

# ロシアで開発されたRTL法およびM8 の日本の事例への適用

—地震活動のゆらぎの定量的評価を目指して—

2008年7月17日  
於：東京大学地震研究所

長尾年恭(東海大), 中村憲二(東海大), Q. Huang(北京大),  
工藤 健(中部大), 井筒 潤(中部大), G. Sobolev(ロシア科学アカデミー), 上田誠也(東海大)

# 研究の背景

- 理化学研究所「地震国際フロンティア研究」(1996–2002)の一環
- ロシア等との協力関係

## 関連主要メンバー

G. Sobolev (RTL)

V. Keilis-Borok , V. Kossobokov, P. Shebalin

(M8, RTP (Reverse Tracing of Precursors),

precursor “*chain*”)

Q. Huang (北京大学)

# これまでに発表した成果（理研関連）の例

Huang, Q. G. Sobolev, Seismic quiescence prior to the 2000 M = 6.8 Nemuro Peninsula earthquake, *Proc. Japan Acad.*, **77**, Ser. B, 1-6, 2001.

Huang, Q., Sobolev, G.A., T. Nagao, Characteristics of the seismic quiescence and activation patterns before the M=7.2 Kobe earthquake, January 17, 1995. *Tectonophysics*, **337**, 99-116, 2001.

Sobolev, G., Q. Huang and T. Nagao, Phases of earthquake's preparation and by chance test of seismic quiescence anomaly, *J. Geodynamics*, **33**, 425-432, 2002.

Huang, Q. and T. Nagao, Seismic quiescence before the 2000 M=7.3 Tottori earthquake. *Geophysical Research Letters*, Vol. **29**, No. 12, 10.1029/2001GL013835, 2002.

Shebalin, P. et al., Advance short-term prediction of the large Tokachi-oki earthquake, September 25, 2003, M = 8.1 A case history, *Earth Planets Space*, **56**, 715–724, 2004

# 地震国際フロンティア研究

## 研究目的

〔平成8年より科技庁傘下の5特殊法人で開始された「地震総合フロンティア研究」のサブプログラムの一つで、理化学研究所が担当。〕

○地震発生に先行する電磁現象の総合的解明により、**科学的地震短期予知研究**に資する。

第1目標：地震先行電磁シグナルの实在性の確立  
第2目標：地震発生に関わる電磁気現象の解明

## 観測体制の確立

○平成12年度までに関東・中部地域を中心に42地点からの観測データを準リアルタイムで収集する体制を整えた。これは世界最高の観測網といえる。

特に房総半島、伊豆半島ではシグナルの到来方向を検知するための群列観測網が設けられた。

## 主な成果

○研究発足後、観測点から20km程度で発生したM5クラスの地震5個のうち4個で明瞭な先行的電磁気学的変化を捉えた。また2000年夏の伊豆諸島の火山・地震活動では約2ヶ月前から別紙に示すような顕著な先行的変動を観測した。

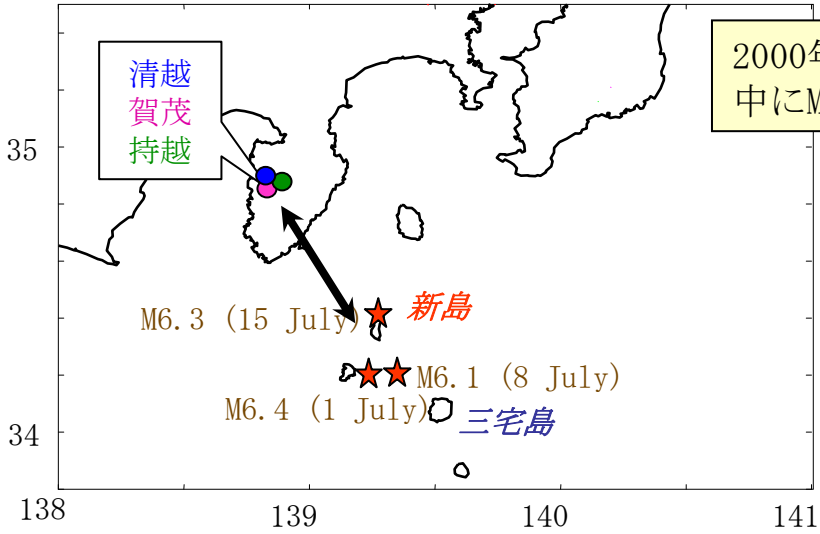
## 本研究の外部評価は？

- ・2000年2月、2001年6月と2度に渡り実施された  
2度とも本研究の意義と成果を認め継続が強く勧告された（別添資料）

しかし、第二期の中止が決定

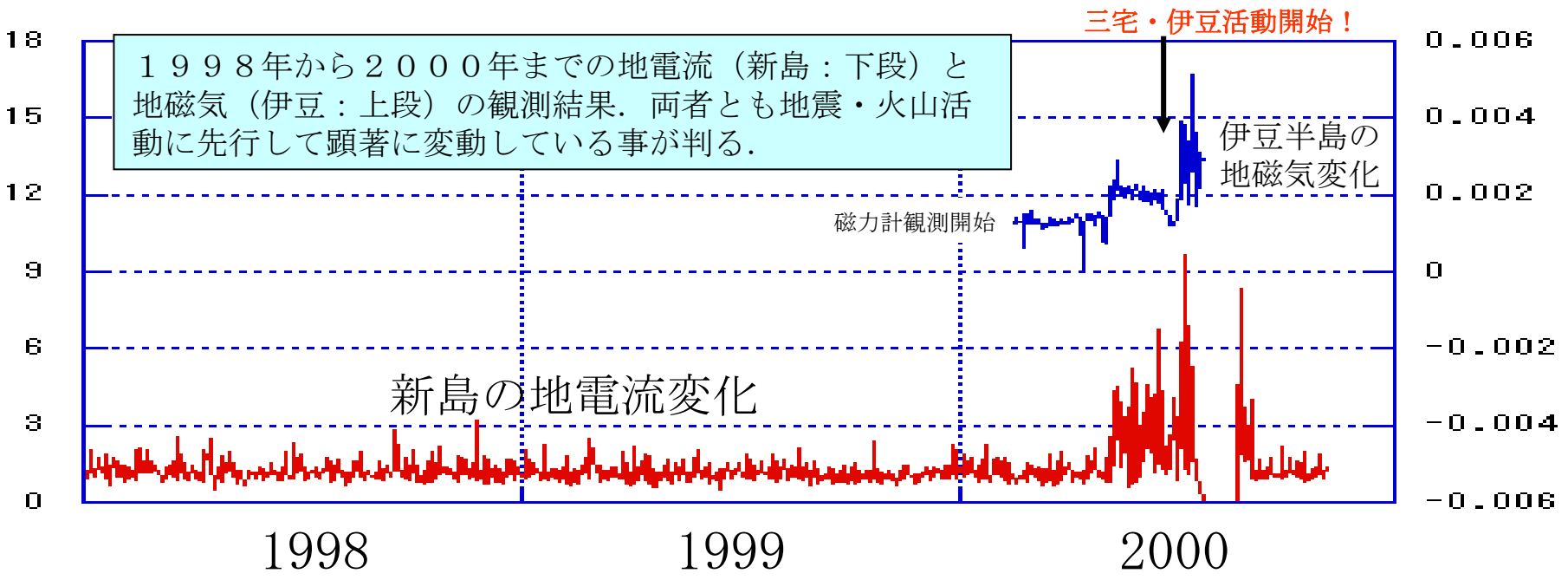
# 電磁気学的先行現象の例

2000年夏の三宅島を含む伊豆諸島での地震活動に先行した電磁界変動



2000年6月から7月末までの伊豆諸島周辺の地震活動。期間中にM6を超える地震は3個発生した。

本研究では伊豆地域の地殻活動モニターのため、電磁気学的な観測点の配備を進め、世界最高レベルの観測網の構築がなされていた（西伊豆、新島、式根島など）。特に西伊豆には、数km離れた3地点で磁力計をアレー（群列観測）として配置していた。微弱な地震前兆を抽出するためには空間的に隣接した地域で3組の独立な電磁気データの取得が必要との情報処理理論の考えに立つものである。



1998年から2000年までの地電流（新島：下段）と地磁気（伊豆：上段）の観測結果。両者とも地震・火山活動に先行して顕著に変動している事が判る。

三宅・伊豆活動開始！

伊豆半島の地磁気変化

磁力計観測開始

新島の地電流変化

# アルゴリズム M8

- 絶対的な地震活動度
- 上記地震活動度のゆらぎ
- ある程度規模の大きな地震の空間的集中度
- 過去1年間の主要な地震の余震活動のはげしさ
  - 機械的に警報を発令, 5年間継続

**TIPS** (Times of Increased Probability of strong EQs)

TIPsを宣言するためには過去3年間に前述のパラメータが別に規定された異常を示す必要がある  
(異常の意味: 通常は値が上位10%および25%以内を採用)

