

朝日の森を対象とする GIS を用いた 森林機能評価と森林ゾーニング

呉 守蓉^{*1}・箕輪光博^{*1,*2}・島田佳津比古^{*3}
露木 聡^{*1}・廣嶋卓也^{*1}・李 定洙^{*1}

A Study of Forest Function Valuation and Zoning Based on GIS Technique for Asahi Forest

Shourong Wu^{*1}, Mitsuhiro MINOWA^{*1,*2}, Katsuhiko SHIMADA^{*3}, Satoshi TSUYUKI^{*1},
Takuya HIROSHIMA^{*1} and Jungsoo LEE^{*1}

1. はじめに

人々の森林に対する社会的ニーズが多様化・高度化するにつれて、森林の多面的機能の総合評価とそれに立脚する森林ゾーニングに関する研究の必要性が高まっている。

これまでの森林の機能評価及び森林ゾーニングに関する研究（興梠, 2003; 田中, 2002a; 2002b; 岡, 2001; 古井戸, 2001）を見ると、森林機能評価とゾーニングの間には密接な関係があること、また、これからの森林ゾーニングには、森林地理情報システム (GIS) などの技術の援用、森林機能の評価方法の確立、ゾーニングにあたっての基準の選択とその過程（プロセス）への配慮が重要であることなどが推察される。

GIS をベースとした実践的研究例としては、三重県宮川村における小班ごとの機能評価と樹形図によるゾーニングの方法がある。この方法は、ゾーニングの結果よりもそのプロセスを重視するところに特徴があり、利害関係者の価値観、経験、知識が組み込まれる形になっている。その際、まとまりとして発揮される森林機能を総合的に評価するための道具として GIS は有用であることが再三にわたって指摘されている（田中, 2002a; 2002b）。

そこで、本研究では、朝日の森を対象として、まず、GIS データベースの構築に取り組み、次いで GIS 情報を利用してポテンシャルの面から森林の機能を定量的に評価することを試みた。評価の対象とした機能は、森林の水源涵養、保健文化、山地防災及び木材生産機能の四つである。さらに、評価結果を機能別評価得点分布図及び優勢機能の分布図の形にまとめた。最後に、この機能評価結果を踏まえ、新たに設けた四つのゾーニング基準を基に、階層クラスタ分析 (Hierarchical Cluster Analysis) 等を利用してゾーニング手法を検討し、森林機能を考慮した朝日の森の森林ゾーニングを試みた。

なお、本研究で、研究対象地として選んだ朝日の森は、1979年7月、滋賀県朽木村内の朝日新

*1 東京大学大学院農学生命科学研究科

*1 Graduate school of Agricultural and Life Science, The University of Tokyo.

*2 (現所属) 東京農業大学地域環境科学部

*2 (present address) Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture.

*3 森林文化協会・森林環境研究所

*3 Forest Culture Association・Forest Environment Research Institute.

聞社有地内に設けられ、この間、四半世紀にわたって、「森林環境基地」、「人間と自然とのふれあいの場」として市民に様々なアメニティを提供すると共に、多様な森林情報の蓄積や森林環境教育の場として利用されてきた。

II. 研究対象地「朝日の森」の概況

朝日の森は滋賀県下琵琶湖の西、いわゆる湖西地方のさらに西北隅にあり、地籍的には高島郡朽木村大字麻生及び地子源に属する。琵琶湖の上流水源地帯に位置し、京阪神地方と隣接する。東経 $135^{\circ}53.5' \sim 54'$ 、北緯 $35^{\circ}21.5' \sim 23'$ の位置を占める南北に細長い地域である。面積が 150 ha で、標高は 182~403 m である (図-1)。

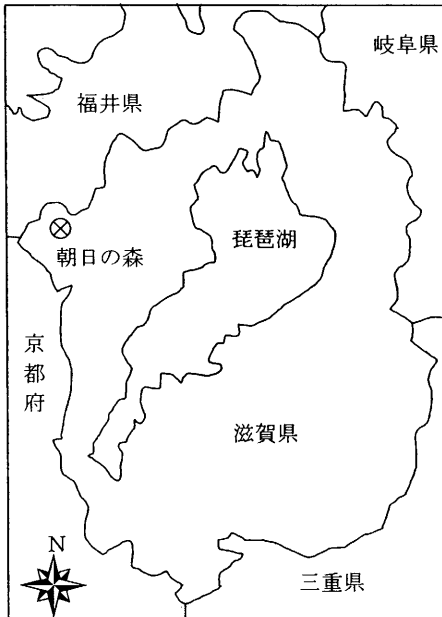


図-1 朝日の森の位置
Fig. 1. Asahi Forest Location.

図-2 は、朝日の森の概況を示したものである。朝日の森の中を流れる麻生川は安曇川へ合流し、琵琶湖へ注ぎ、琵琶湖の水源として重要な位置を占めている。朝日の森は麻生川によって、南・北両部に分けられる。南部が 1 林班である。北部はさらにその中央を麻生川から分かれた比較的水量の豊かな溪流 (通称搦谷) が縦貫し、搦谷の西側が 2 林班、東側が 3 林班である。各林班での最高点は、それぞれ約 380, 300 及び 403 m で、その標高に多少の差がある。また、傾斜度範囲は 3~47 度で、傾斜 20 度以下の面積の割合は 15.7%、21~30 度は 11.7% で、30~40 度は 67.5% で、40 度以上は 5.1% であり、地形は比較的急峻である。

気候は概して北陸型で、冬は積雪が多く、1 月から 2 月にかけて、最大積雪深は 1 m を超える。夏は盆地型気候とフェーン現象で蒸し暑く、最高気温は 33℃ になる。

森林のほとんどが広葉樹の二次林あるいはスギの造林地となっている。斜面中腹の大部分はかつて薪炭林として利用されていたコナラ、クヌギなどの落葉広葉樹林によって占められる。斜面の上部にはネジキ、アセビ、タカノツメなど乾性の樹種が多く、尾根にはアカマツの林分が多い。他方、斜面下部にはクロモジ、ダンコウバイ、ウワミズザクラなどが多く、溪畔にはオニグルミ、ヤチハンノキ、そして低凹地にはカツラといった好湿性高木が生育する。溪流から少し上がったかつての耕作地である狭い平坦地は、スギの造林地かクズ、ススキなどの繁茂する藪となっている。

朝日の森は、森に親しみ、森の大切さを知るための環境教育施設であり、森林体験学習のプログラムなどが用意されている。開設以来、1979~2001 年間の間の訪問者総数は約 117,479 人に達している。都道府県別では、京都、大阪、兵庫、滋賀県を中心に、近畿一円からの利用が多い。年平均訪問者は 4,000~7,000 人である。

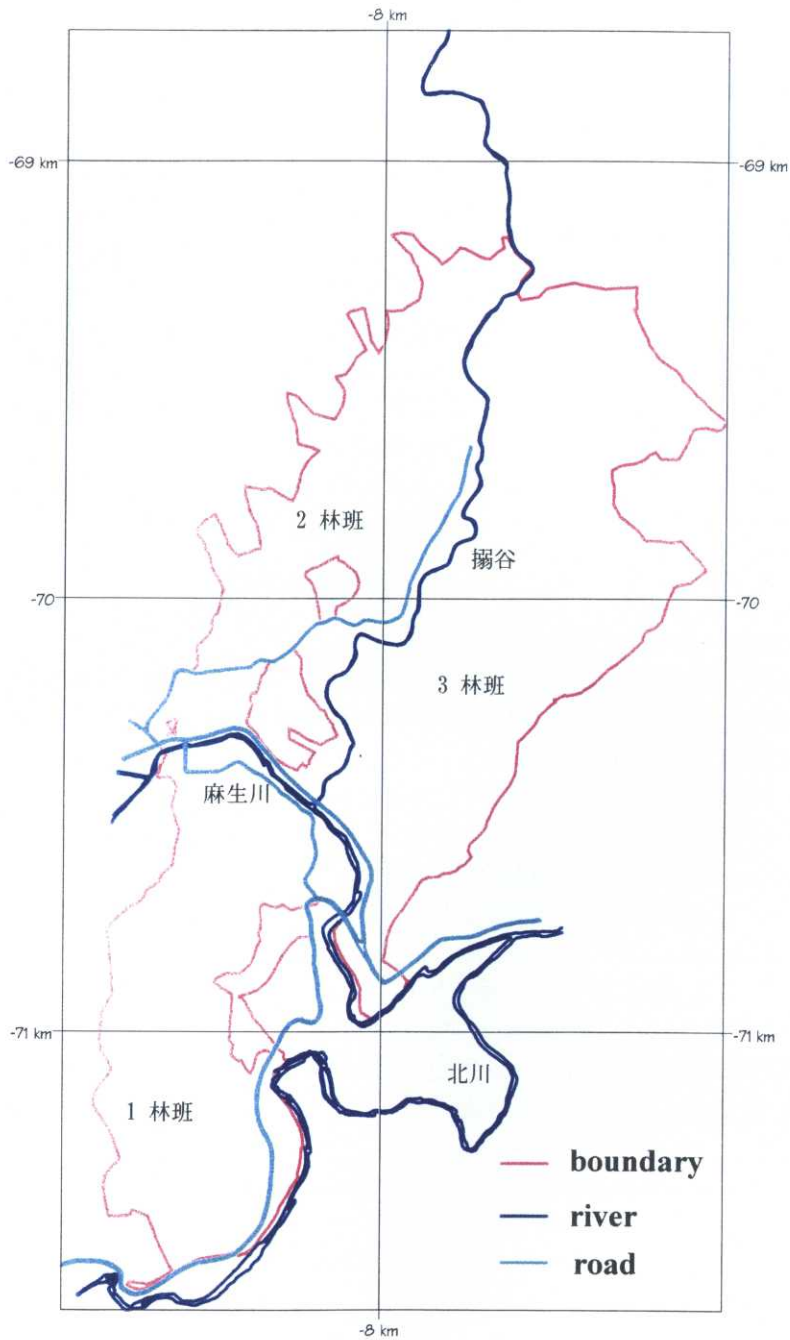


図-2 朝日の森の概況
Fig. 2. Asahi Forest Condition.

