

人工島緑化地の管理・設計手法確立に向けた生態学的特徴の解明

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】

日本では、都市域における人口集中への対策や廃棄物の処理等を目的として、人工島を始めとする埋立地が造成されてきた。近年では、環境問題への対策を目的として緑化地が整備されている¹⁰⁾。都市緑地は様々な生態系サービスをもたらすだけでなく¹⁾、天然林に似た構造を持つ都市緑地は生物多様性が高く^{2,5)}、絶滅危惧種の生息地となりうる³⁾。生物多様性の維持のためには、復元された生息地を含む生態系ネットワークが重要であり⁷⁾、都市域に自然性の高い緑地を創出することは生態系の復元を目指す Nature positive⁹⁾に貢献することができる。

陸地内の緑化地では、現在までに様々な長期的な追跡が行われ、外来種による侵略、林冠の単層化、低木層の多様性の低下、植生の偏向遷移などの問題が指摘されている^{4,8)}。一方、人工島緑化地は海上に孤立し、都市化による緑地の分断により在来種の種子散布が妨げられ、人工的な土壌や潮害により樹木の成長が阻害されるなど、陸地の緑化地と異なる生態学的特徴を持つ可能性がある。人工島の緑化地は港湾部の開発と共に今後も増加すると予想され、神戸市内においても六甲アイランド南の造成や、神戸空港島の再開発によって緑化地が今後も造成される^{12,13)}。今後生態学的な評価が行われておらず、管理・設計方針が未確立である。そこで、本研究では、人工島緑化地の生態学的特徴を人工島緑化地同士や天然林との植生比較を行うことで解明し、人工島における緑化地の管理や設計方法の検討を行うことを目的とした。

【調査地・調査方法】

本研究では、神戸港の人工島内に造成された、六甲アイランド公園（以下、六アイ公園：植栽後約35年）、ポートアイランド南公園（以下、ポーアイ南公園：植栽後約40年）、ポートアイランド中公園（以下、ポーアイ中公園：植栽後約45年）、ポートアイランド西緑地（以下、ポーアイ西緑地：植栽後約16年）、神戸空港島西緑地（以下、空港西緑地：植栽後約20年）にて調査を行った(図1)。各公園・緑地内に設置した調査プロットにおいて毎木調査を実施し、樹高1.3m以上の全個体について樹種を記録し、胸高直径と樹高を測定した。六アイ公園、ポーアイ南公園、ポーアイ中公園は海岸から300m以上離れており、人工島の中心部に位置しているのに対して、ポーアイ西緑地、空港西緑地は海岸と接した場所に位置している。

また、兵庫県内の天然記念物である、神戸市西区の太山寺の照葉樹林と二次林、西宮神社の社叢林の毎木調査データを植生比較用の天然林のデータとして用いた(図1)。

【解析方法】

毎木調査の結果をもとに、個体数密度と面積当たり胸高断面積(BA)の2つの指標について、個体数データに対する Jaccard 指数を用いて、調査地ごとの非類似度指数を算出した。nMDS(非計量多次元尺度法)を用いて、グラフ上の座標を決定することで、植生の類似度を評価した。nMDS では、グラフ上の座標の位置に近いほど、植生が類似していることを示す。また、nMDS の結果の座標と有意に相関のある樹種を抽出することで、調査地ごとの植生と樹種の関係性を評価した。

また、毎木調査の胸高直径と樹高のデータから、調査地ごとに林冠が取りうる最大林冠高(H_{max})を以下の式から推定した。

$$1) H - 1.3 = H_{converg.}(1 - \exp(-aD^b))$$

$$2) H_{max} = H_{converg.} + 1.3$$

ここで、 H_{max} , $H_{converg.}$, a , b は変数、 H は樹高、 D は胸高直径である。

【結果・考察】

全ての調査地での nMDS を行った結果、有効な結果が得られなかったため、人工島同士での nMDS を行った。nMDS の結果から、人工島の緑化地は六アイ公園、ポーアイ南公園・中公園グループ、ポーアイ西緑地・空港島西緑地グループの3つに分類された(図2)。六アイ公園の個体数密度はシャリンバイ、トベラ、ナワシログミと有意な相関関係が、ポーアイ南公園・中公園グループの BA はクスノキと有意な相関関係が、ポーアイ西緑地・空港島西緑地グループの BA はクロマツと有意な相関関係が見られた(図2)。

