

気候温暖化の指標になりうる路傍性シダ類に関する研究

A Report of ferns growing at the roadside as an indicator of climate warming

村上健太郎・森本幸裕

MURAKAMI Kentaro*, MORIMOTO Yukihiro**

*名古屋産業大学環境情報ビジネス学部准教授 Nagoya Sangyo University, Faculty of Environmental Information Business

**京都学園大学バイオ環境学部教授 Kyoto Gakuen University, Faculty of Bioenvironmental Science

Abstract: The relationship between species composition of ferns growing in urban roadside anthropogenic habitats and climatic factors was investigated in Chubu district, Japan. We aimed to identify indicator species of climatic warming in urban areas. Results of Two-way Indicator Species Analysis (TWINSPAN) and classification tree analysis showed that the species composition of ferns in this district was strongly affected by temperature factors such as the warmth index of Kira, annual average temperature, and winter average temperature. Results of indicator species analysis (IndVal method) showed that *Matteuccia struthiopteris*, *Dryopteris crassirhizoma*, and *Dennstaedtia wilfordii* are likely to serve as effective indicator species, i.e., they are extremely sensitive to climate change. The assumed location of the fern species composition types was illustrated on a map using terminal nodes of the classification tree analysis dendrogram. This classification tree dendrogram was judged as highly accurate in analysis using receiver operating characteristic curves, although a small area of the assumed map appeared to differ from the actual situation. We concluded that the number of study sites should be increased or the climatic factors used should be reconsidered to improve the accuracy of the model.

Keywords: Ferns, Anthropogenic habitat, Indicator species, Classification tree analysis

1. はじめに

温暖化の影響をモニタリングするための指標種抽出に関する研究が進められている (Higa et al., 2013)。温暖化の指標生物には、人為的な影響下でない生物を調べることが理学的には重要である一方、今後、市民と研究者・行政の間でコンセンサスを得ていくためには、研究者独自の専門調査だけでなく、市民調査等も積極的に行っていくことが必要になると考えられる。この場合、人為的な攪乱が多い市街地から里山にかけてのエリアにおいても指標となる適切な生物が抽出される必要がある。こうしたことから、本研究では市街地の路傍、人間活動由来のハビタットにおけるシダ類について、フィールド調査を行い、シダ類の気候変動指標作成を試みた。本研究では中部地方における試みについて速報的な報告を行う。

2. 調査地域と方法

2-1. 調査地域

調査地域を中部地方全域（三重県を含む；ただし

新宮のみ和歌山県）とし、市街地 51 箇所を調査地点とした（図 1）。調査地点の目標は 70 箇所以上を予定しているため、現時点の結果は途中経過である。

2-2. 野外調査

51 箇所の市街地の道路沿いを歩き、道路脇に見られる植物集団（写真 1）のうち、シダ類を含むものを「シダ類群集」と認め、これらに含まれるシダ類の種名をリストアップする調査を行った。石垣、壁、建物の間のギャップ、排水溝などを対象とし、社寺林、二次林は調査対象としなかった。既報（村上・森本, 2015）と同様、群落サイズは 30 cm×30 cm 程度の小さいものから、5 m×25 m 程度の巨大なものまでさまざまであったが、大きさに関わらず、方位が同じものは 1 つの集団として考えた。一方、道路で分断されていたり、壁や石垣の方位が異なったりした場合には、接近していても異なる集団として考えた。調査地点ごとのシダ類群集の数は最

