



從地質、環境與技術方面探討 我國地熱發電的展望

李錦發、李柏村、朱偉嘉

經濟部中央地質調查所



大綱

- 再生能源及我國再生能源政策
- 地熱探勘與發電的技術
- 地熱發電對環境的衝擊
- 世界各國地熱探勘現況
- 臺灣地熱資源探勘現況及潛在地熱地質區
- 結論與建議



全球對再生能源近年來的投資

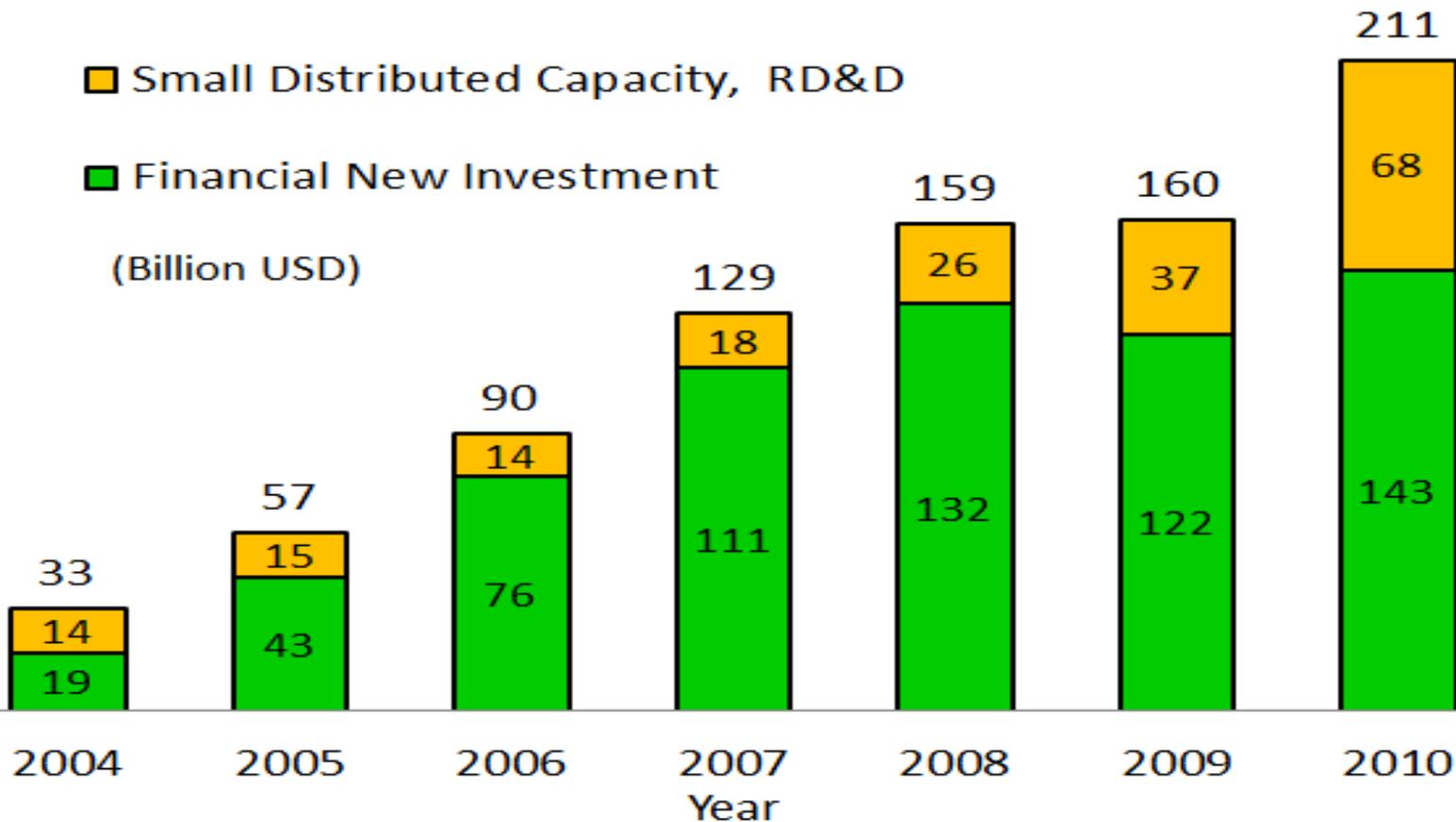
Global new investment in renewable energy

data source: Bloomberg New Energy Finance, UNEP SEFI, Frankfurt School, Global Trends in Renewable Energy Investment 2011

■ Small Distributed Capacity, RD&D

■ Financial New Investment

(Billion USD)





全國能源會議

第1次(1998)

- 因應1997年京都議定書簽訂
- 擬定行動計畫、確立再生能源目標

第2次(2005)

- 2005年京都議定書生效
- 制定再生能源專法-永續能源政策綱領

第3次(2009)

- 推動能源國家型科技計畫、新旗艦計畫
- 加速再生能源發展條例立法

第4次(2014)

- 「需求有效節流」、「供給穩定開源」及「環境低碳永續」
- 目前公開徵求討論議題之能源背景資訊，104年1月開會

我國再生能源發展中之地熱方面的發展

第一期能源國家型計畫中之地熱能源計畫目標 (102年以前)	第二期能源國家型計畫中之「地熱主軸計畫」總目標 (103年起)
現有地熱田的檢討和再評估，並完成地熱發電廠的設立	現有地熱田的檢討和再評估
精確調查台灣地區的地熱資源特性和潛能	精確調查台灣地區的地熱資源特性和潛能
探勘和開採深層地熱等關鍵技術之研發	擴展台灣淺層地熱發電廠至150 MWe
瞭解開發深層地熱對於地球環境系統的影響，並提出評估模式與防治對策	研發開採深層地熱的關鍵技術
設立深層地熱發電示範電廠	設立10 MWe深層地熱發電示範電廠
技術轉移民間以促進發展地熱相關產業，並提升綠能和減碳之比例	技術轉移民間以發展地熱產業



