

第六場 『冰晶甲烷—能源生態與環境』(2007 年12 月30 日)

國立成功大學奈米科技與微系統工程研究所 余思緯 紀錄整理



劉教授以及各位朋友大家好，今天很高興有這個機會可以來到這裡為演講者介紹。我們大家都知道，在 20 世紀中能源是一個很重要的研究課題，特別是清潔環保的能源，而在我們國內也投入了很多在這方面的心力，特別是在天然氣和水這方面，我們也達到了一個很大很驚人的突破，這些都是在許多大學中優秀的教授與科學家來進行這

方面的研究的。今天要特別跟各位介紹一位在這個研究範圍中可以說是具有領導地位的教授，請各位以熱烈掌聲歡迎台灣大學的劉家瑄教授。

在我剛剛所說有關天然氣水合物的研究團隊中，劉教授可以說是一位非常重要的領導人，劉教授目前任教於國立台灣大學海洋研究所，他是美國加州大學聖地牙哥校區海洋研究所的博士，他在地球物理探勘海洋地球與物理版塊結構這方面可說是台灣一位很頂尖的專家。他也曾經擔任過美國標準石油公司的研究員、台灣大學海洋研究所副教授、台灣大學海洋研究所海洋地質與地球物理組主任、同時也是國家海洋研究中心主任、美國地質調查研究所訪問學者等。他也參與許多學術團體，有中國地質學會理事、中華民國地球科學聯合會理事、中華民國海洋鑽探聯合學會秘書長、國際海洋研究學會中華民國分會主席、總統府第四屆科技諮詢委員、中國地球物理學會監事等，並且獲得許多重要的獎項，如台灣大學優良教師、中華民國地球科學聯合會所頒發的 PAO 期刊最佳審查人獎、PAO 是地球大氣海洋科學方面的一個重要的期刊、另外還有台化科技獎，是由國科會與法蘭西自然科學學院合頒的。這個要特別講一下，這是因為過去我國在海洋研究跟法國方面有合作的關係，這項計畫的窗口以及主持人都是由劉教授擔任的。我想在這裡就節省時間，因為大家都急著要聽劉教授的演講，今天演講的時間我們預定在十一點半左右結束，我們會預留大約半個鐘頭的時間給各位朋友發問，特別要跟各位說明這是國科會的一個計畫，是為了要鼓舞更多年輕朋友對自然科學方面的興趣，所以我們希望等一下在發問的時候，在座的各位年輕朋友可以盡量問問題或者從劉教授的演講內容中發現問題，我想就盡量把時間留給年輕的朋友們，讓我們再次以熱烈的掌聲來歡迎劉教授，謝謝。

各位先進、各位同仁，以及在場的各位年輕朋友們大家好。今天真得是很榮幸能夠參加這場盛會，特別能到高雄科學工藝館來給大家做個通俗的演講，就像聊聊天一樣，反正一個多小時的時間很充足，因為我自己本身是地球科學的背景，目前我覺得比較有興趣的題目是冰晶甲烷。其實冰晶甲烷的正式名稱剛剛校長在介紹的時候也有提到，就



是天然氣水合物，而用冰晶甲烷這個名字是比較吸引人一點，不像天然氣水合物這樣聽起來死氣沉沉的。不過我今天在演講中，因為投影片內容的關係，所以很多裡面還是寫天然氣水合物這個名字，我想要介紹這個東西的話，大家如果有興趣的話，主要是著眼於未來它很可能會成為一個能源，尤其是現在能源短缺的時機油價一直飆漲，所以這些有可能變成能源的東西，會更受到大家的注意。其實除了可能會變成能源之外，一開始雖然是從能源的角度來切入調查，後來大家在調查過程中發現到，它對於環境以及整個地球生態，像對於氣候以及地質災害這方面，其實很可能都扮演著某些重要的角色。所以當世界上許多國家都在對這方面進行研究的時候，能源固然是很主要的一個原因，可是對於環境與氣候以及海域災害等方面，其實通通都很有關係的。我想今天我就利用這個機會，我在一開始的時候會提一下，我著重的當然還是會探討能源這方面的問題，不過首先當然還是要跟各位介紹一下冰晶甲烷到底是甚麼東西，它有什麼樣的性質，它在地球上分佈的情況是怎麼樣。當然在點出它的重要性之後，我也會跟大家介紹一下冰晶甲烷目前在世界上，各個國家是如何進行研究的，以及目前新的發展是如何，就是所謂的知己知彼。

當然我們瞭解這個情況之後，在後半段我就會開始探討我們該如何來進行這方面的調查。我們在台灣西南海域發現有非常豐富的冰晶甲烷的存在，所以到最後一段時間的時候，我會給大家介紹一下國內的學者們在冰晶甲烷的研究。至少我個人認為，在國際上許多學者都認同台灣的自然條件是非常好的，所以各為假如有興趣的話，很可能未來可以朝這方面來努力。首先，就像我剛剛講的，冰晶甲烷只是一個很好聽的名字。其實真正來講，它是叫做甲烷水合物。水合物到底是什麼東西？水合物就是水分子在某種情況下它會形成像籠子的一種結構，然後把一個氣體分子包含在裡面，就是水分子裡面包的氣體就是甲烷氣體。其時不光是甲烷氣體，很多其他的氣體都會形成這種類似的結構，一旦變成這種結構之後，因為水源來是液體，而氣體分子是氣體，可是形成這種結構之後，它就變成像固態一樣，特別是對於甲烷水合物來講，它就是結成像冰塊一樣，但是又沒有

像冰塊那麼硬，有點像雪塊凝結在一起的味道，所以我們才稱它為水合物。重要的就是說，它的氣體跟周圍的水分子理面來講，它就像一個籠子把它包在裡面，並不是真正有化學鍵做結合。所以在這種架構之下，只要你外在的環境一改變，它很快就會又分成氣跟水，當冰晶甲烷的量夠大的時候，因為它裡面包的就是甲烷氣，甲烷氣就是我們一般所稱的瓦斯氣，這就是天然氣，等於是固態結成固態的天然氣。我在這裡顯示的是水分子包含在氣體裡的結構在不同的環境，以及氣體分子的大小有時候會有不同的結晶格子。所以並不是固定的某一種型態，我們可以把它分成幾種型態，最通常的就像畫在圖上的這個一樣，我們可以看到中間有好大的一個甲烷分子，旁邊這些小顆的都是水分子把它包含在一起。我也說過，它一旦在常溫常壓之下，基本上氣是氣、水是水，所以就算已經結合成冰晶狀態，一旦到了常溫常壓之下之後馬上就會氣化，火柴一點就開始燒起來，所以這是非常典型的。

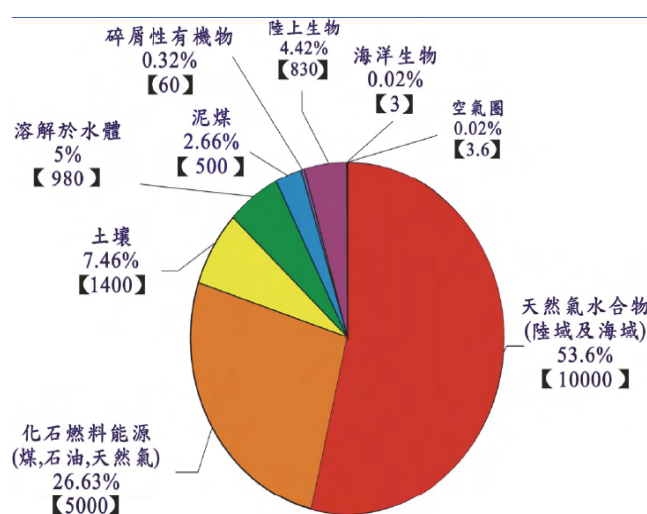
那麼，在什麼樣的情況之下，氣體分子跟水分子才能夠結合成水合物的狀態，結合成形成冰晶甲烷的條件呢？基本上來講，考慮到它的溫度、考慮到它的壓力，還有環境當中氣體的濃度一定要夠高，氣體濃度不高的話也不容易形成。所以通常來講就是，壓力要很高、溫度要很低。那致於說，壓力要多高溫度要多低的話，因為這兩者是相互的。譬如說，假如我們在大氣壓力之下的話，冰晶甲烷要存在的話，必須要在溫度攝氏-30 到 40 度左右才會形成，通常我們在野外看到冰晶甲烷的樣本把它採集起來，通常是會放在液態氮裡面，讓它維持在攝氏-40 度以下的環境它就會型成固態。或者說，利用高壓的容器把它維持在高壓的狀態下，當然，如果在地表上它還是會維持原始的這種狀況，所以就是要：高壓、低溫，還有要足夠的氣體分子。在這種情況之下，我們可以來看到，在大自然當中在什麼地方可能有這種條件可以形成冰晶甲烷？我們通常發現，目前在世界上大家所找到的，在自然界中以常態存在的大概就只在兩種地區：一個是在高緯度，也就是在極區。不管是在北極或南極也好，通常因為溫度非常低，所以地表上常常會有永凍層，就是說地表是結凍的、不會化掉的。在那種情況下，因為它的溫度很低，所以在某個深度之下，尤其是在北極地區，因為北極附近本身有很多氣田存在，所以甲烷氣的濃度也很多就會形成。這個圖給同學們稍為說明一下好了，因為這種圖講起來枯燥了點，不過我覺得這是個很重要的觀念，如果拿這條線當作相的一個界面，橫坐標是溫度以虛線表示，它的存在只要在線的左側來講，只要環境適合，你的環境掉在線所區分的溫度、還有深度，深度也是代表它的壓力，因為大家都知道越往地心走壓力就越大。就是在這種情況下，冰晶甲烷就可以以水合物的型式存在，如果溫度跟壓力是在這邊的話，那當然就分離開了。可是在實際的情況之下，這條線下面應該通通都是，可是沒有畫，只有黃色的地區才是，因為黃色的地區的這條虛線代表實際的情況。所謂實際的情況就是說，我們就算到了極區有永凍層，可是在永凍層那邊來講，地球的地層也有地熱，有它自己本身的溫度。所以意思也就是說，它的溫度就到這裡就是這麼高，所以真正能夠存在的就是只有在比這個溫度還要高的地方。

