

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－評価対象とする活断層・地震と地域評価－	3
1.2 地表での位置・形状評価に関する課題－活断層位置情報の精緻化－	4
1.3 震源断層の推定に関する課題－強震動予測への貢献－	5
1.4 過去の断層活動に関する課題－イベント認定の信頼度向上に向けて－	6
1.5 地震規模の評価に関する課題－長い断層、短い断層、連動した活動－	6
1.6 将来の断層活動の評価に関する課題－多様な地震発生の予測への対応－	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 アスペ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 $\alpha$ 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

## はじめに

地震調査研究推進本部は、地震による被害の軽減に資するための施策として、平成9年8月に「地震に関する基盤的調査観測計画」を策定し、調査観測計画の一項目として活断層調査を挙げた。調査対象となる活断層は全国で98断層帯にわたり、地方公共団体や研究機関などによる調査が行われてきた。平成17年8月には「今後の重点的調査観測について（一活断層で発生する地震及び海溝型地震を対象とした重点的調査観測、活断層の今後の基盤的調査観測の進め方）」がとりまとめられ、新たに12断層帯が調査対象に追加されるとともに、補完調査の必要性が指摘された。また、98断層帯の評価が一通り終了したことを機に、98断層帯の評価結果を整理した「基盤的調査観測対象活断層の評価手法」が公表された。

活断層の長期評価手法は、調査・観測技術の進歩やデータの増加、研究の進展、あるいは社会的要請にこたえる形で常に見直しが図られてきた。このため、継続的に評価手法の見直しや新たな評価手法の導入を図り、長期評価手法の高度化を実施するという観点から、「活断層評価手法等検討分科会（以下、「検討分科会」という。）」が平成17年1月に長期評価部会の下に設置され、現行の評価手法を改良し、予測精度・信頼度を向上させるための検討を進めてきた。

検討分科会においては、長期評価手法の高度化に向けて、①新たな評価手法の導入、②必要とされる活断層調査に関する提言、③これまで活用されてこなかったデータの取り込み、を実現するため、作業グループ形式の検討作業を行ってきた。このうち、今後の活断層長期評価の実施にあたって必要とされる調査観測に関しては、平成20年6月17日に「今後の活断層評価に向けて推進すべき調査観測について」としてとりまとめられ、調査観測計画部会に報告されている。本報告書は、検討分科会設置以降、平成22年11月に至るまでの検討の結果を取りまとめたものである。

なお、平成21年4月21日に策定された、将来を展望した新たな地震調査研究の方針を示す「新たな地震調査研究の推進について―地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策―（以下、「新総合基本施策」という。）」においては、当面10年間に重点的に実施する調査研究として、活断層等に関連する調査研究による情報の体系的収集・整備及び評価の高度化が挙げられており、活断層評価の高度化が基本目標に設定されている。

本報告書の第1章では、現行の長期評価における問題点を提示し、それを解決するために必要な検討課題を整理している。第2章では、前章で示したそれぞれの課題について検討した内容を詳細に記述するとともに、今後の長期評価に反映すべき知見を示した。第3章では、第2章に示した検討結果を踏まえて構築した新しい活断層評価の手法について、従来との相違点がわかるように「基盤的調査観測対象活断層の評価手法」の体裁を踏襲した形式で新しい評価手法の流れを示した。第4章では、高度化された評価を実現するために

必要となる活断層調査について、その内容と具体的な調査手法について整理した。

なお、付録資料として、新手法に則って試行した地域評価の体裁（付録 1 - 1）と単位区間の評価の体裁（付録 1 - 2）及び委員会名簿と会議開催記録（付録 2）を付している。報告書本文と併せて参照頂きたい。

## 1. 活断層長期評価の高度化に向けた検討課題

平成7年に長期評価部会が設置されて以降、100を超える基盤的調査観測対象活断層（以下、「主要活断層帯」）について長期評価が行なわれてきた。初期に実施された評価においては、時間をかけて試行錯誤的に様々な試みがなされたが、現在では標準的な評価手法が確立し、その内容は「基盤的調査観測対象活断層の評価手法」報告書（地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部会，2005）にとりまとめられている。

このように、統一された基準に沿って全国の主要活断層帯は評価されてきた。しかし、それらの中には、共通の手法では評価が困難なため断層パラメータを示すことができなかった事例も存在する。今後は、これまでの調査によって蓄積されたデータの解析や近年発生した内陸地殻内地震の調査から得られた新たな知見などを活用し、評価手法を高度化することが重要である。本章では、現行の長期評価手法の概要とそれに対して指摘されてきた問題点を整理し、その解決に向けて検討すべき課題を明らかにする。

### 1.1 評価対象の設定に関する課題－評価対象とする活断層・地震と地域評価－

現行の長期評価では、その活動が社会的、経済的に大きな影響を与えると考えられる地震が発生する場所と地震の規模、ならびに将来地震が発生する可能性を全国的に明らかにすることを目的としてきた。評価にあたっては、松田（1990）が示した定義に従って起震断層として断層を括った上で、長さ20km以上かつ活動度B級以上（平均変位速度0.1m／千年以上）の起震断層を主要活断層帯として基盤的調査観測の対象に選択し、起震断層ごとに評価を実施してきた。また、過去に分かれて活動した明確な証拠がない場合は、断層帯全体が同時に活動して発生する地震の規模が評価されてきた。

主要活断層帯は、おおむねM7級かそれ以上の地震を引き起こすことが想定される主として陸域に分布する活断層である。しかし、近年発生した地殻内地震とそれらによる被害との関係を見ると、平成16年（2004年）新潟県中越地震（M6.8）（以下では、「中越地震」という）や平成19年（2007年）能登半島地震（M6.9）（以下「能登半島地震」という。）のように、地震規模がM7に満たない地震によっても震源域近傍では震度7や震度6強が記録され、被害が発生している。また、平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震（M7.2）では、断続的な地表地震断層が確認されたが、その範囲は全長数km程度であった。このような状況を踏まえ、今後は長さが20km未満の活断層で発生する地震についても、活断層評価の枠組みに取り込まれることが望ましい。

また、2005年福岡県西方沖の地震（M7.0）、能登半島地震及び平成19年（2007年）新潟県中越沖地震（M6.8）（以下、「中越沖地震」という。）などの震源域は海域であったが、近接する沿岸地域で被害が発生した。したがって、沿岸海域に分布する活断層についても、陸域の活断層と同様の詳細な評価の実施が望まれる。しかし、海域は陸域と比較して断層調査の実施が難しく、調査成果の蓄積がまだ十分とは言えない。そのため、今後新たな調査を実施していくとともに、他分野で使われている既存の資料についても適宜収集・参照していくことが望まれる。

現行の長期評価においては、地質調査などにより過去に分かれて活動した明確な証拠がない場合は、起震断層全体が一括して活動して固有規模の地震を起こすものと考えてきた。防災上の観点で見た場合、起震断層全体が同時に活動するという考え方は、地震規模という面では安全側の評価であるといえる。しかし、平均活動間隔を平均変位速度から間接的に推定し、かつ1回の変位量を断層長から推定している場合には、地震の規模が大きくなると1回の変位量も大きくなることから、平均活動間隔は長めとなり、結果的に今後の地震発生確率を適切に評価していない可能性がある（鈴木・熊木、2004）。

現行の長期評価においても活動履歴に基づき起震断層を活動区間に分割してきたが、信頼度の高い活動履歴を複数地点で得るのは困難なことが多く、起震断層を活動区間に分割した事例は限られている。今後は、長大な起震断層について、活動履歴以外の情報に基づいて起震断層を分割する方法を検討することが必要である。

さらに、現行の長期評価では起震断層ごとに評価が行われ、その結果が公表されてきた。断層帯に近接する自治体等は、今後30年間の地震発生確率などの評価内容をみて地震防災対応を講じてきたと思われる。しかし、実際には活断層の分布には地域ごとに粗密があり、活断層が多く分布する地域では、それらを震源として地震が発生する可能性も当然高くなる。利便性の観点からは、地域における活断層の分布状況やそれらを総合的に評価したときの地域における地震発生確率などに関する情報が提供されることが望まれる。

表1-1 2000年以降に発生した主な内陸地震(M6.8以上)

年	地震名	規模 (Mj)	深さ (km)	関連する主要断層帯・活断層
2000	鳥取県西部	7.3	10	推定活断層
2004	新潟県中越	6.8	13	六日町断層帯／北部
2005	福岡県西方沖	7.0	9	警固断層帯／北西部
2007	能登半島	6.9	11	笹波沖断層帯(東部)
2007	新潟県中越沖	6.8	17	佐渡海盆東縁断層帯
2008	岩手・宮城内陸	7.2	8	

## 1.2 地表での位置・形状評価に関する課題－活断層位置情報の精緻化－

現行の長期評価では、断層の位置・形状のうち、地震規模を評価する際に用いられる断層の長さの評価が重要な指標であった。評価に当たっては、地表における断層線に関する既存の資料が適宜用いられているが、多くの場合、断層線などの認定根拠が必ずしも明確となっていない。また、資料ごとに活断層の認定精度にばらつきがあり、断層末端部や断層ごとの細部のつながりや形状は十分に判読されていない場合があった。さらに、詳細な調査が行われている場合であっても、断層帯の一部が地図の表示域外の場合がある。このため、従来の評価では、断層の位置・形状は縮尺20万分の1の概略図に示すにとどまり、断層の連続性に関する検討や、詳細な分布形状の検討はあまり行われてこなかった。

今後は、地表における断層の長さをよりの確に評価するため、詳細な位置・形状の情報が必要となるが、主要活断層帯の中には、いまだ高精度な位置・形状に関する調査が充分

に行われておらず、必要な精度での位置・形状データが不足している断層がある。このため、統一された基準に基づいて作成された情報を整備することが望ましい。その際は、端点の認定についても、それ以上地表における断層が延びることがないかどうか、その信頼性と根拠を示すことが求められる。

活断層の位置・形状については、詳細さだけでなく、その信頼性も明らかにされるべきである。これまで、評価に際しては、「新編日本の活断層」（活断層研究会編, 1991）や「都市圏活断層図」（国土地理院によって順次刊行中）などが用いられてきた。これらの資料は作成目的や縮尺などが異なるほか、資料によっては地域ごとに情報の精粗があった。今後は、統一的な基準に基づいて写真判読した位置・形状を示すことに加え、活断層であると判断あるいは推定した根拠に関する説明を示すことが望まれる。

また、最近の研究においては、断層の位置・形状に基づくセグメント区分や破壊開始点の推定などの可能性が指摘されている。これらの知見を長期評価に反映させるためには、断層線の連続性、屈曲や分岐形状など、地表における断層の位置・形状に関する情報を、従来よりも詳細に示すことが求められる。

さらに、断層活動による地表の「ずれ」の想定も重要な課題である。従来の長期評価では地震時における「ずれ」の量は断層ごとにその代表値が示されていた。しかし、過去に観察された地表地震断層の変位量分布をみると地点ごとに変位量が異なる。したがって、将来的には断層活動時の地表変形予測が行われることを見越して、断層上における変位量の空間的分布を明らかにし、地表における変形帯の幅及びずれ量分布についても評価に含めておくことが望ましい。また、断層の「ずれ」について、現在の評価文に添付されている断層分布図では断層線すべてが実線として表されているが、逆断層については変形が幅を持って現れることがあり、断層変位地形としても急崖ではなく緩やかな斜面（撓曲）として現れていることがある。現在の評価文に示されている位置図には断層の位置が20万分の1の縮尺ですべて実線として示されているが、今後、詳細な位置図を作成するにあたっては、変形帯の幅がわかるような表記が必要となるであろう。

### 1.3 震源断層の推定に関する課題—強震動予測への貢献—

現行の長期評価においては、地下の断層形状に関して参照できる資料が乏しかったこともあり、地下における震源断層の位置・形状等について十分に検討することができなかった。活断層で発生する地震についての強震動予測においては、震源となる断層面の地下深部形状に関するパラメータは非常に重要である。これまでの強震動予測においては、地表の断層長から推定される地震規模をパラメータとして、地震発生層の厚さ等のデータを参照しながら、そこから推定される断層形状等を決定する標準手法を作成し、それにしたがって評価を実施してきた。しかし、現状では強震動評価で必要となる震源断層の位置・面積・形状や地震時に大きなずれを生じる場所の数や位置などに関する情報が不足している。

今後は長期評価から強震動予測に対して地下における震源断層の位置・形状についてさらに情報を提供していくことが望ましい。このため、地震波探査や地震波トモグラフィー

などの地球物理学的調査結果や、地質調査結果から断層の地下構造を推定することが望ましい。また、地表面の変形から地下における震源断層の形状がある程度推定できることから、断層線の詳細な位置・形状や断層近傍におけるずれの大きさ、断層の運動に関連した褶曲、傾動、隆起、沈降など地表面の変形を評価する必要がある。

#### 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

現行の長期評価では、ボーリング調査やトレンチ調査による過去の活動時期の認定において、断層活動の証拠が認められた地層（活動層準）もしくは直下の地層の形成年代とそれを覆う地層の形成年代で挟まれた期間を活動時期とし、それらの上限値と下限値の推定幅の間に活動があったとしている。この方法では、断層活動の発生時期の上下限を確実に把握することが出来るが、年代測定を実施した試料を採取した位置に大きく依存するため、年代試料や地層そのものが活動層準の近傍に存在しない場合には、推定幅をある一定の幅以内に狭めることは困難で推定幅が非常に幅広くなってしまう。

確率値の幅が広い断層帯に対しては、この幅を狭めることを主な目的とした補完調査が順次実施されており、一定の成果を収めつつある。しかし、活動時期の精度を向上させるためには、個々のトレンチ調査において年代測定をできるだけ多く実施して地質学的な情報を増やすだけでなく、地層の堆積状態を詳細に記述し、各調査地点での堆積速度推定や不整合による地層欠損期間の明記による的確な活動時期の絞り込みを行うなど、その評価方法についても検討が必要である。

また、従来の評価においては、地質学的証拠の判断が困難なことも多く、証拠不十分として認定されなかった断層活動イベントも数多くあった。その結果、断層活動イベントの回数が少なく見積もられ、将来における地震発生確率が過小評価されている可能性がある。地質学的調査結果の評価においては、地震イベントの有無の判断が活動間隔や最新活動時期の評価に大きく影響するため、判断の妥当性の評価が課題となっている。このため、認定根拠の信頼性を区別した上で、可能性の低い断層活動イベントについても考慮できるようにすることが望ましい。

#### 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

現行の長期評価では、地表における活断層の長さもしくは1回のずれの量を指標とし、松田（1975）が提案した経験式を用いて、活断層で発生する地震の規模を評価してきた。しかし、この経験式は長さがほぼ20kmから80kmの地表地震断層や震源断層の事例に基づき設定されているものなので、長さが100kmを超えるような長大な断層に対しては、その適用性について確認が必要である。また、20km未満の短い断層のうち、長さ10km以上の活断層は、確率論的地震動予測地図において震源断層をある程度特定できる地震として簡便な形で取り入れられているが、地震動予測地図の高度化を図る意味でも地表では短い断層の地下の断層の長さやそこで生じる地震規模の評価手法の確立は重要である。

また、過去に発生した内陸地震のなかには、地震規模に見合った明瞭な地表地震断層を

伴っていない場合があった。平成 12 年（2000 年）鳥取県西部地震（M7.3）（以下、「鳥取県西部地震」という）では、余震分布に基づく震源断層の長さに相当する活断層は知られていなかった。平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震（M7.2）では、断続的な地表地震断層が確認されたが、その範囲は全長数 km 程度であり、余震分布や SAR 干渉解析によって示唆される約 30km の震源断層と比較すると著しく短かった。過去にこのような地震が発生したことを踏まえ、地表に短い活断層のみが分布する際にどの程度の地震の規模を想定するのが適当であるかについて検討する必要がある。

さらに、複数の断層が連動して活動する可能性については、いわゆる「5 km ルール」など、隔離距離に基づく基準に基づき判断を行ってきた、しかし、断層の走向が異なっても、互いに共役な場合には、ひとまとまりで活動する可能性を考慮しなければならない。このため、今後は、複数の断層が周辺部の地質構造などから連動して活動する可能性を総合的に判断する方法について検討する必要がある。

## 1.6 将来の断層活動の評価に関する課題—多様な地震発生の予測への対応—

活断層で地震が発生する可能性については、従来は最新活動時期と平均活動間隔の情報に基づき、断層全体が同時に活動して発生する地震を対象とした BPT モデルによる更新過程あるいはポアソン過程を用いた確率論的評価（地震調査研究推進本部地震調査委員会，2001）が実施されている。

現行の確率算出方法では、平均活動間隔が長い場合には確率値の上限が数%にしかならないこともある。しかし、経過時間が想定される活動間隔を超えている場合には近い将来に活動することが十分考えられるため、その切迫度を理解しやすい評価方法について検討すべきである。

また、複数の断層が連動して発生する地震を想定する場合には、その組合せについて複数のシナリオを想定し、それぞれの確率を算出する必要があるため、その方法に関する検討が必要である。

さらに、中越地震では、既存の活断層（小平尾断層）に沿って 10～15cm の変位が生じたが、それ以外には明瞭な地表地震断層は現れず、将来トレンチ調査を実施しても中越地震の痕跡を認定することは難しいと考えられる。また、1948 年の福井地震においても、地殻変動データから推定される断層位置で明瞭な地表地震断層は認められなかった。従って、特に堆積層が厚い地域に分布する活断層では、地表まで大きな変位が到達せず、地表地質調査では痕跡が認められない地震が発生している可能性があり、このような地震を評価する方法について検討することが必要である。

BPT モデルでは、事象発生のばらつきを表す係数として  $\alpha = 0.24$  が用いられているが、この値は活動度が高い断層の事例に基づいて算出されたものであるため、活動度 B 級までを含めたすべての活断層に適用することの妥当性については、今までに蓄積された活断層の活動特性に関する情報に基づいて検討すべきである。

## 1.7 その他の課題

### 1.7.1 データの集約的活用

上記の課題を考慮した今後の活断層評価は従来よりもはるかに多くの情報を必要とし、手法が煩雑になることが想定される。これらのデータの活用性を向上させるために、各種データを位置情報と併せてデータベース化しておくことが望ましい。

「新総合基本施策」では、活断層調査に関連する基本目標の1つとして、活断層の詳細位置図に各種調査・評価結果を記した「活断層基本図（仮称）」の作成が掲げられている。また、「新総合基本施策」と同時に、基本目標実現のために新たに必要とされる活断層調査に関する基本方針や実施方法等について取りまとめた「新たな活断層調査について」（地震調査研究推進本部政策委員会調査観測計画部会, 2009）が策定されている。この中では、我が国の陸域及び沿岸海域に分布する活断層について、位置・形状等に関するデータベースを、関係機関との連携の下、整備することとしており、このうち、既存の活断層の詳細な位置・形状については、今後10年程度で整備することとしている。このため、活断層の評価に必要となるデータの種類や、「活断層基本図（仮称）」に取り込むべき評価結果などについて検討することが必要である。

