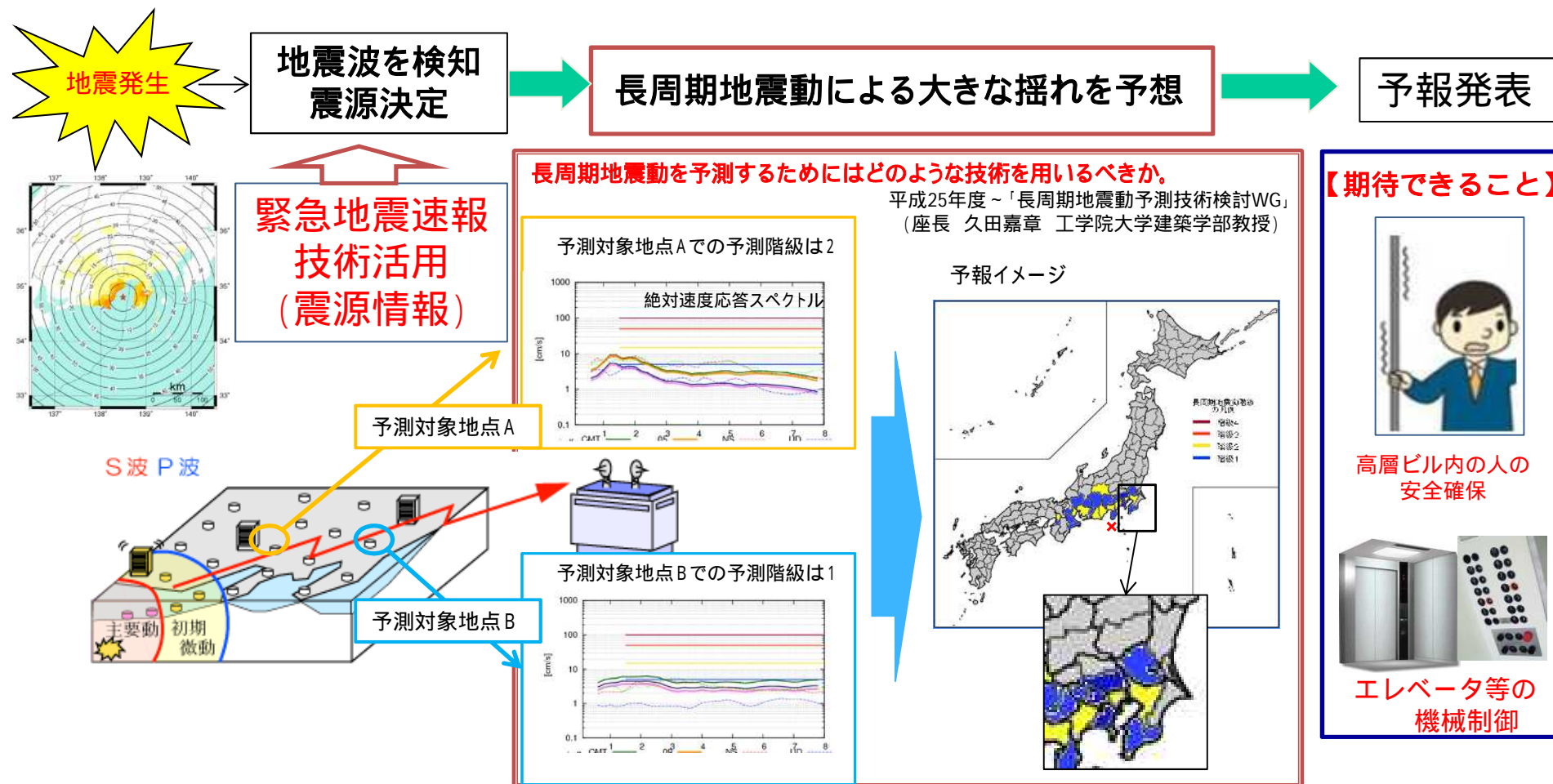


長周期地震動予測技術検討 ワーキンググループからの報告

長周期地震動予報に関するこれまでの検討

長周期地震動予報

高層ビル内で今後大きな揺れが予想される旨を即時的にお知らせする情報

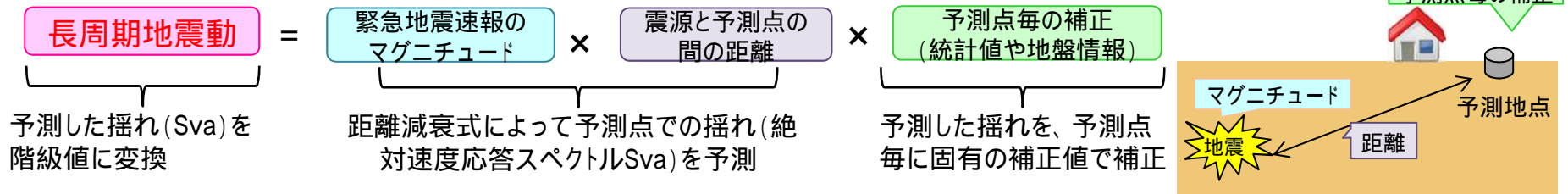


長周期地震動の予測手法について

どのように長周期地震動を予測するか？

緊急地震速報で推定したマグニチュードと、震源位置と予測対象地点間の距離から、距離減衰式 や予測地点毎の補正値を用いて、長周期地震動階級を予測する。

距離減衰式 地震の揺れの強さと震源からの距離との関係を統計値から式に表したもの



気象庁が用いる予測式について

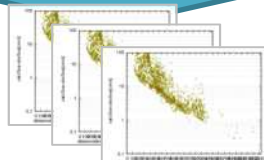
(独)防災科学技術研究所によるSva距離減衰式を使用

$$\log_{10} Sv_a(T) = c(T) + a(T)M_j - \log_{10} R + \text{siteFactor}(T)$$

絶対速度応答値 = 定数c + 係数a × マグニチュード - 震源距離 + 予測地点毎の補正量

(T)は周期毎であることを示す

