

# 木根構造による温度パターンの分類と表示法

内 富 昭 三\*・嶺 勝 敏\*\*

Temperature-pattern Classification and Displaying Method Based on Tree-root Structure

Syozo Uchitomi\*, Katsutoshi Mine\*\*

## Abstract

The processing of a surface temperature distribution of an object is important to observation and control of the states of various processes and to detection of breakdowns and accidents. Regarding a temperature-pattern as a set of figures enclosed by isothermal closed lines, the pattern set is considered a semiordered set and constitutes tree-root structure. Then we propose the classification method and naming of temperature patterns based on tree-root structure, and discuss the description of the structure and its complexity. Furthermore, for the computer processing based on this method, we verify the temperature-pattern display and reproduction by the computer simulation.

## 1. ま え が き

天気図の等圧線や地図の等高線などで広く利用されているように、閉曲線群による画像表現やパターン認識の研究<sup>1),2),3)</sup>が盛んである。また、温度パターン計測においても、ハード的な手法によって等温閉曲線群で表示する装置が実用化<sup>4),5)</sup>している。このような等温閉曲線群で表わされる種々の形状の2次元温度パターンを明快に分類できる<sup>6)</sup>ことは重要である。

事物を分類するのに木や樹の概念を利用することは、以前からなされてきたが、最近では1次元波形の解析<sup>7)</sup>や2次元画像の閉曲線画素間の構造表示<sup>8)</sup>などにも応用されるようになった。

われわれは、等温線で囲まれた図形間の包含関係にもとづいた温度パターン集合を定義し、この集合の性質から木根構造なる新概念を提案する。ついで木根構造にもとづく温度パターンの分類ならびに命名法、表示法などを示し、さらに本法が工業的に有用であることを例示す

る。

## 2. 温度パターン集合の基本的性質

加熱あるいは冷却されている対象の表面温度は、温度  $t$  の集合  $P$  とみなすことができる。今一次元空間における  $t_1 > t_0$ ,  $t_j < t_0$  ( $t_0$  は基準温度) の部分集合をそれぞれ  $P_+$ ,  $P_-$ ,  $P_{\pm}$  とすると、次式で表現できる。

$$P_+ \triangleq \{t_i \mid t_0 < t_i, t_0, t_i \in \mathbb{R}^1\} \quad (1)$$

$$P_- \triangleq \{t_j \mid t_j < t_0, t_0, t_j \in \mathbb{R}^1\} \quad (2)$$

$$P_{\pm} \triangleq \{t_i, t_j \mid t_j < t_0, t_0 < t_i, t_j, t_0, t_i \in \mathbb{R}^2\} \quad (3)$$

ここで  $t_0$  は基準温度とする。

これらの2次元空間への写像を考える。(Fig. 1)

$$P_+ \subset \mathbb{R}^1 \xrightarrow{f} P_{\Delta} \subset \mathbb{R}^2 \quad (4)$$

$$P_- \subset \mathbb{R}^1 \xrightarrow{f} P_{\nabla} \subset \mathbb{R}^2 \quad (5)$$

$$P_{\pm} \subset \mathbb{R}^1 \xrightarrow{f} P_{*} \subset \mathbb{R}^2 \quad (6)$$

$P_{\Delta}, P_{\nabla}, P_{*}$  を  $F$  の集合で示すと、

$$P_{\Delta} \triangleq \{uF_{\beta}(S) \mid uF_{\beta}(S) <_{t_0} F_{\alpha}(S); \\ {}_{t_0}F_{\alpha}(S), uF_{\beta}(S) \in \mathbb{R}^2\} \quad (7)$$

$$P_{\nabla} \triangleq \{vF_{\beta}(S) \mid vF_{\beta}(S) <_{t_0} F_{\alpha}(S);$$

