

10-4 異常現象データと地震発生の相関解析および複合危険度予測

北京付近における日別地電位異常強度データ(1982-1997)を例として

Statistical examination of anomalies for the precursor to earth-quakes, and the multi-element prediction formula: Hazard rate changes of strong earthquakes ($M \geq 4$) around Beijing area based on the ultra-low frequency ground electric observation (1982-1997)

統計数理研究所

The Institute of Statistical Mathematics

1. 地震発生系列に対する異常現象データの前兆性をみる点過程モデル

第1図の領域での1982-1998年(1月迄)の地震活動は1976年唐山地震($M_s 7.8$)などの余震も含み全体として238個の $M_L 4.0$ 以上の地震からなる。電磁氣的異常の地震発生に対する前兆性の可否を調べるために、大きな M の順に直前・直後の前震・余震(5日以内かつ50km以内)地震を取り除き、残った地震を考える。長期的には余震も含まれているが見かけは時間的にほぼランダムに起きているように見える。

中国では数多くの観測所で超低周波帯(0.1~1Hz)を中心に地電位変化が長年観測されている。本報告では北京周辺の懐来(H), 廊坊(L), 青島(Q), 三河(S)におけるデータを考慮する。ただし、直接観測された電位データではなく、(最大振幅+変動の標準偏差)/2に継続時間を乗じた情報量と呼ばれる異常電位の強度を各日毎に足しあわせたもの(日総量と呼ばれる)の時系列データである¹⁾。我々は頁記録やデータ処理の詳細については関知しておらず、これらの客観性や信頼性については今後慎重な検討を要するが、以下の解析では日総量時系列データを所与のものとして扱う。

各観測所から半径300km以内の領域での地震活動(第1図参照)に関する点過程危険度モデル

$$\lambda(t | \mathcal{H}_t) = \mu + \int_S^t h(t-s) \xi(s)^\alpha ds = \mu + \sum_{\{j: S < j < t\}} h(t-j) \xi_j^\alpha \quad (1)$$

を考える²⁾。ここで \mathcal{H}_t は時刻 t までの情報を示し、応答関数はLaguerre型多項式で近似して推定する。またパラメタ α は日総量がどのような非線型性で危険度に効くかを見ている。各観測所の日総量時系列から見た地震活動の当てはまり具合を次の表にまとめた。

推定結果

日総量	地震	ポアソン過程		モデル(1)				
		Station	個数 $M_L \geq 4$	$\hat{\lambda}$ (10^{-3} /日)	AIC_0	$\hat{\mu}$ (10^{-3} /日)	\hat{b}_0 (10^{-3} /日)	$\hat{\beta}$
懐来(H)	51	12.60	550.2	7.022	0.1174	0.1422	0.6867	535.6
廊坊(L)	89	16.25	913.3	6.955	7.225	0.5642	0.1705	883.9
青島(Q)	67	12.23	726.1	4.789	2.066	0.1239	0.1720	701.3
三河(S)	81	13.79	858.0	6.641	3.313	0.257	0.2697	813.2

いずれも指数関数の応答関数(第2図参照)が最良で、ポアソンに比べると15~45のAIC差で日総量データを考慮したほうが当てはまりが良い事を示している。第3図(a)~(d)は各観測所を中心にした地域の地震活動に対して推定された危険度関数の時間的経過を示している。

観測所によって違うが、平均以上の危険度値をとった日数は全体の1/3前後であり、そのとき実際に発生した地震数は全体の7割前後であった。

2. 複合危険度予測

複合的確率予測公式^{3, 4)}(multi-element prediction formula)の場合と同様に、各観測所での日総量時系列データが互いに独立であると仮定して、前節で推定された危険度関数を使って複合的な危険度の予測公式が導かれる。すなわち各観測所を中心とした領域の共通部の危険度変化を算出するために、本報告では更に時空間地震活動が時間推移に関する危険度関数と空間分布に関する危険度関数との積で或る程度近似できると仮定する。すると

$$\lambda(t|\bigcap_{m=1}^M \mathcal{H}_t^m) = \hat{\lambda} \prod_{m=1}^M \frac{\lambda(t|\mathcal{H}_t^m)}{\hat{\lambda}_m} = \frac{N_{\cap A_m}}{|\cap A_m|} \prod_{m=1}^M \frac{\lambda(t|\mathcal{H}_t^m)}{N_m/|A_m|} \quad (2)$$

