

3-4 揺れやすさマップと 630 松本地震の震度

今回作成した「揺れやすさマップ」は地震の際の揺れやすさを地域（マス目）ごとに色分けしたものでした。「揺れやすさマップ」の基となった地盤モデルができていますので、今後発生するであろう様々な地震の際の予測震度を求めることもできますが、ここでは地盤モデルの有効性を確認するために、630 松本地震のシミュレーション結果を見てみましょう。

図 3-4a は今回作成した地盤モデルを使って 630 松本地震と同じ震源で同規模の地震が発生したと仮定した場合の計測震度を計算で求めたものです。

図 3-4a の上の図は各マス目の地下の工学的基盤（建築支持基盤）面上での震度のちがいを色で表しています。震央付近は濃い赤（震度 5 強）で、震央から離れるに従い黄～緑色（震度 5 弱）へと同心円状に色が変化しています。

図 3-4a の下の図は地震波が工学的基盤（建築支持基盤）の上位にある軟弱な地層を含む地盤を通過し、地表へ達したところで計測される震度を示しています。震央付近ではもちろん震度は大きくなりますが（震度 5 強）、地下の工学的基盤面上での震度（図 3-4a の上の図）に比べると、非常に複雑な震度分布となり、震央から離れた数地域で震度 6 弱が出現します。

図 3-4b は図 3-4a の下図を柱状グラフとして示したものです。柱の色は図 3-4a 下図と同じですが、震度が大きいマス目ほど高い柱として表現して、周囲より（計算された）計測震度が大きい地域を際立たせています。震央から離れた松本駅周辺や、南松本駅の東側（並柳地域）などでまわりの地域より震度が高いことがよくわかります。

図 3-4c は、図 3-4b と全く同じ範囲のアンケート調査によって求められた震度（アンケート震度）の分布図です。震度階級ごとに柱の色と高さを変えた柱状グラフとして表現しました。柱がないところは、田畑など人が住んでいないところ、あるいはアンケートが十分回収できず計算ができなかった地域です。図 3-4b、c の上下の図を比較してみると、アンケート震度が周辺より高い地域は、図 3-4a（下の図）や図 3-4b に示されているように、地盤モデルによって計算された地表の計測震度が高い地域とおおよそ一致することがわかりました。もちろんすべてが正確に一致するわけではありませんが、このような傾向が見られるということは、630 松本地震の際の複雑な震度の分布を生んだ大きな要因に、“地盤の違い”があることは間違いありません。このことから計算に使用した地盤モデルが十分信頼できる妥当性の高いものだと判断できます。