六アイ公園と天然林を比較すると、植生は類似しておらず、六アイ公園の個体数密度は神戸の二次林でみられるアラカシやヤマモモや、海岸林に見られるシャリンバイと有意な相関があり、一方、太山寺は常緑低木であるクチナシと有意な相関がみられた(図3)。

ポーアイ南公園・中公園グループと天然林を比較すると、植生は類似しておらず、ポーアイ中公園・南公園の個体数密度は海岸林に見られるトベラと有意な相関があり、一方、太山寺の個体数密度や BA は神戸の極相種であるウラジロガシや、在来種の常緑低木であるカナメモチ、ヒイラギ、ヒサカキなどと有意な相関がみられた(図4)。

ポーアイ西緑地・空港西緑地と天然林を比較すると、植生は類似しておらず、ポーアイ西緑地・空港西緑地の BA はクロマツと、西宮神社の個体数密度や BA は外来種であるトウネズミモチ、クスノキや植栽種と考えられるモッコク、クヌギと、太山寺は神戸の極相種であるウラジロガシや、在来種の常緑低木であるカクレミノ、サカキと有意な相関がみられた(図5)。

人工島緑化地では高木種が主な植栽種であり、低木種ではウバメガシやヤブツバキのような一定の樹種のみが植栽されているため、天然林の太山寺で様々な在来の常緑低木種との相関がみられたと考えられる。一方、トベラ、シャリンバイ、クロマツのような樹種は海岸林で自生する樹種であり、六甲山中であまり見られないことから、人工島緑化地との相関がみられたと考えられる。

推定最大林冠高は天然林で小さい範囲に収束し、太山寺の照葉樹林が最も大きい値を取った。一方、人工島緑化地は六アイ公園を除き小さい範囲に収束しなかった。人工島中心部の緑化地では、六アイ公園では樹高成長が強く制限されおり、港湾部では潮風が樹木の成長を阻害すると指摘されているが¹¹⁾、ポーアイ南公園・中公園では、天然林と同程度まで林冠が成長する可能性が示された。人工植栽基盤では、土壌の硬さや排水性の不良により樹木の成長が制限されることがあると指摘されており⁶⁾、六アイ公園の植栽基盤の状態がポーアイ南公園・中公園よりも悪いのではないかと考えられた。

海岸部の緑化地では、ポーアイ西緑地、空港西緑地は植栽後の年数が経過していないため、今後の成長次第ではあるが、現状では天然林と同程度まで成長していなかった。条件の悪い人工植栽基盤や、潮風は植物の成長を阻害することから^{6,11)}、既に樹高成長が制限されている可能性があり、今後も海岸部の緑化地においては継続的な生育状態の追跡が必要であると考えられた。

【今後の管理・設計手法の検討】

緑化地グループと天然林の比較から、太山寺は神戸の極相種と、様々な在来の常緑低木と相関があった一方、西宮神社は外来種や植栽種と相関があったことから、今後、神戸市内において人工島を含めた様々な緑地を造成する際には、動物を含む在来種の保全のために、太山寺のような植生を目標として設定することが良いのではないかと考えられる。

人工島中心部の六アイ公園、ポーアイ南公園・中公園の植生を太山寺の照葉樹林のような天然林に近づけ、生態系機能を高めるためには、極相種のコジイやウラジロガシ、様々な在来の常緑低木を導入する必要があると考えられる。コジイやウラジロガシは重力によって種子を散布することから、人為的にこれらの樹種を植栽するのに加え、様々な在来の常緑低木を一度に導入するために、太山寺の土壌の撒きだしによるシードバンクの活用などを行う必要があると考えられた。

