

# 台灣綠色循環再造之動態模式

## The Dynamic Modeling of Taiwan Green Recycling

溫玲玉<sup>1</sup> 廖錦文<sup>2</sup> 賴坊濱<sup>3</sup> 張任坊<sup>4</sup> 張博一<sup>5</sup>

(台灣彰化師範大學商業教育學系<sup>1</sup>，台灣彰化師範大學工業教育學系<sup>2,3</sup>，國立海洋大學商船系<sup>4</sup> 國立台北大學通訊工程學系<sup>5</sup>)

**摘要：**本研究旨在透過「趨勢研究」時間序列之量化分析，提出一個動態模式探討台灣經濟成長率，即國內生產毛額(Gross Domestic Product, GDP)、循環再造(Recycling)與碳排放量(Carbon Dioxide Emissions)之間的動態模式，探討其中是否存在著共整合現象(Co-integration)，並以 Granger(1969)之預測誤差的角度定義變數之間的因果關係，藉以求出影響台灣綠色循環再造的動態指標，進而預測未來 8 期的共同隨機趨勢。在方法學中，以向量誤差修正模式(Vector Error Correction Model, VECM)對本研究三個構面：循環再造、GDP、碳排放量等研究樣本之季資料作時間序列資料的追溯與預測。另在統計軟體應用上，本研究以 JMulTi 作時間序列相關資料的輸入、執行與報表輸出。資料來源取自台灣經濟新報網站(TEJ)、環保署網站及經濟部能源局的統計，期間從 1990 年至 2013 年，共 24 年。

本研究發現：(1)差分後的三個變數(Carbon\_d1, GDP\_d1, Recycle\_d1)，令落後期數  $p=9$ ，搭配有 2 個共整合關係。(2) VECM 模型中，〈資源回收量〉與〈台灣工業 GDP\_百萬〉共整合分析， $\text{lag}=9$ ， $\text{reclcle}+47834 \text{ GDP}$ ，二者呈”負向”共同趨勢，即台灣工業 GDP 愈高，資源回收量就愈低。(3) 再〈碳排放量\_千公噸〉與〈資源回收量〉共整合分析， $\text{lag}=9$ ， $\text{reclcle}+477766 \text{ carbon}$ ：二者呈”負向”共同趨勢，即台灣碳排放量愈高，資源回收量會愈低。(4)另外在〈碳排放量〉與〈台灣 GDP〉之共整合關係： $\text{carbon} -4.19 \text{ GDP}$ ，二者呈”正向”共同趨勢，即台灣碳排放量愈高，GDP 會愈高。(5)未來八期之預測如表 5、6、7。

**關鍵字：**資源回收再利用、工業經濟成長率 GDP、碳排放量、共整合關係、向量誤差修正模型

### 一、緒論

在全球暖化正反兩面意見俱陳的同時，如何讓台灣可得的資源做最有效率的分配與應用？節能減碳、資源回收再利用是否為身在這個島嶼或地球上每一個人的責任？污染的來源很多，大致可分為下列五種：(1)空氣汙染：全球暖化、酸

雨、臭氧層空洞、全球黯化、懸浮粒子等。(2)水污染：油外洩、海洋廢棄物、生活污水等。(3)土地污染：如除草劑、農藥、重金屬。(4)放射性污染：如核裂變產物、放射性落下灰、急性輻射綜合症等。(5)其他污染：熱島現象、光害、噪音污染、基因污染、工業污染、船舶污染等。台灣自不例外，或多或少也正遭受上述污染的危害，因此本研究試圖提出一個簡單循環再造的動態預測模式(見圖 1)，欲了解增加資源回收率及降低碳排放量等措施來降低可能的污染或藉以預測台灣的經濟成長率。由於台灣可得的再生能源(Renewable Energy)很多，如太陽能、風力、潮汐能、地熱能等。因此是否能夠透過一種時間序列的數量分析模式來永續規劃、組織、經營與管理一個福爾摩沙(Formosa)綠色之島-台灣？