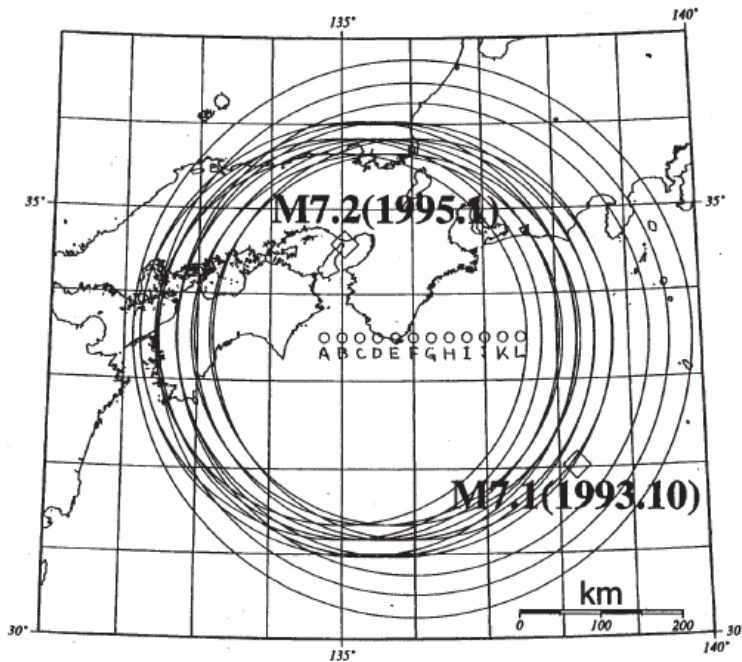
- **Independent check for the case of the Kobe EQ**

Kossobokov et al. (1999) insists that the Kobe EQ was preceded by a TIP. This TIP was diagnosed when  $M_0 = 7.0$  and circle of investigation (CI) is centered at  $33.5^\circ\text{N}$ ,  $135.75^\circ\text{E}$ . In order to verify the relations between TIPs and the positions of the CI, we applied the M8 algorithm within the twelve CIs whose centers are evenly distributed along the line connecting  $33.5^\circ\text{N}$ ,  $134.75^\circ\text{E}$  and  $33.5^\circ\text{N}$ ,  $137.5^\circ\text{E}$ .

- **Relationships between TIPs and EQs in and around the Japanese Islands**

We applied the M8 algorithm for 70 CIs in and around the Japanese Islands. The centers of the CIs and the results when  $M_0$  set to be 6.75. Each F, S and C indicate a false alarm, a success alarm and a continuous alarm within the term from 1975 to 1998, respectively. Total numbers of the F, S and C TIPs are 21, 16 and 3, respectively.

# Independent check for the case of the Kobe EQ



Centers of M8 CIs (A to L) used for our self check. Large circles are showing CIs which only Kobe EQ is preceded by the TIP.

Region Name (from West to East) →

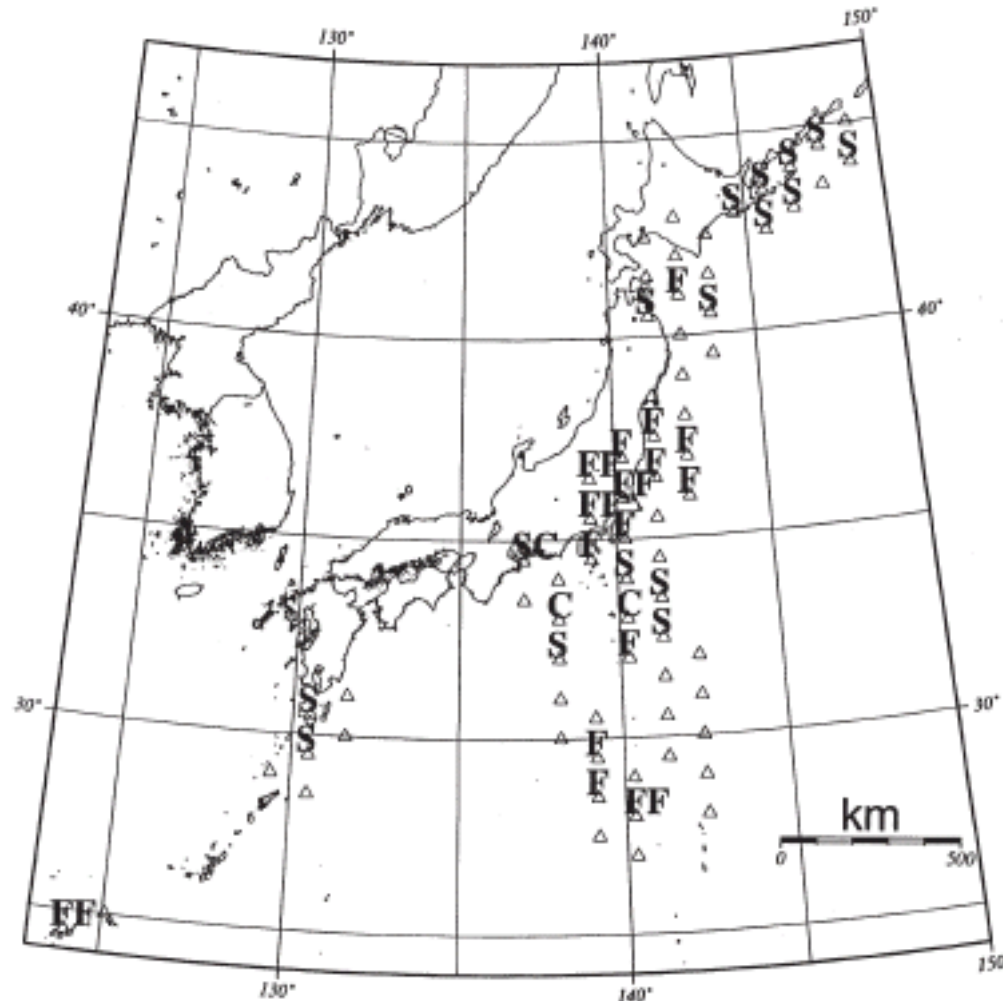
Mo	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
7.5			x						△	△		
7.4							○	△	△	x	x	
7.3						⊙	○	○	△	△		
7.2				○		⊙	○	○	○		x	
7.1				○	○	⊙△						△
7.0			⊙	⊙	⊙	○				○		
6.9		⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	○	○			○	△
6.8		⊙		⊙	⊙			○	○	○	○	△
6.7												
6.6												
6.5												

⊙: TIPs accompanied with the KOBE (1995) event  
 ○: TIPs accompanied with the KOBE (1995) and another ( $M \geq 7.0$ ) events  
 △: TIPs accompanied with another ( $M \geq 7.0$ ) event  
 x: False alarm

Results of applications of the algorithm M8 before the Kobe EQ



## Relationships between TIPs and EQs



Centers of CIs (triangles) and the results when  $M_0$  set to be 6.75. Each F, S and C indicate a false alarm, a success alarm and a continuous alarm within the term from 1975 to 1998, respectively.

# RTL algorithm (G. A. Sobolev)

## Basic assumption

The weight coefficient of an event would be larger as this event is closer to the investigated place  $(x,y,z)$  or time  $(t)$

大きな地震はより遠くまで、長い期間影響を与える

- RTL parameter is defined as the product of three normalized functions

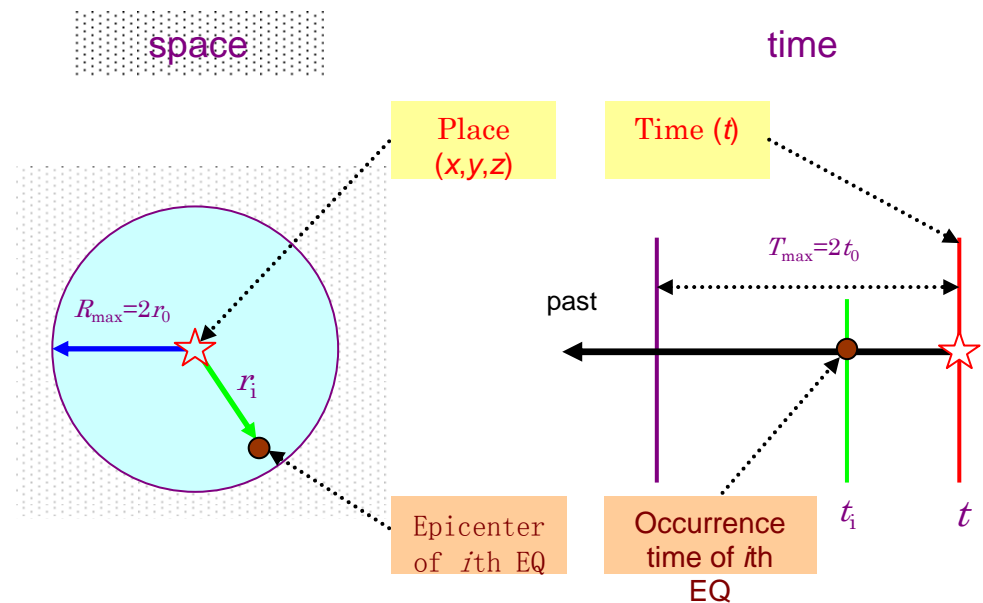
$$R(x, y, z, t) = \left[ \sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{r_i}{r_o}\right) \right] - R_{bk}(t)$$

$$T(x, y, z, t) = \left[ \sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{t-t_i}{t_o}\right) \right] - T_{bk}(t)$$

