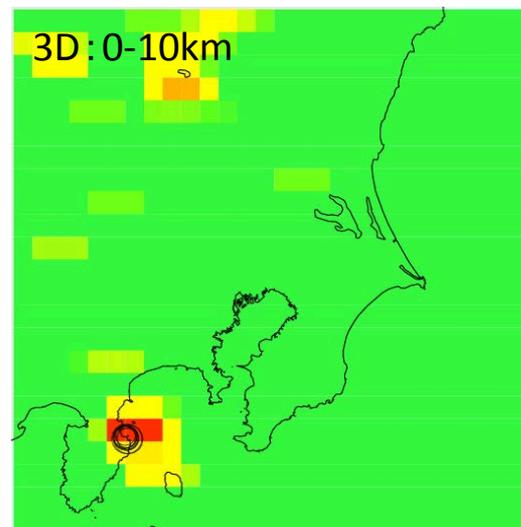
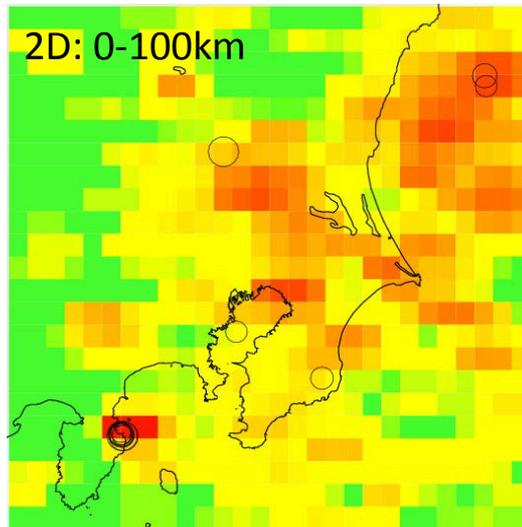


d. 首都圏の過去の地震活動に基づく 地震活動予測手法の確立

東京大学地震研究所



課題の概要

1d. 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28年度の計画

課題1) 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る。

課題2) 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。

	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予測を行う	予測期間が始まる前に予測を行う
目的	モデルのパラメータ探索	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

課題1)

三次元予測モデルの構築

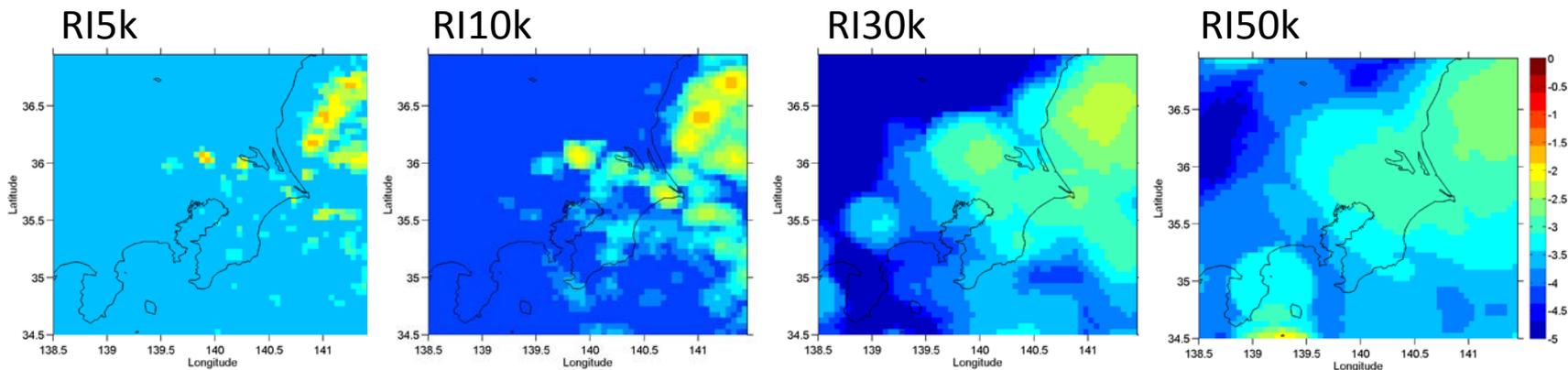
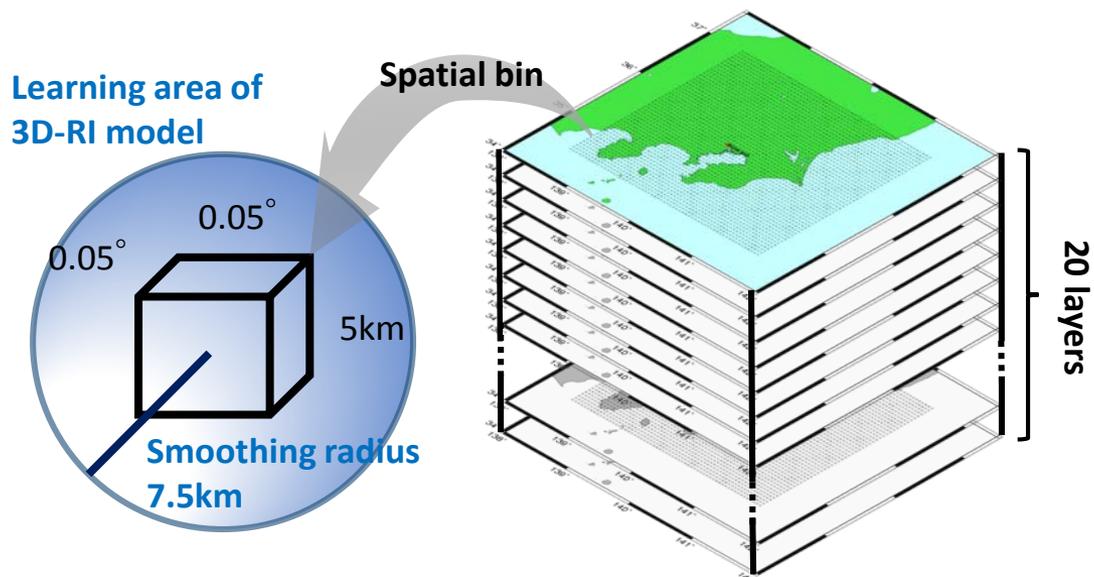
三次元予測空間（緯度・経度・深さ）を予測するモデルの構築を目的とする。

