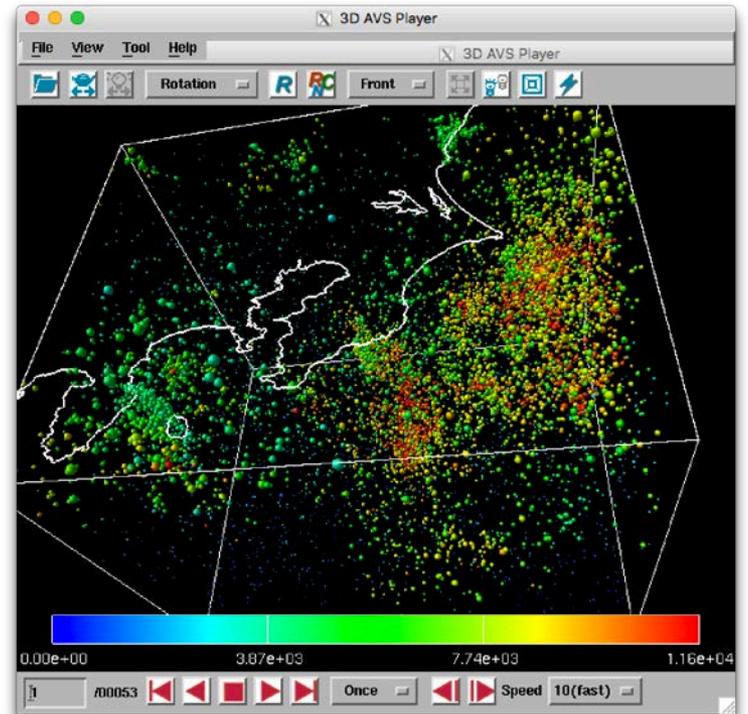
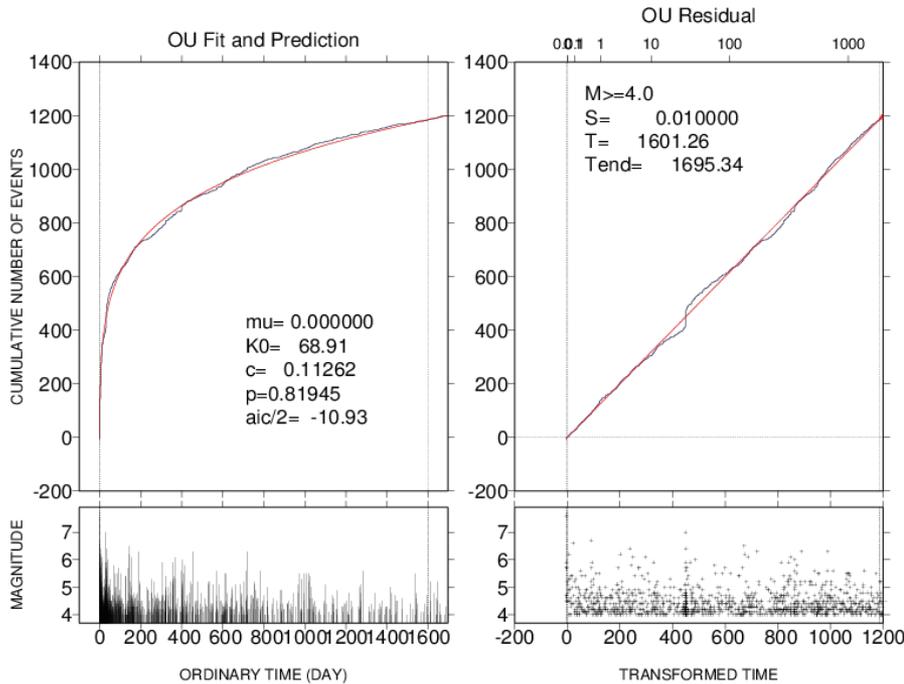


d. 首都圏の過去の地震活動に基づく 地震活動予測手法の確立

東京大学地震研究所
(課題代表 鶴岡弘)



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。

【事業計画】

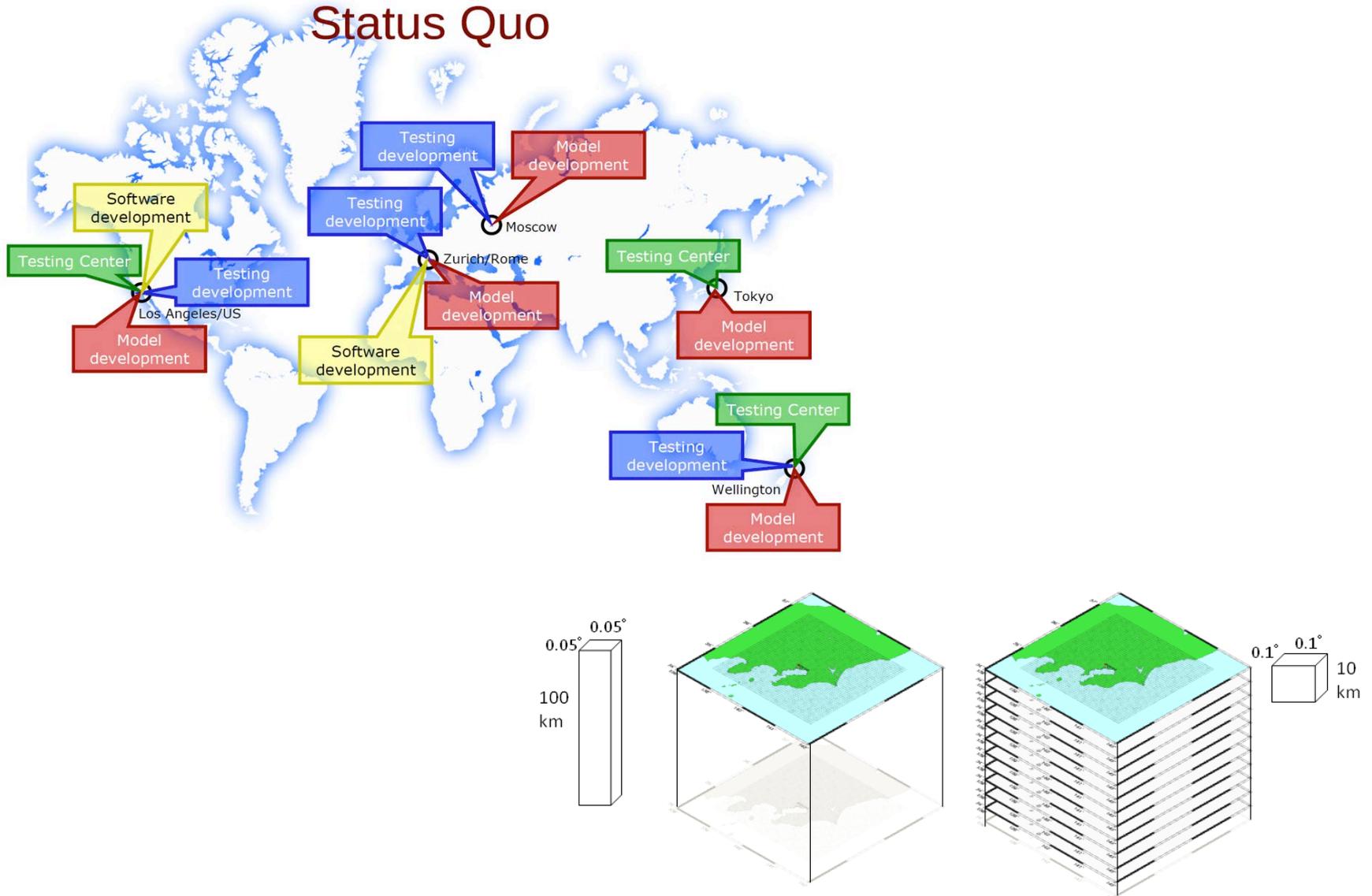
- 2012年 地震活動予測手法を評価・検証するための基盤を国際プロジェクトであるCSEPにより開発されている最新のソフトウェアを導入し構築する。関東地域における過去の地震活動を踏まえた3次元テスト領域の検討を進める。
- 2013年 首都圏の過去の地震活動を含む複数の地震カタログに対するコンプリートネスマグニチュード等の性能評価実験を実施するとともに、階層的時空間ETASモデルを基にした3次元地震活動予測モデルのプロトタイプを開発する。関東地域における3次元テスト領域を完成させる。
- 2014年 2013年に構築した地震活動予測モデルと3次元テスト領域に対してレトロスペクティブな1日、3ヶ月、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。