### 1.7.2 断層活動に伴う事象への考慮

活断層で地震が発生した場合、断層周辺の斜面では「ゆれ」や「ずれ」によって斜面崩壊や地すべりなどが発生し、沖積低地では液状化現象が発生することがある。また、沿岸域に分布する断層が活動したときには、海岸で隆起・沈降などの地殻変動が発生する。今後の長期評価では、断層周辺の地形や地質的に記録されたこれらの情報についても活用されるように、それらの評価方法の検討が続けられることが望ましい。

また、内湾域や沿岸域に分布する活断層が活動した際には海底面に変位が生じて津波が発生する場合も想定されるが、現行の長期評価では津波は考慮されていない。沿岸域に活断層が分布する場合には、津波を発生させる断層運動をするかどうかを検討することが望ましい。

## 2. 検討内容と今後の評価手法への反映事項

本章では、前章で示したそれぞれの課題のうち、新しい活断層評価の手法に反映されるべき事項について、検討した内容を詳細に記述するとともに、今後の長期評価に反映すべき知見を示した。

### 2.1 評価対象の設定

#### 2.1.1 対象とする活断層

長期評価の対象断層については、確実度Ⅱ以上で長さ 20 km 以上かつ活動度 B 級以上であることが選定の基準とされてきた。当初選定された 98 主要活断層帯の評価が一通り終わった段階で、上記の基準を満たすことが新たに確認された 12 断層帯が調査対象に追加された。活断層の評価にあたっては、活断層研究会編（1991）に示された位置・形状の情報のほか、その後に公表された論文や活断層図（中田・今泉編，2002 など）に示された位置・形状の情報が参照されてきた。

今後の長期評価では、長さが 20km 未満の活断層や活動度 C 級の活断層なども評価対象とする。その理由としては、①マグニチュードが 7 未満の地震や明瞭な地表地震断層を伴わない地震の評価への取り入れ、②起震断層をセグメントに区分することの導入、③地域単位での地震発生の評価の導入、などに対応するためである。ただし、地表で確認できる長さが短い断層については、地質構造や重力異常分布等も踏まえた上で、地下の震源断層の位置・形状を推定し、これに基づいた地震規模などの評価を行う。また、地表における断層の長さや活動度の判断に用いられる活断層の基礎的なデータは、今後作成される予定の「活断層基本図（仮称）」に示される情報を参照する。

さらに、最近発生したいくつかの被害地震は、震源断層が海域に位置していることを鑑み、沿岸海域に分布する活断層についても今まで以上に積極的に評価対象に加えることにする。沿岸海域に分布する活断層については、「新たな活断層調査について」（地震調査研究推進本部政策委員会調査観測計画部会，2009）に示された沿岸海域活断層の選定基準に基づき、主要活断層帯と同等として位置づけられる断層を評価対象とする。

#### 2.1.2 活断層の評価単位

現行の長期評価では、地表での断層線の隔離距離など地表における断層の分布形状に基づき区分された「起震断層」（松田，1990）を設定し、それらについて断層の位置・形状、過去の活動及び将来の活動を評価してきた。さらに、断層の活動履歴調査の結果に基づいて、将来地震を発生させる可能性がある「活動区間」を設定し、地震の規模や地震発生確率などを算出してきた。「活動区間」に分割する証拠がない場合には、起震断層全体を同時に活動する範囲とみなし、「起震断層」全体が活動する固有規模の地震（固有地震）の評価を行ってきた。

起震断層全体の活動を将来発生する地震の基本とする考え方は、防災の観点で見た場合、地震規模においては安全側に立った評価方法であるともいえるが地震の発生頻度に対しては過少評価になっている可能性があることが指摘された。その結果、ある程度以上の長さ

を有する長大な「起震断層」については固有の地震活動を繰り返し発生させる最小の単位である「単位区間」に分割することが提案され、その分割方法について議論を行った。

また、「起震断層」の設定に関して、地表だけでなく、地下における断層の位置・形状も考慮する必要があることが指摘された。例えば、地表では大きく離れていても、断層面の傾斜によっては、地下で近接する場合がある。そのほか、断層の走向が異なっても、互いに共役な場合には、ひとまとまりで活動する可能性に留意する必要があることが指摘された。

新手法においては、長大な「起震断層」について、活動履歴以外の情報も参照して「単位区間」に分割することも検討する。「起震断層」の設定方法については、基本的に従来の考え方を踏襲し、松田（1990）の「5 km ルール」に従う。ただし、このルールを機械的に適用することなく、断層の特性や判読精度、断層間の相互作用の程度、あるいは地球物理学的データなどによって総合的に判断することとし、「起震断層」の範囲を設定した根拠を評価文に記述する。これらの情報に関して定量的な評価基準が示されることが理想ではあるが、現段階においては定性的な基準のみを検討することとする。また、地下における断層面の位置・形状に関する情報を評価し、地下において断層面が収斂する場合には一つの「起震断層」とすべきかどうか検討する。

「単位区間」の設定について、「起震断層」を分割するかどうかの目安は、「起震断層」の長さが断層面の幅の2倍を超える場合（断層面の幅が不明な場合には、断層の長さが40kmを超える場合）とする。「単位区間」に分割する際の分割場所については、活断層の活動履歴、分布形状、ずれ量分布、及び地質構造や重力異常分布などの地球物理学的データを参照して決定する。活断層の分布形状については、「活断層基本図（仮称）」に示される予定の縮尺2万5千分の1程度の活断層図と相互に参照できるようにする。なお、吉岡ほか（2005）は、同様の考え方にに基づき固有規模の地震を発生させる単位として「活動セグメント」を定義し、具体的な区分基準を提案しているが、その区分基準は「単位区間」の区分基準と完全に同一ではないことに留意する必要がある。

将来地震が発生する際に断層が活動する範囲については、「単位区間」の組み合わせによる「活動範囲」を設定し、「活動範囲」ごとに地震の規模や地震発生確率などの評価を行う。想定する「活動範囲」の設定にあたっては、活断層の分布形状や活動度及び過去の地震発生状況などを考慮してこれを決める。

### 2. 1. 3 近接する断層の相互関係

現行の長期評価においては起震断層ごとに評価を行っているため、起震断層相互の関係はあまり考慮されていなかった。その結果、地震調査研究推進本部地震調査委員会が発表している「全国地震動予測地図」（以下、「地震動予測地図」とよぶ）の作成作業において断層モデルを設定する際に、地下の震源断層の三次元形状を考える段階において断層面が交差してしまうなどの問題が生じていた。

検討分科会では、琵琶湖西岸断層帯と花折断層帯との関係を主に取り上げ、

slip-partitioning の可能性について検討した。琵琶湖西岸断層帯は地表における変動地形の特徴から西傾斜の逆断層であると考えられている。平成 15 年 6 月公表の長期評価においては、その西側に位置する花折断層帯と地下で交差することがないように傾斜角がやや高角な断層面を想定していた。一方、平成 18 年度に大都市大震災軽減化特別プロジェクトの一部として実施された近畿圏地殻構造探査（近江測線）の結果からは、花折断層帯の地下直下を横切って西傾斜の構造境界（反射面）が連続している断面が描かれており、これが琵琶湖西岸断層帯の断層面であると解釈されている（文部科学省ほか、2007）。この構造について、石原（2006MS）の検討例や京都大学防災研究所における微小地震観測網のデータによる震源メカニズム解析結果を参照して、この付近における地下の主たる断層が低角な逆断層と高角な横ずれ断層のどちらである可能性が高いのかを検討した。また、slip-partitioning のモデルに基づく地下の断層活動に関して、カリフォルニア州の San Andreas 断層（Jones and Wesnouskey, 1992）やイランで発生した 1998 年 Fandoqa 地震の地震断層などの事例（Berberian *et al.*, 2001）を検討した。この結果、現行の長期評価（平成 21 年 8 月公表）で述べられているように、琵琶湖西岸断層帯南部と花折断層は地下で収斂すると判断されたものの、収斂部よりも深部の断層面が西傾斜の低角な断層面なのか、それとも高角な断層面なのか結論付けるまでには至らなかった。したがって、slip-partitioning をしていると思われる近接する断層の評価方法について、具体的な考え方や定量的な判断基準を決めることは今後の課題とされた。

新手法においては、後述するように地域単位での長期評価を行う必要もあり、近接する起震断層の地下での位置関係を、地質構造や地球物理学的なデータに基づき判断することが、地表の活断層の位置・形状の判断と並んで評価上必要な課題となってくる。ただし、その共通的な評価手法の確立については今後の検討課題である。

#### 2. 1. 4 地域評価の導入

現行の長期評価では、起震断層ごとに評価が行われ、主要活断層帯ごとに長期評価結果が公表されてきた。しかし、地震防災の観点からは、個々の起震断層を評価するだけでなく、地域の周辺に分布している活断層で発生する地震を総合的に評価することが望ましい。

今後の長期評価では、起震断層ごとではなく、ある地域に分布する複数の断層の活動を考慮した地域評価を行う。評価対象となる地域を「評価地域」と呼び、その範囲に分布する活断層及び活断層の可能性が高い断層について、長さや活動度に関係なく評価対象に含めることにする。「評価地域」については、過去の地体構造区分に関する研究などを基に、地質や活断層分布などを考慮して決定する。「評価地域」の境界については、近接する地域と重複する領域が存在しても構わないこととする。また、評価の公表にあたっては評価した範囲に関わらず、都道府県など行政区分単位で公表することも考えられる。

#### 2. 1. 5 広域テクトニクスに関する情報の活用

現行の長期評価では、断層周辺における地殻変動及び地震活動に関する情報が記述され

ている。地殻変動に関しては、過去約 100 年間の測量結果に基づくひずみの分布やその方向、あるいは最近約 10 年間における GPS 観測結果から推定される地殻変動の特徴などについて評価文の説明に記述されている。しかし、いずれも活断層の分布範囲に対して観測点の間隔が広いと、断層を挟んでの地殻変動の違いを示すことは困難である。地震活動については、過去に発生した大地震の分布や過去約 10 年間の微小地震活動の特徴が記され、これらの情報を利用して地震発生層の下限の深度と断層面の傾斜との関係から断層の幅を推定することが行われている。しかし、これらの情報については個々の活断層の長期評価に対して、十分に活用されているとはいえない。

今後の活断層の長期評価においては、断層周辺における地殻変動及び地震活動を評価するだけでなく、評価対象となる地域における地殻変動様式や地震活動の特徴に関する情報、活断層の分布との関係などを相互に関連づけて評価していく。また、評価地域における地質構造発達史や地形発達史に関する研究成果を参照し、評価地域内に分布する活断層が形成された経緯や現在の地質・地形の分布と断層活動との関係について記述を行う。さらに広域な観点から、評価地域周辺におけるプレート運動様式と評価地域内の活断層の分布や活動性、あるいは地震の発生状況との関係などの地域特性を評価していく。このことにより、活断層で発生する地震の発生メカニズム等の解釈が進むことが期待される。

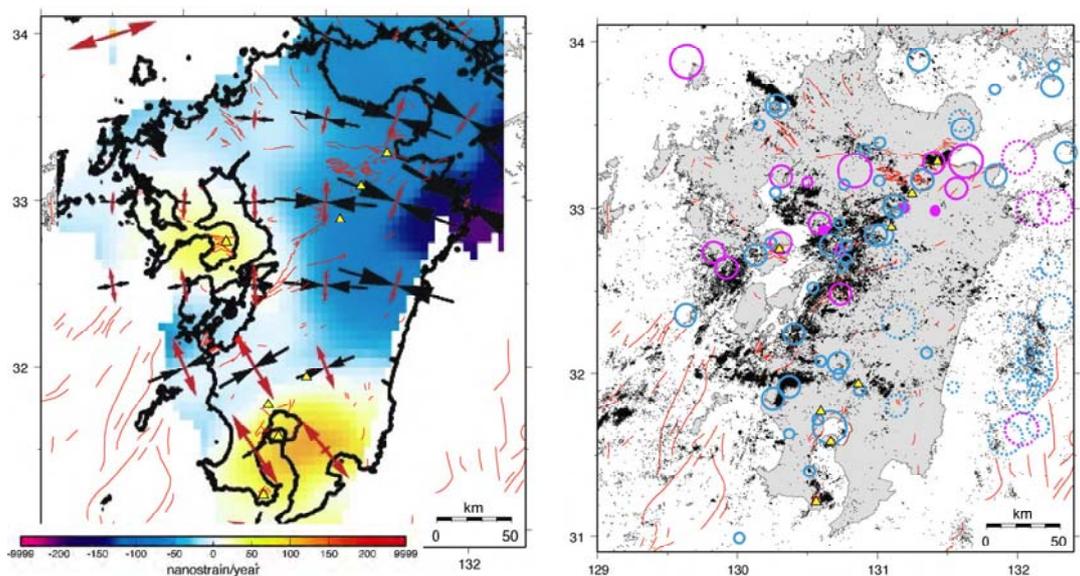


図2-1 九州におけるひずみ速度(Sagiya, 2004)と応力軸の向きの分布(左)および微小地震活動(気象庁一元化震源を使用)と宇佐美(2003)による歴史地震の分布の比較(右)(検討分科会資料より抜粋)

## 2.2 地表における位置・形状評価

### 2.2.1 位置・形状評価の改善

現行の長期評価では、活断層の位置・形状については既存の活断層図の情報に基づき断層の両端の位置を決定し、分単位でその位置を示してきた。断層の長さ及び走向については、これらの端点間の距離と方向を20万分の1程度の地図上で計測してきた。断層線については、評価で認定したものを20万分の1程度の地図上に表現が可能な限り、信頼度にかかわらずすべて実線で示してきた。

活断層で発生する地震の評価において、地表における活断層の位置・形状情報は、地震規模の算出、起震断層と活動範囲の決定、強震動評価の基本情報、断層活動時におけるずれの出現位置など、重要な評価要素を決定する基本的な情報である。これらの情報は、累積性を含めて面的に把握が可能であるため、情報量の多さという点で他の情報による評価よりも有利である。近年は、航空レーザー測量などによる高解像度地形モデルなど、情報技術の進展によって地表情報の有効性はさらに増している。

新手法で導入される単位区間・活動範囲で発生する地震の評価においては、活断層の位置・形状評価の正確さが将来の地震規模や発生確率評価を大きく左右することになる。このため、今まで以上に活断層の位置・形状評価に精度と信頼性が要求される。今後の評価では、断層の両端や屈曲点の位置については0.1分単位（十分特定できない場合には1分単位）で記述し、走向については1度刻みで表現する。

また、地域評価にあたっては、地質や地下構造、地震活動や地殻変動との融合も視野に入れていくことから、断層線の位置だけではなく、変動地形の分布に関する情報や平均変位速度の面的把握などが重要となる。詳細な位置・形状情報の作成には、1) 既存の活断層図の比較、2) 縮尺1万分の1程度の空中写真による断層変位地形の判読、3) ずれ量の分布に関する調査、4) 断層線ごとの情報整理（認定の確実度、マッピングの位置精度、平均変位速度、ずれの向き、断層認定に関する専門家の意見）といった作業が必要である。

なお、これらの詳細位置情報の作成にあたっては、上述した多様な情報を地理情報システム（GIS）で融合して活用可能なように縮尺を統一してデジタル化し、「活断層基本図（仮称）」の形でも公開する予定である。

### 2.2.2 端点の認定とその信頼度

現行の長期評価では、断層帯の端点について、20万分の1の地図に示された活断層図に基づき、分単位でその位置座標を示してきた。断層帯の長さ及び走向は、このようにして決められた断層両側の端点を結んだ線分の長さ及び向きに基づいて評価されている。また、それぞれの端点については、信頼度が示されている。

活断層の端点の認定において信頼度が低くなるのは、断層の延長が海域や沖積低地になっている場合である。これに関しては、平均変位速度の分布の特徴から断層が延長される可能性を推定することができる。すなわち、変位地形で確認される断層端部であるのに大きな変位量や平均変位速度が認められるケースなどがある。また、断層をクラックと考え

るとずれ量は中央部で大きく、両端にいくにつれて小さくなることが想定される。したがって、地表で確認される断層の端部において平均変位速度が小さくならない場合には、その先にも地下では断層が続いている可能性が指摘できる。また、別の見方として、断層の末端形状に着目し、発散的な分岐がみられる箇所までは断層が続いていると判断することができる（中田ほか、1998）。この考え方にに基づき、それまで断層が認識されていなかった区間において詳細な検討を行い、トレンチ調査等によって断層の存在が確認されている事例がいくつか紹介されている（中田ほか、1998）。

今後の長期評価においては詳細な活断層図が添付されるため、端点の位置については0.1分単位でその位置座標を示すこととする。また、その地点を端点としたことに関する信頼度を表記するとともに、その根拠及び留意すべき点について記述を行うこととする。

### 2.2.3 信頼度に応じた断層線の表現

現行の長期評価においては、活断層の位置は20万分の1程度の地図上に実線で示されてきた。これは、評価に採用した範囲を明確に示す役割を持っていた。

今後は、詳細な活断層図が添付され、その位置情報に基づき、分岐形状や隔離距離などを判断材料として「単位区間」を設定する。また、「評価地域」に分布するすべての活断層を図示することもあり、断層であることが明白な区間と断層であることあるいは断層が通過する位置について信頼度が落ちる区間を区別することが望まれる。

したがって、今後の長期評価では、断層線の信頼度に関する情報を表示するために、断層線の種類を変えて地図上に示すこととする。その分類方法について、確実に断層である区間のほかに、推定区間や位置不明瞭な区間などを設定しておくことが考えられるが、詳細については今後検討が必要である。

なお、これらの活断層の位置・形状に関する詳細情報は、「活断層基本図（仮称）」が作成される際に十分考慮されるものであり、「活断層基本図（仮称）」が完成した後は長期評価においてはその成果を活用することを想定している。

### 2.2.4 「ずれ」と「たわみ」を生じる範囲の評価

現行の長期評価では、地震が発生した際に、断層を境にどの程度の（何m程度の）「ずれ」が生じるかの評価を行っている。断層の位置は20万分の1の地図上に実線で記載されているが、どの範囲で想定されたずれが生じるのかは示されていない。

逆断層などでは、地表での変形が幅をもった「たわみ」として現れることがある。そのため、断層が通過すると想定される位置からどれくらいの範囲（幅）で地表が変形するかについても事前に予測しておくことが必要である。

新手法においては、「活断層基本図（仮称）」による位置・形状評価を活用し、「ずれ」が生じる位置や「たわみ」が生じる範囲とその量を評価する。具体的評価手法は位置・形状評価の精度に依存すると考えられるが、「たわみ」を生じる可能性がある範囲を評価する手法については、表層地質や地下構造との関連を考慮して評価する。