三次元予測モデルのプロトタイプを『3D-RIモデル』と名付けた。

2011年東北地方太平洋沖地震の前後で首都圏の地震活動度が変化した。
これに伴い、それぞれの時期に対する3D-RIモデルの最適な学習条件を求めた。

3D-RI model

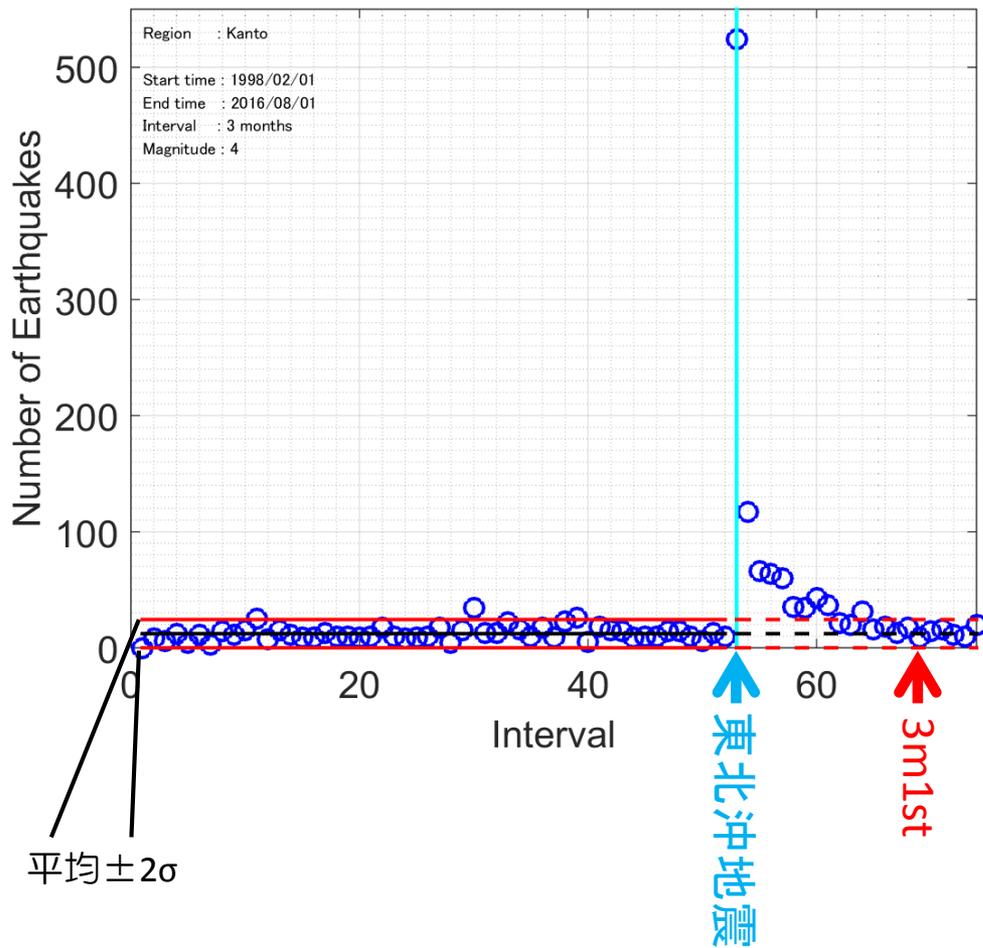
地震は過去にたくさん起きたところで将来も起きる



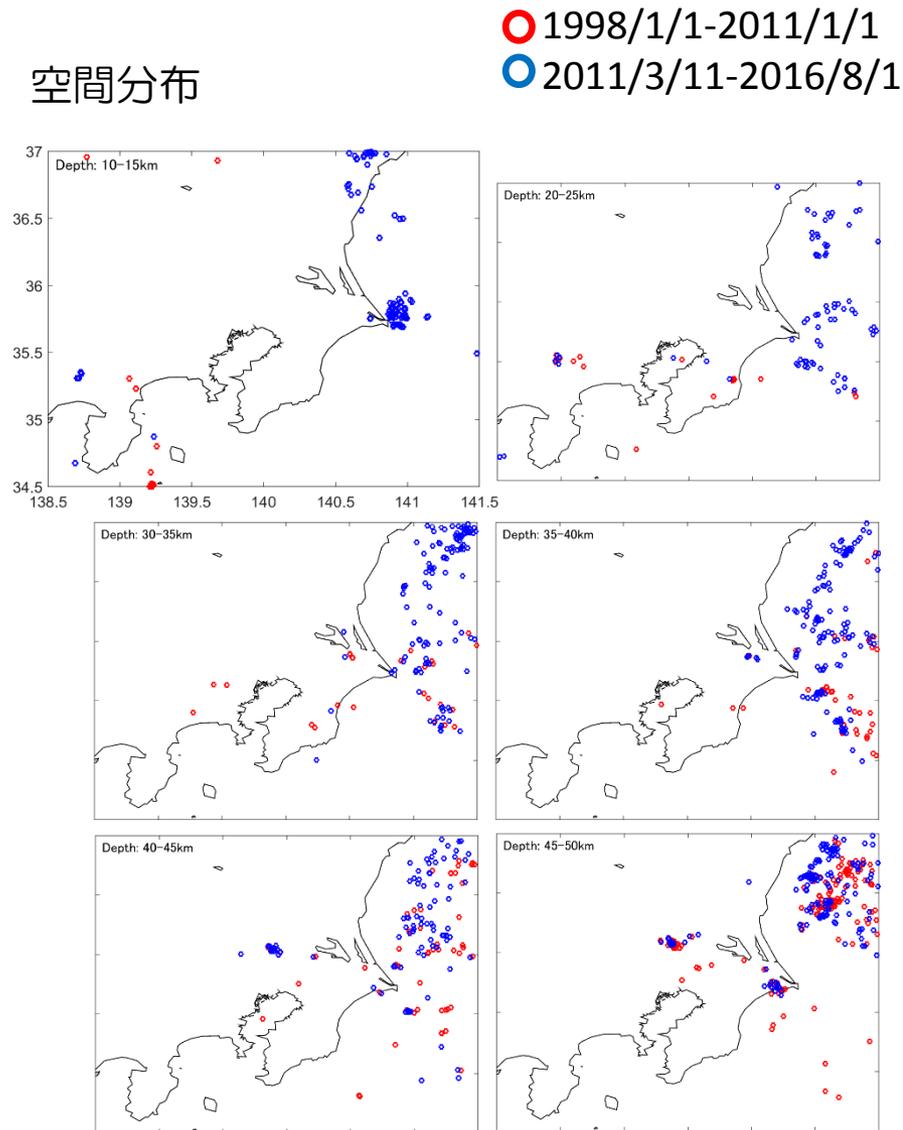
首都圏の地震活動

- 実験期間中の地震数は、2011年東北沖地震の前の平均±2σ程度になった
- 場所は、深さ5-40km銚子沖の地震が顕著に増加した

3ヶ月毎の観測地震数(1998年-2016年)

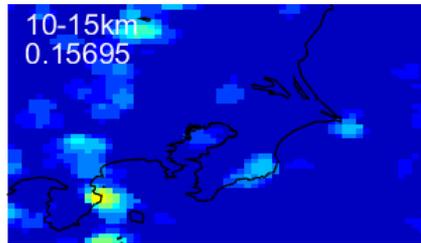


空間分布

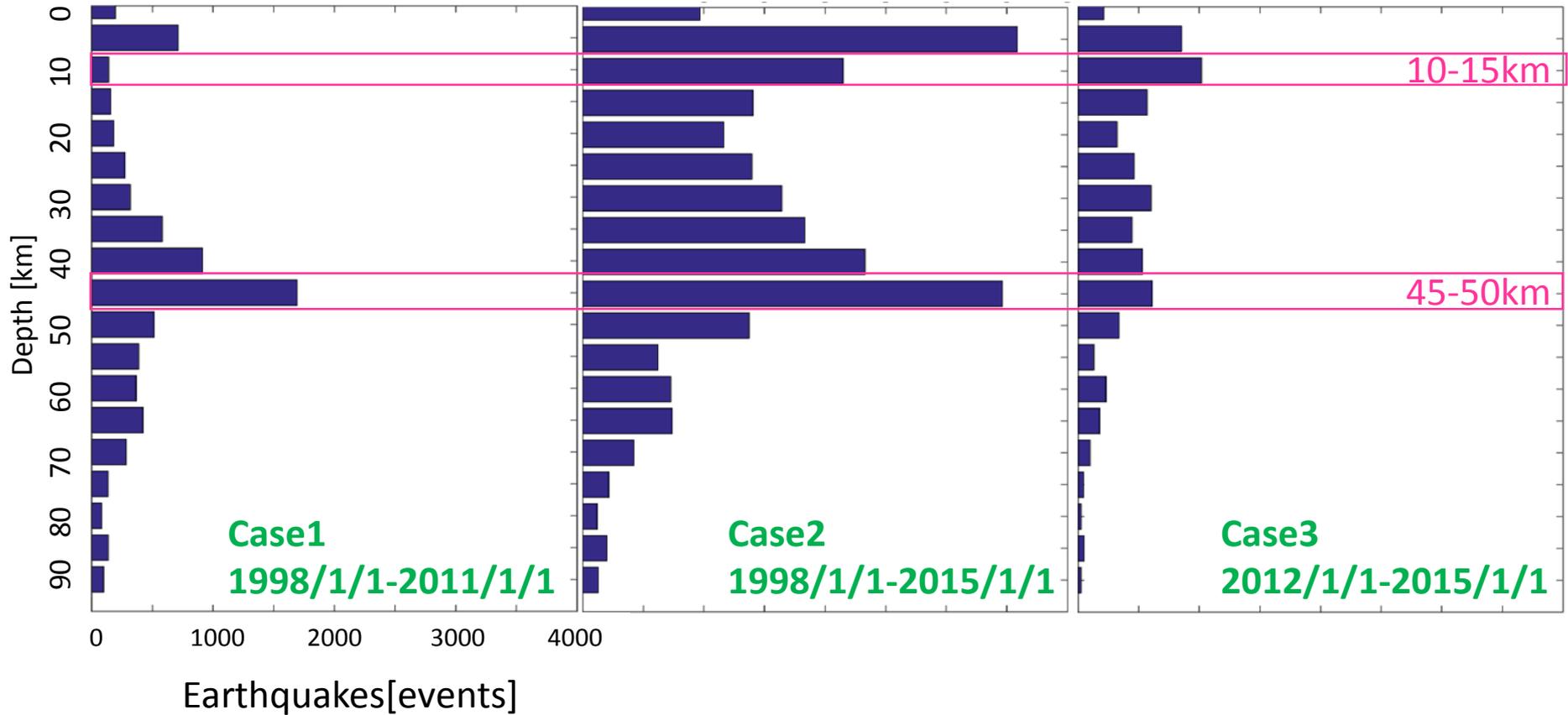
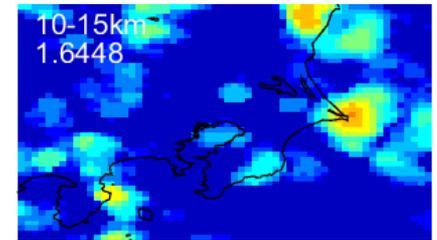


