

# 西南日本中央剪切构造带晚第四纪以来位错特征与地震

向宏发<sup>1</sup>, 池田安隆<sup>2</sup>, 张晚霞<sup>1</sup>, 何宏林<sup>2</sup>

(1. 中国地震局地质研究所, 北京 100029; 2. 日本东京大学地理系, 东京 113)

**摘要:**野外考察和室内综合分析表明, 日本中央构造线的右旋位错自上新世以来一直延续至今. 资料表明, 晚更新世以来的平均位错速率达6.1 mm/a. 高滑动速率而近1 ka来无强破坏性地震发生的事实意味着该断裂现今可能处在蠕滑运动为主的相对稳滑状态. 断裂带结构简单、走向稳定、高角度而无横向断裂切割等特点有利于断裂的蠕滑运动.

**关键词:**地震; 位错; 第四纪; 中央构造线; 西南日本

**中图分类号:** P315; P534.63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(1999)04-0370-08

## 0 前言

中央构造线是一条与日本岛弧平行且呈右旋走滑运动的陆内活动断裂. 该断裂带是西南日本主要的走滑构造带, 也是全球范围内令地球科学家们十分瞩目的活动断裂带. 它之所以为人关注, 一是因为它是菲律宾海板块与欧亚板块俯冲作用下在日本陆内形成的主要转换断层<sup>[1]</sup>; 同时, 也许更为重要的是, 它是日本本土范围内强烈活动且滑动速度最高的一条活动断裂<sup>[2~5]</sup>. 然而, 近1 ka来, 沿该带无强破坏性地震的事实耐人寻味, 也更促使人们对该断裂带作深入研究和反复思考. 本文正是根据中日双方合作考察研究的一些资料对该断裂带晚第四纪以来的位错特征、滑动速度以及与地震的关系, 从另一个角度提出一些新的值得研究的问题.

## 1 中央剪切构造带的基本特征

西南日本的主要构造是中央构造线(MTL)及其相应的剪切构造体系. 中央构造线主体部分在四国境内, 向西南延伸可与九州境内的熊本、日奈川断裂相连, 往东北延伸过鸣门海峡, 经大阪南转向北东后与鱼系川-静岡构造线(ISTL)相交汇(图1).

中央剪切构造带是由中央构造线与日本内海北缘断裂所夹持的右旋剪切构造系. 该剪切构造带长达300 km, 宽约60 km, 总体走向80°左右. 在剪切带内有一系列为北东向断裂分割的内海盆地, 自西向东依次为伊予海盆、燧滩海盆、播磨海盆和大阪湾海盆<sup>[5]</sup>(图2). 这些海盆长轴均呈NNE~NE向, 可能与剪切带的右旋扭动有关.

收稿日期: 1999-02-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49672149)

作者简介: 向宏发(1942-), 男, 研究员, 主要从事地震地质、活动构造、地震中长期预测及工程地震等研究

由于中央构造带的右旋走滑运动,在北盘的前进方向上于京都-大阪一带形成NNW向逆断层,而于九州形成尾端近东西向的拉张型正断层,并伴有大量的沿近东西方向分布的火山活动(图2)。

作为中央剪切带南界断裂的中央构造线第四纪以来的明显活动和大规模右旋走滑运动已有诸多研究报道<sup>[1-2][4-6]</sup>。大多数研究者都认为,中央构造线第四纪以来的右旋走滑运动速率为5~10 mm/a。

我们沿中央构造线(图2)从东北向西南观察

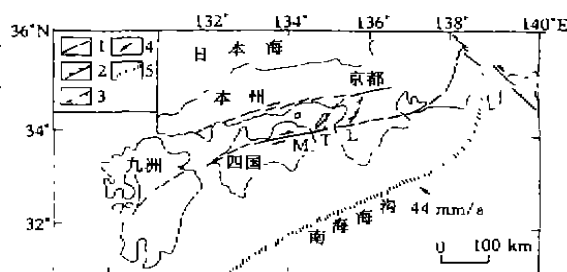


图1 西南日本断裂构造

Fig.1 Faults in the Southwestern Japan.

