冰晶甲烷

能源、生態與環境

劉家瑄

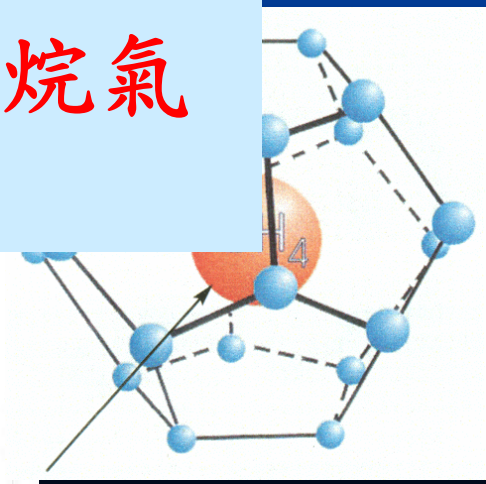
台灣大學海洋研究所

2007.12.30. 國立科學工藝博物館

甲烷水合物： 籠形架構，甲烷分子被水分子包合所形成的冰晶狀籠形物體（methane clathrate)。

甲烷水合物（冰晶甲烷）形成的條件？

高壓、低溫、足夠之甲烷氣

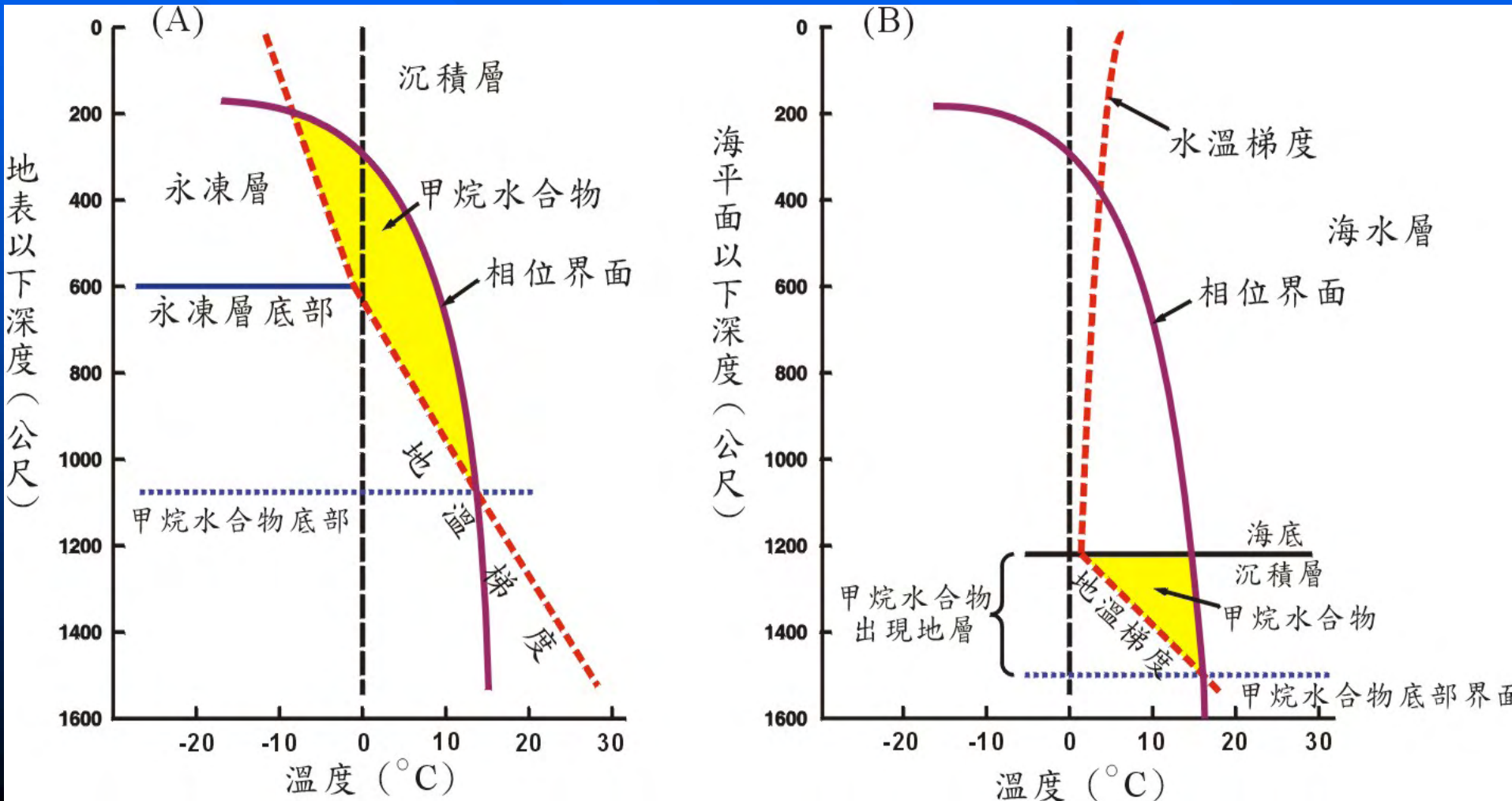


大自然中甲烷水合物（冰晶甲烷）形成的環境

高壓、低溫及足夠甲烷氣

極區之永凍層之下

有巨厚沈積物之海床下



甲烷水合物的發現與研究

一、實驗室合成氣水合物

- 1770年代　發現二氧化硫水合物與氯氣水合物
- 1811　達威報導如何在實驗室合成氣水合物
- 1832　法拉第提出氣水合物化學式
- 20世紀　實驗室中合成各類氣水合物

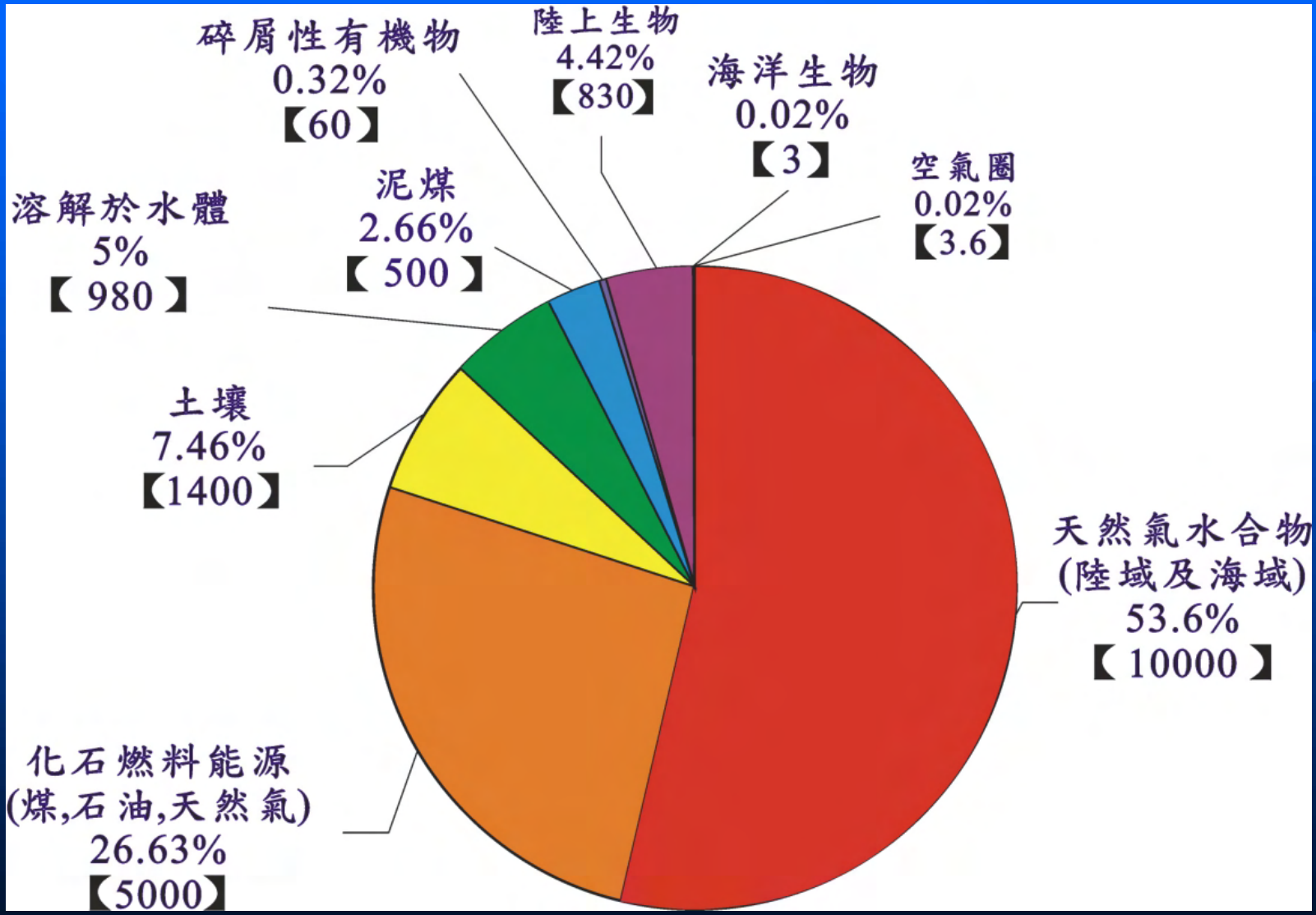
二、發現天然之氣水合物

- 1934　Hammerschmidt發現天然氣水合物在輸氣管中形成
- 1967　Makogon報導西伯利亞西北麥所雅哈氣田中發現天然氣水合物
  30%的天然氣來自天然氣水合物?
- 1970　Makogon報導黑海海底有天然氣水合物

天然氣水合物研究的推動

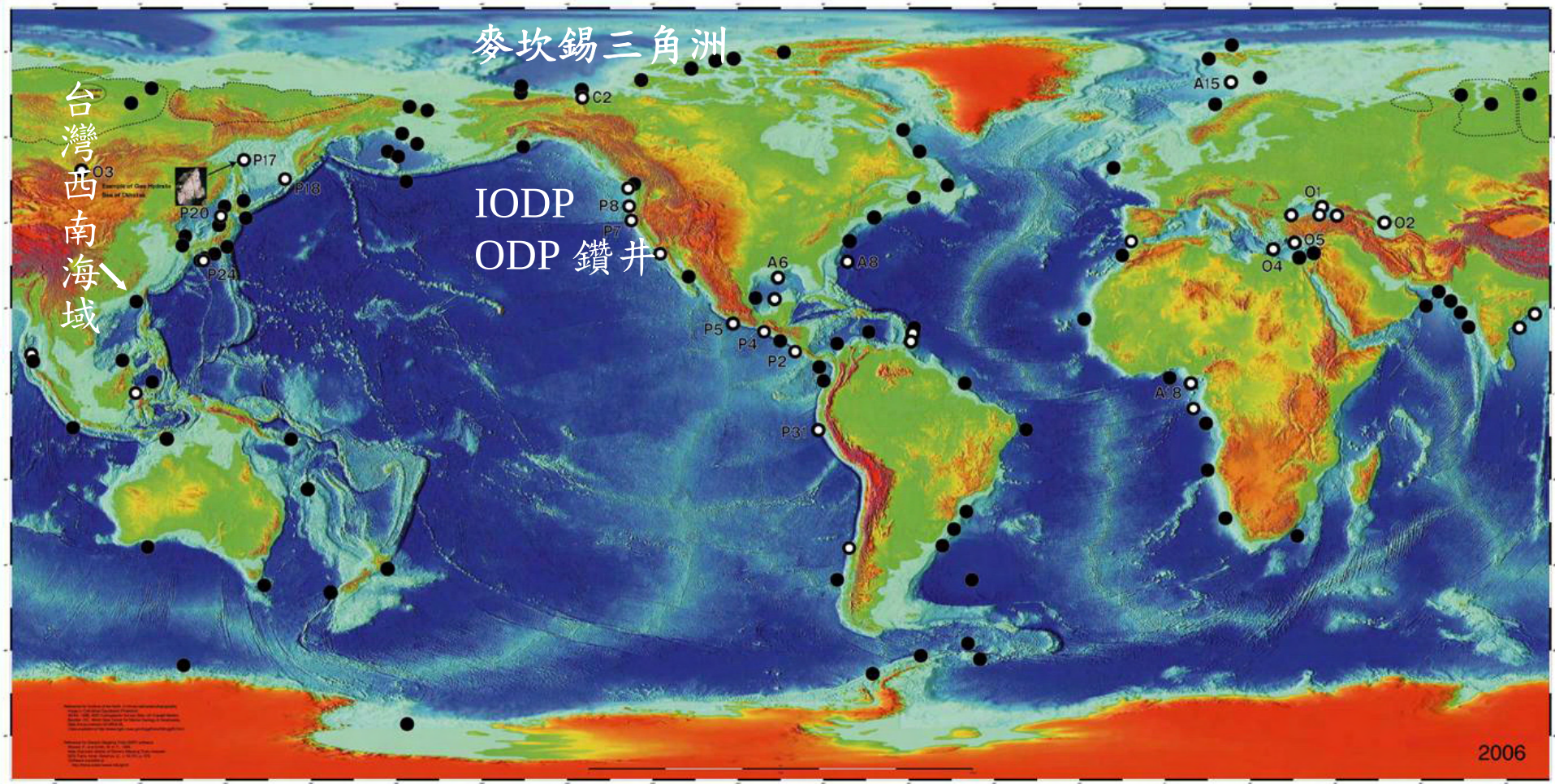
- **1980年代**
  - 海域震測調查顯示天然氣水合物分佈廣泛
  - 深海鑽探計畫(DSDP)在大陸邊緣帶鑽得天然氣水合物標本
  - 1982-1992美國能源部甲烷水合物研究計畫(8 M US$) (DOE Methane Hydrate Research Program)
  - 美國地質調查所彙整資料，認為全球天然氣水合物儲量驚人，有能源價值

天然氣水合物之能源潛力



(Kevenvolden, 1988)

全球天然氣水合物分布圖

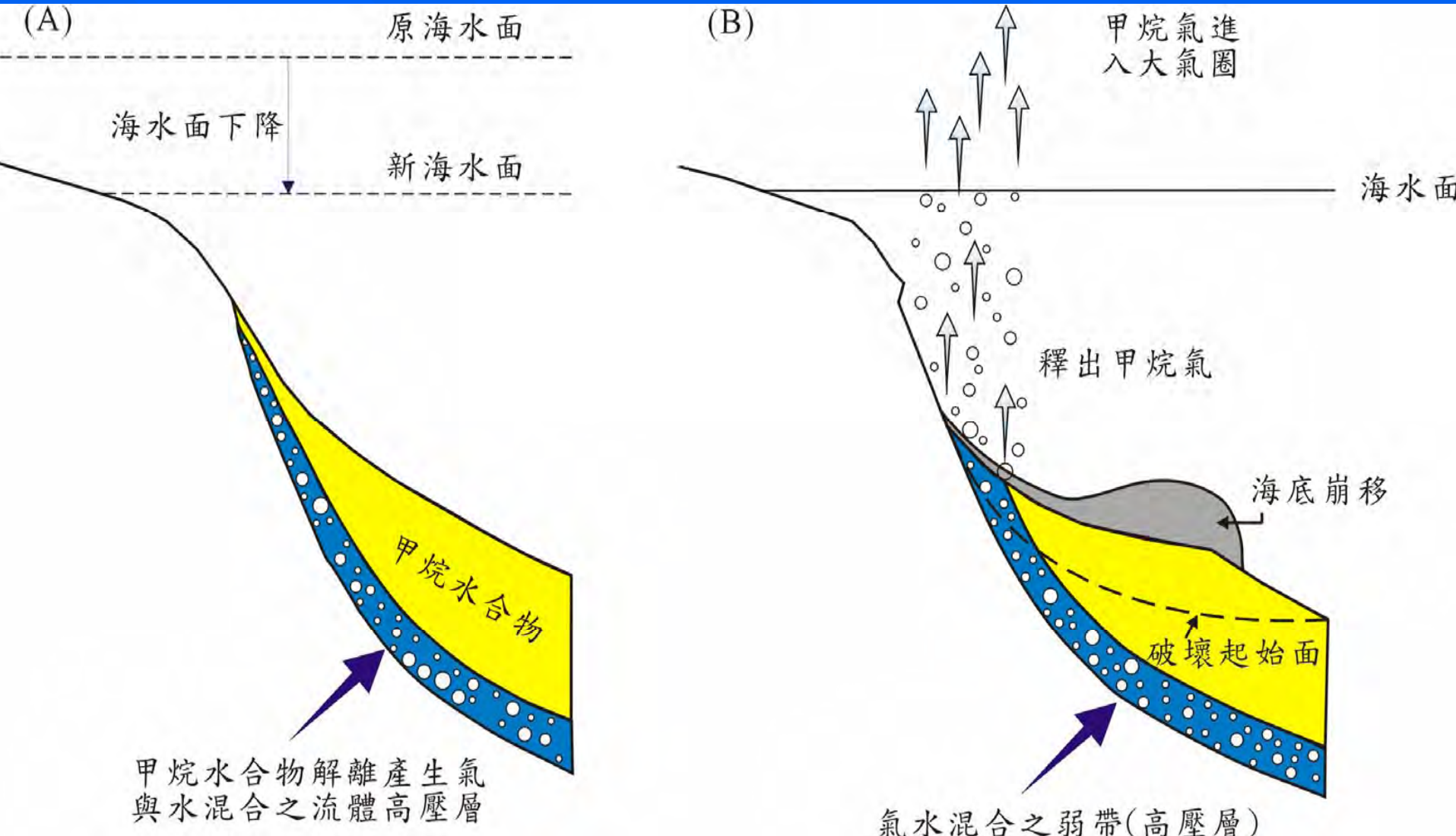


Thomas D. Lorenson and Keith A. Kvenvolden

白點為經採樣證實地點
黑點為地球物理資料顯示其存在地點

(USGS, 2006)

天然氣水合物解離造成海床崩塌



Climate Change: 氣候變遷

天然氣水合物大量釋出可能之影響

The blast in the past

Gerald R. Dickens

Carbon isotopic Evidence for Methane Hydrate Instability during Quaternary interstadials

letters to nature

Methane: the hidden greenhouse gas

Methane from cows, rubbish tips and rice fields is warming the Earth. Car exhausts may help the process. But methane from the Arctic tundra could be most damaging of all

