

## 東濃地震科学研究所の歪・応力地震動データベースの再構築 －収録地震の追加とファイル構造の変更

笠原 稔・浅井 康広・石井 紘 (東濃地震科学研究所)

### 1. はじめに

2016年4月末に、それまでに蓄積されている東濃地震科学研究所の歪計・応力計ネットワークで記録された地震動記録の収録を始めた。その時点では、領域設定と地震規模  $M$  の下限を大雑把に設定したが、収録しながら、領域と  $M$  下限の修正が必要なことを痛感した。2016年5月以降の月毎の収録については、一部見直した条件での収録を進めてきた。屏風山(**byb**)観測点開始の2003年9月から2016年4月までの収録結果から、地震規模  $M$  と震源距離  $R(km)$  と観測される地震動の最大振幅  $A(\mu strain, kPa)$  の関係を明らかに出来た(笠原, 2018)。これに基づき良好な地震記録 ( $S/N > 5$ ) の得られる、ある  $R$  についての  $M$  の下限がきめられるので、あらたな領域設定と  $M$  下限を決めなおして、新しい条件で、2018年1月からは収録を進めてきた。当研究所のこれまでの観測記録の地震動アーカイブとしての完全性を保つために、2018年以前の期間についても、新条件での地震検索を行い取りこぼしていた地震動の収録を2019年5月から行い、2019年12月で、アーカイブがほぼ終了したところである。2017年途中までの収録については、笠原(2017)に報告してあるが、ここでは、その後の収録条件の変遷とデータフォルダ構造の変更をしたので、それらについて報告する。

### 2. 歪・応力地震動データ収録条件の変遷

図1左に、2019年末の観測点分布を示す。データ収録している観測点を赤点線丸で囲んで示してある。東濃地震科学研究所の歪計・応力計の観測点は、2016年以降に2点増加している。図1左で、**MIU** で示している場所に、瑞浪超深地層研究所の立坑があり、この中の200m深さに **stg** 観測点が2015年夏から稼働しているが、さらに、500m深さに **stg500** 観測点が、2018年12月15日から稼働している。**mzn17** 観測点は、旧名古屋大学所属の瑞浪横坑観測壕の中に17m深のボアホールを掘削し、2016年12月6日に設置された。新設の2観測点は、共に5成分応力計である。第1図右上に年毎の観測点数の変化を示し、第1図右下にそれぞれの観測点の観測開始時と稼働状況を示してある。図に示すように、**hys** 観測点は、2016年11月頃に、水平1成分が不調になり、2017年4月には、水平3成分が不調になっている。水平1成分と上下動成分は健全である。**tries** 観測点は、2018年夏ごろに、全成分が不調になり、現在に至っている。

表1に、収録初めから現在までの収録条件の変遷を、それぞれの時期に対応させて、I期からIV期とし、まとめて示してある。収録開始時には、最も観測期間の長い **byb** 観測点の検知能力を基準として、領域と  $M$  下限を設定したものである。図2に、I期の条件を領域と

M 下限を地図上に示してある。W 領域は全世界であるから地図は省略してある。この条件 (I 期) で収録した、**byb** 観測点の地震の、M-R の関係をプロットしたものが、図 3 である。図中の赤線と赤点線は、これらのデータを元にして得られた観測される歪地震動の最大振幅と震源距離と地震規模 ( $M_{JMA}$ ) との関係から得られる (笠原, 2018)、 $10^{-8}$ 、 $10^{-9}$  の歪振幅が期待される関係式である。**byb** 観測点のノイズレベルからは、 $10^{-8}$  以上の振幅があれば良好な歪地震動記録が得られる。ここで見るように、それぞれの領域での M の下限の設定が大きいために、2 つの領域の遷移部分にステップ的な大きなギャップを作っていることがわかった。それは、図 4 に示す **hys** 観測点の場合でも同様であった。

観測点の新增設と同時に変位センサーを含む電子回路のノイズの低減が図られており、その結果は、**hys** 観測点の稼動以降大いなる進展を見た。図 5 に、**hys** 観測点稼動後の観測網に非常に近いところ (愛知県中部; 震源距離 25~35km) で発生した M2.7 の地震記録を示す。これらの図は、東濃地震科学研究所のデータベースから 2 分間の地震記録を収録する時にできる印刷画面で、最大振幅でノーマライズされているが、地震動の振幅は各観測点ほぼ同じ大きさであることから、相対的なノイズレベルの差が見て取れる。よりはっきりさせるために、振幅のスケールを同じにして(歪計、応力計それぞれに対して)40 秒間の記録を図 6 に示す。**tos** 観測点のノイズレベルも低減していることは、明瞭であるが、**hys** 観測点はさらに低減している。歪・応力地震動の場合、一般には P 波振幅と S 波振幅とは、速度の 3 乗の逆数に比例するために、P 波振幅/S 波振幅 $\sim 1/8$  となる。この地震の場合、**byb**、**tries** 観測点のノイズレベルでは、P 波を識別できないが、**tos**、**hys** 観測点では、可能である。