- 1 走滑断层; 2 逆断层; 3 正断层;  
4 板块运动方向与速率; 5 板块边界

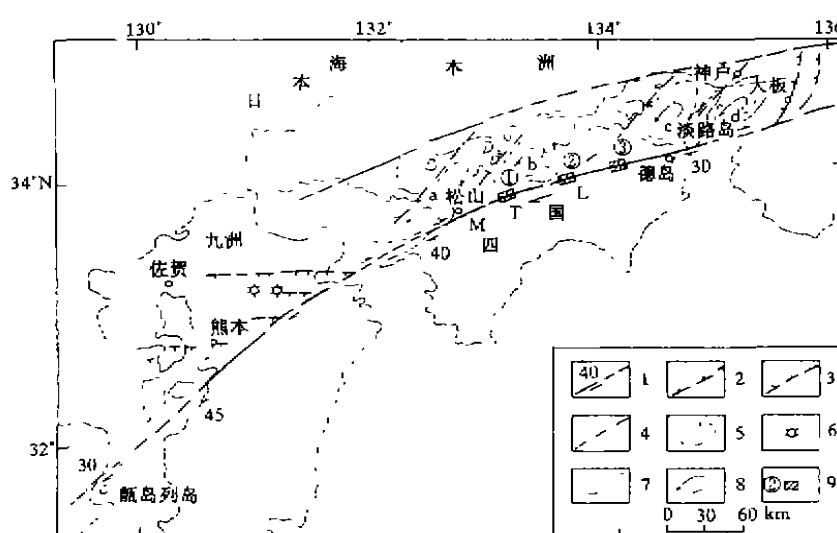


图2 西南日本断裂运动方式

Fig.2 Movement forms of faults in Southwestern Japan.

- 1 断裂走滑及位错量(km); 2 逆断层; 3 正断层; 4 推测海域断层;  
5 内海海盆(a,b,c,d依次为伊予海盆、濑户内海盆、播磨海盆和大阪湾海盆);  
6 火山; 7 500m等深线; 8 块体旋转方式; 9 重点研究区及编号

的,时间按7 000 ka计,得到中央构造线平均位错速率4.3~6.4 mm/a,中值为5.4 mm/a。位错速率虽比较粗略但与第四纪以来较为准确的5~8 mm/a的位错速率在量值上大致相当。这也许表明,中央构造线长时期以来的位错方式与滑移速率具有相对的稳定性。

## 2 第四纪以来的剪切位错量与位错速率

根据大比例尺(1/25 000)地形图的图面分析和更大比例尺的航片解释,结合野外实地考察,重点对四国地区中央构造线晚第四纪以来的位错特征作一分析。

四国地区的中央构造线断裂线性很好,连续性强,断面为高角度至直立状,一些地段由2条近于平行的断层组成断层谷地。现自西向东对四国境内的西条、伊予三岛和三野川(图2中的研究区①、②、③)等地点的断层位错特征记述如后。

### 2.1 西条市西坂元-西田地段(图2中①号区)

断裂两侧的陆地岸线形态时,即可发现,淡路岛东部岸线可与四国东部德岛以南岸线对应,右旋位错30 km;四国西海岸在松山南北,九州西海岸在熊本南北两侧均可对应,其右旋位错分别为40 km和45 km,在甕岛列岛西北~500 m等深线右旋位错约30 km。显然,上述大规模的右旋位错是中央构造线右旋位错运动开始以来的积累总位错。如果我们认为这一积累位错是西太平洋板块运动方向(由NNW向NW)转变期(中新世以后)<sup>[7]</sup>后产生



