

# 地友

49

發行單位：國立臺灣師範大學地理學系  
區域研究中心  
發行人：徐勝一  
主編：張瑞津  
編輯：李宜梅

中華民國八十九年十一月二十日出版

## 專題報導：地形

### 目 錄

發行人的話 — 徐勝一.....	1
系所大事記.....	1
專題報導：海岸變遷—作用的尺度和問題的面向.....	2
專題報導：九二一地震災情分析.....	10
GEO 情報網：教育部「學習加油站」介紹.....	14
編輯室報告.....	14
下期預告.....	14

### 發行人的話

各位地友：

大家好！

自從教育部於八十七年九月三十日公布「九年一貫制社會科課程大綱主題軸內涵」後，引起全國地理學界、地理教師們及媒体廣泛的討論。

陳國彥教授（時任中國地理學會理事長）籲請各大學地理系老師們提供意見，並於八十八年四月三日，由學會將這些意見上呈教育部。大部份老師們的意見是主張維持原來學制，若非不得以真要實行「九年一貫制」時，則認為社會科應將地理、歷史、公民分科授課，否則將來在師資培育及教材編寫方面將面臨重大困境。

教育部已擇校試辦「九年一貫制」，在校同學非常關心此事，因學制的改變肯定會影響畢業出路。有鑑於此，本人於十月二十七日邀請本系翁國盈，歷史系吳文星（主任）、廖隆盛，公訓系張秀雄（主任）、李琪明諸位老師舉行座談會，商擬合開「九年一貫制社會科學程」事。座談會中大家公推廖隆盛、翁國盈、及李琪明三位老師為學程常務委員，繼續留意教育部「九年一貫制社會科學程」的相關規定，並研擬妥善的社會科學程，提供同學們進修課程之參考。

開設「九年一貫制社會科學程」僅在起始階段，等具體辦法出爐後，當再向各位地友們做詳實報告。

### 系所大事記

#### 八十九學年度第一學期本系專題演講預告

講員：林育慈小姐（台北市政府都市發展局綜合規劃科工程員）

題目：台北市都市發展的回顧與展望

時間：89年11月15日 14:00-16:00

地點：國立台灣師範大學誠 102 教室

講員：李豐楙教授（中央研究院文哲所研究員）

題目：中國和台灣民間宗教的地區性活動（暫定）

時間：89年12月20日 14:00-16:00

地點：國立台灣師範大學誠 102 教室

## 海岸變遷 – 作用的尺度和問題的面向 Coastal Change – Scales of Processes and Dimensions of Problems

Paul D. Komar 著 沈淑敏\*譯

譯者按:本文是美國知名海洋學者 Paul D. Komar 教授在 1999 年 6 月間受邀於第四屆 "International Symposium on Coastal Engineering and Science of Coastal Sediment" 中所做的專題演講。本文強調在探討海岸侵蝕的原因與採取因應措施時不可忽略長期性的潛在因子。一般常將海岸侵蝕的原因歸咎於當下發生的風暴 (如颱風、颶風) 所引起的滔天巨浪; 但是如果沒有其他的原因, 風暴過後一段時間海灘通常會回復原狀, 而這種短期波動是海灘必然出現的情形。如果每次大風暴之後, 海灘都無法回復原狀, 那麼就表示該處海灘發生長期的海岸侵蝕。Komar 教授以四組個案來說明海岸的長期侵蝕常涉及「氣候變遷」或「人類對環境的衝擊」等較不易察覺的原因, 並且提醒「我們認為人類是海岸侵蝕的受害者, 其實我們忽略的事實是人類常是造成海岸侵蝕的原因」 (We think of humans as being the victims of coastal erosion – we overlook the fact that often they are the cause)。

譯者曾獲 Komar 教授同意翻譯, 並刊載於「港灣報導」第 51 期。因為全文深入淺出, 相當適合作為地理或環境教學的材料, 所以在獲得「港灣報導」同意後濃縮轉載於此, 以方便讀者參考。如欲參考完整譯文, 也可以到 <http://www.geo.ntnu.edu.tw/faculty/ShenSM/> 「個人著作」之網頁參閱。原文出處: Komar, P.D. (1999) Coastal Change – Scales of Processes and Dimensions of Problems, *Coastal Sediments '99 – Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Symposium on Coastal Engineering and Science of Coastal Sediment*, 1–17.

### 前言 (INTRODUCTION)

海岸線侵蝕的問題似乎全球都在流行, 但是只有在人口不斷增加的海岸帶「侵蝕」才會成為問題, 否則它只是個自然作用。到底侵蝕有多「自然」呢? 如果我們認為它是最近發生的風暴或是聖嬰現象 (El Niño) 所引起, 那麼可以說侵蝕是自然的, 因為這些作用已經持續了好幾千年。但是河流上的那些水壩呢? 它們可能和海岸侵蝕的地點距離幾百或幾千公里之遠, 而且可能早在這個世紀初期就已經建造, 它們是延遲到現在才開始對海岸展開衝擊嗎? 那些為保護家園所修建的海堤又如何呢? 它們會是造成侵蝕的原因嗎?

這個演講的目的是要強調「海岸變遷和海岸侵蝕之因素的多面性 (multitude)」。雖然我們知道可能有潛在的 (underlying factors) 遠方因素 (distant causes) (包括時間和空間上的), 但是我們傾向於只關注立即的因素 (immediate cause), 像是最近摧毀海濱地帶住屋的大風暴。這樣的觀點使我們傾向於採用簡單的解決方案來處理海岸侵蝕問題, 像是興建海堤或是養灘。而這種補綴式修護 (band-aid fix) 的方式很少能關照到海岸變遷的潛在因子~即較長和較大時空間尺度的因素。

### 海岸變遷的原因和尺度 (CAUSES AND SCALES OF COASTAL CHANGE)

為了了解海岸變遷和侵蝕原因所做的調查研究必須包括各種不同尺度的作用~從波浪下灘沙

\*國立台灣師範大學地理系講師

的運動、各個沿岸胞 (littoral cell) 中的海灘，甚至到海岸流域內的土地利用的情形。河流通常是海灘沙石的主要來源，所以發生在流域內的事情會決定海灘的長期「健康」。同時，不僅要考慮所有對海岸變遷來說重要的空間尺度，也必須考慮所有重要的時間尺度，因為我們逐漸了解氣候有長期的變遷，而且會持續發生。

近幾十年來海岸的研究在各方面都有長足的進步，目前最需要改善的是評估沈積物收支 (sediment budget) 架構中沈積物 (海灘沙石) 的來源與損失，以及評估氣候變遷和人類活動如何影響沈積物收支。表一中列出海岸變遷的重要作用 and 因素，其中以斜體字表示的是由於人為導致的環境變遷。即使在做歸類的時候相當謹慎，顯然大多數的因素還是人為的，這些因子在較大的時、空尺度下，特別是在沈積物收支的因素中佔有重要的地位。它們大部分對沈積物收支有負面影響——減少到達海濱的沈積物，只有幾個 (主要是養灘) 有正面的影響。所以結論必然是：人類在流域內和在海岸的活動對於世界各地普遍發生的侵蝕問題一定很重要。

