

出國報告（出國類別：參加國際會議）

第六屆天然氣水合物國際研討會議

服務機關：經濟部中央地質調查所

姓名職稱：鐘三雄 科長

派赴國家：加拿大

出國期間：97年7月5日至97年7月12日

報告日期：97年9月19日

出國報告（出國類別：參加國際會議）

第六屆天然氣水合物國際研討會議

本報告書僅供政府機關參考，請勿轉載

服務機關：經濟部中央地質調查所

姓名職稱：鐘三雄 科長

派赴國家：加拿大

出國期間：97年7月5日至97年7月12日

報告日期：97年9月19日

出國報告審核表

出國報告名稱： 第六屆天然氣水合物國際研討會		
出國人姓名	職稱	服務單位
鐘三雄	科長	經濟部中央地質調查所
出國期間：97年7月5日至97年7月12日		報告繳交日期：97年9月19日
計 畫 主 辦 機 關 審 核 意 見	<p><input checked="" type="checkbox"/>1.依限繳交出國報告</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>2.格式完整（本文必須具備「目的」、「過程」、「心得及建議事項」）</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>3.內容充實完備</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>4.建議具參考價值</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>5.送本機關參考或研辦</p> <p><input type="checkbox"/>6.送上級機關參考</p> <p><input type="checkbox"/>7.退回補正，原因：<input type="checkbox"/>不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/>以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/>內容空洞簡略或未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/>電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/>未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔</p> <p><input type="checkbox"/>8.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input type="checkbox"/>辦理本機關出國報告座談會（說明會），與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/>於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/>其他_____</p> <p><input type="checkbox"/>9.其他處理意見及方式：</p>	

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

提 要 表

系統識別號	C09702614					
計畫名稱	參加第六屆天然氣水合物國際研討會					
報告名稱	第六屆天然氣水合物國際研討會議					
計畫主辦機關	經濟部中央地質調查所					
出國人員	姓名	服務機關	服務單位	職稱	官職等	E-MAIL 信箱
	鐘三雄	經濟部中央地質調查所	資源地質組	科長	薦任	聯絡人 chung@moeacgs.gov.tw
出國地區	加拿大					
參訪機關	第六屆天然氣水合物國際研討會議					
出國類別	其他					
出國期間	民國 97 年 07 月 05 日 至 民國 97 年 07 月 12 日					
報告日期	民國 97 年 09 月 12 日					
關鍵詞	天然氣水合物，甲烷水合物					
報告書頁數	51 頁					
報告內容摘要	<p>天然氣水合物國際研討會每 3 年召開一次，是世界上最具有規模的天然氣水合物國際會議。2008 年在加拿大溫哥華所舉行的第 6 屆天然氣水合物國際研討會，共有來自 21 個國家的 526 位產官學研界人士參加，在 4 天的研討會議程中，總共發表 417 篇論文，主要議題包含能源與資源、環境考量、地質災害、油氣工程操作、創新技術及基礎科學與工程研究等六個面向。本次出國計畫旨在參加第 6 屆天然氣水合物國際研討會，瞭解世界各國之天然氣水合物最新研究趨勢與動態現況，習取各國的調查研究策略及經驗，同時也發表 1 篇台灣西南海域天然氣水合物之地質與地球化學的調查研究成果。其他來自我國的專家學者或研究生共有 12 位，共計發表 7 篇相關論文。目前國際天然氣水合物的研發課題日益廣泛，除了油氣輸送安全、資源探採與生產開發、全球碳循環與氣候變遷、陸坡海床穩定性及海域地質災害衍生、特有生物群落之保育等議題外，也逐漸廣泛應用於天然氣或氫能輸儲、節能、冷凍空調、蓄冷、海水淡化、氣體分離與萃取、二氧化碳減量與封存等工業用途上。綜合本次國際研討會議內容，對於我國天然氣水合物研發計畫的策略提出下列三項建議：（1）我國政府應重視與支持天然氣水合物長程研發計畫的推動；（2）我國應積極參與天然氣水合物相關研發領域的國際組織或合作計畫；（3）儘早設立國家級天然氣水合物實驗研究中心，做為開發及產業應用等關鍵技術研發之後盾。此外，每 3 年定期召開一次的自然氣水合物國際研討會，研討內容十分廣泛，會中發表之論文內容均是各國最新的研發成果，同時也提供各國進行研發技術與經驗之國際交流的平台，非常值得我國派員或組團參加該項研討會，以瞭解國際天然氣水合物最新研發趨勢與動態。2011 年第 7 屆天然氣水合物國際研討會將於英國愛登堡召開，屆時也建議本所能派員或組團參加該項研討會。</p>					

目錄

摘要	1
壹、前言.....	2
一、會議主題.....	2
二、緣起及目的.....	3
貳、過程.....	4
一、出國行程.....	4
二、會議議程.....	4
三、論文發表.....	4
參、心得.....	5
一、國際天然氣水合物的研發議題日益廣泛.....	5
二、各國參與天然氣水合物國際研討會的盛況有增無減.....	5
三、以水合物型式輸儲天然氣的應用技術發展快速.....	11
肆、亞太國家近期研發概況.....	13
一、美國.....	13
二、日本.....	15
三、印度.....	19
四、韓國.....	24
五、中國大陸.....	27
伍、建議事項.....	30
陸、參考資料.....	32
附錄 1、2008 天然氣水合物國際研討會議程表.....	35
附錄 2、本次參加第 6 屆天然氣水合物國際研討會所發表的論文.....	36
附錄 3、本所委辦計畫研究團隊所發表之論文摘要.....	4

摘要

天然氣水合物國際研討會每 3 年召開一次，是世界上最具規模的天然氣水合物國際會議。2008 年在加拿大溫哥華所舉行的第 6 屆天然氣水合物國際研討會，共有來自 21 個國家的 526 位產官學研界人士參加，在 4 天的研討會議程中，總共發表 417 篇論文，主要議題包含能源與資源、環境考量、地質災害、油氣工程操作、創新技術及基礎科學與工程研究等六個面向。

本次出國計畫旨在參加第 6 屆天然氣水合物國際研討會，瞭解世界各國之天然氣水合物最新研究趨勢與動態現況，習取各國的調查研究策略及經驗，同時也發表 1 篇台灣西南海域天然氣水合物之地質與地球化學的調查研究成果。其他來自我國的專家學者或研究生共有 12 位，共計發表 7 篇相關論文。

目前國際天然氣水合物的研發課題日益廣泛，除了油氣輸送安全、資源探採與生產開發、全球碳循環與氣候變遷、陸坡海床穩定性及海域地質災害衍生、特有生物群落之保育等議題外，也逐漸廣泛應用於天然氣或氫能輸儲、節能、冷凍空調、蓄冷、海水淡化、氣體分離與萃取、二氧化碳減量與封存等工業用途上。

綜合本次國際研討會議內容，對於我國天然氣水合物研發計畫的策略提出下列三項建議：(1) 我國政府應重視與支持天然氣水合物長程研發計畫的推動；(2) 我國應積極參與天然氣水合物相關研發領域的國際組織或合作計畫；(3) 儘早設立國家級天然氣水合物實驗研究中心，做為開發及產業應用等關鍵技術研發之後盾。

此外，每 3 年定期召開一次的天然氣水合物國際研討會，研討內容十分廣泛，會中發表之論文內容均是各國最新的研發成果，同時也提供各國進行研發技術與經驗之國際交流的平台，非常值得我國派員或組團參加該項研討會，以瞭解國際天然氣水合物最新研發趨勢與動態。2011 年第 7 屆天然氣水合物國際研討會將於英國愛登堡召開，屆時也建議本所能派員或組團參加該項研討會。

壹、前言

一、會議主題

天然氣水合物國際研討會議（International Conference on Gas Hydrate；ICGH）全球最具規模的天然氣水合物主題國際會議，每 3 年召開一次，其目的旨在召集世界各國從事天然氣水合物相關領域的產官學研各界人士共聚一堂，進行各國天然氣水合物研發技術與經驗的國際交流。

第六屆天然氣水合物國際研討會於 2008 年 7 月 6 日至 7 月 10 日在加拿大溫哥華舉行，本次會議主要研討議題如下：

（一）能源與資源（**Energy and Resources**）：

1. 資源調查（Resource delineation）
2. 儲集層模擬模式分析（Reservoir simulation modeling）
3. 生產技術研發（Production technology）

（二）環境考量（**Environmental considerations**）：

1. 天然氣水合物與全球氣候變遷之關係（Natural gas hydrates and global climate change）
2. 二氧化碳在儲水層與深海環境下的封存（CO₂ disposal in aquifers and the deep oceans）

（三）地質災害（**Geohazards**）：

1. 永凍層與海洋地質災害（Permafrost and marine geohazards）
2. 地質力學（Geomechanics）

（四）油氣工程操作（**Oil and Gas Operations**）

1. 油氣管件的流動性保障（Flow assurance in pipelines）
2. 安全性（Safety）

（五）創新技術（**Novel technologies**）

1. 氫能儲存（Hydrogen storage）
2. 二氧化碳捕集與封存（CO₂ capture and sequestration）
3. 天然氣的儲存與運輸（Natural gas storage and transport）
4. 其他應用如海水淡化或氣體分離與萃取等（desalination, gas separation, etc）

（六）基礎科學與工程研發（**Fundamental Science and Engineering**）

1. 相平衡、動力學及輸送現象（equilibrium, kinetics and transport phenomena）
2. 結晶構造與光譜學（Fundamentals-structure and spectroscopy）

3. 物理及熱力學性質 (Fundamentals-physical and thermodynamic properties)
4. 分子模擬 (molecular simulation)
5. 地球與海洋科學 (earth and ocean sciences)
6. 微生物學 (microbiology)
7. 超高壓天然氣水合物 (Ultra-high pressure gas hydrates)

二、緣起及目的

天然氣水合物是天然氣和水在低溫高壓環境下所形成之富含天然氣（甲烷為主）的固態冰狀結晶，因遇火可燃燒，故又稱為「可燃冰」。它不僅可能成為 21 世紀新型態的天然氣資源，同時在地球自然環境系統中也扮演重要角色，例如它的形成或分解都可能影響全球碳循環、全球氣候變遷及海床邊坡穩定性等系統。

1990 年代後期開始，美國、日本、印度、韓國、中國大陸等國家，陸續將天然氣水合物列為國家型研發計畫項目。其他如加拿大、英國、巴西、智利、挪威、俄羅斯、德國、法國、瑞士、捷克及烏克蘭等國家，也已分別展開天然氣水合物相關研究計畫。

為瞭解台灣西南海域之天然氣水合物資源地質特性，經濟部中央地質調查所（後文簡稱本所或地調所）自民國 93 年度開始推動「台灣西南海域天然氣水合物賦存區地質調查研究」之 4 年期科技發展計畫，進行系統性的地球物理、地球化學及海域地質等區域調查；並自民國 97 年度開始推動另一階段的 4 年期（97~100 年度）科技發展計畫－「台灣西南海域新興能源-天然氣水合物資源調查與評估」，依據 93~96 年度期間的計畫成果，將引進或開發多項高解析調查方法，針對我國西南海域最具潛力的好景區進行細部調查；期能掌握台灣西南海域天然氣水合物之分布及賦存區的地質特性，以評估其作為天然氣資源的未來潛能。

由於我國在天然氣水合物調查的起步較晚，故本次出國目的旨在瞭解國際天然氣水合物之最新研究趨勢與動態，習取各國研發策略及經驗，並發表西南海域天然氣水合物之地質與地球化學的調查成果論文 1 篇。此外，本所天然氣水合物施政計畫項下的 4 個委辦計畫研究團隊，共有 9 位教授（委辦計畫項下出國計畫）及 3 位研究生（出國經費自籌）也參加本次會議，分別發表有 7 篇論文。

貳、過程

一、出國行程

此次出國計畫的工作行程如表 2-1 所示，自民國 97 年 7 月 5 日至 97 年 7 月 12 日止，為期 8 日。

表 2-1、行程安排與活動內容

日期	星期	活動內容	往返地點	夜宿地點
7 月 5 日	六	由台北搭機前往加拿大溫哥華	台北-加拿大溫哥華	溫哥華
7 月 6 日	日	註冊與報到、會議晚會	溫哥華	溫哥華
7 月 7 日	一	第六屆天然氣水合物國際研討會	溫哥華	溫哥華
7 月 8 日	二	第六屆天然氣水合物國際研討會	溫哥華	溫哥華
7 月 9 日	三	第六屆天然氣水合物國際研討會	溫哥華	溫哥華
7 月 10 日	四	第六屆天然氣水合物國際研討會	溫哥華	溫哥華
7 月 11 日	五	由加拿大溫哥華搭機返回台北	加拿大溫哥華-台北	飛機
7 月 12 日	六	返回台北	台北	

二、會議議程

第六屆天然氣水合物國際研討會地點，係在加拿大溫哥華市 Fairmont Hotel 之會議室舉行。會議議程主要包括會議報到暨晚會交流活動、專題演講、論文發表（口頭或壁報）、野外參訪等，詳細議程表如附錄 1。

三、論文發表

本次出國所發表的論文以壁報方式展現，所發表的論文長摘要內容列於附錄 2。壁報發表時間被安排在 7 月 7 日（星期一）下午時段展示，會中除展現我國天然氣水合物的調查成果外，並可藉此機會與其他國際人士研討，進行技術與經驗的交流。另外，有關本所天然氣水合物施政計畫項下之 4 個委辦計畫研究團隊所發表的 7 篇論文摘要，也列於附錄 3 中。

參、心得

一、國際天然氣水合物的研發議題日益廣泛

天然氣水合物的研發歷程甚短，約只有 200 年。從最初的實驗室合成研究，發展至近期的整合型調查研究與相關技術研發，其歷程大致可分三個階段（表 3-1）。

第一階段，起始於 1810 年首次完成氫氣水合物之合成研究。該時期著重於實驗室的合成研究。

第二階段，約始於 1930 年代。當時發現油氣輸送管線，係因天然氣水合物的晶出而發生阻塞，甚至導致輸氣管件或設備的毀損，而開始著重於油氣工程與探採安全的研究。直到 1960 至 1970 年代期間，開始發現自然界中也有天然氣水合物的賦存，方邁入基礎調查研究時期。

第三階段，約始於 1980 年代，隨著全球極區之永凍層與陸緣海域等地區，陸續被發現有天然氣水合物的直接證據與賦存徵兆。此外，深水海域調查與分析等相關技術的蓬勃發展，促使美國與日本等先進國家，於 1990 年代開始紛紛推動國家型調查研究計畫，其全程計畫經費均在 1 億美元之上（表 3-2）。其他如加拿大、英國、巴西、智利、挪威、俄羅斯、德國、法國、瑞士、印度、韓國、中國大陸、澳洲、紐西蘭、捷克及烏克蘭等國家，也陸續展開天然氣水合物相關研究計畫，或制定該國的國家型天然氣水合物研發計畫。

由上可知，天然氣水合物的科學與工程研究，從 1980 年代以後逐漸蓬勃發展。尤其在 1990 年代，世界各國分別陸續投入大量經費與人力，進行天然氣水合物的研發工作，促使該時期 10 年期間發表在 SCI 科學期刊的論文總數超過 3,000 篇（圖 3-1），預估 2001 至 2010 年之 10 年期間，天然氣水合物相關的期刊論文總數將超過 7,500 篇以上（Sloan, 2004）。

目前國際天然氣水合物的研發趨勢，除了油氣輸送安全、資源探採與生產開發、全球碳循環與氣候變遷、陸坡海床穩定性及海域地質災害衍生、特有生物群落之保育等議題外，也逐漸廣泛應用於天然氣或氫能輸儲、節能、冷凍空調、蓄冷、海水淡化、氣體分離與萃取、二氧化碳減量與封存等工業用途。

二、各國參與天然氣水合物國際研討會的盛況有增無減

天然氣水合物國際研討會的創辦起始於 1993 年，每 3 年舉辦 1 次，來促進各國在天然氣水合物研發技術的國際交流，至 2008 年已是第 6 屆。由表 3-3 與圖 3-2 可知，參與天然氣水合物國際研討會的人數及論文數約呈一定比例增加；尤其在本屆研討會無論是參加人數或論文發表數均有大幅增加的趨勢。

表 3-1、天然氣水合物研發歷程重點回顧（鐘三雄，2007）

時期	年份（西元）	重要事件
第一階段	1810	英國科學家 Davy 首次合成氫氣水合物。
	1811	英國科學家 Davy 提出氣水合物一詞。
	1888	法國科學家 Villard 及 De Forcrand 等人首次合成天然氣水合物。
	1920 年代	美國阿拉斯加地區油氣輸送管線發生阻塞現象。
第二階段	1934	美國科學家 Hammerschmidt 發現油氣輸送管線，因天然氣水合物的晶出而阻礙天然油氣正常輸送。
	1945	科學家 Katz 發表天然氣水合物相平衡圖。
	1946	科學家 Strizhev 提出自然界可能存在天然氣水合物。
	1968	前蘇聯在西伯利亞西部的 Messoyakha 天然氣田，發現有天然氣水合物的賦存。
		美國深海鑽探計畫（DSDP）開始實施。
	1971	西伯利亞西部的 Messoyakha 天然氣田所生產的天然氣，部分源自天然氣水合物的分解。
	1972	利用加壓岩心採集器，在美國阿拉斯加北部首次取得含天然氣水合物的岩心。
1974	科學家 Stoll 由海底震測發現海底仿擬反射（BSR）。	
第三階段	1980	挑戰者號在加州外海 Blake Ridge 發現天然氣水合物。
	1982~1986	深海鑽探計畫 66、84、96 航次，分別在太平洋大陸邊緣、南墨西哥灣、中美洲海槽、瓜地馬拉濱海等地區發現天然氣水合物。
		1983
	1991~1993	海洋鑽探計畫（ODP）在太平洋西岸活動大陸邊緣、美國西岸、日本濱海、南海海槽等地區發現天然氣水合物。
		1993
	1993	美國科學家在墨西哥灣發現結晶構造為 H 型的天然氣水合物。
	1995	日本成立天然氣水合物促進委員會開始實施五年研發計畫。
	1996	海洋鑽探計畫（ODP）164 航次，在美國東部 Blake Ridge 進行天然氣水合物鑽探研究。
	1997	印度實施天然氣水合物探勘計畫。
	1998	美國通過天然氣水合物研發策略法案。
	1999	美國通過長程研發計畫，開始進行國家型天然氣水合物第 1 期 5 年研發計畫。
	1998~2000	日本於南海海槽中進行示範井鑽探，並與美國、加拿大等國家聯合於加拿大 Mackenzie Delta 進行研究井鑽探。
		2001 以後
	2002 年：(1) 海洋鑽探計畫（ODP）204 航次，在美國西部 Oregon 外海的 Hydrate Ridge 進行天然氣水合物鑽探研究。(2) 在加拿大 Mackenzie Delta 地區，進行 Mallik 開發研究井的國際合作調查研究。(3) 美國在 Gulf of Mexico 進行長岩心採樣等研究。	
	2005 年日本在南海海槽海域進行天然氣水合物鑽探調查；美國在墨西哥灣海域進行天然氣水合物鑽探計畫。	
	2005 年美國核定國家型天然氣水合物第 2 期 5 年研發計畫	
	2005 年海洋鑽探計畫（ODP）311 航次，在加拿大西部溫哥華島外海進行天然氣水合物鑽探研究。	
2006 年印度於印度洋海域進行天然氣水合物深海鑽探調查研究。		
2007 年中國大陸在南海北部的神狐海域實施鑽井調查，採得天然氣水合物標本。		
2007 年韓國在其東海經濟海域(日本海西部)採得天然氣水合物標本，並在該區進行海域天然氣水合物鑽探計畫。		
2007 年美國在阿拉斯加北坡 Milne Point 地區的 Mt. Elbert 好景區進行永凍層天然氣水合物鑽探調查計畫。		

表 3-2、各國國家型天然氣水合物調查研發經費概要表

國別	計畫重點 (類別)	計畫期間 (會計年度)	核定總經費概算	
			美金	台幣
美國	國家型天然氣水合物多年期研發計畫 (第 1 期 5 年計畫)	2001~2005	約 4,750 萬元	約 156,750 萬元
	國家型天然氣水合物多年期研發計畫 (第 2 期 5 年計畫)	2006~2010	約 1 億 5,500 萬元	約 511,500 萬元
日本	天然氣水合物五年期調查研發計畫	1995~1999	約 9,000 萬元	約 297,000 萬元
	國家型甲烷水合物開發計畫 (MH21 研發計畫; 分 3 期, 共 16 年)	2001~2016	約 1 億 8,700 萬元 (2001~2004 年)	約 617,100 萬元
印度	海域天然氣水合物資源專項研究 (5 年期調查研發計畫)	1996~2000	約 5,600 萬元	約 184,800 萬元
中國大陸	海域天然氣水合物調查研究	2002~2010	約 1 億元	約 330,000 萬元
韓國	10 年期天然氣水合物開發計畫	2005~2014	約 2 億 4000 萬元 (2257 億韓元)	約 768,000 萬元

