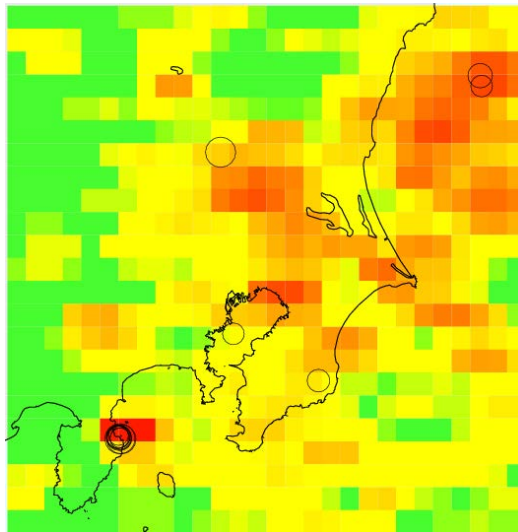


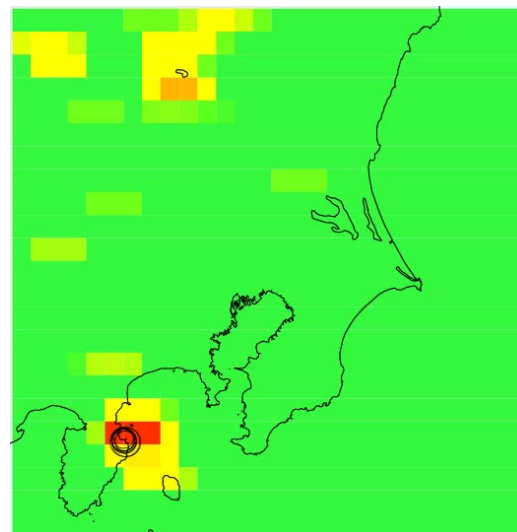
d. 首都圏の過去の地震活動に基づく 地震活動予測手法の確立

東京大学地震研究所

2D: 0-100km



3D: 0-10km



課題の目的と実施計画

d. 首都圏の過去の地震活動に基づく地震活動予測手法の確立

過去に発生した地震の活動から将来の地震活動を予測する統計地震学的手法を発展させた新たな地震活動予測手法を提案する。そのために首都圏の過去の地震活動に最適化した時空間的に高分解能かつ高精度な地震活動予測アルゴリズムを開発する。またそれらのアルゴリズムを評価・検証するための基盤構築を行い、地震活動予測の実験を行って、地震活動予測手法の妥当性を検証する。

→首都圏の地震発生予測モデルの3次元化

【事業計画】

■2012年 地震活動予測手法を評価・検証するための基盤を国際プロジェクトであるCSEPにより開発されている最新のソフトウェアを導入し構築する。関東地域における過去の地震活動を踏まえた3次元テスト領域の検討を進める。

■2013年 首都圏の過去の地震活動を含む複数の地震カタログに対するコンプリートネスマグニチュード等の性能評価実験を実施するとともに、階層的時空間ETASモデルを基にした3次元地震活動予測モデルのプロトタイプを開発する。関東地域における3次元テスト領域を完成させる。

■2014年 2013年に構築した地震活動予測モデルと3次元テスト領域に対してレトロスペクティブな1日、3ヶ月、1年、3年テストクラスの検証実験を行うとともに、プロスペクティブな検証実験を開始する。

■2015年 1cにより構築された南関東において過去に発生した大地震の新たな時系列モデルを取り込み、地震活動予測アルゴリズムの高精度化をはかる。2014年に引き続いて、地震発生予測実験を行う。

■2016年 1cと連携するとともに、これまでに実施した地震発生予測検証実験をまとめ、首都圏の過去の地震活動に基づく地震活動予測手法を確立する。

■平成27年度の計画

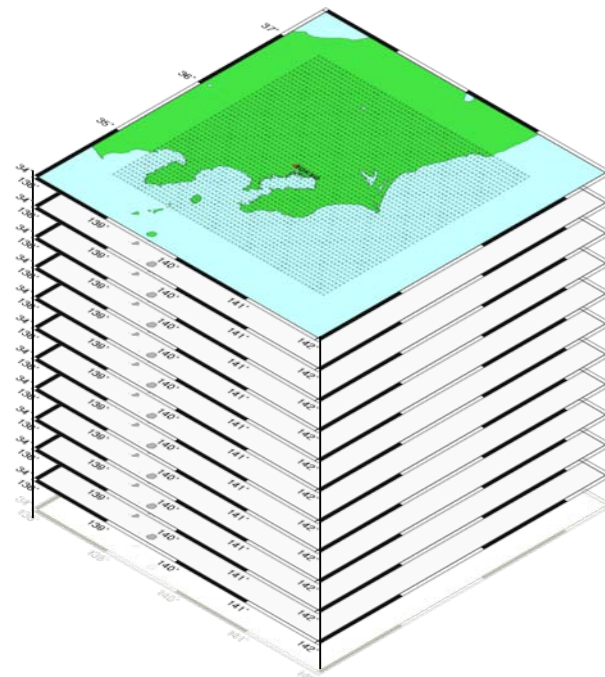
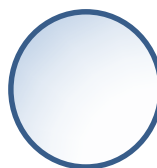
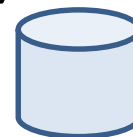
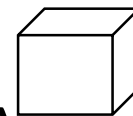
- 2014年に引き続いて、地震発生予測検証実験を行う。
- 1cにより構築された南関東において過去に発生した大地震の新たな時系列モデルを取り込み、地震活動予測アルゴリズムの高精度化をはかる。

