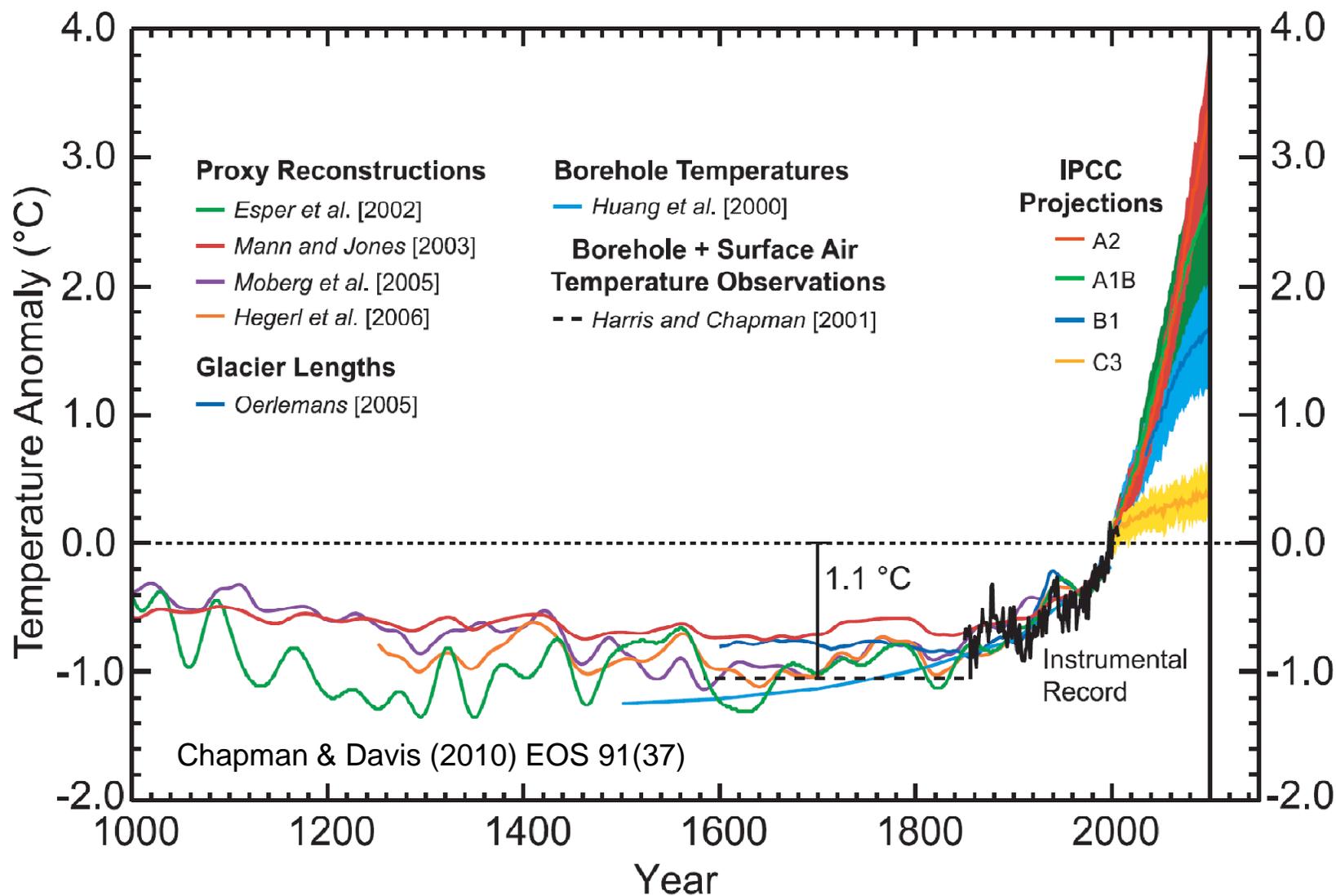


台灣二氧化碳地質封存潛能 及安全性

林殿順
國立中央大學
地球科學系

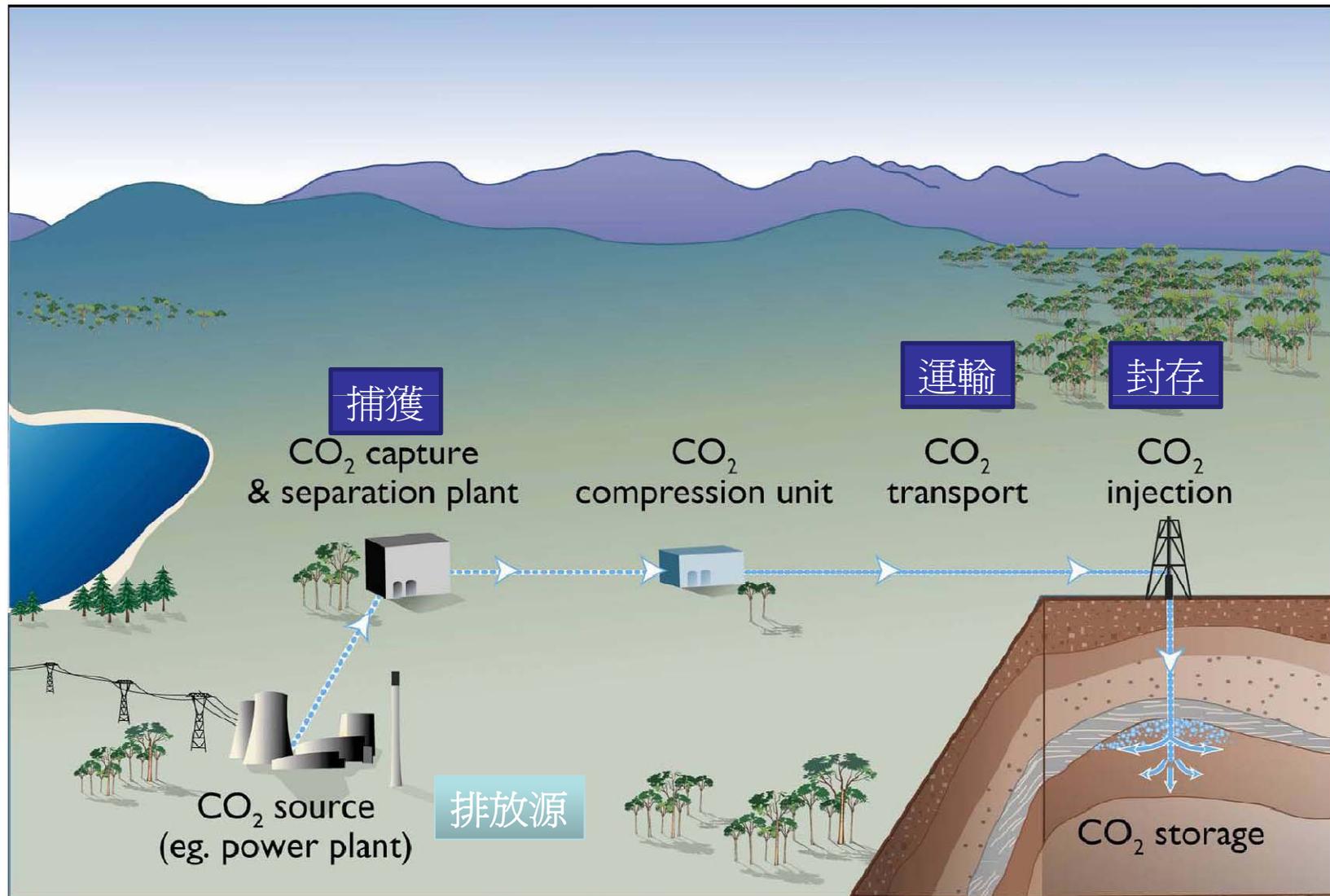
2010.11.9

全球暖化已不可避免 人類應將暖化程度降至最低



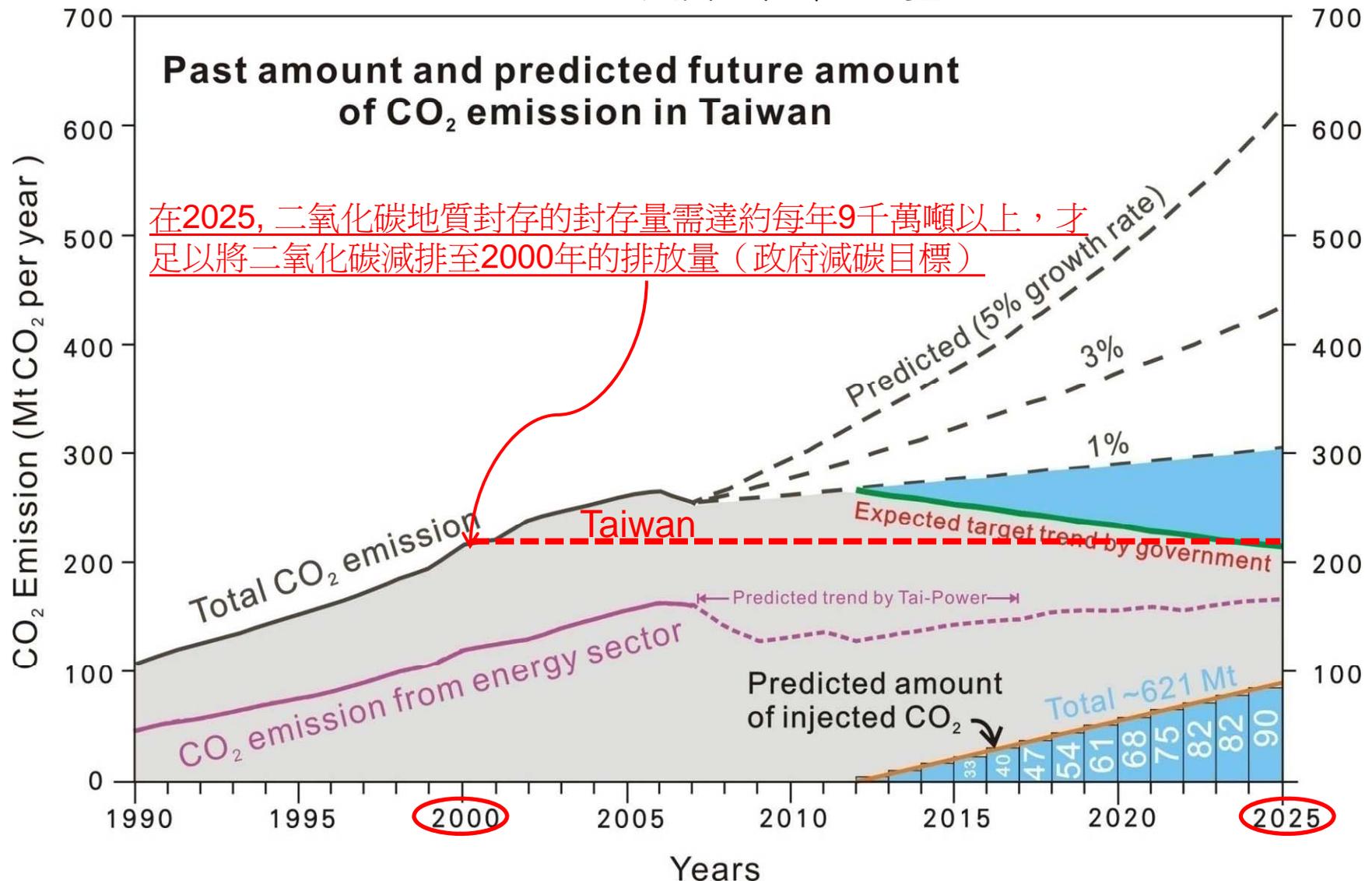
全球1000年至2000年大氣溫度以及IPCC預測2006-2100年的可能溫度趨勢

二氧化碳捕獲與封存（Carbon Capture and Storage，CCS）能夠大量減排二氧化碳



資料來源：澳洲CO2CRC

台灣1990-2007二氧化碳排放量以及 2008-2025的預測排放量



1990-2007二氧化碳排放量數據引自經濟部能源局

台灣二氧化碳主要 排放源、地質區及 活斷層分佈

二氧化碳主要排放源：

燃煤火力發電廠
石化廠

主要排放源位於西部沿海



二氧化碳年排放量大於一百萬噸之排放源

排名	排放源	公司	發電量 (百萬 MWh)	排碳量 (百萬噸)
1	台中發電廠	台灣電力公司	39.2	39.7
2	麥寮發電廠	麥寮汽電股份有限公司	32.9	29.9
3	興達發電廠	台灣電力公司	19.5	15.2
4	和平發電廠	和平電力股份有限公司	7.2	6.2
5	林口發電廠	台灣電力公司	3.9	4.4
6	新港石化廠	台灣化學纖維股份有限公司		3.1
7	仁武石化廠	台灣塑膠工業股份有限公司		3.0
8	台塑海豐廠	台塑石化股份有限公司		2.8
9	麥寮石化廠	台塑石化股份有限公司		2.7
10	華亞汽電	華亞汽電股份有限公司	2.0	2.6
11	深奧發電廠	台灣電力公司	1.9	2.5
12	通宵發電廠	台灣電力公司	7.5	2.4
13	大林發電廠	台灣電力公司	5.5	2.0
14	台灣化纖彰化廠	台灣化學纖維股份有限公司		1.7
15	協和發電廠	台灣電力公司	4.2	1.6
16	大潭發電廠	台灣電力公司	4.3	1.5
17	森霸電力	台灣汽電共生股份有限公司	4.0	1.2
18	長生電力	長生電力股份有限公司	4.0	1.2
19	尖山發電廠	台灣塑膠工業股份有限公司	0.7	1.0

