

平成27年度原子力施設等防災対策等委託費(安全性  
向上評価に向けた経年変化を考慮した配管の耐震性  
評価手法の高度化に係る調査・研究)事業

業務成果報告書

平成 28 年 3 月

新潟工科大学

<目次>

1 事業の目的	1-1
2 事業の概要	2-1
3 経年変化を考慮した配管の耐震性評価手法の高度化	3.1-1
3.1 サイト特性を考慮した地震動評価手法の高度化	3.1-1
3.1.1 背景及び目的	3.1-1
3.1.2 三次元地下構造モデルの精度及び適用性の確認	3.1-5
3.1.2.1 三次元地下構造モデルの作成	3.1-5
3.1.2.2 三次元差分法による中小地震の再現計算	3.1-15
3.1.2.3 計算結果 Eq1	3.1-28
3.1.2.4 計算結果 Eq2	3.1-50
3.1.2.5 計算結果 Eq3	3.1-72
3.1.2.6 地盤モデルの評価	3.1-94
3.1.2.7 昨年度調査結果との比較	3.1-106
3.1.3 三次元地下構造モデルの不確かさが地震動評価に与える影響の評価	3.1-111
3.1.4 まとめと今後の課題	3.1-121
参考文献および脚注	3.1-124
3.2 サポート機能喪失時における配管の健全性評価手法の高度化	3.2-1
3.2.1 検討方針	3.2-1
3.2.1.1 検討方針	3.2-1
3.2.1.2 振動台の性能	3.2-3
3.2.2 配管系試験体の製作	3.2-4
3.2.2.1 配管系試験体の製作	3.2-4
3.2.2.2 支持構造物の支持機能特性	3.2-9
3.2.2.2.1 支持構造物の概要	3.2-9
3.2.2.2.2 支持構造物の支持機能特性調査	3.2-10
3.2.3 配管系試験体の振動特性	3.2-15
3.2.3.1 振動台試験から得られた固有振動数と固有モード	3.2-15
3.2.3.2 解析モデルによる固有振動数と固有モード	3.2-17
3.2.3.3 振動台試験から得られた減衰定数	3.2-20
3.2.4 水平加振試験	3.2-23
3.2.4.1 計測計画等	3.2-23

3. 2. 4. 2	正弦波入力による水平加振試験	3.2-27
3. 2. 4. 2. 1	支持構造物1又は2の破断の影響	3.2-27
3. 2. 4. 2. 2	支持構造物1,2の破断を対象とした水平加振試験	3.2-45
3. 2. 4. 2. 3	振動台及び土台上の加速度波形	3.2-68
3. 2. 4. 3	地震動入力による水平加振試験	3.2-69
3. 2. 4. 3. 1	入力地震動と水平加振試験の概要	3.2-69
3. 2. 4. 3. 2	mwave-01による水平加振試験結果	3.2-73
3. 2. 4. 3. 3	mwave-02による水平加振試験結果	3.2-87
3. 2. 4. 3. 4	wave-n05ewによる水平加振試験結果	3.2-102
3. 2. 5	配管系フラジリティ評価手法の検討	3.2-116
3. 2. 5. 1	地震応答解析手法の高度化	3.2-116
3. 2. 5. 1. 1	支持構造物の損傷(破断)を対象とした復元力特性	3.2-116
3. 2. 5. 1. 2	平成 26 年度の試験結果を用いた比較	3.2-117
3. 2. 5. 1. 3	正弦波入力による水平加振試験結果を用いた比較	3.2-127
3. 2. 5. 1. 4	地震動入力による水平加振試験結果を用いた比較	3.2-135
3. 2. 5. 1. 5	応答スペクトルによる応答解析を用いる方法の検討	3.2-160
3. 2. 5. 2	配管系フラジリティ評価手法の提案	3.2-165
3. 2. 5. 2. 1	フラジリティ評価の条件	3.2-165
3. 2. 5. 2. 2	耐力と応答に関する評価	3.2-165
3. 2. 5. 2. 3	サポート損傷を考慮した時刻歴応答解析結果 を用いたフラジリティ評価	3.2-165
3. 2. 5. 2. 4	サポート損傷を考慮した応答スペクトル解析結果 を用いたフラジリティ評価	3.2-166
3. 2. 6	まとめ	3.2-170
	参考文献	3.2-172
3. 3	亀裂を有する機器・構造物の地震時亀裂進展評価法の高度化	3.3-1
3. 3. 1	目的	3.3-1
3. 3. 2	実験方法	3.3-2
3. 3. 2. 1	供試材	3.3-2
3. 3. 2. 2	引張試験	3.3-2
3. 3. 2. 3	疲労亀裂進展試験	3.3-2
3. 3. 2. 3. 1	試験片形状	3.3-2
3. 3. 2. 3. 2	負荷条件の検討	3.3-3
3. 3. 2. 3. 3	試験装置	3.3-6
3. 3. 2. 3. 4	試験条件	3.3-7

3. 3. 2. 3. 4	試験条件	3.3-9
3. 3. 2. 3. 5	亀裂長さの測定方法	3.3-10
3. 3. 2. 4	微小硬さ・弾性率評価試験	3.3-10
3. 3. 3	実験結果及び考察	3.3-12
3. 3. 3. 1	引張試験	3.3-12
3. 3. 3. 2	疲労亀裂進展試験	3.3-16
3. 3. 3. 2. 1	亀裂長さ計測手法の比較	3.3-16
3. 3. 3. 2. 2	亀裂進展挙動と亀裂進展速度	3.3-18
3. 3. 3. 3. 3	亀裂開閉口挙動と有効応力拡大係数範囲による評価	3.3-20
3. 3. 3. 3. 4	線形破壊力学パラメータが有効な条件	3.3-26
3. 3. 3. 3. 5	ASME 亀裂進展則の検証	3.3-30
3. 3. 4	まとめ	3.3-35
	参考文献	3.3-37
4	国内外の最新知見収集等の調査	4-1
4. 1	「サイト特性を考慮した地震動評価手法の高度化」に関する知見調査	4-1
4. 2	「サポート機能喪失時における配管の健全性評価手法の高度化」に関する知見調査	4-5
4. 3	「亀裂を有する配管・機器・構造物の地震時亀裂進展評価手法の高度化」に関する知見調査	4-7
	参考文献	4-12
5	ヒアリングの実施	5-1
5. 1	サイト特性を考慮した地震動評価手法の高度化	5-2
5. 1. 1	日本大学 工藤 一嘉 教授におけるヒアリング(1)	5-2
5. 1. 2	日本大学 工藤 一嘉 教授におけるヒアリング(2)	5-3
5. 1. 3	日本大学 工藤 一嘉 教授におけるヒアリング(3)	5-4
5. 2	サポート機能喪失時における配管の健全性評価手法の高度化	5-7
5. 2. 1	東京都市大学 古屋 治 教授におけるヒアリング(1)	5-7
5. 2. 2	東京都市大学 古屋 治 教授におけるヒアリング(2)	5-8
5. 3	亀裂を有する機器・構造物の地震時亀裂進展評価法の高度化	5-12
5. 3. 1	東北大学 小川 和洋 教授におけるヒアリング(1)	5-12
5. 3. 2	東北大学 小川 和洋 教授におけるヒアリング(2)	5-13
5. 3. 3	東北大学 小川 和洋 教授におけるヒアリング(3)	5-15
6	むすび	6-1

## 1 事業の目的

東北地方太平洋沖地震、及び新潟県中越沖地震から原子力耐震安全分野に係る多くの教訓が得られた。特に、新潟県中越沖地震では、設計用地震動の2倍以上の地震動が発生したにも関わらず、耐震クラスの高い設備の損傷はほとんど見られなかった。このことは、これまでの耐震設計や耐震評価で考えてきた設備の耐震性には相当の保守性を含むことを示すことになったが、他方では、耐震性の検討にあたり必ずしも設備の実耐力が把握されていなかったことも示すことになった。

今後、地震に係る確率論的リスク評価(地震 PRA)等の裕度評価を行うことが、規制上の要求事項となるが、事業者による地震 PRA 評価等結果について審査を行うためには、設備の耐震性の実耐力を把握する必要がある。また、設備に亀裂等の経年変化が存在すると、経年変化が生じていない設備に比べ耐震性が低下するなど、その耐震性に大きな影響を与える可能性があるため、設備の耐震性の実耐力の把握にあたり、経年変化の影響も踏まえた検討も行う必要がある。昨年度は、安全性向上評価に向けた経年変化を考慮した配管の耐震性評価手法の高度化に係る調査・研究において、サイト特性を考慮した地震動評価手法の高度化を目的とし、まず配管構造に影響を及ぼす地震動の振動特性を把握するため、観測地震動記録を整理しデータベース化し、これらデータを用いて、地下深部からの地震動の伝播特性について検討可能とするために、既存の三次元地下構造モデルについて検証を行った。また、配管形については、サポート機能喪失時における配管の健全性評価手法の高度化の観点から、サポートが損傷した場合の配管系の地震時挙動に関する知見が少ないため、配管系の耐震性能把握の一環として、配管系の振動台加振試験を実施し、配管サポートの地震時損傷に係る基礎検討を行った。さらに、亀裂を有する配管・機器・構造物の地震時亀裂進展評価手法の高度化については、配管等が想定を上回る地震動を受けた状況下において配管等が経年変化している場合、亀裂進展の影響が大きく出る可能性があったため、交番荷重(圧縮を含む繰り返し荷重)による疲労亀裂進展を考慮した基礎試験を実施し、ASME「亀裂進展則」の妥当性を検証した。

本事業では、これまでの成果を踏まえ、安全性向上評価に向けた経年変化を考慮した配管の耐震性評価手法の高度化に係る調査・研究において、特に損傷を受けることでプラントの安全性に大きな影響を与える配管系を対象に、実際に発生した地震動(観測地震動)等に対する配管系の耐震性能を把握するとともに、配管系の経年変化が耐震性の実耐力に与える影響や影響評価方法について、基礎的知見把握することを目的に、地震時損傷に係る検討を行う。

## 2 事業の概要

本事業では、実際に発生した地震動(観測地震動)等に対する配管系の耐震性の実耐力を把握すると共に、その経年変化が耐震性の実耐力に与える影響や影響評価方法について基礎的研究を通じ把握することを目的として、地震時損傷に係る検討を行った。

そこで、実際に発生した地震動(観測地震動)等に対する配管系の耐震性の実耐力を把握するためには、次の3つの基礎的研究「サイト特性を考慮した地震動評価手法の高度化」、「サポート機能喪失時における配管の健全性評価手法の高度化」並びに「亀裂を有する配管・機器・構造物の地震時亀裂進展評価手法の高度化」を行い、地震時損傷に係る検討をした。また、研究課題に必要な国内外の最新知見についてある場合には収集等の調査を実施した。更に、それぞれの研究の解析方法や結果の妥当性を確認するにあたり、地震学、材料力学及び破壊力学等の研究者等からヒアリング(解析・調査の方針、解析結果の妥当性確認、検討結果の取りまとめ等)を実施した。

以下に、本事業フロー図(図2-1)と事業内容の概要を示す。

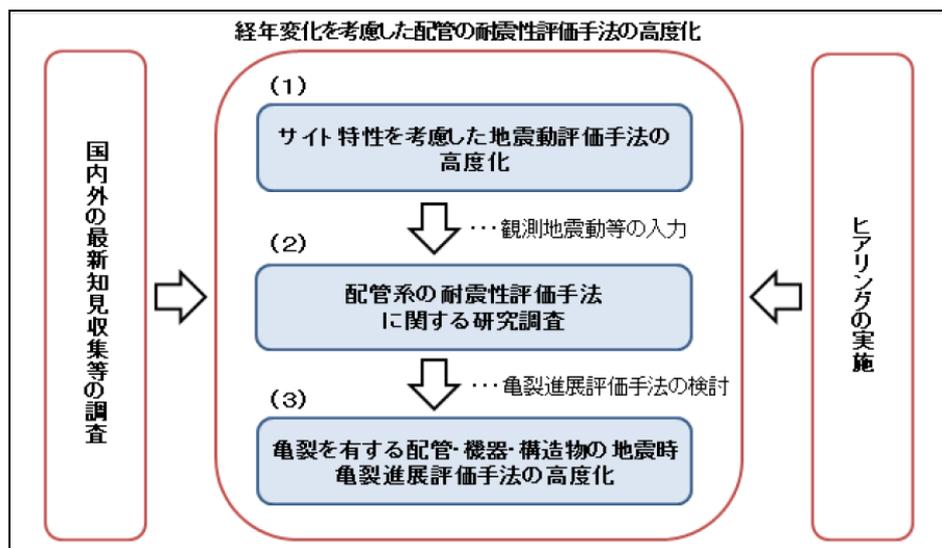


図2-1 本事業のフロー図

### (1) サイト特性を考慮した地震動評価手法の高度化

耐震性評価の中でサポートを含む配管の地震時応答を評価し、その耐震性能を検討するためには、配管の地震時応答に影響を及ぼす入力地震動の振動数領域の評価手法は、重要課題の一つと考えられる。そこで、地震動評価の重要な評価項目であるサイト特性に着目し、このサイト特性が地震動に及ぼす影響を評価検討した。その検討には、既存の3種の三次元地下構造モデル(JNES2007 モデル、JNES2013A モデル及びJNES2013B モデル)を用いた地震動シミュレーションを行い、それら結果を対比することで、地震動評価のための三次元構造モデルの精度検証を行った。また、三次元地下構造モデルの不確かさが地震動評価に与える影響を評価した。

## (2) サポート機能喪失時における配管の健全性評価手法の高度化

現在の地震 PRA では、配管サポートが 1 本でも破損すれば、配管本体が機能喪失するものと仮定されているが、実際に配管サポートが損傷した場合の配管系の地震時挙動に関する知見は少ない。そこで、配管としての機能限界という観点から、複数の支持構造物の機能喪失に伴う配管本体の構造健全性に対する影響に関する実験及び数値解析に基づく知見によるリスク評価手法の高度化を目的としたフラジリティ評価手法の提案を行った。

## (3) 亀裂を有する配管・機器・構造物の地震時亀裂進展評価手法の高度化

原子力発電プラント機器における地震荷重に対する構造健全性評価に対して、地震荷重を受ける亀裂構造物の健全性と亀裂進展評価技術の高度化が重要となっている。しかし、米国機械学会が規定した亀裂進展則(以下、ASME 亀裂進展則と呼ぶ)に対して、米国原子力規制委員会が亀裂進展速度を過小評価する恐れがあることを指摘している。そこで、原子力配管系や原子炉压力容器管台等で用いられるフェライト鋼を対象として、300℃と室温における圧縮応力を含む繰り返し負荷による亀裂進展速度を評価するため、試験および調査を行い、「ASME 亀裂進展則」の妥当性を検証した。

## (4) 国内外の最新知見収集等の調査

「サイト特性を考慮した地震動評価手法の高度化」に関する知見調査を日本建築学会および日本地震工学会において実施し、「サポート機能喪失時における配管の健全性評価手法の高度化」に関する知見調査を日本建築学会および日本地震工学会において実施し、「亀裂を有する配管・機器・構造物の地震時亀裂進展評価手法の高度化」に関する知見調査を日本機械学会 2015 年度年次大会、日本機械学会 M&M2015 材料力学カンファレンス、International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics 2015 において実施した。

## (5) ヒアリングの実施

上記の研究課題(1)～(3)について、解析方法や結果の妥当性を確認するにあたり、地震学、材料力学及び破壊力学等の研究者等からヒアリング(解析・調査の方針、解析結果の妥当性確認、検討結果の取りまとめ等)を行った。各事業のヒアリング実施数は(1): 3回、(2): 4回、(3): 3回であった。

### 3. 経年変化を考慮した配管の耐震性評価手法の高度化

#### 3.1 サイト特性を考慮した地震動評価手法の高度化

##### 3.1.1 背景及び目的等

###### (1) 背景と目的

サポートを含む配管の地震時応答を評価し、その耐震性能を検討するためには、配管の地震時応答に影響を及ぼす入力地震動の振動数領域の評価が重要課題の一つと考えられる。そこで、地震動評価の重要な評価項目であるサイト特性に着目し、このサイト特性が地震動に及ぼす影響を評価する。そのために、(独)原子力安全基盤機構(当時。現、原子力規制庁。以下「旧 JNES」)の柏崎深部地震動観測プロジェクト<sup>注 1</sup>の一環として取得した深部地震動観測記録及び水平アレー地震動観測記録を用いて、地震動評価のための三次元構造モデルの精度検証を行う。

柏崎深部地震動観測プロジェクトは、2007 年新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所における地震動増幅の原因究明を行った結果、発電所周辺における深部地下構造の不整形性や地盤の地震動伝播速度の急激な変化等が地震動増幅の主原因であることが判明し、サイト近傍の地震動評価を目的として、三次元地下構造の把握のために開始されたプロジェクトである。

###### (2) 昨年度成果<sup>1</sup>の概要

昨年度(平成 26 年度)の検討では 柏崎深部地震動観測プロジェクトの深部地震動観測記録、水平アレー地震動観測記録を整理・分析し地震データベースを作成した。さらに、JNES2007 モデル<sup>2</sup>、JNES2013A モデル<sup>3</sup>を用いて、三次元地下構造モデルの精度が地震動評価へ与える影響を検討した。JNES2007 モデル、JNES2013A モデルについては、表 3.1-1、図 3.1-2 に示すが、JNES2007 は、旧 JNES が柏崎刈羽原子力発電所における 2007 年新潟県中越沖地震の地震動増幅の原因究明のために既往の地質図、石油探査データ等を用いて作成した三次元地下構造モデルである。JNES2013A は柏崎深部地震動観測プロジェクトにおいて得られた各種の地下構造データを用いて、既往の JNES2007 モデルの一部領域を旧 JNES が高度化した三次元深部地下構造モデルであり、水平(横)方向に速度が変化するものとしてジョイントインバージョン解析したモデルである。図 3.1-2 に示すような、深部地震動観測井を中心とする水平 10Km 四方及び鉛直 10km を解析対象領域としており、三次元差分法を用いた解析を実施し、各解析モデルによる地震動評価について、解析結果と地震観測記録とを比較検討している。その結果、JNES2013A は、差分法に一次元応答計算を考慮することにより、観測孔周辺の観測点では 5Hz 程度までの地震動をよく説明できるモデルであることが分かった。

注 1 原子力施設立地サイト付近において深部地盤の地震波伝播特性、特に特殊な地質構造によって地震の揺れが原子力施設に与える影響等について、これらの評価・確認方法の強化・高度化を図ることを目的に、平成 22 年度から代表的な軟岩サイトである柏崎地域において大深度ボーリング調査による深部地震観測システムの構築(柏崎深部地震動観測システムプロジェクト)が実施されている。ここでは、数 km 四方における詳細な三次元深部地下構造の把握に必要な調査・評価方法を確立するため、新潟県柏崎市内において地震基盤に達する深さ 3000m 級の大深度ボーリング掘削・調査並びに深部地震動観測(深度 0m, 100m, 550m, 1500m, 3000m)の鉛直アレー地震動観測システムを実施し、併せて稠密な水平アレー地震観測(地表 28 点)、各種物理探査による総合的な深部地下構造調査を行っている。

### (3) 本年度の研究概要

本年度(平成 27 年度)の検討では、JNES2013B モデル<sup>3</sup>を加えた 3 種モデルを用いる。JNES2013B モデルは、表 3.1-1、図 3.1-2 に示すが、柏崎深部地震動観測システムプロジェクトにおいて得られた各種の地下構造データを用いて、既往の JNES2007 モデルの一部領域を旧 JNES が高度化した三次元深部地下構造モデルであり、水平方向に速度が変化しないものとしてジョイントインバージョン解析したモデルである。

昨年度(平成 26 年度)は、平面波入力に基づく伝達関数解析により地盤応答(スペクトル)を確認していたが、本年度(平成 27 年度)は震源を考慮した波動伝播解析により地震応答(波形)を確認するものとする。具体的には、全国を対象とした全国 1 次地下構造モデル(暫定版)<sup>4</sup>と結合することにより、震源からの影響を含めたモデルの三次元差分法による解析を実施し、3 種の三次元深部地下構造モデルによる各地震観測点位置での解析結果と観測記録とを比較・検討する。この際には、アンダーソンの指標を用い、定量的な評価も試みる。対象とした地震は、震源がサイトから遠方の地震、震央距離が 50km 程度の地震、サイト直下で発生した地震の 3 つの中小地震とする。さらに、三次元深部地下構造モデルの精度が推定地震動に与える影響について検討を行っている。

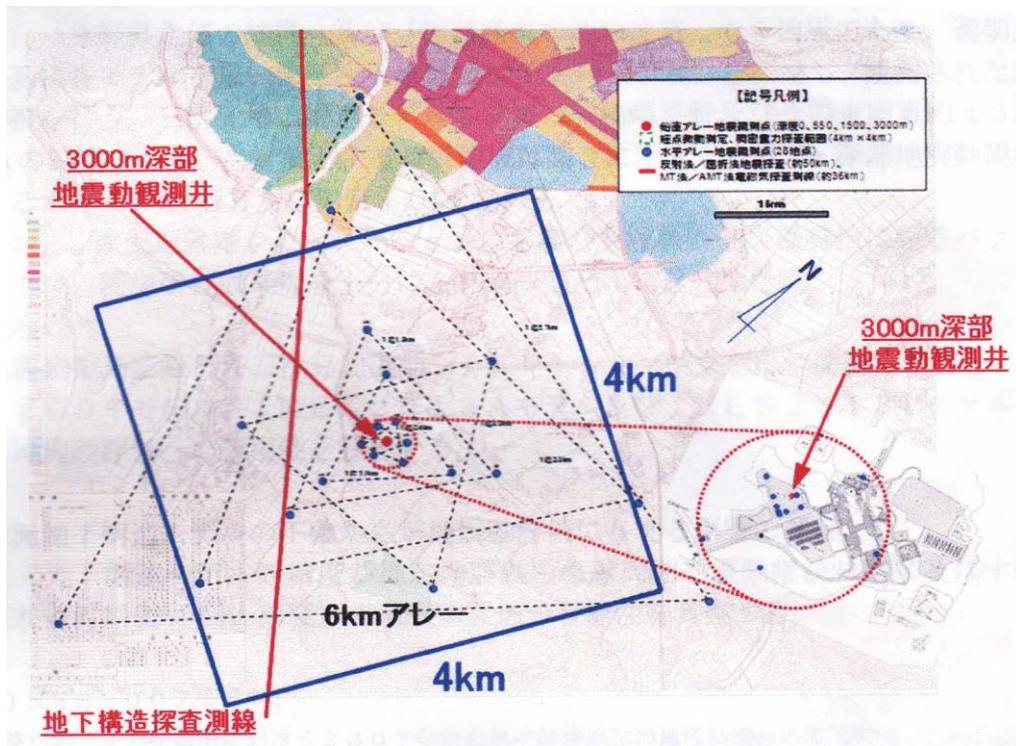


図 3.1-1 3000m 深部地震動観測井周辺における地震動観測点の位置図  
(所在地:新潟県柏崎市藤橋 1719 番地 新潟工科大学 敷地内)

表 3.1-1 三次元地下構造モデルの特徴

JNES2007モデル	柏崎刈羽原子力発電所における2007年新潟県中越地震の地震動増幅の原因究明のため、旧JNESが既往の地下構造データを基に作成した三次元深部地下構造モデル
JNES2013Aモデル	柏崎深部地震動観測システムプロジェクトにおいて得られた各種の地下構造データを用いて、既往のJNES2007モデルの一部領域を旧JNESが高度化した三次元深部地下構造モデル。水平(横)方向に速度が変化するものとしてジョイントインバージョン解析したモデル
JNES2013Bモデル	柏崎深部地震動観測システムプロジェクトにおいて得られた各種の地下構造データを用いて、既往のJNES2007モデルの一部領域を旧JNESが高度化した三次元深部地下構造モデル。水平(横)方向に速度が変化しないものとしてジョイントインバージョン解析したモデル

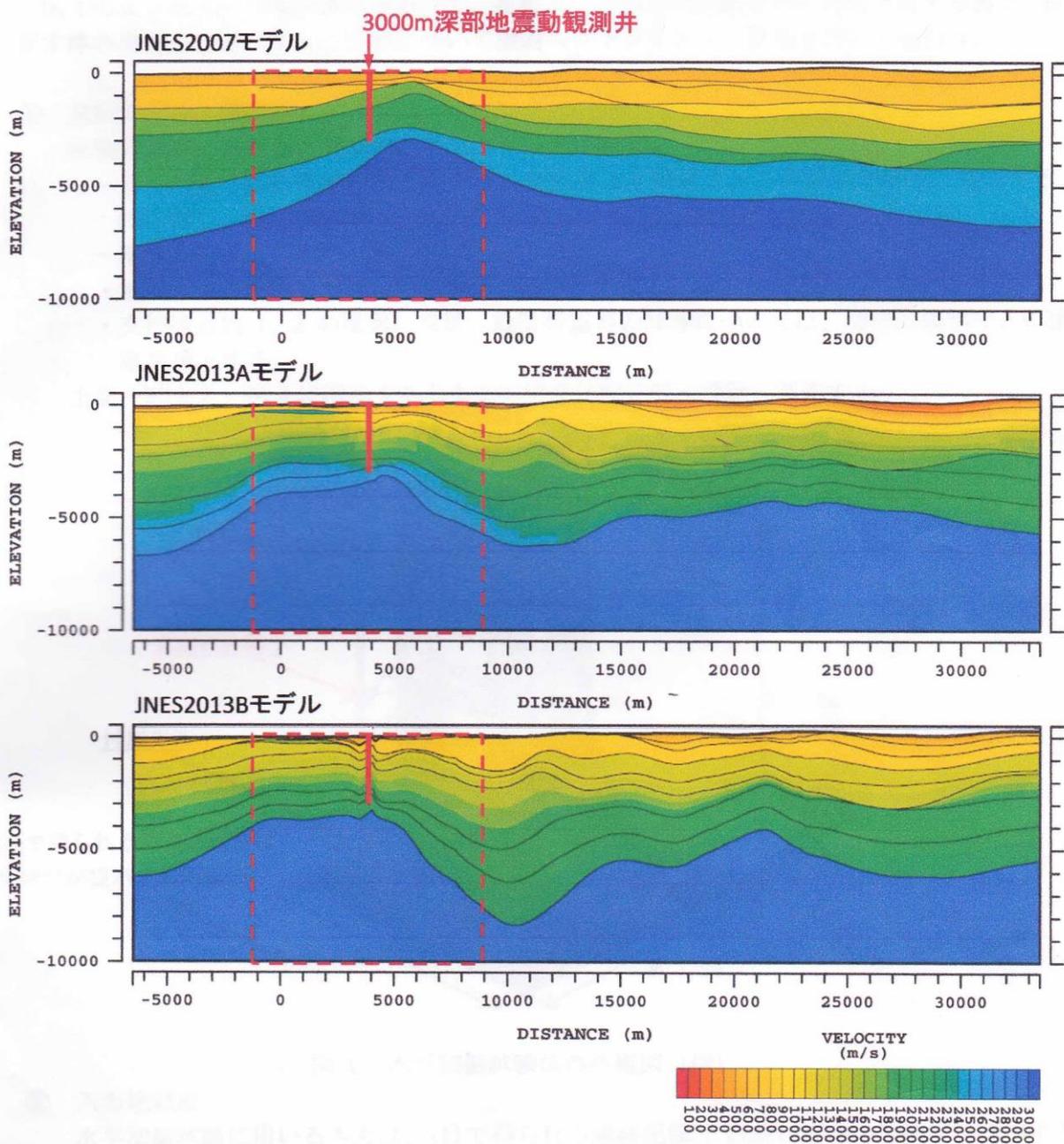


図 3.1-2 JNES2007 モデル、JNES2013A モデル及び JNES2013B モデルの例  
 (破線赤四角枠:解析対象とする深部地震動観測井を中心とする水平 10km 四方及び鉛直 10km)

### 3.1.2 三次元地下構造モデルの精度及び適用性の確認

#### 3.1.2.1 三次元地下構造モデルの作成

JNES2007 モデル<sup>2</sup>、JNES2013A モデル<sup>3</sup>及び JNES2013B モデル<sup>3</sup>の3種モデルを使った3地震による三次元地震動シミュレーションを合計 9 ケース(3モデル×3地震)実施した。それぞれにおいて、鉛直アレー記録1点(5深度)、及び水平アレー地震観測点28点(地表)における地震動観測記録(波形、スペクトル)と三次元地震動シミュレーション結果を対比することで、各モデルの精度を確認した。

上記3種類のモデルと全国1次地下構造モデル(暫定版)<sup>4</sup>(以下、1次モデルという)を接合した。なお、1次モデルでは、新潟県地方においては、魚沼層を3層に分け、西山層、椎谷層、上部寺泊層、下部寺泊層、七谷層及びグリーンタフ、基盤岩類に分類し、モデル化されている。一方、JNES2007 モデルでは、西山層を3分割、椎谷層を3分割したモデル化が行われている。各地層の上面深度を作成するために用いた基礎試錐や石油公団等の反射法地震探査結果のデータは同じデータを用いているが、JNES2007 では、上記のように各地層をさらに細分化している。

さらに、JNES2013A モデル、JNES2013B では、魚沼層群6層、西山層7層、米山層、椎谷層3層、上部寺泊層3層、下部寺泊層3層、七谷層3層、グリーンタフ3層、基盤岩類に分類しモデル化が行われている。JNES2007 に比べ、新潟工科大学周辺における稠密微動アレー探査の結果が反映されており、各地層の上面深度が JNES2007 に比べやや浅く推定されている。ただし、JNES2007 のモデルでも地震動の R/V スペクトルにより長周期帯域の卓越周期を用いたチューニングが行われており、計算される地盤の卓越周期は概ね対応している。

本検討では、引間(2007)<sup>5</sup>の地質構造を参考にモデルを統合した。図 3.1- 1 に JNES2013A モデル、JNES2013B モデルと1次モデルの対応を示す。図 3.1- 2 に JNES2007 モデルと1次モデルの対応を示す。図 3.1- 3 から図 3.1- 10 に統合したモデルを示す。それぞれの図面で左上が JNES2013B 統合モデル、中上が JNES2013A 統合モデル、右上が JNES2007 統合モデル、左下が 1 次モデル、中下が統合前の JNES2013A モデルを示している。図中の長方形の範囲では JNES2013A および JNES2013Bモデルは 500 mグリッド、正方形の範囲では 20mグリッドのモデル化がされており、正方形の範囲内では 20mグリッドのデータ、それ以外の長方形の範囲では 500mグリッドのデータを用いた。長方形の範囲を含むように 1 次モデルを切り抜き、上記の長方形の範囲の JNES2013A、JNES2013Bモデルおよび JNES2007 を補間することにより統合モデルを作成した。各層の深度は概ねスムーズに接合されていることがわかる。表 3.1- 1 に地盤モデルの物性値を示す。地震基盤以深については、1次モデルの構造を用いた。Q 値については、1 次モデルの設置値を参考に、Qs 値は S 波速度(m/s)の 10 分の1とし、地震基盤以浅については 200 を超える場合には 200 とした。地震基盤以深では、1次モデルの 2 分の 1 の値とした。地震基盤より上位の層の Qp 値は 1 次モデルでの設定と同様に Qs 値の 1.7 倍とした。地震基盤以深の Qp 値は Qs 値と同様に1次モデルの 2 分の 1 の値とした。

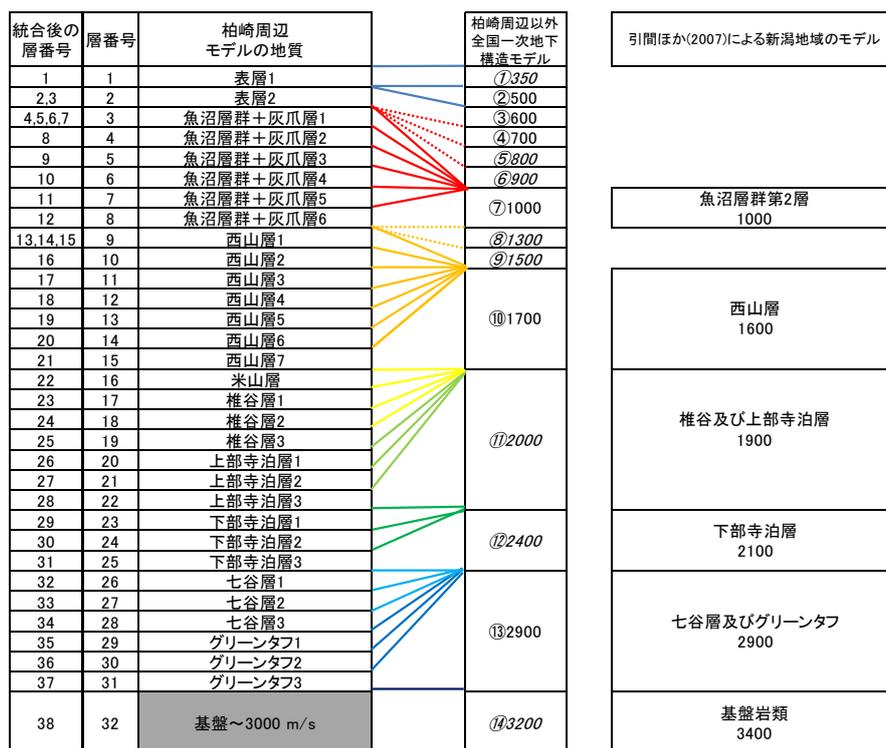


図 3.1- 1 JNES2013A モデル、JNES2013B モデルと 1 次モデルの対応  
 一次モデルの数値はモデルの各層の S 波速度 (単位 m/s)  
 引間他 (2007) の数値も同様

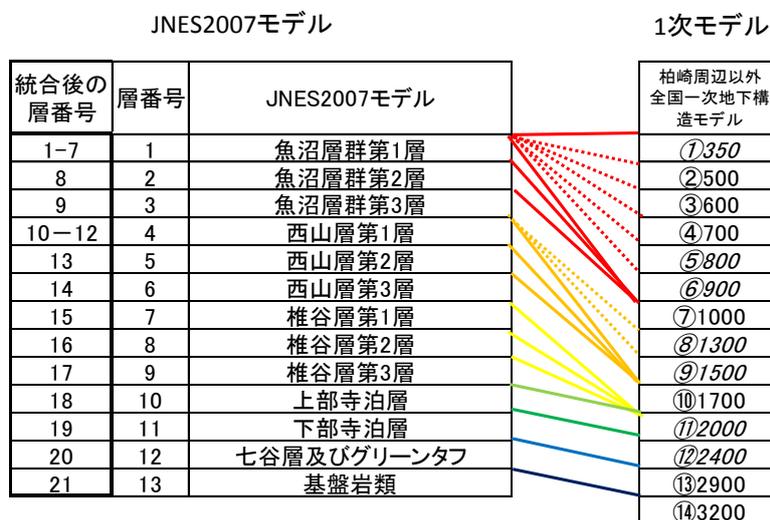


図 3.1- 2 JNES2007 モデルと 1 次モデルの対応  
 一次モデルの数値はモデルの各層の S 波速度 (単位 m/s)

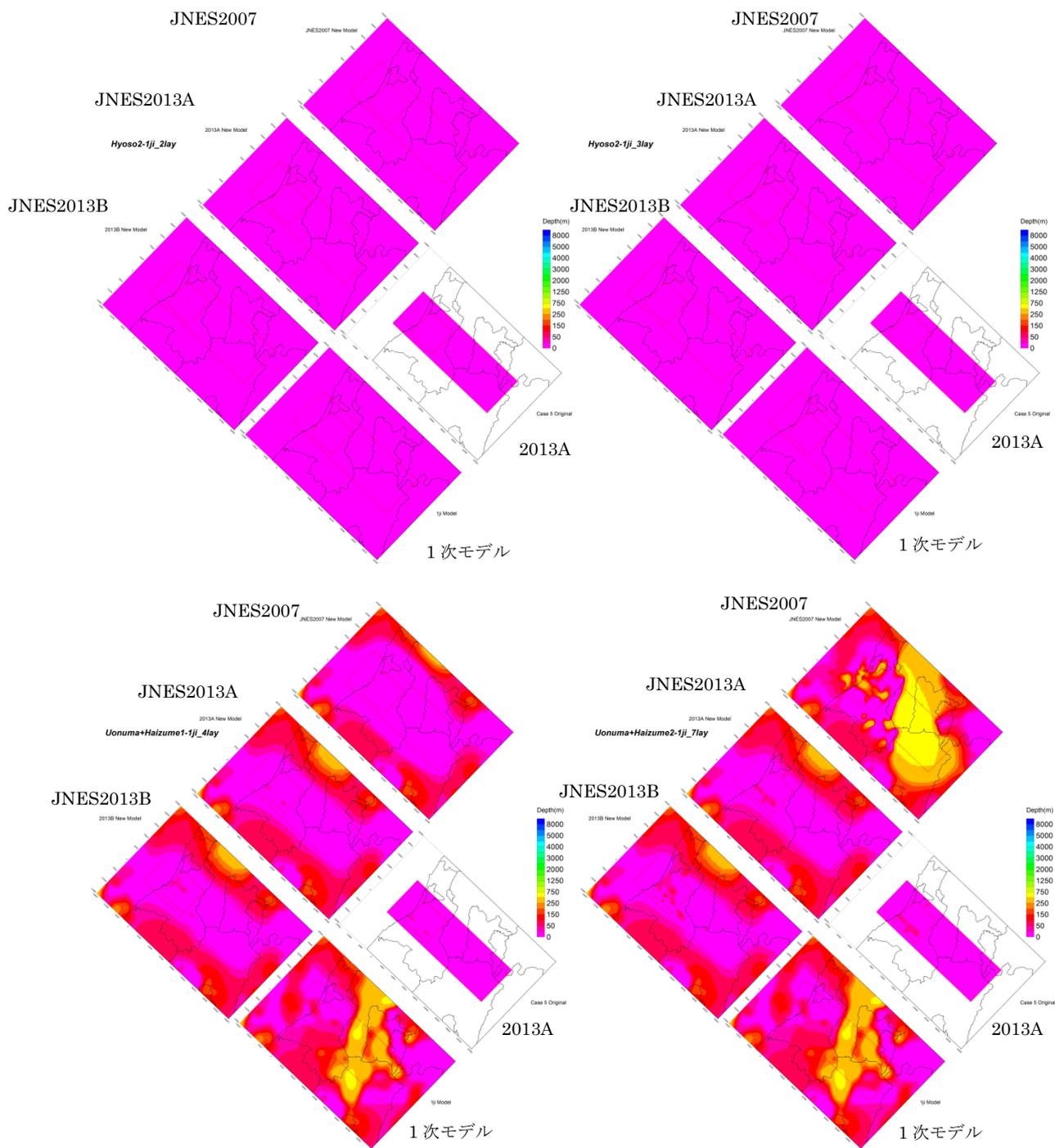


図 3.1- 3 統合モデル 表層1、表層2、魚沼層群+灰爪層1、魚沼層群+灰爪層 2

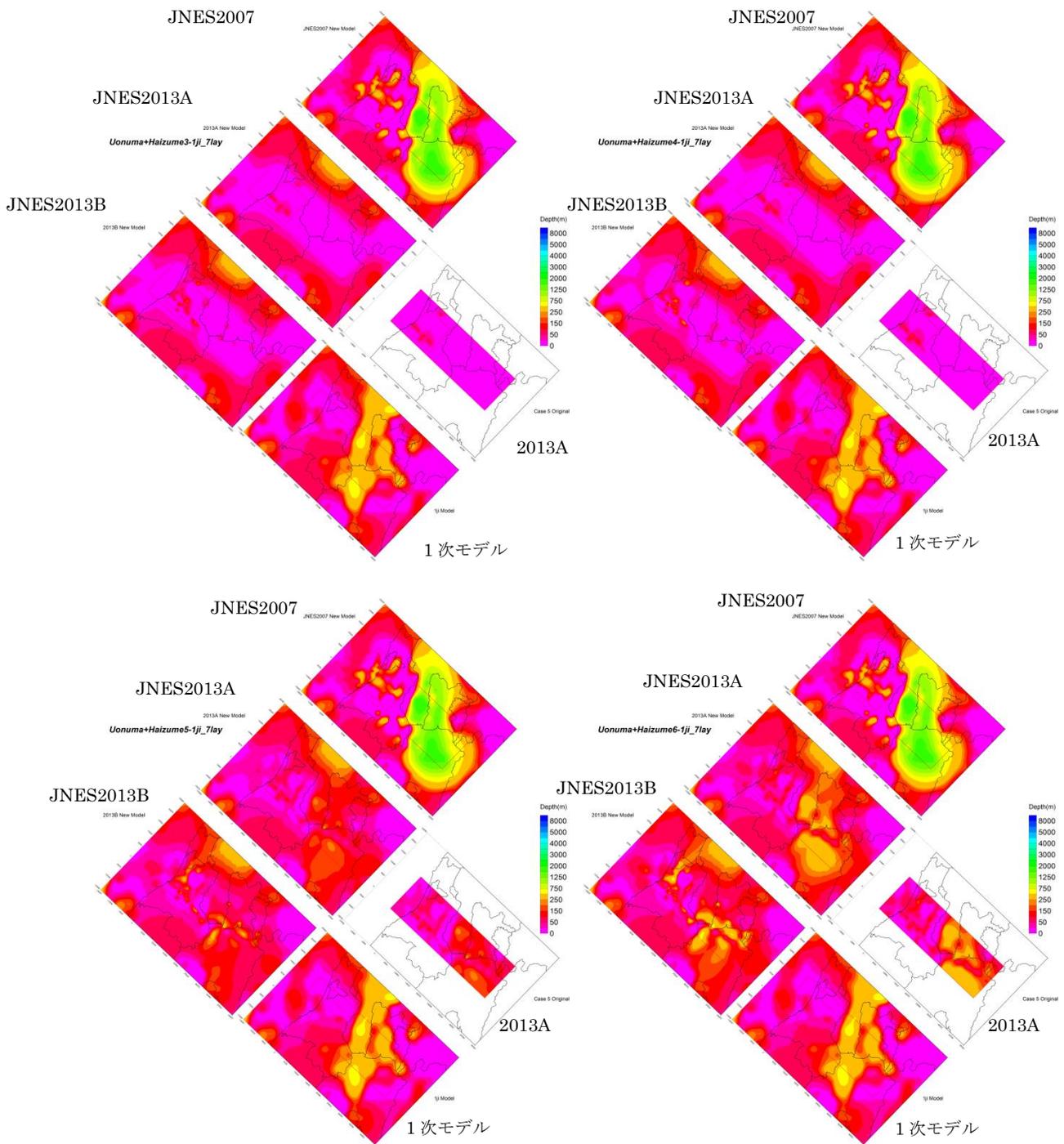


図 3.1-4 統合モデル 魚沼層群+灰爪層3、魚沼層群+灰爪層4、  
魚沼層群+灰爪層5、魚沼層群+灰爪層6

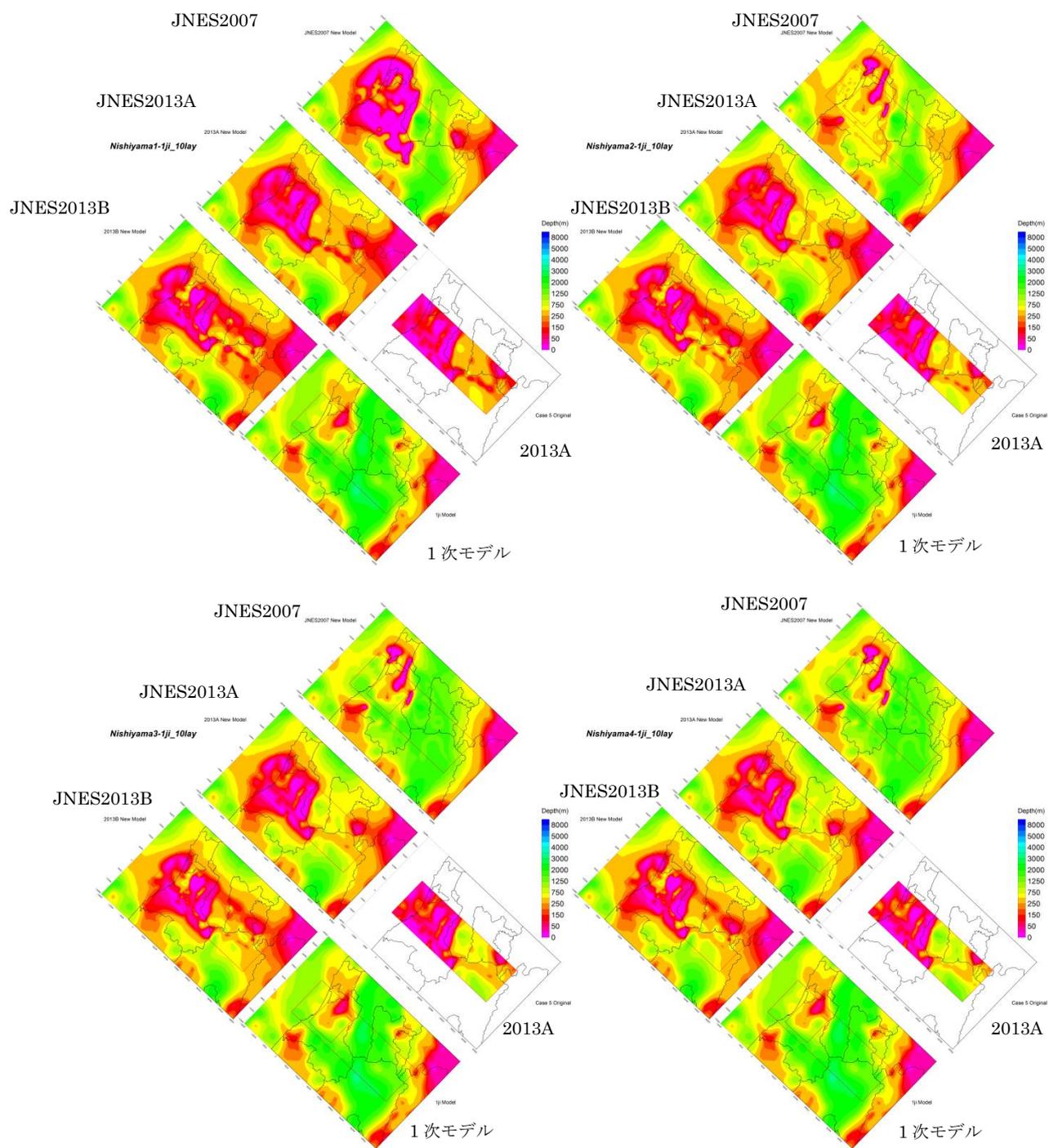


図 3.1- 5 統合モデル 西山層1、西山層2、  
西山層3、西山層4

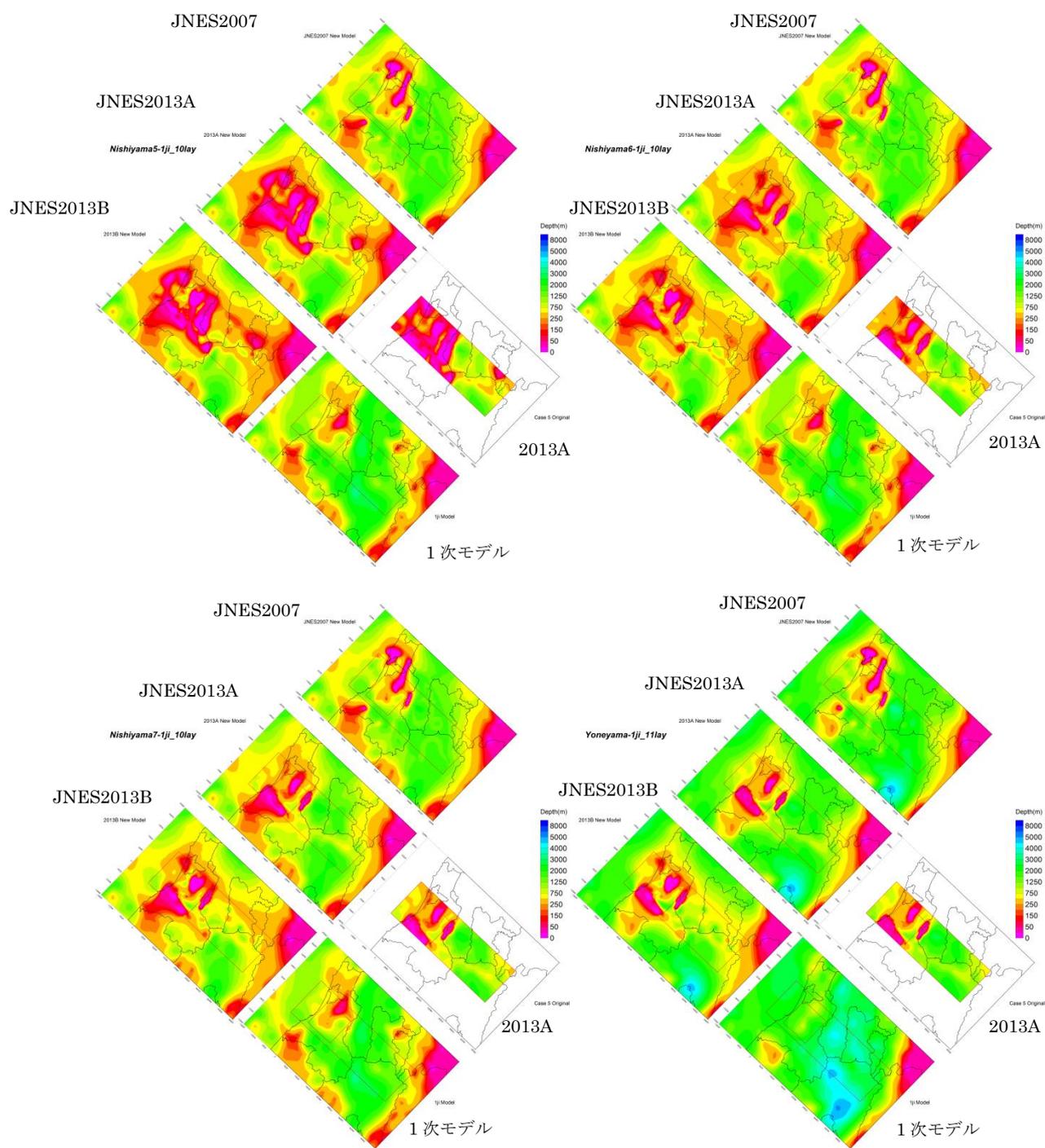


図 3.1- 6 統合モデル 西山層5、西山層6、  
西山層7、米山層

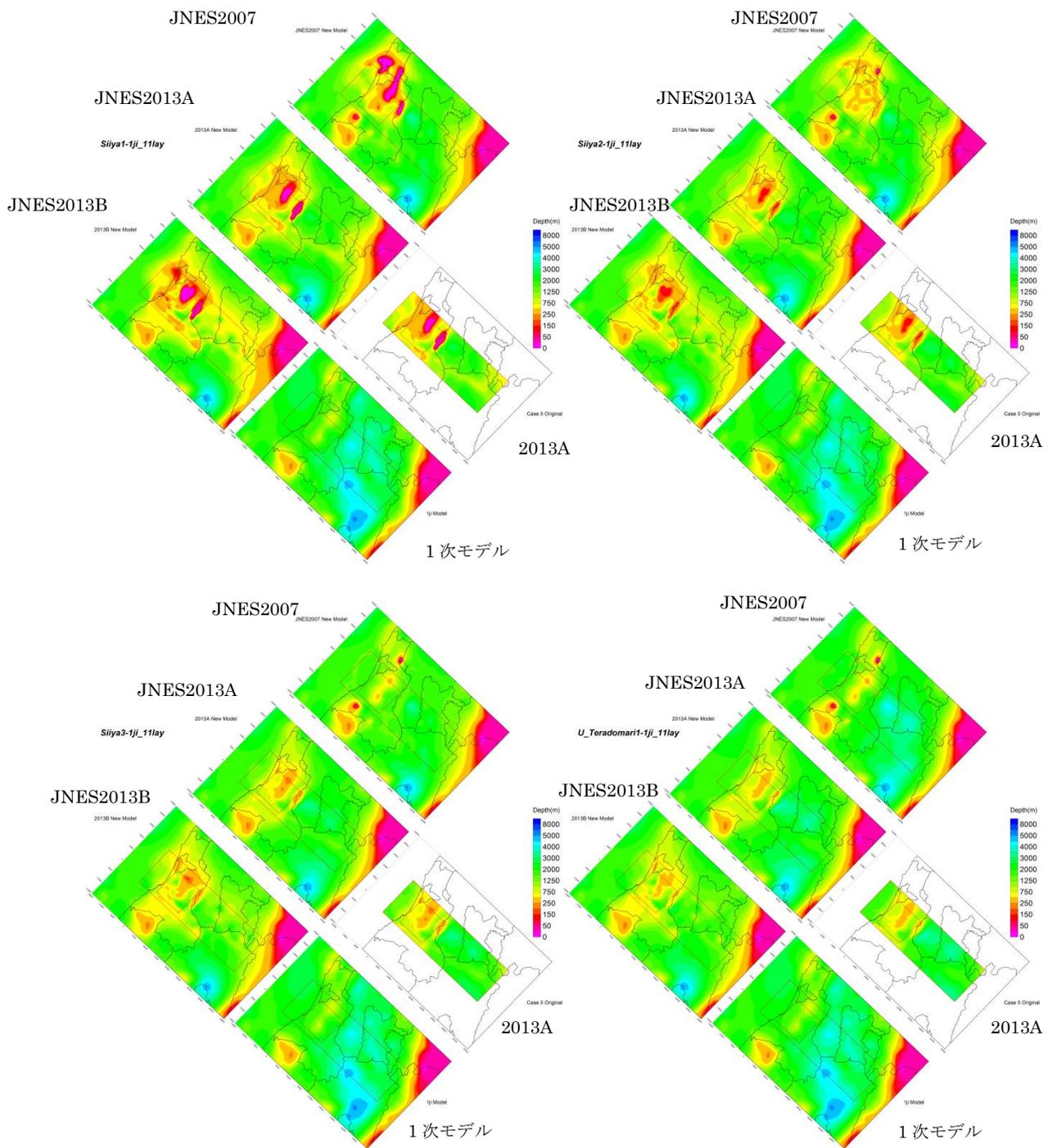


図 3.1-7 統合モデル 椎谷層1、椎谷層2、椎谷層3、上部寺泊層1

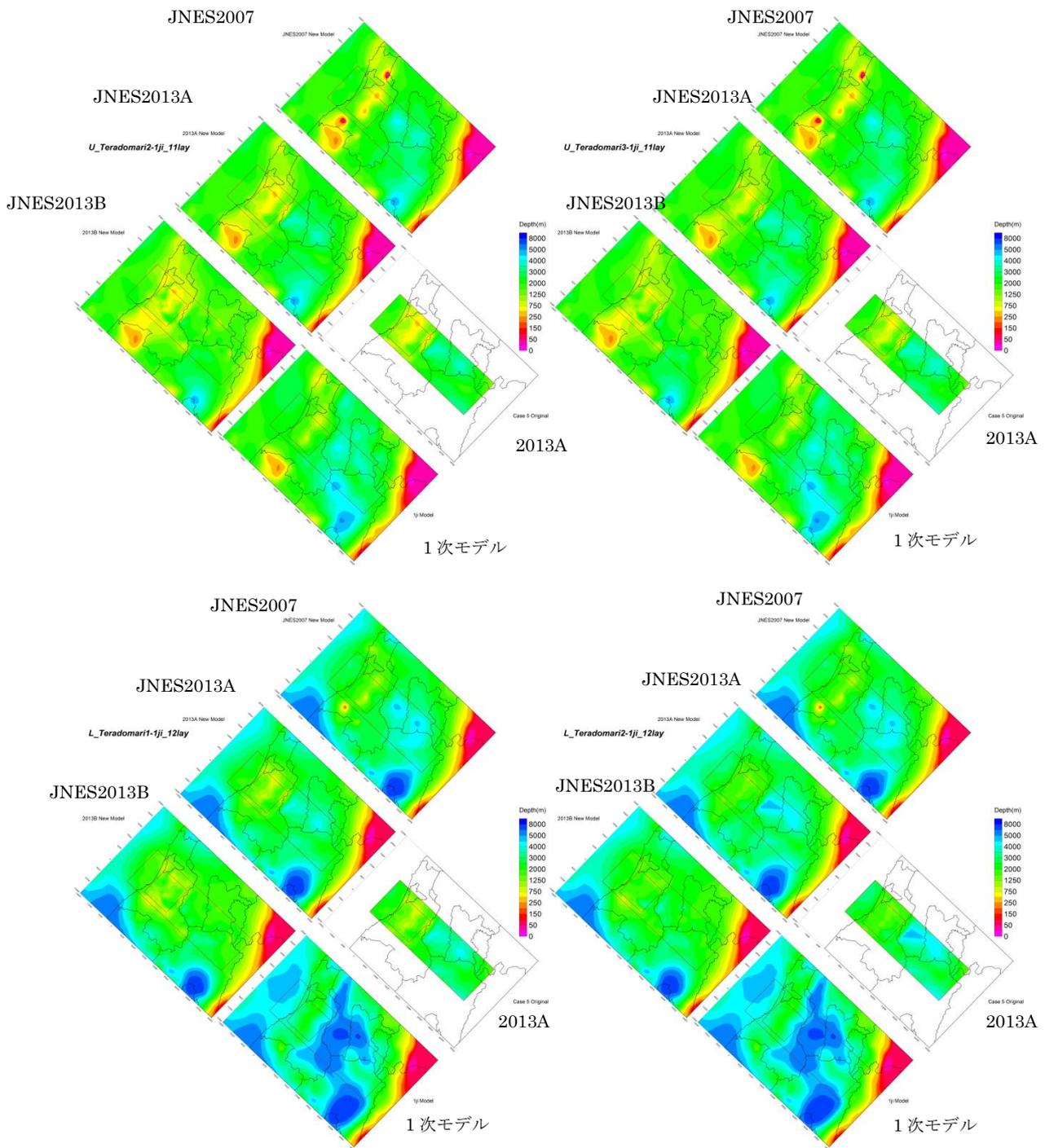


図 3.1- 8 統合モデル 上部寺泊層2、上部寺泊層3、下部寺泊層1、下部寺泊層2

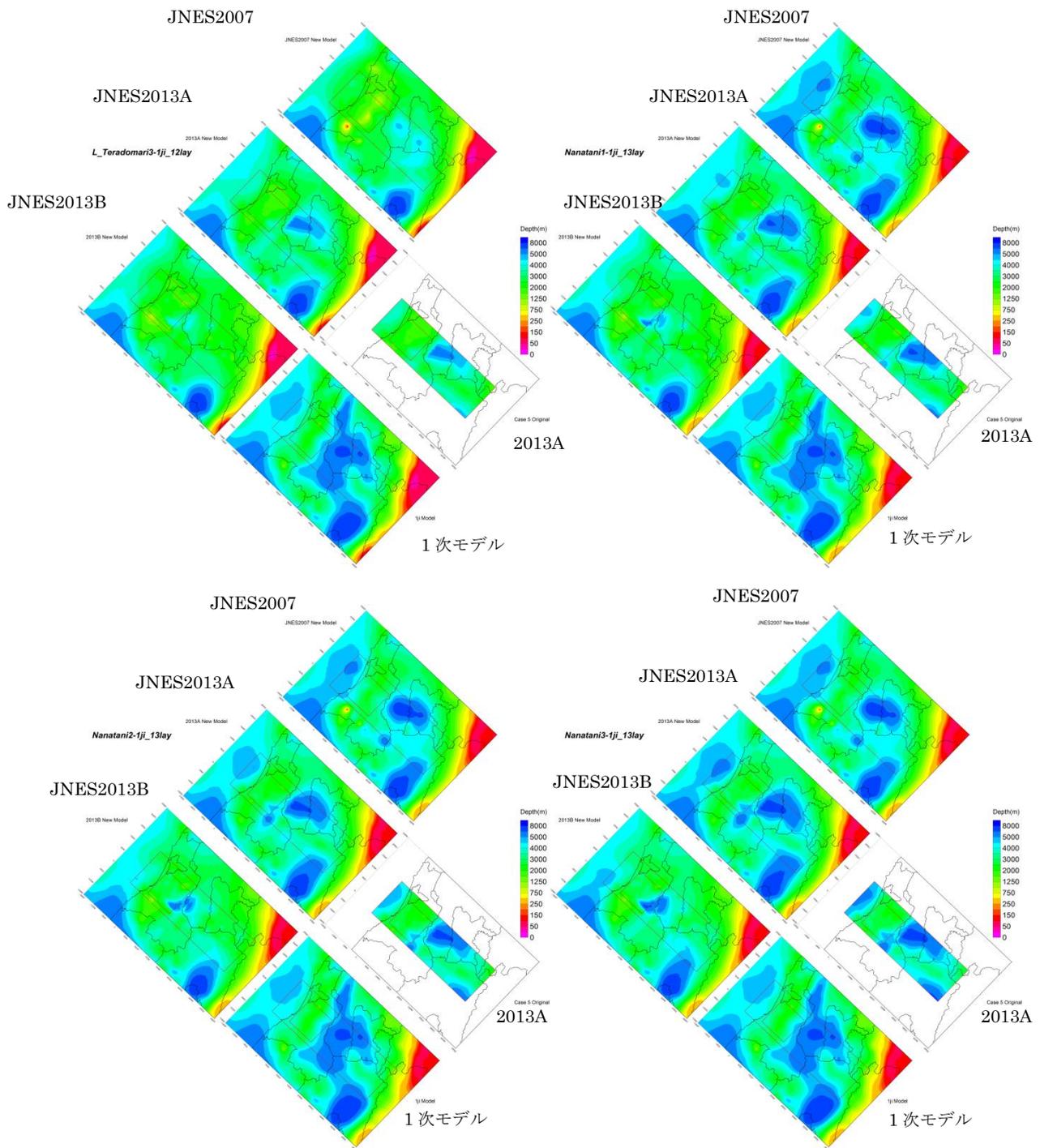


図 3.1-9 統合モデル 下部寺泊層3、七谷層1、七谷層2、七谷層3

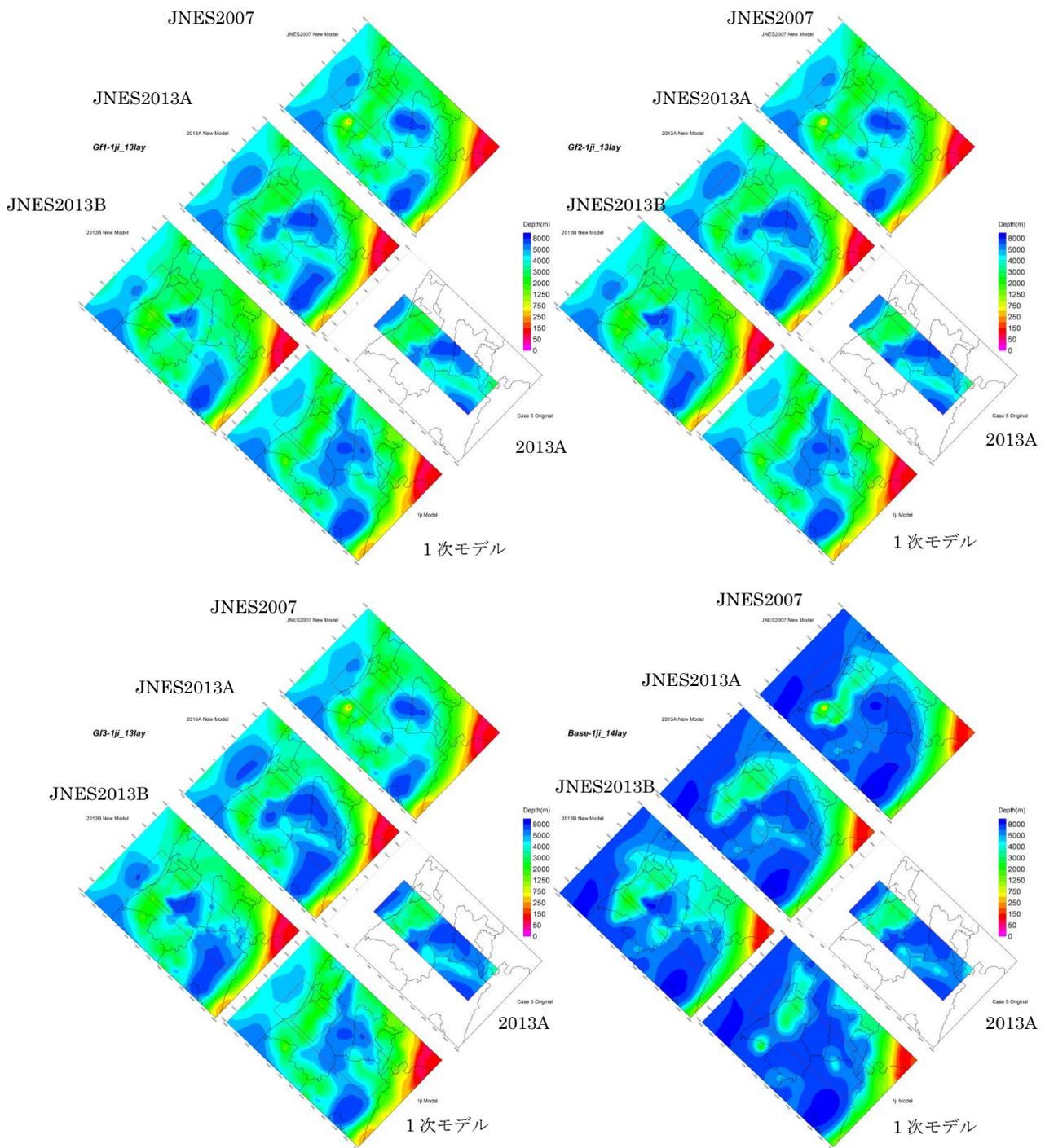


図 3.1- 10 統合モデル グリーンタフ1、グリーンタフ2、  
グリーンタフ3、基盤岩類

### 3.1.2.2 三次元差分法による中小地震の再現計算

表 3.1- 2 に差分法の計算を行った地震の一覧を示す。図 3.1- 11 には、計算を行った地震の震央分布を示す。サイトから遠方の地震および震央距離 50 km の地震、直下で発生した地震を選定した。その際、3000m の孔中記録にノイズが少ない地震、防災科学技術研究所 F-net ホームページにおいて震源過程の解析結果が公表されている地震を選定した。直下で発生した地震は規模が小さく、F-net ホームページにおいて震源過程の解析結果は公表されていなかったため、下記に示すように簡易的な地震規模の推定解析を実施した。表 3.1- 3 は、最終的に差分法で使用した震源のパラメータである。