コンテンツ

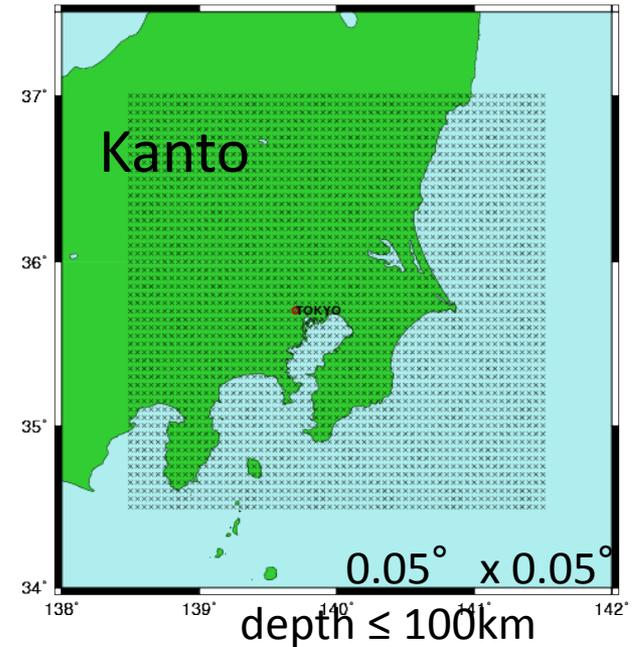
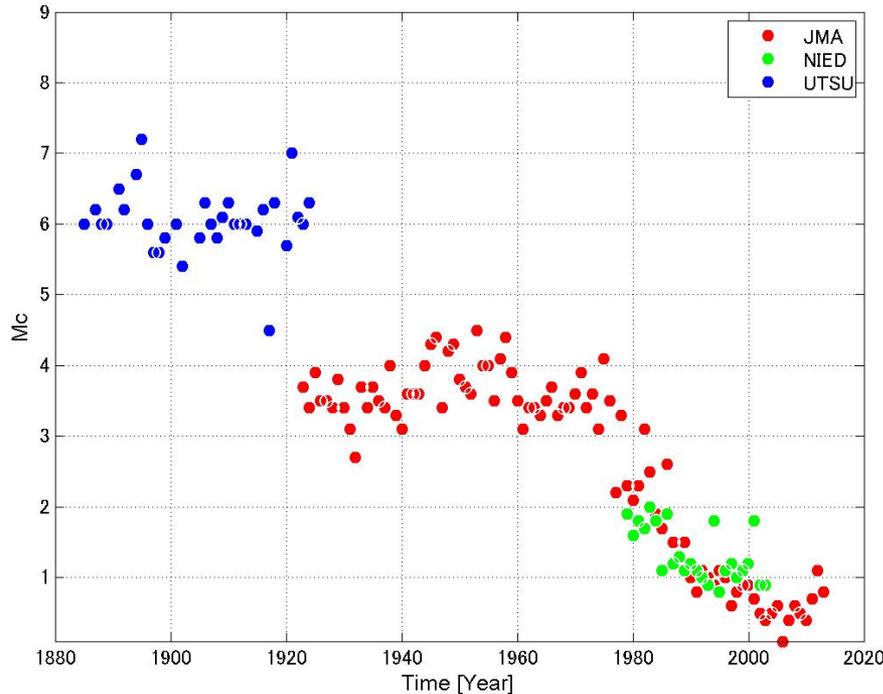
- 2012-2015年活動のサマリー概要
- 2016年度前半解析結果のまとめ（主に地震発生予測検証実験）（←配布資料）
- 地震活動予測手法確立に向けて

■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。

Status Quo

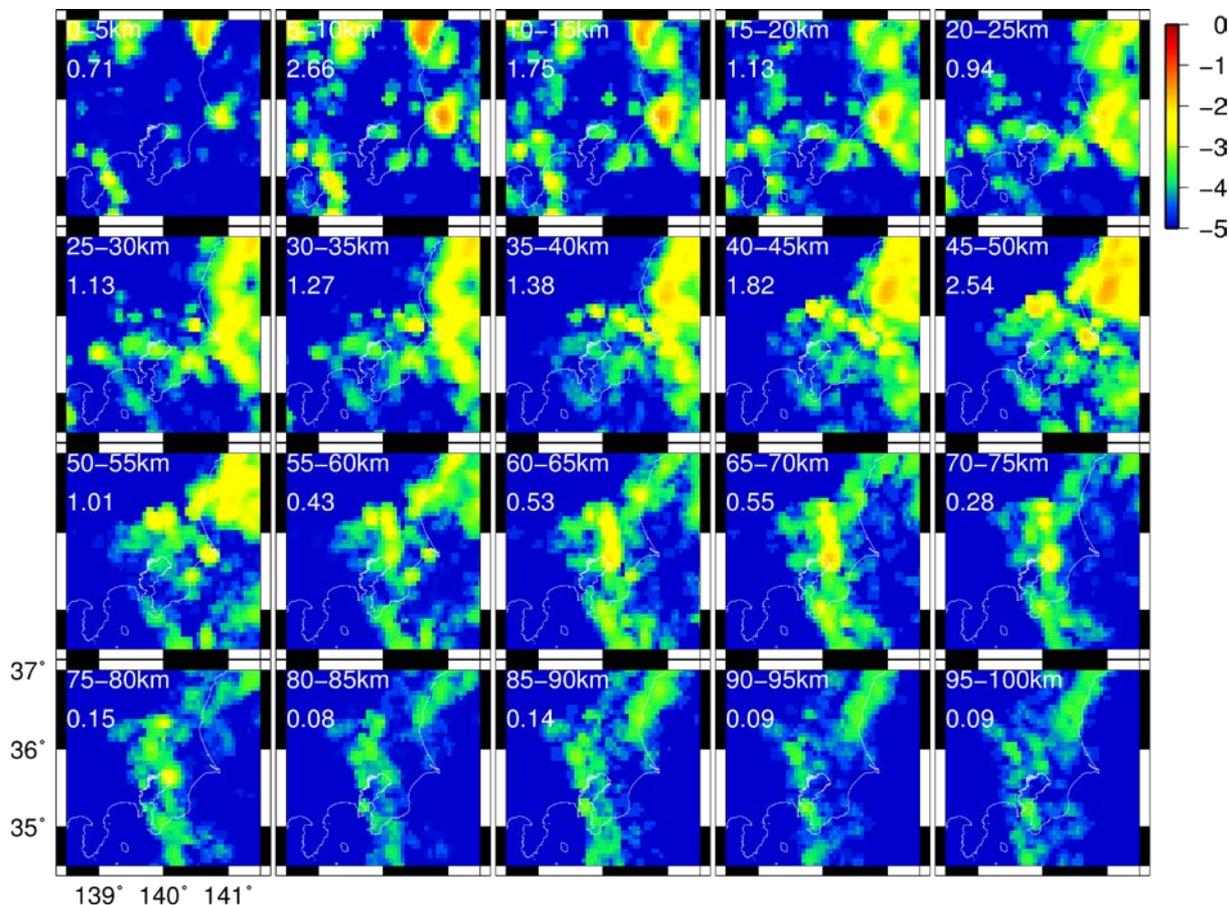


■2013年 首都圏の過去の地震活動を含む複数の地震カタログに対するコンプリートネスマグニチュード等の性能評価実験を実施するとともに、階層的時空間ETASモデルを基にした3次元地震活動予測モデルのプロトタイプを開発する。関東地域における3次元テスト領域を完成させる。