台灣再生能源中長期發展目標

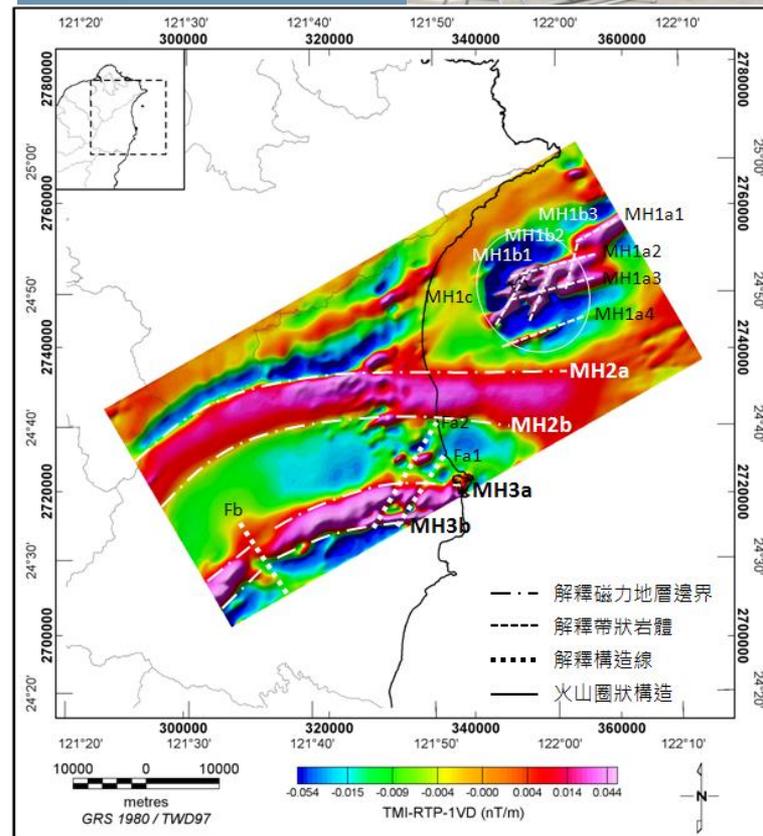
	2009		2015		2025	
	萬瓦	%	萬瓦	%	萬瓦	%
水力發電	193.9	4.93	226.1	5.1	250	4.4
風力發電	43.6	1.11	148	3.4	300	5.3
太陽光電	0.68	0.02	32	0.7	100	1.8
生質能	81.45	2.07	85	1.9	140	2.5
地熱發電	-	-	0.4	0.0	15	0.3
燃料電池	-	-	5	0.1	20	0.4
海陽能發電	-	-	0.1	0.0	20	0.4
合計	319.6	8.13	497.2	11.2	845.0	14.9

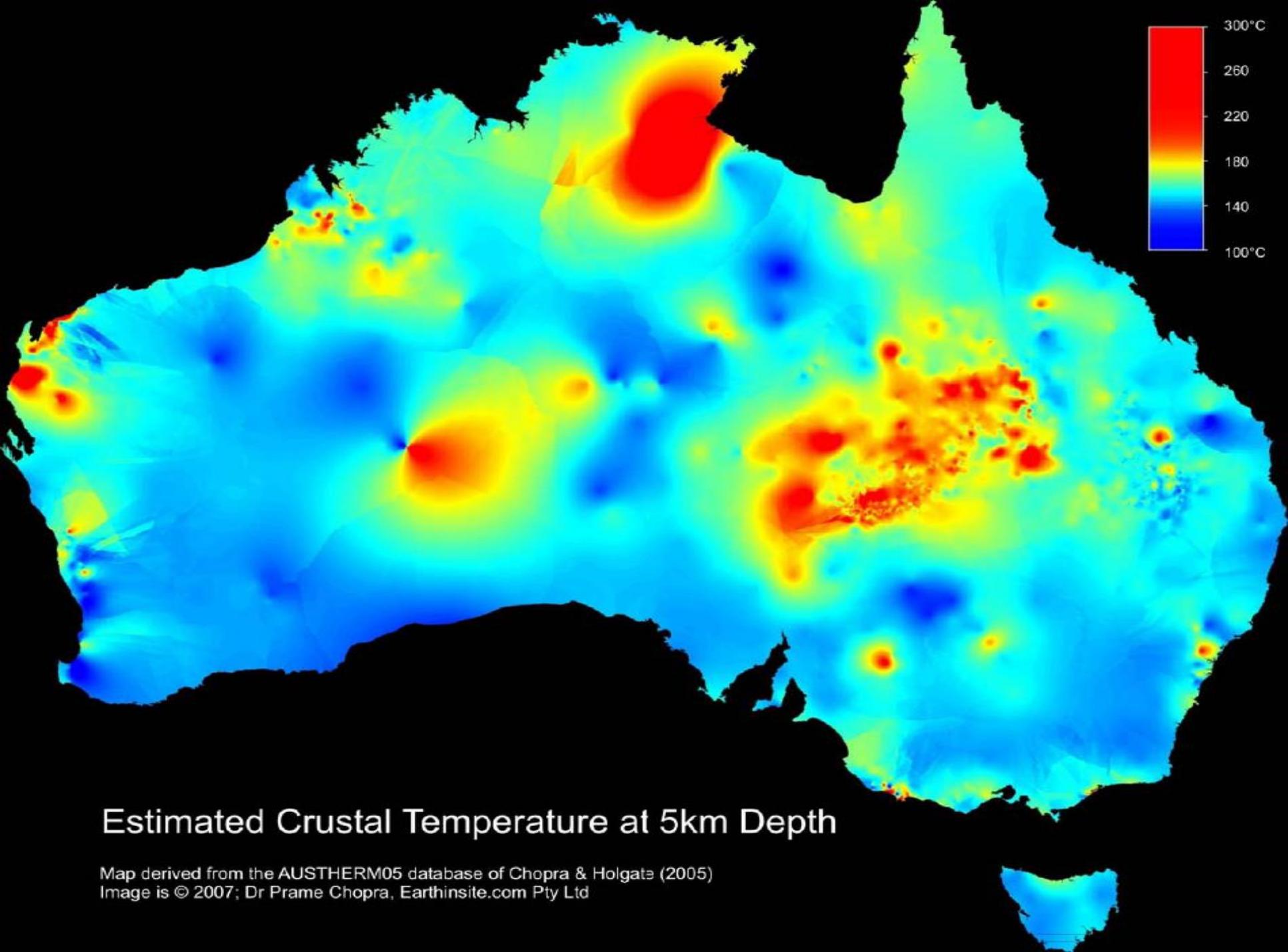


地熱探勘新技術

地熱探勘的新利器-空中磁測

- 儀器：三軸拖鳥
- 載具：直升機吊掛
- 特色：克服地形限制進行普查
執行速度快
單位面積成本較低
- 清水-南澳北溪上游具有地熱資源



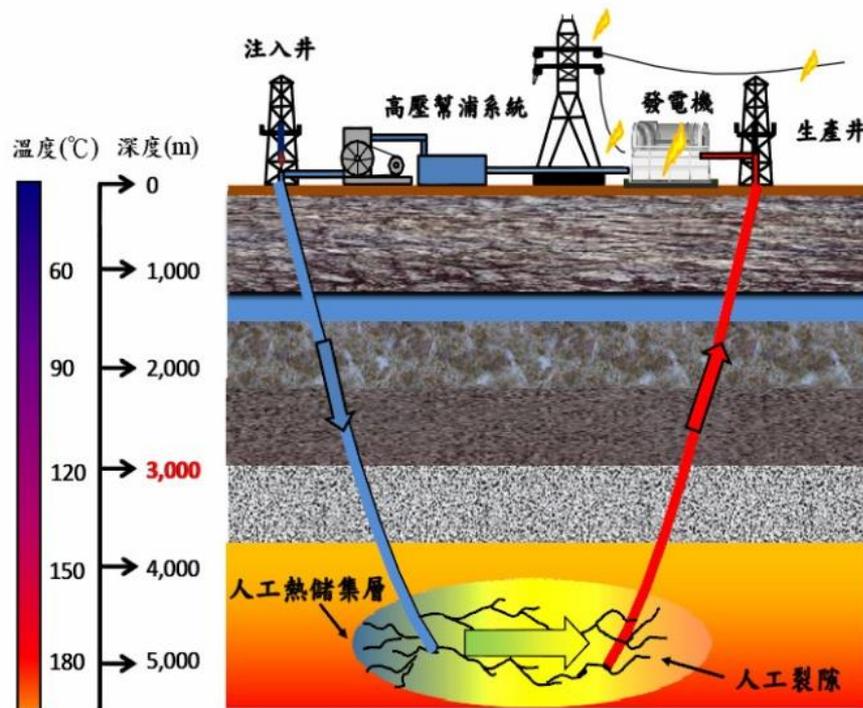


Estimated Crustal Temperature at 5km Depth

Map derived from the AUSTHERM05 database of Chopra & Holgate (2005)
Image is © 2007; Dr Prame Chopra, Earthinsite.com Pty Ltd

