

長野県北部の地震（長野県神城断層地震）の強震計記録の分析メモ

中村 豊（システムアンドデータリサーチ）

1. はじめに

数多くの地点で様々な観測がなされている現在においても、被害地域に強震記録がない事態が生じている。今回の長野県北部の地震でも、GEONETの観測点も、K-NET、KiK-netの観測点も至近距離にはあるが、残念ながら、被害地域そのものには無かった。この他にも役場や気象庁関係の観測データが存在するが、被害地域にはない。さらには前震活動により事前に設置された観測網による観測記録も存在するようであるが、研究観測であり、その詳細は現在のところ不明である。KiK-netおよびK-NETの記録、役場や気象庁の記録の一部は公開されている。震源域のデータが研究観測のデータに含まれていることを期待したい。

ここでは、一般に利用できるKiK-netおよびK-NETの強震記録を中心に使って、地表変位の状況、大きな地震動エネルギーの発生場所の推定などを行い、これによって推定される地震動の様子について述べてみたい。対象とする強震観測データは、断層の近傍に位置する、K-NET 長野、K-NET 信濃、K-NET 大町、K-NET 白馬、KiK-net 白馬、KiK-net 大町中、KiK-net 生坂、KiK-net 信州新、KiK-net 戸隠の9観測点のデータである。これらの地点とGEONET 白馬および震央を図1に示す。

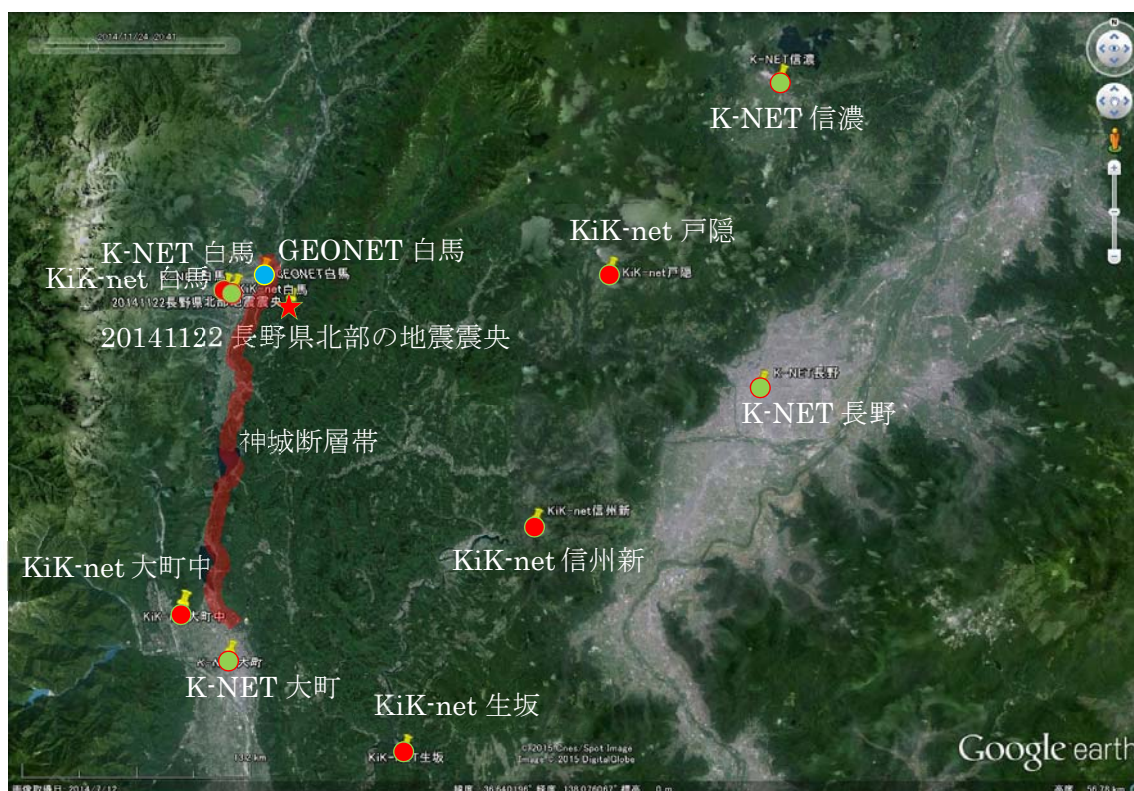


図 1 観測点および震央他分布図

2. 積分による地表変位について

K-NET 白馬および KiK-net 白馬（地表）の二重積分結果による変位は図 2 に示す通りである。KiK-net 白馬の記録は異常ありということで通常の公開はされていないが、地表部分については大きな異常はないように見えた。両者は 600m 程度の離隔であり、GEONET 白馬とは 2km 程度離れている。

通常に公開されている K-NET 白馬の積分結果をみると、まず東に変位した後、南に変位している。東に変位した時には沈下を伴っており、神城断層の西側が東側に潜り込む様子を示していると推測される。南に変位する時にはほとんど沈下を伴っておらず、神城断層の西側が断層に沿って一気にずれる様子（左ずれか）を示していると推測される。最終的な変位は、南東方向へ 29cm 程度、下方に 12cm 程度となっており、およそ 2km 離れた GEONET 白馬の GPS 観測結果（図 3）とほぼ同じ結果が得られている。これに対して、西に 600m 程離れた KiK-net 白馬の積分結果の変位をみると、変位の状況は K-NET 白馬とよく類似しているものの、その大きさは 6 割程度と小さくなっている。