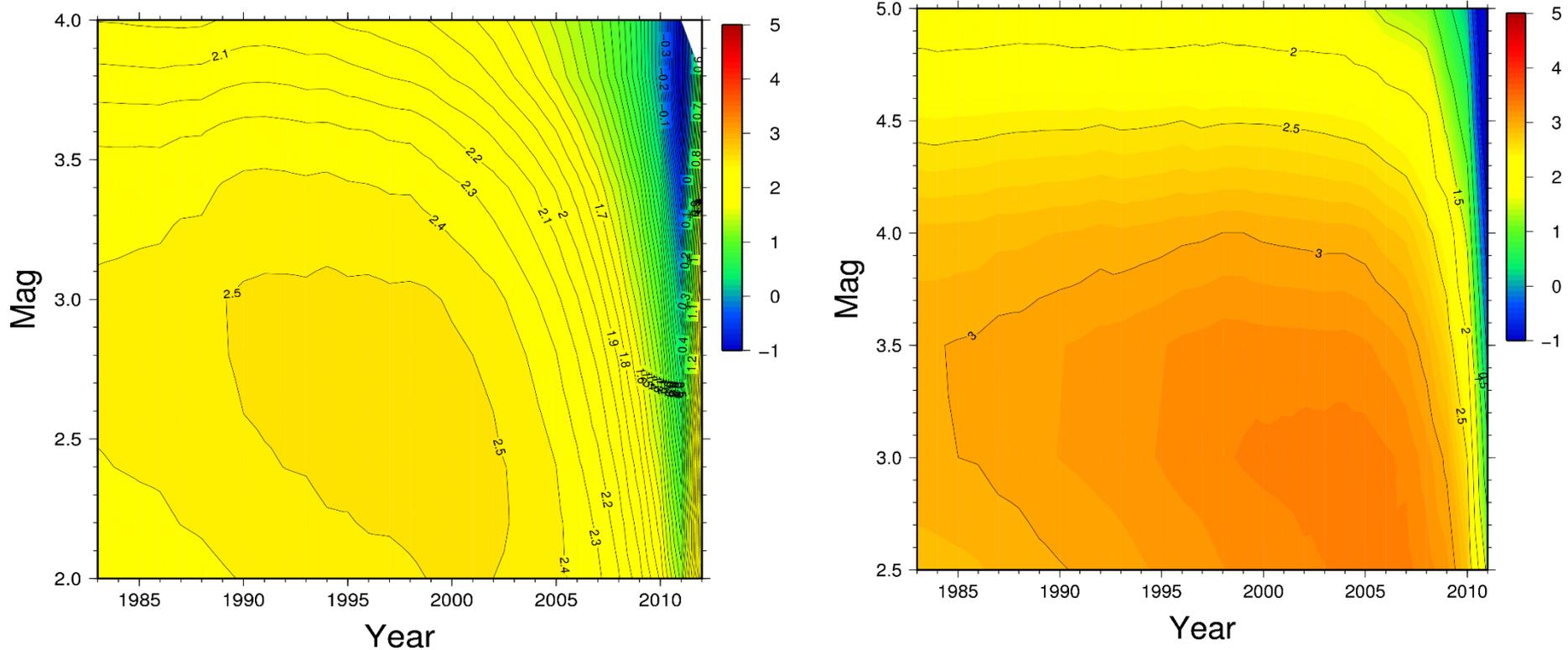
気象庁地震カタログ(JMA)、防災科学技術研究所が作成した地震カタログ(NIED)、宇津カタログ(UTSU)のコンプリートネスマグニチュード。震源の深さは、0から100km。縦軸はコンプリートネスマグニチュード、横軸は時間を示す。

■ 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。

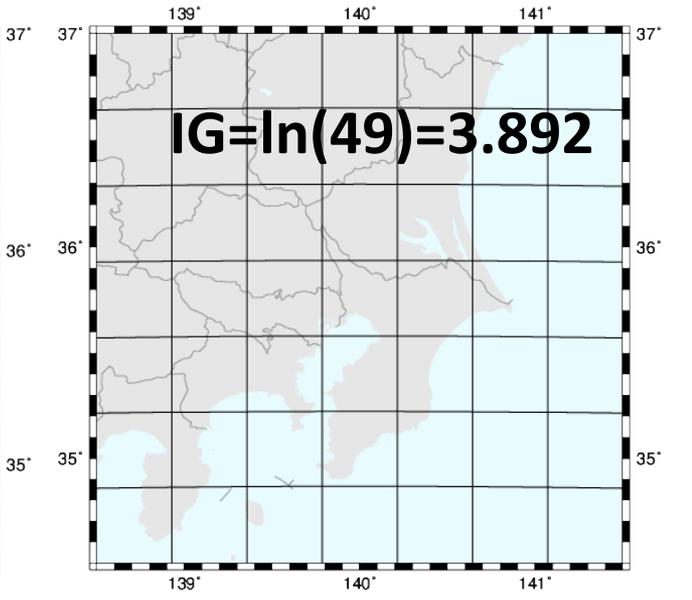
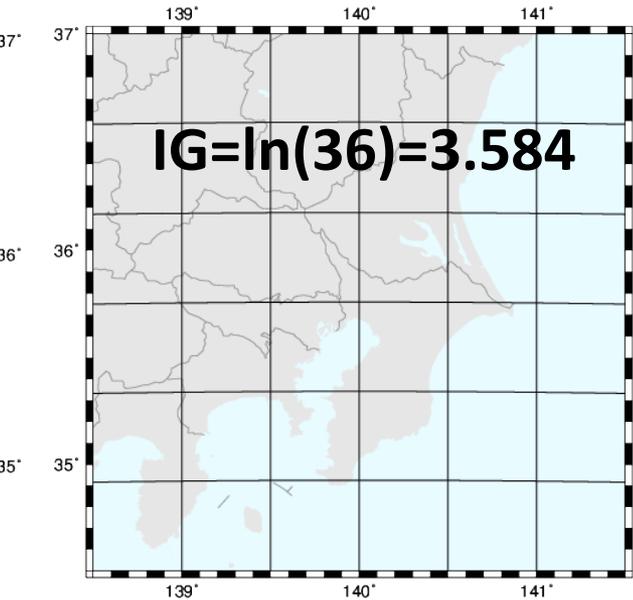
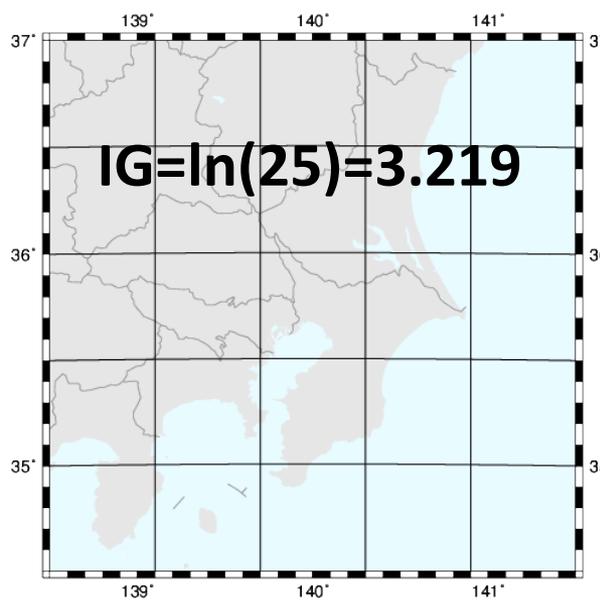
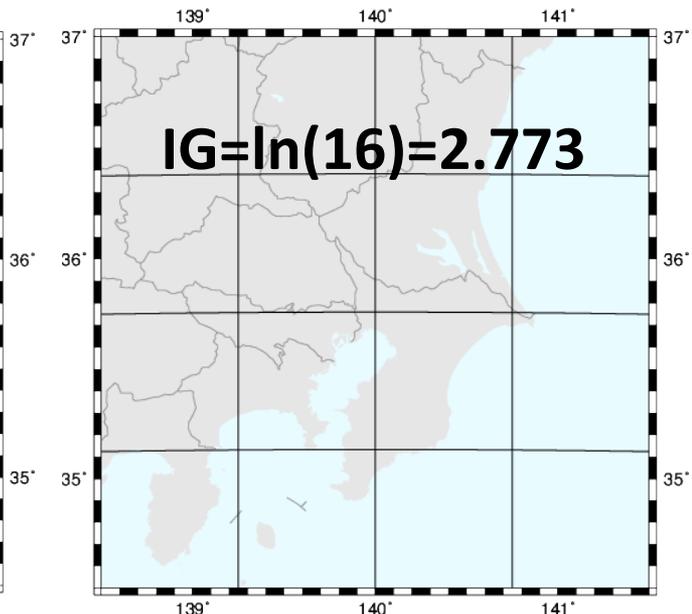
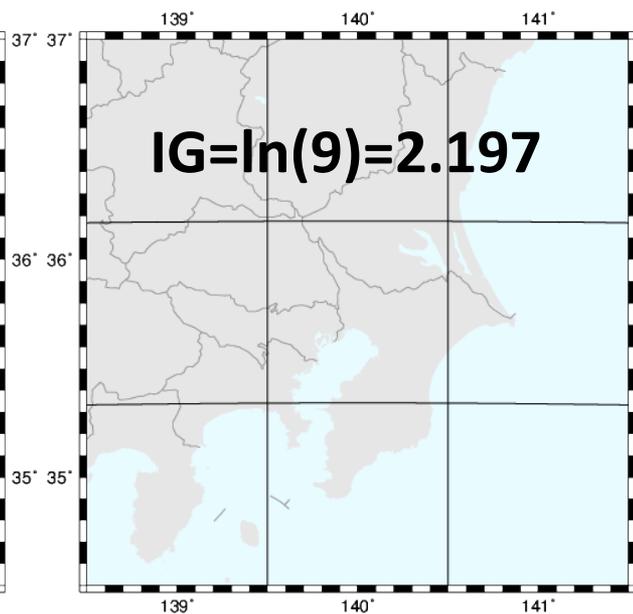
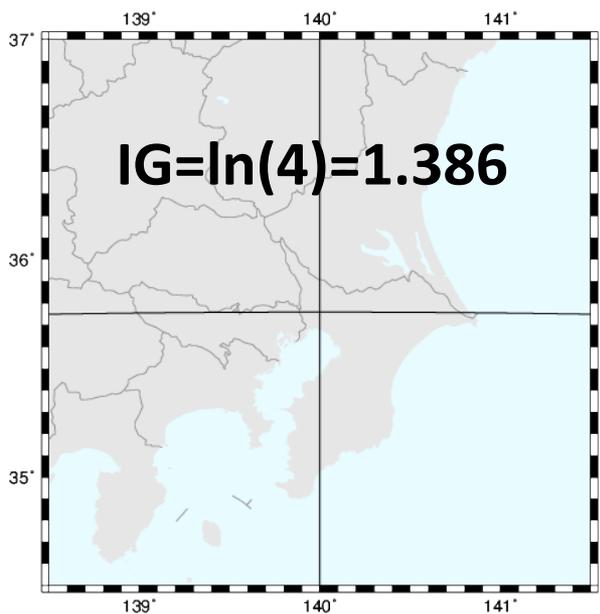


