影响,避免将其他因素所带来的变化误视为地震前兆;并且在分析热震关系的时候,应当尽量扩大研究的时间范围,避免仅针对个别震例,否则将可能得到局限性很大甚至是错误的结论;此外,提取异常时设定的各项参数对于研究结果有很大影响,应当尽量避免主观的、经验性的取值,如何客观科学选取能够更好地反映热震关系的阈值还需要在今后的工作中进行更加深入的研究。

致谢 感谢美国环境预报中心和美国大气研究中心联合所提供的潜热通量数据。感谢两名评审专家对本文提出的宝贵修改意见和建议。

参考文献

- 陈梅花、邓志辉、杨竹转等,2006,2004年印度尼西亚9级大地震前的潜热通量异常,科学通报,51(1),118~120。
- 刘德富、罗灼礼,1997,强烈地震前的OLR异常现象,地震,17(2),126~132。
- 马瑾、陈顺云、刘培涛等,2006,用卫星热红外信息研究关联断层活动的时空变化——以南北地震构造带为例,地球物理学报,49(3),816~823。
- 秦凯、吴立新,2016,地震遥感热异常时空分析方法与检验,北京:测绘出版社。
- 屈春燕、马瑾、单新建,2006,一次卫星热红外地震前兆现象的证伪,地球物理学报,49(2),490~495。
- 魏乐军、郭坚峰、蔡慧等,2008,卫星热红外异常——四川汶川 $M_s 8.0$ 大地震的短临震兆,地球学报,29(5),583~591。
- 张元生、郭晓、钟美娇等,2010,汶川地震卫星热红外亮温变化,科学通报,55(10),900~906。
- 张璇、张元生、郭晓等,2017,尼泊尔8.1级地震卫星热红外异常解析,地学前缘,24(2),227~233。
- Cervone G, Kafatos M, Napolitano D, et al, 2004, Wavelet maxima curves of surface latent heat flux associated with two recent Greek earthquakes, Natural Hazards and Earth System Sciences, 4(3), 359~374.
- Cervone G, Maekawa S, Singh R P, et al, 2006, Surface latent heat flux and nighttime LF anomalies prior to the $M_w = 8.3$ Tokachi-Oki earthquake, Natural Hazards and Earth System Sciences, 6, 109~114.
- Daneshvar M, Khosravi M, Tavousi T, 2014, Seismic triggering of atmospheric variables prior to the major earthquakes in the Middle East within a 12-year time-period of 2002–2013, Natural Hazards, 74(3), 1539~1553.
- Dey S, Singh R P, 2003, Surface latent heat flux as an earthquake precursor, Natural Hazards and Earth System Sciences, 23(3), 749~755.
- Gorny V, Slaman A, Tronin A, et al, 1988, Terrestrial outgoing infrared radiation as an indicator of seismic activity, Proceedings of

- the Academy of Sciences of the USSR, **301**(1), 67~69.
- Lu Z, Wu B, Qiang Z J, et al, 2005, Brightness temperature anomalies in satellite-based thermal infrared remote sensing along the offshore China seas, *Geoscience*, **19**(1), 74~82.
- Ouzounov D, Liu D, Kang C, et al, 2007, Outgoing long wave radiation variability from IR satellite data prior to major earthquakes, *Tectonophysics*, **431**(1-4), 211~220.
- Qiang Z J, Dian C, Li L, et al, 1999, Satellite thermal infrared brightness temperature anomaly image——short-term and impending earthquake precursors, *Science in China(Series D:Earth Sciences)*, **1**(3), 313~337.
- Schulz J, Meywerk J, Ewald S, et al, 1997, Evaluation of satellite-derived latent heat fluxes, *Journal of Climate*, **10**(11), 2782~795.

Discussion on surface latent heat flux anomalies before the Great East Japan Earthquake sequence

Zhao Jing^{1,2)} Zhang Wuming²⁾ Jiao Zhonghu³⁾

1) Harbin Institute of Technology Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055, Guangdong, China

2) School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

3) State Key Laboratory of Earthquake Dynamics, Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China

Abstract In recent years, the relationship between the anomalies of surface latent heat flux and earthquakes has been a new subject of seismology study. It is a key problem that how to detect and extract the abnormal variation which is the result of seismic activities from the complicated latent heat flux varying background. In this study, by using the surface latent heat flux data of NCEP (National Center for Environmental Prediction), we discussed the SLHF anomalies prior and post to the Great East Japan Earthquake sequence. Besides, we also studied the relationship of earthquakes and SLHF anomalies of the study area in 21 years. The results suggest: (1) the SLHF variations which happened before the Great East Japan Earthquake were probably not anomalies, and they might not be caused by this occurrence; (2) there were many times “anomalies” which cannot find out any earthquake to be related to in this study area; (3) there were more than 60% earthquakes without any SLHF varying precursors; (4) related factors should be taken into account as many as possible to analyze relationships between SLHF variation and seismic activities; (5) we should investigate long time series data instead of focusing on individual earthquake event.

Key words: Great East Japan Earthquake; NCEP data; Latent heat flux anomalies; Temporal relationship