

## GISを用いた鳥取県における森林植生パッチの解析

長澤 良太\*・鈴木 加奈子\*\*

### Patch Analysis of Forest Vegetation in Tottori Prefecture using GIS

Ryota NAGASAWA\* and Kanako SUZUKI\*\*

#### 要 旨

本研究は、地理情報システム (GIS) を用いた森林植生パッチの定量的解析について論じたものである。パッチ形状を正確に同定するためには、最新の土地利用図や相観植生図を作成することが重要であり、それらの地図情報をもとに森林植生タイプ別のパッチの大きさと形状を計測した。その結果、鳥取県下全域 (約 3,500 km<sup>2</sup>) では総数 8,474 の森林植生パッチが認められた。このうち、広葉樹林と針葉樹林はそれぞれ 3,085 個 (36.4%)、3,012 個 (35.5%) とほぼ同数で、混交林が 2,377 個 (28.2%) であった。一方、パッチの平均的な面積は針葉樹林の 46 ha が最も大きく、次いで混交林が 25 ha、広葉樹林は 22 ha と最小値を示した。このことから、広葉樹林パッチは最も分断化が進行している様子が伺われた。地域的にみると、県東部 (千代川流域) と西部 (日野川流域) で広葉樹林の分断化が特に顕著であった。次に、パッチの形状指数を得るために、緻密度、伸長度、粒形度を GIS を用いて計測し、各指数間の関係を分析した。その結果、パッチの面積と周囲長から求められる緻密度が形状の特性を代表的に表していることがわかった。本研究では、こうしたパッチの空間的分布と野生鳥類の生息地との関係についても予察的な検討を行った。

キーワード：森林植生パッチ、形状指数、地理情報システム、生息地

#### Summary

This study discusses the characteristics of forest vegetation patches on the basis of a quantitative analysis using the Geographic Information System (GIS). For this purpose, land use and vegetation maps were prepared for the detection of forest patches, then the patches were measured in size and shape according to the forest type (coniferous, deciduous and mixed forest). The study covers the total area of 3,500km<sup>2</sup> in the Tottori Prefecture.

As a result of study, 8,474 patches were identified with a ratio of deciduous, coniferous and mixed forests of 36.4%, 35.5% and 22.4%, respectively. The average patch size of patch was largest for coniferous, followed by mixed forest and deciduous. The number of patches was largest for deciduous, followed by mixed forest and coniferous. The deciduous patches were the most-finely fragmented, especially in the eastern and western part of the prefecture. The shape index value such as compactness, elongation and grain shape index are also measured using GIS tools and the relations between these were analyzed. Compactness can be used as a shape index for patch evaluation in terms of wildlife habitats. In this study, a biogeographical examination of wildlife birds in conjunction with deciduous patches was also attempted as an example.

**Key words** : forest vegetation patch, shape index, Geographic Information System (GIS), habitat

\*鳥取大学農学部生物資源環境学科森林科学講座 (〒 680-8553 鳥取市湖山町南4-101)

Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Tottori University, Tottori, 980-8553, Japan

\*\*株式会社大興計測技術 (〒 501-4612 岐阜県郡上市大和町剣 880-6)

Daikyo Keisoku Gijyutsu Co.Ltd., Gifu, 501-4612, Japan

## I. 序 論

多くの野生生物の生息環境は、森林植生の種類やその分布形状に依存している。しかしながら、近年、各地で森林の消失や分断化が進み、動植物相の変化に少なからぬ影響を及ぼしている。多くの野生生物の生息環境は、森林植生の種類やその分布形状に依存している。こうした問題に対して、地域環境の生態的な質を高め、生物群集、生態系の保全、修復、さらには復元、創出を図るための計画や施策が各地で試みられてきている（例えば、日置ほか、2000 など）。

一方、自然環境に関する既存のデータベースやその分類体系は未だ十分に整備されておらず、広範囲を対象とした生態系の定量的な現況把握は非常に少なく、広域生態系ネットワークを確立する方法についても十分に検討されているとは言えない。地域の生態系を効果的に保全していくためには、まずその特性を定量的に把握することが何よりも重要である。