プロスペクティブ(事前)予測実験における三次元テスト領域でのRIモデルの予測図。予測期間2015年2月1日-2015年5月1日、マグニチュード4.0-9.0。スケールは、期待値の対数(log10)値でプロットされている。

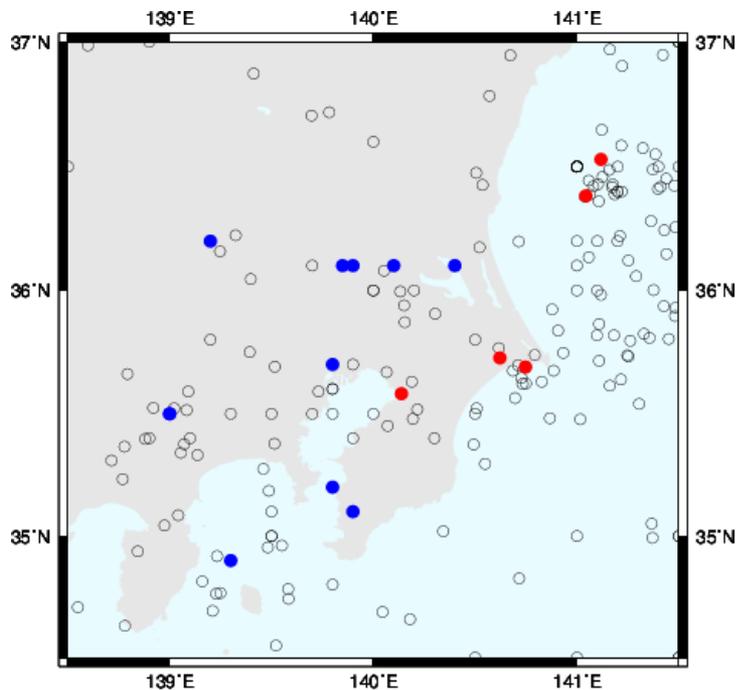
■2014年 2013年に構築した地震活動予測モデルと3次元テスト領域に対してレトロスペクティブな1日、3ヶ月、1年、3年テストクラスの検証実験を行うとともに、プロスペクティブな検証実験を開始する。



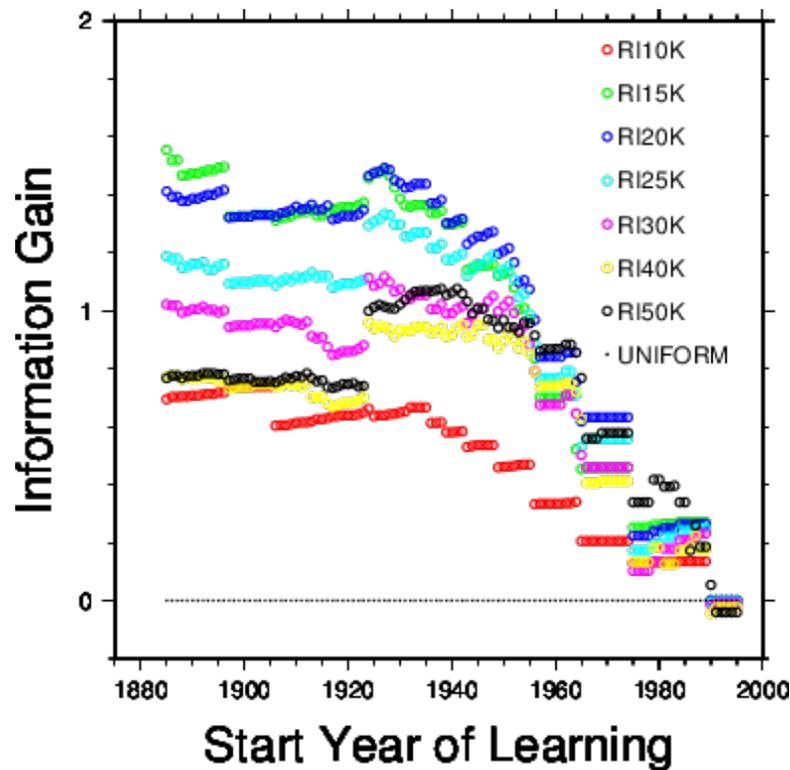
3ヶ月(左)および1年(右)テストクラスの最適パラメータ探索結果図。スケールは情報利得を示し、赤ほどモデルの性能が高い。平滑化半径10km



■ 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。



1885年3月20日から2010年1月1日までに首都圏で発生したM6.0以上の地震の震央分布。青い丸は、修正宇津カタログに掲載されている地震を示す(1885年3月20日から1922年5月9日)。白丸は、気象庁震源カタログに掲載されている地震の内10年予測実験でRIモデルの学習に使用した地震(1923年1月14日から2000年1月1日)、赤丸は10年予測実験でRIモデルの予測の対象となった地震(2000年1月1日から2010年1月1日)を示す。

