

## 森林作業環境の把握方法に関する研究 (第1報)

—情報理論からの接近—

辻井辰雄<sup>(1)</sup>・奥田吉春<sup>(2)</sup>

Tatsuo TSUJII and Yoshiharu OKUDA: Studies on the Method  
to Grasp Operational Environment in Forest (I)  
—An Approach to Information Theory—

**要 旨**：森林内における作業は森林の様相、林地の状況などの森林環境が自然系であるため、複雑、多岐にわたり、多くの制約をうける。このため、森林環境の作業の場としての意味や作業への影響を把握することが基本的な課題である。これまでの森林環境を表現する方法は外形の構造を表現する方法が多く、個別的、断片的になって多くの因子が混在し、不連続で変化に富む森林環境においては、不明確になり問題が多い。

本報告は、作業の場としての森林を視覚環境としてとらえ、その構造を解明することによって森林環境を全体的、動的に表現するため、C. E. SHANNON によって体系化された情報理論を適用して解析を試みた。

研究対象とした森林はスギ、ヒノキ、マツの林分で、樹木の本数、樹木の位置、樹木の種類を森林の構造を示す指標とした。そして、各指標の分布状況の多様性をエントロピーとして定量化するため、次の3方法で情報の計算を行なった。

(1) 一次情報量：各指標の構成要素別に出現頻度を集計し、その出現確率  $P_i$  から 1) 式によって、各林分全体の指標の出現エントロピーを求めた。

$$I = -\sum P_i \log_2 P_i \quad 1)$$

(2) 二次情報量：各指標の連続性をみるため、結合している2要素間の遷移確率  $P_{ij}$  による遷移マトリックスと、その定常確率  $P_i$  から 2) 式によって、2連の遷移エントロピーを求めた。

$$H_1 = -\sum P_i \sum P_{ij} \log_2 P_{ij} \quad 2)$$

(3) 三次情報量：各指標の連続性を拡大し、その結合性をみるため、3要素間の遷移確率  $P_{ijk}$  による3連の遷移マトリックスを求め、3) 式によって3連の遷移エントロピーを求めた。

$$H_2 = -\sum P_i \sum P_{ij} \sum P_{ijk} \log_2 P_{ijk} \quad 3)$$

このように、森林環境の把握方法として、情報理論を適用してエントロピーを求めることにより、森林環境が全体的、動的にとらえられ、よりソフトなレベルで表現できることが確かめられた。

## はじめに

林業の世界にあって、今まで「いかに大量の木材を供給するか」、「いかに経済的に生産するか」といった森林自体の生産的問題に多大の関心が払われてきた。しかしながら、森林からの木材の供給といったことだけでは、森林の公益的機能の維持増進といった社会的要請に対する問題は処理できなくなり、計画に際してその行為の及ぼす効果、範囲、内容などについて十分な検討が要求されるようになった。

つまり、問題を多面的、総合的に考察するための新しい問題のとらえ方や方法論的接近が必要になってきたといえる。

森林を考えるにあたって生じてくる本質的な問題の一つとして、人間の作業活動の場（ここでは森林環境とよぶこととする）を考えた場合、人間と森林との関係を全体的にあらゆる角度から検討し、それぞれ

の関係を明らかにしなければならないといえる。

すなわち、現象として存在する森林とそこに対応する人間の行動とのかかわり合いを考え、森林の意味や人間の意味を確認することが重要であろう。

この研究は、人間と森林との関係を情報系における視覚環境によって探ろうとするものであるが、この場合視覚環境の意味は、通常森林の景観や風景をあらゆる審美的なもの、森林の物的性質としての存在や、生起するさまざまな事象と人間の知覚や認知との諸関係を問題にする意味論的なものがある。

ここでは後者の意味に着目し、そこから森林環境を把握しようとする方法の展開であり、さらに森林環境の解析の手段として、近時発展してきた関連諸科学への接近として、情報理論の適用の可能性について論じようとするものである。

なお、この研究を実施するにあたっては、東京大学工学部の渡辺 茂教授から有益なご教示と問題提起をしていただき、梅田三樹男機械化部長、上田 実作業科長にはかずかずのご指導、ご助言をいただいた。ここに感謝の意を表する。

## 1. 研究の目的と方向づけ

森林内における作業は森林の様相、林地の状況などの森林環境が自然系であるため、複雑、多岐にわたり、多くの制約を受ける。このため、作業仕組や作業方法の検討、作業機種の選択、作業条件の整備など作業上の諸問題を解決するためには、森林環境の作業の場としての意味や作業への影響を把握して、森林の内包する構造を見出し、作業上の諸要求条件に対処することが基本的な課題である。

森林環境を把握する最も基本的な方法は、その森林の様相や林地の状況を構成している因子を、直接計測して表現する方法が考えられる。たとえば、樹種、胸高直径、樹高、立木密度、林地傾斜、植生の種類や量などによって表現する方法である。

この方法は森林の外形的構造をそのまま表現することになるので、外観的な形態を知るためには便利な方法であるが、森林環境のように多くの因子が混在し、不連続で変化に富む場合には個別的、断片的な表現となることが多い。ところで、作業能率と作業方法、作業の時系列的な変動などを検討する場合には、森林への働きかけと森林からの作用が同時的または継時的に対応する問題が多い。しかしながら、すでに述べたように、因子相互の関係がわからなかったり、不明確であったりすると、個々の因子について議論しなければならず、問題が多いといわなければならない。

また、機械や施設の性能評価や作業規模の算定などを検討する場合には、物理的なエネルギーの送受や物の移動としての観点からとらえられるため、物的な形や量などのハードな概念であっても有効であるが、作業方法や運転操作など人間の作業活動を検討する場合には、同じ物的な形や量であっても意味、影響は異なり、ソフトな概念を追加することが、重要かつ正当な方法と考えられる。

森林環境の把握方法や表現方法について既往の研究、文献をみると、上飯坂は「地形地表の森林利用学的把握は新しい機械の開発や新しい作業体系を考える場合の基本的な課題である」<sup>21)</sup>と論述し、森林における作業の場としての地形および地表の計測方法や、分類方法について解説を行なうとともに、諸外国の研究例を紹介している。

この地形地表の森林利用学的把握の観点からの研究は、集材システムを地形別に定め、路網の適正密度の基礎理論をたてた加藤の研究<sup>26)</sup>を発展させたもので、堀らは森林利用学的地形分類として、森林の利用

開発形態との関連から地形を総括的に把握するため、集運材作業仕組、林道開設の難易度の関係から、作業工程に影響を受ける因子は平均傾斜度、起伏量、谷密度であるとし、地形指数の概念を提唱している<sup>15)</sup>。さらに、林内の地表障害物の出現頻度を検討し、石、岩、伐根を指標因子としてその高さ、大きさ、分布状況を表示量とする理論的な究明を試みている<sup>16)</sup>。また、井上らは機械による集材作業のための森林地形区分を目的として、残存立木とトラクタの走行の影響との関係を考察し、林内地表障害物の分布状況を検討し、立木分布型を隣接単位法のR値により、ランダムパターン、拡散パターン、集塊パターンに分類し判定している<sup>19)20)</sup>。このほか、森岡は集材区域の地形と作業能率の関係を検討し、傾斜と起伏量の大きさ、尾根筋と谷筋の区別、小起伏の少なさを数量的にとらえる方法について述べている<sup>21)</sup>。