人工島中心部の緑化地は、推定最大林冠高より、潮風の影響が小さそうであることから、六アイ公園については土壌改良による生育環境の改善が必要であるが、極相種の植栽や、土壌の撒きだしにより、太山寺のような植生を目指すことで、自然性を高かめることができると考えられた。

一方、海岸部の緑化地は、潮風や悪条件な植栽基盤により樹高成長が制限されている可能性があり、植生は六甲山中で見られないクロマツと相関があり、また、神戸の自然林に自生しないウバメガシも多く見られることから、六甲山の極相林である太山寺とは異なる、別の自然性の高い植生を目指すべきではないかと考えられた。兵庫県内において、クロマツやウバメガシが自生する天然林として、淡路島の南部や家島諸島、姫路市の一部にはトベラ-ウバメガシ群集があり、高木層にクロマツ、低木層にウバメガシ、トベラ、マサキ、ハマヒサカキ等がみられる¹⁴⁾。そのため、海岸部の緑化地については、生態系機能を高めるために、このような植生に誘導していくのが良いのではないかと考えられた。

【参考文献】

- 1) Bolund, P., Hunhammar, S. (1999) Ecosystem services in urban areas. *Ecol. Econ.*, **29**, 293–301. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00013-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00013-0)
- 2) Campos-Silva, L.A., and Piratelli, A.J. (2021) Vegetation structure drives taxonomic diversity and functional traits of birds in urban private native forest fragments. *Urban Ecosyst.*, **24**, 375-390. <https://doi.org/10.1007/s11252-020-01045-8>
- 3) Imanishi, A., Kitagawa, C., Nakamura, S. Hashimoto, H., Tabata, K., Imanishi, J., Murakami, K., Morimoto, Y., Miyamoto, M. (2007) Changes in herbaceous plants in an urban habitat garden in Kyoto city, Japan, 9 years after construction. *Landscape Ecol. Eng.*, **3**, 67-77. <https://doi.org/10.1007/s11355-007-0021-4>
- 4) Morimoto, Y., Njoroge, J.B., Nakamura, A., Sasaki, T., Chihara, Y. (2006) Role of the EXPO '70 forest project in forest restoration in urban areas. *Landscape Ecol. Eng.*, **2**, 119-127. <https://doi.org/10.1007/s11355-006-0007-7>
- 5) Nason, L.D. and Eason, P.K. (2023) Urban yards as potential conservation space: large, diverse gardens may be valuable resource patches for butterflies. *Urban Ecosyst.*, **26**, 1573-1588. <https://doi.org/10.1007/s11252-023-01406-z>
- 6) Ono, K., Noguchi, H., Noguchi, K., Imaya, A., Ugawa, Y., Komoriya, A., Tachibana, R., Murakami, H., Kida, K., Kawahigashi, M. (2021) Soil hardness regulates the root penetration by trees planted on anthropogenic growing bases in coastal forests in Japan: new endeavors to reforest the coastal disaster prevention forests with high resilience for tsunami. *J. Soils. Sediments*, **21**, 2035-2048. <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02788-9>
- 7) Sandström, U.G., Angelstam, P., Khakee, A, P. (2006) Urban comprehensive planning – identifying barriers for the maintenance of functional habitat networks. *Landsc. Urban Plan.*, **75**, 43-57. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.11.016>.
- 8) Sasaki, T., Ishii, H., Morimoto, Y. (2018) Evaluating restoration success of a 40-year-old urban forest in reference to mature natural forest. *Urban For. Urban Greening.* ,**32**, 123-132. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.04.008>
- 9) United Nations (2021) Kunming-Montreal Global biodiversity framework
- 10) 遠藤 毅 (2004) 東京都臨海域における埋立地造成の歴史. 地学雑誌, 113, 785-801. https://doi.org/10.5026/jgeography.113.6_785
- 11) 沖中 健, 越智 正樹, 山本 英, 小林 達明 (1998) 臨海埋立地における街路樹の潮風害. 千葉大園学報, **41**, 109-120.
- 12) 環境省 “六甲アイランド南建設事業の概要” <https://www.env.go.jp/press/files/jp/2601.html> (参照: 2025/1/28)
- 13) 神戸新聞 NEXT “神戸空港、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” <https://www.kobe-np.co.jp/news/sougou/202305/0016335840.shtml> (参照 2025/1/28)
- 14) 宮脇 昭 (1984) 日本植生誌 5 巻 近畿. 至文堂, p140.

