

投稿類別：農業類

篇名：校園龍柏碳中和之分析

作者：

吳羽珊 國立仁愛高農 三年級 森三班 森林科
范維仁 國立仁愛高農 三年級 森三班 森林科
卓宇皓 國立仁愛高農 三年級 森三班 森林科

指導老師：

陳睿滢
蕭富勝

壹、前言

一、研究動機

美麗的校園內有一條龍柏大道（圖一），位在我們科館旁邊，這學期這條龍柏大道是我們班要負責的打掃區域，我們每天來學校快樂學習外，還可以天天在龍柏大道上，認真打掃、服務學習。看到兩旁一字排開，整齊且高大，就像是兩邊綠色屏障，擋風遮陽，走在龍柏大道上，好像置身在大自然的懷抱中，冬暖夏涼，心情輕鬆愉快。現在的實習課，老師帶我們在龍柏大道上學習攀樹（圖二），我們喜歡攀樹，享受在樹上聽大自然聲音，也會認真的學習攀樹技能，將來能利用此技能替大樹修枝及樹藝美化，我們更喜歡大樹。

天天都和龍柏樹見面，並且借助它們學習專業技能，想更進一步的瞭解它們，所以我們要利用我們二年來學習到的專業科目：樹木學、測量學、育林及數學，實施龍柏大道上龍柏樹的每木調查，調查每棵樹的胸高直徑及樹高，進行統計資料整理及分析，建立適合本地區的龍柏樹高曲線，進而計算龍柏樹的立木材積，最後再一步估算龍柏樹的固碳量。

圖一：校園的龍柏大道



圖一資料來源：研究者自行拍攝

圖二：實習課學習攀樹



圖二資料來源：研究者自行拍攝

二、研究目的

- （一）龍柏大道龍柏樹資料建立。
- （二）龍柏樹高曲線的建立。
- （三）龍柏樹材積及固碳量求算。
- （四）龍柏樹的固碳量與碳中和分析。

貳、文獻探討

一、龍柏簡介

龍柏學名為 *Juniperus chinensis* L. var. *kaizuka* Hort. ex Endl. 為柏科圓柏屬，主要識別特徵是：樹形尖塔形，枝多扭轉螺旋狀著生，如龍盤柱狀（詹益順，2002）。其用途常作為綠籬，公園、學校或道路之景觀樹種，被視為世界上最佳庭園植物之一（陳俊雄、高瑞卿，2004）。

龍柏樹常作為觀賞植物，一般將其修剪呈尖塔型的樹姿，且較為矮小，本研究龍柏大道上的龍柏樹，是自然生長樹立高大，與平地常見略有不同。

二、單株立木之測計

立木是指立於地上正在生長之樹木，樹木之胸高直徑(diameter at breast height, DBH)，我國規定為地上 1.3 公尺處樹幹位置（楊榮啟、林文亮，2002）。一般於估算樹木固碳量時，係調查胸高直徑、樹高等基資訊後，以材積式推估樹木之材積，再進行固碳量之估算（詹為巽、邱祈榮、林俊成，2022）。本研究將進行龍柏樹的單株立木之測計，測量每棵樹木的胸高直徑及樹高。

測量單株立木時主要會發生的誤差有：自然誤差、儀器誤差及人為誤差（吳恒雄，2002）。在實際操作測量時，務必減少測量時所發生的誤差，以提高測量的準確度，本研究在進行單木測計時，遵守林明仁（2010）所列舉胸高直徑及樹高測計所需注意事項，及採用邱祈榮、黃紀晴（2023）樹木主幹分岔時，胸高直徑計算應使用之公式如下式，以提高樹木胸高直徑測計品質。

$$DBH = \sqrt{\sum_{i=1}^n DBH_i}$$

式中，DBH 為胸高直徑最後確定值，n 為樹幹於 1.3 m 下分岔的數量。

三、樹高曲線方程式

實施每木調查時，因測量者或記錄者不同，或因林地狀況不一，有時不易測得樹高，一般常應用樹高曲線推算（楊榮啟、林文亮，2002）。而在兩變數（自變數與依變數）間之關係形態，可分為線性一次式與非線性兩種（林惠玲、陳正倉，2011）。本研究將由測

