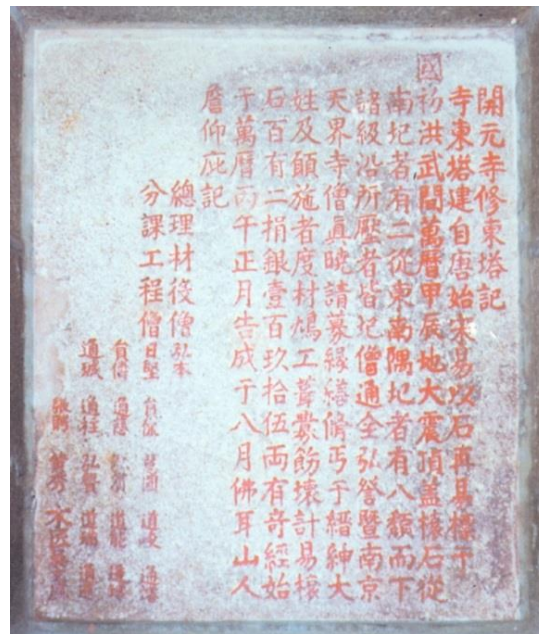


105年度連江縣災害防救深耕第2期計畫教育訓練

談長周期與馬祖附近之歷史大地震

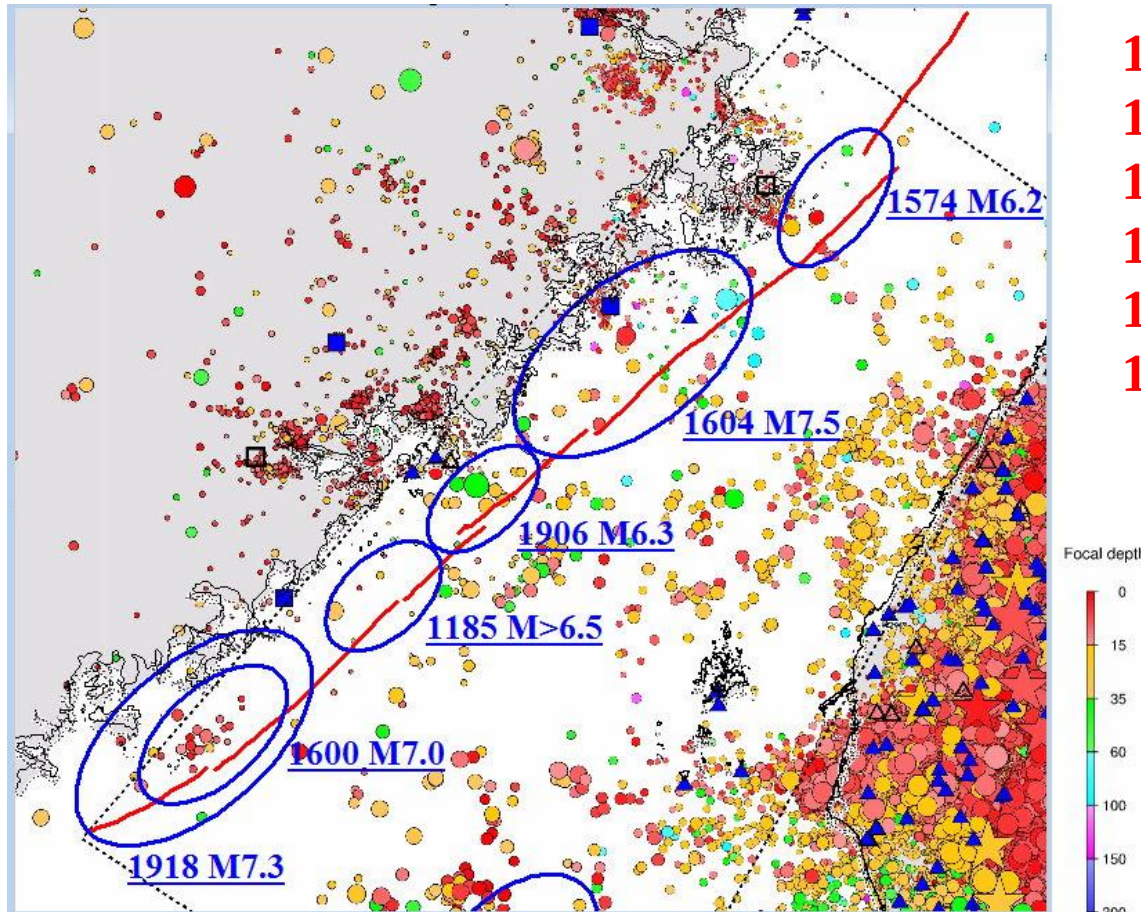


鄭世楠

健行科技大學應用空間資訊系/空間資訊與防災研究中心

地震活動背景

福建省強烈地震多發生在沿海地區，尤以福建泉州至廣東汕頭一線最為集中。歷史文獻資料限於陸地，不能反映地震影響全貌，很難客觀地推斷地震參數。

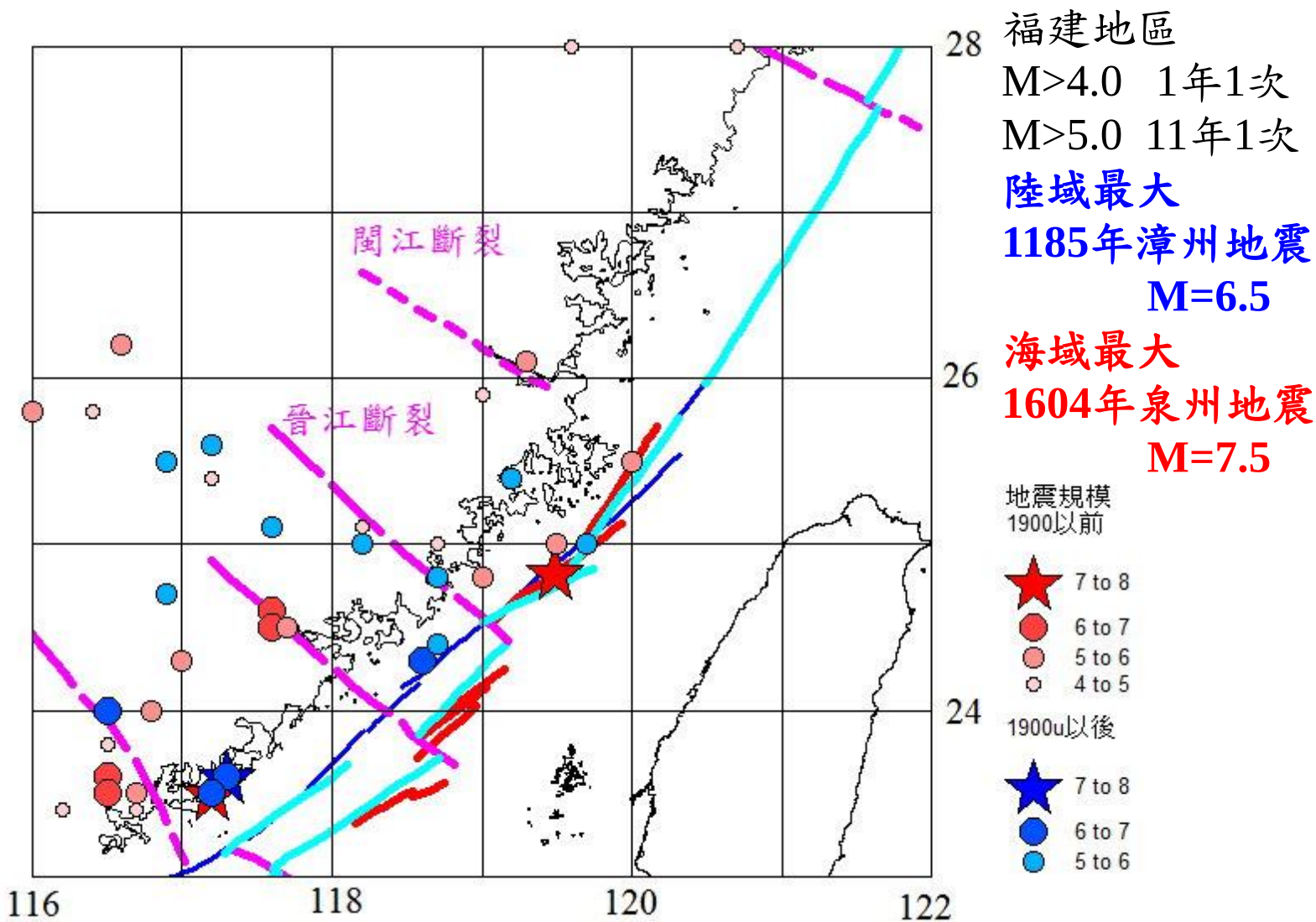


1185年 彰州地震M=6.5
1574年 莆田地震M=6.2
1600年南澳地震 M=7.0
1604年泉州地震 M=7.5
1906年廈門地震 M=6.3
1918年南澳地震 M=7.3

閩粵濱海斷裂帶為右移走滑—逆衝之性質，全長約500公里，約略位於福建沿海等深線50-60公尺處

北段自1604年泉州地震後至今，已有400多年未發生大地震

臺灣地震活動之震央分佈圖(1991年至2015年7月)