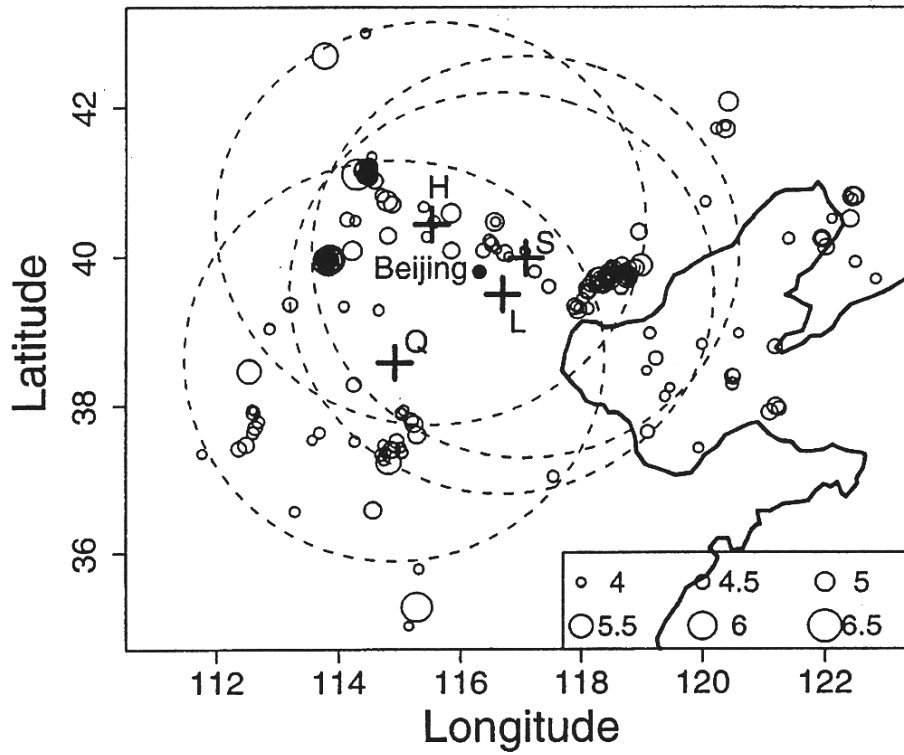
が得られる。これを用いて、2重、3重、4重の共通領域についての全ての危険度関数を算出してみた。そのうち第4図は懐来(H)を除く他の3つの共通観測領域、第5図は全ての共通領域における危険度関数の経過を示している。

2重、3重、4重の共通領域について平均以上の危険度値をとった日数は、それぞれ全体の1/4前後、2割前後、そして1割であり、そのとき実際に発生した地震数は全体の7割前後、7割弱、そして2/3であった。本報告について詳しくは論文⁵⁾を参照されたい。

(尾形良彦, 庄建倉)

