

4. 地震及び地震動の特性

4. 1 地震の概要

東日本大震災を引き起こした本地震は3月11日14時46分に三陸沖を震源として発生し、気象庁により「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake)」と命名されている¹⁾。この地震のマグニチュードは気象庁によりMw9.0と発表されたが²⁾、これは1900年以降に我が国で発生した地震では最大の、世界でみても1960年チリ地震、1964年アラスカ地震、2004年スマトラ島沖地震に次ぐ4番目の大きさの地震である³⁾。図4.1-1は本震後1日間で発生した地震の震源分布⁴⁾である。一般に、本震後1日間で発生した地震の震源分布は概ね本震で破壊した震源断層を包括するとされる⁵⁾ため、本地震の震源断層が岩手県沖から茨城県沖までのおよそ500kmの長さに及ぶこと、断層が東から西に向かって深くなる傾斜であることが示唆される。また、併せて気象庁と防災科学技術研究所で公開されている地震のメカニズム解(CMT解)⁶⁾⁷⁾を示しているが、両メカニズム解ともに東西方向に圧縮軸を持つ逆断層型地震であったことを表している。このため、本地震は北米プレートと太平洋プレートとのプレート境界で発生した地震であると結論づけることができる。

地震調査研究推進本部によると、宮城県の沖合で発生する宮城県沖地震は2011年1月時点で30年以内に発生する確率が99%と予測されていた⁸⁾。今回の地震では、その宮城県沖地震として想定していた震源域だけではなく、三陸沖南部海溝寄り、福島県沖、茨城県沖の領域にまでも震源の破壊が進展したと考えられている⁹⁾。このため、1978年の宮城県沖地震よりもマグニチュードの大きな地震となり、広い範囲で強い地震動を観測した。宮城県栗原市築館では震度7を観測し、また宮城県、福島県、茨城県、栃木県の広い範囲で震度6強を観測している(図4.1-2)。震度分布を見ると、震源断層からの距離に従って一様に震度が小さくなるのではなく、宮城県に震度の大きな地域と福島県から茨城県にかけて震度の大きな地域とが見られる。これは、震源断層が一様に破壊したのではなく複数のアスペリティを持つように破壊したために、地震動の大きいところや小さいところがあったのではないかと予想される。

気象庁の遠地波形の分析によると、本地震は3つの破壊が連続して発生したと考えられるようである²⁾。また、報告されている震源過程によると、概ね震源付近に大きな滑りの領域が推定されていることは共通しており¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾、さらに南側に大きな滑りの領域が推定されているものもある¹²⁾。防災科学技術研究所の強震観測網(K-NET, KiK-net)で公開されている本震の波形には複数のフェーズが見られること¹³⁾や2つの波群が見えることが報告されており¹⁴⁾、このことから複数の破壊が生じていたことが示唆される。

図4.1-3は、気象庁のCMT解の断層走向方向におよそ平行に並ぶ防災科学技術研究所KiK-net観測点を選択し、その地中記録のEnvelope波形を並べたものである。まず、IWTH05で最も早い時刻に観測されるようなフェーズが、およそ50秒の間をおいて2つ認められる。この2つのフェーズは北方向、南方向へ伝播するにつれて減衰し、福島県以南では顕著でなくなる。一方、その2つのフェー

ズとは独立に TCGH13 あたりで最も早い時刻に観測され、北へと伝播する別のフェーズも確認できる。つまり、断層の破壊に伴って少なくとも顕著な破壊が3つ発生し、そのうち始めの2つは岩手県から宮城県にかけて寄与し、3つ目の破壊が栃木県、茨城県から関東地方にかけて寄与したと考えられる。