福建地區地震分布，紅色符號為1900年以前資料，
藍色符號為1900年以後規模大於等於5.0的地震

濱海斷裂帶分為南北二段

南段

1067/M=7.3

533 年

1600/M=6.7/7.0

318 年

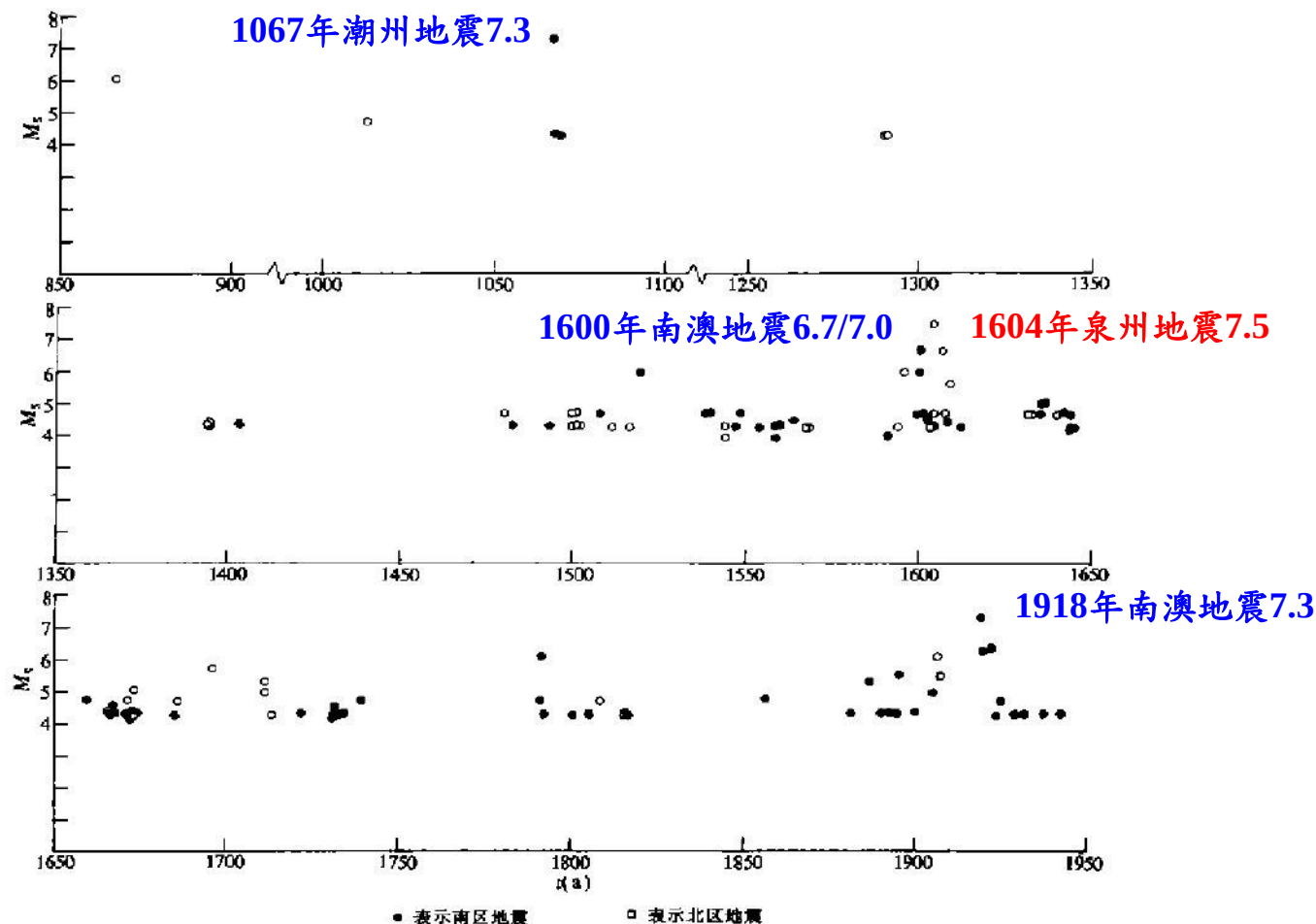
1918/M=7.3

北段

1604/M=7.5

412 年

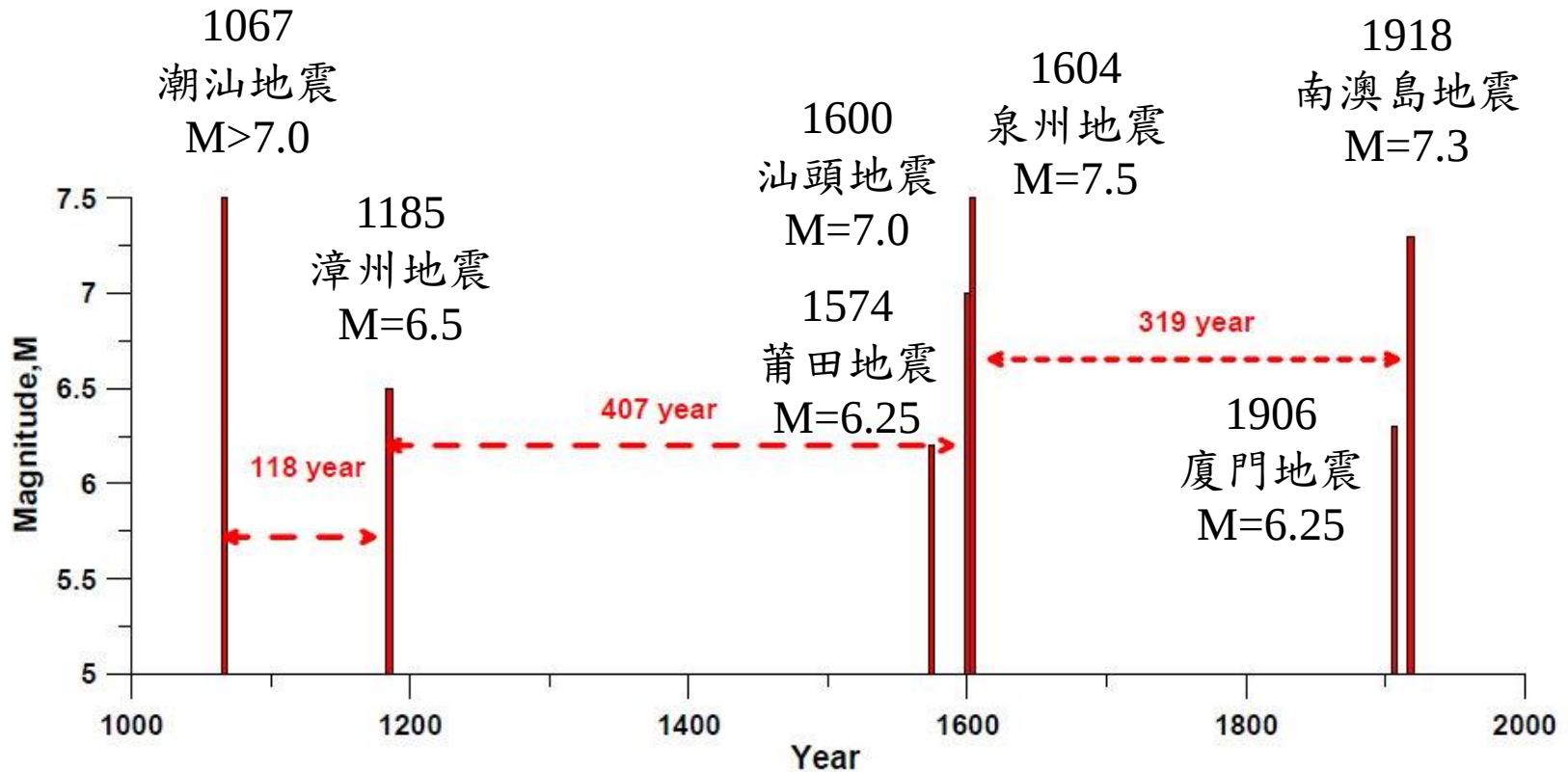
目前



福建外海歷史地震強度與時間序分布(謝毓壽, 1991)

濱海斷裂帶整段

張毓文等(2010)馬祖地區 475年回歸週期 PGA 0.087 g
2500年回歸週期 PGA 0.118 g



濱海斷裂帶待時間序特性(張毓文等, 2010)

1999(民國88)年9月21日集集大地震後，內政部營建署依最新強地震資料於1999(民國88)年12月修正建築技術規則耐震設計(內政部臺88內營字第8878473號文)，依**震區水平加速度係數劃分為地震甲區及地震乙區，其對應之加速度係數分別為0.33g及0.23g。**

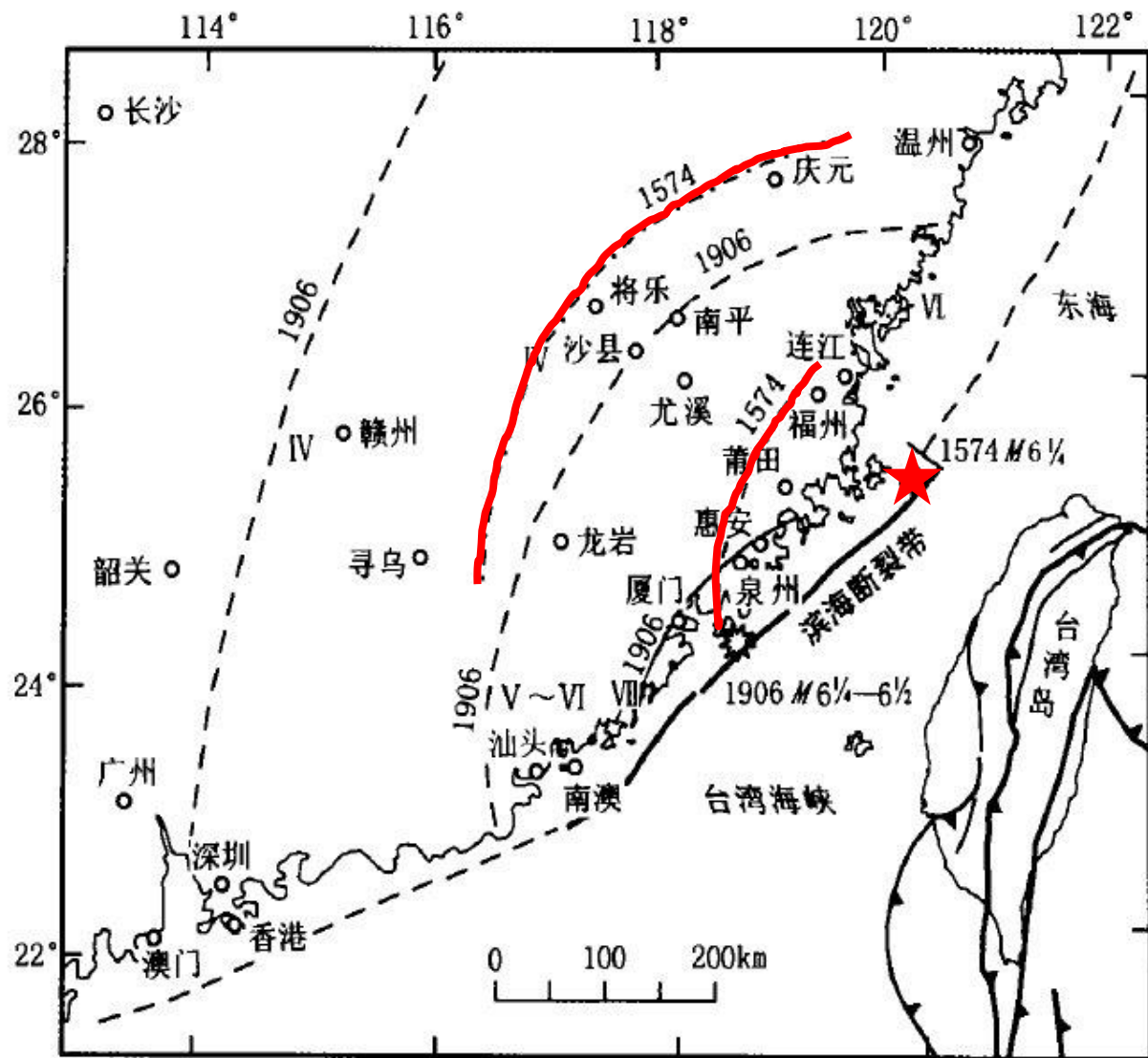
地震甲區：		地震乙區：	
宜蘭縣、新竹市、新竹縣、苗栗縣、臺中市、彰化縣、南投縣、雲林縣、嘉義市、嘉義縣、臺南市、花蓮縣、臺東縣。		基隆市、臺北市、新北市、桃園縣、高雄市、澎湖縣。	
高雄市	旗山區、那瑪夏區、六龜區、內門區、甲仙區、杉林區、美濃區、桃源區、茂林區。		
屏東縣	恆春鎮、九如鄉、內埔鄉、里港鄉、車城鄉、牡丹鄉、長治鄉、來義鄉、泰武鄉、高樹鄉、春日鄉、獅子鄉、瑪家鄉、萬巒鄉、滿洲鄉、霧臺鄉、鹽埔鄉、麟洛鄉、三地門鄉。	屏東縣	屏東市、東港鎮、竹田鄉、林邊鄉、佳冬鄉、枋山鄉、枋寮鄉、南州鄉、崁頂鄉、琉球鄉、新埤鄉、新園鄉、萬丹鄉、潮州鄉。

金門與馬祖不屬上述任一震區，但其水平加速度係數可取地震乙區。

內政部已於 94.12.21 臺內營字第 0940087319 號令修正「建築物耐震設計規範及解說」，並自2006(民國95)年 1 月 1 日生效。

1574年8月29日(明萬曆二年八月初四)地震

- **閩大記(王應山)/福建福州等府**：(萬曆)二年八月，空中有聲如雷，地大震，方山有巨石墜於田。聲從西北至東南而沒，諸郡皆然。地震最甚者，然亦無他應也。(方山即五虎山在閩侯縣境)
- **連江縣志/福建連江**：萬曆二年秋八月第大震有聲，起自西北，山石階隕，屋宇傾頽。
- **興化府志/莆田**：萬曆二年甲戌八月初四未時地震，從東南方起，至西北方止，聲大如雷，大小房屋搖動，溝水泛溢。
- **延平府志/南平市**：(萬曆)二年八月初四日地震，自未至申時皆有聲。
- **南平縣志/福建南平**：萬曆二年八月初四日地震有聲。
- **大田縣志/福建大田**：(萬曆二年)八月初四日地震，七縣皆同。
- **將樂縣志，延平府志/福建將樂**：(萬曆)二年八月地震。
- **尤溪縣志/福建尤溪**：萬曆二年八月初四日地大震，其聲如雷。
- **泉州府志，晉江縣志/泉州市**：(萬曆)二年八月四日地震，紫帽山裂。(紫帽山在泉州西南約七公里)
- **惠安縣志/福建惠安**：萬曆二年八月初四日地震
- **永春州志/福建永春**：萬曆二年二月大田大水。八月地震。



福建沿海1574年與1906年兩次地震破壞區和有感區的分佈比較(聞學澤和徐錫偉, 2005)

1574年8月29日 13:00-15:00(明萬曆二年八月初四日未時)有災害地震

CEDC, Lee et al.(1976),顧功敘(1983) **26.1N, 119.3E, M=5.75**

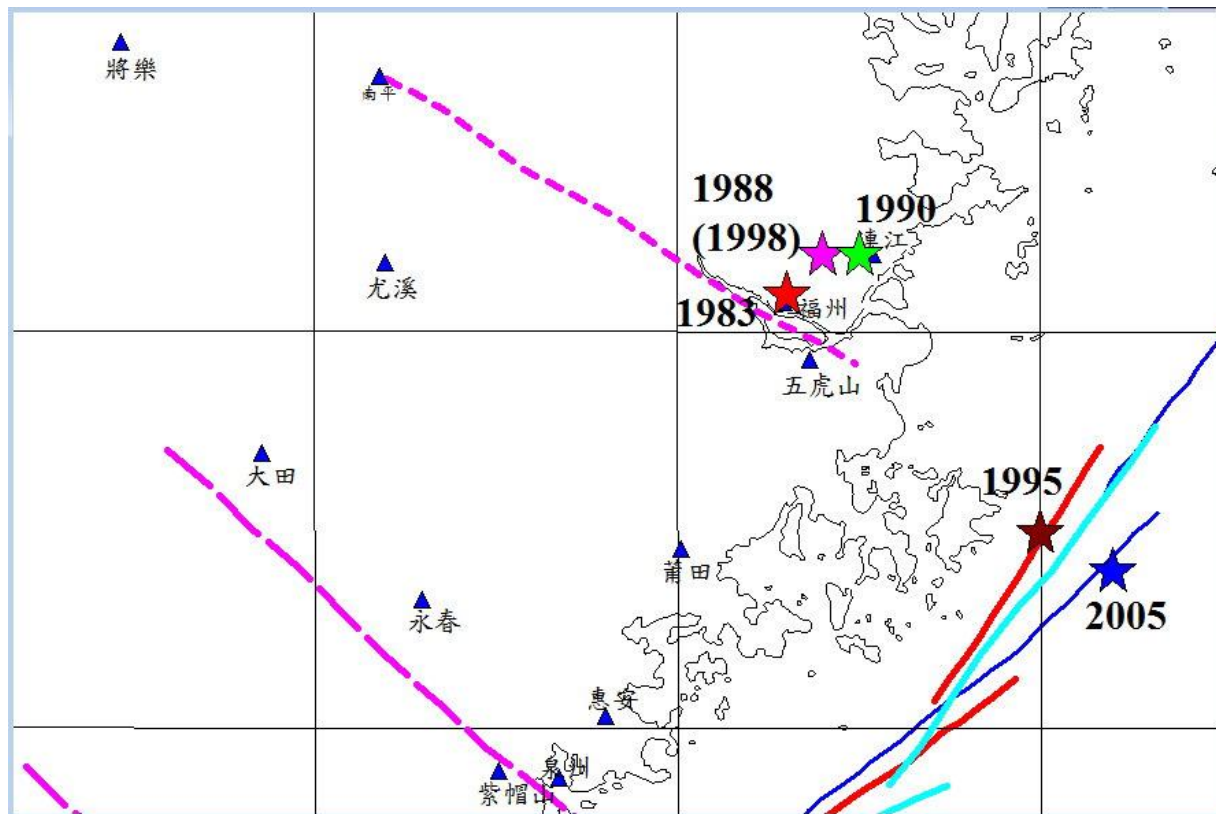
中國地震簡目(1988)福州連江間 **26.2N, 119.4E, M=5.75**

