

國際森林碳市場現況與趨勢

- ◎林業試驗所林業經濟組·林俊成(ljc@tfri.gov.tw)、陶子婕
- ◎國立臺灣大學森林環境暨資源學系·邱祈榮

面對氣候變遷及全球暖化的威脅，各國積極投入溫室氣體減量行動，為兼顧環境保護及經濟發展，運用市場機制達成減碳目標的方式於焉形成，「碳交易」在此背景下，成為本世紀最重要的新興產業之一。森林為陸地生態系統的主體，能有效吸存大氣中的二氧化碳。廣植森林、促進森林經營管理已成為國際公認的氣候變遷減緩策略，在碳市場商品中已有部分來自森林碳匯專案。森林碳匯專案比起其他類型的減量專案，更具備生態保育與社經發展的多元效益，有越來越多國家與企業關注並投資森林碳市場。

目前森林碳匯專案可分為新植造林及更新造林、避免毀林、促進森林經營管理以及永續農地利用(混農林業)等四種類型，隨著愈趨成熟的碳匯計量技術發展，國際森林碳市場穩健成長，反觀我國林業目前普遍面臨造林意願低落、資金不足等困境，倘若跟進國際趨勢，發展森林碳交易，將可為林業發展注入新氣象，吾人展開行動前，有必要通盤瞭解國際森林碳市場發展概況與趨勢，以作為我國森林碳交易發展之重要參考。

國際碳市場發展概況

自1997年京都議定書(Kyoto Protocol)簽署後，碳市場雨後春筍般於各地開市。基本上碳市場可分為規範性(compliance or regulated)市場與自願性(voluntary)市場，國際上知名的規範性碳市場如聯合國清潔發展機制(Clean Development Mechanism, CDM)、聯合履行機制(Joint Implementation, JI)、歐盟排

放交易機制(European Union Emission Trading Scheme, EU ETS)、及紐西蘭碳排放交易機制(New Zealand Emission Trading scheme, NZ ETS)，皆因京都議定書應運而生(京都規範性市場)；而美國區域溫室氣體減量行動(Regional Greenhouse Gas Initiative, RGGI)、澳洲新南威爾斯溫室氣體減量計畫(New South Wales GHG Abatement Scheme, NSW GGAS)、以及加拿大愛柏塔氣體排放特別法(Specific Gas Emitters Regulation of Alberta, SGER)，則是自成一格的規範性市場，不直接與京都定義書掛鉤(非京都規範性市場)；自願性市場的交易環境相對較自由，多出自於自身的道德要求或成員間的自發性組織，例如芝加哥氣候交易所(Chicago Climate Exchange, CCX)、境外市場(Over-the-Counter, OTC)、天津氣候交易所(Tianjin Climate Exchange, TCX)、北京氣候交易所(China Beijing Environment Exchange, CBEEEX)、及歐洲氣候交易所(European Climate Exchange, ECX)等。

所謂OTC係指不透過交易所(exchanges)，由買賣雙方直接交涉而成，比起交易所的買賣，OTC的價格較為不穩，且商品資訊透明度不一，擁有較高的交易風險，但也因為少了交易所的制式規範，交易自由性極大，屬於初級市場的一種。而初級與次級市場之別，在於初級市場係直接向減量計畫執行者購買信用額度，次級市場則在交易所流通已核發的信用額度，後者交易公開且交易風險較小，但價格通常較高。

進一步，交易商品類型依市場性質，分

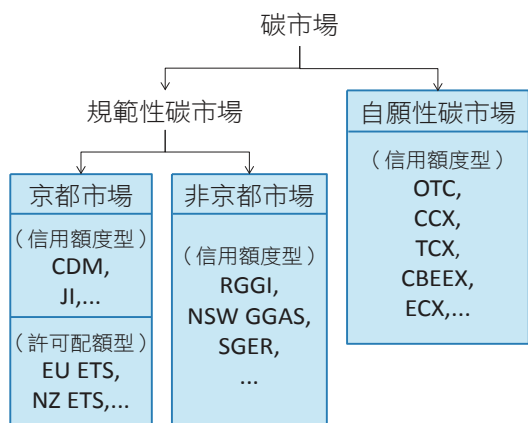


圖1 國際碳市場分類(資料來源：本文繪製)

