

圖1 左圖紅色星形符號為地震震央的位置，數字為12月10日地震在各地的最大震度；右圖為琉球隱沒帶的地震活動剖面圖（修改自氣象局及臺灣地震科學中心教育推廣委員會，2021）

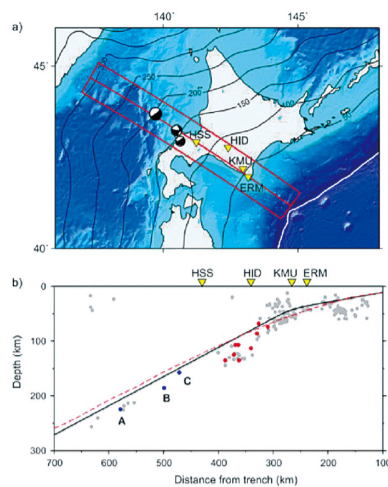


圖2 隱沒帶P波導波的波形範例（取自Garth and Rietbrock, 2014）。左圖是日本北海道的測站分布與地震剖面；右上是原始的波形，右下則是分別濾出的高頻（藍色，>2.5 Hz）和低頻（紅色，<0.75 Hz）P波訊號。

長途地震波通道—隱沒板塊

文—蔣正興、梁文宗、廖哲緯·圖—李玟蒨

2020年12月10日9點19分發生芮氏規模6.7的地震，北臺灣的震度4級、中臺灣3級（少部分4級），幾乎全臺有感（圖1）。當時在臺中的我，雖然只是在低樓層，但仍感受到中度地搖動，心想這個地震位置可能比較接近臺中、規模應該也不小，或者至少震源深度比較淺吧？上網查一下，這個地震震央位置竟然落在宜蘭外海（距臺中約150公里），而且地震深度達77公里，實在不解地震能量怎麼能夠傳這麼遠而不消耗？

這個地震震央位置在宜蘭外海沖繩海槽一帶，地震震源的深度落在菲律賓海板塊往北隱沒到歐亞板塊下的位置（圖1）。菲律賓海洋板塊因重力作用而向北沒入地函，此段隱沒下去的板塊稱為隱沒板塊（slab），這一連串的地震沿著隱沒板塊發生則被稱為瓦班氏帶（Wadati-Benioff Zone），這類型的地震稱為隱沒帶地震。

12月10日的地震造成北臺灣這麼劇烈的搖晃，最大震度怎麼會只有4級呢？氣象局的冬山站所記錄到的最大地表加速度為137.22 cm/s² (gal)，若對應到原來舊的（2020年以前）地震震度分級應該有5級，所以北部感受到的震度非常強烈。而新的地震震度分級須同時考量地表的加速度與速度值，氣象局冬山站的紀錄雖然地表加速度可達5弱，但因考量到地表速度值僅有8.4 cm/s，所以地震震度降為4級，這個新的震度分級是

表. 新制地震震度分級表（取自氣象局）

中央氣象局新制地震震度分級表(109年1月1日起)										
震度	0級	1級	2級	3級	4級	5弱	5強	6弱	6強	7級
加速度 cm/sec ²	0.8	2.5	8.0	25	80					
速度 cm/sec					15	30	50	80	140	

（速度劃分，已考慮加速度實際之影響）

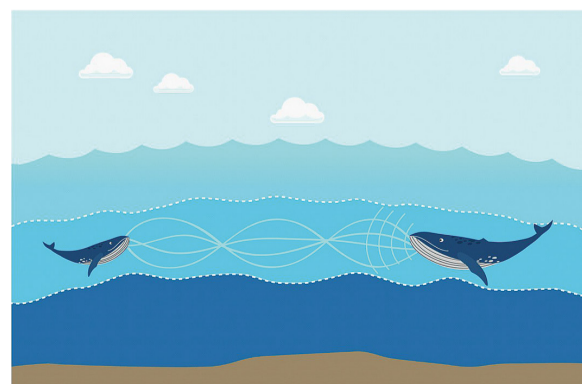


圖4 深海的聲學通道中聲線傳播路徑示意圖

避免瞬時的加速度主導震度的表現，導致過度高估了地震災損，但若以加速度值來看的話，確實這個地震造成北部區域劇烈的搖晃（見表）。

是什麼原因能夠讓這樣的中深源地震傳播地這麼遠？師大地科系的陳卉瑄教授指出，經過隱沒板塊的震波具有複雜的波傳特性，許多學者研究日本隱沒帶的地震，發現導波

（guided wave）效應是隱沒帶上方出現異常高震度的主因，能使震波傳播數百公里之遠而不消散。這是由於當震波從深處向上傳播進入隱沒板塊時，高頻的震波容易陷入隱沒板塊頂部的相對低速/非均質區內；而使高頻震波在這一層內形成導波效應不易衰減，低頻訊號則因為波長較長而不受這個低速/非均質層的影響，沿著周遭的地函較快抵達地面而領先高頻導波。所以震波傳播夠長的距離時，常會產生具有低頻先遣訊號（forerunner）的高頻導波，也就是說低頻的初達P波尾隨著較大振幅且持續時間長的高頻訊號（圖2）。陳教授指出，與一般的淺震相較，在琉球隱沒帶深度位於60公里以下的地震，行經隱沒板塊往上传播的震波通常在高频(>3Hz)的能量甚至可以放大將近100倍（圖3）。