地震活動の変化

2011年東北地方太平洋沖地震の後、深さ分布が変化した



銚子沖の地震数の増加



2011年東北地方太平洋沖地震の前の3D-RIモデルの学習条件*まとめ

予測期間 予測規模 (下限)	1日 M ≥ 4.0	3ヶ月 M ≥ 4.0	1年 M ≥ 5.0	3年 M ≥ 5.0
試行回数	31	5	5	1
期間	1998年～			
空間分解能 (グリッドサイズ)	0.05°x0.05°x5km			
平滑化半径	7.5km			
規模	2.5			

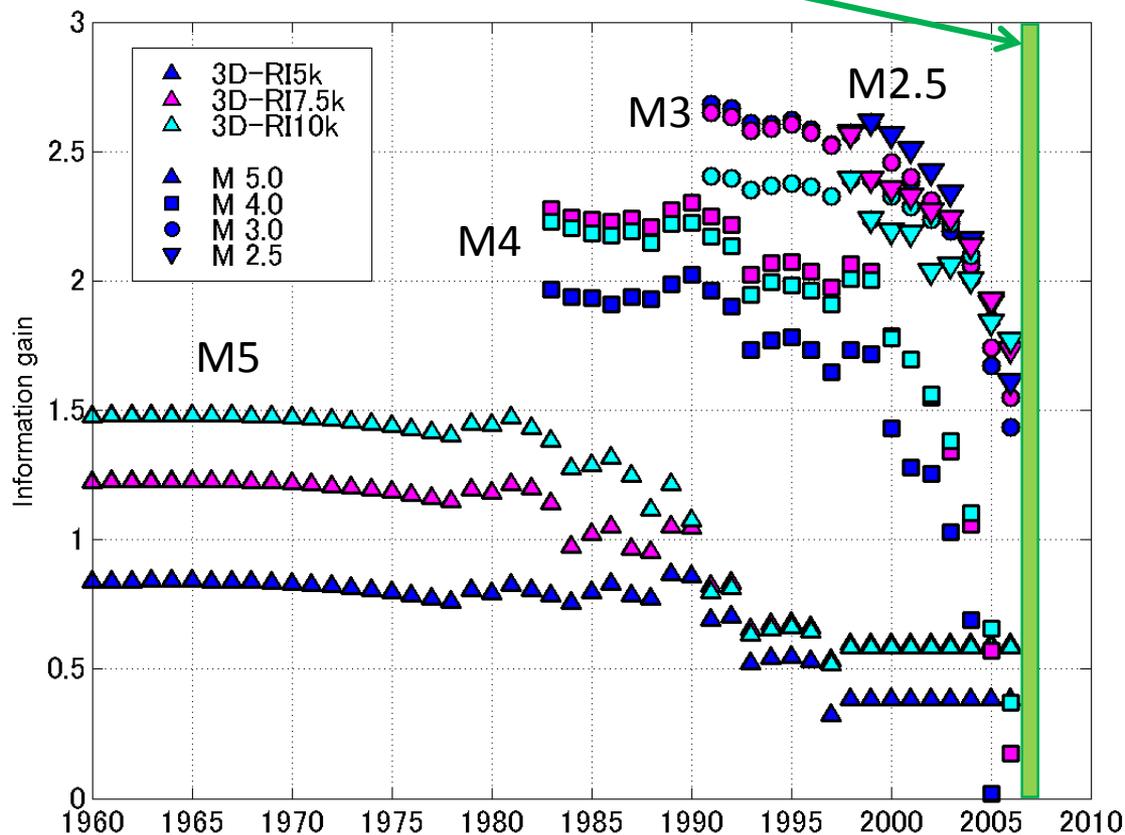
*各予測条件で多少の数値の差はあるものの、共通の値を最適化条件とした。

2011年東北地方太平洋沖地震以前のような通常的首都圏の地震活動は、上記の条件でよく予測できることを意味する。

○学習データの使用開始時期と下限マグニチュード

1year 0.05° x0.05° x5km

予測 2007/11/1-2008/11/1, M>=5



1991年-2007年 M3.0-9.0 : 4137個

1998年-2007年 M2.5-9.0 : 6024個

2011年東北地方太平洋沖地震以後の3D-RIモデル最適化条件と予測モデルのまとめ

	3ヶ月予測 M ≥ 4.0	1年予測 M ≥ 5.0
試行回数 事前(+事後)	6 (+15)	1 (+4)
総合	3D-RI7.5k case2	3D-RI7.5k case3
数	大森宇津則	3D-RI7.5k case1
空間	3D-RI7.5k case2	3D-RI7.5k case3
規模	3D-RI $b=0.9$	3D-RI $b=0.9$

3ヶ月予測

- 2011年東北地方太平洋沖地震後の予測について、事前予測実験を6回、事後予測実験を15回行った。
- 計21回分より、2011年東北地方太平洋沖地震の前後を学習期間とする3D-RI7.5kモデルが空間の予測成績が良いことが示された。
- 地震数の予測については、3D-RIモデルよりも大森宇津則のほうが有用であることを確認した。
- 3D-RIモデルにおいて、2011年東北地方太平洋沖地震前の最適化条件では良く予測できないことが示された。