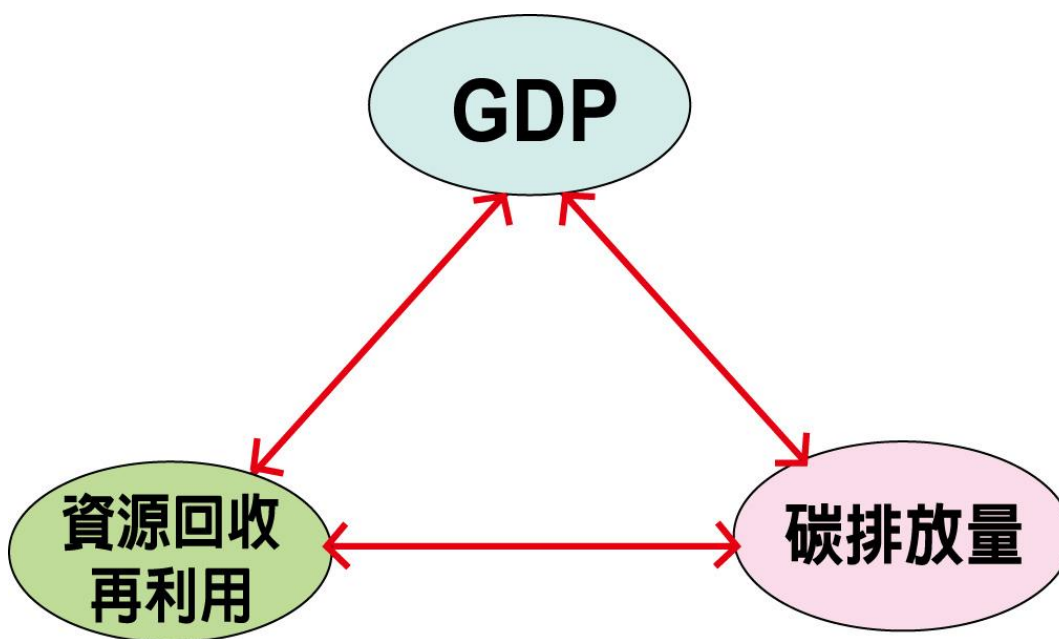


圖1 台灣綠色循環再造之動態模式

在總體經濟中，共整合現象是一種共同隨機趨勢(Common Random Trends)，往古推今、鑑往知來。在多個總體時間序列的共同趨勢，即共整合檢定中，經濟成長率、碳排放量與資源回收再利用率有否可能存在著一個穩定的長期均衡關係，這種關係造成了他們的同步趨勢？又如何找出彼此之間的微妙關係？在判定台灣綠色循環再造之動態迴歸模式中，本研究以 JMulTi 預測之迴歸式主要可分為 3 大殘差診斷法：(1)殘差之自我相關(Auto-Regression)檢定包括：Portmanteau 及 Breusch-Godfrey。(2)殘差項之 Jarque-Bera (JB)常態性檢定。(3)殘差項以 ARCH-LM 檢定其 ARCH(q)模型。

基於上述本研究所提出的理論架構及研究方法，本文具體目的如下：

1. 建構台灣綠色循環再造之動態預測模型(聯立迴歸模型 VECM)。
2. 以 Granger(1969)之預測誤差的角度定義變數之間的因果關係。
3. 以台灣綠色循環再造之動態迴歸模式預測台灣工業經濟成長率 GDP、碳排放量及循環再造未來 8 期的趨勢。

## 二、相關文獻探討

如何能源自主(Energy Independent)? 在能源消耗(Energy Consumption)、污染源排放(Pollutant Emissions)時間序列問題之相關研究(Pao & Tsai, 2010)中, 縱橫因果(Panel Causality)關係的結論顯示: 增加能源供應的投資比和能源高效率使用, 並加強節能政策與減少不必要的能源浪費, 意即節能減碳對於能源自主是正向的。

### (一)、碳排放量

在相關的能源消耗、GDP經濟成長與碳排放量的時間序列因果關係跨國(International)研究中(Shuwen Niu 等人, 2011)指出, 已開發國家(Developed)與開發中(Developing)國家對能源消耗、節能減碳與GDP經濟成長的效應有很大的差異。另在相關的文獻結論中(如表1)顯示(Shuwen Niu 等人, 2011), 能源消耗(EC)、經濟成長(EG)與碳排放量逐漸形成雙向的因果關係(Causality)與動態的回饋機制(Dynamic Feedback Mechanism)。台灣目前為已開發狀態, 自1990-2010年燃料燃燒CO<sub>2</sub>排放量年平均成長率4.2%。其碳排放量的統計系遵造聯合國「跨政府氣候變遷專家委員會(IPCC)」1996年發布之「IPCC 國家溫室氣體清冊指南」計算(經濟部能源局, 2011), 見表2, 因此在能源高效率使用上, 仍有很大的努力空間, 而是否存在一個能源消耗、GDP經濟成長與碳排放量間連動的機制呢? 而這個連動機制是否會與資源回收再利用率產生共同隨機趨勢? 因此本研究提出下列假設:

1. GDP經濟成長與資源回收再利用, 具有連動的因果機制。
2. GDP經濟成長與碳排放量, 具有連動的因果機制。
3. 碳排放量與資源回收再利用, 具有連動的因果機制。

表1 相關文獻彙總

Authors	Methods	Countries	Period	Results
Narayan and Smyth (2008)	Panel Granger test	G-7	1972-2002	EC → EG
Lee et al. (2008)	Panel VECM	16 Asia countries	1971-2002	EC → EG
Wang (2007)	Granger test	China	1978-2005	EC → EG
Stern (1993)	Granger test	USA	1947-1990	EC → EG
Zhao (2007)	Granger test	China	1953-2005	EC → EG
Ang (2007)	VECM	France	1960-2000	EC → EG
Halicioglu (2009)	ECM	Turkey	1960-2005	EC → EG
Mahadevan and Asafu-Adjaye (2007)	Panel VECM	Developing countries	1971-2002	EG → EC
		Developed countries	1971-2002	EC ↔ EG
Lee et al. (2008)	Panel Granger test	22 OECD countries	1960-2001	EC ↔ EG
Oh and Lee (2004)	VECM	South Korea	1970-1999	EG ↔ EC
Kraft and Kraft (1978)	Sims test	USA	1947-1974	EG → EC
Mehra (2007)	Panel Granger test	11 oil exports countries	1971-2002	EG → EC
Fatai and Oxley (2004)	Granger causal test	New Zealand, Australia	1960-1999	EG → EC
Zhao (2007)	LSTR model	China	1953-2005	EG → EC
Ang (2007)	VECM	France	1960-2000	EG → EC
Huang et al. (2008)	Panel VAR model	82 countries	1972-2002	EG → EC
				EG → EC + (medial)
Soytas et al. (2007)	Granger causal test	USA	1960-2004	EC → CO <sub>2</sub>
Halicioglu (2009)	ECM	Turkey	1960-2005	EC → CO <sub>2</sub>
Dinda and Coondoo (2006)	ECM	88 countries	1960-1990	EG ↔ CO <sub>2</sub>
Pao and Tsai (2010)	ECM	BRIC (4 countries)	1971-2005	EG ↔ CO <sub>2</sub>
				CO <sub>2</sub> → EG

Notes: → denotes leads, ↔ denotes bi-directional causality or feedback, EC=energy consumption and EG=economic growth.