したがって、このモデルから作成した「揺れやすさマップ」はこれから起こるであろう地震災害の減災対策をはかる上で大いに役立つものと期待できます。

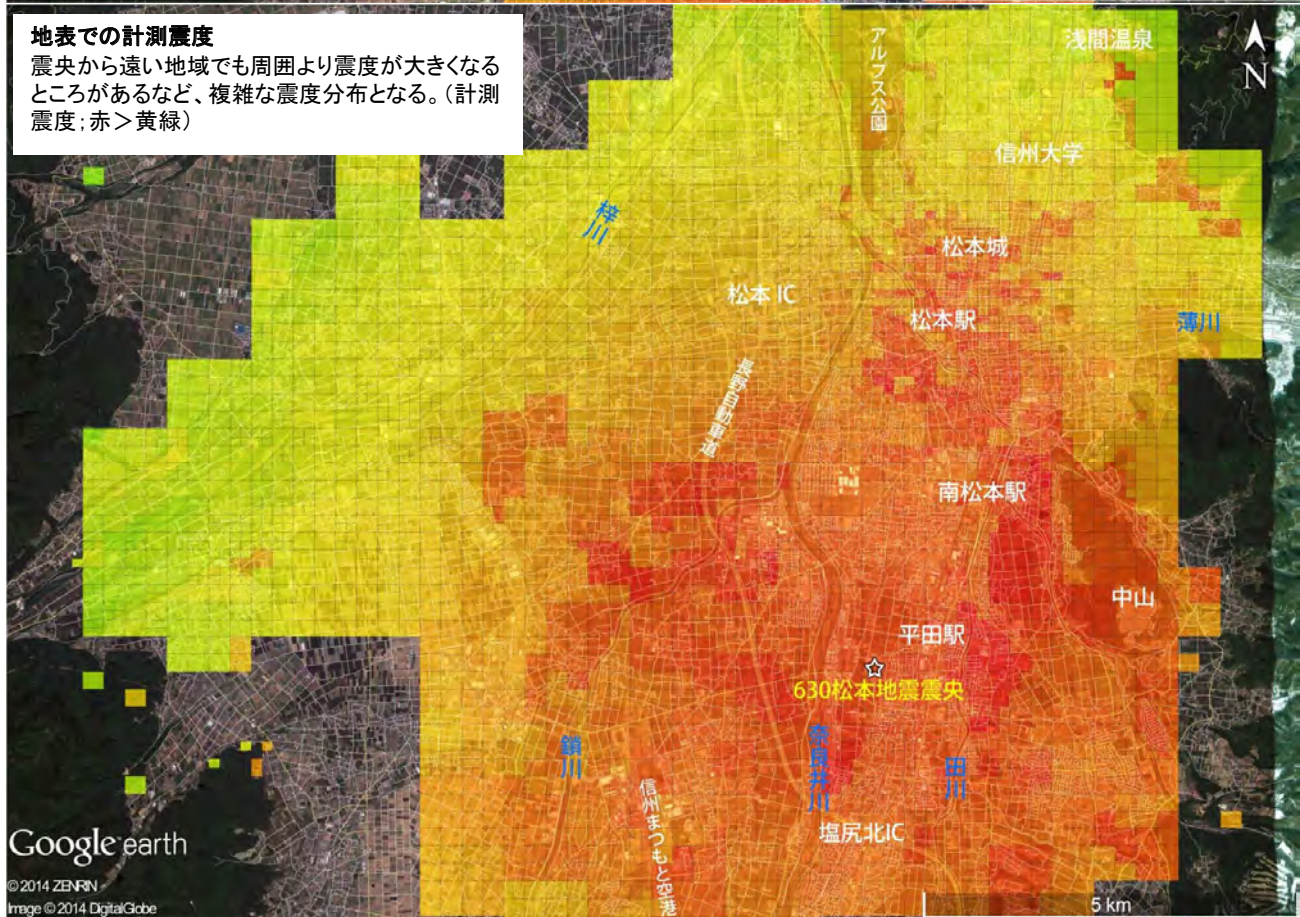
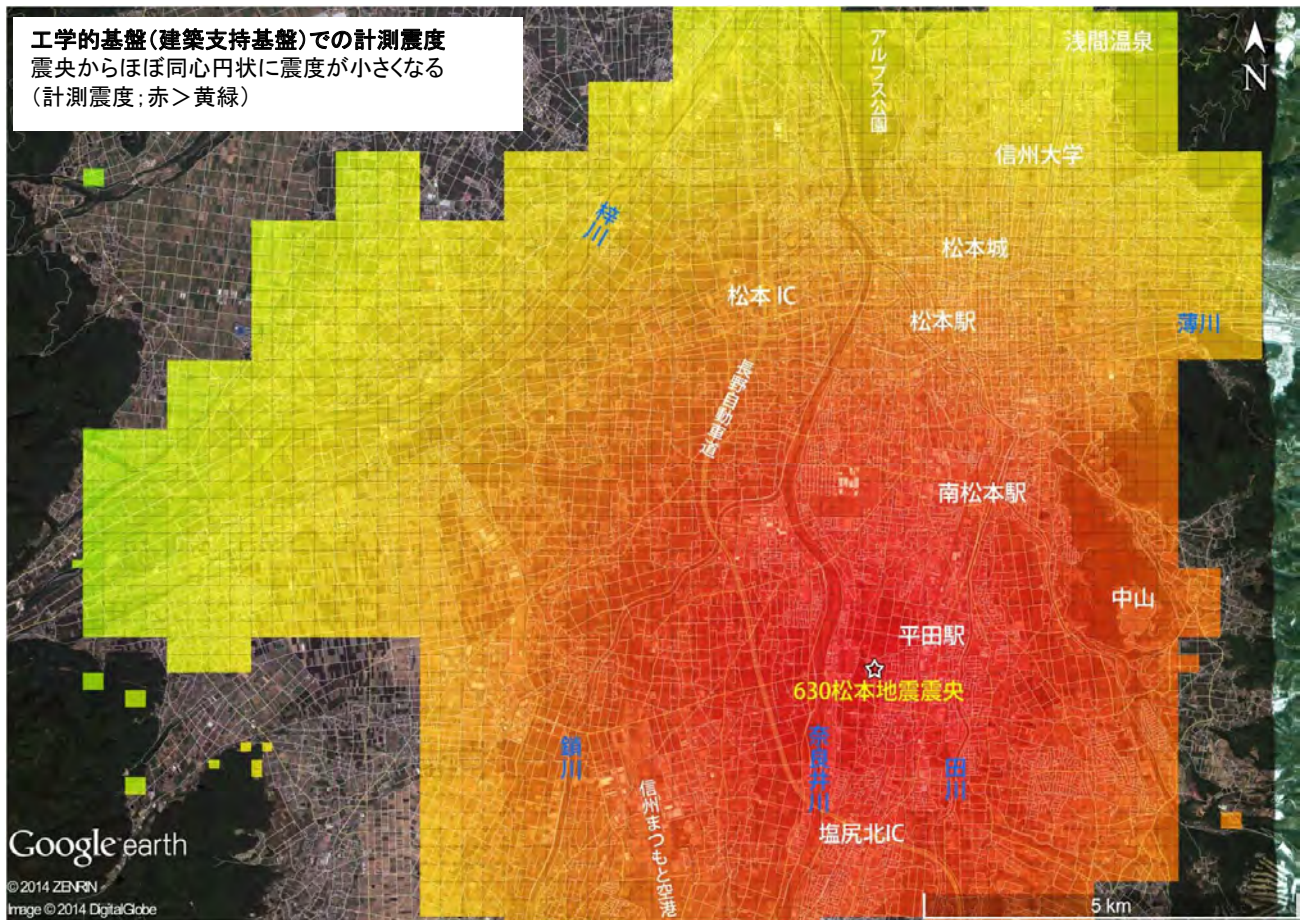