## 2.3 地下の震源断層の推定

### 2.3.1 地下における断層の長さ

現行の長期評価では、地下の断層の長さは地表で確認される断層の長さと同じと評価されてきた。一方、現状の強震動予測においては、長期評価で用いられた地震規模（マグニチュード）から地震モーメント（ $M_0$ ）を求め、経験則を用いて断層面積を算出した後、断層の傾斜角と地震発生層の厚さに基づき、断層面の幅を決め、断層モデルに用いる断層の長さを設定している。

地震発生時に余震分布や地殻変動などから推定される地下の断層の長さが、地表で確認される断層（地表地震断層・活断層）の長さとは異なる事例については、松田（1975）をはじめとして古くから指摘がある。これらについて、数多くの事例に基づいて両者の関係を定量的に評価した研究が Wells and Coppersmith（1994）によって行われている（図2-2）。これらの成果を活用することにより、地表と地下の断層の長さの関係を明らかにしていくことが一つの方法として考えられる。

地質学的な調査手法としては、沖積層に覆われているために断層の存在を認定できない断層延長部において、ボーリング調査やジオスライサー調査を実施して、地下浅部における断層の有無を確認することができる。また、広域的な地質構造に基づき、断層が連続する範囲を想定することも可能と思われる。

地表における情報を用いる地形地質学的な調査によって地下の断層長を推定することには限界がある。したがって、新手法においては、重力異常分布など面的に得られる地球物理学的な情報から地下深部構造を推定し、地下の断層の長さを検討する。特に、地表で認められる長さが短い断層については、地質構造との関係や重力異常分布から推定される地下構造などの情報を活用し、地下の断層の長さを評価する。

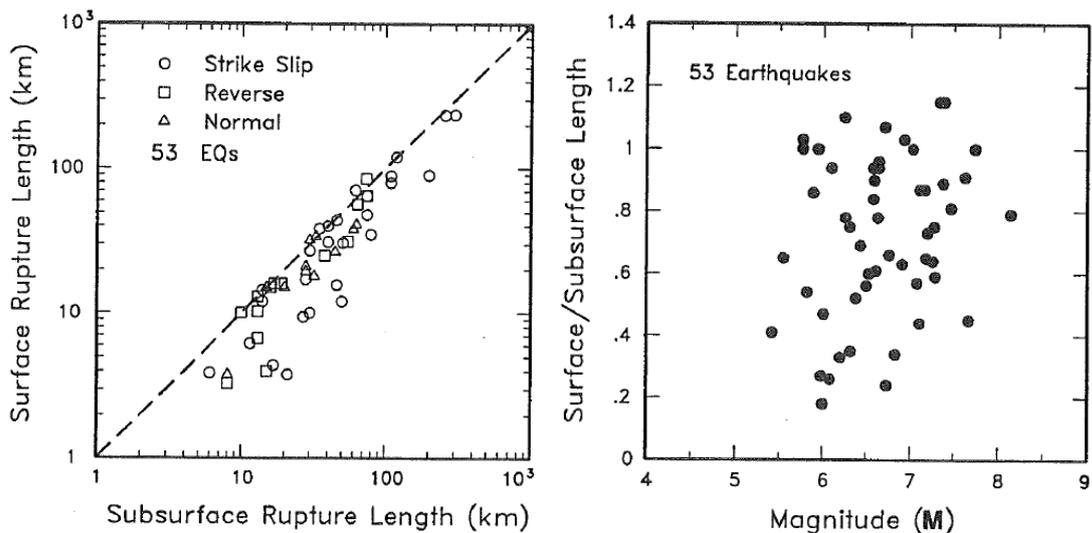


図2-2 地表地震断層と地下の断層の長さの比較(左)と地震規模別にみたそれらの比(右)(Wells and Coppersmith, 1994)

### 2.3.2 断層面の三次元形状の推定

現行の長期評価では、断層面の上下端の深さと傾斜から計算によって断層面の幅を求めることとしている。算出の根拠としている2つのパラメータのうち断層面の下端の深さについては、地震観測結果によって推定される地震発生層の下限の深さに基づいている。これまでに行われた評価をみると、地震発生層の下限の深さはほぼ全ての断層帯について評価されているが、断層面の幅が評価されているのは半数以下に限られており、それらの中においてもとくに逆断層については評価値に大きな幅を伴うことが多い。

強震動予測においては、地表で認められる活断層の長さそこから推定される地震の規模を用いて地下の断層の長さを設定している。すなわち、経験式を用いて地震モーメントから断層面積を求め、地震発生層の厚さと断層面の傾斜から断層面の幅を決めることにより、地下の断層の長さを設定している。

断層面の先端の深さについては、断層のずれ、ないし断層によるたわみが地表まで達している場合には0 km として評価している。ただし、堆積層が厚く分布する地域では、震源断層は地表には達せず、その上盤内に発生した副次的な断層が地表を変位させていることも考えられるので、今後の評価においては褶曲を含めた地下構造を踏まえて、断層面の位置形状を評価することとそれに資するデータを取得することが重要な課題である。

断層面の傾斜については、従来の長期評価では、トレンチ、ボーリング等で確認された断層面の傾斜角もしくは反射法地震探査から得られた構造断面から推定される断層面の傾斜角を用いている。強震動予測においては、長期評価において具体的な断層面の傾斜角が示されている場合にはその値を用いるが、具体的な角度が評価されていない場合には、横ずれ断層は90度、正断層及び逆断層は45度と設定している。また、「高角」と評価されている場合は60度～90度、「低角」と評価されている断層は0度～30度の範囲内で設定し、断層モデルを構築している。断層面の傾斜角は、強震動予測において、断層の幅の決定や断層の上盤における強震動の強さと発生する地域の範囲等に大きく影響を与えることから、より信頼性の高いデータが必要とされている。

堆積層が厚く分布する地域では、しばしば逆断層の上盤で地層の変形が認められる。また、堆積層を貫いていない伏在断層の先端部では、断層によるずれの進展に伴ってその上位の地層が褶曲変形することがある。これらのような断層について、地表付近における地層の変形構造から、地下に伏在する断層の位置や形状を推定する手法が提案されている。例えば、中越地震や中越沖地震では、バランス断面モデルにより、地下浅部の褶曲構造と余震分布に基づき、地下の震源断層の形状が推定されている。

また、沿岸で上下ずれ成分が卓越する断層が活動した場合には隆起側で海岸隆起することが過去の地震の例から知られており、能登半島地震においては、観測された海岸隆起の隆起量分布様式と地下の断層面の形状から推定される地殻変動とが調和的であった。過去の海岸隆起の証拠である海成段丘の旧汀線高度変化も海岸隆起量と類似した分布を示すことが指摘されている。上記のような地形・地質の情報から断層の地下形状や活動度を推定する手法について、今後研究が進展することが望まれる。

### 2.3.3 アスペリティ分布及び破壊開始点の推定への情報提供

強震動予測において断層の破壊開始点及びアスペリティの位置は重要なパラメータであるが、地震発生前にそれらを特定することは現状では難しいとされている。浅部のアスペリティと地表変位分布は、第一次近似的には整合していると推定されていることから、活断層の平均変位速度の分布を明らかにすることにより、アスペリティ分布を推定できる可能性がある。また、地表の断層線の分岐形状に基づいて、破壊開始点や破壊伝播方向を推定できる可能性も指摘されている（図2-3：中田・後藤，1998）。

将来的に、地表の活断層情報から得られるこれらのデータに基づき、地下の震源断層における破壊特性の予測が可能となることを想定し、新手法においては、平均変位速度の空間的分布及び地表の断層線の分岐形状の調査結果が存在する場合には、評価において明記することとする。

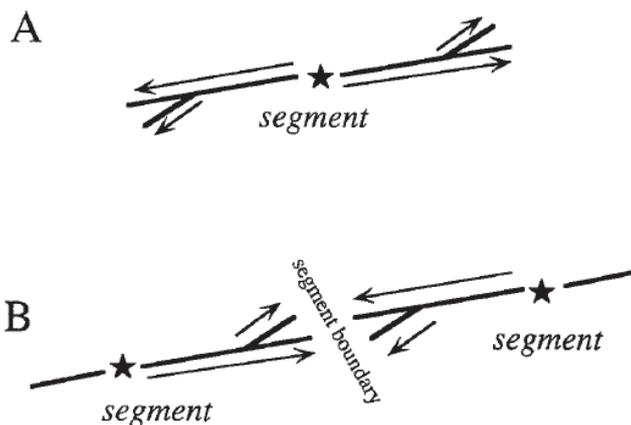


図2-3 断層の分岐形態とセグメント(中田・後藤, 1998)

A: 断層の両端が分岐し、セグメントを認識できる例

B: 断層分岐形態が対置し、セグメント境界を認識できる例

## 2.4 過去の断層活動について

### 2.4.1 データの空間的的代表性と適用範囲

現行の長期評価では、評価に利用できるデータの数が少ないこともあり、1つの起震断層を構成するある断層の平均変位速度や1回のずれの量などのデータが得られた場合、他にそれと矛盾するデータがない限りは、その値が断層帯を代表するデータであるとみなして、起震断層全体を評価している。また、複数の箇所でも平均変位速度が得られた場合であっても、基本的には、それらの信頼性などを総合的に判断して、1つの平均変位速度を導き出している。

しかし、平均変位速度や1回のずれの量は、本質的に、同一の起震断層の中はもとより、同一の活動範囲の中であっても地点毎に異なる値を持つことが知られている。これらの分布を詳細に調べて、破壊開始点やアスペリティを推定（「2.3.3 アスペリティ分布及び破壊開始点の推定への情報提供」を参照）するためには、単純に特定位置のデータで全体を代表させるだけでは不十分である。また、地表において複数の断層線が並走している箇所でのトレンチ調査結果のデータなどは、その区間で発生した地震活動を全て反映しているとは言い難い。このようなことから、各地点で得られたデータの断層帯全体における位置づけに関する考え方の整理が必要である。

検討分科会では、イベント年代推定作業グループにおいて、楮原ほか（2007）により紹介されているデータベース情報を用いて、布田川・日奈久断層帯のトレンチ掘削地点と断層トレースとの関係を検討した。特に、並走するトレースの数やその距離を考慮して、3つのレベル（Ⅰ：トレースが1条の場所で掘削、Ⅱ：トレースが2条以上でかつ500m以上離れた場所で掘削、Ⅲ：トレースが2条以上で500m以内の場所で掘削）に分類した。また、掘削地点の走向方向での空間的代表性（ある掘削地点で得られたデータが断層帯全体に沿って代表的なものであると見なせるかどうか）について、断層中央付近か断層端付近かによって地表地震断層の出現率や変位量の代表性が異なる可能性があることの検討の必要性が指摘された。

新手法では、個別のデータは断層帯全体を代表するとは限らないという基本概念をより尊重し、これまで棄却してきた信頼度が低いデータも活用することによって、可能な限り多くのデータによる評価を進める。

将来的には、平均変位速度や1回のずれの量の空間分布を明らかにすることによって、相似則や他のデータとの整合性を総合的に検討し、個々のデータの信頼性による重み付けの方法や、データが代表する範囲の基準などを検討する必要がある。このことは、活断層の補完調査が必要な箇所・項目の客観的な選定にもつながることが期待される。

### 2.4.2 断層活動認定の信頼度

従来の長期評価では、過去の地震活動（イベント）の信頼度が4段階（◎：高い，○：中程度，△：低い，▲：非常に低い）で記されていたが、その根拠は明示されていなかった。そのこともあり、断層帯ごとあるいは公表年次によって、信頼度の評価基準にはばら

つきがみられる。

検討分科会では、イベント年代推定作業グループにおいて、トレンチ調査等で確認されている活動層準を認定する際に用いられてきた根拠を収集・整理し、断層活動認定の標準化と信頼度の格付けについて検討した。また、これらの評価を評価文の表や図に記号化・模式化して明示する方法を考案した。さらに、信頼度に応じて断層活動を点数化して、定量的に評価することを試みた（図2-4，図2-5）。しかし、検討分科会における議論の結果、信頼度をこの方法で定量化するにはなお問題があるとして、定性的な評価に留めることとなった。

新手法では、認定した断層活動についてはその根拠を明記するとともに、今まで信頼度が低いことから評価に採用されてこなかった地層の変形構造についても、その信頼度を付したうえで評価に取り上げることとした。ただし、確実度を評価する際には、トレンチ内で観察される地層の変形に加え、変位地形との位置関係や地層の堆積環境等を加味して総合的に検討して判断する必要がある。

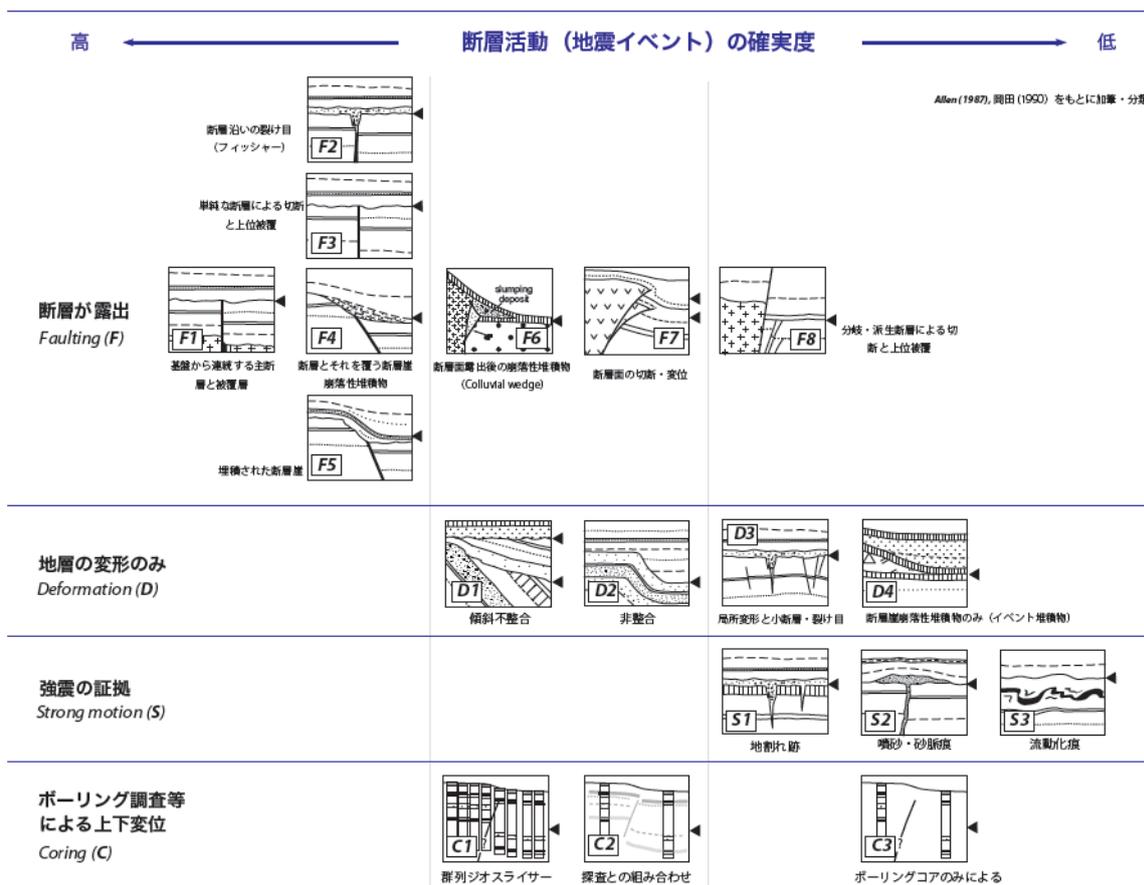


図2-4 地層の変形構造の種類の違いに基づく断層活動の確実度

Allen(1986)、岡田(1990)をもとに加筆・分類して、イベント年代推定作業グループが作成

# 地震イベント時空間分布

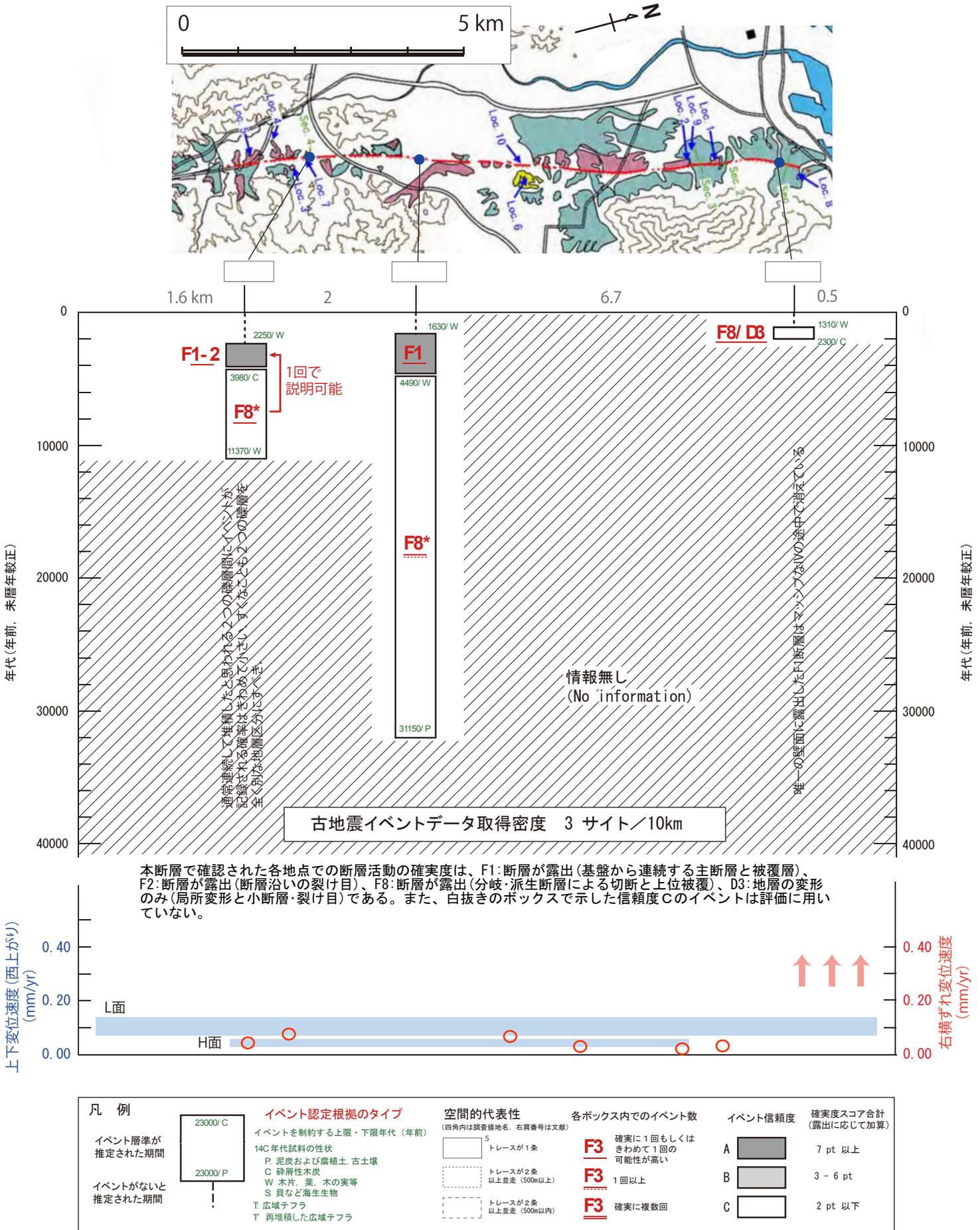


図 2-5 各調査地点における活動時期認定の信頼度を示した時空間ダイアグラムの例

### 2.4.3 断層活動の発生時期の絞り込み

従来の長期評価では、トレンチ調査で認められたイベント層準の上下の層で確認された試料の年代値によって、断層活動の発生時期を推定している。この手法では、断層活動時期の推定幅をある一定の幅以内に狭めることは困難である。特に、堆積速度の小さな地点で実施されたトレンチやボーリングのデータを用いる場合ほど活動時期の推定幅が広くなり、補完調査によって新たな年代データが取得できても、ほとんどその推定幅が縮まらないケースも生じている。

