

1944年東南海地震時の 水準測量について

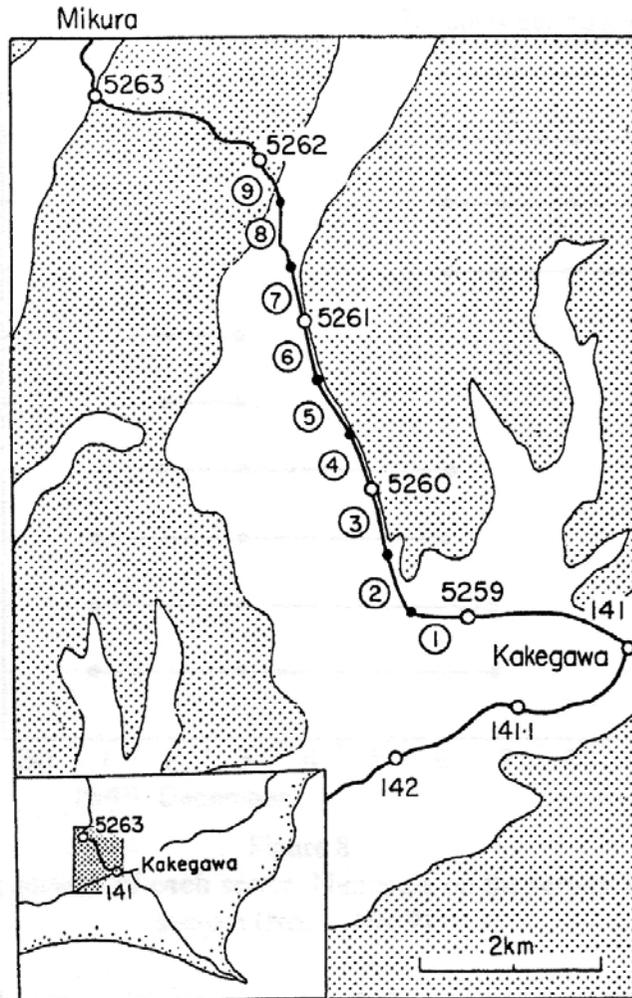
名古屋大学減災連携研究センター

鷺谷 威

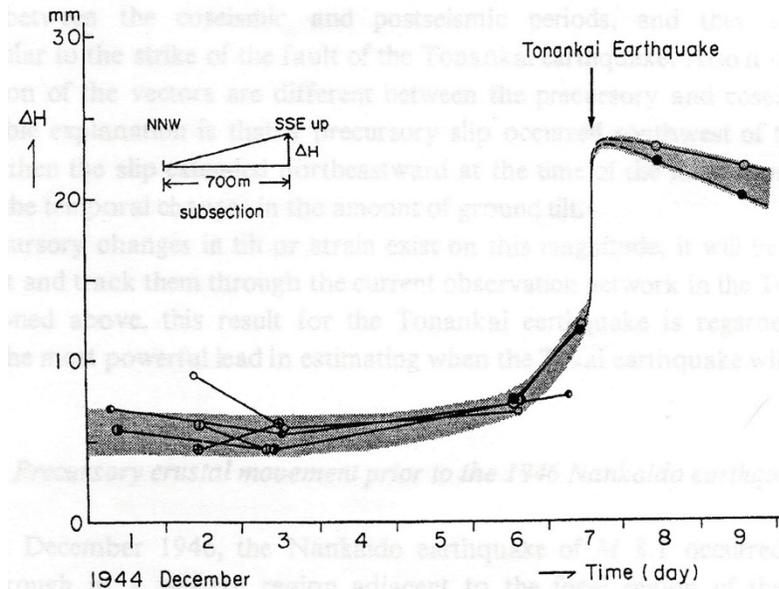
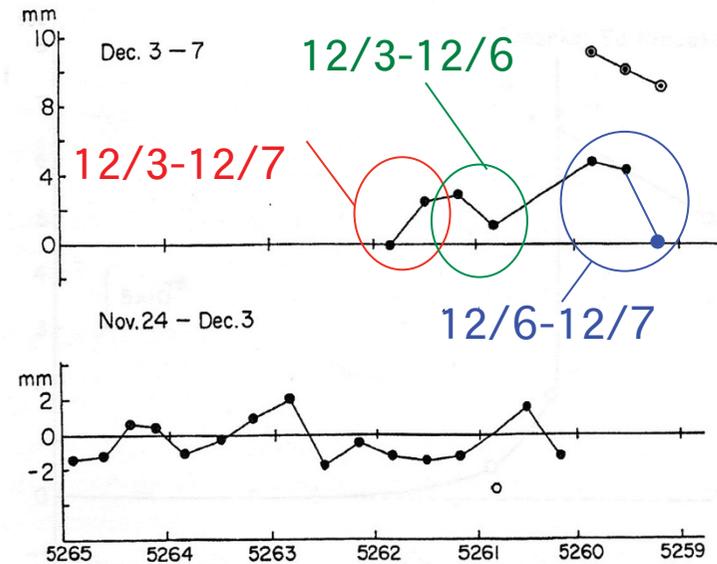
2012.09.13

