

三角ダイヤグラムを用いたメカニズム解分布の変化の統計的検出

Statistical method for detecting changes in earthquake focal mechanism distribution by triangle diagram

青木 重樹 [1]
Shigeki Aoki[1]

[1] 気象研究所
[1] MRI

1. はじめに

ある地域の微小地震の発生率の変化を、他の地域で発生した大地震などに伴う応力場の変化と関連付けて解釈する試みが、近年盛んに行われるようになってきている。応力場が変化した場合は、地震活動度のみでなくメカニズム解の分布にもその変動が現れることが期待される。しかし、そのような報告例は多くない。これは地震の発生率の変化が積算回数傾きの変化として比較的容易に検出できるのに対し、メカニズム解分布の変化はその客観的な検出自体が困難であることも一つの要因であると考えられる。

本研究では、Frohlich(1992, 2001) によって提案された三角ダイヤグラムでメカニズム解の分布を表示する手法を利用し、ある2グループの分布が同一であるかどうかをAIC(赤池情報量基準)を用いて客観的に示す手法を提案する。また、その妥当性を検討するためにデータへの適用も行う。

2. 手法

メカニズム解のT, P, N軸の傾斜角をそれぞれ P_t, P_p, P_n とすると、これらは、 $\sin^2 P_t + \sin^2 P_p + \sin^2 P_n = 1$ を満たす。 $x = \sin P_t, y = \sin P_p, z = \sin P_n$ とすると、 $0 \leq x, y, z \leq 1$ なので、前式は1/8単位球面の方程式を表している。Frohlich(1992, PEPI)は、 $x^2 + y^2 + z^2 = 1/3$ となる点が原点となるように解を心射図法で投影し、その投影図から解の分布の特徴を読みとることを提案している。なお、この投影法では、1/8単位球面上の点は正三角形内に投影されることから、この分布図を三角ダイヤグラムと呼んでいる。さらにFrohlich(2001, GJI)は、この正三角形内を H^2 個($i=1, \dots, H^2$)のより小さな正三角形で等分し、メカニズム解分布をそのそれぞれの小正三角形ごとの頻度分布として定量的にとらえることを提案している。

本研究では、AICを用いて、2つのグループ($g=1, 2$)のメカニズム解の三角ダイヤグラム上の頻度分布が同一かどうかを調べる。比較するモデルは、「モデル0: 2つのグループの解の分布は同一。 $p(i|g) = f(i)$ 」と「モデル1: 2つのグループの解の分布は同一ではない。 $p(i|g) = f(i|g)$ 」の2つとする。ただし、 $p(i|g)$ は g に属する解が i 番目の小正三角形に入る確率とする。また、 $n(g)$ を g に属するメカニズム解の総数、 $n(g, i)$ をグループ g の i 番目の小正三角形の頻度とすると、この分布が得られる確率 P は多項分布、

$$P = \frac{n(1)! \{ p(i|1)^{n(1,i)} \} / \{ n(1,i)! \}}{n(1)!} \frac{n(2)! \{ p(i|2)^{n(2,i)} \} / \{ n(2,i)! \}}{n(2)!},$$

で表される。なお、 $i=1$ から H^2 までの総積を示す。また、モデル0の自由パラメタ数は H^2-1 で、モデル1は $2(H^2-1)$ となる。以上から各モデルのAICである $AIC(0)$ と $AIC(1)$ を導出すると、

$$AIC(0) = (-2) \{ K + L(0, i) \} + 2(H^2-1),$$

$$AIC(1) = (-2) \{ K + L(1, i) \} + 4(H^2-1),$$

となる。ただし、

$$L(0, i) = \{ n(1, i) + n(2, i) \} \log \left[\frac{n(1, i) + n(2, i)}{n(1) + n(2)} \right],$$

$$L(1, i) = n(1, i) \log \left[\frac{n(1, i)}{n(1)} \right] + n(2, i) \log \left[\frac{n(2, i)}{n(2)} \right],$$

である。また、 $i=1$ から H^2 までの総和を示す。Kは両モデルに共通で出現する項を示す。モデルの比較では、両者のAICの差の絶対値が2より大きくなれば、小さなAICを示すモデルが良いモデルということになる。例えば、 $D_{AIC} = AIC(0) - AIC(1) > 2$ となっていれば、2グループの解の分布は同一でないということになる。

3. データへの適用

この手法でどの程度の変化が検出可能であるかを調査するため、地震・火山月報カタログ編に掲載されている2004年新潟県中越地震の余震のうちの m 個の初動解をグループ1、それらの本震のN軸で r 度回転させたものをグループ2とし、これらについて m, r を変えて D_{AIC} を計算した。なお、今回の実験は $H^2 = 16$ で実施した。結果として、 $m=32, 64, 128$ に対し、 r がそれぞれ40, 35, 25度以上のものについて D_{AIC} が2より大きくなり、グループ1と2の分布が同一ではないことが検出できた。

次に、2006年及び2007年の千島列島東方の地震の震源域での活動に適用した。利用したカタログはGlobal CMTで、震源域で発生した1977年8月から2008年8月までの253個を対象とした。グループ1は先頭から64個の地震とした。グループ2は32個とし、先頭の地震を移動させることにより D_{AIC} の時間変化を調査した。最初 D_{AIC} は負であったが、徐々に増加し正に転じ、地震I(2006/11/15, Mw8.3, スラスト型)の直後に最大値を示した。その後、徐々に低下し地震II(2007/1/13, Mw8.1, 正断層型)の直後に負に戻った。この領域での活動は、地震Iの発生前は逆断層型地震が卓越していたが、発生後から逆断層型の余震とともに海溝軸海側で正断層型の地震が活発化し、地震IIの発生後は正断層型の活動度は急速に低下するという特徴をもっていた。これは本研究で提案した D_{AIC} が、このメカニズム分布の変化の特

徴を捉えたことを意味している。