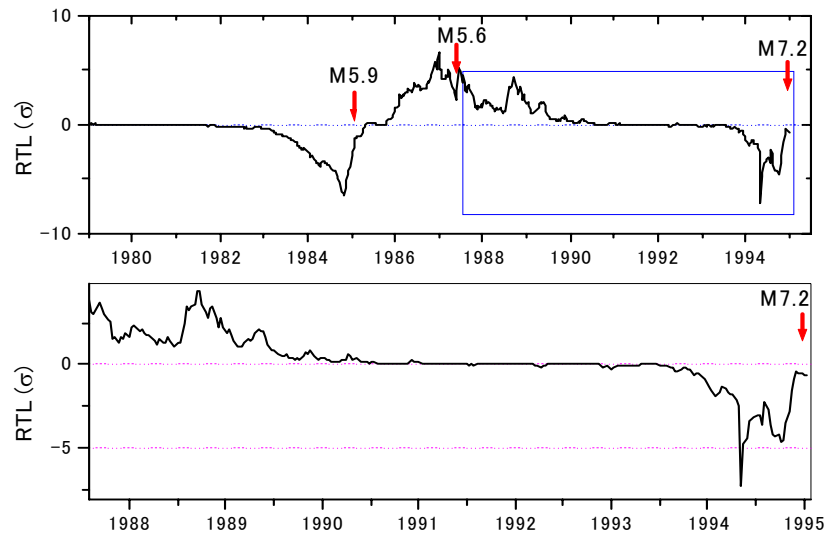
$$L(x, y, z, t) = \left[ \sum_{i=1}^n \left(\frac{l_i}{r_i}\right) \right] - L_{bk}(t)$$

Rupture length

$$\log l_i \text{ (km)} = 0.5M_i - 1.8$$

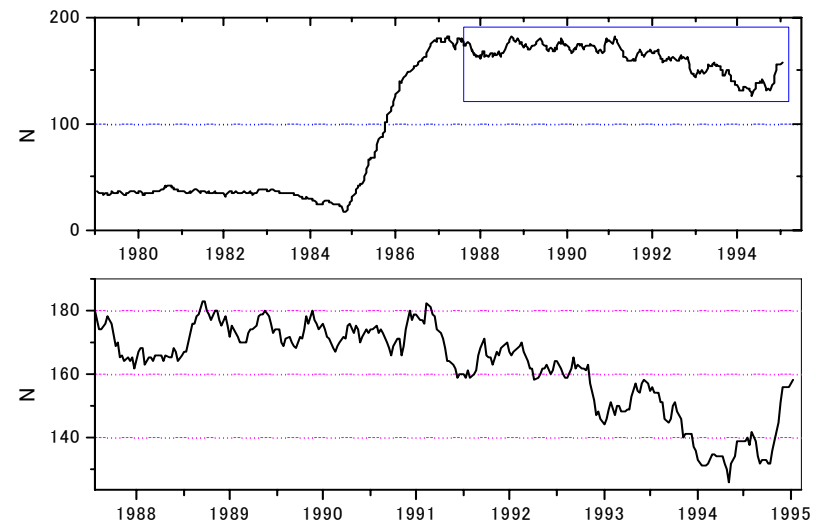


# 兵庫県南部地震の震央におけるRTLパラメータ



(Top) Time variation of the RTL at the epicenter of the 1995 M7.2 Kobe EQ.

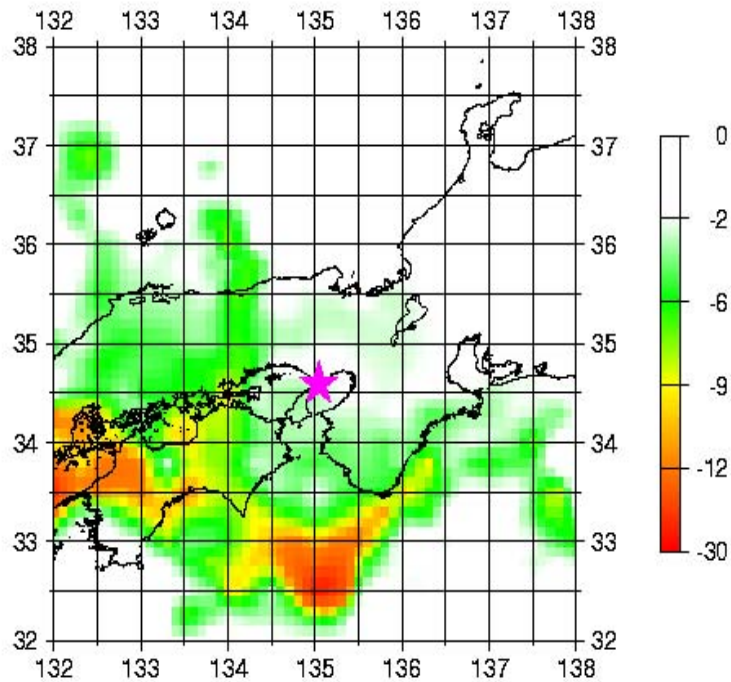
(Bottom) Enlarged figure of the rectangular part in the top figure.



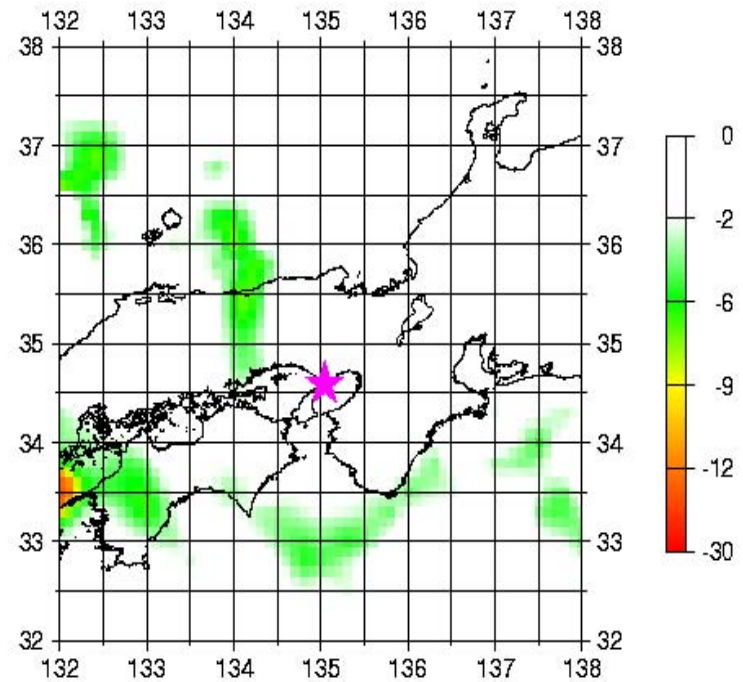
(Top) Time variation of the biyearly number of events within 100 km from the epicenter of the 1995 M7.2 Kobe EQ.

(Bottom) Enlarged figure of the rectangular part in the top figure.

Spatial distribution of seismic quiescence before (a) and after (b) the Kobe EQ. The star represents the epicenter of the mainshock



(a)

