

ハイリスクーハイリターンの地震予報のギャンブルング評価法

予測発見戦略研究センター 地震予測解析グループ
助教 庄 建倉

1 地震予報のタイプ

地震予報は、以下三つの要素を含むべきである： 1) 予測震央想定域, 2) 予測発震期間, 3) 予測マグニチュード範囲。

以下の三種類の地震予報が考えられる： (1) **2値** (“はい” と “いいえ”) **予報**：将来の地震の発生があるかないかの明確な表明を与える。通常、2値予報の評価は、分割表のテストに基づく検証手法で行う。(2) **警報レベル予測**：地震の相対リスクを示しているいくつかの値を与える。Molchanのエラーダイヤグラムによって、性能を評価される。(3) **確率予報**：将来地震の発生確率の値を与える。成績は通常、エントロピーで評価される。

2 ギャンブルング評価法

予報者のリスク（失敗の確率）を考え、それによって予報者の成績を評価する。以下「参照モデル」とは地震発生の相場の確率を与えるものである。 p_0 が参照モデルが与える将来地震発生確率を表し、参照モデルによって、予報者のリスク（失敗確率）は $1-p_0$ である。予報者はギャンブラーとして、自分の声望ポイントから、彼の予測に従って声望を1ポイント、“はい”または“いいえ”と賭ける。予報者が“はい”と1ポイント賭けて、負けるなら、彼の1ポイントを取り上げる。彼の予測がうまくいったなら、リターンは $(1-p_0)/p_0$ ポイントである。このように、参照モデルが正しいなら、彼がこの賭けから獲得する期待リターンは0である。また、この規則は確率予測にも適用される。 p が予報者によって与えられた地震の発生確率であると仮定し、予報者が‘はい’と p ポイントを、‘いいえ’と $1-p$ ポイントを賭けることに分かれる。

このとき予報者が正数の期待リターンを得る必要条件是、 $cov(q, p^*) > cov(q, p_0)$ である。ここで、 q は予報者が“はい”に賭ける確率、 p_0 は参照モデルからの地震発生確率、 p^* は真のモデルからの地震発生確率を表している。

3 応用

ギャンブルング評価手法によって、Shebalin の RTP 地震予報の成績と中国地震局の年度予報の成績を計算した。

参考文献

- Zechar J. D. and Zhuang J. (2010) Risk and return: evaluating Reverse Tracing of Precursors earthquake predictions. Submitted to *Earth and Planetary Science Letters*.
Zhuang J. (2010). Gambling scores for earthquake predictions and forecasts. *Geophysical Journal International*. DOI: 10.1111/j.1365-246X.2010.04496.x.
Zhuang J. and Jiang C. (2010) Scoring annual earthquake predictions in China. Submitted to *Pure and Applied Geophysics*.

