

森林作業環境の把握方法に関する研究 (第2報)

—作業行動による分析—

辻 井 辰 雄⁽¹⁾・奥 田 吉 春⁽²⁾・田 中 利 美⁽³⁾

Tatsuo TSUJII, Yoshiharu OKUDA and Toshimi TANAKA :

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

—An analysis of the environmental factors based on human behavior—

要 旨 : この研究は、作業の場である森林の自然的環境条件を人間との対応関係から検討し、森林の作業の場としての意味や作業への影響を把握しようとするものである。第1報では、作業の場としての森林を視覚環境(インプット)としてとらえ、その構造を確立論にもとづく不確かさを尺度(エントロピー)に定量化し検討を加えた。

本報告は、前報とは逆の観点である作業行動(アウトプット)を指標として森林作業環境を検討したものである。分析例として、刈払機による下刈作業行動を「作業している状態」、「歩行・移動の状態」、「作業中断の状態」、「休息の状態」の4行為に分割し、各行為の組み立てられ方や行為相互の変換関係を、前報と同様に不確かさを尺度(行為出現エントロピー: I_1 , 行為遷移エントロピー: I_2)に定量化した。そして、定量化の意味や有効性を探るため、作業能率や環境条件の種々の要因との関係を検討した。

その結果、 $I_1=0.810\sim1.665$ (bit), $I_2=0.432\sim1.260$ (bit) となって全体的に $I_1>I_2$ の傾向があり、「作業している状態」の行為を中心とした行為変換のパターンがみられた。作業能率との関係は、 I_1 , I_2 の両者ともかなり高い負の相関があり、両者の数値が高くなるほど作業能率は低下している。また、環境条件の種々の要因との関係は、 I_1 , I_2 の両者とも植栽本数、傾斜、植生の疎密の3要因のウェイトが大きく、3要因の組合せによる森林作業環境の分類が例証できた。

I 序 論

この研究は、作業の場である森林の自然的環境条件(以後、森林作業環境という言葉を用いることとする)を森林—人間系のシステムの観点からとらえ、森林作業環境に対応した人間の行動を指標として森林作業環境を把握する方法を検討することである。そして、森林—人間系に含まれるさまざまな次元での現象や連関を確認し、森林と人間との関係を科学的に解明するための資料とするものである。

第1報では、森林作業環境の構造の変化や複雑さが、人間の行動予測の手がかりになると考え、森林作業環境と人間との関係を情報系の視覚情報によって探り、森林作業環境の構造を視覚的側面から解析するための方法論の展開と、森林作業環境の構造解析の手段として、情報理論の適用の可能性について論じた¹⁹⁾²⁰⁾。そして、分析段階において森林作業環境の基本的な構成要素である樹木の種類、樹木の位置、樹木の本数の3因子の相互関係を、複雑さを尺度とする情報量の概念によるエントロピーとして定量化し検討を加えた。このことによって、森林作業環境の構造が全体的、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。

しかしながら、森林作業環境の構造の定量化を示すエントロピーの基準値が、人間の行動とどのような対応関係にあるかについては明確にできなかったため、検討課題として残された。

本報ではこの問題を探るため、視点をかえて森林—人間系のアウトプットの一つである人間の作業行動の複雑さを指標として、森林作業環境の構造を解析することを試みた。すなわち、情報量の概念を作業者の作業行動の分析に発展させ、行動の複雑さをエントロピーとして定量化し、このエントロピーを尺度にして森林作業環境の把握方法を検討しようとするのである。

人間の作業行動を森林作業環境の構造を解析するための尺度とした理由は、次に述べるような考え方に基づいている。これは、第 1 報で述べたように森林作業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ことで、この場合の人間の行動は森林作業環境—人間系でのアウトプットにあたる。

人間がある環境の中で行動するという事は、さまざまな環境条件の中で適応したり、反発したりしながら、順次環境とのかかわりあいの仕方を決めていくことである。

このことは、空間的な配列としての種々の環境因子が、時間的な配列として人間の中に組み変えられていくプロセスであるとともに、いままでの環境経験をもとにして、次の行動を決定していくフィードバック・プロセスでもあるといえる。

そして、このアウトプットとしてみられる行動の違いは、そのときの環境条件の違いを反映したものと考えれば、環境のある面は人間の行動を分析することによって推測が可能であり、人間の記憶や経験などの内部的な要因については、一定であるという仮定をおくことにより、環境と人間との関係のすべての条件について解明しなくても、かなりの部分については説明することができるであろう⁹⁾¹⁰⁾¹²⁾。

以上のような考え方に基づいて、人間の行動を Fig. 1 に示すようにモデル化してみた。すなわち、ある時間における環境 $S_{(t)}$ と人間の行動 $B_{(t)}$ との関係は、環境の種々の状態に対応してある人間の行動が存在すると考える。そして、この環境と人間の行動との関係を表現する方法としては、第 1 報で述べた方法（環境の構成要素の相互の関係を連続性や結合性として表現する）を使えば、時系列的な人間の行動の内容にもあてはめることができると考えた。

このため、人間の行動分析についても環境の構成要素の相互の関係を表現した場合と同様に、連続的な記号列やマトリックスによって表現することができる。また、このような記号列で表現できる人間の行動は順序行動として考えられるため⁹⁾、この場合はマルコフ過程をなしており、次の状態への行為の変換は確率的な遷移として考えることが可能となる。

すなわち、人間の行動の内容を示す各行為の出現頻度や行為変換の遷移マトリックスの数値が、環境—人間系としての環境の構造を推測する指標となる。

そして、環境の構造の違いは、情報量の概念によるエントロピーを尺度とする「行動の複雑さ」、「行動

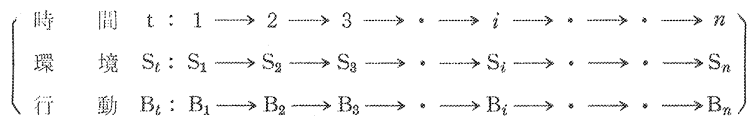


Fig. 1 環境と人間の対応モデル
Corresponding models of the human behavior (B_t)
with the environment (S_t) moment by moment.