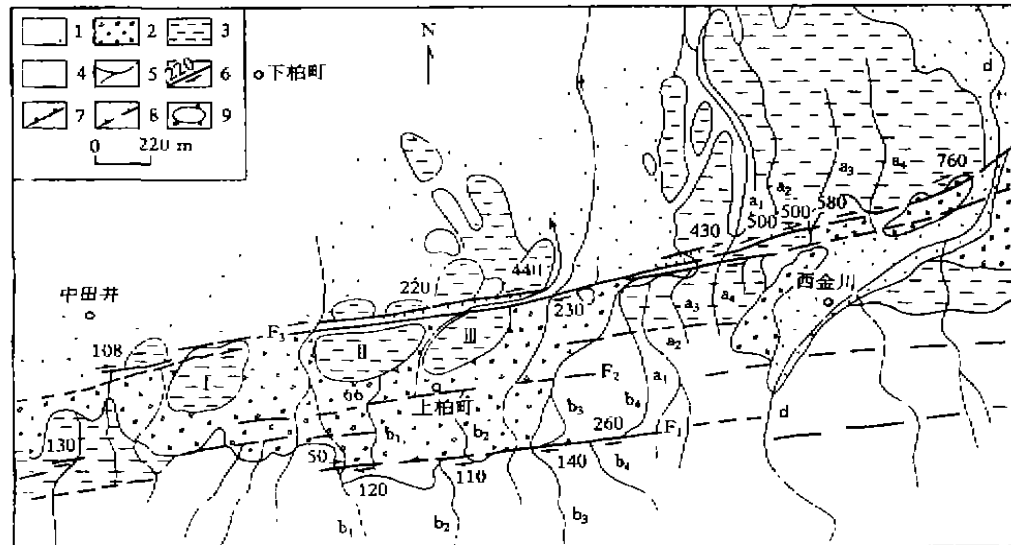


图4 伊予三岛市东南中田井-西金川地区断裂位错平面图

Fig. 4 Fault offset distribution along the Nakamishu-Nishikanagawa segment in the southeast of Iyomishima.

- 1 低位阶地; 2 高位阶地; 3 中低残山丘陵; 4 中高山区; 5 河流水系;  
6 走滑断层及位错量(m); 7 断层陡度; 8 正断层; 9 带内挤压剪切隆起

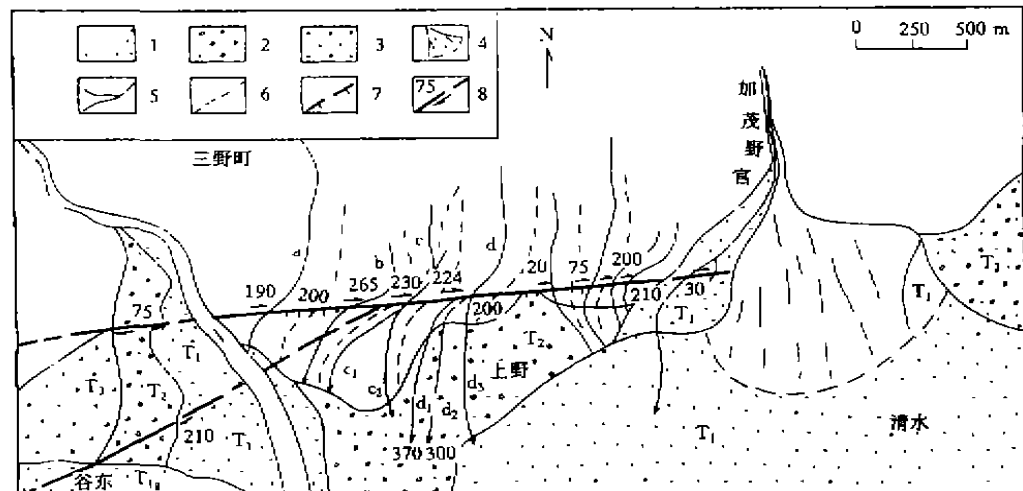


图5 德岛三野町谷东-上野地区断层位错平面图

Fig. 5 Fault offset distribution in Minoccho, Tokushima county

- 1~3 分别为I、II、III级阶地堆积; 4 洪积扇; 5 水系;  
6 山脊线; 7 正断层; 8 断层位错方式及位错量(m)

错. 这就表明, 20~30 m 的一级位错是区内最新一期位错, 这类短小水系发育在全新世以来的低阶地上.

## 2.4 断层位错量分类

从理论上讲, 不同尺度的断层位错应是不同时代的产物, 因而要分析断层位错量与时间的关系, 必须对断层位错量数据进行认真的量值分析和分类处理. 分类的原则应该遵循有足够样本和合理分布这2个原则. 据此, 我们首先作出了中央构造线上述3个地点的断层位错量分布

图(图 6).

图 6 给我们一种明显的信息是:沿中央构造线断层位错量从 20 m 到 600 m 几乎是连续分布的,即严格的阶段性不很明显,但可根据位移量点子的密疏程度划分出小于 50 m(多为 30~40 m)、100 m $\pm$ 、200 m $\pm$ 、300 m $\pm$  及 400~500 m 等 5 组.为了计算的方便,将区内所有位错量数据分地区按 5 个级别列入表 1 中.