しかし、地層は本来、その層厚と年代によって堆積速度を推定できるため、年代測定を行った層準から堆積速度による重み付けを行うことにより、活動層準の堆積時期をある程度絞り込むことができる事例もある。

新手法では、トレンチ・ボーリング調査の成果を用いる場合に、イベントの年代幅を単純に上下の層の年代測定値の間とせず、他の誤差要因についても考慮しつつ、可能な限り堆積速度による重み付けの概念を導入して活動時期を絞り込む。また、年代測定試料が豊富な例を用いて、この手法による絞り込み結果の誤差を推定する。同一の断層活動が他の調査地点では異なる活動年代のものとして判断されてしまう可能性も考えられるが、それぞれの推定値の誤差を考慮して、同一イベントであるかどうかを適切に判断する。同時に、この手法の適用限界についても具体的に事例検討を行う。また、イベントの読み過ぎの可能性も踏まえ、各データの信頼度を考慮した評価を行う。

さらに、断層間の評価の差を少なくするため、一つの断層の活動履歴評価に必要なデータ数や断層上におけるデータ密度についても評価する必要がある。調査におけるばらつきを小さくするため、年代測定結果の確率分布にも着目してイベント発生時期を評価することも検討すべきである。

### 2.4.4 イベント欠損を考慮した平均活動間隔の算出

従来の長期評価では、トレンチ調査において断層活動が認められた場合、それ以外の期間には活動がなかったものと仮定して活動回数を推定している。言い換えると、トレンチで地層として観察される期間内の断層活動は全てが記録されているという前提に立って評価を行っている。

しかし、現実には、トレンチの最下部から最上部まで間隙なく地層が堆積していることはごく稀であり、時間的な欠損がある方が一般的である。地層の堆積を欠く時期が長期間に及んでいる場合、その間に断層活動があったとしてもそれが記録されないこともあり、結果として活動間隔を実際よりも長く評価することが起こりうる。

この問題を可能な限り排除するため、新手法では、断層活動があったことの記録に加えて、トレンチにおける地層が欠損している期間を明らかにし、断層活動の記録が欠如している可能性を含めて活動履歴の評価を行う。特に、地層の欠損が著しい時代（最終氷期以前など）が認められる場合には、トレンチによる断層活動の認定にはこだわらず、一回のずれ量や平均変位速度などとの調和を優先させることも検討する。具体的には、間接的な

手法（平均変位速度と 1 回のずれの量から推定する等）によって得られる値やベイズ理論のような統計学的なモデルに基づいて算出される値との比較などにより、平均活動間隔の精度と信頼度を向上させていくことが考えられる。

なお、堆積物に時間的欠損がなくとも、トレンチ調査では確認できない断層活動が存在する可能性も考えられるが、そのような可能性については、2. 6. 4 で示すように、「地表の証拠からは活動の痕跡を認めにくい地震」として考慮することとする。

#### 2. 4. 5 オフフォールト古地震情報の活用

大地震が発生すると、震源域及びその周辺では強震動によって液状化現象や地すべりといった地盤変状が発生する場合もある。これらの情報は断層活動の直接的な証拠にはならないが、断層活動時期を推定する際に参考にすることは可能である。

また、海域に分布する活断層が活動した場合には津波が発生する可能性がある。津波発生時に沿岸に残された津波堆積物を調査し、その堆積時期や遡上高、分布範囲を明らかにすることは、海域に分布する活断層の活動時期や位置・形状の評価に役立つと思われる。

今後の評価では、評価地域内においてこれらの情報が見つかっている場合には、それらを整理し、その周辺の沿岸海域の活断層との関係を明らかにしていく必要がある。

#### 2. 4. 6 海岸の地震性隆起・沈降に関する情報の活用

沿岸で大地震が発生した際には海岸の隆起や沈降が発生する場合もあることが知られている。西津軽にみられる「千畳敷」といった地形は、過去の大地震に伴って隆起した海岸の典型である。最近では能登半島地震や中越沖地震の際に震源域周辺の海岸で数十 cm 程度の隆起が生じたことが報告されている。

今後の長期評価においては、海岸隆起に関する情報についても検討を行い、沿岸海域に分布する活断層の活動時期や平均変位速度の評価に活用していくことが望まれる。ただし、沿岸海域の調査が行われていない場合、位置・形状が直接わからない断層に対して評価を行うことになるので、その評価方法についても引き続き検討が必要である。



図2-6 1793年の地震時に隆起した西津軽の千畳敷(青森県西津軽郡深浦町)

## 2.5 地震規模の評価

### 2.5.1 想定すべき地震

現行の長期評価では、想定することが最も適切と思われる地震像として、近接する複数の断層線を松田（1990）の基準に基づいて断層帯（起震断層）に括った上で、活動履歴により断層帯を区分する証拠がない場合、「起震断層において全体が活動する最大規模の地震が発生すること」を想定してきた。その意味では「起震断層の範囲を超えて活動するより規模の大きな地震、もしくは起震断層の一部のみが活動するより規模の小さな地震が起きる」ということについてはこれまで評価を行ってこなかった。

しかし、実際にはさまざまな規模の地震を活断層は起こしうる。特に、長大な断層帯では、固有の地震活動を繰り返し発生する複数の区間から構成される場合があり、それぞれの区間が単独で活動した場合には、起震断層全体が活動する最大規模の地震に比べると規模は小さいものの社会的、経済的に大きな影響を与える地震が発生する可能性もある。そのような地震について推定される発生頻度は、起震断層全体について評価された値よりも高くなることがあるため、注意が必要である。

また、現行の長期評価では、M7.0以上の規模の地震が発生すると想定される長さ20km以上の活断層を対象としてきた。しかし、内陸や沿岸海域の活断層で発生する地震であれば、M7に満たない地震であっても、中越地震（M6.8）や中越沖地震（M6.8）のように、震源近傍では大きな被害を引き起こす非常に強い揺れが発生することが知られており、そのような地震を事前に評価しておくことは地震防災上意義のあることである。

これらの課題に対して、新手法では、地震を発生させる最小の断層の単位として、起震断層を位置・形状及び活動履歴に基づいて分割した「単位区間」を考え、単位区間ごとに過去の断層活動を評価することにした。さらに、単位区間全体が破壊せずに、評価した規模よりも小さい地震が発生する可能性についても、地表では活動の証拠を認めにくい地震として評価することで対応していく。

さらに、2.5.2で述べるように、分割された単位区間が連動して発生する地震についても評価する。また、地震とは地殻歪の蓄積によって生じるものであることを考慮すると、地下構造を含む断層帯の位置形態はあるまとまりをもって評価されるべきものである。このため、活断層帯相互の関係を考慮した上で、必要に応じて起震断層を超えた範囲に及ぶ断層活動を評価する。

また、2.1.1で述べたように、今後の長期評価では、長さが20km未満の活断層や活動度C級の活断層なども評価対象とし、発生する地震の規模について評価する。

この際、過去に日本で発生した地震の記録からは、1847年善光寺地震以降に発生した被害地震（死者・行方不明者50人以上）の規模は、全てM6.8以上であることから、本報告書では活断層で発生し、その活動が社会的、経済的に大きな影響を与えると考えられるM6.8以上の地震を評価することにする。ただし、「起震断層」の一部が活動し、M6.8未満の地震が起こる可能性は否定されていないことに注意が必要である。また、M6.8を下回る地震については、上記の理由に加え、地表における調査ではその存在を明らかにすることができ

ない可能性が高いことから、現時点では震源断層を予め特定できない地震として考慮することが適切であると考えられる。

## 2.5.2 複数の断層が連動して発生する地震の規模

従来の長期評価では、「起震断層」を「活動区間」に分けた場合のそれら全体が同時に活動した際の地震規模を評価していることになる。その規模の算出にあたっては、松田（1975）の経験式が用いられている。

起震断層を複数の「単位区間」に区分し、それらが連動して地震が発生することを想定した時には、連動した場合の地震規模を評価する方法を定めておかなければならない。また、複数の単位区間が直線的に連続して分布する場合と、並行あるいは分岐して分布する場合など、異なる連動様式が想定される。

日本で発生した過去の地震の事例をみると、直線的に連続して分布する断層が連動して破壊したケースに近い例として1891年濃尾地震（M8.0）が挙げられる。濃尾断層帯は完全に直線状の配列ではないが、温見断層、根尾谷断層、梅原断層をつなぐように長さ約80 kmにわたる地表地震断層が出現した（図2-7）。活断層で発生する地震の規模を評価する際に従来から用いられている松田（1975）のM-L式には、濃尾地震の時に出現した地表地震断層の長さ地震規模の関係が取り込まれている。したがって、少なくともこの程度の長さまでは、複数の単位区間が連動して発生した地震についても松田（1975）のM-L式を用いることには問題はないと考えられる。

断層が並行もしくは分岐して分布する事例としては、1896年陸羽地震（M7.2）や1927年北丹後地震（M7.3）が事例として挙げられる。松田（1975）は、これらのように面的な広がりを持って地表地震断層が出現した場合には、その範囲を含む円を描き、その直径をもって長さLの代わりとしている。今回の検討では、並走する断層や分岐する断層の規模評価に関して議論できなかったため、直線的に連続して分布する場合と同様に、全体の長さ（もしくは1回のずれの量）に基づいて地震規模を推定することとする。

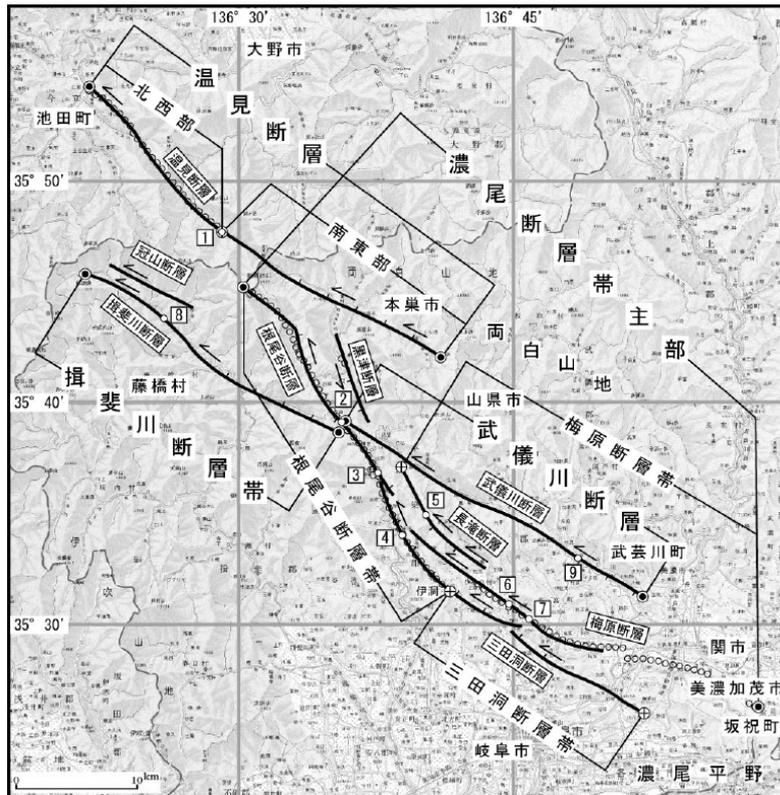


図2-7 複数の単位区間が連動して活動した例(1891年濃尾地震)

### 2.5.3 長大な活断層で発生する地震の規模

主要活断層帯の大半を占める長さ 100km 以下の断層帯については、現時点でも松田(1975)が主に 20km から 80km の断層長の地震データから経験的に得た推定式(図2-8)を用いて地震規模を評価することが最も確からしいと考えられる。このため、歴史地震など直接的な観察記録がある場合を除いて、従来通り、この経験式を用いて地震規模を推定することには大きな問題はないと考える。

ただし、長さが 100km を超えるような長大な活断層については、活動時のずれの量が飽和する可能性(図2-9)が指摘されているため、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モデルの採用について検討した。しかし、ずれの量の算出方法については今後も検討する必要があることから、新手法においては、W.G.C.E.P(1995)の定義によるカスケードモデルを採用することは見合わせ、長さが断層面の幅の4倍に満たない場合には松田(1975)のL-M式に基づき地震規模を想定し、それを超える場合には長さが4倍を超えないように区分した区間が連動するモデルを設定した。地震規模の算出には、モーメントマグニチュードを使用し、後に気象庁マグニチュードへ変換する。

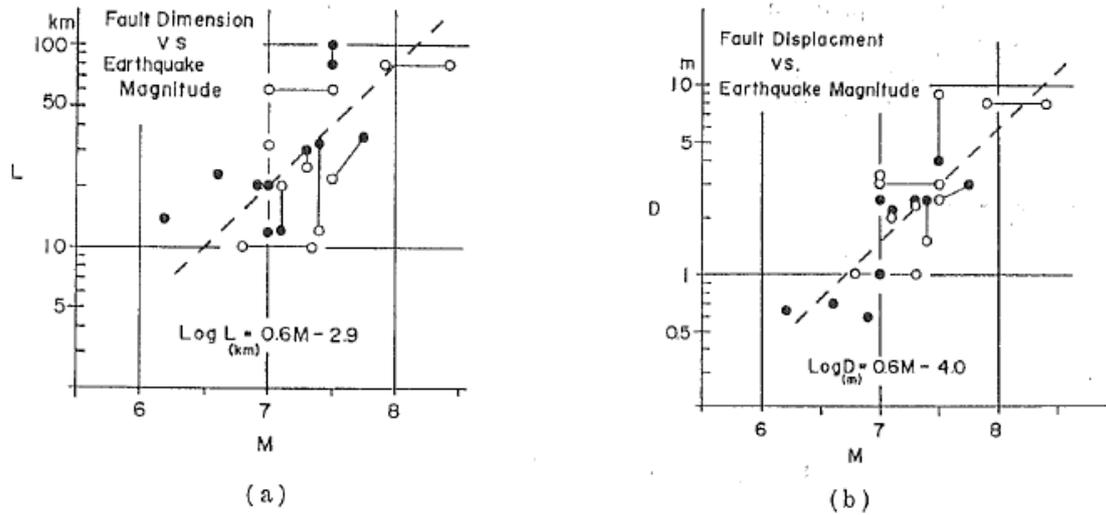


図2-8 地震の規模と、断層の長さ(a)及び地震時のずれ量(b)との関係式(松田, 1975)

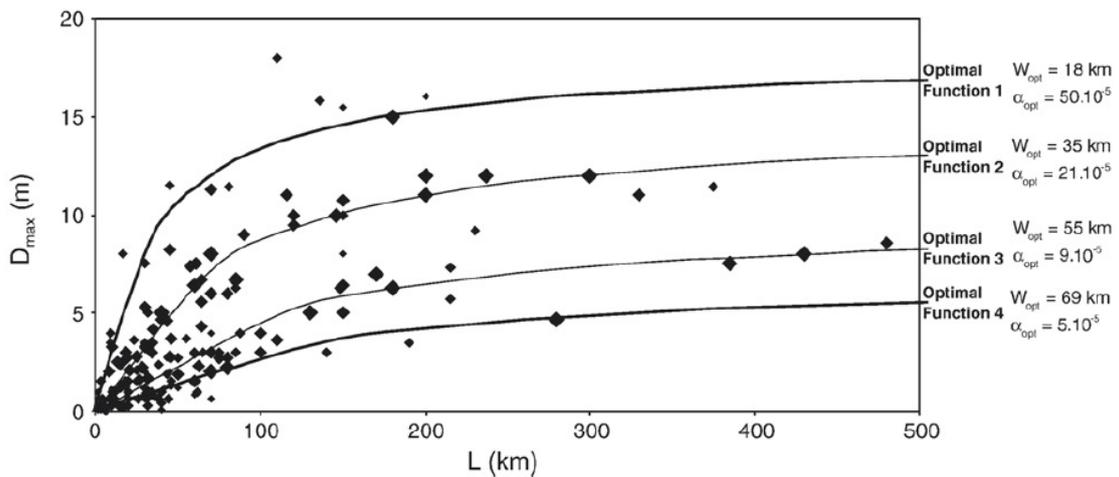


図2-9 長大な断層の事例を含む地表地震断層の長さ地震時のずれ量の関係。記号の大きさは精度を表す。D-L の関係は、断層の成熟度により異なり、すべり量が飽和する長さでいくつかの群に区分される(Manighetti *et al*, 2007)。

#### 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、例え断層上で発生した地震であると

ても、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値として 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。