表 1. 海岸變遷的重要作用 and 因素 (Process and Factors Important in Coastal Change)

大風暴 (Major Storms)
暴浪 (storm-generated waves)
暴潮 (storm surge)
海準面 (Sea Level)
海準變動 (自然氣候變遷，溫室效應增溫) [eustatic sea level (natural climate change; greenhouse warming)]
地層下陷 (抽取地下流體) [land subsidence ( <i>sub-surface fluid extraction</i> )]
聖嬰現象對海準面暫時性的影響 (El Niño effects on temporal sea level)
沈積物收支* (Sediment Budget)
流域變遷 (森林破壞等) ( <i>river watershed changes (deforestation, etc.)</i> )
河水利用 ( <i>river water use</i> )
河流築壩 ( <i>damming rivers</i> )
抽採河沙 ( <i>sediment mining</i> )
突堤與防波堤 ( <i>jetties and breakwaters</i> )
濬深港口和遠濱拋石 ( <i>harbor dredging and offshore disposal</i> )
海濱保護結構物 ( <i>shore protection structures</i> )
人工養灘 ( <i>beach nourishment</i> )

\* [譯者按] 把一段海灘沙石顆粒的進入和移出看成像一本帳簿。這段海灘的沙石可能來自河川、上游側海岸以及外海；也可能因為被搬往下游側、外海，或被風吹上陸地而移出。如果進入的沙石量和移出量大致相等，海灘就沒有明顯變化；如果進入量大於輸出量，海灘就出現堆積狀態；如果輸出量大於進入量，海灘就出現侵蝕狀態。

**海岸侵蝕 — 個案研究與潛在原因**  
(COASTAL EROSION — CASE STUDIES AND UNDERLYING CAUSES)

為了要能彰顯本演講的主題，特別選擇四組海岸侵蝕問題在時間、空間上都是多因素，而且構成侵蝕的根本原因不是那麼顯而易見的個案。

**尼羅河三洲的侵蝕 (Erosion of the Nile Delta)**

我認為埃及尼羅河三角洲的濱線是「世界上最戲劇化、科學上最有趣的海岸侵蝕問題」，本世紀以來有些地方濱線的後退率可以達到 100 m yr<sup>-1</sup> (Orlova and Zenlovich, 1974; Inman and Jenkins,

1984; Smith and Abdel-Kader, 1988; Frihy et al., 1991; Fanos et al., 1991,1995)。尼羅河在開羅以北出現兩條分流（圖 1）— Rosetta 河和 Damietta 河，它們穿過三角洲，並且運送河川負荷物（load）到海濱，數百至數千年以來，在地中海沿岸形成由沈積物組成的突岬。本區最早的濱線調查可以回溯到 1800 年拿破崙想要征服埃及的時候。Rosetta 突岬的濱線在 19 世紀期間向外海移動，到 20 世紀卻是以後退為主，從進夷轉變成侵蝕大約在 1909 年時（圖 2）。

是什麼使 19 世紀突岬的前進戲劇性的轉變成 20 世紀的侵蝕呢？毫無疑問，尼羅河上的水壩是三角洲侵蝕的主要原因；亞斯文高壩切斷了尼羅河所有到達海岸的沈積物，並且使得尼羅河變成涓涓細流。但問題是亞斯文高壩直到 1964 年才完成，而三角洲的主要侵蝕在本世紀初（約 1909 年）就開始了。另一個可能的解釋是亞斯文低壩在 1902 年完工，壩體就位在後來興建的高壩的下游。不過低壩與高壩不同，它並沒有形成一個像 Nassar 湖那樣的大水庫，只有在夏天低水位時才會貯水，以維持較高的壓力水頭，好讓河水可以在灌溉渠道中輸送，而且低壩可以讓尼羅河的大洪水與其所挾帶的沈積物通過（Scientific American, 1902）。所以，1902 年興建的亞斯文低壩和 1964 年興建的高壩對河流的衝擊性不可相提並論。