本研究では、野生生物の生息地である森林植生パッチの形状と質に注目した。森林植生パッチは、生物多様性保全の指標として重要な自然環境の基盤情報であり、地理情報システム (GIS) を用いて既存の土地利用図や相観植生図からの読み替えによって、比較的容易に整備することができる。さらに、近年では、高分解能人工衛星画像やデジタルオルソ空中写真を利用し、空間的かつ時間的に高解像度の地図情報を創出することが可能である。ここでは、鳥取県全域を対象として、森林植生に関わる地図データベースを構築し、GIS の豊富な計測、空間解析機能を用いて森林植生パッチを定量的に把握することを目的とする。

## II. 調査地および方法

本研究では、鳥取県全域約 3,500 km<sup>2</sup> を調査解析の対象とする。定量的解析の土台となる森林植生などの自然環境情報は GIS (ArcGIS ver.8.3) を用いてデータベース化した。ここでは、ハビタットとしての森林機能を第一義的に考慮すると、森林タイプ (広葉樹林、針葉樹林および混交林) とパッチの大きさと形状が確定できる情報が必要である。そのために、鳥取県土木部作成の鳥取全県土地利用図 (縮尺 1 : 50,000) を用いて森林 (広葉樹林、針葉樹林および混交林) ポリゴンをデジタイズした。土地利用図における森林区分は、基本的に空中写真の相

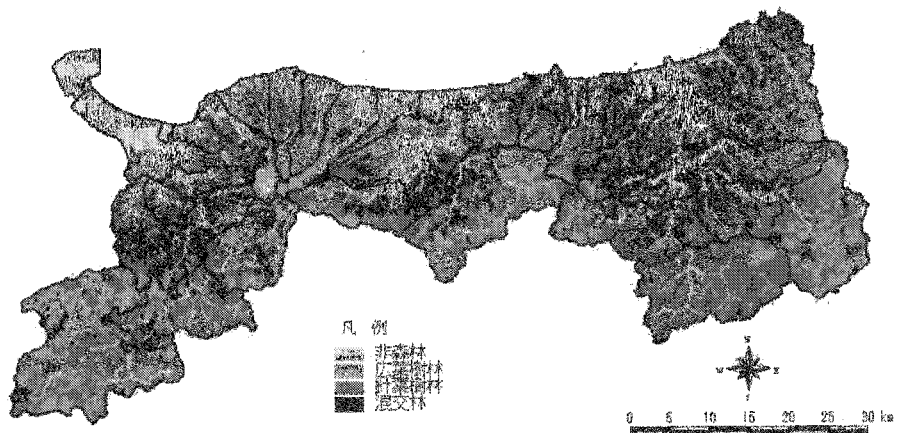


図1 森林植生パッチ分布図

観判読手法によって抽出されている。したがって、森林のタイプ区分はもちろん、その広がりや他の土地利用タイプとの境界線が明確で客観的に図化されており、植生パッチの解析には最適である。しかしながら、この土地利用図は1975年に全県を撮影した縮尺1:8,000のカラー空中写真の判読によって作成されており、森林の現況が図化されているとは言い難い。

一方、現存植生図は環境省によって全国を対象に5年ごとに行われる自然環境保全基礎調査(緑の国勢調査)で作成される。それは、国土計画、地域開発、産業立地のための自然診断図として、また自然環境の保護・復元・維持のための生態学的処方箋としての重要な自然環境基盤図である。その調査手法は、主に植物社会学的な視点から植物群落が設定され、植生界線が描かれている。したがって、森林植生タイプのパッチ形状を同定、計測するためには、界線の位置精度が高い相観植生(土地利用)図のほうが有用である。

そこで、本研究ではデジタイズした土地利用図をもとに、第5回(1993～1998年)の現存植生図(GISデータ)、および1994～1997年間の多季節に撮影されたLandsat TMデータを用いて、大規模に改変した森林被覆について更新を行った。こうした過程を経てデータベース化された森林植生図について、森林植生パッチの形状計測を行った。計測作業にはGISを用い、ディスプレイ画面上の植生ポリゴンをマウスで計測した。

ハビタットとしての森林植生パッチを評価するために、環境省自然環境保全調査動植物データ(3次メッシュ)の中から、森林(広葉樹林)を生息地として選好する代表的な鳥類を選出し、その観測地点と森林植生パッチの特徴との関係を分析した。