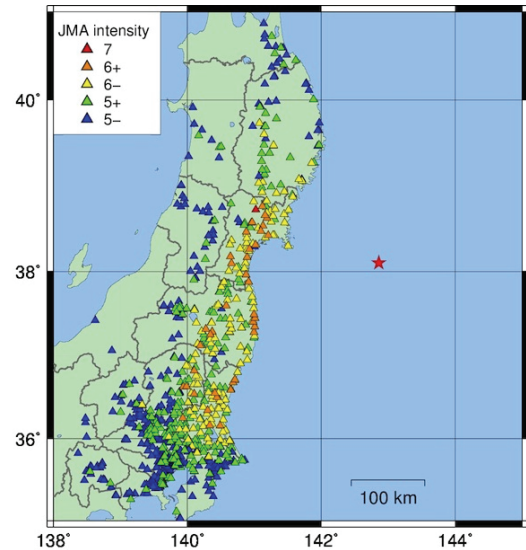
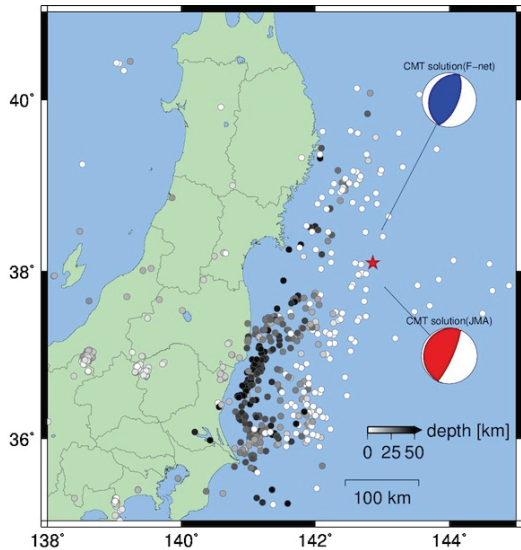


図 4.1-1：本震後1日間に発生した地震の震源分布（気象庁一元化検証値データ⁴⁾，およびメカニズム解⁶⁾⁷⁾

図 4.1-2：気象庁の震度分布（震度5弱以上）

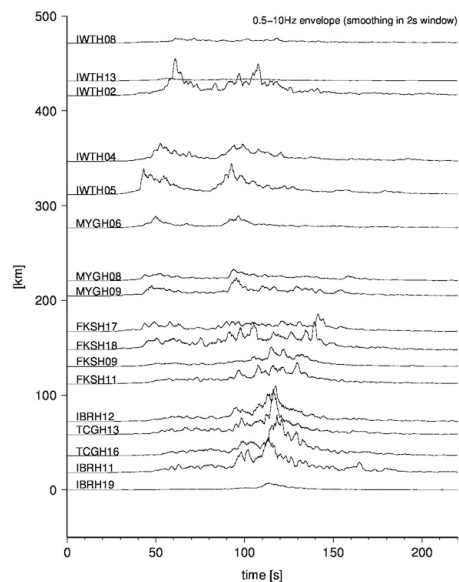
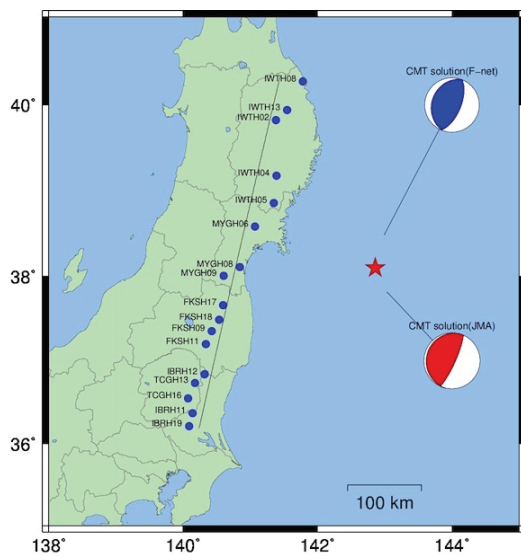


図 4.1-3：KiK-net 地中記録 EW 成分の Envelope 波形

4. 2 地震動の特徴

本地震では、防災科学技術研究所の K-NET, KiK-net, 東京大学地震研究所, 産業総合技術研究所, 港湾空港技術研究所などによって東日本で観測された地震動が公開されている。図 4.2-1, 4.2-2 は本地震で観測された各地の最大水平加速度分布, および最大水平速度分布を表している。先述した震度分布と同様に, 震源断層があると考えられる太平洋岸から一様に値が小さくなるのではなく, 宮城県と, 栃木県から茨城県にかけての 2 地域で大きな最大加速度値が観測されている。これは先述したように破壊過程が一様でないことによるものと考えられる。また, 宮城県北部で大きな最大速度が観測されていることと, 東京湾沿岸で周囲より大きな最大速度値が観測されている。