III. 朝日の森における GIS データベースの構築

本研究で主に使用した図類は、地形図、植生図、基本図の三つである。縮尺はすべて1/2,000である。基本図は主に林・小班、境界線、河川、溪流など、地形図は境界線、遊歩道、河川、溪流などの情報から成る。他方、資料としては森林簿、森林施業台帳、空中写真などを利用した。森林簿には、小班別に樹種、林齢、本数密度などの項目が、また森林施業台帳には、間伐、枝打ち、雪起こしなどの森林保育項目が記載されている。空中写真は、1977年、1990年、2001年に撮影されたものを用いた。縮尺はそれぞれ1:10,000、1:8,000と1:40,000である。1977年、1990年の空中写真はカラーで、2001年の空中写真はモノクロである。

DEM (Digital Elevation Model) データとしては、北海道地図株式会社が開発した GISMAP Terrain の 10 m メッシュ格子標高データを利用した。使用した GIS ソフトウェアは、米国 MicroImages, Inc 社の TNTmips Ver6.6 for Windows98 である。

以上の資料、ツールを利用して、朝日の森の GIS データベースを構築することにより、様々な幾何情報と属性情報、デジタルマップ (DM: Digital map) 等の利用が可能となった。

IV. GIS による森林機能の評価

1. 森林機能評価の基本的考え方

森林機能の評価に関しては、評価の視点及び評価手法に依存して分野毎に特色が見られる。森林経理学の分野では、森林の木材生産機能、水源涵養機能、保健文化機能等を、数量化法、AHP法(階層分析法)などを利用して、それらのポテンシャル面、もしくは供給と需要の二つの側面から評価を行う例が多く見られる。近年は、GIS技術の進歩により、GISと上述の分析手法を結びつけた評価手法の開発に関心が寄せられている。そこで、本研究では、朝日の森の機能をポテンシャル面から、GISの技術と数理的な分析手法を組み合わせることで定量的に評価することを試みた。

朝日の森は日本最大の湖琵琶湖の上流に位置するので、水源涵養機能は非常に重要である。また、森林とのふれあい(レクリエーション、保養など)の場として、保健文化機能に対するニーズも大きい。さらに、比較的地形が急峻であるので、山地防災機能も重要である。そこで、今回は、水源涵養、保健文化、山地防災及び木材生産機能四つの機能を評価対象として取り上げた。1991年林野庁「森林の整備水準の評価手法」を参照し(林野庁, 1991)、水源涵養、保健文化、山地防災機能及び木材生産機能の四つの機能について、それぞれ表-1~4のような評価基準を設定した。

森林の機能は、水源涵養機能のように大域的に発揮されるものもあれば、山地防災機能のように局所的に発揮されるものもあり、その評価にあたっては空間のスケール(小班、林班、小域、中域、大域)を考慮する必要がある。また、森林機能は、林地の状態や林相・林分構造、森林の生態的構造に依存している。前者は機能評価のための空間単位の決定に、後者は評価要因の選択に関係する。

本報では、評価の最小空間単位を小班とした。機能ごとの評価得点を求めるために、まず評価要因を決定し、それをさらにカテゴリーに区分し、各カテゴリーに評点を与える。次いで、小班毎の機能別評価得点を次のような手順で求める。

- ① ある機能の評価要因の重み(ウェイト)を定め、これを α とする。

- ② 評価要因毎に、カテゴリー評点を定め、これを β とする。
 ③ 当該評価要因のカテゴリー得点を、 $\gamma = \alpha \times \beta$ として求める。
 ④ すべての評価要因についての γ を集計し、それを当該機能の評価得点とする。

各機能の評価要因、そのウエイト、カテゴリーとその評点は表-1~4に示すとおりである。評価要因の選択にあたっては、機能の特性と実際の調査結果を分析した上で各機能と最も相関の高い評価要因を抽出した。最後に、各小班毎に機能ごとの評価得点を求め、GISによって各種機能の小班毎の分布状況図及び優勢機能分布図を出力した。なお、後でも言及するが、本文の優勢機能の定義は次のとおりである。「小班における各機能の相対的優勢度を表すために、各機能の評価得点を標準化し、最大の標準得点を有する機能を当該小班の優勢機能と定義する」。ここで標

表-1 水源涵養機能の評価基準
 Table 1. Evaluation criteria for water conservation function.

要因	カテゴリー-区分	評点	得点
林 齢 ウエイト 0.6	15年以下	0	0
	16~20	20	12
	21~30	50	30
	31~40	70	42
	41~50	80	48
	51~70	90	54
	71年以上	100	60
疎密度 ウエイト 0.2	3以下	0	0
	4~5 (疎)	70	14
	6~8 (中)	100	20
	9以上 (密)	80	16
管理状態 ウエイト 0.2	針葉樹管理不良	0	0
	管理 可	40	8
	管理 良	70	14
	管理 優	100	20
	広葉樹管理 良	50	10
	管理 優	100	20

注:

針葉樹の場合

管理不良: 管理がされていない。

管理 可: 下刈り、雪起こしなど管理がされている。

管理 良: 除間伐・枝打ちの管理がされている。

管理 優: 除間伐・枝打ち、雪起こし等の管理中及び管理直後、普通管理より丁寧に行っている。

広葉樹の場合

管理 良: 除間伐・枝打ち等の管理は行われにくいですが、樹種特性を考慮して、通常、管理良を採用する。

管理 優: 特に整理伐・下刈り等の管理が入念に行われている場合のみ管理優とする。

表-2 保健文化機能の評価基準

Table 2. Evaluation criteria for the preservation function of public health and culture.

二次林の場合

要因	カテゴリー-区分	評点	得点
樹 種 ウエイト 0.51	二次林	70	35.7
林 齢 ウエイト 0.31	60年以上	100	31
	40~59	70	21.7
	20~39	40	12.4
	20未満	0	0
面 積 ウエイト 0.15	1 ha 以上	100	15
	0.5~1 ha	50	7.5
	0.2~0.5 ha	30	4.5
	0.2 ha 未満	0	0
傾斜度 ウエイト 0.03	5°未満	100	3
	5~10°	70	2.1
	10~20°	40	1.2
	20°以上	0	0

人工林の場合

要因	カテゴリー-区分	評点	得点
林 齢 ウエイト 0.64	80年以上	100	64
	60~79年	80	51.2
	40~59年	50	32
	20~39年	30	19.2
	20年未満	0	0
間伐実施率 ウエイト 0.28	80%以上	100	28
	50~80%	70	19.6
	50%未満	30	8.4
面 積 ウエイト 0.08	1 ha 以上	100	8
	0.5~1 ha	50	4
	0.2~0.5 ha	30	2.4
	0.2 ha 未満	0	0

表-3 山地防災機能の評価基準
Table 3. Evaluation criteria for land conservation function.

林種	要因	カテゴリー区分	評点	得点
スギ・ヒノキ人工林	間伐等管理 ウェイト 0.2	A	0	0
		B	100	20
	疎密度 ウェイト 0.2	A	0	0
		B	60	12
		C	100	20
		D	80	16
	林 齢 ウェイト 0.4	A	0	0
		B	30	12
		C	70	28
		D	100	40
	傾斜度 ウェイト 0.2	A	0	0
		B	60	12
C		80	16	
D		100	20	
アカマツ	疎密度 ウェイト 0.2	A	0	0
		B	60	12
		C	90	18
		D	100	20
	林 齢 ウェイト 0.6	A	0	0
		B	50	30
		C	80	48
		D	100	60
	傾斜度 ウェイト 0.2	A	0	0
		B	60	12
		C	80	16
		D	100	20
広葉樹二次林	疎密度 ウェイト 0.2	A	0	0
		B	70	14
		C	90	18
		D	100	20
	林 齢 ウェイト 0.6	A	0	0
		B	60	36
		C	80	48
		D	100	60
	傾斜度 ウェイト 0.2	A	0	0
		B	60	12
		C	80	16
		D	100	20

注:

ここで、A, B, C, D は次の各評価要因のカテゴリーを意味している。

間伐等の管理 A: 間伐等の管理が行われていない。

B: 間伐等の管理が行われている。

疎密度 A: 3以下

B: 4~7

C: 8~9

D: 10

林 齢 A: 15年以下

B: 16~30

C: 31~50

D: 51年以上

傾斜度

A: 30°以上

B: 20~30° (30°未満)

C: 10~20° (20°未満)

D: 10° 未満

準化は、各機能の評価得点の平均値 (\bar{x}) と標準偏差 (S_x) から、標準得点 ($z_i = (x_i - \bar{x}) / S_x$) を求める通常の統計学的手続きに従った (東京大学教養学部統計教室, 1998)。

①水源涵養機能の評価

森林の水源涵養機能は、洪水緩和機能、渇水緩和機能、水質浄化機能の三つのサブ機能の総称である。これら三つのサブ機能に共通して望まれる森林の第一の要件は、森林土壌の維持、発達に関わる発達した根系の存在である (太田, 1991; 竹下, 1984)。豊かな土壌層を維持していく上で、根系の発達の外に下層植生及び落葉落枝による林床の保護も重要である。根系の発達の程度と葉量の尺度としては、樹高が一つの目安となるが、ここでは林齢で代用する (林野庁, 1991)。さらに、林相もしくは森林の管理状態の尺度として樹冠疎密度、樹種・管理状態を取り上げる。評価要因は、林齢、疎密度及び樹種・管理状態の三つである (表-1)。

②保健文化機能の評価

保健休養機能 (保健文化機能) は、自然面及び人との関わりの面、あるいは客観的側面と主観的側面の双方を含むので、その評価は容易ではない。保健休養機能に関わる重要な評価因子は景観であるが、これは森林の面的・垂直方向の空間構造と密接な関連を有している。そこで、本研究では、景観の保全・創出の観点から、森林のタイプ (林種)、林相、林齢、地形、面積などに着目し、それらに適当な重みをつけて総合評価をすることを試みた。

まず、森林のタイプを、二次林、人工林の二つに大別し、次いで、森林のアメニティに関わる因子として、林相と密接な関係を有する森林の管理状態 (ここでは、間伐実施率)、森林の林齢、傾斜、面積などを取り上げた (表-2)。

③山地防災機能の評価

主な山地災害は、山腹斜面における表面浸食や崩壊・地すべりと、溪流における土石流や異常出水による溪床変動と土砂の移動堆積による災害である。山地災害防止機能には土砂流出防止、土砂崩壊防止、落石防止、雪崩防止などのサブ機能がある。これらのサブ機能のメカニズムを全体として考えると、地表の植生状況を人工林、天然林、二次林、針葉樹、広葉樹などに分けて評価する必要がある。また、山地災害防止機能の最も大きい森林は、ある程度以上の林分疎密度と一定の林齢に達したものに限定されると考えられる。そして、傾斜度は山地防災機能に影響を与える。朝日の森は主に二次林とスギ、ヒノキの人工林から成り、一部にアカマツ天然木が含まれている。二次林の大半は広葉樹である。

表-4 木材生産機能の評価基準

Table 4. Evaluation criteria for timber production function.