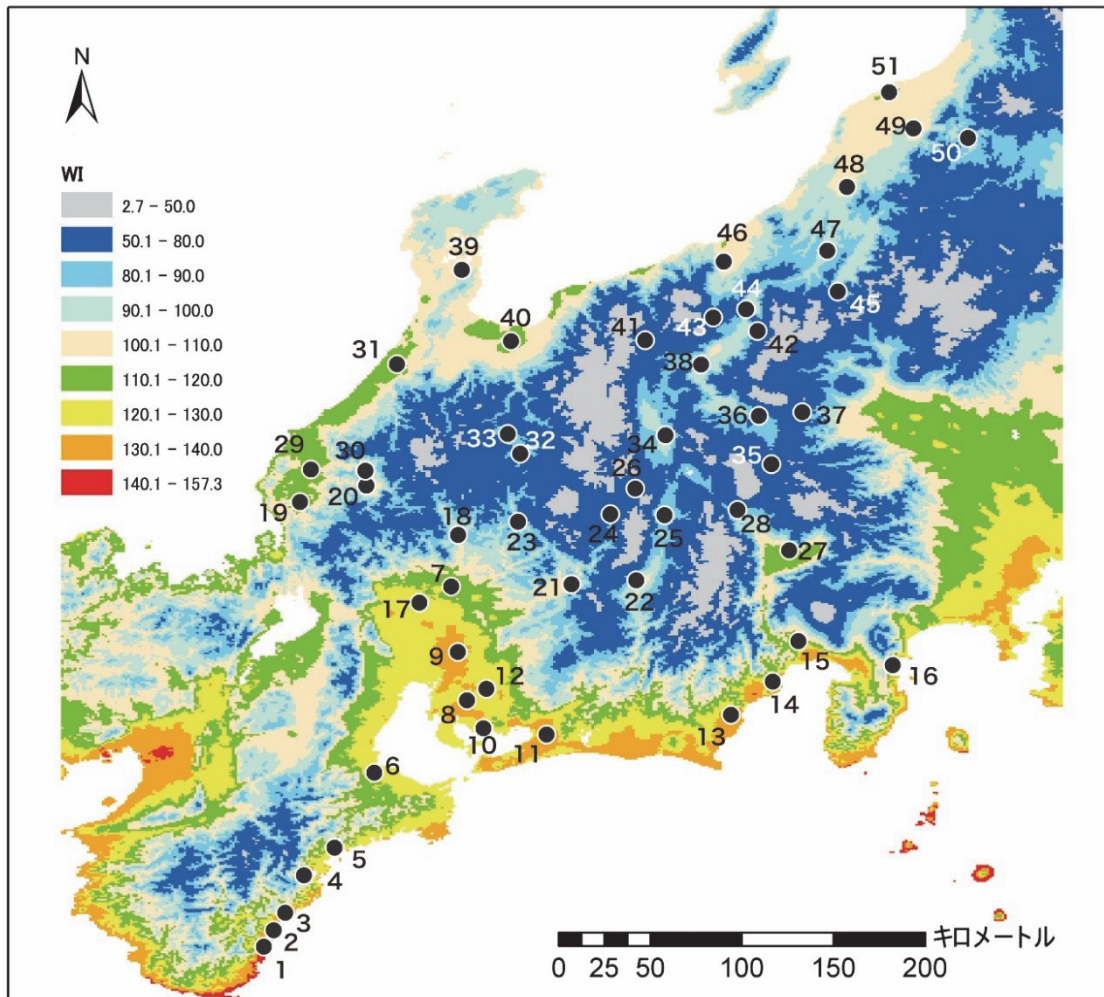


図 1. 51 箇所の調査地点と暖かさの指数 (WI)

1. 新宮, 2. 阿田和, 3. 熊野市, 4. 尾鷲, 5. 紀伊長島, 6. 松阪, 7. 関, 8. 三河高浜,
9. 池下 (名古屋), 10. 吉良吉田, 11. 豊橋, 12. 新安城, 13. 西焼津, 14. 清水, 15. 富士宮,
16. 熱海, 17. 岐阜, 18. 郡上八幡, 19. 武生, 20. 越前大野, 21. 中津川, 22. 飯田, 23. 下呂,
24. 木曾福島, 25. 伊那市, 26. 奈良井, 27. 甲府, 28. 小淵沢, 29. 福井, 30. 勝山, 31. 金沢,
32. 高山, 33. 飛騨古川, 34. 松本, 35. 小海, 36. 小諸, 37. 軽井沢, 38. 篠ノ井, 39. 七尾,
40. 諏訪河原 (富山), 41. 白馬, 42. 湯田中, 43. 黒姫, 44. 飯山, 45. 越後湯沢, 46. 上越妙高,
47. 十日町, 48. 長岡, 49. 五泉, 50. 津川, 51. 新潟



写真 1. 道路の側溝に見られたイヌケホシダの集団

少で 50 箇所とし、最も多い調査地点では 79 箇所までのシダ類群集を網羅的にピックアップした。市街地は鉄道駅の周辺とし、予め GoogleMap 等を用いて調査ルートを決め、そのルート内で 50 箇所のシダ類群集が見つからない場合には、調査範囲を拡大させて、50 箇所に到達するまで調査を行った。調査地点ごとに、シダ類群集に生育していた各種の出現頻度 (=種ごとの出現回数/調査したシダ類群集の数) を集計、算出した。また、全種の出現頻度の合計値を 100% と見なして、各種の相対優占度を算出し、各分析の計算に用いた。

2-3. 気象データ

気象データには、国土数値情報の「平年値メッシュデータ」(1981~2010年の過去30年間の平年値気候データ)(気象庁, 2012)を利用した。各調査区の起点や中心とした鉄道駅を含む地番からジオコーディングして座標を取得し、ArcGIS9.3(ESRI社製)を用いて、この座標と重なるメッシュの気候値を取得した。気温の因子として、年平均気温(T)、暖かさの指数(WI)、寒さの指数(CI)、夏期平均気温($SUMT$; 6~8月の平均気温)、冬季平均気温($WINT$; 1, 2, 12月の平均気温)を用いた。なお、月別の平均気温を t とした場合、 WI , CI は次式により算出される(吉良, 1971)。

$$WI = \sum(t - 5) \text{ ただし } t > 5^{\circ}\text{C}$$

$$CI = \sum(5 - t) \text{ ただし } t \leq 5^{\circ}\text{C}$$

降水量の指標としては、年降水量(PRY)、春季降水量($PRSp$)、夏季降水量($PRSm$)、秋季降水量(PRA)、冬季降水量(PRW)を用いた。更に、次式により算出される乾湿係数(HAI)(吉良, 1945)を加え、計11変数により分析した。

$$HAI = \frac{PRY}{WI + 20} \quad (WI \leq 100)$$

$$HAI = \frac{2PRY}{WI + 140} \quad (WI > 100)$$

2-4. 統計解析

野外で得られたシダ類群落のデータは、群落分類を行うためのクラスター分析の一種 Two-way Indicator Species Analysis (TWINSPAN)(Hill, 1979)によって分類した。解析対象は調査地点51箇所のうち、3箇所以上で記録された46種に限定した。Pseudospecies cut levelには0, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2を用い、その他の設定は、計算に用いた統計ソフト PCORD ver. 6.0 (McCune and Mefford, 2011)のデフォルト値(Maximum number of indicator per division=5など)を用いた。結果の解釈については、TWINSPANの第二段階まで(DIVISION3まで)を採用した。