Fred Pearce

甲烷水合物解離加速全球暖化？

- 甲烷水合物自保有方

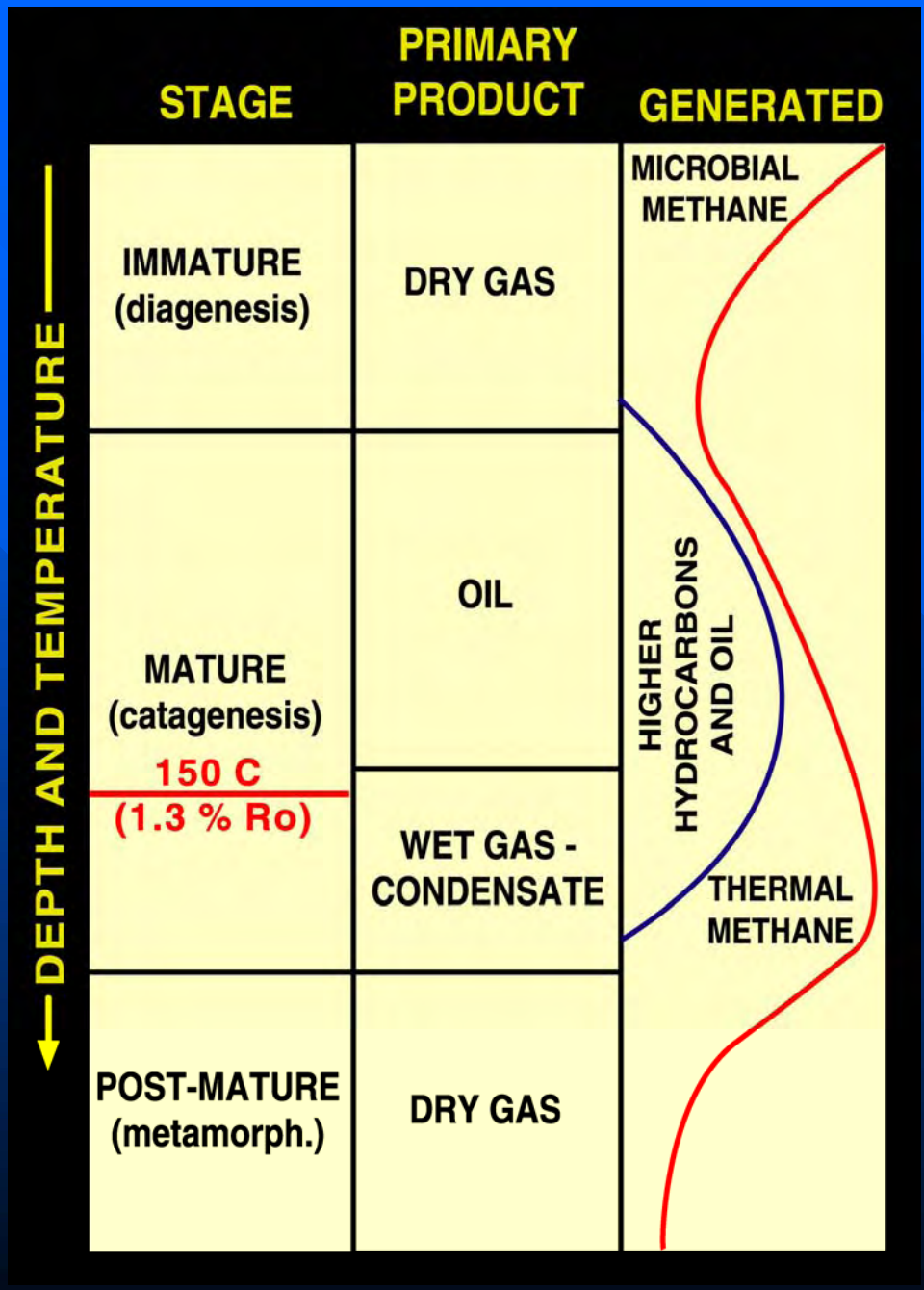
  甲烷水合物之解離是吸熱作用，將促使甲烷水合物回到冰晶態

- 溢出海床之甲烷氣幾乎都溶解在海水中

- 只有特殊情況甲烷氣才有機會散到大氣中

如此大量之甲烷氣從何而來？

溫度與深度增加方向



生物源甲烷氣
（具經濟價值？）

石油與凝結油
（具經濟價值！）

熱生成甲烷氣
（具經濟價值！）

生物源甲烷氣

甲烷菌製造得來

- 發酵（fermentation）

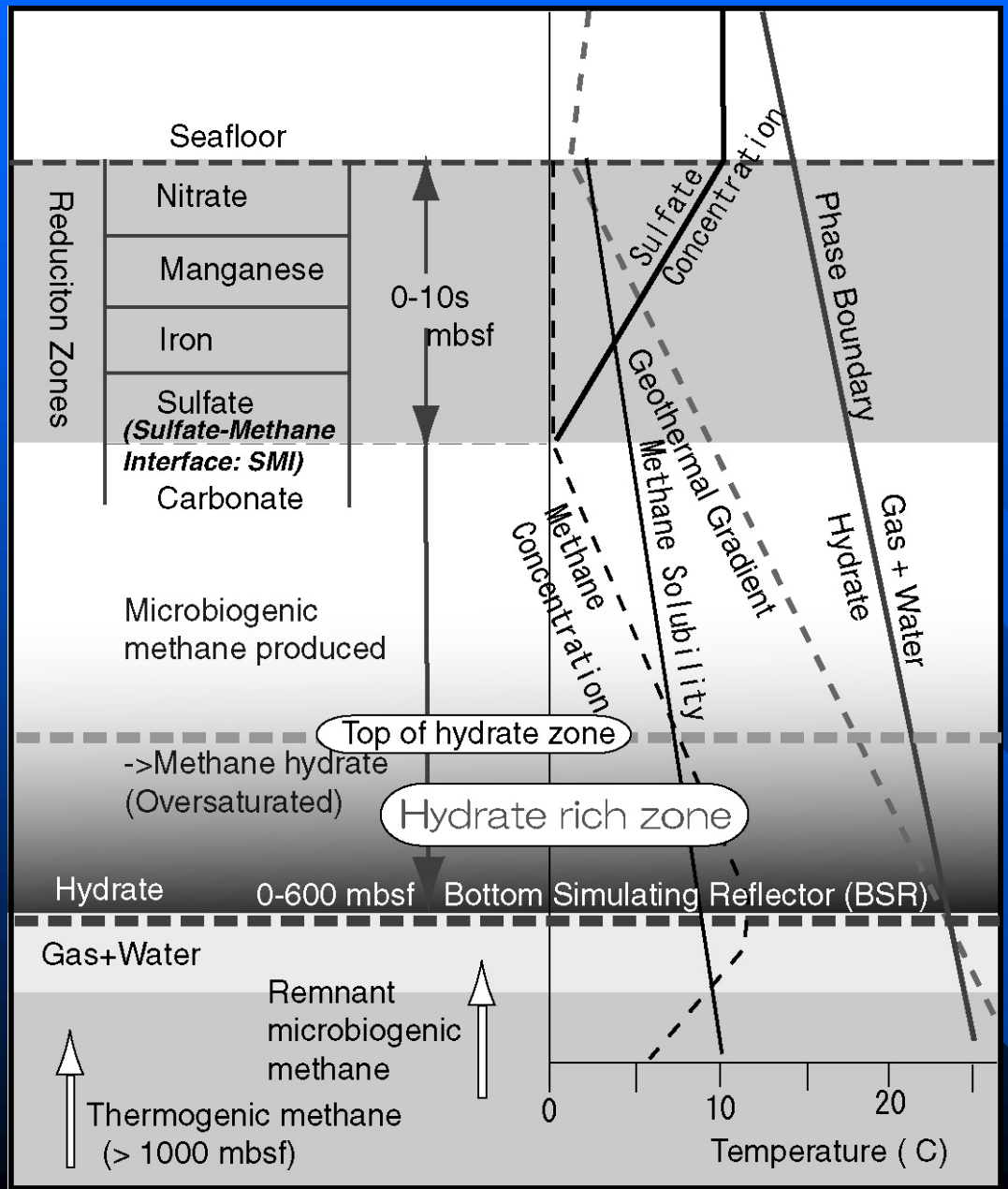
  $2CH_2O \rightarrow CH_4 + CO_2$

- 二氧化碳去氧（deoxidization of the carbon dioxide）

  $CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$

大部分天然氣水合物之甲烷氣為生物源

海床一帶之地球化學環境



甲烷被氧化

← 海床

硫酸鹽還原

← SMI (硫酸鹽－甲烷界面)

← 甲烷水合物地層上界面

← BSR（甲烷水合物地層下界面）

產生甲烷氣

天然氣水合物研究的推動

- **1990年代 (1)**
  - 加拿大地質調查所研究永凍層及溫哥華外海的天然氣水合物
  - 印度展開國家型天然氣水合物研發計畫(1996年開始第二個國家型計畫, 印度石油工業發展部投入4.2億美元進行天然氣水合物調查與鑽探)

天然氣水合物研究的推動

- **1990年代 (2)**
  - 1995年日本成立「天然氣水合物開發促進委員會」，展開五年期的研究計畫（總經費約9千萬美元）
  - 1996年ODP Leg164 Blake Ridge Gas Hydrate Drilling
  - 1999年日本在南海海槽（Nankai Trough）鑽鑿一口研究井

天然氣水合物研究的推動

- **1990年代 (3)**
  - 1999年美國能源部開始執行「國家型甲烷水合物多年期研究計畫」（National Methane Hydrate Multi-Year Program），預期在2015年之前開始商業化開採
  - 英國、德國、挪威等歐洲國家進行天然氣水合物的學術研究

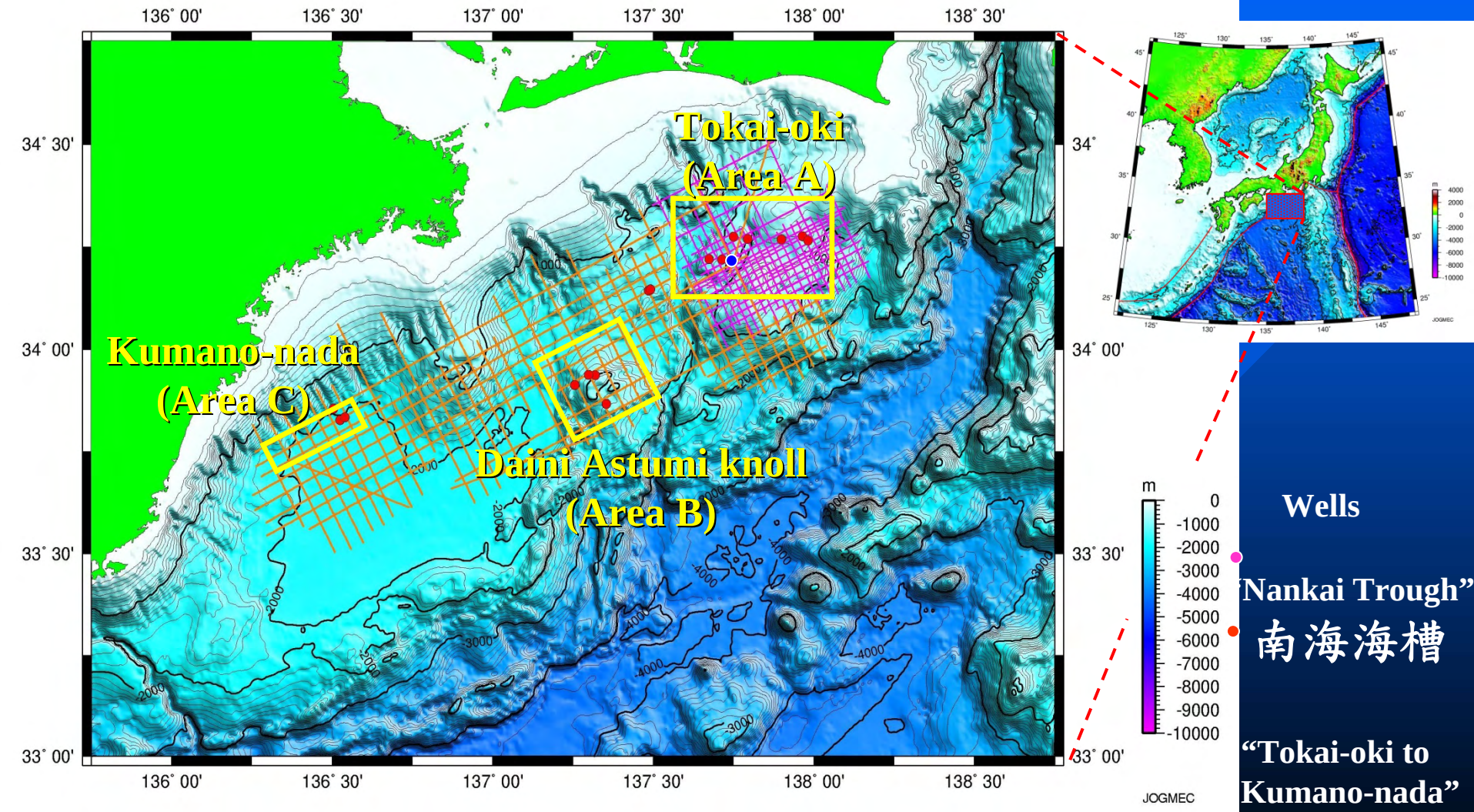
天然氣水合物研究的推動

- **2000年以後**
  - 日本開始進行 MH21三階段十六年期研究計畫 (2001-2016)
  - 歐盟、韓國、中國大陸、台灣紛紛展開大型天然氣水合物研發計畫
  - 2002年Mallik天然氣水合物開發研究井
  - 2002年ODP Leg204 Hydrate Ridge Drilling

天然氣水合物研究的推動

- **2000年以後**
  - 歐盟、韓國、中國大陸、台灣紛紛展開大型天然氣水合物研發計畫
  - 2004日本在南海海槽進行大規模鑽井調查（16個地點共31口井)
  - 2005 IODP Leg 311 Cascadia Margin鑽井
  - 2006 印度展開天然氣水合物鑽井調查

日本MH21計畫2003-2004之震測與鑽井調查
-Seismic Research and Drilling-



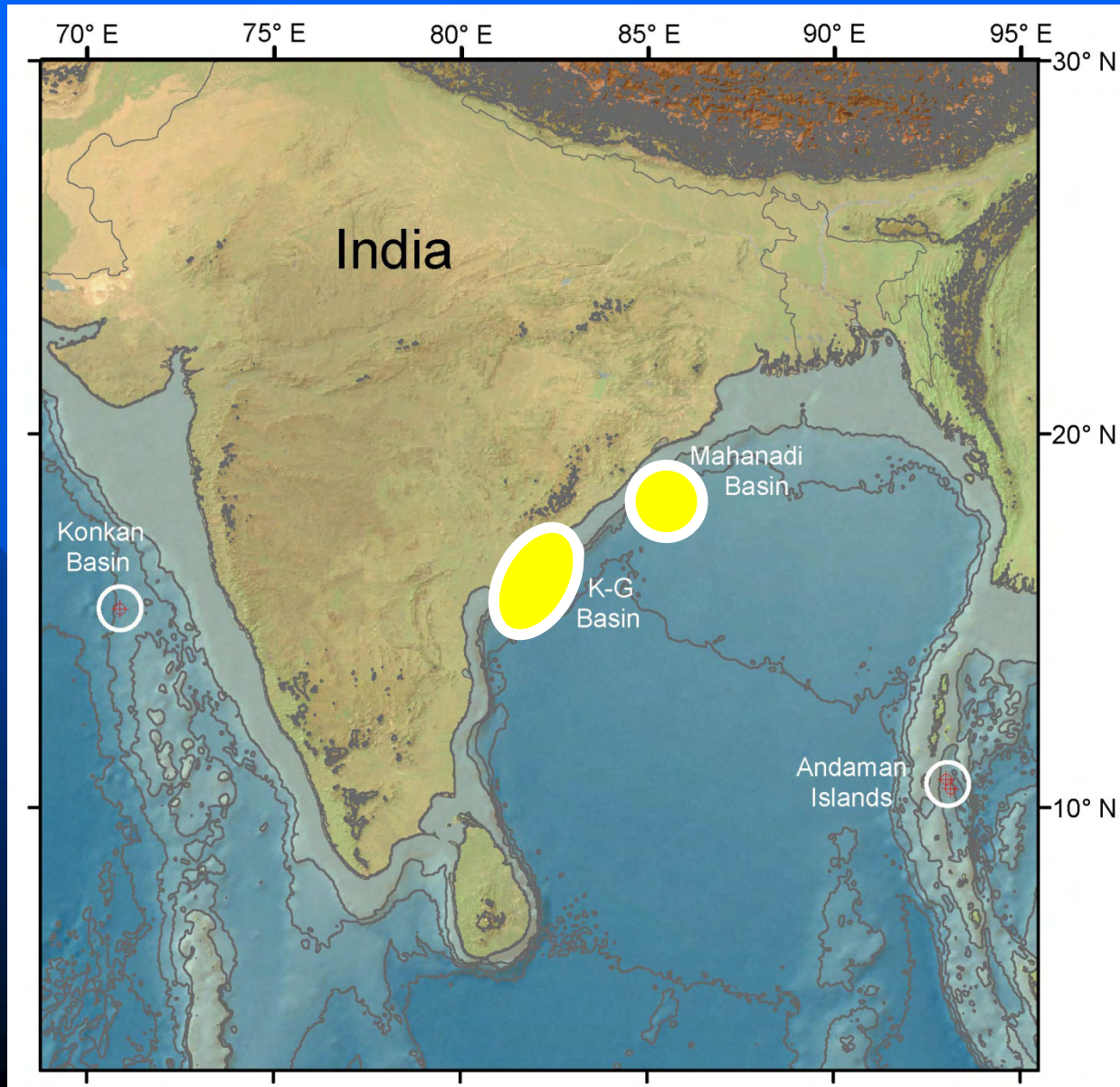
Tsuji et al, 2004

印度2006
天然氣水合物
鑽井調查

NGHP - EXPEDITION I

Kerala-Konkan Basin:
One site
Krishna-Godawari Basin:
Fifteen Sites
Mahanadi Basin:
Four Sites
Andaman Islands:
One Site

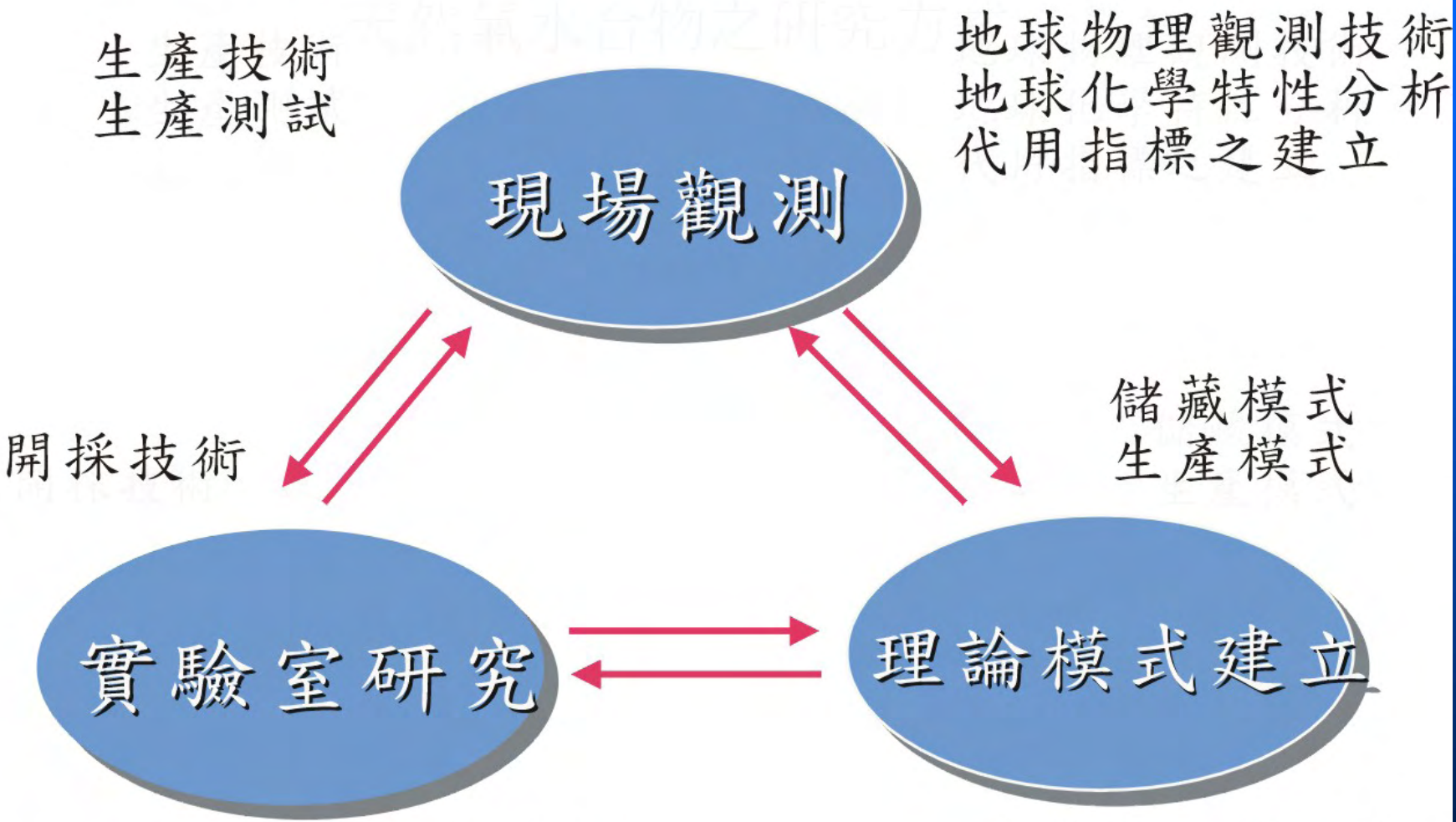
-Total 123 Days
-Total 21 Sites



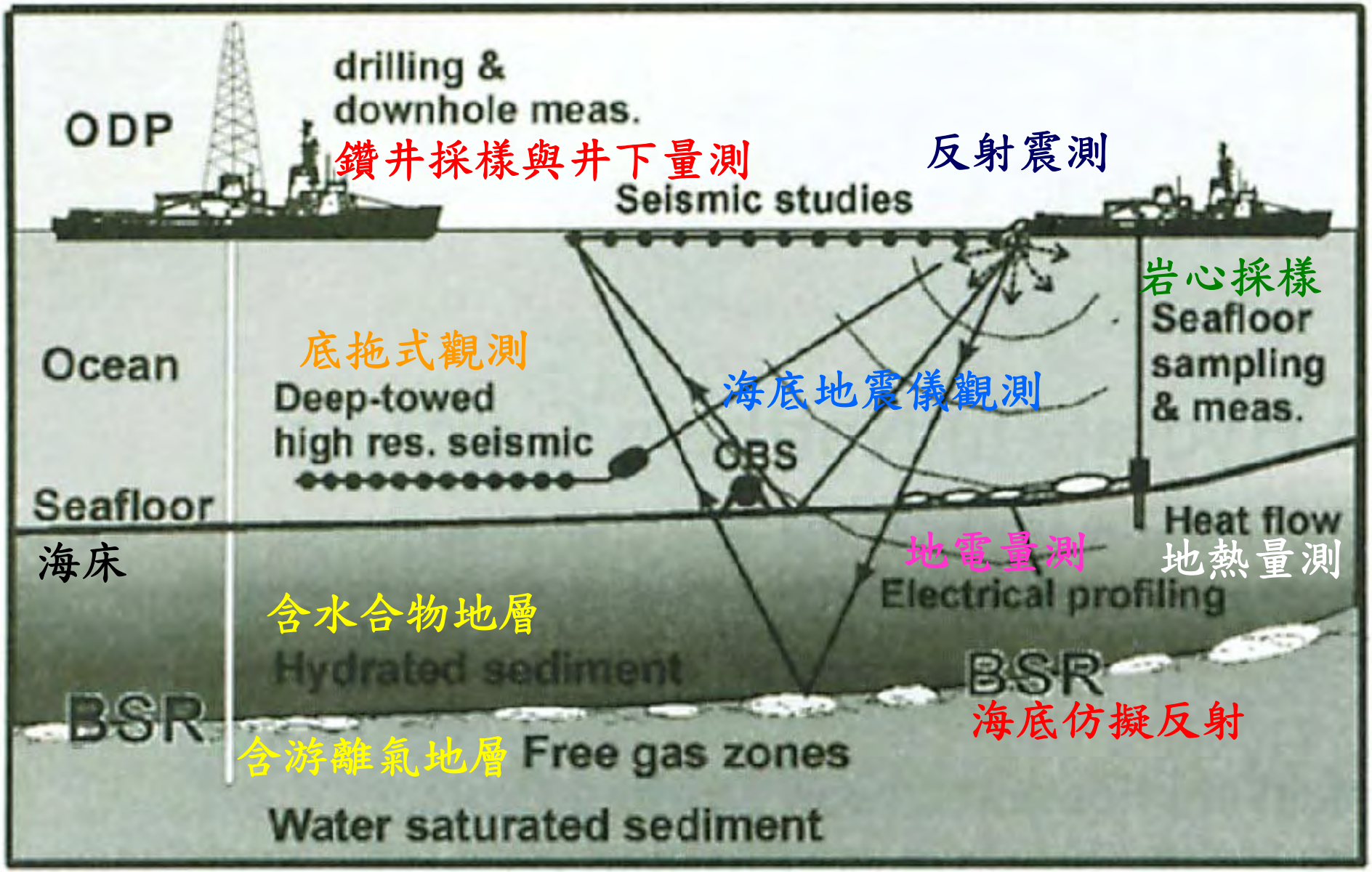
天然氣水合物研究的推動

- **2007年**
  - 日本與加拿大合作，在Mallik 進行開發鑽井實驗（2007與2008年冬季)
  - 美國完成阿拉斯加北坡鑽井調查實驗
  - 中國大陸於2007四至五月間在南海北坡神狐地區進行鑽井調查，取得天然氣水合物標本
  - 韓國於2007十月間在其東海（日本海）地區進行鑽井調查，發現厚度超過100公尺之天然氣水合物地層
  - 台灣完成第一個四年期天然氣水合物調查計畫，並將於2008年展開第二期四年計畫

