

# 日本9级超强地震,出乎意料?

◎ 钮凤林

2011年3月11日下午2时46分,日本东北地区沿海发生了该国历史上有记录以来最强的一次地震。地震破裂始于仙台正东约130公里的海域,先是由南向北,然后由北往南,横扫了包括宫城县、岩手县、福岛县、茨城县、千叶县的东北和关东地区沿海海域。整个破裂持续了150多秒,形成了长400多公里、宽100多公里的巨大断层。强烈的震动和随后而来的巨大海啸给日本东北和关东地区造成了严重的生命和财产损失。本次地震为20世纪以来记录到的五大9级以上超强地震之一。对地震能量的统计表明,自2004年苏门答腊地震以来,地球似乎正处于第二个强震期。✍

## 出乎意料但并不矛盾的超强地震✍

日本位于欧亚板块、菲律宾板块、太平洋板块及北美板块四大板块的交界处,地质构造复杂。这些板块之间的相互挤压碰撞使得日本地震的活动屡屡发生,可谓小震频繁、大震不断。太平洋板块在日本海沟处以约9厘米/年的速度俯冲其下,形成了从南至北约600公里的板块界面,地震就主要发生在这些界面上。以往的地震活动存在着明显的区域性:强震似乎只发生在5~10个大小为50~100公里的固定孕震区上。根据这一特性,不少地震学家把从千叶县至北海道的沿海分成6个区:茨城沿海、福岛沿海、宫城沿海、三陆沿海、青森沿海和十胜沿海。除北部的三陆和十胜海域,地震的强度一般不超过8级,复发周期为15~50年。因此本次超强地震的发生,对于日本乃至整个地震学界,可以说很出乎意料。难怪日本气象厅一开始把这次地震定为了7.9级。✍

断层内的不均匀性和孕震区的存在是过去几十年里地震学的重要发现之一,也是地震长期预测的基础。

钮凤林:教授,美国莱斯大学地球科学系,美国休斯顿。✍

Niu Fenglin; Professor, College of Earth Science, Rice University, Houston.

地震长期预报的主要目标是对未来地震的地点和强度做出正确预测。断层内孕震区的存在似乎和断层分段性有关,是决定地震破裂长度和震级大小的主要因素。然而现在有关活动断层分段性的研究仍处于探索阶段。一般认为断层几何形状、介质流变性、断层摩擦特性、孔隙流体以及应力条件等都对断层分段特性起到一定的作用。其中断层几何学在分段应用中最为直接。值得一提的是断层的各个分段并非完全独立,一个地震的发生可能改变附近甚至远处的应力场,触发下一个地震的发生。因此,几个相邻的断层段可同时发生破裂,导致超级强震。目前相当一部分学者认为地震的大小在破裂发生时是未定的,整个破裂由一个随机过程决定,只有当破裂结束时,地震的大小方能决定下来。✍

在东日本俯冲带,海底地形和地质构造资料并未对在太平洋板块上观测到的孕震区的成因以及界面分段提供明显的启示和依据。因此,多数人认为的“在日本东北沿海地区只会发生8级左右的地震”并没有足够的理论依据,只不过是过去一百多年有限观测数据的经验总结。有意思的是这个观测结果和现有的俯冲动力学模型比较吻合。拉夫(L. J. Ruff)和金森博雄(H. Kanamori)1980年分析了发生在环太平洋俯冲带的强震。他们发现孕育于各个俯冲带的最大地震震级与俯冲板块的年龄和俯冲速度有着很好的对应关系。这是因为决定地震大小的断层面积和走滑量分别取决于俯冲倾角和俯冲面上的正应力。板块年轻,则温度较高,和板块下方软流圈的密度差就越小,从而下沉动力就小,导致小角度俯冲和较强的板块间耦合。另一方面,俯冲速度的增加,也会导致上覆和下沉板块间的正应力上升。根据这一理论,拉夫和金森博雄认为在东日本俯冲带发生的最大地震震级一般在8级左右。✍

