

# 日本列島における森林連続性の地域的差異

Regional characteristics of the forest connectivity in the Japanese Islands

原科幸爾\* 恒川篤史\* 武内和彦\*  
(\* 東京大学大学院農学生命科学研究科)

## I はじめに

日本は、国土の3分の2を森林が占める世界でも有数の森林国である。森林は、大気浄化、国土保全、水源涵養、景観保全、野生動物の生息地など、多面的な環境保全機能を持つ。日本では、自然環境データベースの整備が進みつつあり<sup>1)</sup>、これまでも森林面積や森林率といった量的な側面、および植生群落や植生自然度といった質的な側面から森林分布の現況評価がなされてきた(環境庁1994など)<sup>2)</sup>。しかし、森林の空間的な分布パターンに着目した評価は行われてこなかった。量や質の面からは同様であっても、その空間的な配置によって森林の機能に差異が生じることは十分に考えられることである。

例えば、原科ら<sup>3)</sup>は、本州における森林の空間的な連続性の評価を行い、それと中・大型哺乳類の分布との関連性から野生動物の生息地保全における森林連続性の意義を明らかにした。そこで、本研究では国土スケールでの環境管理計画へと議論を結びつけていくために、森林連続性の地域的差異を把握するとともに、森林連続性と自然地理的要因との関係を明らかにすることを目的とした。

## II 研究の方法

### (1) 森林連続性の評価

#### ① 使用した植生データ

環境庁による第4回自然環境保全基礎調査(1989~1993)の植生調査ファイルを使用した。これは、標準地域メッシュコード体系に準拠しており<sup>4)</sup>、3次メッシュ(約1km<sup>2</sup>)を単位として1/50,000の現存植生図を数値情報化したものである。植生図の読みとりには、グリッドの中心に描いた直径約250mの円内で優先する植生でグリッドを代表させる小円法が採用されている。この方法は、小面積の群落の読みとりの欠除を小さくでき、偶然性を是正できることが大きな特徴である<sup>2)</sup>。ファイル内には、メッシュコード、植生自然度、植物群落、およびその他の土地利用が収められている。対象としたのは、日本列島のほぼ全域を含む範囲(北緯24°~68°, 東経122°~149°)で、データ件数は368,607件であった。

#### ② 指数 CON による森林連続性の評価

上記のデータをもちいて、日本列島全域を対象として、原科ら<sup>3)</sup>の考案した指数 CON による森林連続性の評価を行った。つまり、対象範囲のグリッドを、植生自然度にもとづいて1) 森林、および2) 非森林に区分したのち、ある森林グリッドをを中心とした3×3=9グリッドの範囲内の森林グリッド数を中心グリッドの CON 値として計算した(CON 値=1~9)(図1)。指数 CON は森林グリッド同士の比較評価を目的とするので、非森林グリッドについては定義しない。

#### ② 指数 CON のもつ意味

ある一定の範囲の地域内における指数 CON の平均値は、その地域における森林分布の空間的な特性をあらわす。図2に、いずれも森林グリッド

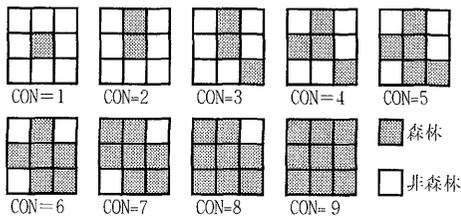
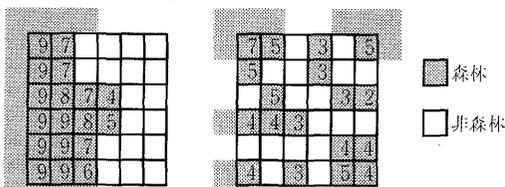


図1 指数CONの計算方法(原科ら(1999)<sup>3)</sup>より引用)ある森林グリッドを中心とした、3×3=9の範囲内にある森林グリッド数を、そのグリッドのCONの値とする。図中に、中心グリッドのCONの値を示した。中心グリッドが森林でないときは、定義しない。



(a) 森林が連続的に分布  
森林率=50%  
CONの平均値=7.8  
(b) 森林がモザイク的に分布  
森林率=50%  
CONの平均値=4.1  
注) 非森林は計算に入れない