為什麼在隱沒板塊的地震會存在導波效應？這讓我想起鯨魚使用的深海聲學通道（Sound Channel），可以撥打數千公里的海洋長途電話，這是因為在海洋水層中（約1000m深處）的聲速

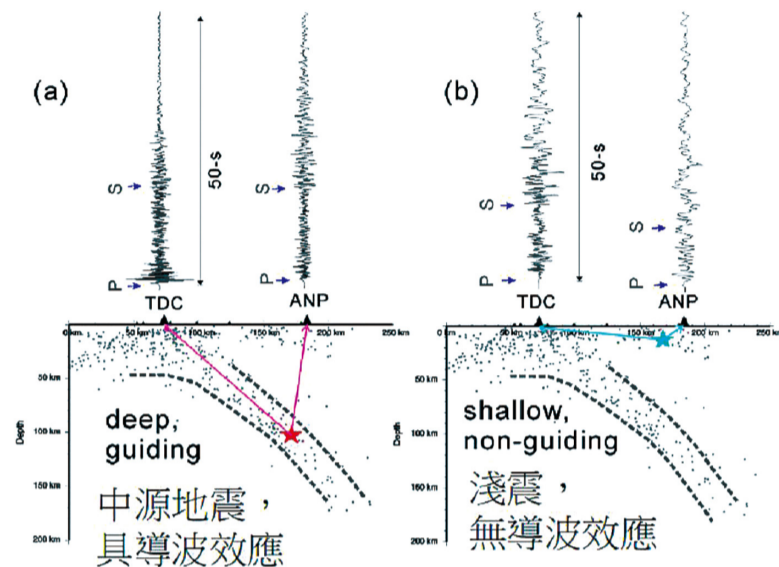


圖3 隱沒帶地震的導波效應。左圖的地震在隱沒板塊內，具導波效應。右圖的淺震不在隱沒帶內，無導波效應（取自Chen et al., 2013）。

有一低速區，在此會形成波導效應，沿這個深度傳播的聲波不易折射出這層海水，所以在此層中傳播時能量不易發散，往往可傳至數千公里外，這個區域稱為聲學通道（圖4），鯨魚利用這個通道可以將聲音傳播到數百甚至到數千公里之外，以藍鯨為例，牠常用10-40 Hz的频段在聲學通道傳遞訊息，美國海軍的水下聲音監測系統就常常可以監聽到藍鯨的聲音。相較臺灣宜蘭外海地震，高頻(>3 Hz)的地震波在菲律賓海板塊的隱沒帶，也可以透過隱沒板塊頂部地殼低速帶內的導波效應，將高振幅的地震波傳輸到很遠的地方，造成幾乎全臺有感的地震度（圖5）。

根據陳卉瑄教授的研究，臺灣東北海域的地震，如果震源深度超過60公里且位在琉球隱沒帶的地震，其震波常具有複雜的波傳特性。而東南海域的地震，若震源深度超過90公里且位於馬尼拉隱沒帶的地震，亦具有導波特性。這種波傳特性類似海洋中的聲學通道，鯨魚藉此通道可以遠距離的傳遞訊息。在隱沒帶的地震，也能藉由導波效應將高振幅的地震波傳輸到較遠的地方，造成幾乎全臺有感的地震度。隱沒帶的地震，雖然震源深度深、傳播至臺灣各地的距離較遠，但和相同傳播距離的淺震相比，它夾帶著更大的振幅和高頻能量，這類型地震具潛在震災風險，值得我們持續的關注。

延伸閱讀

1. 臺灣地震科學中心即時地震教材，網址：https://tec.earth.sinica.edu.tw/specialEQ_list.php
2. Kate Chen's homepage，隱沒帶導波，網址：<https://katepili.wixsite.com/kate-chen>

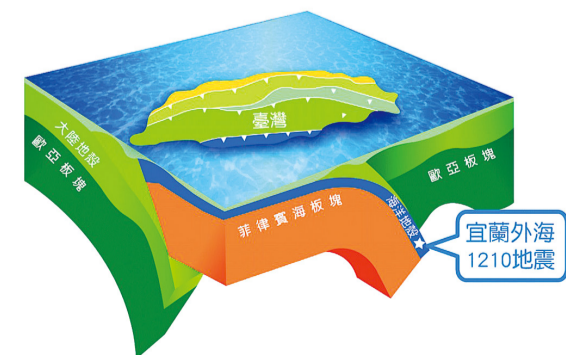


圖5 波導效應發生在隱沒帶內。如果地震震源在菲律賓海板塊的隱沒帶，地震波的能量很容易沿著隱沒板塊內部傳輸上陸，抵達臺灣。