

多様度指数を用いた陸域生態系（典型性）の 環境類型区分の分析の試み

An Attempt to Analyze the Environmental Type Classification of
Terrestrial Ecosystem using the Biodiversity Index

研究第三部 首席研究員 白井明夫
研究第三部長 天野邦彦

陸域生態系（典型性）については、一般に、調査地域で広い面積を占めており、長期間維持されている環境を対象として類型区分し、影響予測評価が実施されている。しかし、日本のダム事業に係る環境影響評価においては、環境類型区分の空間スケールの妥当性について定量的に検証された事例は知られていない。我々は、環境類型を区分する手法の確立に資するために、環境類型区分を行った陸域生態系を対象として、多様度指数を用いた環境類型区分の分析を試みた。

キーワード：生態系、環境類型区分、多様度指数

Generally, the environmental types which occupy a large proportion in the total survey area and must have been unchanged over a long period of time are delineated as a unit for prediction in the Environmental Impact Assessment (EIA) process. However, there is no example with which the space scale suitable for environmental type classification was examined quantitatively in EIA for dams in Japan. We tried to analyze the environmental type classification of terrestrial ecosystem using the diversity index, in order to contribute to the establishment of a technique which performs environmental type classification.

Key words : ecosystem, classification of environment types, biodiversity index

1. はじめに

ダムは、洪水調節による洪水被害軽減、水道用水や工業用水、農業用水等の安定的な水供給の確保等を目的に建設され、重要な役割を果たしている。しかし、近年、ダム事業については、自然環境、地域社会等への影響が広範囲に及ぶことなどから、様々な議論がなされており、環境保全に対する社会的な要請に対応するため、自然環境の調査方法、環境への影響の予測・評価手法等のさらなる精度の向上が喫緊の課題となっている。

生態系は、平成9年の環境影響評価法の制定に伴い環境影響評価対象項目として規定された項目である。その典型性に関する影響予測評価に当たっては、植生・地形などにより区分された環境類型について、当該地域で広い面積を占めており、長期間維持されてきた環境類型を「生態系の典型性」と位置づけ、その改変の程度に基づいて評価を定性的に行う手法が取られている。そして、設定した環境類型区分の妥当性について

は、TWINSPAN分析等により、「区分すること」の妥当性を検討している。

環境影響評価の過程においては、その結果に応じて、評価対象に対する影響を回避、低減し、それが不可能な場合は代償措置により保全を講じる必要があるが、広い面積を占める陸域の典型的生態系が評価対象の場合、区分された環境類型の中で均一な環境が広がっているとは限らず、より小さな環境の集合体と捉える方が合理的な場合もあると考えられる。このような場合、典型的生態系の保全を検討する際に、特に重要と考えられる箇所を特定したり、上記のようなより小さな環境を含む生態系の構造を推定したりすることができる。環境保全をより効果的かつ効率的に実施することができるものと考えられる。

このような考えに基づき、本稿では、多様性指数（多様度）を用いて、地域の多様度に対する環境類型区分の寄与率を解析することにより、環境類型区分を行った陸域生態系を対象に生態系構造の評価を試行した結果について紹介する。

2. 検討方法

白井・五十嵐 (2007) は、地域の生態系の階層構造を評価する手法として、多様性指数を用いる方法の適用性を検討している。本検討においては、この方法を応用し、調査地域－調査林分－調査地点等の階層構造において、上位の区分の多様度に対する下位の区分の多様度の寄与を算出し、寄与の高い区分を抽出することにより、どのような区分で環境類型を設定することが適当であるか検討した。

また、検討結果の考察にあたっては、上記の検討結果の妥当性を検討するために、各調査地点の調査結果についてTWINSPAN分析を行うとともに、各林分の類似度指数 (Jaccard (1902) による共通係数: CC) を算出した。ここで、 $CC = c / (a + b - c)$ a: 群集aの種の数、b: 群集bの種の数、c: 群集a, bに共通して出現する種の数である。