\*宇部工業高等専門学校電気工学科

\*\*九州工業大学

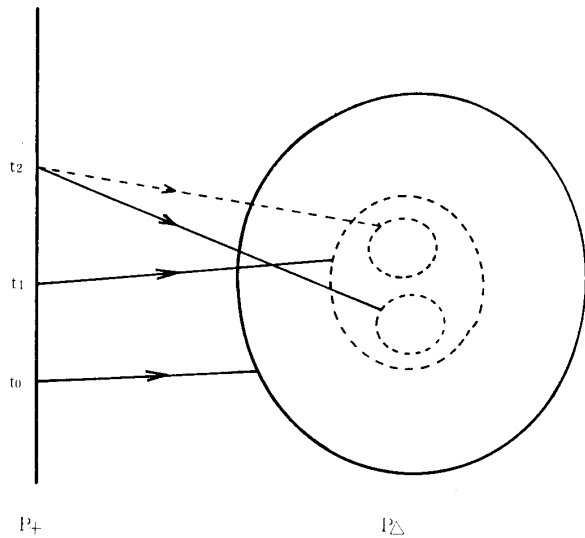


Fig.1 Generation of Temperature-pattern Set

$$t_j F_{\beta}(S), t_0 F_{\alpha}(S) \in R^2 \quad (8)$$

$$P_{*} \triangleq \{ t_j F_{\beta}(S), t_j F_{\beta}(S) \mid t_j F_{\beta}(S) < t_0 F_{\alpha}(S), t_i F_{\beta}(S) < t_0 F_{\alpha}(S); t_0 F_{\alpha}(S), t_i F_{\beta}(S), t_j F_{\beta}(S) \in R^2 \} \quad (9)$$

ここで、 $t_0$  はバックグラウンド温度とし、この温度を基準温度としている。 $t_i, t_j$  は任意の温度値であるから、 $t_i F_{\beta}(S)$  は、 $t$ なる温度の等温線で囲まれた図形の面積を示し、 $\alpha, \beta$ はその図形の位置を、 $S$ は形状を示す係数列である。この $t_i F_{\beta}(S)$ をパターン関数と称し、 $P_{\Delta}, P_{\nabla}, P_{*}$ をパターン集合と称することにする。したがって、(7), (8), (9)式は表面温度分布を表現しており、 $P_{\Delta}$ は加熱形パターンを、 $P_{\nabla}$ は冷却形パターンを、 $P_{*}$ は加熱冷却形パターンを示す。温度パターン集合の基本的性質には以下のものがある。

- (1) 等温閉曲線は交わらない。
- (2) 温度パターン集合の要素は、温度がパラメータであるので、有限集合である。
- (3) 上限、下限が存在する。
- (4) 同峰、同谷内では、等温閉曲線図形の包含関係と、面積・温度についての順序関係が成立し、これらは互いに逆対応する。
- (5) 半順序集合である。
- (6) 完備な有限束をなす。
- (7) 加熱形温度パターン集合では、各元の合併集合はバックグラウンド(B.G.)となり、同峰内での積は最高温度の元となる。同様に冷却形温度パターン集合では、同谷内での積は最底温度の元となる。
- (8) 加熱形温度パターンは木構造となり、冷却形温度

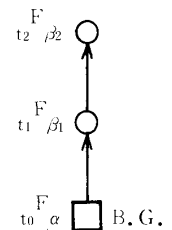
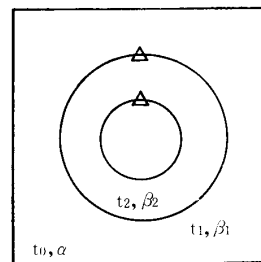
パターンは根構造となる。

### 3. 温度パターンの木根構造による分類

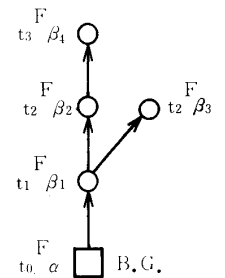
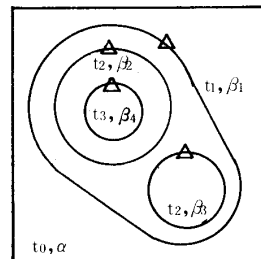
対象表面上の温度パターンを木根構造なる概念にもとづいて、以下のように分類する。

