海城および唐山地震の先行現象

東京工業大学理学部応用物理学教室 鄭 建 中

(昭和 55 年 10 月 24 日受理)

Precursors to the Haicheng and Tangshan Earthquakes

Jian-zhong ZHENG*

Department of Applied Physics, Faculty of Science,
Tokyo Institute of Technology

(Received October 24, 1980)

Many precursory phenomena, both geophysical and biological, were reported in relation to the Haicheng ($M=7.3$, 1975) and Tangshan ($M=7.8$, 1975) earthquakes in China. Precursor times and epicentral distances of these premonitory effects are analysed by making use of the Weibull distribution which was extensively utilized by RIKITAKE (1975, 1978 a, 1978 b, 1979 a, 1979 b) and RIKITAKE and SUZUKI (1979).

Three kinds of precursor, each having a mean precursor time amounting to 418 days, 2.8 hours and 4.2 days respectively are found from the analysis for the geophysical precursors of the Haicheng earthquake. These precursors seem to coincide with the first, second and third precursors as defined by RIKITAKE (1979 a). On the other hand, the second or imminent precursor seems to have been missing for the Tangshan earthquake although the other two precursors having mean precursor times respectively amounting to 497 and 21 days seem to have been observed.

Mean precursor times for anomalous animal behavior are estimated as 7.8 and 0.6 days for the Haicheng earthquake, while only one peak of precursor time is obtained at 0.4 days for the Tangshan earthquake.

Maximum frequency of the epicentral distance of precursors seems to occur within a range 120-140 km for both the earthquakes.

The results of the present analysis do not differ much from those so far obtained for the distribution of precursor times for world-wide data and a few particular earthquakes. It may be that we may accomplish an earthquake prediction provided careful detection of possible precursors can be performed with a dense array of observation instruments covering an extensive area.

§1. はじめに

海城地震 ($M=7.3$, 1975) 及び唐山地震 ($M=7.8$, 1976) はそれぞれ中国の遼寧省南部及び北京—天津—唐山地区に発生した。これらの地域には比較的高密度の専門観測点及び大衆観測点がある。それらの各観測点では、地震活動、地殻変動、地磁気、地電流、重力、地下水、ラドンなどの観測が行われていたので、地震の発生に先行して、多くの地震先行現象を観測する

昭和 55 年 10 月 15 日発表

* 現在の勤務先: 中国科学院地球物理研究所

ことができた。このように、ある特定の地震の先行現象が多数観測されたことは、地震予知研究史上はじめてのことといえよう。この報文においては、これらの先行現象をとりまとめ、その先行時間及び震央距離を Weibull 分布 [RIKITAKE (1975, 1978 a, 1979 ab); 力武 (1978); 力武・鈴木 (1979)] を用いて解析する。

§ 2. データ

地学的先行現象のデータは、主として中国において正式に発表された出版物と日本の訪中国報告書などによる。これらは蔣 (1978) と陳他 (1979) に基づき、また、朱 (1976), 地震学会 (1978), 国立防災科学技術センター (1979), 力武 (1979 c) などとも参考にして得たものである。ここに取り扱ったデータは全部とはいわないまでも、特に著しい先行現象の大部分をカバーしていると考えてさしつかえないと信じる。先行現象の震央距離は中国地図 [地図出版社, (1966)] を用いて求めたが、その精度は今回の統計的解析に対しては十分である。これらのデータは APPENDIX 1 及び 2 にまとめている。

地震に先行する動物異常行動の先行時間は主に ZHENG (1979) に基づき、朱 (1976), 地震学会 (1978), 国立防災科学技術センター (1979), 力武 (1979 c), 尾池 (1978) などとも参考にして得られたものである。

§ 3. 先行現象の震央距離の頻度分布

海城地震の先行現象の中で震央距離のわかつているものは 58 個であり、唐山地震については 153 個である。ここでは震央距離の常用対数 $\log_{10} \Delta$ (Δ の単位, km) の頻度分布を調べることにする。

Fig. 1 a および Fig. 1 b は海城地震及び唐山地震の先行現象について $\log_{10} \Delta$ のヒストグラムを示したものである。図から、二つのグラフの様子はよく似ており、両者とも、 $\log_{10} \Delta = 2 \sim 2.25$ のところにピークがあることがわかる。

動物異常行動については観測された地点の位置がはつきりしないため、 $\log_{10} \Delta$ のヒストグラムを調べることはできなかった。

§ 4. 先行現象の先行時間の頻度分布

先行時間のわかつている地学的先行現象のデータを取りまとめたところ、海城地震では 61 個、唐山地震では 161 個となつた。先行時間 T を日数で表わしたときのヒストグラムを Fig. 2 に示した。図に見られるように、海城地震の場合の先行時間の三つのピークは、ちょうど

Fig. 1 a. The histogram of logarithmic epicentral distance (Δ in km) for the precursors of the Haicheng earthquake.
 1 b. The histogram of logarithmic epicentral distance (Δ in km) for the precursors of the Tangshan earthquake.