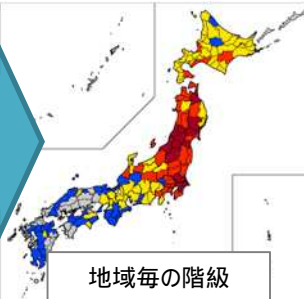
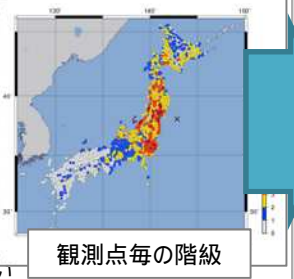
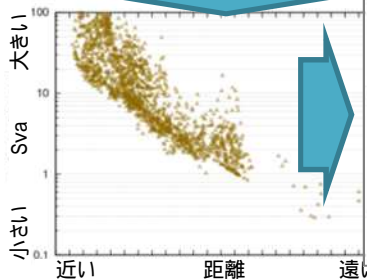
緊急地震速報の震源を用いて計算



周期毎に計算 (1.6~7.8秒 0.2秒毎)

全周期での最大値

最大値の系統的なずれを補正



階級の閾値

- 階級1 $5\text{cm/s} \leq Sva < 15\text{cm/s}$
- 階級2 $15\text{cm/s} \leq Sva < 50\text{cm/s}$
- 階級3 $50\text{cm/s} \leq Sva < 100\text{cm/s}$
- 階級4 $100\text{cm/s} \leq Sva$

補正値は以下のどちらかを使用

観測記録による補正値

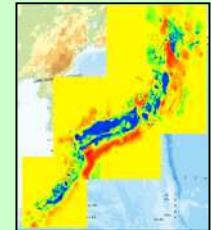
- 各観測点の実際の観測値から統計的に得られた補正値。

深部地盤構造による補正値

- J-SHIS深部地盤構造モデルのS波速度1.4km/s上面深さから算出する補正値。

(がない場合は を使用する) (http://www.j-shis.bosai.go.jp/)