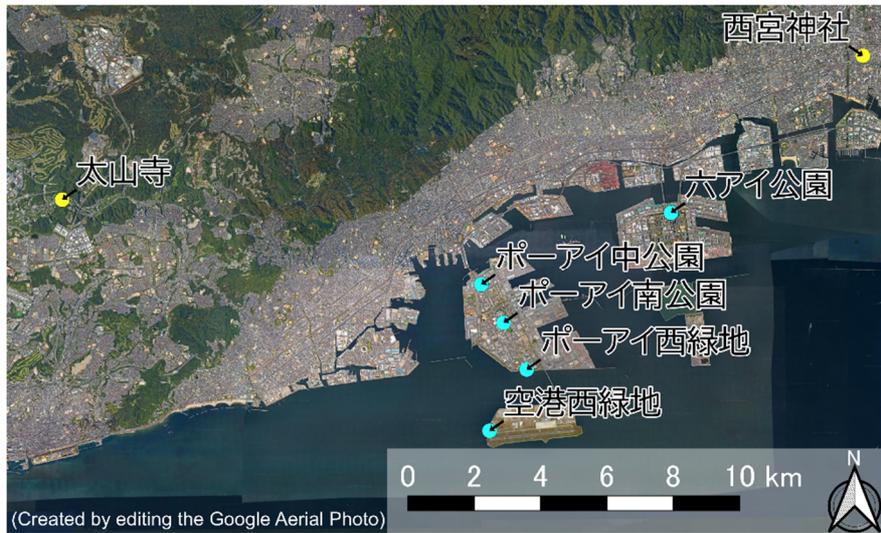


図1 調査地

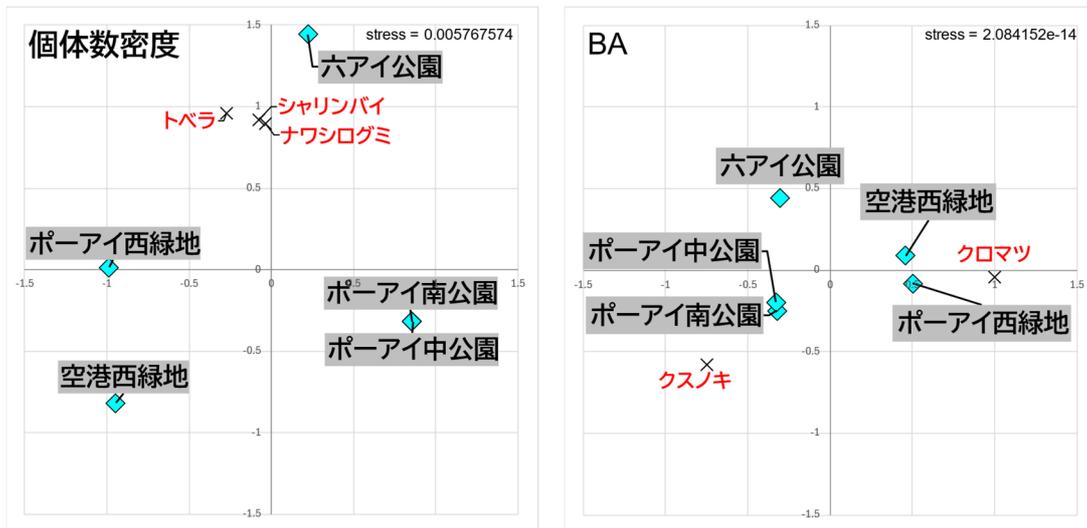


図2 人工島緑化地同士の植生比較