(1) Whittakerによる多様性の定義

Whittaker (1960) は、種の多様性として3つの多様性を定義した。

α 多様性: ある集団における多様性

β 多様性: 複数の集団間での種の出現状況の違いによる多様性

γ 多様性: 複数の集団全体の多様性

これまでに多くの多様性に関する研究が行われてきたが、 α 多様性と β 多様性の単位が異なることから、どちらがより全体の多様性 (γ 多様性) に関わるのかを直接比較する手法はなかった。

(2) Landeによる多様性指数の分割

Lande (1996) は、種の多様性を $\gamma = \alpha + \beta$ (α は複数の群集 a の平均値) として分割して表す方法について、種の多様性を以下のように定義した場合、DwithinとDamongには、 $DT = Damong + \alpha Dwithin$ という関係があることを示した。

Dwithin (α 多様度): ある集団における種の多様性

Damong (β 多様度): 複数の集団間での種の出現状況が異なることによる多様性 (異質性の程度)

DT (γ 多様度): 複数の集団全体の多様性

$\alpha Dwithin$: Dwithinの平均値

ここで、 $\alpha Dwithin = \sum_j q_j \times D_j$

q_j : 集団jの個体数の全体に対する割合

D_j : 集団jの α 多様度

したがって、上記の式は、以下のように表すことが

できる。

$$Damong = DT - \sum_j q_j \times D_j$$

本研究においては、上記の考え方にに基づき、空間スケールの小さな区分が、空間スケールの大きな区分の多様度にどの程度寄与しているかを算出し、検討対象とする地域における環境類型区分にあたって、空間スケールを考慮する方法を検討した。

なお、シャノン・ウィーバー関数 (Shannon-Weaver function) の場合、 D_j 、 DT の算出式は以下のとおりである。

$$D_j = - \sum_i p_{ij} \times \ln p_{ij}$$

p_{ij} : 集団jの種iの、個体数のj内の総個体数に対する割合

$$DT = - \sum_i \pi_i \times \ln \pi_i$$

π_i : 種iの個体数の、総個体数に対する割合

$$\pi_i = \sum_j (q_j \times p_{ij})$$

上記のDT式を以下のように変形することにより、Damongを求めることができる。

$$\begin{aligned} DT &= - \sum_i (\pi_i \times \ln \pi_i) \\ &= - \sum_i (\sum_j (q_j \times p_{ij}) \times \ln (\sum_j (q_j \times p_{ij}))) \\ &= - \sum_j (q_j \times \sum_i (p_{ij} \times \ln (\sum_j (q_j \times p_{ij})))) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Damong &= DT - \sum_j (q_j \times D_j) \\ &= - \sum_j (q_j \times \sum_i (p_{ij} \times \ln (\sum_j (q_j \times p_{ij})))) \\ &\quad + \sum_j (q_j \times \sum_i (p_{ij} \times \ln (p_{ij}))) \\ &= \sum_j (q_j \times \sum_i (p_{ij} \times \ln (p_{ij} / \pi_i))) \end{aligned}$$

上式では、Damongは集団jごとに算出した値の総和で表されており、Damongにおける集団jの寄与を評価することができる。

(3) 多様性指数の分割を用いた空間スケールの検討

上記の関係は、入れ子になった集団 (例えば、地域－環境類型－植物群落－調査地点) についても、DTをさらに集団内のDTとDamongに細分することにより、階層別に適用することができる。

