

暫定版

「活断層の長期評価手法」 報告書

平成22年11月25日

地震調査研究推進本部 地震調査委員会
長期評価部会

目次

はじめに	1
1. 活断層長期評価の高度化に向けた検討課題	3
1.1 評価対象の設定に関する課題ー評価対象とする活断層・地震と地域評価ー	3
1.2 地表での位置・形状評価に関する課題ー活断層位置情報の精緻化ー	4
1.3 震源断層の推定に関する課題ー強震動予測への貢献ー	5
1.4 過去の断層活動に関する課題ーイベント認定の信頼度向上に向けてー	6
1.5 地震規模の評価に関する課題ー長い断層、短い断層、連動した活動ー	6
1.6 将来の断層活動の評価に関する課題ー多様な地震発生の予測への対応ー	7
1.7 その他の課題	8
1.7.1 データの集約的活用	8
1.7.2 断層活動に伴う事象への考慮	8
2. 検討内容と今後の評価手法への反映事項	9
2.1 評価対象の設定	9
2.1.1 対象とする活断層	9
2.1.2 活断層の評価単位	9
2.1.3 近接する断層の相互関係	10
2.1.4 地域評価の導入	11
2.1.5 広域テクトニクスに関する情報の活用	11
2.2 地表における位置・形状評価	13
2.2.1 位置・形状評価の改善	13
2.2.2 端点の認定とその信頼度	13
2.2.3 信頼度に応じた断層線の表現	14
2.2.4 「ずれ」と「たわみ」を生じる範囲の評価	14
2.3 地下の震源断層の推定	15
2.3.1 地下における断層の長さ	15
2.3.2 断層面の三次元形状の推定	16
2.3.3 アスぺリティ分布および破壊開始点の推定への情報提供	17
2.4 過去の断層活動について	18
2.4.1 データの空間的代表性と適用範囲	18
2.4.2 断層活動認定の信頼度	18
2.4.3 断層活動の発生時期の絞り込み	21
2.4.4 イベント欠損を考慮した平均活動間隔の算出	21
2.4.5 オフフォールト古地震情報の活用	22
2.4.6 海岸の地震性隆起・沈降に関する情報の活用	22
2.5 地震規模の評価	24
2.5.1 想定すべき地震	24
2.5.2 複数の断層が連動して発生する地震の規模	25
2.5.3 長大な活断層で発生する地震の規模	26

2.5.4	短い活断層で発生する地震の規模	28
2.5.5	地表の証拠からは活動の痕跡を認めにくい地震の規模	28
2.6	将来の断層活動の評価	30
2.6.1	ばらつき α の再検討	30
2.6.2	近接する断層の活動による影響評価	30
2.6.3	地表の証拠からは活動の痕跡を認めにくい地震の発生確率	31
2.6.4	連動可能性の評価	33
2.6.5	複数の可能性を考慮した場合分け	33
2.6.6	地震危険度の確率値以外での表現	34
2.7	その他	35
2.7.1	情報のデータベース化と地理情報システムの活用	35
2.7.2	沿岸海域活断層による津波	35
3.	新しい活断層評価手法	36
3.1	新しい活断層評価の概要	36
3.1.1	活断層評価の単位	36
3.1.2	活断層評価の構成	46
3.2	「評価地域」における活断層の長期評価	48
3.2.1	評価対象の設定	48
3.2.2	「評価地域」の概要	51
3.2.3	活断層で発生する地震	55
3.2.4	「評価地域」における長期評価	62
3.2.5	今後に向けて	63
3.3	「断層帯」のシナリオ評価	64
3.3.1	「断層帯」の概要	64
3.3.2	「断層帯」を構成する活断層	66
3.3.3	将来の断層活動	70
3.3.4	今後に向けて	77
3.4	「単位区間」の評価	78
3.4.1	活断層の概要	78
3.4.2	断層の位置・形態	80
3.4.3	断層面の形状	83
3.4.4	過去の断層活動	85
3.4.5	活動時の地震規模	98
3.4.6	地震後経過率	102
3.4.7	今後に向けて	103
3.5	文章体裁の取り決め	104
4.	今後の活断層評価に必要とされる調査観測	105
4.1	全国規模での沿岸海域活断層調査	106
4.1.1	海底地形計測	106
4.1.2	高精度海上音波探査	106