南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会

1944年東南海地震の前兆的地殻変動



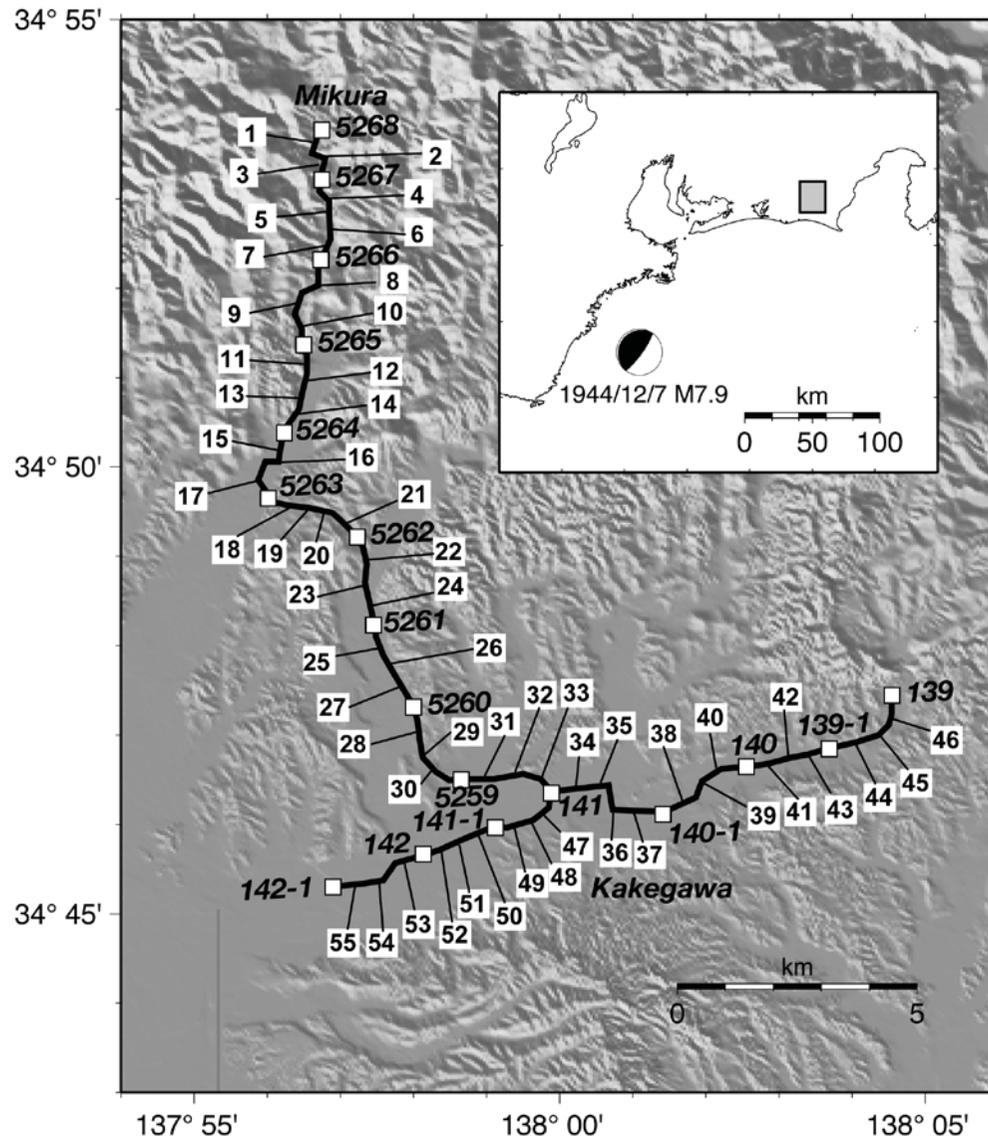
地震発生の3日前頃から
南上がりの傾斜変化が加速



2012.09.13

南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会

1944年東南海地震時の水準測量

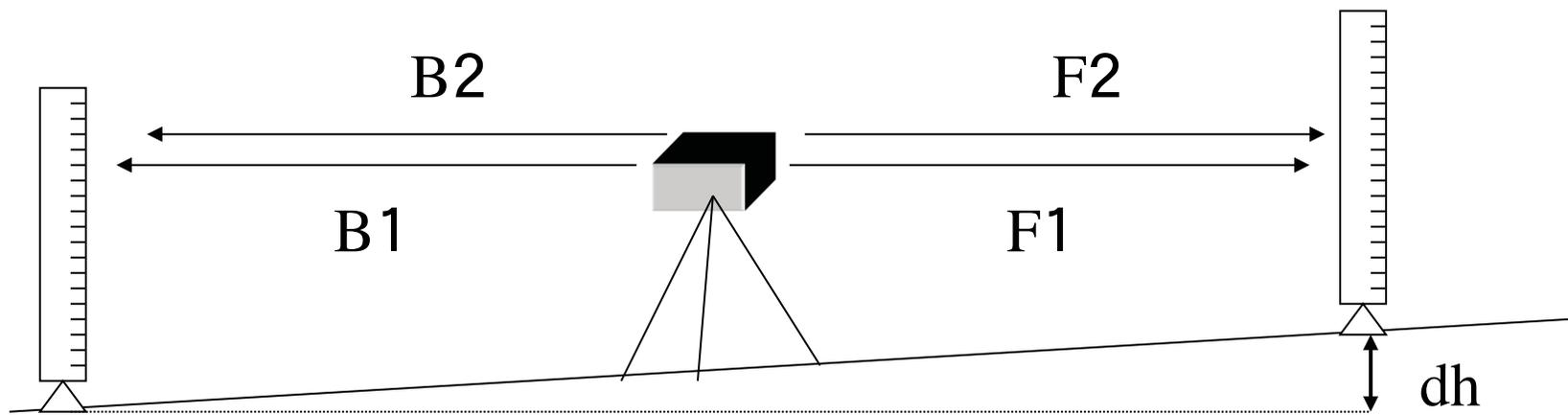


- 東大・今村明恒博士の依頼で陸地測量部が実施.
- 1944年11月24日～12月25日まで
- 測量班が行った観測全体の中で異常地殻変動を評価する
- もう1班が掛川～御前崎間に新路線設置

Sagiya (1998)、鷺谷(2004)

2012.09.13

南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会



$$dh = (F1 - B1 + F2 - B2) / 2$$



進行方向

2012.09.13

南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会

観測手簿の再点検(Sagiya, 1998)

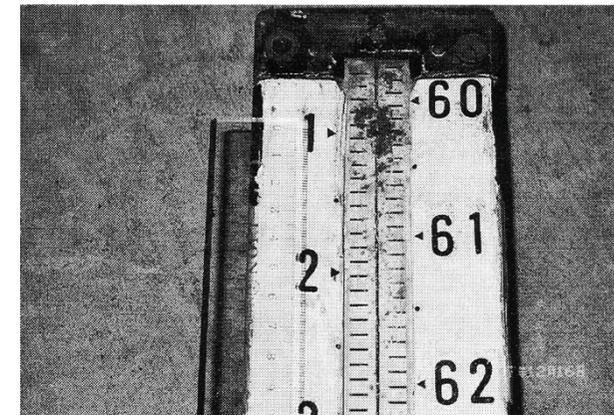
B1 F1 B2 F2

1	30	0.12	X	9.88	821	825			6.05	X	3.95	338	333	5268	11/24						
		X	5.73		4.27	413	419	414	X	9.81		10.19	925			924	-578				
		X	5.85		4.15				X	5.86		4.14									
2	39	2.03	X	7.97	622	624			7.96	X	2.04	104	103	377	X	0.69	9.31	700	722	-615	
		X	6.61		3.39	237	232														
		X	4.49		5.51				X	4.51		5.49									
3	40	1.71	X	8.29	603	601			7.64	X	2.36	32	29	32	X	0.90	9.10	102	106	-47	
		X	6.83		3.17	532	540														
		X	3.03		6.97				X	3.05		6.95									
4	40	1.51	X	8.49	423	421			7.43	X	2.57	832	831	-551	X	9.84	10.16	426	428	409	
		X	5.77		4.23	946	949														
		X	0.31		9.69				X	0.32		9.68									
5	40	1.27	X	8.73	321	323			7.19	X	2.81	736	743	-271	X	0.31	9.69	48	48	683	
		X	6.24		3.76	608	607														
		X	87.82		12.18				X	87.82		12.18									
6	40	1.32	X	8.68	521	522			7.25	X	2.75	21	8	-346	X	2.81	7.19	341	340	-352	
		X	8.74		1.26	843	846														
		X	87.88		12.12				X	87.88		12.12									
7	40	3.84	X	6.16	246	248			9.76	X	0.24	724	726	292	X	2.93	7.07	436	438	276	
		X	8.85		1.15	2	0														
		X	0.57		9.43				X	0.57		9.43									
8	40	4.01	X	5.99	452	443			9.93	X	0.07	946	949	102	X	1.65	8.35	848	848	99	
		X	7.57		2.43	347	346														
		X	2.15		7.85			49	X	2.15		7.85									

(a) (b) (c) (d) (e) (f) (g) (h) (i) (j) (k) (l)

$$\begin{array}{r}
 \dots A \\
 R = -7.85000 \\
 mC = -0.00038 \\
 \hline
 -7.85038 \\
 \hline
 -3.92519 \\
 (m)
 \end{array}$$