天然氣水合物之研究方式

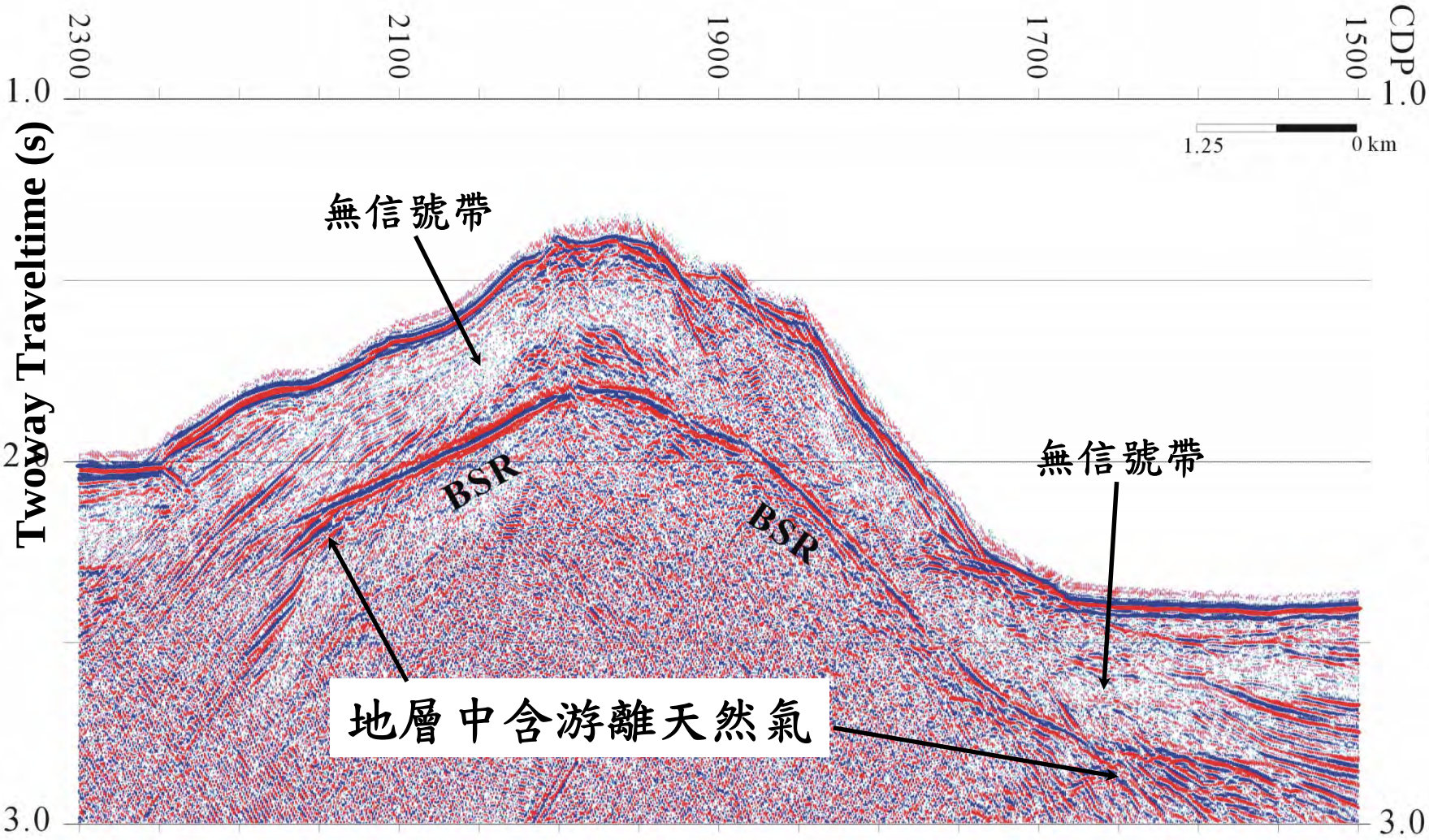


海域天然氣水合物調查方法



BSR: Bottom Simulation Reflector

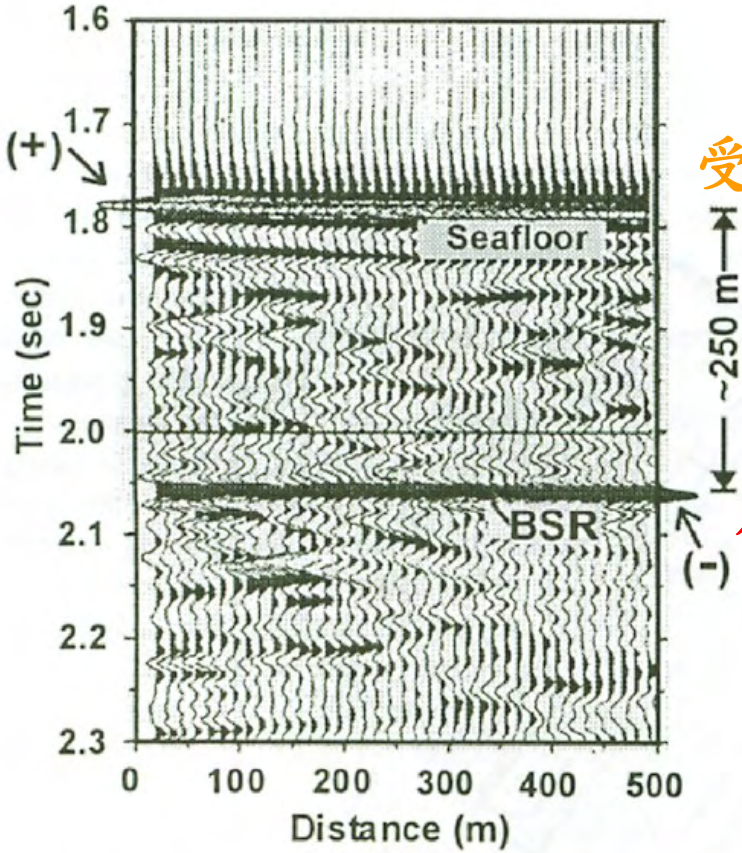
海底仿擬反射



海底仿擬反射成因

反射震測剖面

地層聲波阻抗與反射信號



特徵

受地溫梯度控制

大致平行海床

信號相位相反

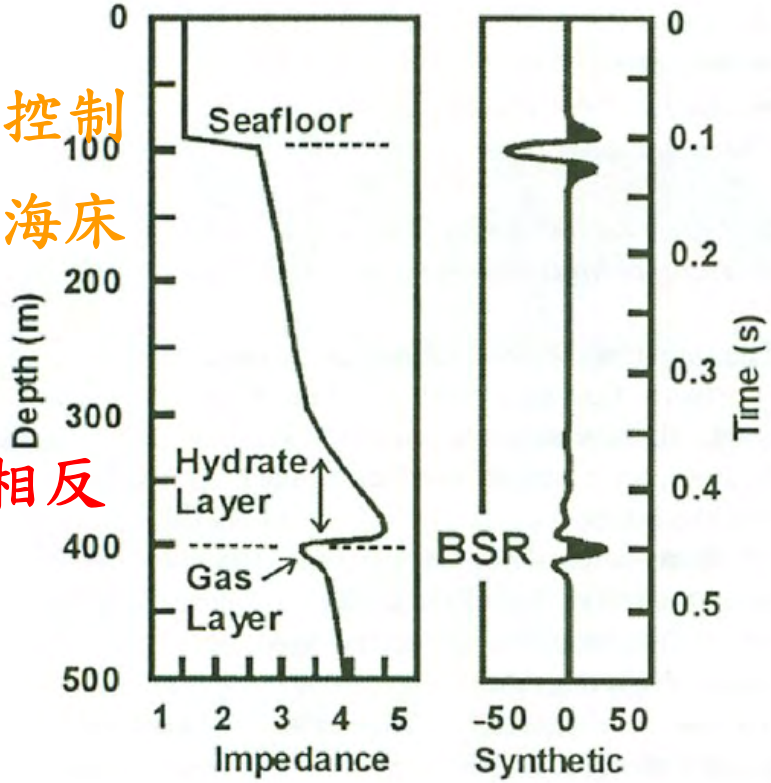


Figure 5. Example of strong BSR near ODP Site 889 showing the simple negative reflection waveform, opposite to that of the seafloor.

Figure 6. Simple synthetic seismogram that reproduces the main features of the BSRs. The seafloor reflection results mainly from the density contrast and the BSR mainly from the velocity contrast.

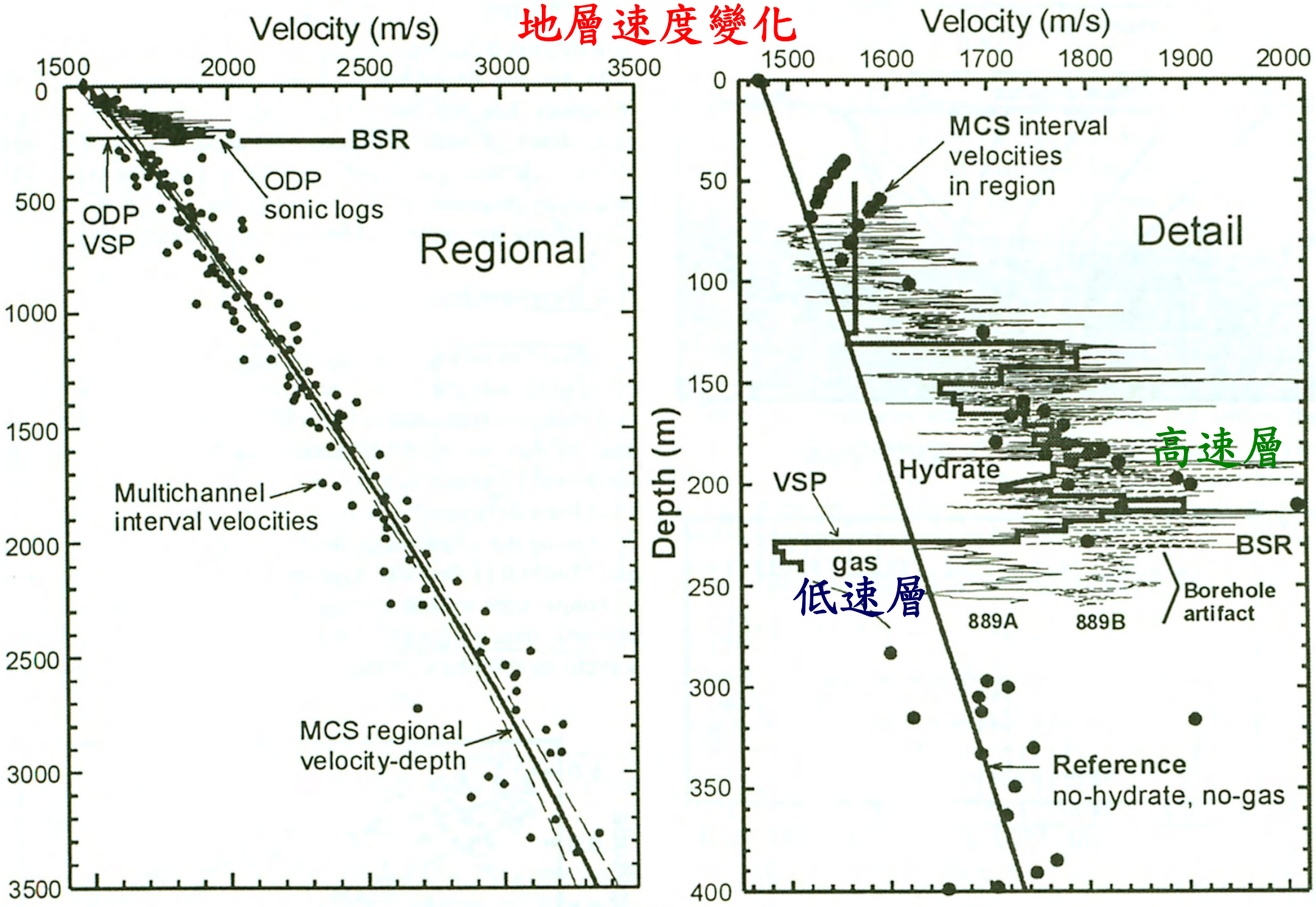
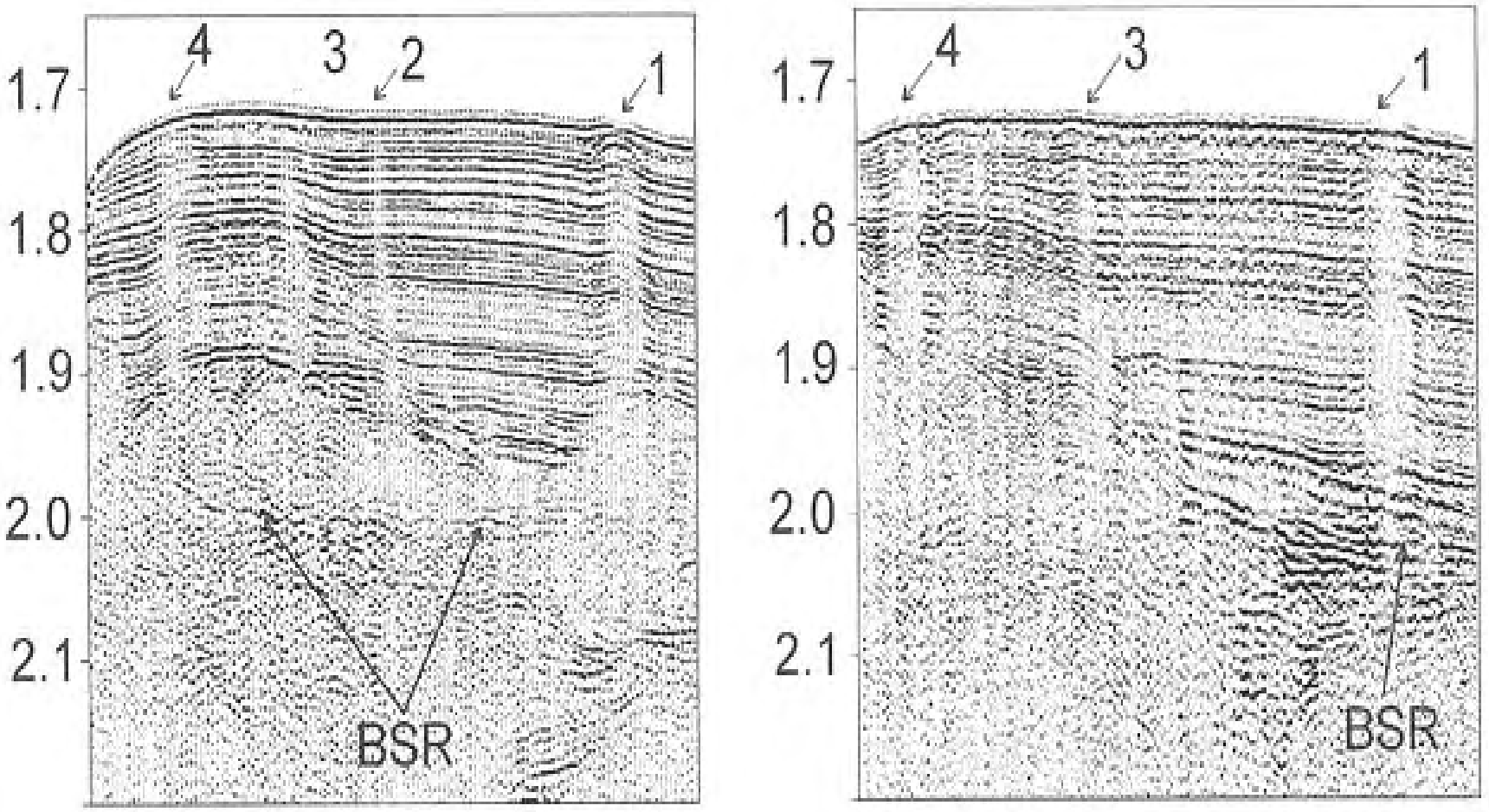


Figure 13. (Left) Deep multichannel interval velocity data from within 10 km of ODP Site 889/890 that provides the no-hydrate, no-gas reference. (Right) Detailed comparison of interval velocity data with ODP sonic logs and downhole VSP data. Only the VSP shows the low-velocity free gas layer.

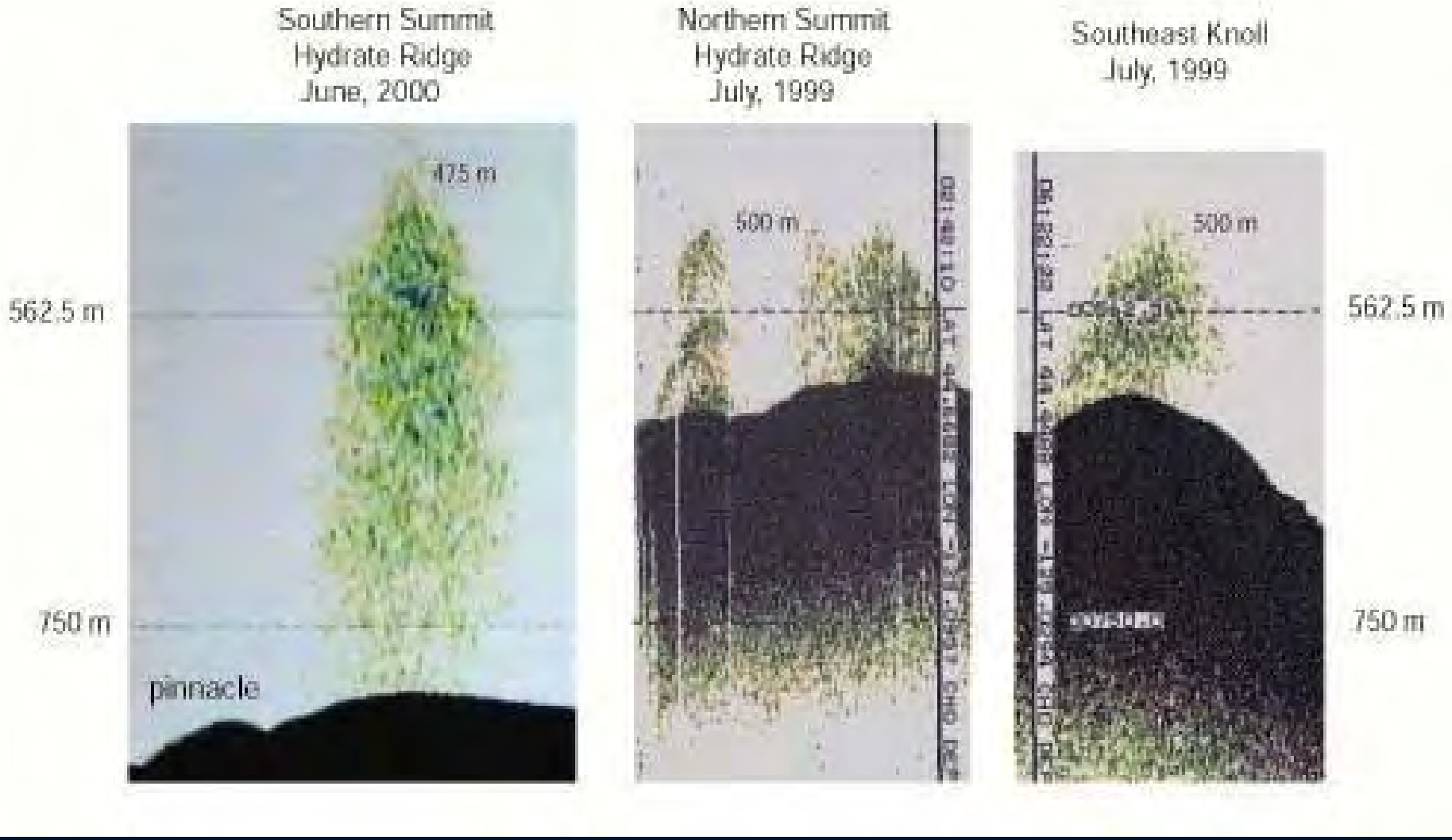
(Hyndman et al., 2001)



高頻震測可顯示氣體冒出之孔道

High-resolution single channel seismic data showing fluid/gas vents above BSR in Cascadia margin (Riedel et al, 2001)