為許可配額(allowances)與信用額度(credits)。許可配額係總量管制(cap and trade)下的產物，強制規範參與者進行目標減量，所以主要出現在規範性市場；信用額度卻不一定搭配總量管制，排放量若低於「基線」標準，則多出的減量經查證後可轉化為信用額度進行交易，多半配合自願性市場且以專案型(projected-based)的減量模式運作。

2005年京都議定書生效後，國際碳市場交易量逐年攀升，表1可看出京都規範性市場

表1 國際碳市場2007年至2011年交易總量 單位：百萬公噸二氧化碳當量 (MtCO₂e)

	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年
京都規範性市場交易總量	2,893	4,592	7,773	8,391	10,014
CDM初級市場	552	389	211	224	264
CDM次級市場	240	1,072	1,055	1,275	1,822
JI	41	20	26	41	28
EU ETS	2,060	3,093	6,326	6,789	7,853
AAUs市場	n.a.	18	155	62	47
價值(百萬美元)	62,448	125,851	141,052	158,066	174,735
平均價格(美元/ tCO ₂ e)	22	27	18	19	17
非京都規範性市場交易總量	25	96	844	214	124
NSW	25	31	34	n.a.	n.a.
RGGI	n.a.	65	805	210	120
SGER	-	-	5	4	4
價值(百萬美元)	224	429	2,845	514	300
平均價格(美元/ tCO ₂ e)	9	4.5	3.4	2.4	2.4
自願性市場交易總量	65	123	94	132	95
OTC	42	54	53	128	92.8
CCX	23	69	41	2	0.2
其他交易所	-	-	-	2	2
價值(百萬美元)	335	705	387	433	576
平均價格(美元/tCO ₂ e)	5.2	5.7	4.1	3.3	6
交易總量	2,984	4,811	8,719	8,733	10,233
總價值(百萬美元)	63,007	126,345	143,735	158,957	175,612

註：AAUs (Assigned Amount Units) 為京都議定書核配給附件一國家的排放額度單位。(資料來源：整理自 Tissari 2009、Tissari 2010、Tissari 2012)

中，EU ETS近三年占總交易量的八成，其次為CDM次級市場；非京都規範性市場以RGGI較為活躍；自願性交易市場則以OTC為大宗。碳市場對於碳價亦有絕對的影響力，京都議定書體制下的交易量與平均碳價遠高出其他市場，可見國際公約對於碳交易之舉足輕重。

森林碳市場現況分析

如前言所敘，森林碳匯專案可分為四種類型：

一、新植造林及更新造林(Afforestation and Reforestation, AR)

透過栽植樹木以增加大氣中碳匯量；新植造林係將非林地轉換為林地的過程，更新造林則是將以前為林地，後來更變為其他土地利用形式者，再次轉換回林地的過程。

二、避免毀林(Reducing Emissions from Deforestation and Degradation, REDD)

毀林近乎造成20%的全球碳排放量，為避免開發中國家持續地毀林及森林退化，REDD成為一種森林碳匯專案以促進森林生態之維護。

三、促進森林經營管理(Improved Forestation Management, IFM)

將既往沒有受到妥善經營的森林，以減少碳排放量為目的，實施永續經營策略；通常由一系列經營方法組合而成，例如減少伐木衝擊、延長輪伐期、改變經營目標…等。

四、永續農地利用(混農林業) (Sustainable Agricultural Land Use, SALM)

在土地上栽植林木，同時於林木間栽植

短期農作物或是飼養家畜等農林複合性土地利用，以延長地力及土地壽命，並減少農牧業所致的碳排放量。

相較其他類型的溫室氣體減量專案，森林碳匯專案可產生更為具體且廣泛的生態及社會經濟效益，但有些技術問題尚待克服，包括產出的信用額度並非永久性、減量方式沒效率、成本高、洩漏與外加性問題複雜等(Bayon et al. 2012)，是以森林碳匯信用額度無法全面流通於現行所有碳市場，尤其在京都規範性市場中更是難以突破，目前CDM僅開放AR專案，而EU ETS尚不接受任何森林碳匯專案。

