

人工島の造成林が有する生態系サービスの定量的評価

神戸大学農学研究科 森林資源学研究室

奥山 颯大

【研究背景】

近年の都市人口増加とそれに伴う環境問題の解決のためには、都市の生態系を理解する必要があり、都市部に関連する生態系サービスや、その維持・改善方法が注目され始めている³⁾。生態系サービスとは生態系が持つ多面的な機能からもたらされる便益であり⁴⁾、都市緑地は二酸化炭素の吸収・固定、大気汚染の緩和、微気候の調整、騒音の低減、雨水の排水、レクリエーション、生物多様性の保全などの多くの生態系サービスをもたらすことが知られている¹⁾。また、これらの機能は近年取り組まれているSDGs⁶⁾やEco-DRR（生態系を活用した減災・防災）⁵⁾といった観点からも重要である。

生態系サービスの測定は様々な天然林や緑化地で行われているが、天然林や陸地の緑化地と異なる森林構造を持つ人工島の緑化地ではあまり行われていない。大阪湾では、六甲アイランド南を始めとした人工島の埋め立てや、神戸空港島を始めとした人工島の整備が計画・進行している^{8,10)}。そのため、人工島における造成林が有する生態系サービスを調査・研究し、得られた知見を活かしていくことが人工島を始めとした港湾部の街づくりの観点からより重要になると考えられる。そこで、本研究では、六甲アイランドに造成された森林が有する生態系サービスを定量的に評価するために、様々な生態系サービスのうち二酸化炭素吸収能力と騒音低減能力について調査を行った。

【調査地・調査方法】

本研究は神戸港の人工島、六甲アイランドにある六甲アイランド公園内の東側の樹林にて行った。六甲アイランドには中央部の都市機能ゾーンと外周部の港湾機能ゾーンがあり、それを隔てる幅30~100m、高さ5~15mの丘状の連続した緑地は「シティヒル」と呼ばれている¹³⁾。本研究地である六甲アイランド公園はシティヒルの北端の一部を形成しており、公園内の東側には南北方向に約45m、東西方向に約380m、面積約1.7m²の樹林が造成されている(図1)。国土地理院の航空写真から1989年までには現在の樹林が造成されていることが確認でき、林齢は約35年であると推定される。樹林内の地形は南よりを頂上とした階段状であり、東西方向に連続している(図2)。

本研究では、昨年度樹林内に設置した南北40m×東西20mの3つの調査プロットの中心部に南北40m×東西5mの小プロットを設置した(図1)。毎木調査は2023年6月19日から2024年1月17日までの期間で計13回行った。調査項目は、樹種の同定、胸高(1.3m)周囲長と樹高の測定である。騒音調査には騒音データロガーDT-173(CEM社)を用いて測定した。騒音計の設置位置は環境省基準に基づき地表から1.2mの位置で、測定モードはFAST、A特性重みづけとし、10秒に1回計測した。北側の道路に面する林縁を0m地点、公園側の林縁を40m地点とし、林内には10mおきに設置した(図2)。計測は2023年11月14日から2024年1月30日にかけて行った。

【解析方法】

六甲アイランド公園内の樹林の二酸化炭素固定量を把握するため、昨年度と今年度の毎木調査の結果から、日本国温室効果ガスインベントリ報告書¹¹⁾をもとに、1haあたりの累積炭素固定量(t-C/ha)を算出した。炭素固定量 C は以下の式で求められる。

$$C = \sum_k \{V_j \times D_j \times BEF_j \times (1 + R_j) \times CF\}$$

V は材積(m³)、 D は容積密度(t-d.m./m³)、 BEF はバイオマス拡大係数、 R は地上部に対する地下部の比率、 CF は乾物重当たりの炭素含有率(t-C/t-d.m.)、 j は樹種である。個体ごとの樹齢の測定は困難であるため、バイオマス拡大係数については、主幹の胸高周囲長が10cm以上の個体は植栽時から生存していると仮定し、林齢20年以上の係数を、主幹の胸高周囲長が10cm未満の個体は林齢20年未満の係数を用いた。材積計算には、森林総合研究所の幹材積計算プログラムを用いた。ナワシログミ、アベリアの二樹種のうち、胸高周囲長が10cm未満の個体は株立ち状で主幹と樹形の判別が困難であるため、樹高を2mと仮定して計算した。