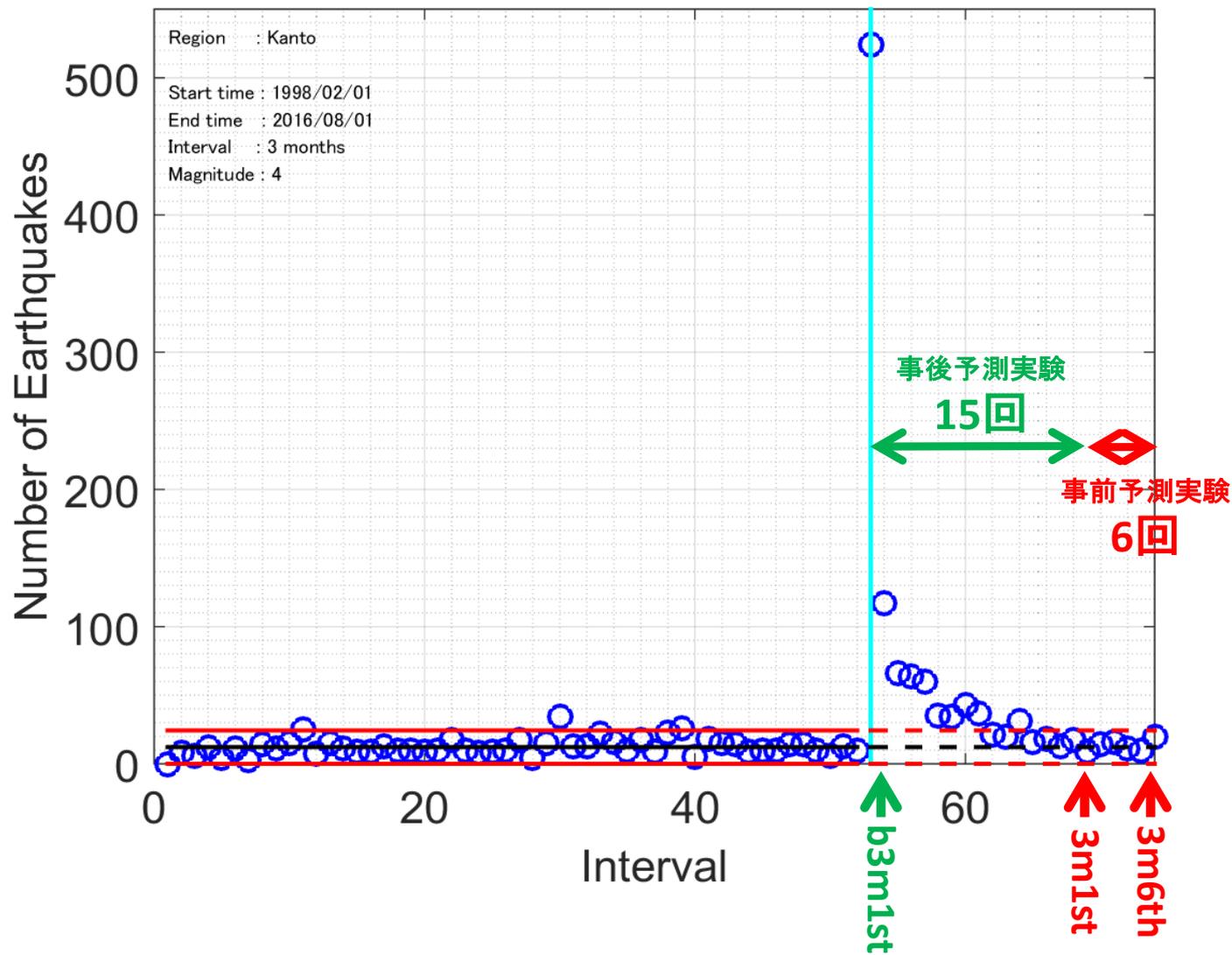
目的：モデルの予測能力の測定

方法：表1の条件に従って3D-RIモデルに向こう3ヶ月間の地震発生率を予測させ、
csepと同じ方法で実測値と合っているか検証した

3ヶ月予測実験の諸条件

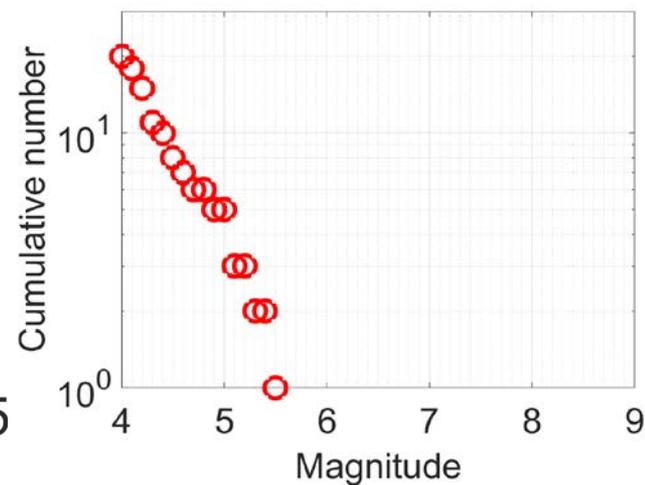
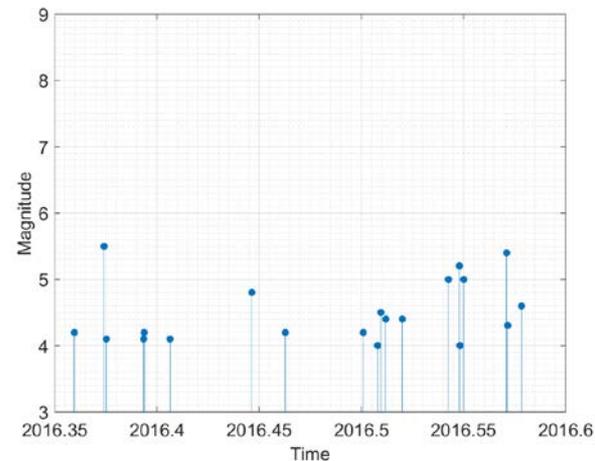
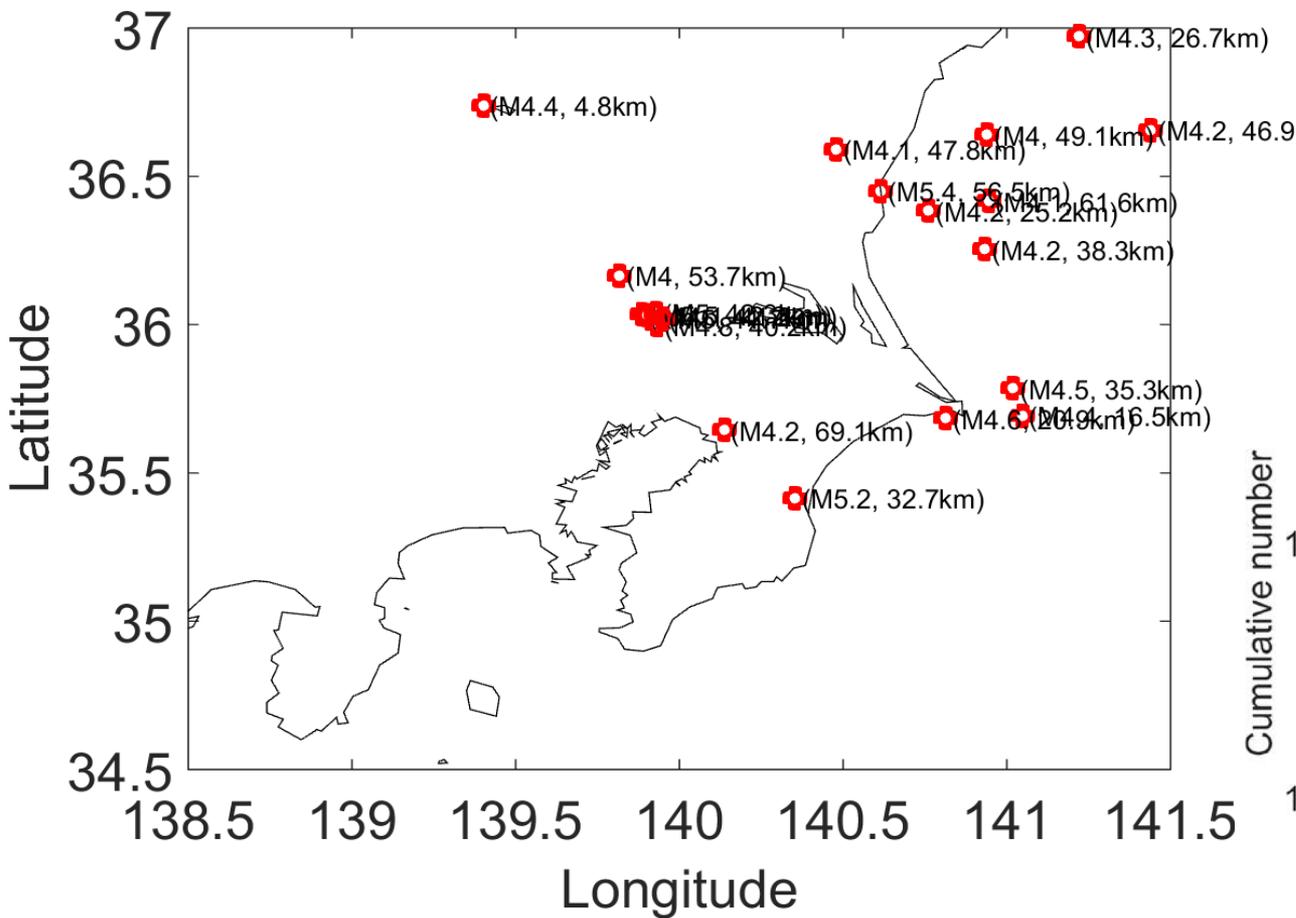
	学習条件	予測条件
空間	関東地域 (Lon138.5-141.5, Lat34.5-37.0, Dep0-100km)	
	平滑化半径 7.5, 10, 20, 50 km	0.05° x 0.05° x 5km
期間	<p>Case1 1998/1/1-2011/1/1 (2011年東北沖地震の前)</p> <p>Case2 1998/1/1- (2011年東北沖地震の前後)</p> <p>Case3 2012/1/1- (2011年東北沖地震の後)</p>	<p>事後予測実験</p> <p>第b1回:2011/5/1-2011/8/1</p> <p>：</p> <p>第b15回:2014/11/1-2015/2/1</p> <p>事前予測実験</p> <p>第1回:2015/2/1-2015/5/1</p> <p>：</p> <p>第6回:2016/5/1-2016/8/1</p>
規模	2.5 - 9.0 (b値 0.9)	4.0 - 9.0

3ヶ月毎の観測地震数(1998年2月1日-2016年8月1日)