譬如說，可以從 200 公尺一直到差不多 1000 公尺的地層當中可能有存在，再往下走，因為地熱的溫度太高就沒辦法形成結晶的狀態了。太淺的話，有時候會覺得壓力又太小了，也沒辦法形成。所以這是這樣子來看的，同樣道理，除了在極區之外，另外可能形成的地區，就是在海水底下。因為我們知道在深海中，海床表面的溫度是非常接近 0 度的，當然不會真的到 0 度，通常來講大概都是 4 度或 2 度左右，算是比較低一點的。同時水的壓力很大，你越往深走就越大，所以我們同樣把相位的線畫出來，然後用海平面以下的深度代表壓力逐漸往下增加，我們可以發現，假如有一個海床，它在海底的深度差不多是在 1200 公尺左右，這條線也就是實際的地溫梯度，這裡是實際水的溫度，這邊是海床的溫度，同時一旦進入海底，它的溫度會慢慢上升。可是，它已經掉在這條線的左邊了，所以也就是說，在這個範圍之內，都可能形成甲烷水合物。那為什麼在海水上面沒有畫黃色，溫壓條件適合，可是海水當中甲烷氣的含量非常稀薄，所以在這個裡面你看不到。那在地層當中，如果沉積物很多，有很多甲烷氣的話，它就可以形成了。

所以你知道這個條件之後，你就可以知道為什麼在地表上是可以發現的。為什麼可以發現？等一下我會在跟各位聽眾做一個說明。那我們先來看一下，人類是怎麼樣最早發現甲烷水合物的？其實最早也不是甲烷水合物，而是水合物的這種架構。早在十八世紀，最早是化學家發現的，因為他們在實驗室中常常都會做各種合成氣體或液體混合的實驗，或者把溫度改變，還是壓力改變。他們就發現到，在某些低溫高壓的情況之下，某些氣體跟水會跟水混在一起結晶。最早在 1770 年代的時候發現二氧化硫跟氯氣很容易形成，一位英國的化學家達威也寫出來並且教大家怎麼樣合成。法拉第，如果大家都念過化學的話，都知道他是一位非常有名的化學家。他在十九世紀的時候，它就已經把氯水化合物的化學式子導出來了。到了二十世紀，對於各方面的研究當然越來越多，現在很多實驗室可以用人工合成的東西出來。當然，從前都是在實驗室裡面做的，在大自然當中，在過去來講其實大家發現的並不多。一方面是因為人類不管是在極區或是在深海底下，從前的技術還沒有到可以做很好的探測、很大的範圍。最早發現到這個東西的，其實是一個德國人，因為當時他們在高緯度的地方開始開發，有氣田、有油。他們用油管把油輸送到港口，輸送到比較溫暖的地方，讓船可以進出的地方，他們就常常發現油管被塞住，為什麼被塞住他們也不曉得。後來他們把管子打開之後才發現，原來管子裡面都結冰了，到後來他們經研究發現，原來這個東西就是天然氣的甲烷水合物，所以甲烷水合物在自然當中最早發現。就是在管子裡面加壓，而且油在管子裡面流動，所有的溫壓條件都適合，而且濃度特別高它就形成了。所以早期的時候，在 1930 年代許多石油公司就開始研究，可是他們那時候研究的目的是要找出一些東西加到油跟氣裡面，至少能夠讓油在輸送的過程當中不要轉換成天然氣水合物，讓油不要被塞住。所以一直到 70 年代 80 年代的時候，石油公司聽到天然氣水合物都會覺得很頭痛，是很討厭的東西。他們不希望這個東西存在，這樣他們在打油輸氣等各方面才會比較順暢，可是那時候已經有

了，在大自然當中，陸上是一位俄國科學家在 1967 年發現。因為俄國在西伯利亞有一個氣田，他就發現在那個氣田裡面有的氣很可能是天然氣水合物所解離出來的，因為他們在鑽井的過程當中採集到天然氣水合物的標本，這是第一個最早報導在自然界中採集到的標本而不是在實驗室裡面合成的。後來在海域裡面也是同樣這位俄國的科學家發現，他報導說，在黑海的海底發現也有，其時在黑海附近也有很多的油田。

所以他們也是一樣，在做這種調查的時候發現都有，那既然發現了之後，尤其是這些東西都常常是跟氣和油這種能源在一起，所以很多科學家就對這個東西有興趣開始做調查。到了 1980 年代，其時在 1970 年代有些學術單位在做調查的時候就發現到，從政策的資料裡面有一些跡象顯示說，好像可以觀察的到有這種天然氣水合物存在在海床下面，而且他的分布還很廣大，就是代表它的量很多，所以大家對這個東西就越來越有興趣。再加上那個時候 70 年代的深海鑽探計畫，有一艘鑽井船是為了做學術研究，它在世界上很多不同的海域一直鑽井，採集海底沉積物的標本拿回去做分析。事實上，我們現在大家耳熟能詳的板塊運動學說，其時在深海鑽探計畫中提供了非常重要的資訊，能夠支持整個學說的計畫，他們在鑽探的時候是在大陸邊緣，就是在大陸跟海交接的地方，水深大概是從幾百公尺到兩三千公尺的地方，它就鑽到天然氣水合物的標本。所以就證明說，這個東西其實分布在地球上是很廣的。1982 年美國的能源部就開始考慮，

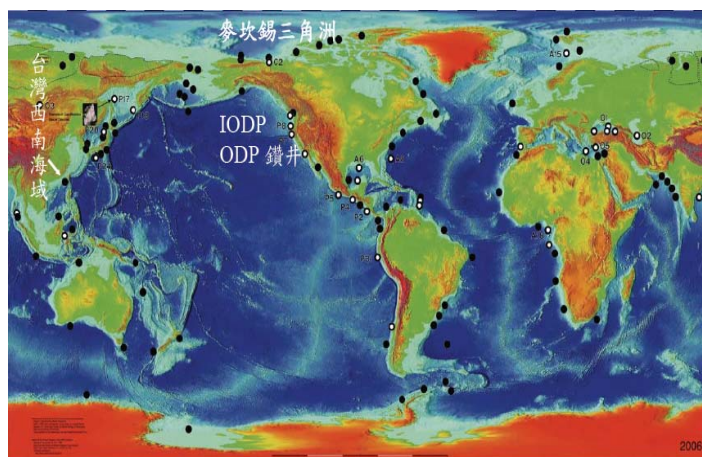


這個東西是不是有可能成為能源，他就推動一個十年計畫，事實上是兩個五年期的計畫。在這個階段裡面，當然就等於說是開始有國家進行正式有規模的研究，地質調查在這個計畫裡面是把所蒐集到的很多資料彙整在一起，到 1988 年的時候有一位學者就發表一篇文章，他指出這個量非常的大。因為通常我們在講能源的時候是講有機碳的含量，

不管你是煤或是石油還是天然氣，只要是這種(fossil fuel)化石燃料，主要你要算燃料的量話就是要算有機碳的含量是多少。根據他的估算，假如陸上的生物、碎屑、泥煤、或者土壤內等等，這些東西都有有機碳，它大概佔全球能源總量還不到四分之一。

我們目前已知道所有儲量的能源，包括煤、包括石油、包括天然氣，通通加在一起大概超過四分之一，剩下一大半他估算說是天然氣水合物，也就是說。假如在這個東西不知到之前，大家都以為這兩個就是代表所有的能源儲量，可是以天然氣水合物的量的估算，他認為這是很不得了了的，這個東西的量如果全部可以

轉換成能原來開發的話，那能源危機至少能夠延後數十年甚至數百年的時間，因為它比目前所有已經知道的石油，天然氣和煤這些燃料加在一起還多兩倍。當然，這個圖現在看起來的話事實上有很大確商的餘地，因為等等我就會跟大家講。天然水合物的量雖然很多，我們估計很可能地球早期形成的時候就已經有了，存在到現在其實已經分布很散了，在非常散的情況下，若要把他開採出來當能源當然是非常沒有經濟效益。舉個例子來講，大家都知道沼氣，大家小的時候就拿一個東西丟在水裡面一點沼氣就來了，甚至有的時候野火會突然燒起來，那些東西其實都通通算是能源。可是那種能源通常是不能夠使用的，現在我們可以探討一下說到底是不是真的有那麼多，可是剛被發現的那個時候，當然引起世界上相當大的迴響重視，所以很多國家就陸陸續續開始投入做調查。

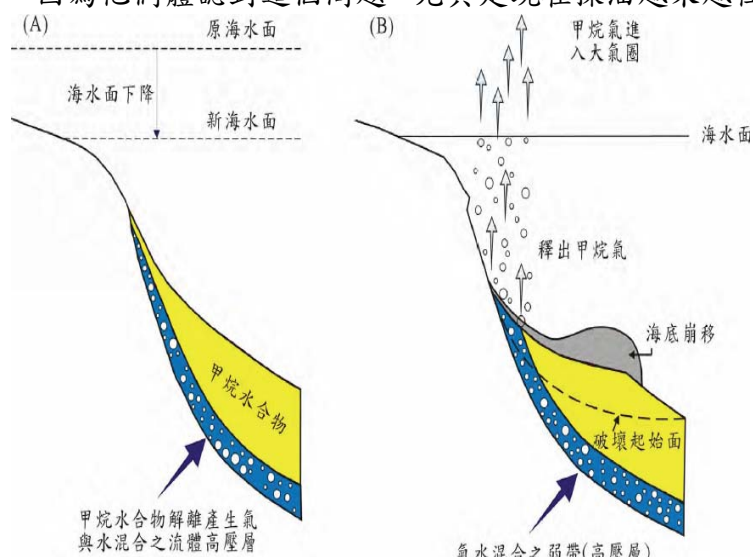


這張圖是就是我剛剛說的這位先生提出的，這是 2006 年 USGS 發表出來的，它把全球目前調查已經發現有天然氣水合物的地點都標在上面。各位可以看到主要當然是在極區，南北極高緯度地區其他都是在大陸的邊緣地帶，因為大陸邊緣帶水深的條件很適合，但也不是所有的大陸邊緣帶都有，應該要講沉積物傳輸非常快速的地方，因為沉積物傳輸很快，裡面的有機質很多所以就比較有機會產生甲烷。乙烷這些高晶類的東西在比較貧瘠的海灘旁邊事實上也不見的會有，各位可以看到在這裡就是台灣的西南海域，我記得這位先生最早開始發行的時候，大約是 1998 年，他做了一張圖出來，那時候台灣沒有在裡面，到了 2002 年開始有比較好的數據，我還到 USGS 訪問過他，因為我們那時候要推這個計畫，所以對於國際上知名的學者都要去請教拜訪一下。我們把我們的資料給他看，他一看才發現，原來台灣這邊也有，就馬上把那個點給點上去了，所以以後來圖出來的時候就有了。當然在這個裡面，除了黑點之外也有一些白點，黑點跟白點的差別是什麼，黑點是代表說我們發現有，可是證據可能不是直接的。利用地球物理、地球化學或其他的方法可以顯示說應該是會有的，可是並沒有實際採集到樣本。這些打白點的地方都是真正有鑽井下去並且有把標本撈上來，這是 2006 年的圖，2007 年其實又有一些新的地方。譬如說中國大陸在南海有發現，韓國在東海就是日本海西側那邊也有打到，基本上都有。真正來講，只要地球物理，地球化學或地質上的證據上顯示海床底下有這個東西只要鑽井大概都可以打到，這沒有什麼問題，所以事實上也證明的確它的分布非常的廣。有一些在內海的地方，像黑海、裏海這些地方，甚至在貝加爾湖也有。貝加爾湖其實是很奇特的，因為它是一個淡水湖，但卻在裡面也有發現，所以科學家對於那些地方也都覺得蠻有趣

