(2009) 1~ 25 頁

全国を対象とした地震活動監視のための解析手法について -M7.0における余震活動予測を通して-

Monitoring Method for Seismic Activity in Japan –Development of a Modified ETAS Model through Analysis of Aftershock Activities of M7.0

石垣 祐三1

Yuzo ISHIGAKI1

(Received July 11, 2008: Accepted November 17, 2008)

ABSTRACT: The ETAS model is not able to provide accurate forecasts for aftershock activities following major earthquakes if information regarding previous occurrences is unavailable. In this paper, we present a modified version of the ETAS model, which overcomes this difficulty in many cases by using an exponential parameter for the magnitude. We also mention a system based on this model that monitors seismic activity in Japan.

1 はじめに

1997年10月,大学等関係機関の地震データを気 象庁で処理・解析する, いわゆる一元化処理が開始 された. それ以降, 地震の規模(以下, M と記す) が 1.0 未満の非常に小さい地震も含めて震源要素が 精度よく求められている. これにより, 全国各地の 地震配列や発生様式などがより詳細に理解されるよ うになってきた. 地震活動の定量的把握に向けたア プローチのひとつに、ETAS モデル(Epidemic-type Aftershock-sequences, Ogata, 1988) がある. これに規 模分布を組み込むことにより(石垣, 2006. 以下で は規模分布を加味した ETAS モデルとよぶ), 大きな イベントが起きた後の地震活動などをシミュレート することができる. このモデルは高次の余震の発生 の仕組みを取り込んでおり、また本震-余震型を前 提とする必要もない. この点で, 改良大森公式と Gutenberg-Richter の法則を組み合わせた地震調査委 員会(1998)の余震活動予測スキームと比べて柔軟 な活用ができる.

規模分布を加味した ETAS モデルによるスキームでは、通常、顕著地震発生後の一定期間の活動データに基づいて最適モデルを構築し予測を行う. 仮に、顕著地震発生前に余震活動を適切に事前評価できれば、地域防災計画や防災教育に貢献ができると期待

される.しかしながら、これを実行しようとすると、困難に遭遇する.実際、過去の活動に基づき最適化モデルを作成し、M7.0の地震が発生したとして、その後の活動をシミュレートすると、現実に比して著しく低い活動度しか得られない.このため、本稿では規模分布を加味したETASモデルの拡張を行い、この問題点を解決する.

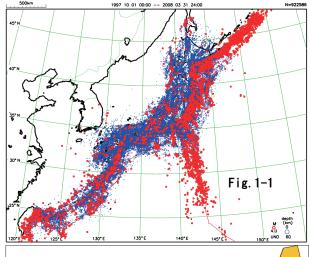
本稿の構成は、以下のとおりである。まず、2節でデータの取り扱い方法を示し、3節では、余震活動予測に関して、規模分布を加味した ETAS モデルをもとにしたモデルの改良を述べる。4節では、新しいモデルの導入の妥当性について、シミュレーション結果と過去のデータと比較して考察する。5節は、新しいモデルにより得られた各地の地震活動諸量について、日本各地の比較の他、現状の地震発生状況の把握、つまりモデルに比較してある期間が活発であるか静穏であるかなどを調べる方法を述べる。また、顕著地震の発生前の状況がどのように見えたのか考察する。6節は調査結果のとりまとめと今後の調査の方向について述べる。

2 調査方法

2-1 震源データ

ETAS モデルを扱う場合, 取り扱う M のしきい値

¹ 地震火山部地震予知情報課,Earthquake Prediction Information Division, Seismological and Volcanological Department



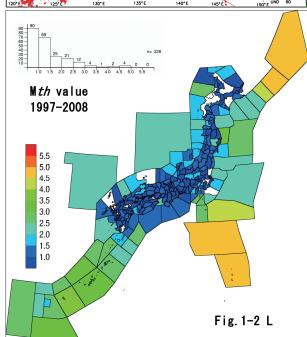
(Top) Fig.1-1

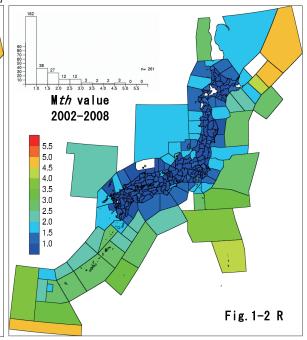
Distribution of earthquakes in and around Japan considered in this study. The red points indicate earthquakes with a magnitude of 4.0 or greater.

(Bottom) Fig.1-2

Distribution of magnitude thresholds.

Left: 1997/10/1-2008/3/31 Right: 2002/10/1-2008/3/31





(以下, M_{th} と記す)以上の地震がもれなく決定されている必要がある。1997年10月以降で全国的に検知能力が変わるのはHi-net 導入時であり,2000年10月から順次その運用が開始された。2002年10月に沖縄県を除くすべての地域でHi-net が導入され、ほとんどの地域で検知能力が上がっている。2003年3月にそれまでの3点トリガーから4点トリガーを地震成立条件としたため、Hi-net 導入以前に比べ、わずかに下がっている地域もある。シミュレーションに関しては、なるべく長い期間を対象及びサンプルとすることが望ましいと考えられるため、Hi-net 導入以前までのデータで各地の検知能力を把握し、十分な数の震源が得られた場合、1997年10月以降を用いる。この処理で十分なデータが得られない場合は、Hi-net 導入後の2002年10月以降を対象とし

た. 本稿作成時点のデータは 2008 年 3 月 31 日まで であるが、その後 6 月に発生した岩手・宮城内陸地 震等も,モデルの検証のため適宜用いることとする.

検知能力は、Gutenberg-Richter の M 度数分布(以下、G-R 分布)の性質を利用した Wyss(2000)の方法を改良して求めた.後(5.1 節)に述べるが各地のM度数分布を見ると上に凸の曲線を描く地域が約4割を占めている.これにそのまま Wyss(2000)の方法を適用すると十分な精度が得られない.このため、切断 G-R 分布(例えば宇津、1978 等)を適用し、 $M_{\rm th}$ を決めた.調査対象の震央表示を図 1-1 に、図1-2 に 1997 年 10 月以降,2002 年 10 月以降の $M_{\rm th}$ を示す.地震が発生しているところは地域的な偏りがあるため、すべての地域で地震活動諸量が得られている訳ではないが、2002 年 10 月以降は日本付近の

約 280 地域のうちほとんど(261 地域)が解析可能となっている. また, 内陸地域ではそのほとんどが $M_{\rm th}$ が 1.0 以下であることが分かる.

2-2 活動地域の区分

活動把握の地域分けは, 気象 庁が情報発表に用いている震央 地名の区分を採用した. 陸域に あっては地殻内地震を,海域に あってはプレート間地震を対象 とするため、それぞれ深さの下 限を基本的に 25km と 60km に 設定した. これは, 地震発生状 況による区分ではないが,一つ の県が2~3区分程度に分けら れ,十分な数の地域分けができ ていること, 地域防災計画等に 使用されていることなどを考慮 したためである. また, 地震情 報に用いている区分のため,地 震発生時にすぐに過去の活動状 況等が参照できる. 区分がかな り小さいので区域内の活動差を 無視して, 余震が十分に決定で きていない状態にあっても,シ ミュレーション結果などを参照 し, ある程度余震活動予測に役 立つことも期待できる.

3 ETAS モデルの拡張

本節では、各地域で M7.0 地 震発生後の余震活動の解析を通 して、 規模分布を加味した ETAS モデルの特性と適用限界 を検討するとともにモデルの拡 張を行う.

3-1 ETAS モデルと準備

規模分布を加味した ETAS モデルを基本とし、規模分布は切断 G-R 分布を採用する. ETAS

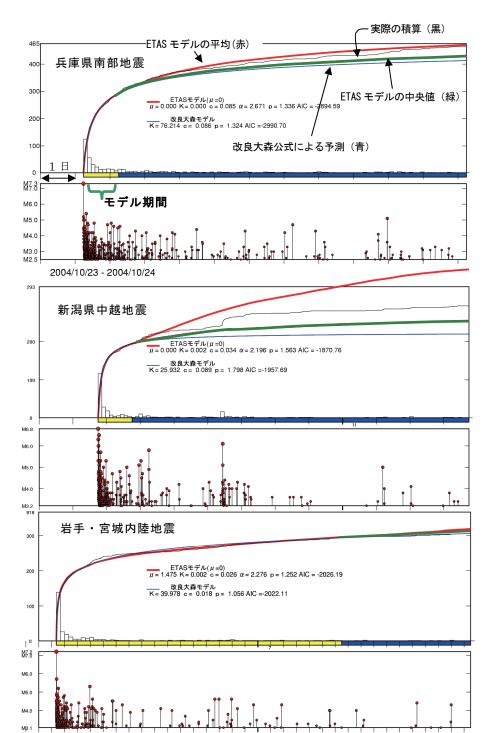


Fig.2 Forecast of aftershock activities based on the ETAS model.

Top: Hyogo-ken Nanbu earthquake. Middle: Niigata-ken Chuetu earthquake.

Bottom: Iwate - Miyagi Nairiku earthquake.

The black curves show temporal changes in the cumulative number of aftershocks. Model parameters are determined using data from the periods marked in yellow, and activities are forecast for a subsequent period of 10 days.

The red and green solid curves denote the means and medians obtained by Monte Carlo simulation, respectively.

The blue curves represent forecasts based on the modified Omori formula that are provided for comparison.

モデルは、現在時刻 t から t+dt に地震の発生する 確率を $\lambda(t)dt = \Lambda'(t)dt$ としたとき ($\Lambda'(t)$ は Λ (t) の導関数),

$$Λ (t) = μ (t - t_0)$$

+ $k \sum \exp \{ α (M_i - M_{th}) \} \{ c^{1-p} - (t - t_i + c)^{1-p} \} / (p - 1) ... (1)$

によって与えられる. ここで t_0 は解析起点の時刻, $t_0 \sim t$ の間に発生した地震の時刻と規模を $t_{\rm i}, M_{\rm i}$ とし、 右辺第二項では, t以前に発生した地震による影響 をすべて足し合わせる. 推定すべきパラメータは活 発さの程度を表すk, 発生した地震のMの効率を表

す α ,時間軸の調整をするc,時間的減衰を表すp, ポアソン的な発生強度を表すμの5個である. 規模 分布を考慮した考慮した ETAS モデルでは、発生し た地震の規模分布が切断 G-R 分布に従うものとする. この分布の密度関数は,

$$f_{\rm T}(x) = (\beta / C_{\rm T}) \exp(-\beta (x - M_{\rm th}))$$
 $M_{\rm th} \le x < M_{\rm u}$ (2) である.ここで, $M_{\rm u}$ は規模の上限値であり, $\beta = b \ln 10$ である. $C_{\rm T}$ は規格化のための定数で

$$C_{\rm T} = 1 - \exp(-\beta (M_{\rm u} - M_{\rm th}))$$
 (3)

で与えられる.

	3. 4. 4. 5		L.E.	WS.U以.	上の余詞	長凹釵	
	震央地名or 地震名	日付	本震 M	本震- 1日間	本震- 3 日間	本震- 5 日間	本震- 10日間
а	十勝沖地震	2003年09月26日	8.0	186	293	388	464
b	岩手・宮城内陸地震	2008年06月14日	7.2	214	271	293	311
С	宮城県沖	2005年08月16日	7.2	42	45	50	92
d	新潟県中越地震	2004年10月23日	6.8	242	296	353	371
е	新潟県中越沖地震	2007年07月16日	6.8	79	87	95	103
f	茨城県沖	2008年05月08日	7.0	94	120	126	138
g	能登半島地震	2007年03月25日	6.9	183	235	250	270
h	鳥取県西部地震	2000年10月06日	7.3	133	172	186	209
<u>i</u>	福岡県西方沖	2005年03月20日	7.0	149	171	185	204
	兵庫県南部地震	1995年01月17日	7.3	138	175	189	211
	鹿児島県北西部	1997年03月26日	6.5	36	51	67	85
	新島~三宅島近海	2000年7月01日~ 7月10日	6.6 (最大)	137	385	566	1,152 以上
		— a 十勝沖 — b 岩 県 内陸 R — c 宮 城 県 中 越 均 — e 新 潟 県 上 中 走 — f 茨 城 県 沖 — g 能 登 半 島 沖	45 有部 40 也方 ³⁵ 战沖 30	-	■■日高記	支庁網走 [‡] 支庁中部 支庁北部 首南西沖	也方
			25 20 15				/

1.40 Fig.3-1 Dependence of AIC on β for seismic activities related to earthquakes in Table 1 (a to i).

β

1.60

AIC-AICmin 25

0

1.00

1.20

1. 20 1.40 1.60 Fig.3-2 Dependence of AIC on β for seismic activities in Hokkaido.

