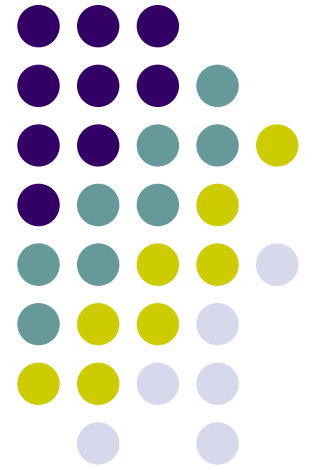


地震動と地震動による 被害の全般的特徴

東京工業大学
京都大学

○盛川 仁
後藤浩之





お見舞いと謝辞

- 被災された方々に心からお見舞い申し上げますと共に一日も早い復興をお祈りする。
- 被災直後であるにもかかわらず、調査の際には多くの方から地震時の様子を聞かせていただいた。感謝にたえない。
- 防災科学技術研究所のK-NET, KiK-netのデータを利用させていただいた。
- 東京工業大学准教授 高橋章浩博士, 京都大学准教授 高橋良和博士, 神戸大学准教授 鋤田泰子博士には調査を共にし、多くの示唆に富む議論をしていただいた。



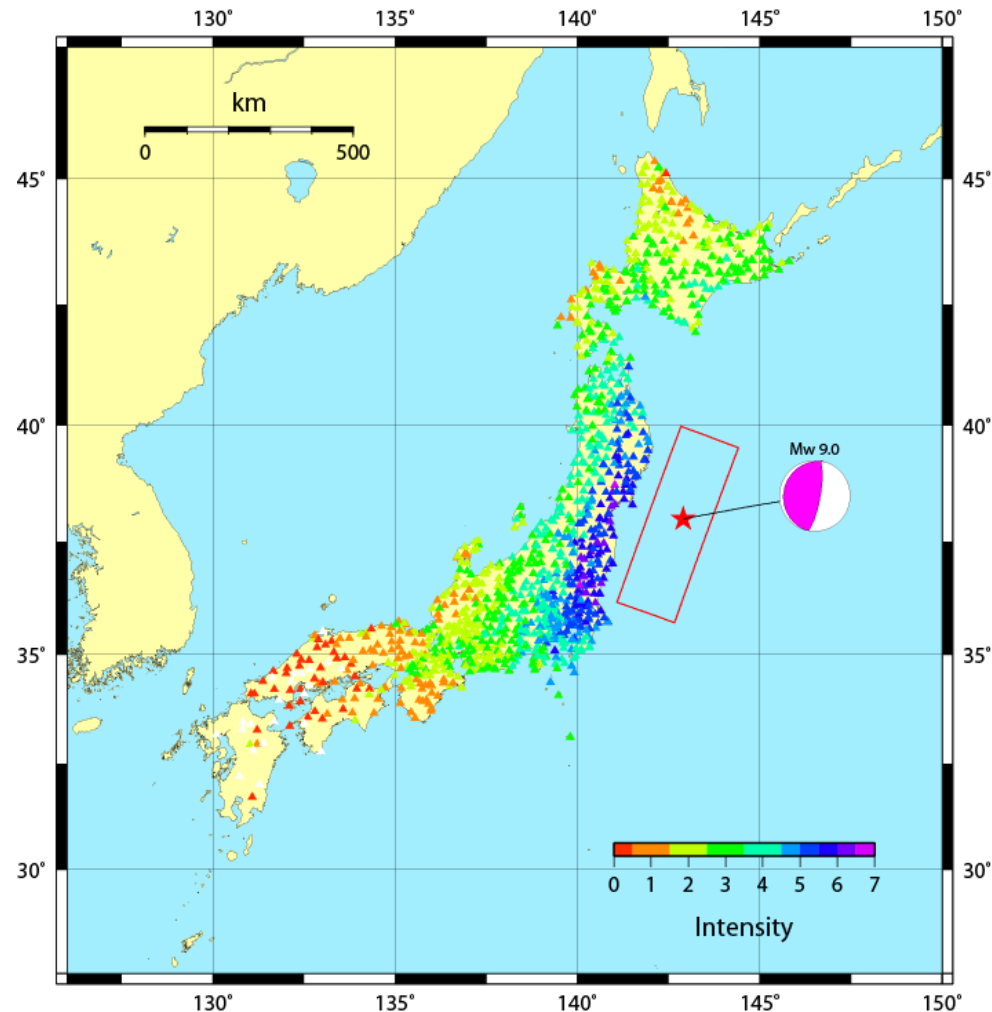
はじめに

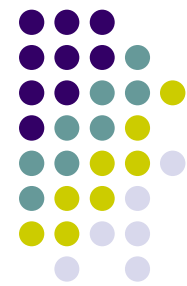
- 地震動の全般的な特徴について
 - 地震動の分布
 - 過去の大地震との比較
 - 設計地震動との関係
- 地震動による被害の例
 - 被害の特徴と地震動の特性

地震について

- 発生日時: 2011年3月11日14時46分ころ
- 震源位置: 牡鹿半島の東南東約130km
- 深さ: 約24km
- マグニチュード: Mw 9.0
- 断層: 逆断層型
 - 走向: 195度
 - 傾斜角: 13度
 - 大きさ:
約500km x 200km
- プレート間地震

断層面は藤井(建研) v.3.1

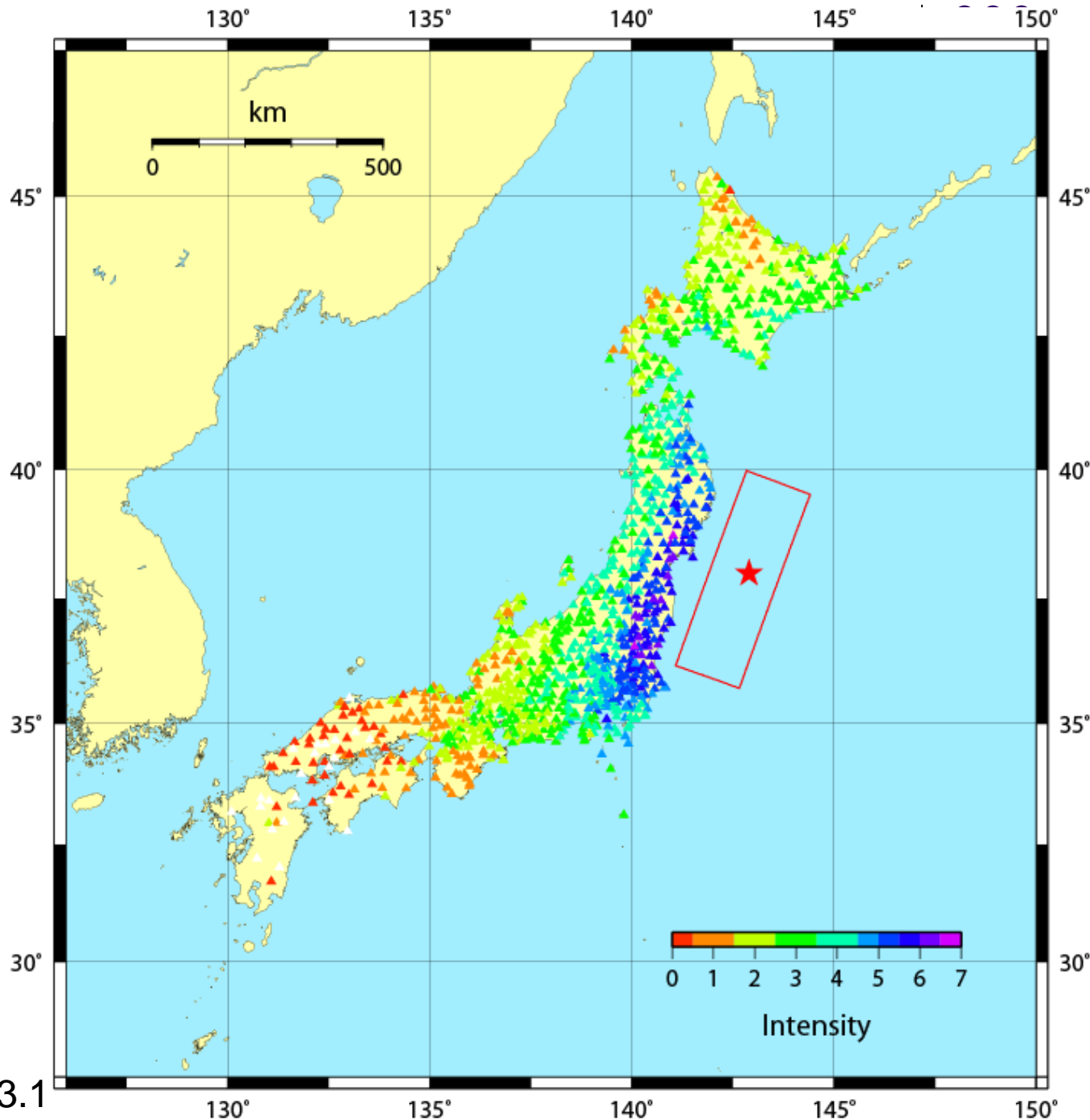




地震動記録

- 防災科学研究所のK-NET, KiK-netだけでも1000ヶ所以上で記録が得られた。
- 他に, 気象庁をはじめとして各機関で多くの記録が得られた。また, 高サンプリングのGPS記録も多数。
- これまでに, このような巨大地震による地震動や地殻変動を稠密に観測した例はない。