### Ⅲ. 結果および考察

#### 1. 既往GISデータによる対象地域の自然環境の特徴

環境省自然環境情報GISの現存植生データは、100を超える植生群落タイプに区分されているため、ここでは環境省の定める植生自然度(10ランク)を用いて読み替えを行った。植生自然度別の面積および面積占有率を表1に示す。このなかで、森林に相当する植生はランク6～9で、県全域面積の66.7%に相当する。鳥取県では、人工林に相当する植生自然度6の範囲が最も広く、県全域の42.3%、森林面積全体の63.4%を占めている。次いで、ブナ群集などの自然林によって代表される植生自然度9が県全域の16.4%、森林面積全体の24.8%で、コナラ・ミズナラ林などから構成される二次林、再生林よりも広範囲を占めているのが特徴的である。

次に、森林植生パッチのハビタットとしての機能を評価するために、野生鳥類の生息分布に関する情報整備を行った。使用したデータは、環境省自然環境保全基礎調査野生動植物3次メッシュに記録されているもので、繁殖あるいは繁殖の可能性のある257種を対象としている。このデータには、調査区画を選定して踏査により目撃された生息地情報と、既存データから取りまとめられた資料調査の結果によるものが含まれている。

鳥取県では、55科、329種類、18,000種の鳥類が記載されている。そのうちの森林を生息地として好む16科、35種の鳥類を選出し(表2)、国土数値情報標準3次メッシュのうに目撃地点図として図化した。観察地点メッシュが多く分布するのは、大山、三朝、氷ノ山地域などで広葉樹林が広く被っている箇所であった。低地部で比較的多く分布するのは、海岸線に沿う部分で、これらは湿地を選好する鳥類の分布を表すものと考えられる。一方、県西部の日野町、日南町など日野川上流域では広葉樹林が広く分布するにもかかわらず、目撃地点メッシュはほとんど存在しない。このように、サンプル調査地点の偏在にも十分な注意が必要である。

表1 植生自然度の内容と面積

植生自然度	区分基準	面積 (ha)	面積占有率 (%)
10	高山ハイデ、風衝草原、自然草原等、自然植生のうち単層の植物社会を形成する地区	5,181	1.5
9	エゾマツトドマツ群集、ブナ群集等、自然植生のうち多層の植物社会を形成する地区	75,953	21.7
8	ブナミズナラ再生林、シイ・カシ萌芽林等、代償植生であっても特に自然植生に近い地区	8,959	2.6
7	クリーミズナラ群集、クスギーコナラ群落等、一般に二次林と呼ばれる代償植生地区	16,941	4.8
6	常緑針葉樹、落葉針葉樹、常緑広葉樹等の植林地	2,047	0.6
5	ササ群落、ススキ群落等の背丈の高い草原	148,199	42.3
4	シバ群落等の背丈の低い草原	8,126	2.3
3	果樹園、桑畑、茶畑、苗圃等の樹園地	19,495	5.6
2	畑地、水田等の耕作地、緑の多い住宅地	57,877	16.5
1	市街地、造営地等の植生のほとんど存在しない地区	7,931	2.3
	合 計	350,710	100.0