Fig. 2 a. The histogram of logarithmic precursor time (T in days) of geophysical precursors for the Haicheng earthquake.
 2 b. The histogram of logarithmic precursor time (T in days) of geophysical precursors for the Tangshan earthquake.
 I, II and III denote the precursors of the first, second and third kinds, respectively.

Fig. 3 a. The histogram of precursor times for anomalous animal behaviour in the case of the Haicheng earthquake.

3 b. The histogram of precursor times for anomalous animal behaviour in the case of the Tangshan earthquake.

RIKITAKE (1979 a) によつて分類された第 1, 第 2, 第 3 種先行現象の先行時間に対応している。唐山地震の場合には第 1, 第 3 種先行現象は見られるが第 2 種先行現象に相当する先行時間帯に観測例が報告されていないので, 第 2 種先行現象が存在したか否かはわからない。

ZHENG (1979) に基づいて, 海城地震の動物異常行動の先行時間の頻度分布を調べた。地震直前の 5 日間のデータについては, T を時間で表わし, それ以前のデータについては T を日数で表した。前者の場合には 24 時間を時間間隔とし, また後者の場合には 10 日間を間隔として Fig. 3 a に示すヒストグラムが得られた。

唐山地震の場合には, 先行時間 T を時間で表わし, 間隔 24 時間で Fig. 3 b に示すヒストグラムを得た。図から明らかのように海城地震に先行する動物異常行動の先行時間のピークは二つあり, 唐山地震の場合には, 一つしかないということがわかる。

§ 5. Weibull 分布による解析

海城地震及び唐山地震の先行現象の先行時間及び震央距離の頻度分布を解析するために Weibull 分布を用いる。

ある地震が時刻 s 以前に起つていないとして, s と $s+\Delta s$ との間に起る確率を $\lambda(s)$ とする。ここに $\lambda(s)$ は, Weibull 分布

$$\lambda(s) = Ks^m \quad (1)$$

で表わされると仮定する。 K と m は定数で、 $K > 0$, $m > -1$ とする。

$0 \sim s$ の間に地震が発生する集積確率を $F(s)$ とし、信頼度関数 $R(s)$ を

$$R(s) = 1 - F(s) \quad (2)$$

で定義すれば

$$R(s) = \exp \left[- \int_0^s \lambda(s) ds \right] = \exp \left(- \frac{Ks^{m+1}}{m+1} \right) \quad (3)$$

となる。

地震が起る確率密度 $f(s)$ は、

$$f(s) = - \frac{dR(s)}{ds} = Ks^m \exp \left(- \frac{Ks^{m+1}}{m+1} \right) \quad (4)$$

で与えられる。

したがって、 s の平均値は、

$$E[s] = \int_0^\infty s f(s) ds = \left(\frac{K}{m+1} \right)^{-1/(m+1)} \Gamma \left(\frac{m+2}{m+1} \right) \quad (5)$$

で与えられる。ここに Γ は Gamma 関数である。

$$E[s^2] = \int_0^\infty s^2 f(s) ds = \left(\frac{K}{m+1} \right)^{-2/(m+1)} \Gamma \left(\frac{m+3}{m+1} \right) \quad (6)$$

であるので、その平均値の標準偏差は、

$$\sigma[s] = (E[s^2] - E^2[s])^{1/2} = E[s] \left[\Gamma \left(\frac{m+3}{m+1} \right) - \Gamma^2 \left(\frac{m+2}{m+1} \right) \right]^{1/2} / \Gamma \left(\frac{m+2}{m+1} \right) \quad (7)$$

となる。

$1/R$ の二重自然対数をとれば、(3) より

$$\log_e \log_e \left(\frac{1}{R} \right) = \log_e \frac{K}{m+1} + (m+1) \log_e s \quad (8)$$