	レトロスペクティブテスト	プロスペクティブテスト
	過去の地震に対して事後予測を行う	予測期間が始まる前に事前予測を行う
目的	モデルのパラメータ探索等	モデルの予測能力の測定
長所	すでに起きた地震の情報が分かっているために、検証結果をすぐに得ることができる	モデラーは予測するときには予測期間中の地震の情報を知らないので、本当の事前予測を行うことができる
短所	予測を行う前からモデラーが地震の情報を知っており、本当の予測ではない	予測期間が終わるまで検証をすることができないので、結果を得るのに時間がかかる

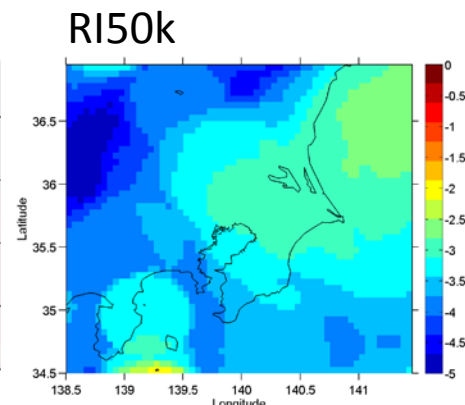
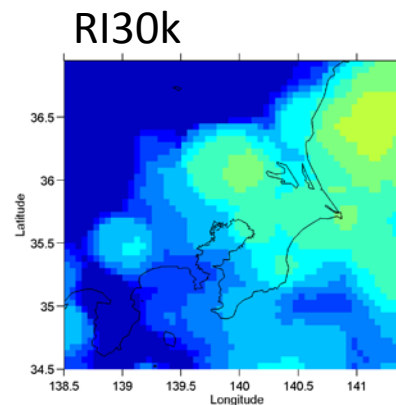
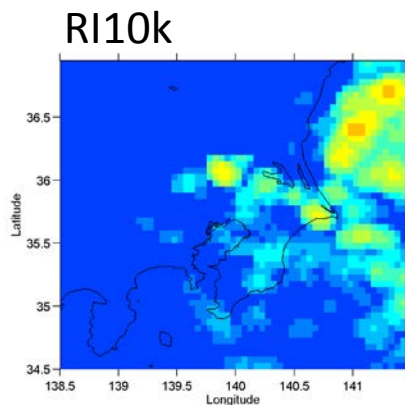
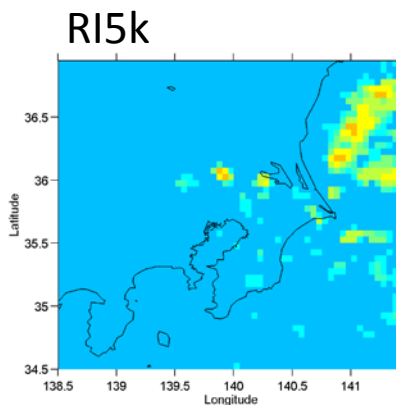
○モデルのプロトタイプ

RI model Relative Intensity of Seismicity (Nanjo, 2010)

地震は過去にたくさん起きたところで将来も起きる
(予測は学習データに影響を受ける)



・空間	平滑化半径
・期間	1998/1/1～予測開始直前まで
・規模	2.5 - 9.0(b値 0.9)



プロスペクティブテスト

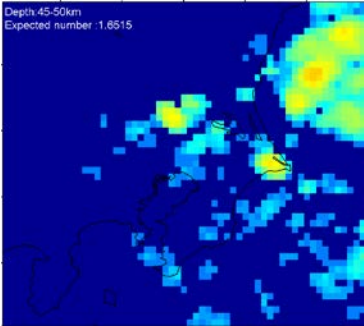
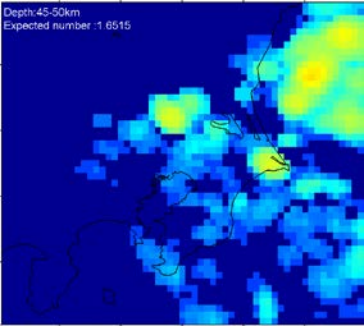
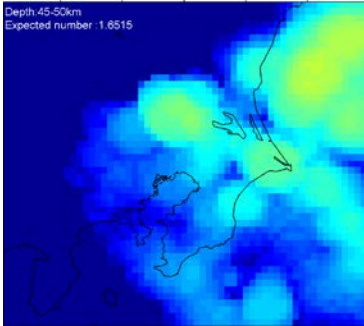
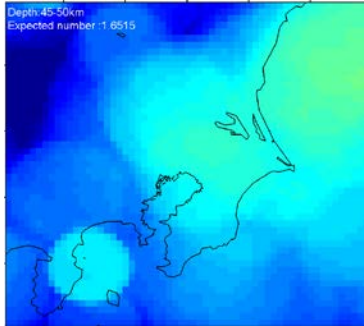
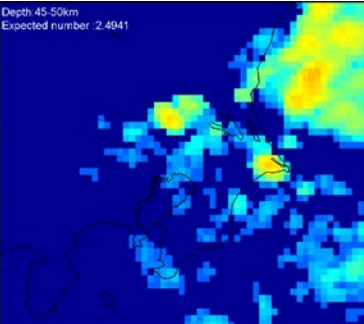
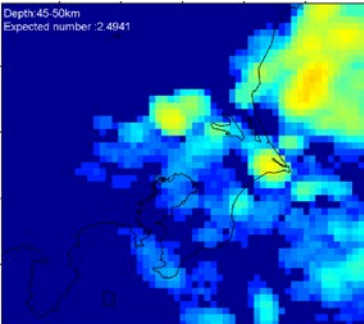
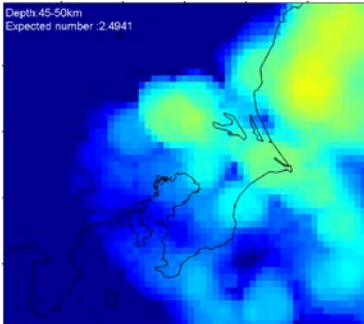
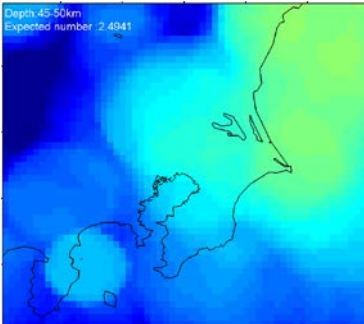
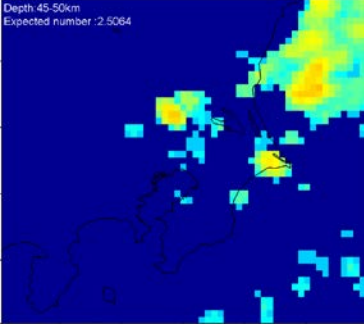
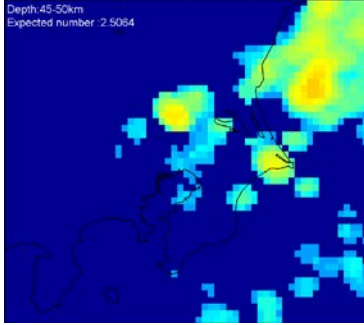
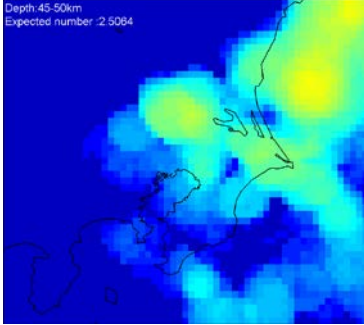
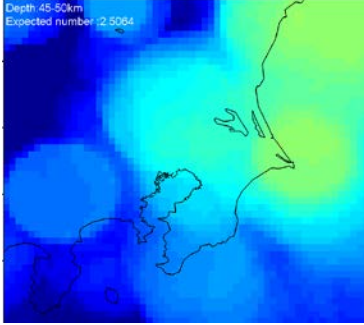
予測期間が始まる前に予測を行うこと
目的：モデルの本当の予測能力の測定

