国営みちのく杜の湖畔公園における GIS を使用した 林床植物の分布予測による自然資源評価

Evaluation of the Natural Resources at Michinoku Lakewood National Government Park Using GIS to Predict Distribution of Forest Floor Plants

井本 郁子* 大江 栄三* 藤原 宣夫** 畠瀬 頼子***, **** 小栗ひとみ***
百瀬 浩***** 宇津木栄津子* 名取 睦****

Ikuko IMOTO Eizo OE Nobuo FUJIWARA Yoriko HATASE Hitomi OGURI
Hiroshi MOMOSE Etsuko UTSUGI Mutsumi NATORI

Abstract : In Michinoku Lakewood National Government Park, the potential habitats of the several herbal species that found commonly in the forest floor and were preferred by park users were predicted from topographical factors and route census data. Potential-Habitat maps of the species were deduced from the analysis of the relations between the plant distributions along the census routes and the topographical factors (slope steepness, slope direction, hill-shade, and topographic wetness index TWI) and DEM(Digital Elevation Model) with GIS (Geographical Information System). Species richness and diversity in small watershed areas were evaluated with the Potential-Habitat maps thus obtained. The effective maintenance scheme of the forest floor can be evaluated by the potential habitats and the steepness of the site, and the areas in the park were classified with these criteria.

Keywords: GIS, terrain analysis, forest floor plant, natural resources, potential habitat, forest management

キーワード: 地理情報システム, 地形解析, 林床植物, 自然資源, 生育適地, 森林管理

1. 研究の背景と目的

丘陵地を利用した公園は、里山といわれる地域に位置することが多く、薪炭林としての利用の中で維持されてきた豊かな自然資源の活用が期待されている。そこで、公園整備にあたってはこのような自然の活用と保全が重要な課題として考えられているが、そのためには、自然資源の分布の把握と生態学的な理解に基づいた評価と計画が必要と考えられる¹⁾²⁾³⁾。しかし、大規模な公園や樹林地では林床植物の分布情報が、多数の種を対象に、全域にわたって整備されていることは少ない。一方で、林床植物と立地環境については、水分、栄養分、土壌、地形などの環境との関連が研究されており、土地環境と林床植物との密接な関係が指摘されている⁴⁾⁵⁾⁶⁾。そこで植物と環境との関係を利用し、林床植物の生育適地の解析と予測を行い、緑地の整備や保全計画への基礎情報としての利用の可能性を検討した。環境条件と植物との関係を解析するにあたっては、地理情報システム（以下GIS）を利用した。

2. 研究方法

(1) 事例地の概要

本研究では国営みちのく杜の湖畔公園（宮城県柴田郡川崎町）の未開園区域であるⅢ期地区を事例地とした（図-1）。事例地は隣接する釜房ダム湖に突出した丘陵地であり、標高140mから243mに位置する。地質的には新第三系塊状凝灰岩で代表される凝灰岩質岩石である⁷⁾。地域は年平均気温約10.6℃であり植生的にはブナクラス域のモミイヌブナ群集が成立する地帯⁸⁾である。面積131.3haのうち約74%がコナラ林、スギ植林、アカマツ林等の樹林地からなり、多くの林床植物の生育が確認されている⁹⁾¹⁰⁾。コナラ林等の落葉広葉樹林とアカマツ林内では、ほぼ全域にわたって林床にアズマネザサ、ミヤコザサなどのササ類が繁茂している。

図-1 国営みちのく杜の湖畔公園Ⅲ期地区

(2) 解析評価のフロー

解析・評価のフローを図-2に示す。自然資源の評価に先立ち、植物の分布データから指標種を選択し、現地調査による分布データを地形解析の結果と重ね合わせ、出現度数から植物の分布に影響を与えている環境条件を抽出した。この結果をもとに、生育に好適な条件を算出し生育適地を地図化し、この生育適地の分布を使用して小流域をもとにした区域単位の植物資源評価を行った。また、管理効果と管理作業適性から管理の優先区域を地図化した。

(3) 使用データおよびソフトウェア

使用データは事例地において、整備されていた既存資料を使用した。地形解析では2.5mメッシュ数値標高モデル（以下、2.5mDEM (Digital Elevation Model)）⁹⁾を使用した。