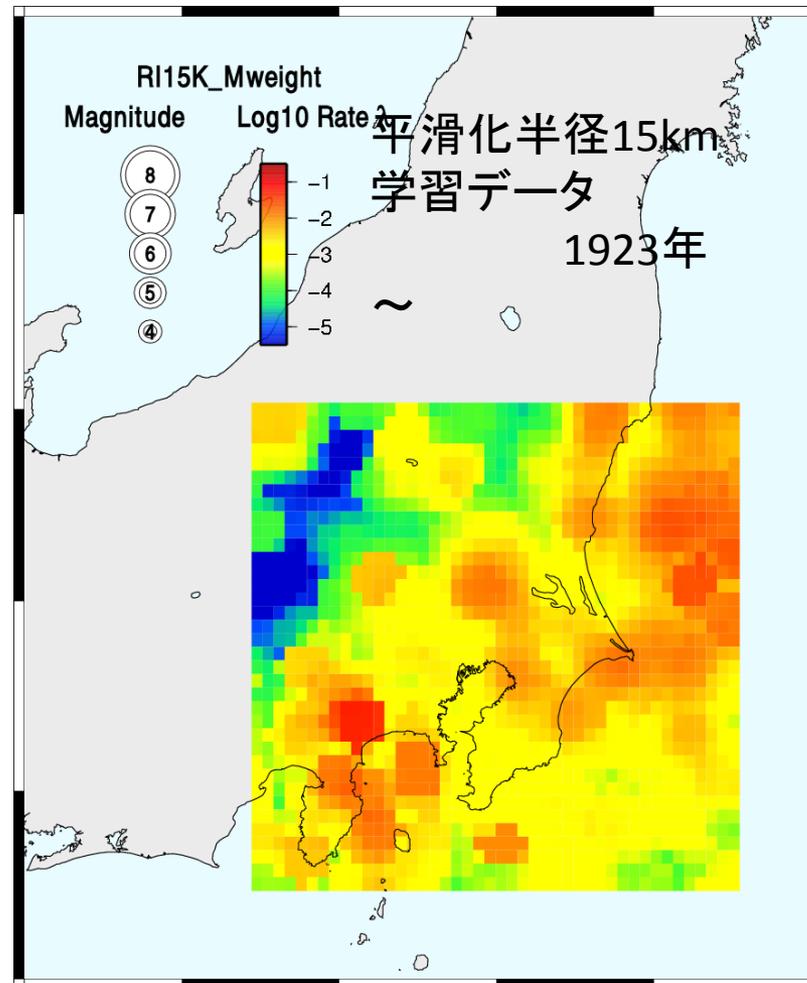
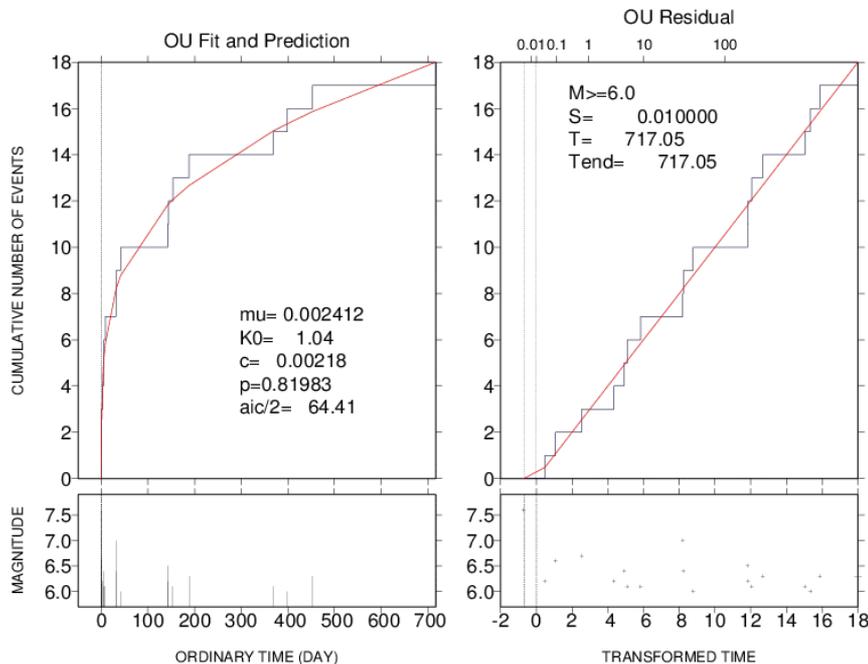


RIモデルにおける10年予測実験の結果。縦軸は、空間一様期待値モデルを基準とした場合の情報利得(IG)横軸は学習期間開始年を示す。

■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。

大森・宇津則による地震数の予測

2016/02/01から10年 M>=6.0 N=12.482



大森・宇津則よりパラメータを決定

$$n(t) = \mu + K / (t + c)^p$$

課題1)

中小地震を予測するモデル

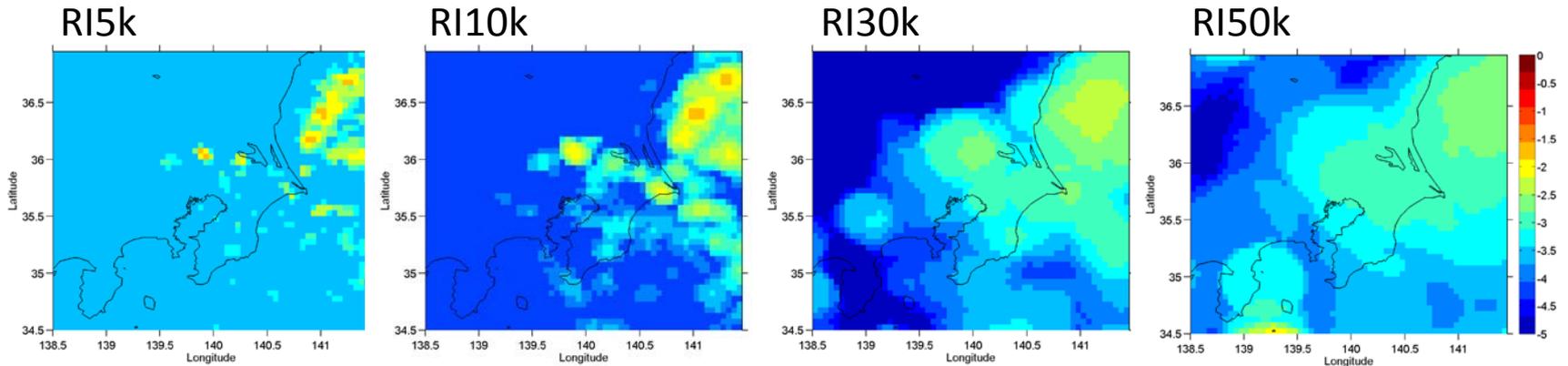
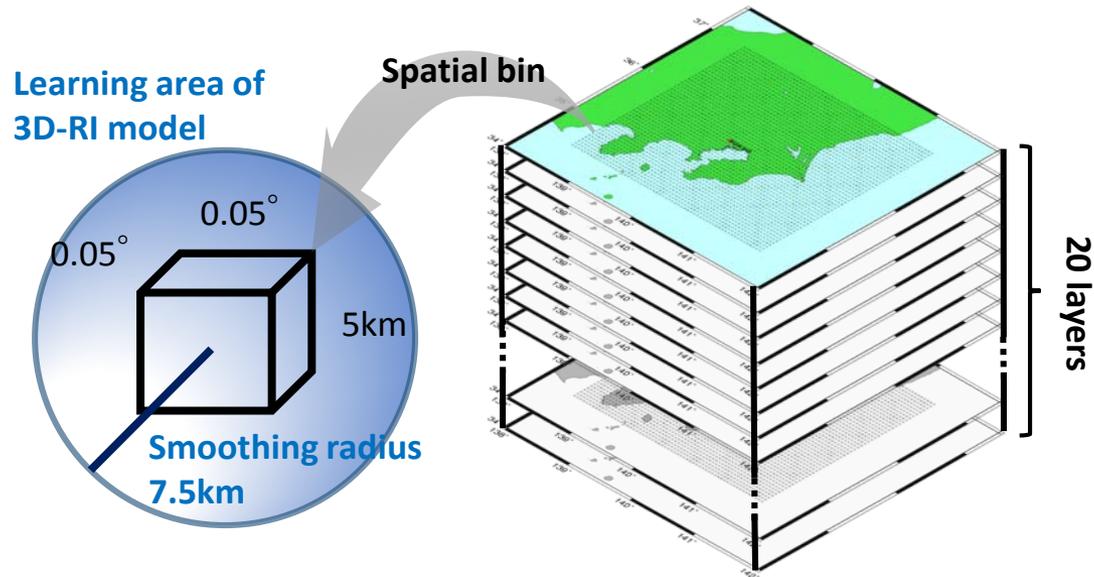
三次元空間（緯度・経度・深さ）を予測するモデル。

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以降の首都圏の地震活動を予測するための3D-RIモデルの最適な学習条件を求めた。

