

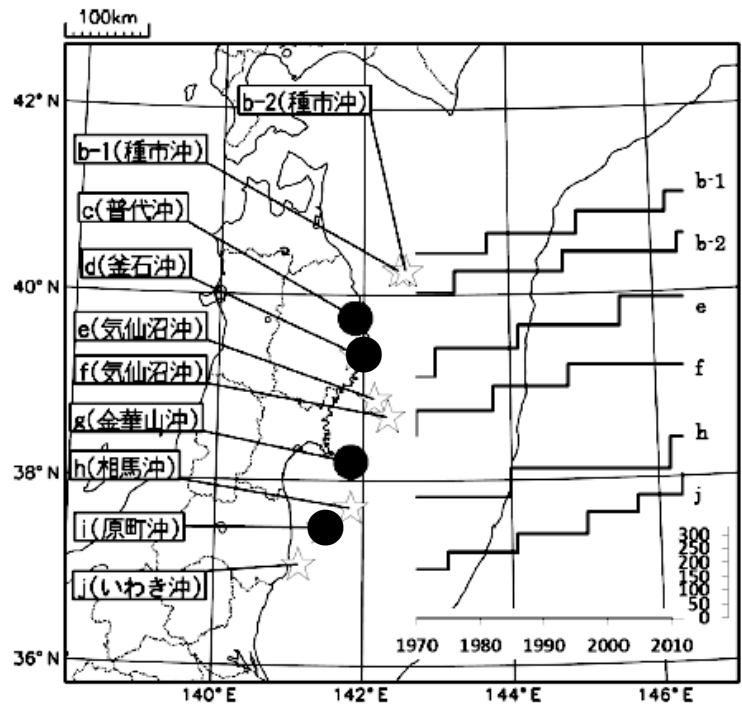
5.2 東北地方太平洋沖の繰り返し相似地震

高齋祥孝・下川淳・長谷川安秀・太田健治(仙台管区気象台地震火山課地方共同研究G)・
溜渕功史(気象庁地震予知情報課)・草野富二雄(仙台管区気象台地震火山課地方共同研究G)
所属は平成 24 年度当時

5.2.1 はじめに

仙台管区気象台は気象研究所との地方共同研究「日本各地域の繰り返し相似地震発生状況に関する研究」として平成 23、24 年度の 2 ヶ年計画で東北地方周辺の繰り返し相似地震の調査を行った。

繰り返し相似地震については長谷川・他(2005)が、地震活動から東北地方沖の太平洋プレート境界付近で発生する中規模の繰り返し地震活動を 11 ヶ所(東北地方分では 9 か所)を検出している(図 5.2.1)。これら検出した繰り返し地震の波形を収集し解析を行ったが、2011 年 3 月 11 日に東北地方太平洋沖地震が発生し、M5 クラス以上の地震が多発したことから、本研究では M6 程度の繰り返し地震について調査を行い、取りまとめた。



5.2.2 データ

波形比較を行った地震のリストを表 5.2.1 に示す。このリストは長谷川・他(2005)が地震活動からクラスタ抽出を行った結果を元にしたもので、M6 程度の繰り返し地震と考えられていたものである。波形比較は 1951 年(51 型機械式強震計展開以降)から行った。1960 年から 1994 年までの地震については 59 型地震計(100 倍、変位)及び機械式強震計(1 倍、変位)の地震波形(マイクロフィルム)の画像を使用した。また、1995 年以降については 95 型計測震度計で観測したデジタル波形を 59 型地震計相当に変換した。調査は 2012 年 4 月までの期間について行った。特性の違う地震計の波形比較を行うには、59 型地震計及び機械式強震計の波形を 95 型計測震度計の波形に合わせるために円弧補正を行って比較すれば詳細な比較ができるが、今回は行っていない。また、波形比較を行う観測点を選ぶ場合は、震源から各方向に存在するもの全てで行うのが理想であるが、実際は官署の移転や地震計の変更等が行われているため、できるだけ調査期間内に地震計の移設等を行っていない気象官署の地震波形を使用した。このほか、それぞれの繰り返し相似地震の発生確率の計算は地震長期発生確率計算ツール(L-CAT:長谷川嘉臣氏作成)を使用した。

図 5.2.1 繰り返し相似地震活動の領域とすべり量(cm)。b～j は長谷川・他(2005)が地震活動から検出した繰り返し地震活動の領域。☆は M6 程度の繰り返し地震で調査を行った領域、●は M5 程度の地震で波形が不明瞭かつ東北地方太平洋沖地震の余震活動多発のため調査を見送った領域を示す。

表 5.2.1 東北地方太平洋沖の繰り返し相似地震（M6 程度）の発生リスト。

領域名	年	月	日	年月日	年月日2	間隔[年]	Mj	Mw※
種市沖b(b-1)	1968	11	25	1968.90	1968/11/25		6.0	
	1981	10	15	1981.79	1981/10/15	12.9	6.0	5.7
	1995	1	7	1995.02	1995/1/7	13.2	6.2	6.0
	2009	2	15	2009.13	2009/2/15	14.1	5.9	5.7
種市沖b(b-2)	1960	8	13	1960.62	1960/8/13		6.0	
	1976	7	8	1976.52	1976/7/8	15.9	5.9	
	1993	2	25	1993.15	1993/2/25	16.6	5.9	5.7
	2011	5	8	2011.35	2011/5/8	18.2	5.7	5.7
気仙沼沖e	1940	11	20	1940.89	1940/11/20		6.6	
	1954	11	19	1954.88	1954/11/19	14.0	6.1	
	1973	11	19	1973.88	1973/11/19	19.0	6.4	
	1986	12	1	1986.92	1986/12/1	13.0	6.0	6.0
	2002	11	3	2002.84	2002/11/3	15.9	6.3	6.4
気仙沼沖f	1937	1	7	1937.02	1937/1/7		6.4	
	1953	12	7	1953.93	1953/12/7	16.9	6.4	
	1970	9	14	1970.70	1970/9/14	16.8	6.2	
	1982	6	1	1982.42	1982/6/1	11.7	6.2	6.1
	1994	8	14	1994.62	1994/8/14	12.2	6.0	5.9
相馬沖h	1942	2	21	1942.14	1942/2/21		6.5	
	1963	8	15	1963.62	1963/8/15	21.5	6.6	
	1985	8	12	1985.61	1985/8/12	22.0	6.4	6.4
	2010	3	14	2010.20	2010/3/14	24.6	6.7	6.5
いわき沖j	1929	6	24	1929.48	1929/6/24		5.8	
	1939	1	24	1939.07	1939/1/24	9.6	6.0	
	1943	8	22	1943.64	1943/8/22	4.6	5.6	
	1950	12	23	1950.98	1950/12/23	7.3	5.7	
	1958	4	17	1958.29	1958/4/17	7.3	5.8	
	1966	12	27	1966.99	1966/12/27	8.7	5.5	
	1975	8	15	1975.62	1975/8/15	8.6	5.5	
	1986	10	14	1986.79	1986/10/14	11.2	5.7	5.6
	1997	5	12	1997.36	1997/5/12	10.6	5.7	5.9
	2005	10	22	2005.81	2005/10/22	8.4	5.6	5.5
	2012	4	1	2012.25	2012/4/1	6.4	5.9	5.8

※MwはGloal CMT Projectによる

5.2.3. 各領域の資料

5.2.3.1 領域b-1（種市沖）の繰り返し相似地震

領域b-1（種市沖）のプレート境界では、M6.0程度の地震が約14年間隔で発生しており（表5.2.1及び図5.2.2、図5.2.3）、それぞれの地震波形もよく似ている（図5.2.4）。これらの地震はプレート境界上に存在する同じアスペリティの破壊により繰り返し地震が発生していると考えられる。

また、領域b-1（種市沖）近傍では、「平成6年(1994年)三陸はるか沖地震」(M7.6)の最大余震（1995年1月7日、M7.2）が発生しているほか、別の繰り返し地震（領域b-2）が発生しているにもかかわらず、⑦2009年2月15日の地震（M5.9）は発生間隔を大きく乱されることなく発生しているように見える。