資料來源: (Shuwen Niu 等人, 2011)

表2 我國燃料燃燒 CO<sub>2</sub> 排放指標—按部門方法統計

年 別	CO <sub>2</sub> 排放量		人均排放	CO <sub>2</sub> 排放密集度
	(千公噸)	成長率(%)	(公噸 CO <sub>2</sub> /人)	(kgCO <sub>2</sub> /元)
1990	110,830	2.1%	5.5	0.0208
1991	119,920	8.2%	5.9	0.0209
1992	128,210	6.9%	6.2	0.0208
1993	137,602	7.3%	6.6	0.0209
1994	145,643	5.8%	6.9	0.0206
1995	153,138	5.1%	7.2	0.0203
1996	161,599	5.5%	7.6	0.0203
1997	173,998	7.7%	8.1	0.0207
1998	185,375	6.5%	8.5	0.0214
1999	195,382	5.4%	8.9	0.0212
2000	215,449	10.3%	9.7	0.0221
2001	219,825	2.0%	9.9	0.0230
2002	227,818	3.6%	10.2	0.0226
2003	237,177	4.1%	10.5	0.0227
2004	245,209	3.4%	10.9	0.0221
2005	251,636	2.6%	11.1	0.0217
2006	259,180	3.0%	11.4	0.0212
2007	262,811	1.4%	11.5	0.0203
2008	252,025	-4.1%	11.0	0.0193
2009	239,526	-5.0%	10.4	0.0187
2010	254,484	6.2%	11.0	0.0179

註：1990~2010 年燃料燃燒 CO<sub>2</sub> 排放量年平均成長率 4.2%。

資料來源：經濟部能源局

## (二)、經濟成長率 GDP

增加投資額、增加出口量和促進消費三大要素與經濟成長有關，從支出面而言  $GDP = 消費 + 投資 + 政府支出 + (出口 - 進口)$ 。GDP 反映的是一個國家或地區的經濟中所生產出的全部最終產品和勞務的價值，而物價水準是不斷變化的，因此有效的降政府輸出與減少進口量都對 GDP 有正向的作用。

能源消耗力與實質經濟成長率(Yuan Wang 等人, 2011)存在著定態(Stationary)與長期的平衡關係。在能源價格(Energy Price)、能源消耗與 GDP 成長中(Renuka & John, 2007)，在能源輸出之已開發國，其能源消耗與經濟成長具長、短期雙向因果關係。在實證經驗的西非聯邦經濟共同體中(ECOWAS)的15國，無法與現代能源使用接軌，確實會阻礙這些國家的經濟增長(Nadia, 2013)。

## 2013 綠色行政與管理研討會

台灣已於2011年，平均每人GDP達20000美元以上水準，進入已開發地區行列(見表3)，因此在節能減碳的方法與策略上應不同於開發中國家。另台灣可得的再生能源是一大資產，如風力能、太陽能、水力能等更應善加投資與規畫。

表3 平均每人GDP (Per Capita GDP)

