

平成 28 年 7 月 1 日 地震調査研究推進本部 地震調査委員会
--

菊川断層帯の長期評価（一部改訂）

菊川断層帯は、山口県西部から響灘沖にかけて分布する活断層帯である。ここでは、平成 8、9 年度に山口県によって行われた調査及び、平成 21 年度に行われた地震予知総合研究振興会による沿岸海域の活断層調査、平成 26 年度に行われた産業技術総合研究所による活断層の補完調査をはじめ、これまでに大学や研究機関で実施された調査研究成果に基づいて、本断層帯の諸特性を次のように評価した。^{*1}

1. 断層帯の位置及び形状

本断層帯は、山口県西部の山陽小野田市竜王山（りゅうおうざん）付近から北西方向に延び、小野田港付近の海域を挟んで山陽小野田市津布田（つぶた）付近及び下関（しものせき）市、及び下関市菊川（きくがわ）町、神田岬（かんだみさき）南岸を経て、沖合の響灘（ひびきなだ）沖に延びる、概ね北西-南東方向に延びる長さ約 114km もしくはそれ以上の断層帯である（図 1）。

本断層帯は、構成する活断層の分布形状、地表地質等の特徴に基づき、3つの区間に区分される。各区間は北から順に、響灘沖合から神田岬北西方の沖合に至る長さ約 53km の北部区間、神田岬北西方の沖合から下関市に至る長さ約 43km の中部区間、山陽小野田市埴生付近から山陽小野田市竜王山に至る長さ約 18km もしくはそれ以上の南部区間である（図 2、表 1）。いずれも左横ずれが卓越する断層であり、中部区間では北東側が相対的に隆起する上下成分を伴う。

2. 断層帯の過去の活動

北部区間の最新活動時期は 1 万 4 千年前以後と推定される。平均的なずれの速さは約 0.02-0.4m/千年（上下）と推定される（表 1）。平均的な活動間隔に関する資料は得られていない。

中部区間の最新活動時期は、約 5 千 9 百年前以後、約 3 千 3 百年前以前と推定される（表 1）。平均的な活動間隔は約 4 千 1 百年から約 5 千 9 百年と推定される。平均的なずれの速さは、0.7-1.0m/千年程度と推定される。

南部区間では、最新活動時期、平均的な活動間隔、平均的なずれの速さともに不明である。

3. 断層帯の将来の活動

北部区間全体が 1 つの区間として活動する場合、M7.7 程度の地震が発生すると推定される（表 1）。また、その際には左横ずれを主体として 5 m 程度のずれが生じる

^{*1} 菊川断層帯については、地震調査研究推進本部地震調査委員会（2003）により、それまでに行われた調査結果に基づいた長期評価が公表されている。その後、杉山ほか（2010）、阿部ほか（2010）、田力ほか（2011）及び産業技術総合研究所（2015）などによって、同断層帯を構成する断層やそれらの位置・形状や活動履歴に関する新たな知見が得られたことから今回再評価を行い、評価を一部改訂した。

可能性がある。

北部区間においては、過去の活動が明らかではないため、将来このような地震が発生する確率を求めることができない。

中部区間全体が1つの区間として活動する場合、M7.6程度の地震が発生すると推定される。また、その際には左横ずれを主体として4m程度のずれが生じる可能性がある。今後30年以内にこのような地震が発生する長期確率は、表2に示すとおりである。本評価で得られた地震の発生確率には幅があるが、その最大値をとると、中部区間は今後30年の間に地震が発生する可能性が、我が国の主な活断層の中では高いグループに属することになる（注1、2）。

南部区間全体が1つの区間として活動する場合、M6.9程度もしくはそれ以上の地震が発生すると推定される。また、その際には2m程度もしくはそれ以上のずれが生じる可能性がある。南部区間においては、過去の活動時期が明らかではないため、将来このような地震が発生する確率を求めることができない。

本断層帯の各区間はそれぞれ別々に活動すると推定されるが、複数区間が同時に活動する可能性も否定できない。その場合にはM7.8-8.2程度もしくはそれ以上の地震が発生する可能性がある。この場合の地震発生確率を求めることはできないが、各区間がそれぞれ単独で活動する確率より大きくなることはないと考えられる。

4. 今後に向けて

本断層帯の各区間について、中部区間以外では最新活動時期や平均活動間隔が得られておらず、将来の地震発生の可能性を評価することができない。また、いずれの区間においても平均的なずれの速さと一回の変位量に関する資料が極めて不十分である。中部区間についても、最新活動時期や平均活動間隔が十分には絞り込まれておらず、確率の幅が広い結果となっている。さらに、各活動区間が同時に活動する可能性についても不明である。このため、本断層帯について、詳しい活動時期や平均的なずれの速度及び1回のずれの量など、過去の活動に関する精度のよい資料を得る必要がある。また、本断層帯はさらに南東側に延びる可能性もあるため、今後、海域の調査によって断層の分布範囲を精査する必要がある。

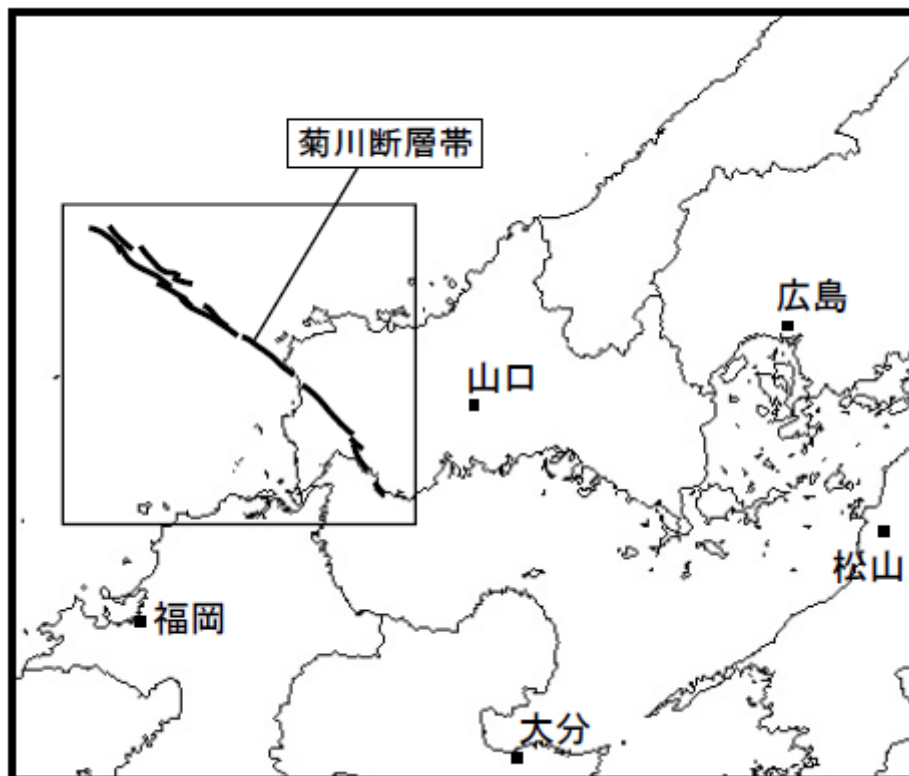


図1 菊川断層帯の概略位置図
(長方形は図2の範囲)

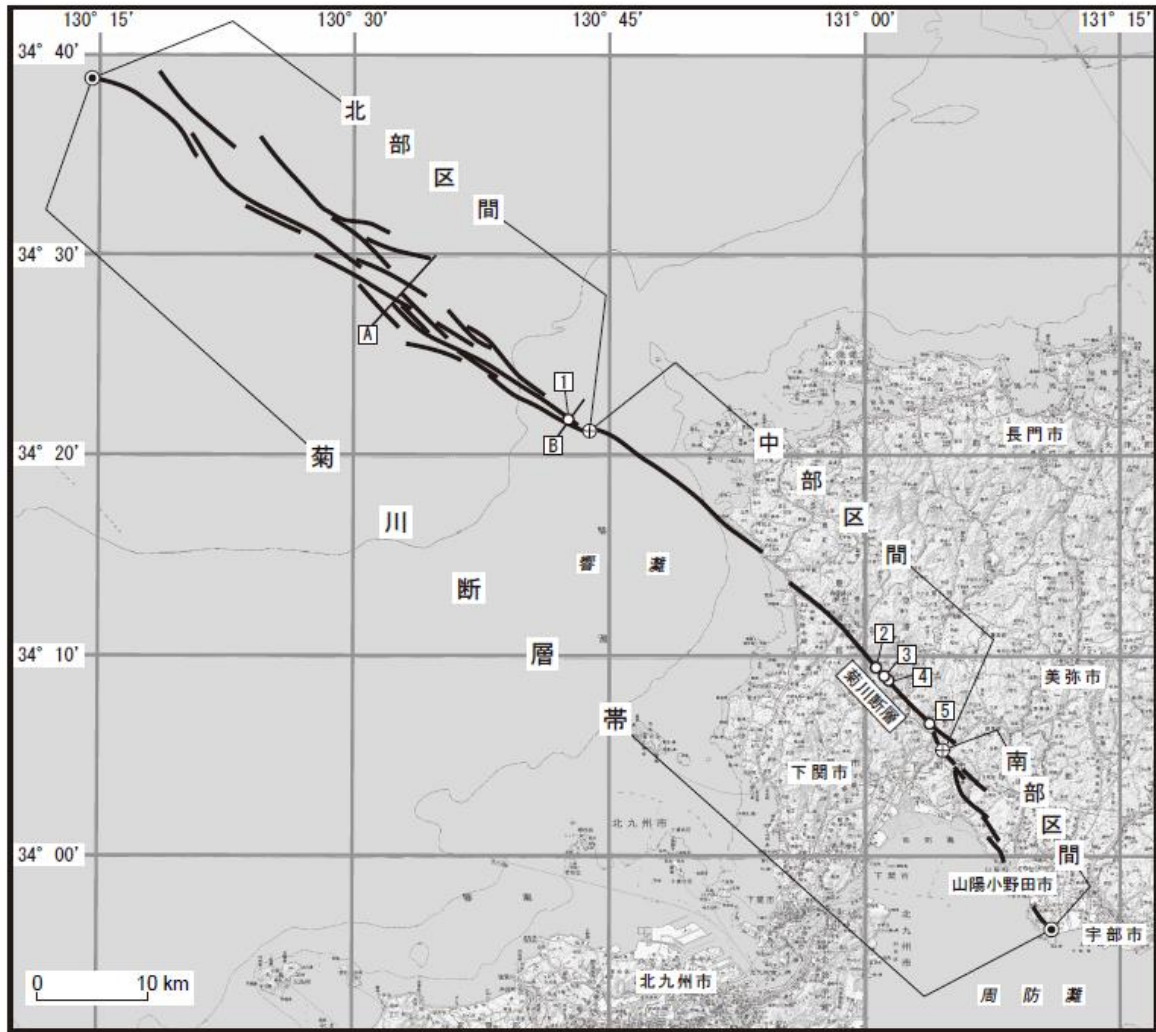


図2 菊川断層帯の活断層位置と主な調査地点

○トレンチ調査等の調査地点 1：阿部ほか（2010）による採泥地点 2：上岡枝地点
 3：上岡枝下流地点 4：上諏訪地点 5：下保木地点

A—B：音波探査測線

●：断層帯の端点 ⊕：活動区間の端点

活断層の位置は文献1、2、3及び4に基づく。

基図は国土地理院発行数値地図 200000（地図画像）「山口」、「中津」、「小串」、「福岡」を使用。

表 1 菊川断層帯の特性

項 目	特 性	信頼度 (注3)	根 拠 (注4)
1. 位置・形状			
(1) 構成する断層	(北部区間) 神田岬沖断層北西延長部 (中部区間) 神田岬沖断層、菊川断層 (南部区間) 菊川断層南東延長部		文献1、2、3、4による。
(2) 位置・形状	地表における位置・形状 (全体) 北西端：北緯 34° 38.9′ 東経 130° 14.7′ 南東端：北緯 33° 56.4′ 東経 131° 11.0′ 長さ 約 114km もしくはそれ以上 一般走向 N48° W (北部区間) 北西端：北緯 34° 38.9′ 東経 130° 14.7′ 南東端：北緯 34° 21.2′ 東経 130° 43.8′ 長さ 約 53km 一般走向 N54° W (中部区間) 北西端：北緯 34° 21.4′ 東経 130° 43.9′ 南東端：北緯 34° 05.4′ 東経 131° 04.5′ 長さ 約 43km 一般走向 N48° W (南部区間) 北西端：北緯 34° 05.2′ 東経 131° 04.7′ 南東端：北緯 33° 56.4′ 東経 131° 11.0′ 長さ 約 18km もしくはそれ以上 一般走向 N32° W 地下における位置・形状 (北部区間) 長さ及び上端の位置 地表と同じ 上端の深さ 0 km 傾斜 ほぼ鉛直 (地表付近) 幅 15-20 km (中部区間) 長さ及び上端の位置 地表と同じ 上端の深さ 0 km 傾斜 高角 幅 15-20 km (南部区間) 長さ及び上端の位置 地表と同じ 上端の深さ 0 km 傾斜 ほぼ鉛直 (地表付近) 幅 15-20 km	△ ○ △ △ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ △ △ ○ ○ ◎ ○ △ ○ ◎ ○ △ ○ ◎ ○ △	文献1、2、3、4による。数値は図2から計測。 一般走向は断層帯の北西端と南東端を直線で結んだ方向 (図2参照)。 上端の深さが 0 km であることから推定。 傾斜は文献5、6に示された露頭やトレンチ調査結果による。 幅は不明であるが、D90 による地震発生層の下限の深さは 15-20km 程度。