図3-4a 新しい地盤モデルでの630松本地震シミュレーション震度

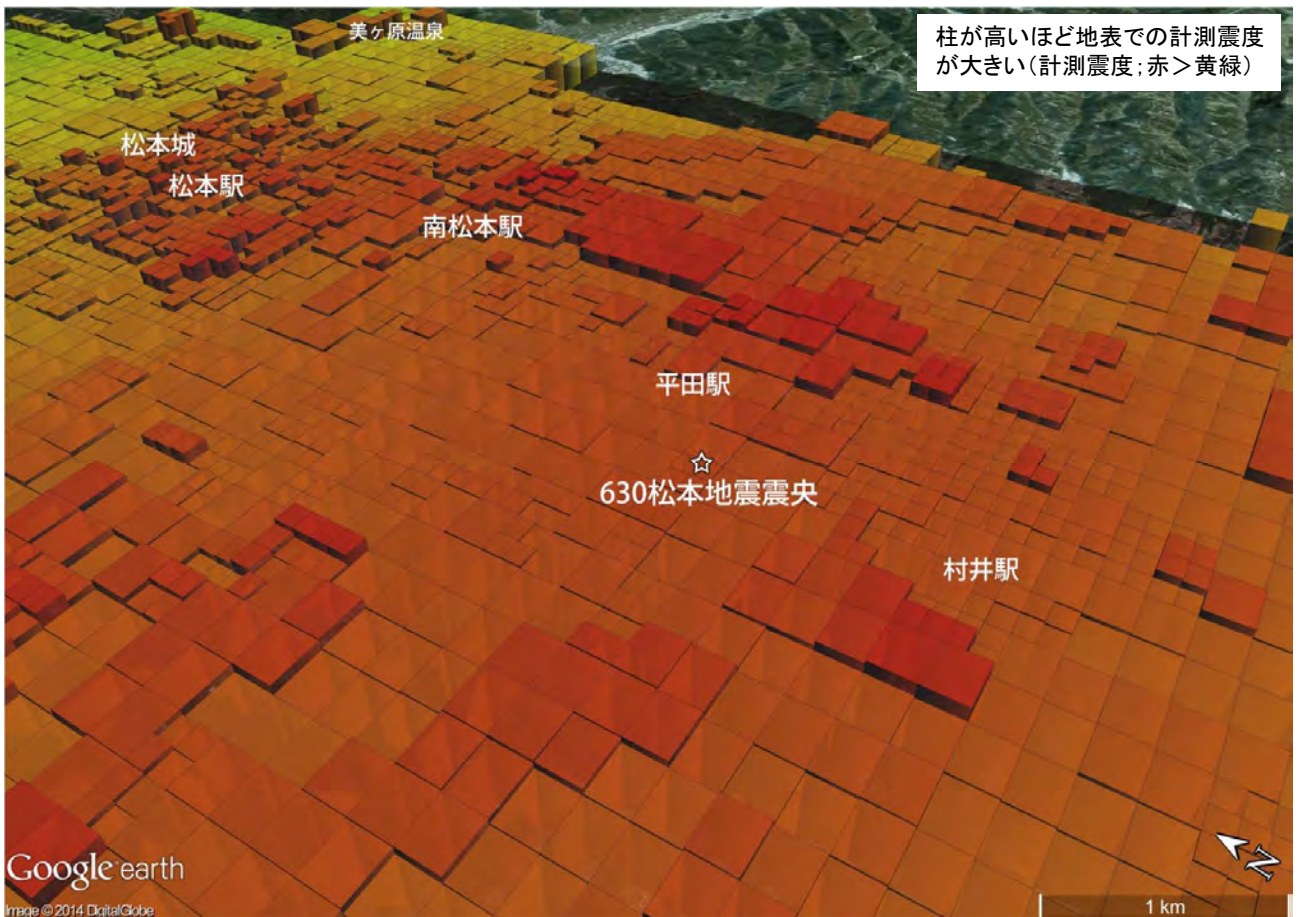


図3-4b 630 松本地震シミュレーションによる計測震度

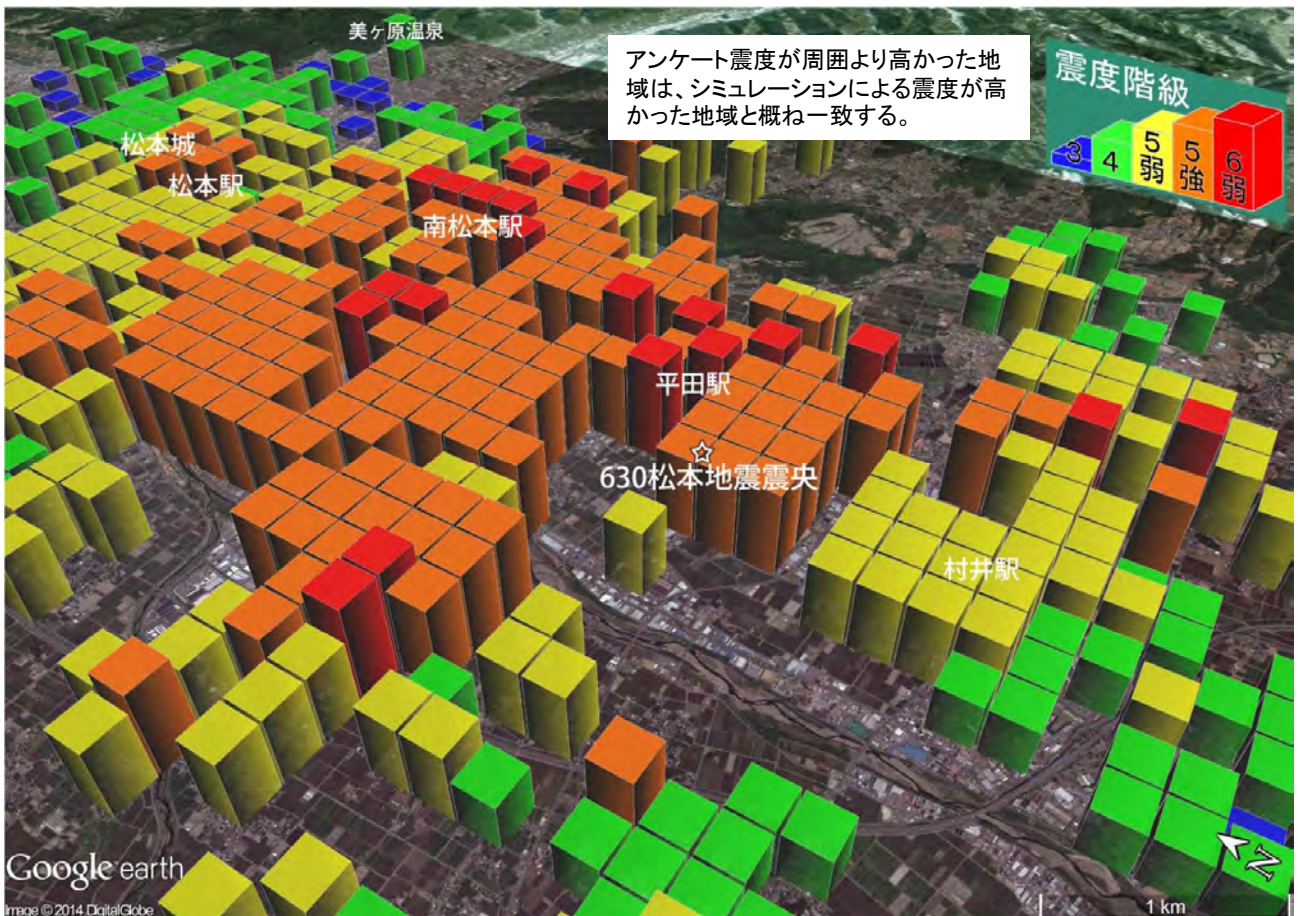


図3-4c 630 松本地震のアンケート震度

3-5 微動アレー探査による松本市の地下構造の特徴

3-5-1 微動アレー探査の目的と探査地点の選定

微動アレー探査の目的

ここでは微動アレー探査という地下探査の観測で得られた、松本盆地の地下構造について解説を行います。微動アレー探査の手法や原理についての説明はここでは割愛いたします。興味のある方は、用語解説（5章）の該当部分をお読み下さい。

微動アレー探査でわかるのは地下数 km までの地震波の S 波速度構造です。S 波の速度は地盤・岩盤の強度を反映しており、いわゆる軟弱な地盤ほど速度が小さくなり、硬い十分な支持力を持つ地盤ほど速度が大きくなります。地下の地盤・岩盤の S 波速度構造がわかると、地震の発生時に震源断層で生じた震動がどのように減衰・増幅されて地表の揺れとなるかが正確にシミュレーションできるようになります。言い換えると、地下の S 波速度構造が判明していれば、強度（マグニチュード）や震源からの距離の異なる様々な地震波をプログラムに入力することで、地表の震度や地震波パターンを求めることができます。これは建造物にどのような地震の揺れが加わるのか、仮想実験できることを意味しております。