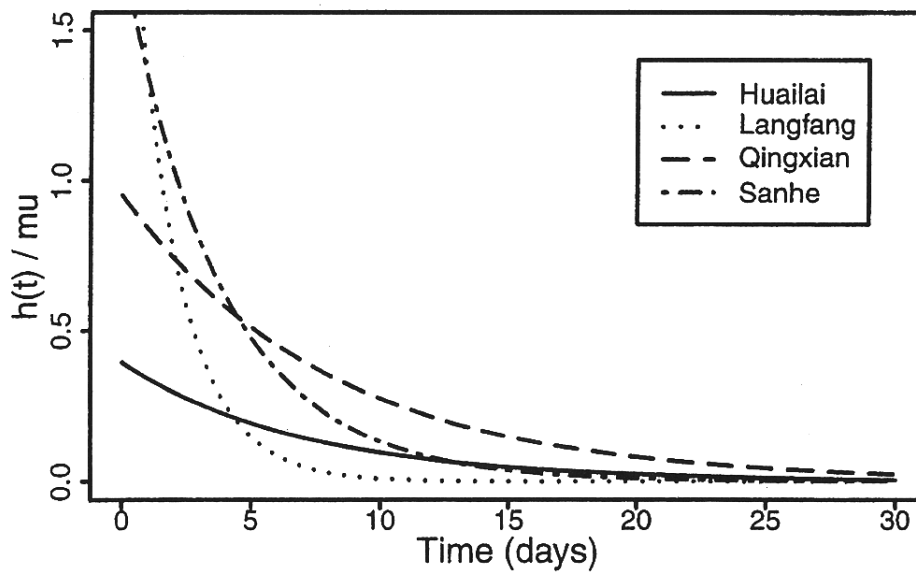
参 考 文 献

- 1) 陳智勇, 杜曉泉, 陶如謙, 閔華平, 電磁輻射与地震, 地震出版社, 北京, 1998.
- 2) Ogata, Y., Akaike, H. and Katsura, K., The application of linear intensity models to the application of causal relations between an point process and another stochastic process, Ann. Inst. Statist. Math., 34, 373-387, 1982.
- 3) 宇津徳治, 地震予知の的中率の計算(伊豆大島近海地震を例として), 地震予知連絡会会報, 21, 164-166, 1979.
- 4) Ogata, Y., Utsu, T., and Katsura, K., Statistical discrimination of foreshocks from other earthquake clusters, Geophys. J. Int, 127, 17-30, 1996.
- 5) Zhuang, J., Ogata, Y., Vere-Jones, D., Ma, L., and Guang, H., Statistical examination of anomalies for the precursor to earthquakes, and the multi-element prediction formula: Hazard rate changes of strong earthquakes ($M \geq 4$) around Beijing area based on the ultra-low frequency ground electric observation (1982-1997), preprint, 2001.



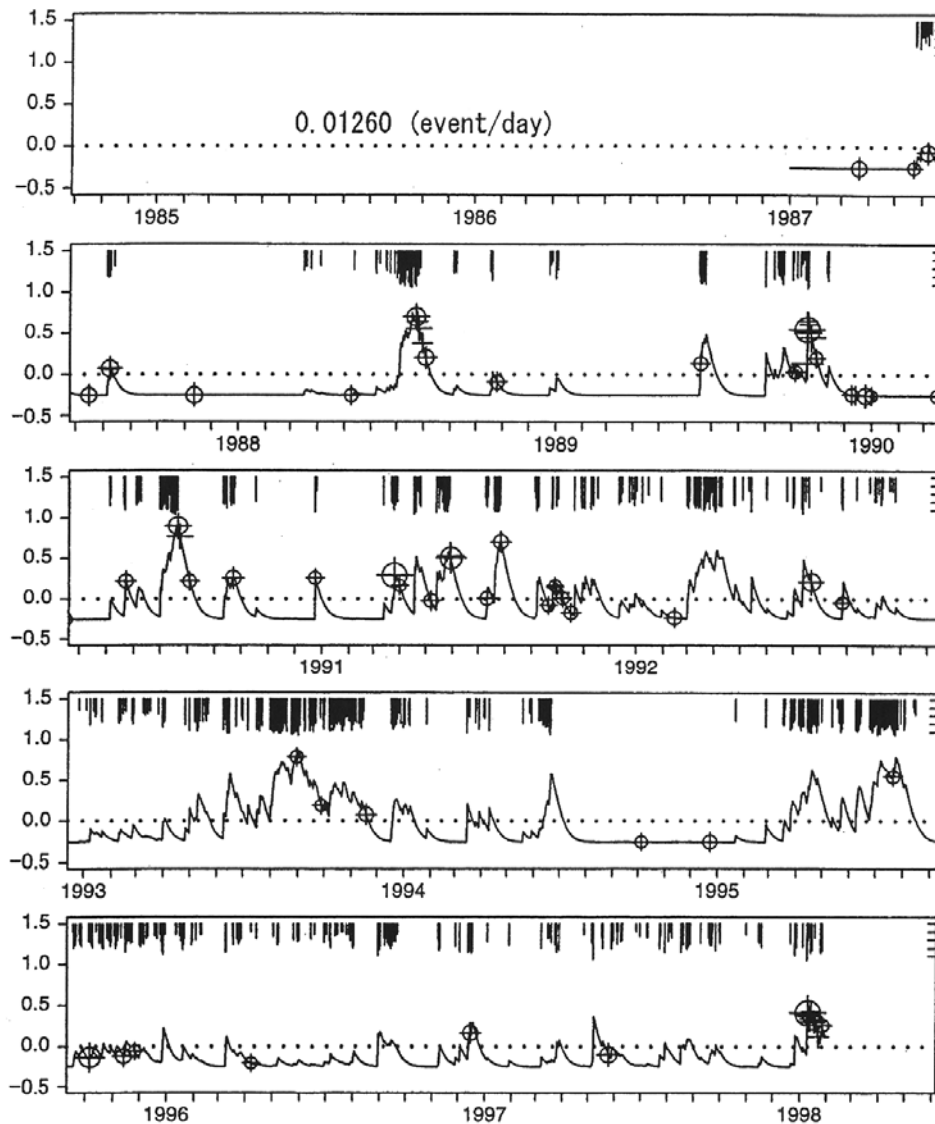
第1図 北京周辺の地電位観測所と地震 ($M \geq 4$) の空間分布。

Fig.1 The geoelectric potential monitoring stations and earthquakes ($M \geq 4$) around Beijing. Dotted circles show the 300km distance from the stations.