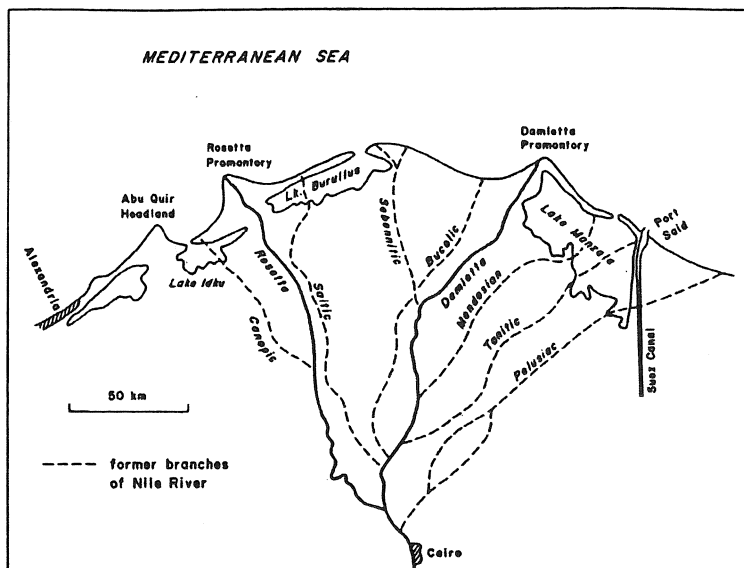


圖 1 尼羅河三角洲，目前仍活動的 Rosetta 和 Damietta 分流，幾條古代曾出現的分流以虛線表示。

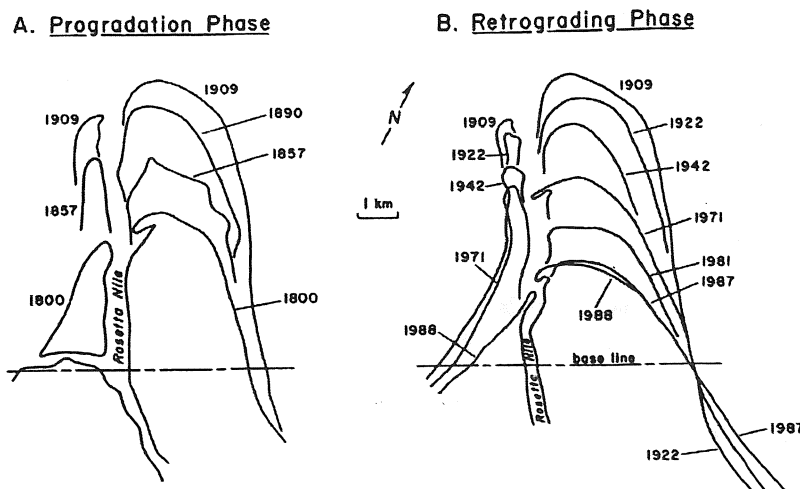


圖 2 Rosetta 突岬在 1800 年和 1909 年之間進夷，在 20 世紀變成侵蝕。

有其他原因可以解釋尼羅河三角洲從本世紀初就開始的侵蝕嗎？研究發現，尼羅河的年流量自本世紀初起明顯減少(圖 3A) (Firhy and Khafagy, 1991)；這並不是亞斯文低壩造成的，而是反映了北非到中非的氣候變遷—撒哈拉周緣地區 (sub-Saharan) 變得較為乾燥 (包括尼羅河的上游)。同一時期，這個區域內所有湖泊的水位都降低，例如位在非洲中部的查德湖的水位 (圖 3B)。這樣的證據顯示尼羅河三角洲於本世紀初開始的侵蝕極有可能是對「因為氣候變遷而流量自然減少」所做的反應。1902 年興建的低壩只是時間上的巧合，與三角洲的侵蝕關係不大；不過 1964 年興建的亞斯文高壩 (以及 Nassar 湖的形成) 對三角洲則有很深刻的衝擊，不僅造成濱線侵蝕，也大量毀滅海岸魚類，並且引發其他很多環境後果。

實際上過去數千年來北非沙漠一直在擴張，長期的氣候變遷影響了尼羅河的流量以及三角洲濱線的侵蝕和堆積模式。從古埃及法老一世到第五王朝 (西元前 3100—2400 年) 尼羅河就有洪水測量的記錄，資料顯示尼羅河洪水水位在這七百年間持續低降 (Bell, 1970)。當希臘歷史學者於西元前五世紀訪問埃及時，他提到三角洲上有七條分流 (圖 1 上的虛線)，而現在只剩下 Rosetta 和 Damietta 兩條分流，也反映了長期以來氣候變乾燥以及輸送到三角洲的沈積物減少的趨勢。

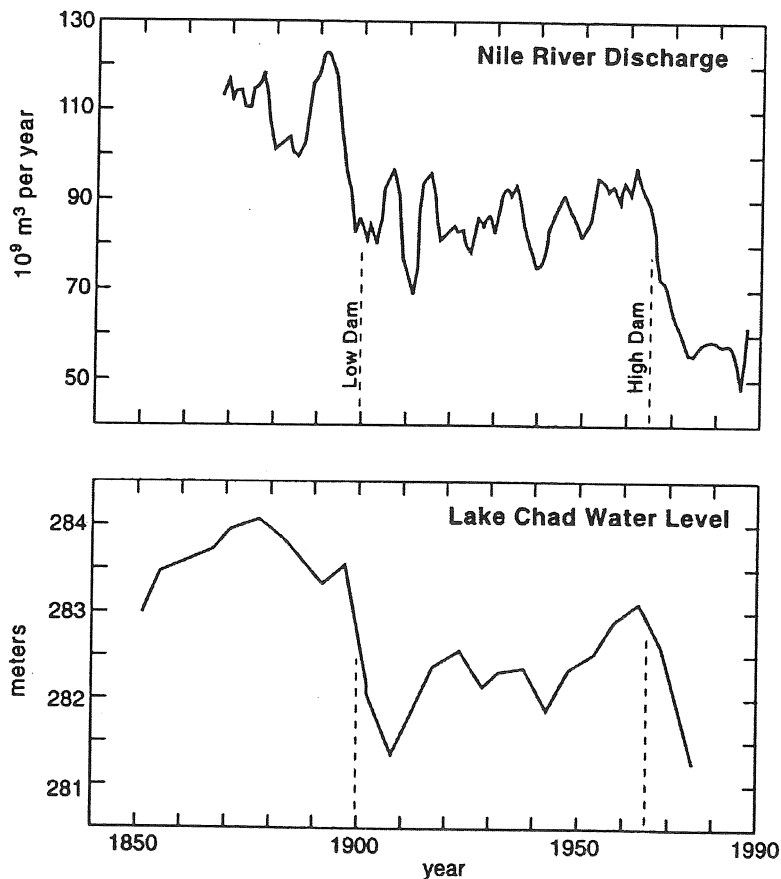


圖 3. 尼羅河年流量的實測值。顯示在 1900 年因為流域內雨量減少，流量突然下降，查德湖的實測水位也明顯下降。

### 美國西北太平洋岸的海岸侵蝕 (Coastal Erosion in the Pacific Northwest)

世界各地許多大大小小的河流上建有水壩，很多都產生像尼羅河亞斯文高壩的效應 (雖然規模沒有那麼大)。但是也有大河上建壩卻對海岸衝擊很有限 (或很難辨識出) 的情形，位於美國華盛

頓州和奧勒岡州邊界的哥倫比亞河可能就是其中一個例子。哥倫比亞河在 1930 年代興建了一系列的水壩，位在主流上的大壩似乎只攔阻了相對少量的沈積物，反而是位於支流上數以百計的小水壩在沈積物抵達主流前就把它們攔截下來了。不論如何，哥倫比亞河流域中的水壩應該會對以此河為重要沈積物來源的海岸有所衝擊。

哥倫比亞河所注入的海岸介於奧勒岡州的 Tillamook Head 和華盛頓州的 Point Grenville 之間，大約 150 公里長 (Kaminsky et al., 1998)。雖然哥倫比亞河上建有許多水壩，但是這段海岸的濱線在這個世紀的大多數時間是以每年數公尺的速率增加。不過最近幾年似乎出現海難侵蝕逐漸增加的情形，在少數幾處侵蝕的「熱點」(hot spots) 政府和私人財產都受到威脅。這是我們最後終於看到哥倫比亞河水壩所產生的影響了嗎？但是也有可能是在這個世紀以來，哥倫比亞河的下游段和它的大河口扮演著“沙庫”的角色，雖然供給量可能逐漸減少，但是還是持續供沙給海岸。最近的侵蝕也有可能是因為氣候的改變所造成，特別是聖嬰(艾尼紐)事件的次數更頻繁了。在 1982-83 年和 1997-98 年兩次主要聖嬰現象期都造成整個美國西海岸嚴重的侵蝕。在南加州，是因為海水面抬升和強烈風暴激浪狀況的改變 (Flick and Cayan, 1984; Flick, 1998; Seymour et al., 1984; Seymour, 1998)。在北加州和西北海岸，聖嬰事件期間局部出現的「熱點」侵蝕是因為各段海岸內的沙會異常的向北移動，所以侵蝕主要發生在各段海岸的南端(岬角的北端)，也發生在突堤的北側和可自由移動的潮流口的北側 (Komar, 1986, 1997, 1998b)。這個模式可以解釋哥倫比亞河沈積物內最近大部分的侵蝕狀況 (Kaminsky et al., 1998)，所以很容易下結論說侵蝕就是極端聖嬰事件的產物，而和哥倫比亞河上興建的水壩無關。但是，我的想法是兩者都很重要，水壩興建使沙源減少讓海岸更容易被侵蝕(長期因子和潛在控因)，而近期的聖嬰事件代表的則是較短期和更明顯的侵蝕衝擊。