図 4.2-3 に示すのは, K-NET 仙台 (MYG013) で観測された地震動の速度波形 (EW 成分) を, 2005 年宮城沖地震, および 2008 年岩手・宮城内陸地震と比較した図である。内陸型の地震であった 2008 年の地震や, 同じプレート境界で発生した 2005 年の地震と比較して, 本地震で観測された地震動の継続時間が非常に長いことがわかる。これは, 震源断層の長さがおよそ 500km にも及ぶため, 震源断層が破壊し終えるまでにかかる時間が長いためである。また, 先述したように宮城県に対して寄与する始めの 2 つの破壊に伴うフェーズが明瞭に確認できる。このような長い継続時間の地震動は東京湾岸でも観測された。K-NET 浦安 (CHB008) と K-NET 稲毛 (CHB024) の速度波形 (EW 成分) を図 4.2-4 に示すが, およそ 10cm/s の振幅をもつ地震動が 200 秒あまりに渡って続いていることがわかる。なお, この地域では広範囲で液状化被害が報告されている。

図 4.2-5 は観測された地震動の疑似速度応答スペクトル (EW 成分) を計算し, そのピーク値, およびピーク周期をプロットしたものである。ピーク周期が 1 秒程度かつピーク値が 200cm/s 程度の地震動が, 宮城県から福島県にかけての海岸に沿って観測されている。また, K-NET 古川 (MYG006) ではピーク周期 1.5 秒, ピーク値 270cm/s と大きな地震動が観測されている。一方, 岩手県ではピーク周期にばらつきはあるものの, おおむねピーク値が 100cm/s 程度かそれを下回る程度の地震動である。また, 栃木県から茨城県にかけてピーク値が 200cm/s を越える地震動を観測しているが, そのピーク周期は 0.5 秒より小さい値であることがわかる。

疑似速度応答スペクトルの値が大きい観測点として K-NET 古川 (MYG006), K-NET 石巻 (MYG010), K-NET 仙台 (MYG013) を選択し, その疑似速度応答スペクトルを 1995 年兵庫県南部地震の神戸海洋気象台 (JMA Kobe), JR 鷹取 (JR Takatori) の記録と比較して図 4.2-6 に示す。スペクトルを比較した限りでは, MYG013 は JMA Kobe の地震動と似たスペクトル特性を持つこと, MYG010 は 0.5-1.0 秒の周期帯のレベルが大きく落ちるものの 1-2 秒の周期帯で JR Takatori の地震動に迫るレベルのスペクトル特性を持つこと, また MYG006 も 1-2 秒の周期帯で JR Takatori の地震動に迫るレベルのスペクトル特性を持つことがわかる。MYG010 観測点周辺は津波による被害が顕著であるため, 地震動による被害の様子を伺うことはできないが, MYG006 観測点周辺と MYG013 観測点周辺では地震動による建物の崩壊などの被害が報告されている¹⁸⁾¹⁹⁾²⁰⁾。一方, 震度 7 を観測した K-NET 築館 (MYG004) の地震動についても同様に疑似速度応答スペクトルを比較

すると（図 4.2-7），0.1-0.5 秒の短周期側にピークをもっており，JMA Kobe や JR Takatori とスペクトル特性が異なることがわかる．このスペクトル特性は構造物への影響が大きい周期帯（1-2s）のレベルが小さく，実際に報告されている被害も軽微かつ少ない¹⁹⁾．また，福島県以南でピーク値が 200cm/s を越える KiK-net 岩瀬（IBRH11），K-NET 今市（TCG009），KiK-net 馬頭（TCGH13），KiK-net 芳賀（TCGH16）について同様に疑似速度応答スペクトルを比較して図 4.2-8 に示す．MYG004 と同様に，JMA Kobe や JR Takatori と比べて短周期側にピークがある．この地域で報告されている地震動の被害も軽微であるが²¹⁾，これは短周期側にピークをもつ地震動特性と対応するように思える．

