

3.3. 断層帯周辺における地震動予測の高度化のための研究

目次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 3カ年の年次実施計画
 - 1) 平成24年度
 - 2) 平成25年度
 - 3) 平成26年度
- (e) 平成24年度業務目的

(2) 平成24年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の方法
- (c) 業務の成果
 - 1) 立川断層帯周辺における深部地下構造が地震動特性に及ぼす影響
 - 2) 立川断層帯周辺地域の深部地下構造の推定
 - 3) 微動アレイおよび微動単点観測による深部地下構造に関する情報収集
- (d) 結論ならびに今後の課題
- (e) 引用文献

(3) 平成25年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 断層帯周辺における地震動予測の高度化のための研究

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人東京工業大学	教授	山中 浩明
国立大学法人東京工業大学	産学官連携研究員	佐口 浩一郎

(c) 業務の目的

サブテーマ 1 および 2 で得られた成果および既存の調査研究の結果を基に、立川断層帯における震源断層モデルおよび地下構造モデルを構築し、本断層帯周辺地域における強震動評価の高精度化を図る。

(d) 3 カ年の年次実施計画

1) 平成 24 年度:立川断層帯周辺の地下構造や地盤増幅特性に関する既存の資料の収集と整理を行った。さらに、本断層帯周辺において微動観測を実施すると同時に地震観測点で得られている地震記録の分析を行い、その結果に基づいて本断層帯周辺の地下構造モデルを構築した。

2) 平成 25 年度:サブテーマ 1 および 2 による成果と初年度で収集した資料を考慮し、本断層帯の震源断層モデルの構築を行う。また、必要に応じて微動観測を行い、地下構造モデルの精度を高める。得られた震源および地下構造モデルを用いた地震動予測を試行的に行う。

3) 平成 26 年度:サブテーマ 1 および 2 による成果を考慮して本断層帯の南方延長領域までを考慮した震源および地下構造のモデル化を行う。さらに、微動観測を補足的に行い、地下構造モデルの精度を高め、より広い領域を対象とした地震動予測を実施する。

(e) 平成 24 年度業務目的

立川断層帯周辺の地下構造や地盤増幅特性に関する既存の資料の収集と整理を行う。さらに、本断層帯周辺において微動観測を実施すると同時に地震観測点で得られている地震記録の分析を行い、その結果に基づいて本断層帯周辺の地下構造モデルを構築する。

(2) 平成 24 年度の成果

(a) 業務の要約

本業務では、立川断層帯周辺の地下構造や地盤増幅特性に関する既存の資料の収集として、まず立川断層帯周辺における深部地下構造が地震動特性に及ぼす影響を把握することを目的として、本断層帯周辺地域において観測された 2011 年東北地方太平洋沖地震の本震記録のフーリエスペクトル解析より長周期地震動特性の評価を行った。解析の結果、立

川断層帯を挟んで振幅および卓越周期などその地震動特性には明確に差異が現れ、当該地域における強震動特性には立川断層帯の段差構造が大きく寄与していることが示唆された。次に立川断層帯周辺地域における強震動予測のための3次元地下構造モデルを構築することを目的として、レシーバー関数法を用いた解析から、立川断層帯周辺地域の深部地下構造を推定した。解析の結果、基盤深度は北東に向かって急激に深くなり、その段差は概ね2.3km程度であることが示唆された。さらに、地下構造モデルの精度向上のため、微動アレイ観測および微動単点観測を実施し、地震動記録を含む地盤情報に関する実測資料が得られた。

(b) 業務の方法

まず立川断層帯周辺地域において観測された2011年東北地方太平洋沖地震の本震記録のフーリエスペクトル解析から、本断層帯周辺地域における卓越周期分布を求め、堆積層の厚さとの対応についての検討を実施した。次に本断層帯周辺地域においてK-NET、KiK-netおよびSK-netにより観測された中小地震記録からレシーバー関数を算出し、焼きなまし法による逆解析から当該地域における深部地下構造の同定を実施した。レシーバー関数の算出には各観測点から震央距離100km以内の約70地震($M_j=4.5$ 以上)から各観測地点で得られている20~50の地震を使用し、解析区間はP波初動より約5秒間とした。さらに、本断層帯の東西にそれぞれ4地点および5地点の計9地点においてアレイ半径400~2000mの微動アレイ観測を実施した。各観測地点の観測には3成分の加速度計7台を1組とし、小アレイおよび大アレイにおいてそれぞれ30分間と60分間の2回の観測を実施した。また、本断層帯を北東~南西に横切る8~10kmの9測線で30~34点による単点微動観測を実施した。観測には3成分の加速度計を使用し、各観測点で5~10分間の観測を実施した。

(c) 業務の成果

1) 立川断層帯周辺における深部地下構造が地震動特性に及ぼす影響

図1に示す各測線における2011年東北地方太平洋沖地震の速度波形を図2~図4にそれぞれ示す。なお、各波形の水平成分はNSおよびEW成分からRadialおよびTransverse成分に変換した後に周期5~20秒のバンドパスフィルターを施してある。図2に示す測線Aでは、全観測点で主要動の振幅はほぼ一定である。これに対して、図3に示す測線Bでは立川断層帯を挟んだ観測点間で明瞭な差異が現れている。すなわち、断層の東に位置する観測点(TKY2200:SK-net)では西に位置する観測点に対して概ね3~4倍程度振幅が大きく、また主要動の後に振幅の大きな後続位相が現れている(図3)。このことから、立川断層帯が基盤に大きな段差構造を有している(山中ほか,1999)ことが推測できる。一方、図4に示す測線Cでは測線Bのような現象は見られない。したがって、名栗断層帯では大きな段差構造を有していないと考えられる。同時に、フーリエスペクトルからの卓越周期分布を求めた。ここで、対象とする周期帯は0.5秒~10秒としている。図5に立川断層帯周辺における水平動成分のフーリエスペクトル(2成分合成)の卓越周期分布を示す。図5より、立川断層帯の東側の観測点では概ね周期3~4秒程度が卓越しているのに対して、断層帯の西側での卓越周期は概ね1秒程度となっている。また、卓越周期分布は基盤上面の