震度分布



K-NET, KiK-netの
記録から計算

断層面は藤井(建研) v.3.1

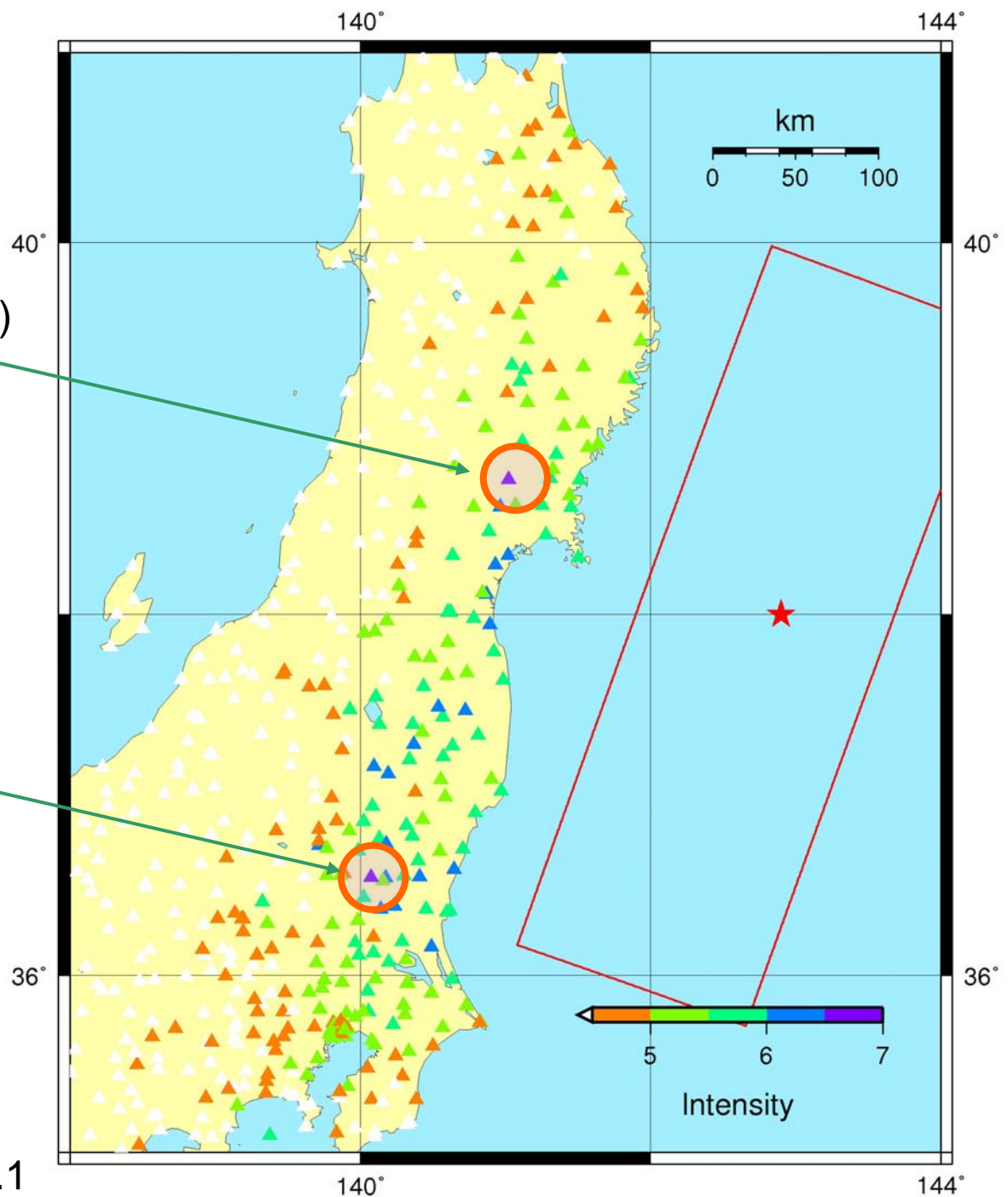
震度分布

K-NET築館(MYG004)

KiK-net芳賀(TCGH16)