另外，在不遠處的 Ediz Hook (位於 Juan de Fuca 海峽南岸的沙嘴) (圖 4) 是人類導致海岸變遷和侵蝕的例子中我最喜歡的一個。Ediz Hook 是由向東的沿岸流搬運來自 Elwha 河和海崖侵蝕(冰河外洗沈積物)的礫石所構成 (Galster and Schwartz, 1990)。沙嘴的侵蝕從本世紀初期 Elwha 河建壩(估計切斷了每年 38,000 立方公尺的供沙到海岸)和後來在侵蝕後退的海崖前修築海堤(減少每年 200,000 立方公尺的供沙到海灘)時就開始了。大致如所預期的，沙嘴的最大侵蝕量出現在西端，而沙嘴的末端仍然能持續向東生長，因為有來自西端被侵蝕的沙源供應。這個沙嘴是 Angeles 港的天然保護，所以沙嘴的維持很重要。當局的作法就是沿著整個沙嘴修建護岸 (revetment)，並且進行養灘，以取代以前自然界所供應的礫石。養灘代表的是人類干預沿岸沈積物的整體收支 (overall budget of littoral sediments)，也是在試圖改正以往所犯的錯誤。更進一步則是審慎地考慮是否要拆除 Elwha 河上的水壩，不只是為了讓河中礫石可以自由抵達海濱，主要是為了鮭魚復育。移除水壩顯然會對 Ediz Hook 沙嘴的沈積物收支有正面的效應，但是更重要的是海堤仍然在繼續防止海崖侵蝕而不能釋出沈積物到達海濱。

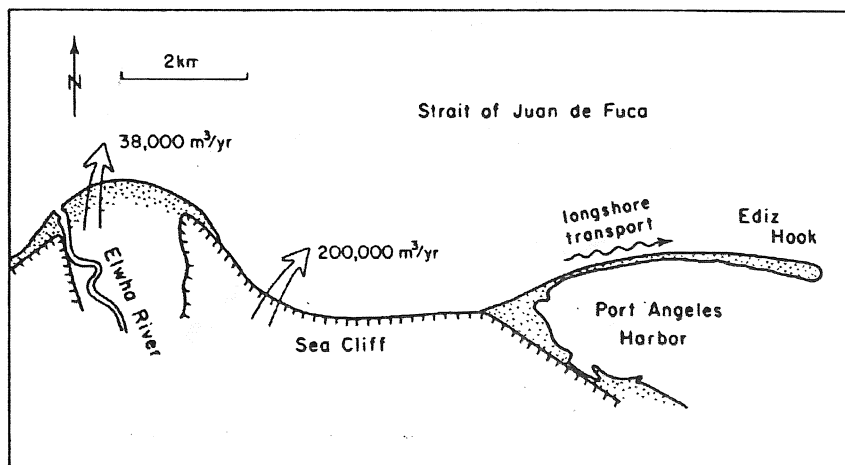


圖 4. 華盛頓州 Ediz Hook 的侵蝕是因為 Elwha 河上築壩與侵蝕崖處修建海堤，而使沈積物來源損失。

南加州的人工海灘 (The “Artificial” Beaches of Southern California)

海灘基本上是加州的生活方式，電視影集「海灘遊俠」(Baywatch)可以為證。就像 Flick (1993) 所說，一般人並不清楚南加州大部分的海灘是人工的，是由濟深港口所產生大量的沙填置到海岸而成。本世紀初期的天然海灘大多狹窄而且通常是由大礫 (cobbles) 所構成，與在影集「海灘遊俠」中所看到的寬廣沙灘很不相同。南加州大多數的流域中都建有水壩和水庫，以提供更多的水來支持這個半乾燥地區持續增加的人口和農業發展，為了減低水庫損失最少的水，許多河床在通過社區之處都被鋪上混凝土。這樣沙子怎麼可能到達海濱？更糟的是，熱愛海灘的加州人在海崖上蓋滿住屋，然後用大量的海堤保護在侵蝕的海崖，而這正是切斷了海灘的最後一滴沙源。毫不意外的，因為人為活動的負面衝擊大於養灘的正面貢獻，南加州各處海灘都面臨著侵蝕問題。

如先前所言，加州海岸可以劃分成一系列的沈積胞 (圖 5)，以河流和海崖為海灘沈積物的天然來源，沿岸漂沙的優勢方向是往南，近濱帶的沙主要是在位於沈積胞南端 (下一段岩石海岸的北側) 的海底峽谷流失 (Inman and Frautschy, 1966)。與沙的天然移動糾纏在一起的是人類的活動；養灘增加海灘寬度，水壩和海堤的修建則切斷天然沙源的供應。每一個沈積胞可以被視為一個單位，獨立於其他的沈積胞，而且各沈積胞的沈積物收支情形差異很大。

Flick (1993) 回顧一系列沈積胞養灘的歷史。列於表 2 的體積看來非常之大，每年有數十萬立方公尺的沙被填置在海灘上，這樣的體積估計大致與未建壩之前河流自然供應到海岸的沈積物規模相當。但是列於表 2 海灘填沙的量是有些誤導的，因為這些沙大致是在 1935 到 1960 年代被填置的，也就是南加州多數港口首度興建或濟深的時期。就如 Flick (1993) 所顯示，在這段時期的年填沙率比長期的平均值高 (表 2)，但是從 1960 年代起，填沙量就減少許多。例如，Santa Monica 沿岸胞在 1938-1960 年間的年供給率大約是每年 800,000 立方公尺，但是從 1960 年起就只有每年 50,000 立方公尺。這是整個南加州的模式，一般人以為本區典型的寬廣沙灘其實是過去數十年海灘填沙的產物；現在因為填沙量降低以及來自河流與海崖的天然供沙減少，所以海灘遭受侵蝕。表 2 中也列出了目前河流供沙的估計值，並且與建壩前的值對照，表現出來自河川的沈積物顯著的下降。

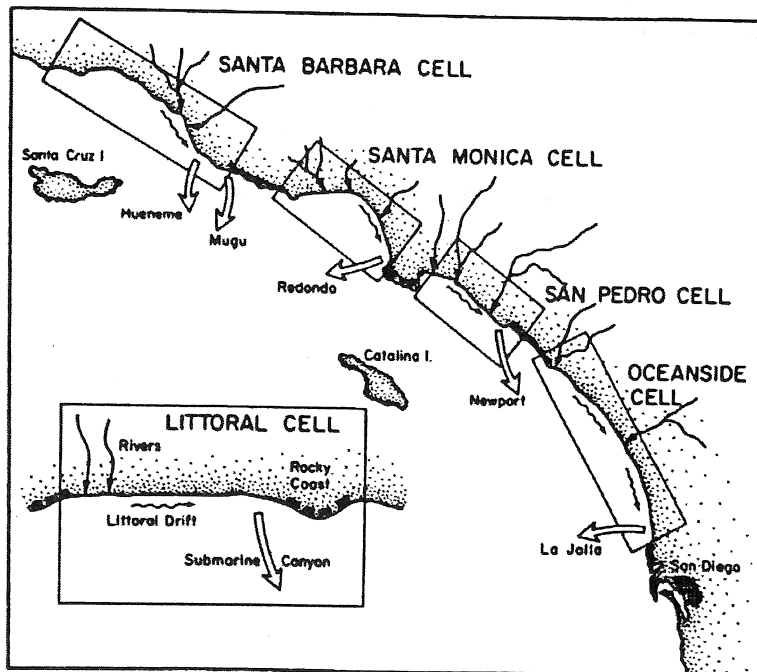


圖 5. 加州南部海岸的沈積胞 (根據 Inman and Frautschy, 1966)