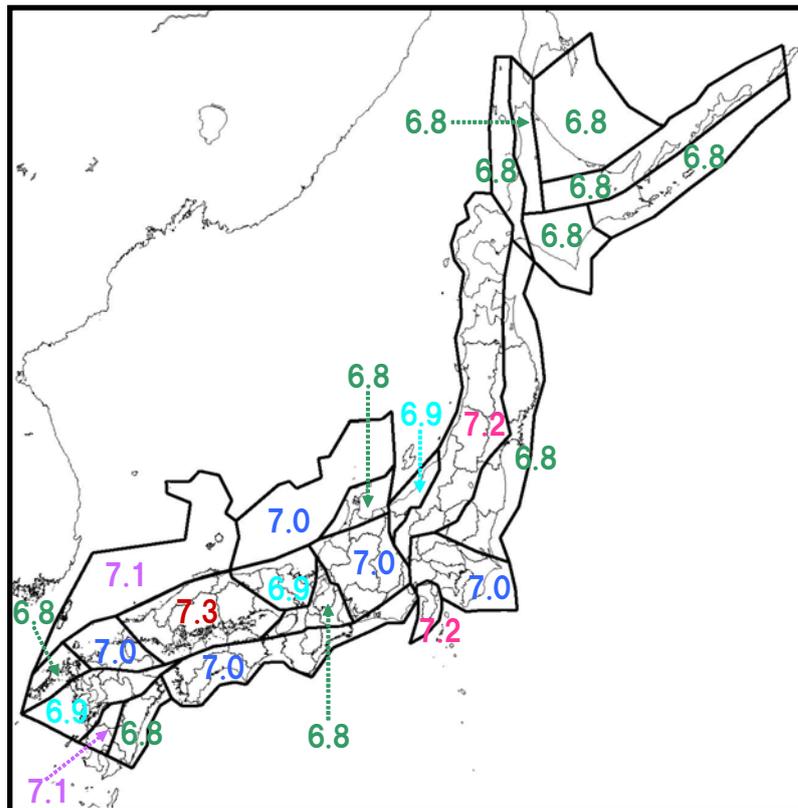


図 2-10 陸域の震源断層を予め特定しにくい地震の最大マグニチュード

## 2.6 将来の断層活動の評価

### 2.6.1 ばらつき $\alpha$ 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 $\alpha$ 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、 $\alpha$ 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 $\alpha$ 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年ヘクターメ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。

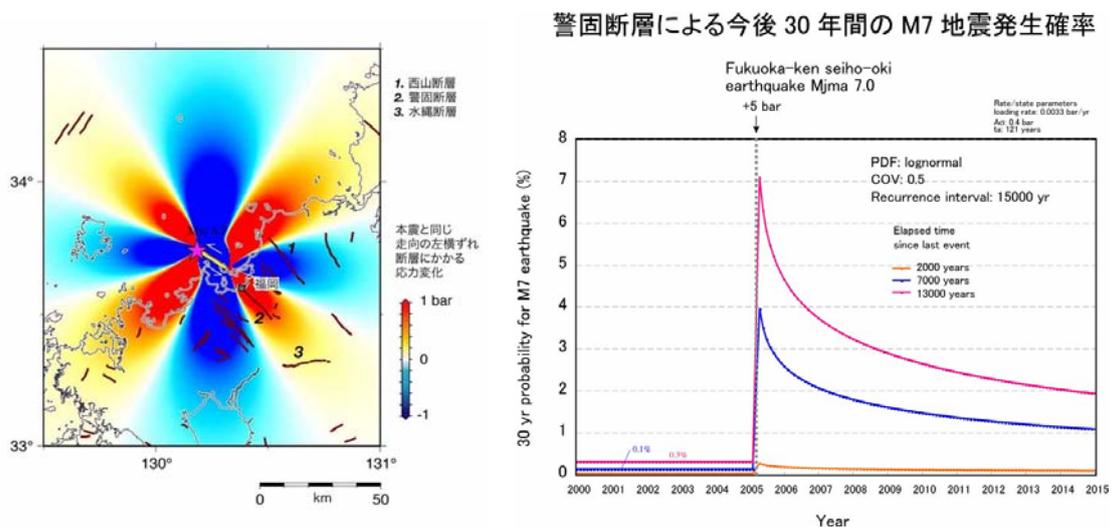


図2-11 2005 年福岡県西方沖の地震による周辺地域への応力変化(左)と、この地震による警固断層帯南東部における地震発生確率の変化(右)((独)産業技術総合研究所 HP より)

### 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乘せすることとする。

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-櫛挽）	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。

## 2.6.4 連動可能性の評価

現行の長期評価においては、活動履歴によって起震断層が活動区間に分割できる場合には、活動区間ごとの地震規模と地震発生確率、そして断層帯全体が一度に活動した場合の地震規模を評価している。その際、起震断層全体が活動する場合の地震発生確率については、それぞれの活動区間における地震の発生確率の低い方を超えないとしている。

検討分科会では、平均変位速度分布、複数の単位区間の三次元的相互位置（距離、走向差など）、地表トレース、応力分布変化（ $\Delta CFF$ ）、地質構造、微小地震活動などから活動範囲の関連度を定量化し、過去の活動や経過率、平均変位速度とあわせて連動可能性を評価することなどを検討したが、これらの情報を定量化して活断層の長期評価に用いることは現状では困難であるということになった。

新手法においては、複数の単位区間を含む起震断層で発生する地震を想定する場合、単位区間同士の間隔の形状や過去の活動状況などを参照し、専門家からの意見に基づいて活動範囲を設定することとする。さらに、設定された活動範囲をもとにしてそれぞれの地震規模による地震が発生するシナリオを想定したロジックツリーを作成し、それぞれのシナリオが実現する可能性について専門家の判断による重み付けを行う。重み付けの検討方法については、隈元ほか（2007）による糸魚川-静岡構造線活断層系の検討例が参考になるものと思われる。

なお、今回の手法には採用されなかったが、平均変位速度に基づく検討や単位区間を乗り越えて地震が発生する可能性の定量的な評価については、引き続き検討を進めていくことが望まれる。

## 2.6.5 複数の可能性を考慮した場合分け

現行の長期評価では、過去の活動時期など値を絞り込むことが困難な場合には、幅を持った評価を行っている。その結果、これらのパラメータから導かれる地震発生確率も幅を持った評価となっている。地震発生確率のような事象については幅を持った予測が妥当であるが、例えば活動の有無といった場合分けを要する判断をする場合には、判断の結果如何によって評価内容が劇的に変化することも少なくない。また、現行の長期評価においては、データが得られていない場合には、他のデータから経験的に導き出せる場合を除き、評価を「不明」としている。しかし、データが得られていない場合でも何らかの仮定を与えることによって、その先の評価が可能となる場合もある。あるいは、評価に関する意見を一つに絞ることができず、複数の手法やモデルが考えられる場合においても、それぞれを用いて評価を進めた後、その妥当性を考察し、最終的に判断する方法も考えられる。

新手法では、一方の案を採用した場合に最終的な評価がもう一方の案を採用した場合と比べて大きく異なる場合は、その可能性が低くとも場合分けを行い、複数のシナリオによる評価を実施する。これにより、シナリオに応じた複数の「震源断層を特定した地震動予測地図」の作成と、重み付けによる「確率論的地震動予測地図」への反映が期待できる。

なお、場合分けによるシナリオ評価を行う基準やシナリオ相互間の重み付けの導入については、今後事例の蓄積により検討が必要な課題である。

## 2.6.6 地震危険度の確率値以外での表現

従来の長期評価においては、起震断層で発生する将来の地震の可能性について、BPT分布を用いた更新過程による確率論的評価が行われている。この手法では、平均活動間隔が千年を超えるような活断層については、活動間隔のばらつきを考慮すると、どんなに経過率が高くても算出される地震発生確率の値は一定以上に大きくならない（数%程度）という問題がある。これらのことが、活断層で発生する地震に対する「安心材料」となってしまいうのではないかという点が懸念される。

この問題を解決するため、活断層で発生する地震の危険性を確率値以外でも表現する方法として「地震後経過率」の活用について検討した。現行の長期評価においても最新活動時期からの経過時間を平均活動間隔で除した「地震後経過率」を示している。しかし、公表時や確率論的地震動予測地図作成時に利用されるのは確率値であり、「地震後経過率」に関する情報は活用されているとは言い難い。しかし、例えば確率値が同じであっても地震後経過率が高い場合には、ひずみが十分に蓄積して断層帯として不安定な状態であるため、近傍の断層帯の活動など他から受ける影響によって地震が誘発されやすいとの指摘もある。

今後は、「地震後経過率」に基づく活断層のグループ分けやそれらのデータに基づく危険度の表現を行っていくことが望まれる。将来的には、経過率が高い状態における断層の不安定度を定量化した適切な地震危険度の表現方法が開発されることが期待される。

## 2.7 その他

### 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

現行の長期評価では、活断層の位置・形状、活動履歴及び地震活動状況に関する情報は、断層帯ごとに個別に処理されて評価されるのみとなっており、複合的な定量的解釈が困難なままとなっている。

近年、情報処理技術は飛躍的に進歩しており、地震防災分野においても地震観測結果や地殻変動データの取得・解析、あるいは地震動予測地図作成などにおいてその技術が活用されている。さらに、地理情報システム (GIS) の進歩により、大量の地理空間情報を整理・解析することが可能となっている。

平成 21 年 4 月に策定された「新総合基本施策」では、活断層の位置・形状や過去の活動等の地震調査研究の成果情報を、広く社会で活用されることを目指し、工学、社会科学研究のニーズを踏まえた上で整理し、地図上等で分かり易く提供するとしている。また、同時に取りまとめられた「新たな活断層調査について」の中で、データの提供に際しては、利用者の利便性を向上させるため、自治体名や活断層名、活動履歴等による検索や、地図上での検索が実施できるようにするとともに、他の地理空間情報との重ね合わせが可能な形式でも提供し、整備された地理空間情報の利活用を推進するとしている。

これらを踏まえ、新手法による評価を実施するにあたっては、詳細な活断層の位置やずれ等に関する地理空間情報をはじめ、地質情報、広域地殻変動の時系列情報、地震観測情報などを統合して活用可能な形にデータベース化するとともに、地理情報システムを導入して、評価作業に活用することが望ましい。将来的な現状評価と長期評価の融合を視野に入れた場合、データベース化は必須とも言える。なお、維持管理の観点から、既存のデータベースを活用した分散型データベースと WebGIS による運用が望ましいと考えられるが、データの仕様や管理方法については詳細な検討が必要である。

### 2.7.2 沿岸海域活断層による津波

陸上の活断層の長期評価においては、活断層で発生する地震による「ゆれ」と、「2.2 地表における位置・形状評価」で示した「ずれ」を評価することで、当面の被害予測対応は十分であると考えられる。しかし、沿岸海域の活断層で発生する地震については、それらに加えて津波の発生を考慮することも重要である。

沿岸海域の活断層で発生する津波は、波源域が陸域に近い場合、震源近傍海岸部では津波到達時間が非常に短くなる可能性がある。すなわち、地震が起こってからその規模や到達時間の計算結果を待っていたのでは、避難行動に間に合わない場合もある。したがって、これらの沿岸海域に分布する活断層において津波を発生させる断層運動が起こるかどうかを予め判断しておき、地震発生と同時に対応が取れるようにしておくことが望ましい。

### 3. 新しい活断層評価手法

本章では、第1章、第2章に記述した活断層評価手法等検討分科会における各種課題に関する検討の成果を踏まえ、活断層から発生する地震の新たな長期評価手法について記述する。

本章の構成は、基本的には平成17年に公表された「基盤的調査観測対象断層の評価手法報告書—これまでの長期評価手法のとりまとめ—」に沿っている。ただし、新たな評価手法を実施するにあたっては、現行の評価手法とは検討の手順が異なる部分もあるため、一部においては評価項目及び評価における検討の順序が変更となっている。なお、検討にあげられた課題はほぼすべて取り込まれた内容になっているが、現段階ではこれらの中にはすぐに評価に活用できないものも含まれている。

#### 3.1 新しい活断層評価の概要

##### 3.1.1 活断層評価の単位

活断層で発生する地震の長期評価は、「評価地域」ごとに行うこととし、ある地域に分布する複数の断層の活動を考慮して評価を実施する。

それぞれの活断層で発生する地震の規模や発生頻度等に関する具体的な評価は、松田(1990)の起震断層の基準に則って区分された「起震断層」を単位として行う。この際、長大な起震断層については、「起震断層」全体が一括して活動する場合のほかに、「起震断層」の一部の「活動範囲」が活動して発生する地震についても評価する。「活動範囲」は、過去の活動履歴、断層線の連続性や分岐形状、あるいは地下の地質構造などによってその範囲が決められる「単位区間」の組み合わせである。なお、「単位区間」に関する野外調査結果や文献調査結果に関する詳細な記述は、「評価地域」及び「起震断層」の評価とは分離して、別資料にまとめる。

以下に、活断層評価の単位に関する用語とその説明を示す。

#### ○ 活断層

- ①「活断層」は、最近数十万年間にくりかえし活動し、将来も活動することが推定される断層とする。

#### (解説)

- ・ 活断層は、最近の地質時代に地下の同じ部分で繰り返し活動が生じ、その都度ほぼ同一の変位様式の変形が地表に生じ、その変形が累積したものと考えられる。また、地下の同じ部分で繰り返し同様の活動が生じるのは、広域的な応力場やテクトニクスなど、ほぼ同一の地殻変動様式が継続しているためであると考えられる。
- ・ 活断層は、現在も、過去の活動が認められた時期とほぼ同一の地殻変動様式が継続していると考えられることから、今後も同様の活動をする可能性が高いと考えられる場所である。このため、活断層の認定は、地質学・地形学・地球物理学的証拠に基づき、最近数十万年間に地震活動により形成された変形を把握することにより行う。

- ・ 岡田・東郷編（2000）では、「西南日本では、第四紀前期と中期（約 50～70 万年前）以降とでは、地殻変動の様式や応力場が著しく異なるという見解があり、『最近の地質時代』を第四紀後半に限定して考える研究者も多い。これとは逆に、東北日本では鮮新世初頭（約 500 万年前）以降、現在も同様な地殻変動様式が継続しているともいわれている。したがって、『最近の地質時代』の定義は地域によって様々であり、それについての詳細な確定は今後の研究に託されている。」とされている。
- ・ 「最近の地質時代」について、地表付近の形態は、主として段丘面上での活動の痕跡等から認定できること、高位段丘面の年代は、地域等により異なるが、最終間氷期（酸素同位体ステージ 5）より前の間氷期（酸素同位体ステージ 7, 9, 11）と対応づけられることが多いことから、約 40 万年程度を目安とする。
- ・ 上記の目安について、現在の地殻変動様式や応力場がどれくらい前から継続しているかが、活断層を定義する上で重要であることから、地質学的にごく最近の時代（例えば最終間氷期以降）の活動の痕跡が認められないことや、高位段丘面や第四紀前半の地層に累積的な変位がないことのみをもって活断層ではないと評価するのではなく、広域的な応力場の状況等も含めた検討を行う必要がある。
- ・ 第四紀に活動したが、将来活動する可能性は極めて低い断層もあり、これらの断層と活断層は地形的に区別がつきにくい場合もある。活断層と見なさない断層としては、岡田・東郷編（2000）にあるように、①第四紀前期の地層を切っているが、最近数十万年程度の地形面や地層を変位させていないもの、②火山地域などに多くみられる、ある時期（たとえば噴火期間）に動き、それ以降では全く活動していないもの、③日本アルプスの稜線付近にみられるような短い正断層で、山頂上部の重力性のずれによって生じたと考えられるものがある。

## ○ 起震断層

- ① 「起震断層」は、主として地表における断層の分布形状から、同時に活動すると想定される活断層及び活断層群である。
- ② 断層の分布形状の基準としては、松田（1990）の起震断層の基準（5 km ルール）を採用することとする。
- ③ 起震断層を構成する活断層は、活断層であることが確実なもの（活断層研究会編（1991）の基準で確実度Ⅰ相当）および活断層であると推定されるもの（同確実度Ⅱ相当）とする。活断層の可能性のあるもの（同確実度Ⅲ相当）は、他の活断層との位置関係等から起震断層に含めるかどうかを判断する。
- ④ 断層崖の連続性のみでなく、ずれの向き、地質構造の連続性、断層同士の地下での位置関係等の条件を考慮して断層の連続性を総合的に判断した結果、他の括り方が適当であると評価できる場合は、②に示した以外の条件に基づいて起震断層を設定することもできる。
- ⑤ 「起震断層」の名称について、「起震断層」が複数の「単位区間」を含む場合には「○○断層帯」、単一の「単位区間」で構成される場合には「○○断層」と呼ぶ。従来の長期評価において名称が付けられている「起震断層」についてはその名称を、それ以外には既往の調査研究で命名されている名称を用いる。適切な名称がない場合には既存の断層帯名や自然地名等に方角等を付して命名する。ただし、「○○断層帯南部」

のように「断層帯」以下に方角等を付して限定する形の名称は用いない。

#### (解説)

- ・過去に日本で発生した地震の記録からは、1847年善光寺地震以降に発生した被害地震（死者・行方不明者 50人以上）の規模は、全て M6.8 以上である。これに基づき、本報告書では活断層で発生し、その活動が社会的、経済的に大きな影響を与えると考えられる M6.8 以上の地震を評価するものである。したがって、「起震断層」の一部が活動し、M6.8 未満の地震が起こる可能性は否定されていないことに注意が必要である。また、M6.8 を下回る地震については、上記の理由に加え、地表における調査ではその存在を明らかにすることができない可能性が高いことから、現時点では震源断層を予め特定できない地震として考慮することが適切であると考えられる。
- ・①について、「起震断層」は、地震活動を考える際の基本単位であるが、「起震断層」の一部が活動して発生する地震や複数の「起震断層」が同時に活動して発生する地震も想定されることに留意する。
- ・③について、起震断層から 5km 以内の距離に分布する確実度Ⅲ相当の断層の扱いは、地震調査研究推進本部地震調査委員会(2005b)に記載された、「主要 98 断層帯以外の活断層に発生する地震」における確実度Ⅲ相当の断層の扱いと同様とする。具体的には、ある程度の長さを持つ活断層であれば、地表で変動地形が確認でき、確実度がⅠ、Ⅱとなると考えられることから、確実度Ⅰ・Ⅱ相当の断層を繋ぐように長さ 5km 以内の確実度Ⅲ相当の断層が分布する場合は起震断層に含めることとする。また、長さ 5km 以内の確実度Ⅲ相当の断層が起震断層の端部に分布する場合は起震断層に含めることとする。
- ・④について、断層崖の連続性のみでなく、段丘面の変形や隆起ベンチの高さなど様々な変動地形を考慮し、重力や地質など地下の情報も参照して起震断層の連続性を総合的に判断した結果、一連の起震断層と評価できる場合もしくは異なる起震断層と評価できる場合は、松田（1990）の基準を機械的に適用することは避け、適切な起震断層を設定する必要がある。
- ・④のうち「ずれの向き」に関しては、ずれの向きが異なっても共役な断層として同一の起震断層の一部として見なした方が良い場合があるので、地質構造及び地下での断層面の位置関係等に留意して判断する必要がある。
- ・④のうち「地質構造の連続性」については、古い地質構造を切って現在の活断層が発達していることがあるので、この情報のみに基づいて起震断層を短く設定することは望ましくない。むしろ、短い活断層に対して、地表で確認される起震断層の端を越えて地質構造が連続している場合に、地下では断層面が続いていることがないか検討する際の判断材料とすべきである。
- ・④のうち「断層同士の地下での位置関係」に関しては、地表では 5km 以上離れていても、地下で近接あるいは収れんする断層がすべり分割の関係にある時は同一の起震断層の一部として見なした方が良い場合があるので、断層のずれの種類及び地下での断層面の位置関係等に留意して判断する必要がある。