差分法の計算の基本となる差分スキームは、速度一応力スタガード・グリッド (Virieux, 1986<sup>6</sup>) であり、時間方向に 2 次、空間方向に 4 次の精度 (Levander, 1988<sup>7</sup>) で計算を行っている。速度一応力スタガード・グリッドに対する震源の導入には、モーメント・テンソルを等価な体積力として表現する方法 (Graves, 1996<sup>8</sup>) を用いた。粘弾性条件は、メモリバリエブルによる条件 (Robertsson et al., 1994<sup>9</sup>) を導入した。図 3.1- 12 に Q 値の周波数依存曲線を示す。基準周期は 4 秒とした。吸収境界条件は、Cerjan (1985)<sup>10</sup> による吸収境界条件を用いた。20 格子幅の吸収境界を設けた。

表 3.1- 4 に Eq1 の差分法計算の諸元を示す。最小格子間隔は 100m とし、地盤モデルの最小 Vs は 500 m/s とした。計算対象周期は 1 秒以上である。図 3.1- 13 に震源メカニズムを示す。

表 3.1- 5 に Eq2 の計算諸元を示す。最小格子間隔は 30m とし、地盤モデルの最小 Vs は 300 m/s とした。計算対象周期は 0.5 秒以上である。図 3.1- 14 に震源メカニズムを示す。

表 3.1- 6 に Eq3 の計算諸元を示す。最小格子間隔は 10m とし、地盤モデルの最小 Vs は 300 m/s とした。計算対象周期は 0.17 秒以上である。図 3.1- 15 には Eq3 周辺で発生した地震のメカニズムを示す。傾斜は概ね 60 度程度、すべり角は概ね 90 度程度にデータが集まっていることがわかる。そこで、図 3.1- 15 の青枠で囲ったデータの平均値を計算に用いた (表 3.1- 7)。

図 3.1- 16 に Eq3 の地震で観測された加速度波形の上下動成分のペーストアップを示す。図には、気象庁走時表 (JMA2001 走時表)<sup>11</sup> による P 波、S 波走時も示している。この図を見ると観測記録に見られる P 波初動走時と走時表による走時が一致していないことがわかる。JNNK01 や JNNK04 の初動走時が他の観測点に比べ早いことがわかる。そこで、震源位置を JNNK01 の直下 10 km にした場合のペーストアップを図 3.1- 17 に示す。初動走時の並びが震央距離順に並んでいることがわかる。なお、(公財)地震予知総合研究振興会では、長岡平野西縁断層帯周辺の稠密地震観測網記録を用いた震源の再決定を行っている。表 3.1- 8 には Eq3 の震源位置およびメカニズムの比較を示す。図 3.1- 18 には、観測点位置と震源位置の分布図を示す。(公財)地震予知総合研究振興会による結果と本検討結果では位置がやや異なっており、メカニズムも異なる結果となった。震源位置やメカニズムの相違が計算結果にどの程度影響を及ぼすかについては今後の課題としたい。

地震モーメントについては、以下のように算出した。

観測点で観測される加速度スペクトル  $A(f)$  を下記のように、震源特性  $S$ 、伝播特性  $P$ 、サイト特性  $G$  で表現する。

$$A(f) = S(f) \cdot P(f) \cdot G(f) \quad (3.1-1)$$

伝播特性  $P$  は以下のようにあらわせる。

$$P(f) = \frac{1}{X} \exp\left(-\frac{\pi f X}{Q\beta}\right) \quad (3.1-2)$$

ここで、 $X$ は震源距離、 $Q$ は伝播経路の $Q$ 値、 $\beta$ は伝播経路の $S$ 波速度である。ここでは、川瀬・松尾(2004)<sup>12</sup>による新潟県地方の伝播の $Q$ 値( $Q(f) = 163 \cdot f^{-0.75}$ )を用いた。伝播経路の $S$ 波速度は $3.2 \text{ km/s}$ とした。

震源特性 $S$ を以下のようにモデル化する。

$$S(f) = \frac{R_{\theta\phi} F_S P_R}{4\pi\rho\beta^3} \sqrt{\frac{\rho\beta}{\rho_z\beta_z}} \frac{(2\pi f)^2}{1+(f/f_0)^2} \frac{M_0}{(1+(1/f_{max})^2)} \quad (3.1-3)$$

ここで、 $M_0$ は地震モーメント、 $f_0$ はコーナー周波数、 $f_{max}$ は遮断周波数、 $P_R$ は水平2成分へのエネルギー配分を表す係数であり、rms値を用いるので、 $1/\sqrt{2}$ とした。ラディエーションパターン $R_{\theta\phi}$ は、川瀬・松尾(2004)を参考に $0.63$ とした。震源域の $S$ 波速度および密度 $\beta$ 、 $\rho$ は地盤モデルの $3.4 \text{ km/s}$ 、 $2.7 \text{ g/cm}^3$ とした。基盤の $S$ 波速度密度 $\beta_z$ 、 $\rho_z$ も地盤モデルの $3.2 \text{ km/s}$ 、 $2.65 \text{ g/cm}^3$ とした。

加速度スペクトル $A(f)$ を各観測点の地盤モデルの $S$ 波増幅率で除すことにより、地震基盤での加速度スペクトルを求めた。さらに、地震基盤が $3 \text{ km}$ 以上であり、震源深さを $10 \text{ km}$ としているため、震源距離 $X$ を震源から観測点直下の地震基盤までの直線距離とした。図3.1-19に加速度スペクトルを伝播特性で除したスペクトルとさらに増幅特性で除した加速度スペクトルを示す。これらのデータの対数標準偏差を図3.1-20に示す。周期 $0.2\text{--}1.0$ 秒の帯域において増幅特性で除した加速度スペクトルの対数標準偏差が小さくなっていることがわかる。これは、観測点の増幅特性を適切に表現していることを示している。

図3.1-21に観測記録から推定した震源スペクトルと最小二乗法によりフィッティングした震源スペクトルを示す。最小二乗法によりフィッティングを行った未知数は、地震モーメント、コーナー周波数、遮断周波数の3つのパラメータである。フィッティングには、 $1.0\text{--}20\text{Hz}$ のデータを用いている。地震モーメントは $1.1 \times 10^{13} \text{ Nm}$ と推定された。差分法計算に用いる $f_0$ は、試行錯誤により $0.1$ 秒とした(フィッティングされた $f_0$ は $0.14$ 秒、 $f_{max}$ も $0.14$ 秒であった)。

表層地盤については、地表面での差分法の計算結果をEq1の場合は $S$ 波速度 $0.5 \text{ km/s}$ 以上の層の上面にEq2,3の場合は $S$ 波速度 $0.3 \text{ km/s}$ 以上の層の上面での解放基盤面での波形を計算し、地盤モデルを用いて表層モデルを用いた応答計算を行い地表での計算波形を求めた(図3.1-22)。表層地盤の補正については、JNES2013AおよびBモデルのみで行い、JNES2007については $S$ 波速度 $0.5 \text{ km/s}$ 以下の層が設定されていないため、表層地盤の補正を行っていない。

観測波形と差分法計算結果との定量的な評価は、Anderson(2004)<sup>13</sup>の指標(以下、アンダーソンの指標という)により行った。アンダーソンの指標の計算方法を参考にアンダーソンの指標を以下のとおりに計算した。

$$s(p_1, p_2) = \sum_{i=1}^N \left[ \exp\left\{ - \left[ \frac{p_1 - p_2}{\min(p_1, p_2)} \right]^2 \right\} \right] / N \quad (3.1-4)$$

ここで、 $p_1$ 及び $p_2$ は観測値および計算値を示す。 $N$ は、各周期帯域内のスペクトルのデータ数である。

Anderson(2004)では便宜的に上式に定数 10 をかけているが、本検討では定数をかけていない。Anderson(2004)の結果と比べる際には、本検討結果を 10 倍して比較することで問題はないと考える。上記の式を本検討では改めて“アンダーソンの指標”と呼ぶことにする。

図 3.1- 23 に  $p_1$  が 1 の場合の、 $p_2$  が変化した場合の指標の変化を示す。いわゆる倍半分の精度の場合のアンダーソンの指標は、0.4 程度である。

周期帯域については、Anderson(2004)の論文を参考に、周期 10-8 秒、8-6 秒、6-4 秒、4-2 秒、2-1 秒、1-0.5 秒、0.5-0.2 秒の 7 つの周期帯域ごとにアンダーソンの指標を計算した。図 3.1- 24 に Anderson(2004)による周期帯域と本検討における周期帯域の比較を示す。本検討では、周期 2-10 秒の帯域をより細かく分けて、短周期帯域だけでなく、いわゆる“やや長周期地震動”にも着目するため、このような周期帯域を設定した。

表 3.1- 1 地盤モデルの物性値一覧

Vp(km/s)	Vs(km/s)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Qp	Qs	
2013A、2013Bモデルに準拠			Qs * 1.7	Vs(m/s)/10	
5.5	3.2	2.65	340	200	地震基盤
5.8	3.4	2.7	340	200	上部地殻第2層
6.4	3.8	2.8	340	200	下部地殻
7.5	4.5	3.2	425	250	マントル
5	2.9	2.4	340	200	海洋性地殻第2層(フィリピン海プレート)
6.8	4	2.9	255	150	海洋性地殻第3層(フィリピン海プレート)
8	4.7	3.2	425	250	海洋性マントル(フィリピン海プレート)
5.4	2.8	2.6	170	100	海洋性地殻第2層(太平洋プレート)
6.5	3.5	2.8	255	150	海洋性地殻第3層(太平洋プレート)
8.1	4.6	3.4	425	250	海洋性マントル(太平洋プレート)

表 3.1- 2 計算を行った地震の一覧

地震	年月日	時分秒	経度	緯度	深さ(km)	Mj	
Eq1	2012/06/28	14:51:50.85	141.1967	37.1677	63.18	5.2	E OFF FUKUSHIMA PREF
Eq2	2012/10/18	00:01:40.79	138.7087	37.0277	7.07	4.2	MID NIIGATA PREF
Eq3	2012/07/26	00:16:00.76	138.5827	37.3552	15.75	2.2	MID NIIGATA PREF

※気象庁一元化震源による情報

表 3.1- 3 差分法で使用した震源パラメータ  
(最終的に採用した震源の緒元)

地震	緯度	経度	深さ(km)	走向	傾斜	すべり角	地震モーメント(Nm)	ライズタイム(秒)	震央地名
Eq1	141.1967	37.1677	63.18	193	81	81	7.99E+16	0.5	E OFF FUKUSHIMA PREF
Eq2	138.7087	37.0277	7.07	54	55	95	2.34E+15	1	MID NIIGATA PREF
Eq3	138.549	37.3595	10	32	58	94	1.1E+13	0.1	MID NIIGATA PREF

- 気象庁一元化震源
- F-netホームページより
- 初動走時より推定
- 周辺で発生した地震のメカニズムの平均
- 地震基盤波を推定し、震源スペクトルを推定した結果
- 波形のスペクトルなどにより設定

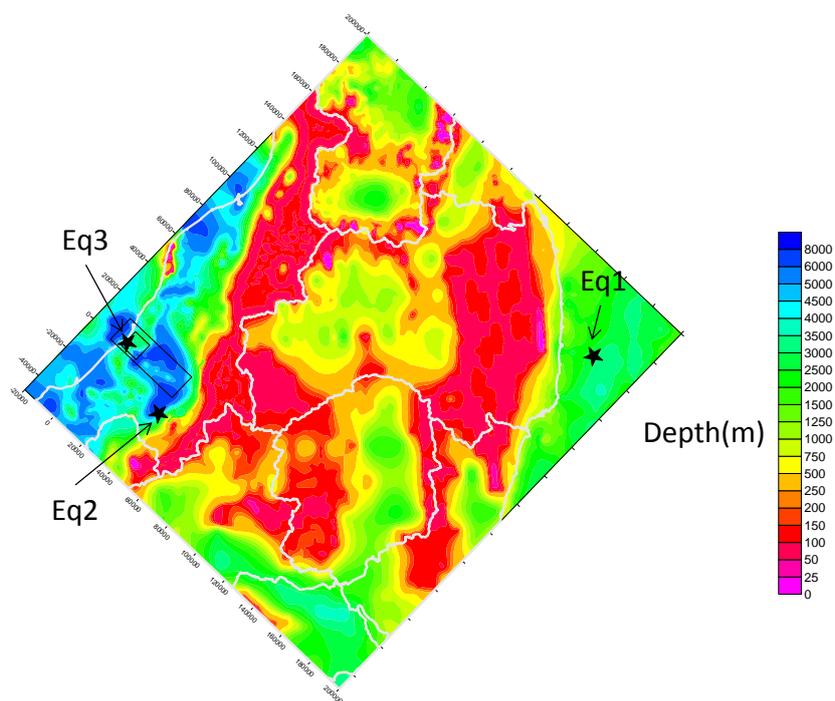


図 3.1- 11 計算に用いた地震の震央位置 背景は JNES2013A モデルの基盤深度

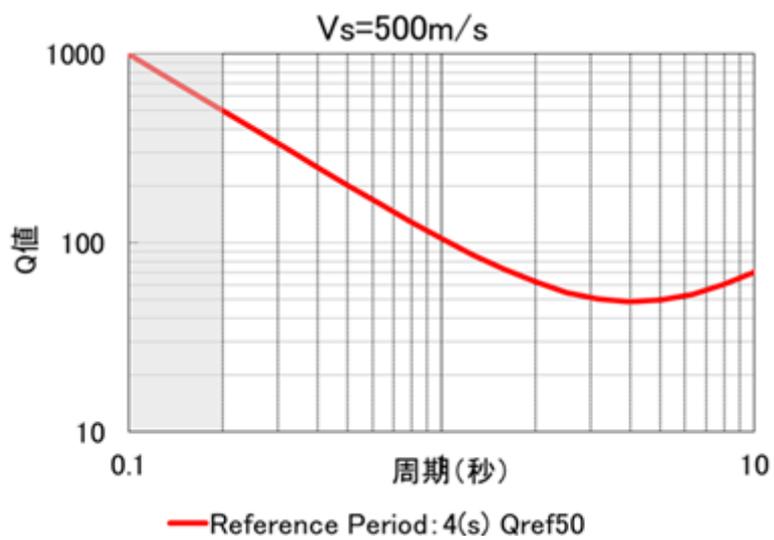


図 3.1- 12 Q 値の周波数依存曲線

表 3.1- 4 Eq1 の差分法計算の諸元

グリッドサイズ(m)	100	
X方向距離(km)	250	グリッド数2500
Y方向距離(km)	220	グリッド数2200
深度方向 グリッドサイズ(m)	100	深さ0 km~0.2 km
	200	深さ0.2km~1.6 km
	300	深さ1.6km~6.7 km
	400	深さ6.7km~82.7 km
計算間隔(秒)	0.012	
ステップ数	30000	
左下隅の座標	回転座標系 X:-20000m Y:-20000m	
右上隅の座標	回転座標系 X:200000m Y:230000m	

手動メカニズム決定結果

走向	傾斜	すべり角	モーメント	深さ	マグニチュード	品質
193 ; 58	81 ; 12	81 ; 134	7.99e+16 Nm	59 km	Mw 5.2	86.26

■ メカニズム (実線:観測 点線:計算)

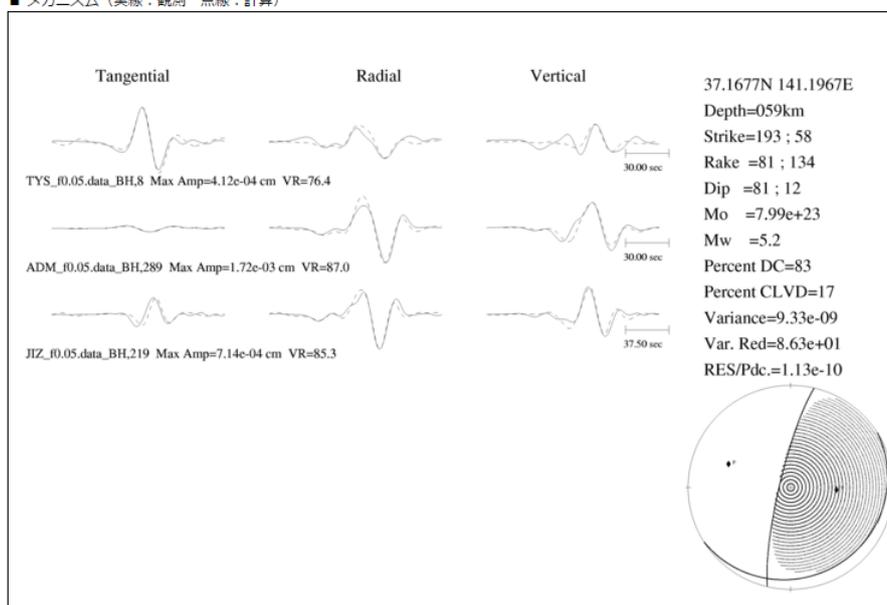


図 3.1- 13 Eq1 の震源メカニズム F-net ホームページによる

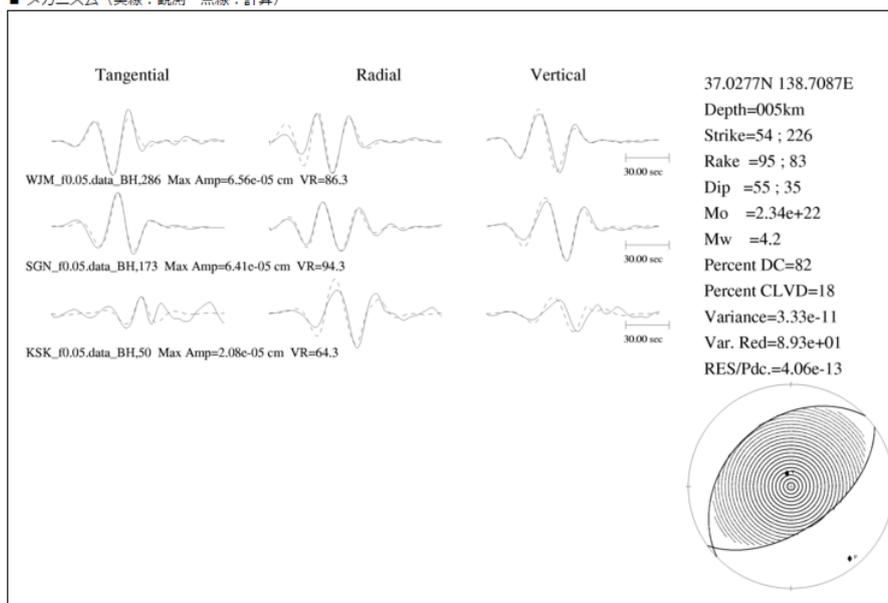
表 3.1- 5 Eq2 の差分法計算の諸元

グリッドサイズ(m)	30	
X方向距離(km)	75	グリッド数2500
Y方向距離(km)	45	グリッド数1500
深度方向 グリッドサイズ(m)	30	深さ0 km~0.06 km
	60	深さ0.06km~0.48 km
	90	深さ0.48km~2.01 km
	120	深さ2.01km~20.01 km
計算間隔(秒)	0.012	
ステップ数	30000	
左下隅の座標	回転座標系 X:-25000m Y:-15000m	
右上隅の座標	回転座標系 X:20000m Y:60000m	

手動メカニズム決定結果

走向	傾斜	すべり角	モーメント	深さ	マグニチュード	品質
54 ; 226	55 ; 35	95 ; 83	2.34e+15 Nm	5 km	Mw 4.2	89.30

■ メカニズム (実線: 観測 点線: 計算)



■ この地域に発生した過去の地震

図 3.1- 14 Eq2 の震源メカニズム F-net ホームページによる

表 3.1- 6 Eq3 の差分法計算の諸元

グリッドサイズ(m)	10	
X方向距離(km)	11	グリッド数1100
Y方向距離(km)	11	グリッド数1100
深度方向 グリッドサイズ(m)	10	深さ0 km~0.05 km
	20	深さ0.05km~0.49 km
	60	深さ0.49km~1.99 km
	80	深さ1.99km~16.39 km
計算間隔(秒)	0.012	
ステップ数	30000	
左下隅の座標	回転座標系 X:-1000m Y:-1000m	
右上隅の座標	回転座標系 X:10000m Y:10000m	

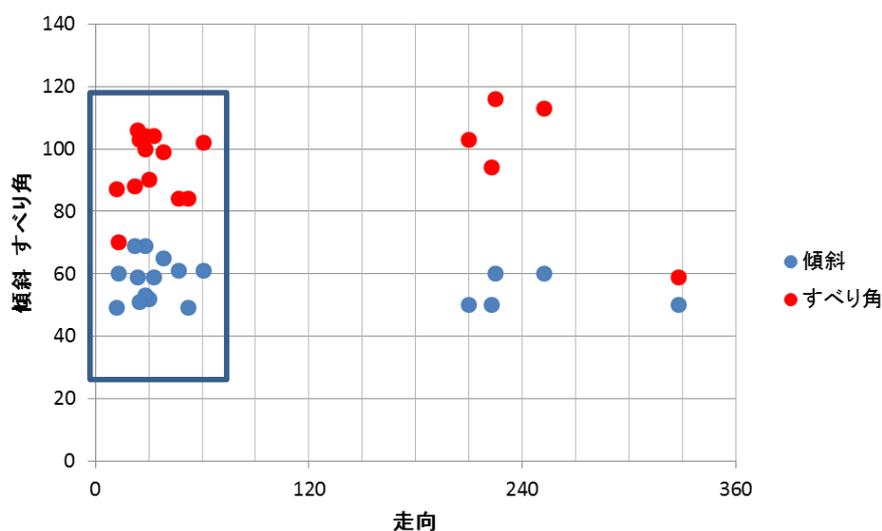


図 3.1- 15 Eq3 周辺で発生した地震のメカニズム F-net ホームページより

表 3.1- 7 Eq3 の計算に用いたメカニズム

走向	32 度
傾斜	58 度
すべり角	94 度

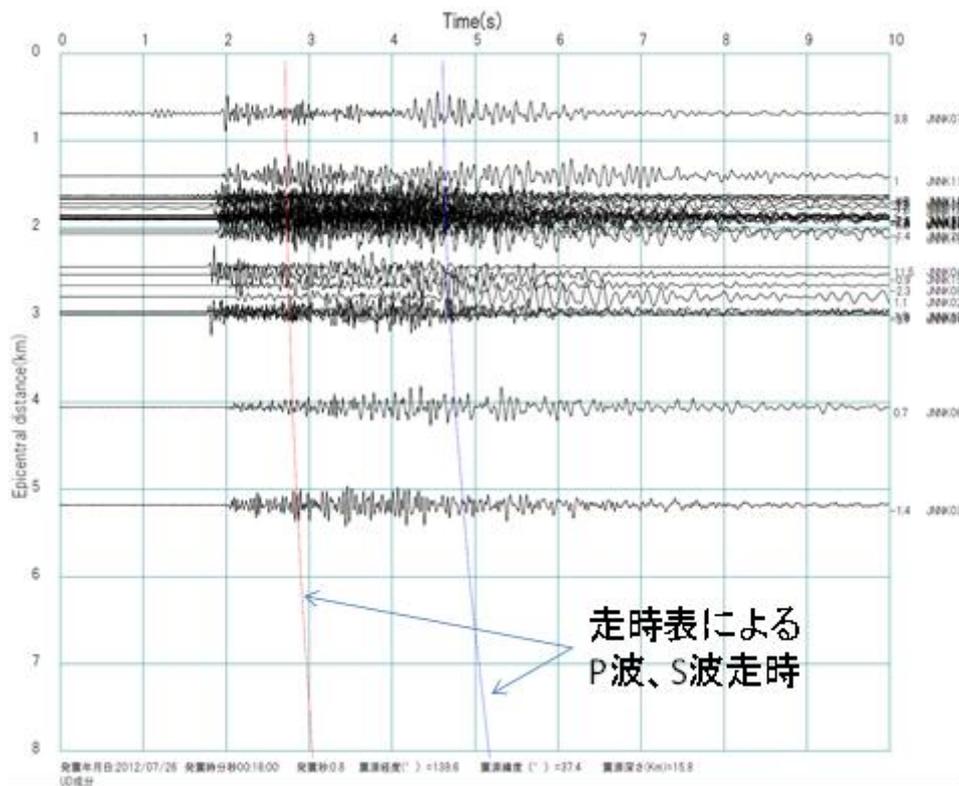


図 3.1- 16 Eq3 の地震で観測された加速度波形の上下動成分のペーストアップ

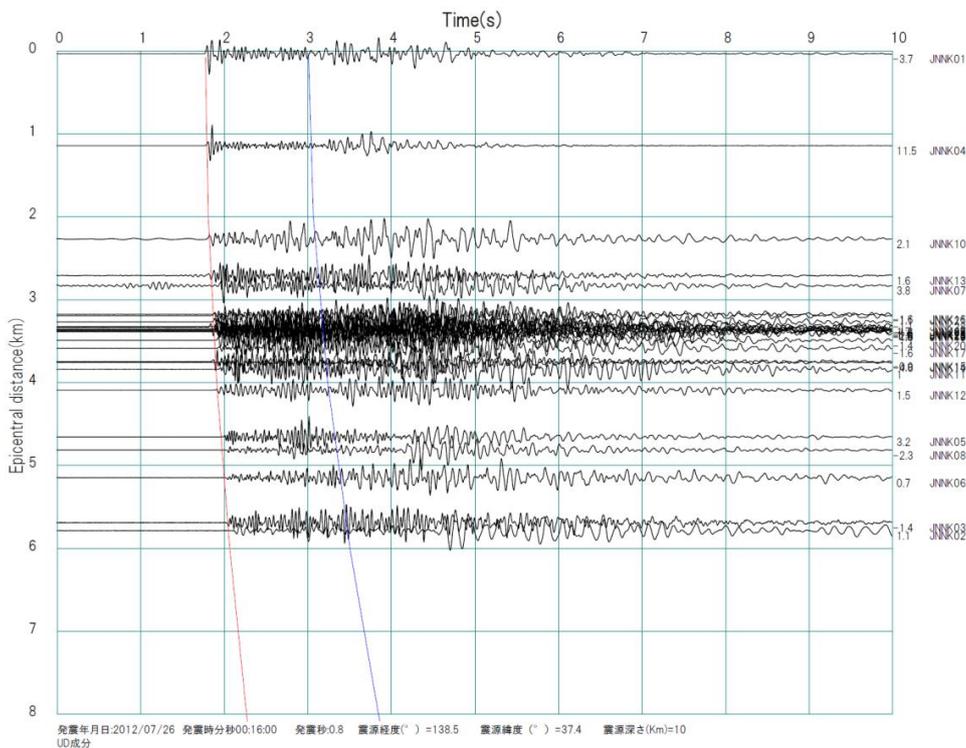


図 3.1- 17 Eq3 の地震で観測された加速度波形の上下動成分のペーストアップ  
震源位置を JNNK01 直下 10 km に修正

表 3.1- 8 Eq3 の震源位置、メカニズムの比較

	緯度	経度	深さ(km)	走向	傾斜	すべり角
気象庁一元化震源	37.3552	138.5827	15.75	-	-	-
(公財)地震予知総合研究振興会	37.33915	138.5637	12.935	70.7	53.9	-104.9
本検討	37.3595	138.549	10	32	58	94

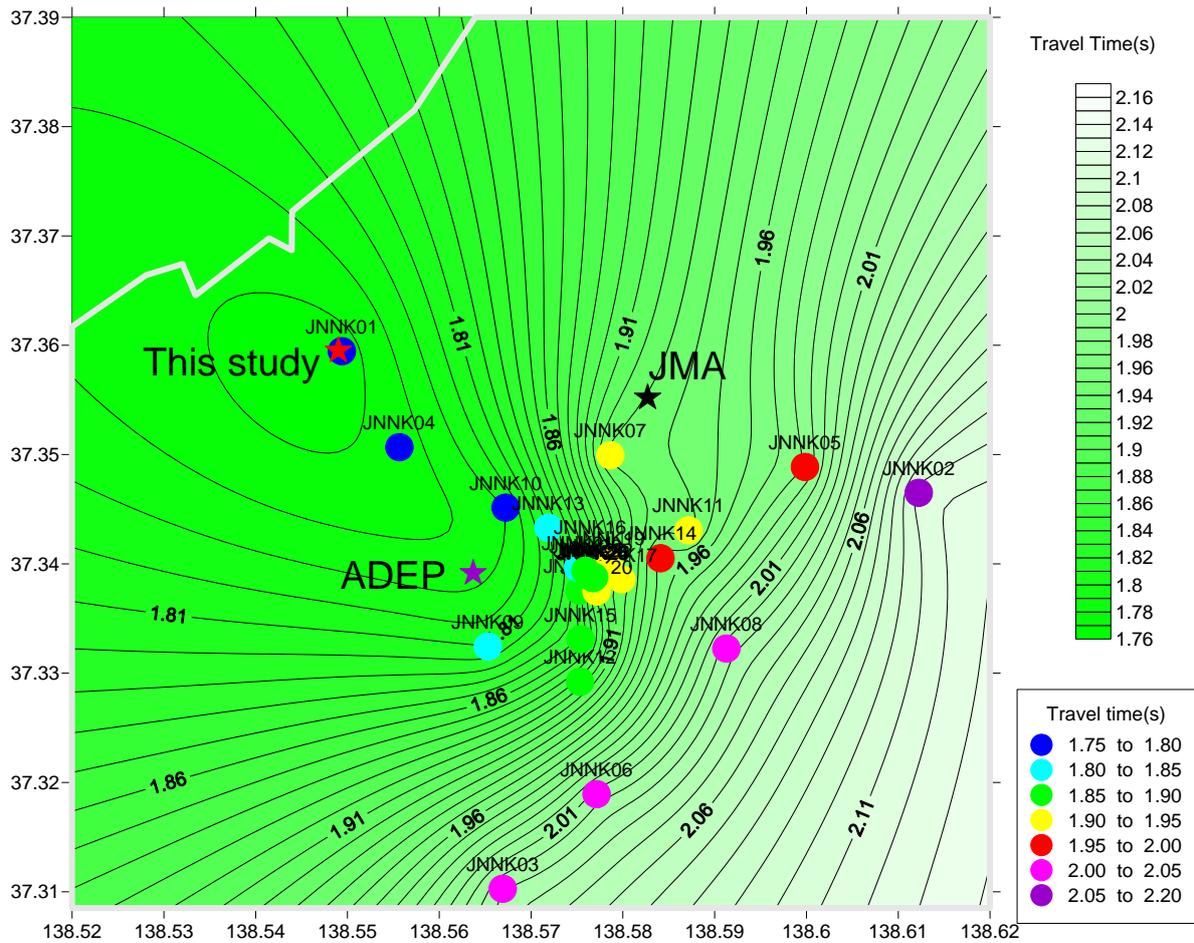


図 3.1- 18 観測点位置と震源位置

観測点の色はP波初動走時を、コンター図は初動走時の補間結果を示す。

黒星:気象庁一元化震源 紫星:地震予知総合研究振興会による再決定結果

赤星:本検討で用いた震央位置

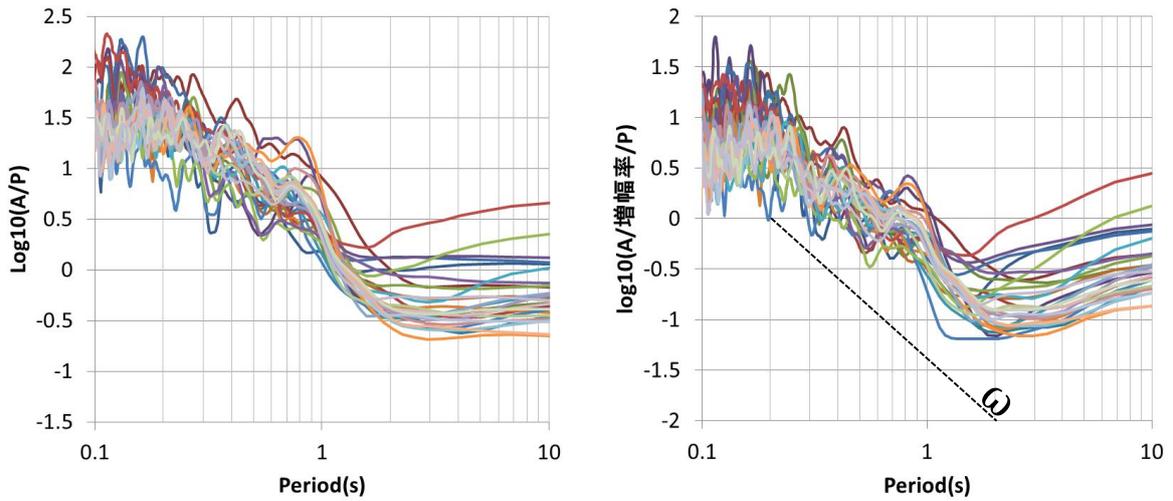


図 3.1-19 加速度スペクトルを伝播特性で除したもの(左図)とさらにサイト特性で除した加速度スペクトル(右図)

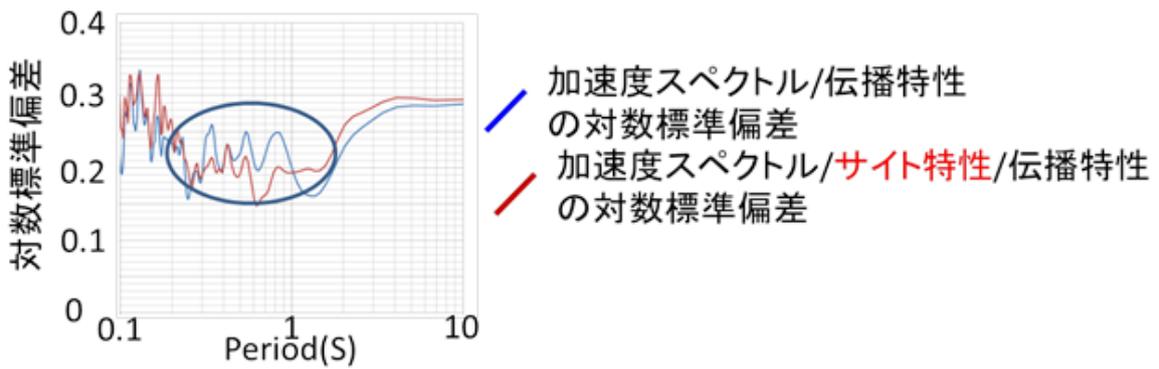


図 3.1-20 図 3.1-19 のデータの対数標準偏差

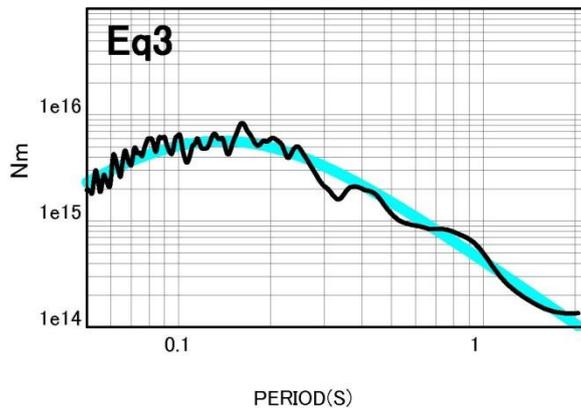
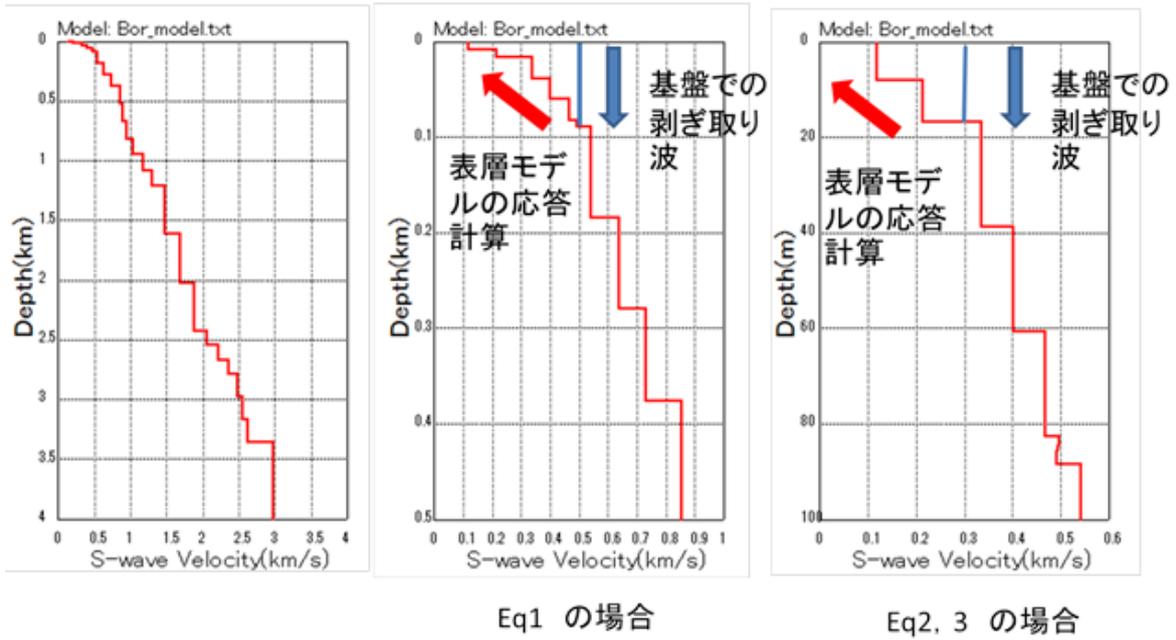


図 3.1-21 震源スペクトル

黒線：観測記録より推定された震源スペクトル 水色：フィッティングされた震源スペクトル



Eq1 の場合

Eq2, 3 の場合

図 3.1-22 表層地盤の取り扱い  
 2013A、B モデルについてのみ実施

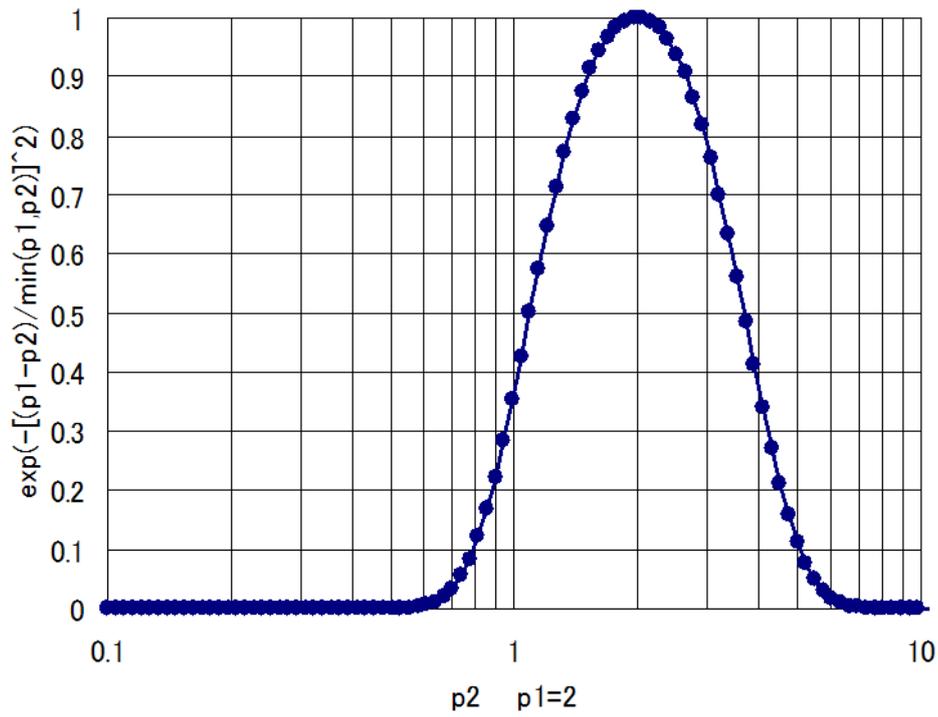


図 3.1- 23  $p_1$  が 1 の場合の、 $p_2$  が変化した場合の指標の変化

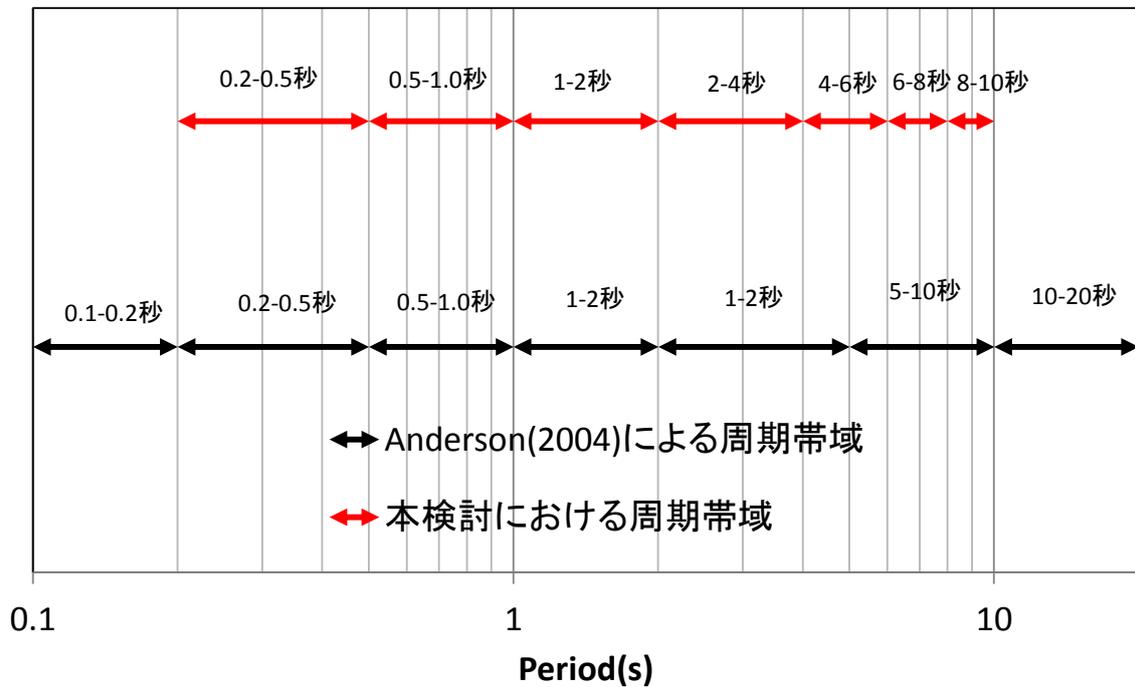


図 3.1- 24 Anderson(2004)による周期帯域と本検討における周期帯域の比較

### 3.1.2.3 計算結果 Eq1

図 3.1- 25、図 3.1- 27、図 3.1- 29、図 3.1- 31 にそれぞれボーリング孔地表、ボーリング孔 3000m、JNNK17、JNNK02 地点の速度波形の比較を示す。周期 10-1 秒のバンドパスフィルターを施して比較を行っている。それぞれの成分ごとに速度フーリエスペクトル(バンド幅 0.05Hz Parzen Window で平滑化)、疑似速度応答スペクトル(減衰 5%)を示している。それぞれの図の下には、水平 2 成分の速度フーリエスペクトル(水平 2 成分相乗平均)、3000m 孔中記録との速度フーリエスペクトル比、水平 2 成分の疑似速度応答スペクトル(水平 2 成分相乗平均)、3000m 孔中記録との疑似速度応答スペクトル比を示している。ボーリング孔地表では JNES2007 が過小評価である。

JNES2013A および JNES2013B モデルの計算結果は、最大値や波形の形状、スペクトルの形状がよく観測データを説明できている。3000m 孔中の波形も同様である。また、JNNK17 については、短周期から長周期までのスペクトルが概ね一致しており、観測データをよく説明できている。JNNK02 では、全体的に過小評価であり、浅部だけでなく深部の地盤モデルの修正が必要と考えられる。ボーリング孔地表のアンダーソンの指標は速度フーリエスペクトル及び疑似速度応答スペクトルでは JNES2013B モデルが 0.8 を上回っている。また、スペクトル比の指標では JNES203A モデルで概ね 0.8 以上となっており、地盤モデルが適切に設定されていることを示している。JNNK17 についても JNES2013A モデルの指標が高い。JNNK02 では、JNES2013A モデルの指標は平均すると 0.4 程度である。

図 3.1- 33 および図 3.1- 34 に速度フーリエスペクトルのアンダーソンの指標を示す。ボーリング孔周辺の観測点(JNNK16 以降)では、総じてアンダーソンの指標が高い値を示している。これは3つのモデルで該当する。周期 2-1 秒では、JNES2013B モデルの指標が高い。

図 3.1- 35 および図 3.1- 36 に速度フーリエスペクトル比のアンダーソンの指標を示す。JNES2013A モデルの指標が高いことがわかる。

図 3.1- 37 および図 3.1- 38 に疑似速度応答スペクトルのアンダーソンの指標を示す。速度フーリエスペクトルと同様に JNES2013B モデルの指標が高い。

図 3.1- 39 および図 3.1- 40 に疑似速度応答スペクトル比のアンダーソンの指標を示す。速度フーリエスペクトル比と同様に JNES2013A モデルの指標が高い。

図 3.1- 41、図 3.1- 42、図 3.1- 43、図 3.1- 44 にそれぞれボーリング孔地表、ボーリング孔 3000m、JNNK17、JNNK02 のバンドパスフィルター波形の比較と最大速度のアンダーソンの指標の比較を示す。最大速度の指標は、周期帯域ごとにバンドパスフィルター波形を作成し、水平2成分のうち大きい方を最大速度として、アンダーソンの指標を計算した。ボーリング孔地表では、EW 成分の波形の一致度が高いことがわかる。ボーリング孔 3000m 地点の波形でも EW 成分の波形の一致度が高い。JNNK17 では、JNES2013A モデルにおいて長周期から短周期まで波形の形状がよく一致しているが、JNNK02 では全体的に過小評価である。

図 3.1- 45 および図 3.1- 46 に最大速度のアンダーソンの指標を示す。長周期帯域ではどのモデルでも指標が高いことがわかる。

各サイトの速度波形やバンドパスフィルターの波形は付録1および4に示す。

図 3.1- 47 にアンダーソンの指標の平均値の分布を示す。ボーリング孔近傍の指標が高いことがわかる。

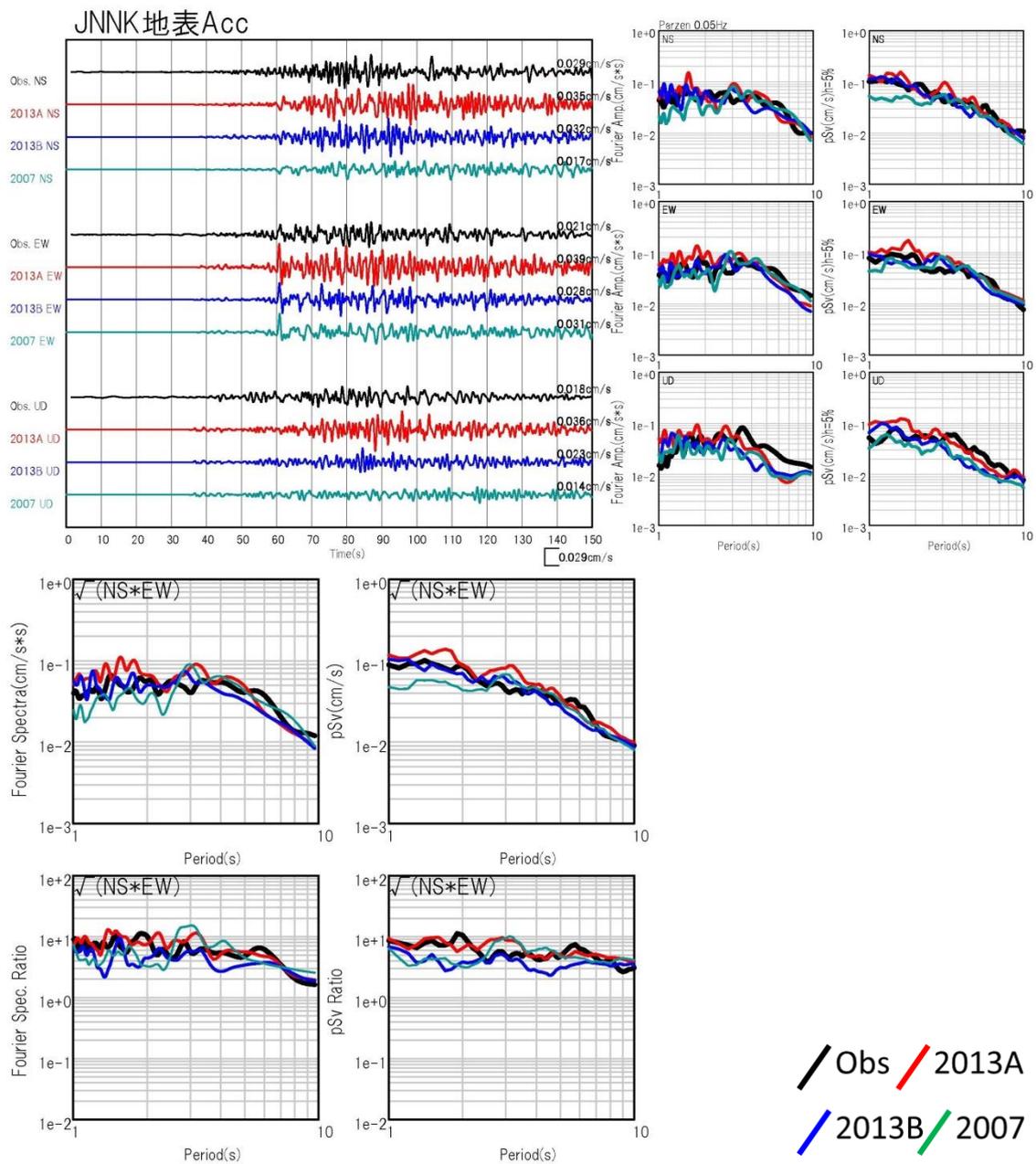


図 3.1-25 ボーリング孔地表速度波形の比較 Eq1  
 速度波形およびフーリエスペクトル、疑似速度応答スペクトル(h=5%)  
 下図:水平 2 成分フーリエスペクトルおよび疑似速度応答スペクトル

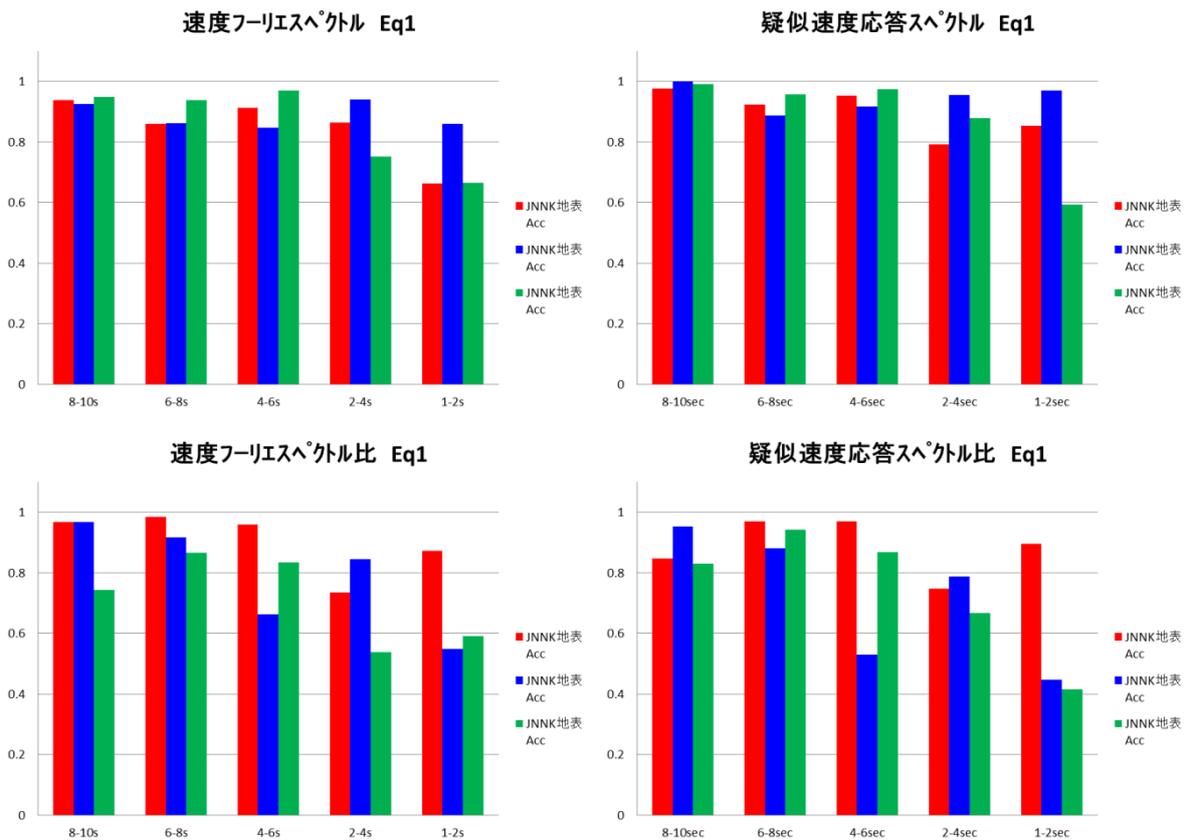
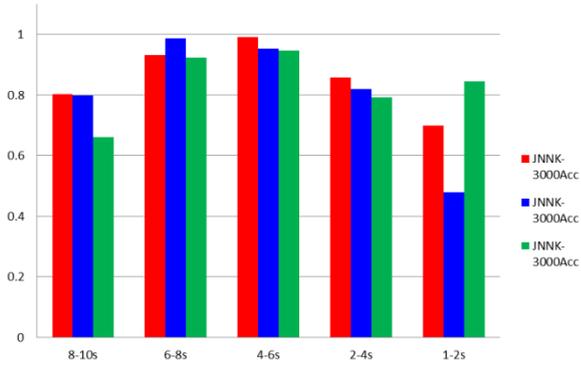


図 3.1- 26 アンダーソンの指標 ボーリング孔地表 Eq1  
 左図:速度フーリエスペクトル 右図:疑似速度応答スペクトル  
 左図:速度フーリエスペクトル比 右図:疑似速度応答スペクトル比