0

規模分布を加味した ETAS モデルの予測精度については石垣 (2006) で詳細に検討されている. 予測期間が3日以内であれば,顕著な地震活動(本震ー余震型や群発型を含む)を適切に予測し,多くの場合モデルの中央値と平均値の間に実際の活動が収まることがわかった. 本稿で取り扱う全国を対象とした地震活動監視では10日程度の期間を予測の対象とする. この程度の期間に対してもパラメータが適切に求まっていれば,特段の問題は起きない.

図2は本震発生から1~数日間をモデル期間とし、そのデータを用いて、モデル期間後10日間のシミュレーションによる予測の中央値と平均値、改良大森公式による予測を合わせて表示させたものである. 石垣(2006)では試行を1000回行っているが、ここでは簡単のため100回とした、「中央値」と「平均値」は各試行のある時点での余震発生回数の中央値及び平均値に対応するモデルである.100回の試行でも1000回の試行と比較して中央値付近での値は問題ない.

典型的な本震一余震型である兵庫県南部地震の場合,図2上段に示すように、平均曲線(赤)で余震活動がよく表現されていること、平均値と中央値の間に収まっていることが分かる。群発的な傾向を併せ持つ新潟県中越地震の余震活動に対しては、本震発生後3日目に2次余震を伴う余震が発生しているため、適合度は下がるものの、平均値と中央値の双方を見ることにより全体の特徴を捉えることができる。明確な2次余震活動を伴わなかったが、余震活動が活発であった岩手・宮城内陸地震では、詳細に見ると平均値と中央値曲線ではさむことはできないが、活動の状況はよく把握できている。

3-2 ETAS モデルの改良

本稿の作成に先だって以下のシミュレーションを行った. すなわち、規模分布を加味した ETAS モデルに基づいて各地域の解析期間の ETAS モデルと切断 G-R 分布のパラメータを求める. 期間の終わり (2008 年 4 月 1 日 0 時)に M7.0 の地震を発生させ、その後の 10 日間のシミュレーションを 100 回試行する. M 度数分布は各地域の切断 G-R 分布の b 値と上限値として最大 M 値 7.0 を便宜的に用いる. このシミュレーションの結果、過去に $M6\sim7$ クラスの活動があった地域は、かなりの数の余震が発生する. し

かし、それまで発生した最大の地震が M3.0 程度の地域ではほとんど余震の発生が見られない. このことは経験的事実、例えば地殻内やプレート境界の浅い地震で M7.0 の地震が発生すれば M3.0 以上の地震は少なくとも数十回以上発生する(表 1)ことと矛盾する.

我々はモデルを拡張し、この問題の解決をはかる. 具体的には新たにパラメータ β を導入し、関数(1) を

$$\Lambda (t) = \mu (t - t_0) + k \sum_{t \le t} \exp \{\alpha (M_i - M_{th})^{\beta}\} \{c^{1-p} - (t - t_i + c)^{1-p}\}/(p - 1)...(4)$$

と修正する. このモデルを METAS (Modified ETAS) と呼ぶことにする.

最適モデルの採択に AIC 最小という要請をおく. パラメータ β のとりうる範囲は 1 以上であるが, M7.0 の地震を想定すると β が 2 程度以上になると 余震が止まらなくなる現象 (以下,余震の爆発と呼ぶ) が多々発生する. このことを勘案して β は[1.0, 1.85]の範囲で動かす.

4 M7.0 の地震発生後のシミュレーション4-1 パラメータβの効果

図 3-1 に表 1 の a ~ i の地震活動,及び図 3-2 に 北海道地方の47地震活動についてβとAIC-AIC最 小値 (AIC_{min}) の関係を示した. 図 3-1 によれば, βが 1.4-1.6 の間に最小を持つものが 4 活動 (9 活 動中) あり、このうち3例は $\beta=1$ の場合と比較して AIC 差が 10 以上ある. 図 3-1 のこのほかの活動は β =1.0 か 1.85 のどちらかに AIC 最小を持つ大きな傾 きの単調増加(減少)傾向を示す. 顕著地震のない 平常時に近い活動を対象とした図 3-2 と比較しては っきりとした AIC 差がある活動が多い. これらの違 いは、取り扱う M の幅(本震-余震型が大)の相違 が一因と考えられる. 一方, 図 3-2 は 1.0-1.85 の間 に AIC 差約5以内を持つ単調増加(減少)傾向を示 す活動が多い(ほとんどが重なって表示されている). ただし, いくつかのサンプルは, 大きな地震の発生 はなくとも、AIC 差 5 以上で β が 1.4 程度に最小を 持つものが見られ、図 3-1 (本震-余震型の活動) と同様の傾向を示すものがある.

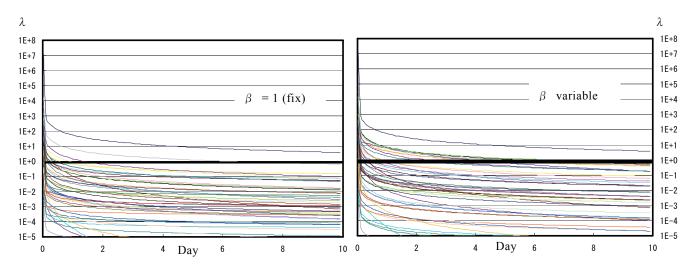
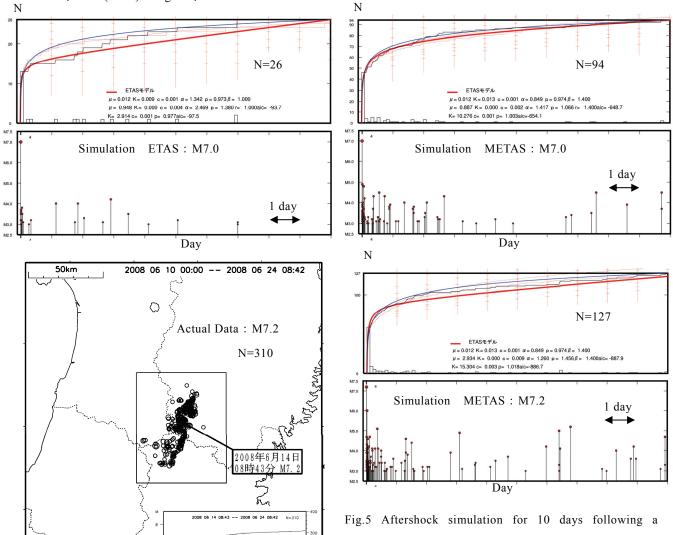


Fig. 4 Temporal variations in the intensity function λ following the occurrence of a M7.0 mainshock in Hokkaido Left: $\beta = 1$ (fixed) Right: $\beta = \text{variable}$



hypothetical Iwate-Miyagi Nairiku earthquake with M7.0 and M7.2 mainshocks.

A cumulative curve and M-T diagram are both shown.

図4に図3-2と同じく北海道地方の47活動につい て M7.0 発生後の 10 日間の M3.0 の地震を基準とし た地震発生強度λ(回/日)の変化を示す.λは,(1) あるいは(4)の関数 Λ の時間微分に相当する. 図4の 左側はβ=1とし、右側はβを可変とした地震発生強 度である. ここでは簡単のため, M7.0 の本震のみの 影響を計算し、その後の余震による発生強度は加味 されていない. 図の地震発生強度 1.0 (1日に1回 程度)のところには太い線を入れている.過去の M7 クラス以上の本震-余震の例では、本震 10 日後 の M3.0 以上の余震の発生は、数回程度のオーダー になっている. 左で 10 日後にこの線付近にあるのは 2 サンプルに対し,右側で10 サンプルとなり,現実 により近い値を示していると考えられ, βの導入が モデルの改善につながった例があることを示すと考 えられる.

具体的な例として、本シミュレーションを行った後に発生した岩手・宮城内陸地震の発生場所(岩手県内陸南部)の $\beta=1$ モデル(以下、通常モデル)と β :可変(β 可変モデル)のうち、本震発生前のデータを用いて本震 M7.0 及び本震 M7.2 のシミュレーション結果(平均値と中央値)を示す(図5). 通常モデルでは 26 回の余震発生に対し、 β 可変モデル(M7.0 と M7.2)はそれぞれ、94 回と 127 回であり、実際の 310 回(岩手県に限ると 220 回)には及ばないもののモデルが改善されていることが分かる.

岩手・宮城内陸地震を含め、表 1 の a \sim i の地震のシミュレーション結果を表 2 に、新潟県中越地震の例を図 6 に示す、岩手・宮城内陸地震と茨城県沖(b \geq f) は 1997 年 10 月から本震直前までのデータ、それ以外は 1997 年 10 月から 2008 年 3 月までのデータを解析期間とし

たシミュレーションで ある. 実際の新潟県中 越地震の場合は,活動 開始から1日のデータ で確からしい予測が、 図 6 では,M3.0以上の 余震は中央値 65 回,平 均値 74.9 回と M6.8 の 本震における余震の実 績 371 回に及んでいな

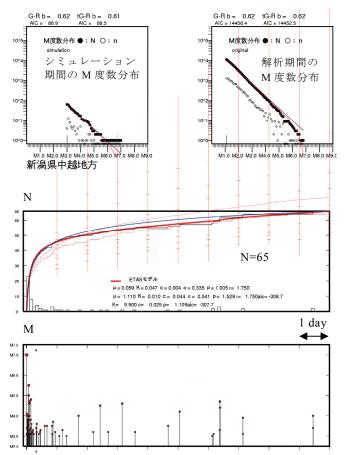


Fig.6 Simulation of a Niigata-ken Chuetsu earthquake. Median number of aftershocks over a ten-day period is 65.

い. この他、茨城県沖が非常に、宮城県沖がやや少なすぎる予想となっている他は、シミュレーションにおける本震が M7.0 であることを踏まえると、おおよそ $1/6\sim1.5$ 倍の範囲内に入っている。新潟県中越地震や茨城県沖の α が小さいという解析結果とあわせて考えると M7.0 の本震ひとつよりは、その前後の地震が多く発生した事実があることが地震を多発させる要因であると推測できる。このようなやや

Table.2 Results of and number of aftershocks for major earthquake simulations.

		震央地名or	日付	本震	M3.0以上の 余震回数	シミュレー	·ション結果	α
		地震名	н (3	M	(10日間)	中央値	平均値	(ETAS)
I	а	十勝沖地震	2003年09月26日	8.0	464	25	31.5	1. 26
	b	岩手・宮城内陸地震	2008年06月14日	7.2	311	93	96.6	1. 34
	С	宮城県沖	2005年08月16日	7.2	92	12	12.0	1. 31
	d	新潟県中越地震	2004年10月23日	6.8	371	65	74.9	1. 06
	е	新潟県中越沖地震	2007年07月16日	6.8	103	128	142.6	1. 96
	f	茨城県沖	2008年05月08日	7.0	142	0	0.5	0. 46
	g	能登半島地震	2007年03月25日	6.9	270	238	288.5	2. 36
	h	鳥取県西部地震	2000年10月06日	7.3	209	45	48.0	1. 43
	i	福岡県西方沖	2005年03月20日	7.0	204	123	137.4	1. 37

Table.3 Optimal parameters for METAS model (minima of AIC are given in italics).