この地震時に収録したデータの最初の 5 秒間の観測点間の比較を図 7 に示す。左上が **byb** 観測点の記録で、ノイズレベルは、 $\pm 2 \times 10^{-9}$  程度であることが分かる。左下に示した **tries** 観測点は、**byb** 観測点の 2 倍弱の大きさである。同一地震で観測された歪地震動と応力地震動の比較から、歪振幅  $\pm 2 \times 10^{-9}$  は、応力振幅  $\pm 4 \times 10^{-2}$  kPa に相当する (笠原, 2018, 2019)。右図に **tos**、**hys** 観測点の記録を示すが、**byb** 観測点のノイズレベル相当の振幅を赤点線で示してある。**tos** 観測点では、**byb** 観測点に比べて、 $1/3 \sim 1/4$  程度の低減がなされている。**hys** 観測点では、**byb** 観測点に比べて、 $1/10$  程度の低減がなされている。**hys** 観測点以降に設置された、観測点 (**sbs**、**stg**、**mzn17**、**stg500**) は、ほぼ同じレベルである。こうした条件を勘案して、II 期において、領域の見直しと M 下限を設定しなおして収録を進めた。それを、図 8 に示す。II 期において、c 領域は設けず日本全図の範囲で、M 下限を小さくすることにより網羅できるかと考えたが、図 8 の左下の図、右上の図で、赤点線楕円で示した部分の、 $5.5 > M > 4.5$  の地震が漏れてしまう事が分かり、III 期のような設定にした。先に図 7 に示したように **hys** 観測点のノイズ低減の効果は、その後に増えた観測点の検知能力向上にもみられ、M2.5 よりも小さな地震も良好に記録できていることから、IV 期のように、観測点近傍の M $\sim 2$  までの地震も対象とすることにした ( a 領域、M 下限 2 )。

II 期の条件で、2016 年 5 月から 12 月までに収録した地震を、図 3, 4 に重ねて示したも

のを図9、10に示す。図9が **byb** 観測点の結果であるが、小さい地震についてはノイズレベルの関係から多くを収録できる条件にはないが、図10に見るように、**hys** 観測点では、**a**領域の小地震をかなり収録できることが分かる。

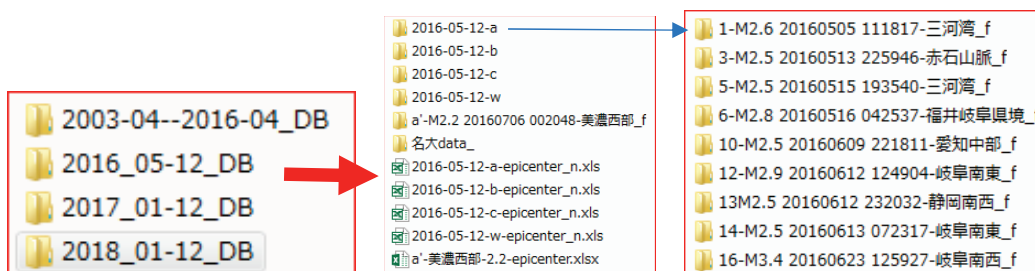
### 3. 新基準での収録地震の追加

最新の基準（IV期）での収録は、2019年分から進めていたが、この条件を2003年まで遡って、追加収録することにした。c、d、w領域については、対象地震リストを作成し、観測される歪地震動の期待値が、 $10^{-8}$ を超える条件で閾値を決めて収録条件として対象地震を絞ってみた。その結果をM-R平面にプロットしたものが図11上段で、すでに収録された地震（青丸）に加えて赤丸で示す地震が収録追加された。閾値以下の地震が橙色で示されているように、この条件での選択を行えば、一定のS/N以上の地震の収録漏れはないといえる。**a**、**a**、**b**領域については、**tos**観測点が稼動した2010年以降、30Paを超える条件を閾値として、対象を絞ることにした。その結果をM-R平面にプロットしたものが図11下段で、すでに収録された地震（青丸）に加えて赤丸で示す地震が収録追加された。2019年1月からは、この条件で1ヶ月毎に、対象領域内の地震リストを気象庁のカタログから作成し、各地震について、画面上でデータを確認して収録するかどうかを判定した上で、データのダウンロードを行っている。

### 4. データアーカイブスのフォルダー構造の変更

最初の段階では、各領域ごとの地震リストとそれに応じたフォルダーをつくり、そこに1地震毎のフォルダーを置いていた。この方式では、イベントの追加があったりするとイベントIDとしての、地震リストにつけた番号の連続性が保たれなかった。