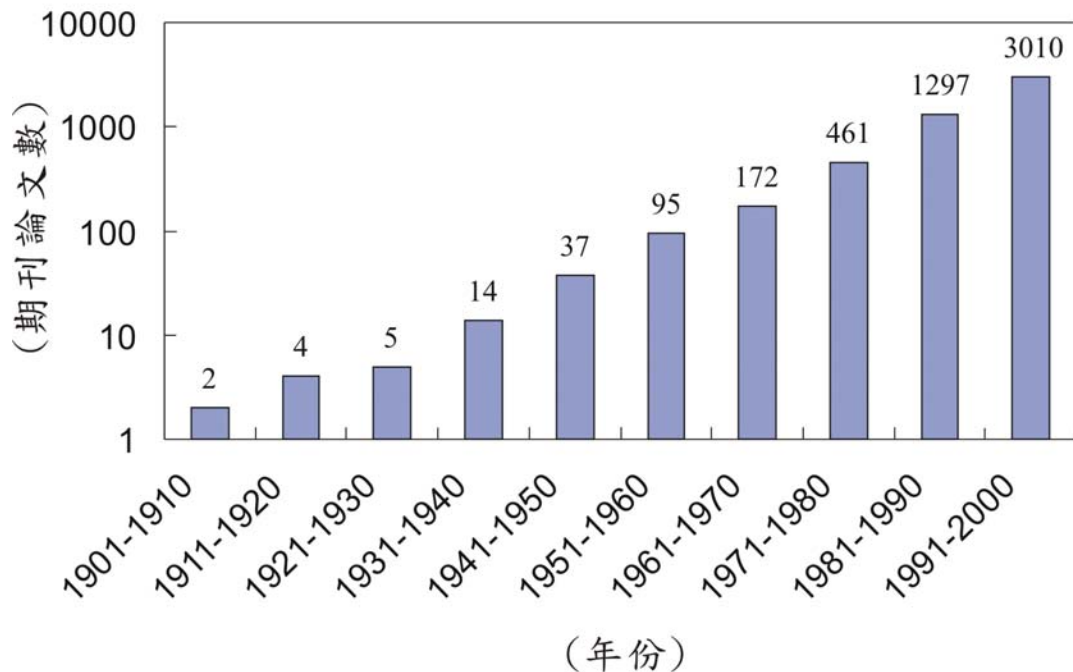


圖 3-1、20 世紀每 10 年期間天然氣水合物相關論文發表篇數統計圖。資料來源：Sloan(2004)。

第 6 屆天然氣水合物國際研討會，共有來自 21 個國家的 526 位產官學研界人士報名參加，並在 5 天的議程中，總共發表 417 篇論文。其中，以來自歐洲的國家數最多，但以亞洲國家報名參加的總人數為最多（圖 3-3、圖 3-4），顯示亞洲國家對於天然氣水合物的研發日益重視。

在亞洲國家中，參加本屆研討會人數最多的前 3 名依序為日本、韓國與中國大陸，我國參與人數在亞洲國家中排名第 4（圖 3-5）。唯一異常的是印度近年也投入相當大的經費在天然氣水合物的調查與研發工作上，且 2006 年也已完成印度周圍海域的天然氣水合物科學鑽探計畫，但報名參加本屆研討會的人數甚少，令人不解。

若以第一作者代表的國家數來看，前 5 名依序為日本、美國、加拿大、中國、韓國（圖 3-6）；其中，除加拿大外，其他 4 個國家都正在推動天然氣水合物國家型計畫。雖然加拿大尚未成立天然氣水合物國家型研發計畫，但該國積極參與天然氣水合物的國際合作計畫，故在天然氣水合物的調查與研發工作上，尚居有其領導地位的空間。

表 3-3、各屆天然氣水合物國際研討會的資料檢表

天然氣水合物 國際研討會 (ICGH)	日期	Place	論文數/參加人數
第 1 屆	1993 年 6 月 20-24 日	美國紐約 New Paltz	61/130
第 2 屆	1996 年 6 月 02-06 日	法國 Toulouse	87/195
第 3 屆	1999 年 7 月 18-22 日	美國鹽湖城	104/258
第 4 屆	2002 年 5 月 19-23 日	日本橫濱	204/296
第 5 屆	2005 年 6 月 12-16 日	挪威 Trondheim	247/330
第 6 屆	2008 年 7 月 06-10 日	加拿大溫哥華	417/526

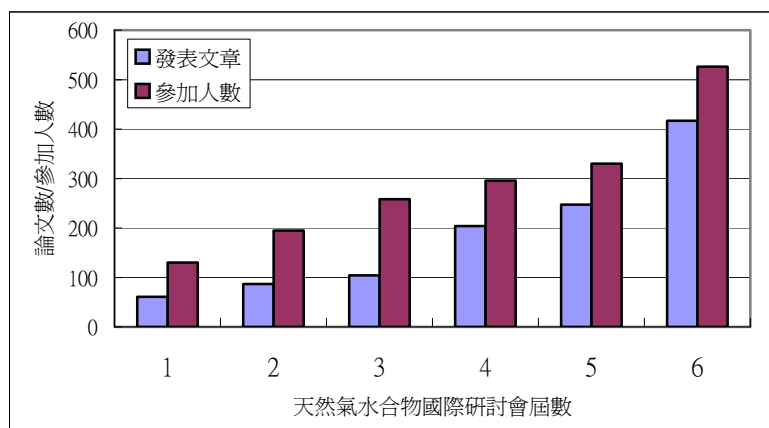


圖 3-2、各界天然氣水合物國際研討會參加人數與論文發表數之統計圖

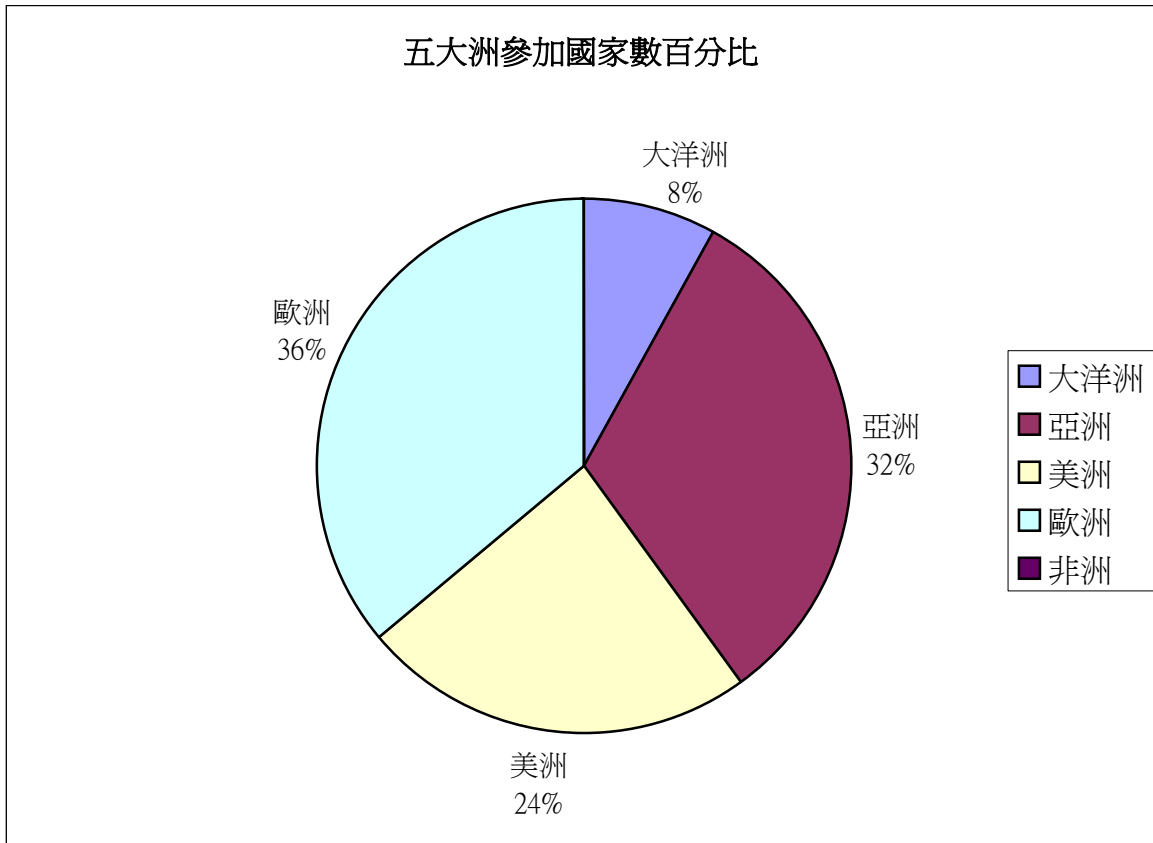


圖 3-3、來自 5 大洲之國家參加第六屆天然氣水合物國際研討會的統計圖。

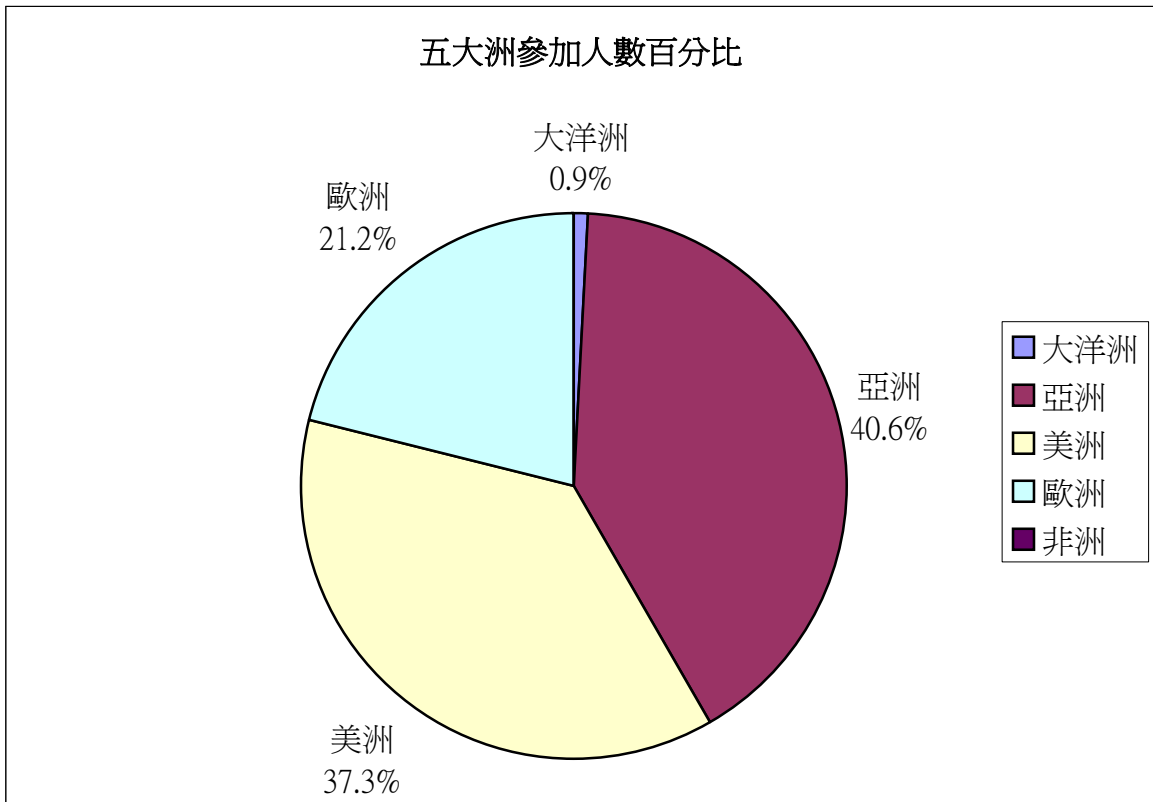


圖 3-4、來自 5 大洲之國家參加第六屆天然氣水合物國際研討會的人數統計圖。

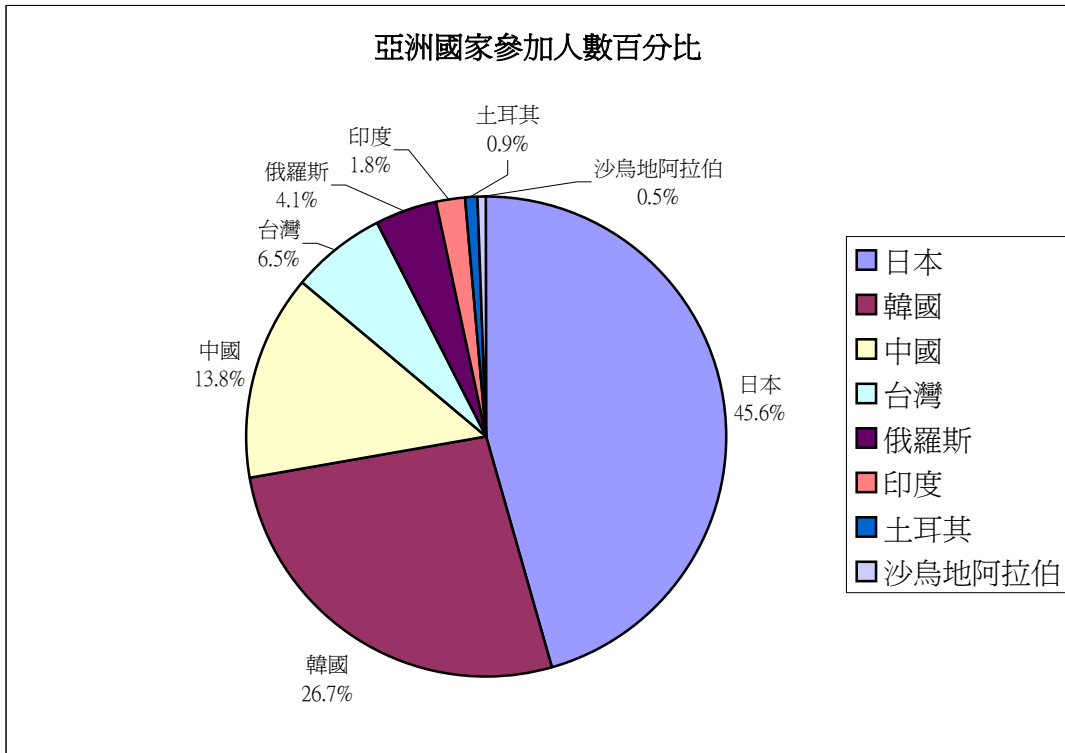


圖 3-5、亞洲國家參加第六屆天然氣水合物國際研討會的人數統計圖。

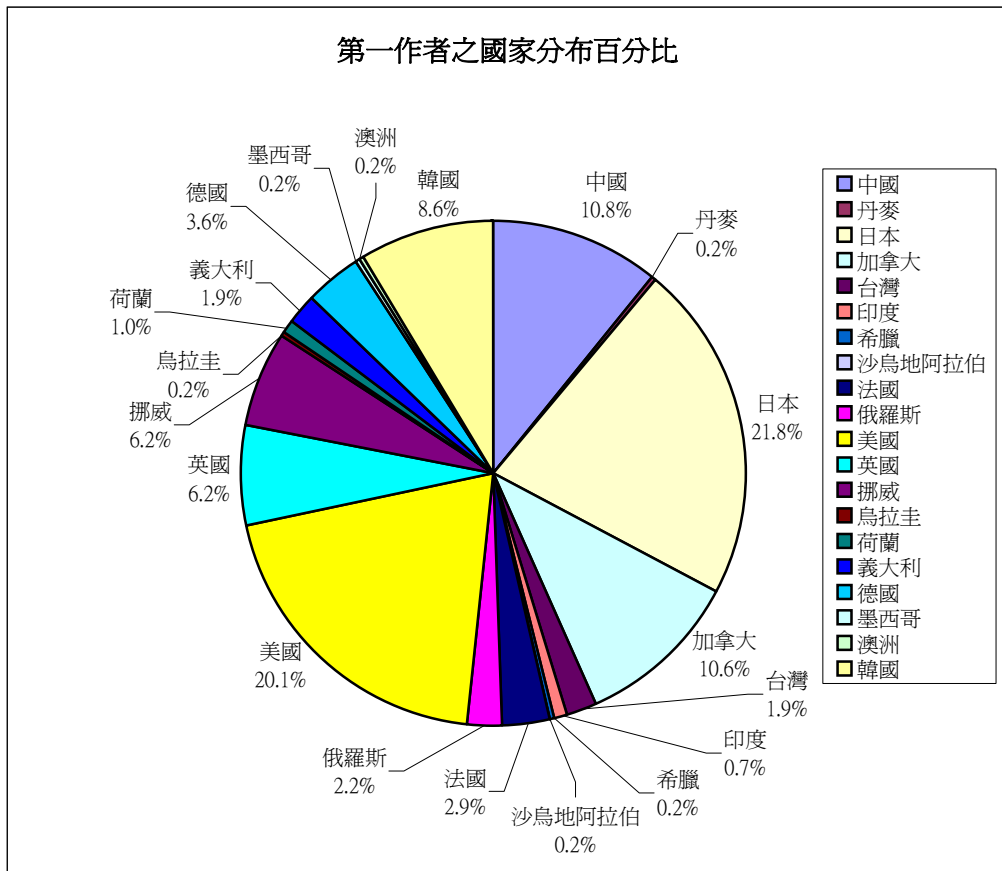


圖 3-6、參加第六屆天然氣水合物國際研討會論文發表之第一作者的國家數統計圖。

三、以水合物型式輸儲天然氣的應用技術發展快速

亞洲國家如日本、韓國及中國大陸等國家，目前均積極進行水合物型式輸儲天然氣等應用技術之研發，其中以日本最為積極且技術發展最為快速。

目前天然氣的輸儲方式，大多採用管線或容器來運送或儲置氣態或液態天然氣。隨著天然氣水合物實驗合成等研發技術的日益進展，採用固態天然氣水合物來進行運送與儲存天然氣，將是未來天然氣輸儲方法的另項選擇。由於天然氣水合物有自保效應（self-preservation effect），常壓下只要保持在-20°C左右的低溫，其分解速率就十分緩慢，在運輸過程中不易氣化。綜合考慮生產製程、儲存、運送、與氣化等相關成本，以天然氣水合物型態輸儲天然氣的總成本不但比液化天然氣型態者為低，且安全性也比液化或壓縮天然氣型態者為高（表 3-4）。

表 3-4、天然氣水合物與液態天然氣之物理性質比較
(http://www.mes.co.jp/english/mes_technology/ngh.html)

輸儲物	天然氣水合物 (NGH)	液化天然氣 (LNG)
天然氣的輸儲型態	固態	液態
保存溫度	-20°C	-162°C
比重	0.85~0.95	0.42~0.47
單位容積 (1 立方公尺) 之天然氣含量	天然氣：約 170 立方公尺 水：0.8 立方公尺	天然氣：600 立方公尺

目前日本三井造船公司 (Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd. ; MES) 正在研發以天然氣水合物型態輸儲天然氣的商業化作業系統 (圖 3-7)。目前已研發出天然氣水合物製造器，每天生產量可達 600 公斤；爲了增加天然氣運輸效率，係採用粒化製程來生產球粒狀天然氣水合物，以增加天然氣水合物的穩定度與儲存率，提高輪船的裝載與卸載天然氣水合物效率，達到天然氣輸儲的高經濟效應 (Oya et al., 2007)。

上項技術約從 2003 年以後日漸成熟，且已建造示範工廠期能推廣 (Oya et al., 2007)。然而在本次研討會，日本的專家學者則發表最新的製程與方法，將天然氣水合物製造器每天 600 公斤的生產量，提高到每天 5 噸的生產量 (Takahashi et al., 2008)，顯示離商業化運用水合物型式輸儲天然氣之願景已不遠。