領域b-1（種市沖）のM6程度の繰り返し相似地震の波形比較を大船渡観測点で行った結果を図5.2.4に示す。それぞれの波形はよく似ている。

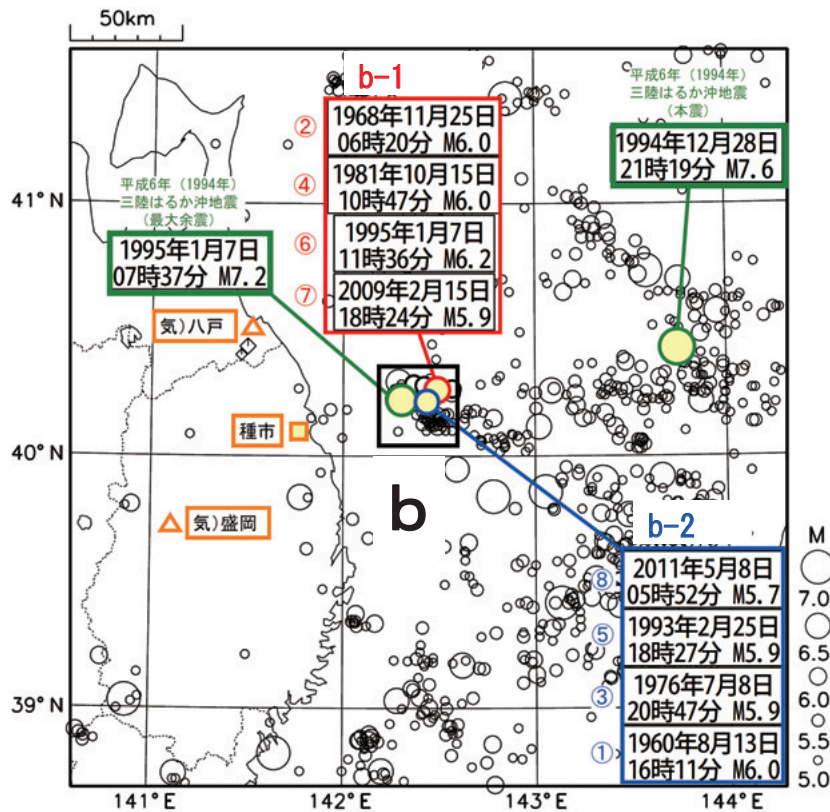


図5.2.2 震央分布図(1960年以降、深さ0～90km、M5.0以上)。

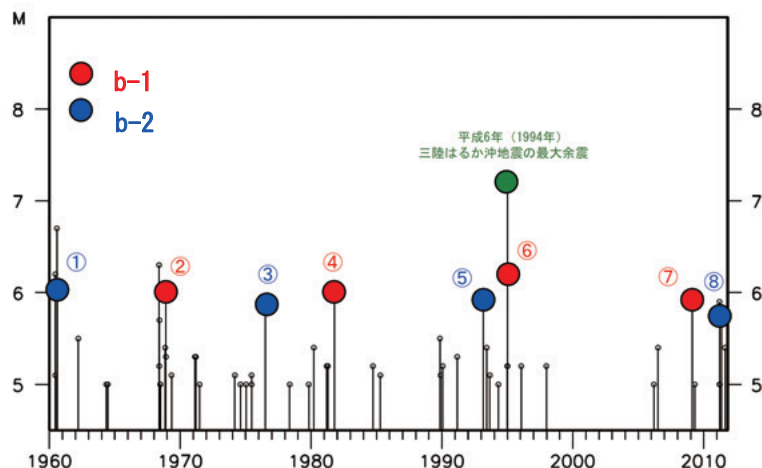


図5.2.3 上図の領域b内の地震活動経過図（規模別）。

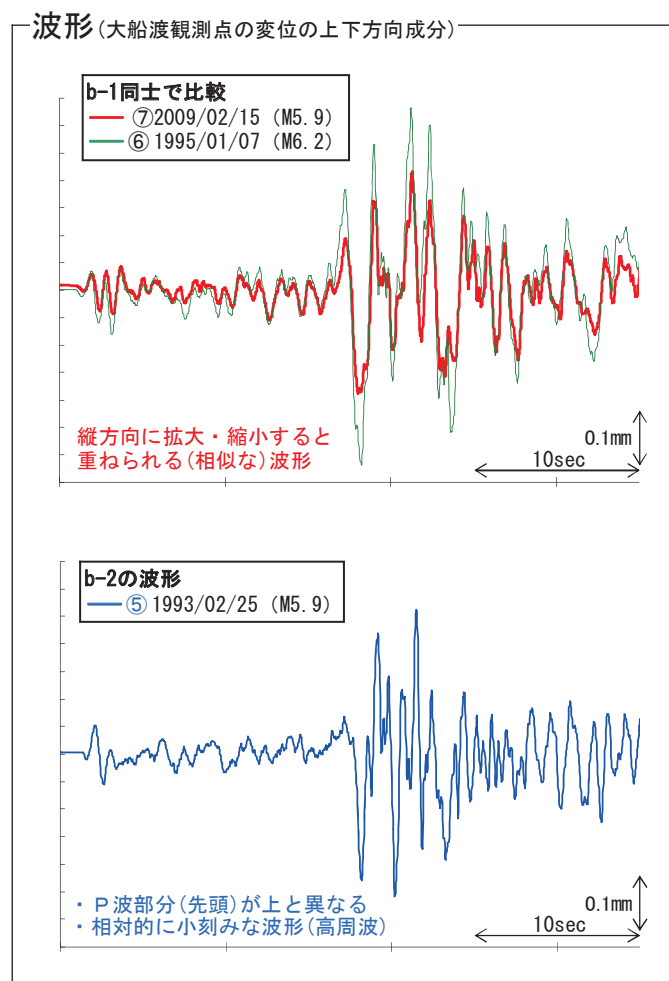


図5.2.4 種市沖 b-1 の波形比較 (大船渡観測点、上下成分)。

種市沖b-1のM6程度の繰り返し相似地震の震度分布比較を行った結果を図5.2.5に示す。震度観測点は移転の少ない気象官署で比較した。あわせて発震機構解も図中に示した。それぞれの震度分布を見ると、ややばらつきは見られるものの、概ね震度分布の傾向は良く似ている。

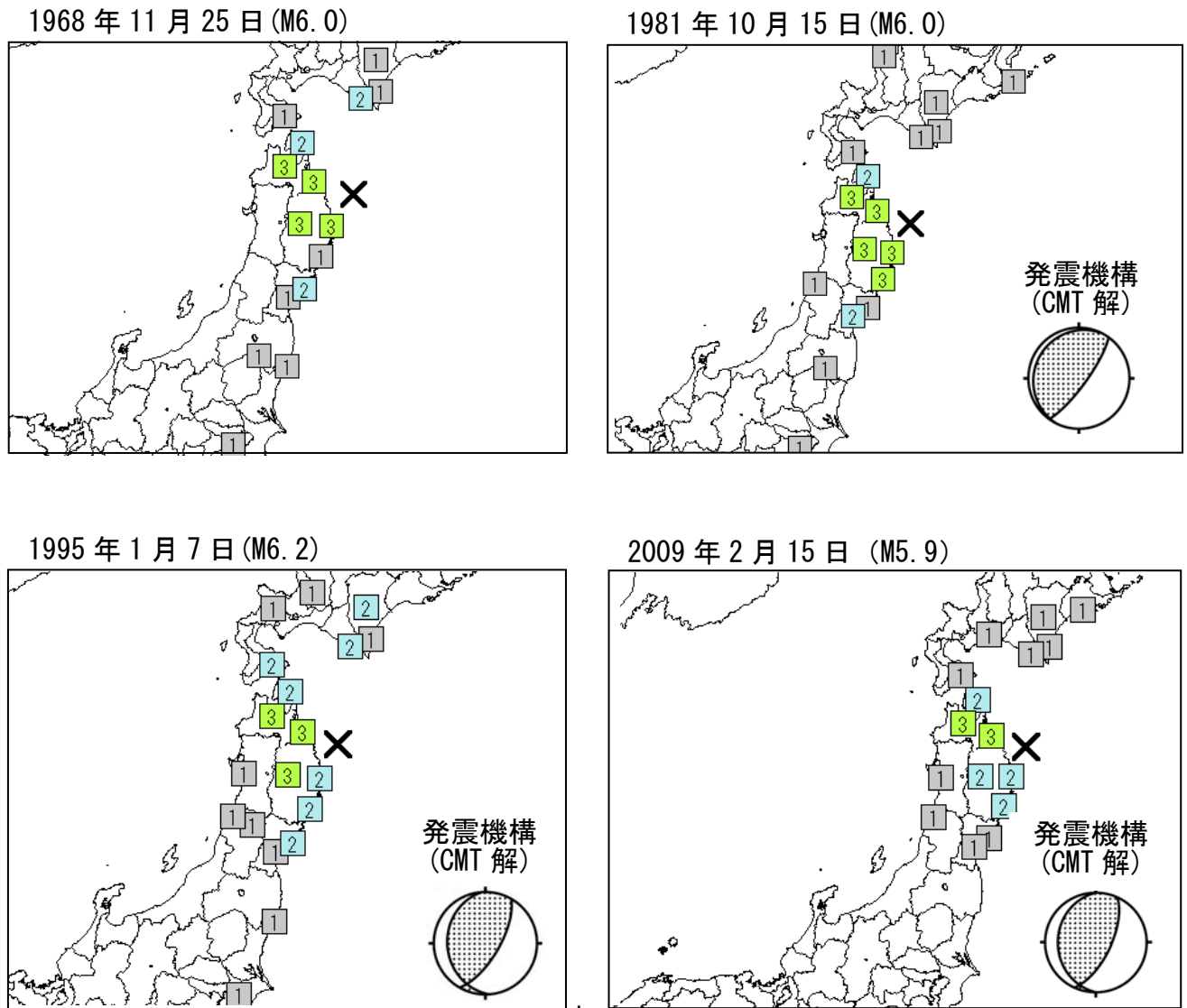


図5.2.5 種市沖b-1の地震の震度分布比較（気象官署）と発震機構解。震度は1996年以前は体感、2009年は計測震度計による。また、発震機構（CMT解）はGlobal CMT Projectによる。

5.2.3.2 領域b-2（種市沖）の繰り返し相似地震

領域b-2（種市沖）ではM5.9程度の地震が約17年間隔で発生している（表5.2.1及び図5.2.2，図5.2.3）。図5.2.6に八戸、図5.2.7に盛岡の波形を比較した結果を示す。それぞれの波形はよく似ている。なお、b-2の領域の近傍では、「平成6年(1994年)三陸はるか沖地震」(M7.6)の最大余震（1995年1月7日、M7.2）が発生しているほか、別の繰り返し地震（b-1）が発生している（5.2.3.1節の種市沖b-1を参照）。

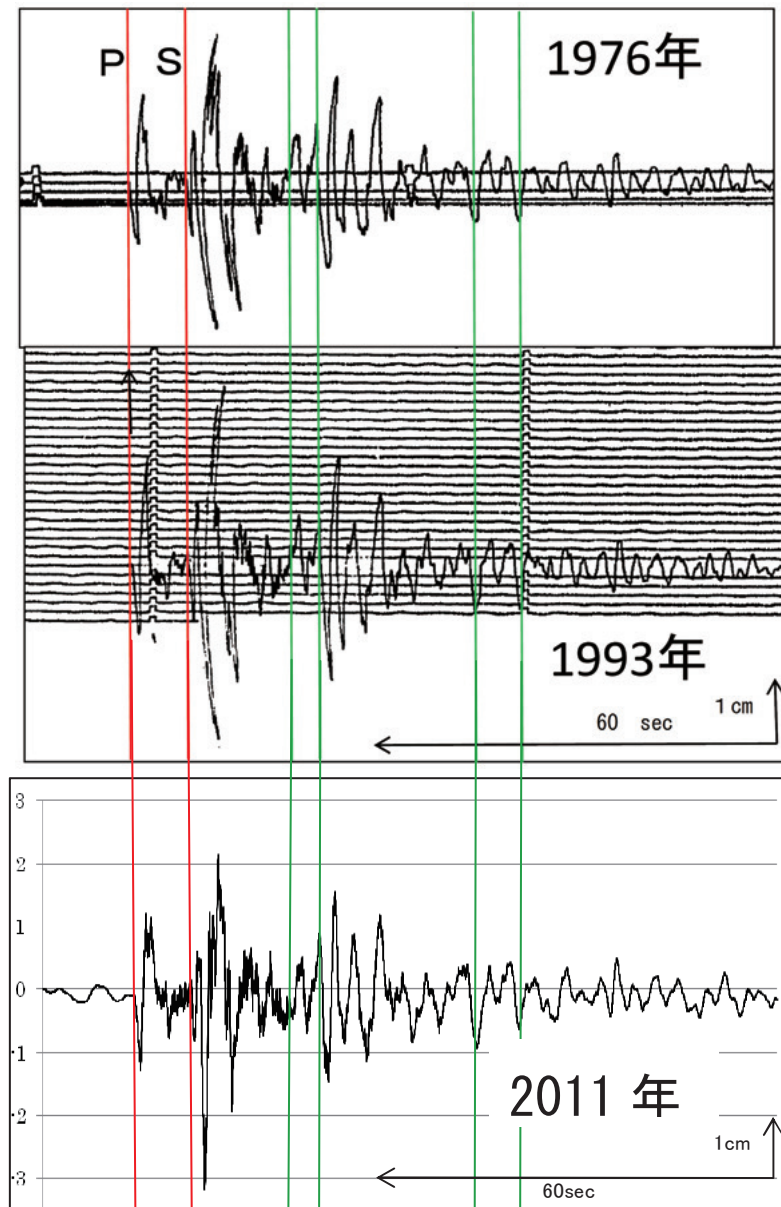


図5.2.6 八戸の地震計記録（上下成分）。1976年と1993年の地震波形は59型地震計（100倍）、2011年の波形は95型計測震度計で観測したデジタル記録を59型地震計相当に変換したものを表示した。位相の比較のために補助線を引いている。