K-NET 白馬の南側への変位は東側への変位より急激で、速度は最大 60cm/s を越えている。つまり南側への動きが急であり、今回の地震で南北に倒壊している家屋が多かったとの報告と符合している。

白馬以外の地点の積分結果を水平変位軌跡として図 4 に示す。信州新の地表は明らかに積

分に失敗して東方にシフトしているが、白馬以外は永久変位が小さく動的変位が卓越していること、KiK-net 地点の地表と地下の変位軌跡はやや回転しているものがあるものの概ねよく類似していること、などがわかる。また、下盤上の測点と上盤上の測点と変位軌跡が逆転しているように見えるのは興味深い。

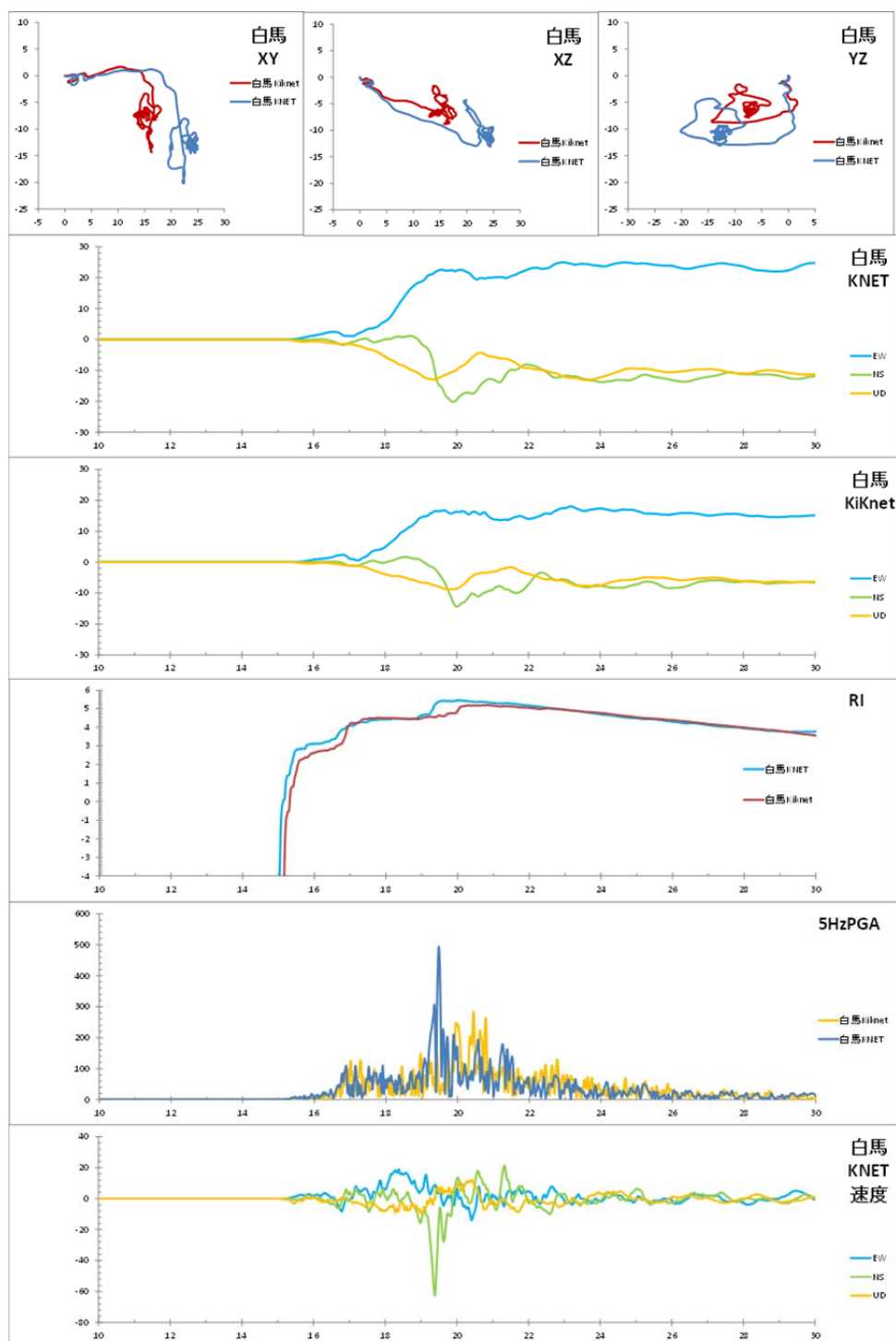


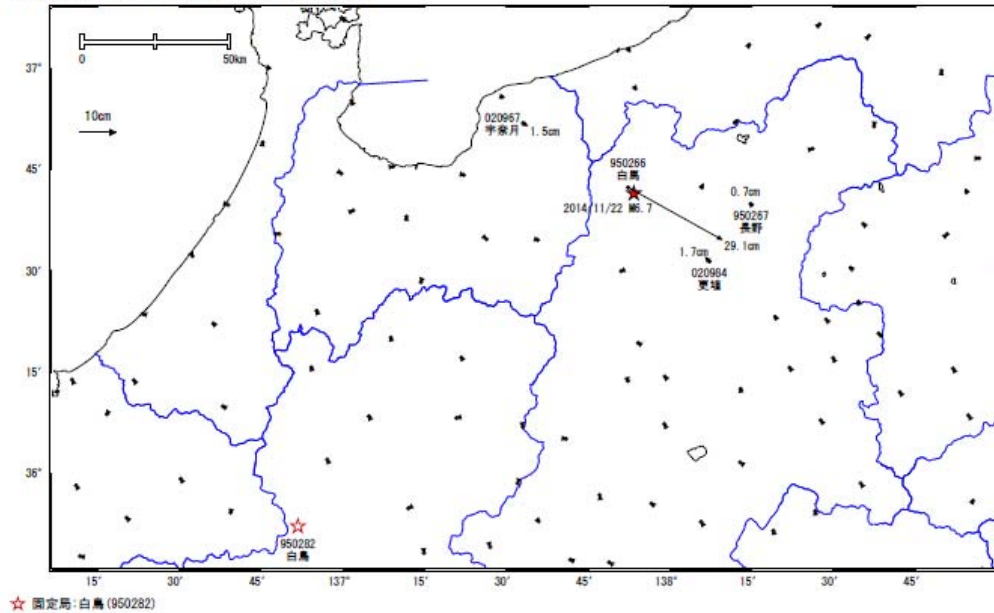