Excelに数値を入力して
計算結果をチェック
大きな計算ミスはなし

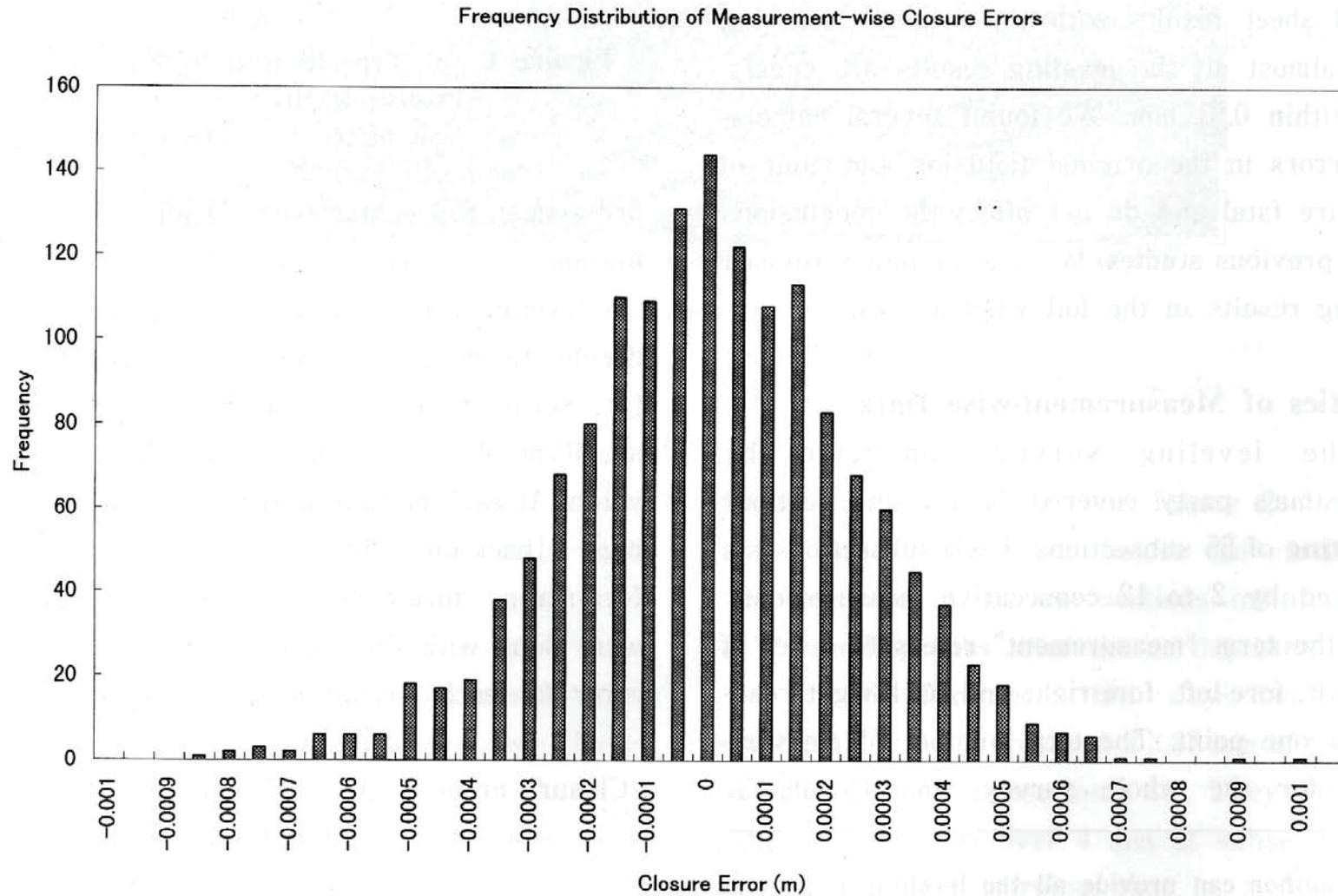


Sagiya(1998)

2012.09.13

南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会

測点毎の閉合差

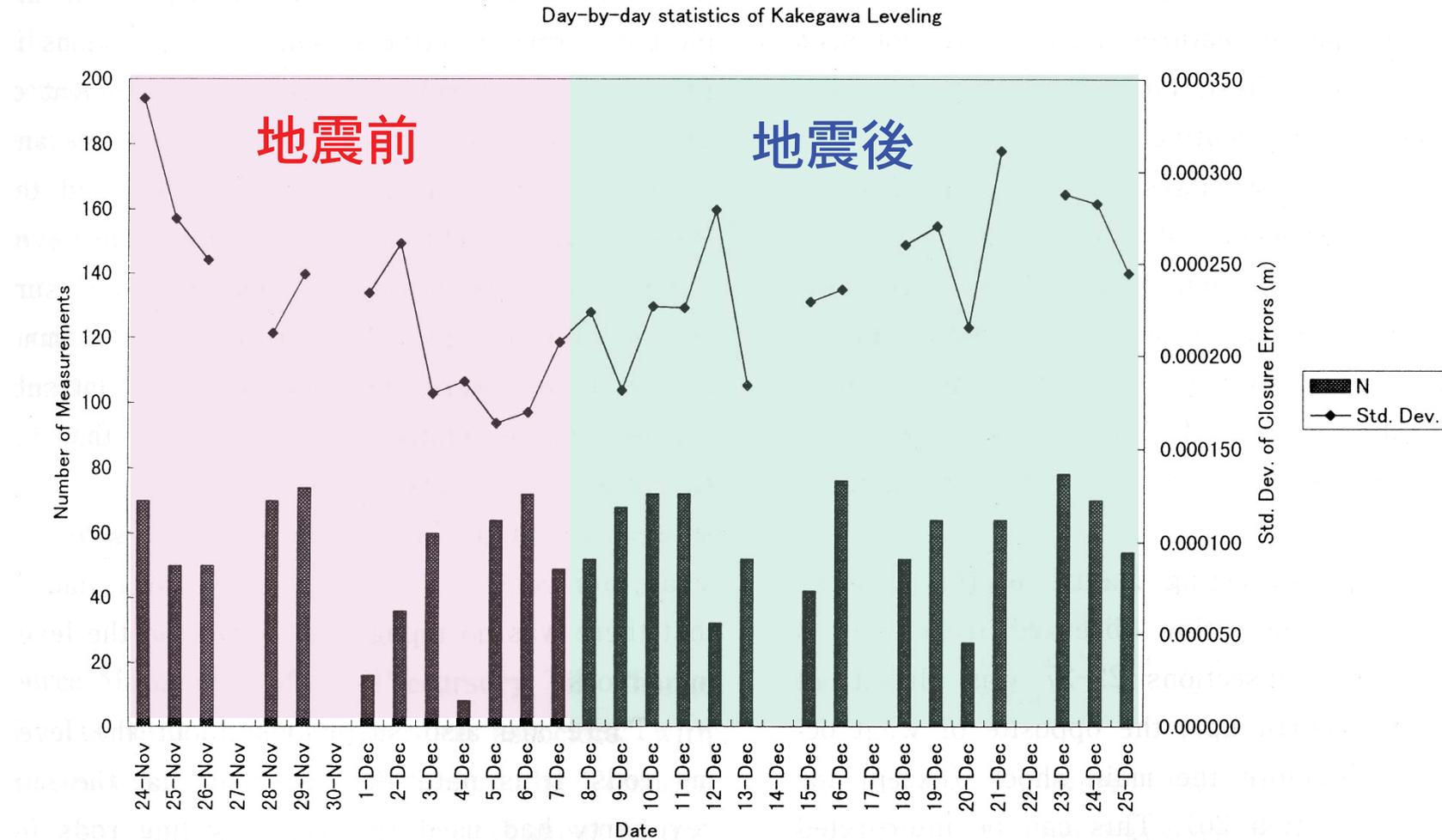


2012.09.13

南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会

Sagiya(1998)

測点閉合差の日変化



Sagiya(1998)

2012.09.13

南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会

測量結果のまとめ

Date	Start	End	Sect.	Dir.	DH(m)
11/24	7:30		1	I	-3.92522
			2	I	-11.86593
		10:30	3	I	-3.10756
	10:40		4	I	+0.75349
			5	I	-14.37782
			6	I	-9.48921
		14:02	7	I	-0.92903
	14:15		8	I	-9.80134
		16:12	9	I	-3.43544
11/25	8:40	9:30	10	I	-4.15320
	9:43		10	II	+4.14913
			9	II	+3.43630
		11:42	8	II	+9.80096
	13:11		7	II	+0.92841
		14:30	6	II	+9.49063
11/26	8:20		5	II	+14.37821
		10:02	4	II	-0.75244
	10:05	10:42	4	I	+0.75364
	10:54		3	II	+3.10936
			2	II	+11.86369
		15:42	1	II	+3.92350
11/28	7:10		17	II	+3.11733
			16	II	+1.74813
		9:27	15	II	+3.18185
	9:30		14	II	+1.59108
			13	II	+3.78520
			12	II	+1.82061
		13:20	11	II	+3.24743
	13:20	14:30	10	II	+4.15055
	14:30		11	I	-3.24890
		15:42	12	I	-1.82190
11/29	8:05	8:13	12	I	-1.82120
	8:13		13	I	-3.78462
		10:00	14	I	-1.59083
	10:00		15	I	-3.18305
			16	I	-1.74839
		11:53	17	I	-3.11641
	12:50		18	I	-0.98029
			19	I	+12.89941
			20	I	+15.68253
		16:12	21	I	-13.88254
12/1	7:50		22	I	-11.39565
		9:30	23	I	-2.56305
12/2	8:15	9:03	24	I	-3.25408
	9:10		25	I	-6.11215
			26	I	-4.77644
		12:05	27	I	-1.20793