	学習条件	予測条件
空間	関東地域 (Lon138.5-141.5, Lat34.5-37.0, Dep0-100km)	
	• RI 球モデル • 平滑化半径 7.5, 10, 20, 50 km	0.050° x 0.050° x 5km
期間	① 1998/1/1—2011/1/1 ② 1998/1/1—2015/1/1 ③ 2012/1/1—2015/1/1	第1回実験 1日：2015/2/1-2015/2/2 3ヶ月：2015/2/1-2015/5/1 1年：2015/2/1-2016/2/1 3年：2015/2/1-2018/2/1
規模	2.5 - 9.0 (<i>b</i> 値 0.9)	1日、3ヶ月：4.0 - 9.0 1年、3年：5.0 - 9.0

3ヶ月予測第1回目実験

3ヶ月（2015/2/1-2015/5/1）予測

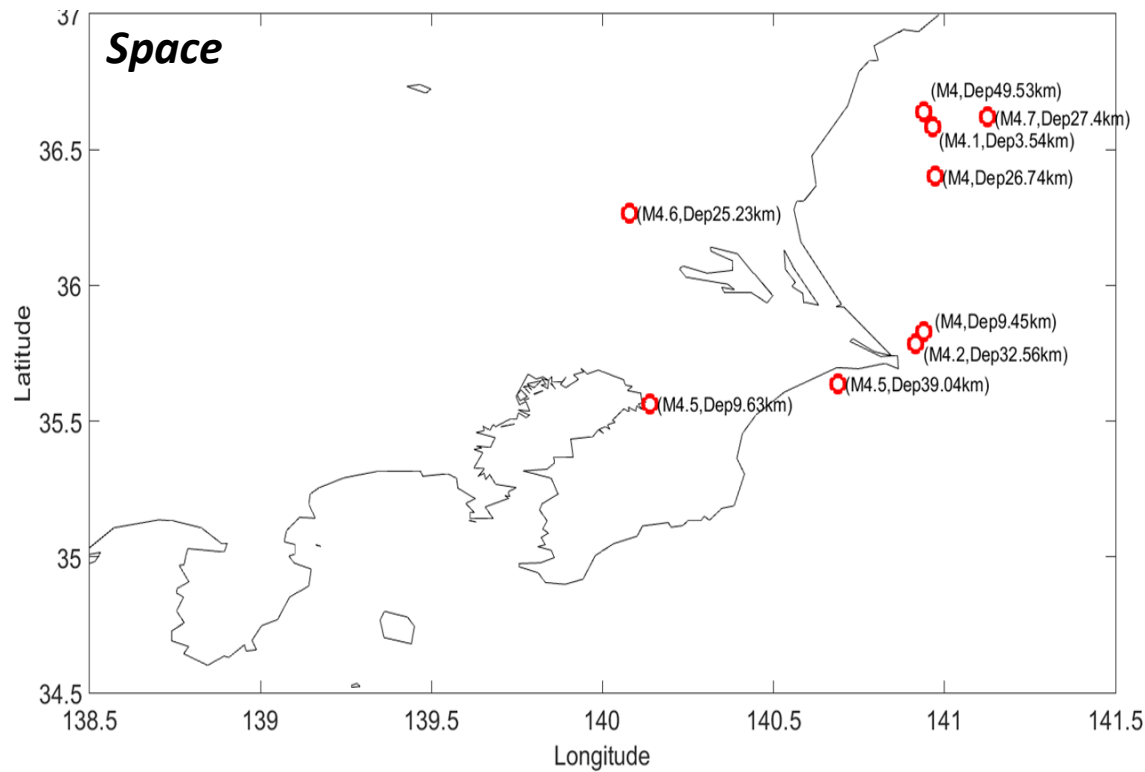
○学習期間の長さによる地震数の違い

学習 期間	平滑化半径 [km] (45-50km in depth)				数
	7.5	10	20	50	
Case1 1998/1/1 — 2011/1/1					7.3
Case2 1998/1/1 — 2015/1/1					18.0
Case3 2012/1/1 — 2015/1/1					27.9