4.1.3	海底堆積物採取	107
4.1.4	海陸を統合した地下構造探査	107
4.1.5	旧汀線指標を用いた活動履歴調査	107
4.1.6	津波発生評価に資する調査観測	107
4.2	活断層の詳細位置を評価するための体系的調査	108
4.2.1	高精度な空中写真判読	108
4.2.2	航空レーザー測量	108
4.2.3	断層位置確認のための地形・地質調査	109
4.3	震源断層の三次元位置・形状評価のための調査	110
4.3.1	反射法地震探査	110
4.3.2	重力異常データの活用	110
4.3.3	地震波トモグラフィーなどによる構造調査	110
4.3.4	広域的な変位地形の地形・地質調査	111
4.3.5	ボーリングデータの活用	111
4.4	年代測定の精度・信頼度向上のための調査	112
4.4.1	炭素同位体年代	112
4.4.2	火山灰編年	112
4.4.3	その他の年代測定手法の活用	112
おわりに		114
付録1 新たな評価手法に基づく評価の体裁		
(1)「地域評価」の体裁		
(2)「単位区間」の評価の体裁		
付録2 委員会名簿・会議開催記録		

2.5.4 短い活断層で発生する地震の規模

従来の長期評価においては、活断層で発生する地震の規模は、原則として松田（1975）の経験式を用いて断層の長さもしくは1回のずれの量に基づき算出されている。しかし、この経験式は、過去に生じた地表地震断層などのデータを基本とした断層長とマグニチュードの関係式であるが、長さ 20km（M7.0 に相当）から 80km（M8.0 に相当）の範囲のデータから導かれたものであり、20km 未満の活断層に適用する際には、その他の情報をも含めて地震規模を想定する必要がある。

現行の主要活断層帯の長期評価は、基本的に長さが 20km 以上の断層帯を対象としているが、過去の活動履歴に基づいて単位区間に区分した場合には、長さが 20km に満たない区間が生じることもある。従来の長期評価では、そのような短い単位区間が単独で活動する場合にも、その長さに基づき松田（1975）の経験式を用いて地震の規模を評価している。しかし、それらについては、松田（1975）の経験式の適用範囲から外れていて、地震の規模を過小評価している可能性がある。また、過去の記録によると、火山地域など地震発生層の下限が浅い地域を除き、地表地震断層が生じるのは概ね M6.8 程度以上であり、活断層で生じる最大級の地震規模を M6.8 未満と評価すると、矛盾が生じる。したがって、現在地震動予測地図でモデル化されている長さ 10km 以上 20km 以下の活断層についても、地震の規模が実態よりも小さく見積もられている可能性がある。

新手法では、地表で確認される長さが断層の幅よりも短い活断層を含む全ての活断層について、発生する地震の規模を次のように評価する。まず、地質構造、重力異常分布、微小地震活動等のデータを十分に検討したうえで、地下の震源断層の長さを評価する。断層の長さが断層の幅よりも短く、かつ断層であることの確実度が低く、かつ地下構造等の情報によっても断層の存在を推定できない断層を除き、全ての活断層について検討の対象とすることが望まれる。また、地表に変位が現れている活断層については、最低限考慮すべき地震の規模として M6.8 を設定する。この際、地表に断層が現れる地震の規模には、地域性があると推定されることから、その規模の想定には当該地域で過去に発生した地震のうち、活断層との関係を特定できない地震の最大規模（図 2-10）も必要に応じて参考にするべきである。

なお、島崎（2008）によれば、過去の地震発生状況を参照すると、地表の長さが短い活断層で発生する地震の上限値は最大 M7.4 程度と考えられる。

2.5.5 地表の証拠からは活動の痕跡を認めにくい地震の規模

地下で断層が活動して地震が発生する点では大地震も中小規模の地震も同じであるが、規模の小さな地震では地表に断層が現れることはない。地表に断層が現れる地震の規模の最小値は、地下で大きなすべりが発生している場所（アスペリティ）の深さやすべり量の大きさ、あるいは地表付近の堆積層の厚さなどによって様々である。したがって、地表の証拠からは活動の痕跡を認めにくい地震の規模は地域ごとに異なる。しかし、地表の証拠からはそのような地震の活動を推定できないため、例えば断層上で発生した地震であるとし