3月11日东日本9级超强地震的发生,再一次说明建立在过去短短的100多年观测数据基础上的现有

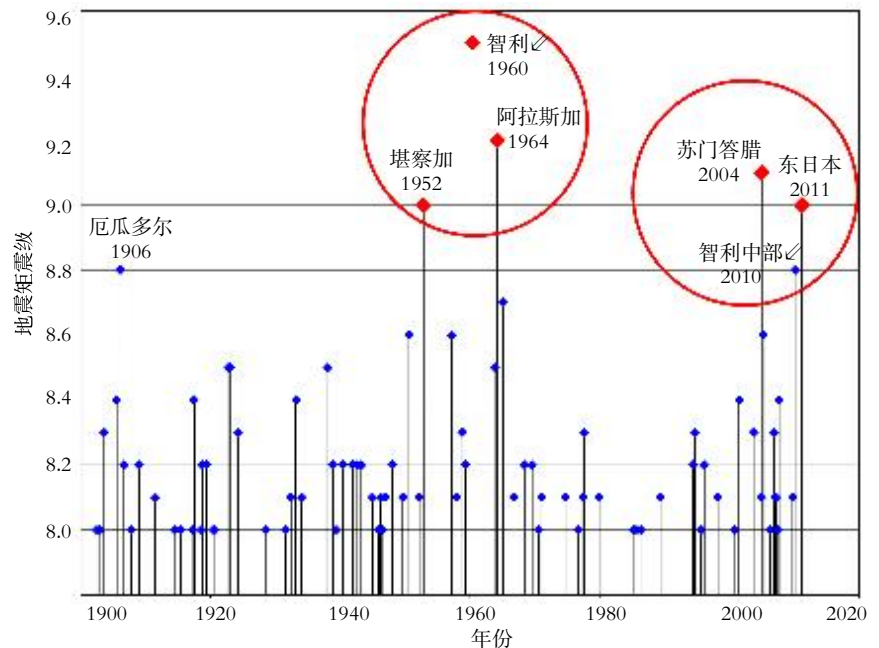
地震理论,在以百千万年来计时的地震现象前,难免会有一种无能为力之感。据史料记载,发生于公元 869 年的贞观地震和本次地震的发生区域以及所产生的海啸现象较为一致。另外早在 2006 年苏瓦(Y. Suwa)等人分析了 1997—2001 年期间位于日本的全球定位系统(GPS)观测资料和重复地震数据,发现一个以宫城县沿海海域为中心的超大孕震区,和本次地震的破裂区呈现出惊人的吻合。因此这次超强震的发生与现有的板块构造和地震学理论并不矛盾。↙

### 日本的下一次地震↙

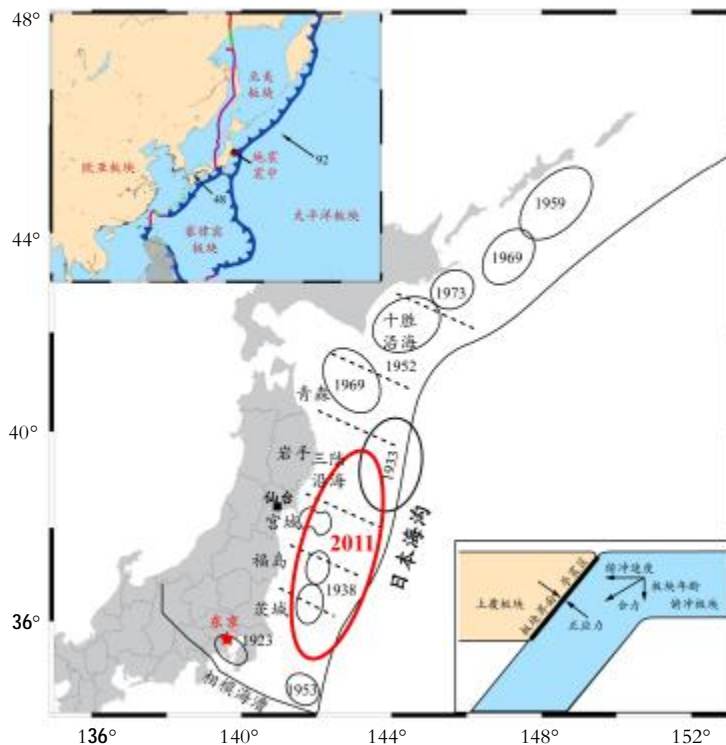
虽然东京位于本次地震震中 370 公里开外,但震感非常强烈,地面持续震动 5 分钟以上。总体而言,地震对东京造成的破坏并不严重。但震后几天里,余震活动由北向南,直逼位于东京东部的千叶县沿海海域,一度使地震学家担忧“1923 年关东地震”会不会卷土重来。东京地处东日本