例えば、親元のフォルダー（TRIES\_SSS\_DB）の中に、次のようなフォルダーが積み重なる（笠原、2017を参照）。



1イベント1フォルダーになるが、その先頭につけたIDが、震源リスト（ここでは、2016-05-12-a-epicenter\_n.xls）につけられたものであった。これは、収録作業上の利便性で採用したものであった。領域ごとのフォルダーでは、本震余震の系列とか、大地震のコーダ振幅が大きくて検知できない小イベントなど、時系列が分かりにくい欠点がある。

そこで、新しいデータアーカイブスでは、収録されるイベントの時系列を重視して、

$$\text{Folder name} = \text{OT} + \text{M} + \text{Loc}$$

とすることとした。オリジンタイム (OT) を先頭に持つてくることにより、フォルダーの時間管理が簡単になる。次に、地震の規模 (M)、震源地の名称 (Loc) からなり、この名前からある程度の地震の素顔を想像できる。追加の場合も、自動的に時間順に並び替えられる。最新の構造は、図 12 に示す。親元のフォルダーに各年ごとのフォルダーを作り、その中に月毎のフォルダーを置く。同時に、各年毎のフォルダーに、作業に用いた領域毎の震源リストと、それらを通年でまとめたリストを置いておく。

月毎のフォルダーには、領域に関係なく、時間順に 1 イベント 1 フォルダーで収録され、時間順に並ぶことになる。その 1 イベントのフォルダー内部には、図 13 に示すように、東濃地震科学研究所の全連続データのデータベースからダウンロードされる形式での地震動データ (csv) を観測点分 (収録開始時と終了時がファイルネームとなっている) と、そのときに画面上で確認した波形画像 (.png) を基本とし、波形表示のエクセルテンプレートにコピーされたファイル (現時点では、これは手動による作成) がある。ただし、2019 年以降と追加分については、このファイルはほとんど用意されていない。それ以前については、イベントフォルダーの最後に、\_f が付いているものは、それがあつてを意味している。

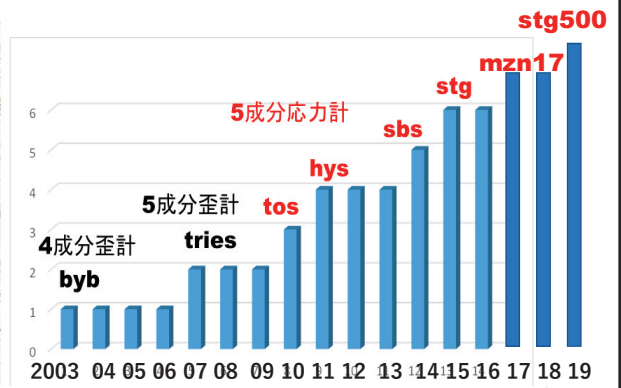
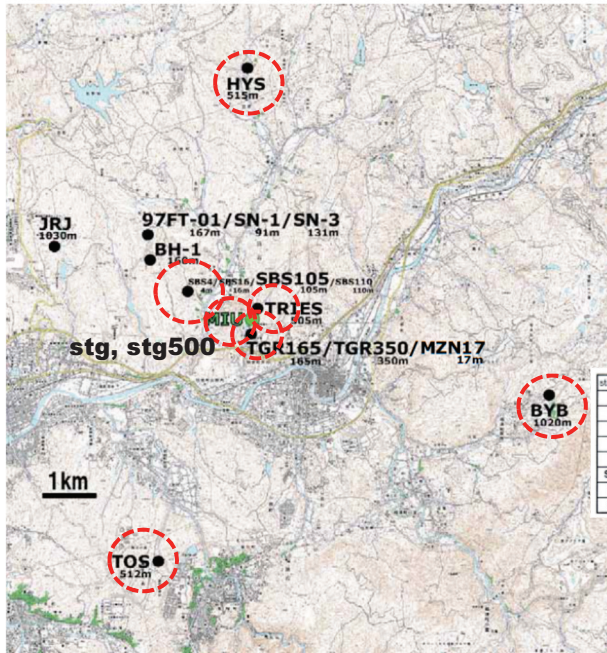
## 5. おわりに

2003 年から続けられてきた東濃地震科学研究所の歪計・応力計ネットワークで観測されている地震動記録は、散発的には解析され利用されて来たが、総合的に利用できる状況にはなかつた。観測される地震動の最大振幅は、歪計・応力計の計測原理からして、震源過程を単純に反映し、その振幅は地震規模に比例することと、ダイナミックレンジが広くいかなる地震でも飽和することなく記録できる。これまで記録された歪応力地震動を切り出して、地震動データアーカイブスを作り、当研究所の成果として公開できるよう準備してきた。その原型がほぼ完成したので、その内容に関して、前報 (笠原、2017) に加えて変更点等を報告した。収録された地震は、近地地震の M2 から 2011 年東北地方太平洋地震の M9 まで、総数で 2000 弱になる。日本列島で発生した M6.5 以上の顕著地震をほぼ網羅しているし、世界中の M7 を越える地震もほぼ網羅している。

