

人机交互式波形对比相对定位

雷兴林

中国地震局地质研究所

xinglin-lei@ies.ac.cn



<https://bemlar.ism.ac.jp/lx1/>



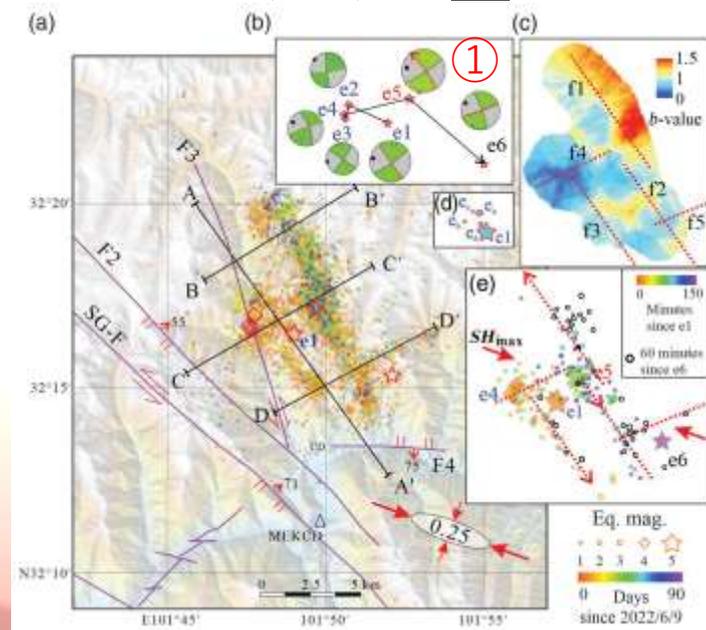
原理·意义

- 地震双事件相对定位是一种基于波形相似性和到时差的高精度地震定位方法。它通过比较两个地震事件在不同台站上的波形数据,精确确定它们的相对位置。具有高精度、不太依赖绝对速度模型等优点。
- 但当两个事件的震级或震源机制不同时,波形的相似性降低,基于固定时窗的互相关得到的自动处理到时差就未必准确。
- 人机交互式波形对比,可以人为聚焦震相的特定部分,如初动,第一个 $1/4$, $1/2$, $1/1$ 周期等的波形匹配,获得具有统一特征的到时差,从而提高初始震源位置的相对精度。
- 对于一个地震序列的关键事件(震群的主要地震,大震序列的前震,主震,重要余震等),可构建相对定位链条。①
- 关键事件还可以用来约束如HypoDD自动相对定位。
- 这些关键事件对理解整个地震序列的时空演化及触发机制等具有重要意义。
- 通过人机交互还可以增加操作者感性认识对定位结果的客观认知。

Lei and Wang (2022). *Earthq. Res. Ad*



Su, et al., 2023. *SRL*



确定关键事件及相对定位链条

➤ 对整个地震序列进行**常规定位**及精定位处理

- 在常规定位基础上用**HypoDD**, GrowClust等方法进行精定位处理

➤ 关键事件的选取可以根据地震序列类型及目的确定

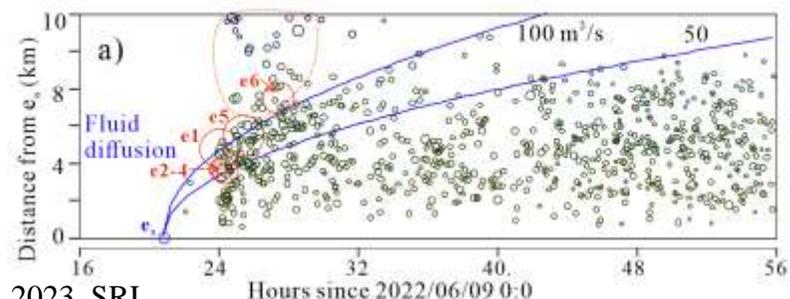
- 震群：一般选择震级较大的几个主要地震
- 大震序列：前震，主震，重要余震
- 流体驱动地震活动：除以上事件外，尽可能包括第一个或第一幕里震级相对大的而且定位精度较好的事件。 ①

➤ 第一个参考事件

- 定位精度高（如临时台网观测期间，得到InSAR等其它数据验证）且震级适当的地震。

➤ 相对定位链条

- 选择地震对之间震源距离最小的配对，同时兼顾震级差异。



Su, et al., 2023. [SRL](#)