的。另外除了台灣西南海域之外，這裡是麥坎錫三角洲，我特地把它寫出來講是因為目前有許多國家，有加拿大、日本等等這些國家在這個地方進行天然氣水合物開發的實驗，他們已經在那邊鑽井並且把它開發出來，研究該如何把水合物轉換成能源，所以這個地點大家要知道一下。另外 IODP 鑽井的話我也會講，因為我參加了一個 ODP 在這個地方鑽井的航次，其實對於天然氣水合物很多東西都是參加那個航次學來了，等等我在講的時候也會給大家看一看在船上的一些經歷經驗，因為只要上去一次，對於很多東西的研究就有比較完整的全貌瞭解。

所以從這個圖大家可以看得出來，天然氣水合物在全球的分布的確確是非常的廣，在大家開始研究去看它的分布之後，有很多科學家發現，在有天然氣水合物的地方海床常常有坍塌的現象。舉個例子來講，假如海床在這裡，通常來講越往水深的地方壓力就越大，所以天然氣水合物它所能存在的深度會越厚一點，就是說它可以在這裡存在，因為跟他的溫度壓力條件有關係，假如說環境改變了，像海水面下降，我們現在都是擔心海水面上升，如果進入到冰河期使得南北極的結冰很茂盛造成海水面下降，海水面下降會造成壓力變輕，壓力變輕使得原來在海底很穩定的天然氣水合物會發生解離現象，並且通常是下面的部分會先解離，因為它的壓力一旦減輕，相對於同樣壓力的溫度就會超過，一旦解離就會變成氣和水。各位可以想像，上面是冰，下面原來是固態，變成了氣跟水之後這裡就變成一個很不穩定的情況，如果說在這裡發生地震或發生其他的情況使它造成振動，上面很容易就會坍塌，所以下面的氣就很容易跑出來了，因為它形成了這個弱帶，所以大家就認為它造成坍塌的機會比沒有天然氣水合物存在的要高很多。

以美國來說，美國其實並不缺乏能源，它不像日本台灣韓國這些國家幾乎90%以上的能源都要靠進口。對他們的石油公司來講，都還有很多的氣田還沒有開發，因為他們認為成本還不夠高，等成本夠高的時候他們才會陸陸續續開發，所以他們對天然氣水合物並不是很有興趣。可是最近幾年他們也是積極在投入，因為他們體認到這個問題，尤其是現在探油越來越往深水進行，過去都是在陸上



就可以探勘到，後來在淺水大約100至200公尺水深的地方，現在到1000至2000公尺水深的地方去探油已經是司空見慣的事情了，一旦到深水區去探油的時候，甲烷水合物在海床底下的分布就變得很重要了。尤其是像我剛剛說的，有油氣的地方通常一定會有甲烷水合物的存在，因為它物理

條件都符合，只要油氣能量足夠就可以了，當他們把一個鑽井台鑽到深一千多公尺深的地下，他們很怕只要環境一改變，原來很穩固的海床突然垮掉，一個鑽井台通常要幾百億的經費，一旦垮掉的話一定是損失慘重，現在他們在調查主要是對於環境的問題非常的重視，目前他們的目的還不是將水合物轉換成能源來開發。對於地質災害其實是有的，對於台灣周圍海域也是一樣，我們也發現西南海域有天然水合物的地方也有一些坍塌的現象，我們最怕的是會造成地層的不穩定，像是在地震很多的地方，台灣就是，只要地震一搖而造成大規模的坍塌形成會帶動海嘯，原來地震搖一搖說不定沒什麼事情，如果是在海底造成海嘯的話就很糟糕了，所以在這方面很多國家都很注意。另外大家發現海床底下包括陸地下有這麼多的甲烷氣存在，過去大家沒有想像到的，我們現在天天在說全球暖化、二氧化碳要減量，要不然海水面會上升北極的冰都不見了。

大家談的都是二氧化碳，事實上甲烷氣對溫室效應的效果要比溫室效應高出十幾倍，假如有同樣量的甲烷出來，它對溫室效應加速的情形比起二氧化碳要快太多了，有很多科學家開始緊張，原來有這麼多得氣存在這邊，他們也從歷史上去看，的確人類在世界氣候變遷的歷史上曾經有好幾次在很短的時間內，地球的溫度突然上升好幾度然後再降回來，這個原因在過去是不太容易找到理由的，他們認為造成這種現象很可能就像我剛剛講的，假如某個地方大量坍塌使底下有很多水合物和天然氣跑出來一下子散到大氣層當中，這樣就會在很短的時間內造成很快的溫室效應。也有學者提出更可怕的惡性循環，假如全球暖化就會使的海水溫度增加，海水溫度增加很可能使海床底下的水化合物變的不穩定而開始解離，解離以後就開始放出來，甲烷釋出之後跑到大氣層當中加速暖化，加速暖化使得海水溫度就越高產生一個惡性循環，那世界末日就到了。這件事提出來的時候，看起來好像有點道理，可是歷史上好像也還沒有說真正觀察到這種現象。不管怎麼樣，有很多學者用這種學說來解釋歷史上過去有很多氣候突然變暖的情況，當然也不是說這種現象不可能發生，以我自己各人的認知認為也不必太危言聳聽，所以我們就來看看加水合物解離真的會加速全球暖化嗎，其實我認為至少在水裡面的可能不太容易，如果是在永凍層那就不一定了，因為永凍層沒有水層的阻隔，假如溫度一提高那永凍層就開始融化，那永凍層下面的水合物就馬上開始解離，氣體直接跑出去那就有可能，可是在海水裡面其實還有一些保護的機制。就是甲烷水合物自己本身有一個自保的機制為什麼我們認為世界上有這麼大量的甲烷水合物存在？假如它真的這麼不穩定的話，那些氣體早就已經跑到外面了，不會還封存在地底上，所以它保存的很好。為什麼呢？因為我們知道水合物的存在若壓力不變的話是需要低溫的，可是當溫度增加開始解離的時候，解離的過程自己本身是一個吸熱的作用，所以一旦解離的量越多所吸的熱就越多，就馬上把周圍的環境又冷卻下來，所以它可說是有一個自我制衡的機制存在。

在這種現象之下，我們不認為真的會發生如剛剛所說的那種惡性循環的結果，因為它很快的解離馬上就降溫冷卻下來，只要一冷卻就會回復到比較穩定的

狀態。另外，就算在某些情況下它會溢散到海床的表面上，然後會開始往上跑，可是我們知道海水當中甲烷的含量的濃度是非常的低，也就是說當一個氣體在海水中要形成天然氣水合物至少要到飽合，甚至過飽合的狀態，海水可以溶解甲烷很多的量，所以通常氣體出來了之後，它穿過海水層之後，大多數的甲烷不是被氧化就是被溶解在海水中，所以真正能夠跑到大氣當中的量事實上並不多。尤其是現在我們發現地球上很多地方，海床底下的甲烷氣隨時隨地都在冒，台灣西南海域就有，我到最後給大家看一張照片，如果這個氣都跑到大氣層當中的話，人類不必排二氧化碳早就都暖化掉了，所以海水其實扮演了一個非常好的保護層，在地質史上也發現過。在很短的時間內突然會有很大的溫度變化，這是怎麼來的，當然有的時候會有一些外在的情況，譬如有人就懷疑大約 5500 年前是不是突然有隕石打下來，不用造成像恐龍滅絕那麼大的影響，譬如說隕石打在大西洋，大西洋兩岸周圍就會受到影響，很可能底下的甲烷會被解離掉，因為它是很瞬間大量的跑出來可能海水也來不及吸收，這種情況可能是有的，可是時間應該都是很短暫的。從另外一個角度來講，就算我們發現甲烷氣會造成全球暖化的話，我們恐怕也沒有辦法對抗，二氧化碳是人為造出來的還可以減量，甲烷的話是很難控制的。

不過以目前來說，對於氣候的影響還不至於那麼大，除非伴隨著某些地質突發的事件，像是大的隕石撞下來或大地震這樣比較有可能。地球上既然有這麼多的甲烷氣，這些氣到底是從哪裡來的？假如我們真的能夠把它拿來利用成能源的話，其實地球自己本身有很多有機質的物質，這些物質存在的時候，假如它被深埋在地底下壓力較大的情況下油氣會慢慢分解出來而形成氣，如果在溫度壓力適合的時候會有油，同時有的氣會凝結成為液態，就是凝結油，在很淺的地方也會，只是在很淺的地方是靠生物作用。我們發現有很多細菌在地表上，就是產生甲烷的那種細菌，它會製造出很多甲烷，也就是說，除了深埋的這些有機質的物質經過長時間的加熱，重壓等等。形成了天然氣跟石油之外，即使在接近地表的地方，生物圈本身就會製造出許多甲烷氣出來，沼氣其實也是利用生物圈的力量產生的。以能源探勘方面來說，大家都比較喜歡找這些，因為這些是在較深的地方慢慢烤出來的，烤出來了之後會先形成並不會馬上跑到地表上就散掉了。尤其是有適當的構造時能夠把所生成的油或氣累積在一起，累積到量很大的時候就可以是能源的開發了，致於在地表上這些生物所產生的甲烷，因為通常它分布的範圍是相當的廣。因為微生物到處都是，所以產生的氣很快就直接跑掉了，以分布來講也都比較散，譬如說在新營一帶中油就有氣田開發出來，那些氣田就是這種生物源的，可是通常那都只是淺淺小小的構造把生物源產生的氣累積在一起，當然也還值得開發，大部分天然氣水合物之甲烷氣為生物源，像我們在大陸棚或大陸斜坡等很多地方，當然有些構造好的地方會有油氣，那就是我們要找的目標。假如我們要把天然氣水合物當成能源，或者未來有能源開發的價值，作法還是要跟石油探勘一樣，不是發現只要撈上來就可以了，這樣其實經濟效益不高，還是要跟石油探勘一樣找到適當的構造，讓它累積到足夠的量再去開發才可以。生物源的

