

社團法人台灣環境資訊協會

受託環境保護公益信託自然谷環境教育基地



自然谷環境信託基地碳儲存量調查 (2025 年) 結案報告書

執行單位：自然谷環境信託團隊

執行時間：2025 年 1 月 ~ 2025 年 9 月

摘要

全球氣候變遷持續加劇，森林因具備固碳與生態系服務功能，成為國際碳治理與自然碳匯研究的重要對象。自然谷環境信託基地位於新竹縣芎林鄉，屬低海拔次生林，面積約為 1.2 ha，自 2011 年起透過環境公益信託進行保護與經營管理。本研究棲地設置 5 個樣區，調查胸高直徑大於 3 cm 的木本植物，並依據樹高、胸徑、木材密度及碳含量等參數推估碳儲存量。

調查結果共記錄 16 科 19 種 173 株植株，其中以中等耐陰及耐陰樹種為主，佔總數 84 %，顯示植群組成已趨向穩定的次生林結構。生物多樣性分析顯示，香儂指數 2.18、辛普森指數(1 - D)為 0.83、有效物種數 8.85。碳儲存量方面，5 個樣區合計 5,622.75 kg C，換算全區碳儲存量約 134.95 t C，相當於 494.80 t CO₂e。若以 2024 年臺灣人均碳排放量 13.57 t CO₂e 計算，約可抵銷 36 人一年排放。樹種貢獻方面，以白匏子 (*Mallotus paniculatus* var. *paniculatus*) 與江某 (*Heptapleurum heptaphyllum*) 為主，兩者佔全樣區碳儲存量 90.9 %，顯示生長快速及體型龐大的喬木在碳吸存上具關鍵作用。

綜合而言，本研究結果驗證了低度干擾下的森林管理方式，可在短期內累積顯著碳儲存量，且植群組成已展現演替中期之特徵。未來將持續進行長期監測，以五年為周期進行碳儲存量調查，掌握低海拔次生林碳吸存動態，並為小面積民間保育地提供量化成效，作為各界推動森林保育及環境教育之參考，落實環境公益信託理念。

【關鍵字】環境信託、碳匯、低海拔森林、樣區調查、森林保育、環境教育

目錄

摘要	iii
目錄	iv
表目錄	v
圖目錄	vi
I. 計畫起源	7
II. 材料與方法	9
(I) 研究地點	9
(II) 樣區調查	11
1. 植物的編號與標示	12
2. 樹高	12
3. 胸高直徑	13
(III) 碳儲存調查分析	14
III. 結果	15
(I) 樹種調查	15
(II) 碳儲存計算	17
IV. 討論	20
(I) 樹種組成	20
(II) 碳儲存計算	23
V. 結論	26
VI. 參考文獻	27
VI. 外業電子化數據	29

表目錄

表 1、自然谷環境信託棲地各樣區的樹種分布與總數量	16
表 2、樹種碳儲存量單一個體能力排序與樣區個體總和	18
表 3、自然谷環境信託基地各樣區植株數量、碳儲存量、平均胸高直徑與平均樹高	19
表 4、自然谷環境信託基地各樣區生物多樣性指標數據	22

圖目錄

圖 1、自然谷環境信託基地位置	10
圖 2、自然谷環境信託調查樣區位置圖	11
圖 3、自然谷環境信託基地樹種組成比例	21

I. 計畫起源

全球氣候變遷問題日益嚴峻，碳排放治理逐漸成為各國關注的重點議題。「碳」不僅是影響地球能量平衡的主要因素之一，亦已成為國際間談判、政策制訂及市場運作的核心項目。其中，碳權(carbon credit)作為碳排放管理機制中扮演重要角色，逐漸受到各國重視。碳權為具認證效力之排放配額，代表特定來源實際減少或吸收之 1 公噸二氧化碳當量(CO₂e)。在碳交易市場中，合格的減碳行動可透過第三方驗證機構產出碳權，供需方得以購買作為抵換其排放行為的工具，達成淨零或減碳之目標。

隨此制度推動，自然生態系所具備之碳吸存能力逐漸被重新評估與重視。森林、濕地及草原等自然棲地作為自然碳匯(carbon sink)來源，若能以科學方式量化其碳儲存潛力，除有助於提升其生態價值之可見度，亦能進一步納入政策與市場設計機制，爭取資源挹注及長期支持。

自然谷環境信託基地的碳儲存調查計畫即在此背景下推動。自然谷環境信託基地自 2007 年由三位民間人士合資購地，於 2011 年交付環境公益信託，2014 年由社團法人台灣環境資訊協會接手，簽訂永久環境公益信託契約，並由協會成立專責經營團隊進行長期經營管理，進行外來種移除、邊坡防護及生態經營等努力，由荒廢的農耕地逐漸轉變為低海拔次生林之林相。基地採取「低度干擾」原則，使植群自然演替，逐步恢復森林生態結構並建立科學監測與數據累積的基礎。

作為台灣第一個匯聚民間力量，以「環境公益信託」永久保育的低海拔森林案例，自然谷環境信託經營團隊不僅透過活動與自媒體社群，和社會大眾分享淺山的豐富生態，同時也希望透過科學數據，呈現森林存在的意義與價值。

為進一步評估該棲地對氣候調適之潛在貢獻，團隊於 2023 年首次實施碳儲存量調查，透過林木樣區調查資料推估林分生物量(biomass)，並據此換算碳儲存量

(carbon stock)，以提供具體之量化指標。然而在調查分析完成後，發現原調查在面積換算上採用之邊界設定係以地面直接測量方式進行，未配合地理資訊系統之投影座標加以修正，導致各樣區面積推估產生系統性誤差，進而影響整體估算結果之準確性。

為求資料正確與可比性，團隊於 2025 年初重新修訂樣區邊界與面積計算方式，改以正確投影系統處理樣區範圍資料，並同步更新碳儲存量估算流程。本報告即為修正後之成果彙整，所得資料可作為自然谷環境信託基地碳儲存狀況之紀錄，亦可用以追蹤未來森林碳儲存與碳吸收變化趨勢，作為復育成效之量化依據。

II. 材料與方法

(I) 研究地點

自然谷環境信託基地位於新竹縣芎林鄉鹿寮坑 197-2 號，新竹縣芎林鄉鹿寮坑段地號 57-5 及 57-6，面積約為 1.2 ha，為臺灣第一個環境信託案例。2014 年，社團法人台灣環境資訊協會與土地所有權人簽訂永久的環境公益信託契約，並成立專責經營團隊負責執行森林保育、與社區合作擴大保護面積及推動環境教育等三大核心任務。

棲地地形以緩坡丘陵為主，海拔約 300 至 365 m，屬於低海拔次生林環境，周邊鄰近農耕地、果園與客家聚落。棲地內土壤類型多為砂質黏壤土(農業試驗所土壤資料供應查詢平台，調查紀錄 2010)，保水性中等，植群組成以先前居民造林種植的相思樹(*Acacia confusa* Merr.)與自然生長的香楠(*Machilus zuihoensis* Hayata)、水同木(*Ficus fistulosa* Reinw. ex Blume)等闊葉樹種與竹林為主，並混生多種灌木及藤本植物，其中次生林面積約 0.85 ha，植物類別與分布都較為雜異；竹林面積約 0.38 ha，以桂竹林為主。經多年復育與外來種移除作業後，林相逐漸恢復多層結構，樹冠層、次冠層與地被層生物多樣性均有提升，林下鬱密度也提高，適合動物們躲藏與覓食。