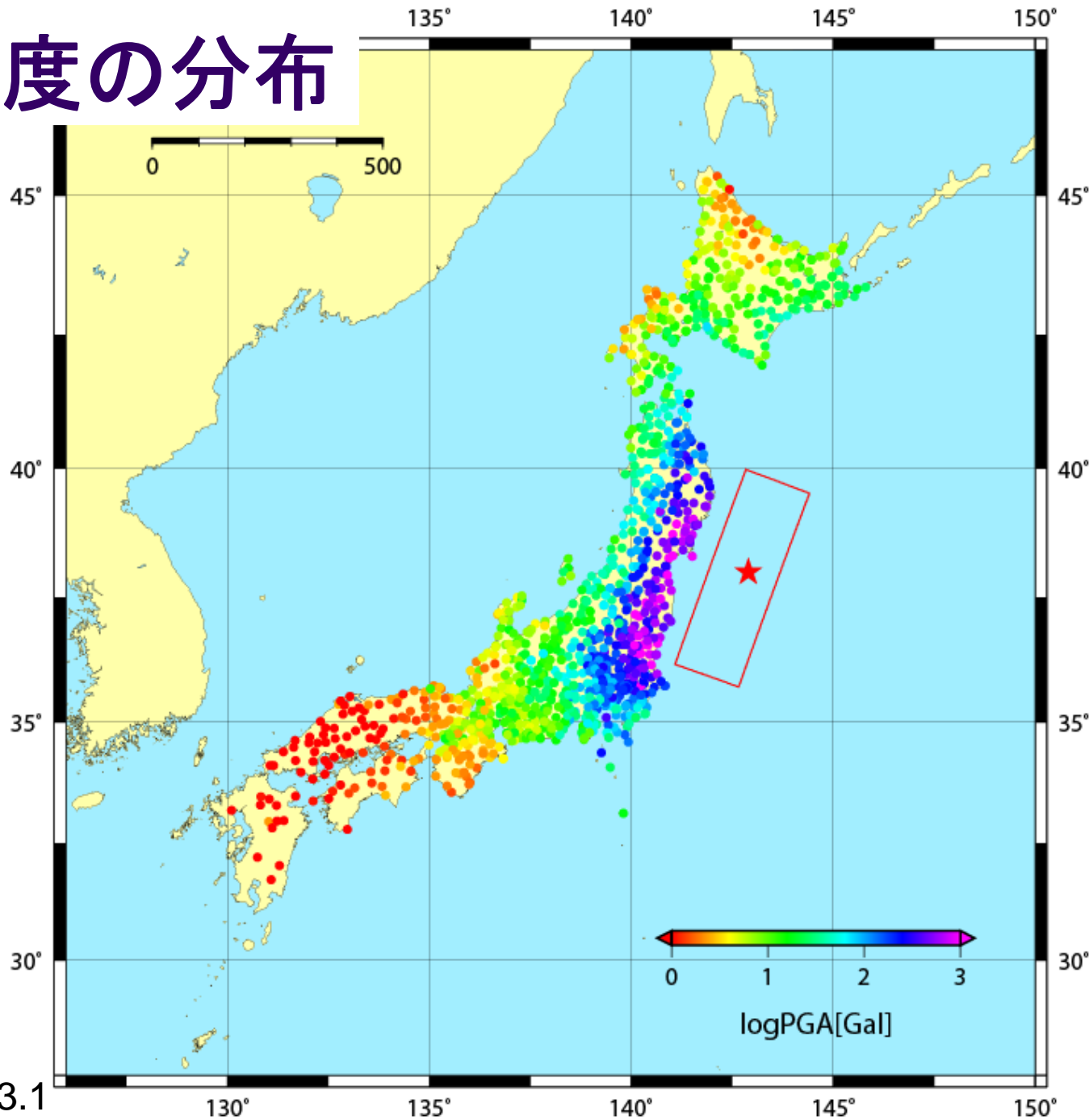
K-NET, KiK-netの
記録から計算

断層面は藤井(建研) v.3.1



最大加速度の分布

3成分合成値



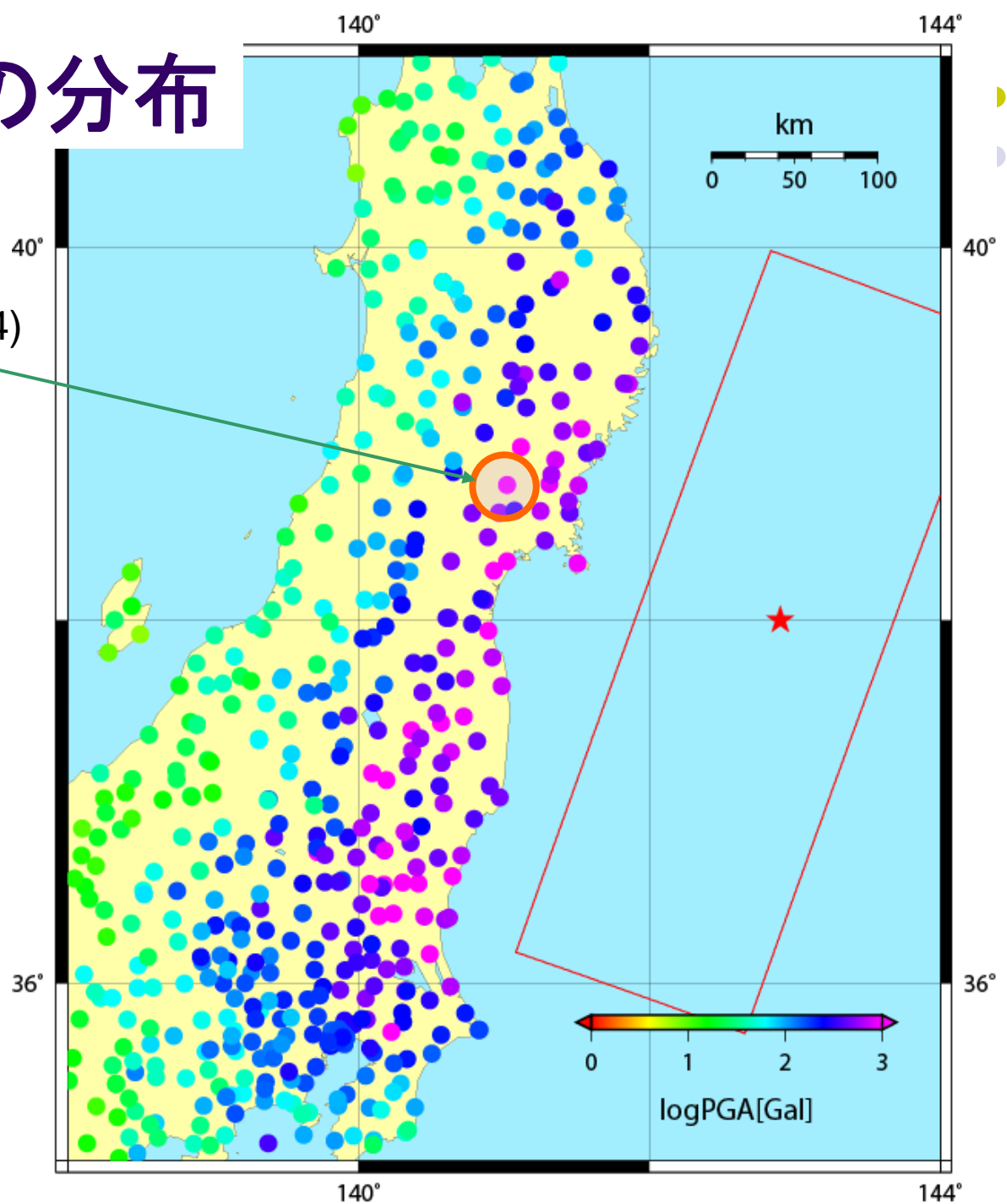
K-NET, KiK-netの記録

断層面は藤井(建研) v.3.1

最大加速度の分布

3成分合成値

K-NET築館(MYG004)
2933 Gal



K-NET, KiK-netの記録

断層面は藤井(建研) v.3.1



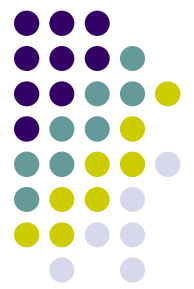
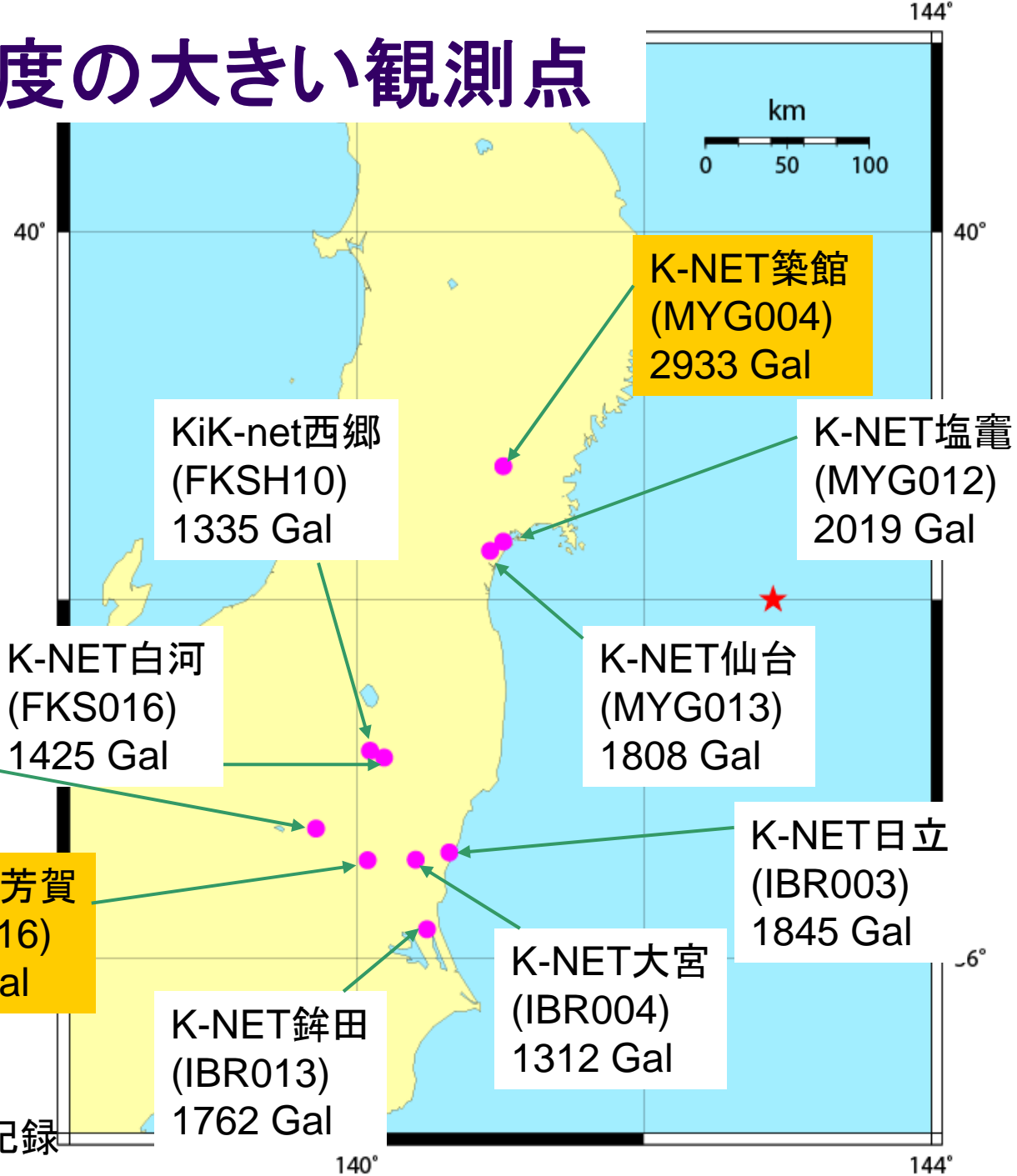
最大加速度の大きい観測点

3成分合成値

	観測点名	最大加速度[Gal]	計測震度
1	K-NET築館(MYG004)	2933	6.6
2	K-NET塩竈(MYG012)	2019	6.0
3	K-NET日立(IBR003)	1845	6.4
4	K-NET仙台(MYG013)	1808	6.3
5	K-NET鉾田(IBR013)	1762	6.4
6	K-NET今市(TCG009)	1444	6.2
7	K-NET白河(FKS016)	1425	6.1
8	KiK-net西郷(FKSH10)	1335	6.0
9	K-NET大宮(IBR004)	1312	6.0
10	KiK-net芳賀(TCGH16)	1305	6.5

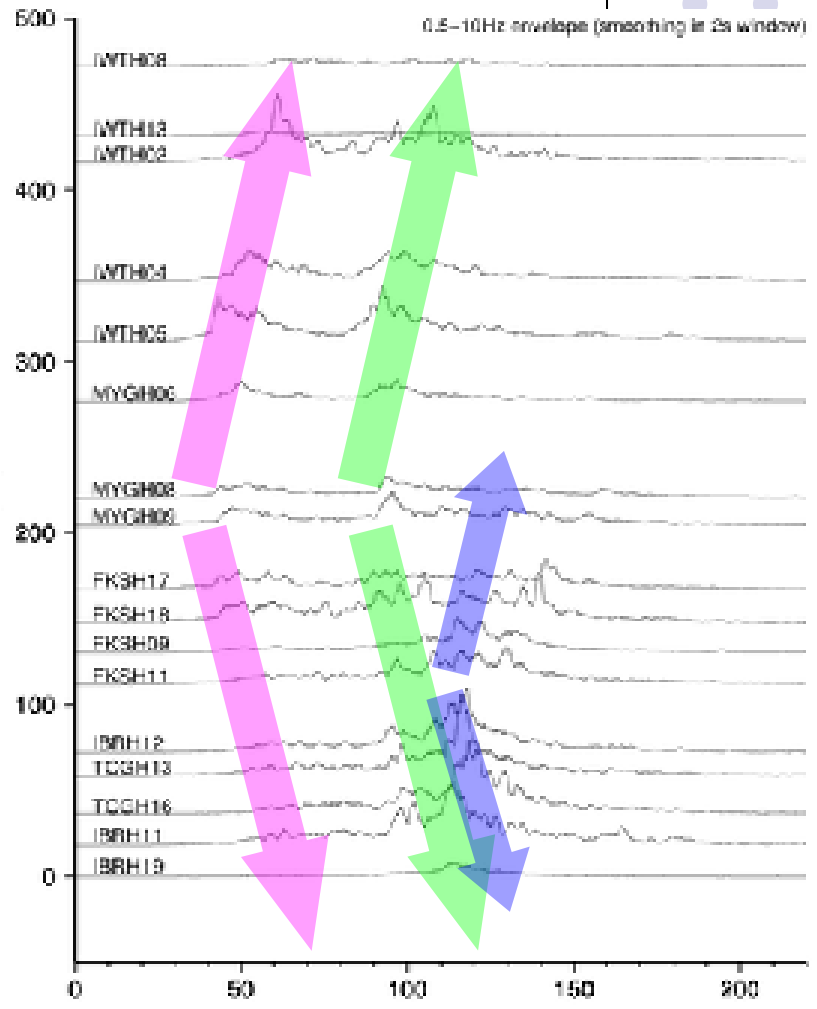
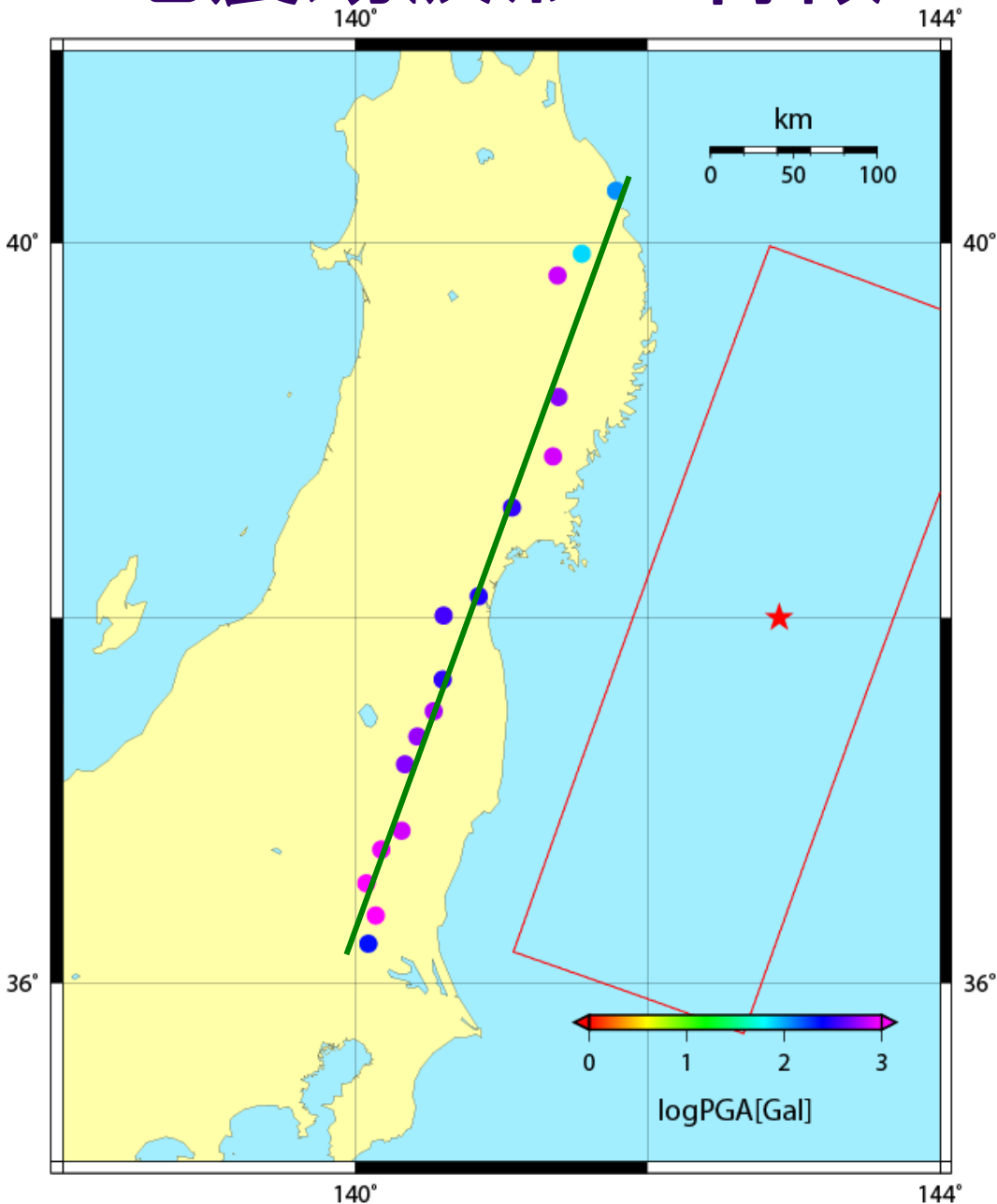
最大加速度の大きい観測点