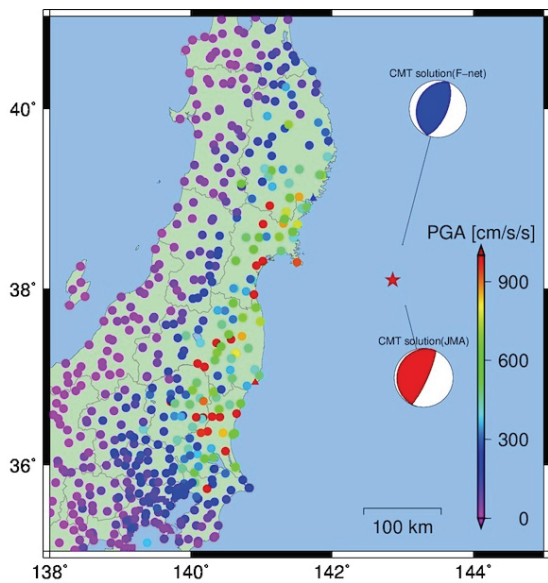


図 4.2-1：最大水平加速度分布^{15) 16) 17)}

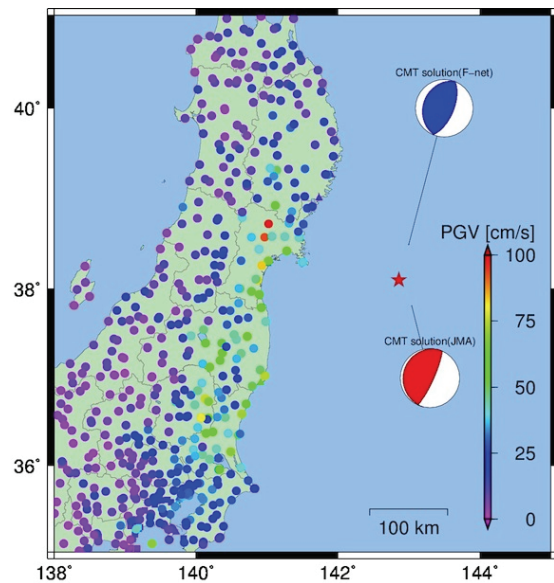


図 4.2-2：最大水平速度分布^{15) 16) 17)}

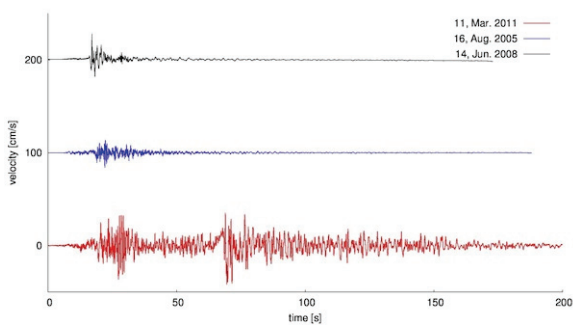