Alc_tGR	3577.3	3561 8	01.0	817.8	018	0.0	3880.0	3881 3	0 .	14452. 5	7 01111	2.0	1463.4	1 1 1 1 1	24. 2	4992. 9	0 1001	04. J	1446. 6	8 9811	00.00	3218.0	0 9166		8606. 5	000	<i>8</i> 390. 9
	61 35	71 26					98 98		ı	_		Ì		91 17	74		76 62	77	H	98		74 32		ı -			
b (tGR)	.0	0.		0.67	0.78	0.66	0.	0. 78	0.74	0.62	0.76	0.61	. '0	.0	0	0.78	0.	0.	.0	0.8	0.69	0.	0.86	0.74	0.64	0.52	0.64
A1C_GR	3576. 5	2 1942	0.707. 0	816. 4	815 8	0.00	3878. 7	1878	70/0. 4	14456.4	14414 0	744/4. 0	1461. 7	1161 6	1401.0	4992.9	1 9801	4300. 1	1445.3	1135 1	1 -00-1	3216.3	2211 0	0214. 0	8606.4	7 7000	8007. /
b (G-R)	0.61	0.73	0.59	89 '0	0.81	99 '0	0.77	0. 78	0.74	0.62	91.0	0.61	0.77	0.92	0.74	0. 78	62 '0	0.77	0.71	0.87	69 '0	0.74	0.87	0.74	0.64	09 '0	0.64
AIC_etas*	-2982. 1	-3000	JUU3. 3	-4157.2	-4170 5	4110.0	5237.3	1161 1	0104. 4	-55722. 6	L LEATAT A	104/4/.4	-6929.8	1 3909-	-0300. I	2075.9	2050 2	2003. 2	-4922. 7	-/011 G	4311.0	-16174.6	8 83691-		-38703.5	0 02200	– <i>५४</i> //४. ४
AIC_		1662.8	-4675.7		0 '299	-4838.8		5405.0	-243.6		2507.7	-57258. 1		2137.2	-9095. 4		5526.0	-3469.9		1888. 4	-6802. 3		763.6	-17025.3		1335.8	-40117.6
β	1.00	1.75	1.00	1.55	1.30	1.60	1.00	1.00	1.00	1.75	1.65	1.75	1. 20	1.05	1.65	1.60	1.85	1.60	1.30	1.85	1.55	1.50	1.50	1.00	1.50	1.00	1. 40
d	1.046	1.037	1.007	1.177	0.975	1. 297	1.006	1.107	1.014	1.005	1.019	0.963	1.168	1. 228	1. 233	1.069	1.131	1. 252	1. 244	1. 491	1. 271	1. 287	0.968	1. 222	1.199	1.173	1. 220
α	1. 258	0.579	1.411	069 '0	0.962	1. 281	1.309	1.003	1.373	0.335	0.444	0.382	1.309	1.651	0.642	0.535	0.365	0.471	1.247	0.498	0.727	0.559	0.636	1.539	0.572	0.385	0.653
O	0.02	0.00	0.04	0.10	0.00	0.21	0.01	0.01	0.01	00 0	0.00	00 00	90 '0	0.01	0.10	0.01	0.01	0.04	0.16	0.69	0.15	0.14	00 00	0.14	0.15	0.00	0.12
X	0.017	0.017	0.012	0.029	0.012	000 0	0.009	0.010	600 '0	0.047	0.027	0.023	0.010	0.003	0.010	0.025	0.021	0.048	0.007	0.032	0.023	0.069	0.032	0.025	0.063	900 '0	0.064
π	0.086	0.104	0.034	0.013	0.012	4.082	0.716	0. 785	0.768	0.059	0.172	0.131	0.079	0.085	0.317	08.780	0.923	1.192	0.069	0.068	0.066	0.044	090 '0	0.010	0.039	0.062	0.094
×	0 全	1	0 後	2 全	9 前	2 後	2 全	8 前	2 後	8 全	3 前	8 後	9 全	7 前	9 後	0 全	4 前	. 0 後		8 前	9 後	3 全	4 前	3 後	0 全	6 前	0 後
Мтах	8.	5.	8.	7.	4.	7.	7.	9	7.	8 '9	5.	9.	6.9	4	9.	7.	9	7.	.9	4	9.	. 7	4.	7.	7.	S.	7.0
Mth		60 2. 1			25 2.3			0 1.9			25 1.1			25 1.6			90 2.2			30 1.9			25 1.4			25 1.0	
別と 別と	L.,		6		<u>2</u>	7		5 60	6			4			5			œ			9		4	4			8
解析地 震回数	2704	395	2309	732	7	657	4474	2915	1559	11354	1110	10244	1724	362	136	6045	5407	638	1432	266	1166	3468	17	3294	7027	199	6828
地震(地域 名)・年・M	一番光季制	1 1347十26版 2003 - MS 0	2003 - 1110. 0	岩手・宮城	内陸地震	2008 • M7. 2	中华国共	11 % 形 7 2	2.002	新潟県中越	拓震	2004 • M6.8	新潟県中越	沖地震	2007 • M6.8	発売回光	次%光子 2008 · M7 ○	2000 - 1117.0	能登半島地	急	2007 • M6.9	鳥取県西部	地震	2000 • M7.3	福岡県西方	虫 962	2005 • M7.0
地域 番号	<u> </u>	191		Ë	213	. 1		287	•	-118	371 ±	- 1	-11	379	. 4	ľ	471	-	Ë	495	. 7	Ĺ	263 ±	. 4		796	- 1
11 1"		ø			Ф			O			σ			Φ			4			ю			_			-	

(4) – 3009. $\mathsf{AIC_etas}^*$ 2)1662.8

① AIC for whole period ② AIC prior to major earthquake ③ AIC after major earthquake ④ (3) (4) (4) (5) (5) (6) (6) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7

② + ③ + penalty (Ogata,1992)

群発的な傾向のある地域は、本稿のシミュレーション方法ではやや少なめの結果が出るケースが多い. このような地域を除き、若干の過大/過小はあるが、ほぼ想定される結果となっている. 新潟県中越地震・茨城県沖のような群発地震的要素がある場合の予測は、実際の活動の推移を考慮しながら見ていく必要がある.

4-2 顕著地震前後の METAS モデルパラメータの比 較

これまでの議論では、顕著地震の発生前後で METAS のモデルパラメーターやb値が大きく変わらないことを暗々裏に仮定している.本節ではこの点を吟味する.

表3は、近年の顕著地震を含む地域の METAS モデルのパラメータであり、全期間と地震発生時で前後 (本震は後者の期間に入れた) に期間を分けたパラメータを示している. ETAS モデルを期間分割する場合、AIC は分割したモデルにペナルティ (おおよそ3前後の数値になる)をかす必要があり (Ogata, 1992)、表3ではそれを分割モデルに足している.

パラメータにはトレードオフがあり、単純には比較できないが、METAS モデルの p に関しては、全般に前後の期間でほぼ一致している。b 値は G-R 分布,切断 G-R 分布とも問題ないレベルに収まっている。また、 α と β に着目すると、十勝沖、新潟県中越沖、鳥取県西部、福岡県西方沖が前後の期間でかなり異なっている。実際に顕著地震発生前のパラメータで M7.0 における余震活動を予測すると十勝沖は余震が発生しすぎ、福岡県西方沖は少なすぎる他は、全般に余震発生回数のオーダーレベルで一致している。 α と β はともに M にかかる係数であり、新潟県中越沖、鳥取県西部の場合は α と β のトレードオフで適合度が変化せず、表 2 に示したように余震予測結果は比較的よくあったと考えられる。

一方,余震予測結果が大きく異なる十勝沖と福岡県西方沖の場合の特徴は,前後の期間で最大 M を比較するとその差が 3.0 程度あり,モデル期間に大きめの地震発生がなかったことが原因の一つと考えられる.また,この2つの地震とも AIC を比較するとMETAS モデル,切断 G-R 分布とも分割モデルの方が AIC 最小を示している.なお,前後期間におけるM 差が大きかった地震は,他にも鳥取県西部がある

(差 3.0 程度)が、余震回数はほぼ想定される範囲の予測ができている.

大きめの地震発生の経験がない場合, M の採る幅が狭くなり、結果的に不安定な予測となる可能性がある. 本稿では M7.0 の地震発生を想定しているので、モデル期間の最大地震が M4 程度未満の場合、推測したモデルに不安定な要素があることを踏まえて、次節で全般的なシミュレーションの結果をみていく.

4-3 全国シミュレーション

規模分布を加味した METAS モデルを適用して, 各地域のシミュレーションを行った. 解析期間直後 に M7.0 が発生したと仮定し、その後の余震発生状 況を見たものである. 結果の表示例を図7に2地域 示す (その他の地域については CD 参照). 図7の右 上のM度数分布は、解析期間に発生したM度数分布 であり, 左上は, 想定 M7.0 以上における 100 回の シミュレーションのうち、10日間の地震回数を数え て中央値となる1例を選び、M度数分布を表示した ものである. 十分な数の余震が発生すると従来の b 値に近くなるが、余震が不活発な場合、やや小さめ の値をとる傾向がある.下の2つの図は上で述べた 中央値を示す1例の地震回数積算図とM-T図であ る.シミュレーション期間(10日間)における地震 活動をさらに METAS モデル (赤で表示、 β はシミ ュレーション前の値で固定)及び改良大森公式(青 で表示) で解いた値とフィッティングもあわせて表 示してある. シミュレーション結果を METAS モデ ルでフィッティングさせるとややμが大きくなる傾 向がある.

図 8-1 に β =1, 図 8-2 に β 可変時の 10 日間の地震 (M \geq 3.0) 発生状況,表 3 に各地域のシミュレーション結果を示す.表 1 に示したとおり,過去の例を考慮して地震発生が中央値で 20 回以下,あるいは500 回以上の場合はシミュレーション失敗と判断し表示されない.過大評価・過小評価の地域については図 8-3 を参照されたい.

β固定 (通常) モデルはほとんどの地域で数回程度の余震しか発生していないため、特に内陸部で空白の地域が目立つ. 図 8-2 の β 可変モデルではほとんどの地域で 20 < n < 500 となり、シミュレーション結果がでている. 結果が得られた地域数はそれぞ

れ、46、152 であり、3倍以上の地域でシミュレーション結果が得られ、 β 導入の効果があることが確認できた。ヒストグラムを見ると後者は25-50回のところにピークが見られ、過去のM7クラスの活動と比較するとやや少なめの結果となっている。一部の地域で400回近いところがあるが、どこかに集中している傾向はない。これ以降、特に断らない限り β 可変 (METAS) モデルについてより詳細な結果を見ていく。

以下,シミュレーション結果のうち,①過小評価, ②過大評価,③シミュレーションの妥当性という観 点でさらにみていく.

図 8-3 は、図 8-2 の白抜きで示した地域にほぼ該当する. 10 日間で M3.0 以上の余震が 500 回以上を過大評価,20 回以下を過小評価として示したもので、赤色の過大評価は 17 地域、寒色系の過小評価は 90地域であり、圧倒的に過小評価の地域が多い.

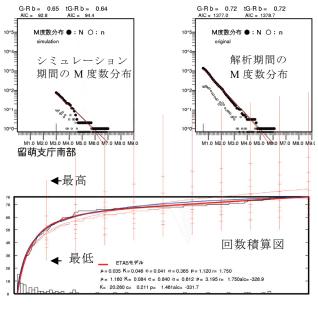
① 過小評価

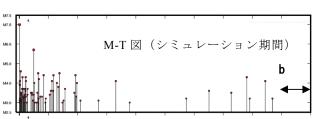
2つの要因があり、 α が0に近い場合(例:後志支庁西部,117,120,121等.以下,地域番号だけの記述とする.地域番号については付表1参照)とpが

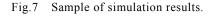
2.0 より大きい場合(145, 180 等)がある. 前者は群発的な傾向が見られ, Mの大きさとその後の余震の状況にはっきりした関係がない例であり,後者の場合はポアソン的な活動を無理矢理 ETAS モデルにあわせるために時々見られる現象である.後者については,現状データでは改善の余地はなく,今後の本震ー余震的な活動データ蓄積を待つ必要がある.前者の群発的な活動は,活動が発生してからの推移をETAS モデルにフィッティングさせれば,新潟県中越地震・茨城県沖のように適切な予測ができると考えられる.

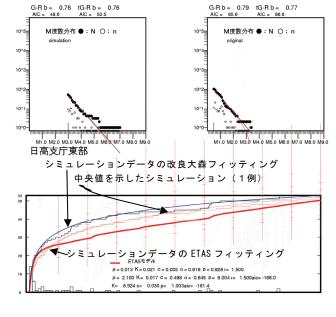
② 過大評価

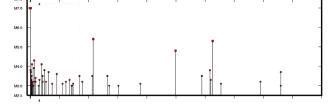
余震の爆発現象が見られた地域で、一番多かったのは α または β が大きかったことである(例:石狩支庁中部 101 等). このほか、b 値がかなり小さい例 (146 等)も見られた. また、これらの地域の最大MーMth が小さいこと(17 例中 12 例が 2.5 未満)も特徴としてあげられる. また、7 地域は通常の ETAS モデルでシミュレーションした結果、ほとんど余震が発生せず、METAS でパラメータ β を大きく見積もりすぎた例もある. これについては、プログラムの











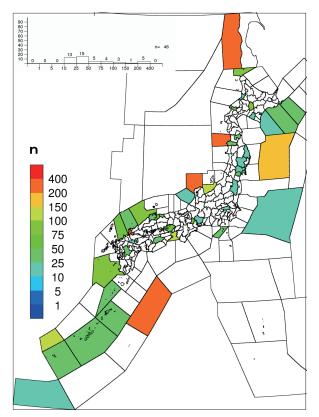


Fig. 8-1 Median numbers of aftershocks of M3.0 or larger in the ten-day simulation.