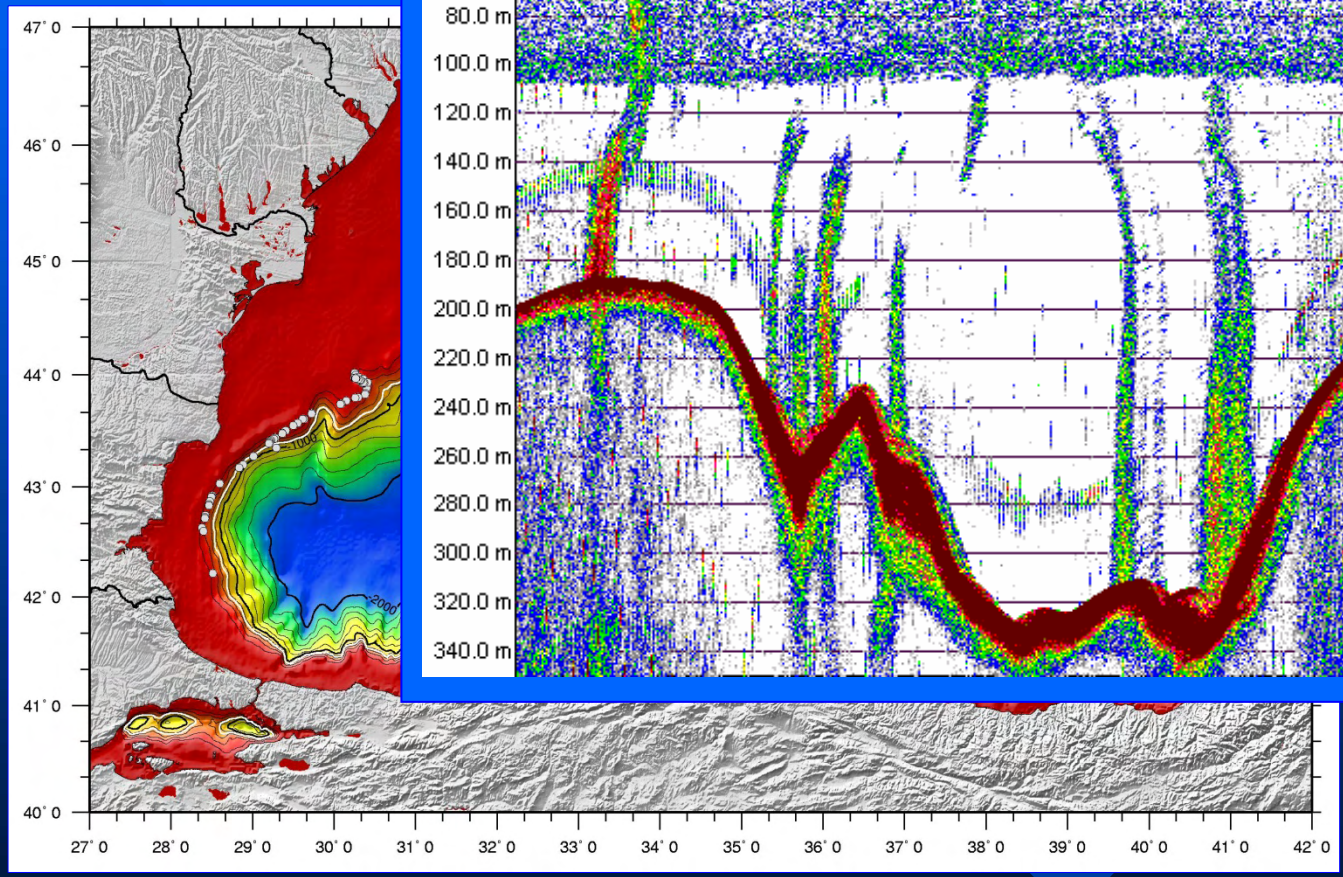
12 kHz 聲納儀探測到海床上噴出之甲烷氣泡



冒氣孔一帶之海床下常發現大量之天然氣水合物

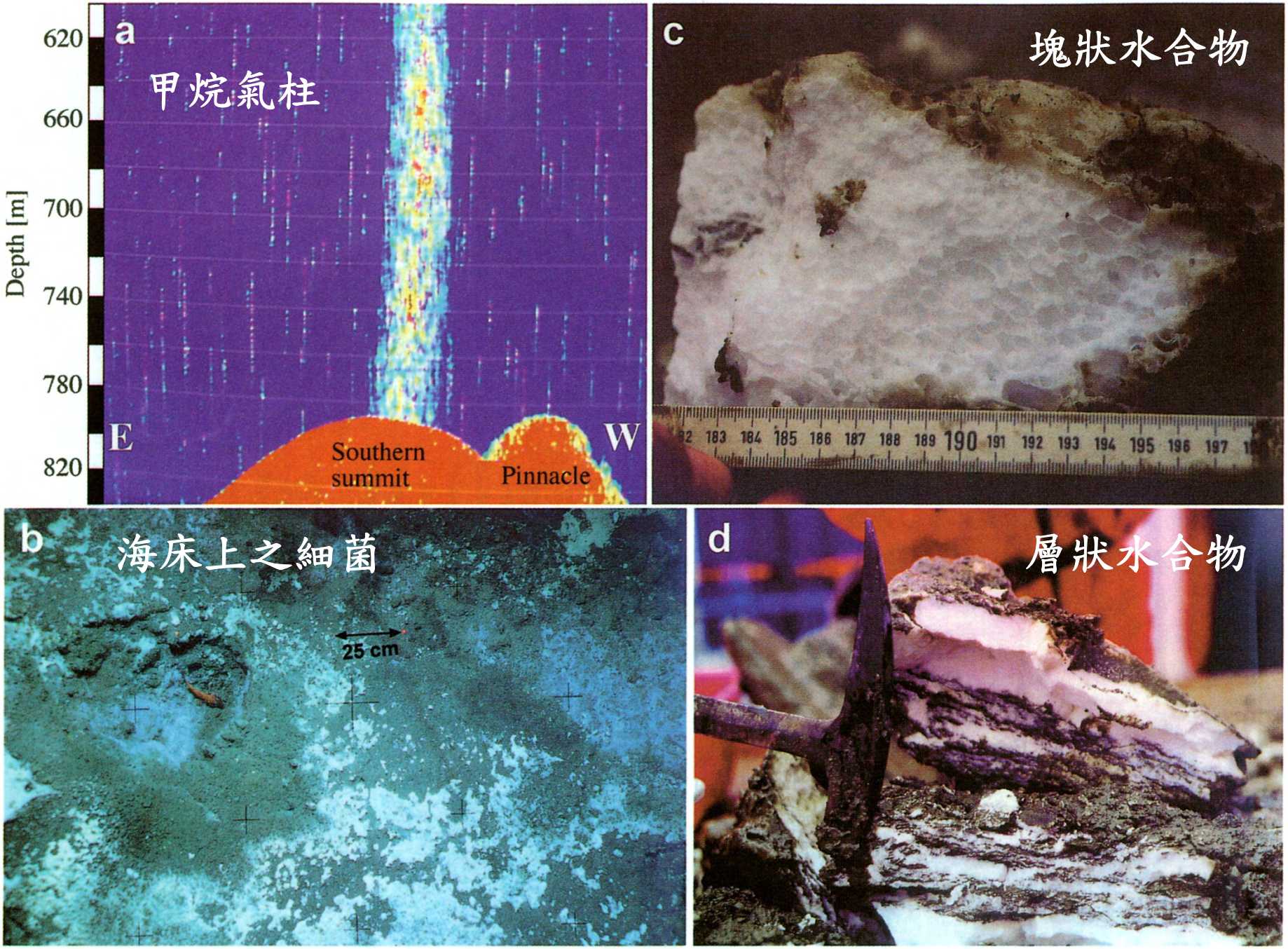
The Black Sea 黑海

… the largest anc
related methan
oxic/anoxic inte

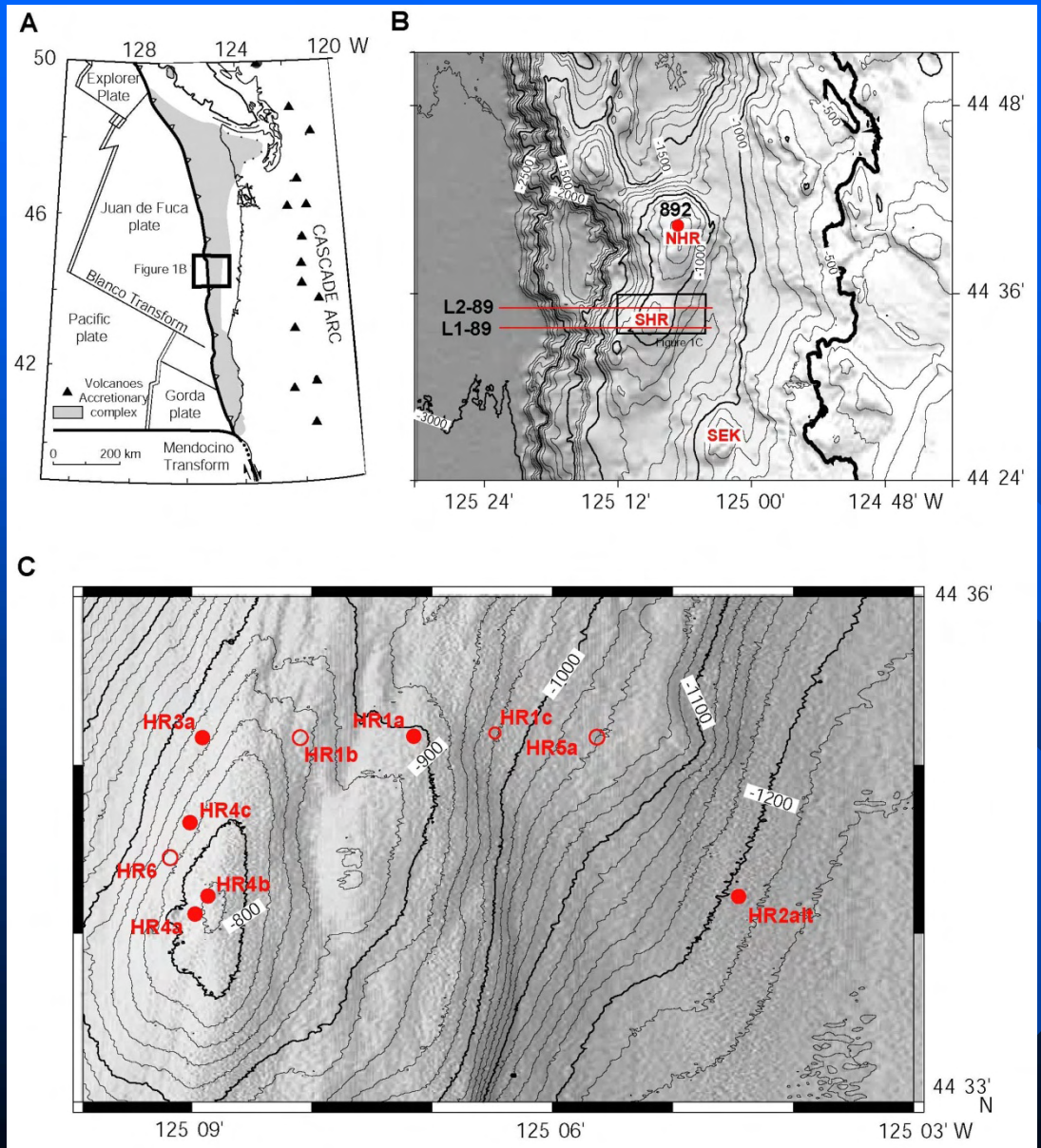


黑海某條淺水區多處海床上發現大量冒氣現象

Black Sea with bubble seep location and the 725m water depth contour


a
甲烷氣柱
620
660
700
740
780
820
Depth [m]
E
W
Southern summit
Pinnacle
c
塊狀水合物
b
海床上之細菌
25 cm
d
層狀水合物

海洋鑽探計畫 204航次 天然氣水合物鑽探



主要目的

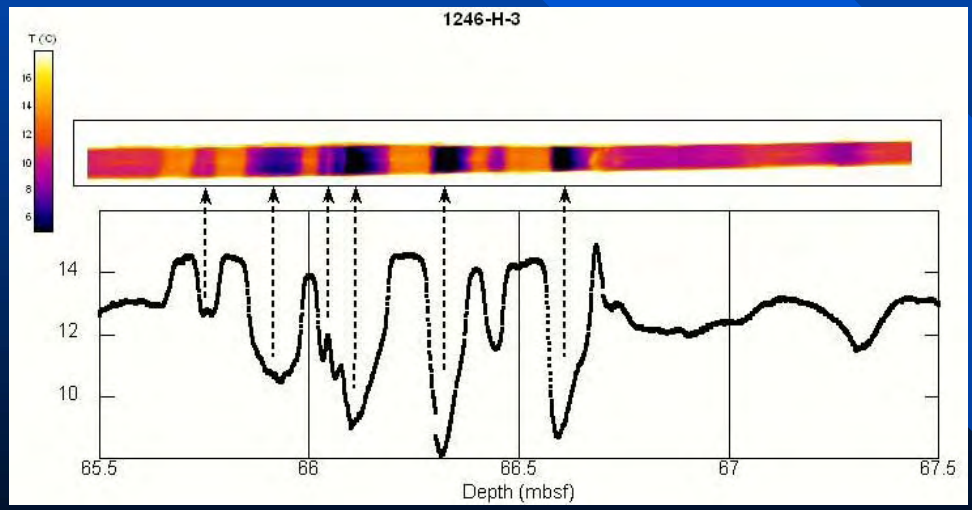
1. 瞭解增積岩體環境下天然氣水合物的分布、移棲、來源與特性
2. 測試新的採樣與量測工具
3. 發展「代用指標」技術，以偵測天然氣水合物之分布與儲量

直接採樣與量測

ODP Leg 204成果

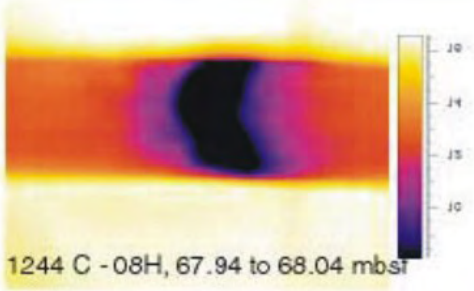
- 採集大量不同形態的天然氣水合物標本
- 建立天然氣水合物分布狀態，證實移棲孔道的重要



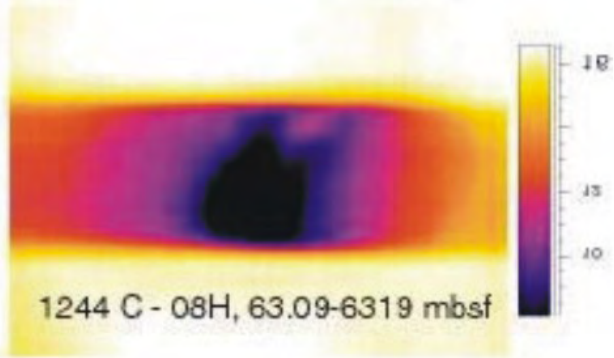


ODP Leg 204成果

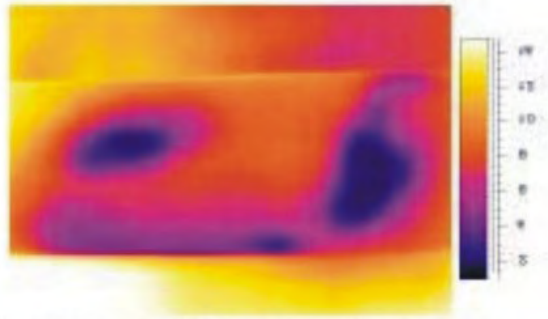
發現紅外線量測與井下3D電阻資料是非常好的天然氣水合物分布與含量之「代用指標」



1244 C - 08H, 67.94 to 68.04 mbsf

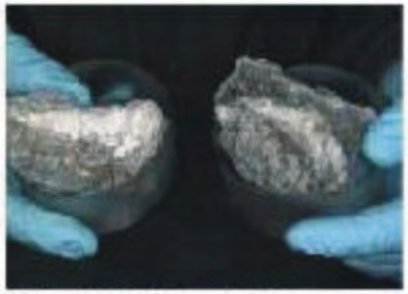


1244 C - 08H, 63.09-6319 mbsf



1244 C-10H-2, 83.70 to 84.30 mbsf

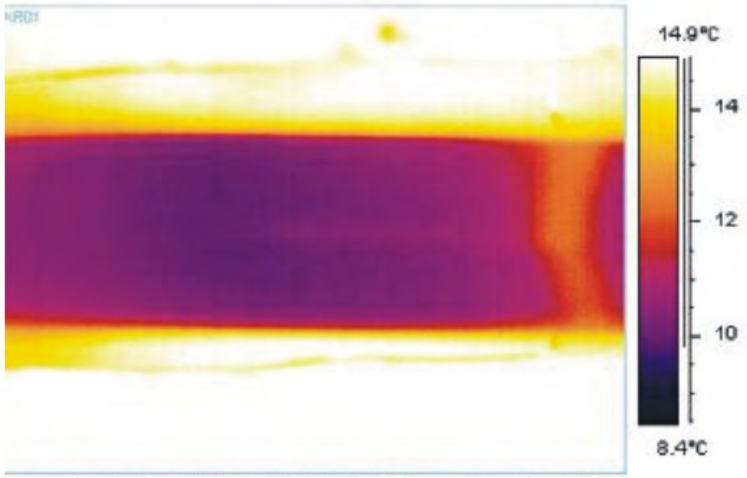
1244 C-08H-5, 48-80 cm



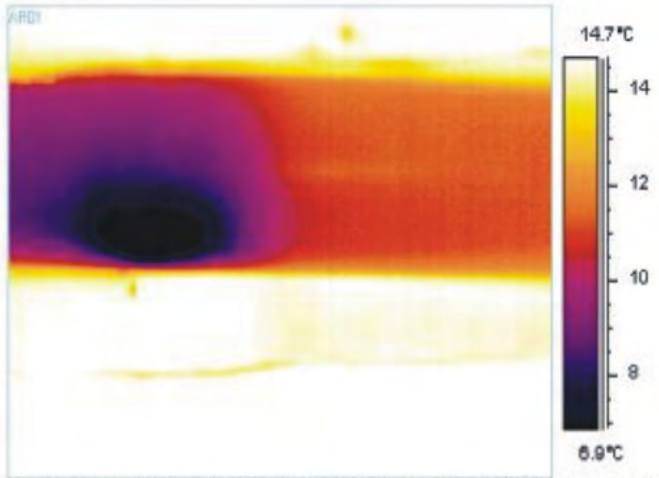
1244 C-08H-1, 47-52cm

1244 C-10H-2 83.70 to 84.30 mbsf

紅外線影像

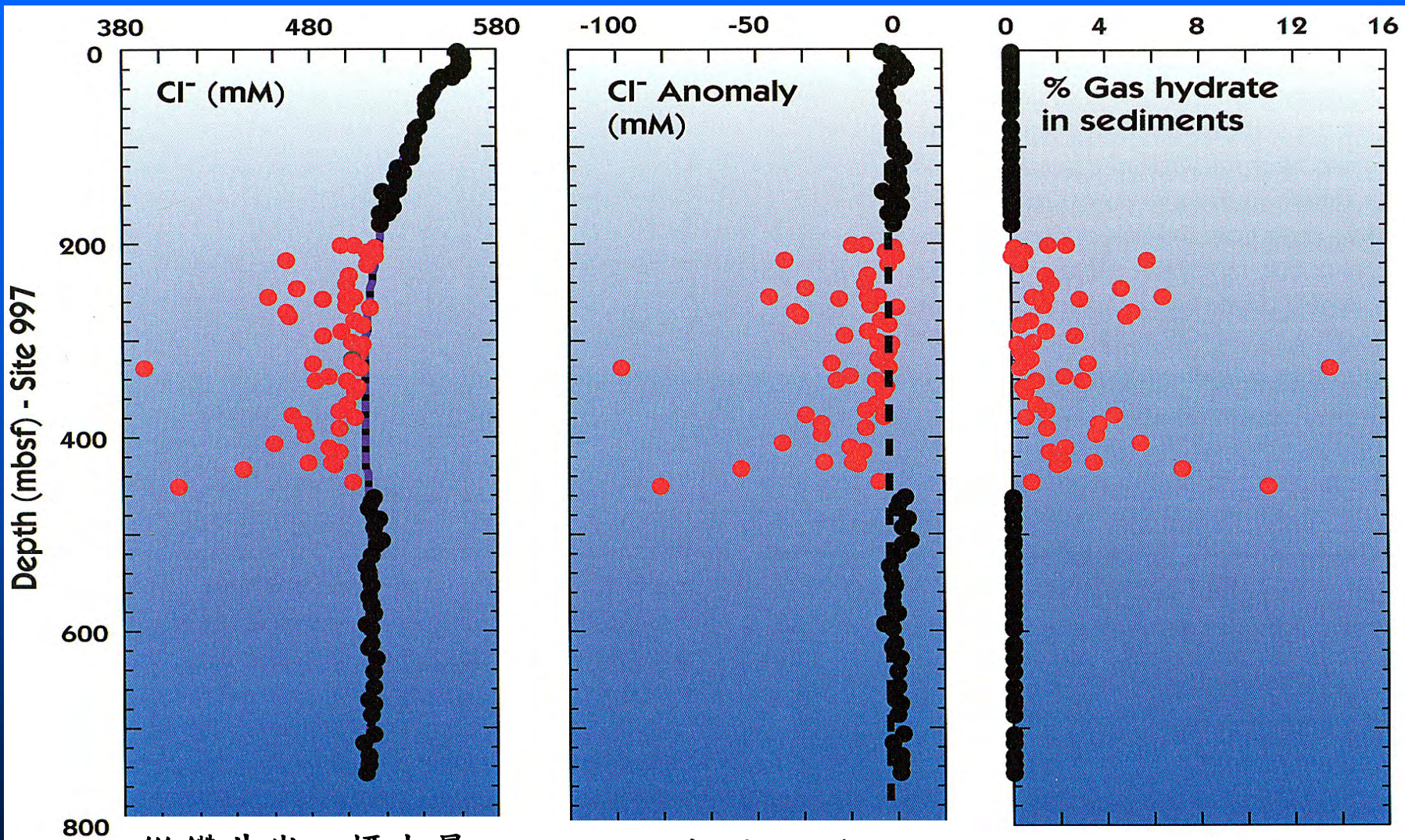


c. Disseminated (Section 204-1248C-11H-2;IR155)



d. Nodular or blade-shaped (Section 204-1248-11H-6; IR157)