量的龍柏胸高直徑及樹高間，採用線性一次方程式，進行簡單的迴歸分析，求出龍柏樹的樹高曲線方程式，所引用的樹高曲線式如下：

$$H = a + bD$$

其中 H 為樹高，D 為胸高直徑，a 為截距，b 為迴歸係數。

四、材積及固碳量

根據行政院農業委員會（現為行政院農業部）辦理國有林林產物處分作業要點（2013），材積式的公式如下：

$$V = D^2 \times 0.79 \times H \times F$$

其中 V 為單木材積，D 為胸高直徑，0.79 為固定數，H 為樹高，F 為形數，指的是立木材積形態常數，一般使用 0.45 為形數（楊榮啟、林文亮，2002）。本研究將使用上列公式為材積模型來計算單木的材積。

樹木透過光合作用將 CO_2 轉化為其生物量並貯存於樹木中，提供了吸收 CO_2 的效益，生態系中重要的碳庫之一，樹木的碳吸存能力，就是固碳量，由 IPCC (2006)之碳貯存轉換公式，如下式，詹為巽、邱祈榮、林俊成（2022）研究報告中碳貯存量公式及吳科增（2022）碩士論文中，固碳量之公式，用此式為固碳量之估算。

$$C = V \times BD \times BEF \times CF$$

其中 C 固碳量，V 為單木材積，BD 為基礎林木密度(Bulk Density)為木材絕乾重量與原木去皮材積的比值，BEF 為生物量擴展係數(Biomass expansionfactors) 指林木莖葉與地下根系，與材積的比值，CF 為碳含量(Carbon Fractions)即木材碳含量比率。本研究以此式為固碳量模型，並引用趙國容（2019）計畫報告中之係數，BD=0.48，BEF=1.65，CF=52.14%。

參、研究方法

一、研究方法

（一）文獻分析法：透過專門科目的教科書，包含樹木識別、測量學、森林測計學、育林實務手冊及應用統計學等，書中所定義及規範為本研究理論基礎，再以前人所研究報告結果，引用為本研究所要計算公式，進而分析本研究之結果。

（二）調查法：本研究將實際進行龍柏大道上兩旁龍柏樹之每木調查，使用精確的測量

工具，胸高直徑尺（圖三）及雷射測計望遠鏡（圖四）其中共計有 27 株龍柏，為選免及減少測量誤差，選在同一天測量完畢，測量每木時，由同一人測計，另一人做複測，若有誤差，再由第三人做複測，確保測量數據之正確性及其品質。