- [1] 加熱形(木構造)：幹型、枝型、樹型に分類でき、Fig. 2 (a), (b), (c)のように表示する。
- [2] 冷却形(根構造)：幹根型、枝根型、根型に分類でき、Fig. 3 (a), (b), (c)のように表示する。
- [3] 加熱・冷却形(木根構造)：単純形と複合形に大分類し、各以下のように小分類する。

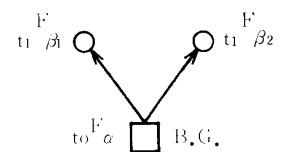
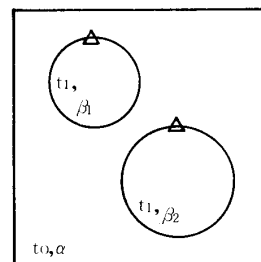
(a)単純形は木構造と根構造の単純組合せで以下



(a) Trunk Type



(b) Tree Type

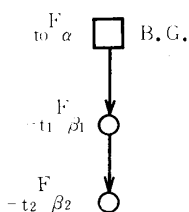
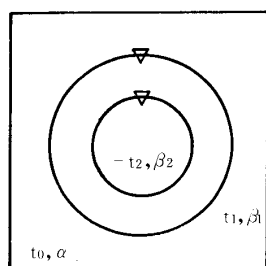


(c) Branch Type

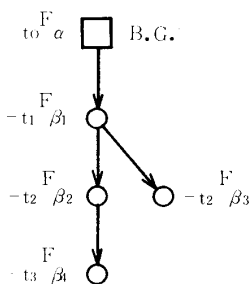
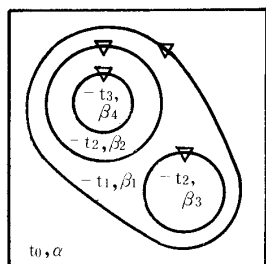
Fig.2 Classification of Temperature - pattern (Heating Type)

の9種に分類できる。幹一幹根型、幹一枝根型、幹一根本型、枝一幹根型、枝一枝根型、枝一根本型、樹一幹根型、樹一枝根型、樹一根本型。代表的な例として、樹一根本型を Fig. 4 に示す。これら木根構造においては、バックグラウンド (B.G.) を始点として、矢印の方向に包含関係が成立し、温度値の順序関係と逆対応する。

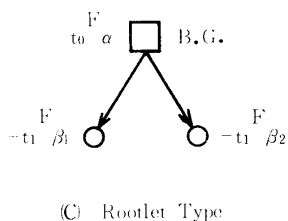
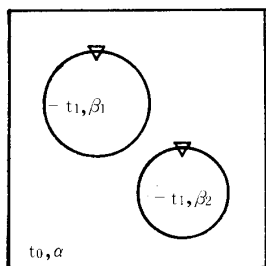
(b)複合形は加熱部と冷却部が、互いにどちらか一方を包含して共存する場合で、例えば Fig. 5 のように、加熱形温度パターンの内部に冷却形 (冷却点) が存在する場合をいう。この例に示す構造を逆幹型と名付ける。その他の例として、樹逆枝型を Fig. 6 に、逆幹根型を Fig. 7 に示す。



(a) Main root Type

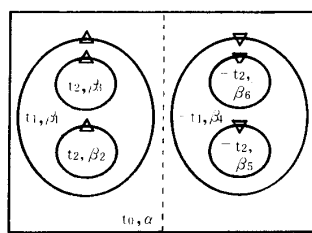


(b) Root Type



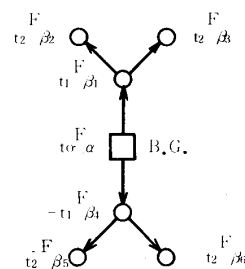
(c) Rootlet Type

Fig.3 Classification of Temperature - pattern (Cooling tipe)