観測(予測に対する答え)

Number

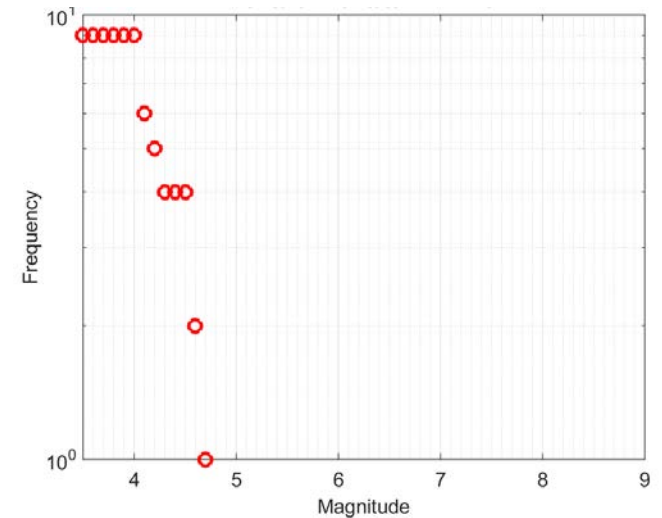
9 earthquakes



Magnitude

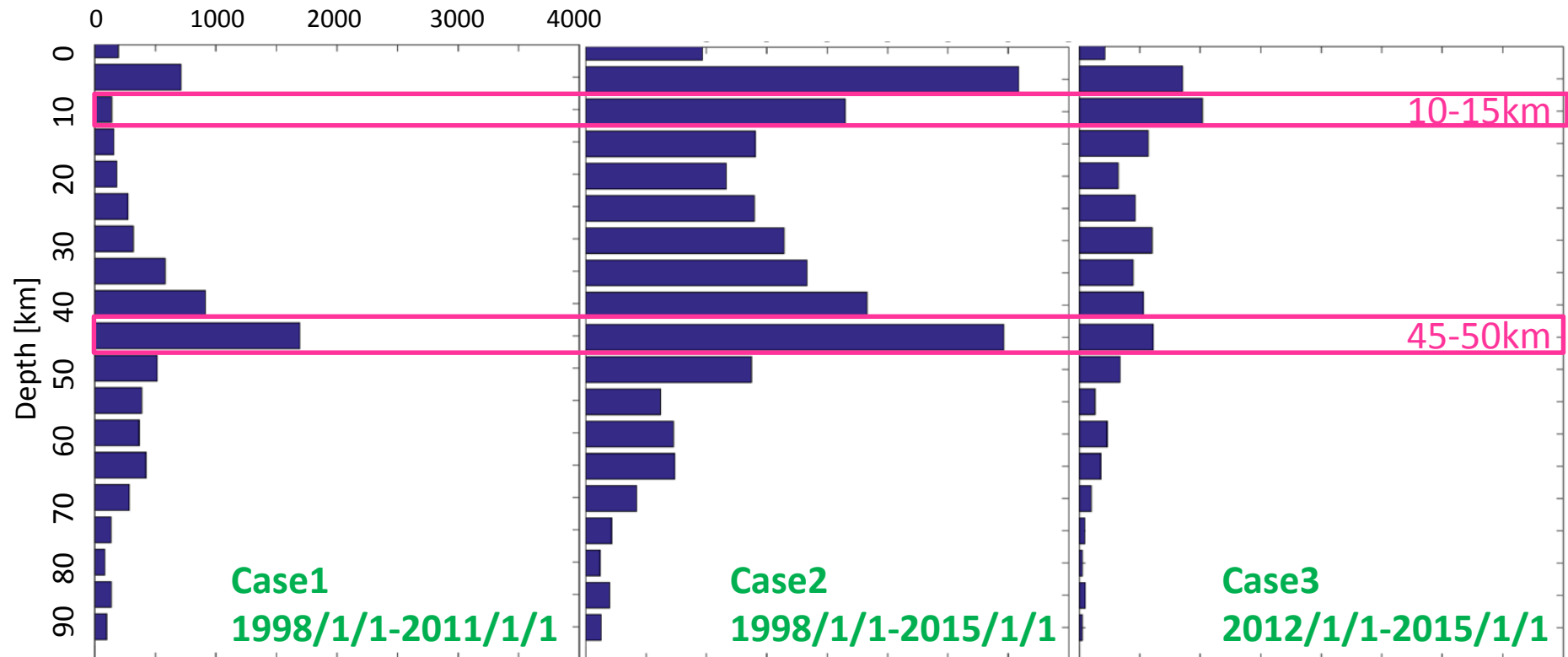
$b=1.3$

M 4.0 – 4.6



深さと地震数 (M $\geq$ 2.5)

Earthquakes[events]



東北沖地震を境に深さ分布が変化した

- 数の予測は、Case1(東北地震前)を学習した場合が良かった
→東北沖地震後に余震の数が減り、東北沖地震前くらいのレベルになった
- 場所の予測は、Case2を学習した場合が良かった
→Case2では、東北沖地震前に地震が頻繁に起きた場所(40-50kmあたり)と東北沖地震後に頻繁に起きた場所(0-30kmあたり)の両方を学習したので成績が良くなった。
- 規模は、 b 値0.9（予測）に対し、1.3（観測）でもM-testをパスした
→観測値はM4.0-4.6と狭い範囲。M-testをパスしたので b 値0.9が妥当
と考えるかは検討の余地があると思われる。
- 総合評価は、Case2を学習した場合が良かった
- 平滑化半径7.5kmが良かった