例えば、地点別－階層別の多様度を検討する場合には、

$$DT = Dws + Das$$

$$Dws = Dwsj + Dasj$$

ここで、 $Dwsj$ 及び $Dasj$ は、前述の $\alpha Dwithin$ 及びDamongの算出式に基づき、地点別階層別の種の確認状況から算出することができる。

$$Dwsj = \sum_k q_{kj} \times D_{kj}$$

$$Das_j = \sum_j (q_j \times \sum_i (p_{ij} \times \ln(p_{ij}/\hat{p}_i))$$

q_j : 地点sにおける階層jの種iの個体数の、階層jの総個体数に対する割合
 D_j : 地点sにおける階層jの α 多様度
 $(D_j = - \sum_i p_{ij} \times \ln p_{ij})$
 p_{ij} : 地点sにおける階層jの種iの個体数の、j内の総個体数に対する割合
 \hat{p}_i : 種iの個体数の総個体数に対する割合
 $(\hat{p}_i = \sum_j (q_j \times p_{ij}))$

なお、上記の式は、地点と階層を入れ替えた場合にも成立するため、階層構造に着目した解析も可能である。また、種に着目した場合には、どの種が、どのレベルの多様度に、どの程度寄与しているかなどについて検討することができる。

本研究においては、3階層の多様度について分割して検討するとともに、各林分で確認されている種の各林分間の β 多様度への寄与について検討した。

3. 使用データ

ダム事業における環境影響評価にあたっては、環境類型区分としては景観レベルの区分が用いられていることが多い。本検討においては、より小さなスケールでの区分が重要であるかどうかを判断することし、検討に使用したデータは、表-1に示す5林分(スギ植林、ブナ壮齢林、ミズナラ壮齢林、ミズナラ若齢林、溪畔林)で実施された植物及び地上徘徊性昆虫類(オサムシ科・アリ科)の調査結果を用いた。

表-1 調査対象林分

区分	景観レベル	林分レベル
調査地域全域	常緑針葉樹植林	スギ植林
	落葉広葉樹林	ブナ壮齢林
		ミズナラ壮齢林
		ミズナラ若齢林
		溪畔林

調査の実施状況は、以下に示すとおりである。

(1) 調査地点

各林分内に5地点ずつ設置(1地点は半径25mの円内)

(2) 植物調査

調査方法：群落組成調査(高木層、亜高木層、低木層、草本層の別に種別の被度を記録)

調査時期：平成18年11月

(3) 地上徘徊性昆虫類調査

調査方法：ピットフォールトラップ(68個/地点、4晩掛け・毎日回収)

なお、調査地点によるトラップ設置状況の差により調査結果に偏りが生じることを避けるため、トラップは調査地点(直径50mの円内)において、5m間隔で格子状に設置(図-1参照)

調査時期：平成19年9月

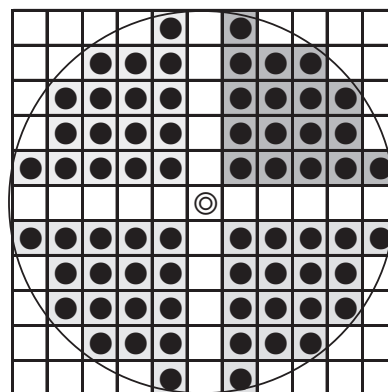


図-1 調査地点におけるのトラップ配置イメージ
(◎：地点の中心点、●：トラップ設置位置)

4. 解析結果

(1) 植物

植物については、多様度分割を行うレベルは、各林分(高木層、亜高木層、低木層、草本層の階層別)、各調査地点(高木層、亜高木層、低木層、草本層の階層別)とした。各多様度間の関係は以下に示すとおりである。

$$a_2 = a_1 + \beta_1, a_3 = a_2 + \beta_2, \gamma = a_3 + \beta_3$$

ここで、 a_1 : 各調査地点の各階層の多様度

a_2 : 各林分の各階層の多様度

a_3 : 各林分の多様度

β_1 : 各調査地点の階層間の多様度

β_2 : 各林分の階層間の多様度

β_3 : 各林分間の多様度

γ : 全域の α 多様度

多様度の分割結果を表-2に示す。群間多様度についてみると、林分間の多様度(β_3)及び各林分の階層間の多様度(β_2)が高くなっている。

表-2 多様度分割結果(植物)