天然氣水合物之解離與形成會影響氯離子之濃度



從鑽井岩心標本量得之氯離子濃度變化

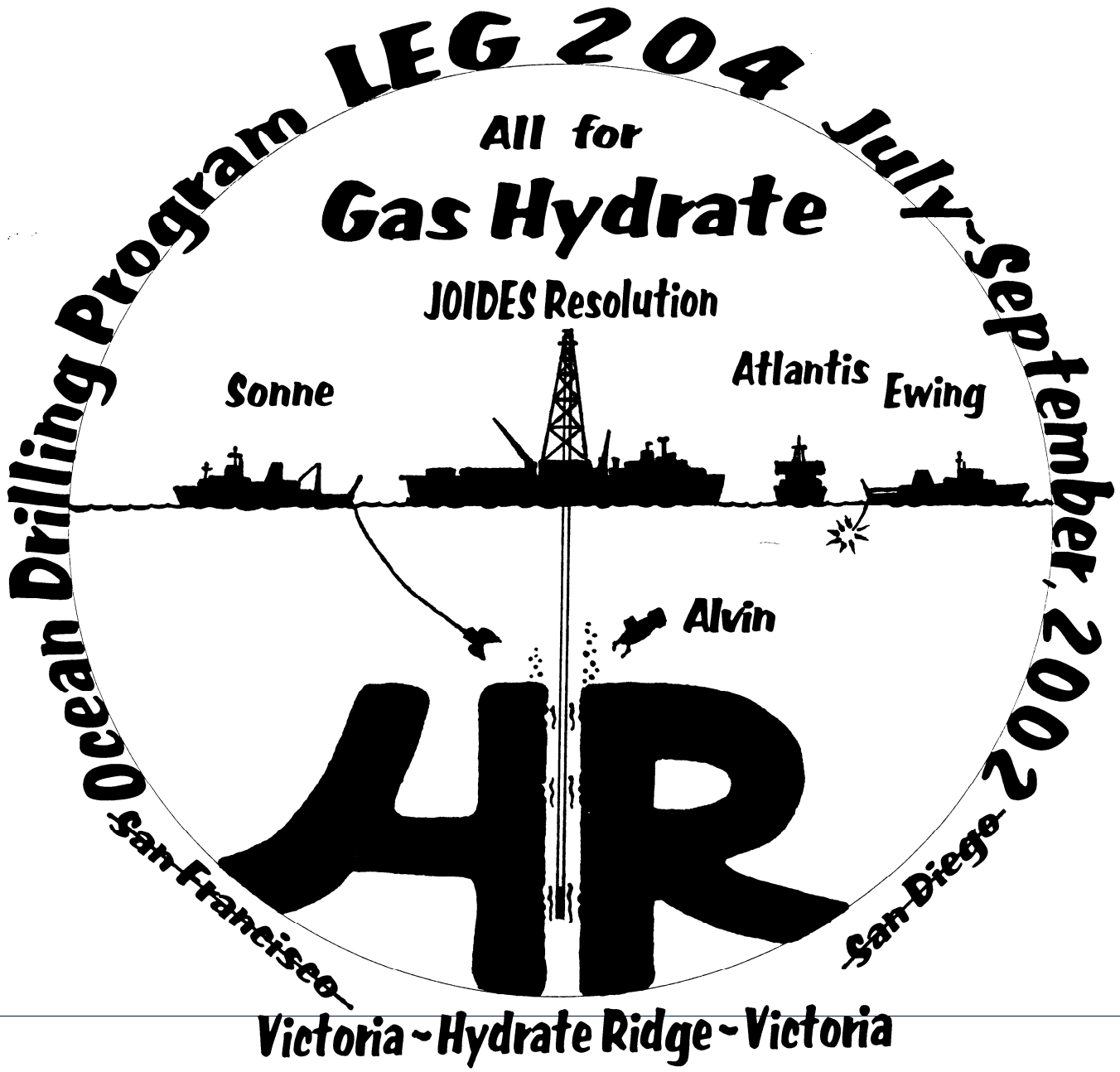
移除背景值後之氯離子濃度變化

從氯離子濃度變化推估天然氣水合物濃度


NEWFOUNDLAND


Site: ___ PDR ___ DPV


MAUNA LOA


Ocean Drilling Program LEG 204 July-September, 2002
All for
Gas Hydrate
JOIDES Resolution
Sonne
Atlantis
Ewing
Alvin
HR
San Francisco
San Diego
Victoria ~ Hydrate Ridge ~ Victoria

Mallik 2002天然氣水合物開發研究井

總經費：

鑽探及研究：**15M $Cdn**

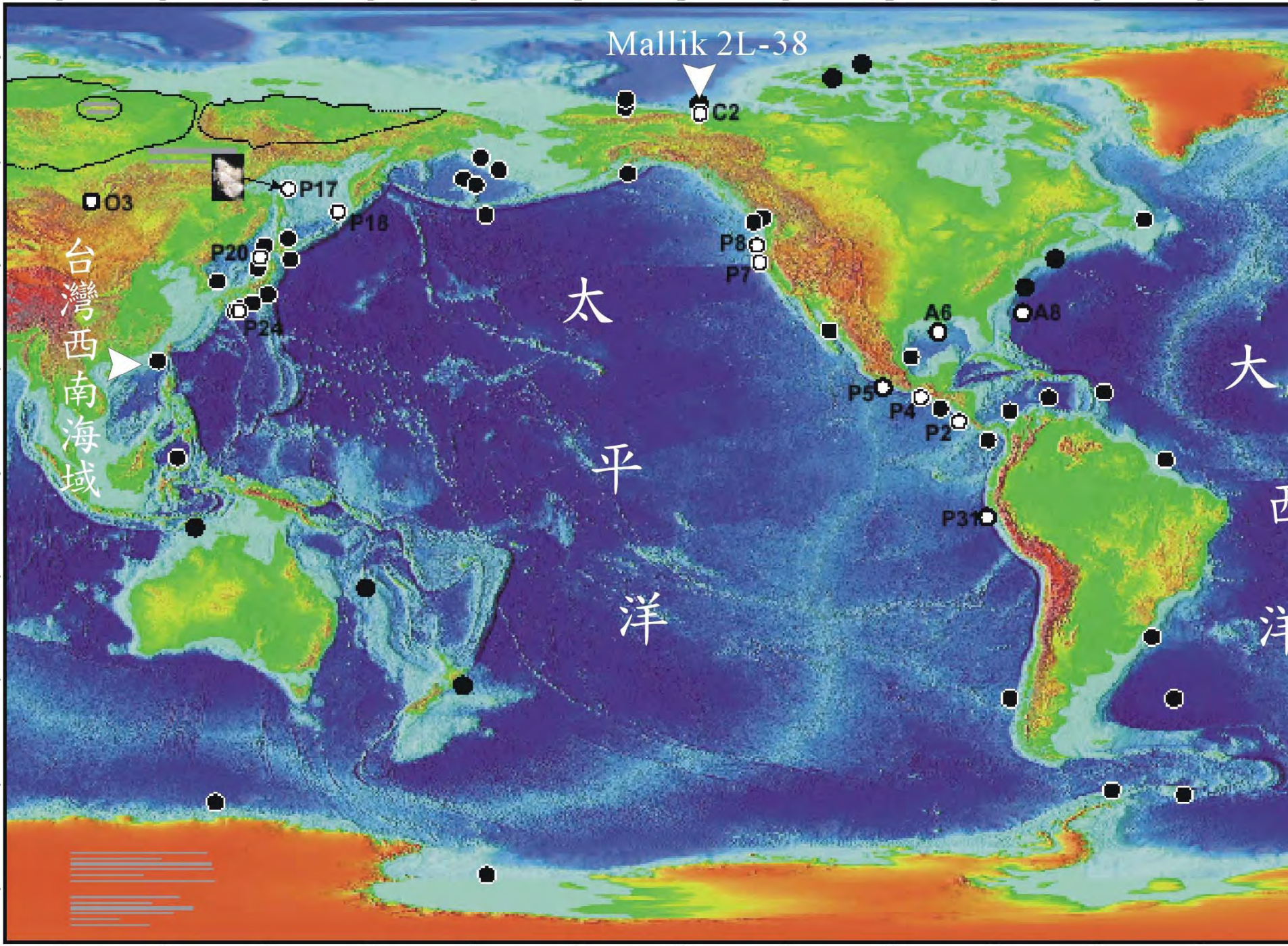
其他費用：**12M $Cdn**

鑽探作業：

Japan Petroleum Exploration Company Canada Ltd

科學計畫管理：

加拿大地質調查所


Mallik 2L-38
C2
O3
P17
P18
P20
P24
P8
P7
A6
A8
P5
P4
P2
P31
台灣西南海域
太
平
洋
大
西
洋

台灣西南海域甲烷水合物調查研究

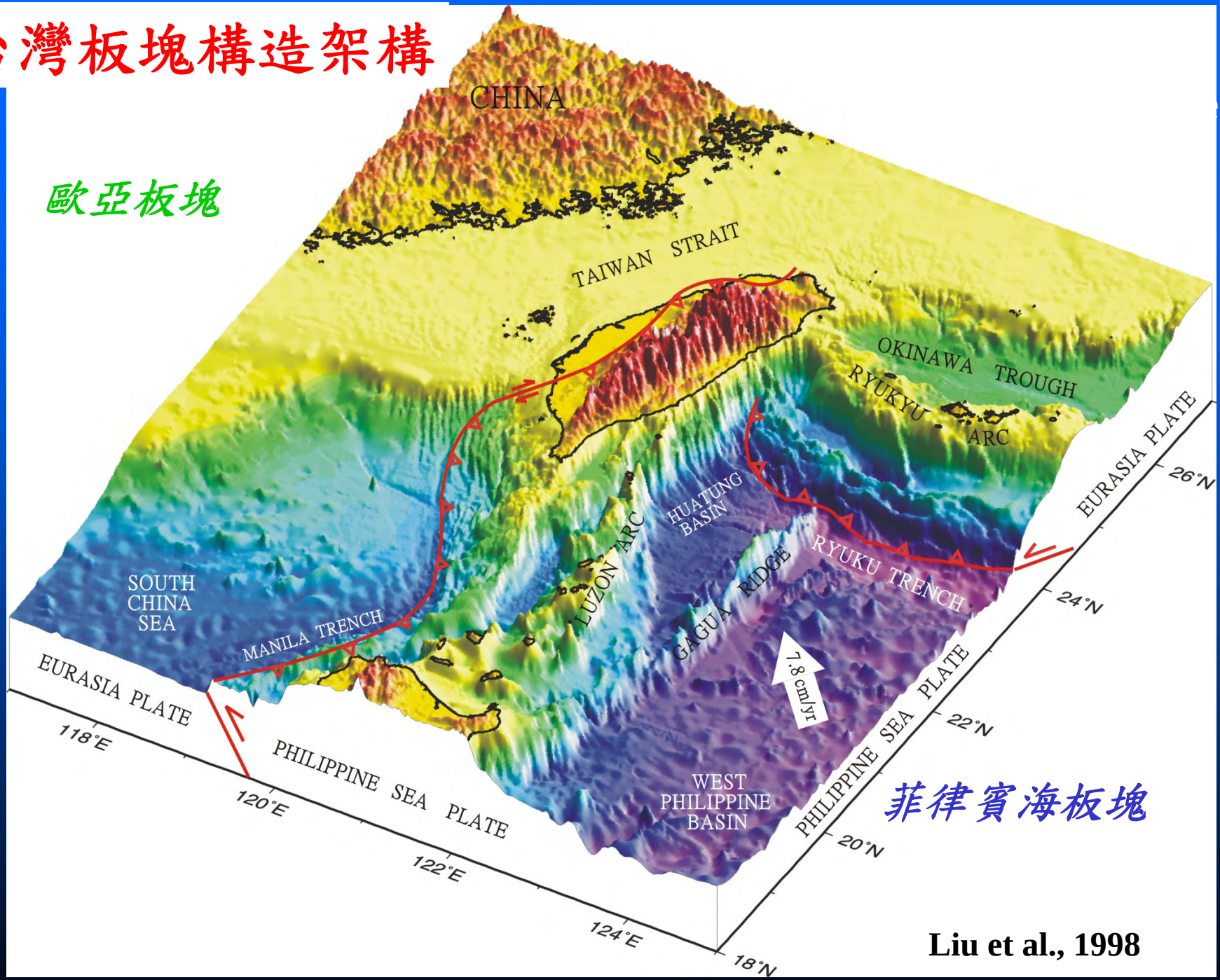
中央地質調查所四年計畫
2004-2007

＊找到台灣的**Hydrate Ridge**
2D與3D震測、 OBS震測
地熱量測、地質構造與沉積分析
海床岩心標本採集、有機碳分析
SO_4-CH_4分析、微生物群體研究