隨著森林碳匯技術不斷突破進步，森林碳市場呈穩健成長，記錄如表2，累計至2011年，已創造1.06億公噸二氧化碳當量(tCO₂e)，價值6.7億美元，就單年度來看，2010年交易量達到歷史新高，有3,270萬tCO₂e，2011年交易量雖下跌22% (2,560萬tCO₂e)，但交易金額卻上升33%。總括來說，森林碳匯價格與日俱增，2008年至2011年平均森林碳匯信用額度價格分別為3.8、4.5、5.5以及9.2美元/tCO₂e (Peter-Stanley et al. 2011, Peter-Stanley et al. 2012)。

審視個別森林碳市場交易情形，以自願性市場的OTC最為活躍，占有七成的森林碳匯交易量。在規範性市場中，由於京都規範性市場目前僅CDM接受AR專案之申請，EU ETS尚不接受任何森林碳匯專案，因此僅以CDM為主。截至2012年12月，僅有42個專案註冊成功，約占總註冊量的0.86%，其額度約占整體森林碳市場交易量的一成。2011年的OTC森林碳匯交易量則占總交易量的24%，其

表2 國際森林碳市場2010、2011年交易量與交易金額

碳市場	交易量(百萬公噸MtCO ₂ e)			交易金額(百萬美元)		平均價格(美元/tCO ₂ e)	
	歷史量	2010年	2011年	2010年	2011年	2010年	2011年
規範性碳市場總計	24.5	4.4	7.3	25.0	52.0	4.6	7.2
CDM/JI	15.3	1.4	5.9	6.3	23.0	4.5	3.9
NSW GGAS	6.3	2.3	-	13.0	-	-	-
NZ ETS	0.9	0.2	-	0.3	-	13.0	-
其他	1.9	0.4	1.5	-	29.0	-	19.7
自願性碳市場總計	81.4	28.4	18.3	158.0	185.0	5.6	9.2
OTC	76.4	27.8	16.7	157.8	172.0	5.6	10.3
加州先期行動	2.0	0.5	1.6	-	13.0	-	8.1
CCX	3.0	0.1	0	0.2	-	1.2	-
整體碳市場總計	105.9	33.0	26.0	177.0	237.0	5.5	9.2
初級市場總計	95.0	32.0	21.0	143.0	143.0	5.5	8.1
次級市場總計	11.3	1.2	4.9	4.8	54.7	7.6	12.1

註：規範性及自願性市場交易量總和，與初級及次級市場交易量總和不全然一致，可能是資訊流通問題所致，然而為了提供完整訊息並比較市場特性，仍將有待商榷的數據呈現出來。(資料來源：Peter-Stanley at al. 2012)

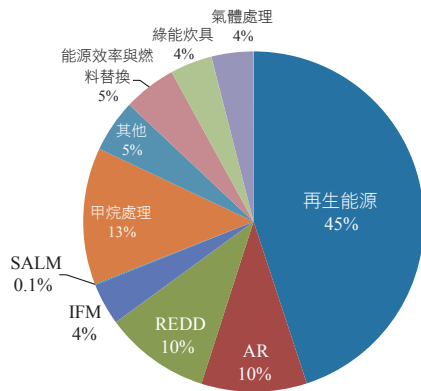


圖2 2011年OTC交易比例(專案類型)。(資料來源：Peters-Stanley et al. 2012)

中AR專案與REDD專案各占10%，IFM專案為4%(圖2) (Peters-Stanley at al. 2012)。

各專案類型的碳價以2010年為例，AR專案約9美元/tCO₂e，IFM專案6美元/tCO₂e，REDD專案5美元/tCO₂e，SALM專案10美元/tCO₂e (Diaz et al. 2011)。顯見森林碳匯專案在規範性市場與自願性市場的角色兩極，究其

原因，主要的規範性市場如EU ETS及CDM，倘若開放更多森林碳匯專案進行交易，恐增加過多信用額度，將大幅影響規範性市場的價格與運作。分析森林碳匯專案類型之成長趨勢(圖3)。

AR專案因發展較為成熟，穩居森林碳交易之首；REDD專案於2007年崛起，引起各

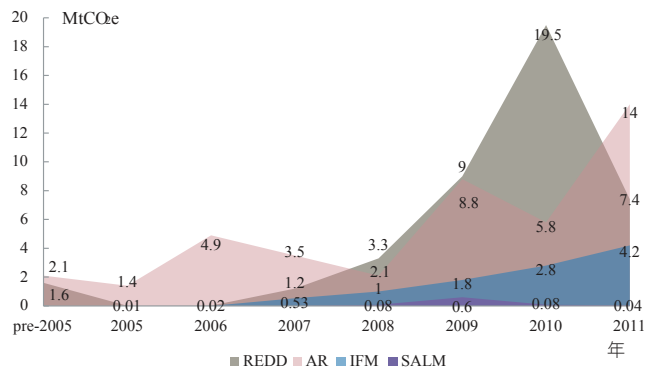


圖3 全球森林市場交易量(依專案類型區分)。(資料來源：Peter-Stanley at al. 2012)