また、TWINSPANによって分類されたグループごとの指標種の抽出のために、指標種分析(IndVal法)(Dufrene and Legendre, 1997)を行った。IndVal法とは、IndVal値と呼ばれる指標値をクラスター(TWINSPANで分けられた調査地点のグループ)ご

と、種ごとに算出する方法で、種ごとのアバンダンスとグループごとの出現頻度によって計算される。 $Nindividuals_{ij}$ を種 i のグループ j におけるアバンダンス平均、 $Nindividuals_i$ を種 i の全グループにおけるアバンダンス合計、 $Nsites_{ij}$ を種 i のグループ j における出現頻度、 $Nsites_j$ をグループ j の調査地点数とすると、グループ j における種 i の指標値($INDVAL_{ij}$)は下記の式によって算出される。

$$A_{ij} = \frac{Nindividuals_{ij}}{Nindividuals_i}$$

$$B_{ij} = \frac{Nsites_{ij}}{Nsites_j}$$

$$INDVAL_{ij} = A_{ij} \times B_{ij} \times 100$$

求めた各種の指標値の最大値に対し、無作為化テストの一手法であるモンテカルロテスト(999回試行)を用いて、指標値の統計学上の有意性を判定した。指標種分析についても PCORD ver6.0を用いて行った。

また、市街地に生育するシダ類群落タイプを決める要因を抽出し、潜在的なシダ類群落の分布地図(ポテンシャルハビタットマップ)を描くため、各グループを目的変数とした分類木解析を行った。説明変数には2-3で述べた11変数を用いたが、多重共線性の問題などを加味して、変数を調整した。具体的な手続きについては、結果(3-3)で詳述する。なお、最適分岐回数は k 分割交差検証法($k=5$)を用いて計算し、分岐の最小サイズを5(デフォルト値)として、それ以下のサンプル数の場合は分岐させないという設定で分析を進めた。この解析には統計ソフト JMP11.2 (SAS Institute Japan)のパーティションングを用いて行った。

3. 結果

3-1. 出現種の概要

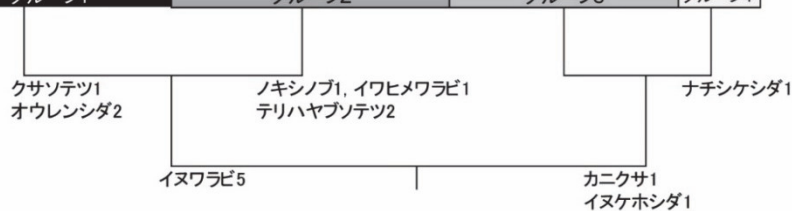
調査地点51箇所で記録された種数は14科77種であった。最も出現頻度が高かったのはイヌワラビで42回、次いでトラノオシダ(40回)、テリハヤブソテツ(33回)、イノモトソウ(25回)、オクマワラビ(25回)などがそれらに次いでいた。

3-2. 指標種

TWINSPANによる区分の結果(表1)、4グループが認識された。各グループの指標種とその指標値

表 1 TWINSpan の結果。数値は相対優占度のランクを示す。1: 0.02 未満, 2: 0.02 以上 0.05 未満, 3: 0.05 以上 0.1 未満, 4: 0.1 以上 0.2 未満, 5: 0.2 以上。表下の種名と数値は区分の際の指標種とその値 (pseudospecies cut level)