＊建立沉積演化史, 調查甲烷水合物之分布與儲量

＊ROV現場觀測與採樣

台灣板塊構造架構



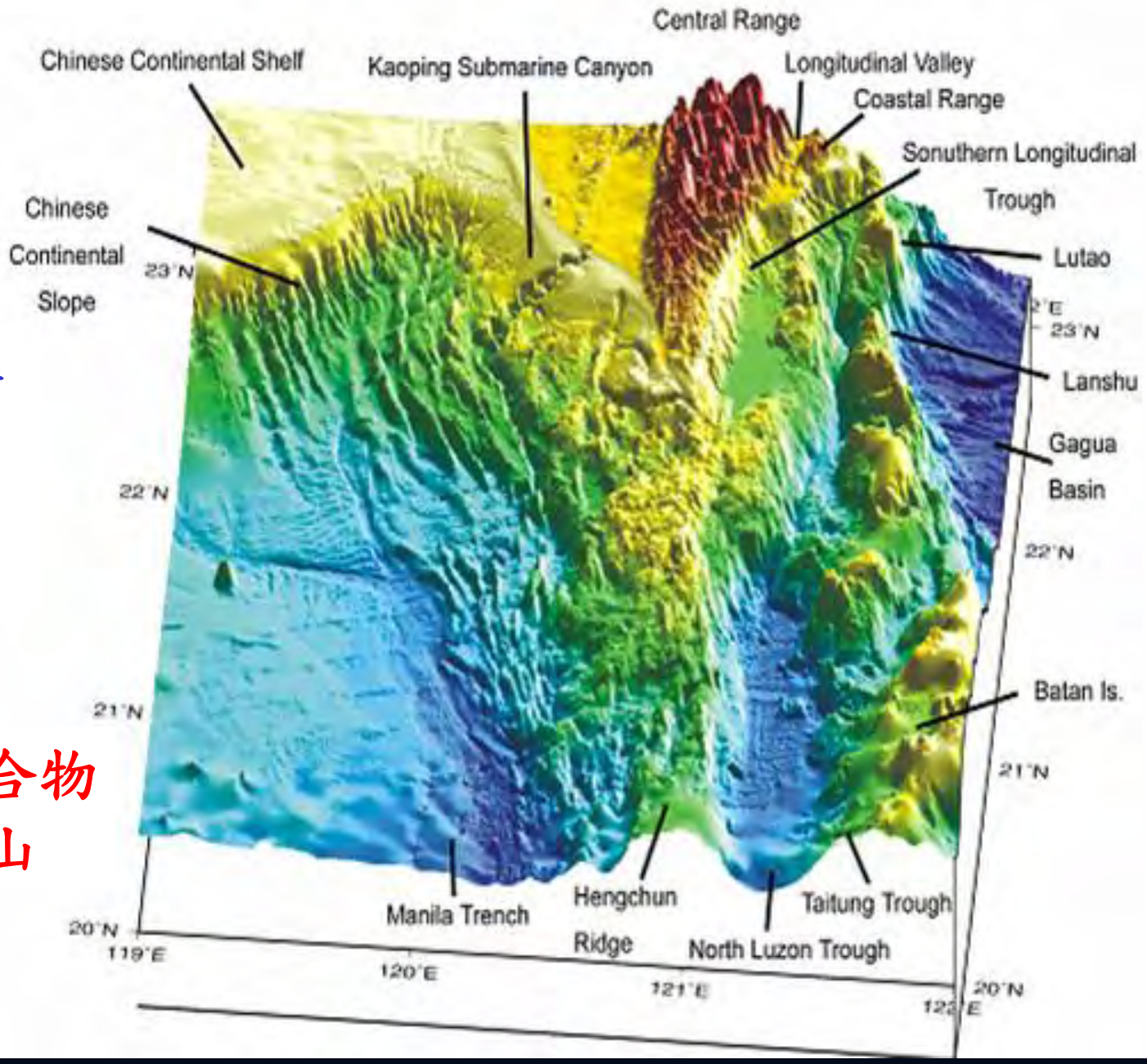
Liu et al., 1998

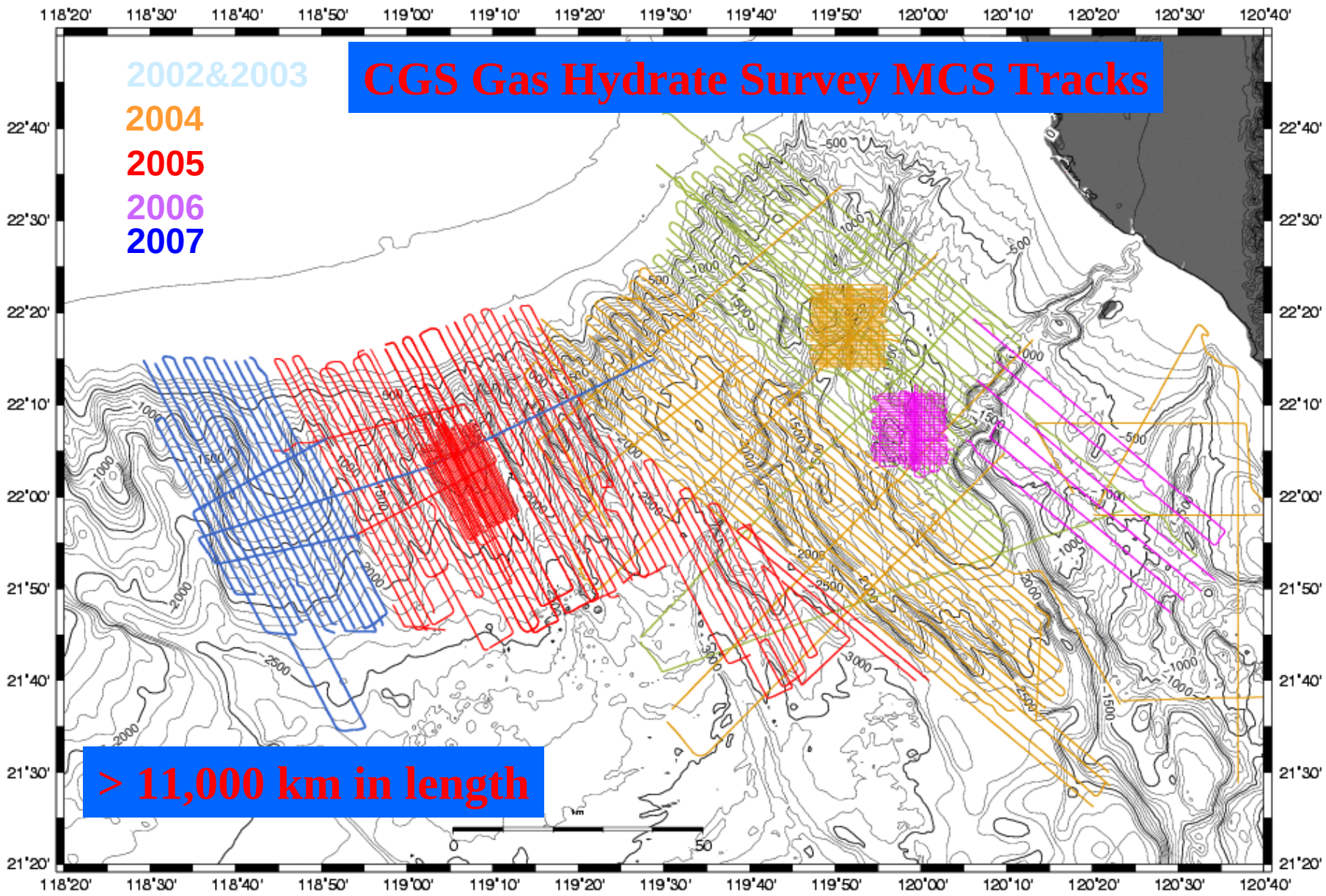
台灣南部海域地形

從隱沒到碰撞

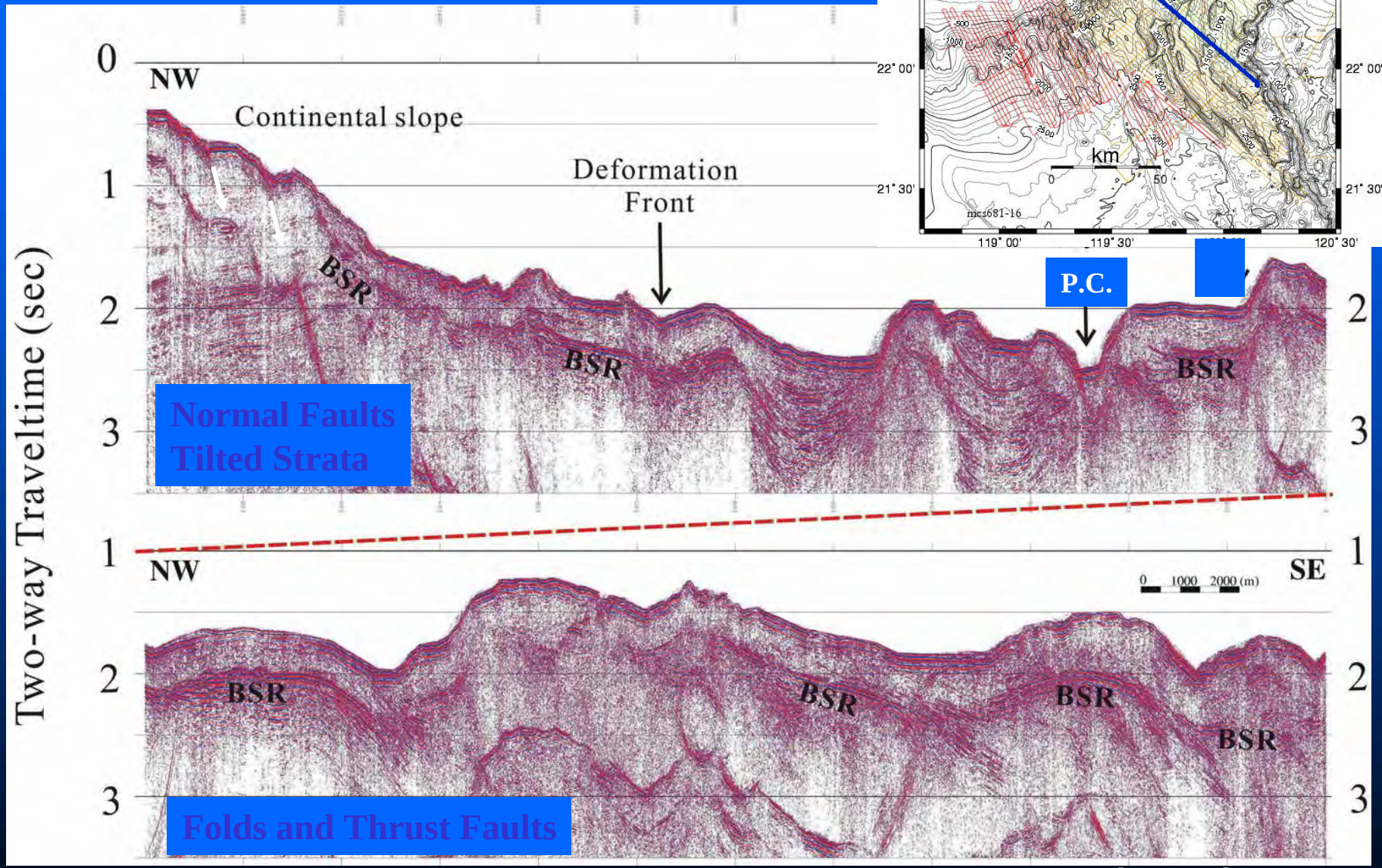
大量沈積物
快速沈積

@ 天然氣水合物
@ 海底泥火山



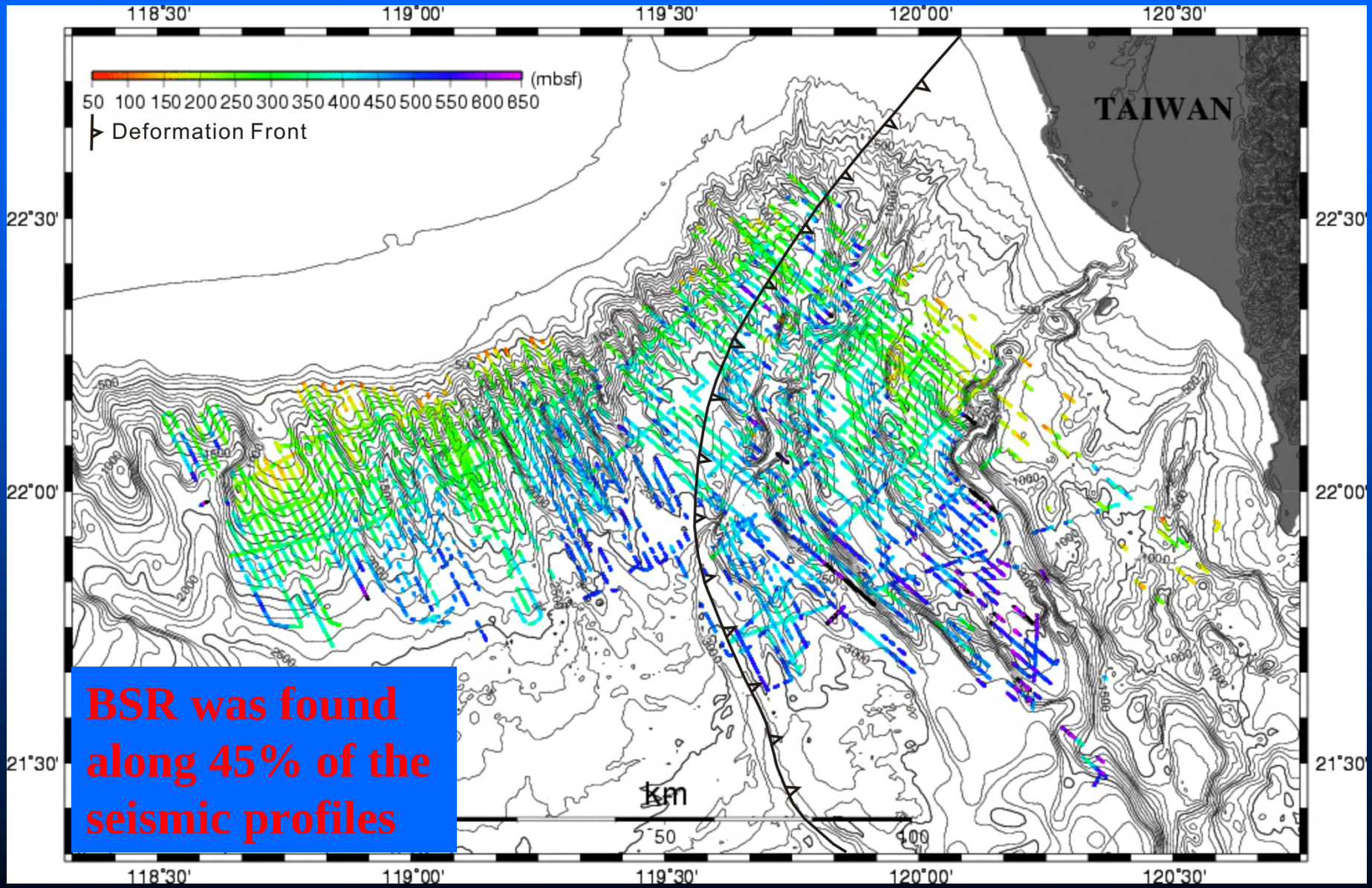

CGS Gas Hydrate Survey MCS Tracks
2002&2003
2004
2005
2006
2007
> 11,000 km in length
118°20'
118°30'
118°40'
118°50'
119°00'
119°10'
119°20'
119°30'
119°40'
119°50'
120°00'
120°10'
120°20'
120°30'
120°40'
22°40'
22°30'
22°20'
22°10'
22°00'
21°50'
21°40'
21°30'
21°20'
km
0
50

BSR 廣佈於台灣西南海域

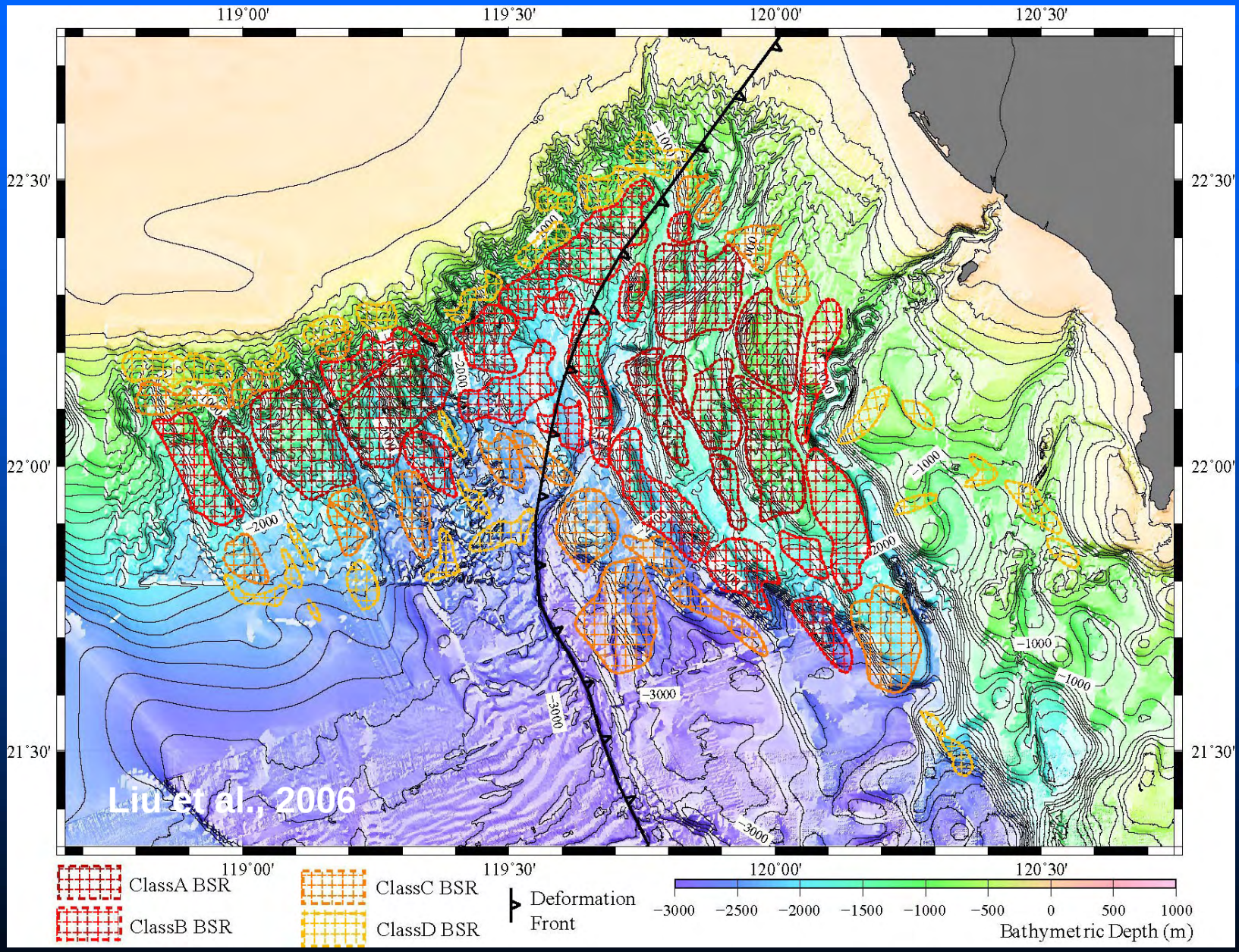


Liu et al., 2006

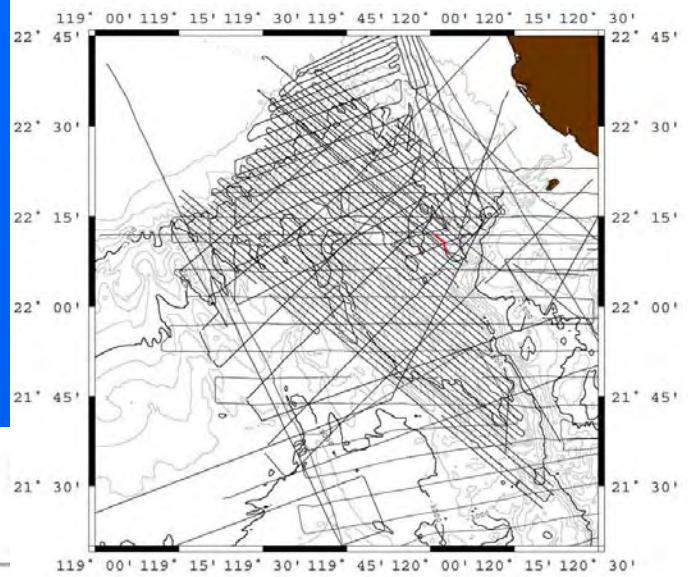
BSR Distribution Offshore Southwestern Taiwan

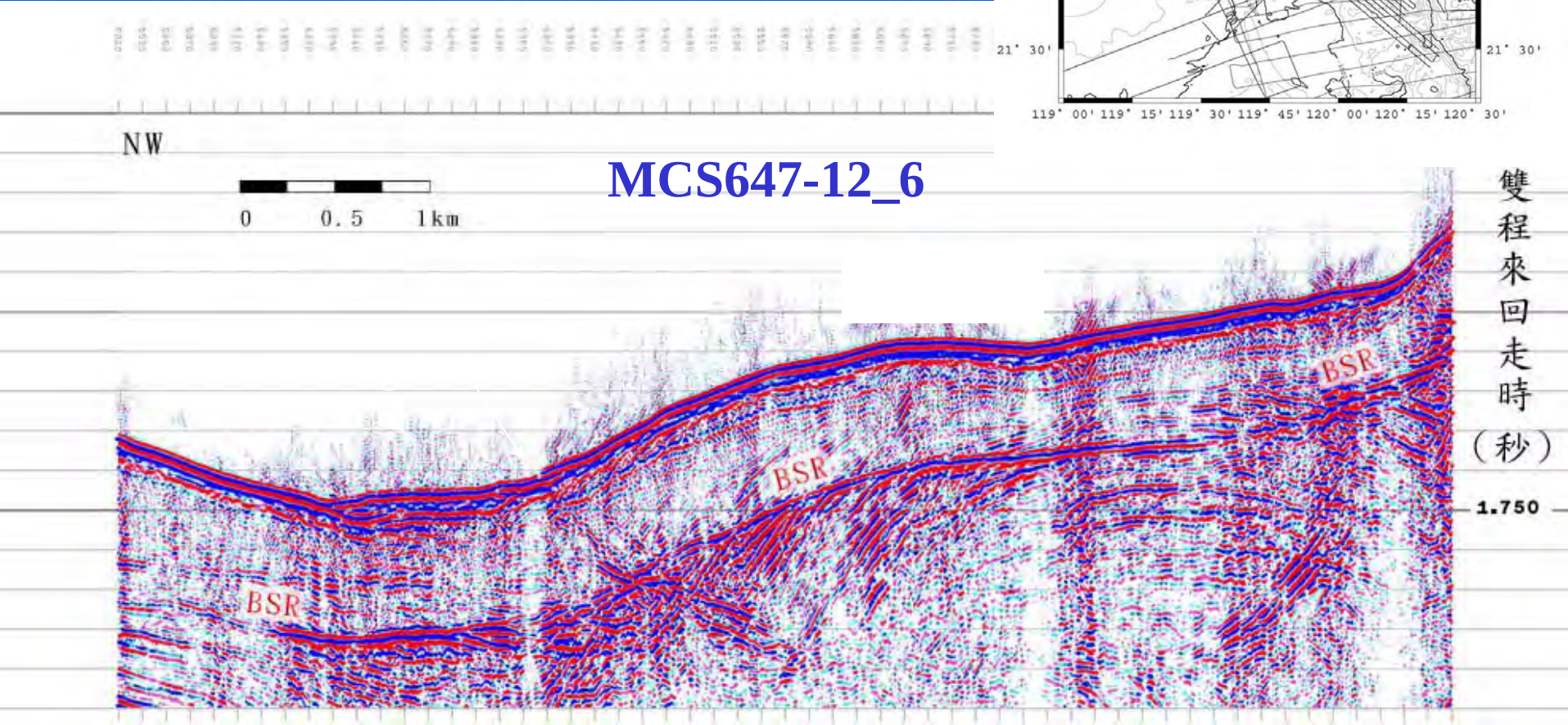


Gas Hydrate Concentrated Under Slope Ridges

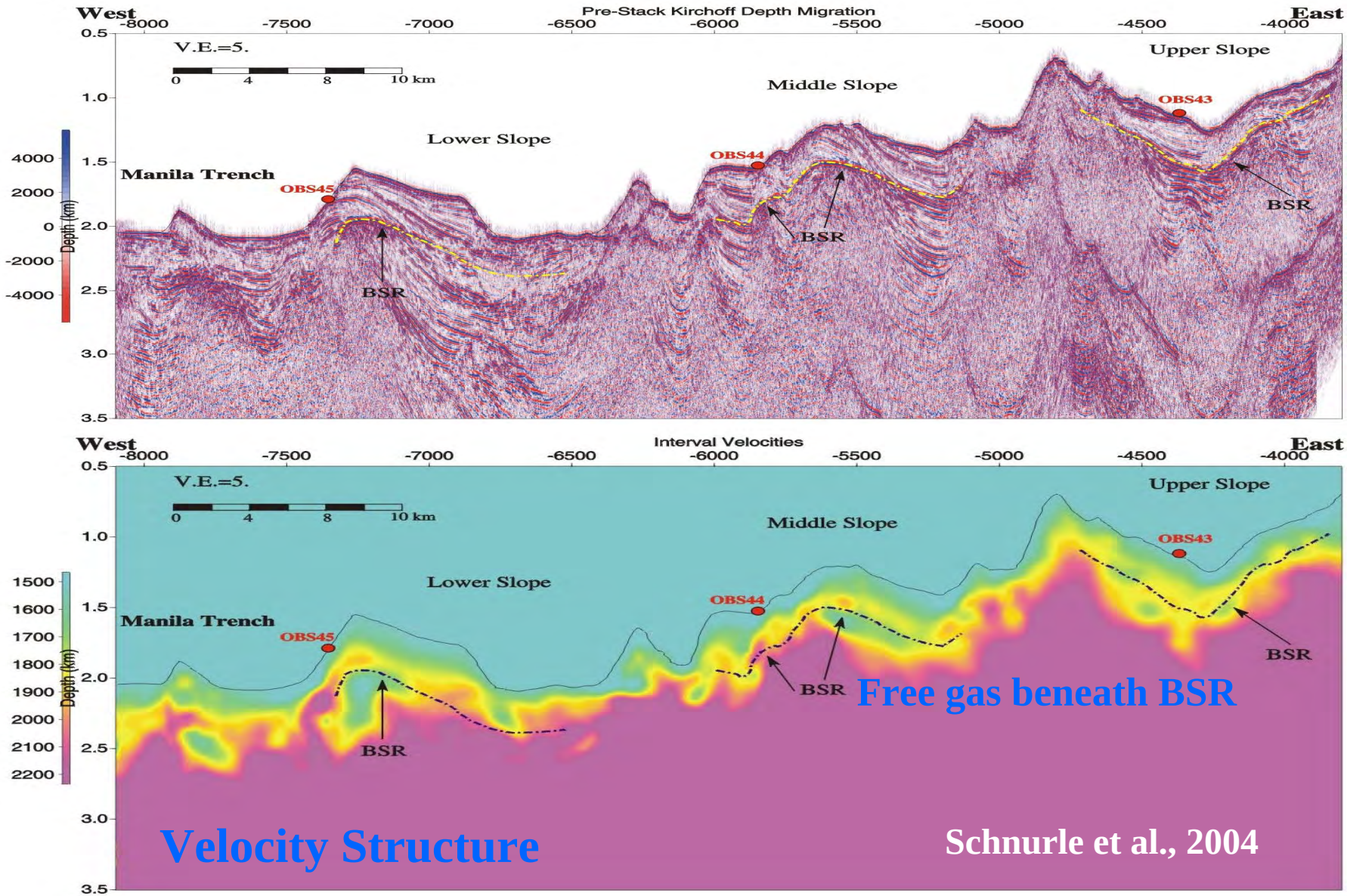


BSR Beneath Accretionary Wedge

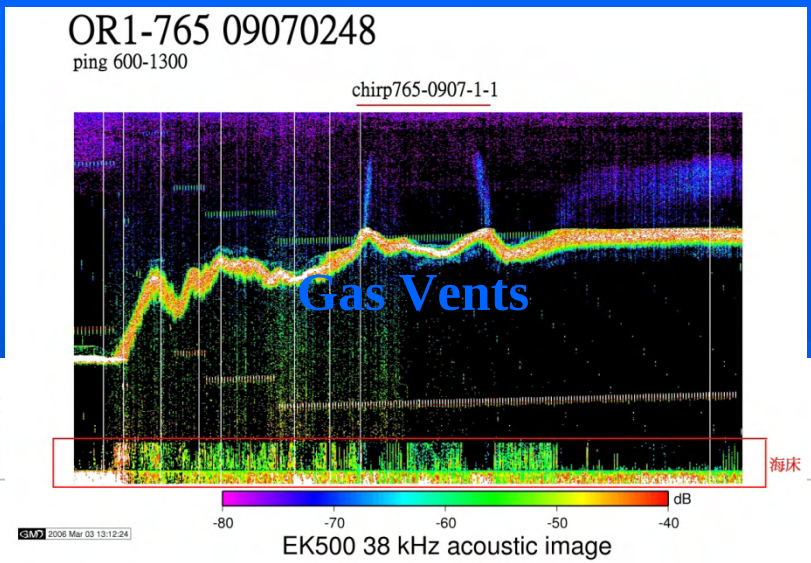


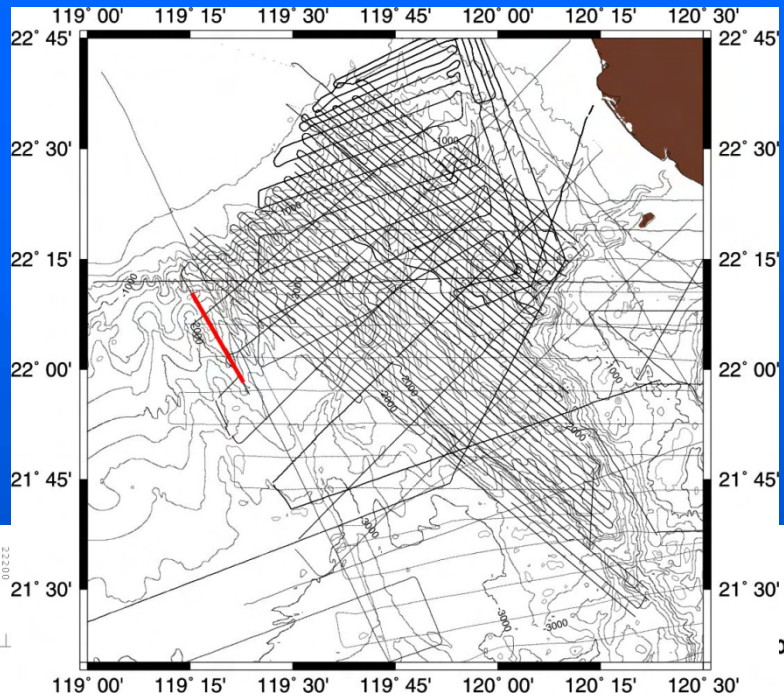


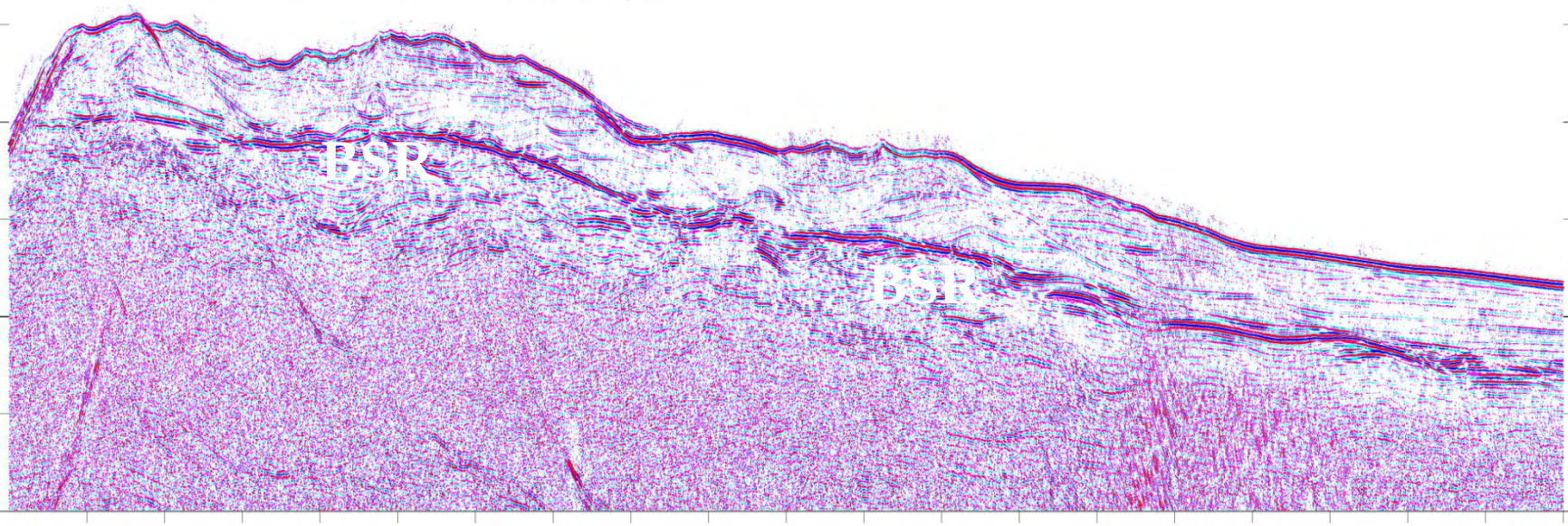
EW9509-33 Pre-Stack Kirchoff Depth Migration Profile