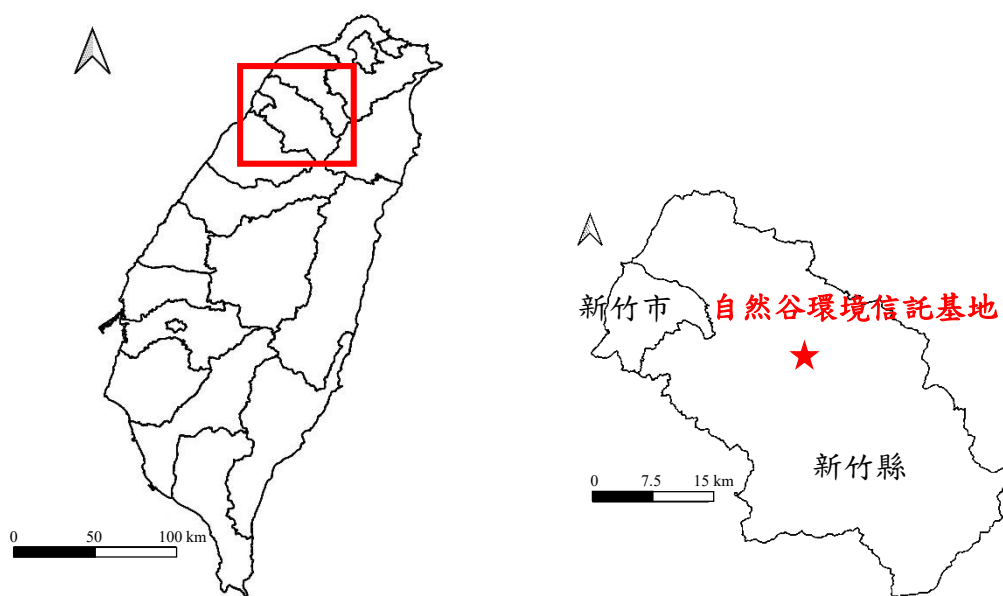


圖 1、自然谷環境信託基地位置

(II) 樣區調查

本次碳儲存調查之樣區設置位置，以 2023 年調查所建立之樣區為基礎，並以該年度既有之樣區中心點作為主要定位依據(如圖 2)。在樣區重新定位過程中，若發現原樣區位置距步道過近，則以靠近步道的一側樣點作為基準點，沿其他方位延伸樣線進行樣區邊界設置。邊界規劃時，依據現地地形測量樣線坡度與方位角，並計算各邊界長度，以確保樣區面積與形狀之正確性。此方法可避免樣區因地形或人為干擾而使樣木分布異常，並利於與前次調查進行數據對比分析。

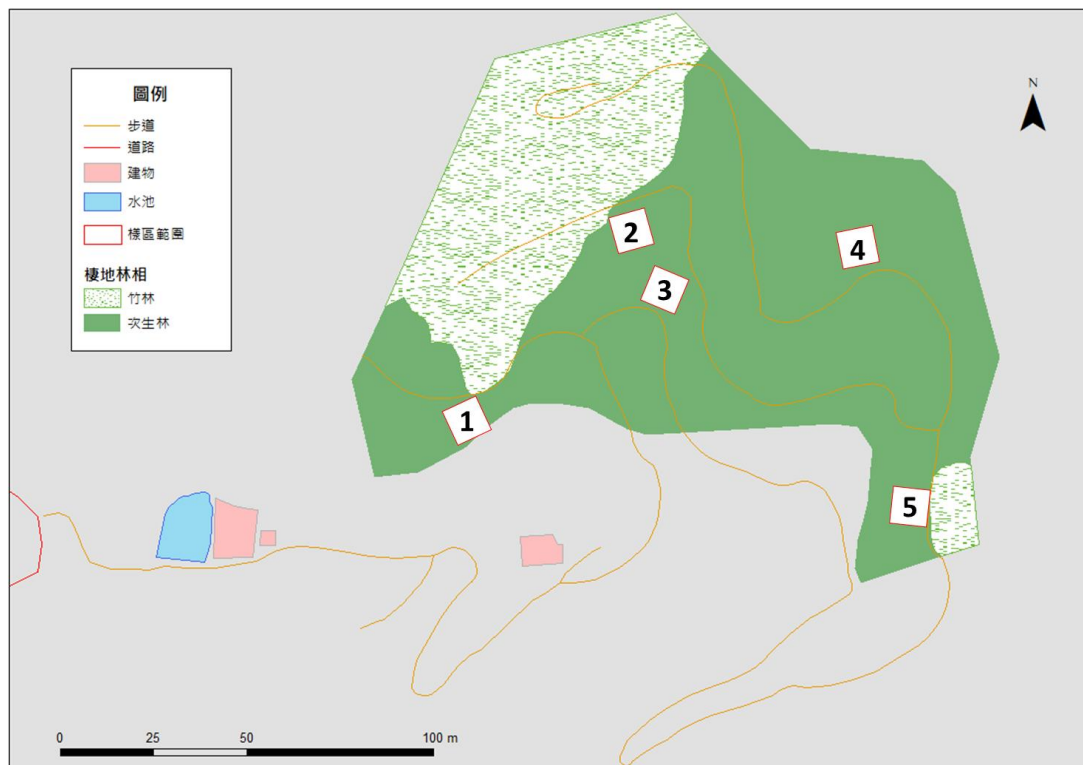


圖 2、自然谷環境信託調查樣區位置圖

在樣區邊界設定完成後，以紅色尼龍繩明確標示邊界範圍，於邊界中點設置明顯標記，並再以尼龍繩將樣區劃分為四個相等的小樣區，以利調查員依分區逐一標記各樹種位置與編號。調查時由各小樣區最外圍順時針方向逐步向內進行，以確保區域內所有植株均被完整記錄。

碳儲存量的推估方法是以生物量作為推估依據，生物量法是用來計算碳儲存量的基礎（高裕閔、王兆桓，2014）。透過計算樣區內各林木的地上部生物量，並結合不同樹種的碳含量係數，即可換算出森林的碳儲存量。若具備完整或長期的林分調查資料，亦可透過蓄積量進行碳儲存換算。本次調查主要針對自然谷環境信託基地內之地上部木本植物材積進行測量與換算。

調查範圍為五個樣區內所有胸徑(Diameter at Breast Height, DBH) 3 cm 以上之木本植物。樣株是否納入調查係依植物主幹基部與地表泥土交界位置判定，若主幹位置不在樣區邊線內或邊線上，則不列為目標個體。所有調查對象均予以編號，其中胸徑達 10 cm 以上者釘掛塑膠牌，其餘則以寬鬆鐵絲綁附塑膠牌標記，作為後續調查識別之用。每一目標個體均記錄胸高直徑與樹高，並鑑定樹種，以作為後續生物量與碳儲存量換算之基礎資料。

1. 植物的編號與標示

每棵調查植物均賦予四碼編號，格式為「x—xxx」，第一碼為樣區編號，樣區位置如圖 2 所示，由西向東依序編為 1 至 5；後三碼則為樣區內的調查流水號，自 001 起依調查順序排序至 999。本次編號延續 2023 年調查之編碼系統，確保歷次資料的一致性與可追蹤性。

2. 樹高

指自植物主幹與地面交接點至樹冠最高端之垂直距離。若主幹生長方向與垂直方向差異顯著，則需於紀錄表備註樹體歪斜情況。樹高量測以樹木測高桿為主要工具，由測高手操作測高桿並站於坡地的高側作為起測點，測量過程應盡量貼近主幹並避免測高桿彎曲。觀測手則需選擇一個能同時觀察樹頭與樹梢的觀測點，且該觀測點與目標樹的水平距離應等同於測高手與測高桿的距離，以降低角度偏差造成之測量誤差。

本次使用的測高桿量測高度上限為 12 m，若目標個體高度超過此限制，則由觀測手判定樹高中間位置，先量測該半高值，再將數值乘以二，作為目標樹之樹高，並將此計算方式於紀錄表備註欄中明確標示。

3. 胸高直徑

指樹木於胸高位置的幹徑。由於不同調查員的胸高可能有所差異，為確保測量一致性，本計畫依臺灣林業調查慣例，統一將胸高定義為距地面 1.3 m 的位置，並使用測高桿比對以確保量測高度正確。

胸高直徑之量測原理為假設樹幹於測量高度處之橫截面近似正圓，先量測其周長，再以圓周率(π)換算直徑。實務上，本計畫採用樹徑捲尺進行量測，該工具可直接由周長讀取換算後之直徑數值。周長量測時應確保捲尺垂直於主幹軸向，並避免扭曲，以減少讀值誤差。