## 参考文献

- 笠原 稔 (2017) 東濃地震科学研究所の歪計・応力計十字アレイで観測された地震動記録の収集 -その 1 東濃地震科学研究所\_歪応力地震動記録 DB の構造. 東濃地震科学研究所地殻活動研究委員会報告書 Seq.38、5-22
- 笠原 稔 (2018) 石井式歪計・応力計で記録される地震動と地震規模の関係 (1): 屏風山・東濃研究所 (歪) 観測点の結果. 東濃地震科学研究所地殻活動研究委員会報告書 Seq.40、13-20
- 笠原 稔 (2019) 石井式歪計・応力計で記録される地震動と地震規模の関係 (2) 陶史の森・日吉・正馬様・深地層研 (応力) 観測点の結果. 東濃地震科学研究所地殻活動研究委員会報告書 Seq.42、151-164

観測点分布図(2019年3月1日現在)



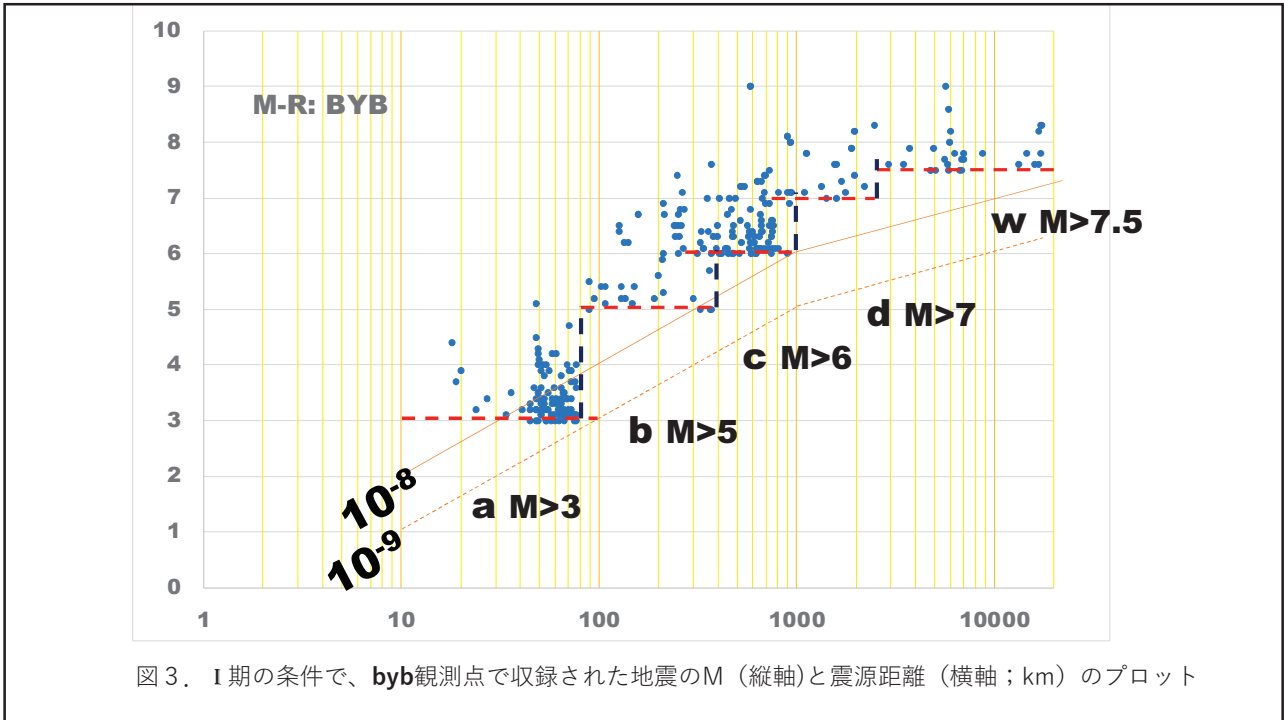
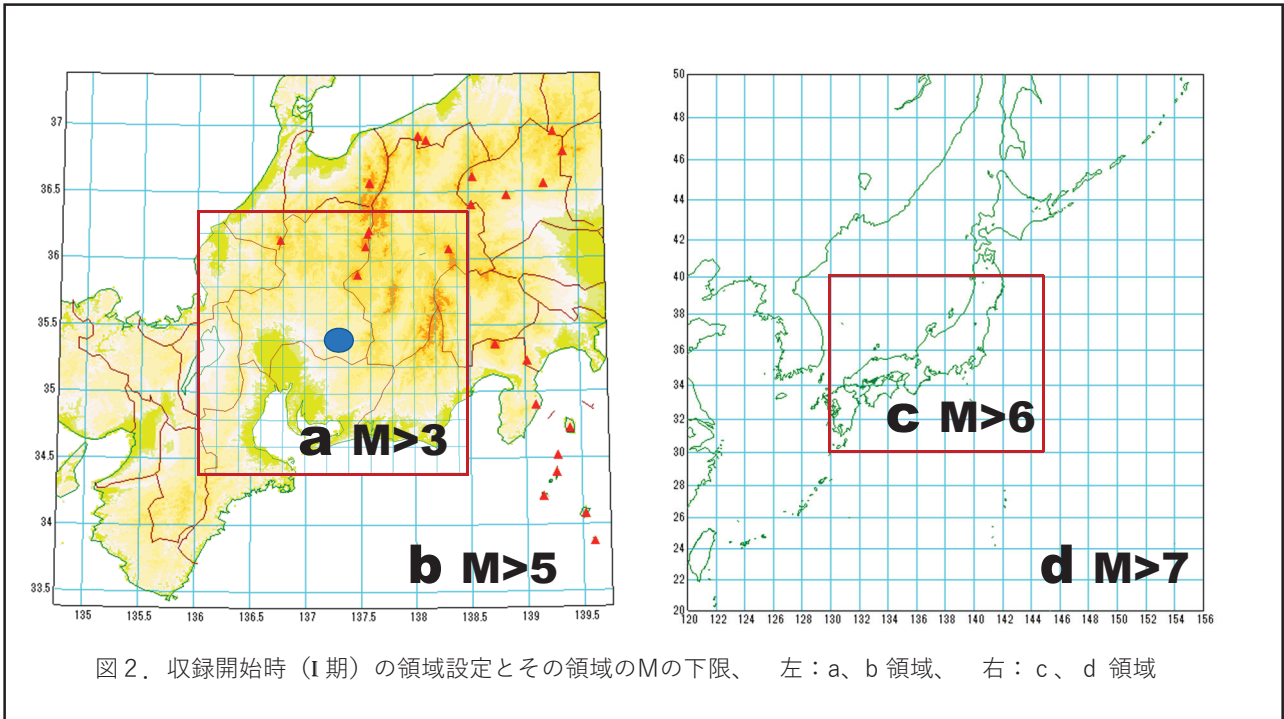
station/year	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
BYB	3/30																	
TRIES					5/16													
TOS							3/15											
HYS								9/18										
SBS										2/20								
STG200N												8/19						
MZN17													12/6					
STG500																12/15		