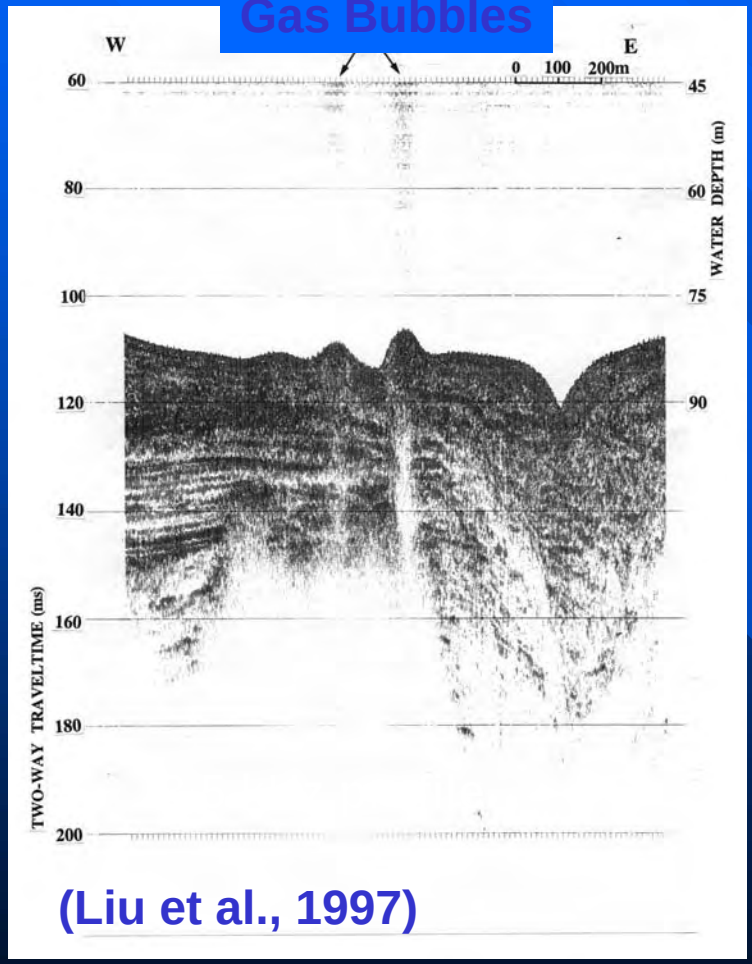
Passive Continental Slope



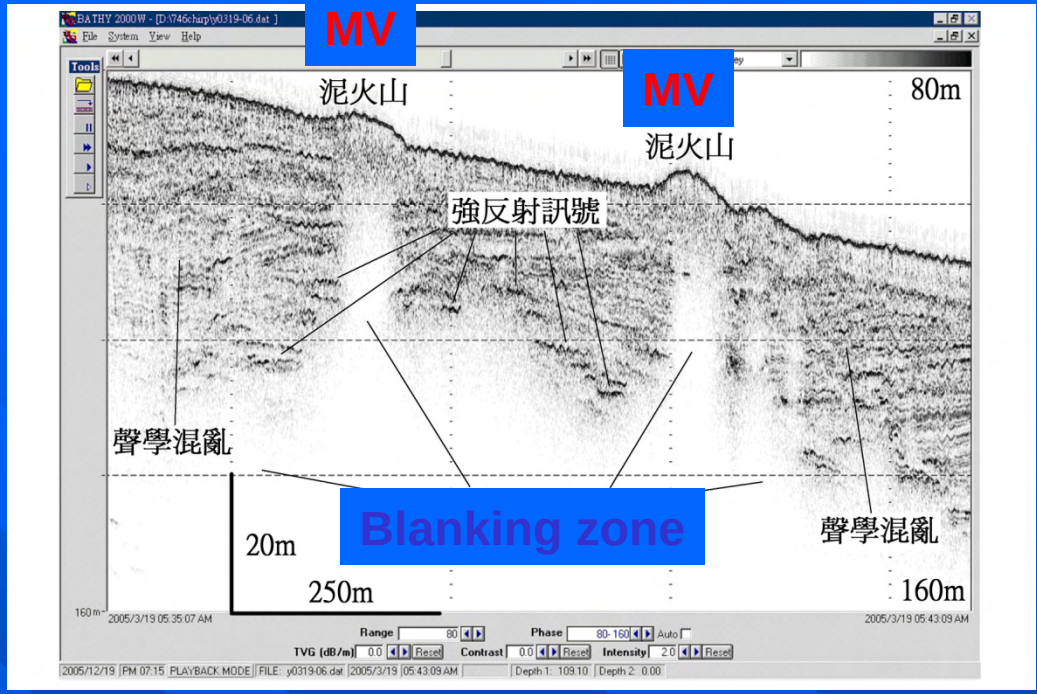


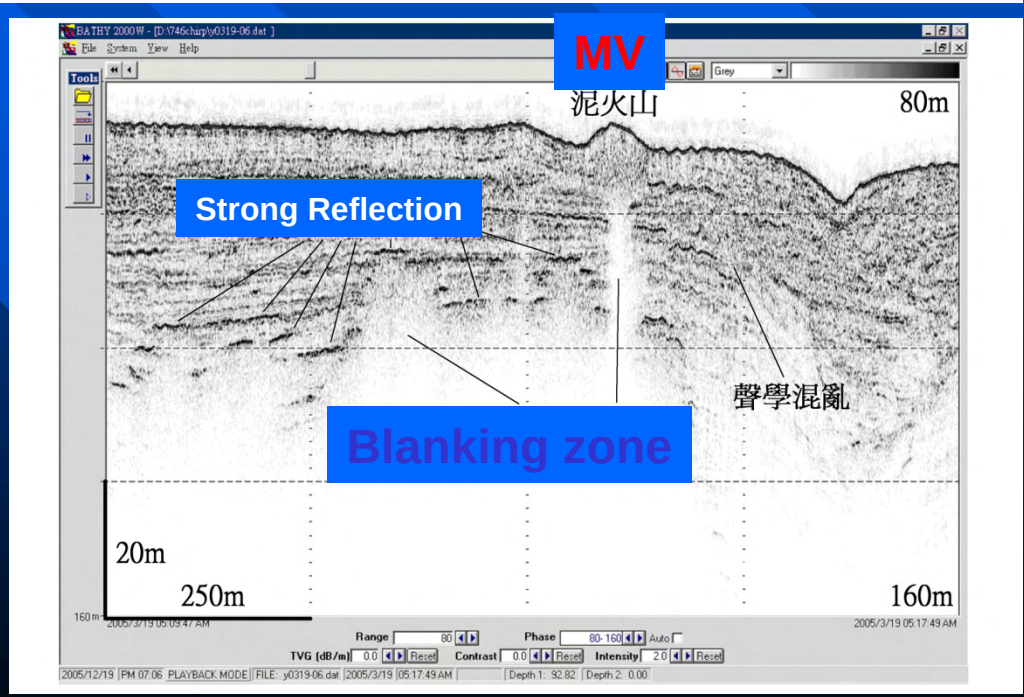


Mud Volcanoes West of Fanliao Canyon

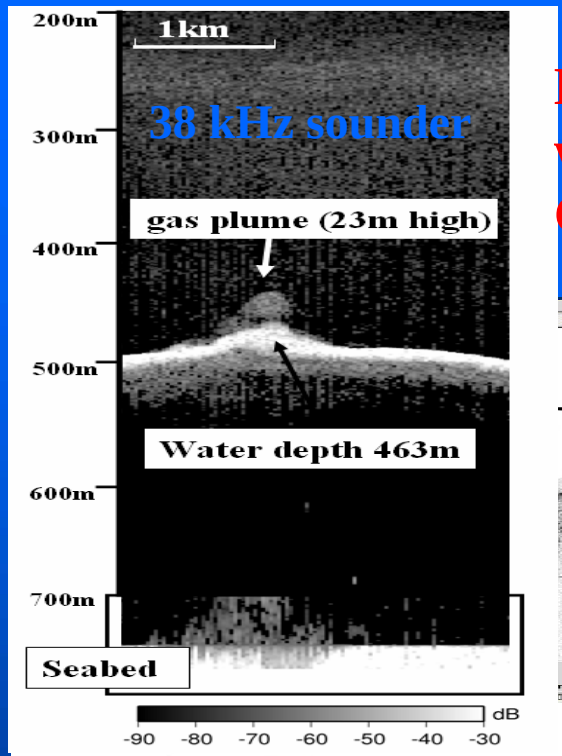


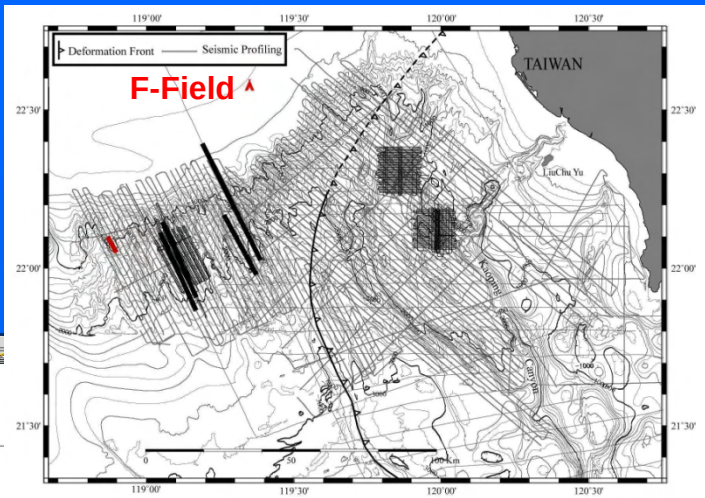
(Liu et al., 1997)

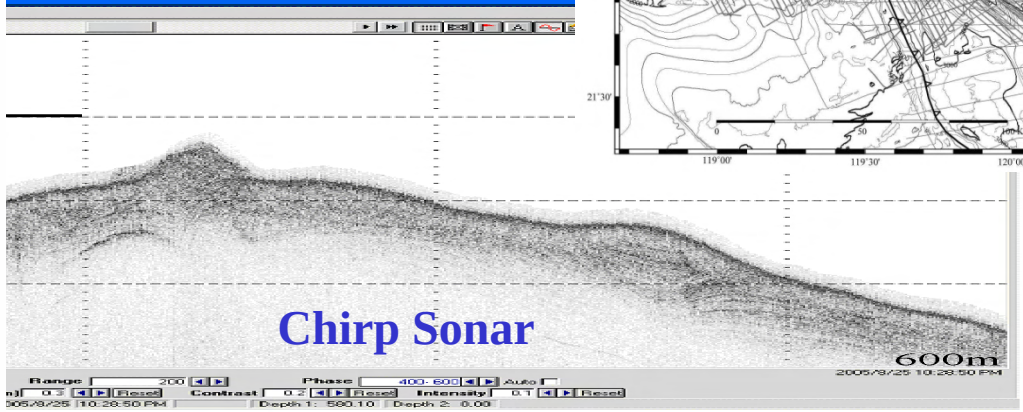


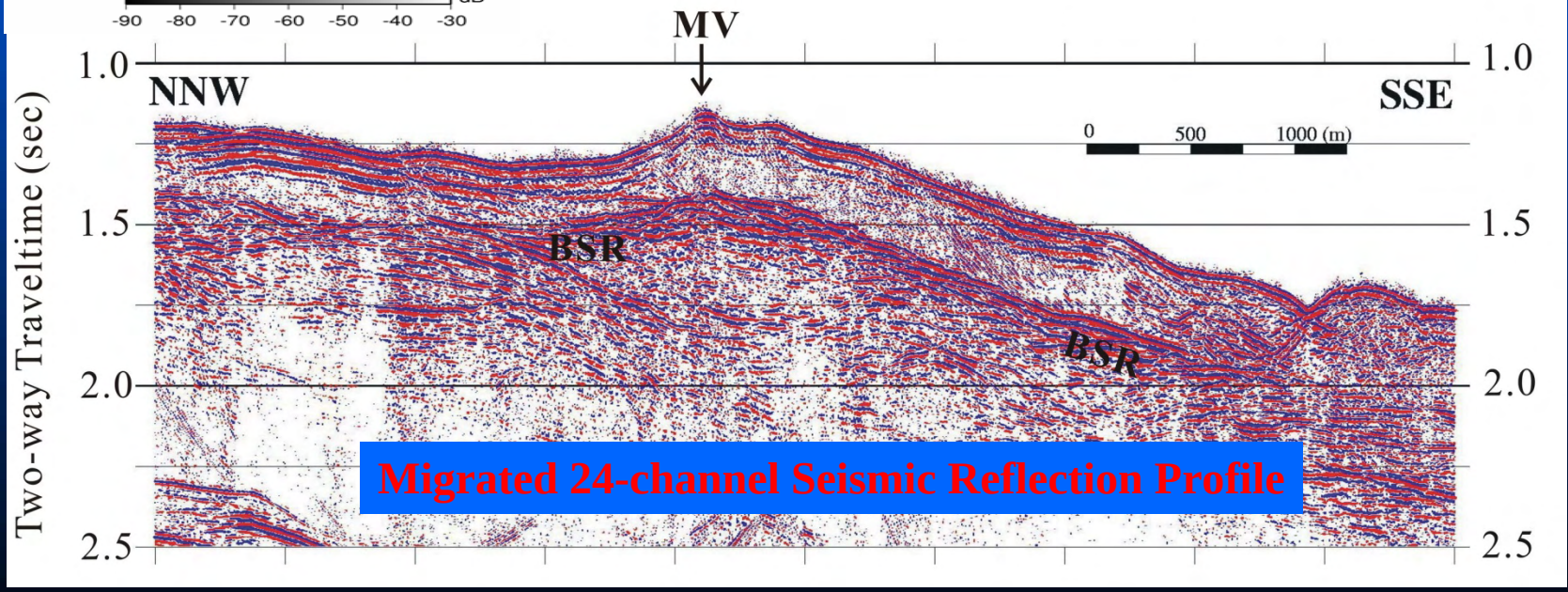


Mud Volcano Associated with BSR in Passive Continental Margin

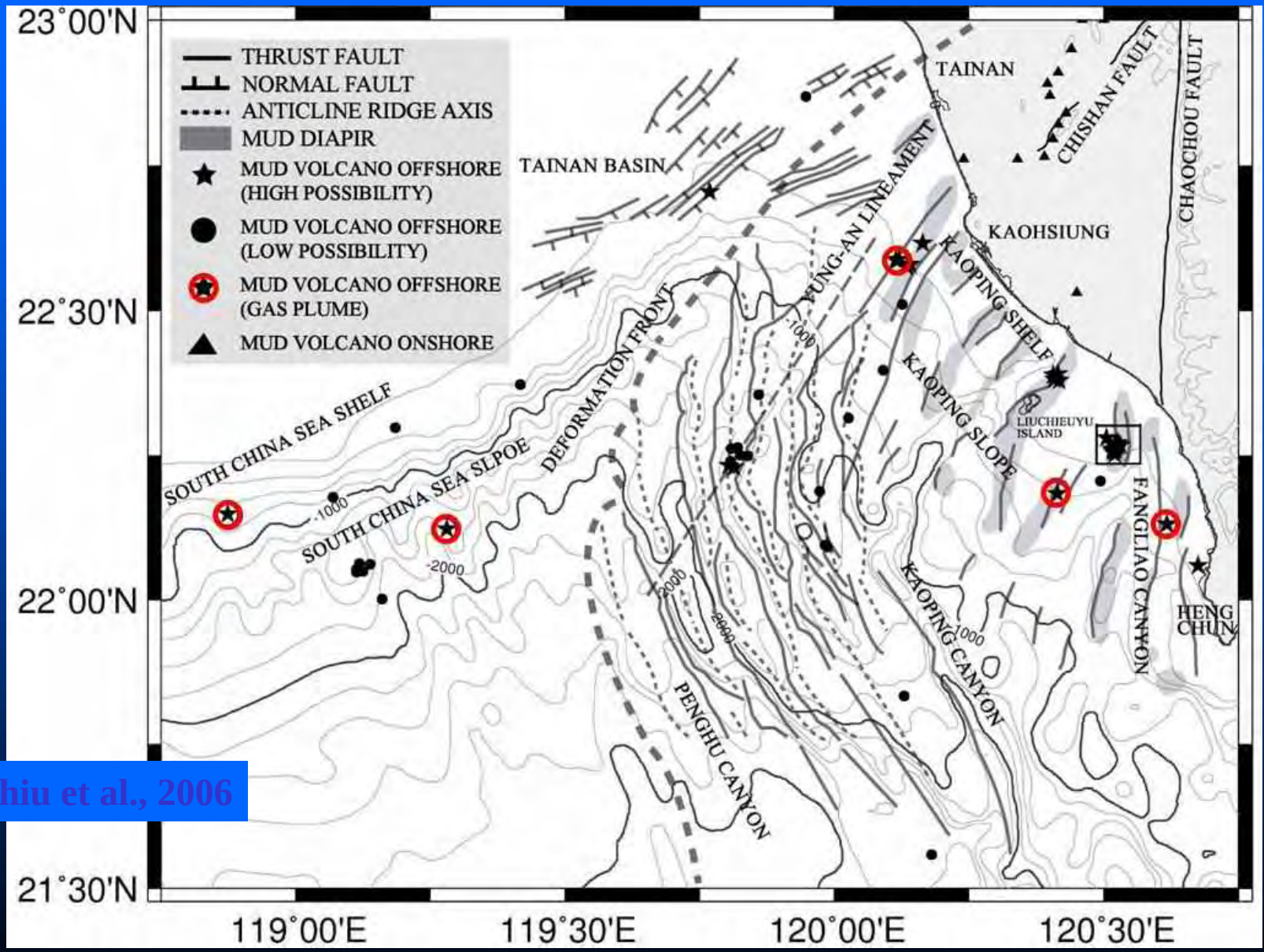








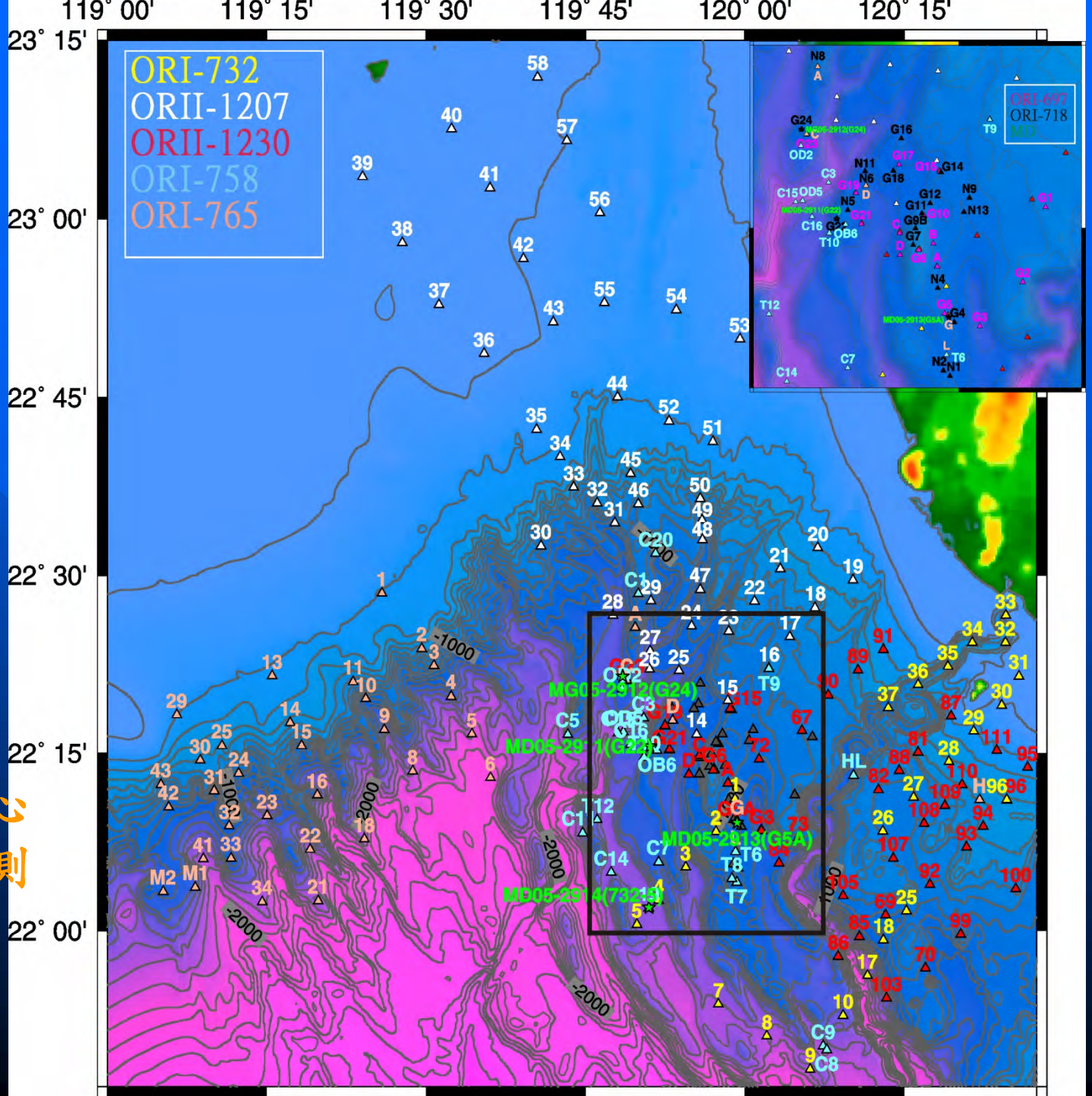
Distribution of Mud Volcanoes and Dirpirs off SW Taiwan