3D-RI model

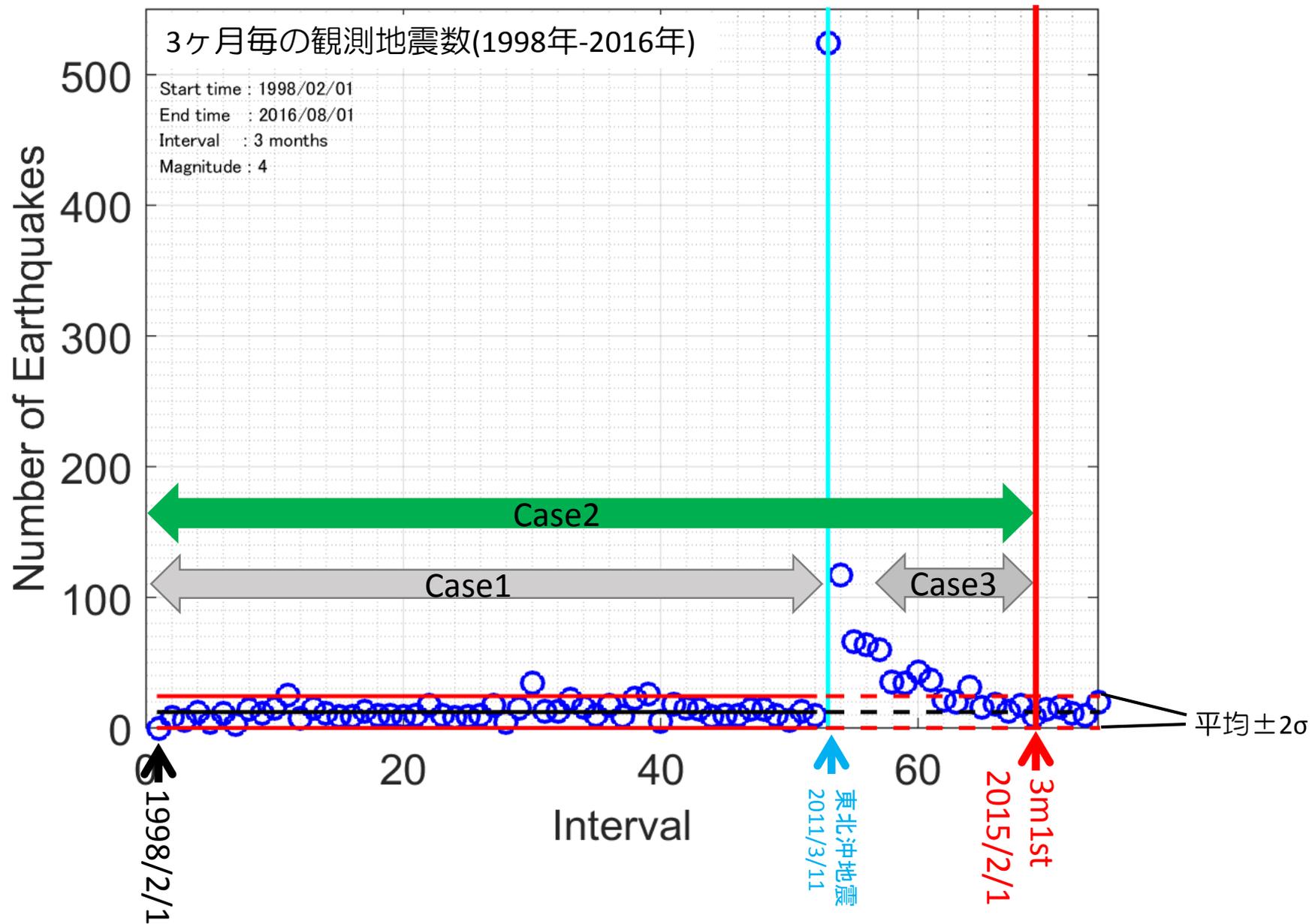
地震は過去にたくさん起きたところで将来も起きる



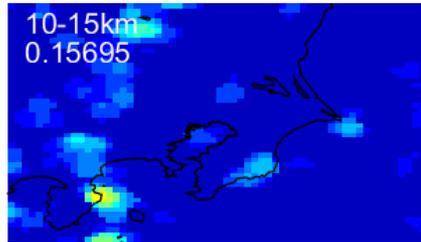
3ヶ月予測

- 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。
- 3D-RIモデルにおいて、学習期間を1998年から予測日前日とし、平滑化半径を7.5kmとすると、2015年2月以降の地震予測の成績が良いことが示された。
- | | |
|------|------------|
| 空間予測 | 情報利得 2-3.5 |
|------|------------|
- | | |
|------|--------------|
| 総合予測 | 情報利得 2.5-4.5 |
|------|--------------|
- | | |
|--------|------------------------|
| 地震数の予測 | 3D-RIモデルよりも大森宇津則のほうが有用 |
|--------|------------------------|

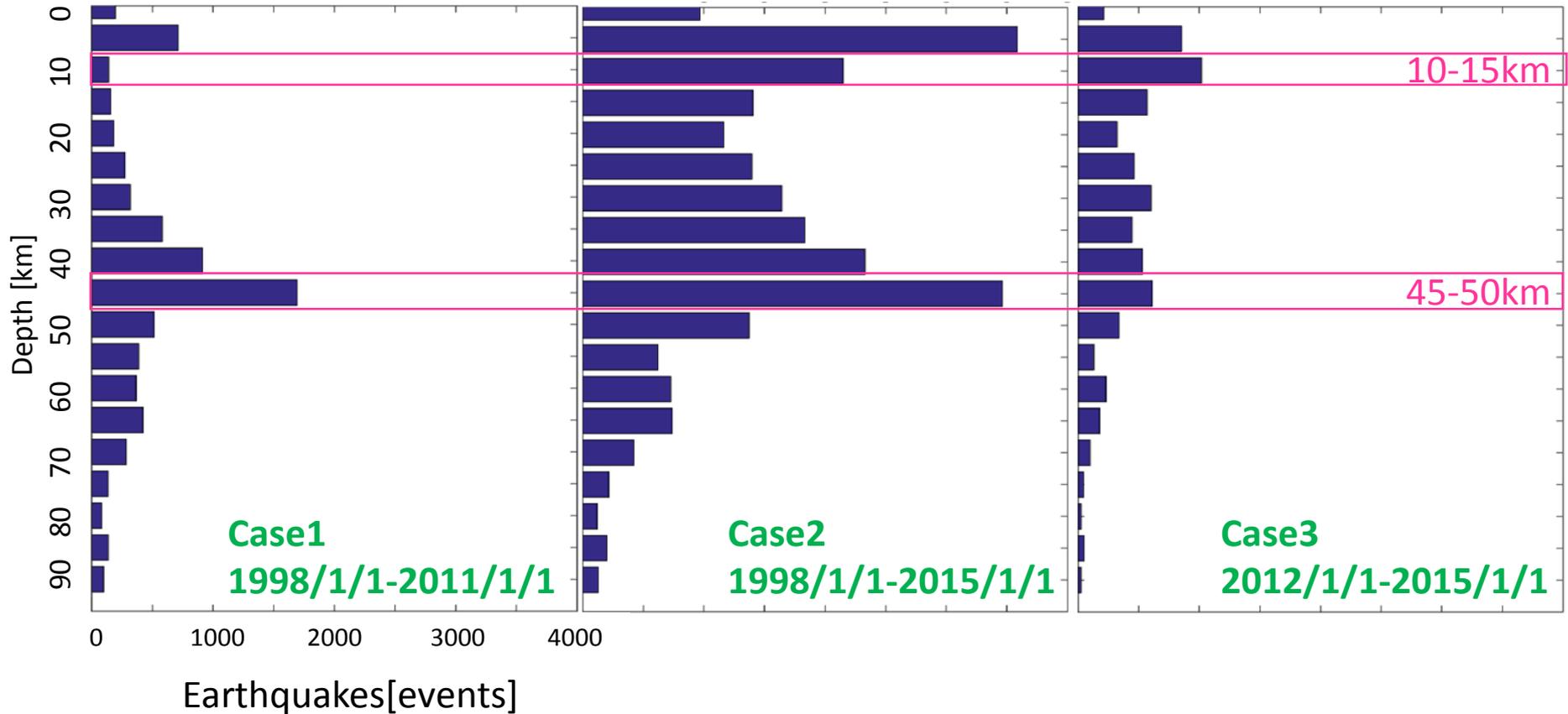
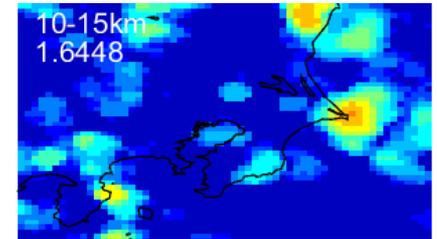
学習期間は、東北地震を含む1998年から予測日前日まで(Case2)を使う