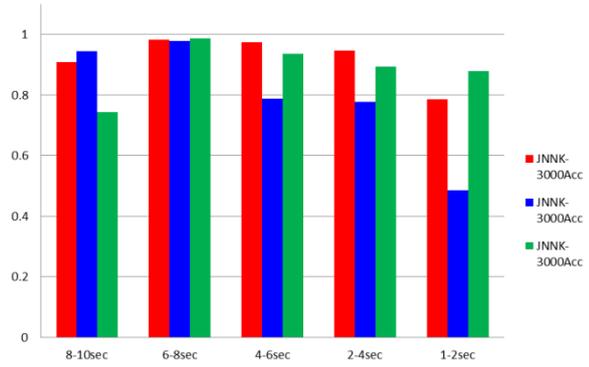
2013A  
 2013B  
 2007



速度フーリエスペクトル Eq1



疑似速度応答スペクトル Eq1



スペクトル比は、ボーリング孔 3000m 記録を基準 Eq1

図 3.1- 28 アンダーソンの指標 ボーリング孔 3000m Eq1  
左図:速度フーリエスペクトル 右図:疑似速度応答スペクトル

2013A  
2013B  
2007

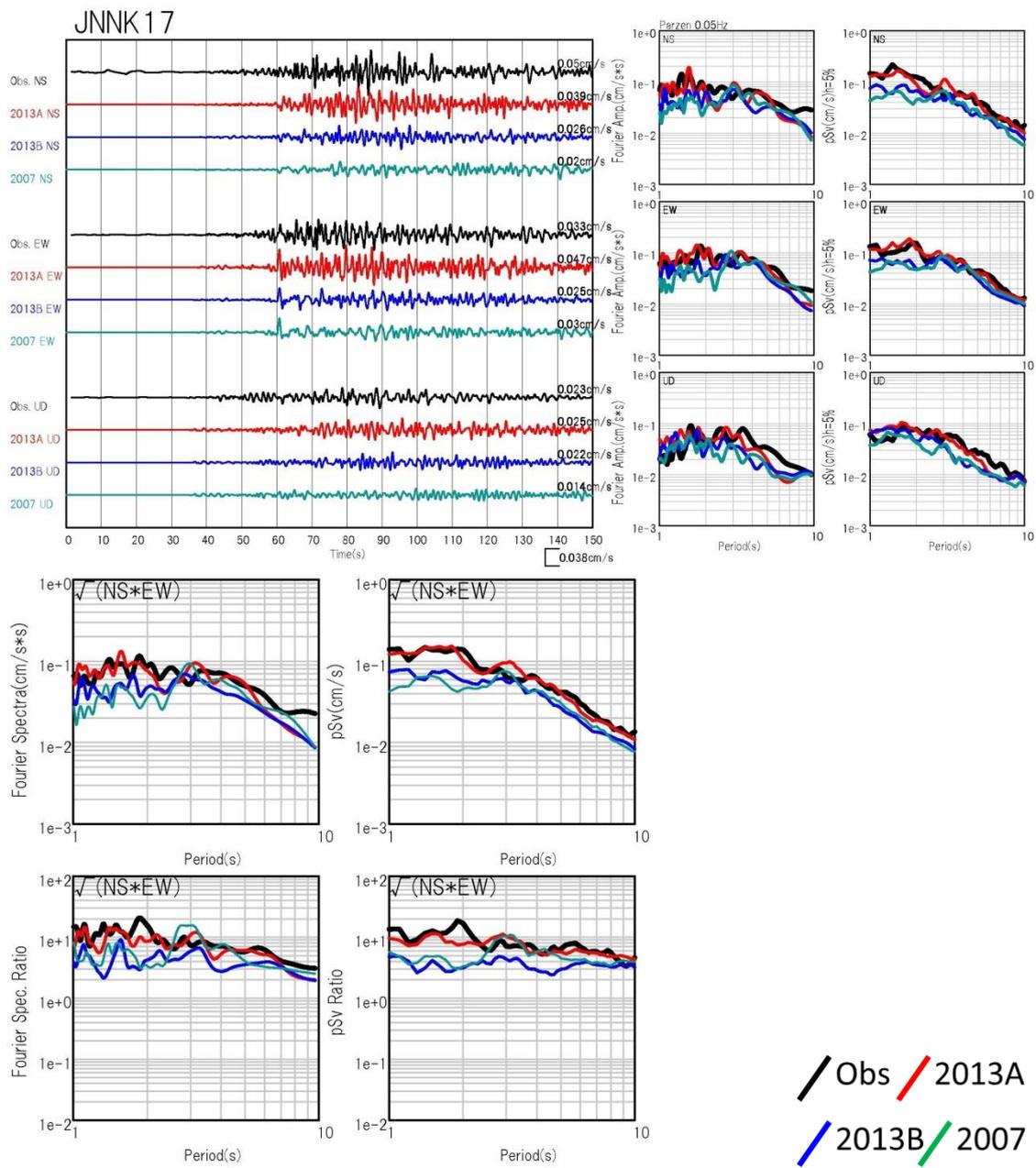


図 3.1- 29 JNNK17 速度波形の比較 Eq1

速度波形およびフーリエスペクトル、疑似速度応答スペクトル(h=5%)

下図:水平 2 成分フーリエスペクトルおよび疑似速度応答スペクトル

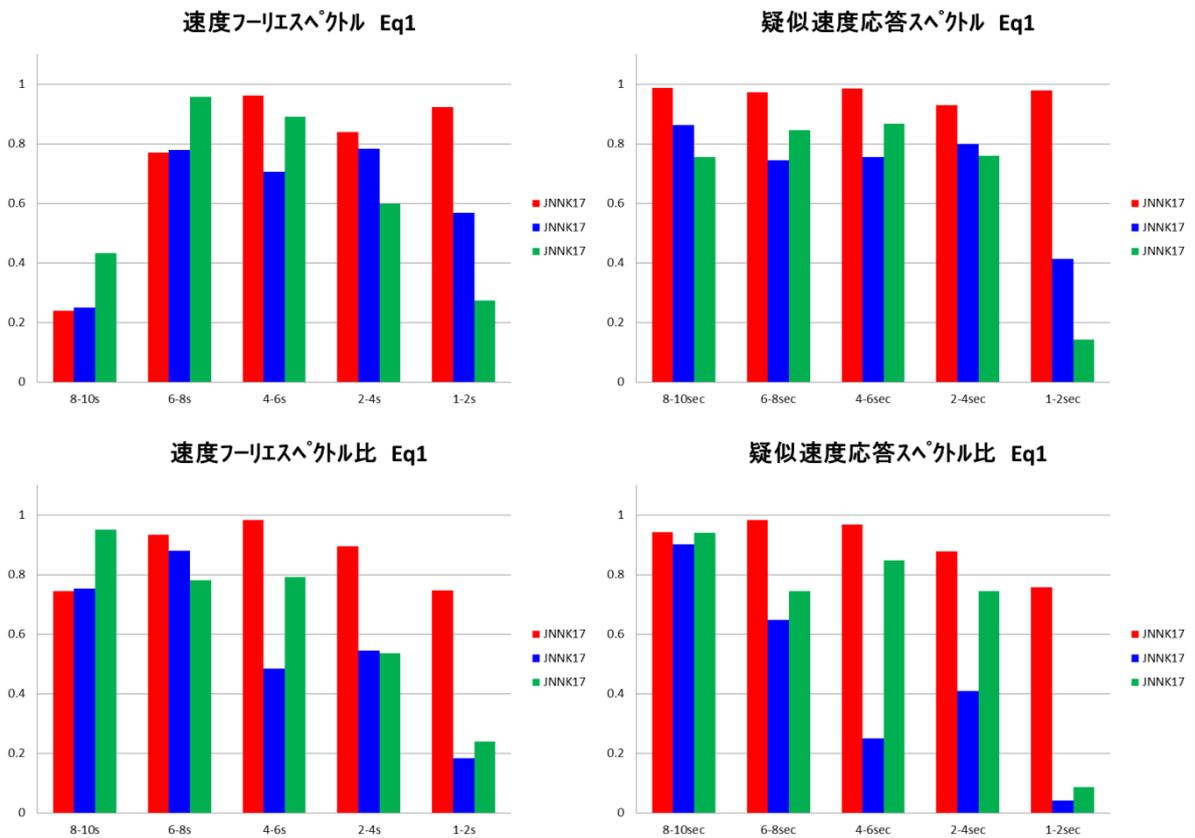
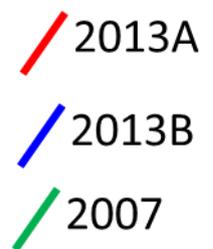


図 3.1- 30 アンダーソンの指標 JNNK17 Eq1  
 左図:速度フーリエスペクトル 右図:疑似速度応答スペクトル  
 左図:速度フーリエスペクトル比 右図:疑似速度応答スペクトル比



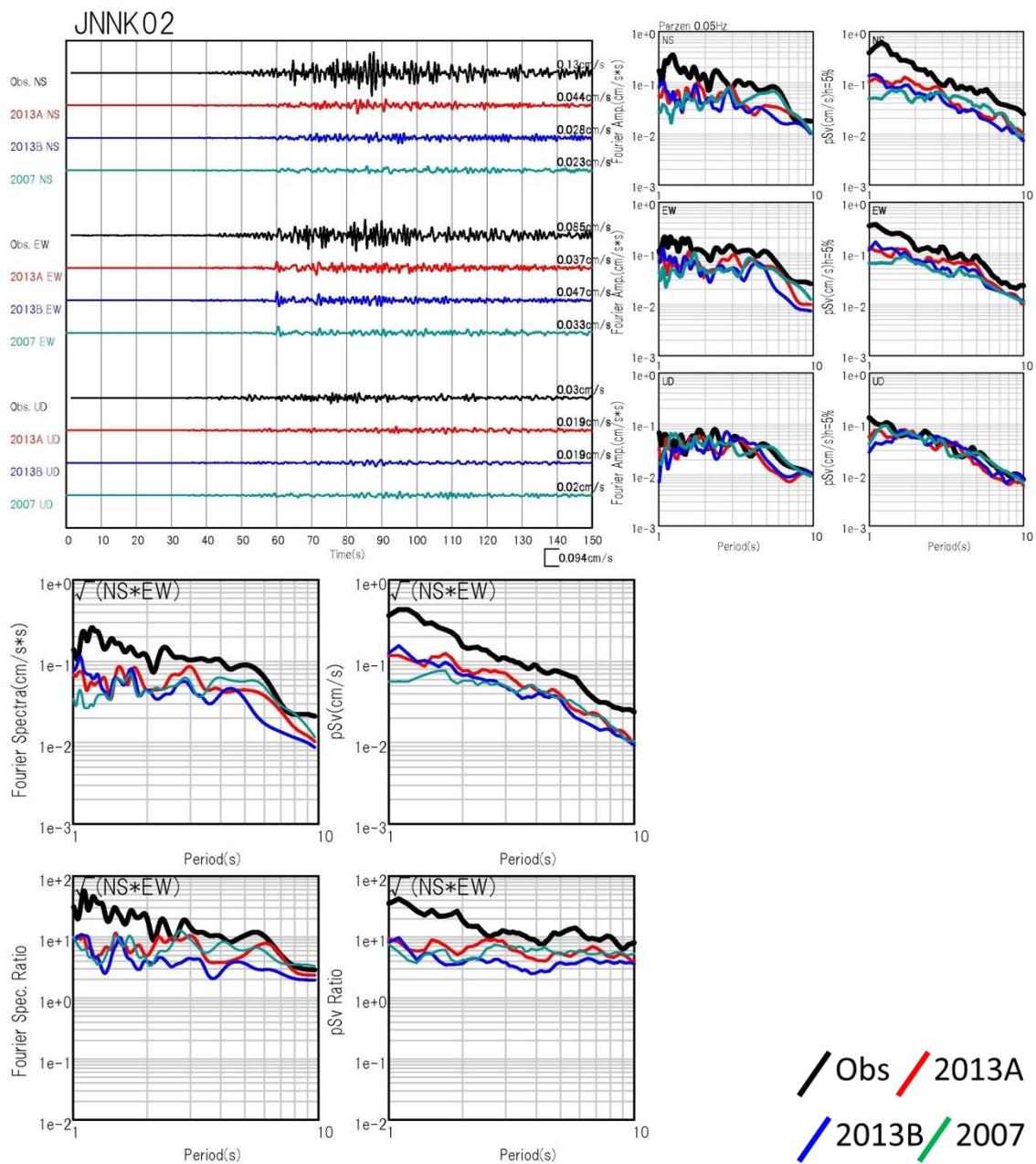


図 3.1- 31 JNNK02 速度波形の比較 Eq1

速度波形およびフーリエスペクトル、疑似速度応答スペクトル(h=5%)

下図:水平 2 成分フーリエスペクトルおよび疑似速度応答スペクトル

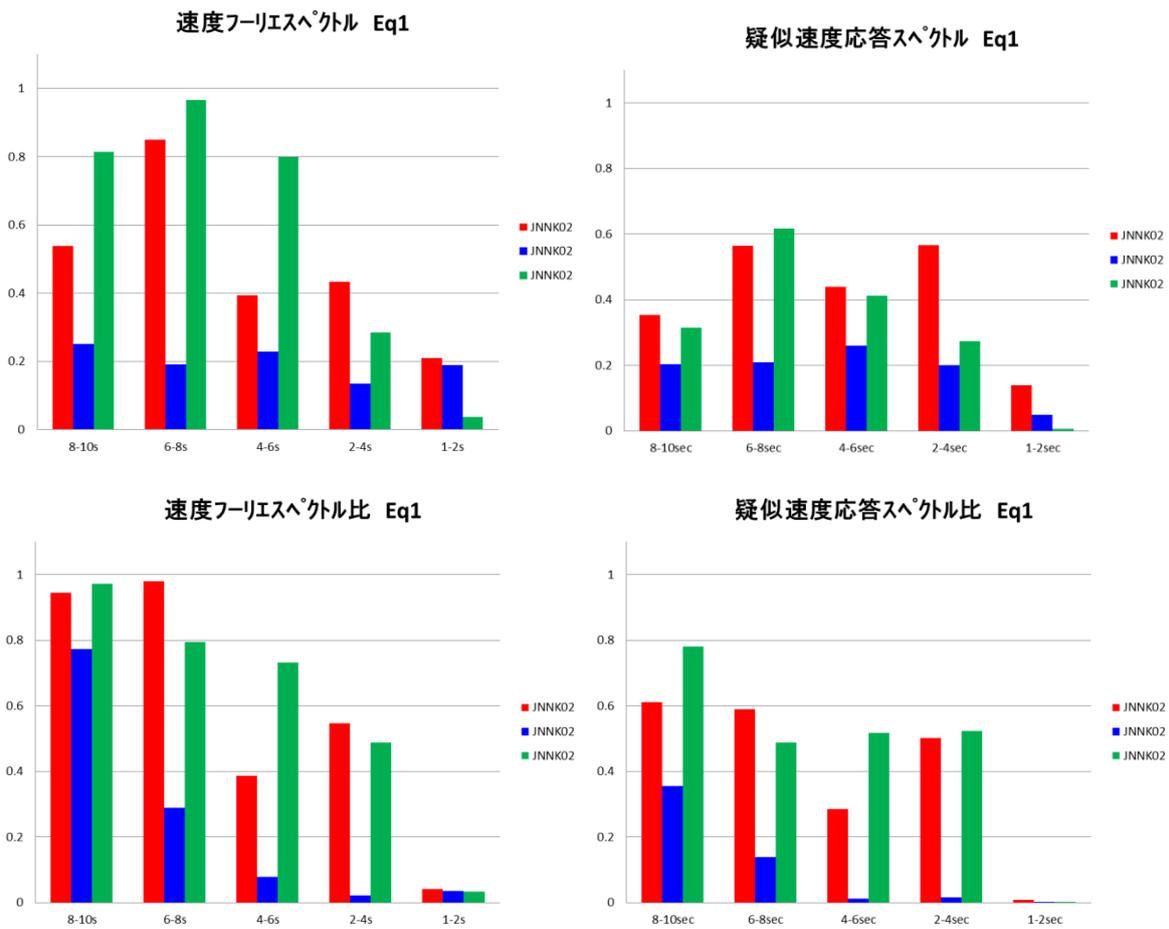
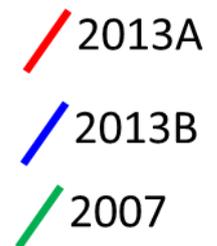


図 3.1- 32 アンダーソンの指標 JNNK02 Eq1  
 左図:速度フーリエスペクトル 右図:疑似速度応答スペクトル  
 左図:速度フーリエスペクトル比 右図:疑似速度応答スペクトル比



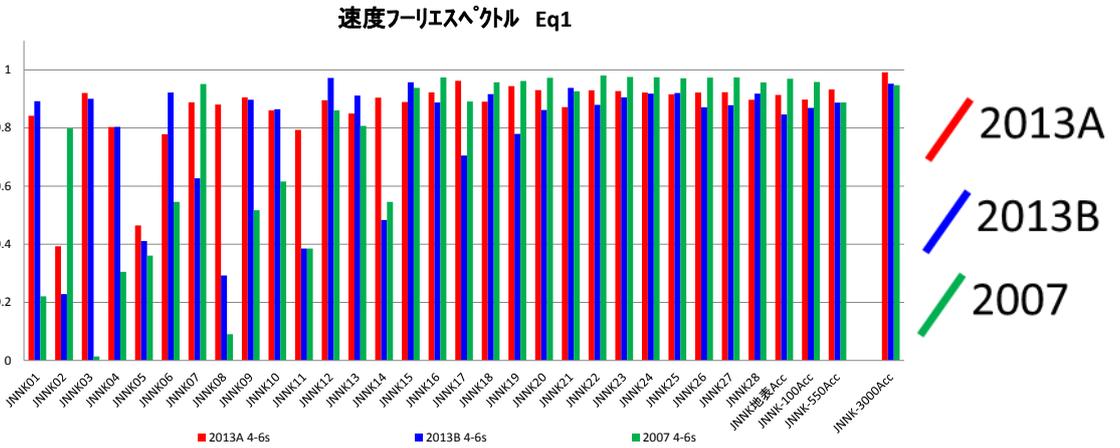
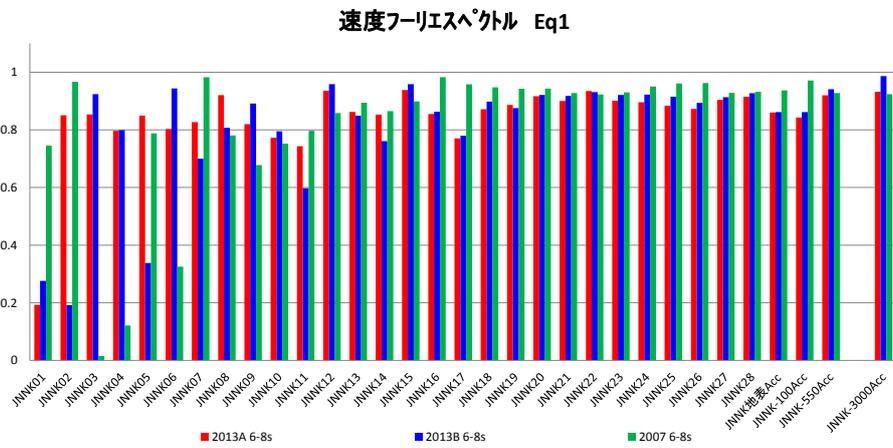
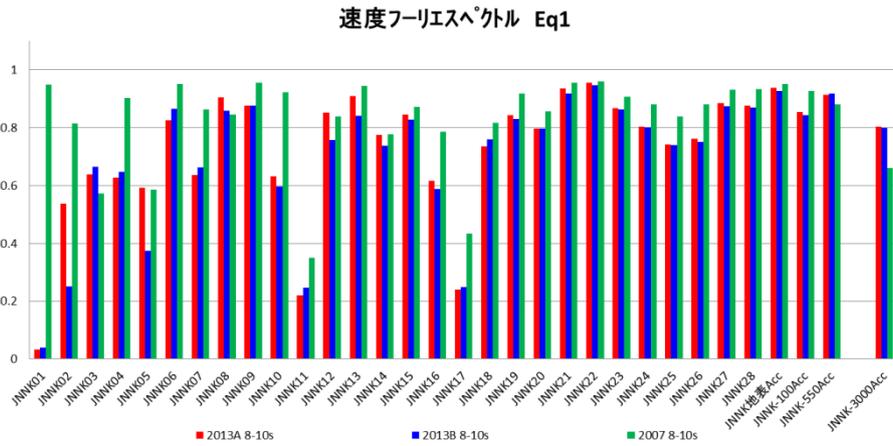
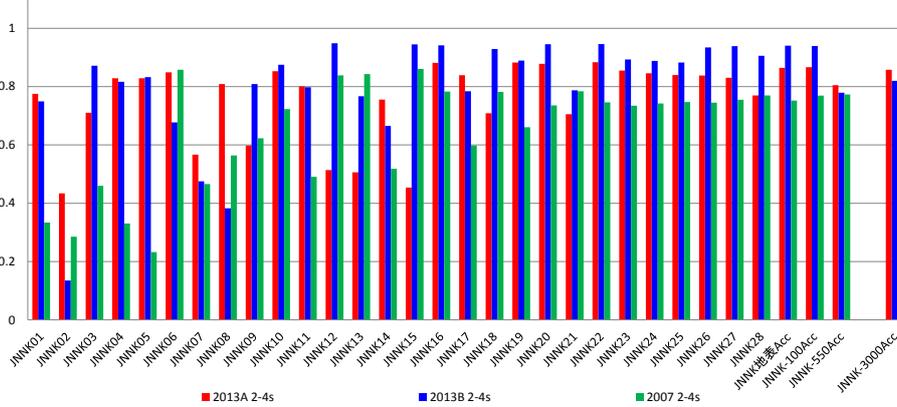
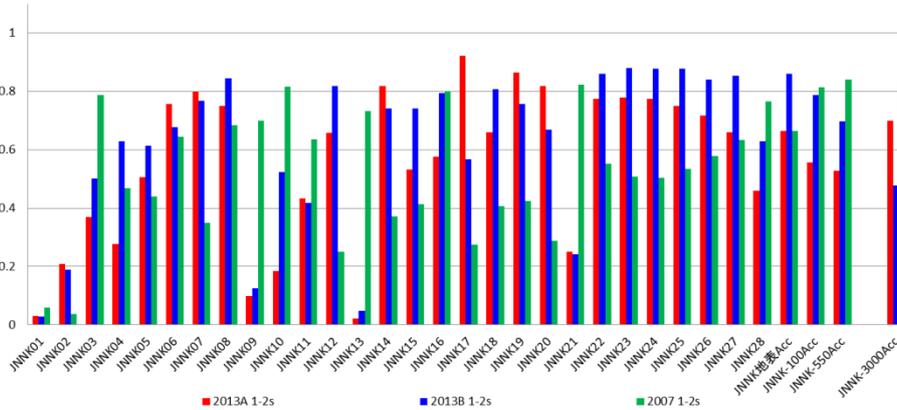


図 3.1- 33 アンダーソンの指標 Eq1 速度フーリエスペクトル  
 上図:周期 8-10 秒 中図:周期 6-8 秒 下図:周期 4-6 秒

速度フーリエスペクトル Eq1



速度フーリエスペクトル Eq1



速度フーリエスペクトル Eq1 Average

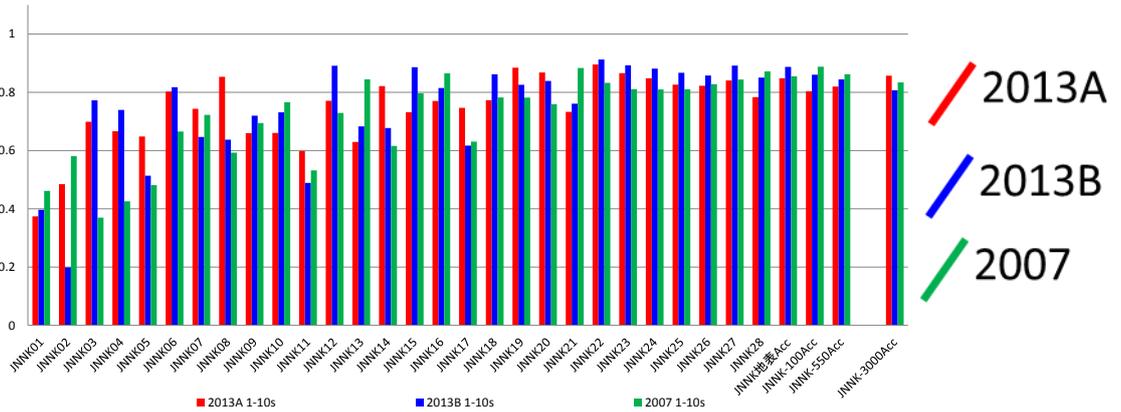
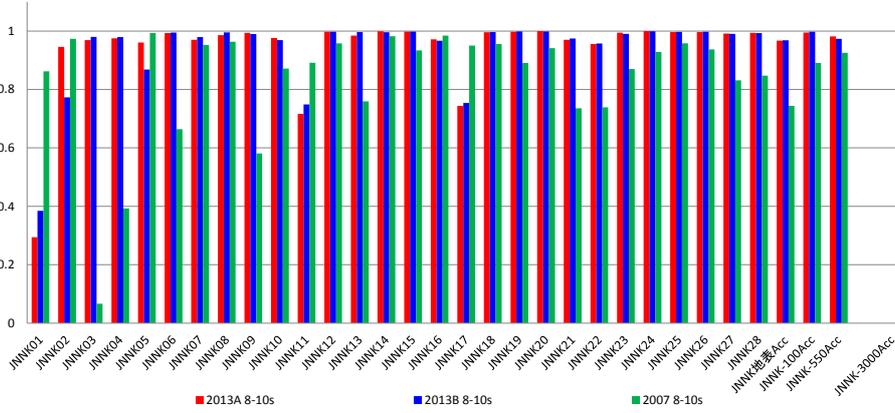
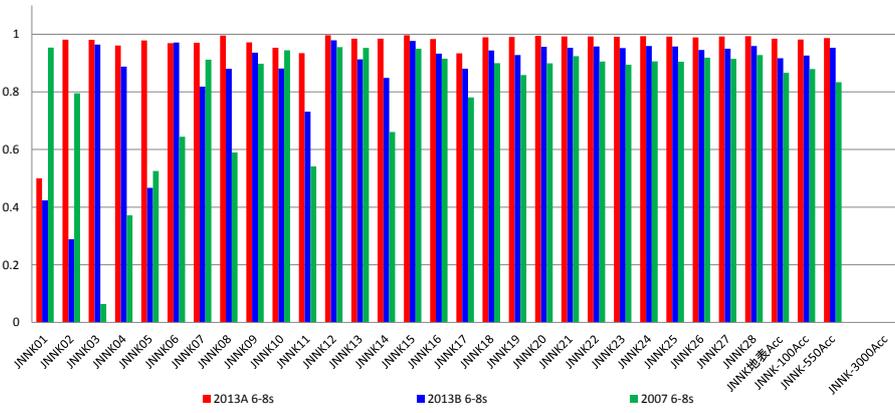


図 3.1- 34 アンダーソンの指標 Eq1 速度フーリエスペクトル  
 上図:周期 2-4 秒 中図:周期 1-2 秒 下図:周期 1-10 秒の平均

速度フーリエスペクトル比 Eq1



速度フーリエスペクトル比 Eq1



速度フーリエスペクトル比 Eq1

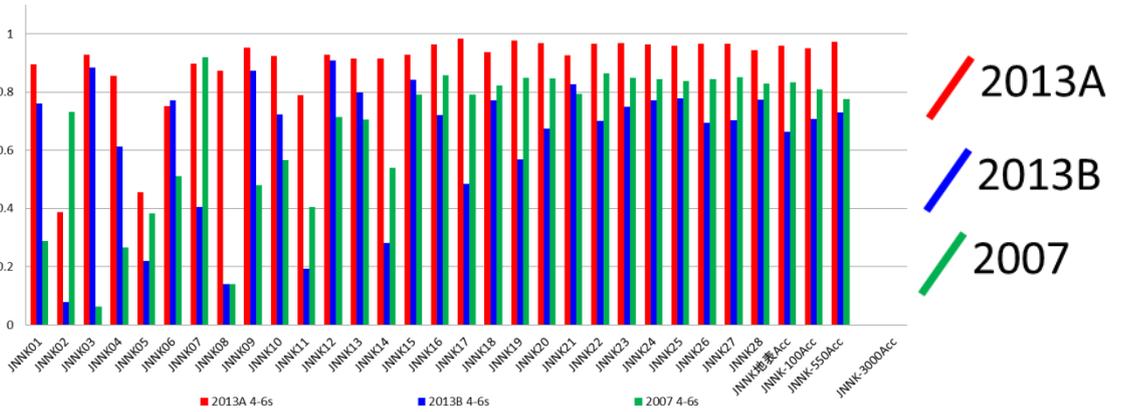
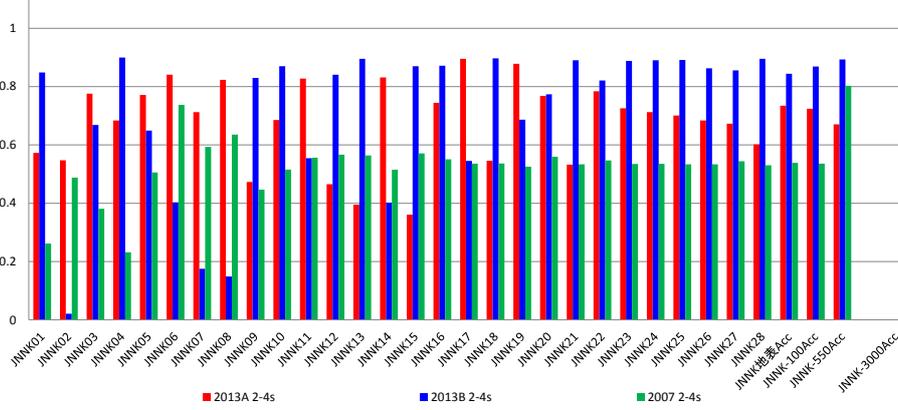
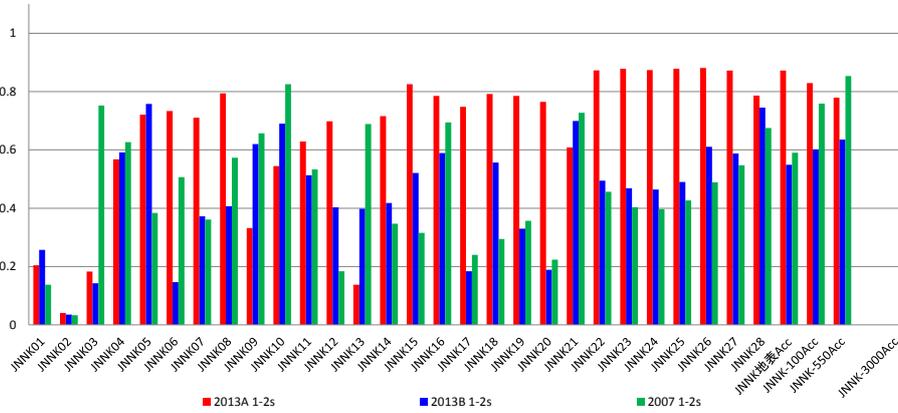


図 3.1- 35 アンダーソンの指標 Eq1 速度フーリエスペクトル比  
 上図:周期 8-10 秒 中図:周期 6-8 秒 下図:周期 4-6 秒

速度フーリエスペクトル比 Eq1



速度フーリエスペクトル比 Eq1



速度フーリエスペクトル比 Eq1 Average

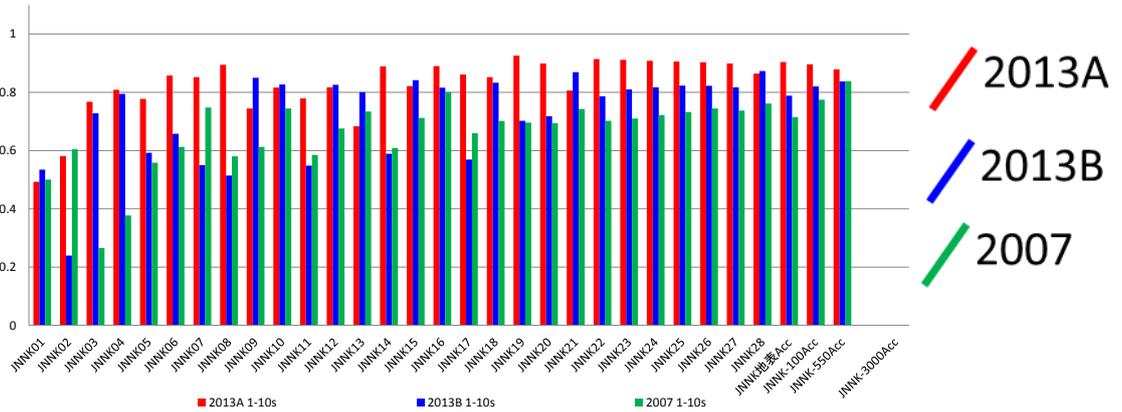
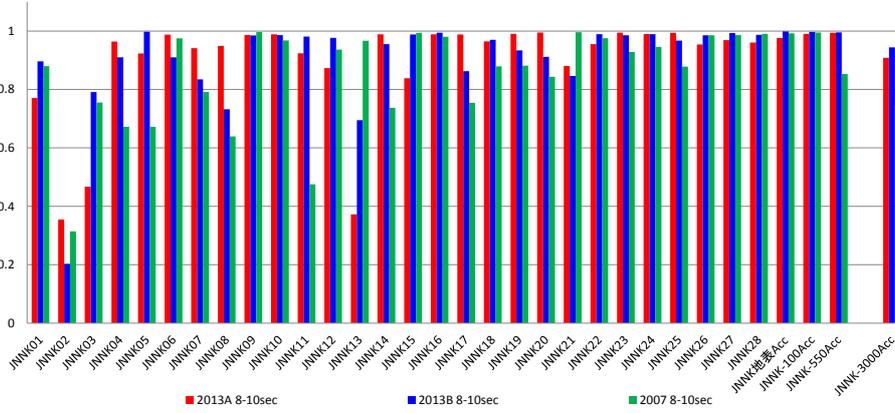
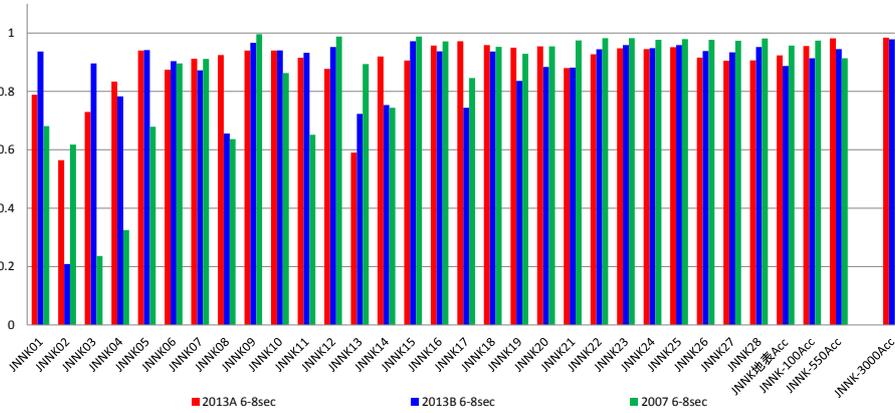


図 3.1- 36 アンダーソンの指標 Eq1 速度フーリエスペクトル比  
 上図:周期 2-4 秒 中図:周期 1-2 秒 下図:周期 1-10 秒の平均

疑似速度応答スペクトル Eq1



疑似速度応答スペクトル Eq1



疑似速度応答スペクトル Eq1

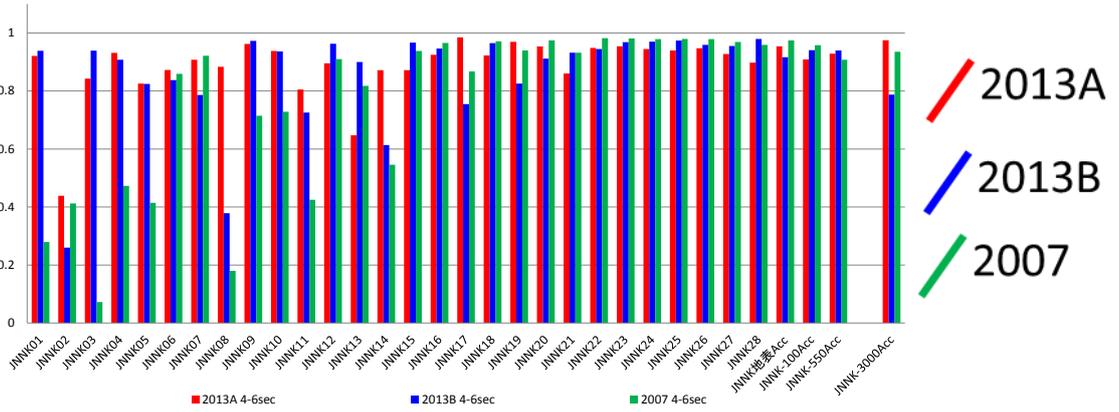
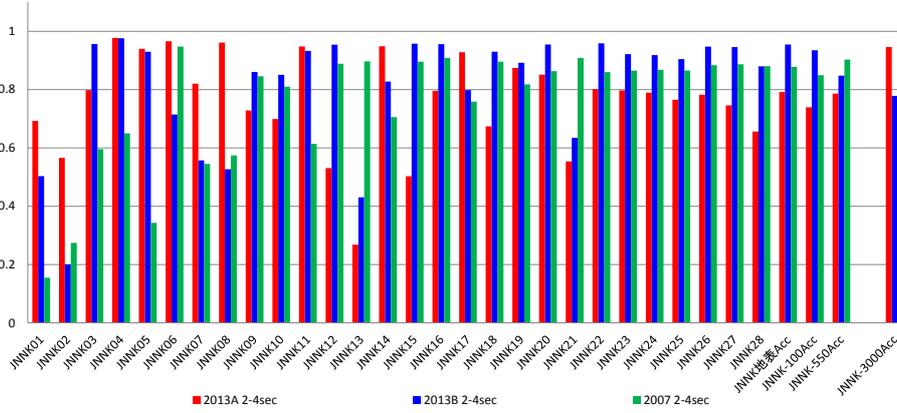


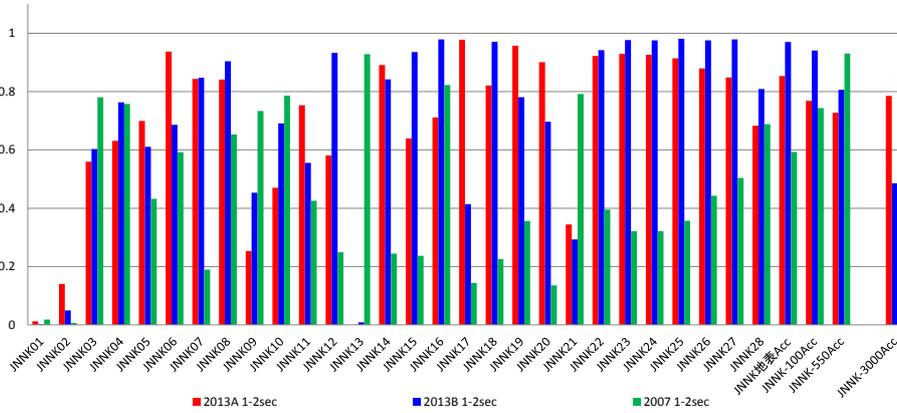
図 3.1- 37 アンダーソンの指標 Eq1 疑似速度応答スペクトル

上図:周期 8-10 秒 中図:周期 6-8 秒 下図:周期 4-6 秒

疑似速度応答スペクトル Eq1



疑似速度応答スペクトル Eq1



疑似速度応答スペクトル Eq1 Average

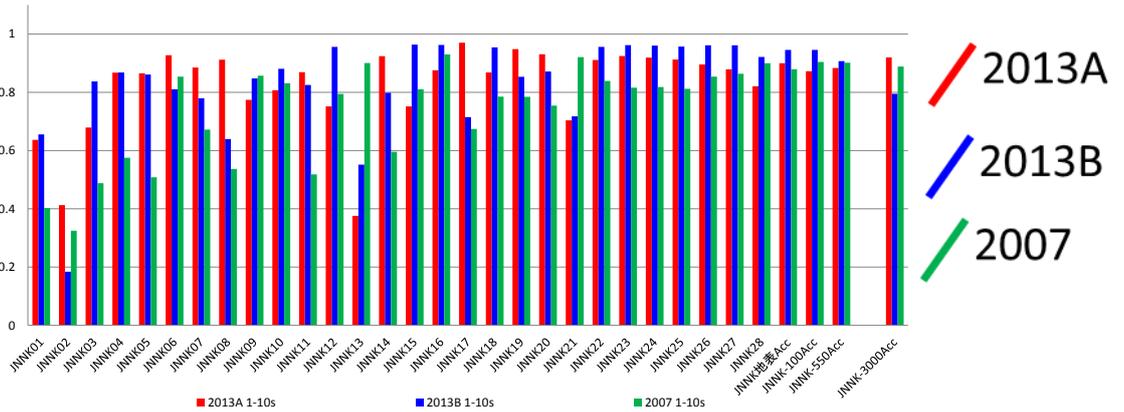


図 3.1- 38 アンダーソンの指標 Eq1 疑似速度応答スペクトル  
 上図:周期 2-4 秒 中図:周期 1-2 秒 下図:周期 1-10 秒の平均

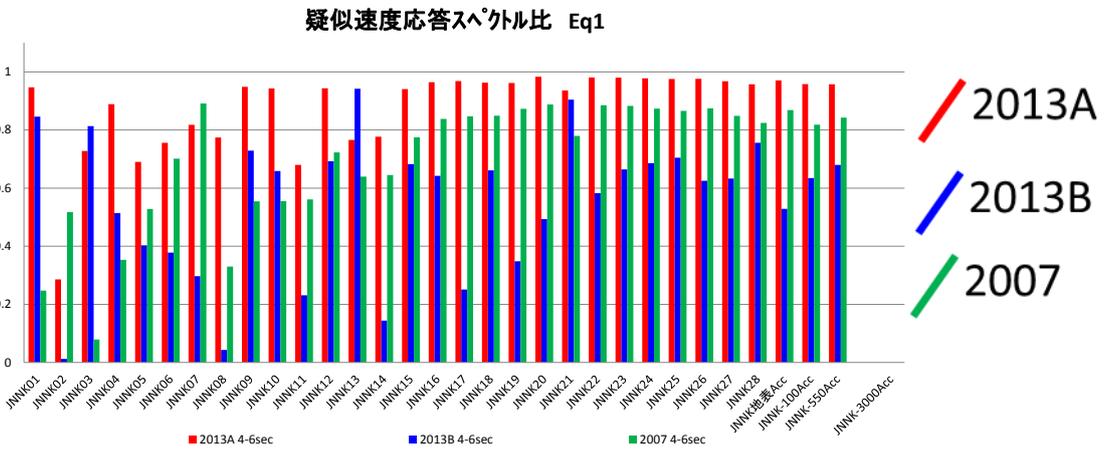
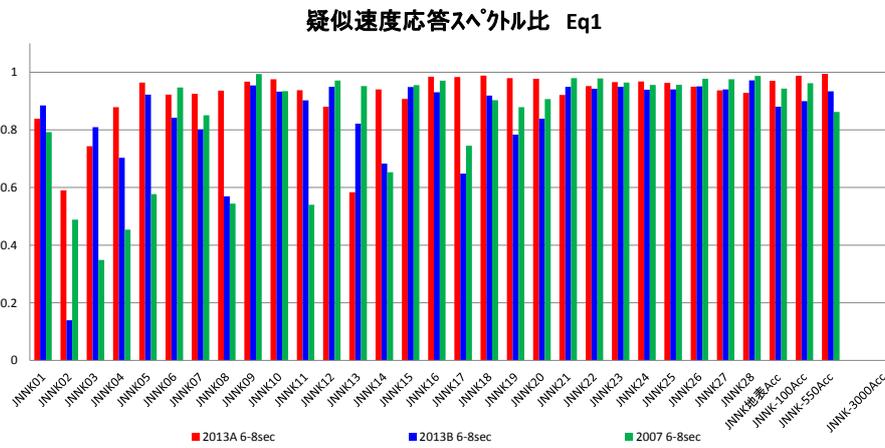
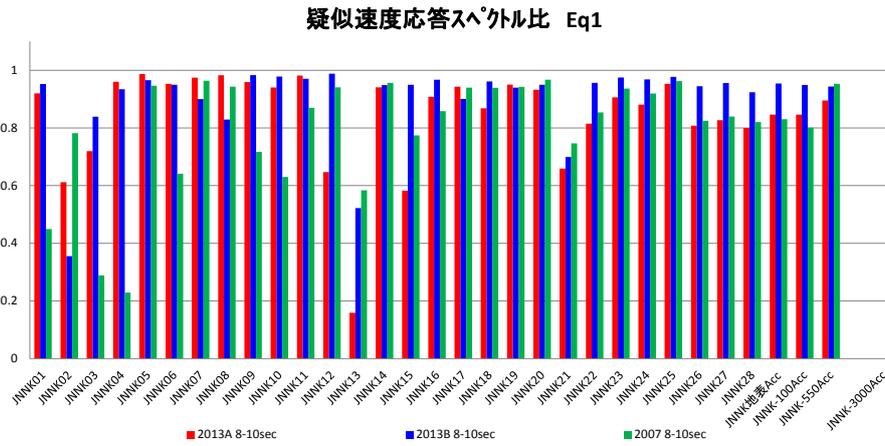


図 3.1- 39 アンダーソンの指標 Eq1 疑似速度応答スペクトル比  
 上図:周期 8-10 秒 中図:周期 6-8 秒 下図:周期 4-6 秒

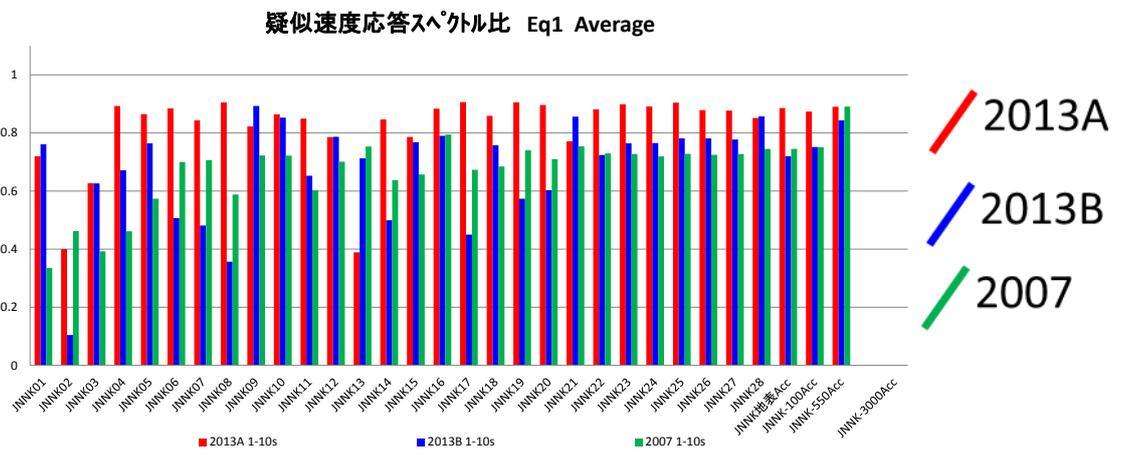
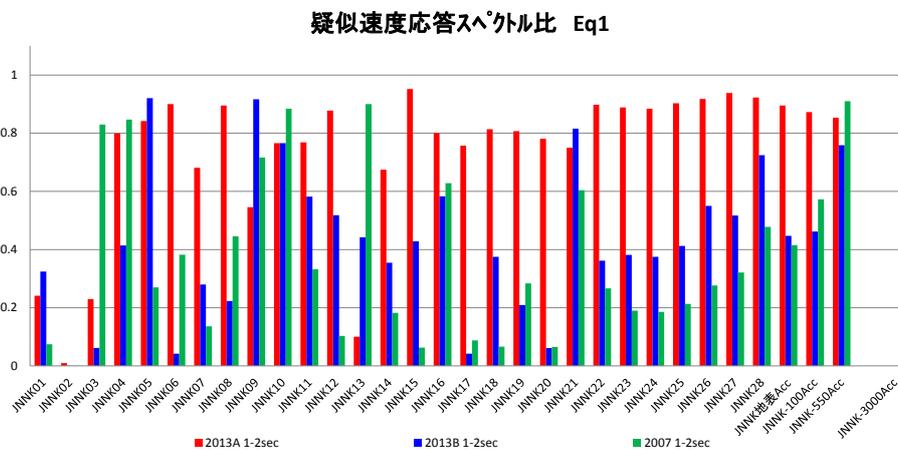
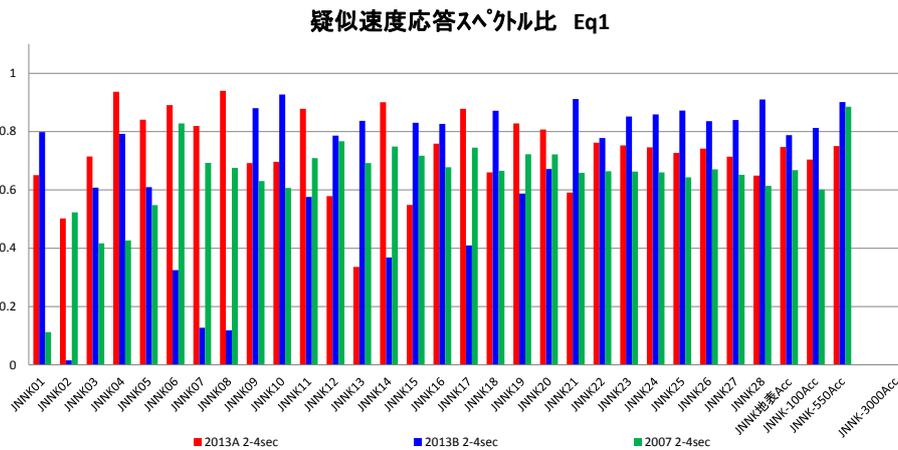


図 3.1- 40 アンダーソンの指標 Eq1 疑似速度応答スペクトル比  
 上図:周期 2-4 秒 中図:周期 1-2 秒 下図:周期 1-10 秒の平均

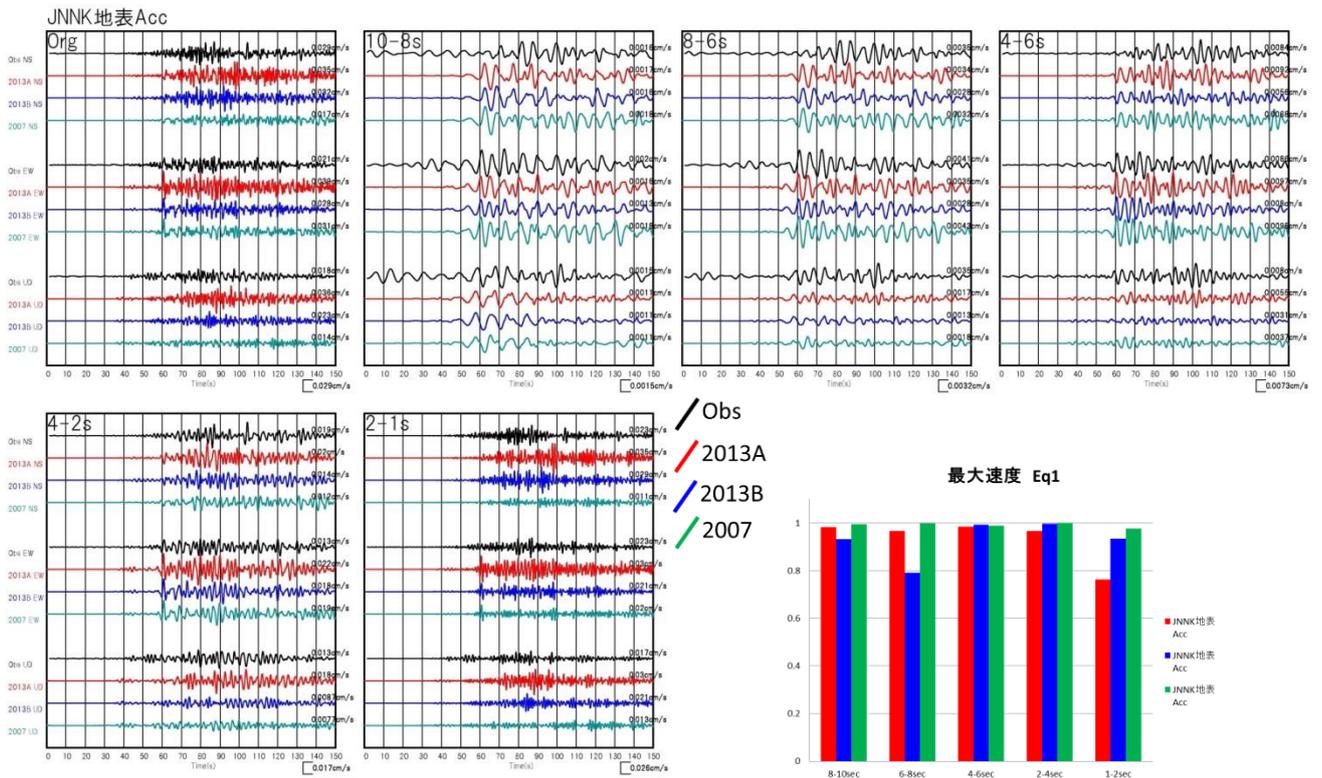


図 3.1- 41 バンドパスフィルター波形の比較と最大速度のアンダーソンの指標 ボーリング孔地表 Eq1

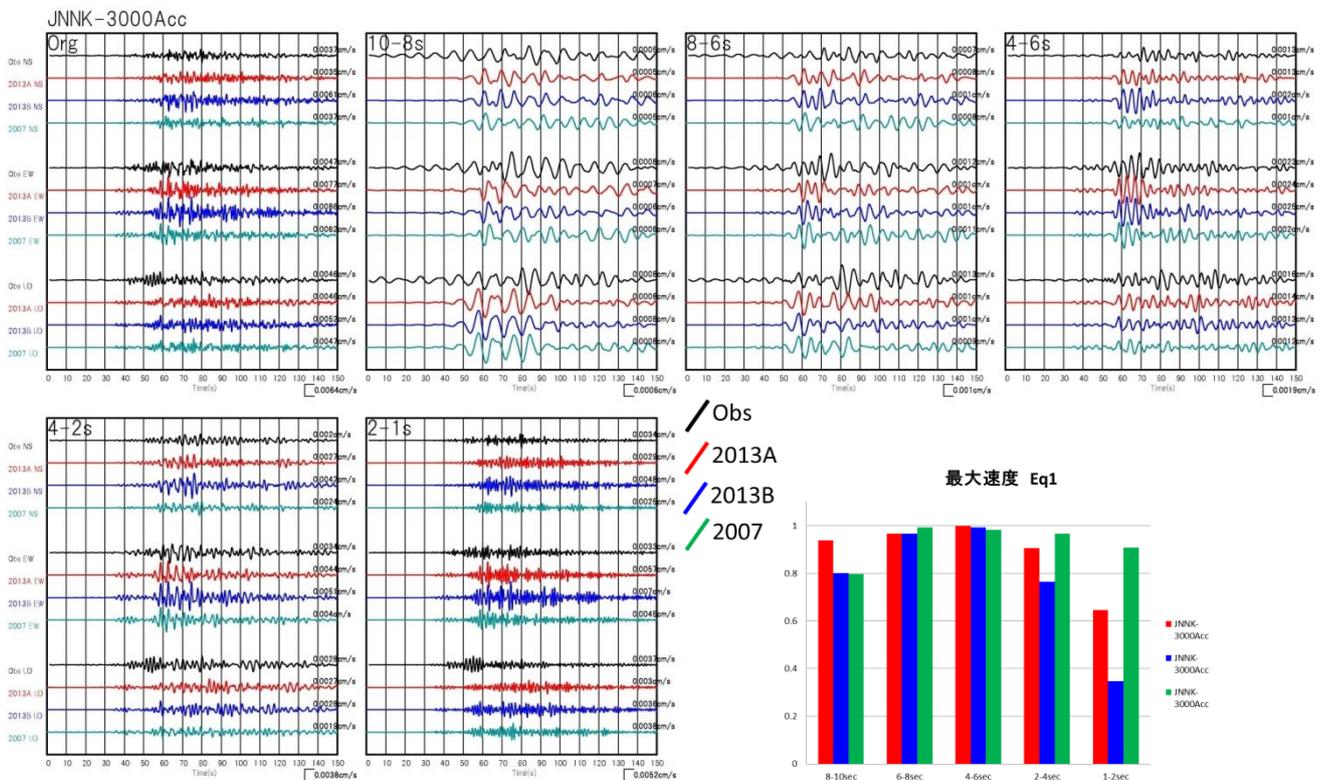


図 3.1- 42 バンドパスフィルター波形の比較と最大速度のアンダーソンの指標 ボーリング孔 3000m Eq1

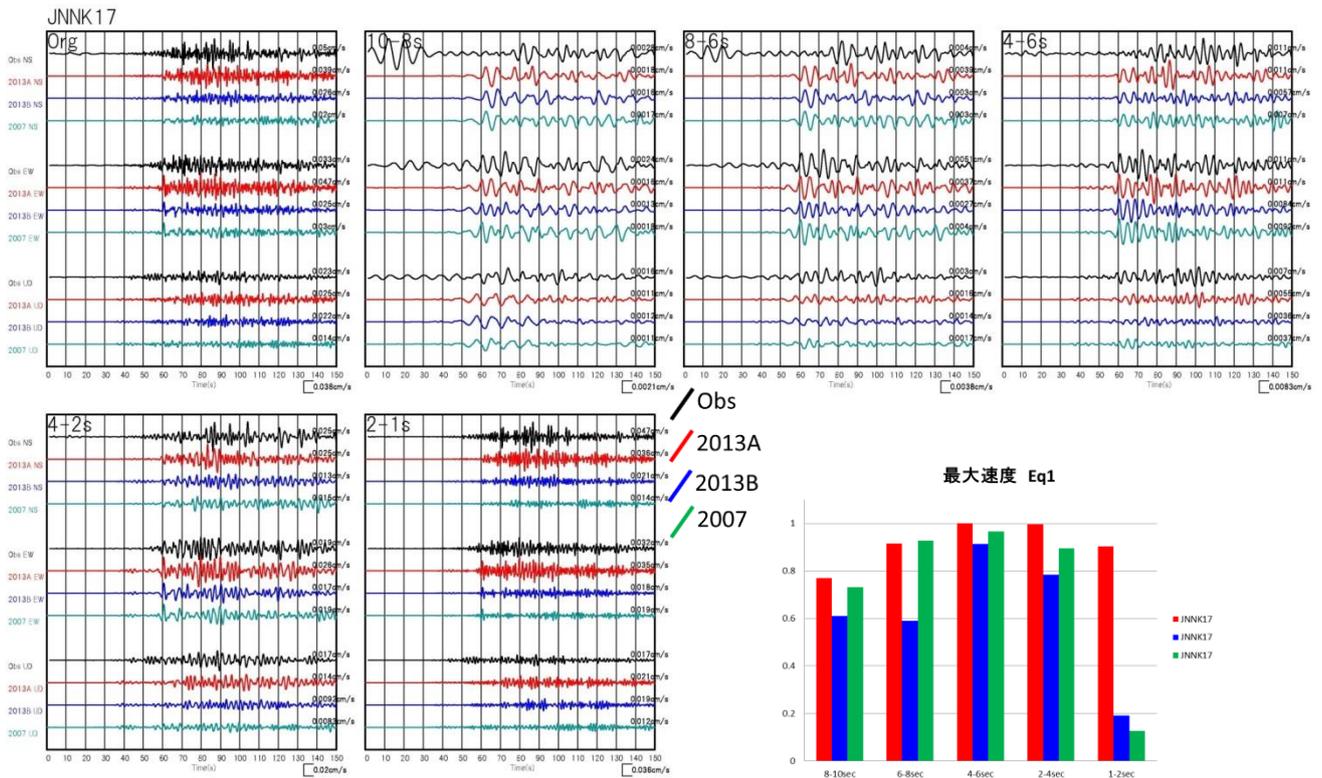


図 3.1- 43 バンドパスフィルター波形の比較と最大速度のアンダーソンの指標 JNNK17 Eq1

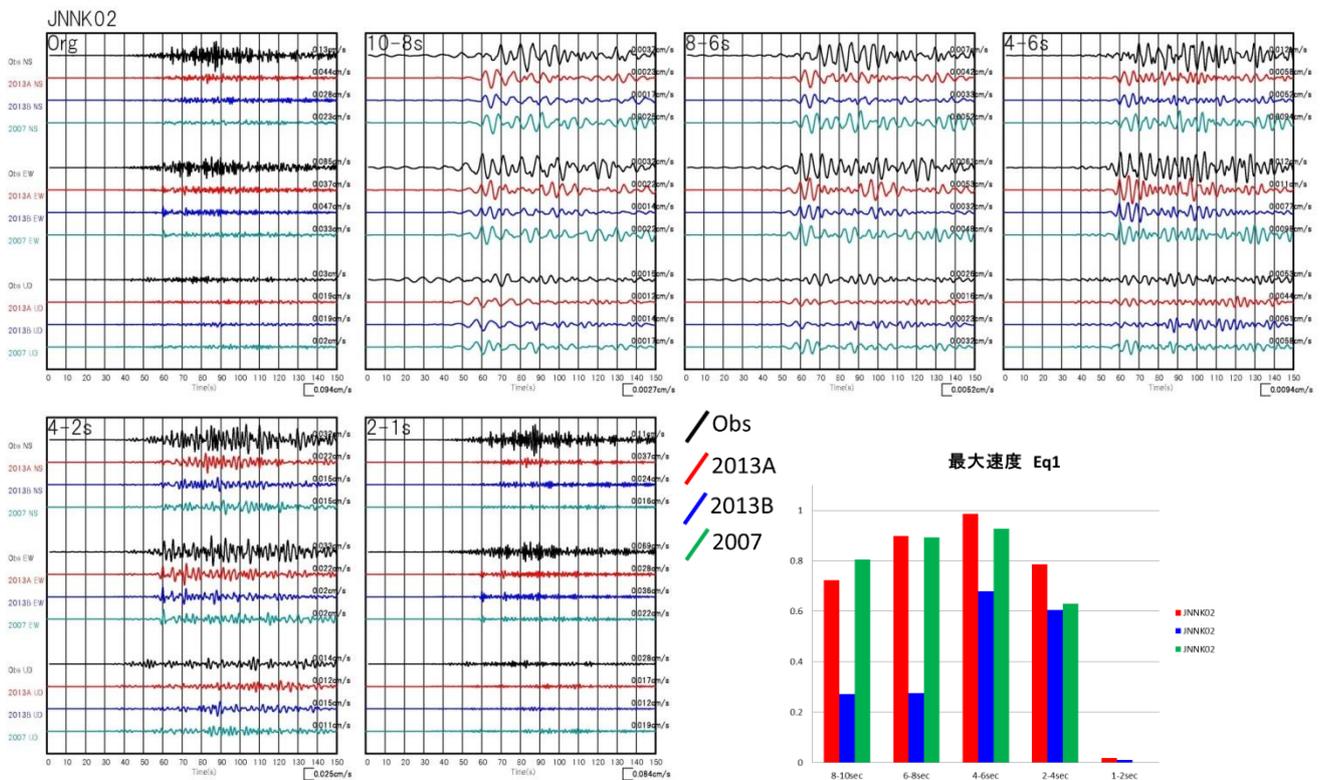


図 3.1- 44 バンドパスフィルター波形の比較と最大速度のアンダーソンの指標 JNNK02 Eq1

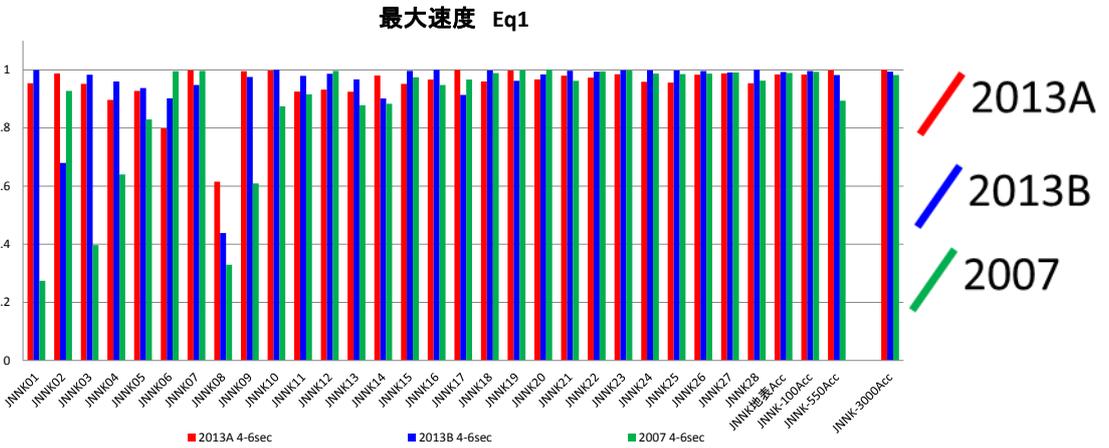
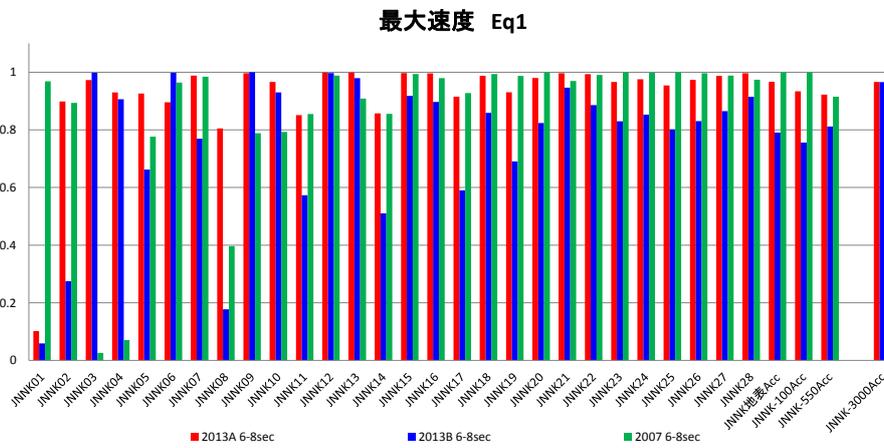
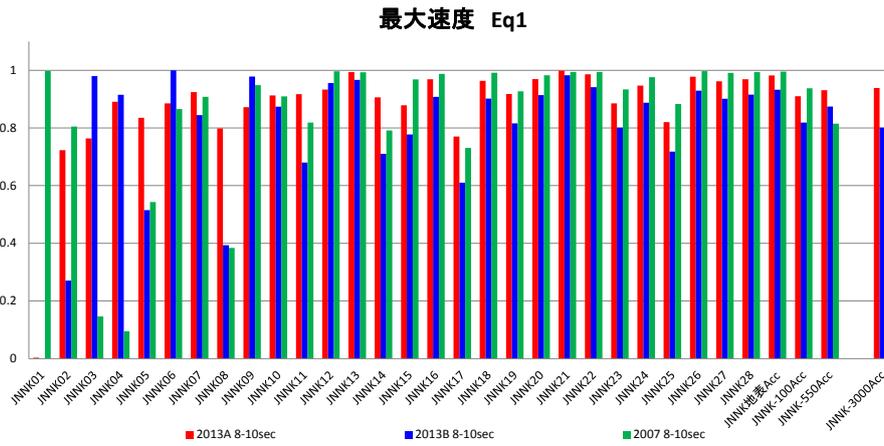