(3) 断層のずれの向きと種類	(北部区間) 左横ずれ断層	○	文献1、2、3、4などに示された資料から推定。
	(中部区間) 左横ずれ断層 北東側隆起の逆断層成分を伴う	◎	
	(南部区間) 左横ずれ断層	◎	
2. 断層帯の過去の活動			
(1) 平均的なずれの速度	(北部区間) 約0.02-0.4m/千年(上下)	△	文献3による。 一回のずれの量、平均活動間隔から推定。
	(中部区間) 約0.7-1.0m/千年	△	
	(南部区間) 不明		
(2) 過去の活動時期	(北部区間) 活動1(最新活動) 約1万4千年前以後	○	文献3に示された資料から推定。 文献7に示された資料等から推定。
	(中部区間) 活動1(最新活動) 約5千9百年前以後、約3千3百年前以前	○	
	活動2 約1万3千年前以後、約5千9百年前以前	○	
	活動3 約1万5千年前以後、約1万4千年前以前	○	
(南部区間) 不明			
(3) 1回のずれの量と平均活動間隔	(北部区間) 1回のずれの量 5m程度(全体) 平均活動間隔 不明	△	一回のずれの量は断層の長さから推定。 平均活動間隔は、過去の活動時期から推定。
	(中部区間) 1回のずれの量 4m程度(全体) 平均活動間隔 約4千1百-約5千9百年	△ ○	
	(南部区間) 1回のずれの量 2m程度もしくはそれ以上(全体) 平均活動間隔 不明	△	
(4) 過去の活動区間	(北部区間) 全体で1区間	○	断層の地表形態から推定。
	(中部区間) 全体で1区間	○	
	(南部区間) 全体で1区間	○	
3. 断層帯の将来の活動			
(1) 将来の活動区間及び地震の規模	(北部区間) 地震の規模 M7.7程度	○	断層分布形態、及び表層地質分布から推定。 断層の長さから推
	ずれの量 5m程度(全体)	△	

(中部区間) 地震の規模 M7.6程度 ずれの量 4m程度(全体)	○ △	定。
(南部区間) 地震の規模 M6.9程度もしくはそれ以上 ずれの量 2m程度もしくはそれ以上(全体)	△ △	
(複数区間が同時活動する場合) 地震の規模 M7.8-8.2程度もしくはそれ以上	△	

表2 中部区間の将来の地震発生確率等

項目	将来の地震発生確率等 (注5)	信頼度 (注6)	備考
地震後経過率(注7)	0.6-1.4	b	発生確率及び集積確率は文献8による。
今後30年以内の地震発生確率	0.1%-4%		
今後50年以内の地震発生確率	0.2%-7%		
今後100年以内の地震発生確率	0.4%-10%		
今後300年以内の地震発生確率	1%-40%		
集積確率(注8)	0.9%-90%より大*		

*95%以上は「90%より大」と表記

注1：我が国の陸域及び沿岸域の主要な98の活断層のうち、2001年4月時点で調査結果が公表されているものについて、その資料を用いて今後30年間に地震が発生する確率を試算すると概ね以下になると推定される。

98断層帯のうち約半数の断層帯：30年確率の最大値が0.1%未満

98断層帯のうち約1/4の断層帯：30年確率の最大値が0.1%以上-3%未満

98断層帯のうち約1/4の断層帯：30年確率の最大値が3%以上

(いずれも2001年4月時点での推定。確率の試算値に幅がある場合はその最大値を採用。)

この統計資料を踏まえ、地震調査委員会の活断層評価では、次のような相対的な評価を盛り込むこととしている。

今後30年間の地震発生確率(最大値)が3%以上の場合：

「本断層帯は、今後30年間に発生する可能性が、我が国の主な活断層の中では高いグループに属することになる」

今後30年間の地震発生確率(最大値)が0.1%以上-3%未満の場合：

「本断層帯は、今後30年間に地震が発生する可能性が、我が国の主な活断層の中ではやや高いグループに属することになる」

注2：1995年兵庫県南部地震、1858年飛越地震及び1847年善光寺地震の地震発生直前における30年確率と集積確率(うち、1995年兵庫県南部地震と1858年飛越地震については「長期的な地震発生確率の評価手法について」(地震調査研究推進本部地震調査委員会、2001)による暫定値)は以下のとおりである。

地震名	活動した活断層	地震発生直前の 30年確率(%)	地震発生直前の 集積確率(%)	断層の平均活動 間隔(千年)
1995年兵庫県南部地震 (M7.3)	野島断層 (兵庫県)	0.4%-8%	2%-80%	約1.8-約3.0
1858年飛越地震 (M7.0-7.1)	跡津川断層 (岐阜県・富山県)	ほぼ0%-10%	ほぼ0%- 90%より大	約1.9-約3.3
1847年善光寺地震 (M7.4)	長野盆地西縁断層 (長野県)	ほぼ0%-20%	ほぼ0%- 90%より大	約0.8-約2.5

「長期的な地震発生確率の評価手法について」に示されているように、地震発生確率は前回の地震後、十分長い時間が経過しても100%とはならない。その最大値は平均活動間隔に依存し、平均活動間隔が長いほど最大値は小さくなる。平均活動間隔が3千年の場合は30年確率の最大値は8%程度、4千年の場合は30年確率の最大値は6%程度である。

注3：信頼度は、特性欄に記載されたデータの相対的な信頼性を表すもので、記号の意味は次のとおり。

◎：高い、○：中程度、△：低い、▲：かなり低い

注4：文献については、本文末尾に示す以下の文献。

- 文献1：海上保安庁（1985）
- 文献2：中田・今泉編（2002）
- 文献3：阿部ほか（2010）
- 文献4：田力ほか（2011）
- 文献5：山口県（1997）
- 文献6：山口県（1998a）
- 文献7：産業技術総合研究所（2015）
- 文献8：地震調査研究推進本部地震調査委員会（2001）

注5：評価時点はすべて2016年1月1日現在。

注6：地震後経過率、発生確率及び現在までの集積確率（以下、発生確率等）の信頼度は、評価に用いた信頼できるデータの充足性から、評価の確からしさを相対的にランク分けしたもので、aからdの4段階で表す。各ランクの一般的な意味は次のとおりである。

a：（信頼度が）高い b：中程度 c：やや低い d：低い

発生確率等の評価の信頼度は、これらを求めるために使用した過去の活動に関するデータの信頼度に依存する。信頼度ランクの具体的な意味は以下のとおりである。なお、発生確率等の評価の信頼度は、地震発生の切迫度を表すのではなく、発生確率等の値の確からしさを表すことに注意する必要がある。

発生確率等の評価の信頼度

- a：過去の地震に関する信頼できるデータの充足度が比較的高く、これを用いて求めた発生確率等の値の信頼性が高い。
- b：過去の地震に関する信頼できるデータの充足度が中程度で、これを用いて求めた発生確率等の値の信頼性が中程度。
- c：過去の地震に関する信頼できるデータの充足度が低く、これを用いて求めた発生確率等の値の信頼性がやや低い。
- d：過去の地震に関する信頼できるデータの充足度が非常に低く、これを用いて求めた発生確率等の値の信頼性が低い。このため、今後の新しい知見により値が大きく変わる可能性が高い。または、最新活動時期のデータが得られていないため、現時点における確率値が推定できず、単に長期間の平均値を確率としている。

注7：最新活動（地震発生）時期から評価時点までの経過時間を、平均活動間隔で割った値。最新の地震発生時期から評価時点までの経過時間が、平均活動間隔に達すると1.0となる。

注8：前回の地震発生から評価時点までの間に地震が発生しているはずの確率。

(説明)

1. 菊川断層帯に関するこれまでの主な調査研究

辻村(1932)は、山口県西部に北西-南東方向に延びる長さ約10kmの御岳断層崖を図示した。その後、小林(1950)は、この付近に認められる延長約24kmの地質断層を記載した。松田ほか(1976)は、辻村(1932)の指摘した断層崖の南東側に、さらに南東方向に延びる断層として、北東側隆起の推定活断層を示し、これを狗留孫(くるそん)山南西断層と呼んだ。活断層研究会編(1980)は左横ずれを主体とし北東側隆起の断層として、これを菊川断層と命名した。

堤(1991)はトレンチ調査を行い、過去の活動時期を推定した。また、山口県(1997, 1998a, 1998b)は、地形・地質調査、反射法弾性波探査及びボーリング・トレンチ調査など菊川断層における総合的な調査を行った。さらに、産業技術総合研究所(2015)は、「活断層の補完調査」の一環としてトレンチ調査を実施し、過去の活動時期を推定した。

本断層帯の陸域における活断層の位置は、活断層研究会編(1991)、山口県(1998a)、中田・今泉編(2002)、田力ほか(2011)などに示されている。また、海域における位置は海上保安庁(1985)、杉山ほか(2010)、阿部ほか(2010)に示されている。

2. 菊川断層帯の評価結果

2. 1 断層帯の位置及び形態

(1) 断層帯を構成する断層

活断層研究会編(1991)は、山口県西部に位置する神田岬の南側の沿岸域から山口県山陽小野田市山陽町に至る断層を菊川断層とした。また、海上保安庁(1985)によると、菊川断層の北西側には、ほぼ連続して沖合に向けて神田岬沖断層が延びている。地震調査研究推進本部(2003)は、基盤的調査観測対象の活断層のひとつである菊川断層、及び海域の神田岬沖断層も含めて菊川断層帯として評価した。

菊川断層の南東端について、活断層研究会編(1991)はその末端部を確実度Ⅲの活断層としている。一方、中田・今泉編(2002)及び山口県(1998a)は概ね一致し、活断層研究会編(1991)の南東端部の確実度Ⅲの部分を大部分削除して、南東端を下関市大判付近としている。その後、田力ほか(2011)は、菊川断層の南東延長に断層変位地形を新たに認め、陸域の菊川断層帯が少なくとも山陽小野田市竜王山付近まで延びると指摘した。

また、海域の神田岬沖断層から、さらに北西側で実施された音波探査結果によると、神田岬沖断層の北西延長方向にも断層の存在を示唆する資料が得られており(杉山ほか, 2010; 阿部ほか, 2010; 図3、図4、図5)、同断層はさらに北西側に延びるとして評価した。

ここでは、本断層帯を構成する断層の位置及び名称は海上保安庁(1985)、中田・今泉編(2002)、阿部ほか(2010)、及び田力ほか(2011)によった。

(2) 断層面の位置・形状

本断層帯の長さ及び一般走向は、確認されている断層帯の北西端と南東端を直線で結ぶとそれぞれ約114km、N50°Wとなる。ただし、上述のように、断層はさらに南東側に延びている可能性もある。このため、断層帯の長さは約114km、もしくはそれ以上となる。