Name	Region	Alarm period	Magnitude	Pred. Fulfilled by	Ref. Prob.	R: Loose (Strict)
1	Japan	27-Mar-03 27-Nov-03	$M_w \geq 7.2$	25 Sep 2003, M=8.3	0.8038	0.24(0.00) ¹
2	California	5-May-03 27-Feb-04	$M_{ANSS} \geq 6.4$	22 Dec 2003, M=6.5	0.0227	43.07(0.00) ²
3	California	13-Nov-03 5-Sep-04	$M_{ANSS} \geq 6.4$	n/a	0.0896	-1.00
4	Japan	8-Feb-04 8-Nov-04	$M_w \geq 7.2$	n/a	0.6625	-1.00
5	Italy	29-Feb-04 29-Nov-04	$M_w \geq 5.5$	n/a	0.1758	4.69(-1.00) ³
6	California	14-Nov-04 14-Aug-05	$M_{ANSS} \geq 6.4$	n/a	0.0403	-1.00
7	California	16-Nov-04 16-Aug-05	$M_{ANSS} \geq 6.4$	n/a	0.0274	-1.00
8	Italy	31-Dec-04 1-Oct-05	$M_w \geq 5.5$	n/a	0.1317	-1.00
8a	Italy	6-May-05 6-Feb-06	$M_w \geq 5.5$	n/a	0.1903	-1.00
9	Japan	2-Jun-05 2-Mar-06	$M_w \geq 7.2$	16 Aug 2005, M=7.2	0.7230	0.38(0.00) ⁴
6a	California	17-Jun-05 17-Mar-06	$M_{ANSS} \geq 6.4$	n/a	0.0690	-1.00
6b	California	18-Mar-06 18-Sep-06	$M_{ANSS} \geq 6.4$	n/a	0.0203	-1.00
6c	California	24-Mar-06 24-Dec-06	$M_{ANSS} \geq 6.4$	n/a	0.0876	-1.00
6d	California	2-May-06 2-Feb-07	$M_{ANSS} \geq 6.4$	n/a	0.0784	-1.00
11	Italy	2-May-06 3-Feb-07	$M_w \geq 5.5$	n/a	0.2042	-1.00
10	Japan	11-May-06 11-Feb-07	$M_w \geq 7.2$	n/a	0.2277	-1.00
12	California	23-Sep-06 23-Jun-07	$7.6 \geq M_{ANSS} \geq 6.6$	n/a	0.0040	-1.00
10a	Japan	30-Sep-06 30-Jun-07	$M_w \geq 7.2$	15 Nov 2006, M=8.3	0.1618	5.18
NP1	N. Pacific	28-Oct-06 28-Jul-07	$8.1 \geq M_w \geq 7.1$	n/a	0.0957	-1.00
14	California	17-Jan-07 17-Oct-07	$7.1 \geq M_{ANSS} \geq 6.1$	n/a	0.0295	-1.00
6e	California	3-May-07 28-Jan-08	$6.9 \geq M_{ANSS} \geq 5.9$	n/a	0.0666	-1.00
14a	California	18-Oct-07 14-Jan-08	$6.8 \geq M_{ANSS} \geq 5.8$	n/a	0.0096	-1.00
NP1a	N. Pacific	29-Jul-07 28-Jan-08	$8.1 \geq M_w \geq 7.1$	19 Dec 2007, M=7.2	0.0638	14.67
NP2	N. Pacific	24-Aug-07 24-May-08	$8.2 \geq M_w \geq 7.2$	n/a	0.0122	-1.00
6f	California	29-Jan-08 26-Sep-08	$6.7 \geq M_{ANSS} \geq 5.7$	n/a	0.0591	-1.00
17	Italy	7-Apr-08 7-Jan-09	$6.7 \geq M_{pdc} \geq 5.7$	n/a	0.0420	-1.00
16	Oregon	14-Apr-08 14-Jan-09	$7.7 \geq M_{pdc} \geq 6.7$	n/a	0.0079	-1.00
NP3	Oregon	17-Jul-08 17-Apr-09	$8.0 \geq M_{pdc} \geq 7.0$	n/a	0.0098	-1.00
18	California	29-Jan-09 29-Oct-09	$5.6 \geq M_{ANSS} \geq 6.6$	n/a	0.0193	-1.00
Total						45.24(-4.15)

表1: ShebalinのRTP地震予報の評価.

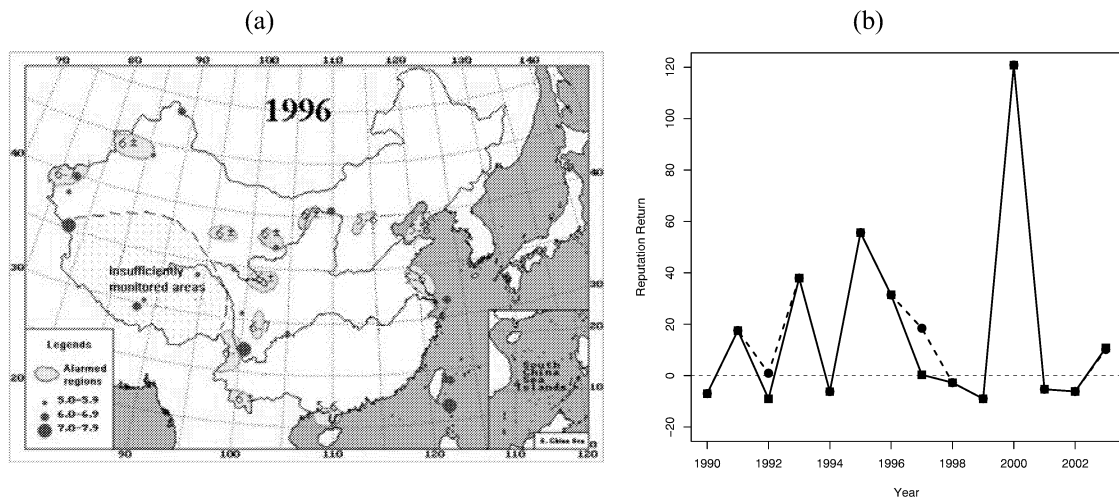


図1: (a) 中国地震局の1996年度予報結果と1996年の地震活動. (b) 1990-2003年の中国地震局年度予報のリターン.