當胸高以下即出現分枝時，需分別量測各分枝於胸高位置的直徑並記錄之；若胸高處存在膨大、瘤狀或分叉，則應上移或下移至樹幹恢復正常形態的位置再行測量，並於紀錄表中註明調整原因及實際測量高度。

(III) 碳儲存量調查分析

根據趙國容等人(2022)的研究指出，木材材積可以透過木材密度、碳含量等資訊，換算成碳儲存量。本計畫亦採該研究建議，根據 Chave *et al.* (2014)以全球熱帶樹種推估的數據，並參考 IPCC (2006)中的建議修正，得到的換算公式如下：

$$AGB = 0.0673 \times (\rho \times DBH^2 \times H)^{0.976} \dots\dots\dots \text{式 1}$$

$$C = AGB \times BEF \times (1+R) \times CF \dots\dots\dots \text{式 2}$$

AGB：林木地上部碳儲存量

C：碳儲存量(kg C)

ρ ：木材密度(g cm⁻³)，依樹種查詢相關文獻或資料庫所得

H：樹高(m)

DBH：胸高直徑(cm)

BEF (Biomass Expansion Factor)：生物量擴展因子，用以將主幹材積換算為整株地上部，生物量公式多已包含地上部總生物量，因此 BEF = 1

R：根系與地上部生物量比值(root-to-shoot ratio)，用以納入地下部生物量

CF：碳含量係數(carbon fraction)，代表生物量中碳所佔比例。IPCC (2006) 建議亞熱帶潮濕森林之(1+R)參考值為 1.24，故本研究採(1+R)=1.24 計算

透過上述碳儲存量計算公式，可推得自然谷環境信託基地各樣區之總碳儲存量。公式中所需之參數中，樹高及胸高直徑均由本計畫團隊於現地調查量測取得；生物量擴展因子及根莖比為固定常數，其數值依據趙國容等人(2022)之研究設定。木材密度與樹木碳含量係數多數引用趙國容(2019)針對臺灣常見水土保持樹種之測定與推估值，對於文獻未提供之樹種，則依該研究建議之推估方法，由本團隊另行換算。完整參數數值詳列於附錄三，以供參考。

III. 結果

本次野外調查作業於 2025 年 1 月 13 日至 2 月 8 日間進行，共執行 3 日調查作業，每次調查投入人力 5 至 6 人，累計共有 11 位調查人員參與本次樣區資料蒐集工作。調查期間僅選擇天候穩定且安全無虞之時段進行，以確保參與人員於山區作業時之安全。

(I) 樹種調查

本次於自然谷環境信託基地設置 5 個樣區，調查樣區內胸高直徑大於 3 cm 之本木植物，共記錄 16 科 19 種，總計 173 棵(其中於 1.3 m 以下分枝之個體均視為獨立個體計算)。調查所得樹種包含：山紅柿(*Diospyros morrisiana* Hance ex Walp.)、狗骨仔(*Tricalysia dubia* (Lindl.) Ohwi)、九節木(*Psychotria rubra* Poir.)、水金京(*Wendlandia formosana* Cowan)、薯豆(*Elaeocarpus japonicus* Siebold & Zucc.)、杜英(*Elaeocarpus sylvestris* var. *sylvestris* (Lour.) Poir.)、水同木(*Ficus fistulosa* Reinw. ex Blume)、江某(*Heptapleurum heptaphyllum* (L.) Y.F.Deng)、九芎(*Lagerstroemia subcostata* Koehne)、小梗木薑子(*Litsea hypophaea* Hayata)、香楠(*Machilus zuihoensis* Hayata)、臺灣山桂花(*Maesa perlaria* var. *formosana*)、白匏子(*Mallotus paniculatus* var. *paniculatus*)、三腳鼈(*Melicope pteleifolia* (Champ. ex Benth.) T.G. Hartley)、水冬瓜(*Saurauia oldhamii* Hemsl.)、山豬肝(*Symplocos theophrastifolia* Siebold & Zucc.)、奧氏虎皮楠(*Daphniphyllum glaucescens* subsp. *oldhamii* (Hemsl.) T.C.Huang)、米碎柃木(*Eurya chinensis* R.Br.)、紅葉樹(*Helicia cochinchinensis* Lour.)、野漆樹(*Rhus sylvestris* Siebold & Zucc.)，棲地各樣區的樹種分布與總數量如表 1。

表 1、自然谷環境信託棲地各樣區的樹種分布與總數量

(以數量多至少，數量相同則以筆畫排列)

樹種	總數量 (棵)	樣區 1 (棵)	樣區 2 (棵)	樣區 3 (棵)	樣區 4 (棵)	樣區 5 (棵)
江某	52	22	5	5	5	15
九節木	33	18	1	1	10	3
白匏子	26	4	4	8	2	8
米碎桉木	17	2		7	4	4
香楠	8	2		2	3	1
三腳鼈	6	2		2	1	1
水金京	5				2	3
山紅柿	4			3	1	
狗骨仔	4			2	2	
紅葉樹	4		4			
薯豆	4	4				
山豬肝	2		1	1		
奧氏虎皮楠	2	1				1
小梗木薑子	1	1				
水冬瓜	1			1		
水同木	1		1			
杜英	1	1				
野漆樹	1			1		
臺灣山桂花	1	1				

(II) 碳儲存計算

在本次調查所採用的計算公式中，樹木碳儲量的推估除依賴地上部生物量外，木材密度與碳含量亦為影響結果的重要因子。不同樹種因材質密度差異，以及生物量中碳含量比例不同，導致其單株碳儲量存在顯著差異。例如，同胸徑與樹高的樹木，若木材密度較高，其碳儲存量往往相對較高；反之，密度較低的樹種則碳儲量較低。因此，在進行樣區總碳儲量計算時，必須依據各樹種對應的木材密度與碳含量係數進行修正，以確保估算結果的準確性與代表性。

本次調查之 5 樣區中共記錄 19 種樹，其中 18 種可以在行政院農業委員會水土保持局建置的「水土保持樹種固碳能力資料庫」查得其木材密度或碳含量數據；唯獨奧氏虎皮楠未列入該資料庫。根據趙國容(2019)結案報告的說明，該資料庫所提供之密度與碳含量數據，部分來自相關文獻彙整，部分則為該計畫實測所得。對於資料缺乏之樹種，若其同屬或同科植物已有可參考數據，則以同屬或同科之平均值進行估算；若同屬與同科資料皆缺乏，則採用資料庫提供之全樹種平均值進行推算，並於後續資料整理與分析中明確標示此類推估來源，以維持估算過程之透明性與科學性。

碳含量方面，則有 17 種樹木具備種階層之碳含量數據，唯「水冬瓜」與「奧氏虎皮楠」未提供該資料。針對資料缺值之情況，資料庫建議若無同屬或同科植物的數據可供參考，則可採用資料庫內所有種階層資料的平均值進行估算。因此，本次計算中，「水冬瓜」與「奧氏虎皮楠」之碳含量均以資料庫所提供的全種階層平均值表示，並於後續分析及附錄資料中明確標註此處理方式，如表 2。

表 2、樹種碳儲存量單一個體能力排序與樣區個體總和

(假定樹高 10 m，胸高直徑 5 cm)

能力排序	樹種	密度 (g/cm ³)	碳含量 (%)	碳儲存量 (kg C)	樣區碳儲存量 總和(kg C)
1	九節木	0.67	46.95	5.84	40.00
2	狗骨仔	0.62	46.39	5.35	15.60
3	野漆樹	0.64	45.03	5.32	3.48
4	米碎桉木	0.62	46.46	5.32	48.89
5	紅葉樹	0.63	45.31	5.30	43.95
6	三腳鼈	0.60	44.49	4.92	24.74
7	薯豆	0.58	45.62	4.86	42.33
8	奧氏虎皮楠	0.55*	46.30*	4.72	2.74
9	山红柿	0.56	44.92	4.69	34.75
10	山豬肝	0.57	44.45	4.66	13.65
11	白袍子	0.51	44.61	4.22	3807.76
12	杜英	0.51	44.22	4.21	2.25
13	江某	0.51	44.26	4.18	1301.93
14	香楠	0.48	44.64	3.99	135.53
15	臺灣山桂花	0.46	46.32	3.96	0.61
16	水金京	0.46	45.73	3.93	67.92
17	小梗木薑子	0.43	46.66	3.74	22.64
18	水同木	0.44	44.53	3.62	11.93
19	水冬瓜	0.38	46.30*	3.29	2.05