断層面上端の深さは、断層変位が地表または海底に達していることから0kmとした。

後述のように本断層帯は左横ずれを主体とし、北東側隆起を伴う断層である。地表及び海底における断層トレースが直線的であること、断層露頭やトレンチ壁面に認められる断層の傾斜などから、断層面の傾斜は少なくとも浅い部分では高角と推定される。また、この付近では東西圧縮の地殻応力が推定されることから、北東側隆起を伴う北東傾斜と推定される。なお、山口県(1997)は、菊川断層の北西端に近い豊田町本郷で浅層反射法探査を実施している。断面図からは約30°で北東側に傾く不連続面が認められるが、山口県(1997)はこれを地層境界としており、断層面とはしていない。

(3) 断層の変位の向き(ずれの向き:注9)

本断層帯は活断層研究会編(1991)、海上保安庁(1985)に示された変位地形などから、左横ずれを主体とする断層で、北東側隆起の逆断層成分を伴うと考えられる。

2. 2 断層帯の過去の活動

(1) 平均変位速度 (平均的なずれの速さ : 注9)

山口県 (1998a) は、下関市菊川町上岡枝 (かみおかえだ) で実施したトレンチ調査で、壁面に認められた地層の上下変位量と年代値及び断層面に認められた条線の方から、その平均変位速度 (すべり方向の変位速度) を $0.14-0.18\text{m}/\text{千年}$ と求め、さらに、菊川町下保木 (しもほき) 地区で掘削したトレンチにおいても同様の方法で $0.12-0.15\text{m}/\text{千年}$ (すべり方向の変位速度) と求めた。しかし、前者は、山口県 (1998a) が示したトレンチ壁面に認められる上下変位の方向と条線の方からは断層の変位の向きは右横ずれとなり、地形から得られた変位の向きと矛盾する。後者については、最近になってトレンチよりも北東側に断層線の存在が示されており (中田・今泉編, 2002)、この数値が菊川断層の平均変位速度を示しているとは言えない。

阿部ほか (2010) は北部区間における海域の音波探査とコアリングの結果から、上下平均変位速度を $0.017-0.417\text{m}/\text{千年}$ と推定している (図4、図5)。また、断層帯が横ずれ成分主体の断層からなることを考慮し、横ずれ成分を含めた平均変位速度は数倍以上になると指摘している。ここでは、横ずれ成分に関する資料は得られていないため、北部区間の上下平均変位速度が $0.02-0.4\text{m}/\text{千年}$ と評価した。

中部区間については、平均活動間隔と1回のずれの量から、左横ずれ平均変位速度が約 $0.7-1.0\text{m}/\text{千年}$ である可能性がある。

以上から、北部区間の上下平均変位速度は $0.02-0.4\text{m}/\text{千年}$ と推定される。南部区間の平均変位速度に関する資料は得られていない。

(2) 活動時期

○地形・地質的に認められた過去の活動

菊川断層帯では、過去の活動時期を推定するため、以下の調査が行われている。

菊川町上岡枝では、山口県 (1998a) による2つのトレンチ調査 (上岡枝上流地点、上岡枝下流地点) と、堤 (1991) によるトレンチ (上岡枝地点) の計3つのトレンチ調査が行われている。

上岡枝下流地点では、トレンチ内に細礫-中礫主体の旧河川堆積物 (⑤層) を切る高角の断層が認められた。山口県 (1998a) は、⑤層に含まれる花粉の分析結果から、⑤層の年代を約8千5百-7千年前としている。このことと、東壁面で⑥層のうち断層を覆っていると推定される部分から得られた ^{14}C 年代値から、約8千5百年前以後、約2千1百年前以前に活動があった可能性がある。ただし、ここで用いた花粉分析試料は連続的に得られたものではないため、年代値に関する信頼度はやや低い。なお、山口県 (1998a) は、トレンチ壁面に現れた断層の位置から4-5m程度南側のトレンチ底面付近に分布する粘土が断層活動により生成されたものであるとして、この粘土に挟まれていた木片の ^{14}C 年代値から最新活動に先行する活動の時期 (暦年補正して約3万2千年前以後) を推定している (注10)。しかし、この粘土は基盤岩が断層によって破碎され形成されたもので年代値を得た木片は粘土中に入り込んだ後世の植物根である可能性も否定できないことから、これをもって最新活動に先行する活動の時期を限定することは困難である。

堤 (1991) は、上記の山口県 (1998a) の調査に先行して、上岡枝下流トレンチの北西側約600m付近の場所でトレンチ調査を実施した (上岡枝地点)。トレンチ壁面では高角の断層が認められ、北壁面では断層が上部に向かって分岐し、楔状の落ち込みを作るように分布している。この楔状の部分にはほぼ水平に砂礫層 (2層) が堆積している。断層は南壁面でも認められるがこのような楔状の部分は認められず、2層は分布しない。堤 (1991) は、北壁面でこれら楔状の部分を埋めるように堆積する2層には変位を受けた様子が見られないとして、断層活動は3層堆積後、2層堆積前とした。しかし、ルーズな礫層が垂直な壁を維持し、その後に2層が堆積したとは考えにくい。したがって、これらの地層は横ずれ断層活動に伴って側方からもたらされた可能性がある。以上のことから、本地点における最新活動は2層堆積後であった可能性があり、この地層から得られた ^{14}C 年代値から、その時期は約1万7千年前以後となる。

また、山口県 (1998a) は、上岡枝から南東に約6kmの菊川町下保木地点でボーリング及びトレンチ調査を実施した。本地点は中田・今泉編 (2002) による菊川断層の南東端付近に位置する。

山口県（1998a）は、ボーリング及びトレンチ調査の結果、始良 Tn 火山灰層及びこれより下位の地層が上位の地層に比べて大きく傾いており、これが断層活動による変形と考えられるとして、その上下の地層から得られた ^{14}C 年代値をもとに活動時期を推定した。しかし、本地点付近は山裾の扇状地をなしており、山口県（1998a）が断層活動による変形とした地層の傾きは初生的なものである可能性がある。また、トレンチ北壁面のスケッチで山口県（1998a）が示した2条の断層に沿っては、横切る地層に変位は認められない。以上のことから、本地点の調査結果は始良 Tn 火山灰堆積後に断層活動があったことを示す資料とはならない。ただし、山口県（1998a）が断層を示した位置には基盤岩の段差が認められ、これを直接覆う砂層も変形しているようにも見えることから、始良 Tn 火山灰層の堆積前に断層活動があった可能性は否定できない。一方、中田・今泉編（2002）は、本トレンチ掘削地点の北東側に断層線を示している。このため、本地点付近で始良 Tn 火山灰降灰後に活動がなかったとも言えない。

さらに、産業技術総合研究所（2015）は、中部区間に位置する菊川町上岡枝の上諏訪地点においてトレンチ調査を実施し、河川性堆積物と斜面堆積物、基盤岩を切断する明瞭な断層を確認した（図6、図7）。断層による地層の切断と被覆関係、断層面の走向変化、地層の変形程度の差異から、2回以上の断層活動イベントが指摘されている。特定された2回のイベントの年代は、新しいものから約5千9百年前以後、約3千3百年前以前（4層堆積開始以後、4層上部堆積以前）、及び約1万5千年前以後、約1万4千年前以前（13層堆積以後、12層堆積以前）とされている。一方、これらの2回のイベントが生じた間の期間には、更に別のイベントが生じたと推定される。このイベントは、6層以下の地層を切断する複数の断層上端が5b層に覆われること、最も新しいイベントが生じるより前に、6層以下の地層を切断する圧縮性の花卉構造が形成されていたことから推定される。また、それぞれの地層から採取された年代試料から、発年代は約1万3千年前以後、約5千9百年前以前と考えられる。よって、上諏訪地点におけるトレンチ調査では、約1万5千年前以後に3回の活動が識別できるものと判断した。

以上のことから、菊川断層帯中部区間では、約5千9百年前以後、約3千3百年前以前に最新活動があったと推定される。これに先行する活動は、約1万3千年前以後、約5千9百年前以前、さらに古い活動は、約1万5千年前以後、約1万4千年前以前に生じたと推定される。

○先史時代・歴史時代の活動

本断層帯付近に被害をもたらした歴史地震は知られていない（宇佐美ほか，2013）。

（3）1回の変位量（ずれの量）（注9）

本断層帯では、1回の活動に伴う変位量に関する直接的な資料が得られていない。

北部区間の長さは約53kmであることから、本区間の全体が活動した場合、経験式（1）によれば、北部区間の1回の変位量は約5.3mと算出できる。ここで用いた経験式（1）は、松田ほか（1980）による次の式である。Lは1回の地震で活動する断層の長さ（km）、Dは一回の活動に伴う変位量（m）である。

$$D=10^{-1} \cdot L \quad (1)$$

中部区間の長さは約43kmであることから、本区間の全体が活動した場合、経験式（1）によれば、中部区間の1回の変位量は約4.3mと算出できる。

南部区間の長さは約18kmもしくはそれ以上であることから、本区間の全体が活動した場合、経験式（1）によれば、南部区間の1回の変位量は約1.8mもしくはそれ以上と算出できる。

以上から、北部区間の1回の変位量は5m程度、中部区間は4m程度、南部区間は2m程度もしくはそれ以上であった可能性がある。

（4）活動間隔

本断層帯では、中部区間の上諏訪地点で3回の活動が識別される。それらのイベントは、新しいものから約5千9百年前以後、約3千3百年前以前、先行する活動が約1万3千年前以後、約5千9百年前以前、さらに古い活動が約1万5千年前以後、約1万4千年前以前と推定される。

以上から、中部区間の平均活動間隔は約4千1百年—約5千9百年と推定される。

(5) 活動区間

本断層帯は、断層の連続性、走向、地質分布から判断して、北部区間、中部区間、南部区間の3つの区間から構成される。

(6) 測地観測結果

本断層帯のうち、陸域部の菊川断層周辺における1994年までの約100年間の測地観測結果では顕著な水平ひずみは見られない(図8-1)。また、2005年4月から2010年4月までの5年間(図8-2)及び東北地方太平洋沖地震後の2011年9月から2015年9月までの4年間(図8-3)のGNSS観測結果から計算された水平ひずみ分布でも顕著なひずみは見られない。

(7) 地震観測結果

a) 全域

最近約18年間の地震観測結果によれば、地震発生層深さ下限は12-20km程度である(図9-1)。区間の南側領域でやや活発な地震活動が見られる一方で、北側の活動は一部領域で微小地震活動が見られるものの低調である。発震機構解の求まる地震は少ないが、大局的にみて東西または東北東-西南西方向に圧力軸を持つ型が多い(図9-2)。1991年10月28日に領域の南端付近でM6.1の地震が発生したほかは、1923年以降、M5以上の地震は発生していない。

b) 北部区間

最近約18年間の地震観測結果によれば、北部区間の地震発生層深さ下限は15-20km程度である(図9-3)。区間の全域で微小地震活動が見られるものの、全体的に地震活動はあまり活発ではなく、M4以上の地震は発生していない。1923年以降、この区間ではM5以上の地震は発生していない。

c) 中部区間

最近約18年間の地震観測結果によれば、中部区間の地震発生層深さ下限は12-16km程度である(図9-4)。区間の南側領域で微小地震活動が見られる一方で、北側の活動は極めて低調である。1923年以降、この区間ではM5以上の地震は発生していない。

d) 南部区間

最近約18年間の地震観測結果によれば、中部区間の地震発生層深さ下限は16-19km程度である(図9-5)。2006年7月11日にM4.0の地震が発生するなど、断層帯に沿った領域でやや活発な地震活動が見られる。1991年10月28日にM6.1の地震が発生したほかは、1923年以降、この区間ではM5以上の地震は発生していない。

2.3 断層帯の将来の活動

(1) 将来の活動区間及び地震の規模

本断層帯は、上述のとおり全体が3つの活動区間により構成されると推定され、各活動区間は、北部区間、中部区間、南部区間である。

北部区間全体が1つの活動区間として活動する場合、上記経験式(1)及び(2)を用いると、発生する地震の規模はM7.7程度であり、5m程度のずれが生じる可能性がある。用いた経験式は、松田(1975)による次の式である。ここで、Lは1回の地震で活動する断層の長さ(km)、Mはその時の地震規模である。

$$M = (\log L + 2.9) / 0.6 \quad (2)$$

中部区間全体が1つの活動区間として活動する場合、上記経験式(1)及び(2)を用いると、発生する地震の規模はM7.6程度であり、4m程度以上のずれが生じる可能性がある。

