

西太平洋隱沒帶之地震 生成與發震構造

高 弘

地球科學研究所副研究員

一、研究動機

地震長久以來一直是自然災害中的主角之一，大地震對人類生命財產所造成的損失更是不計其數，最近的慘痛紀錄首推去年（1995）1月17日的日本神戶大地震及在其整整一年前（1994/1/17）發生於美國加州洛杉磯地區的北嶺大地震。廿多年前發生於中國的唐山大地震，光是官方的死亡人數就超過65萬5千人。在台灣本島過去也曾發生過傷亡慘重或是造成重大破壞的地震，例如1972年的瑞穗地震及1935年的新竹地震。

然而隨著人類科技的進步，人們對許多自然災害已經可以掌握其發生機制，甚至對其可能產生的危害採取適當的反制手段；惟獨對大地震的發生卻一直束手無策，至今大多數的地震預測都欠缺確切的精準度，地球科學界對此也抱持較為保守的態度，因此雖然地震預測是人類長久以來的夢想，也是世界各地地震學家一直努力的方向，但是要達成這個目標似乎仍有一段相當遙遠的路要走。

地震預測之所以無法成功，其關鍵在於我們對地震的發生條件認識不夠。因為地震的發生同時牽涉到時間與空間的因素，在不能確切掌握地震發生瞬間的各項控制因子的狀況下，想要同時預測地震在時空的分佈（在何時、何地發生、規模多大）根本就是天方夜譚。我們的研究方向是先暫時不對時間的精確度做苛

求，而是就地震在空間中的可能發生位置先加以探討與預測。這方面的研究又以會造成強大破壞的大地震為優先目標。

二、研究背景

根據板塊理論，地球最外層的岩石圈可以被劃分許多板塊，而大多數的地震均沿著板塊邊緣發生。特別是在兩個板塊相聚合的邊緣，其中一個板塊因為密度較大的關係，會隱沒到另一個板塊之下，這個地區即稱之為隱沒帶。隱沒帶因為有兩個板塊在此相互推擠，因此地震的發生較其它型態的板塊邊緣要更多、更大；而隱沒帶的分佈又以在西太平洋為多。因此就地震的分佈及發生的數量而言，西太平洋邊緣是地震研究者的天堂。

因為板塊以每年數公分到十數公分的速率緩慢移動，因此在隱沒帶由於板塊相互之間的推擠會產成變形，從而造成地震。所以傳統的地震預測即根據這個原理作為基礎，當一個地區過去曾有大地震紀錄，但相隔至今已有許久時日未曾發生過大地震，則該地區即可列為高危險地區，隨時有大地震來襲之可能。但由於這種預測之範圍與時間均太籠統，並無實際之應用價值。

本系列研究是以地震學及礦物岩石學的精闢理論為基礎，以地球物理及地震觀測為手段，對發生於主要隱沒帶的地震加以分析，找出這些隱沒帶地震在空間上的精確位置及對應的發震型態，進而歸納出發震構造的分布及地震發生時應具備的生成條件。

三、資料與分析

本系列研究的資料是以地震發生後在全球各地的地震觀測站所紀錄到的地震圖為主。研

究方法則是「地震波形反演法」，基本概念是先利用理論計算合成波形，再與觀測波形作比較來反演地震的各項震源參數，其中包括精確的位置、深度、破裂過程、及釋放能量的大小。

四、隱沒帶的幾個重要的發震構造（許多次要的構造因時間限制均在此省略）

4.1 板塊界面地震帶

這是隱沒帶最主要的發震構造。這個構造上的地震是以反應板塊在界面上的相對運動為主，基本上全部是低角度的逆衝斷層。這個構造開始的位置約在弧前與海溝之間地區下方15公里深的地方，以低角度向島弧方向傾斜，大約延伸到50公里左右的深度停止。

4.2 海溝--外側隆起地區

這個位置是板塊開始折彎下插的地方，因此這個構造上的地震都與板塊在此的折彎作用有關。發生於這個構造的地震以淺震為主，但有時規模很大，有引發大海嘯的顧慮。

4.3 班氏地震帶

發生深度超過50公里以上的地震基本上全部在隱沒板塊的內部，我們統稱之為班氏地震帶。這些地震一般不會對地表的人類造成直接的危害，但是它們對我們了解地球內部正在進行的各項反應及過程方面，卻有極大的意義，這一部分我無法在今天的演講中詳談。

五、地震的生成條件

5.1 力的來源

要能發生地震的首要條件是必須有力的來源。板塊界面地震帶上力的來源是因為板塊相對運動所產生的摩擦力；海溝--外側隆起地區造成地震的力來自於板塊因為隱沒而在此產生

的折彎作用；班氏地震帶內力的來源則是板塊本身的重力及來自周邊地函的阻力。

5.2 貯存地震應變的能力

在較淺的位置，這個條件通常可以被滿足，因為所對應的岩石圈在這個溫度壓力下是以脆性行為為主。但是在班氏地震帶內，這個條件就變得非常嚴格，因為要詳談這個問題必須先介紹相當程度的礦物及岩石學的基礎，在今天的演講中，受限於時間不得加以省略。