表2 森林を生息地とする鳥類一覽

種名	科名	確認地点 メッシュ数	選好する森林タイプ	種名	科名	確認地点 メッシュ数	選好する森林タイプ
アオゲラ	キツツキ科	127	広葉樹・針葉樹	コマドリ	ヒタキ科	59	広葉樹
アオバト	ハト科	98	広葉樹・混交林	コルリ	ヒタキ科	53	広葉樹・針葉樹・混交林
アカショウビン	カワセミ科	72	広葉樹	サンコウチョウ	ヒタキ科	81	広葉樹
アカハラ	ヒタキ科	9	広葉樹・針葉樹・混交林	サンショウクイ	サンショウクイ科	53	広葉樹・混交林
イスカ	アトリ科	9	広葉樹	ジュウイチ	ホトギス科	51	広葉樹・針葉樹・混交林
エゾムシクイ	ヒタキ科	20	広葉樹・針葉樹・混交林	センダイムシクイ	ヒタキ科	57	広葉樹
オオアカゲラ	キツツキ科	17	針葉樹	ツツドリ	ホトギス科	94	広葉樹・針葉樹・混交林
オオルリ	ヒタキ科	168	広葉樹・針葉樹・混交林	トラツグミ	ヒタキ科	78	広葉樹
カケス	カラス科	173	広葉樹	ヒガラ	シジュウカラ科	100	広葉樹・針葉樹・混交林
クワイタダキ	ヒタキ科	19	広葉樹	ブッポウソウ	ブッポウソウ科	34	針葉樹・混交林
キビタキ	ヒタキ科	120	広葉樹・混交林	マミジロ	ヒタキ科	31	広葉樹
クロジ	ホオジロ科	47	広葉樹	ミソサザイ	ミソサザイ科	101	広葉樹・混交林
クロツムギ	ヒタキ科	102	広葉樹・針葉樹・混交林	メボソムシクイ	ヒタキ科	59	広葉樹・混交林
コガラ	シジュウカラ科	101	広葉樹・混交林	ヤイロチョウ	ヤイロチョウ科	24	広葉樹・混交林
コサメビタキ	ヒタキ科	27	広葉樹・混交林	ヤブサメ	ヒタキ科	80	広葉樹・針葉樹・混交林
ゴジュウカラ	ゴジュウカラ科	120	針葉樹	ヤマガラ	シジュウカラ科	203	針葉樹
コノハズク	フクロウ科	14	広葉樹・混交林	ヨタカ	ヨタカ科	23	混交林
				ルリビタキ	ヒタキ科	35	広葉樹・針葉樹・混交林

## 2. 森林植生分布の特徴

相観判読手法にもとづいて作成された森林植生パッチ（広葉樹林、針葉樹林、混交林）の分布図を図1に示す。県下全域を概観すると、広葉樹林が広大なかたまりとして見られるのは、大山、氷ノ山など標高の高い地域で、三朝町域の山間部にこれに次ぐ規模の広葉樹林パッチが認められる。針葉樹林は、千代川上流の智頭町域に分布するスギ、ヒノキの人工林が圧倒的に多く、次いで大山北、西麓のアカマツ林が顕著である。混交林は千代川、天神川、日野川の各中～下流域に明瞭に存在し、これらは里山を構成するアカマツ、広葉樹林の雑木林に相当すると考えられる。

森林植生タイプごとのパッチ数と面積に関する基本統計量を表3に示す。県下全域におけるパッチ総数は8,474個で、広葉樹林と針葉樹林がそれぞれ3,085個（36.4%）、3,012個（35.5%）とほぼ同数で、残りの2,377個（28.2%）が混交林であった。総面積で見ると、針葉樹林が138,337haと全体の52.4%を占めており、広葉樹林が66,619haで25.2%、混交林が23,777haで22.4%となっていた。パッチの面積は、最大値、平均値、標準偏差とも針葉樹林で最も大きかった。パッチ面積の平均値で見ると、針葉樹林の46haに次いで混交林が25ha、広葉樹林が22haと最も小さい値を示した。以上のことから、広葉樹林パッチの分割、分断化が進行していることが分かった。

表3 森林植生パッチの数と面積

	広葉樹林	占有率(%)	針葉樹林	占有率(%)	混交林	占有率(%)	合計
総面積(ha)	66,619	25.2	138,337	52.4	59,089	22.4	264,045
パッチ数	3,085	36.4	3,012	35.5	2,377	28.1	8,474
パッチサイズの平均(ha)	22		46		25		
パッチサイズの最大値(ha)	6,915		26,582		1,524		
パッチサイズの最小値(ha)	1		1		1		
パッチサイズの標準偏差	194		532		102		

表3 森林植生パッチの数と面積

	西部(日野川流域)	中部(天神川流域)	東部(千代川流域)
総面積	121,284ha	78,035ha	151,714ha
広葉樹林面積(占有率)	21,891ha (18.1%)	13,90ha (17.8%)	30,474ha (20.1%)
>100haのパッチ数(占有率)	33 (5.9%)	18 (7.5%)	42 (4.6%)
>50haのパッチ数(占有率)	26 (4.6%)	13 (5.4%)	24 (2.6%)
>20haのパッチ数(占有率)	64 (11.5%)	28 (11.7%)	100 (11.0%)
>10haのパッチ数(占有率)	53 (9.5%)	22 (9.2%)	112 (12.3%)
>5haのパッチ数(占有率)	82 (14.6%)	44 (18.4%)	158 (17.3%)
>1haのパッチ数(占有率)	302 (53.9%)	114 (47.8%)	476 (52.2%)
総パッチ数	560	239	912
パッチ面積の平均値	39.1	58.2	33.4
パッチ面積の中央値	4.4	5.4	4.6
パッチ面積の最頻値	4.1	4.9	1.7
パッチ面積の標準偏差	167.7	271.4	251.1