Areas with less than 20 or 500 or more aftershocks have been left blank. (β = 1)

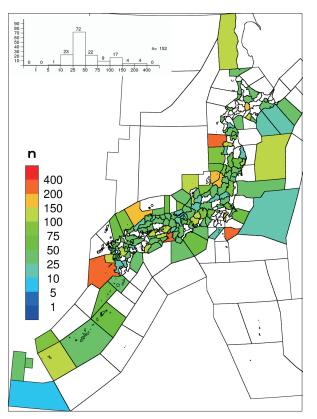


Fig. 8-2 Median numbers of aftershocks of M3.0 or larger in the ten-day simulation.

Areas with less than 20 or 500 or more aftershocks have been left blank. (β = variable)

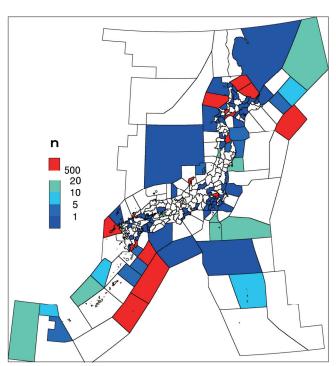


Fig.8-3 Details for areas left blank in Fig. 8-2.

w on Lartinquakes.									
震央地名	本震M	M3以上 の回数	G-R分布に よる回数	比	本震M	M3以上 の回数	G-R分布に よる回数	比	α
		実際	の活動			シミュ	レーショ:	ン	
留萌支庁南部	6. 1	20	170	0. 12	7. 0	76	760	0. 10	1. 38
宮城県中部	6. 4	90	260	0. 35	7. 0	57	690	0. 08	1. 39
秋田県沖	5.8	19	270	0.07	7. 0	168	3020	0.06	1. 35
福島県沖	6. 2	123	310	0.40	7. 0	44	1320	0.03	1. 08
千葉県東方沖	6. 1	4	140	0.03	7. 0	105	575	0. 18	0. 96
石川県西方沖	6. 2	18	187	0.10	7. 0	63	690	0. 09	1. 14
能登半島沖	6. 9	271	590	0.46	7. 0	238	690	0. 34	2. 36
兵庫県北部	5. 6	67	75	0.89	7. 0	58	760	0. 08	0. 97
插子自诉海	6.6	11	2230	0.05	7.0	31	5250	0.06	1 31

7. 0

130

Table.4 Aftershock numbers observed for M6-class earthquakes and those expected according to the Gutenberg-Richter law on Earthquakes

改善(本震の影響による余震回数を推定して制限 する), あるいはこの例が少ない(7/17 例)の で手作業により修正できる可能性がある.

160

③ シミュレーションの妥当性

宮古島北西沖

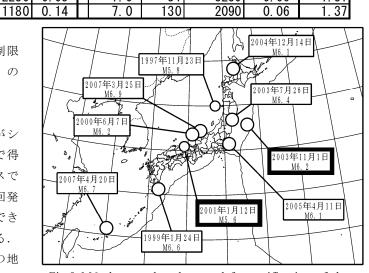
ここでは「M6 クラスの活動と余震の関係がシ ミュレーション結果と相違ないか」との観点で得 られた結果を検討する. すなわち, M6 クラスで あれば、表4のように最近10年程度でも10回発 生しているので, ある程度事例を稼ぐことができ る. 問題はどう「確からしい」と見るか, である. ここでは、G-R 分布から推定した M3.0 以上の地 震の数 (M6.0 ならば 10^{b (6.0-3.0)} として計算) と実 際に発生した M3.0 以上の 10 日間の余震の数の比 を実際の活動とシミュレーションで比較する方法を とった.

表4によれば、実際の活動とシミュレーションと の比(M3以上の観測回数/G-R 分布から予想され る回数)が明らかにオーダーで違うものは3/10例 (福島県沖・千葉県東方沖・兵庫県北部) あり、こ れらの地域のαが 10 例中最小3位という結果と一 致する. 先の新潟県中越地震や茨城県沖の例(表2) の結果と同様の傾向である. これらの他は、ほとん ど過去の発生したMとM7.0 に見合った予測をして おり、シミュレーション自体は過去の活動が反映さ れていることが確認できた.

5 地震活動の現状把握

5-1 モデルパラメータ

本節では、得られた地震活動諸量(b値、METAS) 及び ETAS モデルパラメータ等) の全体的な結果を



2090

0.06

1. 37

Fig.9 M6-class earthquakes used for verification of the data in Table 4.

検討する. 個々の地域の資料は付録 CD に html 形式 で示し、各種パラメータを付表1に示す.

図 11-1 は 2002 年 10 月以降の G-R 分布と切断 G-R 分布のb値を比較したものである. G-R 分布のb値 の方が切断 G-R 分布に比較してやや大きな値を持つ 傾向がある. 1.0 以上の値を持つ b 値は, G-R 分布で 67/261 地域 (26%), 切断 G-R 分布では 46/261 地域 (18%) である. また, AIC で比較すると, 1997 年 10 月以降では 107/228 地域 (47%), 2002 年 10 月以降では 100/261 地域 (38%) が切断 G-R 分布 の当てはまりがよかった. このことは, b値の時間 的変化を見る時などに注意が必要であることを示唆 する. すなわち, 小さい規模の地震しか起きていな い時と大きな地震が起きている場合で, それぞれ G-R 分布を当てはめると、半分近くの場所で M の変 動範囲に起因するb値の変化が観測される可能性を 示唆する.一方,地域的な値の分布では,北海道か

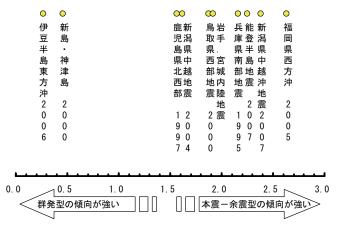


Fig.10 α -values for major earthquakes (threshold = M2.5).

ら東北地方にかけての太平洋沿岸にかけて低い b 値が目立つ.

次に METAS モデル関連の地震活動諸量 (α , β , μ , p) を図 11-2~図 11-5 に示す.

 α は β と強いトレードオフの関係にあるが, ETAS モデルの α 値と比較し、大きな変化がなかったので METAS O_{α} 値を表示している. これらの図には適 切に METAS モデルが求められた地域をプロットし ている. 具体的には、METAS モデルの AIC が定常 ポアソン過程モデルのそれより小さい地域とp≧ 3.0 の地域は空白とした. pが 3.0 よりも大きいとポ アソン過程の様相を示すことが多く, 不自然な METAS モデルとなる傾向がある. α は $0 \sim 2$ 程度 の値をとり、0に近いほど群発型、2あるいはそれ 以上の場合,本震-余震型の地震活動を示す.ヒス トグラムは1.1~1.3のところにピークがあり、裾の 広い分布を示す. α は Mth に依存しにくい値である が、それでも他のパラメータとのトレードオフがあ るため、図 10 に最近の顕著地震について Mth2.5 に 統一して ETAS モデルで α を求めた結果を示す. α ≥1.5 が本震-余震型を示すおおよその目安になる. αの地域的な分布を見ると伊豆半島などの過去の群 発地域では小さい傾向がある.

β値については、図 8-2 と比較すると適切に M7.0 後の余震が得られなかった地域で β=1 の分布となっている傾向が見られる他は、 $1.2\sim1.6$ になだらかなピークを持つヒストグラムになっている.

p値は 0.9-1.1 に 125/230 (54.3%) サンプル, 0.7-1.3 のところに 209/230 (90.9%) サンプルが集中して分布している. 地域的な特色は特には見られ

ない.

図 11-4 は、ポアソン的に発生している地震発生強度 μ を地域で比較できるように、面積 1000 km^2 ・1 日当たりの M2.0 以上の地震の発生回数を示したものである。千島列島、北海道東方沖などに 0.3 回/日以上の地域が見られるが、これらの中には、例えば 1994 年の北海道東方沖地震(M8.1)の余震など解析期間に本震が含まれないために、活動をポアソン的ととらえた可能性がある。内陸地域では和歌山県北部の 0.06 回/日が最大になっているほか、普段から活動の見られる地域の値が当然ながら高く表示されている。

図 11-6 は最終期間における METAS モデルからのずれを表示した.解析期間(ここでは 2002/10-2008/3)を,その平均地震回数に応じて 20-80 期間に調整分割(デフォルトは 50 期間)し,最後の 1 期間が METAS モデルに比較して,標準偏差(σ)を基準に \pm 何 σ になるか示したものである.これにより,地域の静穏化/活発化の指標とすることができる.

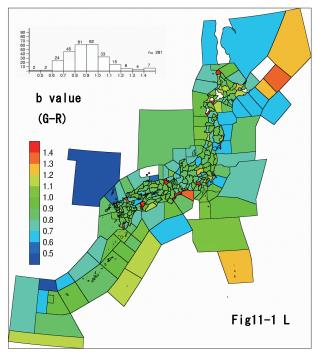
地震活動の時間変化について観測と METAS モデルを比較した例を図 12 に示す. 地域は釧路沖で, 期間は 1997 年 10 月~2008 年 3 月までである. それぞれの詳細を図 12 に書き入れた.

なお、これらの資料を html 形式にするまでの全国を対象とした METAS 処理はデータ取得から約半日でできあがる。本稿作成現在は月1回程度更新し、気象庁イントラネットに掲示し、全国地震活動把握の基礎資料としている。また、上述の METAS モデルからのずれに関しては、便宜的に $\pm 2 \sigma$ 以上を示した地域のプロットにリンクを張っている。

5-2 顕著地震前の METAS モデルからのずれ

この節では,顕著な地震発生以前に地震活動の高低がどのように見られたかを示す.顕著な地震とその余震活動を含まないようその直前までのデータを用いて,前節と同じように METAS モデルからのずれの推移を 9 例(表 1 の a~ i)について図 13 に示す

領域は、本震が含まれる地域で代表し、モデルパラメータは顕著地震以前の値である。領域は、それぞれの震源域の一部を含むもの(十勝沖地震、鳥取県西部地震など)や震源域と他の地震活動域を含む



 $Fig11-1L\ b-values\ according\ to\ the$ $Gutenberg-Richter\ law.\quad (2002/10/1-2008/3/31)$

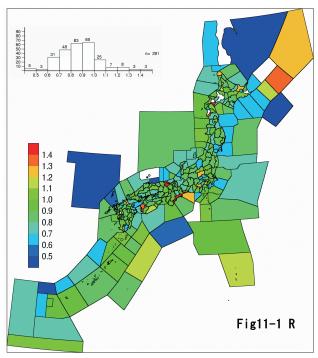


Fig11-1R b-values according to the truncated Gutenberg-Richter law. (2002/10/1-2008/3/31)

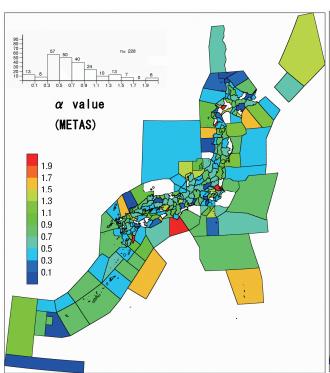


Fig. 11-2 α -values for METAS Model. 2002/10/1-2008/3/31

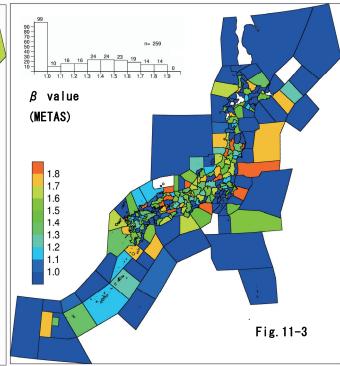


Fig. 11-3 β -values for the METAS Model. 2002/10/1-2008/3/31

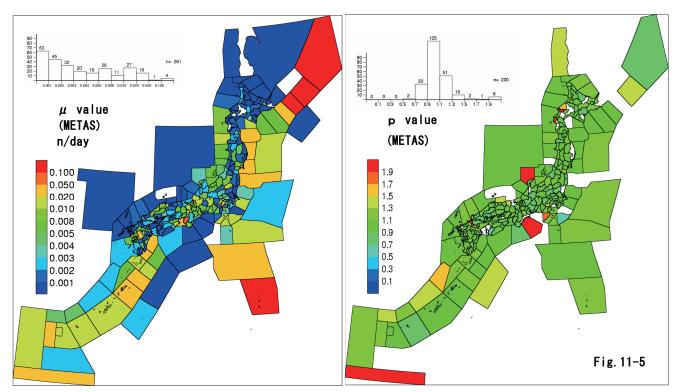


Fig. 11-4 $\;\mu$ -values for the METAS Model. 2002/10/1-2008/3/31

Number of M2.0 earthquakes or greater a day per $1,000 \ \text{km}^2$.