630 松本地震が生じた結果、盆地深部に伏在する活断層が松本盆地の地下にあることが明らかになりました。今までの断層の探査では、断層の動きによって生じた地表部のズレ(変位)に基づいて活断層かどうかを判断していました。今回の震源域では断層によるズレは発見されていませんでしたので、松本盆地のように河川の氾濫や土砂の堆積が頻繁に起こるような地域では断層のズレが消滅したり、埋積されたりして探査不能となってしまう可能性を示したのです。

微動探査地点の選定

信州大学では、上高地での旧河川の埋積地形の探査に威力を発揮した微動アレー探査法を適用すれば、震央地下での断層のズレが発見されるのではないかと考えて、平成 24 年度に探査を計画しました。幸いにも松本市の協力も得られ、最終的に 630 松本地震震央域を東西に横断する線上に位置する、寿北、平田西、野溝西、笹賀の 4 地点での探査を行うことができました。この結果、震央域でのズレは見出されたものの地下 2km にある基盤岩のズレは 100m 程度と比較的小さく、松本盆地の東縁に近い寿北と平田西の間に 1,300m を超える大きなズレ、即ち伏在断層が発見されたのです。

平成 25 年度は松本市と信州大学の全面的な協力を得て、盆地東縁の大規模な伏在断層の詳細な位置決定と活断層としての評価、北部市街地への断層の延長を追跡することを目標として探査を実施しました。松本盆地を東西に横断する 3 本の線（測線）上で、建造物のない空き地を探索し、学校の校庭や水田など 15 地点を探査地点としました。3 本の測線は、北から A 測線（島内地区）、B 測線（庄内地区～島立地区）、D 測線（寿地区～波田地区）と命名しています（図 3-5-3a を参照）。

微動探査結果に基づく S 波速度対比断面

各探査地点での S 波速度構造の解析結果に基づき、各測線での速度層対比断面図を作成しました。図 3-5-1a、b、c に A 測線、B 測線、D 測線の速度層対比断面図を示します。この断面図上では、ほぼ同じ S 波速度 (V_s) を示す地層を東西方向につないだ対比線が示されています。もし各探査地点の間に地層のズレ(変位)がなければ、この対比線は水平になるはずですが、この対比線の深度(高度)に探査地点間で差があると、速度構造にギャップが生じ、対比線は階段状の落差を示します。なお速度層対比断面図は A 測線を除き縦横 (水平・深度) の比率は 1:1 で作成しています。

3-5-2 探査結果のまとめ

A 測線 (図 3-5-1a)

MMA-1、2、3 の 3 探査地点で探査を行い、このうち MMA-2 では(近藤ほか 2006)で示された松本盆地東縁断層を横断するチェーンアレー探査方式を採用しました。

- ・深度 200m 程度まで解析した結果、全体に西から東に緩く傾斜する速度構造が推定されました。
- ・比較的浅い深度 (深度 30~50m) から $V_s=500\text{m/sec}$ のややはやい速度層が分布します。
- ・MMA-1 の表層付近には $V_s=200\sim300\text{m/sec}$ の軟質層が分布しますが、MMA-3 にはその速度層は見られません。
- ・MMA-2 のチェーンアレー探査から、浅層の構造は複雑ですが、速度層の連続性からは松本盆地東縁断層に相当するような大きな西側落ち込みの構造 (速度ギャップ) は確認できませんでした。
- ・チェーンアレー探査では東端部 (右側) で比較的硬質な層が東側に向かって浅くなる傾向がみられますが解析 S 波速度構造では明瞭ではありませんでした。
- ・松本盆地東縁断層の通過位置は、従来の研究で想定されている位置(MMA-2 付近)より東側の奈良井川沿いに存在する可能性が高くなりました。

B 測線 (図 3-5-1b)

- ・深度 1,000~1,600m における基盤 S 波速度は $V_s=3,000\text{m/sec}$ と解析され、これは密度が大きく緻密な基盤層 (美濃帯中生層?) に相当しています。
- ・それより上位の堆積層の S 波速度は $V_s=1,600\text{m/sec}$ 台以下で、基盤層とは大きな速度差があります。
- ・MMB-1 と MMB-2 の間に 430m 程度の西側落ちの基盤層の高度差が認められます。この位置は松本断層 (酒井 2002、Kondo ほか 2008) の南方延長にあたります。
- ・松本盆地東縁断層を南方に延長すると MMB-3 付近を通過するものと推定されますが、MMB-2 から MMB-4 の間には基盤層やその上位層の速度構造に大きな変位が認められませんでした。
- ・MMB-4 と MMB-5 の間に 535m の基盤層の高度差 (東側が低い) が認められました。これより西側の MMB-5、MMB-7 間で推定される基盤層の傾斜と比べると非常に大

きな変位量が想定されます。

- ・基盤層($V_s=3,000\text{m/sec}$)の変位とその上位層の変位傾向—とくに $V_s=1,300\text{m/sec}$ 層—に注目すると、上位層は基盤層ほど大きな変位量(標高差)を示していないことから、こうした変位傾向は長期間にわたる断層運動の累積により形成された可能性が高いことがわかります。

D 測線 (図 3-5-1c)