Case2が良い理由は、東北地震の余震（浅い領域）と通常地震活動（深さ40-50km）の両方の空間分布を学習できるため



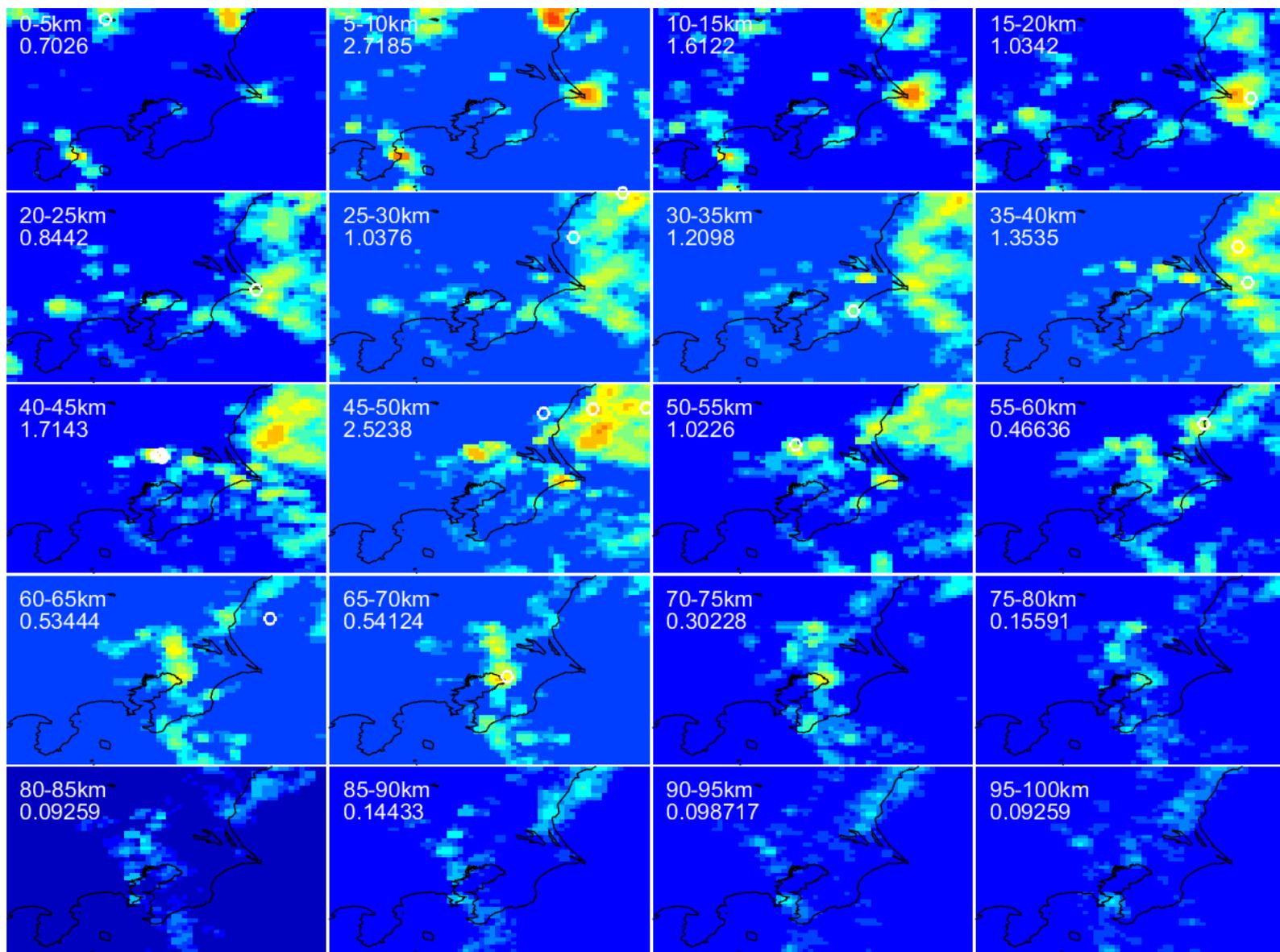
銚子沖の地震数の増加



空間予測と実測の比較

3D-RI7.5k case2

情報利得 2.5 (一様期待値分布と比べて)



1年予測

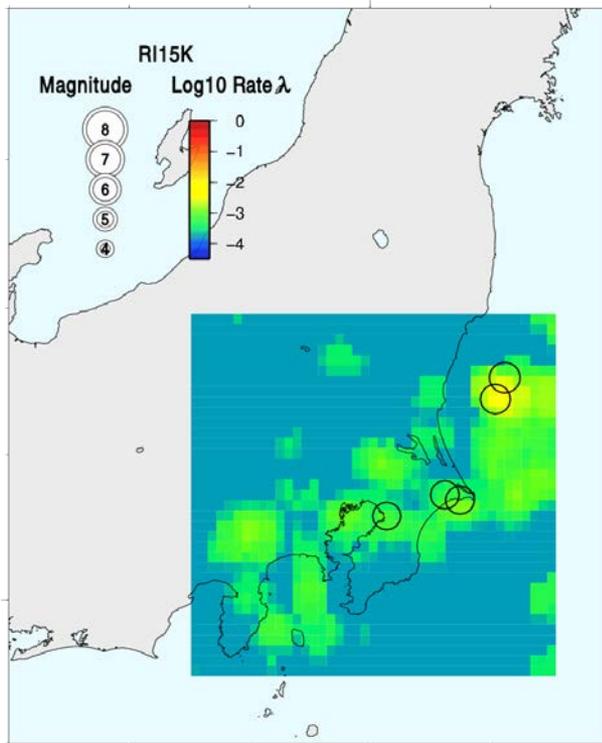
- 2011年東北地方太平洋沖地震後の予測について、事前予測実験を1回、事後予測実験を4回行った。
- 3D-RIモデルにおいて、学習期間を2012年から予測日前日とし、平滑化半径を7.5kmとするとき、2015年2月以降の地震予測の成績が良いことが示された。
- | |
|------|
| 空間予測 |
|------|

 情報利得 0 - 4
- | |
|------|
| 総合予測 |
|------|

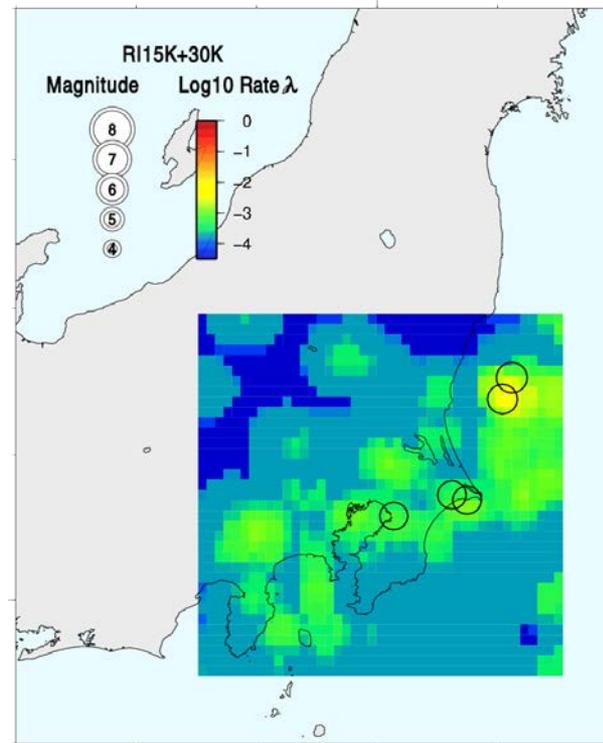
 情報利得 0 - 4

3D-RIモデルの高度化

通常モデル(3D-RI15k)
IG=1.559



ハイブリッドモデル(3D-RI15k+ 3D-RI30k)
IG=1.615



30kmモデルの期待値が最小となっている領域かつ期待値マップ作成時において学習データが平滑化半径以内になかったセルの期待値をそのまま15kmのモデルに置き換えることにより、単独の15kmのモデルよりもさらに情報利得値を高めることができた。

課題2)

大地震を予測するモデル

M6.0以上の地震を予測対象とする。

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**による予測実験を行った。

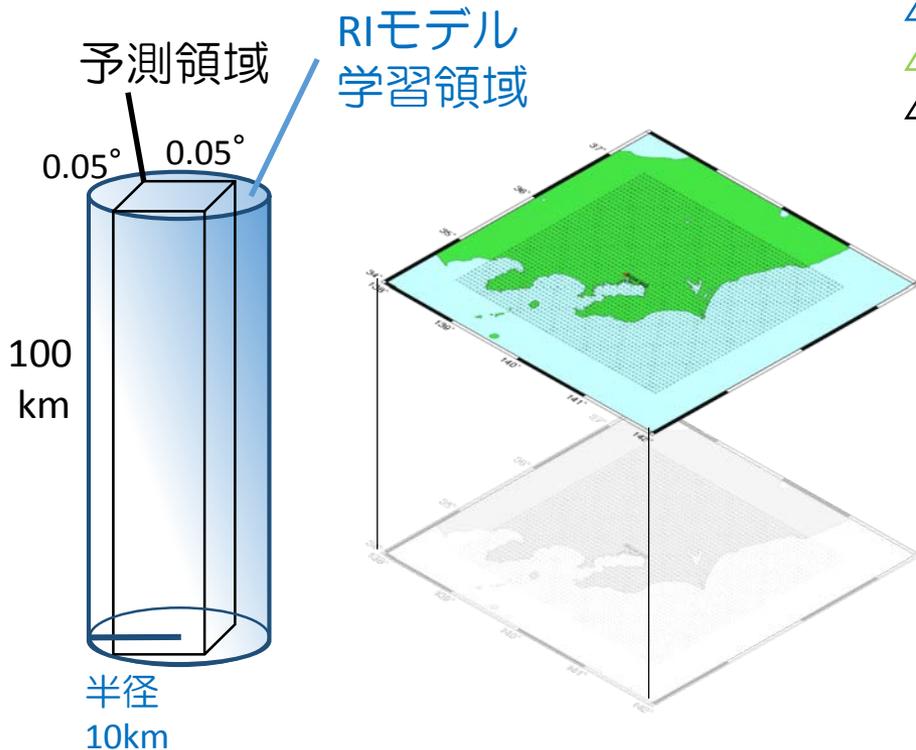
学習データを多く確保するため、JMAカタログ(1923-2014)だけでなく課題1cにより修正された宇津カタログ(1885-1922)も取り入れた。