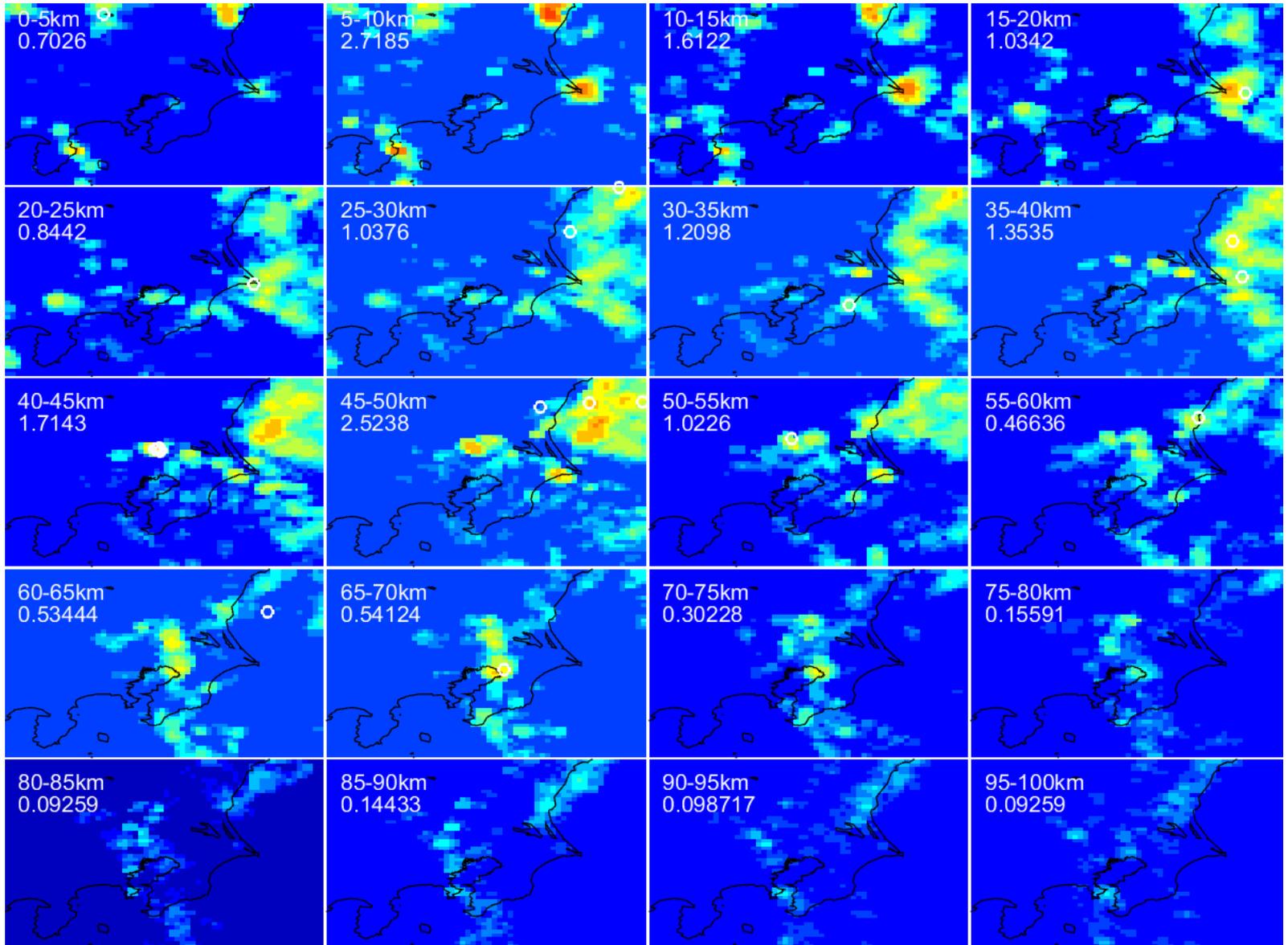
結果：実測データ（予測に対する答え 3ヶ月予測第6回目実験より）

20 events



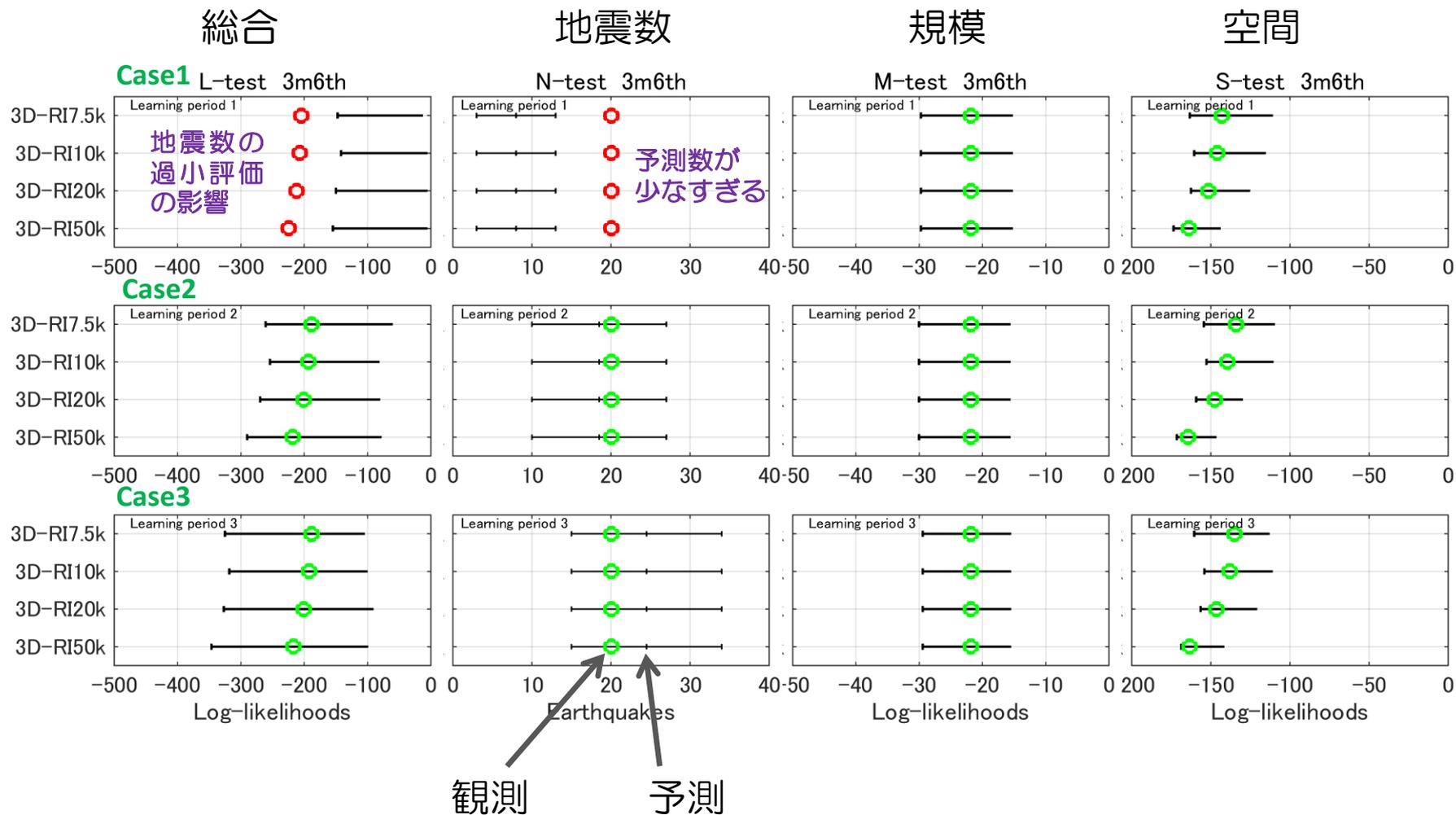
結果：空間予測と実測の比較

S-test Passed 3D-RI7.5k case2



結果：テストにパスしていれば予測は実測を満たしているとする
 (3ヶ月予測第6回目実験より)

- テストをパス
- テストを棄却
- 95%信頼区間
- ⬇ 対数尤度が良い



解析

3ヶ月予測実験21回分(事前6回+事後15回)のテストのパス率(%)

	地震数 (N-test)	総合 (L-test)	空間 (S-test)	規模 (M-test)
3D-RI Case 1	19.0	15.5	53.6	100
3D-RI Case 2	57.1	57.1	98.8	100
3D-RI Case 3	23.5	100	95.6	100
合計	33.9	54.7	81.8	100
OmoriUtsu	81.0	100	-	-