種名	4 3 4 2 3 3 4 4 4 4 4 2 3 3 4	3 4 4 3 3 5 2 3 5 1 1 2 2 2 2 2 3	1 1 2 2 1 1 1 1 1 1	
イヌシダ	5 5 6 8 4 8 7 8 1 3 4 6 2 7 2	3 0 9 1 9 0 0 0 1 9 8 2 3 9 4 5 6	5 7 7 1 7 6 3 4 8 0 1 9 2 6	4 5 1 2 3
イヌシダ	-- 2 -- -- -- 1 -- -- --	-- -- -- -- -- 1 -- -- --	-- -- -- -- --	2 -- -- --
コウヤワラビ	2 -- 2 -- -- -- -- 1 -- --	-- -- -- -- --	-- -- -- -- --	-- -- -- --
クジャクシダ	2 - 2 - - - - 2 - - - - 2 -	-- -- -- -- --	-- -- -- -- --	-- -- -- --
オシダ	- 2 - - - - - 2 2 2 - 3 2 -	-- -- -- -- --	-- -- -- -- --	-- -- -- --
ゼンマイ	- 2 2 - - 1 - 1 3 2 - - -	-- -- -- 1 -- -- -- -- --	-- -- -- -- --	-- -- -- --
クサソテツ	2 2 - 3 3 4 2 2 3 3 2 1 - 2 2	-- -- -- 1 -- -- -- -- --	-- -- -- -- --	-- -- -- --
イヌガンソク	-- -- -- -- 1 - 1 - 1 -	-- -- -- -- --	-- -- -- -- --	-- -- -- --
ハクモウイノデ	-- -- -- -- -- 1 1 1 -	-- -- -- -- --	-- -- -- -- --	-- -- -- --
ホソバナライシダ	-- -- -- 1 - - - - 1 3 - 2	-- -- -- -- --	-- -- -- -- --	-- -- -- --
オウレンシダ	- 3 - - - - - 3 3 - 3 2 4 2	-- -- -- -- --	-- -- -- 1 - 3 -	-- -- -- --
ホソバシケシダ	2 - - - - 2 2 1 1 - 2 2 2 -	2 - - - - 1 - - - - - - - -	-- -- -- -- --	-- -- -- --
ヘビノゴザ	- - - - - 2 - 2 3 3 4 4 3	3 1 1 2 4 4 - - 2 3 - - 3 - 1	-- -- -- -- --	1 - - - - -
ヤマヤブソテツ	- - - - - 2 - - - - 2 - -	- - - - - 3 - - - - - - - 2 -	-- -- -- -- --	-- -- -- --
リョウメンシダ	2 - - - - 2 2 1 2 2 - - -	- 1 2 2 1 2 2 2 2 - - - -	- 1 - - - - -	-- -- -- --
ヤブソテツ	- - - - 2 - - 3 - 2 1 - 2	2 3 3 - 5 2 2 - 2 - - 2 2 2 - 2	2 - - - - - - - - - -	1 - - - - -
オクマワラビ	3 - - - - - 2 2 - 3 4 - 3	4 4 4 2 4 2 2 2 2 - 1 2 2 - 4 3 1	2 - 2 - 2 - - - - - 2 -	-- -- -- --
ヒメワラビ	- - - - - - - - - 1 - -	- - - - - 1 - - - - -	- 1 - - - - -	-- -- -- --
イノデ	2 - - - - 1 - - - - - - -	- 1 - - - - - 1 - 3 - - -	- - - - - 2 1 - - - -	-- -- -- --
シケシダ	3 - 2 - 2 2 2 - 3 3 2 - 3 - 3	4 1 3 4 4 3 2 3 2 2 1 2 1 - - -	1 - 2 2 - 2 - - 1 - - - -	2 - - - - -
イヌワラビ	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 4 5 5	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	4 4 2 4 5 3 3 4 - 2 1 - - -	-- -- -- --
シノブ	-- -- -- -- -- -- -- -- -- 2 - 1 -	-- -- -- -- --	-- -- -- -- 1 - - - - -	- 2 - - - -
ゲジゲジシダ	-- -- -- -- -- -- -- -- -- 1 - - 3 -	-- -- -- -- -- 2 2 3 - - -	-- -- -- -- --	-- -- -- --
ジュウモンジシダ	2 - - - - 1 - - - 2 - - -	-- -- -- 2 - - 3 1 - - - 1 -	- 2 - - - - -	-- -- -- --
テリハヤブソテツ	- - - - 2 - 2 1 - 2 1 - 1 2	2 3 4 3 3 2 - 3 2 5 4 4 4 3 2 2 2	1 3 3 4 3 1 - - - - 1 3 2 - 3	-- -- -- --
トラノオシダ	2 4 5 4 3 - 2 2 3 - - 4 4 - 3	2 1 - - 2 3 4 3 - 2 2 3 3 4 5 5	2 3 4 4 - 2 2 2 1 - 2 2 3 1 2	- - 1 1
コバノヒノキシダ	-- -- -- -- -- -- -- -- -- 2 - 2 -	-- -- -- -- --	3 3 - - - - -	-- -- -- --
サトメシダ	2 - - - - - 1 - - - - - - -	-- -- -- -- --	- 2 2 - - - -	-- -- -- --
ミドリヒメワラビ	- - - - - - - - - 2 2 - - - - 2 -	- - - - - 2 - - - - -	- 2 2 2 - - 1 - 2 - - -	-- -- -- --
オオベニシダ	- - - - - - - - - - - - - 1 -	- - - - - 1 - - - - -	- - - - - 1 - - - -	1 - - - - -
イワヒメワラビ	2 - - - - - - - - - - - - - 2 -	- 2 - 1 2 2 2 2 - 2 2 2 - 1 -	1 - 2 2 - 2 2 1 1 - - 2 - 3 2 - 1 2	-- -- -- --
ノキシノブ	- - - - - - - - - 2 - - - 1 - 2 2 1 - 2 - 3 4 3 4 3 4 3 2	- - - - - 1 - - - - - 1 -	5 5 5 4 - 4 3 3 1 - 2 2 4 5	4 5 3 4 5
ギフベニシダ	- - - - - - - - - - - - - 1 - 2 -	- - - - - 1 - - - - -	- 2 - 3 - - - -	1 - 2 - - -
ナガバヤブソテツ	- - - - - - - - - - - - - 3 - 3 - 2 - 2 - - 4 5 4 3 - -	- - - - - 3 - - 2 3 - - 1	4 3 2 - 2 3 - 4 4 2 3 2 2 5	-- -- -- --
イノモトソウ	- - - - - - - - - - - - - 1 - - - - - 2 1 2 3 - 2 2 2 -	- - - - - 3 - - - - 4 5 4 3 - -	4 4 5 5 5 4 4 5 4 5 5 4 4 3 5 - - 2	-- -- -- --
オニヤブソテツ	- - - - - - - - - - - - - - - - - 2 1 1 - 2 2 - 2 - - 2 - -	- - - - - 3 - - - - -	- - - - - 2 1 2 3 - 2 2 2 -	- - 2 1
ベニシダ	- - - - - - - - - - - - - - - - - 2 3 2 - 2 3 2 2 2 3 4 1	- - - - - 2 1 1 - 2 2 - 2 - - 2 - -	- 2 3 2 - 2 3 2 2 2 2 3 4 1	3 1 - - 1
カニクサ	- - - - - - - - - - - - - - - - - 1 3 4 1 3 3 4 4 5 5 4 5 5 1 2 - 3 4 3	- - - - - 2 - - - - -	1 3 4 1 3 3 4 4 5 5 4 5 5 1 2 - 3 4 3	1 2 - 3 4 3
ホシダ	- - - - - - - - - 1 - - - - - - -	- - - - - - - - - - -	2 - - - - 2 - - 1 2 - - -	1 - - 2 -
タチシノブ	- - - - - - - - - 2 - - - - - - - - - - -	- - - - - - - - - - -	2 - - 2 - 2 2 2 - 1 1 - - 2 1 - - 1 2	-- -- -- --
タマシダ	- - - - - - - - - - - - - - - - - - 2 - - 1 3 2 3 2 3 - 2 4	- - - - - - - - - - -	- 2 - - 1 3 2 3 2 3 - 2 4	2 2 3 4 4
イヌケホシダ	- - - - - - - - - - - - - - - - - 3 2 2 - 1 4 5 5 5 5 4 5 -	- - - - - - - - - - -	3 2 2 - 1 4 5 5 5 5 4 5 -	4 2 5 3 4
イシカグマ	- 1 - - - - -	- - - - - - - - - - -	- - - - - 1 - - - - -	3 - 5 5 3
ナチシケシダ	- 1 - 1 - - -	- - - - - - - - - - -	- - - - - 1 - 1 - - -	3 1 3 1 3
マメヅタ	- 4 3 2 2 4	- - - - - - - - - - -	- - - - - 1 - 1 - - -	4 3 2 2 4
	グループ1	グループ2	グループ3	グループ4