3成分合成値



K-NET, KiK-netの記録

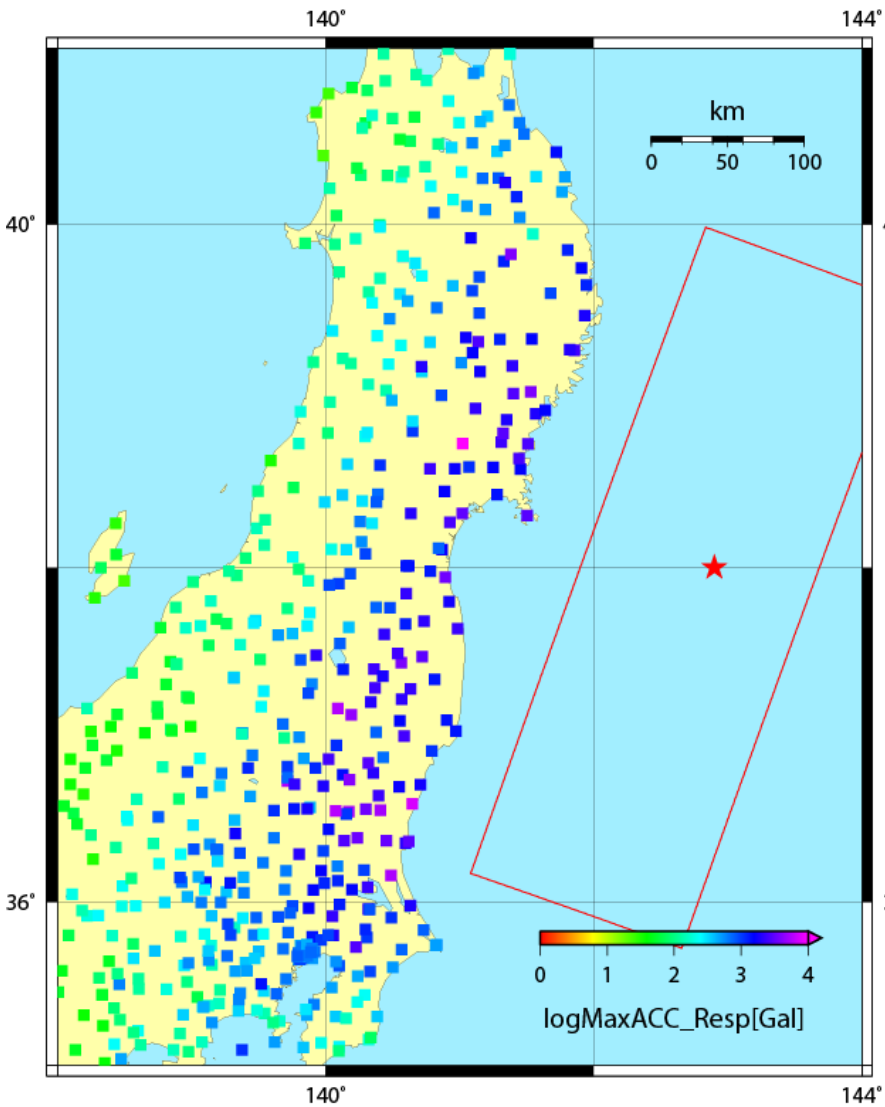
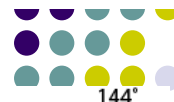
地震動波形の特徴



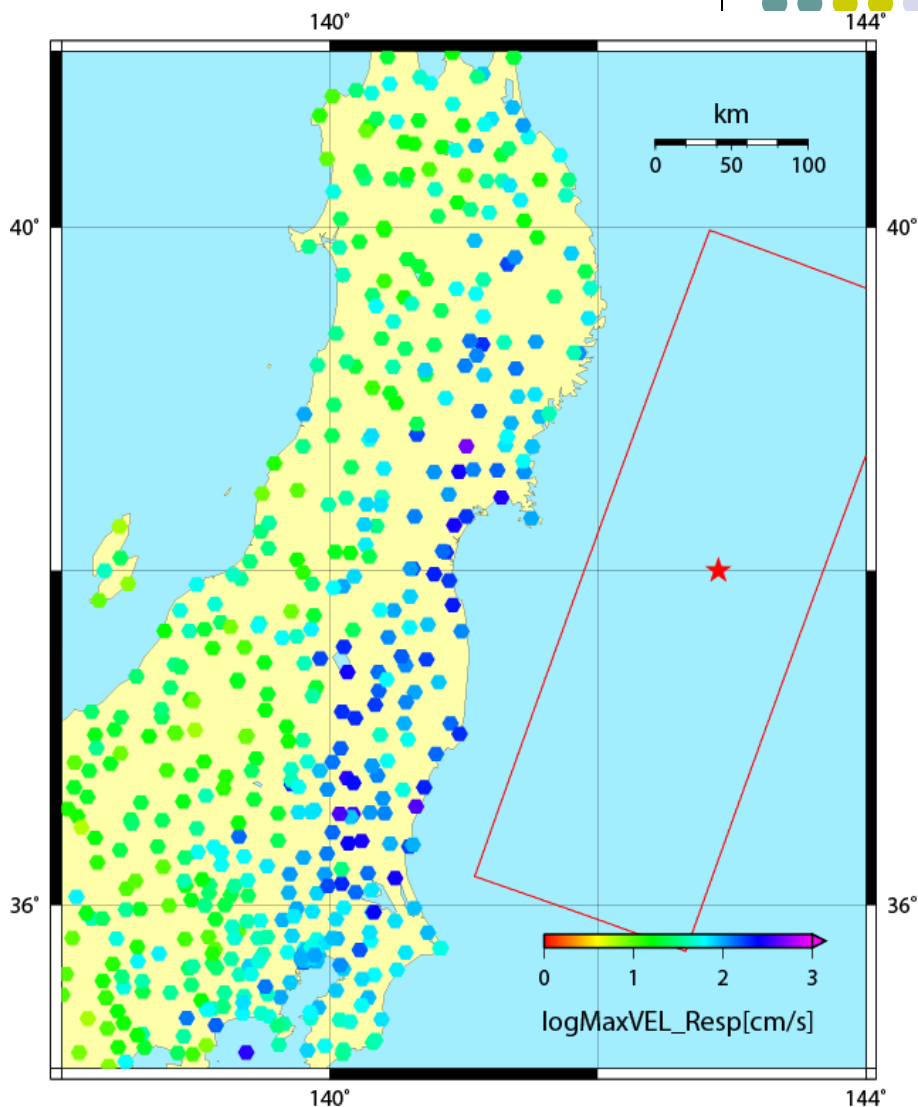
KiK-net(地下)の波形の包絡線
(後藤@京都大)