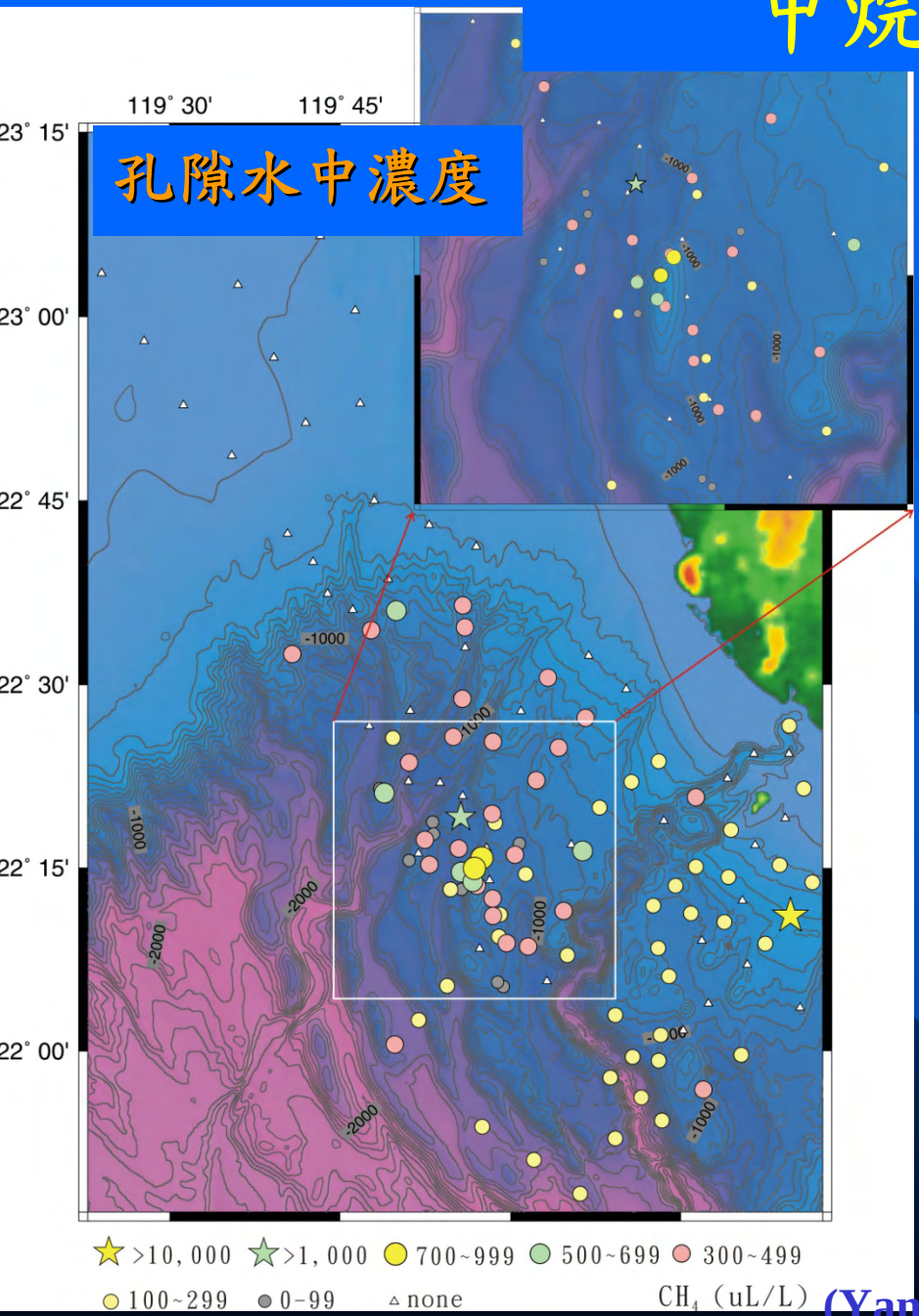
Chiu et al., 2006

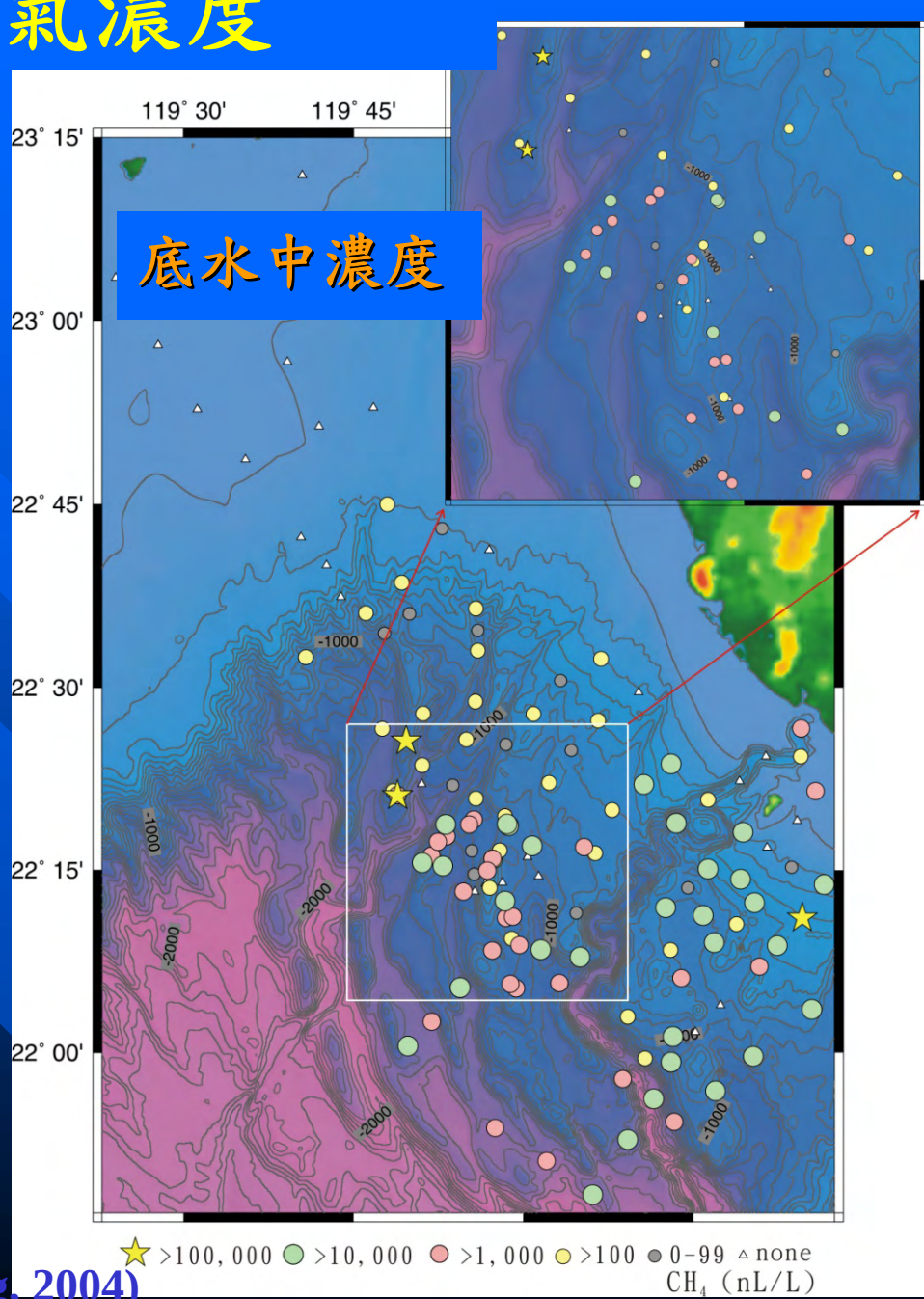
地質與地球化學調查
岩心採樣位置

111 重力岩心
56 活塞岩心
4 巨型活塞岩心
10 海底照相探測

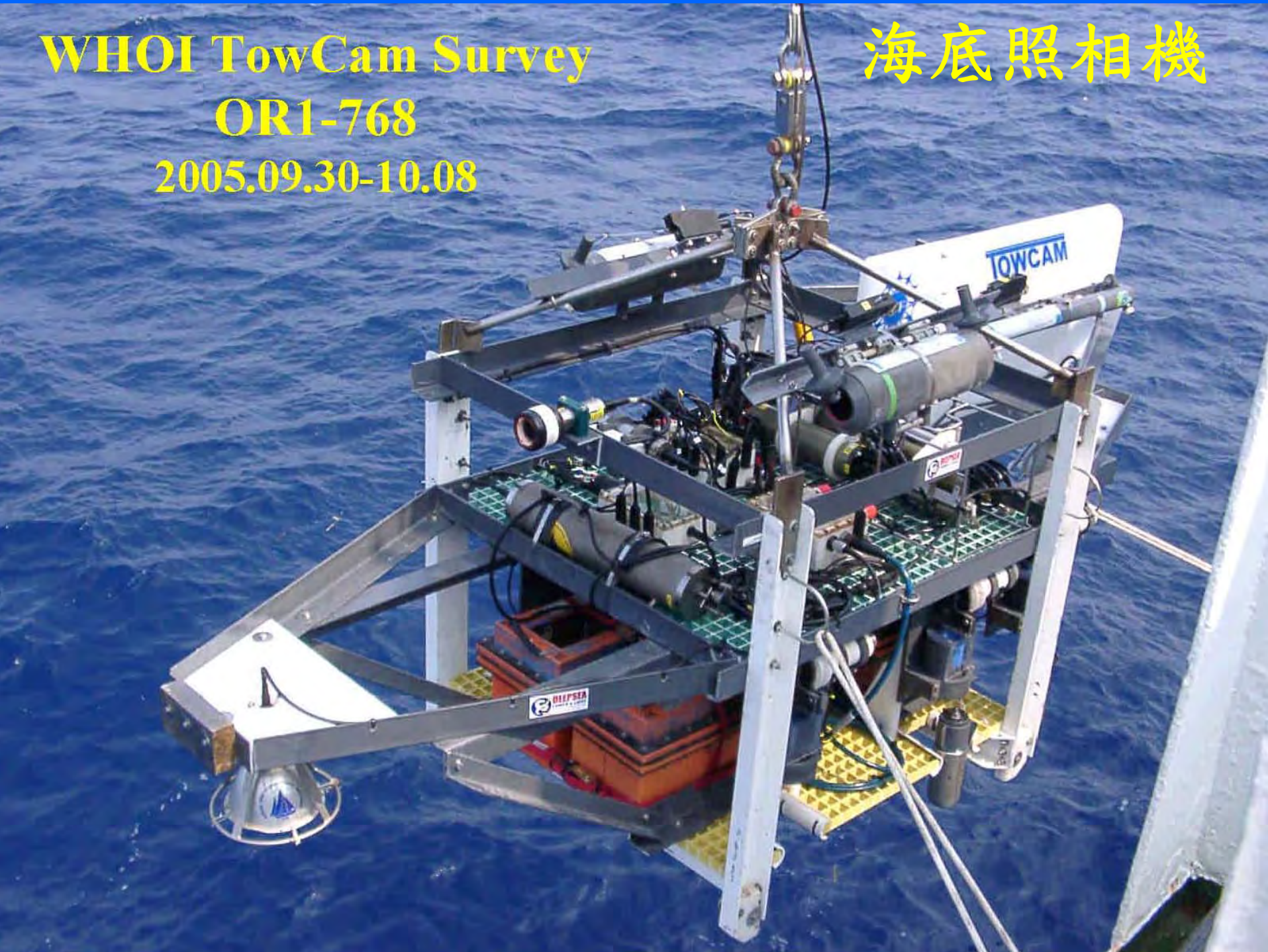


甲烷氣濃度

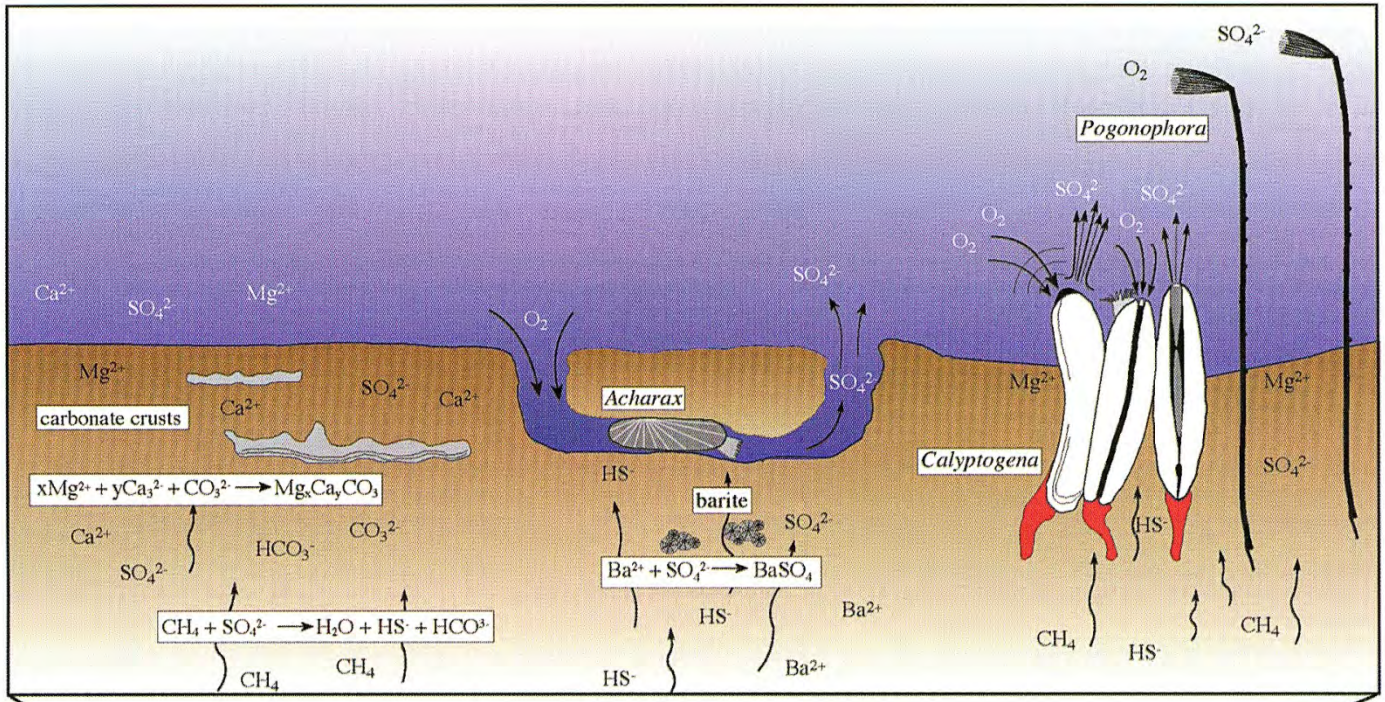


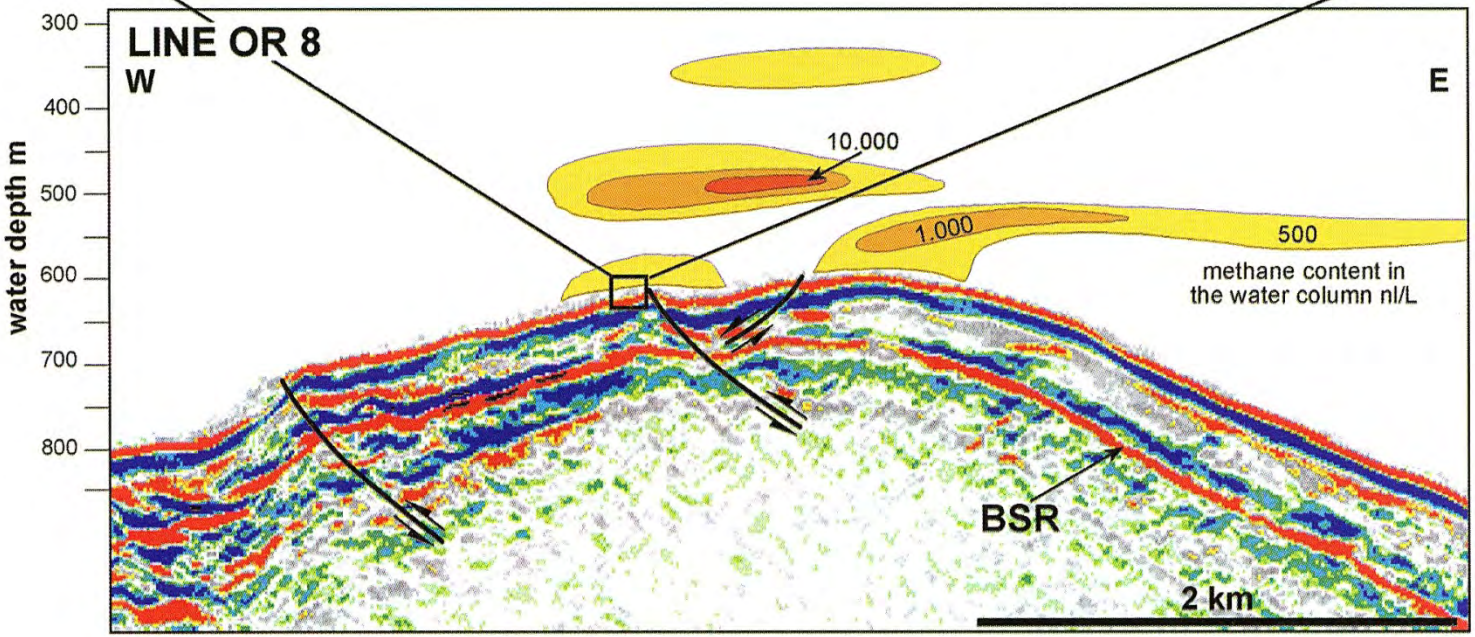


(Yang, 2004)


WHOI TowCam Survey
OR1-768
2005.09.30-10.08
海底照相機
TOWCAM

冷泉生物群、自生性碳酸岩






AUTHIGENIC CARBONATE
AUTHIGENIC CARBONATE MOUNDS AND CHIMNEYS
DEAD COLONY OF CALYPTOGENA SP.
CHEMOSYNTHETIC COMMUNITIES
(Saulwood Lin, 2005)
CHIMNEYS

福爾摩沙海脊上形成之甲烷水合物

NARL JAMSTEC

台灣西南海域為世界級之天然氣水合物賦存地區

Wide distribution of Gas hydrate off SW Taiwan

天然氣水合物廣佈

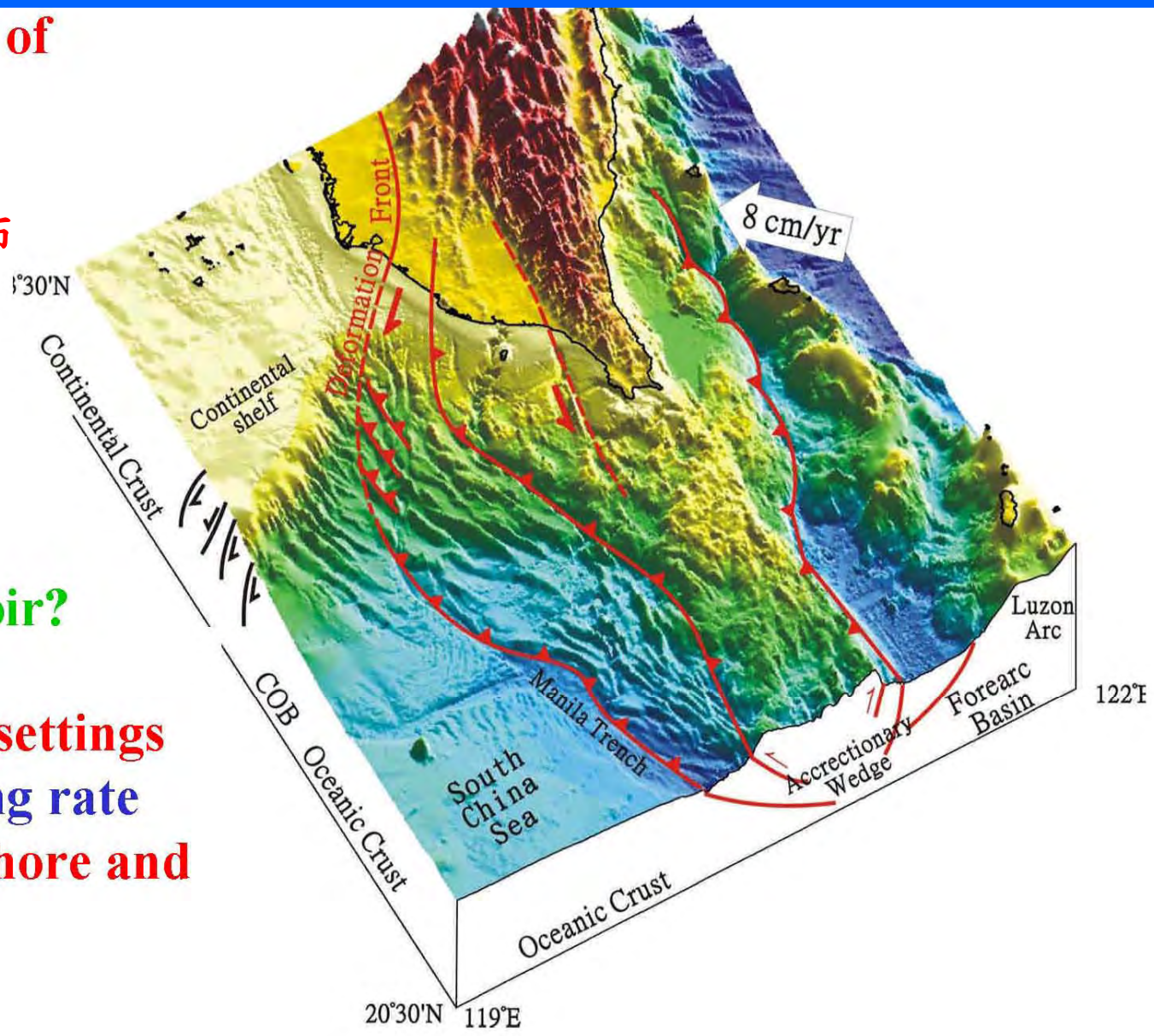
Good Research Opportunities:

Sources?

Migration paths?

Traps and reservoir?

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



(from USGS)

謝謝