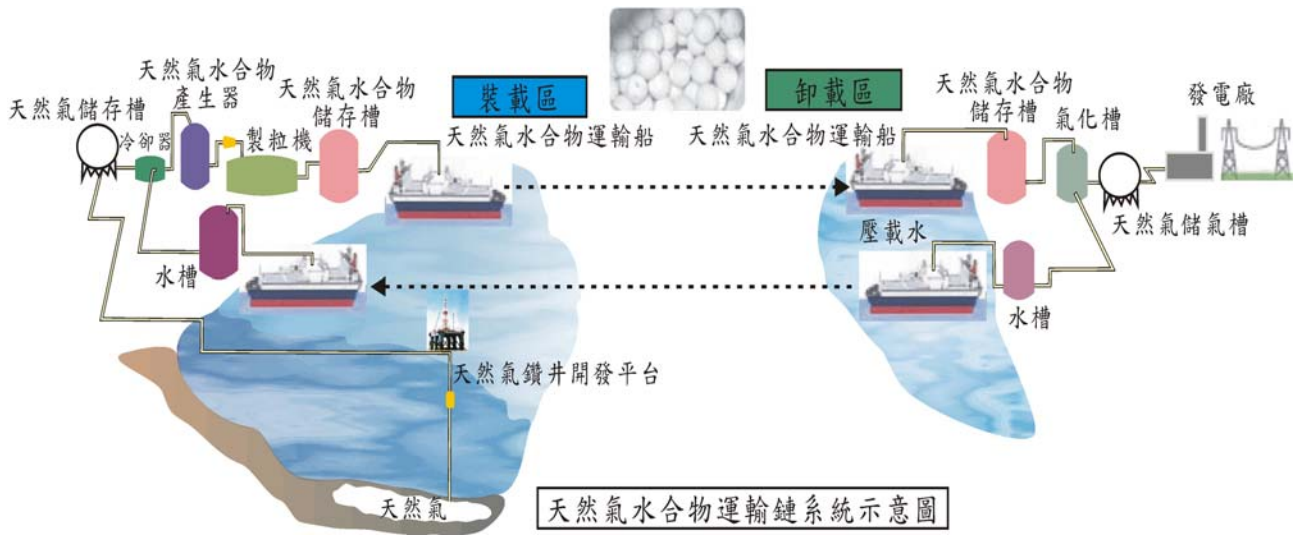


圖 3-7、日本三井造船公司 (MES) 所提出以固態天然氣水合物型態來輸儲天然氣之運輸系統作業構想概念示意圖(資料來源 http://www.mes.co.jp/english/mes_technology/ngh.html)。

肆、亞太國家近期研發概況

由於本次研討會議程大多採用多議題同時進行的方式，故只能選擇部分議題參與聽講並研討，所參與的議題以天然氣水合物的調查、儲集層模擬分析及生產方法等為主，綜合研討會的內容及文獻資料蒐集，將天然氣水合物列為國家型研發計畫來推動的亞太國家分別有美國、日本、印度、韓國及日本等，這 5 個國家先後均已完成天然氣水合物鑽探調查的工作，故本章報告將以這 5 個國家在天然氣水合物之近期調查研究概況為主軸。

一、美國

美國是最早推動海域天然氣水合物調查的國家。1982 年起，美國能源部即開始進行 10 年期天然氣水合物的基礎調查研究，總經費約 800 萬美元。早期的研究計畫趨向於天然氣水合物資源量的調查研究，以及探索在安全與環境許可的條件下由天然氣水合物生產天然氣的方法。雖然該研究計畫曾被迫中斷，但在天然氣水合物的賦存判釋與基本性質研究方面，已取得明顯進展。

美國在 1995 年即完成週邊海域與陸域天然氣水合物的調查研究，並劃出蒲福海探勘區 (Beaufort Sea Play)、白令海探勘區 (Bering Sea Play)、阿留申海溝探勘區 (Aleutian Trench Play)、阿拉斯加灣探勘區 (Gulf of Alaska Play)、北太平洋探勘區 (Northern Pacific Ocean Play)、南太平洋探勘區 (Southern Pacific Ocean Play)、墨西哥灣探勘區 (Gulf of Mexico Play)、東南大西洋探勘區 (Southeastern Atlantic Ocean Play)、東北大西洋探勘區 (Northeastern Atlantic Ocean Play) 及美國北阿拉斯加頂三角洲與褶皺帶探勘區 (Alaska Topset and Fold Belt Plays) 等分布圖及資源量評估 (圖 4-1)。依據美國地質調查所的研究，估計美國國內甲烷水合物所含的甲烷資源量約在 $5,660 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 左右 (Collett, 1997)。假設以該資源量的 1~10 % 視為可採量，再以美國 2005 年天然氣年消費量 $0.63 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 來估算，則美國國內甲烷水合物的甲烷總儲存量，具有供應美國 90~900 年消費的潛力。

美國在 2006 年開始啟動第 2 期 5 年天然氣水合物研發計畫，總經費為 1 億 5,500 萬美元 (2006 年度：1,500 萬美元、2007 年度：2,000 萬美元、2008 年度：3,000 萬美元、2009 年度：4,000 萬美元、2010 年度：5,000 萬美元)。

表 4-1 為美國在 2005-2007 年期間，以工業聯盟合作方式實施或以國際合作方式實施的 3 次天然氣水合物鑽探調查研究完成事項比較表。近年來與美國能源部天然氣水合物研發計畫調查地區，主要集中於阿拉斯加北坡地區及墨西哥灣地區等 2 個區域。



圖 4-1、美國天然氣水合物探勘區分布圖（參考自 Department of Energy, 1998）。括號內的數值為各天然氣水合物探勘區所含甲烷資源量的平均推估值，單位為兆立方公尺（10¹² m³）。

表 4-1、天然氣水合物研發計畫完成事項比較簡表
(Federal methane Hydrate Advisory Committee, 2007)

2007 BP Milne Point Project	2005 Chevron Gulf of Mexico JIP	2006 Indian Expedition
示範永凍層天然氣水合物鑽井安全性	表明深水油田探採工業在更深水地區鑽井並不具風險性	印度在複雜地質環境下第 1 次發現及採得天然氣水合物實體標本。
確認阿拉斯加北坡探採與評估等健全方法論 (sound methodology)	提供未來墨西哥灣地區將天然氣水合物視為資源的探勘計畫之基礎	在印度東側外海的 K-G 盆地 (Krishna-Godavari Basin) 發現及採到海域天然氣水合物最富集的標本
提供天然氣水合物完整的資料叢集	研發與測試採樣方法與技術，包括壓力岩心的分析技術等。	發現海床下含有天然氣水合物的火山灰沉積層厚度達 600 公尺。
確認減壓法對於美國天然氣水合物生產法的適用性	建立政府與工業界合作鑽井計畫之基礎	建立印度與美國在未來海域天然氣水合物聯合探測計畫的基礎
提供天然氣水合物儲集層長期生產試驗的基礎	先進的 3 維震測資料收集與分析，評估鑽井前天然氣水合物的飽和度。	訓練 40 位印度科學家從事天然氣水合物的研發

- (1) 阿拉斯加北坡地區的 BPXA 合作探勘計畫：合作單位包括能源部、BPXA (the British Petroleum Exploration, Alaska)、Alaska-Fairbanks 大學、亞利桑那大學、美國地質調查所、解釋服務公司 (Interpretation Services Inc.)、美國石油協會石油顧問 (APA Petroleum Consultants)、the Ryder Scott Company。第 1 與第 2 階段計畫係由 BPXA 提供專屬的 3 維震測資料，結合美國地質調查所提供井測資料及解釋，在阿拉斯加北坡之普拉德霍灣 (Prudhoe Bay) 的 Milne Point 地區實施地質、地球物理及數值經濟

模型研究。該計畫共建立 14 個天然氣水合物探勘好景區 (prospect)，並選擇其中之一的 Mt. Elber 區作為第 3 階段野外調查目標區，同時在 2007 年進行鑽井、井測、岩心採集與分析、試驗等資料，提供 BPXA 與能源部提出是否邁進第 3 階段長期生產試驗計畫之聯合決策依據。

- (2) 雪芙蘭 (Chevron) 墨西哥灣聯合工業之合作計畫：合作單位包括 Chevron Gulf of Mexico、ConocoPhillips、美國地質調查所、礦產資源管理服務局、Total、Schlumberger、萊斯大學、喬治亞工業技術研究所、Reliance Industries、Scripps Oceanographic Institute 及日本石油天然氣金屬聯合公司 (the Japan Oil, Gas and Metals National Corporation ; JOGMEC)。第 1 與第 2 階段計畫於 2005 年在墨西哥灣地區實施 2 個井位的鑽井、岩心採集與分析及井測等工作，進行細粒沉積物之天然氣水合物儲集層的鑽井工程安全性研究；目前正在規劃第 3 階段計畫，以改進壓力岩心採集系統的性能與裝置，以及粗粒 (砂) 沉積物之天然氣水合物儲集層區位評估，並於 2007 年第 4 季期間，在這些選出的井位進行初期鑽井與隨鑽井測 (logging while drilling ; LWD) 等評估工作，預計在 2008/2009 期間實施後期鑽井及岩心採集與分析等調查研究。

二、日本

依據海底仿擬反射信號測繪結果顯示，日本周圍島弧系統環境，廣泛分布有海底仿擬反射 (BSRs)，主要分布於海槽與弧前盆地等環境；包括西南諸島海溝、南海海槽 (Nankai Trough)、房總半島東方、千島海溝、日本海東緣、韃靼海槽及鄂霍次克海等海域，均有天然氣水合物的賦存徵兆，其分布總面積約有 44,000km² (圖 4-2)。初步估計日本周圍海域天然氣水合物的甲烷資源量約有 4.7~6.0 兆立方公尺 (Okuda, 1993 ; Satoh et al., 1996 ; <http://www.mh21japan.gr.jp/seika.html>)，相當於 2003 年日本國內天然氣總消費量 (765 億立方公尺) 的 60~80 倍，約為日本國內傳統天然氣資源量 (40 億立方公尺) 的 120~150 倍。

日本於 1995 年規劃 5 年期天然氣水合物研發計畫，總經費約 9,000 萬美元，並在 1999 年完成南海海槽天然氣水合物的鑽探調查，共實施 2 個先期探測井 (pilot well)、1 個主研究井 (main hole)、3 個後期調查井 (post survey well)，這 6 口鑽井的摘要資料如表 4-2 所示。

為了達到促進甲烷水合物資源的探採與生產等經濟可行性技術研發，並促使甲烷水合物資源的利用能作為長期且穩定的能源供應圈之一環等基本目標，日本經濟產業省 (METI) 在 2001 年 7 月「國家型甲烷水合物開發計畫」(National Methane Hydrate Exploitation Program) 諮詢委員會議中，提出「甲烷水合物開發計畫」報告書，將賦存於日本周圍海域的甲烷水合

物視為未來能源資源，全程計畫之最終目標是讓日本在甲烷水合物資源開發研究領域上成爲世界領導者（經濟產業省，2001a，2001b；Tsuji et al., 2004）。

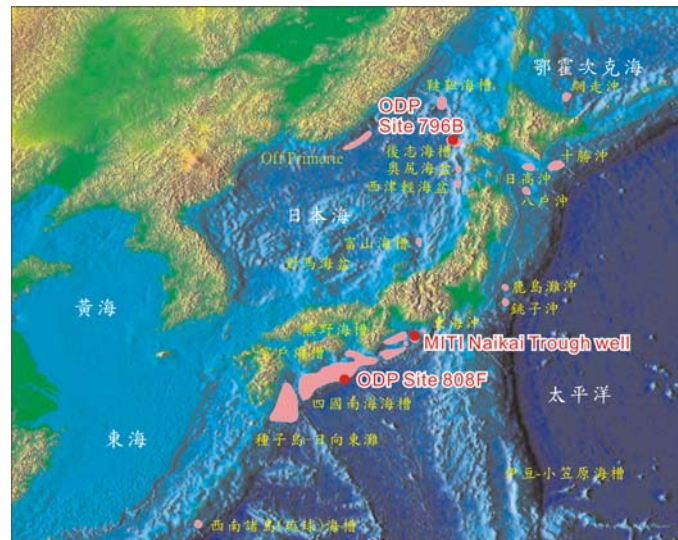


圖 4-2、日本周圍海域天然氣水合物賦存區(粉紅色圈合區)分布圖(參考自 Satoh et al., 1996；經濟產業省，2001b；Satoh，2002)。Primorie 外海屬於俄羅斯海域，紅色實心代表鑽井位置。

表 4-2、南海海槽甲烷水合物鑽探計畫之調查研究井的摘要資料（Tsuji et al., 2004）

井位	先期探測井 1 PH-1	先期探測井 2 PH-2	主研究井 MH	後期調查井 1 PSW-1	後期調查井 2 PSW-2	後期調查井 3 PSW-3
水深	945m	945m	945m	945m	945m	945m
總井深 (海床下深度)	1600m (655m)	1486m (541m)	1623m/1618m (678m/673m)	1300m (355m)	1223m (278m)	1300m (357m)
井徑	8-1/2"	8-1/2"	10-5/8" 17-1/2"	10-5/8"	10-5/8"	10-5/8"
鑽鑿起訖期間	1999/11/14 1999/11/14	1999/11/15 1999/11/16	1999/11/21 1999/12/10	2000/01/22 2000/01/24	2000/01/25 2000/01/28	2000/01/28 2000/02/01
井位經緯度	34°12'55.60" 137°45'01.60"	34°12'56.54" 137°45'03.77"	34°12'56.07" 137°45'02.63"	34°12'56.22" 137°45'03.01"	34°12'56.38" 137°45'03.39"	34°12'53.38" 137°45'04.34"
相關調查作業	安全試驗檢測	LWD (logging while drilling) RAB-CDR-CDN 945-1486 mbsl	岩心採集：PTCS 與傳統式 (1110.0-1272.0mbsl) 岩心採收率 44.6% (70.1m/157.0m) Wire-line Logging WCQR (1140.3-285.3m) AITH-NGS-DSI-EMS (1135.5-1000m) HALS-DSI-GR-EMS (1261-1007m) CBL-VDL-GR (13-3/8") (1563-945M) Dual CSI (VSP) Zero-offset (1555-1000m) Offset (1555-1085m) Walk away (1210-1130m)	Wire-line Logging DSI-GR-EMS (1296-998m) HALS-GR (1302-998m) CSI (zero-offset VSP) (1300-1005m) (71 levels) FMI-GR (1303.5-998m) CMR-GR (1278-1096M)	PTCS 岩心採集 1149-1158m 1178-1187m 1199-1214m 1220-1223m (採收率 46.9%)=16.9/36.0m)	Wire-line Logging DSI-GR-EMS (1293-999m) HALS-GR (1299-999m) CSI (zero-offset VSP) (1299-1005m) (60 levels) FMI-GR (1301-999m) CMR-GR (1297-996M) MDT-GR (1209-1197m)

全程計畫目標包括：(1) 確實瞭解日本周圍海域甲烷水合物的賦存狀況與特性；(2) 推估甲烷水合物賦存區所蘊藏甲烷氣量推估；(3) 從周圍海域甲烷水合物潛能區評選出資源區 (resource fields)，並進行其經濟可行性研究；(4) 在所選出的甲烷水合物資源區進行甲烷水合物生產測試 (至 2011 年)；(5) 商業化量產的技術研發 (至 2016 年)；(6) 建立已考量環境保育的生產開發作業系統。

整體計畫預計分爲 3 期共 16 年實施，各期程的研發主題與階段性目標如下 (圖 4-3)：

1. 第 1 期計畫 (2001~2006 年)：藉由震測技術、基礎物理性質、甲烷水合物的生成與解離等相關基礎研究，以達成下列目標。
 - (1) 甲烷水合物研發技術的最適化。
 - (2) 確認周圍海域甲烷水合物潛能區，並評估其資源量。
 - (3) 評選執行第二期之海域甲烷水合物生產測試計畫所需的甲烷水合物資源區。
 - (4) 藉由陸域天然氣水合物資源區的生產測試，來驗證井口 (wellhead) 的甲烷水合物解離與甲烷氣採收等技術。
2. 第 2 期計畫 (2007~2011)：藉由生產技術、環境影響評估技術等相關基礎研究，以達成下列目標。
 - (1) 甲烷水合物資源區的甲烷資源量評估。
 - (2) 日本海域甲烷水合物的生產測試與生產技術的驗證。
3. 第 3 期計畫 (2012~2016)：包括商業生產、環境衝擊與經濟可行性等相關技術之研發。

有關海域甲烷水合物賦存區之驗證與甲烷資源量評估等研究，2001 年至 2002 年期間，日本在南海海槽地區實施一系列的 2 維與 3 維震測調查研究；2004 年期間，日本經濟產業省在東海沖至熊野灘地區 (Tokai-Oki to Kumano-nada) 實施多井鑽探計畫 (multi-well drilling)，在水深約 720~2,030 公尺的海域，共完成 16 個井位的鑽探調查，並進行含天然氣水合物之砂岩層的岩心採集與分析，以及各種井測調查與分析。目前仍持續進行南海地區天然氣水合物資源評估之研究，2006-2007 年期間在熊野灘海域實施的天然氣水合物研發計畫經費約爲 6,850 萬美元，暫定在 2009 年以前，將實施海域天然氣水合物生產測試計畫。

至於陸域永凍層天然氣水合物開發技術之研究，1998 年期間，由日本國家石油公司、日本石油探勘公司及其加拿大有限公司、加拿大地質調查所、美國地質調查所等其他研究機構組成的聯合研究團隊，在加拿大西北部麥肯齊三角洲的馬立克 (Mallik) 地區，共同進行 Mallik 2L-38 站位之鑽井、岩心採取與分析、及地球物理等調查研究計畫。

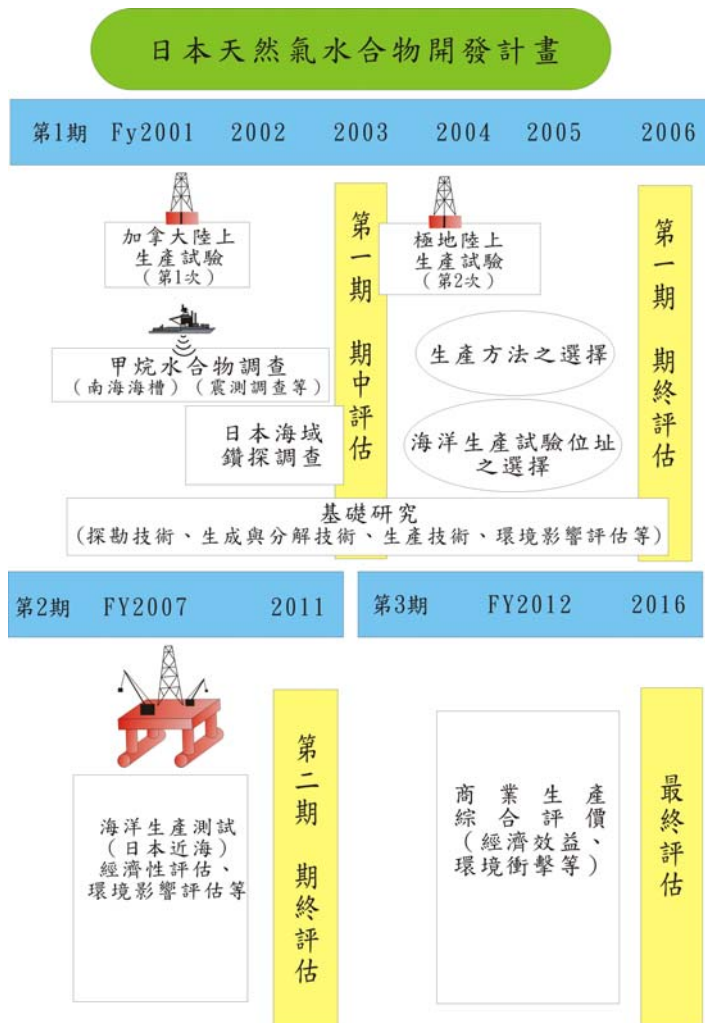


圖 4-3、日本甲烷水合物開發計畫期程規劃示意圖（改繪自經濟產業省，2001a）

2002 年開始，由日本國家石油公司、日本石油探勘公司、加拿大資源部、加拿大地質調查所、美國地質調查所、美國能源部、德國 GFZ（Geo Forschungs Zentrum Potsdam）、印度石油天然氣部（MOPNG；Ministry of Petroleum and Natural Gas）、Chevron Texco-British Petroleum-Berlington、國際大陸鑽探計畫組織（ICDP；International Continental Drilling Program）等機構所組成的研究小組，在馬立克地區聯合進行「Mallik 2002 天然氣水合物生產研究井鑽探計畫」（Mallik 2002 Gas Hydrate Production Research Well Program），計畫經費約 2,500 萬美元。該計畫研究內容包括天然氣水合物地質、震測、井測、地熱、地球化學、地質微生物、及工程地質、鑽井和開採技術等。其中 Mallik 3L-38 與 4L-38 等 2 口井屬於觀測井，Mallik 5L-38 井則屬於生產研究井。

該項生產試驗計畫，首次證實由永凍層天然氣水合物儲集層生產甲烷的技術可行性。在

5 天的生產試驗期間，每天的連續生產流量最高可達 1500 立方公尺；該研究也顯示單獨使用減壓法的生產量優於單獨使用加熱法，而同時混用減壓法與加熱法的生產方式，可獲得最大的生產量。