① 3D-RI **Case 2**は、空間のパス率が3D-RIモデルの中で1番高かった。

② 大森宇津則では、3D-RIモデルよりもN-testのパス率が高かった。

③ 規模のパス率が、で100%だった。

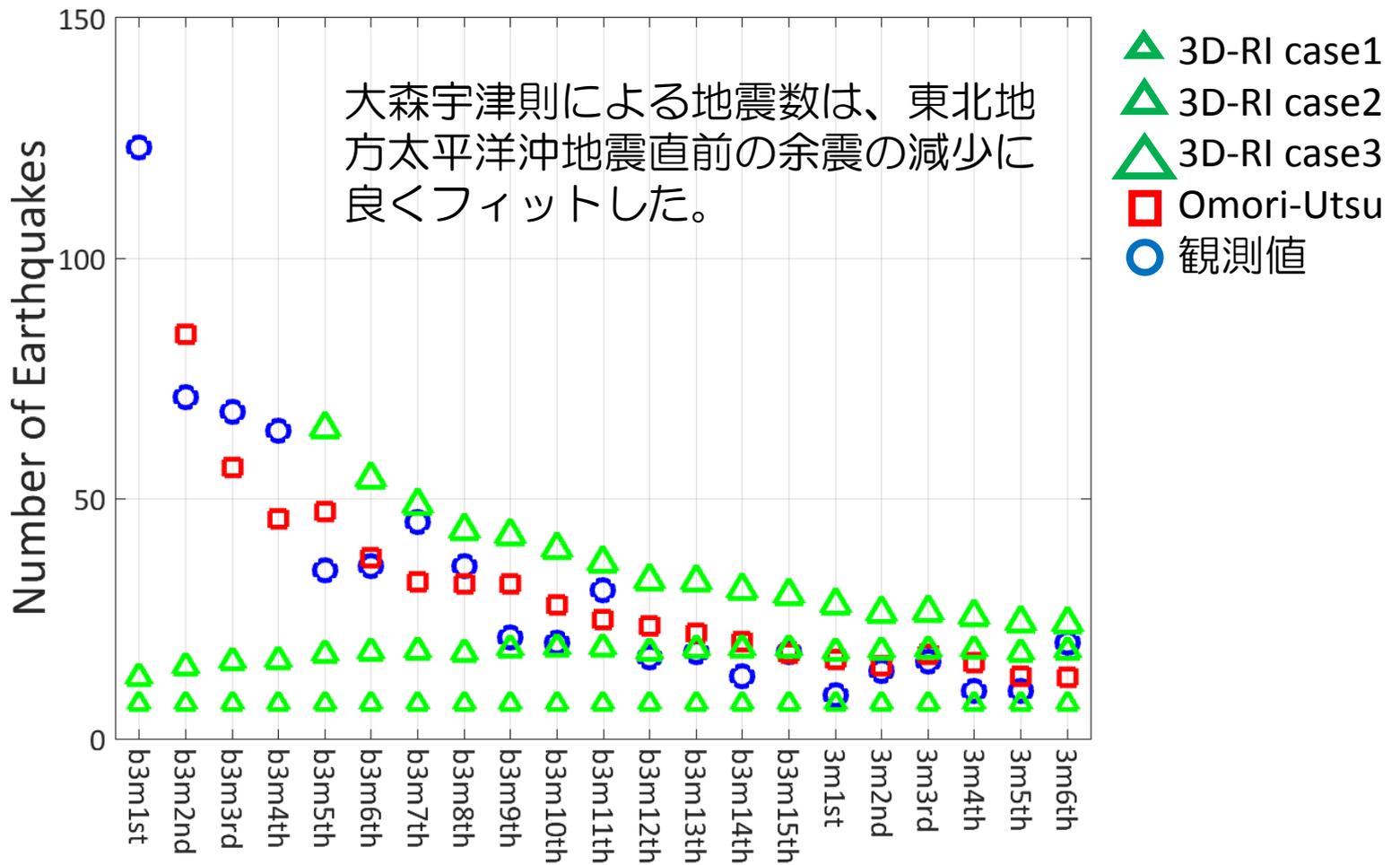
④ 3D-RI Case 1 は、地震数を過小評価しすぎたのでN-testで棄却された。

深さ5-40kmの銚子沖の地震の期待値が低すぎたためにS-testを棄却される回があった。

地震数と空間のテストをrejectされたときに、L-testも棄却された。

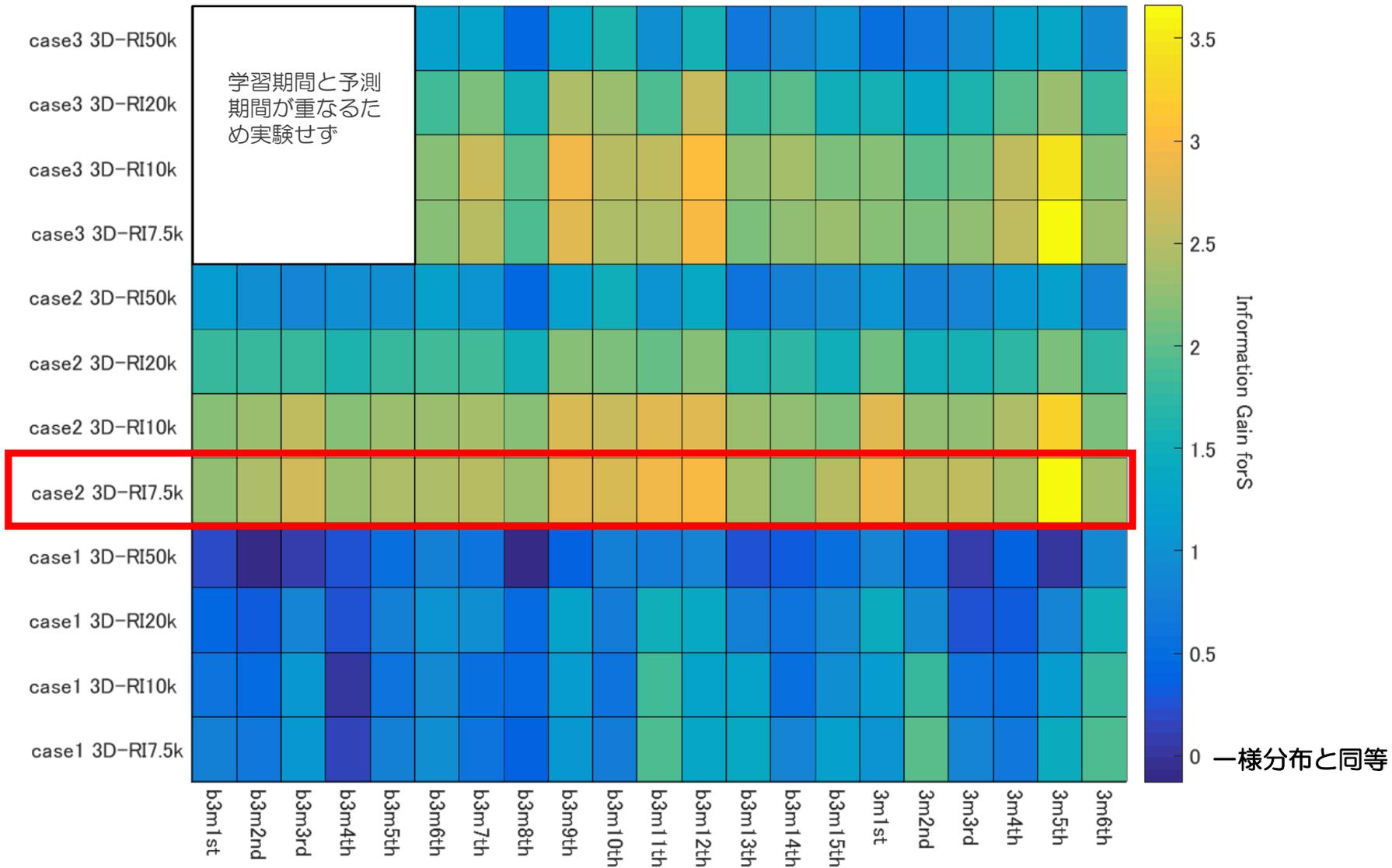
⑤ 3D-RI Case 3 は、地震数を過大評価しすぎたためにN-testで棄却された。