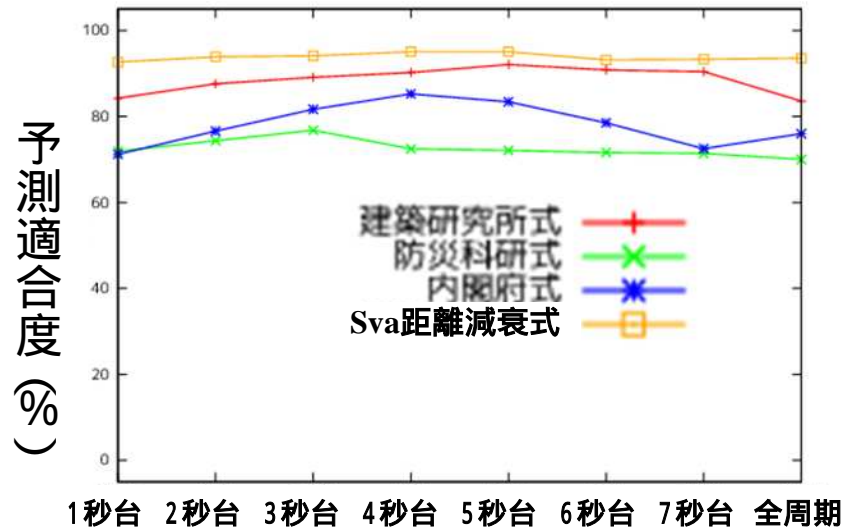
深部地盤構造モデル S波速度1.4km/s上面深さ



J-SHISのページより

距離減衰式を用いた予測の適合度について

各種応答スペクトルの距離減衰式を用いた予測結果

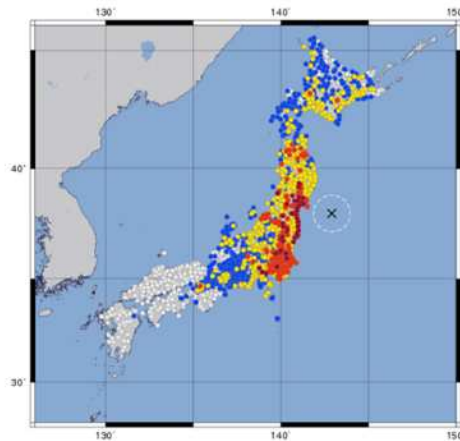


1秒台 2秒台 3秒台 4秒台 5秒台 6秒台 7秒台 全周期

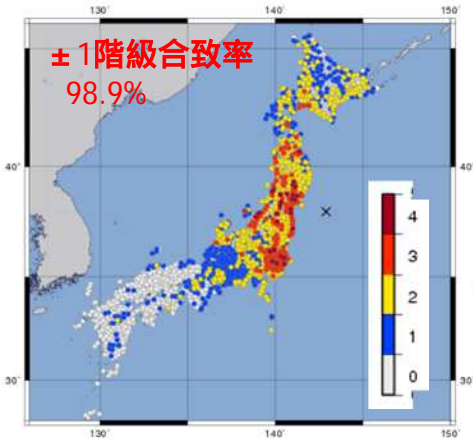
「全周期」とは、1.6-7.8秒の周期ごとの最大値である長周期地震動階級

平成23年東北地方太平洋沖地震の事例

観測値 (長周期地震動階級)



Sva距離減衰式による予測値

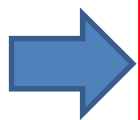


第4回長周期地震動予測技術検討WG資料より抜粋

Sva距離減衰式は、観測と予測の階級差が ±1以内になる割合が8~9割程度と高い

東北地方太平洋沖地震の事例

- ・Mj8.4の場合の計算では、**高い予測適合度**を示した。
- ・ただし、**Mjの推定の正確さが予測結果に影響**を与えることもわかった
- ・**巨大地震**に対する長周期地震動の予測技術については、**今後も検討を進める必要**