樹林の騒音低減能力の評価には、計測期間中のうち、全ての計測地点で24時間のデータが計測できた日(2023/11/26,27,12/21,23,26,2024/1/13)のデータを用いた。1時間ごとの等価騒音レベルを用いて統計学的解析を行った。等価騒音レベル L_{Aeq} は測定時間内の騒音レベルのエネルギーを平均したもので、騒音の基準値として用いられ、以下の式で求められる。

$$L_{Aeq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right)$$

T は計測期間、 L_n は騒音レベル(dB)である。平日と休日で林縁に面する道路の交通量が変化し、騒音発生パターンが異なることが予測されたため、平日と休日のそれぞれ3日ずつのデータを用いて解析を行った。

【結果・考察】

調査地における全体の出現種数は35種であり、個体密度は11520.8個体/ha、胸高断面積合計は43.14m²/haであった(図3)。

調査地における材積量は140m³/ha、炭素固定量は69.5t/ha、二酸化炭素吸収量は254.9t/haであった。公園内東側樹林の面積は約1.7haであるため、植栽後35年間で、238m²の材積の蓄積があり、118.2tの炭素を固定し、433.3tの二酸化炭素を吸収したと推定された。しかし、今回の計算方法では主幹のデータのみを用いており、株立ちの材積量を算入できていないため、二酸化炭素吸収量は推定値よりも大きくなると考えられる。

森林のバイオマス生産量は林齢と共に低下し、バイオマス蓄積量は頭打ちとなるため⁷⁾、より多くの二酸化炭素を吸収するためには定期的な小面積皆伐を行い、樹林の世代交代を図るとともに、得られた木材を有効利用することで炭素を固定し続けることが重要であると考えられる。

騒音計測の結果、平日ではそれぞれの計測地点において、計測日ごとでほぼ分布に違いは見られなかったが、休日では全ての計測地点において計測日ごとにばらつきが見られた。(図4)そのため、今後の騒音計測の際には、データのばらつきによる影響を小さくするため、特に休日での計測回数を増やすべきであると考えられた。

平日と休日それぞれ道路からの距離と L_{Aeq} の関係を解析した結果、どちらも道路側が高く、公園側で低かった(図5)。平日では道路から0m~30m地点にかけては0m地点が10,30m地点より L_{Aeq} が高くなったが、距離による傾向は見られず、休日では0m~30m地点にかけて有意差は無かった。平日と休日のどちらも公園側の40m地点では、0m~30m地点までと比較して L_{Aeq} は低かった。緑地帯では距離により騒音レベルは減衰していくことが先行研究で知られているが²⁾、今回の測定では異なる結果が得られた。40m地点は道路側(北)から緑地帯の頂上を超えた地点であるため(図2)、樹林よりも地形が騒音低減に与える影響が大きいものと考えられた。

道路側と公園側のそれぞれの林縁において、平日と休日のそれぞれの L_{Aeq} 分布を解析した結果、道路側の0m地点では平日の騒音レベルが休日と比較して高かったのに対し、公園側の40m地点では平日・休日による差は見られなかった(図6)。このことから、平日の方が発生する騒音が大きいものの、公園側では休日と同程度の騒音レベルまで減衰されていることが明らかになった。

最後に環境省の基準に基づき、公園側の昼間(8時~22時)と夜間(22時~翌8時)の時間帯において、平日と休日のそれぞれのdBA(A特性重みづけされた騒音レベル)の分布を解析した。その結果、環境省の住宅地における騒音基準について、 L_{Aeq} を用いて昼間では55dB以下となっているのに対して、平日の昼間の L_{Aeq} は55.5dB、上位5%の騒音レベルは58.9dBであり、休日の昼間の L_{Aeq} は54.9dB、上位5%の騒音レベルは58.7dBであった。一方夜間の基準値は45dB以下となっているが、平日の夜間の L_{Aeq} は49.0dB、上位5%の騒音レベルは52.3dBであり、休日の夜間の L_{Aeq} は48.1dB、上位5%の騒音レベルは51.4dBであった(図7)。そのため、公園側では昼間ではおおむね基準値と同等まで騒音は減衰されているものの、夜間は基準値以上であることが明らかになった。一方で、風によって樹木の葉が擦れる音が50dB程度まで達することがあり¹²⁾、また樹木が発生させる音が騒音をかき消すことも知られているため、一概に本研究地における騒音低減能力が不十分であるとは言い切れない。

