

## 地震災害への公的応急対応

2016年10月17日

河村 廣

### まえがき

本談話室における本報の前々々報「地震マクロスケッチⅢ」では地震時の最大加速度振幅や人的損失、建物損傷などの大きさと累積度数との関係が両対数軸座標で負勾配の直線をなす“べき乗則”を充たすことを示しました。本稿では地震における地域的な災害に対し市町村による公的応急対応率と累積度数との関係も同様に“べき乗則”を充たすことを示したいと思います。公的応急対応の“べき乗則”が分かれば大凡ですが超過確率が分かりますので、各市町村は応急対応発動の覚悟と言いますか準備も行うことができます。しかし基本的には複雑系に属しますので、住民側としては自分の住んでいる市町村の応急対応の時期や内容を確定的に予測できないことになります。

### 応急対応率と震度との関係

小山博士の文献[1]における調査結果から、筆者は文献[2]において応急対応率  $R$  が震度  $I$  と次式のような関係で近似することを提案しました。(補1)

$$\log R = m + n I \quad (1)$$

ここに  $R$  は、小山博士が列挙された応急対応項目について、震度  $I$  を受けた全市町村の中でそれを実施した市町村の数の割合を意味します。 $m$  と  $n$  は定数ですが、例えば、現地調査、本部設置、一般ボランティア受け入れ、公共施設復旧、避難所開設などの応急対応個々の項目またはその統合などによって異なります。詳細は文献[1]をご参照下さい。

### 応急対応率と累積度数分布の関係（べき乗則）

一方、本談話室における本報の前々々々々報「地震マクロスケッチⅠ」及び前々々報「同Ⅲ」で述べましたように、累積度数  $N(I)$  は震度  $I$  と次式の関係にあります。

$$\log N(I) = c' - d I \quad (2)$$

式1,2より  $I$  を消去すれば下式を得ます。

$$\log N(R) = c' + m d/n - d/n \log R \quad (3)$$

本式では  $R$  がその累積度数  $N(R)$  と両対数軸座標で負勾配の直線関係にありますから、“べき乗則”を充たしていることを示しています。

従って、本報の前々々報「地震マクロスケッチⅢ」でも述べましたが、式1の震度の係数は“べき乗則”の負勾配の分母になり、樹状モデルの拡大倍率の対数でもあります。本稿の主テーマの応急対応の場合にはその効率や効果のバロメータとすることもできます。

### 逆システム学的考察

複雑系は創発システムとも言われますが、フィードバックシステム（以下FDシステム）

も常に車の両輪のように機能しています。創発システムは結果として新しい秩序や形態を具現化しますが、そのように仕向ける FD システムはもっぱら陰の存在です。

地域社会も複雑系と見られていますが、一旦地震災害を受けるとそれを修復しようとする FD システムが働きます。地震災害の過程は複雑で実態を追跡することは一般に困難ですが、FD システムは例えば市町村が実施する応急対応であれば記録にも残り情報は開示されます。このよう明示された FD システムから逆に災害過程を推察することができます。災害過程と FD システムは合わせ鏡のような関係にあるようです。勿論、一対一対応ではありませんが…。

このように複雑系の創発システムを FD システムから推測、解析する考え方は逆システム学的アプローチと言われています[3]。式 3 が示すように、地震災害時の市町村の応急対応に“べき乗則”を充たす複雑系の様相が窺われることは、逆システム学的アプローチの妥当性を示唆するものとみることができます。

## まとめ

地震現象に由来する私たちの生活に及ぼす各種の地震災害や応急対応の観測データには定量的な曖昧性があり、マクロかつラフな見方や解釈には本質を窺わせるメリットがあります。結果として得られた複雑系の科学としての認識や特に逆システム学的な観点からの応急対応の捉え方などは、地域的な地震防災や減災への科学的アプローチとして新たな視点を与えてくれるものと期待されます。

## 補足 1

下図 1 は小山博士の文献[1]の調査結果を基に筆者の文献[2]で描いた図で、上記本文中の式 1 における直線近似の様子(目視による実線と破線 A, B)を示しています。