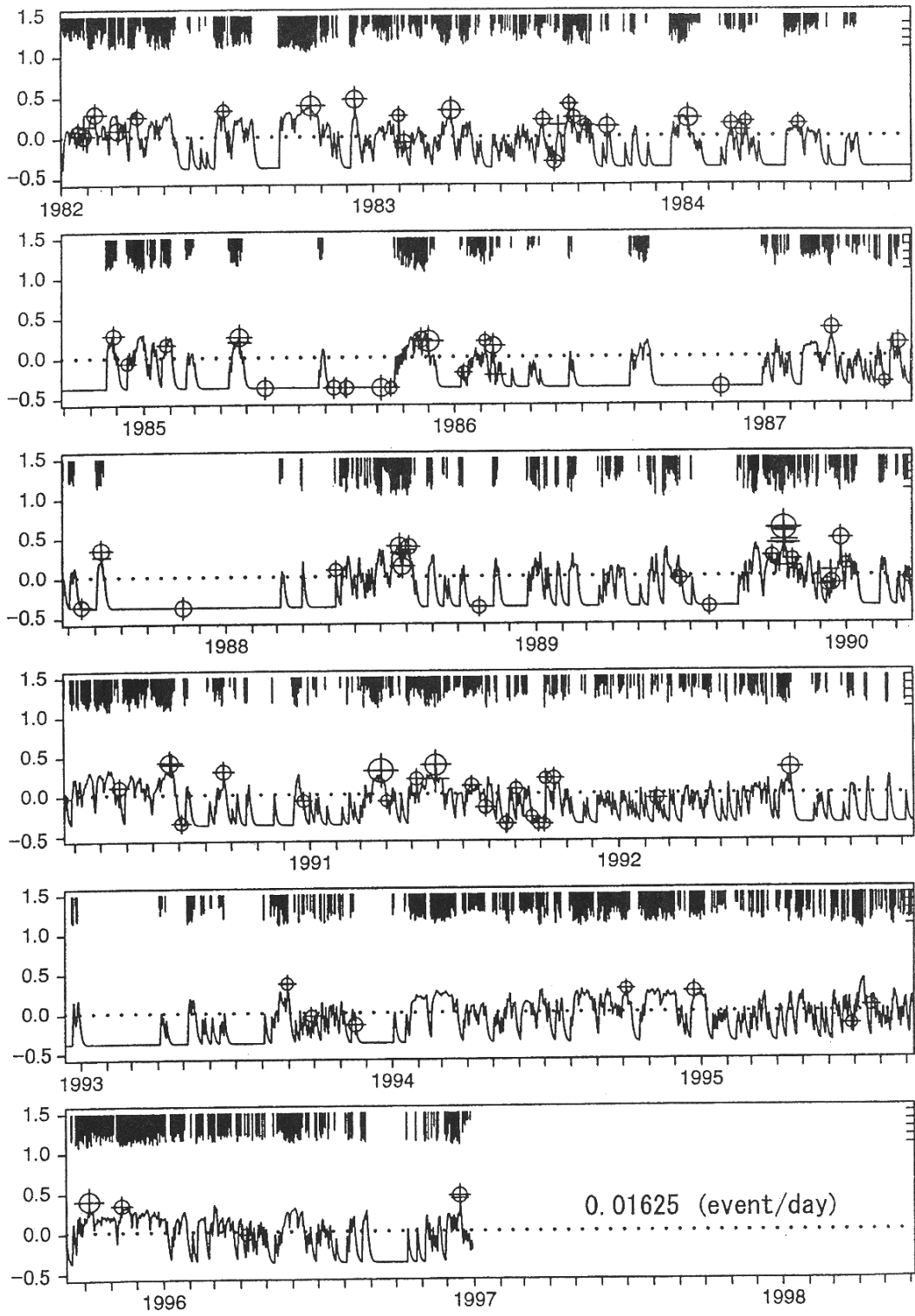
第2図 各観測所の日総量時系列に対する地震危険度の推定応答関数。

Fig.2 Estimated impulse response functions $h(t)$ of the daily strength of the electric signal.