要因	カテゴリー区分	評点	得点
平均成長量 ウェイト 0.3	H	50	15
	M	33.3	10
	L	0	0
林道への距離 ウェイト 0.3	H	50	15
	M	33.3	10
	L	0	0
管理状態 ウェイト 0.4	H	50	20
	M	25	10
	L	0	0
基礎得点	50		

注:

ここで、H, M, Lは次の各評価要因の得点高・中・低を意味している。

平均成長量の大きさ: L, 5 m³ 未満;
M, 5~8 m³ (8 m³ 未満);
H, 8 m³ 以上。

林道からの距離: L, 500 m 以上;
M, 500~300 m (500 m 未満);
H, 300 m 未満。

管理状態: L, 間伐等の管理が行われてない;
M, 間伐等の管理が不十分である;
H, 間伐等の管理が適切に行われている。

基礎得点は 50 点である。

表-5 機能評価とゾーニングの結果
Table 5. The result of function valuation and zoning.

番号	小班	水源涵養 機能得点	保健文化 機能得点	山地防災 機能得点	木材生産 機能得点	優勢機能	クラス グループ	ゾーニング
1	1-い	78	72	72	15	2	1	3
2	1-ろ	78	62	74	15	2	1	2
3	1-は	32	8	32	100	4	4	4
4	1-に	78	65	74	15	2	1	3
5	1-ほ	82	43	72	100	4	2	3
6	1-へ	46	8	56	85	4	4	4
7	1-と	40	9	40	90	4	4	4
8	1-ち	56	19	44	75	4	4	4
9	1-り	26	8	28	75	4	4	4
10	1-ぬ	76	32	60	85	4	2	3
11	1-る	76	19	60	75	1	2	3
12	1-を	56	19	40	75	4	4	4
13	1-わ	56	22	16	75	4	4	4
14	1-か	56	22	44	70	4	4	4
15	1-よ	56	19	40	70	4	4	4
16	1-た	36	51	50	15	2	3	1
17	1-た ¹	56	19	40	75	4	4	4
18	1-た ²	26	9	24	70	4	4	4
19	1-れ	76	36	40	75	1	4	4
20	1-そ	78	65	74	10	2	1	3
21	1-つ	78	72	74	15	2	1	3
22	1-ね	78	72	74	15	2	1	3
23	1-な	76	44	60	80	4	2	3
24	1-ら	10	41	30	15	2	3	1
25	1-む	76	32	56	75	1	2	3
26	1-う	52	63	60	15	2	1	2
27	1-う ¹	56	19	40	75	4	4	4
28	1-の ¹	44	27	24	75	4	4	4
29	1-の ²	44	22	24	75	4	4	4
30	1-の ³	70	22	56	75	4	2	3
31	1-の ⁴	70	23	56	75	4	2	3
32	1-お	26	8	28	75	4	4	4
33	1-や	56	19	40	85	4	4	4
34	1-ま	62	32	48	90	4	4	4
35	1-け	26	8	32	75	4	4	4
36	1-ふ	82	40	80	100	3	2	3
37	1-う ²	52	63	48	15	2	1	2
38	2-ろ	32	53	56	15	2	3	1
39	2-ろ ¹	22	37	52	15	2	3	1
40	2-は	82	43	72	85	3	2	3
41	2-に	42	40	50	15	2	3	1
42	2-ほ	36	51	62	15	2	3	1
43	2-へ	76	32	56	90	4	2	3
44	2-と	88	51	64	85	1	2	3
45	2-ち	56	19	44	75	4	4	4
46	2-り	36	51	50	15	2	3	1
47	2-り ¹	44	19	12	70	4	4	4
48	2-ぬ	82	51	52	75	1	2	3
49	2-る	76	56	76	95	3	2	3
50	2-を	88	43	60	85	1	2	3
51	2-わ	70	32	40	85	4	4	4
52	2-か	72	72	62	15	2	1	2
53	2-よ	64	82	60	15	2	1	2
54	2-た	44	23	12	70	4	4	4

表-5 続き
Table 5. continued.

番号	小班	水源涵養 機能得点	保健文化 機能得点	山地防災 機能得点	木材生産 機能得点	優勢機能	クラスタ グループ	ゾーニング
55	2-れ	88	62	72	100	3	2	3
56	2-そ	76	34	40	90	4	4	4
57	2-つ	20	9	28	65	4	4	4
58	2-ね	82	51	64	75	1	2	3
59	2-な	88	62	72	100	3	2	3
60	2-ら	90	67	78	15	2	1	2
61	2-む	88	51	64	90	1	2	3
62	2-う	70	32	52	75	4	2	3
63	2-の	56	19	28	75	4	4	4
64	2-お	82	32	40	90	4	4	4
65	2-く ¹	64	27	36	75	4	4	4
66	2-や	70	19	40	70	4	4	4
67	2-ま	94	54	68	80	1	2	3
68	2-け	70	19	40	85	4	4	4
69	2-ふ	82	32	52	85	1	2	3
70	2-こ	94	43	92	95	3	2	3
71	2-え	82	51	64	70	1	2	3
72	2-て	88	54	80	100	3	2	3
73	2-あ	70	19	56	85	4	2	3
74	2-さ	88	62	76	100	3	2	3
75	2-き	88	34	68	90	1	2	3
76	2-ゆ	32	42	56	15	2	3	1
77	2-め	36	41	66	15	3	3	1
78	2-み	76	40	76	95	3	2	3
79	2-し	88	40	76	100	3	2	3
80	2-し ¹	94	40	84	100	3	2	3
81	2-し ²	50	28	44	100	4	4	4
82	2-ひ	36	43	62	15	3	3	1
83	2-ひ ¹	22	52	52	15	2	3	1
84	2-ひ ²	22	44	52	15	2	3	1
85	2-も	70	22	56	90	4	2	3
86	2-も ¹	82	32	60	85	1	2	3
87	2-も ²	82	32	56	90	4	2	3
88	2-せ	70	19	60	90	4	2	3
89	2-す	58	22	28	75	4	4	4
90	2-お ¹	82	32	40	70	1	4	4
91	2-く	94	82	74	10	2	1	2
92	2-こ ¹	88	32	64	70	1	2	3
93	3-い	84	68	94	15	3	1	3
94	3-ろ	54	54	66	15	2	1	2
95	3-は	94	40	92	100	3	2	3
96	3-に	94	51	76	75	1	2	3
97	3-ほ	70	19	40	75	4	4	3
98	3-へ	88	54	64	75	1	2	3
99	3-と	40	49	52	15	2	3	1
100	3-ち	88	64	80	100	3	2	3
101	3-ち ¹	70	19	40	75	4	4	3
102	3-り	94	68	92	95	3	2	3
103	3-ぬ	88	52	84	100	3	2	3
104	3-る	76	22	60	75	1	2	3
105	3-を	76	32	40	70	1	4	3
106	3-わ	60	63	54	15	2	1	2
107	3-わ ¹	82	32	40	70	1	4	4
108	3-か	88	43	84	100	3	2	3

表-5 続き
Table 5. continued.

番号	小班	水源涵養 機能得点	保健文化 機能得点	山地防災 機能得点	木材生産 機能得点	優勢機能	クラス グループ	ゾーニング
109	3-か ¹	58	19	40	75	4	4	4
110	3-よ	40	63	48	15	2	1	2
111	3-た	94	40	80	95	3	2	3
112	3-れ	76	32	40	70	1	4	4
113	3-そ	84	57	74	10	3	1	3
114	3-つ	76	32	40	75	1	4	4
115	3-ね	60	53	50	10	2	1	3
116	3-な	54	63	62	15	2	1	4
117	3-な ¹	70	34	56	65	4	2	3
118	3-ら	70	22	56	90	4	2	2
119	3-む	76	34	52	90	4	2	3
120	3-う	88	32	72	90	1	2	3
121	3-の	70	22	52	75	4	2	3
122	3-お	60	53	48	15	2	1	3
123	3-く	58	23	24	75	4	4	3
124	3-や	88	32	60	85	1	2	2
125	3-や ¹	88	32	60	70	1	2	3
126	3-ま	82	34	60	85	1	2	3
127	3-け	94	48	72	90	1	2	3
128	3-ふ	94	40	84	100	3	2	3
129	3-こ	60	63	54	10	2	1	3
130	3-え	88	51	80	80	3	2	3
131	3-て	82	32	52	85	1	2	2
132	3-あ	82	32	40	70	1	4	3
133	3-あ ¹	82	34	40	70	1	4	3
134	3-さ	88	34	52	85	1	2	3
135	3-き	64	19	24	70	4	4	4
136	3-ゆ	60	63	50	10	2	1	3
137	3-め	88	54	76	75	3	2	3
138	3-み	82	32	72	70	3	2	2
139	3-し	82	32	52	70	1	2	3
140	3-わ ²	60	63	54	10	2	1	3

注:

1. 水源涵養機能得点, 保健文化機能得点, 山地防災機能得点, 木材生産機能得点の四つの欄にある点数は表-1~4の評価基準によるもので, 標準化されていない。
2. 優勢機能欄にある1から4は各小班の優勢機能がそれぞれ水源涵養優勢機能, 保健文化優勢機能, 山地防災優勢機能, 木材生産優勢機能であることを表している。この優勢機能を判断する時, 各機能の得点が標準化された。
3. ゾーニング欄にある1から4はそれぞれ各小班が水源涵養機能ゾーン, 保健文化機能ゾーン, 山地防災機能ゾーン, 木材生産機能ゾーンに属していることを表している。

以上の点を考慮して, 評価因子とカテゴリー区分を表-3のように定めた。

④木材生産機能の評価

木材生産機能は樹種, 疎密度, 平均成長量に関係がある。また, 林道からの距離及び傾斜なども重要な評価要因である。これらの評価要因をさらにそれぞれ四つのカテゴリーに区分し, 各カテゴリー評点を与える(表-4)。