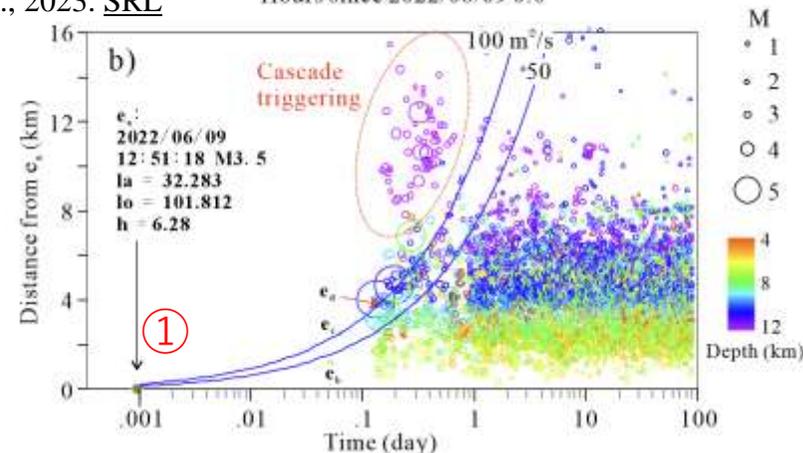


TABLE 1

Hypocenter Location, Focal Mechanism Solution, and Rupture Directivity of Key Events of the Maerkang Swarm

ID	Date (yyyy/mm/dd) and Time (hh:mm:ss.s) (UTC)	Longitude (°), Latitude (°)	M	H/h (km)	Fault 1 (°)			Fault 2 (°)			Rupture Directivity
					S	D	R	S	D	R	
e _a	2022/06/09 12:51:18	101.812, 32.283	M _s 3.5	-7.3							Initial event, fluid injection point
e _b	2022/06/09 14:06:34	101.809, 32.283	M _s 1.2	-7.5							
e _c	2022/06/09 14:23:25	101.804, 32.279	M _s 1.1	-8.7							
e _d	2022/06/09 16:03:9.6	101.813, 32.278	M _s 3.1	-10.1							Reference for relative location
e ₁	2022/06/09 16:03:25	101.816, 32.274	M _w 5.48	7.3/10.2	145	90	13	55	77	180	Southeast
e ₂	2022/06/09 16:06:45	101.795, 32.282	M _w 4.73	7.3/9.0	175	80	147	83	76	170	
e ₃	2022/06/09 16:19:44	101.793, 32.276	M _w 4.33	7.1/8.7	125	88	6	35	84	178	
e ₄	2022/06/09 16:21:17	101.792, 32.278	M _w 4.62	11.2/8.6	340	65	5	248	85	155	
e ₅	2022/06/09 17:28:35	101.827, 32.285	M _w 5.76	7.9/10.7	325	80	-10	57	80	-170	Northwest
e ₆	2022/06/09 19:27:00	101.873, 32.255	M _w 5.13	7.3/7.8	340	80	-2	70	88	-170	

H, centroid moment tensor (CMT depth); h, hypocenter depth; relocation chain, e_d → e₁ → e₅/e₆, e₃ → e₃ → e₄ → e₂; S, strike; D, dip; R, rake.