区分	群内多様度		群間多様度	
対象地域	γ	4.52	-	-
各林分	α_3	3.77	β_3	0.75
各林分の階層別	α_2	3.02	β_2	0.75
各調査地点の階層別	α_1	2.38	β_1	0.64

全域の α 多様度に対する各林分の寄与をみるために各林分の $\alpha 3$ 及び $\beta 3$ を算出した結果を図-2に示す。 $\alpha 3$ については、ミズナラ壮齢林で高く、溪畔林で低い。 $\beta 3$ については、どの林分の寄与も同程度である。

また、各林分で確認されている種の各林分間の β 多様度に対する寄与について検討した結果を、以下に示す。

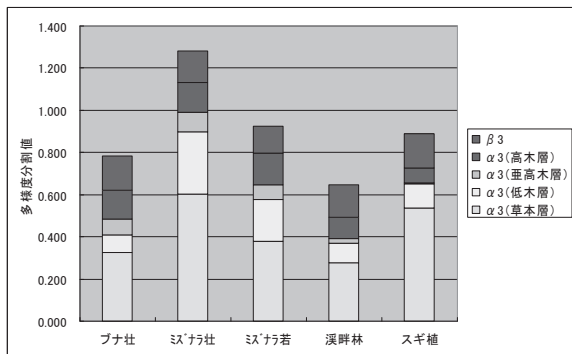


図-2 γ に対する各林分の多様度 (植物)

a) ブナ壮齢林

ブナが、ブナ壮齢林の $\beta 3$ への寄与のほぼ半分を占めている。その他の種では、ハイイヌガヤ、オオイワウチワ、オオカメノキ、ホオノキ等のブナ林に特徴的な種の寄与が比較的高い。他の林分に比べ $\beta 3$ に寄与する種は少ないが、これは落葉樹林としては林床が暗く、あまり多くの種は生育していないこと、ミズナラ林と共通する種が多く出現していることが原因と考えられる。

b) ミズナラ壮齢林

ミズナラ壮齢林における確認種には、Carex属の一種、キバナイカリソウ、ボタンヅル、ノイバラ、タニウツギといった、本来ミズナラ壮齢林には生育することが少ないと考えられる種が多くみられ、 $\beta 3$ に寄与している。本来のミズナラ壮齢林の種組成はミズナラ若齢林に近いものと考えられ、 $\beta 3$ への寄与は今回の結果よりも低いことが考えられる。なお、本来のミズナラ壮齢林の種組成と異なる理由としては、調査地点の土壤水分量が多いことによる可能性が考えられる。

c) ミズナラ若齢林

ミズナラ、クリ、コマユミ、ハイイヌツゲ、オオバクロモジ、ヤマモミジ、ヒメアオキといったミズナラ林で特徴的な種の寄与が高いが、その他の種では $\beta 3$ への寄与は低い。これは、ブナ壮齢林、ミズナラ壮齢林と共通する種が多く出現していることが原因と考えられる。

d) 溪畔林

サワグルミ、シロヤナギ、ウワバミソウ、オオバヤ

ナギ、ムカゴイラクサ、オノエヤナギといった河畔に特徴的な種が多く出現し、 $\beta 3$ への寄与が高くなっている。

e) スギ植林

スギがスギ植林の $\beta 3$ への寄与の約1/3を占めている。その他の種ではオシダ、リョウメンシダ、サカゲイノデといった東北地方のスギ植林草本層に特徴的な種の寄与が比較的高くなっている。

(2) 地上徘徊性昆虫類 (オサムシ科・アリ科)

地上徘徊性昆虫類については、多様度分割を行うレベルは、各林分、各調査地点、各トラップとした。各多様度間の関係は以下に示すとおりである。

$$\alpha 2 = \alpha 1 + \beta 1, \alpha 3 = \alpha 2 + \beta 2, \gamma = \alpha 3 + \beta 3$$