Date	Start	End	Subs	Dir.	DH(m)
12/3	8:05		27	II	+1.20930
			26	II	+4.77490
		11:12	25	II	+6.11536
			24	II	+3.25537
			23	II	+2.56461
		15:00	22	II	+11.39691
	15:03	15:42	21	II	+13.88304
12/4	8:10		20	II	-15.68066
			19	II	-12.90146
		10:42	18	II	+0.98022
12/5	7:50		37	II	-1.02637
			36	II	-2.28049
			35	II	-1.32670
		11:19	34	II	+0.53462
	12:10		34	I	-0.53387
			35	I	+1.32466
			36	I	+2.28158
		15:30	37	I	+1.02605
12/6	8:20		33	II	-3.87071
			32	II	+0.44662
		10:30	31	II	-0.85715
	10:35		30	II	+1.80899
			29	II	+2.97965
		14:03	28	II	+2.97987
	14:25	15:30	25	II	+6.11427
	15:30	16:30	24	II	+3.25250
12/7	7:10		23	II	+2.56217
		9:10	22	II	+11.39712
	9:40		28	I	-2.97510
			29	I	-2.97536
		12:13	30	I	-1.80914
	12:53	13:40	31	I	unfinished
12/8	10:10		28	I	-2.96403
			29	I	-2.96490
		12:32	30	I	-1.80091
	13:40		31	I	+0.86080
			32	I	-0.44293
		15:42	33	I	+3.87394
12/9	8:30		33	II	-3.87450
			32	II	+0.44195
		11:03	31	II	-0.85815
			30	II	+1.80281
			29	II	+2.96711
		15:30	28	II	+2.96526
			29	I	-2.96584
		16:40	30	I	-1.79994
12/10	8:20		47	I	-2.54835

Date	Start	End	Sect.	Dir.	DH(m)
12/10			48	I	-1.49324
		10:17	49	I	+0.12529
	10:20		50	I	-2.08041
			51	I	-1.36444
		12:23	52	I	+1.14100
	13:30		52	II	-1.14036
			51	II	+1.36616
		15:36	50	II	+2.07969
	15:36		49	II	-0.12337
		16:20	48	II	+1.49773
12/11	8:12	9:03	47	II	+2.54876
	9:10	10:03	48	I	-1.49529
	10:26	10:32	49	I	+0.12367
	10:51		53	I	+0.38545
			54	I	-2.20532
		13:53	55	I	-2.10185
	13:53		55	II	+2.10213
			54	II	+2.20379
		16:21	53	II	-0.38596
12/12	9:00		34	I	-0.59933
			35	I	+2.00960
			36	I	+1.29921
		12:15	37	I	+1.39120
12/13	8:00		38	I	+1.72795
			39	I	+2.19222
		10:38	40	I	+4.19231
	10:40		40	II	-4.19142
			39	II	-2.19087
		14:38	38	II	-1.73102
12/15	8:03		46	II	-7.26780
			45	II	+0.45580
		10:30	44	II	-3.23187
	10:35		43	II	-2.14598
		12:04	42	II	-4.70815
12/16	8:30	9:42	41	II	+1.43318
	10:04		41	I	-1.43339
			42	I	+4.70591
		13:48	43	I	+2.14361
	14:03	14:55	43	II	-2.14305
	15:20	16:28	44	I	+3.23189
12/18	7:35		25	I	-6.09670
			26	I	-4.78211
		9:40	27	I	-1.19019
	9:45		27	II	+1.19224
			26	II	+4.78076
		12:20	25	II	+6.09551
	13:45		24	II	+3.25979

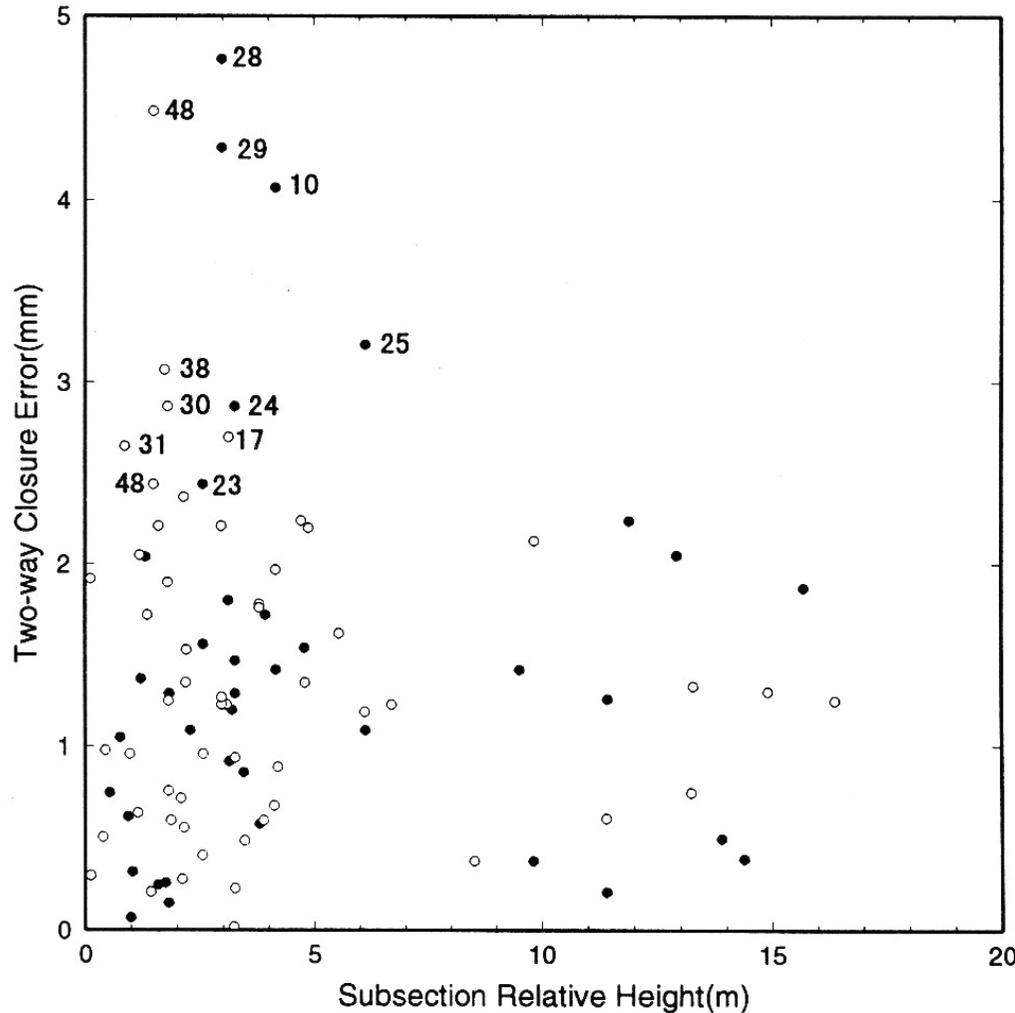
Date	Start	End	Sect.	Dir.	DH(m)
12/18			23	II	+2.55761
		16:12	22	II	+11.38614
12/19	8:12		21	II	+14.89684
			20	II	-16.35574
			19	II	-13.25561
		11:43	18	II	+0.97649
	12:47		18	I	-0.97745
			19	I	+13.25694
			20	I	+16.35699
		15:48	21	I	-14.89554
12/20	8:45		22	I	-11.38675
			23	I	-2.55857
		12:23	24	I	-3.25956
12/21	8:30		17	II	+3.11276
			16	II	+1.87239
		11:03	15	II	+3.06235
	12:35		15	I	-3.06112
			16	I	-1.87299
		14:22	17	I	-3.11546
	15:10		14	II	+1.59192
		16:37	13	II	+3.78002
12/23	7:45		12	II	+1.81356
		8:53	11	II	+3.24785
	9:05		14	I	-1.59413
			11	I	-3.24691
			12	I	-1.81481
		11:20	13	I	-3.78180
			10,9	I	-9.81807
			8	I	-3.46212
		15:10	7	I	-4.11136
	15:15		7	II	+4.11204
		16:32	8	II	+3.46261
12/24	7:45	8:40	9,10	II	+9.81594
	8:45		6	II	+4.15231
			5	II	+13.20708
		11:40	4	II	+6.68303
	12:50		3	II	+4.86264
			2	II	+8.49989
		15:21	1	II	+5.53689
	15:30	16:10	1	I	-5.53851
12/25	8:10		2	I	-8.50027
		9:33	3	I	-4.86044
	9:40		4	I	-6.68180
			5	I	-13.20783
		14:30	6	I	-4.15033
	15:40	15:52	12	I	-1.81405
	16:03	16:49	13	I	-3.78356

2012.09.13

南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会

Sagiya(1998)