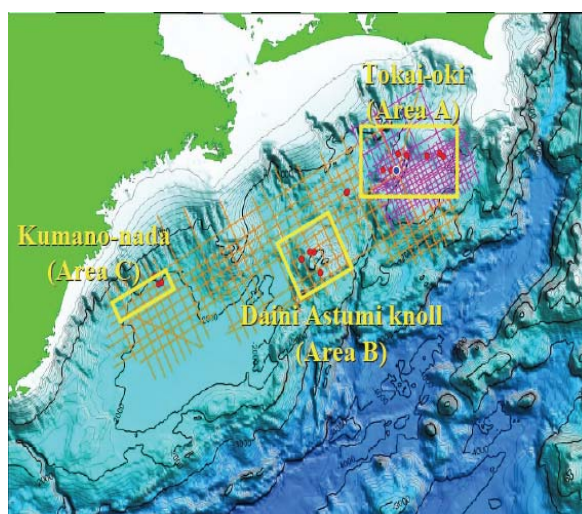
甲烷菌製造有兩個方法，一個是發酵，另一個是二氧化碳去氧。這樣都可以產生甲烷氣在沉積物當中，這個圖其實是很複雜的，不過我們最主要要瞭解的主要是著重在海域，因為台灣周圍就是海域，所以永凍層我就不講了。你要知道台灣海域當中如果有天然氣水合物的話他在海域裏面的情況大概是怎麼樣？以及它對於整個周圍的環境來講又是怎麼樣？這個是海床，海床在上面的話只要有甲烷跑進去來講通常都是被氧化掉變成二氧化碳跟鹽酸跟離子。

真正來講，它主要的氣是從下面上來，因為微生物很多所以上面比較少，下面比較多。累積上來之後它會從下面往上跑。這條線是一個 Phase Boundary，這是地溫梯度，我們從剛剛那個相圖中可見到在這個框框裡面是天然氣水合物可以存在的，也就是說從海床到低溫梯度到相位相交的深度來講，以下不會有水合物的存在，以上是可以存在的。當然，甲烷水合物到底分布是怎麼樣，這是我們現在很多學者希望能夠認識的。以目前來講，假設從上面形成了水合物累積在這個地方，就累積在邊界上面，這個邊界我們另外有一個名詞叫作 BSR Bottom Simulating Reflector 海底反影反射，那是地球物理上的一個名詞我等等會跟大家說明一下。往上走了之後甲烷就慢慢往上跑，跑到一個程度其實甲烷氣會被不斷的用掉，因為在這個裡面有一些硫酸鹽，硫酸鹽的就是會利用甲烷來做還原作用，所以甲烷氣的量如果不夠甲烷根本跑不到海水裡面就已經硫酸鹽還原掉了。所以在正常的情況之下，就算你有一些甲烷氣穿過了冰晶甲烷層往上跑的話也不見的跑到海裡，我們甚至常常會拿硫酸鹽慢慢降到 0 的位置，由甲烷的深度來決定這個地方的甲烷量大不大，大的話這個東西就很快，就是說它供給的量很高它一下子就用完了，慢的話就可以用很久所以就可以用深一點。所以我們可以知道說那個環境事實上是處於熱的，只有在這個環境之下溫壓條件適合、濃度夠，甲烷水合物才能夠在地層當中形成，這就是它的環境。

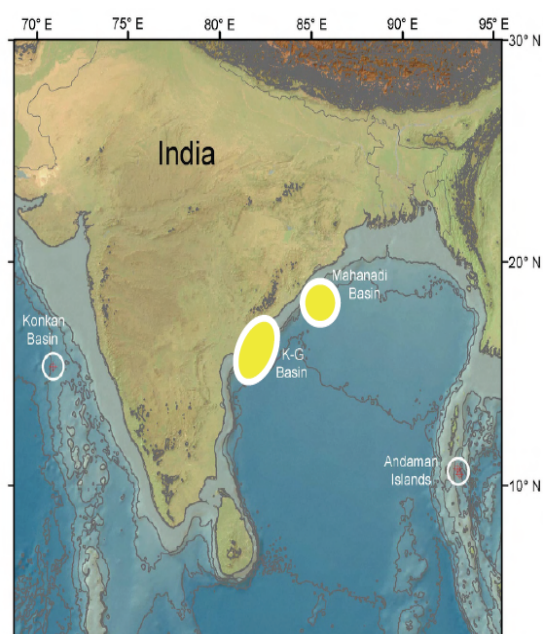
我們瞭解之後就來看一看，大家知道這些東西我們到底要怎麼樣調查，怎麼樣研究它了，真正有興趣的都是 90 年代開始，因為 80 年代美國開始做那個調查之後很多國家就的確發現這個東西好像有，所以很多國家就開始投入。像加拿大、印度、日本，大部分都是 90 年代開始的。他們在調查永凍層還有溫哥華外海，溫哥華外海就是我剛剛說的海洋鑽探計畫 IODP 到那邊鑽井的地區，永凍層當然指的就是鑽井開發的那個地方。印度也是，印度其實這個國家很大，不過它本身的資源不是很豐富，所以他們很早就開始了。他們由國家天然氣的公司開始丟了很多錢下去有 4.2 億美元，所以他們做了很多。日本也是，日本從 95 年開始正式開始來做，日本其實做得非常積極，到現在來講全世界恐怕做得最積極的就是日本。他們砸下大筆的金錢，並且日本是第一個認為說可以把天然氣水合物開發的國家，就是把它開發成能源的國家。日本其實起步也沒有太早，當然在 80 年代的時候有些做基本的調查，那個時候日本的地質調查所其實有作一些調查，可是真正對於天然氣水合物的調查是 95 年開始的，到 96 的時候因為這個東西已經變得很重要了，所以學術界也開始研究。第一個為專門調查天然氣水合物

的鑽井計畫，日本在這個五年計畫結束的時候，在 1999 年在日本鑽了一口井當然也獲得了很重要的資訊，到了 90 年代的後期，那個時候能源部開始執行很多國家型另外的計畫，因為它中間停了一段時間，後來一看各個都開始動跑到它前面去了，所以 99 年美國國會又通過一個法案又開始做了，並且他們目前來講就是在阿拉斯加北邊那邊在做，因為那邊就像我說過的本來就有油田而且又是在陸上，開發成分比較高，所以像美國加拿大才有這種條件。所以他們認為說很可能在過十幾年就可以開始商業化開採了，不過要商業化開採的話，目前大家共同同意的就是說只有陸上不是海上，因為海上得成本更高更困難。同時在 90 年代後期的時候像是英國德國挪威，很多國家通通都在進行。

日本在進入 21 世紀之後他們是非常的積極，他們就成立一個 MH21，就是 21 世紀甲烷水合物計畫，他們希望在這個十六年的計畫結束的時候可以把天然氣水合物當作商業化的能源來開採。當然在亞洲國家其實很積極的，包括台灣、中國大陸、韓國等等也在 2000 以後開始陸續展開。2002 年的時候，在 Mallik 這個地方，就是我說的在加拿大那邊開始做調查研究並且後來開始練習試轉來開採。在美國西邊的 Hydrate Ridge 那邊進行的鑽探就是我參加的那個航次，後來在 2004 年的時候日本就是 MH21 那個計畫就開始大規模的開始鑽井。今年這個月初期我們在美國參加一個國際研討會的時候，日本人就第一次把這個鑽井的結果發表出來，看起來就是覺得他們做得非常好，看起來的確很有



潛力，完全就像是石油探勘一樣那種作法，後來 IODP 又在那邊開始鑽井。印度也是，尤其是最近這幾年，2006 年印度開始鑽了很多井。日本在 2003 到 2004 年蒐集了很多資料，在這邊打了差不多 20 多口井，這些資料當然是非常的珍貴。印度也是，在 2006 年的時候也是鑽了 21 個地方，把印度的東西兩岸鑽了很多，在這邊沒有發現什麼，在這兩邊他們認為是非常有潛力的，他們發現跟石油探勘一樣，有砂岩在那邊而且中間有很多天然氣水合物。所以在陸上通常都有氣田在那邊，所以事實上印度也是積

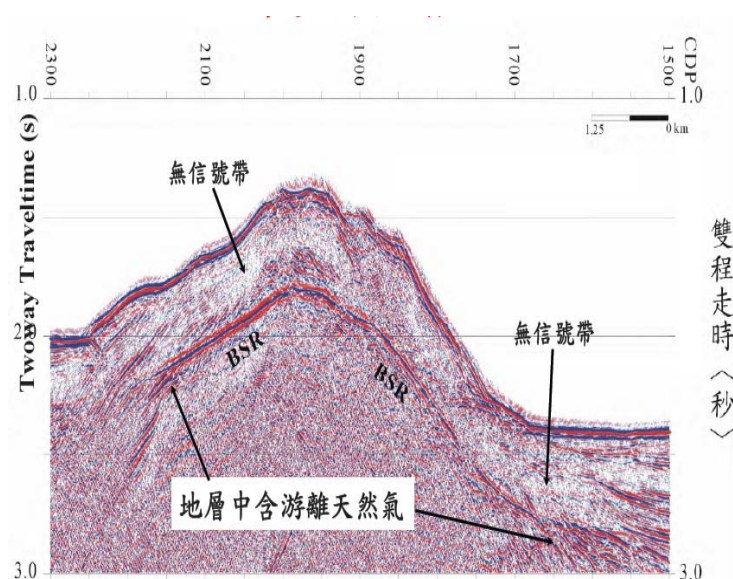


潛力，完全就像是石油探勘一樣那種作法，後來 IODP 又在那邊開始鑽井。印度也是，尤其是最近這幾年，2006 年印度開始鑽了很多井。日本在 2003 到 2004 年蒐集了很多資料，在這邊打了差不多 20 多口井，這些資料當然是非常的珍貴。印度也是，在 2006 年的時候也是鑽了 21 個地方，把印度的東西兩岸鑽了很多，在這邊沒有發現什麼，在這兩邊他們認為是非常有潛力的，他們發現跟石油探勘一樣，有砂岩在那邊而且中間有很多天然氣水合物。所以在陸上通常都有氣田在那邊，所以事實上印度也是積

極要準備開發，二月份的時候他們還辦一個研討會邀請我到那邊去，所以我到時候會去了解一下他們 2006 年鑽井的結果到底是怎麼樣。日本跟加拿大合作在那邊進行開發鑽井，因為他們在今年年初 2 月那時候鑽井，所以我們 12 月開會他們也已經在講，事實上已經可以成功的讓甲烷水合物在底下轉換成氣體打出來，技術上已經有了只是還不是很穩定，他們還有一些技術上的困難還要繼續克服。甚至有人在講，如果在那邊有油管設備的話，油價如果一桶要 100 美元的話這個東西就已經達到經濟效益了。當然因為我們台灣沒有陸上，我們的是在海裡面，海底的當然成本要高好幾倍，所以我們還要等一陣子。美國在今年也是，在阿拉斯加也是成功的鑽了一口井，中國大陸在今年四五月間的時候在南海北邊神狐地區，他們原來是希望能夠在台灣這邊鑽一口井，因為那也是我們調查的地區之一，可是太靠近台灣了。我不知道各位記不記得從前報紙上有登過，我們的海巡署去驅趕中國大陸的調查船，就是因為他們所調查的位置離台灣非常的近是屬於我們的經濟海域範圍，所以他們沒有在那邊鑽，他們就在靠香港南邊外面那裡鑽也成功的採集到標本。