2. 使用データ

以上のように, 評価因子は, 樹種, 林齢, 管理状態を示す林相などの属性情報と斜面, 標高などの幾何情報の2因子に大別される。

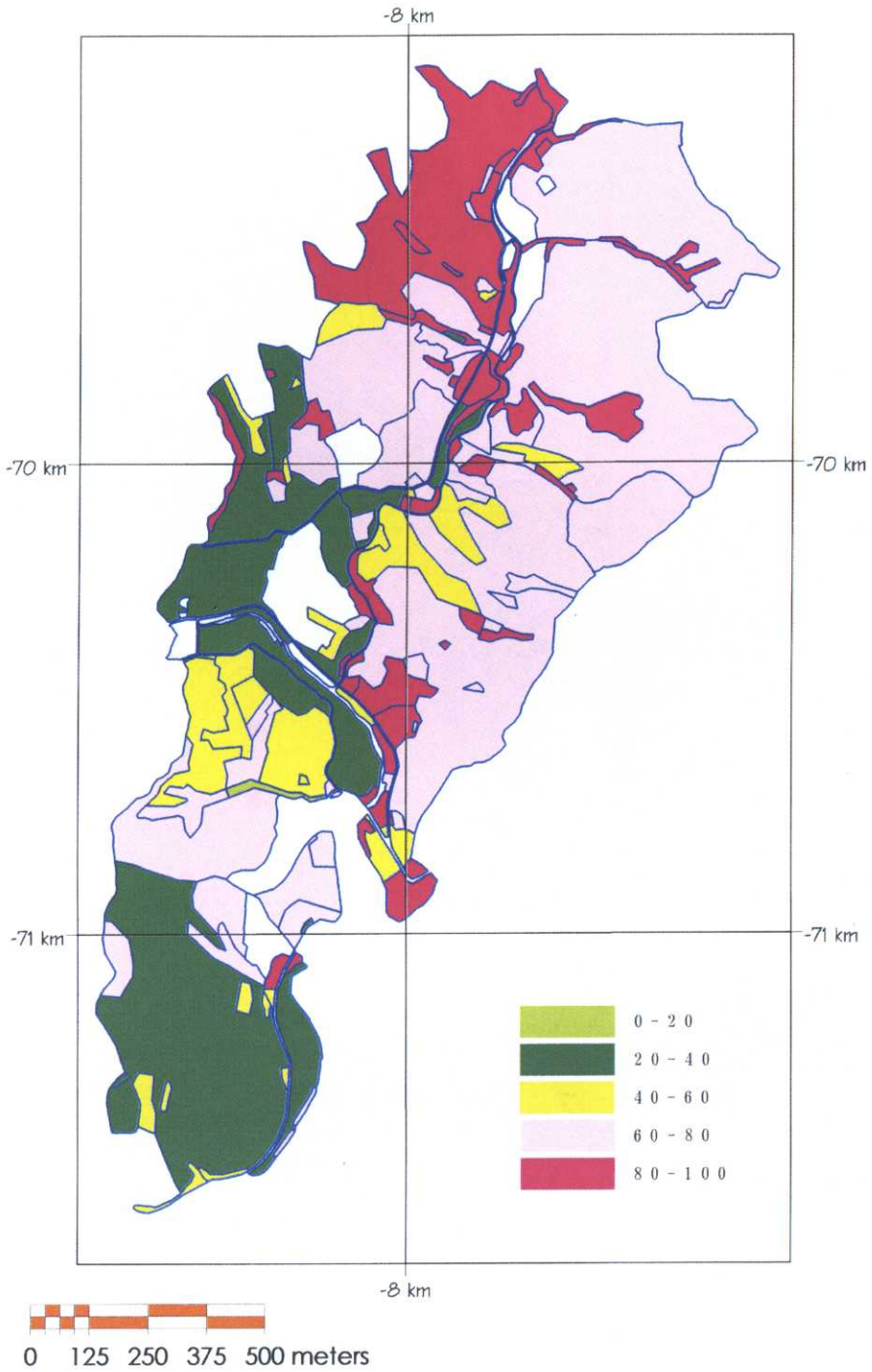


図-3 水源涵養機能の分布図

Fig. 3. Distribution of water conservation function.

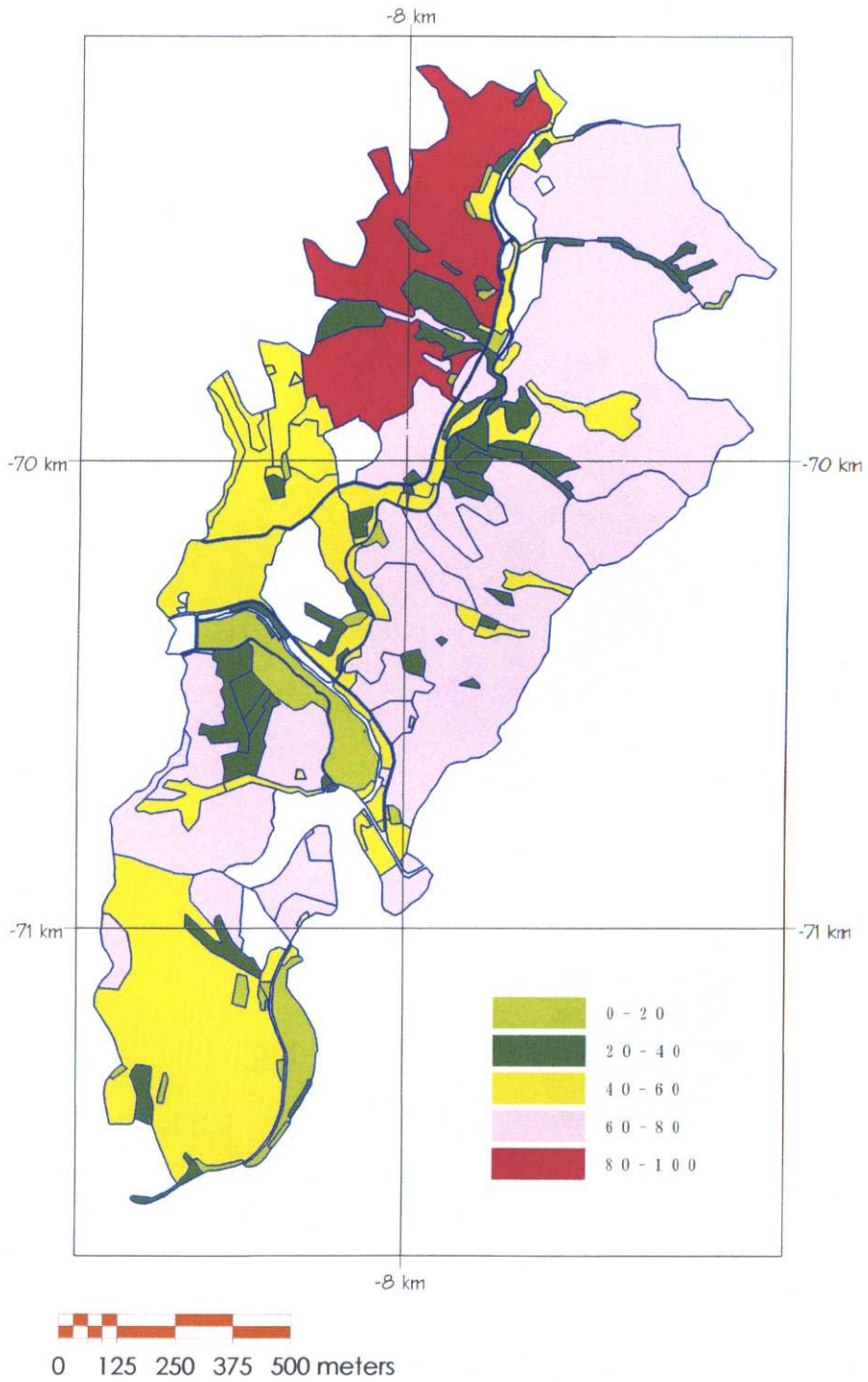


図-4 保健文化機能の分布図

Fig. 4. Distribution of preservation function of public health and culture.