中國歷史地震圖集(1990)連江縣 **26.2N, 119.5E, M=5.5**

中國歷史強震目錄(1995)莆田東海 **25.5N, 120.0E, M=5.75**

袁定強和陳光桐(1998)建議移回1988年版的位置

聞學澤和徐錫偉(2005)福州莆田東海 **25.4N, 120.2E, M=6.25**



1604年泉州地震

1604年12月29日(明萬曆三十二年十月九日)，泉州以東海域發生規模7.5(8.0)的災害地震，是**東南沿海最大的一次地震**，古城泉州及鄰區遭受嚴重破壞。主震前一天即發生前震，29日夜發生大震，山石海水皆動；**泉州城內外樓房店鋪全都傾倒**；開元寺東塔頂蓋南部的椽石有兩條毀壞，東南角有8條毀壞；洛陽橋被破壞；多處出現地裂縫；在**清源山，裂開的地縫中還湧出砂、水，氣若硫磺**。泉州沿海覆舟甚多。**莆田城牆崩塌數處，城中高大建築多傾塌，鄉間房屋傾倒無數。田地皆裂，並冒黑砂還帶硫磺臭味，池水亦因地裂而乾涸**。漳浦南門外的田陷一穴，寬五丈餘，深約二丈，水湧出，中有黑砂泥。南安民居墜壞甚多。同安廬舍多有傾頽者。安溪山川崩裂。福甯大震時聽到如雷的響聲等等。由於地震發生在傍晚，所以閩南沿海大部分地區都有人畜傷亡。**福建、江西、浙江3省22個縣(市)記載了不同程度的震害**。此次地震破壞較重，分佈範圍廣，最遠距震中達220公里；有感範圍最遠達1000公里，**安徽、江蘇、上海、湖北、湖南、廣東和廣西等省區的124個縣均有記載**。

1604年泉州地震歷史文獻與檔案

官方版資料：

奏摺、明實錄、萬曆起居注等相關檔案資料均未見此事件的描述

明史(二十四史之一)祥異篇(專門記載地震、氣象等自然現象)找不到這次地震(欠缺人員傷亡、房屋損毀的統計數字、災後救災撫卹的資料)。

因當時政治因素而被「省略」，1600年南澳地震與1605年雷州半島大地震也都被「省略」(丁學仁等, 2005)。

地方版資料：(幾乎沒有傷亡的描述)

欠缺省級的記載：福建省志/大事紀中也未記載這次地震

只有府、縣和鎮級的記載：例如泉州府志、福建府志、漳浦縣志、海澄縣志、漳浦縣志、安海志等120多部地方志均有記載。

僅有興化府志(馬夢吉，萬曆四十一年刊本)(治莆田)有傷人的記載：

(萬曆)三十二年十一月初九日夜地大震，自南而北，樹木皆搖有聲，棲鴉皆驚飛，城崩數處，城中大廈幾傾，鄉間屋傾無數，有傷人者。洋尾厝地、下柯地、港利田地皆裂，中出黑沙作硫磺臭，池水皆因地裂而涸，故老謂地震以來未有如此之甚者也。初十日夜，地又震。俗傳連震十數夜。

泉州府志(楊思謙，萬曆四十年)，福建通志(金鉉，康熙二十三年)

萬曆三十二年十一月初八日地震，初九夜大震，自東北向西南。是夜連震十餘次，山石海水皆動，地震數處，郡城尤甚。開元東鎮國塔第一層尖石墜，第二層第三層扶欄因之並碎，城內外廬舍圯，覆舟甚多。

卷四/城池...萬曆三十二年十一月，地大震，樓鋪雉堞，傾圯殆盡，副使姚尚德，守臺志禮請帑金修復。

卷二四/開元寺：...萬曆三十二年地震，東塔頂蓋石角折，邑人侍郎詹公仰庇鳩財自修之。

安海志(佚名，康熙間舊鈔本)(今福建晉江安海鎮)

萬曆三十二年甲辰二月，黑光磨蕩。十一月間，自初二地震，至初九夜戌時大震，聲如雷，震動如下急灘之舟，如登巔風之樹，人俱覆墜，未敢必其命。泉城開元塔石墜一邊，清源山及南安地裂，湧出沙水，氣若硫磺，地裂沙湧，說處尚多，從古未有，半年方息。

福建府志(喻政，萬曆四十一年刊本)(今福州)

(萬曆)三十二年十一月初九日，地大震有聲。時方夜，動搖不止，屋若將傾，人爭掠避，牆垣多頽塌，江浙之震皆然。

大陸地區歷史文獻與檔案

個人記載：

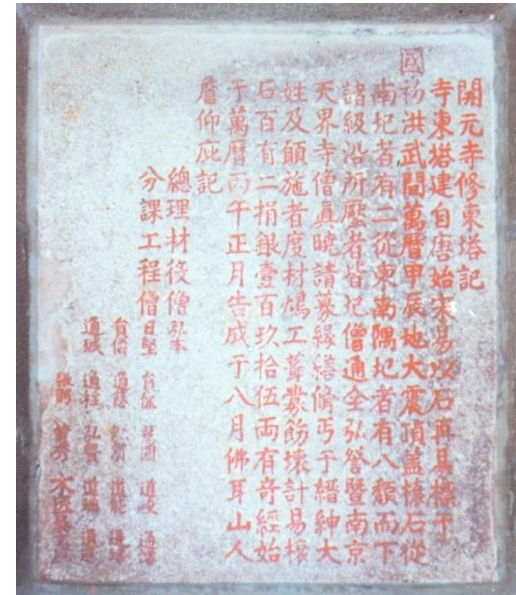
例如陳繼疇(地震詩)、王肯堂(郁岡齋筆塵)、孫之騷(二申野錄)、李光縉(景璧集)

廟誌石碑：

例如文筆山石刻、開元寺修東塔記、泉州開元寺志、重修洛陽橋碑、重脩清淨寺碑記(皆在重災區)

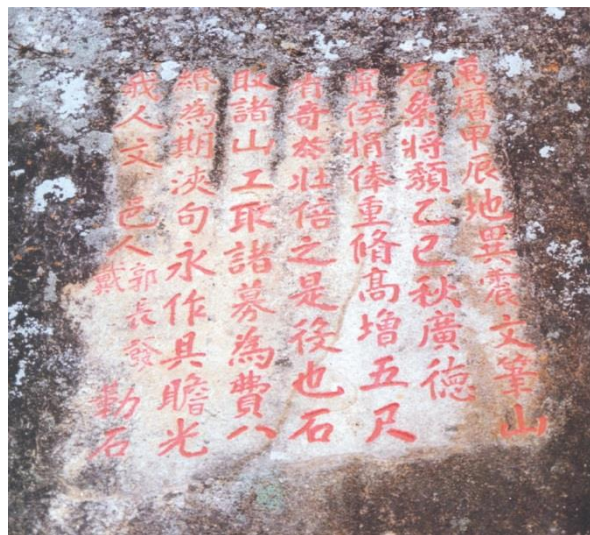


福建泉州重修洛陽橋碑
明萬曆三十七年十月姜志禮撰
(李書勤和蔣克訓, 1999)

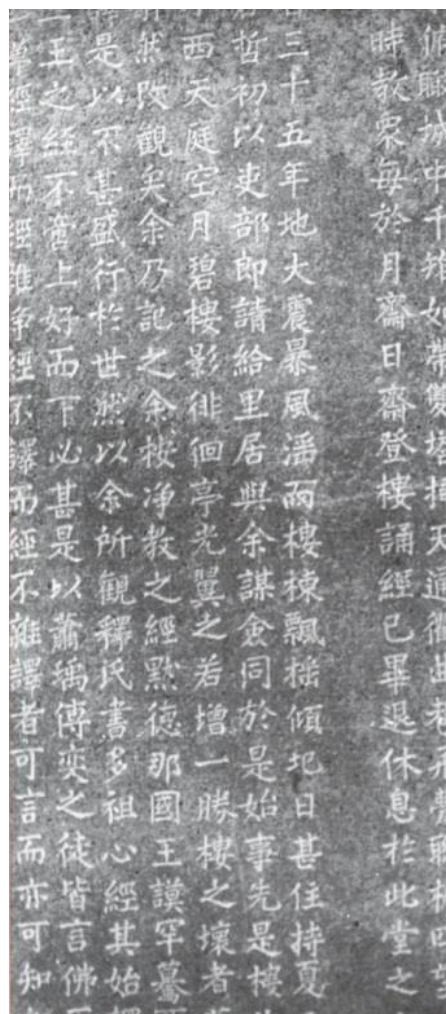


福建泉州市開元寺修東塔記
明萬曆三十四年八月佛耳山人撰
(李書勤和蔣克訓, 1999)