でも、活断層の情報を用いてそれらの地震を評価することは困難である。武村（1998）によると、地表地震断層を生じた地震ないしは、その地震では地表地震断層ははっきりしなくても、過去に発生した同種の地震によってその痕跡が地形に残されていると判断されるものが、M6.8 以上では急激に増加するとされている。また、2. 5. 1 で述べたように、被害を生じる地震を評価するという観点からは、M6.8 以上の地震について評価を実施することが適切であると考えられる。武村（1998）は、M6.7 以下の地震と M6.8 以上の地震ではスケールリングが不連続を伴って変わることを、M6.6 と M6.7 の地震の数はその上下に比べて極めて少ないことを指摘している。

これらの知見に基づき、新手法では、単位区間で発生する地表の証拠からは活動の痕跡を認めにくい地震として考慮すべき地震規模の下限值として M6.8 を設定し、更に、上限値として当該単位区間が単独で活動した際に発生する地震の規模を設定し、両方の値に基づき幅を持たせて評価する。

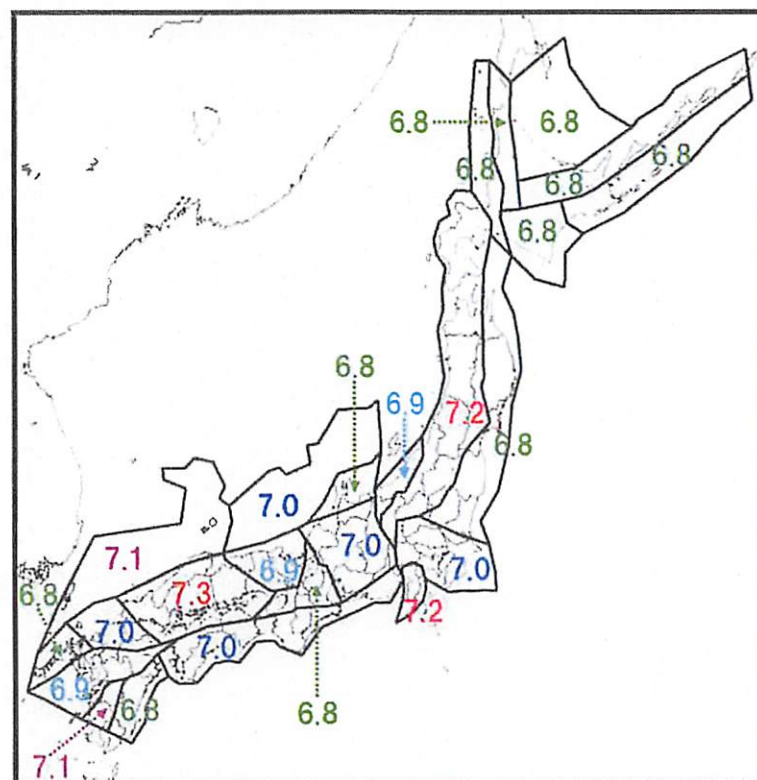


図 2-10 陸域の震源断層を予め特定しにくい地震の最大マグニチュード

2. 6 将来の断層活動の評価

2. 6. 1 ばらつき α の再検討

現行の長期評価においては、最新活動時期と平均活動間隔の値に基づき更新過程による地震発生確率算定が行われており、そこでは事象の発生が周囲の影響によって左右されることを考慮した BPT モデルが採用されている。このモデルで用いられているばらつき α は、全ての地震発生確率を左右する重要なパラメータである。現行の活断層の長期評価においては、複数の活動時期が比較的良好にわかっている 5 つの活断層の事例に基づき、 $\alpha = 0.24$ を採用している（地震調査研究推進本部地震調査委員会，2001）。全国の主要活断層帯の長期評価が順次行われ、活断層の最新活動時期及び平均活動間隔に関するデータも蓄積されてきた現在、より適切な値への改訂が求められている。