4mm超の異常値は4回

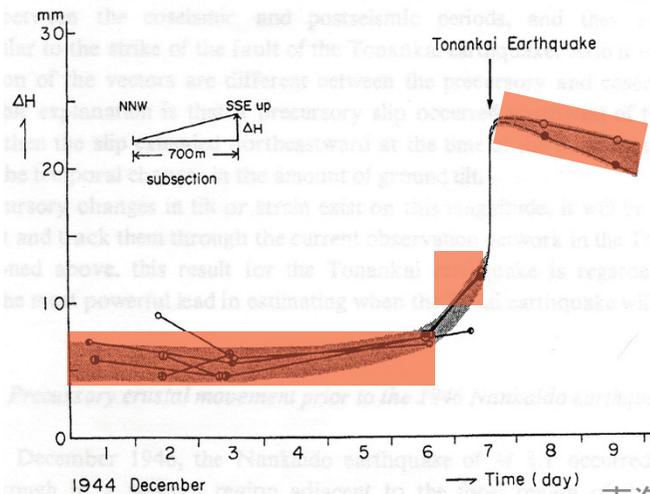


- 4mm以上の往復差は96データ中4個(2個)
- 3mm以上の往復差は6個(3個)
- 2mm以上の往復差は22個(6個)

section	Survey Date						Relative Height Changes (mm)				
	A	B	C	D	E	F	A-B	B-C	Coseismic	D-E	E-F
1	11/24	11/26		12/24	12/24		+1.72			-1.62	
2	11/24	11/26		12/24	12/25		+2.24		-1.69	-0.38	
3	11/24	11/26		12/24	12/25		-1.80			+2.20	
4	11/24	11/26	11/26	12/24	12/25		-1.05	+1.20		+1.23	
5	11/24	11/26		12/24	12/25		-0.39		+2.28	-0.75	
6	11/24	11/25		12/24	12/25		-1.42			+1.97	
7	11/24	11/25		12/24	12/25		+0.62				
8	11/24	11/25		12/23	12/23		+0.38			+0.68	
9	11/24	11/25		12/23	12/23		-0.86		-3.09	+0.49	
10	11/25	11/25	11/28	12/23	12/24		+4.07	-1.42		-2.13	
11	11/28	11/28		12/23	12/23		-1.47		+0.79	+0.94	
12	11/28	11/28	11/29	12/23	12/23	12/25	-1.29	+0.70	+6.76	-1.25	+0.76
13	11/28	11/29		12/21	12/23	12/25	+0.58		+3.12	-1.78	-1.76
14	11/28	11/29		12/21	12/23		+0.25		-2.07	-2.21	
15	11/28	11/29		12/21	12/21		-1.20		-3.71	+1.23	
16	11/28	11/29		12/21	12/21		-0.26			-0.60	
17	11/28	11/29		12/21	12/21		+0.92		+2.76	-2.70	
18	11/29	12/4		12/19	12/19		+0.07		+3.28	-0.96	
19	11/29	12/4		12/19	12/19		+2.05			+1.33	
20	11/29	12/4		12/19	12/19		-1.87		+17.21	+1.25	
21	11/29	12/3		12/19	12/19		-0.50			+1.30	
22	12/1	12/3	12/7	12/18	12/20		-1.26	-0.21	+10.12	-0.61	
23	12/1	12/3	12/7	12/18	12/20		-1.56	+2.44	+5.19	-0.96	
24	12/2	12/3	12/6	12/18	12/20		-1.29	+2.87	-5.69	+0.23	
25	12/2	12/3	12/6	12/18	12/18		-3.21	+1.09	+17.82	+1.19	
26	12/2	12/3		12/18	12/18		+1.54		-5.77	+1.35	
27	12/2	12/3		12/18	12/18		-1.37		+17.40	-2.05	
28	12/6	12/7		12/8	12/9		+4.77		+12.84	-1.23	
29	12/6	12/7		12/8	12/9	12/9	+4.29		+11.56	-2.21	+1.27
30	12/6	12/7		12/8	12/9	12/9	-0.15		+7.84	-1.90	+2.87
31	12/6			12/8	12/9				+2.33	-2.65	
32	12/6			12/8	12/9				+4.18	+0.98	
33	12/6			12/8	12/9				+3.51	+0.60	
34	12/5	12/5		12/12			+0.75				
35	12/5	12/5		12/12			-2.04		+2.00		
36	12/5	12/5		12/12			+1.09				
37	12/5	12/5		12/12			-0.32				
38				12/13	12/13					+3.07	
39				12/13	12/13					-1.35	
40				12/13	12/13					-0.89	
41				12/16	12/16					-0.21	
42				12/15	12/16					-2.24	
43				12/15	12/16	12/16				-2.37	-0.56
44				12/15	12/16					+0.02	
45				12/15							
46				12/15							
47				12/10	12/11					-0.41	
48				12/10	12/10	12/11				-4.49	+2.44
49				12/10	12/10	12/11				-1.92	+0.30
50				12/10	12/10					+0.72	
51				12/10	12/10					-1.72	
52				12/10	12/10					-0.64	
53				12/11	12/11					+0.51	
54				12/11	12/11					+1.53	
55				12/11	12/11					-0.28	

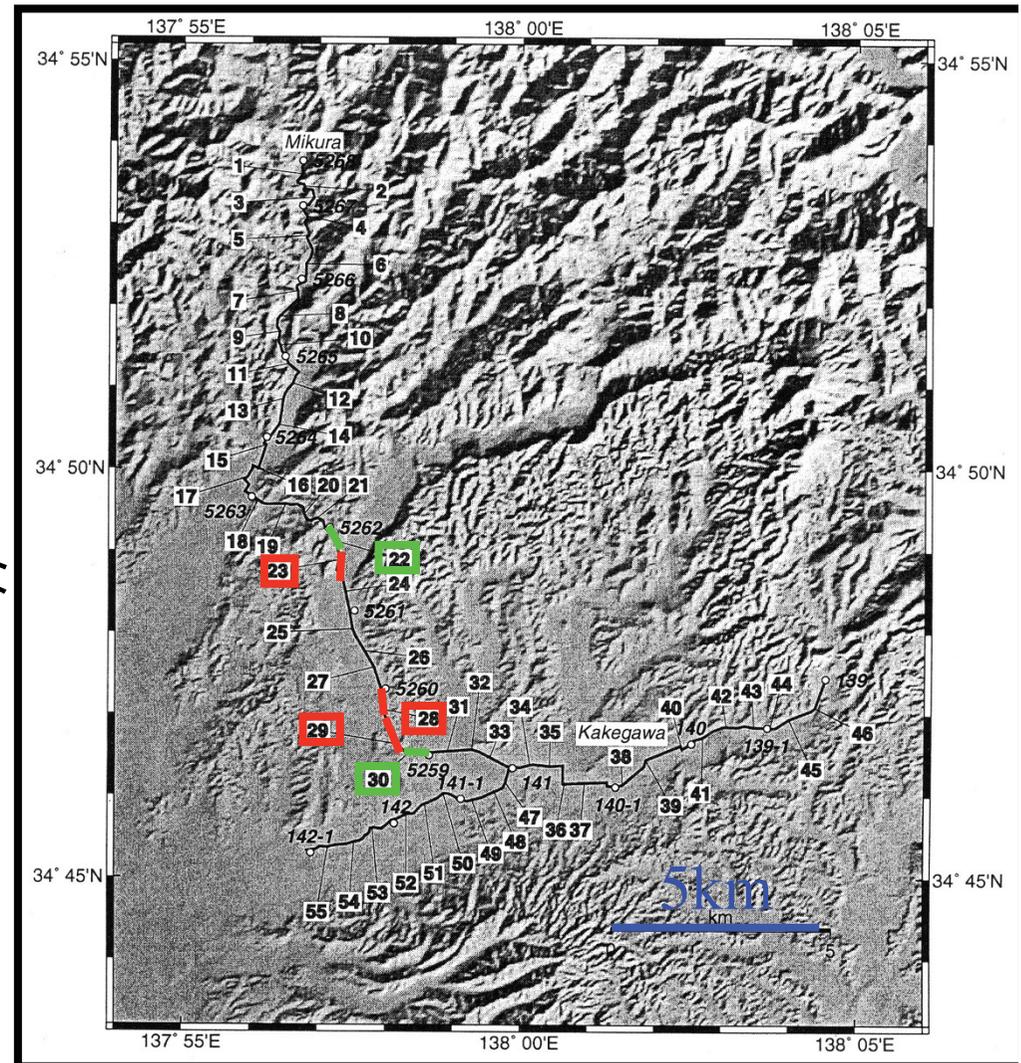
傾斜は加速していたか？

- 往復差の制限値: $2.5\text{mm} * S(\text{km})^{1/2}$
 - 700m → 約2mm
- 12/7午前の測量
 - 7:10 23: +2.44mm(12/3)
 - 9:10 22: -0.21mm(12/3)
 - 9:40 28: +4.77mm(12/6)
 - 29: +4.29mm(12/6)
 - 12:13 30: -0.15mm(12/6)
- 加速的な傾斜変化で無くても良い。
- 22と28の測量の間に生じた間欠的な変化でも説明可能