图 6 和表 1 给出的断层位错量分级共有 5 类.野外调查和综合分析表明,这 5 组断层位错量实际上是与 3 类阶地的地质时代相关,即 A、B 类位错与 I 级阶地相关,C、D 类位错与 II 级阶地相关,E 类位错与 III 级阶地或时代更老的残积平台相关.因此,首先确定上述 3 级阶地的时代是研究各组位错发生时代的基础.

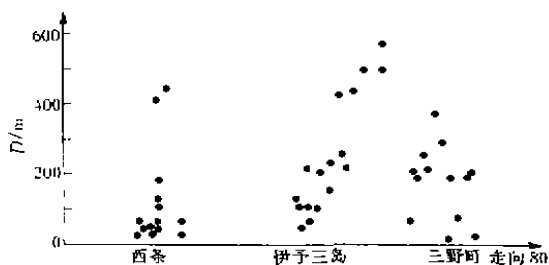


图 6 西南日本中央构造线断层晚第四纪位错量分布

Fig 6 Distribution of fault offset values along the Median Tectonic Line, Japan in late Quaternary.

表 1 日本四国地区中央构造线断层位错参数

| 分类 | 西条                     | 伊予三岛                           | 三野川                       | D/m | $T_s$                             | $T_f/\text{ka}$ | $v_D/(\text{mm} \cdot \text{a}^{-1})$ | $\bar{v}_D/(\text{mm} \cdot \text{a}^{-1})$ |
|----|------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----|-----------------------------------|-----------------|---------------------------------------|---------------------------------------------|
| A  | 23, 35, 46<br>34,      | 35,                            | 20, 30<br>28              | 32  | 切 $T_1$<br>( $Q_4^1$ )            | 5               | 6.2                                   |                                             |
| B  | 69, 69, 58<br>138, 115 | 108, 140                       | 75, 75                    | 72  | 切 $T_1$<br>( $Q_4^1$ )            | 10              | 7.2                                   |                                             |
| C  | 160, 200, 207          | 200, 222, 230                  | 190, 200, 200<br>210, 230 | 204 | 切 $T_2$<br>( $Q_3^1$ )            | 30              | 6.8                                   | 6.1                                         |
| D  | 290                    |                                | 265, 300, 370             | 306 | 切 $T_2$<br>( $Q_3^1$ )            | 60              | 5.1                                   |                                             |
| E  |                        | 430, 500, 500<br>580, 440, 760 |                           | 535 | 切 $T_3$<br>( $Q_2^1 \sim Q_3^1$ ) | 100             | 5.4                                   |                                             |

野外观察得知,区内的 I 级流水系发育 3 级阶地: $T_1$  拔河 3~5 m、 $T_2$  拔河 10 m $\pm$ 、 $T_3$  拔河约 20 m.其中 III 级阶地与山前主洪积扇堆积呈相互迭置关系.据野外初步观察与分布高程比较, I 级阶地可能为全新世阶地, II 级阶地可能为晚更新世阶地, III 级阶地时代更老一些.据日本学者山崎晴雄等(1995)在该地点附近开挖探槽揭露,高位砾石层(相当 I 级阶地堆积)的 $^{14}\text{C}$  年龄为距今 15~16 ka,下部含粘土砂砾层(相当  $T_2$  上部)的 $^{14}\text{C}$  年龄在 40 ka 以上<sup>[8]</sup>.另据日本学者通过阶地夹层中火山灰测年分析,初步得出  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  的年龄分别为 20 ka, 50~60 ka 和 100 ka<sup>[2][9]</sup>. 根据我们采样测试分析,伊那谷饭田市 I 级阶地下部地层的 TL 年龄为距今  $19.1 \pm 1.5$  ka,爱媛县高野川 III 级阶地中部地层的 TL 年龄为距今  $95.1 \pm 7.5$  ka. 上述资料表明,区内的 I 级阶地为全新世阶地, II 级阶地为晚更新世中期阶地, III 级阶地为中更新世末期-晚更新世早期阶地.因此,我们可以粗略地认为:与阶地  $T_1$  相关的水系位错为全新世以来位错,与  $T_2$  相关的水系位错为晚更新世以来的位错,与  $T_3$  相关的水系位错为中更新世末-晚更新世早期的位错.从计算的角度考虑,全新世按距今 10 ka,晚更新世按 100 ka 计.对于同样切错全新世阶地( $T_1$ )的断层位错,又分为较小位错和较大位错.小于 50 m 的位错为较小位错,其估计地质年代( $T_p$ )为全新世中期( $Q_4^1$ ),即表 1 中的 A 类位错;150 m  $> D \geq 50$  m 的位错为较大位错,其估计地质年代为全新世早期( $Q_4^1$ ).它们的计算年龄( $T_f$ )取值分别为 5 ka 和