單位：美元

年度	Taiwan 中華民國	China 中國大陸	Hong Kong 香港	USA 美國	Japan 日本	Canada 加拿大	Germany 德國	France 法國	U.K 英國
1979	1,957	267	4,541	11,210	8,725	9,842	9,659	11,305	7,440
1980	2,397	307	5,672	12,080	9,184	10,968	10,337	12,788	9,534
1981	2,743	290	5,955	13,413	10,055	12,138	8,698	11,147	9,113
1982	2,711	288	6,072	13,814	9,280	12,308	8,393	10,548	8,609
1983	2,876	303	5,522	14,856	10,072	13,211	8,398	10,104	8,148
1984	3,199	302	6,106	16,351	10,683	13,593	7,916	9,549	7,682
1985	3,314	290	6,420	17,363	11,303	13,764	7,984	9,930	8,143
1986	3,974	281	7,305	18,171	16,656	14,088	11,404	13,752	9,885
1987	5,291	300	8,925	19,098	20,157	15,874	14,177	16,573	12,126
1988	6,357	370	10,475	20,354	24,290	18,489	15,185	17,928	14,674
1989	7,634	406	11,980	21,643	24,123	20,326	14,976	17,862	14,789
1990	8,132	352	13,224	22,660	24,606	21,037	18,943	21,842	17,404
1991	9,008	365	15,061	23,164	28,039	21,325	22,632	21,708	18,103
1992	10,589	425	17,374	24,222	30,504	20,417	25,647	23,914	18,783
1993	11,077	539	20,022	25,170	34,906	19,639	24,780	22,403	16,740
1994	11,991	485	22,215	26,452	38,047	19,460	26,394	23,557	18,042
1995	12,906	624	23,241	27,374	41,823	20,152	30,891	26,973	19,969
1996	13,527	728	25,214	28,619	36,845	20,746	29,771	26,942	21,007
1997	13,904	796	27,553	30,084	33,758	21,352	26,326	24,313	23,326
1998	12,679	837	25,721	31,356	30,494	20,472	26,587	25,051	24,911
1999	13,609	872	24,828	32,879	34,463	21,750	26,066	24,726	25,626
2000	14,519	939	25,385	34,463	36,742	23,599	23,086	22,437	25,150
2001	13,093	1,029	24,696	36,065	32,179	23,100	22,957	22,550	24,891
2002	13,291	1,129	23,992	36,950	30,736	23,467	24,523	24,434	27,219
2003	13,587	1,271	22,965	38,324	33,128	27,402	29,648	29,921	31,277
2004	14,663	1,484	23,760	40,451	36,041	31,104	33,319	33,933	36,821
2005	15,714	1,754	25,189	42,681	35,593	35,205	33,883	35,105	37,898
2006	16,911	2,100	26,640	44,823	34,200	39,269	35,468	36,865	40,321
2007	17,596	2,440	28,749	46,630	34,226	43,397	40,480	41,940	45,922
2008	17,399	3,404	30,694	47,393	38,271	45,064	44,729	46,035	43,736
2009	16,359	3,678	29,826	46,381	39,731	39,669	40,875	42,747	35,334
2010	18,503	3,999	31,407	47,702	41,366	45,658	40,679	42,414	35,721
2011	20,006	4,441	32,289	49,159	42,239	47,577	41,370	43,087	36,675
2012	20,364	4,944	33,734	50,753	43,653	49,460	42,399	44,245	38,310
2013	<b>21,207</b>	<b>5,511</b>	<b>35,166</b>	<b>52,506</b>	<b>45,279</b>	<b>51,153</b>	<b>43,474</b>	<b>45,500</b>	<b>40,221</b>
更新時間	(2013/1)	(2013/1)	(2013/1)	(2013/1)	(2013/1)	(2013/1)	(2013/1)	(2013/1)	(2013/2)

資料來源：IMF International Financial Statistics (IFS)，行政院主計處國民所得統計。

### (三)、資源回收再利用

減量(Reduce)、重複利用(Reuse)與循環再造(Recycle) 3R本身就是一個綠色環保的概念，亦即現代環保的新概念是希望達到廢棄物「零廢棄」的永續發展願景。資源回收再利用，如電子電器等，世界各國都有一些相關的法令措施(楊清顯等人，2011)，但要如何建立一個良性的回收機制與回收通路？在台灣廢清法與環保署「資源回收管理基金管理委員會」推動下(溫麗琪，2011)，有相當不錯的表現，見表4。

表4 (1997~2009) 歷年來物品類之營業量、回收量、回收率統計分析

應回收材質		營業量	回收量	回收率
機車(台)	平均數	705,255	300,266	42.6%
汽車(台)	平均數	390,029	160,969	41.3%
輪胎(公斤)	平均數	139,286,282	98,079,380	70.4%
鉛蓄電池(公斤)	平均數	51,622,193	33,365,653	64.6%
潤滑油(公斤)	平均數	1,553,106,865	15,633,097	1.0%
電視機(台)	平均數	811,308	494,525	61.0%
洗衣機(台)	平均數	534,273	276,058	51.7%
電冰箱(台)	平均數	581,032	319,316	55.0%
冷暖氣機(台)	平均數	1,194,763	218,565	18.3%
筆記型電腦(件)	平均數	1,303,193	13,523	1.0%
主機(件)	平均數	523,533	11,839	2.3%
監視器(件)	平均數	5,823,896	701,876	12.1%
印表機(件)	平均數	1,774,862	511,012	28.8%
照明光源(公斤)	平均數	960,007	522,537	54.4%

(資料來源：溫麗琪、林俊旭 中國大陸和台灣資源回收制度的前景與展望, 2011)

### 三、研究方法

#### (一)、時間序列之共整合數量分析

時間序列是屬於縱貫面的研究，Johansen 共整合檢定是用來分析變數間長期穩定均衡之關係。日、周、月、季、年等均可為時間序列的計量單位，往古推今，鑑往知來，是時間序列分析(Time Series Analysis)的基本功用。共整合分析，是根據一段時間後所呈現的共同隨機現象。假設時間序列變數  $X(t)$  可能是非穩定 (Non-stationary) 狀態，但經過  $d$  階差分後變成穩定，在「格蘭傑表述定理」(Granger Representation Theorem, 1983) 中，證明了一組特定的動態方程可以重新表述具有「共整合性」的時間序列變數。