*為使用資料庫所提供的全種階層平均值

本次計畫量測 5 處樣區之碳儲存量，結果如表 3 所示。全區合計碳儲存總量為 5,622.75 kg C。其中，樣區 5 之碳儲存量最高，達 1,777.74 kg C，而樣區 4 之碳儲存量則相對較低，僅有 623.79 kg C。

表 3、自然谷環境信託基地各樣區植株數量、碳儲存量、平均胸高直徑與平均樹高

樣區號	植株數量 (棵)	碳儲存量 (kg C)	平均胸高直徑 (cm)	平均樹高 (m)
樣區 1	58	802.16	7.55	6.68
樣區 2	16	1411.45	14.54	11.61
樣區 3	33	1007.61	9.34	8.32
樣區 4	30	623.79	7.64	6.33
樣區 5	36	1777.74	11.91	8.79
總和	173	5622.75	9.46	7.83

IV. 討論

(I) 樹種組成

根據郭耀綸等人(2021)之分類，臺灣樹木可依光合潛力與耐陰程度區分為五級：先驅樹種、陽性樹種、中等耐陰樹種、耐陰樹種及極度耐陰樹種。本次自然谷環境信託基地樣區調查所得之 19 種木本植物中，包含先驅樹種 1 種(白匏子)、中等耐陰樹種 6 種(鵝掌柴、杜英、臺灣山桂花、香楠、小梗木薑子、水同木)、耐陰樹種 8 種(九節木、山紅柿、狗骨仔、薯豆、水冬瓜、山豬肝、奧氏虎皮楠、紅葉樹)，以及極度耐陰樹種 2 種(三腳蠶、水金京)。另有 2 種樹種(野漆樹與米碎桫欏)未於文獻中直接被分類。根據同屬物種的光合潛力進行推估，野漆樹可歸為陽性樹種，米碎桫欏則歸為極度耐陰樹種。

本次調查共記錄 173 株植株，其中先驅樹種 26 株、陽性樹種 1 株、中等耐陰樹種 64 株、耐陰樹種 54 株、極度耐陰樹種 28 株，其比例如圖 3 所示。於 5 個樣區之中，中等耐陰樹種的比例最高，而陽性樹種比例最低。整體而言，中等耐陰至極度耐陰的樹種合計佔所有調查個體數 84%，顯示樣區的植群組成已以耐陰性物種為主。雖然先驅樹種僅有白匏子與野漆樹兩種，但白匏子胸高直徑與樹高均相對較大，形成較為蔽蔭的林下環境，使耐陰性物種得以在底層獲得優勢生長空間。此一現象反映自然谷環境信託基地之森林，經歷多年低干擾經營後，其植群結構已逐漸朝向穩定之次生林林相發展。

自然谷環境信託基地樹種組成比例

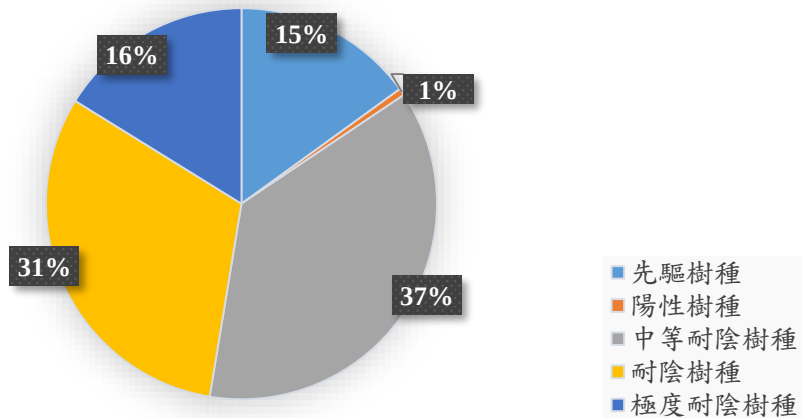


圖 3、自然谷環境信託基地樹種組成比例

「生物多樣性」(biodiversity)一詞，依據《聯合國生物多樣性公約》(1992)之定義，係指所有來源之生物體之多樣性，包含物種內、物種間及生態系之間的差異。為量化生物多樣性，學界基於歧異度與豐富度等面向，發展出多種評估指標，常見者包括物種數(species richness)、香農指數(Shannon's index)及辛普森指數(Simpson's index)。此外，Hill 數值指標族因具備「倍增性質」(doubling property)，能轉換為「有效物種數」(effective number of species)，使不同生態系之間能夠進行直接比較，因此被認為是最具解釋力的生物多樣性指標之一(邱春火，2010)。

本次調查依據樣區內植物資料，計算各樣區及全區之生物多樣性指數。此結果不僅可呈現棲地內物種豐富度與歧異度的分布情形，亦可作為自然谷環境信託基地森林生態狀況與其他地區森林進行比較之依據。香農指數之概念在於描述於一地區隨機抽取一個體時，其隸屬於特定物種之不確定程度(uncertainty)；若該生態系僅有單一物種，則指數值為 0，顯示完全確定，而隨著物種數增加及個體分布趨於均勻，指數值則隨之提高。辛普森指數則反映於一地區隨機抽取兩個體時，其屬於不同物種之機率，數值介於 0 與 1 之間。實務上常採其倒數或變形式 $1-D$ 表示多樣性，本研究即以 $1-D$ 作為指標，數值越大代表多樣性越高。進一步透過 Hill 數值指標族之轉換，可將多樣性量化為「有效物種數」，即等效於平均分布情形下之

物種數，藉此可使不同地區間之多樣性差異進行倍數化比較。相關數據列於表 4。

表 4、自然谷環境信託基地各樣區生物多樣性指標數據

指數類別	物種數	香儂指數	辛普森指數		有效物種數
計算方式	S	$H' = -\sum_{i=1}^S p_i \log p_i$	$D = \sum_{i=1}^S p_i^2$	1 - D	$q=1D = \exp(H')$
樣區 1	11	1.73	0.25	0.75	5.64
樣區 2	6	1.58	0.23	0.77	4.85
樣區 3	11	2.11	0.15	0.85	8.25
樣區 4	9	1.93	0.18	0.82	6.89
樣區 5	8	1.66	0.25	0.75	5.26
全區	19	2.18	0.17	0.83	8.85

S：物種數(種)

p_i ：第 i 種物種數量佔所有物種數量的比例

H' ：香儂指數

D：辛普森指數

$q=1D$ ：有效物種數

本次調查之 5 個樣區中，無論以物種數、香儂指數、1-D 或有效物種數等進行觀察，皆以樣區 3 的數值最高，顯示其物種多樣性及均勻度相對較高。而樣區 1 及樣區 3，物種數皆為 11 種，惟樣區一之植群組成多集中於江某及九節木，導致物種分布不均，因而有效物種數顯著偏低。綜合五個樣區資料推估，全區之有效物種數約為 9，亦即在自然谷環境信託基地次生林中，若以胸高直徑達 3 公分以上之木本植物為基準，其生物多樣性相當於均勻分布之 9 種物種。

(II) 碳儲存計算

以樹高 10 m 及胸高直徑 5 cm 作為假定條件，可比較各樹種之間之儲碳能力差異。本次調查所得 19 種樹木中，在相同條件下以九節木之儲碳能力最高，而水冬瓜則最低。然而，九節木通常難以生長為高大喬木，故其在自然谷環境信託基地中之實際貢獻有限。相較之下，白袍子與江某因具快速生長及可達較高樹高之特性，成為碳儲存總量最高之樹種，其碳儲存量分別為 3,807.76 kg C 與 1,301.93 kg C，兩者合計約佔全樣區碳儲存總量之 90.9%。此結果顯示碳儲存量不僅受單株樹木材質特性影響，亦與其生長型態與林分結構息息相關。