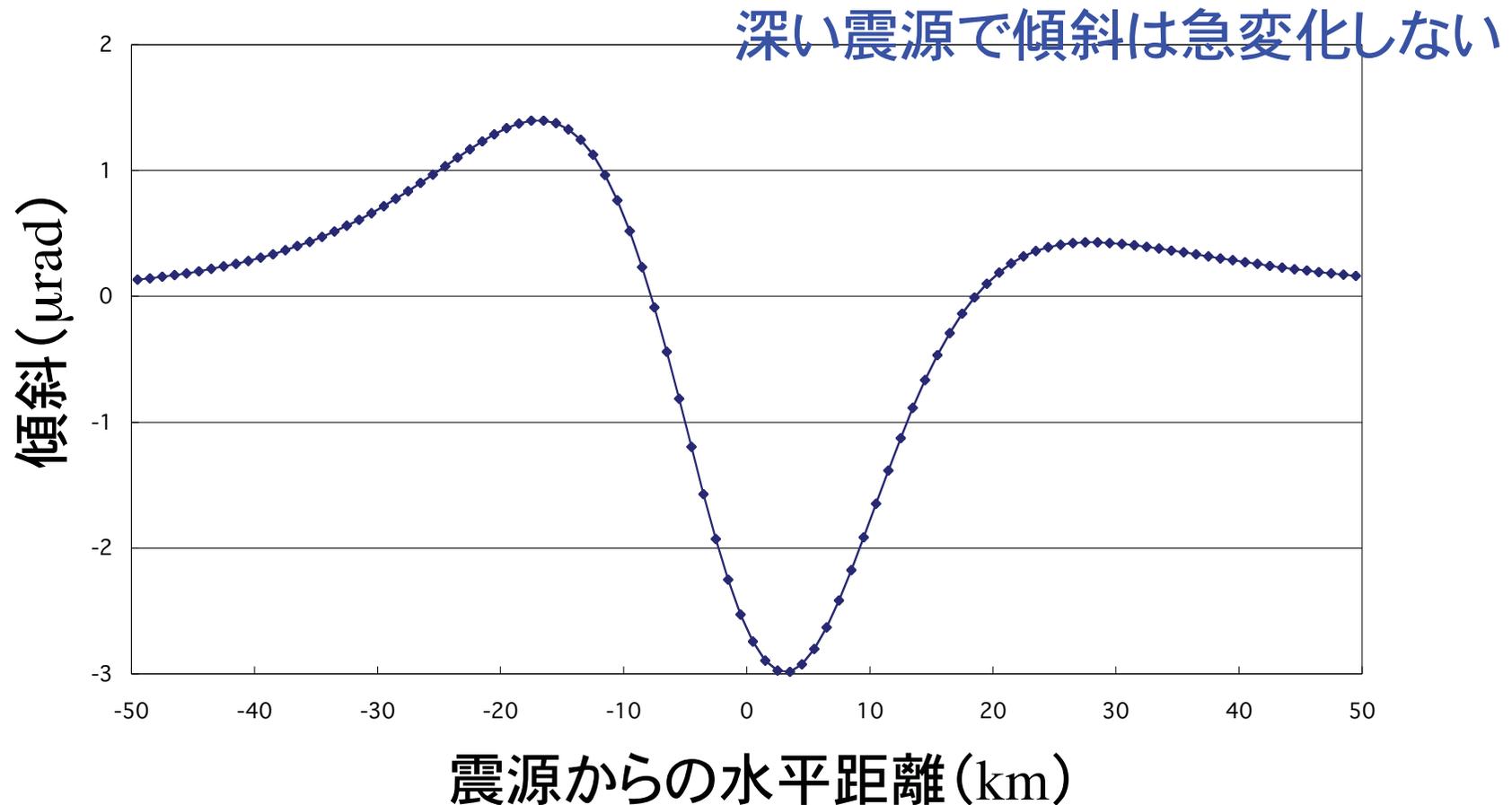
2012.09.13

南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会



異常変動はプレート境界起源か？

D=25km, Dip=15, Rake=90, Mw6.3

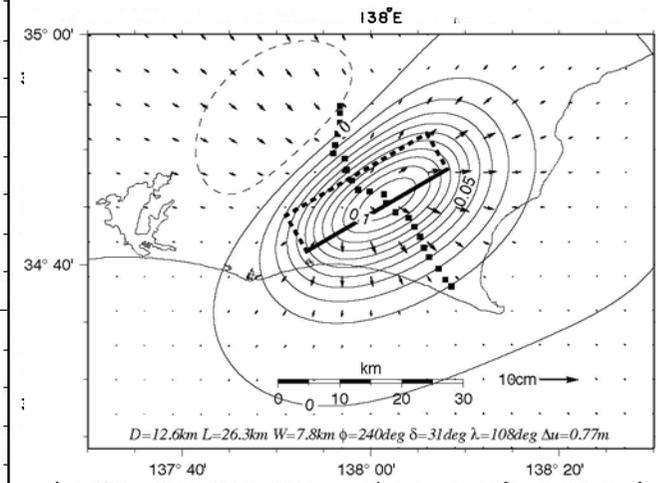
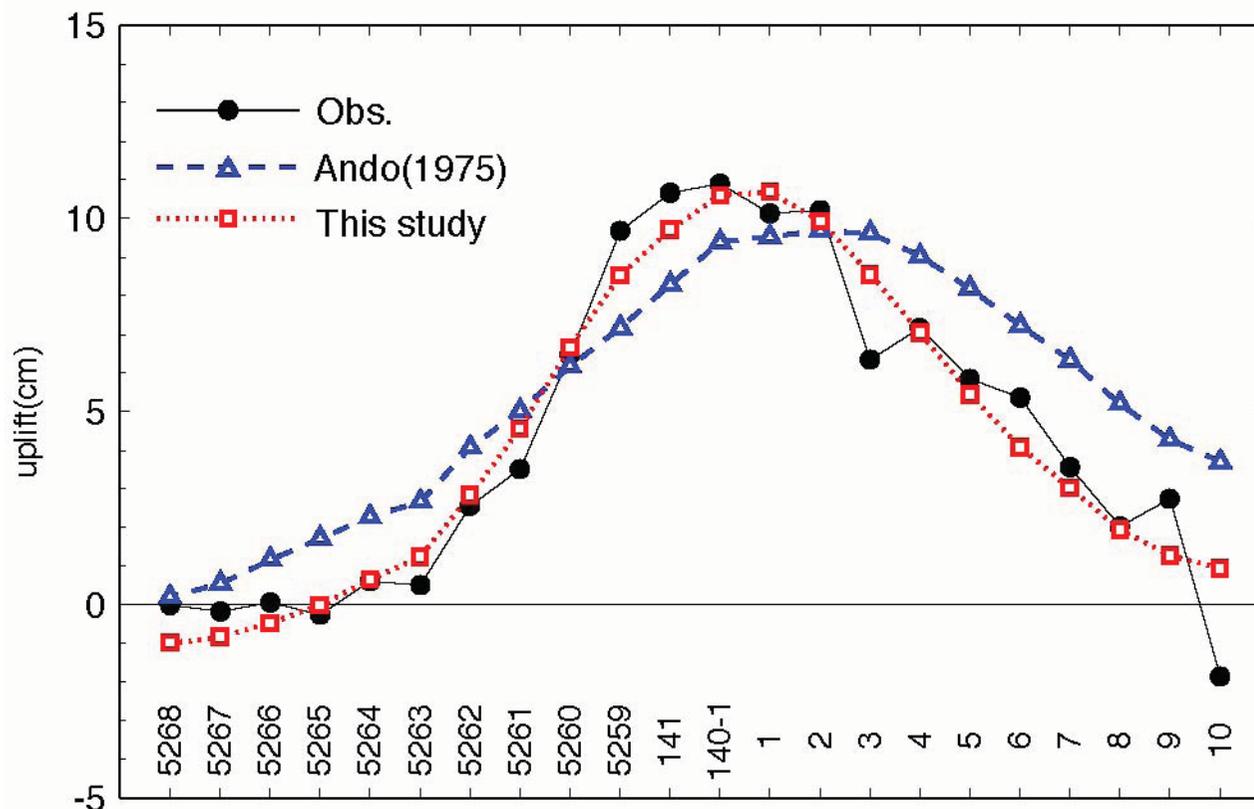