深度（図 1）とはあまり対応していない。同様に図 6 に Radial 成分/Vertical 成分の卓越周期分布を示す。図 6 より、立川断層の南部分における断層の東側の観測点では概ね周期 5~8 秒程度が卓越しているのに対して、断層の西側での卓越周期は概ね 2 秒以下となっている。このように立川断層の南部分では断層を挟んで地震動の振幅および卓越周期に明確に差異が現れることが明らかになった。したがって立川断層における強震動特性には断層の段差構造が大きく寄与していることが示唆された。これに対して、名栗断層周辺では卓越周期に大きな差異は認められず、大きな段差構造を有していないと考えられる。

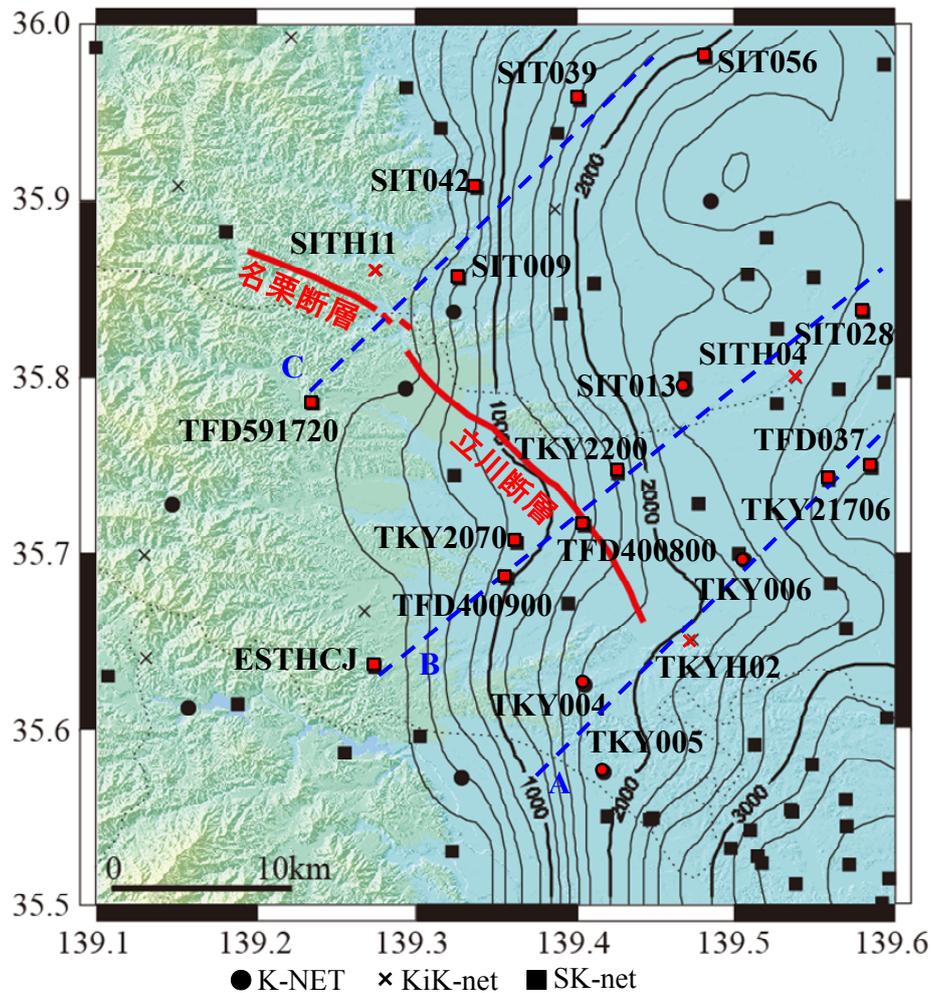


図 1 立川断層帯周辺における地震観測点

図中のコンターは地震調査研究推進本部地震調査委員会（2009）による地震基盤上面（ $V_s=3.2\text{km/s}$ ）の深度分布（地震調査研究推進本部地震調査委員会：以下「推本」）