今後の管理、整備方針については、自動車、特に港湾部で多く見られる大型車両が発生させる騒音は周波数が低く、周波数が低い騒音の低減には葉の大きな樹種が有効であるとされているため¹⁶⁾、より騒音低減能力を高めるためにはマテバシイやユズリハ、カシワといった、葉が大型で耐潮性のある樹種¹⁴⁾への植え替え、導入が望ましいのではないかと考えられる。また、膨軟な森林土壌は低周波の騒音を低減する能力が大きいとされているため¹⁶⁾、樹木だけでなく、土壌も含めた緑化地全体の包括的な管理、整備計画が必要であると考えられる。

【今後の展望】

騒音低減には樹林の樹種、胸高断面積合計(BA)、立木密度¹⁵⁾、視野の距離、樹林の幅²⁾が影響するとされているため、今後、樹林内での様々な箇所で長期的に騒音計測を行い、森林構造や計測日の風速等との関係や騒音低減能力の季節変化を明らかにし、人工島の緑地帯の騒音低減機能についてのさらなる知見を得る予定である。

【参考文献】

- 1) Bolund P, Hunhammar S (1999) Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29, 293-301
- 2) Fang C-F, Ling D-L (2003) Investigation of the noise reduction provided by tree belts. *Landscape and Urban Planning*, 63, 187-195.
- 3) Gaston KJ (2010) Urban ecology. *Urban Ecology*, 1-9.
- 4) Millennium Ecosystem Assessment (2005) *Ecosystems and Human Well-Being*.
- 5) UNDRR (2020) *Ecosystem-Based Disaster Risk Reduction: Implementing Nature-based Solutions for Resilience*
- 6) United Nations (2015) *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*
- 7) 石井 弘明, 徳地 直子, 榎木 勉, 名波 哲, 廣部 宗 (2019) *森林生態学*. 朝倉書店
- 8) 環境省 瀬戸内海の環境情報
https://www.env.go.jp/water/heisa/heisa_net/setouchiNet/seto/kankyojoho/shakaikeizai/01umetate-1.htm (2024/2/8 参照)
- 9) 環境省 騒音に係る環境基準について <https://www.env.go.jp/kijun/oto1-1.html>
(2024/2/8 参照)
- 10) 神戸新聞 (2023) 新ターミナルの概要発表 「海に浮かび、森を感じる」構造、隣接地に緑地も. 神戸新聞 NEXT, <https://www.kobe-np.co.jp/news/sougou/202305/0016335840.shtml> (2024/2/8 参照)
- 11) 国立環境研究所 (2023) *日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2023 年度 4 月版*
- 12) 小松 正史, 加藤 徹, 桑野 園子, 難波 精一郎, 近藤 明, 井上 義雄, 山口 克人 (2000) 樹木葉擦れ音の物理特性. *騒音制御*, 24, 268-276
- 13) 佐藤 憲司 (1992) 六甲アイランド CITY の景観計画. *コンクリート工学*, 30, 84-87
- 14) 新田 伸三 (1975) *環境緑地②—植栽の理論と技術*. 鹿島出版会
- 15) 野堀 嘉裕・金田 尚美 (2008) ブナ二次林の音場環境の解析. *山形大学紀要 (農学)*, 15, 181-194
- 16) 三澤 彰 (1980) 植生地における騒音減衰に関する研究. *芝草研究*, 9, 155-174