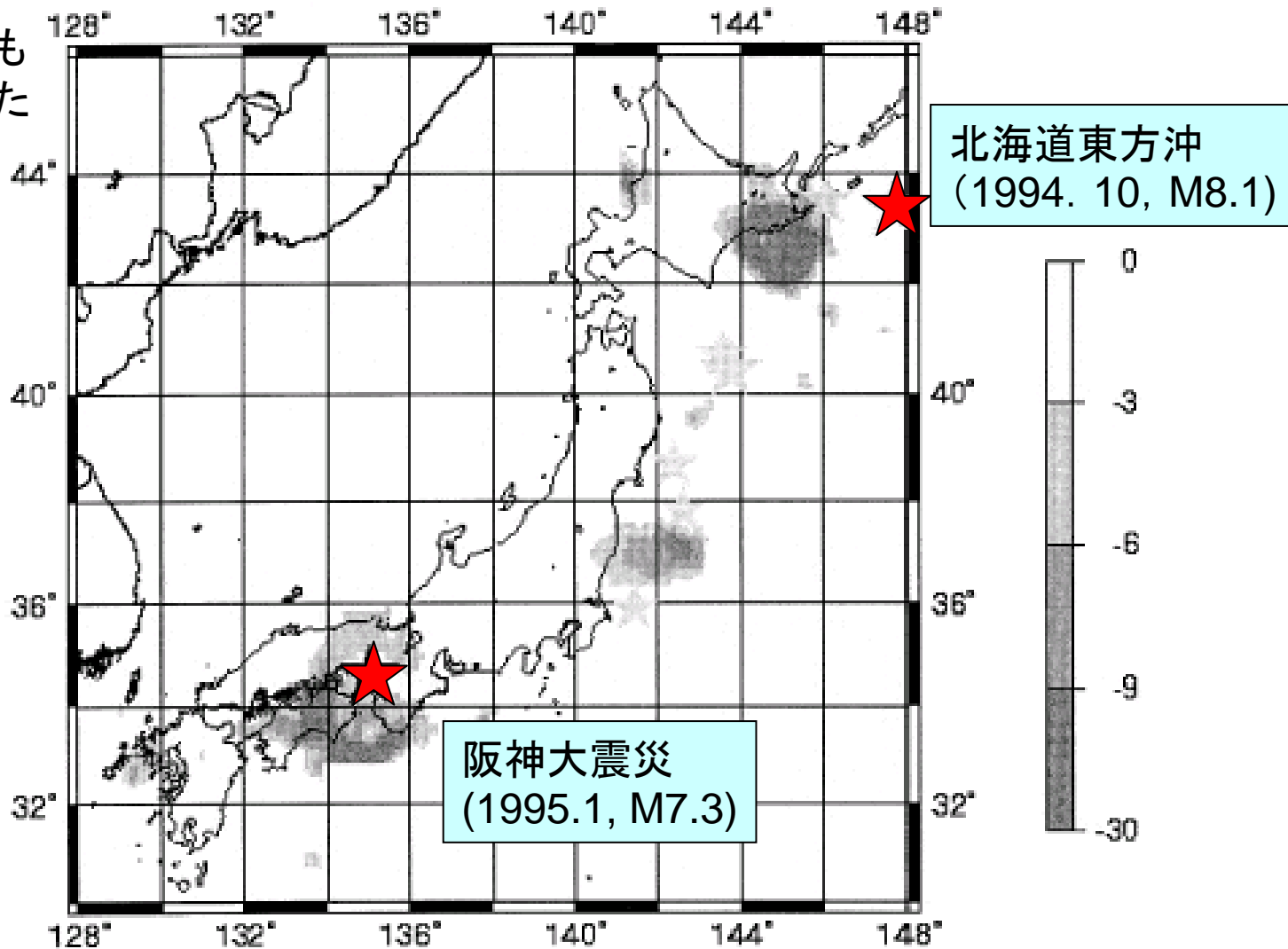


(b)

# RTL法

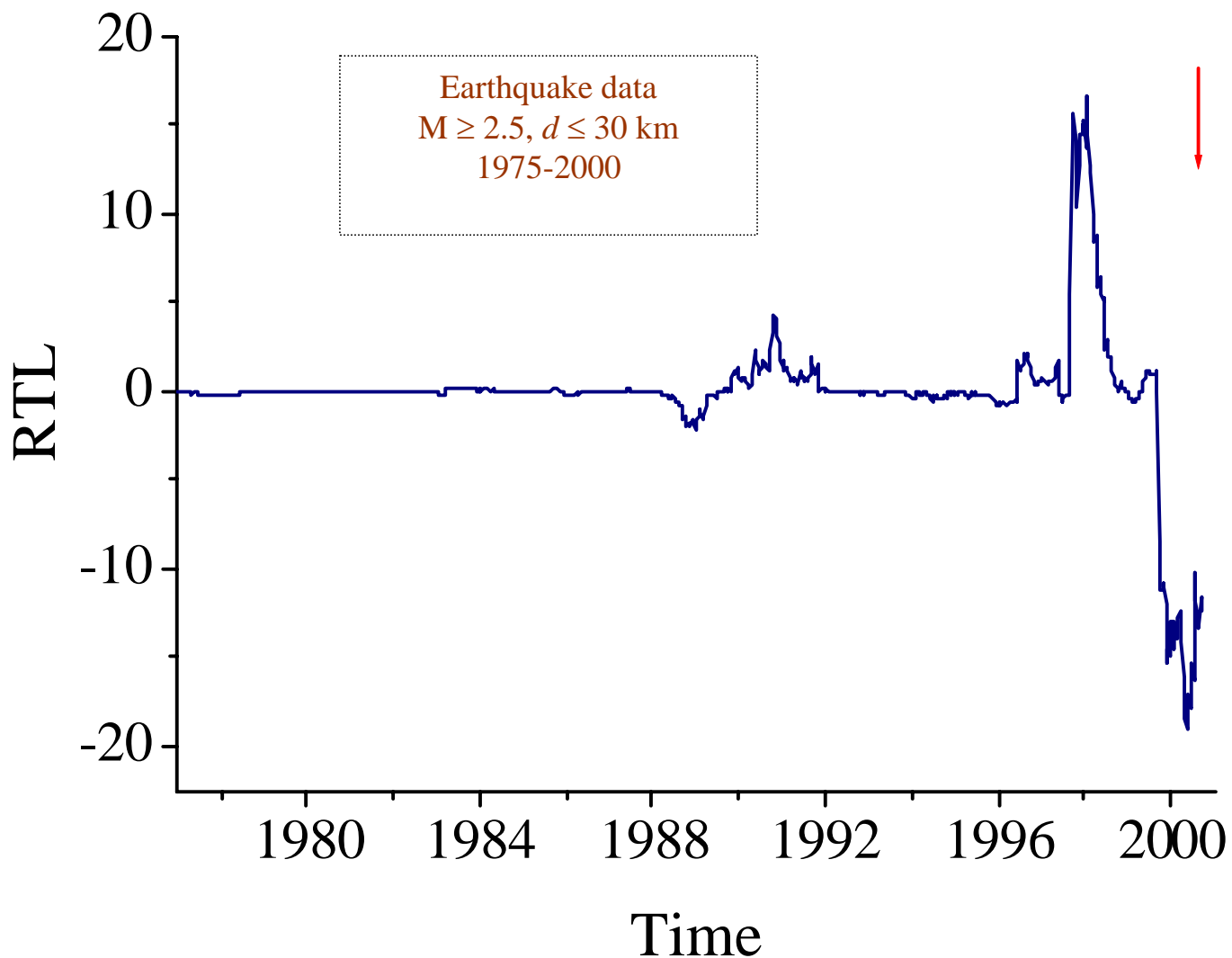
Q. Huang et al. / *Tectonophysics* 337 (2001) 99–116

いずれの地域にも  
異常が現れていた  
(静穏化の異常)

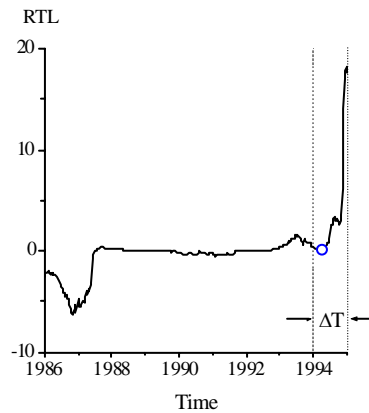
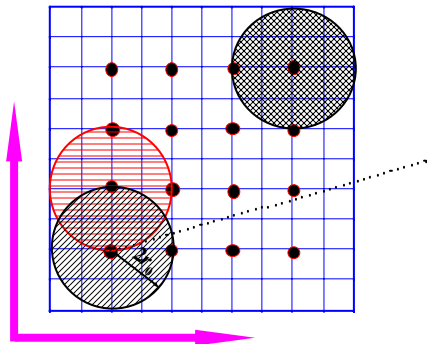


阪神大震災の直前(1993年5月ー1994年5月)に日本列島に現れていた異常の地域

# 鳥取県西部地震(2000)の震央でのRTLの値



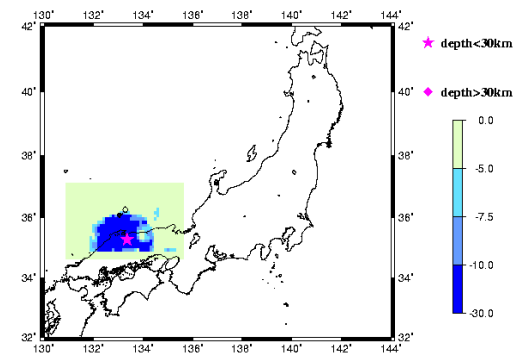
# Quantification of quiescence distribution