- ・深度 700~2,000m の基盤 S 波速度は $V_s=3,000\text{m/sec}$ と解析され、これは MMB 測線と同様、緻密で堅硬な基盤層(美濃帯中生層?)に相当する速度です。
- ・それより上位の堆積層の S 波速度は $V_s=1,500\sim 1,600\text{m/sec}$ 以下であり、基盤層とは大きな速度差があります。
- ・MMD-7 は基盤深度が 2,070m と、今回得られた基盤深度の中では最も深い位置にあり、それより西側では全体に基盤が浅くなる構造が見られます。
- ・D 測線は、西側から東側へかけての基盤傾斜と東側の大沈降、盆地東端部における大きな上昇変位を示しており、重力異常(原山ほか 2009)や反射法地震探査による構造(池田ほか 2010 など)と調和的な構造が推定されます。
- ・MMD-1 と MMD-5 の間の基盤層($V_s=3,000\text{m/sec}$)には 650m におよぶ高度差が存在します。この高度差は断層以外では説明が難しい変位量です。両探査地点の間にある MMD-3 (深部解析不能)では地層の不連続など水平成層構造が成り立っていない可能性があり、MMD-3 付近には浅い構造まで乱すような構造変位(活断層?)が存在している可能性があります。
- ・MMD-5 と MMD-7 の間にも最大 715m の基盤層の大きな高度差とその上位層の変位があります。これは 630 松本地震の震央に近い位置です。両探査地点の間には MMD-6 がありますが MMD-3 と同様に深部構造が解析できませんでした。MMD-6 から MMD-7 にかけての地下にも大きな構造変位(活断層?)のある可能性が高いです。
- ・MMD-7 と MMD-8 の間の基盤層上面深度は、西側が 195m ほど高く、MMD-8 と MMD-10 の間では東側の基盤層上面が 154m ほど高くなっています。この付近は 2011 地震の余震域にあたり、地震断層の派生ないし同系統の断層が存在する可能性があります。
- ・MMD-10 から MMD-12 にかけては、西側に緩く傾斜する基盤構造が推定されます。しかし MMD-12 と MMD-14 の間には 780m の基盤の高度差があり、その西側の MMD-16 と MMD-14 間の基盤傾斜より大きい結果となりました。したがって、MMD-12 と MMD-14 の間にもなんらかの構造変位(伏在断層)が存在する可能性が高いと考えられます。

3 測線の探査結果の比較

B 測線、D 測線とも、西側のほうが東側より浅い深度に速い速度層が分布する傾向がみられました。

また、D 測線のほうが B 測線より基盤 ($V_s=3,000\text{m/sec}$) 深度が全般に大きい傾向があります。しかし東端部では B 測線のほうが D 測線より基盤が深いことなど、B 測線

と D 測線の間は漸移的に基盤深度が浅くなるような単純な構造ではないことを示しています。

今後、反射法探査データ、重力異常データ、ボーリングデータや周辺地域の地質構造、特に浅所の地層まで変位させるような活断層を総合的に検討して、松本盆地の地下構造を明らかにしていくことが重要でしょう。

3-5-3 探査結果に基づいて推定された伏在断層

また、図 3-5-3a に基盤層 ($V_s=3,000\text{m/sec}$) 上面深度および $V_s=1,300\text{m/sec}$ 速度層上面深度を示します。図 3-5-3b では 5 万分の 1 「松本」地質図を基図とし、隣あう探査地点の基盤層 ($V_s=3,000\text{m/sec}$) 上面深度に大きな標高差が認められた箇所を示し、その標高差も記しました。

以上の結果から推定される伏在(活)断層の位置を図 3-5-3c に示しました。実線はすでに報告されている活断層を示し、線の太さは変位量の大小を示しています。破線部は今回の微動アレー探査結果に基づいて推定された伏在(活)断層で、線の太さは同じく変位量の大小を示しています。以下に主要な伏在活断層について解説を加えます。

B 測線と D 測線で確認された 400m 以上の大規模な基盤岩変位を示す伏在断層は 3 本あり、いずれも松本盆地の伸長方向に近い南北系の断層と推定されます。

この 3 本のうち最も東側の断層は MMB-2 付近から MMD-3 に連なると推定され、東側上昇の変位センスを示すことから、市街地を南北方向に走る松本断層(活断層)の南方延長である可能性が高いと考えられます。

主要な 3 本の断層のうち、東から 2 本目の断層は MMB-4 付近から MMD-6 と MMD-7 の間を通過すると推定され、同じく東側上昇の変位センスを示します。この伏在断層は合同庁舎付近で鳥居山-城山公園の東側を走る活断層(近藤ほか 2006 など)によって断ち切れ、この断層を挟んだ北方延長が松本盆地東縁断層に連なると考えられます。

3 本の伏在断層のうち西側の断層は今回の探査の中では 780m と最も基盤岩変位量が大きく、東側の 2 本の伏在断層と異なり、西側上昇の変位センスを示します。この断層は 100m 以浅の地表に近い部分まで変位が確認され、活断層の可能性が高いと判断されます。なおこの西側の伏在断層は D 側線でのみ確認されており、北方への延長についての情報は今のところ得られていません。

このほか、630 松本地震の震央付近(MMD-8 付近)にも 100m を超える基盤岩変位の断層が推定され、上記 3 本の伏在断層の変位量より小さいものの、深部から浅所まで変位が確認されることから、長期にわたって活動を繰り返してきた断層である可能性が高いと考えられます。