応答スペクトルの最大値

K-NET, KiK-netの記録

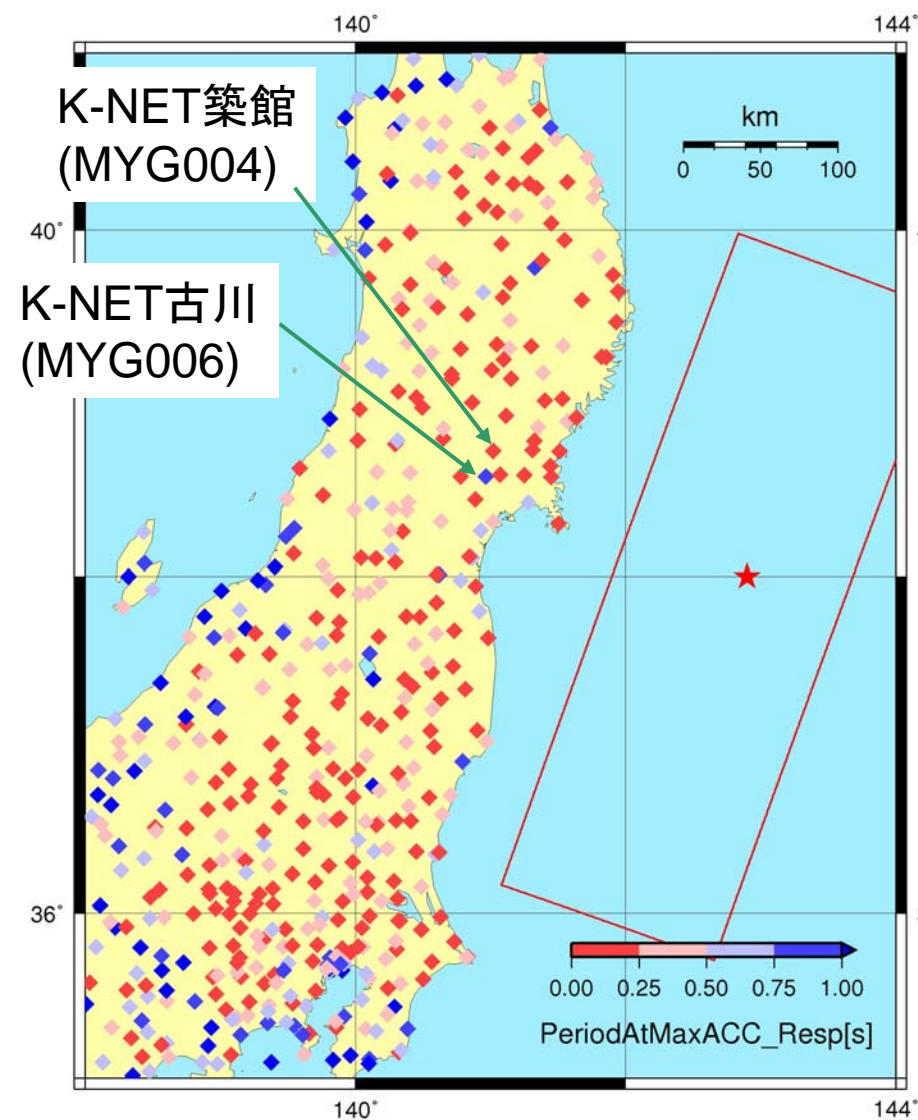


絶対加速度応答スペクトル

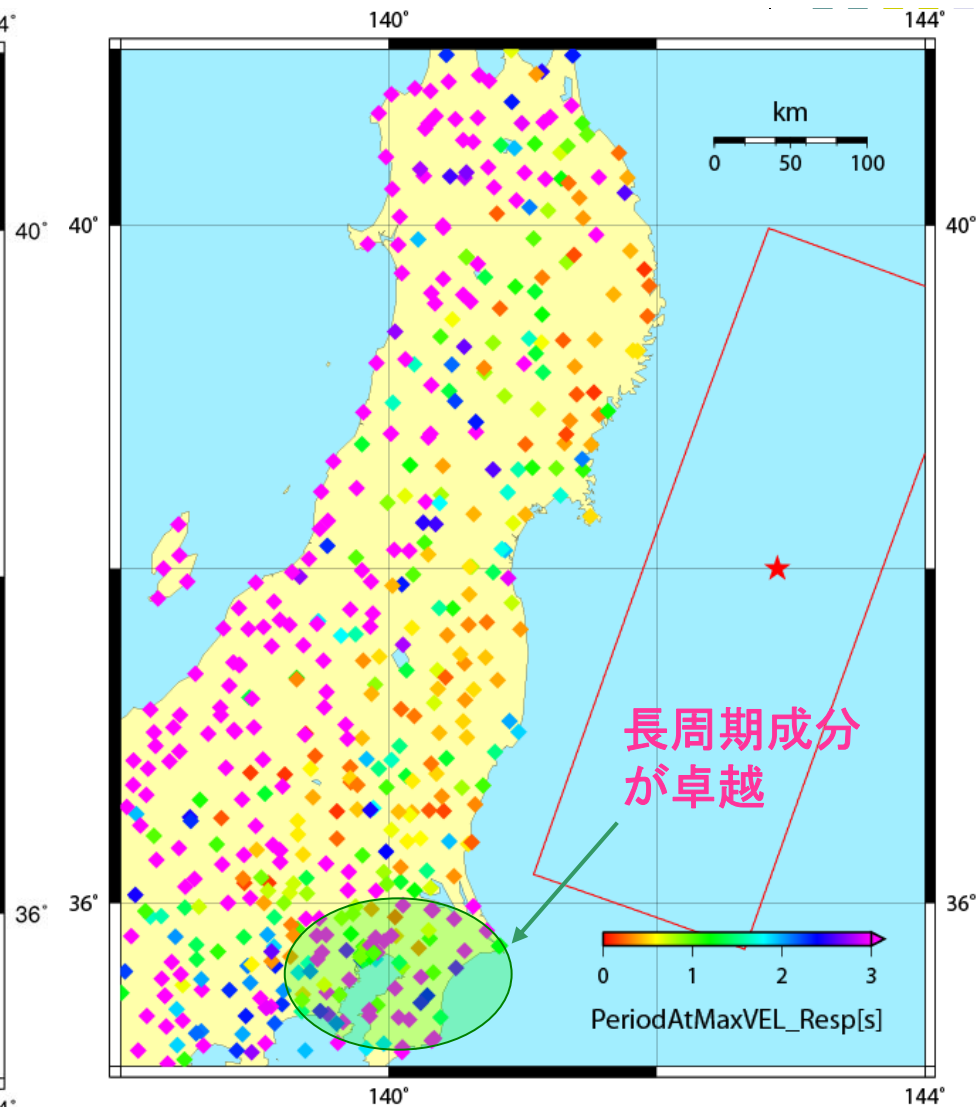


相対速度応答スペクトル

応答スペクトルの最大値を与える周期



絶対加速度応答スペクトル



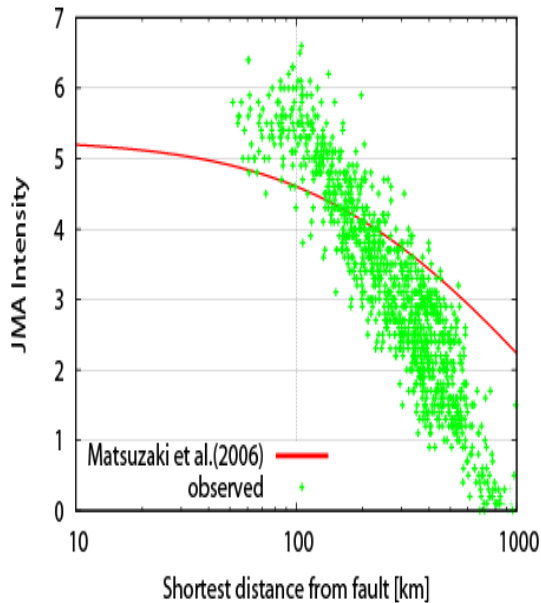
相対速度応答スペクトル

過去の地震記録との比較

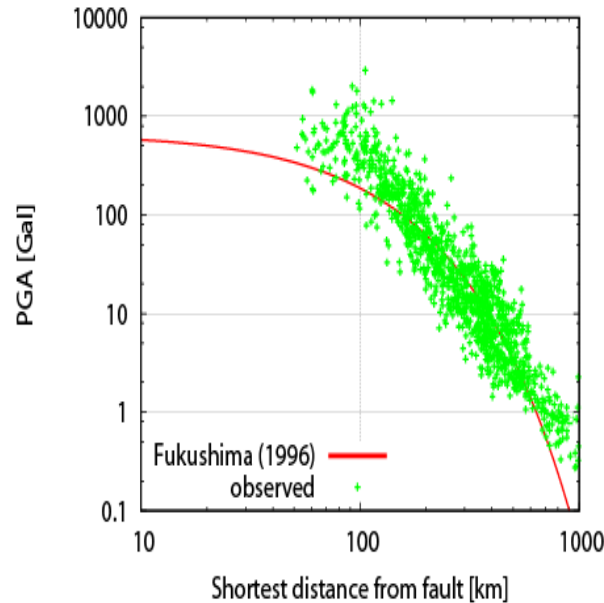


距離減衰式との比較

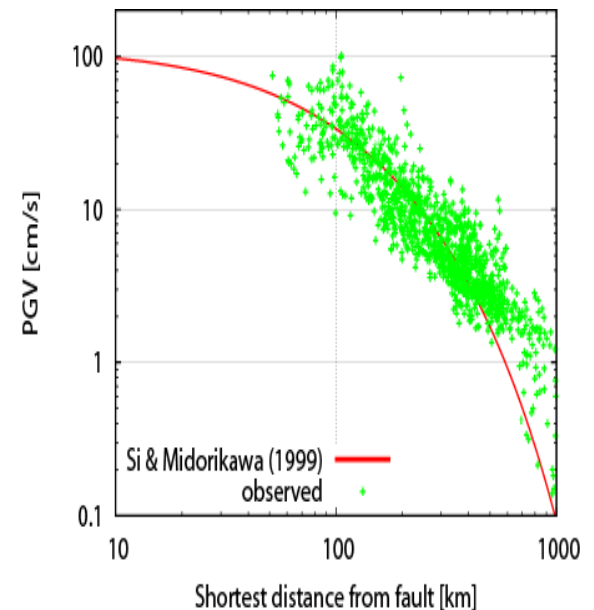
- いずれの式もMw9.0は外挿になるので精度の保証外。
- 断層最短距離は暫定的な計算で現時点での精度は低い。
- 工学的基盤を対象としている式でも地盤条件を考慮せずにプロットしている。
- 以上より、下図はあくまでも参考程度。



震度
松崎ほか(2006)

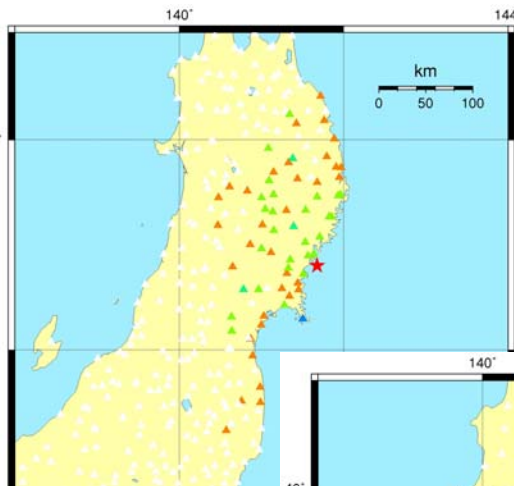


最大加速度
福島(1996)

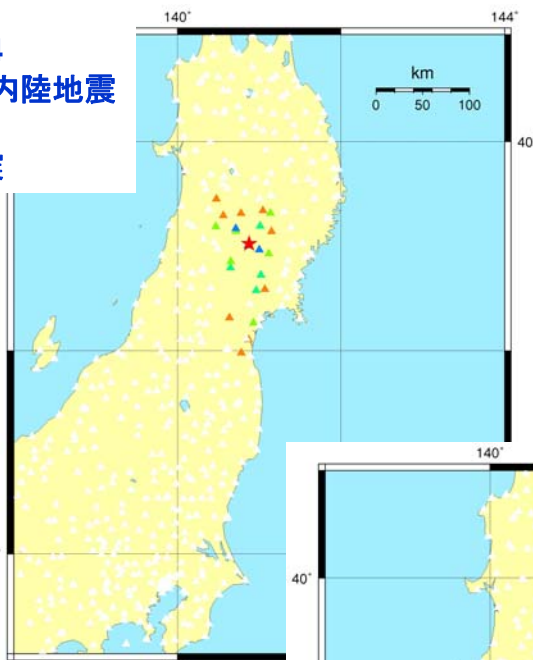


最大速度
司・翠川(1999)