図2 指数CONの持つ意味

各グリッドのCONの値を図中のグリッド内に示す。森林率が同じであっても、連続的な森林ではCONの値は高くなり、モザイク的な森林では低くなる。

率が50%で、(a)森林が連続的に分布する場合、および(b)森林がモザイク的に分布する場合、を示した。各森林グリッド内の数字は、CON値を示す。CON値の平均は、(a)で7.8、(b)で4.1となり、森林グリッド率が同じであっても、空間的な分布パターンが異なると、CON値の平均にその違いがあらわされる。

## (2) 自然地理的要因との関係の把握

森林が残存する理由として、人為改変による影響の受けにくさという点が重要であると考えられる。そこで、自然地理的要因としては、地形にもとづいた自然地域区分、平均標高、および起伏量、を考えた。データは、国土庁による国土数値情報<sup>9)</sup>をもちいた。いずれのデータも3次メッシュを単位としており、以下に示すそれぞれの自然地理的要因と指数CONとのオーバーレイを行った。

### ① 自然地域区分

環境庁の総合的環境指標試案の分類基準<sup>5)</sup>にもとづき、国土数値情報における地形分類を、①山

地自然地域、②里地自然地域、③平地自然地域の3つに統合した。これは、環境基本計画<sup>6)</sup>における自然地域区分に対応しており、具体的には、国土庁による地形分類<sup>9)</sup>のうち、大起伏山地、中起伏山地、大起伏火山地、および大起伏火山地を山地とした。また、小起伏山地、山麓地、小起伏火山地、火山麓地、大起伏丘陵地、小起伏丘陵地、および火山性丘陵地を里地とし、それ以外を平地とした。なお、開放水域は計算から除外した。

### ② 平均標高

3次メッシュ(約1kmグリッド)内の平均標高が記録されている。平均標高は、3次メッシュを4×4=16分割したときにできる16点の格子点の平均値をとったものである<sup>6)</sup>。

### ③ 起伏量

3次メッシュ内の最高標高と最低標高の差をとり、起伏量として定義した。これは、3次メッシュ内の地形が急峻さを表すと考えられる。

## III 結果と考察

### (1) 日本列島全域における森林連続性

日本列島全域では、368,607グリッド中、森林は247,229グリッド(森林グリッド率67.1%)であった。指数CONの計算の結果、日本列島全体では平均で7.67であった。CON値ごとの相対度数(%)分布を図3に示す。指数CONの値ごとにみると、CONの値が大きくなるほど、その割合も高くなった。CON=8,9で6割以上を占めていることから、森林の多くが連続的に分布している一方で、連続性の低い森林の存在も示された。

### (2) 森林連続性の地域的特徴

日本列島を都道府県にもとづいて、①北海道地方、②東北地方(青森、岩手、秋田、宮城、山形、福島)、③関東地方(栃木、群馬、茨城、埼玉、東京、神奈川)、④中部地方(新潟、富山、石川、福井、山梨、長野、岐阜、静岡、愛知)、⑤近畿地方(三重、滋賀、京都、大阪、兵庫、奈良、和歌山)、⑥中国地方(鳥取、島根、岡山、広島、山口)、⑦四国地方(徳島、香川、愛媛、高知)、⑧九州地方(福岡、佐賀、長崎、熊本、大分、宮

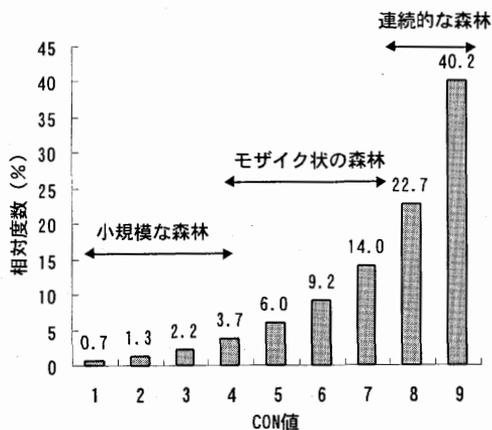


表1 9地方における森林グリッド率とCON値の平均

地方	森林グリッド率 (%)	CON値の平均
北海道	71.5	7.80
東北	71.8	7.67
関東	48.9	7.18
中部	72.5	7.86
近畿	73.0	7.79
中国	72.5	7.24
四国	81.6	8.10
九州	66.2	7.31
沖縄	57.8	7.57