這個事實上是非常了不起的，目前世界上鑽井鑽出來一層有差不多一百多公尺厚都不是很高的天然氣水合物的含量來講，像這樣就很夠商業開發的價值。假如是在陸上的話，就等於說你去鑽油打出來，在 100 多公尺裡面都是油的話那事實上是非常好的，所以現在技術越來越多的話就比較好。那我們台灣從 2004 年開始進行一個四年計畫，到了今年底正好結束第一期，事實上成果做得相當不錯，所以中央地質調查所這個計畫是政府來支持的，那我們底下很快的來講一下說各個國家談了這麼多，我們到底要怎麼樣去研究去調查。通常來講現場觀測還是目前最主要的，就是必須要用船出去靠鑽井去採，那觀測到的東西要拿到實驗室裡面用合成的方法研究，然後要建立理論的模式才能夠預測說是不是值得經濟開發。目前以台灣來講我們還是停留在現場觀測還在做這個東西，像美國和日本他們在理論模式跟實驗室研究的方面其實都做得相當的好，那假如說我們要開始去調查要怎麼調查，當然你需要船或者需要這種船，當然這種船是更了不起因為這是鑽井船，它可以直接下去採樣，這是到最後一定需要的，因為這個非常的貴，所以我們在還沒有做到這個地步之前，我們先要做所有的背景資料的調查，那就用一般的船去做就好，譬如說你可以用震測一炸一炸，事實上就是石油探勘的那種技術，你可知道海底地層下面到底是什麼東西，你可以看看有沒有 BSR，有沒有天然氣水合物或者什麼地方有，然後你可以到海床上去採樣，也可以量測地熱的值。因為天然氣水合物的穩定帶跟溫度很有關係，你可以知道地層可能多厚還是多薄。地電也可以看一看，通常有天然氣水合物存在的時候因為它裡面會把很多的離子排走，所以它等於是不導電的跟海水不太一樣，所以你可以用各種的方法，當然最主要的還是希望能夠直接鑽井採樣來分析，通常在海床底下有含天然氣水合物，還有它下面常常會有一些游離氣體，就是所謂一般的氣田存在，所以假如能夠發現大氣田的話其實也是不錯的。在西南海域裡面我們怎麼樣去知道哪裡可能有天然氣水合物？其實世界上最先用的技術就是用震測的技術。我在這

裡給大家看的就是在西南海域搜集到的震測剖面其中的一小段，這是海底的形貌，這裡是一個背斜的構造，就是海床被擠壓隆起。這邊有一些盆地，在這個底下另外有一個很強的反射信號，這個信號跟海床的形狀非常的類似，所以我們訂它的名字叫做海底仿擬反射，英文是 Bottom Simulating Reflector，好像等於說是複製這個海床的形狀一樣。這種東西就是非常典型的有天然氣水合物存在，就是說當你發現有這種東西存在的時候，通常下面代表有天然氣水合物的存在，因為這個東西之所以能夠形成是因為上面有天然氣水合物的地層，下面有游離氣體，所以地層中含有游離氣體，通常游離氣體的振幅很高，所以會像這樣子，所以我們可以用這種方法來辨識。



它的原理就是我剛剛說過的，因為它受溫度梯度的控制，而海床的溫度都差不多，所以越往下走的話溫度越高，所以它能夠形成的地方大概跟海床平行，同時它的相位會相反，因為假如我們看海床它本身沉積物的性質，當有天然氣水合物存在的時候，它等於說是把水結冰，一旦結冰了之後，當

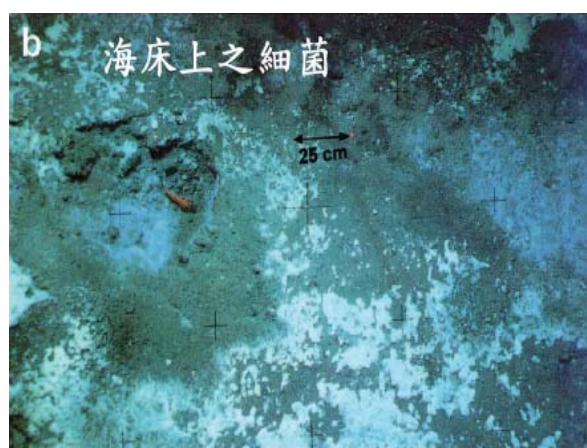
然它物理的性質就變得很強，震波的速度會傳得很快，可是當它到了天然氣水合物穩定的底部的時候會變成游離氣體，一旦變成游離氣體的時候，從結冰那麼強的地底一下到氣體鬆垮垮的那樣，整個速度突然間慢下來，所以在這裡在物理上有一個很強很強的對比。所以也就是說為什麼在這裡為產生這麼強的信號，這個信號來講因為它是從高速到低速，所以通常講起來它的相位會比一般從低速到高速所形成的震波的信號會相反，所以我們可以藉著這種特性來把它分辨出來，事實上最早在台灣這邊做的方式也是這樣來做的，那另外就是說我們要驗證那個講法我們可以拿速度來講，因為我剛剛說了他最強的介面是上面的速度比較快，因為地層當中有天然氣水合物存在，所以基本上它的孔隙裡面有很多的冰結在一起，所以當然它的性質就比較強，一往下游離的氣體就變得比較弱，所以速度會比正常的速度在這裡要快，然後到了底下就比較慢，所以這個在地球物理上是很典型的一個信號，讓我們知道在這個地方應該會有天然氣水合物的存在。

假如它氣冒的很多的話，有的氣就直接跑到海床上來了，假如我們用一些震測的信號，你可以看到說冒氣是從這裡跑上來的，有時候跑到海床上來還會頂起來在上面形成一個泥火山，因為它底下是含氣體的水跑上來。陸上的泥火山你們都知道在這邊大家都看過，像燕巢或哪裡都有，這些東西通常就是氣跑上來，台

灣最奇妙的是你線在陸上看到的就跟過去幾十萬年前跟海裡面的情況其實是很類似的，所以台灣其實是非常有趣的。如果我們在做聲納探測的時候用更高的頻率，就是深海儀去找魚群的時候，你甚至可以發現它冒的氣泡，這一坨不是魚群，有些有經驗的人一看會以為是魚群就下網打魚，結果打了半天一條魚都撈不到，因為都是氣體，表示這個底下有氣泡冒上來那是氣泡跟聲波之間的反應，所以通常來講海床上如果氣真的很多冒出來的話我們通常用這種方法都可以看的到，

通常在冒氣的地方，如果你去做調查採樣的話都可以採到天然氣水合物存在在這邊。譬如在黑海，黑海就是最早那位俄國科學家就是在這邊發現的，他們在西邊就發現海床裡面有很多大量冒氣的現象，這個每一點等於通通都是，在黑海這邊來講，如果他們用這樣去看，就發現這一條一條簡直是到處都是，黑海的整個氣都一直在冒，所以我就說我們對於甲烷，大家都很擔心它是溫室氣體很怕它跑去大氣當中，像這種地方你怎麼辦？你不可能弄個大蓋子把它蓋住不讓它跑出來，所以事實上大自然當中很多的甲烷氣不斷地散溢到海水當中，我們是希望海水能夠把大部分的甲烷氣吸收掉，有的還是會跑到陸地上來，所以冒氣你可以看得很清楚，如果你到那邊去採樣，通常撈上來的就是自然界中形成的天然氣水合物，

有的時候他會跟沉積物混合在一起變成一層一層的這種樣子，通常在海床上如果你能夠拍照或者說用攝影機下去拍你會發現在上面有很多這些白白的東西，這些就是細菌。



這種細菌就是跟甲烷氣有很密切的關係，所以也有很多徵兆都可以告訴我們這個地方到底有沒有，我底下很快的跟大家講一下 204 航次，因為我們真正要去量測天然氣水合物其實是很困難的，因為第一它是在很深的地方，第二就算你採樣採到了可是它只有在海底下才會以天然氣水合物的樣子形成，一旦拿上來之後馬上就化成氣跟水，所以你根本就不能

看到原來的樣子。我們要去研究它我們一定要用一些代理指標，我們可以根據某些物質的物理跟化學性質告訴我們說，假如有天然氣水合物存在的話，那它在物理上或化學上會有某些特性展現出來，我們用這種方式來看，所以這個航次主要的目的是要了解增積岩體，增基岩體其實就是台灣西南海域的位置，所以我對這個航次很有興趣就是這樣，因為在這邊所學到的很多東西直接就可以應用在台灣這邊的調查，它希望能夠瞭解說這個天然氣水合物到底是怎麼樣形成的，以及在這種地質構造的環境之下可能它會儲藏得比較密集。同時這個航次等於是一個測試新的工具，因為我們這個航次出去的時候用很多新發展出來的，因為這是第二

個天然氣水合物的航次，所以大家早就已經設計了很多工具就是要利用這個航次來測試，然後要看看有什麼樣的其他的物理化學的技術可以藉由那些性質的改變來告訴我們底下天然氣水合物的濃度特性到底是什麼樣子，所以這個航次其實是很有意思。當然它的位置是在美國，這裡是溫哥華這個島這邊還有俄勒岡華盛頓州，我們就在那邊鑽了一排的井，你看標本當中所取到的這種東西就是說，你一拿上來發現你的鑽井的採樣當中有天然氣水合物馬上把它切下來丟到液態氮當中冷藏，凍起來之後你再把它拿來拍照你就可以知道有的時候整個岩心管大概是19到20公分。在那麼寬的直徑量中全部都是天然氣水合物存在，那個就表示是很厚的層面，有的就稀稀疏疏有的就很粉碎。當這種地方來講它又很多看起來也很多，可是卻完全散掉，要把氣取出來就會有困難，這當然是最理想的。所以我們現在還在研究很多研究天然氣水合物的學者還在瞭解到底怎麼樣的情況之下才能夠形成，這才是我們希望能看到的。那我們要怎麼知道岩心標本當中什麼地方有這個標本沒有這個標本？上來的時候我們就先用紅外線來量測，在這個裡面用紅外線一掃就可以發現這就是鑽井所採集上來的岩心，黑的表示溫度特別低，紅的地方溫度比較高，凡是特別低的地方我們就認知那邊就有天然氣水合物。