波形文件准备

➤ GeoTaos_Map

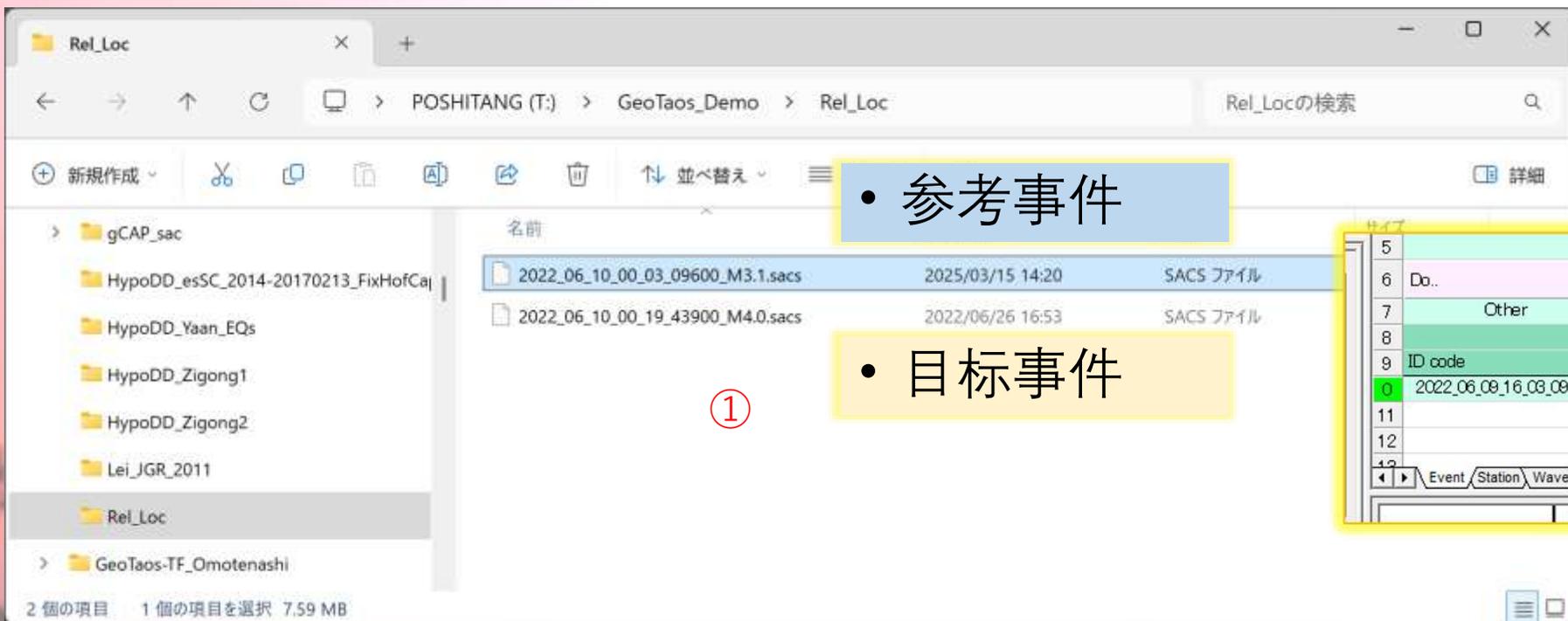
- 载入: Seed, Mini Seed, SAC
- 保存: SACs

➤ 准备关键事件的波形文件

- ① ➤ 格式: 地之道扩展SAC格式, SACs格式
 - 震源信息: 将震源震源注入文件头 ②

➤ 第一个参考事件相对定位链条

- 最终定位结果
- 检验各台的P波到时及初动极性

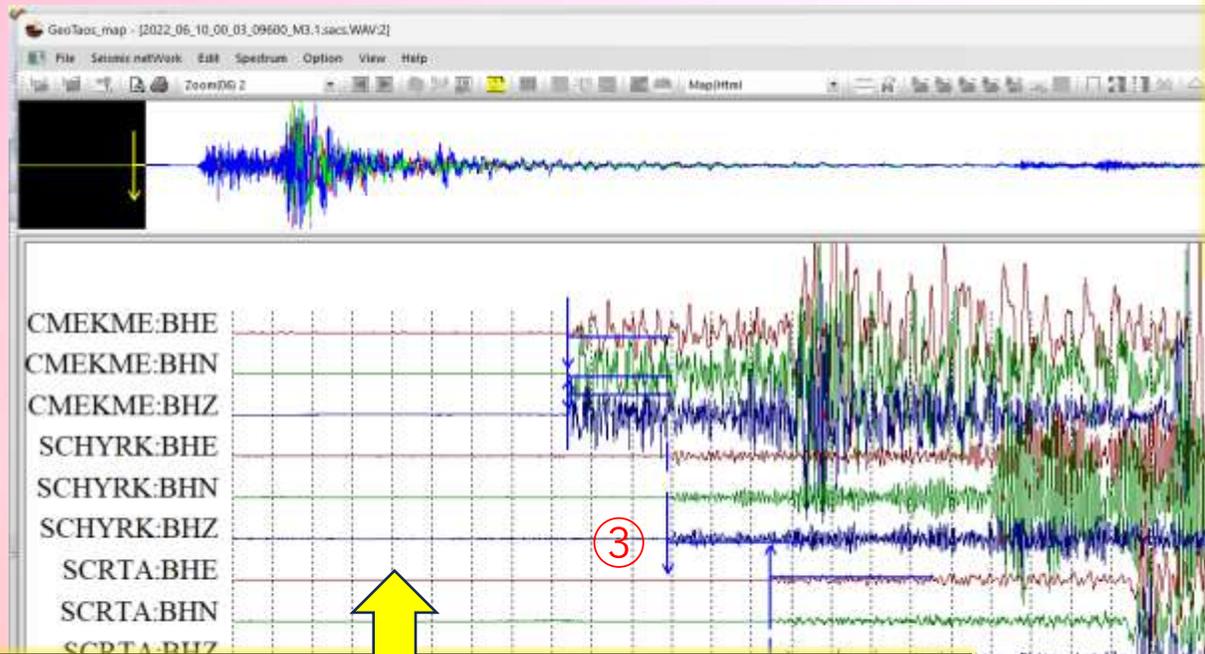


5		Srate=100	T_b=5.0	T_a=55.0	Sampling r
6	Do..	14: Save changes to SACs			* for wave
7	Other	t_zone=0.0		Do..	Time zone
8		<<(50)..	>>(50)..		Event ran
9	ID code	Long	Lat.	H(km), M	Name
10	2022_06_08_16_03_09600	101.813499	32.277599	H=10.09, M=3.10	2022_06_0
11					
12					
13					