図 2 白马二重積分による変位図

長野県北部の地震(11月22日 M6.7(暫定値))前後の観測データ (1) 暫定

この地震に伴い大きな地殻変動が観測された。

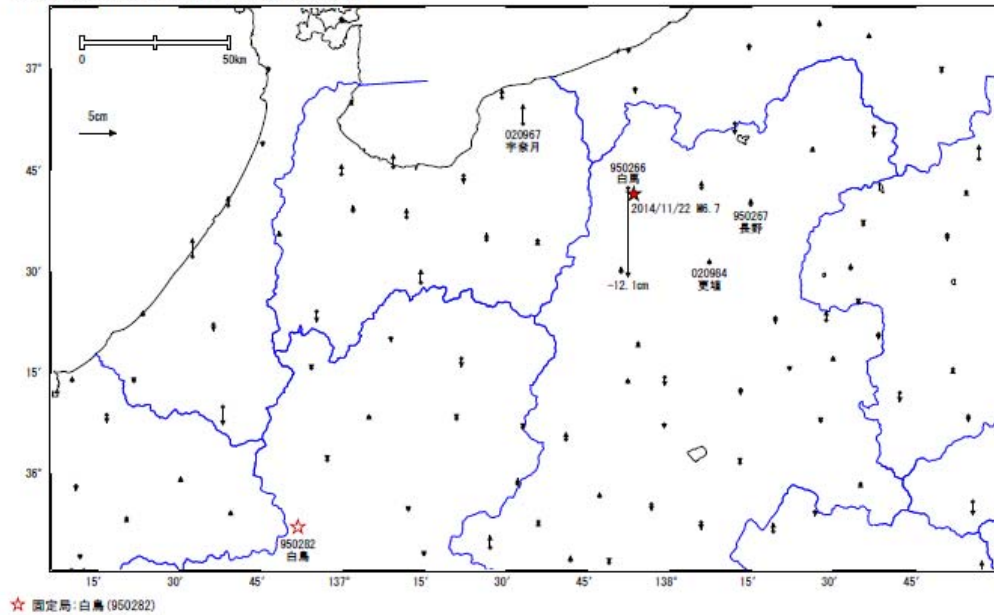
基準期間: 2014/11/15 00:00~2014/11/21 23:59[R3:速報解]
比較期間: 2014/11/23 03:00~2014/11/24 02:59[Q3:迅速解]

地殻変動 (水平)



基準期間: 2014/11/15 00:00~2014/11/21 23:59[R3:速報解]
比較期間: 2014/11/23 03:00~2014/11/24 02:59[Q3:迅速解]

地殻変動 (上下)



国土地理院

図3 GEONET 白馬のGPSによる変位図(国土地理院)