の多様性」として把握することができる¹⁷⁾²²⁾。このことは、環境—人間系としての環境の複雑さが、行動の複雑さの中に反映されることであって、ここでの複雑さとは人間の行動の内容を示す各行為のうち、どの行為が環境中であらわれるのかの「不確かさ」であり、かつ行為変換の「不確かさ」である。つまり、単調で変化の少ない環境構造においては、人間の行動は単純となってエントロピーは低くなる。逆に、複雑で変化の多い環境構造においては、人間の行動は複雑、多様となってエントロピーは高くなるとみることである。

以上述べたように、この研究の展開は森林作業環境に対応した人間の行動を分析の手がかりとして、森林作業環境を考えていこうとするものである。この場合、森林作業環境（入力）が直接的に人間の行動（出力）に反映するとみることが、ワトソンが主唱した S-R 理論（Stimulus-response theory）を基礎とした議論であって、人間の主体性や価値感などを無視するこのような方法論の適用については、可能か否かの議論も多いと思われる。

しかしながら、この研究で目指していることは、環境と人間の行動との関係を決定論的にとらえ、測定可能な数量や物質などの外的現象の分析から人間の行動を規定しようとするのではなく、人間の行動現象を森林作業環境という外的条件のレベルから数理的に接近し、表現しようとするのが基本的な考え方である¹⁷⁾。また、現在の心理学、生理学、社会学などの行動研究の領域は方法論が明快に整理されていないため、人間の諸特性については個別の事例研究を積みあげる段階にあり¹⁸⁾、人間の諸特性を統合した方法論からの追求を行うまでにはいたらなかったことによる。

本報は、人間の作業の場である森林作業環境を科学的、数理解析的に解明するための一端として、システム理論や情報理論など基礎理論の適用を試みることによって、より人間的な側面を含めた森林作業環境の把握を目指した。このため、一般論として明確な定式化を行うためには、今後検討しなければならない多くの課題を残している。引き続き研究を積みかさね、充実した森林作業環境の把握方法への接近をはかりたい。

なお、この研究を実施するにあたっては、梅田三樹男機械化部長、上田 実作業科長に数々のご指導、ご助言をいただいた。ここに感謝の意を表するしだいである。

II 研究の対象と方法

本報では前述のように、森林作業環境の把握方法として、人間の行動を分析の指標としている。この場合、森林作業環境の構造を表現する諸因子が、直接的に人間の行動に反映しやすいと考えられる作業行動を対象に選定することが、ここでの議論を明確にできるとともに、取り扱いやすいといえる。

このため、本報では下刈作業行動を分析の対象とした。この理由は、下刈作業は林地を移動しながら地表植物を刈払うことを目的とする作業であるため、人間の行動を示す各行為の出現の仕方や行為変換の仕方は、森林作業環境の構造を示す植栽木の状態（植栽樹種、植栽本数、植栽木の大きさ）、林地の状態（傾斜、地表の凹凸、岩石・根株・末木枝条の有無）、地表植物の状態（植生の種類、植生の大きさ、植生の疎密）などの諸因子の違いによる影響を直接的に受ける傾向が強いといえる。そして、森林作業環境と人間の行動との関係が比較的明確にとらえられやすく、また確認もしやすいと考えられることによる。

1. 分析データとその処理

分析例に用いた資料は、過去に行なった下刈作業の時間的な構成を把握するために調査、記録した時間

分析資料と、これに対応して各々 50 m² の標準地における環境条件を調査、記録した作業条件調査資料の 54 例をもとにして、分析を進めることとした¹⁸⁾。この時間分析資料は、下刈作業を 20 個以上の要素作業（準備後仕末、歩行、刈払い、始動・停止、機械調整、休息など）に分解し、各要素作業ごとに所要時間を観測、記録したものである。

本研究では、作業時間の長さや観測時間の正確な数値を算出することを直接の目的としているのではなく、各行為の出現の仕方や行為変換の仕方などの各行為の出現頻度や遷移確率を基礎に分析を進めることである。

このため、作業の変化に特定の傾向や周期性がないと考えられる場合には、記録されている多数の要素作業を直接データとして用いることは、あまりに細分化しているため、議論が不明確になることが多くなくて、問題点の整理が困難になると考えられる。

そこで、Fig. 2 に示した 4 つの基本行為（作業している状態、歩行・移動の状態、作業中断の状態、休息の状態）に各要素作業を整理、統合し、この 4 行為の出現の仕方や行為変換の仕方を下刈作業行動として考えることとした。この場合、観測時刻や観測回数などの面からみると、データの精度上問題点もあると考えられるが、50 m² の標準地（作業条件調査箇所）の 30 分間の作業行動を 30 秒単位の等間隔分割によるワーク・サンプリング法 (Work sampling method) により、W₀、W_A、S_T、R_E の 4 行為を抽出し、Fig. 3 に示すようなデータの処理と記号化を行なった¹¹⁾¹³⁾。

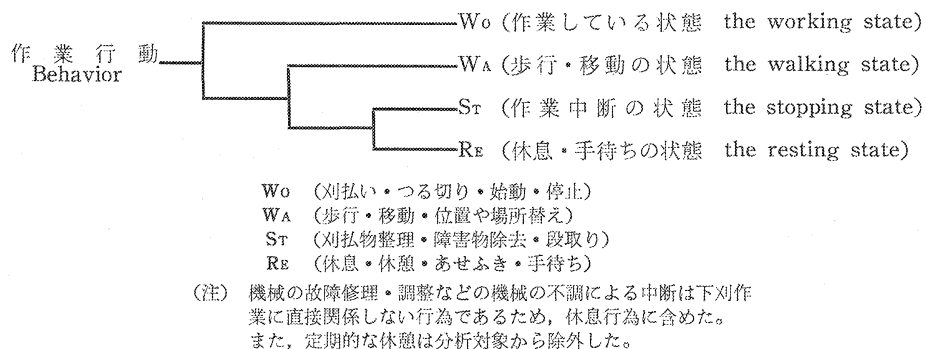


Fig. 2 下刈作業行動の分類
Classification of the weeding work behavior.

		(× 30 sec)															
時間 (t)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	・	・	・	i	・	60
行動 B _(t)	1 :	W _A	W _A	W ₀	W ₀	W ₀	S _T	R _E	W _A	W ₀	W ₀	・	・	・	B(i)	・	W _A
	2 :	W _A	W ₀	W _A	W ₀	S _T	S _T	W ₀	W ₀	W ₀	R _E	・	・	・	B(i)	・	S _T
	{	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	}	}	}
	}	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	}	}	}
	54 :	W _A	W ₀	W ₀	R _E	R _E	W ₀	W ₀	W _A	S _T	W ₀	・	・	・	B(i)	・	W ₀

Fig. 3 作業行動の記号化と抽出例
Examples of the extraction with the signification of the weeding work behavior.

2. 作業行動の分析方法

W₀, W_A, S_T, R_E の4行為を抽出し、記号化したデータの分析方法は、第1報と同様に情報理論を適用し、4行為の出現の仕方の複雑さや行為変換の仕方の複雑さを尺度とする情報量の概念であるエントロピーとして定量化し、検討を加えることとした²⁾⁸⁾¹⁶⁾。

なお、情報理論についてはすでに第1報で説明を加えたので、ここでは省略する。

(1) 行為出現エントロピー (I_1)

まず、行為出現の複雑さを表現するため、抽出記号化した W₀, W_A, S_T, R_E の4行為の出現数を集計し、各行為の出現確率 (P_i) をもとに (1) 式から一次情報量を求め、この指標を行為出現エントロピー (I_1) とした。

$$\begin{pmatrix} \text{基本行為: } W_0 & W_A & S_T & R_E \\ \text{出現確率: } P_1 & P_2 & P_3 & P_4 \end{pmatrix}$$

$$I_1 = - \sum_{i=1}^4 P_i \log_2 P_i \quad (1)$$

(2) 行為遷移エントロピー (I_2)