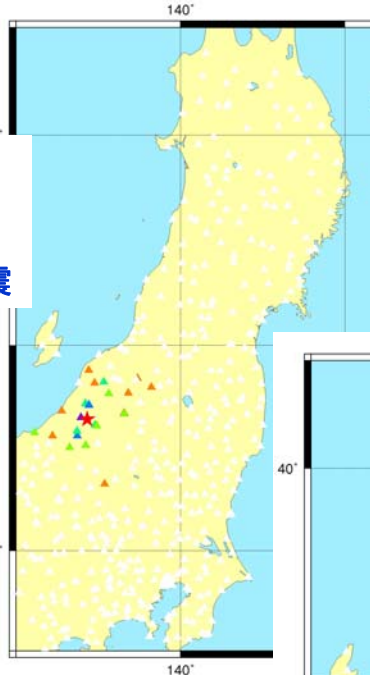
過去の地震記録との比較



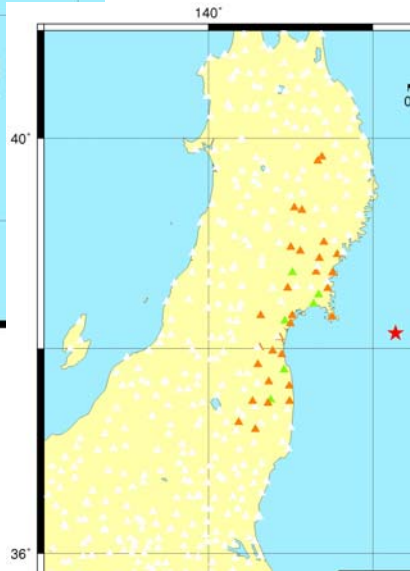
2008/06/14
岩手・宮城内陸地震
M7.2
地殻内地震



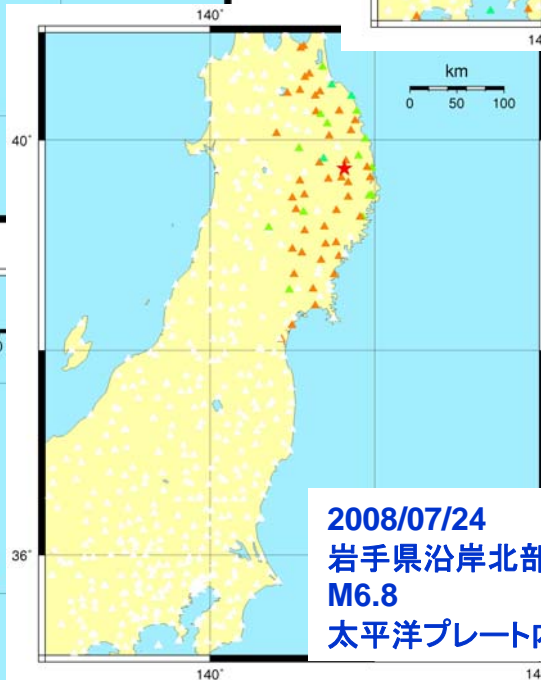
2003/05/26
宮城県沖の地震
M7.0
太平洋プレート内の地震



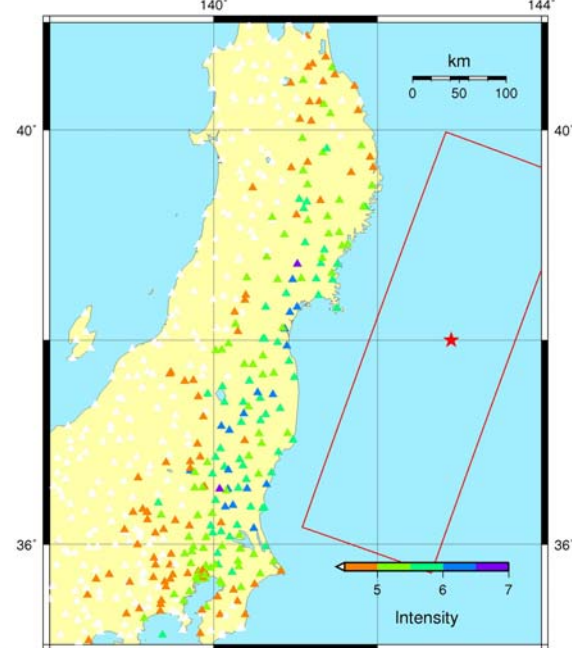
2004/10/23
新潟県中越地震
M6.8
地殻内地震



2005/08/16
宮城県沖の地震
M7.2
プレート境界の地震



2008/07/24
岩手県沿岸北部の地震
M6.8
太平洋プレート内下面での地震



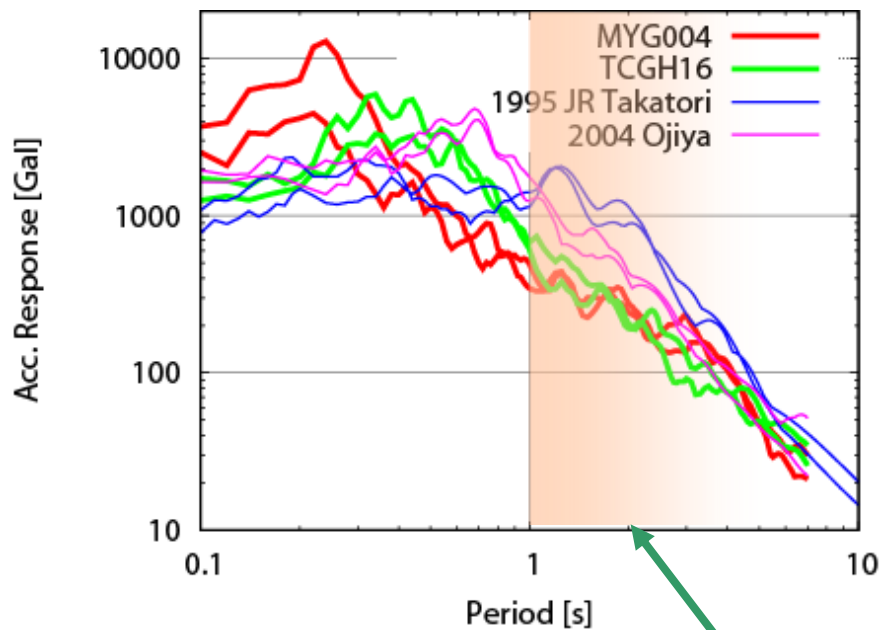
2011/03/11
東北地方太平洋沖地震
M9.0
プレート境界の地震

震度5弱以上の観測点分布
K-NET, KiK-netの記録から計算

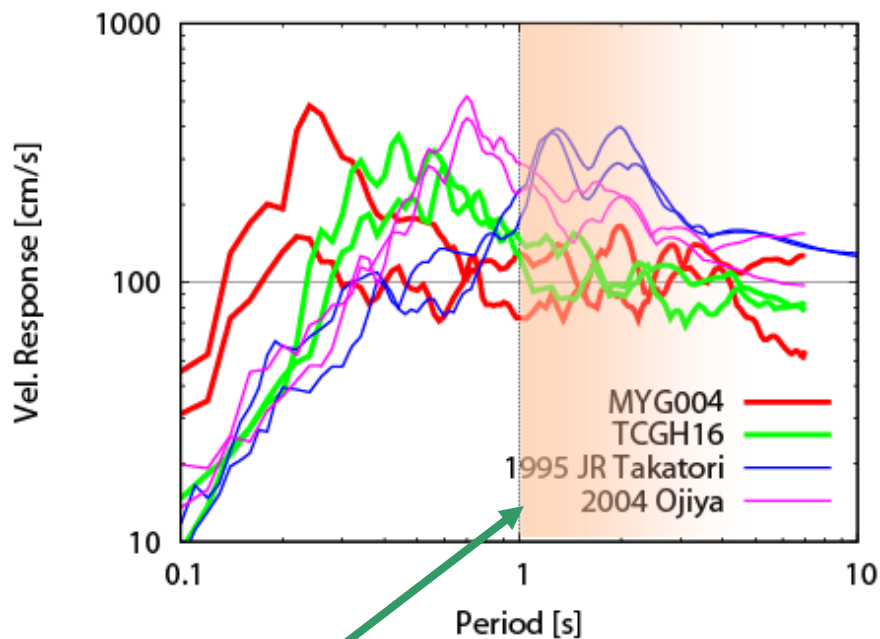
過去の地震記録との比較



震度7相当の地震動の応答スペクトル



加速度応答スペクトル



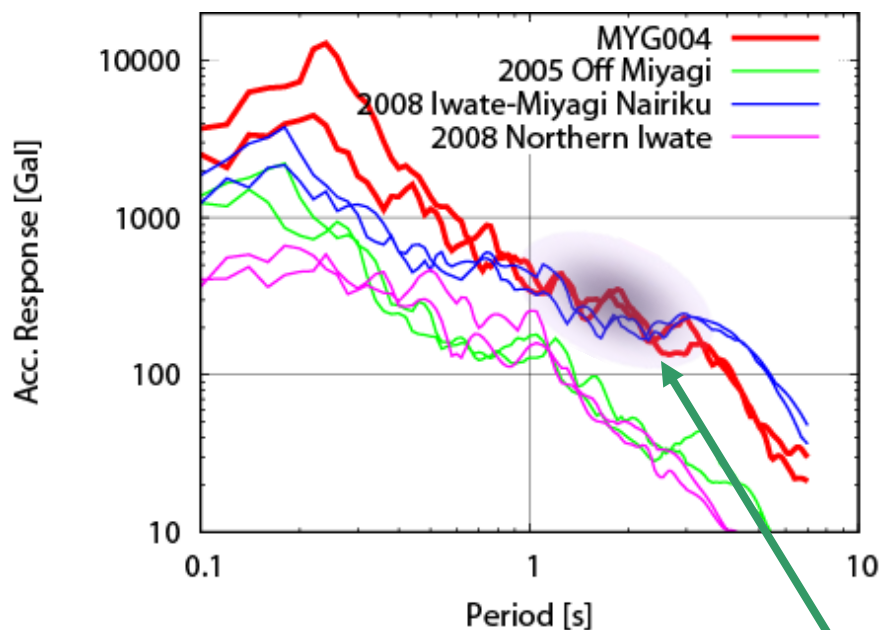
速度応答スペクトル

木造建築に被害が生じる？

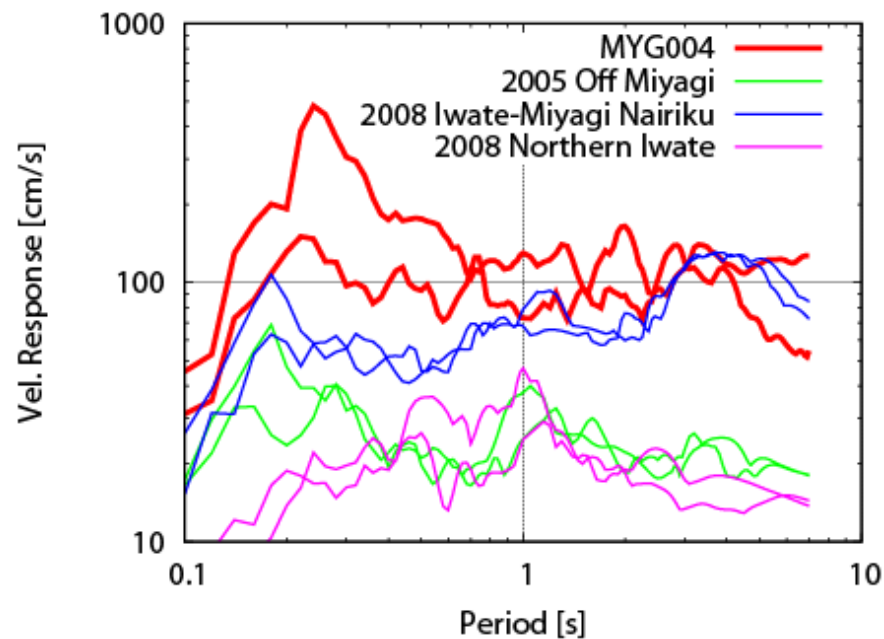