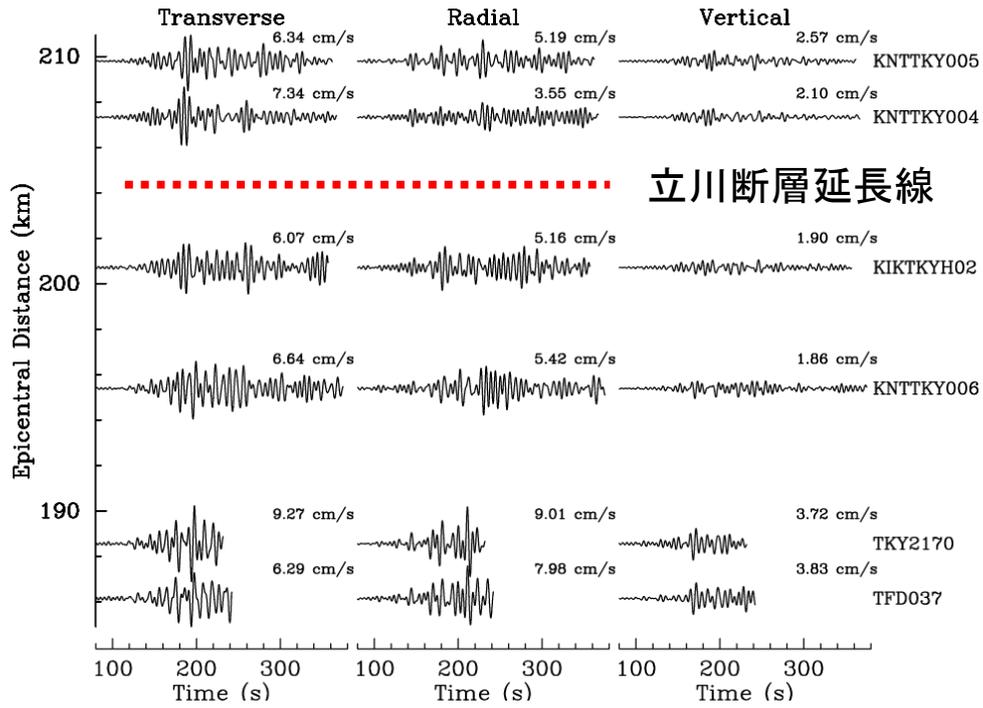


図 2 測線 A における各観測点の速度波形

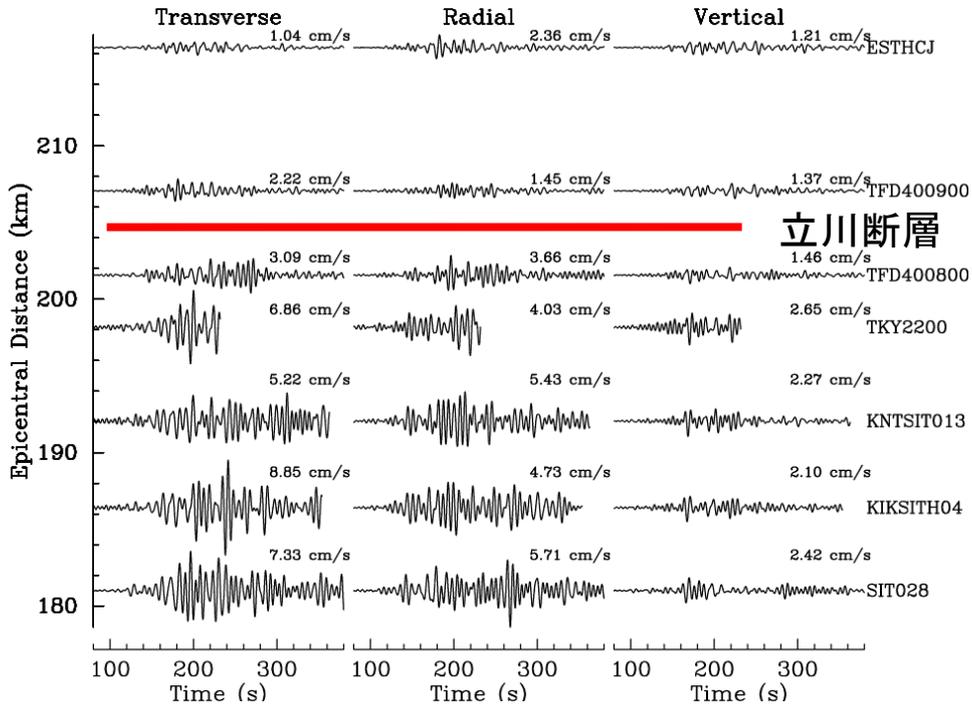


図 3 測線 B における各観測点の速度波形

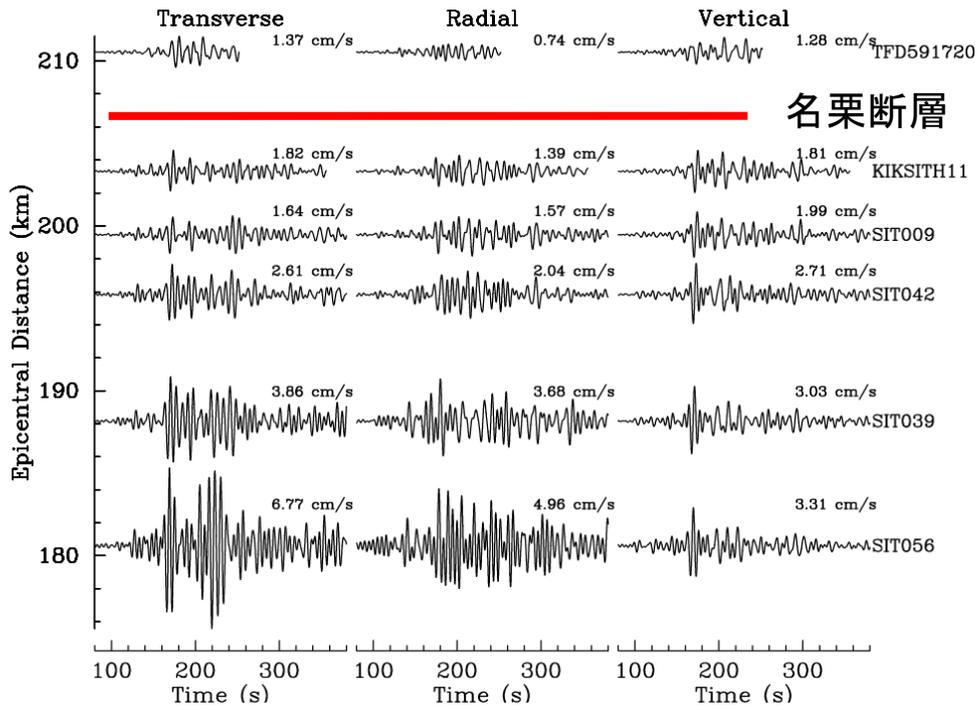


図 4 測線 C における各観測点の速度波形

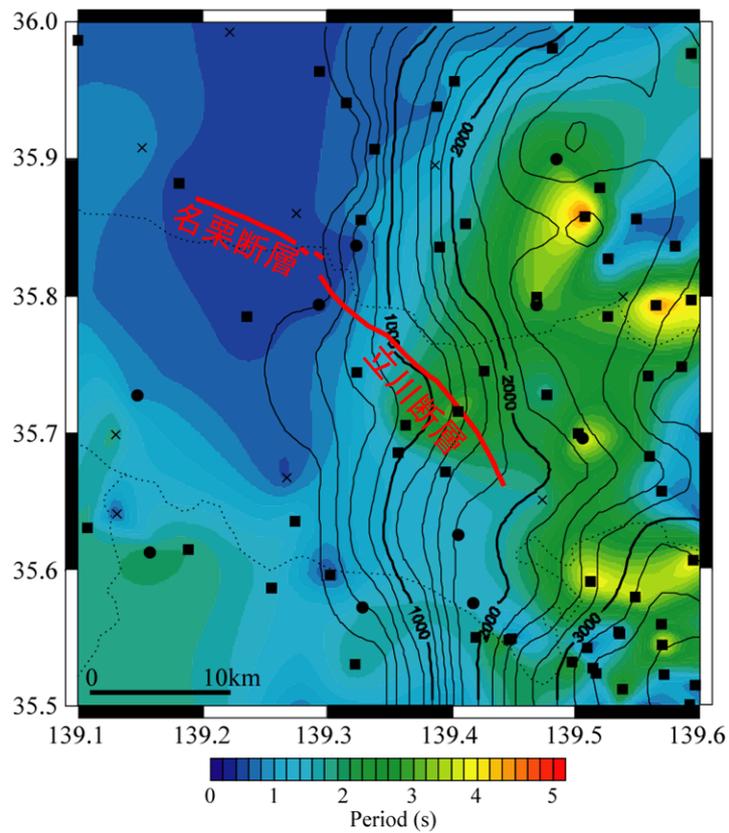


図 5 卓越周期分布 (水平動成分)

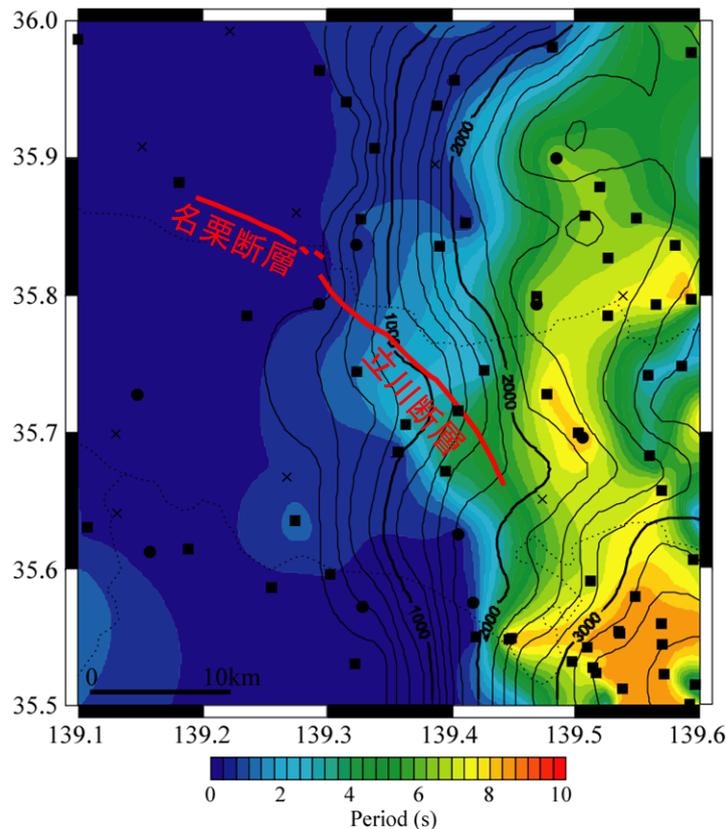


図 6 卓越周期分布 (Radial/Vertical 成分)

2) 立川断層帯周辺地域の深部地下構造の推定

本断層帯周辺地域において観測された中小地震記録からレーシーバー関数を算出し、焼きなまし法を用いた逆解析により本断層帯周辺地域の深部地下構造を推定した。逆解析の結果、図 7 に示す各観測点における P 波および S 速度構造が得られた。図 7 に示すように立川断層の西側に位置する TKY2070 (SK-net) と東側に位置する TKY2200 (SK-net) における堆積層の厚さはそれぞれ 0.28km と 2.6km であった。得られた各観測点の速度構造より 3 次元地下構造モデルの構築を行った。これにより、本断層帯周辺地域における深部地下構造は表 1 および図 8 に示す 4 層から構成される堆積層と地震基盤 ($V_p=5500\text{m/s}$ 、 $V_s=3200\text{m/s}$) から構成されており、立川断層中央部において基盤は北東に向かって急激に深くなっていることが示唆された。さらに構築した 3 次元地下構造モデルの妥当性を検証するため、立川断層近傍における既往の微動アレイ探査 [山中・山田(2002), 松岡・白石(2002), 岡嶋・他(2000)] により得られているレイリー波位相速度と本研究において構築した 3 次元地下構造モデルから算出した位相速度の比較を行った。図 9 に示す比較結果より、本研究によるレイリー波位相速度と既往の観測値とは概ね調和的であり、このことから本研究で構築した 3 次元地下構造モデルが一定の妥当性を有しており、立川断層近傍では現行の推本による地下構造モデルを補強するのに十分であると考えられる。