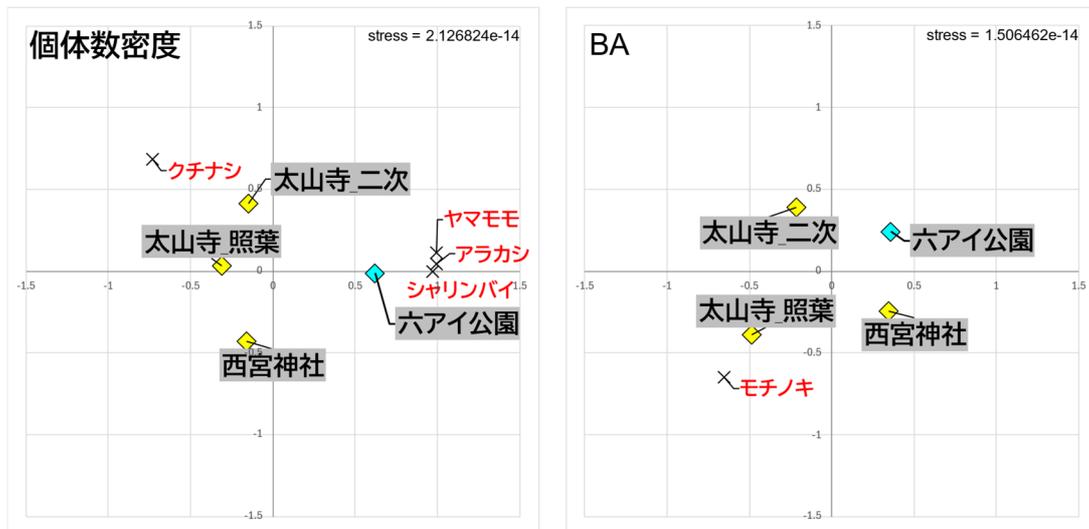


図3 六アイ公園と天然林の植生比較

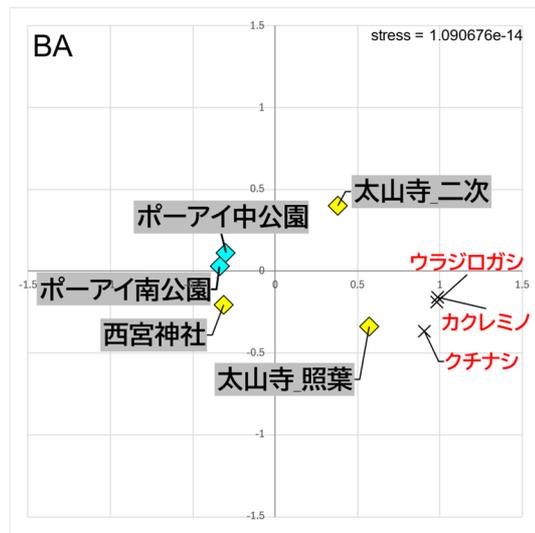
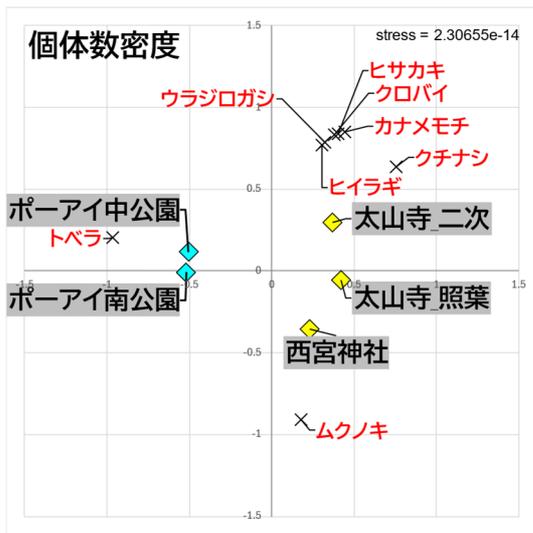