和西南日本的交界,正好位于北美板块、太平洋板块和菲律宾板块的交汇处。1923 年发生的里氏 7.9 级关东地震孕育于一条东南向西北下倾的断层上。该断层始于千叶县南部的房总半岛,横跨东京湾,覆盖大部分东京地区。这个地震经常和所谓的东海地震相混淆。根据历史地震资料,关东地震的重复间隔约为 220~415 年。因此下一个关东大地震也许还得等上 100 年。现阶段对东京构成巨大威胁的强震是东海地震,该地震的重复间隔为 150~300 年,而最近的一次东海地震发生于 1854 年,因此说它随时而至并不言过。↙

西南日本处于另一个同样危险的俯冲带上。形成于新生代的菲律宾板块以 4~5 厘米/年的速度直插位于欧亚板块的西南日本下方。根据拉夫和金森博雄的理论,这一区域同样有 8 级强震的危险。过去的强震分布显示了在这个长约 600 公里的俯冲带上存在着至少 5 个孕震区(可分为 A、B、C、D、E 五区),分别被称为南海地震(A 和 B),东南海地震(C 和 D)和东海地震孕震区(E)。这些地震时而独来独往,交替发生,时而成双成对,同时现身,给西南日本沿海



1900 年以来 8 级以上强震随时间的分布 自 2004 年苏门答腊地震以来,地球正处于第二个强震期。



东日本俯冲带上的孕震体和 9 级超强地震断层 左上图为日本周边的板块构造分布,右下图为板块俯冲示意图。

造成了巨大灾难。1944年C区和D区同时地动山摇,爆发了8.2级的东南海地震。两年后的1946年,A区和B区再次爆发了8.3级的南海地震。而前一次的东南海地震(C和D区)和东海地震(E区)则携手并进,同时发生在1854年。由此可见,西南日本的5个孕震区也有可能同时破裂,爆发近9级的超强地震。这也许是从本次地震所得到的经验教训吧。