ここで、 $\alpha 1$: 各トラップの多様度

$\alpha 2$: 各調査地点の多様度

$\alpha 3$: 各林分の多様度

$\beta 1$: 各トラップ間の多様度

$\beta 2$: 各調査地点間の多様度

$\beta 3$: 各林分間の多様度

γ : 全域の α 多様度

多様度の分割結果を表-3に示す。群間多様度についてみると、林分間の多様度 ($\beta 3$) が高くなっている。

表-3 多様度分割結果 (地上徘徊性昆虫類)

区分	群内多様度	群間多様度		
対象地域	γ	1.70	-	-
各林分	$\alpha 3$	1.43	$\beta 3$	0.27
各調査地点	$\alpha 2$	1.22	$\beta 2$	0.21
各トラップ地点	$\alpha 1$	1.10	$\beta 1$	0.12

全域の α 多様度に対する各林分の寄与をみるために、各林分の $\alpha 3$ 及び $\beta 3$ を算出した結果を図-3に示す。 $\alpha 3$ については、ブナ壮齢林が高く、次いで溪畔林となっており、ミズナラ壮齢林で低くなっている。 $\beta 3$ については、ブナ壮齢林及び溪畔林の寄与が高くなっている。

オサムシ科及びアリ科のそれぞれについて、全域の α 多様度に対する各林分の $\alpha 3$ 及び $\beta 3$ を算出した結果を図-4及び図-5に示す。 $\alpha 3$ については、オサムシ科では、溪畔林の寄与が高く、次いでブナ壮齢林となっており、ミズナラ壮齢林で低くなっている。アリ科では、ブナ壮齢林の寄与が高くなっている。 $\beta 3$ については、オサムシ科では、溪畔林の寄与が高く、次いでブナ壮齢林となっている。アリ科では、ブナ壮齢林の寄与が高くなっている。

また、各林分で確認されている種の各林分間の β 多様度に対する寄与について検討した結果を、オサムシ

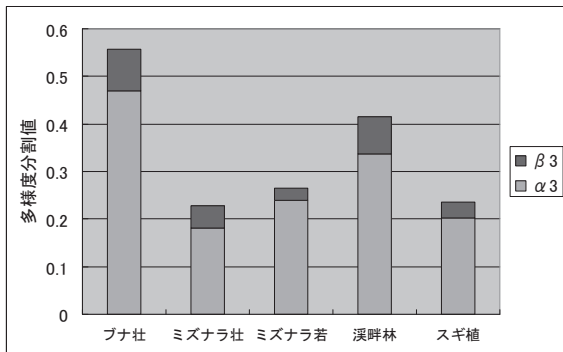


図-3 γ に対する各林分の多様度 (地上徘徊性昆虫類)

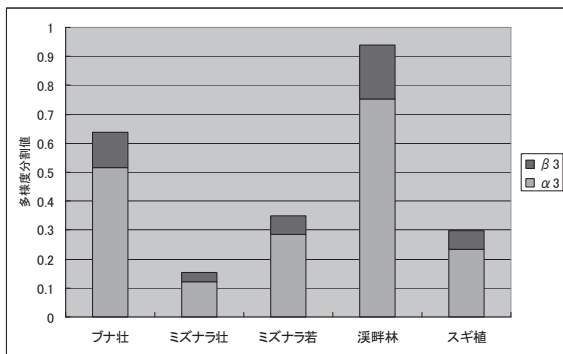


図-4 γ に対する各林分の多様度 (オサムシ科)

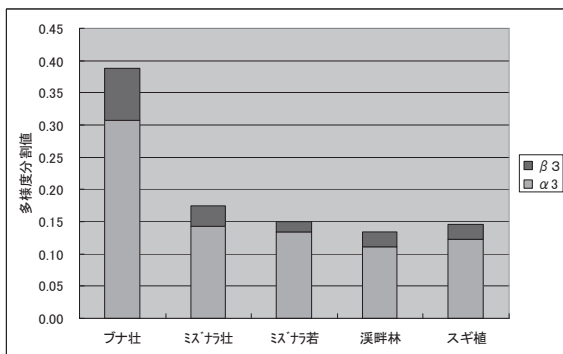


図-5 γ に対する各林分の多様度 (アリ科)