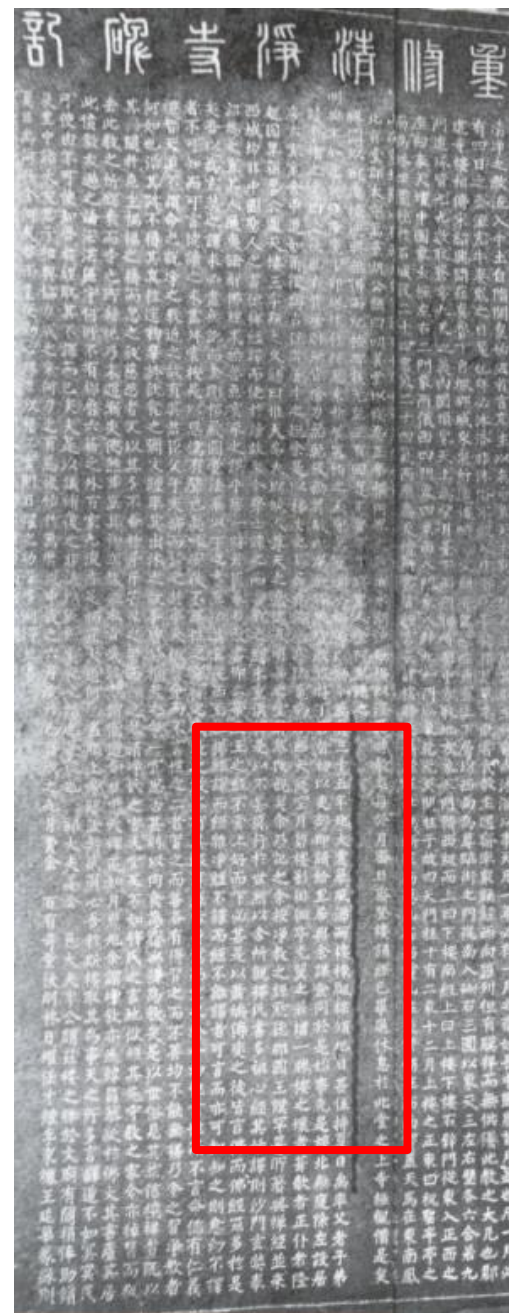
廟誌石碑



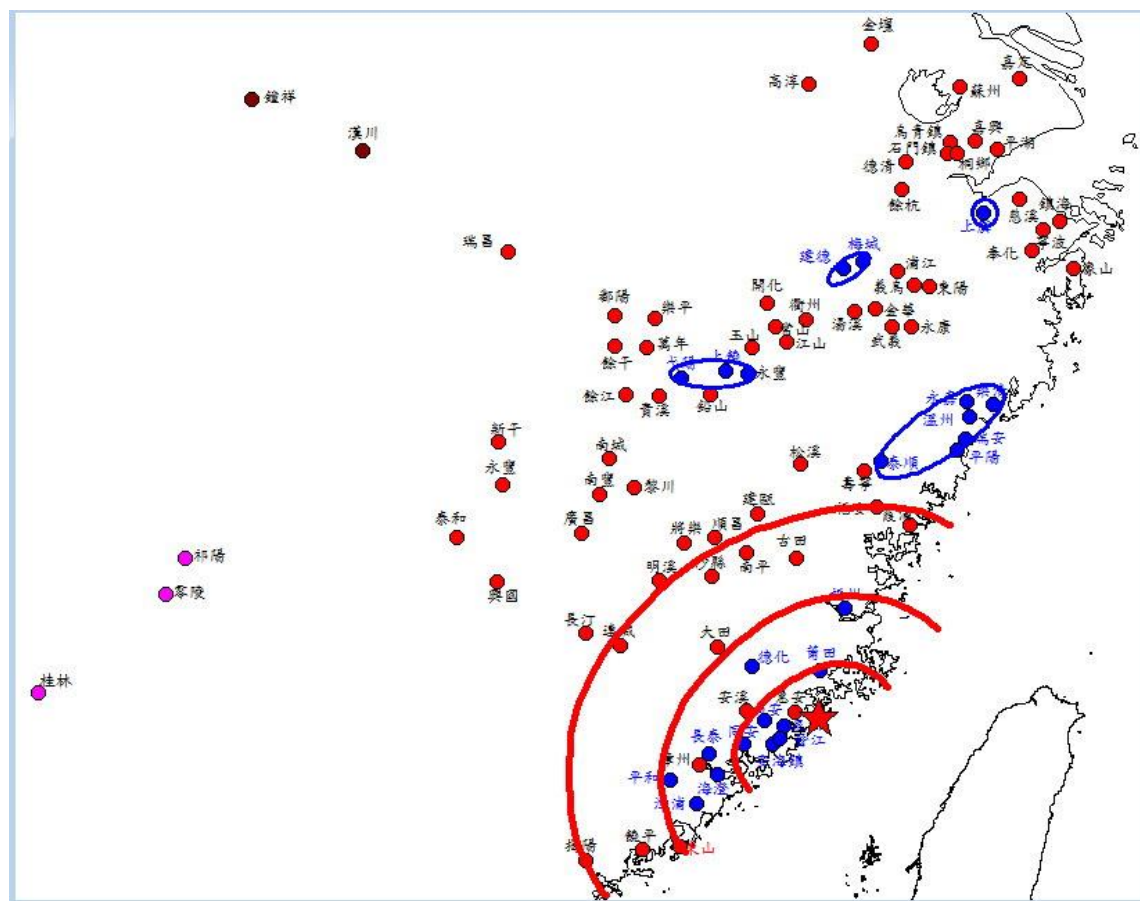
福建泉州市惠安文筆山石刻
明萬曆年間郭長發撰
(李書勤和蔣克訓, 1999)



福建泉州清淨寺重脩清淨寺碑記
明萬曆三十七年九月李光縉撰
(李書勤和蔣克訓, 1999)



爭議地點：湖北漢川、鍾祥(僅記萬曆三十二年地震)；廣西桂林(萬曆三十二年十一月地震，謝毓壽(1991)認為是三十三年十一月之誤，1605年南海瓊州地震的餘震)、零陵、祁陽(僅記萬曆三十二年地震)朱書俊和徐映深(1990)認為湖北不是此地震，而廣西是此地震造成。



異常震度地區

- 1度 無感(僅儀器能記錄到)
- 2度 微有感
- 3度 少有感
- 4度 多有感
- 5度 驚醒(22-44 cm/sec²)
- 6度 驚慌(45-89 cm/sec²)(有災害)
- 7度 房屋損壞(90-177 cm/sec²)
- 8度 建築物破壞
(178-353 cm/sec²)
- 9度 建築物普遍破壞
(354-707 cm/sec²)
- 10度 建築物普遍摧毀
(708-1414 cm/sec²)

根據謝毓壽(1991)資料重繪(高烈度區範圍與6度區不成比例)

泉州府(今晉江地區)至興化府(今莆田地區)受災最重。

泉州城內外(9)樓房店鋪全都傾倒；開元寺東塔毀壞；洛陽橋被破壞；多處出現地裂縫；清源山地裂湧出砂水，氣若硫磺。



莆田(8)、南安(9)、同安(8)等地城牆崩塌，城樓、垛堞傾圮，城鄉房屋倒毀無數，平地裂縫，湧出黑沙水。

安溪(7)山川崩裂

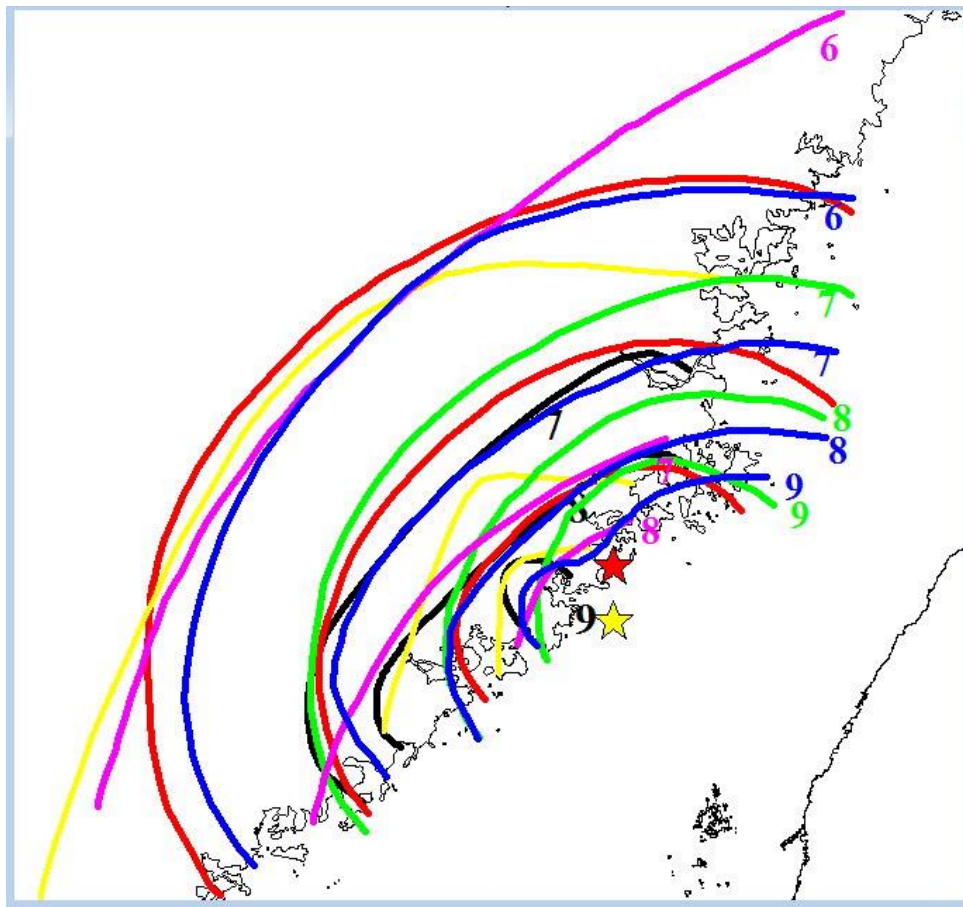
漳浦(8)民房倒塌很多，興教寺金剛像損壞，忠節坊、仙雲坊墜落，南城門外田中陷一大穴，湧出黑沙水。

福州(7)地大震有聲。時方夜，動搖不止，屋若將傾，人爭掠避，牆垣多頽塌，

惠安有感(初八日、初九兩日連震)
平潭海岸沉降(平潭縣志/百度)

根據謝毓壽(1991)資料繪製 賈素娟(1994)泉州震度9修正為8(178-353 cm/sec²)

歷史資料難望齊全，敘述常較簡略，措詞也多籠統。判據不夠明確，加上主觀因素，造成眾多不同版本的等震度圖。由於海域無法圈出極震區範圍，陸地資料又相對較少，故震央位置只能大約估計。



李善邦主編，1960，中國地震目錄(第一集)大地震目錄。

國家地震局全國地震裂度區劃編圖組匯編，1979，中國地震等烈度線圖集。

國家地震局地球物理研究所和復旦大學中國歷史地理研究所編輯，1986，中國歷史地震圖集(明時期)。

郭增建和馬宗晉主編，1988，中國特大地震研究(一)。

謝毓壽，1991，閩粵海外的歷史地震活動。

國家地震局震害防禦司，1995，中國歷史強震目錄。

最大差異：震度9的區域與震度6的等值線

地震發震時間：故採19:00-21:00間(71.4%)

萬曆三十二年甲辰冬十一月初九日(1604年12月29日)

由於歷史時期計時粗略，有的文獻僅記載年、有的記載季(春、夏、秋、冬)、有的記載月、有的記載到日，僅有少數有記載時辰，故一般時間只給到日(謝毓壽, 1991)。

在這些歷史文件中有28筆記載時辰：(共有120多部地方志)

申酉時(15:00-19:00) 1筆

歸化縣志

酉時(17:00-19:00) 5筆

延平府志，沙縣志、康熙歸化縣志、同安縣志、平和縣志

戌時(19:00-21:00) 20筆

高淳縣志、貴溪縣志、興國縣志、餘杭縣志、嚴州府、建德縣志、崇德縣志、康熙石門縣志、衢州府志、二申野錄、開化縣志、溫州府志、永嘉縣志、延平府志、大田縣志、延平府志、將樂縣志、漳浦縣志、銅山志、安海志。

亥時(21:00-23:00) 2筆

陳繼疇(地震詩)，上虞縣志(方二更，剛剛過21:00)

大肚王國(????-1732)



1624年荷蘭入台前，當時已有王國，**拍瀑拉**平埔族(沙鹿、龍井、清水、大肚)為首，大肚溪與大甲溪間都是這個王國的範圍，首都**大甲社**(大肚王國)。

荷蘭人稱 Keizer van Middag
原住民稱為 Lelien (白晝之王或太陽王)

1661年大肚社之役

1670年沙轆社之役(僅剩6人)

1731年大甲西社番亂

1732年逃至埔里，遂告瓦解

「沈有容諭退紅毛番韋麻郎等」石碑，荷蘭韋麻郎司令1604年6月由澳門轉往澎湖，明朝沈有容都司兵船50艘11月18日抵馬公市，韋麻郎12月15日離開澎湖(29日地震)，轉往台灣。

大肚王之役—1661年7月鄭成功部隊約有1500名士兵被大肚番**阿德克故浪**(A Tek Kaujong)殺死，鄭成功派黃安、陳瑞二鎮征討，以伏擊戰術斬殺阿德克故浪。

新竹記錄到異常的海水變化？

吳祚任等(2015)以海嘯源強度分析法分析1604年泉州地震及探討其對臺灣西部沿海之影響(104天氣分析研討會)：

馬國鳳(2006)提到台灣新竹(Hsinchu)於1604年記錄到異常之海水變化，但其浪高僅20至30公分，未造成任何災害。

<http://bluelove1968.pixnet.net/blog/post/222276820-%E5%8F%B0%E7%81%A3%E6%9C%83%E4%B8%8D%E6%9C%83%E7%99%BC%E7%94%9F%E5%A4%A7%E6%B5%B7%E5%98%AF%EF%BC%9F>

台灣會有海嘯嗎？轉載(作者/馬國鳳/科學人/48期/2006年3月)

...根據目前的研究得知，1604年泉州規模8的大地震，在新竹觀測到有海浪變化的紀錄；...

科學發展，2006年1月，397期，40-45

蒼海一嘯：從南亞海嘯談起

演講人：馬國鳳，文字整理：張志玲

(科技部/科技大觀園/蒼海一嘯-從南亞海嘯談起)

「...1604年泉州發生規模8.0的大地震，研究者在新竹站的文獻中就找到海浪變化的紀錄，雖然當時的浪高未達20~30公尺，但可以證實當時確曾收到一些訊號。...」

歷史地震震源參數推估

震央位置：(建立在等震度分布圖)

震央位置(N, E) 係以作圖法求極震區的幾何重心，發生在海域的泉州地震，因資料缺乏，只能給出大致的震央範圍。結合餘震和現今地震的密處帶，可能的發震構造進一步確定震央位置

震源深度：(建立在等震度分布圖)

震源深度(h)以震度遞降係數，採用量板法和作圖法求得或是主觀的評估

地震規模：(建立在等震度分布圖)

應用影響範圍與規模關係經驗式推估

$$M = 2.72 \lg R_{IV} - 0.4 \quad (\text{有感地震下修為震度2})$$

應用規模與震度衰減經驗式推估

$$I = a + b * M - c \ln (D + D_0) \quad (\text{點震源的觀念，長、短軸})$$

I為震度，M為規模，D震央距，a, b, c, D_0 為常數，一般採用最小二乘法，變換常數 D_0 進行回歸統計分析，沿長、短軸方向衰減符合客觀規律的統計結果。