10 ka(表1). 对于切错Ⅱ级阶地( $T_2$ )的位错, 同样按位错量大小分为C、D两类, C类位错量约在200 m左右( $D < 240$  m); D类位错为300 m±( $D > 250$  m). 它们的估计地质时代( $T_g$ )分别为晚更新世晚期( $Q_3^3$ )和中期( $Q_3^2$ ), 其计算年龄( $T_1$ )分别取30 ka和60 ka(表1). 切错Ⅲ级阶地的地质年龄为中更新世末-晚更新世早期, 计算年龄取100 ka.

按照上述年龄取值, 用位错量( $D$ )除以位错发生时间( $T$ )得到与A、B、C、D、E等5类位错量相关的断层平均位错速率( $v_D$ )分别为6.2、7.2、6.8、5.1和5.4 mm/a, 其均值( $\bar{v}_D$ )为6.1 mm/a(表1). 即中央构造线晚更新世以来的平均右旋位错速率介于5 mm/a和7 mm/a之间, 平均值约为6 mm/a. 这一速率与多数学者的研究结果也相一致<sup>[2][4-5]</sup>.

### 3 地质位错与地震位错的对比分析

日本学者近些年在研究中央构造线的断裂分段与古地震问题的过程中, 将四国地区中央构造线划分为12个几何段落, 得出自全新世以来, 中央构造线上存在着与5~8 m位错相当的古地震事件并认为这类地震的重复间隔为1~3 ka<sup>[5]</sup>. 但他们又指出, 在过去的1 ka间, 中央构造线没有破坏性强震的历史记录, 即整个断裂带“尚未破裂过”. 如果说中央构造线上探槽揭露出的古地震事件是“确信无疑”的, 那么在这样一个全新世以来滑动速率高达5~10 mm/a的A级活动断裂上为什么没有6级以上地震发生呢? 我们的推测是, 中央构造线现今处在以蠕滑运动为主的活动状态, 或更确切地说, 中央构造线积累的大部分位错是以缓慢的无震滑动的形式来完成的. 根据西南日本近100 a来的地震震中分布(图7), 四国境内的中央构造线长200 km、宽45 km的范围内, 无6级以上地震, 只有6次4.0~5.9级地震, 其余均为4级以下地震. 我们按Brune(1968)的公式<sup>[10]</sup>  $\sum \langle u \rangle = \frac{1}{WA_0} \sum M_0$ , 将6次4.0~5.9级地震按最大可能均以5.9级计, 该区段内100 a以来地震位错速率也仅为0.8 mm/a. 与前述中央构造线5~8 mm/a(均值6 mm/a)的平均地质位错速率相比较, 几乎相差一个数量级. 它明显地表现出, 中央构造线积累的位错至多仅有20%以地震位错的方式释放, 属于强蠕滑型活动断裂<sup>[11]</sup>.

中央构造线在几何结构上的极为简单的直线形态、陡立的断层面、旁侧无横向断裂切错阻挡以及带内多处见到长轴NNE~NE向的小型隆起等特征都十分有利于断层的整体性稳滑运动. 滑移“受阻”以致造成“闭锁”的可能性很小. 因此, 1 ka以来带内无6级以上破坏性地震及100 a以来5级以上地震也很少发生的事实绝非一种偶然现象, 而有可能正是中央构造线蠕滑运动为主的一种必然表现.