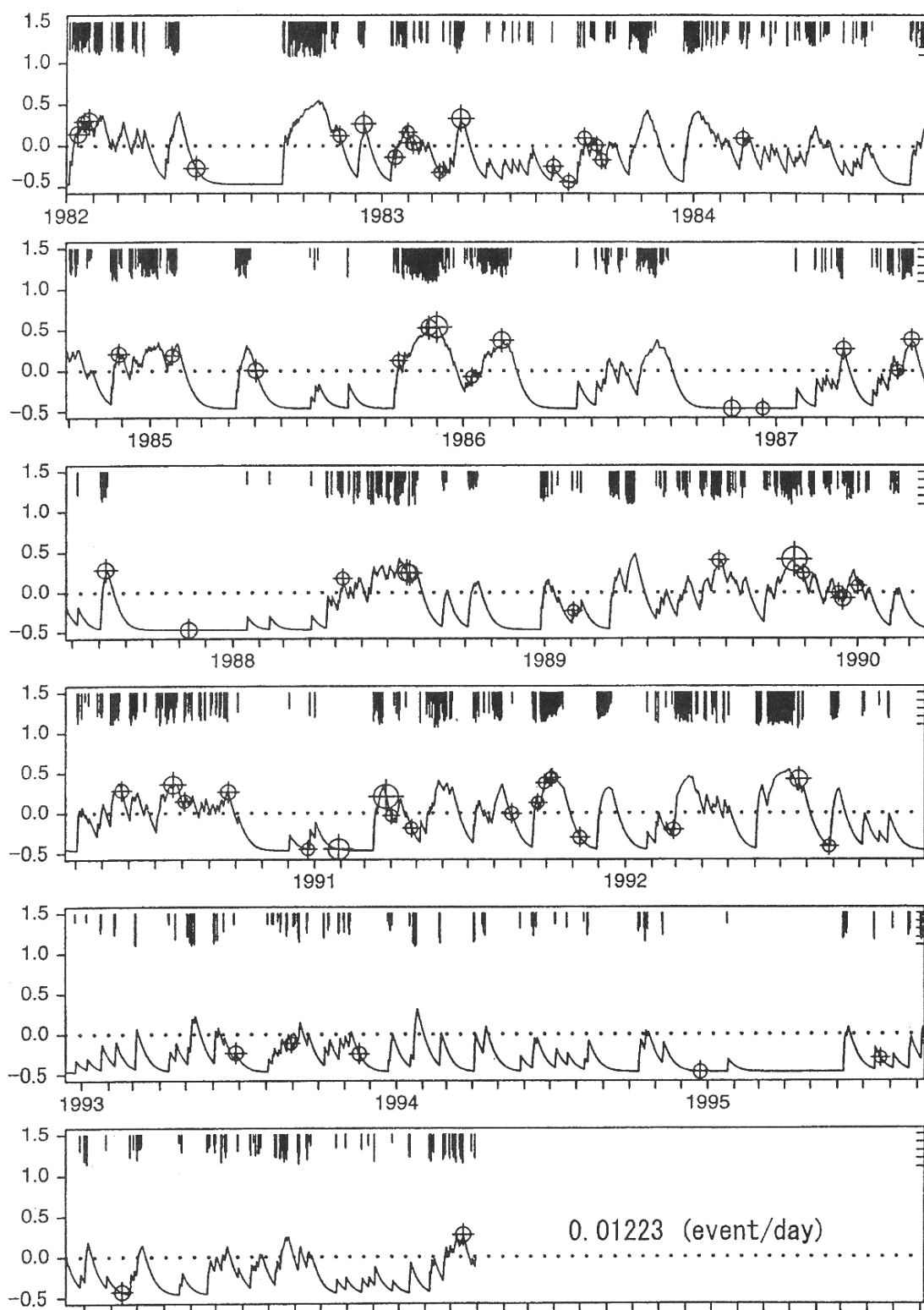
第3図 (a) 懐来 (H)観測所の日総量時系列と対応する領域での推定危険度の時間的推移で縦軸は平均危険度 (水平点線) の倍数を対数スケールで示している。+は地震の発生時を示し、さらに○を重ねたものは除郡の結果残った地震。地電位強度の日総量は上部に逆さまに対数スケール (0.1 から 1000 まで) で示されている。