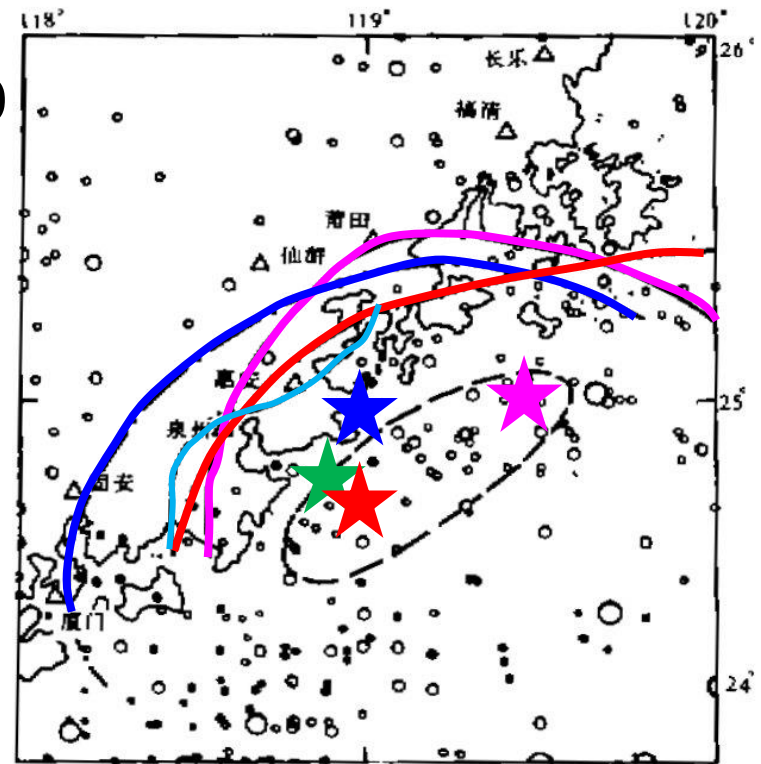
資料來源	震央位置		震源深度	地震規模	備註
	北緯	東經			
李善邦(1960)	25.0	119.0		8.0	
中央地震工作小組辦公室(1971) Lee et al.(1976)、福建省地震歷史資料組(1979)、國家地震局地質研究所(1979)、中國地震簡目彙編組(1986)	25.0	119.5		8.0	
吳德容等(1980) 張尚識(1981)	25.0	119.5	30	8.0	估斷層面
吳維燦(1980) 吳維燦等(1988)	24.8	118.9		7.5	估斷層面
顧功敘(1983)	25.0	119.5	25	8.0	
鄭世楠和葉永田(1989)	25.0	119.5		M _L =8.0	
朱書俊和徐映深(1990)	25.0	119.5		7.4	
謝毓壽(1991)			15	M _S =7.5	
1994年昆明歷史地震研討會 中國地震局烈度評審委員會				7.5	福建核電廠興建期
賈素娟(1994) 國家地震局災害防禦司(1995)	24.7	119.0		7.5	
袁定強和陳光桐(1998)	24.6	119.1		7.5	
黃昭等(2006) 黃昭和王善雄(2006)	24.6	119.1	20	8.0 M _S =7.75	面震源 海嘯模擬
鄭世楠等(2011)	25.0	119.5	25	M _W =7.9 M _L =7.5	估斷層面
劉中良和丁海平(2011)			25	M _W =7.5	面震源 海嘯模擬

- **李善邦(1960) $M=8.0$**
- **吳維燦(1980) $M=7.5$** 謝毓壽(1991) $M=7.5$ (泉州震度9)
- **1994年昆明歷史地震研討會**，後來**中國地震局烈度評審委員會**
- **興建福建福清核電廠「工程場地地震安全性評價工作規範」「核電廠安全導則」** **賈素娟(1994)**整理1604年泉州大地震的有關資料
確定為 $M=7.5$

泉州震度 IX $\rightarrow$ VIII(178-353 cm/sec²)
規模改為7.5，等震線中的VIII—IX度也
應改為VIII度才恰當。因資料缺乏只能
給一個大致的震央範圍，因具體計算
需要一個震央位置：**24.7°N, 119.0°E**
(國家地震局災害防禦司, 1995)

但陳晨(2005)/地震、許振棟(2006)/大地測量與地球動力學、黃昭和王善雄(2006)/大地測量與地球動力學、國家地震科學數據共享中心/中國歷史地震目錄仍使用 **$M=8.0$**

核電廠：惠安 $\rightarrow$ 福清



1973-1993.08 $M \geq 2.0$ 震央分布
(賈素娟, 1994)

震源深度

吳德容等(1980) 張尚識(1981)

震源深度30 km(大於地殼厚度)

顧功敘(1983) 震源深度25 km

謝毓壽(1991) 震源深度15 km ✓

假定震央在斷裂距震害最重地點最近的地段，應用規模與震央震度和震源深度關係推算

黃昭等(2006)、黃昭和王善雄(2006)震源深度20 km(參考1994年地震深度)，斷層長度約 100 km，震源面積 $3.14 \times 10^3 \text{ km}^2$ (橢圓形，短軸20km) (大於地殼厚度)

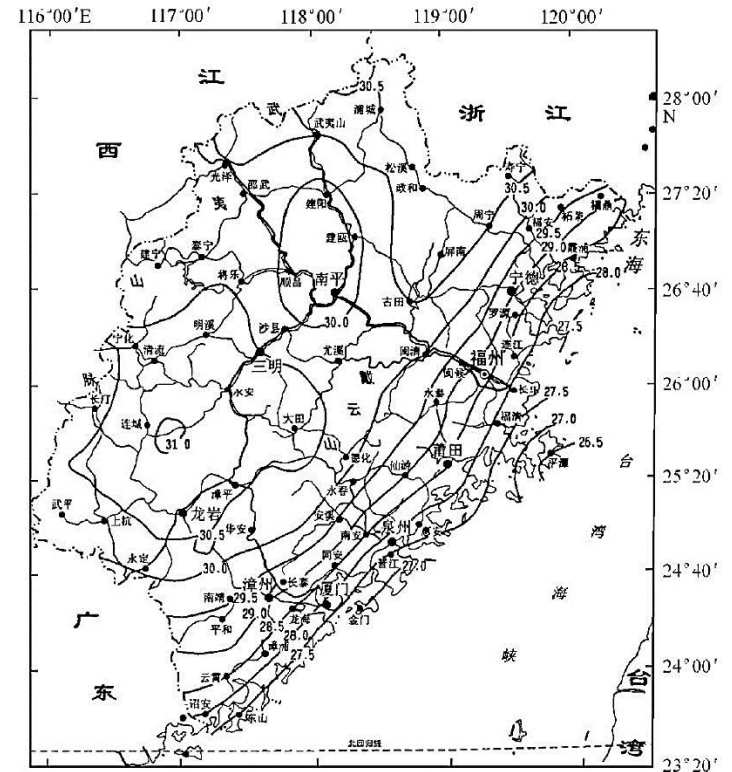
劉中良和丁海平(2011)震源深度25km

面震源: 98 km x 25 km(未出露地表)

$$\log(\text{RLD}) = -2.44 + 0.59 M_W \quad (\text{all})$$

$$\log(\text{RW}) = -1.01 + 0.32 M_W \quad (\text{all})$$

設定 $M_W=7.5 \rightarrow$ 斷層長 98km(96.6), 寬 25km (24.5)，採圓周破裂模擬加速度 (大於地殼厚度)



福建地殼厚度分布圖

陳祥熊等(2005)地震到時、震測、重力、地震資料反演：地殼厚度從福建內陸約31 km 到沿海27 km

柯龍生(1994)泉—汕速度模型29km
陳祥熊等(2005)福建—台灣 29 km

國家地震局地球物理研究所等，1994，福建省惠安山前核電廠廠址地震詳細調查及其安全性評價報告。

泉州府志載有“初九夜大震，……，城內外廬舍圯，山石海水皆動，覆舟甚多，清源山等地裂多處”，而在鄰近的沿海地區，如惠安縣誌、晉江縣誌、廈門縣志、同安縣誌和莆田縣誌裡均無相關的海嘯現象記載。截至目前為止，尚未發現一處文獻提到這次地震近海或海岸有明顯的海嘯異常現象。

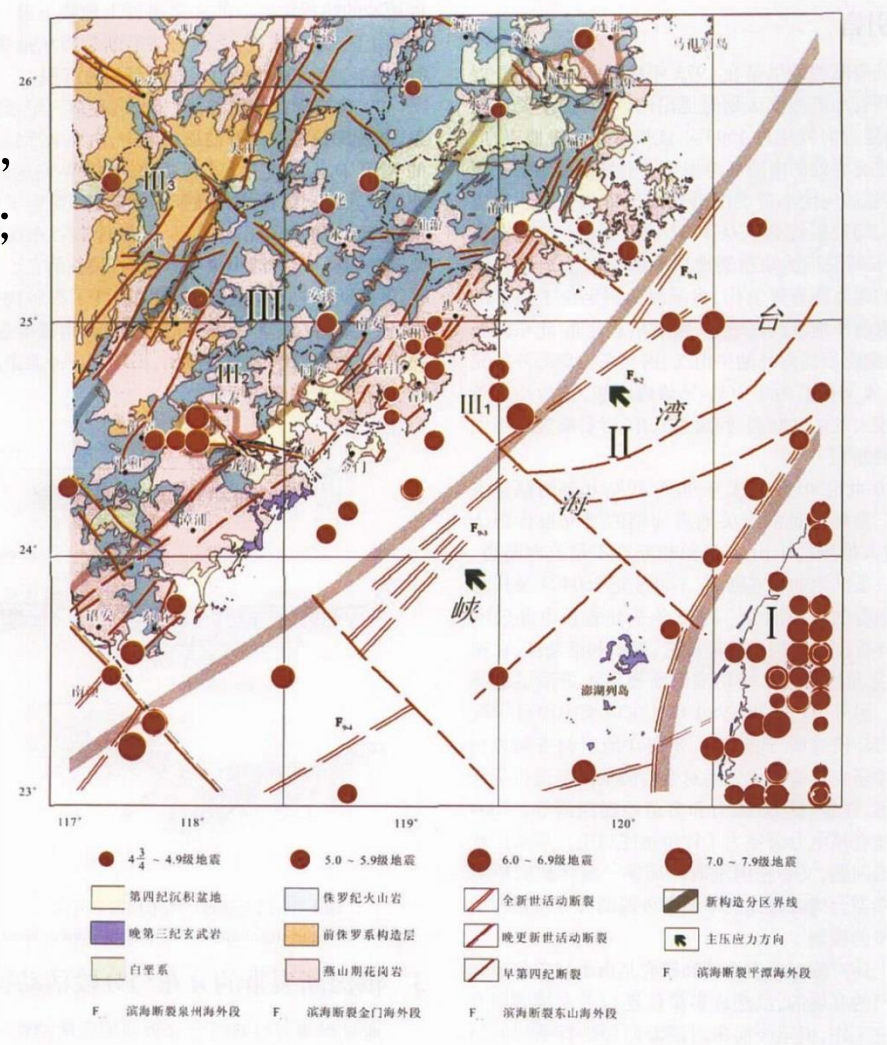
至於史料中“山石海水皆動”和“覆舟甚多”的記錄，可以解釋為由於近場地震動在泉州灣表現出的強烈地面運動，灣內水的深度較淺，局部海面受到異常擾動，海水晃動劇烈，造成較多泊在港灣內的小型船隻翻覆，前人也將這種海平面上的急劇變動稱作海溢。

通過福建惠安山前核電廠廠址的地震詳細調查以及根據最新地震勘探資料對濱海斷裂位置重新確定的結果表明，**1604年泉州海外8級大地震的發震斷裂應定在濱海斷裂，震中位於斷裂南端與這次地震高烈度區短軸的交點。**

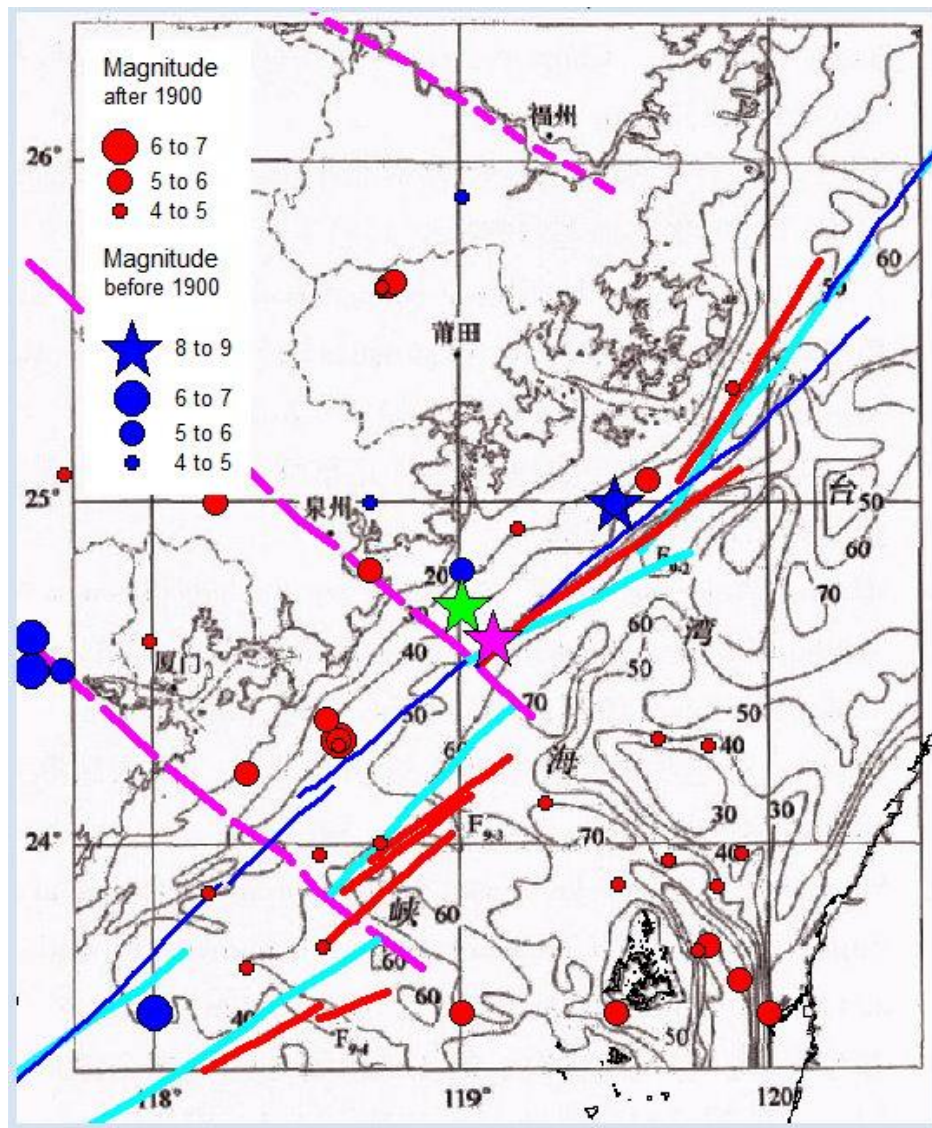
震源與發震機構

- 地震發生在長樂—詔安斷裂帶東約50 km的**牛山島—兄弟嶼斷裂**，也稱其為濱海斷裂(丁祥煥, 1999；朱金芳等, 2004；陳晨, 2005；許振棟, 2006；李小邨, 2007)。
- 福建省核電廠選擇廠址的關地震問題的研究報告：**牛山島—兄弟嶼斷裂是推測的基底斷裂(不是濱海斷裂)**，不可能是1604泉州海外大地震的發震斷裂。