図 4.2-3：2005 年宮城沖地震，2008 年岩手・宮城内陸地震と本地震との速度波形の比較

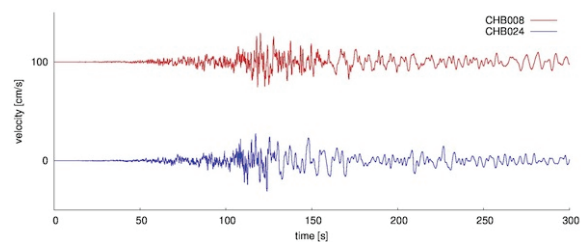


図 4.2-4：東京湾岸の CHB008，CHB024 で観測された速度波形

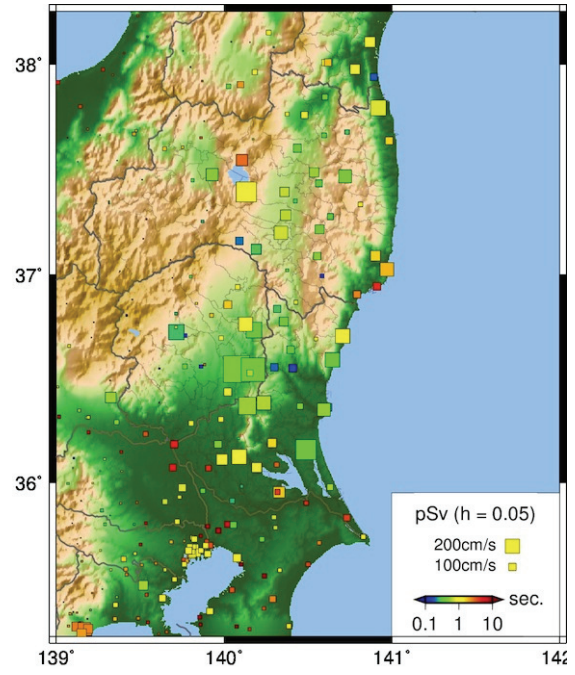
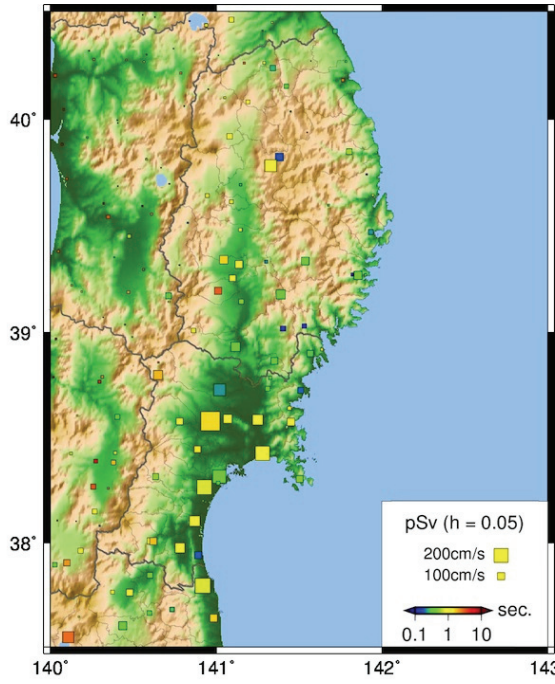