Fig.3(a) Signals, earthquakes, and hazard rate changes for the Huailai station in logarithmic scale relative to the average hazard rate (the horizontal dotted line). The crosses with circles stand for the independent earthquakes, and crosses without circles stand for the foreshocks and aftershocks that are not used to fit the model. The daily strengths of the electric signal are drawn at the top in each pannel in logarithmic scale varying from 0.1 to 1000



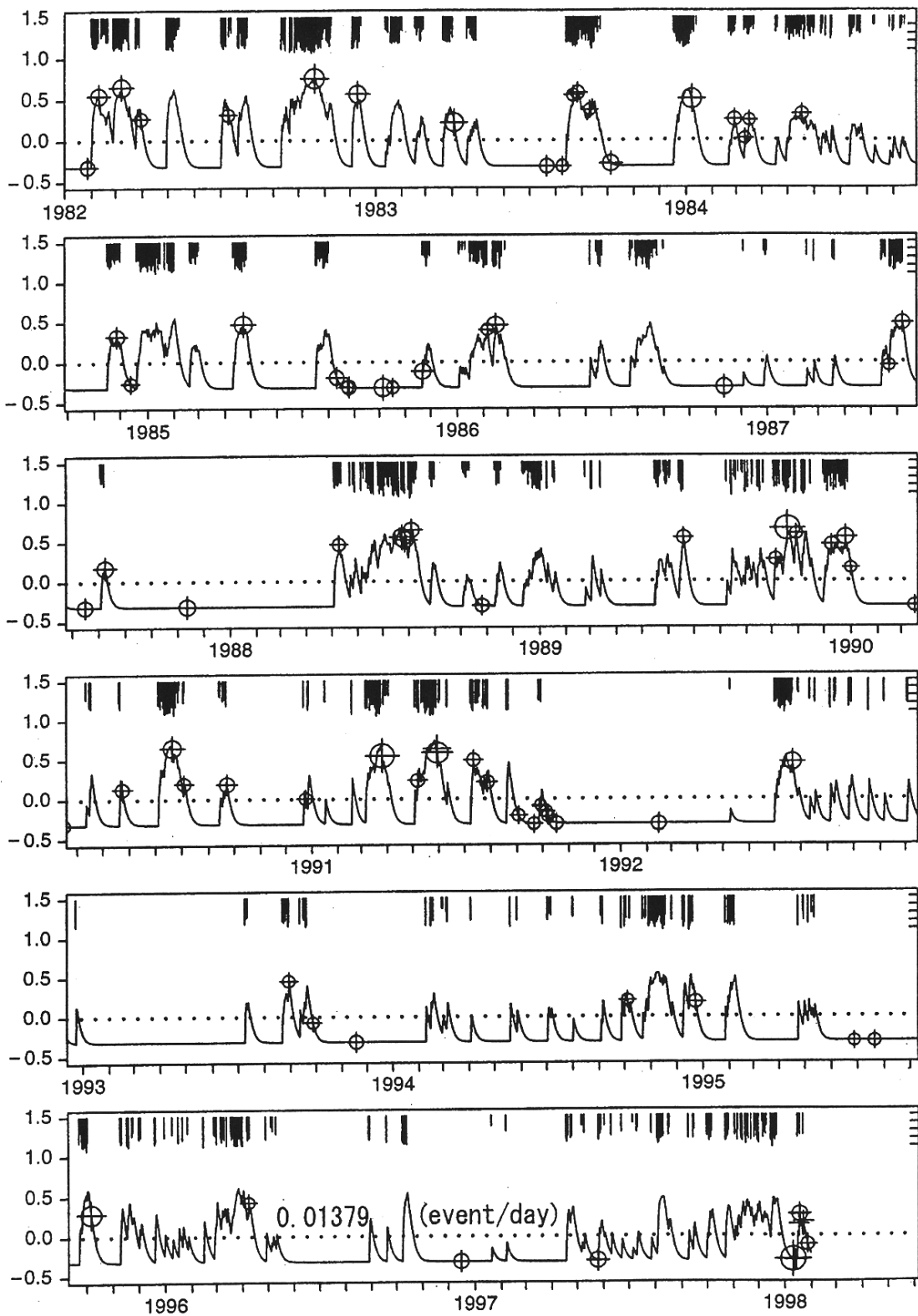
第3図 (b) 廊坊 (L)観測所。

Fig.3(b) Signals,earthquakes, and hazard rate changes for the Langfang station.