次に、行為変換の複雑さを表現するため、連続した2つの行為の遷移確率 (P_{ij}) を Fig. 4 に示した遷移マトリックスとして算出し、このときの定常確率 (P_i) とから (2) 式によって二次情報量を求め、この指標を行為遷移エントロピー (I_2) とした。

$$I_2 = - \sum_{i=1}^4 P_i \sum_{j=1}^4 P_{ij} \log_2 P_{ij} \quad (2)$$

3. 作業行動の説明変数

下刈作業については、すでに多くの研究が発表されているが¹⁾³⁾⁵⁾⁷⁾¹¹⁾²¹⁾、人間の作業行動に影響する因子を分析し、作業の場としての森林作業環境を把握することを目的とした試みは、ほとんど行われていない。

ここでは、下刈作業行動の複雑さを尺度とした定量化である行為出現エントロピー (I_1)、行為遷移エントロピー (I_2) の両者と森林作業環境の構造を示す植栽木の状態、林地の状態、地表植物の状態などの種々要因との相互の関係を検討し、行為出現エントロピー、行為遷移エントロピーの意味から森林作業環境を議論することである。このため、行為出現エントロピー、行為遷移エントロピーの両者を被説明変数、森林作業環境の構造を示す種々要因を説明変数として、すでに各分野で適用されている多変量解析の手法の1つである数量化1類による分析を行い、検討を加えることとした⁶⁾¹⁴⁾¹⁵⁾。

分析に用いた項目は、50 m² の標準地での種々の環境条件が記録されている条件調査資料から、森林作業環境を表現していると考えられる樹種、植栽木数、下刈年次、傾斜、植生の疎密、植生比と機種種の7項目とした。この場合の機種種は、森林作業環境を表現する要因ではないが、型式が背負式と肩掛式の2機種で大きく異なり、作業方法や機械の操作・取り扱いなどに差異があって作業行動に影響することが考えられるため、分析の項目に含めることとした。そのほか、作業者についても個人差（年齢、体格、経験年数

To From	W ₀	W _A	S _T	R _E
W ₀	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄
W _A	P ₂₁	P ₂₂	P ₂₃	P ₂₄
S _T	P ₃₁	P ₃₂	P ₃₃	P ₃₄
R _E	P ₄₁	P ₄₂	P ₄₃	P ₄₄

Fig. 4 作業行為の遷移マトリックス

Transitional matrix of the operational action (W₀, W_A, S_T, R_E).

P₁₁, P₁₂, ~ P₄₄: the transition probability.

など) が考えられ, 個人差による作業内容を比較した研究例もあるが^{4,5)}, 分析に用いた資料からは整理ができなかったため, 分析項目としては考慮していない。

しかしながら, この場合年齢は 20 才~40 才の成人 (4 名) であって, 経験年数も 2 年以上であるため, 下刈作業上の一般的な行動は熟練し, 安定していると解釈することもできる。

今回の分析に用いた項目と各項目のカテゴリ化は, 次に示すとおりである。

- (1) 樹 種: スギ, ヒノキ, カラマツ
- (2) 植栽本数: 2,700~3,500 本/ha, 5,000~6,000 本/ha
- (3) 下刈年次: 2 年, 3 年, 4 年
- (4) 傾 斜: ~15°, 16~30°, 31°~
- (5) 植生の疎密: 疎 (~5.0 束/50 m²), 中 (5.1~7.0 束/50 m²), 密 (7.1 束/50 m²~)
- (6) 植生比 (ササ対草低木比): 5:5, 6:4, 7:3, 8:2
- (7) 機 種: 背負式, 肩掛式

III 分析結果と考察

1. 作業行動の定量化

前述のように分析例とした下刈作業の資料をもとにして, W_0 , W_A , St , Re の 4 行為の出現数を集計

し, 各行為の出現確率 (P_i) から行為出現エントロピー (I_1) を, また各行為の遷移確率 (P_{ij}) とそのときの定常確率とから行為遷移エントロピー (I_2) を求めた結果は, Fig. 5 に示すとおりである。

これらの数値は, W_0 , W_A , St , Re の 4 行為が等確率で出現した場合に最大値 ($I_{\max}=2.0$ bit) となり, 4 行為の中で 1 行為だけが出現した場合に最小値 ($I_{\min}=0$ bit) となる。今回の場合, 行為出現エントロピーは 0.810~1.665(bit), 行為遷移エントロピーは 0.432~1.260(bit) となって, 分析資料 54 点の 4 行為の出現の違いや行為変換の違いが, 複雑さの指標であるエントロピーの数値として識別できる。

分析結果を詳細に検討してみると, 行為出現エントロピーは作業行動全体についての W_0 , W_A , St , Re の 4 行為の出現の概要を示す数値である。この場合の最大値 ($I_{1\max}$) と最小値 ($I_{1\min}$) となった各行為の出現確率を示すと Table 1, Table 2 のとおりである。

最大値となったものの各行為をみると, $W_0=0.567$, $W_A=0.133$, $St=0.150$, $Re=0.150$ で, W_0 の出現確率が 56.7% を占めているだけで, 他の W_A , St , Re の 3 行為の出現確率も 0.133~0.150 とほとんど同率になっているため, $I_{1\max}=1.665$ (bit) と高い数値を示した。一方, 最小値の各行為は $W_0=0.850$, $W_A=0.067$, $St=0.033$, $Re=0.050$ で, W_0 の出現確率が 85% とかなり高いため, W_A , St , Re の出現確率は 0.033~0.067 と低くなり $I_{1\min}=0.810$ (bit) と低い数値を示した。

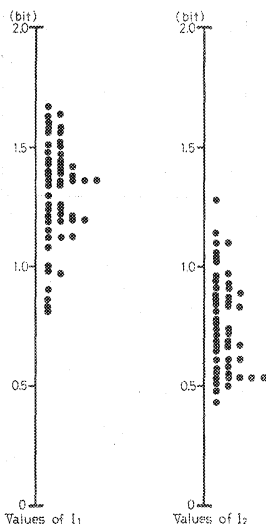


Fig. 5 下刈作業行動の行為出現エントロピー (I_1) と行為遷移エントロピー (I_2)

Values of the occurrence entropy of the action (I_1) and the transitional entropy of the action (I_2) in weeding work behavior.

