

國立臺灣大學環境工程學研究所

碩士論文

Graduate Institute of Environmental Engineering

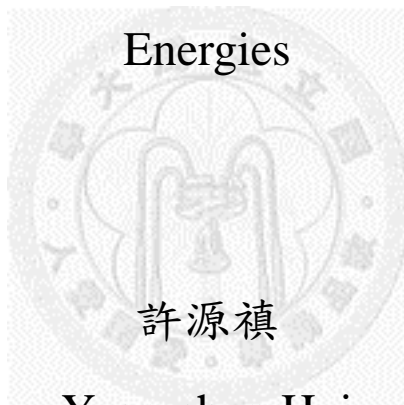
National Taiwan University

Master Thesis

台灣永續能源之數理經濟研究

Mathematical Economic Analyses on Taiwan's Sustainable

Energies



許源禛

Yuen-chun Hui

指導教授：游以德 博士

Advisor: Yii-der You, Ph.D.

中華民國 101 年 11 月

November 2012



國立臺灣大學碩士學位論文  
口試委員會審定書

台灣永續能源之數理經濟研究

Mathematical Economic Analyses on Taiwan's  
Sustainable Energies

本論文是許源禎君 (R00541213) 在國立臺灣大學環境  
工程學研究所完成之碩士學位論文，於民國101年11月20日  
承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

游以德

(簽名)

(指導教授)

張能復

林正亭

張能復

(簽名)

系主任、所長



## 誌 謝

我一直感激台灣及美國的教授。環境科學，少了美國孕育台灣精英，台大也難找到一個起步點；環境工程，國家卻不能交給他國人做，由第一代人探索地下水，到興建翡翠水庫，到今天整個台灣島的水系統，承先啟後。此為國立臺灣大學環境工程所之源。

我在母系經濟系有緣博覽英、美經濟學名著。系上教授在行政經驗、經濟思想和人生哲學皆以長輩身份授予學生。李嗣涇校長在台大發展里程上作出重大決策，僅亞於另一位華人校長傅斯年。李校長建立了通識課程，讓我在文學院、理學院重拾過去失去的學習機會。畢業前，我在想要把一切融會，也要往前邁進，我便選擇了工學院的環境工程所。這是我再次踏入這所華語學府的原因。

我在此感謝指導教授游以德博士惜才育才。其次，我要感謝廖振鐸教授、駱尚廉教授、王信富教授、蘇柏青教授、董霖先生。我真誠希望仿倣以上教育家壯年學養。

## 摘要

關鍵字詞：(台灣)新能源、永續能源、數理經濟

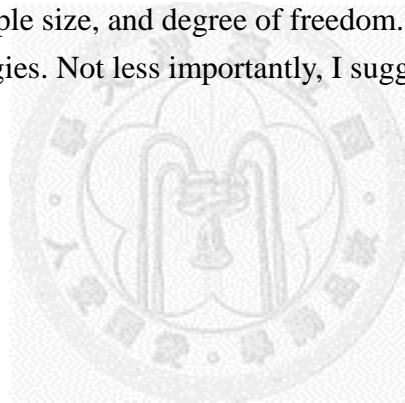
首先，新能源是人類一直追求和探索的。每個經濟體，以至一個多國經濟組織也是不停在消耗能源，尤其是石油。(某些)政府，作為經濟體的最大控制角色，必須供應稍多於工業使用和家居使用的能源。能源應該以最低損失傳輸，也應該以最低損失保存。有科學上的推動力，政府部門的管理更不可少。能源技術貿易和高效核能的國家執照在多元國際上已見。正文首一章(第二章)，我把能源生產的物理學皆以粒子觀表達，作為產能效用的唯一起源依據。從發電站、電纜到工業機器皆不離物理學，也守著工程數學。接著，我寫的經濟學正是從應用數學和現實狀況執筆，再令讀者接合兩方面。統計學是發展成熟，但這門學科是資料性的，缺了數字，勉強可作 dummy variable，缺了數據便是空談。我在最後一章選擇了最傳統的分析法—成本—效益分析。最後，我建議讀者先讀附錄，再讀正文。另外，有些小段是我個人所想，希望啟迪他人或者由他人從中指出更好的意念。



## Abstract

Keywords: Taiwan's new energies, sustainable energies, mathematical economics

First, hopefully, new energies are what humans are ever pioneering when consuming the biofuels. With this fact, governments are making a supply of energy slightly more than demanded. Stored in any physical form and transported with the least loss, the United States and governments including Republic of China find it an essential need to set up energy department and a system of licensing and skilled good control. In the beginning chapter (chapter 2), I refines Physicians' work in illustrating particle reactions. They can translocate one another in trajectories that are vectors. They can bombard to down-scale the mass. The sizable reactors are all designed with the theoretical principles of particle Physics. Next is Economics that reveals the real world of energies. There is a spectrum of Statistic measurements analyzing mean, variance, distribution, sample size, and degree of freedom. I choose one cost-benefit analysis for Taiwan's energies. Not less importantly, I suggest a reading of the only appendix.



# 目 錄

口試委員會審定書	i
誌謝	ii
中文摘要	iii
英文摘要	iv
目錄	v
表目錄	viii
圖目錄	x
第一章 緒論 1	
1.1 研究動機	1
1.2 研究目的	2
1.3 研究方法	2
第二章 (台灣)能源	3
2.1.1 太陽能	4
2.1.1.1 光子	4
2.1.1.2 光子能量傳導、熱能傳導、傳送、幅射	5
2.1.1.3 太陽能裝備設計	7
2.1.2 水力	10
2.1.2.1 水文學(物理部分)	10
2.1.2.2 水力系統原理	10
2.1.2.3 水粒子的震動、轉動、位移	10
2.1.2.4 流體條件變化	13
2.1.3 生物能	14
2.1.4.1 核能原理	15
2.1.4.2 核能裝置 - 美國最新設計與台灣現有	16

2.1.4.3 安全性	18
2.2 其它新能量方向	20
2.2.1 任何可見或不見物質思考	20
2.2.2 守恆與界限	20
2.2.3 轉化、保存、輸送、再轉化	20
2.3 台灣現況與合適地區	21
第三章 能源之環境經濟分析	25
3.1 週期性	27
3.1.1 應用數學	27
3.1.2 經濟事實	27
3.2 穩定性	30
3.2.1 應用數學	30
3.2.2 市場機制與政府干預工具(事實)	31
3.3 最適點	32
3.3.1 應用數學	32
3.3.2 真實狀況	34
3.4 能源彈性	35
3.4.1 理論背景	35
3.4.2 應用數學	36
第四章 新能源之環境經濟模型	38
4.1 成本效益分析簡介	39
4.1.1 非負性與非零性之假設	40
4.1.2 成本以求達到目標	41
4.1.3 效益為經濟誘因	45
4.2 比較經濟體的條件	53

4.2.1 地理相似性	54
4.2.2 產業形態相似性	54
4.2.3 經濟發展階段相對性	54
4.3 模型	55
4.3.1 經濟效用模型	55
4.3.2 核能迴歸圖	60
第五章 結論	63
5.1 方法論	63
5.2 分析結果	63
參考文獻	64
附錄 環境分析之基礎要素	66
A 效率	67
B 密度	69
C 變化	70
D 方位、座標	73
E 集合論	79
F 國外指標的解構	81



## 圖目錄

圖 1.1 能量、水、物質循環	3
圖 1.2 地球能源輻射循環	4
圖 1.3 光電效應示意圖	5
圖 1.4 粒子-波性質	5
圖 1.5 物質表面與光子的效應	6
圖 1.6 其中一種太陽能吸熱板的概念圖	7
圖 1.7 真實吸能板裝置	8
圖 1.8 氮化鎵半導體	9
圖 1.9 在太陽能平板內置的 solar cell	9
圖 2.1 典型水力系統	10
圖 2.2 水分子以單粒狀示意	11
圖 2.3 雨水點	14
圖 2.4 NGNP 核裝置設計	16
圖 2.5 NuScale 核裝置設計	17
圖 2.6 B&W mPower 核裝置設計	18
圖 2.7 台灣主要島嶼地理	22
圖 2.8 台灣主要島嶼水文資料	23
圖 3.1 數學分析之函數概念	25
圖 3.2 經濟成長中景氣循環	27
圖 3.3 短期能源經濟波幅	28
圖 3.4 工業化過程之二氧化碳排放	29
圖 3.5 均衡點調整或回復	30
圖 4.1 生活滿足與 GDP 圖	40
圖 4.2 能源研發投資時間軸分佈	41
圖 4.3 二氧化碳總排放量與人口迴歸圖	51
圖 4.4 殘差及成本效益座標	57
圖 4.5 成本效益迴歸圖	58
圖 4.6 GDP 與核能之迴歸圖	60
圖 4.7 各國分佈位置與殘差	61
圖 C.1 台北的 2012 年 1 月份之雨量	71
圖 C.2 實數線連續性	72
圖 D.1 區域性水循環	74
圖 D.2 新店區衛星圖	75
圖 D.3 陽光強度地圖	78
圖 E.1 基本集合	79
圖 E.2 抽象物集合	80

圖 E.3 管理學上的集合.....	80
圖 F.1 都市競爭力.....	81
圖 F.2 世界房屋住宅指標.....	83
圖 F.3 能源分析.....	84



## 表目錄

表 2 台灣核能資料表	24
表 3.1 南韓(South Korea, 2003)之各比例	36
表 3.2 台灣(2010) 之各比例	37
表 4.1 取代石油能源值	42
表 4.2 工業付出代價	43
表 4.3 保存及輸送永續能源損失	44
表 4.4 永續能源之產能值	46
表 4.5 減少能源對外依賴度	47
表 4.6 四季經濟增長變異數	48
表 4.7 能源自主值	49
表 4.8 外交進展值	50
表 4.9 減少二氧化碳排放量的得益	52
表 4.10 比較經濟體的條件	53
表 4.11 總成本值	55
表 4.12 總效益值	56
表 4.13 先進國 GDP 和核能產量	60
表 D.1 經濟地理表	76
表 D.2 中、台經濟地理	77

## 第一章 緒論

### 1-1 研究動機

隨著 2012 年大選落定，所有台灣研究生和專業人士確知《兩岸經濟合作架構協議》(Economic Cooperation Framework Agreement)得以持續，外交可見穩定。而能源貿易主要就是石油，其次是任何天然產物；能源價值並非日趨顛簸，而是日趨高昂。有見於此，經濟版圖上，隨印度、中國等國高速發展，先進國家如英、美、日、德等國皆肩負新能源的開發與研究。新能源的概念是永續性 (Sustainability)。此研究認為如果其能源成本是長遠穩定而不耗損地球生態圈，即使別於太陽能、風力、水重力與壓力、水潮動力等早已開發卻不能完全取替石油的方法之化學方法應可研究或試用。

台灣島形經濟體頗有重北輕南之發展。由於台灣國內生產總值，資源，地域，風險承受力也是匱乏不足，儘管超導體及電腦科學尚有獨立優勢，國家中央研究院也難而急求前瞻性的生物化方法生產能源。可是有幸的是台灣重視人力資本，經營高等教育以致國際交流並暢通，經濟科學、統計學、應用數學、高實用性之軟體皆是國家專業人士的分析工具。此研究乃針對內陸採用新能源的各項分析。

環境工程其實是來自土木工程。土木工程就是基建的技術，環境工程則重於人類文明發展下的副產物事前的規管和事後處理。規劃社區和處理方法應是一體兩面的。但在環境工程上的教授也同意：國家的日治時及 1949 年至今的產業分佈，央行可干預的匯率，貿易，各類工程，其它經濟角色和其經濟行為是實質影響台灣環境。因此，經濟和環境是共同發展。遺憾的是，很多工業化國家都為前者而犧牲後者，時至今天，領導地位的企業家、國家科學研究人員、聯合國同倡綠色科技 (Green Technology)。Thomas Friedman(2008)提出國際間存在能源領導者、消費者、分享者、驅動者。

此研究論文的遺憾與部分同所同輩的論著一樣，即無法在科學上取得重大突破，往往只能把分析結果與建言交予有權力者，經中研院審閱，或經立法院和行政院通過。這與先進國家的理工學院 (Institute of Technology) 比較，明顯有功能上的差異。儘管如此，在世界科技試點，尋找相似性，嘗試找出新觀點也是一個可接受的研究目標。就台灣的發展而言，推動永續能源，建立新能源試點是有助取得他國政府或非政府組織的關注。既然於全球方向正確，於國內又可創造就業，此研究可供執政者參考。

## 1-2 研究目的

藉網路的發達，大學藏書之豐碩，專業課程的訓練，研究生的思考是活躍而創新。但這種思考若不能應用於社會建樹，只徒作一門不實用的藝術。生態學上，對於生物多樣化(bio-diversity)，環境因子和地域限制影響其演化率或變種速度已不是新奇的事。經濟學中，最佳化，成本最小化，利潤最大化，有限條件的最適點，賽局機率，矩陣記錄數值也呈現。再說，量化的抽象物，品質編成虛擬變數皆可在迴歸方法之中。此論文主方向是在已知的事實找出新的事物。

從已知的生態學、物理學、化學來說明新能源。人類過往數百年，西方科學一直從觀察現象中追求真理。真理化簡成定律，反過來又解釋現象。求證過程是多變但嚴守邏輯。簡言之，此研究是要用已有的科學工具作台灣可行新能源的分析。但模擬和真實建設是有距離或誤差的。過度依賴純理論、新科技，忽略誤差的傳播、擴散、增大是環境工程中最危險的。此研究應該可用到具相似性的其它國家試點。

## 1-3 研究方法

以環境工程學最基本的元素—化學，應用數學及國家的環境規劃與管理（包含相關法律）作基礎，在新能源真實面上作具體的資料表達，漸次進入獨立的科學探討。

（一）數理分析：附錄作最基本分析組件貫穿經濟科學或統計學，說明資料分析者如何造出指標，做出決策。其後是比較（最適）分析方法。

（二）新能源的原理：用物理和化學來深入解釋新能源，也是產能效率。這裡會引用國外科學期刊的資料進行整理。

（三）台灣可行新能源的分析：用簡單模型等作實際台灣試行新能源供應的效益和比較效益等分析。

以上資料來源主要為世界銀行、各國國家統計資訊網。



## 第二章 (台灣)能源

以下三圖正指出第三章的主要能源－太陽能、水力、核能，而且地球的太陽、海洋、指定物質三者是以涵容範圍遞減排序。整章用上粒子概念，原因是太陽的能量是來自其無數的核子反應，產生巨大流量(flux)的電子微中子(electron neutrino)到地球地殼表面(B. R. Martin, 2009)。另外，水力產能中，水分子也可以用粒子力學說明，核能本身就是核子物理。再簡單說，合適UV日照與雨量是互補形式產能。

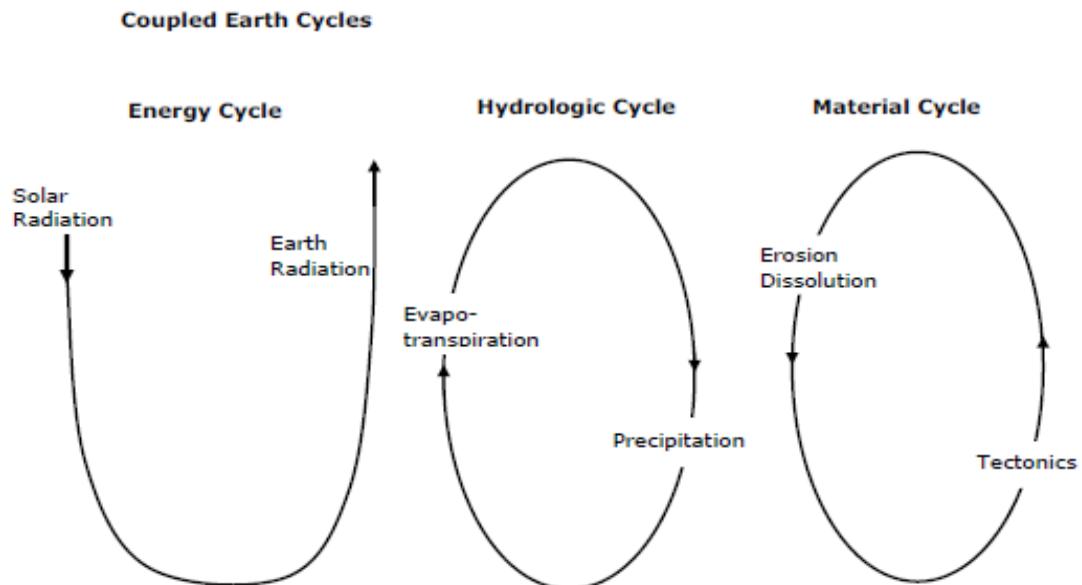


圖 1.1 能量、水、物質循環  
(Prof. Charles Harvey lecture note)

## 2-1-1 太陽能

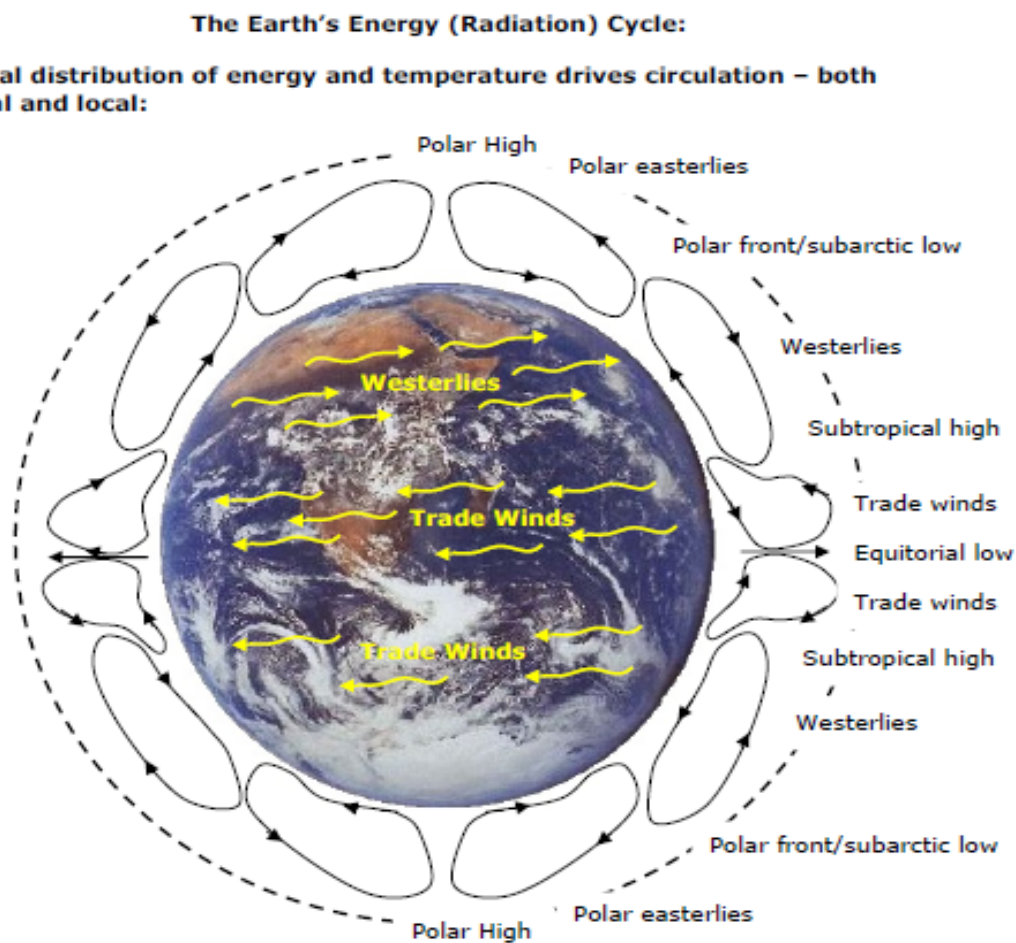


圖 1.2 地球能量幅射循環 (Prof. Charles Harvey lecture note)

### 2-1-1-1 光子(photon)

粒子(atom)早被人認為是宇宙的第一因，電子、中子、質子相繼證實存在，展開了原子物理(atomic physics)。物理學家對光先由反射(reflection)、折射(refraction)、繞射(diffraction)、穿透(penetration)開始研究。其光強度的分散隱含能量的流失或能量的分散。在繞射上，波的形成和性質(波長、頻率、同異相)被物理學家定義，並廣泛應用至電磁學的 Maxwell Equations 等上。到後來的光電效應(photoelectric effect, Einstein, 1905)引證能量可由光粒子(即光子)傳至電子。這也是後期的量子光學(Max Plank)。

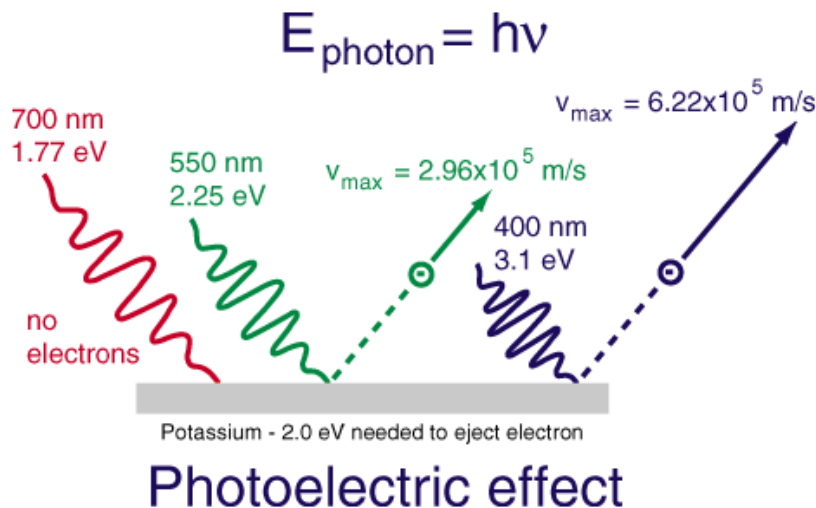


圖 1.3 光電效應示意圖

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/imgmod2/pelec.gif>

現在，普遍地，物理學家與研究型大學均承認光的粒子-波-雙重性質 (particle-wave-duality)。在時間(  $t$  )增長，光子出現在相若(相同)位置的機率是一樣，漸漸呈現波的分佈。

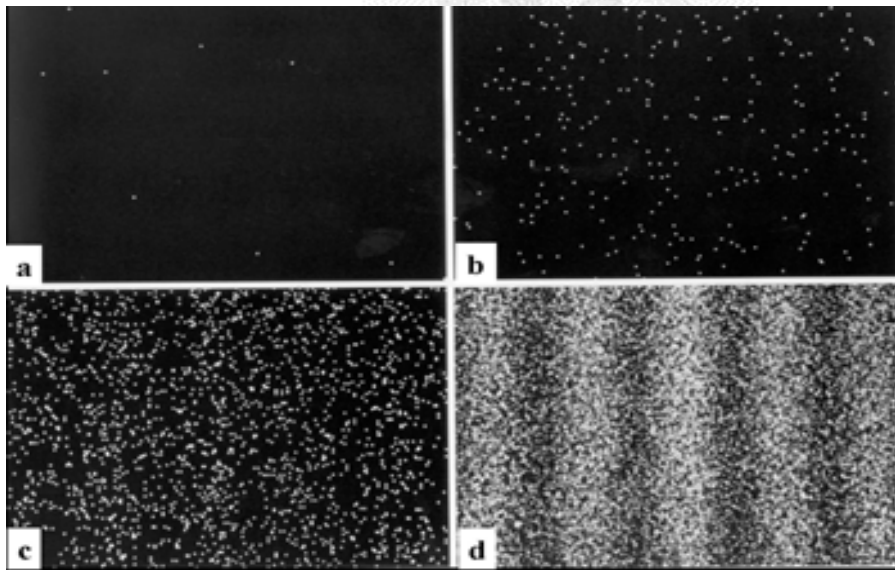


圖 1.4 粒子-波性質 <http://www.hitachi.com/rd/image/fig2.gif>

### 2-1-1-2 光子能量傳導、熱能傳導、傳送、幅射

熱力是有梯度的，由高溫流向低溫。在太陽能的設計上，工程師必考量此三種基本之熱傳途徑。較不嚴謹的定義上，傳導是固體(solids)與固體相接下的熱力流動；傳送是固體與流體(fluids)間的熱力散發；幅射是指隔著真空(vacuum)或一般空氣傳輸熱力到第二身體。依據不同物理條件，研究者很難比較三種途徑。吸收面積、距離、熱力梯度、各種系數即是其變化因子。