この値について、検討分科会では Kumamoto and Hamada (2005) の成果や長期評価結果を用いて検討を行った。その結果として $\alpha = 0.4 \sim 0.5$ 程度の値が得られたが、元々の活動履歴データにおけるばらつきが大きく、さらに、調査手法の限界によって生じているばらつきや地層の欠損の問題なども含まれているため、検討分科会では得られた値に対する信頼性にはまだ問題があると判断された。

これらの検討結果を受けて、新手法においては $\alpha = 0.24$ のままとするが、将来はより適切な値に修正すべきである。

将来的には、複数のイベント年代の精度良い年代値を求めることに主眼をおいた活断層調査を推進するとともに、トレンチ・ボーリング調査の成果に対して「2. 4. 3 断層活動の発生時期の絞り込み」及び「2. 4. 4 イベント欠損を考慮した平均活動間隔の算出」の課題を考慮して得られたイベント年代の新しい推定値に基づいて、 α を再計算する必要がある。基となるデータをトレンチ単位で精度をあげて再検討するとともに、地域特性やずれの種類（正断層・逆断層・横ずれ断層）などによる α の設定を検討し、断層ごとにより適切な値を設定することが望ましい。

2. 6. 2 近接する断層の活動による影響評価

従来の長期評価においては、ある断層の将来の活動に周辺の断層活動が及ぼす影響を評価した事例はほとんどない。唯一、警固断層帯の長期評価（地震調査研究推進本部地震調査委員会，2007）において、断層帯北西部区間で発生した 2005 年福岡県西方沖の地震によって南東部区間の活動性が高まった可能性があることが述べられている。しかし、断層間の相互作用（断層活動による応力の再配分など）に関する研究が近年進展しており、現状評価においても地震活動が周辺の断層帯に与える影響が議論されるようになっている。また、応力変化の考え方は、複数の単位区間が連動する際の目安としても参照が可能であると考えられる（「2. 6. 4 連動可能性の評価」を参照）。

検討分科会では、カリフォルニア州の 1992 年ランダース地震と 1999 年ヘクターマイン地震との関係に関する事例や 2005 年福岡県西方沖の地震が警固断層帯南東部区間に及ぼす影響に関する研究例（図 2-11）が紹介され、とくに短・中期的に周辺での大地震発生へ

の影響が大きいことが指摘された。しかしながら、現段階では地震後の応力変化に関する評価について定量的な手法が確立しているとは言えないことから、具体的な影響評価の導入を見送ることとした。ただし、警固断層帯の事例のように、応力変化に関する検討を行い、定性的な評価として付記することは今後も進めていくことが望まれる。

新手法においては、断層帯周辺において大地震の記録がある場合には、その地震における震源断層の動きから想定される応力変化について検討し、評価対象の活断層の活動性を高める方向に働いたのか、低下させる方向に働いたのかについては少なくとも記述することが望ましい。

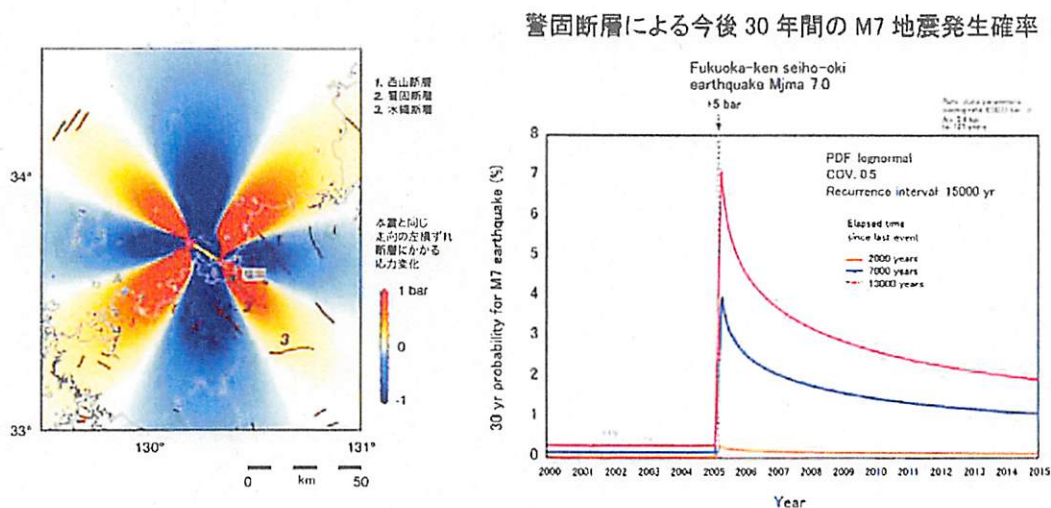


図2-11 2005 年福岡県西方沖の地震による周辺地域への応力変化(左)と、この地震による警固断層帯南東部における地震発生確率の変化(右)((独)産業技術総合研究所 HP より)