表 2. 南加州海灘填沙以及河川沙源 (Beach Nourishment and River Sediment Sources in Southern California) (Flick, 1993)

沈積胞	養灘 (1000 m <sup>3</sup> yr <sup>-1</sup> ) (1938-1990)	河流輸沙量 (1000 m <sup>3</sup> yr <sup>-1</sup> )	
		自然的	人為的
Santa Barbara	260	905-915	587-748
Santa Monica	440	?	46
San Pedro	300	930-1100	22-345
Oceanside	190	170-346	112-203
Mission Bay	75	7-37	5-84
Silver Strand	565	66-535	32-115

沿著濱線興建工程結構物也會對沈積物收支有衝擊。特別受關注的是受海堤保護的海崖長度正在增加，這些海堤是要保護那些建在太靠近海崖邊緣的房子。為因應 1980 年以來逐漸增強的風暴，興建了愈來愈多的海堤，特別是在 1982-83 和 1997-98 嚴重衝擊南加州的聖嬰事件期間與之後。但是海崖的侵蝕是灘沙的重要來源，在某些沈積胞中甚至比河川供沙還重要（即使是在建壩之前）(Inman and Master, 1991)。海堤的興建有累積性的衝擊，逐漸地切斷來自海崖侵蝕的天然供沙。導流堤、防波堤和防沙堤對海岸的衝擊很複雜。Flick (1993) 指出這些結構物把濱線分割成一系列的次沈積胞，減低了漂沙沿濱線的向南移動，也減少最後在海底峽谷的流失。在這個案例中，結構物延長了沙 (1960 年代以前被填置到海灘上) 在海灘上停留的時間，相對的，Oceanside 港的防波堤則有負面的衝擊。這個防波堤使向南的淨沿岸流沈積物搬運被繞射至遠濱到等深線約 18 公尺處 (10-fathom) (Dolan et al., 1987; Inman and Masters, 1991)。沙粒在越過港口後不再移回海灘，顯然是因為海底坡度改變 (在較低的海水面期所形成) 的緣故。自 Oceanside 港興建之後，被繞射到遠濱的灘沙量大約是 2700 萬立方公尺，約相當於每公尺海灘長度 322 立方公尺 (Inman and Masters, 1991)。

最近有關沈積物收支的詳細報導是 Inman and Masters (1991) 所研究聖地牙哥郡的沿岸胞，我最感興趣的是他們加入了時間要素。歷史證據顯示風暴強度有長期性的轉變，這些風暴群 (clusters of storms) 是造成海灘侵蝕的時期。尤其是波浪的分析指出 1945-75 年波浪強度異常的低，而自 1980 年代起能量開始增強 (一部分是因為聖嬰事件)。另一個重要的變化是只有大洪水才能突破河谷埋積輸送沈積物到海岸，在河口形成臨時的三角洲，並扮演下游海灘沈積物來源的角色。但是隨著三角洲的侵蝕，沙源逐漸減少。由於這種長期性的變化，Inman and Masters 分別為 1960-1970 年和 1983-1990 年發展了各自的沈積物收支，並且指出對未來做預測有相當的不確定性。

### 堰洲島的侵蝕 (Barrier Island Erosion)

每當我們反省嚴重的衝擊會造成海岸侵蝕時，第一個想到的通常是美國東岸和墨西哥灣岸的堰洲島。在面臨海水面的抬升和破壞性強的颶風與東北風時，堰洲島「細線」的生存似乎很脆弱 (Dolan et al., 1980)。然而人們仍然向這些海岸聚集，所以製造了「問題」。海準面抬升和大風暴基本上是自然作用，但是堰洲島所經歷的大部分侵蝕是由於人類活動對海岸帶來的長期衝擊。

在溫室暖化 (greenhouse warming) 出現以前，海準面的抬升都是自然作用，大洋面在第四紀冰期間有超過一百公尺的變化。根據世界各地潮位資料的分析，全球的海準變動在過去一百年間是 10 到 20 公分。美國東岸和墨西哥灣岸的潮位記錄顯示平均海準面在二十世紀抬升了約 50 公分，而其中的 30 到 40 公分被認為是地層下陷所造成。更極端的數值出現在密士失必河三角洲，因為該地沈積物的累積所以下陷量較大。在德州的 Galveston，當地的海準面相對抬升量可以達到每世紀 110 公分 (表示有更高的地層下陷量)，主要是因為抽取地下水和石油。所以，即使是在 (相對) 海準面抬升的例子中，人類活動都會有所衝擊。

如果我們採用 Bruun 法則 (Bruun Rule) 來評估在相對海準面抬升 50 公分的情況下濱線後退的規模等級 (order-of-magnitude)，以海灘坡度 1:50 來計算，可以得到 25 公尺的侵蝕距離，若是發生在過去一百年就表示平均侵蝕率 25 cm yr<sup>-1</sup>。但是沿著堰洲島所實際測量到的濱線變化量的規模等級都比這個數值大 (May et al., 1983)，這意味著除了海準面抬升對堰洲島非常長期的移

動和侵蝕很重要之外，必然有其他重要的因素才會造成如此高的濱線變化率。

Allen (1981) 對新澤西州 Sandy Hook 的侵蝕問題所作的調查研究發現，當地一個遊憩型海灘 (recreational beach) 的平均侵蝕率從 1953 年起大約是  $10 \text{ m yr}^{-1}$ ，而最重要的原因是「沈積物匱乏」(sediment starvation)。這個海灘位於防沙堤海堤系統的下游側，因為濱外波浪折射模式以及最近風暴頻率和強度的增加，導致沿岸漂沙被搬離此地。Allen (1981) 認為，自然和人類所引發的各種因子對當地沈積物收支所造成的累積衝擊可以解釋所觀察到的海灘侵蝕率。