在日照時，一切距離與 Stefan constant 尚且穩定，但日光對吸熱板的發射率 (emissivity)、化學物板的熱傳導系數 (conductivity)，還有變相、部分變相、流體化合物的傳送系數 (convective transfer coefficient)。

$$\Delta H = f (K, L, A, \Delta T) \quad (2.1)$$

$\Delta H$  = 熱能

$K$  = 不同物料(material) 的不同途徑之系數

$L$  = 物與物的距離

$A$  = 物的總表面積

$\Delta T$  = 溫差

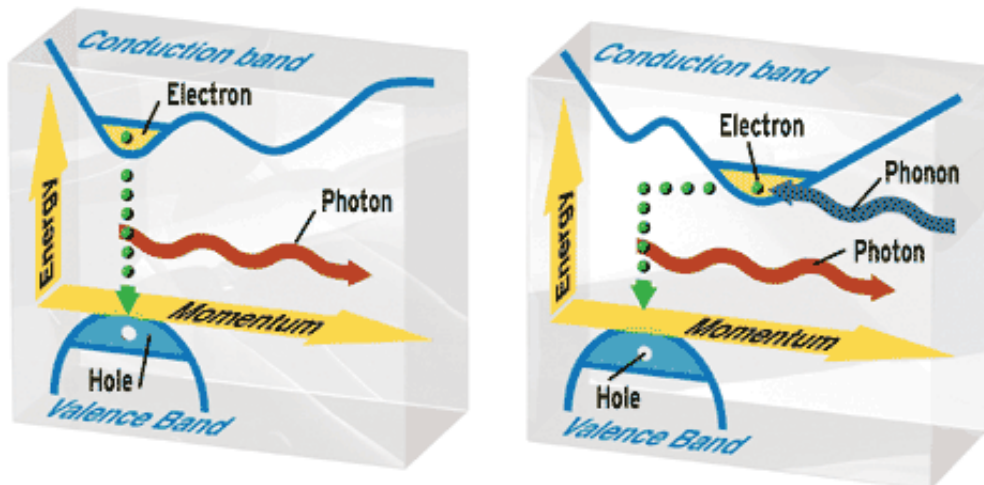
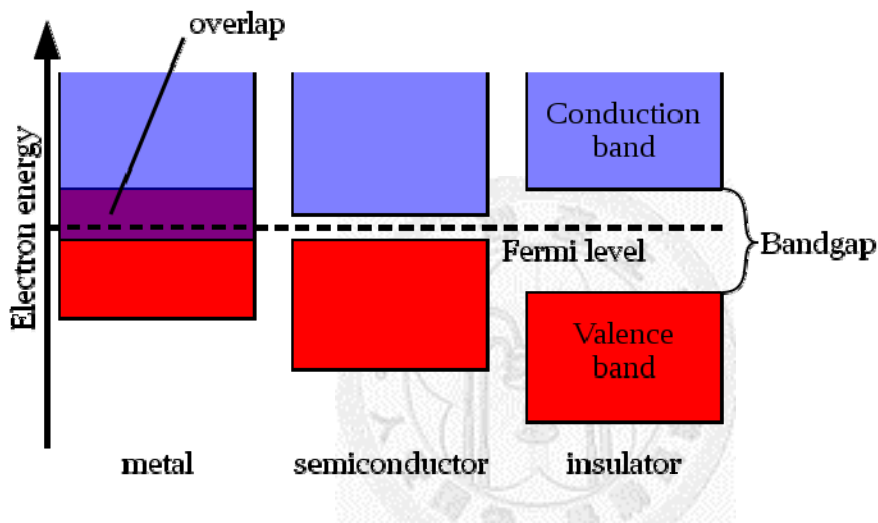


圖 1.5 物質表面與光子的效應

金屬元素粒子表面有電子，填滿了的最外可能空間層稱價帶 (valence band)，未填滿的稱導帶 (conduction band)，兩者定義始於離散的能量關係。上圖解釋量

子力學中聲子(phonon)與光電轉變能量的關係。

此研究對其總結式的補充是光子既然是離散的粒子，它應可以像電子計算靜電和電流般，貫穿量子光學和熱電學，事實如此。工程的熱力偏微分方程多是使用在各類實物工程上，並用軟體計算其數值解，應應用在吸能後的結構物料能量儲存和能量運輸上。

### 2-1-1-3 太陽能裝備設計

除了選址興建外，一般太陽能裝置設計著重(1)吸熱和保儲熱、(2)傾斜角度與表面積、(3)其它實用設計和能量效率等。它們原理就是以上三點，但設計和材料可以不一樣。例子有蜂巢式設計和部分轉相化學結合物等。

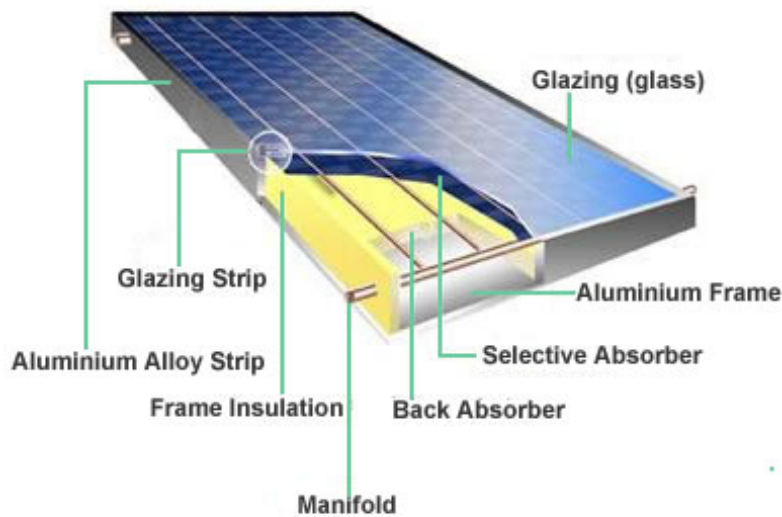


圖 1.6 其中一種太陽能吸熱板的概念圖





傾斜之吸能板(National Renewable Energy Lab)



平面鋪設之吸能板(Washington, D.C.)

圖 1.7 真實吸能板裝置



圖 1.8 氮化鎵半導體(Gallium nitride semiconductors)



圖 1.9 在太陽能平板內置的 solar cell

## 2-1-2 水力

### 2-1-2-1 水文學(物理部分)

如上節，此研究將水視為水分子，或者有其他元素或有機物飽和或在延散的水體。由單位水體，到不同涵容能力水系統，到最大甚至無限涵容能力的水世界。水文學上分別對水性質和不同地形(topographic)的地下水、雨量、河、湖、泉等作研究。由於先進國家不斷研發新技術，發展中國家不斷加強、改善水系統，水文學與水利工程已是密不可分。

分子間存在著

### 2-1-2-2 水力系統原理

基本上，大型水庫將水分子結合成的流體在位能在高位注入低位橫切面小的管道造成巨大動量，推動大型螺旋槳，而動能產電。能量會消耗在運輸和轉化，但原理上不會如放射性物質在推動螺旋槳後可以增大能量。因此，這部分會討論位能和動能。

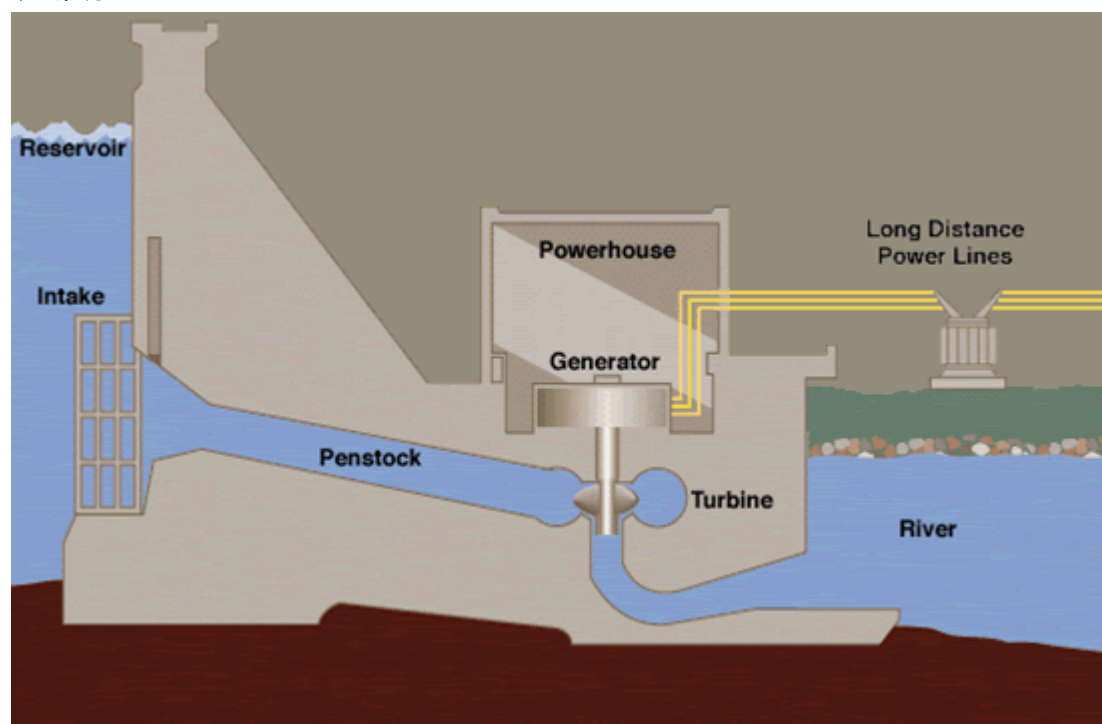
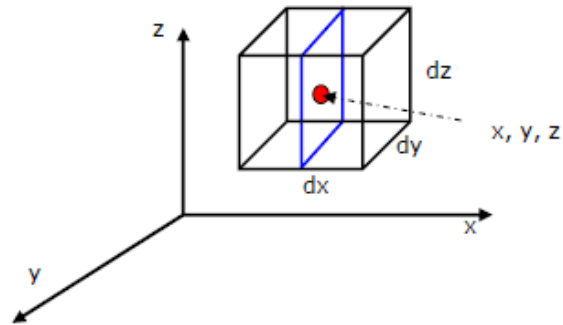


圖 2.1 典型水力系統

### 2-1-2-3 水粒子的震動、轉動、位移

在波學中，不同結構的粒子的三種動態早被提出。在水庫中的水分子震動、轉動未能產力巨大能量，但它們仍然有能量階(energy levels)。在水力產能過程，位移是極大量的水分子接近同時流動。在水力產能的部分不提靜態儲水時間過程。

從水分子質量能力測度：



mass inflow rate - mass outflow rate = change in mass storage

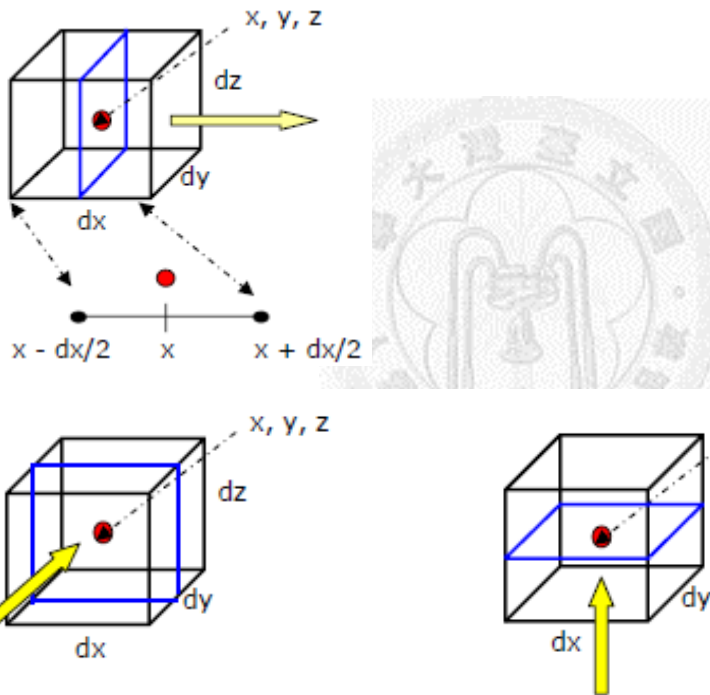


圖 2.2 水分子以單粒狀示意

質流(mass flow)向 y-z 平面位移(inflow)：

$$[\rho q_y] dy dz - \frac{\partial}{\partial x} [\rho q_x] \cdot \frac{dx}{2} dy dz \quad (2.2)$$

質流(mass flow)離 y-z 平面位移(outflow)：

$$[\rho q_y] dy dz + \frac{\partial}{\partial x} [\rho q_x] \cdot \frac{dx}{2} dy dz \quad (2.3)$$

在 x 方向，質流的淨位移：

$$-\frac{\partial}{\partial x} [\rho q_x] \cdot dx dy dz \quad (2.4)$$



dx, dy, dz 是 x-, y-, z- 微分量，用其為近乎零之邊長。  
 同樣地，y-方向和 z-方向的淨位移分別為：

$$-\frac{\partial}{\partial y} [\rho q_y] \cdot dx dy dz \quad (2.5)$$

$$-\frac{\partial}{\partial z} [\rho q_z] \cdot dx dy dz \quad (2.6)$$

三式相加之總質量流(total mass inflow):

$$\left[ -\frac{\partial}{\partial x} (\rho q_x) - \frac{\partial}{\partial y} (\rho q_y) - \frac{\partial}{\partial z} (\rho q_z) \right] \cdot dx dy dz \quad (2.7)$$

$\rho$  = 水分子密度

$q$  = 流量(三方向)

質量流率(mass flow rate) =  $\rho \cdot Q = \rho \cdot Av$  (kg / s)

$Q$  = 流量

$\rho$  = 水分子密度 = 質量 / 佔有空間

$A$  = 管道橫切面

$v$  = 流速

Darcy 定理指出地球的地面水必然是由上而下流，既然水分子是有力凝聚，除了淨力向下，也有摩擦阻力的。而摩擦阻力有兩種，一為以  $\mu m$  為單位的沉砂、雜質與設施金屬等，第二種是水中的黏力(viscosity)為水體的內在摩擦阻力(internal friction)。

繼之，既有流量，水流應分開流體：

(1) 定量流 (Steady Flow)

(2) 變量流 (Unsteady Flow)

(3) 片流 (Laminar Flow)

Reynolds number,  $NR = V \cdot Rh / \nu$

$V$  = 平均流速

$Rh$  = 管道水力半徑

$\nu$  = 運動滯度(只屬片流) =  $\eta / \rho = (\text{shear stress, } \tau) \cdot (\Delta y / \Delta v) \cdot (1 / \rho)$



(4) 紊流 (Turbulent Flow),  $N_r > 2500$

(5) 亞臨速流(Subcritical Flow,  $N_f < 1$ )、臨速流(Critical Flow,  $N_f = 1$ )、  
超臨速流(Supercritical Flow,  $N_f > 1$ ),

Froude Number,  $N_f = V / (g \cdot D)^{1/2}$

V=平均流速

D=水力深度

g= 地深加速度

一直是著重在能量，只須用 Bernoulli' s Equation:

$$P_1/\gamma + Z_1 + (v_1)^2/2g = P_2/\gamma + Z_2 + (v_2)^2/2g \quad (2.8)$$

P=壓力

$\gamma$  = 比重(specific weight)= 水重力/水佔空間

v = 流速

g= 地深加速度

總結，Bernoulli' s Equation 的每一項是流動水體(單位)所帶的一種能量。

#### 2-1-2-4 流體條件變化

既然水力系統的原理離不開位能轉化為動能，此節將討論影響水力的化學物質與性質以及物理條件。首先，水庫有中和、涵容和沉砂作用，但據隨機漫步(random walk)理論，因水庫的深度和表面積極大，這些作用耗時甚長。

首先，物質有分水溶性或非水溶性。環境工程師針對其水質，但水能發電是針對其化合物影響流速(flux velocity)，反過來說，即研究化合物如何影響水流內在的黏力(viscosity)。

金屬化合物如在水體部分流動，不僅整個水體硬度及重量提升。但這種影響是各地、各池不一的。工程師比較傾向於用數值解繪出視覺化的圖，而不只是求出分析解。一價、二價金屬物的部分存在對流動黏力的影響。而水利工程為利，各台灣縣市之地下水、天雨水質有異。優化物如磷、氮還有溶氧等，是孕育微生物或藻類令水庫存量和產能效率下降。溫度、pH 值(酸鹼度)或其它極多物化指標，工程師全都傾向於用數值解。

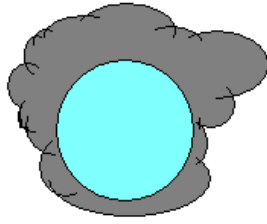


圖 2.3 雨水點

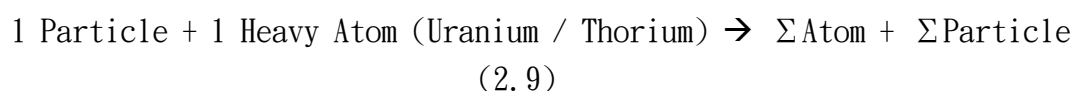
雨水水滴表面的砂是，這種固體多是不溶於水，有待自然沉澱(曾四恭, 李育輯)。水流(水分子流)在向下逸散的砂流速理論上是減低，因為在瞬間( $dt$ )，形成了如同洞隙作用(porosity function)。泥沙粒比水分子大得多，水分子無孔不入，但泥沙粒也阻擋了一部分的水分子位移。另外，兩者相接觸的摩擦力也是減速原因。整節中，水庫表面積蒸發率不作討論。

### 2-1-3 生物能

此節脫離粒子觀，提及一種長時間的能量轉化，稱之生物能。其主要原理是以生命力集合不能用機械和物化工法提取的能量物，時間視乎其生物之平均壽命。轉化程度和時間正是產能效率。大量培植會出現意外衰亡或異常化。在生物能中，可調校的除了微生物量、環境條件、食物鏈外，還有界(kingdom)至種(species)等。我想在這部分提出「死物生物化」。生物是由細胞組成，且具有基因(Stanford Philo. Dict. <http://plato.stanford.edu/entries/life/>)。其實美、日科技工業也在這個概念上發展，人工智能、情緒、反應。相反的想法也見於人體醫學，骨骼支撐和生物工程。死物如導體、人造纖維、化合物也可以與動物(哺乳綱, mammalia)結合。毛髮脫離動物便不會增長。微生物又可依附其它物質。若果在這概念上有重大進展必有益於生物產能的掌握。

## 2-1-4-1 核能原理

核分裂(fission): 用粒子碰撞一種原子, 分裂成小原子和多個粒子, 釋出能量。



核熔解(fusion): 由不同質量的同位素原子碰撞轉成其它原子, 放射一種粒子, 並釋出能量。



粒子包括氦(Helium,  $\alpha$ )、電子( $\beta$ )、光子( $\gamma$ )及其它。以下主要圍繞核分裂作分析。

	A/ N/ Z	fissile	天然佔有比率	產能級別	性質級別	放射期(年)
U-235	235/ 143/ 92	Y (induced by zero-energy neutron)	0.7%	RICH	REACTOR - WEAPON	4.98E+09
U-238	238/ 146/ 92	N (induced by energized neutron)	99.3%	RICH	REACTOR - WEAPON	7.13E+07
Pu-239	239/ 145/ 94	Y	by decays	RICH	REACTOR - WEAPON	2.41E+04
Th-232	232/ 142/ 90	N	接近全部(其它 by decays)	RICH	REACTOR - WEAPON	百位至千倍少於鈾

物化性質是有很多指標, 仍未完全發現, 以上只是部分。

連鎖反應(chain reaction):

$$K = \frac{\text{第}(n+1)\text{次核分裂產生的中子數目}}{\text{第}n\text{次核分裂產生的中子數目}} \quad (2.11)$$

$K=1$  是核分裂可持續的臨界點(critical point);

$K<1$  是次臨界(subcritical)點, 核分裂反應會終止;

$K \geq 2$  是超臨界(supercritical)點，其核反應會高速增長

物理學家著重的是第一次以後或第一時間點以後，中子釋放量以及鈾粒子(其中一種)的存在(剩餘)量，他們把兩者用機率關係連結。引發核分裂的機率為  $p$ ，一粒中子在  $n$  次碰撞後產生的機率是：

$$p \cdot (1-p)^{n-1} \quad (2.12)$$

那麼平均碰撞次數：

$$\bar{n} = \sum_{n=1}^{\infty} np(1-p)^{n-1} = p^{-1} \quad (2.13)$$

本身機率就是空間對直實數值的關係，上式為物理學核分裂機率通式，但若果  $p$  可以在技術範圍內鎖定至 10 位或更多有效數字，那就不是機率而是正相關關係(線性與非線性)。核子反應是自然現象，但裝置的機率是可以透過技術革新。不過，觀看今天的核能設計，為了產出巨大能量，粒子數和裝置容量皆很大。這可以類推如同化學中的過程反應(propagating process)。

不再延伸其原理，原則不變，現在有很多工程師設計出式樣的核電站。一般物理應用的粒子放射，其速度必趨近  $c$  值。能量以外，原子或核子物理就是研究核子(nucleon)和強子(hadron)，而電子、中子、質子量三者皆導致原子物理特性異同。

#### 2-1-4-2 核能裝置 - 美國最新設計與台灣現有

美國因國際形勢、國家內需，在核能法規下，設計新型核能裝置(尚未啟用)。其工程委員會在(1)安全性、(2)技術、(3)可持續研究上作主要考量(USNRC, 2012)。

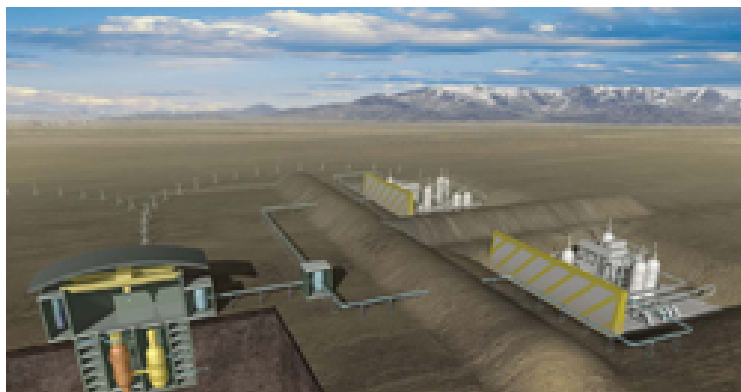


圖 2.4 NGNP 核裝置設計 (Department of Energy, U. S.)

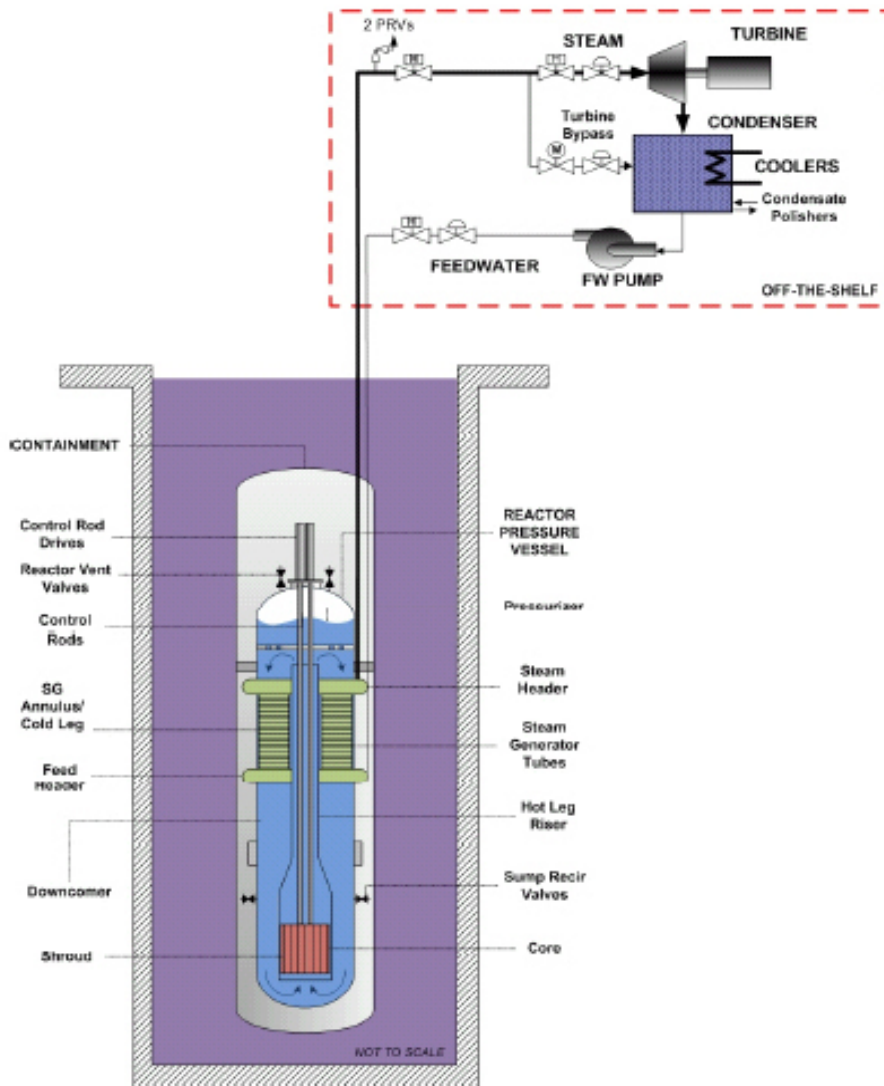


圖 2.5 NuScale 核裝置設計 (Department of Energy, U.S.)



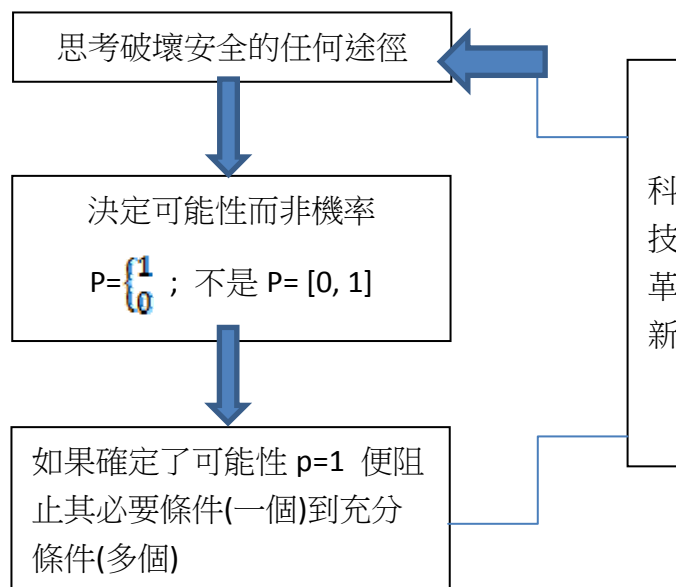


© 2011 Babcock & Wilcox Nuclear Energy Inc. All rights reserved. Reproduced with permission.

圖 2.6 B&W mPower 核裝置設計 (Department of Energy, U.S.)