## Assumption

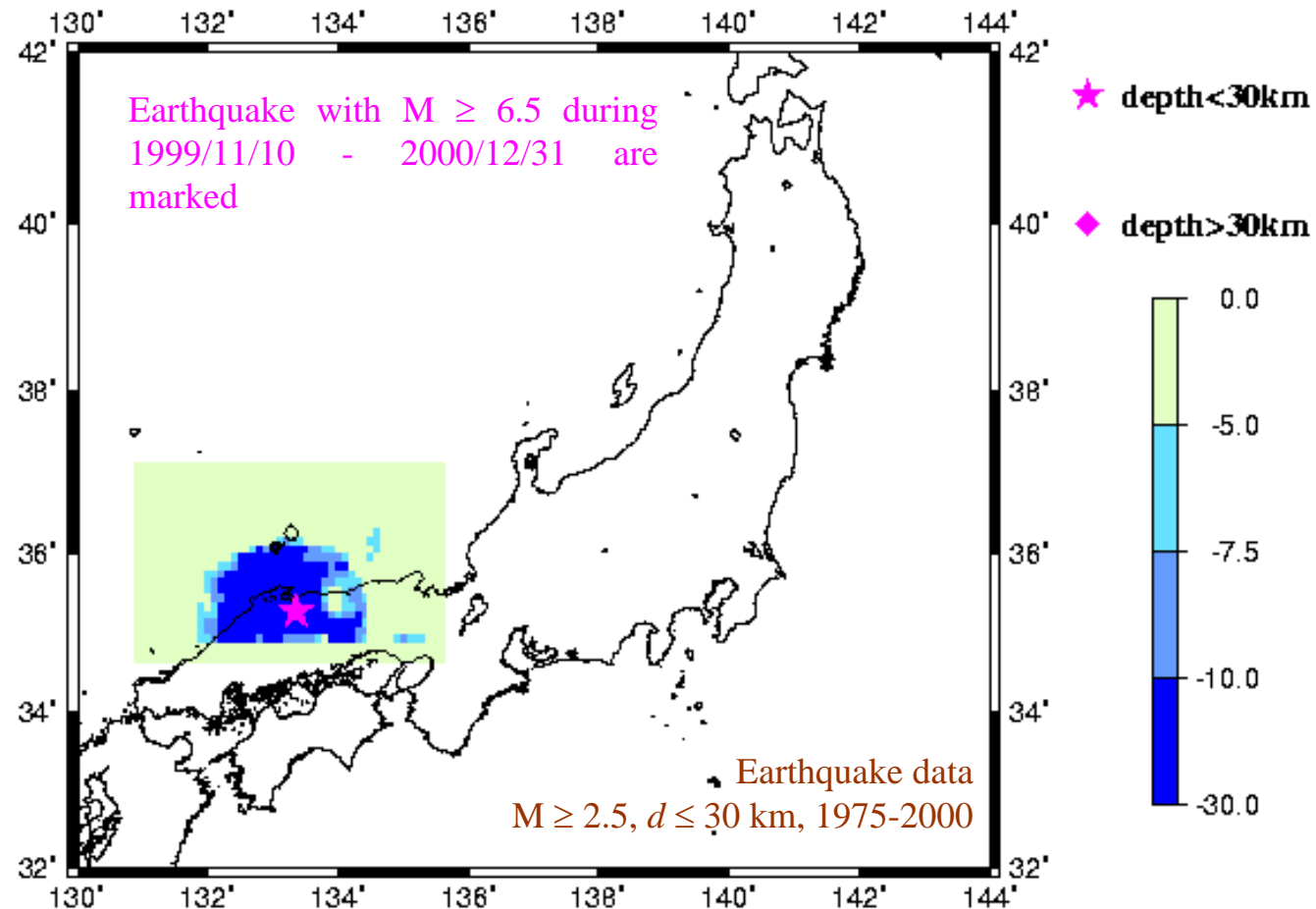
Quiescence at a certain place can be quantified by the mean RTL parameter in an interested time window

Quiescence distribution can be obtained by changing above calculated place



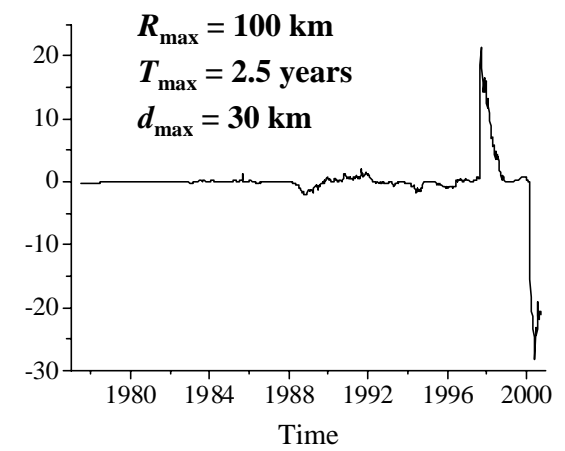
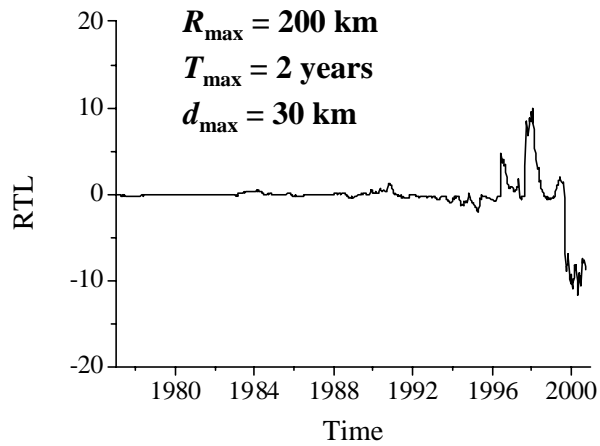
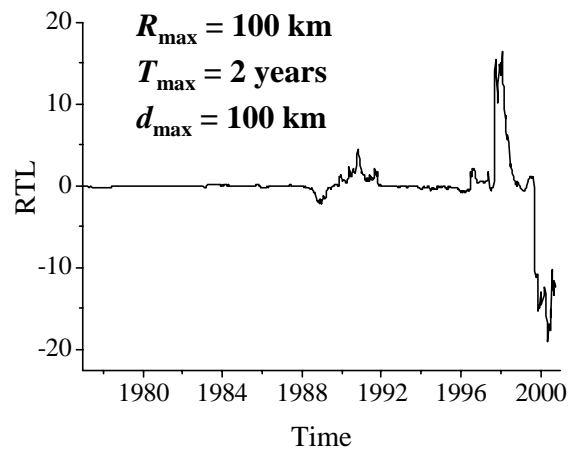
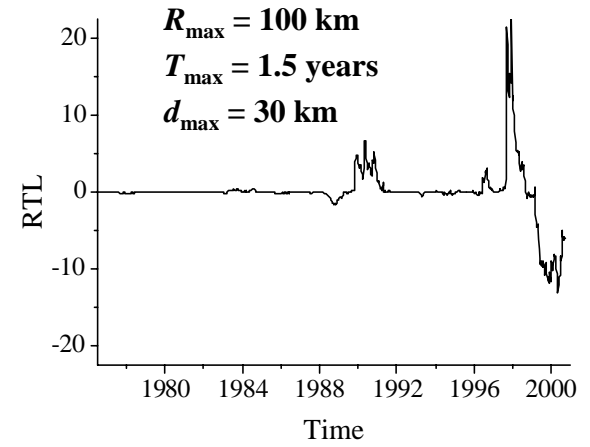
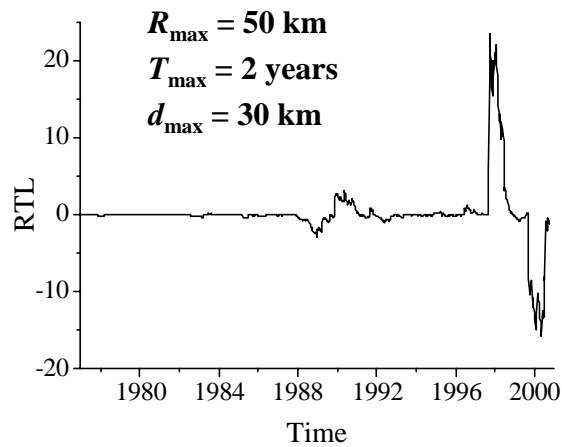
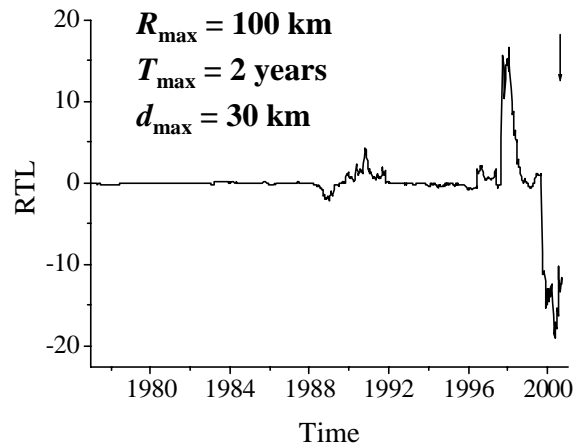
# Distribution of seismic quiescence

(1999/11/10–2000/05/09)