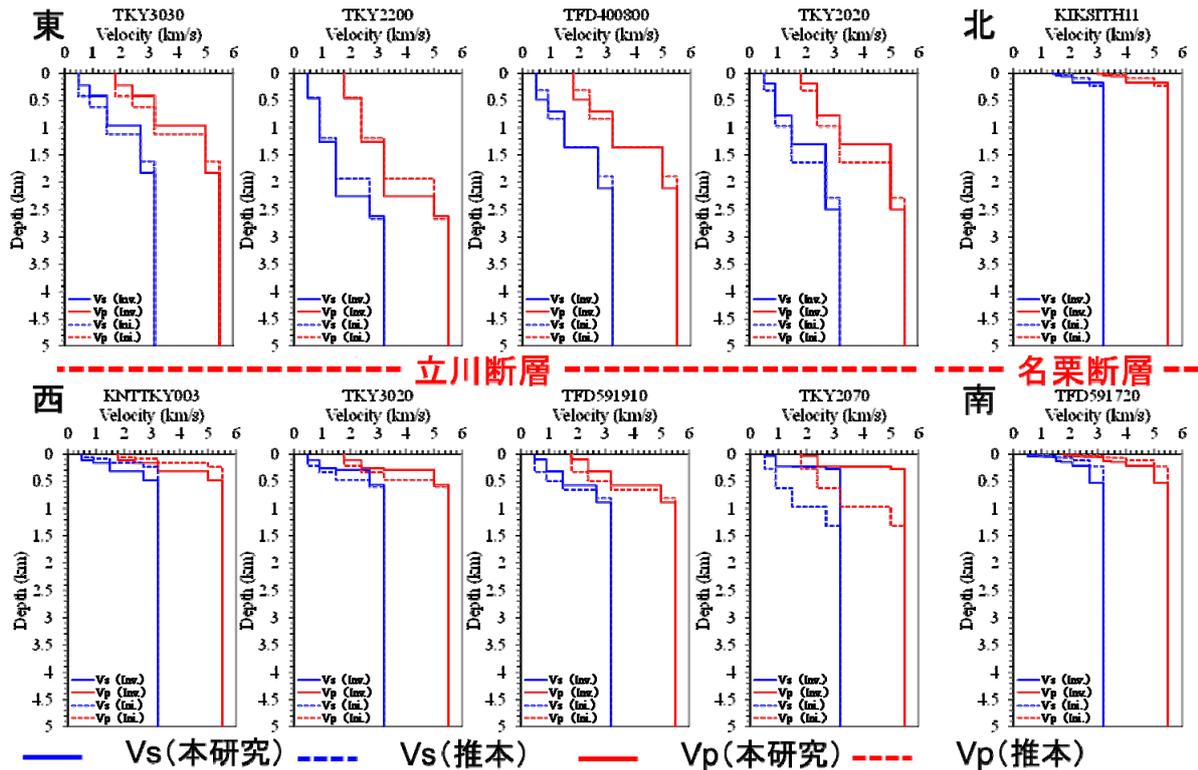


図7 インバージョンにより得られた各観測点における速度構造の例
 実線は同定結果による速度構造、破線は初期モデルとして使用した全国地震動予測地図
 (地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2009) による速度構造

表1 各堆積層(第1~4層)および地震基盤(第5層)の物性値

	ρ (t/m ³)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Q
1	1.90	1800	500	60
2	2.05	2400	900	100
3	2.25	3200	1500	150
4	2.50	5000	2700	200
5	2.65	5500	3200	300