### 2-1-4-3 安全性

每次大量使用鈾或鈾，皆會產生巨大熱能，需要比熱大的物質(如水)冷卻反應器。可是，反應器的金屬體和核廢料總是存在安全問題。安全性即連繫到風險的評估與管理。



災難評估：

由於現世界完全信賴 GDP 尺度，上部份已說明不採任何機率，因為一次足以摧毀一切，故用下式決定其程度：

$$1 - \frac{GDP_{after}}{GDP_{Before}} \geq k ; k = \text{some percentage} \quad (2.14)$$

有人質疑上式的適用性質。人命可以人力資本(human capital)作計算，公司損失可用會計學和商業法律計算，鐵路等基建可以從原本的運輸便利(或運輸量)作計算。如果是長期的公害，經濟學有 chain-weighted GDP (鏈比重國民生產總值)。每個國家、每任政府對經濟、建設的回復力不一，關乎行政機關或國會之流程，所以 k 值只供參考，原則上，加上失去的季期、年期，回復力的速率要更快。



## 2-2 其他新能源方向

### 2-2-1 任何可見或不見物質思考

首先，鈦核能已經是 2011 年先進國所提出的方法(TED, 2011)。其主要原因在於核廢料有異。可見的物即是 118 種元素及其化合物。物質可見與否是關於波長，但人類的視力只是其中一種有限維數(limited dimension)的察覺器(detector)，科學與工程結合，更多多維(multi-/ unlimited dimension)的物質被證實存在，例如光子和微中子(neutrino)，其它反粒子(anti-particle)。從質量到性質，研究員可測試它們可以放能(或吸能)的原理，再作產能試用和最大安全使用。

### 2-2-2 守恆與界限

科學上，守恆的概念是永不減減，在整個宇宙中其「量」必保持如一。在多種守恆物理量外，只要有科學家找到新一種守恆物理量別於舊者而非始於前者，這便是新能源的契機。國內外一直有人提議最佳的廢水、二氧化碳、有機物處理方法，皆在於舊物理量的守恆性。

另一個想法是用舊有的產能方法，但拓展其界限。「界限」並不是指空間的邊界，而是所有地水域範圍、科學方法、機率。國家探索環境多為了天然資源、食糧、土地使用。科學方法可以用化學方法再用有機廢棄物(陳建易, 2012)。機率上，政府作為國際參與角色，可以作各種行為提升獲得能源的行為。

### 2-2-3 轉化、保存、輸送、再轉化

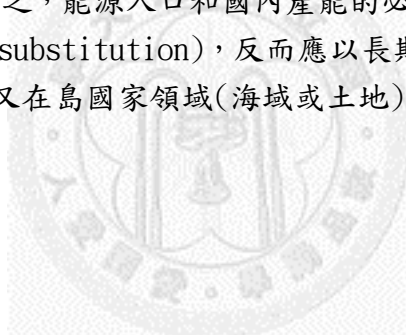
基於能量始於靜態或動態的物質，當物質未能完全用上，副產物或廢料產生，能量就是一直在耗用。最直接的產能程序是傳統燃燒煤、油、天然氣，相反，最耗時，多影響因素，多轉化的是生物能。理論上，時間越長或轉化越多次，能量吸收流失(增減)的機會不定。然而，海洋生物在食物鏈上具有再集合能量的功能，牠(它)們吸收微生物，作為成長和活動力的營養。這個步驟概念必然納入新能源的考慮。

## 2-3 台灣現況與合適地區

台灣人口增長漸緩，總人口逾二千萬，家居和產業用電量從不間止，月供電量約 168 億度(台電公司, 2012)。物理學上，能源是無處不在，但社會經濟仍以電力為生活主要能源，這方面不作贅述。台灣由東經 124 度 34 分 09 秒，東西寬 5 度 16 分秒，極北北緯 25 度 56 分 21 秒，極南北緯 21 度 45 分 25 秒。地理而言，台灣有山脈與短河流往台灣海和太平洋。經濟首都同為台北，行政上分縣、市、鄉等，一般分台北總統府和地方政府。

國家狀態來說，雖然與大陸政權對峙，國內總生產值比較懸殊，台灣只好偏安一島，以民主和開放經濟雙線發展，務求得到國際角色關注，甚至相互投資。除了國內外救援，台灣實無增強軍事之需要。換轉角度，在這些國家條件上，台灣應可盡力發展經濟與科技，能源需求應該上升。

政權縱有領土之爭，實無上世紀攻城奪地。大國改以經濟互惠或制裁，軍售或輸出科技等作可持續發展。台灣政府近年大力發展其經濟，既投資中國，又積極保持產業優勢。由此可之，能源入口和國內產能的必要，而且台灣不應在能源供應採進口替代(import substitution)，反而應以長期合作戰略得到國外(甚至中國)的能源輸送，同時又在島國家領域(海域或土地)內合適選址建設發電站。



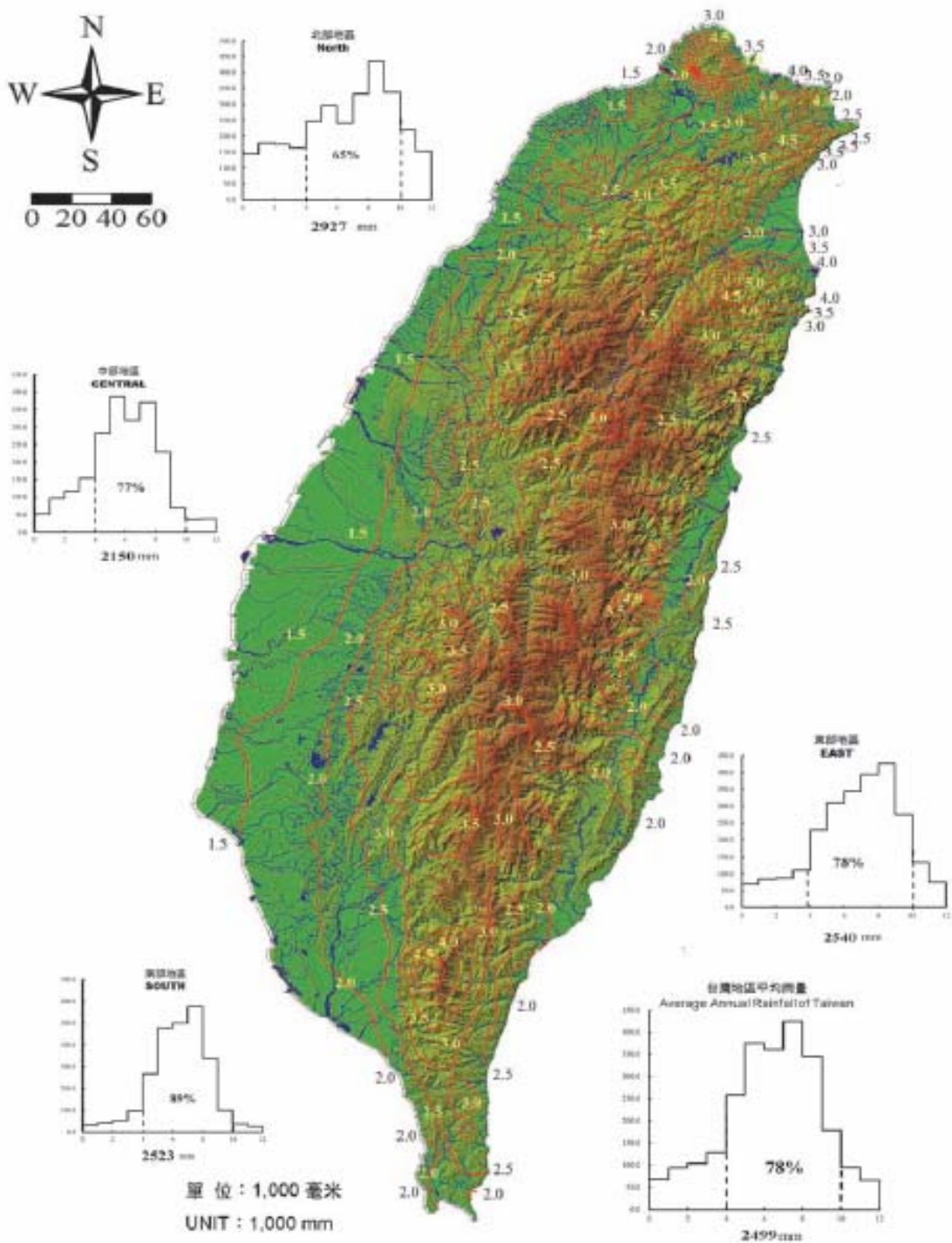


圖 2.7 台灣主要島嶼地理(中華民國環境白皮書)

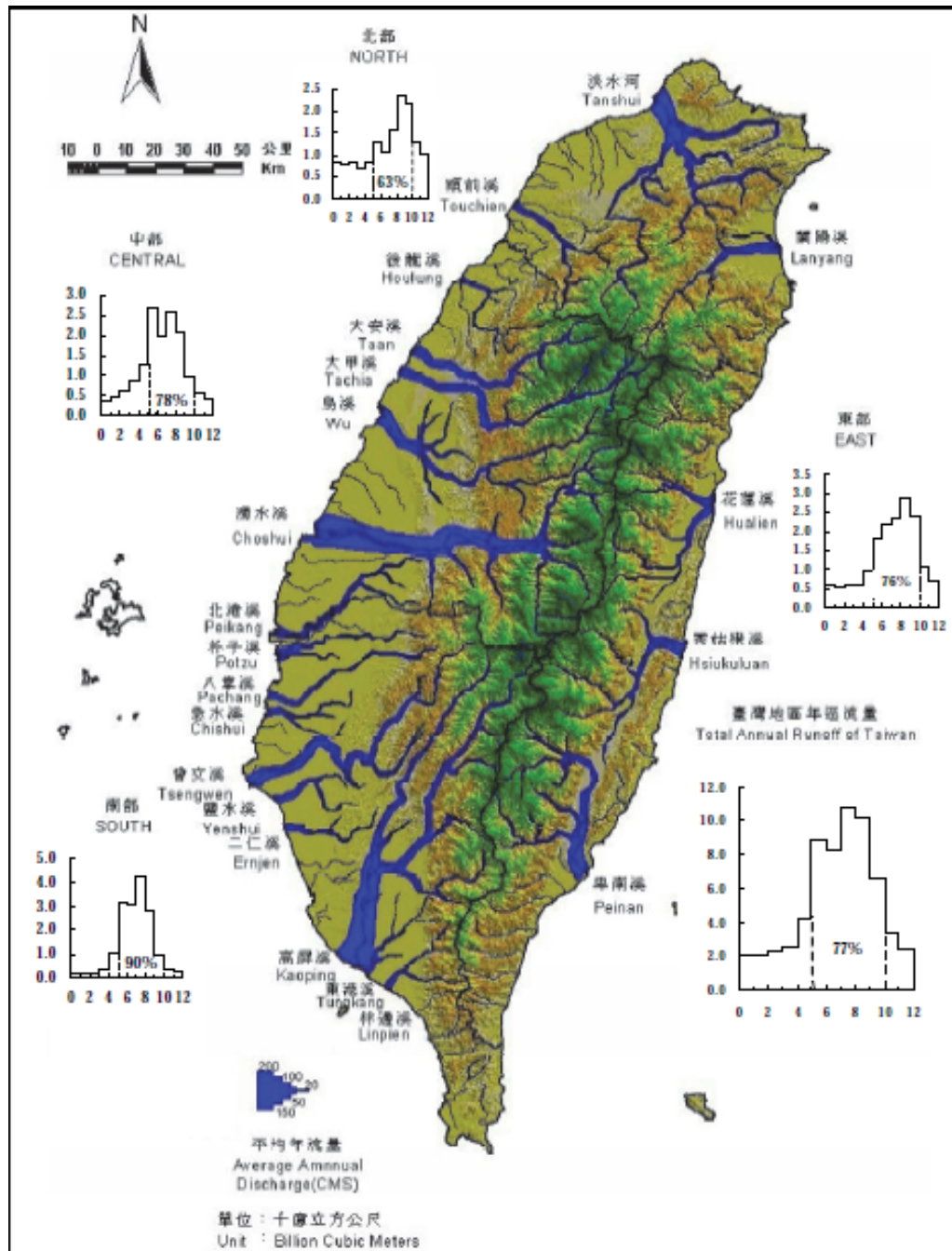


圖 2.8 台灣主要島嶼水文資料(中華民國環境白皮書)

如之前所說天雨與合適日照是兩端的狀況，其分別不在太陽之熱度，而是雲量多寡。此章認為台灣不須仿亞、非其它發展中國家對雨量作長年、季或月統計，只須確保年總雨量高於某水位。簡單來說，政府應預估到國來水系統可容納最大量。

本國環境工程師指出太陽能系統需要大量平原，而者需要日照量足，否則只是國際社會上綠能(green energy)生產的參與，無真正研發高效、安全取替方案的目標。平原多是農地或工業區，台北中央政府行政院固然可以取捨，自產或進口。但台灣佔有海域、沿岸地方皆可鋪建太陽能吸熱板。

不少國外工程師(TED, 2011)也支持使用核能，以倍數增加放射能量。只要國家在災害管理和運作安全上提升到國家最高標準，在未來，世界而言，鈾、鈾皆可取替石油，國家則可降低對外的能源依賴度。國與國可減少爭奪天然氣、石油的衝突。然而，永久安全是人類競爭的考驗，領土遼廓的國家是有選址的優厚條件。對台灣島型經濟體而言，它首三個核電站(各有兩組機)選址正確，有沿海的水量冷卻反應器，方便於送核廢料至公海拋棄到海洋深處。儘管都在台灣國土邊緣以方便北部用電和減少核意外，但台灣幅員太小，而經濟重心在北部，始終不可抵禦一次核電廠意外。

	第一 (Chinshan)	第二 (Kuosheng)	第(Maanshan)	第四 (Lungman)
台灣選址	台北縣石門峽谷	台灣極北，離首都約 22 公里	南部恆春	台北縣貢寮鄉
機組(正式運作年份)	一號機(1978年)，二號機(1979年)	一號機(1981)，二號機(1983)	一號機(1984)，二號機(1985)	-/-
裝置設計	兩機同為沸水式反應爐	改良沸水式反應爐	輕水型壓水式	改良沸水式反應爐
年供能量	50 億度電/機(已為台灣產電 2128.9 億度)	定額 9.8 億度電	9.5 億度電/機	13.5 億度電(預計)
國際核能牌照	2018, 2019 到期	2021, 2023 到期	2024, 2025 到期	-/-
電力輸送地點	四路匯入台北	三路分送台北	南部(平衡全國供需，減省輸送支出)	台北、龍潭

表 2 台灣核能資料表 (中華民國核能學會 <http://www.chns.org/>)



### 第三章 能源之環境經濟分析

一般而言，環境經濟學者熱衷於(一) 套用經濟學於人類圈或整個生態系統。這不是指經濟學的理论，反而真實的工具，一為反映現實的統計學，二為政府和市場參與者的工具。第一項是國際組織或政府官方資料，第二項是在市場原則下各角色真實使用的工具。再來，學者(二)分開經濟發展和生態演變，再作一對一或一對二(或)以上的連線，所謂因果關係。

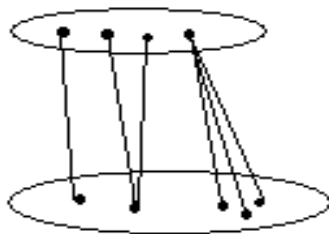


圖 3.1 數學分析之函數概念

普遍的說，在此研究題目以前已有人提出(三) 能源、經濟體、環境(Energy, Economy, Environment, 3E)這個三角概念(蕭代基, 2001)。此章也基於三個概念作現今的能源經濟解析。

可是，此研究不認同蕭代基所說太陽是能源的第一因，細究整個物理觀念，質量才是能源的必要條件，但非充分條件。太陽是一個 $10^7$  kelvin的等離子體(plasma)。用質量為因次，水和光皆是孕育生命力的「物」。在第三章，光子是具有粒徑和質量，從光源向一空間座標高速撞擊放出能量，在以下等式可知其速度必然是高於其它粒子。

$$E = \gamma \cdot m \cdot c^2 \quad (3.1)$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \quad (3.2)$$

E= 能量

m= 質量

v = 粒子速度

c = 光速

在實數線上，只有  $v = c$  才可令能源最大化。除了近乎恆久之光源外，各星體的引力也是始於個兩質量。星體的質心(center of mass)對星體表面粒子造成拉力。此論文先假設(一)宇宙是沒有介質(medium)，而(二)光速( $c$ )在無介質中速度是宇宙中最高。然而，這兩個假設不斷有人質疑：首先，如第三章已指介質的探測(detection)並不是視網膜神經，光譜只是其中一個有力駁斥。接下去，既然介質是未全知之物，光是其中一個收集訊息的物質，無光的物質是有待發現。速度是相對的測量或比較，在地球以外和地球上的光子因介質未明，光速未可定為最高量。這已把新能源和舊能源連結，在宇宙中，地球環境內，質量才是整個能源開發工程的第一因。以下部分會討論環境與經濟學(人類行為或社會的科學, Micro- and Macro-economics )。



### 3-1 週期性 (Periodicity)

#### 3-1-1 應用數學

傅立葉級數(Fourier series):

$$(1/2)A_0 + \sum [A_n \cos(n\pi x/L) + B_n \sin(n\pi x/L)] \quad (3.3)$$

$$A_n = 1/L \int f(x) \cos(n\pi x/L) dx ;$$

$$B_n = 1/L \int f(x) \sin(n\pi x/L) dx ;$$

上下限:  $[-L, L]$

利用泰勒、傅立葉展開，我們可以得到(1)穩定經濟成長凱因斯週期(Keynesian business cycle)、(2)轉型能源經濟的週期、(3)二氧化碳排放擴張週期，還有(4)其它環境週期現象。

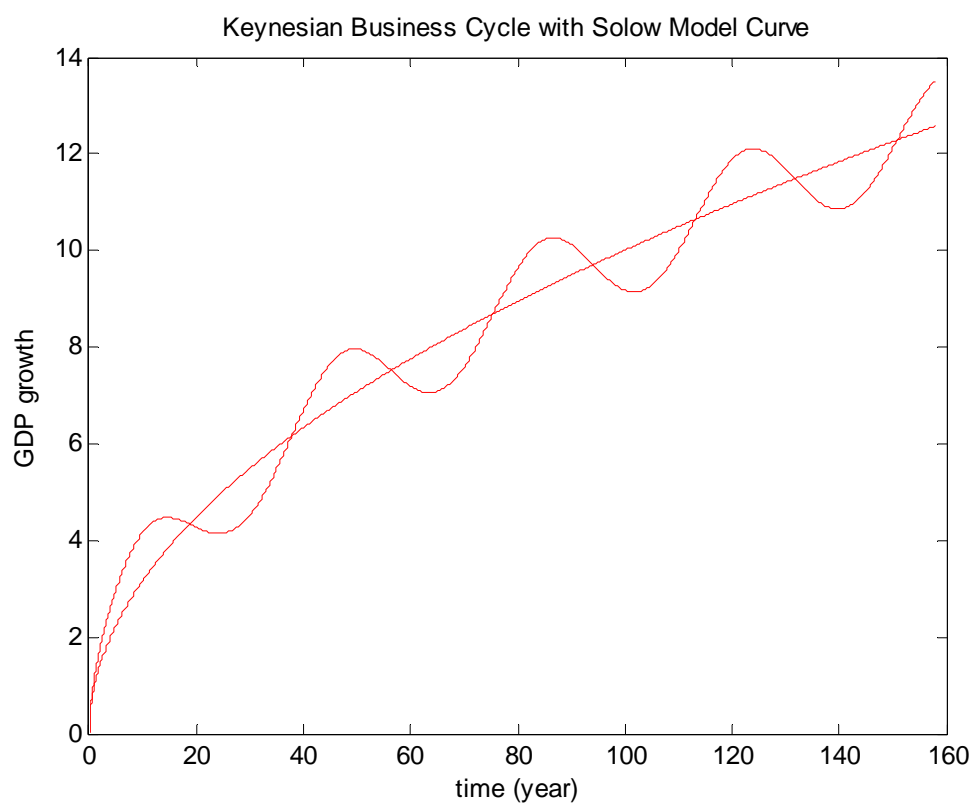


圖 3.2 經濟成長中景氣循環

據國際貨幣基金(International Monetary Fund, IMF)區分經濟體，上圖正解釋先進經濟體(G7, 美, 日, 加, 西歐)和新興經濟體(中, 印)在長期發展的理論模型，展示經濟波動(Keynesian Business Cycle)、長期經濟成長(Solow Curve)。

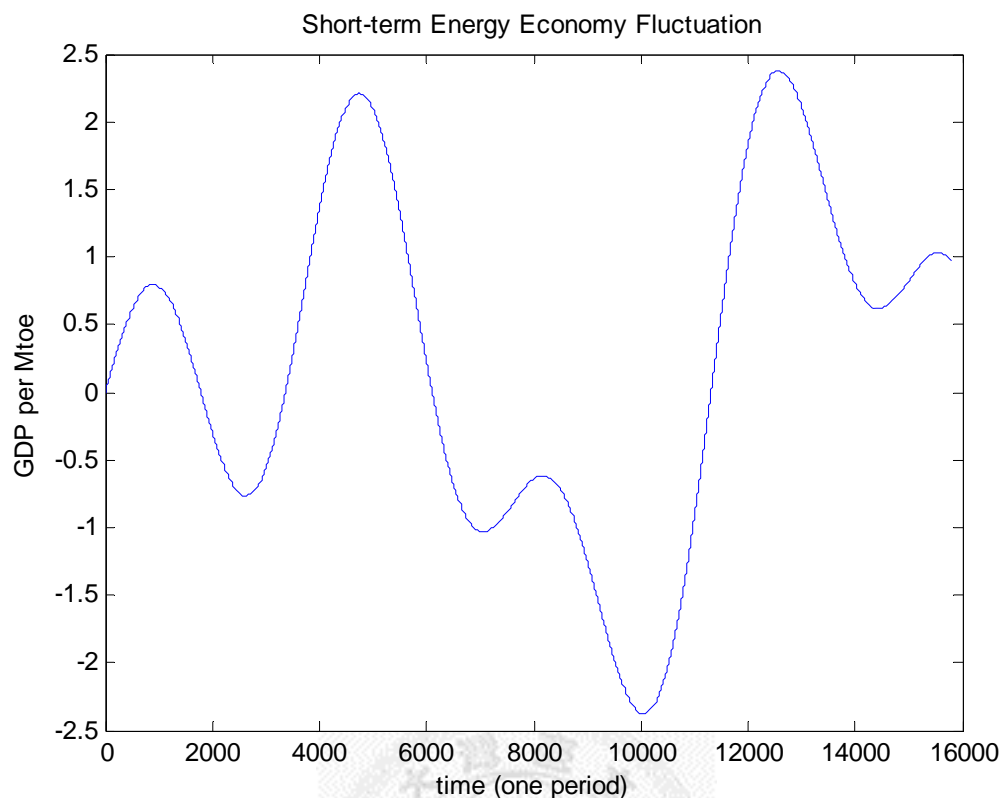


圖 3.3 短期能源經濟波幅

在淺顯的解釋上，所謂能源經濟，即大量耗用能量(不同形式)生產或服務的經濟產業，而家居則以電力供應為主。在一個週期(period)之內，上圖的 GDP per Mtoe 是無規律。經濟體的汽車進口、國內運輸量、新能源政策(南韓能源私有化和自由化, 2000s)、Saudi Arabia 及 United Arab Emirate 等石油輸出國組織(Organization of the Petroleum Exporting Countries)在寡頭壟斷下造成的油價波動等。在可見未來，油價會趨於上升，全球能源經濟仍會成長，但任何機構也不能斷言各國家能源策略可會新的契機。

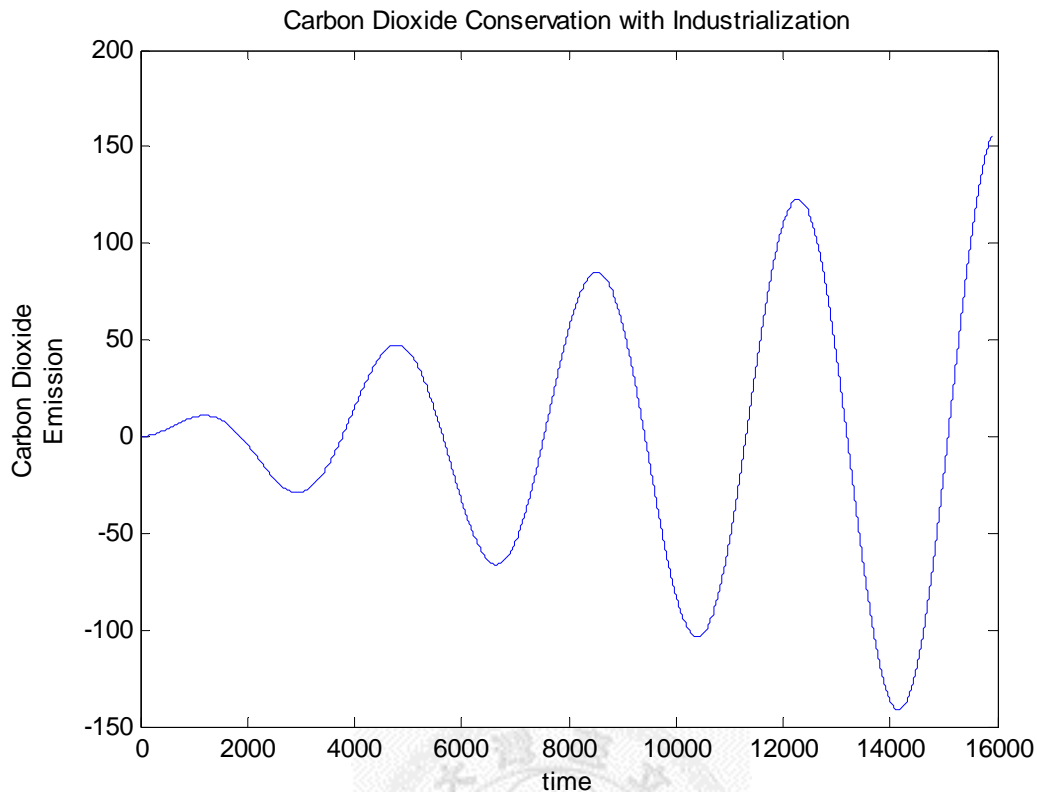


圖 3.4 工業化過程之二氧化碳排放

上圖表示二氧化碳的質量不變，但現今對二氧化碳的處理方法不善，其波幅在擴大但應微傾向上。在整體工業化下，石油等天然能源面臨竭盡，二氧化碳對人類存活模式及自然環境生物多樣化、氣候造成難以挽救的惡果，西方政府多成立環境及能源部門(美國 Environmental Protection Agency, 英國 Department of Environment, 日本環境省等)商議能源安全與耗用對環境的各種影響。除了二氧化碳，石油洩漏(France, 1978, Alaska, 1989, Italy, 1991 等)或核意外(Alabama, U.S., 1984, 1985, Hamm-Uentrop, Germany, 1986 等)也是能源對環境的惡性影響。二氧化碳在工業排放及大氣涵容的週期是增幅的，所以人類不能置之不顧，這也解釋近十年永續能源的部分替代和新能源研發。目前，全球整體工業化進程是沒有卻步，各國有意而力不足約束國內二氧化碳產量(Kyoto Protocol, 1997-)。