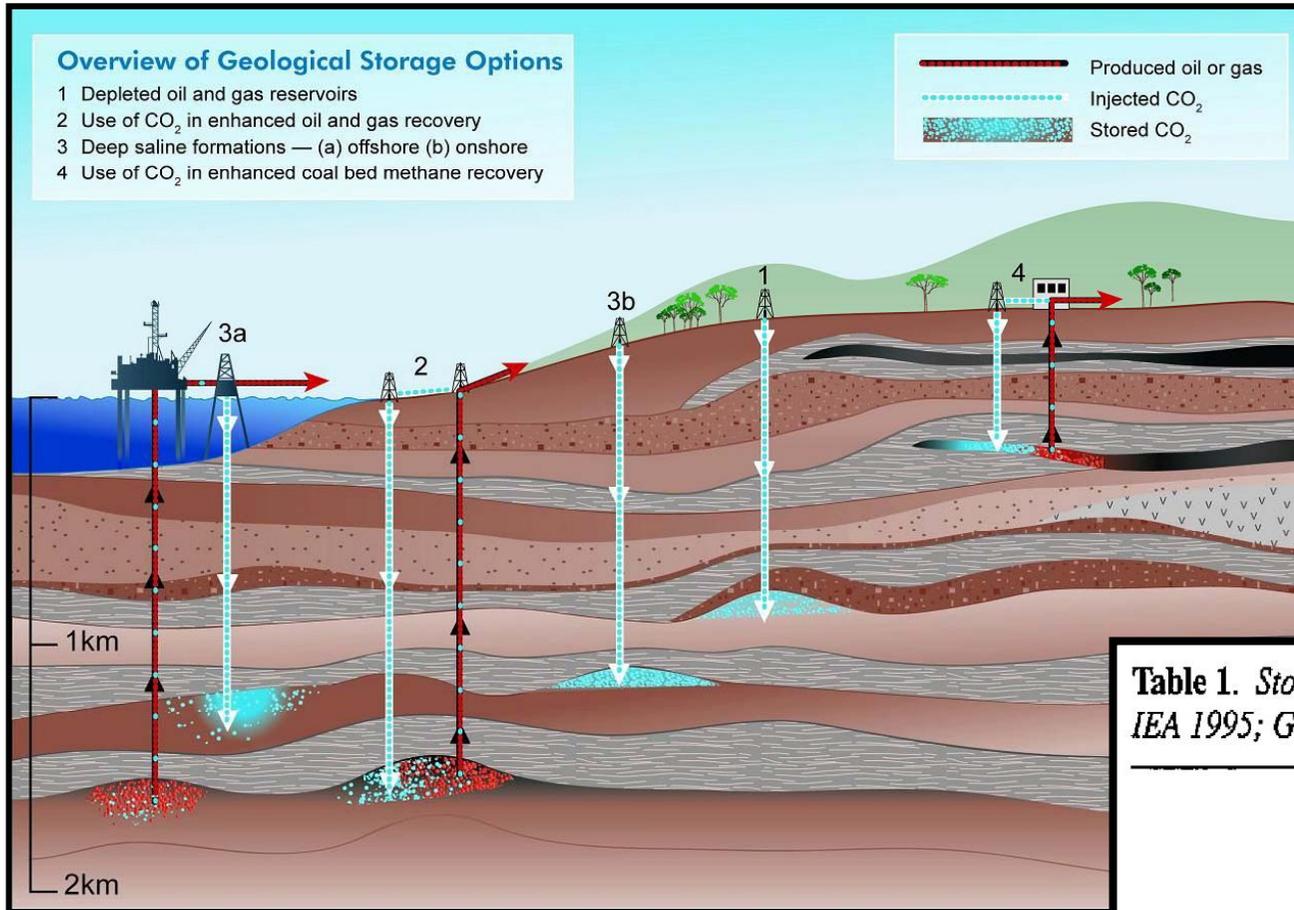
排碳量公司排名：

1. 台電
2. 台塑



台中火力發電廠

二氧化碳地質封存模式



IPCC建議封存模式：

1. 耗竭油氣田
2. CO₂油氣增產
3. 深鹽水層：
(3a)海域，(3b)陸上
4. CO₂煤層氣增產

IPCC (2005)

深鹽水層封存量最大 →

Table 1. Storage capacity in sedimentary basins (from IEA 1995; Gunter et al. 1998; Stevens et al. 1999)

	Global capacity (GTC)	US capacity (GTC)	Canada capacity (GTC)
Depleted oil reserve	40–190	10–14	0.6
Depleted gas reserve	140–310	20–30	4
Brine formation	87–2700	1–130	>10
Unminable coal	5–40	4–5	4

GTC, Giga Tonnes carbon

全球二氧化碳地質封存計畫



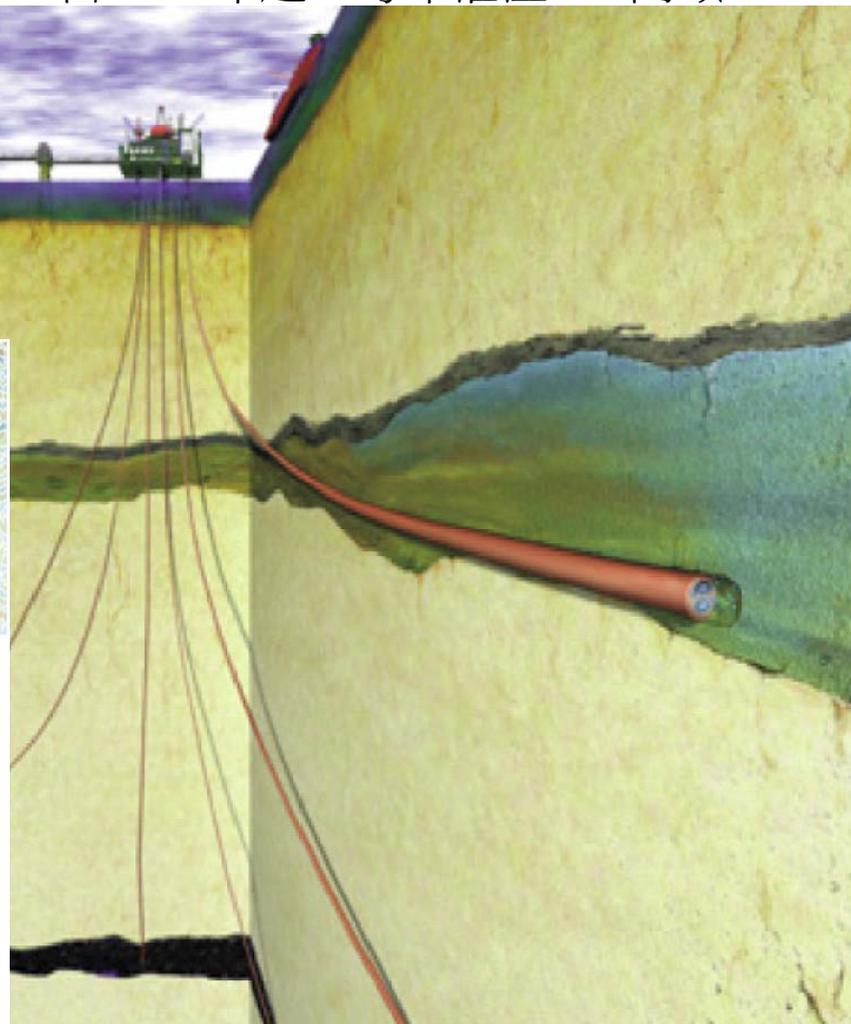
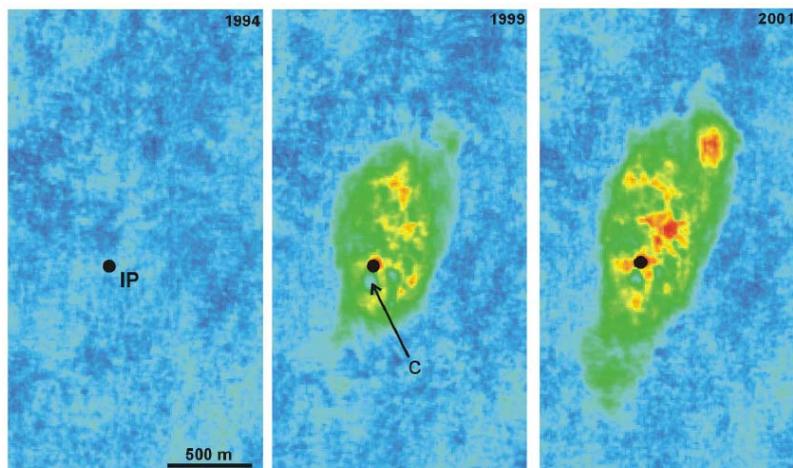
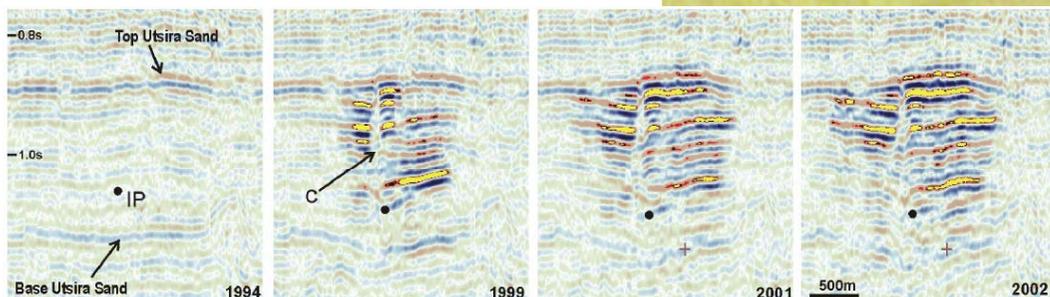
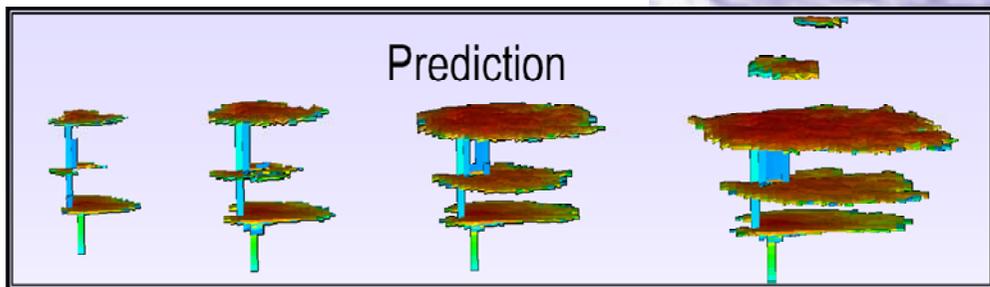
資料來源：www.ieaghg.org IEA 2010.10.27