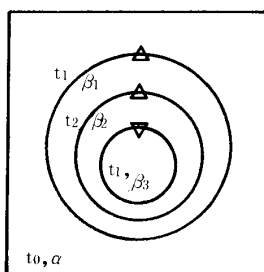


Heating Cooling Type

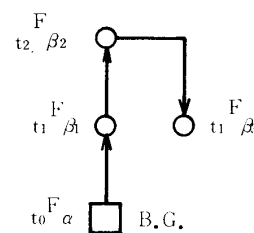
Fig.4 Classification of Temperature-pattern



Tree-root Structure

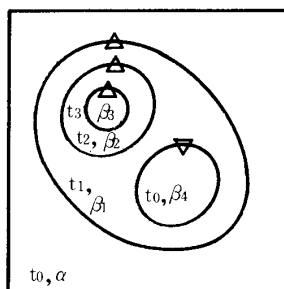


Heating Cooling Type (Complex Type)

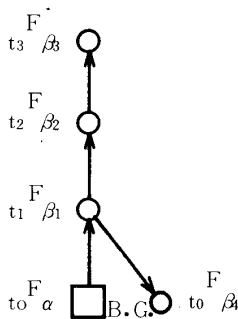


Inverse Trunk Type

Fig.5 Classification of Temperature-pattern

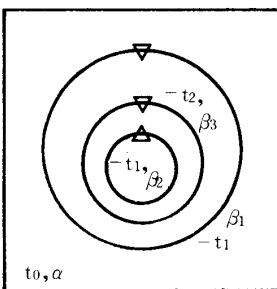


Heating Cooling Type (Complex Type)

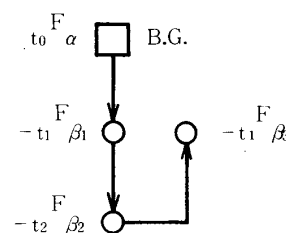


Tree-Inv.Branch Type

Fig.6 Classification of Temperature-pattern



Heating Cooling Type (Complex Type)



Inv.Mainroot Type

Fig.7 Classification of Temperature-pattern

4. 木根構造の記号化と複雑度

ここでは、木根構造の記号化と構造の複雑度について述べる。

4. 1. 構造記述法

木根構造をコード化することは、パターンをコード化することであるから、構造を比較したり、記述や記憶の手段として有効である。その方法は種々考えられるが、本報ではその1つを記述する。木部と根部を別々にして、連結されている節番号だけをまとめる。連結木構造を  $T_i$  連結根構造を  $R_j$  とし、 $i$  と  $j$  は連結番号とする。括弧内の整数は節番号を示す。例えば、Fig. 8 のような木根構造の場合、木部では、

$$\left. \begin{array}{ll} T1 = (1, 2) & T5 = (5, 7, 8) \\ T2 = (2, 3, 4, 5) & T6 = (6, 0) \\ T3 = (3, 0) & T7 = (7, 0) \\ T4 = (4, 6) & T8 = (8, 0) \end{array} \right\} (10)$$

根部では、

$$\left. \begin{array}{ll} R1 = (1, 2) & R3 = (3, 0) \\ R2 = (2, 3, 4) & R4 = (4, 0) \end{array} \right\} (11)$$