2006 年至 2008 年期間，日本 JOGMEC 公司與加拿大自然資源部將聯合出資與主導推動馬立克 2006-2008 天然氣水合物生產研究計畫，目的旨在進行天然氣水合物的長期生產行為的監測研究。該計畫在 2007-2008 年冬季期間，施放各項設備與儀器，準備實施各分段的天然氣水合物儲集層之長期生產試驗研究。另外，Mallik 2L-38 與 3L-38 等 2 口舊井於重新啓用並加深鑽探後，將進行短期減壓生產試驗，以評估各項設備的功能，並評估近天然氣水合物穩定帶底部之 12 公尺厚的天然氣水合物儲集層，其 60 小時期間的短期生產率。

該項生產測試計畫，2007 年曾於深度 1093~1105 公尺之間的砂岩層中（天然氣水合物在孔隙中的飽和率最高為 75%），實施減壓法的 1 天期生產測試，顯示天然氣的生產流量最高可達 8,000 立方公尺/天，當時發現水合物分解後，鬆散的砂岩顆粒會伴隨水與天然氣進入生產管串內，可能造成管串堵塞，降低天然氣的生產率（Dallimore et al., 2008；Fujii et al., 2008；Kurihara et al., 2008）。因此，在 2008 年 3 月期間重新實施 6 天期的減壓法生產測試，並加設攔砂網（sand screen），成功阻隔天然氣水合物分解產生鬆散的砂粒進入管串，該次生產測試所獲天然氣的流量約為 2,000~4,000 立方公尺/天（Council of Canadian Academies, 2008）。

三、印度

印度周圍海域的相關震測調查工作始於 1950 年代，目前所收集的震測資料之測線總長度超過 178,000 公里。由震測剖面資料所測繪的海底仿擬反射分布結果顯示，印度周圍海域分布有 7 個天然氣水合物探勘區（圖 4-3），其所賦存的甲烷資源量共約 1,894~14,572 兆立方公尺（表 4-3），遠超過印度國內已知的傳統甲烷蘊藏量（7,070 億立方公尺）。

印度之國家型天然氣水合物研發計畫於 1997 年由石油天然氣部開始推動，並在 2000 年重組國家型天然氣水合物研發計畫內容。其國家型天然氣水合物研發計畫的研發藍圖，係規劃在 2004 年底以前，完成印度海域天然氣水合物資源的完整評估，以及藉由實驗室合成試驗與量測分析等研究，來瞭解天然氣水合物的熱力學 / 動力學的性質；2005 年以前，完成水深 900~2,500 公尺的深水海域之岩心採集及鑽探調查作業（實際作業於 2006 年 8 月完成）；2006-2007 年期間，進行海域天然氣水合物生產試驗先期研究；2008 年以前，進行海域天然氣水合物生產技術 / 經濟之研究。

表 4-3、印度海域天然氣水合物之甲烷資源量評估 (GAIL, 1996)

探勘區 (Plays)	甲烷可能蘊藏量 (Probability of equal to or greater than :)				
	95%	75%	50%	25%	5%
孟買外海 (Bombay Offshore)	135	307	454	630	852
喀拉拉-貢根外海(Kerala-Konkan Offshore)	62	221	1,137	1,566	2,299
北阿拉伯海區 (N. Arabian Sea)	226	440	595	798	1,092
南阿拉伯海區 (S. Arabian Sea)	0	0	312	709	1,094
安達曼-尼科巴群島外海區 (Eastern Offshore)	1038	1527	2,168	3,181	4,525
北孟加拉灣區 (N. Bay of Bengal)	245	334	468	648	937
南孟加拉灣區 (S. Bay of Bengal)	188	367	1,022	2,468	3,773
總蘊藏量 (兆立方公尺；TCM)	1,894	3,196	6,156	10,000	14,572

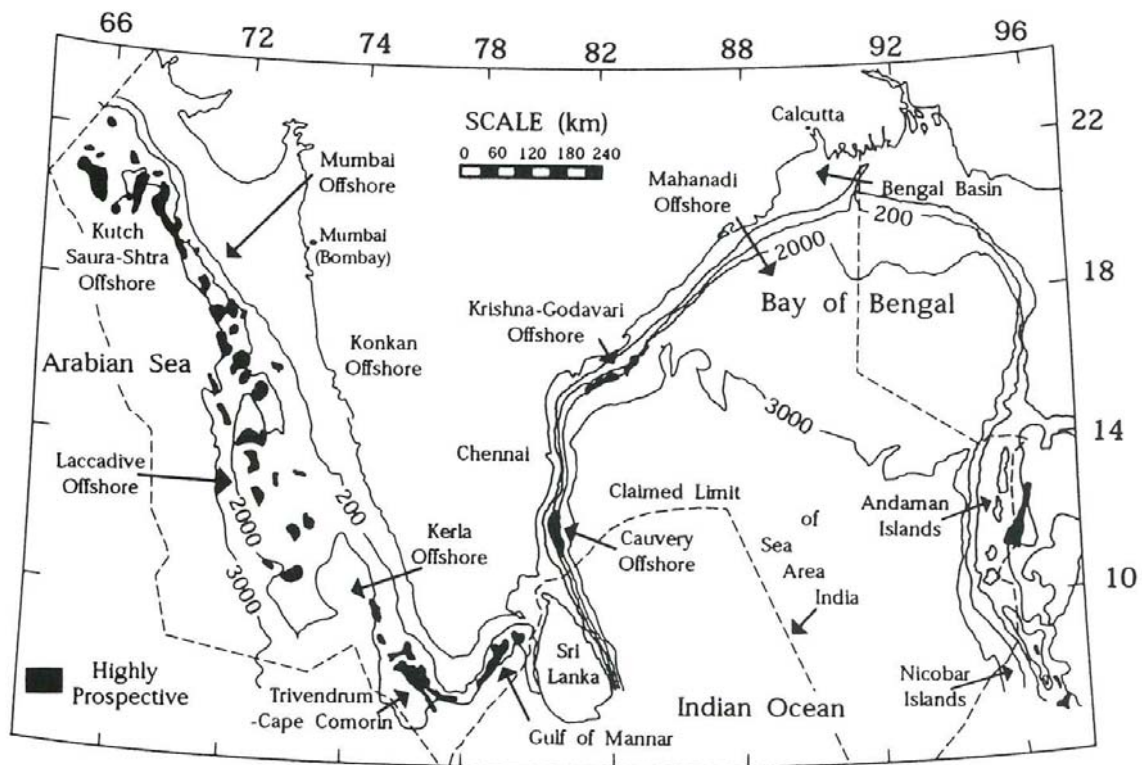


圖 4-3、印度周圍海域天然氣水合物賦存區之地理分布 (Max, 2000b)。藉由震測資料的解析 (如海底仿擬反射信號)，黑色範圍代表天然氣水合物賦存潛能高的區域。

2006 年印度國家天然氣水合物海域鑽探計畫航次 NGHP 01 (the Indian National Gas Hydrate Program Expedition 01 ; NGHP Expedition 01)，是由印度碳氫化合物總局(DGH)、美國地質調查所、海外鑽探公司 (ODL ; Overseas Drillg Limited) 天然氣水合物科學研究委員

會、FUGRO McClelland Marine Geosciences 等單位聯合規劃；該航次所用 JOIDES Resolution 鑽探研究船的鑽井平台作業，由 ODL 負責操作；鑽井 / 岩心採集設備，大多透過國際整合海洋鑽探計畫（IODP；the Integrated Ocean Drilling Program）向美國國家科學基金會（NSF）租用；電纜壓力岩心採集系統與相關實驗設施，則由國際整合海洋鑽探計畫 / 美國德州農工大學（TAMU）、FUGRO 公司、美國地質調查所、美國能源部及 HYACINTH / GeoTek 等單位或公司組織提供；井測作與技術支援則由美國哥倫比亞大學 LDEO（Lamont-Doherty Earth Observatory）提供；鑽探航次計畫總經費約為美金 3,654 萬美元，由印度石油工業發展委員會（OIDB）出資。

該項天然氣水合物鑽探計畫目的，旨在研究印度半島周圍外海及板塊聚合邊緣之安達曼外海的天然氣水合物產狀，並著重在瞭解此等二種不同地體構造環境下之天然氣水合物產狀的地質與地球化學控制因子；主要目標係藉由海洋科學鑽井 / 岩心採集、井測及各式相關分析研究，來評估天然氣水合物的地質產狀、區域背景（regional context）及印度陸緣海域天然氣水合物儲集層（礦層）的特性，並發展符合安全及成本考量的開採方式，來達成天然氣水合物作為能源開發利用之長期最終目標。

主要鑽井區位，分別位於印度半島西側外海的 K-K 海盆（the Kerala-Konkan Basin）1 個井位、印度半島東側孟加拉灣海域的 K-G 海盆 15 個井位（the Krishna-Godawari Basin）與 Mahanadi 海盆 4 個井位（the Mahanadi Basin）、及孟加拉灣外海東側的安達曼海域 1 個井位等 4 區（圖 4-4）。

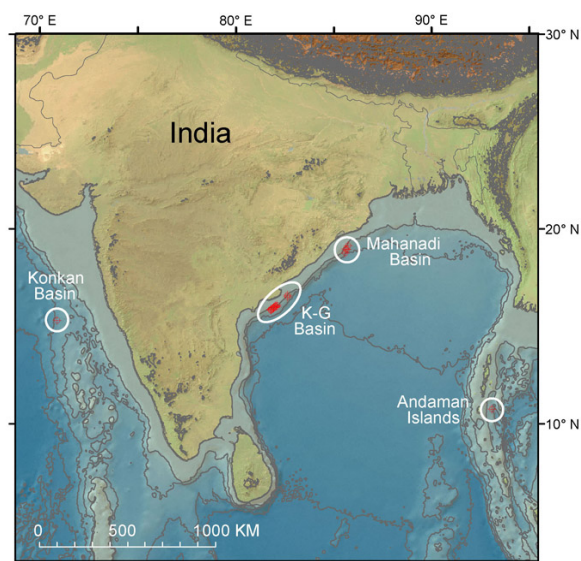


圖 4-4、印度海域天然氣水合物鑽井航次計畫之鑽井區位分布圖（Collet et al., 2006；http://energy.usgs.gov/images/gashydrates/India-NGHP_LG.jpg）。

鑽探計畫的實施期間為 2006 年 4 月 28 日至 8 月 19 日，整個航期共計 113.5 天，可分為 4 個主要研究航次，分別為：(1) 航次 1 (4 月 28 日至 5 月 16 日)，由孟買 (Mumbai) 出發到阿拉伯海域 K-K 海盆，實施鑽井、井測及岩心採集等作業後，返回印度南方的千奈港 (Chennai，舊名 Madras 馬德拉斯)；(2) 航次 2 (5 月 17 日至 6 月 6 日)，由千奈港出發到孟加拉灣海域的 K-G 海盆與 Mahanadi 海盆等 10 個井位，實施 LWD 鑽井調查作業後，再返回千奈港；(3) 航次 3 又分為 2 段航次：航次 3A (6 月 7 日至 6 月 25 日)，依據航次 2 所獲得的 LWD 井測資料分析結果，回到 K-G 海盆 2 個特定井位，實施鑽井、岩心採集及井測作業後，因人員及設備轉移因素而返回千奈港；航次 3B (6 月 26 日至 7 月 17 日)，在 K-G 海盆區域的 5 個井位，實施鑽井、岩心採集及井測等作業；(4) 航次 4 (7 月 18 日至 8 月 19 日)，由千奈橫渡孟加拉灣到安達曼海域 1 個井位，實施鑽井、岩心採集及井測作業後，再到 Mahanadi 海盆 2 個井位，實施鑽井、岩心採集及井測調查之後，再次回到 K-G 海盆新增 2 個井位實施鑽井、岩心採集及井測等作業後，返回千奈港。整個航期中，返靠港時間共計 19 天 (16.8%)、井位之間移動時間共計 24.2 天 (21.3%)，井位鑽探調查共計 70.4 天 (62%)。鑽探井位共計 21 處，共完成 39 孔的鑽井作業，包括 10 個井位共 12 孔的 LWD-MWD (Logging/Measurement While Drilling) 鑽探作業、另外 27 孔的岩心鑽探作業；其中，在 13 個井位實施電纜井測 (wireline logging)，6 個井位實施垂直震測剖面井測 (VSP; vertical seismic profile)。鑽井作業水深約 906~2,674 公尺，穿透深度約在海床下 9.5~718 公尺 (mbsf)；鑽井總深度合計約有 9,250 公尺，採得岩心約有 2,850 公尺 (採收率約 78%)。圖 4-5 為本鑽探航次在印度海域所採得之含天然氣水合物標本岩心照片。

每個井位實施科學鑽井、井測、岩心採集與分析等工作目的，旨在進行下列研究目標：(1) 印度周圍海域天然氣水合物的分布與其性質；(2) 天然氣水合物形成與產狀的地質控制；(3) 天然氣由來源區到儲集區的移棲機制；(4) 天然氣水合物對於寄主 (host) 沉積物的物理性質之影響效應；(5) 天然氣水合物形成與分解的微生物與地球化學特性；(6) 驗證與修正地球物理等遠距調查方法預測天然氣水合物存在與含量之結果，並作為儀器功能之修正與改善的依據。

鑽井結果證實，K-G 海盆、Mahanadi 海盆及安達曼海域確實有天然氣水合物賦存。在 K-G 海盆 10 號井位發現海域天然氣水合物至今最為富集的儲集層，總厚度約 128 公尺(塊狀或浸染狀)的天然氣水合物儲集層，阿曼達海域 17 號井位則證實為現今已知天然氣水合物穩定帶最厚也最深的賦存區，並在 Mahanadi 海盆 19 號井位觀測到完整發育的天然氣水合物系

統 (Collett, 2007)。

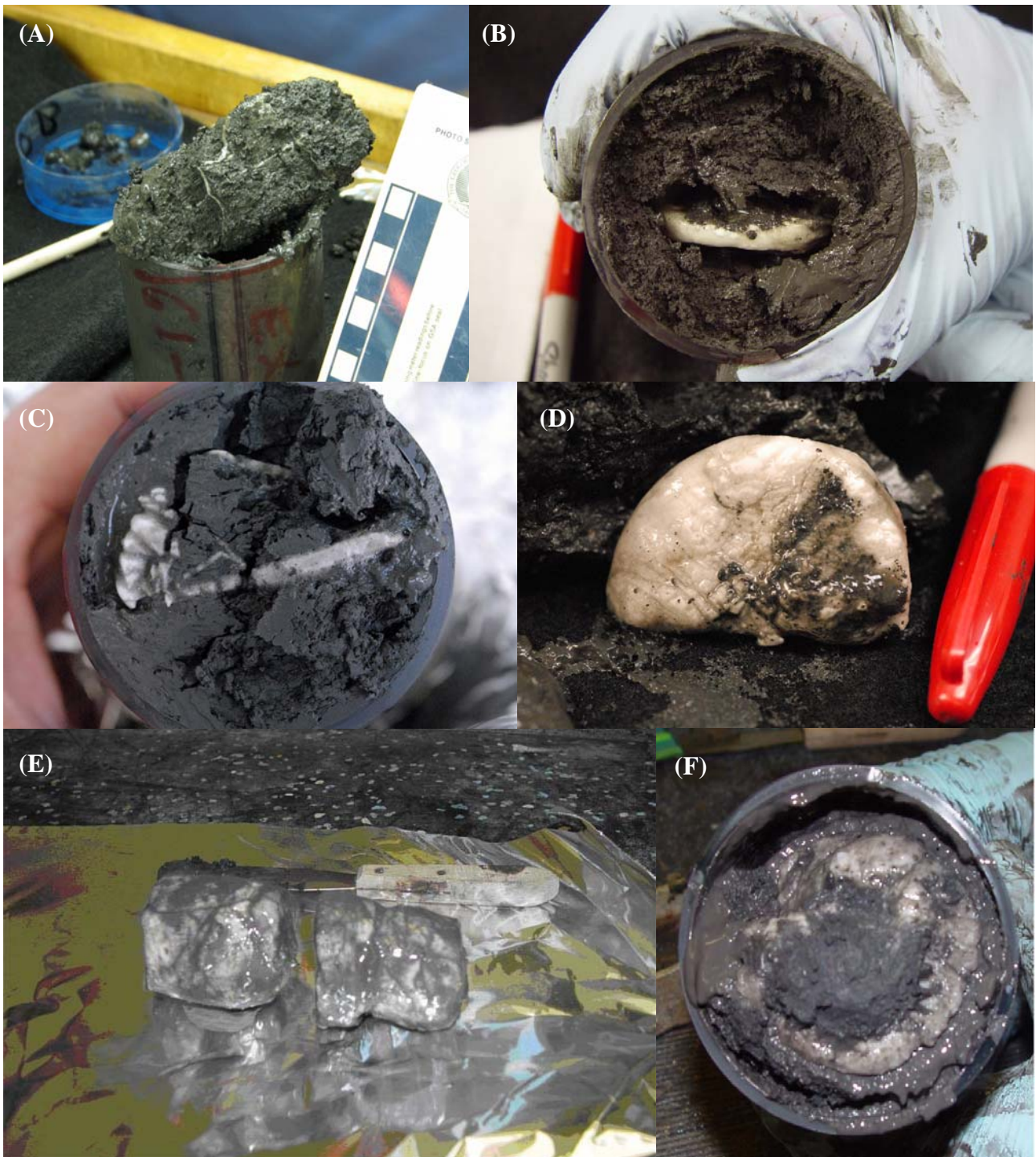


圖 4-5、印度海域天然氣水合物鑽井航次所採得之含天然氣水合物岩心照片，其產狀有細脈狀 (A)、脈狀 (B、C)、層狀 (D) 及團塊狀 (E、F) 等。照片 (A) 至 (D) 來自網頁 <http://energy.usgs.gov/other/gashydrates/indiamimages.html>；照片 (E) 至 (F) 則來自網頁 http://www.nio.org/projects/ramana/fig13_rew.jpg, [fig14_rew.jpg](http://www.nio.org/projects/ramana/fig14_rew.jpg))。

四、韓國

隨著經濟的快速成長，韓國已是全球第四大石油進口國家。由於韓國缺乏石油與天然氣等資源，為確保石油與天然氣能源供應來源的安全性，韓國也積極的在尋找與研究各項新興的能源資源。依據韓國科學家的研究認為，天然氣水合物可望成為未來替代能源之一。因此，韓國科技部（MOST；Ministry of Science and Technology）與政府政策聯盟辦公室（OGPC；Office for Government Policy Coordination）於 1996 年開始推動第 1 期天然氣水合物研究計畫，全程計畫共 10 年，主要執行單位為韓國地質科學與礦產資源研究院（KIGAM；Korean Institute of Geosciences and Mineral Resources）。

第 1 期天然氣水合物研發計畫，主要著重於文獻彙整、實驗合成及模擬試驗等實驗室研究。直到 2000~2004 年期間，才開始在韓國東海海域（日本海西部）進行區域性海域地質與地球物理等普查工作（圖 4-6）。該海域的調查面積約 40,000 平方公里，所實施的反射震測調查的測線總長約 14,366 公里，主要由 KIGAM 與 KOGAS 等單位聯合執行；該計畫調查期間，共採集 38 個測站的岩心標本進行相關分析與研究工作。2000~2004 年期間的計畫總經費共約 490 萬美元（Park and Huh, 2005）。