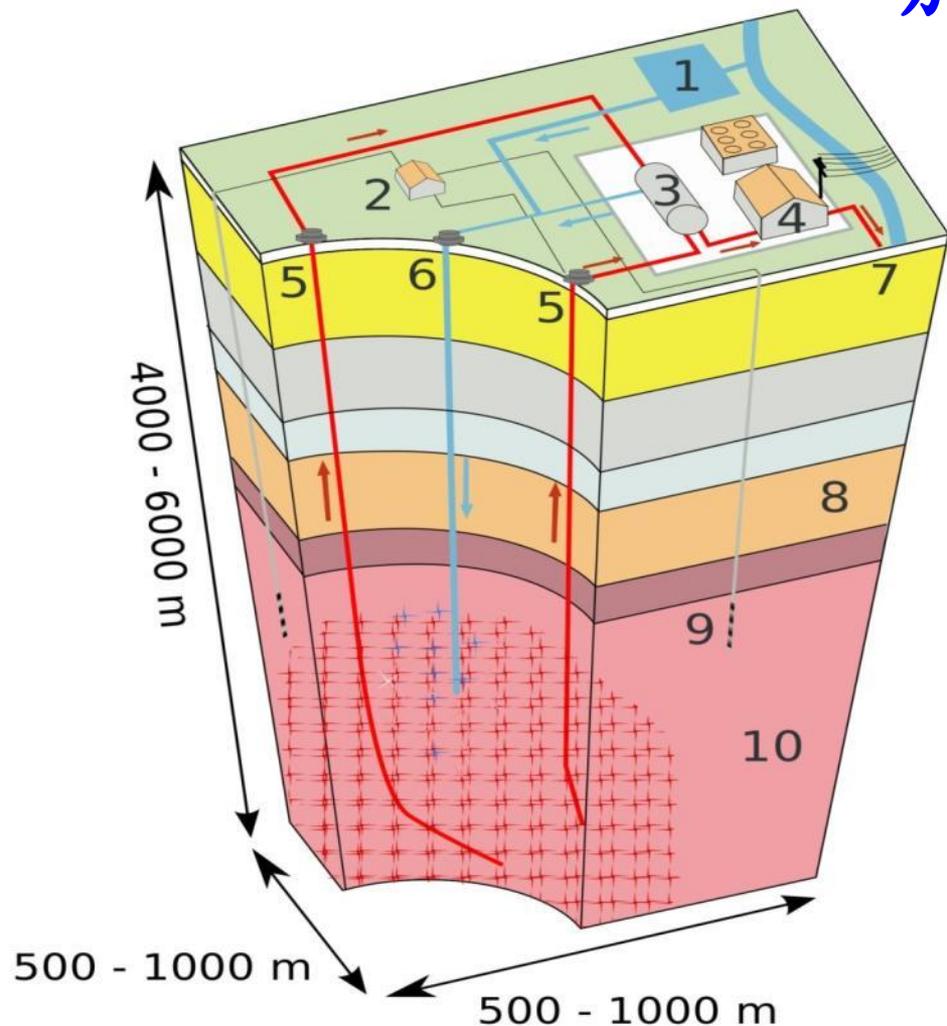
加強型地熱系統(EGS)

- 利用地下高熱
- 配合水力開裂技術開採
- 水平鑽井技術
- 深度約5000公尺
- 儲集層溫度可達150~200°C
- 溫室氣體釋放少
- 利用冷水回注、持續發電
- 對環境衝擊低



深層地熱系統

加強型地熱系統 (EGS)



1. 儲水池
2. 泵浦室
3. 熱交換器
4. 汽機廠房
5. 生產井
6. 注入井
7. 餘熱管路
8. 多孔介質
9. 觀測井
10. 結晶基岩

Hydraulic fracturing (水力破裂)
Horizontal drilling (水平鑽探)



水力破裂

(Hydraulic fracturing, Hydrofracturing, fracking)