Table 1. 行為出現エントロピーの最大値
The maximum value of the occurrence entropy of the action

Action	頻度 Frequency (%)	Pi
W ₀		0.567
W _A		0.133
S _T		0.150
R _E		0.150

$$I_{1\max} = -\sum P_i \log_2 P_i = 1.665 \text{ (bit)}$$

Table 2. 行為出現エントロピーの最小値
The minimum value of the occurrence entropy of the action

Action	頻度 Frequency (%)	Pi
W ₀		0.850
W _A		0.067
S _T		0.033
R _E		0.050

$$I_{1\min} = -\sum P_i \log_2 P_i = 0.810 \text{ (bit)}$$

Table 3. 行為遷移エントロピーの最大値
The maximum value of the transitional entropy of the action

To From	W ₀	W _A	S _T	R _E	P _i	$P_{ij} \log_2 P_{ij}$
W ₀	0.760	0.120	0.030	0.090	0.774	1.130
W _A	0.600	—	0.200	0.200	0.263	1.370
S _T	0.500	0.250	0.083	0.167	0.085	1.725
R _E	0.333	0.333	0.222	0.112	0.138	1.884

$$I_{2\max} = -\sum P_i \sum P_{ij} \log_2 P_{ij} = 1.260 \text{ (bit)}$$

Table 4. 行為遷移エントロピーの最小値
The minimum value of the transitional entropy of the action

To From	W ₀	W _A	S _T	R _E	P _i	$P_{ij} \log_2 P_{ij}$
W ₀	0.920	0.080	—	—	0.873	0.401
W _A	0.750	0.125	0.125	—	0.078	1.075
S _T	1.000	—	—	—	0.049	—
R _E	1.000	—	—	—	0	—

$$I_{2\min} = -\sum P_i \sum P_{ij} \log_2 P_{ij} = 0.432 \text{ (bit)}$$

行為遷移エントロピーは、W₀、W_A、S_T、R_Eの4行為中連続した2つの行為の変換の様子を示す数値である。この場合の最大値（ $I_{2\max}$ ）と最小値（ $I_{2\min}$ ）となった各行為の遷移確率は、Table 3、Table 4に示すとおりである。

最大値となったものは、W₀からW₀への遷移確率は0.760、W₀からW_Aが0.120、W₀からS_Tが0.030、W₀からR_Eが0.090となっており、他のW_A、S_T、R_Eの3行為の遷移もW_AからW_Aへの行為変換が行われていないほかは、すべての行為変換が行われている。すなわち、全体で16通りの行為変換の中で、15通りが行われているため、 $I_{2\max}=1.260$ (bit) とかなり高い数値を示した。反面、最小値となったものは、全体で16通りの行為変換の中で8通りが行われておらず、特にS_TとR_Eの行為変換については次の行為がW₀だけであって、W_A、S_T、R_Eへの行為変換は行われていないため、 $I_{2\min}=0.432$ (bit) と低い数値を示した。

次に、行為出現エントロピー（ I_1 ）と行為遷移エントロピー（ I_2 ）の数値を比較してみると、Fig. 4で示したように全体的に I_2 が低い数値となっている（範囲： $I_1=0.810\sim1.665$ 、 $I_2=0.406\sim1.260$ 、平均： $I_1=1.306$ 、 $I_2=0.816$ 、標準偏差： $I_1=0.213$ 、 $I_2=0.278$ ）。

このことは、下刈作業においてはW₀、W_A、S_T、R_Eの4行為の行為変換16通りが等確率で出現することはほとんどなく、W₀からW₀、W₀からW_A、W₀からS_T、W₀からR_EとW_AからW₀、S_TからW₀、R_EからW₀などの行為変換が大部分を占めており、W₀を中心とした行為変換の繰返しと考えることができ、行為変換がW₀を中心に配列しているといえる。そして、全体的には行為遷移エントロピ

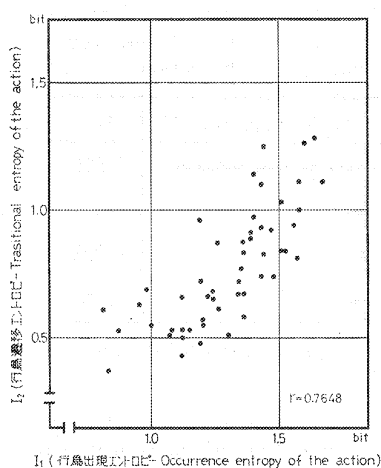


Fig. 6 行為出現エントロピーと行為遷移エントロピーの関係
Relation between the occurrence of the action and the transitional entropy of the action.

実際には出現した行為であっても所要時間の30秒にみえない短い行為については、行為の抽出ができないことがあり出現数が減少する行為もあった。

これらの問題については、今後引きつづき検討しなければならない課題といえる。

2. 行為エントロピーと作業能率

Ⅲの1において、行為出現エントロピーと行為遷移エントロピーの両者を指標とすることによって、下刈作業行動がかなり明確に定量化できた。この行為出現エントロピーと行為遷移エントロピーの定量化の意味あいやその有効性をよりの確に判断するため、ここでは、下刈作業行動の実際的な意義を持つ指標の1つと考えられる作業能率を取りあげ、行為出現エントロピーと行為遷移エントロピーの両者との関係を検討した。

作業能率としては、分析例とした下刈作業調査資料から得られた実働1時間当りの刈払い面積 (m^2/hr) を用い、これと行為出現エントロピー (I_1) および行為遷移エントロピー (I_2) の関係をみると Fig. 7, Fig. 8 に示すとおりである。

この場合の相関係数を求めると、行為出現エントロピー (I_1) は $r = -0.868$ 、行為遷移エントロピー (I_2) は $r = -0.747$ と両者とも1%の危険率で有意となり、かなり高い負の相関関係がみられた。したがって、行為出現エントロピーと行為遷移エントロピーの両者とも、その数値が高くなるにしたがって、作業能率は低下することを示している。

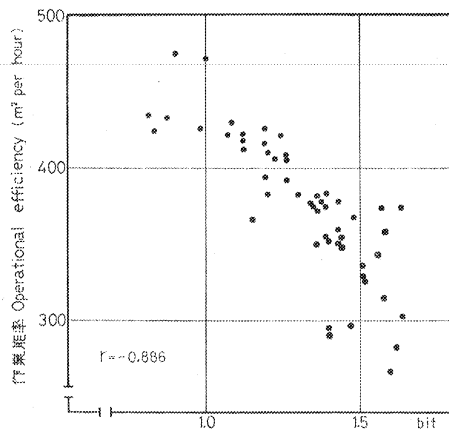
このことは、Ⅲの1で述べたように、行為出現エントロピーや行為遷移エントロピーが低い場合には、作業している状態 (W_0) の出現確率や遷移確率が高く、他の歩行・移動の状態 (W_A)、作業中断の状態 (Sr)、休息の状態 (Re) の3行為の出現確率や遷移確率は低いことである。これらのことから、 W_0 の出現確率や遷移確率による影響が大きい下刈作業では、行為出現エントロピーと行為遷移エントロピーの両者ともに、両者の数値が高いということは W_0 の出現確率や遷移確率は低いことであって作業能率も

—は行為出現エントロピーに比較して低くなるといえる。

このように、行為出現エントロピーと行為遷移エントロピーの両者の数値は、 W_0 の出現確率や遷移確率によって影響を受ける傾向があり、 W_0 の出現確率や遷移確率が高い場合には低くなり、逆に W_0 の出現確率や遷移確率が低い場合には高くなる。そして、行為出現エントロピーと行為遷移エントロピーとの両者の関係は、Fig. 6 に示すようにかなり高い正の相関関係 ($r = 0.765$, 危険率1%で有意) がみられた。