これらから、この木根構造を表示するコードを  $TR$  とすれば、左括弧の順番を節番号に替えて、極点の部分の(0)を省略できるとすれば、次のように書ける。

$$TR = T(2)(3,4,5)(0)(6)(7,8)R(2)(3,4) \quad (12)$$

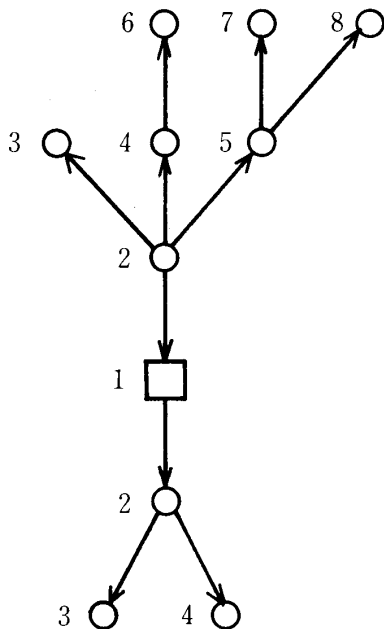


Fig. 8 Example of Tree-root Structure

逆構造をもつ場合は  $T_i$  または  $R_i$  表示において、左端の節番号より小さい番号が同じ括弧内にあれば、その節は逆構造の節である。

構造コードは、一意的に連結コード  $T_i$  や  $R_i$  を生成することが可能であるから、構造表示や記憶・再生に利用できる。

4. 2. 構造の複雑度

複雑度は、等温線の数(節の数)と頂点(極点)の数で表わす。節の数を  $n$ 、頂点の数を  $p$ 、逆の数を  $\phi$  とすると、木構造は  $H(n,p)$ 、根構造は  $C(n',p')$ 、単純形木根構造は  $HC(n,p)(n',p')$ 、複合形木根構造では逆構造があるので  $HI(n,p)(\phi)$ 、 $CI(n,p)(\phi)$ 、および  $HICI(n,p)(\phi)(n',p')(\phi')$  と表わす。

5. 等温線付木根構造の表示例

温度パターンを等温線付木根構造で表示し、記憶するためには、等温閉曲線の温度、図心の位置、面積、形状および木根構造である。例題に入るまえに前処理法について述べる。

温度分布の2次元配列から等温線を探索する。ここで求めた等温座標列は  $\{S_i\} = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_m\}$   $i, (i=1, 2, \dots, n)$  で  $n$  は等温線の数、 $m$  は閉曲線を構成する座標の数である。この  $\{S_i\}$  に基づいて、位置、面積、形状および構造を求めていく。

図心  $\beta(x_c, y_c)$  は次式で表わされる。

$$\begin{cases} x_c = \frac{\sum_{k=1}^m \Delta A_k x_k}{\sum_{k=1}^m \Delta A_k} & (13) \\ y_c = \frac{\sum_{k=1}^m \Delta A_k y_k}{\sum_{k=1}^m \Delta A_k} & (14) \end{cases}$$

また、面積  $F$  をヘロンの公式により、各等温座標  $(x_k, y_k)$   $k=1, 2, \dots, m$  と  $(x_c, y_c)$ 、で求めると次式となる。

$$F = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{m-1} (x_k y_{k+1} - x_{k+1} y_k + x_{k+1} y_c - x_c y_{k+1} + x_c y_k - x_k y_c) + \frac{1}{2} (x_m y_1 - x_1 y_m - x_c y_1 + x_c y_m - x_m y_c) \quad (15)$$

次に図心  $\beta_i$  に着目して、相隣る温度パターン関数  $F_{\beta_i}(S)$  と  $F_{\beta_{i-1}}(S)$  の包含関係を  $\beta_i$  と  $\beta_{i-1}$  の距離を算出して調べることににより、節の連結状態を作っていく。そこで、木根構造の記述法に基づいて、連結コード  $T_i$  と  $R_j$  を記憶していくと、木根構造を生成することができる。

温度パターンのシミュレーションとしては、2次元ラプラス方程式  $\nabla^2 T = 0$ 、 $\nabla^2 = \partial^2 / \partial x^2 + \partial^2 / \partial y^2$  の境界値問題を、加速リープマン法に基づく近似計算法により、平面上の各格子点温度を求めた。Fig. 9(a)は2点加熱、

2点冷却の温度パターンを3次元表示したものである。また(b), (c)はそれぞれ(a)を木根構造表示したものと, (a)の等温線表示である。この構造の表示コードは, TR=T(2)(3)(4,5) R(2,3) で複雑度は HC(4,2)(2,2)と書ける。

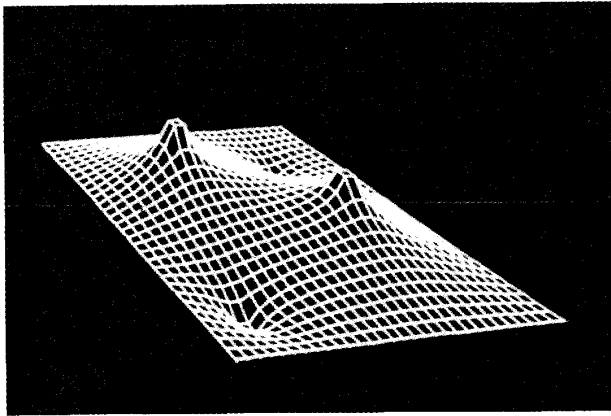
6. む す び

本報は, 木根構造という新概念にもとづいた温度パターンの分類および命名法であり, 以下に述べる特徴がある。

- (1) 表示法が単純明快である。
- (2) オンライン計算機処理に適している。
- (3) 定性的な面と定量的な面をあわせ持っている。
- (4) 構造把握が容易で, データの保存に有利である。

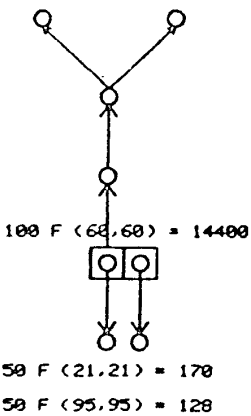
さらに本法は, 等高線図や等圧線図に関しても適用可能と思われるので, 広い分野のパターンの分析や管理及び予防の基礎資料を作成する上で有用であると信じる。

工業用温度パターンの実測例などについては, 別報で報告する。

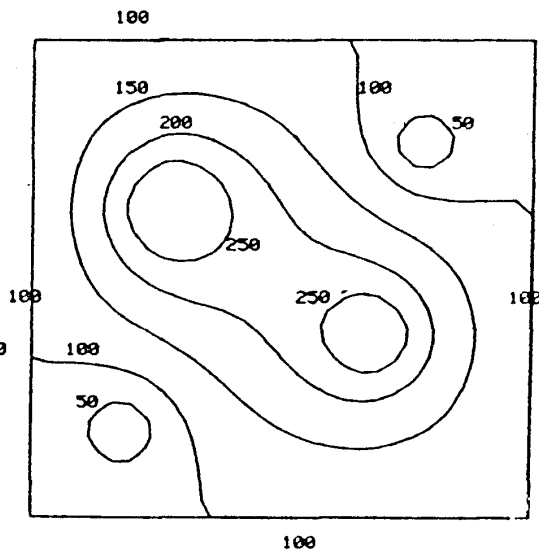


(a) Three dimensional display

250 F (36.77) = 508  
 250 F (80.47) = 306  
 200 F (57.63) = 2762  
 150 F (58.62) = 5617



(b) Tree-root structure



(c) Picture of isothermal lines

Fig.9 Example of tree-root structure based on Laplace's equation using mini-computer

## 参 考 文 献

- 1) C.T.Zahn & R.Z.Roskies:Fourier Descriptor for Plane Closed Curves,IEEE Tr. C-12-3,269-281 (1972)
- 2) E.Kawaguchi & T.Endo:On a method of Binary picture Representation and Its Application to Data Compression, IEEE Tr. PAMI-2-1, 27/35 (1980)
- 3) G.Nagy & S.Wagle (原野・四茂野訳):地理データの処理, コンピュータサイエンス bit,11月号別刷, 41/82 (1980)
- 4) 豊田弘道:サーマルマッピング, 計測と制御 11-1, 74/78 (1972)
- 5) 松井, 中井:産業用テレビジョン装置 (ITV) を利用した温度の測定, 計測と制御 3-6,453/456 (1964)
- 6) R.O.Duda & P.E.Hart:Pattern Classification and Scene Analysis,John Wiley & Sons (1973)
- 7) P.V.Sankar & A.Rosenfeld:Hierarchical Representation of Waveforms,IEEE Tr. PAMI-1-1,73/80 (1979)
- 8) G.M.Hunter & K.Steiglitz:Operations on Images Using Quad Trees,IEEE Tr. PAMI-1-2,145/153 (1979)

(昭和57年9月16日受理)