二氧化碳海域鹽水層封存：挪威外海 Sleipner

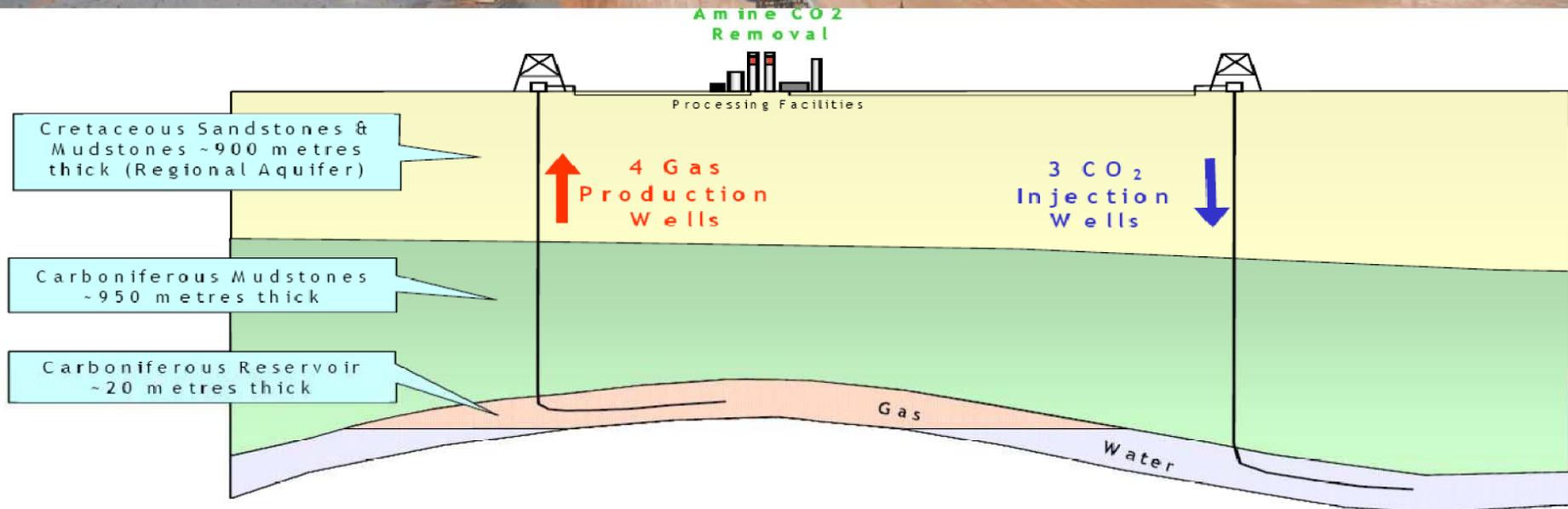
自1996年起，每年灌注100萬噸

6 months

3 yrs

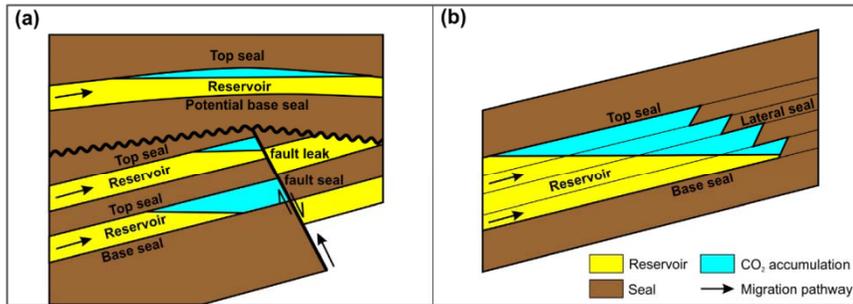


CO₂油氣增產：阿爾及利亞 陸上In Salah氣田

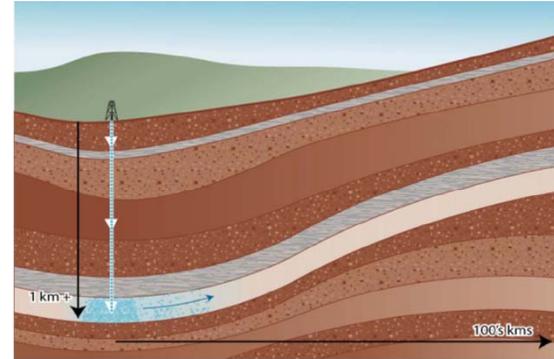


二氧化碳地質封存機制

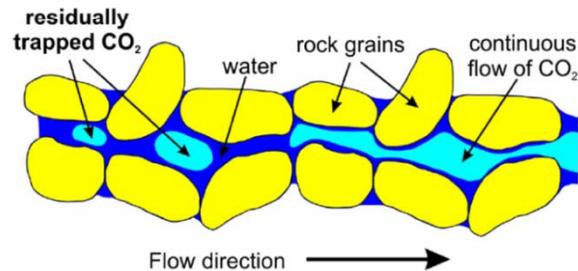
1. 構造與地層封存



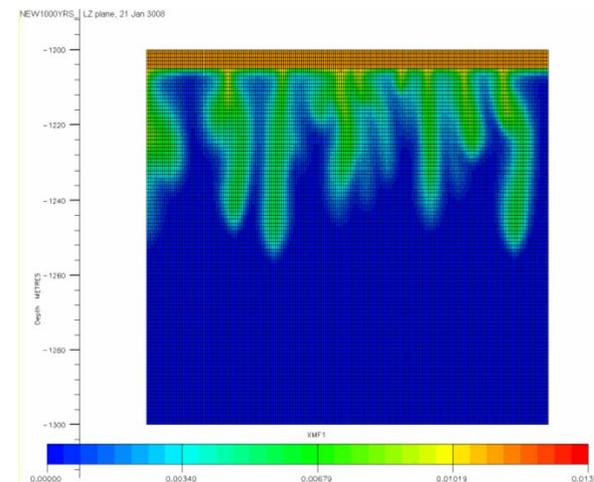
2. 開放鹽水層移棲封存



3. 殘餘飽和封存



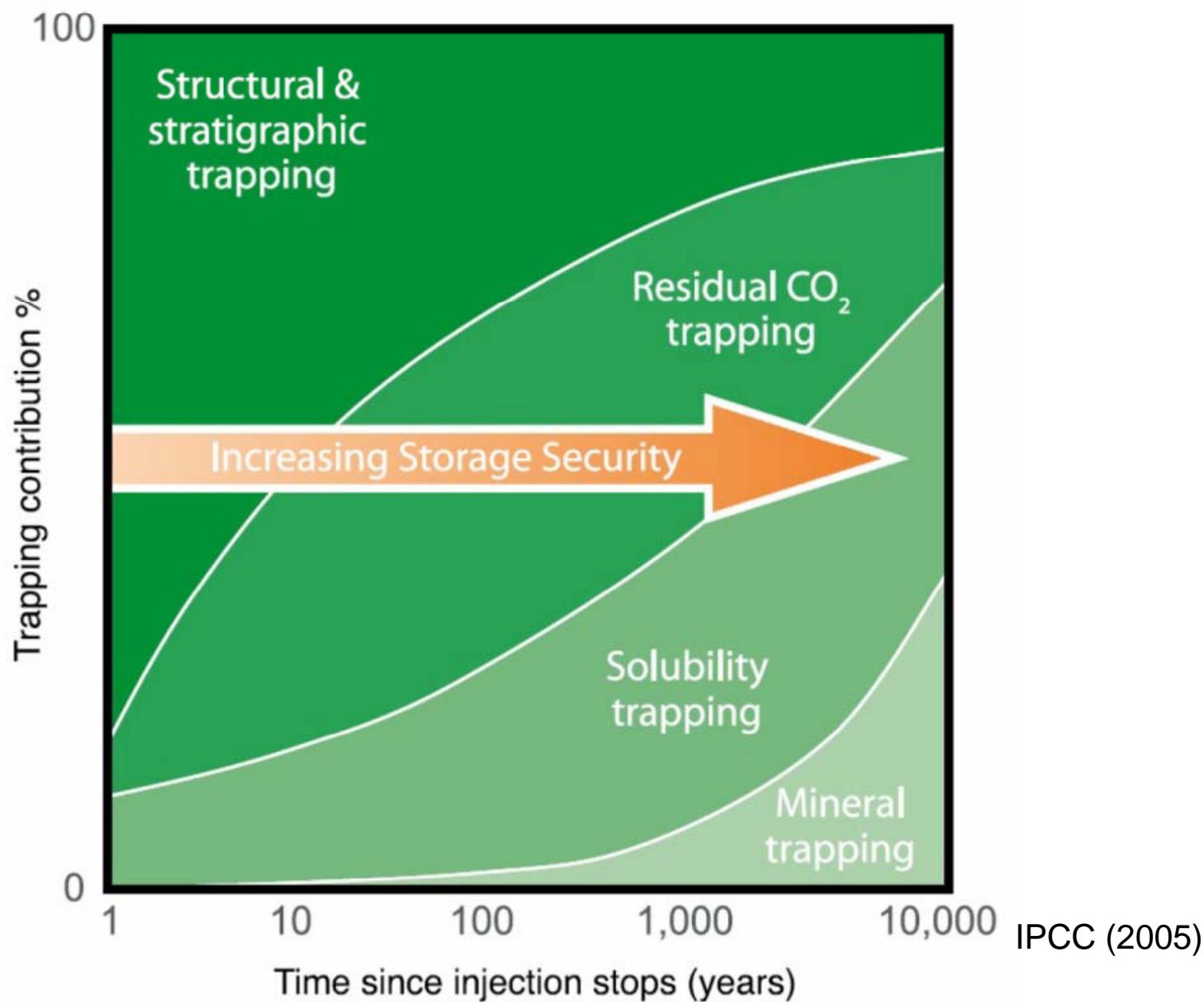
4. 溶解封存



5. 礦化封存

CO2CRC (2008)