林床植物の分布データは尾根筋や谷筋の調査ルート（図-3）から幅10m（片側5m）の範囲で、「花が美しく人目を引くものや特定種等に取り上げられている種」⁹⁾¹⁰⁾を対象としたものであ

* (株)緑生研究所 ** 愛知県建設部 *** 国土交通省国土技術政策総合研究所 **** (財)自然環境研究センター

***** (独)農業・生物系特定産技術研究機構中央農業研究センター

た。また解析の範囲は現存植生調査データ⁹⁾に基づき森林の範囲とし、人工改変地やダム湖畔の冠水湿地など林床植物の分布しない場所は分析対象外とした。

図-2 解析評価の流れ

GIS解析にはESRI社のArcGIS (Ver.8.3) およびArcView (Ver.3.2) を使用した。また統計解析にはエクセル統計 (エスミ社) を利用した。

(4) 指標種の選択

林床植物調査の結果から、出現地点数が30カ所以上ある種で、花が美しいなどの利用の観点から資源価値の高い種を選択した (表-1)。

(5) 地形解析

2.5mDEMを使用しArcGISのSpatial Analyst等により、斜面方位、斜面傾斜、地形的湿度指数 (以下TWI: Topographic Wetness Index)、日照条件 (春季・夏季) について数値化した。分析に用いた環境因子を以下i) ~ v) に示す。

(i) 斜面方位

2.5mDEMをもとに斜面方位について解析を行い平坦地も含めて5つ (平坦地、北斜面、東斜面、南斜面、西斜面) に分類した。

(ii) 斜面傾斜

2.5mDEMをもとに傾斜角度を解析した。解析結果について5分類 (0-10°, 10-20°, 20-30°, 30-40°, 40-70°) した (40°以上は該当区域が少ないため1つのカテゴリーとした)。

(iii) TWI

地形による乾湿条件を現す指標として、TWI¹¹⁾を用いた。TWIは上部集水域の面積と斜面の角度から算出される指標である。算出された値を等量により5段階に分類した。

$$TWI = \ln (As / \tan \beta)$$

As: 集水量, $\tan \beta$: 斜面の角度

As = A / w (A: 上部集水域面積, w: グリッドセルの幅)

(使用ツール: Calculate compound topographic index: Paikho Rho, Department of Rangeland Ecology and Management, Texas A&M University)

(iv) 日照条件 (春季および夏季)

地形にもとづく日照条件について解析を行った。解析は春分および夏至における8:00から16:00についての光源位置 (太陽高度、太陽方位角) をもとに毎時の日照の強さを計算し日平均値を求めた。算出された値は等量により5段階に分類した。

(v) 小流域をもとにした区域区分

小流域の区分は、基本的にはDEMデータによりArcView (3.2) による流域の抽出によったが、道路などで分断される面および、人工のり面などは、対象区域の境界への流出する単位を適宜判断して修正を行った¹²⁾¹³⁾。解析単位はこの小流域をもとに計画に適した区域単位とした。

(6) 林床植物に影響を与えている環境要因の特定

χ^2 乗検定により解析に使用する種と要因を特定した。検定に用いた期待値は、調査範囲 (踏査ルートからの両側10mの範囲) に出現する各カテゴリーの面積比と、各種の総確認地点数より算出した。 χ^2 検定において有意性が認められた種11種と環境要因について期待値と出現地の乖離を表すJacobsの選択度指数¹⁴⁾の算出を行った。

Jacobsの選択度指数

$$D = (r - p) / (r + p - 2rp)$$

D: 選択度指数

r: あるカテゴリーにおける出現地点数

p: あるカテゴリーにおける出現地点の期待値

(確認地点総数 × 調査範囲におけるカテゴリーの面積比)