圖三：胸高直徑尺



圖三資料來源：研究者自行拍攝

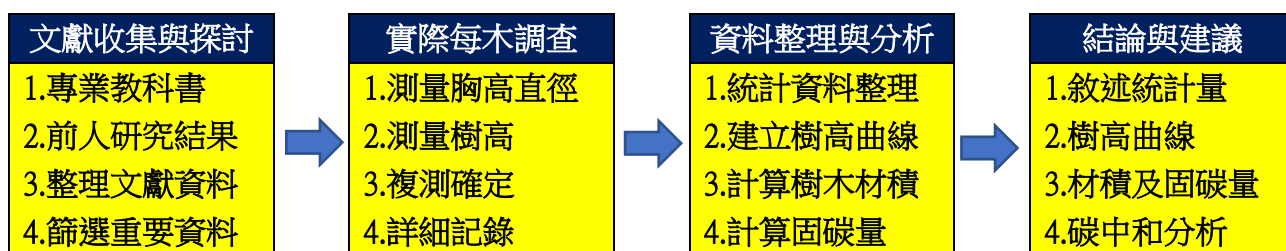
圖四：雷射測計望遠鏡



圖四資料來源：研究者自行拍攝

二、研究流程

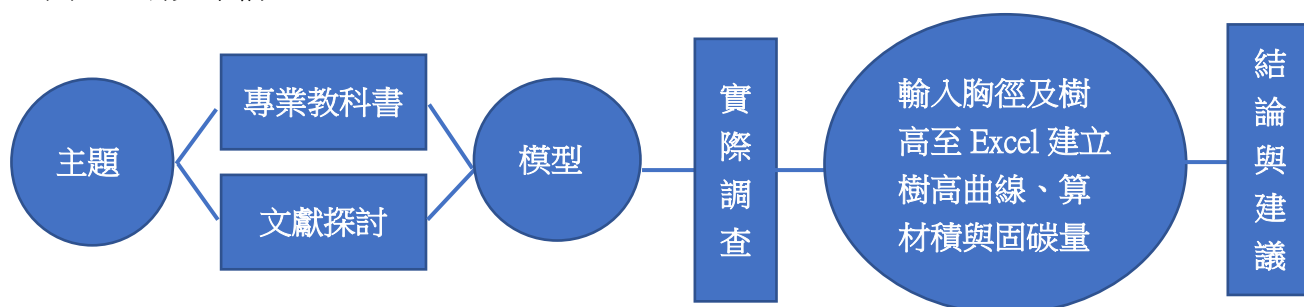
圖五：研究流程圖



圖五資料來源：研究者繪製

三、研究架構

圖六：研究架構



圖六資料來源：研究者繪製

肆、研究分析與結果

一、龍柏樹統計資料整理

1、龍柏樹胸高直徑及樹高測計結果（如表一）

表一：龍柏大道 27 株龍柏樹測計資料（胸高直徑及樹高單位：公尺）

編號	胸高直徑	樹高	編號	胸高直徑	樹高	編號	胸高直徑	樹高
1	0.732	9	10	0.366	7.4	19	0.404	10
2	0.605	10.8	11	0.481	6	20	0.493	14.5
3	0.436	8.8	12	0.525	8.6	21	0.449	12.6
4	0.490	9.6	13	0.436	9.2	22	0.471	11.5
5	0.602	11.4	14	0.633	10.8	23	0.719	11.2
6	0.503	10.8	15	0.446	10	24	0.586	10.6
7	0.554	12.2	16	0.334	9.8	25	0.713	12.8
8	0.376	8	17	0.544	11.8	26	0.592	13.4
9	0.503	8.6	18	0.583	14	27	0.875	10.6

表一資料來源：研究者自行編製

其中編號第 7 株及第 23 株龍柏為主幹分岔（如圖五及圖六），使用採用邱祈榮、黃紀晴（2023）研究報告公式計算其胸高直徑，計算過程及其結果，如表二。

圖五：編號 7 龍柏樹



圖五資料來源：研究者自行拍攝

圖六：編號 23 號龍柏



圖六資料來源：研究者自行拍攝

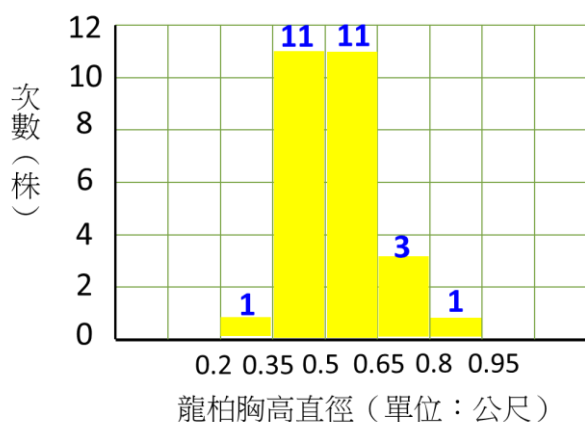
表二：7 號及 23 號胸高直徑確定值

編號	分岔	量測數值	胸高直徑計算結果
7	左	0.490	$DBH = \sqrt{(0.490)^2 + (0.257)^2} = 0.554$
	右	0.257	
23	左	0.427	$DBH = \sqrt{(0.427)^2 + (0.579)^2} = 0.719$
	右	0.579	

表二資料來源：研究者自行編製

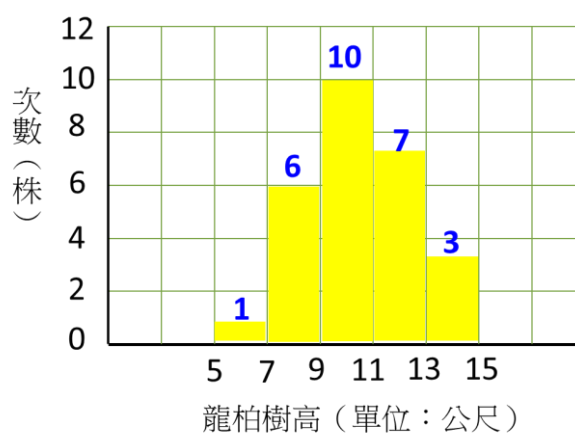
2、胸高直徑與樹高直方圖（如圖七及圖八）

圖七：龍柏胸高直徑直方圖



圖七資料來源：研究者自行繪製

圖八：龍柏樹高直方圖



圖八資料來源：研究者自行繪製

3、胸高直徑與樹高統計量（如表三）

表三：胸高直徑與樹高統計量

統計量	平均數	中位數	眾數	最大值	最小值	變異數	標準差
胸高直徑	0.535	0.503	0.436	0.875	0.334	0.016	0.125
樹高	10.52	10.6	10.8	14.5	6	4.06	2.01