今後は推定された各伏在断層の地表到達部を横断するチェーンアレー探査により、地表付近の地層の変位を精査して、活断層としての評価を行う必要があるでしょう。

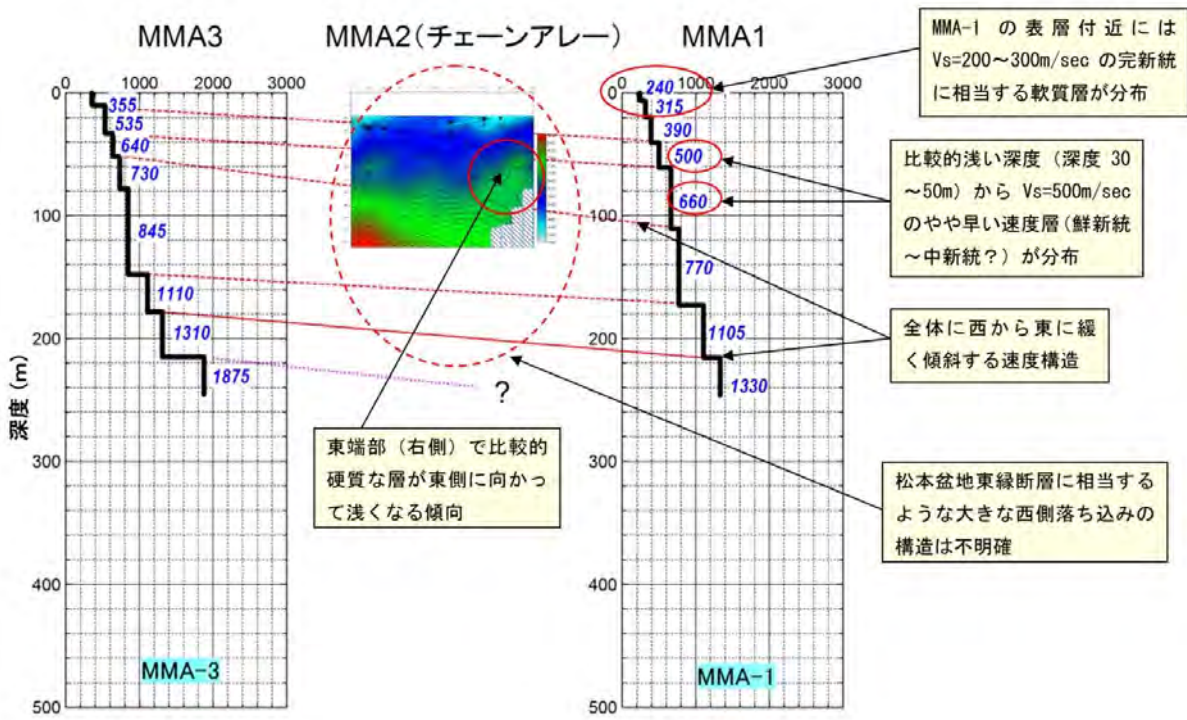


図3-5-1a A測線の速度層対比断面図

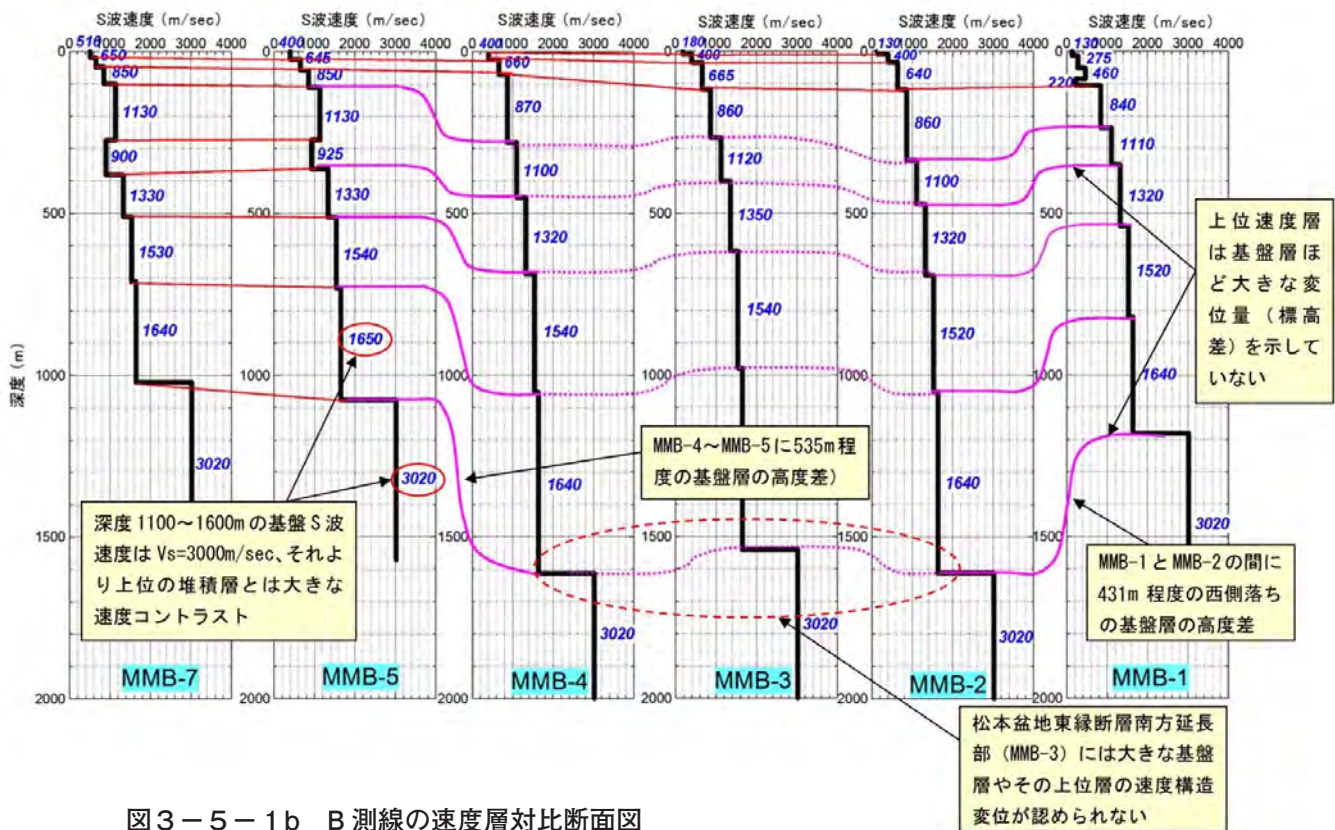