以上述べたように、行為出現エントロピーと行為遷移エントロピーの両者の数値は、下刈作業行動の差異をかなりの確に表現していると考えることができる。

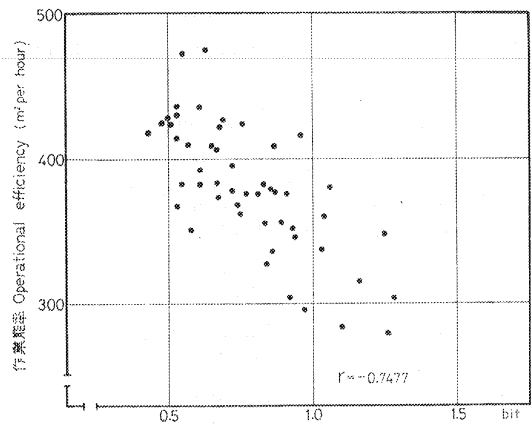
しかしながら、ここでは下刈作業行動を基本的な W_0 , W_A , Sr , Re の4行為によって分析を行ったため、下刈作業行動の全体的な概要の分析になったことと、作業行為の抽出を30秒等間隔のワーク・サンプリング法で行ったため、



I_1 (行為出現エントロピー - Occurrence entropy of the action)

Fig. 7 行為出現エントロピーと作業能率の関係

Relation between the occurrence entropy of the action and the operational efficiency.



行為遷移エントロピー (Transitional entropy of the action)

Fig. 8 行為遷移エントロピーと作業能率の関係

Relation between the transitional entropy of the action and the operational efficiency.

低くなると考えられる。逆に、行為出現エントロピーと行為遷移エントロピーの数値が低い場合には、 W_o の出現確率や遷移確率は高くなり作業能率も高くなることを意味している。

以上のことから、行為出現エントロピー (I_1) と行為遷移エントロピー (I_2) の両者から作業能率を推定するため、重回帰分析を行った結果、次のようなかなり高い精度の回帰式を得た（重相関係数 $R = 0.878$, 危険率 1% で有意）。

$$\hat{Y} = -155.331 I_1 - 37.846 I_2 + 609.681 \quad (3)$$

$\hat{Y}$: 実働 1 時間当りの刈払い面積 (m^2/hr)

I_1 : 行為出現エントロピー (bit)

I_2 : 行為遷移エントロピー (bit)

3. 行為エントロピーと森林作業環境

これまでの、下刈作業行動をエントロピーとして定量化し、作業行動の差異を表現するとともに、作業能率との関係を述べた。ところで、本報での課題は、前述のように作業行動の定量化であるエントロピーを指標として、森林作業環境を把握することである。そこで、行為出現エントロピー、行為遷移エントロピーと森林作業環境との関係を多変量解析の 1 つである数量化 I 類によって分析し検討を加えた。

すなわち、行為出現エントロピーと行為遷移エントロピーを外基準とし、森林作業環境の構造を示す樹種、植栽本数、下刈年次、傾斜、植生の疎密、植生比および機種種の 7 項目を要因として、各要因がエントロピーに対して相対的にどのような割合で影響しているか、またエントロピーに最も影響する要因は何であるかを検討することである。

行為出現エントロピーを外基準とした分析結果は、Table 5 に示すとおりである。この場合の重相関係数は 0.849 とかなり高く、下刈作業における行為出現エントロピーが、分析で取り上げた森林作業環境の構造を示す要因によって、かなり説明できることを示している。

各要因の偏相関係数は「傾斜」0.762, 「植栽本数」0.619, 「植生の疎密」0.557 などが大きく、「植生

Table 5. 行為出現エントロピーの要因分析
Results of factor analysis of the occurrence entropy of the action.

項 目 Item	カ テ ゴ リー Category	平均スコア Mean score	偏 差 Deviation	レ ン ジ Range
機 種 Machine type (0.1683)	背 負 式 Carry-on-back type 肩 掛 式 Shoulder type	0.9375	0.0173 -0.0378	0.0552
樹 種 Tree species (0.2435)	ス ギ <i>Cryp. japonica</i> カ ラ マ ツ <i>Larix leptolopsis</i> GORDON ヒ ノ キ <i>Ch. obtusa</i>	0.0373	-0.0373 0.0542 -0.0169	0.0915
下 刈 年 次 Weeding year (0.1561)	2 年 Second year 3 年 Third year 4 年 Fourth year	0.0282	-0.0282 0.0173 -0.0007	0.0456
植栽本数/ha Number of planted trees per ha (0.6194)	2,700~3,500 5,000~6,000	0.0838	-0.0838 0.1677	0.2515
傾 斜 Slope angle (0.7625)	~ 15° 16 ~ 30° 31° ~	0.1892	-0.1892 0.0669 0.1407	0.3299
植生の疎密 Vegetation density (0.5577)	疎 Sparse 中 Medium 密 Dense	0.1179	-0.1179 -0.0021 0.1225	0.2405
植 生 比 Vegetation ratio (Sasa : brush and grass) (0.3955)	5 : 5 6 : 4 7 : 3 8 : 2	-0.0881	0.0881 0.0335 -0.0258 -0.1256	0.2138

重相関係数 Multiple correlation coeff. 0.8492

() 偏相関係数 Partial correlation coeff.

比」0.395,「樹種」0.243,「機種」0.168,「下刈年次」0.156の順に小さくなっている。また,レンジは「傾斜」0.329,「植栽本数」0.251,「植生の疎密」0.240,「植生比」0.213が大きく,「樹種」,「機種」,「下刈年次」と順に小さくなっている。

分析結果を項目別に検討してみると,傾斜は「~15°」,「16~30°」,「31°~」と勾配が急になるにしたがって,エントロピーの数値が高くなっている。このことは当然予想できる結果であって,下刈作業のように歩行をとまう作業行動では,作業の進行方向や足場の安定などに影響する傾斜の要因のウェイトが大きいことを示している。すなわち,勾配が急な場所では,腰よりも高い位置から足元より低い位置まで

Table 6. 行為遷移エントロピーの要因分析
Results of factor analysis of the transitional entropy of the action.

項 目 Item	カ テ ゴ リ ー Category	平 均 ス コ ア Mean score	偏 差 Deviation	レ ン ジ Range
機 種 Machine type (0.1192)	背 負 式 Carry-on-back type 肩 掛 式 Shoulder type	0.4253	0.0178 -0.0387	0.0565
樹 種 Tree species (0.1103)	ス ギ Cryp. japonica カ ラ マ ツ Larix leptolepis GORDON ヒ ノ キ Ch. obtusa	0.0070	-0.0070 0.0316 -0.0246	0.0563
下 刈 年 次 Weeding year (0.0690)	2 年 Second year 3 年 Third year 4 年 Fourth year	0.0218	-0.0218 0.0025 0.0332	0.0550
植栽本数/ha Number of planted trees per ha (0.3274)	2,700~3,500 5,000~6,000	0.0510	-0.0510 0.1021	0.1532
傾 斜 Slope angle (0.5316)	~ 15° 16 ~ 30° 31° ~	0.1915	-0.1915 0.1029 0.1050	0.2965
植生の疎密 Vegetation density (0.3133)	疎 Sparse 中 Medium 密 Dense	0.1220	-0.1220 0.0062 0.1085	0.2306
植 生 比 Vegetation ratio (Sasa : brush and grass) (0.0917)	5 : 5 6 : 4 7 : 3 8 : 2	-0.0264	0.0264 -0.0158 0.0049 -0.0322	0.0587

重相関係数 Multiple correlation coeff. 0.7163

() 偏相関係数 Partial correlation coeff.