広葉樹林パッチの特徴について、その地域的な差異に注目してみると、東部（千代川水系）と西部（日野川水系）でパッチの平均面積がそれぞれ 33ha, 39ha と中部（天神川水系）のそれと比較して小さくなっていた（表 4）。1ha 以下のパッチ数の占有率から、東部が 52.2%、西部が 53.9% と中部の 43.2% と比較して高く、広葉樹林パッチの分断化が進んでいることが示された。

### 3. 森林植生パッチの形状指数

森林の分断化は、森林面積を減少させるだけでなく、エッジ（周縁）の増加によって野生生物の生息環境を変質させる。P. E. Bellamy ほか（1996）によると、孤立林の鳥類調査において、森林を選好する鳥類の種数は森林面積と高い正の相関関係にあり、林縁を選好する鳥類の種数はパッチの周囲長との相関関係が高いことが示されている。一方、Davis（1986）は、パッチの形状特性を把握するためのさまざまな指標を提示している。

本研究では、森林植生パッチの形状を定量的に把握するために、緻密度、伸長度、粒形度を形状指数として採用し、GIS を用いて面積 25ha 以上の森林植生パッチ（総数 1,096）について計測した。

#### (1) 形状指数の特徴

##### 1) 緻密度

森林の林縁植物のように縁辺部を好む種もあるが、一般には深縁部を好む種が多数存在する。面積に比べ縁辺部の長い形状では、その生息域が深縁部を好む種の生育には不適な条件となるため、パッチの形状は円形に近いほうが良いとされる。パッチの形状は、次に示す緻密度によって評価される。

$$D=L/2\sqrt{\pi A}$$

ここで D：緻密度，L：周辺長，A：面積

緻密度の値は、パッチが完全な円形の場合に 1 となり、値が大きくなるにつれて円形から離れた形状になることが示される（図 2- 上段）。

##### 2) 伸長度

伸長したパッチは、その生息域の内部で種の保護が困難となり、円形のパッチに比べて不利である。実際に、伸長したパッチより円形のパッチのほうが種が豊富である。パッチの伸長は、次に示す伸長度によって評価される。

$$E=w/l$$

ここで、E：伸長度，l：パッチの最長幅 w：パッチの最短幅（l と直行する）

伸長度の値が小さくなると、パッチは伸びた形状になり、値が大きいとパッチは円に近い形状をとるようになる（図 2- 中段）。

##### 3) 粒形度

突出部の生態系への影響は、突出する部分の長さに応じて変化し、種の多様性を低下させる。すなわち、パッチ形状は突出部がより少ないほうがハビタットとしての機能は高い。突出の度合いは、次に示す粒形度によって評価される。