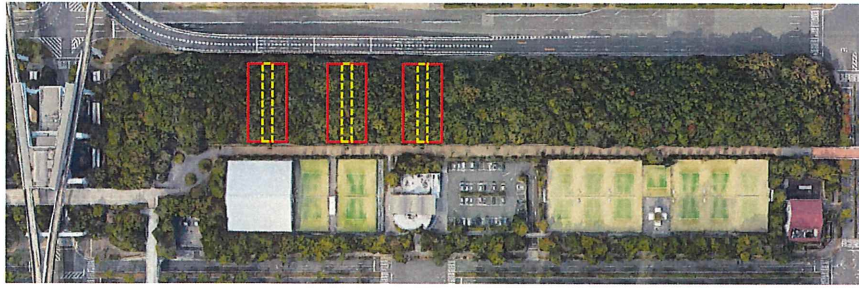


図1 調査地全体と調査プロット

赤実線が昨年度作成したプロットを，黄点線が今年度作成したプロットを示す

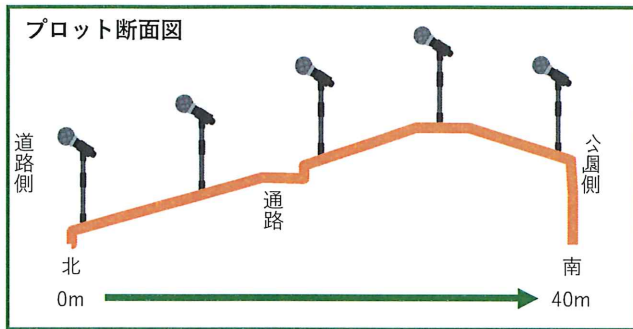


図2 プロット断面と設置した騒音計

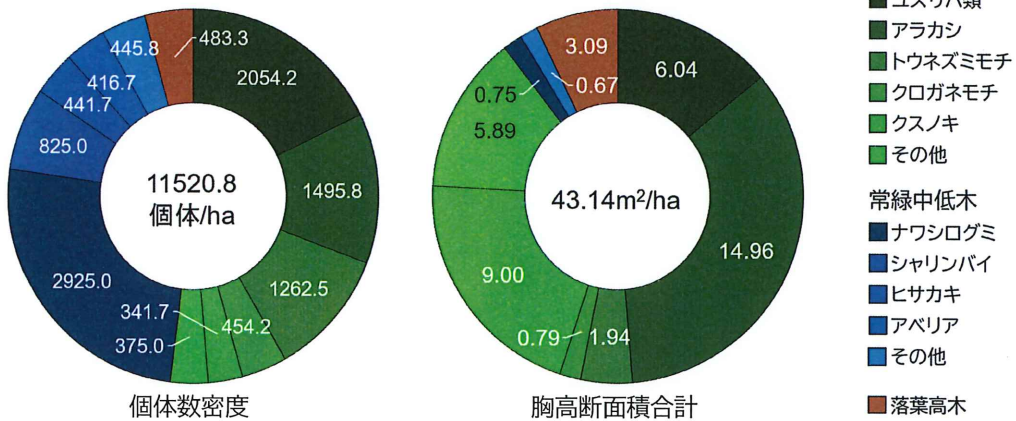


図3 個体数密度と胸高断面積合計 (BA)