本次計畫量測 5 處樣區之碳儲存量分別如表 3 所示，由於自然谷環境信託基地屬於相對年輕之森林，各樣區間樹木數量、樹高及胸高直徑之變異均較大。以樣區 1 為例，其樹木數量最多，共 56 棵，惟因樣區內包含大量胸徑不足 5 cm 之九節木個體，經換算後所產生之生物量相對較低，致使整體碳儲存量不高。相對而言，樣區二雖僅有 16 棵個體，為各樣區中數量最少者，但樣區內包含 3 株胸高直徑超過 30 cm 且樹高逾 20 m 之白袍子，以及 3 棵胸高直徑約 15 cm 之江某，因單株體積龐大，提供顯著之生物量，進而使該區碳儲存量居於相對較高之水準，為 5 樣區內第二高碳儲存量的樣區。此現象顯示碳儲存量受單株大小與結構分布影響，並非僅由樣區內樹木總數所決定。

由於自然谷環境信託基地面積僅 1.2 ha，在多數公開地理資訊系統中常被視為單一網格單位，難以進行細部棲地分層。於缺乏其他環境因子資料支撐之情況下，本計畫採線性迴歸法推估自然谷環境信託基地之碳儲存量。其計算可依下列公式進行：

$$\text{棲地碳儲存量} = \text{樣區總碳儲存量} / \text{樣區總面積} \times \text{棲地面積} \cdots \cdots \text{式 4}$$

本次調查於 0.05 ha 樣區範圍內，計算碳儲存量總量為 5,622.75 kg C，依據面積換算，自然谷環境信託基地面積約為 1.2 ha，以式 4 進行計算後，可推估棲地所涵蓋碳儲存量約為 134.95 t C ($112.46 \text{ t C ha}^{-1}$)。進一步以碳(C)原子量 12 及二氧化碳(CO_2)分子量 44 進行換算，可得自然谷環境信託基地森林之二氧化碳當量儲存量为 494.80 t CO_2e ，亦即自然谷環境信託基地森林約可儲存相當於 494.80 t 之二氧化碳。棲地於 2007 年時已為廢耕約 20 年的果園，雖當時未進行碳儲存量調查，無法得知其基期數值，但參考林映儒等人(2012)針對長期果園廢耕地之研究結果。該研究顯示，其調查之五個樣區地上部碳儲存量平均為 $75.48 \text{ t C ha}^{-1}$ 。依據本次自然谷樣區碳儲存結果推估，自 2007 年起至 2025 年間，隨著植群逐漸演替及林木生長，棲地之碳儲存量已顯著提升，顯示原廢耕地已成功演替為具較高碳儲存功能的次生林。

根據研究 Dixon *et al.* (1994)文獻指出，亞洲的亞熱帶天然林的森林碳儲存量，應可以達到每公頃 132 - 174 t 的水準。若與台灣森林現況相比較，林務局 2015 年的森林調查資料顯示，臺灣森林總面積 2,197,090 ha，二氧化碳儲存量推估達 75,418 萬公噸，也就是說臺灣的森林碳儲存量平均為 $93.62 \text{ t C ha}^{-1}$ 。另外也可以比較國內其他研究的碳儲存量，位於高雄的鳳崗山與多納兩個樣區，在林國銓等人(2006)研究中分別有 $153.7 \text{ t C ha}^{-1}$ 及 $199.0 \text{ t C ha}^{-1}$ ；高裕閔(2014)研究則是將林務局和平事業區的 101 個永久樣區數據進行整理，全區平均碳儲存量約為 $166.1 \text{ t C ha}^{-1}$ ；李國忠等人(2004)則調查臺大實驗林碳儲存量約為 $44.26 \text{ t C ha}^{-1}$ 。雖說以上研究在儲存量計算的方法學有所不同，沒辦法直接作為量化比較的基礎，但仍可以從中看出，自然谷環境信託基地在歷經多年努力後，碳儲存量已超過全台平均水準，但相較於部分保護區仍有些差距，應是棲地內許多樹木都比較年輕的關係。未來若長期且持續地記錄自然谷環境信託基地的碳儲存量變化，將可以作為我們理解低海拔的森林自然演替過程的輔助。

V. 結論

科學調查使團隊進行生態保育與環境教育時，以實際的數據展示以及解說。這份報告評估自然谷環境信託基地在碳儲存方面的成效，透過科學化調查，提供具體的量化指標，以數據呈現自然谷環境信託基地的保育成效，讓森林的價值不再停留於抽象概念，而是用數字讓人有感。

調查結果顯示，這片面積僅 1.2 ha 的年輕森林，其碳儲存量已達 494.80 tCO₂e 當量，不僅證明了透過「低度干擾」的保育策略，荒地能成功轉變為具備良好固碳功能的生態棲地。這份報告也將抽象的環境信託與復育工作具象化，轉化為有力的數字語言，不僅為團隊的努力提供了實質佐證，讓社會看見民間參與保育的價值。為持續掌握森林動態變化，團隊預定每五年定期進行一次碳儲存量測，以長期監測資料追蹤森林碳庫的變化趨勢，作為未來復育成效與氣候調適評估之依據。此成果不僅為自然谷的生態經營建立了科學基礎，它也向社會大眾傳遞訊息：即使是小規模的保育行動，也能在氣候變遷的挑戰中發揮重要的影響力，而環境公益信託，正是確保森林永續存在的關鍵。

VI. 參考文獻

- 農業試驗所土壤資料供應查詢平台 (2010) 搜尋地點。線上檢索日期：2025 年 08 月 08 日。取自：<https://tssurgo.tari.gov.tw/Tssurgo/Map>。
- 高裕閔、王兆桓 (2014) 和平事業區森林永久樣區調查與分析吸存 CO₂ 效應。宜蘭大學生物資源學刊 10:1-22。
- 高裕閔 (2014) 和平事業區森林永久樣區調查與分析吸存 CO₂ 效應。國立宜蘭大學森林暨自然資源學系碩士論文。
- 趙國榮、李侑儒、宋國彰、趙偉村、張楊家豪、江智民 (2022) 水土保持樹種碳存量估算參數之資料庫。中華水土保持學報 53(2):100-110。
- 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。農村水保署創新研究計畫。
- 郭耀綸、林倉億、楊宜穎、陳海琳、楊智凱、余尚鈺 (2021) 臺灣原生 440 種木本植物的光合作用性狀及耐陰性。台灣林業科學 36(3):189-220。
- 邱春火 (2010) 系統演化多樣性指標之建立與統計估計。國立交通大學統計學研究所博士論文。
- 李國忠、林俊成、賴建興、林麗貞 (2004) 台大實驗林森林生態系不同林分經營策略之碳儲存效果。臺大實驗林研究報告 18(4):261-242。
- 林國銓、杜清澤、徐嘉君、黃菊美 (2006) 六龜試驗林亞熱帶天然闊葉林地上部碳儲存量之估算。臺大實驗林研究報告 20(3):153-164。
- 林映儒、鄭智馨、曾聰堯 (2011) 台灣平地造林之碳吸存潛能：以長期果園廢耕地與造林地為例。中華林學季刊 44(4):567-588。
- United Nations (1992) The Convention on Biological Diversity (CBD). 線上檢索日期：2025 年 08 月 27 日。取自：<https://conservation.forest.gov.tw/CBD>。

Dixon R. K., A. M. Solomon, S. Brown, R. A. Houghton, M. C. Trexler, and J. Wisniewski

(1994) Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *Science*, 263:185-190.