从图7我们注意到另外一种现象, 即在四国的西海岸(松山及

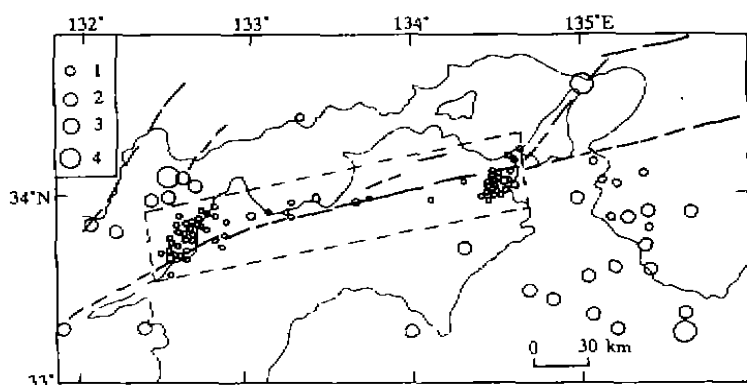


图7 西南日本地震震中分布(1885~1987)  
(虚线框内为1983~1995年 $M \geq 3$ 地震)

Fig. 7 Distribution of earthquakes in the Southwestern Japan from 1885 to 1987.

1  $3.0 \leq M \leq 3.9$ ; 2  $4.0 \leq M \leq 5.9$ ;  
3  $6.0 \leq M \leq 6.9$ ; 4  $7.0 \leq M \leq 7.9$

其西北)及东北角(德岛-淡路岛南方向)3级左右地震相对密集且呈NE向分布,它们可能预示着与中央构造线斜交的一组新的破裂正在形成之中.1995年12月神户7.2级地震正好发生在该弱震密集带的东北方向上,发震断层是NNE向的野岛断层.地震的余震区长达60 km,地表最大水平位移达2 m<sup>[12-13]</sup>.出乎人们预料的是,这次地震并非发生在中央构造线主干断裂上,而是发生在大阪湾海盆西侧的一个次级NNE向断裂上.这一7.2级地震的发生基本上沟通了神户至德岛间长约60 km的地震空缺地段.这一现象提示我们,注意那些与中央构造线斜交的NNE向新破裂带(这些NNE向破裂带是日本内海盆地地块反时针旋转的边界剪切带,比如伊予海盆与燧滩海盆间的剪切带等)比关注中央构造线本身更具有重要的地震预报意义.

#### 4 结论与讨论

根据以上分析,可有如下几点初步认识:

(1) 中央剪切构造带长300 km,宽60 km.其南北边界断裂的右旋错动及带内内海盆地地块的转动构成了西南日本活动构造的基本样式.

(2) 中央构造线自中新世末形成以来,累计右旋位错达40 km,晚更新世以来,仍持续这一右旋走滑运动形式.上新世以来和晚更新世以来断裂平均地质位错速率分别为5.4 mm/a和6.1 mm/a,这与H. Tsutsumi等在1991年和1996年提出的5~8 mm/a和5~10 mm/a的速率是吻合的,这意味着,西太平洋板块向西俯冲(速率44 mm/a)的绝大部分(77%以上)位错均被海沟的俯冲运动所吸收.

(3) 中央构造线是日本本土滑动速率最高的一条活动断裂,但近1 ka年以来,无破坏性地震发生,近100 a以来的地震图像也显示为活动性极小的弱震分布带.对于这一高滑动速率而无强震记录的事实可有2种解释:其一是大震重复间隔相当长,至今中央构造线仍处在地震的平静阶段,沿带揭露出一些古地震事件是这一推想的佐证;另一种可能是,中央构造线现今是一条以蠕滑运动为主,处在相对稳定滑动状态的活动断裂.中央构造线结构简单,走向稳定,高角度而无横向断裂切错,带内出现次级NNE向小型隆起等都有利于断裂的稳定滑动<sup>[14]</sup>.计算表明,100 a以来的平均地震位错速率( $v_s$ )与晚更新世以来长期地质滑动速率( $v_g$ )之比小于20%,按Q值大小,应属于强蠕滑型活动断裂.我们倾向于后一种认识.