南部区間全体が1つの活動区間として活動する場合、上記経験式(1)及び(2)を用いると、発生する地震の規模はM6.9程度もしくはそれ以上であり、2m程度もしくはそれ以上のずれが生じる可能性がある。

なお、各活動区間の分布形態などを考慮すると、菊川断層帯の全体が同時に活動する可能性や、活動区間の組み合わせによって異なる規模の地震が生じる可能性もある。北部区間と中部区間、及び中部区間と南部区間が同時に活動した場合には、それぞれ長さが約96km及び約61kmとなり、

経験式(2)を用いた地震規模はM8.1程度及びM7.8程度である可能性がある。また、南部区間の南東延長の海域に断層が延びている場合には、それ以上の規模となる可能性も否定できず、今後の調査研究により検討する必要がある。

一方、断層帯の長さが断層面の幅の4倍を超える長大な活断層が活動する場合、複数の断層が連動して地震を発生させると考えるカスケード地震モデルが適切である可能性もある(例えば、WGCEP, 1995)。この場合、経験式(2)から求められる各活動区間の地震規模について、経験式(3)から地震のモーメント量 M_0 (Nm)に換算し、それらの積和から再度マグニチュードに逆算して地震の規模を推定した。この場合、菊川断層帯の北部区間、中部区間、南部区間の全体が同時に活動する際の地震規模は、M7.9程度である可能性がある。ここで用いた経験式(3)は、武村(1990)による次の式である。

$$M = (\text{Log}M_0 - 10.72) / 1.17 \quad (3)$$

さらに、近年では、震源断層の面積が約1800 km²を越える大地震の地震規模は、断層の面積と地震モーメントとの経験則から求める方法が適切とする考えもある。この場合は、北部区間、中部区間、南部区間の全体の断層面積を経験式(4)から地震モーメントに換算し、経験式(3)から再度マグニチュードに逆算して地震の規模を推定した。この場合、菊川断層帯の北部区間、中部区間、南部区間の全体が同時に活動する際の地震規模は、M8.2程度である可能性がある。ここで用いた経験式(4)は、Murotani *et al.* (2015)による次の式である。ここで、Sは断層の面積(km²)である。

$$M_0 = S \times 10^{17} \quad (4)$$

以上から、菊川断層帯の北部区間、中部区間、南部区間が同時に活動した場合、発生する地震の規模はM7.9-8.2程度もしくはそれ以上である可能性がある。

(2) 地震発生の可能性

本断層帯の中部区間では、最新活動は約5千9百年前以後、約3千3百年前以前と推定されること、及び、平均活動間隔は約4千1百-約5千9百年と考えられることから、地震後経過率はほぼ0.6-1.4となる(表2)。地震調査研究推進本部地震調査委員会(2001)に示された手法(BPT分布モデル、 $\alpha = 0.24$)によると、今後30年以内、50年以内、100年以内、300年以内の地震発生確率は、それぞれ0.1%-4%、0.2%-7%、0.4%-10%、1%-40%となる。また、現在までの集積確率は0.9%-90%より大となる。表2にこれらの確率値の参考指標(地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部会, 2001)を示す。

3. 今後に向けて

本断層帯では、北部区間及び南部区間において平均変位速度、一回の変位量、活動時期など、過去の活動に関する基本的な資料が得られていない。そのため、北部区間及び南部区間では、将来における地震発生の可能性に関して評価ができない状況にある。また、中部区間においても一回の変位量に関する資料が得られておらず、最新活動時期も幅広いものとなっている。そのため、本断層帯においては、過去の活動に関するこれらの基本的な資料を得るための調査が必要である。

本断層帯は南東側に更に延びる可能性もあるため、今後、海域の調査を行って南東延長部における断層の分布範囲を明らかにする必要がある。

注9: 「変位」を、1-2ページの本文及び5-7ページの表1では、一般的にわかりやすいように「ずれ」という言葉で表現している。ここでは専門用語である「変位」が本文や表1の「ずれ」に対応するものであることを示すため、両者を併記した。以下、文章の中では「変位」を用いる。なお、活断層の専門用語では、「変位」は切断を伴う「ずれ」の成分と切断を伴わない「撓(たわ)みの成分」よりなる。

注10: ¹⁴C年代値について、20,000年前より新しい年代値は暦年較正プログラムOxCal4.1 (Bronk Ramsay, 1995, 2001)に基づいて暦年補正し、1 σ の範囲の数値で示した。較正曲線はReimer *et al.* (2009)を用いた。20,000年BPよりも古い炭素同位体年代については、Kitagawa and van der Plicht (1998)に基づいて暦年補正した。10,000年前よりも新しい年代値は四捨五入して百年単位で記述し、このうち2,000年前よりも新し

い年代値は世紀単位を併記した。10,000 年前よりも古い年代値については四捨五入して千年単位で記述した。ただし、暦年較正し 1σ の幅で示した年代値が 10,000 年 BP を挟む場合には、10,000-11,000 年 BP の範囲は四捨五入して百年単位で記述した。

文 献

- 阿部信太郎・荒井良祐・岡村行信 (2010) : 「菊川断層帯海域延長部における断層分布と活動性について」. 活断層・古地震報告, **10**, 81-118.
- Bronk Ramsey, C. (1995) : Radiocarbon calibration and analysis of stratigraphy: The OxCal program. *Radiocarbon*, **37**, 425-430.
- Bronk Ramsey, C. (2001) : Development of the radiocarbon calibration program OxCal. *Radiocarbon*, **43**, 355-363.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2001) : 「長期的な地震発生確率の評価手法について」. 46p.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2003) : 「菊川断層帯の評価」. 10p.
- 海上保安庁 (1985) : 5 万分の 1 沿岸の海の基本図海底地形地質調査報告「角島」. 65p.
- 活断層研究会編 (1980) : 「日本の活断層一分布図と資料一」. 東京大学出版会, 363p.
- 活断層研究会編 (1991) : 「新編日本の活断層一分布図と資料一」. 東京大学出版会, 437p.
- Kitagawa, H. and van der Plicht, J. (1998) : Atmospheric radiocarbon calibration to 45,000 yr B.P. : Late Glacial fluctuations and cosmogenic isotope production. *Science*, **279**, 1187-1190.
- 小林貞一 (1950) : 日本地方地質誌・中国地方. 朝倉書店, 249p.
- 松田時彦 (1975) : 活断層から発生する地震の規模と周期について. 地震, 第 2 輯, **28**, 269-283.
- 松田時彦・山崎晴雄・中田 高・今泉俊文 (1980) : 1896 年陸羽地震の地震断層. 地震研究所彙報, **55**, 795-855.
- 松田時彦・藤田和夫・岡田篤正 (1976) : 日本の活断層分布図およびカタログ. 地質学論集, **12**, 185-198.
- Murotani, S., Matsushima, S., Azuma, T., Irikura, K., Kitagawa, S. (2015) : Scaling relations of source parameters of earthquakes occurring on inland crustal mega-fault systems. *Pure and Applied Geophysics*, **172**, 1371-1381.
- 中田 高・今泉俊文編 (2002) : 「活断層詳細デジタルマップ」. 東京大学出版会, DVD-ROM 2 枚・60p.
- Reimer, P. J., Baillie, M. G. L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Bronk Ramsey, C., Buck, C. E., Burr, G. S., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hajdas, I., Heaton, T. J., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kaiser, K. F., Kromer, B., McCormac, F. G., Manning, S. W., Reimer, R. W., Richards, D. A., Southon, J. R., Talamo, S., Turney, C. S. M., van der Plicht, J., and Weyhenmeyer, C. E. (2009) : IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, **51**, 1111-1150.
- 産業技術総合研究所 (2015) : 平成 26 年度「活断層の補完調査 (菊川断層帯)」成果報告書, 60-61.
- 杉山伸二・堀迫順一・福山一郎・田中喜年・西下厚志・成田 学・加藤正治・氏原直人・笹原 昇・森 弘和・井上 渉・本間章禎・久間裕一 (2010) 山口県沖 (日本海側) における海底地形調査速報. 海洋情報部研究報告, **46**, 92-95.
- 田力正好・中田 高・後藤秀昭・松田時彦 (2011) : 菊川断層帯の活断層地形の詳細空中写真判読. 日本活断層学会秋季学術大会講演予稿集, 14p.
- 武村雅之 (1990) : 日本列島およびその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係, 地震 2, **43**, 257-265.
- 辻村太郎 (1932) : 東北日本の断層盆地 (上・中・下). 地理学評論, **8**, 641-658, 747-760, 977-992.
- 堤 浩之 (1991) : 1991 年菊川断層 (上岡枝地区) トレンチ調査. 活断層研究, **9**, 103-111
- 宇佐美龍夫・石井寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子 (2013) : 「日本被害地震総覧 599-2012」. 東京大学出版会, 694p.
- Working Group on California Earthquake Probabilities (1995) : Seismic Hazard in southern California: California probable earthquake, 1994 to 2004, *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, **85**, 379-439.

- 山口県（1997）：平成8年度地震調査研究交付金 菊川断層に関する調査成果報告書. 205p.
- 山口県（1998a）：平成9年度地震関係基礎調査交付金 菊川断層に関する調査成果報告書. 99p.
- 山口県（1998b）：地震調査研究交付金 菊川断層に関する調査 概要版. 28p.