図 3.1- 45 アンダーソンの指標 Eq1 最大速度  
 上図:周期 8-10 秒 中図:周期 6-8 秒 下図:周期 4-6 秒

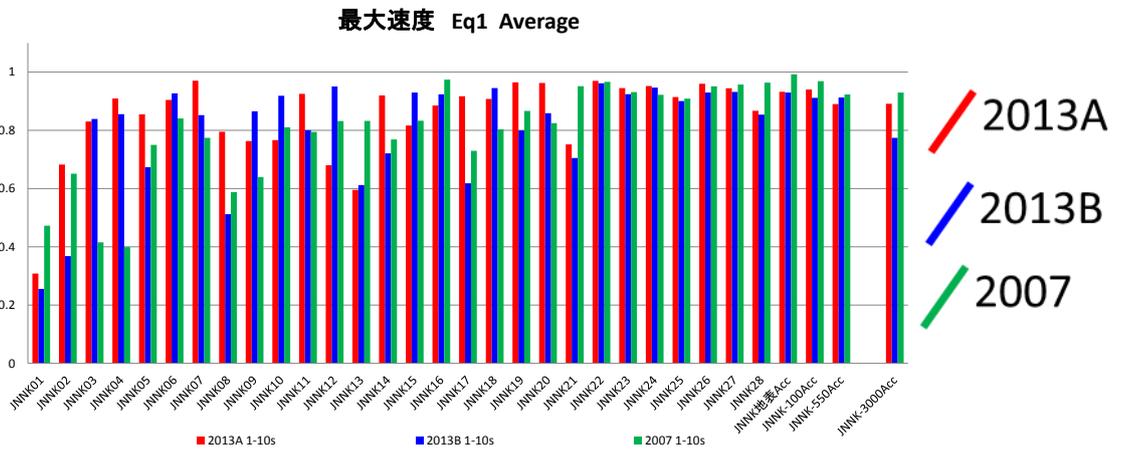
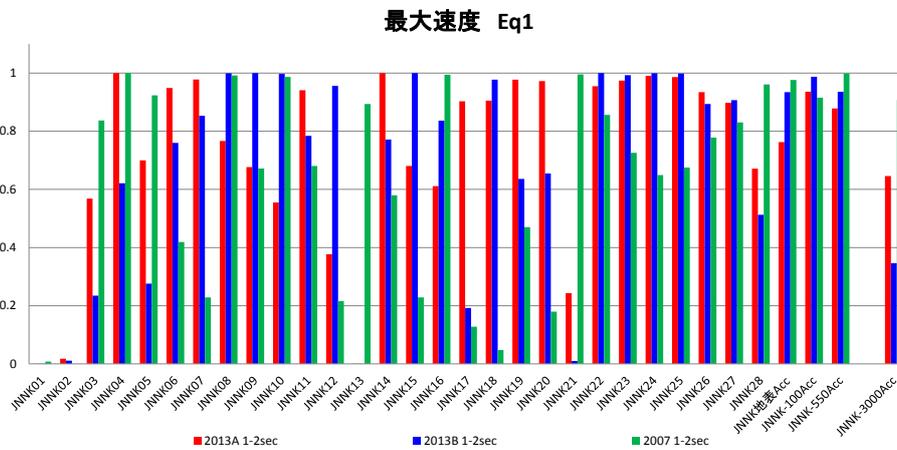
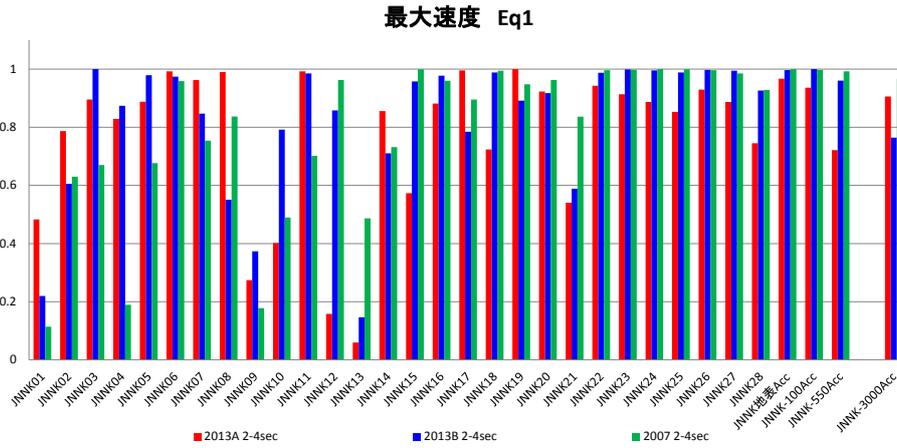


図 3.1- 46 アンダーソンの指標 Eq1 最大速度  
 上図:周期 2-4 秒 中図:周期 1-2 秒 下図:周期 1-10 秒の平均

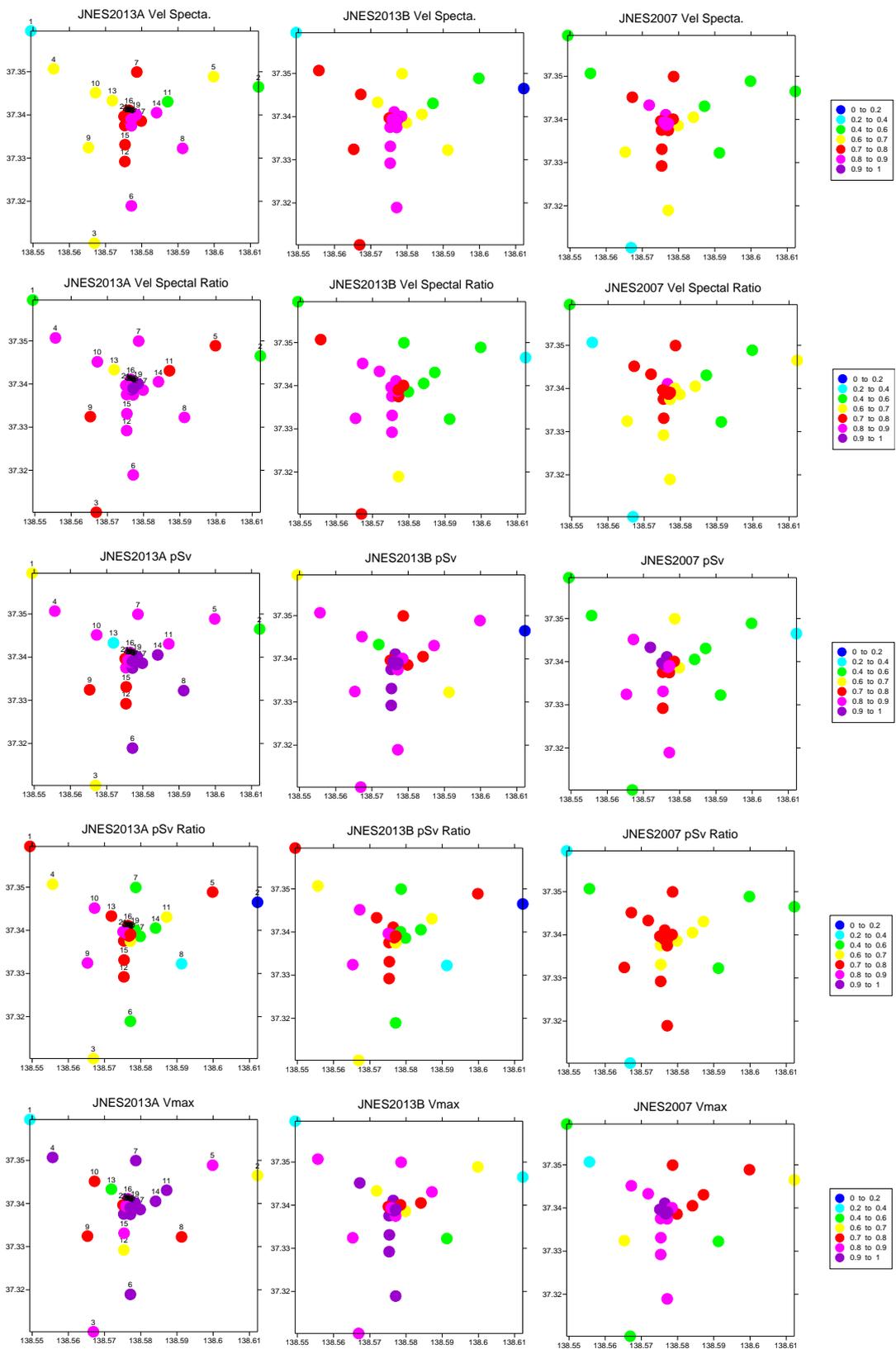


図 3.1- 47 アンダーソンの指標の平均値の分布 Eq1

上から、フーリエスペクトル、フーリエスペクトル比、疑似速度応答、疑似速度応答比、最大速度

#### 3.1.2.4 計算結果 Eq2

図 3.1- 48 および図 3.1- 49 にボーリング孔地表の速度波形の比較およびアンダーソンの指標を示す。速度フーリエスペクトル算出の際は、バンド幅 0.05Hz の Parzen Window による平滑化を行っている。JNES2013 A モデルがやや過大評価であり、アンダーソンの指標が JNES2013B モデルに比べやや悪い。

図 3.1- 50 および図 3.1- 51 にボーリング孔 550m の速度波形の比較およびアンダーソンの指標を示す。ボーリング孔 3000m の記録にはややノイズが含まれていたため、スペクトルの比の基準点は 550m 地点とした。JNES2013 A モデルのアンダーソンの指標が高い。

図 3.1- 52 および図 3.1- 53 には、JNNK17 の速度波形の比較およびアンダーソンの指標を示す。周期 1 秒より長周期側ではスペクトルは概ね観測をよく説明できているが、周期 1 秒以下で過小評価であり、アンダーソンの指標も悪くなっている。

図 3.1- 54 および図 3.1- 55 には、JNNK02 の速度波形の比較およびアンダーソンの指標を示す。Eq1 で見たように周期 1 秒以下で極端にアンダーソンの指標が悪い。また計算波形も過小評価である。

図 3.1- 56 および図 3.1- 57 に速度フーリエスペクトルのアンダーソンの指標を示す。周期 8-10 秒の指標は悪いが、6-8 秒、4-6 秒では JNES2013A モデルの指標が高い。逆に 2-4 秒では NES2013A モデルの指標が低くなっている。0.5-1 秒の平均を見ると JNES2013A モデルの指標が高いことがわかる。

図 3.1- 58 および図 3.1- 59 に速度フーリエスペクトル比のアンダーソンの指標を示す。周期 4 秒以上では、JNES2013A モデル、JNES2013B モデルともに指標が高い。周期 2-4 秒で JNES2013A モデルの指標が低くなっている。0.5-1 秒の平均を見ると JNES2013B モデルの指標が高い。スペクトルそのものの指標と比べると総じて高い値を示している。これは、地震波の入力(震源特性)の精度が低い、対象領域の地盤モデルは精度が高いことを示している。

図 3.1- 60 および図 3.1- 61 に疑似速度応答スペクトルのアンダーソンの指標を示す。JNES2013B モデルの指標が高いことがわかる。周期 0.5-1 秒では JNES2007 モデルの指標は低い。これは、表層のモデル化がなされていないためであると考えられる。

図 3.1- 62 および図 3.1- 63 に疑似速度応答スペクトル比のアンダーソンの指標を示す。速度フーリエスペクトル比の場合と同様に JNES2013B モデルの指標が高い。

図 3.1- 64、図 3.1- 65、図 3.1- 66、図 3.1- 67 にそれぞれボーリング孔地表、ボーリング孔 550m、JNNK17、JNNK02 のバンドパスフィルター波形の比較と最大速度のアンダーソンの指標の比較を示す。ボーリング孔地表では、周期 6-4 秒および 4-2 秒が過大評価であり、指標が低い。同様にボーリング孔 550m においても、周期 6-4 秒の指標が低い。JNNK17 の周期 10-8 秒、8-6 秒はノイズの影響で指標が低いと考えられる。周期 1 秒以下の JNNK17 および JNNK02 の指標が低く、浅部モデルの設定や Q 値の設定に問題があると考えられる。

図 3.1- 68 および図 3.1- 69 に最大速度のアンダーソンの指標を示す。周期 0.5-1 秒では JNES2013A モデルがやや指標が高いが、総じて JNES2013B モデルの指標が高い。

図 3.1- 70 に アンダーソンの指標の平均値の分布を示す。ボーリング孔周辺の指標が高く、全体では JNES2013A モデルの指標が高い。

各サイトの速度波形やバンドパスフィルターの波形の比較図は付録 2 および 5 に示す。

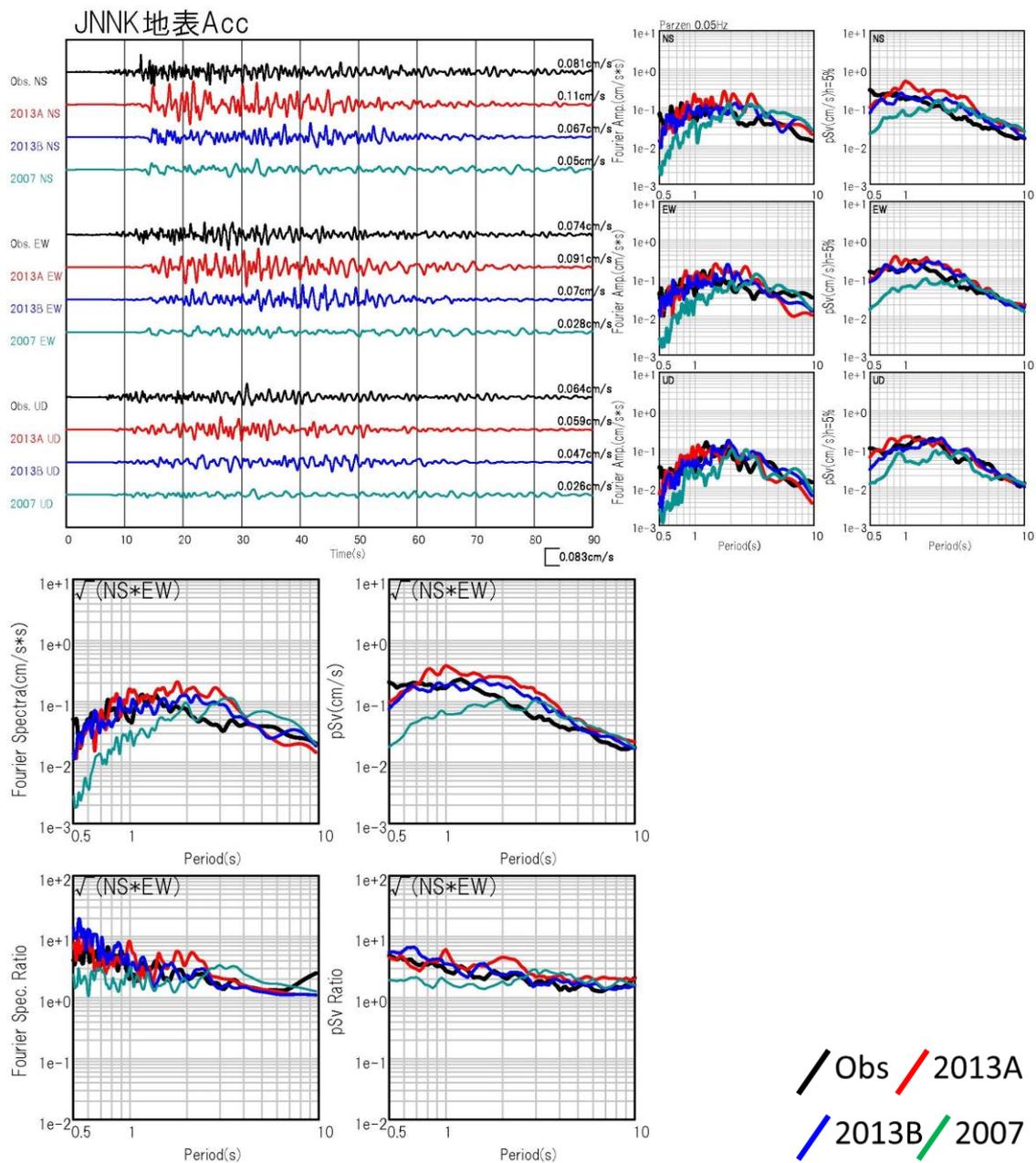


図 3.1- 48 ボーリング孔地表速度波形の比較 Eq2

速度波形およびフーリエスペクトル、疑似速度応答スペクトル(h=5%)

下図:水平 2 成分フーリエスペクトルおよび疑似速度応答スペクトル

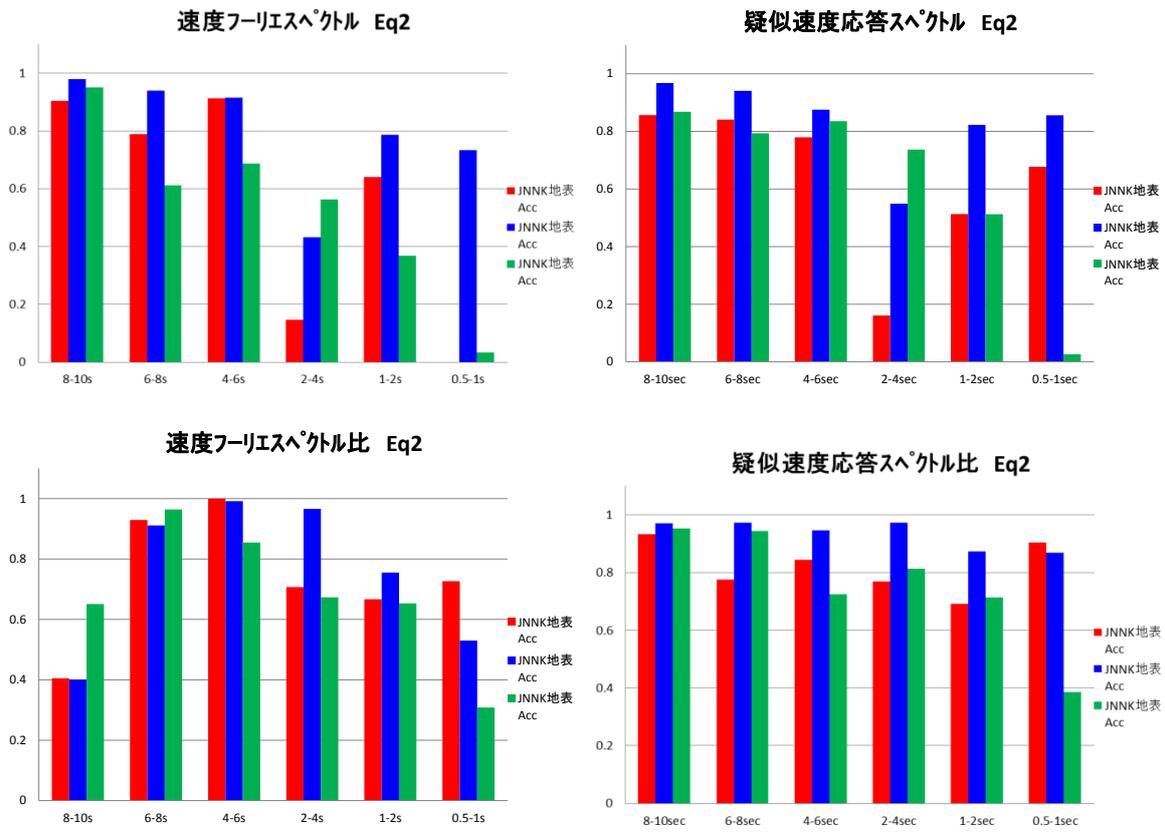


図 3.1- 49 アンダーソンの指標 ボーリング孔地表 Eq2

左図:速度フーリエスペクトル 右図:疑似速度応答スペクトル  
 左図:速度フーリエスペクトル比 右図:疑似速度応答スペクトル比

2013A  
 2013B  
 2007

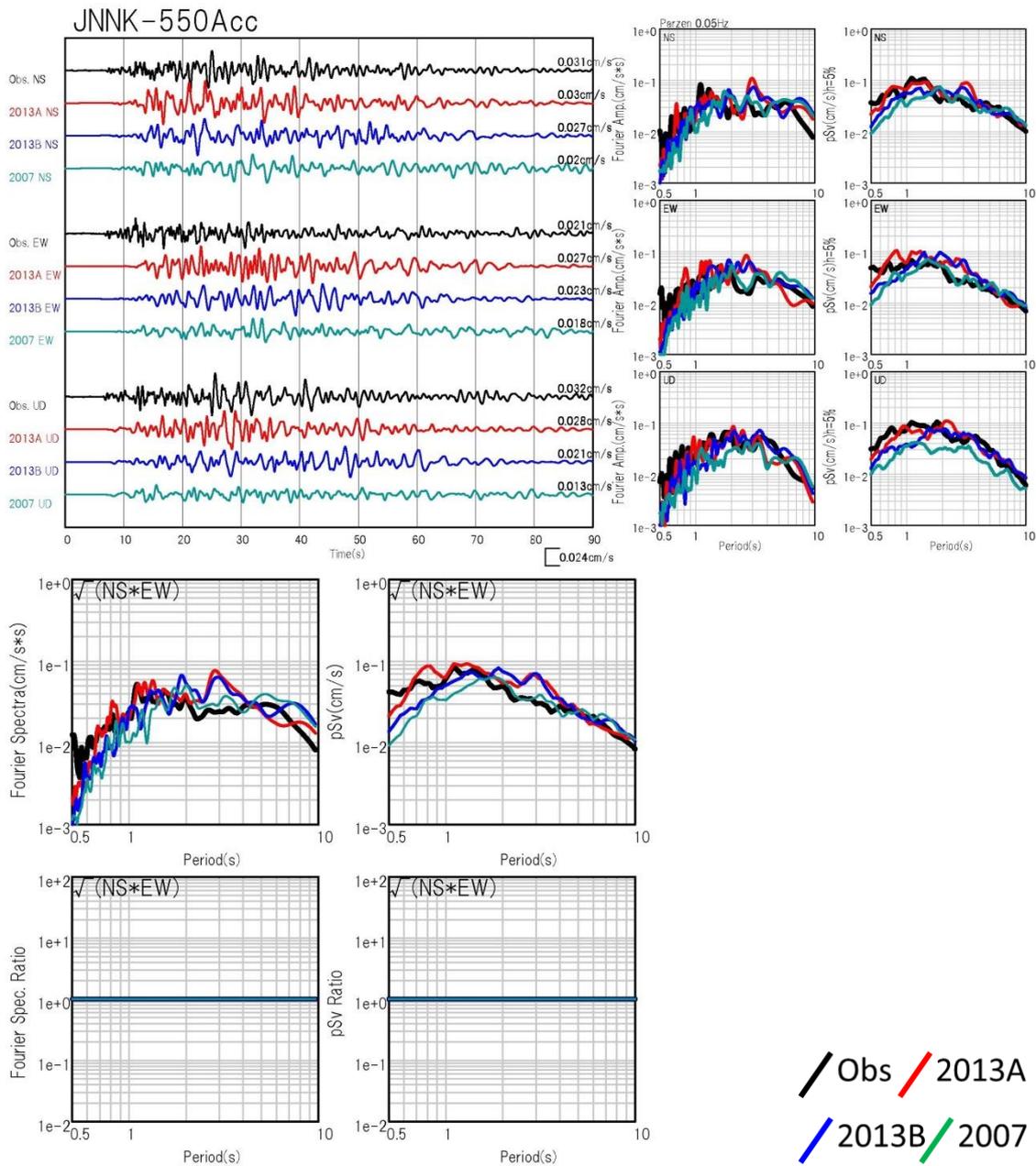
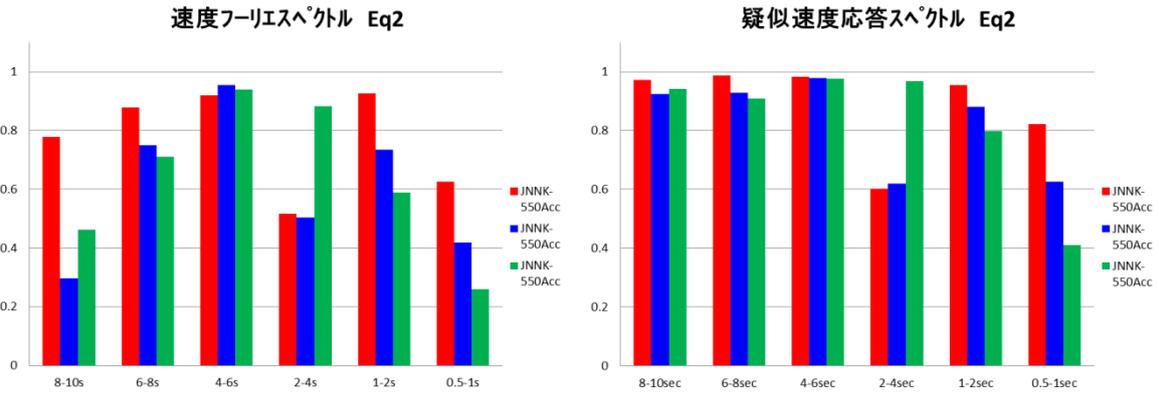
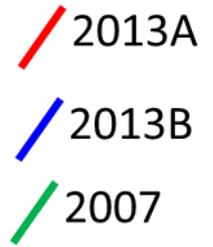


図 3.1- 50 ボーリング孔 550m 速度波形の比較 Eq2  
 速度波形およびフーリエスペクトル、疑似速度応答スペクトル(h=5%)  
 下図:水平 2 成分フーリエスペクトルおよび疑似速度応答スペクトル



スペクトル比は、550m 孔中記録を基準

図 3.1- 51 アンダーソンの指標 ボーリング孔 550m Eq2



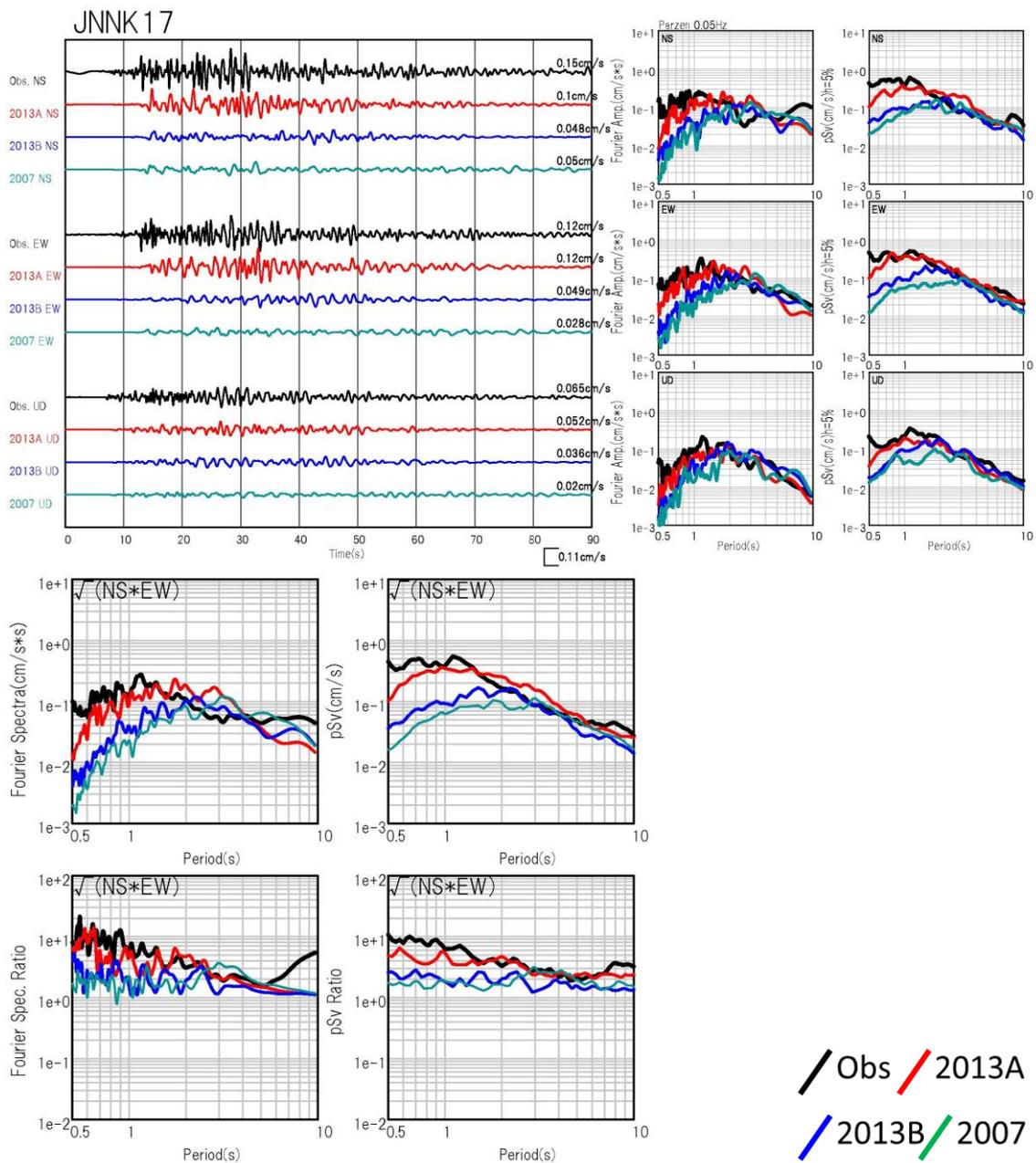
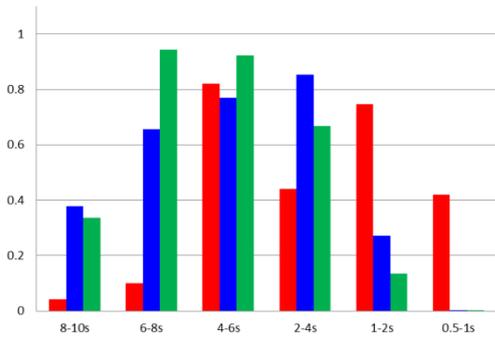


図 3.1- 52 JNNK17 速度波形の比較 Eq2

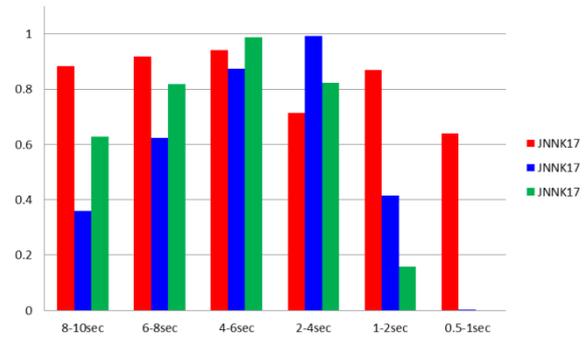
速度波形およびフーリエスペクトル、疑似速度応答スペクトル(h=5%)

下図:水平 2 成分フーリエスペクトルおよび疑似速度応答スペクトル

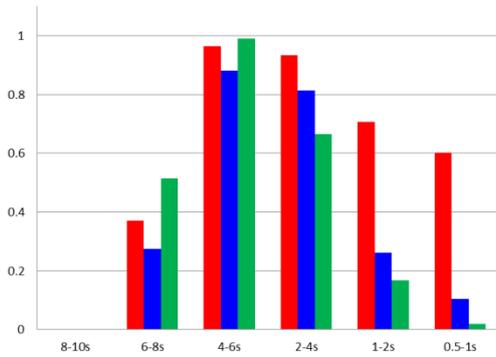
速度フーリエスペクトル Eq2



疑似速度応答スペクトル Eq2



速度フーリエスペクトル比 Eq2



疑似速度応答スペクトル比 Eq2

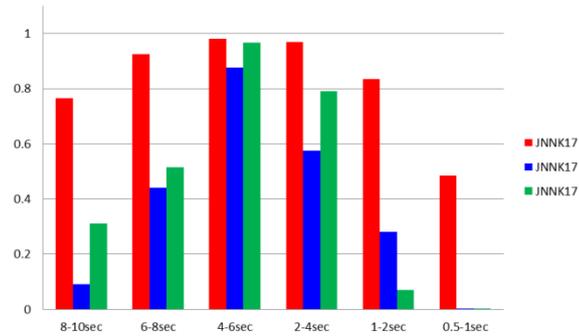


図 3.1- 53 アンダーソンの指標 JNNK17 Eq2

左図:速度フーリエスペクトル 右図:疑似速度応答スペクトル  
 左図:速度フーリエスペクトル比 右図:疑似速度応答スペクトル比

2013A  
 2013B  
 2007

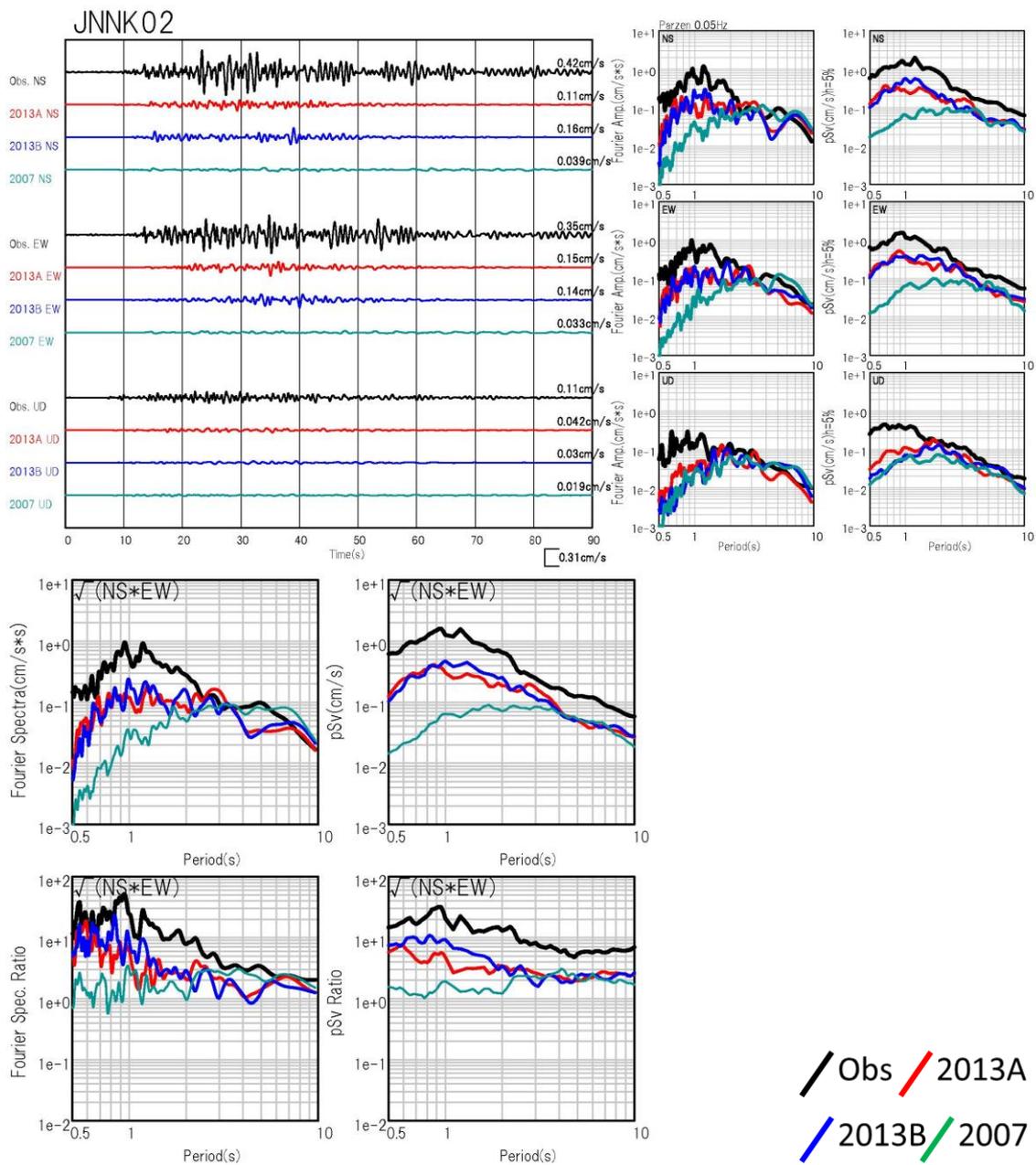


図 3.1- 54 JNNK02 速度波形の比較 Eq2

速度波形およびフーリエスペクトル、疑似速度応答スペクトル(h=5%)

下図:水平 2 成分フーリエスペクトルおよび疑似速度応答スペクトル

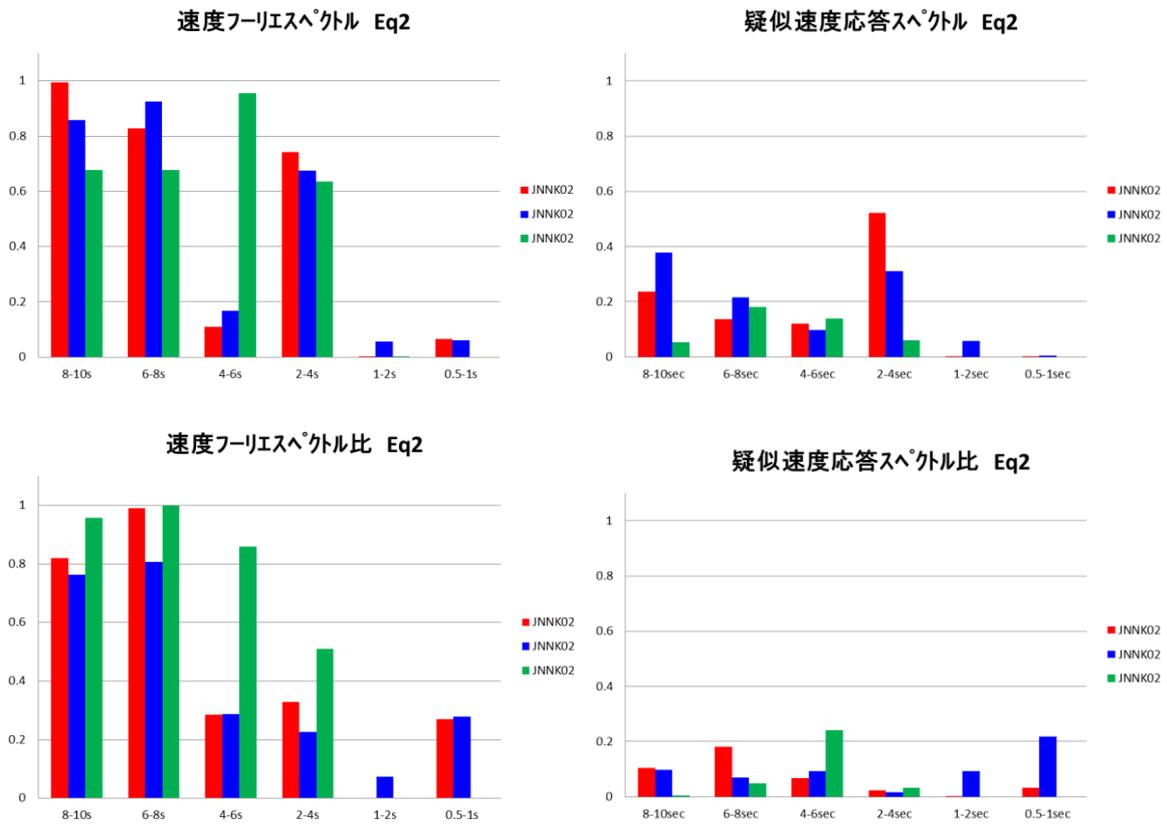
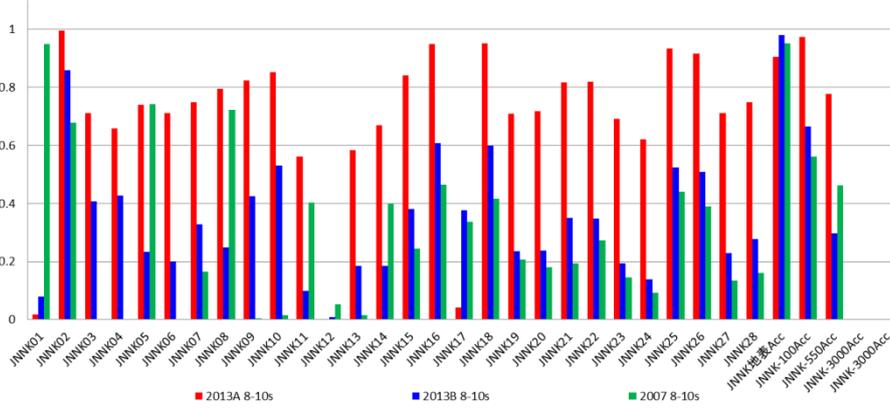


図 3.1- 55 アンダーソンの指標 JNNK02 Eq2

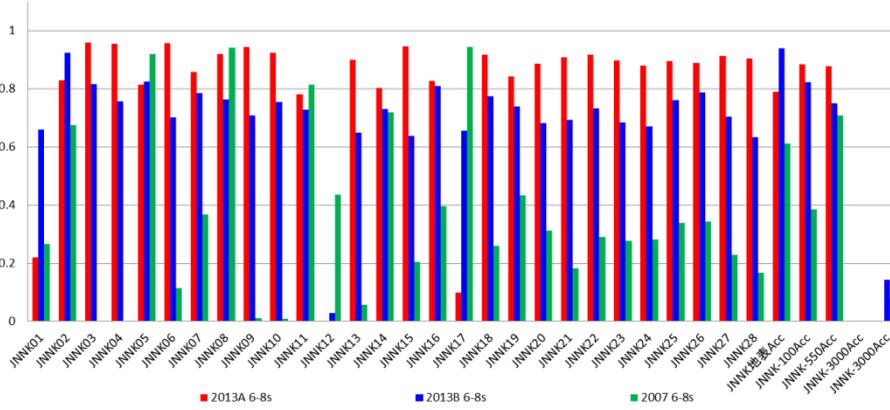
左図:速度フーリエスペクトル 右図:疑似速度応答スペクトル  
 左図:速度フーリエスペクトル比 右図:疑似速度応答スペクトル比

2013A  
 2013B  
 2007

速度フーリエスペクトル Eq2



速度フーリエスペクトル Eq2



速度フーリエスペクトル Eq2

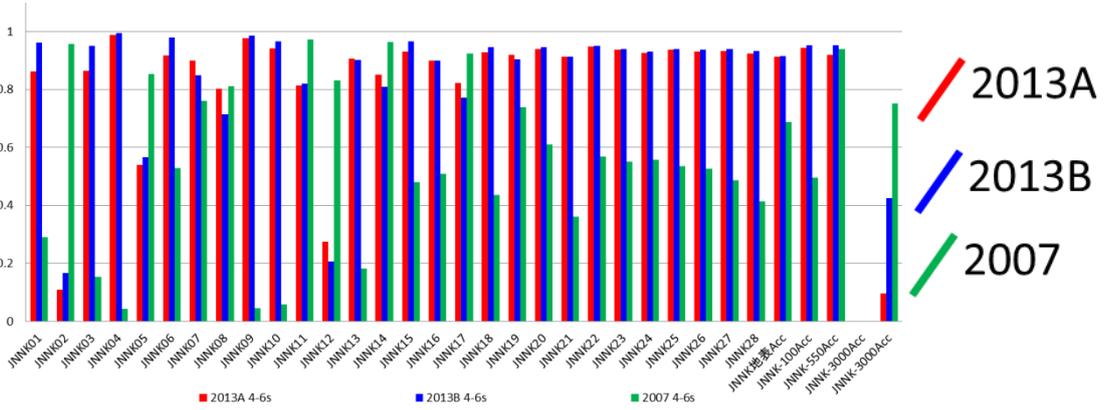
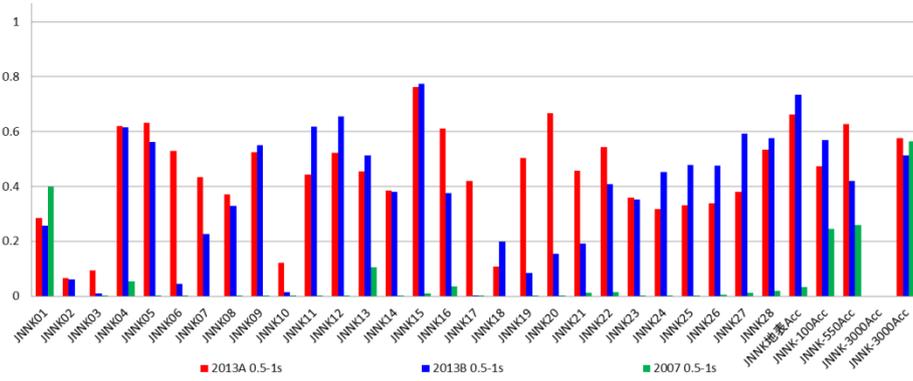
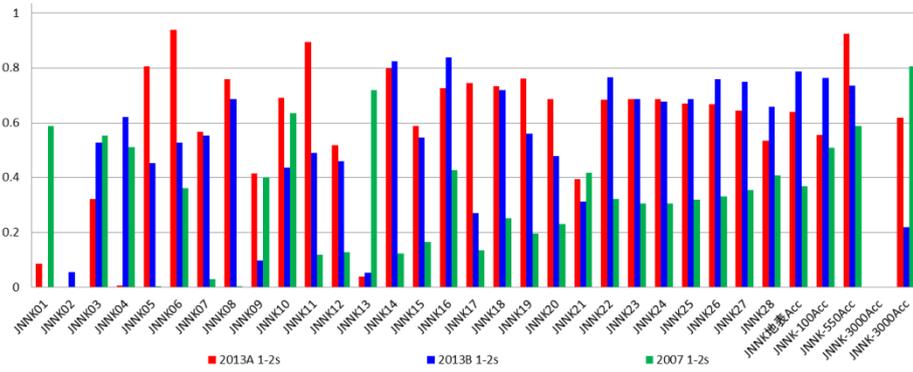
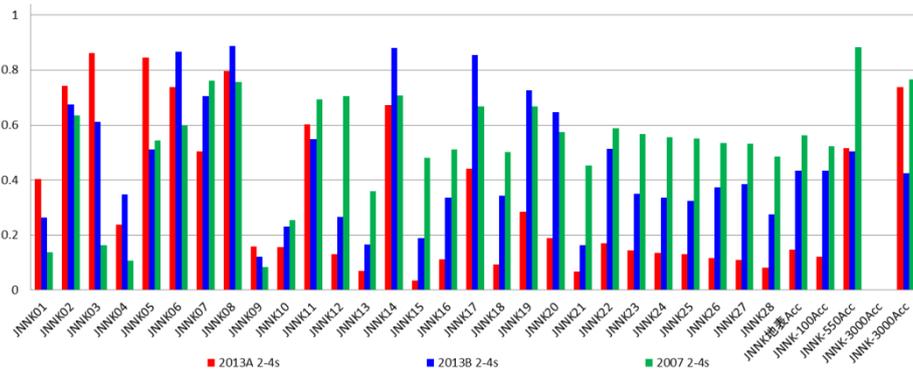


図 3.1- 56 アンダーソンの指標 Eq2 速度フーリエスペクトル  
 上図:周期 8-10 秒 中図:周期 6-8 秒 下図:周期 4-6 秒



速度フーリエスペクトル Eq2 Average

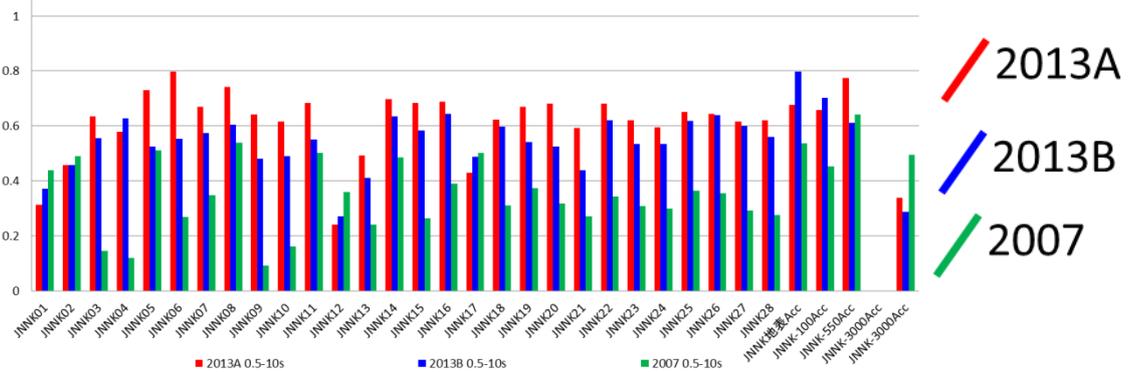


図 3.1- 57 アンダーソンの指標 Eq1 速度フーリエスペクトル

1 段目:周期 2-4 秒 2 段目:周期 1-2 秒 3 段目:周期 0.5-1 秒 4 段目:周期 0.5-10 秒の平均

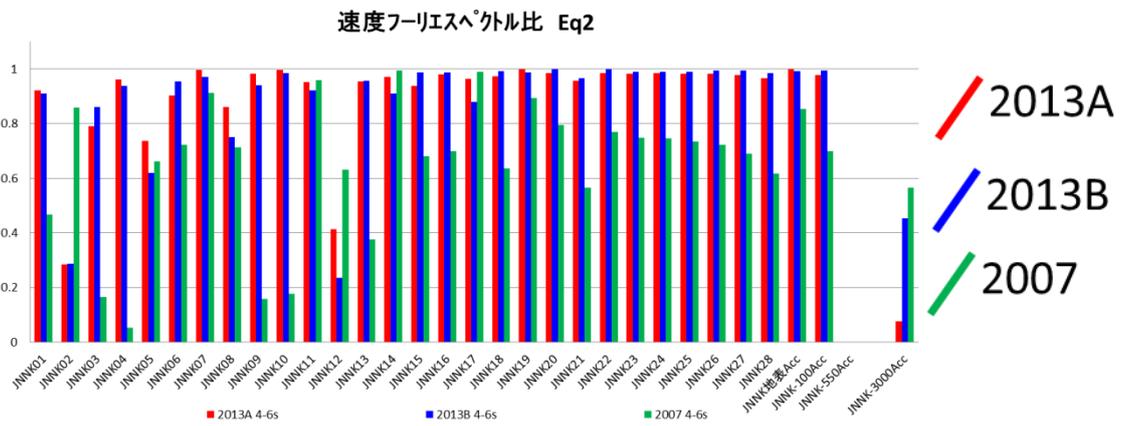
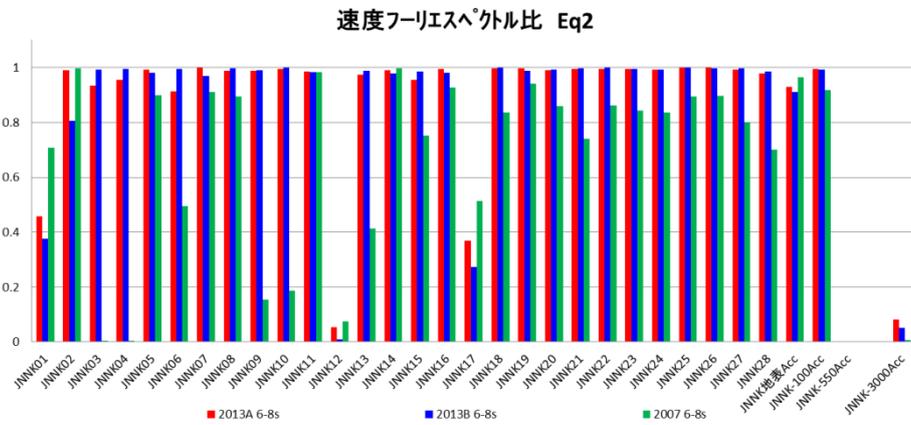
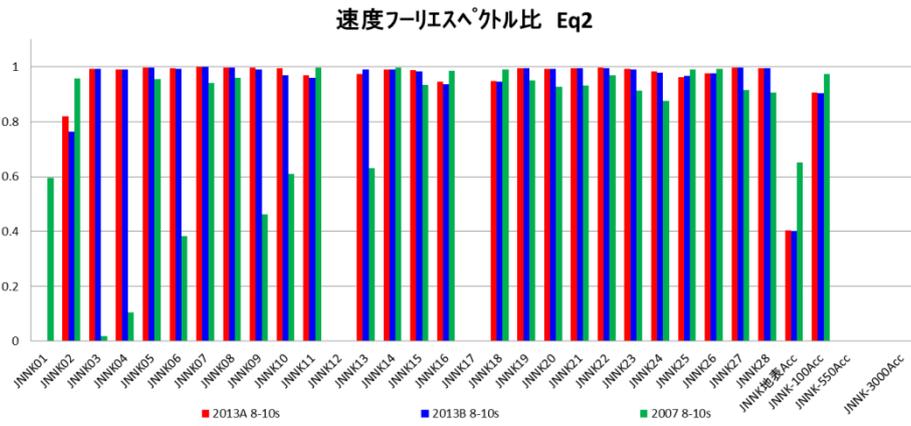
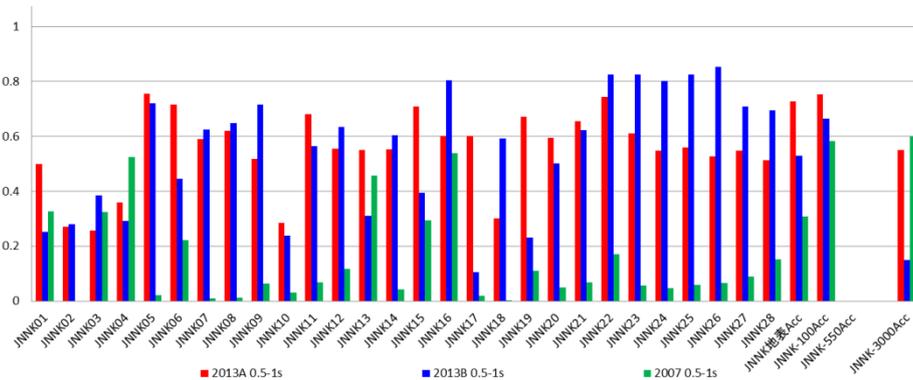
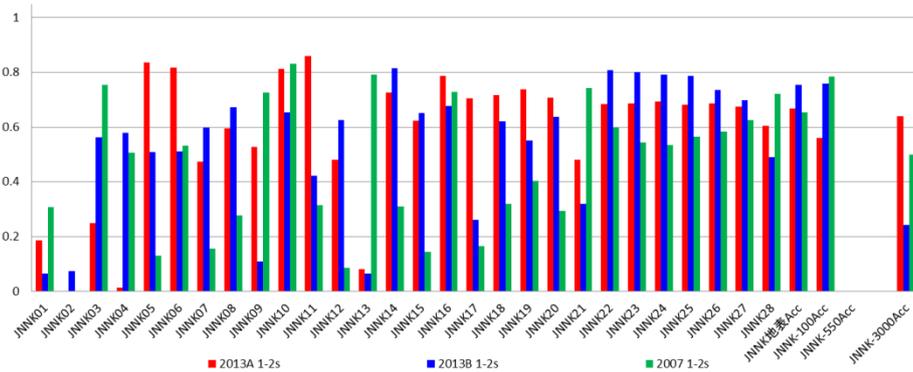
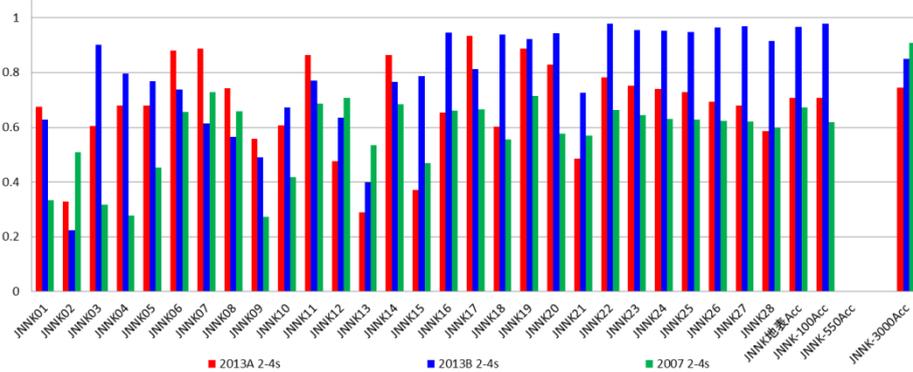
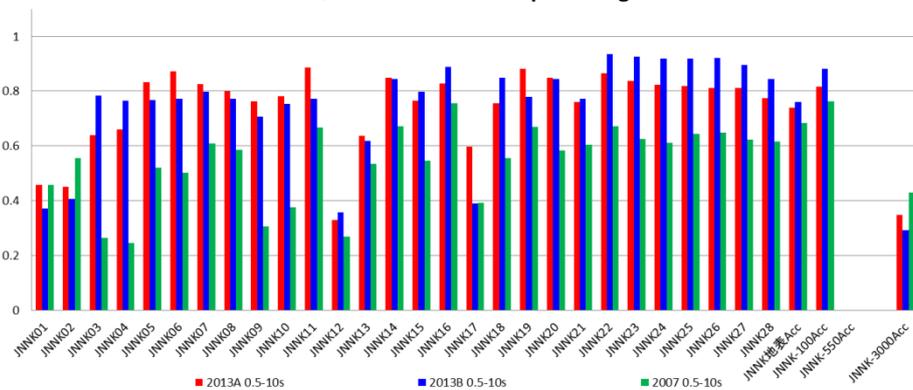