為什麼？因為我說過了你把標本一拿上來一旦到了常溫常壓底下，馬上天然氣水合物就開始解離，一解離它就吸熱，它一吸熱周圍的環境就馬上特別冷，對我們來講就等於有一個冷點在那邊，所以你看這裡的時候你把它切開來去看，通常裡面的的確確都有天然氣水合物的標本存在，這個事實上是很重要的。另外一個方法就是電阻測量，因為結成天然氣水合物之後本身不含鹽分，就是把氯離子都排出去了，所以在這種情況下它的電阻會特別高，所以有的時候用電阻也可以看得出來，這個照片就是說紅外線掃出來這邊一坨黑黑的，真的你把它切下去拿標本去看裡面果然有天然氣水合物，這邊一坨也是有，有的比較小切開來看果然是一小塊的，有的到這裡來就是說溫度沒有特別低可是整體講起來還是算低的，這種東西就表示說有天然氣水合物可是它是散在那邊，這種東西在經濟上來講就比較沒有用了。像這種技術也是這個航次發展出來的，也可以用紅外線的方式，我們台灣在下一個階段也要開始把這個技術引進來，另外一個來講就是氯離子，因為我剛剛講過當天然氣水合物形成的時候因為它是氣體分子被純水的分子所包合在一起，所以一旦純水分子結成這個東西剩下的水當中的鹽分排出去，所以剩下的水就會比較鹹，可是當你放了一陣子之後它就會達到一個均衡的狀態，當你取樣取上來的時候，有天然氣水合物的地方它開始解離，一旦解離之後它就釋出水分，釋出水分之後它就把周圍環境的鹹水沖淡了，所以你去看這個打紅點的地方就表示在這一串裡面發現有天然氣水合物的存在，氯離子也就是鹽度會很低，有的地方就特別的低。取樣之後量氯離子的濃度發現這一串當中有些很低，如果把背景值移掉拉平的話就變成這個樣子，就是說海水越淡的話表示天然氣水合物的含量越高的方式，就可以推算出來說天然氣水合物在沉積物當中量的變化應該是呈反比，這邊特別低它的濃度就特別高，所以這等於也是一個方式。

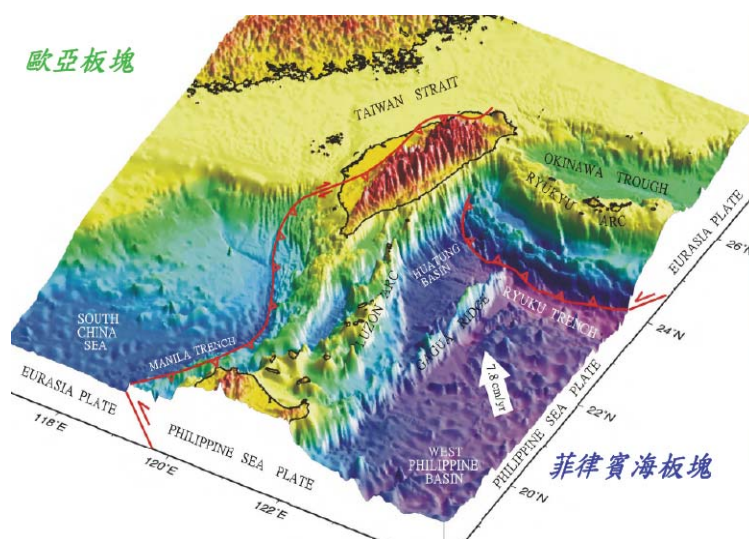
我可以從它的鹽度的量測也可以推測說這個地方天然氣水合物的情況，給大家看看幾張圖在船上的時候，這個是拿上來的時候，這個就是鑽管，在船上就有很多鑽井的工人在那邊看，所有的東西都是很粗重的，他們做的工作都是非常有效，有的時候天然氣水合物就有很多細菌在一起的時候會合成很多硫化氫，硫化氫是非常毒的，他們講說如果沒有保護裝置，當你聞到硫化氫的時候大概已經沒有救了，所以他們通常一上來的時候他們一定會拿一個儀器過去量，當他一旦發現硫化氫很高的時候，所有科學家都被趕到房間裡面去，然後牠們外面的工作人員就用氧氣筒帶著在那邊做，所以研究這種東西來講還是有一些危險的，不是說沒有危險的。另外一個危險是因為打上來的岩心一旦拿上來以後它就會開始解離變成水，除了水之外還有氣，那個氣被封在管子裡面所以變成高壓，這個高壓其實也是蠻危險的，所以你看他在那邊鑽並不是在跟人家講話或者表演技術才不看著鑽，他很怕鑽的不小心就會讓裡面的東西噴出來，當氣散得太快的時候整個就炸掉了，有一次炸的時候離我大概只有一公尺遠，還好這個塑膠管子大概沒有什麼殺傷力，至少沒有人受傷，所以做這種東西來講有時候還是要很小心。當然我們在上海通常來講有時候一個半月都在海上，日子事實上是過得很枯燥，每天就做同樣的事情，一天做 12 個小時兩個人輪一班 24 小時的作業，每次看到補給來了就很高興，因為我們離岸上很近而且我們做了很多實驗，所以他們常常會有補給來，有人就搭直升機來然後做完實驗就搭直升機走，所以每次這種情況大家都很興奮。尤其是我們那個航次很熱鬧，不光是我們自己在那邊鑽，這是一艘德國的研究船，我們一旦換一個地方他就跑到那邊去，他也去做他的研究標本，所以在船上就像是在聯合國，很多國家的人都一起在那邊做。這另外一艘是在做震測配合我們的鑽井，就是鑽了一口井之後在井底



下放一些接收信號的儀器，所以我們這個航次在做的時候非常得熱鬧。那個地方叫做 Hydrate-ridge，這個當然是最主要的船也是最貴的，所以一直在這邊鑽井希望能夠看一看，除了剛剛講的那艘紅色的德國船它有一個很大的採樣本的容器，基本上就像一台小卡車一樣大，下去一撈就是一大

堆標本，所以他們德國人常常可以看到那個照片把標本撈上來抓在手上點火燒，我們撈不到標本只撈到一點點就要趕快丟到液態氮裡面保存起來，他們就可以撈很多燒來玩。另外這艘是美國的船，它有一個載人的潛水艇也來湊熱鬧，所以我們那時候同一個海域裡面有四艘船，每艘都是一級的研究船都很大，我們台灣都沒那麼大的研究船，所以我們可以知道天然氣水合物真的是非常的熱門，現在來講就是講開發了，事實上最新的東西用一些像減壓的方法，其實是有機會可以開發出來的，特別就是在這塊，剛剛我們看的是在這個地區，就是在加拿大跟北美這邊。

最後剩下十幾分鐘的時間我就給大家介紹我們台灣自己本身對於天然氣水合物的研究到底是如何，調查所是2004年正式開始的不過因為我們學界裡面蒐集了一些資料我們大概在1990年代的後期其實就已經知道說台灣西南海域有發現只是沒有做很有系統的調查。地調所



大概在2003年就有跟學界開始合作整合，整合以後就發現的確很有潛力，正式是2004年開始到這邊來做的時候我們其實用了很多方法，包括震測就是用船來做，包括接收很多信號做地熱量測做地質構造分析，然後海床上也有採岩心的標本做有機碳的分析像甲烷量的分析。我們最主要是希望能夠知道台灣西南海域水合物的分布，當然更希望能夠估算儲量，其實估算儲量其實是很困難的尤其是沒有鑽井的資料，但我們希望能夠瞭解這整個東西所以要先作好準備，就像石油探勘一樣。事實上今年我們也有跟日本合作，用他們的深潛的小艇真正到海底下去一千多公尺深的地方去拍去看也是很有意思。以台灣來講的話，首先要先瞭解說為什麼在台灣西南海域發現，當然還是要很快的給大家提一下板塊構造，大家都知道台灣是位處於菲律賓板塊跟歐亞板塊的交界，因為只要任何地震發生氣象局就會講這句話，這些山就是這樣子創起來的，也是因為它這樣創起來的時候最早的島弧，這個山脈是島弧跟大陸邊緣串起來的，一開始是從北邊開始往南走，這就是位什麼我說現在在台灣陸地上看到的泥火山或碳酸鹽之類的在早期通通都在海裡面，也就是說你現在看海裡面的情況也就是陸地過去的樣子，所以在台灣的好處是海陸可以做一個很好的對比可以聯繫。海裡面有時候觀測不是很容易你就可以到路上去看採樣看到，但是海裡面保存的比在陸上保存的好，所以你有機會到海裡面的話再去驗證一下，所以我們其實是在這點是得天獨厚的。以西南海域來講，構造上會有兩個區分，在紅線鋸齒狀以東是受到碰撞的影響所以這邊大

多是擠壓摺皺，以西來講就是原來非活動性的大陸邊緣，所以基本上構造活動沒有那麼強烈，這個是另外一個台灣研究天然氣水合物很得天獨厚的地方，因為在這麼小的地方有兩個不同構造的型態存在，大家都要研究在某種構造型態之下天然氣水合物是怎麼形成的，怎麼跑或怎麼累積到儲存的構造裡面去，在台灣這邊很容易就可以做一個比較，我們真正在看南部海域的地形就可以看出來。我們真正發現的就是這一塊，其實整個通通都有，只是因為離陸上實在是太遠了，要以開發上來講的話，不管是鋪油管或者運輸調查都不方便，所以我們是從近岸開始沿路慢慢拉出去，拉到最遠的這邊就是我們目前所調查的最西邊，也是中國大陸調查最東邊，他們認為這邊很好要跑到這邊來。可是我可以告訴你們，他們認為很好的跟我們這邊的資料一比實在是不算什麼，我十月份才到中國大陸去開會，把我們這邊的 data 跟他們一講，他們就覺得台灣的資料跟中國的資料比起來實在是好得太多了。