という関係が得られる。

式 (8) で $\log_e \log_e (1/R)$ と $\log_e s$ の間には直線関係が成立する。

Δs 間隔の各区間のうち、 i 番目の区間 $i\Delta s$ と $(i+1)\Delta s$ ($i=0, 1, 2, \dots$) の間に s が入る確率密度 f_i は

$$f_i \Delta s = n_i / N \quad (9)$$

で与えられる. ここで n_i, N はそれぞれ i 番目の区間にある $\log_e s$ の数, データの総数を表わす. したがって集積確率は,

$$F = \Delta s \sum_{i=1}^i f_i = \sum_{i=1}^i n_i / N \quad (10)$$

となる.

したがって, F 及び R は実際のデータより求められる. さらに式 (8) の $\log_e \log_e (1/R)$ と $\log_e s$ との直線関係を用いて最小自乗法によりパラメーター K 及び m を求めることができる.

このようにして決定された K と m を用いて平均値 $E[s]$ 及び標準偏差 $\sigma[s]$ を計算することができる.

Fig. 4. $\log_e \log_e (1/R)$ vs. $\log_e s$ plots for geophysical precursors of the Haicheng earthquake. I, II and III denote the precursors of the first, second and third kinds, respectively.

以上の方法を海城地震の各種地学的先行現象に適用した結果が Fig. 4 である. これから, パラメーター K 及び m を求めて, 式 (5) 及び (7) を地学的先行現象の先行時間に適用し, その平均値と標準偏差を求めた. その結果は Table 1 に示してある. また唐山地震についての同様の解析結果も同表に示してある. さらに動物異常行動の先行時間に関する同様の解析結果は Table 2 に, また震央距離についての解析結果は Table 3 に示してある.

Table 1. Mean precursor time $E[T]$ and its standard deviation $\delta[T]$ for respective analyses.

	Precursor of the first kind (days)		Precursor of the second kind (hours)		Precursor of the third kind (days)	
Analysis	$E[T]$	$\delta[T]$	$E[T]$	$\delta[T]$	$E[T]$	$\delta[T]$
Rikitake's world-wide data			2.4	2.3	4.5	11.4
Haicheng earthquake 418		36	2.8	2.6	4.2	3.4
Tangshan earthquake 497		229			21.8	47.8
Near Izu-Oshima Island earthquake					scores of days	

Table 2. Mean precursor time $E[T]$ and its standard deviation $\delta[T]$ for anomalous animal behaviour.

Analysis	$E[T]$ (days)	$\delta[T]$ (days)	Reference
Rikitake's world-wide data	0.4 0.3(hours)	0.9 2.0(hours)	RIKITAKE (1978 a)
Miyagiken-Oki earthquake	0.07	0.03	RIKITAKE and SUZUKI (1979)
Near Izu-Oshima Island earthquake	0.6	0.2	RIKITAKE (1978 b)
Haicheng earthquake	7.8 0.6	10.1 0.5	
Tangshan earthquake	0.4	1.5	

これらの解析における $\log_e \log_e (1/R)$

vs. $\log_e s$ プロットの図は省略する.

なお, 比較のために Table 1 には, RIKITAKE (1979 a) によつて求められた既存の汎世界的データ及び伊豆大島近海地震の際の平均値 $E[T]$ と標準偏差 $\sigma[T]$ をも記してある. また, Table 2 には地震に先行する動物異常行動について, 汎世界的データや伊豆大島近海地震, 及び宮城県沖地震のデータより求められた先行時間の平均値 $E[T]$ と標準偏差 $\sigma[T]$ をも記してある.

§ 6. 考 察

(1) Table 1 によると, 海城地震及び唐山地震の第 1 種先行現象の先行

時間の平均値はそれぞれ 418 日, 497 日である. また, 実際のデータの分布範囲は APPENDIX 1 及び 2 によりそれぞれ 360~4320 日, 330~3600 日であるが, それは海城地震及び唐山地震の長中期的予測が行なわれた期間に相当する [蔣 (1978); 陳地 (1979)].

(2) 海城地震の第 2 種先行現象の先行時間の平均値 2.8 時間は, 汎世界的データの平均値 2.4 時間に近い. 海城地震直前 2.8 時間というのは, ちょうど前震の頻度分布における 2

Table 3. Mean epicentral distance $E[D]$ and its standard deviation $\delta[D]$.