注入的水的量與速率與產生破裂的長度有關
破裂的長度又與引發的地震規模有關

如何降低水力破裂引發的地震

- 詳細調查確認大斷層位置，避免引發大地震
- 控制水注入的速率
- 控制水力破裂的深度
- 水力破裂的垂直範圍不宜太大

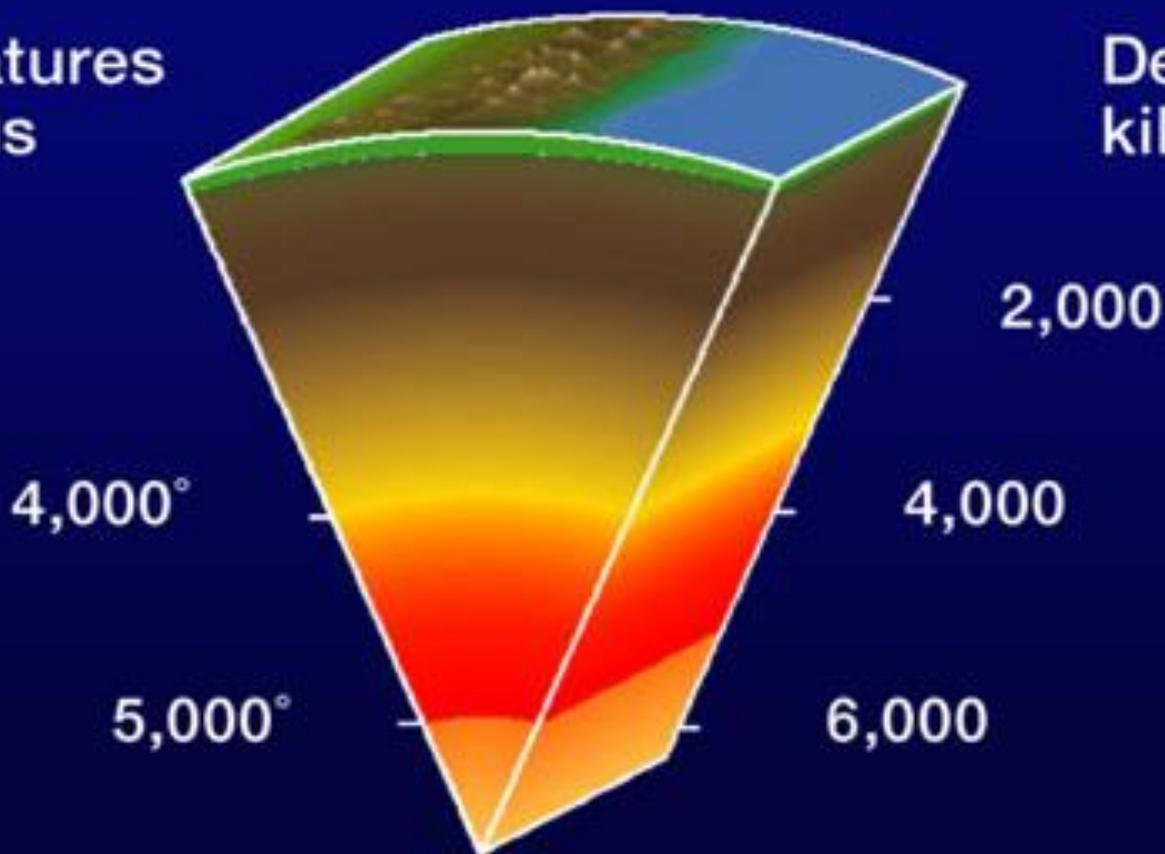


地熱探勘對環境的衝擊 及為什麼邀支持地熱能

Temperatures in the Earth

Temperatures
in Celsius

Depth in
kilometers



The deeper you go, the hotter it gets (in Celsius and kilometers).

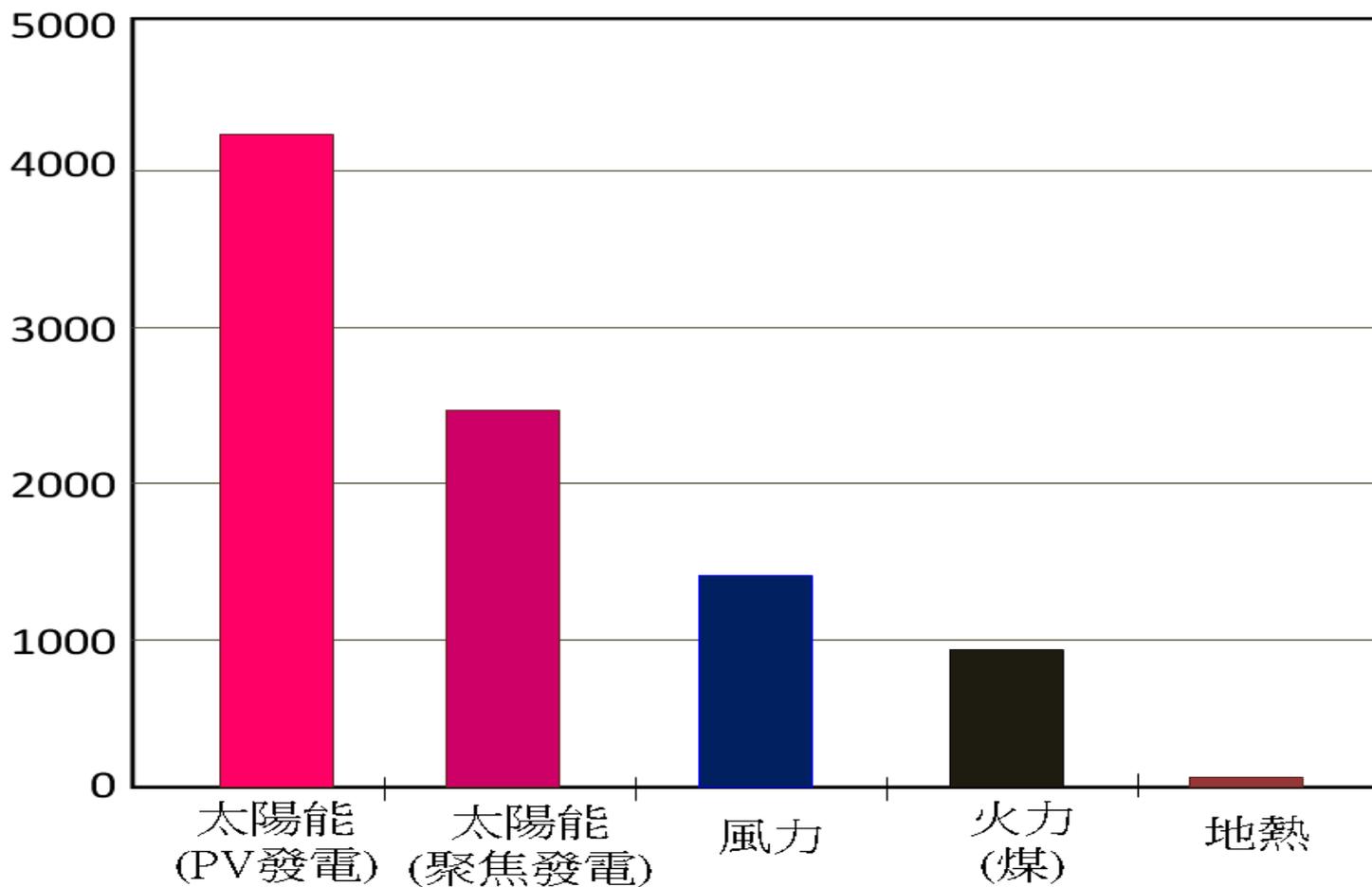


Why Support Geothermal Energy?

1. Geothermal Power is **Reliable & Green Power** of baseload power
2. Geothermal Power Creates Jobs and Spurs Economic Growth
3. Geothermal Energy Promotes National Security
4. Geothermal Energy is **Environmentally Friendly (Clean & Safe)**
5. Geothermal Supports **Local Economic Development**
6. Geothermal is a **Versatile Energy Resource**
7. Geothermal Energy is **renewable & sustainable**
8. Geothermal **Uses Humanly Approachable Technology**
9. Geothermal Energy is **Widely Available**
10. Geothermal Power plant need small area

各種能源所需使用的土地面積比較 (Navigant Consulting, 2011)