図 3.1- 58 アンダーソンの指標 Eq2 速度フーリエスペクトル比  
 上図:周期 8-10 秒 中図:周期 6-8 秒 下図:周期 4-6 秒



速度フーリエスペクトル比 Eq2 Average



2013A  
2013B  
2007

図 3.1- 59 アンダーソンの指標 Eq2 速度フーリエスペクトル比

1 段目:周期 2-4 秒 2 段目:周期 1-2 秒 3 段目:周期 0.5-1 秒 4 段目:周期 0.5-10 秒の平均

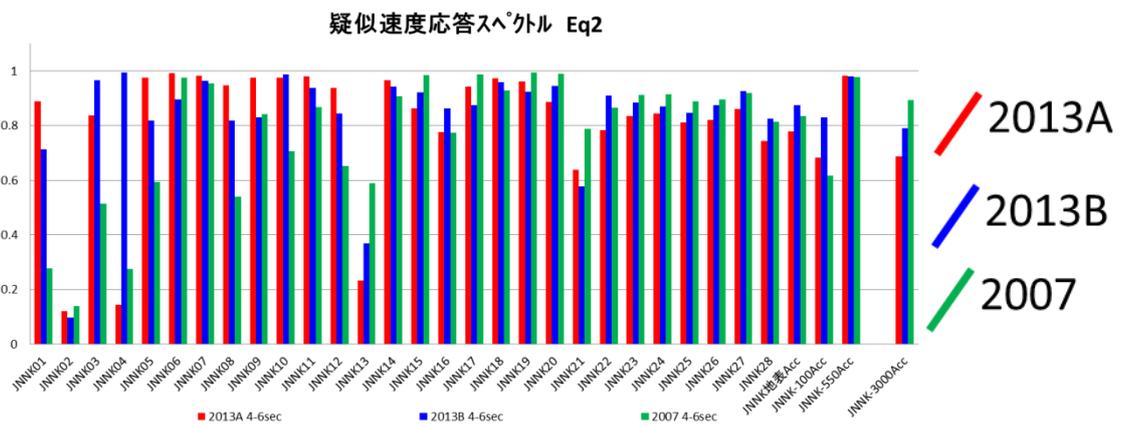
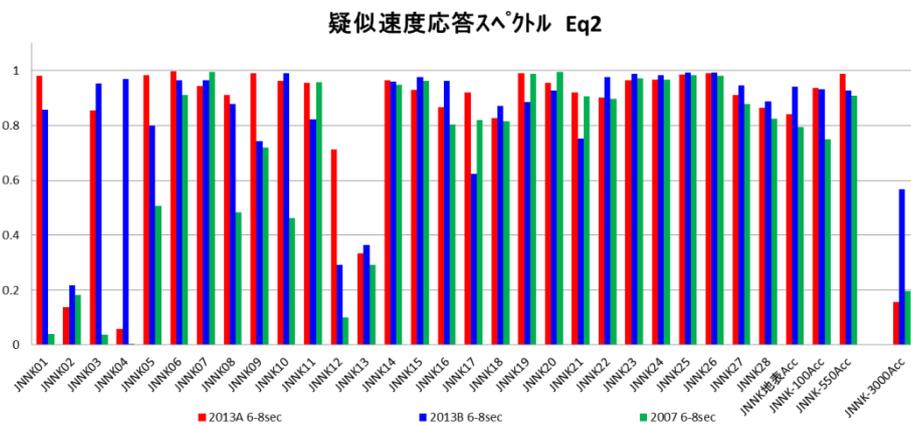
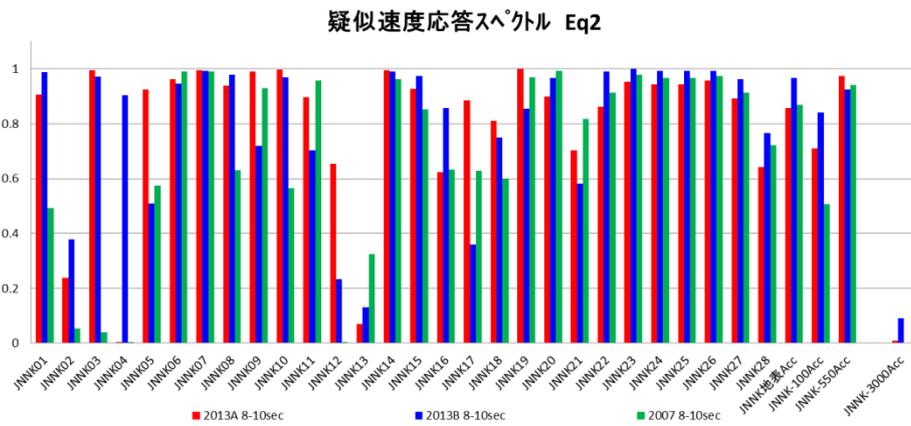
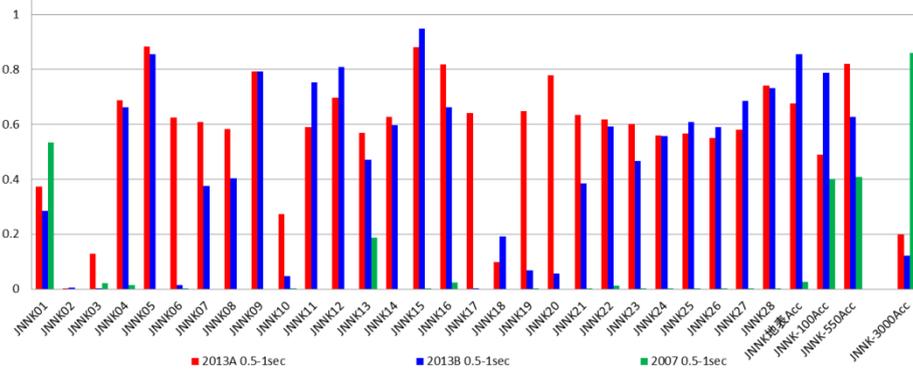
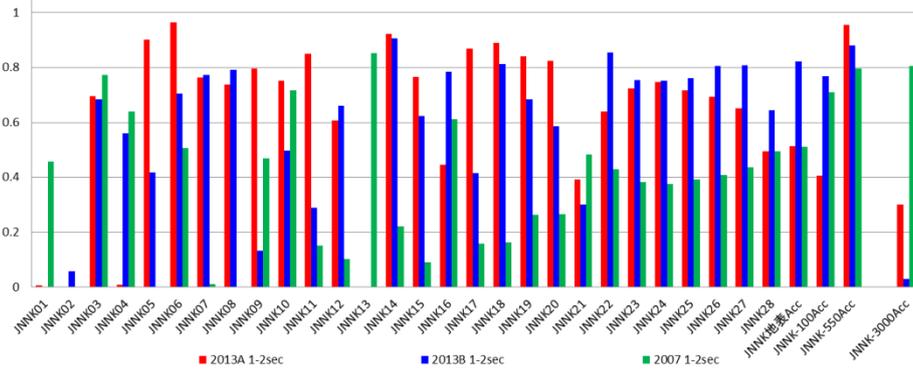
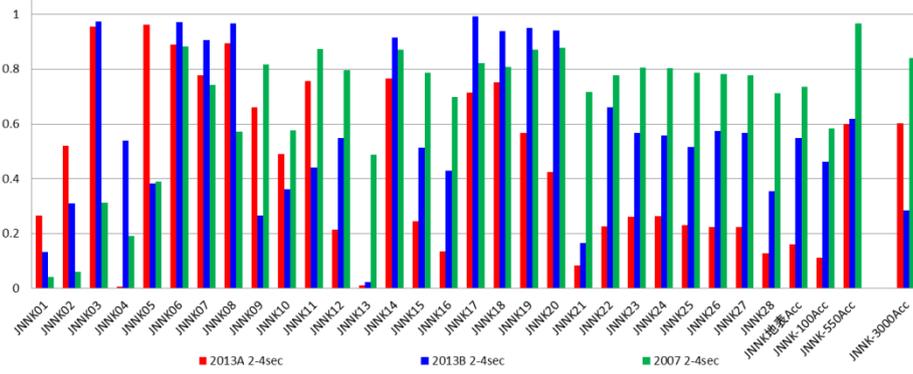
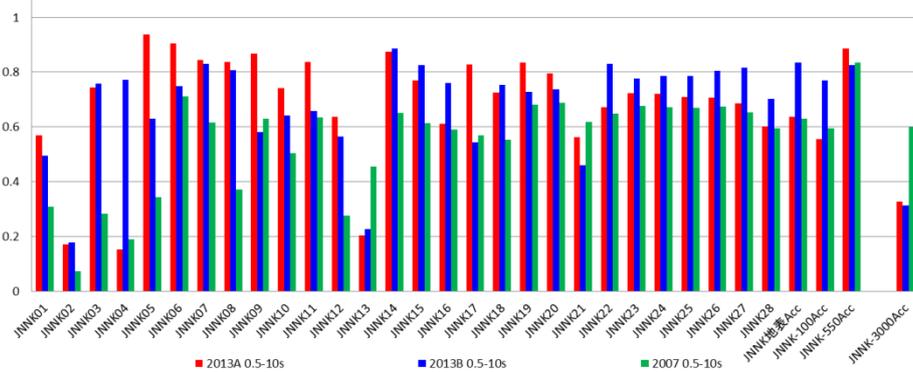


図 3.1- 60 アンダーソンの指標 Eq2 疑似速度応答スペクトル  
 上図:周期 8-10 秒 中図:周期 6-8 秒 下図:周期 4-6 秒



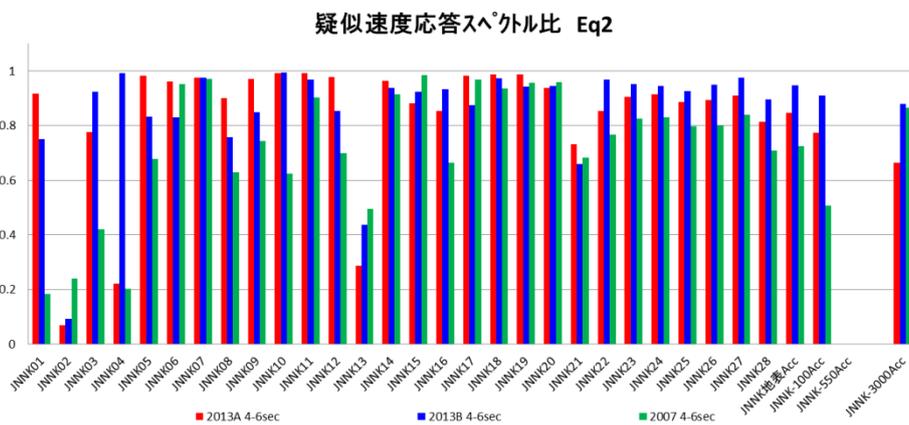
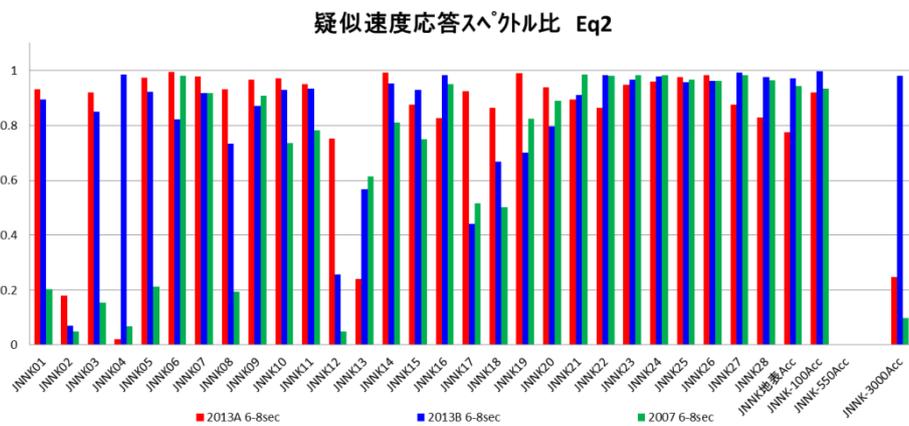
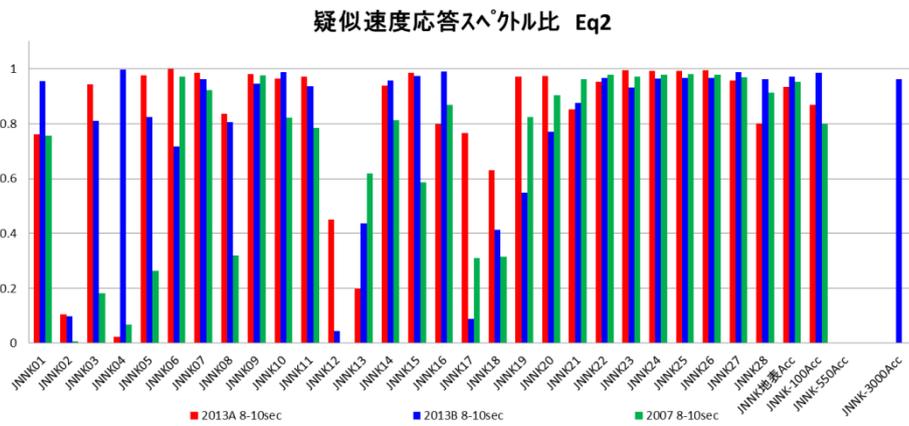
疑似速度応答スペクトル Eq2 Average



2013A  
2013B  
2007

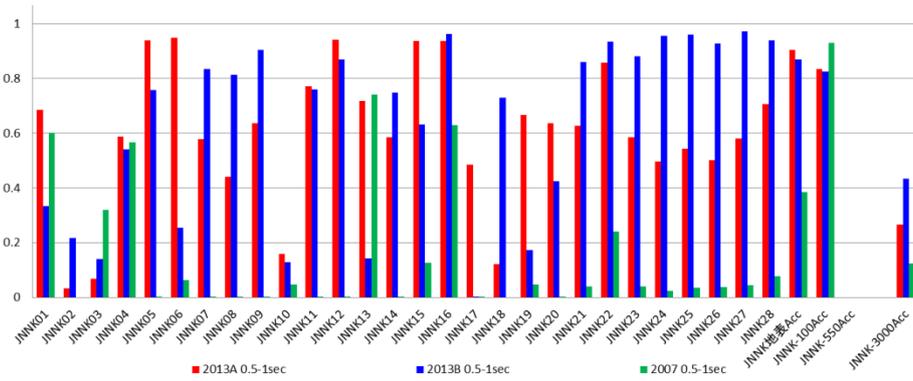
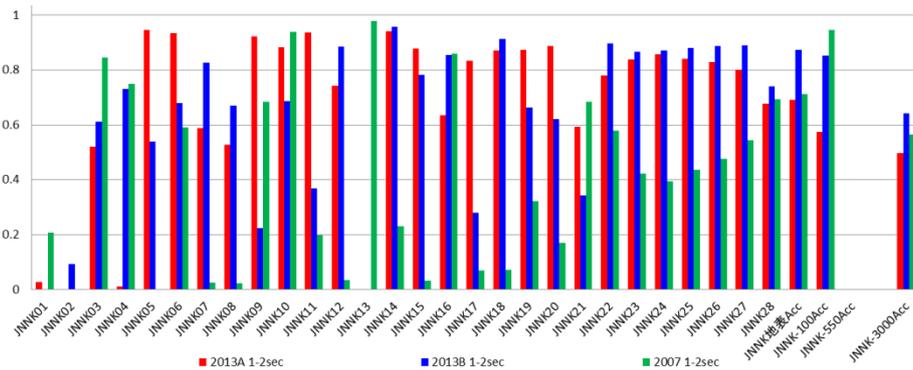
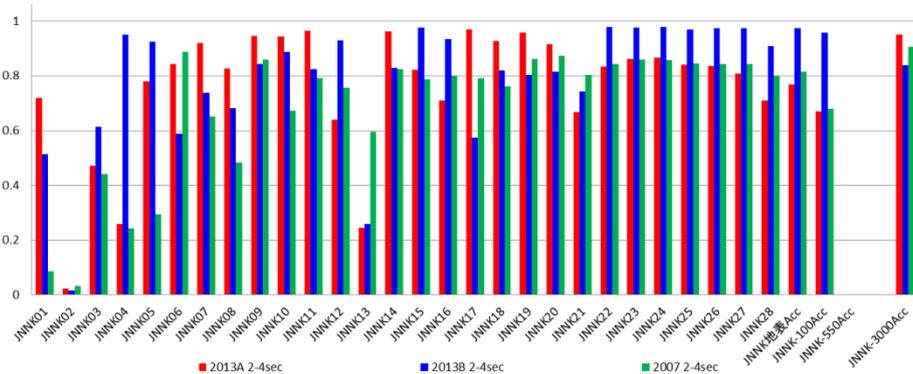
図 3.1- 61 アンダーソンの指標 Eq2 疑似速度応答スペクトル

1 段目:周期 2-4 秒 2 段目:周期 1-2 秒 3 段目:周期 0.5-1 秒 4 段目:周期 0.5-10 秒の平均



2013A  
2013B  
2007

図 3.1- 62 アンダーソンの指標 Eq2 疑似速度応答スペクトル比  
上図:周期 8-10 秒 中図:周期 6-8 秒 下図:周期 4-6 秒



疑似速度応答スペクトル比 Eq2 Average

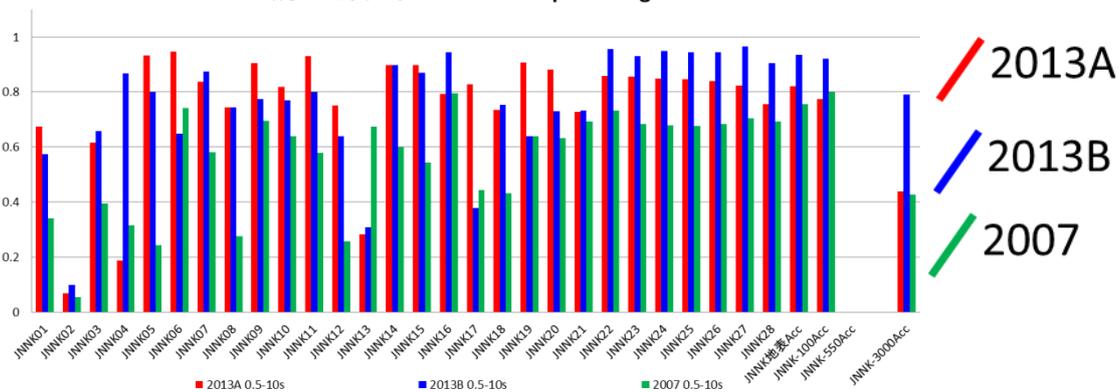


図 3.1- 63 アンダーソンの指標 Eq2 疑似速度応答スペクトル比

1 段目:周期 2-4 秒 2 段目:周期 1-2 秒 3 段目:周期 0.5-1 秒 4 段目:周期 0.5-10 秒の平均

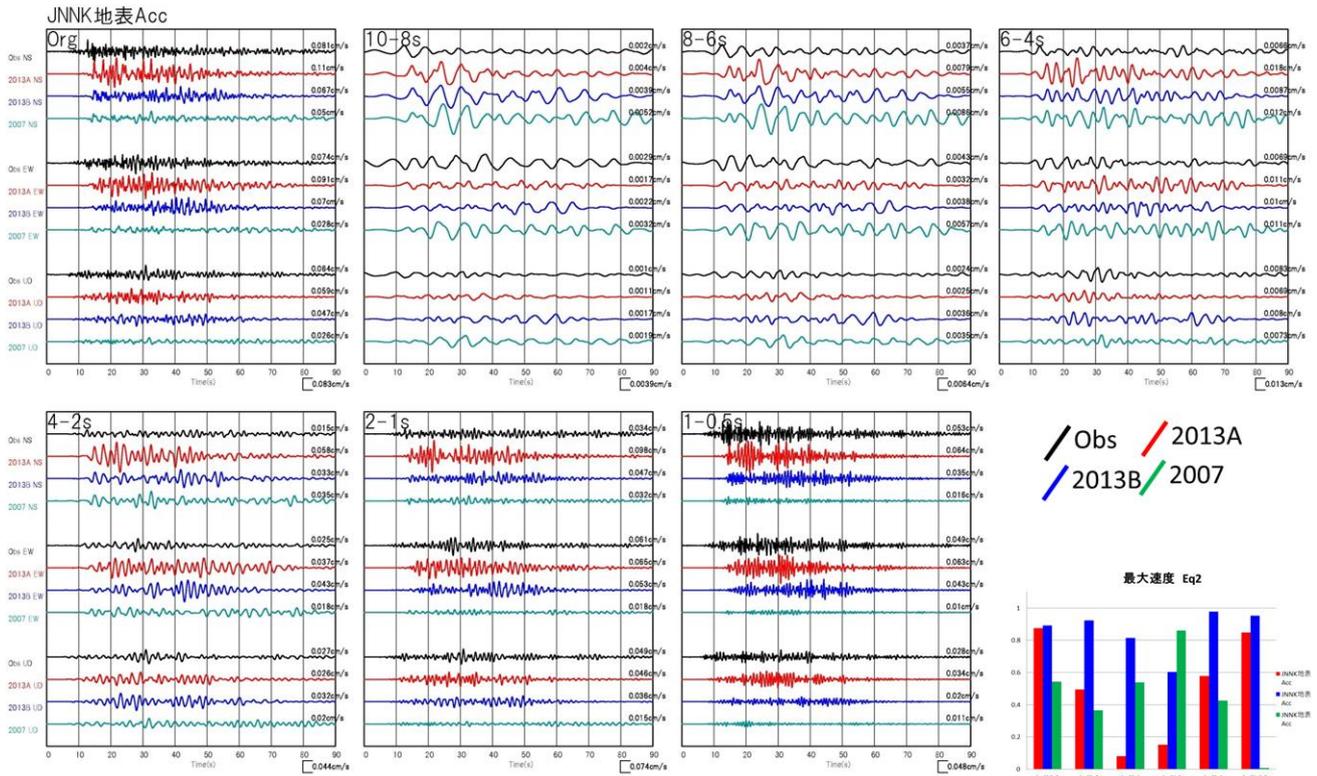


図 3.1- 64 バンドパスフィルター波形の比較と最大速度のアンダーソンの指標 ボーリング孔地表 Eq2

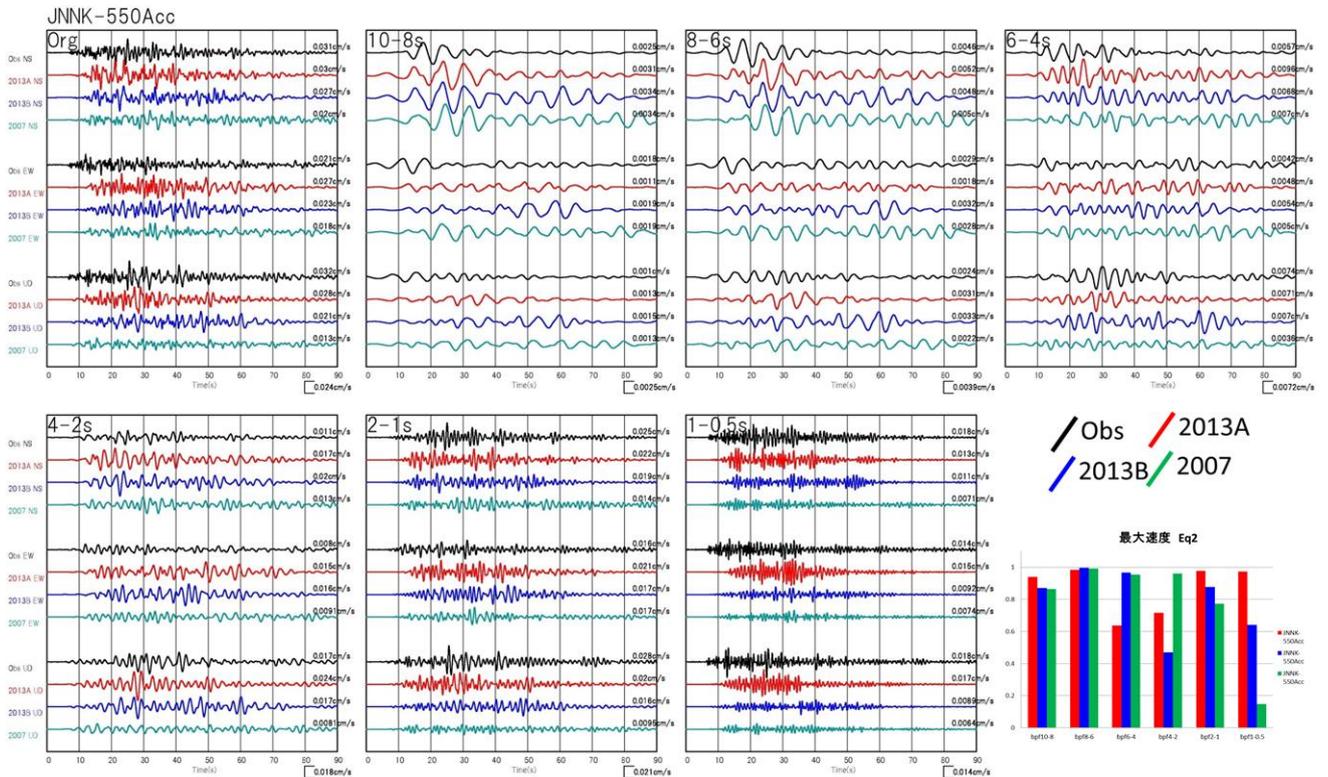


図 3.1- 65 バンドパスフィルター波形の比較と最大速度のアンダーソンの指標 ボーリング孔 550m Eq2

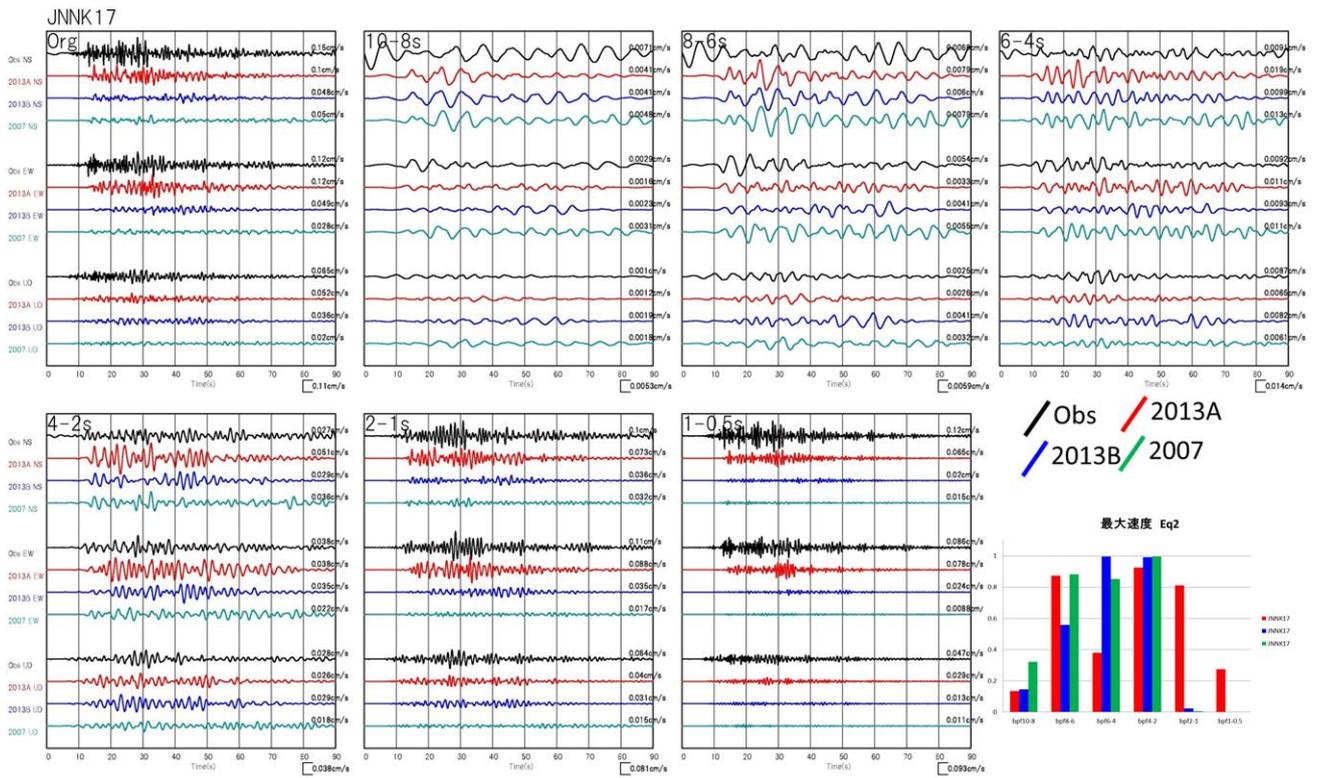


図 3.1- 66 バンドパスフィルター波形の比較と最大速度のアンダーソンの指標 JNNK17 Eq2

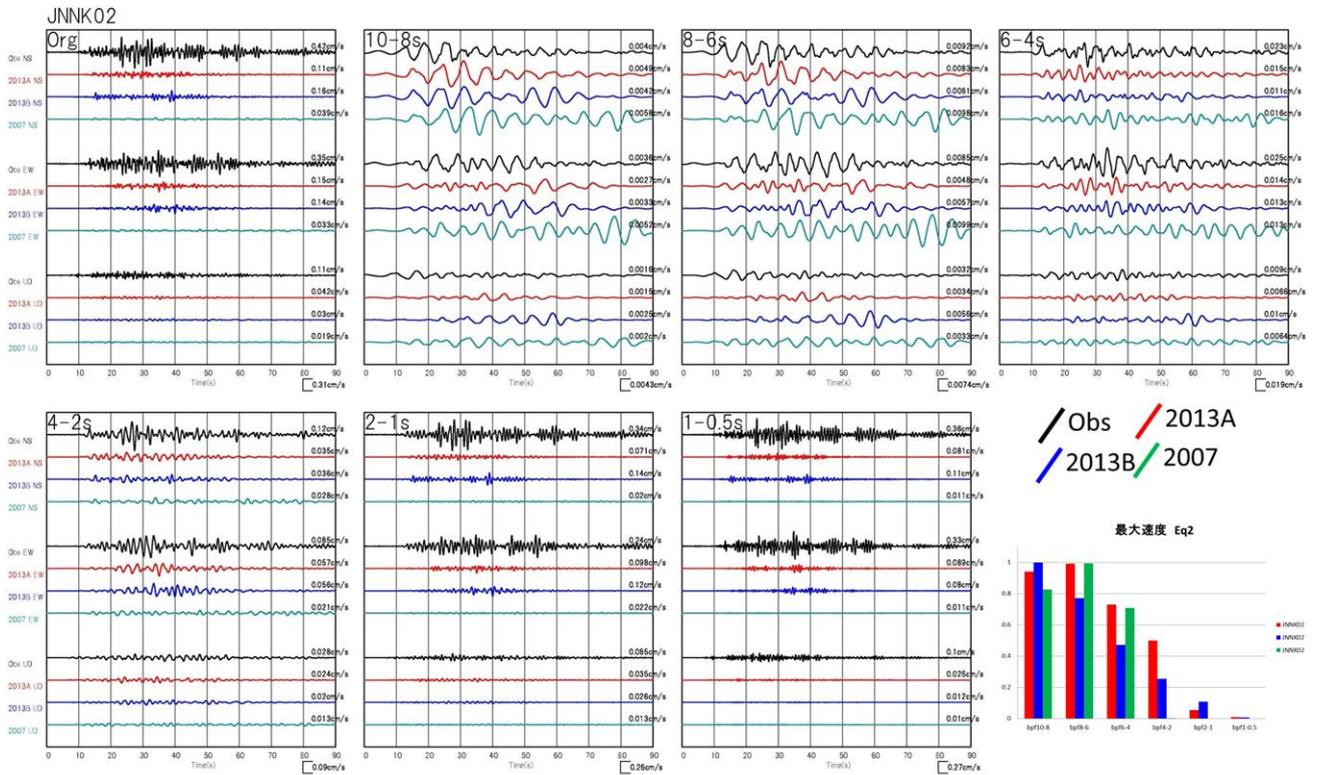


図 3.1- 67 バンドパスフィルター波形の比較と最大速度のアンダーソンの指標 JNNK02 Eq2

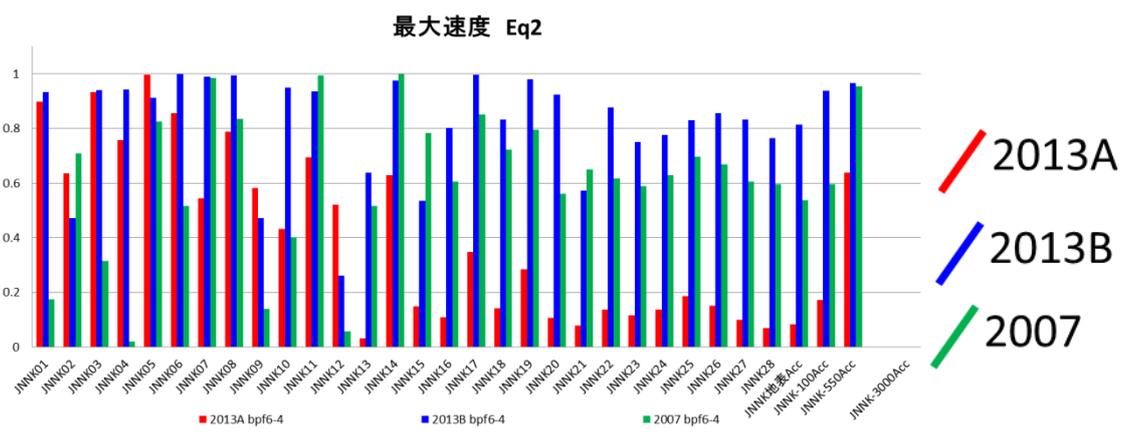
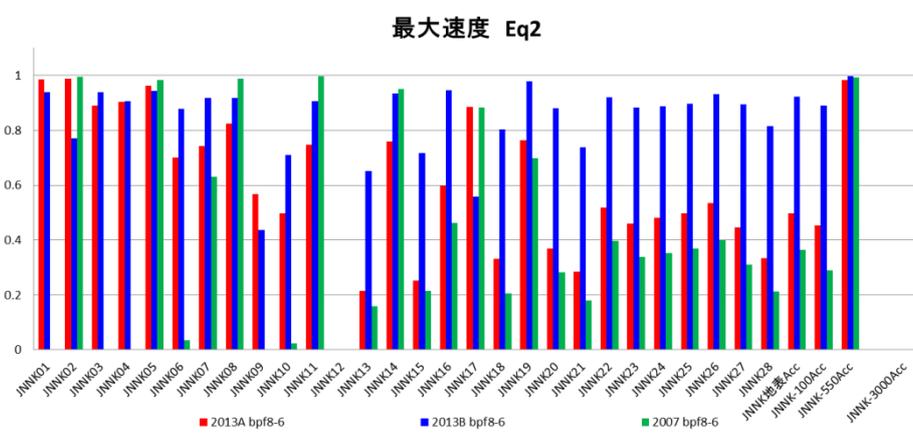
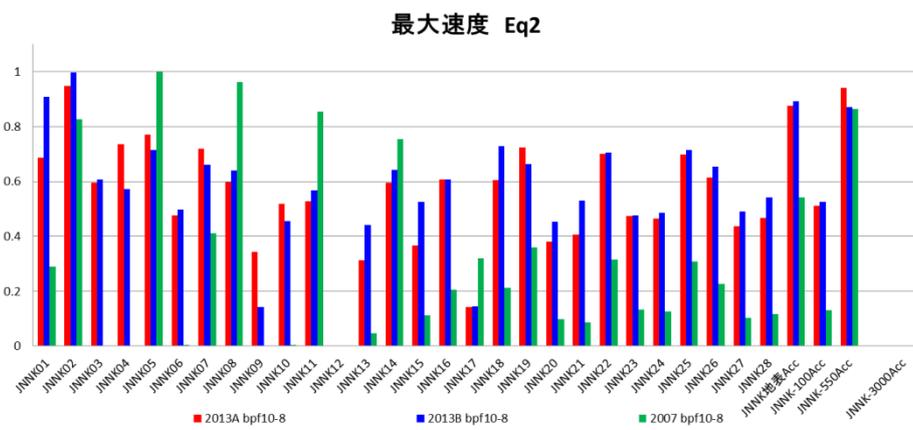
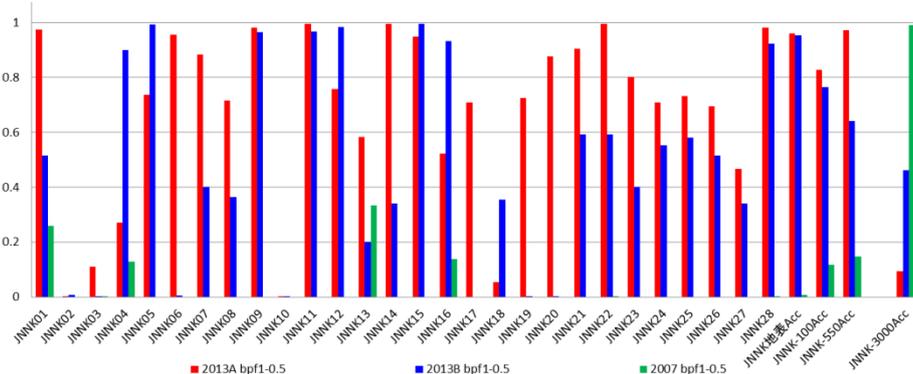
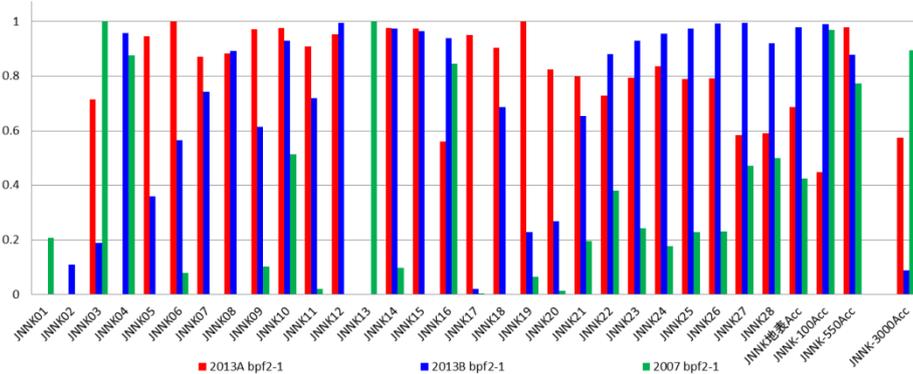
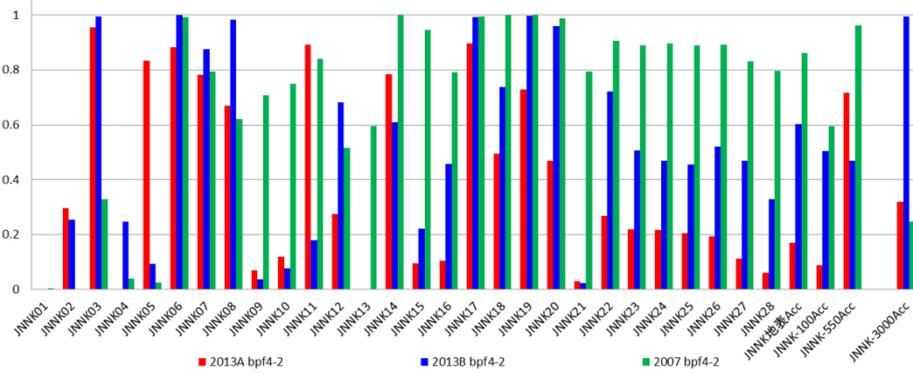
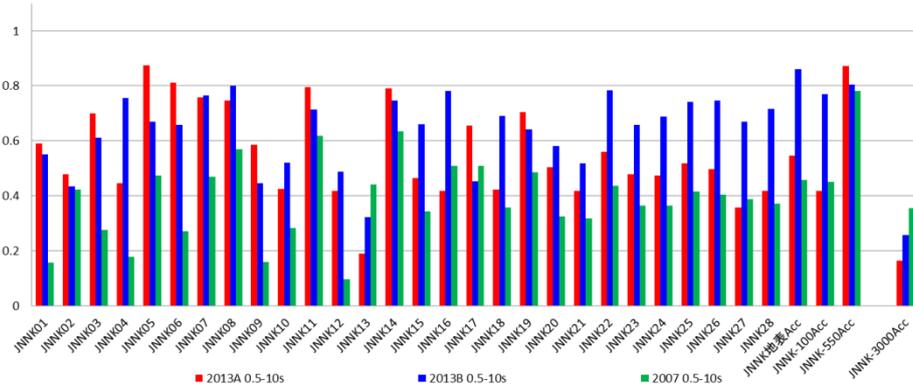


図 3.1- 68 アンダーソンの指標 Eq2 最大速度  
 上図:周期 8-10 秒 中図:周期 6-8 秒 下図:周期 4-6 秒



最大速度 Eq2 Average



2013A  
2013B  
2007

図 3.1- 69 アンダーソンの指標 Eq2 最大速度

1 段目:周期 2-4 秒 2 段目:周期 1-2 秒 3 段目:周期 0.5-1 秒 4 段目:周期 0.5-10 秒の平均

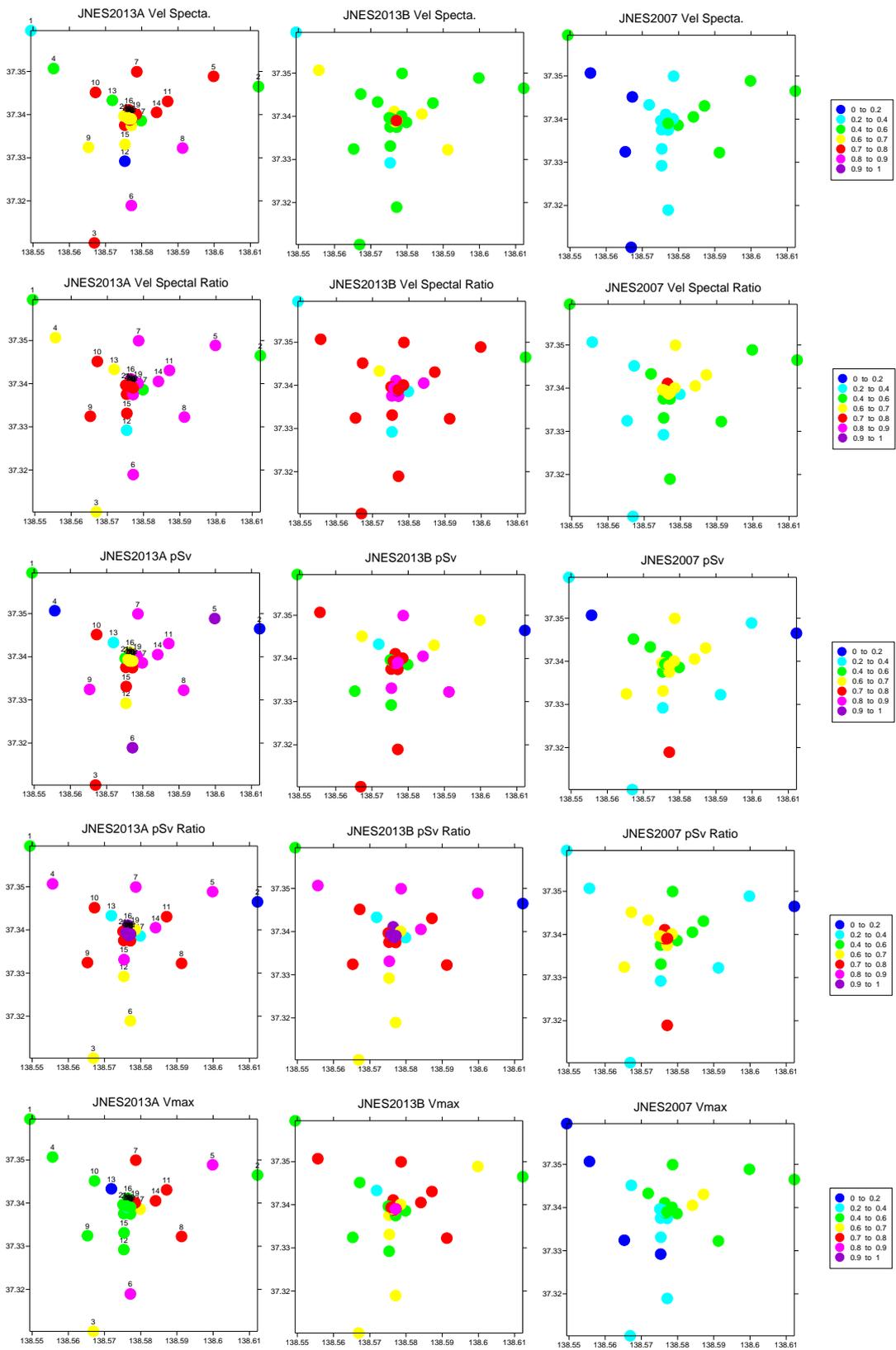


図 3.1-70 アンダーソンの指標の平均値の分布 Eq2

上から、フーリエスペクトル、フーリエスペクトル比、疑似速度応答、疑似速度応答比、最大速度

### 3.1.2.5 計算結果 Eq3

図 3.1- 71 および図 3.1- 72 にボーリング孔地表の速度波形の比較およびアンダーソンの指標を示す。波形には周期 0.5-10 秒のバンドパスフィルターを施している。速度フーリエスペクトル算出の際は、バンド幅 0.3Hz の Parzen Window による平滑化を行っている。周期 2 秒以上において観測波形にノイズが見られたため、アンダーソンの指標は1秒以下の周期帯域で計算した。また、ボーリング孔 3000m の記録にはややノイズが含まれていたため、スペクトルの比の基準点は 550m 地点とした。JNES2013A モデルの波形が観測波形をよく説明しており、アンダーソンの指標も高い。

図 3.1- 73 および図 3.1- 74 にボーリング 550m の速度波形の比較およびアンダーソンの指標を示す。この観測点でも JNES1023A のモデルの指標が高い。

図 3.1- 75 および図 3.1- 76 に JNNK17 の速度波形の比較およびアンダーソンの指標を示す。JNNK2013A モデルの指標が高い。

図 3.1- 77 および図 3.1- 78 には JNNK02 の速度波形の比較およびアンダーソンの指標を示す。Eq1 や Eq2 と同様に全体的に過小評価であり、地盤モデルの修正が必要であると考えられる。

図 3.1- 79 および図 3.1- 80 に速度フーリエスペクトルのアンダーソンの指標を示す。ボーリング孔周辺において JNES2013A モデルの指標が高い。

図 3.1- 81 および図 3.1- 82 に速度フーリエスペクトル比のアンダーソンの指標を示す。周期 0.2-1 秒の平均では JNES2013A モデルと B モデルの指標は同程度である。

図 3.1- 83 および図 3.1- 84 に疑似速度応答スペクトルのアンダーソンの指標を示す。全体的に JNES2013A モデルの指標が高く、多くの地点で 0.8 以上となっている。

図 3.1- 85 および図 3.1- 86 に疑似速度応答スペクトル比のアンダーソンの指標を示す。JNES2013B モデルの指標が高い

図 3.1- 87、図 3.1- 88、図 3.1- 89、図 3.1- 90 にそれぞれボーリング孔地表、ボーリング孔 550m、JNNK17、JNNK02 のバンドパスフィルター波形の比較と最大速度のアンダーソンの指標の比較を示す。ボーリング孔地表およびボーリング孔 550m での JNES2013A モデルによる指標は高く、入力波形が適切に表現できていると考えられる。一方、JNES2013B モデルでは指標は低く、地盤モデル設定が適切でないと考えられる。JNNK17 においても JNES2013A モデルの指標が高く、地盤モデルの設定が適切な地点では地表のシミュレーション波形も適切に計算できている。JNNK02 では地盤モデルの設定が適切でないため、アンダーソンの指標が低いと考えられる。

図 3.1- 91 および図 3.1- 92 には最大速度のアンダーソンの指標を示す。全体的に JNES2013A モデルの指標が高く、多くの地点で 0.8 以上となっている。

図 3.1- 93 には、アンダーソンの指標の平均値の分布を示す。Eq1 および Eq2 に比べ指標の値が全体的に低い。ボーリング孔周辺では JNES2013A モデルの指標が高いことがわかる。

各サイトの速度波形やバンドパスフィルターの波形の比較図は付録 3 および 6 に示す。

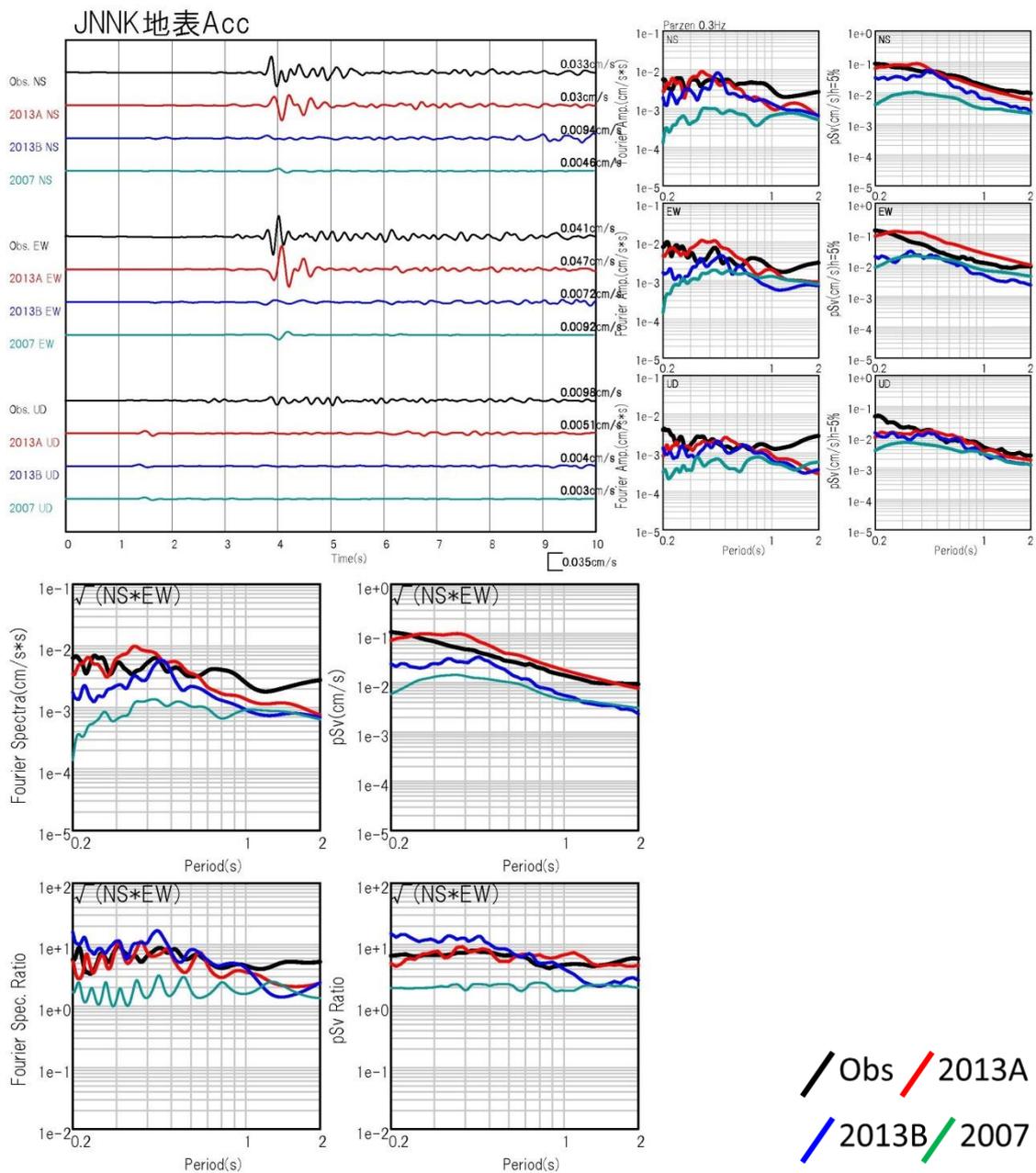


図 3.1-71 ボーリング孔地表速度波形の比較 Eq3

速度波形およびフーリエスペクトル、疑似速度応答スペクトル(h=5%)

下図:水平 2 成分フーリエスペクトルおよび疑似速度応答スペクトル

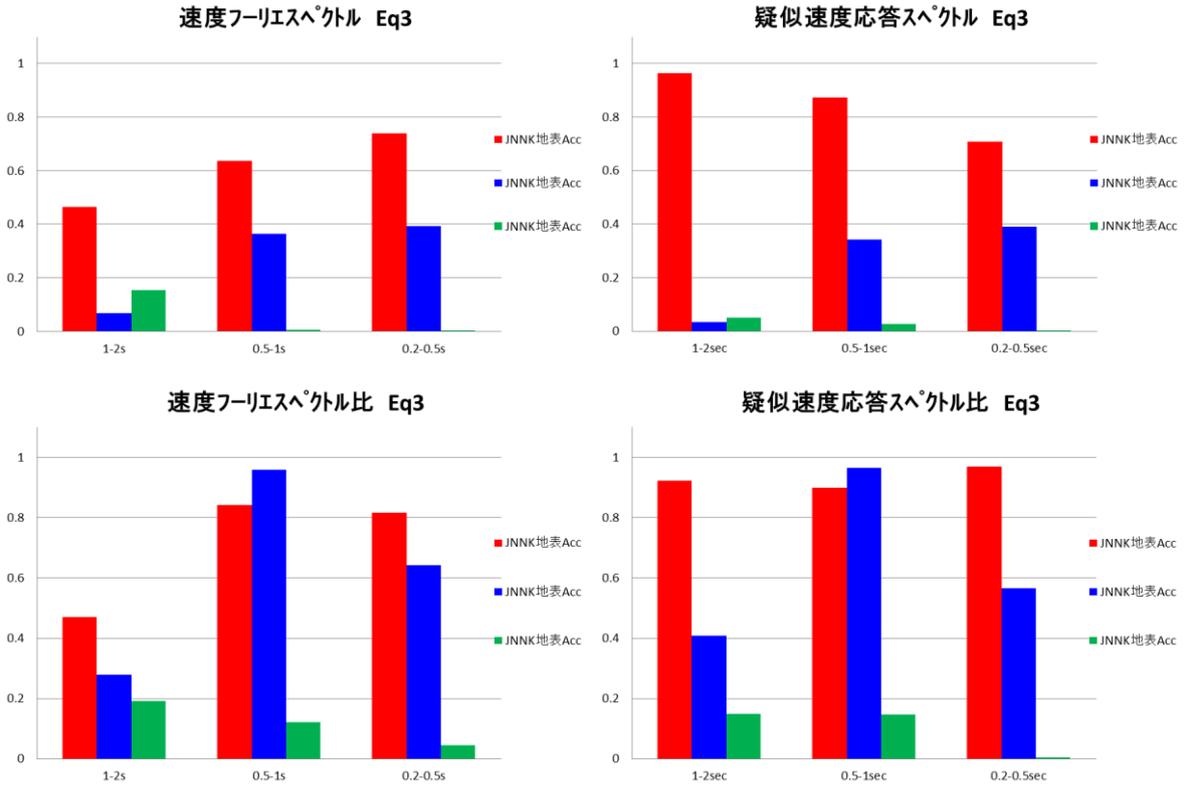


図 3.1-72 アンダーソンの指標 ボーリング孔地表 Eq3  
 左図:速度フーリエスペクトル 右図:疑似速度応答スペクトル  
 左図:速度フーリエスペクトル比 右図:疑似速度応答スペクトル比

2013A  
 2013B  
 2007

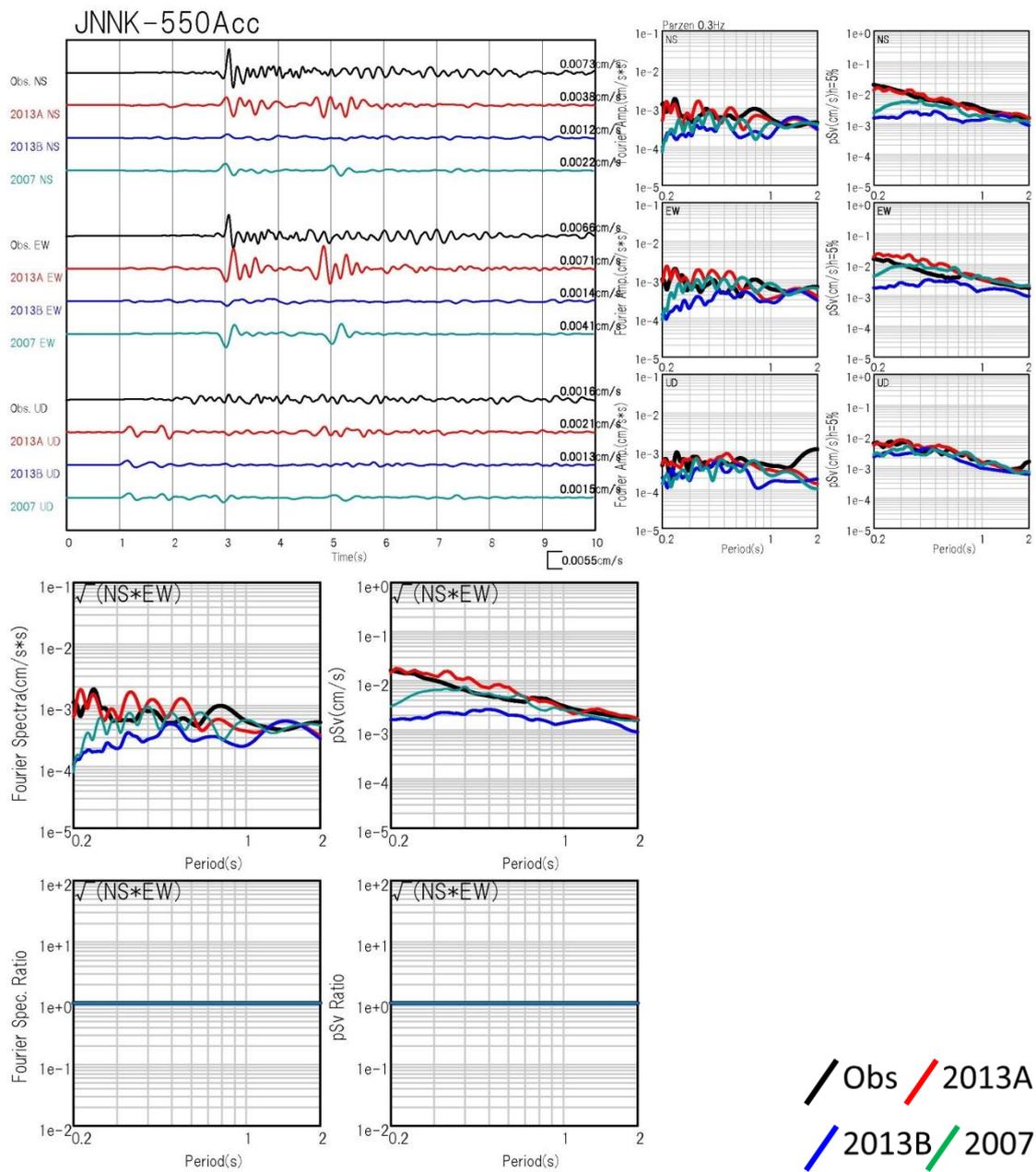
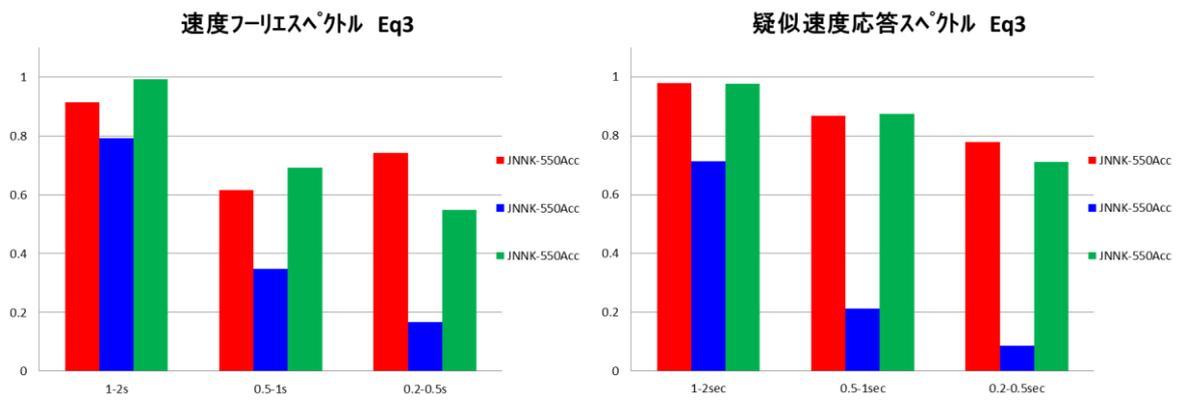
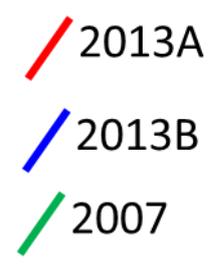