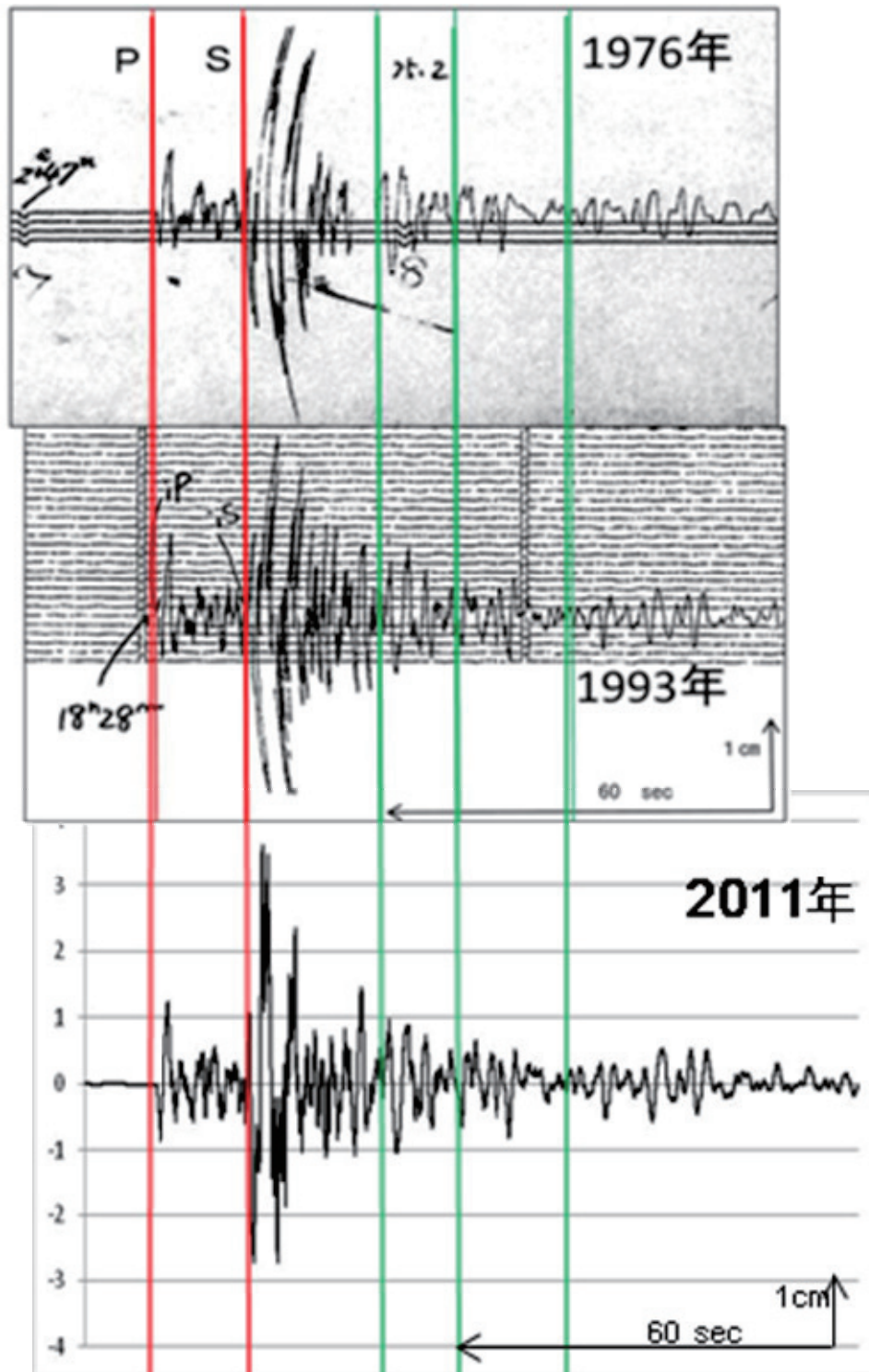


図5. 2. 7 盛岡の地震計記録（上下成分）。1976年と1993年の地震波形は59型地震計（100倍）、2011年の波形は95型計測震度計で観測したデジタル記録を59型地震計相当に変換したものを表示した。位相の比較のために補助線を引いている。

種市沖b-2のM6程度の繰り返し相似地震の震度分布比較を行った結果を図5.2.8に示す。震度観測点は移転の少ない気象官署で比較した。あわせて発震機構解も図中に示した。それぞれの震度分布を見ると、ややばらつきは見られるものの、概ね震度分布の傾向は良く似ている。

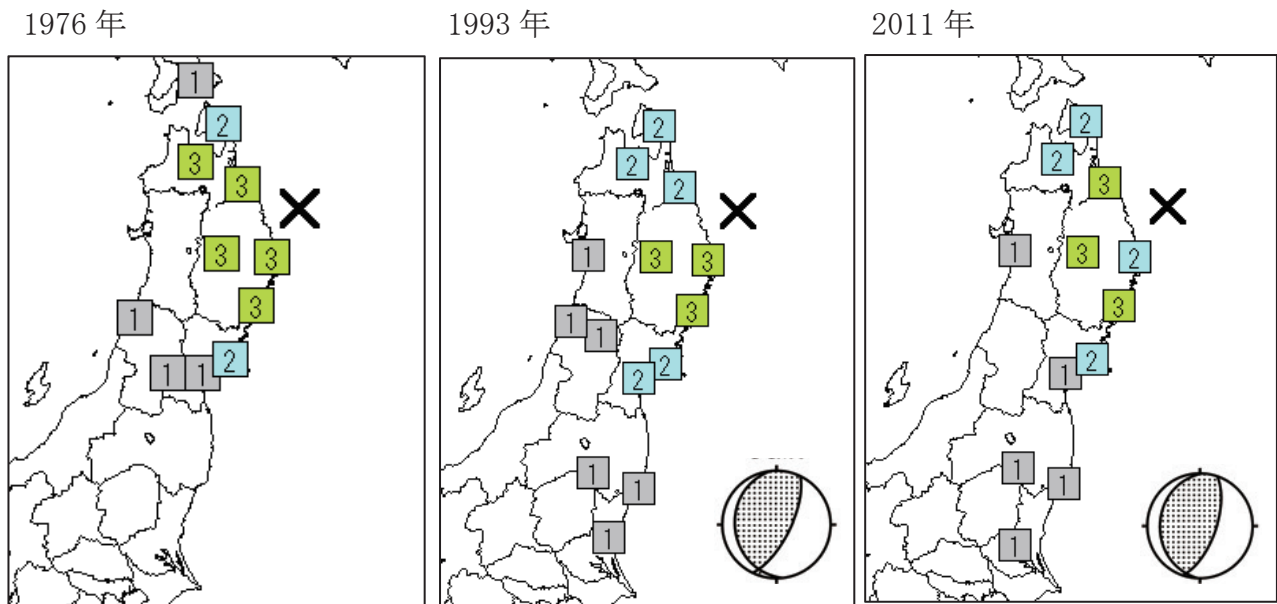


図5.2.8 種市沖b-2の繰り返し相似地震の震度分布比較（気象官署）と発震機構解。震度は1976年と1993年は体感、2011年は計測震度計による。発震機構解（CMT解）はGlobal CMT Projectによる。

5.2.3.3 領域 e (気仙沼沖) の繰り返し相似地震

気仙沼沖の領域 e では、M6.3 程度の地震が約 16 年の間隔で発生している (表 5.2.1 及び図 5.2.9, 図 5.2.10)。

図 5.2.10 には上図の矩形領域内の地震活動経過図を示した。地震が発生した順に番号を付してある。

①から⑤の地震は繰り返し相似地震と考えられるものを示している。波形比較は地震記録が直近で明瞭な③④⑤の地震について行った。図 5.2.11 に波形比較を、図 5.2.12 に気象官署の震度分布の比較を示している。これらの資料から、気仙沼沖の領域 e で発生したこれらの地震は繰り返し相似地震と考えられる。

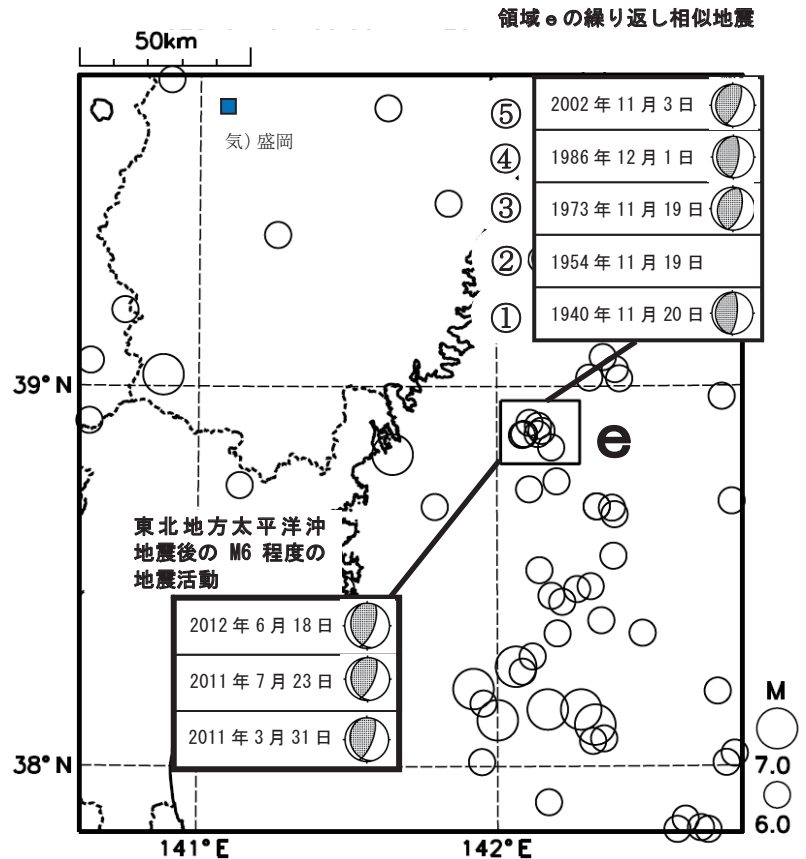


図 5.2.9 震央分布図(1923 年以降、深さ 0~100km、 $M \geq 6.0$)。
1970 年以前の発震機構解は Ichikawa(1971)による。

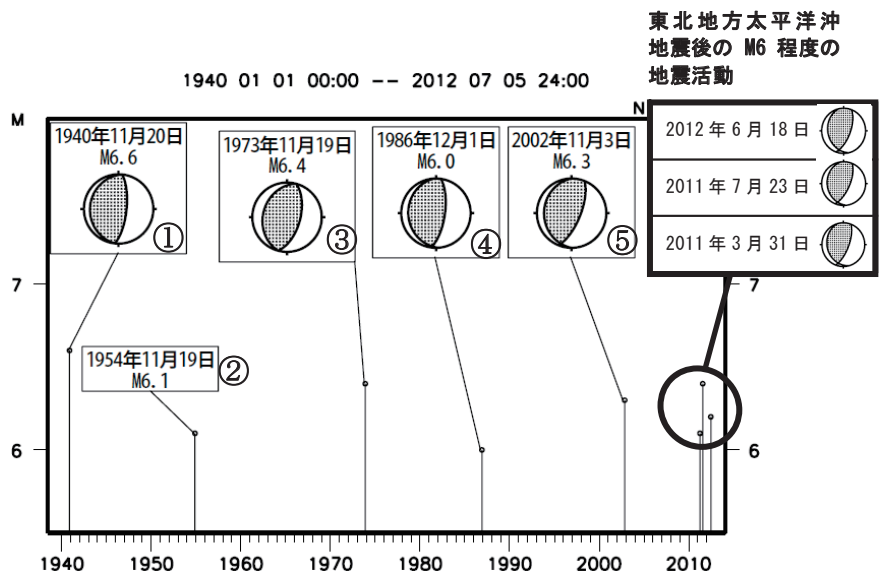


図 5.2.10 上図の領域 e 内の地震活動経過図 (規模別)

図5. 2. 11に領域 e（気仙沼沖）の1973年、1986年、2002年の盛岡観測点の上下成分の変位波形の比較図を示す。1973年、1986年の波形は59型地震計の地震波形（マイクロフィルム）の画像を、2002年の波形は95型計測震度計のデジタル波形を59型地震計相当に変換したものを用いた。なお、水平 2 成分は振り切れており、波形を比較するのは困難であった。上下成分の波形を比較すると波形は良く似ている。このことから領域 e の地震は相似地震である可能性が高い。なお、盛岡の1954年、1973年、1986年の52型強震計の波形ははっきりせず、比較困難であった。