シャフトを振り回す必要が生じたり、作業姿勢のバランスを失う滑りやつまずきなどが多くなって、勾配の緩やかな場所に比較して作業の中断、場所や位置を替えるための歩行、休息などの行為が多くなってエントロピーが高くなることによるものであろう。

植栽本数では「2,700~3,500本/ha」より「5,000~6,000本/ha」がエントロピーが高い。これは植栽間隔の広狭を意味しており、植栽本数が多いことは植栽間隔が狭くなることである。すなわち植栽間隔が狭い場合には、シャフトを振り回す範囲内に苗木が位置することが多くなるため、刈幅や刈払いテンポなど作業のリズムに影響し誤伐防止のための苗木の確認やうかがいが必要となっており、植栽間隔が広い場合に比

較して作業の中断, 歩行・移動などの行為が多くなりエントロピーが高くなることによるものであろう。

植生の疎密は「疎」, 「中」, 「密」と植生が密になるにしたがって, エントロピーが高くなっている。これは刈払い対象物の量的関係を示す要因で, 植生が密ということは植生量が多いことである。すなわち, 植生量が多い場合にはカッターの切れ味が低下したり, 刈払物のカッターへのからみなどを取り除く整理が多くなって, 円滑な刈払い作業が困難となり植生量が少ない場合に比較して, 作業の中断などの行為が多くなりエントロピーが高くなることによるものであろう。

植生比はササと雑草木との比率を示すが, ササの比率が高くなるにしたがって, エントロピーは低くなっている。一般的には, ササの比率が高くなると, カッターの切れ味が低下し, 刈払いが困難になるためエントロピーが高くなることが考えられる。しかしながら, ここでは逆にエントロピーは低くなる傾向を示している。これはつるによる影響であって, つるが多い場合は二段刈りやその整理などの行為が多くなり, エントロピーが高くなることによるものであろう。なお, 下刈年次, 樹種, 機種の変因項目のウェイトは小さい。これは, 下刈年次や樹種の相違は機械作業にはあまり影響しないことが常識的にも考えられ, 機種の違いも細部の動作に差異はみられても, 今回取りあげた基本的な 4 行為の差異までには影響しないと考えられ, 一応納得できる分析結果となっている。

行為遷移エントロピーを外的基準とした分析結果は, Table 6 に示すとおりである。

重相関係数は 0.716 になって, 一応ここで取りあげた森林作業環境の構造を示す要因によって説明できることを示しているが, 前述の行為出現エントロピーに比較すると低い。

また, 偏相関係数は「傾斜」0.513, 「植栽本数」0.324, 「植生の疎密」0.313 とつづき, 「機種」, 「樹種」, 「植生比」, 「下刈年次」と順に小さくなっている。レンジは「傾斜」0.296, 「植生の疎密」0.230, 「植栽本数」0.153 が大きく, 「植生比」, 「機種」, 「樹種」, 「下刈年次」と順に小さくなっている。

この結果からみると, 行為遷移エントロピーに影響する要因としてウェイトの大きなものは, 傾斜, 植栽本数, 植生の疎密の 3 要因で, 行為出現エントロピーに影響する要因とほとんど同様であった。

項目別では, 傾斜は「 $\sim 15^\circ$ 」, 「 $16\sim 30^\circ$ 」, 「 $31^\circ\sim$ 」と勾配が急になるにしたがいエントロピーが高く, 植栽本数は「2,700 $\sim$ 3,500 本/ha」より「5,000 $\sim$ 6,000 本/ha」が, 植生の疎密は「疎」, 「中」, 「密」の順に高くなっている。この場合, 前述の行為出現エントロピーと同様の傾向であるため, 細部の説明は省略するが, 森林作業環境の構造が複雑で変化している場合には, 歩行・移動, 作業の中断, 休息などの行為の変換が多くなることを示しているといえる。

4. 行為エントロピーによる森林作業環境の分類

次に, 下刈作業行動の定量化である行為出現エントロピーと行為遷移エントロピーを外的基準とし, 森林作業環境の構造を示す 20 項目の要因に反応させた数量化 I 類の分析結果を用いて, 大胆ではあるが森林作業環境の分類を行なってみた。

分類に用いた基準は, 数量化の分析結果でウェイトの大きい傾斜 ($\sim 15^\circ$, $16\sim 30^\circ$, $31^\circ\sim$), 植栽本数 2,700 $\sim$ 3,000 本/ha, 5,000 $\sim$ 6,000 本/ha, 植生の疎密 (疎, 中, 密) の要因項目 ($3\times 2\times 3$) の 18 通りの組合せから得られる行為出現エントロピーと行為遷移エントロピーの数値である。そして, 傾斜, 植栽本数, 植生の疎密の 3 要因の該当するカテゴリースコアと, その他 4 要因の平均スコアの総和から 18 通りについて行為出現エントロピー (I_1) と行為遷移エントロピー (I_2) を求めると, $I_1=0.914\sim 1.736$ (bit), $I_2=0.427\sim 1.108$ (bit) の範囲で得られた。