図1. 左 東濃地震研究所歪計応力計観測点分布  
 右上 観測点数の時間変化、  
 右下 各観測点の観測開始と稼働状況(塗潰)

M I U : 瑞浪超深地層研究所の立坑位置

表1 各期間の収録地震条件、収録領域名とその範囲(緯度経度)とM下限一覧

	I 期	II 期	III 期	IV 期	
area/period	2003.03~2016.04	2016.05~2017.12	2018.01~	2019.01~	data length
<b>2</b>				35.00 - 35.80, 136.80 - 137.60	
下限M				2	2min
<b>a</b>	34.38 - 36.38, 136.00 - 138.50	34.38 - 36.38, 136.00 - 138.50	34.38 - 36.38, 136.00 - 138.50	34.38 - 36.38, 136.00 - 138.50	
下限M	3	2.5	2.5	2.5	2min
<b>b</b>	33.38 - 37.38, 134.75 - 139.75	33.38 - 37.38, 134.75 - 139.75	33.38 - 37.38, 134.75 - 139.75	33.38 - 37.38, 134.75 - 139.75	
下限M	5	3.5	3.5	3.5	2min
<b>c</b>	30.00 - 40.00, 130.00 - 145.00		31.38 - 39.38, 134.75 - 139.75	31.38 - 39.38, 134.75 - 139.75	
下限M	6		4.5	4.5	5min
all Japan	20.00 - 50.00, 120.00 - 156.00	20.00 - 50.00, 120.00 - 156.00	20.00 - 50.00, 120.00 - 156.00	20.00 - 50.00, 120.00 - 156.00	
下限M	7	5.5	5.5	5.5	10/20min
<b>w</b>	all over the world	all over the world	all over the world	all over the world	
下限M	7.5	6.5	6.5	6.5	2hours/1Hz