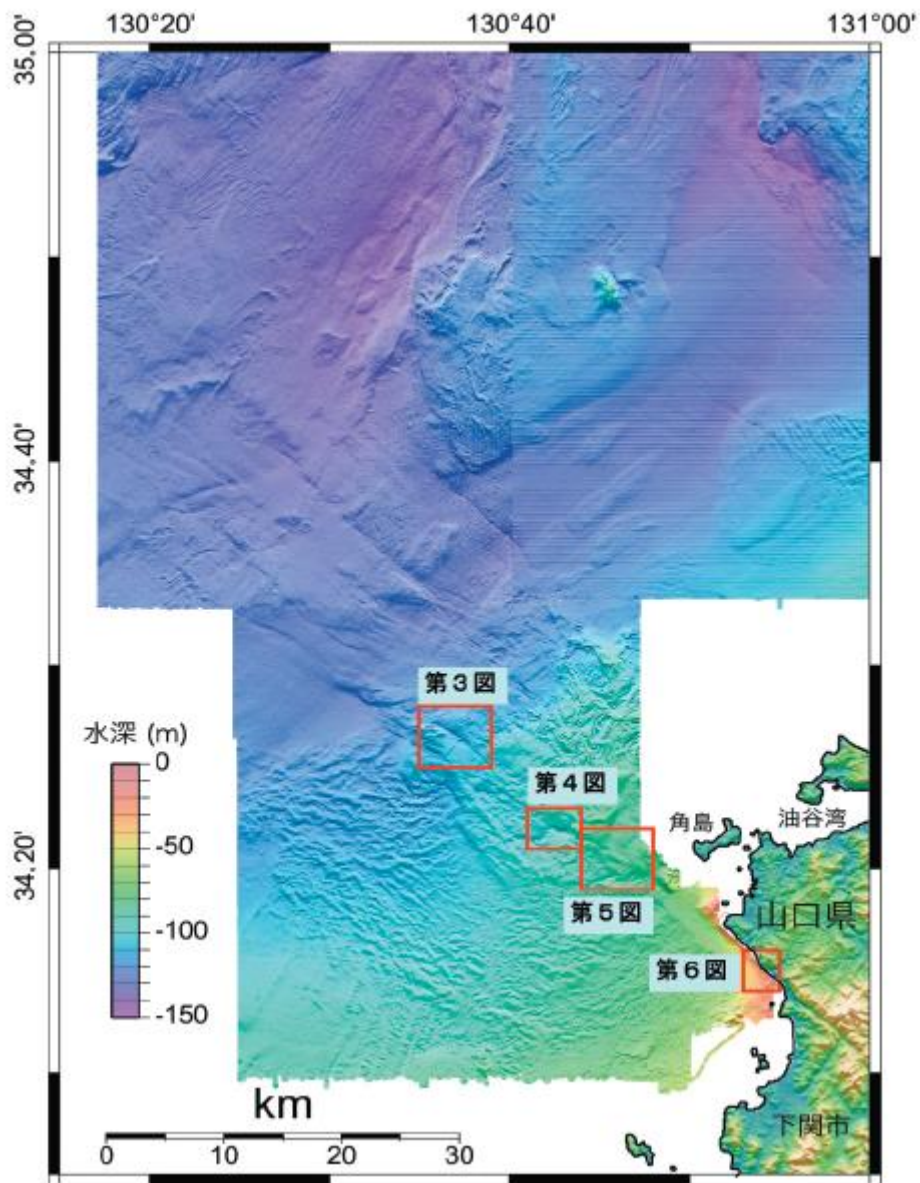


図3 菊川断層帯・北部区間周辺及び山口県沖の海底地形（杉山ほか，2010）

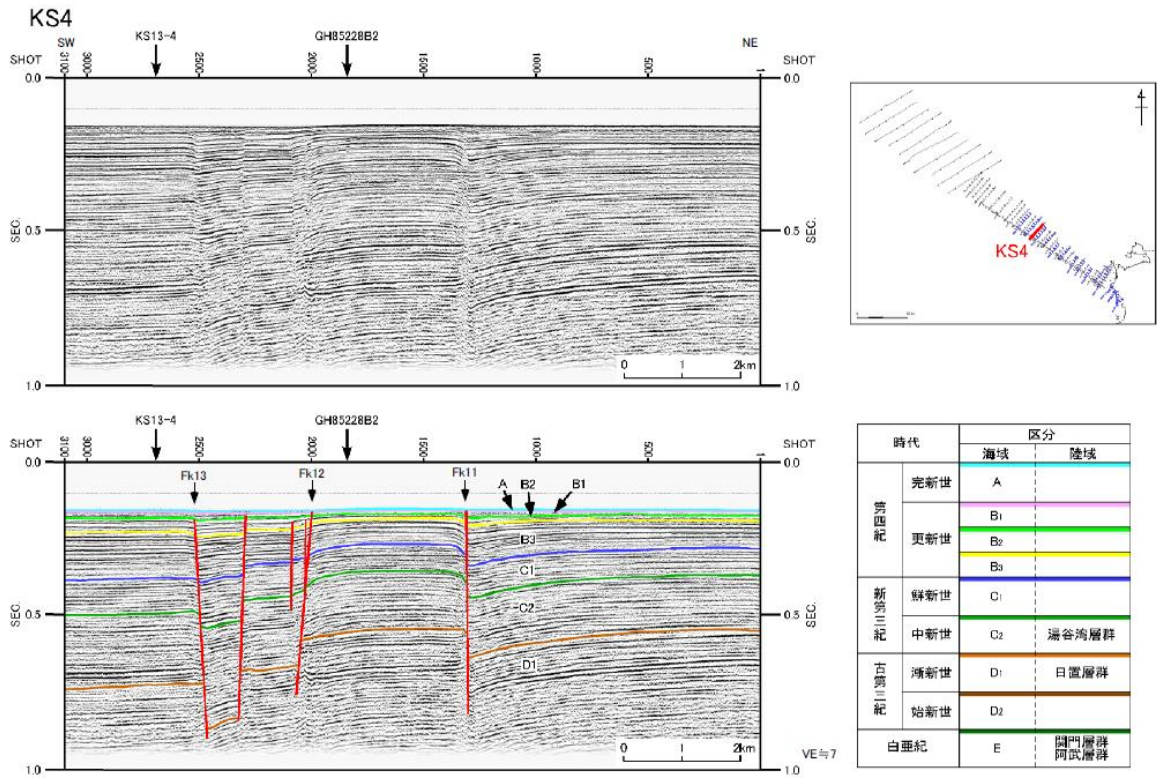


図4 菊川断層帯・北部区間の音波探査断面（阿部ほか，2010）

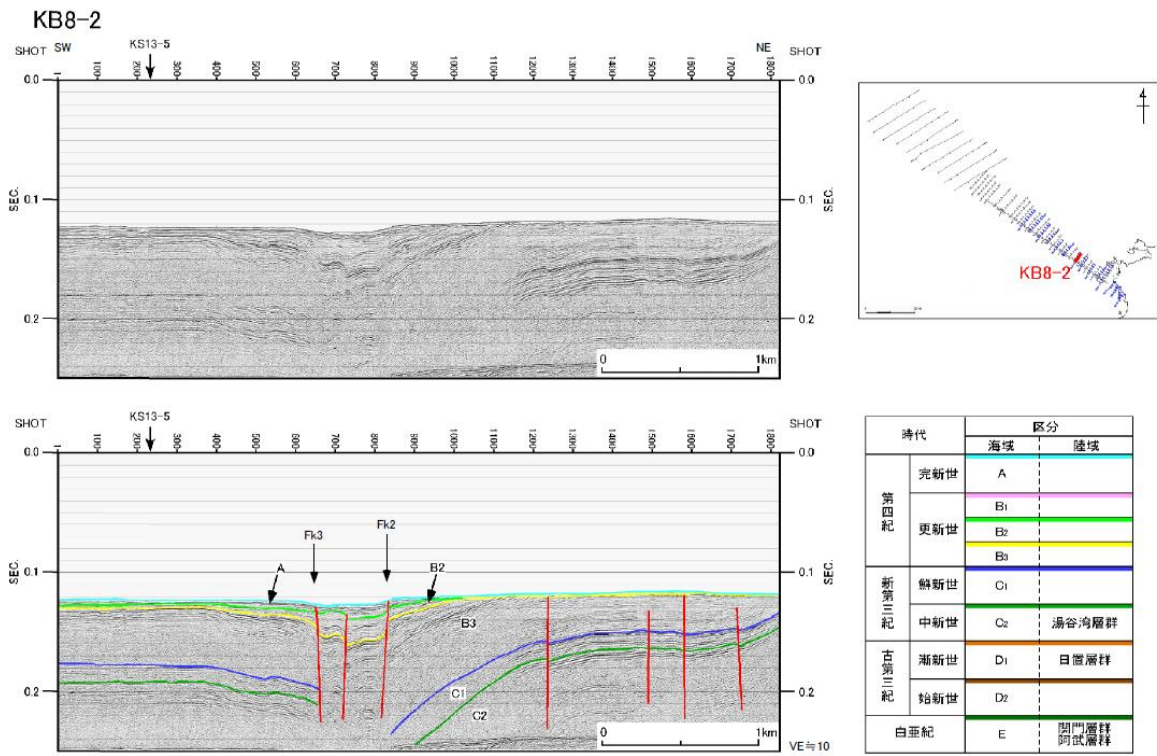


図5 菊川断層帯・北部区間の音波探査断面（阿部ほか，2010）

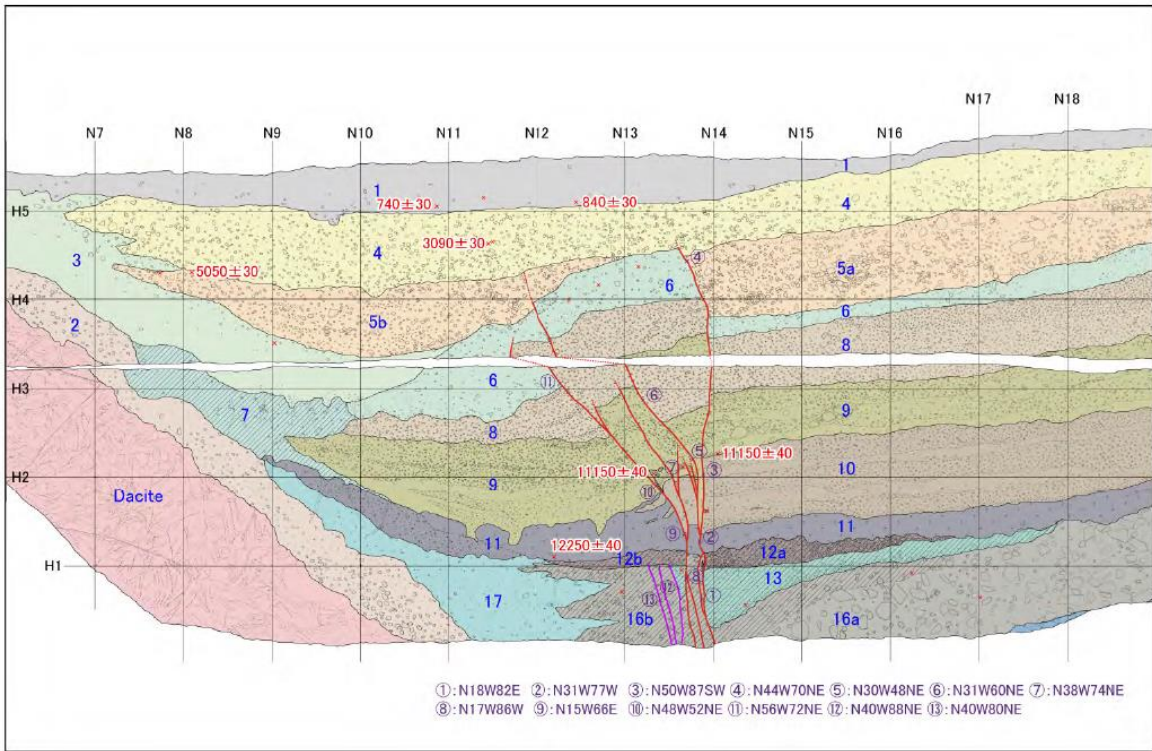


図6 菊川断層帯・中部区間の上諏訪トレンチ北壁面のスケッチ（産業技術総合研究所，2015）

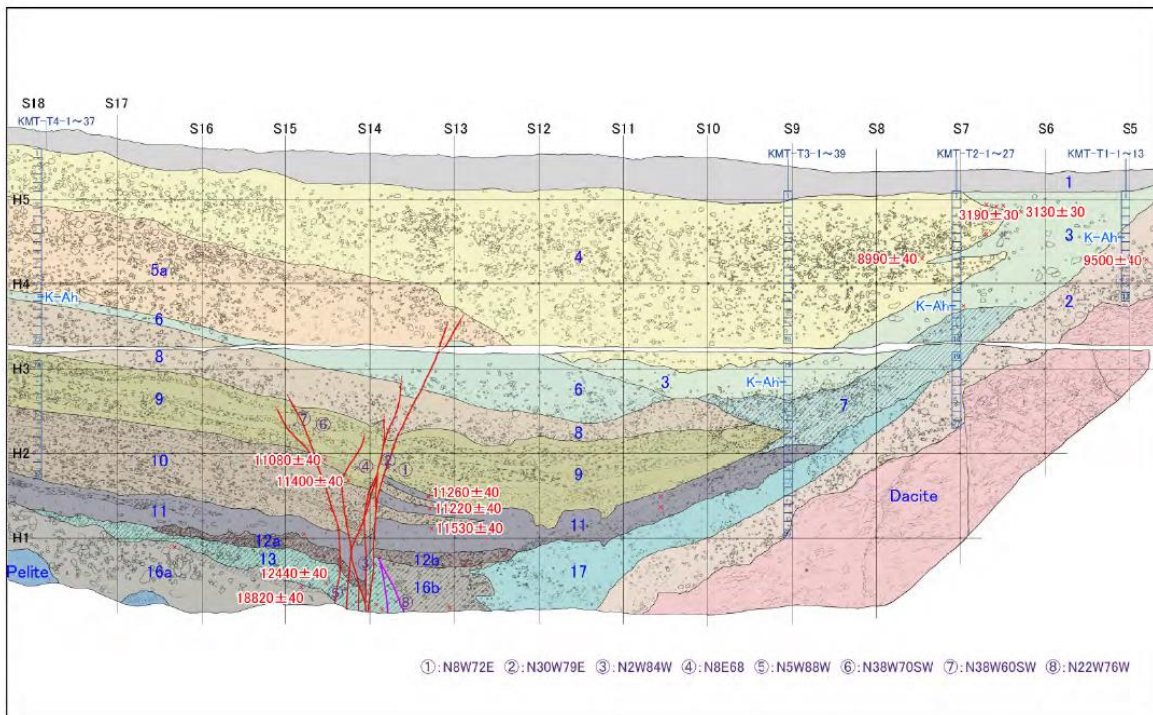


図7 菊川断層帯・中部区間の上諏訪トレンチ南壁面のスケッチ（産業技術総合研究所，2015）

基準期間 : 1883/1/1 - 1883/1/15
比較期間 : 1994/1/1 - 1994/1/15

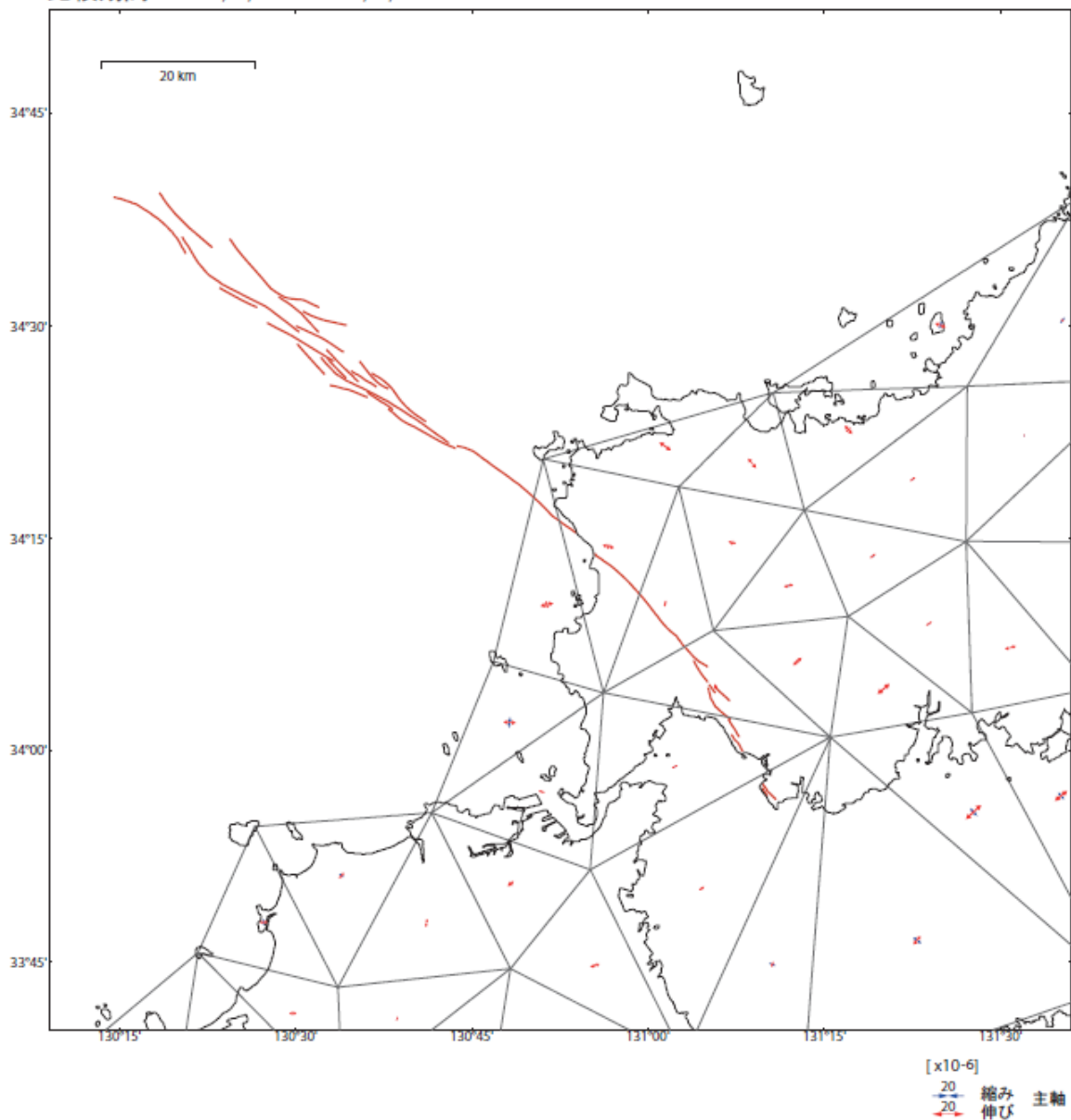