科とアリ科に区分して以下に示す。

a) オサムシ科

オサムシ科の種の生態は、「森林に生息している」、「倒木下に生息している」といったレベルでしか判明していない種が多いため、その生態と多様度への寄与の程度がわからないものが多い。

溪畔林では、キアシツヤヒラタゴミムシ和田亜種 *Synuchus callitheres towadensis* や、マルガタツヤヒラタゴミムシ、コマルガタゴミムシ、ヒラタキイロチビゴミムシなどの河原や湿った環境に良く出現する種の $\beta 3$ への寄与が高く、これらの種は溪畔林に特徴的な種と考えられる。

b) アリ科

シワクシケアリとエゾクシケアアリはブナ壮齢林で、クサキリモドキはミズナラ壮齢林で、ノコギリハアリ、ヒゲナガケアリ、ウメマツアリはミズナラ若齢

林で、ヒメハアリは溪畔林で、キイロケアリはスギ植林でのみ確認されており、 $\beta 3$ に寄与している。ただし、これらの種は生態が明らかではないため、各林分の環境条件に対応しているものかは不明である。

5. 考察

環境タイプの区分にあたっては、地域の多様度への寄与が高い林分については、特徴的な生物群集が存在すると考えられることから、一つの生態系が形成されている場として区分することが必要であると考えた。植物については、 $\alpha 3$ ではミズナラ壮齢林の寄与が高く、溪畔林で低い。 $\beta 3$ ではどの林分も同程度となっている。地上徘徊性昆虫類については、 $\alpha 3$ ではブナ壮齢林が高く、次いで溪畔林となっている。 $\beta 3$ については、ブナ壮齢林及び溪畔林の寄与が高くなっている。さらに、地上徘徊性昆虫類の中でも、オサムシ科については、 $\alpha 3 \cdot \beta 3$ ともに溪畔林の寄与が高く、次いでブナ壮齢林となっている。アリ科については、 $\alpha 3 \cdot \beta 3$ ともにブナ壮齢林の寄与が高い。

以上のことから、地域に代表的な生態系の場としては、多様度への寄与が高いブナ壮齢林、ミズナラ壮齢林、溪畔林を区分することが適当と考えられる。

植物群落組成調査結果及び地上徘徊性昆虫類調査結果について、各調査地点の結果をTWINSPAN分析した結果を表-4に、各林分の類似度指数を算出した結果を表-5に示す。

植物のTWINSPAN分析についてみると、ブナ壮齢林及び溪畔林は、比較的まとまって区分されているが、ミズナラ壮齢林、ミズナラ若齢林及びスギ植林は、各レベルでバラバラに区分されている。地上徘徊性昆虫類のTWINSPAN分析についてみると、ブナ壮齢林、ミズナラ若齢林及び溪畔林は、比較的まとまって区分されているが、ミズナラ壮齢林及びスギ植林は、バラバラに区分されている。

植物の類似度指数についてみると、溪畔林及びスギ植林は他の林分との類似度が低くなっている。また、ブナ壮齢林とミズナラ壮齢林間の類似度がやや低くなっている。地上徘徊性昆虫類の類似度指数についてみると、溪畔林は他の林分との類似度が低くなっている。また、ブナ壮齢林とスギ植林間の類似度がやや低くなっている。

当該地域の環境タイプは、景観レベルでの区分として落葉広葉樹林及び常緑針葉樹植林に区分することが想定されるが、常緑針葉樹植林(スギ植林)を環境タイプとして区分することは、類似度指数の観点からは概ね

表-4 TWINSpan分析結果

(1) 植物

LEVEL 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
LEVEL 2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	
LEVEL 3		0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0	0	0	0	1	1			1	
LEVEL 4			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											1
区分	1	2	3			4			5	6			7	8														
林分	4	4	4	2	2	2	3	3	3	4	4	5	5	5	2	2	1	3	1	1	1	1	1	1	3	5		