2012.09.13

南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会

1944年東南海地震時の上下変動

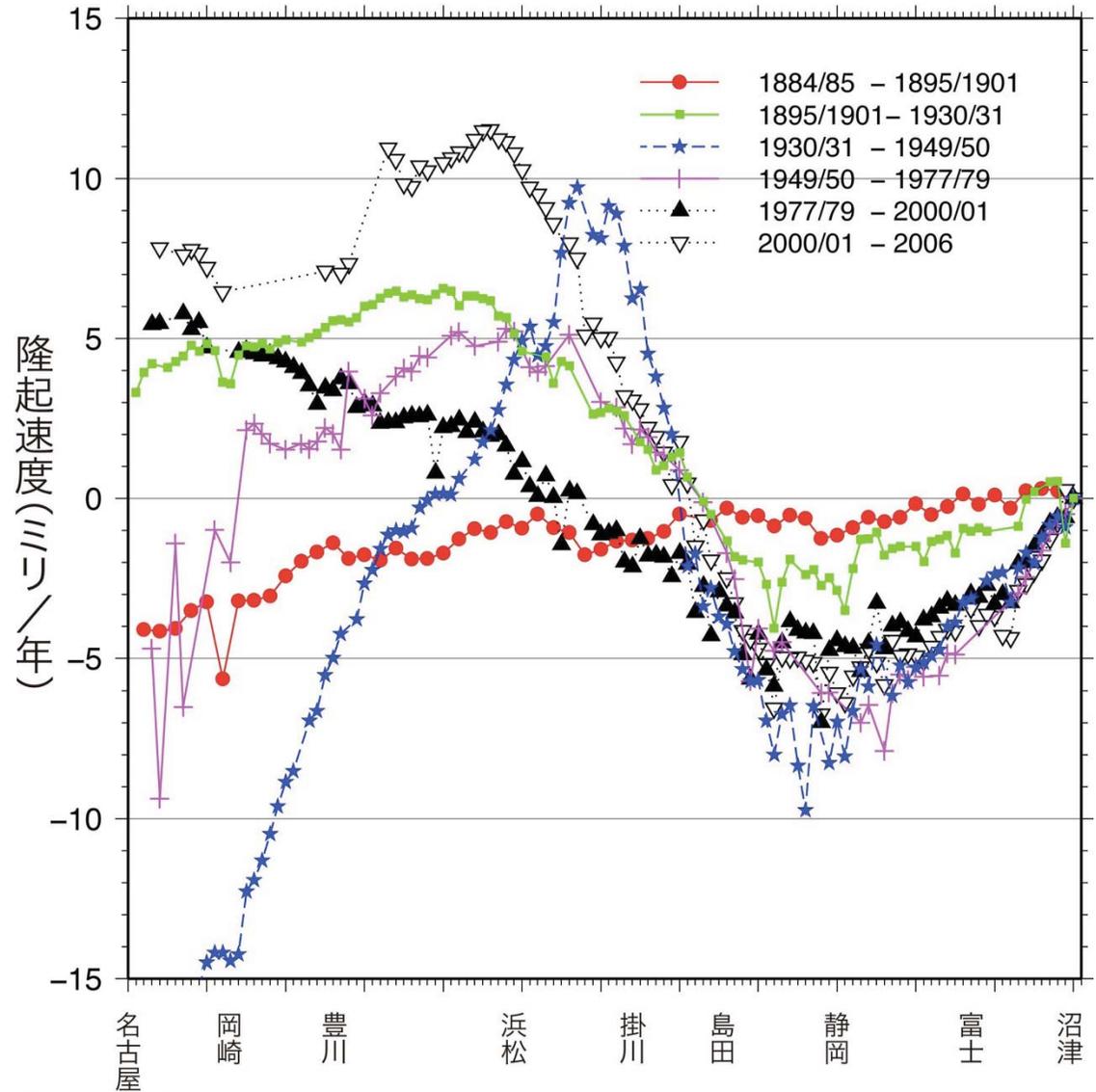
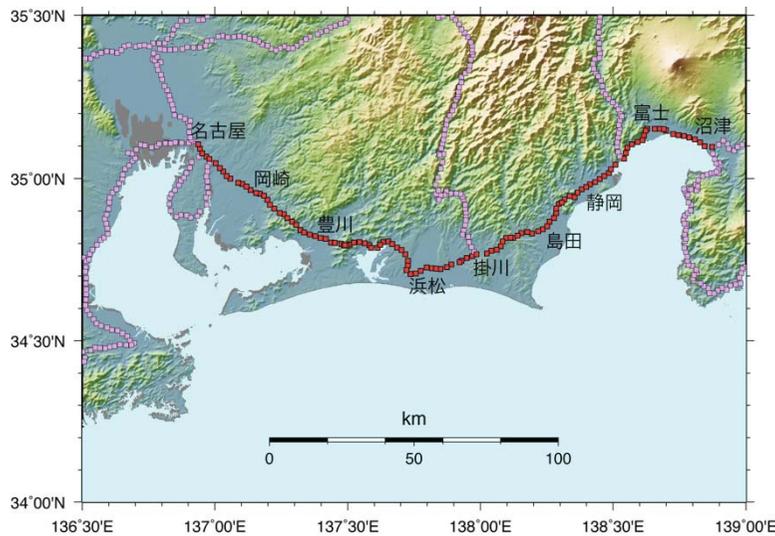
- プレート境界の断層では地震前および地震時の変動を説明できない
- 上端:12.6km, 下端16.6km, 長さ26.3km, 幅7.8km, すべり量0.8m (Mw6.4相当)