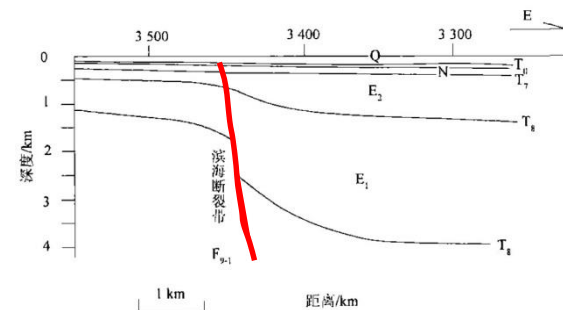
黃昭和 王善雄(2006)濱海斷裂帶總長500 km，大體上沿等深線50~60 m，呈NNE-NE向展布(位於牛山島—烏坵嶼—兄弟嶼—一線東側)，被北西向斷裂分割成：**平潭海外段**、**泉州海外段**、**金門海外段**和**東山海外段**。



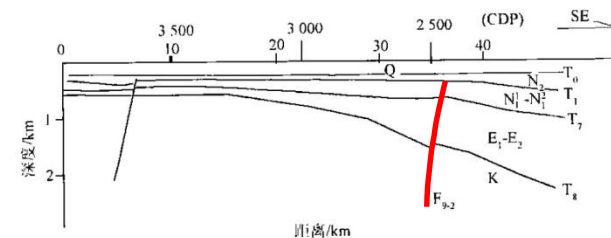
根據黃昭和 王善雄(2006)



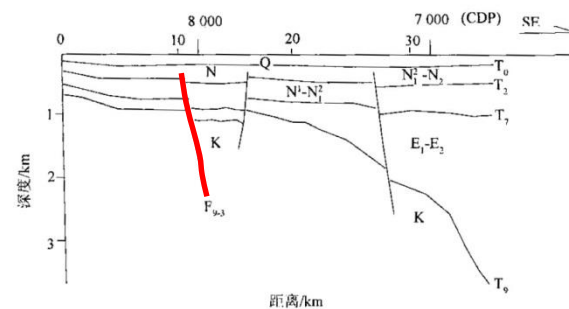
黃昭和王善雄(2006) $M_s=8.0$,
黃昭等(2006) 24.6°N , 119.1°E , $\text{Dep}=20$, $M=7.75$



平潭海外段55km，傾向東南



泉州海外段100km，傾角較陡，
北中段傾向西北，南段傾向東南



金門海外段90km，傾向東南
東山海外段100km

張尚識(1981)震度分布、地裂、噴砂冒水及地質構造，推測斷層面。**王德容(1980)**震源深度約30公里，用近震平面作圖法走向 36° ，SE傾 49° ，走向 327° ，SW傾 68° ，P軸(266,10)，T軸(10,49)

A:(36,49,150), B:(147,68,45), P:(267,11), T:(10,47)

吳維燦等(1988)根據地表裂縫、噴砂冒水等現象，採用近震平面作圖法：

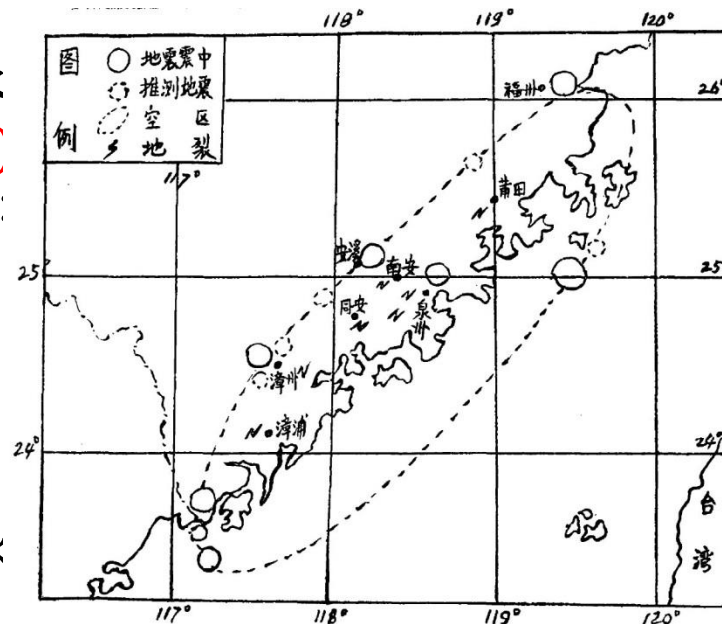
走向 38° ，SE傾 54° ，走向 133° ，SW傾 85° ，P軸(80,22)，T軸(181,29)

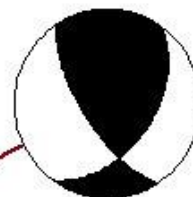
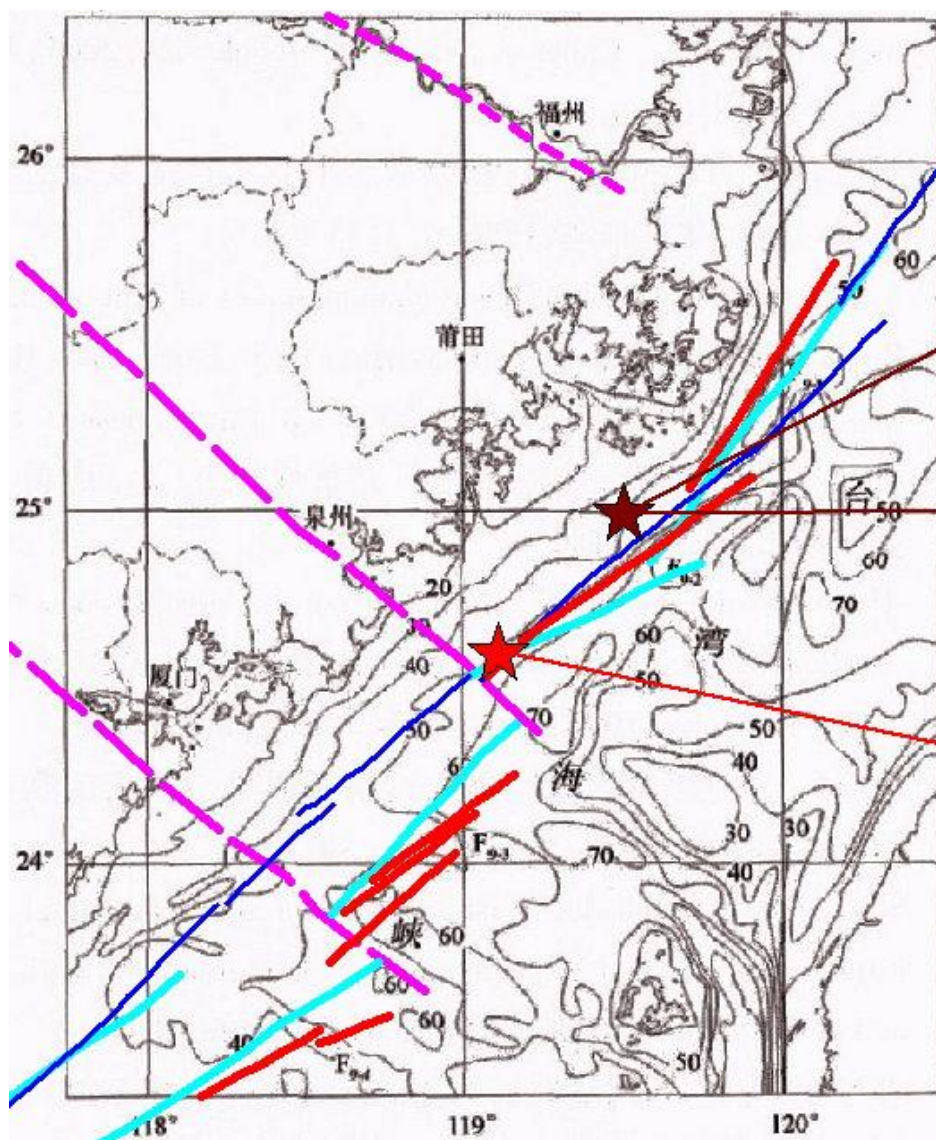
劉中良和丁海平(2011)滑移角 172.55°

鄭世楠等(2012) A:(38,54,171), B:(133,83,36), P:(260,19), T:(2,30)

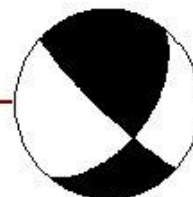
黃昭和王善雄(2006)，黃昭等(2006)根據海底地形、地貌、重力、磁力、GPS和海域震測，國家海洋局第一海洋研究所探測結果：

泉州海外段是1604年泉州地震的發震斷裂，走向 $N52E$ ，長約100 km。斷裂的傾角較陡，北、中段傾向北西，南段傾向南東，震央位於斷裂南端。斷層以走滑運動為主，兼有逆斷層性質移，最大位移水平與垂直位移4:1(由地質推估)。→**A:(52,90,166), B:(142,76,0), P:(98,10), T:(6,10)**

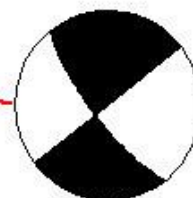




根據王德容(1980)
王尚識(1981)
(36, 49, 150)



根據吳維燦等(1988)
劉中良和丁海平(2011)
鄭世楠等(2011)
(38, 54, 171)



根據黃昭等(2006)
黃昭和王善雄(2006)
(52, 90, 166)

1604年泉州地震是否引發海嘯？

泉州府志(楊思謙，萬曆四十年)，福建通志(金鉉，康熙二十三年)萬曆三十二年十一月初八日地震，初九夜大震，自東北向西南。是夜連震十餘次，山石海水皆動，地震數處，郡城尤甚。開元東鎮國塔第一層尖石墜，第二層第三層扶欄因之并碎，城內外廬舍圯，覆舟甚多。

延平府志(蕭來鸞，康熙十一年)，沙縣志(林采，康熙四十年)(萬曆)三十二年十一月初九日酉時，地震如雷，墻屋傾頽，溪流蕩湧，自縣治至四鄉，凡百里。(距海岸線約190 km)

Zhou and Adams(1985)、楊華庭(1987)、Lee(1988)、包澄瀾(1991)、Wang et al.(2005)、黃永德和陳營華(2006)均認為泉州地震伴隨海嘯的發生。

國家地震局地球物理研究所等(1994)、黃昭等(2006)

鄰近的沿海地區，如惠安縣誌、晉江縣誌、廈門縣志、同安縣誌和莆田縣誌裡均無相關的海嘯現象記載。「山石海水皆動」「覆舟甚多」解釋為由於近場地震動在泉州灣表現出的強烈地面運動，灣內水的深度較淺，局部海面受到異常擾動，海水晃動劇烈，造成較多泊在港灣內的小型船隻翻覆。