Haicheng earthquake		Tangshan earthquake	
$E[D]$ (km)	$\delta[D]$ (km)	$E[D]$ (km)	$\delta[D]$ (km)
139	96	123	113

Fig. 5. Changes in the number of foreshocks of the Haicheng earthquake and the mean precursor times. A: Mean precursor time for the third kind precursor; B: Mean precursor time for the second kind precursor; C: Mean precursor time for anomalous animal behaviour.

番目のピークに相当する (Fig. 5 の “B”). 唐山地震については, 第 2 種先行現象に対応する観測例がないようである.

(3) 海城地震の第 3 種先行現象の先行時間の平均値 4.2 日は汎世界的データの平均値 4.5 日によく一致する (Table 1). 海城地震前 4.2 日即ち 2 月 1 日午前 1 時ごろは Fig. 5 に見られるようにちょうど最初の前震 ($M=0.5$) が起り始めた時期である. 唐山地震の第 3 種先行現象の先行時間の平均値 21.8 日は汎世界的データの平均値 4.5 日より大きい, 伊豆大島近海地震の先行現象の先行時間の平均値数日 [RIKITAKE (1979 b)] に近い値である (Table 1).

(4) 海城地震の動物異常行動の先行時間の頻度分布には 2 つのピークがあり (Fig. 3 a), その平均値はそれぞれ 7.8 日, 0.6 日である. 7.8 日という先行時間は汎世界的データの平均値よりかなり長い. 0.6 日という先行時間は, 海城地震の前震が最も頻繁に発生した時間帯や最大の前震 ($M=4.7$) が発生した時刻とよく一致する (Fig. 5). 唐山地震については, 動物異常行動の先行時間の平均値は 0.4 日である. それらの 0.6 日及び 0.4 日という先行時間は汎世界的データの平均値及び伊豆大島近海地震について求められた先行時間の平均値とあまり変わらない. しかし, 超短期的先行時間をもつ動物異常行動については, 報告例がないようである.

(5) Table 1 及び 2 からみると, 海城地震と唐山地震とでは, 先行現象の種類や時間帯に異なるところがある. そういう両者の違いは, 地震の種類の違いと関係があると思われる. なぜなら, 海城地震は「前震一本震一余震」型 [呉他 (1976)] であり, 唐山地震は「本震一余震」型 [馬 (1978)] であるからである. Fig. 5 に見られるように, 前震に伴う海城地震の第 3 種及び第 2 種先行現象の先行時間の平均値と短期的動物異常行動の先行時間の平均値の 3 種類の先行時間は, それぞれ海城地震の最初の前震 ($M=0.5$) の起つた時期, 前震の頻度分布の 2 番目のピークの出現した時期及び最大前震の起つた時期にかなり良く一致している. 唐山地震では前震がなかつたので第 2 種先行現象が見られず, 第 3 種先行現象の平均先行時間はかなり長いほうにずれた.

(6) Fig. 1 からは, 地震先行現象が観測された地点の震央距離の頻度分布は海城地震も唐山地震も大体同じであることがわかる. その頻度分布のピークは両者とも $\log_{10} A=2.0\sim 2.25$ のあたりにあり, その平均値はそれぞれ 139 km 及び 123 km である. 鄭他 (1979) によると, 唐山地震前に, 地下水異常下降値が一番早く起つた地点の震央距離は 100 km 前後であつたようである. また馬 (1978) によると, 海城地震及び唐山地震前 3 年間の地震活動は長軸半径 150 km, 短軸半径 100 km の楕円状の範囲に分布する. 上に求めた平均の震央距離は, この範囲に入るの, この範囲内で, 海城地震及び唐山地震の発生につながるストレスの集積などの地学的諸過程が進行したものと思われる.

(7) APPENDIX 1 及び 2 から見ると、ある特定の方法で観測された先行現象の中には、先行時間に広がりがあり、第1種から第3種まで対応する先行現象が存在する。例えば地殻変動、地電流、電気比抵抗、地磁気、重力、ラドンなどの方法で観測した先行現象には、第1種から第3種までのすべての先行現象が存在する。よつて、RIKITAKE (1979 a) の第1種先行現象の先行時間は、各方法で観測した先行現象の先行時間の上限を与えたに過ぎない。しかし、震央距離と関係のない方法、例えば地震波速度比 V_p/V_s 、 b 値、微小地震の震源メカニズムなどの観測方法で得られた先行現象には、第1種先行現象しか存在しない。