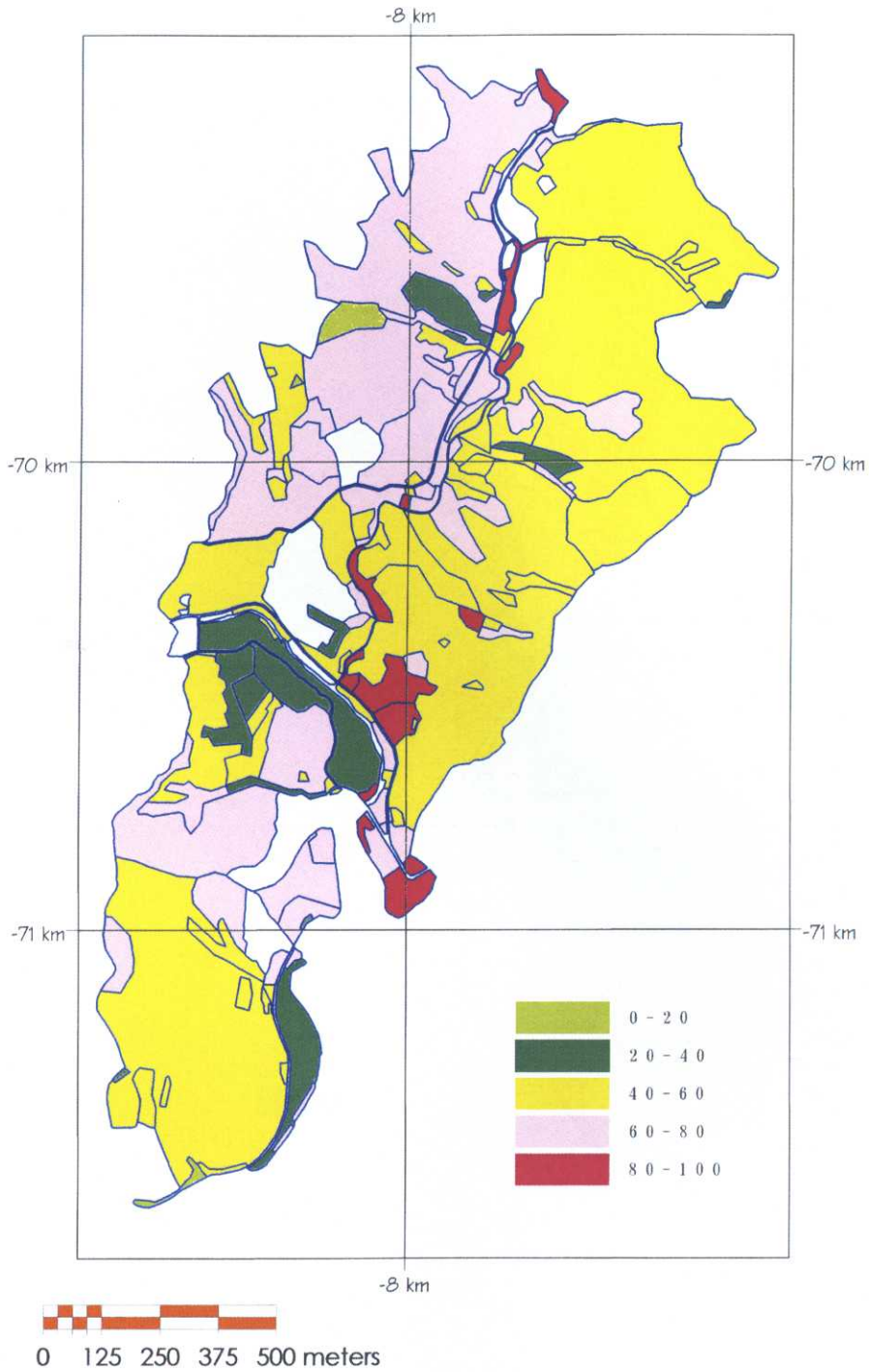


図-5 山地防災機能の分布図

Fig. 5. Distribution of land conservation function.

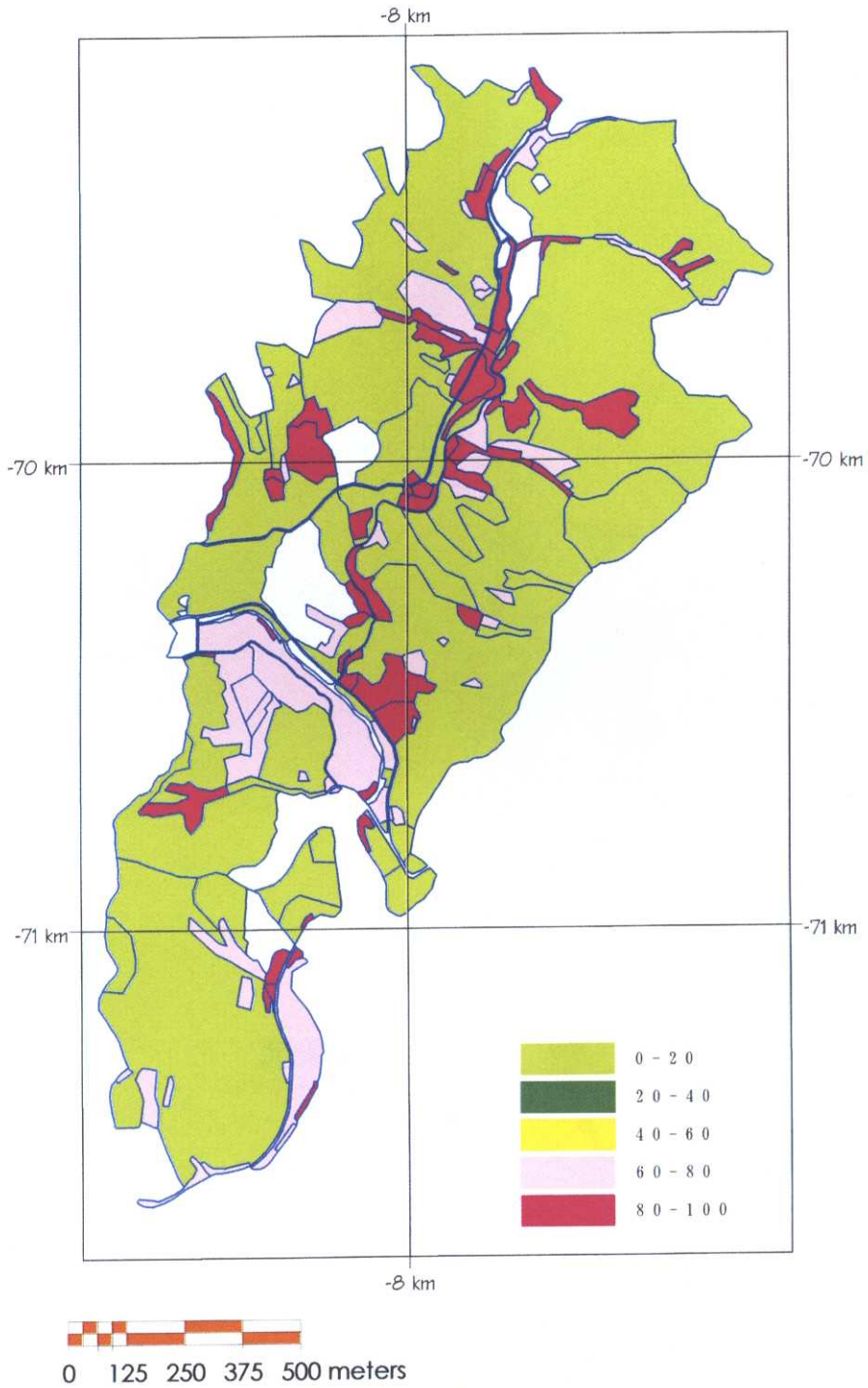


図-6 木材生産機能の分布図

Fig. 6. Distribution of timber production function.

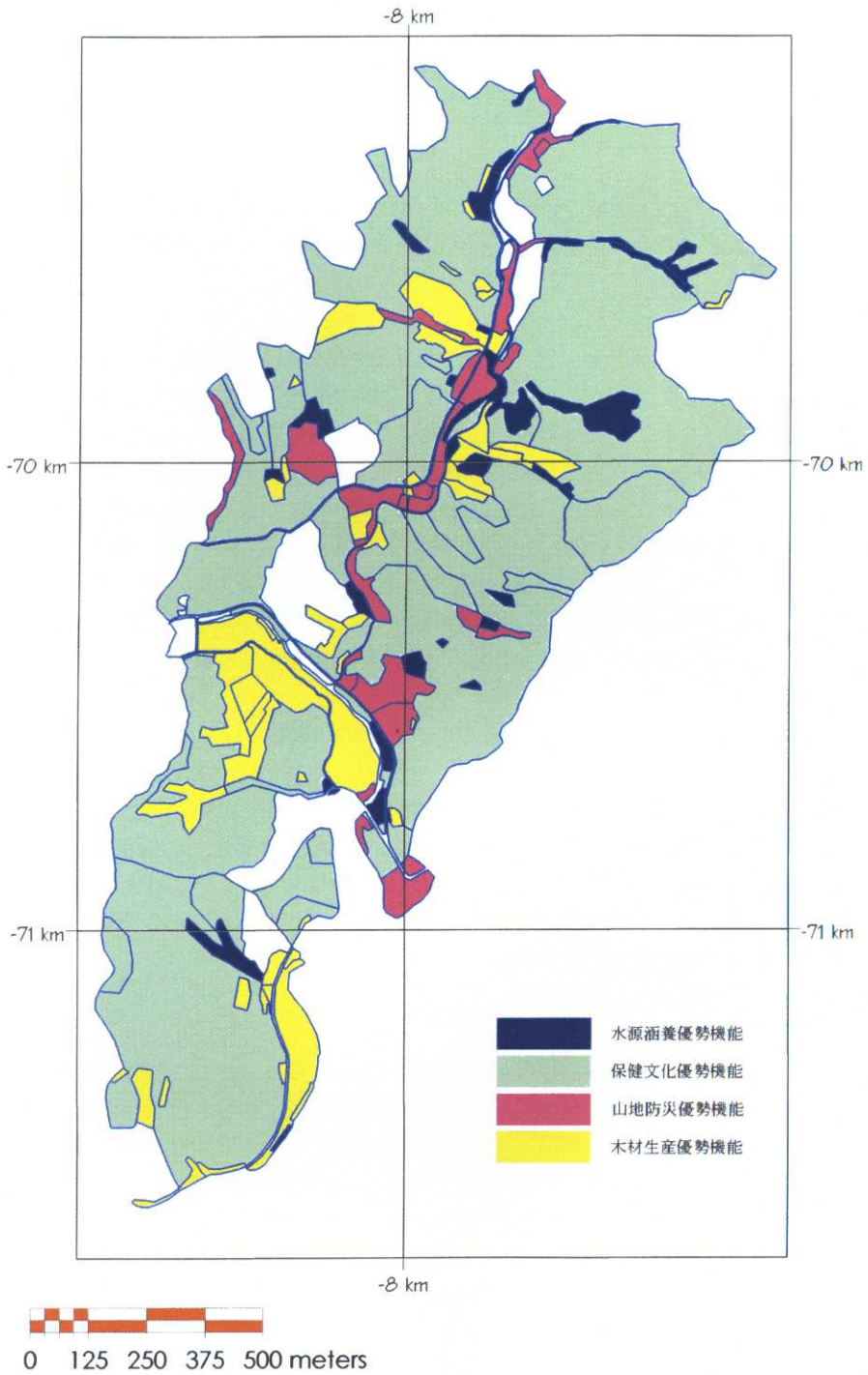


図-7 優勢機能の分布図
Fig. 7. Distribution of the dominant function.