以上述べた森林利用学的把握方法の基礎的なものとして、堀らは集運材作業や路網設置などの難易を左右する因子の選択方法として、等高線長測定法の原理に関する問題を検討し、測定する等高線の本数を少なくして、これを計算で補うことにより、測定の簡略化と現地での平均傾斜判定の応用を示した研究がある<sup>12)13)14)</sup>。林道、作業道網の観点からの研究では、平賀は林地に作業道網を作設する場合の集材費用の変化を検討し、対象林地の地形因子、距離因子を集材距離、集材難易度の係数によるマトリックスで表現している<sup>9)10)</sup>。作業方法の標準化や作業管理の基礎資料をうる観点からの研究では、米田・辻らは林業作業の所要時間を観測分析し、作業量や作業時間に影響する環境因子や作業条件因子を数理統計学的に検討を加え、伐木造材作業においては胸高直径、樹高、足場傾斜、斜面傾斜、伐根径、伐根高などの因子が作業環境や作業条件を表現する主要因であると述べるとともに<sup>4)9)58)</sup>、造林や伐出作業についてもさまざまな角度から検討を行なっている<sup>59)58)</sup>。また、神崎らは伐木作業工程と森林の特殊因子について、因子を直交化することによってその関係を検討する方法<sup>22)</sup>、特殊因子として立木の成立状態、伐採木の大きさ、樹形、林型、地形などを伐採地の内部特性を表現する因子と考え、外部特性である作業工程との関係を統計的に考察し検討を加えている<sup>24)</sup>。さらに、下刈り作業では作業場所をプロットごとの性質の変位として、木本ブッシュ量や土壌中水分などで表現し、主成分解析法で整理している<sup>25)</sup>。

反面、人間と森林環境との直接的なかわりから森林環境が人間に及ぼす影響を取り上げた研究は少なく、林業労働の作業強度を主体とした藤林らの研究<sup>6)</sup>、疲労を主体とした中島らの研究、心拍数などによる生理的变化を検討した佐々木らの研究<sup>7)40)56)</sup> などがあるが、これらは作業方法、使用機械器具との関係を検討する過程で取り上げられたものである。

以上、森林環境の把握表現方法についての文献を紹介したが、この研究はこれまでとは若干視点を変え、森林環境の人間への意味、影響を探り、評価分類の方法を検討しようとするものである。

この場合、基本的な考え方として、森林環境は人間が感覚によって認識し、その意味を理解し、行動する場と考える。広い意味での感覚は、生存のために必要な生物機能であり、それは広い範囲に及んでいるが<sup>27)28)</sup>、人間と環境との対応においては、視覚が最も支配的な役割を演じていると考えられている<sup>11)29)44)50)</sup>。

したがって、作業環境としての森林は視覚環境として重要な意味をもち、視覚的な複雑さは人間の作業活動を複雑にしたり、混乱をもたらすと考えることができる。この問題は、作業上留意しなければならない重要なことにもかかわらず、森林環境の視覚的側面からの研究は、前述のようにこれまでほとんど行なわれておらず、森林風致の観点から、森林に対する人間の感覚、知覚が検討されているが、これも数例である<sup>38)55)</sup>。

一般に、視覚情報を解析する方法としては、視覚対象と人間との情報授受の関係を、視界としての対象

物の空間的特性と、視野としての人間の心理的要因、生理的要因との関係から取り上げ、対象物の見えやすさ、大きさ、位置などの関係について検討されているが<sup>(17)54)</sup>、ここでは人間と森林との関係を視覚情報の伝達として、情報量の観点から取り上げることとした<sup>(87)48)51)</sup>。

すなわち、人間を取りまく森林の様相、林地の状況などの物的構造の持つ固有の形や量の連続が、森林環境の視覚情報の意味を構成していると考える。そして、その構造を解明することによって、視覚情報の持つ質や意味が理解できると考え、C. E. SHANNON によって体系化された、情報の伝達を数量的に取り扱った情報理論を適用することにより<sup>(87)48)</sup>、森林環境の構造を解析し、森林環境を評価するときの一項目として位置づけようとするものである。

## 2. 森林環境の視覚情報

### 2.1 視覚情報の考え方

森林環境を規定し、あるいは構成している基本的な要素は、森林内で作業活動を行なう人間と、人間を取りまいている自然物である林木、地表植生、地形、岩石などと、生産機材である機械、施設などから成り立っている。

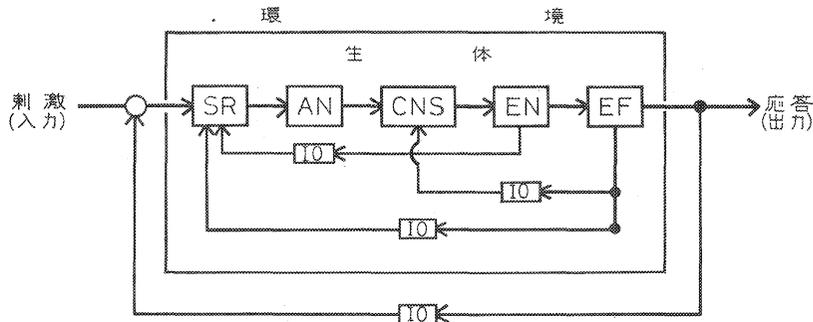
この人間、森林、機械の3者がさまざまな関係に結合したり、配置されたりして、そこに森林環境として複雑な現象や構造が生起しているといえる。

このように、人間と森林とのさまざまな関係を把握するためには、まずこのような森林の様相や林地の状況が人間によってどのような形で把握され、その中でどのような行動が形成されているかを考えることが基本となる。

一般に、生体とそれを取りまく環境との関係についてみると、図1のように、生体は感覚器を通して外界から刺激を受け入れ、その情報を脳の特定期部分に送り、外界を知り、それに対して反応し行動を営んでいる<sup>(27)28)29)</sup>。

したがって、外界からの刺激、すなわち情報は環境のさまざまな特徴の違いによって、生体に異なった意味を持たせているといえる。つまり、環境のある特定の対象物の特徴を環境全体から区別し、識別し、それに応答しているといえる。

このようにみると、森林環境は森林とその情報を知覚する人間とによって、その意味が形成され、この



SR: (感覚)受容器 AN: 求心性神経 CNS: 中枢神経系  
EN: 遠心性神経 EF: 効果器 IO: 仲介機構

図1. 環境—生体モデル

知覚する人間と客体である森林の様相や林地の状況などによって生じる構成要素間との相互の関係が、情報の内容として人間にさまざまな意味を伝えると考えられる。このことによって、人間は森林環境の中の種々の要素を識別し、その相互の関係によって環境を認識し、他の環境と区別することができる。