(8) Fig. 2a 及び 2b はそれぞれ海城地震及び唐山地震の地学的先行現象の先行時間の頻度分布であるが、Fig. 3a 及び 3b に示した動物異常行動の先行時間の頻度分布とは著しく異なつた分布を示すことは興味深い。地学的先行現象と動物異常先行現象では先行時間の頻度分布のピークが見られる時間が違う。したがつて、海城地震及び唐山地震の動物異常先行現象の先行時間は、地学的先行現象の先行時間と異なつた分布となる。つまり、この二つの先行現象は、相補的であるということになる。

§7. おわりに

海城地震及び唐山地震の先行時間の頻度分布を Weibull 分布を用いて解析したところ、RIKITAKE (1979 a, 1978 a) が汎世界的データから求めたような各種地学的先行現象と動物異常先行現象が、海城地震及び唐山地震の場合にも先行現象として存在することが明らかとなつた。また、その平均先行時間は地震によつて異なることもあるらしいことがわかつた。

このような結果から判断して、長期予報が出されている地域において観測を強化継続しているならば、第3種先行現象の出現を経て、第2種先行現象をキャッチすることができるものと思われる。即ち、この異常をいわゆる直前予報として、地震警報に結びつけることができると期待される。事実、中国の海城地震の場合には、長期、中期、短期及び臨震の各段階 [蔣(1978); 朱(1976)] をふんで、地震警報発令となつた。また、動物異常先行現象は、補助的役割を果たさであろう。

上述の議論によると、地震予知が全く「不可知」、「五里霧中」というわけではないことがわかる。海城地震の予知が成功したことがその有力な証拠ではないと思われる。勿論、的確な科学的予知には、まだまだほど遠いことは明らかであり、今後ともより多くのデータの取得及び予知理論の完成に向けて、一層努力を続けなければならない。

§ 8. 謝 辞

この論文を終るにあたり、指導教官としていろいろ指導して下さい、いろいろ配慮して下さい、いろいろの文献と著作を拝読させて頂いた力武常次教授に深く感謝申し上げます。

なお、本蔵義守助教授、田中秀文助手をはじめ、研究室の皆様にもいろいろお世話になりました。田中秀文助手には直接手伝っていただき、数々の討論をしていただき、入手しにくい文献の便宜を計って下さいました。

このように多くの皆様に支えられて、この論文ができたことを思い、心から感謝しつつ筆をおく次第です。

文 献

- 馬鴻慶, 1978, 華北地区幾次大震前の b 値異常変化, 地球物理學報, **21**, 126-141.
- 陳 非比・張 建華・劉 秉良・商 宏寬 (編著), 1979, 唐山地震, 地震出版社, 北京, 145 pp.
- 地図出版社 (編), 1966, 中国地圖冊, 地圖出版社, 北京, 35 pp.
- 吳 開統・岳明 生・武 宜英・曹新 玲・陳 海通・黃 偉琮・田 抗援・芦 壽德, 1976, 海城地震序列的特征, 地球物理學報, **19**, 95-109.
- 地震学会, 1978, 1977 年地震学会訪中代表団報告集, 地震学会, 東京, 154 pp.
- 国立防災科学技術センター, 1979, 中国の地震予知の現状—1978 年訪中地震予知調査団の報告一, 国立防災科学技術センター, 東京, 169 pp.
- 尾池和夫, 1978, 中国の地震予知, 日本放送出版協会, 東京, 235 pp.
- RIKITAKE, T., 1975, Earthquake Precursors, Bull. Seismol. Soc. Am., **65**, 1133-1162.
- RIKITAKE, T., 1978 a, Biosystem Behaviour as an Earthquake Precursor, Tectonophysics, **51**, 1-20.
- 力武常次, 1978 b, 伊豆大島近海地震と動物先行現象, 地震予知連絡会会報, **20**, 67-76.
- RIKITAKE, T., 1979 a, Classification of Earthquake Precursors, Tectonophysics, **54**, 293-309.
- RIKITAKE, T., 1979 b, Precursors to the 1978 Near Izu-Oshima Island, Japan, Earthquake of Magnitude 7.0. In: T. Rikitake (Editor), Current Research in Earthquake Prediction I, Center for Academic Publication Japan/Japan Scientific Societies Press, Tokyo, in press.
- 力武常次, 1979 c, 地震予報・警報論, 学会誌刊行センター, 東京, 371 pp.
- 力武常次・鈴木美音子, 1979, 宮城県沖地震と動物先行現象, 地震予知連絡会会報, **21**, 28-37.
- 蔣凡 (編著), 1978, 海城地震, 地震出版社, 北京, 90 pp.
- 朱鳳 鳴, 1976, 海城に発生した $M7.3$ の地震に関する予知・予報と防災の概況, 地震学会 (編), 中国地震考察団講演論文集, 地震学会, 東京, 15-26.
- 鄭 治真・劉元 壯・胡 作春・呂苑 苑・景 天永・張 耀国, 1979, 根据地下水資料的数字濾波探討唐山地震的孕育過程, 地球物理學報, **22**, 267-279.
- ZHENG, G. Z., 1979, Some Characteristics of Animal Behavior Prior to Earthquakes, Proceedings of the UNESCO Symposium on Earthquake Prediction, in press.