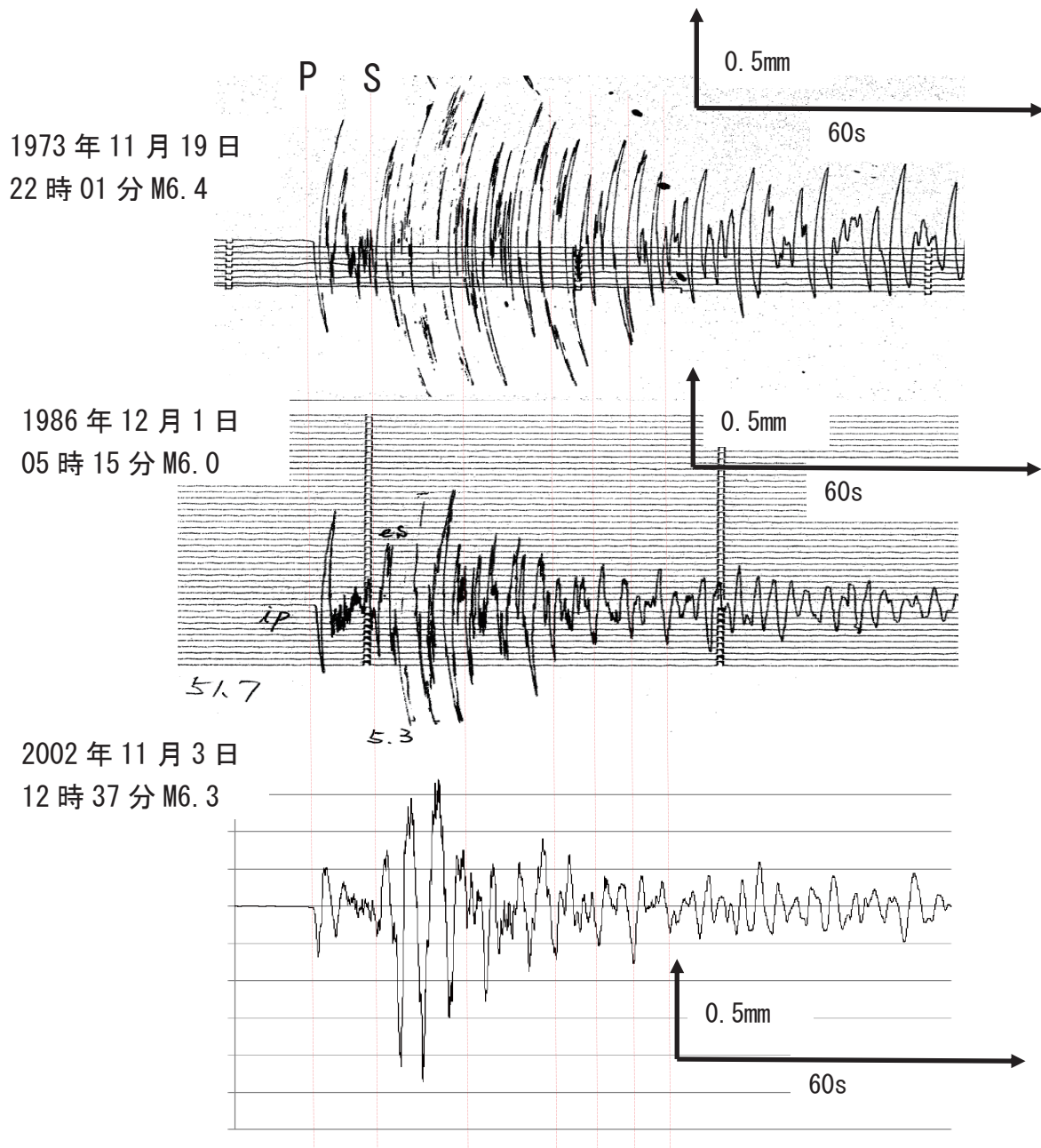
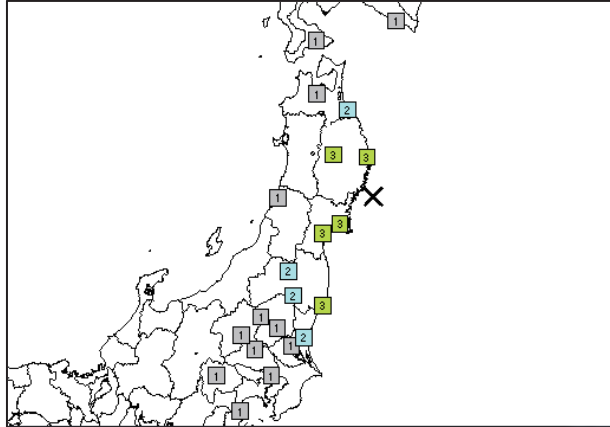


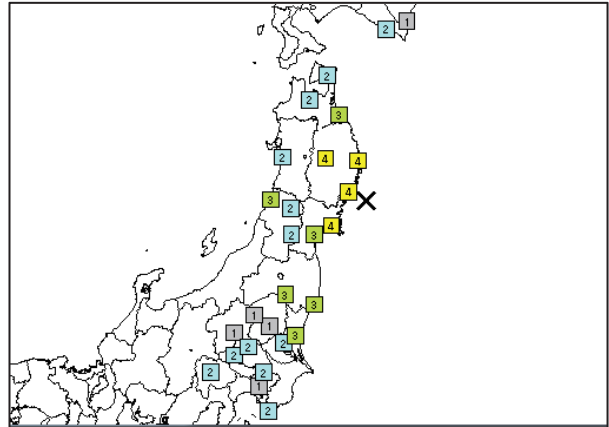
図5. 2. 11 盛岡の地震計記録（上下成分）。1973年と1986年は59型地震計、2002年の波形は95型計測震度計で観測したデジタル波形を59型地震計相当に変換したものを示す。位相の比較のために補助線を引いている。1973年の地震は振り切れているため明瞭ではないが、これらの波形を比較すると波形は良く似ている。

領域 e (気仙沼沖) の M6 程度の繰り返し相似地震の震度分布比較を行った結果を 5.2.12 に示す。震度観測点は移転の少ない気象官署で比較した。あわせて発震機構解も図中に示した。それぞれの震度分布を見ると、ややばらつきは見られるものの、概ね震度分布の傾向は良く似ている。

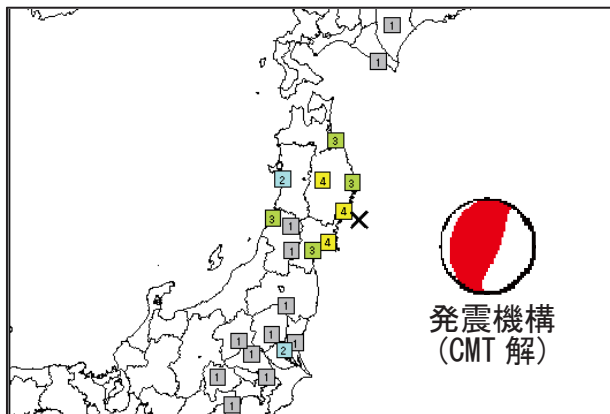
1954 年 11 月 19 日 (M6.1)



1973 年 11 月 19 日 (M6.4)



1986 年 12 月 1 日 (M6.0)



2002 年 11 月 3 日 (M6.3)

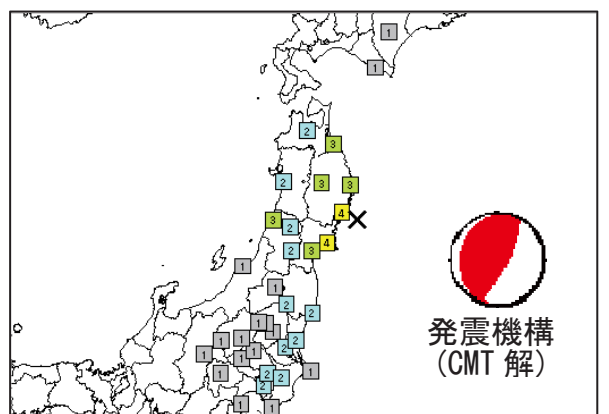


図5.2.12 領域 e の繰り返し相似地震の震度分布比較 (気象官署) と発震機構解。震度は1996年以前は体感での観測である。発震機構はGlobal CMT Projectによる。

領域e付近では2011年東北地方太平洋沖地震後にM6程度の規模の地震が3回発生しており（図5.2.9）、相似地震が促進されている可能性も考え、調査を行った。これらの波形と繰り返し相似地震と考えられる2002年11月3日（M6.3）の波形を比較したものを図5.2.13に示す。東北地方太平洋沖地震の余震と繰り返し相似地震と考えられる地震の波形は似ていない。なお、それぞれの余震の波形は良く似ている。

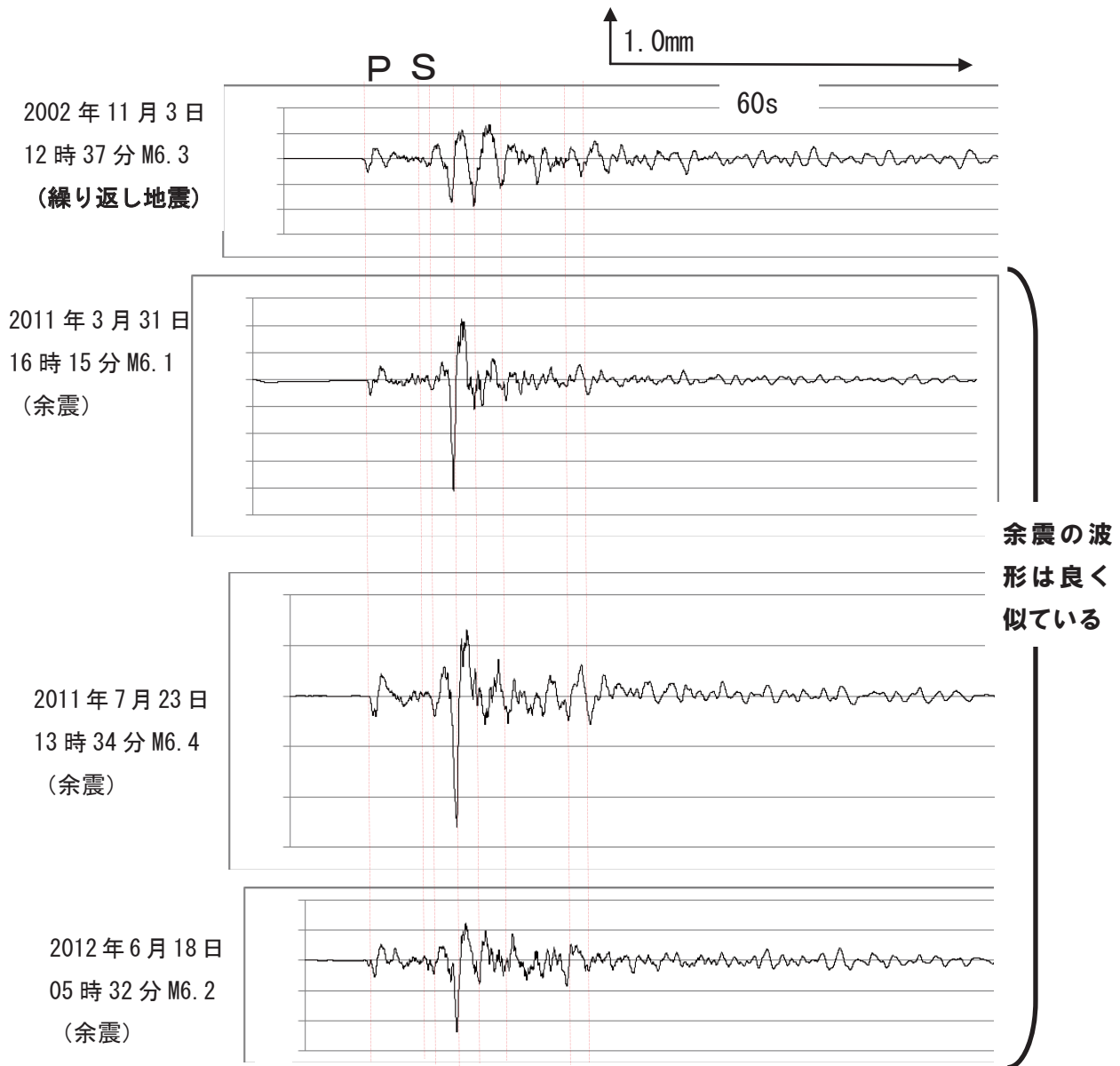


図5.2.13 盛岡の地震計記録（上下成分）。波形はいずれも95型計測震度計のデジタル波形を59型地震計相当に変換したものをを用いている。位相の比較のために補助線を引いている。

5.2.3.4 領域 f（気仙沼沖）の繰り返し相似地震

領域 f（気仙沼沖）の過去の活動を見ると、M6.2程度の地震が平均して14年の間隔で繰り返し発生している（表5.2.1及び図5.2.14、図5.2.15）。

石巻測候所の59型の上下動の波形比較を行った結果を図5.2.16に、気象官署の震度分布を図5.2.17に示す。それぞれの波形は位相やコーダなどが似ており、震度分布の傾向も概ね似ていることから、繰り返し相似地震と考えられる。