たとえば、針葉樹と広葉樹と比較する場合、人間は容易に識別し区別することができる。これは樹木や葉の形状、樹皮の色彩、陰影などで緊密な形でオーガナイズされたことによって生じる知覚の働きによるものである<sup>32)</sup>。

しかしながら、人間は眼に入る森林環境の構成要素のすべてを知覚しているわけではなく、眼それ自身で選択を行ない、抽象作用を行ない、おのおの特有の概念を形成している<sup>41)</sup>。つまり、人間の認識対象は非常に広い範囲に及んでおり、また一つの対象を分析するとしても表1に示すように、人間の内外の環境条件によって見え方が異なると考えられている<sup>41)</sup>。

そして、人間の事物認識についての概念についても空間<sup>3)43)</sup>、イメージ<sup>2)46)</sup>、パターン<sup>22)38)</sup>などと種々あるうえに、これらにも個人差がある。このため、ここでの森林環境の視覚情報の考え方としては、人間の認識については厳密に考えず、森林環境は物理的現象や抽象的な記号の集まりであって、識別できる多くの構成要素によって成り立つとする。そして、その構成要素の間に一定の関係がある場合に、人間はその環境を識別することができ、森林環境の意味を視覚情報として受容するものとする。

つまり、森林環境を構成している森林の様相、林地の状況などのうちで、視覚情報を構成しているものは林木、植生、岩石、伐根などであって、その大きさ、数、密度、位置などによって森林環境の特徴が決定していると考ええる。

そこで、一定の視覚内の構成要素の大きさ、数、密度、位置などが異なることによって、人間が森林環境からうける視覚情報が質的に変化するものと考ええる。そして、これらの構成要素の量的関係から、森林環境の構造を検討することとした<sup>43)45)50)</sup>。

表1. 知覚成立の環境条件

外的環境条件	
1.	目標の性状によるもの
	a) 型 b) 明るさ c) まぶしさ d) 大きさ e) 色 f) 数量
	g) 視野内の位置等
2.	目標の周囲環境によるもの
	a) 対比 (i 明度対比, ii 色対比, iii 眩輝対比)
	b) 陰影 c) 視野の広さ d) 他の目標の存在等
内的環境条件	
1.	視野そのものによるもの
	a) 順応 b) 眼疾患 c) 網膜部位 d) 疲労
2.	全身よりするもの
	a) 疲労 b) 年齢 c) 全身疾患
3.	心理的なもの
	a) 錯視 b) 知識 c) 経験 d) 練習 e) 注意

2.2 視覚情報の表現方法

森林環境での人間の作業活動には連続性がある。また、連続的な行動にはその行動のために適切な環境を求めて動くか、あるいは同一の環境を時間的に使いわけていることで、森林環境の位置の変化と、人間の状態の変化が対応しているといえる。このような森林環境は、基本的には林木や地表植生などの構成要素の空間的配列に、時間的要素が加わっていることであって、一定の距離や間隔ではないが、図や型が連続的に結合した時間的配列として考えることができる。

そこで、人間は森林環境の認識をこのような視覚情報の継時的な連続として知覚し、処理し、そこに認識するものと考えることができる。そして、記号の連続としての文章がある意味を持っているように、森林環境も情報としての意味を持つ<sup>48)</sup>といえる。

このため、森林環境における視覚情報を表現するには、前述の構成要素間の量的関係と連続性や結合性などの関係とが問題となる。

構成要素の連続性や結合性は、図2のように記号列やマトリックス、グラフなどで表現することができる<sup>8)36)</sup>。この連続性や結合性のほかに、方向性を考慮した場合には、図3ようになる。この場合、 $S_2$ と $S_1$ ,  $S_3$ ,  $S_4$ はつながってはいるが、 $S_2$ と $S_1$ は直接的につながっているのではなく、 $S_3$ を仲介してつながっていることを示す。

(森林の構成要素の記号列) :  $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, \dots, S_n \xrightarrow{\text{時間}} t$

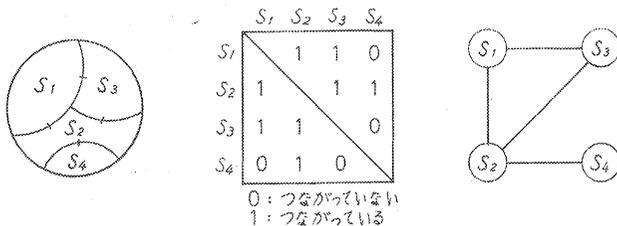


図2. 要素間の結合性

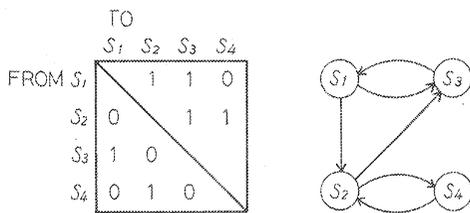


図3. 要素間の方向性

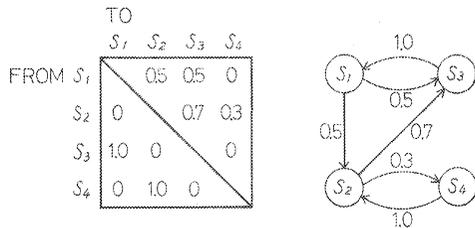


図4. 要素間の結合度

さらに、構成要素間の結合度の性質を含めて表現するには、結合度を確率で表現し、図4のようになる。ここで、結合の関係を表現したマトリックスの数値が変わることは、構成要素の分布状況などの相互の関係が変化することによって生じ、構成要素の出現の強さが定量的に表現できることになる。

このように、森林環境の構成要素の関係が連続的な記号の配列やマトリックスで表現でき、逐次確率的に構成要素が結合しており、出現する構成要素の確率分布が、その時の状態のみによって依存するとすると、この場合の森林環境の表現に、マルコフ過程の数学モデルを適用することができると考えられる<sup>1)48)</sup>。

ここで、マルコフ過程の定義を述べると、いま与えられた1つの試行において、おのおの試行の結

果は、有限個数の可能な結果  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$  の1つで、この試行の結果  $S_j$  の現われる確率は、それ以前の試行の結果と必ずしも独立でなく、その試行の直前の試行の結果に関係すると仮定する。すなわち、結果  $S_i$  がある試行で起こったとすると、つぎの試行において  $S_j$  が生起する確率は条件つき確率  $P_{ij}$  で与えられ、 $P_{ij}$  に加えてさらに初めの試行結果に対する生起確率が与えられ、このとき試行結果の確率が決定される。このような試行過程をマルコフ過程と呼び、試行結果の系列をマルコフ連鎖とよんでいる<sup>1)48)</sup>。

### 3. 森林環境の解析

#### 3.1 情報理論の適用の可能性

森林内での作業活動を、森林環境の連続的な視覚情報の結果であると考え、森林はある意味を持った記号の連続によって構成され、一つの記号体系を持つ構造とみなすことが可能である。

このような記号の連続は一種の通信体系といえる。森林環境の構造が、ある一つの関係を持った記号の連続によって構成されているとすると、その構造を支配している秩序や法則が、人間に森林環境の質や意味の情報として伝わり、その結果、人間はその環境を理解すると考えることができる。