図 8 - 1 1883 年 1 月から 1994 年 1 月までの約 100 年間の測地観測による菊川断層帯周辺の水平ひずみ分布 (国土地理院作成)。スケールは 20×10^{-6} 。年間あたりのひずみ速度に換算すると、スケールは $0.2 \times 10^{-6}/\text{年}$ 。

基準期間 : 2005/04/01 - 2005/04/30
比較期間 : 2010/04/01 - 2010/04/30

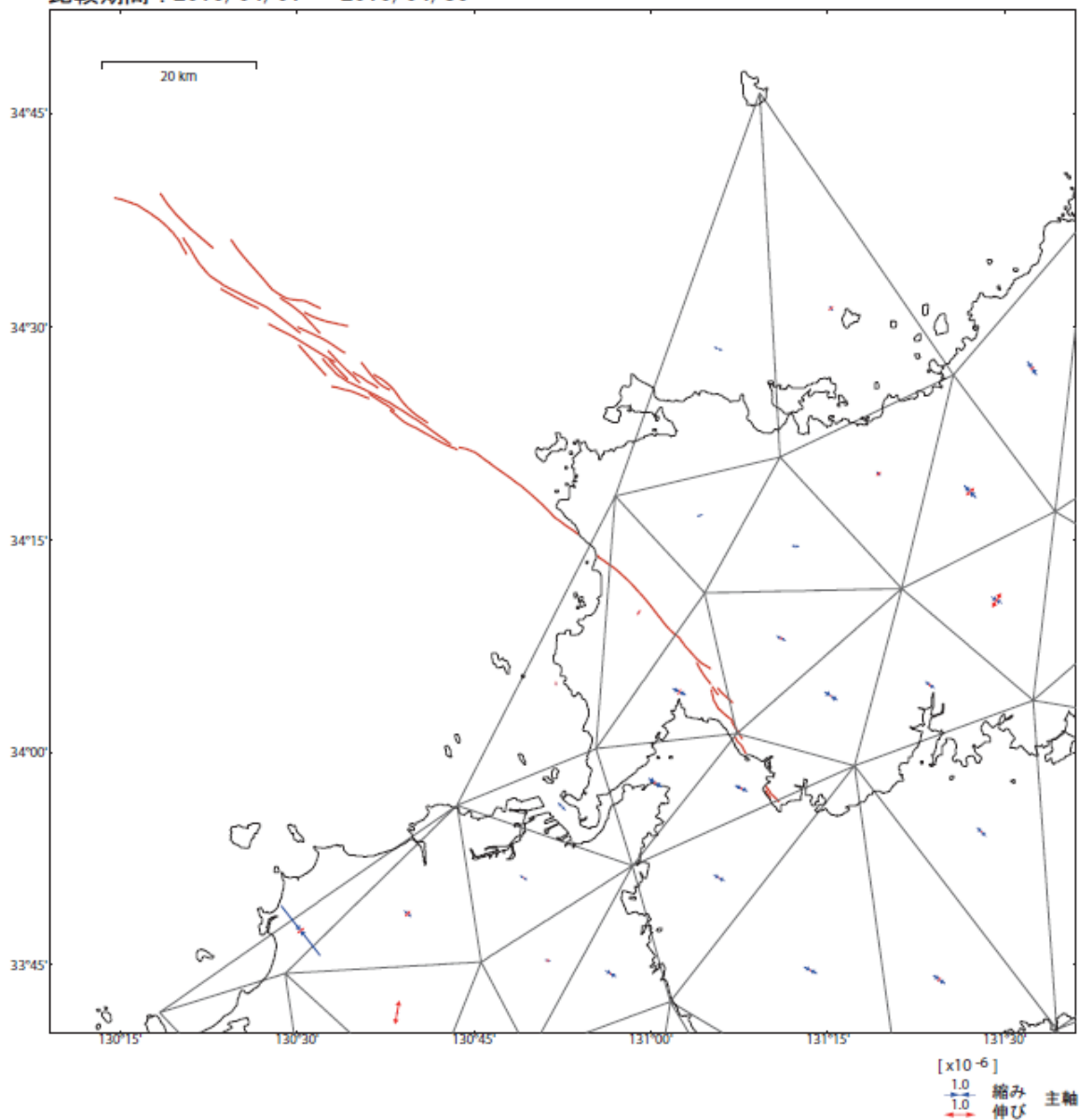


図8-2 2005年4月から2010年4月までのGNSS連続観測による菊川断層帯周辺の水平ひずみ速度分布(国土地理院作成)。スケールは 1.0×10^{-6} 。年間あたりのひずみ速度に換算すると、スケールは 0.2×10^{-6} /年。

基準期間 : 2011/09/01 - 2011/09/30
比較期間 : 2015/09/01 - 2015/09/30

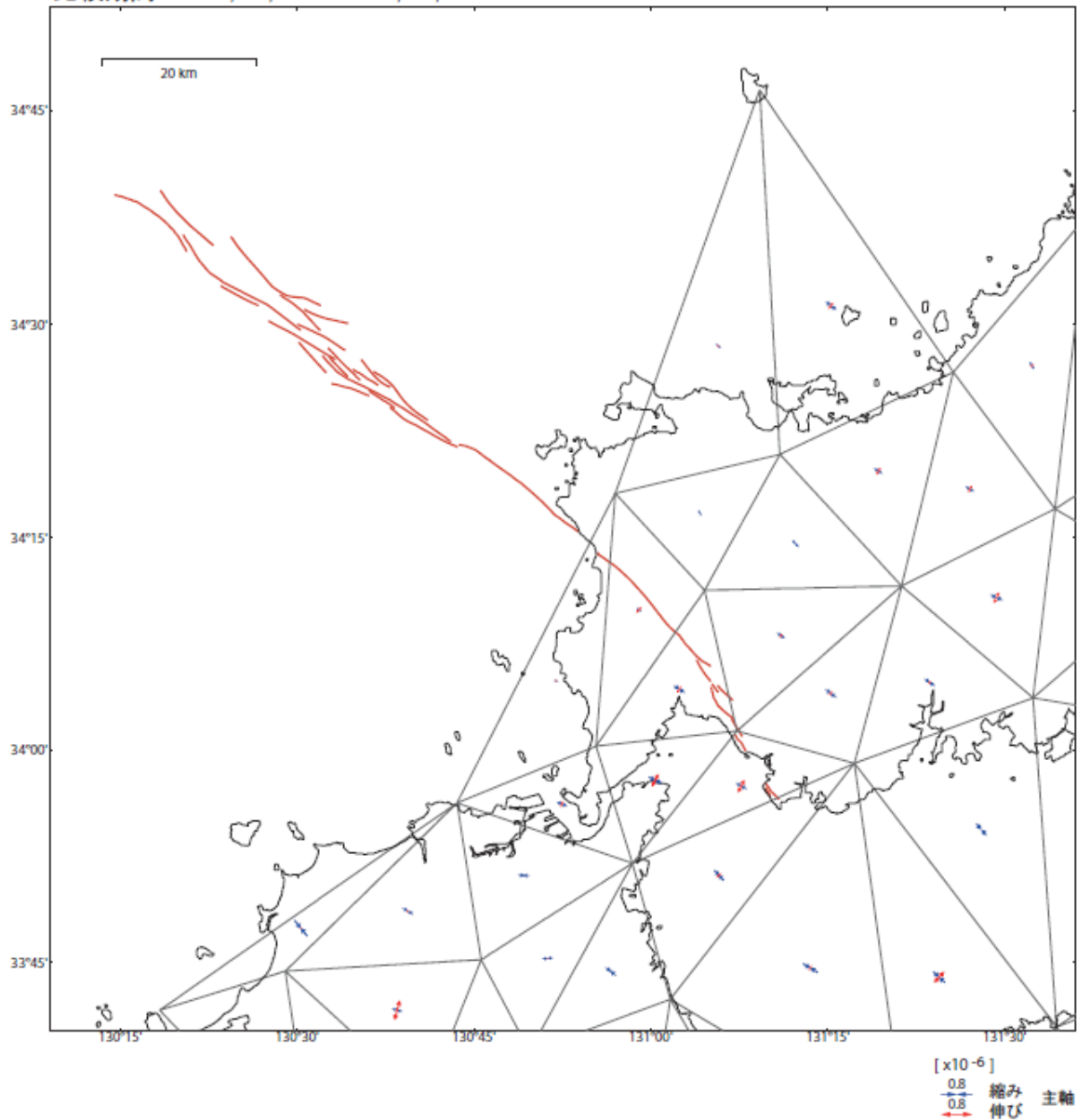


図 8-3 2011 年 9 月から 2015 年 9 月までの GNSS 連続観測による菊川断層帯周辺の水平ひずみ分布 (国土地理院作成)。スケールは 0.8×10^{-6} 。年間あたりのひずみ速度に換算すると、スケールは $0.2 \times 10^{-6}/\text{年}$ 。