另外一個例子是 Inman 和 Dolan (1989) 對北卡羅來納州的 Outer Banks 的研究。從 False Cape 到 Cape Hatteras 全長約 160 km 的平均濱線後退率是  $1.4 \text{ m yr}^{-1}$ 。透過各種的分析，他們認為有 21% 的侵蝕是因為海準面抬升，而剩下  $1.1 \text{ m yr}^{-1}$  的後退率是由於越波沖刷作用 (39%)、沿岸漂沙輸出 (22%)、風吹沙的搬運 (18%)、潮流口的堆積 (10%) 和 Oregon 潮流口的疏濬 (11%)。在這個例子中，可以說只有小部份的侵蝕是人類活動所導致 (潮流口的疏濬)，大部分的侵蝕是和自然作用有關。

北卡羅來納州的 Outer Banks 很幸運，只有受到小部份人為導致的侵蝕，我們很容易找到其他已經遭到人類深刻改變的堰洲島，特別戲劇性的一個例子是 Ocean City 潮流口的突堤造成馬里蘭州 Assateague 島的侵蝕 (Leatherman et al., 1987)。導流堤群攔阻向南移動的沿岸漂沙，造成 Assateague 島最北端最大的侵蝕加速度。在導流堤建好的第一個五十年，平均濱線後退率大約是  $9 \text{ m yr}^{-1}$ ，不過從 1985 年導流堤改建後減低到  $4.5 \text{ m yr}^{-1}$ 。Assateague 島的北端幾乎就要消失了，而且經常被越波沖刷。

單從這些少數的例子就可以很明顯的看出，對堰洲島侵蝕的重要因素在各處都很相似，不過各因素的重要程度不同。在這個軸線的一端，Outer Banks 潮流口的疏濬是當地的主要人為因子，只佔濱線後退中的一小部份；在另一個極端，Assateague 島的大量侵蝕幾乎全是導流堤攔阻沿岸漂沙的結果，人類基本上是侵蝕的唯一原因。

### 結論 (Conclusions)

這個專題演講的主題是「為什麼會海岸侵蝕？」本人採用這個主題的目的是要再次強調我們對造成海岸變遷和侵蝕原因的多面性的體認。這個題目同樣也涵蓋了本次大會 (*Coastal Sediments '99*) 主題「海岸沈積物運動和地形變遷的尺度」。「尺度」是包括空間上和時間上兩方面，我認為兩者對造成海岸侵蝕的因子都同樣重要。

我以回顧一系列發生在各地的侵蝕問題的個案來探討這個主題。我希望它們足以說明除了像大風暴這種造成侵蝕的立即性因子外，常常還有潛在的長期因素，那些可能是氣候變遷和人類對環境衝擊的產物。有時候我們很難建立這些因素，因為它們是在大的時、空尺度上運作。尼羅河三角洲侵蝕的例子說明兩者都很重要，氣候變遷和降雨減少造成尼羅河輸送的沈積物減少而引發三角洲侵蝕，1964 年興建的亞斯文高壩則是致命一擊。美國西北太平洋岸和南加州的濱線侵蝕更進一步展現了多元因素的重要性，其中許多例子涉及到人類對環境的衝擊以及最近發生的大型聖嬰事件。美國東部和灣岸的堰洲島受到像海準面和大風暴這樣自然作用的影響，但是也受到導流堤、海堤興建與不當的漂沙管理的衝擊。

在面對侵蝕問題以及考慮遊憩型海灘的經濟重要性時，我們逐漸把養灘視為解答。這是合乎邏輯的解決方案，特別是把養灘所供應的沙體看成是取代從該地沿岸系統所流失的沙源 (因為在河流上建壩、導流堤攔阻沿岸漂沙和為防止海崖、沙丘侵蝕而修建的海堤)。事實上，當社會改變環境而對沿岸沈積物收支造成的不良影響時，藉由養灘的形式來歸還等量的沙體以減緩海灘侵蝕是有必要的。

參考文獻 (略)

專題報導

## 九二一地震災情分析\*

主講人：林雪美\*\* 記錄整理：林名璟\*\*\*

九二一地震造成全台灣嚴重受創，民衆對於震災的衝擊備感威脅。在這一年的時間裡，我藉由演講推廣對台灣地震的認識與生活災害的認知。加上許多同學的協助調查，我投入霧峰鄉災情的研究，希望初步的研究結果能提供為災後重建的參考，以盡地理學者棉薄之力。今天我首先針對九二一地震作時空間的特性介紹，再進一步作地震造成的災情分析，希望最後能與在座的同學們互動，交換心得。

### 一、九二一地震資訊

又名：集集大地震		
編號：中央氣象局第 88043 號地震		
日期：1999 年 9 月 21 日		
時間：1 時 47 分 12.6 秒		
位置：23° 85' N, 120° 78' E (日月潭西方 12.5km, 即南投集集鎮附近)		
震源深度：7.5km		
規模：7.3 (芮氏規模)		
各地最大震度：		
南投日月潭 6 級	台中市 6 級	新竹竹北 5 級
宜蘭市 5 級	嘉義市 5 級	台南永康 5
台北市 4 級	高雄市 4 級	屏東九如 4 級
台東成功 4 級	苗栗三義 3 級	花蓮市 3 級
台東市 4 級	馬公市 4 級	

一般而言，我們習慣將地震發生的震央附近地點作為地震事件的命名，例如關東地震、梅山地震，不過這次集集地震卻不知不覺地被以地震事件發生的時間叫響名號。九二一地震發生時刻記錄的非常清楚，也許你會很好奇怎麼連秒數都有報導，其他天然災害如火山爆發、洪水，我們對其發生時間常只記錄是哪一天或哪一時段，也沒有把時間點說的那麼細膩，原因在於地震是一種「瞬間」爆發能量的事件，必須說出其發生的精確時間點。而這個地震的震源來自地下 7.5 公里，根據一般定義，在地表 30 公里以內者為淺層地震，九二一地震的震源卻是極淺層的，因此天搖地動的情形，造成地表的嚴重破壞程度也是可想而知的。

九二一地震使全島各地都有相當明顯的有感地震，例如台北是四級的震度。震度即指震央能量傳遞開來，對地表所造成的地震強度，通常用「級」來表示，以人的感受和物體的破壞程度作為指標，而台灣是採用七級劃分法。但地震發生後，有些媒體報導「集集大地震是 7.3 級」，這是錯的，震央的地震規模是以 1935 年由美國芮士特所訂的，數字後不加單位。當然我們也要注意，1935 年以前所發生的地震，其發布的地震資訊不同於芮氏規模推算值，因此地震規模並無法精確地加以比較。美國對九二一地震的發佈資訊是 7.6 芮氏規模，這是因為美國距離台灣遙遠，故以地震傳遞的表面波去估算地震規模，與中央氣象局估算的地震波不同所致。

\* 921 專題演講稿 (時間：89 年 10 月 14 日晚上 7-9 時地點：台灣師範大學誠 102 教室)