気象庁が行う長周期地震動の予想に関しては、Sva距離減衰式を用いた手法を当面の予想手法と位置付け

留意事項

今回の比較調査は、気象庁による長周期地震動階級の予測のための、緊急地震速報の段階で得られる震源(破壊開始点)やMjのみを利用した評価であり、防災科学技術研究所により開発されたSva距離減衰式を除いて、MwをMjから簡易的に推定している点、矩形断層ではなく球震源を利用している点、対象とする震源距離を超えて利用している点、疑似絶対速度応答(pSva)や相対速度応答(Svr)を絶対速度応答(Sva)と同一とみなしている点など、各式の作成者が想定する範囲外の利用をしており、その距離減衰式の一般的な評価をしているわけではないことに留意する必要がある。

長周期地震動予測技術検討WGの検討状況の概要

長周期地震動予測技術検討ワーキンググループ(WG)では、長周期地震動階級の予測での適合度の高さから、気象庁マグニチュード(Mj)を用いた絶対速度応答スペクトルの距離減衰式(Sva距離減衰式 と呼ぶ)を利用した予想手法を当面利用する手法に位置付け、さらに詳細な検討を進めている。

前回検討会において防災科研式 と報告した予測式。

第5回WG(平成27年2月20日)では、平成28年度末を予定している予報の発表開始までに検討すべき技術的課題として、以下の5点について検討し、その方向性を確認した。

到達時刻を予想する技術について

長周期地震動予測のための緊急地震速報震源の精度判定の基準について(予報の発表タイミングの検討)

距離減衰式の作成に利用していない深い地震の予測について

2種類ある観測点補正手法の利用方針について

予報区の区域分け(東京23区など)について

なお、「長周期地震動による揺れの継続時間」については、定量的な表現(段階的なものも含む)は建物の構造に依存するため、気象庁から一般に提供するのには適当ではないとされた。