森林の視覚情報がこのような構造を持っているとすると、C. E. SHANNON によって体系化された、情報の伝達を数量的に扱った通信工学の理論としての情報理論を、森林の視覚情報に適用することが可能と考えられる<sup>1)5)87)48)</sup>。

これは、情報源から発する通報が送信機によって符号化され、受信機に送られる。そして、受信機は信号をふたたび音声や形の通報になおして受信者に渡す。これが情報理論が問題とする通信の一般的メカニズムであって、図5に示すとおりである<sup>5)48)</sup>。

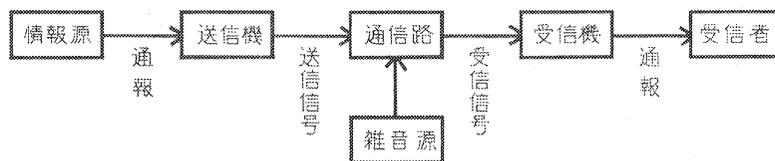


図5. シャノンの通信系モデル

C. E. SHANNON はこの情報をその確率的、統計的な構造から測定しようとした。そして、情報は本質的に可能性の逆数と定義している<sup>1)5)87)</sup>。

すなわち、最も起こりそうな事象が起こるなら最小の情報を生み、起こりそうもない事象が起こるなら最大の情報を生むとする。別な表現をかりれば、ある試行のあいまいさの量が0になるということは、試行を行なう前からその結果がわかっていることを表わし、あいまいさの量が大きい、小さいかは試行の結果の不確かさが大きい、小さいかを表わしている。すなわち、偶然事象に関する試行を行なう時は、何んらかのあいまいさが伴い、どんな結果が現われるかを完全に知ることはできない。

この情報量の概念は、熱力学におけるエントロピーの概念に似ており、こんとんの程度を示すものということができる。

情報量は、次式のようにエントロピーで表わすことができる<sup>1)87)</sup>。

$$\begin{cases}
 I = -P_1 \log_2 P_1 - P_2 \log_2 P_2 - P_3 \log_2 P_3 \cdots - P_n \log_2 P_n \\
 I \leq \log_2 n \\
 I = -\sum_{i=1}^n P_i \log P_i
 \end{cases}$$

そして、試行のエントロピーは確率  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  のどれか1つが1で、他のものが0のときにだけ0になる。

$$(P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n = 1)$$

このとき、試行は全然あいまいさを含まない。 $n$ 個の結果を持つ試行のうちで、最大のあいまいさを持っているのは、試行の結果が等確率の時であって、結果の予測は全く困難であり、この時、最大のエントロピーを持っていることになる。

これを森林環境の構造に適用してみると、質的に同じ森林の構造が連続すれば情報量は小さく、質的に異なったり変化していれば、情報量は大きくなると考えられる。いいかえるなら、質的に同じ構造であれば予測が可能であり、確実性が高い森林環境といえ、質的に異なり変化しておれば予測が不可能であり、確実性の低い森林環境ということができる。

具体的には、同一樹種の林型であったり、林木の配列が等間隔で、地形の変化も少ないような森林環境では、見とおしきき予測しやすいため、情報量は小さく、その伝える意味や内容の持つ価値は低いといえる。

逆に、樹種が混交した林型であったり、林木の配列が不規則で、地形の変化も多いような森林環境では、そこに生起する事象や情報の内容について、あらかじめ予測しうる部分も少なく、そのような意味では情報量は大きく、その伝える意味や内容の持つ価値は高いといえる。

### 3.2 情報量の計算例

森林環境の構造を記号化し、その記号の組合せとその出現頻度から情報量を計算するわけであるが、ここでは森林の基本的な構成要素である樹木を例として取り上げることとした。そして、視覚情報の構成要素としては前述のように、単位として識別できる樹木の本数、樹木の位置、樹木の種類の3指標を選定した。実際の調査はマツ、スギ、ヒノキの3林分について標準地を選定し、一定の視覚内でとらえるため、図6のように長さ20m、幅2mのスケールで指標の分布状況を計測した。

その状況は図6、図7のとおりである。

一般的に、調査地域の構造や構成要素の状況を分析、検討する方法としては、一定面積のメッシュに区

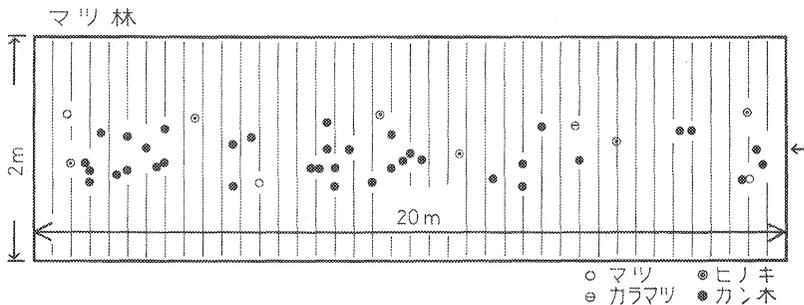


図6. マツ林の指標の分布状況

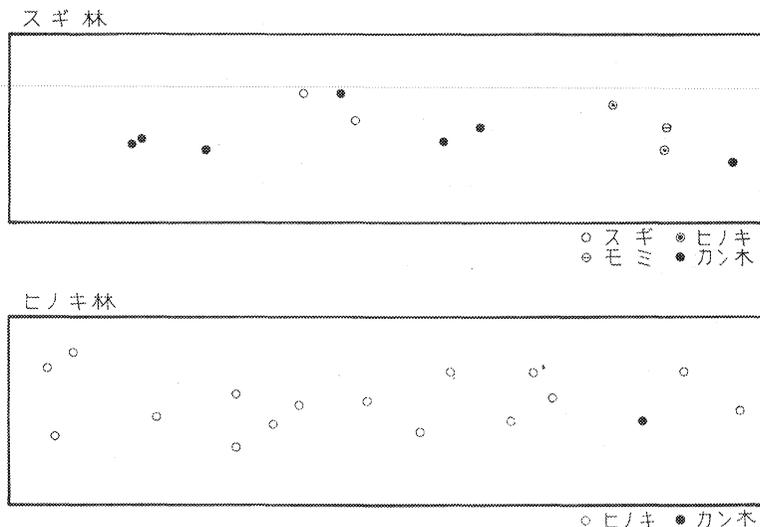


図 7. スギ林, ヒノキ林の指標の分布状況

切る方法<sup>42)57)</sup>や地域の特徴によるゾーンに分割する方法<sup>4)35)36)</sup>が行なわれている。しかしながら、ここでは調査面積が小さいことにもよるが、単位となる構成要素間の連続性、結合性をみることを目的としているため、図6のように各林分を0.5m間隔のセクションに分割し、セクション内の構成要素を整理した。各指標のうち樹木の本数は0~5本、樹木の位置は正面、右側、左側、左右両側、なし、樹木の種類はスギ、マツ、カラマツ、モミ、低木などによって構成されている。そして、各要素の出現の仕方、要素から要素への連続の仕方には、図8のように各林分により特有の傾向がみられ、森林環境による構造の違いを反映していると考えることができる。そして、この構成要素の多様性をエントロピーとして定量化すれば、この場合の森林環境の構造が明らかとなる。