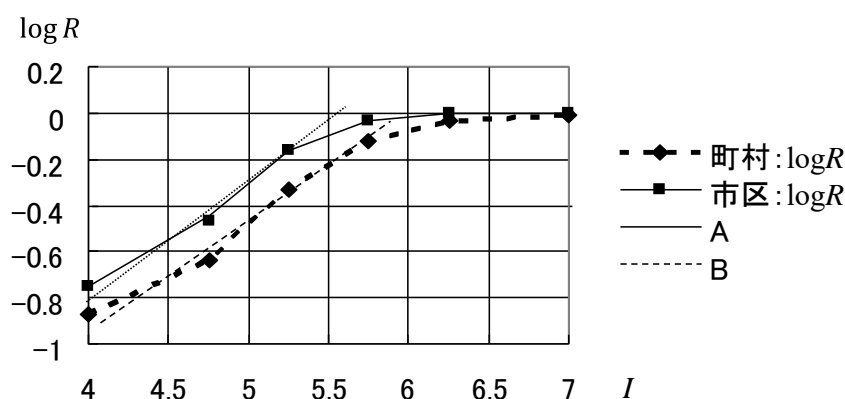


図 1 市町村応急対応率と震度の関係[2]

文献[1]では縦座標がリニア軸で描かれている図 4-9(c)を文献[2]及び上図 1 では対数軸に変換しています。(文献[2]で出所を文献[1]の表 4-6 とあるのは誤りで、図 4-9(c)に訂正さ

せて頂きます。尚、応急対応項目としては個々ではなく統合されたものです。)

文献[1]ではリニア軸で描かれたものをロジスティックモデルで近似して考察が行われていますが、文献[2]及び上図では片対数軸座標で直線近似ですから縦軸をリニア軸に戻しますと、マルサスモデルで近似したことになります。

参考までにロジスティックモデルとマルサスモデルの基本式と概形を以下に示します。

式 4 はロジスティックモデルの微分方程式、式 5 はその解です。式 6 はマルサスモデルの微分方程式、式 7 はその解、式 8 は式 7 の解の(自然)対数表記です。  $N_0$  は  $t = 0$  のときの  $N$ 、 $r$ 、 $m$  は係数、式 4、5 の  $K$  は  $N$  の上限値です。

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K}\right) \quad (4) \qquad \frac{dN}{dt} = mN \quad (6)$$

$$N = \frac{K}{1 + (K/N_0 - 1)e^{-rt}} \quad (5)$$

$$N = N_0 e^{mt} \quad (7)$$

$$\ln N = \ln N_0 + mt \quad (8)$$

ロジスティックモデルは一定の条件下での生物の個体数  $N$  が時間  $t$  の経過とともに増殖してゆく様を定式化したもので、上限値  $K$  に収斂してゆくように調整されています。マルサスモデルではその調整がなく、俗に言う「ネズミ算」的に増殖して行きます。詳細は専門書を参考にして頂きたいのですが、 $N$  と  $t$  の関係について概要ですが、ロジスティックモデルを図 2 に、マルサスモデルを図 3 (a) (b) に示します。図 3(a) では縦軸  $N$  をリニア軸にとり指数関数として、図 3 (b) では(自然)対数軸にとり直線として描かれています。

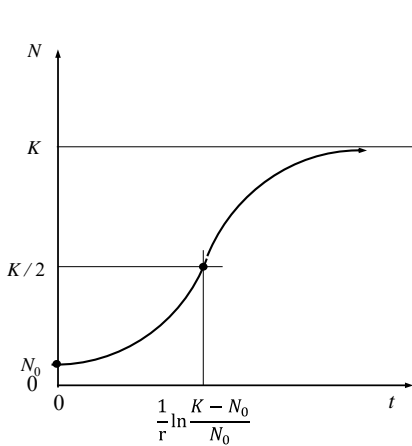


図 2 ロジスティックモデル概形

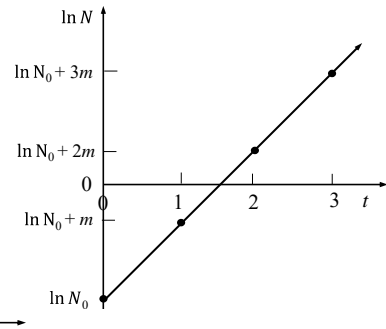
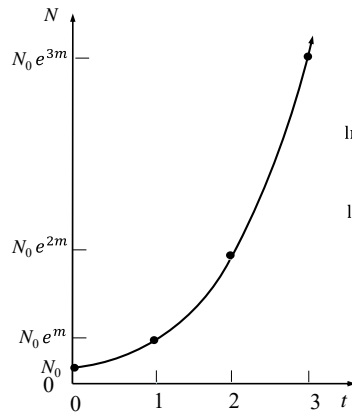