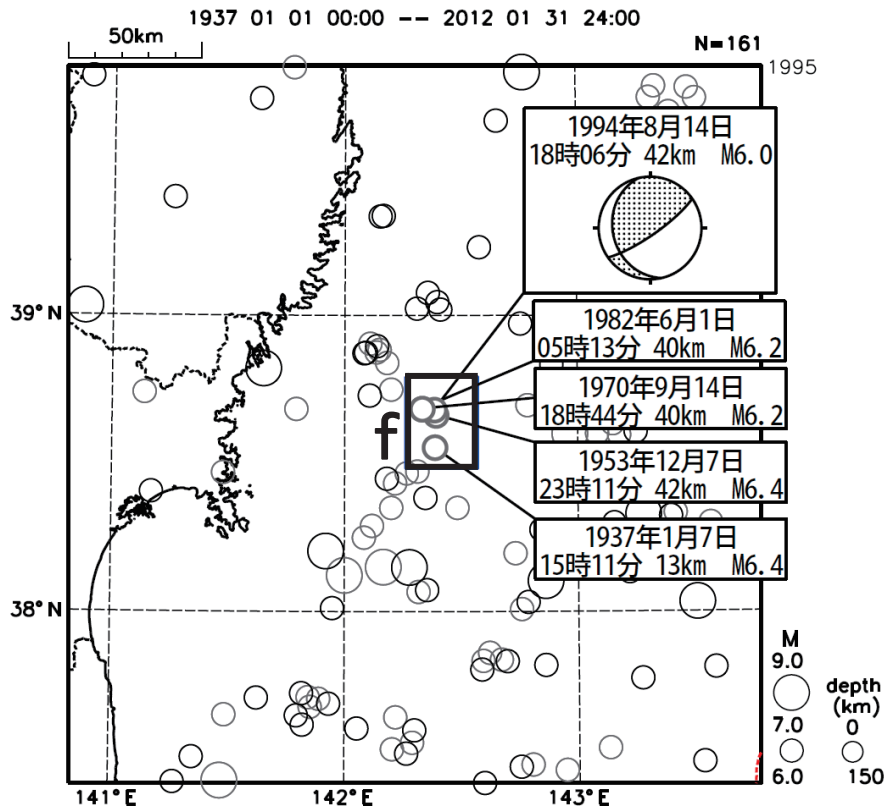


図 5.2.14 震央分布図（1937 年以降、深さ 0～150km、 $M \geq 6.0$ ）。

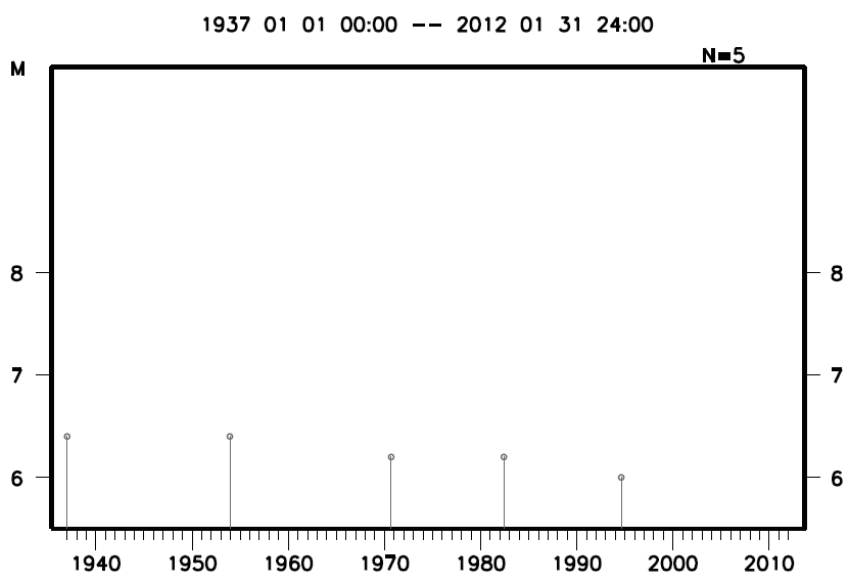
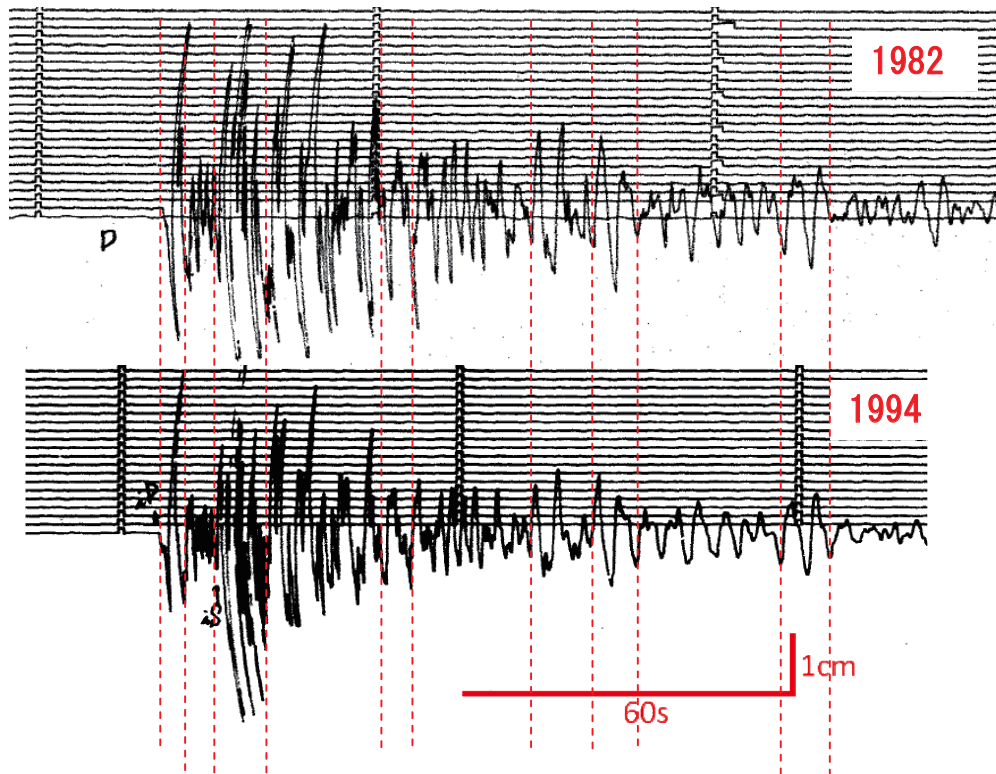


図 5.2.15 図 5.2.14 の領域 f 内の地震活動経過図（規模別）。

領域 f（気仙沼沖）の地震波形について、石巻測候所の59型電磁式地震計の上下動及び南北動の波形比較を行った結果を図5. 2. 16に示す。1982年より古い波形については明瞭でなく、比較が難しかったため掲載できなかった。1982年と1994年の波形を比較すると、概ね位相やコーダなどから似ているように見える。

石巻 59 型電磁式 UD 成分



石巻 59 型電磁式 NS 成分

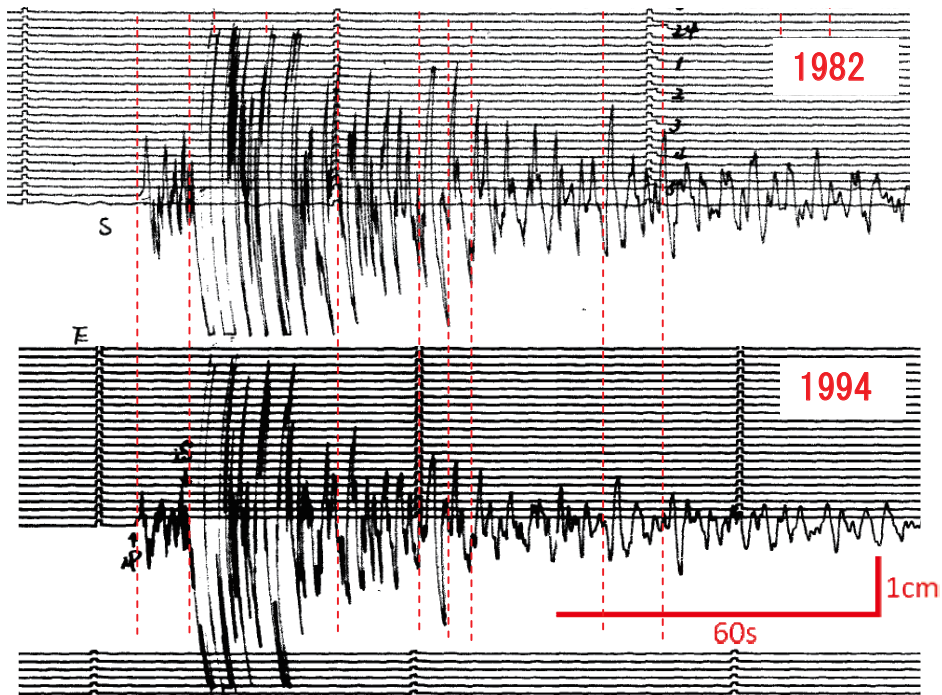


図5. 2. 16 石巻の59型地震計記録（上下動及び南北動）。位相の比較のために補助線を引いている。

領域 f（気仙沼沖）の M6 程度の繰り返し相似地震の震度分布比較を行った結果を図 5.2.17 に示す。震度観測点は移転の少ない気象官署で比較した。あわせて発震機構解も図中に示した。それぞれの震度分布を見ると、ややばらつきは見られるものの、概ね震度分布の傾向は良く似ている。

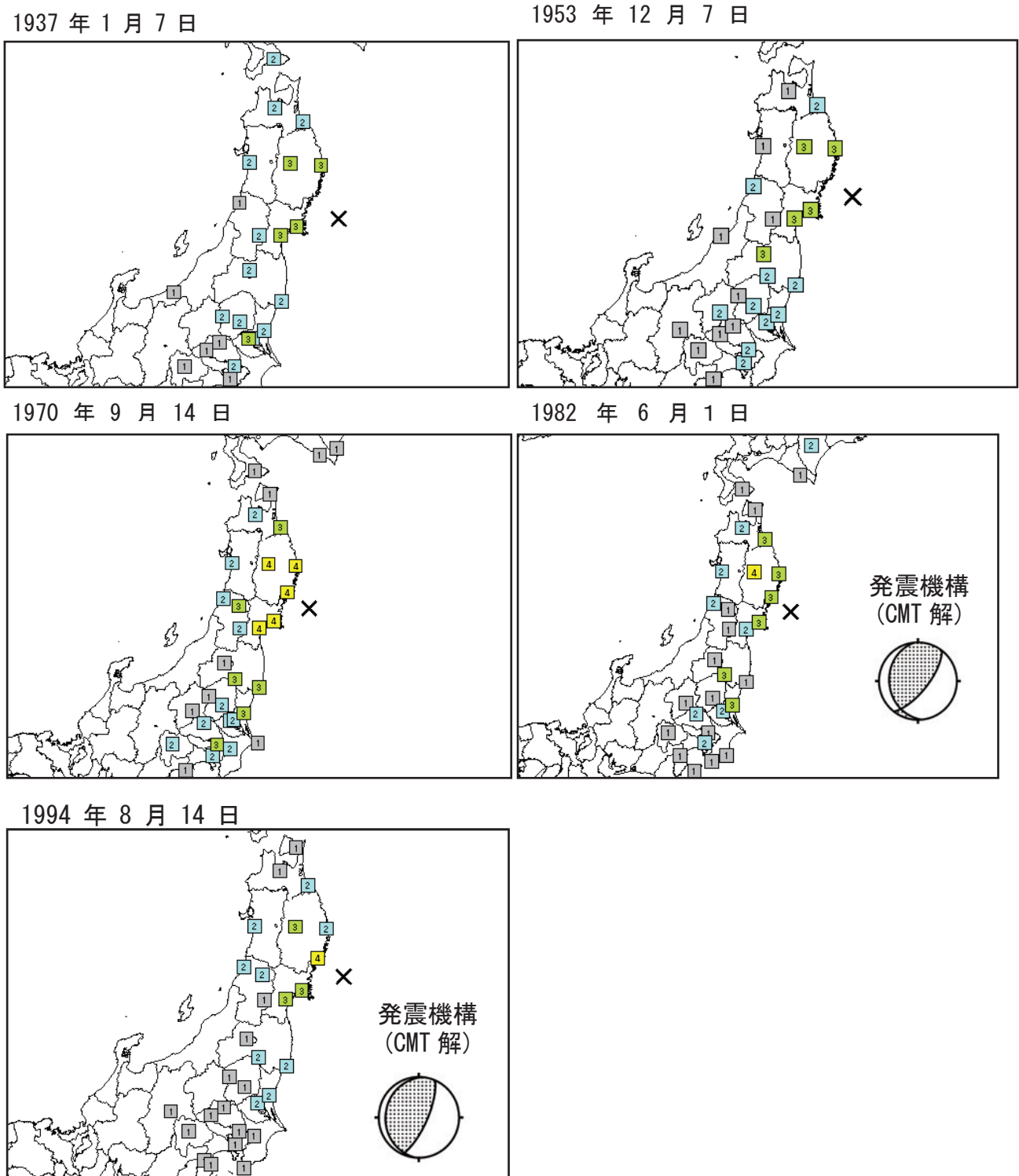


図5.2.17 領域f（気仙沼沖）のM6程度の地震の震度分布比較（気象官署）と発震機構解。震度は1996年以前は体感での観測である。発震機構はGlobal CMT Projectによる。