### 3-1-2 經濟事實

長期週期性背景是高度自由經濟和經濟角色的有限理性。一般理想型的經濟主義會忽略「高度」和「有限」。前者是世界或各國經濟行為的法規，既有法律也有規則；後者是貨幣的作用(J.M. Keynes, 1936)，包括交易、儲備、投機等，即經濟誘因。但當石油能源、天然礦產、國家最適工業點或核能點成了能源產業的經濟誘因，國家環境與經濟體便如此章開首所言連結上。再降低規模，經濟體中的戶籍(household)是投資者、消費者、工作者(Andrea Tegelio, Macro Raberto, Silvano Cincotti, 2009)，三者皆有繳稅(tax paying)的責任。

### 3-2 穩定性 (Stability)

週期性隱含環境的延續性，但穩定性是一個期間，短促或下一個時間點的。在基礎經濟數學中，用微分討論供需均衡點的時間變化早已不是新事。經濟學家稱之為回復力(resilience)其實是在多個層面作研究，如日本金融危機(1990s)、美國金融危機(2008)、歐債危機(2012)。但此論文乃著重台灣之能源經濟，所以只會以國家層面解釋單經濟體回復力。

#### 3-2-1 應用數學

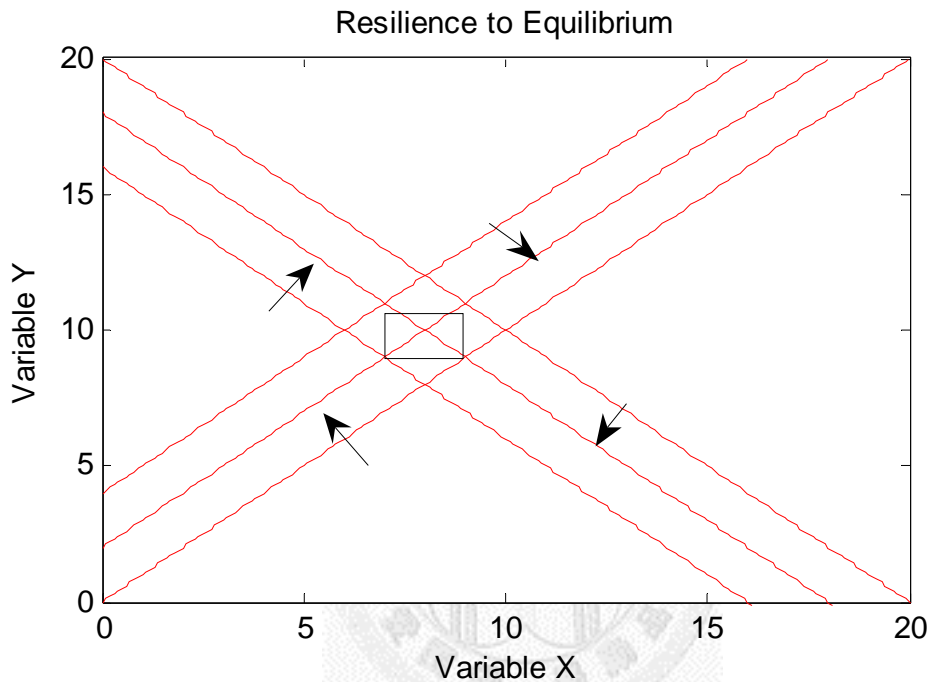


圖 3.5 均衡點調整或回復

在起源開始說，經濟學發展了物與物或事與事的關係，在時間區間內，兩者會達到一個均衡點。在自由市場下，油價與供需線的均衡點，國營電力公司(如台電)的電費和國內供需線。這一種觀念奠下經濟學基礎，其後發展的多均衡點，凹凸曲線也起源於此。圖內並不是六條直線，而是不可數的供需線在四方框內不斷調節，在向外的位移和向內的位移下，到了正中心的均衡點。

經濟數學討論是兩者的回復速率：

$$\frac{dX}{dt} = f(X) \quad (3.4)$$

$$\frac{dY}{dt} = g(Y) \quad (3.5)$$

最簡單的表達可能是常數或對數等，但複雜的函數可能包含微積分或其它特定函數。一對變數、時間、x-y 平面只是為了簡述其概念。

多變數函數 Y 對時間的偏微分：

$$\frac{\partial Y}{\partial t} \quad (3.6)$$

多變數函數 Y 對自變數 X 的偏微分：

$$\frac{\partial Y}{\partial x} \quad (3.7)$$

### 3-2-2 市場機制與政府干預工具(事實)

(一) 市場投資者而言，經濟學稱一種現象為動物本能 (animal spirits, Keynes, 1963)，舊有定義是指眾投資者對市場的一片樂觀或一片悲觀。往往在這種情況，投資人會作相同方向的動作。其後國外學者(George A. Akerlof, Robert J. Shiller, 2009) 再把它推廣為普遍投資者心理市場的影響。反觀過去，經濟危機多起源於這種一致心理，如今投資銀行、基金經理人、政府多會用上自己的分析免受群眾氣氛所影響。但中立去看，它是一種回復力。

(二) 公司的定義就是圖利的機構，圖利可能性(profitability)是總裁和股東的永久目標。眾多商業行為也不離利益，惡意收購、合併、重組公司、分立子公司、策略合作(財團)、與政府法律訴訟。這是美國商學院的理論。而事實上在 Fortune 名單的跨國企業(在此指費能的國家重要產業)未必能受控於聯合國或國際條約，因為先進國國內的法律、稅制是容許跨國企業合法避稅和與非執政黨合法溝通。

(三) 在比較政府(張世賢, 陳恆鈞, 2005)一門國家政制形成是有歷史可循，並不是用一把尺便可劃清，但主要的意識上還是民主與獨裁。在美國而言，分參眾兩院，各有議員，又有國會，50 個州有州長，總統 4 年選舉一次，權力受於憲法。台灣在總統府下，分立五院，重要縣市有縣市長，內政與經濟應屬行政院之責。在美國的策略下，科研(新式核能裝置, 2010s)、貿易(包括能源, 美加跨州石油管, Obama)、貨幣政策等皆影響全球(G20)。台灣在國際氣候多是配合(綠能、環保)或完善化國內能源耗用。在政府能源政策中，(1)天賦資源和(2)能源入口依賴度均為重要決策數據。政府的管理工具包括出售某產品的專利權或某產品產量的管制。能源和排廢皆商品化，公司可以交易政府批准量額，公司內部可以做節能和再用能等。政府在塑造合適型經濟的目標下，可用各式稅項限制國內外投資者，或以部分補貼鼓勵初階發展工業。中央政府的工具可謂千變萬化，惜台灣是無力改變國際氣候。



結束「穩定性」部分，值得一提是反應速度，一般強勢的政府反應是快而資訊收集準確且廣，再談主導性也是大型經濟體為先(Q. E., U. S., 2011, Energy Act, Obama, 2012)。可是在賽局中，「反理性」的存在是有所爭論。正如我在上一節所言，隨時間過去，向外和向內的位移總會到達一個均衡點，這也是經濟學的核心。

### 3-3 最適點 (Optimum)

#### 3-3-1 應用數學(機率)

在經濟模型中，最適點是別於均衡點(equilibrium)。然而模型是很多，有些不是平面，有些是多變數多項式，有的更是偏微分方程，多得不可列舉其均衡點與最適點。在有限國家、公司和無數投資者是二十四小時運作，他們是主動、被動或互動。有見於此，一季或一年的產能、耗能、入口總量(Mtoe)和油價、電價會落在什麼點便用上機率理論。可能，自主行為用機率理論是費解，但當一個自主者(free-will man)面對無數不可控制的人、事、環境，機率便可解釋社會現象。

在此章的第二個基礎上，經濟和環境的隨機變數應傾向離散的，因為此章所指的經濟行為是一對一、一對二以上或二以上對一(The Economist 現在用上此概念 mind-map)，除了經濟體的延續年期和環境的變遷這些長期項目。一個政府方案(日本新能源政策, 2012)、公司五年的決策正可配合前二節 matlab 平面圖之意。

定義：隨機變數(random variable)是連結一組樣本空間(sample space)到一組數值的機率分佈(分連續或離散，甚至兩者混合)函數。

接下來，統計學依事物的特性發現和使用分配(distribution)。

#### Bernoulli 分配

它是 binomial, Pascal, geometric 和 negative binomial 等分配的基件 (building block)，也是用途廣泛之離散分配。

$$P(0)=1-p ; \quad P(1)=p ; \quad 0 \leq p \leq 1 \quad (3.8)$$

各種投票，複決、股權等不理會比數，其實結果可看作 0 或 1。不理會席次，國會通過法案的成敗便可用上 Bernoulli 分配。在公司決策的預期回報也可用上此分配。這可以視為最簡單的應用，最高行政權的最適點。

#### Negative Binomial 分配

$$P = \binom{n-1}{r-1} p^{r-1} (1-p)^{n-r} \quad (3.9)$$

要 n 次中得 r 次累積成功(1)的第一次機率。如今，為了取得他國能源長期支持，在雙邊會議中要達到一半以上討論項目目標稱 1，要 r 次得到 1 才可確保 5 年能源入口量。相反，國家為減輕能源對外依賴，與多間跨國或國內主力發展公司談判興建核電站，由於技術和策略層面皆要 r 次通過(1)。這是有助單方評估。實例中，日本於 2012 年上半年與 Marubeni Corporation, Mitsubishi Corporation, Mitsubishi Heavy Industries, IHI Marine United, Mitsui Engineering & Shipbuilding, Nippon Steel Corporation, Hitachi, Furukawa Electric and Shimizu Corporation 等公司達成福島風力發電之計劃。

以上是人為的，可能有人質疑機率應放於自然世界才是對的，例如 Poisson 分配本來是研究刑事法律裁決的，但後來的應用也不限於法律。

$$P\{X=i\} \approx e^{-\lambda} \cdot \lambda^i / i! \quad (3.10)$$

它是活用於很大的樣本空間和很小的機率數值，例如 n 個樣本機率皆為等值：

$$n \cdot p = 1 ; p_1 = p_2 = p_3 = p_4 = p_n ; n \gg 100 \text{ (必為正值)} \quad (3.11)$$

5 年中核電站範圍 3 級或以下地震的次數以及核能放射廢料的衰期也可應用 poisson 分配。

既然這些都是充斥機率概念，可能性便是遠離最適點的原因，在可見座標網或多變數模型，最適點必然比更多界限內之點少。在 10 X 10 的座標，非最適點和最適點之比可能是 99:1。若今在固定時間區期(假設一季)內，原座標向最適點位移的矢量(vector)機率是  $P_{n-th}$ ，那在 k 季後到達最適點的機率應是：

$$P_{optimum} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot \dots \cdot P_k \quad (3.12)$$

以上為彼此獨立下的機率，由此得知， $P_{optimum}$  是存在於機率世界中。但在式中的關鍵是相乘交換率(commutative property, mathematic analysis)，只要任一時間點的機率為 0，總積之最適點機率便等於零，若趨於零，總積也趨於零。再深入討論，設  $p_{-1}$  是在  $2\pi$  圓座標上非最適點位移的矢量(vector)機率，必比向最適點位移的唯一矢量機率高：

$$P_1 < P_{-1} \quad (3.13)$$

回到上一段的定義下標是指哪一季，在彼此獨立、相乘交換率之下，位移機率 (total displacement probability) 應以下式表示：

$$P_{\text{displacements}} = \prod_n^k p_n \cdot \prod_m^j p_{-m} ; n \neq m, k \neq j \quad (3.14)$$

### 3-3-2 真實狀況

事實上，如同經濟學其它分枝，環境經濟學是無法達到最適點。有時候，只是政府自己認為做到最適點，但在下一個時間點前，經濟運作又會有新的最適點。不斷國內修法、新式建築或機械設計、新能源概念、國際協議，各經濟體也不能達到最適點。在中印等大國高速工業化，透過世界貿易組織(World Trade Organization)和自由貿易協議(Free Trade Agreement, FTA)，全球經貿連線，能源和廢棄物量成了一種貿易品(traded good)，其次是高科技產品(skilled good)。在中國，中央對地方控制尚有所疏離，能源和電力供應為國營(state-owned)，西方媒體多稱中國為國家資本主義(State-Capitalism)，或許是自現代化(鄧小平, 1970s)提出後，共產黨黨人意識開放(世界工廠可提升就業)、互補(能源與技術產業)、吸收(鐵路、太空探索等)可與中央集權並行。在美國，除了政府保障自己國家主要產業、獨佔產業、長久能源供應外，國內產業在高法治和自由競爭市場下，公司與地方政府可以操弄法律為其競爭工具。台灣而言，馬英九(2008, 2012)透過選票得到總統權、黨主席、其黨所佔立法院席位，稍減台灣內部鬥爭的耗損。

### 3-4 能源彈性 (Energy elasticity)

彈性即反應或敏感，對於一個變數作出反應的速度或幅度。Nouredine Berrah, Fei Feng, Roland Priddle, Leiping Wang(World Bank, 2007)等著書討論中國永續能源的發展。他們用上兩種方法去比較工業或地方耗能，這是計算能源彈性的第一步。較大 GDP 的產業是否對能源變更、增減反應更大是依其實質數字計算。第一種是將所有能源歸為一噸碳或石油的能量等值，另一種就直接用上物理學的能量單位(Cal, Joule 等)。在 Energy Policies of IEA Countries 系列中，南韓的能源報告更加上兩種稅項加於石油出口國組織定價後，一為關稅(excise tax)，一為附加稅(value-added tax)，國家仍可依需要設計新稅或改變稅率百分比。另外，國營石油公司(National Oil Company)也擔當重要角色。

#### 3-4-1 理論背景

石油輸出國組織(Organization of Petroleum Exporting Countries, OPEC)每日會更新石油價格(美元/桶, USD/Barrel)。各經濟體的政府會按自己的地理位置、內需、科技效能等制定稅制或補助。法制和政府施政上，國家多會有內部延緩(inside lag)或外部延緩(outside lag)。內部延緩可以更明智作規劃，但如美國般民主國家，要說服兩黨(民主黨、共和黨)、兩院(參議院、眾議院)往往是對媒體聲稱達不到內閣顧問的預期目標。外部延緩可視為通過到全面起效的過程。轉看一黨專權的中國，我不想用經濟學的延緩(lag)去描述。鄧氏的開放經濟、經濟特區等是長期國策，「五年計劃」中的高速鐵路、機場等是短期計劃，正是運輸能源，常理上中國一胎制(猶如優化人口年齡層, HKSAR, 2012)也能節約輸水和耗電。

以斯洛伐克共和國(Slovak Republic)為例，它位於東歐，與周邊國家關係良好，長期和平，故有策略性合作，大大提升能源分配和運輸效率，產業發展最佳化。國際能源機構(International Energy Agency)2005 年的年報中提出斯洛伐克與周邊小國成功做到多樣性產電(electricity mix)或多樣性產能(energy mix)。

然而，中俄長期供應天自氣協議，美加墨三國的石油輸送同樣是局部能源合作，規模則比台灣、南韓大。在「地域主義」上，台灣幅員如同美國一個小州，在合作和非合作(沒有太平洋戰爭)間，台灣中央政府應思考效益最大化。最後是資本主義的「全球化」，國內需求的變化、產業需求的變化、政府分配的優先主導國家發展。由此可知，能源彈性的量度是複雜的計算過程。為了揣度其彈性而簡化明瞭，此節用沒有用上任何函數。

### 3-4-2 應用數學

統計學家及經濟雜誌多以一對一對作比例或造出綜合指數，為了突出能源供需反應，我在一個時間點或者區間作一種鮮為引用的比例方法，除了以下的重要項目只要具有參考意義，其它全部項目也可以列入。這種比例在金融會計領域也可用。其關係不言而喻。

- (a) 工業用能源(Mtoe)
- (b) 運輸用能源(Mtoe)
- (c) 家居及公共用能源(Mtoe)
- (d) 總能量(Mtoe)
- (e) 人口(百萬人)
- (f) 地面積(百平方公里)
- (g) 國內人口生產總值(十億美元, 2012)
- (h) 就業率(佔勞動人口%)

$$k_a : k_b : k_c : \dots : k_n \quad (3.15)$$

$$1 : \frac{k_b}{k_a} : \frac{k_c}{k_a} : \dots : \frac{k_n}{k_a} \quad (3.16)$$

1: 0.50517: 0.589365: 2.993161: 0.706928: 14.71196: 9.509046: 1.423929
1.979532: 1: 1.166667: 5.925058: 1.399386: 29.12281: 18.82346: 2.818713
1.696742: 0.857143: 1: 5.078622: 1.1994742: 4.96241: 16.1344: 2.41604
0.334095: 0.168775: 0.196904: 1: 0.236181: 4.915193: 3.176924: 0.475728
1.414572: 0.714599: 0.833699: 4.234042: 1: 20.81113: 13.45123: 2.01425
0.067972: 0.034337: 0.04006: 0.203451: 0.048051: 1: 0.646348: 0.096787
0.105163: 0.053125: 0.061979: 0.31477: 0.074343: 1.5471551: 0.149745
0.702282: 0.354772: 0.4139: 2.102044: 0.496463: 10.33195: 6.678033: 1

表 3.1 南韓(South Korea, 2003)之各比例

由於中華民國(台灣)統計官網 (<http://eng.stat.gov.tw/>) 未有如世界銀行 (world bank) 的分類，為免錯誤或混淆，以下缺少(a)工業用能源、(b)運輸用能源、(c)家居及公共用能源三項。

1: 0.159123: 2.473259: 3.151801: 0.651205
6.284441: 1: 15.54305: 19.80731: 4.092457
0.404325: 0.064337: 1: 1.274351: 0.263298
0.317279: 0.050486: 0.784713: 1: 0.206614
1.535616: 0.244352: 3.797974: 4.839954: 1

表 3.2 台灣(2010) 之各比例

在此為第三章的環境經濟學作小結，在南韓和台灣兩個亞洲國家的統計比較可知國家環境與經濟體之間事實上是貫徹第四章所說。另外，在同一年期或相對年期(依其國家經濟成長來看)和多方面能源經濟相關的比較，若第三章是產效率的基礎，此章即為第四章的迴歸分析奠下必要之基礎。

#### 第四章 新能源之環境經濟模型

一般模型可分為確定模型(Deterministic model)和推計模型(Stochastic model)兩大類(駱尚廉, 1999)。確定模式又可分為理論模式和經驗模式。理論模式基於科學理論,如守恆(conservation)性質、相對(relativity)性質等。經驗模式是用上迴歸分析原則建立。而推計模式是利用隨機程序推導而得,也是與時間、機率相關。接著,模型使用的原則(張能復, 2012), (1)包含變數的數量要正確, (2)對預測態度應是懷疑, (3)避免黑箱作業(Black box), 即不要誤解其邏輯關係。

在計量經濟領域分有時間序列(time-series)和橫切面(panal)兩類,此研究先選擇後者是因為能源是存在不確定性,天災、外交、戰事等都會改變能量供給,尤其是核能和石油、天然氣。只要在時間點(年)便可作環切面的分析。能源需求是連續和動態的,但能源供應產業分佈、地區分佈、科學系統、自產或進口是可調或不自願調動的。步驟為先把橫切面採同一方法整理,在討論時間軸上的發展。

其次是第五章是在做經濟分析而不是會計分析的原因。這是因為會計上的資料各國政府(世界經貿組織會員國)都做了年報,若把其數字改成統計圖,幾無意義。反之,此章透過經濟學全面的考量,製作出的分析結果則屬於個人原創,意義便不一樣。





#### 4-1

在成本效益分析(Cost-Benefit Analysis)中，成本和效益是量化成金錢單位，其缺點是在於工程或專案中事物未必可以與金錢準確轉換。各國的經濟媒體，只要觸及外匯儲備、貿易或跨國分階生產，其國際貨幣多以美元為主，而統計圖表也多以美元為統一單位。此研究既繼承此問題，也期許可以改善它，由於經濟體狀況、體制不一，在此摒棄美元而改用新單位。

會計上，收支計算是正常的理解：

$$\Sigma \text{Revenue} - \Sigma \text{Cost} \equiv \text{Net Profit (Loss)} \quad (4.1)$$

$$\text{REVENUE} = \Sigma R$$

$$\text{COST} = \Sigma C$$

單位：貨幣單位

它是收支總和的概念，本章是包含它，但不會做會計學的分析。

經濟上，成本和效益兩者便意義不一：

$$\Sigma \text{Benefit} - \Sigma \text{Cost} \equiv \text{Utility (Positive / Negative)} \quad (4.2)$$

$$\text{BENEFIT} = B (B_1, B_2, \dots, B_n)$$

$$\text{COST} = C (C_1, C_2, \dots, C_n)$$

單位：無因次

不同之處就是會把抽象物量化，量化的目的是在於同單位有效比較、測出最低可接受量、把它分段供個人或公司參考等，例如危害商數(Hazard Quotient)，風險值(Risk Value)等(EPA, United States, 2012)。

現今，最簡單、最大說服力的排名就是純利。它們都把會計的成本和利益拉在一起。然而，成本和利益單位是可作轉換的，如貨幣、期貨、資產。不管單位相同與否，此研究要把成本、效益兩者分開。在這概念上，關鍵是必須有清晰的定義或法則分隔兩個測量物。由成本聯想到能量生產自然而然，而且猜想它們是正相關者不少，利益連繫到能源卻不是相似的直接。第一，本研究指出，投入成本是在最適量而非大量才達產能的最大化。第二，利益是產能的最大動機，前期和預期的效益均是影響國家對此能源的依重程度。投入成本可以屬於經濟學和物理學的。效益則靠向經濟學，在若干季的虧損下或極高效益下該產能工廠應如調節。

#### 4-1-1 非負性與非零性之假設

上文的要旨是在此原創的成本效益分析中分開兩項。在經濟成長或其它指標中，經濟學家直接用上負成長等形容，這在數學、物理、化學也沒有錯，唯在成本效益分析中不可用。在會計的收支表，收入與支出是同單位而且完全分開，會計師與公司決策者一目了然。經濟學上，概念變得更廣泛，更有隱性(implicit)和顯性(explicit)之分，在多重經濟關係仍可以以幾何數學表達。若果傳統或此章的成本效益分析有負值，整個量化和計算便會出現矛盾。這是第一個假定。

再者，在經濟學上，成本、效益必然非零，因為它們都包含隱性和社會的延伸影響。這概念也是實務者所認同的。這是第二個假定。

在純科學或理論上，假設正是被執政者和決策者所歸咎。假設簡化了模型或穩定了建模，但它也為現實世界與模型造出一定的距離，影響精確(preciseness)和準確(accuracy)。接下來的誤差(駱尚廉, 1999)也是無可避免，透過捨入(round-off)和節略(truncation)進行計算，誤差會擴大，這也是電腦科學的問題。而經濟學或工程只要把誤差限制於可容忍的範圍即可，例有匯率、通脹、建築通風效率、建築防震效率等。在列出能源成本效益之前，任何國家皆採石油、永續能源同用，未有百分百取代(以下各項根本難以換成某一貨幣)。下圖是一例把抽象物量化，方法可以是問卷或者各項生活標準同因次或無因次的加總。

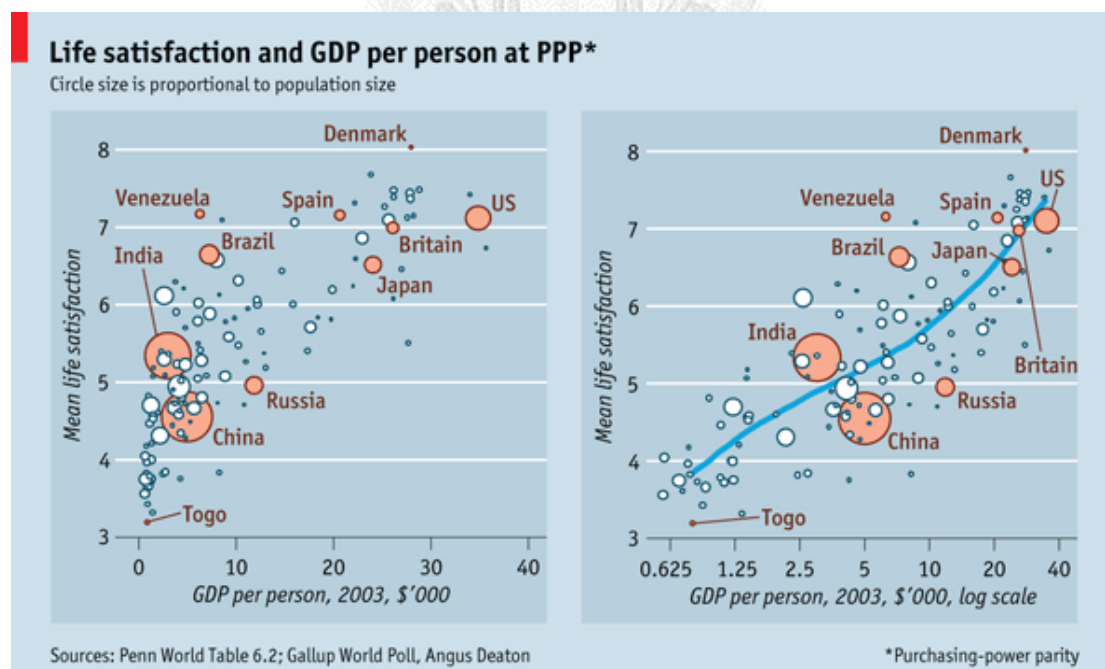


圖 4.1 生活滿足與 GDP 圖 (The Economist)