APPENDIX 1. Earthquake precursor data for the Haicheng earthquake

Discipline	Precursor Time (days)	Epical Distance (km)	Amount	Observation Point	Reference*
Leveling	4320	110	5 mm in uplift	Zhuanghe	(1)
	4320	120	" "	Chengzitan	(1)
	4320	215	" "	Dalian	(1)
Short level	540	200	NWW 1.5'' NNE 1.4''	Jinxian	(5)
	540	120	—	Chengzitan	(1)
	540	160	—	Pulandian	(1)
	540	110	—	Zhuanghe	(1)
Tilt	240	20	—	Shipengyu	(1)
	4	150	2 sec	Shenyan	(1)
	—	160	—	Jinzhou	(1)
	—	90	—	Panjin	(1)
Sea-Water level	2200	20	9 cm in uplift	Yingkou	(4)
	2200	150	11 cm	Huludao	(4)
	2200	285	8 cm	Qinhuangdao	(4)
	2200	475	25 cm	Tanggu	(4)
	2200	400	11 cm	Longkou	(4)
Foreshock	0.5	—	M 4.7, 4.3	Yingkou	(1)
Microseismicity	730	—	20→40	—	(3)
b-Value	660	—	2.1→0.5	—	(6)
V_p/V_s	1460	—	—10%	—	(7)
P wave Residual	1460	—	+0.73 sec	—	(8)
Geomagnetism	480	215	$\Delta Z + 21.5 \gamma$	Dalian	(1)
	480	400	$\Delta D - 1'$	Changchun	(1)
Resistivity	750	90	NE +30% NW -16%	Panjin	(1)
	60	90	—	Panjin	(1)
Earth Currents	3	20	130→80 mv	Yingkou	(1)
	0.25	20	sudden change	"	(1)
	25	20	56→39 μA	Huzhuang	(1)
	0.5	20	20→30 μA	"	(1)
	0.25	15	sudden change	Haicheng	(1)
	—	75	—	Benxi	(1)

APPENDIX 1 (continued)

Discipline	Precursor Time (days)	Epical Distance (km)	Amount	Observation Point	Reference*
Gravity	0.42	150	32→26 μ A	Shenyang	(1)
	0.5	150	sudden change	Shenyang	(1)
	0.5	160	"	Fushun	(1)
	0.5	80	"	Xiongyao	(1)
	0.5	90	"	Panshan	(1)
	0.5	80	"	Dawa	(1)
	0.5	60	"	Youyan	(1)
	960	—	—392 μ g	Baizhen-Zhuanghe	(9)
	960	50	+188 μ g	Gaixian-Donghongdi	(9)
	390	150	5.43 kg/cm ²	Shinyan	(1)
	300	215	—	Dalian	(1)
	300	240	—	Kaiyuan	(1)
	300	400	—	Tangshan	(1)
	300	540	—	Anqiu	(1)
	300	160	—	Jinzhou	(1)
Radon	0.06	160	sudden change	Jinzhou	(1)
	0.5	400	"	Tangshan	(1)
	390	90	10-60%	Panjin	(1)
	360	200	"	Jinxian	(1)
	360	150	"	Shenyang	(1)
	360	160	"	Xingcheng	(1)
	360	50	"	Tanggongzi	(1)
	360	120	"	Xiongyao	(1)
	360	160	"	Dandong	(1)
	15	150	14-47%	Shenyang	(1)
	15	120	"	Benxi	(1)
	15	50	"	Tanggongzi	(1)
	15	90	"	Panjin	(1)
	15	200	"	Jinxian	(1)
	15	270	14-47%	Shanhaiguan	(1)
	0.25	80	+60 increase	Tanghe	(1)
	0.25	90	—	Panjin	(1)
	0.25	510	—	Langfang	(1)

APPENDIX 2. Earthquake precursor data for the Tangshan earthquake.