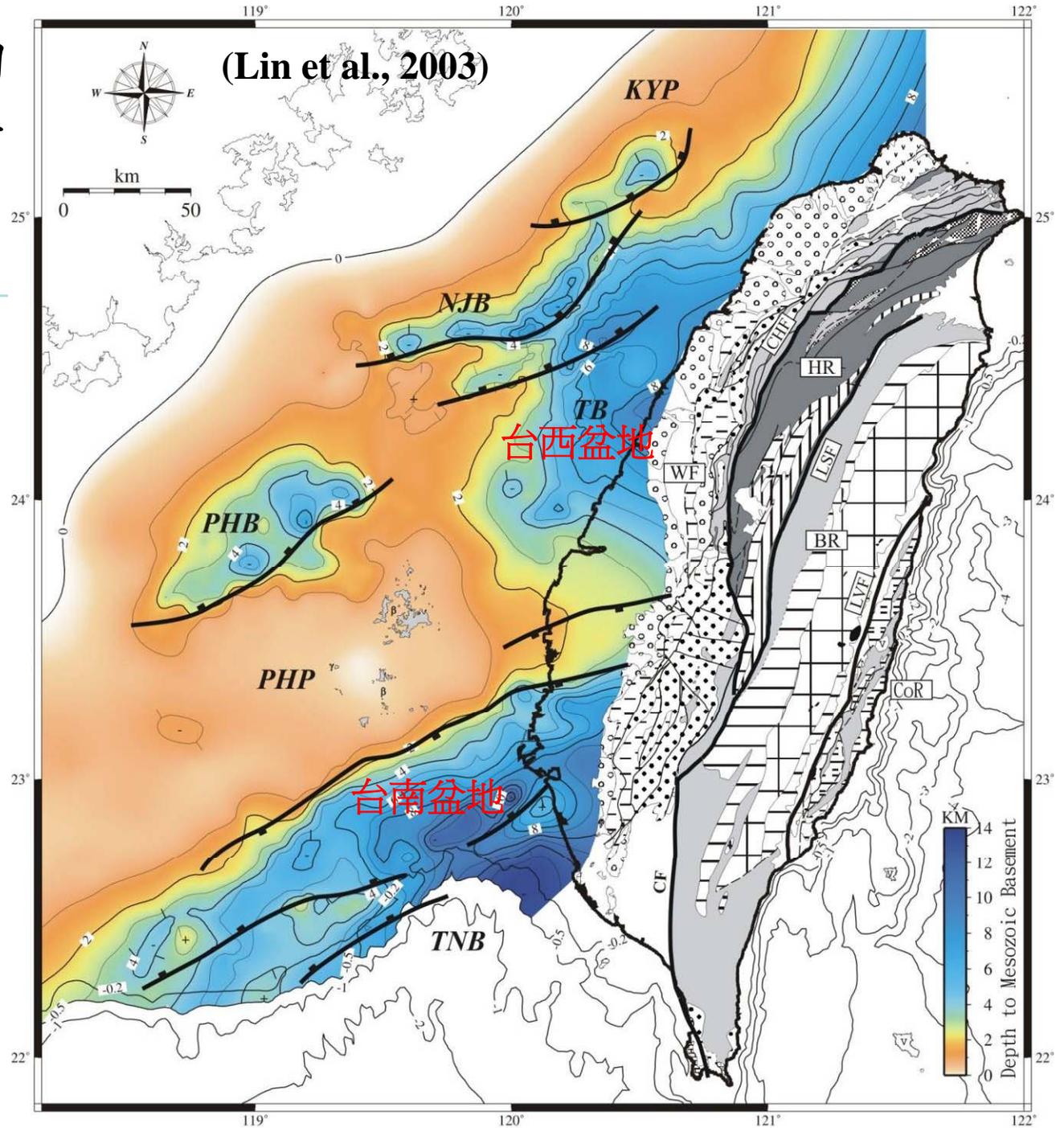
封存機制貢獻度隨時間的改變及封存安全性

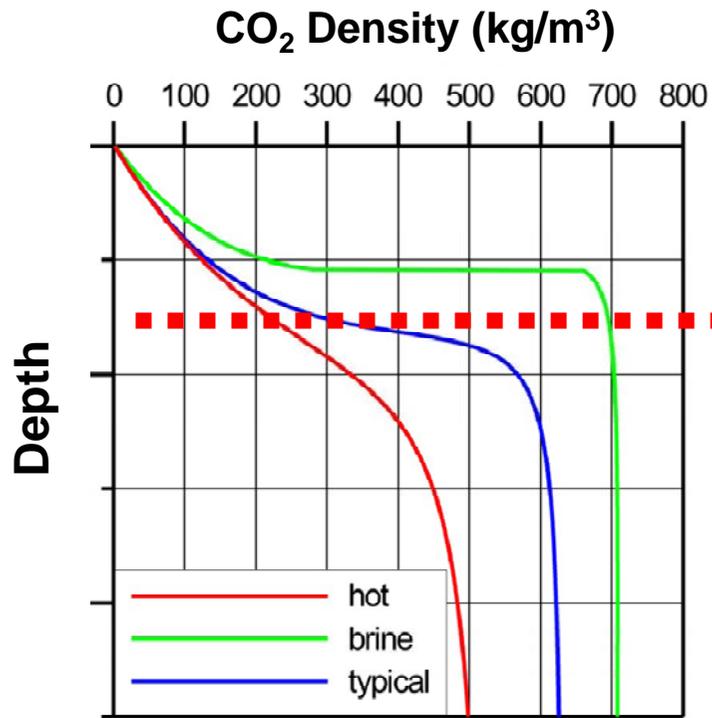


台灣有巨量的 二氧化碳地質 封存潛能

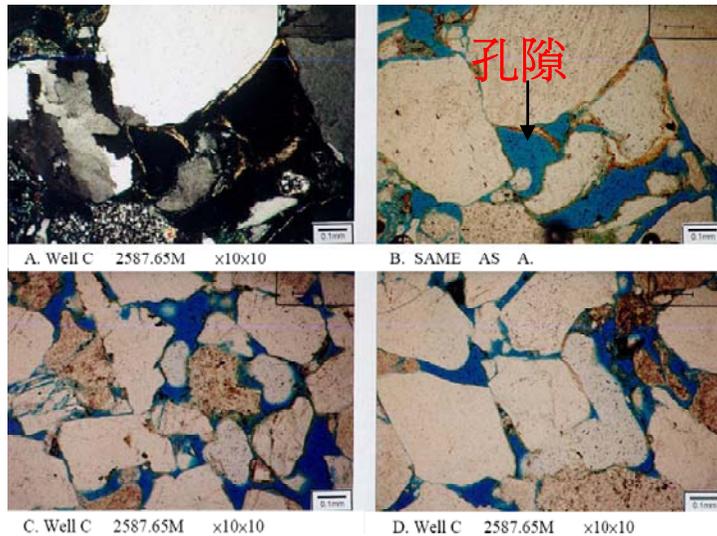
台灣海峽
西部平原區
西部麓山帶
等三區有厚達8公里的
沈積岩，可成爲封存場址

台灣二氧化碳主要排放源、地質區及活動斷層分布

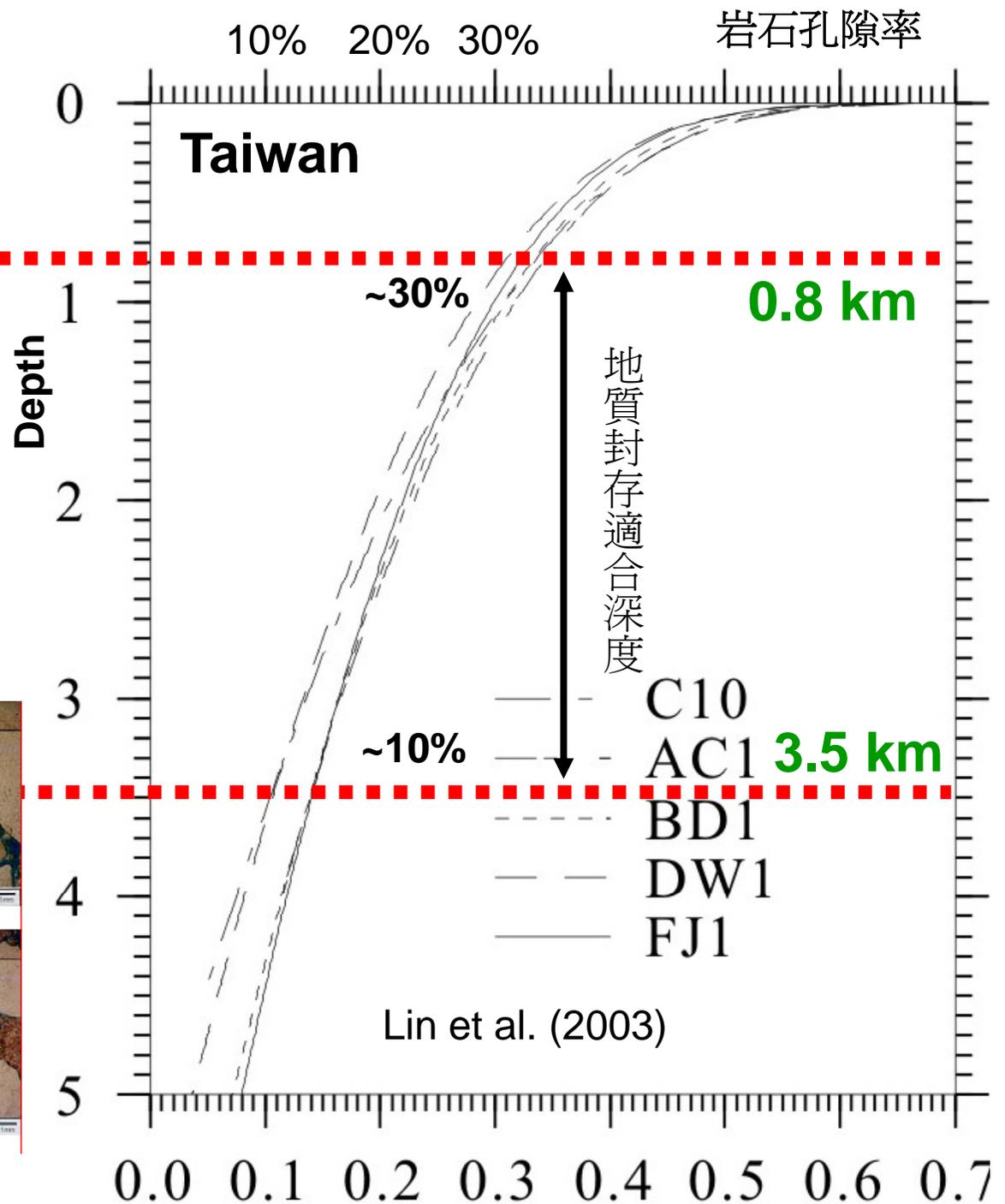




Chadwick et al. (2007)



From Ms. Chou, T.-F. (CPC)



臺灣活動斷層分布圖 活動斷層

ACTIVE FAULT MAP OF TAIWAN

第二版
SECOND EDITION

比例尺 五十萬分之一
SCALE 1:500,000

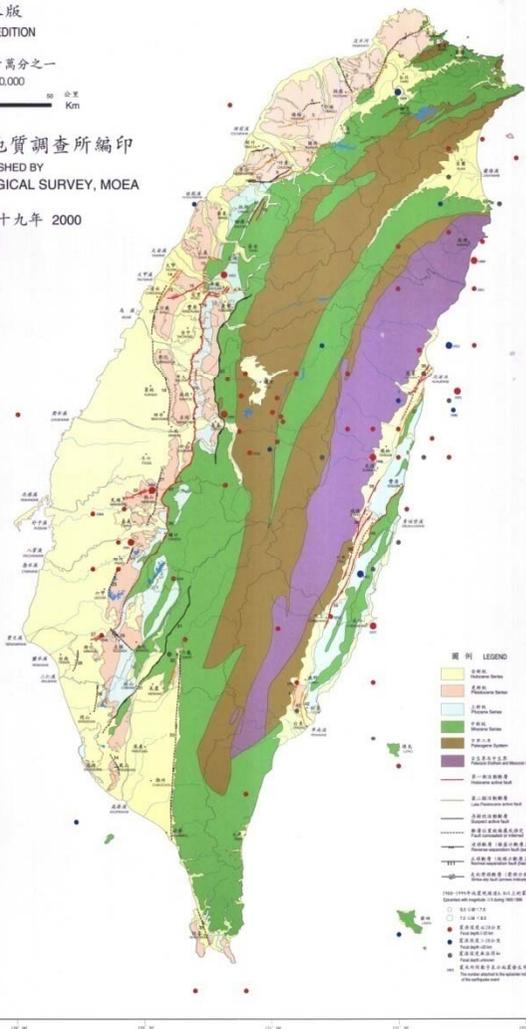
經濟部中央地質調查所編印
PUBLISHED BY
CENTRAL GEOLOGICAL SURVEY, MOEA

中華民國八十九年 2000

斷層名稱 FAULT NAME

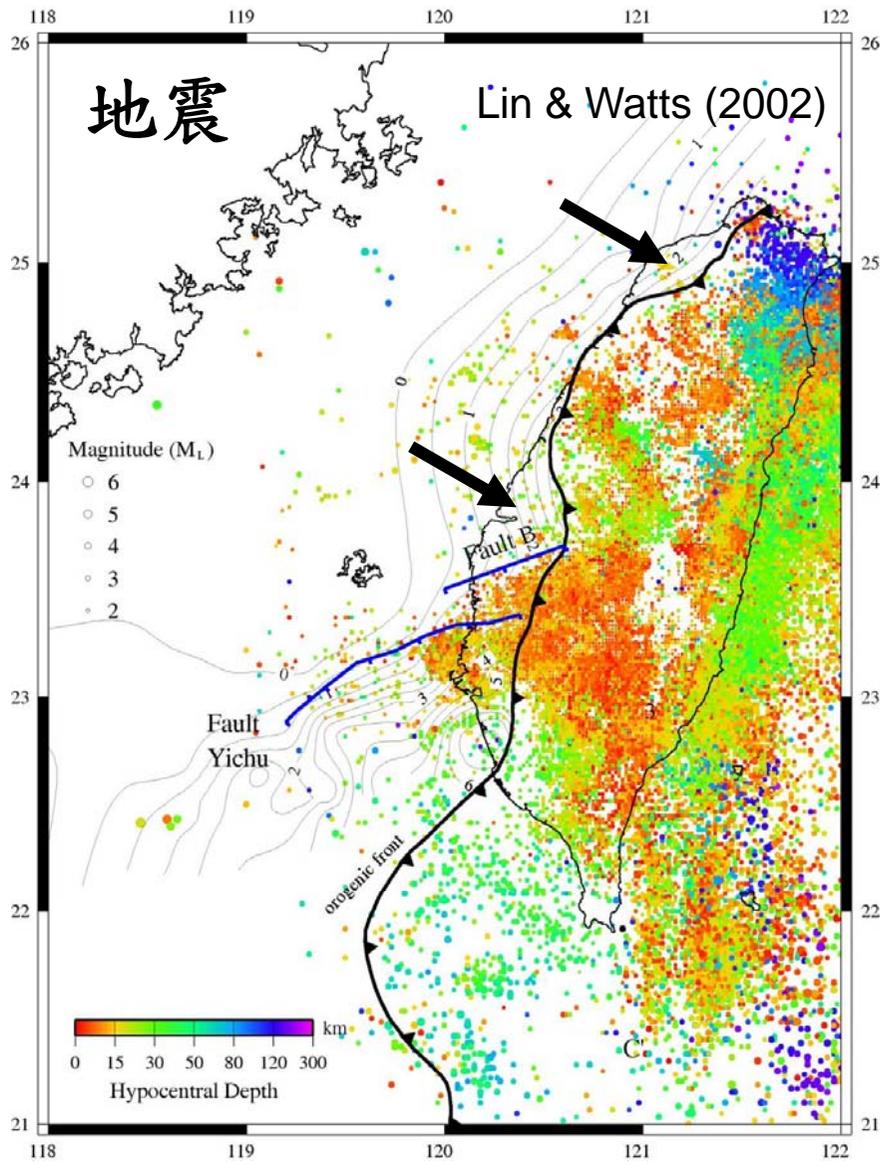
- | | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 金山斷層
Chien-Shan Fault | 12 梅山斷層
Meishan Fault |
| 2 山仔頂斷層
Shan-Tze-Ting Fault | 13 北山山前斷層
Tukuhaiwan Fault |
| 3 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault | 14 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault |
| 4 東山山前斷層
Tungshan Fault | 15 北山山前斷層
Tungshan Fault |
| 5 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault | 16 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault |
| 6 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault | 17 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault |
| 7 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault | 18 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault |
| 8 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault | 19 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault |
| 9 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault | 20 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault |
| 10 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault | 21 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault |
| 11 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault | 22 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault |
| 23 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault | 24 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault |
| 25 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault | 26 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault |
| 27 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault | 28 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault |
| 29 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault | 30 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault |
| 31 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault | 32 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault |
| 33 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault | 34 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault |
| 35 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault | 36 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault |
| 37 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault | 38 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault |
| 39 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault | 40 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault |
| 41 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault | 42 北山山前斷層
Shan-Tze-Ting Fault |

- ## 圖例 LEGEND
- 活斷層 Active Fault
 - 潛伏斷層 Hidden Fault
 - 逆斷層 Thrust Fault
 - 正斷層 Normal Fault
 - 走滑斷層 Strike-slip Fault
 - 逆走滑斷層 Inverse Strike-slip Fault
 - 正走滑斷層 Normal Strike-slip Fault
 - 不明斷層 Unknown Fault
 - 活斷層線 Active Fault Line
 - 潛伏斷層線 Hidden Fault Line
 - 逆斷層線 Thrust Fault Line
 - 正斷層線 Normal Fault Line
 - 走滑斷層線 Strike-slip Fault Line
 - 逆走滑斷層線 Inverse Strike-slip Fault Line
 - 正走滑斷層線 Normal Strike-slip Fault Line
 - 不明斷層線 Unknown Fault Line
 - 震中 Epicenter
 - 震源深度 Hypocenter Depth
 - 震級 Magnitude



編者 林義雄、張繼成、盧培丁、石河生、黃文法
Compiled by Chin-Hsin Lin, Hu-Cheng Chang, Shih-Ting Lu, Tung-Sheng Shih, Wen-Jang Huang

繪圖 林義雄、劉恩祥
Drawn by Yen-Hui Lin, Shu-Yu Liu



編者 林義雄、張繼成、盧培丁、石河生、黃文法
Compiled by Chin-Hsin Lin, Hu-Cheng Chang, Shih-Ting Lu, Tung-Sheng Shih, Wen-Jang Huang