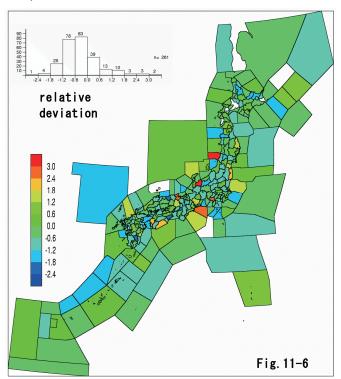


Fig.11-6 Relative deviation (n.obs-mean)/ σ for last sub-interval in observation.

 σ : standard deviation 2002/10/1-2008/3/31

Fig.11-5 p-values for the METAS Model. 2002/10/1-2008/3/31

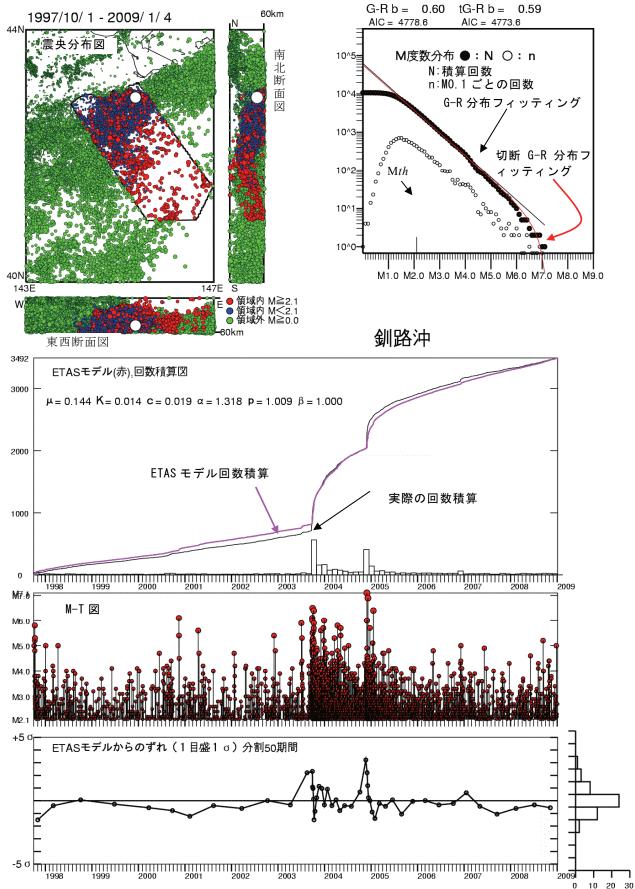


Fig.12 A sample of individual plots for each region.

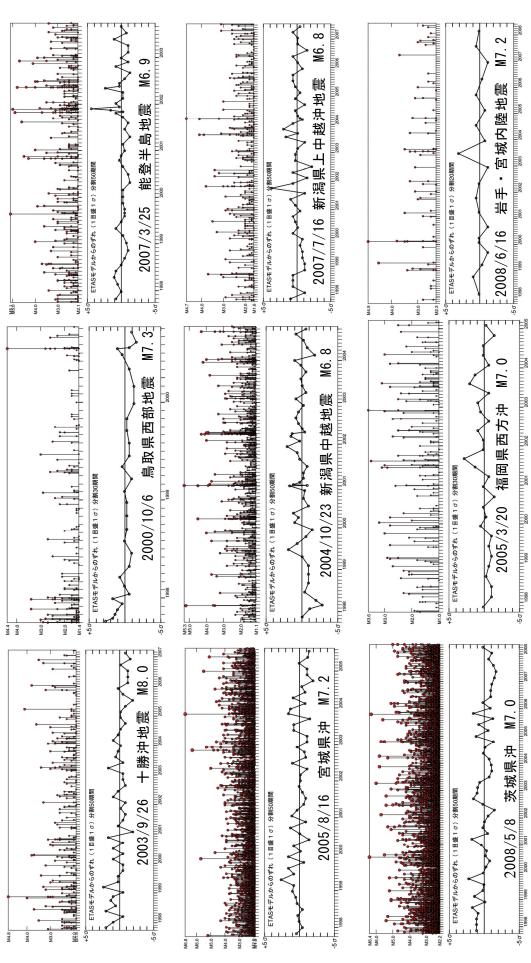


Fig.13 State prior to the occurrence of a major earthquake.

ものがある. 震源域が発生前に分かっている例は非常に少なく, 領域と震源域が十分一致しないことは やむを得ないので, 現実的な方法と考えられる.

図13は、左列の地震が海溝型の地震、中列・右列 が内陸の浅い地震の例である. 大地震の前の静穏化 /活発化がどのように現れるのか, 様々な例は報告 されているものの, どのような様式で現れるかにつ いては定まった説はない. 海溝型の地震についてみ てみると,活動の不活発な期間が数ヶ月~1年継続 しているように見えるのは茨城県沖 (M7.0) である. この地震は、本震の数日前からの前震活動の期間が 入っているので, 直前の期間ではもとのレベルに戻 っている. 十勝沖地震 (M8.0) と宮城県沖 (M7.2) は表示期間において徐々に活動が不活発な時期が多 くなり、本震の数ヶ月前までは不活発な時期になっ ているが, 茨城県沖ほど明瞭ではない. 一方, 内陸 の浅い地震に関しては, 顕著に不活発になっている 例はなく, 鳥取県西部地震 (M7.3) のみ数ヶ月前ま で概して不活発な時期に当たっている程度である.

モデルパラメータに関して、本震発生以前と以降で大きく異なっているものは 4-2 節で示したとおり少なかった。特に μ はほとんど変化がなく、 α や β は、余震の回数制限などで若干異なっているものがあった。実際に本震クラスが発生してからのデータによる μ の見積もりはより大きく求まる癖があり(4-3 節)、 μ の値は、本震発生以降は通常0にしているが、本震発生以前の μ に固定する方が現実的な方法と考えられる。

この節では、METAS モデルを用いて、本震発生 以前の様相をいくつか例示したが、実用的な監視の 仕方は今後の課題である.

6. まとめ

本稿では、M7.0 の地震を対象とした余震活動の予測という観点を導入し、ETAS モデルの改良(パラメータ β の導入)を行った。この結果、以下の新たな知見が得られた。

① 改良した ETAS モデル (METAS) でシミュレーションを行った. 全シミュレーションの結果は群発的, ポアソン的な地域を除いて, 余震活動予測に適用が可能であることが確認できた. その結果は過去の活動から類推できる範囲であったが, 過去の M 7 クラスと比較した場合, やや過

小評価の傾向があった.

- ② シミュレーションにおいて, αが小さい場合は, 過小評価となりがちであり, このような地域の 短期地震活動予測は, 実際の顕著な活動を含んで行う必要がある.
- ③ METAS モデルを用いて、現状把握の試みを行い、 全国のモデルパラメータや顕著地震前の様相な どの検討を行った. 現状把握に関しては、日常 的な監視に支障のないシステムの基礎ができた. ただし、前兆的な観測事実を客観的に示すため には、より多くの検討が必要である.

問題点及び課題としては、M7.0 だけではなく、テクトニクスなど別の観点からその地域に起こりうる最大地震の規模を考慮した解析を行うことがあげられる

謝辞

本調査で使用した ETAS 関連のプログラムは、統計数理研究所尾形教授作成版をもとに作成した.また、精度の高いモンテカルロシミュレーションは、西村・松本氏によるプログラム MT を使用した.図の作成には気象研究所加藤氏によるプログラムPLOTPSを使用した.また、伊藤秀美地震火山部長及び岡田正実気象研究所客員研究員には、本稿に関して有益なコメントをいただいた.これらの方々に記して謝意を表します.

文献

石垣祐三(2006): ETAS モデルを用いた地震活動の短期 確率評価, 験震時報, 69, 135-154.

伊藤秀美・明田川保 (2007): 余震活動解析プログラム の改良, 験震時報, 70, 15-28.

宇津徳治(1978): 地震のマグニチュード分布式のパラメータ推定, 地震 2, 31, 367-382.

宇津徳治(1999): 地震活動総説, 東京大学出版会, 876pp. 加藤輝之(2004): PostScript コードを生成する描画ツール"PLOTPS"マニュアル, 気象研究所技術報告, 44, 97pp.

地震調査委員会(1998): 余震の確率評価手法について, 36pp.

Akaike, H. (1974): A new look at the statistical model identification, IEEE Trans. Autom. Control, AC-19, 716-723.

- Matsumoto, M. and T.Nishimura, (1998): Mersenne
 Twister: A 623-dimensionally equidistributed uniform
 pseudorandom number generator, ACM Trans. on
 Modeling and Computer Simulation Vol. 8, No. 1, January,
 3-30.
- Ogata, Y. (1988): Statistical Model for Earthquake Occurrences and Residual Analysis for Point Processes J. Amer. Statist. Assoc., 83, 9-27.
- Ogata, Y. (1992): Detection of Precursory Relative Quiescence before Great Earthquakes through a Statistical Model, J. Geophys. Res., 97, 19, 845-19, 871.