國家地震局地球物理研究所等，1994，福建省惠安山前核電廠廠址地震詳細調查及其安全性評價報告。

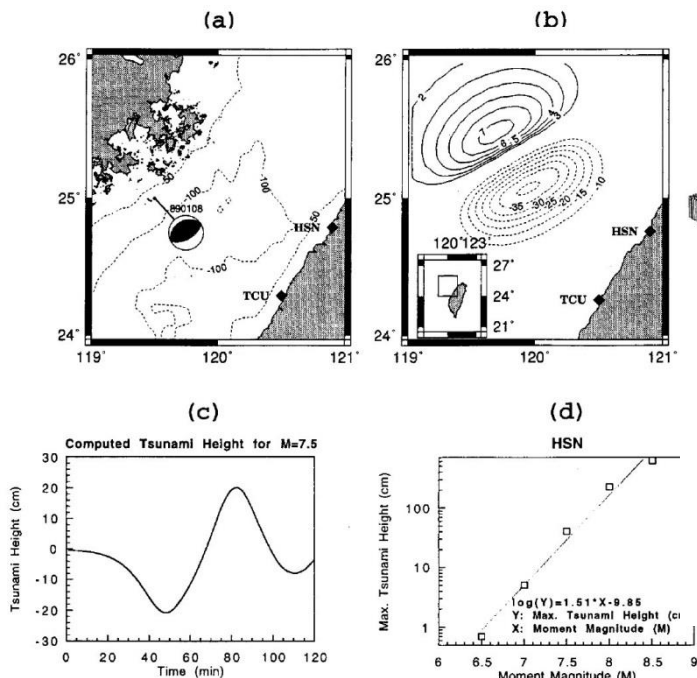
泉州府志載有“初九夜大震，……，城內外廬舍圯，**山石海水皆動**，……，**覆舟甚多**，……，清源山等地裂多處”，而在鄰近的沿海地區，如惠安縣志、晉江縣志、廈門縣志、同安縣志和莆田縣志裡均無相關的海嘯現象記載。截至目前為止，尚未發現一處文獻提到這次地震近海或海岸有明顯的海嘯異常現象。

至於史料中“**山石海水皆動**”和“**覆舟甚多**”的記錄，可以解釋為由於近場地震動在泉州灣表現出的強烈地面運動，灣內水的深度較淺，局部海面受到異常擾動，海水晃動劇烈，造成較多泊在港灣內的小型船隻翻覆，前人也將這種海平面上下的急劇變動稱作海溢。

通過福建惠安山前核電廠廠址的地震詳細調查以及根據最新地震勘探資料對濱海斷裂位置重新確定的結果表明，1604年泉州海外8級大地震的發震斷裂應定在濱海斷裂，震中位於斷裂南端與這次地震高烈度區短軸的交點。

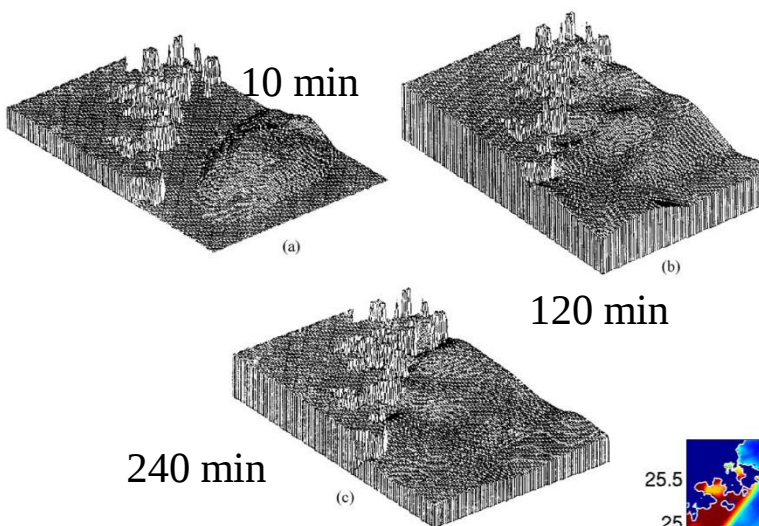
Ma and Lee(1997)

strike:240, dip:30, rake:90,
 $M_W=7.5$ ，新竹站約20cm

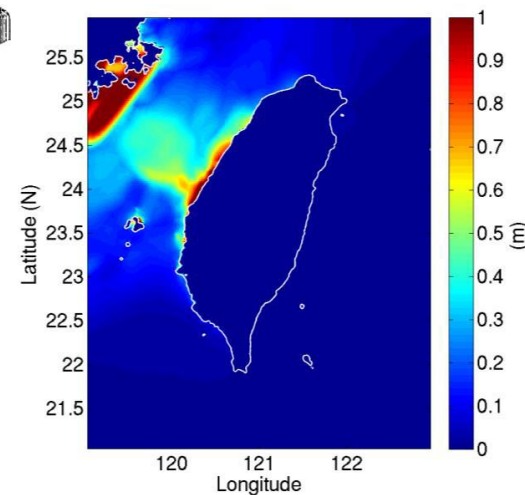


黃昭、王善雄、王喜年(2006)

24.6N, 119.1E, Dep=20km, $M=7.75$, 斷層100km
Strike=52、dip幾近垂直、最大垂直位移**72cm**，
海嘯波對泉州灣沿岸不造成災難性的影響
($M7.6$ 才是72cm, $\log \Delta = 0.578 M - 3.916$)



泉州灣惠安處55
min到達，波峰
最大96cm，
最小-28cm，
T=50min



吳祚任等(2015)以COMCOT模擬之最大波高圖

根據馬國鳳(2006)新竹20-30cm

鄭世楠(2011)整理的1604年泉州地震參數：

25.0° N, 119.5° E, Depth= 25km, $M_w=7.9$ ；

Strike=38°、Dip=SE54° 新竹約30cm

嘗試使用衰減綠模擬等震度圖

震源參數：點震源/**24.6°N, 119.1°E**, 震源深度20公里

面震源/濱海斷裂帶泉州海外段(**N52E**, 傾角**90度**, 滑移角**166度**, 斷層長度**100-110公里**)

地震規模/ **$M_S=7.5, 8.0, M_W 7.75(7.5-7.9)$**

參考斷層長度與規模經驗式(Wells and Coppersmith, 1994) (strike slip)

$$M_W = 5.16 + 1.12 \log(\text{SRL}) \pm 0.28$$

$$M_W = 4.33 + 1.49 \log(\text{RLD}) \pm 0.24$$

$$M_W = 3.80 + 2.59 \log(\text{RW}) \pm 0.45$$

110km, (SRL: $M_W=7.45$, RW=26km, RLD: $M_W=7.37$, RW=23.9km

100km, (SRL: $M_W=7.40$, RW=25km, RLD: $M_W=7.31$, RW=24km

陳祥熊等(2005)地殼厚度內陸約31 km 到沿海27 km，則以斷層出露地表較為合理。

。

假設震央位於斷層面中心點，則震央 **24.83°N, 119.48°E**, 深度**14 km**, **$M_W=7.5$** ,

衰減經驗式

林金瑛等(2005)針對華南沿海地區震度衰減經驗式：

長軸方向 $I_a = 3.6345 + 1.6124 M - 1.7106 \ln(D+20)$ $\sigma=0.4736$

短軸方向 $I_b = 2.7030 + 1.5779 M - 1.5470 \ln(D+14)$ $\sigma=0.4931$

蔡輝騰等(2009)福建地區震度衰減經驗式(M:3.2-6.1)：

長軸方向 $I_a = 7.008 + 0.7367 M - 3.0427 \log(D+20)$ $\sigma=0.4736$

短軸方向 $I_b = 6.429 + 0.7367 M - 2.9488 \log(D+14)$ $\sigma=0.4931$

蔡輝騰等(2009)福建地區加速度衰減經驗式(M:3.2-6.1)

長軸方向： $\log(Y) = 2.7130 + 0.2705M - 1.4509\log(R + 2.2681e^{0.3058M})$

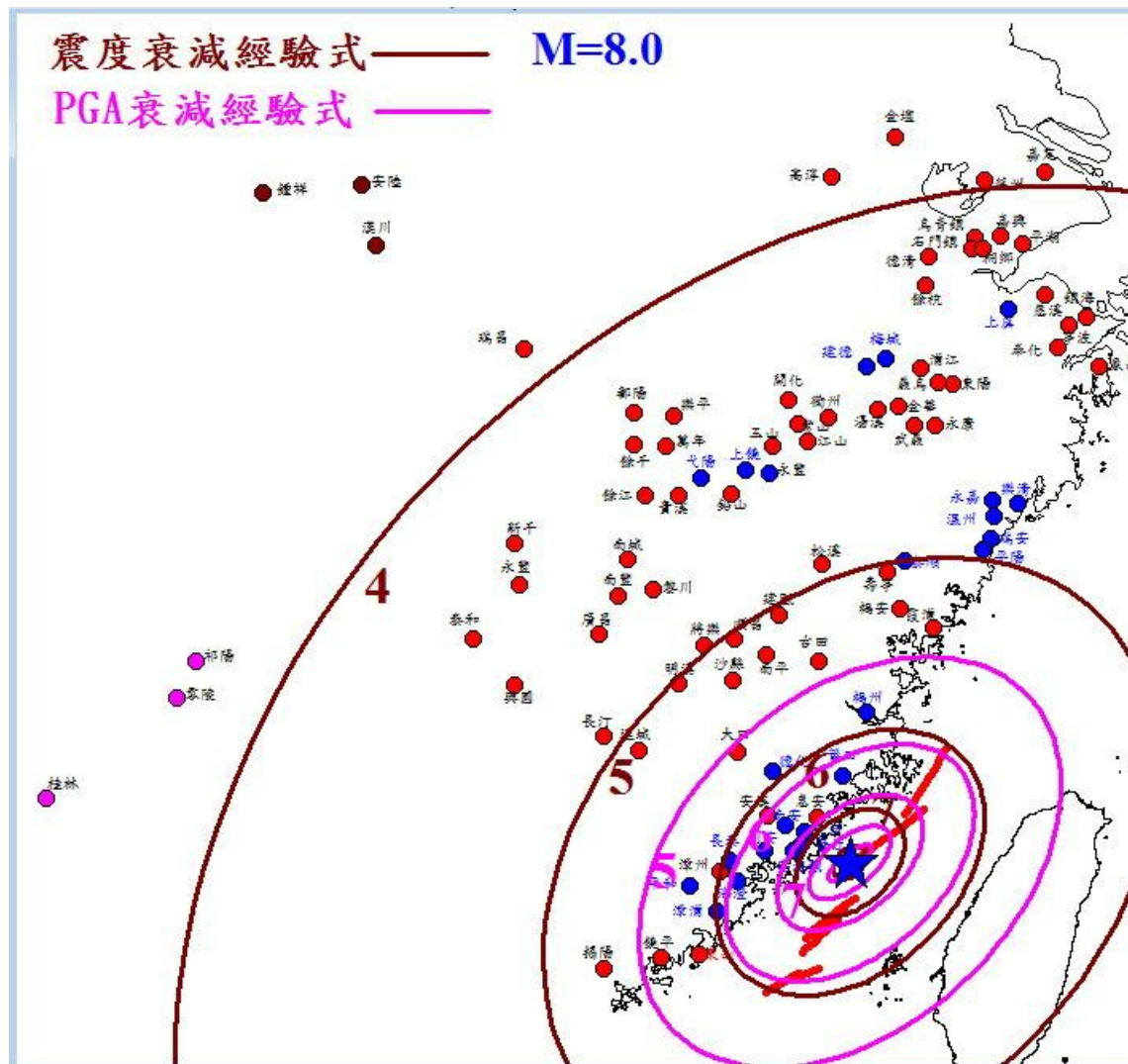
短軸方向： $\log(Y) = 2.4595 + 0.2689M - 1.4109\log(R + 1.5029e^{0.3153M})$

張毓文、簡文郁、邱世彬，2010：金、馬及澎湖地區之設計地震研擬
規模轉換採用Lin et al.(2008) $M_L 7.0 \rightarrow M_w 6.86$ ， $M_L 7.5 \rightarrow M_w 8.3$