5.2.3.5 領域 h（相馬沖）の繰り返し相似地震

領域 h（相馬沖）の過去の活動を見ると、M6.5 程度の地震が約 23 年の間隔で発生している（表 5.2.1）。図 5.2.18、図 5.2.19 に領域 h（相馬沖）で発生した M6 クラスの地震活動を示す。また、領域 h の M6 程度の地震について、仙台観測点で観測した波形を図 5.2.20 に示す。1963 年及び 1985 年の地震については気象庁機械式強震計（1 倍）の記録を、2010 年の記録は 95 型震度計加速度データに機械式強震計相当のフィルター処理を施したものを示した。今回の地震の波形は 1963 年及び 1985 年の地震波形と比べて位相はよく似ている。これらの地震の気象官署で観測した震度分布を図 5.2.21 に示す。ややばらつきは見られるものの、震度分布の傾向は似ている。

なお、2010 年 3 月 14 日の M6.7 の地震は 1923 年以降で最大規模であった。この直前の地震は 1985 年 8 月 12 日 (M6.4) に発生しており、約 24.5 年経過していた。2010 年の地震は地震発生間隔が平均よりも長く、規模も若干大きかったことから、slip predictable 的な活動であったことが示唆される。

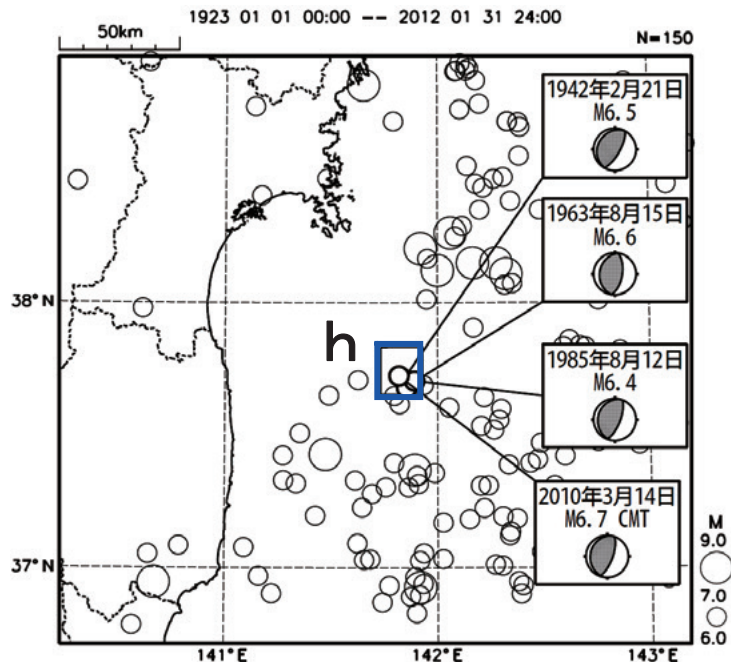


図 5.2.18 震央分布図（1937 年以降、深さ 0～150km、 $M \geq 6.0$ ）。

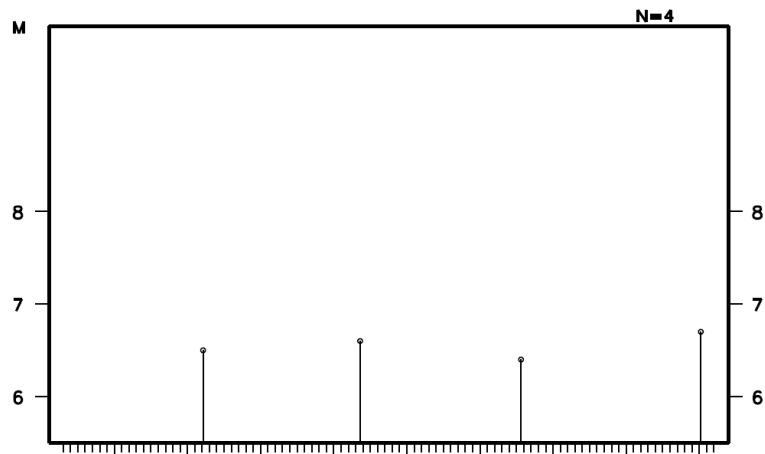


図 5.2.19 図 5.2.18 の領域 h 内の地震活動図（規模別）。

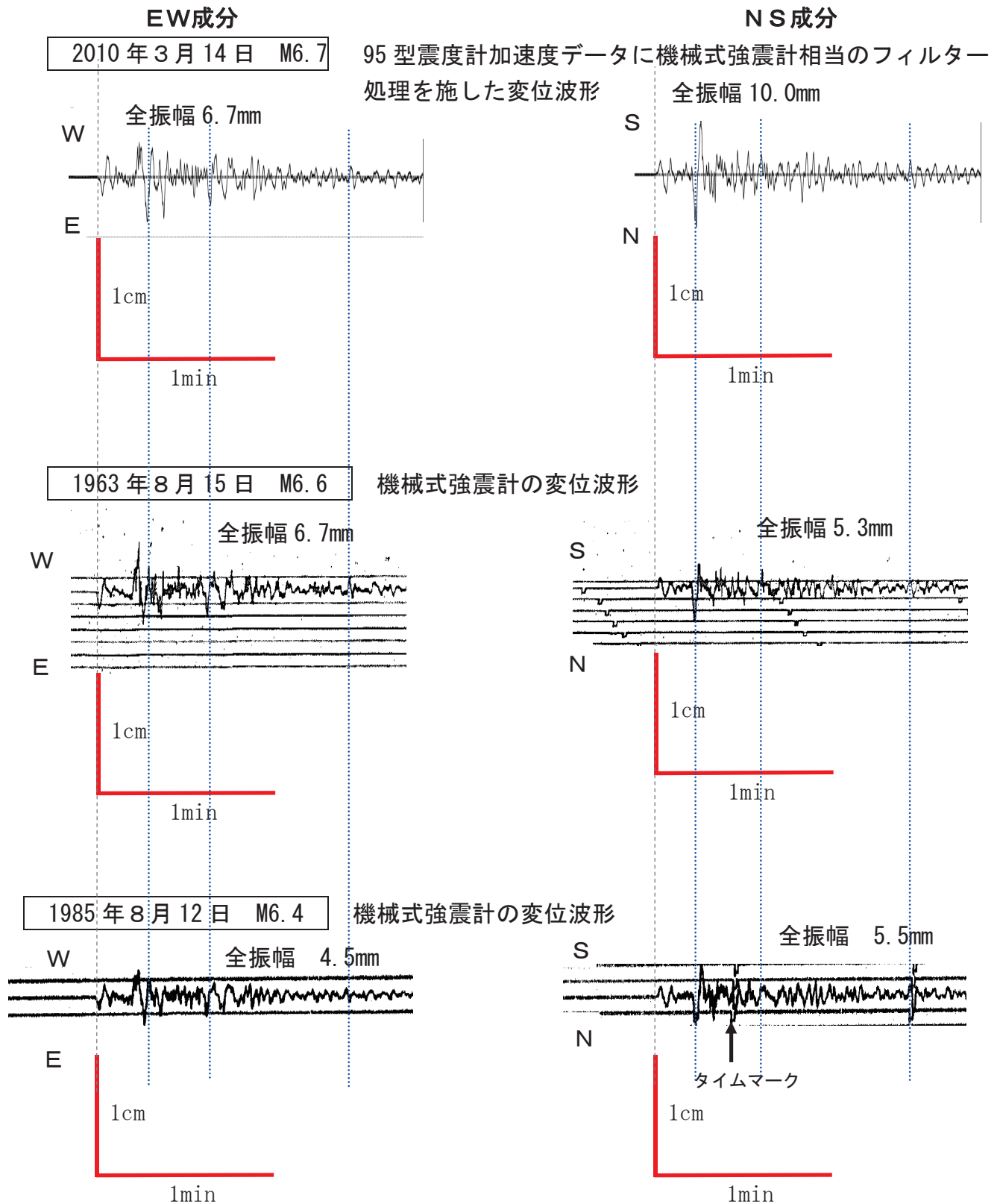


図5.2.20 仙台で観測した領域h（相馬沖）の強震波形記録（東西動及び南北動）。位相の比較のために補助線を引いている。

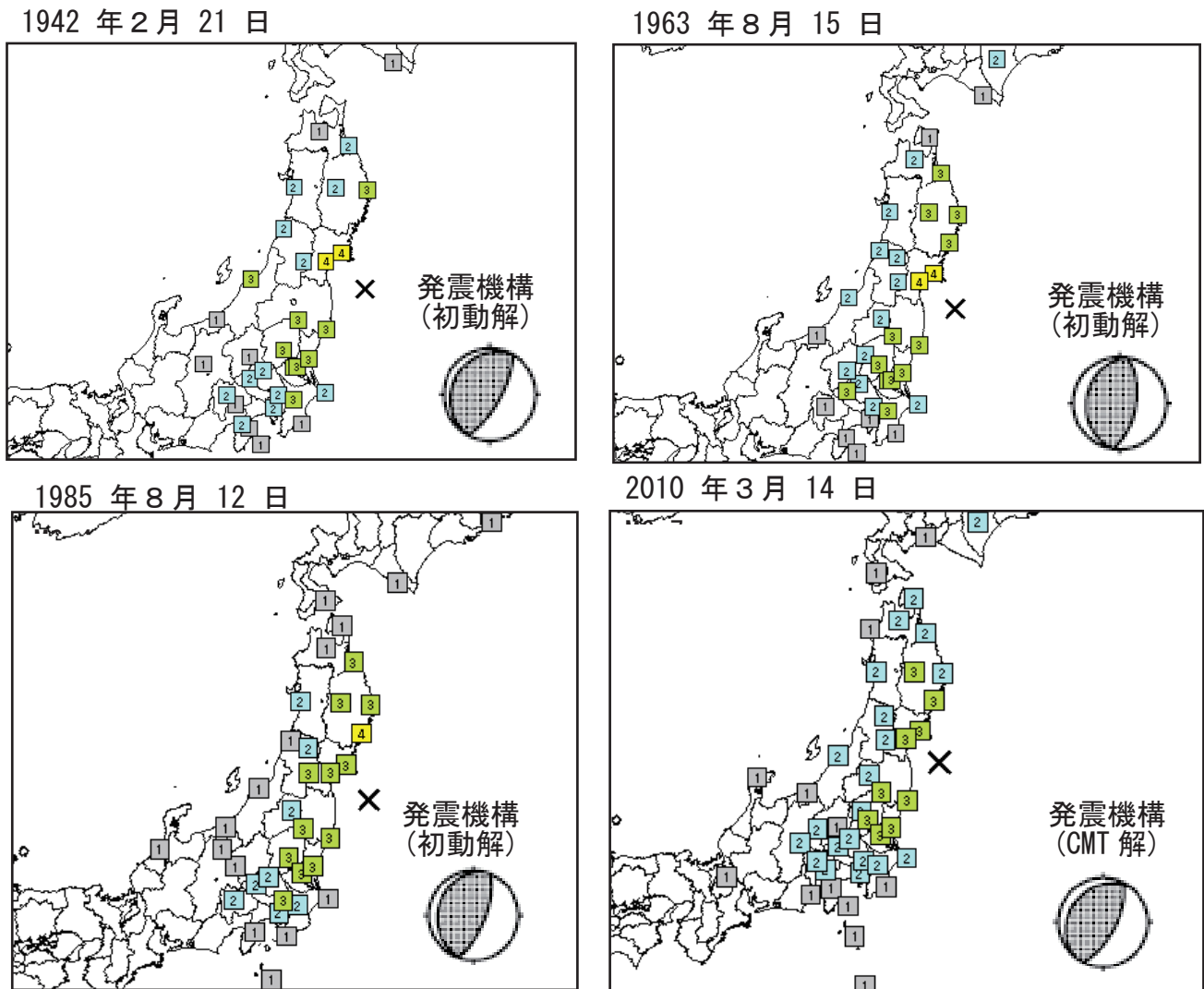


図5. 2. 21 領域h (相馬沖) のM6程度の地震の震度分布比較 (気象官署) と発震機構解。1996年以前の震度は体感の観測である。発震機構解のうち、1942年と1963年はIchikawa (1971)、2010年のCMT解はGlobal CMT Projectによる。