(注) 掛川～御前崎間の水準点の位置は現在の水準点の座標値で代替した

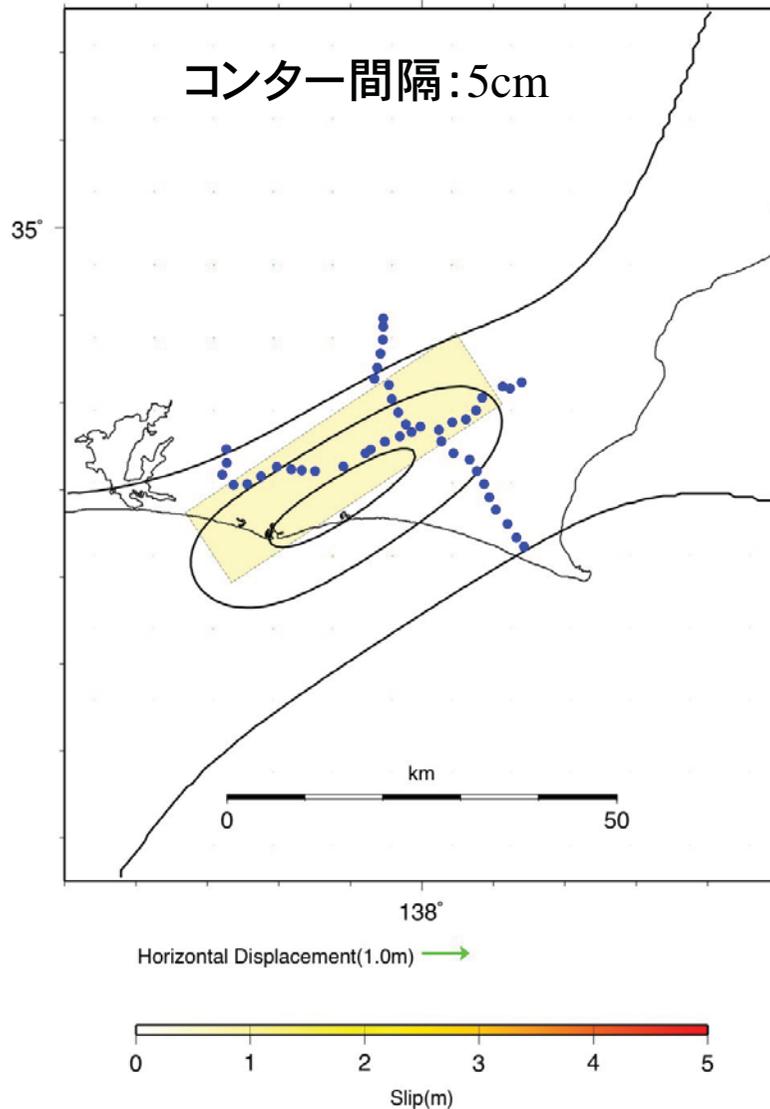
沼津～名古屋間の上下変動

- 東南海地震時 (1930/31～1949/50)には島田～浜松間で最大10cm程度の隆起



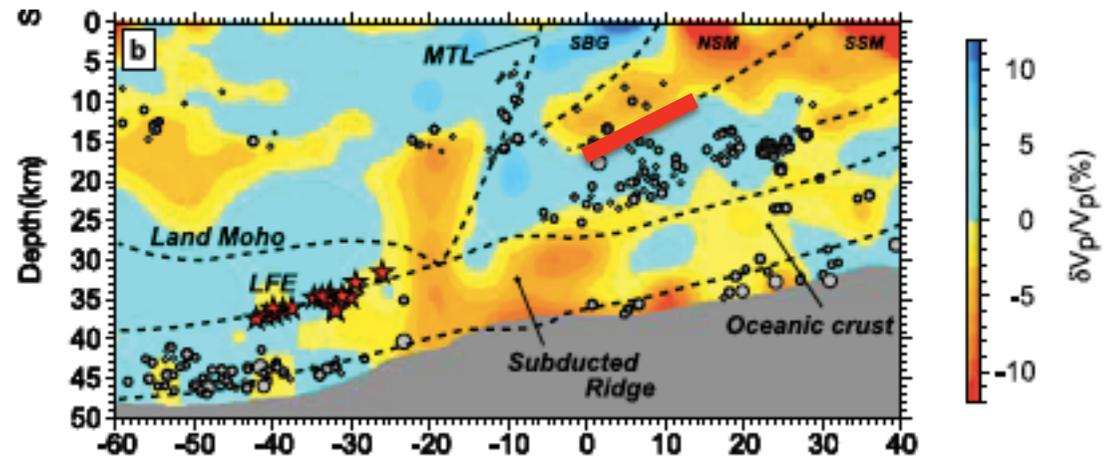
近いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会

掛川隆起の断層モデル



- 断層パラメータ
 - 上端深さ12.0km、長さ41.4km、幅12.2km、走向N237°E、傾斜29°、すべり角76°、すべり量0.58m
- $M_0 = 8.8 \times 10^{18} \text{Nm}$ (M_w 6.6相当)

プレート境界ではなく、地殻下部付近の断層運動の方が上下変動分布を説明し易い。
プレート境界深部からの分岐断層？
地質構造境界？



2012.09.13

南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会

掛川水準の解釈に関する問題点

データ解析による知見

- 700mの区間に対する4mm超の往復差は他にも存在
- 傾斜変化を認めても、データは連続的な加速を必ずしも示していない
- 傾斜変化が本物だとしても、プレート境界の断層すべりとして解釈しづらく、地殻内の断層運動による可能性



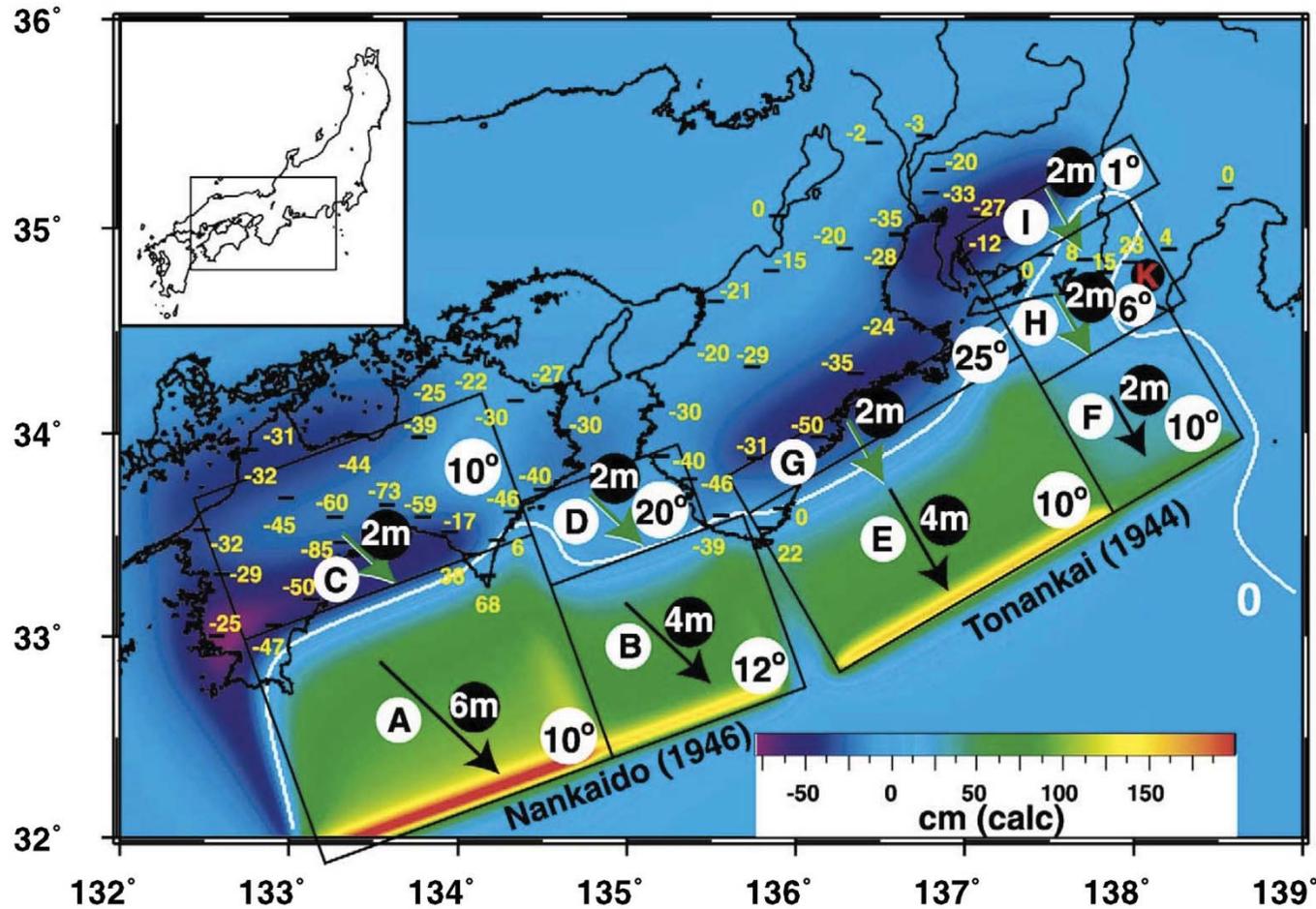
震源物理からの知見

- 震源は紀伊半島沖なのに、なぜ掛川で前駆すべりが起きるのか？



結論：現存のデータで確定的な結論を得ることは困難
ただし、掛川～御前崎間の測量手簿が見つければ解決の可能性有り
否定はできないが、重要施策の根拠とするほどの信憑性も無い。

震源と前兆の乖離に対する解釈



Linde and Sacks (2002)

東南海(+南海)地震の震源域全体の深部延長で前駆すべりの発生を仮定
潮位データから東南海地震前には顕著な潮位変化無し(小林・他, 2002)

2012.09.13

南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会