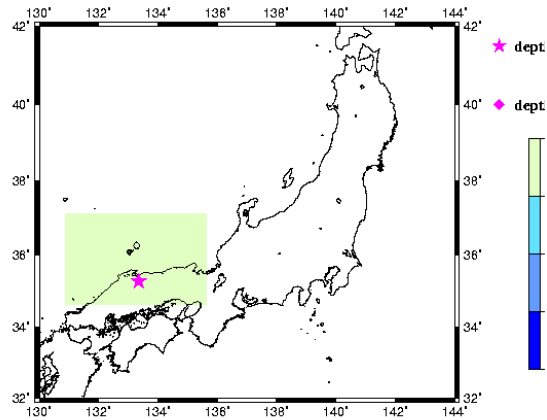


# Influence of model parameters

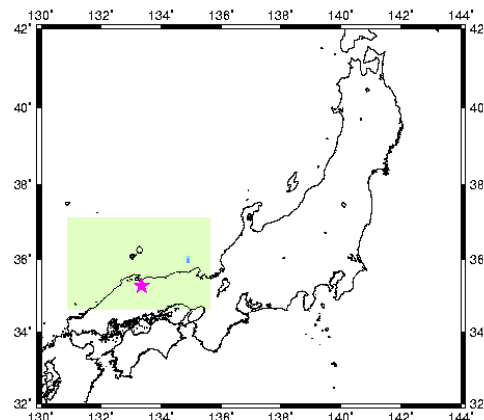


# Spatio-temporal pattern of quiescence

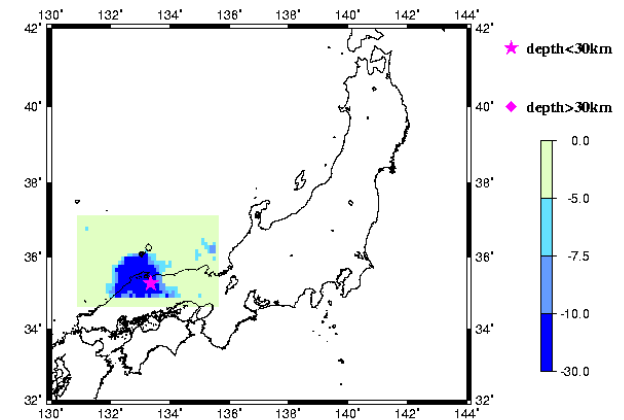
1998/07/01-1998/12/31



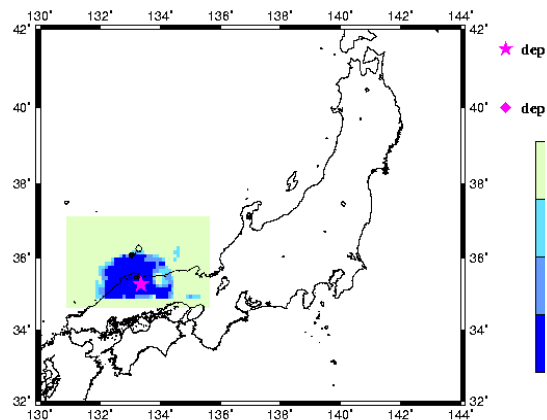
1999/01/01-1999/07/31



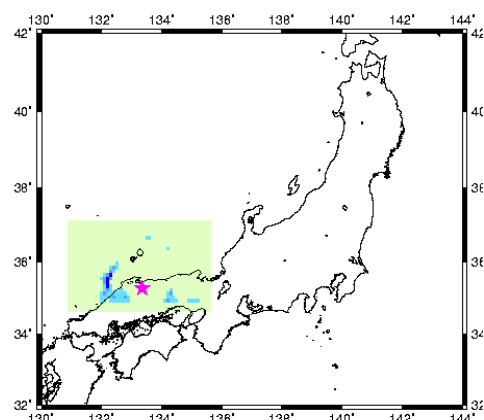
1999/07/01-1999/12/31



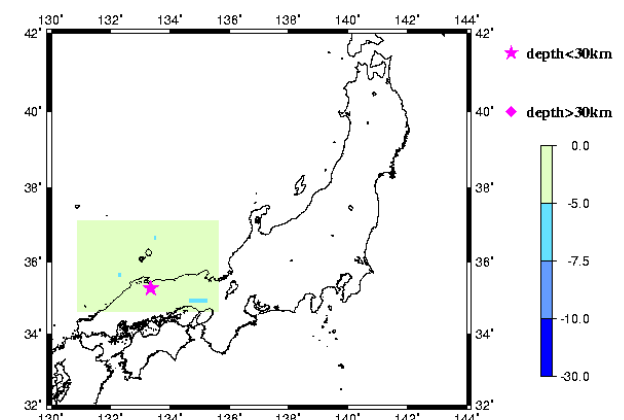
1999/11/10-2000/05/09



2000/07/01-2000/12/31



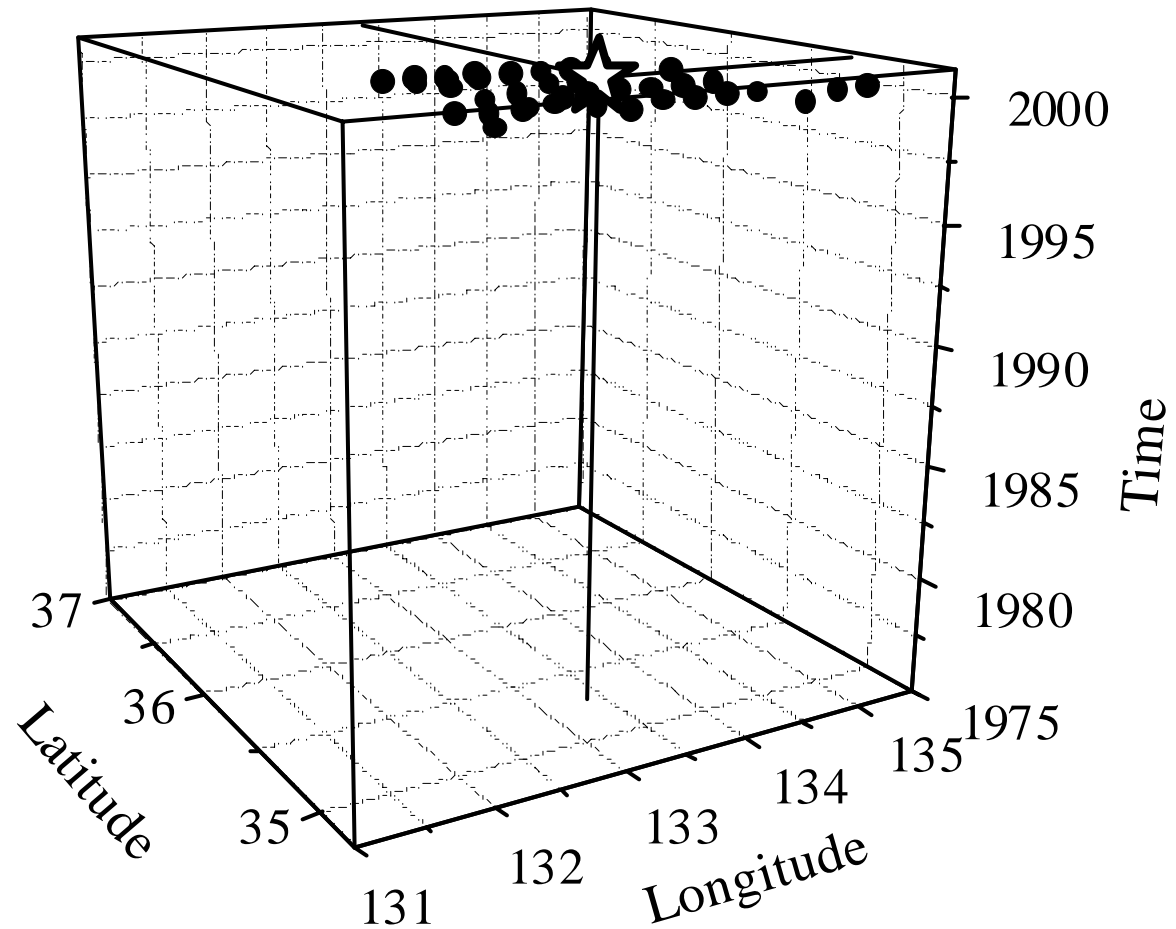
2000/11/01-2001/04/30



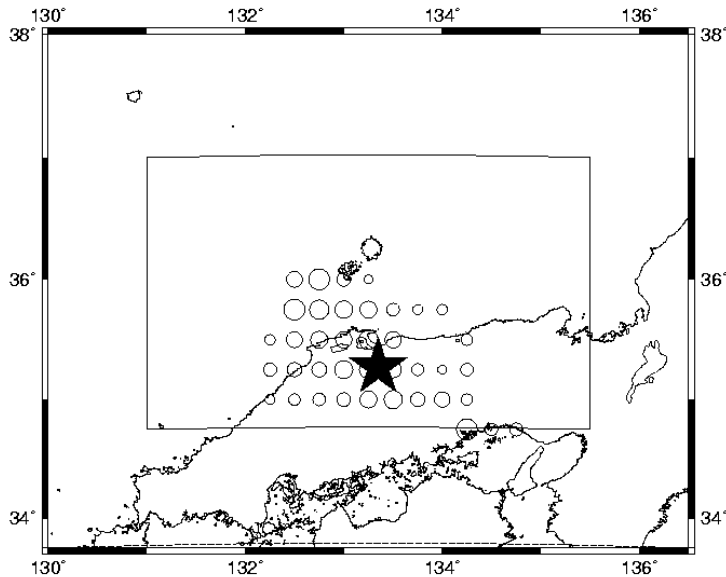
# Anomaly alarm box

✧ Quantification of  