5.2.3.6 領域 j (いわき沖) の繰り返し相似地震

領域 j (いわき沖) では、M5.7 程度の互いに波形がよく似た地震が約 8 年間隔で繰り返し発生している (①1958 年 4 月 17 日 M5.8、②1966 年 12 月 27 日 M5.5、③1975 年 8 月 15 日 M5.5、④1986 年 10 月 14 日 M5.7、⑤1997 年 5 月 12 日 M5.7、⑥2005 年 10 月 22 日 M5.6、⑦2012 年 4 月 1 日 M5.9) (図 5.2.22、図 5.2.23、図 5.2.24)。また、これらの地震の震度分布を見ると概ね揺れの傾向は似ている (図 5.2.26)。

波形のデジタル記録が存在する⑤以降で、波形の類似性 (コヒーレンス値) を計算すると、⑤-⑥は 0.99、⑤-⑦は 0.98、⑥-⑦は 0.96 と極めて高い値が得られた (図 5.2.25 左)。コヒーレンスを計算する際の帯域は、M に応じて変更しており、M6 クラスでは 0.12~0.5 Hz の帯域で計算している。波形の類似性からみて、⑦の地震はこれまでに観測されていた繰り返し地震と同じアスペリティが破壊されたと考えられる。

なお、⑦の地震は、前回 (⑥ 2005 年 10 月 22 日の M5.6) の地震から 6.4 年経過して発生しており、これまで観測されていた発生間隔よりも短い。また、地震の規模もこれまでよりも大きいことから、「平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震」の影響を受けて地震の発生が早まったり、規模が大きくなったりしている可能性がある。

なお、2011 年 7 月 8 日に発生した M5.6 (最大震度 4) の地震は、今回の地震の近傍で発生したが、波形は似ておらず (図 5.2.25 右)、発震機構 (CMT 解) も異なる。

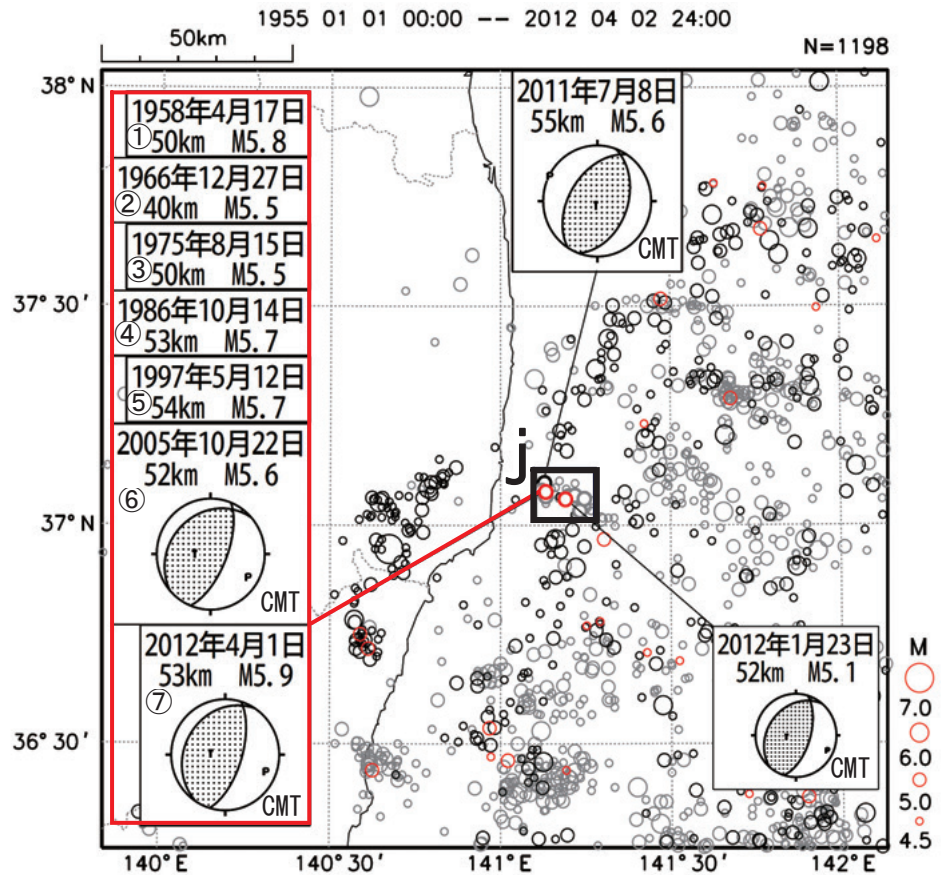


図 5.2.22 震央分布図 (1937 年以降、深さ 0~90km、 $M \geq 4.5$)。東北地方太平洋沖地震以降濃く表示、2012 年以降を赤色で表示している。

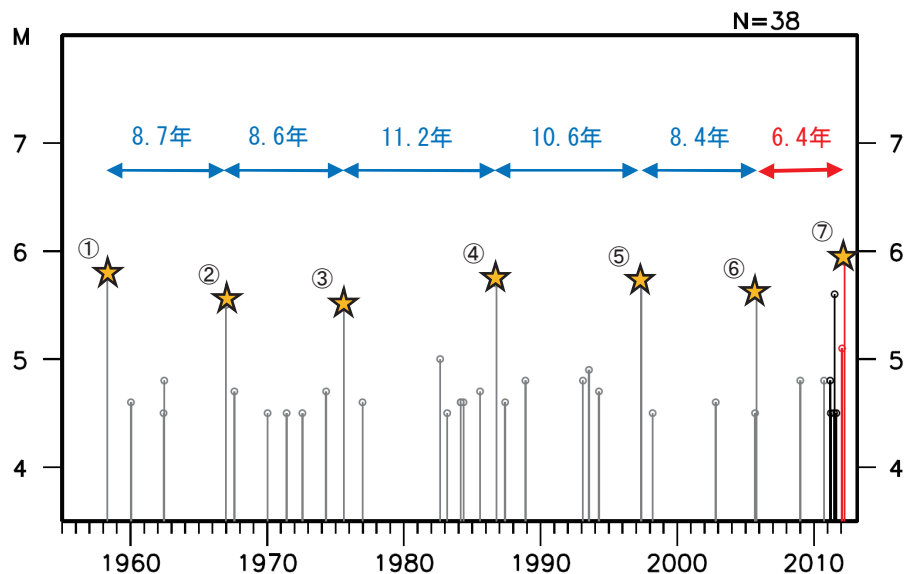


図 5.2.23 図 5.2.22 の領域 j 内の地震活動計数 (規模別)。

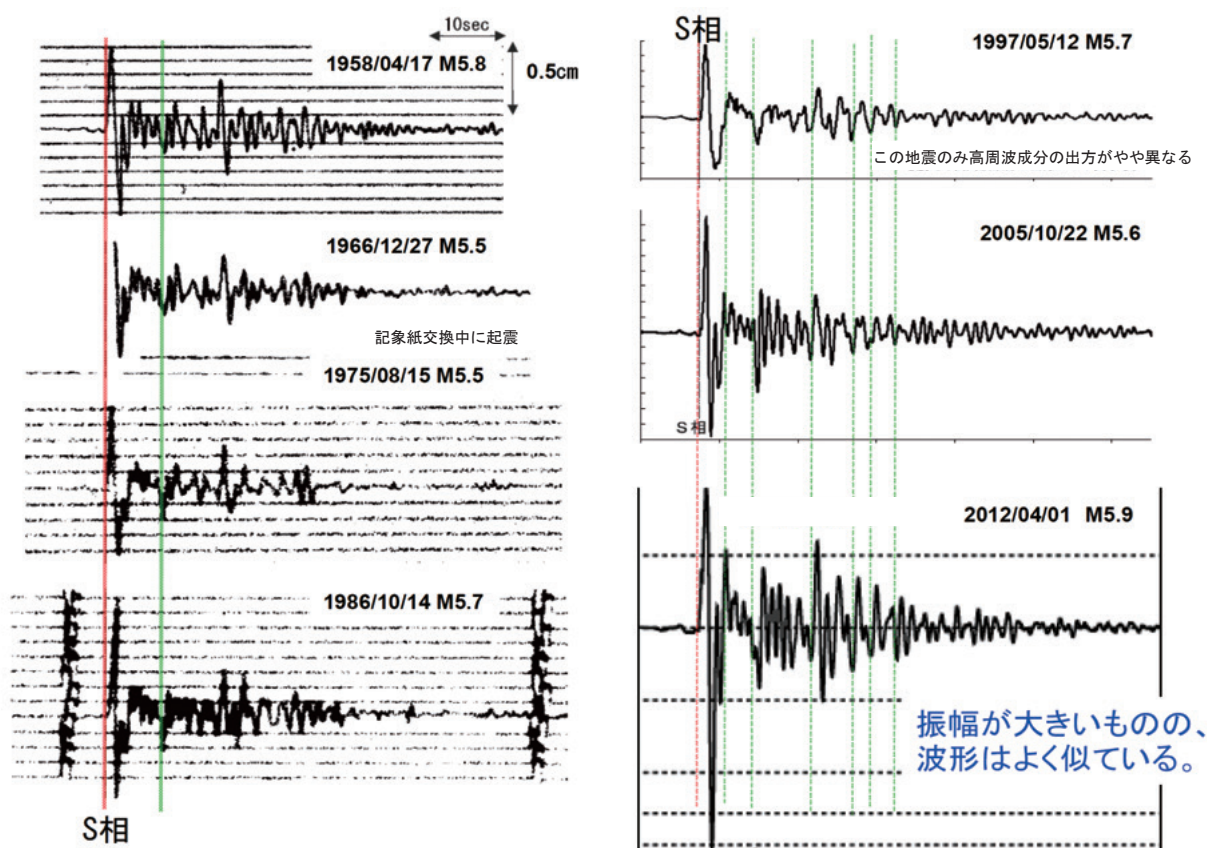


図 5.2.24 領域 j (いわき沖) の変位波形 (小名浜、東西成分)。1986 年以前は一倍強震計、1997 年以降は 95 型計測震度計のデジタル波形を 59 型地震計相当に変換したものをを用いている。位相の比較のために補助線を引いている。波形から繰り返し地震と考えられる。