繪圖 林義雄、劉恩祥
Drawn by Yen-Hui Lin, Shu-Yu Liu

台灣二氧化碳主要 排放源、地質區及 活斷層分佈

二氧化碳主要排放源：

燃煤火力發電廠
石化廠

主要排放源位於西部沿海

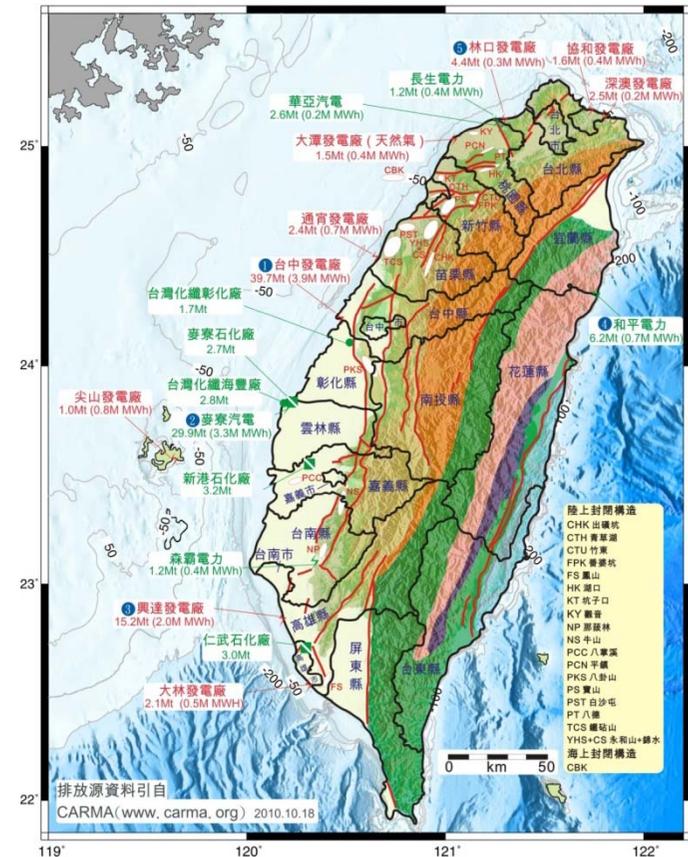


二氧化碳封存量粗估

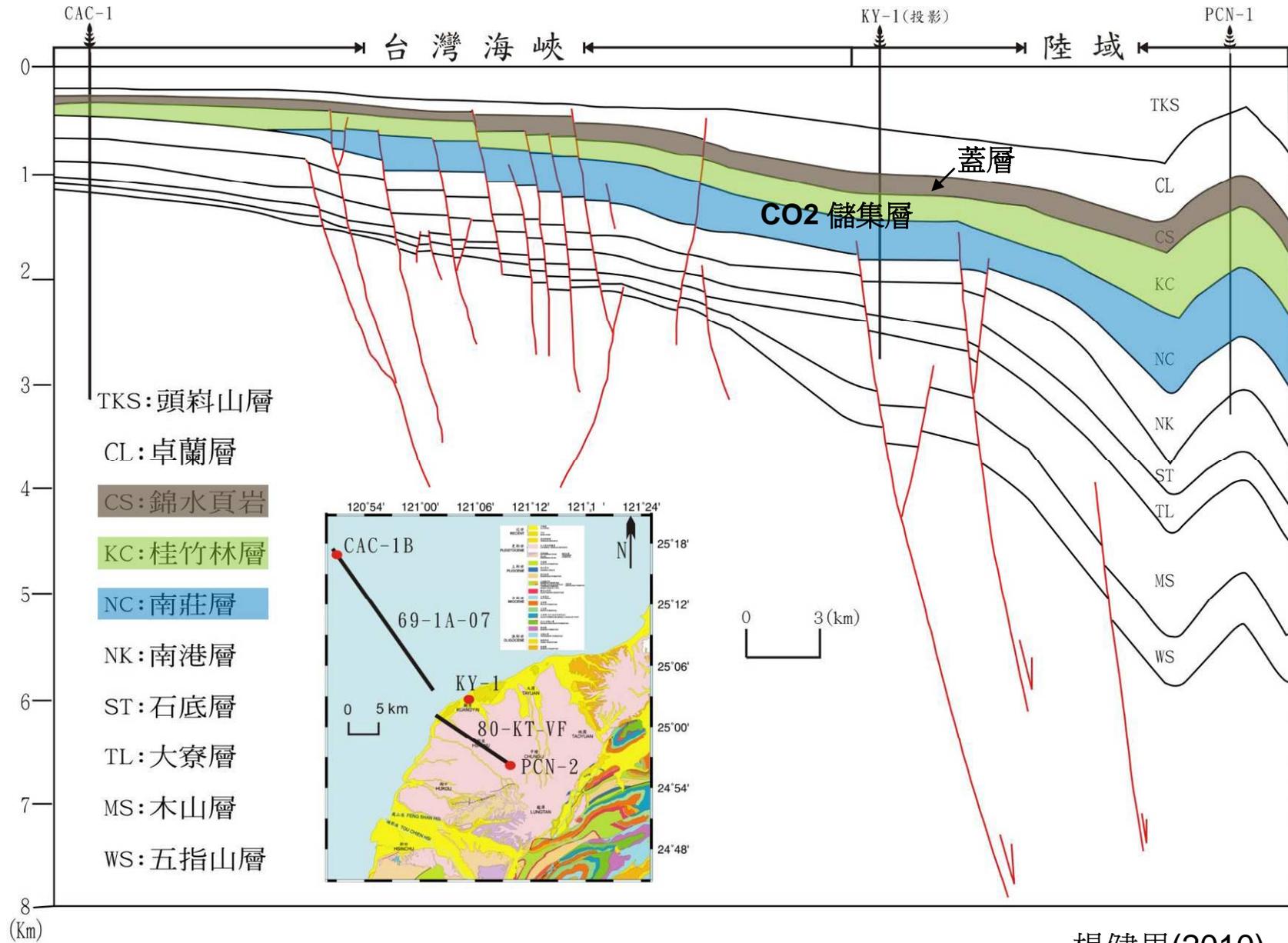
A: 陸上封閉構造：28億噸（台灣中油評估）

B: 濱海開放鹽水層：48至317億噸(工研院評估)

C+D: 海域開放鹽水層＋海域封閉構造：
90至680億噸(工研院評估)



桃園台地濱海開放鹽水層二氧化碳封存地質模型



楊健男(2010)

二氧化碳灌注模擬

3D 模式體積：
長20 km x 寬20 km x 厚2 km

蓋層：錦水頁岩 (100 m)

孔隙率：2%，

滲透率：0.001 md

儲集層：

1. 桂竹林層 (300 m)

孔隙率：20%

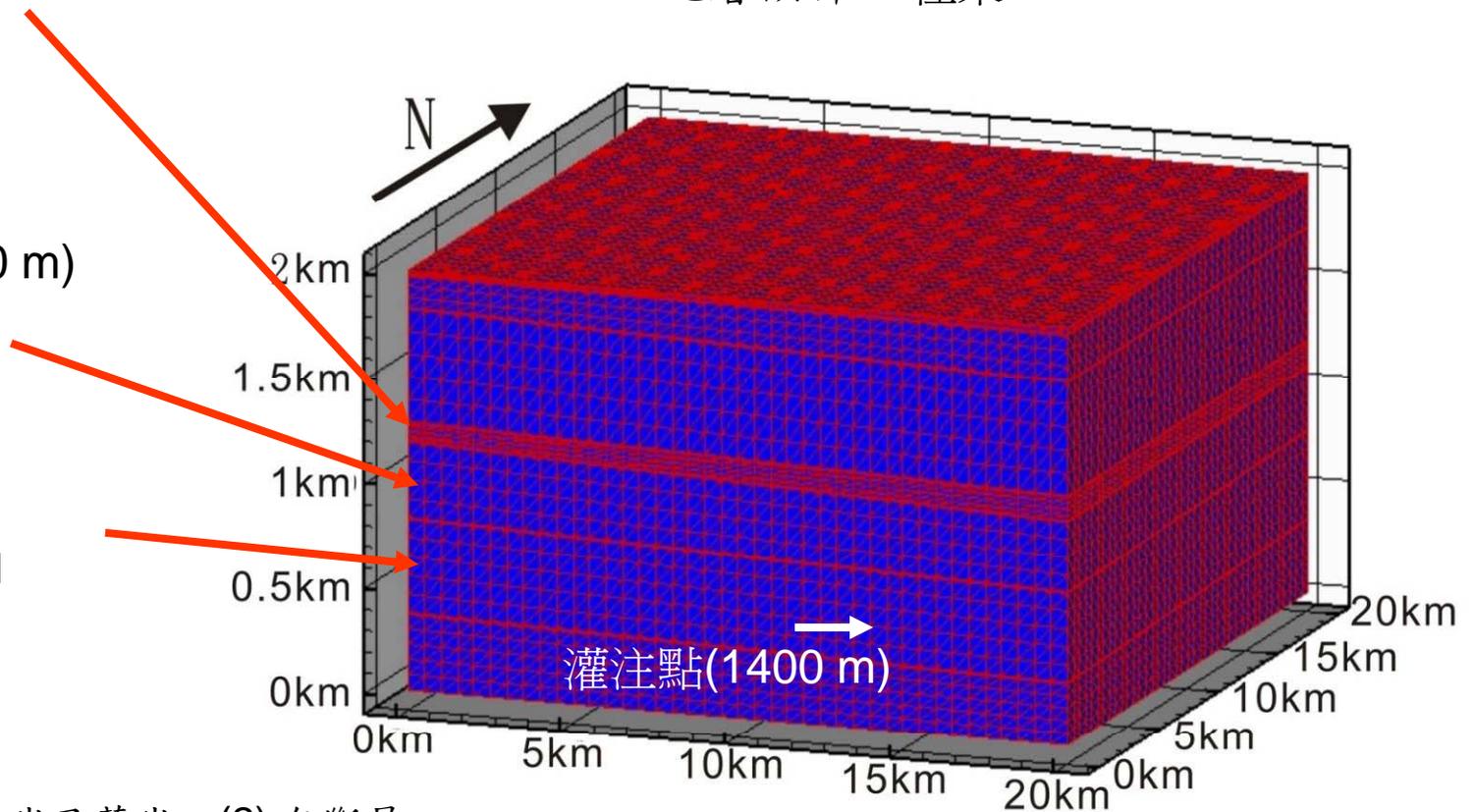
滲透率：30 md

2. 南莊層 (400 m)

孔隙率：30%

滲透率：1,000 md

- 灌注時間：50 年
- 年灌注率：1 百萬噸
- 灌注深度：1400 m
- 地層傾斜：往東1°

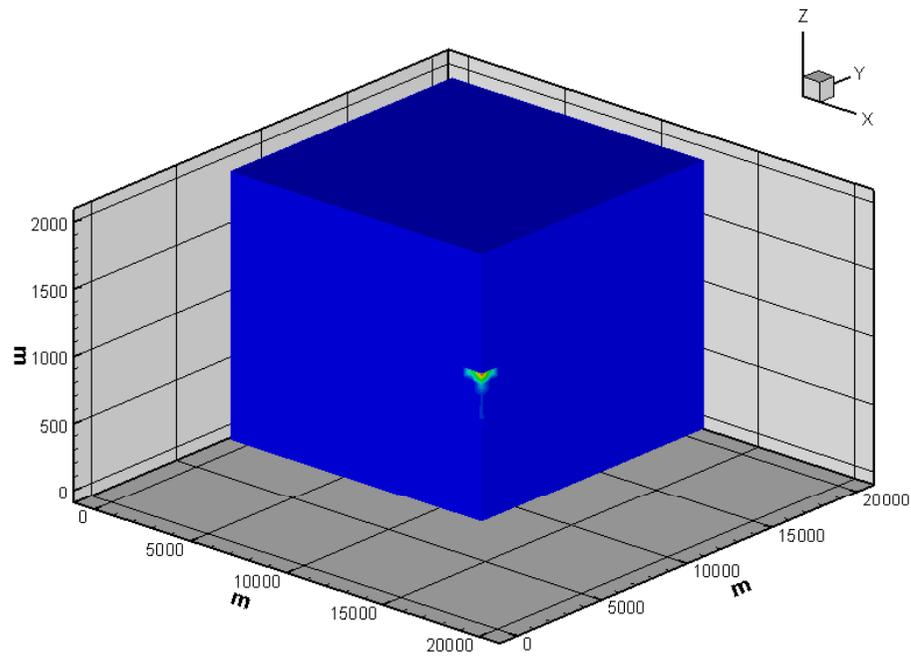


假設：(1) 均質的儲集岩及蓋岩、(2) 無斷層

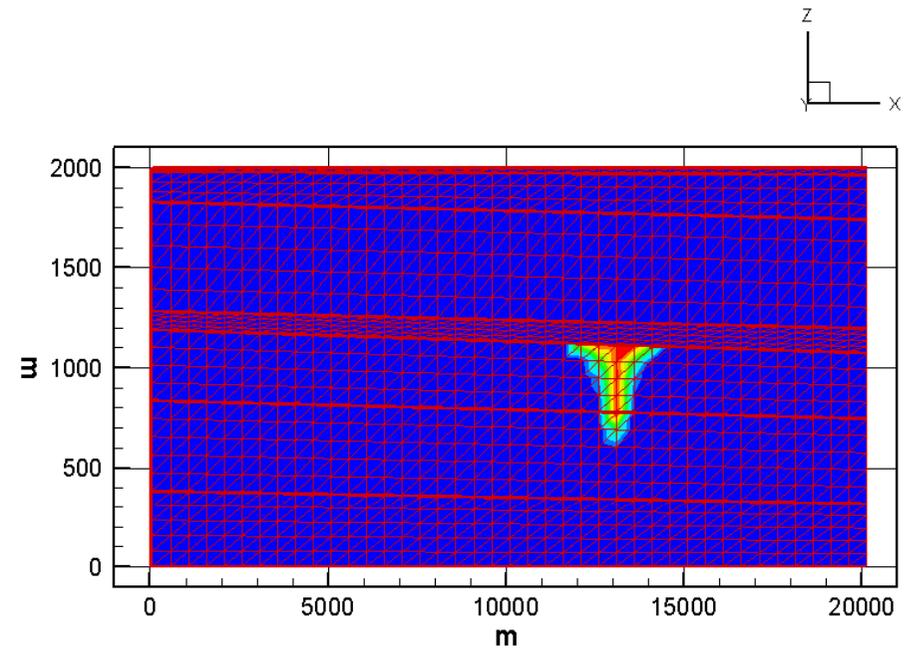
楊健男 (2010)