$$GSI=p/l$$

ここで、GSI：粒形指数，P：パッチの周囲長，l：パッチの最長幅

粒形度の値が小さいと突出部は少なくなり、大きくなるにつれてエッジ（周縁）は突出し、複雑な形状をとるようになる（図 2- 下段）。



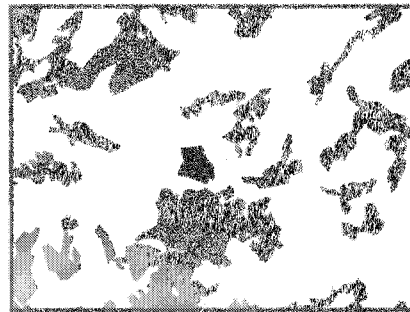
緻密度 : 1.18



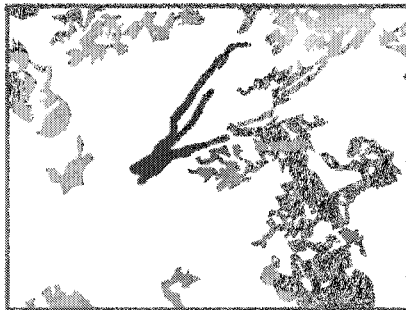
緻密度 : 3.8



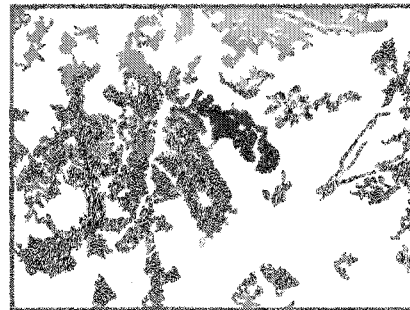
伸長度 : 0.02



伸長度 : 0.62



粒形度 : 2.09



粒形度 : 6.81

図2 パッチの形状指数の特徴

## (2) 計測結果

緻密度、伸長度、粒形度の森林植生タイプ別の基本統計量を表5示す。対象地域の場合、面積450ha以下のまでのパッチ数が広葉樹林で全体の92%、針葉樹林で91%、混交林で92%を占めており、これより大きい面積のパッチ個体数は極端に少なくなる。このため、面積450ha以下のパッチを対象として形状指数の値の特徴を検討した。その結果、今回、

表  
図3 広葉樹林を選好する鳥類観察メッシュの分布

	緻密度				伸長度				粒形度			
	平均	最小	最大	標準偏差	平均	最小	最大	標準偏差	平均	最小	最大	標準偏差
広葉樹林	2.68	1.18	14.89	1.45	0.11	0.01	0.48	0.08	4.01	2.23	14.44	1.8
針葉樹林	2.84	1.14	20.29	1.76	0.1	0.01	0.66	0.09	4.06	2.1	21.46	1.93
混交林	2.93	1.14	10.14	1.46	0.08	0.01	0.6	0.07	4.09	2.09	10.38	1.53

採用した3つの形状指数の値でみる限り、森林植生タイプ間での差異はさほど大きいものではなかった。しかしながら、広葉樹林パッチは、緻密度や粒形度の値が針葉樹林や混交林と比べてわずかに小さく、その生息地としての機能が高いことを示唆する傾向が認められた。これに対し、伸長度で見る限り、森林植生タイプ間での関係は見い出せなかった。

次に、各形状指数間についてみると、緻密度と伸長度の関係は、広葉樹林では0.43、針葉樹林では0.41、混交林で0.44の相関係数を示す。緻密度と粒形度の関係は、広葉樹林と針葉樹林で相関係数0.58、混交林では0.53であった。伸長度と粒形度の相関係数は、広葉樹林で0.1、針葉樹林と混交林では0.13となり、関係は認められなかった。このことから、緻密度、伸長度、粒形度の3指標のなかから緻密度を形状指数として代表させ、パッチの形状評価ができるものと考えられる。

#### 4. ハビタットとしての森林植生パッチ

野生鳥類を指標に用いて、ハビタットとしての森林植生パッチの機能について考察する。ここでは、野生生物の生息地としては一般に重要視される広葉樹林を対象とした解析結果について述べる。この目的のために、先述の鳥類3次メッシュから広葉樹林を生息地として選好する鳥