#### ○ 短い活断層

- ① 「起震断層」のうち、地表の断層の長さが当該地域における地震発生層の厚さに満たない「起震断層」を、地下の断層の長さに比べて地表の断層の長さが短い「短い活断層」とする。
- ② 「短い活断層」については、地表の断層の長さだけでなく、地表の断層の認定根拠、地質構造や重力異常分布などの情報を参照して、現在活動的だと考えられる地下の断層の存在の可能性やその長さについて十分に検討する（図 3-2）。

- ③ 検討の結果、地下の断層の長さが当該地域における地震発生層の厚さを越えると判断された「短い活断層」については、地下の断層の長さに基づいて地震規模を評価するとともに、評価に資する資料がある場合は、過去の活動についても評価することとする。
- ④ 検討の結果、地下の断層の長さが当該地域における地震発生層の厚さに満たないと判断された「短い活断層」については、後述する「詳細な評価の対象としない活断層」に準じて評価することとする。

#### (解説)

- ・島崎(2008)は、「震源断層の一部が地表付近に達し、地表で活断層が認められる場合には、その震源断層は地震発生層をほぼ断ち切っていると考えられる。」とし、地震発生層全体を破壊した地震の規模の下限は M6.8～M6.9 程度であるとしている。したがって、地表の活断層の長さが地震発生層全体の長さより短い断層を「短い活断層」と定義し、地下の断層の全長が地表に表れていない可能性を考慮して地下の断層の長さを評価するものである。
- ・①について、地震発生層の厚さは、地域によって異なることが知られている。このため、ここでは、震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)に示された方法に基づき、地震発生層の上限深さについては当該起震断層周辺もしくは当該地域周辺の深い地盤構造から  $V_s=3.0\text{km/s}$  程度の層の深さを目安として推定し、下限深さについては当該起震断層周辺もしくは当該地域周辺における微小地震の深さ分布から推定することとする。地域内に地震発生層の厚さが大きく変化する場所がある等、推定することが困難な場合、「短い活断層」と判断する「起震断層」の長さは、15～18km 程度を目安とする。
- ・②について、島崎(2009)で、震源断層がある長さ以上となると震源断層長はほぼ活断層の長さと同しくなるとし、活断層の長さと同数の累積数から、長さが 40km 未満では活断層の数が予測より少なく、地下の震源断層の長さより地表の断層の長さが短い活断層で発生する地震の規模の上限は M7.4 程度であるとしている。このため、地質断層の存在等から地下の震源断層の長さが延長すると評価する際の、地下の断層の長さの最大値は約 35km とする。

#### ○ 詳細な評価の対象としない断層

- ① 地域に分布する断層群を起震断層として括った後に残った孤立した活断層のうち、確実度が低く、地下の構造などを参考にしても地下に断層を想定することが難しいものを「詳細な評価の対象としない断層」とする。
- ② 「詳細な評価の対象としない断層」を認定するにあたっては、地表の断層の認定根拠、地質構造や重力異常分布などの情報を参照して、地下の断層の存在の可能性について十分に検討する。
- ③ 「詳細な評価の対象としない断層」については、原則として断層の位置・形状や過去の活動に関する評価は行わず、地表の位置・形状を地域の活断層の分布図に掲載するのみとする。

#### (解説)

- ・①について、「確実度が低い断層」とは活断層研究会編(1991)の区分による「確実度Ⅲ(リニアメ

ント)」に相当するものがこれに該当する。

- ・①について、地表では1、2km程度の非常に短い活断層であっても、確実に繰り返し活動していることが確認できる活断層は、「短い活断層」として評価の対象とする必要がある。
- ・②について、地表の断層の認定に当たっては、地表の断層トレース以外にも、段丘面の変形や隆起ベンチの高さなど、様々な地形の情報を活用する
- ・②について、組織地形の可能性のある地形など、存在が確実とはいえない地表の断層トレースが認定されているものの、地質構造などの既存の資料で地下に地震発生層の厚さを超える震源断層を想定することが困難な場合などが相当する。
- ・③について、断層ごとに評価文を作成することはせず、評価された断層の位置・形状は地域の活断層の図の中に示すとともに、断層の名称や長さなどの評価結果の一覧を作成することとする。
- ・③について、地表に断層が表れている場合はその震源断層は地震発生層をほぼ断ち切っていると考えられること、震源断層の長さとの比は1より大きいと考えられることから、「詳細な評価の対象としない活断層」の長さは地震発生層の厚さに等しい可能性があり、この長さに対応する地震が発生する可能性があることを地域評価において記述することとする。

#### ○ 活断層でないとして評価された断層

- ① 断層を挟んだ地形面の対比や地震探査断面等による地質構造の検討などの結果、断層周辺で地殻変動の痕跡が確認できず、当該地域の地形・地質を活断層の存在なしに合理的に説明できると判断された断層を「活断層ではないとして評価された断層」とする。
- ② ある断層を「活断層ではない」と新たに評価する場合、その断層の名称、位置・形状や評価の根拠を地域評価に附記することとする。
- ③ 「活断層ではない」と既に評価されている断層については、断層の位置・形状を地域の活断層の分布図に掲載することとする。

#### (解説)

- ・①について、地表の断層の認定根拠、地質構造や重力異常分布などの情報を参照した上で、断層以外の地形営力により説明が困難な地形や地質構造が現時点では知られていないことを確認する必要がある。

#### ○ 単位区間

- ① 「単位区間」は、固有の地震活動を繰り返し発生させる最小の区間であり、「起震断層」における過去の地震活動を評価する際の基本となる単位区間である。
- ② 「起震断層」を「単位区間」に分割するにあたっては、トレンチ調査等により明らかにされた過去の活動履歴のほか、断層線の著しい屈曲や不連続、分岐形状、横ずれ断層における上下変位の向きの急変、平均変位速度の分布様式、過去の地表地震断層の発生状況あるいは地質構造・重力異常の情報等を参考にする(図3-3)。
- ③ 「単位区間」の長さは、断層幅のおおむね2倍までとし、「起震断層」の長さが、これを超える場合には、「起震断層」を「単位区間」に分割することも検討する。

- ④ 分割しない場合は、「起震断層」を1つの「単位区間」として扱う。
- ⑤ 「単位区間」の名称は「〇〇断層」とする。「単位区間」の命名は、「起震断層」の命名基準に準じる。

**(解説)**

- ・「1. 1 評価対象の設定に関する課題」および「2. 1. 2 活断層の評価単位」で述べたように、従来は「起震断層で発生する固有規模の地震(固有地震)」のみを評価対象としていたが、長大な「起震断層」について地震発生確率を過小評価している可能性が指摘されているため、「単位区間」を評価の単元区間として設定するものである。
- ・①において指摘されている「固有の地震活動」とは、地域で蓄積される応力ひずみに応じた断層活動の繰り返しにおいて、ほぼ一定の活動間隔を持って発生し、1回の活動で同じ範囲が破壊することが想定される地震を意味する。
- ・①について、「単位区間」では、地表地質調査で把握できた過去の活動に基づき、「固有の地震活動」を評価するほか、地表地質調査では活動の痕跡が認められない地震についても評価する。
- ・②について、「単位区間」を分割する際には断層端部の構造を重視する。断層線の不連続部の「隔離距離」として、吉岡ほか(2005)は2 kmを判断基準として提案している。
- ・②について「分岐形状」とは、断層線の位置・形状に着目したときに、断層破壊が進展する方向に断層が分岐しており、それと反対の方向に進展する断層破壊は経験的に起こりにくいという事実(中田ほか, 1998、中田・後藤, 1998)に基づき、区分するものである。
- ・②について「過去の地表地震断層の発生状況」とは、固有の地震活動とみなせる地震に伴って過去に実際に生じた地表地震断層の範囲を示すものであり、その範囲自体を「単位区間」として認めるものである。
- ・②および③について、断層の長さが目安に達しない場合でも、②に示した情報から「起震断層」を分割することが適当な場合は「単位区間」への区分を行うものとする。

○ **断層帯**

- ① 「起震断層」のうち、複数の「単位区間」で構成されるものを「断層帯」と呼ぶ。
- ② 「断層帯」における将来の断層活動については、次に述べる「活動範囲」ごとに評価する。

**(解説)**

- ・「断層帯」とは、従来の長期評価において「起震断層」の名称として用いられていたが、今回の手法において上記のように定義を明確にして用いることとした。
- ・「断層帯」については、「評価地域」の長期評価とは別に、「断層帯」で発生する地震のシナリオを想定し、それぞれについて地震の規模および長期確率を評価する。

○ **活動範囲**

- ① 将来の地震活動において同時に活動する可能性のある区間を「活動範囲」とする。
- ② 「活動範囲」は「断層帯」で将来発生することが予想される地震の規模や発生確率

を評価する単位で、1つないしは複数の「単位区間」の組み合わせで構成される（図3-3）。

- ③ 複数の「単位区間」の組み合わせについては、断層の地表及び地下での位置関係やそれぞれの断層の活動性及び最新活動からの経過時間などを考慮し、近い将来に同時に活動するとは考えられない組み合わせについては考慮しない。
- ④ 「活動範囲」には固有の名称を与えることはせず、「単位区間」の名称あるいは「○断層と○○断層が同時に活動した範囲」と表記する。

#### （解説）

- ・「起震断層」で発生する様々な地震を想定したときに、通常の評価で区分できる最小単位として考えられるものが「単位区間」であり、その組合せが「活動範囲」にあたる。
- ・「活動範囲」とは、「起震断層」全体が同時に活動する地震のみを評価していた従来の長期評価に対して、「起震断層」の一部のみが活動し、規模はやや小さいが発生頻度が高い地震が起こりうることを考慮して想定するものである。
- ・複数の「単位区間」が同時に活動する「活動範囲」で発生する地震の発生確率については、「活動範囲」全体が同時に活動した可能性を示す過去の活動の証拠に基づいて評価する。
- ・単一の「単位区間」からなる「活動範囲」で発生する地震については、地表で明瞭な痕跡が認められない地震についても考慮することとし、その発生確率を評価する。

#### ○ 評価地域

- ① 「評価地域」は、分布する活断層の特徴、地形地質の特徴、微小地震活動及び地震の発震機構等によって特徴付けられる地域とする。
- ② 「評価地域」の活断層の長期評価では、「評価地域」内に分布する「起震断層」で発生することが想定される全ての地震の規模と発生確率を評価したうえで、「評価地域」内の活断層において一定規模以上の地震が発生する確率を算出する（図3-4）。

#### （解説）

- ・従来の長期評価においては、「主要活断層帯」に含まれる「起震断層」に対してそれぞれ独立した評価が行われてきたが、新たな長期評価においては、その地域に含まれる「起震断層」で発生する地震の発生確率を総合的に評価した上で、「評価地域」内の活断層で発生する地震の確率評価を行う。
- ・1つの「評価地域」の大きさは、小さくとも起震断層を分割しない範囲とし、大きくても2～3都府県程度を目安とする。
- ・②について、これまで長期評価の対象としてきた「主要活断層帯」および「全国地震動予測地図」でモデル化を行ってきた長さ10km以上の「その他の活断層」だけでなく、詳細な活断層の分布図に示された「評価地域」内に含まれる全ての活断層が評価の対象となることに留意する。
- ・②について、陸域の活断層だけでなく、沿岸海域に分布する活断層についても評価の対象に含める。
- ・長期評価の結果を公表する際には、「評価地域」ごとに発表するとは限らず、例えば、都道府県単位で地震の発生確率を公表することも想定される。

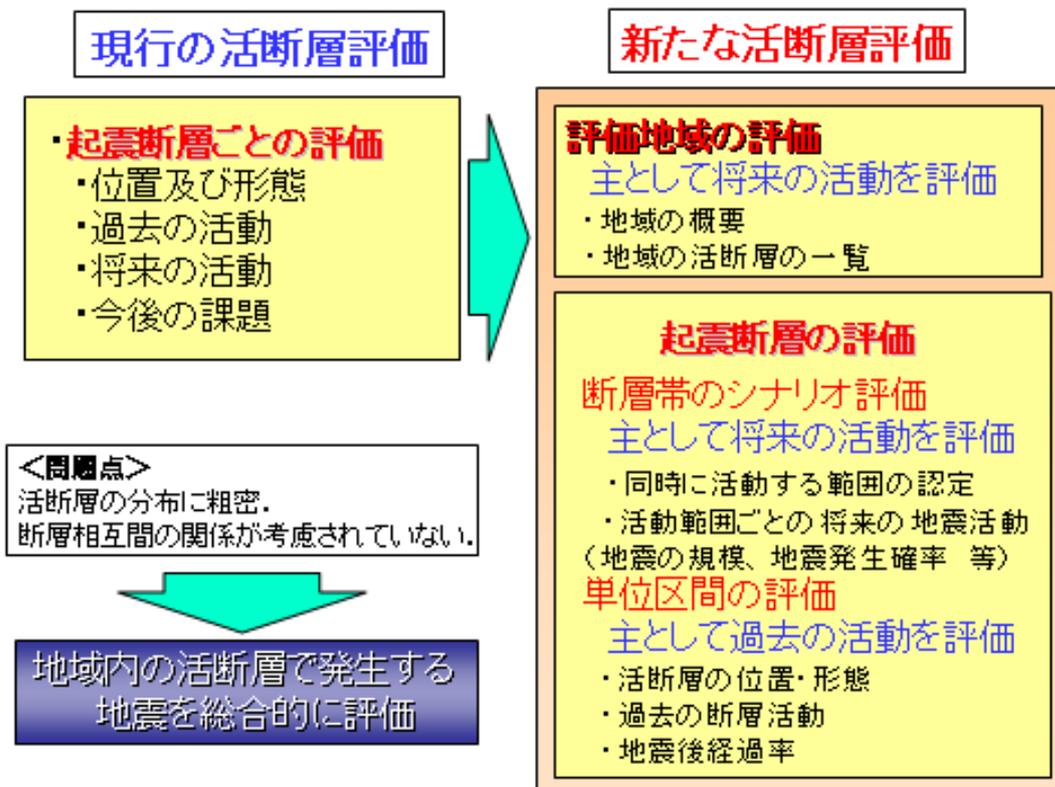


図3-1 これまでの活断層評価の枠組み(左)と新たな活断層評価の枠組み(右)

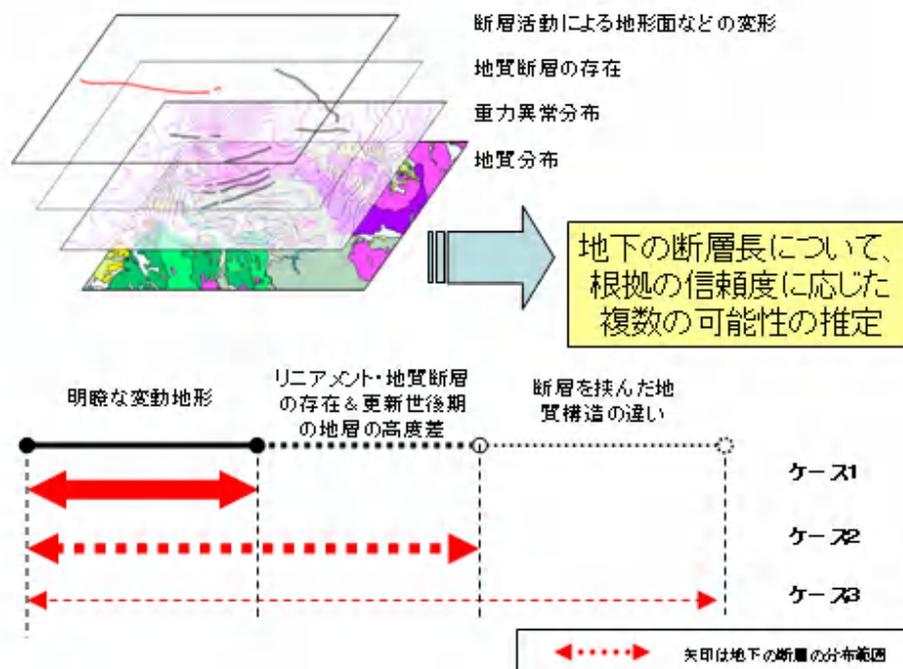


図3-2 地表における長さが「短い活断層」における地下の断層の長さ評価の模式図

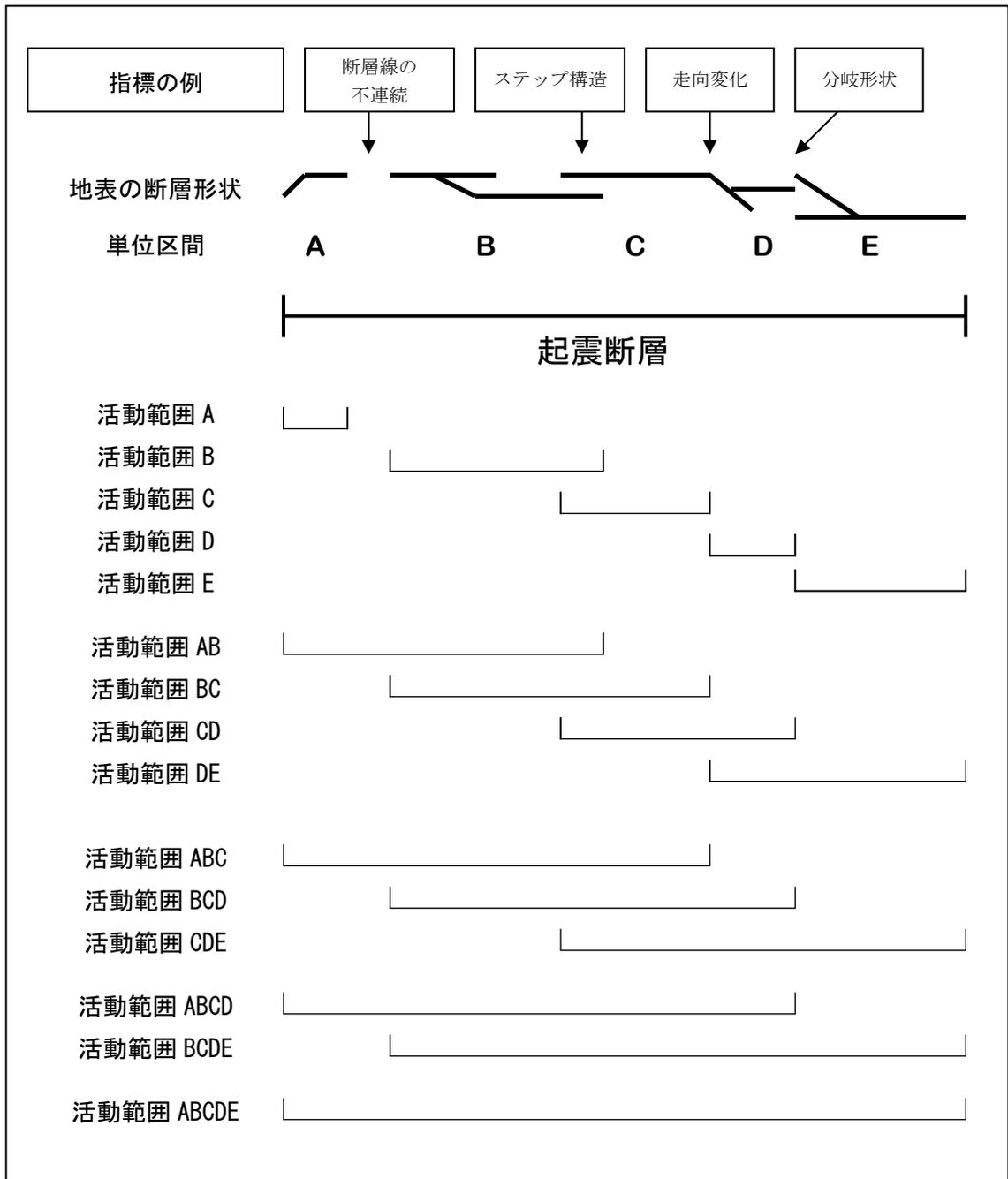
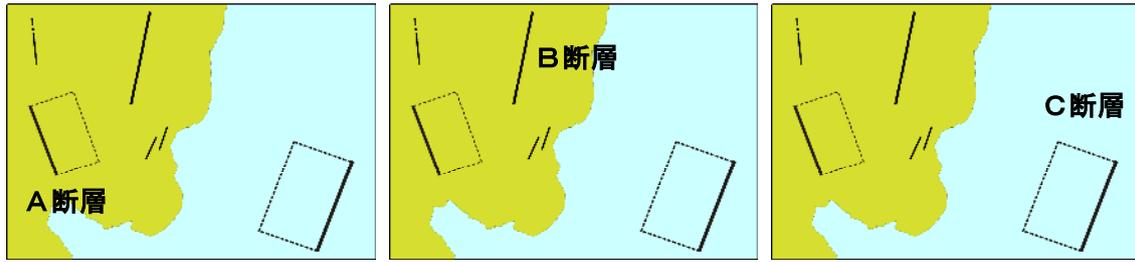