#### 4-1-2 成本以求達到目標

短期而言，(1)在同一季中可能被取代舊能源產能；(2)宏觀工業未能轉型成綠能工業；(3)永續能源不穩定，輸送與保存不如原油(每桶/per barrel)；長期而言，(4)投入研發(research & development)能源。

(1)項可經年報計出那個取替部分(Mtoe)，(2)可以是綠能立法後產業短時間未能舒困，(3)指出永續能源未成熟而不穩定，而且在輸送與保存會流失。(4)項，如果除以16季，即一任總統任期，即投入人力、物力資源平分可得出一個平均值。事實上，能源研發應該是正偏度(positive-skewed)的離散分佈。國家峰會(G20 Summit)期盼研究中心在某一段時間的高度資源投入下解決能源問題。

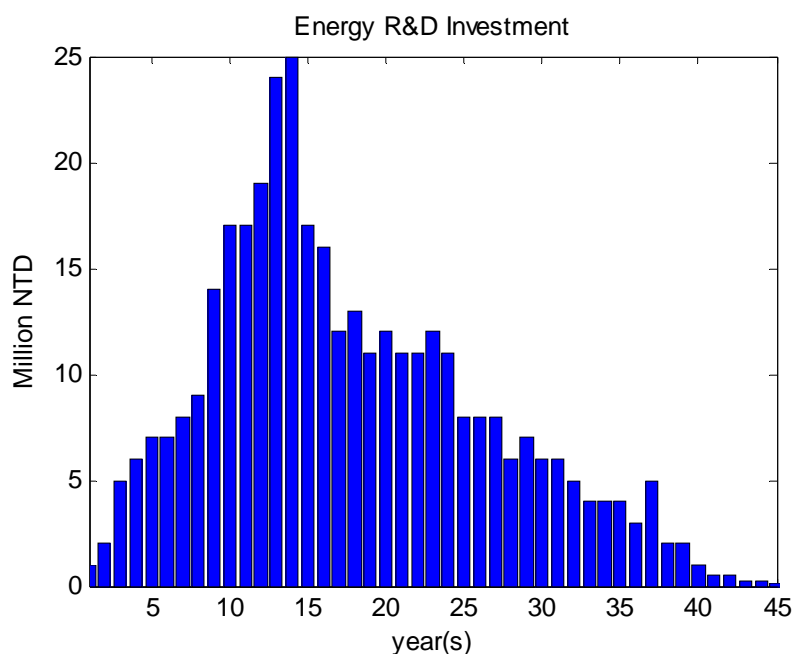


圖 4.2 能源研發投資時間軸分佈

取代石油能源值：

$$\text{能源工業值}_n \times (1 - k\%) - (1 - 1.5k\%) \times (1.8 - 0.02 \cdot n) + \text{油價}_n \quad (4.3)$$

$$[\$ \cdot M^{-3} \cdot M^3 \cdot \$^{-1}] = 0$$

年份	該年能源工業值	取代石油能源比	轉換值	該年油價	取代能源值
1988	1600.245	4.945	1.8	10.08	14.13073
1989	1726.267	5.165	1.78	9.66	16.42938
1990	1758.552	5.06	1.76	9.59	16.33051
1991	1882.338	4.585	1.74	9.51	15.79086
1992	2104.361	4.42	1.72	9.39	17.03748
1993	2311.886	3.435	1.7	9.23	14.6265
1994	2470.994	3.825	1.68	9.18	17.29696
1995	2676.295	3.73	1.66	9.09	18.23001
1996	2750.846	3.615	1.64	9.02	18.08056
1997	2987.625	3.21	1.62	8.98	17.30094
1998	3085.963	3.395	1.6	9.25	18.12211
1999	3263.83	3.33	1.58	9.2	18.66556
2000	3519.771	3.255	1.56	9.43	18.95302
2001	3476.317	3.44	1.54	10.14	18.16187
2002	3721.301	3.31	1.52	9.98	18.76013
2003	4030.784	3.16	1.5	9.99	19.12504
2004	4382.542	3.055	1.48	9.81	20.19901
2005	4485.058	3.02	1.46	9.57	20.66407
2006	4488.312	3.04	1.44	9.29	21.14966
2007	4763.239	3.105	1.42	9.19	22.85266
2008	4451.166	3.165	1.4	8.85	22.28601
2009	4238.582	3.19	1.38	8.82	21.15543
2010	4845.212	3.285	1.36	8.46	25.58684

表 4.1

工業付出代價：

$$\frac{\Delta(\text{能源工業值})}{\Delta(\text{國民生產總值})} \times 100; \quad T_n \text{ 至 } T_{n+1} \quad (4.4)$$

$$[\$ \cdot \$^{-1}] = 0$$

年份	該年國民生產總值	國民生產總值差	能源工業值差	代價值
1988	910,424	--	--	13.2398
1989	1,060,371	149.947	126.0228	8.40449
1990	1,174,822	114.451	32.28446	2.82081
1991	1,315,570	140.748	123.7864	8.7949
1992	1,460,819	145.249	222.0223	15.28564
1993	1,597,134	136.315	207.5252	15.22394
1994	1,767,896	170.762	159.1078	9.31752
1995	1,939,848	171.952	205.2711	11.9377
1996	2,081,238	141.390	74.55097	5.27272
1997	2,315,607	234.369	236.7789	10.10283
1998	2,410,850	95.243	98.33875	10.32504
1999	2,520,868	110.018	177.8671	16.16709
2000	2,700,817	179.949	255.941	14.22297
2001	2,630,003	-70.814	-43.4549	6.13648
2002	2,750,795	120.792	244.984	20.28148
2003	2,890,924	140.129	309.4836	22.08562
2004	2,955,468	64.544	351.7581	54.49896
2005	3,170,008	214.540	102.5161	4.77841
2006	3,262,213	92.205	3.253217	0.35282
2007	3,463,039	200.826	274.9271	13.68982
2008	3,155,432	-307.607	-312.073	10.14519
2009	3,350,243	194.811	-212.584	-10.9123
2010	3,493,507	143.264	606.6302	42.34352

表 4.2

保存及輸送永續能源損失：

$$\text{能源產業}_n \times k\% \times (25 - 0.2 \cdot n)\% + \text{油價}_n \quad (4.5)$$

$$[\$ \cdot M^{-3} \cdot M^3 \cdot \$^{-1}] = 0$$

年份	能源工業 值	再生能源比 (%)	轉換值	該年油價	永續能源損失值
1988	1600.245	9.89	25	10.08	3.925203
1989	1726.267	10.33	24.8	9.66	4.578075
1990	1758.552	10.12	24.6	9.59	4.56512
1991	1882.338	9.17	24.4	9.51	4.428701
1992	2104.361	8.84	24.2	9.39	4.794267
1993	2311.886	6.87	24	9.23	4.129835
1994	2470.994	7.65	23.8	9.18	4.900804
1995	2676.295	7.46	23.6	9.09	5.183473
1996	2750.846	7.23	23.4	9.02	5.159574
1997	2987.625	6.42	23.2	8.98	4.955331
1998	3085.963	6.79	23	9.25	5.210107
1999	3263.83	6.66	22.8	9.2	5.387023
2000	3519.771	6.51	22.6	9.43	5.491515
2001	3476.317	6.88	22.4	10.14	5.283453
2002	3721.301	6.62	22.2	9.98	5.479932
2003	4030.784	6.32	22	9.99	5.610012
2004	4382.542	6.11	21.8	9.81	5.950518
2005	4485.058	6.04	21.6	9.57	6.114302
2006	4488.312	6.08	21.4	9.29	6.286149
2007	4763.239	6.21	21.2	9.19	6.823612
2008	4451.166	6.33	21	8.85	6.685802
2009	4238.582	6.38	20.8	8.82	6.377287
2010	4845.212	6.57	20.6	8.46	7.751308

表 4.3



### 4-1-3 效益為經濟誘因

短期而言，(1)在同一季永續能源產能；(2)加強國家能源自立；(3)潔淨能源 (Obama, 2011)外交上可配合國際；(4)廢氣如二氧化碳減量(參考第四章)，因為永續能源取替舊能源，可抵消二氧化碳增長，生態不致失衡；長期而言，(5)未來國家永續發展。

(5)項，國家和平發展下，經濟增長(如第四章)外，社會結構和特徵會演變，這個難以判斷正負價值。舉例，人口老化造政府和就業者的負擔，但過了若干年國家的國民平均教育水平和平均生產力會更高。這與能源無關，而遇到正負價值不能判斷可用 dummy variable 或不予討論。(5)可以意想為石油耗盡後的國家能源正常供需。可是，這個時間點並不在前三點之內，難以量化相加。

(1)如年報所公開的能源產量(Mtoe)，(2)台灣而言，是高度依賴外國輸入能源，所以能源自立的好處是顯著，尤其是用電量，但是像太陽能一般的永續能源又不如安全核能的貢獻多。(3)則屬國家的軟實力(Joseph Nye, 2004)。(4)影響三個層面，一為居民健康，二為生態多樣性及環境不變，三是國際社會壓力(這方面小型經濟體比較少指責)。



永續能源之產能值：

因為假設如圖 4.2 所示，前段環境效益增加較斜。

$$\text{能源產業}_n \times k\% \times 1.5 \times 1.002^n + \text{油價}_n \quad (4.6)$$

年份	能源工業值	再生能源比 (%)	轉換值	該年油價	永續能源產能 值
1988	1600.245	9.89	1	10.08	23.55122
1989	1726.267	10.33	1.002	9.66	27.74535
1990	1758.552	10.12	1.004004	9.59	27.94755
1991	1882.338	9.17	1.006012	9.51	27.3893
1992	2104.361	8.84	1.008024	9.39	29.95498
1993	2311.886	6.87	1.01004	9.23	26.07062
1994	2470.994	7.65	1.01206	9.18	31.25993
1995	2676.295	7.46	1.014084	9.09	33.40982
1996	2750.846	7.23	1.016112	9.02	33.6071
1997	2987.625	6.42	1.018145	8.98	32.62011
1998	3085.963	6.79	1.020181	9.25	34.66469
1999	3263.83	6.66	1.022221	9.2	36.22849
2000	3519.771	6.51	1.024266	9.43	37.33255
2001	3476.317	6.88	1.026314	10.14	36.31127
2002	3721.301	6.62	1.028367	9.98	38.0769
2003	4030.784	6.32	1.030424	9.99	39.41379
2004	4382.542	6.11	1.032485	9.81	42.27398
2005	4485.058	6.04	1.034549	9.57	43.92741
2006	4488.312	6.08	1.036619	9.29	45.67527
2007	4763.239	6.21	1.038692	9.19	50.14832
2008	4451.166	6.33	1.040769	8.85	49.70269
2009	4238.582	6.38	1.042851	8.82	47.96076
2010	4845.212	6.57	1.044936	8.46	58.97785

表 4.4

減少能源對外依賴度：

$$\text{能源自主值} = \text{變異數} \times 5 \times 10^3 \quad (4.7)$$

$$\text{變異數} = \frac{\sum (GR_q - GR_{av})^2}{n} ; n = 4 (\text{季}) \quad (4.8)$$

$$\text{年平均增長率}(GR_{AV}) = \frac{\sum_{q=1}^4 \text{國民生產總值增長率}}{4} ; \text{一年內}(4 \text{季}) \quad (4.9)$$

	Q1 GDP	Q2 GDP	Q3 GDP	Q4 GDP
1988	828,496	853,736	895,894	910,424
1989	942,223	984,015	1,016,618	1,060,371
1990	1,064,193	1,088,396	1,102,644	1,174,822
1991	1,180,478	1,219,288	1,242,884	1,315,570
1992	1,329,513	1,360,407	1,383,805	1,460,819
1993	1,478,071	1,507,557	1,527,339	1,597,134
1994	1,601,565	1,648,257	1,667,787	1,767,896
1995	1,734,012	1,779,863	1,823,822	1,939,848
1996	1,893,357	1,943,895	1,987,585	2,081,238
1997	2,049,796	2,074,325	2,135,056	2,315,607
1998	2,233,820	2,254,713	2,304,791	2,410,850
1999	2,364,778	2,373,671	2,389,732	2,520,868
2000	2,453,442	2,474,404	2,558,731	2,700,817
2001	2,476,711	2,391,097	2,432,576	2,630,003
2002	2,524,981	2,528,972	2,606,891	2,750,795
2003	2,591,382	2,516,062	2,697,889	2,890,924
2004	2,750,517	2,766,639	2,892,668	2,955,468
2005	2,806,180	2,800,359	2,963,732	3,170,008
2006	2,921,839	2,940,136	3,119,283	3,262,213
2007	3,041,846	3,071,240	3,334,386	3,463,039
2008	3,176,424	3,173,185	3,115,109	3,155,432
2009	2,997,919	2,986,363	3,146,568	3,350,243
2010	3,281,493	3,334,540	3,504,681	3,493,507

表 4.5

	Q1 growth	Q2 growth	Q3 growth	Q4 growth	Average	Variance
1988		0.030465	0.049381	0.016218	0.032021295	0.000277
1989	0.033749	0.044355	0.033133	0.043038	0.038568504	3.54E-05
1990	0.003591	0.022743	0.013091	0.065459	0.026221089	0.000745
1991	0.004791	0.032877	0.019352	0.058482	0.028875449	0.000521
1992	0.010487	0.023237	0.017199	0.055654	0.02664436	0.000401
1993	0.011672	0.019949	0.013122	0.045697	0.02260999	0.00025
1994	0.002767	0.029154	0.011849	0.060025	0.025948646	0.000636
1995	-0.01954	0.026442	0.024698	0.063617	0.023804065	0.001157
1996	-0.02455	0.026692	0.022475	0.047119	0.01793299	0.000918
1997	-0.01534	0.011967	0.029277	0.084565	0.027617485	0.001779
1998	-0.03661	0.009353	0.02221	0.046017	0.010241772	0.001206
1999	-0.01948	0.003761	0.006766	0.054875	0.011479775	0.000975
2000	-0.02748	0.008544	0.03408	0.05553	0.017667825	0.001275
2001	-0.09049	-0.03457	0.017347	0.08116	-0.006636508	0.005365
2002	-0.04159	0.001581	0.030811	0.055201	0.011499838	0.001733
2003	-0.06152	-0.02907	0.072267	0.07155	0.01330868	0.004754
2004	-0.05105	0.005861	0.045553	0.02171	0.005519279	0.001688
2005	-0.0532	-0.00207	0.05834	0.0696	0.018166508	0.003254
2006	-0.08494	0.006262	0.060932	0.045821	0.007019806	0.004289
2007	-0.07245	0.009663	0.085681	0.038584	0.015370619	0.004409
2008	-0.09023	-0.00102	-0.0183	0.012944	-0.024152364	0.002104
2009	-0.05254	-0.00385	0.053646	0.064729	0.015494831	0.002961
2010	-0.02095	0.016166	0.051024	-0.00319	0.01076255	0.00095

表 4.6 四季經濟增長變異數

年份	能源自主值
1988	1.383745
1989	0.177055
1990	3.72703
1991	2.605465
1992	2.005695
1993	1.2496
1994	3.17947
1995	5.786005
1996	4.590655
1997	8.89332
1998	6.032105
1999	4.87266
2000	6.374425
2001	26.8236
2002	8.66665
2003	23.77087
2004	8.441275
2005	16.27026
2006	21.44744
2007	22.04424
2008	10.52004
2009	14.80459
2010	4.75088



表 4.7 能源自主值

外交進展值

$$\left| \text{國民生產總值增長率(年)} \right| \times (1.002)^n \times 0.5 \quad (4.10)$$

年份	國民生產總值 增長率	外交進展值
1988	7.59	3.80259
1989	16.47	8.267973
1990	10.79	5.427435
1991	11.98	6.038064
1992	11.04	5.575421
1993	9.33	4.721261
1994	10.69	5.42028
1995	9.73	4.943387
1996	7.29	3.711137
1997	11.26	5.743619
1998	4.11	2.100665
1999	4.56	2.335326
2000	7.14	3.663942
2001	-2.62	1.347161
2002	4.59	2.364822
2003	5.09	2.627673
2004	2.23	1.153523
2005	7.26	3.762925
2006	2.91	1.511297
2007	6.16	3.205569
2008	-8.88	4.630257
2009	6.17	3.223629
2010	4.28	2.240636

表 4.8



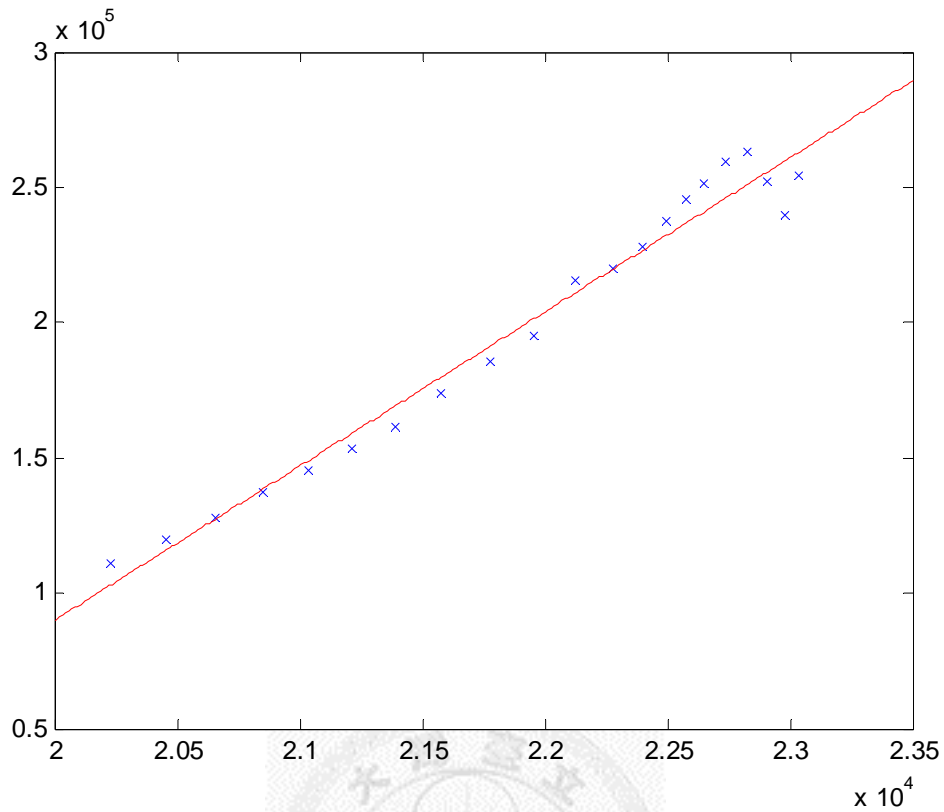


圖 4.3 二氧化碳總排放量與人口迴歸圖  
 用直線迴歸或等增長率推估缺失兩年(1988, 1989)之二氧化碳總排放量與人口。

	1988	1989
二氧化碳總量(噸)	101,859,000	106,250,000
人口(千人)	19920.8	20157.2

環境科學所知，二氧化碳是長期危機(hazardous)未致於急性致癌(carcinogenic)。

減少二氧化碳排放量的得益：

$$|\text{二氧化碳增長率}| \times (1.5)\text{k\%} \times 0.1 \quad (4.11)$$

年份	二氧化碳量(噸)	增長率	再生能源比(%)	環境得益值
1988	101,859,000	4.3105	9.89	6.394627
1989	106,250,000	4.3105	10.33	6.67912
1990	110,830,000	4.3105	10.12	6.543339
1991	119,920,000	8.2	9.17	11.2791
1992	128,210,000	6.91	8.84	9.16266
1993	137,602,000	7.33	6.87	7.553565
1994	145,643,000	5.84	7.65	6.7014
1995	153,138,000	5.15	7.46	5.76285
1996	161,599,000	5.53	7.23	5.997285
1997	173,998,000	7.67	6.42	7.38621
1998	185,375,000	6.54	6.79	6.66099
1999	195,382,000	5.4	6.66	5.3946
2000	215,449,000	10.27	6.51	10.02866
2001	219,825,000	2.03	6.88	2.09496
2002	227,818,000	3.64	6.62	3.61452
2003	237,177,000	4.11	6.32	3.89628
2004	245,209,000	3.39	6.11	3.106935
2005	251,636,000	2.62	6.04	2.37372
2006	259,180,000	3	6.08	2.736
2007	262,811,000	1.4	6.21	1.3041
2008	252,025,000	-4.1	6.33	3.89295
2009	239,526,000	-4.96	6.38	4.74672
2010	254,484,000	6.24	6.57	6.14952

表 4.9

4-2 比較經濟體的條件 (表 4.10)

	國家憲制	國家地形	氣候	地理水文特色
台灣	總統制、多黨制	歐亞板塊與菲律賓板塊交接處、南太平洋島嶼	亞熱帶氣候	高山河川流徑 台灣海和南太平洋、有群島
南韓	總統制、多黨制	太平洋朝鮮半島(北緯 33 至 39 度，東經 124 至 130 度)	大陸、亞熱帶氣候	東為日本海、西為黃海、山脈、平原、盤地、也有群島
斯洛伐克	議會民主、多黨制	歐洲中部、多山林地勢	因山脈分佈造四種主要氣候	山脈連綿、高山佔地多
中國	共產黨專政、以中央政治局治黨、國、軍(國有人民代表人會、國務院、軍為軍委)，除政治首都外，劃分多個特別區域	亞洲大陸(含各種地勢，北接蒙、俄，東面沿海，又以喜馬拉雅山脈為天然分界)	視乎座標位置	地大含各種地形，西高東低，天然水源、山丘、林木皆有，長江、黃河為最長河

	主要(出口)產業	經濟體類型	經貿協議	會員國組織
台灣	農林漁牧(本地)、加工製品、電腦軟硬體(如面板型電腦)等	小型開放經濟體、浮動管理匯率	ECFA、美國、亞洲貿易伙伴	WTO、APEC
南韓	電子產業、娛樂工業、汽車等	小型開放經濟體	美-韓(2012)、多邊貿易協議	UN、WTO、OECD、G20
斯洛伐克	汽車、電子產業	小型開放經濟體(昔為計劃經濟)	EU 政策、俄羅斯能源供應	UN、WTO、OECD、EU、NATO
中國	農牧、基建及大型建築、跨國生產製造業	國家資本主義、計劃經濟、多經濟或行政特區劃分	ECFA、CEPA、多邊貿易協議、俄羅斯能源供應	UN、WTO、G20、APEC

#### 4-2-1 地理相似性

地理和水文是影響產能或能源進口的，例如地震頻率地區高便不宜興建過量核電站；太陽能系統可建於平地、梯地等；水力發電，如果借用地心重力，產能更大。南韓是一個半島，土地面積與台灣相約，但其核電站共 20 個，為台灣的 5 倍。在這個範疇，中國沿海省份與南韓皆有與台灣相似但不相同的地理特徵。近海有天然的冷卻或吸熱作用，方便海路運輸。

#### 4-2-2 產業形態相似性

形是農、工、商的分佈形狀，這種圓形圖或百分比在國家統計網就可以找到。不過，第一(天然開採)、第二(製造)、第三(服務)產業並不是唯一的分類。工業的革新和經濟學的活用，政府或學術機構根本不須按舊規分類。亞洲中的日本和科技強國美國常有新的構思和社會文化注入其它國家。態是發展的勢態。由初階工業(infant industry)到成熟的工業，結合或汰舊換新。交通電子付費(悠遊卡)、多功能手機、電子期刊、電子書等只是今天的例子。

台灣既然可真正實行〈兩岸經濟合作架構協議〉，自然說明了中國大陸與台灣的產業是可以合作去與第三國競爭，而非中國龐大的外匯、國家外交優勢、多邊經貿協議和低廉且生產力強的勞動力去壓制台灣。這個是馬英九政府的國家重大決策，而其在任內八年令〈兩岸經濟合作架構協議〉得以延續與深化。進一步說，台灣天然資源缺少，自給自足(autarky)的取向形成獨立，也令產業發展礙於國法、國內限制合作。現在，台灣透過中國大陸的門戶找到更多商機。第一，中國放寬經濟壓力，台灣有更多經濟伙伴(partnership)，第二，現時的中國本身就是發展潛力最大的國家，鐵路、飛機場、太空科技、各類工業也在發展。只要中央政府能保持全國的高控制度，經濟發展百分比比七大工業國快(Solow model)。此報告乃重視能源產業(energy sector)，第四章第三部分可見。

#### 4-2-3 經濟發展階段相對性

一般未受經濟學教育的人會被媒體誤導(參考附錄)，國內生產總值(GDP)、匯率、物價、通脹率、Big Mac Index(The Economist)等是眾所周知的經濟指標。但真正的學者應該看得更細，十年國內生產高速增長的主因、匯率波動的近因、某一消費財或技術財物價急升的遠因、解決高通脹(hyperinflation)的經濟工具等。此節提到的相對性仍是不足，良好的經濟學家應既可以讀懂各個經濟指標，又能感受不同經濟體的社會現象，細察其關係。那些由人所創的指標，如信貸評級、期望值、國民平均收入，全是簡化的公式，用於比較。不理粗細指標，經濟發展的概念始終是今天各個國家的議題，八大工業國與第三世界就可體驗何為「相對性」。就四國以言，中國地大且尚為發展中國家，內部產業與國外經濟體皆可互補，國家發展機遇促進就業率。亞洲中，日本、南韓等都為二戰後以減少國防，重其它重工業、輕工業和出口致富，相對 2000 年才加入世界貿易組織的中國起步較前。

