

## 12 - 7 警報型地震予測の性能評価法について

### Evaluation of warning forecasts by a gambling score

統計数理研究所

The Institute of Statistical Mathematics

CSEP<sup>1)</sup> (Collaboratory for the Study of Earthquake Predictability) プロジェクトでは予測の確率的精度を競う。実際には、いろいろな検定量で比べているが最も敏感なものは尤度関数での評価であろう。しかし地震活動のパターン認識で予測される M8 などの「警報」は確率予測ではない。最近、提案された *Gambling Score* による数量的評価<sup>2)</sup>は、これを競馬の予想屋の成績に例えれば分かり易い、胴元の取り分を無いものとして、予想屋が予測する勝ち馬や馬枠に百円ずつ賭けたことにして、賭博の損得額合計を総掛金で割った量で比べるものである。競馬賭博では *odds* が配当金の計算の本質的な役割を果たす。たとえば或る馬が勝つ相場確率が  $p$  とすると  $odds = (1-p)/p$  である。当然、本命と穴馬では予測の評価 *odds* が大きく違う。同様に、滅多に起こらない大地震と小さな有感地震ではその発生率が全く違うので大地震と小地震に対する評価が大きく異なる。地震予測の評価には地震発生の客観的な相場確率が必要である。これは CSEP の基本目的の一つでもある。

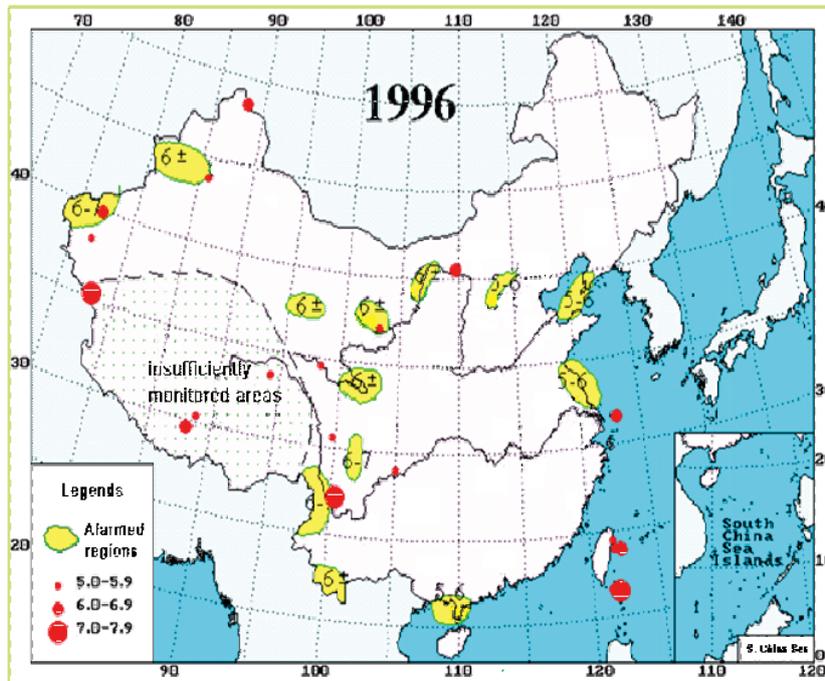
*Gambling score* による評価の例<sup>3)</sup>を紹介する。中国地震局は毎年、地域と或る  $M$  幅で大地震予測について機関内部で公式記録をしている。最新の 6 年分は非公開であるが 1990 年から 2003 年までは予測リストとその結果が公表されている<sup>3)</sup>。毎年 10 件程度のそれぞれの予測について、地震局は「信用」(*reputation*) 1 単位を賭けたと考える。予測が外れればその信用 1 単位を失うこととなる。そのような失敗は件数としては 8 割以上で少なくない。しかし予測が当れば *odds* 倍の信用の配当を得る。相場確率は当該予測地域の地震活動度と  $M$  頻度分布から計算される予測領域内での 1 年当りの発生確率である。いつも相場通りの予測をすれば平均 0 の信用度となる。活動の高い地域で予測を当てても低い地域での当りほど *odds* 配当が多くない。結果、各年の世評は大きく異なり、14 年間で 128 単位の信用累積、予測一回当たり平均約 1 倍の信用 (250/132) を得ているということになる。