到達時刻を予想する技術について

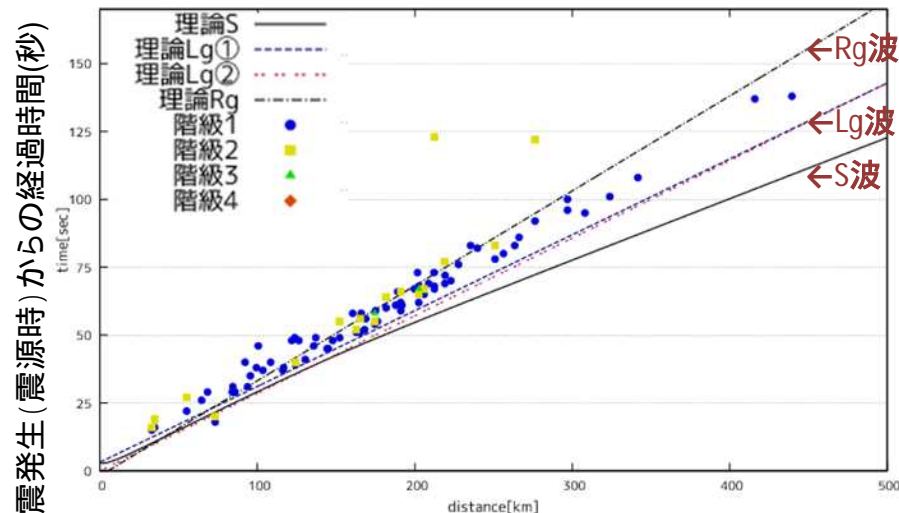
【第5回WGでの検討内容と議論の結果】

- ・前回の本検討会での議論を踏まえ、長周期地震動の到達時刻は大きく揺れ始める時刻として、到達時刻を予測する技術について検討した。
- ・過去の地震について調査した結果、大きく揺れ始める時刻(長周期地震動階級1に初めて達する時刻)は、内陸地震ではS波の到達直後ではなく、ほとんどが後続波(Lg波)の到達以降であった。
- ・一方、海域の地震や深い地震では、S波の到達直後に大きく揺れ始める例があった。
- ・内陸地震の場合でも、地震の規模が大きくなれば、S波の到達時刻付近で大きく揺れ始める場合も考えられる。
- ・以上を踏まえ、「到達時刻はS波として予測する」という方針が適当であるという意見が多かった。
- ・大きく揺れ始める時刻の予測は技術的に難しく、S波は緊急地震速報で伝えられる到達時刻と同様である点を踏まえ、「到達時刻の予想を行う必要がない」という意見もあった。
- ・震源域から離れた平野部などでは、時間が経ってから大きく揺れ始める場合があるので、到達予想時刻で揺れ始めなくても警戒行動をやめないようなメッセージを出す必要があるとの意見もあった。

ここでのS波やLg波等は理論的に計算される到達時刻のことを指す。

【各長周期地震動階級に初めて到達する時刻の過去事例】

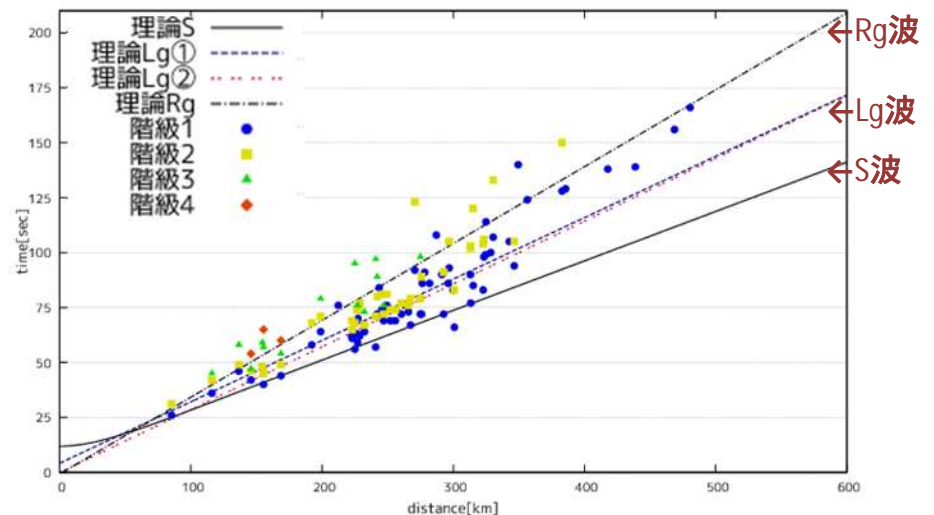
2000年10月06日 13:30 鳥取県西部地震(Mj7.3, d=9km)



震央と観測点との距離(km)

気象庁観測点のみ利用。各点は、各観測点において、それぞれの長周期地震動階級に初めて達する時刻と震源からの距離の対応を表す。

2003年09月26日 04:50 十勝沖地震(Mj8.0, d=45km)



震央と観測点との距離(km)

長周期地震動予測のための緊急地震速報震源の精度判定の基準について

【第5回WGでの検討内容と議論の結果】

- ・長周期地震動予測の精度は、震源・マグニチュードの精度に大きく依存する。長周期地震動の予報の発表タイミングの検討のため、緊急地震速報の震源・マグニチュードが、どの段階で長周期地震動の予報にとって十分な精度となっているか検討をおこなった。
- ・時間とともに改善されていく緊急地震速報処理によって決定された震源を用いて、2通りの条件で長周期地震動予測の精度が一定以上高くなる震源の判定基準を調査したところ以下の結果となった。

[条件A: 緊急地震速報のマグニチュード計算に利用する観測点の数]