### 4-3 模型

#### 4-3-1 經濟效用模型

利用 4-1 部分，先求出無因次的成本和效益，利用三者之關係 ( $B - C \equiv U$ ) 做出迴歸模型，再視象化。如同標題，模型是分析整個經濟體而不是分析住戶。

取代能源值	工業代價值	永續能源損失值	總成本值
14.13073	13.2398	3.925203	31.29573
16.42938	8.40449	4.578075	29.41195
16.33051	2.82081	4.56512	23.71644
15.79086	8.7949	4.428701	29.01446
17.03748	15.28564	4.794267	37.11739
14.6265	15.22394	4.129835	33.98028
17.29696	9.31752	4.900804	31.51528
18.23001	11.9377	5.183473	35.35118
18.08056	5.27272	5.159574	28.51285
17.30094	10.10283	4.955331	32.3591
18.12211	10.32504	5.210107	33.65726
18.66556	16.16709	5.387023	40.21967
18.95302	14.22297	5.491515	38.66751
18.16187	6.13648	5.283453	29.5818
18.76013	20.28148	5.479932	44.52154
19.12504	22.08562	5.610012	46.82067
20.19901	54.49896	5.950518	80.64849
20.66407	4.77841	6.114302	31.55678
21.14966	0.35282	6.286149	27.78863
22.85266	13.68982	6.823612	43.36609
22.28601	10.14519	6.685802	39.117
21.15543	-10.9123	6.377287	16.62042
25.58684	42.34352	7.751308	75.68167

表 4.11 總成本值

永續能源產能值	能源自主值	外交進展值	環境得益值	總效益值
23.55122	1.383745	3.80259	6.394627	35.13218
27.74535	0.177055	8.267973	6.67912	42.8695
27.94755	3.72703	5.427435	6.543339	43.64535
27.3893	2.605465	6.038064	11.2791	47.31193
29.95498	2.005695	5.575421	9.16266	46.69876
26.07062	1.2496	4.721261	7.553565	39.59505
31.25993	3.17947	5.42028	6.7014	46.56108
33.40982	5.786005	4.943387	5.76285	49.90206
33.6071	4.590655	3.711137	5.997285	47.90618
32.62011	8.89332	5.743619	7.38621	54.64326
34.66469	6.032105	2.100665	6.66099	49.45845
36.22849	4.87266	2.335326	5.3946	48.83108
37.33255	6.374425	3.663942	10.02866	57.39958
36.31127	26.8236	1.347161	2.09496	66.57699
38.0769	8.66665	2.364822	3.61452	52.72289
39.41379	23.77087	2.627673	3.89628	69.70861
42.27398	8.441275	1.153523	3.106935	54.97571
43.92741	16.27026	3.762925	2.37372	66.33432
45.67527	21.44744	1.511297	2.736	71.37001
50.14832	22.04424	3.205569	1.3041	76.70223
49.70269	10.52004	4.630257	3.89295	68.74594
47.96076	14.80459	3.223629	4.74672	70.7357
58.97785	4.75088	2.240636	6.14952	72.11889

表 4.12 總效益值

年期上缺了新任政府，僅 1988-2010，2012 因政治敏感不宜輸出數據，無疑迴歸模型方法無含糊之處。

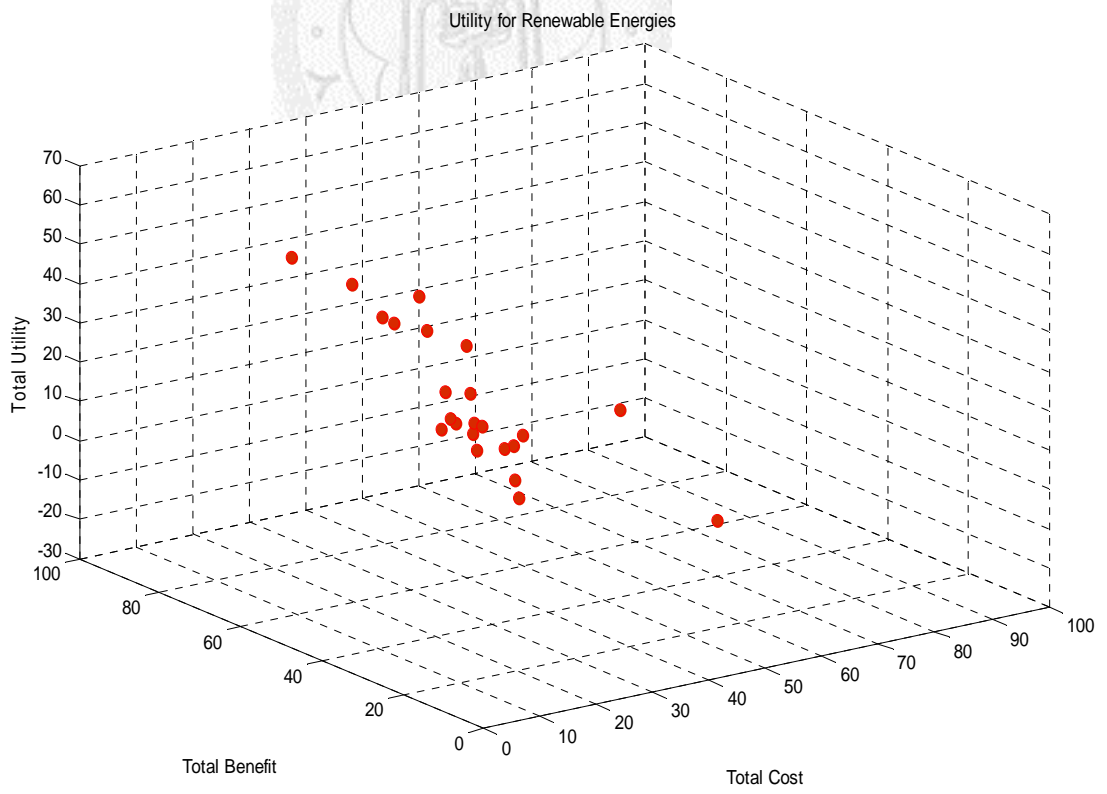
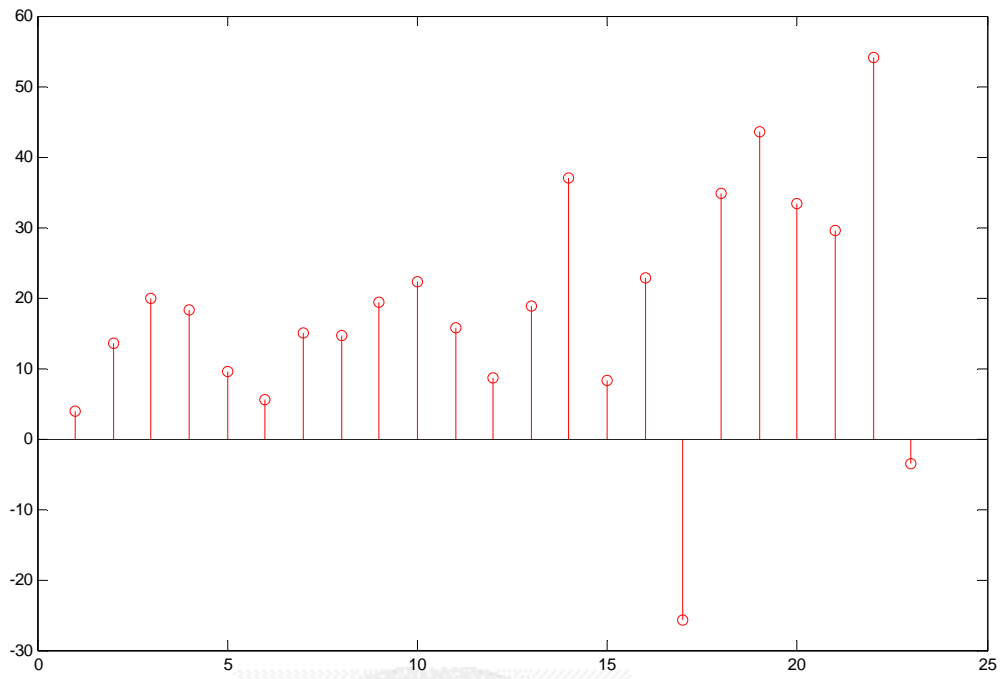
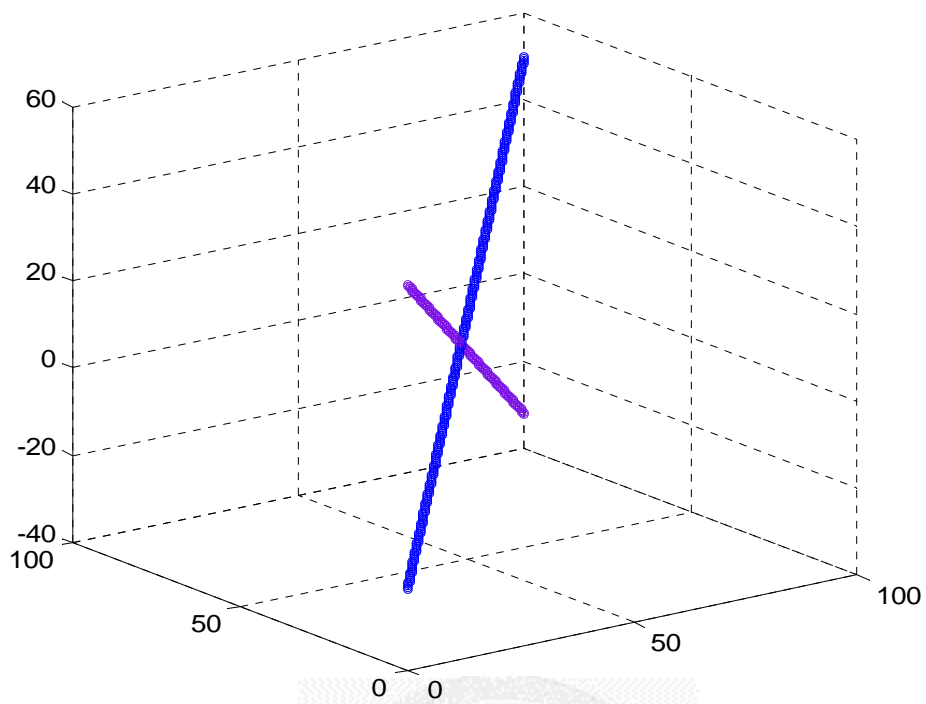


圖 4.4 殘差及成本效益座標





$$z = 48.3375 - 0.8046 x ; z = -21.5454 + 0.7148 y$$

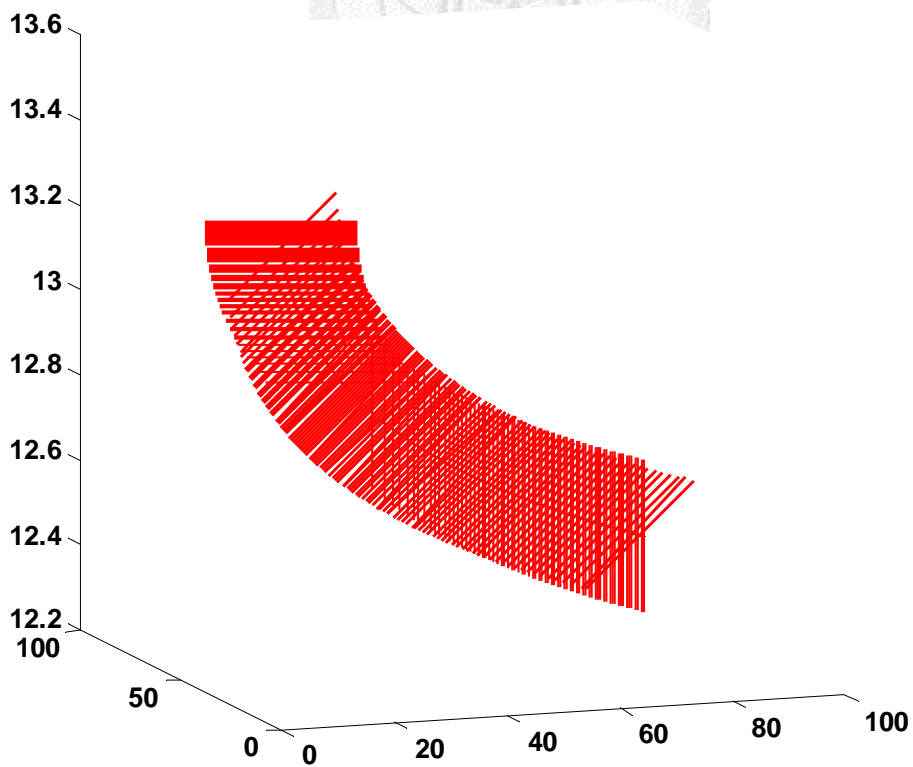


圖4.5 成本效益迴歸圖

Matlab 語言:

$$z = 13.39605 - 0.105605308 * (\text{sqrt}(x.^2 + y.^2))$$

迴歸方程式:

$$z = 13.39605 - 0.105605308 \times \sqrt{x^2 + y^2}$$

總結，在模型中效用(z, utility)是凹型曲線(concave curve)。但其趨勢是經過很多時間點仍在效用值 12 以上，即正值，它意味永續能源是長期(逾 10 年)有益國家經濟。觀看今天，聯合國在先進國家領導和倡議下提出 20-year Follow-up of Environmental Sustainability Development (Rio+20)。但值得深思的是，台灣的歷史與外交位置，永續能源設備的建設和研究的目的是否要取替石油、煤炭。



5-3-2 核能迴歸

國家	GDP (base year: 2010)	Nuclear Power (GWe)
United States	14799.56	806968
France	2155.05	407900
Japan	4267.50	279229
Russia	2209.05	155107
South Korea	1435.55	141894
India	3862.01	20480
United Kingdom	2182.93	56440
Canada	1330.41	85219
Germany	2859.78	133012
Ukraine	302.45	83800

表 4.13 先進國 GDP 和核能產量

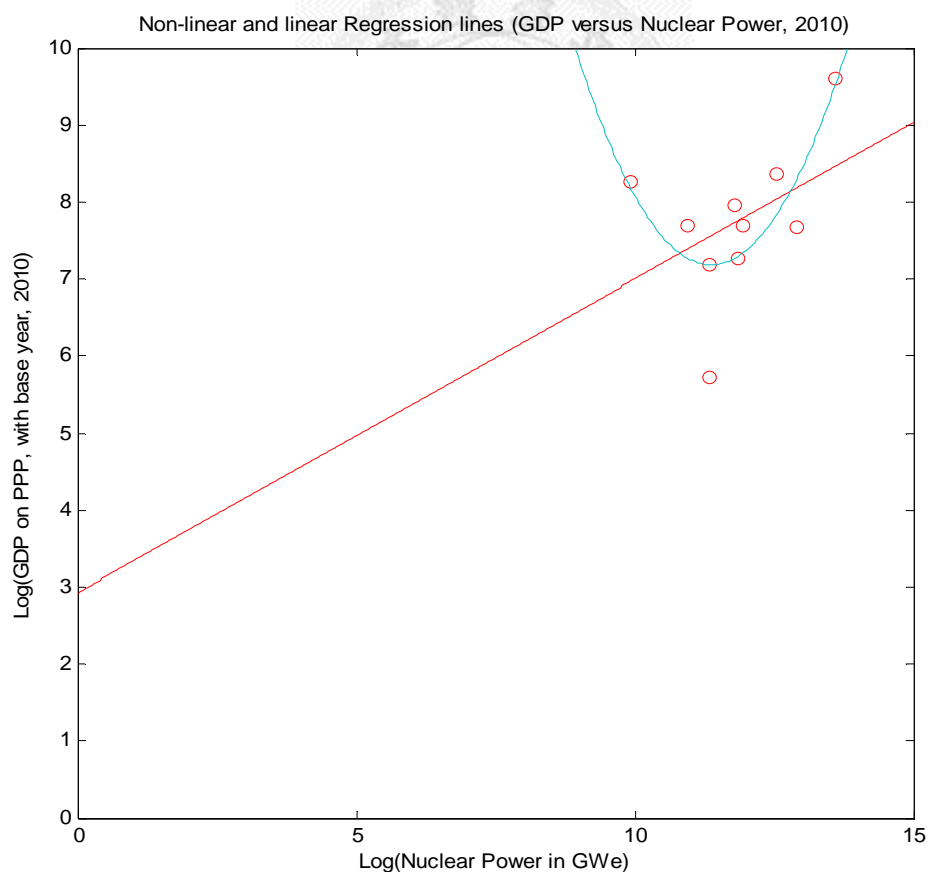


圖 4.6 GDP 與核能之迴歸圖

$$Y = 2.9259 + (0.4073)X \quad ; \quad \text{Log(GDP)}=Y, \text{ Log(Nuclear Power)}=X$$

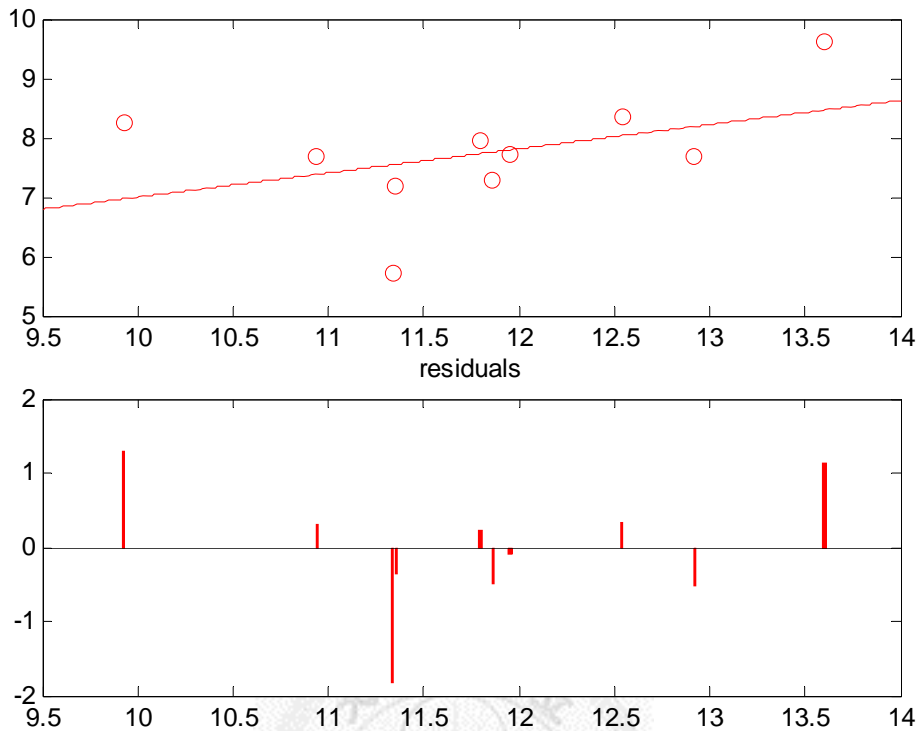


圖 4.7 各國分佈位置與殘差

核能對國家生產總值(GDP)是正相關，新建核電的供給只會帶給產業益處。雖然如此，核能的倍數物理產能在核廢料棄置和機械運用、冷卻也有專門技術人員操作。中華民國核能學會提出一個論調：

核能的極高危險性和長久的污染潛藏時間並沒有令政府卻步而是令政府投入更多更先進的處理方法。實事上，核能比其它更「安全」。

以上是可爭議的觀點。這一節引用的是 2010 年 OECD 中 10 國家的數據，一是 GDP，另一為核能產量。它們分別位於北美、東北亞、歐洲、喜馬拉雅山脈毗鄰。以南韓和烏克蘭為例，南韓略低於迴歸直線，烏克蘭遠低於其線。究其原因，南韓自身是高度依賴能源進口，儘管核電反應機組是台灣的兩倍以上，它的勞動人口數和 GDP 也高於台灣，高度對外依賴令其核能貢獻度不致極高於樣本。烏克蘭的問題是它本身的經濟規模就很小，九十年代從蘇聯分離出來，有人指其核技術未如美、德等國，所出現在迴歸線最遠的點。俄羅斯的核能使用率算很高，但其 GDP 與 2010 年的日、美相差甚大，原因是它過去一直受限於美國及其邦國，國內、國外皆有因素。美國是 residuals 最高一點，核技術、國土分配令它得到核能的巨大益效。德國自二戰起復甦，核能使用緊隨俄國而其 GDP 竟高於俄國，這都應歸國家能源政策。

核能帶給國家經濟效益是明顯的事實。但在同一年期上，研究員在了解核能使用與國家生產總值關係時，各國差異是真正的研究領域。換言之，這條迴歸線並不是用作推測，相反是把數據輸入，在點和線間的殘差找出成因。例如，核技術、國內天然能源、長期穩定能源品輸入、國家戰略合作。如同前述，台灣在政治對峙和外國能源依賴與南韓具相似性。

2011 年其後，日本採取新的能源政策。當年的核污染災害揭示了亞洲能源問題的不穩，這對日本國來說只是一個時間點，日本的失策在於只願在金融危機(2009)中扮演復甦的經濟能手，而未能在事前任何一刻發現這個「科技危機」。中國以中央強勢和發展潛力(勞動力、儲蓄率、經濟特區、離岸美元投資)迅速復甦，Obama 政權以美國品牌(Made in America, Obama, 2010)和量化寬鬆(2009)對內對外改善美國經濟。在結束正文前，人類經歷不少天災、戰亂、疫情，今天的議題是能源危機，在此背後，在此同時會否有另一種未被發現的「危機」？



## 第五章 結論

### 5-1 方法論

環境經濟學指標是可變化，繁與簡，多角度，不同的計算，用不同的統計量，但參考者應把其步驟或組件分開，方便解讀。為了不被誤導，參考者須要明白指標的來源及原理。反過來看，決策者知道指標或具誤導，或具誤差，制定決策必須同時參考多個指標和分析。決策者，在時限內，確定性、不確定性、風險三者下，做出最適判斷和長期策略。在第二、三、四章沒有提及附錄的分析組件，因為它已是方法論的基礎，可用於解拆所有指標。

### 5-2 分析結果

而分析資料的來源全是政府單位的官方刊物。其他能源分析者要注意的是同一來源的單位和有效數字必定如一，同時引用過多相異來源必然會造成不良的測度。在這份論文中，只有一至兩份官方刊物數據用在同一模型上，單位轉換、有效數字在量化上也做到一致處理。時、地、人在變。在經濟學、環境經濟學中，學者皆知根本沒有一個分析可以是最佳標準或預測。在能源的數理分析上，此研究只是提出其中一種參考方法，具有參考價值才有意義。除了第二章的恰當深入的物理解構外，最後兩章各為能源經濟學和進階能源數理分析(成本—效益分析)。今天，台灣依舊是對外天然能源依賴度高的島國。最後兩章的結果說出此研究傾向對永續能源和核能更多的使用。

## 參考文獻 Bibliography

### 書目 Reference book:

1. 張素梅 - 統計學 (2005)
2. 楊國樞，瞿海源 - 變遷中的台灣社會 (1995)
3. 呂世宗 柳中明 - 台灣地區大氣環境變遷 (1997)
4. Shalom Eliezer, Ajoy Ghatak, Heinrich Hora (2002) - Fundamentals of Equations of State
5. Peter Gevorkian (2006) - Sustainable Energy Systems in Architectural Design
6. B.R. Martin (2009) – Nuclear and Particle Physics
7. Barry Render, Ralph M. Stair, Jr., Michael E. Hanna (2012) – Quantitative Analysis for Management
8. De Blij, Muller, Nijman (2012) – Geography Realms, Regions, and Concepts
9. Andrew Wood, Susan Roberts (2011) – Economic Geography
10. N. Gregory Mankiw (2004) – Macroeconomics
11. Hal R. Varian (2007) – Intermediate Microeconomics
12. William H. Greene (2010) - Econometric Analysis
13. Peter V. O’Neil (2007) - Advanced Engineering Mathematics
14. Schuyler W. Huck (2009) –Statistical Misconceptions
15. Shayle R. Searle (1982)- Matrix Algebra Useful for Statistics
16. Gilbert Strang (2006) – Linear Algebra and Its Applications
17. Halliday, Resnick, Walker (2011) – Principles of Physics
18. Peter Siska (2006) – Chemistry
19. C.S.P. Ojha, R. Berndtsson, P.Bhunya (2008) – Engineering Hydrology
20. Charles Harvey – Teaching materials for Underground Hydrology
21. Peter J. Taylor (2006)– Unruly Complexity
22. J. M. Anderson (1982) – Ecology for Environmental Sciences: Biosphere. Ecosystems and Man
23. Bilal M. Ayyub, George J. Klir (2006) – Uncertainty Modeling and Analysis in Engineering and the Sciences



網頁 website:

1. 中華民國（台灣）統計資訊網 <http://www.stat.gov.tw/mp.asp?mp=4>
2. 中央銀行全球資訊網 <http://www.cbc.gov.tw/mp1.html>
3. 中華民國核能學會 <http://www.chns.org/>
4. 石油輸出國組織 <http://www.ofid.org/>
5. 日本環境省 <http://www.env.go.jp/>
6. International Monetary Fund (Economic data)  
<http://www.imf.org/external/index.htm>
7. Environmental Protection Agency <http://www.epa.gov/>
8. United States Nuclear Regulatory Commission <http://www.nrc.gov/>
9. The Economist (Charts and news)

官方刊物 official information:

1. 行政院國家永續發展委員會「永續發展計劃」(2009)
2. 台灣經濟部環境白皮書(2009-2010)
3. Environmental Statistics Year Book, Republic of Korea (2003-2010)
4. Energy Policy Review, Republic of Slovakia (2003, 2005)
5. Sustainable Energy in China, World Bank (2007)

研討會暨演講 Seminar:

1. Bill Gates (2011), Innovating to Zero, TED (Technology Entertainment and Design)
2. Steven Cowley, Fusion's Energy's Future, TED (Technology Entertainment and Design)