具体的には、樹木の本数、樹木の位置、樹木の種類の指標の構成要素の出現する頻度を集計し、その確率の集合によってその森林環境における指標の出現エントロピーを求めた。つぎに、連続的な構成要素の結合関係のマルコフ性を考慮して、確率で表わした遷移マトリックスと、結合関係の定常状態の確率から

構成要素の出現列 :	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	...	$S_n$
マツ林	$\left\{ \begin{array}{l} \text{本数} : 0 \quad 2 \quad 3 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \quad \cdot \quad \cdot \quad 2 \\ \text{位置} : \text{なし} \quad \text{左右} \quad \text{左} \quad \text{なし} \quad \text{右} \quad \text{左} \quad \cdot \quad \cdot \quad \text{左} \\ \text{種類} : \text{なし} \quad \text{マツ} \quad \text{マツ} \quad \text{なし} \quad \text{カン木} \quad \text{マツ} \quad \cdot \quad \cdot \quad \text{マツ} \end{array} \right.$							
スギ林								
ヒノキ林								
	$\left\{ \begin{array}{l} \text{本数} : 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 2 \quad 0 \quad \cdot \quad \cdot \quad 1 \\ \text{位置} : \text{なし} \quad \text{左} \quad \text{なし} \quad \text{なし} \quad \text{左右} \quad \text{なし} \quad \cdot \quad \cdot \quad \text{なし} \\ \text{種類} : \text{なし} \quad \text{カン木} \quad \text{なし} \quad \text{なし} \quad \text{スギ} \quad \text{スギ} \quad \cdot \quad \cdot \quad \text{なし} \end{array} \right.$							
	$\left\{ \begin{array}{l} \text{本数} : 0 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad \cdot \quad \cdot \quad 0 \\ \text{位置} : \text{なし} \quad \text{正} \quad \text{なし} \quad \text{右} \quad \text{なし} \quad \text{左} \quad \cdot \quad \cdot \quad \text{左右} \\ \text{種類} : \text{ヒノキ} \quad \text{なし} \quad \text{ヒノキ} \quad \text{なし} \quad \text{ヒノキ} \quad \text{ヒノキ} \quad \cdot \quad \cdot \quad \text{ヒノキ} \end{array} \right.$							

図 8. 構成要素の出現の仕方

指標の結合性の複雑さとしての 2 連の遷移エントロピーと、構成要素の連続的結合を拡大した 3 連の遷移エントロピーを求めた。

3. 2. 1 一次情報量の計算

対象林分全体の構成要素の出現の仕方を見るため、各セクション内の構成要素の出現型を累計し、各要素ごとの出現数から出現確率  $P_i$  を求め、構成要素の出現頻度の差を定量的に表現するために、3.1 で述べた SHANNON の理論を適用し (1) 式により計算を行なった。

$$\begin{pmatrix} \text{構成要素: } S_1 & S_2 & S_3 \cdots S_i \cdots S_n \\ \text{出現頻度: } P_1 & P_2 & P_3 \cdots P_i \cdots P_n \end{pmatrix}$$

$$I = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i \quad \dots \dots \dots (1)$$

( $n$  は構成要素の数)

マツ林の樹木の本数を構成要素とすると、(1) 式による計算結果は表 2 のようになり

表 2. マツ林の樹木本数の出現状況

区 分	出 現 頻 度	出 現 確 率 ( $P_i$ )	自 己 情 報 量 ( $-\log_2 P_i$ )	$-P_i \log_2 P_i$
0 本	12	0.300	1.7369	0.5211
1 本	14	0.350	1.5145	0.5301
2 本	9	0.225	2.1523	0.4841
3 本	5	0.125	3.0000	0.3748

$$\begin{aligned} I &= -0.300 \log_2 0.300 - 0.350 \log_2 0.350 - 0.225 \log_2 0.225 \\ &\quad - 0.125 \log_2 0.125 \\ &= 1.9101 \text{ (bit)} \end{aligned}$$

これは、各構成要素あたりの平均情報量であり、これが最大となるのは

$$P_i = 1/n \quad (n \text{ は構成要素数})$$

の時であり、最大値は

$$I_{\max} = \log_2 n$$

として求められる。

このエントロピーが最大となるのは、すべての構成要素が等確率で出現する場合である。

ここでは、種々の構成要素を持った森林環境について、その秩序性、多様性について比較する必要があるため

$$I_{rel} = I_{abs} / I_{\max} \quad (I_{abs}: \text{絶対エントロピー})$$

として、相対エントロピー ( $I_{rel}$ ) を求めた。これをここでは、一次情報量とする。

$$\begin{aligned} I_{rel} &= (-0.300 \log_2 0.300 - 0.350 \log_2 0.350 - 0.225 \log_2 0.225 \\ &\quad - 0.125 \log_2 0.125) / \log_2 4 \\ &= 0.9550 \text{ (bit)} \end{aligned}$$

以上のような計算方法で、各林分についてエントロピーを求めると、図 9 のとおりである。

エントロピーの値は一般に低ければ単調，秩序正しさを示し，高ければ複雑，多様性を示す。いかえれば， $I_{abs}$  の値が  $I_{max}$  の値に近くなり， $I_{rel}$  の値が大きくなるほど，各セクションの構成要素が平均していることを示し，逆に  $I_{rel}$  の値が小さくなるほど，ある特定のセクションに構成要素が集中していることを示すと考えられる。

ここでは，樹木の本数，位置，種類の3指標ともにスギ林<ヒノキ林<マツ林の順で高い値を示し，林分全体の構成要素の混在度，配列性，密度などの違いが数量的に表現できることになる。

3. 2. 2 2次情報量の計算

次に，構成要素の連続的な配列を問題として取り上げる。たとえば，樹木の本数でいえば各セクション間で，出現する本数に差があるわけであるが，1本の次に1本，1本の次に2や3本となることがある場合，この2つの構成要素の結合の多様性を検討することである。

構成要素  $S_i$  が次に  $S_1, S_2, S_3, S_4, \dots, S_n$  と  $n$  個の構成要素の連続した結合であったとすると， $S_i$  から各要素への遷移確率は

$$P(S_j/S_i) (j=1, 2, 3, \dots, n)$$

として求められ，構成要素間の遷移マトリックスに表現できる。そして，各構成要素ごとのエントロピーは一次情報量の計算と同様に (2) 式より求められる。

$$I_{rel} = - \sum_{j=1}^m P_{ij} \log_2 P_{ij} / \log_2 m \quad \dots \dots \dots (2)$$

( $m$  は構成要素の結合数)

つぎに，有限個の構成要素の結合（ここでは2要素）の連続性を考えると  $n$  個めの構成要素と  $n-1$  個めの構成要素との間の遷移マトリックスの関係は，前述のようにマルコフ過程を持っていると考えるため，マルコフ過程の定常状態の確率  $P_i$  を求め，その定常確率と構成要素ごとのエントロピーとから，(3) 式により全体の構成要素間の結合関係（2連）のエントロピーが求められる。これを2次情報量とする。

$$H_1 = - \sum_{i=1}^n P_i \sum_{j=1}^m P_{ij} \log_2 P_{ij} / \log_2 m \quad \dots \dots \dots (3)$$