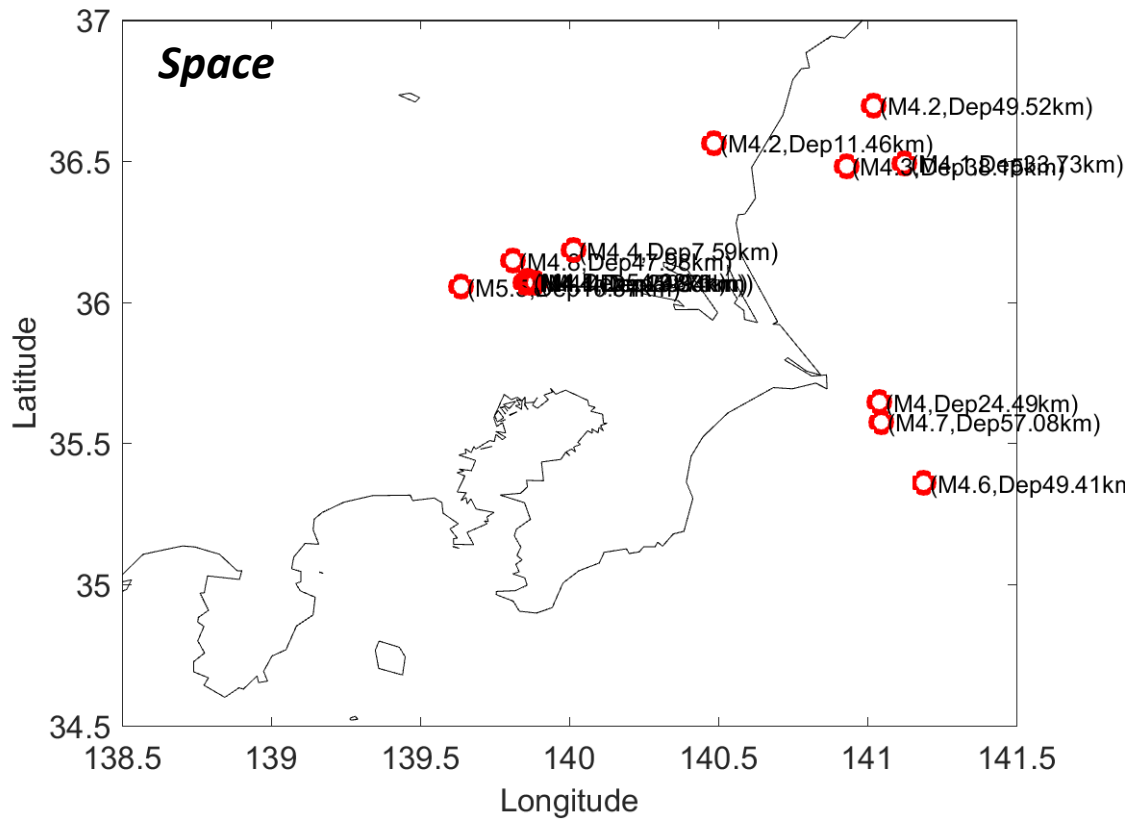
○今のところ、地震数が東北沖地震の前のレベルに下がっても、場所は前と同じではない。Case1を学習期間として用いるというよりも、Case2で場所の分布を学習し、地震数は減衰を考慮した別の方法で求めるべきか。

3ヶ月予測第2回目実験

観測(予測に対する答え)

Number

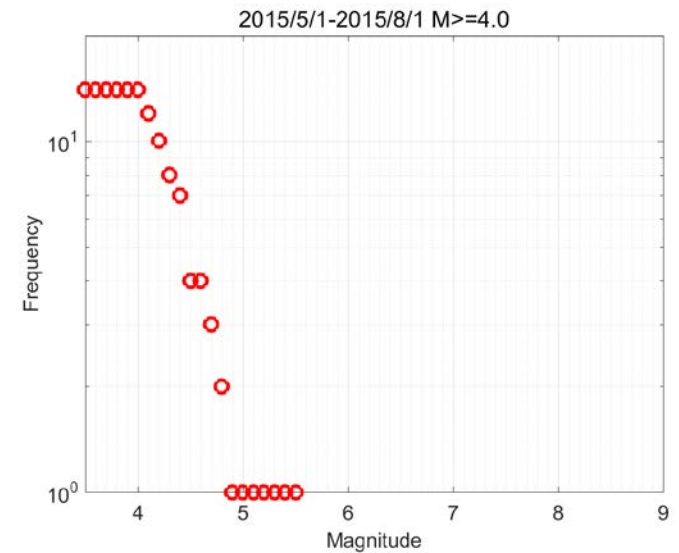
14 earthquakes



Magnitude

$b=1.005$

M 4.0 – 5.6



- 数の予測は、Case2(東北地震前と後)を学習した場合が良かった
→東北沖地震後に余震の数が減ったのでCase3ではなく、それよりも少ないCase2の成績が良かった。3ヶ月ごとの地震数は毎回細かい増減を繰り返しながら、全体的には減少傾向を示している。今回はたまたまCase2の予測数に近い数の地震が起きただけ。今後、Case1の予測数が良い成績を示すことも考えられる。
- 場所の予測は、Case2を学習した場合が良かった
→3m1stとほぼ同じ深さで地震が起きた(0-30kmあたりと40-50kmあたり)ので、3m1stと同様にCase2の成績が良かった。
- 規模は、 b 値0.9（予測）に対し、1.3（観測）でもM-testをパスした
→観測値はM4.0-5.6と狭い範囲。3m1stと同様、M-testをパスしたので b 値1.0が妥当と考えるかは検討の余地があると思われる。
- 総合評価は、3m1stと同様、Case2を学習した場合が良かった
- 平滑化半径7.5kmが良かった