図 3.1- 73 ボーリング孔 550m 速度波形の比較 Eq3  
 速度波形およびフーリエスペクトル、疑似速度応答スペクトル(h=5%)  
 下図:水平 2 成分フーリエスペクトルおよび疑似速度応答スペクトル



スペクトル比は、550m 孔中記録を基準

図 3.1-74 アンダーソンの指標 ボーリング孔 550m Eq3



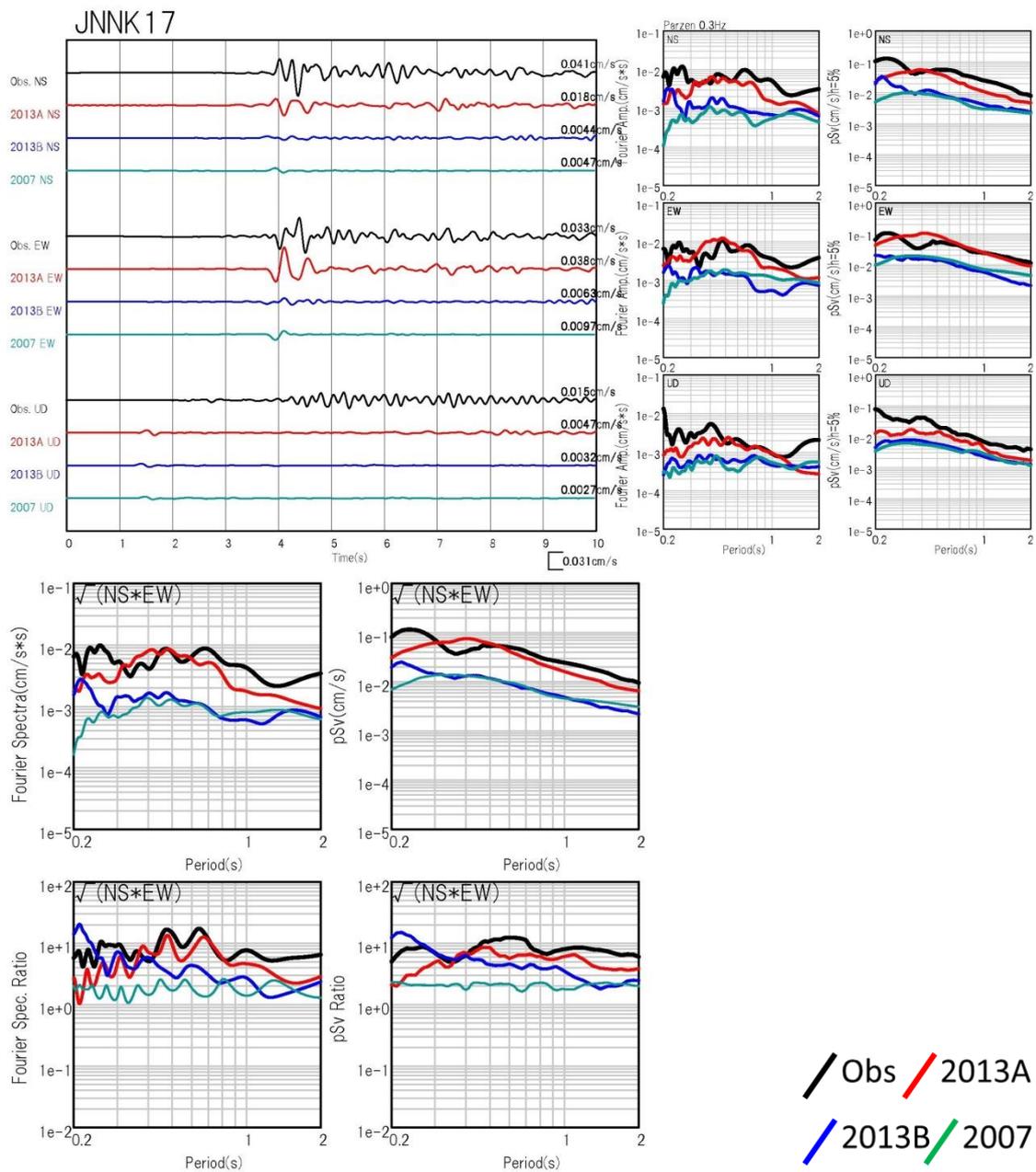


図 3.1- 75 JNNK17 速度波形の比較 Eq3

速度波形およびフーリエスペクトル、疑似速度応答スペクトル(h=5%)

下図: 水平 2 成分フーリエスペクトルおよび疑似速度応答スペクトル

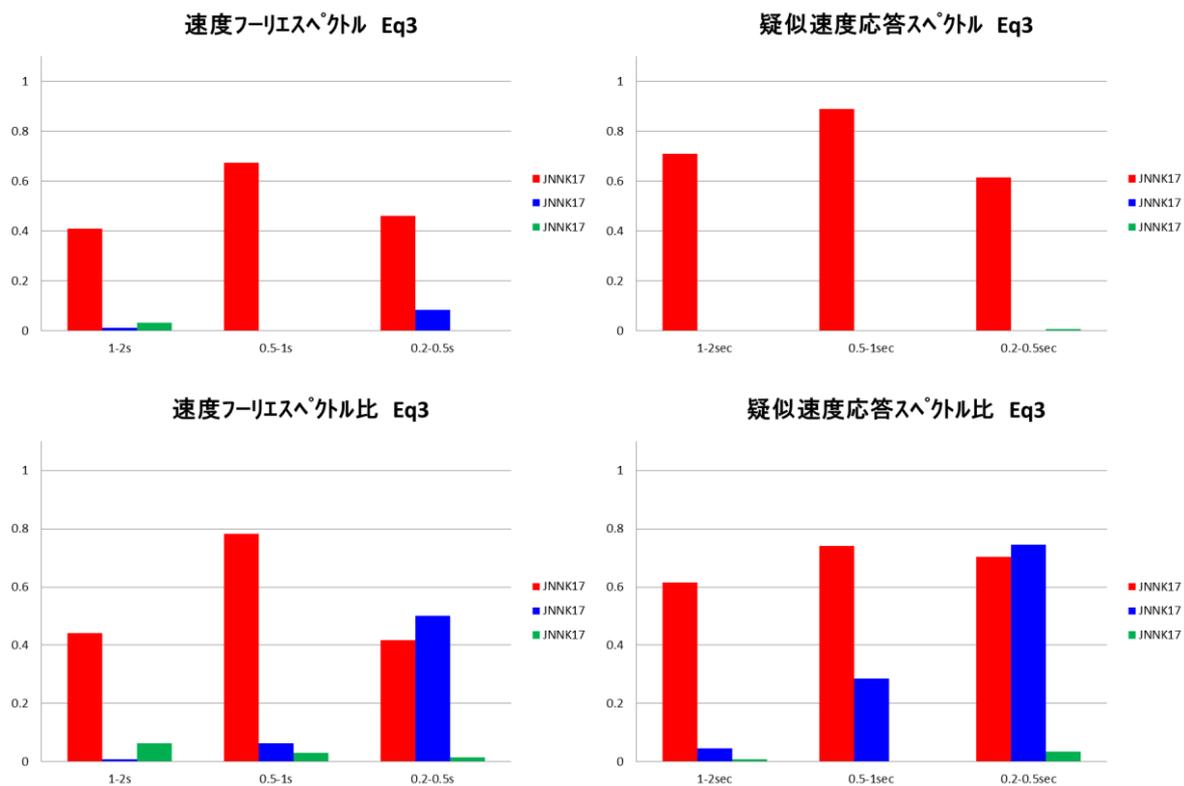


図 3.1-76 アンダーソンの指標 JNNK17 Eq3  
 左図:速度フーリエスペクトル 右図:疑似速度応答スペクトル  
 左図:速度フーリエスペクトル比 右図:疑似速度応答スペクトル比

2013A  
 2013B  
 2007

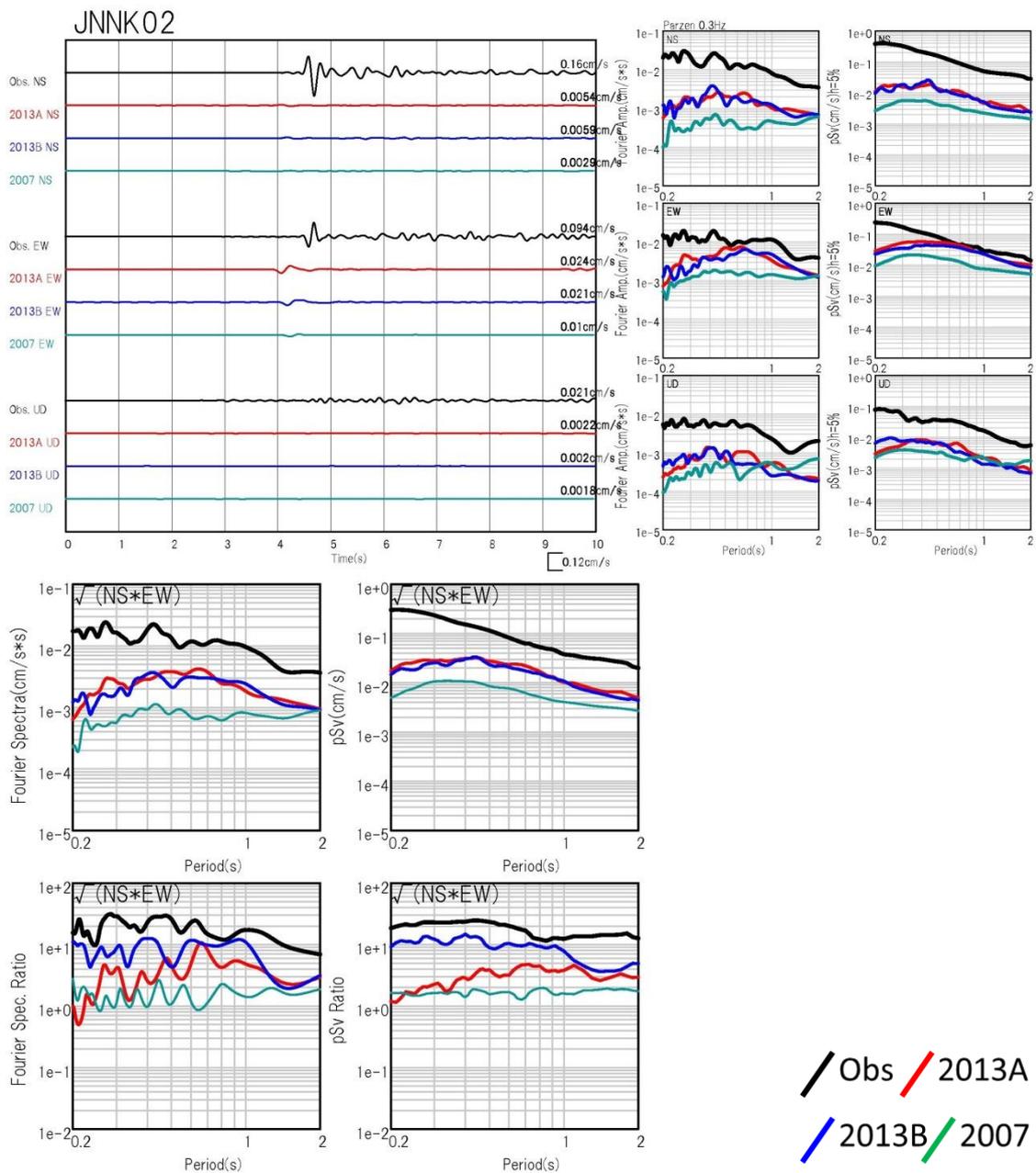


図 3.1- 77 JNNK02 速度波形の比較 Eq3

速度波形およびフーリエスペクトル、疑似速度応答スペクトル(h=5%)

下図:水平 2 成分フーリエスペクトルおよび疑似速度応答スペクトル

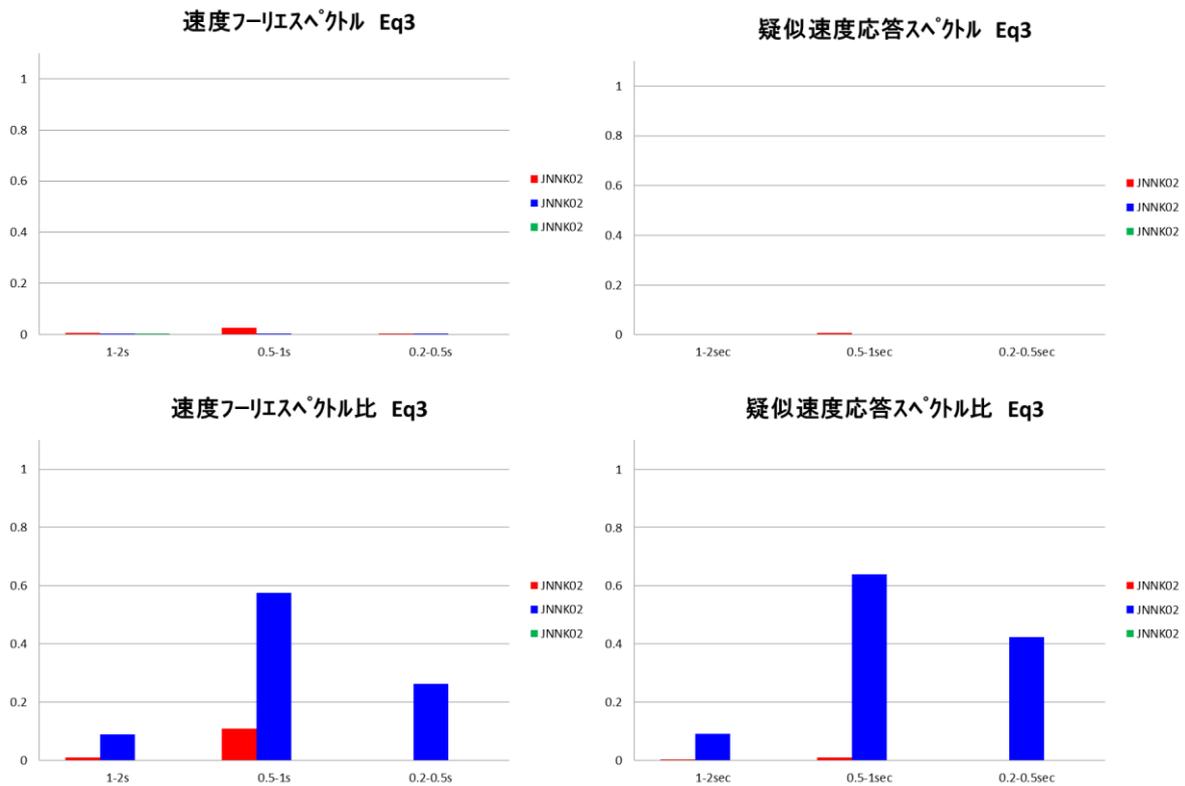
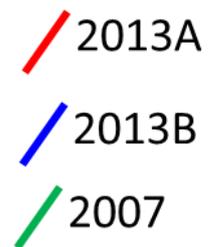
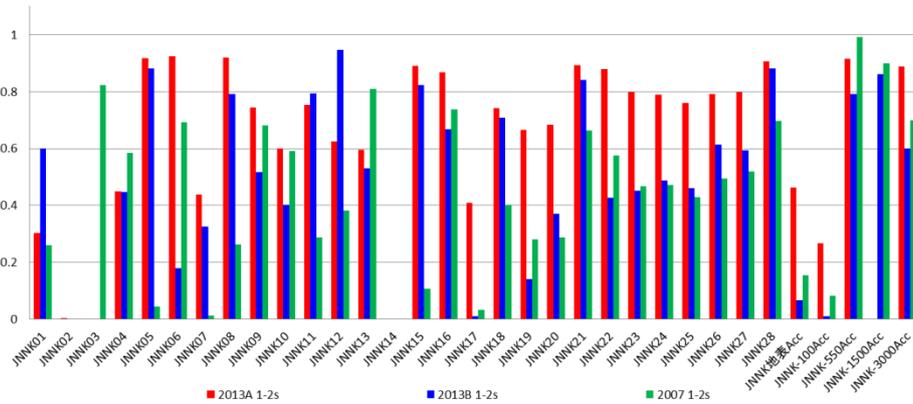


図 3.1-78 アンダーソンの指標 JNNK02 Eq3

左図:速度フーリエスペクトル 右図:疑似速度応答スペクトル  
 左図:速度フーリエスペクトル比 右図:疑似速度応答スペクトル比



速度フーリエスペクトル Eq3



速度フーリエスペクトル Eq3

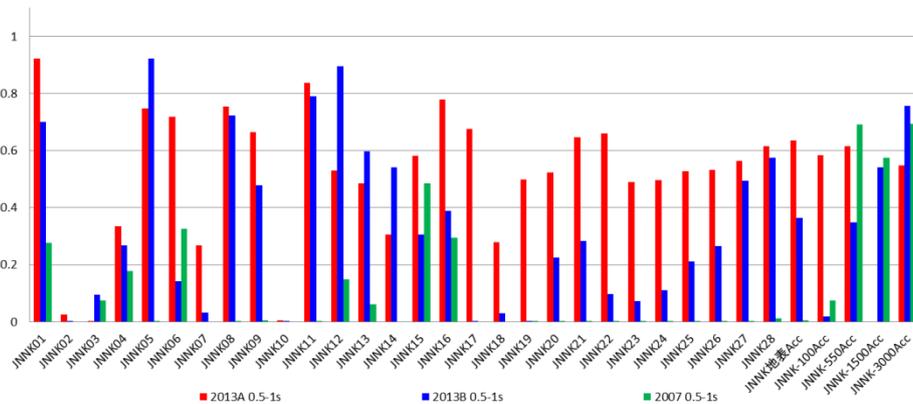
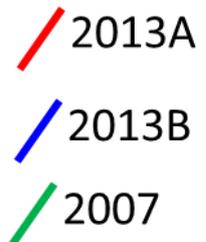
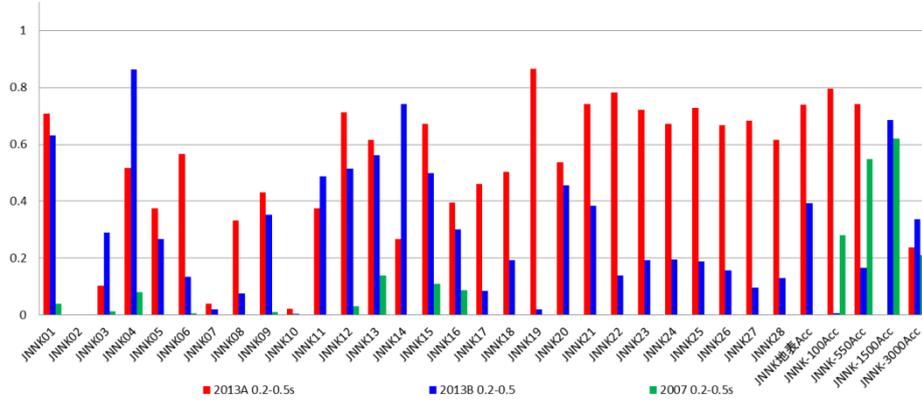


図 3.1-79 アンダーソンの指標 Eq3 速度フーリエスペクトル  
 上図:周期 1-2 秒 下図:周期 0.5-1 秒



速度フーリエスペクトル Eq3



速度フーリエスペクトル Eq3 Average

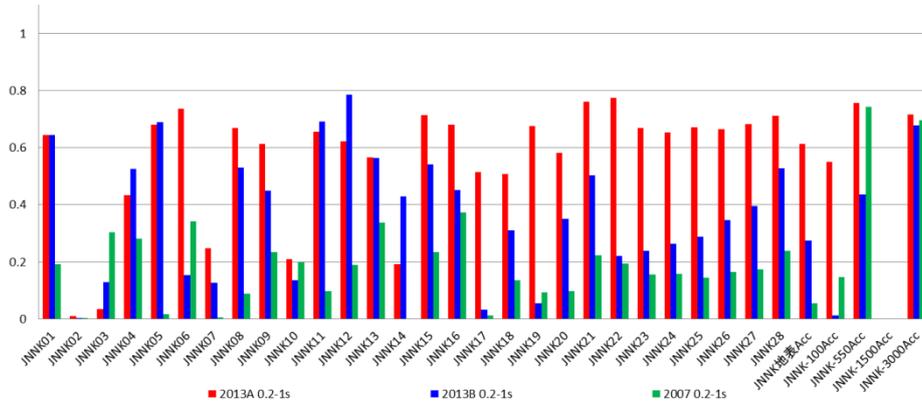
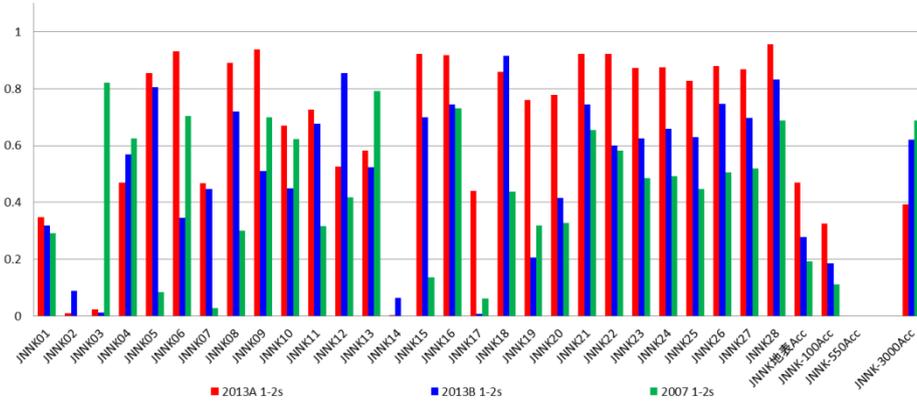


図 3.1- 80 アンダーソンの指標 Eq3 速度フーリエスペクトル

上図:周期 0.2-0.5 秒 下図:周期 0.2-2 秒の平均

- / 2013A
- / 2013B
- / 2007

速度フーリエスペクトル比 Eq3



速度フーリエスペクトル比 Eq3

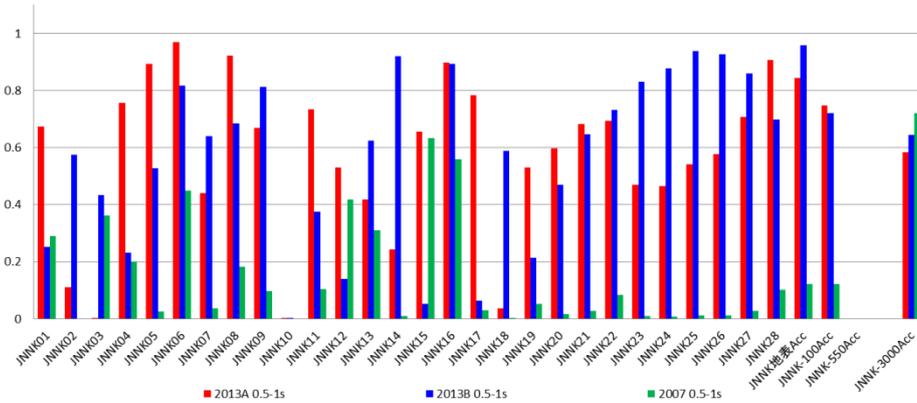
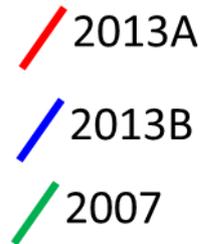
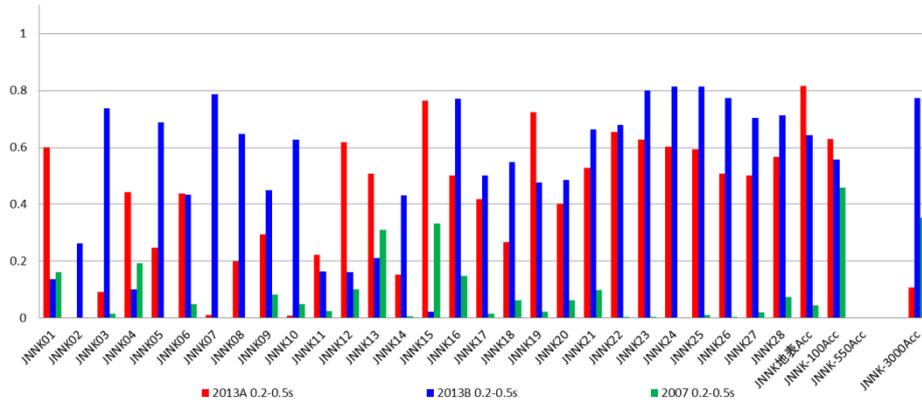


図 3.1- 81 アンダーソンの指標 Eq3 速度フーリエスペクトル比  
 上図:周期 1-2 秒 下図:周期 0.5-1 秒



速度フーリエスペクトル比 Eq3



速度フーリエスペクトル比 Eq3 Average

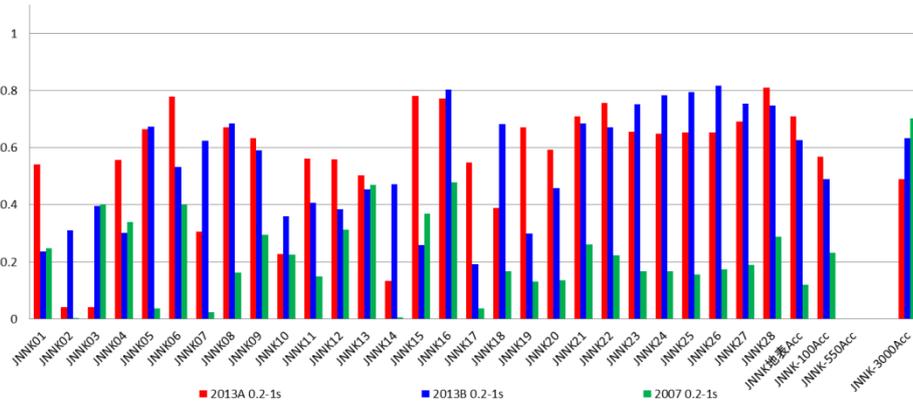
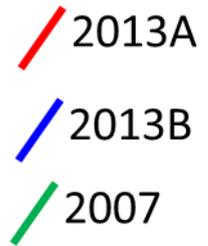
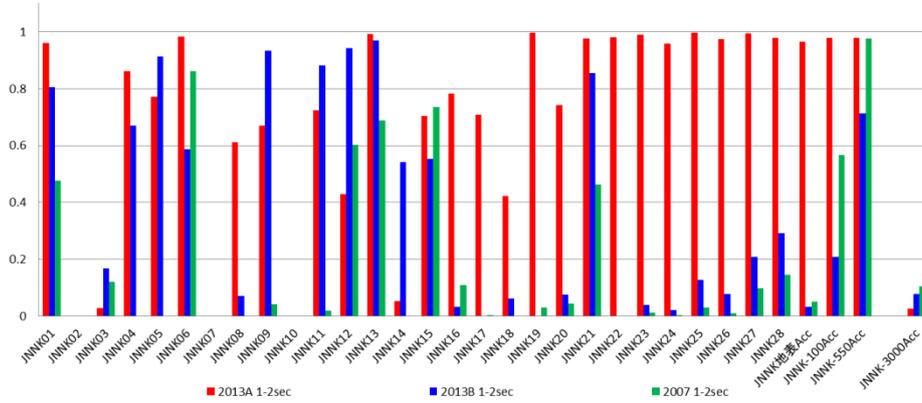


図 3.1- 82 アンダーソンの指標 Eq3 速度フーリエスペクトル比

上図:周期 0.2-0.5 秒 下図:周期 0.2-2 秒の平均



疑似速度応答スペクトル Eq3



疑似速度応答スペクトル Eq3

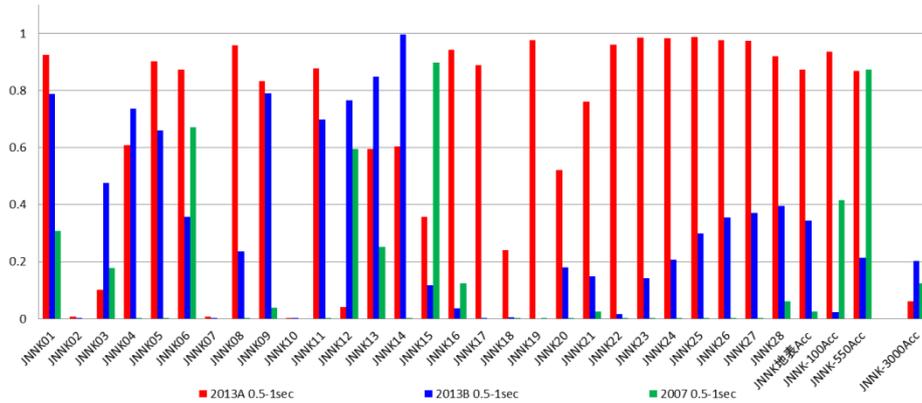
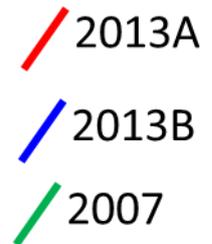
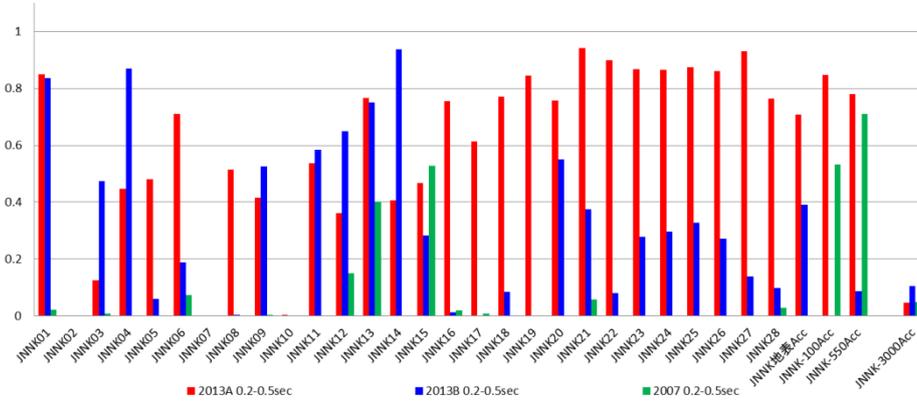


図 3.1- 83 アンダーソンの指標 Eq3 疑似速度応答スペクトル  
 上図:周期 1-2 秒 下図:周期 0.5-1 秒



疑似速度応答スペクトル Eq3



疑似速度応答スペクトル Eq3 Average

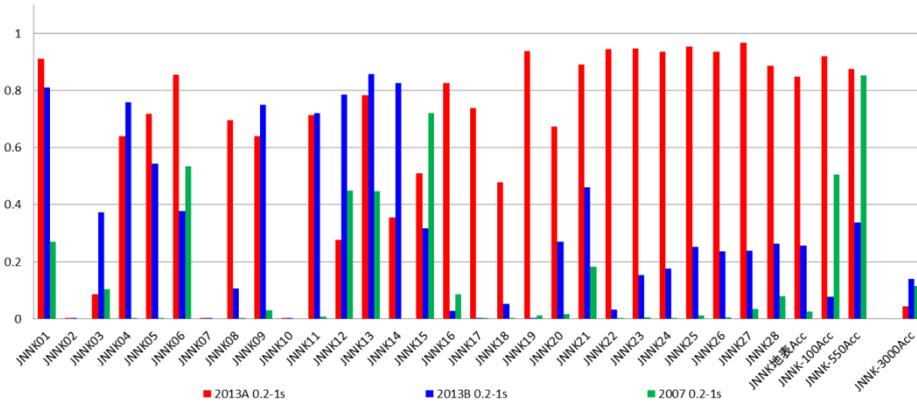
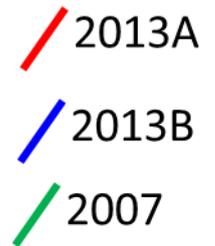


図 3.1- 84 アンダーソンの指標 Eq3 疑似速度応答スペクトル  
 上図:周期 0.2-0.5 秒 下図:周期 0.2-2 秒の平均



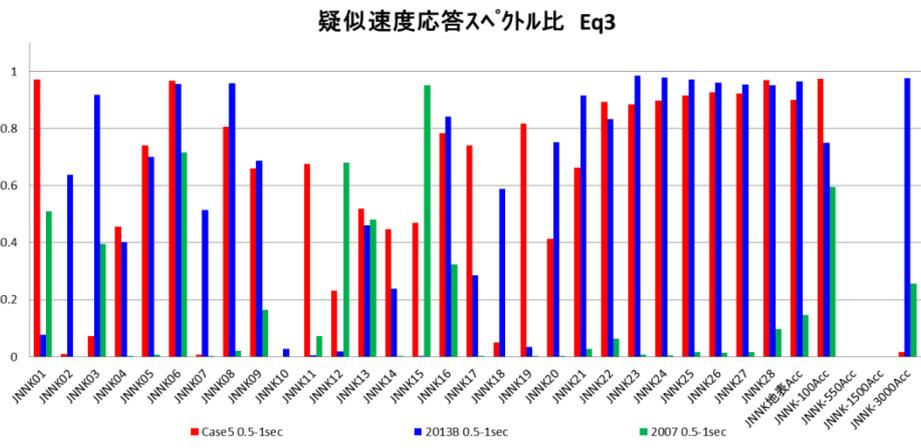
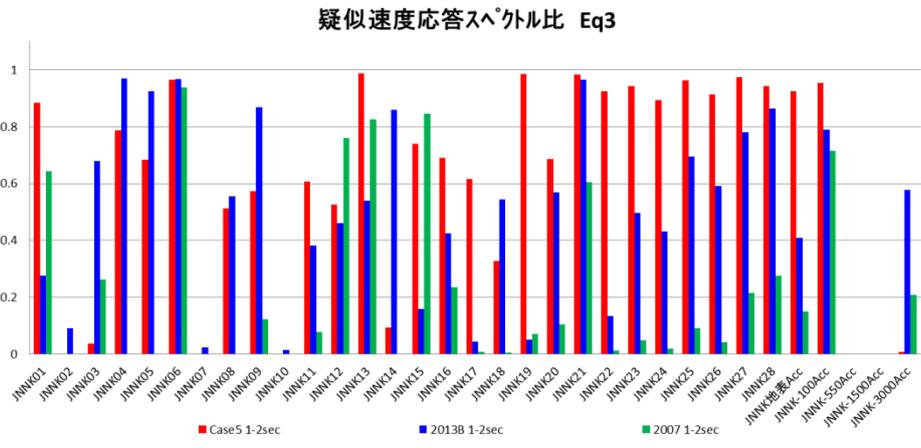


図 3.1- 85 アンダーソンの指標 Eq3 疑似速度応答スペクトル比  
 上図:周期 1-2 秒 下図:周期 0.5-1 秒

- / 2013A
- / 2013B
- / 2007

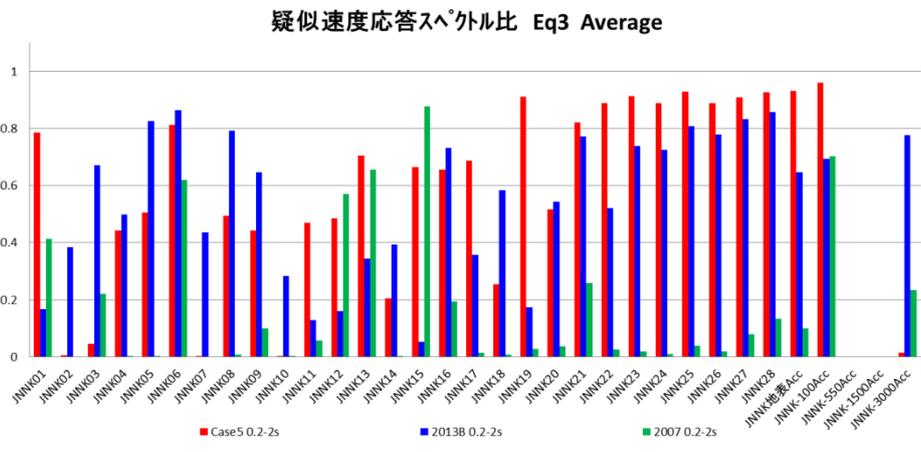
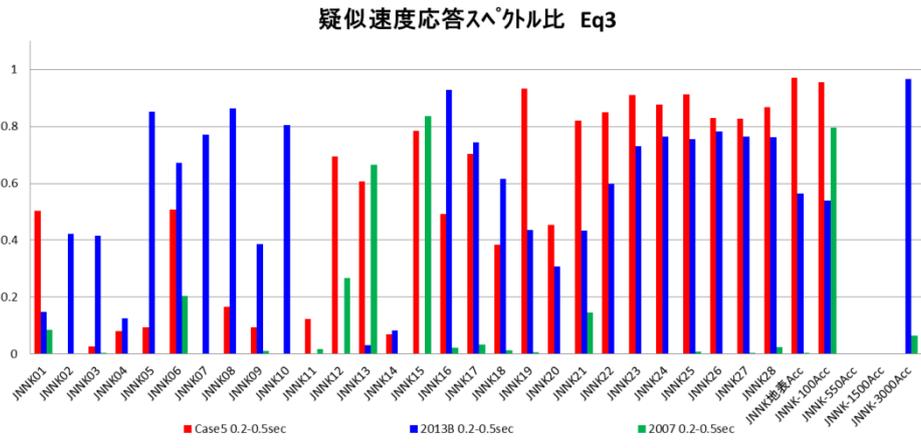


図 3.1- 86 アンダーソンの指標 Eq3 疑似速度応答スペクトル比  
 上図:周期 0.2-0.5 秒    下図:周期 0.2-2 秒の平均

- / 2013A
- / 2013B
- / 2007

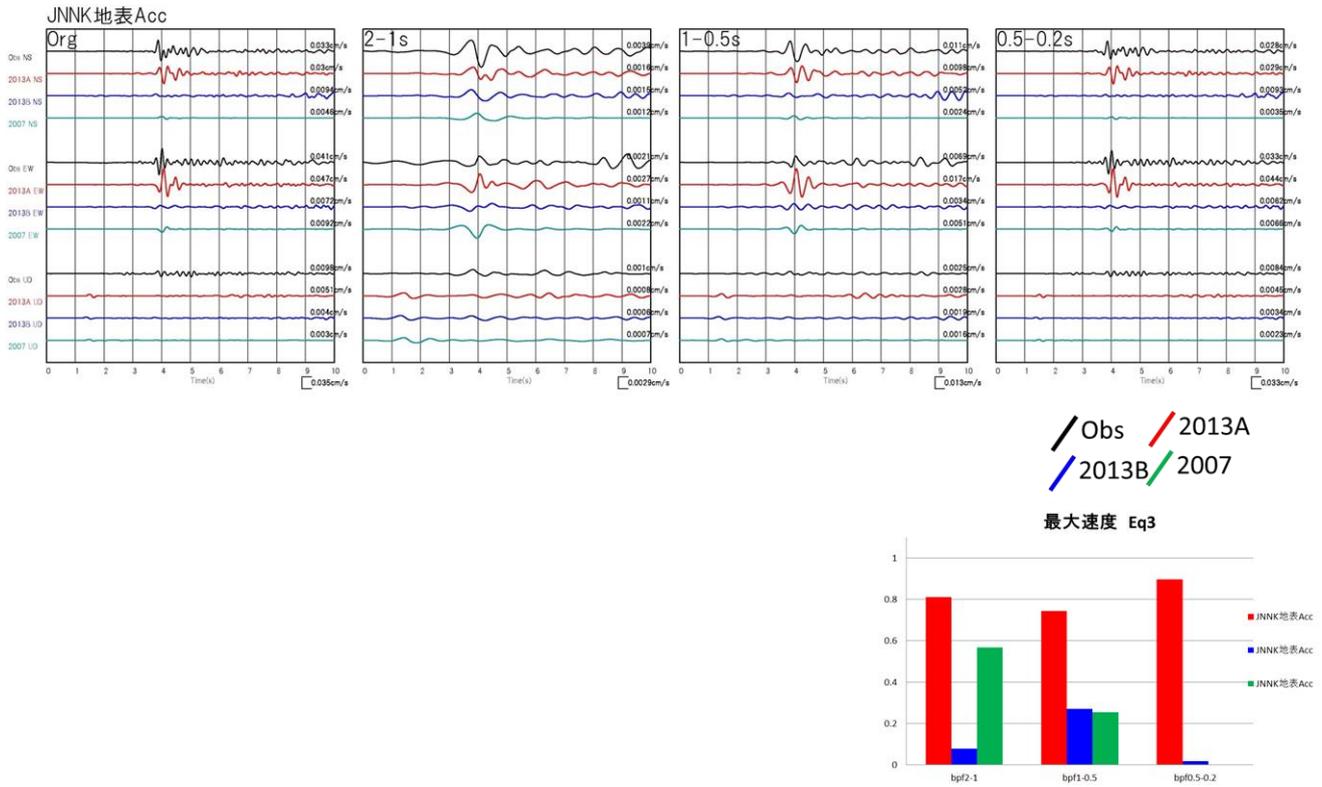


図 3.1- 87 バンドパスフィルター波形の比較と最大速度のアンダーソンの指標 ボーリング孔地表 Eq3

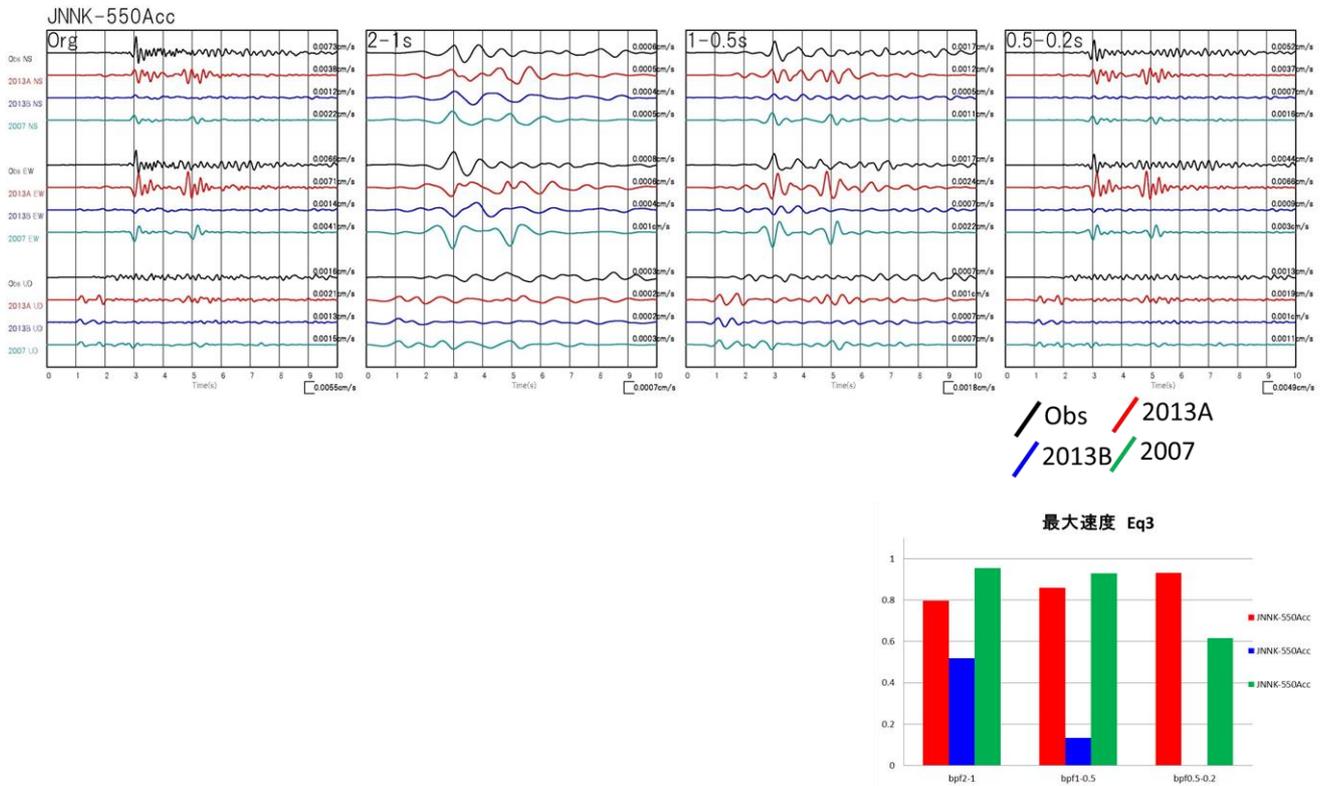


図 3.1- 88 バンドパスフィルター波形の比較と最大速度のアンダーソンの指標 ボーリング孔 550m Eq3

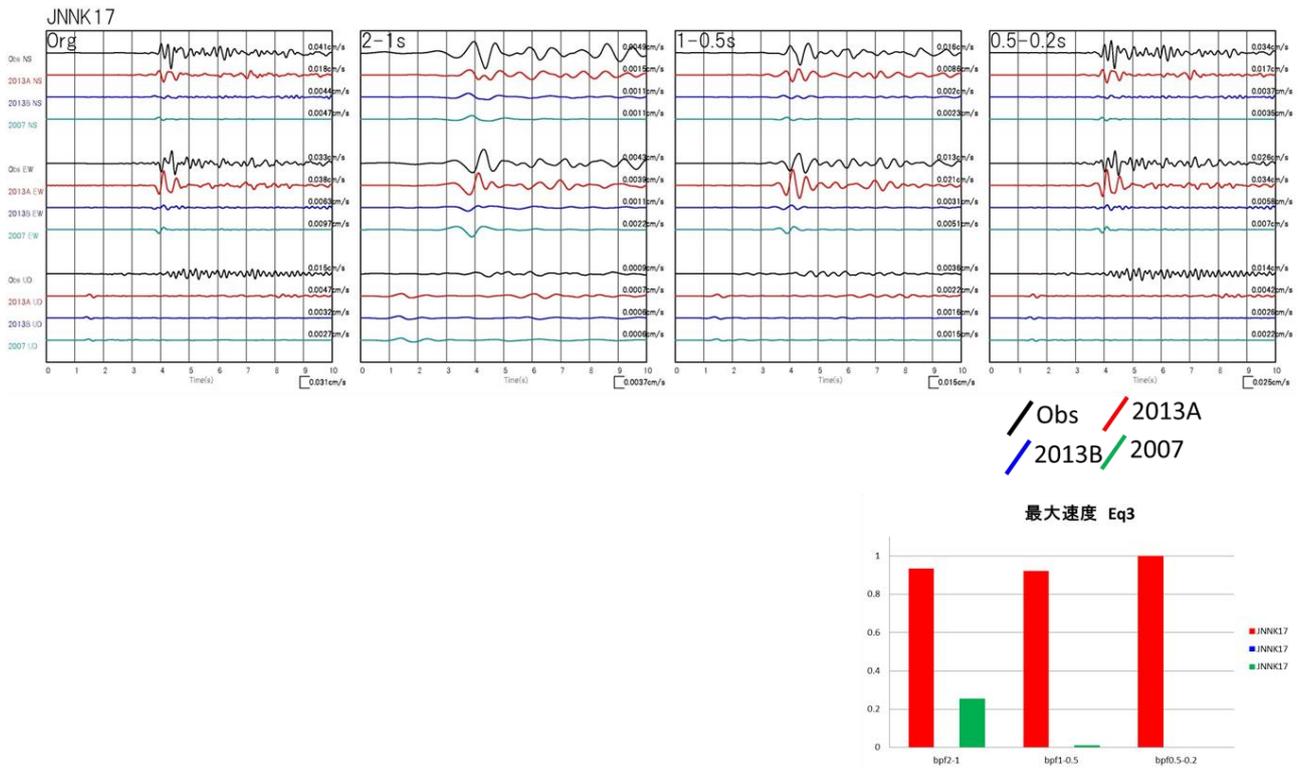


図 3.1- 89 バンドパスフィルター波形の比較と最大速度のアンダーソンの指標 JNNK17 Eq3

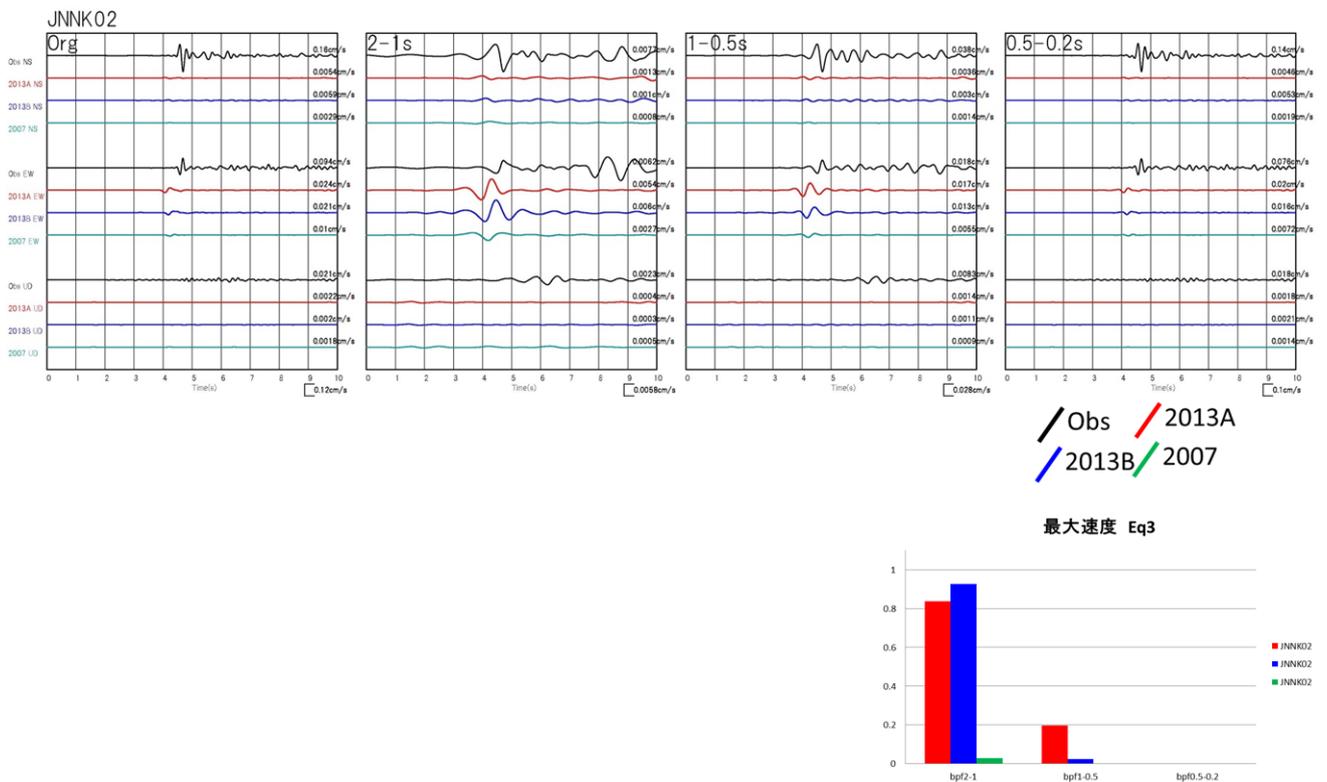


図 3.1- 90 バンドパスフィルター波形の比較と最大速度のアンダーソンの指標 JNNK02 Eq3

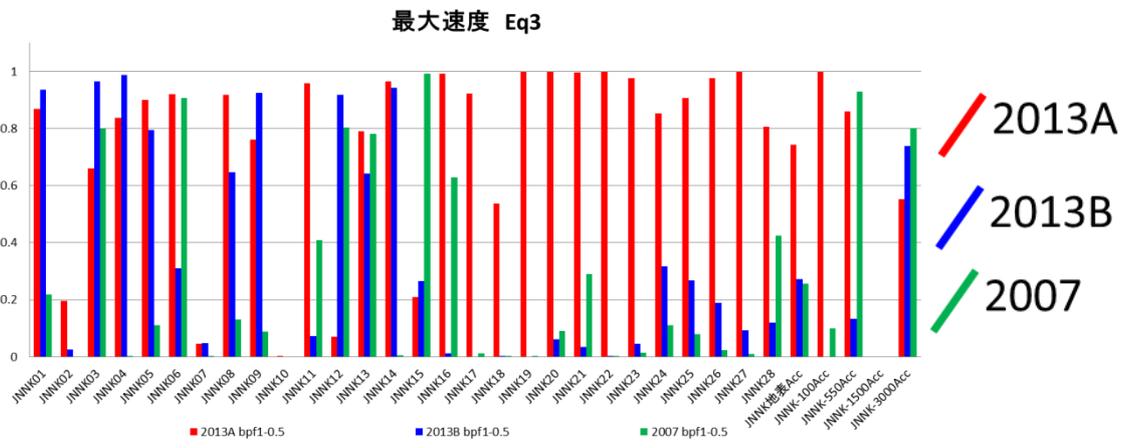
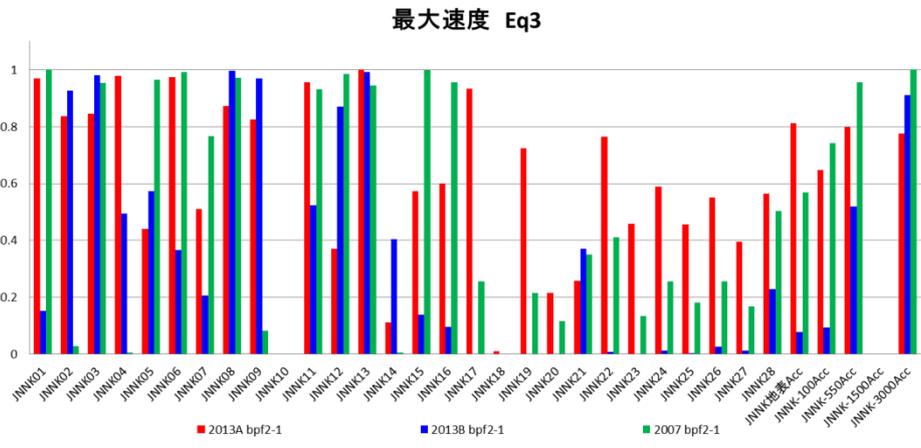


図 3.1- 91 アンダーソンの指標 Eq2 最大速度  
 上図:周期 1-2 秒    下図:周期 0.5-1 秒

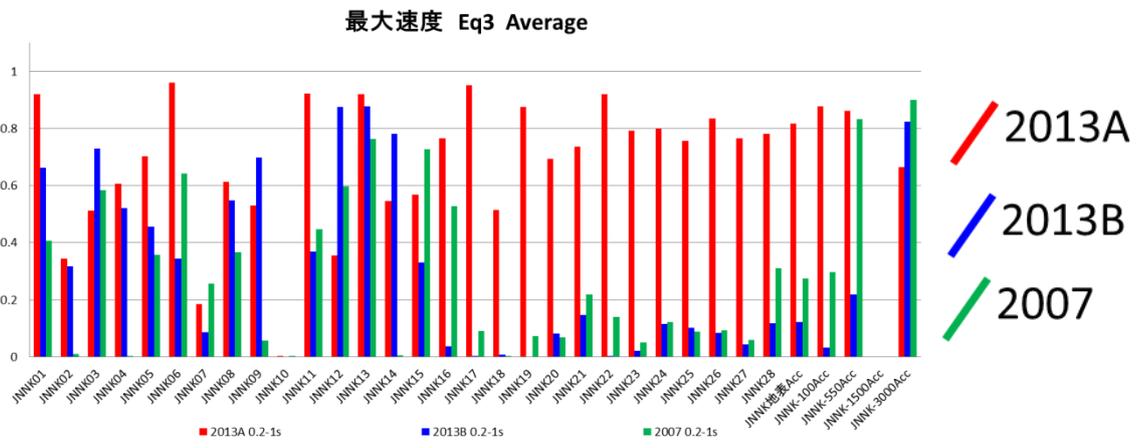
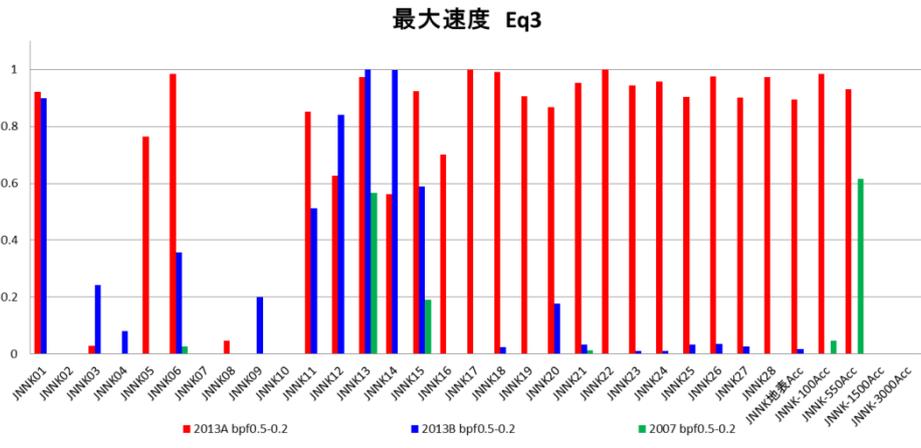


図 3.1- 92 アンダーソンの指標 Eq2 最大速度  
 上図:周期 0.2-0.5 秒 下図:周期 0.2-2 秒の平均

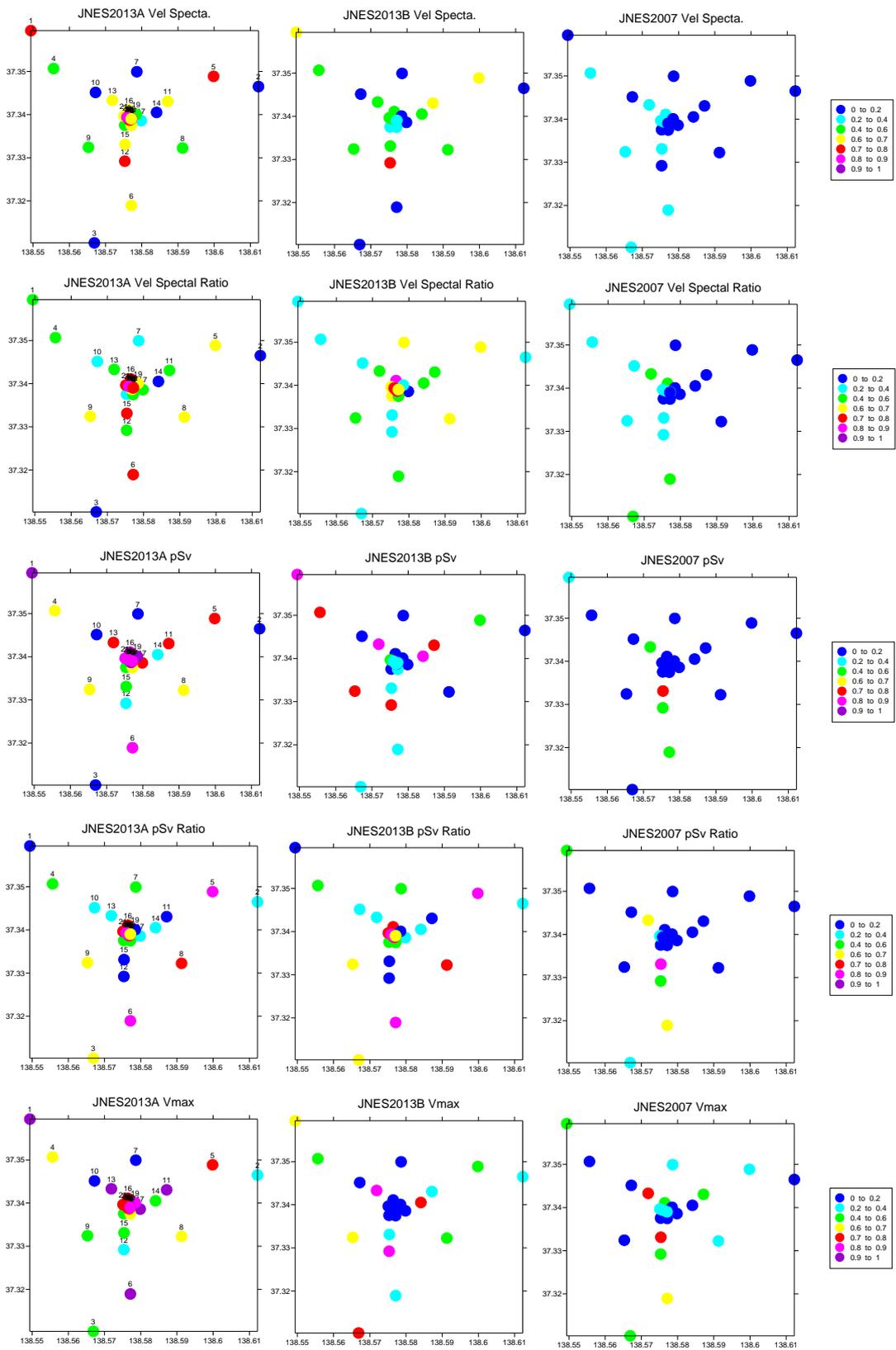


図 3.1- 93 アンダーソンの指標の平均値の分布 Eq3

上から、フーリエスペクトル、フーリエスペクトル比、疑似速度応答、疑似速度応答比、最大速度

### 3.1.2.6 地盤モデルの評価

図 3.1- 94 に周期 10-8 秒の 5 種類のアンダーソンの指標の平均を示す。Eq3 ではノイズが大きいいため計算をしていない。Eq1 ではボーリング孔周辺では 0.9 程度の値を示しており、良好な結果といえる。Eq2 についても JNES2013A モデルは概ね 0.8 以上である。