在本研究中，JmulTi 差分後的三個變數(carbon\_d1, GDP\_d1, Recycle\_d1)，取樣範圍由 1990 年第四季至 2013 年第一季，樣本數總共 90。因為  $k$  變數間最多存在  $k-1$  個共整合，在圖 2 的數量分析中，當變數間不存在任何共整合關係時，其軌跡統計量為 163.44，此時大於 5% 之臨界值 35.70，因此拒絕變數間不存在任何共整合關係之  $H_0$ 。進一步檢定，當變數間最多存在一個共整合關係時，其軌跡統計量為 73.72，大於 5% 臨界值 20.16，因此拒絕變數間最多存在一個共整合。因此，當檢定結果不拒絕虛無假設時，即可知道變數間存在多少個共整合。本研究之檢定結果，當虛無假設為變數間最多存在 2 個共整合時，依然大於 5% 之臨界值，因此本研究最多有“2”個共整合關係，lag=9。

```

Johansen Trace Test for:  carbon_d1 GDP_d1 recycle_d1
sample range:             [1990 Q4, 2013 Q1], T = 90
included lags (levels):   2
dimension of the process: 3
intercept included
response surface computed:
-----
  r0  LR      pval    90%    95%    99%
-----
  0   163.44  0.0000   32.25   35.07   40.78
  1    73.72  0.0000   17.98   20.16   24.69
  2    8.61   0.0638    7.60    9.14   12.53
-----

OPTIMAL ENDOGENOUS LAGS FROM INFORMATION CRITERIA

sample range:             [1992 Q4, 2013 Q1], T = 82

optimal number of lags (searched up to 10 lags of levels):
Akaike Info Criterion:    9
Final Prediction Error:   9
Hannan-Quinn Criterion:  9
Schwarz Criterion:        4

```

圖 2. 碳排放量、經濟成長與資源回收再利用之共整合分析數據

#### (二)、VECM 向量誤差修正模型

在標準型 VECM 模型中，： $\Delta x_t = \Pi \times x_{t-1} + \sum_{j=1}^{p-1} \Gamma_j \times \Delta y_{t-j} + u_t$ 。由於經上述本研究具 2 個共整合關係，代入上述 VECM 模型，即可求得 VECM 模型之聯立迴歸係數值及預測模型分析結果，其對應之 VECM 共變數矩陣：

2-1 ”資源回收量 + 台灣工業 GDP\_百萬” 共整合分析，lag=9。共整合關係：reclcle+47834 GDP，二者呈”負向”共同趨勢，即台灣工業 GDP 愈高，資源回收量就愈低。其對應之 VECM 共變數矩陣運算式裡，係數大小代表影響力之強弱，而正負號代表影響之方向：

$$\begin{bmatrix} d(\text{recycle\_d1})(t) \\ d(\text{GDP\_d1})(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.008 \\ -0.000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.000 & 47834.798 \\ \text{recycle\_d1}(t-1) & \text{GDP\_d1}(t-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -363254249.756 \\ \text{CONST} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1.151 & 730.876 \\ 0.000 & 1.418 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{recycle\_d1})(t-1) \\ d(\text{GDP\_d1})(t-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1.263 & 772.569 \\ 0.000 & 0.969 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{recycle\_d1})(t-2) \\ d(\text{GDP\_d1})(t-2) \end{bmatrix} \\ + \begin{bmatrix} -1.570 & 986.404 \\ 0.000 & 0.837 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{recycle\_d1})(t-3) \\ d(\text{GDP\_d1})(t-3) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1.114 & 908.647 \\ 0.000 & 0.966 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{recycle\_d1})(t-4) \\ d(\text{GDP\_d1})(t-4) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.884 & 328.110 \\ 0.000 & 0.679 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{recycle\_d1})(t-5) \\ d(\text{GDP\_d1})(t-5) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.575 & 98.450 \\ 0.000 & 0.518 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{recycle\_d1})(t-6) \\ d(\text{GDP\_d1})(t-6) \end{bmatrix} \\ + \begin{bmatrix} -0.179 & -344.768 \\ -0.000 & 0.079 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{recycle\_d1})(t-7) \\ d(\text{GDP\_d1})(t-7) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.175 & 74.616 \\ 0.000 & 0.411 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{recycle\_d1})(t-8) \\ d(\text{GDP\_d1})(t-8) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.173 & 92.749 \\ 0.000 & -0.018 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{recycle\_d1})(t-9) \\ d(\text{GDP\_d1})(t-9) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{bmatrix}$$

2-2 ”資源回收量 + 碳排放量\_千公噸” 共整合分析，lag=9。共整合關係：reclcle+477766 carbon，二者呈”負向”共同趨勢，即碳排放量愈高，資源回收量就愈低。其對應之 VECM 共變數矩陣運算式裡，係數大小代表影響力之強弱，而正負號代表影響之方向：

$$\begin{bmatrix} d(\text{recycle\_d1})(t) \\ d(\text{carbon\_d1})(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.273 \\ -0.000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.000 & 47766.057 \\ \text{recycle\_d1}(t-1) & \text{carbon\_d1}(t-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -126401566.245 \\ \text{CONST} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1.576 & -9798.981 \\ 0.000 & 0.228 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{recycle\_d1})(t-1) \\ d(\text{carbon\_d1})(t-1) \end{bmatrix} \\ + \begin{bmatrix} -1.791 & -487.825 \\ 0.000 & 0.207 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{recycle\_d1})(t-2) \\ d(\text{carbon\_d1})(t-2) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -2.123 & 16083.363 \\ 0.000 & 0.199 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{recycle\_d1})(t-3) \\ d(\text{carbon\_d1})(t-3) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1.242 & 4917.600 \\ 0.000 & -0.189 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{recycle\_d1})(t-4) \\ d(\text{carbon\_d1})(t-4) \end{bmatrix} \\ + \begin{bmatrix} -0.962 & 4655.935 \\ 0.000 & 0.143 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{recycle\_d1})(t-5) \\ d(\text{carbon\_d1})(t-5) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.759 & 14206.182 \\ 0.000 & 0.152 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{recycle\_d1})(t-6) \\ d(\text{carbon\_d1})(t-6) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.270 & -38800.507 \\ 0.000 & 0.145 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{recycle\_d1})(t-7) \\ d(\text{carbon\_d1})(t-7) \end{bmatrix} \\ + \begin{bmatrix} -0.209 & -11058.339 \\ 0.000 & -0.313 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{recycle\_d1})(t-8) \\ d(\text{carbon\_d1})(t-8) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.097 & -8264.416 \\ 0.000 & 0.078 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{recycle\_d1})(t-9) \\ d(\text{carbon\_d1})(t-9) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{bmatrix}$$