Discipline	Precursor Time (days)	Epicaltral Distance (km)	Amount	Observation Point	Reference*
Geodimeter	3600	—	—	Jingjintang	(2)
	2040	—	+5 mm/yr	—	(2)
Leveling	930	190	-6 mm	Nankou	(2)
	930	160	+4 mm	Dahuichang	(2)
	930	180	-5 mm	Niukouyu	(2)
	930	370	+4 mm	Yageying	(2)
	450	160	+1.1 mm	Dahuichang	(2)
	60	160	—	Dahuichang	(2)
	30	160	—	Dahuichang	(2)
	450	110	—	Xianghe	(2)
	450	170	—	Cangzhou	(2)
	270	360	—	Anqiu	(2)
	120	165	—	Fanzhuangzi	(2)
Water-tube tiltmeter	930	160	—	Dahuichang	(2)
Microseismicity	2400	—	40→10	—	(2)
b-Value	2400	—	1.2→0.48	—	(6)
Hypocetral migration	2400	—	—	—	(2)
Mechanism of minor earthquake	1320	—	—	—	(2)
Energy of minor earthquake	2400	—	—	—	(2)
Geomagnetism	270	—	10 ⁻¹⁰ ergs/yr	—	(2)
	270	70	Δz -15 γ	Changli	(2)
	270	190	Δz -8 γ	Baijatan	(2)
	270	150	Δz -10 γ	Shanhaiguan	(2)
	270	60	Δz -7 γ	Ninghe	(2)
	77	110	—	Chingguang	(2)
	330	150	—	Chanhaiguan	(2)
	60	150	—	Chanhaiguan	(2)
	120	20	—	Tangshan	(2)
	77	170	—	Cangzhou	(2)
	77	280	—	Dezhou	(2)
	77	390	—	Hongshan	(2)
Resistivity	930	20	-5.5%	Tangshan	(10)

APPENDIX 2 (continued)

Discipline	Precursor Time (days)	Epicentral Distance (km)	Amount	Observation Point	Reference*
Earth Currents	540	20	—	Tangshan	(10)
	60	20	-17.6%	Majagou	(10)
	3	20	—	Majagou	(10)
	1110	70	-6.4%	Changli	(10)
	390	70	—	Changli	(10)
	67	70	—	Changli	(10)
	5	70	—	Changli	(10)
	900	80	-3.0%	Baodi	(10)
	450	80	—	Baodi	(10)
	600	110	-3.1%	Chingguang	(10)
	360	110	—	Chingguang	(10)
	1110	120	-3.3%	Shiji	(10)
	510	120	—	Shiji	(10)
	1110	140	-4.7%	Baliqiao	(10)
	360	140	—	Baliqiao	(10)
	270	140	+2.6%	Xuzhuangzi	(10)
	600	150	-4.5%	Zhongxingzhuang	(10)
	390	150	—	Zhongxingzhuang	(10)
	360	170	-5.0%	Xiaotangshan	(10)
	80	20	—	Heyanzhuang	(2)
	40	20	—	"	(2)
	100	70	—	Leting	(2)
	100	120	—	Baidaihe	(2)
	100	60	—	Panzhuang	(2)
	3	60	—	Lujatue	(2)
	3	110	—	Xianghe	(2)
	3	60	—	Luanxian	(2)
	3	50	—	Luannan	(2)
	3	15	—	Fengnan	(2)
	3	70	—	Leting	(2)
	3	60	—	Kailuan	(2)

APPENDIX 2 (continued)