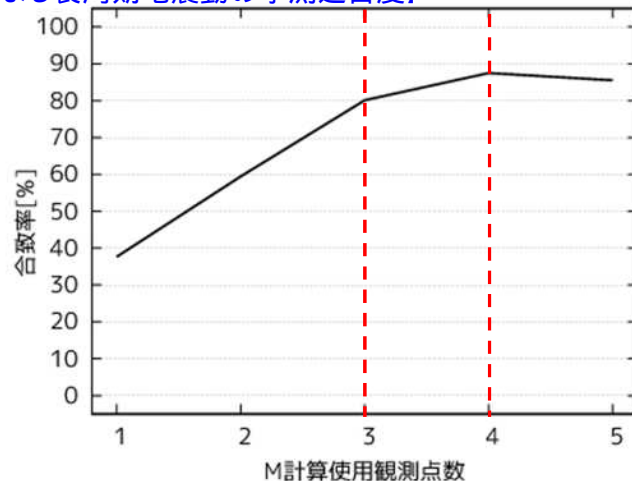
3点以上で約8割、4点以上で9割弱の予測適合度

[条件B: 地震検知からの経過時間]

15秒経過時点で8割強の予測適合度

- ・以上を踏まえ、**条件Aか条件Bのどちらかの条件を満たした場合に、緊急地震速報の震源の精度が高くなったと判断**することが適当とされた。

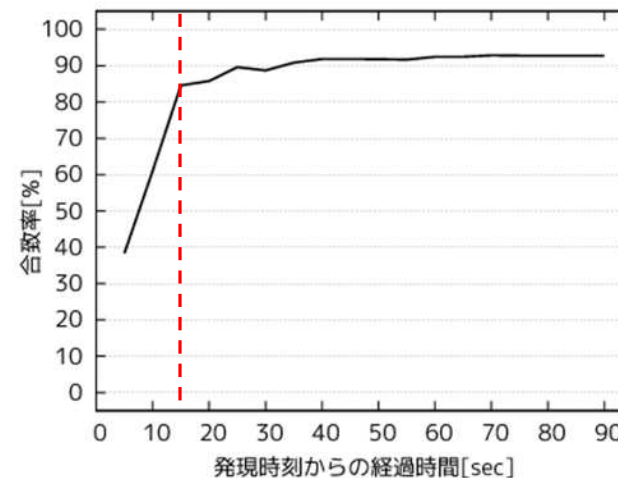
【条件A: 緊急地震速報のマグニチュード計算に利用する観測点数による長周期地震動の予測適合度】