梅	地域名 :	解析期間	解析 同数 数	Mth	Mu	8		発生回数 の中央値		8 1 1 1 1 1 1 1 1	β=1平均	β=1発生 回数の中 央値	- 1.	O				- 1	AIC_ poisson		b (G-R)
101		2002/10-	40			1.00		1001	bad (explosion)				0.019	0.000	0.000	3. 260	1. 156	387. 3	395. 3		1.07
105	5) 渡島支庁北部	2002/10-	0/			_[,	0. /	0	bad (poor)				0. 021	0.024	0.037	0.814	1. 350		612		0. /1
100	0 液局文厂果部7 流点十二年的	1997/10-	282		ر 0 د	- [30.9	30	good	bad (poor)	0 o	0	0. 020	0.034	000	0. 403	0.901	1 000. 0	2038		۔ٰا۔ٰ
0 ;	/ 波馬文丁四部	-01/1661	112		2.9		100.	140	good	bad (poor)	0.0		0.013	0.020	0.002	0.099	1.041	132. 2	1017. 5		
110	0 福山支厅	2002/10-	30				42. 4	42	good	bad (poor)	2.0		0.012	0.000	0.003	1.048	1. 982	263. 3	314. 3		1.0/
115	5)後志支厅北部	-01/2002	2.7				11/.3	115	good	boog	64. 6	7.9	0.005	0.215	0. //0	1.521	2. 231	184.8	244. 6		1. 05
117		2002/10-	94		2.0	-1	0.0	0	bad (poor)				0.017	0.040	0.000	0.190	1. 022	467. 6	765.		1. 18
120		1997/10-	152	0.8	2. 7	_	0.0		bad (poor)				0.019	0.032	0.003	0.301	0.916	1168.8	1287. 3		. 04
121		1997/10-	83		3.6		0.0	0					0.013	0.026	0.001	000.0	0.929	749. 0	804. 3		1.01
125	5 上川支庁北部	1997/10-	195	0.8	4.0	1.00	1.5		bad (poor)				0.021	0.021	0.001	0.911	0.930	1266.8	1553.8		0. 79
126		2002/10-	83	0.6	2. 1	1.60	84. 4	83	good	bad (poor)	0.8	1	0.032	0.012	0.000	0.646	0.935	667.3	69.		1. 10
127	7 上川支庁南部	1997/10-	297	0.0	3.9	1. 20	545.4	497	poog	poog	111.1	100	0.056	0.005	0.009	1.488	1.063	1892.8	2115.6		0.81
130	0 留萌支庁中北部	1997/10-	191		3.6	1.50	36. 7	37	good	bad (poor)	1.3	1	0.035	0.008	0.012	0.752	1.381	1253.1	1344. 9		1.09
131	1 留荫支庁南部	2002/10-	1391			1, 75	82. 2	75	pood	poog	24. 2	23	0.035	0.046	0.041	0.365	1, 120	-3766.3	3806. 7		0.72
135	5 宗谷支广北部	2002/10-	30			1,00	0.0	0	bad (poor)				0.009	0.030	0.003	000.0	0.907	295. 5	314. 3		1.65
136		2002/10-	64	9 0		1 00	0.0						0.023	0.016	000	0.351	0.931	538. 7	571. 2	Ĺ	0.89
140	0 網走支庁網走地方	1997/10-	2365			ľ	0.6		bad (poor)				0.031	0.052	0.005	0.533	1. 189	-9145.0	7018. 4		0.73
141	1 細帯を庁北厚地方	2002/10-	30				0 1	С	had (noor)				┸	4 79E+04	680 6	0 286	5 792	303 5	314.3		1 04
142	2 細非专庁約別地方	2002/10-	41			1	62.7	69	good	bad (poor)	1 7	-	1	0 000	0000	0 441	0 805	385 6	403 1		٦٠.
145	5 田振步庁 五部	1997/10-	437				0 4	0	had (noor)				000	0 045	0.059	000	2 141	-3459 1	2774 3		0 95
146	6 田振も庁山車部	1997/10-	95				995.0	100	had (exp losion)	had (noor)	6 7	0	0 010	0.03	0 00	0 615	0 950	734 0	894 6		0 69
150	0 日高支庁 西部	1997/10-	132			1 00	0.0		bad (poor)	_			0.015	0.022	0.001	0. 154	0. 752	1117.6	1155. 4		78
151		1997/10-	103			1	179.8	175	good	poog	22.9	22	0.025	0.002	0.029	1.619	1, 489	933.9	953. 1		1.04
152		1997/10-	104			-	52. 5	52	boog	bad (poor)	2.9		0, 013	0.021	0.005	0.616	0.928	849.9	7 096	0.79	11.0
155		1997/10-	1367		4.5	1.00	0.9	-	bad (poor)				0.052	0.039	0.001	0.882	1.075	371.6	5556. 3	1.08	ľ
156	6 十勝支庁中部	2002/10-	154	0.4	3.3	1.00	0.0	0					0.049	0.026	0.012	0.054	0.892	1081. 2	1101.	0.84	ı~
157	7 十勝支庁南部	2002/10-	36	0.5		1.00	0.0						0.018	000 0	0.000	1.080	0.855	371.6	363. 6		11.0
160		1997/10-	185			1.65	69.0	63	poog	bad (poor)	4.1	4	0.025	0.019	0.000	0.412	1.067	918.8	1493. 7		١٣.
161		1997/10-	197	1.1	3.6	1.50	70.9	99	good	bad (poor)	5.4	5	0.014	0.031	0.001	0.625	1. 095	644.9	1565. 7	0.	. 85
165		1997/10-	459	0.0	4.0	1.00	0.1	0	bad (poor)				0.008	0.065	0.00	0.460	1.016	1449.7	2868.8	0.93	ı –'.
180	0 北海道南西沖	1997/10-	2196	1.9	4.5	1.00	0.6	0	bad (poor)				0.535	4.427	14.650	0.464	2.354	6802.9	6842. 7		1.03
181	1 北海道西方沖	1997/10-	132			1.65	591. 6	545		bad (poor)	19. 5	19	0.018		0.032	0.712	1. 125	968. 5	1155.4		0.92
182	2 石狩湾	2002/10-	31		2.9	1.00	0.1						0.012	0.024	0.073	0.501	1. 551	298. 5	322. 6		1.01
183	3 北海道北西沖	1997/10-	396	0.0	4.5	1.00	0.2		bad (poor)				0.028	0.045	0.002	0. 283	0. 990	1867.0	2592. 2		0.64
184	4 宗谷海峡	1997/10-	70	1.9	4.4	1.00	101.5	9/	boog				0.005	0.016	0.002	1.189	1. 021	444. 5	702. 5		0.59
186	6 国後島付近	2002/10-	23	1.6	3.5	1.00	0.0	0	bad (poor)				0.009	0.049	0.394	000.0	1. 159	255. 7	253. 6		0.
188	8 北海道東方沖	1997/10-	333	4.1	6.0	1.30	4.6	4	bad (poor)	bad (poor)	3.1		0.071	0.008	0.005	1.009	0.940	2266.8	2295. 6		1.06
189	9 根室半島南東沖	1997/10-	1866	2.3	7.0	1.80	42.3	41	poog	poog	42.7	40	0.337	0.012	0.012	0.435	1.048	5291.1	6422. 4	0	0.69
190	0 釧路沖	1997/10-	3348		7.1	1.00	31.8	28	good				0.142	0.015	0.019	1. 298	1.013	419.6	7607.	0.	. 59
191	十十十十二	1997/10-	2704	2.1	8.0	1.00	31. 4	25	boog				0.086	0.017	0.024	1. 258	1.046	-2982. 1	7299. 8		0.61
192	7 無河沖	1997/10-	1882	1.6	5.4	1.00	0.7		bad (poor)				0.326	0.021	0.028	0.484	0.970	6335.3	6445. 3		0.73
193	3 苫小牧沖	1997/10-	147	1.4	3.4	1.50	99. 3	86	good	bad (poor)	3.4	က	0.020	0.013	0.000	0.808	0. 734	1213.5	1254. 9		1.05
194	4 内浦湾	1997/10-	208	1.3	3.6	1.00	0.2	0	bad (poor)				0.031	0.021	0.001	0.505	0.930	1494.3	1630. 4	o.	97
195	5 宗谷東方沖	1997/10-	99	1.8	4.3	1.00	763. 5	802	bad (explosion)				0.009	0.007	0.010	1.967	1.174	459. 4	670. 2	0.81	ıΨ
196	6 網走沖	1997/10-	256	0.7	4.7	1.40	1001.0	1001	bad (explosion)	bad (explosion)	1001.0	1001	0.029	0.014	0.002	0.722	0.998	1306. 2	1899. 9	0.45	١٧.

Appendix Table. 1-2 Simulation result of METAS Model.

į	•	The Poure			ו								ŀ								
番号	地域名	解析期間	解析 侧回数	Mth	Mu	8	平均発生 回数 数	発生回数の中央値	・ コンコント コンコント コンコント	β=1 -7 μ m γ l = γ -7 μ m γ μ γ	β=1平均 発生回数	β=1発回 回数の中 高	π		o	ø	<u> </u>	AIC_etas	AIC_ poisson	b (G-R)	b(tGR)
	青森県津軽北部	1997/10-	56	1.7	3.6	1.00	0.3	0	bad (poor)				0.011	0.030	0.079	0.640	1. 205	560.3	587.4	1.05	1.00
201	青森県津軽南部	1997/10-	104	1.3	2. 6	1.10	152. 4		good	good	31.5	30	0.023	0.033	0.456	1.584	2.802	924.3	960.4	1.09	0.89
202	202 青森県三八上北地方	1997/10-	111	1.0	4. 1	1.60	608. 7	262 <mark>c</mark>	oad (explosion)	bad (poor)	13.6	13	0.019	0.008	000 .0	0.639	1.087	758.3		0.68	0.66
203	203 青森県下北地方	1997/10-	144		4. 1	1.30	51.4		good	bad (poor)	11.7	Ξ	0.022	0.013	0.001	0.990	0.969	1084. 7	_	0.90	0.88
210:	210 岩手県沿岸北部	1997/10-	28	Ц	2.7	1.00	23. 7		boog		0		0.015	0000	0.021	3. 533	6. 316	601.8	ľ	0.98	0.87
2117	语手果沿库 南部 岩毛 国 占 陈 少 新	1997/10-	128	ο o	3.8	1.85	484. 4	459	good	bad (poor)	0.2	0	0. 028	0.017	0. 240	0.45/	1.090	1123.5		0.88	0.8/
213	213 岩手県内陸南部	1997/10-	73		4.9	1.40	96. 6	93 6	boog	good	25.2	25	0.012	0.013	0.001	0.849	0. 974	645.6	726. 4	0.81	0.77
220	220 宮城県北部	1997/10-	1286	1.2	5. 1	1.30	76.9		poog	good	23.3	22	0. 102	0.021	0.003	0.853	1.066	1367.2		0.71	0.70
221	宮城県南部	1997/10-	143	1.1	3. 4	1.55	38. 1	39 €	good	bad (poor)	2.2	2	0.027	0.014	0.001	0.609	1.042	1069.9		0.91	0.87
222	222 宮城県中部	1997/10-	3000	1.1	6.4	1.20	63. 2	26 ₿	good	good	44.6	39	0.063	0.026	0.010	0.985	1.098	-9241.9	_	0.71	0.71
230	230 秋田県沿岸北部	1997/10-	85	1.2	3.8	1.65	33. 7		good	bad (poor)	2.9	3	0.018	0.008	000 0	0.559	1.074	732. 3		0.97	0.95
231	231 秋田県沿岸南部	1997/10-	65		3.0	1.40	15.1	15 b	bad (poor)	bad (poor)	0.4	0	0.015	000 0	0.653	0.975	41.600	732.8		1.10	1.02
232	232 秋田県内陸北部	1997/10-	591		4. 2		0.8		bad (poor)				0.030	0.037	000.0	0.772	0.920	2186.5			1.03
233	233 秋田県内陸南部 240 11 坂画 丘丘 地	1997/10-	717	1.4	4.6	1.85	80. 2	179	good	bad (poor)	0.0	- 0	0.078	0.018	0.001	0.390	1. 050	1105 5	2817.5	0.88	0.87
241	240 田形米圧136万241 二兆回帰 1	1007/10-	417		4; α ο α		191.4	119	good	bad (poor)	0.0	o rc	0.022	0.021	0.000	0.333	1 035	804.4			0.02
242	247 山形県村山地方	1997/10-	547	1.0	4	1 60	48 8		pood	bad (poor)	2 6	0	0.030	0 039	0 001	0.534	0.976	1918 2	3226 5	0.00	0 93
243	243 山形県電賜地方	1997/10-	219	-	4.1	1.65	50.1		boog	bad (poor)	4.1	4	0.026	0.024	000 0	0.497	0.943	1325.0			0.86
250 1	250 福島県中通り	1997/10-	544	0.9	5.2	1.65	136.8		good	boog	23.2	22	0.047	0.026	0.008	0.530	1. 213	580.4			0.82
251	251 福島県浜通り	1997/10-	82	1.1	3.1	1.00	0.1	0	bad (poor)				0.007	0.043	0.011	0.407	0.977	664.9			0.80
252	252 福島県会津	1997/10-	1680	1.3	4.5	1.50	48. 2		good	bad (poor)	6.4	9	0.162	0.027	000 0	0.656	0.987	3649. 2	6135.3	0.94	0.93
280	280 津軽海峡	1997/10-	224	1.2	4. 1	1.55	55. 5		good	bad (poor)	3.2	လ	0.022	0.027	0.001	0.598	0.935	1379.2	1722. 4	0.89	0.87
281	三形県 中	1997/10-	319	1.6	4.3	1.30	54.9		good	bad (poor)	18. 2	18	0.078	0.000	0.025	1.329	3. 245	2125. 5		0.89	0.87
282	282 秋田県沖	1997/10-	870	2.0	5.8	1.80	175. 2		good	good	20. 2	20	0.096	0.020	0.001	0.490	0.886	3513.8	4323. 2		0.87
283	283 青森県西方沖	1997/10-	557	2.3	5. 4	1.10	339. 1		good	good	250.9	243	0. 119	0.002	0.006	2.092	1. 243	2565. 2	3265.3		1.06
284	284 陸奥湾	1997/10-	95		3.6	1. 20	104. 2		good	good	28. 6	28		0.016	000.0	1.245	0.923	745. 2	894. 6		0.90
285	285 青森県東方沖	1997/10-	2052	┙	6. 4	- 6	4.5		bad (poor)				0. 453	0.004	0.006	1. 188	1. 122	6348.8	6672. 5	o o	0.71
087	780 石井宗子	1997/10-	202	ى 4 . ك	2	3 6	ر ا ا		bad (poor)				0.000	0.002	0.00	408	1 912	1901.7	1904. 3	0.95	0.92
187	28 / 呂琬県沖200 二時沖	1007/10	94 /4	- c	7.7		12.0	106	bad (poor)	Poor	105 0	180	0. /16	0.009	0.006	1.309	1,006	5237.3	1/6/	0. //	0.77
289	789 福島中	1997/10-	6127		6.2	1.85	44 1	1 90 8	good	good bad (poor)	11.5	111	0.855	0.042	0.047	0.350	1.078	4795.3			0.07
300	300 茨城県北部	2002/10-	25	L	2. 4	1.00	0.0		bad (poor)				0.012	000 0	0.023	0.926	1.040	279.3			0.83
301	301 茨城県南部	1997/10-	212	0.7	3. 2	1.50	237. 2	197	good	bad (poor)	5.4	5	0.009	0.035	0.001	0.588	0.919	1118.6	1653.6	0.70	0.64
309	309 千葉県南東沖	2002/10-	37	1.3	3. 4	1.00	0. 1	0	bad (poor)				0.014	3. 6E+04	16.590	0.320	4.048	368.0		0.96	0.91
310 4	310 栃木県北部	1997/10-	2093	1.3	4.9	1. 70	36. 5		good	bad (poor)	4.6	4	0. 130	0.038	000.0	0.437	0.977	3380.8		0.96	0.95
311	311 栃木県南部	1997/10-	308		3. 2	1. 20	32. 4		good	bad (poor)		7	0.077	0.001	0.001	1.448	1.340	2106.8		0.91	0.87
320	320 群馬県北部	1997/10-	1/28	0.0	5. 2	1.85	25. 4	g cz	good	bad (poor)	7.7	7	0. 141	0. 038	0.002	0.316	1. 081	1814. 4	6213.1	0.95	0.95
320	321 奸馬宗用即 320	1007/10-	90		S. C.		0.0		god (poor)	hod (noor)	9 1		0.029	0000	000.00	000.00	0.920	302. o 1676 6	-	0 71	0 80
3311	331 埼玉県南部	1997/10-	348		3.2	1.30	787. 4		ad (explosion)	good	22.2	21	0.040	0.017	0.001	1, 134	0.944	1975. 4		0.83	0.78
332	埼玉県秩父地方	1997/10-	196		3.4	1.00	0.1	0					0.018	0.023	0.001	0.402	0.765	1485.3	1559.7		0.63
340	340 千葉県北東部	1997/10-	183	1.0	4.5	1.60	44.8	44 8	good	bad (poor)	3.7	က	0.031	0.015	0.002	0.528	0.956	1332.1		0.77	0.76
341	341 千葉県北西部	2002/10-	39	0.8	2. 7	1.00	0.1	0 p	bad (poor)				0.016	0.007	000.0	0.605	1.068	365.9	387.5	1.10	1.06
345	342 千葉県南部	1997/10-	283	1.3	5.2	1.00	1.1	1	bad (poor)				0.010	0.046	000 0	0.473	0.964	1055.8	2043.3	0. 72	0.71
349	349 房総半島南方沖	1997/10-	418	2.2	4.9	1.50	491.5	490	good	good	20.9	20	0.096	0.002	000 0	1.171	0. 768	2681.0	2690.9	1.09	1.08
350	東京都23区	2002/10-	37		2. 4	1.20	743. 1	869	oad(explosion)	bad (poor)	16.8	17	0.011	0.014	000 0	1.483		334.9		1.05	0.88
351	351 pro <u></u>	1997/10-	100		4.0	- 1	0.0	_	bad (poor)		r	(0.020	0.012	0.001	0.335	0.907	912.2		0.68	0.65
352	352 果牙卻多摩四部 360 抽本…自由却	1007/10-	1 /4	0 F	4. c	- 20	01.0	9/6	good	bad (poor)	9. /	٥	0.015	0.032	0.004	0.599		894.8		1 50	1 /8
361	361 4 4 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1007/10-	000		2.9		1 7		bad (poor)				0.010	0.000	0.003	0.795	2. 089	1450 5	1636 2	0.80	0 78
200	在 第 三 米 豆 里	VI /1001	200		i,		1. 1	=	Jad (pool)				F 20 .		۷. ۷۷۰	0.120	ر. معرب	1200	1000.	2	