行為出現エントロピーおよび行為遷移エントロピーの高い要因項目の組合せは、次のとおりである。

(1) 傾斜は「31°～」，植栽本数は「5,000～6,000 本/ha」，植生の疎密は「密」なもの ($I_1=1.736$, $I_2=1.108$)。

(2) 傾斜は「16～30°」，植栽本数は「5,000～6,000 本/ha」，植生の疎密は「密」なもの ($I_1=1.663$, $I_2=1.106$)。

(3) 傾斜は「31°～」，植栽本数は「5,000～6,000 本/ha」，植生の疎密は「中」なもの ($I_1=1.612$, $I_2=1.005$)。

また、数値の低い要因項目の組合せは、次のとおりである。

(1) 傾斜は「～15°」，植栽本数は「2,700～3,500 本/ha」，植生の疎密は「疎」なもの ($I_1=0.914$, $I_2=0.427$)。

(2) 傾斜は「～15°」，植栽本数は「2,700～3,500 本/ha」，植生の疎密は「中」なもの ($I_1=1.030$, $I_2=0.427$)。

(3) 傾斜は「16～30°」，植栽本数は「2,700～3,500 本/ha」，植生の疎密は「疎」なもの ($I_1=1.155$, $I_2=0.658$)。

以上のように、森林作業環境の構造を示す傾斜，植栽本数，植生の疎密の要因による18通りの層別化

Table 7. 森林作業環境の分類
Classification of the operational environment in the forest

型 Type	森林作業環境の構造 Structure of forest operational environment			行為出現エントロピー(bit) The occurrence entropy of the action	行為遷移エントロピー(bit) The transitional entropy of the action	作業能率 (m^2/hr) Operational efficiency
	植栽本数 (本/ha) Number of planted trees	傾斜(度) Slope angle	植生の粗密 Vegetation density			
I	2,700～3,500	< 15°	粗, 中 Sparse, Medium	< 1.04	< 0.57	426 <
II	2,700～3,500	< 15°	密 Dense	1.05～1.17	0.58～0.73	401 ～ 425
		16° <	粗 Sparse			
	5,000～6,000	< 15°	粗 Sparse			
III	2,700～3,500	16° <	中 Medium	1.18～1.33	0.74～0.86	371 ～ 400
	5,000～6,000	< 15°	中 Medium			
IV	2,700～3,500	16° <	密 Dense	1.33～1.50	0.87～0.96	341 ～ 370
	5,000～6,000	< 15°	密 Dense			
		16° <	粗 Sparse			
V	5,000～6,000	16° <	中, 密 Medium, Dense	1.50 <	0.97 <	< 340

によって、行為出現エントロピーと行為遷移エントロピーを指標とした森林作業環境の分類が一応可能となる。

しかしながら、森林作業環境の構造を表現する場合、あまり細分化することは繁雑になって意味なくなる。特に、ここで用いた行為出現エントロピーと行為遷移エントロピーの数値は、実際に 18 通りの組み合わせによる分類では、18 通りのすべてに大きな差異はみられず、森林作業環境の構造を示す要因の有効な分類は期待できないように考えられる。

そこで、傾斜、植栽本数、植生の疎密の 3 要因による 18 通りの組み合わせから得られた行為出現エントロピーと行為遷移エントロピーの数値を、近似したもののグルーピングによって取りまとめた。その結果は Table 7 に示すとおりである。

なお、この場合の作業能率は、Table 7 に示した I_1 および I_2 の数値を用い、III の 2 の重回帰分析によって得られた (3) 式から求めたものである。

実際には、わずか 54 例の分析資料を 20 の要因項目に反応させた数量化の結果を基にした分類であるため、解釈上からは不十分な面もあるが、一応森林作業環境の構造を行為出現エントロピーと行為遷移エントロピーの両者を指標として明らかにすることができた。

さらに、行為出現エントロピーと行為遷移エントロピーの両者は作業行動の差異を定量的に表現できるため、この行為出現エントロピーと行為遷移エントロピーの両者は、作業能率などの目的関数につながる媒介変数として活用できることがうかがわれる。

以上のように、森林作業環境を人間の作業行動に着目して評価するようとき、このエントロピーを指標とする情報量的計量値は非常に役だつてであろうと考えられる。そして、作業方法、作業能率など作業計画に関する問題解明へ発展させることが重要であり、意義もあるであろうと思われる。

ま と め

本報では、森林作業環境と人間との関係をシステムとしてとらえ、アウトプットである人間の行動分析に情報理論を適用し、作業行動を情報量の概念によるエントロピーとして定量し、これを指標にして森林作業環境を把握することを目的とした。

分析例として下刈作業行動を、作業している状態、歩行・移動の状態、作業中断の状態、休息の状態の 4 行為に分類した (Fig. 2)。そして、この 4 行為の出現の仕方の複雑さや行為相互の変換関係の複雑さを、行為出現エントロピー (I_1) および行為遷移エントロピー (I_2) として、それぞれ (1)、(2) 式によって定量化した。

$$I_1 = - \sum_{i=1}^4 P_i \log_2 P_i \quad (1)$$

(P_i は W_0 , W_A , S_T , R_E の出現確率)

$$I_2 = - \sum_{i=1}^4 P_i \sum_{j=1}^4 P_{ij} \log_2 P_{ij} \quad (2)$$

(P_{ij} は W_0 , W_A , S_T , R_E の遷移確率)
(P_i は定常確率)

また、行為出現エントロピー (I_1)、行為遷移エントロピー (I_2) の定量化の意味や有効性を探るため、

I_1 および I_2 を説明変数とし、作業能率として実働1時間当りの刈払い面積を目的関数とする回帰分析と、 I_1 および I_2 を外的基準とし、森林作業環境の構造を示す植栽本数、傾斜、植生の粗密などの7要因をアイテムとする数量化I類による分析を行い、それぞれ検討を加えた。

分析結果をまとめると、次のとおりである。

(1) 下刈作業行動の定量化である行為出現エントロピー (I_1)、行為遷移エントロピー (I_2) の両者とも、作業行動の差異をかなり表現しており、 $I_1=0.810\sim1.665$ (bit)、 $I_2=0.432\sim1.260$ (bit) となって全体的に $I_1>I_2$ の傾向がみられた。そして、行為交換のパターンに W_0 を中心とした配列がみられ、 W_0 の出現確率や遷移確率が高い場合には I_1 や I_2 の数値は低く、逆に W_0 の出現確率や遷移確率が低い場合には高くなることがみられた (Fig. 5, Table 1~4)。

(2) 行為出現エントロピー (I_1) および行為遷移エントロピー (I_2) と作業能率の関係は、 I_1 、 I_2 の両者ともにかかなり高い負の相関関係がみられ ($r=-0.868$, $r=-0.747$)、両者の数値が高くなるにしたがい作業能率は低下する傾向がみられた (Fig. 7, Fig. 8)。

(3) 数量化による分析結果は、 I_1 の重相関係数は0.849、 I_2 では0.716と両者ともかなり高く、森林作業環境の構造を示す傾斜、植栽本数、植生の疎密などの7要因によってかなり説明ができる。特に、傾斜、植栽本数、植生の疎密の3要因のウェイトが大きく、3要因を基準にした森林作業環境の分類を試みることができるといえる (Table 5, Table 6)。

(4) 森林作業環境の分類として、数量化による分析でウェイトの大きい傾斜、植栽本数、植生の疎密の各要因項目の組み合わせから、18通りの行為出現エントロピーおよび行為遷移エントロピーを求め、これらの数値を近似したもののグルーピングによって取りまとめた結果、森林作業環境を5段階に分類できた (Table 7)。

このことによって、森林一人間系での森林作業環境を把握し、評価する場合、行為出現エントロピーと行為遷移エントロピーの両者は重要な手がかりになることが考えられる。

文 献

- 1) 阿部英雄・井上四郎吉：育林作業機械化試験 (I)，機械刈払作業工程の低下要因，新潟県林試研報，14，33~57，(1969)
- 2) 甘里俊一：情報理論，ダイヤモンド社，255 pp.，(1974)
- 3) 林 正人・上田政信：刈払機の得失調査，日林講，75，509~512，(1964)
- 4) 石井邦彦・渡部庄三郎・辻 隆道：林業の標準工程表あてはめに関する研究 (その5)，作業員の技能度，林試研報，203，33~129，(1967)
- 5) 神崎康一・佐野宗一・和田茂彦・吉村健次郎・山本俊明：下刈作業の能率に関する研究，京大演習林報，39，171~183，(1967)
- 6) 川端幸哉：数量化，農林水産試験研究のための統計的・数学的方法Ⅲ，特論編，農林水産技術会議事務局，1~4，(1975)
- 7) 越村義一：刈払機が生産性および労働量に及ぼす影響について，日林講，77，391~393，(1966)
- 8) 国沢清典：エントロピー・モデル，ORライブラリー14，日科技連，161 pp.，(1975)
- 9) 松田正一：システム理論序説，情報処理システムコース，オーム社，36~41，(1971)
- 10) ————：人間行動モデル I，早大システム科学研究所紀要，6，1~23，(1975)
- 11) MEISTER, D. and RABIDEAU, G. F. (渡辺真一・中井重行監訳)：システム設計とヒューマンファク