図3 日本列島におけるCON値の相対度数分布

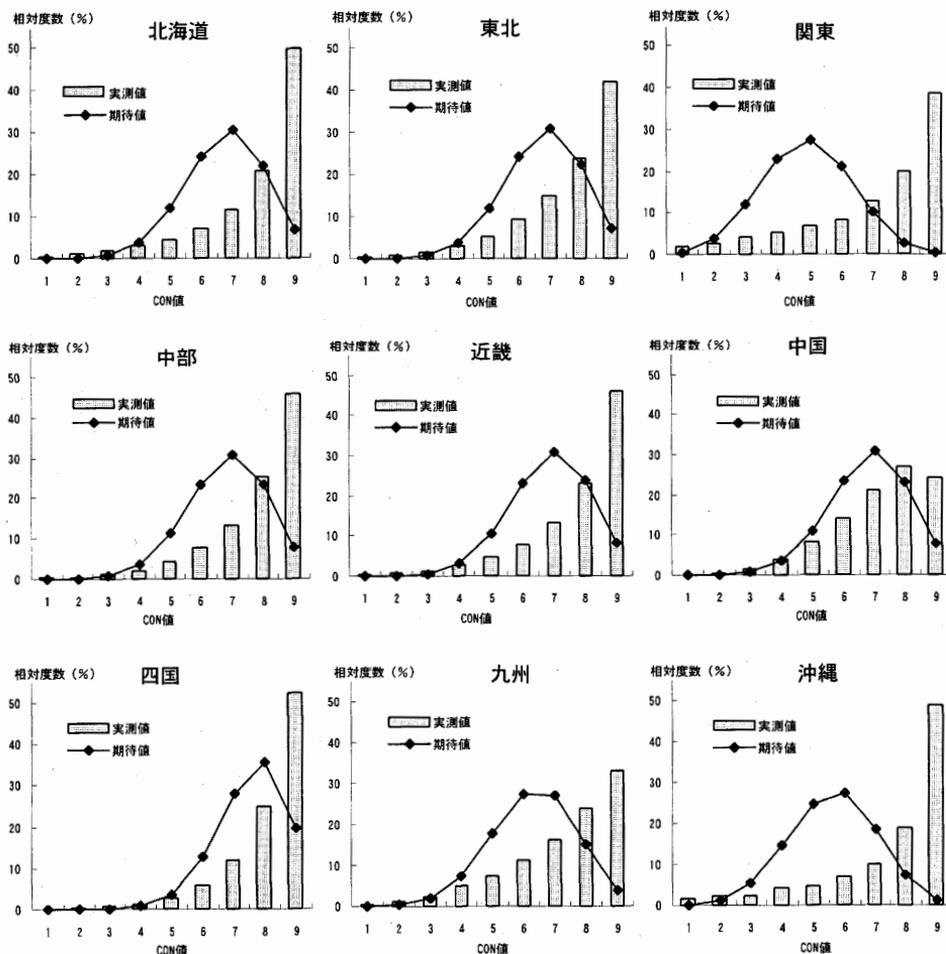


図4 9地方におけるCON値の相対度数と期待度

CON値の分布を各地方ごとに算出した。期待値とは、各地方の森林グリッド率のもとで森林がランダムに分布するときに期待されるCON値ごとの相対度数を表す。

崎, 鹿児島), ⑨沖縄地方, の9地方に区分した。それぞれの地方ごとに, 森林グリッド率を求め, 指数 CON を計算した(表1)。CON 値の平均を計算するには次の点に留意した。例えば沖縄などの島嶼の場合, 面積全体のうち海岸部の割合が高いため, 島の中で森林が連続していても, 海岸部の影響で CON 値の平均が低くなってしまふ。本研究では, 市街地や農地などの人為的な土地利用による森林分断について考えているため, 開放水域によってもともと分断されている部分については, 地方ごとの平均値の算出からは除外した。CON 値ごとの相対度数(%)を地方別に求めた結果を, 図4に示す。全体的にみると, CON 値=9を最大として, CON 値が高い森林ほど多く分布している傾向がみとめられた。中国地方では, 例外的に CON 値=9が24.2%にすぎず, CON 値=8の26.9%を下回っていた。なお, 図中の凡例に示された「期待値」については, 以下に述べる。