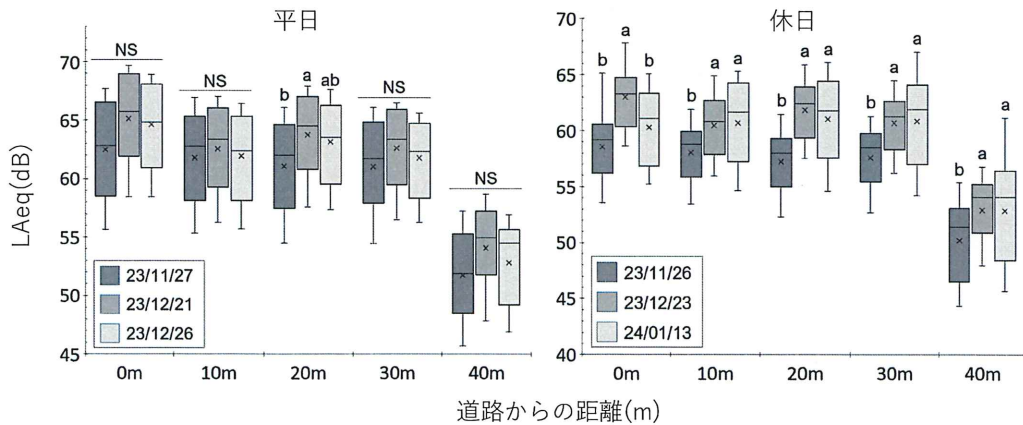


図4 平日・休日の各日の L_{Aeq} 分布

異なるアルファベットは同じ距離区分内において5%水準で有意であることを示す

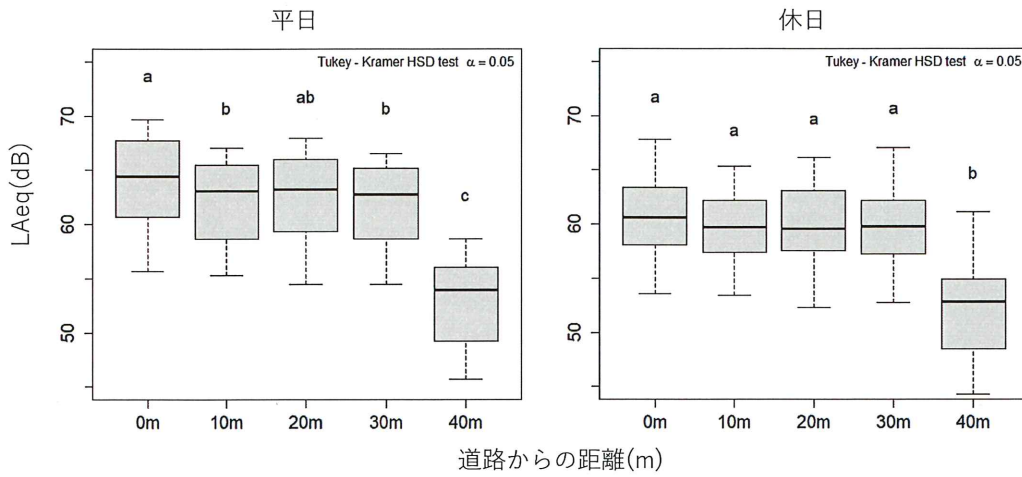


図5 平日と休日の距離と L_{Aeq} 分布の関係

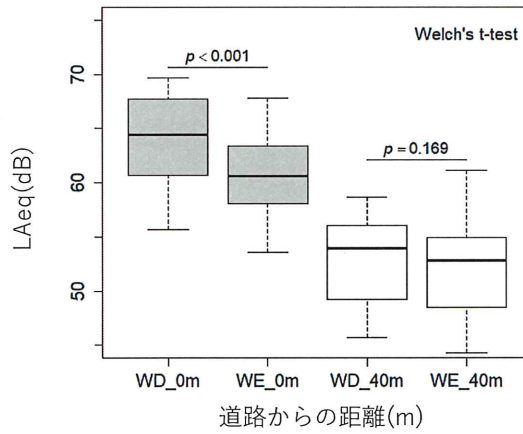


図6 林縁における平日と休日の L_{Aeq} 分布
WDが平日をWEが休日を示す

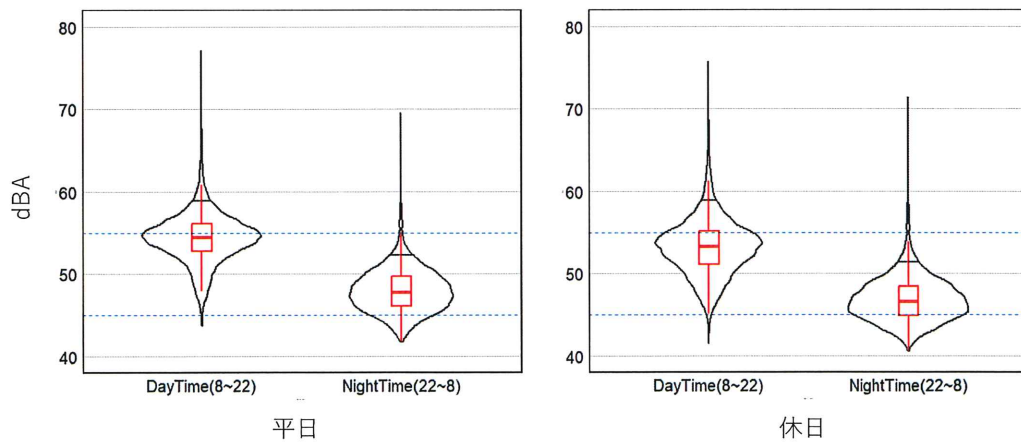


図7 40m地点における平日と休日の昼間と夜間のdB分布
赤枠が箱ひげ図を、黒曲線が分布を、黒実線が上位5%の値を示す
青点線は昼間の基準値55dBと夜間の基準値45dBを示す