図3-5-1b B測線の速度層対比断面図

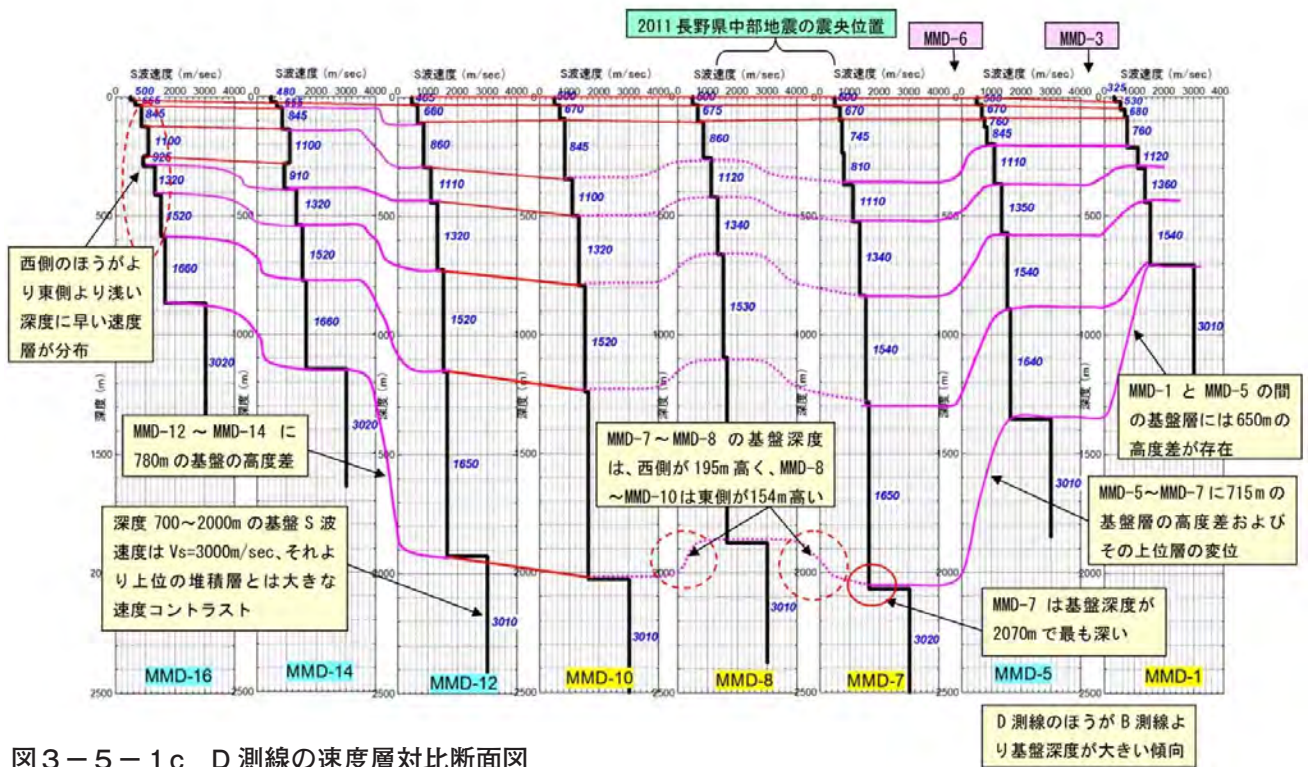


図3-5-1c D測線の速度層対比断面図

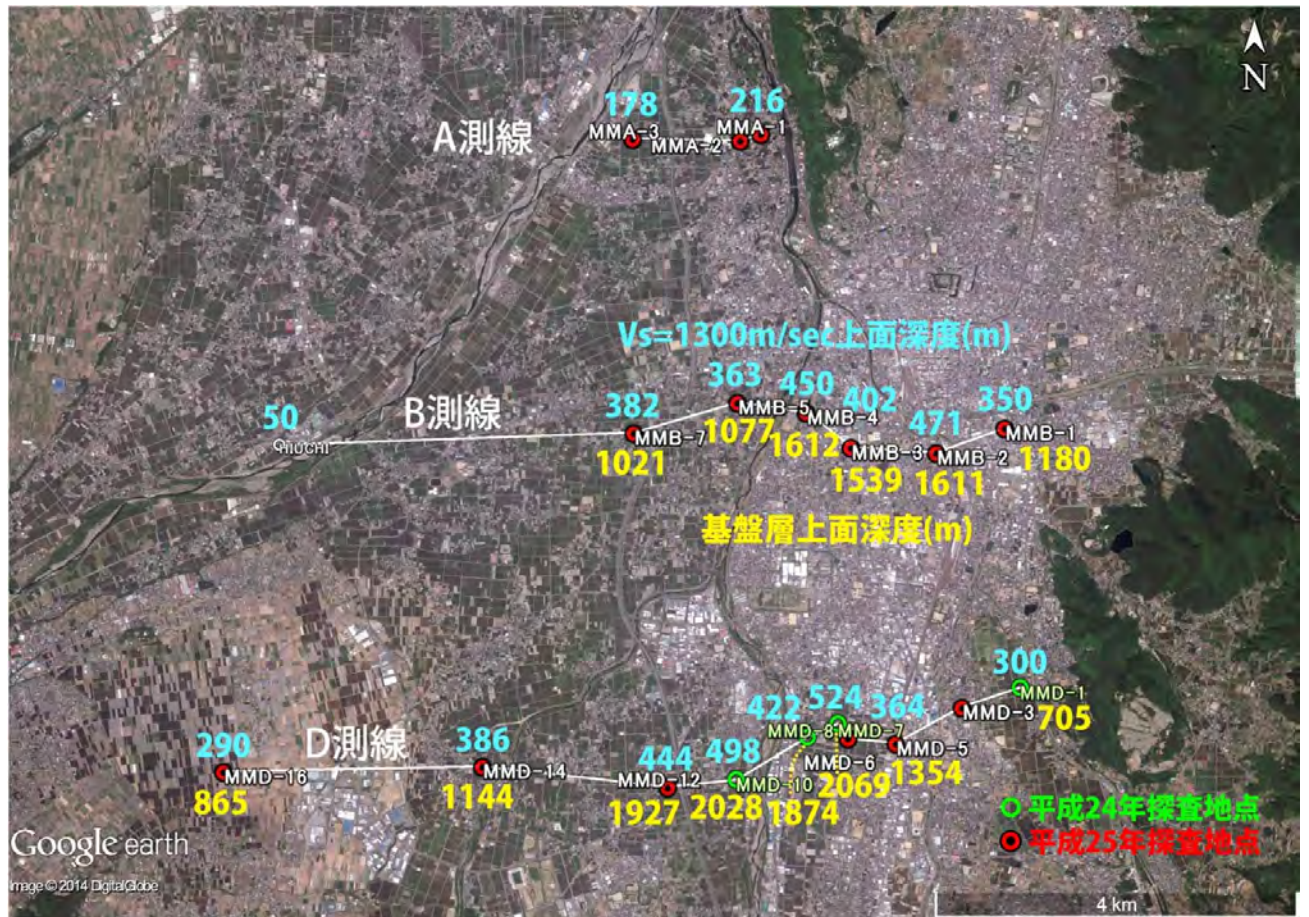