加速度衰減經驗式(Jean et al., 2006)：

$$Y(g) = 0.00284e^{1.73306M} [R + 0.09994\exp(0.77185M)]^{-2.06392}$$

台灣與大陸地區的衰減係於近距離處結果接近，但長距離處台灣地區
衰減較快

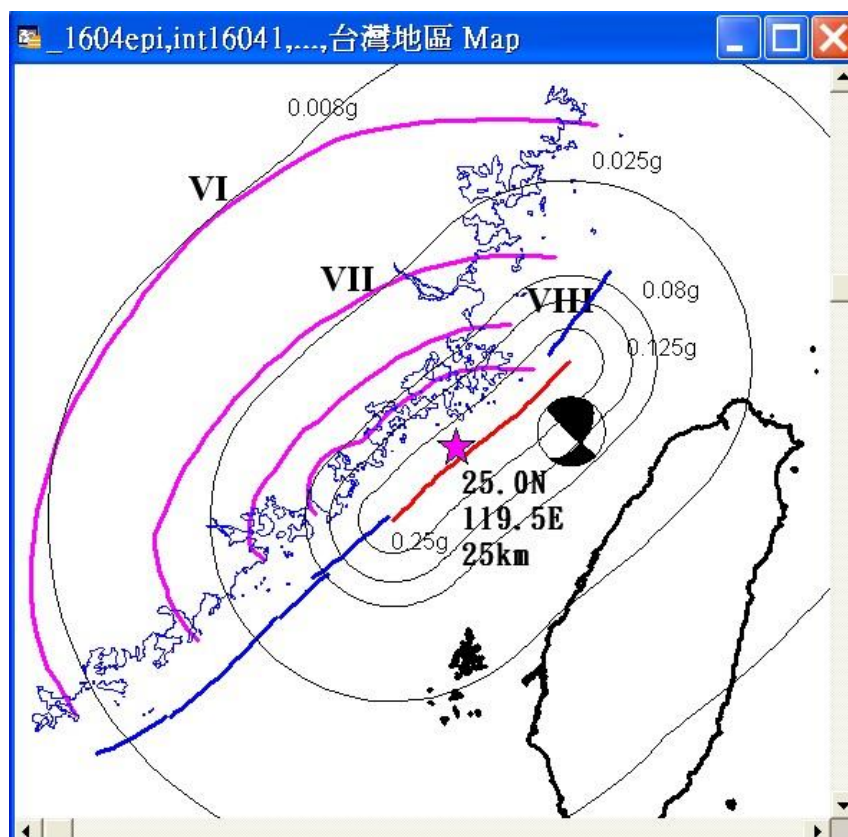
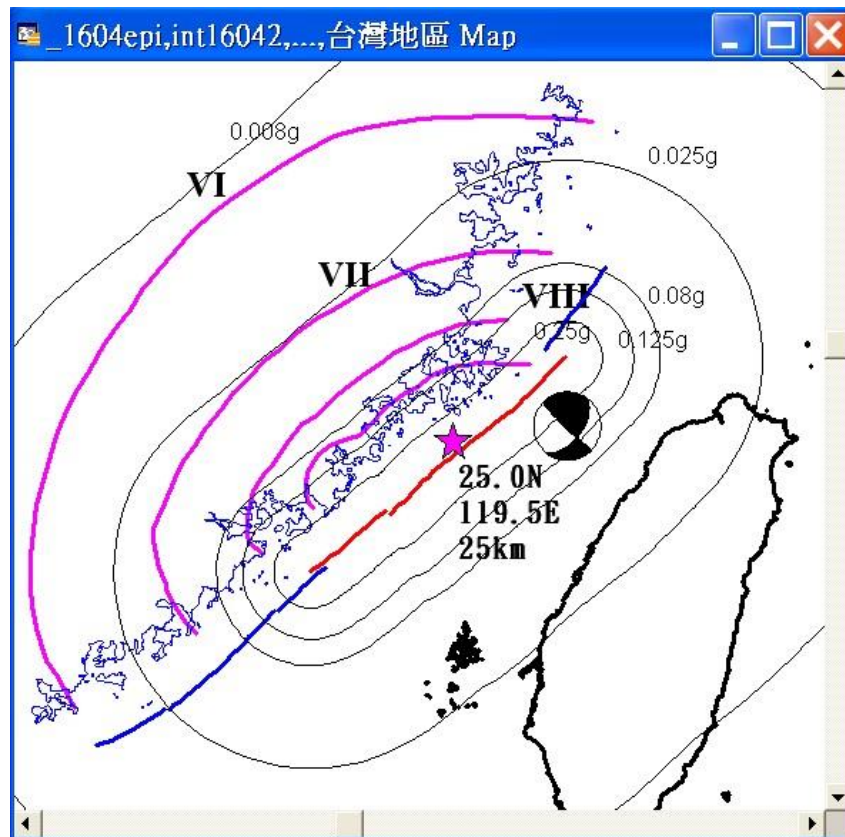


應用蔡輝騰等(2009)震度與PGA衰減經驗式模擬1604年泉州地震等震度分布。震央：24.6N, 119.1E， $M_s=8.0$ ，長軸走向N52E。

**蔡輝騰等(2009)衰減經驗式(震度與PGA)不適用於大規模地震
(資料僅採用福建地區M:3.2-6.1的地震)**

鄭世楠等(2011) 牛山島一兄弟嶼斷裂(朱金芳等, 2004)

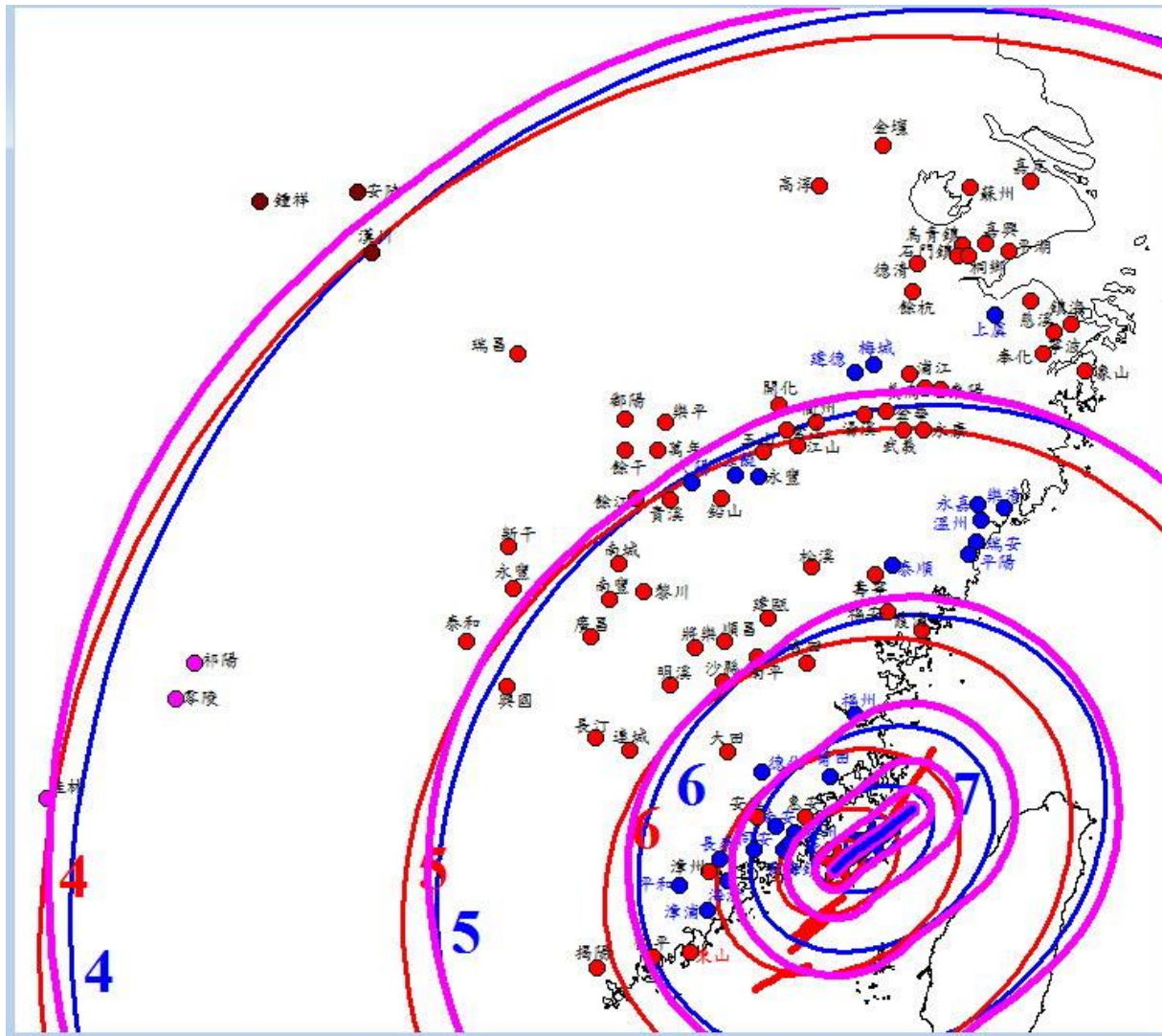
VI:45-89 VII: 90-177 VIII:178-353 IX:354-707 X :708-1414



斷層長度250km, $M_w=7.9$, $M_L=7.5$ 斷層長度173km, $M_w=7.7$, $M_L=7.3$

25.0°N, 119.5°E, 深度25公里, $M_L=7.5$, $M_w=7.9$

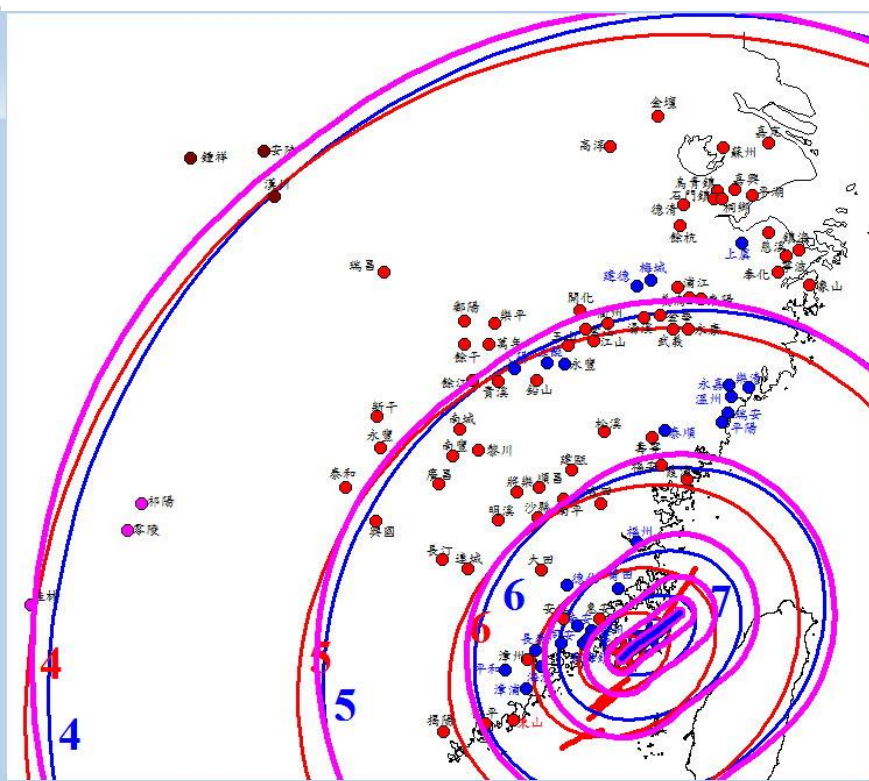
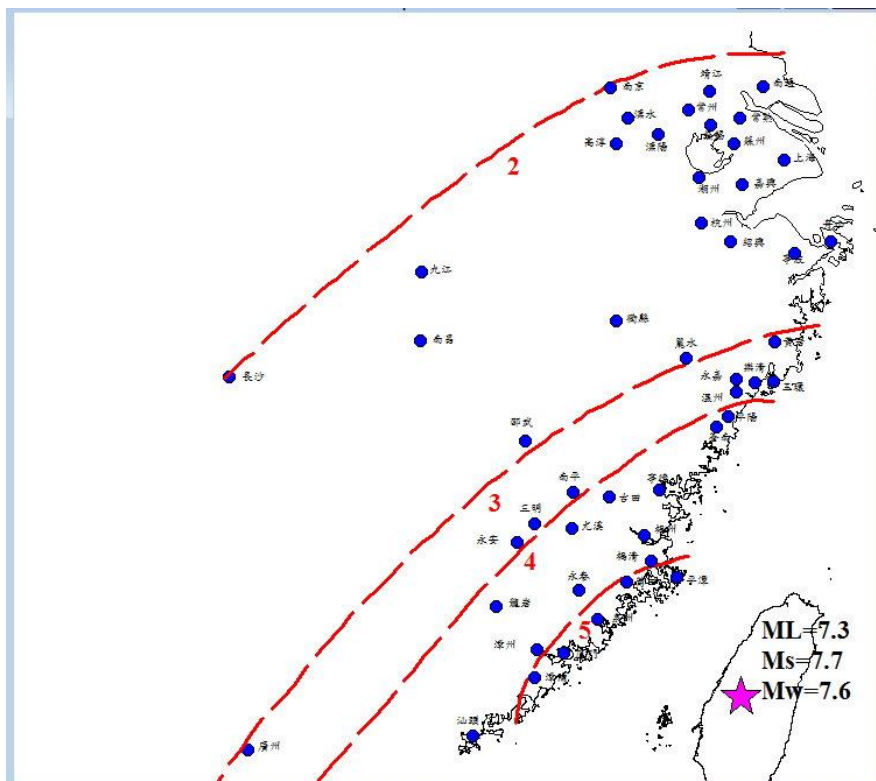
斷層面解：走向38°, 傾角dip:54°, 滑移角171°



應用林金瑛等(2005)華南沿海地區震度衰減經驗式模擬1604年泉州地震等震度分布。**震央：24.6N, 119.1E， $M_s=7.5$ ，長軸走向N52E。**

震央：24.83°N, 119.48°E, 深度14 km, $M_w=7.5$, $M_s=7.5$

泉州外海段斷層面, $M_w=7.5$, $M_s=7.5$, N52E, Dip=90, rake=166



1999年921集集地震大陸地區等震度分布
(根據張志中等(2009)資料重繪)

1604年泉州地震模擬等震度分布

結果與討論

- 1604年泉州地震與濱海斷裂帶泉州外海段有密切關聯
- 斷層長度100-110km，斷層走向N52E, Dip=90, rake=166
- 由震度衰減模擬顯示，地震規模 $M_s=7.5$, $M_w=7.5$ 的結果較符合震度分布。
- 若假設震央位於斷層面中點
- **24.83°N, 119.48°E, 深度14 km**
- 若考慮震度最大者的最近距離
- **震央：24.6°N, 119.1°E**(黃昭和王善雄, 2006)，但震源深度則建議修正。
- 濱海斷裂北段已400多年未曾發生大規模地震值得進一步探討