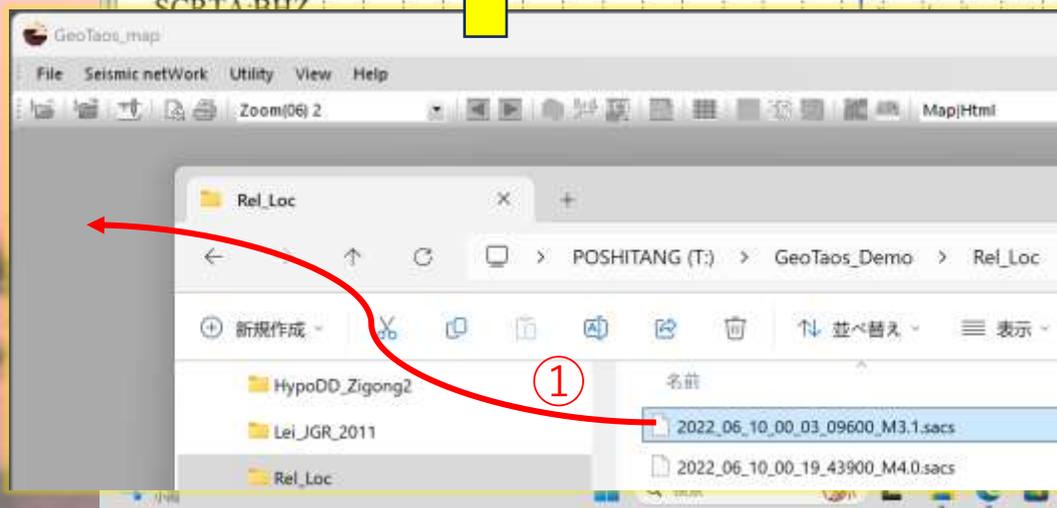
②

第一个参考事件

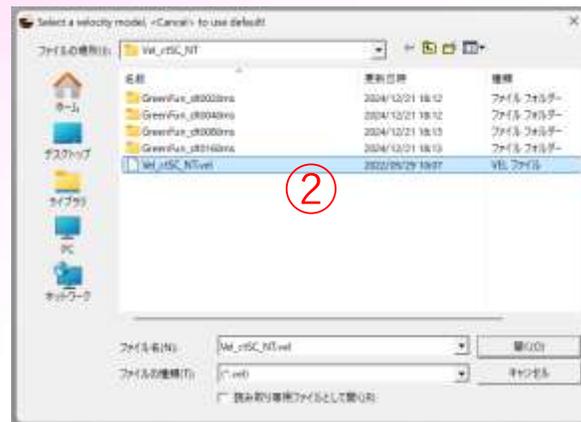
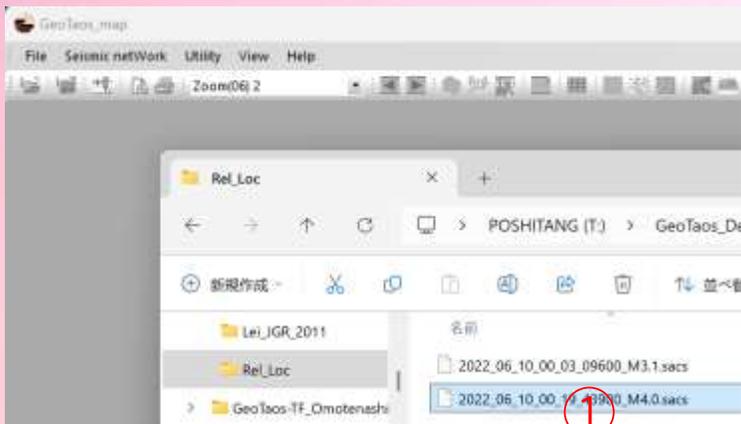
- ① 第一个参考事件的波形文件载入GeoTaosMap
- ② 检查地震诸参数
- ③ 检查各台到时数据
- ④ 若有必要可以修改, [修改初动到时及极性](#)
- ⑤ 存储修改