表三資料來源：研究者自行編製

二、龍柏樹高曲線的建立

以 $H = a + bD$ 模型，利用 excel 資料分析進行迴歸分析，得到判定係數如表四，迴歸式的 ANOVA 表及 F 值如表五，由 $R^2 = 0.9441$ 表示它是配適度很高的迴歸式，及 F 值為 439.2297 大於臨界值 $F_{1,26,0.05} = 4.23$ ，表示迴歸模型是可以接受的（林惠玲、陳正倉，2011）。其中 $a = 0$ ， $b = 18.9373$ ，可得龍柏樹高曲線為： $H = 18.9373D$ 。

表四：迴歸式的判定係數

迴歸統計	
R 的倍數	0.9716550981
R 平方	0.9441136296
調整的 R 平方	0.9056520912
標準誤	2.5783269257
觀察值個數	27

表四資料來源：研究者由 excel 資料分析產生

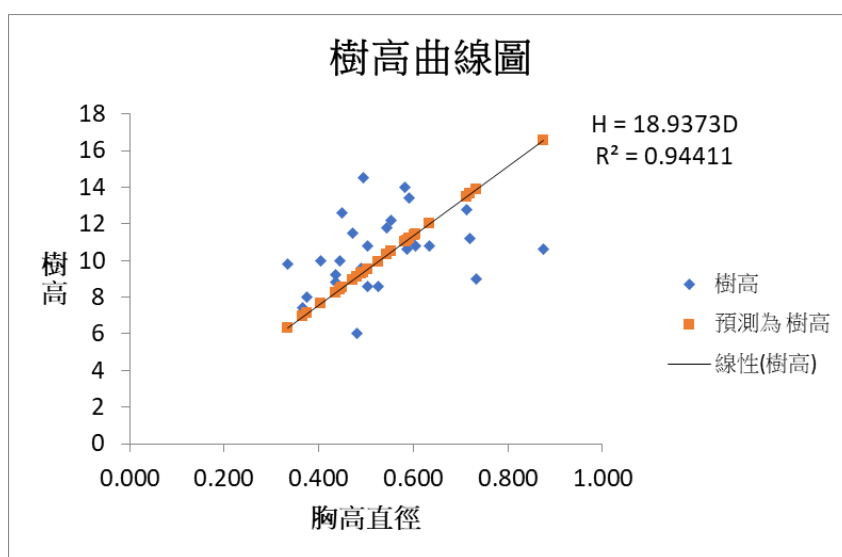
表五：迴歸式的 ANOVA 表及 F 值

	自由度	SS	MS	F	顯著值
迴歸	1	2919.898	2919.898	439.2297	2.24E-17
殘差	26	172.842	6.64777		
總和	27	3092.74			