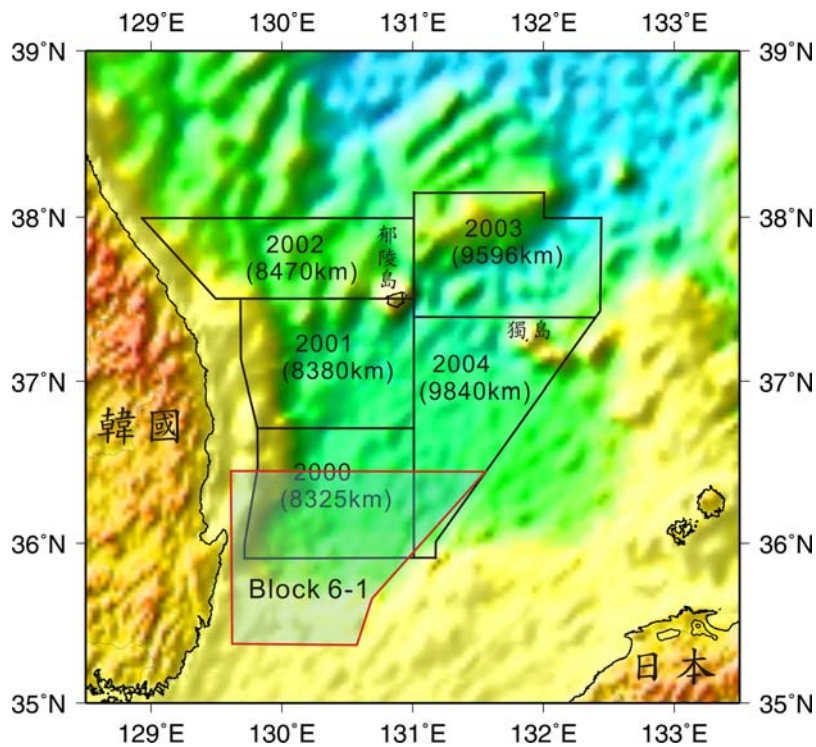


圖 4-6、韓國東海海域各年度之區域性反射震測普查區域示意圖（Park and Huh, 2005）。分區 6-1 為韓國石油公社（KNOC）的傳統油氣調查區。

由於第 1 期天然氣水合物研發計畫成果顯示，韓國東海海域的郁陵海盆地區確實有天然氣水合物賦存的潛能。於是韓國在 2005 年開始，由產業資源部 (Ministry of Commerce, Industry, and Energy; MOCIE)、韓國地質科學與礦產資源研究院 (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources; KIGAM)、韓國石油公社 (Korea National Oil Corporation; KNOC)、韓國燃氣公社 (Korea Gas Corporation; KGC) 等機構共同組成「天然氣水合物開發事業團 (Gas Hydrate R&D Organization)」，作為韓國周圍海域天然氣水合物能源探勘和研發的核心機構，分工進行天然氣水合物探勘、分析、開發和生產等技術的研發，並以 2015 年開始商業生產為目標，推動 10 年期 (2005~2015 年) 天然氣水合物開發計畫。其目的旨在進行東海海域天然氣水合物好景區的精密調查，並包括鑽井調查、礦床成因解釋、生產基礎和核心生產技術之研發、生產測試及研發最佳化的商業生產開發方法等項目。

10 年期天然氣水合物開發計畫的研發路線圖如圖 4-7 所示，預期達成的目標如下：

- (1) 取得潔淨替代能源，來取代傳統石油和天然氣。
- (2) 確認韓國東海海域 (日本海西方) 水深 1,000 公尺以上地區之天然氣水合物分布，以進行蘊藏量評估和開發。
- (3) 天然氣水合物儲量評估和開發技術等基礎科技的研發。
- (4) 2015 年進行天然氣水合物的商業開發。

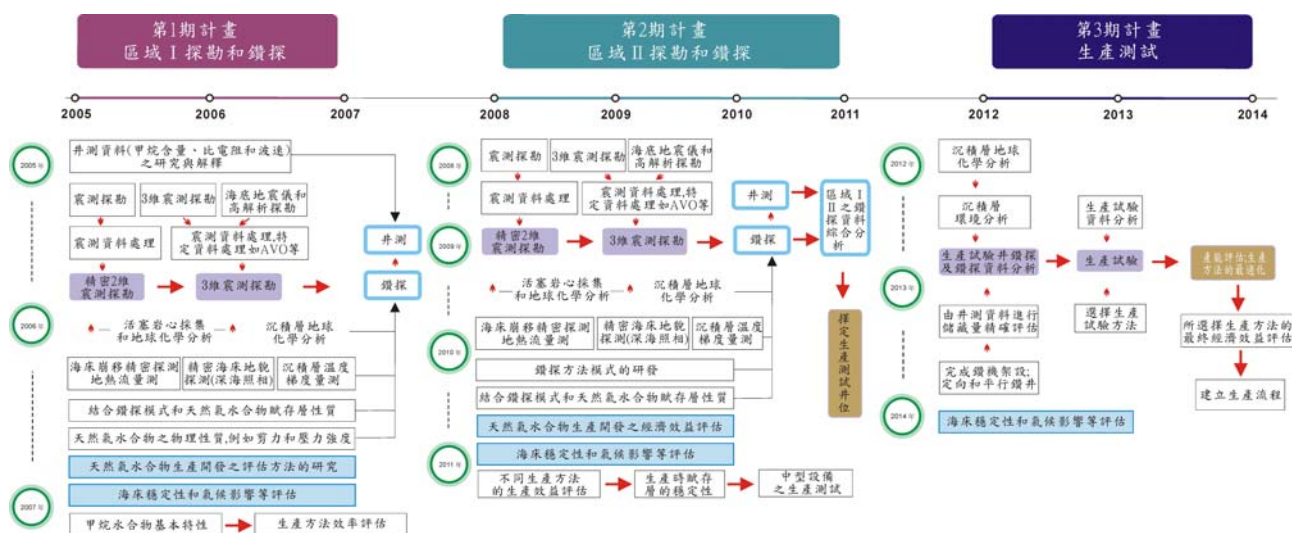


圖 4-7、韓國 10 年期天然氣水合物開發計畫之研發路線圖 (資料來源：天然氣水合物開發事業團網頁 http://www.gashydrate.or.kr/english/e_main.htm)。

2005~2007 年期間的第 1 期計畫目標，旨在確認東海深水海域之天然氣水合物蘊藏情形。

相關探勘計畫項目包括精密的 2 維和 3 維震測探勘，鑽井和井測調查，確認天然氣水合物蘊藏等。研發計畫項目包括（1）海域地物探勘：震測資料處理與分析、速度計算和移位、海底地震儀測勘和高精密度探勘等；（2）儲集層特性研究：區域地質、地球物理探勘、鑽井岩心分析等；（3）開發生產技術研發：儲集層物理性質研究、電腦化和基地模擬試驗、生產方法模式化等；（4）蘊藏量評估：蘊藏量估算、建立整合管理系統等。

2007 年 6 月 19 日，韓國天然氣水合物開發事業團，利用韓國地質科學與礦產資源研究院的「探海 2 號」研究船，在浦項東北部 135 公里，鬱陵島南部約 100 公里的東海海域（即日本海西方海域），成功採到天然氣水合物標本。該站位的水深為 2,072 公尺，岩心長度約 7.8 公尺；岩心從海床下 6.5 公尺處，開始可觀察到呈分散狀的天然氣水合物分布在泥質沉積物中，而在岩心最底部之團塊狀天然氣水合物厚度可達 2 公分（圖 4-8、A 與 B），其甲烷含量約達 99%；據推算韓國東海海域天然氣水合物蘊藏約達 6 億噸的甲烷，約相當韓國 30 年的天然氣消費量（韓國產業資源部 2007 年 6 月 25 日新聞稿）。



圖 4-8、韓國在東海海域郁陵盆地海域以活塞岩心（A、B）及鑽井岩心（C）取得天然氣水合物標本點火燃燒的情形（韓國產業資源部網頁之 2007 年 6 月 25 日與 2007 年 11 月 11 日新聞稿資料）。

同年 9 月 25 日起，在水深 1800 公尺以上的東海郁陵盆地海域實施 54 天的鑽井調查航次，也成功採獲天然氣水合物標本（圖 4-8、C），使得韓國繼美國、日本、印度和中國之後，成為世界上第五個以國家型計畫成功採獲海域天然氣水合物標本的國家。鑽探調查初期結果顯示，在浦項東北 135 公里郁陵盆地的海底成功發現厚度達 130 公尺的大型天然氣水合物儲集層；距離該地以北 9 公里海域則發現厚度達 100 米的天然氣水合物，以南 42 公里的海域也採集到厚度達 1 公尺的天然氣水合物（韓國產業資源部 2007 年 11 月 23 日新聞稿）。

韓國在 2007 年已投入 434 億韓元（約 4,700 萬美元；930 韓元折合 1 美元）來支持海域鑽探工作和天然氣水合物生產技術等研發。隨著第 1 期（2005 年至 2007 年）天然氣水合物開發計畫階段工作成功結束，預計在 2008 年投資 850 億韓元（約 9,100 萬美元），開啓第 2 期開發計畫項目，其中生產技術研發費用約達 60 億韓元（約 645 萬美元）（韓國產業資源部 2007 年 11 月 23 日新聞稿）。據稱，韓國政府計劃在 2014 年底以前，共計將投入 2,257 億韓元（約 2 億 4 千萬美元），用以研究開發深海勘探和商業生產的技術，並從 2015 年開始正式開採海域天然氣水合物資源。

五、中國大陸

中國大陸在天然氣水合物研究的兩大主力機構，分別是中國科學院的專門機構和國土資源部廣州海洋地質調查局。1990 年 1 月中國科學院蘭州冰川凍土研究所實現了在實驗室合成氣水合物，1992 年中國科學院蘭州文獻情報中心出版「國外天然氣水合物研究進展」，1998 年 4 月中國正式以六分之一成員國加入了國際大洋鑽探計畫，此後中國科學院、廣州海洋地質調查局，國家海洋局、中國海洋石油總公司等機構，開始有效推展天然氣水合物研究工作。

1999 年廣州海洋地質調查局，第一次在南海北部海域展開天然氣水合物資源的先期調查，2004 年廣州海調局又與德國基爾（Kiel）大學 Leibniz 海洋科學研究的合作，利用德國研究船「太陽號」（R/V Sonne）的海底多音束水深測量系統等先進設備，進行東沙海域和西沙海槽等海域的調查工作。

2006 年 12 月 12 日經中國地質調查局授權，廣州海洋地質調查局與輝固（FUGRO）國際（香港）有限公司在廣州簽立天然氣水合物鑽探契約，雙方確定輝固（FUGRO）公司 Bavenit 工程鑽探船於 2007 年 3-6 月期間，在中國南海海域實施天然氣水合物鑽井調查作業，也利用中國自行研發的天然氣水合物保真取樣器，採獲天然氣水合物的實物樣品（中國天縱經濟研究中心經濟研究部，2008）。

中國大陸在 2007 年期間，第一次實施的海域天然氣水合物鑽探航次計畫（Expedition

GMGS-1)，由中國廣州地質調查局 (GMGS; the Guangzhou Marine Geological Survey)、中國地質調查局 (CGS; China Geological Survey) 及國土資源部 (the Ministry of Land and Resources) 主導，FUGRO 與 Geotech 公司負責海上鑽井調查作業。鑽井作業航期為 3 月 21 日至 6 月 12 日，分為 2 個航次 (航次 1: 3 月 21 日至 5 月 18 日，航次 2: 5 月 19 日至 6 月 12 日)，在南海北部的神弧海域，共完成 8 個井位鑽探調查作業 (圖 4-9)，主要目的旨在確定這些井位區域之天然氣水合物的產狀與分布。

鑽探計畫執行時，均在每個預定井位實施先期探測井 (pilot well)，利用高解析電纜井測工具進行井測調查，所獲井測資料分析結果，將作為是否在先期探測井附近實施鑽井與採集岩心後續作業或是移至其他井位實施鑽探調查之決策依據。岩心採集之鑽井位置離先期探測井約 10~15 公尺 (方位沿地質走向)，由鑽井採得之岩心與分析資料，可輔助井測資料分析及提高解釋結果之可信度。

鑽井作業水深約在 1200~1500 公尺左右，完成 8 個井位的高解析度電纜井測調查 (最深達海床下 300 公尺); 其中 5 個井位附近，另外實施 1 孔主研究井鑽探作業，進行岩心採集及現地量測 (in situ measurements) 等作業。所用岩心採集系統主要有壓力岩心採集器 (旋轉式 Fugro Rotary Pressure Corer、Fugro Pressure corer) 及傳統岩心採集器 (活塞式 Fugro Hydraulic Piston Corer、重錘式 Fugro Corer) 等 2 種，另外現地溫度量測 (Fugro Temperature Probe) 及孔隙水採樣 (Fugro Porewater Sampler) 等研究工具，均由 FUGRO 公司提供。

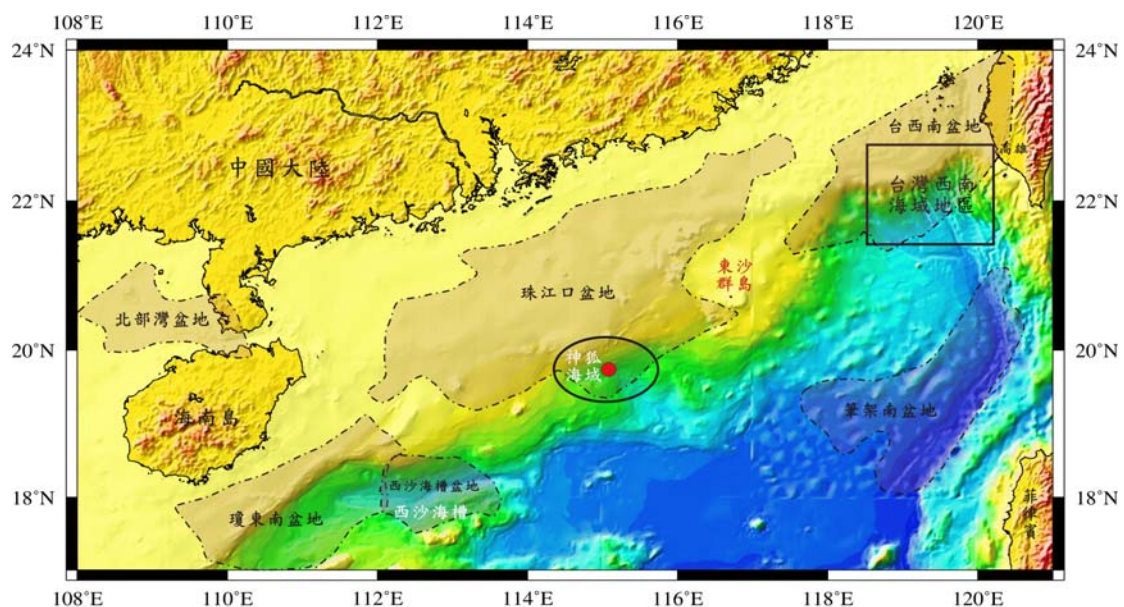


圖 4-9、中國大陸 2007 年期間在南海北部神弧海域進行天然氣水合物鑽探計畫之井位 (紅色實心區) 示意圖。鑽井區位參考自 Zhang et al. (Fall 2007)。

所採岩心除在船上進行相關地質與地球化學分析外，也利用紅外線熱像儀（infrared thermal imaging）來輔助測定含有天然氣水合物之岩心段位，並選擇該段岩心進行孔隙水及間隙氣體組成等分析，同時也利用岩心井錄器（MSCL；Multi Sensors Core Logger），量測這些傳統岩心的相關地球物理性質（如密度與聲速），作為現地井測調查資料分析之參考。所有壓力岩心則利用 Geotech 公司提供的壓力岩心井錄器（MSCL-P），量測保壓岩心的相關地物特性，同時也利用 X 光影像觀測岩心組織。部分壓力岩心在洩壓後，即刻以液態氮保存；部分壓力岩心除進行可控減壓試驗（controlled depressurization）外，在洩壓後，也採集沉積物孔隙水進行分析，以測定岩心之天然氣水合物含量及孔隙中飽和率。



圖 4-10、神弧海域地區鑽探所採得之含天然氣水合物標本 (A) 及在水中分解冒氣 (B) 之照片（新華網電子報）。圖 (A) 之泥質岩心中呈分散狀的白色晶粒，就是天然氣水合物。

由岩心分析資料顯示，在 5 個鑽探岩心井位中，有 3 個井位的岩心確實含有天然氣水合物。這些岩心的沉積物以泥質為主，粉砂質含量不定；沉積物間隙氣體及天然氣水合物所包含的氣體組成，99% 以上為甲烷，乙烷含量約 0.1~0.8%。含有天然氣水合物的岩心約位在天然氣水合物定帶基底（海床下約 200 公尺深）的正上方，白色天然氣水合物晶粒呈分散狀賦存在沉積物空隙中（圖 4-10），成層分布；由壓力岩心的相關分析結果顯示，天然氣水合物在沉積物間隙中的飽和率約為 20~40 %，天然氣水合物賦存層的總厚度約 10~25 公尺，由於該段天然氣水合物賦存層之上的孔隙水甲烷含量呈不飽和狀態，故該段天然氣水合物賦存層上方到海床之間的沉積物中，都未發現含有天然氣水合物。

初步估計南海北坡天然氣水合物所含甲烷資源量約有 10 兆立方公尺。未來廣州海洋地質調查局仍將在南海北部有利目標區，展開三維多頻道震測調查、資料處理與分析等研究，選取最有利的目標區塊，進行鑽探、測井、取樣、測試和完成實驗井技術、經濟評價等工作（中國天縱經濟研究中心經濟研究部，2008）。

伍、建議事項

一、我國政府應重視與支持天然氣水合物長程研發計畫的推動

天然氣水合物是國際上新興的科學與工程研發領域，因為天然產狀複雜，至今尚無法明確瞭解與掌握，未來仍必須投注大量經費在基礎科學、資料收集、及理論模式建立與驗證等長期研發工作上；而天然氣水合物的科學研發，常需要使用特殊技術，例如實驗室的合成試驗與模擬分析或是在深水極端環境下進行各項調查研究，而這些設備與技術所需費用均十分昂貴，尤其是天然氣水合物研發計畫所投資費用是否能回收，目前尚無法確定。此種費用高昂、風險高、獲利高的前瞻性長程研發工作，對於以商業利益為考量且重視短期獲利的產業界，現階段是無法負擔與承受的。但天然氣水合物的研發，對國家的長期潛在利益十分可觀，尤其節能減碳及開發新能源是政府既定的政策，故建議政府相關部門應儘早重視且支持此項具前瞻性、高成本、高風險高獲利（龐大公共利益）的天然氣水合物長期研發計畫。

此外，天然氣水合物研發計畫是一項複雜的整合型長程前瞻計畫，計畫的執行是需要整合各項科學與工程等學科的研發，方能達到計畫目標。圖 5-1 是美國天然氣水合物多年期研發計畫所涵括之科學與工程領域等項目。事實上，各學科的研發內容都有相關性，各領域的研發成果對於計畫目標均有多方面的貢獻。因此，我國未來在推動天然氣水合物長期研發計畫，必須效法美國與日本對於天然氣水合物研發計畫的經營管理方式，整合各界研發資源，分工推動各項相關計畫，方能順利達成計畫最終目標，讓天然氣水合物資源能成為國內所需的新型態天然氣能源。

二、我國應積極參與天然氣水合物相關研發領域的國際組織或合作計畫

我國在天然氣水合物的調查與研發工作起步甚晚，無論在研究人力、設備及研發技術等研發能量上，落後國外先進國家可能有 10 年以上之久。因此，我國除了需要儘速培養天然氣水合物相關科技領域的研究人力外，也應積極與國外知名之單位與專家學者合作，例如美國地質調查所、美國蒙特瑞水族館研究所、加拿大地質調查所、日本產業技術綜合研究所(前日本地質調查所)、日本東京大學等，或參與國際天然氣水合物研究計畫（例如美國阿拉斯加北坡天然氣水合物鑽探與生產測試計畫或墨西哥灣聯合工業研究計畫等）及邀請國外學者專家來台指導等國際合作方式，儘速吸取國外研發經驗，提升我國研發能力，以獲取最佳的研究與分析成果。

此外，每 3 年定期召開一次天然氣水合物國際研討會，研討內容廣泛包含天然氣水合

物的科學議題及工程應用等議題，會中發表之論文內容均是各國最新的研發成果，同時也提供各國進行研發技術與經驗之國際交流的平台，因此，值得我國定期派員參加該項研討會，瞭解國際天然氣水合物最新研發趨勢與動態。2011 年第 7 屆天然氣水合物國際研討會將於英國愛登堡召開，建議本所屆時也能派員參加該項研討會。

三、設立國家級天然氣水合物實驗研究中心—做為開發及產業應用等關鍵技術研發之後盾

目前我國推動的天然氣水合物調查研究計畫，偏重於資源調查研究項目。然而目前國際天然氣水合物研究議題，已廣泛包括有資源特性評估、生產開發、全球碳循環、探採安全及海床穩定性、深海生物多樣性、油氣輸送安全及產業應用（如能源輸儲、節能、空調、蓄冷、萃取、二氧化碳減量與封存、海水淡化等）等項目。

亞太地區如美國、日本、印度、韓國、中國大陸等國家，除了積極調查各項新興能源外，也都設有天然氣水合物實驗研究中心，做為野外調查分析模式、開發生產關鍵技術及產業應用技術研發之後盾。反觀國內目前在天然氣水合物合成試驗與模擬分析等實驗研究，以及其產業應用技術研發的能量仍十分薄弱，極需要政府支持和整合，成立天然氣水合物實驗研究中心，來加強與天然氣水合物資源調查研究、生產開發及產業應用等關鍵技術研發所需的配合與支援，以提升天然氣水合物之調查、研發與應用的國際競爭力。