注) 林分 1:ブナ壮齢林 2:ミズナラ壮齢林 3:ミズナラ若齢林 4:溪畔林 5:スギ植林

(2) 地上徘徊性昆虫類

LEVEL 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
LEVEL 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
LEVEL 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
区分	1	2			3			4	5			6	7															
林分	1	1	1	1	1	3	5	2	3	3	3	3	5	5	2	2	4	4	4	5	4	4	4	2	5			

注) 林分 1:ブナ壮齢林 2:ミズナラ壮齢林 3:ミズナラ若齢林 4:溪畔林 5:スギ植林

表-5 類似度指数算出結果

(1) 植物

林分	1	2	3	4	5
1	1.00	0.40	0.56	0.26	0.37
2		1.00	0.52	0.36	0.55
3			1.00	0.33	0.46
4				1.00	0.46
5					1.00

注) 林分 1:ブナ壮齢林 2:ミズナラ壮齢林
3:ミズナラ若齢林 4:溪畔林 5:スギ植林

(2) 地上徘徊性昆虫類

林分	1	2	3	4	5
1	1.00	0.56	0.63	0.51	0.57
2		1.00	0.50	0.33	0.43
3			1.00	0.47	0.60
4				1.00	0.59
5					1.00

注) 林分 1:ブナ壮齢林 2:ミズナラ壮齢林
3:ミズナラ若齢林 4:溪畔林 5:スギ植林

妥当と考えられる。

一方、落葉広葉樹林については、溪畔林は他の林分とは異なる種組成を有していると考えられ、その他の林分(ブナ壮齢林、ミズナラ壮齢林及びミズナラ若齢林)については、まとめて落葉広葉樹林と区分することは妥当と考えられる。しかし、一般的に、溪畔林は面積が小さいため、典型性を表す環境類型として落葉広葉樹林に区分することには、大きな問題はないと考えられる。

多様度についての分析結果では、多様度への寄与が高い林分としてブナ壮齢林、ミズナラ壮齢林、溪畔林が抽出されており、今回の例においては、落葉広葉樹林を環境類型とした場合、その中でも多様度への寄与が高いブナ壮齢林、ミズナラ壮齢林及び溪畔林に留意して影響を検討することで、より精度の高い評価が可能になると考えられる。

6. おわりに

多様度分割を行うことにより、調査地域・林分・地点の群内多様度及び群間多様度を算出することができ、調査地域全域の多様度に対する各々の寄与率から、生態系(典型性)の環境類型区分において重要な林分を判断することができた。しかし、その判断基準は定性的であるため、より客観的な判断基準を設定する必要がある。また、地域の生物多様性へ寄与という視点からだけでは、「地域を代表する生態系」を選定することはできないと考えられることから、今後は、TWINSpan分析、種組成や確認された種の生態等の考慮など、様々な方法の併用を検討することが考えられる。

なお、今回地域の多様度への寄与が高いと考えられた溪畔林については、地域に占める面積が狭いため、「典型性」の環境類型として取り扱うよりも、典型性では表現できない規模の小さな環境ということで「特殊性」として取り扱うことも検討対象となる。

本研究においては、いであ株式会社 柏原聡氏の多大なご協力をいただきました。大変ありがとうございました。

参考文献

- Whittaker, R. H.: Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. Ecol. Monogr. 30, pp.279-338, 1960
- Routledge, R. D.: On Whittaker's components of diversity, Ecol. 58, pp.1120-1127, 1977
- Lande, R.: Statistics and partitioning of species diversity, and similarity among multiple communities, Oikos. 76, pp.5-13, 1996
- 白井明夫・五十嵐崇博: 生態系(典型性)の評価について-多様性指数を用いた解析の試み-, ダム水源地環境技術研究所所報, pp.69-73, 2007