M8 予測に対しても同様にして評価<sup>5)</sup>できるが、このケースでは予測内容の定義について疑義があり、厳密には信用度マイナス評価である。甘い評価なら 45 単位のプラスであるが、その場合の予測一件あたりの配当は平均 2 単位である。

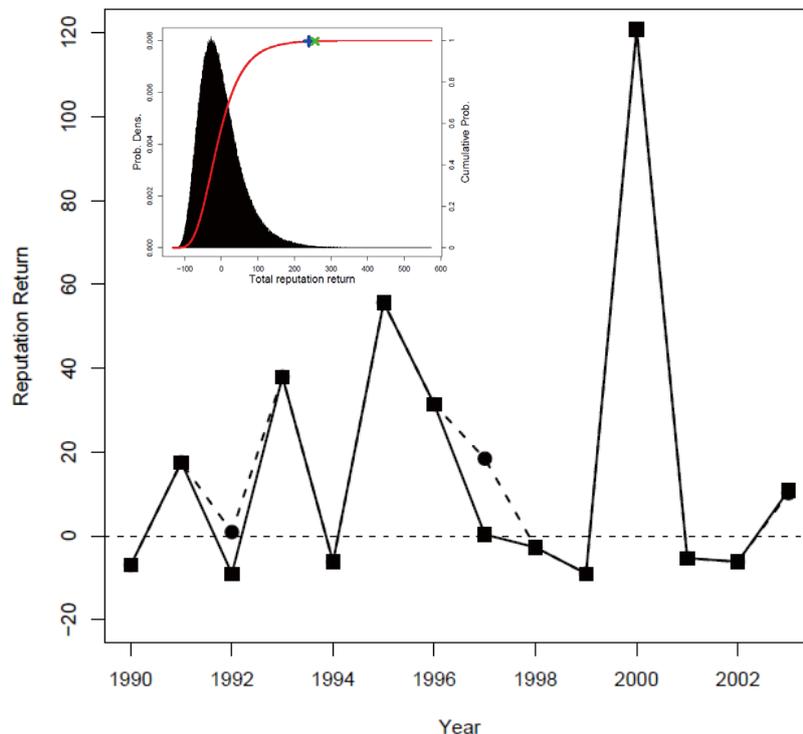
(庄 建倉・尾形良彦)

#### 参 考 文 献

- 1) <http://www.cseptesting.org/>.
- 2) Zhuang, 2010, *Geophys. J. Int.*, 181, 382-390.
- 3) Zhuang, J. and Jiang, C.S. (2010) Scoring annual earthquake prediction in China, submitted.
- 4) Center for Analysis and Prediction of the State Seismological Bureau (1990-2003) *Annual Summary Report on National Earthquake Tendency, 1990, ..., 2003*.
- 5) Zechar, J.D. and Zhuang, J. (2010), *Geophys. J. Int.*, 182, 1319-1326..



第1図 中国年間地震予測 1996年版. 警報地域は黄色で塗られていて、傍に予測マグニチュードの範囲が±0.5幅で書かれている. 実際に起きたマグニチュード5以上の地震が赤丸で表示されている.  
 Fig. 1 Chinese Annual Earthquake Predictions in 1996. The alarmed regions are marked in yellow and the earthquakes with magnitudes of 5 and above are represented by red dots and disks. The numbers on the alarmed regions are the magnitude ranges of the expected future earthquakes.



第2図 中国地震局の毎年の成績. 非定常ポアソン地震活動度を基準(相場: 水平点線)とした信用度の時系列. 実線でつないだものは厳密な成績評価で, ダッシュでつないだものは周辺部のものも含んだ甘い評価. 挿入図は非定常ポアソン地震活動をシミュレーションによって求めた分布(黒塗りは密度分布, 赤線は累積分布). 中国地震局の予測評価(信用度)の値は青×と青+で, 高い有意性を示している.

Fig. 2 Yearly reputation return of CEA predictions relative to the non-stationary Poisson rate for the seismicity. The solid line with squares and the dashed line with dots stand for the strict and the loose scores, respectively. The inset panel shows the significance of the gambling score against the simulated values from the inhomogeneous Poisson model for the seismicity in China.