

# 防災意識の風化過程のモデル化に関する基礎的考察\*

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

杉森直樹<sup>†</sup>・岡田憲夫<sup>‡</sup>

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、行政が主体となつ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<sup>1) 2)</sup>。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が有効であることに着目し、クラスターの形成によるパーコレーション(浸透)<sup>3)</sup>の動的過程としてモデル化できることを示す。

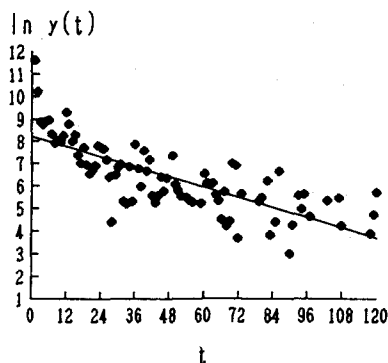


図 1: 防災意識の活性度の減衰モデル

## 2 新聞報道を用いた活性度の変動測定例

杉森 *et al*<sup>1)</sup>、岡田<sup>2)</sup>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年の大水害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

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

<sup>†</sup>学生員・京都大学大学院工学研究科・611 宇治市五ヶ庄・TEL 0774-32-3111 学内(3263)・FAX 0774-32-3093

<sup>‡</sup>正員・工博・京都大学防災研究所水資源研究センター・611 宇治市五ヶ庄・TEL 0774-32-3111 学内(3265)・FAX 0774-32-3093

対数を表す。図の直線は傾向線として線形回帰直線を当てはめたものであり、次式で表される。

$$\ln y = -0.032t + 8.188 \quad (1)$$

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逓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。本章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  $L$  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。各 Site  $i$  は、固有の状態変数  $\sigma_i$  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  $\sigma_i = \sigma_j = 1$  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 が生成されるとする。さらに、予め設定した反転確率で各 Site

ごとに  $\sigma_i$  の値がもう一方の値に反転 (Flip) する。ただし、Bond で他の Site と結合している Site は反転しないとする。すなわち、状態が反転する可能性があるのは、孤立 Site のみであるとする。これにより、シミュレーションのステップを重ねるほど、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。

##### (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

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

(ただし、 $\sigma_i = \pm 1$ 、 $J_{ij}$  と  $h_i$  は定数)

や、格子気体モデルのエネルギー関数<sup>3)</sup>

$$H = - \sum_{\langle i,j \rangle} v_{ij} n_i n_j \quad (3)$$

(ただし、 $n_i = 1, 0$ 、 $v_{ij}$  は定数)

を参考にした。すなわち、活性度関数  $H(\sigma)$  ( $\sigma = \{\sigma_i\}$  ( $i = 1, 2, \dots, L^2$ )) を以下の通りに定義する。

$$H(\sigma) = - \sum_{\langle i,j \rangle} J_{ij} (\sigma_i \sigma_j - 1) - \sum_i h_i (\sigma_i - 1) \quad (4)$$

(4) 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可能性を示す指標である。すなわち、

$$\sigma_i \sigma_j = \begin{cases} 0 & \text{非日常的相互関係} \\ 1 & \text{日常的相互関係} \end{cases} \quad (5)$$

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る。(4) 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した。ここで、(4) 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(4)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、クラスタールゴリズム<sup>4)</sup>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。

しかし、本研究では、クラスターの生成法を次の通りに修正する。すなわち、Bondで結合されたクラスターを生成するのは状態変数 $\sigma_i = 1$ のときのみに関し、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。これにより、一旦形成されたクラスターが、クラスターごと反転して、クラスター構成世帯全員の状態変数が1となってしまうことはありえないと考える。

以上を考慮して、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 $P_i$ を次の通りに設定した<sup>5)</sup>。

$$p_{ij} = \begin{cases} 1 - e^{-\beta J_{ij}} & (\text{for } \sigma_i \sigma_j = 1) \\ 0 & (\text{for } \sigma_i \sigma_j = 0) \end{cases} \quad (6)$$

$$P_i = \begin{cases} \frac{e^{\beta h_i/2}}{e^{\beta h_i/2} + e^{-\beta h_i/2}} & (\text{for } \sigma_i = 1) \\ \frac{e^{-\beta h_i/2}}{e^{\beta h_i/2} + e^{-\beta h_i/2}} & (\text{for } \sigma_i = 0) \end{cases} \quad (7)$$