過去の地震記録との比較



MYG004における応答スペクトル



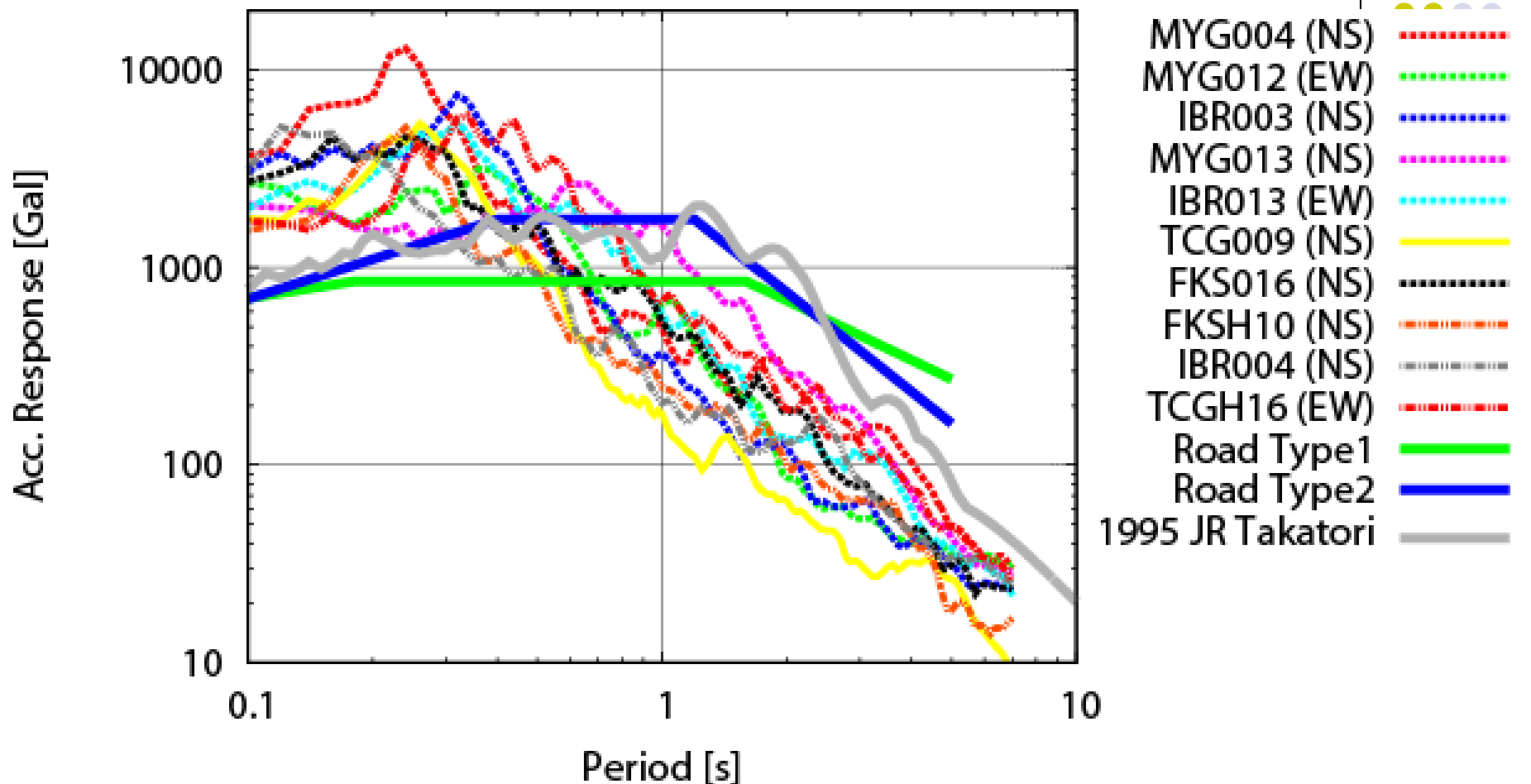
加速度応答スペクトル



速度応答スペクトル

同じくらいの加速度応答
家具類の転倒の様子がよく似ていた？

設計用入力地震動との比較



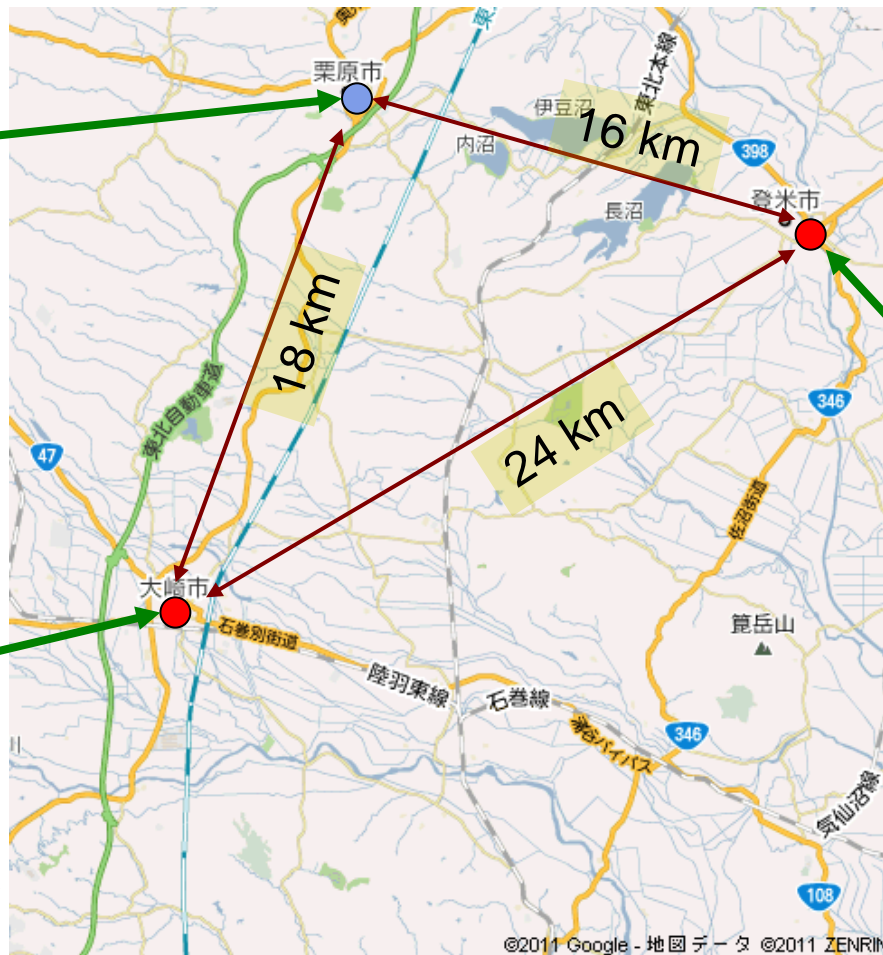
最大加速度が大きかったK-NET, KiK-netの10ヶ所の加速度応答スペクトルと道路橋示方書の設計用入力地震動との比較
(Type I, Type IIともII種地盤の場合)

地震動による被害の例



栗原市～登米市～大崎市

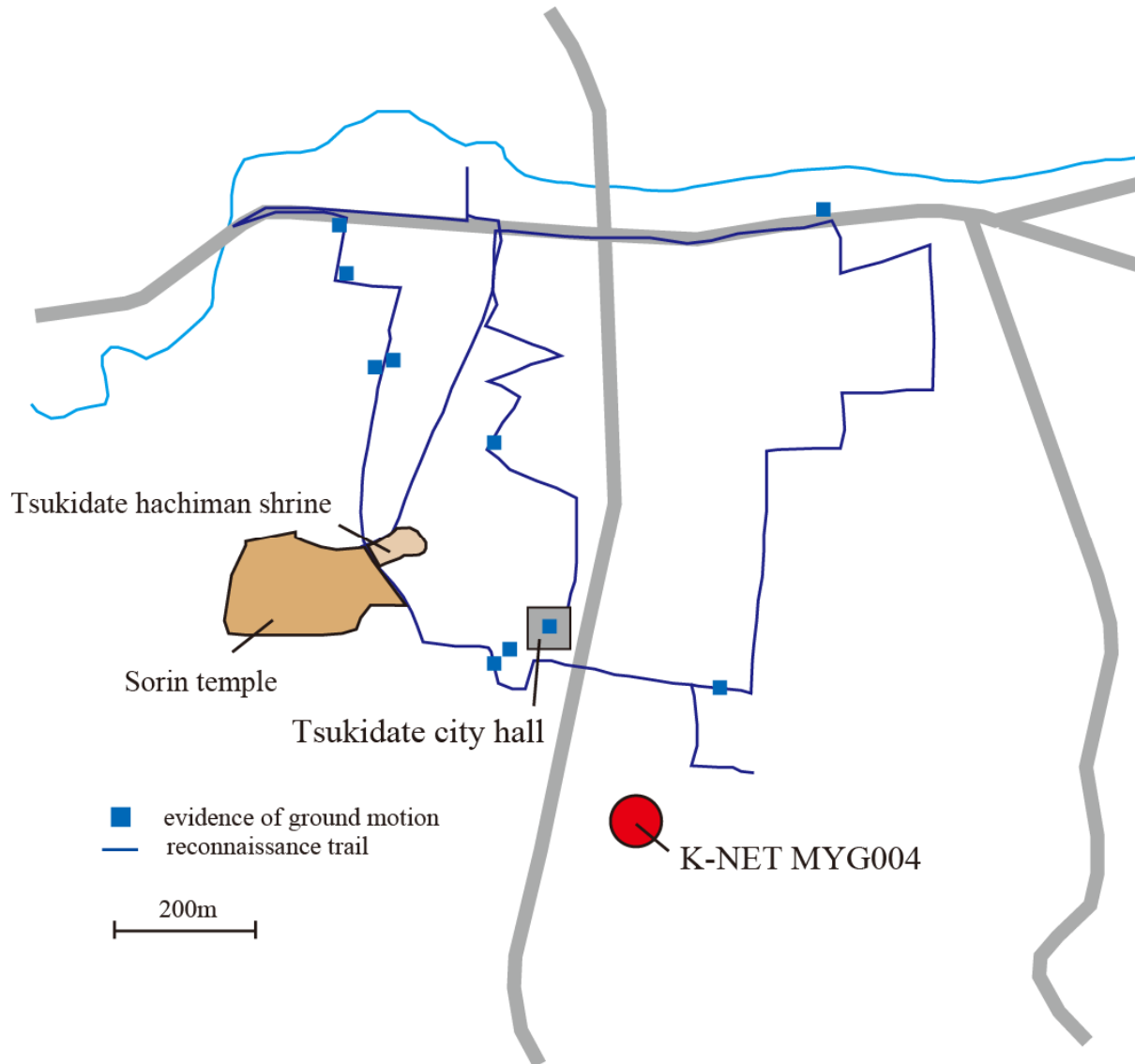
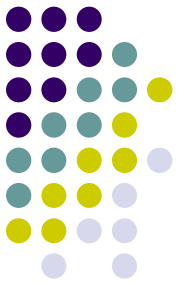
栗原市築館
震度7
PGA 2933 Gal
被害は軽微？



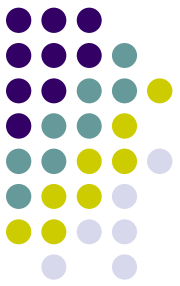
登米市迫町佐沼
震度？
PGA？
被害甚大

大崎市古川
震度6強
PGA 586 Gal
一部地域で被害甚大

栗原市築館



栗原市築館



- 震度7を記録
- 最大加速度も3成分合成値で2933 Galを記録
- 埋め戻し土の液状化やガラスの破損、ブロック塀の転倒、壁の剥落などの被害は散見されたものの、構造物の力学特性に問題を生じるような被害は見られなかった。

(写真:後藤@京都大)