VI. 外業電子化數據

第一樣區

編號	樹種	科名	胸高直徑 (cm)	樹高 (m)	備註
1-002	九節木	茜草科	4	3.6	下移 10 cm
1-003-1	鵝掌柴	五加科	22.9	13	上移 10 cm
1-003-2			13.2	13	
1-004	九節木	茜草科	3.7	3.6	
1-005-1	九節木	茜草科	3.1	4	
1-005-2					
1-006	九節木	茜草科	5	4	
1-007	薯豆	杜英科	11.2	9.5	
1-008	白匏子	大戟科	15.8	12	
1-009	台灣山桂花	報春花科	3.2	3.6	
1-011	九節木	茜草科	3.3	3.5	
1-012	九節木	茜草科	3.7	4.0	
1-013	九節木	茜草科	3.6	4.3	下移 10 cm
1-014	九節木	茜草科	3.4	4	
1-015-1	鵝掌柴	五加科	45.3	10.8	上移 10 cm
1-015-2			4.5	3.9	
1-016	白匏子	大戟科	18.1	12	
1-017	九節木	茜草科	5.7	4	
1-019	白匏子	大戟科	17.7	12	上移 20 cm
1-020	九節木	茜草科	3.2	3.4	二杈
1-023	九節木	茜草科	3.4	4	
1-024-1	鵝掌柴	五加科	16.9	15	
1-024-2			16.9	15	
1-025	香楠	樟科	3	4.4	歪斜
1-026	鵝掌柴	五加科			線外(名單移除)
1-027	白匏子	大戟科			死亡

第二樣區

編號	樹種	科名	胸高直徑 (cm)	樹高 (m)	備註
2-001	水同木	桑科	8.7	7.5	
2-002	鵝掌柴	五加科	19.9	10.2	歪斜、二杈
			3.7	4.9	
2-003	白匏仔	大戟科	33.9	20.8	歪斜、樹高 2 倍估算
2-004	短柱山茶	茶科	3.0	2.4	二杈
			2.1	2.0	
2-005	白匏仔	大戟科	34.1	19.8	樹高 2 倍估算
2-006	鵝掌柴	五加科	7.1	6.9	
2-007	短柱山茶	茶科	6.4	8.6	
2-008	短柱山茶	茶科	7.2	7.0	
2-009	白匏仔	大戟科	31.0	22.0	
2-010	九節木	茜草科	3.8	4.1	下移 10 公分
2-011	短柱山茶	茶科	8.6	11.8	
2-012	短柱山茶	茶科	3.2	4.5	
2-013	鵝掌柴	五加科	12.9	7.8	

第三樣區

編號	樹種	科名	胸高直徑 (cm)	樹高 (m)	備註
3-001	山红柿	柿樹科	6.4	7.0	
3-002	九節木	茜草科	3.0	3.9	
			2.2	3.9	二杈
3-003	三腳鰲	芸香科	5.1	5.1	上移 30 公分
3-004	白匏仔	大戟科	27.4	14.1	二杈、上移 25 公分
			21.1	14.1	
3-005	長尾尖葉櫨	殼斗科	3.7	5.5	
3-006	白匏仔	大戟科	7.8	9.4	
3-007	山豬肝	灰木科	3.9	6.6	
3-008	白匏仔	大戟科	22.7	14.0	
3-009	水冬瓜	獼猴桃科	4.6	4.4	
3-010	三腳鰲	芸香科	4.5	4.9	
3-011	香楠	樟科	9.9	11.7	
3-012	鵝掌柴	五加科	16.4	11.2	
			5.7	11.2	
3-013	白匏仔	大戟科	7.4	9.5	
3-014	三腳鰲	芸香科	3.9	3.5	斷頭
3-015	白匏仔	大戟科	14.0	11.8	
3-016	山红柿	柿樹科	9.9	7.5	有粗藤下移 40 公分
3-017	白匏仔	大戟科	5.7	6.9	
3-018	山红柿	柿樹科	6.2	7.6	
3-019	杜英	杜英科	15.3	8.3	二杈
			10.6	8.3	
3-020	杜英	杜英科	7.3	7.5	二杈
			5.7	7.5	
3-021	台灣山桂花	紫金牛科	4.2	4.1	下移 10 公分
3-022	山红柿	柿樹科	9.6	9.2	

編號	樹種	科名	胸高直徑 (cm)	樹高 (m)	備註
3-023	短柱山茶	茶科	3.7	4.7	
3-024	短柱山茶	茶科	5.0	6.7	五杈
			3.9	6.7	
			4.2	6.7	
			3.6	6.7	
			4.7	6.7	
3-025	短柱山茶	茶科	4.4	4.6	
3-026	鵝掌柴	五加科	5.0	6.0	
3-027	鵝掌柴	五加科	3.6	5.2	
3-028	狗骨仔	茜草科	6.8	7.1	
3-029	香楠	樟科	3.8	5.2	

第四樣區

編號	樹種	科名	胸高直徑 (cm)	樹高 (m)	備註
4-001	山紅柿	柿樹科	3.9	7.2	
4-002	台灣山桂花	紫金牛科	3.1	5.3	
4-003	三腳鰲	芸香科	3.2	4.3	
4-004	三腳鰲	芸香科	2.3	3.7	二杈、斷頭
			1.5	3.7	
4-005	九節木	茜草科	2.3	3.5	二杈
			1.9	3.5	
4-006	鵝掌柴	五加科	6.7	6.8	
4-007	九芎	千屈菜科	3.2	3.7	
4-008	白匏仔	大戟科	12.6	13.7	
4-009	鵝掌柴	五加科	5.5	4.8	
4-010	杜英	杜英科	3.7	5.5	
4-011	九節木	茜草科	1.7	2.9	四杈
			2.3	2.9	
			2.0	2.9	
			1.5	2.9	
4-012	九節木	茜草科	3.2	2.0	三杈、歪斜
			2.4	2.0	
			2.6	2.0	
4-013	鵝掌柴	五加科	13.9	10.1	二杈
			2.1	3.2	
4-014	杜英	杜英科	11.2	13.8	
4-015	狗骨仔	茜草科	5.0	5.8	
4-016	狗骨仔	茜草科	3.4	3.6	
4-017	杜英	杜英科	10.2	6.6	藤蔓、歪斜
4-018	九節木	茜草科	3.7	4.4	三杈、歪斜
4-019	九節木	茜草科	5.0	3.4	藤蔓、歪斜

編號	樹種	科名	胸高直徑 (cm)	樹高 (m)	備註
4-020	三腳鰲	芸香科	4.3	4.3	嚴重歪斜
4-021	三腳鰲	芸香科	5.7	3.2	嚴重歪斜
4-022	鵝掌柴	五加科	18.1	9.6	
4-023	狗骨仔	茜草科	10.8	7.8	
4-024	九節木	茜草科	3.1	3.6	

第五樣區

編號	樹種	科名	胸高直徑 (cm)	樹高 (m)	備註
5-001	短柱山茶	茶科	6.4	6.3	三杈
			4.2	6.3	
			3.8	6.3	
5-002	鵝掌柴	五加科	3.5	3.9	二杈
			2.8	3.9	
5-003	白匏仔	大戟科	21.9	16.2	頂部歪斜、 樹高 2 倍估算
5-004	鵝掌柴	五加科	6.0	6.0	
5-005	鵝掌柴	五加科	12.5	8.8	
5-006	九芎	千屈菜科	4.2	4.4	
5-007	鵝掌柴	五加科	3.8	3.9	斷頭
5-008	水金京	茜草科	15.1	9.5	
5-009	白匏仔	大戟科	32.8	18.8	樹高 2 倍估算
5-010	杜英	杜英科	11.7	5.9	下移 5 公分、歪斜
5-011	白匏仔	大戟科	25.7	17.0	二杈、頂部歪斜、 樹高 2 倍估算
			13.6	9.0	
5-012	白匏仔	大戟科	29.0	17.8	樹高 2 倍估算
5-013	鵝掌柴	五加科	8.2	5.7	
5-014	香楠	樟科	3.0	4.8	
5-015	鵝掌柴	五加科	4.6	6.5	
5-016	九節木	茜草科	3.0	4.5	
5-017	鵝掌柴	五加科	7.6	7.0	二杈
			4.9	4.8	
5-018	黃肉樹	樟科	3.9	4.6	
5-019	鵝掌柴	五加科	19.1	10.6	
5-020	鵝掌柴	五加科	3.0	3.5	
5-021	鵝掌柴	五加科	21.1	14.6	樹高 2 倍估算