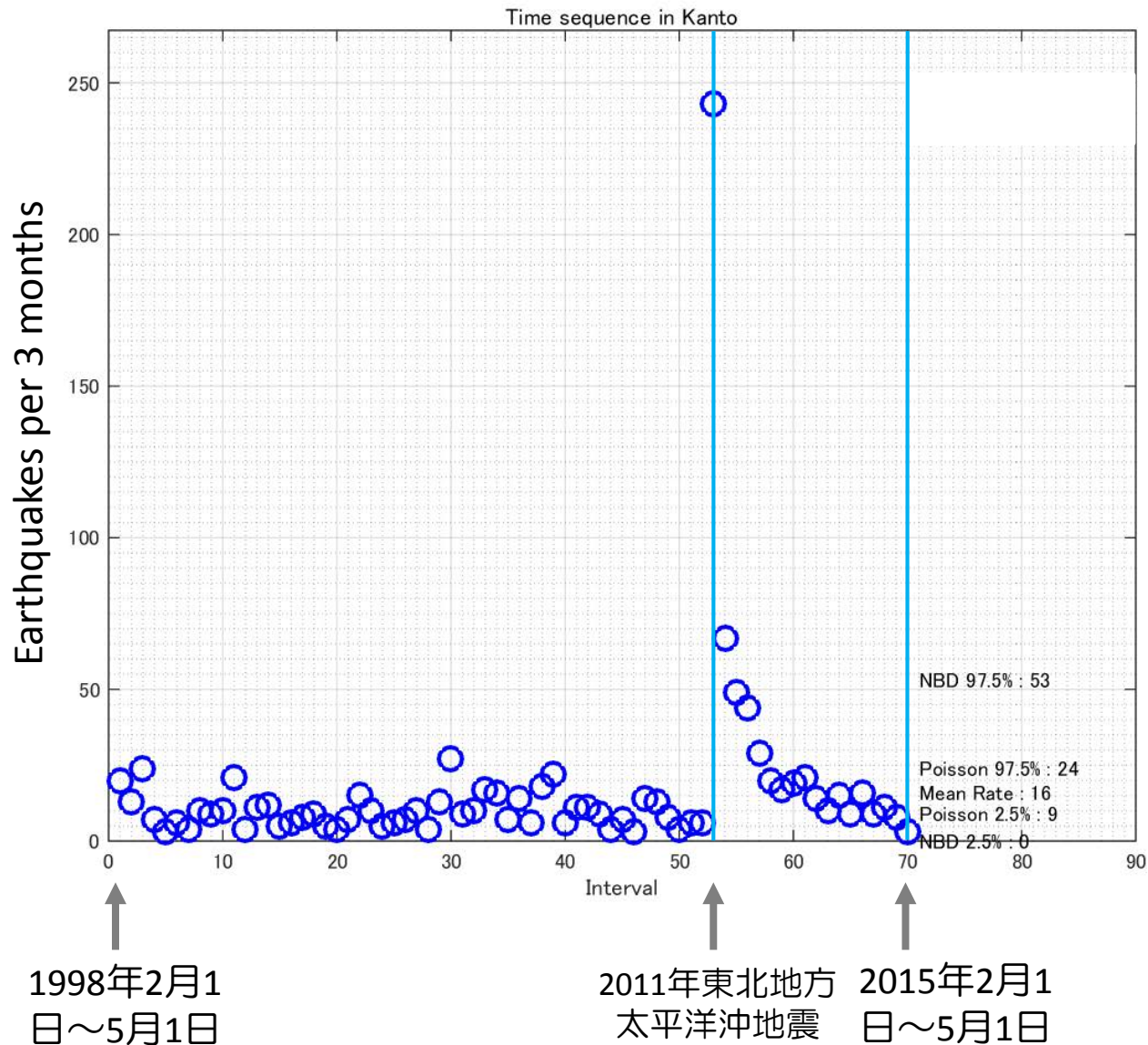
○地震数、総合評価、空間分布の評価ともにCase2を学習した場合に良い成績を示した。地震数の予測は、3m2ndも3m1stと同様、Case3を学習した予測は統計的に実測と合っていないという結果になった。