的確台灣是個寶島，所以其實我們在這邊量會有很好的東西，我就拿來給大家看一下，不過在那之前特別先提一下，為什麼我們認為這邊的條件很好，因為台灣整個是地殼隱沒然後島弧形成碰撞過來，所以它整個從北往南演化非常多的沉積物快速大量的沉積過來，所以有機質的含量很豐富並且有很多構造，這種構造能夠形成很好的封閉把氣儲藏在裡面，所以天然氣水合物很多那海底的泥火山也很多。這是我們在四年當中搜集了很多的震測資料，這個震測資料分布出來告訴我們在這個調查的範圍之內可能有天然氣水合物或可能沒有。再給大家看一個例子，我剛剛有跟大家講過 BSR，我就隨便拿靠台灣這邊的一個剖面來講，從這邊開始這個就是靠南海北坡大陸棚所以是非活動性的，還沒有到碰撞帶這裡底下已經有 BSR 就表示有天然氣水合物存在，到了這裡以後開始進入到擠壓摺皺帶，每一個背斜下面都有非常好的 BSR，所以一條剖面過去當然不能說完全連貫，因為中間有些地方還是斷掉的，很可能有斷層從這邊經過，所以氣跑掉了還是怎麼樣，可是大體上來講幾乎有一半的位置都有很好的 BSR 存在，證明底下都有。我們把折線 map 一下可以發現，在高屏峽谷就是連接高屏溪很大的一個峽谷以西的地方幾乎密密麻麻都是，凡是打點的地方都有，顏色代表說 BSR 在海床下面深度是多少，東邊相對的我們也有調查可試就不太有，其實南邊也有只是我們還沒有調查。所以各位可以看到這裡事實上非常的密，這個情況其實是很好的，如果我們把等地分一分的話，就是畫像紅色的這種來講就是構造上有一些圈合，我們認為說這些累積起來很密的地區，所以在台灣這邊來講大概一萬多平方公里都有，台灣也不過三萬六千平方公里，所以大概等於三分之一個台灣大的面積在底下都有氣田存在。

另外一個例子，各位可以看到非常漂亮的 BSR，甚至連斷層的面都可以看的到，這也是一個剖面在這邊來講也是 BSR 在這邊存在，底下上面都很好，並且這裡都有低速層，假如它這裡的氣濃度夠高的話其實它自己本身就是一個氣田，只不過到現在來講大家對於 BSR 下面的氣封閉的程度恐怕還不是很好，所

以還沒有人認為說天然氣水合物層下面的氣田能夠開發，這個顏色代表它的速度比較低所以都是氣分布在這邊，所以地球物理的方法很多可以看的到，那我們在剛剛看的是在這一邊，那我們跑到南海大陸棚這邊，南海大陸棚大陸斜坡這邊 BSR 也是一樣分布得非常好，表示在這個斜坡上來講也是有很多甲烷氣的存在。我們一個同事出去講他發現有冒泡，表示這裡真的有噴出來。後來我們今年三月跟日本合作，他們日本的研究船到這邊來用他們的深潛小艇下去看的時候就是看這個位置，冒氣的地方發現了大量的冷泉的那種生物，並且也有看到天然氣水合物的標本。這是高頻的信號像這種白白的上面凸起來的都是泥火山，所以在陸上看的只看到在噴氣也不知道長什麼樣子，在海裡面可以用震測的方法，旁邊都是地層，底下就是白白的氣在那邊然後就從這邊噴出來，非常非常多。這個地方在恆春外海，離恆春很近所以我們很多東西都可以看的到。這個是另外山脊在這邊也是一樣，這裡也是有一個泥火山，這種構造也是蠻好的因為只要有這種摺皺的構造，它其實不是真的摺皺就只是地形造成這個樣子 BSR 形成這個樣子，底下都可以封閉一些氣的話其實都很好，這張圖就是我們把西南海域裡面什麼地方發現有冒氣的什麼地方有泥火山都把它畫在一起，也是分布得非常的多，所以像這種東西來講就提供了很多後續發展研究。

剛剛講的主要是地球物理的資料，那地球化學也是一樣的。其實地調所在做這個計畫的時候我們有兩個團隊，一個是地球物理，另一個是地質地球化學的隊伍。他們到那邊去用船在那邊採岩心標本，也打了差不多幾乎兩百根的採樣點密密麻麻在那邊點，然後他們採了樣之後就進行各種各樣的分析，當然最有趣的分析就是直接去看它的濃度。我到這邊採樣然後馬上送到船上分析水中甲烷氣的含量有多少，我採到的沉積物標本都有孔隙水，我就把孔隙水擠出來看看裡面的甲烷濃度是多少。假如那個地方甲烷濃度很高的話，跟沒有甲烷的比較起來，在水層當中當然它的濃度要很高。我告訴各位，凡是畫這個大圈圈的它的值至少是一般正常海裡面沉積物或海水裡面沉積物的 1000 到 10000 倍，假如打星星的話大概是 10000 到 100000 倍，所以濃度非常非常的高。尤其最高到 100000 倍以上的來講，基本上我們認為那個甲烷氣都直接噴出來可以直接採到，要不然濃度不可能高到那麼高，所以在這裡來講有好多地方其實有很好的地方能夠證明到。

當然地球化學還有很多其他的方法，一方面因為不是我的專業因為我的專業是地球物理的，所以地球物理我講的多，另一方面因為時間的關係所以我最後給大家看一下我們真正其實有下去看，這台是一台海底照相機，我們跟美國 WHOI 海洋研究所合作，他們帶他們的機器到台灣這邊來做了一次相當成功拍到了很多海裡面的生物或者自生性碳酸鹽，所以我們後來地調所就跟他們買了一台然後自己有一台可以拖到海裡面去照相而且還可以在不同的地方採樣本，凡是有冒氣的地方來講，因為用照相可以看到很多的生物，所以在這個來講這個就是所謂的冷泉，就是指地層當中的氣體或液體慢慢會滲出來，滲出來之後會有很特殊的生物在一起，或者要靠裡面的硫酸鹽，或者說它吃裡面的硫或者甲烷都會存在，並且

還很多自生性的碳酸岩會在這邊存在，所以當你在海床上看到這些東西的時候你就知道這個底下的甲烷氣一定非常的豐富，你可以看的到的這個就是照相照出來的。像這個就是自生性碳酸岩的東西還有很多看起來都是蚌殼只不過都死掉了，還有這個白白的東西來講我們就認為說就是細菌。我們認為只要有甲烷就會有細菌，像這種一個一個柱狀凸起來的這種東西我們認為就是噴氣孔，過去來講有噴只是現在停起來了就留在這邊，只要照相就能夠證明所以大家就非常的興奮，因為這個東西的版權是屬於我們跟日本人合在一起的所以目前只有這兩張能夠公開。看是可以看，如果想要下載的話就只有這兩張可以，這兩張是當初我們在航次結束的時候在新聞裡面曾經舉過。第一，我們發現在福摩沙海脊就是在南海北邊那邊發現很多的生物，有蚌類、螃蟹等，全部活的在那邊爬。那個範圍日本人看了之後說以他們的估算，恐怕是他們從來沒有看過任何一個生物這麼活躍的範圍！這是很難得的，這邊氣的量非常足夠，你撥下去不是只有表面一點點，所以量非常的多，我們在那邊把生物撥開來就發現底下在冒氣，你拿這個管子就是這個容器你要去採集那個氣體，那個氣一冒在這裡來講馬上結成 hydrate，因為濃度夠了，溫度壓力適合所以就結起來了，我們想把這個拿回來可是在上升的過程中一旦超過臨界它就慢慢的化掉，到最後等到海水深度兩百公尺的時候結果只是一個很乾淨的空桶而已，什麼東西通通都不見了。

稍微做一個總結，我今天就是給大家介紹一下讓各位能夠瞭解到天然氣水合物到底是什麼東西。冰晶甲烷是在什麼樣的情況之下能夠生成？它對於環境的 impact 到底是怎麼樣？可能它存在這邊會造成海床的不穩定假如環境改變底下開始解離的話，它釋放出來的甲烷氣假如能夠大量的跑到大氣層當中的確對於全球增溫會造成一定的衝擊，只不過以目前的情況，第一個大部分它散出來的量我們認為是在正常的情況之下那個量不會很多，因為有厚厚的海水隔著所以大部分的量都被海水吸收掉了，所以目前看起來應該是還好。在能源這方面，的確現在很多學者在全球各處研究，有的地方發現很厚的層面，有的地方就是鑽下去稀稀疏疏的只有一點點，稀疏有一點的當然開發上經濟的效益一定不夠，所以現在大家在這邊做的都是只做一個地區性的調查研究，你要找出跟石油探勘一樣，你要找出真正有油田的是在哪裡，有天然氣水合物的是在哪裡，在台灣西南海域經過過去我們四五年來的調查發現說，在這邊真的很多跡象都顯是說是有天然氣水合物存在，尤其是它物理的異常還有地球化學的徵兆，所以常有國外的學者都會開玩笑問我說：你們為什麼還不打井？我說政府到現在還沒有真正願意投入大筆的金錢到這邊來打井。他們就說如果要打你知道要在哪裡打你知道嗎？我當然知道，因為所有的徵兆都非常的明顯，所以在第二期裡面我們希望能夠集中到幾塊我們認為比較我們認為很有希望的，就有點像石油探勘那樣子做一個小地區很精細的來調查，如果以後到時後一旦政府觀念改了認為這個東西值得調查研究的時候馬上就可以鑽井，當然能夠幫助我們了解很多。

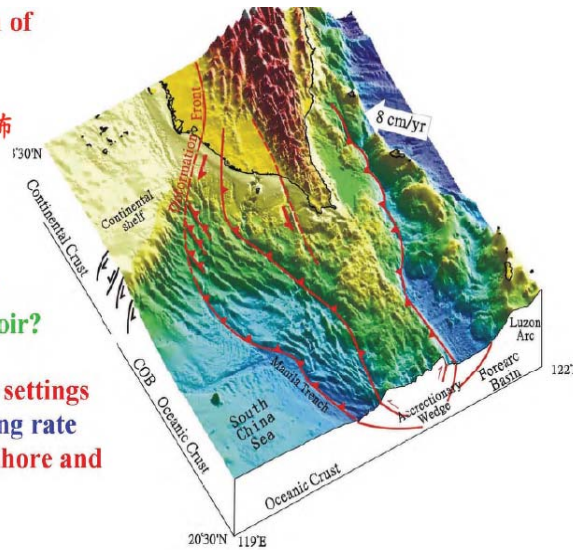
台灣這個地方我事實上是一個天然氣水合物的一個寶。為什麼？因為在這邊

**Wide distribution of
Gas hydrate off
SW Taiwan
天然氣水合物廣佈**

**Good Research
Opportunities:**

**Sources?
Migration paths?
Traps and reservoir?**

- 1. Passive and active margin settings**
- 2. Rapid up-lifting rate**
- 3. Gas fields offshore and on land**



陸上跟海上你可以連在一起研究，陸上已經知道了有生物源的那個氣田，所以同樣道理生物源的氣田跟海裡面形成的機制方式是一樣的。中油公司在台南盆地這邊開發一個氣田各位知不知道？這是 CFC 的一個氣田，這邊已經有一個氣田在那邊開