(7) 総合的な好適度の算出と生育適地図の作成

Jacobsの選択度指数を0から1の値に換算した好適度を算出し、各要因の好適度の幾何平均をとり総合的な好適度とした。Jacobsの選択度指数の算出に用いた環境要因は表-2に示す5つであったが、このうち春期陰影、斜面方位、夏期陰影の3要素については、相互に強い関連をもっていると考えられるため、このうちからもっとも植物との関連をよく説明すると推測される1つの要因を、Jacobsの選択度指数の結果を考慮しながら選択することとした。この結果、環境要因は主に日照 (温度) 条件にかかわる要因と、水分条件にかかわる要因 (TWI)、土壌の安定性にかかわる要因 (傾斜) となり、相互に補完的な要素と考えた。また、これらの要因はどれかひとつが0値などの低い値をとった場合には、生育不適として評価されると考えた。これらから、3つの要因の幾何平均を算出して総合的な好適度とした¹⁵⁾。この好適度を使用し事例地域全域の環境要因の値から生育適地図を作成した。

$$\text{好適度の算出: } V = (V_1 \times V_2 \times \dots \times V_n)^{1/n}$$

V: 好適度 (0~1)

V_n : 要因ごとの好適度

$V_n = (D + 1) / 2$ D: Jacobsの選択度

n: 算出に用いる環境因子数

(8) 生育適地面積による区域区分評価

種による生育適地の違いは、隣接する小流域のような地質や気候条件等が等しい区域においても、地形や方位により植物資源の分布が多い場所と少ない場所があることの説明となる。このような分布の違いを総合化し、植物資源の多さと、様々な環境がモザイクとなっている多様な環境の状態を区域単位で評価した。評価は資源の多さの指標として、区域内での生育適地の合計面積の区域面積に対する比率を使用した。また、種毎の面積比を利用して、Simpson の単純度に基づいた方法で算出される単純度を多様性を指標するものとして使用した。区域区分の評価はこの2つの指標を使用し、表-2 のように行った。

$$c = \sum_{i=1}^n (S_i/S)^2$$

c : 単純度

S_i : n 種のうち i 番目の種の生育適地面積

S : 流域における n 種についての生育適地面積の合計

表-2 区域区分評価の考え方

		単純度	
		平均以上	平均未満
※区域面積に対する各種群の好適立地の面積比の合計	平均未満	好適地の面積割合は小さく、生育可能な種群も単純	好適地の面積割合は小さいが、多様な種群が生育可能
	平均以上	好適地の面積割合は大きい、生育可能な種群は単純である	好適地の面積割合は大きく、多様な種群が生育可能

(9) 生育適地と地形による樹林管理優先地の抽出

生育適地評価の応用として、植物資源の活用と保全を目的とした樹林の下草刈りや、間伐管理の優先される区域の抽出が考えられる。解析は管理作業に適した樹林地と傾斜地の抽出と、出現可

能な植物の種数の多さによる評価との、重ね合わせによって行った。重ね合わせに際しての判断基準は表-4 のように行った。管理の難易度は、地形データから以下の基準で区分を行った。

0 度以上 35 度未満 管理が可能

35 度以上 管理は困難

3. 結果

(1) 環境因子の分布地図

5 つの環境因子について事例地域全域での分布を地図化した(図-8 ~図-12)。

斜面方位では、ほぼ北東から南西に伸びる尾根を境に北斜面と南斜面が明確にわかれた。傾斜は 10° から 30° までの利用可能な斜面が多いが一部に 40° 以上の急峻な斜面が分布していた。

TWI は谷筋と平坦地で高く、尾根部と急斜面で低い値を示した。日照を示す陰影図では太陽高度の低い春期で、夏期に比較して斜面方位による日照の違いがより明確に現れていた。

(2) 林床植物の生育に影響を与えている環境因子の特定

踏査ルート(図-3)に沿った環境要因をもとにした分布の期待値と調査による植物の分布位置をもとに χ^2 乗検定の結果、表-2 に示した 11 種についてはいずれかの環境因子において期待値との差が認められた(有意水準 1%未満)。この 11 種に対して有意差の認められた環境因子について Jacobs の選択度指数の算出を行った(表-3)。表で+の値をとる因子とクラスが、その種の生育適地の条件となり、数字が大きいほど、はっきりとした選択性となる。

ほとんど全ての植物に影響を与えた要因は春期の陰影で、ついで TWI と斜面方位であった。夏期よりも春期の陰影が影響している種類が多かった。事例地域が大部分落葉広葉樹林となっていることから、上層木に日差しを遮られる夏期よりも、春期の陰影が大きな環境要因になっていることが理解される。また、TWI は標高データから計算された乾湿であるが、これにより多くの植物の分布の偏りが説明されることがわかった。