○3m2ndの結果から見ても、Case2で場所の分布を学習し、地震数は減衰を考慮した別の方法で求めることを検討するべきか。

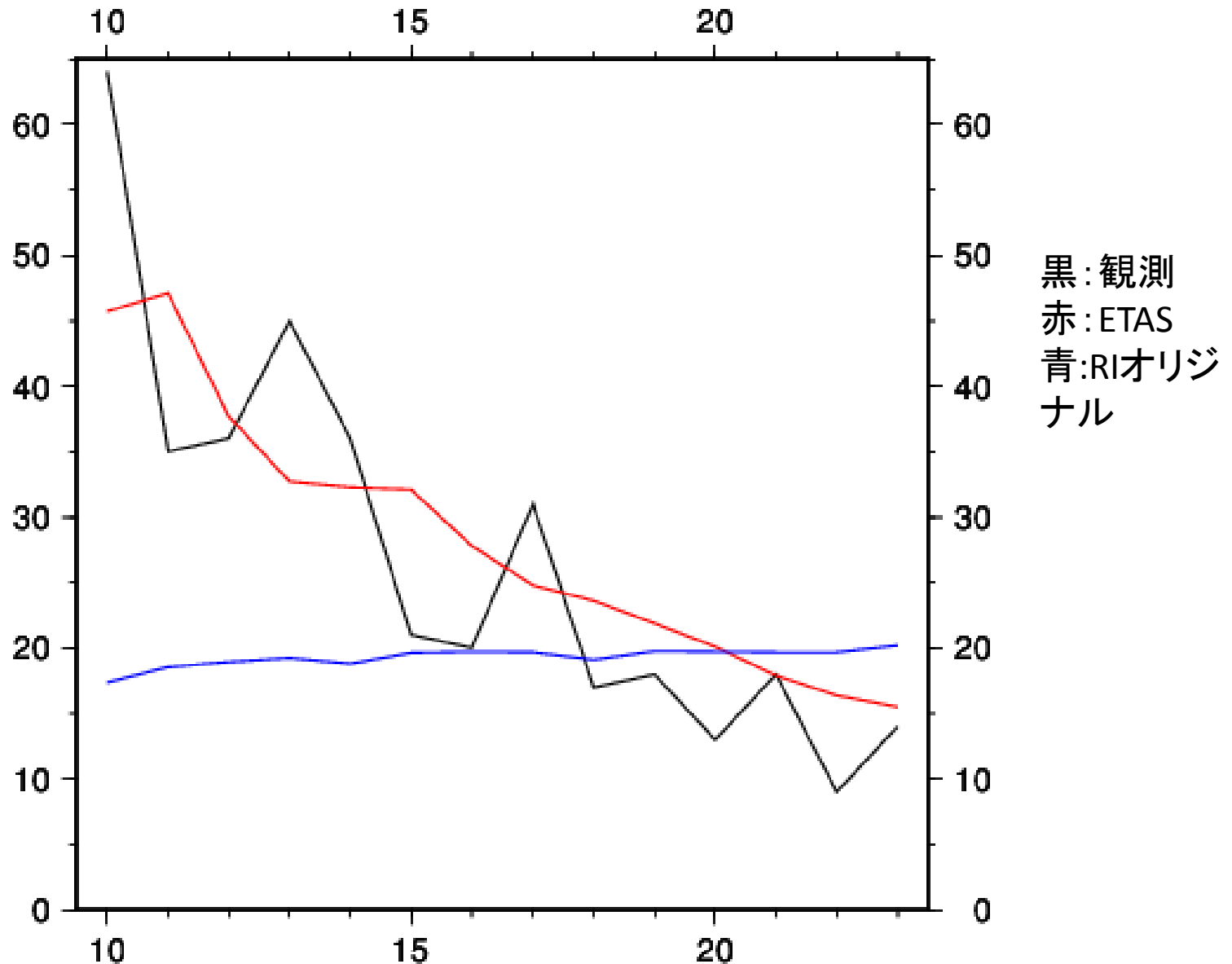
考察

Case2(東北沖地震の前と後)で場所の分布を学習し、地震数は減衰を考慮した別の方法で求めるということを検討するべきか。

3ヶ月間の地震数の推移 (M>=4, 1998年2月1日-2015年5月1日)



ETAS(1次元)による数の予測



仮説の検証

地震数の予測は、改良大森則
場所の予測は、RIモデルによる空間密度分布
を使えば、RIモデルのみの予測より成績が良くなるか

地震数		3m1st	3m2nd
観測値		9	14
改良大森則+RI		16.4	15.1
RI	東北沖地震前	7.3	7.3
	東北沖地震前+後	18.1	18.3
	東北沖地震後	27.9	26.0

結果

- ① 改良大森則による3ヶ月の地震数の予測は数のテストをパスした
→改良大森則で地震数がある程度予測できることが示された。
- ② Omori+RIによる予測はRIモデルによる予測よりも良い予測成績を示した
→総合評価についても成績が良くなった。
Case2の期間で平滑化半径7.5kmとした場合に成績が良い。

結論

地震数の予測は、改良大森則
場所の予測は、RIモデルによる空間密度分布
を使えば、RIモデルのみの予測より成績が良くなる。
(ただし、RIモデルの学習期間は、Case2とする)

予測検証実験のまとめ

- 2015年2月1日からプロスペクティブな検証実験を開始した。
- 3ヶ月第1回と第2回の予測実験において3種類の学習データを基に3D-RIモデルで予測した。
- その結果、総合評価と空間分布は東北沖地震の前と後の学習データを使った場合に良い成績を示した。
- 地震数の予測は、回毎に良い成績を示す学習期間が違った。
- 改良大森則(地震数)とRIモデル(空間分布)を用いてレトロスペクティブな予測実験を行ったところ、RIモデルのみによる予測よりも成績が良くなった。

平成27年度

- 2014年に引き続いて、地震発生予測実験を行う。
- 1cにより構築された南関東において過去に発生した大地震の新たな時系列モデルを取り込み、地震活動予測アルゴリズムの高精度化をはかる。

明治・大正期大地震への予察的適用による効果

- 地震の深さ 0-100kmから ± 5 km程度まで精度を高めることができる.

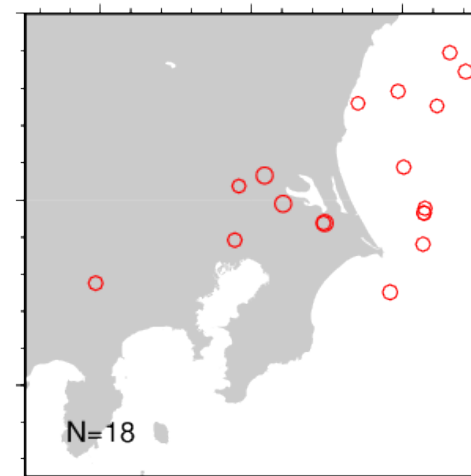
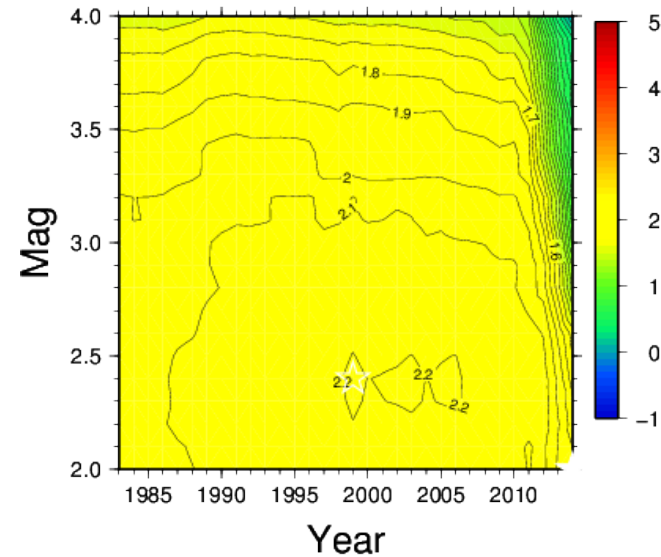