模擬結果

超臨界相二氧化碳

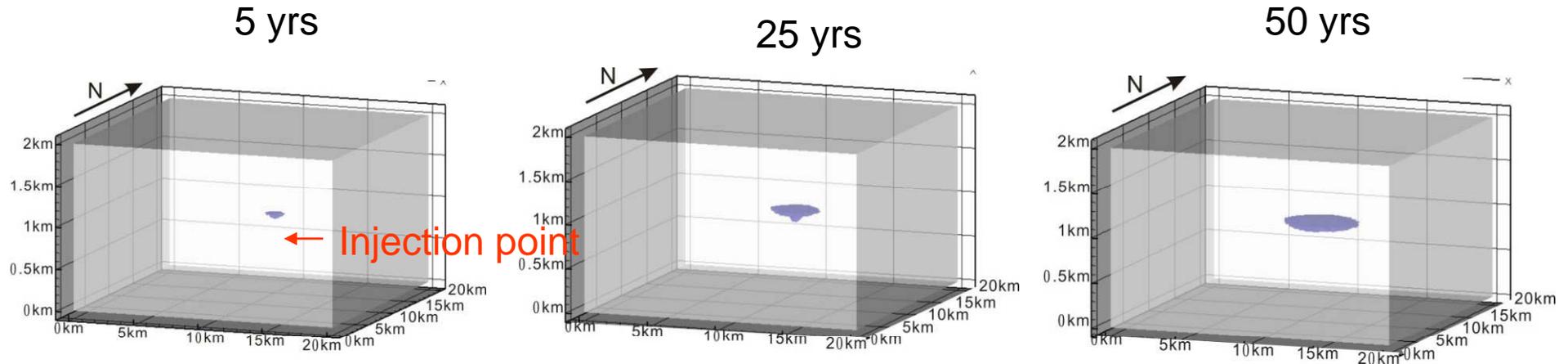


溶解相二氧化碳

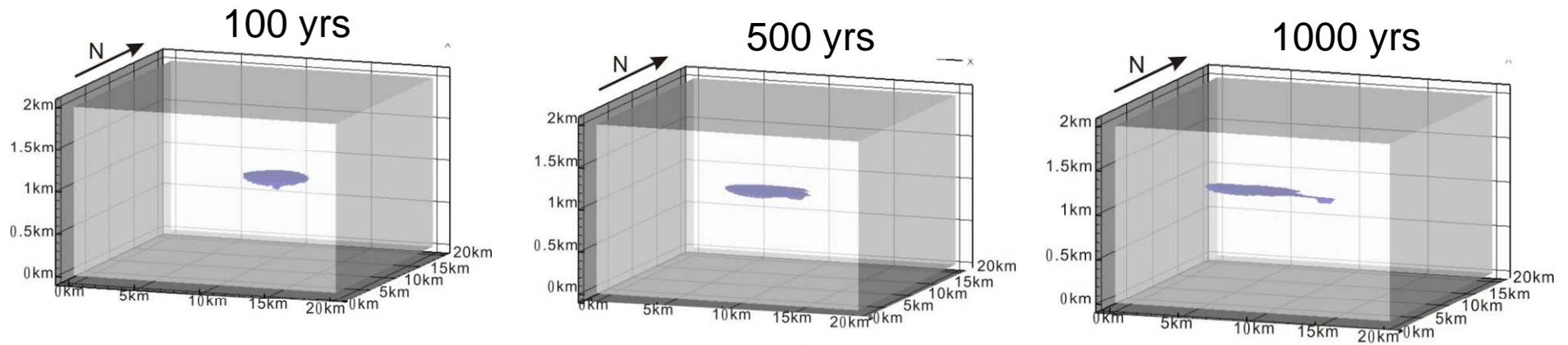


模擬結果：超臨界相二氧化碳

灌注期間(0-50 年): 二氧化碳團移棲速率 ~ 100 m/yr, 移棲距離 ~5 km



灌注停止後 (50-1000 年): 二氧化碳團移棲速率 ~ 5 m/yr, 移棲距離 ~5 km

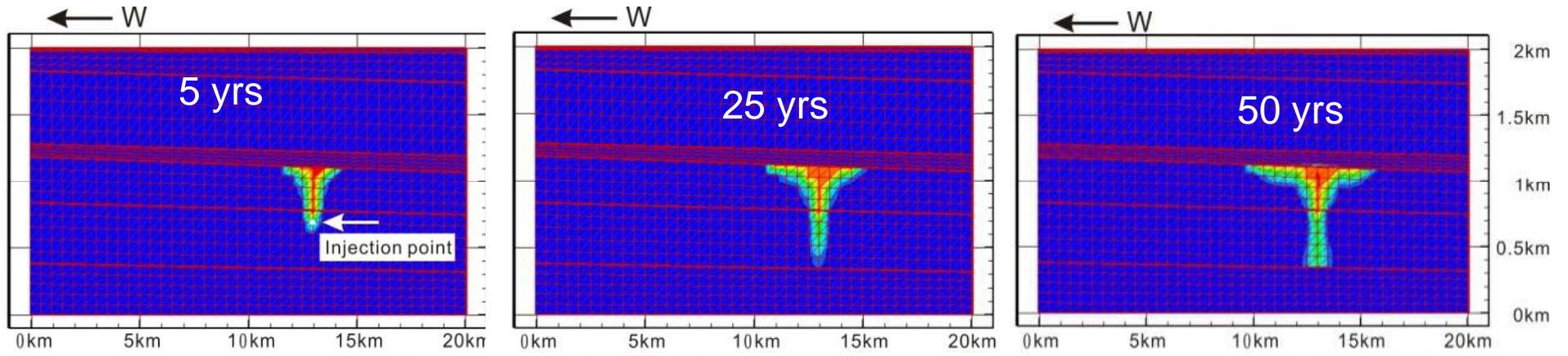
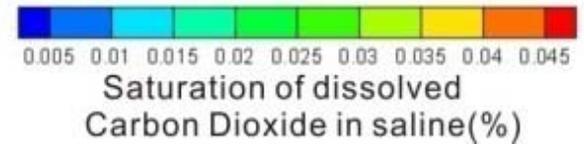


往海峽方向並往上沿著桂竹林層頂部移棲

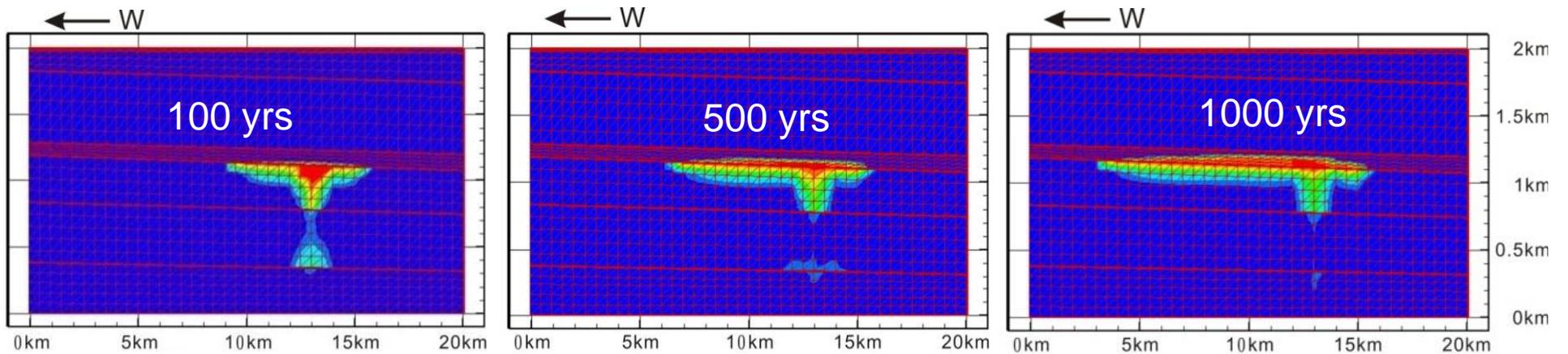
楊健男(2010)

模擬結果：溶解相二氧化碳

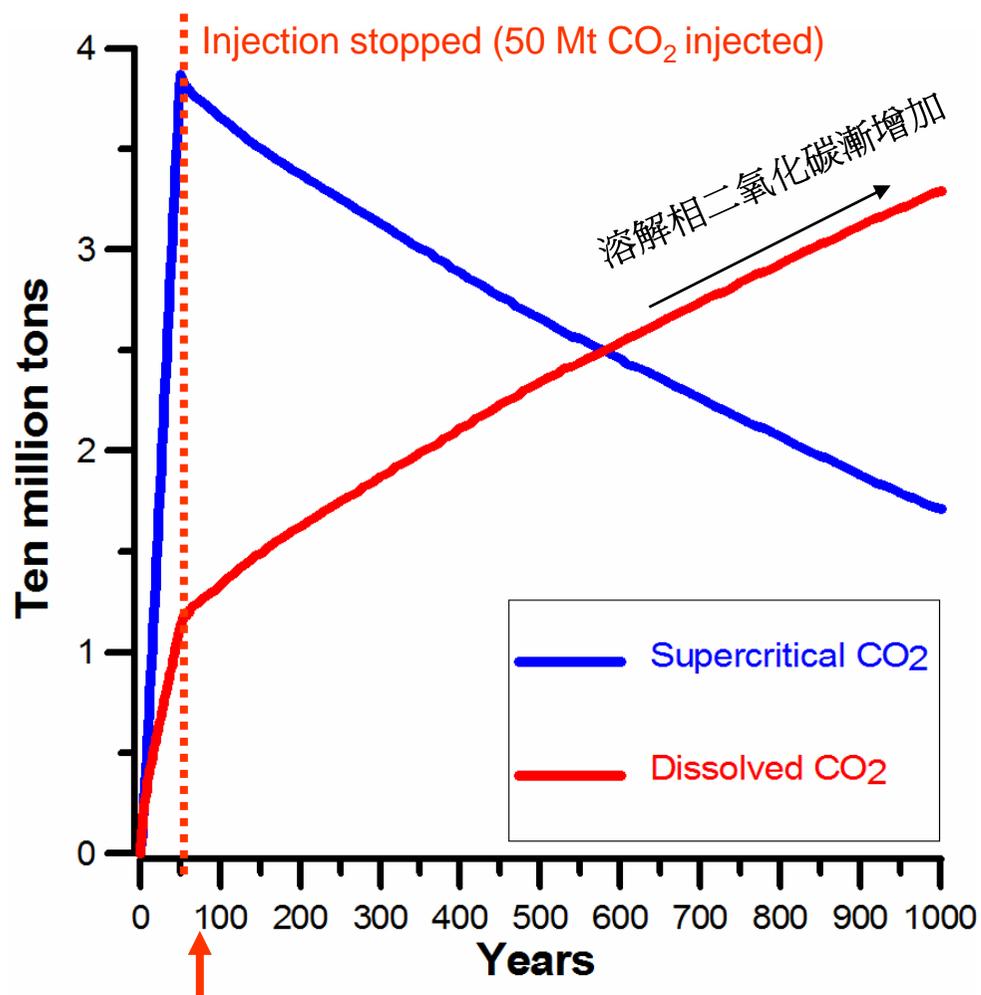
灌注期間 (0-50 yrs)



灌注後(50-1000 yrs)

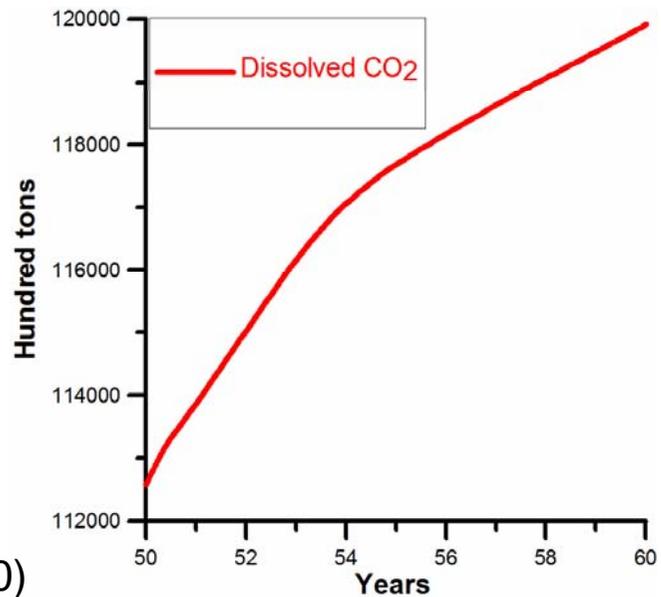
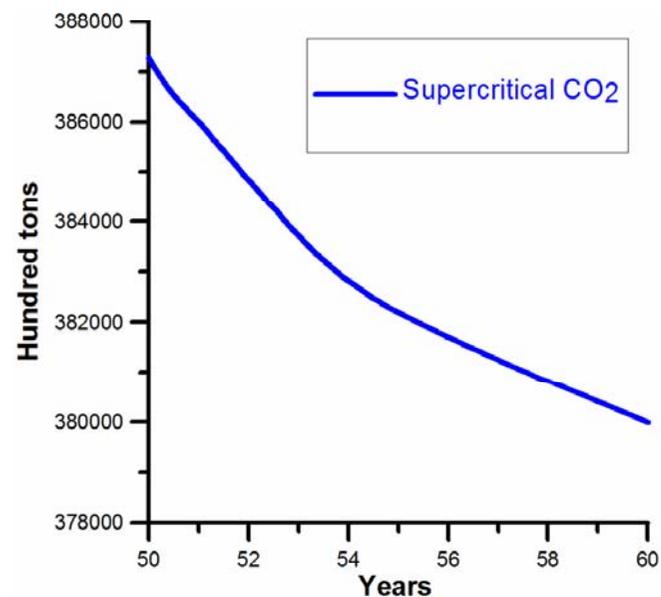