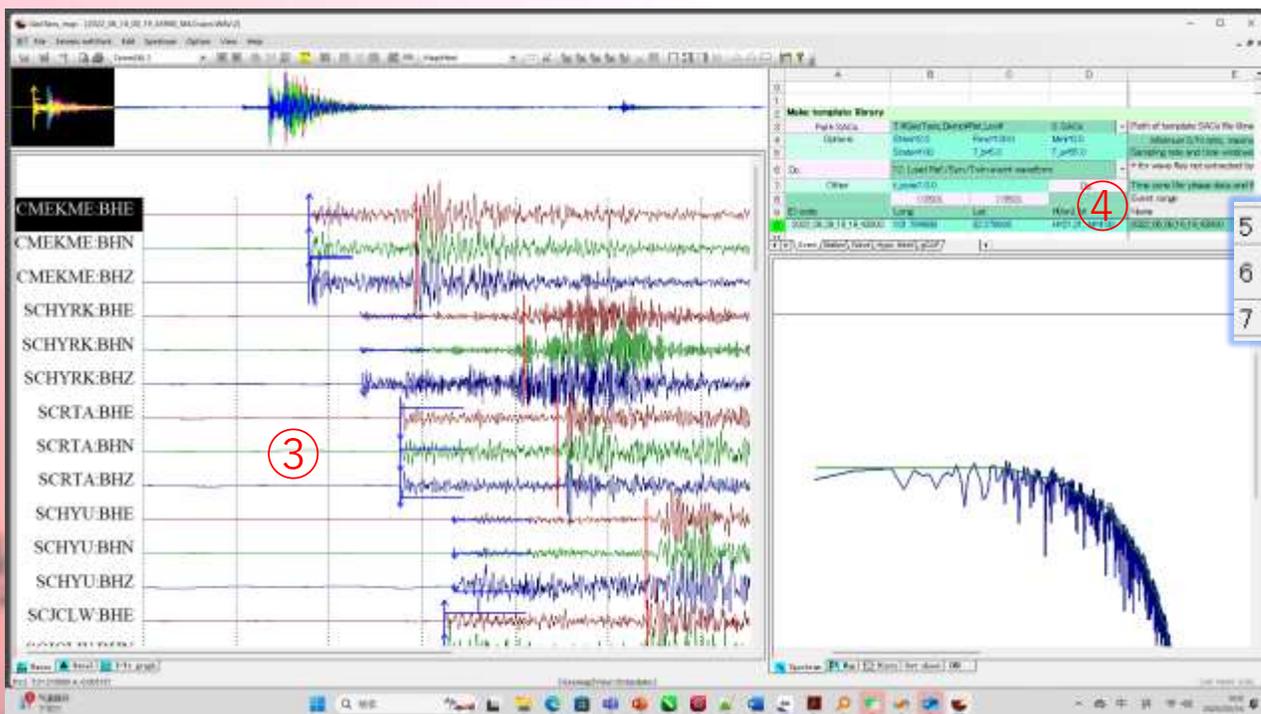
5	Rate=100	T_b=5.0	T_a=55.0	Sampling r
6	Do..	⑤ 14: Save changes to SACs		* for wave
7	Other	t_zone=0.0	Do..	Time zone
8	<<(50..	>>(50..		Event ran
9	ID code	Long	Lat.	H(km), M
10	2022_06_08_16_08_08600	101.813489	32.277589	H=10.09, M=3.10
11				2022_06_0
12				



操作流程：载入目标事件波形文件



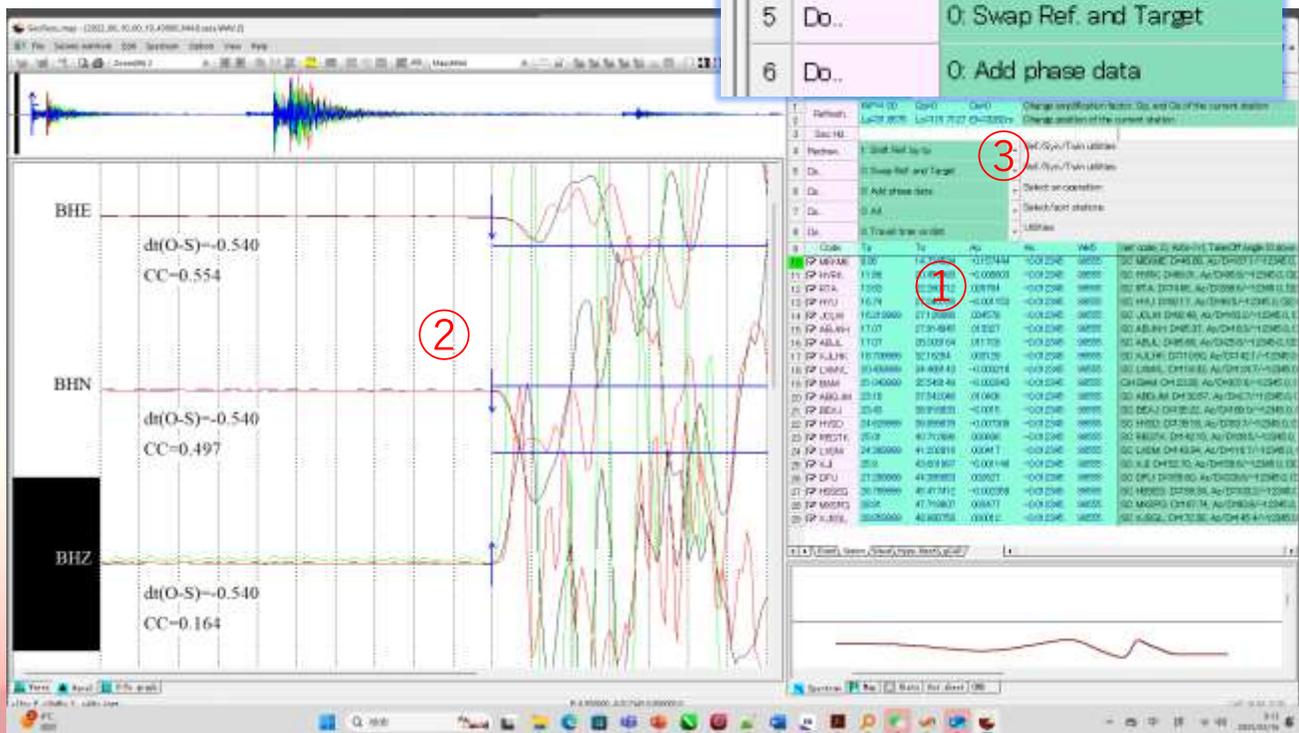
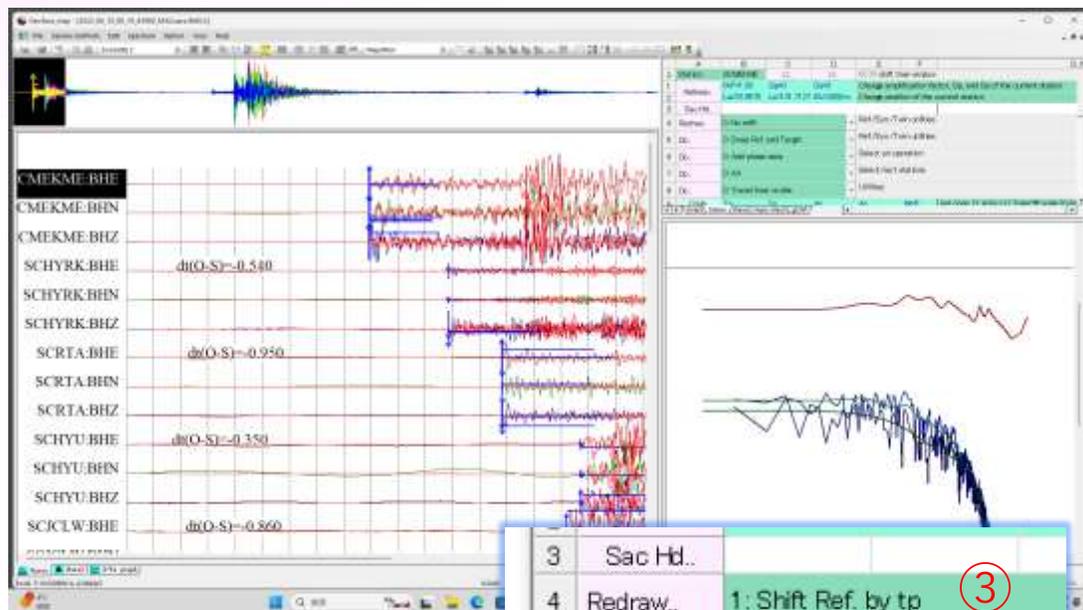
- ① 打开要定位的目标事件
- ② 选择适当的1维速度模型
- ③ 查看整体波形
- ④ 载入参考事件