図 3(a)  $N$  : リニア軸 図 3(b)  $\ln N$  : 自然対数軸

図 3 マルサスモデル概形

ロジスティックモデルは地震時における家屋や人的被害の震度との関係[4]や公的応急対応と震度との関係[1]の近似化にも用いられるほど汎用性の高いモデルです。

しかし筆者は敢えてマルサスモデルを適用しています。文献[2]では家屋や人的被害について文献[1]の調査結果を基に下図 5, 6 のように片対数座標軸(目視による実直線 A)による直線近似化を試みました。(文献[2]では縦軸について  $\times 10^{-4}$  を失念していましたので、図 4, 5 では修正しています。)

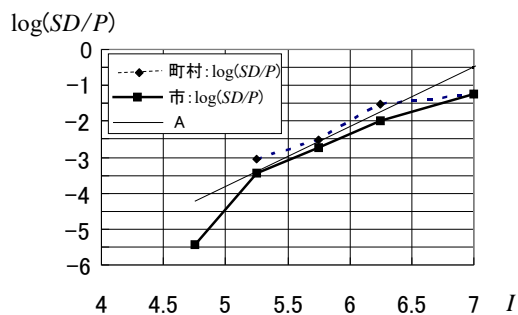


図4 全壊建物数と震度の関係[2]

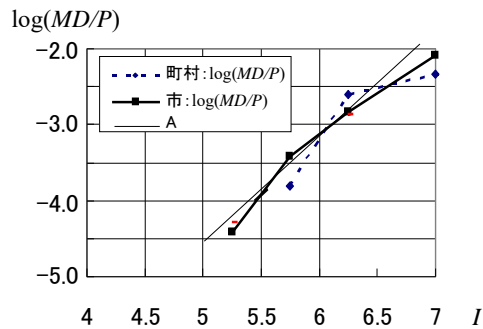


図5 死重傷者数と震度の関係[2]

前々々報「地震マクロスケッチⅢ」で建物や人的損失の大きさと累積度数との関係が両対数軸座標で負勾配の直線をなす“べき乗則”を充たすことを導きましたが、上図の直線近似と震度  $I$ -累積度数分布  $N$  関係の直線近似式との結合 ( $I$  の消去) によるものです。

正直なところ、家屋や人的被害そして公的応急対応などではロジスティックモデルのほうが良好な近似性を示します。ロジスティックモデルでは時間の変数ですが、家屋や人的被害そして公的応急対応などでは震度が変数で、物理的な意味は全く異なるのですが、現象を促進させる要因としての共通点があるのかも知れません。

しかし筆者が採用したマルサスモデルには以下のメリットがあります。

- (1) 片対数軸座標では直線となり、観測結果の近似化は実用上単純で扱いも容易です。
- (2) 震度 5 弱～6 強辺りで近似性がよく、震度 5 弱以下(図 4, 5)や 6 強以上(図 1, 4, 5)では過大評価気味となりますが、必要があれば多折線近似も可能です。
- (3) マクロかつラフな解釈かも知れませんが、片対数軸座標での直線性が仮定されたと、“べき乗則”といういささか抽象的ですが複雑系の科学更には逆システム学の対象になるという新しい知見を得ることができます。

## 謝辞

地域防災への複雑系の応用に関する発想の原点は、北大名誉教授の太田裕先生の御示唆に負うところが大きく、心より御礼申し上げます。

## 文献

- [1] 小山真紀：2000 年鳥取県西部地震における市町村の応急対応とそのモデル化に関する研究、東濃地震科学研究所報告、Seq. No.17, 地震防災分野、pp.1~186, 12, 2005.
- [2] 河村廣：地震防災学の定量的グランドスキーム—複雑系への逆システム学的アプローチ—、日本建築学会近畿支部研究報告集、第 47 号、計画系、pp.537~540, 6, 2007.
- [3] 金子勝、児玉龍彦：逆システム学—市場と生命のしくみを解き明かす—、岩波書店、1, 2004.
- [4] 能島暢呂、久世益充、杉戸真太：2000～2005 年の主な地震による震度曝露人口と住家・人的被害との相関に関する考察、自然災害科学、J. JSNDS, 25-2, pp.165~182, 2006.