表五資料來源：研究者由 excel 資料分析產生

將實際測得龍柏的胸高直徑及樹高，與線性迴歸曲線及胸高直徑代入曲線所得的預測樹高值，繪製成圖形，如圖九所示。H 為龍柏的樹高，D 為龍柏的胸高直徑，單位為公尺。

圖九：龍柏樹高曲線圖



圖九資料來源：研究者由 excel 資料分析繪製

三、龍柏樹材積及固碳量求算

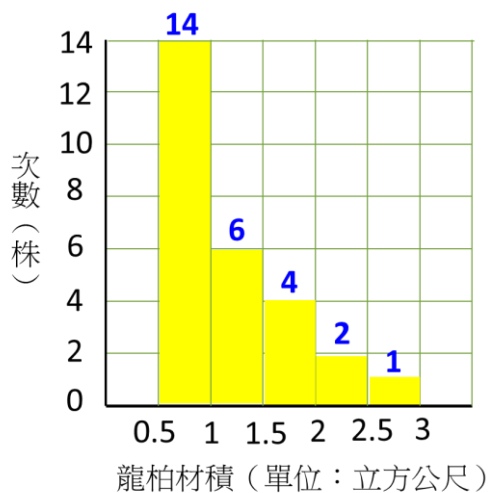
將胸高直徑及樹高代入材積模型 $V = D^2 \times 0.79 \times H \times F$ ，計算出材積後，再代入固碳量模型 $C = V \times BD \times BEF \times CF$ ，算出每木固碳量，並總計材積及固碳量（如表六）。其直方圖如圖十及圖十一；統計量如表七。由直方圖可以，校園龍柏樹每木材積主要集中在 1 立方公尺以下，每木固碳量集中在 0.5 至 1 公噸之間。

表六：龍柏樹材積及固碳量（材積單位：立方公尺；固碳量單位：噸）

編號	胸高直徑	樹高	材積	固碳量	編號	胸高直徑	樹高	材積	固碳量
1	0.732	9	1.715	0.708	15	0.446	10	0.706	0.292
2	0.605	10.8	1.404	0.580	16	0.334	9.8	0.389	0.161
3	0.436	8.8	0.595	0.246	17	0.544	11.8	1.243	0.513
4	0.490	9.6	0.820	0.339	18	0.583	14	1.689	0.697
5	0.602	11.4	1.467	0.606	19	0.404	10	0.581	0.240
6	0.503	10.8	0.971	0.401	20	0.493	14.5	1.255	0.518
7	0.554	12.2	1.330	0.549	21	0.449	12.6	0.902	0.373
8	0.376	8	0.401	0.166	22	0.471	11.5	0.907	0.375
9	0.503	8.6	0.773	0.319	23	0.719	11.2	2.061	0.851
10	0.366	7.4	0.353	0.146	24	0.586	10.6	1.293	0.534
11	0.481	6	0.493	0.203	25	0.713	12.8	2.313	0.955
12	0.525	8.6	0.843	0.348	26	0.592	13.4	1.670	0.690
13	0.436	9.2	0.622	0.257	27	0.875	10.6	2.887	1.192
14	0.633	10.8	1.541	0.636	總計			31.224	12.894

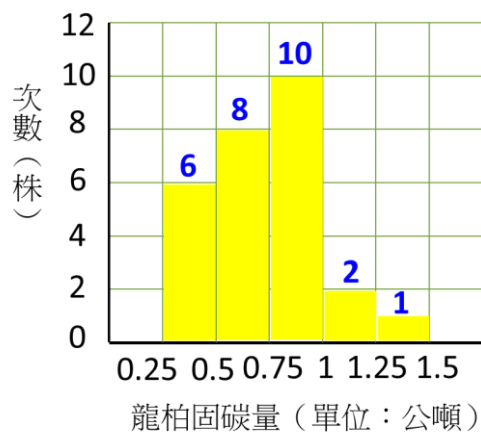
表六資料來源：研究者自行編製

圖十：龍柏材積直方圖



圖十資料來源：研究者自行繪製

圖十一：龍柏固碳量直方圖



圖十一資料來源：研究者自行繪製

表七：龍柏材積與固碳量

統計量	平均數	中位數	眾數	最大值	最小值	變異數	標準差
材積	1.1565	0.9711	無	2.8874	0.3525	0.3955	0.6289
固碳量	0.4776	0.4010	無	1.1924	0.1456	0.0674	0.2597

表七資料來源：研究者自行編製

伍、研究結論與建議

一、結論

校園龍柏大道上的龍柏樹，是從學校成立以來就已經種值了，樹齡至少超過五十年以上，詢問學校退休教職人員得知，龍柏樹並無做刻意的修剪，因此學校的龍柏樹與一般平地或庭園看到的不一樣，反而像一般高大的喬木。本次測計時，採用最新的直徑尺及雷射測計望遠鏡，配合主測者測定外，另一人再做複測確定正確數值，減少測量誤，另外計算胸高直徑時，也符合邱祈榮、黃紀晴（2023）所建議的樹木胸徑調查品質評估標準，因此本次所建立的龍柏大道龍柏樹資料建立是相當成功的，可以做為未來相關研究之參考數值。