灌注期間及灌注後超臨界相與溶解相二氧化碳質量消長

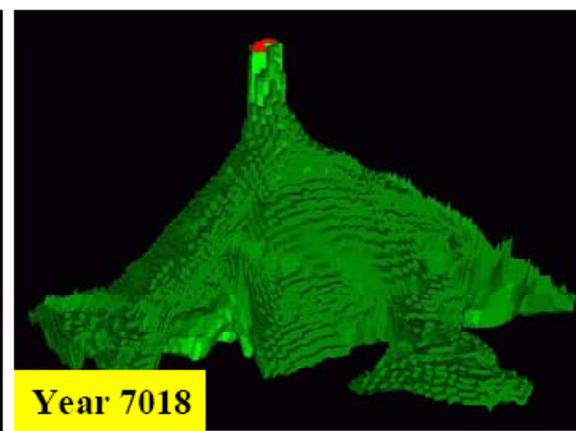
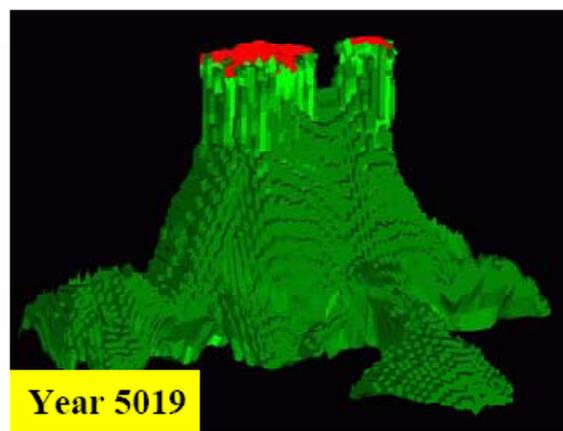
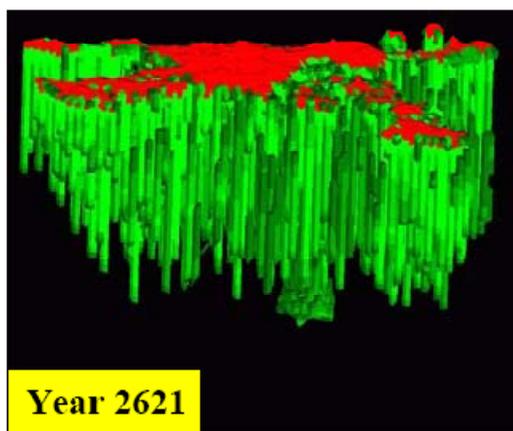
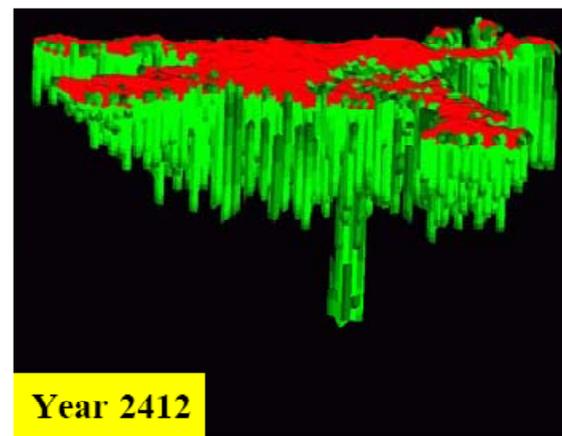
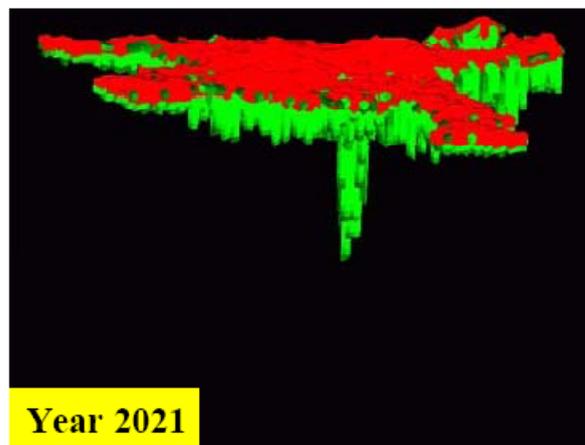


50-60 yrs

楊健男(2010)



挪威Sleipner的模擬結果，得知於灌注數千年後，絕大部分
灌注的二氧化碳皆溶解於水，並往下沈降

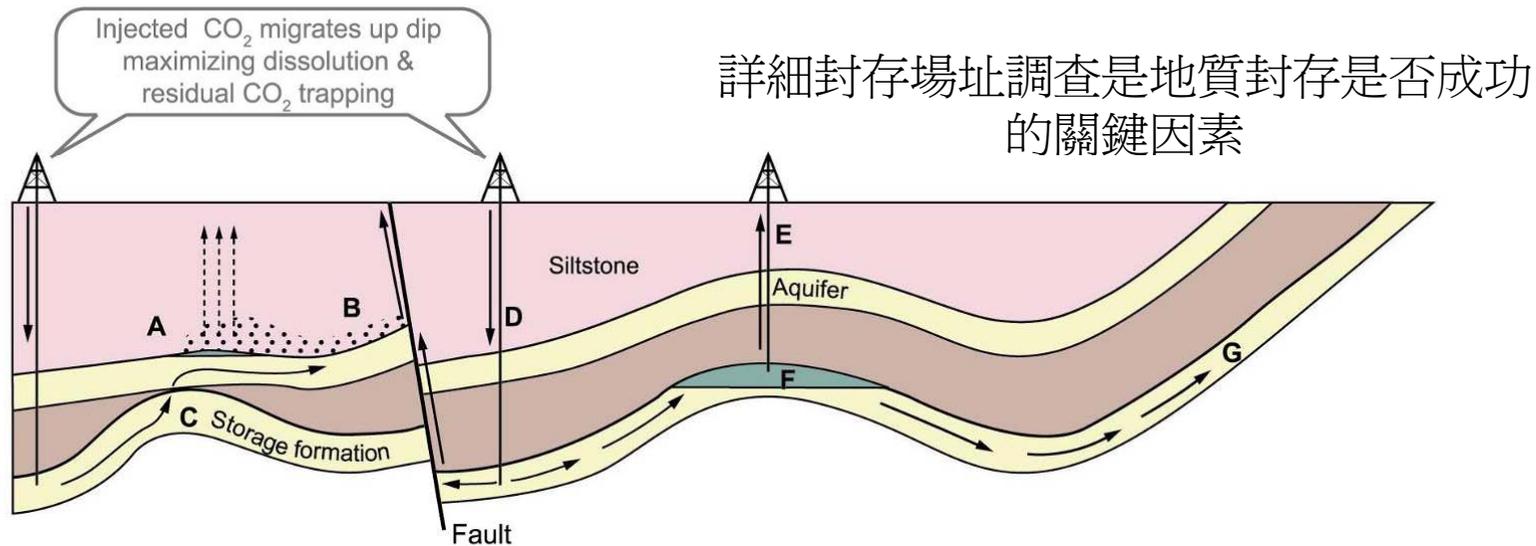


Source: Gemini No. 1, 2004 (NTNU and Sintef)

StatoilHydro

二氧化碳封存安全性

二氧化碳可能滲漏通道及補救措施



Potential Escape Mechanisms

<p>A. CO₂ gas pressure exceeds capillary pressure & passes through siltstone</p>	<p>B. Free CO₂ leaks from A into upper aquifer up fault</p>	<p>C. CO₂ escapes through 'gap' in cap rock into higher aquifer</p>	<p>D. Injected CO₂ migrates up dip, increases reservoir pressure & permeability of fault</p>	<p>E. CO₂ escapes via poorly plugged old abandoned well</p>	<p>F. Natural flow dissolves CO₂ at CO₂ / water interface & transports it out of closure</p>	<p>G. Dissolved CO₂ escapes to atmosphere or ocean</p>
--	---	---	--	---	---	--

Remedial Measures

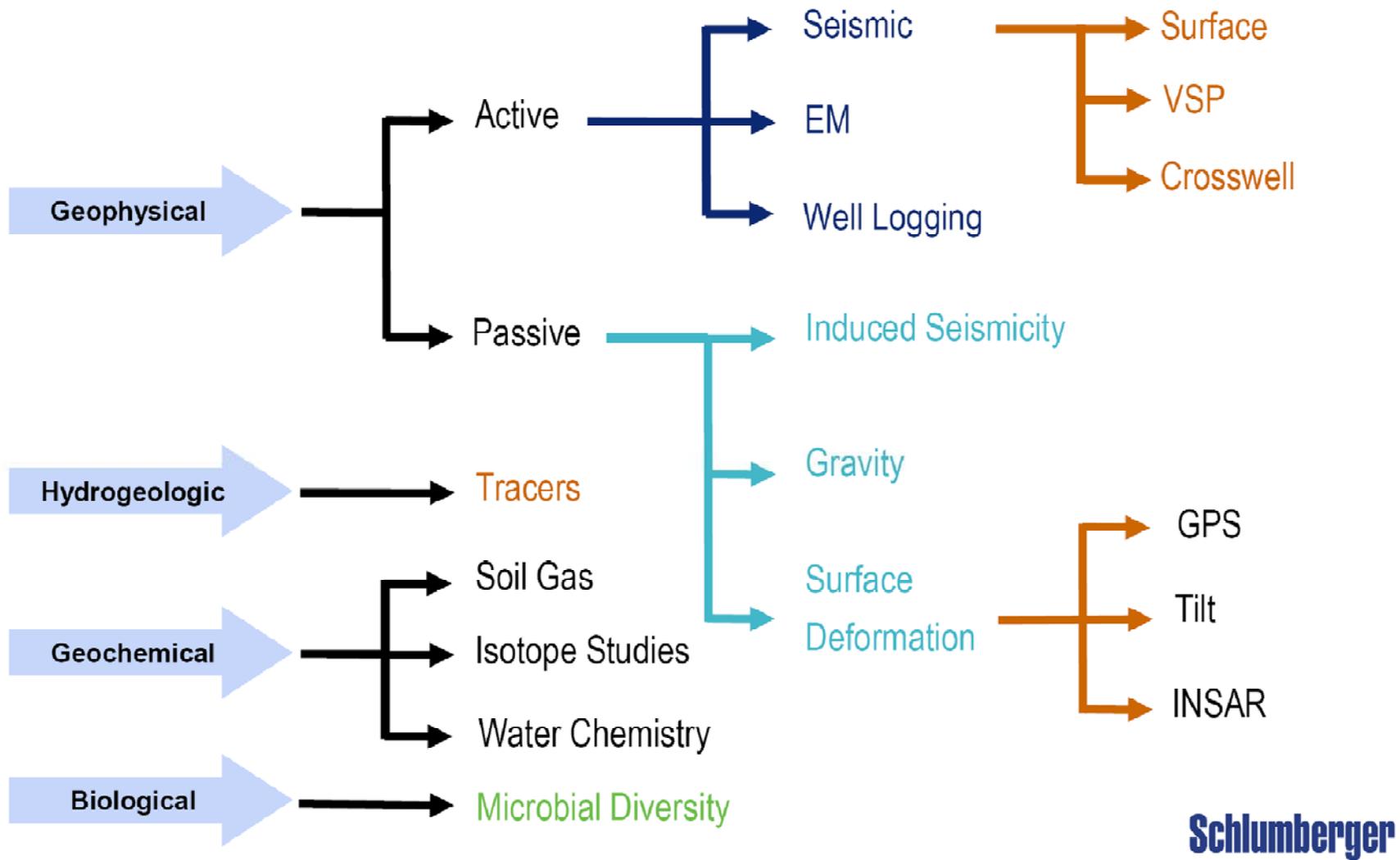
<p>A. Extract & purify ground-water</p>	<p>B. Extract & purify ground-water</p>	<p>C. Remove CO₂ & reinject elsewhere</p>	<p>D. Lower injection rates or pressures</p>	<p>E. Re-plug well with cement</p>	<p>F. Intercept & reinject CO₂</p>	<p>G. Intercept & reinject CO₂</p>
--	--	---	---	---	--	--