図3-5-3a 基盤層上面深度およびVs=1300m/sec層上面深度

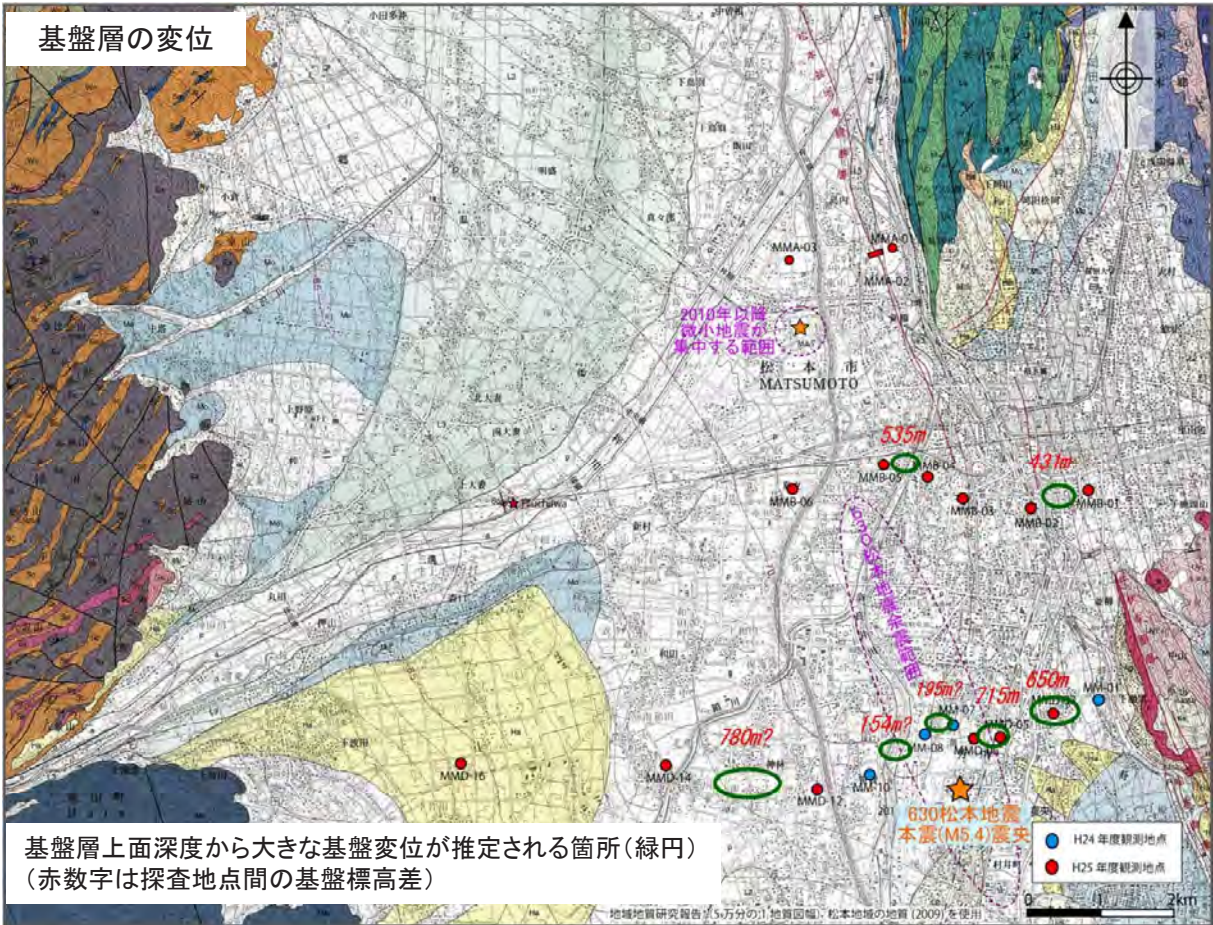


図3-5-3b 基盤層の上面深度と変位の推定位置

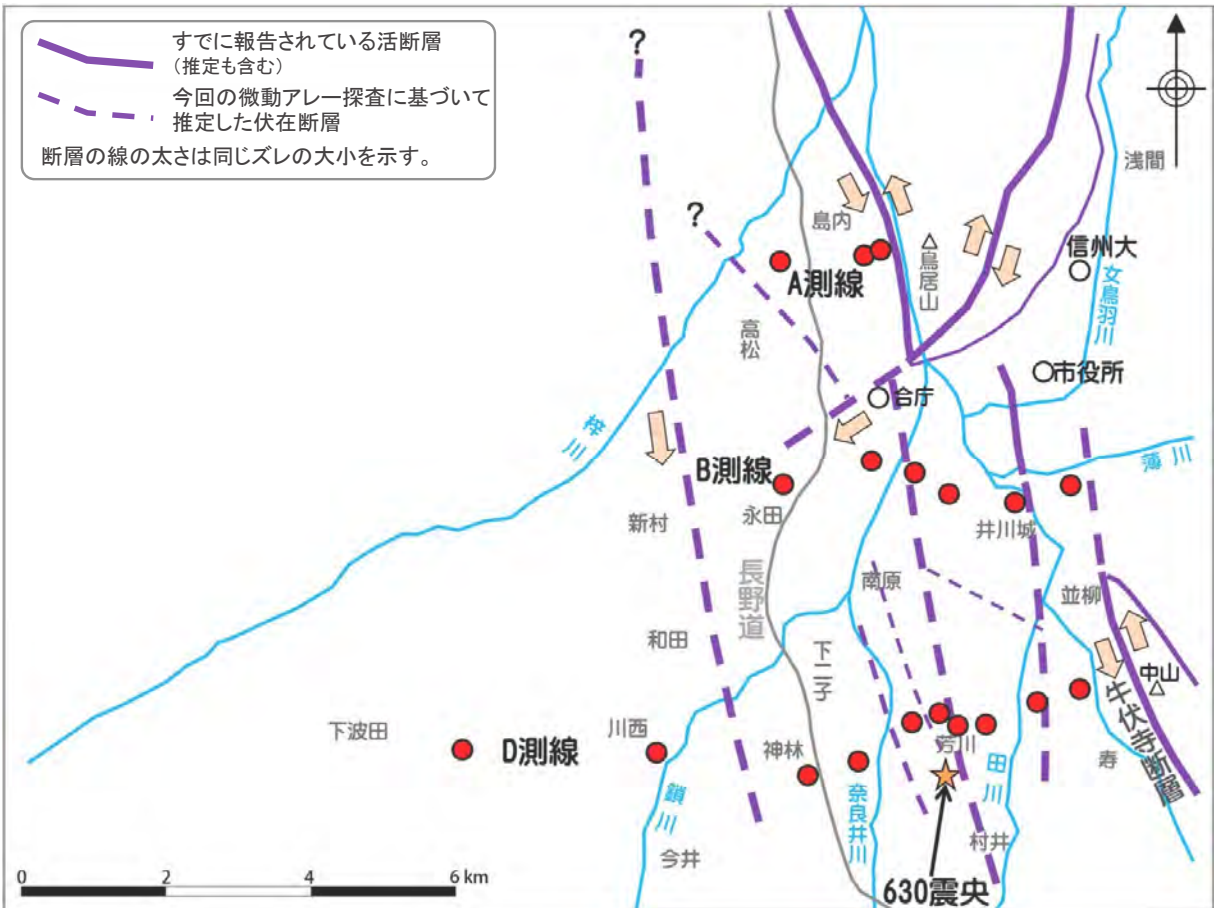


図3-5-3c 微動アレー探査によって推定された松本盆地南部の伏在断層