森林簿と森林の施業台帳から樹種、林齢、管理状況などの情報を、また空中写真から樹冠疎密度を読み取る。位置因子に関しては TNTmips で DEM データを作成し、さらに GIS を利用して各小班の標高、傾斜、及び林道への距離を計算し、必要な評価因子データを収集する。

3. 評価結果

評価結果は、各小班の各種機能の評価得点とその分布状況、及び優勢機能の分布に分けて示される。これにより、朝日の森の機能を小班レベルで、また機能の相対的優勢度を定量的に把握することが可能となり、森林の管理に対して有用な情報を提供することができる。

3.1 各機能分布

朝日の森の 3 個林班 140 個小班に関して水源涵養、保健文化、山地防災及び木材生産機能の評価得点を求めた。その結果は表-5 のとおりである。GIS の解析ツールで出力した各種機能評価の結果は図-3～6 のようになる。図-3 は水源涵養機能の評価得点を表示したものであり、得点の範囲は 10～94 である。図-4 は保健文化機能の評価得点を表示したものであり、得点の範囲は 9～82 である。図-3 と図-4 を比べると、共通点として、60～100 点という中、高レベルの点数を有する小班（ピンク色と薄いピンク色）は 2, 3 林班に多く見られる。図-5 は山地防災機能の評価得点を表示したものであり、得点は 12～94 の範囲にある。中レベルの 60～80 点の範囲にある小班の割合が多い。図-6 は木材生産機能の評価得点を表示したものであり、得点の範囲は 10～100 である。0～20 点の低レベルの小班が多く、木材生産機能は全体的に低い。

3.2 優勢機能

優勢機能とは、先に定義したように、各小班での相対的に優勢な機能を指している。図-7 は優勢機能の分布図である。青色、緑色、ピンク色、黄色は、それぞれ、水源涵養優勢機能、保健文化優勢機能、山地防災優勢機能、木材生産優勢機能を表している。全体として、優勢機能分布を見ると、保健文化優勢機能が最も多く、77% を占める。水源涵養機能、山地防災機能と木材生産機能の比率は相対的に低く、それぞれが 4%、6%、12% となっている。このように、森林の保健文化機能が優勢であるという現況は、「森林文化の基地」、「自然とふれあいの場」という朝日の森の理念を実現する上で好適であることを示している。

V. 森林の機能別ゾーニング

森林の機能は個々の林分の特性に依存するのみでなく、まとまりとしての林分配置のあり方に応じて変わってくる。形式的に言えば、前者は機能の点的側面であり、後者は面的側面である。さらに、森林機能はオンサイトの側面とオフサイトの側面を有する。すなわち、前者は森林の置かれた場所に即して直接的に発揮されるものであり、後者はその場所だけでなく、他の場所との関係を介して媒介的に発揮されるものである。したがって、森林の多面的機能をバランスよく発揮させるためには、このような機能の空間的特性を十分配慮する必要がある、そのための森林管理手段の一つとしてゾーニングという技術がある。

そこで、本章では、前章の森林機能評価結果を踏まえて、四つの基準に基づくゾーニングの基本的考え方と手順、ゾーニングの結果について考察を加える。

1. ゾーニングの基本的考え方

ゾーニングにあたっては、小班毎の各機能の評価結果を総合的に判断した上で、多元的観点から、あるいは複数の基準に基づいて総合的に判断しなければならない。本研究では、先行研究を参照することにより、四つ基準を抽出し、多元的にゾーニングする手法の開発を試みた。

基準1 機能グループ分け

機能グループ (Function-group) とは、各種機能の度合いがほぼ一致している小班また林分の集合体で、森林施業上の一つの単位となる。小班機能の類似性を判断するにあたっては、階層クラスタ分析法を用いる (何, 1998)。この方法は、まず各小班の各機能の評価得点を標準化し、得られた標準得点は新たな変数として類似度を測り、互いに似た機能を持つ小班を集めてクラスタを作る。この方法で分類された機能グループは前章の機能評価の結果に基づいているが、複雑な森林のある側面を反映したものであり、その意味ではゾーニングの第一段階に位置している。他の観点からこのゾーニングを補完する必要がある。

基準2 機能の場所的代替性と非代替性

機能の場所的代替性とは機能の発揮が場所と密接不可分であることを意味し (興梠, 2003)、場所的代替性とはそれとは逆に機能が他の森林で代替可能であることを意味している。この観点から、各種機能の性質もしくは相互関係を考察してみると大略三つのグループに分かれる。第一のグループは、山地災害防止、生活環境保全、保健休養、自然環境保全の四つの機能から成り、それぞれの機能はその場所でオンサイトの発揮され、他の場所もしくは他の森林による機能の代替は困難である。たとえば、急傾斜地や斜面崩壊の危惧される場所では、森林の防災・保全機能を優先させるべきであり、林業活動は厳しく制限されねばならない。本研究で取り上げた山地防災機能と保健文化機能はこのグループに属している。第二のグループに属するのは木材生産機能を代表とする資源循環利用機能である。資源循環利用機能は、ある特定の場所から生産されなくとも、それに代替できる場所があればその機能は満たされる。まさしく、オフサイトの性格を有している。第三のグループに該当するのは水源涵養機能であり、これは場所との結びつきが第一のグループの機能ほど強くなく、総量としてある面積以上が確保されれば機能の発揮は達成される。つまり、森林と立地の結びつきが多少あるが、総量として確保されればこれらの機能は代償されるので、第一グループと第二グループの中間的性格を有している (白石, 1998; 1999)。

基準3 優勢機能の発揮

前章で、朝日の森の優勢機能の分布図を作成した。優勢機能は各小班で相対的に優勢である機能であり、ゾーニングの際にこの情報を利用することができる。しかし、当然のことながら、他の機能も同時に働いているのであるから、この観点からゾーニングをする場合には他の機能への配慮を忘れてはならない。

基準4 目標林型の想定

森林管理においては、林分毎の目標林型とそれらの空間的配置の双方を常にセットにして考えていくことが重要である。ゾーニングの際には、特に、目標林型への配慮が必要である。

林分の発達段階と諸機能との関係 (藤森, 2002) を考慮すると、水源涵養機能などの水土保全機能を第一に考える場合には、老齢段階の森林を目標林型に定めるのが妥当である。保健文化機能を第一に考える場合には、多くの場合は天然林が目標林型の中軸を占めることになる。しかし、人為を加えることによって風致効果が高められたり、農山村の生活と一体になった半自然の美し

表-6 朝日の森の目標林型
Table 6. The target forest type for Asahi forest.

森林管理の目標	一般的な目標林型	朝日の森の目標林型と管理特色
水源涵養機能	老齢段階の天然林	二次林。天然更新，特に手は加えない。
保健文化機能	天然林，人工林のいずれも求められるが，天然林が中心。林種の適切な配置が重要	保健文化機能は中心である。様々なレクリエーション要求に応じて，二次林，育成林（希少樹種，観賞，学術，教育的に利用）の両方が求める。景観効果を注意する。
山地防災機能	人工林，二次林	砂防工事を必要とする所などは人工更新を加える。
木材生産機能	目的に適した樹種の比率の高い成熟段階あるいは若齢段階までの人工林	スギとヒノキの人工林は100年以上大径材，高質良材を目標とする。

さが評価されたりする場合もあるので，保健文化機能を担う目標林型は多様である（堀ら，1997）。山地防災機能に対する目標林型としては，浸食防止等の効果を期待できる広葉樹林などが挙げられる（林野庁，1991）。針葉樹林の場合でも，間伐等の施業を計画的に実施すれば，防災機能の向上を図ることができる。木材生産を第一に考える場合には，生産目標に応じて成熟段階までの森林を目標林型に定めるのが普通である。

以上のような知識を基に，朝日の森における目標林型を定めた（表-6）。朝日の森には老齢段階の二次林が存在しないので，水源涵養機能に対応する目標林として現在の二次林を当てた。急傾斜地の森林はもちろんのこと，二次林や管理の行き届いている人工林も山地防災機能を有している。他方，朝日の森では，「針葉樹100年，広葉樹200年」を伐期としている。したがって，木材生産機能に対応する目標林型は，100年以上の長伐期を有し，大径材，高品質材の生産を目的とするスギとヒノキの老齢人工林となる。

保健文化機能の発揮という観点からは，様々なレクリエーションに対するニーズに応じて，二次林，育成林（希少樹種，観賞用，学術・教育用）の両方が目標林型候補となる。景観的には，樹種の適切な配置が重要である。例えば，現存する森林の内部や林縁にアカマツやカエデ等の樹種を配置する必要がある。

上述の四つの基準を土台に，GISから出力されたデジタルマップを見ながら，朝日の森のゾーニングを行い，その結果を図の形にまとめた。

2. ゾーニング作業の方法と手順

第一ステップ：階層クラスタ分析によりクラスタグループ区分を行う。

階層クラスタ分析では，デンドログラムで結合結果を表し，形成されたクラスタの結合性の評価に使用する。デンドログラムは適当なクラスタ数を保持するための情報を提供する。本研究では，SPSSソフトウェアを利用して，クラスタの類型化を行った。クラスタ化の方法は最遠隣法で，間隔の測定には，ユークリッド距離が用いられている。類似度と機能グループ区分が出力される。

第二ステップ：各クラスタグループがどんな機能グループであるかを判断する。具体的には，クラスタグループの分布図と各機能の分布図及び優勢機能の分布図（図-3～図-7）を比較するこ

とにより、これを行う。

第三ステップ：まず、基準 2 に基づいて、クラスタグループごとに、急傾斜の場所（傾斜度 40 度を超えた場合）にある小班には山地防災機能を付与する。次いで、クラスタグループごとに、基準 3 に基づいて優勢機能が山地防災機能と保健文化機能である小班に対しては、山地防災機能と保健文化機能を優先的に考慮する。

第四ステップ：残りのクラスタグループに対して、基準 3 と 4 に基づいて、優勢機能、樹種、林齢を配慮し、水源涵養機能、保健文化機能及び木材生産機能の間の区分もしくは調整を行う。具体的には、GIS 技術を利用して、画面を見ながら、機能の空間配置を全体的に調整する。

3. 結果と考察

3.1 結果

まず、第一ステップにおいて、階層クラスタ分析によって分析し、機能グループにおける小班間の距離の遠近を樹形図（デンドログラム図）として表現したものが図-8 である。横軸は小班の類似度を表し、縦軸は各小班の番号を表す。このデンドログラム図から、類似度 15 で分けると、小班は 4 クラスタグループに分けられる（図-9）。

各クラスタグループの面積割合を見ると、クラスタグループ-1 は 59% で、主として広葉樹林とアカマツ林、クラスタグループ-2 は 11% で、主としてスギ・ヒノキ人工林、クラスタグループ-3 は 20% で、主として広葉樹の雑木林、クラスタグループ-4 は 10% で、主としてスギ・ヒノキ人工林である。

次に、第二ステップにおいて、各クラスタの機能から見た特質を把握するために、クラスタグループの空間的分布と前章の各機能及び優勢機能の分布図-3～7 を比較してみた。その結果、主として、クラスタグループ-1 は保健文化機能、クラスタグループ-2 は山地防災機能、クラスタグループ-3 は水源涵養機能、クラスタグループ-4 は木材生産機能を発揮しているものと判断された。