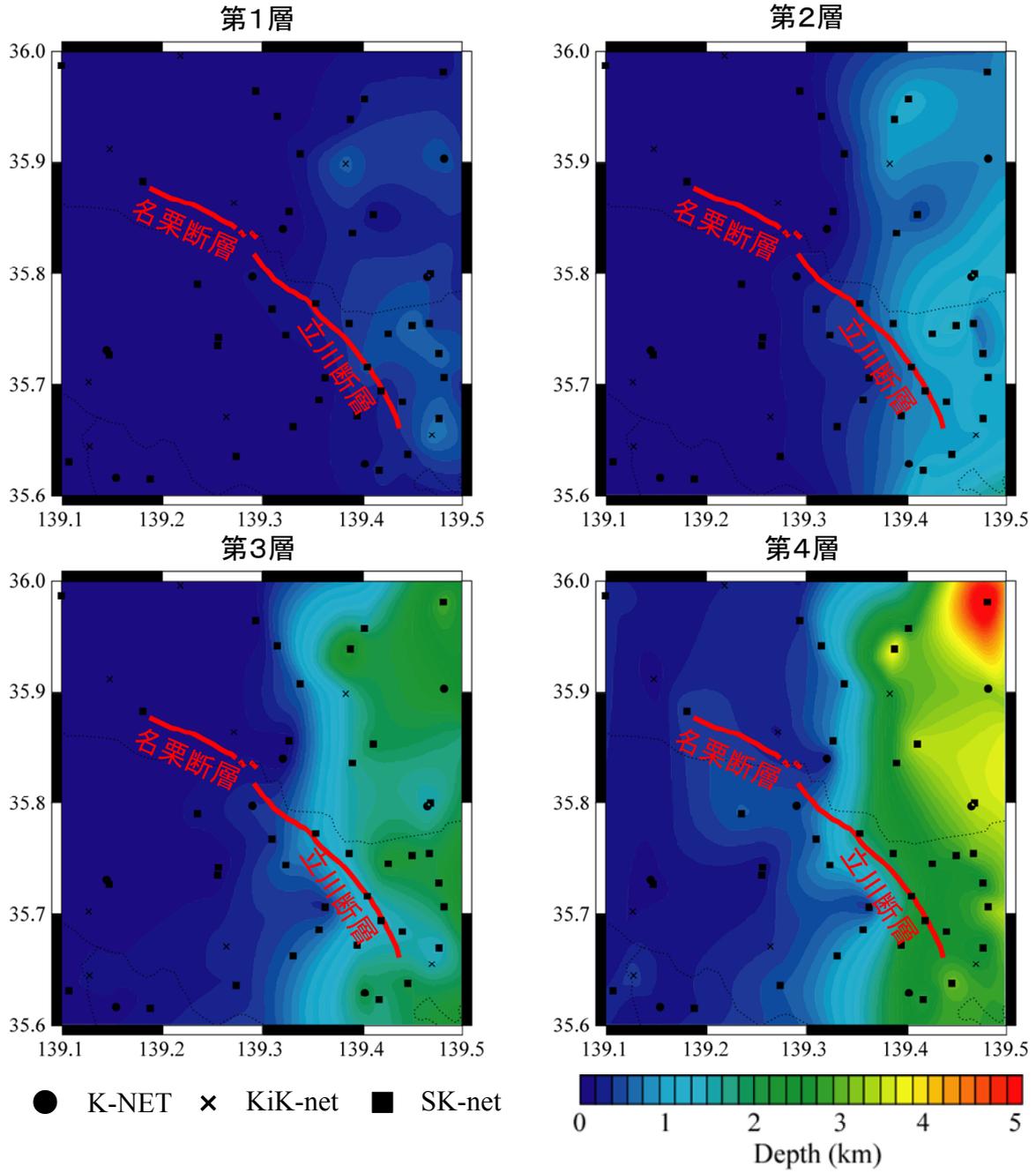


図8 インバージョンにより得られた3次元地下構造モデルにおける各層下面の深度分布

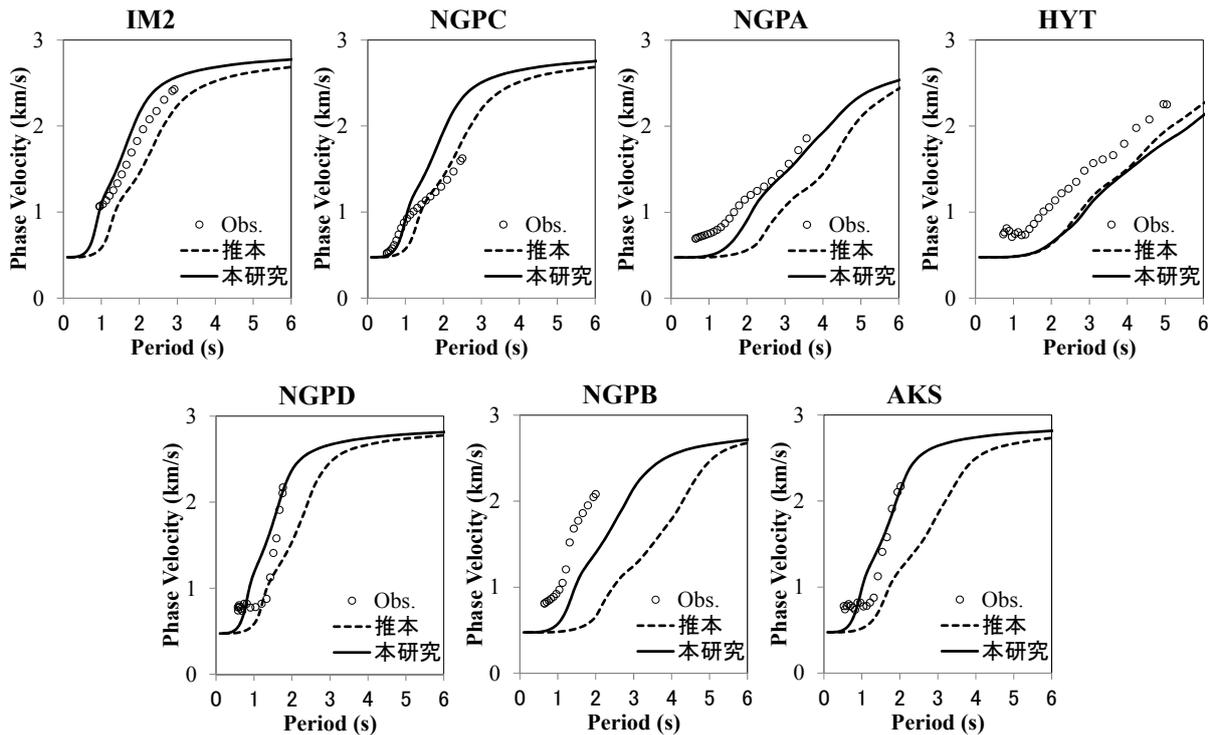


図9 既往の微動アレイ探査により得られたレイリー波位相速度と本研究において構築した3次元地下構造モデルから算出した位相速度の比較

3) 微動アレイおよび微動単点観測による深部地下構造に関する情報収集

図10に示す9地点におけるアレイ微動探査では各観測地点において周波数-波数法（F-K法）解析から図11に示すように、周期0.5秒～5秒程度までの範囲でレイリー波位相速度の分散曲線が得られた。レシーバー関数の逆解析より構築した3次元地下構造モデルから算出した位相速度の比較を行い、図11に示す比較結果より、本研究によるレイリー波位相速度と既往の観測値とは概ね調和的であった。一方、FUSでは既往の推本によるモデルでは観測値を説明することは出来ないため、モデル改良の余地があることが明らかになった。また、微動単点観測では図10に示す9測線（268地点）において良好な記録が得られており、特にL1測線においては24時間連続観測を実施し、図12に示す実地震動記録も得られている。これは、地震観測点がほとんどない名栗断層近傍での貴重な実測資料である。また、図10内におけるL1-1は測線の中で最も西側に位置する観測点であり、L1-8は最も東側に位置する観測点である。なお、微動単点観測における詳細な検討は次年度に実施する。