四、加速實施科學鑽井調查以證實海床下天然氣水合物之蘊藏狀況

本所自民國 93 年度開始推動多年期天然氣水合物中長程科技發展計畫，所實施的海域地質、地球物理、地球化學等調查方法，都屬於利用海面上或近海底探測的遠距方式，來調查海床下淺部沉積層的地質特性，現階段結果都屬於理論模式推估，極需要透過鑽井岩心取樣分析及各項井測（logging）等現地（in-situ）調查結果，來驗證現階段的調查成果，並據以修正各項遠距調查技術與理論模式。

目前亞太地區如美國、加拿大、日本、印度、中國大陸、韓國等國家，都已在其經濟海域內鑽井取得天然氣水合物標本，紛紛證實該國專屬經濟海域確有天然氣水合物的儲集；惟海域天然氣水合物大都賦存在深水環境中，若要實施鑽探調查工作，所需經費十分龐大（表 5-1）。

由於天然氣水合物這項新型態天然氣資源的研發，所需時程甚長，且成本與風險性均高，導致目前國內產業界對於天然氣水合物的探勘、生產和應用等研發工作，仍處於觀望階段。因此，現階段政府除須積極推動天然氣水合物的基礎調查與研發外，亦應及早規劃與實施科

學鑽井岩心取樣分析及井測調查等工作，以驗證好景區之天然氣水合物產狀，並能較精確的評估其儲量和開發潛能評估。有了科學鑽井和井測的基本調查資料後，方能據以鼓勵與吸引國內相關產業（如台灣中油公司、台塑石化公司）投入後續探勘與生產開發等研發行列。

表 5-1、各國實施海域天然氣水合物鑽探調查資料簡表

國別	年度	地區	鑽探經費	鑽探作業平台
美國	2005	墨西哥灣	1 個月約需 1000 萬美元	IODP-R/V <i>JOIDES Resolution</i>
日本	1999	南海海槽 (Nankai Trough) 静岡縣外海	約 86 天、總經費約 4,500 萬美元	M.G. Hulme Jr.-半潛式鑽探平台
	2004	南海海槽	16 井位、尙無總經費資料	IODP-R/V <i>JOIDES Resolution</i>
印度	2006	印度東西二側外海及阿達曼群島海域	約 114 天、21 井位、鑽探經費約 3,600 萬美元	IODP-R/V <i>JOIDES Resolution</i>
中國	2007	南海北部神弧海域	約 54 天、8 井位、鑽探經費約 1,500 萬美元	FUGRO- R/V <i>Bavenit</i> 工業船
韓國	2007	韓國東海海域(日本海西側)	5 井位、鑽探經費約 5,000 萬美元	FUGRO-R/V <i>RemEive</i> 工業船

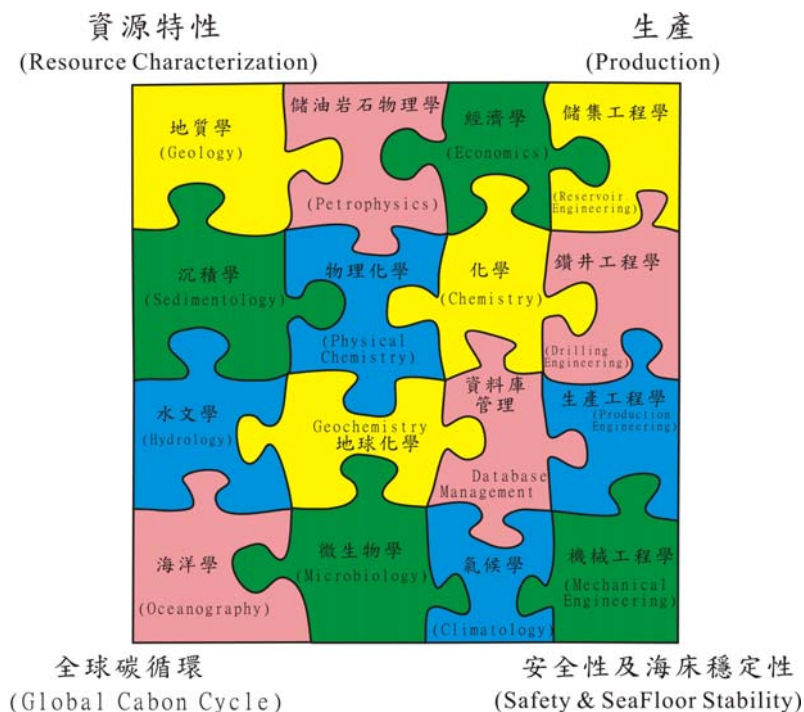


圖 5-1、美國天然氣水合物研發計畫所函括的科學與工程領域 (Department of Energy, 1998)。

陸、參考資料

- 中國天縱經濟研究中心經濟研究部 (2008) 2008 年中國含全球可燃冰研究報告。共 112 頁。
- 經濟產業省 (2001a) 甲烷水合物開發計畫。日本經濟產業省，共 8 頁。(日文)
- 經濟產業省 (2001b) 甲烷水合物開發檢討委員會報告書『我國甲烷水合物開發計畫』。日本經濟產業省，共 41 頁。(日文)
- 鐘三雄 (2007) 我國天然氣水合物未來研發策略之研究，經濟部中央地質調查所 96 年度研究發展報告，96-01，共 149 頁。
- Collet, T.S., Riedel, M., Boswell, R., Cochran, J.R., Kumar, P., Sethi, A.K., Sathe, A.V. and NGHP Expedition-01 Scientific Party (2006) International team completes landmark gas hydrate expedition in the offshore of India. Fire In The Ice, Fall 2006, Methane Hydrate Newsletter, 1-4.
- Collett, T.S. (1997) Resource potential of marine and permafrost associated gas hydrates. In: Max, M.D., Pallenbarg, R.E. and Rath, B.B. (eds.) Oceanic Gas Hydrate: Guidance for Research and Programmatic Development at the Naval Research Laboratory, Proceedings of the workshop on Naval Research Laboratory gas hydrate research program, NRL/MR/6100-97-8124, Naval Research Laboratory, Washington, D.C., 24-33.
- Collett, T.S. (2007) Geologic controls on the energy resource potential of natural gas hydrates. Proceedings of the International Conference on Gas Hydrate - Energy, Climate and Environment, 15-20.
- Council of Canadian Academies (2008) Energy from gas hydrates: assessing the opportunities & challenges for Canada, Report in Focus, July 2008, 8p.
- Dallimore, S.R., Wright, J.F., Nixon, F.M., Kurihara, M., Yamamoto, K., Fujii, T., Fujii, K., Numasawa, M., Yasuda, M. and Imasato, Y. (2008) Geologic and porous media factors affecting the 2007 production response characteristics of the JOGMEC/NRCan/Aurora Mallik gas hydrate production research well. Proceedings of the 6th International Conference on Gas Hydrates (ICGH 2008), Vancouver, British Columbia, Canada, July 6-10, 10p.
- Department of Energy (1998) A Strategy for Methane Hydrates Research & Development. p34.
- Federal Methane Hydrate Advisory Committee (2007) Report to Congress - An Assessment of the Methane Hydrate Research Program and An Assessment of the 5-Year Research Plan of the Department of Energy. 37p.
- Fujii, T., Takayama, T., Dallimore, S.R., Nakamizu, M., Mwenifumbo, J., Kurihara, M., Yamamoto, K., Wright, J.F., Al-Jubori, A., Tribus, M. and Evans, R.B. (2008) Wire-line logging analysis of the JOGMEC/NRCan/Aurora Mallik gas hydrate production test. Proceedings of the 6th

International Conference on Gas Hydrates (ICGH 2008), Vancouver, British Columbia, Canada, July 6-10, 13p.

GAIL (1996) National Gas Hydrate Programme-Expert Committee Report submitted to Secretary (Petroleum), Government of India, 36pp.

Kurihara, M., Masuda, Y., Funatsu, K., Ouchi, H., Yasuda, M., Yamamoto, K., Numasawa, M., Fujii, T. and Narita, H. (2008) Analysis of the JOGMEC/NRCan/Aurora Mallik gas hydrate production test through numerical simulation. Proceedings of the 6th International Conference on Gas Hydrates (ICGH 2008), Vancouver, British Columbia, Canada, July 6-10, 13p.

Max, M.D. (2000) Gas hydrate potential of the Indian sector of the NE Arabian Sea and northern Indian Ocean. In: Max, M.D. (ed.) Natural Gas Hydrate in

Okuda Y. (1993) Natural gas hydrate as future resources. Jour. Japan Inst. Ener., 6, 425-435. (in Japanese with English Abstract)

Oya, N., Iwasaki, T. and Uchida, K. (2007) Production of natural gas hydrate by process development unit. In: Tsunemoto, H., Shoji, H. and Yamashita, S. (eds). Gas Hydrates for the Future Energy and Environment. The Kitami Institute of Technology, 197-204.

Park, K.-P. and Huh, D.-G. (2005) Gas hydrate exploration activities in Korea. International Symposium on Gas Hydrate Technology, aT Center, Seoul, Korea, 17-22.

Satoh, M., Maekawa, T. and Okuda, Y. (1996) Estimation of amount of methane and resources of natural gas hydrates in the world and around Japan. Jour. Geol. Soc. Japan, 102(11), 959-971. (in Japanese with English Abstract)

Sloan, E.D. (2004) Introductory overview: hydrate knowledge development. American Mineralogist, 89, 1155-1161.

Takahashi, M., Moriya, H., Katoh, Y. and Iwasaki, T. (2008) Development of natural gas hydrate (NGH) pellet production system by bench scale unit for transportation and storage of NGH pellet. Proceedings of the 6th International Conference on Gas Hydrates (ICGH 2008), Vancouver, B.C., Canada, July 6-10, 9p.

Tsuji, Y., Ishida, H., Nakamizu, M., Matsumoto, R., and Shimizu, S. (2004) Overview of the MITI Nankai Trough Wells : A Milestone in the Evaluation of Methane Hydrate Resources. Resource Geology, vol. 54, no. 1, 3-10.

Zhang, H., Yang, S., Wu, N., Su, X., Holland, M., Schultheiss, P., Rose, Kelly, Butler, H., Humphrey, G. and GMGS-1 Science Team (2007) Successful and surprising results for China's first gas hydrate drilling expedition. Fire In The Ice, Fall 2007, Methane Hydrate Newsletter, 6-9.

附錄 1、2008 天然氣水合物國際研討會議程表

Sunday, July 6	Monday, July 7	Tuesday, July 8	Wednesday, July 9	Thursday, July 10
	Registration <i>BC Ballroom Foyer</i> 07:15-16:30	Registration <i>BC Ballroom Foyer</i> 07:00-17:00	Registration <i>BC Ballroom Foyer</i> 07:00-12:45	Registration <i>BC Ballroom Foyer</i> 07:00-14:00
	Welcome Announcements <i>British Room</i> 08:00-08:45 Keynote Lecture <i>British Room</i> 08:45-09:45	General Session 2-AB <i>British Room</i> 08:00-10:00	Concurrent Oral Sessions 08:00-10:00 3-A Arctic Hydrates <i>British Room</i> 3-B Fundamentals-Kinetics & Thermodynamics <i>Saturna Island</i>	Concurrent Oral Sessions 08:00-10:00 4-A Marine Hydrates II <i>British Room</i> 4-B Novel Technologies <i>Saturna Island</i>
	Coffee Break <i>Columbia Foyer</i> 09:45-10:00	Coffee Break <i>Columbia Foyer</i> 10:00-10:15	Coffee Break <i>Columbia Foyer</i> 10:00-10:15	Coffee Break <i>Columbia Foyer</i> 10:00-10:15
	Exhibits <i>British Columbia Foyer</i> 09:45-19:30	Exhibits <i>British Columbia Foyer</i> 10:00-17:00	Exhibits <i>British Columbia Foyer</i> 10:00-12:45	Exhibits <i>British Columbia Foyer</i> 10:00-12:15
	Opening General Session 1-AB <i>British Room</i> 10:00-12:30	Poster Session P-2 <i>Columbia Room</i> 10:15-12:15	Poster Session P-3 <i>Columbia Room</i> 10:15-12:45	Poster Session P-4 <i>Columbia Room</i> 10:15-12:15
	Lunch <i>Pacific Ballroom</i> 12:30-13:45	Lunch <i>Pacific Ballroom</i> 12:15-13:45		Lunch <i>Pacific Ballroom</i> 12:15-13:45
	Concurrent Oral Sessions 13:45-15:45 1-C Modelling <i>British Room</i> 1-D Fundamentals-Instrumental Methods <i>Saturna Island</i>	Poster Session P-2 Continued <i>Columbia Room</i> 13:45-15:00 Coffee Service <i>British Columbia Foyer and Saturna Island Foyer</i> 15:00	Outing with Lunch <i>Offsite</i> 12:45-16:30	Poster Session P-4 Continued <i>Columbia Room</i> 13:45-15:00 Coffee Service <i>British Columbia Foyer and Saturna Island Foyer</i> 15:00
Registration <i>BC Ballroom Foyer</i> 15:30-19:00	Coffee Break <i>Columbia Foyer</i> 15:45-16:15	Concurrent Oral Sessions 15:00-17:00 2-C Laboratory Studies <i>British Room</i> 2-D Oil and Gas Operations I <i>Saturna Island</i>	Poster Session P-3 Continued <i>Columbia Room</i> 16:30-17:15	Concurrent Oral Sessions 15:00-17:00 4-C Marine Hydrates III <i>British Room</i> 4-D Fundamentals-Transport Phenomena <i>Saturna Island</i>
Welcome Reception <i>Pacific Ballroom</i> 18:30-20:30	Poster Session P-1 <i>Columbia Room</i> 16:15-19:30	Conference Banquet <i>Pacific Ballroom</i> 18:30-00:00	Concurrent Oral Sessions 17:15-19:30 3-C Marine Hydrates I <i>British Room</i> 3-D Oil & Gas Operations II <i>Saturna Island</i>	Conference Farewell <i>British Room</i> 17:00-17:20

附錄2、本次參加第6屆天然氣水合物國際研討會所發表的論文
**GEOLOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE
PROSPECTS OF GAS HYDRATE IN THE ACCRETIONARY WEDGE,
OFFSHORE SOUTHWESTERN TAIWAN**

Yunshuen Wang, San-Hsiung Chung* and Song-Chuen Chen
Central Geological Survey, MOEA, P. O. Box, 968, Taipei, Taiwan

Saulwood Lin, Char-Shine Liu, Philippe Schnurle and Ju-Chin Chen
Institute of Oceanography, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

Tsanyao Frank Yang
Dept. of Geosciences, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

Andrew Tien-Shun Lin
Dept. of Earth Sciences, National Central University, Jhongli, Taoyuan, Taiwan

ABSTRACT

Offshore southwestern Taiwan, an area where the Luzon subduction system impinges on the passive China continental margin is characterized by widespread bottom simulating reflectors, indicative of a presence of gas hydrate beneath the seafloor. Intense geological, geophysical and geochemical investigations, as well as deep-towed camera survey were carried out in the prominent area of the accretionary wedge. A number of geochemical anomalies were found in the cored sediments nearby faults. Anaerobic methane oxidation is indicated by sulfate and methane depletion, hydrogen sulfide formation and an increase of alkalinity in the near-surface sediments. Chemosynthetic communities and large scale of authigenic carbonates forming chemohierms are demonstrated by the seafloor images. These features indicate that active gas/fluid seepages have occurred on the seafloor. The formation of these seepages could be the result of gas hydrate dissociation and the rising of focused fluids along faults driven by the convergent tectonics.

Keywords: gas hydrate; seepage; accretionary wedge; offshore southwestern Taiwan

INTRODUCTION

The island of Taiwan is an active mountain belt formed by the oblique collision of the Luzon volcanic arc of the Philippine Sea Plate with the passive China continental margin. Structure features of the offshore southwestern Taiwan are characterized by the outgrowth of the submarine accretionary wedge extending westward to the China continental slope (Figure 1). Distinctive fold-and-thrust structures of the convergent zone and horst-and-graben structures of the passive margin are separated by a deformation front that extends NNW-ward from the eastern edge of the Manila Trench to the foot of the China continental slope [1] [2]. East of the deformation front, multi-

channel seismic (MCS) data reveal that the frontal segment of the submarine accretionary wedge is dominated by discrete folds with blind thrusts, whereas, the rear segment is characterized by imbricate thrust systems with common occurrences of emergent thrusts [3]. Thick Pliocene-Pleistocene sediments derived from the active Taiwan mountain belt have been deposited on the submarine accretionary wedge through the submarine canyon systems [4] [5]. Seismic facies indicate that the sedimentation is dominated by hemi-pelagic sediments, turbidite deposits, channel and canyon infills [6].

Bottom simulating reflector (BSR) commonly found on previous seismic data suggests that gas hydrate occurs broadly in certain areas within the

* Corresponding author: Phone: +886-2-29462793 ext 252 Fax +886-2-29407771 E-mail: chung@moeacgs.gov.tw

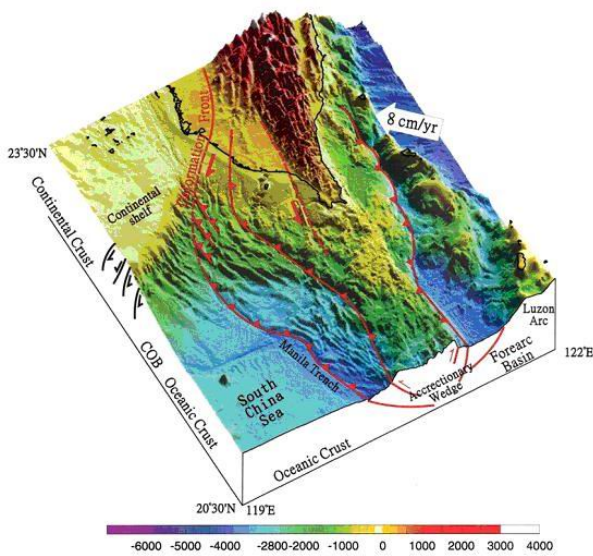


Figure 1 Tectonic structure of the southern Taiwan offshore area. The deformation front and major thrust faults are shown as red lines with teeth.

thick sediments of the offshore southwestern Taiwan [7]. In order to investigate the potential of gas hydrate accumulations in the area, Central Geological Survey of Taiwan had started a 4-year multidisciplinary gas hydrate investigation program in 2004. During the period between 2004 and 2007, intense geological, geophysical and geochemical investigations were carried out. Various methods of geophysical investigations have been deployed, including MCS reflection survey, ocean bottom seismometer experiment, chirp-sonar sub-bottom profiling and heat flow measurement. In the meanwhile, gravity and piston coring, water column sampling and deep-towed camera imaging were conducted on board the research vessel OR1 for geological and geochemical studies. The objectives are to map the regional gas hydrate distribution in the investigation area and to understand the regional geological, geophysical and geochemical characteristics. These results will be used to assess the energy resource potential of gas hydrate in the offshore area of southwestern Taiwan. In this manuscript, we present an overview of the results of geological and geochemical investigations in the accretionary wedge area.

THE RESULTS OF INVESTIGATIONS

The MCS profile data in the investigation area have been examined to identify BSR on the

seismic section. The newly compiled BSR distribution map demonstrates that gas hydrates are widely distributed in the area from water depth of 500 to over 3000 m [8]. Active fluid activities are evident from various features observed on MCS and chirp sonar profiles, such as mud volcanoes, gas plumes and gas charged shallow sedimentary layers [9].

The results of analyses show a number of geochemical anomalies in the cored sediments nearby faults, including extremely high methane concentration [10], very shallow sulfate/methane interface [11] and reduced magnetic susceptibility [12]. Anaerobic methane oxidation is indicated by sulfate and methane depletion, hydrogen sulfide formation and an increase of alkalinity in the near-surface sediments. Chemosynthetic communities composed of bacteria mats and remnants of clams, as well as large scale of authigenic carbonates forming chemoherms are demonstrated by the seafloor images derived from deep-towed camera survey (Figure 2). These features indicate that active gas/fluid seepages have occurred on the seafloor. Although no solid gas hydrates have been retrieved from the investigation area. However, the observed gas escape structures in the cored sediment [13], the heat absorption anomalies during in-situ thermal conductivity measurements [14], and the anomalous of pore-fluid chloride concentration at few cored intervals [15] may indicate the presence of near-surface gas hydrate. Furthermore, headspace gases of the cored sediments were analyzed for $\delta^{13}\text{C}$ isotopic ratios or gas chromatography. The results indicate that both biogenic gas and thermogenic gas were detected, inferring that gases of the cored sediments may have multi-gas origins, with biogenic gas more widely occur than thermogenic gas [16] [17].