地震数



地震数 (N-test)パス率	b3m1st-b3m15th	3m1st-3m6th	all
3D-RI Case 1	6.7	50	19.0
3D-RI Case 2	40	100	57.1
3D-RI Case 3	27.3	16.7	23.5
OmoriUtsu	73.3	100	81.0

空間の情報利得(3ヶ月予測) 3D-RI7.5k case2が良い



課題2)

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

M6.0以上の地震を予測対象とするモデルの構築を目的とする。

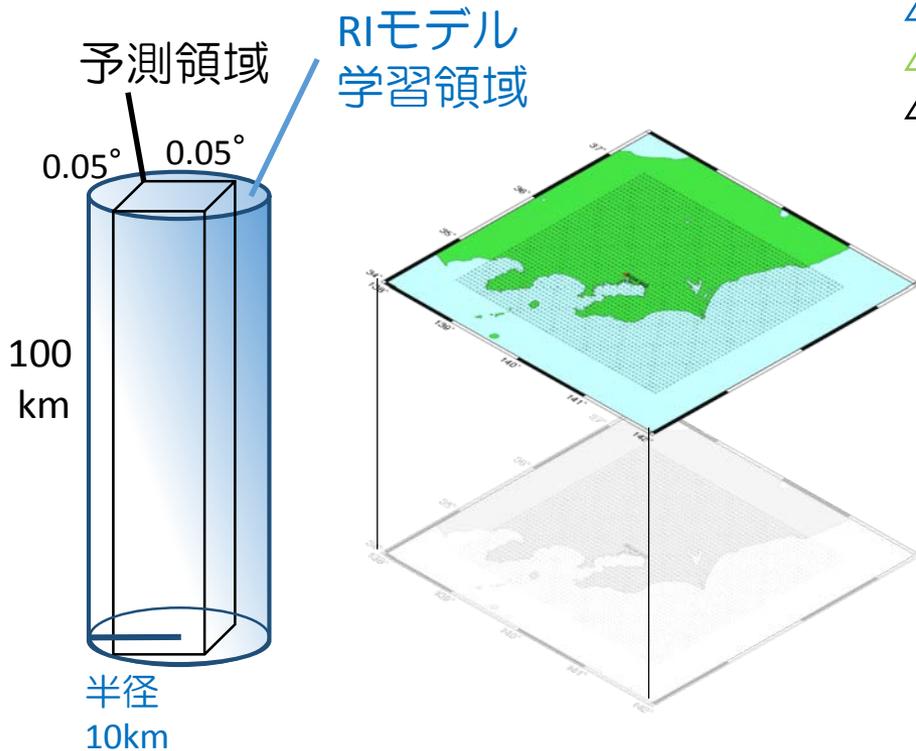
首都圏の地震カタログは、深さ・規模に対する時間分布は偏りがあるため、二次元予測空間でRIモデルによる予測を行うこととした。

学習データを多く確保するため、JMAカタログだけでなく課題1cにより修正された宇津カタログも取り入れた。

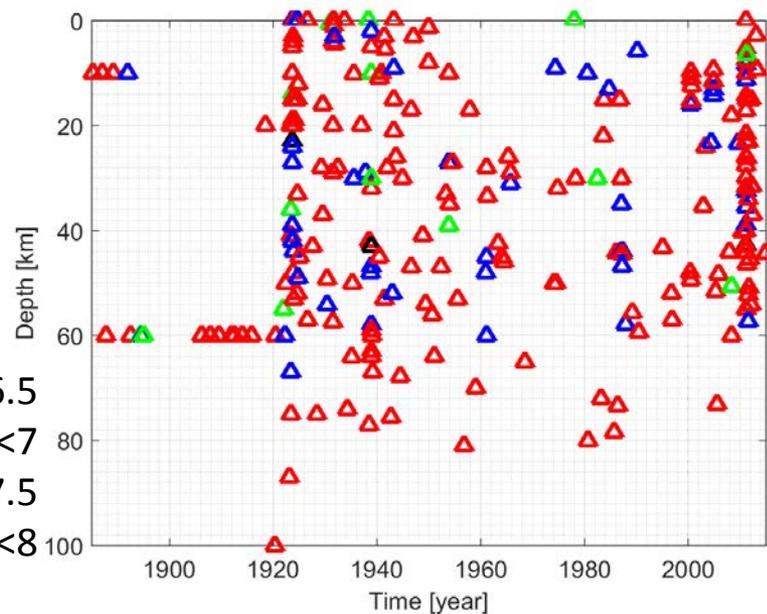
10年予測については、修正された宇津カタログとJMAカタログを両方使うほうが予測の成績が高くなることが示された。

RI model

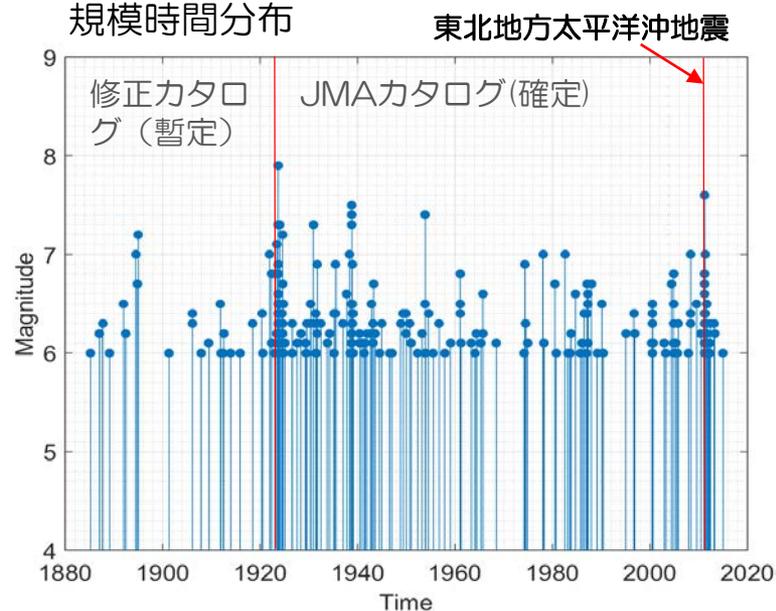
地震は過去にたくさん起きたところで将来も起きる。
深さ・規模に対する時間分布は偏りがあるため、
二次元予測空間でRIモデルによる予測を行うこととした。