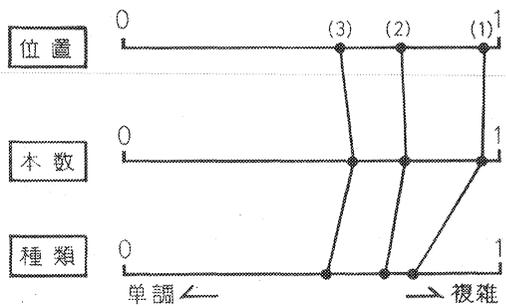
マツ林の樹木の本数で示すと，計算は次のとおりである。

樹木の本数の構成要素は0本，1本，2本，3本の4個からなっており，この要素間の遷移確率マトリックスは表3のとおりで，この値をもとに，(2) 式の計算は0本では

$$\begin{aligned} I_{rel} &= (0.166 \log_2 0.166 - 0.500 \log_2 0.500 - 0.250 \log_2 0.250 \\ &\quad - 0.083 \log_2 0.083) / \log_2 4 \\ &= 0.862 \end{aligned}$$

となり，1本=0.8414，2本=0.9854，3本=0.9609 となった。そして，この場合の定常確率は， $n$  個めの構成要素ベクトル  $S_n$  は

$$S_n = SP^n$$



(1): マツ林 (2): スギ林 (3): ヒノキ林  
 図9. 林分別指標出現エントロピー

表 3. マツ林の遷移確率マトリックス (樹木の本数)

from \ to	0 本	1 本	2 本	3 本	$P_i$
0 本	0.166	0.500	0.250	0.083	0.258
1 本	0.500	0.286	0.143	0.071	0.383
2 本	0.222	0.333	0.222	0.222	0.243
3 本	0.200	0.200	0.400	0.200	0.125

となり, ここで  $n \rightarrow \infty$  の極限が存在して,

$$S_\infty = \lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \lim_{n \rightarrow \infty} SP^n$$

が成立した場合, 行列  $P$  を定常な行列といい極限の構成要素ベクトルは,

$$S_\infty = S_\infty P$$

を満足する行列  $P$  の固有値 1 に属する固有ベクトルとして求められる<sup>1)48)</sup>。

$$T = \begin{pmatrix} S_1, S_2, S_3, S_4, \dots, S_n \\ S_1, S_2, S_3, S_4, \dots, S_n \\ S_1, S_2, S_3, S_4, \dots, S_n \end{pmatrix}$$

$$S = [S_1, S_2, S_3, S_4, \dots, S_n]$$

$$S = SP$$

これを調査例にあてはめてみると, つぎのとおりである。

$$\begin{cases} 0.166S_1 + 0.500S_2 + 0.222S_3 + 0.200S_4 = S_1 \\ 0.500S_1 + 0.286S_2 + 0.333S_3 + 0.200S_4 = S_2 \\ 0.250S_1 + 0.143S_2 + 0.222S_3 + 0.400S_4 = S_3 \\ 0.083S_1 + 0.071S_2 + 0.222S_3 + 0.200S_4 = S_4 \\ S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = 1 \end{cases}$$

これより,  $S_1=0.258, S_2=0.383, S_3=0.243, S_4=0.125$  となる。そして, (3) 式により  $H_1$  を求めると,  $H_1=0.8903$  となった。

同様に, 各林分についてエントロピーを求めた結果は図 10 のとおりである。

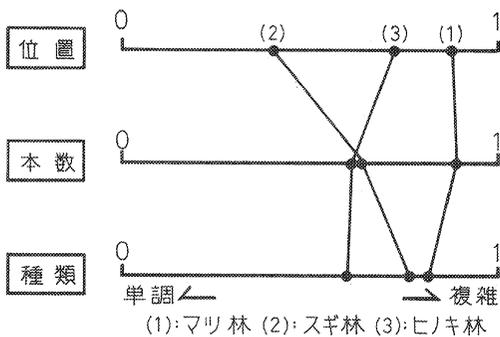


図 10. 林分別指標遷移エントロピー

マツ林では樹木の本数, 位置, 種類の 3 つの指標とも, スギ林, ヒノキ林より高い値となった。これは各指標とも 2 つの構成要素の結合がスギ林, ヒノキ林より複雑多岐にわたっており, スギ林では樹木の位置の値が低く, ヒノキ林では樹木の種類が低い値となっており, 樹木の位置や, 樹木の種類が他の林分に比較して特定の配列傾向となっていることがわかる。

3. 2. 3 3次情報量の計算

ここでは、構成要素の連続的な結合関係を次の場合より拡大して、3つの要素間の結合性のエントロピーを求める。

いまある要素  $S_j$  が  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$  の  $n$  個の要素と結合した配列であったとすると、 $S_i(S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$  の1個)の次に  $S_j$  となり、さらに  $S_k$  に結合した配列の確率は

$$P(S_k/S_i, S_j)$$

として求められ、表4のようになる。

表4. マツ林の遷移マトリックス  
(樹木の本数, 3連)

from (i)	through (j)	to (k)	$P_{ijk}$
0	0	1	1.000
0	1	0	0.333
		1	0.500
		2	0.166
0	2	1	0.333
		3	0.666
0	3	3	1.000
1	0	0	0.166
		1	0.500
		2	0.333
1	1	0	0.500
		1	0.250
		2	0.250
1	2	0	0.500
		2	0.500
1	3	1	0.500
		2	0.500
2	0	1	1.000
2	1	0	0.500
		3	0.500
2	2	1	0.500
		2	0.500
2	3	0	0.500
		1	0.500
3	1	0	1.000
3	2	0	0.500
		1	0.500
3	3	1	1.000

この3つの構成要素の連続した結合関係の確率をもとに  $S_i, S_j$  との結合関係の複雑さを示すエントロピーは、1次、2次の計算と同様に、(4)式で求められ、3連続の結合配列の遷移マトリックスは表5のとおりである。

$$I_{rel} = - \sum_{k=1}^l P_{ijk} \log_2 P_{ijk} / \log_2 l \quad \dots \dots \dots (4)$$

( $l$ : 構成要素数)

この値は、いわば各構成要素ごとの3連続の構成要素の多様性を示すもので、各構成要素ごとの見とおしの良さを示す値と考えられる。

表5. マツ林の遷移確率マトリックス  
(樹木の本数, 3連)

through \ from	0本	1本	2本	3本
0本	0	0.9161	0.9519	0
1本	0.9161	0.9464	1.0000	1.0000
2本	0	1.0000	1.0000	1.0000
3本	0	0	1.0000	0

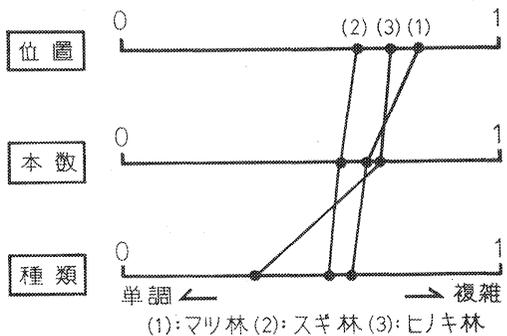


図11. 林分別指標遷移エントロピー (3連)