發，假如相鄰的地方有天然氣水合物並且發現儲量很好的話，在經濟上是很有益處的，比起在外海發現從台灣到那邊去鋪設油管可以省很多錢，那個成本可能太高了，所以台灣周圍已經有油氣田的存在，並且海裡面也已經有了。並且就單純從學理上來講的話，這邊各位可以看的到都是一個個的山脊都是摺皺所以等於是擠壓性的地質條件，這邊是拉張性的大陸性邊緣條件，在這兩個不同的情況之下它們的沉積物的來源可能都不是一樣的，都有天然氣水合物，所以光是學術上的探討就已經很有意義了，這是為什麼說世界上很多主要國家都認為台灣在這一方面非常有潛力並且大家對這個很有興趣。現在開始有越來越多國外的人喜歡來找我們合作，當然我也在這邊向大家介紹到這裡，如果各位有興趣的話我們還可以繼續連絡，或者未來年輕朋友們可以加入這個行列，謝謝。

Q1.水合物在西南部但是很多的研究還有 ICCGG 都在北部，特別感謝我們的主辦單位還有劉老師特別願意南下跟我們分享，希望這樣的場合機會再更多。兩個問題：第一，有關台灣西南部跟聖塔芭芭拉那邊的海床的水合物分布特性有什麼不一樣？第二是台灣陸地上泥火山流體老師覺得說是來自甲烷水合物，那在萬丹泥火山那邊所測到的同位素有丁烷的成分是不是在那邊會有丁烷水合物或者之類的？謝謝。

A1:第一個問題當然就是說如果拿台灣這邊的地質條件跟美國北美大陸西海岸來比的話，其實以地球物理跟地球化學的特性來講其實是很類似的，詳細的情形因為我們這邊還沒有採集到標本，因為我們這邊還沒辦法很明確的講說可能是怎麼樣子生成或集中，所以在方面來講還不能來做比較。可是就以整個大的架構條件甚至生成的方式包括地熱震測來講是非常類似的，所以他們那邊已經鑽井鑽到了所以認為一定有。第二個問題是非常好的，關於泥火山，台大的楊教授有研究陸上的泥火山，他當初研究陸上泥火山然後到海裡面去看之後就提出來認為，其實很多陸上的泥火山的來源跟過去天然氣水合物的來源應該是一樣的。就是說都是甲烷深埋在那邊，尤其是剛剛有提到就是說

它所蒐集到的氣體當中有比較高晶烷類，就是有甲烷 乙烷 甚至是丁烷的比率比較高，通常比較高晶烷類存在代表說它的來源是從比較深部的地方上來的，所以楊教授認為當初在增積體岩體這邊是比較淺的或者說沉積物當中所形成的，因為在整個造山作用當中被帶的比較深下去，然後再透過斷層或透過什麼機制再從什麼地方上來，所以他認為說事實上是有的。就是熱生成的甲烷存在，當然在西南海域來講，其實我們也有同仁做過地球化學的調查，我剛剛說大部分是生物源的，就是以一般淺層的來講，可是凡是在泥火山那邊，中油有一位翁博士做過這個研究，就是說在海裡面的泥火山採集到樣本分析出來。高烷類的就比較多，所以他就認為台灣西南海域的天然氣水合物其實大部分當然是生物源可是也有熱生成的，如果要找的話能夠找到有很好的熱生成管道然後有封閉的話，那說不定在開發上來講還比較有希望，謝謝。

Q2.請問一下液化天然氣已經商業化很多年了，為什麼甲烷水合氣到現在還是在開發研究階段，這兩個氣體是開發有困難還是價值的問題？

A2:其實天然氣水合物就是一個天然氣，只不過它是以冰晶的狀態存在地底下，所以假如我們能夠找到不管在陸上或海上有游離的氣體的量很大，直接去開採這就是天然氣，這出來之後當然非常好，我們將它液化主要是輸送比較方便，因為氣跟油不一樣，氣的經濟價值跟油比起來還是比較便宜尤其輸送成分也比較高，所以把它液化就很好，其實我剛剛還沒有提到天然氣水合物的研究當中也有一些工程方面的人在試驗的時候把氣轉換成固態，這樣就是更好了因為用固態來比，一個天然氣水合物的固態體積當它解離之後氣體的量是 164 倍會膨脹得很大，甚至有人曾經想到把天然氣用人工的方式加工變成水合物弄成固態來輸送，那為什麼我們現在來講對於天然氣水合物開發上大家好像還在談的很遙遠？其實最主要是因為它分布的地點。以分布地點來講的話，譬如說在海域的話就是在深水地區以及在地層當中其實是非常分散的，現在韓國發現 100 多公尺厚的是目前唯一發現那麼厚的，其它很多地方像中國大陸打到的或印度打到的能夠有幾十公尺就很不得了了，絕大部分地區都是幾公分或幾十公分還有幾個薄層，薄層在那邊來講它就是固體，固體要解離變成氣體的時候除非自己能夠流，但是如果不流的時候你根本不能把氣踩出來，所以這個是天然氣水合物在開發的時候遇到的一些瓶頸。主要就是說，任何氣體到了那個溫度壓力之下它結成固態就有問題了，所以這是以後技術開發來講還需要克服的。

Q3. 硫酸鹽跟甲烷的結合模式是不是跟水合物的濃狀結構類似，還有畫面當中原子的點應該是水分子而且沒有畫出水分子的結構？

A3: 第一個關於鑽井，其實天然氣水合物不管是在永凍層下面或者是在海床底下都不會太深，其時我剛剛忘了提深度是多少？通常我們所看到的就是 BSR 就是一般我們認為地層當中天然氣水合物存在最深的介面，大概是在海床底下從一兩百公尺，最深的話大概四五百公尺，很少有超過五百公尺的，所以大部分都很淺。所以如果要鑽井的話當然要考慮到水深。陸上來講，當然如果是談一般石油探勘的話都可以鑽很深，像我們在 202 航次出去的時候我們有一口井鑽的很深，鑽了一千多公尺，它是做一個地質的背景因為你需要知道整個地層的層序中間的關係，才會知到底下有沒有可能說甲烷氣是從地層底下上來的，可是假如你的目的只是要取得天然氣水合物的話，我想通常鑽一口井大概五六百公尺到六七百公尺，大部分的井都是鑽到那個程度就可以了。陸上石油公司探勘當然有的時候好幾千兩三千，甚至更深的都有。目前世界上最深的一口井是俄國人鑽的，他們鑽了十幾公里，因為他們是希望能夠看看整個地殼很深部的地方，不過那是專門研究用的深井。另外關於 SMI 的東西來講的話，因為那是地球化學方面的我本身不是很熟，我原來在準備的時候有放上來後來因為一方面自己不是很熟，另一方面我是怕太多了所以把它拿掉了，就是說地層當中有硫酸鹽下來，甲烷會把硫酸鹽在無氧的狀態下把它還原出來，然後轉變成二氧化碳跟 HCO_3^- ，所以這只是一個化學反應，我們在講的 SMI，通常在看那個值的話，你會發現從海床開始，一般來講你通常看不到甲烷，那就是硫酸鹽的濃度就很高，越往下走的話硫酸鹽濃度不斷的減少，當硫酸鹽濃度降到幾乎是 0 的時候，也就是說等於所有的硫酸鹽都已經還原完了的時候，那時候已經可以把多的甲烷氣完全表現出來，所以甲烷就會開始慢慢增加，所以我叫那一點就叫做 SMI。我們通常用那個來估算這個地區的甲烷的量有多少，假如甲烷的量很多的話，硫酸鹽的 Curve 很快就到 0 了，假如量很少的話那當然它慢慢下去的時候就會很深，所以淺的時候有時候不到一公尺就到 0 了，那時候我們就會認為說甲烷都已經冒到海床上了，正常的海床你根本看不到底，它至少有好幾十公尺以下，那個當然就很深了甚至還有一兩百公尺以下的，那個地方的甲烷就很少。

Q4. 第一個問題是那個圖，假設我們現在採了一公噸的甲烷水合物上來，會不會只有三分之一甚至十分之一不到是甲烷，而其他都是水？第二個問題是海底的甲烷是否全部都是生物源，或者部分是從地球內部的放射性所合成的，因為之前我曾看過一個報導說，棄置的油田過了一段時間之後又會可以採到甲烷之類的化合物，我想請問海底的甲烷是否是從這個模式來生成的？

A4:我們拿容積來比，

假如是 1 立方公尺的甲烷水合物，當它解離的時候會產生 164 立方公尺的氣體還有 0.8 左右立方公尺的水，所以水的成分其實很少因為氣體膨脹得非常快速，所以我們採出來的時候氣體的量其實是很大的。就像我剛剛講的，有人還希望用人工的方式把它壓進去讓傳輸比較方便。另外來講，油田或氣田開採到後來等於說已經沒有生產價值了就停掉，可能隔一陣子又可以產生，我是覺得這種東西是因為它內部有壓力，因為開採油田的量在早期可能只有一半，有的時候甚至一半都不到，還有很多東西它是散在地層當中，第一個因為它不見得能夠流出來，因為流出來有時候需要時間，所以常常有的時候我們要用一些人工的方法，譬如說把水蒸氣打下去，這樣石油公司對天然氣水合物還有一個很有興趣的。特別是在極區永凍層那邊，他們想採出來的天然氣不要運到美國去用，因為那樣子成本太高了，就當下在那邊燒掉燒成水蒸氣，然後把水蒸氣打到油田裡面再把油趕出來，這樣來提高產油的收成。所以你就知道，通常那種油氣田能夠開採出來，靠它自己的壓力流出來的時候那個量都有限，可是隔一陣子當它壓力沒有了就採不到了，採不到就封起來，隔一陣子慢慢又累積，所以又能夠出來一點，我想主要是這個原因。

Q5.所謂冰晶甲烷的解離通常是指離子的分離，為什麼這樣的現象也可以稱為解離？第二個問題甲烷是不溶於水的，為什麼它會溶於海水中？還有那個化學式是不是有點問題？

A5:第一和第二個問題其實意思都差不多，因為的確甲烷在水當中它之所以能夠解離，它在水中形成濃狀的結構它就等於是把氣體分子包在裡面，它中間並沒有化學鍵，所以並不能用溶解或分解的方式，所以後來又產生解離，就是說等於氣體跟水分子暫時被包起來，當溫度一變的時候氣體就跑了。另外，我剛剛說的甲烷氣跑到海水當中被海水溶解，其實我用的並不是很精確的辭意，我的意思是說，因為甲烷會被海水氧化掉，所以甲烷氣不會以甲烷的方式就跑到水層當中，在水層當中基本上就被解決掉了，這張投影片的化學式是當初在 copy 的時候漏掉了，謝謝你的指正，這位同學很認真，我們給他鼓掌一下。