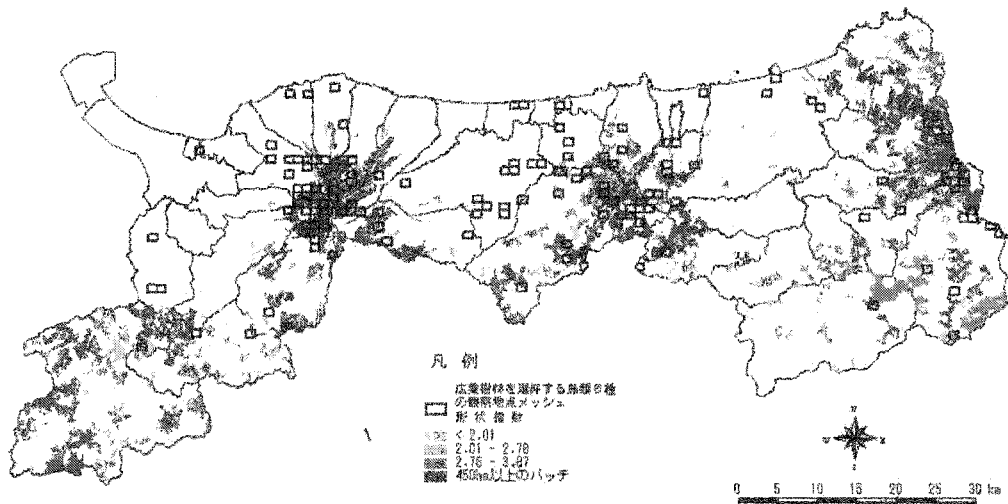


図3 広葉樹林を選好する鳥類観察メッシュの分布



類6種（クロジ、コガラ、ゴジュウカラ、ジュウイチ、ツツドリ、ヒガラ）の生息確認地点を抽出した。その確認地点メッシュ総数は、150メッシュである。

図3は、パッチ面積450ha以下の広葉樹林の形状指数（緻密度）を3ランクに区分し、450ha以上の規模の大きいパッチは形状指数に関係なく良好なパッチとして扱い、その上に上記6種の生息確認メッシュを重ねて表示したものである。大山、氷ノ山、三朝町の山間部に分布する広大な広葉樹林パッチでは多くのメッシュが集中して分布しており、これら6種の鳥類にとってそこが極めて良好な生息地になっていることを物語っていた。その他の地域では、メッシュが広葉樹林パッチに相当するものも多く見られたが、そうでない箇所も多く見受けられた。特に、中部の天神川水系小鴨川沿い、東部から西部に至る海岸部などの地域である。全体のメッシュ数が少ないこともあって、パッチの形状特性と生息地との明瞭な関係を導き出すのは困難であった。

#### IV. 結 言

GISを用いることによって、生物群集に影響を及ぼす森林植生パッチの面積と形状について定量的に把握することができた。また、GISの空間解析機能や地図作製機能を活用することで、野生生物生息地と植生パッチの関係やその空間的分布が効果的に地図化でき、広域的生態系ネットワークを検討する基礎資料が作成された。

鳥取県下の森林植生パッチでは、針葉樹林のパッチ面積が平均的に最も大きく、次いで混交林、広葉樹林であった。パッチ数では、広葉樹林が最も多く、次いで針葉樹林、混交林の順となった。すなわち、森林植生タイプ別で考えると、広葉樹林のパッチの分断化が最も進んでおり、地域的には県下東部と西部で分断化が顕著である傾向が確認された。しかしながら、大山、氷ノ山、三朝町の山間部などでは規模の大きい広葉樹林パッチが残されていた。一方、パッチの形状は、パッチの周辺長と面積から求められる緻密度を用いて評価することが可能で、そこでは野生鳥類の生息地になっている事実も示された。

本研究では、森林植生パッチの二次元的な形状のみに着目したが、今後の課題として、地理的、地形的な条件も考慮した生息地適地を検討する必要がある。また、全県レベルでの生息地環境の特徴を議論するために、より詳細な野生生物分布図を整備することも課題である。そのうえで、森林植生パッチの連結性、コリドーの配置、コリドーの保全地域、および回復・創出地域の配置についての検討していくことが重要であると考えられる。

#### 謝 辞

本研究で使用した鳥類に関するデータは、鳥取県生活環境部環境政策課より提供していただいた。また、鳥類の生息環境については、鳥取大学農学部の日置佳之先生から多くの貴重なご助言を得た。記して、感謝の意を表します。

#### 参考文献

- Bellamy, P. E., Hinsley, S. A. and Newton, I. (1996) Factors influencing bird species numbers in small wood in southeast England, *J. Appl. Ecol.* 33 : 125-141.
- Davis, J. C. (1996) *Statistics and Data Analysis in Geology*, 2nd ed. 638 pp. John Wiley, NewYork.

- Forman, R. T. T. (1995) Land Mosaics, The ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press, Cambridge UK, pp. 114-142.
- 日置佳之・須田真一・百瀬 浩・田中 隆・松林健一・裏戸秀幸・中野隆雄・宮畑貴之 (2000) ランドスケープの変化が種多様性に及ぼす影響に関する研究. 保全生態学研究 5 : 43-89.
- 加藤和弘・一ノ瀬友博 (1993) 動物群集保全を意図した環境評価のための視点. 環境情報科学 22 : pp. 62-71.
- 森本幸裕 (2002) 生きものと環境. (生態工学. 亀山 章編, 168 pp, 朝倉書店, 東京), 45-54.