DISCUSSION

The results of investigations indicate that enormous amounts of gas hydrate should occur beneath the seafloor in the accretionary wedge of offshore southwestern Taiwan. The occurrence of gas hydrate in the area is probably formed by upward migration of methane gas produced from a thick sediment section through biogenic and thermogenic processes. The dominated faults and permeable beds in the area provide conduits for focused fluid and/or gas migration to form gas hydrate under favorable conditions. Whereas, the relatively thick and widespread sand-prone deposits of the area may serve as gas hydrate



Figure 2 Seafloor photo showing carbonate pavement and crinoid.

reservoirs [18]. The presence of thermogenic gas and the tectonic features of the area infer an effective petroleum system that favors the accumulations of both gas hydrate and conventional hydrocarbon gases [17] [19].

The MCS profiles demonstrate that the seafloor gas seepages are spatially associated with the underlying BSR [9]. This may indicate that the formation of these gas seepages could be the result of gas hydrate dissociation and the rising of focused fluids along pathways driven by the convergent tectonics. Rapid sedimentation, uplifting and sediment stacking by thrust faulting are important factors that govern the dissociation of gas hydrate in the area. The gases and/or fluids can reach the seafloor via migration along the emergent thrust, and altered the seafloor into strong reducing environment with strong geochemical anomalies. In addition, the focused high methane flux at the seepage sites creates unique favorable conditions for the formation of near-surface gas hydrate [20].

REFERENCES

[1] Liu CS, Huang IL, Teng LS. *Structural features off southwestern Taiwan*. Mar. Geol. 1997;137:305-319.

[2] Liu CS, Deffontaines B, Lu CY, Lallemand S. *Deformation patterns of an accretionary wedge in the transition zone from subduction to collision offshore southwestern Taiwan*. Mar. Geophys. Res. 2004;25:123-137.

[3] Lin AT, Liu CS, Lin, CC, Schnurle P, Chen GY, Liao WZ, Teng LS, Chuang HJ, Wu MS. *Tectonic features associated with the overriding of*

an accretionary wedge on top of a rifted continental margin: An example from Taiwan. (submitted to Mar. Geol.).

[4] Lundberg N, Reed D, Liu CS, Lieske Jr. J. *Structural controls on orogenic sedimentation, submarine Taiwan collision*. Acta Geol. Taiwan. 1992;30:131-140.

[5] Yu HS, Huang ZY. *Intraslope basin, seismic facies and sedimentary processes in the Kaoping slope, offshore southwestern Taiwan*. Terr. Atmos. Ocean. Sci. 2006; 17: 659-677.

[6] Lin CC. *Structure and sedimentary characteristics of gas hydrate-bearing sediments off southwest Taiwan*, M.S. thesis, National Central University, 2005.

[7] Chi WC, Reed DL, Liu CS, Lundberg N. *Distribution of the bottom-simulating reflector in the offshore Taiwan collision zone*. Terr. Atmos. Ocean. Sci. 1998;9:779-794.

[8] Liu CS, Schnurle P, Wang Y, Chung SH, Chen SC, Hsiuan TH. *Distribution and characteristics of gas hydrate offshore of southwestern Taiwan*. Terr. Atmos. Ocean. Sci. 2006;17:615-644.

[9] Chiu JK, Tseng WH, Liu CS. *Distribution of gassy sediments and mud volcanoes offshore southwestern Taiwan*. Terr. Atmos. Ocean. Sci. 2006;17:703-722.

[10] Chuang PC, Yang TF, Lin S, Lee HF, Lan TF, Hong WL, Liu CS, Chen JC, Wang Y. *Extremely high methane concentration in bottom water and cored samples from offshore southwestern Taiwan*. Terr. Atmos. Ocean. Sci. 2006;17:903-920.

[11] Lin S, Hsieh WC, Lim YC, Yang TF, Liu CS and Wang Y. *Methane migration and its influence on sulfate reduction in the Good Weather Ridge region, South China Sea continental margin sediments*. Terr. Atmos. Ocean. Sci. 2006;17:883-902.

[12] Horng CS, Chen KH. *Complicate magnetic mineral assemblages in marine sediments offshore of southwestern Taiwan: possible influence of methane flux on the early diagenetic process*. Terr. Atmos. Ocean. Sci. 2006;17:1009-1026.

[13] Jiang WT, Chen JC, Huang BJ, Chen JC, Lee YT, Huang PR, Lung CC, Huang SW. *Mineralogy and physical properties of cored sediments from the gas hydrate potential area of offshore*

southwestern Taiwan. Terr. Atmos. Ocean. Sci. 2006;17:981-1007.

[14] Shyu CT, Lee SH, Chiang HT, Chang HI. *Anomalous thermal conductivity of gas hydrate bearing sediments: an indication of gas hydrate in sediments*. In: *Proceedings of the International Conference on Gas Hydrate – Energy, Climate and Environment, Taipei, 2007*.

[15] Lin S, Hsieh WC, Liu CS, Yang TF. *Hydrate formation on sulphate reduction in the Good Weather Ridge sediments, SW Taiwan*. In: *Proceedings of International Workshop on Gas Hydrate Exploration and Exploitation, Taipei, 2004*.

[16] Chuang PC. *Gas geochemistry study in gas hydrate potential area offshore SW Taiwan*. M.S. thesis, National Taiwan University, 2006.

[17] Oung JN, Lee CY, Lee CS, Kuo CL. *Geochemical study on hydrocarbon gases in seafloor sediments, southwestern offshore Taiwan – implications in the potential occurrence of gas hydrates*. Terr. Atmos. Ocean. Sci. 2006;17:921-931.

[18] Lin AT. *Geophysical investigations of gas hydrate accumulations in the offshore area of Southwestern Taiwan: structural and sedimentary characters of hydrate bearing sedimentary layers*, report no. 96-26-E. Central Geological Survey, 2007.

[19] Lin AT. *Geophysical investigations of gas hydrate accumulations in the offshore area of Southwestern Taiwan: structural and sedimentary characters of hydrate bearing sedimentary layers*, report no. 95-25-E. Central Geological Survey, 2006.

[20] Poort J, Kaulio V, Depreiter D, Soloviev V. *The thermal signals in gas hydrate seeps and mud volcanoes: an overview*. In: Tsunemoto H, Shoji H, Yamashita S. editor. *Gas Hydrates for the Future Energy and Environment*. Proceedings of the 2nd International Workshop on Gas Hydrate Studies and Other Related Topics-for the Future Energy and Environment Considerations. Japan: Kitami Institute of Technology, 2007. p. 11-16.

**附錄3、本所委辦計畫研究人員參加第6屆天然氣水合物國際研討會
所發表的7篇論文摘要**

**ANALYSIS OF SEISMIC REFLECTIVITY AND AVO PATTERN OF BSR
USING OBS DATA IN THE SOUTHWESTERN OFFSHORE REGION OF
TAIWAN**

Win-Bin Cheng*

**Department of Environment and Property Management,
Jinwen University of Science and Technology
No.99, Anchung Rd., Hsintien City, Taipei County 23154,
Taiwan**

Yang, Huei-Ru

**Department of Environment and Property Management,
Jinwen University of Science and Technology**

Philippe Schnurle

Institute of Oceanography, National Taiwan University

Chao-Shing Lee

Institute of Applied Earth Science, National Taiwan Ocean University

Char-Shine Liu

Institute of Oceanography, National Taiwan University

**Yunchiun Wang, San-Hsiung Chung and Song-Chuen Chen
Central Geological Survey, Ministry of Economic Affairs, Taiwan**

ABSTRACT

According to the result of regional Multi-Channel Seismic reflection profiles conducted from 2003 to 2006, it is suggested that a gas hydrate-related Bottom Simulating Reflectors (BSRs) is identified in the broad southwestern offshore region of Taiwan. To understand the regional distribution of methane hydrate bearing layers and explore concentrated hydrate bearing layers, we conducted a detailed analysis of reflection coefficient and amplitude-versus-offset (AVO) pattern of BSR using ocean bottom seismographs (OBSs) seismic data acquired in the southwestern offshore region of Taiwan. We focus on the analysis and interpretation of airgun-array signals recorded by OBSs during 2004 and 2006. Ten profiles of seismic reflection/refraction with a total length of about 140 km and recorded by 50 recovered OBSs were acquired on the active and passive margins in offshore southwestern Taiwan. The profiles of the 2004 and 2006 profiles are oriented in E-W and N-S direction and the 2005 survey is trending in NW-SE perpendicular to the continental margin. For all the OBS lines, amplitudes of the direct water arrival, the multiple, and the BSR were picked interactively. A quantitative representation of reflector strength is provided by calculation of reflection coefficients. In general, the seafloor reflection coefficients for the active and passive margins are estimated as 0.1-0.25. Maximum of

* Corresponding author: Phone: 886282126595 Fax 886282122559 E-mail: wbin@just.edu.tw

up to 0.47 were observed over the topographic high in the active margin. Those high amplitudes of seafloor reflection could be associated with widespread carbonate pavement observed with TowCam in the active and passive margins, southwest Taiwan. For the BSR the largest reflection coefficients were observed in the passive margin. This area has average values of about 0.12 with localized highs between 0.15 and 0.18, while the active margin area exhibited relatively lower values of about 0.015-0.05. If we assumed that the velocity below the BSR has a constant value. Variations in BSR reflection coefficients are attributed to velocity variations of the gas hydrate above the BSR. Estimates of the hydrate concentration have been made from BSR reflection coefficients obtained in this study. Mean concentration are about 20~25% of the total sediment volume for the passive margin, and are about 5~10% for the active margin. In addition, AVO pattern of the observed BSR over the active and passive margins also suggests that the probable velocity distribution across the BSR and infer hydrate/free gas model are different for these two areas. The results of calculated reflection coefficient and AVO pattern of the BSRs in offshore SW Taiwan suggest that inferred hydrate concentration for the passive margin profiles is relatively higher than that for the active margin profiles.

Keywords: gas hydrates, AVO, BSR

INTRODUCTION

Almost all of the Taiwan's existing energy is dependent on the foreign fuel, for instance petroleum, natural gas, coal..., etc. Once the import of fuel was interfered with any factors, people's livelihood and economy of Taiwan will get into a difficult position at once. It is the reason why relevant units of the government's pay much attention to explore reliable energy. As report on literature, natural gas hydrate will become one of the probably potential energy resources in the future. The Central Geological Survey of Taiwan promoted four-year project to investigate the gas hydrate deposit in the offshore area southwestern Taiwan. In this article we describe the results of analysis and interpretation of airgun-array signals recorded by ocean bottom seismographs (OBSs) during 2004 and 2005. Five profiles of seismic reflection/refraction with a total length of about 120 km and recorded by about 31 recovered OBSs were acquired on the active and passive margins in offshore southwestern Taiwan. The profiles of the 2004 survey are oriented in E-W and N-S direction and the 2005 survey is trending in NW-SE perpendicular to the continental margin. On seismic reflection data the presence of gas hydrate is revealed remotely through the observation of bottom-simulating reflectors (BSRs) representing the base of the hydrate stability zone (Hyndman and Davis, 1992). The reflector exhibits a negative polarity, indicating a clear and negative impedance contrast. A quantitative representation of the reflector strength and impedance can be providing by calculation of reflection coefficients, which represent the ratio of reflected energy to incident

energy. In this article we determine the reflection coefficients of the seafloor reflection and the BSR over the active and passive margins offshore southwestern Taiwan. On the basis of this seismic analysis, we demonstrate (1) that a hard layer, possibly carbonate is existing at the seafloor in some areas and (2) that hydrate concentration of the passive margin is relatively higher than that of the active margin.

DATA AND ANALYSIS

The active margin seismic data is obtained along four transects during 2004. Seismic refraction data were recorded by 6 French IFREMER's ocean bottom seismometers, which were deployed along each transect. The OBS's weight in air is near 250 kg. The OBS and MCS data is acquired by the National Taiwan Ocean University and National Taiwan University, respectively. The sampling interval of the OBS' data was 2 ms. Air-gun shot was fired at a 30-s interval at about 4 knots yielding spaced seismic traces of about 50 m. On the other hand, the passive margin seismic data is obtained during 2005. Seismic refraction data were recorded by 7 French IFREMER's MicroOBSs along a NW-SE profile. Mechanical specifications for the MicroOBS are integrated flash and gonio, weight in air less than 15 kg, and maximum depth 6000 m. The sampling interval of the MicroOBS' data was 4 ms.

For all the OBS profiles, amplitudes of the seafloor reflection, the seafloor multiple, and the BSR were picked interactively. To obtain absolute values of reflection coefficient from OBS profiles

CONCENTRATIONS AND CARBON ISOTOPE COMPOSITIONS OF METHANE IN THE CORED SEDIMENTS FROM OFFSHORE SW TAIWAN

Chuang, P.C.* , Yang, T.F., Hong, W.L.

Department of Geosciences, National Taiwan University, Taiwan

Lin, S., Chen, J.C.

Institute of Oceanography, National Taiwan University, Taiwan

Sun, C.H.,

Exploration & Development Research Institute, CPC, Taiwan

Wang, Y.

Central Geological Survey, MOEA, Taiwan

ABSTRACT

It has been found that Bottom Simulating Reflections (BSRs) widely distribute in offshore southwestern Taiwan which infer the existence of potential gas hydrates underneath the seafloor sediments. We systematically collected cored sediments and analyzed the gas composition of pore-space of sediments through ten cruises from 2003 to 2006. The methane concentrations of cored sediments display an increasing trend with depth. Some abnormally high methane concentrations have been found in offshore southwestern Taiwan.

In addition, the profiles of methane and sulfate of cored sediments reveal very shallow depths of sulfate methane interface at some sites in this study. The linear sulfate gradients, low total organic carbon and high methane concentrations imply that sulfate reduction is mainly driven by the process of anaerobic methane oxidation in sediments. Thus, the methane fluxes can be determined through the gradients of sulfate reduction and steady state solutions to diffusion equations and results show that the methane fluxes are very high, especially at sites G23 (4.12×10^{-2} mmol $\text{cm}^{-2}\text{yr}^{-1}$) and N8 (2.11×10^{-2} mmol $\text{cm}^{-2}\text{yr}^{-1}$) in offshore southwestern Taiwan. It indicates that there is a methane-enriched venting source, which may be the product of dissociation of gas hydrates, in this area.

* Corresponding author: Phone: +886-2-3366-5876 Fax: +886-2-2369-5568 E-mail: d94224006@ntu.edu.tw

Some selected gas samples have also been analyzed for carbon isotopic compositions. The $\delta^{13}\text{C}$ data of CH_4 gases range from $-28.29\text{‰} \sim -85.17\text{‰}$. The carbon isotopic compositions of methane show that biogenic gas source is dominated at shallower depth; however, some thermogenic gases might be introduced from deeper source in this region.

Key words: Methane, Gas hydrate, Anaerobic methane oxidation, methane flux, carbon isotopic compositions of methane

Introduction

Gas hydrates are a kind of non-stoichiometric clathrates and metastable crystal products in low temperature and high pressure conditions. They are natural occurring solids that contain natural gases, mainly methane, within a rigid lattice of water molecules. Gas hydrates widely distribute in the permafrost of polar region and the strata of continental deep sea area in the world. Since methane is the major gas inside gas hydrates, gas hydrates have been considered as potential energy resources for the future. Methane is also a greenhouse gas that might affect the global climates from the dissociations of gas hydrates (Kvenvolden, 1998; Milkov, 2004; Sloan, 1998).

Based on the seismic profiles, scientists have found many Bottom Simulating Reflections (BSRs) which indicate gas hydrates widely distributed in the depths of 700 m to 3000 m under seafloors in offshore southwestern Taiwan (Chi *et al.*, 1998; Chow *et al.*, 2000; Schnurle *et al.*, 1999, 2002; Liu *et al.*, 2006). We systematically collected sea waters and cored sediments for the dissolved and pore-space gas composition and isotope analysis through eight cruises: ORI-697, ORI-718, ORII-1207, ORII-1230, ORI-732, Marion Dufresne (MD) cruise, ORI-758, ORI-765, ORI-792 and ORI-804 from 2003 to 2006. The sampling sites are shown in the Fig. 1.

We will discuss the distribution of methane concentrations and fluxes in offshore southwestern Taiwan. Furthermore, we will compare the different sources of methane in our study area.

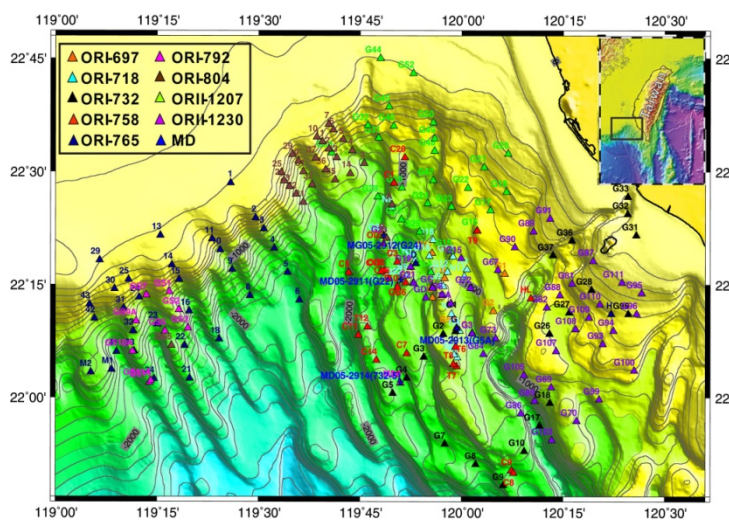


Figure 1: Bathymetric map of offshore Taiwan showing sampling sites investigated in this study.

RESULTS

1. The Distributions of Methane Concentrations in Bottom Waters and Cored Sediments

After compiling all the data, we have found the distributions of methane concentrations in core top waters and pore spaces of cored sediments as shown in Fig. 2 and Fig. 3. Many samples contain methane as the dominant hydrocarbon gas. However, most C_{2+} gases are below detection limits, so only the results of methane concentrations are given here. Some extremely

**PAST AND PRESENT RECORDS OF GAS HYDRATE GEOCHEMICAL
SIGNATURES IN A TERRIGENOUS MATERIALS DOMINATED ACTIVE
MARGIN, SOUTHWEST OF TAIWAN**

**Saulwood Lin*, Yee Cheng Lim
Institute of Oceanography
National Taiwan University
1, Section 4, Roosevelt Road, Taipei, 10617
TAIWAN**

**Chung-Ho Wang
Institute of Earth Sciences, Academia Sinica
Taipei, TAIWAN**

**Yue-Gau Chen, Tsanyao Frank Yang
Department of Geosciences, National Taiwan University
Taipei, TAIWAN**

**Yuanshuen Wang, San-Hsiung Chung
Central Geological Survey, MOEA
Taipei, TAIWAN**

**Kuo-Ming Huang
Ching Yun University
Jung-Li, TAIWAN**

ABSTRACT

Temporal variations in gas hydrate related geochemical signatures under different deposition conditions are the primary purposes of this study. Accreted wedge located offshore Southwestern Taiwan receives high terrigenous river materials, 100 MT/yr, at present time. It is not clear how seep environment varied during the past glacial. A 25 meters long piston core was taken offshore Southwestern Taiwan on r/v *Marion DuFresne*. Short piston cores and box cores were also taken on r/v OR-1. Samples were analyzed for pore water dissolved sulfide, sulfate, methane, chloride, $\delta^{18}O$, calcium, magnesium, alkalinity, pH, and sediment AVS, pyrite, inorganic carbon, $\delta^{18}O$, C^{13} . Changes in deposition environment play a major role in the study area. Three stages of geochemical processes are identified in the 25 meters long core, interchange between reduce and oxic depositional environments, with reducing condition in the top 10 m, oxic in between 10-20 meter and reducing below the 20 meter. High concentrations of dissolved sulfide, rapid sulfate depletion, increase of methane, decrease of calcium were found in pore water in the top 10 m of sediments together with high concentrations of pyrite, relatively higher proportion of coarse-grained sediment. Concentrations of pyrite were very low in sediments between 15 to 20 meters but increased rapidly from 20 to 25 meters with a maximum concentration at 400 $\mu\text{mol/g}$. Chloride concentrations also increased to a maximum concentration of 630 mM at 20 m. The rapid increase of chloride indicated gas hydrate formation at this depth. Authigenic carbonate

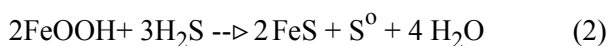
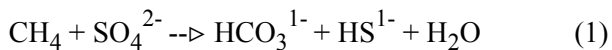
nodules were found in sediments below 20 m. The carbonate content also increased rapidly beneath this depth. Stable isotopic carbon composition of the carbonate varied rapidly beneath 20 m with a low at -28 per mil. The existence of oxic/reducing alterations indicates that methane seep may vary in the past in the study area.