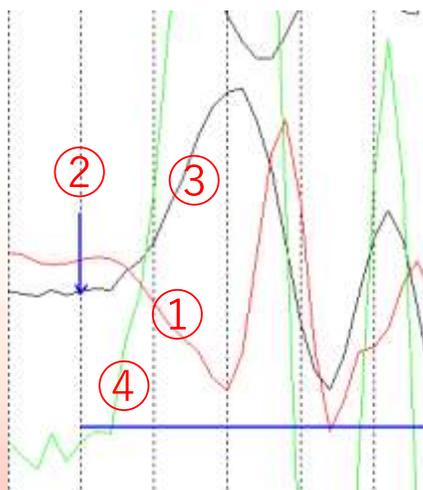
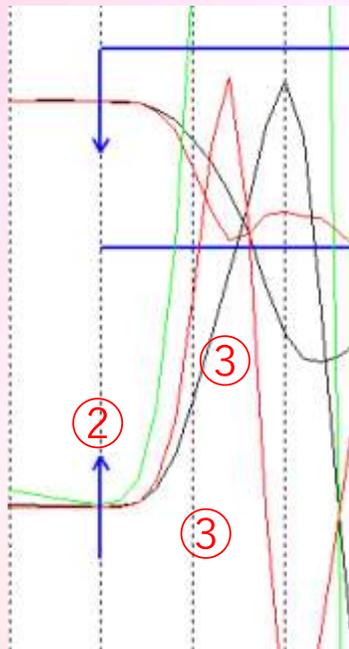
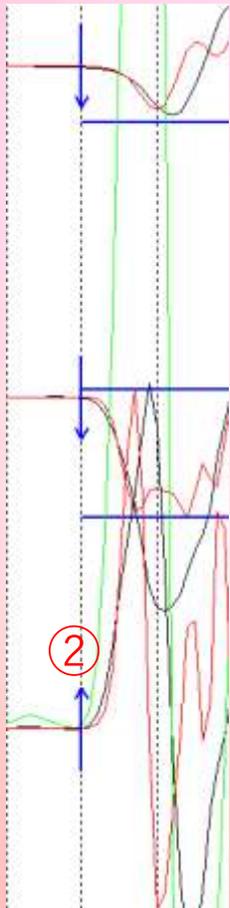
5		Rate=100	T_b=5.0	T_a=
6	Do...	12: Load Ref./Syn./Twin event waveform		
7	Other	t_zone=0.0		