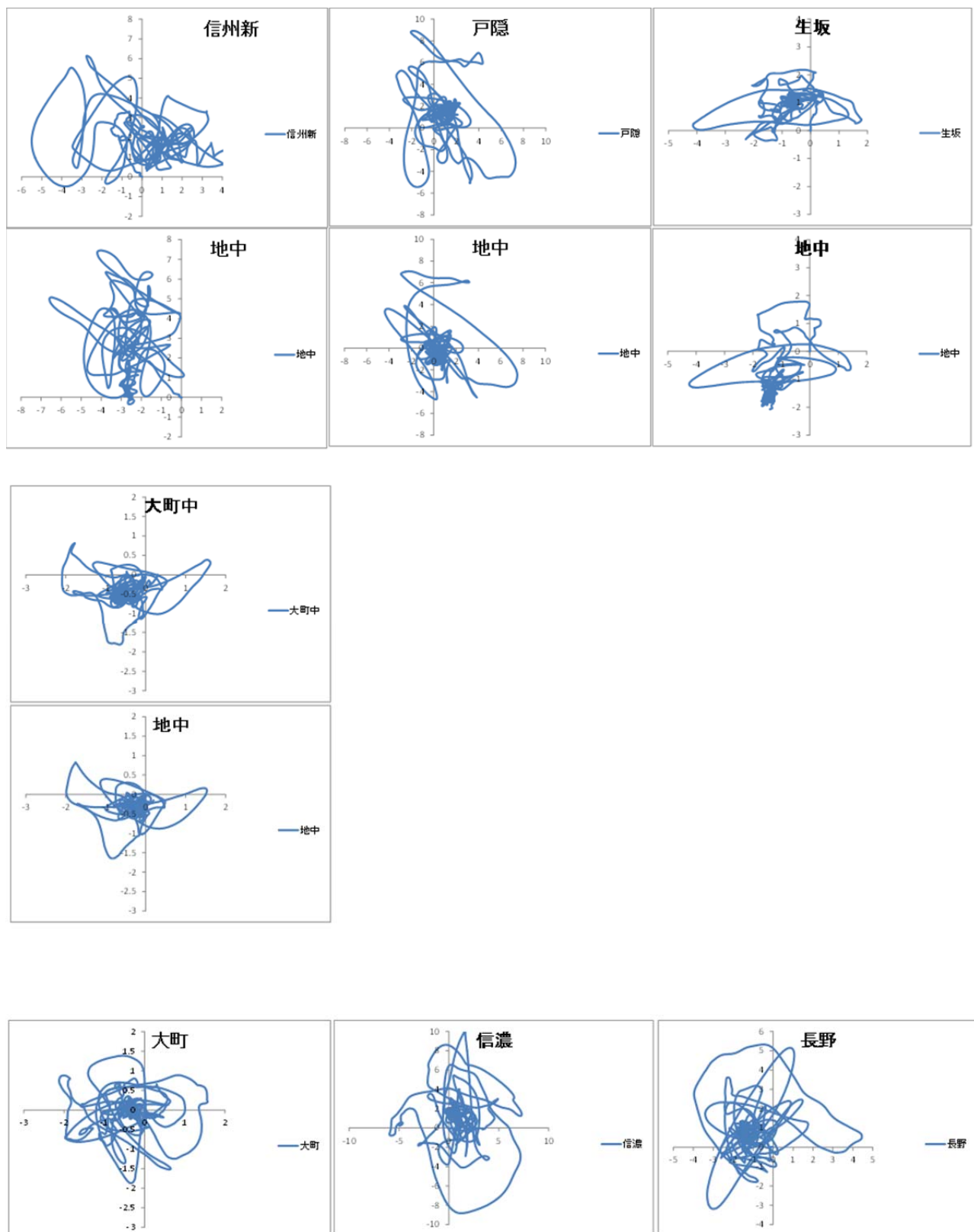


図 4 震央周辺の白馬を除く 7 観測点の二重積分による変位軌跡図

3. リアルタイム震度

図5は検討している9観測点のリアルタイム震度の変動の様子を示したものである。なお、リアルタイム震度はSDRの特許技術である。この図では、各観測地点でのリアルタイム震度変動の様子を、発震時をほぼ揃えて表示しているが、場所により最大震度発現時が異なることや、上盤側と下盤側とでは、ある程度時間が経過した震度減衰の様子は類似するものの、大きさは概して1.0程度上盤側の方が大きいこと、などがわかる。