Keywords: gas hydrate, active margin, gas seep, South China Sea, Taiwan

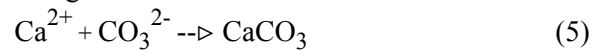
INTRODUCTION

Gas venting as a result of gas hydrate dissociation through sediments could induce a number of geochemical processes. Strong geochemical variations, e.g., abnormal pore water chloride, sulfate depletion, stable oxygen isotope variation, authigenic carbonate formation with associated stable carbon and oxygen isotopic variations, often registered their representative processes in sediments [1, 2] which enable easy identification of various stages of gas migrations and their imprints. Migration of gas to the surface could discontinue when conduit from subsurface is blocked by tectonic activity, sealed by authigenic carbonate or hydrate formation or exhausted reservoir. Subsequent sediment deposition could conceal the geochemical signatures leaving little traces of gas hydrate related activities on the sea floor. While a number of factors could induce gas venting within the sediment, substantial evidence indicated that sea level changes could produce large scale of gas hydrate dissociation and gas/fluid flow [3]. However, opening and sealing of the conduit could also occur irregularly in a tectonic active environment as versus a result of pressure difference during the sea level low/high stand. In this study, we examine a 25 meters long giant piston core collected at the northeastern South China Sea continental margin near Taiwan, where active tectonic activities have been found.

Methane migration up to the sea floor becomes a primary energy source for the chemosynthetic communities near the sea floor. In anoxic sediments, rapid anaerobic methane oxidation (AOM) occurred via sulfate reduction. Sulfate is used during methane oxidation with the production of dissolved sulfide and bicarbonate.



Iron oxides are unstable in reducing sediments and react with dissolved sulfide to form meta-stable iron sulfide minerals (FeS and Fe₃S₄) with pyrite (FeS₂) being the predominant form of stable iron sulfide mineral [4]. With oxidation of methane, calcium carbonate may precipitate and forming authigenic carbonate.



Authigenic carbonate and pyrite become two minerals commonly found in the AOM related environments.

STUDY AREA

Southwestern Taiwan is situated at the boundary between the Philippine and Eurasia Plates with a fast moving rate of about 8 cm per year [5]. The accretionary wedge offshore southwestern Taiwan is characterized by a series of anticline and faults with a trend switching from NNW-SSE, south of 22°N to NNE-SSW, north of 22°N [6]. This deformation zone is located at the frontal edge of the accretionary wedge of the Luzon Arc and the China passive continental margin subduction-collision system [7]. Frequent earthquakes occurred in the region as a result of rapid plate movements. The existence of a series of normal faults intersected by thrust faults in the accretionary prism off southwestern Taiwan may provide good conduits for gas and fluid venting upward to the surface. Mud volcanoes were reported on land [8] as well as on the sea floor [9]. In addition to the accreted wedge, the study area also receives a high flux of terrigenous suspended sediment exported from the adjacent Kaoping, Erjen and Tsengwen rivers with a combined average river particle load of 120 MT/yr. High concentrations of gas hydrate derived methane were found in sediments and overlying water [10]. Shallow SMI (sulfate methane interface) as shallow as 1 meter beneath the sediment/water interface occurred on top of the anticline ridges [11].

**HIGH-RESOLUTION SEISMIC IMAGES OF THE FORMOSA RIDGE OFF
SOUTHWESTERN TAIWAN WHERE “HYDROTHERMAL”
CHEMOSYNTHETIC COMMUNITY IS PRESENT AT A COLD SEEP SITE**

Char-Shine Liu*
Institute of Oceanography
National Taiwan University
1, Section 4, Roosevelt Rd., Taipei 106
TAIWAN

Sumito Morita
Geological Survey of Japan, AIST
JAPAN

Yi-Hsiang Liao
Institute of Oceanography, National Taiwan University
Taipei, TAIWAN

Chia-Yen Ku
Institute of Geophysics, National Central University
Chung-Li, TAIWAN

Hideake Machiyama
Kochi Inst. Core Sample Res., JAMSTEC,
Kochi, JAPAN

Saulwood Lin
Institute of Oceanography, National Taiwan University
Taipei, TAIWAN

Wonn Soh
Kochi Inst. Core Sample Res., JAMSTEC,
Kochi, JAPAN

ABSTRACT

A high-resolution seismic reflection survey was conducted during the NT07-05 cruise over the Formosa Ridge offshore southwestern Taiwan where strong and continuous bottom simulating reflections (BSR) have been observed. Previous seafloor pictures taken from a deep-towed camera indicate that there are some chemosynthetic colonies. During the NT07-05 cruise, not only large and dense chemosynthetic communities were confirmed at the plume site, ROV Hyper-

* Corresponding author: Phone: +886 2 33661387 Fax +886 2 23660881 E-mail: cslu@ntu.edu.tw.

Dolphin has also discovered that both deep-sea mussel *Bathymodiolus platifrons*, and galatheid crab *Shinkaia crosnieri* are vigorously populated at this site. By integrating swath bathymetry, multichannel seismic and high-resolution seismic reflection data, we now have a better understanding on the structural characters of the cold seep site. The cold seep is situated at the summit of the Formosa Ridge southern peak. Submarine canyons that incised continental slope on both sides of the ridge are the controlling factors of the ridge formation. The sedimentary strata are generally flat lying but have been deformed by mass wasting processes. Strong BSR is observed 400 to 500 ms below the seafloor of the ridge, with many bright reflections beneath it. There is a narrow vertical blanking zone raising from BSR to the crest of the ridge. This narrow zone is interpreted to be the fluid conduit of the seep site. BSR may form a good cap to trap gas below, and this “gas reservoir” is shallower than the canyon floors on either side of the ridge. We suggest that this “ridge type” gas reservoir configuration enables the cold sea water to get into the fluid system, and forms a special kind of “hydrothermal” circulation that feeds the unusual chemosynthetic communities observed at the Formosa Ridge cold seep site.

Keywords: gas hydrates, Formosa Ridge, seismic reflection profile.

INTRODUCTION

The area offshore southwestern Taiwan is the place where the Luzon subduction system encroaches on the passive South China Sea continental margin [1]. Distinctive fold-and-thrust structures of the convergent zone and horst-and-graben structures of the passive margin are separated by a deformation front that extends NNW-ward from the eastern edge of the Manila Trench to the foot of the continental slope (Fig. 1). Seismic reflection profiles reveal a complex system of faults, mud diapirs, submarine channels, and sedimentary basins in the area [1]. Bottom Simulating Reflector (BSR) is commonly observed on seismic records, suggesting that gas hydrate occurs broadly beneath the seafloor here. BSRs are observed in both the passive margin of the South China Sea continental slope and the submarine Taiwan accretionary wedge, from water depths of 700 m to over 3500 m [2], and are concentrated the most underneath anticlinal ridges in the accretionary wedge terrain and underneath the slope ridges of the passive continental margin. Results of the geochemical investigations in the area offshore SW Taiwan show that some locations exhibit unusually high methane concentrations in the dissolved gases of bottom water as well as in the pore fluid of cored samples [3]. Also, Sulfate reduction depth (SMI) could be as shallow as 30 cm-300 cm at those sites [4].

Active fluid activities are evident from various features such as mud volcanoes, active vents and gas saturated shallow sedimentary layers. In the accretionary wedge terrain, most of the mud

volcanoes can be linked to either mud diapirs or thrust faults. Over the South China Sea continental slope, dissociation of gas hydrates should be the main sources of active vents and mud volcanoes observed [5].

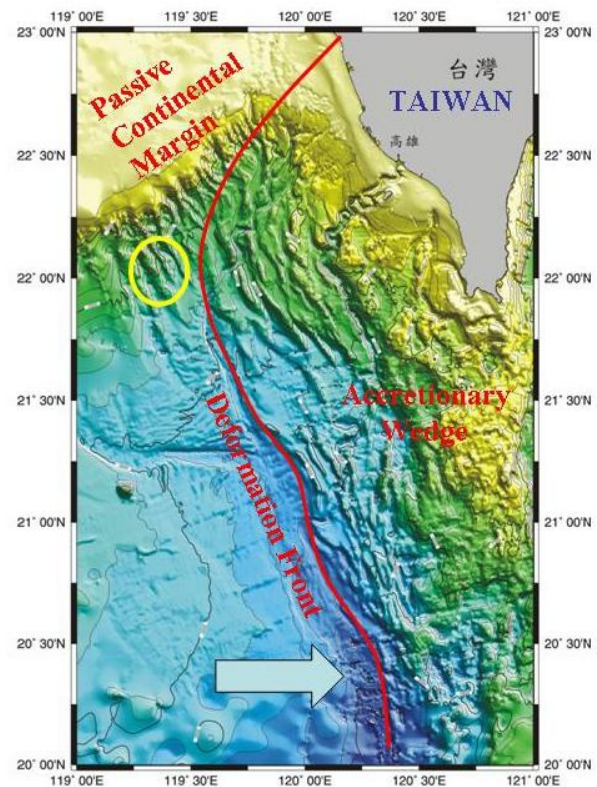


Figure 1. Morphotectonic setting of the area offshore SW Taiwan. Yellow circle shows the location of the Formosa Ridge. Blue arrow indicates the subduction direction of the South China Sea crust underneath the Luzon Arc.

MODELING NATURAL GAS HYDRATE EMPLACEMENT: A MIXED FINITE-ELEMENT FINITE-DIFFERENCE SIMULATOR

Philippe Schnurle*
Institute of Oceanography
National Taiwan University
PO BOX 23-13, Taipei 106
TAIWAN

Char-Shine Liu
Institute of Oceanography
National Taiwan University
PO BOX 23-13, Taipei, TAIWAN

Yunshuen Wang
Central Geological Survey, MOEA
P. O. Box, 968, Taipei, TAIWAN

ABSTRACT

Gas hydrates are ice-like crystalline solids composed of a hydrogen bonded water lattice entrapping low-molecular weighted gas molecules commonly of methane. These form under conditions of relative high pressure and low temperature, when the gas concentration exceeds those which can be held in solution, both in marine and on-land permafrost sediments. Simulating the mechanisms leading to natural gas hydrate emplacement in geological environments requires the modeling of the temperature, the pressure, the chemical reactions, and the convective/diffusive flow of the reactive species. In this study, we take into account the distribution of dissolved methane, methane gas, methane hydrate, and seawater, while ice and water vapor are neglected. The starting equations are those of the conservation of the transport of momentum (Darcy's law), energy (heat balance of the passive sediments and active reactive species), and mass. These constitutive equations are then integrated into a 2-dimensional finite element in space, finite-difference in time scheme. In this study, we are able to examine the formation and distribution of methane hydrate and free gas in a simple geologic framework, with respect to geothermal gradient, dewatering and fluid flow, the methane in-situ production and basal flux. The temperature and pressure fields are mildly affected by the hydrate emplacement. The most critical parameter in the model appears to be the methane (L+G) and hydrate (L+G+H) solubility: the decrease in methane solubility beneath the base of the hydrate stability zone (BHSZ) critically impacts on the presence of free gas at the base of the BHSZ (thus the presence of a BSR), while the sharp decrease of hydrate solubility above the BHSZ up to the sea bottom critically impact on the amount of methane available for hydrate emplacement and methane seep into the water column.

Keywords: gas hydrates, methane solubility, finite-elements, simulation

* Corresponding author: Phone: +8862 2736 4029 Fax +8862 2362 6092 E-mail: schnurle@oc.ntu.edu.tw

MOLECULAR DYNAMICS STUDY ON THE DISSOLUTION MECHANISM OF METHANE HYDRATE

Yen-Tien Tung and Shiang-Tai Lin*
Department of Chemical Engineering
National Taiwan University
No. 1, Sec. 4, Roosevelt Road, Taipei
Taiwan

ABSTRACT

The dissociation phenomena and its mechanism of sI methane hydrates at 3MPa and 260, 280 and 290K were studied using atomistic molecular dynamics simulations. The two-phase hydrate system which was composed of the crystalline hydrate and liquid water phase was used for our MD simulation. We observed that the potential energy and the volume of the methane hydrate system increased sharply during the dissociation of methane hydrates. The dissociation mechanism of the methane hydrates was also suggested.

Keywords: methane hydrates, molecular dynamics simulation

INTRODUCTION

Clathrate hydrates are crystalline compounds in which guest molecules, such as methane, are entrapped in the cages formed by water molecules[1]. The most abundant hydrates in nature are methane hydrates within the sediments below deep-sea regions around the world. With the continued increase of petroleum price, methane hydrates have been considered as a potential new energy resource. The energy provided by the reverse of methane hydrates is estimated to be at least twice all other current fossil-fuel-based energy[2]. Recently scientists and engineers have studied the technologies for efficiently and environment-friendly obtaining methane stored in methane hydrates below deep-sea regions[3, 4].

It is essential and fundamental to understand the growth and dissolution mechanism of methane hydrates for studying the processes of methane recovery from methane hydrates. Molecular dynamics simulations (MD) are recognized as helpful tools for investigating the structure and dynamics of condensed systems from molecular view points. Therefore, molecular dynamics simulations can provide useful insights into the

growth and dissolution mechanism of methane hydrates. Recently, several studies on the growth mechanism of methane hydrates by using molecular dynamics simulations have been published. English et al. have investigated the kinetics of methane hydrate crystallization under the influence of external electromagnetic fields[5]. Nada have proposed the growth mechanism of a methane hydrate from a dilute aqueous gas solution[6]. However, few studies have been reported on the dissolution mechanism of methane hydrates. The purposes of this study were to overview the phenomena during and after the dissolution of methane hydrates, and to understand the main dissolution mechanism.

METHODOLOGY

Our simulation model for studying the dissolution of methane hydrates was based on a two-phase system consisting of a crystalline hydrate phase and the liquid water phase. Figure 1 illustrates such a two-phase system model. There were 64 CH₄ and 368 H₂O molecules (2x2x2 unit cells of the type-I clathrate structure) in the crystalline hydrate phase, and 6 CH₄ and 368 H₂O

* Corresponding author: Phone: +886-2-3366-1369 E-mail: stlin@ntu.edu.tw

GAS COMPOSITION OF THE VENTING BUBBLES FROM THE FORMOSA RIDGE IN THE GAS HYDRATE POTENTIAL AREA, OFFSHORE OF SW TAIWAN

Tsanyao Frank Yang*

**Department of Geosciences, National Taiwan University
No. 1, Sec. 4, Roosevelt Road, Taipei 10617, TAIWAN**

Tomohiro Toki

**Department of Chemistry, Biology, and Marine Science
University of the Ryukyus, JAPAN**

Saulwood Lin

**Institute of Oceanography, National Taiwan University
No. 1, Sec. 4, Roosevelt Road, Taipei 10617, TAIWAN**

Hideaki Machiyama

**Kochi Inst. Core Sample Res., JAMSTEC
JAPAN**

Chih-Hsien Sun

**Exploration & Development Research Institute,
Chinese Petroleum Corp., TAIWAN**

ABSTRACT

Bottom Simulating Reflections (BSRs) are widely distributed in offshore of southwestern Taiwan which infers the existence of potential gas hydrates underneath the seafloor sediments. Many mud volcanoes and mud diapirs, which are considered to be genetically related to the dissociation of gas hydrates, are present in offshore and on land southwestern Taiwan. In order to examine the formation process of mud volcanoes and diapirs in offshore southwestern Taiwan, we conducted the diving surveys around the selected sites, using ROV Hyper-Dolphin and R/V Natsushima of JAMSTEC (NT07-05 Cruise) in March, 2007.

Dense chemosynthetic communities were discovered by direct observation using ROV at water depth of 1120-1140 m on the top of the Formosa Ridge, where is located in the passive margin of northern South China Sea. Gas bubbles and hydrates were found within the colony. Subsequently, the bubbles became hydrates and accumulated within the sampling chamber and tube of WHATS sampling system. It is the first time to observe the hydrates in-situ at the sea floor surface in this region.

The gas samples were transferred to the Giggenbach bottles with alkaline solution and the low permeability evacuated bottles for further gas and isotopic analysis in on-shore laboratory. The dry gas composition was dominated with CH₄ (90-94 %), however, CO₂ and CO were not detected in the samples. The CH₄/C₂H₆ ratios range from 7600 to 15000, and the $\delta^{13}\text{C}$ and δD

* Corresponding author: Phone: +886 2 3366 5874 Fax +886 2 2369 5568 E-mail: tyang@ntu.edu.tw

data of CH₄ gases are -68.9 ~ -71.3 ‰ and -205 ~ -208 ‰, respectively. It indicates a bacteria origin with carbonate reduction source for those gas samples. Low ³He/⁴He isotopic composition (0.34 R_a) is consistent with the crustal source for the mud volcanoes in this region. The existence of H₂S (216-296 ppm) in the samples can explain the dense occurrence of white crabs, *Shinkaia crosnieri*, which usually survive in the hydrothermal vent field.

Keywords: gas hydrates, venting bubbles, Formosa Ridge, Taiwan

INTRODUCTION

Geophysical survey showed that intensive Bottom Simulating Reflectors (BSRs) are distributed in a wide area offshore SW Taiwan [1][2]. It indicates that abundant gas hydrates exist in the sediments of both passive and active continental margin offshore SW Taiwan. In addition to the BSRs, many geological and geochemical data also support that gas hydrate may exist in the southwestern Taiwan continental margin sediments [2]. Hence, it has been considered as gas hydrate potential area. Meanwhile, many mud volcanoes and diapiric intrusion have been found along tectonic structures both on land and offshore southwestern Taiwan (e.g., [3][4][5]). The venting gases from on land mud volcanoes are dominated with methane [4] and mainly exhibit typical crustal helium isotopic ratios, i.e., lower ³He/⁴He ratio (<0.2 times of R_a, R_a is the air ratio) [6].

Previous geochemical investigations in the southwestern Taiwan show that some locations exhibit anomalous high methane concentrations in the dissolved gases of bottom water (e.g., [7][8]). They indicate that those sites at the top of the mud volcanoes and diapirs possess high methane anomalies due to the extrusion of free gases from the dissociation of underneath methane hydrates possibly caused by the intrusion of deep fluids through fault systems. Therefore, it has been considered to be genetically related to the dissociation of gas hydrates, which are present in offshore and on land southwestern Taiwan [9]. In order to examine the formation process of mud volcanoes and diapirs in offshore southwestern Taiwan, we conducted the diving surveys around the selected sites, using ROV Hyper-Dolphin and R/V Natsushima of JAMSTEC (NT07-05 Cruise) in March, 2007.

ROV OBSERVATION AND GAS SAMPLING

This research cruise carried out (1) the direct observation of cold seep phenomena, (2) direct sampling of sediments, rocks, chemosynthetic organisms, water, and gas, and (3) direct geophysical measurement around the mud

volcanoes, using 3000 m-class ROV (remotely operated vehicle) Hyper-Dolphin. This cruise is the first ROV diving surveys in offshore southwestern Taiwan. The research, including bathymetry, side scan sonar imaging, and seismic reflection survey is also conducted around the mud volcanoes and diapirs in the proposed sites C, F, and G (Fig. 1).

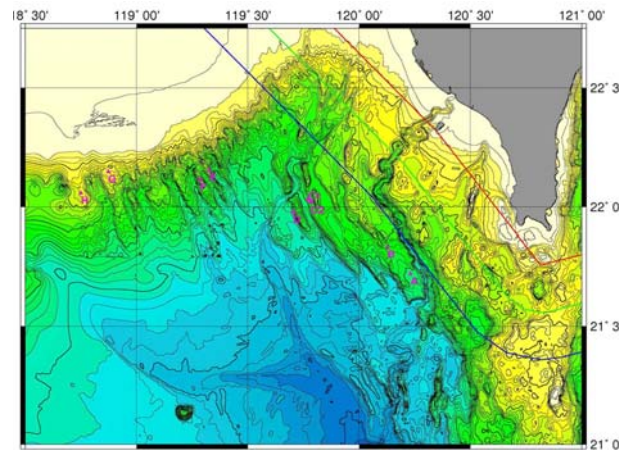


Figure 1 Proposed diving sites of the NT07-05 Cruise

Although three sites have been visited, only F site (Formosa Ridge) can find the venting bubbles and dense occurrences of chemosynthetic community during this cruise. Therefore, we only focus on the results at this site in this study.

Three dives have been performed at F site. Dense chemosynthetic communities were discovered at water depth of about 1120 -1140 m on the top of the Formosa Ridge by direct observation using ROV Hyper-Dolphin. The community is dominated by deep-sea mussel, *Bathymodiolus latifrons*, and galatheid crab, *Shinkaia crosnieri* [10] (Fig. 2). Most of species probably corresponds to those of hydrothermal vent fields in the Okinawa Trough, such as the Hatoma Knoll and the Iheya Ridge (e.g., [11]).