人机交互波形对比准备

- ① 人机交互波形对比在【Station】网络工作界面和
- ② 【Wave3】图形界面进行
- ③ 需要shift参考事件时间轴使参考事件和目标事件Tp对齐



人机交互波形对比操作



①
➤ 参照参考事件初动附近波形将鼠标移动到其初动前后，点击左键，目标事件的波形②将随之移动，移动距离和方向与点击位置有关。一般在Z分量操作。

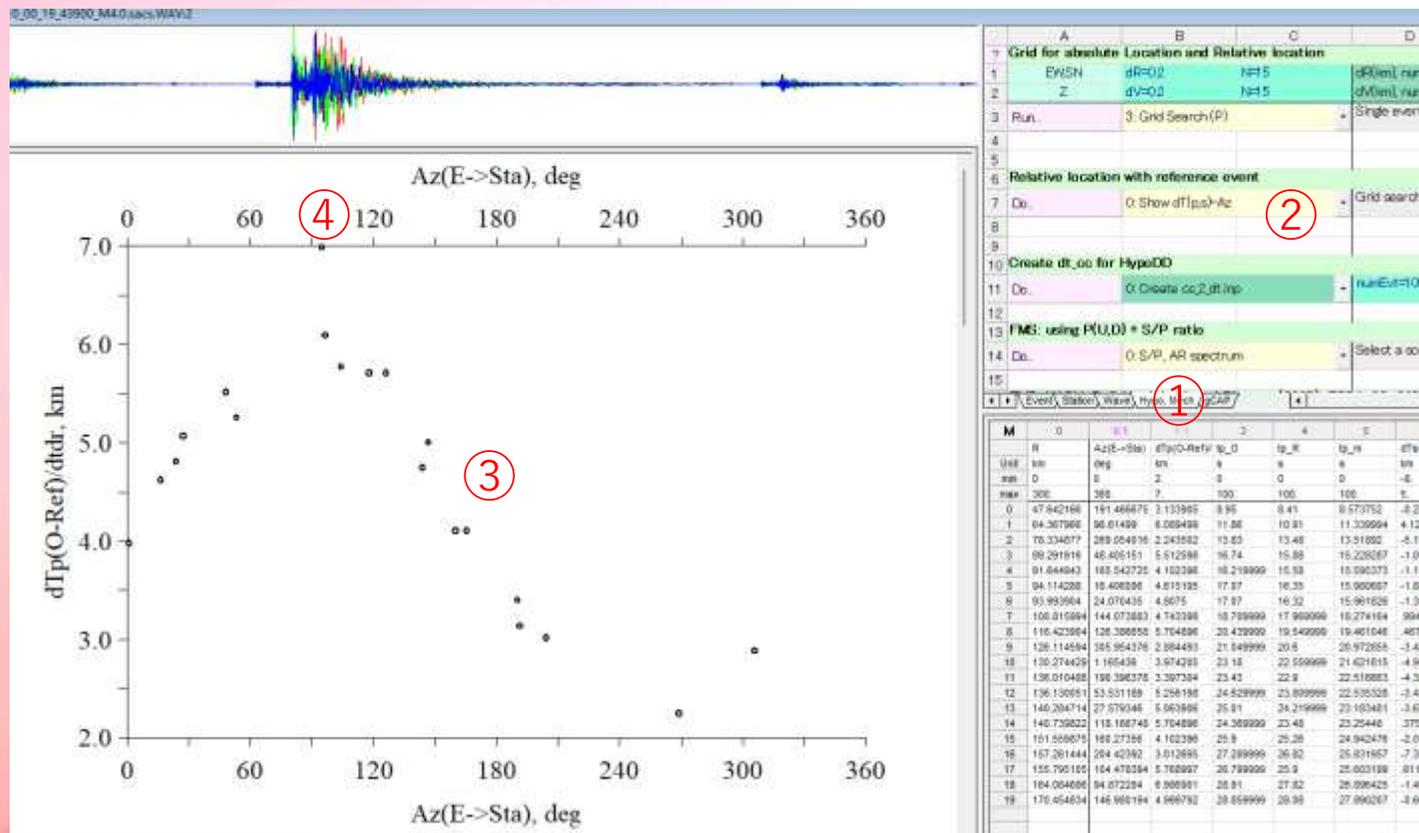
① ➤ 红色为参考事件

➤ 黑色为目标事件，绿色放大波形

②

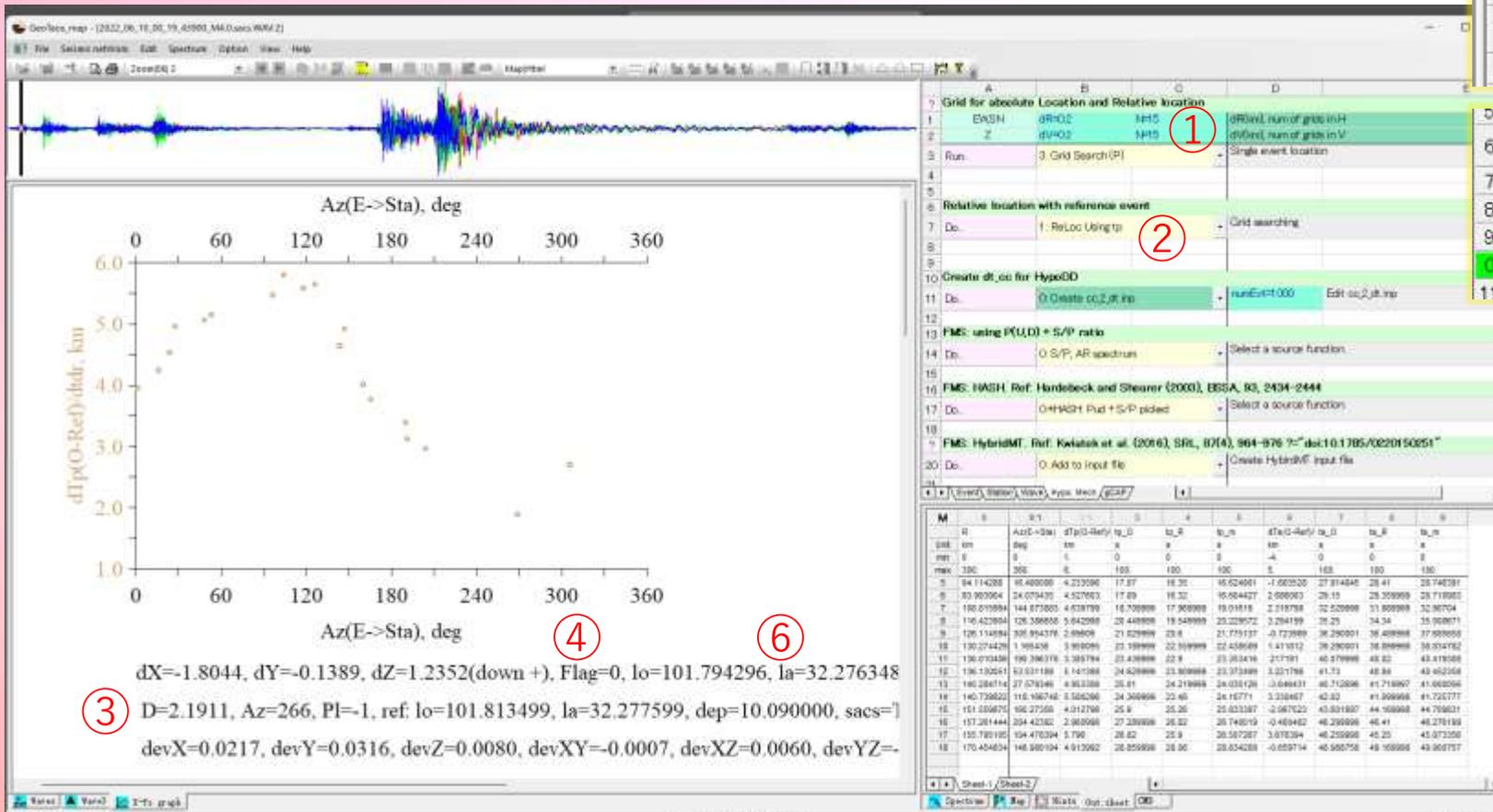
④

网格搜索法相对定位



- ① 切换到
【Hypo, Mech】
- ② 执行7行
0:Show dT(p,s)-Az
- ③ dT-Az应该具有正弦
函数特征
- ④ 发现异常的数据
Out-Runner
可以回到先前界面
重新读取或不选

网格搜索法相对定位



5				
6	Relative location with reference event			
7	Do...	⑤	9: Refresh location changes	Grid searching
8				
9				
10	Do...	⑦	14: Save changes to SACs	* fo
11	Other		t_zone=0.0	Do...
12			<<{50}	>>{50}
13	ID code	Long	Lat	H(km), M
14	2022_06_09_16_18_43900	101.792320	32.275311	H=11.25, M=4.00
15				
16				
17				
18				
19				
20				

- ① 设定好网格搜索参数
- ② 执行Reloc Using Tp
- ③ 结果画面
- ④ 确认Flag=0, 非0表示没收敛。
- ⑤ 更新目标事件定位数据
- ⑥ 确认目标事件定位数据已经更新, 可以手动修改
- ⑦ 保存SACs

16	157.261444	204.42392	2.960996	2
17	155.795105	104.478394	5.796	2
18	164.084686	94.872284	6.867001	2
19	170.454834	146.980194	4.913992	2