台灣二氧化碳地質封存模式 及封存安全監測

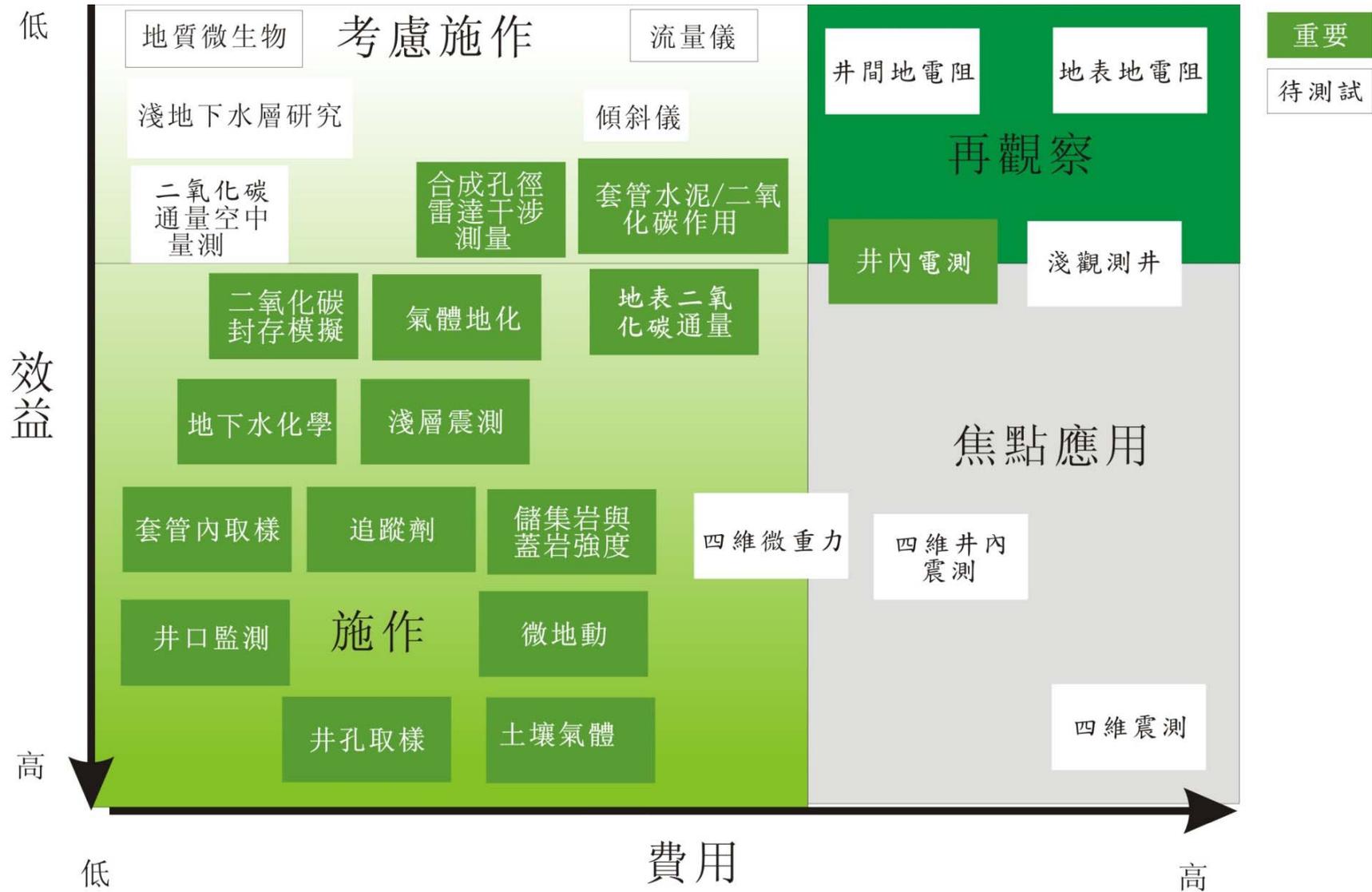
- A：陸上封閉構造
- B：濱海開放鹽水層
- C：海域開放鹽水層
- D：海域封閉構造



二氧化碳地質封存監測技術

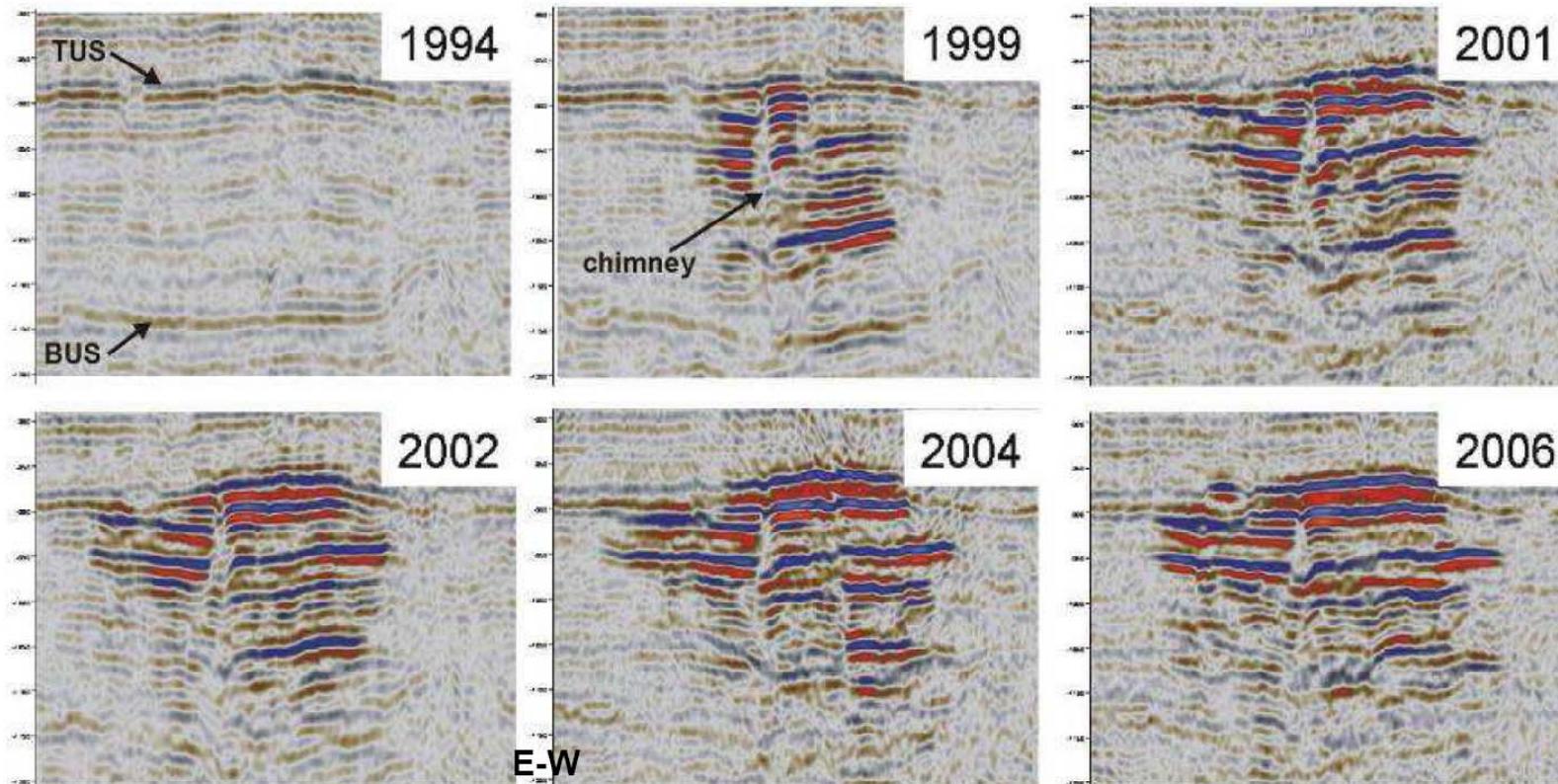
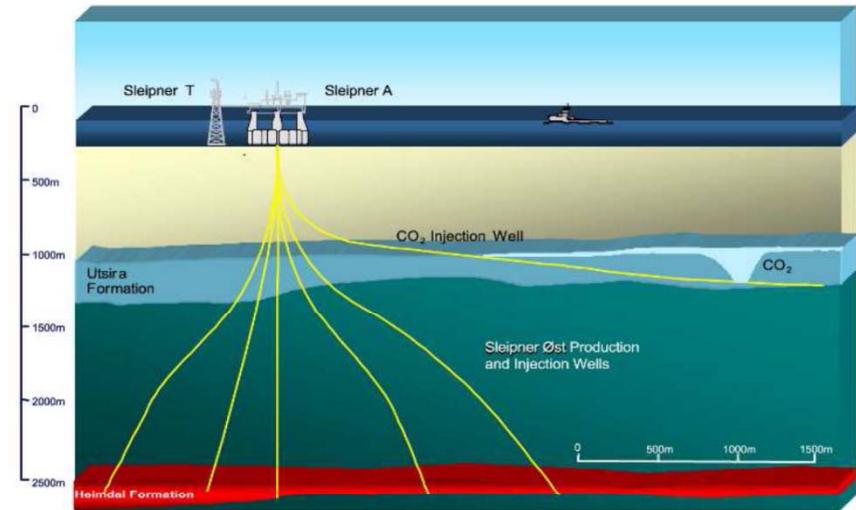


二氧化碳地質封存監測技術之效益與費用



二氧化碳封存監測技術： 反射震測

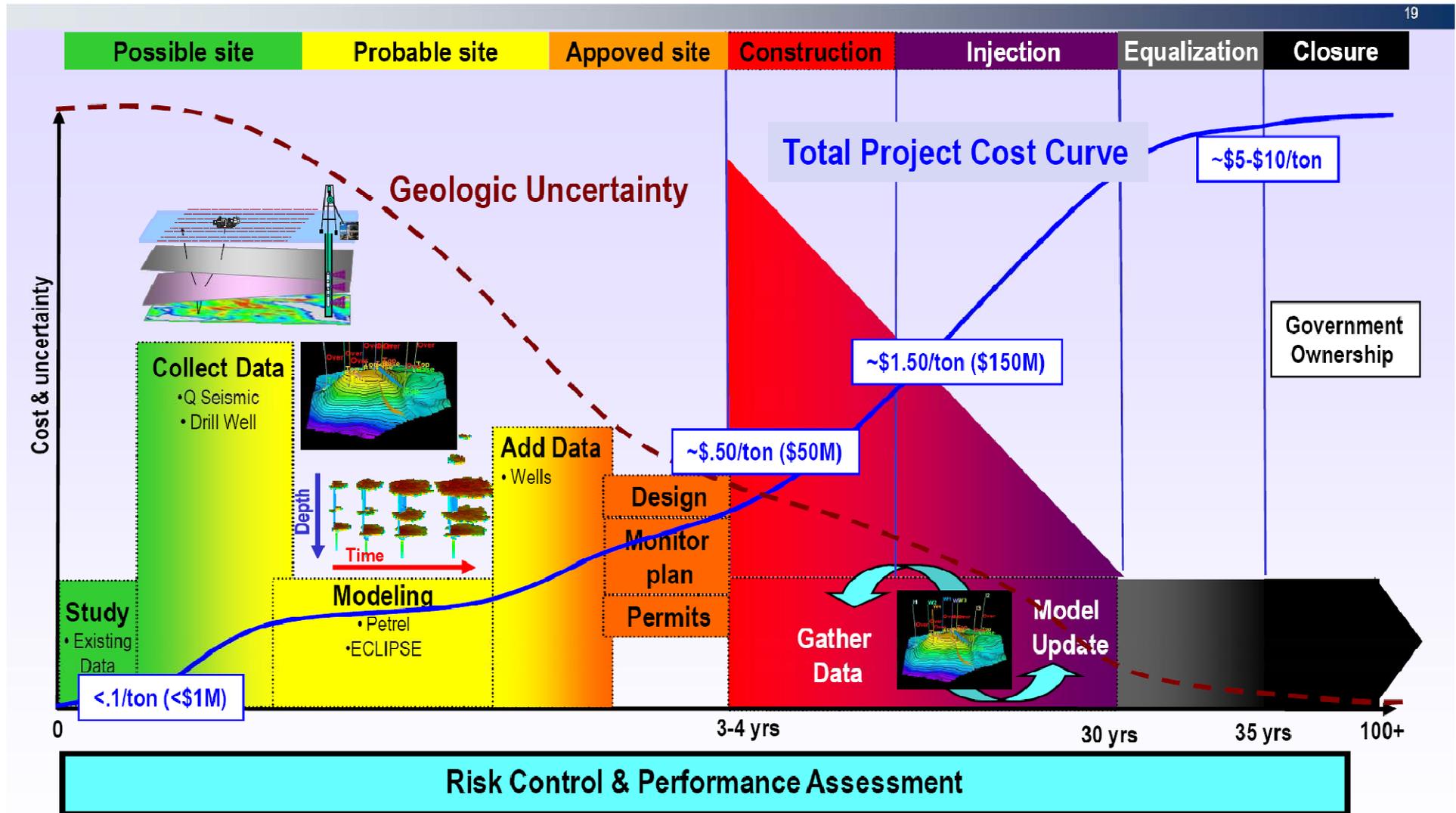
挪威 Sleipner



SOURCE: BGS- STATOIL

Conventional 4D data

商轉二氧化碳地質封存場 (> 100 M tons) 隨時間的場址建置及經營過程



圖片來源：Schlumberger Carbon Services

結論

1. 台灣具有巨量的二氧化碳封存潛能，粗估封存量可達數百億噸。
2. 台灣二氧化碳地質封存模式有四類：A：陸上封閉構造、B：濱海開放鹽水層、C：海域開放鹽水層、D：海域封閉構造。
3. 上述四類封存模式一般皆能安全的封存二氧化碳，唯若考慮萬一滲漏可能造成的環境與健康衝擊，應以海域封存為首選。