英畝/每10億度電

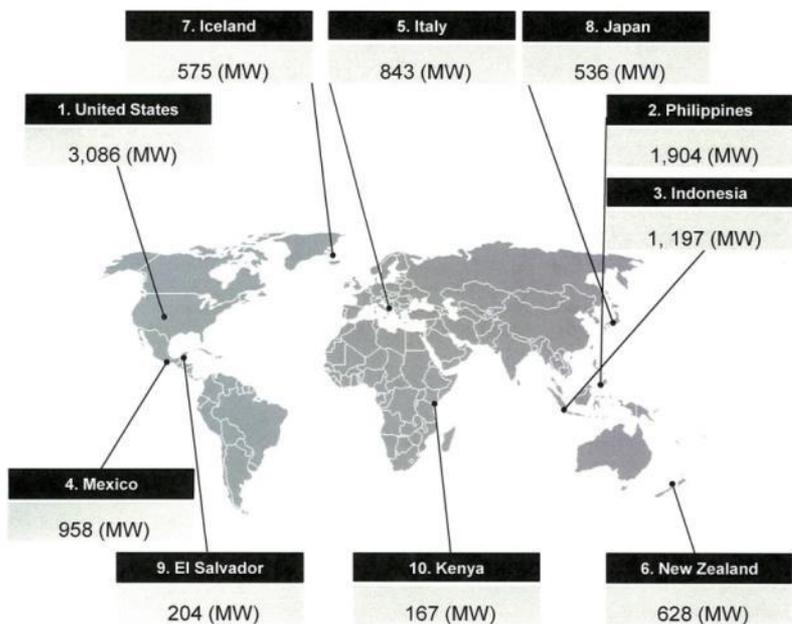


世界各國地熱探勘現況

Countries Generating Geothermal Power as of May 2012

Country	Installed Capacity (MW)
United States	3,187
Philippines	1,904
Indonesia	1,222
Mexico	958
Italy	883
New Zealand	768
Iceland	661
Japan	535
El Salvador	204
Kenya	202
Costa Rica	208
Nicaragua	124
Russia	82
Turkey	93
Papua New Guinea	56
Guatemala	52
Portugal	29
China	24
France	16
Ethiopia	7
Germany	7
Austria	1
Australia	1
Thailand	0.3
Total	11,224.3

Global Geothermal Snapshot – 10,098MW



6. New Zealand

Gearing: ~30%

PPA: ~25 years+ with BBB+ counterparty

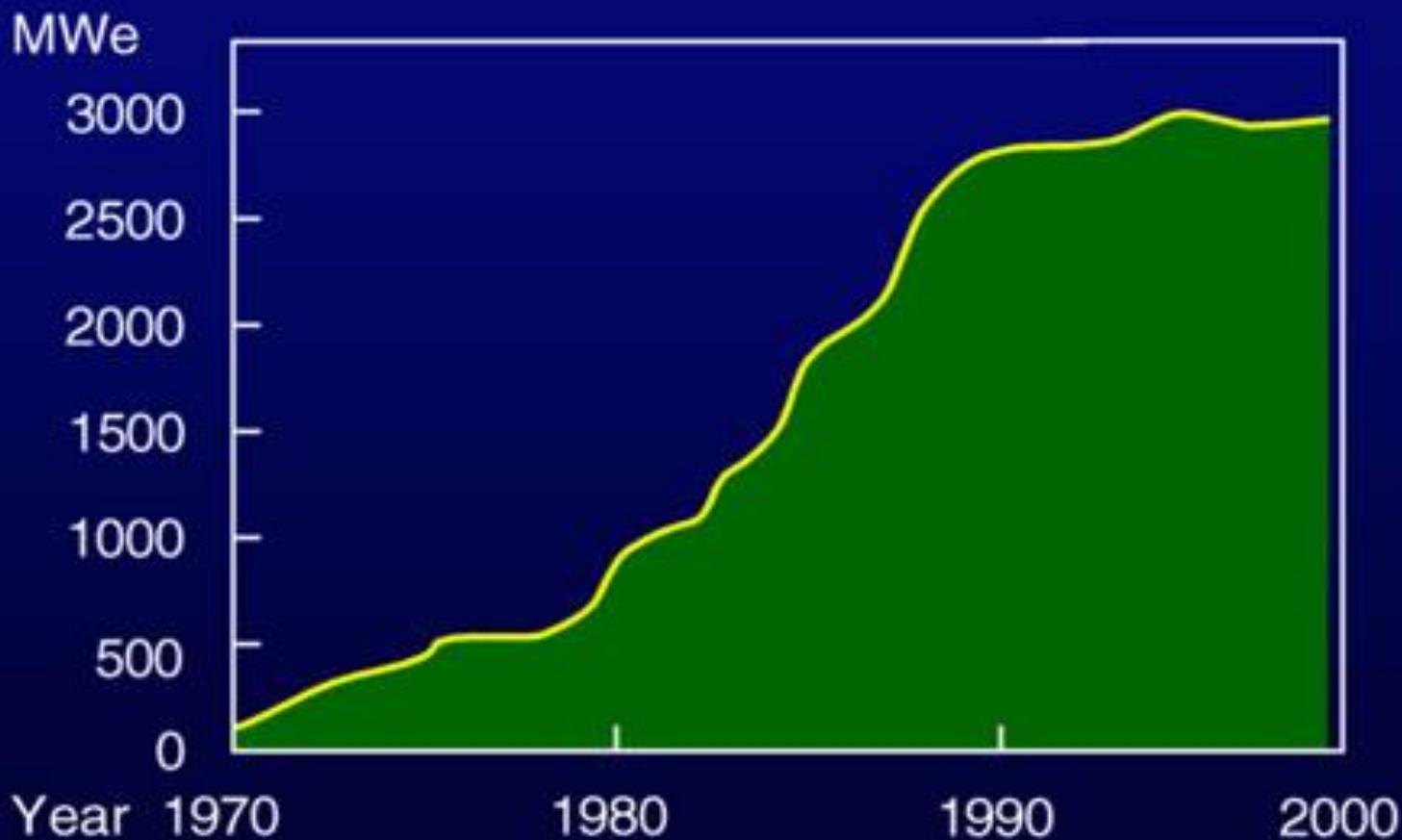
EPC Contracts: Fixed price and time

O&M contracts: ~25 years

Issues: Higher O&M due to corrosive nature of the brine geothermal fluid



Growth in U.S. Geothermal Power





The first geothermal power plants in the **U.S.** were built in **1962** at The **Geysers** dry steam field, in northern California.
It is still the largest producing geothermal field in the world