方高度興趣，2008年至2010年交易量甚至超越AR專案，惟醞釀數年尚無法解決其複雜的技術問題，且引用新開發的減量方法通常成本高昂，導致2011年熱潮退燒，交易量比起2010年跌落62%，但REDD的前景依然看好；IFM專案交易量穩定上升可歸功於北美市場的需求偏好；而近期因永續土地經營管理與利用的發展，原本在其他三種專案類型皆有案例的SALM專案，則逐漸被分離出來自成一種專案類型(Peter-Stanley at al. 2012)。

森林碳匯專案地點則有明顯的地理分布特性，規範性市場以CDM為例，地主國以印度、烏干達、中國、哥倫比亞為多，自願性市場則依信用額度產量大小排序為拉丁美洲、北美、非洲、亞洲(Peter-Stanley at al. 2012)，皆以開發中國家為主。

然而無論是哪種森林碳匯專案，均屬於典型的土地利用類型專案(land-based project)，需要在相當範圍的土地面積上施作，Kohlhoff (2009)指出2009年5月以前，全球約有230個森林碳匯專案在運作，以專案土地面積分類，約有17.9%為極小型(0~100公頃)，而小型(100~1,000公頃)與中型(1,000~10,000公頃)比例最高，共計57.1%，大型(1~10萬公頃)與極大型(大於10萬公頃)的專案合占25%的市場比例(Kohlhoff, 2009)(圖4)，專案面積差異頗大。

結語

國際碳交易隨著京都議定書的生效蓬勃發展，成為21世紀最重要的新興貿易之一，森林碳匯抵銷溫室氣體排放已被視為緩解氣候變遷的重要手段。綜觀整體碳市場，京都議定書體制下的碳市場交易量與交易單價遠

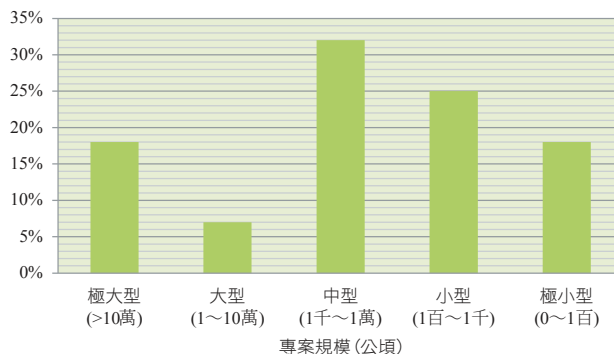


圖4 森林碳市場的專案規模。(資料來源：Kohlhoff 2009)

高出其他規範性及自願性碳市場，可見碳市場與國際公約之依存關係，京都議定書第一承諾期於2012年屆滿，後續發展備受各界關注。探究其中森林碳匯信用額度交易情形，森林碳匯信用額度交易量僅占總交易量的0.2~0.3%，並以自願性的OTC(初級市場)為主要交易場所，占有七成的森林碳匯交易量，創造的價值隨著交易量逐年增加而提升，且單位價格亦以自願性市場為優，每噸二氧化碳當量約比規範性市場高出1~2美元。分析森林碳匯專案類型，AR專案穩站森林碳市場龍頭，但2007年以後REDD專案大幅增加，是未來短期的發展主力，IFM專案則微幅穩定成長，SALM成為單一專案類型後，近年來亦可在國際市場上看到其蹤跡。森林碳匯專案地點則以開發中國家為主，多座落於非洲、亞洲及南美洲。森林碳匯專案規模可大可小，國際經驗以小型(100~1,000公頃)至中型(1,000~10,000公頃)比例最高。考量我國以保育為首的林業政策，未來若要操作森林碳匯專案，應以AR、IFM或SALM為策略，專案規模應多屬極小型(0~100公頃)至小型為主。⊗