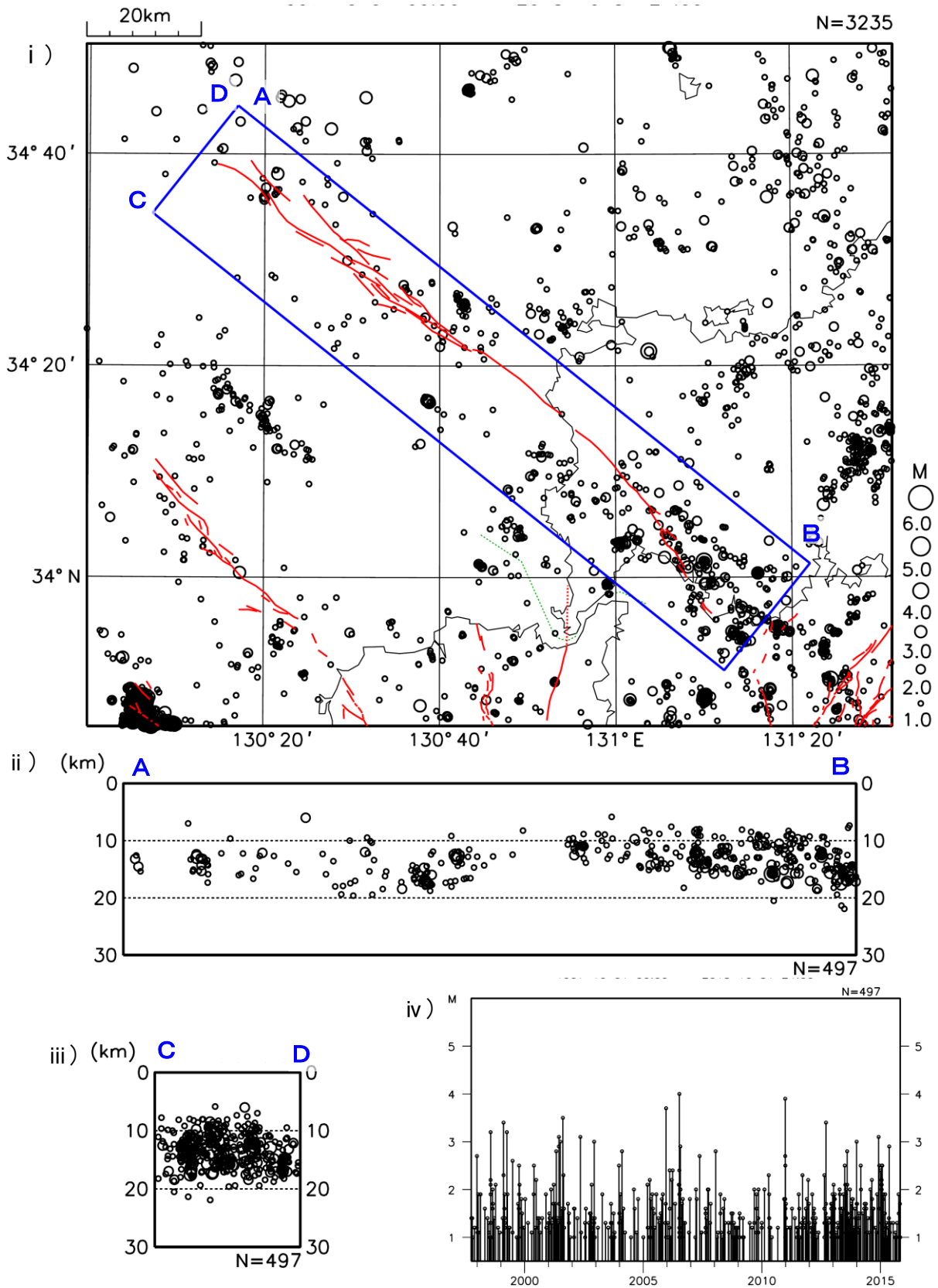


図9-1 菊川断層帯周辺の地震活動 (気象庁作成)

i) 震央分布図 (1997年10月1日~2015年10月31日、深さ30km以浅、 $M 1.0$ 以上)。

ii) i) の矩形領域内のA-B投影の断面図。

iii) i) の矩形領域内のC-D投影の断面図

iv) i) の矩形領域内のM-T図 (地震活動経過図)。

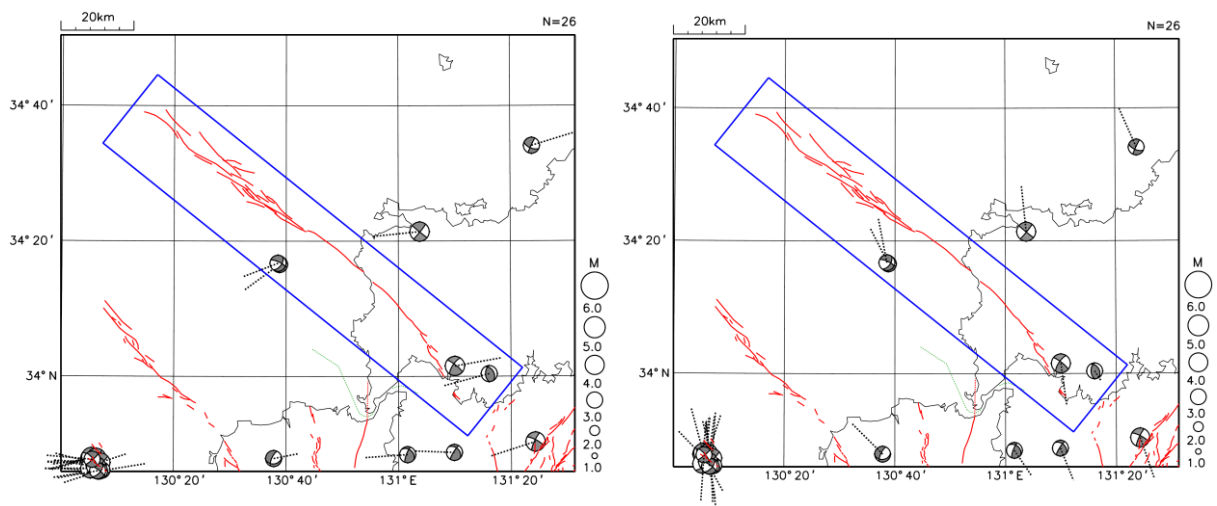


図9-2 菊川断層帯周辺の地震の発震機構（P波初動解による下半球投影）と圧力軸（左）と張力軸（右）の分布（気象庁作成）。1997年10月1日～2015年10月31日（深さ30km以浅）。

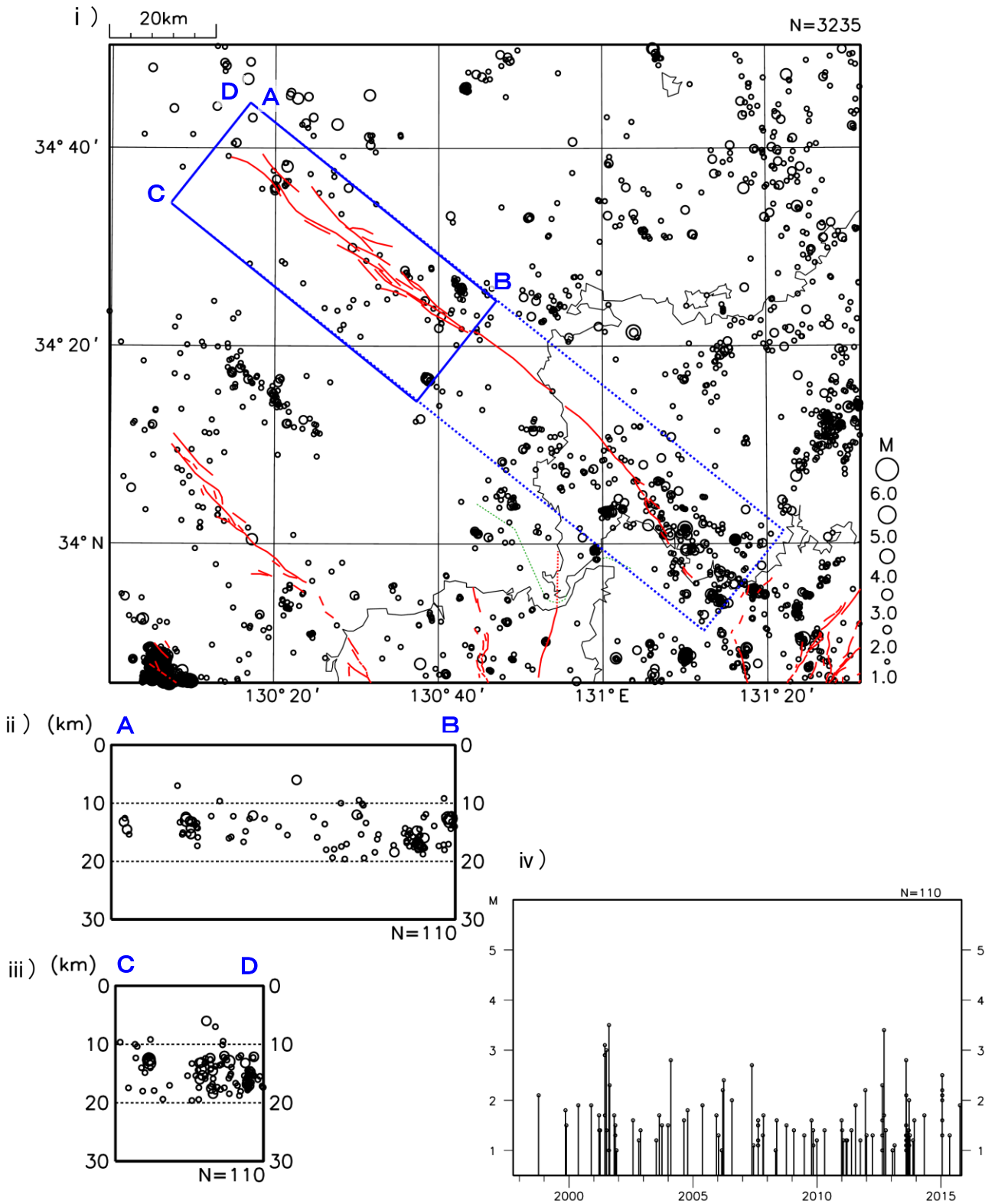


図9-3 北部区間周辺の地震活動（気象庁作成）
 i) 震央分布図（1997年10月1日～2015年10月31日、深さ30km以浅、M1.0以上）。
 ii) i)の矩形領域内のA-B投影の断面図。
 iii) i)の矩形領域内のC-D投影の断面図
 iv) i)の矩形領域内のM-T図（地震活動経過図）。