45 越後湯沢、35 小海、46 上越妙高、28 小淵沢、34 松本、38 篠ノ井、47 十日町、48 長岡、41 白馬、43 黒姫、44 飯山、26 奈良井、32 高山、37 軽井沢、42 湯田中、33 飛騨古川、40 諏訪河原 (富山)、49 五泉、31 金沢、39 七尾、50 津川、20 越前大野、30 勝山、51 新潟、19 武生、18 郡上八幡、22 飯田、23 下呂、29 福井、24 木曾福島、25 伊那市、36 小諸、15 富士宮、7 関、17 岐阜、21 中津川、27 甲府、6 松阪、13 西焼津、14 清水、8 三河高浜、10 吉良吉田、11 豊橋、9 池下 (名古屋)、12 新築、16 熱海、4 尾鷲、5 長島、1 新宮、2 阿田和、3 熊野市

を指標種分析で計算したところ、グループ 1 からは、クサソテツ、イヌワラビ、オシダ、ホソバシケシダなどが指標種として挙げられ (表 2)、特にクサソテツの値が大きかった。グループ 2 ではテリハヤブソテツ、オクマワラビ、ヤブソテツが選定された。グループ 3 はナガバヤブソテツ、カニクサ、イノモト

ソウなどが選定され、特にナガバヤブソテツの値が大きかった。グループ 4 では多くの種が指標種として抽出されたが、特にナチシケシダ、マメヅタ、イシカグマなどの値が大きかった。

表2 指標種分析の結果(値は INDVAL 値で、太字はモンテカルロテストで有意であった種の最大値、グループは表1の分類結果に対応; *: p<0.05, **: p<0.01)