### ③ 森林グリッド率と指数 CON の関係

森林グリッド率が高いと, 森林同士が接する可能性が高くなるので, 指数 CON と森林グリッド率は独立ではないことが推察される。そこで, まず森林がランダムに分布するとしたときの指数 CON の期待値を考えた。つぎに, 各地方における森林グリッド率と CON 値の平均の関係について検討した。これにより, 森林グリッド率が CON 値の平均に及ぼす効果を考慮したうえで, 森林連続性の地域的特徴を把握できると考えた。

#### i) 森林グリッド率からみた指数 CON の期待値

ある範囲内において, 森林グリッド率  $R$  (%)のもとで, 森林がランダムに分布するとき, 指数 CON の期待値は次のように考えられる。

指数 CON の定義より, ある森林グリッドの周囲に森林グリッドが  $n$  個あるとき, 中心グリッド自身も含めて,  $CON 値 = n + 1$  ( $n = 0 \sim 8$ ) となる。地域内のグリッド数が十分大きいときは, そこから8グリッドを順番に抽出する間, 「それぞれのグリッドが森林である確率  $P$  は一定である」と近似でき,  $P = 0.01R$  ( $P = 0 \sim 1$ ) である。このとき,  $n$  は二項分布  $Bi(8, 0.01R)$  に従い, その期待値は  $8 \times 0.01R = 0.08R$  となる。

したがって, ある十分に広い地域内において一

定の森林グリッド率  $R$  (%)のもとで森林がランダムに分布するとき, 指数 CON の期待値  $E$  は,

$$E = 1 + 0.08R \quad (0 < R \leq 100) \cdots (式1)$$

となる。ただし, 森林グリッド率が0%のときは, 指数 CON が定義できないので, 期待値も定義できない。また, CON 値 =  $i$  となる確率  $P_i$  は,

$$P_i = {}_8C_{i-1} \times 0.01R^{i-1} (1-0.01R)^{9-i} \quad (i = 1 \sim 9) \cdots (式2)$$

である。

横軸(x)に森林グリッド率(%)を, 縦軸(y)に CON 値の平均をとった平面上では, 指数 CON の期待値は, 直線  $y = 1 + 0.08x$  を描く。この平面上に, 9地方をプロットした(図5)。いずれの地方でも, CON 値の平均は, 期待値よりも高く, 森林はランダムに分布するときよりも連続的に分布していた。このことは, 自然地理的要因により森林の分布に偏りがあることを示唆する。

さらに, 9地方における CON 値の分布と森林のランダム分布において期待される CON 値の分布を比較した(図4)。それぞれの CON 値(1~9)ごとに期待される相対度数は, その地方の森林グリッド率のもとで  $CON = i$  ( $i = 1 \sim 9$ ) となる確率として(式2)より算出した。いずれの地方においても, 森林のランダム分布のもとで期待される分布と実際の分布は異なり, とくに CON 値 = 1 および 9 の森林グリッドは期待値よりも大きかった。逆に, ほとんどの地域で CON 値 = 4~7 では, 期待値よりも小さかった。つまり, 森林分布は, 連続的な部分と孤立した部分がランダム分布よりも多く, 中間的なモザイク状の部分が少ないことが示された。このことから, 自然地理的要因の影響により, 森林の分布には, はっきりとした偏りがあることが示唆された。

#### ii) 9地方における森林グリッド率と指数 CON の関係

9地方における森林グリッド率と指数 CON の関係を検討した結果(図6), 森林率と CON 値の平均の間で有意な相関関係が得られた( $p < 0.05$ )。また, 森林率を独立変数  $X$ , CON の平均値を従属変数  $Y$  とした回帰分析をした結果,  $Y = 0.0227X + 6.0578$  の回帰直線が得られた( $R^2 = 0.4906$ )。東北地方および関東地方は, ほぼ回帰直線上にプロットされたが, 四国地方, 中