(7)式の $\beta$ は外的変数である。統計力学では、

$$\beta = \frac{1}{k_B T} \quad (8)$$

が成立する。ただし $k_B$ と $T$ はそれぞれボルツマン定数と温度である。

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。このクラスターの成長過程(=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考える。

### (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、(8)式より $\beta$ の値を徐々に上げていく過程<sup>5) 6)</sup>として再現される。具体的には、 $\beta$ とシミュレーションのstep数は、0に非常に近い正数 $\alpha$ を用いて、

$$\beta(\text{step}) = \beta(0)(1 + \alpha)^{\text{step}} \quad (9)$$

と設定する。シミュレーションの手順は、次の通りである。

1 初期集合 $\sigma = \sigma_0$ 、 $h = h_0$ 、 $\beta = \beta(0)$ を与え、 $\sigma_0 = \{0\}$ 、 $h = \{0\}$ 、 $\beta(0) = 0.01$ 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。

2 次の2.1と2.2を1セットとして繰り返す。

2.1  $\sigma$ に対し全てのBondについて生成する可否かを、(6)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(7)式の確率で、反転可否かを決定し、新しい状態集合 $\sigma$ を求める。

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

### (3) 標準ケースの結果とその考察

標準ケースにおける活性度と浸透確率の推移を示す。ここで、浸透確率を最大クラスターのサイズと系のサイズ( $L^2$ )との比で近似する。図-2は $\beta$ を横軸に、また図-3はステップ数を横軸に、縦軸は共に活性度と浸透確率をとったグラフである。(両図共に実線が活性度、破線が浸透確率を表す。)

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-3よりむしろ図-2の方である。この場合、 $\beta$ 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ことも解釈できる。つまり、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が示唆される。

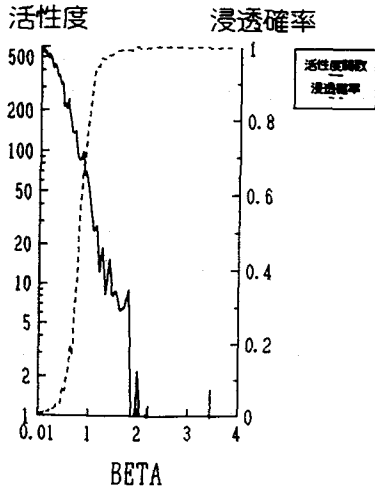


図 2: 標準ケースにおける活性度と浸透確率の減衰過程 ( $\beta$  を横軸にした場合)

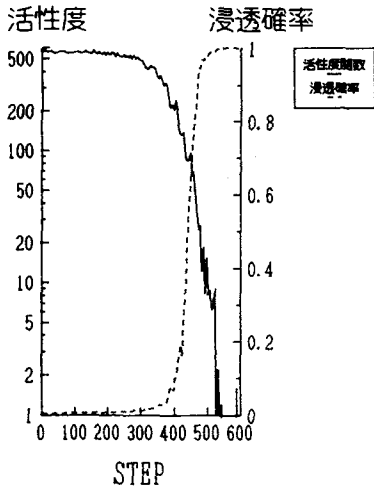


図 3: 標準ケースにおける活性度と浸透確率の減衰過程 (step 数を横軸にした場合)

次に、図-3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一つのクラスターが生成される相に転移が起こることが判る。これは、風化が、ある段階以降で加速度的に進行することを意味する。こうした傾向は、 $J_{ij}$  や  $k_i$  のとり方によって変わり得る。標準ケースのヴァリエーションについての検討も必要であるが、紙幅の関係上、講演時に譲る。

上述したアナロジー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。この点については、よりきめの細かな社会調査の実施により検証を重ねることが求められる。一方、スケーリング仮説などを適用して、より緻密に理論的解析を行うことも有効であろう。

#### 4 おわりに

今後は、さらに、風化する防災意識を住民が内発的に再活性化するモデルを構築し、住民の自律的・内発的調整メカニズムを活かした対策についての政策的知見を得ることを目指したい。

#### 参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 小田垣孝: パーコレーションの科学, 裳華房, 1993
- 4) R.H.Swendsen, J. -S.Wang: Cluster Monte Carlo Algorithms, Physica A, North-Holland, Amsterdam, Vol 167, pp565-579, 1990
- 5) 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ッド・アニーリング法, 京都大学修士論文, 1994
- 6) Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D. and Vecchi, M.P.: Optimization by simulated annealing, Science, Vol.220, pp.671-680, 1983