

地震の大きさ分布と地震検出率の同時推定および余震の確率予測

Simultaneous estimation of b-values and detection rates of earthquakes for the application to aftershock probability forecasting

尾形 良彦[1]

Yoshiko Ogata[1]

[1] 統数研

[1] Inst. Stats. Math.

<http://www.ism.ac.jp/~ogata/JAPINDEX.html>

1. 検出された全地震のマグニチュード頻度分布のモデルについて

マグニチュード M 以上の地震の数 N は、一般に Gutenberg- Richter (G-R) の法則 $\log N = A - bM$ に従って指数的に増える。パラメタ A はマグニチュード 0 以上の地震の総数、係数 b は b 値と呼ばれる。これに対して、地震計などの観測能力の人為的要素として、マグニチュード M の地震の検出率の関数を考える。この関数は、 M が非常に小さい地震は検知できず (検知率 0)、大きな M の地震は確実に検知できる (検知率 1) のであるが、その中間では検知確率 0 から 1 までの値をとり、 M に関して単調に増加するものである。そのような関数のモデルとして例えば正規分布の累積関数が考えられる。その場合、正規分布の平均値は 50% の検出率の M を示し、標準偏差は多かれ少なかれ部分的に検出されるマグニチュードの範囲を示す。これらのパラメタは地震計の性能、観測ネットの配置や密度に依存する。かくして、実際に検出されるマグニチュード M の地震の頻度分布の確率密度関数は G-R 指数分布と検知確率との積で与えられる。この分布は日本の気象庁震源カタログや Harvard 大学の全世界地震のカタログなどに見られる経験的分布と非常に良く合う。

検出地震のマグニチュードのデータに対して、仮にパラメタ b 値や検知率関数のパラメタが定数ならば最尤法で、これらの最尤推定値が求められる。しかし実際には、これらのパラメタは時間経過と共に変わることが多い。従ってパラメタを時間に従属する関数として考える。これらを B スプライン関数で表記してベイズ的平滑化法で推定することができる (Ogata, Y. and Katsura, K., 1993, GJI)。これらが推定されれば、各マグニチュードの地震の経時的検出率を計算できる。こうして、漏れなく完全に検出される大きさの地震に限ることなく b 値の時間変動も推定できる。さらに、検出率が変わらず一様に検出される範囲の地震に限ることなく、全ての地震データを使って地震発生率モデル (改良大森式や ETAS など) のパラメタを精度良く推定できる。そして、任意のマグニチュード M について、欠測地震を含む実際に起きたはずの地震の発生率の推定値を与えることが可能である。このように、上記のモデルがうまく機能すれば、検出された全ての地震のデータを有効に使うことで精度の良い地震活動解析が可能になる。

2. 余震活動の b 値変化と余震検出率の時間的推移および余震確率予測の算定について (尾形, 予知連会報 7 3 巻)

余震の検出率は本震直後には極めて低く、時間経過と共に検出率が徐々に改善される。直後には本震の地震波が激しく、その後も連発する余震の地震波が重なり合っているために、どの波形記録がどの余震のものか識別困難である。このため発生時刻などを求められないので欠測となる。しかも余震が小さくなればなるほど欠測が甚だしくなる。このことが本震直後の不偏な余震発生確率の算定を困難にしている。

前節のモデルと方法によって 2003 年宮城県沖の地震 ($M7.0$) の、一年にわたる余震列の b 値と検知率関数のパラメタの時間的変化を推定した。この場合のデータは、地震カタログの編集が完結した時点での最良版である。結果を見ると b 値と標準偏差値は殆ど変化せず、 b 値は全国標準より低い値になっている。50% の検出率 (平均値) を見ると、本震後 2 週間 - 20 日で $M0.5$ となり、その後は一定に推移している。標準偏差値も一定であるので、この余震データは本震後 20 日以降一年にわたり、各 M につき一様な比率で検出されたものである事を示している。

宮城県沖の地震の余震活動は、震源が比較的深いこともあり 2 次余震が顕著でなく、改良大森公式が良く当てはまる。検出された正値マグニチュードの余震の頻度を経過時間との両対数プロットで与えた。同時に、欠測地震を含む、発生したはずの正値マグニチュードの余震全ての減衰率曲線も与えた。これらの両対数プロットから、時が経つにつれて漸近的に平行になっていることが分かる。

次に 2004 年新潟県中越地震の余震の、本震後 1 週間の時点での暫定版検出データに基づいて b 値と検知率関数

のパラメタの時間経過を推定した。経過時間と共に検出率が上がっていく様子が示されるが、本震後3日経った時点で編集作業の規準を変えた様子も見られる。b値と標準偏差値は時間に依存せず定数的であり、b値は全国標準のものより低い。

さらに、本震後6時間時点での暫定版検出地震データの解析結果を示した。先ほどの結果の当該期間部分とほぼ同じであり、本震直後の余震の確率予測の方法を、前節のモデルで改善できる可能性を示唆している。たとえば、欠測地震を含むM4.2以上、M2.0以上そして全ての検出された余震の頻度の時間的推移の推定曲線は実際と良く合っている。