\*\* 國立台灣師範大學地理系副教授

\*\*\* 國立台灣師範大學地理系 92 級學生

## 二、九二一地震的時空特性

### 1. 地震規模與頻率

地震能造成巨大的傷害，就在於它一瞬間所爆發出來的能量，這次九二一地震的水平分量達到  $983\text{gal}$  ( $\text{cm}/\text{sec}^2$ )，若將這次地震的能量具體化，相當於紐約一年所用的電量或是近四十顆原子彈的能量，而這樣的能量更甚大家所熟知的阪神地震或舊金山地震。不過因為地震的規模和它發生的頻率大致成反比，像九二一這樣規模的地震，通常都需要相當長的時間才能累積足夠的能量。根據中央氣象局公布的資料，即指出台灣百年來大於 7.3 的地震有四次，等於 7.3 的地震有六次，雖然 1935 年以前的地震規模，與芮氏規模有所差異，但仍可說明規模較大的地震，頻率較少的特性。其實地球每一年所發生的無感地震有數十萬次，有感地震有六千次以上，大於 7 芮氏規模者也有二十次以上。但像九二一地震這麼大的能量，造成地表長距離平移且垂直變位 6m 以上的嚴重破壞，可算是世界活斷層之最。

### 2. 地震的時間特性

地震的時間特性，我們可以從三個角度切入來看，即是地震的經歷時間、肇端速度與間隔時間。九二一地震主震發生後，截至 10 月 6 日共發生了 1.5 萬次以上的餘震，整個地震經歷的時間相當長；餘震主要在主震後一個月內，分別在 9 月 21 日早晨、9 月 22 日、9 月 27 日發生了 6.8 規模的強烈餘震，之後餘震規模逐漸減小，且餘震間隔日漸拉長。聯合國 IDNDR 組織特別將地震列為首要研究與防治的自然災害，即因為地震的肇端速度相當快，常令人措手不及，卻又造成相當嚴重的災情；九二一地震規模大且肇端速度相當快，在 20 餘秒這樣短促的時間裡把 40 顆原子彈的能量全部釋出，也難怪台灣全島到處柔腸寸斷了。另外，九二一地震造成車籠埔斷層活動線上明顯破裂，事實上過去地球科學界的研究，早已指出車籠埔斷層為一活斷層，但因其南段的證據不足，並未加以推算斷層再次活躍的時間，九二一地震後根據資料找出附近區域的地震記錄，有人認為 1917 年的活動曾造成地表最大垂直位移 15 公分，或許是其上次記錄。倘若如此，則可以推估車籠埔活斷層活動的間隔時間應是 82 年，甚至專家認為像 7.3 這樣規模的地震應該在一百年以後才會再發生。當然，這只是用人類短暫的歷史去推估地球長遠的歷程，其準確性自然是無從檢驗的。

### 3. 地震的空間特性

九二一地震在全島各地均測得有感地震，各地地震震度由南投、台中地區的 6 級，向南北延伸至新竹、宜蘭、台南等地的 5 級，台北、高雄等地的 4 級等，較之過去台灣地區的地震，顯然受影響範圍相當廣泛。而在空間的集中程度上，則以震度最大的南投、台中地區災情最為慘重，受災密度也最集中，尤其豐原、東勢的垂直錯移量最大，主要因地震波向北傳遞時，在車籠埔斷層北段速度減緩，釋出能量的累積而導致最嚴重的地表破壞。新竹以北、南投和台中以南的災區位置則較為分散。

## 三、九二一地震的發生與致災因子

對於地震事件的了解，應從致災環境、成災因子及承災體的特性等方面去分析。我將九二一地震發生與致災的原因歸納為下列各項：

1. 本島位處板塊交界帶，常因板塊擠壓而引發地震；加上地層擠壓多形成南北向的斷層，台灣地區活斷層據估即有 51 條，這些斷層的活動也常會引起地震。這次九二一地震就是因為車籠埔斷層活動所引起。
2. 由於中部地區「北港高地」的阻擋，使集集附近震央的震波無法向西部沖積平原傳遞，地震能量集中在南投與台中地區，就連餘震的位置也集中在中部地區，因此造成中部嚴重的災情。
3. 九二一地震為極淺層地震，釋放能量接近地表，故造成地表破裂相當嚴重。
4. 災害的定義為人類生命、財產的損失，而台三號道路沿線，聚落多、人口集中、農果園積廣，在面臨強震威脅下，自然受災的情況最為嚴重。
5. 由於過去斷層活動的證據不足，很難推估其再現週期，對於確定度不一的車籠埔斷層亦是如此。因此，在無預報、無加強防震措施的情況下，震災的發生也就在所難免了。

#### 四、九二一地震的災害種類

九二一地震造成的受災範圍廣泛，引發的災害種類也相當多。主要有下列幾種：

1. 都市災害：房屋倒塌、傾斜、龜裂、移位  
橋樑與橋面斷裂、龜裂，如：名竹大橋、烏溪橋、埤豐橋  
路基淘空、路面起伏、龜裂  
人員傷、亡、埋困、失蹤
2. 山區災害：大型崩塌堰塞成湖，如：草嶺潭  
崩場地，如：九份二山  
水庫壩體斷裂，如：石岡壩  
土石流，如：南投信義鄉陳有蘭溪流域  
果園破壞，如：卓蘭南灣、霧峰中興大學葡萄園
3. 平原災害：土壤液化，如：烏溪口  
地盤隆起、下陷  
農田隆起、龜裂  
作物與行道樹等連根拔起

#### 五、九二一地震的災情分析

##### 1. 災情統計

日本阪神地震因為房屋老舊而倒塌嚴重，加上瓦斯外漏引發木造房屋的火災，其傷亡相當慘重。比起地震規模略小的阪神地震，九二一地震的災情顯然小的多，但其所造成的地表變位量是前所未有的，更引發停水、停電、山崩、地滑、土壤液化、地盤下陷等災情，導致全台灣 2,319 人死亡，8,736 人受傷，130 人失蹤或受埋困，可貨幣化財物損失合計 2,920 億元，其中房屋全倒 9,909 棟（40,845 戶），半倒總計 7,575 棟（41,393 戶）（表 1），災情亦甚慘重。因處於震央位置，中部地區的南投縣與台中縣災情最為慘重；台中縣死亡人數依序以東勢鎮、石岡鄉、豐原市、新社鄉、太平市、大里市、霧峰鄉等為較多，全縣總計出動消防、義消、警察及民間救難團體 5,562 人次。

表 1. 台灣九二一集集地震各地災情統計

地 區	死亡(人)	受傷(人)	失蹤或埋困(人)	房屋全倒(棟)	房屋半倒(棟)
台北市	72	316	32	3	20
新竹市	2	4	0	5	0
台中市	113	1112	0	496	516
嘉義市		11	0	1	0
台北縣	39	145	7	1	2
桃園縣	3	84	0	9	2
新竹縣		4	0	2	1
苗栗縣	6	196	0	136	221
南投縣	857	2434	26	4197	3509
台中縣	1124	3606	40	4728	3018
彰化縣	24	388	6	30	2
雲林縣	76	423	15	256	250
嘉義縣	2	5	4	40	33
台南縣	1	1	0	0	1
宜蘭縣		7	0	5	0
合 計	2319	8736	130	9909	7575