種名	最大値を示したグループ	グループ				モンテカルロテスト
		1	2	3	4	
クサソテツ	1	85	0	0	0	**
イヌワラビ	1	53	39	5	0	**
オシダ	1	47	0	0	0	**
ホソバシケシダ	1	46	2	0	0	**
オウレンシダ	1	39	2	0	0	*
ゼンマイ	1	38	0	0	0	*
テリハヤブソテツ	2	3	58	15	2	**
オクマワラビ	2	12	56	2	0	**
ヤブソテツ	2	7	47	1	0	*
ナガバヤブソテツ	3	0	2	77	0	**
カニクサ	3	0	0	67	26	**
イノモトソウ	3	0	6	64	12	**
ベニシダ	3	0	6	54	14	**
タチシノブ	3	0	0	33	22	*
ナチシケシダ	4	0	0	0	100	**
マメヅタ	4	0	0	0	98	**
イシカグマ	4	0	0	0	80	**
タマシダ	4	0	0	16	75	**
ノキシノブ	4	0	10	24	59	**
イヌケホシダ	4	0	0	45	48	**
イワヒメワラビ	4	0	14	12	42	*
ヘビノネゴザ	1	29	26	0	0	n.s.
イヌガンソク	1	20	0	0	0	n.s.
コウヤワラビ	1	20	0	0	0	n.s.
ハクモウイノデ	1	20	0	0	0	n.s.
ホソバナライシダ	1	17	1	0	0	n.s.
クジャクシダ	1	16	1	0	0	n.s.
シケシダ	2	24	34	3	2	n.s.
トラノオシダ	2	27	30	20	2	n.s.
リョウメンシダ	2	19	23	0	0	n.s.
ゲジゲジシダ	2	0	18	1	0	n.s.
ジュウモンジシダ	2	7	12	1	0	n.s.
イノデ	2	3	9	3	0	n.s.
ヤマヤブソテツ	2	4	8	0	0	n.s.
オニヤブソテツ	3	0	2	26	11	n.s.
ギフベニシダ	3	0	1	25	0	n.s.
ミドリヒメワラビ	3	0	8	21	0	n.s.
コバナヒノキシダ	3	0	3	11	0	n.s.
サトメシダ	3	5	0	8	0	n.s.
ヒメワラビ	3	2	2	3	0	n.s.
ホシダ	4	0	0	11	23	n.s.
イヌシダ	4	3	0	0	14	n.s.
シノブ	4	0	2	1	14	n.s.
オオベニシダ	4	0	1	2	12	n.s.

表3 各モデルのROC曲線下の面積(AUC: Area Under the Curve)の値

グループ	Tモデル	WINTモデル	WIモデル	CIモデル
1	0.978	0.974	0.953	0.961
2	0.960	0.957	0.950	0.931
3	0.994	0.994	0.994	0.990
4	1.000	1.000	1.000	1.000

3-3. 分類木

分類木解析では、まず、全変数を投入した解析を行い、第1段階の分岐を試行した。その結果、分岐のための最適な変数として *WI* が選択されたが、*WINT*, *CI*, *T* も大きな差はなかった。一方、事前の計算の結果、*WI*, *WINT*, *CI*, *T* は互いにピアソンの単相関係数の絶対値が 0.90 を越えており、分散拡大係数が 10 以上であって、多重共線性の問題から、同じモデルの中に説明変数として投入することは望ましくないと考えられた。そこで、*WI*, *WINT*, *CI*, *T* を第1段階の分岐のための変数として用いるモデルをそれぞれ個別に作成し、最も精度の高いモデルを本研究では採用することとした。なお、*PRSp* と *PRSm* に関しても分散拡大係数が 10 を越えていたため、本研究では *PRSm* のみを用いてモデルを作成した。よって、各分類木モデルの説明変数には、*WI*, *WINT*, *CI*, *T* のいずれかに加えて *SUMT*, *PRY*, *PRSm*, *PRA*, *PRW*, *HAI* の計 7 変数を用いられたことになる。

作成された4つの分類木モデル (*WI*, *WINT*, *CI*, *T* をそれぞれ用いたモデル)は、それぞれ精度は高く、ROC曲線下の面積(AUC)は表3のようになったが、*T* を用いたモデルが最も精度が高かったため、これをもとに検討した(表4; 図2)。降水量に関する変数よりも *T* のほうが、寄与率は大きかった。なお、降水量は、いずれのモデルでも *PRY* または *PRSm* が選択された。*SUMT*, *PRA*, *PRW*, *HAI* は選択されなかった。作成された分類木モデルによると、年平均気温が 14.8°C 以上で年降水量が 2498.9mm 以下の場合にグループ3 (ナガバヤブソテツなどが指標種)になると考えられた。また、年平均気温が 14.8°C 以上で年降水量が 2498.9mm 以上の場合にグループ4 (ナチシケシダなどが指標種)になると考えられた。年平均気温が 13.2°C 以上 14.8°C 未満の場合にグループ

表4 分類木モデル(図2)における説明変数の累積寄与率。 G^2 は尤度比カイ2乗統計量を示す

変数	分岐数	G^2	割合(%)
T	3	76.84	68.5
PRY	3	25.76	23.0
PRSm	1	9.59	8.5
SUMT	0	0.00	0.0
PRA	0	0.00	0.0
PRW	0	0.00	0.0
HAI	0	0.00	0.0