さらに、方法の第三ステップ、第四ステップに準拠して、各グループ内の小班特性を見ながら、機能配置の区分もしくは調整を行う。クラスタグループ-1 には、23 個の小班がある。その中で、1-い、1-に、1-そ、1-つ、1-ね、3-そ、3-ね、3-わ 2 の 8 個の小班が 40 度以上の急斜面にあり、これらの小班の主たる機能は山地防災機能と判断される。それ以外の小班の優勢機能は大略文化機能である（ただし、小班 3-いの優勢機能は山地防災機能）。したがって、クラスタグループ-1 は、第二ステップにおいて、保健文化機能と判別されたが、さらに詳細に分析してみると、山地防災機能と保健文化機能に大別されることがわかる。他方、同様の観点から調べてみると、クラスタグループ-2 では、優勢機能として木材生産、水源涵養、山地防災機能が識別されたが、その大半は山地防災機能であるので、このグループの主たる機能は山地防災機能であると判断される。クラスタグループ-3 では優勢機能として保健文化機能が多く識別されたが、①小班の林相から見ると、雑木、アカマツ林が多く、また空間的に連続しているので、基準 4 の目標林型の観点から見て水源涵養機能発揮ゾーンにふさわしいこと、②また、地形的に見ると、図-2 の概況図からわかるように、このグループに属するゾーンは、麻生川や北川、谷を林班境界としており、一定の流域としての条件を満たしている。以上の点を考慮し、クラスタグループ-3 の主たる機能を水源涵養機能であると判断する。クラスタグループ-4 の場合は、大半の小班がスギ、ヒノキ林で

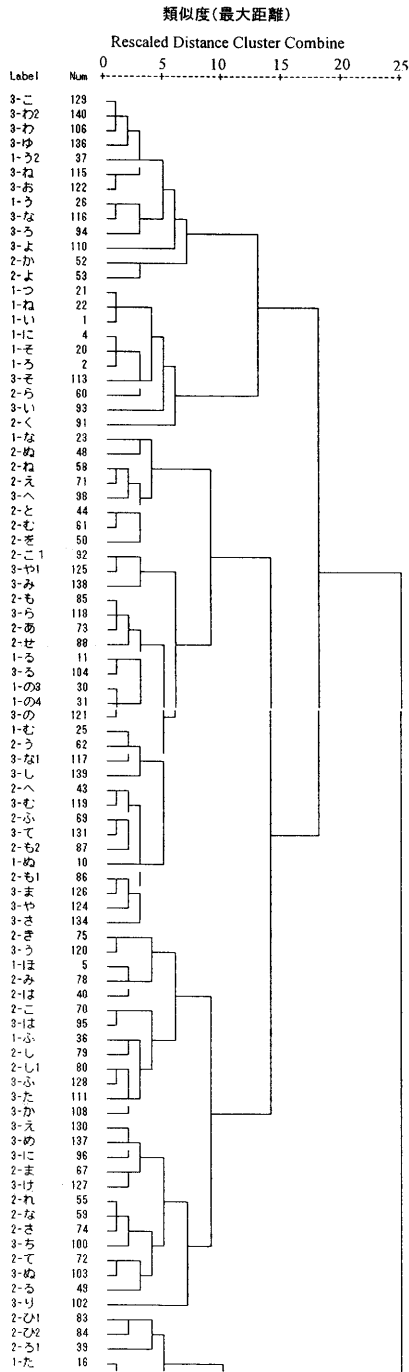


図-8 クラスター樹状図

Fig. 8. Dendrogram Using Complete Linkage.

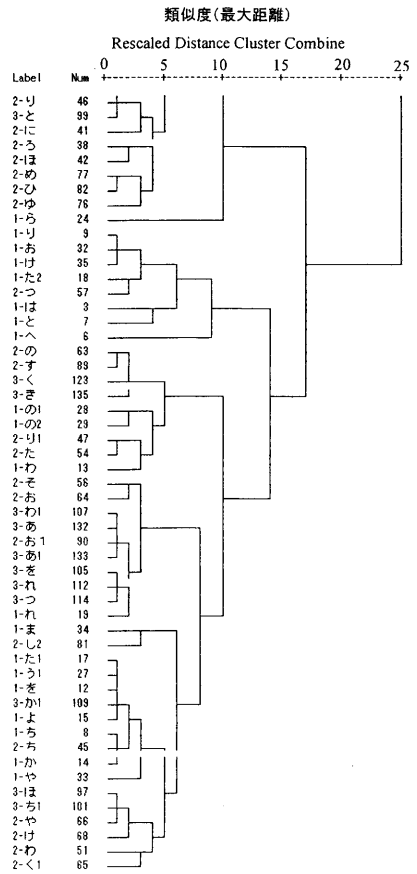


図-8 続き

Fig. 8. continued.

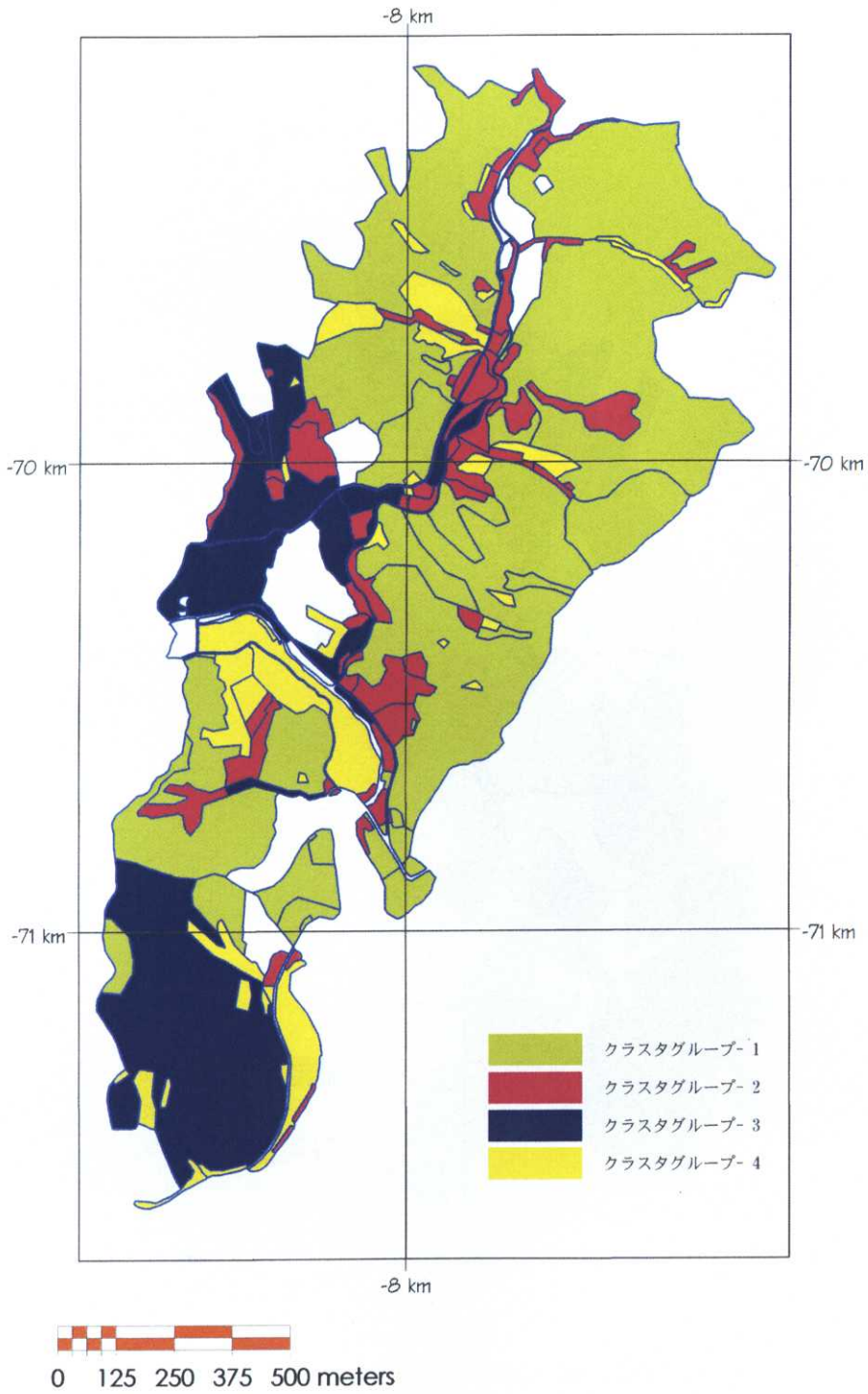


図-9 クラスタグループの分布図
Fig. 9. Distribution of the cluster group.