2-3 ”台灣工業 GDP\_百萬+ 碳排放量\_千公噸” 共整合分析，lag=9。共整合關係：carbon -4.19 GDP，二者呈”正向”共同趨勢，即碳排放量愈高，台灣工業 GDP 就愈高。其對應之 VECM 共變數矩陣運算式裡，係數大小代表影響力之強弱，而正負號代表影響之方向：

$$\begin{bmatrix} d(\text{carbon\_d1})(t) \\ d(\text{GDP\_d1})(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.006 \\ 0.691 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.000 & -4.191 \\ \text{carbon\_d1}(t-1) & \text{GDP\_d1}(t-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 25172.399 \\ \text{CONST} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.024 & 0.033 \\ -5.324 & 1.636 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{carbon\_d1})(t-1) \\ d(\text{GDP\_d1})(t-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.018 & 0.027 \\ 4.785 & 1.248 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{carbon\_d1})(t-2) \\ d(\text{GDP\_d1})(t-2) \end{bmatrix} \\ + \begin{bmatrix} -0.072 & 0.021 \\ 12.197 & 0.811 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{carbon\_d1})(t-3) \\ d(\text{GDP\_d1})(t-3) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.304 & 0.017 \\ 7.413 & 0.829 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{carbon\_d1})(t-4) \\ d(\text{GDP\_d1})(t-4) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.004 & 0.011 \\ 9.438 & 0.435 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{carbon\_d1})(t-5) \\ d(\text{GDP\_d1})(t-5) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.002 & 0.013 \\ 8.111 & 0.277 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{carbon\_d1})(t-6) \\ d(\text{GDP\_d1})(t-6) \end{bmatrix} \\ + \begin{bmatrix} 0.042 & 0.013 \\ 8.254 & 0.040 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{carbon\_d1})(t-7) \\ d(\text{GDP\_d1})(t-7) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.291 & 0.010 \\ -4.475 & 0.264 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{carbon\_d1})(t-8) \\ d(\text{GDP\_d1})(t-8) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.113 & 0.003 \\ 1.497 & 0.179 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(\text{carbon\_d1})(t-9) \\ d(\text{GDP\_d1})(t-9) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{bmatrix}$$

## 四、實證結果與討論

## (一)、預測

## 3-1、VECM 模型 Recycle\_d1 循環再造未來八期之預測與討論如下：

表 5 資源回收量

time	forecast	lower CI	upper CI	+/-
2013 Q2	3294190274.4585	3120090353.3972	3468290195.5198	174109921.0613
2013 Q3	3428975607.0345	3189944006.0750	3667807207.9939	238931600.9594
2013 Q4	3352957626.0169	3066862268.1471	3639052983.8866	286105357.8697
2014 Q1	3303095901.1525	2974702543.8419	3631389258.4631	328293357.3105
2014 Q2	3332586706.3589	2905253436.9076	3759819975.8101	427333269.4512
2014 Q3	3476335278.1273	2973951877.9184	3978818678.3362	502483400.2088
2014 Q4	3385121120.5507	2818100181.6190	3952142059.4823	567020938.9316
2015 Q1	3327572930.7266	2699912971.7476	3955032889.7057	627569958.9790

由上表顯示：未來 8 期出現 2 個波段：第一是資源回收量會由 2013 的第 2 季開始漲到 2013 的第 3 季，接著資源回收量呈現下滑趨勢；第二是由 2014 的第 1 季帳到 2014 第 3 季，接著又呈現下滑。由此得知未來 8 期之資源回收量上漲與下跌有兩個循環。

## 3-2、VECM 模型 Carbon\_d1 碳排放量未來八期之預測與討論如下：

表 6 碳排放量

time	forecast	lower CI	upper CI	+/-
2013 Q2	277469.5502	275569.6582	279369.4422	1899.8920
2013 Q3	277863.7983	273687.6749	282039.9216	4176.1233
2013 Q4	278201.3767	271289.3820	285113.3714	6911.9947
2014 Q1	278392.1981	268355.9779	288428.4182	10036.2201
2014 Q2	278506.1327	265152.8706	291859.3947	13353.2620
2014 Q3	278647.4085	261880.0793	295414.7377	16767.3292
2014 Q4	278767.4381	258548.6498	298986.2263	20218.7882
2015 Q1	278880.0601	255206.0814	302554.0388	23673.9787

由上表顯示：碳排放量未來 8 期出現 1 逐漸上脹的波段：即 2013 第二季到 2013 第 4 計的趨勢較陡，而後碳排放量自 2013 的第 4 季開始平穩上漲到 2015 的第 1 季。