0.88

0.90

1.04

0. 90 0. 87 0. 98

69 '0

0.87

0. 77 0. 80 0. 97 0.85

0.86 0.87 0.77

0.81

o | o

0. 69

0.88

0. 78

0.85

0.86 1.06 0.95

0.97

0.90

0.91

AIC_ poisson 6206 1340. 990 1626. 4 1890. 6 2151.8 4149. 8 1762. 0 306. 4 222. (1240. 933. 593. -4683. 823. 5476. 802. 2637. 1993. 688. AIC_etas 1. 009 1. 098 2. 188 1. 093 1.067 0.921 1.056 1.034 0.820 0.875 0.908 1.109 0.995 1.089 1.052 0.898 0.000 0.000 0.626 0.655 486 468 692 402 8 0.002 0.062 0.000 0.057 0.003 0. 003 0. 001 0. 001 0.003 0.000 0.001 0.001 0.020 0.001 0.001 0.001 0.018 0.0590.028 0.060 0.065 0.052 0.010 0. 032 0. 007 0.023 0.012 0.064 0.030 0.007 0. 148 0. 047 0. 017 0.030 0.069 0.083 0.083 0.221 0.251 0.057 0.018 0.161 0.057 0.249 0.079 0.154 0.058 0.046 0.006 0.267 0.010 0 0 0 125 20 8 = 1 発回 回数の中 値 141.4 β=1平均 発生回数 6.8 ω ∞ 55.6 6. 1 3. 1 26.3 13. 1 6.7 312. β=1 ν=ν - 1 - 1 - 1 - 1 ad (poor ad (poor poo poos poo poo: good good p00 good pood p00. good good p00 poo 300d poo 200d pool p00 p00 good Simulation result of METAS Model 発生回数 の中央値 59 65 128 351 104 238 平 四 数 生 284. 194. 58. 66. 35. 44. 20. 23. 32. 40. 288. β 5. 3.5 6. 5 5. 912 2045 解析地 聽回数 4836 2543 205 1043 443 2890 1445 651 1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-解析期間 1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10--01//661 1997/10-1997/10--01/16611997/10--01/16611997/10--01/16611997/10-1997/10-1997/10-1997/10--01//66 1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-Appendix Table.1-3 | | 長却亦。| | 長却亦。| | 長却亦。| | 長野県南部 | 430 岐阜県発濃東部 | 441 | 韓岡県伊亞地方 | 440 | 韓岡県伊亞地方 | 441 | 韓岡県伊西部 | 442 | 韓岡県中部 山梨県東部・富士五湖 2 三 年島 近海 3 新島・神津島近海 5 駿河湾 6 駿河湾南方沖 379 新潟県上中越沖 380 富山県東部 381 富山県西部 1 福井県嶺南 1 山梨県中・西部 0 伊豆大島近海 1 伊豆半島東方沖) 新潟県上越地方 |新潟県中越地方 石川県能登地方 372 新潟県下越地方 378 新潟県下越沖 石川県加賀地方 494 石川県西方沖 495 能登半島沖 497 富山湾 498 佐渡付近 関東東方沖 | 千葉県東方沖 三重県南部 三重県南東沖 茨城県沖 八丈島東方沖 443 静岡県西部 450 愛知県東部 476 八丈島近海 477 東京湾 478 相模湾 愛知県西部 三重県北部 三重県中部) 長野県北部 | 長野県中部 福井県嶺北 7 遠州灘 三河湾 0 伊勢湾 2 若狭湾 8 福井県沖 地域名 番号 487 451 460

- 22 -

Appendix Table.1-4 Simulation result of METAS Model.