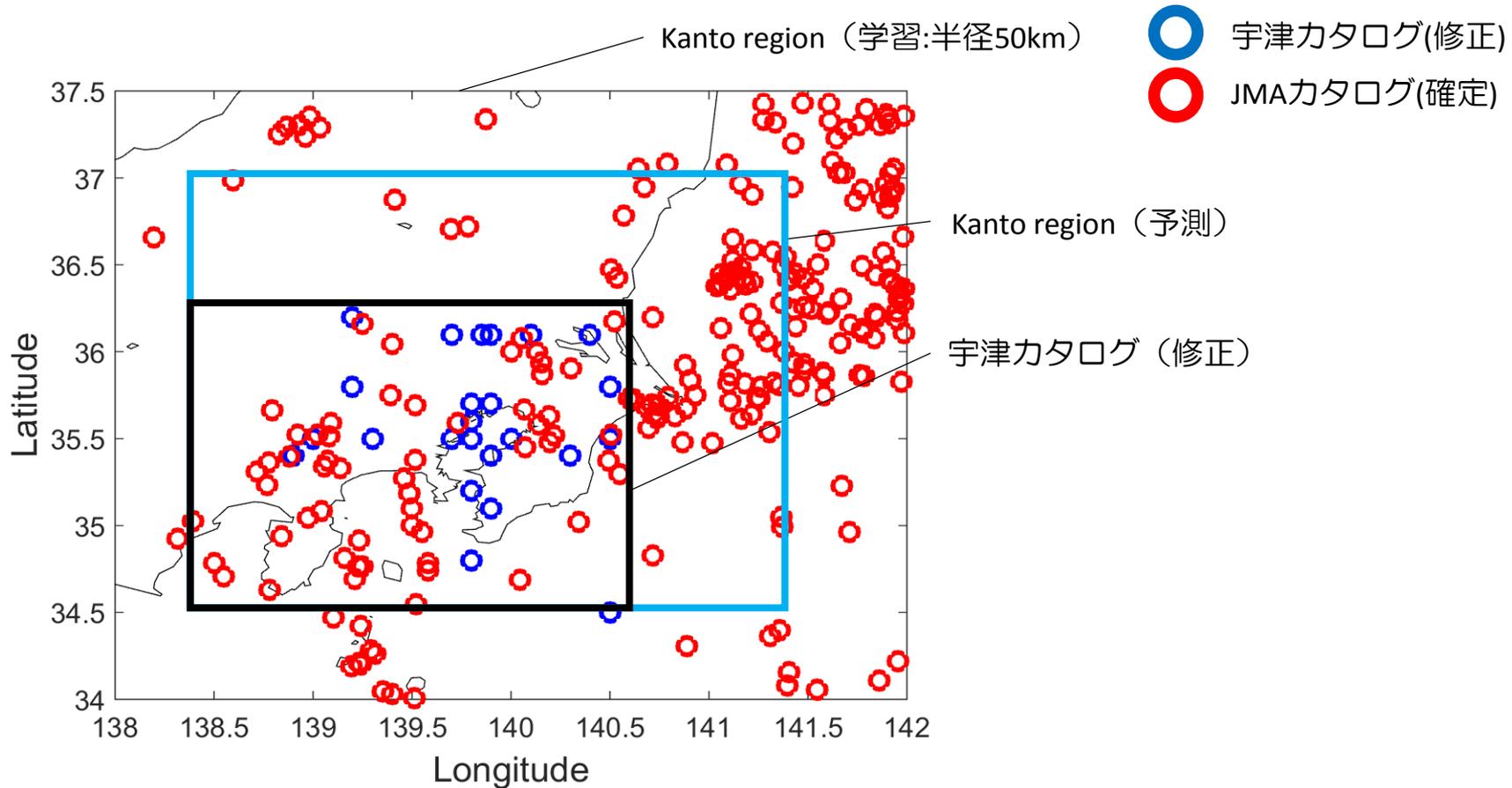
深さ時間分布



規模時間分布



宇津カタログ（修正）とJMAカタログ(確定)

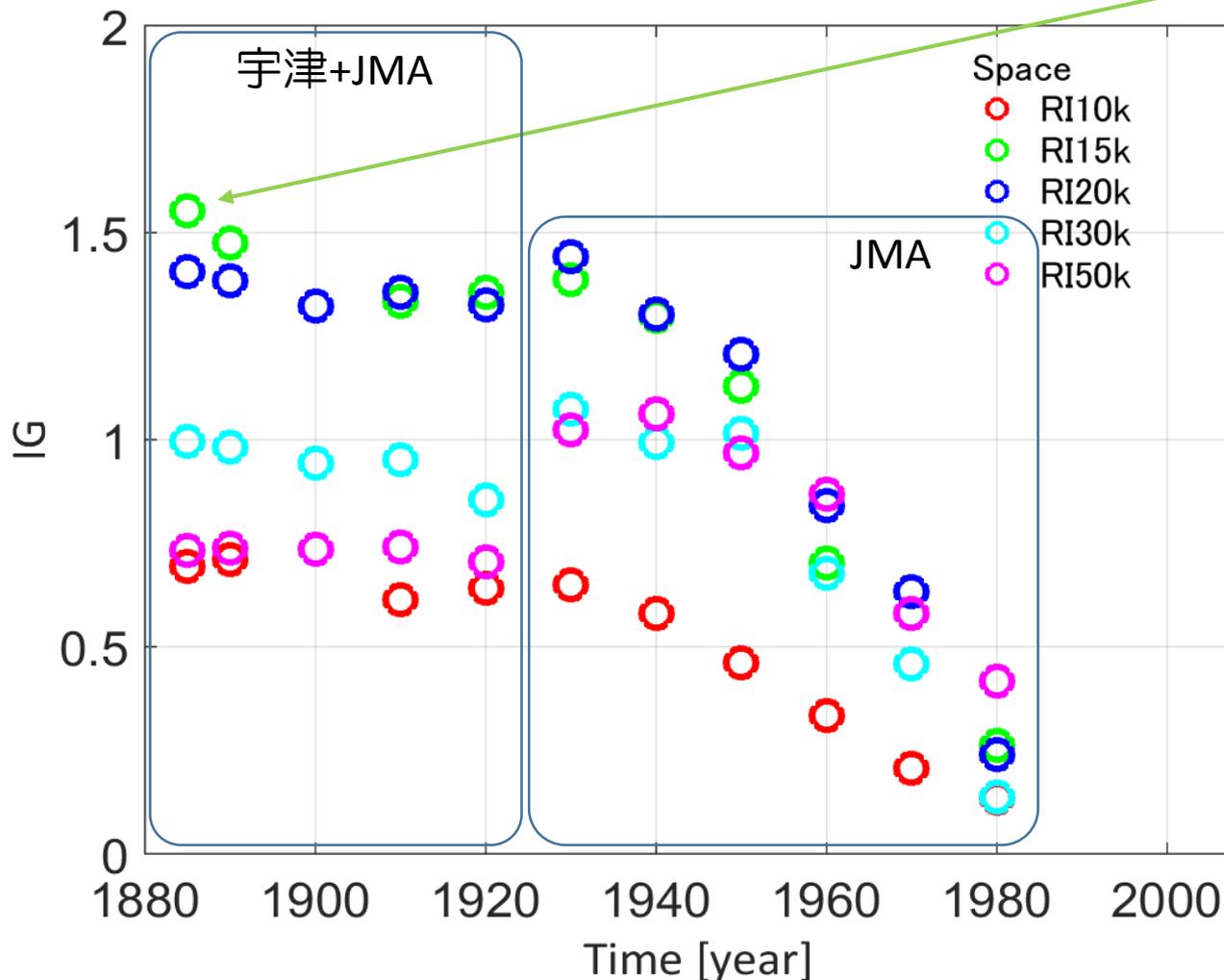


RIモデル 空間予測の情報利得

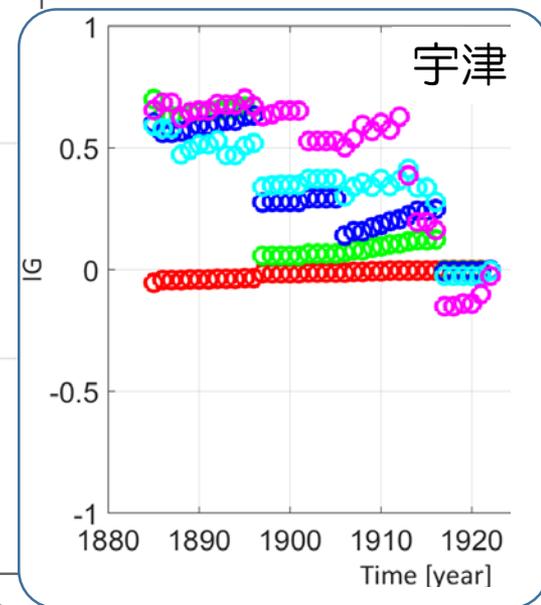
予測期間2000年1月1日-2010年1月1日 (b 値0.9任意)

宇津カタログとJMAカタログを使う場合IGが高くなる (予測が良くなる)

RIモデルの対数尤度と一様分布モデルの差



1885年から2000年を学習期間としたときのRI15kモデルのIG



まとめ

課題1) 三次元予測モデルの構築

三次元予測空間（緯度・経度・深さ）を予測するモデルを『3D-RIモデル』と名付けた。

現在の地震活動に対し、3ヶ月予測実験は21回、1年予測実験は5回行い、学習の最適条件を探索した。

(3ヶ月予測)

- 2011年東北地方太平洋沖地震の前後を学習期間とする3D-RI7.5kモデルが空間の予測成績が良いことが示された。
- 地震数の予測については、3D-RIモデルよりも大森宇津則のほうが有用であることを確認した。
- 3D-RIモデルにおいて、2011年東北地方太平洋沖地震前の最適化条件では良く予測できないことが示された。

(1年予測)

- 地震数の予測においては、2011年東北地方太平洋沖地震の前を学習期間とする3D-RI7.5kモデルが有力であった
- 空間の予測では、2011年東北地方太平洋沖地震の後を学習期間とする3D-RI7.5kモデルが有力であった

(ただし、実験の試行回数が少ないため、さらに増やす必要がある)

課題2) 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

M6.0以上の地震を予測対象とするRIモデルの学習方法について、カタログの検討を行った。

10年予測では、修正された宇津カタログとJMAカタログを両方使う場合が予測の成績が高くなることが示された。