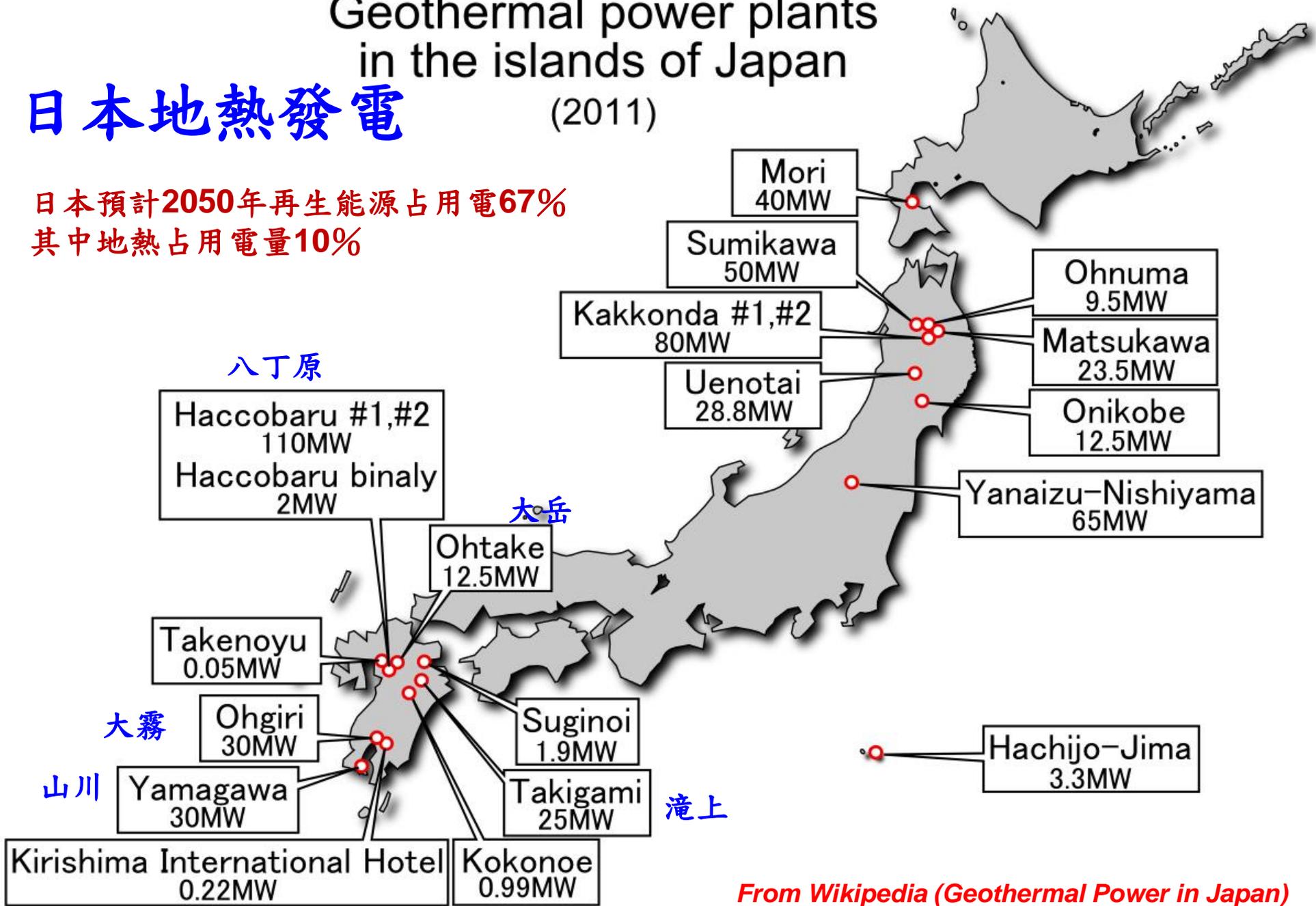
The first modern geothermal power plants were also built in Larderello, Italy. They were destroyed in World War II and rebuilt. Today after 90 years, the Lardello field is still producing

Geothermal power plants in the islands of Japan

日本地熱發電

(2011)

日本預計2050年再生能源占用電67%
其中地熱占用電量10%



From Wikipedia (Geothermal Power in Japan)