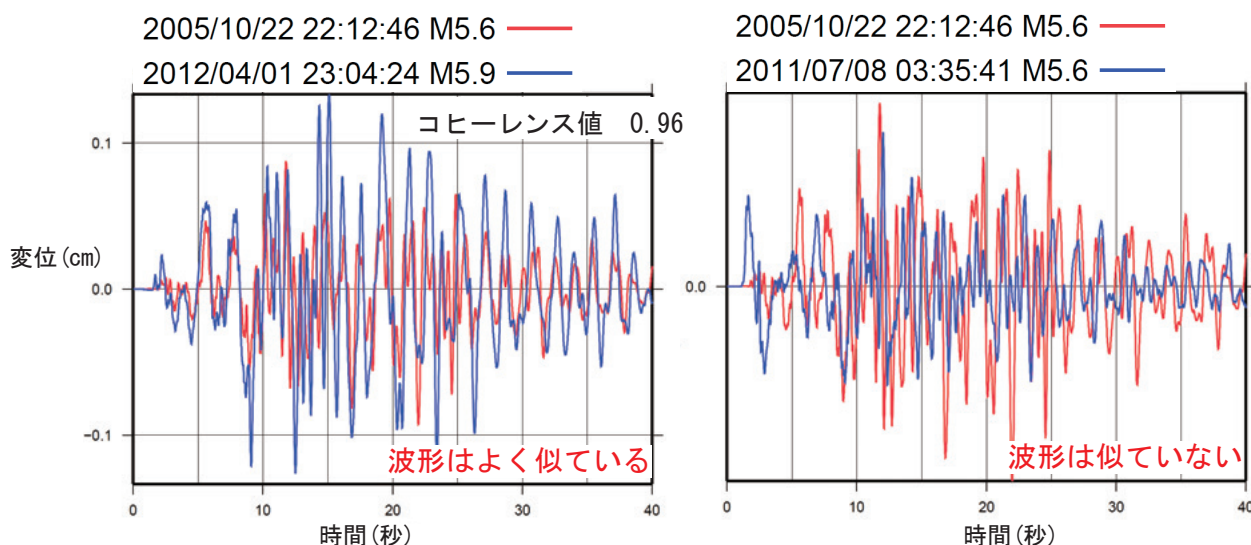
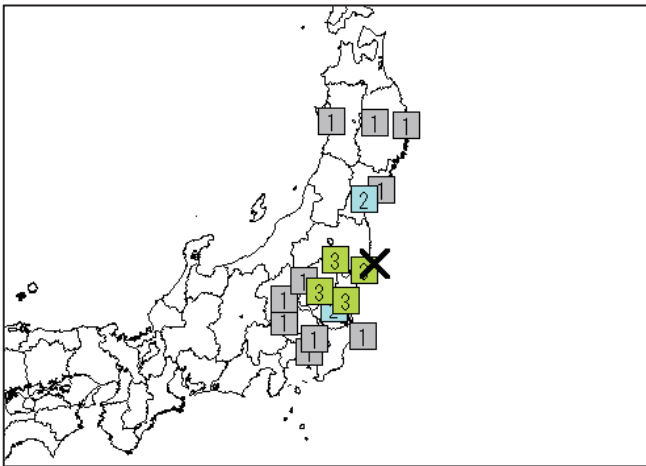
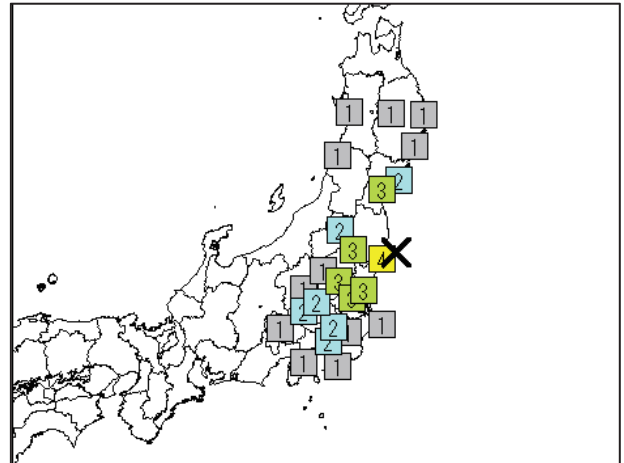


図5.2.25 領域j (いわき沖) の強震波形の比較 (小名浜、上下動成分)。波形の類似性 (コヒーレンス値) を計算すると、2005年と2012年は0.96と極めて高い値が得られた (左)。なお、2011年7月8日に発生したM5.6の地震は2012年の地震の近傍で発生したが、波形は似ていない (右)。

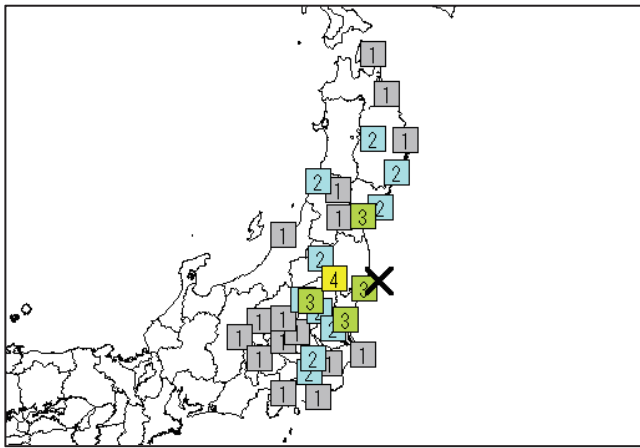
1975年8月15日 M5.5



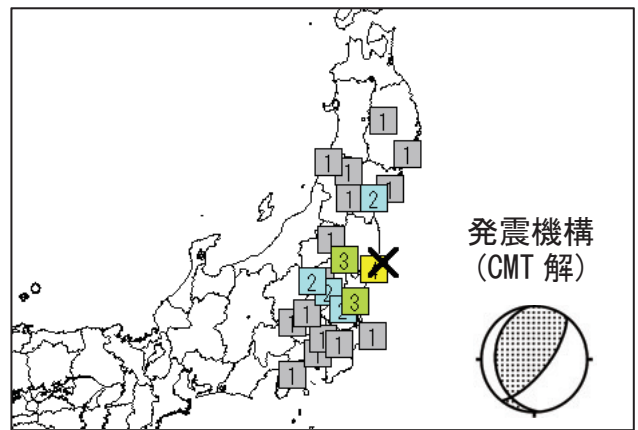
1986年10月14日 M5.7



1997年5月12日 M5.7



2005年10月22日 M5.6



2012年4月1日 M5.9

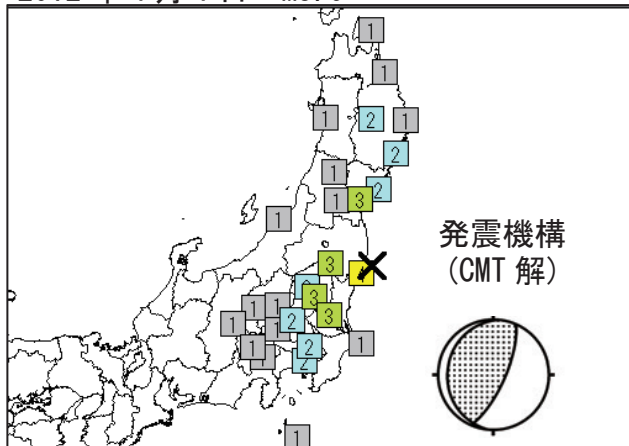


図5.2.26 領域 j (いわき沖) のM6程度の地震の震度分布比較 (気象官署) と発震機構解。震度は1996年以前は体感での観測である。発震機構はGlobal CMT Projectによる。

5.2.4. 東北地方太平洋沖のM6 程度の繰り返し相似地震

長谷川・他（2005）が繰り返し相似地震と考えたM6 程度の地震（図 5.2.1 の領域 b-1、b-2、e、f、h、j）の波形を調査した結果、それぞれの領域の波形は相似性があり、振幅もほぼ同程度であることから、繰り返し相似地震であると考えられる。繰り返し間隔と 2012 年 10 月 1 日現在の経過時間及び今後 5 年以内の発生確率を求めたものを表 5.2.2 に示す。また、表 5.2.1 に M6 程度の繰り返し相似地震のリストを示している。

このほか、それぞれの領域の繰り返し相似地震の活動から、各領域のすべり量を計算した結果を図 5.2.1 及び表 5.2.2 に示す。なお、すべり量の計算方法は次の手順で行った。

①モーメントマグニチュード M_w から地震モーメント M_0 への変換式 (Hanks and Kanamori, 1979)

$$\log(M_0) = 1.5M_w + 16.1$$

ただし、気象庁変位 M をモーメントマグニチュードとみなして計算に使用

②地震モーメントからすべり量 d への変換式 (Nadeau and Johnson, 1998)

$$\log(d) = -2.36 + 0.171\log(M_0)$$

年平均すべり量は太平洋プレートと陸域プレートの相対変位の速さを表している。表 5.2.2 から、各領域の年平均すべり量はプレートの沈み込みにほぼ見合う量（概ね 6 cm 前後）であることがわかる。なお、領域 b-2（種市沖）及び領域 h（相馬沖）では、他の領域に比べて発生間隔が長く、年平均すべり量が小さいが、このことは、それぞれの領域の繰り返し相似地震活動が、プレート間カップリングなどの領域ごとの特徴を反映している可能性を示唆している。

このほか、繰り返し相似地震の調査領域は東北地方太平洋沖地震の余震域内にあり、今回の調査領域で M6 程度の余震が数多く発生している。領域 e（気仙沼沖）の繰り返し相似地震と東北地方太平洋沖地震の M6 程度の余震波形の相似性を確認したところ、位相に違いが見られた。このことから東北地方太平洋沖地震の余震は繰り返し相似地震のアスペリティと異なる場所で発生していると考えられる。

表 5.2.2 東北地方太平洋沖の繰り返し相似地震（M6 程度）の発生間隔、2012 年 10 月 1 日時点における経過時間と発生確率（以上、L-CAT で計算）、平均すべり量。

	領域	平均M	発生間隔 (年)	標準偏差 (年)	経過時間 (年)	今後5年以内に 地震が発生する 確率(%、参考)	年平均すべり量 (cm)
b(b-1)	種市沖	6.0	13.81	0.86	3.6	3.0	5.4
b(b-2)	種市沖	5.9	16.80	0.85	1.4	0.0	3.9
e	気仙沼沖	6.3	15.50	2.28	9.9	46.3	6.3
f	気仙沼沖	6.2	14.41	2.45	18.1	87.9	6.8
h	相馬沖	6.5	22.70	1.36	2.6	0.0	4.4
j	いわき沖	5.7	8.28	1.86	0.5	5.4	7.4

5.2.5. まとめ

長谷川・他（2005）が繰り返し相似地震として示した領域のM6程度の中規模地震をマイクロフィルム及びデジタル波形と比較しながら評価を行った結果、これらはすべて繰り返し相似地震である可能性が高いと考えられる。また、これらの各領域の積算すべり量を計算した結果をみると、概ねプレートの沈み込みにほぼ見合う量であった。全国を見ると、繰り返し相似地震的活動は東北地方太平洋沖のほか、北海道太平洋沖、日向灘、沖縄本島近海で確認されている。なお、近畿・中国・四国については確認されていない（勝間田・他、2012）。

中規模繰り返し相似地震的活動は東北地方太平洋沖地震発生以降も乱されることなく、淡々と発生しているように見えることは興味深い。これら中規模繰り返し相似地震発生の際は最大震度4から5弱程度の揺れが考えられ、防災活動等に有効活用できることから、今後も繰り返し相似地震の監視及び調査を継続していく必要がある。

謝辞

本調査には、独立行政法人防災科学技術研究所、北海道大学、弘前大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、高知大学、九州大学、鹿児島大学、独立行政法人産業技術総合研究所、国土地理院、青森県、東京都、静岡県、神奈川県温泉地学研究所、横浜市及び独立行政法人海洋研究開発機構による地震観測データ及を利用して気象庁が文部科学省と協力して求めた一元化震源を使わせていただきました。本庁火山課の高木康伸係長と札幌管区気象台地震火山課の菅ノ又淳一技官には技術的情報を、大阪管区気象台地震火山課の長谷川嘉臣技官にはL-CATについてご指導頂きました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- Hanks, T. C. and H. Kanamori, 1979: A moment magnitude scale, *J. Geophys. Res.*, **84**, 2348-2350.
- 長谷川安秀・橋本徹夫・草野富士雄・吉川一光・大西星司、2005：東北地方における中規模地震の固有地震的地震活動の検出、*地震* **2**, **58**, 67-70.
- Ichikawa, M., 1971: Reanalyses of mechanism of earthquakes which occurred in and near Japan, and statistical studies on the nodal plane solutions obtained, 1926-1968, *Geophys. Mag.*, **35**, 207-274.
- 勝間田明男・菅ノ又淳一・高橋賢二・平山達也・大山浩明・松島功・太田良久・菅原政志・松山輝雄・齋藤祥司・高齋祥孝・下川淳・長谷川安秀・太田健治・草野富二雄・長谷川嘉臣・植村英明・古謝秀和・城間康司・川門義治・佐鯉央教・山本剛靖・溜渕功史・鎌谷紀子・岡田正実、2012：日本各地域の中規模繰り返し相似地震の調査、*日本地震学会秋季大会予稿集*, P3-18.
- Nadeau, R. M. and L. R. Johnson, 1998: Seismological studies at Parkfield VI: Moment release rates and estimates of source parameter for small repeating earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **88**, 790-814.