そして、二次のエントロピーの計算と同様に、マルコフ過程を考えると、3連続の構成要素の多様性を示すエントロピーは、(5)式から求められる。これを3次情報量とする。

$$H_2 = - \sum_{i=1}^n P_i \sum_{j=1}^m P_{ij} \sum_{k=1}^l P_{ijk} \log_2 P_{ijk} / \log_2 l \quad \dots\dots\dots(5)$$

この計算結果は、マツ林=0.6801、ヒノキ林=0.5823、スギ林=0.6915 となった。

各林分の計算結果は、図 11 のとおりで、この値は林分全体の見とおしの良さの程度を示す値で、高ければ各構成要素の結合関係が複雑となり見とおしが悪い。また低ければ結合関係が単調で秩序正しく配列しているため、見とおしがよいことがわかるとともに、二次の値に比較しより高次の値と考えることができる。

3. 2. 4 ま と め

以上、森林環境の構造を人間への視覚情報としてとらえ、森林の基本的な構成要素である樹木の本数、樹木の位置、樹木の種類などの指標の出現頻度やその連続的な結合関係を情報量として計算し、エントロピーにより表現を試みた。そして、一次情報量により森林環境の全体の概要の説明、二次情報量、三次情報量によって部分的な構成要素間の結合構造の説明が可能となり、情報量の次数を上げるにしたがい、全体から部分の状況が説明できることが明らかとなった。

表 6. 各林分におけるエントロピー

指 標	林 分	マ ツ 林	ス ギ 林	ヒ ノ キ 林
樹木の位置	(I <sub>rel</sub> )	0.9587	0.5863	0.7367
	(H <sub>1</sub> )	0.8781	0.4133	0.7367
	(H <sub>2</sub> )	0.7954	0.6325	0.7182
樹木の本数	(I <sub>rel</sub> )	0.9550	0.6111	0.9497
	(H <sub>1</sub> )	0.8903	0.6416	0.6286
	(H <sub>2</sub> )	0.6801	0.6915	0.5823
樹木の種類	(I <sub>rel</sub> )	0.7737	0.5413	0.6972
	(H <sub>1</sub> )	0.8236	0.6085	0.7699
	(H <sub>2</sub> )	0.6166	0.5027	0.3591

このようにエントロピーを計算して、森林の視覚情報の構造を解析することにより、

- 1) 連続的な視覚情報のもつ秩序性や規則性を定量化することができる。
- 2) 森林環境の持つ特性や意味の把握および分類、記号化が可能となる。
- 3) 森林環境の持つ特性の価値の判定、評価が可能となる。
- 4) 森林環境の構造およびそれを支配している法則を把握し、作業方法など作業計画への手法を見出すことが可能となる。

5) 森林環境の構造を把握するための指標の検討や具体的な分類には今後、数多くのデータを収集し検討しなければならない。

6) 森林環境の構造の複雑さ、変化の程度を示すエントロピーの基準値と人間の動作・行動との対応関係を検討する必要がある。

4. あとがき

これまで見てきたように、森林環境を人間を含めたシステムとして情報系によって検討してきたが、それは次のような問題意識にあった。

まず第一に、微視的な問題として、いままで伐出技術、土木施工技術といった機械、施設によるものを作りあげる技術の検討はあったものの、その技術を人間的にする検討はほとんど行なわれていなかったこ

と、つぎに巨視的には、環境問題など森林の多目的利用への認識が起こり、森林に対する社会的人間の対応を含めて検討することが必要になってきたこと、そして、人間と森林との相互の知識の発展に役立つ科学的解釈を旨としたこと、などである。

今後も、この考え方を発展させて、森林の作業環境下における人間の行動を検討し、作業方法、作業効率など作業計画に関する問題を段階的に究明するとともに、さらにマクロな問題として、景観、風致などの森林環境に対する人間の生態的、動態的な面からの検討を加え、人間と森林に関する知識の体系化を行なう必要があると考えられる。

## 文 献

- 1) 甘里俊一：情報理論，ダイヤモンド社，255 pp., (1974)
- 2) BOULDING, KENNETH E. 大川信明訳：ザ・イメージ，誠信書房，222 pp., (1970)
- 3) ダイヤモンド社：空間，数理科学，10，96 pp., (1970)
- 4) 深海隆恒：いんふおめいしょん，サイエンス，5，38~39, (1974)
- 5) GEORGE, F. H., 齊藤章二訳：サイバネティックスと人間生物学，白揚社，189 pp., (1968)
- 6) 藤林 誠ほか 2：林業労働の作業強度に関する研究，林試研報，86，91~182, (1956)
- 7) 藤井禎雄・山本俊明：伐木造材作業の特質，京大演報，43，227~245, (1972)
- 8) 林 喜男・野呂影勇：無人化システム，日刊工業新聞社，288 pp., (1971)
- 9) 平賀昌彦：電算機による作業道網計画法，日林大会講要旨，360~361, (1970)
- 10) 平賀昌彦：電算機による作業道網計画法に関する研究(Ⅰ)，林試研報，238，1~30, (1971)
- 11) HOCHBERG, JULIAN E. 田中良久訳：知覚，岩波書店，164 pp., (1966)
- 12) 堀 高夫：路網計画のための図上地形判定について，日林誌，47，168~170, (1965)
- 13) 堀 高夫・菊地政泰：集運材地域の平均傾斜判定法，日林誌，47，10，337~341, (1965)
- 14) 堀 高夫ほか 2：集運材地域の平均傾斜判定法(Ⅱ)，日林誌，50，8，231~237, (1968)
- 15) 堀 高夫ほか 2：森林利用学的地形分類に関する研究(予報)，日林大会講要旨，416~417, (1970)
- 16) 堀 高夫：車が林内不整地を走行する際に遭遇する地表障害物の出現頻度に関する考察，日林誌，52，2，58~61, (1970)
- 17) 堀野定雄ほか 2：航空管制塔視界の魚眼レンズ写真による解析と評価，人間工学，6，2，81~90, (1972)
- 18) 飯島泰藏：認識論の立場からみた人間主観の自由性，数理科学，128，51~57, (1974)
- 19) 井上源基・上飯坂 実：トラクタ集材による立木の被害に関する因子，日林大会講要旨，437~440, (1970)
- 20) 井上源基ほか 2：トラクタ集材作業における立木の損傷，東大演報，66，307~321, (1974)
- 21) 上飯坂 実：森林利用学序説，地球出版，180 pp., (1971)
- 22) 上坂古則：パターン認識と学習の理論，総合図書，269 pp., (1971)
- 23) 神崎康一：伐木作業場としての森林の層別法，日林誌，45，7，222~226, (1963)
- 24) KANZAKI, Koichi: Some Expression of Variety of Forest and its Influence on Productivity of Labour of the Felling Operation, 京大演報，36，98:117, (1965)
- 25) 神崎康一ほか 3：下刈作業の能率に関する研究，39，171~183, (1967)
- 26) KATO, Seihei: Studies on the Forest Road System, 東大演報，63，215~232, (1967)
- 27) 桑原万寿太郎編：感覚情報Ⅰ，共立出版，201 pp., (1967)
- 28) 桑原万寿太郎編：感覚情報Ⅱ，共立出版，182 pp., (1968)
- 29) 真辺春藏・長町三生：人間工学概論，朝倉書店，246 pp., (1968)
- 30) 宮臨一男：人間の情報処理行動，人間工学，1，13~19, (1965)