図4 ポーアイ南公園・ポーアイ中公園と天然林の植生比較

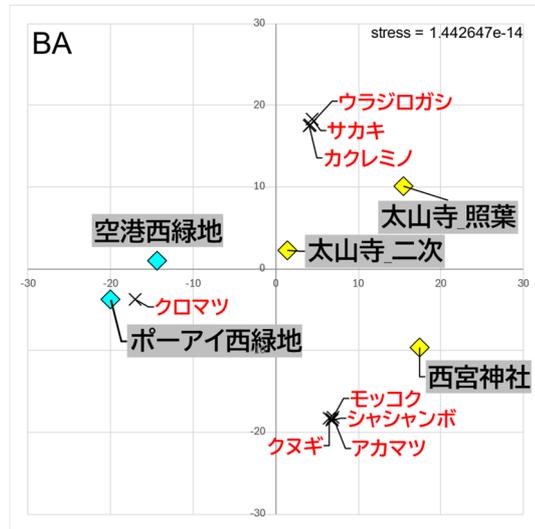
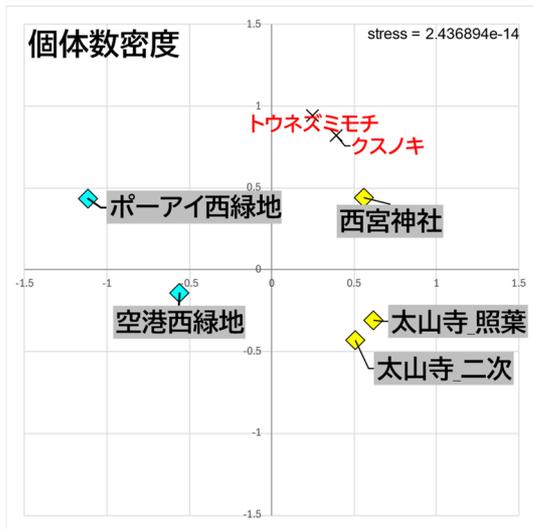


図5 ポーアイ西緑地・空港西緑地と天然林の植生比較

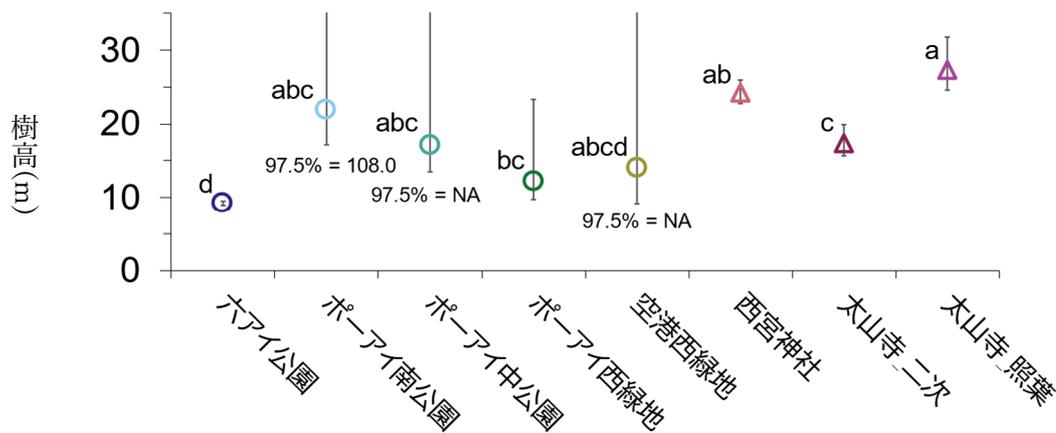


図6 各調査地の推定最大林冠高と95%信用区間
異なるアルファベットは信頼区間が重複していないことをあらわす