## 3-3、VECM 模型 GDP\_d1 經濟成長未來八期之預測與討論如下：

表 7 台灣工業 GDP

time	forecast	lower CI	upper CI	+/-
2013 Q2	1025549.6766	956248.0618	1094851.2915	69301.6148
2013 Q3	1120644.8191	1040869.9383	1200419.7000	79774.8809
2013 Q4	1045255.2662	960396.7272	1130113.8052	84858.5390
2014 Q1	1005308.6455	909928.2733	1100689.0178	95380.3722
2014 Q2	1033637.6715	926419.2496	1140856.0933	107218.4219
2014 Q3	1106081.0895	991807.9390	1220354.2400	114273.1505
2014 Q4	1034395.0706	904028.6551	1164761.4860	130366.4155
2015 Q1	998713.2858	849061.7370	1148364.8346	149651.5488

由上表顯示：台灣工業 GDP 未來 8 期出現 2 個波段：第一是台灣工業 GDP 會由 2013 的第 2 季開始漲到 2013 的第 3 季，接著台灣工業 GDP 呈現下滑趨勢；第二是由 2013 的第 4 季帳到 2014 第 3 季，接著又呈現下滑。由此得知未來 8 期之台灣工業 GDP 上漲與下跌有兩個循環。

## (二)、Granger Causality 檢定：

經 JMulTi 軟體測試後之碳排放量、GDP 與資源回收之兩兩關係均成立，意即本研究的三個假設均成立：

1. GDP 經濟成長與資源回收再利用，具有連動的因果機制。
2. GDP 經濟成長與碳排放量，具有連動的因果機制。
3. 碳排放量與資源回收再利用，具有連動的因果機制。

## 五、結論與建議

## 一、結論

本研究主要以經濟成長 GDP、碳排放量、循環再造等總體經濟變數來預測未來 8 期的趨勢。研究期間取自 1990 年第一季至 2013 年第一季，每筆資料有 94 個樣本觀察值，再經由共整合檢定、向量誤差修正模型(VECM)、Granger 因果關係檢定來做實證分析。根據前述實證分析之後，本研究可得結論如下：

## (一)、單根檢定得知

所有變數在取 ln 差分前，均呈現非定態，在一階差分後，所有變數均呈現定態狀態。

## (二)、共整合檢定得知

經濟成長 GDP、碳排放量、循環再造等檢定後，本研究最多有”2”個共整合關係，lag=9。

(三)、因果關係檢定得知

經濟成長 GDP、碳排放量、循環再造等互為因果回饋關係，即彼此間可以相互預測。

(四)、向量誤差修正模型測試後得知

在標準型 VECM 模型：
$$\Delta x_t = \Pi \times x_{t-1} + \sum_{j=1}^{p-1} \Gamma_j \times \Delta y_{t-j} + u_t$$
。即可

求得 VECM 模型之聯立迴歸係數值及預測模型。經由上述時間序列分析與預測，本研究在探討經濟成長率 GDP、碳排放量與資源回收再利用之動態模式**向量誤差修正模式 (Vector Error Correction Model, VECM)**分析界定 VECM, 2 個共整合，lag=9。因此兩兩關係的共整合分析中：

1. 「資源回收量」與「台灣工業 GDP\_百萬」共整合分析，lag=9，由其相關係數作數量分析，共整合關係：reclcle+47834 GDP，二者呈”負向”共同趨勢，即台灣工業 GDP 愈高，資源回收量就愈低。
2. 「資源回收量」與「碳排放量」共整合分析，lag=9，由其相關係數作數量分析，共整合關係：reclcle+477766 Carbon，二者呈”負向”共同趨勢，即台灣碳排放量愈高，資源回收量就愈低。
3. 「碳排放量」與「台灣工業 GDP\_百萬」共整合分析，lag=9，由其相關係數作數量分析，共整合關係：Carbon -4.19 GDP，二者呈”正向”共同趨勢，即碳排放量愈高，台灣工業 GDP 就愈高。

## 二、建議

由於資料取得來源的正確性與限制，本研究所選取資料為季資料的樣本，實證分析效果可能不明顯，因此建議後續研究者亦可利用日資料進行分析，以增加分析的準確性。

預測的方法很多，如非線性迴歸STR、STVR，移動平均ARIMA模型、定態之向量自我回歸VAR等。本文利用共整和檢定、向量誤差修正模型進行經濟成長率GDP、碳排放量與資源回收再利用的實證分析，但總體經濟變數並非一成不變的，建議後續研究者亦可加入其他迴歸模型或合併質性研究(Qualitative Research)進行預測與分析。

取樣以台灣的情形作時間序列的共同趨勢研究僅屬區域性的個案，後續研究可擴大樣本範圍如中國大陸或亞洲的日本、新加坡等。另外，本研究所探討的變數亦可能還受其他總體經濟變數的影響，影響循環再造之總體經濟變數眾多，而總體經濟變數彼此間也存在著錯綜複雜的關係，建議後續研究者亦可將其他總體經濟因素納入考量。

## 參考文獻

- [1] Yue-Jun Zhang **The impact of financial development on carbon emissions: An empirical analysis in China** Original Research Article *Energy Policy*, Volume 39, Issue 4, April 2011, Pages 2197-2203
- [2] Shuwen Niu, Yongxia Ding, Yunzhu Niu, Yixin Li, Guanghua Luo **Economic**