図 3.1- 95 に周期 8-6 秒の 5 種類のアンダーソンの指標の平均を示す。Eq3 ではノイズが大きいいため計算をしていない。ここでも、Eq1 のボーリング孔周辺では 0.9 程度の値を示しており、良好な結果といえる。Eq2 では JNES2013B モデルが若干指標が高い。

図 3.1- 96 に周期 6-4 秒の 5 種類のアンダーソンの指標の平均を示す。ボーリング孔周辺では、Eq1 では JNES2013B モデルの指標がやや低いが 0.8 以上を示しており良好な結果といえる。Eq2 では周期 8-6 秒の帯域と同様に JNES2013B モデルが若干指標が高い。

図 3.1- 97 に周期 4-2 秒の 5 種類のアンダーソンの指標の平均を示す。ボーリング孔周辺では、Eq2 の JNES2013A モデルの指標がやや低い。

図 3.1- 98 に周期 2-1 秒の 5 種類のアンダーソンの指標の平均を示す。ボーリング孔周辺では、Eq1、Eq3 の指標が高い。Eq2 では JNES2013B モデルの指標が高い

図 3.1- 99 に周期 1-0.5 秒の 5 種類のアンダーソンの指標の平均を示す。Eq1 では計算対象外であり計算は行っていない。ボーリング孔周辺において、Eq2 では、JNES2013A と B モデルは同程度であるが、Eq3 では JNES2013A の指標が高い。

図 3.1- 100 に周期 0.5-0.2 秒の 5 種類のアンダーソンの指標の平均を示す。Eq1 および Eq2 では計算対象外であり計算は行っていない。JNES2013A の指標が高い。

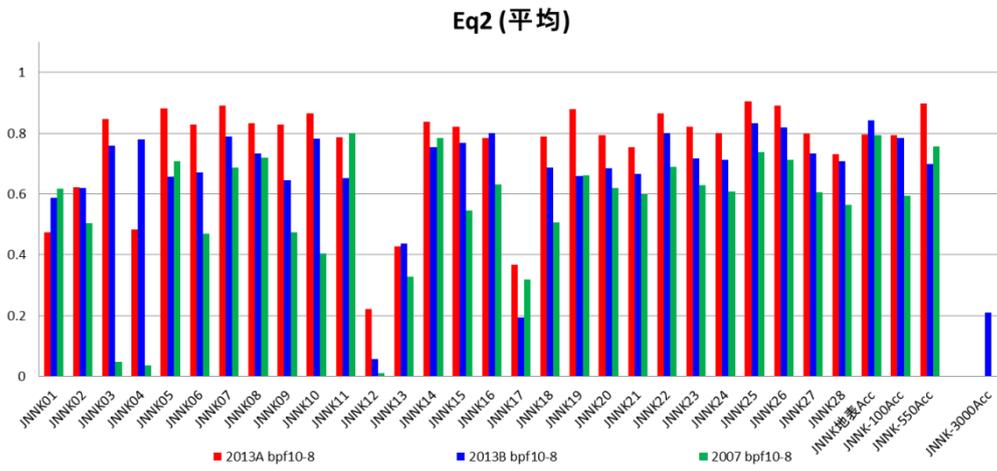
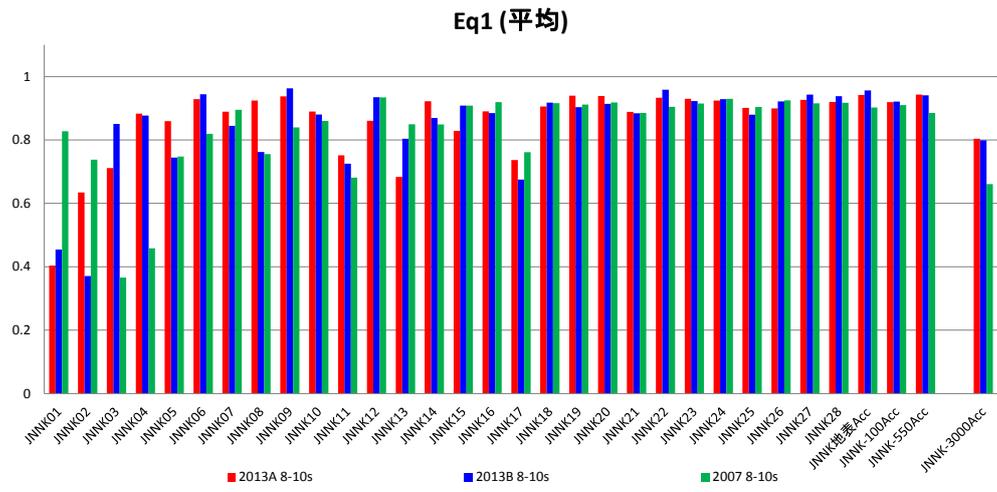
図 3.1- 101 には、周期帯域ごとのアンダーソンの指標の Eq1-Eq3 の平均を示す。このグラフは、速度フーリエスペクトル、フーリエスペクトル比、疑似速度応答スペクトル、疑似速度応答スペクトル比、最大速度の指標について全地点の Eq1-Eq3 の指標を平均したものである。また、5 種類の指標の平均も示している。周期 2 秒以上においては JNES2013A と B モデルは同程度の指標を示すが、フーリエスペクトル、疑似速度応答スペクトル、最大速度の 1 秒以下の指標は JNES2013A モデルが高い。JNES2007 モデルも周期 2 秒以上においては、概ね 0.6 以上を示しており、おおむね良好な結果といえる。

図 3.1- 102 には、周期帯域ごとのアンダーソンの指標の Eq1-Eq3 の平均を示すが、観測地点は JNNK20 以降の観測点とボーリング地点である。全地点の平均と比べると全体的に指標が高い。これは、ボーリング地点周辺ではボーリング孔における PS 検層や微動アレー探査が高密度に実施されており、地盤モデルの精度が高いことを示している。特に、JNES2013A モデルの周期 1 秒以下の帯域において指標が高くなっており、JNES2013A モデルの短周期帯域の地盤モデルの精度の高さを示している。

図 3.1- 103 には、JNNK20 以下の観測点の周期帯域ごとのアンダーソンの指標の Eq1-Eq3 の平均である。JNNK20 以降の結果に比べ指標が低く、PS 検層や微動アレー探査が高密度に実施されていない地域については、モデルの設定が適切でない可能性がある。JNNK20 以降 + ボーリング地点の 5 種類の指標の平均を見ると、JNES2013A モデルでは、すべての周期帯域で 0.6 以上を示しており、周期 2-4 秒を除くと概ね 0.7 以上である。Anderson(2004)では、フーリエスペクトルや疑似速度応答スペクトルの指標に加え継続時間の等の指標も併せて評価をしており、同等の評価は難しいが、全指標の平均が 0.6 以上で”good

fit”、0.8 以上で”excellent fit”と表現しており、JNES 2013A モデルは周期 0.2 秒以上において”good fit”なモデルといえる。JNES2013B モデルでは、JNNK20 以降+ボーリング地点の 5 種類の指標の平均を見ると、周期 1 秒以下において指標が 0.4 を下回っており、JNES2013A モデルに比べ短周期帯域の説明性が低いモデルといえる。これは、JNES2013B モデルは水平方向に S 波速度が一定のモデルであり、より短周期帯域の地震動を説明するためには、水平方向の不均質性も考慮する必要があることを示している。JNES2007 モデルは、周期 2 秒以上においては、5 種類の指標の平均が 0.7 を上回っており”good fit”なモデルといえるが、周期 1 秒以下において指標が極端に低くなる。これは、S 波速度 0.5 km/s 未満の層をモデル化していないため、説明性が低いモデルとなったと考えられる。

図 3.1-104 には、速度フーリエスペクトル、フーリエスペクトル比、疑似速度応答スペクトル、疑似速度応答スペクトル比、最大速度の指標について全周期帯域および全地震の平均値を計算したものである。同図の上は全地点の平均、中は JNNK20 以降およびボーリング地点の平均、下は JNNK19 以下の地点の平均である。全地点の平均を見ると JNES2013A モデルのほうが JNES2013B モデルに比べ若干指標が高い。JNNK20 以降およびボーリング地点では同程度であるが、JNNK19 以下の地点では、JNES2013A モデルがすべての指標で高い値を示している。これは、JNES2013A モデルが、ボーリング孔周辺のみならず、水平アレー地点全域において地盤モデルの精度が高いことを示している。JNES2013A モデルはモデル領域全体において”good fit”な地盤モデルであり、ボーリング孔周辺では”excellent fit”に準ずる地盤モデルであることが確認できた。また、JNES2013B モデルは、JNES2013 モデルに比べやや指標が低くなっている。JNES2007 は指標が 0.5 を下回っており、周期 10-0.2 秒の帯域においては”good fit”なモデルとは言えない。



2013A  
 2013B  
 2007

図 3.1-94 周期 10-8 秒のアンダーソンの指標 5 種類の指標の平均  
 Eq3 はノイズのため計算していない

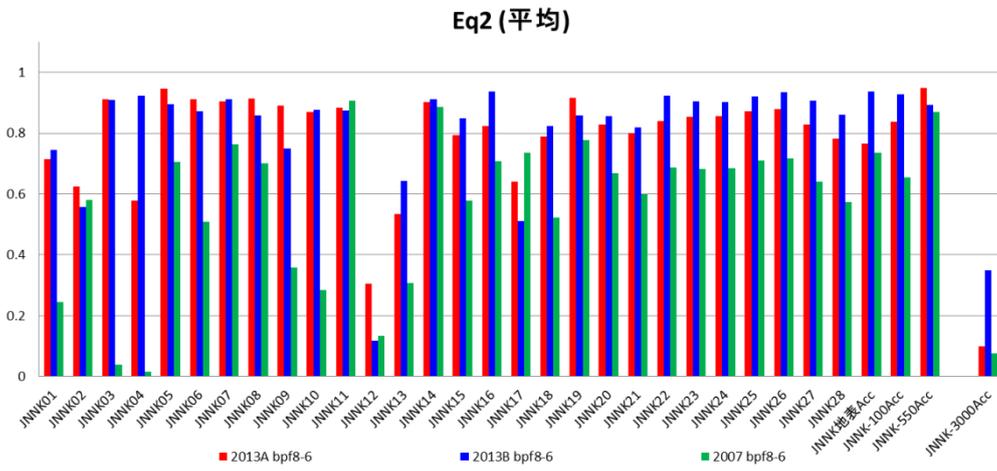
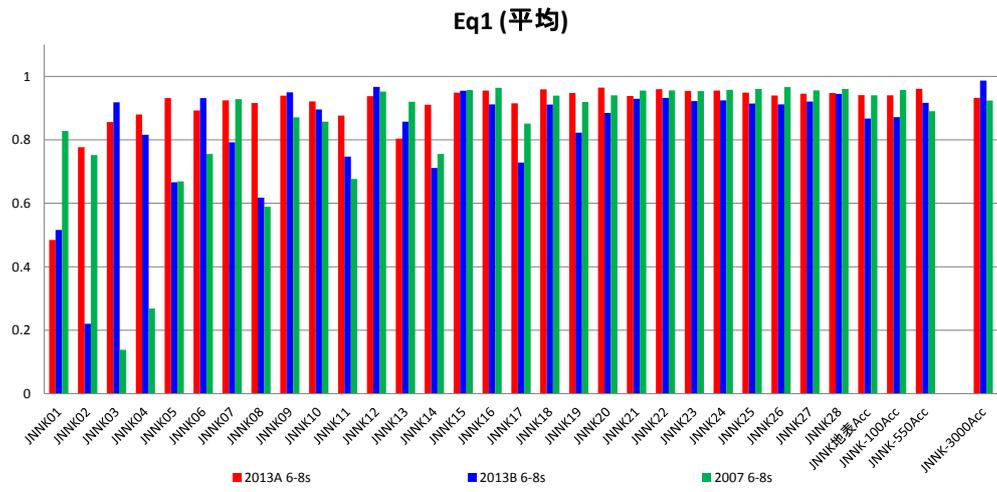


図 3.1- 95 周期 8-6 秒のアンダーソンの指標 5 種類の指標の平均  
 Eq3 はノイズのため計算していない

/  
/  
/

2013A

2013B

2007

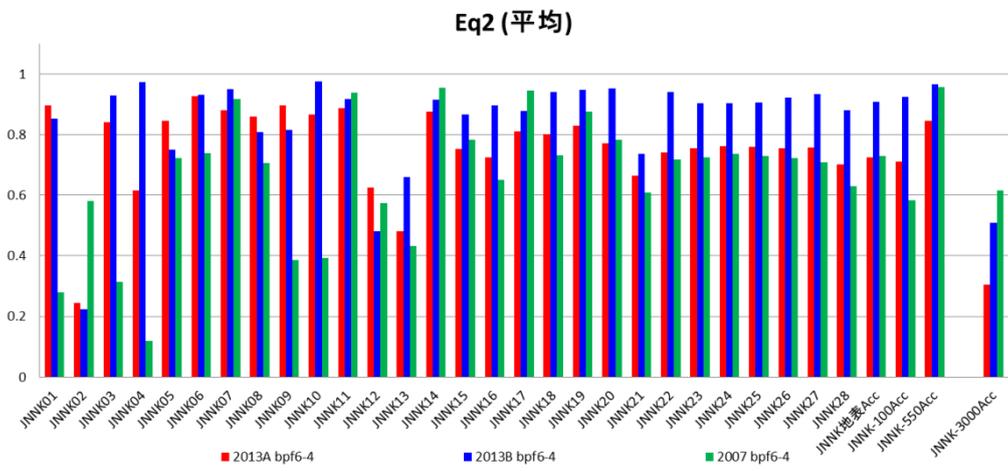
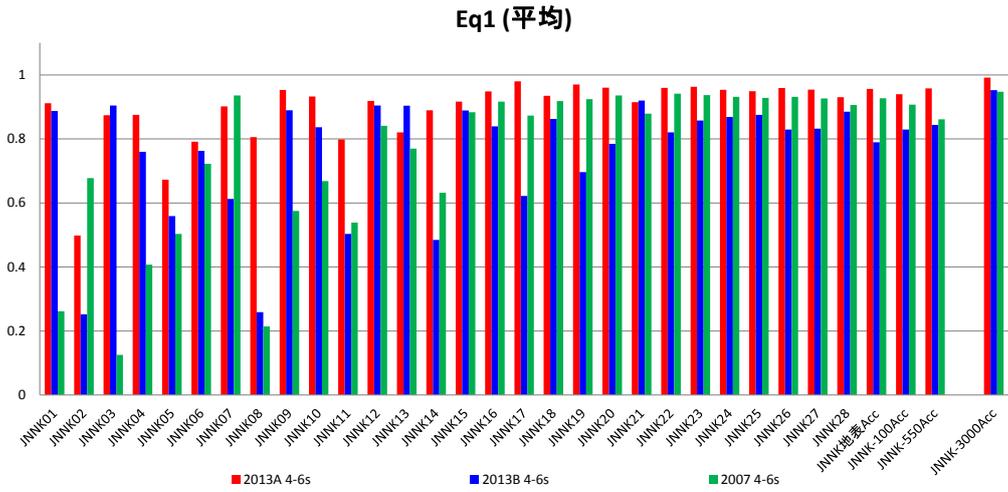


図 3.1- 96 周期 6-4 秒のアンダーソンの指標 5 種類の指標の平均  
 Eq3 はノイズのため計算していない

/ 2013A  
/ 2013B  
/ 2007

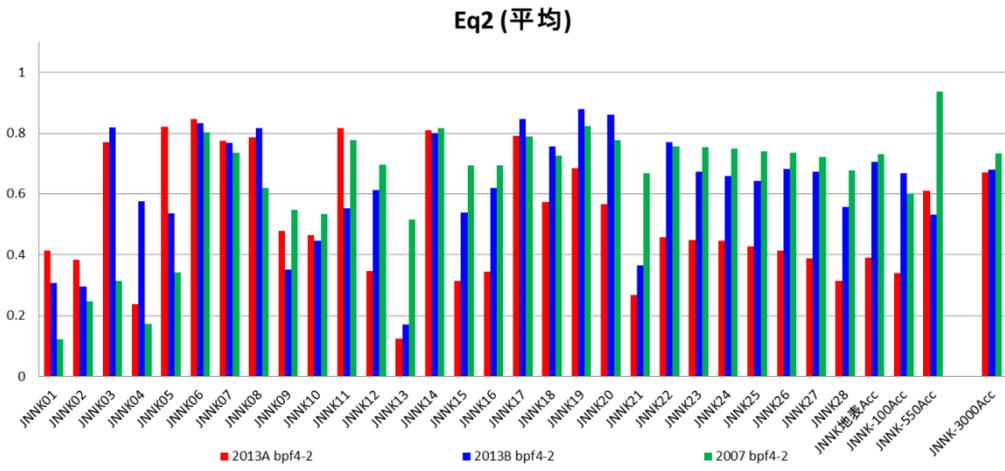
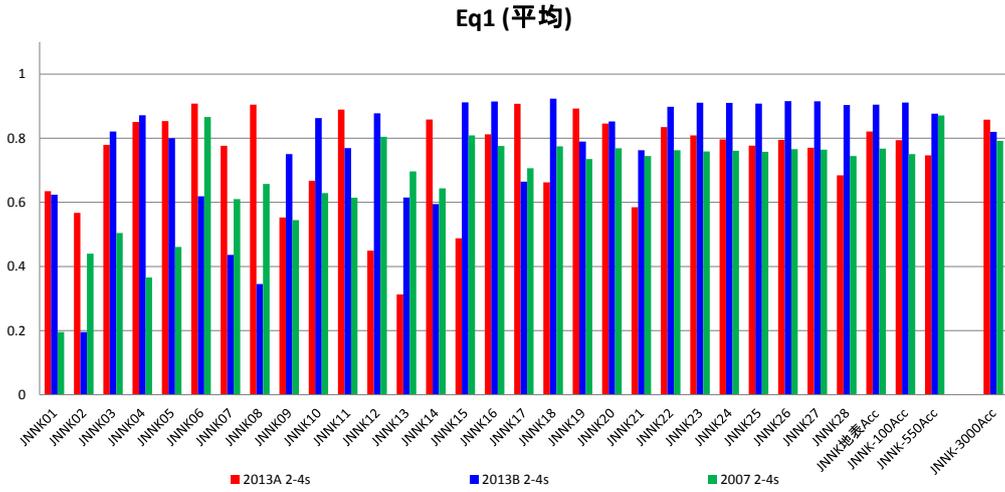


図 3.1- 97 周期 4-2 秒のアンダーソンの指標 5 種類の指標の平均  
 Eq3 はノイズのため計算していない

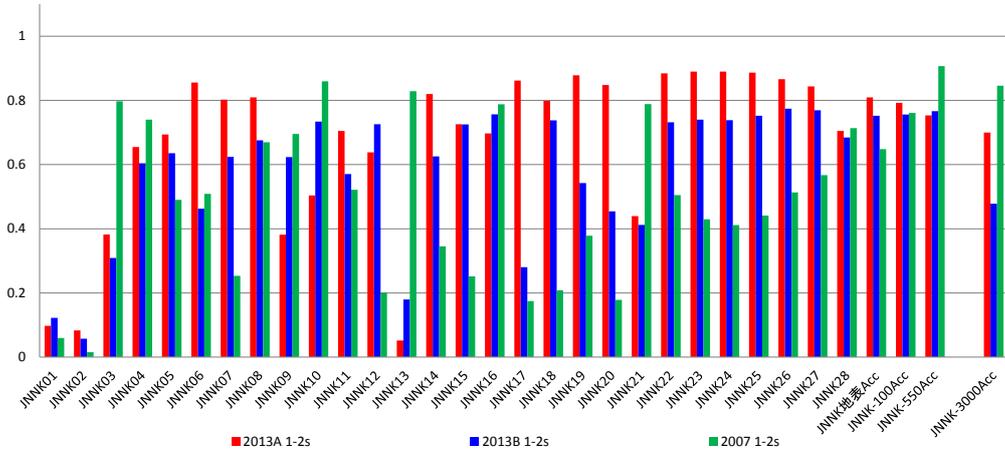
/  
/  
/

2013A

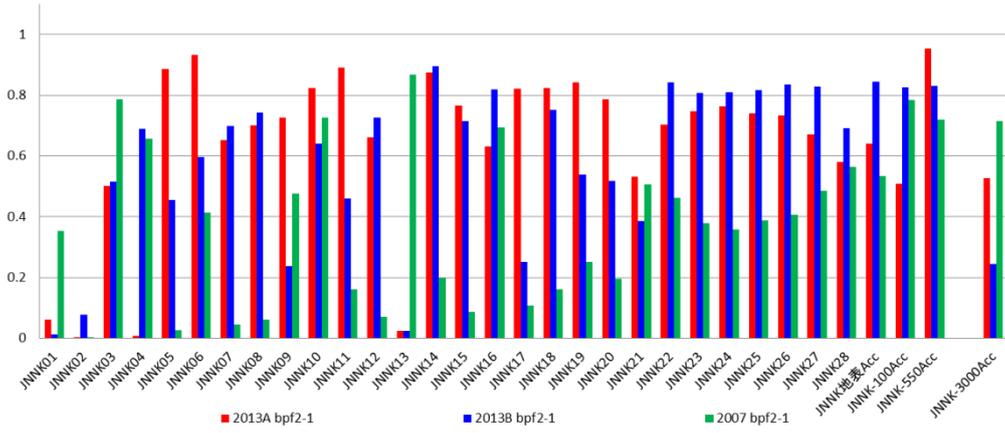
2013B

2007

Eq1 (平均)



Eq2 (平均)



Eq3 (平均)

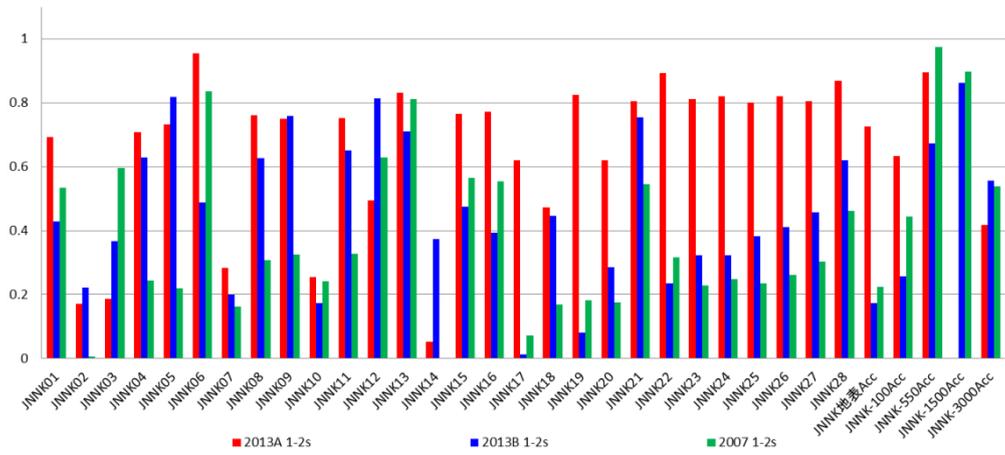
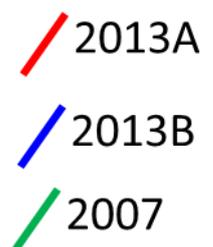


図 3.1- 98 周期 2-1 秒のアンダーソンの指標 5 種類の指標の平均



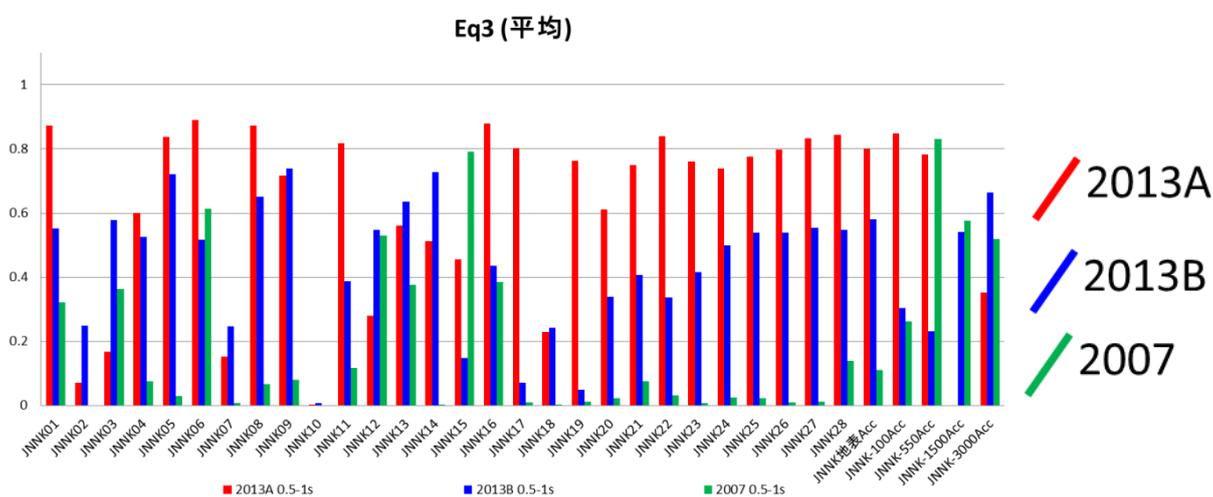
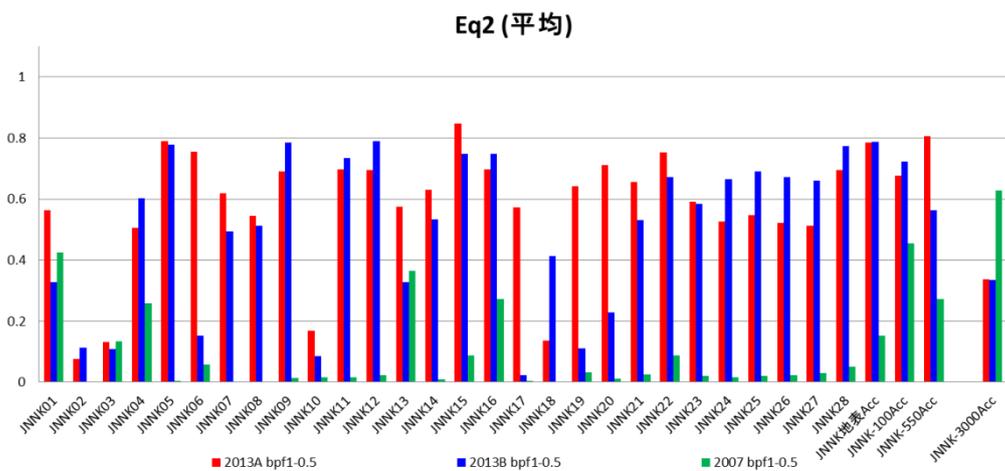


図 3.1- 99 周期 1-0.5 秒のアンダーソンの指標 5 種類の指標の平均 Eq1 は対象周期外

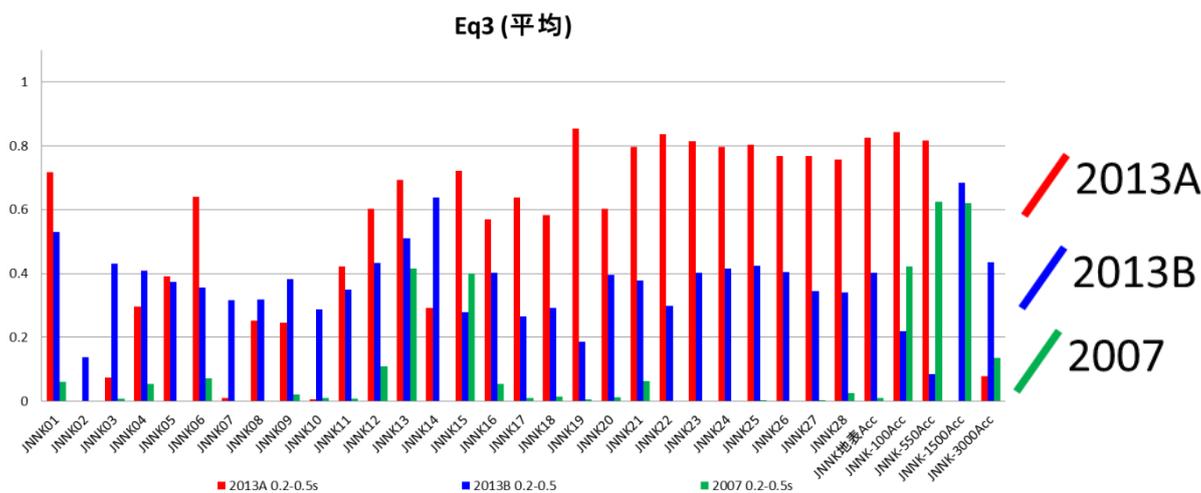


図 3.1- 100 周期 0.5-0.2 秒のアンダーソンの指標 5 種類の指標の平均 Eq1、Eq2 は対象周期外

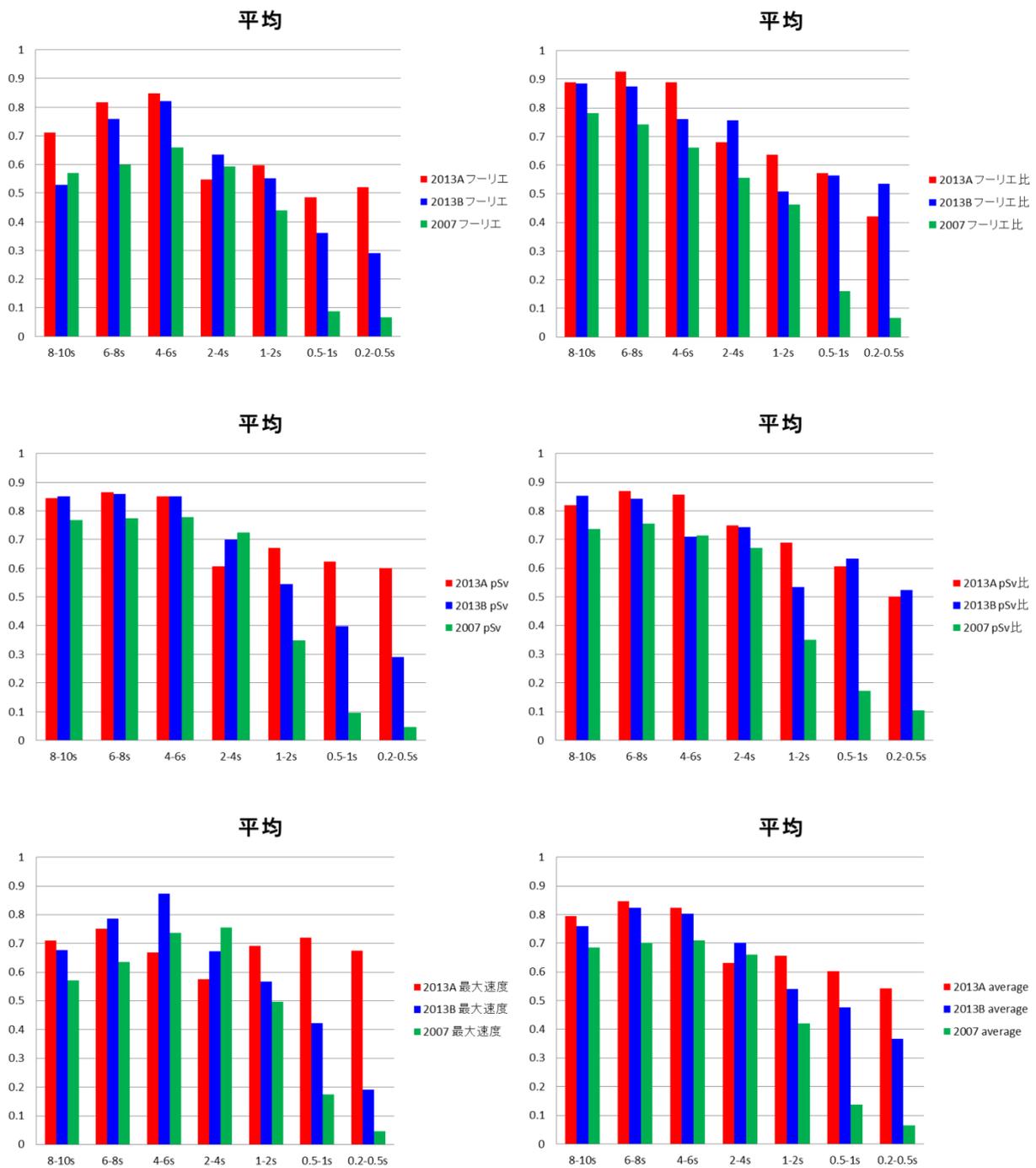
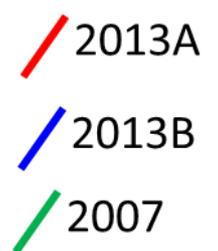


図 3.1- 101 周期帯域ごとのアンダーソンの指標の Eq1-Eq3 の平均(全地点)  
 上段左：速度フーリエスペクトル 上段右：速度フーリエスペクトル比  
 中段左：疑似速度応答スペクトル 中段右：疑似速度応答スペクトル比  
 下段左：最大速度 下段右：5種類の指標の平均



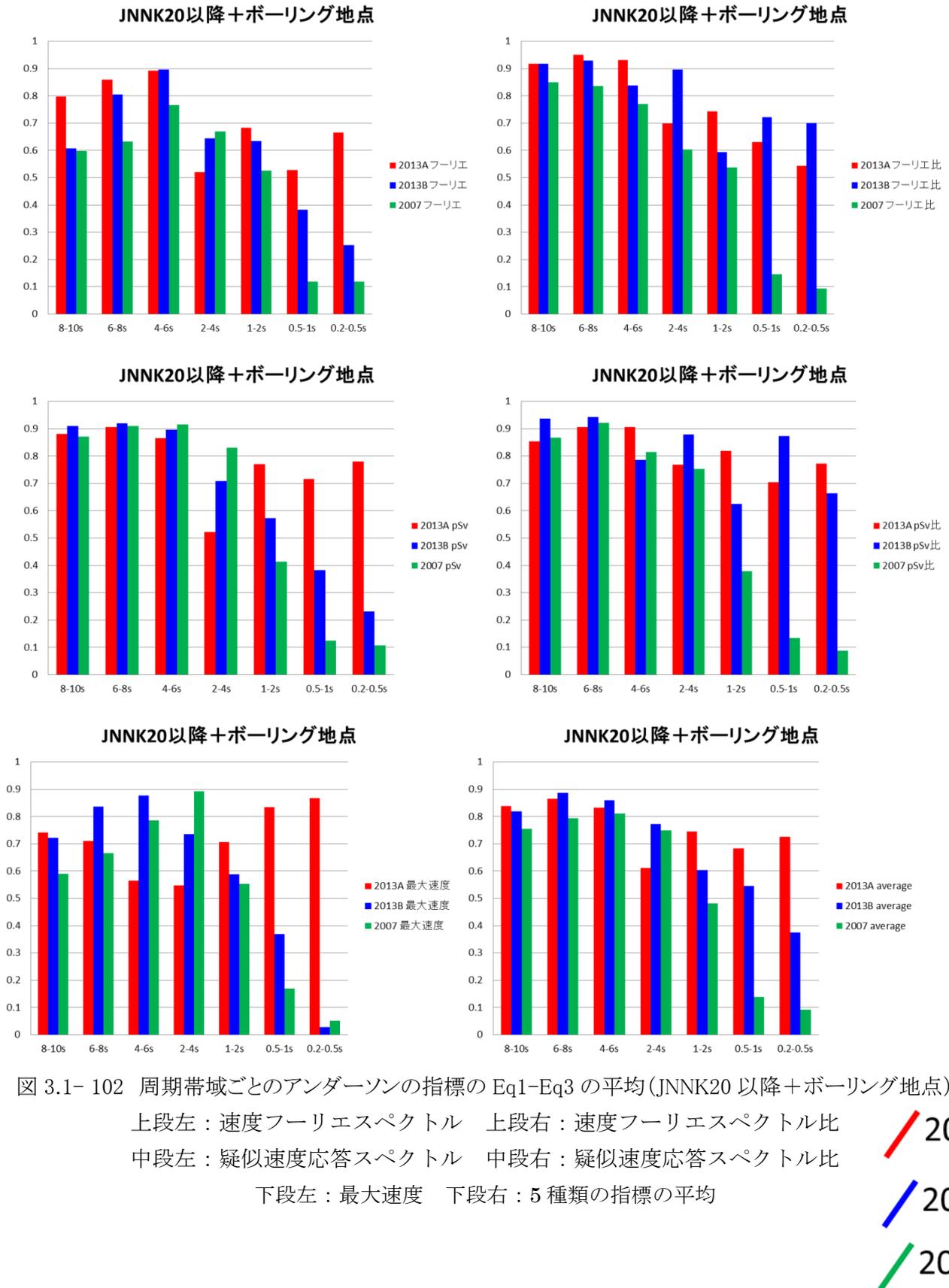


図 3.1- 102 周期帯域ごとのアンダーソンの指標の Eq1-Eq3 の平均(JNNK20 以降+ポーリング地点)

上段左：速度フーリエスペクトル

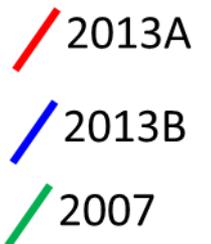
上段右：速度フーリエスペクトル比

中段左：疑似速度応答スペクトル

中段右：疑似速度応答スペクトル比

下段左：最大速度

下段右：5種類の指標の平均



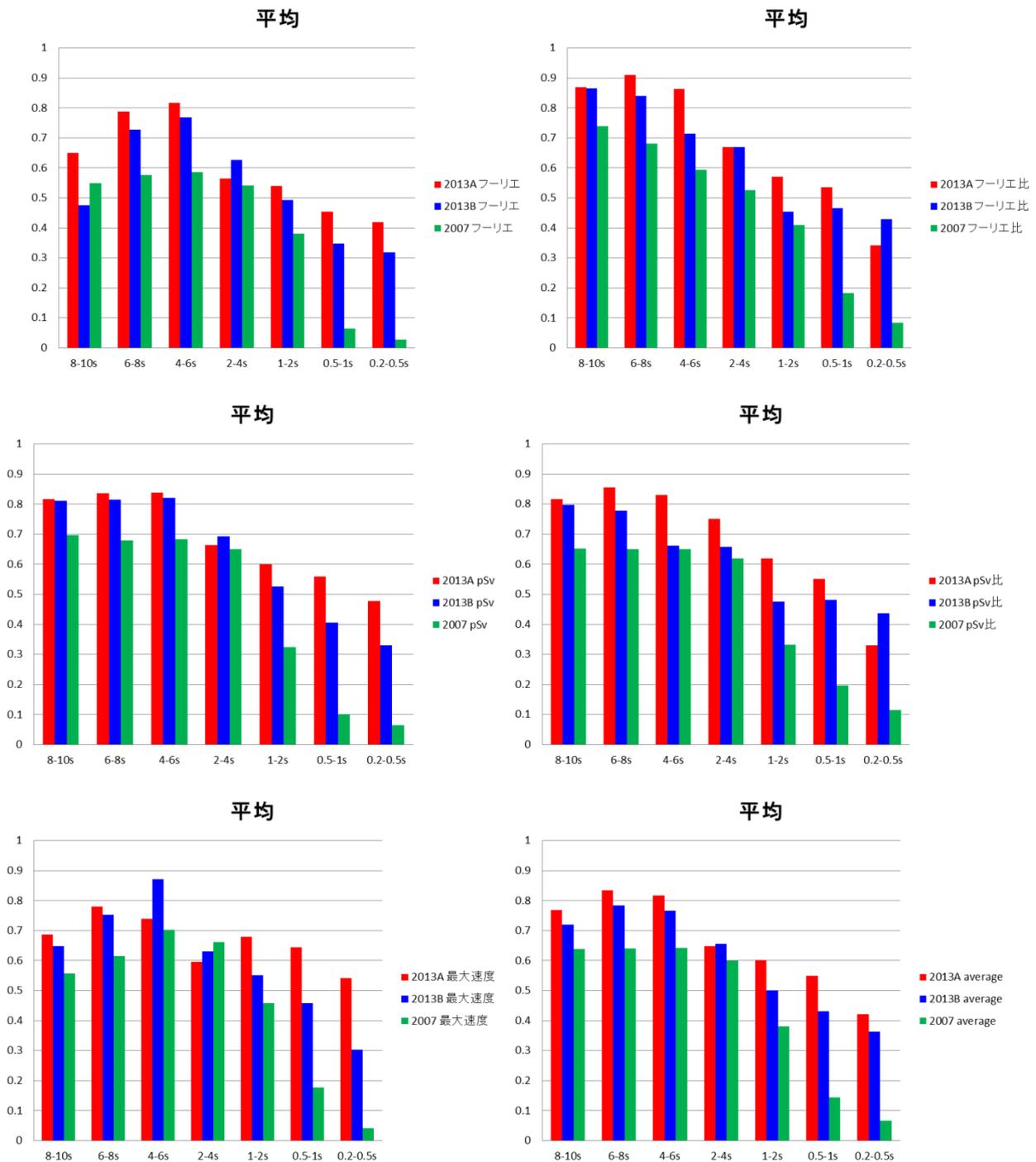
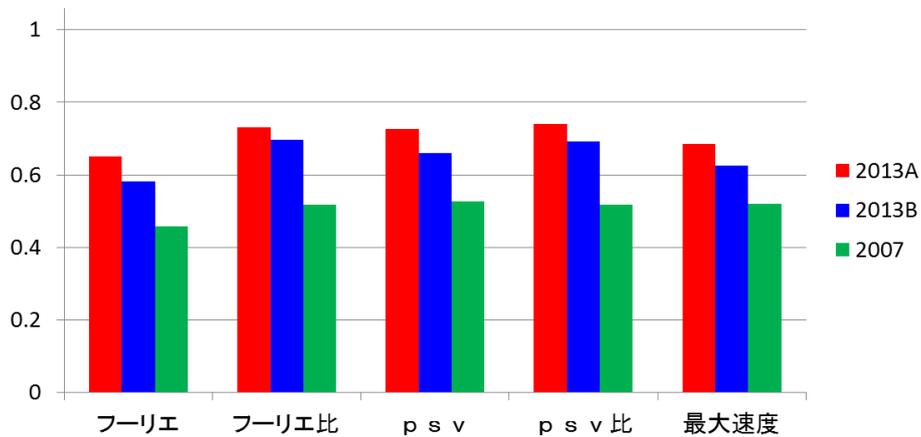
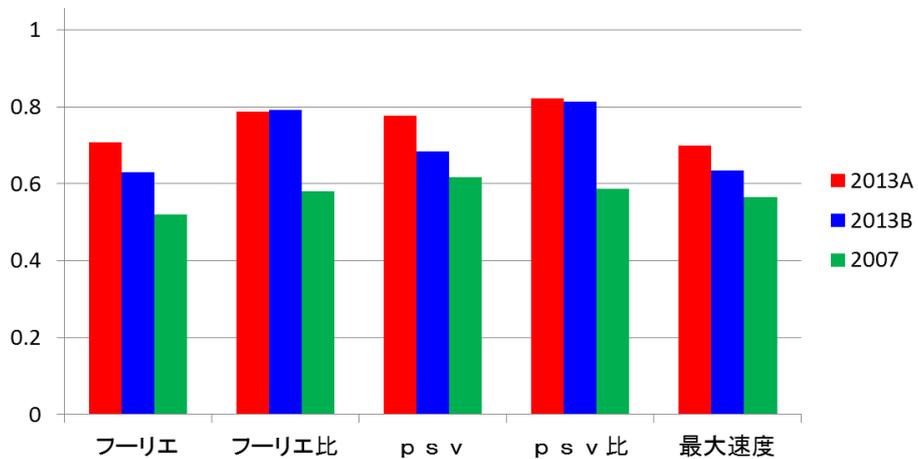


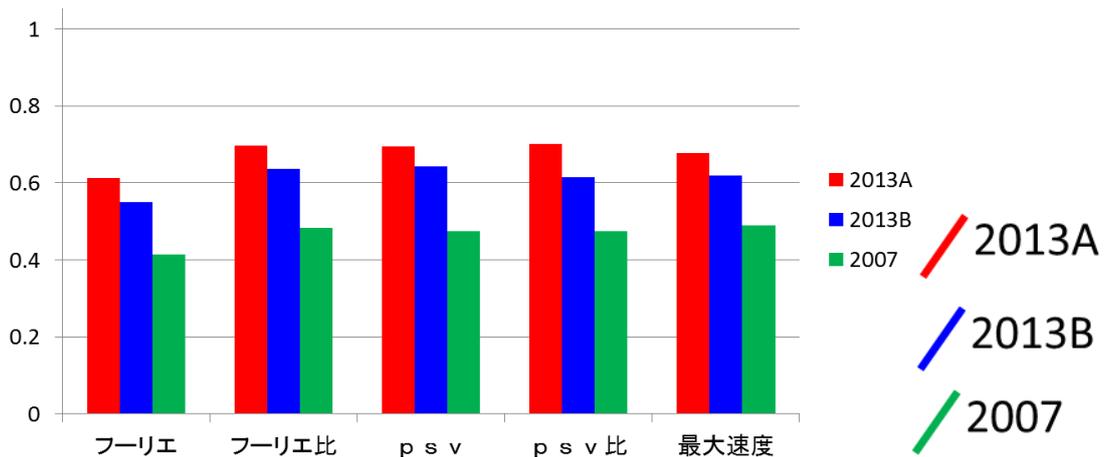
図 3.1- 103 周期帯域ごとのアンダーソンの指標の Eq1-Eq3 の平均(JNNK19 以下)  
 上段左：速度フーリエスペクトル 上段右：速度フーリエスペクトル比  
 中段左：疑似速度応答スペクトル 中段右：疑似速度応答スペクトル比  
 下段左：最大速度 下段右：5 種類の指標の平均



全地点の平均



JNNK20 以降およびボーリング地点の平均



JNNK19 以下の平均

図 3.1-104 アンダーソンの指標の全周期帯域および全地震の平均

左から：速度フーリエスペクトル、速度フーリエスペクトル比、疑似速度応答スペクトル、疑似速度応答スペクトル比、最大速度

### 3.1.2.7 昨年度調査結果との比較

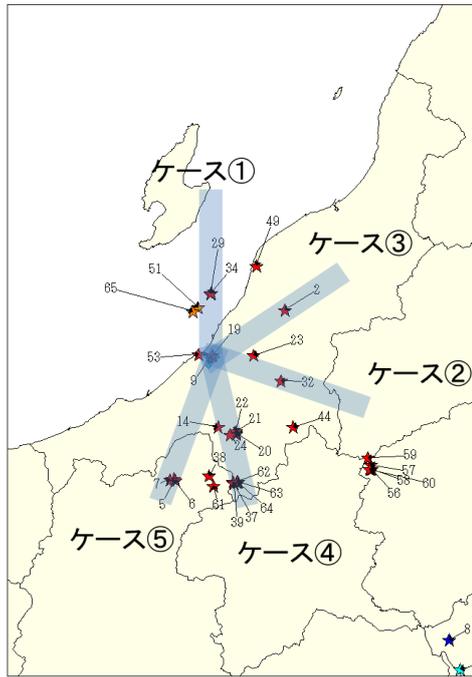
図 3.1- 105 に昨年度業務で行った地震動シミュレーションを行った地震の到来方向を示す。図に示したケース②に地震の観測スペクトル比(ボーリング孔 550m 基準)とモデルの底面にベル型の波形を平面入射させた場合のスペクトル比について、上記で示したようにアンダーソンの指標を計算した。図のケース②の方向から SH 波を入射角 30 度で入射した場合の計算結果を用いている。

昨年度の計算結果に対し、本検討と同じように図 3.1- 22 で示したような表層地盤の取り扱いを行い、表層モデルの応答計算結果を昨年度計算結果にかけることにより、表層地盤を考慮した。

図 3.1- 106、図 3.1- 107、図 3.1- 108 に Eq3 におけるフーリエスペクトル比の指標と昨年度調査結果による指標を示す。この結果は、JNES2013A モデルを用いた結果である。本検討の結果で、指標が高い観測点は昨年度の結果でも概ね指標が高くなっている。ただし、周期 1 秒以下の周期帯域では、昨年度の結果による指標が極端に小さくなっている。これは、昨年度の結果は、平面波を仮定し、モデルの遠方から入射したと仮定しているが、今回の計算では点震源を仮定しており、入射の条件の違いが特に短周期帯域の計算結果に影響を及ぼしていると考えられる。

図 3.1- 109、図 3.1- 110、図 3.1- 111 には、同様に JNES2007 モデルを用いた計算結果によるフーリエスペクトル比のアンダーソンの指標を示す。JNES2013A モデルと同様に、指標が高い観測点は昨年度の結果でも概ね指標が高くなっており、観測点ごとの特徴はよく似ている。また、総じて 2013A モデルに比べ指標が低く、特に周期 1 秒以下の指標が低い特徴もよく対応している。

以上のことから、本調査地のように基盤深度が深い地域では、短周期帯域の地震動をシミュレーションする場合でも、震源からの計算を行った方が、観測データをよく説明できることが分かった。



震央分布とシミュレーションを行った地震の到来方向

図 3.1- 105 昨年度業務で行った地震動シミュレーションを行った地震の到来方向

### 速度スペクトル比 Eq3 (昨年度結果ななめ入射)

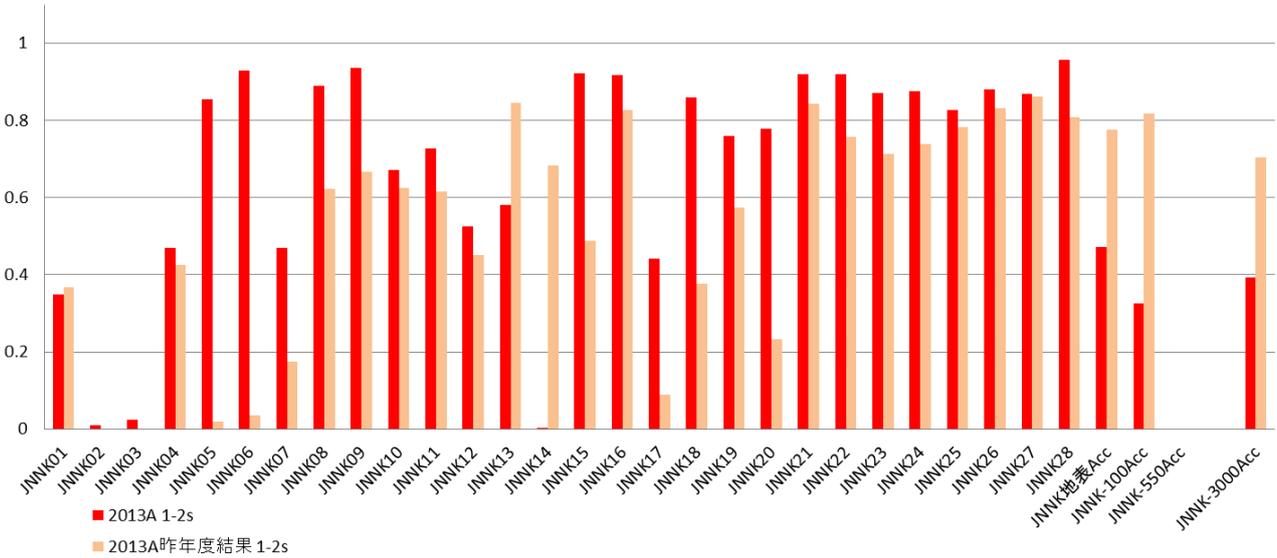


図 3.1- 106 Eq3 におけるフーリエスペクトル比の指標(赤)と昨年度調査結果による指標(薄赤)  
周期 2-1 秒 JNES2013A モデル

### 速度スペクトル比 Eq3 (昨年度結果ななめ入射)

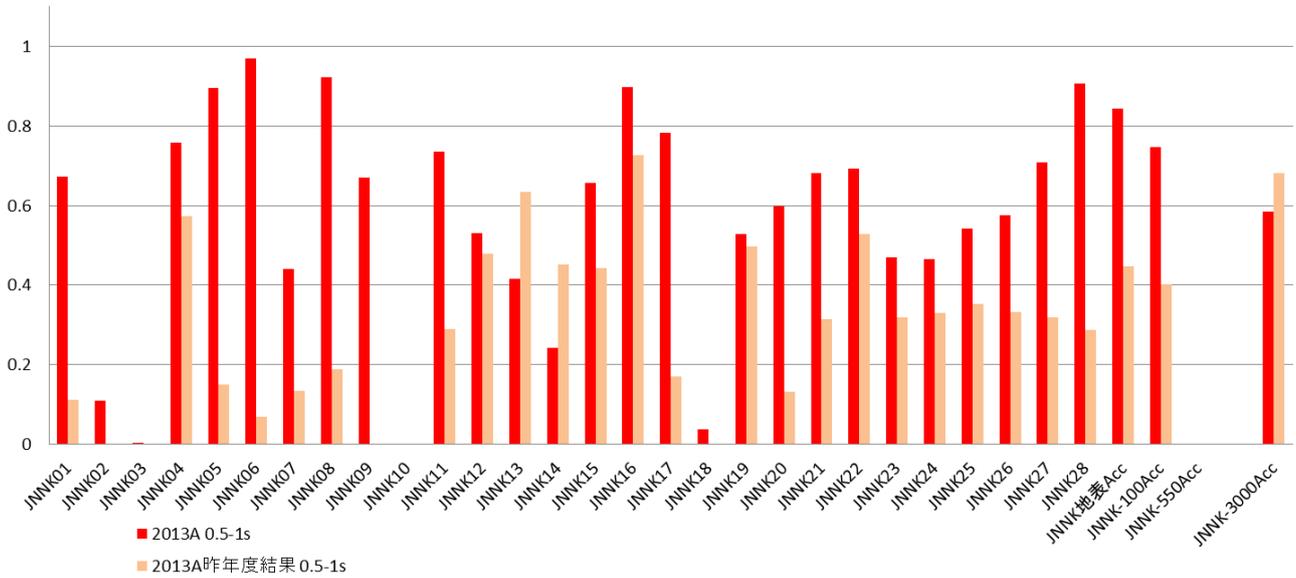


図 3.1- 107 Eq3 におけるフーリエスペクトル比の指標(赤)と昨年度調査結果による指標(薄赤)  
周期 1-0.5 秒 JNES2013A モデル

### 速度スペクトル比 Eq3 (昨年度結果ななめ入射)

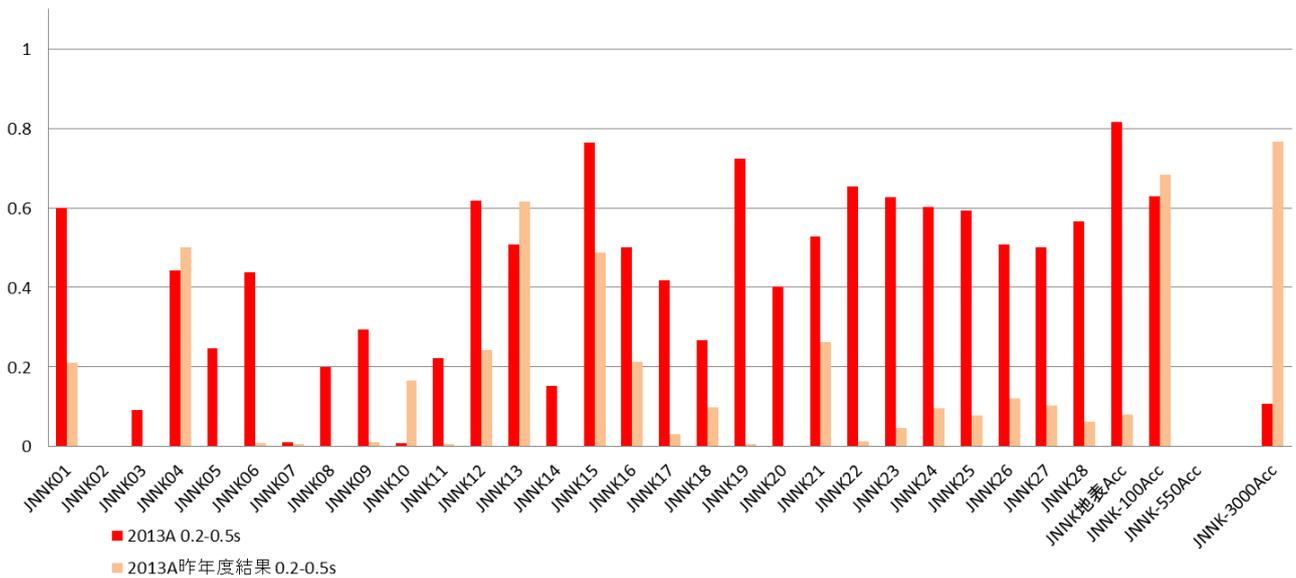


図 3.1- 108 Eq3 におけるフーリエスペクトル比の指標(赤)と昨年度調査結果による指標(薄赤)  
周期 0.5-0.2 秒 JNES2013A モデル

### 速度スペクトル比 Eq3 (昨年度結果ななめ入射)

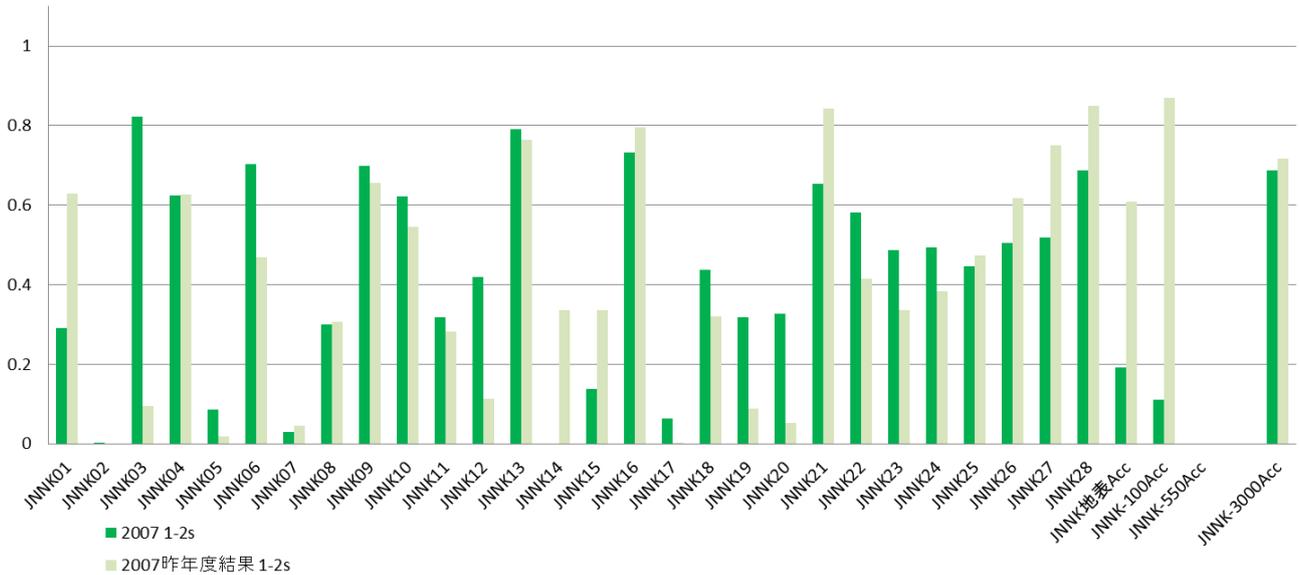


図 3.1- 109 Eq3 におけるフーリエスペクトル比の指標(緑)と昨年度調査結果による指標(薄緑)  
周期 2-1 秒 JNES2007 モデル

### 速度スペクトル比 Eq3 (昨年度結果ななめ入射)

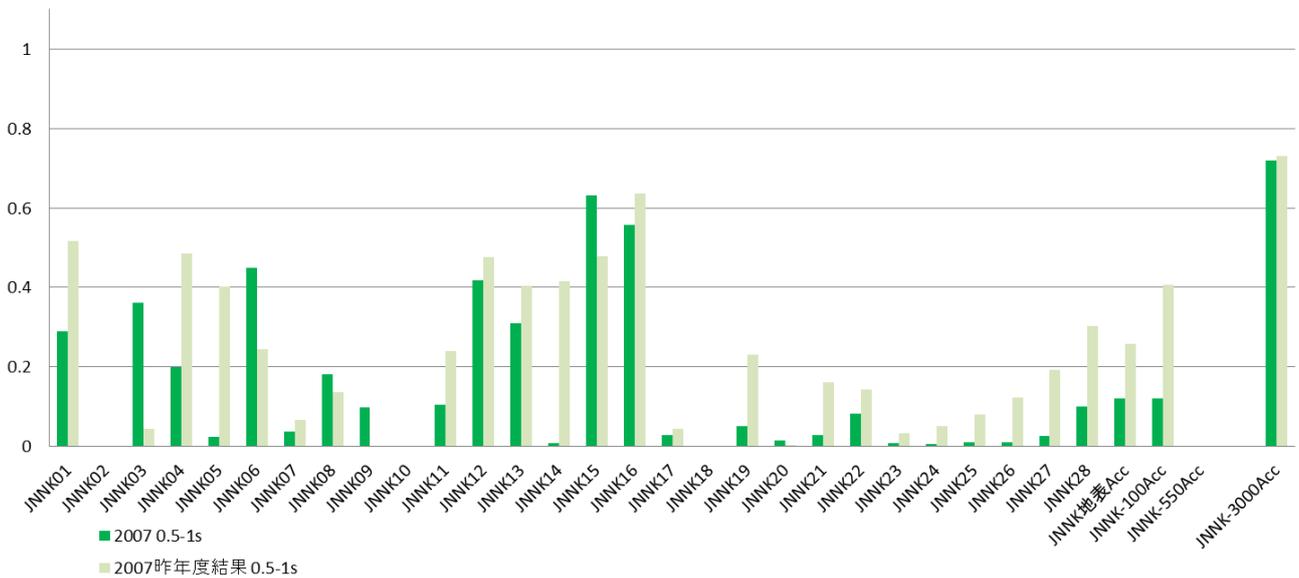


図 3.1- 110 Eq3 におけるフーリエスペクトル比の指標(緑)と昨年度調査結果による指標(薄緑)  
周期 1-0.5 秒 JNES2007 モデル

### 速度スペクトル比 Eq3 (昨年度結果ななめ入射)

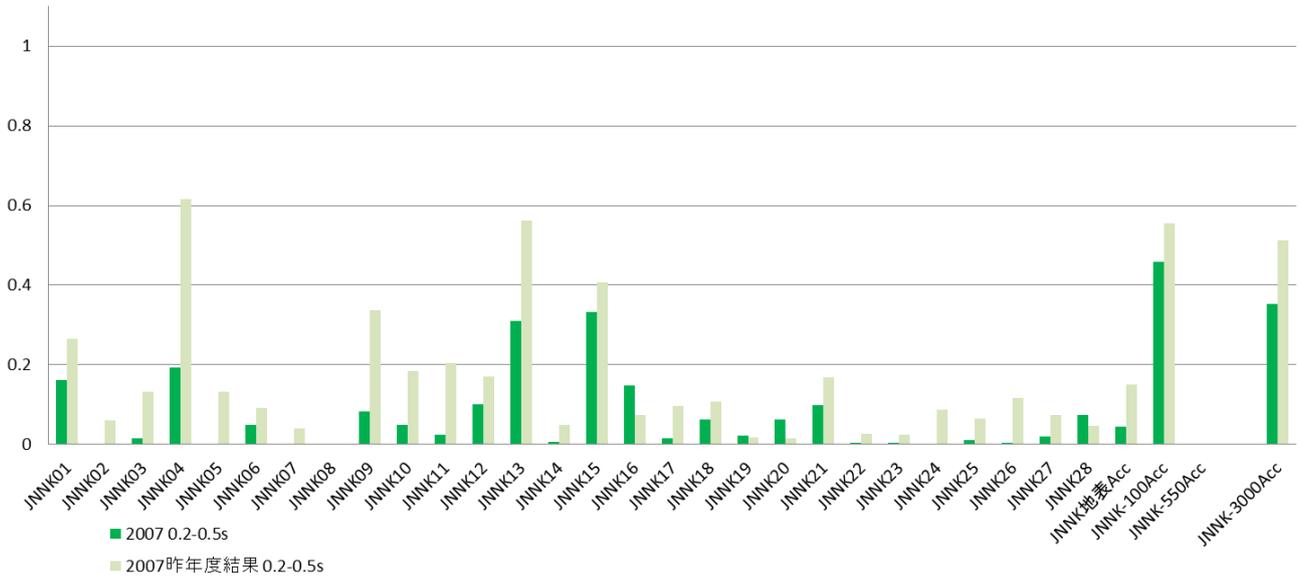


図 3.1- 111 Eq3 におけるフーリエスペクトル比の指標(緑)と昨年度調査結果による指標(薄緑)  
 周期 0.5-0.2 秒 JNES2007 モデル