Hatchobaru Power Plant

八丁原

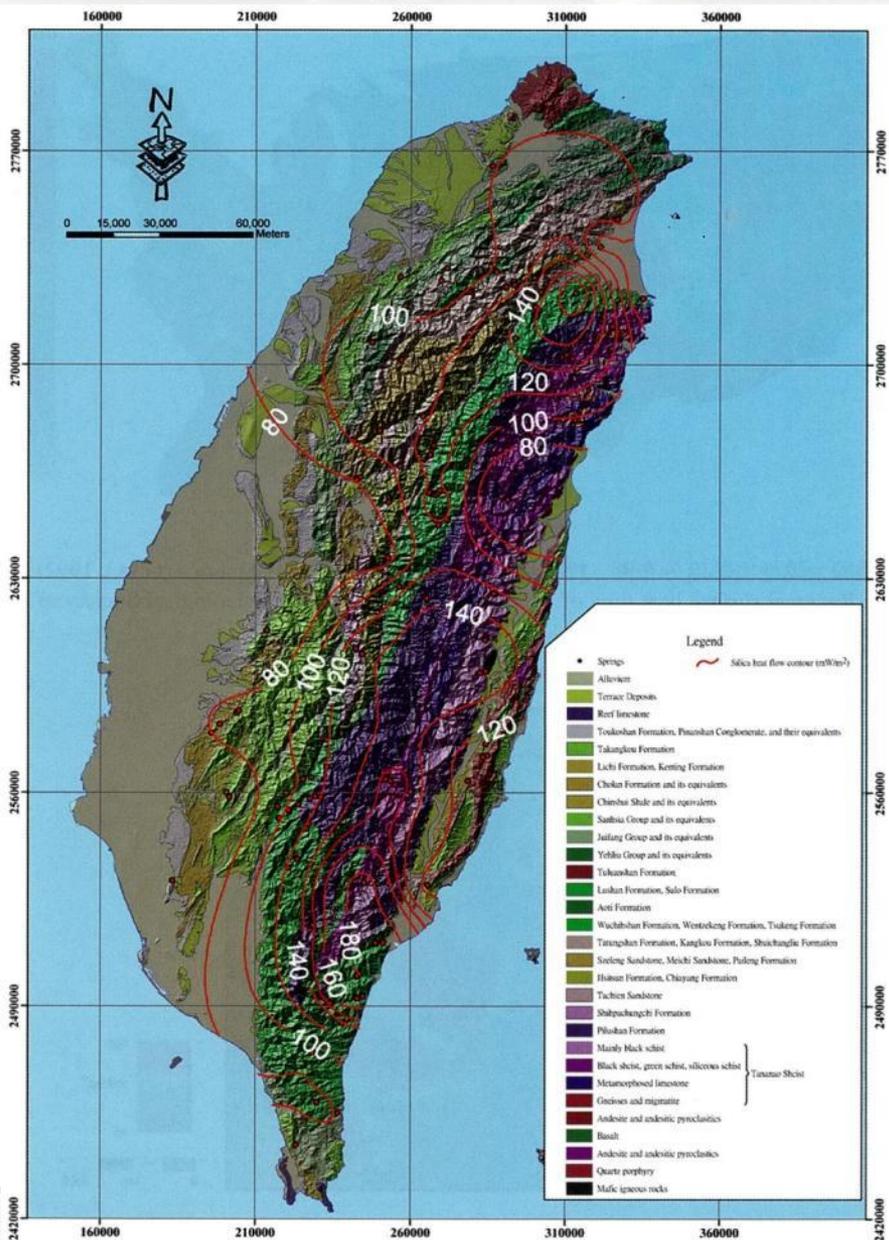




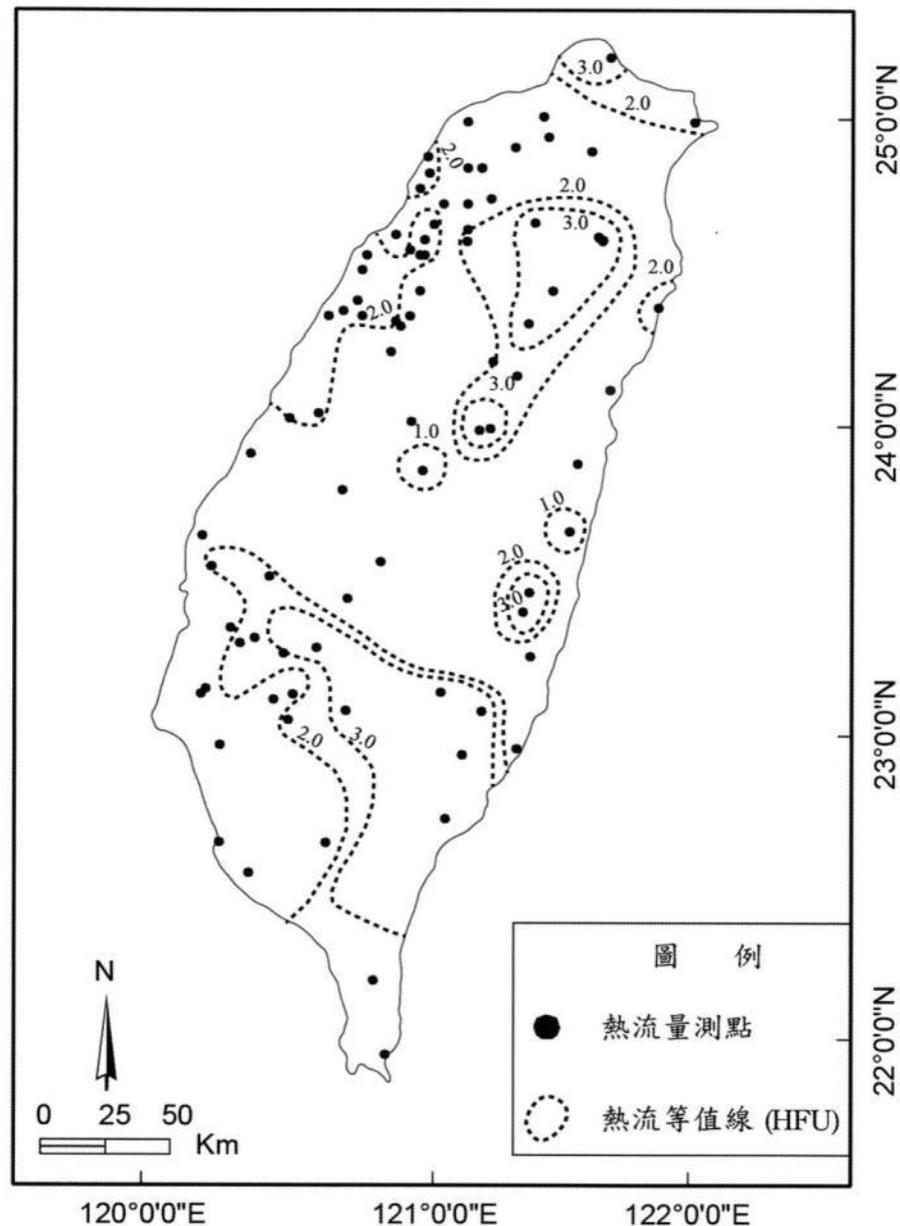


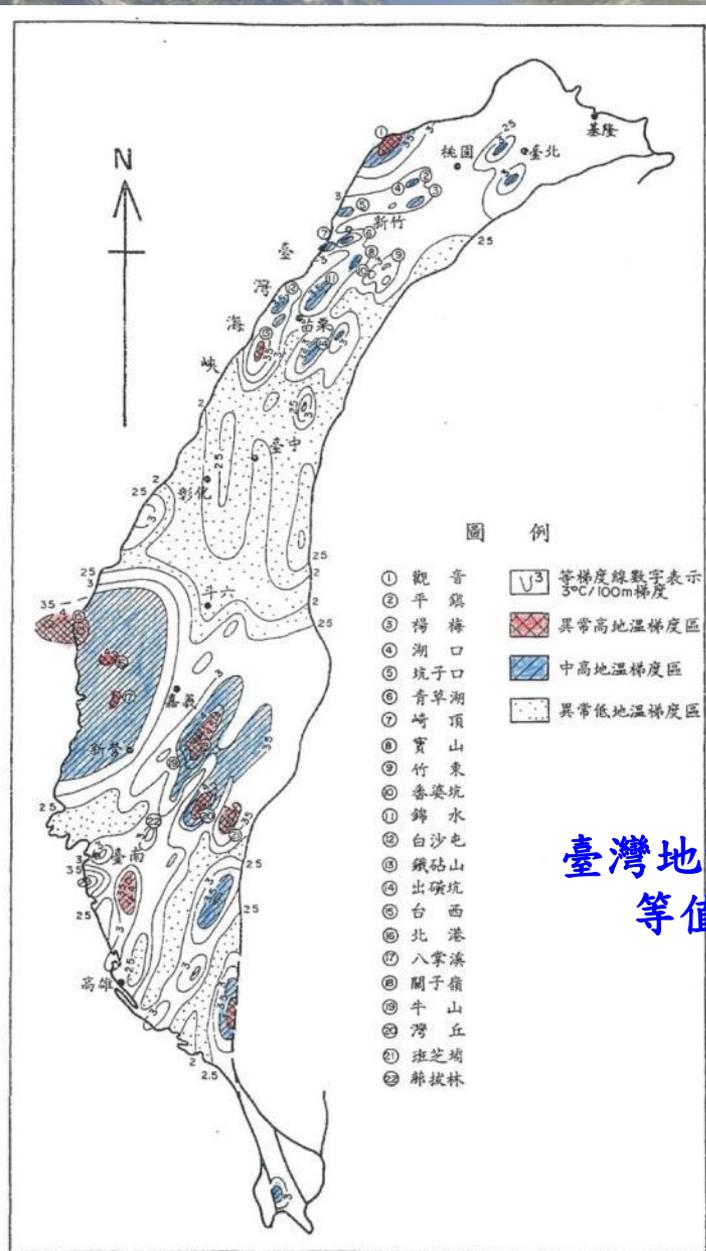
台灣地熱資源探勘現況 及潛在地熱地質區

SiO₂地表熱流分布圖(Liu et al. 2011)