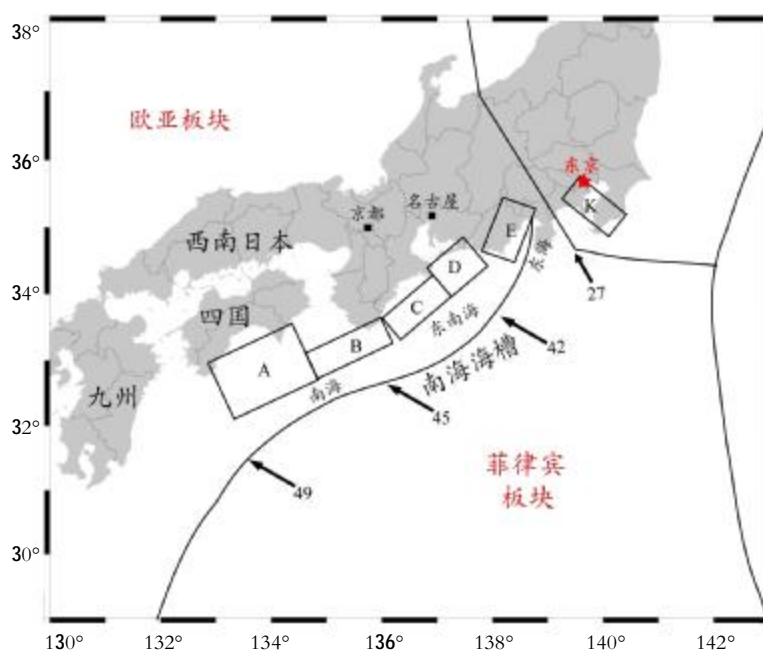
### 地震强度与板块厚薄的关系

如果说3月11日东日本超强地震的发生,虽属意外,但仍可以用现有的板块和地震理论来解释,那么有关中国大陆内的地震成因却一直是个难题。

中国大陆西部受到印度板块的长期挤压,东部地区受到太平洋板块俯冲的长期拉伸,形成了西高东低的地貌。长年累月的由挤压及拉伸所引起的应力积累,形成了许多的地震断裂带和频频发生的地震活动。20世纪以来,我国共发生6级以上地震近800次,遍布了除贵州、浙江两省和香港特别行政区以外所有的省、自治区和直辖市。地震的分布非常复杂,没有多少规律可循。同处平原的唐山和苏州,地震活动性非常不同,这个不同往往被解释为苏州没有处于强震带上。而强震带的识别主要是依据现在的地震活动性和历史地震资料。人类有纪录的历史只有两千多年,而地震重复间隔可达万年,因此历史上没发生地震,并不意味着将来强震不会发生。事实上,唐山和汶川地震并未发生在公认的高危险断层上。笔者最近的研究表明地震的活动性和中国大陆各地的板块厚度间存在着密切的相关性。地震主要发生板块厚度较薄因而较弱的地区。与具有非常薄板块的华北平原和渤海地区相比,苏州一带的板块厚度几乎是其1.5倍。笔者认为这才是造成两地地震活动性迥异的根本原因。

✍

[1] Papazachos B C, Papadimitriou E E, Karakaisis G F, et al. An Application of the Time-and Magnitude-Predictable Model for the Long-Term Predic-



西南日本俯冲带上孕震区的分布

西南日本俯冲带的地震纪录

地震时间 (年)	断层面 (南海)	间隔 (年)	断层面 (东南海)	间隔 (年)	断层面 (东海)	间隔 (年)	断层面 (关东)	间隔 (年)
684	A	B	?		?			
878							K	
887	A	B	203					
1096			C	D				
1099	A	B	212					
1293							K	415
1361	A	B	262					
1498	?	?	C	D	402	E		
1605	A	B		C	D	107		
1703							K	410
1707	A(12米)	B(8米)	102	C(8米)	D(8米)	102	E(4米)	209
1854				C(4米)	D(4米)	147	E(4米)	147
1854	A(6米)	B(4米)	147					
1923							K	220
1944				C(4米)	D(4米)	90		
1946	A(6米)	B(4米)	92					

tion of Strong Shallow Earthquakes in the Japan Area. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 1994(84):426-437.

[2] Ruff L, Kanamori H. Seismicity and the Subduction Process, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 1980(23):240-252.

[3] Suwa Y, Miura S, Hasegawa A, et al. Tachibana. Interplate coupling beneath NE Japan inferred from three-dimensional displacement field. *J. Geophys. Res.*, 2006 (111):B04402.

[4] Yamanaka Y, Kikuchi M. Asperity map along the subduction zone in northeastern Japan inferred from regional seismic data. *J. Geophys. Res.*, 2004(109):B07307.

关键词: 日本超强地震 地震活动性 板块