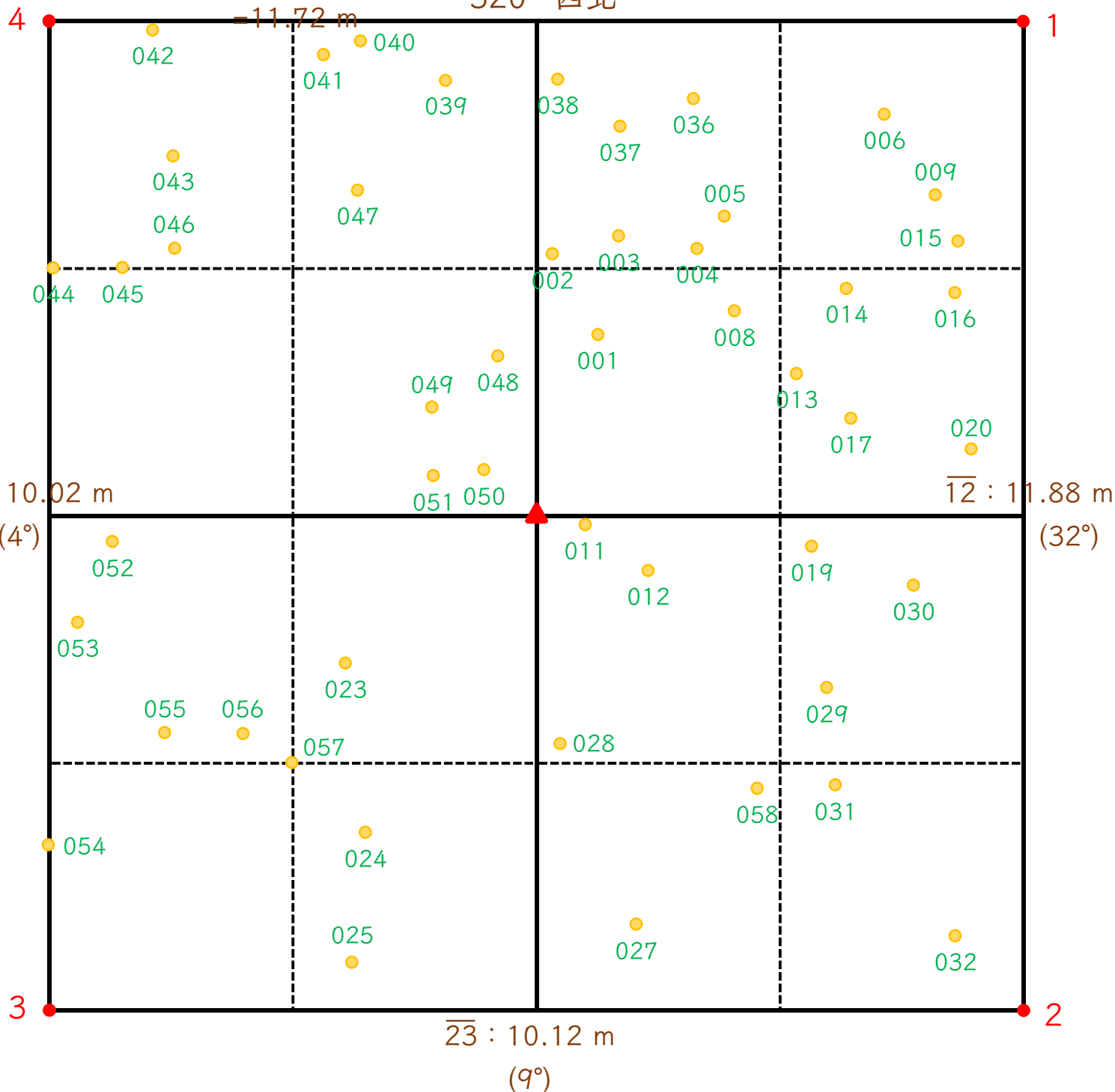
編號	樹種	科名	胸高直徑 (cm)	樹高 (m)	備註
5-022	白匏仔	大戟科	23.5	21.6	
5-023	鵝掌柴	五加科	7.6	7.1	
5-024	白匏仔	大戟科	10.0	10.6	
5-025	水金京	茜草科	7.5	6.2	
5-026	鵝掌柴	五加科	10.5	9.8	

碳儲存樣區相對位置

樣區：第一樣區 填表日期：2025.01.14(樣區)
2025.02.08(樹木)

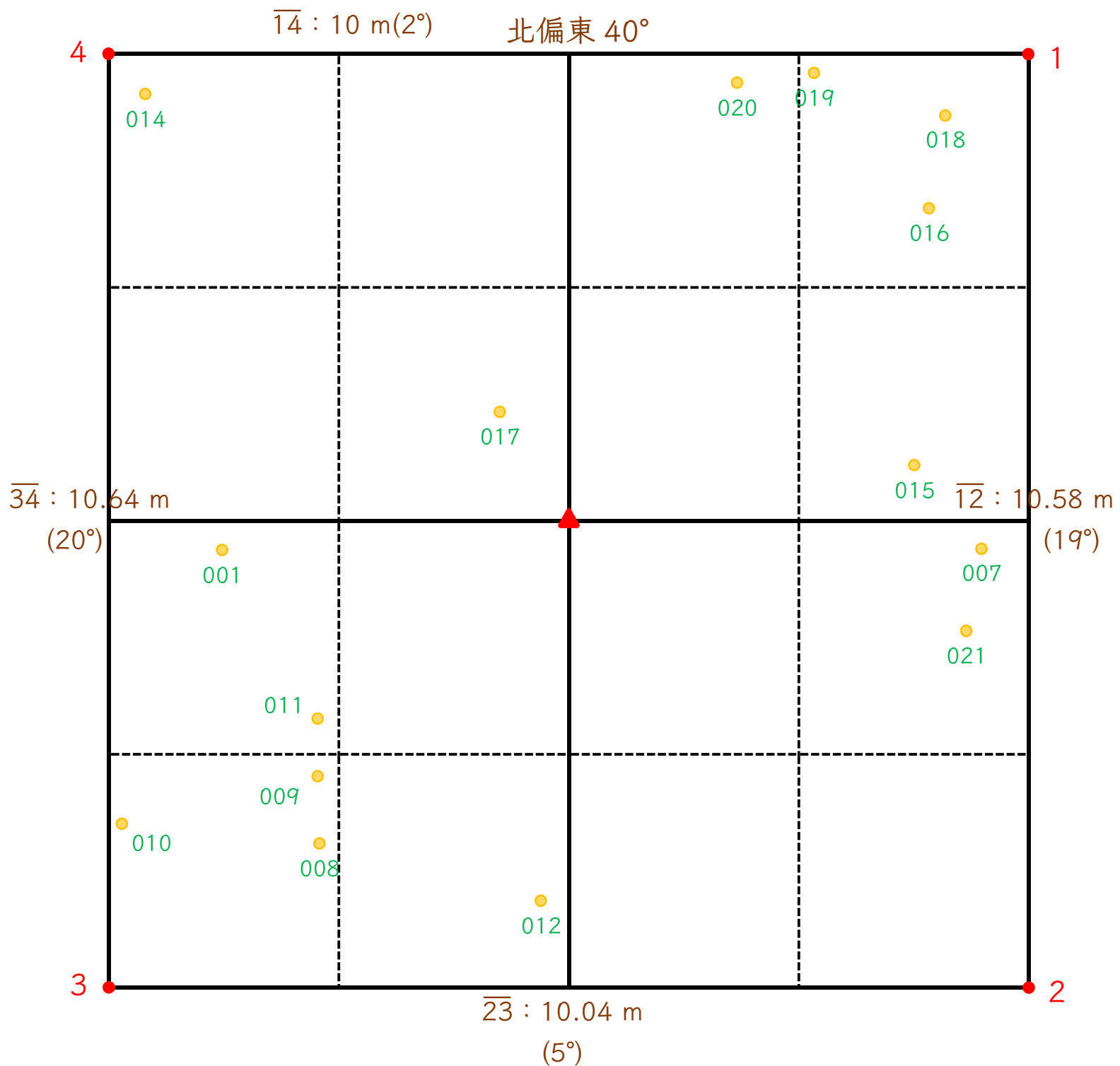
$\overline{14} : 4(0^\circ) + 7.72(39^\circ)$