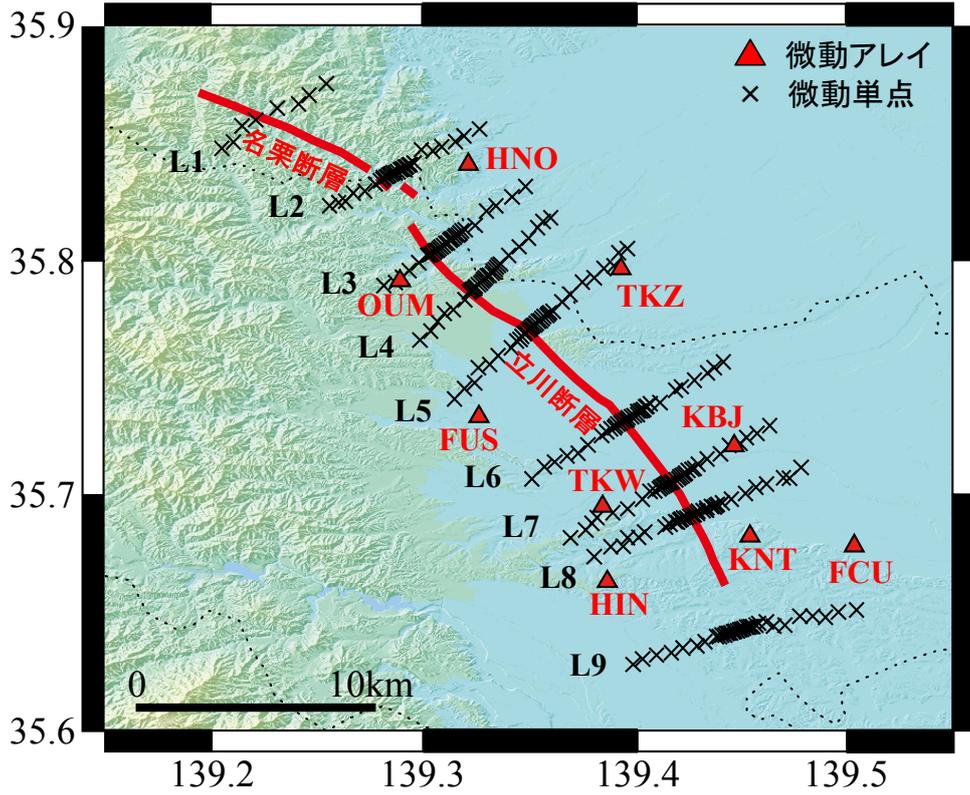


図 10 本研究で実施した立川断層帯周辺における微動アレイ観測および微動単点観測

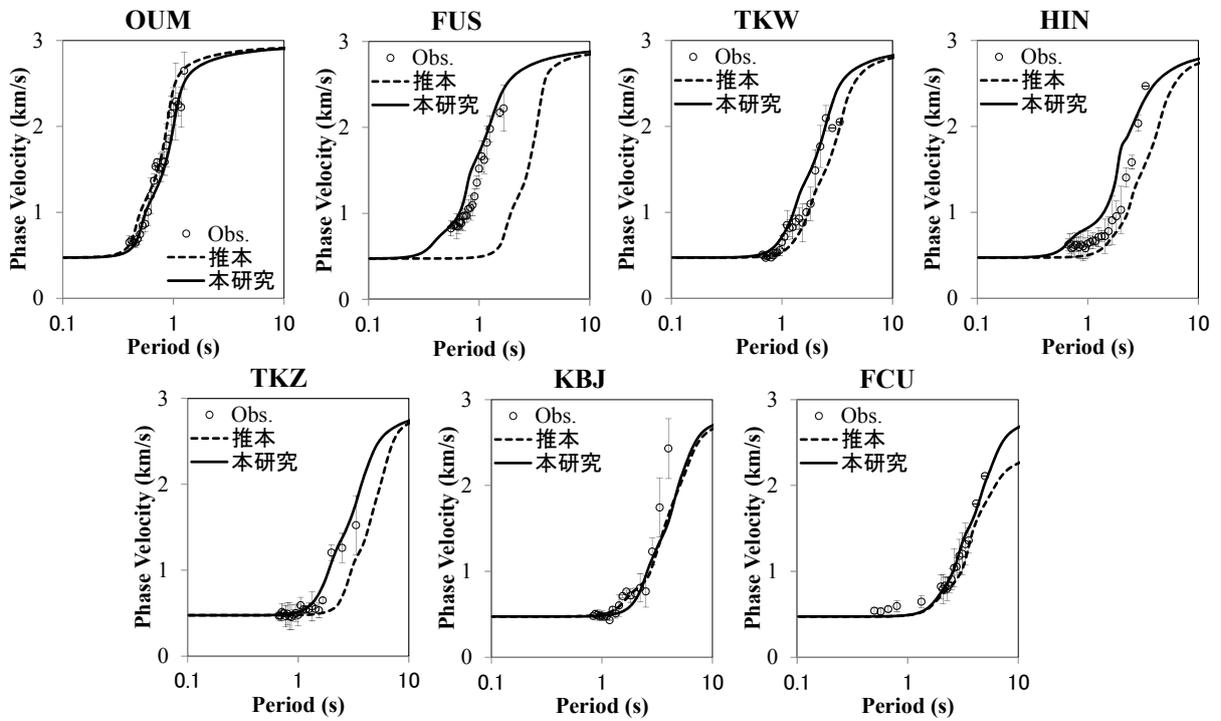


図 11 本研究による微動アレイ探査により得られたレイリー波位相速度と構築した 3 次元地下構造モデルから算出した位相速度の比較

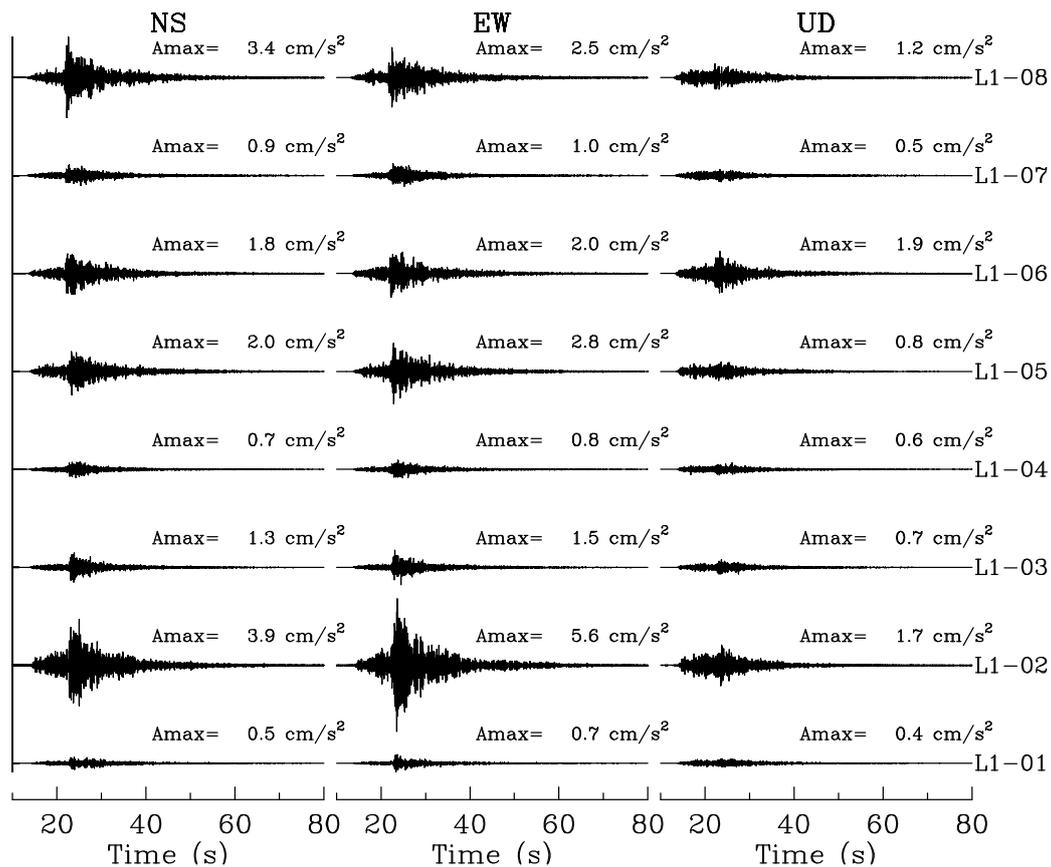


図 12 本研究による微動単点観測 (L1 測線) により得られた 2012 年 10 月 31 日の茨城県南部を震源とする地震 ($M_j=4.5$, $h=40\text{km}$) の加速度記録

(d) 結論ならびに今後の課題

立川断層周辺地域における地震観測記録を用いたレーザー関数法と微動アレイ探査により 3 次元地下構造モデルを構築し、これまで明らかにされていなかった立川断層ごく近傍の詳細な深部地盤構造が明らかになった。今後は構築した 3 次元地下構造モデルの更なる精度向上が課題であり、レーザー関数、微動アレイ探査および微動単点観測データによる総合的な解析と解釈による 3 次元地下構造モデルの構築を目指す。さらに、サブテーマ 1 および 2 による成果を考慮し、本断層帯の震源断層モデルの構築し、得られた震源および地下構造モデルを用いた地震動予測を実施する。最終的には複数ケースにて震度予測を行い、計算結果を平均とばらつきで示す予定としている。また詳細な地盤モデルを推定する地点では非線形特性も考慮した強震動評価をする予定としている。

(e) 引用文献

- 地震調査研究推進本部地震調査委員会：「長周期地震動予測地図」2009 年試作版，
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_choshuki/choshuki2009.pdf.
 松岡達郎・白石英孝：関東平野の深部地下構造の精査を目的とした微動探査法の適用性—
 埼玉県南部地域の三次元 S 波速度構造の推定—，物理探査，55，2，127-143，2002.
 岡嶋眞一・吉田武志・山中浩明・中山俊雄・中村正明：微動アレイ観測による立川断層北

部周辺の基盤構造の推定、日本地震学会講演予稿集(2000年度秋季大会), A79, 2000.
山中浩明・栗田勝実・山田伸之・瀬尾和大：立川断層における深い地盤構造の探査，地震
2, 52, 351-360, 1999.
山中浩明・山田伸之：微動アレイ観測による関東平野の3次元S波速度構造モデルの構築，
物理探査, 55, 1, 53-65, 2002.

(3) 平成25年度業務計画案

サブテーマ1および2による成果と初年度で収集した資料を考慮し、本断層帯の震源断層モデルの構築を行う。また、必要に応じて微動観測を行い、地下構造モデルの精度を高める。得られた震源および地下構造モデルを用いた地震動予測を試行的に行う。