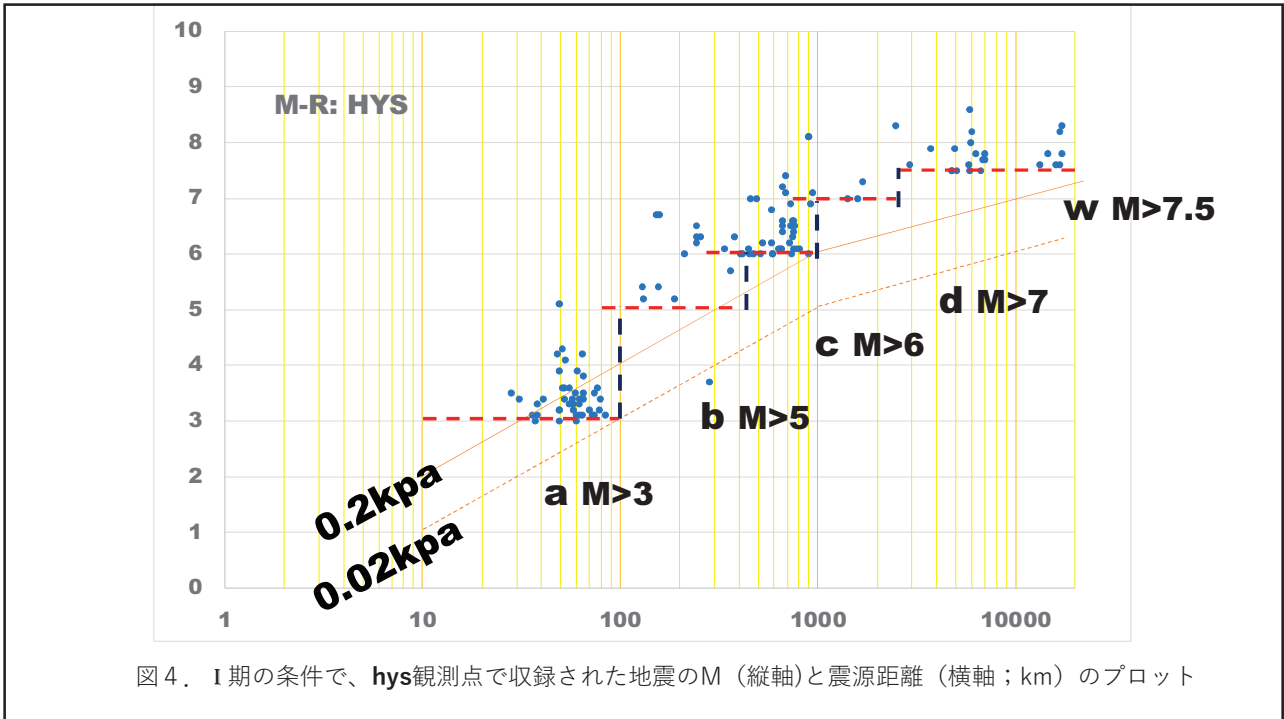


図4. I期の条件で、hys観測点で収録された地震のM（縦軸）と震源距離（横軸；km）のプロット

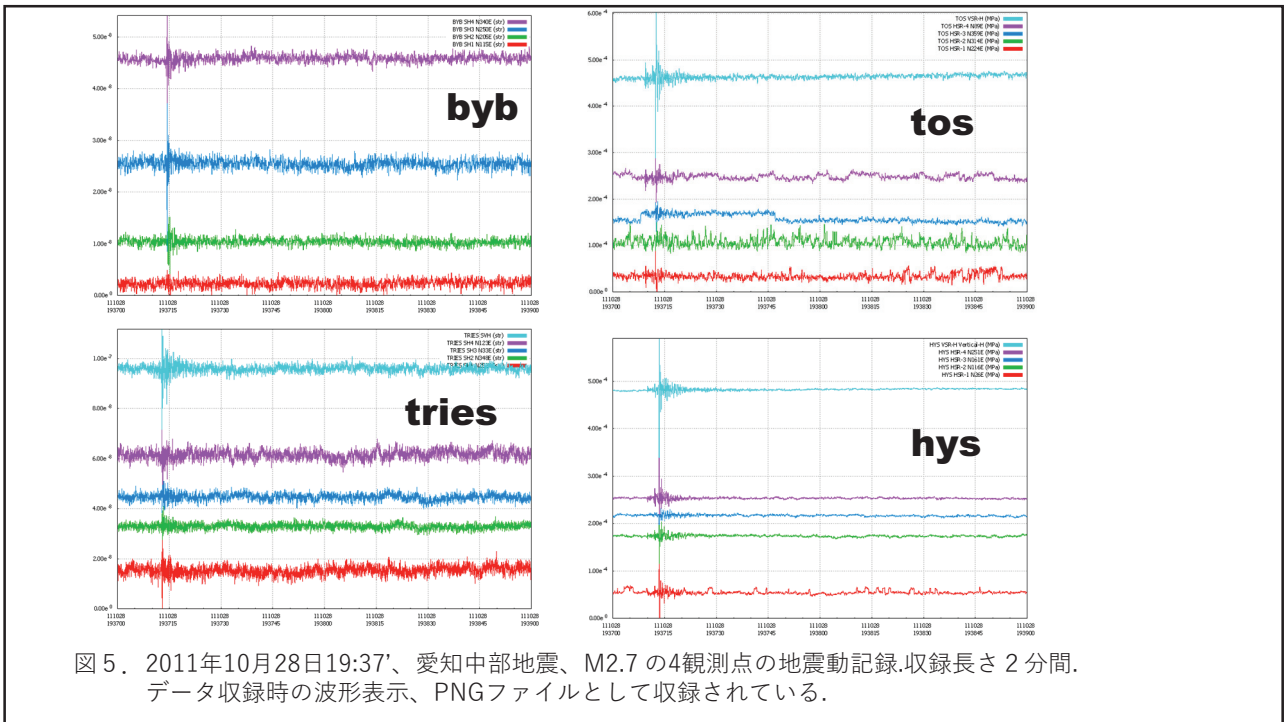


図5. 2011年10月28日19:37'、愛知中部地震、M2.7の4観測点の地震動記録.収録長さ2分間.データ収録時の波形表示、PNGファイルとして収録されている.