附錄 環境分析 之 基礎要素 The Fundamentals of Environmental Analysis

在物理學上，前人提出因次分析(dimension analysis)使複雜的物理量得到

系統性的詮釋。在這個方法中，時間區間(T)，質量(M)和空間的長度(L)都在數學中井然有序的呈現。在進一步的探討，我們也可知同單位(unit，即使很複雜的單位常換上一個新造的單位)的物理量是可以加總或抵消，只有時間是不可逆。這種不可逆性(irreversibility)，猶如多種對稱性(symmetry)，在相對論和原子化學佔著很重要的地位。近代而言，經濟學日趨科學化，無數的推測方法(estimation methods)也奠基於此。有時間的流動，生態循環才得而發生，年平均氣溫也隨之改變；有空間的存在，國家(country/economy)、公司(firm)、投資者(investor)的經濟行為才可進展，其外部性影響社會風俗，公民道德，以致環境科學家最關注的能源問題(Obama, 2012)。它容下一切經濟學和環境工程的因素。

其實據筆者自身學習歷程，在管理學，經濟學發現其實基本上有前三個概念，故引用它們的性質去創造任何指標。在化學中的焓(enthalpy)，有機化學中的傳播階段(propagating process)，自由基(free radical)的reaction rate(反應率)，親水性，親電性，除了熱之外能量也可以分階(level)，即近代的量子物理。脫離古典物理，不止是新定律，偏微分方程，實驗設計，統計方法也廣泛應用。

小至核子，電子，大至恆星，皆可付之應用，也已付之應用，如包含粒子動力學的量子力學(quantum mechanics)。在人類社會行為中，不論是行為經濟學(Behavioral Economics)或賽局論(game theory)已有將數理，心理學說容納之傾向。

本研究中的控制角色(dominant role)即為人腦(minds)，被控角色(passive role)是工業、工廠、機器、交通運輸等等。在後面章節再深究的是它們的(inter-reactions)。

#### A $\eta$ (Eta) 效率(efficiency)

很多人誤以為是經濟學的粗淺概念，但在醫學，化學反應，物流管理，實驗結果，甚至全部領域也可以應用到。它是跨越能量，物質和時間的指標，所以沒

有鎖定在任何領域或過程。簡言之，我可以用英文「how best」去形容效率。本章會討論它的性質，指標功能，及環境應用。

$$\eta = \frac{X1 - X0}{X0} = \frac{X1}{X0} - 1 \quad (\text{正負可改換}) \quad (\text{A.1})$$

在台灣約 60 條河川，以新北市為例，其主要河川為淡水河，其上游為新店溪，基隆河，大漢溪。尤於台灣主要是短而急促的河川由上而下奔流到海域，水及其它化學物，如炭(carbon, COx)，氮(nitrogen, NOx)，氧(oxygen, O2)皆藉生態循環，野生動物，近年氣候等帶回上流。故台灣專家是把時間，資源放在河川，而島國幅員又未至於如日本有大湖或睡火山，環保署也是針砭台灣島的問題。

以陽明山國家公園，水源自淨能力為例。由於該區是國家保護之園區，自然環境應與都市工業區，商業圈遠離。BOD 與 DO 的微分方程：

$$\text{BOD:} \quad V \frac{dL}{dx} = -KL \quad ; \quad L(0)=L_0 \quad (\text{A.2})$$

$$\text{DO:} \quad V \frac{dC}{dx} = -k_1L + k_2(C_s - C) \quad ; \quad C(0)=C_0 \quad (\text{A.3})$$

L , C: 其濃度

k: 常數，視乎河川流勢

V: 容量

s: 飽和狀態

上二式為環境工程中氧需求量(Biochemical Oxygen Demand)和溶氧(Dissolved Oxygen)的常微分方程。如果用距離(x)作微分，每一小段(很微小而趨近零)的濃度變化就是濃度的增減率(單一方向)。現在把第一河段的去除率定

為  $\eta'$ ，一次方就是一段河流區間。

$$C1=C(1-\eta')^1 \quad (A.4)$$

$$C2=C(1-\eta')^2 \quad - \text{第2段相等河段}$$

$$C3=C(1-\eta')^3 \quad - \text{第3段相等河段}$$

這只是反過來說明微分的構思：

$$\frac{y(x+\Delta x)-y(x)}{\Delta x} = \frac{dy}{dx}$$

但當去除率不是固定  $\eta'$ ，這便有更深入的意義。數理物理學家想化繁為簡，但當環境問題不是完美地簡樸，我們還得一步一步去求出數值。

$$C4=C(1-\eta') (1-\eta'') (1-\eta''') (1-\eta'''' ) \dots ; \eta' < \eta'' < \eta''' < \eta'''' \dots \quad (A.5)$$

去除率是在變，這剛好如同自由落體(free falling)，重力加速度(gravity acceleration)使速率漸增，而這裡去除率漸增(或漸減)。可是，當去除率是時增時減，不盡相同，「去除率」就難以表達。還有一種是時間權重的概念。

$$C4=C(1-\eta a)(1-\eta b)(1-\eta c)(1-\eta d) \dots ; \eta a \neq \eta b \neq \eta c \neq \eta d \quad (A.6)$$

明顯，這個問題不可以用微分而來的去除率表達了。在茫茫的海洋，研究員視之為一個無邊的世界(universe)，在海域上，研究員還是訴諸統計學，不同的去除率，不同的降溫率(因海域受污染，而未均勻擴散)，不同的流速，也用上現代的統計方法。當然，母體足夠大，研究員才會用上一切統計方法，若只有10段區間，峰度和平均數便沒有意義，我們應回到單一的「效率」。總而言之，任何學科，經濟學，社會學，藥劑學，工程學皆有以上的概念。音階、顏色在迴歸方法(regression)中採標示變數(indicator variable or dummy variable)。

## B $\rho$ (Rho)-密度

這裡的密度其實也是財務管理(Financial management)和會計學(Accounting)中的比(ratio)，先不要以為只是一個分母和分子，它不像物理量的加減，或正負數加總。密度觀念在環境工程上是具重大意義。固定人口的密度

適用於移民或地區規劃以至制定法規，流動人口的密度對交通措施和交通安排是重要的考量，交通既涉及能源、運輸時間，更觸動經濟產業。

$$A / B = A^{(1)} * B^{(-1)} \quad (B.1)$$

$$A / A = A^{(1)} * A^{(-1)} = A^{(1-1)} = A^{(0)} = 1 \quad (\text{完整步驟})$$

在不同基底(base) 的對數(logarithm)，其密度關係轉換如下：

$$\text{Log} | A | - \text{Log} | B | \equiv \text{Log} | A / B | \quad (B.2)$$

$$\text{Log} | A^0 | \equiv 0 \text{Log} | A | \quad (B.3)$$

代入不同基底，如 e 或 10 可以明白其恆等性質。對數在環境工程上，除了改變圖表的表達外，在統計科學等是深具應用性質。



## C $\delta$ (Delta)-變化

如果變化也是一個差距或一個倍數，那麼它跟第一節的效率或去除率、自淨率等有像是沒有差異。但兩者的確有所不同，第一節是不一定與包含時間(time) 在式中，單位可以沒年、月、日、時、分、秒。儘管成效是含有時間，但我們可

以比較兩種合金(alloy)或金屬(metal)在光線(ray)強度漸增下的折射率(reflection rate)。

$$\eta = \frac{L1 - L0}{L0} = \frac{L1}{L0} - 1 \quad (C.1)$$

L: 某強度的光的折射率

物理上，光的穿透率(penetrating power)、聲波(sound wave)、導熱性(heat conductivity)、導電性(electro-conductivity)皆是同理。其實例子還有親水性(hydrophile)和親電性(electrophile)，有機化學已發展到一個進度。環境科學包含了自然界的生物，也包含了生化學。工程上，物理性質必然會做比較，這可從物理上的系數(material coefficient)得以理解。環境的另一面可說是經濟，GDP、Purchasing Power Parity、通貨膨脹率、不同業界的稅收、年收入與物價與消費的比值，近乎一切也可以做到效率的值。但整理資料的目的畢竟是為了做學術分析，公司或政府的決策，國家管理，還有國與國的商議，若指標是誤導性或過於繁複可能就失了意義。

至於變化是必定與時間有關。因此，此節會先後討論變化與時間。首先我們必要知道在時間上可以維持或改變。變化可以是質或量的程度，但先不舉例。另外，在工程上，工程師可以分級，在某一區間屬於某一級別。可見一點，儘管質與量被(社會)科學家分開，但仍然有質量相通的概念。

顏色或顏料，黃色不斷加上藍色，慢慢它會變成綠色。質量相通，以銅(Copper)為例，隨著溫度(kelvin)上升，它的形態也改變。但世界也有單純質的事物，在人口普查中，性別和職業就是兩個質的例子，但當統計員把同類的累積計算，例如 500 個婦女，3000 個建築工人，始終又是量。量，明顯是數學的概念；質也可以用 Set Theory 或新統計方法處理。

以下是台北的 2012 年 1 月份之雨量：

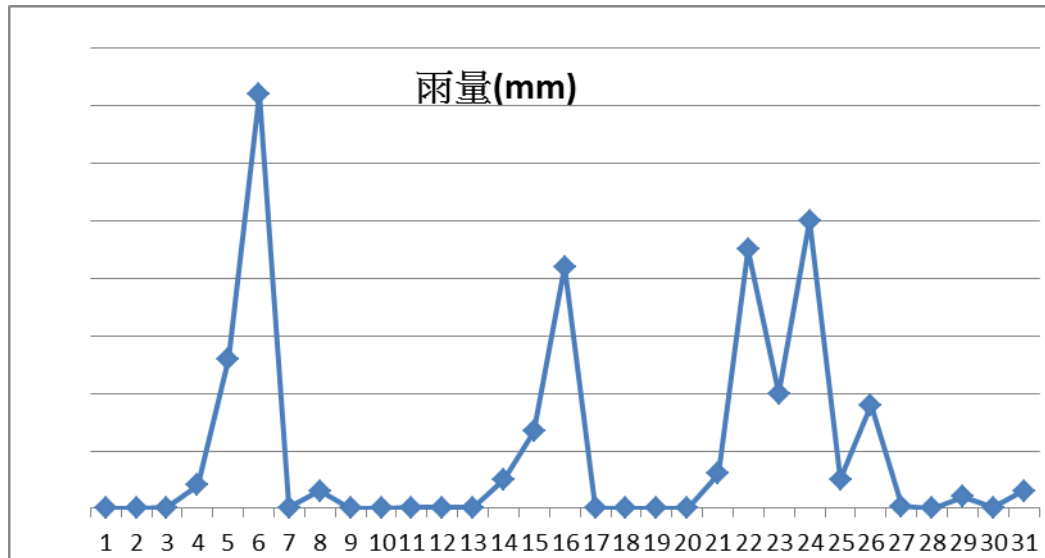


圖 C.1 中央氣候局，

<http://www.cwb.gov.tw/V7/climate/dailyPrecipitation/dP.htm>

在雨季或旱季總雨量的差異、該最高雨量與最低雨量差以及雨量的變異數等都具有價值，研究員是製作有意義的指標並納入統計，若果一年內每個月雨量變異數太大，這麼根本沒有提出平均值(mean)的需要，而平均值相若也不用分別旱季或雨季。但在大自然的現象中，環境科學家鍥而不捨的找出規律與關係，最常見者就是相對係數(correlation)、迴歸曲線(regression curve)。變化是有時間為參數的。若果把發展時期分成 10 個相等的時間階段。

$$Y_l - Y_i = L \quad (C.2)$$

Y: 產量

l : 第十期

i : 第一期

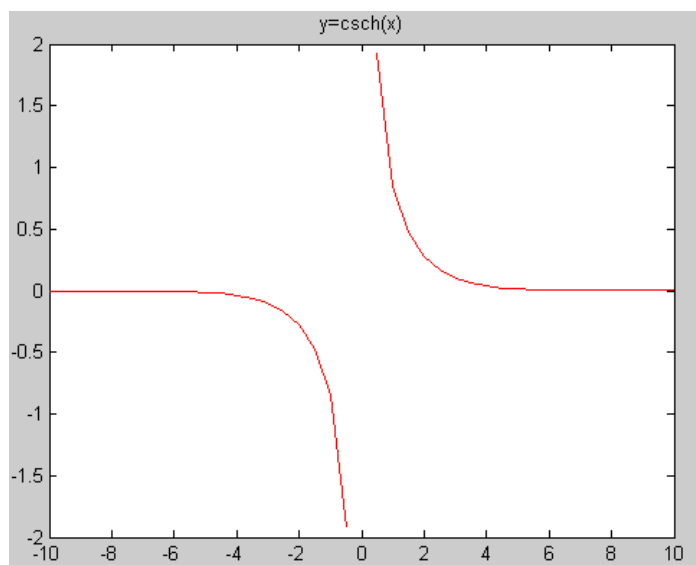
L 可稱為總差距，而 $(Y_2 - Y_1)$ 、 $(Y_3 - Y_2)$ 、 $(Y_4 - Y_3)$ 、 $(Y_5 - Y_4)$ 、 $(Y_6 - Y_5)$ 、 $(Y_7 - Y_6)$ 、 $(Y_8 - Y_7)$ 、 $(Y_9 - Y_8)$ 、 $(Y_{10} - Y_9)$ 可稱為該 10 個時期的個別產量。如果研究者用純利(Net Profit)的概念，9 個數值是可以有正有負。如果採用三個時期的總差，則

$(Y_3 - Y_1)$ 、 $(Y_6 - Y_4)$ 、 $(Y_{10} - Y_7)$ 。由此可知，當統計處或經濟學家製作統計圖表，年(year)、季(Quarter)或捷運的日流量和(尖峰)時流量是在不一樣的時間長度。如果時間長度一樣，元旦日和工作天的信義區消費額也不一樣；經濟蕭條與全面復甦的年份也不一樣。

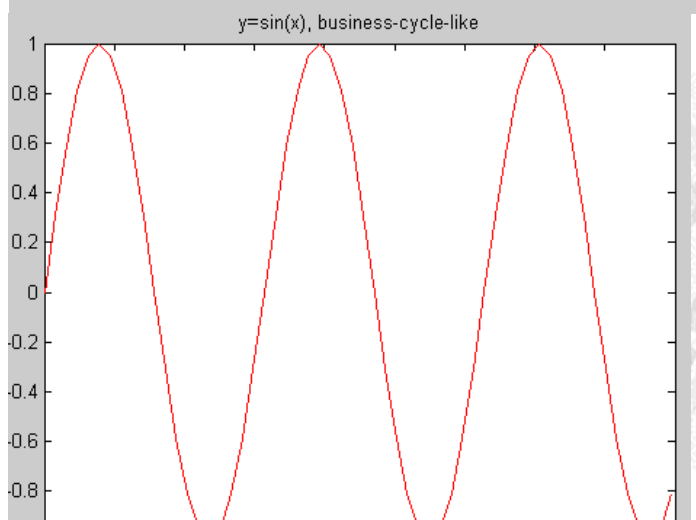
時間分析有兩個基本概念，即離散(discrete)、連續(continuous)。連續的曲直



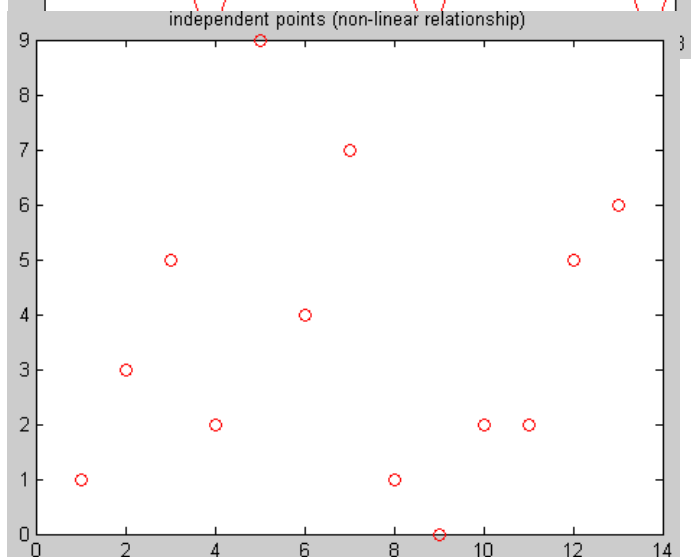
線可以離散化，但離散或片段連續(piecewise continuous)，只能稱作部分連續或不連續。



(a) Piecewise continuous



(b) Continuous and cyclic



(c) Discrete

圖 C .2 (Matlab software)

D  $\theta$  (Theta) 方位、座標

其實這符號是誤導性，方位不一定是極座標，可以是格網。地理上，我們知

道南北極，赤道，經緯度，但限於台灣環境範圍，這一節只略提化學有機物結構，星位移動其實也是有「方位」觀念。沒有一個固定的座標，星體學(meteorology)就不能證明星體移動，太空物理學(astrophysics)也不能計算人造衛星和太空機械人的位置。可是，當這個座標改變(transformation, Linear Algebra)，整個方位或被扭曲，現實的世界(universe)是多元運動(multi-dynamic)的，如果沒有固定的座標，人類是無法分辨什麼在動。我們還可以想像到不靜止的浮動的液態座標。

這一節會討論環境中的地理，也是討論新北市的空間建築，並會引用到前三者的組件。另外，後半是延伸至經濟地理(Economic Geography, Paul Krugman 2008, Andrew Wood and Susan Roberts 2011)，整理他人之說及延伸枝節思考。易言之，前半是總體，後半可以細至元素。

#### D-1 以新店區為對象之發展

由北至南，山有待老坑山(382)，風爐塞山(302)，塗崎頭山(231)，大笨山(152)，小油山(222)，塗潭山(508)，大崎頭山(490)，大高山(625)，中嶺山(574)，直潭山(728)，菜刀崙(448)，東獅頭山(780)，大粗坑(583)，獅頭山(754)，四明山(678)，大桶山(916)，加久嶺(870)。新店區連接台北市以南，山區頗多，政府更用山脈作行政邊界。新店區與石碇區共分翡翠水庫。由工商業開發程度看，靠近台北市的北部開發度偏高，南部只有橋，路，農場，牧場。

山區可以等高線(contour)去看，但翡翠水庫是首都台北市的天然水源，地區政府與中央政府若在新店區與石碇區大規模開發，恐影響水文，水理。等高線適用於地理的俯瞰圖，但無法表示地下水，土壤分層。若研究非經濟的自然環境，橫切面也僅可表示出有限的小區域，若用上負數的等高線去追蹤水流，或有機物，毒物是罕見的地理表示方法。這個想法早已被航空物理學家與光學者採用，如果用單一深探(probe)，多是訴諸統計。根據該物質的性質，我用水去做負數等高線的追蹤。

在研究追蹤地下水和地下物質，研究者都得以建基於水文學與水力工程學。19世紀的水力學家Darcy對地下水(underground water)作出貢獻性的研究。在進一步說明之前，先參考忽略人類經濟行為下的水循環(Water cycle):



圖 D.1 區域性水循環

<http://visual.merriam-webster.com/images/earth/environment/hydrologic-cycle.jpg>

其實地殼上可以有許多層，但一般工程師並非地理學家，無意在探討地殼上的演變與地球核之間的成份。地下水就是滲透(infiltration)，土壤與硬石是有分成可滲透與不可滲透，坡度、厚度、水壓、泥土密度、多孔性(porosity)、比流、比速、各種物理變化係數(coefficient)皆在地下水研究範圍內，再進一步的統計分佈與機率就省略了。水文統計學(Hydrologic Statistics)其實也離不開離散與連續兩個概念。

Darcy Law(略):  $Q=AKI$

Q: Quantity rate

A: Cross-sectional area

K: Hydraulic Conductivity

I: Hydraulic gradient

Generalization of Darcy Law 其實是運用了矢量、偏微分、矩陣:

$$v = -K \text{ grad}(h) = -K \nabla h \quad (D.1)$$

v: Darcy velocity vector

K: hydraulic conductivity matrix tensor

Gradient 定義如下:

$$\nabla f = \frac{\partial f}{\partial x_1} \mathbf{e}_1 + \cdots + \frac{\partial f}{\partial x_n} \mathbf{e}_n$$

(D. 2)

但水體屬三維空間，得:

$$\nabla f = \frac{\partial f}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial f}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial f}{\partial z} \mathbf{k}$$

(D. 3)

$$K = \begin{bmatrix} K_{xx} & K_{xy} & K_{xz} \\ K_{yx} & K_{yy} & K_{yz} \\ K_{zx} & K_{zy} & K_{zz} \end{bmatrix} \quad ; \text{ a matrix tensor} \quad (\text{D. 4})$$

其它如水的壓抑性(compressibility)、水揚、摩擦損耗等等便不作探討。但由 Darcy Law 可知，除非有深入地底的隔壁，地下水是可以根據地形(topography)延散。



圖 D. 2 新店區衛星圖(Google Map)

新店區的新店溪是連接翡翠水庫與淡水河的水流媒介。新店溪附近的建設用途必然對台灣北部地區用水構成影響，可慢可快，不容忽視。在水文學中，水坡度是最大影響因子。此節中的負等高線就是用地圖的方式把地下水的梯度勾畫出，這是環境規劃者極佳的工具，但並非最佳的。最佳的應是動態的水梯度等高線。

有了地下水的坡度，水溶性化合物如 Sodium Perborate、Ruthenium、Phosphates 等也可以追蹤、測量濃度、截流。事實，有機化學物是極多，性質有同有異，往往環境科學家多以人類健康和避免自然災害為出發點。然而，地區規劃者仍是有限理性，人為錯誤總會出現。

## D-2 經濟地理

事實上，經濟地理起步絕非 2008 年的經濟學諾貝爾獎(Nobel Memorial Prize in Economic Sciences, 2008)，早在 20 年前已有人著書開闢經濟地理的大道，學者甚至追塑 19 世紀的貿易路線圖。時到今天，任何產物皆可做出經濟地理的分析：

	高	低
加工程度 (processing)	電腦，汽車	水果，稻米
兌現率(liquidity)	貨幣(currency)	機器(machinery for specific production)
天然度(crudeness)	礦產(metal ores)	核子技術產物( e.g. Thorium energy)
規模(scale)	商業大樓(e.g. Taipei 101)	量子規模物質 (materials-atomic scale)
經濟面	建築物群、經濟特區、賭城	個人心理狀態(e.g. animal spirit)
環境面	國家公園、人工湖、水庫、環境法規、溫室氣體	個人低污染活動

以下是現今最常見的經濟地理指標：

GDP per Capita, Ecological Footprint, Foreign Direct Investment, Illiteracy, Income per Household(USD), Agricultural Yield, etc.