- growth, energy conservation and emissions reduction: A comparative analysis based on panel data for 8 Asian-Pacific countries** *Energy Policy*, Volume 39, Issue 4, April 2011, Pages 2121-2131
- [ 3 ] Behnaz Saboori, Jamalludin Sulaiman **CO<sub>2</sub> emissions, energy consumption and economic growth in Association of Southeast Asian Nations (ASEAN) countries: A cointegration approach** Original Research Article *Energy*, Volume 55, 15 June 2013, Pages 813-822
- [ 4 ] Muhammad Shahbaz, Qazi Muhammad Adnan Hye, Aviral Kumar Tiwari, Nuno Carlos Leitão **Economic growth, energy consumption, financial development, international trade and CO<sub>2</sub> emissions in Indonesia** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 25, September 2013, Pages 109-121
- [ 5 ] Behnaz Saboori, Jamalludin Sulaiman, Saidatulakmal Mohd **Economic growth and CO<sub>2</sub> emissions in Malaysia: A cointegration analysis of the Environmental Kuznets Curve** *Energy Policy*, Volume 51, December 2012, Pages 184-191
- [ 6 ] Vishal Chandr Jaunky **The CO<sub>2</sub> emissions-income nexus: Evidence from rich countries** *Energy Policy*, Volume 39, Issue 3, March 2011, Pages 1228-1240
- [ 7 ] Muhammad Shahbaz, Ilhan Ozturk, Talat Afza, Amjad Ali **Revisiting the environmental Kuznets curve in a global economy** Review Article *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 25, September 2013, Pages 494-502
- [ 8 ] Bao-jun Tang, Cheng Shen, Chao Gao **The efficiency analysis of the European CO<sub>2</sub> futures market** *Applied Energy*, 2013
- [ 9 ] Faridul Islam, Muhammad Shahbaz, Ashraf U. Ahmed, Md. Mahmudul Alam **Financial development and energy consumption nexus in Malaysia: A multivariate time series analysis** *Economic Modelling*, Volume 30, January 2013, Pages 435-441
- [ 10 ] Khalid Zaman, Muhammad Mushtaq Khan, Mehboob Ahmad, Bashir Ahmad Khilji **The relationship between agricultural technologies and carbon emissions in Pakistan: Peril and promise** *Economic Modelling*, Volume 29, Issue 5, September 2012, Pages 1632-1639
- [ 11 ] Ching-Chih Chang, Claudia Fabiola Soruco Carballo **Energy conservation and sustainable economic growth: The case of Latin America and the Caribbean** *Energy Policy*, Volume 39, Issue 7, July 2011, Pages 4215-4221
- [ 12 ] Sajal Ghosh **Examining carbon emissions economic growth nexus for India: A multivariate cointegration approach** *Energy Policy*, Volume 38, Issue 6, June 2010, Pages 3008-3014
- [ 13 ] Khalid Zaman, Muhammad Mushtaq Khan, Mehboob Ahmad **Factors affecting commercial energy consumption in Pakistan: Progress in energy** Review Article *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 19, March 2013, Pages 107-135
- [ 14 ] Yuhua Zheng, Dongkun Luo **Industrial structure and oil consumption growth path of China: Empirical evidence** Original Research Article *Energy*, Available online 11 June 2013
- [ 15 ] Robin Coers, Mark Sanders **The energy-GDP nexus; addressing an old**

- question with new methods** *Energy Economics, Volume 36, March 2013, Pages 708-715*
- [ 16 ] Philip Kofi Adom, William Bekoe, Franklin Amuakwa-Mensah, Justice Tei Mensah, Ebo Botchwa **Carbon dioxide emissions, economic growth, industrial structure, and technical efficiency: Empirical evidence from Ghana, Senegal, and Morocco on the causal dynamics** *Energy, Volume 47, Issue 1, November 2012, Pages 314-325*
- [ 17 ] Aviral Kumar Tiwari, Muhammad Shahbaz, Qazi Muhammad Adnan Hye **The environmental Kuznets curve and the role of coal consumption in India: Cointegration and causality analysis in an open economy** *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 18, February 2013, Pages 519-527*
- [ 18 ] Emmanouil Hatzigeorgiou, Heracles Polatidis, Dias Haralambopoulos **CO<sub>2</sub> emissions, GDP and energy intensity: A multivariate cointegration and causality analysis for Greece, 1977–2007** *Applied Energy, Volume 88, Issue 4, April 2011, Pages 1377-1385*
- [ 19 ] Hsiao-Tien Pao, Chung-Ming Tsai **CO<sub>2</sub> emissions, energy consumption and economic growth in BRIC countries** *Energy Policy, Volume 38, Issue 12, December 2010, Pages 7850-7860*
- [ 20 ] Jung Wan Lee **The contribution of foreign direct investment to clean energy use, carbon emissions and economic growth** *Energy Policy, Volume 55, April 2013, Pages 483-489*
- [ 21 ] Hsiao-Tien Pao, Chung-Ming Tsai **Multivariate Granger causality between CO<sub>2</sub> emissions, energy consumption, FDI (foreign direct investment) and GDP (gross domestic product): Evidence from a panel of BRIC (Brazil, Russian Federation, India, and China) countries** *Energy, Volume 36, Issue 1, January 2011, Pages 685-693*
- [ 22 ] 張紹勳、張任坊、張博一(2012)。計量經濟及高等研究法。台北：五南。