320° 西北



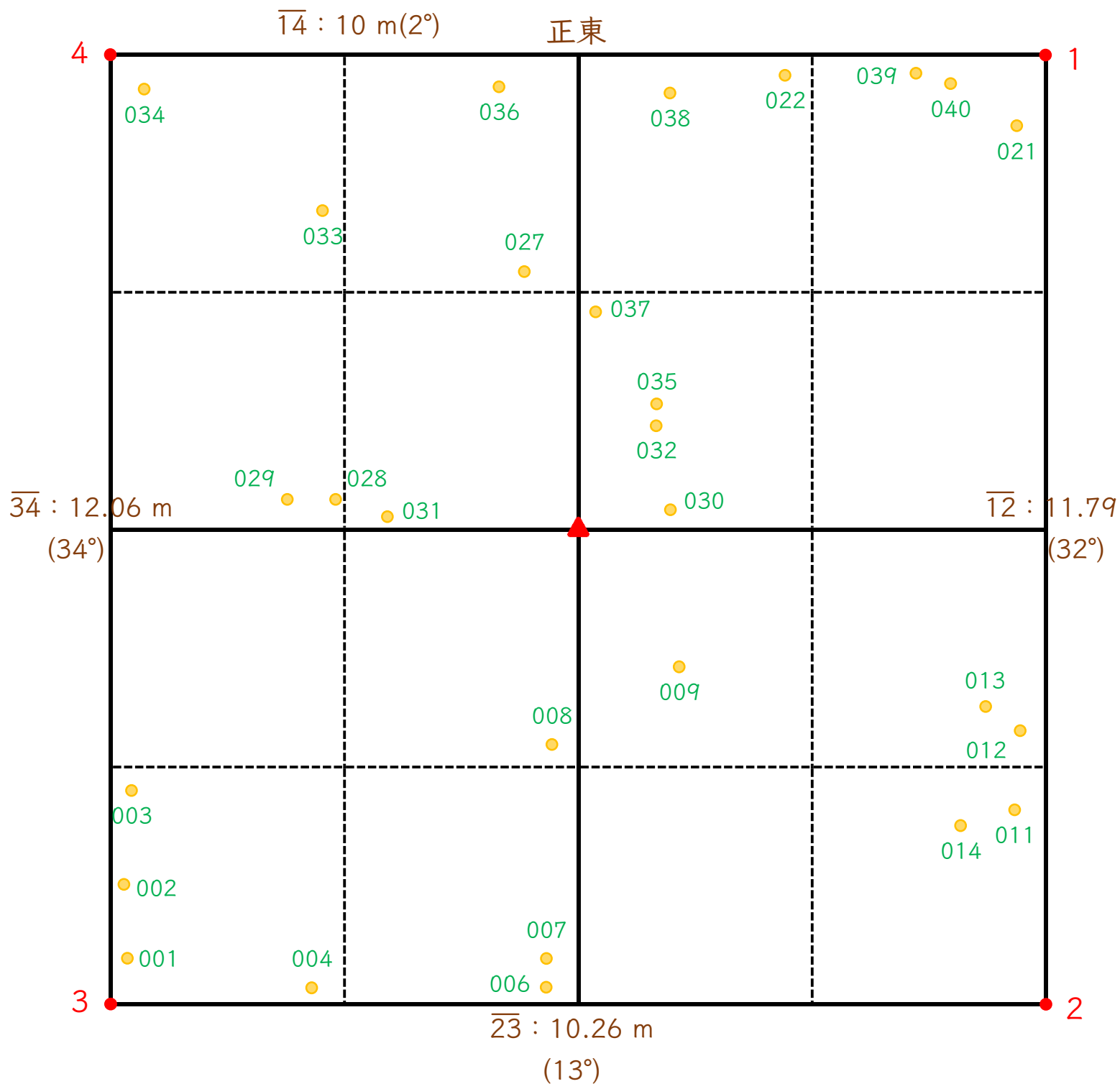
碳儲存樣區相對位置

樣區：第二樣區 填表日期：2025.01.14



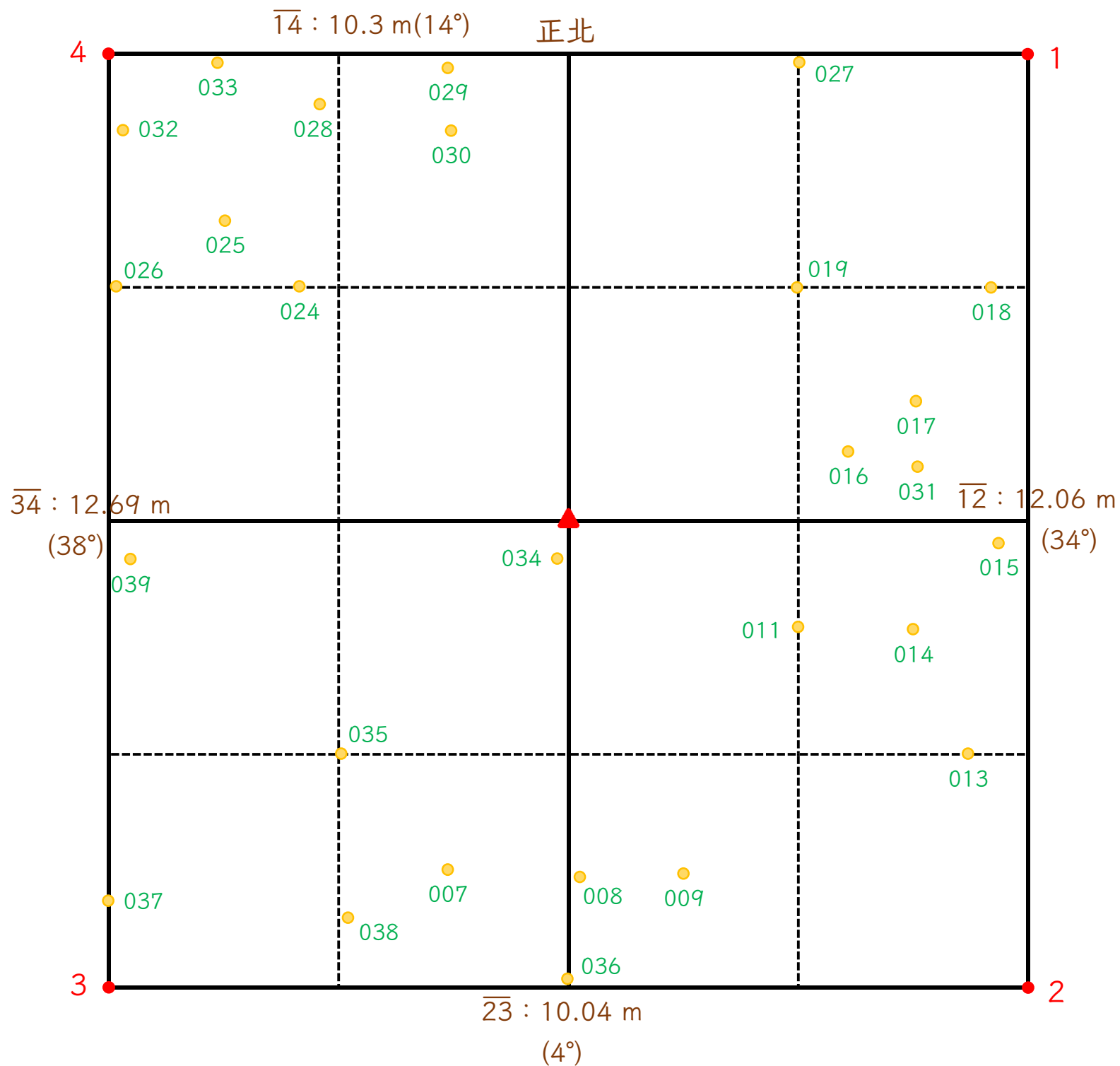
碳儲存樣區相對位置

樣區：第三樣區 填表日期：2025.01.14



碳儲存樣區相對位置

樣區：第四樣區 填表日期：2025.01.13



碳儲存樣區相對位置

樣區：第五樣區 填表日期：2025.01.14