- 31) 森岡 昇：架空線集材の集材区域と作業能率に関する研究，名大演報，5，1～87，(1970)
- 32) MUELLER, CONRAD G. 田中良久訳：感覚心理学，岩波書店，174 pp.，(1966)
- 33) 中村貞一・石原周次：森林遠望の識別度の識別限界距離の算定法，日林誌，46，274～280，(1964)
- 34) 中島能道ほか 3：改良鋸による枝払作業の疲労に関する研究 (3)，九大演集報，15，131～157，(1959)
- 35) 中村良三ほか 5：人間—空間系の研究 (Ⅲ)，日本建築学会論文集，189，85：90，(1971)
- 36) 西原清之：空間のシステムデザイン，彰国社，275 pp.，(1973)
- 37) 坂井利之：情報学，筑摩書房，246 pp.，(1970)
- 38) 桜井健二郎・淵 一博：パターン情報処理の研究，情報処理，13，4，203～209，(1972)
- 39) 佐藤謙助：生体の基本的情報処理活動，数理科学，119，41～59，(1973)
- 40) 佐々木 功：集材作業車による集材作業法とその功程，日林大会講要旨，347～349，(1970)
- 41) 鈴木昭弘：交通と視覚，からだの科学，22，6，73～77，(1968)
- 42) 高田和彦：森林の構造モデル，数理科学，141，45～50，(1975)
- 43) 高木純一：システム科学，筑摩書房，224 pp.，(1972)
- 44) 高木貫一：視覚と視覚表示，人間工学，4，1，1～6，(1968)
- 45) 高橋潤二郎：地理学的方法に関する一考察，三田学会誌，62，12，42～55，(1969)
- 46) 高橋潤二郎：地理的イメージと人間行動，三田学会誌，65，11，52～62，(1972)
- 47) 高野清治：通信不変な性質と情報安定性について，数理科学，110，42～45，(1972)
- 48) 田中幸吉：情報工学，朝倉書店，372 pp.，(1972)
- 49) 辻 隆道ほか 2：林業の標準功程のあてはめに関する研究 (3)，林試研報，202，1～132，(1967)
- 50) 和気典二・上笹 信：形の知覚とその応用，人間工学，4，17～28，(1968)
- 51) 渡部 毅：視覚系における情報処理，情報処理，14，2，85～90，(1973)
- 52) 渡部庄三郎ほか 2：林業の標準功程のあてはめに関する研究 (4)，林試研報，203，1～32，(1967)
- 53) 渡辺 茂ほか 7：伐木・造材・集材システムの最適化に関する研究 (1)，林試研報，235，1～205，(1971)
- 54) 山田 東・杉浦精一：ドライバーの視界，自動車技術，24，11，1211～1217，(1970)
- 55) 山科健二：森林風致施業に関する 2，3 の考察，日林誌，51，10，280～282，(1969)
- 56) 山本俊明・佐々木 功：森林作業における作業者の労働科学的研究，京大演報，43，246～262，(1972)
- 57) YEATES, MARURICE H. 高橋潤二郎訳：計量地理学序説，好学社，238 pp.，(1970)
- 58) 米田幸武ほか 3：林業の標準功程のあてはめに関する研究 (2)，林試研報，149，5～214，(1963)

Studies on the Method to Grasp Operational Environment in Forest (I)

—An Approach to Information Theory—

TATSUO TSUJII<sup>(1)</sup>, YOSHIHARU OKUDA<sup>(2)</sup>

Summary

There are not many methods of analysis and evaluation based on visual aspects of forest environment where human beings conduct forest operations.

The aim of this report is to deal with approaches to some questions concerning application of an information theory by measuring the visual information of forest structure.

On the assumption that forest operations result from the continuous visual information of forest environment, it may be said that the forest has a signal system which is organized by the continuous signal having a certain meaning. Thus, taking the structure of a forest as a continuance of signals having a certain relation among them, it is reasonable to suppose that the order or the rule of the forest structure is transmitted to human beings as information indicating the qualities and the meaning of forest environment. As a result of this, it is conceivable that human beings can understand the forest environment.

If this hypothesis is substantial to the visual information of the forest, we can recognize the possibility, in this case above mentioned, of applying the information theory by C. E. SHANNON dealing with the quantity method of information communicated.

Granting that the visual information of forest environment consists of the number, the location, and the kind of tree which are basic elements of the forest, the distribution of these indexes in pine, cryptomeria and Japanese cypress stands were measured in this study. Accordingly a method of measuring the amount of information for indicating the complexity of the operational environment in the forest are as follows:

(1) The first amount of information

We calculated the occurrence entropy from the basic component of forest environment.

The occurrence entropy can be calculated from formula (1), after taking into account the appearance probability  $P_i$  based on the number of these components.

$$I_{rel} = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i / \log_2 n \quad \dots\dots\dots(1)$$

where

$P_i$  : the appearance probability

$n$  : the number of component

(2) The second amount of information

We calculated the transition entropy from the continuation of two components. The transition entropy can be calculated from formula (2), through the transition probability  $P_{ij}$  given by the transition matrix among the respective elements and the stationary probability  $P_i$  among them, because Markov process is applicable to this case.

$$H_1 = - \sum_{i=1}^n P_i \sum_{j=1}^m P_{ij} \log_2 P_{ij} / \log_2 m \quad \dots\dots\dots(2)$$

where

$P_{ij}$  : the transition probability

$L$  : the number of component

$P_i$  : the stationary probability

(3) The third amount of information

We calculated the triple transition entropy from the continuous three components. The triple transition entropy can be calculated from formula (3), by computing the triple transition probability through the transition matrix that is given by the continuous component and the stationary probability. In the third amount of information, as well as in the second one, Markov process is applicable.

$$H_2 = - \sum_{i=1}^n P_i \sum_{j=1}^m P_{ij} \sum_{k=1}^l P_{ijk} \log_2 P_{ijk} / \log_2 l \dots\dots\dots(3)$$

where

$P_{ijk}$  : the triple transition probability

$L$  : the number of component

$P_i, P_{ij}$  : the stationary probability

In the first amount of information expressed with entropy, we can find the explanation of the whole component of forest structure.

The same is in the second and third amount of information, and these explain to us a partial combination among the two or three continuous elements. By using the values being computed in quantity, it may be said that the lower the values are, the more the structure of forest are monotonous or orderly, and the more these are complicated or varied, the higher those are.

In Table 6, can be seen the values worked out with the respective formulas.