なお、リアルタイム震度の最大値と気象庁告示に基づく計測震度値を比較して図6に示す。

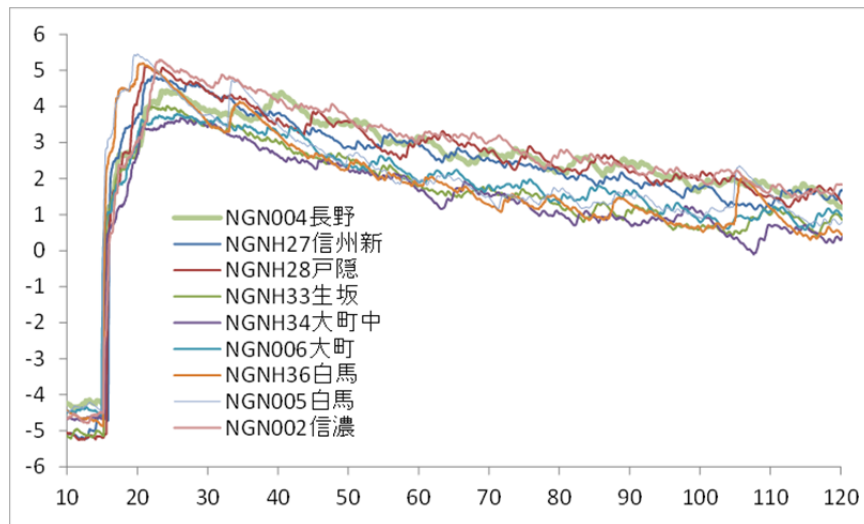


図5 震央周辺9観測点のリアルタイム震度時系列変化図

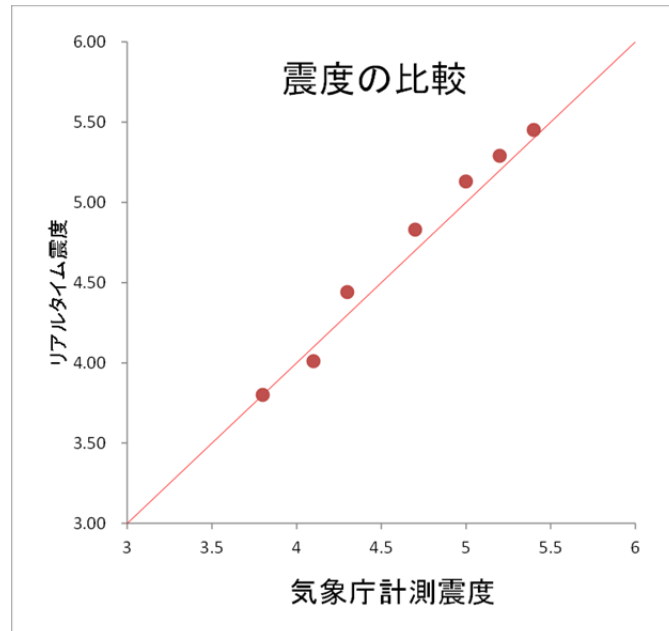


図6 9観測点のリアルタイム震度の最大値と
気象庁告示に基づく計測震度値（NIEDによる算定）の比較

4. 震動到来方向

図 7 は、ユレダス機能の一部を用いて強震動の到来方向（北を 0 度とし、時計周りにとった角度）の変化を算定して、地震検知後 5 秒間程度の震動動到来方向を時系列的に表示したものである。ただし、到来方向は P 波についてであり、S 波については波動の震動方向と到来方向を分離して求めることができていない。したがって、ここでは S 波到来時刻までの到来方向ということになる。PS 時間は震源距離に対応するので、ある程度離れた観測点でなければ、断層上の強震動発生地点を把握することはできない。断層の破壊速度を 3km/s とすれば、今回の断層の長さは 9km 程度と考えられているので、最大 3 秒が断層破壊時間となる。大森係数を 8km/s とすれば、24km 程度の震源距離であれば、初期微動継続時間の間に断層運動の全容を把握できることになる。生坂、長野、信濃がこれに該当する。戸隠、信州新、大町、大町中はやや欠けるが概ね把握できると期待される。白馬については 5km 程度しか離れていないので、破壊が開始点からどの方向に進んだかを確認できる程度であろう。

図 7 とリアルタイム震度の時間変動図とから作成した図 8 は、リアルタイム震度の値が正になる時点から、震度の大きさに原点から推定方位を向いたベクトルの先端点の時間変動の様子を示したもので、震動の大きさとその到来方向を示している。各観測点における震動到来方向の変化図の原点を観測点位置に一致させて示したものが図 9 である。これによると、KiK-net 観測点では P 波到着時点（赤印で表示）の後、概ね気象庁による破壊開始点の方向をしばらく安定して向く。さらにこの方向で振幅が成長した後、方位が急激に変化する様子がわかる。これに対して、K-NET 観測点では P 波到着後安定した方位を示し、その後の変動の様子も、近隣の KiK-net 観測点のそれに類似しているものの、最初の安定した方位は、破壊開始点の方向とはかなり異なるものとなっている。

KiK-net 観測点では地表と地下での震動が記録されており、その積分による変位変動を比較することができる。ただし、白馬の地下記録はかなり異常であるので、ここでの検討対象からは外している。この比較の結果、生坂や戸隠では地表と地下とでは少し回転誤差が認められる。地下の記録は Hi-net の記録と一致するように方位が管理されており、ここでは地下の方位が正しいとしてこれに地表を合わせることにする。地下の設置誤差と軌跡の上下の相違を考慮した結果、戸隠では 15 度程度だけ反時計回りに、また、生坂では 5 度程度だけ時計回りに、回転させることになった。このようにすると、KiK-net 観測点の P 波到来時点からの安定方位は、ほぼ一点に収斂する。この地点は破壊開始点と考えられる。この地点は、気象庁の推定位置から西南西の方向に 1km ほど離れている。K-NET 観測点は表層地盤や地形の影響を強く受けている場合が少なくないので、ここでは最初の安定した方位がこの推定破壊開始点を指向しているとして、観測結果を回転させてみた。各観測点での最終的な震動到来方向変動図を図 10 に青白色で表示した。この各観測点の方位変動を詳細にみると、長野や信州新、などの観測点では、緩やかに北方への方位変化を示した後、急激な南方への方位変化を示す一方、白馬や戸隠などの観測点では、逆の傾向を示す。こ

これらの地点は南北に走る神城断層を推定破壊開始点で南北に分けた時の南側および北側にそれぞれ存在する。最初の北方ないしは南方の方位変化は、破壊開始点からの破壊が東方に進展しているとも解釈することができる。さらにその後の方位変化は、破壊が南北に拡がり、それぞれで比較的大きな震動エネルギーを放出したことを推測させる。南北それぞれの大震動エネルギー放出地域は、地表に大きな地殻変状をもたらした地域と住宅などに被害が集中した地域に対応するものと推測される。