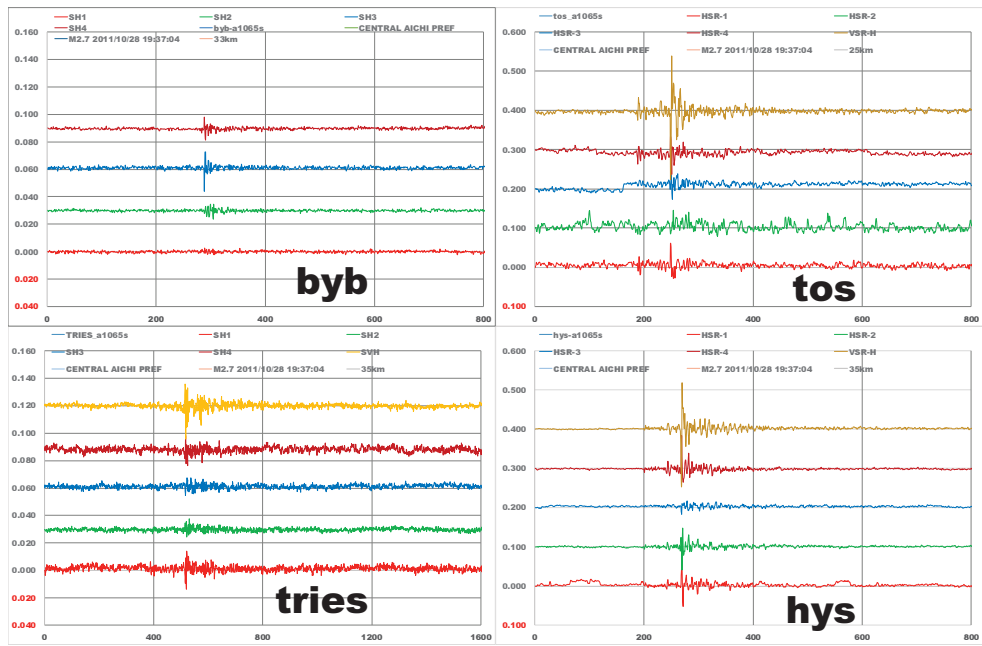


図 6. 2011年10月28日19:37'、愛知中部地震、M2.7 の4観測点の地震動記録。40秒間。  
 左；byb観測点とtries観測点(歪計)、 右；tos観測点とhys観測点(応力計)



図 7. 2011年10月28日19:37'から5秒間のノイズ記録の比較.赤点線はbyb観測点の平均的ノイズレベルと相当する範囲を示す.左；byb観測点とtries観測点(歪計)右；tos観測点とhys観測点(応力計)