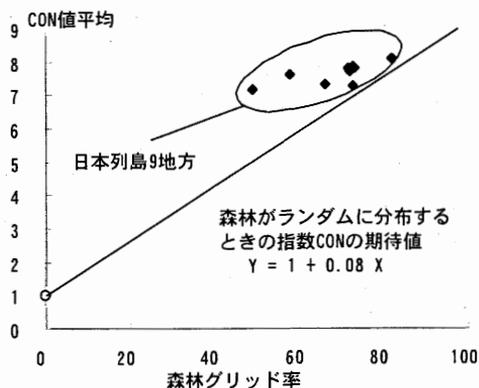


図5 指数CONの期待値と9地方のCON値平均との比較

部地方、北海道地方、近畿地方、および沖縄地方では、直線よりも上にプロットされ、森林率から予測される値よりも、CON値の平均が高かった。このことは、森林がまとまって連続的に分布していることを示している。中国地方、九州地方では、逆に予測値よりも低かった。このことは、中国地方および九州地方では、森林の連続性が森林率の割に低いことを示している。とくに中国地方では、その傾向が顕著であり、図5における、CON値の分布および期待値との比較においても明確に示されている。これより、とくに中国地方では、森林の分断化が著しいことが示唆された。

### (3) 自然地理的要因と森林連続性の関係

#### ① 自然地域区分との関係

指数CONと自然地域区分(山地自然地域、里地自然地域、平地自然地域)のオーバーレイをおこなった結果、CON値の平均は、山地自然地域(8.26)、里地自然地域(7.29)、平地自然地域(5.22)の順に森林連続性が高かった。それぞれの自然地域区分における指数CONの相対度数分布を図7に示す。これより、明らかに自然地域ごとに指数

表2 指数CONの値ごとの各環境要因の平均値

CON	標高 (m)	起伏量 (m)
0	182.3	86.5
1	84.5	47.9
2	115.7	73.1
3	147.0	99.3
4	198.3	128.9
5	255.2	158.2
6	326.4	188.2
7	410.1	218.0
8	507.2	255.5
9	614.9	290.6

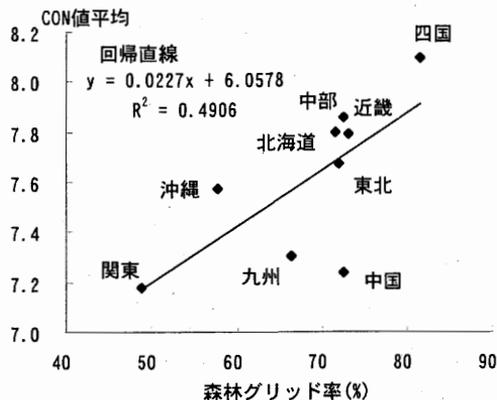


図6 9地方における森林グリッド率とCON値の関係

CONの分布が異なることが認められる。山地自然地域と里地自然地域ではともに、CON値が高い森林ほど多いが、山地自然地域はCON値=9で60%近くであるのに対して、里地自然地域では30%程度である。平地自然地域では、比較的すべてのCON値が平均的に分布しており、CON値=5が最も多く、15.2%であった。これらより、自然地域区分では、山地自然地域、里地自然地域、平地自然地域の順番に森林連続性が高いことが示された。また、CON値ごとに占める自然地域区分の割合を図8に示す。これより、連続的な森林は、おもに山地に分布し、逆に小規模な森林は、おもに平地に、モザイク状の森林はおもに里地に分布することが示された。