quiescence anomaly  
**(amplitude, duration)**

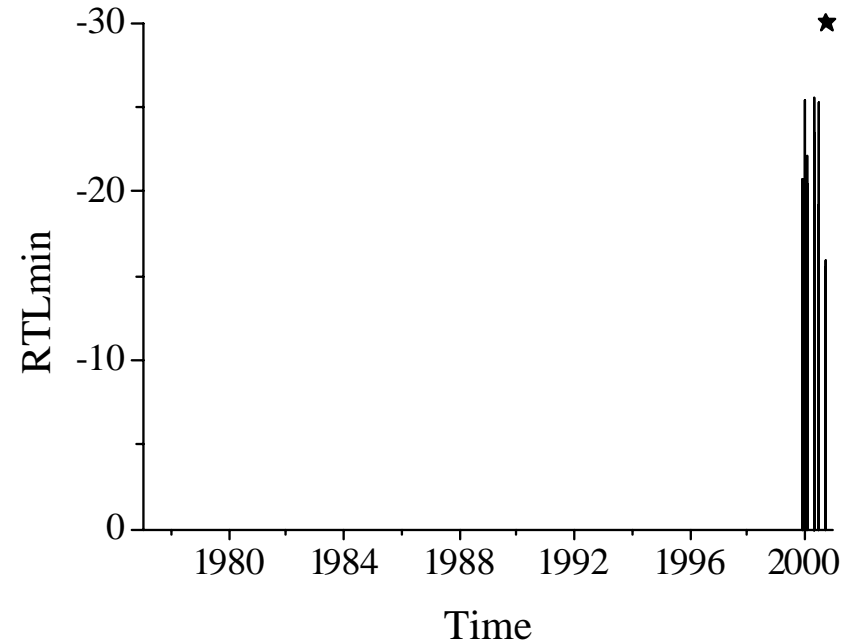
✧ Statistical analysis  
**(whole space and  
time)**



# Anomaly distribution (2D)



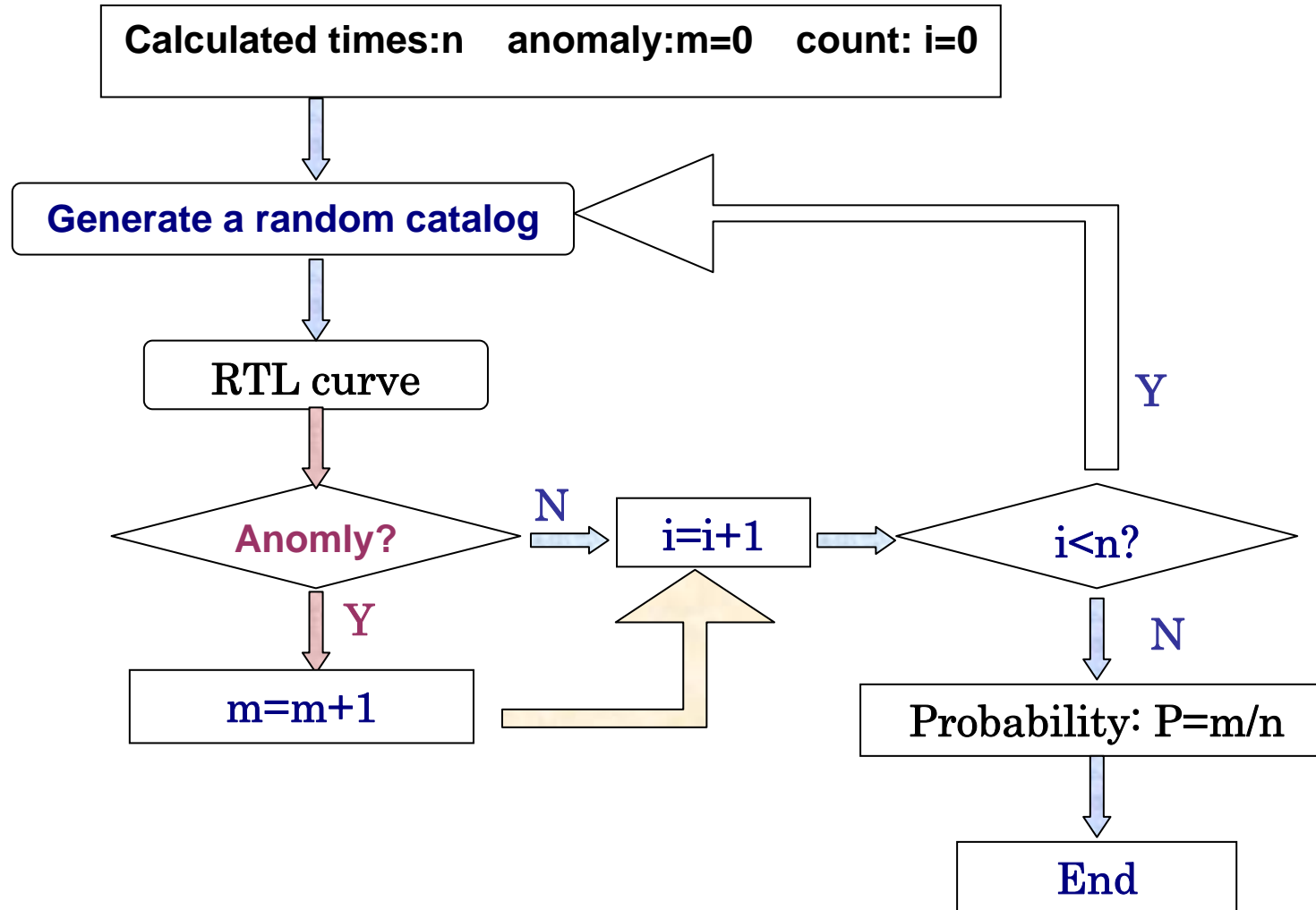
Average (133.28,35.36)  
Epicenter (133.35,35.27)



Average 2000.29, -17.8, 1.05  
Epicenter 2000.35, -19.1, 1.04

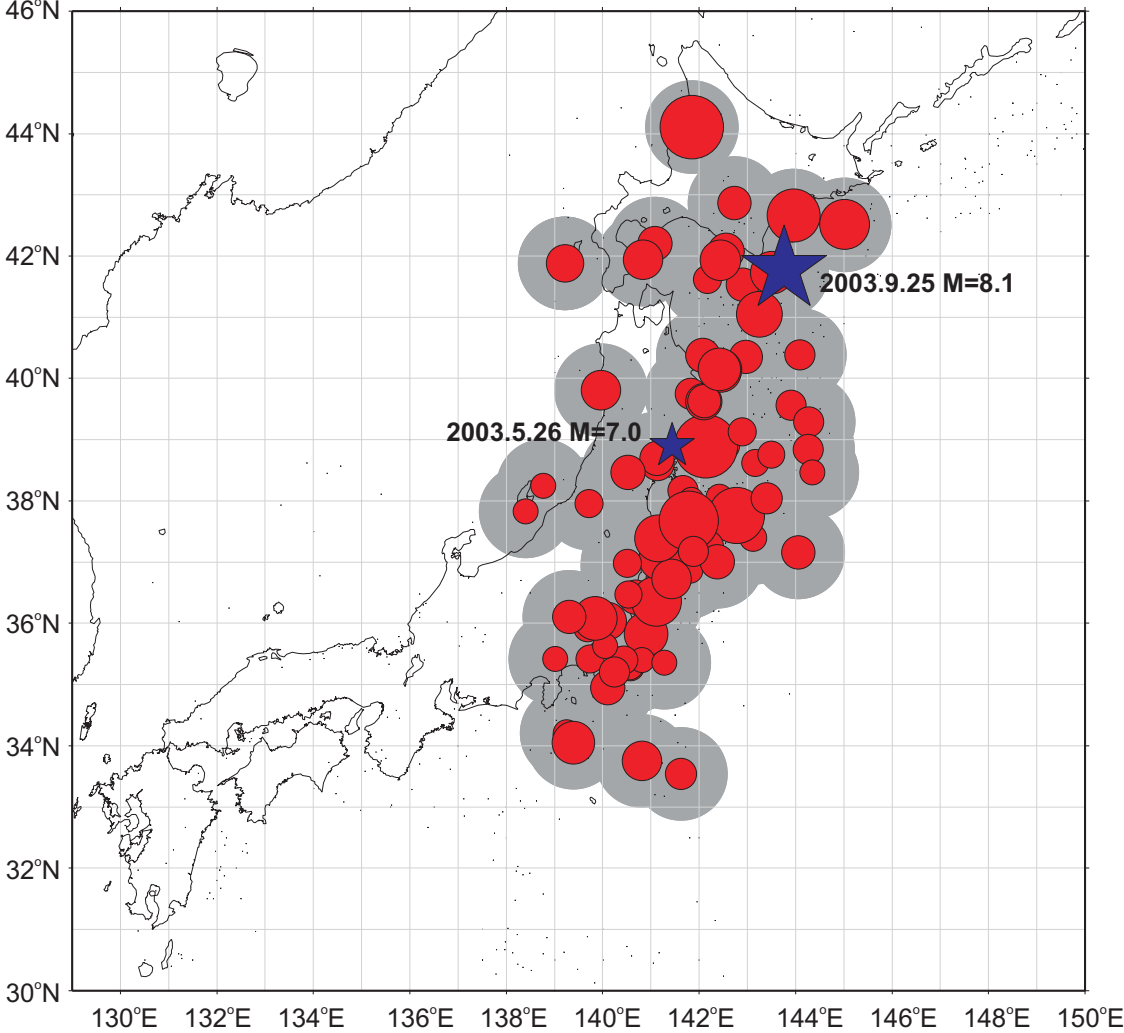
Significant seismicity anomaly is **detected** prior to the 2000 Tottori-ken Seibu EQ. Above anomaly is not an *artificial or random* anomaly, but an anomaly that has **reasonable correlation** with the mainshock.