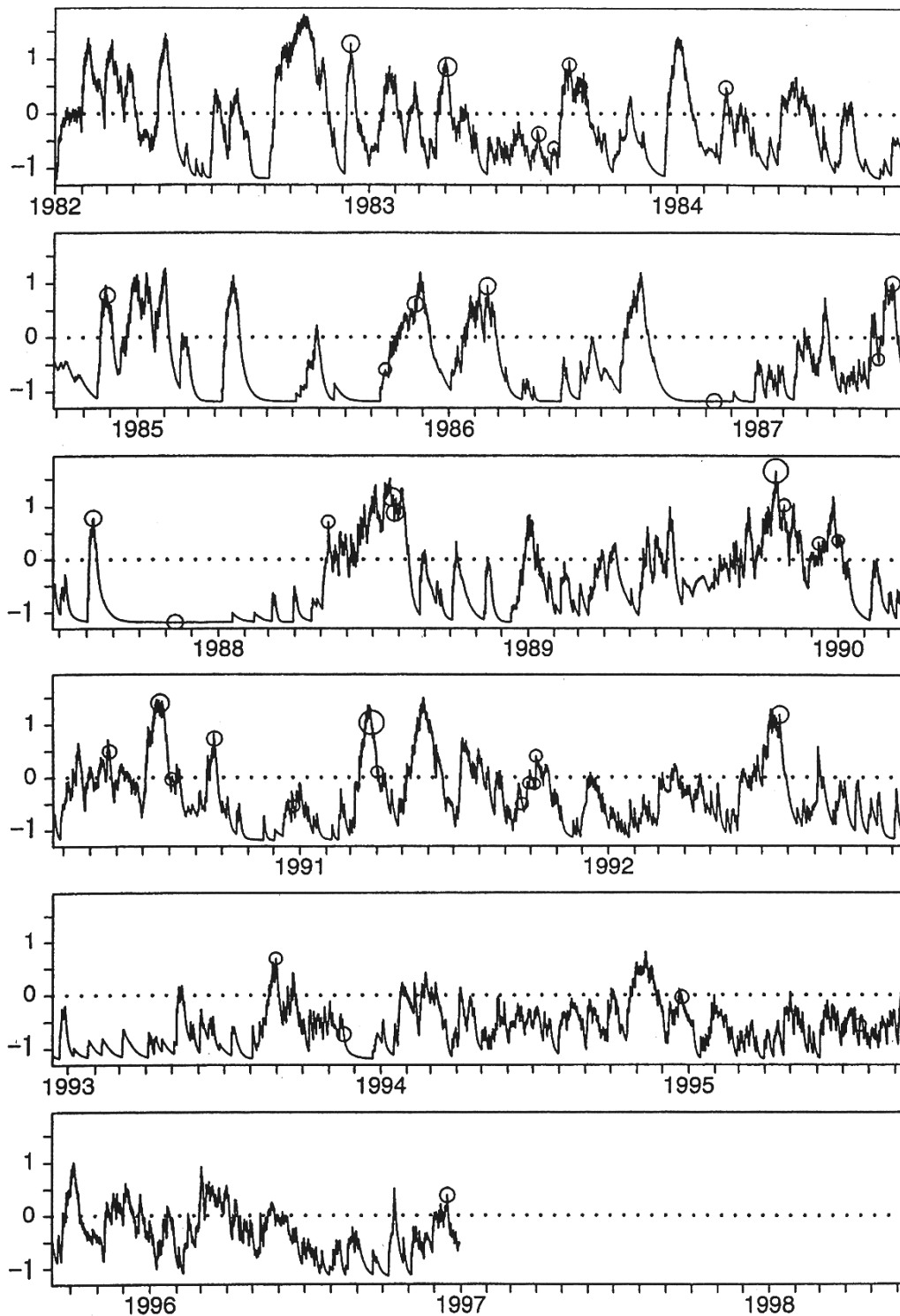
第3図 (c) 青県 (Q)観測所。

Fig.3(c) Signals,earthquakes, and hazard rate changes for the Qingxian station.