計算方法: 初めて該当のM利用観測点数になる緊急地震速報で予測適合度を計算

気象庁観測点のみ利用。緊急地震速報(警報)を発表した地震を用いている(2008年~2013年、M5.5以上)。

【条件B: 地震検知からの経過時刻による長周期地震動の予測適合度】



計算方法: 5秒刻みで、その時刻までに発表された最新の緊急地震速報で予測適合度を計算

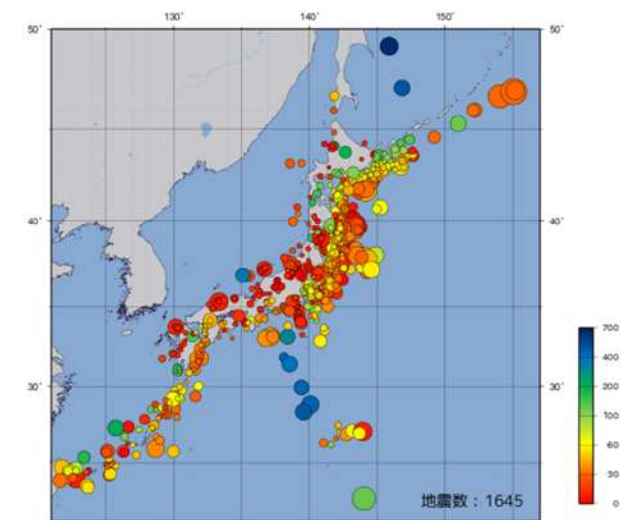
距離減衰式の作成に利用していない深い地震の予測について

【第5回WGでの検討内容と議論の結果】

- ・Sva距離減衰式は、深さ50km以浅の地震の観測データを基に作成されていることから、どの程度の深さの地震にまで適用可能か検討を行った。
- ・過去の観測データについて、150km以深の地震の長周期地震動階級を調査したところ、人の行動に支障をきたす可能性のある長周期地震動階級2以上を観測する事例はなかった。
- ・同データについて、距離減衰式を用いた予測値との比較を行ったところ、50km以深で予測適合度の低下が見られ、深さ100～150kmでの予測適合度は約6割であった。
- ・以上を踏まえ、長周期地震動の予報については、深さ150kmまでの地震を対象とすることが適当とされた。

【過去の観測データによる深さごとの予測適合度(%)と各階級を観測した最小のマグニチュード】

深さ(km)	地震数	±1階級 合致率	完全階級 合致率	以下の階級を観測した最小のM			
				階級1	階級2	階級3	階級4
0 - 10	231	98.7	47.3	4.7	5.1	7.0	7.0
10 - 20	315	92.8	42.2	4.8	5.3	5.7	6.4
20 - 30	138	100.0	36.0	5.5	5.8	-	-
30 - 40	206	100.0	44.3	5.3	6.0	7.1	-
40 - 50	300	97.1	47.2	5.2	6.1	7.2	8.0
50 - 75	333	86.5	35.6	5.3	6.0	7.1	7.1
75 - 100	66	-	20.0	5.9	-	-	-
100 - 150	34	61.9	24.8	6.0	6.4	6.8	-
150 - 200	9	-	-	-	-	-	-
200 - 250	2	-	-	-	-	-	-
250 - 300	0	-	-	-	-	-	-
300 - 400	4	-	0.0	6.8	-	-	-
400 - 500	5	-	-	-	-	-	-
500 - 600	0	-	-	-	-	-	-
600 - 700	2	-	0.0	8.3	-	-	-



調査に用いた地震の分布図

- ・強震観測報告(1996年～2013年)に掲載されているM4.5以上地震イベントを使用(深さの制限なし)。観測点は気象庁震度観測点を使用。

2種類ある観測点補正手法の利用方針について

【第5回WGでの検討内容と議論の結果】

- ・長周期地震動の予報に必要な、観測点補正係数は、「観測記録から統計的に得られる補正係数」と、「深部地盤構造モデルから得られる補正係数」の二通りがあるため、両者の精度差について検証を行い、補正係数の使用方針の検討を行った。
- ・過去の観測データについて、観測記録による補正係数を用いた場合と深部地盤構造による補正係数を用いた場合について、観測記録による補正係数の方が合致率が良いが、深部地盤構造による補正係数についても大きく合致率が劣ることはなかった。なお、深部地盤構造による補正係数については予測がやや過小評価気味の傾向にあった。
- ・以上を踏まえ、観測点補正係数は、観測記録による補正係数が得られている地点については観測記録による補正係数を使用し、深部地盤構造による補正係数が得られていない観測点については深部地盤構造による補正係数を用いる方針が適当とされた。ただし、深部地盤構造による補正係数の観測点についても、観測記録が蓄積された場合には、観測記録による補正係数に順次切り替えることが適当とされた。

観測記録による補正係数

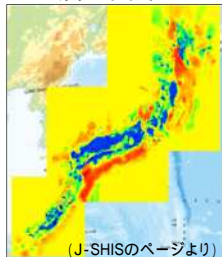
観測値と予測値の差を統計的に処理して得られる補正量。



が得られている気象庁観測点の分布

深部地盤構造による補正係数

得られる補正係数とJ-SHIS深部地盤構造モデルのS波速度1.4km/s層上面深さとの関係から算出した補正量。



深部地盤構造モデル S波速度1.4km/s層上面深さ

【過去の観測データによる補正係数の種類の違いによる予測適合度の比較(%)】

周期	観測記録による補正係数			深部地盤構造による補正係数		
	予測過小	合致	予測過大	予測過小	合致	予測過大
1秒台	4.3	93.6	2.1	18.0	78.1	3.9
2秒台	4.5	91.0	4.5	13.9	83.3	2.8
3秒台	5.6	94.4	0.0	9.7	87.5	2.8
4秒台	1.5	95.5	3.0	7.9	87.3	4.8
5秒台	0.0	91.8	8.2	4.1	91.8	4.1
6秒台	0.0	87.0	13.0	3.1	84.4	12.5
7秒台	0.0	92.3	7.7	0.0	90.5	9.5
全周期	3.5	94.7	1.8	17.0	81.6	1.4