表 D.1

由此可知，測量可以是有形或無形，可以有很多類別與程度。與其說分類是無窮，不如更準確的說：隨著事物的複雜化，科學技術提升，分類如人類可以想像到的定義般多。(Andrew Wood, Susan Robert, 2011)

	China (People' s Republic of China)	Taiwan (Republic of China)
Race(s)	Han(90%), Mongolian, Turkic, Tibetan, Wu, North Min, South Min, Gan, Xiang, Yue, Thai, Mon-Khmer	Han(98%), Aboriginal
Language(s)	Peking Putonghua(official), regional dialects of minorities	Mandarin(official), Hakka, localized Taiyu

表 D.2 中、台經濟地理 By H. J. de Blij, P. O. Muller, and John Wiley & Sons, Inc. , National Statistics(R. O. C. )

在台灣這種分佈的研究價值不大，在中國大陸的這種文化大國，語言和人種變遷是歷史學家和社會學家的瑰寶。人與人因時代、國策、外交轉變、通婚與交流促進文化融合。反觀台灣，這種低人口島國，生育率、國際學術交流，甚至不同族裔的婚姻成了一種微趨勢(Mark J. Penn & E. Kinney Zalesne, 2008)。

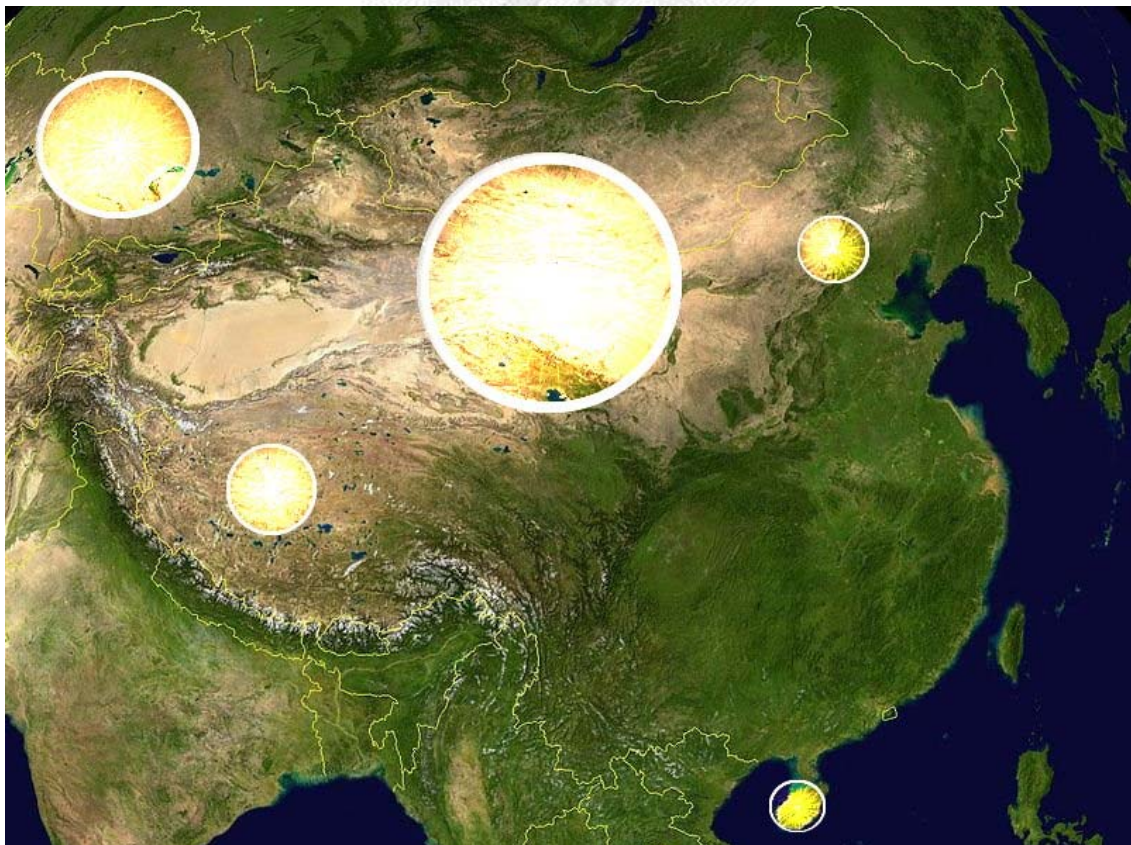
人種和語言是已有資料，在環境工程表面沒有重大意義或直接關係，可是地方行政，也是環境管理也須考量居民的戶口資料。從這方面去看，人種、飲食、生活模式都具有參考價值。



永續能源太陽能的分佈，在每一秒地球只有略少於表面積一半的陸地和海洋面向太陽，如果用上地理學的格網座標，面積再細分到一定程度，光的強度應是近平均分佈(uniform distribution)。圓面積代表該日日照時數的總陽光強度。相同方法下，圓面積亦可以用作一地地底的天然氣含量總量。



台北市與高雄市陽光強度示意圖 (by NASA, Photoimpact X3)



北京、內蒙古、新疆、西藏、海南島等的陽光強度示意圖

圖 D.3 陽光強度地圖



## E $\Omega$ (Omega, Universe) 集合論

這個理論不但廣泛應用在哲學、統計、機率、評估、抽象或具體的概念上，更由數學家發展得成熟。此節不會重複已知的集合理論，但會舉出人類環境的應用例子。

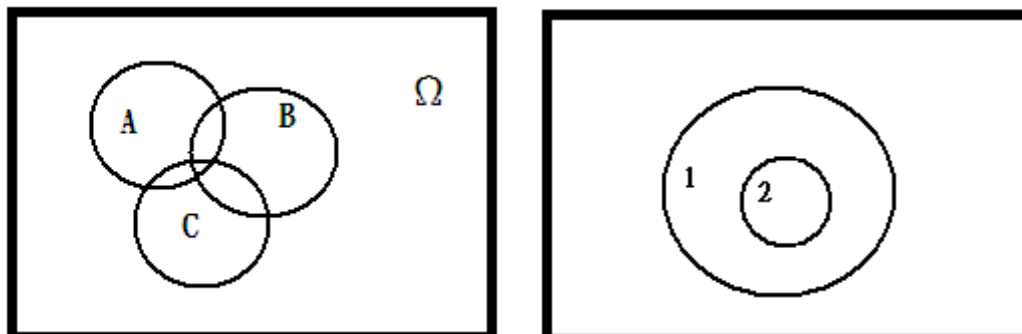


圖 E.1 基本集合

在環境工程中，規劃者必須有一個界限的觀念，以 A 代表造成固廢的工業，以 B 代表造成空氣污染的工業，C 為水質污染的工業， $(A, B, C)^c$  可以視作再新能源工業。這是一個很粗淺的應用，事實上，污染物是可以變相(phase change)，而且揮發性有機物(Volatile Organic Chemical, VOC)與其對陽光能的化學作用(Photochemical reaction)備受關注。子集合可用其化學性質界別。但此研究重點在於永續能源，故把零污染或非石油能源視作所有其它造成污染產業的補集。

其次是一種條件關係。以工程(1)必須做到工程(2)，或者，一種能源生產，必需要一種或多種物質(石油, crude oil)或外在能源(如光子, photon)，不可無中生有。

如果把 1 或 100% 當成  $\Omega$ ，即是最大的機率當作所有子集合的聯集(Union)。別於很多學者所見，在多種機率概念上， $[0, 1]$  只是方便電腦操作或資料統一收藏或處理，即使在二位制或十六位制也可以成立。只要在實數線上定下一個區域，並以二者其一的方向表示機率的增加，機率理論亦可成立。

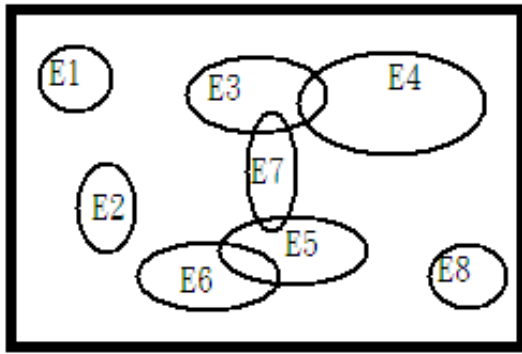


圖 E.2 抽象物集合

[E1, E8] 代表了台灣不同地域，不同震央，不同程度，在將來不同時間的地震機率。這圖按照比例表達了地震可能性的獨立性和相依關係。

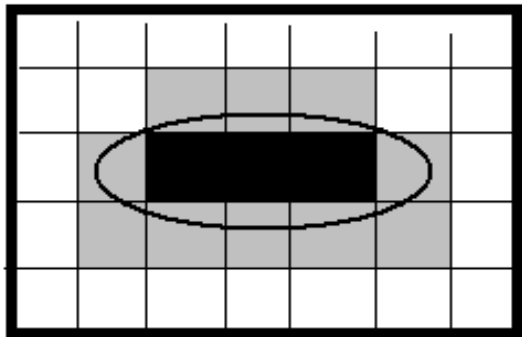
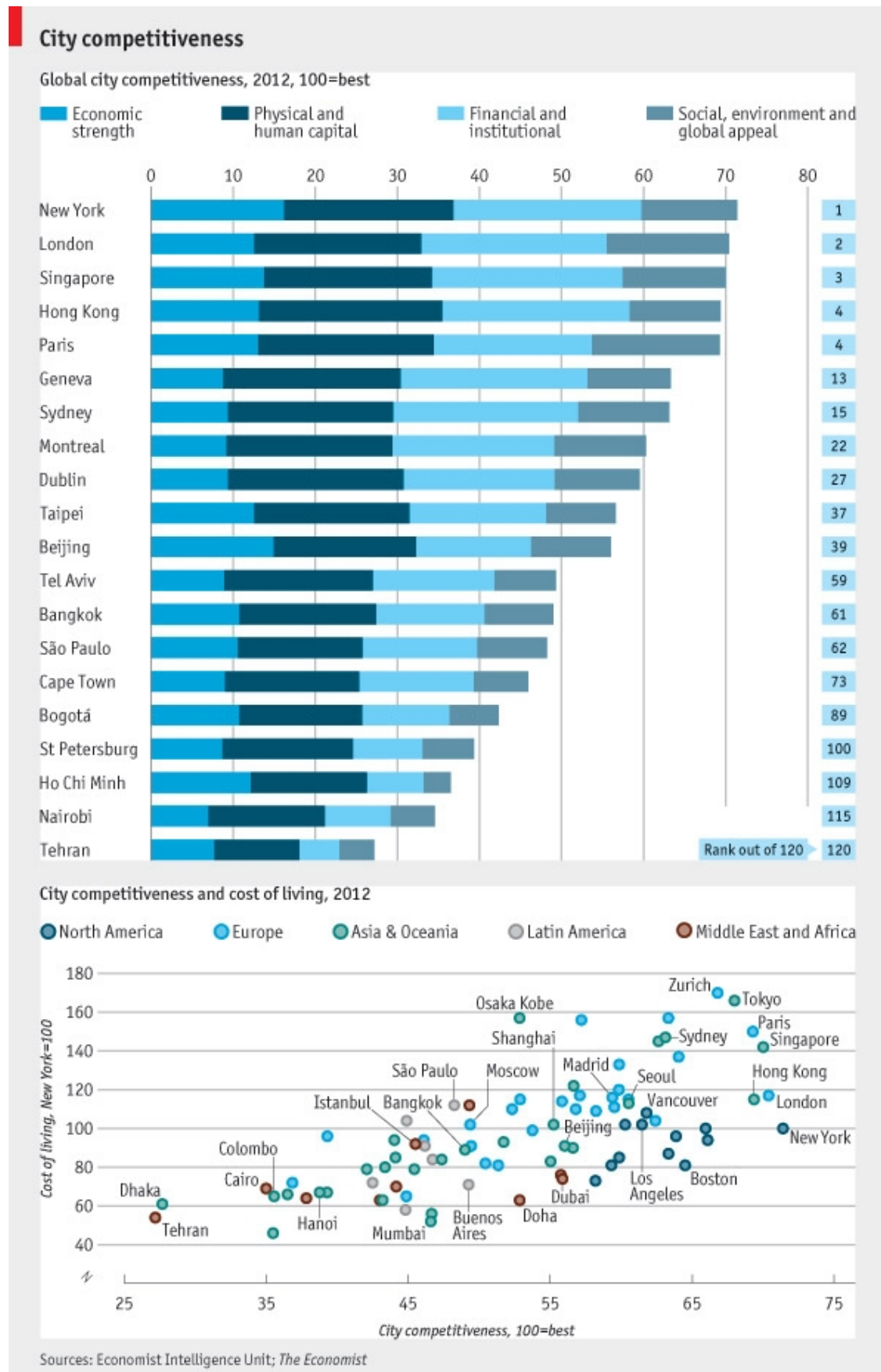


圖 E.3 管理學上的集合

這個是一種風險觀念。灰色是保守最向，黑色是短時間的最適應對，白色是可行最大程度的風險處理。正常風險處理應由黑到灰，由灰到白，或者只在一種程度進行處理。反過來可以視作該工程的效益，黑色是必然的利益，以圈內是總成本，灰色是可能利益，白色是超出預期的利益。舉例，工程可以是興建巨型新式發電廠。

由此章可知，學者只要握著物理，化學，社會性質就可以創造，設計新指標，再到新研究方法。在分析研究中，研究員試圖找一個最適方法，比較優劣，純方法的往往優劣就是決定於以上最先三類組件(component)的配合，後面的內容必然覆蓋此章的每一節。這些簡單的指標就足夠做到簡單直接的比較或測量新能源的各種性質。其實，統計學的基礎也是通過以上數學工具，握著母體、抽樣(次數)、平均值等堆砌出新的方法。在此不多舉例。但如果可以將每一指標或統計方法拆成組件，研究者便不致被誤導。這個思考方法如代數或其它推導及反推導是不一樣。

F 國外指標解構 圖 F.1 都市競爭力(The Economist, 2012)



首先《The Economist》把都市競爭力的指數下分為四種，並各佔比重四分之一，但是(環境)經濟學家一般不會把數個不同參數和參數數目的函數混合成一種指標。因為都市的產業不一，如果綜合來看，會隱藏了都市的主要特徵或國家功能。因此，這個圖表應該分開四種來比較。可是，四種細分指標也有重疊混淆之嫌。

**Economic Strength:** 它可以是 GDP 的密度，也可以是外匯儲備、央行效率、貿易額的迴歸公式。但上圖並詳述，但由於 Economic 一詞涵蓋甚廣，很難獨立於下面三種，此為另一誤導的缺失。

**Physical and Human Capital:** 這一項，舉例來說，可以是該年大學教育人口比重與交通以至各類建築的密度的公式。但建築和教育必牽涉到經濟成長和產業分佈。建築增加就業率，而大學主修和國家教育部政策會影響產業。不作深入討論。

**Financial and Institutional:** 這一項，應該是借貸、金融投資品、儲蓄等方面量化的健全程度(可以是效率)，或許是過去經歷金融危機的復甦年期(變化)。

**Social, Environmental, and Global Appeal:** 這一項，或許可以完全脫離經濟，以人權和自由為中心，但當其參數涉及能源議題，又變成經濟的一環了。能源產量可以用上效率、密度、變化等概念。

由以上分析可知這個都市競爭力的最大缺點是後三個人力資本、金融、環境等指標根本不獨立於經濟實力(Economic Strength)，結果整個競爭力排名有含糊和交錯之感。

下半部的平面圖，縱軸、橫軸因為單位不一，只可作密度的處理過程，不可相加相減。縱軸是生活成本，此必為必需品(食物、教育、醫療、居住)的物價(以美元為單位)。反觀橫軸，它是由以上很複雜的計算得出的複合結果。事實上，橫軸計算本身就有很大可能性包含縱軸的計算對象，以所有列出都市的完全正相關(perfectly positive correlation)也成了競爭力計算包含生活支出(living expenditure)的支持證據。

結論，從這張圖表，讀者應知道經濟指標因重複而比重增大。上半圖，如果只看總指數是錯誤，總指標或許就是首指標 Economic Strength，後三者難以獨立於首項，故分開看尾三項才是正確的比較。下半圖只能反映該都市的統計量，即相關係數，只供經濟學家參考。

圖 F.2 世界房屋住宅指標 (The Economist, 2012)

**The Economist house-price indicators**

	Latest, % change		Under(-)/over(+) valued*, %, against:		
	On a year earlier	since 2007	Rents	Income†	Average
Canada	6.8	19.8	76	32	54
Singapore	5.9	34.1	60	na	60
Austria	5.1	12.7	-13	na	-13
Hong Kong	5.1	72.0	58	na	58
France	4.3	5.8	54	39	47
Belgium	4.0	15.2	65	47	56
Switzerland	3.8	19.5	-2	-7	-5
New Zealand	2.5	-2.3	68	20	44
Germany	2.3	6.6	-18	-20	-19
Britain	0.9	-10.3	26	17	22
China	0.3	23.2	7	-32	-13
South Africa	-0.3	10.7	-4	17	7
Italy	-2.2	-5.2	5	15	10
Sweden	-2.8	11.2	35	23	29
Japan	-3.2	-12.1	-36	-34	-35
Netherlands	-3.2	-6.7	21	43	32
United States	-4.0	-30.1	-12	-25	-19
Australia	-4.8	15.5	48	28	38
Denmark	-4.9	-17.2	16	10	13
Spain	-6.9	-16.8	30	24	27
Ireland	-17.4	-48.0	-2	-2	-2

Sources: BIS; Haver Analytics; Hong Kong RV; Nationwide; OECD; Teranet and National Bank; Thomson Reuters; *The Economist*

\*Relative to long-run average  
†Disposable income per person

左二直行已表明是 2007 年前後的百分比的變化，但應取得房價的真實價格才可再深入研究變化。事實上，經濟學家著重事物與事物的關係，但在正負相關關係，並不能代表因果關係(causality)。(Schuyler W. Huck, 2009)。右半是月或年租的百分比的變化與月或年收入的百分比的變化，及(最右)兩者的平均數。讀者應注意第五直行的平均值在租金的數值和收入數值之間靠向哪一邊最多，而判斷房租或房價等與收入的波動哪個較大。

先從其數值列出公式：

$$\text{Average Value} = [(\Delta\text{Rent}/\text{Original Rent}) + (\Delta\text{Income}/\text{Original Income})]/2$$

(F.1)

從上式看便不至被誤導，從以上資料，用已有經濟統計模型，可知住戶單位數目和地價，間接可推估該國家住戶的年用電量和建造發電廠的規模和作成本利益分析。無論如何，間接推估是較差而以上統計表也有偏頗。



圖 F.3 能源分析 (Obama Administration, [www.whitehouse.gov](http://www.whitehouse.gov), March 2012)

# THE OBAMA ENERGY AGENDA

## GAS PRICES

**ON DOMESTIC PRODUCTION**

*"Under my administration, America is producing more oil today than at any time in the last eight years... Under my administration, we have a near-record number of oil rigs operating right now -- more working oil and gas rigs than the rest of the world combined... We've opened up millions of new acres for oil and gas exploration where appropriate and where it is done safely, and we've approved more than 400 drilling permits since we put in place new safety standards to make sure that we don't have the same kind of spill that we had down in the Gulf a couple of years ago."*

President Barack Obama  
Nashua Community College  
Nashua, New Hampshire  
March 1, 2012

**DOMESTIC OIL PRODUCTION IS UP. FOREIGN IMPORTS ARE DOWN**

**U.S. PRODUCTION OF OIL RISING UNDER OBAMA**  
Domestic production of crude oil - thousands of barrels per day

SOURCE: EIA

**U.S. DEPENDENCE ON FOREIGN OIL DECLINING**  
Net imports as a share of domestic consumption

SOURCE: EIA

**U.S. CRUDE OIL RIGS IN OPERATION ARE INCREASING**

SOURCE: EIA

**TOTAL OIL AND GAS PRODUCTION IS ON THE RISE**

- over 2 billion barrels of American crude oil were produced in 2011, the highest level since 2003
- 2.97 trillion cubic feet of U.S. natural gas production on public lands in 2011, the second best year in the past 10 years
- 13% increase in the total federal oil production (offshore + onshore) in the first three years of the Obama administration

**ON GAS PRICES**

*"Right now we are experiencing just another painful reminder of why developing new energy is so critical to our future. Just like last year, gas prices are climbing across the country. This time, it's happening even earlier. And when gas prices go up, it hurts everybody -- everybody who owns a car, everybody who owns a business. It means you've got to stretch a paycheck even further. It means you've got to find even more room in a budget that was already really tight. And some folks have no choice but to drive a long way to work, and high gas prices are like a tax straight out of your paycheck."*

President Barack Obama  
University of Miami  
Miami, Florida  
February 23, 2012

**INCREASED PRODUCTION DOESN'T LOWER GAS PRICES**

**GAS PRICES CONTINUE TO RISE EVEN AS WE DRILL MORE**

SOURCE: EIA

**OIL COMPANIES PROFIT WHEN AMERICANS PAY MORE AT THE PUMP**

SOURCE: EIA

While profits soar, oil companies are receiving about \$7,610 a minute in tax breaks. That's \$4 billion a year.

**THE BASICS ON GAS AND PRODUCTION**

The single biggest factor in the price of gasoline is the cost of crude oil.

Petroleum products made from 1 barrel of crude oil

There are about 162,000 gas stations across the U.S.

Distribution and Marketing - 6%

Taxes - 12%

Refining - 6%

**Crude Oil - 76%**

Diesel - 10.04 gal

Other Distillates - 1.24 gal

Jet Fuel - 3.91 gal

Other Products - 6.8 gal

Heavy Oil - 1.68 gal

Liquefied Petroleum Gases - 1.72 gal

Gasoline - 19.36 gal

46% of each barrel of oil is allocated to make consumer gasoline

Crude oil prices are determined by worldwide supply and demand.

SOURCE: EIA

**ON SUPPLY AND DEMAND**

"Eight years ago, when America last produced this same amount of oil, the average cost of gasoline was \$1.56. So the amount of oil we drill at home doesn't set the price of gas on its own. That's because oil is bought and sold in a world market. And just like last year, one thing that's causing the price of oil to rise right now is instability in the Middle East -- this time in Iran. But over the long-term, what will keep causing the price of oil to rise are the rapidly growing populations of countries like China, India, and Brazil."

President Barack Obama  
University of Miami  
Miami, Florida  
February 23, 2012

**THE PRICE OF OIL IS SET ON THE WORLD MARKET**

Growing global demand and instability cause high gas prices

**GLOBAL OIL CONSUMPTION IS SOARING**  
Cumulative growth in total oil consumption

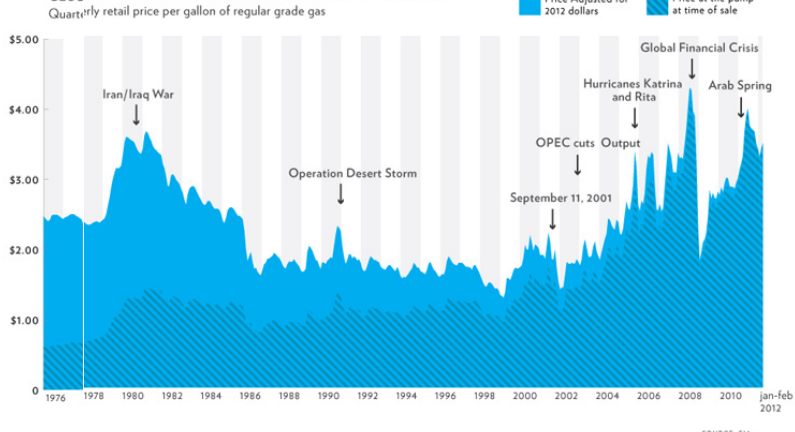
SOURCE: EIA

**CHINA TRIPLED ITS NUMBER OF CARS--AND ITS GAS NEEDS--IN JUST 4 YEARS**

The number of cars in the U.S. grew by 10 percent in that time

SOURCE: 2011 WARD'S AUTOMOTIVE GROUP, A DIVISION OF PENTON MEDIA INC.

### GLOBAL INSTABILITY CAUSES UNPREDICTABLE PRICE SPIKES

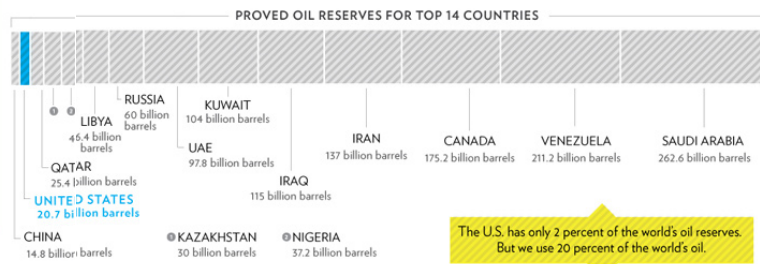


### ON RESERVES

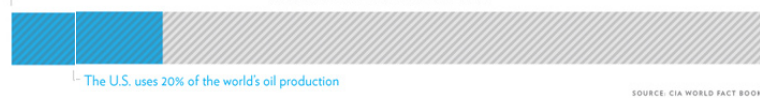
"The United States consumes more than 20 percent of the world's oil, but we only have 2 percent of the world's oil reserves — 20 percent we use, we only produce 2 percent. And no matter what we do, it's not going to get much above 3 percent. So we're still going to have this huge shortfall. That's why if we really want energy security and energy independence, we've got to start looking at how we use less oil, and use other energy sources that we can renew and that we can control, so we are not subject to the whims of what's happening in other countries."

President Barack Obama  
Nashua Community College  
Nashua, New Hampshire  
March 1, 2012

### MORE DOMESTIC DRILLING WILL NEVER MEET OUR ENERGY NEEDS



### YEARLY WORLD OIL PRODUCTION



### ON ALL OF THE ABOVE STRATEGY

"If we are going to control our energy future, then we've got to have an all-of-the-above strategy. We've got to develop every source of American energy -- not just oil and gas, but wind power and solar power, nuclear power, biofuels. We need to invest in the technology that will help us use less oil in our cars and our trucks, in our buildings, in our factories. That's the only solution to this challenge. Because as we start using less, that lowers the demand, prices come down. It's pretty straightforward. That's the only solution to this challenge. And that's the strategy that we've now been pursuing for the last three years."

President Barack Obama  
Daimler Truck Manufacturing Plant  
Mount Holly, North Carolina  
March 7, 2012

### WE NEED AN ALL-OF-THE-ABOVE APPROACH

Safely develop our large supply of domestic natural gas, and create new technologies that allow us to put that gas to good use.

The U.S. is the largest producer of natural gas in the world

Continue building new cars and trucks with better fuel efficiency standards

The fuel economy standards will reduce oil consumption by an estimated 2.2 million barrels a day by 2025.



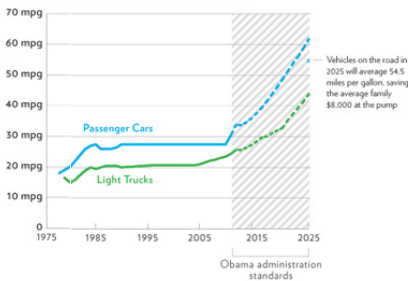
Open new areas for oil and gas exploration

- Onshore: January 2009 to March 2011  
Acres offered for lease: Over 6 million  
Acres leased: Fewer than 4 million
- Offshore in 2012  
Acres offered for lease: Nearly 37 million  
Acres leased: 2.4 million

Increase our use of energy from renewable sources such as wind, solar, and hydropower.

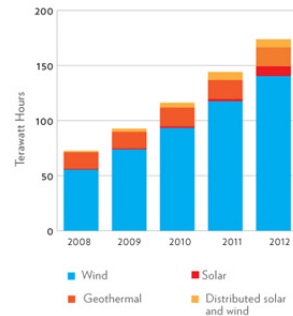
President Obama proposed a Clean Energy Standard that would double the share of electricity generated from clean energy sources over the next 25 years.

### Obama administration fuel efficiency standards



MY1978-2011 figure are NHTSA Corporate Average Fuel Economy (CAFE) standards in miles per gallon. Standards for MY2012-2025 are EPA greenhouse gas emission standards in miles per gallon equivalent, incorporating air conditioning improvements. Dashed Lines denote that standards for MY2011-2025 reflect percentage increases in Notice of Proposed Rulemaking.

### Doubling renewable electricity generation, 2008-2012



LEARN MORE AT WHITEHOUSE.GOV

March 12, 2012

這是美國政府最高行政單位公佈的資料(White House, 2012)。它用的是平實的資料、簡明統計圖和最原始的經濟定理。當全球經濟體(國家角色)處於高度自由的市場狀態(無政府, anarchy, 張亞中, 2007), 能源便是由供需調節仍大於霸權(hegemony)主導。

第一, 它指出近兩屆美國政權(administration)均能保持國家之能量所需, 歐巴馬總統任內成功提升天然能源的國內供應, 並減低對國外的石油進口。而目前, 美國佔有天然石油有 2%, 但用了全球的 20% 石油。這是展示國家穩定優勢。第二, 歐巴馬政權刻意提及中、印兩國, 明示它們是在高速經濟成長而能源需求大而遞升(其用意是指美國面對製造業工作流失, 在此不作延伸討論)。另外, 資料顯示金融危機和戰事會波動油價, 在 20 世紀開始至今, 美國仍是無力完全阻止他國(尤指大國)的經濟行為。

數據分析的時間線長度有效表達其意, 雖然有政治目的, 但應無統計錯失。總結來說, 以上資料指出在全球化下, 油價在升, 某些國家佔有地利, 可是, 能源競爭和新能源開發卻無可避免的。

用上這個資料來源結束整個附錄(基礎數理分析), 它既是現今能源問題的癥結, 也為此研究揭示二至四章節的參考用途。