栗原市栗駒

JMA栗駒



2008年岩手・宮城内陸地震



2011年東北地方太平洋沖地震

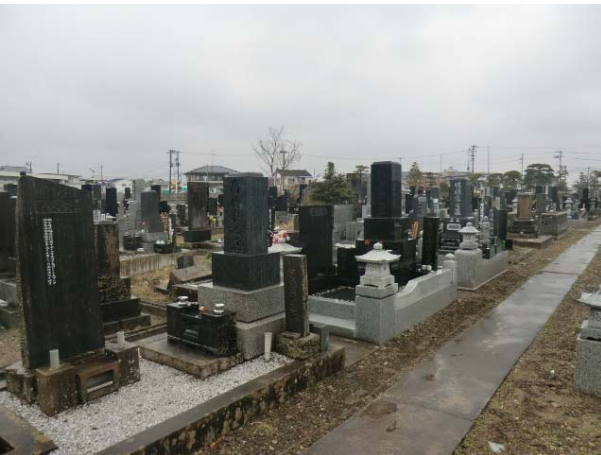




登米市迫町佐沼



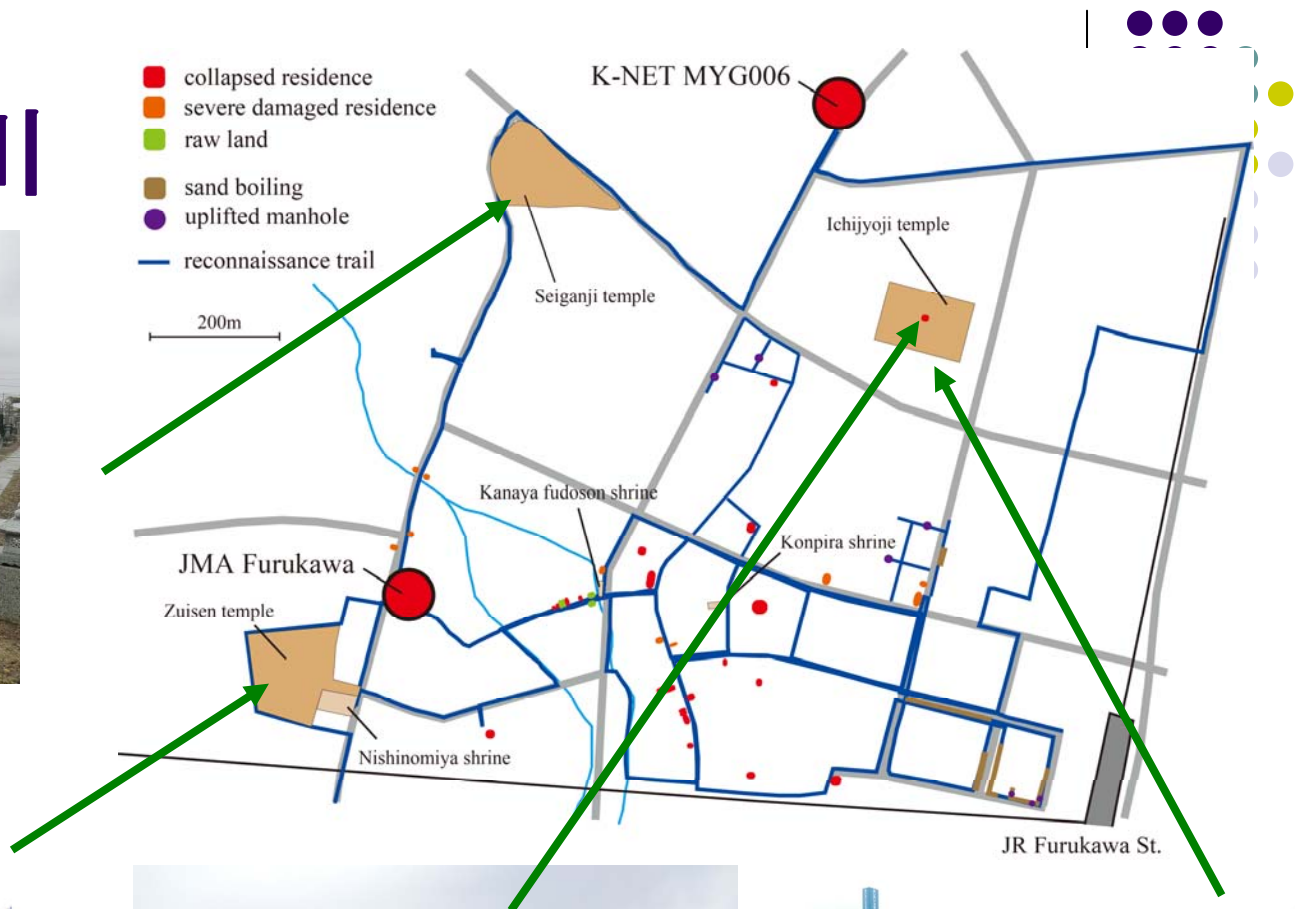
大崎市古川



墓石の転倒はごくわずか



半分以上の墓石が転倒



東屋が崩壊／墓石の転倒多い？

大崎市古川



液状化による建物の傾斜

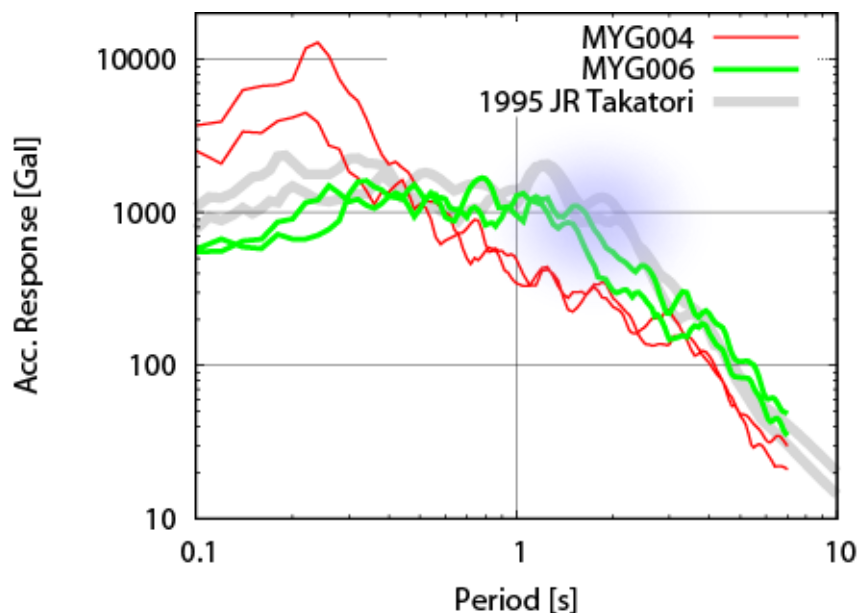


木造住家の崩壊

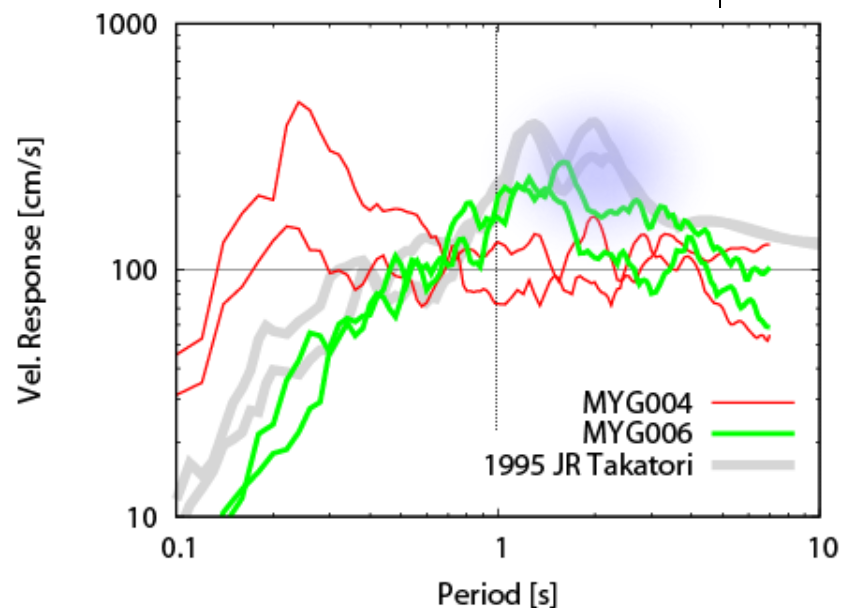


古川駅高架橋下の配管類の落下

大崎市古川



加速度応答スペクトル

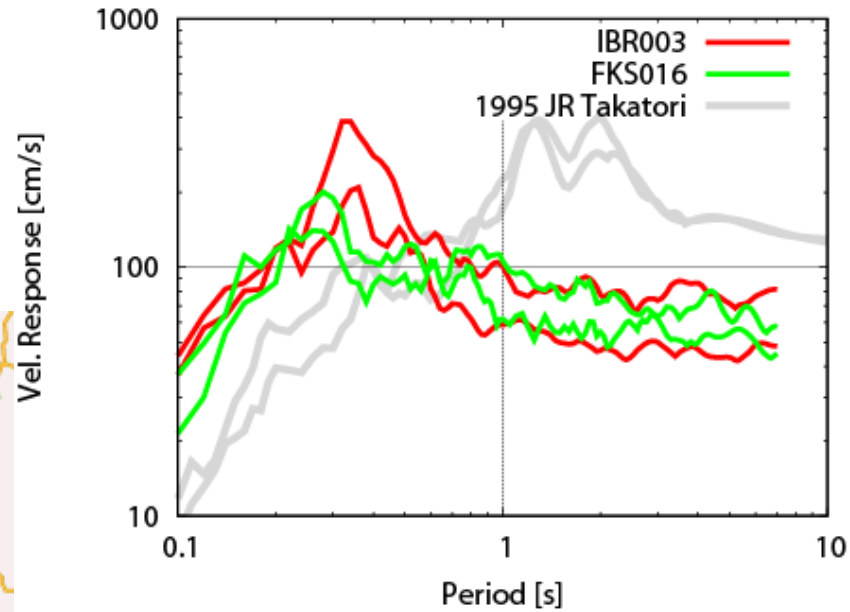


速度応答スペクトル

- 木造構造物に大きな影響を与えそうな周期帯では古川(MYG006)のほうが応答が大きく鷹取の記録に迫る応答を示している。
- MYG006は周波数特性そのものが鷹取の記録によく似ている。

白河市～日上市

白河市
震度6強
PGA 1425 Gal
小～中破の被害が多い？



瓦の被害が比較的多いような印象



速度応答スペクトル

- 日立(IBR003)と白河(FKS016)は似たような周波数特性
- 被害の傾向も似ている？

日上市
震度6強
PGA 1845 Gal
被害は軽微？

白河市

屋根や壁の被害
(主として非構造体の被害)



埋め戻し土の液状化



10t以上(?)の落石



市内の古そうな住家や商店も無被害に見える

日立市



K-NET日立
(IBR003)

1/10~1/15の墓石が転倒しているくらいか？



海岸に平行な辺にある墓石はほぼ全部転倒。海岸に直角な辺にある墓石は回転

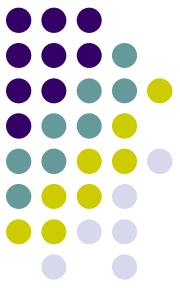
墓地は絶壁の上にある。地形効果？

日立市



- 日立駅の西側のエリアでは道路のタイルの浮き上がり, 瓦のずれ, ブロック塀の転倒, 壁の剥落, ガラスの損傷などの非構造体の被害が目についた。
- しかし, 崩壊に至るような被害には気がつかなかった。
- 墓石の転倒の様子と被害の分布があまりうまくかみ合わない。

日立市～ひたちなか市 (R245など)

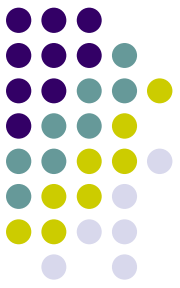


日立市周辺の海岸は砂丘(?)が発達している。砂丘の頂部の方が谷部より被害が多いような印象を受けたが、定量的に確かめていないのでなんとも言えない。



固有周期が大きく異なる構造物が隣接(接合?)している。組積造の構造物の瓦の被害が顕著ということは、地震動は短周期が卓越していたということか？

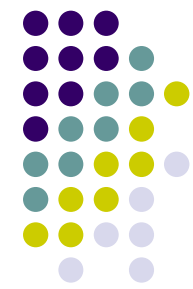
日立市～ひたちなか市 (R245など)



ひたちなか海浜鉄道(金上～中根間)

- 大きな通り狂いが発生。
- 河岸段丘(?)にはさまれた凹地を走る区間であることが影響?

那珂川左岸



常磐線



勝田橋



海浜鉄道

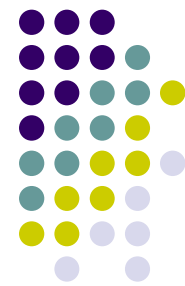


K-NET那珂湊
(IBR007)
震度6弱
PGA: 585 Gal



那珂川左岸堤防

0 3 km



まとめ

- きわめて稠密な観測記録
- 多くの地点で1Gをはるかに超える地震動が記録された。
- 大きな加速度を記録した地点では短周期成分が卓越している場合が多い。
- 局所的に地震動が大きかったのではないかと推察される場所がある。
- 地震動による被害は必ずしも顕著ではない。しかし、堤防や鉄道高架橋などの土木構造物も多くの被害を受けた。
- 震度が同じでも住家の被害の様相は大きく異なる。特に1秒前後の周期の地震動の大きさが重要な役割を果たしている？
- 木造住家の被害が大きかった古川での地震動は、兵庫県南部地震のときの記録とよく似た周波数特性を持っている。