年代を考慮した下限マグニチュードを学習データとして使用すると、M6以上のみを使用する時に比べて安定した情報利得値が得られていること、平滑化半径が小さくなるごとに情報利得値が高くなることが分かった。

3次元階層化時空間モデル 3D-ETASモデル

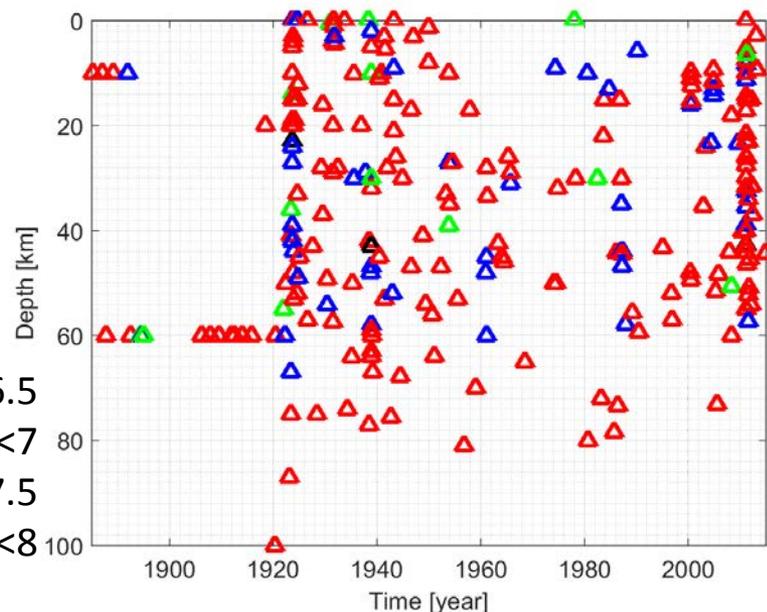
RI model

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。

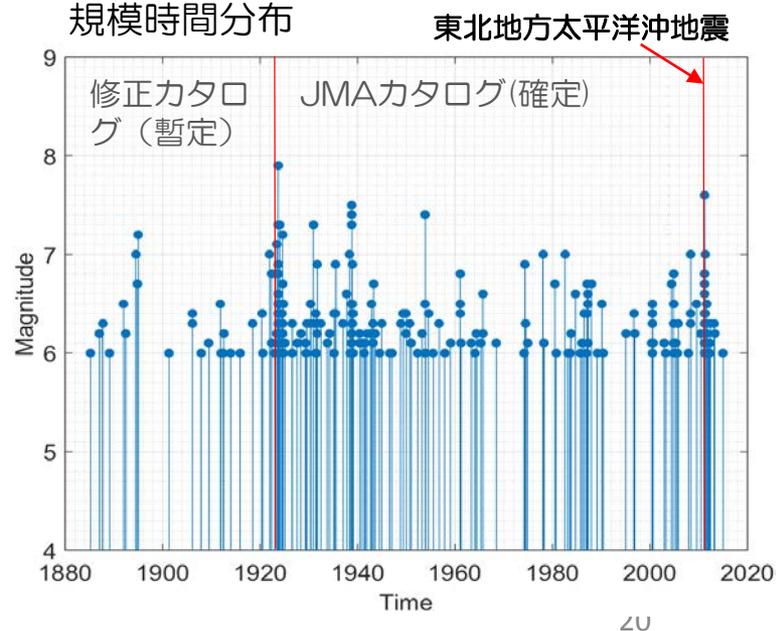


- △ $6 \leq M < 6.5$
- △ $6.5 \leq M < 7$
- △ $7 \leq M < 7.5$
- △ $7.5 \leq M < 8$

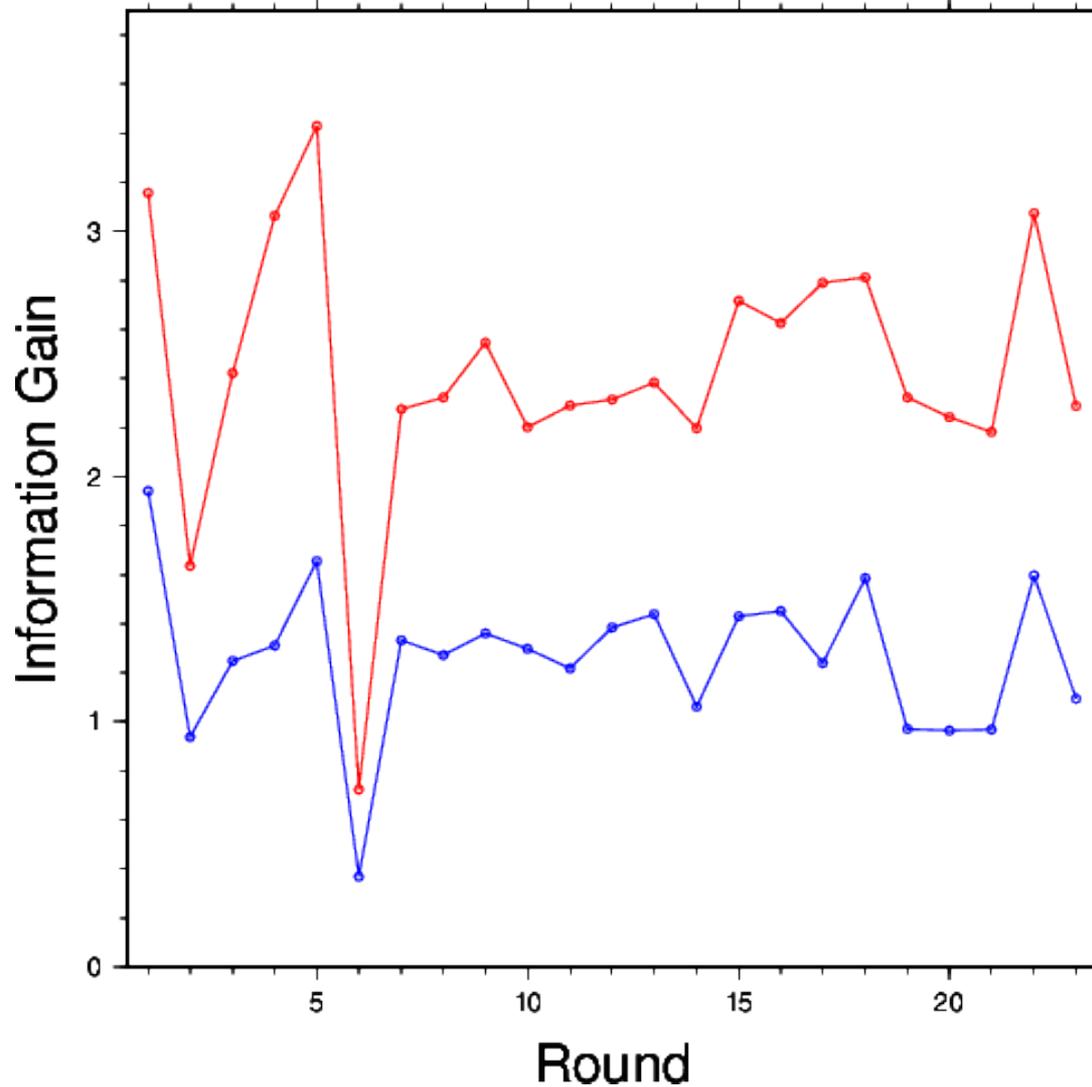
深さ時間分布



規模時間分布



3D-2D RI10K M2.5 1998-



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の確立」として、RIモデルが近年の首都圏の中小地震と大地震を予測するためのパラメータ探索を行った。特に、中小地震については緯度・経度に深さを追加した三次元領域で予測できるようになった。

		中小地震	大地震
モデル名		3D-RIモデル	RIモデル
予測条件	規模	M4.0	M6.0
	領域	三次元	二次元
	期間	短期 (3ヶ月,1年)	長期 (10年)

○平滑化半径としては, 7.5km

○情報利得は2-3

○3D-RIモデルと3D-ETASモデルでの地震発生期待値が大きい場所は同じ