Discipline	Precursor Time (days)	Epicentral Distance (km)	Amount	Observation Point	Reference*
Gravity	3	50	—	Tueli	(2)
	60	50	—	Angezhuang	(2)
	60	20	—	Tangshan	(2)
	1050	—	+100 μ g	—	(2)
	100	40	+101 μ g	Fengrun	(2)
	100	20	+153 μ g	Tangshan	(2)
	100	60	+160 μ g	Luanxian	(2)
	100	70	+126 μ g	Leting	(2)
	100	40	+161 μ g	Guye	(2)
	100	60	—	Yutian	(2)
	100	60	—	Lizhuang	(2)
	210	150	—	Beianhe	(2)
	210	370	—	Huangbizhuang	(2)
	3	150	—	Miyun	(2)
	3	150	—	Beianhe	(2)
	3	370	—	Huangbizhuang	(2)
	3	320	—	Shulu	(2)
	400	150	—	Zhenlueying	(2)
	400	150	—	Wenquan	(2)
	400	150	—	Zhenlueying	(2)
Earth stress	400	330	—	Dalian	(2)
	400	300	—	Yuxian	(2)
	400	290	—	Jianzhou	(2)
	400	480	—	Shenyang	(2)
	400	360	—	Anqiu	(2)
	80	80	—	Changli	(2)
	150	150	—	Zhenlueying	(2)
	300	300	—	Yuxian	(2)
	30	20	sudden change	Tangshan	(2)
	30	30	"	Zhaogezhuang	(2)

APPENDIX 2 (continued)

Discipline	Precursor Time (days)	Epicentral Distance (km)	Amount	Observation Point	Reference*
Radon	30	190	"	Changping	(2)
	30	220	"	Yanqiang	(2)
	30	330	"	Dalian	(2)
	320	20	—	Tangshan	(2)
	30	20	—	Tangshan	(2)
	7	170	—	Wenquan	(2)
	7	30	—	Zhaogezhuang	(2)
	7	190	—	Chongpien	(2)
	120	150	—	Shanhaiguan	(2)
	15	150	—	Shanhaiguan	(2)
	80	80	—	Baodi	(2)
	10	80	—	Baodi	(2)
	150	110	—	Sanhe	(2)
	5	110	—	Sanhe	(2)
	30	360	—	Shijazhuang	(2)
	40	165	—	Mijidian	(2)
	360	150	—	Shanhaiguan	(2)
	60	150	—	Shanhaiguan	(2)
	970	150	increase	Wenan	(2)
	970	90	"	Tianjin	(2)
	970	150	"	Baxian	(2)
	970	150	"	Angezhuang	(2)
	970	190	"	Tiantan	(2)
	970	110	"	Hexiwu	(2)
	1350	160	"	Guanzhuang	(2)
	180	160	"	Guanzhuang	(2)
	200	150	"	Angezhuang	(2)
	107	80	"	Baodi	(2)
	120	190	"	Tiantan	(2)
	30	260	"	Fanshan	(2)
	110	360	"	Shijazhuang	(2)
	180	320	"	Jinxian	(2)
	180	430	"	Anshan	(2)

APPENDIX 2 (continued)

Discipline	Precursor Time (days)	Epicentral Distance (km)	Amount	Observation Point	Reference*
Underground water	180	350	"	Changle	(2)
	4	20	"	Tangshan	(2)
	14	100	"	Zhangdaokou	(2)
	14	160	"	Guanzhuang	(2)
	14	120	+37% increase	Langfang	(2)
	90	90	increase	Tianjin	(2)
	90	70	"	Tanggu	(2)
	90	180	"	Xuangxian	(2)
	90	380	"	Taian	(2)
	900	480	"	Shenyang	(2)
	10	640	"	Qingjiang	(2)
	10	450	"	Qufu	(2)
	10	540	"	Tieling	(2)
	10	530	"	Taiyuan	(2)
	95	20	-50 cm	Tangshan	(11)
	300	46	-45 cm	Shuanggiao	(11)
	250	57	-95 cm	Biaokou	(11)
	395	83	-160 cm	Huezhuang	(11)
	535	98	-565 cm	Baitangkou	(11)
	425	100	-45 cm	Wuqing	(11)
	425	103	-115 cm	Dachang	(11)
	425	131	—	Tongxian	(11)
	375	141	-55 cm	Shunyi	(11)
	325	144	-55 cm	Banqiao	(11)
	400	159	-210 cm	Yufa	(11)
	225	164	-85 cm	Fengtai	(11)
	100	173	-65 cm	Liangxiang	(11)
	1350	90	decrease	Xixiaozhan	(12)
	1470	90	"	Shanggulin	(12)
	1530	80	"	Huezhuang	(12)
	1650	50	"	Huaidin	(12)
	1650	60	"	Biaokou	(12)
	1470	60	"	Shuangqiao	(12)
	1350	20	"	Tangshan	(12)
	1290	20	"	Tangshan	(12)
	11	200	1 ton	Maozhou	(13)
Oil Flow					