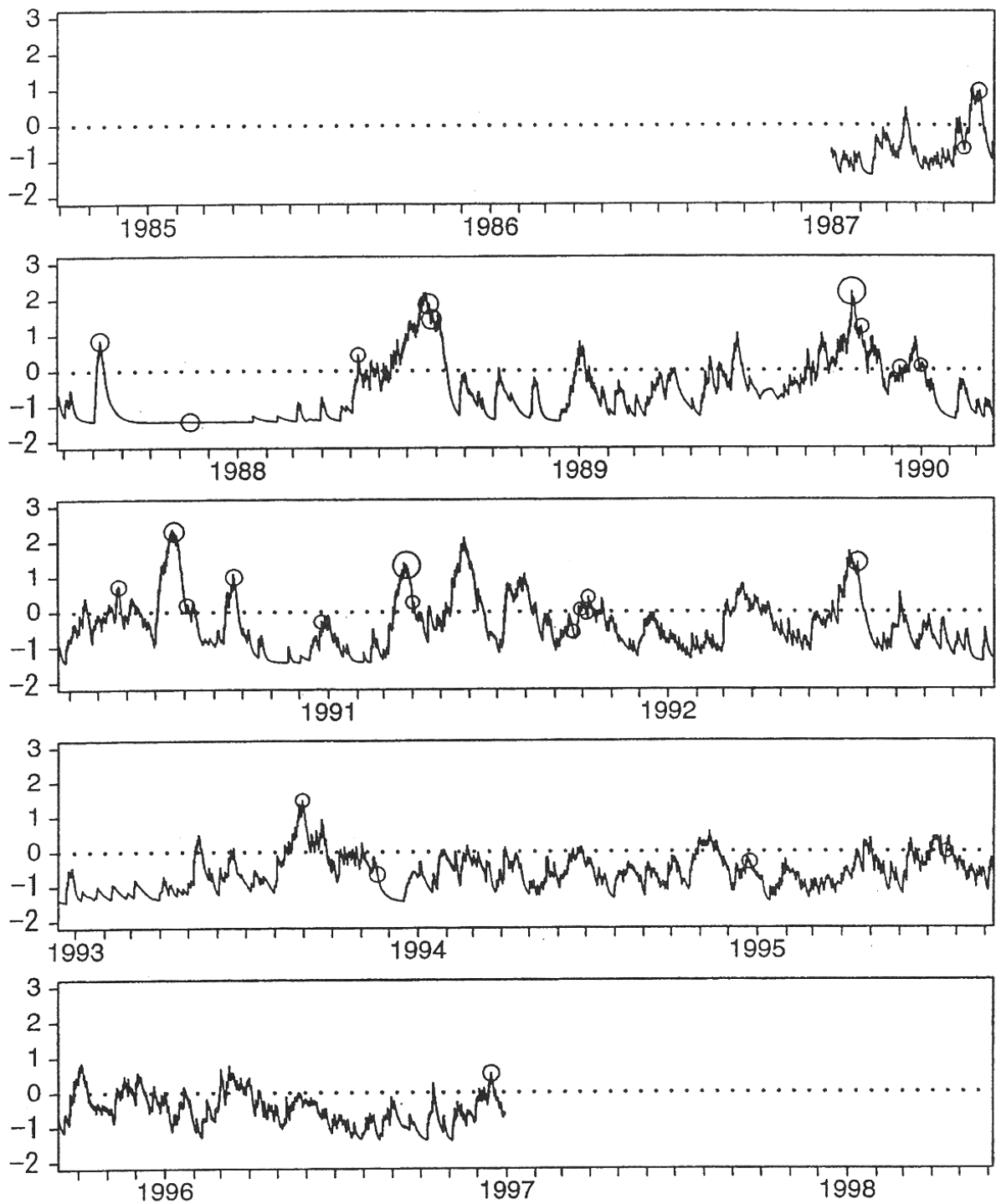
第3図 (d) 三河 (S)観測所。

Fig.3(d) Signals,earthquakes, and hazard rate changes for the Sanhe station.



第4図 廊坊 (L), 青県 (Q)および三河 (S)をそれぞれ中心にした領域の共通部における複合危険度の時間推移で、縦軸は平均危険度 (水平点線) の倍数を対数スケールで表示している。

Fig.4 Hazard rate changes obtained by the multiple prediction formula in the common region for Langfang, Qingxian and Sanhe stations, with logarithmic scale relative to the average hazard rate shown by the horizontal dotted line.



第5図 懐来 (H), 廊坊 (L), 青県 (Q)および三河 (S)の全ての共通領域における複合危険度の時間推移で、縦軸は平均危険度 (水平点線) の倍数を対数スケールで表示している。

Fig.5 Hazard rate changes obtained by the multiple prediction formula in the common region for Huailai, langfang, Qingxian and Sanhe stations, with logarithmic scale relative to the average hazard rate shown by the horizontal dotted line.