図 3-3 起震断層・活動範囲・単位区間の概念図と起震断層分割の指標の例

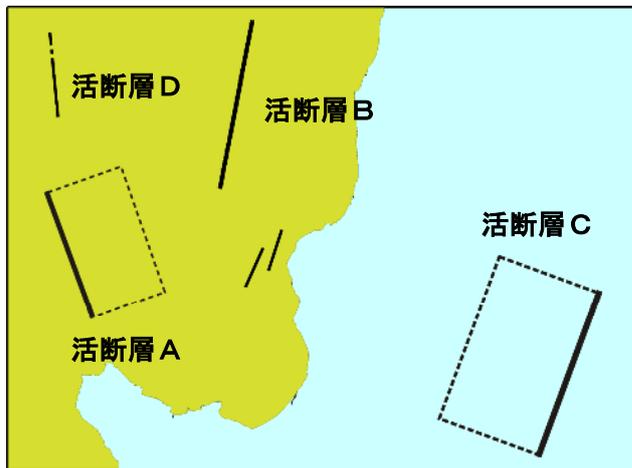


A断層の評価	
断層の長さ	約○km
過去の活動	○年～○年前
平均活動間隔	○年程度

B断層の評価	
断層の長さ	約△km
過去の活動	西暦△年の地震
平均活動間隔	約△年

C断層の評価	
断層の長さ	約▽km
過去の活動	▽世紀
平均活動間隔	▽～▽年

起震断層の評価



断層名	断層の長さ	地震の規模	地震発生確率
A断層	約○km	M○程度	○%
B断層	約△km	M△程度	△%
C断層	約▽km	M▽程度	▽%
D断層	約◇-◆km	M◇-◆程度	不明
詳細な評価の対象としない断層	—	M◇程度	—
☆地域全体	—	M※程度（最大）	※%（M7以上の地震）

☆地域では、M7以上の地震が発生する可能性がある。このような断層として、○断層帯全体、○断層の活動がある。この地域で、評価された断層を震源としてM7以上の地震が発生する確率は、約※%である。

地域評価

図3-4 地域単位の評価と起震断層単位の評価の概念

### 3.1.2 活断層評価の構成

新しい活断層の長期評価では、特定された地域において将来活断層で地震が発生する確率を評価する「評価地域」の長期評価と、個々の活断層で発生する地震の規模や地震が発生する確率の評価に必要なデータを評価する「起震断層」の評価とを実施する。「起震断層」の評価では、複数の「単位区間」から構成される「断層帯」については、「活動範囲」で発生する地震を評価する「断層帯」のシナリオ評価と、個々の「単位区間」の位置・形状や過去の断層活動を評価する「単位区間」の評価とを分けて記述する。それぞれの評価で記述する項目は以下の通りである。

#### (1) 「評価地域」の長期評価

「評価地域」内に分布する活断層における将来の地震の発生確率を評価するために、以下に示すパラメータを求める必要がある。

- |                  |   |
|------------------|---|
| ① 評価の対象          | … 「評価地域」及び「起震断層」の設定                       |
| ② テクトニックセッティング   | … 地質構造とテクトニクス、地殻変動、地震活動の現況、過去の主な地震活動と被害地震 |
| ③ 活断層で発生する地震     | … 想定される地震の規模、将来の活動の可能性                    |
| ④ 「評価地域」における長期評価 | … 「起震断層」で発生する地震、「短い活断層」で発生する地震            |

#### (2) 「断層帯」のシナリオ評価

複数の「単位区間」からなる「断層帯」における地震の長期的な発生場所、規模、時期など、将来の活動予測を行うために、以下に示すパラメータを求める必要がある。

- |            |                         |
|------------|-------------------------|
| ① 評価の対象    | … 「起震断層」及び「単位区間」の設定     |
| ② 地震の発生場所  | … 「活動範囲」の設定             |
| ③ 地震の規模    | … 長さ、1回のずれの量            |
| ④ 地震発生の可能性 | … 「活動範囲」の過去の活動時期、平均活動間隔 |

#### (3) 「単位区間」の評価

「単位区間」における地震の長期的な発生場所、規模、時期など、将来の活動予測を行うために、以下に示すパラメータを求める必要がある。

- |             |                         |
|-------------|-------------------------|
| ① 評価の対象     | … 「単位区間」の設定             |
| ② 地震の発生場所   | … 「単位区間」の位置・形態          |
| ③ 地震（ずれ）の特徴 | … 断層面の形態、ずれの向きと種類       |
| ④ 地震の規模     | … 長さ、1回のずれの量            |
| ⑤ 地震の発生時期   | … 平均変位速度、過去の活動時期、平均活動間隔 |

図3-5に新しい長期評価の流れを示す。

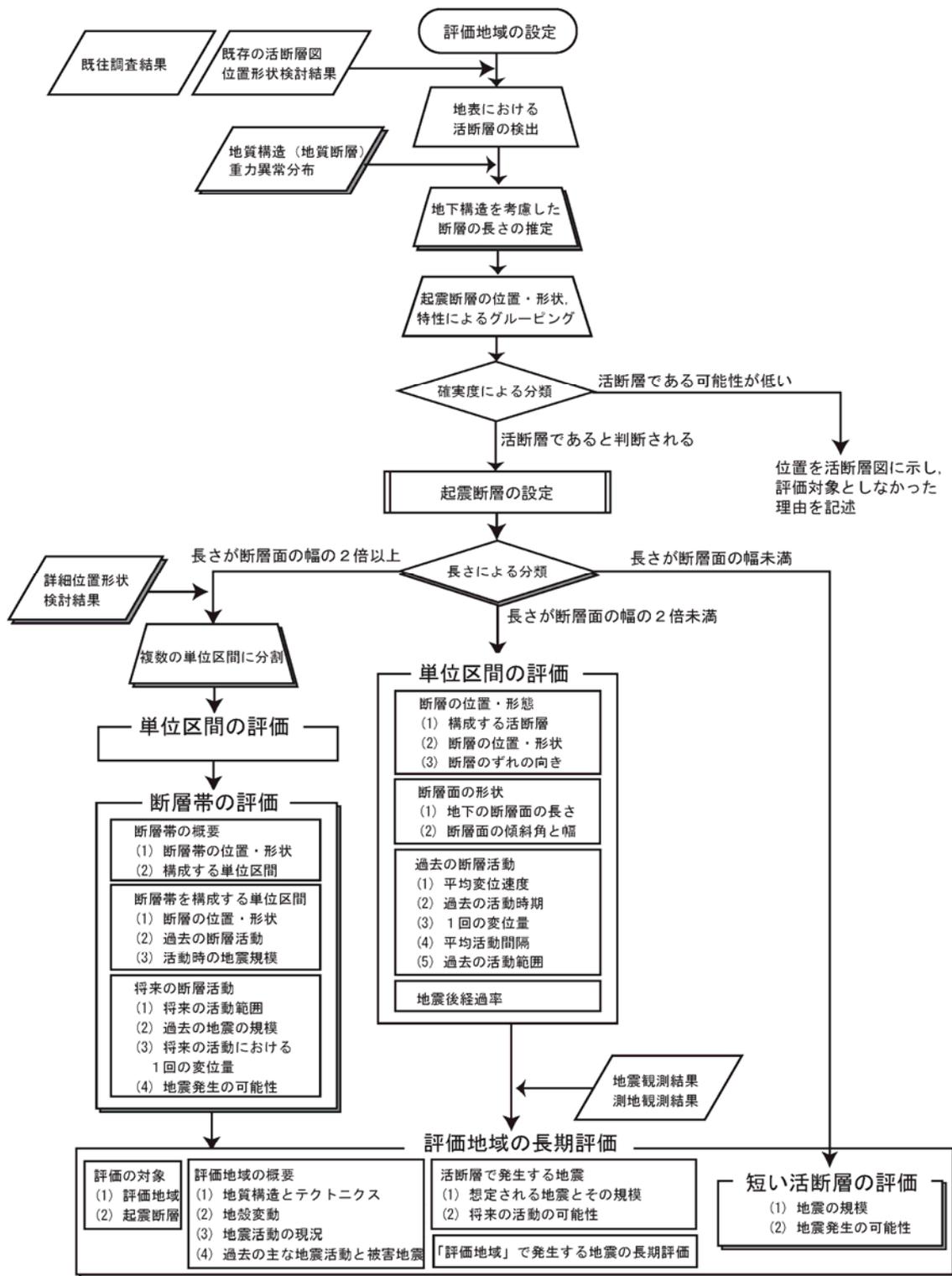


図3-5 評価地域における活断層から発生する地震の長期評価の流れ

### 3.2 「評価地域」における活断層の長期評価

本項では、「起震断層」および「単位区間」の評価に基づき、「評価地域」内（沿岸海域を含む）に分布する活断層で発生する地震の評価方法について記述する。

本項及び3.3、3.4は、基本的に以下に示す3項目で構成される。

- (ア) [方針]では、各手順における評価の方針を記述する。
- (イ) [説明]では、基本となる評価の手法やルールについて記述する。
- (ウ) (解説)では、[説明]で記述した内容の根拠となる考え方やその出典及び具体的事例などについて記述する。

#### 3.2.1 評価対象の設定

##### (1) 評価地域

###### [方針]

長期評価を行う「評価地域」を設定し、その範囲内（沿岸海域を含む）に分布する断層のうち評価対象とするものを選定する。また、評価対象とする「起震断層」を設定する。

###### [説明]

###### ○ 「評価地域」の設定

- ① 卓越する活断層の種類、地形地質による地域区分、地震活動とその発震機構の特徴、測地観測結果、あるいは断層破壊が連動する可能性がある最大範囲などの情報に基づき、活断層で発生する地震の長期評価を行う「評価地域」の範囲を設定する。

###### (解説)

- ・「活断層の種類」とは、断層面上のずれの向きに基づく「逆断層」、「正断層」及び「横ずれ断層」といった区分を指す。
- ・「地形地質による地域区分」とは、卓越する山地の高さやそれを構成する地質などのほか、大規模な構造線によって区切られた地域等を指す。
- ・「地震活動とその発震機構の特徴」に関しては、微小地震が発生する頻度やその分布に基づく地震発生層の深さ、あるいはやや大きな地震の発震機構から推定される主応力の向き等に基づいた地域区分を指す。
- ・「測地観測結果」に関しては、GPS観測結果等に基づいて明らかにされる地殻変動様式が共通な地域による区分を指す。
- ・「断層破壊が連動する可能性がある最大範囲」については、後述する「活動範囲」として認められる最大の範囲を含むように評価地域を設定することを意味しており、特に長大な活断層についてこの条件が適用されることを想定している。

## (2) 起震断層

### [方針]

長期評価を行う「評価地域」の範囲内（沿岸海域を含む）に分布する断層のうち、評価対象とするものを選定し、「起震断層」を設定する。

### [説明]

#### ○ 評価対象とする断層の設定

- ① 評価対象は、「評価地域」内の陸域及び沿岸海域に分布する全ての活断層、もしくは活断層の可能性のある断層とする。
- ② 活断層であることの確実度が低く、対応する地質構造も認められない「評価の対象としない断層」については、詳細な評価を行わないこととする。
- ③ 従来の「基盤的調査観測の対象活断層」については、これまでに公表された長期評価と、本手法による評価の違いについて個別に記載するとともに、異なる評価結果となった場合はその理由を記載する。

### (解説)

- ・「評価地域」に分布する全ての活断層を、地形及び主要都市の位置が示されている縮尺 20 万～50 万分の 1 程度の地図に示す。
- ・評価対象断層の設定においては、「3. 1. 1. 活断層の評価の単位」の記述を参照し、検討を行う。
- ・①について、活断層の分布に関する情報は、従来実施された活断層の長期評価において対象とされたものに加え、各種活断層図や文献等に示されているものを網羅的にとりあげる。
- ・②について、重要構造物の耐震安全性確認等を行う際には、長期評価の対象とならなかった活断層についても考慮すべきであることを付記する。

### [説明]

#### ○ 起震断層の設定

- ① 評価対象とした断層について、地表の位置・形状に基づき「起震断層」にグループ分けする。
- ② 「起震断層」の設定ならびにその長さの判断にあたっては、十分精査された地表における位置・形状の情報を基本とし、必要に応じてずれの向きや地質構造、重力異常分布等の条件も考慮して総合的に判断する。
- ③ 「起震断層」に括った結果、当該地域の地震発生層の厚さに満たない「短い活断層」が生じた場合には、活褶曲や傾動、隆起・沈降、断層など地表の変形を面的に考慮し、さらに地質や重力のデータを用いて、地下における断層面のおおよその位置と長さを判断する。

## (解説)

- ・起震断層の設定においては、「3. 1. 1. 活断層の評価の単位」の記述を参照し、地下の断層の存在及びその長さについて検討を行う。
- ・①について、松田（1990）に示されている起震断層の定義のうち以下の3つを用いる。
  - 1) 5 km 以内に他の活断層のない孤立した長さ 10 km 以上の活断層
  - 2) 走向方向に 5 km 以内の分布間隔をもって、ほぼ一線にならぶほぼ同じ走向の複数の断層
  - 3) 5 km 以内の相互間隔をもって並走する幅 5 km 以内の断層群
- ・②及び③について、地質構造や重力異常分布等に基づき「起震断層」の地下の長さを判断した場合には、その説明を「単位区間」の評価の「断層面の形状」の項目に記述する。

## [説明]

### ○ 活褶曲等の取り扱い

- ① 活断層が地表で明瞭に認識されていない場合であっても、活褶曲などの変形が認められる場合には、地表地質に基づく地質構造や、その形成を説明できる適切な断層モデルを用いて地下の断層面の位置と形状を推定する。
- ② 地下の断層面の推定にあたっては、広域的な地殻変動、地形面や地層の分布高度からみた変形様式及び反射法地震探査断面等の資料を用いる。

## (解説)

- ・広域的な地殻変動の指標としては、同一時代に形成された段丘面の高度分布や類似した環境で形成された段丘面の比高の分布、あるいは同時間面を示す鍵層の分布データ等が挙げられる。ただし、それらの指標の形成時における構造が推定できることが必要である。
- ・河川による開析度の違いや潜入蛇行の存在等の地形発達のな特徴を広域変動の指標とすることも可能であるが、これらの特徴を定量的な評価に結びつける際には十分な説明をすることが必要となる。

## [説明]

### ○ 「評価の対象としない活断層」や「活断層ではないと評価された断層」の取り扱い

- ① 「評価の対象としない断層」については、詳細な評価を行わず、地域の活断層の分布図にその分布を掲載するのみとする。
- ② 「活断層ではないと評価された断層」については、地域の活断層の分布図にその分布を掲載するのみとし、必要に応じて評価地域の概要の中で活断層ではないと評価した理由などについて簡潔に説明することとする。

## (解説)

- ・「評価の対象としない断層」の認定においては、「3. 1. 1. 活断層の評価の単位」の記述を参照し、地下の断層の存在・長さについて検討を行う。

### 3. 2. 2 「評価地域」の概要

#### (1) 地質構造とテクトニクス

##### [方針]

「評価地域」の地質構造に関する概要をまとめるとともに、「評価地域」のテクトニクスの概要とその地域に分布する活断層の形成との関係に関して簡潔に示す。

##### [説明]

###### ○ 地質構造

- ① 「評価地域」における断層形成にかかる地質構造発達史ならびに地形地質と断層の分布状況との関係を概略的に記述する。

##### (解説)

- ・ 地形地質と断層の分布状況の関係については、大地形と活断層との位置関係、大局的な地質や構造線の分布などを記載する。

##### [説明]

###### ○ テクトニクス

- ① 「評価地域」の第四紀におけるテクトニクスや応力配置の特徴を記述する。

##### (解説)

- ・ 「評価地域」がテクトニックプレートの境界部と近接するときには、プレート境界との位置関係について記述する。
- ・ 第四紀におけるテクトニクスについては、プレート運動との関係からみた「評価地域」の構造的特徴や断層の特徴から推定される現在の応力場の状況などを記載する。
- ・ ①に関連して、「評価地域」内に活火山が存在するときには、その特徴と活断層との位置関係などを記述する。

## (2) 地殻変動

### [方針]

「評価地域」の地殻変動に関する概要を簡潔に示す。

### [説明]

#### ○ 地殻変動

- ① 当該「評価地域」を含む広域な地域の地殻変動について、過去約 10 年間の GPS 観測結果に基づき、その様式と速度に関する特徴を示す。
- ② 当該「評価地域」について、過去約 100 年間及び最近約 10 年間の辺長の伸びと縮みについて記述する。
- ③ 最近「評価地域内」で発生した地震に関する測地測量結果が存在する場合には、併せて記述する。