#### ② 森林連続性と標高、起伏量、および最深積雪量との関係

CON値(1~9)ごとの各環境要因の平均値を

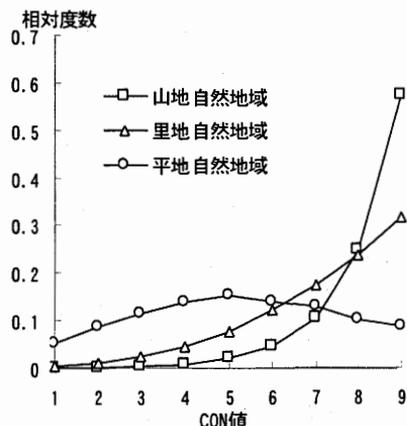


図7 各地形区分におけるCON値の相対度数分布

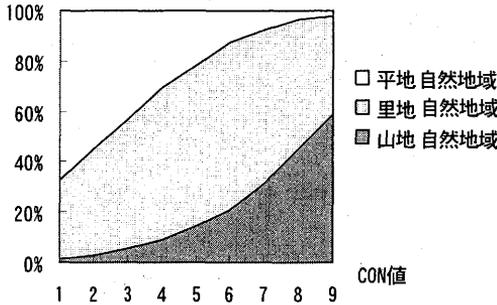


図8 CON値ごとに各地形区分の占める割合

表2に示す。これらより、CON値が高いほど、平均標高が高く、起伏が激しいことが示された。指数 CON と各環境要因の間には、正の相関がみとめられ、CON との順位相関係数 (Stuart の tau-c) は、平均標高で 0.325 ( $Z=226.9$ )、起伏量で 0.321 ( $Z=223.3$ ) であり、いずれも有意であった ( $P < 0.001$ )。これらより、地形的制限により、開発の対象となりにくく、森林が残存しやすいところに連続的に森林が分布していることが示された。

#### IV おわりに

指数 CON は、森林グリッド率だけでは説明できない森林の空間的な分布特性を表現するのに有効である。これにより、日本列島における森林の分布形態の地域的差異が明らかになった。とくに、中国地方では、森林グリッド率の割に森林連続性が低く、森林分断化が著しいことが示唆された。指数 CON と自然地理的要因との関係から、森林は、山地を中心として、開発圧の低いところに連続的に分布していることが定量的に示された。

森林分断化の著しい平地では、すでに人為的な土地利用が卓越しており、1km グリッドスケールでの森林連続性の確保は現実的には難しく、より

細かい空間スケールで森林の空間配置を考慮していく必要がある。国土スケールでの森林連続性の確保は、むしろ山地あるいは里地においてすすめていくことが妥当であるが、その際には、指数 CON 値では把握できない道路などによる線的な分断を評価していく必要があると考えられる。また、森林の環境保全機能は森林の質によって異なると考えられるため、森林の質も考慮した上での連続性評価も今後検討していく必要がある。

#### 謝辞

本論文をまとめるにあたり、科学技術庁特別研究員農業環境技術研究所の大久保悟氏、日本学術振興会特別研究員筑波大学の立入郁氏からは、様々な面で貴重な助言を得たことに対し、厚く御礼申し上げたい。本研究は、文部省科学研究費補助金基盤研究(A)(2) No.09300623 (研究代表者: 武内和彦)「高度環境計測技術によるエコロジカル・ネットワークの把握と新たな環境保全戦略の構築」による研究成果の一部である。

#### 参考文献

- 1) 恒川篤史 (1997) 広域環境モニタリングの現状と将来, 科学 67, 765-771.
- 2) 環境庁自然保護局 (1994): 第4回自然環境保全基礎調査植生調査報告書, 390pp.
- 3) 原科幸爾・恒川篤史・武内和彦・高槻成紀 (1999): 本州における森林の連続性と陸生哺乳類の分布, ランドスケープ研究 63, 569-572.
- 4) 建設省国土地理院 (1992): 数値地図ユーザーズガイド, 日本地図センター, 東京, 471pp.
- 5) 総合的環境指標検討会 (1997): 総合的環境指標試案, 環境庁, 88pp.
- 6) 環境庁 (1994): 環境基本計画, 大蔵省印刷局, 160pp.

Most parts of Japan are covered with forests that play multifunctional role in environmental conservation. Forest connectivity in the Japanese islands was evaluated by calculating a newly proposed index "CON" defined as the number of the neighboring forest grid cells in  $3 \times 3$  grid cells, using a standard grid (approx. 1km grid cell) database of vegetation developed by the Japan Environment Agency. The results of our study indicated that the forests in Chugoku district are comparatively fragmented for its forest coverage ratio, and forest connectivity is strongly correlated to topographical factors.