viniaddy.	14015.1	- [Cintaland		. Г		١.		 -		ě	ļ		ľ					ľ	ſ
番号 地域名	解析期間	解析地 聽回数	Mth	Mu	β	平均発生 回数	発生回数 の中央値	ジェント コンコー コンコー コンコー	8 = ション コンコンコン	β=1平均 発生回数	の手でに関する	π		o	σ	V ۵	AIC_etas	AIC_ poisson	b (G-R) b	b (tGR)
500 滋賀県北部	1997/10-	1330	0.8	5.2	-		33	good	bad(poor)	5.3	\ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \	0.272	0.010	0.003	0.489	1.045	4960.3	5478.9	0.94	0.94
501 滋賀県南部	1997/10-	750	0.9	3.2	2 1.30	1	116	good	bad(poor)	6.9	9	0.149	0.009	0.005	1.168	1.006	3758.0	3949.8	0.98	0.95
510 京都府北部	1997/10-	787	0.6	3.9	9 1.40	73. 5		72 good	bad(poor)	7. 4	7	0.119	0.011	000 '0	0.871	0.817	3870. 7	4068. 7	0.88	0.87
	1997/10-	5658	0.7	5. 7	1.55		37	poog	bad(poor)	8.8		0.706	0.024	0.007	0.592	0.957	5283.9	6917. 2	0.92	0.92
$\overline{}$	1997/10-	1241	0.9	4.	4 1.30		46	good	bad(poor)	10.8	10	0.233	0.010	0.003	1.055	0.991	4826.9	5284. 3	0.96	0.96
521 大阪府南部	1997/10-	411	0.1			83. 7	70	good	bad(poor)	6.8	9	0.062	0.015	0.001	0.445	0.935	2306.8	2659. 8	0. 58	0.56
	-01/1661	3524	- -		0 - 1		22	good	bad(poor)	8. 7		0.010	0.049	0.009	0.010	1. 288	-20984. 2	7040.	0.72	0. 72
531 共庫県南東部 537 に作目本正知	1997/10-	1538	- -		1 30		40	good	bad(poor)	7.7	∞ α	0.245	0.016	0.002	0.975	0.026	4886.6	2888.5	0.94	0.93
227 大庫宗第四即 240 大中市	1997/10-	1000	-				444	good	bad(poor)	د د	2	0. 1.12	0.020	0.00	00.00	000	4247.0	4900.0	0 0	0.0
540 你反宗	1997/10-	1068	0.9	4.			44	good	bad(poor)	4. /		0.045	0.038	0.001	0.585	0.959	2818.8	4868. 6	0.83	0.8
550 和歌田県北部	-01//661	46/4	7 7		- -		43	good	bad(poor)	0.3		0.045	0.041	0.001	0.489	0.959	2824. 4	7500.5	0.97	0.97
551 和歌山県南部	1997/10-	869	-		-	50.0	50	good	bad(poor)	6.3		0.069	0.035	0.003	0.629	0. 982	3078. 4	4320. 2	0.90	0.89
560 鳥取県東部	1997/10-	126	-				48	good	bad(poor)	10.6		0.023	0.009	0.004	1.302	0. 931	1060.6	1114. 7	1.00	0.98
562 鳥取県中部	1997/10-	1269	0.9	5.			171	good	good	34. 1		0.038	0.041	0.012	0.501	1. 122	-1716.5	5346. 9	0.89	0.89
	-01//661	3468	7	-		48. 0	45	good	good	57.9	53	0.044	0.069	0. 142	0.559	1. 28/	-16203.3	/635. /	0. /4	0. /4
	-01//661	1897	-[د د	0. 0.5	54. 3	51	good	poog	47.4		0.036	0.036	0.01/	1.253	1. 14/	-3/3/.5	6466. 6	0.84	0.83
571 島根県西部	1997/10-	408	- 5	4. 1	1. 10		25	good	bad(poor)	16. 2	16	0.102	0.000	0.003	1.801	1. 607	2568.8	2646. 4	0.95	0.93
580 岡山県北部	1997/10-	179	1.3	3 4. 1	1.85		5	good	bad(poor)	1.5	1	0.022	0.033	0.009	0.356	0.960	1308.0	1457. 1	0.93	0.91
	1997/10-	135	1.4	3.8	8 1.00			0 bad (poor)				0.035	0.000	0.007	3.110	8. 600	1183.6	1175.6	0.86	0.82
	1997/10-	322	1.	3. 7	7 1.60		63	good	bad(poor)	2. 1	2	0.050	0.018	0.000	0.596	0.886	2113.3	2241. 4	0.93	0.87
591 広島県南東部	1997/10-	327	0.9	4. 5	5 1.85			good	bad(poor)	2. 4	2	0.062	0.011	0.000	0.353	0.877	2174. 4	2266. 1	0. 76	0.75
	1997/10-	258	0.8	3.3	3 1.50	109. 0		103 good	bad(poor)	4.0	4	0.044	0.010	000 0	0.710	0.827	1846.6	1910. 7	0. 79	0.74
600 徳島県北部	1997/10-	407	1.0	4. 2	2 1.85		225	good	bad(poor)	0.5	0	0.083	0.014	0.009	0.420	1. 092	2519. 1	2641.9	0.83	0.82
601 徳島県南部	1997/10-	634	1.0	4. 5	5 1.50	,_	110	good	bad(poor)	9.9	10	0.122	0.006	0.000	0.794	0.869	3384. 7	3552. 2	0.85	0.85
610 各川県東部	2002/10-	42	0.1	2.3	3 1. 20	16. 7		15 bad (poor)	bad(poor)	8. 2	7	0.017	0.000	0.086	1.310	10.000	341.3	410.9	0. 73	0.64
	1997/10-	48	1.2		4 1.00	10.9		11 bad (poor)				0.013	000 0	0.593	2.080	45.500	3385.3	518. 5	1. 00	0.97
620 愛媛県東予	1997/10-	155		3.5	5 1.60		7	good	bad(poor)	2. 0	2	0.024	0.016	0.000	0.556	0.885	1219.8	1306. 6	0.80	0.74
621 愛媛県中予	1997/10-	57	1.0	3.5	5 1.00	0.0		0 bad (poor)				0.005	0.034	0.001	0.000	0.836	551.5	595.8	1. 12	1. 11
622 愛媛県南予	1997/10-	96		2. 8	8 1.00	0.0		0 bad (poor)				0.021	2. 6E+04	1.660	0. 201	22. 800	551.5	905	1. 21	1.15
	1997/10-	349	0.8	3.6	6 1.55	80.8	80	good	bad(poor)	2. 9		0.066	0.007	000 0	0.720	0. 777	2334. 2	2373	0.95	0.93
631 高知県中部	1997/10-	334		4. 1	1 1.10	53.9	52	good	good	30. 5	29	0.057	0.007	0.002	1.487	0.902	2164. 7	2300. 4	0.85	0.84
632 高知県西部	1997/10-	195	0.9	3.	4 1.50	319. 5	303	good	bad(poor)	0.9	1	0.046	0.007	0.104	0.893	1. 258	1541.0	1553.8	0.89	0.86
673 土佐湾	1997/10-	203	1.1	3.8	3 1.65		64	poog	bad(poor)	0.6	0	0.049	0.002	0.002	0.741	1.332	1532.9	1601. 1	1.17	1.16
674 紀伊水道	1997/10-	234	2.5	4.	5 1.10	303. 1	300	poog	good	149.8	148	0.054	0.004	0.009	1.971	1.173	1710.5	1778.8	1. 25	1. 23
675 大阪湾	1997/10-	513	0.9	3.0	9 1.75	43.8		good	bad(poor)	1.3		0.061	0.022	000 0	0.444	0.839	2862. 6	3092	1. 00	1.00
	1997/10-	588	-	4.6	6 1.30	268. 5		249 good	good	59. 0	56	0.076	0.011	0.002	1.172	0.993	2359.8	3383. 2	0.87	0.86
677 瀬戸内海中部	1997/10-	772	ا. د				31	good	bad(poor)	3. 7	4	0.030	0.082	0. 135	0.468	1. 131	2541.6	4020.9	0.89	0.89
	1997/10-	142	1.2		9 1.00		ľ	0 bad (poor)				0.037	0.000	24. 000	19.800	7. 180	1230.1	1222. 1	0.90	0.88
6/9	1997/10-	4/9	- [4.	1. 40	1 99	87.9	good	bad(poor)	8.9	χ,	0.038	0.017	0.000	0. /90	0. 826	2587.9	2952. 9	0.80	0. /8
	-01//661	181	0. /			.,	49	boog	bad(poor)	12. 3		0.014	0.028	0.007	0.657	. 088	651.4	1469. 3	0.09	0. 68
	1997/10-	231	1.6		5 1.00			bad (poor)			ı	0.024	0.021	0.003	0.884	0.855	1658.2	1/62	0.99	0.99
682 山口県北西沖	1997/10-	69	2. 1	33	9 1. 20	82. 2	77	good	good	31. 5	30	0.016	0.000	0.008	1.422	2. 300	649.8	694. 5	0.86	0. 74
683 島根県沖	1997/10-	66			3 1. 20	က	313	good	good	85. 2		0.021	0.013	0.319	1.513	1. 611	867.4	924	0.89	0.86
684 鳥取県沖	2002/10-	28		S	-		46	good	bad(poor)	1.5	1	0.013	000.0	0.049	0.302	3. 563	290. 9	297. 3	0.52	0.46
	1997/10-	57	0.9		8 1.50		2	good	bad(poor)	0.3	0	0.014	0.021	0.871	0. 799	31. 100	867. 5	595. 8	0.81	0.69
687 京都府沖	1997/10-	102	-					0 bad (poor)				0.027	0.000	0.005	3.520	8.900	953. 9	945. 9	0. 78	0.69
688 淡路島付近	1997/10-	369	1.0			59.0	58	good	bad(poor)	8.3	8	0.084	0.004	0.001	1.189	0.978	2385.8	2467.8	0.97	0.97
	1997/10-	465	.3	4. 0	4 1.65	ľ	57	poog	bad(poor)	5.6		0.088	0.012	000 0	0.570	0.899	2764. U	2894. 2	0.93	0.93
700 山口県北部 701 山口県北部	1997/10-	149	-	ω <u>-</u>	1.85	ĭ	97	good	bad(poor)	0. 6	0	0.009	0.032	0.001	0.379	0.842	7100.9	1267.9	0.91	0.85
701 田口宗果部 202 :: 口画用部	1007/10	323	7 -	4.			000	bad (poor)		A 90 E A		0.0/0	0.007	0.018	1 764	1.398	2.190.2	72.46.4	0.85	0. 85 27
/02 田口県西部	-01//661	126	-	4.0	0 1.10	/80. 1	070	828 bad (explosion)	good	425. 4	362	0.025	0.003	U. U22	1. /64	1.369	929. 6	1114. /	0. /6	U. 73

0.6 . 0

0.85

2392.

0

0.95

2690.

0

0.96

410.9

5829.

0 0

1107.

0.91

b (tGR)

(G-R)

0

3163.

3897. 557.

o 0

2449 1338. ⁷

о .

1344.9

728.

0 0 0 0 0 0.85

0.88

2449

909

0.64

0.64 0.98

5545

0

7622.

0.95

5351.

0 Ö 0. 0.9

5395.

0

7659.

3183. 1767.

o

C 0 c o 0 0 o 0 0

0

7510.8

4260.

1624. 6

2628. 2064. 5081.

0.56

3988.

2756.

7418.4

AIC_ poisson 221. 1915. 112. 3659. 494. 199. -6411. 1254. 849. 4523. 4588. 6158. 4645. -38703. 2291 256. 675. 4647. 1453. 3982. 1153. -190. -545.085. 1865. 5243 2044. 2179. 749. 5273. 1430. 3808. 3720. 2482. 941. 4080 440 3767. 4669. 699 347. AIC_etas 1. 138 0. 891 8. 857 1. 184 2. 683 0. 919 1. 057 1. 000 1. 199 0.963 0.965 . 406 I. 062 1.035 . 128 . 000 900 . 0.954 1.450 0.751 983 . 097 091 1.067 1. 407 0.633 0.616 0.818 0. 792 0. 000 0.917 0.454 0.495 0.767 0.560 0.569 0.847 0.253 0.366 0.974 0.360 0.572 0.999 0.601 0.766 0.633 1.341 0.807 1.391 0.891 0.493 0.599 0.984 0.927 0.567 0.752 1, 107 0.373 99 0.277 998 0.786 00 8 038 448 800 0.001 000 004 000 005 149 0.004 0.016 002 0.003 0.001 0.03 001 90 041 021 8 0 O 0.024 0.064 0.015 945 063 0.039 0.015 000 0 0.038 0.013 0.017 0.024 0.004 0.032 0.020 0.035 0.020 0.016 0.039 0.033 0.017 0.063 0.027 0.018 034 0.016 0.028 0.022 0.029 0.012 023 0 0.019 0.023 0.056 0.476 0.712 0.105 0. 032 0. 023 0. 129 0. 009 0. 045 0.069 0.005 0.103 0.192 0.110 0.043 0.008 0.054 0.049 0.012 0.028 0.179 0.203 0.039 0.529 0.027 0.287 0.046 0.281 0.031 0.021 0.063 0.011 0.789 0.031 0.19 Ħ 22 9 80 46 124 β=1 年回 中世数 金田 β=1平均 発生回数 2.8 5.8 39.6 10.2 5.4 9.3 71.7 32.4 10.4 20.0 2.6 22. 5 ა. დ 5.7 12. 7 140. 45. 81. 48. ツョコレーショ β=ショコ フェニション Simulation result of METAS Model ad (poor ad (poor ad (poor ad (poor ad (poor ad (poor good 300d good poo good good good p00. good good good good good poo. 300d poo poo good poo poo good) pe good good 発生回数 の中央値 43 901 123 8 564 397 583 平均発生 回数 93. 45. 30. 154. 12. 4. 318 35. 43. 30. 45. 48. 62. 43. 923. 605. 83. 137. 425. 625. .89 25. 58. 57. 267. 289. 41. 52. 001 00 00 1.00 1.50 1.00 00 . 1.00 β M 2.4 2 0 0 0 0 0 0 o. က် 0 0 0 Mth 269 1004 762 解析 褾回数 160 161 3747 1506 353 329£ 1092 365 7027 285 536 4058 849 207 404 287 1154 2892 199 433 Appendix Table.1-5 531 296 4032 1291 3076 4278 1271 1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-2002/10--01//661 1997/10-1997/10--01/1601997/10-1997/10-1997/10-2002/10--01/16611997/10-1997/10--01/16611997/10--01/1661-01/1661-01/16611997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10-1997/10 --01/1661解析期間 1997/10-1997/ /1997/ 1997/ /1661 005/ 1997 1997 1997 66 熊本県球磨地方 熊本県天草・芦北地方 福岡県福岡地方 福岡県北九州地方 宮崎県北部平野部 島県薩摩地方 鹿児島県大隅地方 | 佐賀県南部 | 長崎県北部 | 長崎県南西部 | 熊本県阿蘇地方 | 鹿児島湾 | 種子島近海 | 日向灘 | 6 華大島近海 | 6 華大島近海 | 春岐・対馬近海 | 福岡県北西沖 7 薩摩半島西方沖 8 トカラ列島近海 9 奄美大島北西沖 沿 格岡県筑後地方 佐賀県北部 大隅半島東方沖 福岡県筑豊地方 熊本県熊本地方 九州地方南東沖 奄美大島北東沖 858 沖縄本島北西沖 859 宮古島北西沖 860 石垣島北西沖 沖縄本島近海 南大東島近海 宮古島近海 石垣島近海 種子島南東沖 与那国島近海 五島列島近海 宮崎県北部山 大分県中部 大分県南部 西表島付近 大分県北部 大分県西部 天草 有明海 杨湾 地域名 742 797 721 730 731 740 番号 753 760 796 823 850 851 85£ 856 857

- 24 -

0.49 0.65 0.95 0.36 0.73 0.67 (G-R) 5617. 1080. 463. 1166. AIC_ poisson 645. 262. 244. 379. 692. 2122. 259. 252. 1 285. t 5498. 5498. 471. AIC_etas 0.937 1.307 0.952 1.597 000 8 0. 023 0. 017 0. 003 0.017 0. 027 0. 002 0. 065 0.002 7. 660 0. 001 6E+09 0.000 0. 025 0. 028 0. 002 0.000 0.032 0.015 0.021 021 0.012 0.006 0.010 0.010 0. 025 0. 011 0. 011 0.201 π 227 β=1 年 の 中 を 本 β =1平均 発生回数 発生回数 シミュレーショ 8=1シミュレー の中央値 ソ Simulation result of METAS Model. bad (poor) bad (poor) bad (poor) oad (poor) ad (poor) ad (poor good 507 ة (ن) 平均発生 回数 531.4 422. ω. . 16. 0 1.00 1.00 6.6 1.00 β 9 Appendix Table.1-6 Mth 167 63 解 標 回数 1397 2002/10-1997/10-1997/10-解析期間 1997/10-1997/10-2002/10-1997/10-2002/10-2002/10-オホーツク海南部 908 日本海中部
911 父島近海
912 千島列島
914 北海道南東沖
919 南海道南方沖
920 薩南諸島東方沖 サハリン西方沖 台湾付近 鳥島近海 出国出 地域名 番号 906

-25-