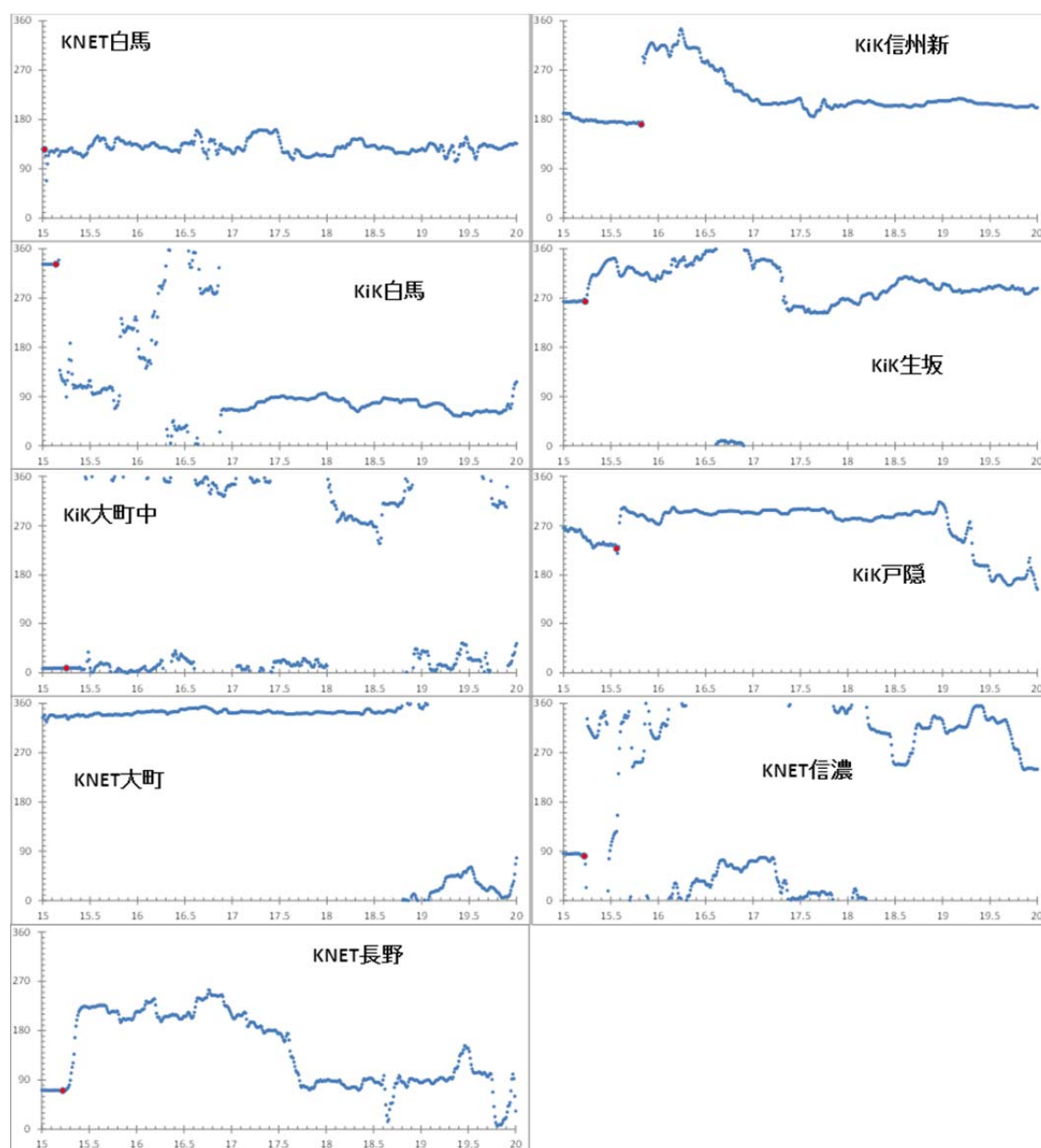


図 7 震央周辺 9 観測点の強震動到来方向変化図

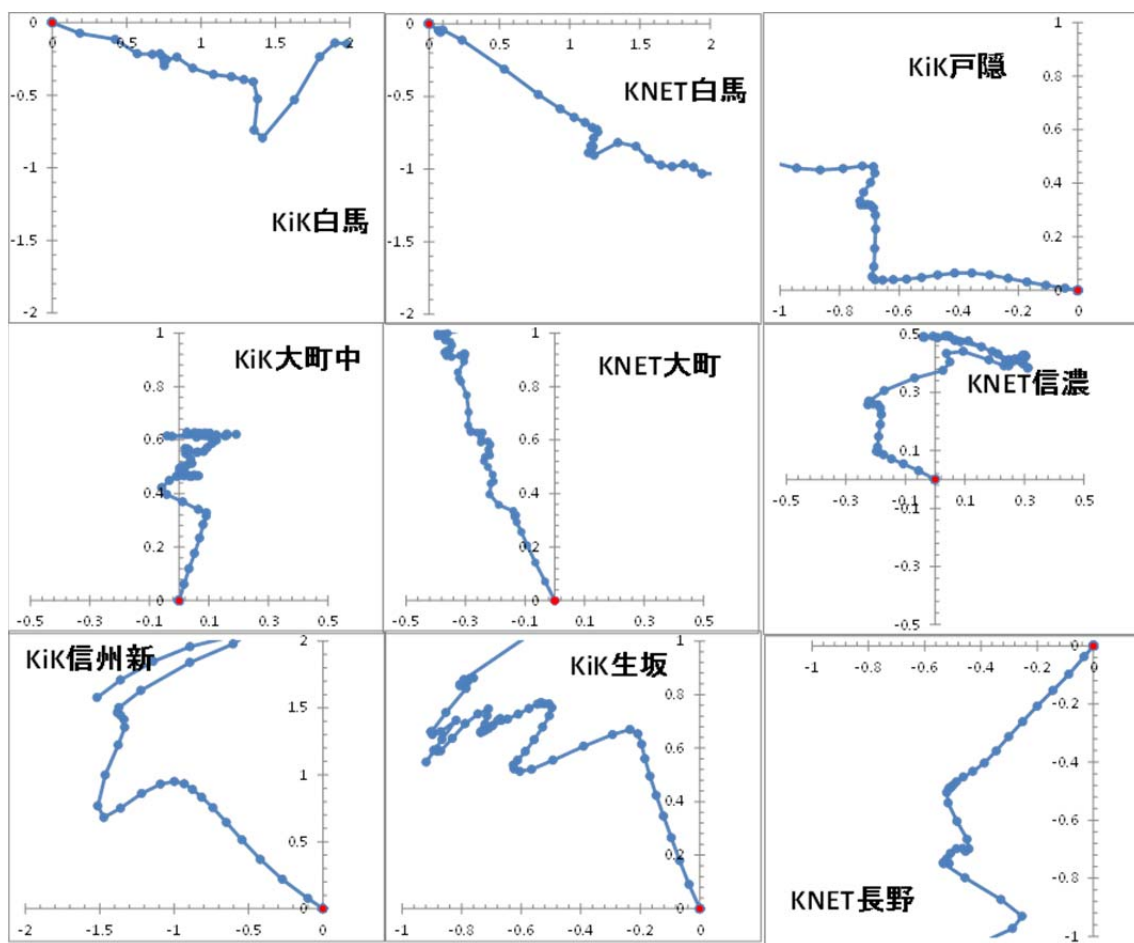


図8 震央周辺9観測点の強震動到来方向変化図（メモリは極座標のリアルタイム震度）

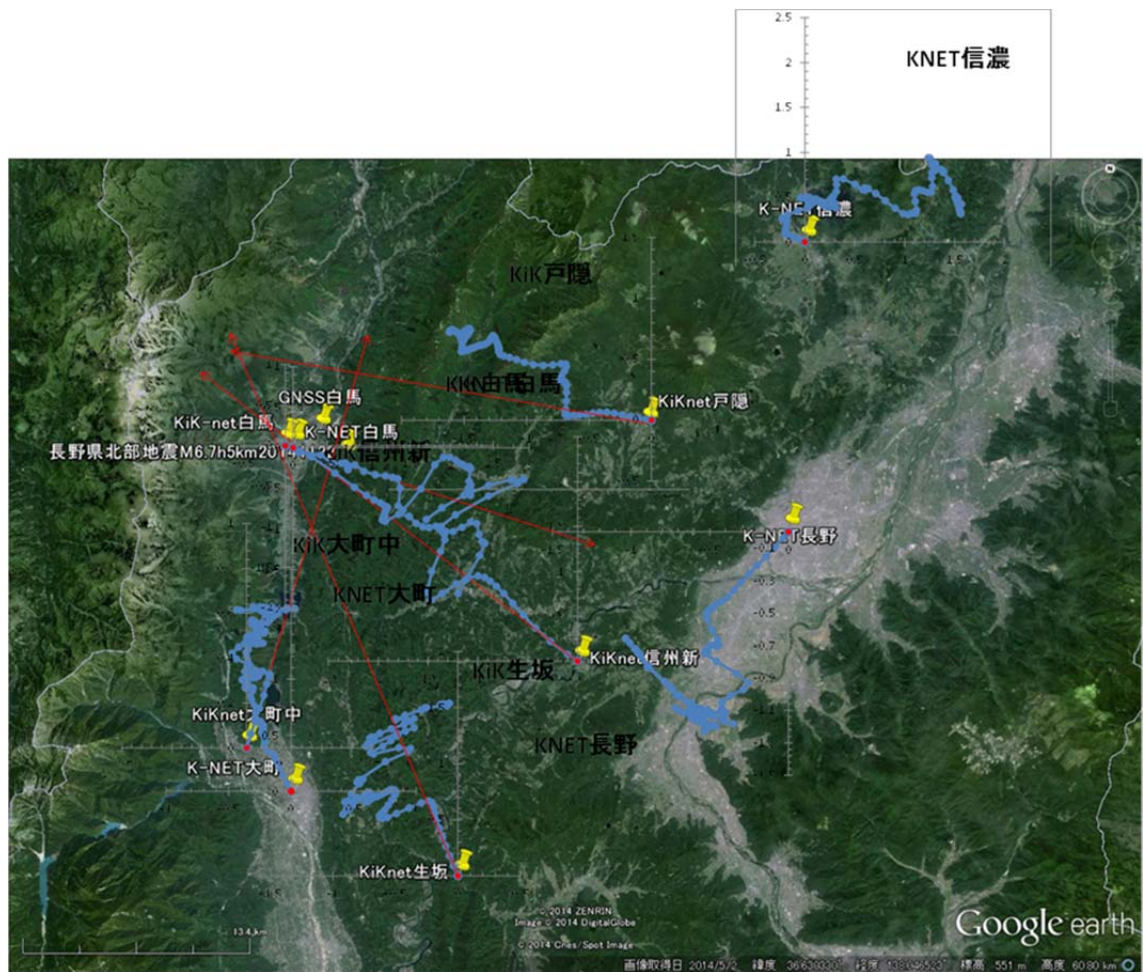


図9 強震動到来方向変化図（図8）の原点を観測点位置に合わせて表示した地図

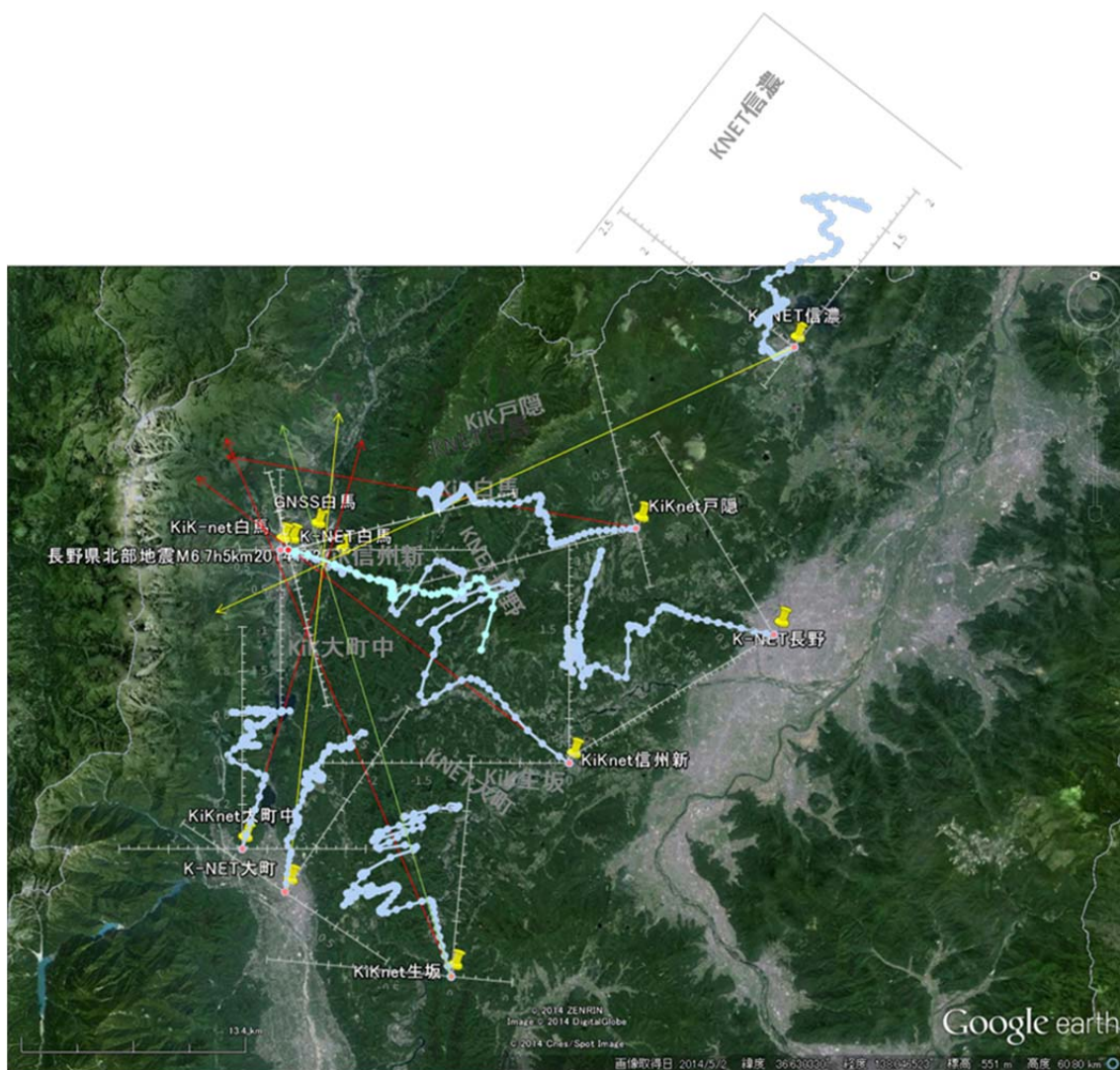