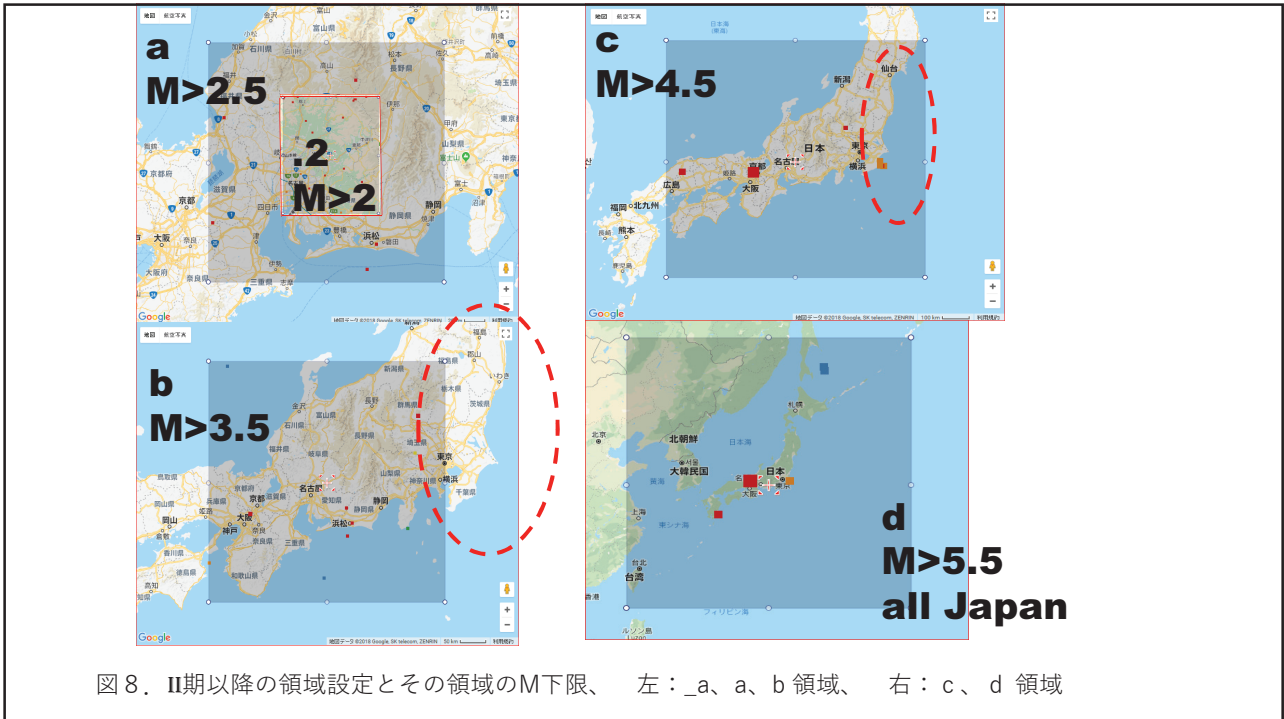


図 8. II期以降の領域設定とその領域のM下限、 左：\_a、a、b 領域、 右：c、d 領域

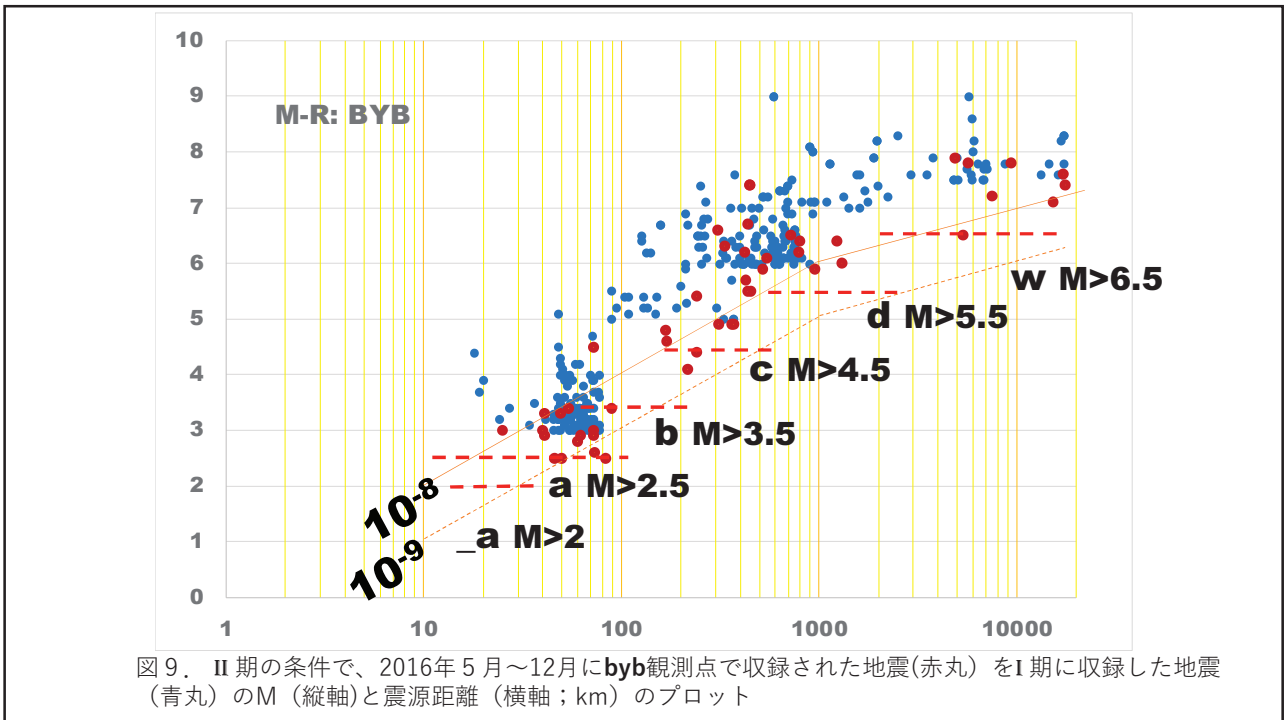


図 9. II 期の条件で、2016年 5 月～12月にbyb観測点で収録された地震(赤丸)をI期に収録した地震(青丸)のM(縦軸)と震源距離(横軸; km)のプロット