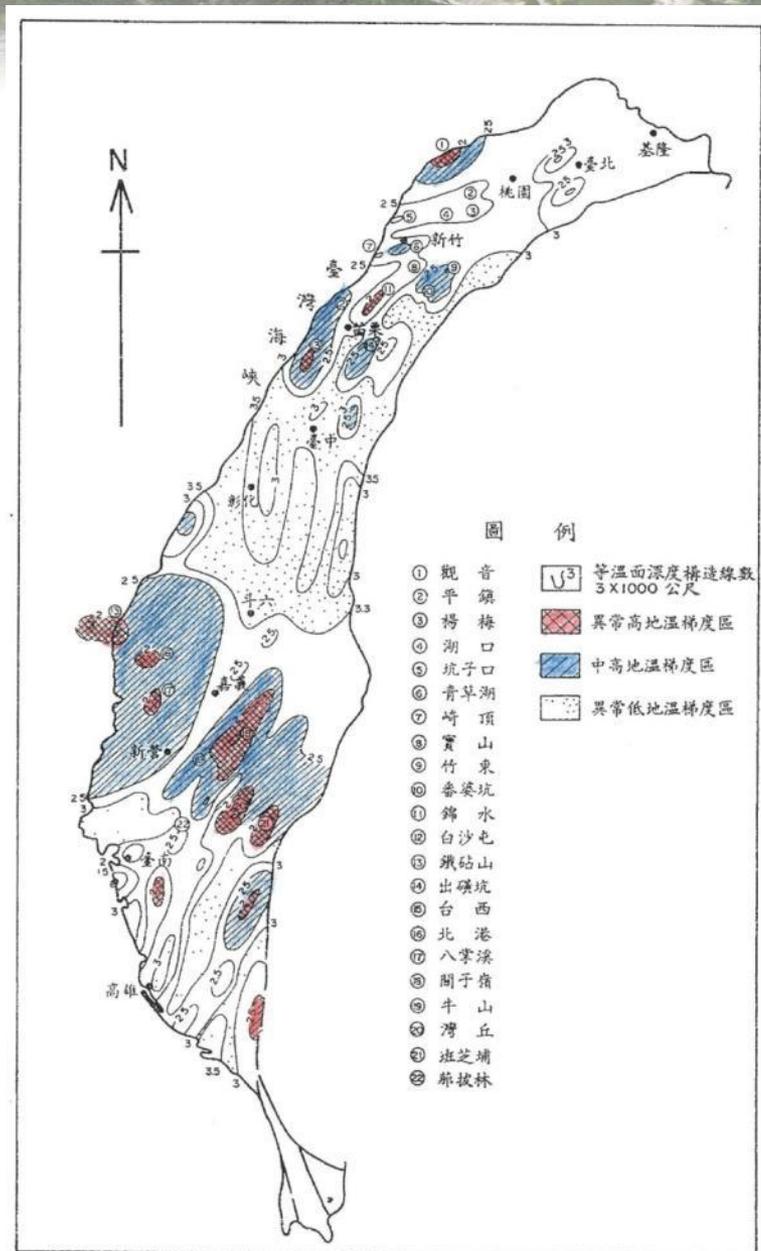


地表熱流分布圖 (Lee & Cheng, 1986)



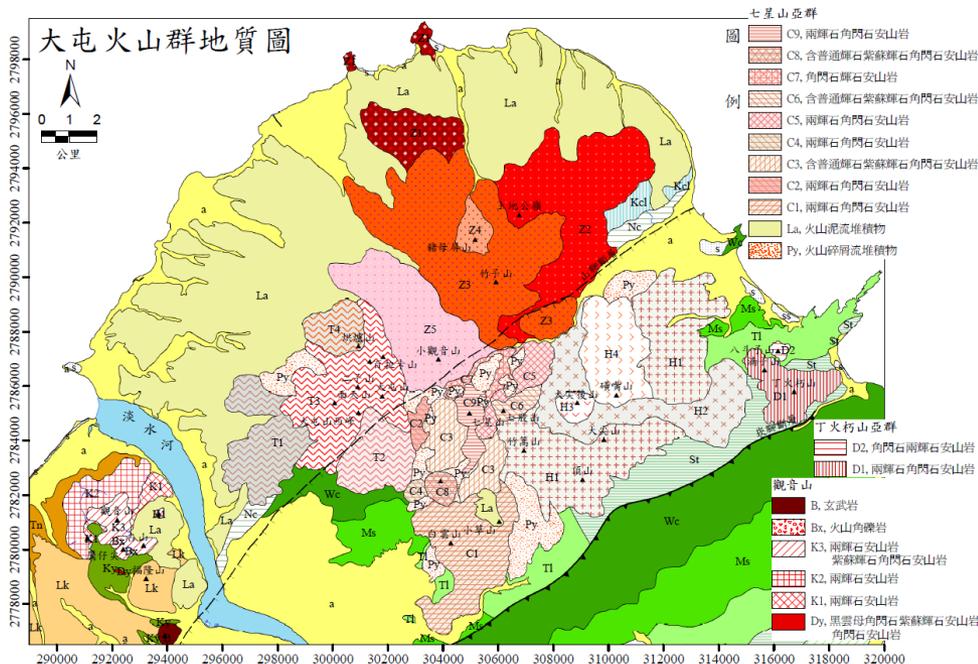


臺灣地溫梯度
等值圖



大屯山地區

- 瑞士 Motor-Columbus 顧問公司可行性研究，1972年8月提出第一份報告，估算大屯火山群地熱潛能最少100,000至500,000千瓦以上
- 溫度最高(探井達近300 °C)
- 目前仍有火山活動，周圍溫泉、噴氣徵兆仍明顯
- 酸蝕、結垢為主要問題
- 多位國家公園範圍內，但若要開發，則以金山、萬里為佳
- 可設置於煨子坪



清水地熱發電

1970s ~ 1980s (探勘&鑽井)

- 工研院進行地質、地球物理與地球化學探勘，並鑽鑿500m之探勘井8口
- 中油鑽鑿1500-3000m之生產井11口（其中8口生產）

1981~1993 (發電生產)

- 國科會主導「先導型地熱發電廠」
- 1981年台電安裝3MWe閃發式地熱發電廠，年地熱產率逐年下降後1993停止發電
- 2003年中油公司完成報廢地熱井與地面管線設施並撥贈宜蘭縣政府

2005迄今

- 經濟部能源局主導、工研院執行
- 舊井修復、新探勘井鑽鑿與地熱發電技術平台建立
- 宜蘭縣政府：Rehabilitation Operate Transfer (ROT)案推廣
- 2012清水50kW地熱增強型雙循環發電示範系統



臺灣東部地區

- 瑞穗、富源、紅葉、安通
(花蓮縣)
- 知本、金崙、太麻里、南
橫(台東縣)
- 綠島地區
- 金崙地區目前已進行小規
模開發
- 過去調查量能集中於北部
- 未來可進一步詳細調查





山區聚落的地熱發電開發

- 臺灣地區多山、多颱風。
- 輸電線路維護不易。
- 中央山脈具有地熱潛力區（如力行產業道路的瑞岩、紅香等地），可開發小規模地熱發電供山區聚落使用。
- 地熱發電可保障山區聚落電源不致中斷，亦減少輸電線路維護及救災成本，冬季尚可將發電餘熱供暖。



結論與建議

- 台灣的特殊地質條件使得地溫梯度高於全球平均梯度，在5公里左右的深層地熱具有開發潛勢。
- 地調所積極推動空中磁測，除可研判火山之活動性外並可探求地下熱源，是探測地熱能源快速且有效的方法。
- 在綠色能源當中，地熱具有使用面積低及投入成本低等經濟上的優勢，應積極大量進行探勘。



結論與建議

- 在具有地熱潛勢的高山地區開發地熱發電，可解決高山地區用電問題，避免天災造成輸電線路中斷衍生的危害。
- 現階段國內法令禁止於國家公園境內開發地熱發電，然火山能源為地熱重要來源之一，若無法適度修改法令鬆綁恐限制大屯山地區地熱發電開發。
- 大屯山地區根據目前的地質探勘，可選在金山地區設置地熱發電，而煥子坪是一適合點。
- 對以往曾開發地熱區如大屯山、清水及金崙地區應重啟地熱探勘。
- 加強型地熱發電(EGS)技術，須詳細瞭解地下構造，建立地熱概念模式，方能降低風險達成目標。