- ・強震観測報告(1996年~2013年)に掲載されているM6.0以上、深さ150km以浅の地震イベントを使用。
- ・合致率の計算には気象庁震度観測点を使用している。
- ・比較のため、「観測記録による補正係数」が得られている観測点のみを用いて合致率の算出を行っている。

予報区の区域分け(東京23区など)について

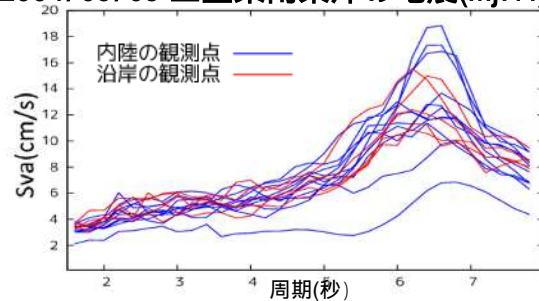
【第5回WGでの検討内容と議論の結果】

- ・東京23区について、沿岸部が内陸部に比べ大きな長周期地震動が観測されるといった研究事例が報告されているため、長周期地震動の観測データを「沿岸」と「内陸」にグループ分けを行い検証することで、現在、長周期地震動予報のための予報区として使用を検討している細分区域(全国188ヶ所)の分割の可能性について調査を行った(細分区域としては「東京23区」で一つの地域単位となる)。
- ・観測事例によれば、「沿岸」の方が応答スペクトルが大きくなる場合もあれば、そうではない場合もあった。これは、地盤増幅や伝播特性の方位依存性等が影響していることが推測される。
- ・以上より、予報区として、東京23区については、「沿岸」と「内陸」などのエリアに区分することは困難であることが確認された。
- ・また、「気象庁から発表する予報は、予報区単位などの大まかな情報、もう少し細分化された予測は事業者が行うという整理もある」という意見があった。

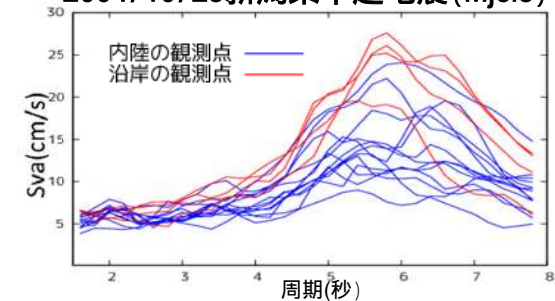


グループ分けを行った東京23区内の観測点
(気象庁及び(独)防災科学技術研究所)

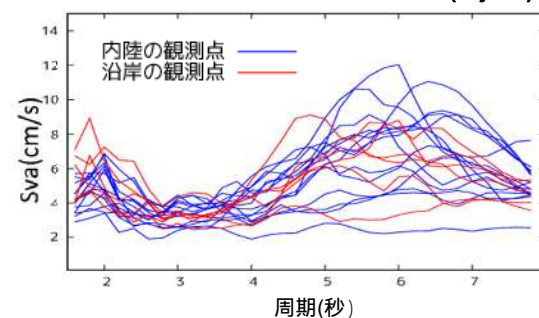
2004/09/05 三重県南東沖の地震(Mj7.4)



2004/10/23新潟県中越地震(Mj6.8)



2008/06/14岩手・宮城内陸地震(Mj7.2)



2011/03/11 東北地方太平洋沖地震(Mw9.0, Mj8.4)