(3) 好適度による生育適地の抽出

Jacobs の選択度指数をもとに、要因相互の独立性を考慮して、これらのうち斜面傾斜、TWI、春期陰影の3項目を用いて好適度を算出した。日照(温度)条件を示す斜面方位、春期陰影、夏期陰影の3つの項目から春期陰影を選択するにあたっては、 χ^2 検定、Jacobs の選択度指数の値の総合的な判断によった。この選択は、落葉広葉樹林における春期の陰影の環境指標性についての一般的な推測とも一致する結果となった。

算出された総合的な好適度から分布範囲の80%の説明率に該当する条件を設定、その好適度に適合する場所を GIS データから算出し、11 種類について種毎に地図化した。図-4 ではオヤリハグマ、シュンラン、カタクリの3種の分布量を、図-5 ~図-7 は生育適地の分布図を示した。シュンランは南および西向き尾根筋を中心に、オヤリハグマは北向き斜面の斜面上部に、カタクリは北向き斜面で谷筋と斜面に分布する等、環境選択性の違いとその空間的な分布の違いが図から読みとることができた。

(4) 生育適地面積による区域区分評価

区域区分の評価は図-13 のようであった。評価の高い流域が、中央の尾根を境に

表-3 Jacobs の選択度指数

環境因子	環境条件	フシグロセンノウ	ニリンソウ	キクザキイチゲ	ウスバサイシン	エイザンスミレ	キバナアキギリ	オヤリハグマ	カタクリ	エンレイソウ	サイハイラン	シュンラン
斜面方位	1 平坦地	▲-1.00		0.30	▲-1.00	0.14		▲-1.00		▲-0.09	▲-1.00	0.13
	2 北	0.09		0.30	0.43	0.22		0.08		0.53	0.43	▲-0.45
	3 東	0.62		0.31	▲-0.05	0.28		▲-0.69		0.26	0.16	▲-0.03
	4 南	▲-0.51		▲-0.77	▲-1.00	▲-0.38		▲-0.57		▲-0.89	▲-0.49	0.22
	5 西	▲-0.54		▲-0.16	0.20	▲-0.24		0.58		▲-0.40	▲-0.27	0.12
斜面傾斜	1 0-10°						▲-0.25				0.11	
	2 10-20°						▲-0.04				0.38	
	3 20-30°						0.18				0.00	
	4 30-40°						0.11				▲-1.00	
	5 40-70°						▲-0.24				▲-0.62	
TWI	1 乾燥↑	▲-0.84	▲-0.61			▲-0.31		0.37	▲-0.23	▲-0.31	▲-0.48	0.17
	2	▲-0.14	▲-0.12			▲-0.04		0.22	▲-0.28	▲-0.69	▲-0.11	0.14
	3	▲-0.14	▲-0.33			▲-0.05		▲-0.19	▲-0.08	▲-0.12	0.23	▲-0.04
	4	0.06	0.34			0.11		▲-0.60	0.35	0.43	0.37	▲-0.38
	5 湿潤↓	0.74	0.61			0.40		▲-1.00	0.32	0.55	▲-0.10	▲-0.25
春期陰影	1 陰↑	▲-0.09	0.01	0.29	0.49	0.30	0.18	0.34	0.30	0.54	▲-0.12	▲-0.53
	2	0.61	0.47	0.24	0.32	0.19	0.14	0.17	0.29	0.22	0.56	▲-0.28
	3		0.03	0.20	0.09	▲-0.65	▲-0.01	▲-0.05	▲-0.06	0.01	▲-0.56	▲-0.20
	4	▲-1.00	▲-0.55	▲-0.41	▲-0.55	▲-0.26	▲-0.29	▲-0.48	▲-0.56	▲-0.44	▲-0.21	0.25
	5 陽↓	▲-0.55	▲-0.78	▲-0.70	▲-0.58	▲-0.16	▲-0.38	▲-0.60	▲-0.85	▲-0.74	▲-0.74	0.26
夏期陰影	1 陰↑				0.46		0.02				▲-0.75	▲-0.27
	2				0.12		0.29				0.25	▲-0.13
	3				▲-0.14		▲-0.08				0.28	0.13
	4				▲-0.57		▲-0.32				▲-0.06	0.21
	5 陽↓				▲-1.00		▲-0.33				▲-0.34	0.09