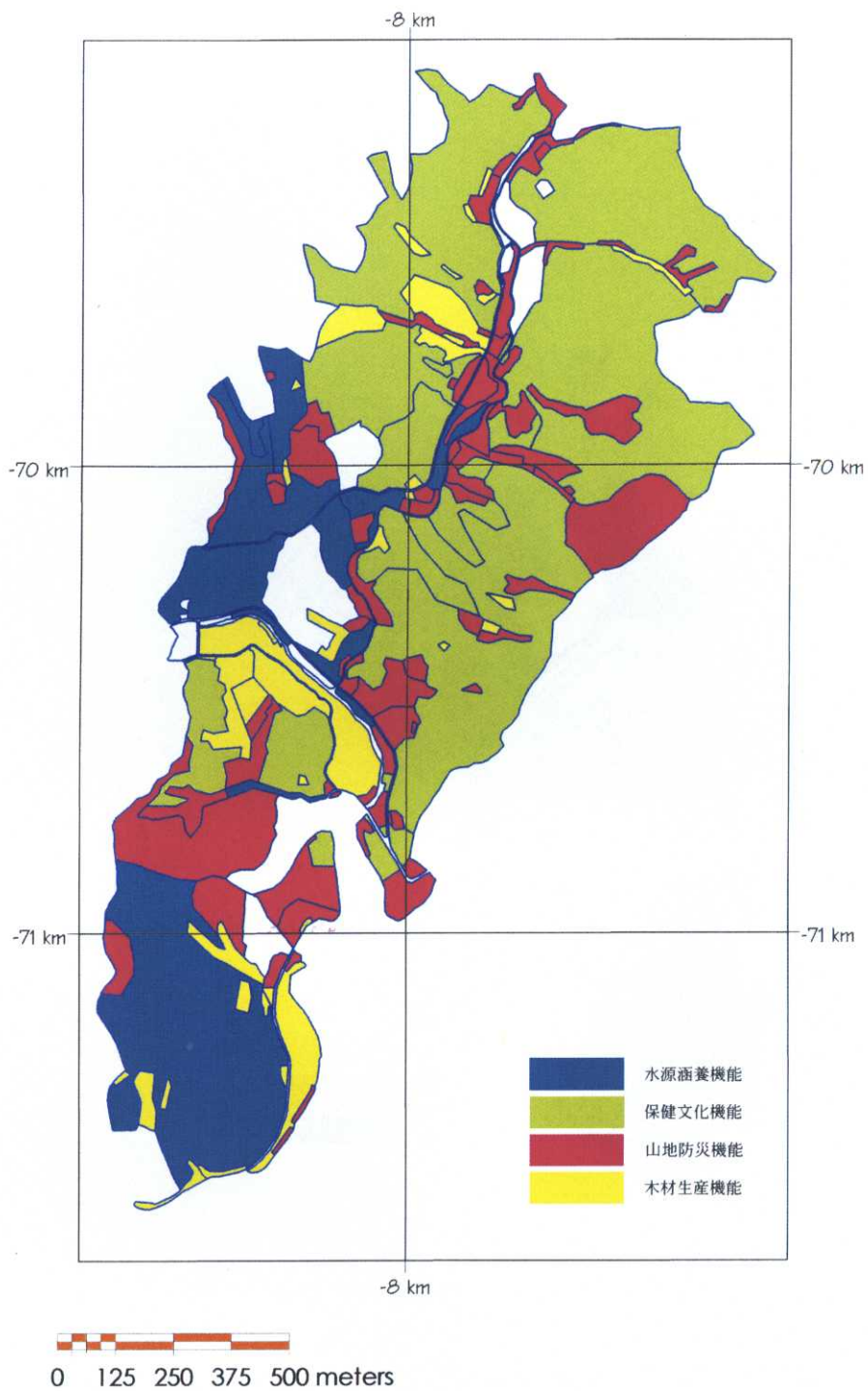


図-10 ゾーニング図
Fig. 10. The zoning map.

あるので、その主たる機能は木材生産機能である。

以上のゾーニングの結果をまとめると図-10 のようになる。また、機能毎の面積割合を見ると、水源涵養機能、保健文化機能、山地防災機能、木材生産機能に関して、それぞれ 20%、50%、21% と 9% となっている（表-7）。

3.2 考察

本報のゾーニング方法は、森林機能評価結果（小班毎の機能別得点の計算、その分布、優勢機能の分布）、階層クラスタ分析に基づくクラスタグループの抽出、ゾーニングのための四つ基準の創案、そしてこれらの三つの情報を統合したゾーニングのための四つのステップから構成されている。その特徴は、それぞれの情報を有機的に結びつけて、総合的にゾーニングする点にある。また、その背後で、GIS という技術や階層分析法という数理手法、森林の機能を多元的な観点からみる四つの基準、そしてそれらを統合して最終的にゾーニングに結実させる人間側の知恵が一体となって働いている。

また別の観点から見ると、本法は、直観的で、手続きが容易であり、その結果を迅速にモニタリングできるという応用上の利点を有している。機械的にマニュアル操作でゾーニングするのでなく、GIS から出力された評価結果や分布図を見ながら、コンピュータと向かい合いながら多元的観点からゾーニング結果の調整が可能である。

しかし、その反面、ゾーニングのプロセスに主観的な要素が入ることは否めない。実際、GIS をベースとした一連の機能評価プロセスに関しても、評価因子の選び方、カテゴリー区分の仕方、重みや評点の付け方などに客観性を欠く部分がある。さらに、またクラスタ分析も、機能評価結果に基づいているのでここにも主観的な部分がある。さらに、四つの基準に照らし合わせながら、各クラスタグループ内に所属する小班の機能調整を行うにあたっては、ゾーニング担当者のものの考え方、経験、知識が関与してくる。その意味で、本研究で提示した方法は長短を併せ持っており、改良の余地が残されている。

VI. む す び

21 世紀には、日本では森林地理情報システムの導入が急速に進むと思われる。本論文では、朝

表-7 機能配置の面積配分表
Table 7. The area percentage for the function configuration.

優勢機能分布面積の配分	
項目	比率(%)
1 水源涵養優勢機能	4
2 保健文化優勢機能	78
3 山地防災優勢機能	6
4 木材生産優勢機能	12
小 計	100
クラスタグループ面積の配分	
項目	比率(%)
クラスタグループ-1	59
クラスタグループ-2	11
クラスタグループ-3	20
クラスタグループ-4	10
小 計	100
ゾーン分布面積の配分	
項目	比率(%)
1 水源涵養機能	20
2 保健文化機能	50
3 山地防災機能	21
4 木材生産機能	9
小 計	100

日の森を対象に、GIS技術を利用して、森林の機能を定量的に評価する共に、その評価結果と四つの基準に基づいて森林をゾーニングする新しい方法を提示した。特に、このゾーニング手法は直観的で、その手続きが容易であり、その結果を迅速にモニタすることができるので、実際の森林管理に有効である。

要 旨

本研究では、朝日の森を対象として、森林情報の収集・処理、森林管理などに資することを目的に、まず、地理情報システム(GIS)データベースを構築し、次いでGIS情報を利用してポテンシャルの面から森林の機能を定量的に評価することを試みた。評価の対象とした森林機能は、森林の水源涵養、保健文化、山地防災及び木材生産機能の四つである。さらに、評価結果を機能別評価得点分布図及び優勢機能の分布図の形にまとめた。最後に、この機能評価結果を踏まえ、新たに設けた四つのゾーニング基準を基に、階層クラスタ分析(Hierarchical Cluster Analysis)等を利用してゾーニング手法を検討し、森林機能を考慮した朝日の森の森林ゾーニングを試みた。本研究で開発したゾーニング手法は、直観的で、その手続きが容易であり、その結果を迅速にモニタリングすることができるので、実際の森林管理に有効であると考えられる。

キーワード: 地理情報システム(GIS)、森林機能評価、階層クラスタ分析、ゾーニング

引 用 文 献

- 藤森隆郎(2002) 新たな森林管理技術の構築—多様な機能の発揮に向けて—。森林計画誌 **36**(2): 99-112。
 古井戸宏通(2001) ゾーニングをめぐる諸問題—林地利用に対する公的関与—。林業経済 **54**(7): 2-18。
 何 曉群(1998) 現代統計方法と応用。436 pp, 中国人民大学出版社, 北京。
 堀 繁・斎藤 馨・下村彰男・香川隆英(1997) フォレストケーブル—森林景観のデザインと演出。191 pp, 全国林業改良普及協会, 東京。
 興梶克己(2003) 森林の機能的ゾーニングの手法に関する一考察。林業経済 **55**(10): 2-18。
 太田猛彦(1991) 森林の水源涵養機能と森林施業のあり方私論。水利科学 **197**: 1-33。
 岡 裕泰(2001) 森林機能と計画への反映。林業技術 **711**: 6-11。
 林野庁(1991) 森林の整備水準・機能計量等調査報告書(森林の整備水準の評価手法)。186 pp, 林野庁, 東京。
 白石則彦(1998) 平成9年度 公益的機能の確保のための森林整備手法類型化調査報告書。239 pp, 林野庁, 東京。
 白石則彦(1999) 平成10年度 公益的機能の確保のための森林整備手法類型化調査報告書。247 pp, 林野庁, 東京。
 竹下敬司(1984) 森林の有する水源涵養について。森林計画研究会会報 No. 285。
 田中和博(2002a) 次世代に残すべき豊かな森林形成を目指して—三重県宮川村森林ゾーニング中間報告—。山林 **1415**: 2-9。
 田中和博(2002b) バイオリージョンGISからみた流域管理と森林保全。環境情報科学 **31**(4): 24-28。
 東京大学教養学部統計教室(1998) 統計学入門。307 pp, , 東京大学出版会, 東京。

(2003年10月31日受付)

(2004年1月9日受理)

Summary

First, in this study, a GIS (geographic information system) database for Asahi-Forest was constructed to obtain forest information and to support vegetation management. Based on this database, forest functions were quantitatively evaluated in terms of forest

function potential. There were four evaluated functions; “water conservation function”, “preservation function of the public health and culture”, “land conservation function” and “timber production function”. The four functions and an evaluated dominating function were illustrated by distribution diagrams using GIS techniques. Finally, zoning of the forest was accomplished by using synthesized methods with four criteria that included the mathematical method of Hierarchical Cluster Analysis. A new zoning technique was developed in this study. Its procedure is easy and intuitive. The zoning result can be monitored quickly and the zoning method is effective for actual forest management.

Key words: GIS, Geographical Information System, Forest Function Valuation, Hierarchical Cluster Analysis, Zoning

Relationship between Base Flow and basin Area of Small Mountainous Basins at the Tokyo University Forest in Aichi and in Chiba

Katsushige SHIRAKI and Kyosuke IGARASHI

We investigated the relationship between basin area and specific discharge of base flow at two basins to find the differences in discharge characteristics. We selected the Toriisawa basin, a Tertiary sedimentary rock, and the Shirasaka basin, a weathered granite basin, and measured discharge quantities. At the Toriisawa basin, the specific discharge and electrical conductivity increased with an increase in the basin area, whereas there were relatively little differences between specific discharges at the Shirasaka basin. These results indicate that the seepage flow containing much dissolved matter from bedrocks has a great influence on the base flow in the Toriisawa basin.

A Study of Forest Function Valuation and Zoning Based on GIS Technique for Asahi Forest

Shourong WU, Mitsuhiro MINOWA, Katsuhiko SHIMADA,
Satoshi TSUYUKI, Takuya HIROSHIMA and Jungsoo LEE

First, a GIS (geographic information system) database for Asahi-Forest was constructed to obtain forest information and to support vegetation management. Second, based on this database, forest functions were quantitatively evaluated in terms of function potential. There were four evaluated functions; "water conservation", "preservation of the public health and culture", "land conservation" and "timber production". Third, zoning of the forest was accomplished by using synthetic methods with four criteria which included the mathematical method of Hierarchical Cluster Analysis.