六、大地震會在那裡發生？大地震不會在那裡發生？

我們發現在隱沒帶有幾個不同的構造都可以有大地震的發生，而每個構造產生大地震的條件卻不盡相同，更有趣的是這些發生於不同構造上的大地震相互之間並非全然無關的。

以一個標準的隱沒帶（如日本本州）為例，我們發現在本州外海下方的板塊界面上分佈有許多大小地震，唯獨在北緯39-40°、東經142-143°存有一個約150公里的地區其內地震分佈特別稀少。然而這個地區的東邊海溝附近卻在1933年3月2日發生了一個規模高達8.4的強烈地震，並引發了海嘯。經過詳細研究後，我們還發現這個地區板塊下插的彎曲度也較鄰近地區為大，此外海溝之外的海底地形也呈現明顯的馬鞍形，而海溝內側的坡度則較緩。這些現象不僅存在於日本隱沒帶，在世界許多其它的隱沒帶（如爪哇、阿留申、蘇門答臘、伊豆島弧、墨西哥、菲律賓、及庫頁島弧）也都被觀測到。

我們的解釋如下：板塊的物理性質在側向（即平行島弧方向）有相當程度的變化，以一根鋼尺為例，正常的板塊其力學行為是在彈性的範圍內，就如同我們將鋼尺的一面抵住餐桌

的邊緣並逐漸增大其彎曲度時，鋼尺的彈性會使得它與桌緣緊緊的接觸在一起，此時的板塊界面（即相當於鋼尺與桌緣的接觸面）便可累積造成地震所需的應力與能量，一旦其大小超過了板塊界面之間的摩擦力時，便會沿板塊界面發生大地震。但是假如我們過份彎曲鋼尺以致超越它的彈性範圍，這時鋼尺將產生永久變形，也就是說此時即使我們將鋼尺移開桌緣，彎曲的鋼尺也不會恢復原形。一旦產生這種現象後，最大變形會集中在海溝附近的位置，使得該地區板塊下插的彎曲度較鄰近地區為大，並進而引發在海溝附近的大地震，但是在板塊界面反而因為無法累積應力與能量，使得地震的發生較鄰近地區為少。

根據以上的觀測及推論，我們建立了一個模型來預測在隱沒帶大地震會發生或不發生的地區。基本上，當一個隱沒帶有上述觀測到的特徵時（板塊下插的彎曲度較鄰近地區為大、海溝之外的海底地形呈現明顯的馬鞍形、海溝內側的坡度較緩），即暗示下插板塊的力學狀態可能早已脫離了彈性範圍，因此在海溝附近可能會因為變形集中而產生大地震。相反的，沿板塊界面的大地震則決不會在此區域內發生。在我們的研究論文中並特別針對南美洲的秘魯地區進行預測，因為這個地區大地震的發生非常頻繁，而我們在秘魯外海的一個特定區域（約在南緯10-13.5°，西經77-80°附近）卻清楚地觀測到上述的各項特徵，所以我們推論這個特定區域是具有發生海溝--外側隆起地區大地震的高度潛力。反之，若是秘魯地區未來又有沿板塊界面發生的大地震，那麼其震央位置及破裂範圍均應分布在此特定區域之外。在我們的論文被接受後數個月，我們的預測在去年底得到了大自然的部分應証，在1996年11

月12日秘魯發生了一個規模7.7的強烈地震，在當地造成相當程度的破壞，並有人員傷亡。根據震源的研究，這個地震是發生在板塊界面，其震央位置在南緯14.9°，西經75.5°，也就是在我們所指出的特定區域東南方約250公里的位置，並未進入該區域，與我們的模型預測完全相符。

七、結語

最後我必須再一次強調，規模大的地震並不一定等於災害大的地震，從我們現有對地震發生行為所累積的知識來看，成功而實用的地震預測技術是仍有一段相當艱苦的路要走。但是隨著觀測技術的進步及基礎理論的快速發展，我們至少對地震在空間上的發生位置及條件有逐漸掌握的趨勢，我們的模型也對大地震是否在隱沒帶的各個發震構造上發生提供了一個以力學為基礎的思維方式。以此為出發點，未來再逐步擴大到構造比較複雜的地區以及加上時間的考慮因素，這些都是我們需要再努力的方向。我相信如此則地震預測的夢想在未來終將一步步被人類實現。

高 弘

學經歷：

國立中央大學地球物理學系學士(1985)

美國伊利諾大學香檳

校區地質學系碩士(1991)、博士(1993)

美國伊利諾大學香檳校區地質學系助教(1987-90)、研究助理(1991-93)

本院地球科學研究所助研究員(1993)、副研究員(1996-迄今)