(4) 中央构造线本身虽然处在蠕滑为主的活动状态,但其巨大规模的走滑运动有可能带动剪切带内次级内海陆块的旋转以及NNE向块间断裂的剪切错动.因此,从地震预报的角度看,注意中央构造线北侧NNE向新生断裂的存在及破裂位错尤为重要.1995年12月的神户大地震正是沿着大阪湾海盆块体的西界断裂——NNE向的野岛断裂发生的一次令人捉摸不透的地震破裂位错.我们从中长期预报的角度指出,伊予海盆与燧滩海盆间的NNE向剪切带是西南日本值得重视的一个潜在地震危险地带.

#### [参考文献]

- [1] Fitch T J. Plate convergence, transcurrent faults, and internal deformation adjacent to Southeast Asia and Western Pacific [J]. J. G. R., 1992, 77: 4432~4460.
- [2] Okada A. Quaternary faulting along the Median Tectonic Line of Southwest Japan, I: Median Tectonic Line of Southwest Japan (edited by Ichikawa K) [M]. Mem. Geol. Soc., Japan, 1980. 19~108.
- [3] Okada A, Sangawa A. Fault morphology and Quaternary faulting along the Median Tectonic Line in the southern part of the

- Izumi Range[J]. Geogr. Res. Japan, 1978, 51:385~405(in Japanese with English abstract)
- [4] Tsutsuni H, et al. Tinning and displacement of Holocene faulting on the Median Tectonic Line in central Shikoku, Southwest Japan[J]. J. Struct. Geol., 1991, 13:227~233.
- [5] Tsutsuni H, Okada A. Segmentation and Holocene surface faulting on the Median Tectonic Line, Southwest Japan[J]. J. G. R., 1996, 101:5855~5871
- [6] Research Group for Active Faults of Japan. The maps of active faults in Japan with an explanatory text[M]. Tokyo: Univ. of Tokyo Press, 1992
- [7] Uyeda S, Miyashiro A. Plate tectonics and the Japanese Islands: A synthesis[J]. Geol. Soc. Am. Bull., 1974, 85:1159~1170
- [8] 山崎晴雄, 佃荣吉, 奥村晃史, 等. 1988年8月中央构造线冈村断层(西条市八幡原区)のしこ掘調査[J]. 活断层研究(日文), 1995, 13:60~71
- [9] Ikeda Y, Yonekura N. Determination of late Quaternary rates of net slip on two major fault zones in Central Japan[J]. Bull. Geogr. Univ. Tokyo, 1986, 18:49~63
- [10] Brune J N. Seismic moment, seismicity and rate of slip along major fault zone[J]. J. G. R., 1968, 73:777~784.
- [11] 向宏发, 魏顺民, 张晚霞, 等. 中国大陆区一些主要活动断裂滑移方式的地质位错与地震位错对比研究[J]. 中国地震, 1996, 11:195~203
- [12] 尾高润一郎, 中田高, 後藤秀昭, 等. 1995年兵库县南部地震現れた地震断層の詳細図[J]. 活断层研究(日文), 1996, 14:80~106.
- [13] 林愛明, 宇田進一. 野島地震断層の南北末端の性状[J]. 活断层研究(日文), 1996, 14:70~79.
- [14] 向宏发, 魏顺民, 张晚霞, 等. 中国大陆区断层蠕动的若干地质形迹[J]. 地震学报, 1997, 19:93~98.

## OFFSET FEATURES AND EARTHQUAKES ON THE MEDIAN TECTONIC LINE IN SOUTHWESTERN JAPAN IN LATE QUATERNARY

XIANG Hong-fa<sup>1</sup>, Yasutaka Ikeda<sup>2</sup>, ZHANG Wan-xia<sup>1</sup>, HE Hong-lin<sup>2</sup>

(1. *Institute of Geology, CSB, Beijing 100029, China;*

2. *Tokyo University, Tokyo 113, Japan*)

### Abstract

By investigating, measuring and dating the offset streams in several typical segments in Shikoku, Japan, it is achieved that average offset rate of the Median Tectonic Line is 6.1 mm/yr. since the late Pleistocene. The facts that there is high slip rate, but no disastrous earthquake on the Median Tectonic Line in the recent 1 000 years show that it may be mainly in the period of creep movement. The major earthquake rupture in the future may happen in the joint area of the north side of Median Tectonic Line with the NNE-trending, newly-generated fault.

**Key words:** Earthquake; Dislocation; Quaternary; Median Tectonic Line; Southwestern Japan