図 4.2-5 : 疑似速度応答スペクトルのピーク値・ピーク周期分布

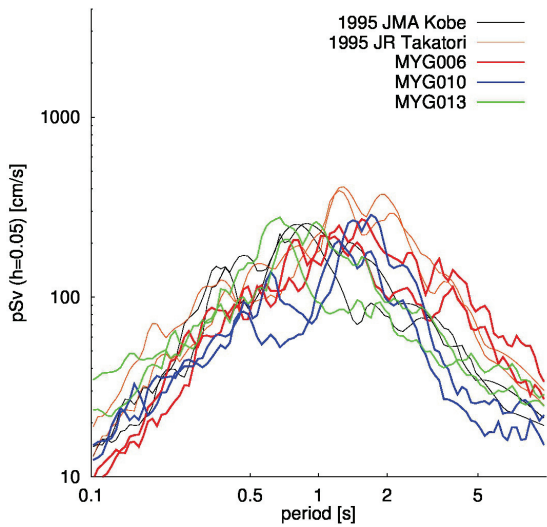


図 4.2-6 : MYG006, MYG010, MYG013 の疑似速度
応答スペクトルの比較

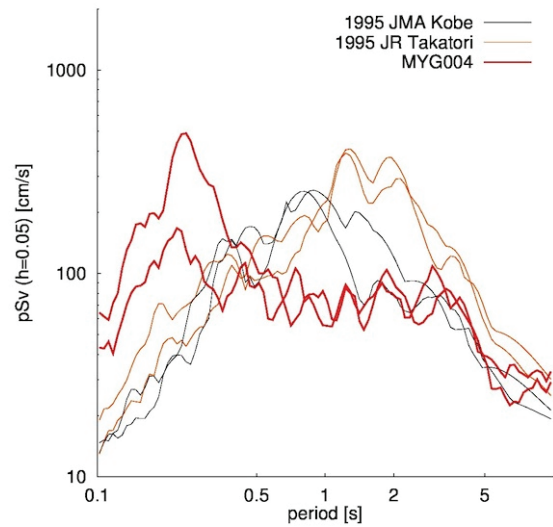


図 4.2-7 : MYG004 の疑似速度応答スペクトル

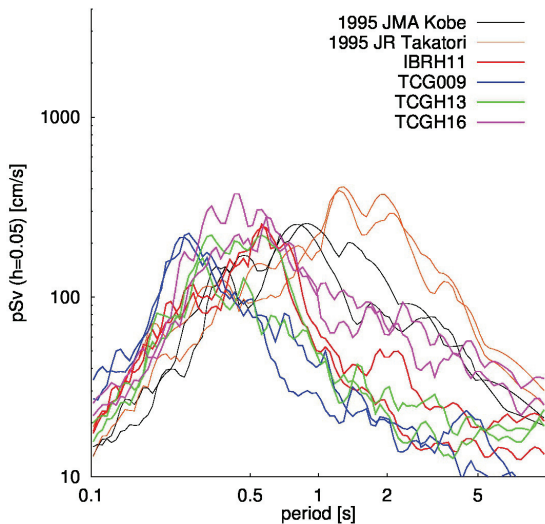


図 4.2-8 : IBRH11, TCG009, TCGH13, TCGH16
の疑似速度応答スペクトルの比較

謝辞

防災科学技術研究所の強震観測網 (K-NET, KiK-net), 東京大学地震研究所, 産業総合技術研究所, 港湾空港技術研究所の記録を利用させていただきました。また, 気象庁より発表された震度情報を利用させて頂きました。記して感謝致します。

参考文献

- 1) 気象庁：平成 23 年 3 月 11 日 14 時 46 分頃の三陸沖の地震について (第 2 報)。
- 2) 気象庁：「平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震」の地震について (第 15 報)。
- 3) USGS: Largest Earthquakes in the World Since 1900.
- 4) 気象庁, 防災科学技術研究所 Hi-net : 気象庁一元化検証値データ。
- 5) 宇津徳治, 吉井敏尅, 嶋悦三, 山科健一郎 : *地震の辞典 第 2 版*, pp.166-174, 2001.
- 6) 気象庁 : 気象庁の発震機構解 (速報値)。
- 7) 防災科学技術研究所 F-net : 地震のメカニズム情報。
- 8) 地震調査研究推進本部 : 海溝型地震の長期評価。
- 9) 地震調査研究推進本部 : 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震の評価。
- 10) USGS: Finite Fault Model, Updated Result of the Mar 11, 2011 Mw 9.0 Earthquake Offshore Honshu, Japan, 2011.
- 11) 名古屋大学地震火山・防災研究センター : NGY 地震学ノート No. 36, 2011.
- 12) 八木勇治, 西村直樹 : 2011 年 3 月 11 日東北一太平洋沿岸地震 (暫定 Ver2) , 2011.
- 13) 防災科学技術研究所 : 平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震による強震動, 2011.

- 14) 京都大学防災研究所強震動研究分野：2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の東日本太平洋沿岸における地震動について，2011.
- 15) 防災科学技術研究所：強震観測網（K-NET, KiK-net）
- 16) 東京大学地震研究所：2011年3月東北地方太平洋沖地震，2011.
- 17) 港湾空港技術研究所：港湾地域強震観測.
- 18) 盛川仁：2011年東北地方太平洋沖地震被害調査報告，2011.
- 19) 後藤浩之：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震 地震動に関する被害調査報告，2011.
- 20) 源栄正人：2011年東北地方太平洋沖地震 -地震被害調査速報-，2011.
- 21) 境有紀：2011年東北地方太平洋沖地震で発生した地震動と被害調査速報，2011.