※ χ^2 乗検定の結果、有意水準 1%未満で期待値の分布と差が認められる項目のみ実施
※ ▲は Jacobs 指数が負の値であることを示す。

図-3 踏査ルートと環境要因

踏査ルート沿った幅10m範囲における各カテゴリーの面積割合を棒グラフに示した。

図-4 度数および Jacobs の選択度指数の分布

図中の棒グラフは各カテゴリーにおける度数分布を表す。黒は実測値、白は期待値を表す。また図中の折線は各カテゴリーにおける Jacobs の選択度指数を現す。特にハッチ部は負値を示す。

図-5 好適な生育環境の抽出結果 (オヤリハグマ)

図-6 好適な生育環境の抽出結果 (カタクリ)

図-7 好適な生育環境の抽出結果 (シュンラン)

図-8 地形解析結果 (傾斜方位)

図-12 地形解析結果 (夏期陰影)

図-9 地形解析結果 (斜面方位)

図-13 林床植物の好適立地としての区域評価

図-10 地形解析結果 (TWI)

図-14 林床植物の生育環境保全のための管理適性度評価

図-11 地形解析結果 (春期陰影)

表-4 管理適性度評価基準

評価項目	評価基準		
小流域評価	高(1-2)		低(1未満)
管理の難易	35° 未満		35° 以上
林床植物のための 管理対象となる植生	コナラ林 アカマツ林	その他	
出現ポテンシャル	5種以上	5種未満	
管理適合度評価	2	1	0

北側につながっている。これは、表－2の環境因子の選好度でも読みとられるように、多くの植物が春期の陰影のやや暗い側、つまり北斜面や東西斜面に好んで分布していることを反映していると考えられる。この図において表－2で示した面積比合計は大きい、生育可能な種群が単純である領域は存在しなかった。これは生育適地を80%の説明率を設定することで広範囲に予測したことによるところが大きい。またこれは、同じ立地を複数の種が生育適地としている状態を示すものでもある。

(5) 生育適地と地形による樹林管理優先地の抽出

林床植物の生育環境の整備対象となる植生としてコナラ林やアカマツ林を挙げ、そのうち5種類以上の植物の出現が期待され、なおかつ管理作業が比較的容易な場所（傾斜35°未満）が最優先管理対象地として濃い緑色で示された（図－14）。このような場所が北側の斜面を中心に偏在することが示された。

4. 考察

ハビタットへの適性から生息地を予測する試みは、動物を対象に研究が進んでいるが¹⁶⁾、樹林の植物を対象としたものは、広域を対象とした研究が中心となり¹⁷⁾¹⁸⁾、公園区域や微地形レベルでの研究事例は少ない。本研究では、標高データ（DEM）とルートセンサスによる植物資源調査をもとにした生育適地の予測を行い、その地図化を試みた。このような、比較的入手しやすいデータを利用して分布予測を行うことの可能性が示されたことは、計画の構想段階などのデータが不足しがちな場面において、データの不足を補う方法としての活用性が高いと考えられる。また、植物種の分布予測結果は、現況での確認地点図とは異なり、分布する可能性が高い地域を示す。従って、現在分布していないが生育の適地であり、今後の管理によって復元される可能性の高い場所も示しているという点において、再生計画への活用が考えられる。

そこで、本研究において作成された予測図および評価図の活用の可能性を、研究結果を踏まえて以下のように考えた。

(1) 生育適地図

種毎の環境の好適度を地図化した生育適地図は、ルートに沿った調査では確認しにくい不便な地域や、「踏み跡」のない斜面での分布予測も示した。面的な情報になりにくい点状や線状の分布情報を、計画の基礎情報として利用しやすい面情報に変換する場合の有効な手法と考えられた。この情報は調査結果の80%の分布を説明する範囲として設定したが、利用目的によって、より絞り込むことや、より広く範囲を示すことが可能である。例えば、より適した自然復元地を探すためには、絞り込んだ条件設定を、反対に生育の可能性のあるところを広く保全したい場合には、より緩やかな条件設定で広い範囲を抽出する、などの応用が考えられる。

(2) 区域区分評価

評価の高い流域では、指標となる植物が面積的にも広く、また多くの種が同時に分布する。草花の多い場所を、保全しながら積極的に利用するための方策が課題となることが、明らかとなった。また植物の種が少なく、生育適地面積の少ない場所が、林内の直接的な利用には適していると考えられるなど、公園の基本構想、基本計画段階において、目標環境を設定する上での活用の可能性が考えられる。