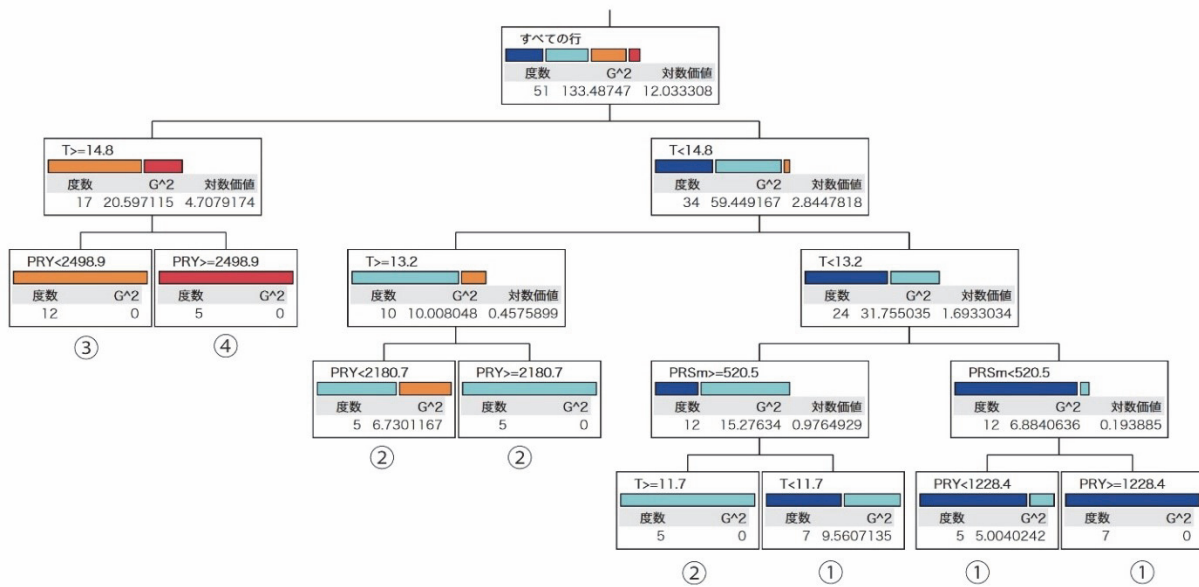


図2. グループ1～4を目的変数とした分類木モデル (①～④は図1のグループ1～4に対応; カラーバーは各グループの割合を示し、濃いブルーが①、水色が②、オレンジが③、赤が④の各グループを示す)

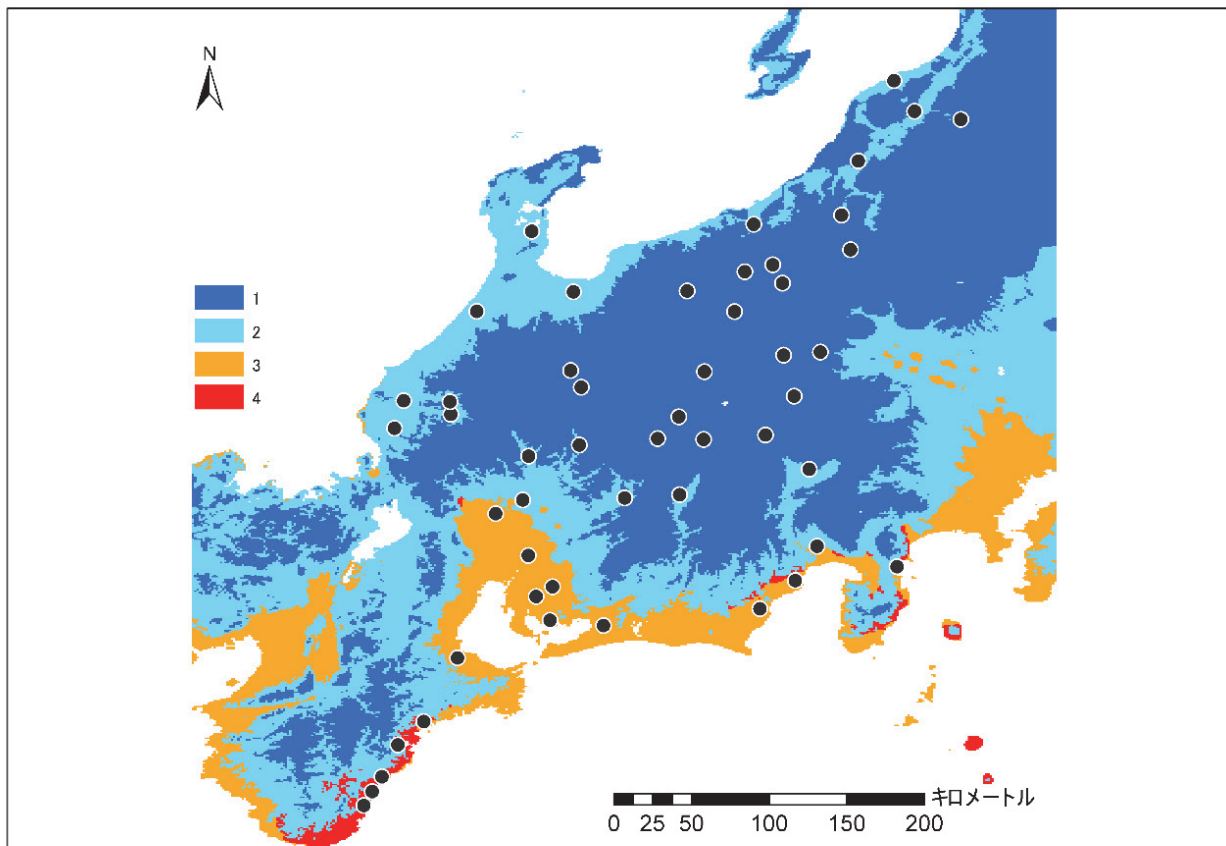


図3. グループ1～4の潜在生育地マップ (図2の分類木モデルの最終ノードから描いた)



写真2. 石垣に生育するイヌワラビ (湯田中駅前)