図 10 各観測点でのリアルタイム震度 0 以上の地震動到来方向の変化（補正済み）

5. まとめ

震央付近で記録された強震加速度記録について、2 回積分による変位やリアルタイム震度、震動到来方向などの分析を行った結果、以下のことがわかった。

- ① 各観測点における震動到来方向のリアルタイム変動によれば、断層破壊は、ほぼ気象庁の推定する震央付近で始まり、神城断層に沿って南北に拡大したと推測される。
- ② 断層の下盤に位置する K-NET 白馬と KiK-net 白馬の地表観測点の変位変動によれば、最初に沈下を伴ってほぼ東へ潜り込むように変位し、その後、沈下を伴わずやや急激に南へ変位する。前者は下盤の潜り込み運動を示唆し、後者は左ずれの断層運動を示唆している。
- ③ 下盤上の観測点 K-NET 白馬における南側の急激な変位変動は速度にして 60cm/s に達しており、断層直上近傍ではさらに大きかったものと推測される。今回の地震で家屋が南北方向に倒壊したものが多かった事実と調和的である。
- ④ 上盤側のリアルタイム震度は、下盤に比べて概ね 1 程度大きい値を保ちながら減衰している。

以上

参考資料： 長野県神城断層地震時のリアルタイム震度の変化