(3) 生育適地と地形による樹林管理適性地の抽出

落葉広葉樹林が広がる、里山を利用した丘陵地公園の特徴として、林床植物の保全と再生のための樹林の管理は重要である。しかし、そのために費やすことのできる費用や労力は限られており、多くの公園において、どこを、どの程度管理するかという課題に対する、生態的な視点からの解答が重要となっている。本研究で提示された管理の適性地の抽出方法は、このような課題に対して、

林床植物の保全と林内景観の再生を行うための、判断の材料を提供するものとして活用されたと考えた。

謝辞 国土交通省東北地方整備局みちのく杜の湖畔公園事務所には、現地調査、データの利用に関して便宜を図っていただいた。記して感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 養父志乃夫 (1993): 森林の植生管理: 井手久登・亀山章編「緑地生態学」, 朝倉書店, 134-147
- 2) 日置佳之 (1998): エコパークの計画: 亀山章・倉本宣編「エコパーク」, ソフトサイエンス社, 47-88
- 3) 井本郁子 (2001): 生物空間の保全・創出における目標環境の設定: 造園技術報告集 2001, (社)日本造園学会, 6-9
- 4) 大久保敏・神山麻子・北川淑子・武内和彦 (2003): 多摩丘陵におけるコナラ二次林および林縁の草本層種構成と微地形との対応: ランドスケープ研究 66(5), 537-542
- 5) 畠瀬頼子・藤原宣夫・小栗ひとみ・百瀬浩・宇津木栄津子・大江栄三・井本郁子 (2004): 国営みちのく杜の湖畔公園における森林管理計画のための林床植生と環境条件の関係解析: ランドスケープ研究 67(5), 543-546
- 6) 日笠睦・山崎互 (2000): 広島県温井ダムにおける樹木による法面緑化のためのゾーニング計画策定案: ランドスケープ研究 63(5), 461-464
- 7) 国営釜房湖畔公園 (仮称) における自然環境等保全調査報告書 (1982): 建設省東北地方建設局国営釜房公園工事事務所, 21-28
- 8) 宮脇昭 編 (1987): 日本植生誌東北: 至文堂, 605pp.
- 9) 東北地方整備局国営みちのく杜の湖畔公園工事事務所 (2001): 平成12年度みちのく公園Ⅲ期地区環境図化業務報告書, 103pp
- 10) 東北地方整備局国営みちのく杜の湖畔公園工事事務所 (2002): 平成13年度みちのく公園Ⅲ期地区林床植物調査業務報告書, 54pp
- 11) Wilson, J. P., Gallant, J. C. (2000): Digital Terrain Analysis: Terrain Analysis, John Wiley & Sons. 1-28
- 12) 国土技術政策総合研究所環境研究部緑化生態研究室 (2003): 平成14年度みちのく公園Ⅲ期地区環境管理実験調査業務報告書, 133pp
- 13) 国土技術政策総合研究所環境研究部緑化生態研究室 (2004): 平成15年度みちのく公園Ⅲ期地区環境管理実験調査業務報告書, 217pp
- 14) Jacobs, J. (1974): Quantitative measurement of food selection; a modification of the forage ratio and Ivlev's electivity index, Oecologia, 14, 413-417
- 15) Division of Ecological Services, U.S. Fish & Wildlife Service (1981): Standards for the Development of Habitat Suitability Index Models 103ESM: U.S. Fish & Wildlife Service, 1-81
- 16) 田中章・畠瀬頼子 (2003): 生態系アセスメントにおけるハビタットモデル及び定量評価の展開: 環境アセスメント学会 2003年度研究発表会要旨集, 141-142
- 17) 増澤直・小泉武栄・三橋弘宗・井本郁子・吉田直隆・松林健一・辻村千尋・北川淑子 (2004): カタクリの潜在生育地の推定: 51回日本生態学会大会講演要旨集, 232
- 18) Iversion, L.E., Dale, M.E., Scott, T., Prasad, A. (1997): A GIS-derived integrated moisture index to predict forest composition and productivity of Ohio forests (U.S.A.): Landscape Ecology, 12, 331-348