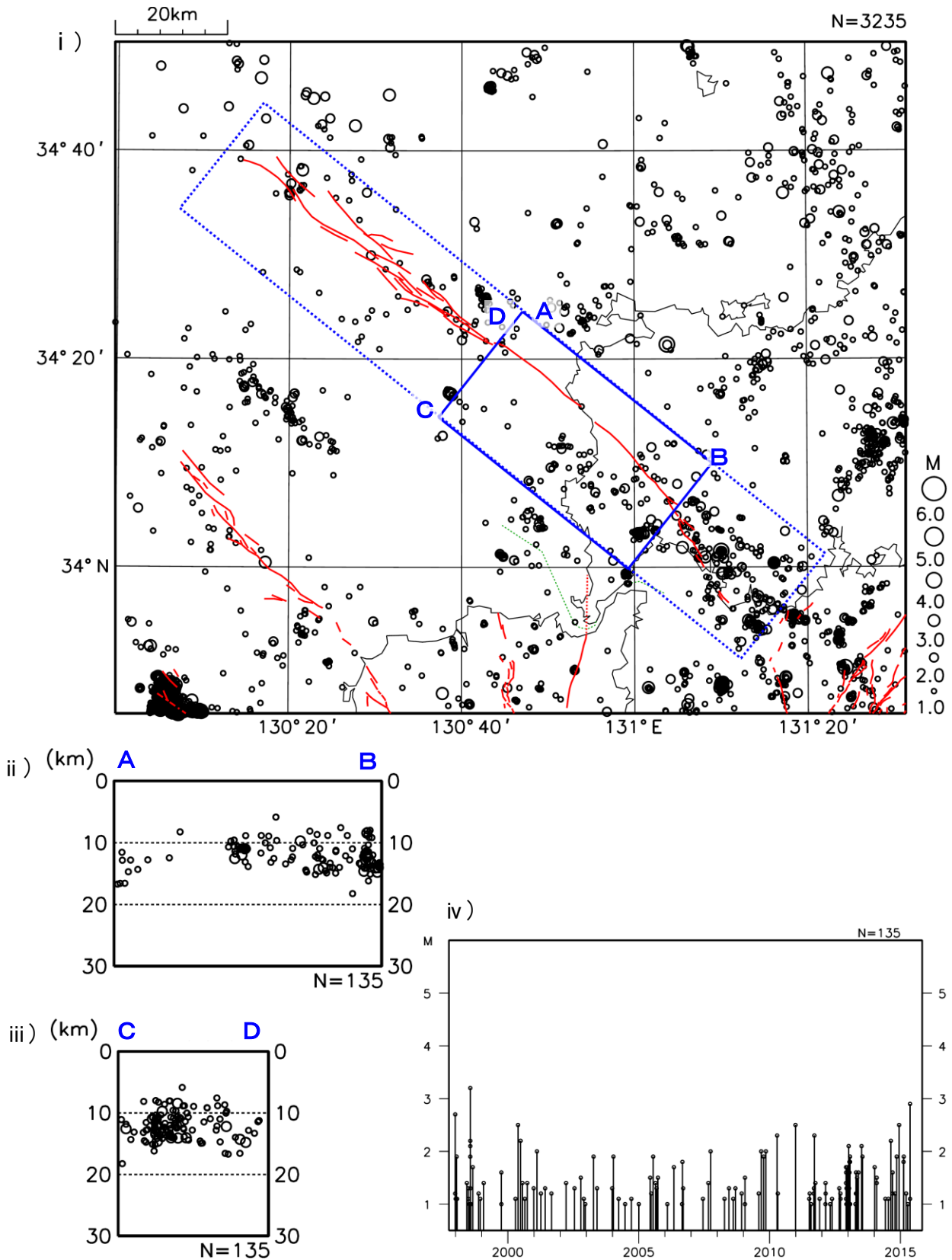


図9-4 中部区間周辺の地震活動 (気象庁作成)

i) 震央分布図 (1997年10月1日~2015年10月31日、深さ30km以浅、M1.0以上)。

ii) i) の矩形領域内のA-B投影の断面図

iii) i) の矩形領域内のC-D投影の断面図

iv) i) の矩形領域内のM-T図 (地震活動経過図)。

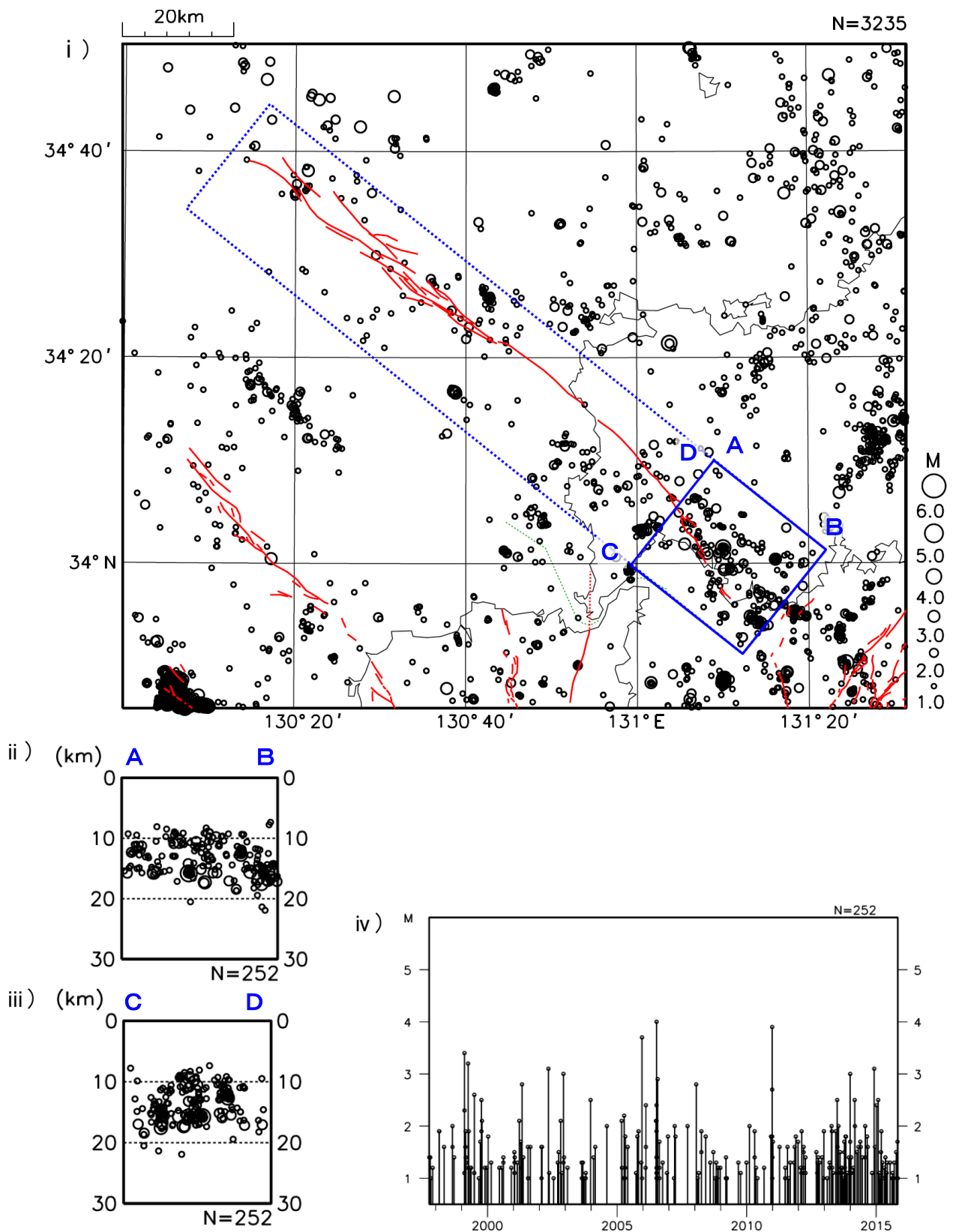


図9-5 南部区間周辺の地震活動（気象庁作成）

i) 震央分布図（1997年10月1日～2015年10月31日、深さ30km以浅、M1.0以上）。

ii) i) の矩形領域内のA-B投影の断面図。

iii) i) の矩形領域内のC-D投影の断面図

iv) i) の矩形領域内のM-T図（地震活動経過図）。

表3 中部区間の地震発生確率及び参考指標

項目	数値(注11)	備考
地震後経過率	0.6-1.4	
今後30年以内の発生確率	0.1% - 4%	発生確率及び集積確率は地震調査研究推進本部地震調査委員会(2001)参照。
今後50年以内の発生確率	0.2% - 7%	
今後100年以内の発生確率	0.4% - 10%	
今後300年以内の発生確率	1% - 40%	
集積確率	0.9% - 90%より大*	
指標(1)経過年数	マイナス8百年 - 3千年	地震調査研究推進本部地震調査委員会(2001)参照。
比	0.8 - 2	
指標(2)	0.2 - 6	
指標(3)	0.9% - 90%より大	
指標(4)	ほぼ0 - 0.7	
指標(5)	0.00017 - 0.00024	

*95%以上は「90%より大」と表記

注11: 評価時点はすべて2016年1月1日現在。「ほぼ0%」は10⁻³%未満の確率値を、「ほぼ0」は10⁻⁵未満の数値を示す。

指標(1)経過年数 : 当該活断層での大地震発生の危険率(1年間あたりに発生する回数)は、最新活動(地震発生)時期からの時間の経過とともに大きくなる(BPT分布モデルを適用した場合の考え方)。一方、最新活動の時期が把握されていない場合には、大地震発生の危険率は、時間によらず一定と考えざるを得ない(ポアソン過程を適用した場合の考え方)。

この指標は、BPT分布モデルを適用した場合の危険率が、ポアソン過程を適用した場合の危険率の値を超えた後の経過年数である。値がマイナスである場合は、BPT分布モデルを適用した場合の危険率がポアソン過程を適用した場合の危険率に達していないことを示す。ポアソン過程を適用した場合の危険率は、0.00005 - 0.0002であり、いつの時点でも一定である。BPT分布モデルを適用した場合の危険率は時間とともに増加する。BPT分布モデルを適用した場合の危険率がポアソン過程を適用した場合の危険率に達するには今後6千3百年から4千7百年を要する(-6千3百年から4千7百年を経過している)ことになる。

指標(1)比 : 最新活動(地震発生)時期から評価時点までの経過時間をAとし、BPT分布モデルを適用した場合の危険率がポアソン過程を適用した場合の危険率を超えるまでの時間をBとした場合において、前者を後者で割った値(A/B)である。

指標(2) : BPT分布モデルを適用した場合と、ポアソン過程を適用した場合の評価時点での危険率の比。

指標(3) : 評価時点での集積確率(前回の地震発生から評価時点までに地震が発生しているはずの確率)。

指標(4) : 評価時点以後30年以内の地震発生確率をBPT分布モデルでとりうる最大の確率の値で割った値。

指標(5) : ポアソン過程を適用した場合の危険率(1年間あたりの地震発生回数)。

〈付録〉

菊川断層帯について、断層帯を構成する断層やそれらの位置・形状、周辺の地下構造、活動履歴に関して新たな知見が得られたことから、これらに基づき、断層帯の活動区間及びそれらの位置・形状や活動履歴について改訂を行った。

以下に改訂となった項目とその値について、前回の評価と今回の評価の対比表を示す。なお、評価にあたっては、下表に示す数値のほか各値を求めた根拠についても改訂していることに留意されるとともに、その詳細については評価文を参照されたい。

菊川断層帯の活動区間についての新旧対比表

項目	前回の評価 (平成 15 年 9 月 10 日)	今回の評価 (平成 28 年 7 月 1 日)
活動区間	該当なし	北部区間
	菊川断層帯	中部区間
	該当なし	南部区間

菊川断層帯(中部区間)の評価についての新旧対比表※

項目	前回の評価 (平成 15 年 9 月 10 日)	今回の評価 (平成 28 年 7 月 1 日)	
過去の活動時期と活動区間	活動 1 (最新活動) 約 8 千 5 百年前以後、約 2 千 1 百年前以前 断層帯全体で 1 区間	活動 1 (最新活動) 約 5 千 9 百年前以後、約 3 千 3 百年前以前 活動 2 約 1 万 3 千年前以後、約 5 千 9 百年前以前 活動 3 約 1 万 4 千 1 百年前以後、約 1 万 4 千 8 百年前以前 活動区間全体で 1 区間	○ ○ ○
1 回のずれの量と平均活動間隔	ずれの量 3 - 4 m 程度 平均活動間隔 不明	ずれの量 4 m 程度 平均活動間隔 4 千 1 百年 - 5 千 9 百年	○ ○
将来の活動区間及び活動時の地震の規模	活動区間：断層帯全体で 1 区間 地震の規模：M7.6 程度以上 ずれの量：3 - 4 m 程度以上	活動区間：全体で 1 つの活動区間 地震規模：M7.6 程度 ずれの量：4 m 程度 (複数区間が同時活動する場合) 地震規模 M7.8 - 8.2 程度	○ ○ ▲

※ 変更が生じた項目のみ表示