截至 1999 年 10 月底，統計自行政院主計處、內政部消防署等機構。

##### 2. 災情的空間特性

為了了解九二一地震災情的空間特性，我以霧峰鄉為主要調查災區，將數千個受災位置點入全

鄉地圖中，企圖分析其受災位置的空間共同性。結果有以下三點結論：

1) 房屋受災與斷層線距離間呈現高度正相關

霧峰鄉直接座落在斷層作用範圍內的房屋，受災最嚴重，如台灣電影文化城

與斷層線相距在 2km 以上者，受損最低，如霧峰沖積平原

房屋座落方向並非房屋受損的必要條件

意即並無南—北向道路兩側的騎樓式房屋較易受損之共同性

初步實察南投、台中、苗栗斷層活動線附近房屋災情

似有道路的兩側東—西向房屋較易損壞之情形

但詳細勘查霧峰鄉房屋災情發覺，統計受損房屋的位置

卻仍有多數並不位在縱向道路兩側

位在斷層上盤、下盤、跨活動線等房屋，受災情形不一

離斷層活動線 1km 以內的範圍中，不見得距斷層線愈近，房屋毀損情形愈嚴重

需視其房屋建材、結構、形狀、座向與來力方向等有異

1km 以外的地方，房屋受損情形較輕微

嚴重者多半是因為本身結構、立體形狀等條件不佳所造成

如：沖積平原上國小校舍、磚瓦造農舍

2) 災情與交通、聚落發展密集度、山坡地開發程度密切相關

受災房屋絕大部分位在道路沿線→ 都市災害

車籠埔斷層 921 活動線與台三線大致吻合

沿線為聚落發展地區，人口集中、房屋密集

斷層線以東的丘陵區，災情較少→ 山區災害

但有房屋震災的位置，亦即道路開闢、聚落形成之處

如有住宅山莊、觀光果園、高爾夫球場等

3) 河川舊流路並非今日發生震災位置的重要因素

有人臆測：台三線以西沖積平原上的災情

主因建築物建造於烏溪流域舊流路的台糖土地，如林家花園等

故在震波傳達過程中，因礫石地基不穩，造成地上物倒塌的現象

我的檢驗：將受災位置位置，點繪於尚未水利開發的清代堡圖集（1904 年）

分析結果：房屋災情位置與舊流路並無空間上的吻合

## 六、結語

九二一地震造成的嚴重災情，現在仍在修復中，我們應該多了解地震，也多給予災區重建工作一份支持。下面歡迎各位提供寶貴意見，謝謝。

## 七、提問

問：地震是否有前兆？

答：確實民間談論著許多的前兆，如地聲、地光、昆蟲增多、動物異常等，但多數未經科學性的驗證，因此要藉重那些前兆來作地震預報，仍是無法做到的。雖然比較確定的是，地震發生前會有氫氣溢出的前兆，但因微量氣體很快地散去，在測定上具有難度，所以也很難作預測。

問：九二一地震與土壤、岩性有關嗎？

答：九二一地震確實與土壤、岩性有關，中部地區的卓蘭層、頭嵛山層多為砂岩、頁岩或砂頁岩薄互層，疏鬆的土壤與膠結不佳的岩性，造成面臨強震時，最容易引發地物的破壞與土石崩塌。

問：台灣何處無地震？

答：位於板塊交界帶的台灣，有密布的活斷層，自然沒有一個地方沒有地震。雖然以目前的科學研究，精確的地震預報是困難的，但是我們可以加強防震措施、教育避震方法、演練救災系統等，使我們因應地震時能從容而不慌張，使災情能減到最低。所以，對地震的認識是相當必要的。

GEO 情報網

教育部「學習加油站」介紹

網址：<http://content.edu.tw>

87 年 2 月教育部電算中心召集學校、單位及縣市政府教育局代表召開籌備會議成立「資訊教育軟體與教材資源中心」，由本校電算中心負責規劃與整合工作。其目的為整合中小學學科教材與數位化資源，免費提供全國師生共享教學資源；及教學與學習的經驗交流園地。

由網站首頁進入「學科教材」分為國小、國中、高中及高職四組：國小十四個學科；國中十九個學科；高中十七個學科；高職六大類二十一個學科，網站整合、蒐集之資訊涵蓋了德、智、體、群、美五育的教育資源。選擇任一學科進入，提供有該學科相關之「教材庫」、「測驗題庫」、「動態報導」、「軟體資源」、「網路資源」、「討論園地」、「資料上傳」等項目。

教育部「學習加油站」之建構，期能（一）加強師生應用網路資源，突破傳統學習的限制，使教育環境更多樣化，以逐步實現因材施教，及為終身學習環境奠定基礎；（二）加強資訊化學習資源之質與量，達到資源共享、縮小城鄉差距之目的。

編輯室報告

◎贊助地友芳名錄

- 貳仟元 朱僑光老師（中和市）
- 陸佰元 洪美蘭老師（彰化縣）
- 伍佰伍拾元 黃國秀老師（台中市）

非常感謝各位地友的支持與贊助

贊助 地友帳號：01311261

戶名：地理學系系友會總會

下期預告

專題報導總編輯：吳進喜老師

地址：台北市和平東路一段 162 號  
 電話：(02) 23637874, (02) 23929704,  
 (02) 23627057  
 傳真：(02) 23691770  
 劃撥帳號：0131126-1 地理學系系友會總會  
 網路位址：<http://www.geo.ntnu.edu.tw/>  
 BBS 信箱：[bbs.ntnu.edu.tw](mailto:bbs.ntnu.edu.tw) 之 area 信箱  
 E-Mail：[geo@deps.ntnu.edu.tw](mailto:geo@deps.ntnu.edu.tw)

( ) 收帳戶個人存款或記帳卡號碼不在此列，一律請勿開列。

郵政劃撥儲金存款通知單		收帳號		01311261	
存款戶名		地理學系系友會總會			
新臺幣					
<small>(請用正、貳、參、肆、伍、陸、柒、捌、玖、壹等大字並於數字前加一號字)</small>					
匯款局收帳號		存款人姓名		通訊處	
		存款人		電話	
存款人代號					

( ) 收帳戶個人存款或記帳卡號碼不在此列，一律請勿開列。

郵政劃撥儲金存款通知單		收帳號		01311261	
存款戶名		地理學系系友會總會			
新臺幣					
<small>(請用正、貳、參、肆、伍、陸、柒、捌、玖、壹等大字並於數字前加一號字)</small>					
匯款局收帳號		存款人姓名		通訊處	
		存款人		電話	
存款人代號					

虛線內備機器印運用請勿填寫

( ) 收帳戶個人存款或記帳卡號碼不在此列，一律請勿開列。

郵政劃撥儲金存款收據			
收帳帳號	存款金額	電腦紀錄	經辦局收帳號

存款人收據聯