本研究所建立的龍柏樹高曲線， $H = 18.9373D$ ， $R^2 = 0.9441$ 表， R^2 超過 0.7 且越大表示模型解釋能力越好（林惠玲、陳正倉，2011）。此樹高曲線是可以被接受使用的，將可提供給學校所在地區使用，在推測樹高或是求算材積及固碳量時，只要測計胸高直徑的數值，可以很快速的求得所要的答案，並且也可以做為未來研究之參考。

氣候變遷因應法第 3 條定義「碳匯」，是指「將二氧化碳或其他溫室氣體自排放源或大氣中持續移除後，吸收或儲存之樹木、森林、土壤、海洋、地層、設施或場所」。定義「淨零排放：指溫室氣體排放量與碳匯量達成平衡」。「碳中和」是指透過植樹、樹木生長等累積的減碳量，抵銷或清除二氧化碳排放量（吳科增，2022）。樹木的碳素含量約佔 50%，即每克碳分子可轉換成 44/12 克之二氧化碳（彭宏源，2003）。本研究使用的固碳量公式 $C = V \times BD \times BEF \times CF$ 中之 CF (Carbon Fractions) 為木材碳含量比率，龍柏樹為 52.14% 比理論值 50% 高，也比常見樹種為高（趙國容，2019）。本研究 27 株龍柏樹的材積總計為 31.224 立方公尺，固碳量總計為 12.894 噸，換算為 CO_2 含當量為 $12.894 \times (44/12) = 42.278$ 噸，龍柏樹的固碳能力就如同可減少了空氣中 42.278 噸 CO_2 之濃度，可以證明龍柏樹之碳中和能力極佳。

2023 年台灣每人每年平均排放 CO_2 當量約為 12 噸，要達到 2050 年淨零排放目標，還尚要加強（經濟日報，2023）。本研究研究之成果，學校龍柏大道的龍柏樹，已提供很大的校園碳中和能力，而對邁向 2025 年淨零排放目標也有很大的貢獻。

二、建議

本研究主要是測計校園龍柏大道之龍柏樹胸高直徑及樹高，建立樹高曲線，進而推算其材積，再計算其固碳量，並進行碳中和之分析，未來可以研究之方向為：

- 1、校園內其他樹種之研究。

- 2、進行長期之研究。
- 3、校園內所有樹種固碳量及碳中和之分析研究。

另外由本研究之文獻探討及實際研究之成果，龍柏樹有很高的固碳能力，建議校園或是庭園造圖景觀設計時，可以多種植龍柏樹，除具有美觀外，其碳中和能力也不能忽視。

陸、參考文獻

- 吳恒雄（2002）。測量。晉富印刷有限公司。
- 詹益順（2002）。樹木識別 I。晉富印刷有限公司。
- 彭宏源（2003）。林產利用 I。晉富印刷有限公司。
- 陳俊雄、高瑞卿（2004）。台灣行道樹圖鑑。貓頭鷹出版。
- 楊榮啟、林文亮（2008）。森林測計學。國立編譯館。
- 李明仁（2010）。育林實務手冊。行政院農業委員會林務局。
- 林惠玲、陳正倉（2011）應用統計學（四版）。雙葉書廊有限公司。
- 周秉華（2022）。數學 B（四）乙版。翔宇文化事業股份有限公司。
- 中華林學會（2022）。森林經營。行政院農業委員會林務局。
- 吳科增（2022）。南華大學森林固碳量資料庫建立之研究。南華大學科技學院永續綠色科技碩士學位學程：碩士論文。
- 趙國容（2019）。土保持樹種固碳能力與儲碳潛力計算資料庫之建置結案報告書。行政院農業委員會水土保持局。
- 詹為巽、邱祈榮、林俊成（2022）。建立都市樹木材積式以提升碳貯存量推估準確度-以臺北市樟樹(Cinnamomum camphora)為例。中華林學季刊。55(1):19-30。
- 邱祈榮、黃紀晴（2023）。樹木胸徑調查品質評估。Taiwan J For Sci。38(4)，303-319。
- 行政院農業委員會辦理國有林林產物處分作業要點。（2013 年 7 月 4 日）。
- 氣候變遷因應法。（2023 年 2 月 15 日）。
- 經濟日報社論。（2023 年 2 月 15 日）。台灣需要更有效減碳的政策。
<https://money.udn.com/money/story/5628/7639440>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2006) 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories。
[https:// www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl)