

防災意識の風化過程のモデル化に関する基礎的考察*

Modeling the Degrading Process of Disaster Prevention Awareness - A Basic Approach -

杉森直樹[†]・岡田憲夫[‡]

By Naoki SUGIMORI and Norio OKADA

1 はじめに

防災に関する社会基盤整備には、緊急時の避難施設や河川や海岸の堤防の整備など、行政が主体となて行われる施設整備（ハードな社会基盤整備）に加えて、水防災訓練や予警報のためのコミュニケーション態勢の構築などのソフト面での対応（ソフトな社会基盤整備）も含まれる。きめの細かな防災事業を展開するためには、双方が総合的に調和した社会基盤整備が重要となる。そのためには、特にソフト面において、住民側による積極的なコミットメントが持続される必要がある。すなわち、地域（コミュニティ）住民の防災意識の維持、高揚が肝心である。そのためには、防災意識の程度（活性度）を何らかの形で計測可能な指標で表すとともに、その長期的変動特性をメカニズムとしてモデル化することが必要である。さらに、指標化された防災意識の活性度を性能水準（Performance Criterion）とした上で、それを何らかの形で適切にマネジメントするための政策的知見を提示することが求められている。

そこで本研究では、地域（コミュニティ）の防災意識の活性度を計量指標化するための一つの有効なアプローチを導入する^{1) 2) 3)}。次に、その長期的変動過程のメカニズムを、コミュニティ構成員間の動的相互作用過程としてモデル化する。その際、Ising スピン模型とのアナロジーに着目し、クラスターの形成によるパーコレーション（浸透）^{5) 6) 7)}の動的過程としてモデル化する。

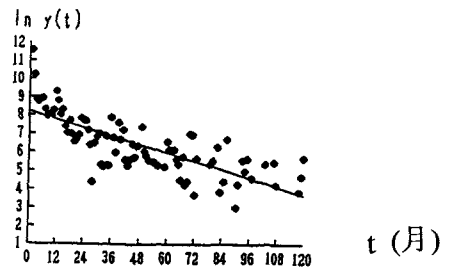


図-1: 防災意識の活性度の減衰モデル

2 新聞報道を用いた活性度の変動測定例

杉森¹⁾、杉森 *et al*²⁾、岡田³⁾ は、防災意識の総体を直接取り上げるのではなく、表象化している現象を観察、測定することによって、それを間接的に推定していくアプローチを提案した。その際、「表象化している現象」として新聞報道を取り上げている。新聞報道はその中身そのものではなく、その社会的情報伝達手段としての量的側面（メッセージ量）に着目した。その上で、新聞報道量の量的インディケータを提案し、防災意識の活性度の長期的変動過程を推定するモデルを提案した。すなわち、対象地域としては、長崎市を取り上げ、昭和57年の長崎大水害⁴⁾を起点とした防災意識の変遷過程を推定し、地元紙である「長崎新聞」を対象として、この長崎大水害に関する記事を、被災後10年間にわたって追跡し、防災意識の減衰モデルを導出した。結果を図-1に示す。図-1の横軸は長崎大水害から経過した月（ t ）を、縦軸は報道量（ y ）の自然対数を表す。ただし、1行13文字分の面積を報道量の1単位と定義する。また、図-1の直線は傾向線として線形回帰直線を当て

*Key words . 防災計画, 計画基礎論, システム分析論, 意識調査分析

[†]正員・修士（工学）・中央復建コンサルタンツ（株）計画設計部・532 大阪市淀川区東三国町 3-5-26・TEL 06-393-1198

[‡]正員・工学博士・京都大学防災研究所水資源研究センター教授・611 宇治市五ヶ庄・TEL 0774-32-3111 学内（3265）・FAX 0774-32-3093

はめたものであり、次式で表される。

$$\ln y = -0.038t + 8.191 \quad (1)$$

この結果、得られた防災意識の活性度の時系列曲線は、時間の経過とともに遞減する形をとることが判った。従って、少なくともこのように指標化された防災意識は、時間の経過とともに風化する性質があることがうかがえる。従ってその風化をどのように抑止し、それをどのように励起するかという点が、防災意識のマネジメントを行う上で明らかにされなければならない。そのためには、まず、上述のように観測・計測される防災意識の活性度について、それが風化する過程の内部機構を同定する必要がある。3ではそのための基本的なモデルを提案する。

3 防災意識の風化におけるコミュニティの内部機構のモデル化

(1) 物理モデルによる風化過程の記述

(a) 風化過程の浸透理論的記述

まず、系の構成員と各構成員がもつ状態変数を定義する。コミュニティを一辺 $L = 40$ (格子数 $N \stackrel{\text{def}}{=} L^2 = 1600$) の2次元正方格子に模し、1つの格子(これを浸透理論に倣ってSiteと呼ぶ)をコミュニティ内の一構成世帯とする。これにより、一世帯3ないし4人家族と推定すれば、約5,600人規模の一自治区規模のコミュニティを想定する

各Site i は、固有の状態変数 σ_i をもち、変数の値は1 (Site i が日常的状态にあるとき) と0 (Site i が非日常的状态にあるとき) の2値をとるとする。ここで非日常的状态とは、被災直後の状況や、被災の危険性のある状況のために防災意識がそのSiteにおいて活性化されている状態と定義する。逆に、日常的状态とは、日常性に埋没する結果、防災意識がそのSiteにおいて活性化されていない状態と定義する。

以上の定義のもとで、風化過程を次のとおりに記述する。まず、被災直後から防災意識が風化する過程を、「被災」という「焼き入れ」の状態からの「焼き鈍し (Annealing)」過程と解釈する。すなわち、風化過程を、 $\sigma_i = 1$ であるSiteで構成されるクラスターが系を浸透していく過程として記述する。次に、最隣接近傍の位置にある2つのSite i 、 j において

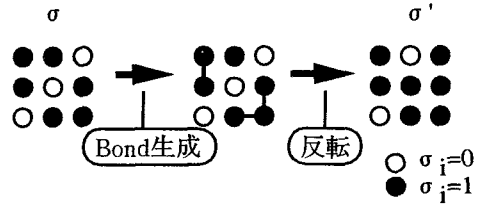


図-2: アルゴリズムの概要

$\sigma_i = \sigma_j = 1$ であるならば、予め設定した Bond 生成確率によって、その隣接 Site 間に Bond が生成されたとする。さらに、予め設定した反転確率で各 Site ごとに σ_i の値がもう一方の値に反転する。

これは次のような、内部機構を解釈するための仮説に基づいていることを意味する。すなわち、ある構成員集団において防災意識が活性化化する状態は、構成員が個々に自律的・自発的に防災意識を活性化した結果の総体によるものであると仮定する。また、Site 間の Bond 生成を風化によって再活性化されない関係と解釈し、Bond で隣接 Site にリンクされない Site (孤立 Site) のみが、状態遷移の自由度を有すると仮定する。そこで、反転確率を孤立 Site のみに与え、反転確率に従って孤立 Site は反転する。

以上により、シミュレーションの Step を重ねるほど、Bond で結ばれたクラスターが成長していき、やがては系を浸透する巨大クラスターが出現するメカニズムが構造化される。(図-2参照)

(b) 活性度の Ising モデルによる記述

次に、活性度を系の状態変数の関数で表現する。モデル化にあたっては、隣接 Site 間の相互作用をエネルギー関数に組み込んだモデルとのアナロジーを考える。その際、磁性のモデル化に用いられる Ising モデルのハミルトニアンや、格子気体モデルのエネルギー関数³⁾を参考にした。すなわち、本研究においては、活性度関数 $H(\sigma)$ ($\sigma = \{\sigma_i\} (i = 1, 2, \dots, N)$) を以下の通りに定義する。

$$H(\sigma) \stackrel{\text{def}}{=} - \sum_{\langle i,j \rangle} J_{ij}(\sigma_i \sigma_j - 1) - \sum_i h_i(\sigma_i - 1) \quad (2)$$

ただし、以上の式中の $\sum_{\langle i,j \rangle}$ は、最隣接近傍 Site 間の和を示す。(2) 式の右辺第1項の中の $\sigma_i \sigma_j$ は、Site i とその最隣接近傍である Site j との間の相互関係

が日常的か否かを示す指標である。すなわち、

$$\sigma_i \sigma_j = \begin{cases} 0 & \text{非日常的相互関係} \\ 1 & \text{日常的相互関係} \end{cases} \quad (3)$$

とし、Site i と Site j のうち少なくとも一方が非日常状態であるならば、相互関係は非日常的であるとす。 (2) 式 では、隣接 Site 間で非日常的相互関係である Site が多いほど系全体の活性度は高いと仮定した。ここで、(2) 式の右辺第 1 項の J_{ij} は、各 Site 間の相互関係が系全体に及ぼす影響度の重みである。非日常的関係である Site が多いほど活性度が高いと仮定して、 $J_{ij} \geq 0$ とする。

次に (2) 式の右辺第 2 項は、各世帯の状態が系全体の活性度に及ぼす影響度を評価したものである。すなわち、非日常性状態 ($\sigma_i = 0$) の Site が多いほど活性度が高いと仮定した。 h_i は、各 Site の非日常性が系全体に及ぼす影響度の重みであり、非日常的 Site が多いほど系全体の活性度が高いと仮定して、 $h_i \geq 0$ とする。

(c) クラスタールゴリズムの導入

(a) で言及した Bond 生成確率と孤立 Site 反転確率の値のとり方は、Swendsen-Wang(1990) が磁性体のスピングラスモデルの緩和過程に対して提案したクラスタールゴリズム⁶⁾ に大筋従うこととする。クラスタールゴリズムは、浸透理論における Site や Bond の概念に基づいて、Bond で結び付けられた Site からなるクラスター (孤立 Site は単独で一つのクラスターとする) ごとに、スピンの反転の決定を行うアルゴリズムである。

さらに、本研究では、クラスターの生成法を次の通りに補正する。すなわち、(a) で仮定したように、Bond で結合されたクラスターを生成するのは状態変数 $\sigma_i = 1$ のときのみに限り、複数の Site から成るクラスター上の Site はさらに反転することはないとする。

(d) Bond 生成確率 p_{lm} の導出

本節では、本モデルの Bond 生成確率の導出を、Swendsen-Wang(1990)⁶⁾ がスピングラスモデル (σ_i が 1 と -1 の間を遷移するモデル) に対して示した導出法に従って行う。以下では簡略化のために、 $\{\sigma_i\} = \sigma$ 、 $\{\sigma_i'\} = \sigma'$ とし、 $H(\{\sigma_i\}) = H$ 、 $H(\{\sigma_i'\}) = H'$ と表記する。

まず、Site l と Site m との相互作用をとり除いたハミルトニアンを、以下のように定義する。

$$\begin{aligned} H_{<l,m>} &\stackrel{\text{def}}{=} - \sum_{<i,j> \neq <l,m>} J_{ij}(\sigma_i \sigma_j - 1) \\ &\quad + \sum_i h_i(\sigma_i - 1) \\ &= H + J_{lm}(\sigma_l \sigma_m - 1) \\ &= H + J_{lm}(\delta_{\sigma_l \sigma_m, 1} - 1) \\ &= H + J_{lm} \delta_{\sigma_l \sigma_m, 0} \end{aligned} \quad (4)$$

ただし、 δ はクロネッカーのデルタである。このとき、次に示す分配関数 $Z_{<l,m>}^1$ 、 $Z_{<l,m>}^0$ 、 $Z_{<l,m>}$ を定義する。

$$Z_{<l,m>}^1 \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{\sigma} \exp(-\beta H_{<l,m>}) \delta_{\sigma_l \sigma_m, 1} \quad (5)$$

$$Z_{<l,m>}^0 \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{\sigma} \exp(-\beta H_{<l,m>}) \delta_{\sigma_l \sigma_m, 0} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} Z_{<l,m>} &\stackrel{\text{def}}{=} \sum_{\sigma} \exp(-\beta H_{<l,m>}) \\ &= Z_{<l,m>}^1 + Z_{<l,m>}^0 \end{aligned} \quad (7)$$

ここで、 $\sum_{\{\sigma_i\}} = \sum_{\sigma_1=0}^1 \sum_{\sigma_2=0}^1 \cdots \sum_{\sigma_N=0}^1$ である。また、 β は外性変数である。上式は、 $Z_{<l,m>}$ が、Site l と Site m との相互作用をとり除いたハミルトニアン $H_{<l,m>}$ の分配関数 (状態和を示す) であり、さらにその $Z_{<l,m>}$ に対して、条件 $\sigma_l \sigma_m = 1$ が加わったものは $Z_{<l,m>}^1$ 、条件 $\sigma_l \sigma_m = 0 (\neq 1)$ が加わったものは $Z_{<l,m>}^0$ であることを示す。

それゆえに、

$$\begin{aligned} Z &\stackrel{\text{def}}{=} \sum_{\sigma} \exp(-\beta H) \\ &= \sum_{\sigma} \exp(-\beta H_{<l,m>}) \exp(-\beta J_{lm} \delta_{\sigma_l \sigma_m, 0}) \\ &= Z_{<l,m>}^1 + e^{-\beta J_{lm}} Z_{<l,m>}^0 \\ &= (1 - e^{-\beta J_{lm}}) Z_{<l,m>}^1 + 0 \cdot Z_{<l,m>}^0 \\ &\quad + e^{-\beta J_{lm}} Z_{<l,m>} \end{aligned} \quad (8)$$

そこで、 $p_{lm} \stackrel{\text{def}}{=} 1 - e^{-\beta J_{lm}}$ とおくと、

$$Z = [p_{lm} \delta_{\sigma_l \sigma_m, 1} 0 \cdot \delta_{\sigma_l \sigma_m, 0} + (1 - p_{lm})] \quad (9)$$

となる。(9) 式は、 $\sigma_l \sigma_m = 1$ の関係が固定される確率が p_{lm} 、 $\sigma_l \sigma_m = 0$ の関係が固定される確率が 0、

$\sigma_i \sigma_m$ の値が 1 と 0 ともなり得る確率が $1 - p_{lm}$ の確率であることを示す。よって、Bond 生成確率 p_{ij} は次の通りに定義することが可能である。

$$p_{ij} \stackrel{\text{def}}{=} \begin{cases} 1 - e^{-\beta J_{ij}} & (\text{for } \sigma_i \sigma_j = 1) \\ 0 & (\text{for } \sigma_i \sigma_j = 0) \end{cases} \quad (10)$$

(e) クラスタ反転確率 P の導出

クラスタを反転させる場合、確率過程の詳細釣り合 (detail balance) が保たれることを前提とする。反転確率 P は、Swendsen-Wang(1990)⁶⁾ が外部磁性項 (本モデルでは h_i に相当) のないスピングラスモデルにおいて $\frac{1}{2}$ でよいことを示している。これに対し福本(1994)⁷⁾ は、外部磁性項 h_i が存在する場合のスピングラスモデルにおける反転確率の導出法を示している。そこで以下では、原則的に福本(1994)の導出法に従って導出する。ただし、本モデルとスピングラスモデルは、

1. スピングラスモデルは、 σ_i が 1 と -1 の間を遷移するモデルであるのに対して、本モデルは、 σ_i が 1 と 0 の間を遷移するモデルである (3(1)(a) 状態変数 σ_i の設定法参照)
2. スピングラスモデルでは、 σ_i が 1 と -1 のいずれの場合においてもクラスタを形成するのにに対して、本モデルでは、 σ_i が 1 のときにのみクラスタを形成する (3(1)(a) 内部機構の解釈のための仮説並びに 3(1)(c) クラスタアルゴリズムの導入参照)

という点において異なっており、反転確率の導出にあたって若干の改訂を行っている。

まず、クラスタは、Site 間に存在する Bond 集合 $n = \{n_{ij}\}$ で表現される。ただし、 n_{ij} は、

$$n_{ij} \stackrel{\text{def}}{=} \begin{cases} 1 & (\text{Site } i, j \text{ 間に Bond が存在する}) \\ 0 & (\text{Site } i, j \text{ 間に Bond が存在しない}) \end{cases} \quad (11)$$

とする。これにより、Site の状態 σ_i は、Bond 生成確率 p_{ij} で生成される Bond 変数 $\{n\}$ を介して反転確率 p_i で新たな状態 $\sigma' = \{\sigma'_i\}$ へと遷移すると解釈できる。この確率過程の平衡状態での分布はボルツマン分布、

$$P(\sigma) = \frac{1}{Z} \exp(-\beta H) \quad (12)$$

で表される。このとき、遷移確率 $W(\sigma \rightarrow \sigma')$

$$W(\sigma \rightarrow \sigma') = \sum_n P(\sigma'|n)P(n|\sigma) \quad (13)$$

が、

$$P(\sigma)W(\sigma \rightarrow \sigma') = P(\sigma')W(\sigma' \rightarrow \sigma) \quad (14)$$

を満たせば、詳細釣り合の式が保たれている。⁶⁾

(14) 式は、

$$P(\sigma) \sum_n P(\sigma'|n)P(n|\sigma) = P(\sigma') \sum_n P(\sigma|n)P(n|\sigma') \quad (15)$$

と変形されるから、任意の n について、

$$P(\sigma)P(\sigma'|n)P(n|\sigma) = P(\sigma')P(\sigma|n)P(n|\sigma') \quad (16)$$

すなわち、

$$\frac{P(\sigma')}{P(\sigma)} = \frac{P(\sigma'|n)P(n|\sigma)}{P(\sigma|n)P(n|\sigma')} \quad (17)$$

が成立するような P を選べば良い。⁷⁾

(17) 式の左辺は、

$$\begin{aligned} \frac{P(\sigma')}{P(\sigma)} &= \frac{e^{-\beta H'}}{e^{-\beta H}} \\ &= \frac{\prod_{\langle 1 \rangle \rightarrow \langle 0 \rangle} e^{-\beta J_{ij}} \prod_{\substack{1 \rightarrow 0 \\ 0 \rightarrow 1}} e^{-\beta h_i}}{\prod_{\langle 0 \rangle \rightarrow \langle 1 \rangle} e^{-\beta J_{ij}} \prod_{0 \rightarrow 1} e^{-\beta h_i}} \\ &= \exp\{-\beta(\Delta H_1 + \Delta H_2)\} \end{aligned} \quad (18)$$

である。ただし、

$$\Delta H_1 \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{\langle 1 \rangle \rightarrow \langle 0 \rangle} J_{ij} - \sum_{\langle 0 \rangle \rightarrow \langle 1 \rangle} J_{ij} \quad (19)$$

$$\Delta H_2 \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{1 \rightarrow 0} h_i - \sum_{0 \rightarrow 1} h_i \quad (20)$$

と定義する。

なお、 $\langle 0 \rangle \rightarrow \langle 1 \rangle$ と $\langle 1 \rangle \rightarrow \langle 0 \rangle$ は、それぞれ、 $\sigma_i \sigma_j$ の値が 0 から 1、または 1 から 0 に遷移する過程 (隣接近傍 Site 間における過程) を示し、 $0 \rightarrow 1$ と $1 \rightarrow 0$ は、それぞれ、 σ_i の値が 0 から 1、または 1 から 0 に遷移する過程 (Site 間における過程) であることを示す。

さて、 $P(n|\sigma)$ は、

$$\begin{aligned} P(n|\sigma) &= \prod_{\langle ij \rangle} \left[\{p_{ij} \delta_{n_{ij},1} + (1 - p_{ij}) \delta_{n_{ij},0}\} \delta_{\sigma_i \sigma_j,1} \right. \\ &\quad \left. + \delta_{n_{ij},0} \delta_{\sigma_i \sigma_j,0} \right] \end{aligned} \quad (21)$$

であるから、

$$\begin{aligned}
 \frac{P(n|\sigma)}{P(n|\sigma')} &= \frac{\prod_{n_{ij}=0 \text{ \& } \sigma_i \sigma_j=1} (1-p_{ij})}{\prod_{n'_{ij}=0 \text{ \& } \sigma'_i \sigma'_j=1} (1-p'_{ij})} \\
 &= \frac{\prod_{\langle 1 \rangle \rightarrow \langle 0 \rangle} (1-p_{ij})}{\prod_{\langle 0 \rangle \rightarrow \langle 1 \rangle} (1-p_{ij})} \\
 &= \exp(-\beta \Delta H_1) \quad (22)
 \end{aligned}$$

よって、(17) 式、(18) 式、(22) 式より、 $P(\sigma|n)$ は、

$$\frac{P(\sigma'|n)}{P(\sigma|n)} = \exp(-\beta \Delta H_2) \quad (23)$$

を満たすように選べば良いことが判る。

(23) 式は、

$$\begin{aligned}
 \frac{P(\sigma'|n)}{P(\sigma|n)} &= \exp \left\{ -\beta \left(\sum_{i \rightarrow 0} h_i - \sum_{0 \rightarrow i} h_i \right) \right\} \\
 &= \prod_{1 \rightarrow 0} e^{-\beta h_i} \prod_{0 \rightarrow 1} e^{\beta h_i} \\
 &= \prod_{1 \rightarrow 0} e^{-\frac{\beta h_i}{2}} \prod_{0 \rightarrow 1} e^{\frac{\beta h_i}{2}} \\
 &= \frac{\prod_{1 \rightarrow 0} e^{-\frac{\beta h_i}{2}} \prod_{0 \rightarrow 1} e^{\frac{\beta h_i}{2}}}{\prod_{1 \rightarrow 0} e^{\frac{\beta h_i}{2}} \prod_{0 \rightarrow 1} e^{-\frac{\beta h_i}{2}}} \\
 &= \frac{\prod_{1 \rightarrow 0} \frac{e^{-\frac{\beta h_i}{2}}}{e^{\frac{\beta h_i}{2}} + e^{-\frac{\beta h_i}{2}}} \prod_{0 \rightarrow 1} \frac{e^{\frac{\beta h_i}{2}}}{e^{\frac{\beta h_i}{2}} + e^{-\frac{\beta h_i}{2}}}}{\prod_{1 \rightarrow 0} \frac{e^{\frac{\beta h_i}{2}}}{e^{\frac{\beta h_i}{2}} + e^{-\frac{\beta h_i}{2}}} \prod_{0 \rightarrow 1} \frac{e^{-\frac{\beta h_i}{2}}}{e^{\frac{\beta h_i}{2}} + e^{-\frac{\beta h_i}{2}}}} \\
 &= \frac{\prod_{1 \rightarrow 0} p_i^0 \prod_{0 \rightarrow 1} p_i^1}{\prod_{1 \rightarrow 0} p_i^1 \prod_{0 \rightarrow 1} p_i^0} \quad (24)
 \end{aligned}$$

ただし、

$$\begin{aligned}
 p_i^1 &\stackrel{\text{def}}{=} \frac{e^{\frac{\beta h_i}{2}}}{e^{\frac{\beta h_i}{2}} + e^{-\frac{\beta h_i}{2}}} \\
 p_i^0 &\stackrel{\text{def}}{=} \frac{e^{-\frac{\beta h_i}{2}}}{e^{\frac{\beta h_i}{2}} + e^{-\frac{\beta h_i}{2}}} \quad (25)
 \end{aligned}$$

である。このとき、仮定より、孤立 Site のみが各々独立に反転する。そこで、ある特定 Bond 変数 n を経由する状態遷移 $\sigma \xrightarrow{n} \sigma'$ と $\sigma \xrightarrow{n} \sigma'$ の間では、 $0 \leftarrow 1$ の遷移を行う Site と $0 \rightarrow 1$ の遷移を行う Site は一

致する。 $1 \leftarrow 0$ と $1 \rightarrow 0$ についても同様である。すなわち、

$$\prod_{0 \leftarrow 1} = \prod_{0 \rightarrow 1} \quad \prod_{1 \leftarrow 0} = \prod_{1 \rightarrow 0} \quad (26)$$

である。よって、(24) 式は

$$= \frac{\prod_{0 \rightarrow 1} p_i^1 \prod_{0 \rightarrow 0} (1-p_i^1)}{\prod_{1 \leftarrow 0} p_i^1 \prod_{0 \leftarrow 0} (1-p_i^1)} \cdot \frac{\prod_{1 \rightarrow 0} p_i^0 \prod_{1 \rightarrow 1} (1-p_i^0)}{\prod_{0 \leftarrow 1} p_i^0 \prod_{1 \leftarrow 1} (1-p_i^0)} \quad (27)$$

と変形することが可能である。よって、 p_i^1 及び p_i^0 をそれぞれ 0 から 1 への反転確率、1 から 0 への反転確率としてよいことが判る。

以上から Site i の反転確率 p_i を次の通りに決定することが可能である。

$$p_i \stackrel{\text{def}}{=} \begin{cases} \frac{e^{\frac{\beta h_i}{2}}}{e^{\frac{\beta h_i}{2}} + e^{-\frac{\beta h_i}{2}}} & (\text{Site } i \text{ は孤立、かつ } \sigma_i = 0) \\ \frac{e^{-\frac{\beta h_i}{2}}}{e^{\frac{\beta h_i}{2}} + e^{-\frac{\beta h_i}{2}}} & (\text{Site } i \text{ は孤立、かつ } \sigma_i = 1) \\ 0 & (\text{Site } i \text{ は孤立でないとき}) \end{cases} \quad (28)$$

以上、本アルゴリズムにおいて重要な変数である Bond 生成確率 p_{ij} と孤立 Site 反転確率 p_i を (10) 式、(28) 式の通りに設定できることを示した⁷⁾。このアルゴリズムでは、時間が経つほどクラスターが成長する。その成長 (浸透) 過程が系の防災意識の活性度の風化過程に相当すると捉える。

(2) シミュレーションの手順

「焼き入れ」は、系の状態変数の値を全て 0 に初期化することで再現される。次に、「焼き鈍し」は、 β の値を徐々に上げていく過程^{7) 8)} として再現される。具体的には、 β とシミュレーションの Step 数は、0 に非常に近い正数 α を用いて、

$$\beta(\text{Step}) = \beta_0(1 + \alpha)^{\text{Step}} \quad (29)$$

と設定する。以下、本研究で行ったシミュレーションの手順を示す。

- 1 初期集合 $\sigma = \sigma_0$ 、 $h = h_0$ 、 $\beta = \beta_0$ を与える。
 $\sigma_0 = \{0\}$ 、 $h = \{0\}$ 、 $\beta_0 = 0.01$ と設定したケースをシミュレーションの標準ケースとする。

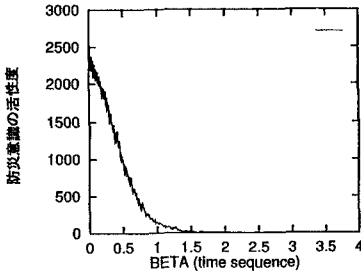


図-3: 標準ケースでの活性度の推移 (β 軸で評価)

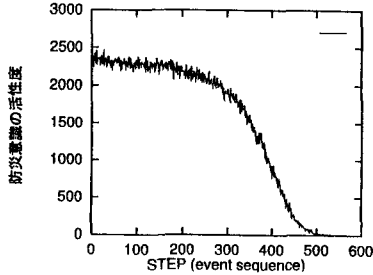


図-4: 標準ケースでの活性度の推移 (Step 軸で評価)

2 次の 2.1 と 2.1 を 1Step として 600Step まで繰り返す。

2.1 σ に対し全ての Bond について生成するかどうかを、(10) 式の確率で決定する。

2.2 2.1 で得られた孤立 Site に対して (28) 式の確率で、反転を否かを決定し、新しい状態集合 σ を求める。

3 $\beta \rightarrow \beta(1 + \alpha)$ とおいて 2 へ戻る。(ただし、 $0 < \alpha \ll 1$)

4 シミュレーションの結果とその考察

(1) 標準ケースの検討

標準ケースにおける活性度の推移を図-3と図-4に示す。さらに、100Step 毎の Bond 生成状況を示す状態遷移図が図-5である。ここで、図-5の状態遷移図は、100Step 毎に、系の Site の状態が反転した後の状態配置と、その過程において Bond が生成した箇所を示す。具体的には、 $N (= 1600)$ 個の Site において、 $\sigma_i = 1$ の Site は、黒のドットで表現し、 $\sigma_i = 0$ の Site は空白とする。また、黒のドットで表現された Site の中、シミュレーションの反転過程において、

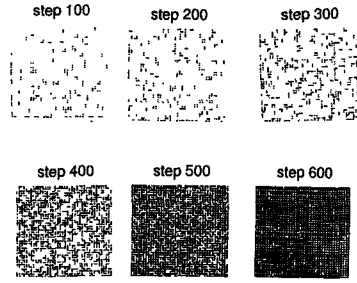


図-5: 標準ケースでの 100Step 毎の状態遷移図

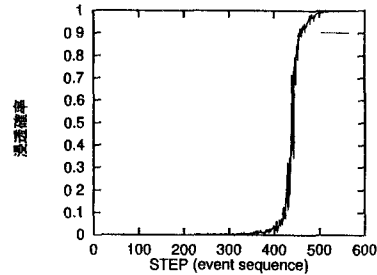


図-6: 標準ケースでの浸透確率の推移 (Step 軸で評価)

Bond が生成されたために反転しなかった箇所においては、ドット間を線分でリンクする。

さて、図-1に示した防災意識の活性度が適切なインディケータであると仮定するならば、その推移パターンと類似し得るのは、図-4よりむしろ図-3の方である。この場合、 β のスケールを time sequence に、Step の間隔を event sequence にそれぞれ対応させて説明づけることが可能である。また、1 Step 間隔に対応する時間間隔が、時間が経てば経つほど大きくなるとも解釈できる。これは、災害から時間を経るごとに Site 間の相互反応過程が緩慢になっていくことを示唆している。

次に、浸透確率の推移を図-6に示す。ここで、浸透確率は、最大クラスターのサイズと系全体のサイズ (N) との比で近似する。図-6より、しきい値となる Step (約 400 近辺) を境に、小さなクラスターが点在している相から大きな 1 つのクラスターが生成される相に転移が起こることが予想される。この点については、図-5の状態遷移図からも確認することが可能である。図-5からは、シミュレーションを開始してから比較的早い時期に (Step 100 頃)、すでに、

$\sigma_s = 1$ となる Site が出現し、そのうちに、Bond でリンクされた Site (Bond を含むクラスター) が出現し、やがて 400Step 頃には、スパニングクラスターへと成長していく過程が確認される。

この一連の過程については、シミュレーションの前期と後期に分けて、以下の解釈が可能である。

(前期)・・被災という「焼き入れ」の後に、住民世帯 (Site) の態度は、日常状態と非日常状態を繰り返す。これは、被災という非日常状態から立ち直って、日常の通常生活に復旧しつつも、時折、昔に遭った災害に対する記憶が蘇り、防災への決意を新たにする様子と解釈することが可能である。また、日常状態へと遷移する Site が存在しても、Bond が生成されにくい状況にあることは、例えば、被害の後遺症が周辺に残っており、比較的、非日常状態に戻りやすい状況であると解釈することが可能である。

(後期)・・日常状態の Site が増え、Bond でリンクされた Site が多く発生する。生成されるクラスターのサイズは一気に増大し、系内は日常の状態が支配して、もはや、非日常的状态に戻らなくなる。これは、災害への記憶が薄らいで、防災意識が風化してしまった後の状態であると解釈することが可能である。

上述した解釈が成立するのであれば、図-1で実測された防災意識の変動現象は、相転移が生起する過程と解釈することが可能である。

あるいは、相転移現象であるとまで断定できなくとも、急激な状態遷移過程として理解し得る事例として、鈴木 *et al* (1994)¹⁰⁾ が測定した社会的災害イメージの変遷過程を挙げることが可能である。鈴木 *et al* は、長崎大水害に対する被災住民の社会的災害イメージの変遷過程を、水害後の1年間に「水」災害イメージが支配的である状態から「土」災害イメージが盛り返し共存するに至る過程と位置づけている。

このような現象の説明には、なお、よりきめの細かな社会調査を実施し、さらに検証を重ねることが求められる。いずれにせよ、標準ケースのシミュレーションによって、実際に発生した表象現象 (防災意識の減衰過程) の再現が可能となった。

さて、本研究における計画論的関心事は、こうした数理モデルにおけるパラメータの操作性の有無、すなわち、

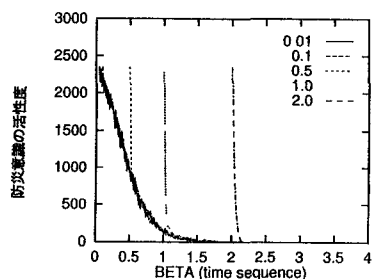


図-7: Case 1 での活性度の推移 (β 軸で評価)

1. パラメータ操作による、防災意識の維持・高揚過程の再現可能性の有無
2. 防災意識の維持・高揚過程の再現に必要なとされる条件と実現象との対応性の有無

を探ることである。そこで、4(2)では、標準ケースのバリエーションと標準ケースとの比較検討を通じて、モデルのパラメータの操作性について議論する。

(2) 標準ケースのバリエーションと標準ケースとの比較検討

(a) β_0 の設定値を操作するケース β_0 の設定において 0.01 (標準ケース), 0.1, 0.5, 1.0, 2.0 の 5 通りの値を与える。(Case 1) 活性度の推移を示す図を図-7に示す。図-7から、シミュレーション開始直後の系は、初期条件のために、非常にエネルギーの高い状態にある。しかし、 β の値に関わりなく、活性度の推移過程は、シミュレーション開始後、すぐに標準ケースと同様の過程をとることが判る。このことは、最初の、初期条件による影響を除けば、 β の初期値の変更は、被災後のコミュニティの動向を追跡するにあたって、その開始時刻を変更することに過ぎないことを意味する。

また、Bond 生成確率 $p_{ij} = 1 - e^{-\beta J_{ij}}$ が J_{ij} と β で与えられることを考慮すると、Bond 生成の制御、すなわち、風化抑止目的の制御の対象となるパラメータが、 J_{ij} に限定されることが推察できる。

次に、シミュレーションの途中で、ある特定の Step 数 (300, 400, 500 の 3 通りを考える) に達したとき、 β の値を初期値 $\beta_0 = 0.01$ に設定し直して、さらにシミュレーションを続行した。(Case 2) 結果を図-8に示す。これより、値が立ち上がる直前の活性度の大小にかかわらず、同程度の活性度に一挙に立ち上

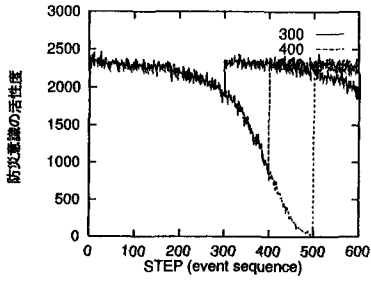


図-8: Case 2 での活性度の推移 (Step 軸で評価)

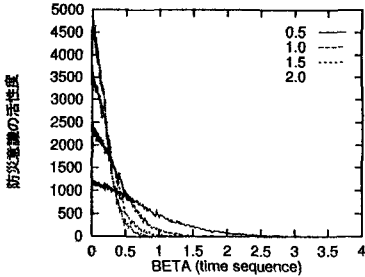


図-9: Case 3 での活性度の推移 (β 軸で評価)

がることから、この β の初期化は、被災という外部からのインパクトを、再度受ける状況と解釈することが可能である。

(b) J_{ij} の設定値を操作するケース $\{J_{ij}\} = \{0.5\}, \{1.0\}$ (標準ケース), $\{1.5\}, \{2.0\}$ の4通りについて検討した。(Case 3) その結果を図-9に示す。これにより、 J_{ij} の値が大きいほど、系の活性度のオーダーが大きいというモデル構築段階の仮定は満たされていることが判る。しかしその一方で、 J_{ij} 値が大きい程、風化の発生する時期が早くなることが判る。それは、(10) 式より J_{ij} の値が大きい程 Bond 生成確率 p_{ij} が大きくなるからである。以上から、 J_{ij} の値が大きい系ほど、防災意識の活性度が高まりやすく、冷めやすい社会、あるいは、外部からの影響に敏感に反応しやすい社会が、適切にモデル化されると解釈できる。

(c) h_i の設定値を操作するケース $\{h_i\} = \{0\}$ (標準ケース), $\{1.0\}, \{2.0\}, \{3.0\}$ について比較検討する。(Case 4) 結果を図-10に示す。

その結果、 h_i の値に関わらず活性度 H は、シミュレーションの初期条件により決定されるある値 H_∞ に収束する性質をもつことが判った。そして、その

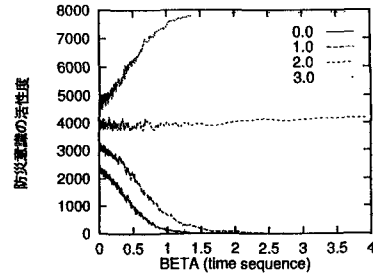


図-10: Case 4 での活性度の推移 (β 軸で評価)

収斂した活性度の値と活性度の初期値との比較から、収斂する過程を次の3パターンに意味づけすることが可能である。

1. $H_\infty > H_0$

過剰に活性化したまま続く過程で、風化を示す浸透クラスターは生成されない。

2. $H_0 \geq H_\infty > 0$

風化の影響を受けつつもある正の値 H_∞ で活性度が安定的に持続する過程。終局的には、防災意識がソフトな社会基盤として地域に根づく過程といえる。

3. $H_\infty = 0$

標準ケースと同じく、終局的には完全に風化してしまう過程

以上の通り、 h_i は、平衡状態におけるコミュニティの活性度値の決定に大きな役割を果たすことが判る。これは、クラスターアルゴリズムにおける反転確率 p_i を導入する際、時間が推移すると共に (β の値が増加するにつれて) 状態変数 σ_i が1から0に反転する確率が1に近づき、逆に0から1に反転する確率が0に近づくように設定したからである。((28) 式参照) そのために、 h_i の値が大きい程、確率 p_i の変化速度が速くなって、このような分岐現象が生じる原因となったと考えられる。よって、防災意識の維持・高揚過程の再現が可能であるという点において、(28) 式の設定は妥当であるといえよう。

次に、右半分の Site は $h=2.0$ に固定し、左半分の Site は $h_i = 1.0$ と $h_i = 3.0$ の2通りについてシミュレートした。結果を図-11と図-12に示す。

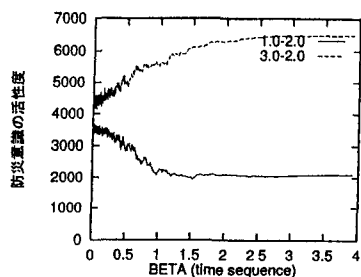


図-11: Case 5,6 での活性度の推移 (β 軸で評価)

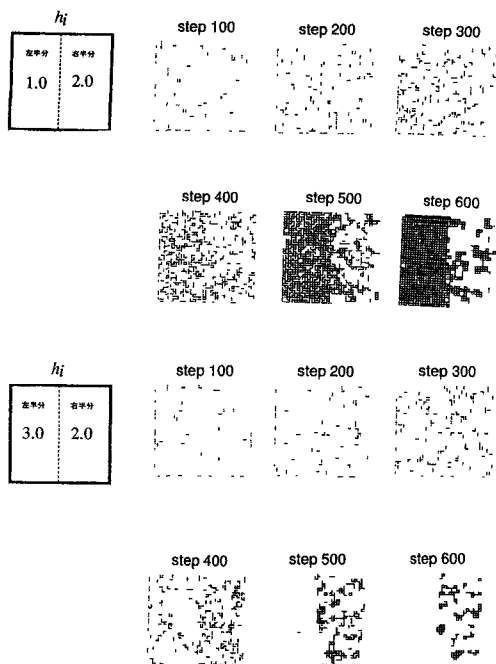


図-12: Case 5,6 での 100Step 毎の状態遷移図

まず、左半分の Site に対して $h_i = 1.0$ を与えた場合、(Case 5)(c)のシミュレーションと同様に、シミュレーション開始時期においては、Bond はほとんど生成されないが、Step が進むうちに随所に Bond が生成されていく。しかし、本ケースでは、400Step 頃になると、左半分には、さらに Bond が生成されて、Bond で埋め尽くされてしまうが、逆に右半分は、非日常状態 ($\sigma_i = 0$ の空白部分) の部分と、Bond でリンクされた部分 (日常状態) とで色分けがなされている。

さらに、左半分を $h_i = 3.0$ に変更し、右半分は $h_i = 2.0$ のままとしたシミュレーションを実施した。(Case 6) 結果 (図-11と図-12) を踏まえて、特にその右半分地域に着目して両シミュレーションを比較すると以下のことが判る。

同一系内であっても、 h_i の値が異なると、Bond の生成される度合いは異なる。 h_i の値が大きい地域ほど、風化の進行し難い地域であることはどちらの結果も同様である。(Case 5) と (Case 6) の右半分の地域は、ともに $h_i = 2.0$ で固定されている。右半分地域の風化の進行速度を比較しても、両ケースにおける差異は、ほとんど観られない。

次に、スパンニングクラスターの生成過程に着目して、両ケースを比較する。(Case 5) では、系の風化が、左半分地域から右半分地域に向かって進行し、ある程度進行した時点で風化が止まっている過程と捉えることが可能である。一方、(Case 6) においては、右半分地域で生じた風化が、右半分地域内でくい止められている過程と捉えることが可能である。このように、 h_i の値の与え方を操作することにより、防災意識の風化の伝播過程を操作することが可能であることが示唆される。

5 むすび

本論文を終えるにあたって、得られた知見を整理するとともに、今後の課題を述べる。

まず、4(1)より、図-1で示す表象現象を 3 で提案した防災意識の風化過程のモデルによって再現し得ることが示された。さらに、4(2)により、 h_i が、風化する防災意識を再活性化する操作パラメータの役割を演じるパラメータであることと、 J_{ij} が、活性度

の時間的弾力性や同化性(暖まりやすく冷めやすいのか、暖まりにくく冷めにくいのか)を記述し得るパラメータとして理解できることが示された。一方、 β は、被災後の時間の推移を表現するパラメータとして理解できることが示された。今後の課題は、以下のようである。

1. パラメータ h_i 、 J_{ij} の値と現実社会との対応性の検討、並びに政策的見地に基づいた制御可能性の検討。
2. さらにより多くの防災コミュニティを想定した場合の防災意識の活性度の動向分析。

こうした課題に取り組むためには、今後、より一層の緻密な調査・分析が必要である。そのためには、シミュレーションモデルで導入したパラメータや作業仮説の妥当性を社会学、社会心理学の見地に基づいて検討する必要がある。こうした検討を重ねることにより、社会調査の結果を踏まえた上で、現モデルを、防災意識の変容過程の内部機構をより適切に説明できるように改善を図りたい。

参考文献

- 1) 杉森直樹：防災意識の風化過程のモデル化に関する基礎的研究, 京都大学修士論文, 1995.
- 2) 杉森直樹, 矢守克也, 岡田憲夫：コミュニティの防災意識形成と変容過程に関する基礎的考察-長崎災害を事例として-, 水文・水資源学会 1993 年研究発表会要旨集, pp14-15, 1993.
- 3) 岡田憲夫：防災意識との関わりからみた傾斜都市のコミュニティ機能活性化戦略, 文部省科学研究費重点領域研究 No. A-4-4, 傾斜都市域の洪水・土砂氾濫災害の予測と軽減・復興対策に関する研究 (研究代表者 高橋保), pp200-204, 1993.
- 4) 高橋和雄：長崎豪雨災害 10 年にみる防災力の現状と課題に関する調査報告書, 長崎大学工学部社会開発工学科, 1994.
- 5) 小田垣孝：パーコレーションの科学, 裳華房, 1993.
- 6) R.H.Swendsen, J. -S.Wang : Cluster Monte Carlo Algorithms , Physica A , North-Holland , Amsterdam , Vol 167 , pp565-579 , 1990.
- 7) 福本恭：クラスター・アルゴリズム法を組み込んだシミュレーティッド・アニーリング法, 京都大学修士論文, 1994.

8) Kirkpatrick, S. , Gelatt, C.D. and Vecchi, M.P. : Optimization by simulated annealing , Science , Vol.220 , pp.671-680 , 1983.

9) Woodward, J.L. : Quantitative newspaper analysis as a technique of opinion research. , Social Forces 12, pp526-537, 1934.

- 10) 鈴木健司, 矢守克也, 岡田憲夫：社会的災害イメージの分析とその基礎的情報の処理システムに関する研究, 平成 6 年度土木学会年次学術講演会, 1994.

謝辞

本研究を遂行するにあたりましては、長崎大学工学部 高橋和雄教授、並びに、奈良大学社会学部 矢守克也助教授からは、多くの知見を戴きました。付して謝辞と致します。

きめの細かな防災事業を展開するためには、行政側のみならず、住民側による積極的なコミットメントが持続される必要がある。すなわち、地域住民の防災意識の維持・高揚が肝心である。そのためには、性能水準としての防災意識の程度(活性度)を適切にマネジメントするための政策的知見を提示することが必要である。そこで本研究では、基礎的研究として、地域住民の防災意識の活性度の計量指標化法と、その長期的変動過程メカニズムに対するコミュニティ構成員間の動的相互作用過程モデルを提案する。その際、イジングスピン模型とのアナロジーが有効であることに着目し、クラスターの形成による浸透の動的過程としてモデル化する。

It is important to create methods of managing disaster prevention awareness (DPA) through development of software architecture. Thus, it is preferable to know in advance how DPA degrades with time.

In this paper, we present a method of measuring the activity of DPA as the performance criterion of the community. Then we propose a model of the degradation process of DPA. We also show that it is possible to describe the dynamic interaction process as a percolation process by combining the Cluster Algorithm with the Simulated Annealing Method.