- ターズ, 丸善, 180~189, (1971)
- 12) 宮脇一男: 人間の情報処理行動, 人間工学, 1, 3, 13~19, (1967)
 - 13) MUNDEL, M. E. (山内二郎監訳): 動作時間研究の理論と実際, 紀伊国屋, 168~192, (1961)
 - 14) 西沢正久・真下育久・川端幸蔵: 数量化による地位指数の推定法, 林試研報, 176, 1~54, (1965)
 - 15) 奥田吉春・辻井辰雄・石井邦彦・辻 隆道: 林業労働者の作業適応に関する研究, C. C. No. と行動科学的側面からの考察, 林試研報, 270, 43~76, (1975)
 - 16) OSTYEE, D. B. and Good, I. J.: Information, Weight of Evidence, Singularity between Probability Measure and Signal Detection, Lecture Note in Mathematics Springer-Verlag, 1~156, (1974)
 - 17) 竹内 啓: 人間の行動分析における確率モデル, 数理科学, 128, 34~39, (1974)
 - 18) 辻井辰雄: 育林作業機械化試験, 刈払機による下刈作業, 岐阜林試研報, 10, 83~94, (1966)
 - 19) 辻井辰雄・奥田吉春: 森林作業環境の把握方法 (I), 情報理論からの接近, 日林講, 86, 474~475, (1975)
 - 20) —————: 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, 林試研報, 280, 29~46, (1976)
 - 21) 渡部庄三郎, 石井邦彦・辻 隆道: 林業の標準功程表あてはめに関する研究 (その 4), 機械 (チェーンソー, 刈払機) の修正係数, 林試研報, 203, 1~32, (1967)
 - 22) 渡辺仁史・池原義郎・浜田 啓・内藤博幸・中村良三: 人間—空間系の研究, その 2, 建築学会大会学術講演梗概集, 473~474, (1972)

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

—An analysis of the environmental factors based on human behavior—

Tatsuo TSUJII⁽¹⁾, Yoshiharu OKUDA⁽²⁾ and Toshimi TANAKA⁽³⁾

Summary

The purpose of this study is to clarify the structure of forest environment where human beings are engaged in forest operation, by grasping forest environment and man as a combined system, and by analyzing the system through human behavior which is a medium between the forest environment and man.

It then aims at the development of the method of grasping the operational environment to which the human behavior in the forest can be related.

The outline of the analysis is as follows :

By analyzing the amount of information which is the complex index of the human behavior, a trial was made of determining the relationship among the human behavior in the weeding work with brush cutter and the operational efficiency, the environmental factors expressing the structure of forest environment.

And in this study we made investigation into the weeding work behavior classified into the following four basic actions.

- (1) W_o : the working state (net weeding operation with brush cutter)
- (2) W_A : the walking state (walking to the next weeding place, with brush cutter)
- (3) S_T : the stopping state (collecting brushes cut, removing obstruction etc.)
- (4) R_E : the resting state (break and rest)

Accordingly a method of measuring the amount of information for indicating the complexity of the weeding work behavior in the forest is as follows :

- (1) The first amount of information

The first amount of information can be calculated from formula (1), after taking into consideration the occurrence probability (P_i) based on the occurrence number of the basic actions (W_o, W_A, S_T, R_E). And this value was named "The occurrence entropy of the action (I_1)".

$$I_1 = -\sum P_i \log_2 P_i \quad (1)$$

where P_i : the occurrence probability

- (2) The second amount of information

The second amount of information can be calculated from formula (2), through the transition probability (P_{ij}) given by the transition matrix among the respective actions and the stationary probability (P_i) among them, since the Markov process is applicable to this case.

And this value was named "The transitional entropy of the action (I_2)".

$$I_2 = -\sum P_i \sum P_{ij} \log_2 P_{ij} \quad (2)$$

where P_{ij} : the transition probability

P_i : the stationary probability

Results obtained from this study are summarized under the following :

(1) The result of calculation of the amount of information in the weeding work behavior is shown in Figure 5 and Tables 1~4.

The occurrence entropies of the actions were calculated in the range of 0.810~1.665 (bit) with the average of 1.306 (bit), and the transitional entropies of the actions were calculated in the range of 0.432~1.260 (bit) with the average of 0.816 (bit).

As a whole, the values of the occurrence entropies of the actions are higher than those of the transitional entropies of the actions.

(2) The relations between the operational efficiencies in the weeding work with brush cutter and the occurrence entropies of the actions or transitional entropies of the actions are shown in Figure 7 and Figure 8.

As shown in Figure 7 and Figure 8, a linear correlation between the operational efficiency and I_1 or I_2 seems to be recognizable, so that it appears possible to apply the regression analysis method in this case.

The correlations between the operational efficiencies and I_1 or I_2 were recognized in a high level of significance ($r = -0.868$, $r = -0.747$).

And in order to estimate the operational efficiency from I_1 or I_2 which showed high correlation with the former, we tried an analysis for the best regression equation. We then obtained the following formula.

$$\hat{Y} = -155.331 I_1 - 37.846 I_2 - 609.681$$

Where, Y is the operational efficiency (m^2/hr), I_1 is the occurrence entropy of the action (bit), and I_2 is the transitional entropy of the action (bit).

(3) The relations between the environmental factors expressing the structure of the forest and the occurrence entropies of the actions or the transitional entropies of the actions were sought by the analysis in accordance with the first of formula of quantification.

The occurrence entropies of the actions or the transitional entropies of the actions were used as the outside criteria, and the seven factors, namely, tree species, weeding year, number of planted trees per hectare, slope angle, vegetation density, vegetation ratio and machine type, were used as items.

Scores of each item and category are shown in Table 5 and Table 6, and synthesized scores of each data by which we can estimate the structure of the forest environment are given as the sum of scores of each item and category.

According to the results, slope angle, numbers of planted trees per hectare and vegetation density had considerable influence on both I_1 and I_2 .

(4) In those analysis, the occurrence entropies of the actions or the transitional entropies of the actions can be used for the classification of the operational environment in the forest.

By way of example, Table 7 shows a classification of the operational environment in the forest.

In the same as the previous report, it may be said that this study is a form of demonstration on the method to grasp the operational environment in the forest, and is a proof of the practical value of forest and man as a combined system. At the same time, there seems to be a possibility of using it in various other operations as well as in the weeding work.