写真4. オウレンシダ (奈良井駅前)



写真3. 路傍に生育するイシカグマ (新宮駅前)

2 (テリハヤブソテツなどが指標種) になると考えられた。更に年平均気温が 11.7°C 以上 13.2°C 未満でかつ夏季降水量が 520.5mm 以上の場合にもグループ2になると考えられた。それ以外の場合についてはグループ1 (クサソテツ、イヌワラビなどが指標種) になると考えられた。

3-4. ポテンシャルハビタットマップ

図2の分類木モデルの最終ノードを用いて、シダ類群集のポテンシャルハビタットマップを ArcGIS 上で図示した。紀伊半島の南側にグループ4が集中し、太平洋側の各都市においてグループ3となり、高標高の内陸部を中心にグループ1となって、その周縁部にグループ2となる、ほぼ予測通りのマップとなった。その一方で、岐阜県、静岡県でグループ3の、より内陸部にグループ4が図示されるなど、詳細を見ると、問題があるように見えた。

4. 考察

図2、3に示したように、中部地方の調査事例から、分類木モデルを用いて、ポテンシャルハビタットマップを描いた。ROC 曲線、AUC を用いた精度判定では高い水準に達していたものの、地図化した場合には、実際の状況に合わないようなところが残った。現時点では、静岡県中部から愛知県東部の豊橋にかけて全く調査地点がなかったり、三重県北部で調査が行われていなかったりして、問題が多い。調査地点数の不足が、マップに問題を引き起こしている可能性がある。また、温暖な伊豆半島にも、いくつかの調査地点を設ける必要があるかもしれない。分類木では、シダ類群落の違いを気候要因によって完全に説明できるわけではないため、ボーダーライン (分類が完全でない最終ノード) の扱いが難しくなるが、そのような点も問題になりうる。モデルに投入する気候変数についても再検討する必要があるかもしれない。

一方、途中経過での解析ではあるが、各グループの指標となるシダ類について、ある程度、明らかにできた。イヌワラビ (写真2)、イヌケホシダ、イシカグマ (写真3) などの種は、近畿地方や中国地方の既往研究 (村上ほか, 2011; 村上・森本, 2015) でも指標種となっていた。また、中部地方の内陸部は近畿地方や中国地方よりもより寒冷で、 WI が 90 を切るような市街地も多く、クサソテツやオシダ、オウレンシダ (写真4) などの、より寒地での指標種を明らかにすることができた。しかし、正確な指標化のためには、図3において、かなり広域にわたって描かれているグループ1を更に細分して区分する必要があるかもしれない。この点については再検討する必要があるだろう。今後も、調査を継続して、

より精度の高い解析を行いたいと考える。

5. おわりに

本研究では、TWINSPAN や分類木モデルなどの多変量解析と GIS を活用して、潜在生育地マップを描き、気候温暖化の指標となる種について検討した。先に述べたように潜在生育地マップの精度には課題が残ったが、より寒地の指標種の抽出に成功し、今後の調査と解析によって、新しい知見が得られそうである。

なお、本研究では現在気候値での潜在生育地マップの精度が充分とは言えなかったことから、将来気候下でのマップ化は行わなかったが、Climate Envelope Model を用いた将来予測 (Pearson et al., 2002; Wiens et al., 2009) についても行って、モニタリング調査に役立つような資料を作成していきたい。

6. 引用文献

- Dufrene, M. and Legendre, P. (1997) Species assemblages and indicator species: the need for the flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67(3)
- Higa, M., Nakao, K., Tsuyama, I., Nakazono, E., Yasuda, M., Matsui, T. and Tanaka, N. (2013) Indicator plant species selection for monitoring the impact of climate change based on prediction uncertainty. *Ecological Indicators*, 29: 307-315.
- Hill, M. O. (1979) TWINSPAN –a FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. *Ecology and Systematics*. Cornell University, 90pp.
- 吉良竜夫 (1945) 農業地理学の基礎としての東亜の新気候区分. 京都大学農学部園芸学研究室パンフレット: 1-23.
- 吉良竜夫 (1971) 生態学からみた自然. 河出書房新社, 287pp.
- 気象庁 (2012) 国土数値情報 平年値メッシュデータ (Website at: <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-G02.html>)
- McCune, B. and Mefford, M. J. (2011) PC-ORD. *Multivariate Analysis of Ecological Data (Version 6)*. MjM Software.
- 村上健太郎・堀川真弘・森本幸裕 (2011) 近畿地方の市街地に生育するシダ類の種組成と気候要因との関係. *日本緑化工学会誌*, 37(1): 38-43.
- 村上健太郎・森本幸裕 (2015) 中国地方の市街地におけるシダ類の種組成と気候要因との関係. *日本緑化工学会誌*, 41(1): 121-126.
- Pearson, R. G., Dawson, T. P., Berry, P. M. and Harrison, P. A., (2002) SPECIES: A spatial evaluation of climate impact on the envelope of species. *Ecological Modelling*, 154(3): 289-300.
- Wiens, J. A., Stralberg, D., Jongsomjit, D., Howell, C. A. and Snyder, M. A. (2009) Niches, models, and climate change: Assessing the assumptions and uncertainties. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(2): 19729-19736.