- 情報利得としては, 一様モデルとの比較により $\ln(20)=2.995$ 程度の精度向上が得られる.

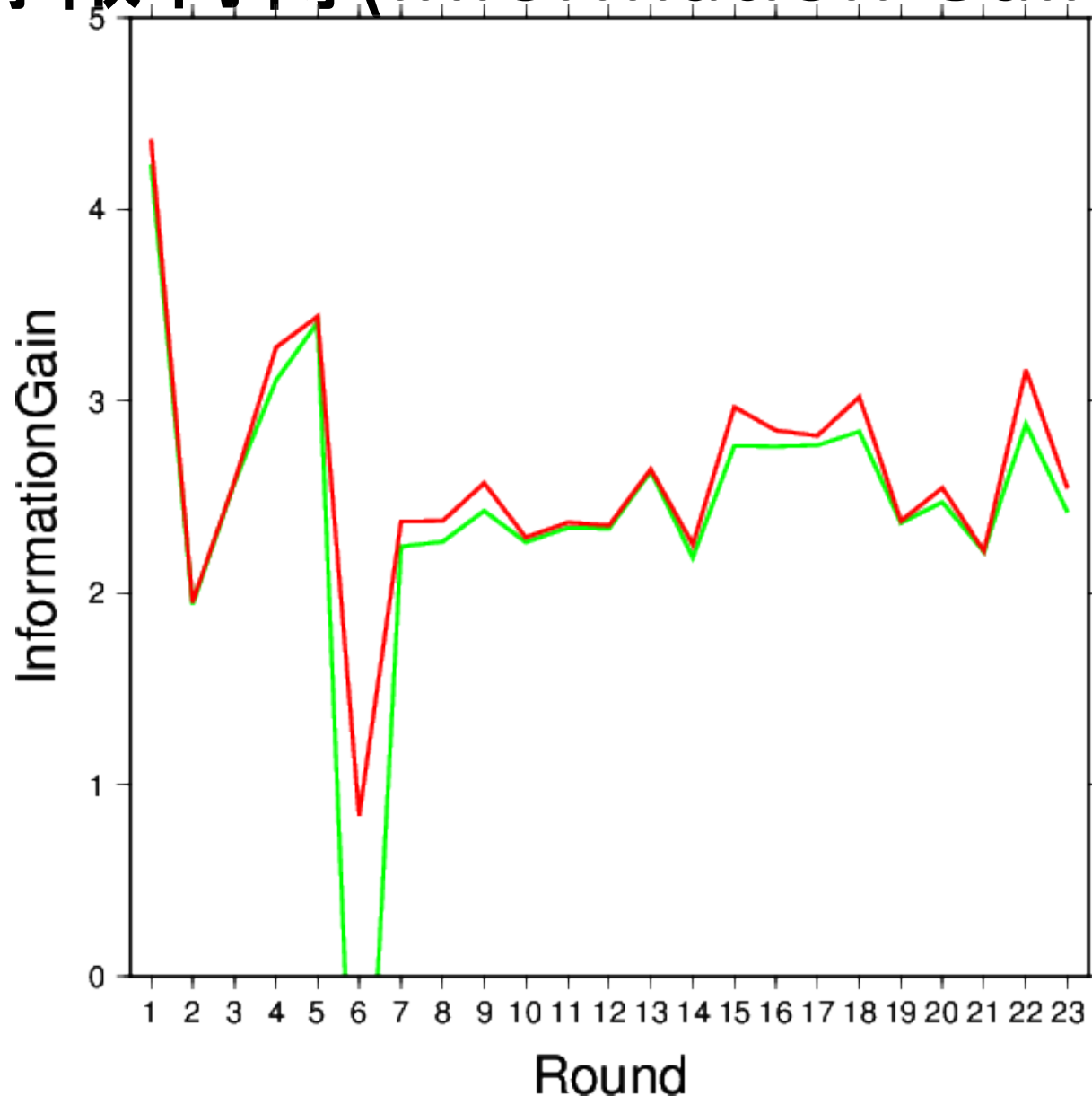
予測パラメータの最適化と予測能力

3M_21round(2014-11-01-2015-02-01)

- 空間密度分布の最適化条件をグリッドサーチ
- 学習期間1983-
- 学習下限
M2-



情報利得(Information Gain)



地震予測モデルの 高精度化へのまとめ

- 学習期間をさかのぼることにより、予測能力を高めることが可能.
- 学習期間, 下限 M の探索により空間密度分布については, 情報利得は4程度が目標.
- 地震予測モデルの高精度化へむけて
 - 地震数 -> ETAS
 - 空間分布 -> RIモデル他
 - b 値の時間変化 -> 検討

まとめ

- 第1回，第2回の事前予測における結果をまとめた.
 - 3.11前後で地震の深さ分布に変化があった.
- 今後のモデルの高精度化実現に向けた検討事項をリストアップした.