2. 6. 3 地表の証拠からは活動の痕跡を認めにくい地震の発生確率

断層帯が起こしうるさまざまな地震の評価には、長大な断層帯を複数の単位区間に分割するだけでは不十分で、単位区間で発生する、「地表の証拠からは活動の痕跡を認めにくい地震」に対する評価も必要である。この評価を長期評価の一部として実施するにあたっては、地震の痕跡が地表で認められにくいことから、トレンチ調査結果等からの活動履歴の取得といった従来の調査手法に基づく評価ができないことを考慮する必要がある。

過去におけるこのような地震の発生状況について、島崎 (2008) は、主要活断層帯で発生した M7.0 以上の地震のうち、1894 年庄内地震 (M7.0)、1948 年福井地震 (M7.1) 及び平成 7 年 (1995 年) 兵庫県南部地震 (M7.3 : 神戸側) の 3 地震は明瞭な地表地震断層を伴っていないことを指摘している。

検討分科会においては、過去約 160 年間に主要断層帯で発生したとされる M6.8 以上の内陸地震を対象に、地震発生に伴って明瞭な地表地震断層が現れたかどうか検討した。検討

にあたっては、①地震、②起震断層、③単位区間のそれぞれを対象として、それぞれの場合における地表地震断層の出現の有無の数の比について検討した。発生した地震を単位に数を比較した場合には、明瞭な地表地震断層を伴う地震が8に対して、伴わない地震が4であった（表2-1）。

新手法においては、「地表の証拠からは活動の痕跡を認めにくい地震」の発生頻度について、主要活断層帯における過去の地震の発生状況に基づいて求めた、明瞭な地表地震断層を伴うケースとそうでない場合の出現傾向（2：1）を参照する。すなわち、トレンチ調査等で認められる活動間隔に、この比を乗じた値を「地表の証拠からは活動の痕跡を認めにくい地震」の発生間隔とする。この発生間隔からポアソン過程を用いてこれらの地震の発生確率を求め、将来の地震発生確率に上乗せすることとする。

表2-1 主要活断層帯で発生した主な内陸浅発地震と地表地震断層との関係

年	地震名	地震規模 (M)	関連する主要断層帯・活断層帯	地表地震断層の長さ (活動範囲)
1847	善光寺	7.4	長野盆地西縁断層帯	不明
1854	伊賀上野	7.25	木津川断層帯	なし
1858	飛越	7.0-7.1	跡津川断層帯	不明
1891	濃尾	8.0	濃尾断層帯	80 km
1894	庄内	7.0	庄内平野東縁断層帯（北部）	なし
1896	陸羽	7.2	横手盆地東縁断層帯＋真昼山地東縁断層帯	36 km＋6 km
1927	北丹後	7.3	山田断層帯（郷村＋主部）	14 km＋8 km
1930	北伊豆	7.3	北伊豆断層帯	30 km
1931	西埼玉	6.8	関東平野北西縁断層帯（平井－節挽）	なし
1948	福井	7.1	福井平野東縁断層帯（西部）	なし
1995	兵庫県南部	7.3	六甲・淡路島断層帯（主部：淡路島西岸／六甲山地南縁－淡路島東岸）	12 km（淡路島西岸）
2004	新潟県中越	6.8	六日町断層帯（北部）	1 km（注）

網掛けの欄は、地震発生時に地表地震断層を生じなかった活動区間

（注）六日町断層帯の長期評価（地震調査委員会、2009）では、この地震を本断層帯北部区間の最新活動と認めるかどうかで場合分けを行っているが、ここでは地表地震断層が認められたものと見なした。