# By chance test

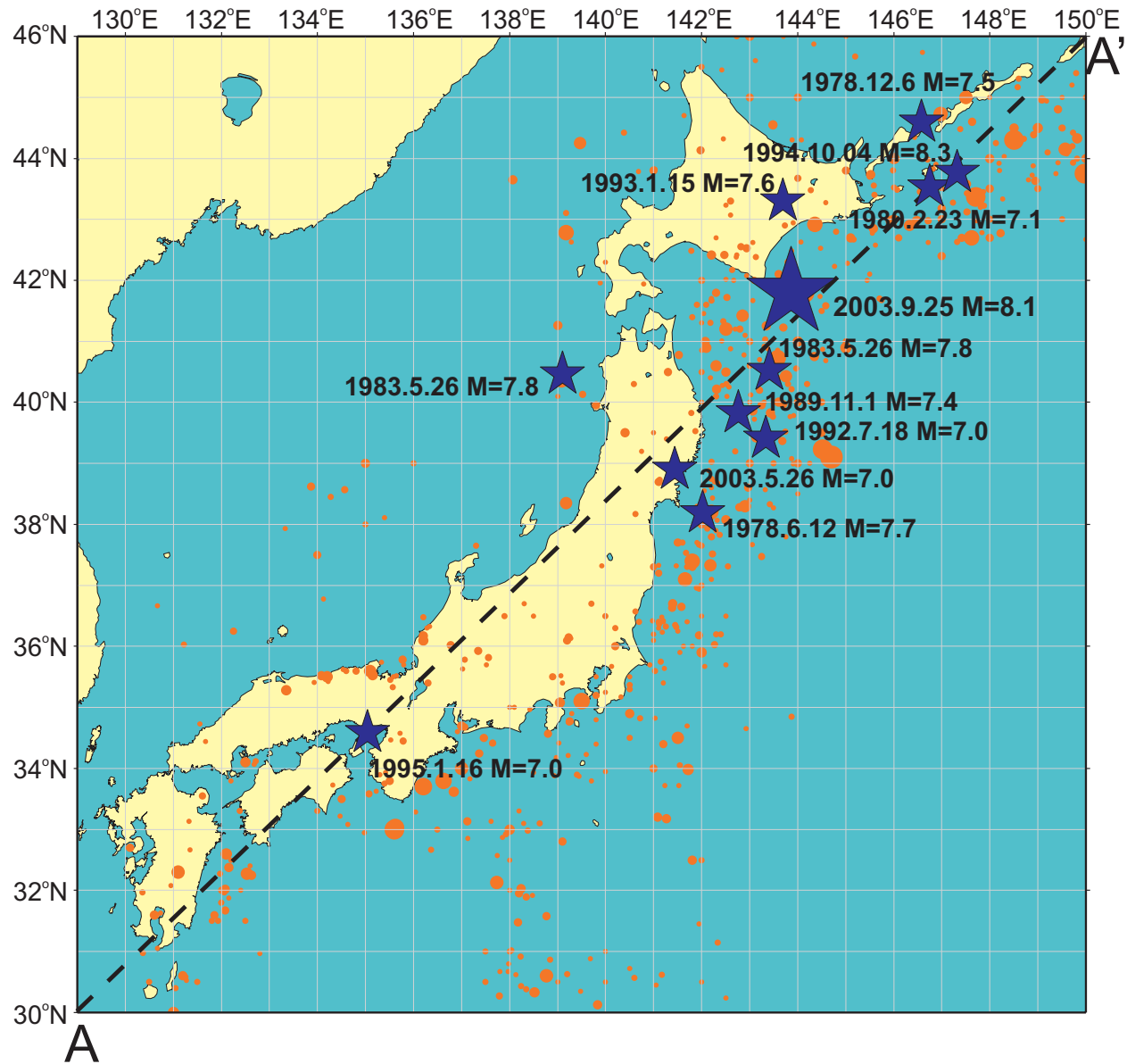


# RTP (Reverse Tracing of Precursors) precursor “*chain*”

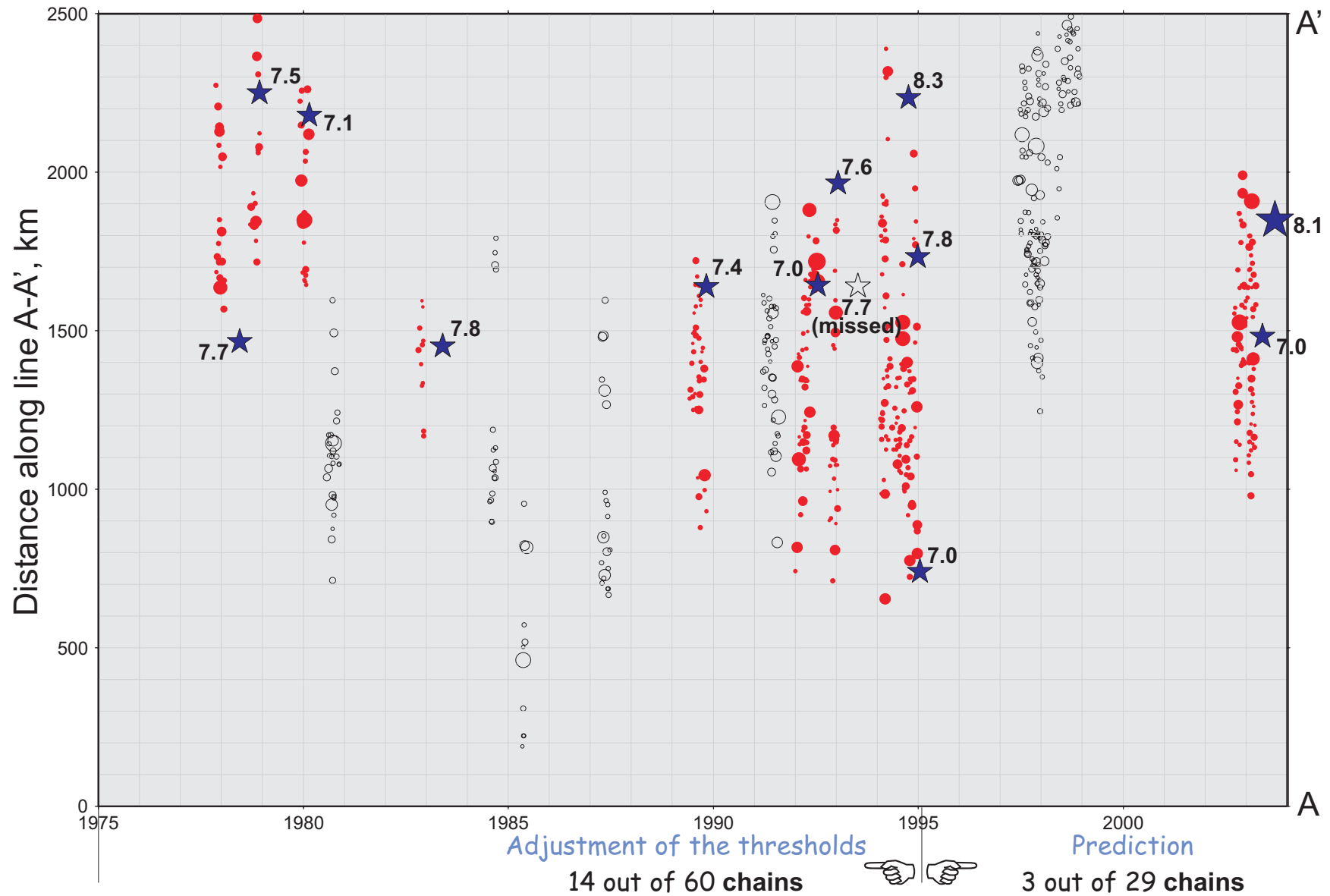
2002.09.08-2003.03.31



# RTPによる解析



# Japan, 1975-2003, 11+1 earthquakes $M \geq 7.0$





# 地震を臨界現象として捉える

- 地震は相転移とみなせるのでは  
ギリシャ, Varotsosの考え
- 臨界現象の定義
  - 一> 相関距離が大きくなる
- 臨界現象であるなら自己相似が成り立つ, しかし逆は必ずしも真ならず  
この問題をどうクリアしていくか?

# 今後の展望, 問題点

- 各種アルゴリズムのリアルタイム処理
- 余震除去
- バックグラウンドの取り方
- 臨界現象としての位置づけ
- 単なるパターン認識からの脱却
- 影に隠れた物理法則の抽出
  - 今後, 東海大, 中部大で連携を取りながら研究を推進

# 2007年，能登半島地震震央におけるRTLパラメータ( $r=50\text{km}$ )



# 能登半島地震震央におけるR, T, Lパラメータそれぞれの変化