### 3.1.3 三次元地下構造モデルの不確かさが地震動評価に与える影響の評価

上記では、シミュレーションを行った地震毎にアンダーソンの指標を基にモデルの精度及び適用性の確認を行った。ここでは、3次元地下構造モデルの不確かさが地震動に与える影響について検討を行う。

図 3.1- 112 および図 3.1- 113 に JNES2013A モデルの 5 種類の指標の観測点毎の平均を示す。これを見るとアンダーソンの指標が低い地点では、どの地震でも概ね指標が低い傾向があり、指標が高い地点ではどの指標もおおむね高い傾向がみられる。

図 3.1- 114 は JNES2013A モデルにおける 5 種類の指標の各観測点における平均値の Eq1 と Eq2 の比較、図 3.1- 115 は JNES2013A モデルにおける 5 種類の指標の各観測点における平均値の Eq1 と Eq2 の比較である。これを見ても、概ね正の相関がみられ、ある一つの地震で指標が高い地点はそのほかの地震でも指標が高く、低い地点はそのほかの地震でも指標が低いことを示している。これは、地震動評価には、観測点直下あるいは周辺の地盤モデルの精度の影響が強いことを表している。

JNES2013B モデルにおける同様の図を図 3.1- 116 から図 3.1- 119 に、JNES2007 モデルにおける図を図 3.1- 120 から図 3.1- 123 に示す。JNES2013A モデルと同様に地震間の指標には正の相関がみられ、異なるモデルについても観測点直下あるいは周辺の地盤モデルの精度が地震動評価に影響を強く与えていると考えられる。

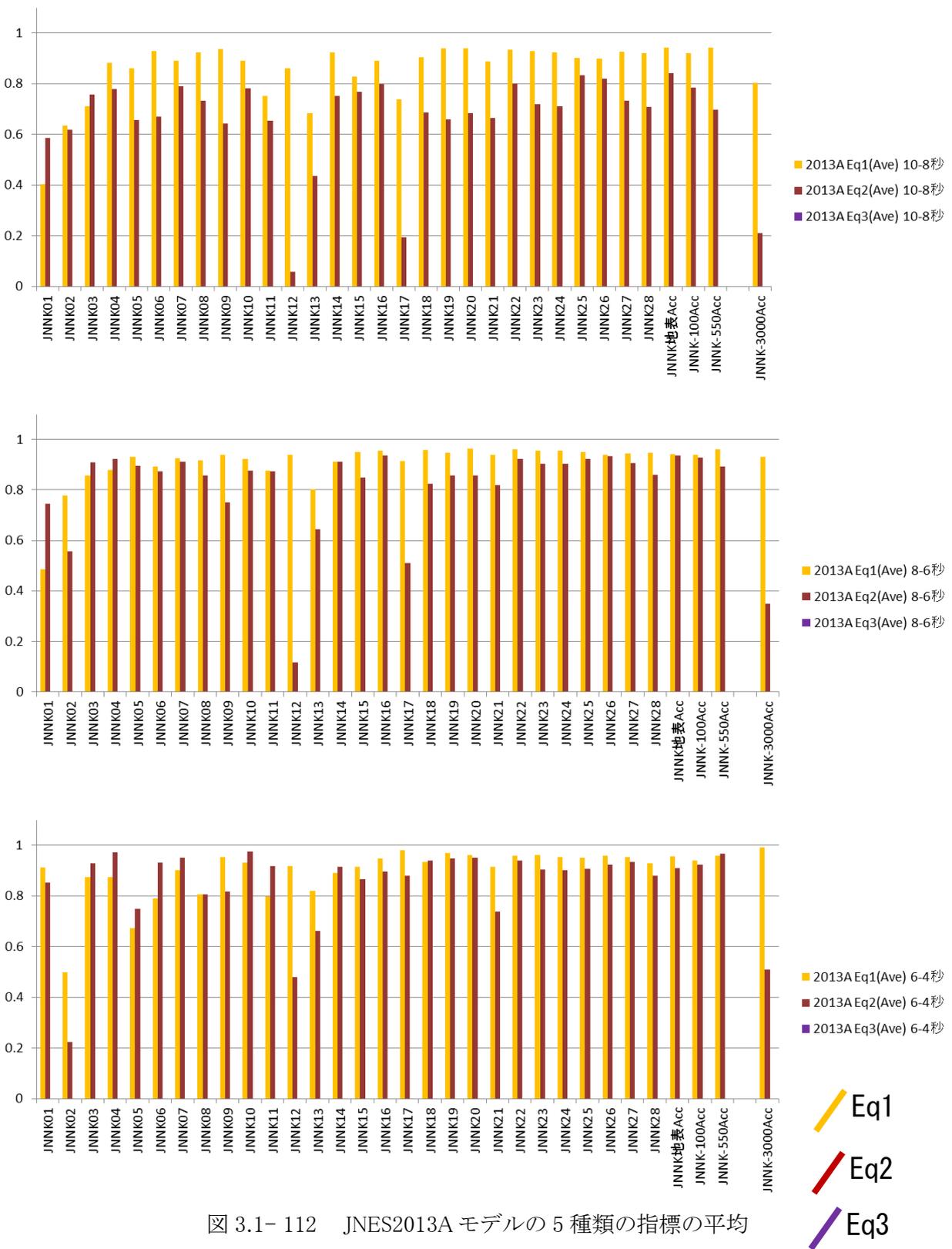


図 3.1- 112 JNES2013A モデルの 5 種類の指標の平均  
 上図:周期 10-8 秒 中図:周期 8-6 秒 下図:周期 6-4 秒

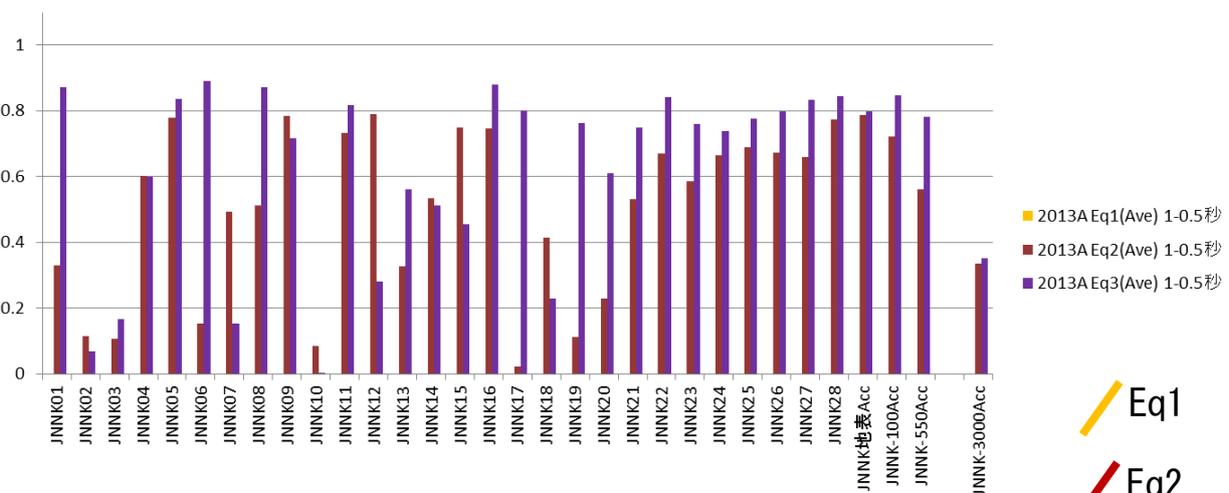
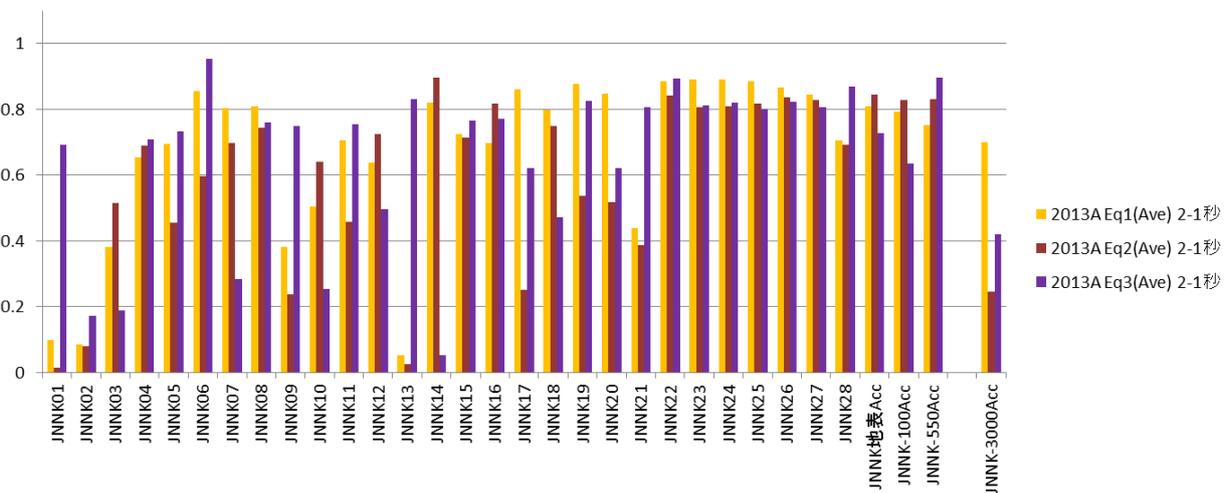
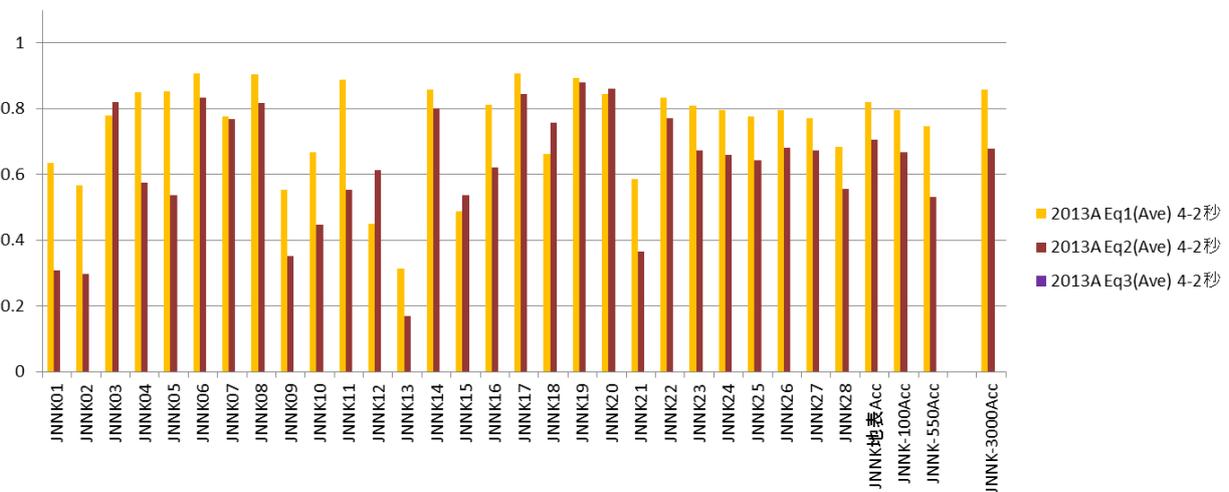


図 3.1- 113 JNES2013A モデルの 5 種類の指標の平均  
 上図:周期 4-2 秒 中図:周期 2-1 秒 下図:周期 1-0.5 秒

Eq1  
 Eq2  
 Eq3

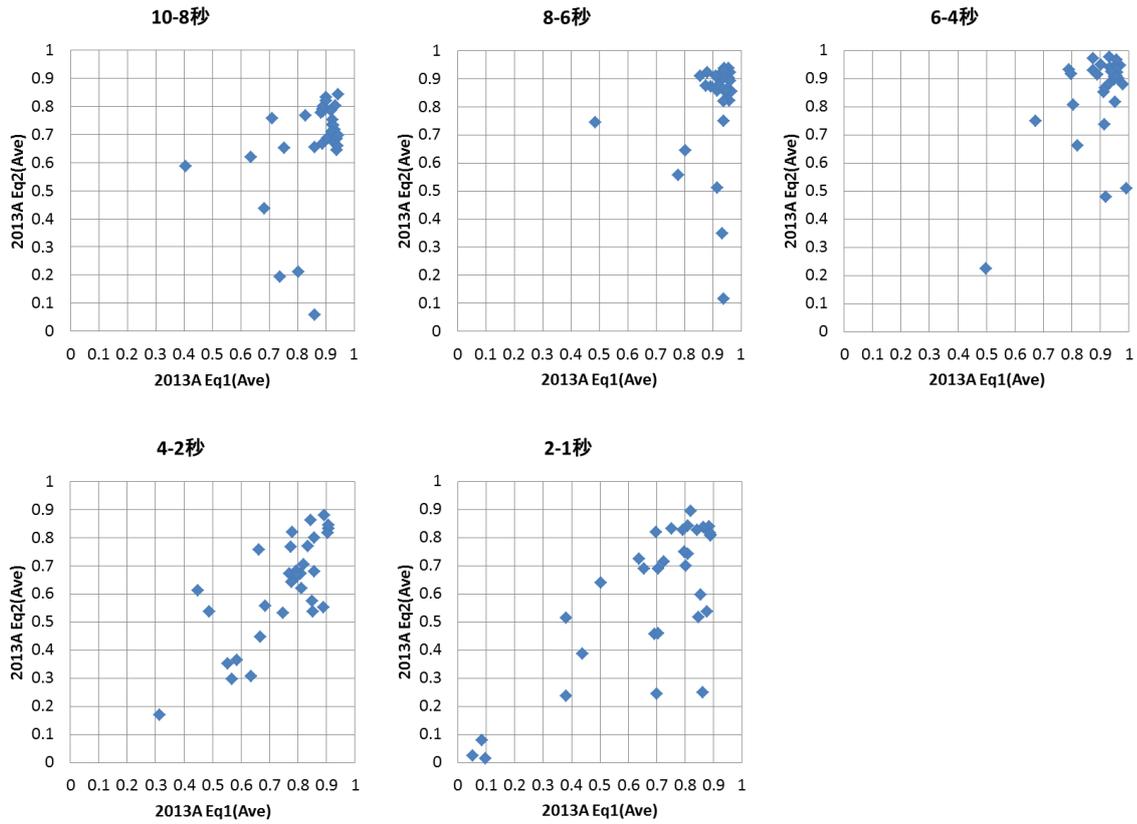


図 3.1- 114 JNES2013A モデルにおける 5 種類の指標の各観測点における平均値の Eq1 と Eq2 の比較  
 横軸:Eq1 の指標 縦軸:Eq2 の指標  
 左上から右下へ:周期 10-8 秒、周期 8-6 秒、周期 6-4 秒、周期 2-1 秒

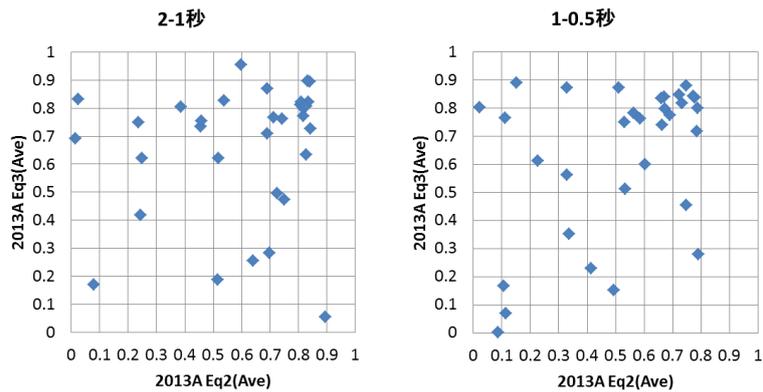


図 3.1- 115 JNES2013A モデルにおける 5 種類の指標の各観測点における平均値の Eq1 と Eq2 の比較  
 横軸:Eq1 の指標 縦軸:Eq2 の指標  
 左図:周期 2-1 秒 周期 1-0.5 秒

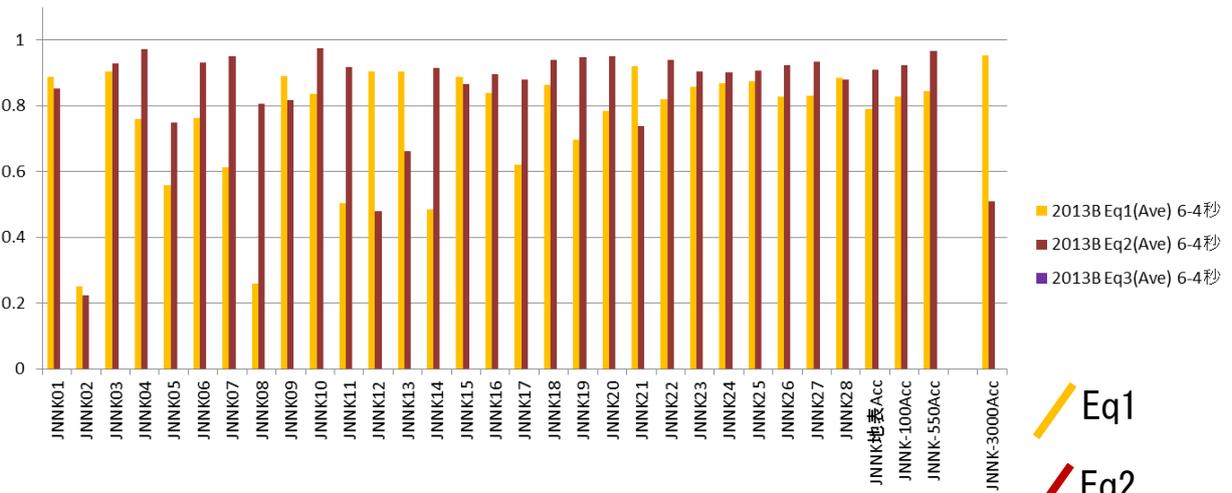
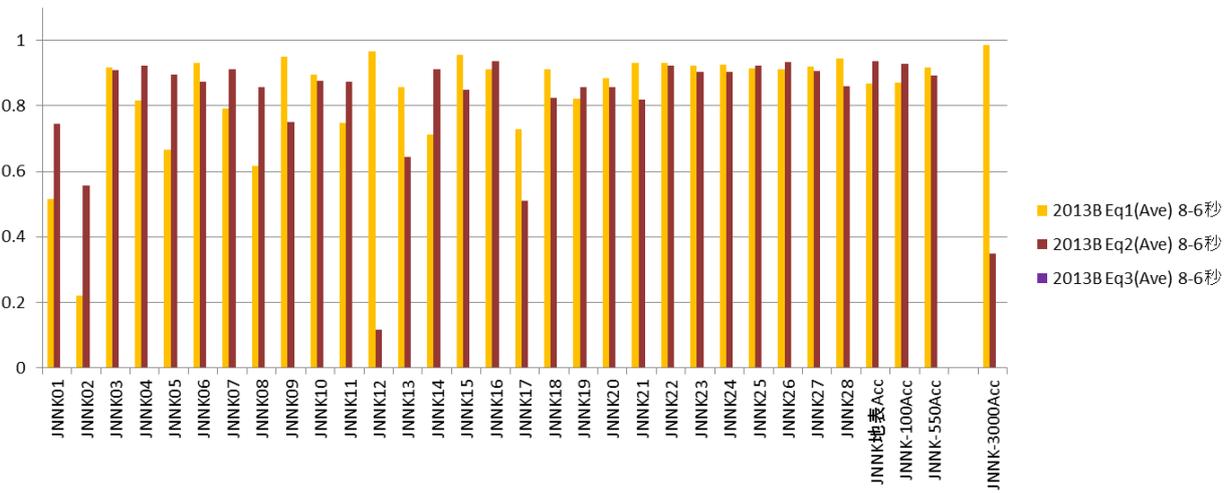
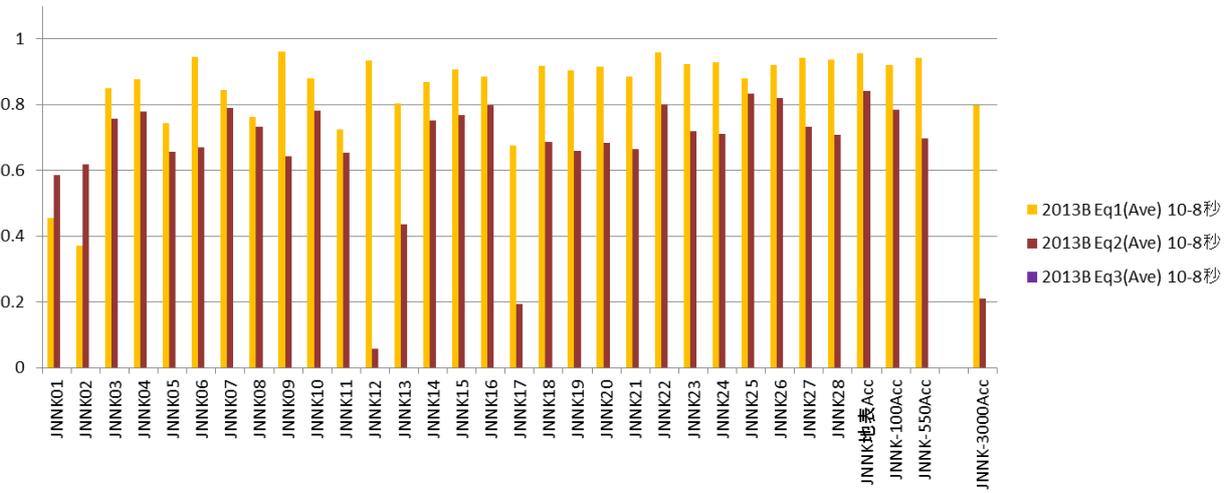


図 3.1- 116 JNES2013B モデルの 5 種類の指標の平均  
 上図:周期 10-8 秒 中図:周期 8-6 秒 下図:周期 6-4 秒

Eq1  
 Eq2  
 Eq3

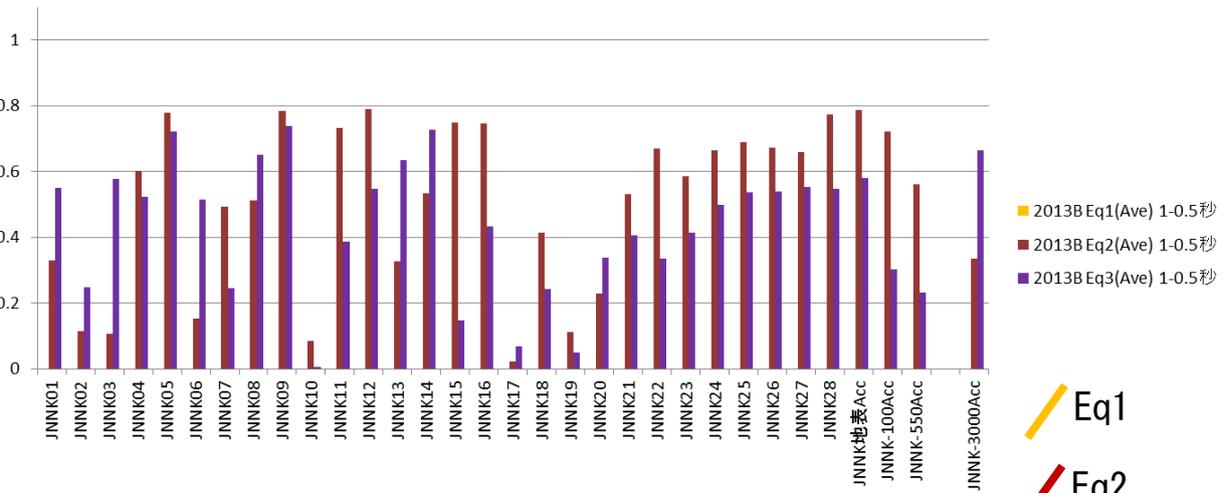
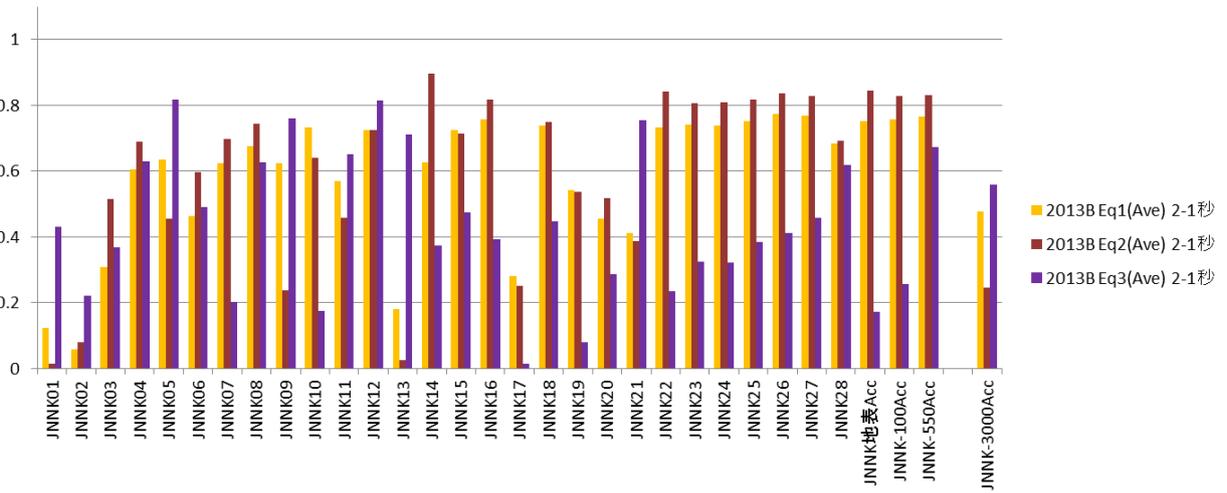
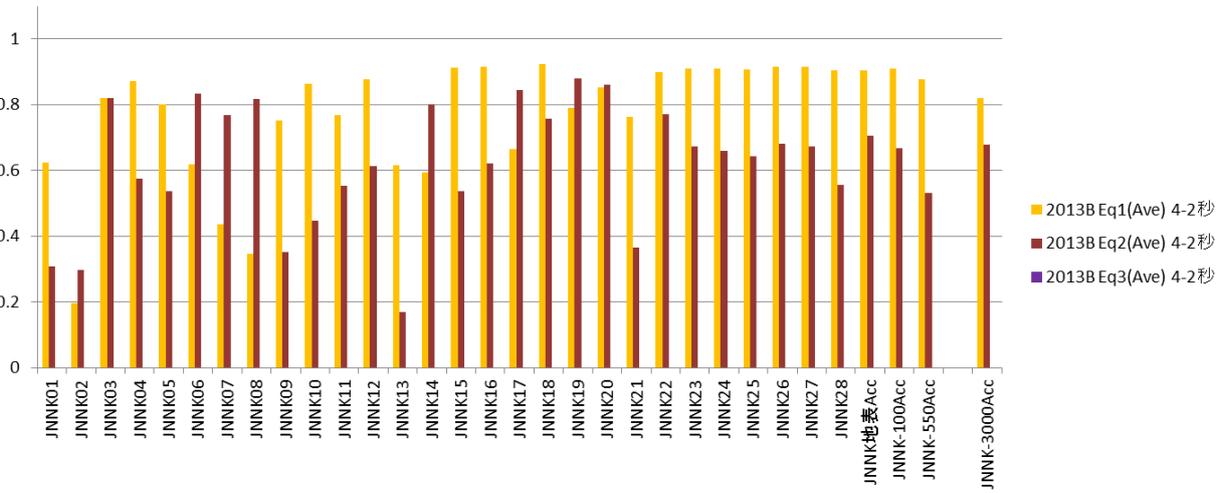


図 3.1- 117 JNES2013B モデルの 5 種類の指標の平均  
 上図:周期 4-2 秒 中図:周期 2-1 秒 下図:周期 1-0.5 秒

Eq1  
 Eq2  
 Eq3

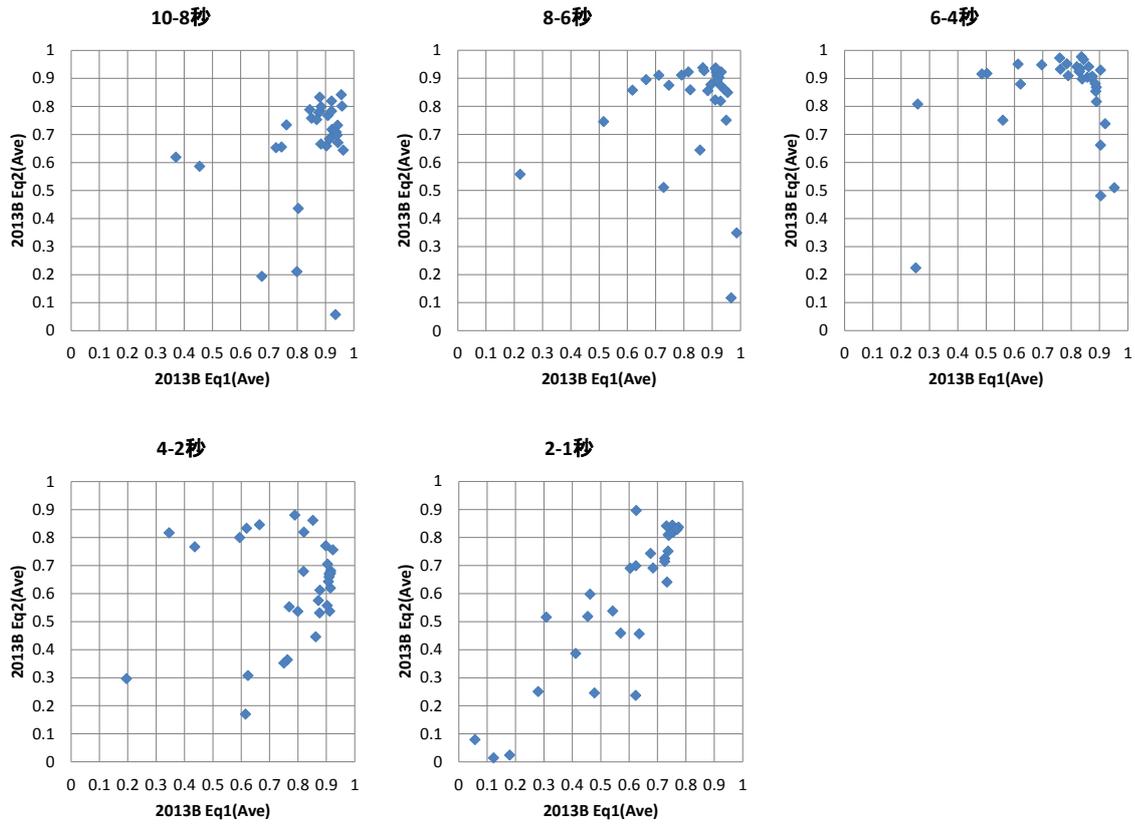


図 3.1- 118 JNES2013B モデルにおける 5 種類の指標の各観測点における平均値の Eq1 と Eq2 の比較  
 横軸:Eq1 の指標 縦軸:Eq2 の指標  
 左上から右下へ:周期 10-8 秒、周期 8-6 秒、周期 6-4 秒、周期 2-1 秒

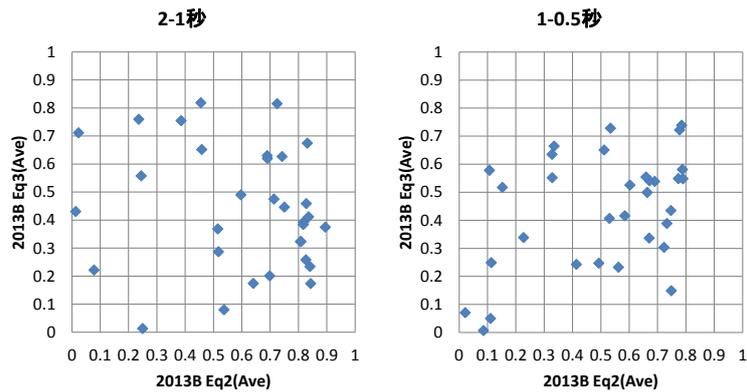


図 3.1- 119 JNES2013B モデルにおける 5 種類の指標の各観測点における平均値の Eq1 と Eq2 の比較  
 横軸:Eq1 の指標 縦軸:Eq2 の指標  
 左図:周期 2-1 秒 周期 1-0.5 秒

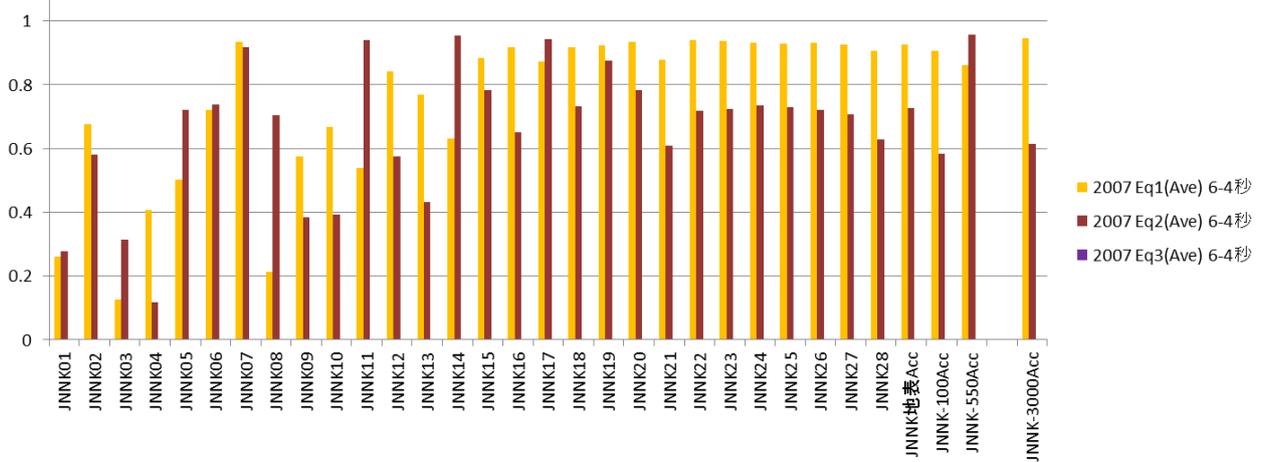
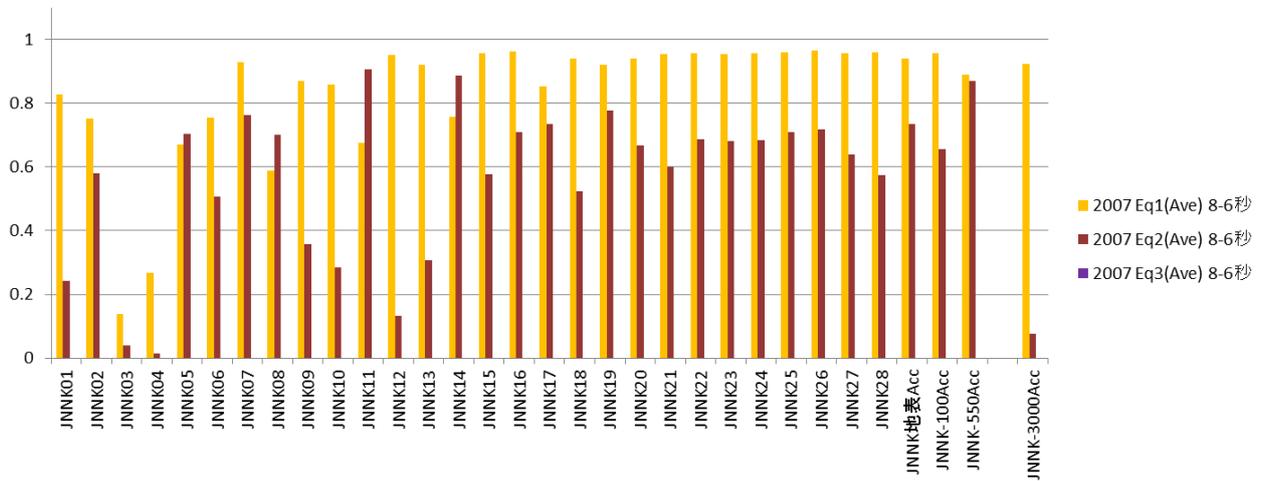
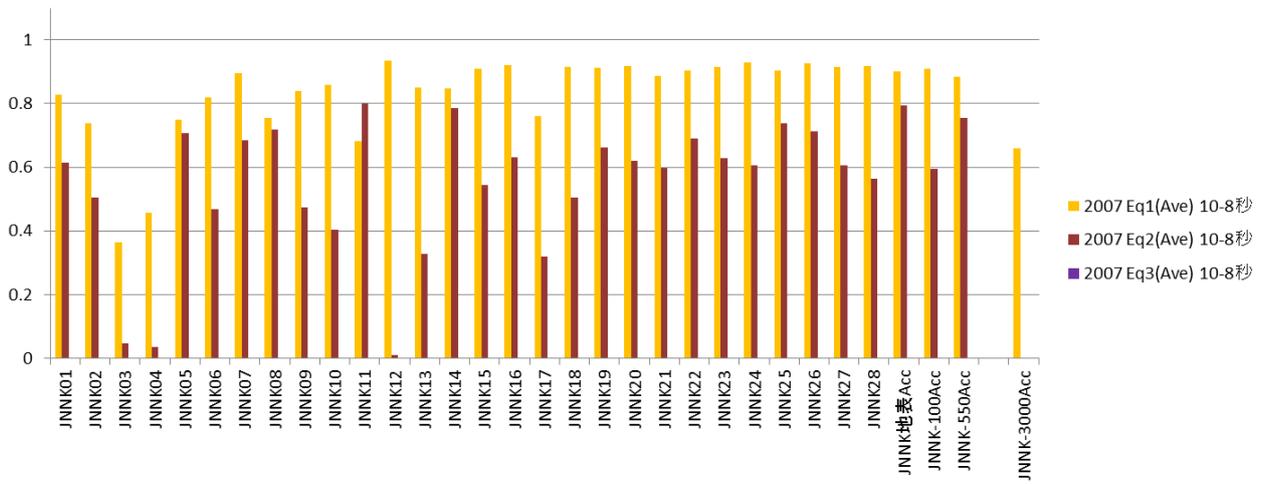


図 3.1- 120 JNES2007 モデルの 5 種類の指標の平均  
 上図:周期 10-8 秒 中図:周期 8-6 秒 下図:周期 6-4 秒

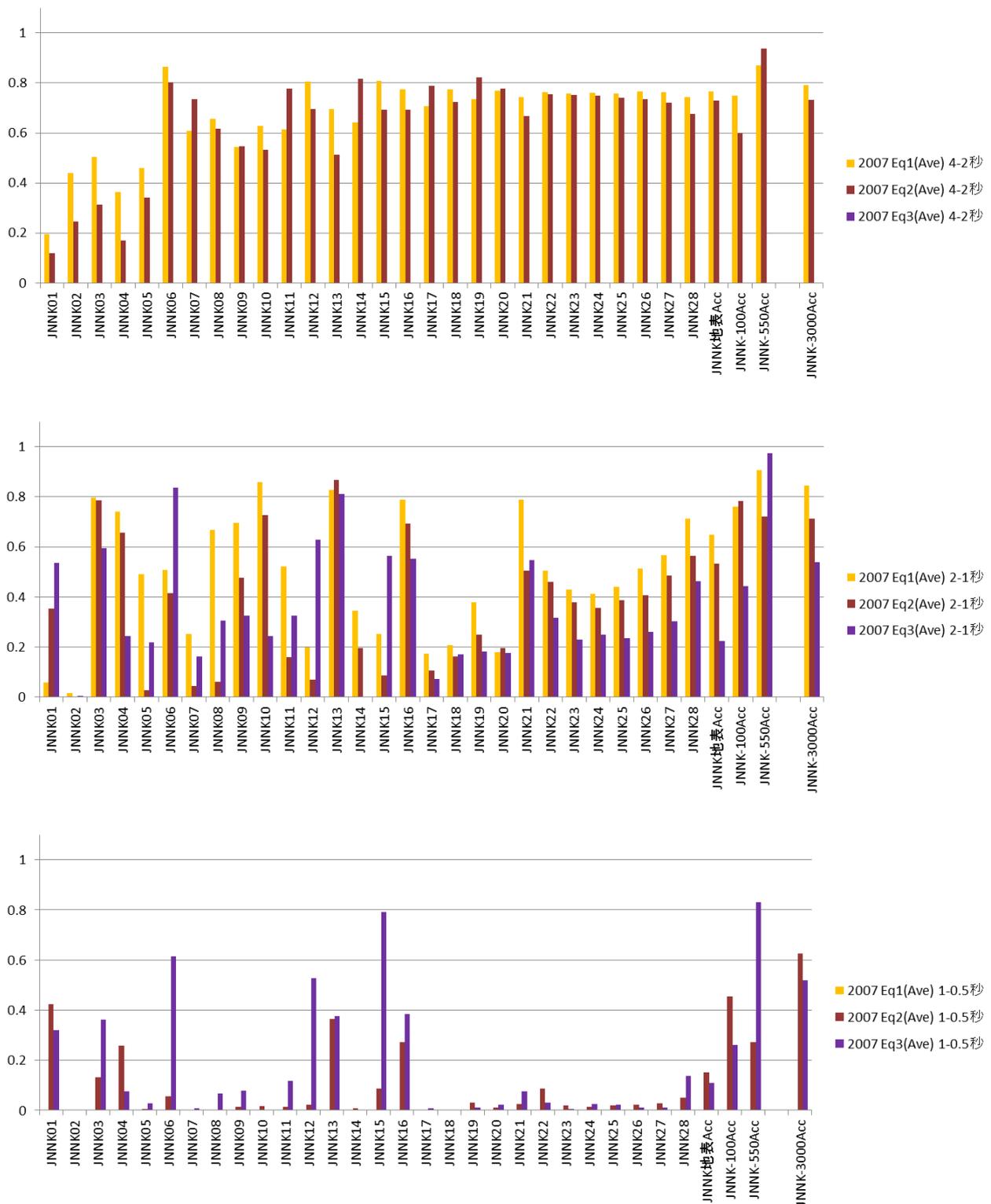


図 3.1- 121 JNES2007 モデルの 5 種類の指標の平均  
 上図:周期 4-2 秒 中図:周期 2-1 秒 下図:周期 1-0.5 秒

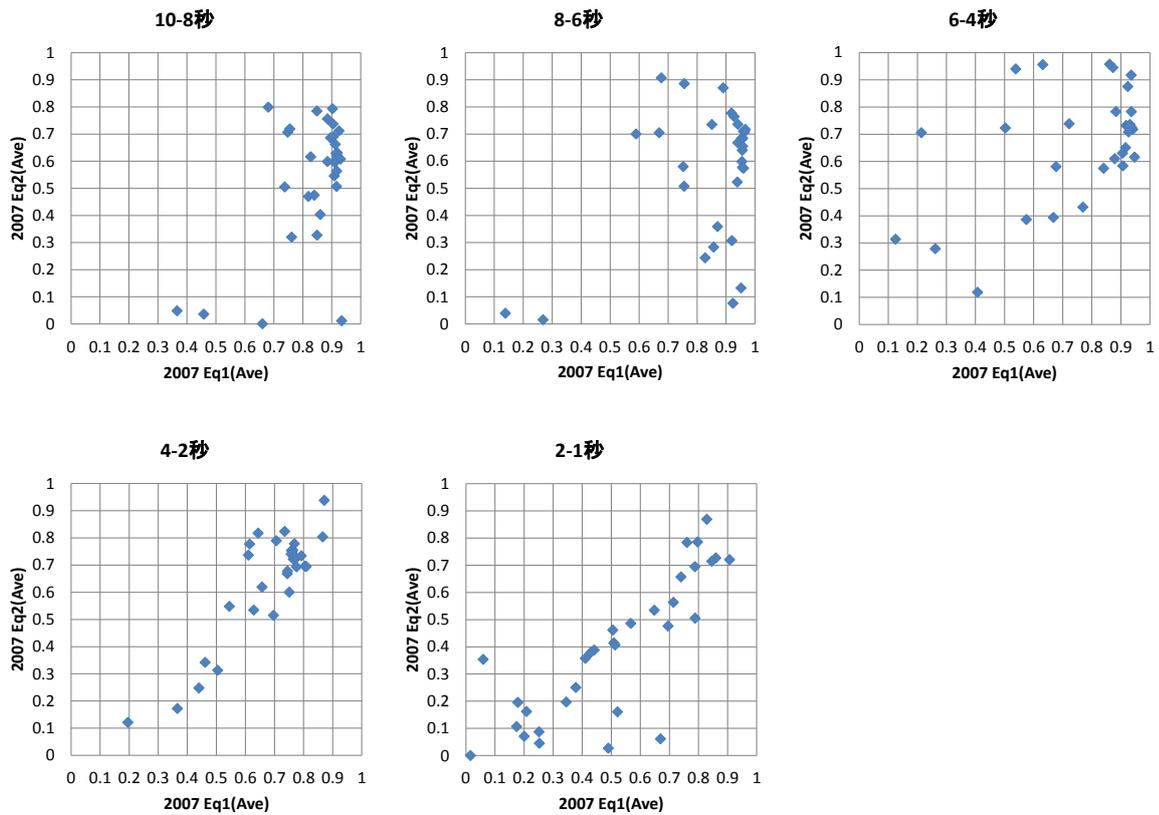


図 3.1- 122 JNES2007 モデルにおける 5 種類の指標の各観測点における平均値の Eq1 と Eq2 の比較  
 横軸:Eq1 の指標 縦軸:Eq2 の指標  
 左上から右下へ:周期 10-8 秒、周期 8-6 秒、周期 6-4 秒、周期 2-1 秒

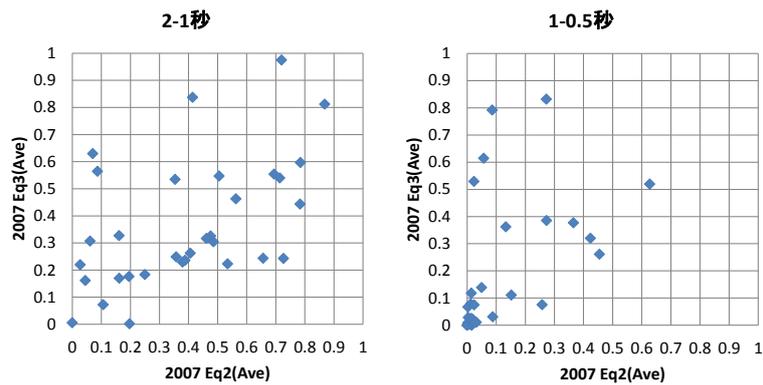


図 3.1- 123 JNES2007 モデルにおける 5 種類の指標の各観測点における平均値の Eq1 と Eq2 の比較  
 横軸:Eq1 の指標 縦軸:Eq2 の指標  
 左図:周期 2-1 秒 周期 1-0.5 秒

### 3.1.4 まとめと今後の課題

JNES2007モデル、JNES2013Aモデル及びJNES2013Bモデルの3種モデルを使って三次元地震動シミュレーションを行った。震央位置が異なる3つの地震で検討を行った。

JNNK20以降+ボーリング地点の5種類の指標の平均から、JNES2013Aモデルでは、すべての周期帯域で0.6以上を示しており、周期0.2秒以上において”good fit”なモデルといえる。JNES2013Bモデルでは、JNNK20以降+ボーリング地点の5種類の指標の平均を見ると、周期1秒以下において指標が0.4を下回っており、JNES2013Aモデルに比べ短周期帯域の説明性が低いモデルといえる。これは、JNES2013Bモデルは水平方向にS波速度が一定のモデルであり、より短周期帯域の地震動を説明するためには、水平方向の不均質性も考慮する必要があることを示している。JNES2007モデルは、周期2秒以上においては、5種類の指標の平均が0.7を上回っており”good fit”なモデルといえるが、周期1秒以下においてアンダーソンの指標が極端に低くなる。これは、S波速度0.5 km/s未満の層をモデル化していないため、説明性が低いモデルとなったと考えられる。

各指標の全周期帯域、全観測点の平均をみると、JNES2013Aのほうが2013Bに比べ若干指標が高い。JNNK20以降およびボーリング地点の平均では同程度であるが、JNNK19以下の地点では、JNES2013Aモデルがすべての指標で高い値を示している。これは、JNES2013Aモデルが、ボーリング孔周辺のみならず、水平アレー地点全域において地盤モデルの精度が高いことを示している。JNES2013Aモデルはモデル領域全体において”good fit”な地盤モデルであり、ボーリング孔周辺では”excellent fit”に準ずる地盤モデルであることが確認できた。また、JNES2013Bモデルは、JNES2013モデルに比べやや指標が低くなっている。JNES2007は指標が0.5を下回っており、周期10-0.2秒の帯域においては”good fit”なモデルとは言えない。

以下に、本検討により明らかになった主な事項を記す。

- 周期10-8秒において、Eq1ではボーリング孔周辺では0.9程度の値を示しており、良好な結果といえる。Eq2についてもJNES2013Aモデルは概ね0.8以上である。
- 周期8-6秒においてEq1のボーリング孔周辺では0.9程度の値を示しており、良好な結果といえる。Eq2ではJNES2013Bモデルが若干指標が高い。
- 周期6-4秒、周期2-1秒において、ボーリング孔周辺では、Eq1ではJNES2013Bモデルの指標がやや低いが0.8以上を示しており良好な結果といえる。Eq2では周期8-6秒の帯域と同様にJNES2013Bモデルが若干指標が高い。
- 周期4-2秒においてボーリング孔周辺では、Eq2のJNES2013Aモデルの指標がやや低い。
- 周期1-0.5秒において、ボーリング孔周辺では、Eq2では、JNES2013AとBモデルは同程度であるが、Eq3ではJNES2013Aの指標が高い。
- 周期0.5-0.2秒においてJNES2013Aの指標が高い。
- 周期2秒以上においてはJNES2013AとBモデルは同程度の指標を示すが、フーリエスペクトル、疑似速度応答スペクトル、最大速度の1秒以下の指標はJNES2013Aモデルが高い。
- ボーリング孔周辺のアンダーソンの指標が高い。これは、ボーリング地点周辺ではボーリング孔におけるPS検層や微動アレー探査が高密度に実施されており、地盤モデルの精度が高いことを示

している。特に、JNES2013A モデルの周期 1 秒以下の帯域において指標が高くなっており、JNES2013A モデルの短周期帯域の地盤モデルの精度の高さを示している。

- アンダーソンの指標の全周期帯域および全地震の平均から JNES2013A のほうが 2013B に比べ若干指標が高いことがわかる。JNES2013A モデルが、ボーリング孔周辺のみならず、水平アレー地点全域において地盤モデルの精度が高い。
- JNES2013A モデルはモデル領域全体において”good fit”な地盤モデルであり、ボーリング孔周辺では”excellent fit”に準ずる地盤モデルである。
- ある一つの地震で指標が高い地点はそのほかの地震でも指標が高く、低い地点はそのほかの地震でも指標が低くなった。このことから、地震動評価には、観測点直下あるいは周辺の地盤モデルの精度の影響が強いと考えられる。

以下に各観測点の特徴について記す。

- ✓ ボーリング地点地表:JNES2013A、B モデルの指標は EQ1,2 では同程度。Eq3 では A モデルが高い。JNES2007 の指標も高い。
- ✓ ボーリング地点 100m:JNES2013A、B モデルの指標は EQ1,2 では同程度。Eq3 では A モデルが高い。JNES2007 の指標も高い。
- ✓ ボーリング地点 550m:JNES2013A、B モデルの指標は EQ1,2 では同程度。Eq3 では A モデルが高い。JNES2007 の指標も高い。
- ✓ ボーリング地点 3000m:JNES2013A、B モデルの指標は EQ1,2 では同程度。Eq3 では A モデルが高い。JNES2007 の指標も高い。周期 0.3 秒以下が過小評価。
- ✓ JNNK01:周期 2-1 秒の指標が低い。速度フーリエ・疑似速度応答スペクトル比の指標が低い。
- ✓ JNNK02:周期 2 秒以下の指標が低い。計算結果が過小評価。
- ✓ JNNK03:周期 1 秒以上の Eq1,Eq2 の指標は高い。周期 1 秒以下の指標が低い。
- ✓ JNNK04:全体的指標が高い。Eq3 の周期 0.5-0.2 秒の指標が低い。
- ✓ JNNK05:全体的指標が高い。Eq3 の周期 0.5-0.2 秒の指標は 0.6 程度である。
- ✓ JNNK06:全体的指標が高い。短周期の指標も高い値を示している。
- ✓ JNNK07:周期 0.5 秒以下が過小評価であり、指標が低い。
- ✓ JNNK08:全体的指標が高い。短周期のスペクトル比の指標が高い。
- ✓ JNNK09:周期 2-1 秒が過大評価。
- ✓ JNNK10:周期 1 秒以下の指標が低い。
- ✓ JNNK11:Eq2、Eq3 において JNES2013B がやや過大評価。JNES2013A は指標が高い
- ✓ JNNK12:JNES2013B モデルの指標が概ね 0.6 以上である。
- ✓ JNNK13:周期 4-1 秒程度が過大評価。Eq3 の周期 1 秒以下の指標は概ね高い(JNES2013A)。
- ✓ JNNK14:周期 1 秒以上は JNES2013A、B とも指標が高い。周期 1 秒以下は A モデルの指標が低い。
- ✓ JNNK15:JNES2013A モデルの指標が概ね 0.6 以上。Eq3 の周期 1 秒付近は過大評価

- ✓ JNNK16:JNES2013A モデルの指標が高い。周期 1 秒以下でも指標が 0.8 を超えている。
- ✓ JNNK17:JNES2013A モデルの指標が高い。
- ✓ JNNK18:周期 1 秒付近の指標が低い。
- ✓ JNNK19:JNES2013A モデルの指標が短周期を含めても高い。
- ✓ JNNK20:JNES2013A モデルの指標が短周期を含めても高い。
- ✓ JNNK21:Eq1,Eq2 において周期 2 秒程度が過大評価
- ✓ JNNK22:JNES2013A モデルの指標が短周期を含めても高い。
- ✓ JNNK23:JNES2013A モデルの指標が短周期を含めても高い。
- ✓ JNNK24:JNES2013A モデルの指標が短周期を含めても高い。
- ✓ JNNK25:JNES2013A、B モデルの指標は EQ1,2 では同程度。Eq3 では A モデルが高い。
- ✓ JNNK26:JNES2013A、B モデルの指標は EQ1,2 では同程度。Eq3 では A モデルが高い。
- ✓ JNNK27:JNES2013A、B モデルの指標は EQ1,2 では同程度。Eq3 では A モデルが高い。
- ✓ JNNK28:JNES2013A、B モデルの指標は EQ1,2 では同程度。Eq3 では A モデルが高い。

周期1秒以下では、アンダーソンの指標が周期1秒以上に対して概ね 0.2 程度小さい。JNES2013A、B モデルでは、地震記録の増幅特性を説明するようにモデルがチューニングされているが、観測点近傍で実施された表面波探査の記録と比較すると必ずしも観測記録を説明できていない。今後は、表面波探査記録や微動の H/V スペクトルデータを用いて表層地盤の精度を向上させ、周期 0.5 秒以下のモデルの精度をさらに向上させる必要がある。さらに、ボーリング地点から離れた地点では長周期帯域についてもアンダーソンの指標が低い地点が散見された。それらの地点については再度地震波増幅特性、微動 H/V スペクトル、表面波探査結果を説明できるような地盤のモデル化が必要であると考えられる。

### [3.1参考文献]

- [1] 新潟工科大学:平成26年度原子力施設等防災対策等委託費(安全性向上評価に向けた経年変化を考慮した配管の耐震性評価手法の高度化に係る調査・研究)事業 業務成果報告書 平成 27 年3月
- [2]平成 19 年度 2007 年新潟県中越震・震源周辺地域の地下構造モデルの作成及び物理探査による活断層検知精度の検討 技 術 資 料, (独)原子力安全基盤機構, 2007 年 3 月
- [3](独)原子力安全基盤機構(2013) : 地震動評価のための三次元地下構造モデルの作成手引き, (独)原子力安全基盤機構 JNES-RE-2013-2016, 2013 年 11 月
- [4] [http://www.jishin.go.jp/main/chousa/12\\_choshuki/dat/](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/12_choshuki/dat/)
- [5] 引間和人・鈴木晴彦・三宅弘恵・古村孝志・瀬瀬一起(2007):新潟地域の3次元速度構造一次モデルの構築, 日本地震学会 2007 年秋季大会
- [6] Virieux, J(1986):P-SV wave propagation in homogeneous media: Velocity-stress difference method, *Geophysics*, 51, 889-901.
- [7] Levander, A. R. (1988) :Fourth-order finite-difference P-SV seismograms, *Geophysics*, 53, 1425-1436.
- [8] Graves, R.W.(1996):Simulating seismic wave propagation in 3D elastic media using staged-grid finite differences, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 86, 1091-1106.
- [9] Robertsson, J.O.A.,Blanch,J.O.,and Symes, W.W.(1994) :Viscoelastic finite-difference modeling, *Geophysics*, 59, 1444-1456.
- [10] Cerjan, C., D. Kosloff, R. Kosloff and M. Reshef: (1985) :A nonreflecting boundary condition for discrete acoustic and elastic boundary condition, *Geophysics*, 50, 705-708.
- [11] <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/catalog/appendix/trtime/tjma2001.zip>
- [12] 川瀬 博・松尾秀典(2004):K-NET, KiK-net, JMA 震度計観測網による強震動波形を用いた震源・パス・サイト各特性の分離解析, 日本地震工学会論文集, **4**, 1,34-52.
- [13] Anderson, J.G.. (2004) Quantitative measure of the goodness-of-fit of synthetic seismograms, 13th World Conference on Earthquake Engineering, 243.