### (解説)

- ・①の「広域な地域」については、例えば九州北部を評価地域とした場合には、九州全域の地殻変動様式を示すことを想定している。
- ・②のうち、約 100 年間の伸びと縮みは、明治時代の測地測量結果と最近の結果との差から求めたものである。縮み及び伸びの方向を 16 方位で表記する。また、伸縮の方向が断層帯のずれの向きと整合的か否かを記述する。
- ・②のうち、最近約 10 年間の伸びと縮みは基本的に GPS 観測結果に基づき、必要に応じて縮み及び伸びの方向を 16 方位で表記する。また、過去約 100 年の測地測量結果と調和的であるかどうかについても記述する。
- ・③について、当該「評価地域」で最近発生した地震について測地測量結果がある場合に、断層をはさんだずれの量などの調査結果を記述する。
- ・③のうち最近発生した地震について、SAR 干渉解析等により面的な隆起・沈降量が求められている場合は、その結果を記す。

### (3) 地震活動の現況

#### [方針]

「評価地域」で観測されている現在の地震発生状況の概要を示す。

#### [説明]

##### ○ 地震発生の現状

- ① 地震観測結果に基づき「評価地域」における地震活動の三次元的な分布及び時間的な変化を図示するとともに、その特徴を記述する。
- ② 最近の地震発生状況に基づき、「評価地域」における地震規模と発生頻度との関係を算出する。

#### (解説)

- ・ ①について、地震発生状況は、原則として最近約 10 年間の地震観測結果に基づいて評価を行う。
- ・ ①について、当該「評価地域」に分布する断層帯と地震活動の関連性の有無が判断できる場合には、その判断結果と根拠を記述する。
- ・ ②について、ある一定の時間内において特定の地域で発生した地震の規模と発生頻度の関係を表した式 (Gutenberg-Richter 式。以下では、「G-R 式」と呼ぶ) を求める。その際「評価地域」において最近発生した大地震の影響が含まれている場合には、その影響を取り除くなどの配慮を行うこと。

#### (4) 過去の主な地震活動と被害地震

##### [方針]

過去に発生した主な地震と被害地震に関する情報をまとめて簡潔に示す。

##### [説明]

###### ○ 過去の主な地震活動

- ① 「評価地域」で過去に発生した特徴的な地震活動に関する記録がある場合には、その震源分布を図示するとともに、発生時期や活動期間、最大の地震の規模などについて記述する。

##### (解説)

- ・ ①について、1923年8月以降に発生した地震については、気象庁の震源カタログに基づき、発生時期、規模、震源の深さ、地震の名称等を記載する。
- ・ ①について、当該「評価地域」に分布する活断層と地震活動の関連性の有無が判断できる場合には、その判断結果と根拠を記述する。

##### [説明]

###### ○ 被害地震

- ① 「評価地域」で過去に発生した被害地震が知られている場合には、その発生時期、震央位置、地震の規模を図示するとともに、被害状況、活断層との位置関係、余震活動の状況などについて記述する。

##### (解説)

- ・ ①について、1923年8月以降に発生した被害地震については、気象庁の震源カタログに基づき、発生時期、規模、震源の深さ、地震の名称等を記載する。
- ・ ①について、1923年8月より前の被害地震については、各種資料に基づいて可能な範囲で情報を記載するとともに、資料の出典及び情報の信頼度についても記述する。
- ・ ①について、当該「評価地域」に分布する活断層と地震活動の関連性の有無が判断できる場合には、その判断結果と根拠を記述する。

### 3. 2. 3 活断層で発生する地震

#### (1) 想定される地震とその規模

##### [方針]

全ての「起震断層」について、そこから将来発生する地震の規模を評価する。一つの「単位区間」で構成される「起震断層」については「単位区間」の評価結果に、複数の「単位区間」を含む「起震断層」については「断層帯」のシナリオ評価結果にそれぞれ基づき、地震の規模を推定する。なお、「単位区間」において発生する、地表に明瞭な活動の痕跡を残さず、将来トレンチ調査を行っても存在を見出すことが困難な地震(以下、「地表の証拠からは活動の痕跡を認めにくい地震」と呼ぶ)についても考慮する。

##### [説明]

- 一つの「単位区間」からなる「起震断層」で発生する地震
  - ① 「単位区間」の評価結果に基づき、地表で確認できる活断層の形状から推定される地震の規模と、地下の断層形状から推定される地震の規模を記述する。
  - ② 地表で確認できる活断層の形状から推定される地震の規模と、地下の断層の形状から推定される地震の規模が異なる場合には、それぞれのケースに従った地震が発生すると思われる重み付けを付記する。

##### (解説)

- ・①について、地表で確認できる活断層の形状から推定される地震の規模は、地表で確認できる活断層の長さもしくは1回のずれの量により推定する。
- ・①について、地下の断層の形状から推定される地震の規模は、地表で確認される活断層の端部から延長して連続する地質断層の存在や重力異常分布等から推定される「単位区間」の長さに基づいて推定される。
- ・②について、ケースの重み付けの評価は、「3. 3. 3. (5)」で示した方法に準拠して行う。

##### [説明]

- 「断層帯」で発生する地震
  - ① 複数の「単位区間」が含まれる「起震断層(断層帯)」については、「活動範囲」ごとに想定される地震の規模を記述する。

##### (解説)

- ・①について、ある「活動範囲」において、複数の地震発生ケースが想定され、想定される地震の規模に幅がある場合は、ケースごとに地震の規模を記述する。

## [説明]

### ○ 複数の「起震断層」が同時に活動して発生する地震

- ① 複数の「起震断層」が同時に活動して発生する地震が想定される場合には、同時に活動すると想定される範囲およびその際に想定される地震の規模を記述する。

## (解説)

- ・①について、歴史史料等で複数の「起震断層」が同時に活動した地震の発生が知られている場合や、地下構造探査などにより、地下で単一の震源断層に収れんしていることが判明している場合が相当する。

## [説明]

### ○ 地表の証拠からは活動の痕跡を認めにくい地震の規模

- ① 1つの「単位区間」を「活動範囲」とする場合、地表地質調査では活動の痕跡を認めにくい地震が発生することを考慮する。そのとき、最大で当該「単位区間」で地下の断層の長さから想定される地震と同一規模、最小で M6.8 の地震が発生する可能性があるとして評価する。

## (解説)

- ・「六甲・淡路断層帯の長期評価」（地震調査研究推進本部地震調査委員会，2005a）では、兵庫県南部地震を断層帯主部淡路島西岸区間の固有規模の活動と評価したが、神戸側（断層帯主部六甲山地形南縁－淡路島東岸区間）では顕著な地表地震断層が認められないことや地震波から推定される規模などから、断層全体が活動する固有規模よりひとまわり小さい活動であると評価している。また、今後の課題として、神戸側で認められた活動のような「地表に明瞭な痕跡を残さなかった地震」を想定し、評価の視野に入れるべきことが指摘されている。また、過去に発生した被害地震のなかには明瞭な地表地震断層を伴わなかった地震もいくつか知られている。ここでは、これらの地震のように将来トレンチ調査を行っても存在を見出すことが困難な地震を「地表の証拠からは活動の痕跡を認めにくい地震」と呼び、今後の評価に取り入れようとするものである。
- ・従来の活断層の評価手法において懸念されていた規模がやや小さい地震に対する問題の一部は、新手法で導入する「単位区間」の概念によって解消されるものと考えられるが、それでもなお「単位区間」で想定した規模を下回る地震が高い発生頻度で生じる可能性があるため、「地表の証拠からは活動の痕跡を認めにくい地震」が発生することを想定し、その規模とその発生確率を算出することとする。
- ・①について、「3. 1. 1 活断層評価の単位」で述べたように、本報告書では、被害を生じる地震を評価するという観点から、M6.8 以上の地震について評価を実施することとしており、M6.8 未満の地震が発生する可能性は否定されていないことに留意が必要である。
- ・①について、地下の断層の長さに複数のシナリオが存在する場合、最も重みが大きなシナリオの地震規模を用いることとする。
- ・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については、「3. 2. 3(2) 将来の活動の可能性」にその考え方を示す。

## [説明]

### ○ 「短い活断層」で発生する地震

- ① 「評価地域」内に分布する活断層のうち、「短い活断層」で発生する地震の規模を評価する。

## (解説)

- ・①について、「短い活断層」で発生する地震の規模については、「3. 4. 5 活動時の地震の規模」にその考え方を示す。
- ・「短い活断層」のうち、地下の断層の長さが基準に満たないと判断されたものについては、断層ごとに評価文を作成せず、地域評価の中で、断層の名称・長さ・活動度等の特性を一覧表としてまとめて記載することとする。

## (2) 将来の活動の可能性

### [方針]

「単位区間」の評価及び「断層帯」のシナリオ評価でとりまとめた平均活動間隔と最新活動時期及び各シナリオ・ケースに対する重み付けに基づき、「活動範囲」ごとに地震後経過率と将来の地震発生長期確率を算出して「起震断層」ごとに一覧表にまとめる。

### [説明]

#### ○ 「起震断層」で発生する地震の長期確率の計算

- ① 「地震調査研究推進本部地震調査委員会（2001）」に基づき、今後30年、50年、100年、300年間に地震が発生する長期確率（％）を、それぞれの「起震断層」で発生する地震ごとに計算する。
- ② 最新活動時期が判明しており、地震後経過率が2程度におさまる場合にはBPT分布モデルを適用して長期確率を計算する。
- ③ 最新活動時期が判明していない場合は、平均活動間隔を基にポアソン過程により確率を計算する。また、最新活動時期が判明しているものの地震後経過率が2程度に収まらなかったものについてはポアソン過程により確率を計算することとし、参考値としてBPT分布モデルを適用した場合の確率の最大値を記述する。
- ④ BPT分布モデル、もしくはポアソン過程を用いて求めた30年確率の最大値に基づいて地震発生確率を以下の3つに区分して相対的に評価する。  
3%以上…高い、3%～0.1%…やや高い、0.1%未満…表記なし
- ⑤ 確率の算出に用いた平均活動間隔と最新活動時期の信頼度に基づいて、地震発生確率の信頼度を評価する（表3-1）。

### (解説)

・「断層帯」において、複数の地震発生シナリオが想定されている場合は、シナリオごとに平均活動間隔などから算出される地震発生確率を記述するとともに、そのシナリオの重み（生起確率）も記述する。

・「単位区間」において、断層の長さなどについて複数のケースが想定されている場合は、ケースごとに平均活動間隔などから算出される地震発生確率を記述するとともに、そのケースの重み（生起確率）も記述する。

・③について、活動度が不明な場合、断層の活動度をB-C級（平均変位速度が0.1m/千年）とみなして評価する。

・③について、活動度が不明な活断層の活動度は、従来C級未満と設定されていた（地震調査研究推進本部地震調査委員会、2005b）。しかし、断層運動による平均的なずれの速度が平均的な浸食速度を下回る場合、断層変位地形が確認出来ないと想定される。日本列島における平均的な浸食速度は、平野で0.1m/千年程度とされている（例えば、藤原ほか、1999）ことから、B-C級と想定することとした。

・⑤について、地震発生確率の信頼度は、平均活動間隔と最新活動時期の信頼度のうち、低い側の信頼度を用いることとする。

ランク	分類条件の詳細
a	発生確率を求める際に用いる平均活動間隔及び最新活動時期の信頼度がいずれも比較的高く（◎または○）、これらにより求められた発生確率などの値は信頼性が高い。
b	平均活動間隔及び最新活動時期のうち、いずれか一方の信頼度が低く（△）、これらにより求められた発生確率などの値は信頼性が中程度。
c	平均活動間隔及び最新活動時期の信頼度がいずれも低く（△）、これらにより求められた発生確率などの値は信頼性がやや低い。
d	平均活動間隔及び最新活動時期のいずれか一方または両方の信頼度が非常に低く（▲）、発生確率などの値は信頼性が低い。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、データの不足により最新活動時期が十分特定できていないために、現在の確率値を求めることができず、単に長期間の平均値を確率値としている。

表3-1 地震発生確率の評価の信頼度について

**[説明]**

○ 地表の証拠からは活動の痕跡を認めにくい地震の長期確率の計算

① 地表地質調査では活動の痕跡を認めにくい地震は、対象となる単位区間で得られている平均活動間隔の2倍の間隔で発生しているとみなし、ポアソン過程により地震発生確率を求めることとする。

**(解説)**

- ・①で示されている「発生間隔」算出の根拠は、19世紀以降に主要断層帯で発生したM6.8以上の地震のうち、明瞭な地表地震断層を伴った地震が8、伴わなかった地震が4であった（表3-2）という経験的な発生比率に基づく。ただし、断層が活動した際に地表地震断層が現れるかどうかについて、本来は地域性や活断層の活動特性との関連性が高いことが想定されるため、将来は、今後の調査研究の進展状況を見て、評価される活断層ごとにこの値は検討されるべきであると考えられる。
- ・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は、最新の活動時期や地震の規模にも影響を受けるため、これらの評価を考慮して最終的な確率を評価する。
- ・「地表の証拠からは活動の痕跡を認めにくい地震」は、断層内のどこでも発生する可能性があると考えられる。
- ・規模の評価に幅がある場合、各規模の地震の相対発生頻度は、G-R式に従うものとして算出する。
- ・地震の発生確率および規模について、複数の可能性が想定される場合、確率論的地震動予測地図などで用いるシナリオごとの地震の「発生確率値」は、シナリオの重みと地震確率を掛け合わせた値とする。

表3-2 主な内陸地震(M6.8以上)による地表地震断層の出現状況

	地表地震断層が現れた地震	地表地震断層が不明瞭な地震
主要活断層帯	1847年善光寺(M7.4) 1858年飛越(M7.0-7.1) 1891年濃尾(M8.0) 1896年陸羽(M7.2) 1927年北丹後(M7.3) 1930年北伊豆(M7.3) 1995年兵庫県南部(M7.3) (注1) 2004年新潟県中越(M6.8) (注2)	1854年伊賀上野(M7.25) (注4) 1894年庄内(M7.0) (注5) 1931年西埼玉(M6.9) 1948年福井(M7.1)
短い活断層	1943年鳥取(M7.2) (注3) 1945年三河(M6.8) 1974年伊豆半島沖(M6.9)	
活断層なし (予め震源を特定しにくい地震)		1900年宮城県北部(M7.0) 1909年姉川(M6.8) 1914年鹿児島県中部(M7.1) 1914年秋田県仙北(M7.1) 1925年北但馬(M6.8) 1939年男鹿(M6.8) 1961年北美濃(M7.0) 1984年長野県西部(M6.8) 2000年鳥取県西部(M7.3) 2008年岩手・宮城内陸(M7.2)
沿岸海域の活断層		1802年佐渡小木(M6.5-7.0) 1804年象潟(M7.0) 1871年浜田(M6.9-7.3) 1922年千々石湾(M6.9) 1963年越前岬(M6.9) 1978年伊豆大島近海(M7.0) 2005年福岡県西方沖(M7.0) 2007年能登半島(M6.9) 2007年新潟県中越沖(M6.8)

(注1) 六甲・淡路島断層帯の長期評価(地震調査委員会、2005)では、「淡路島西岸区間では断層活動が地表まで達し明瞭な地表地震断層が出現したほか、六甲山地南縁においては余震活動や地震波形の観測・解析等から地下において断層活動が起こったことが明らかになっている。」、としている。

(注2) 六日町断層帯の長期評価(地震調査委員会、2009)では、ケース2では中越地震を本断層帯の最新活動と評価しているが、ケース1では、「本トレンチにおける中越地震の活動に伴う変位量はそれ以前の活動の変位量に比べ有意に小さいことから、この活動は本断層帯北部の最新活動ではないと判断した。」、としている。

(注3) 金田・岡田(2002)は、地表地震断層の長さは11kmと推定しているが、中田ほか(2004)は、吉岡断層西端から約8km離れた鳥取市の東方に長さ約6kmの活断層が存在し、これらの活断層が一括して活動したと考えられる、としている。

(注4) 木津川断層帯の長期評価(地震調査委員会、2004)では、「横田ほか(1976)、萩原(1982)は、現地調査等から1854年(安政元年)の伊賀上野地震が本断層帯の活動による地震である可能性を言及した。ただし、荻谷ほか(1999)は横田ほか(1976)が指摘した地震断層は地すべりによる滑落崖の疑いがあると指摘している。」、としている。

(注5) 庄内平野東縁断層帯の長期評価(地震調査委員会、2009)では、「これまでのところ、庄内地震時の変位を直接示す証拠は認められておらず、断層は地表までは到達しなかったと推定されている(鈴木ほか、1994; 太田ほか、2000)。」、としている。

## [説明]

### ○ 「断層帯」で発生する地震の長期確率

- ① 複数の「単位区間」を含む「活動範囲」で発生する地震の発生確率の計算には、想定される地震の組合せに基づきロジックツリーを作成し、専門家の意見に基づきそれぞれのシナリオに沿った地震が発生する可能性を重みという形で評価した上で確率論的な地震発生評価を行う。

## (解説)

- ・ある「単位区間」が次に活動するときに隣の「単位区間」と連動する可能性は、両者の間の構造的な特性、隣の「単位区間」の応力蓄積度などのパラメータに基づく関係式により推定することが可能であると思われる。しかし、各パラメータに関する定量的な検討がまだ行われていないため、現状では専門家の意見に基づきそれぞれのシナリオに沿った地震が発生する相対的な可能性を判断して重み付けを行なうこととした。

### 3.2.4 「評価地域」における長期評価

#### (方針)

「評価地域」に分布する全ての「起震断層」で発生する地震の長期確率に基づき、「評価地域」で将来一定規模以上の地震が発生する長期確率を算出する。

#### [説明]

##### ○ 「評価地域」で発生する地震の長期確率の算出

- ① 「起震断層」における長期評価結果に基づき、「評価地域」内において 30 年、50 年、100 年及び 300 年以内に一定規模以上の地震が発生する確率を算出する。
- ② 「評価地域」における長期確率の算出については、長期評価を行った「活動範囲」のなかで評価基準とする規模の地震が発生する可能性があるものを対象とする。

#### (解説)

- ・①について、ある「評価地域」において、想定される地震が全て独立に発生すると考えた場合、その中に想定される「起震断層」によって  $t$  年間に少なくとも 1 回マグニチュードが  $y$  を超える地震が発生する確率  $P(Y>y;t)$  は次式によって算出される。

$$P(Y>y;t) = 1 - \prod \{1 - P_k(Y>y;t)\} \dots\dots\dots (3-2)$$

ここに、 $P_k(Y>y;t)$  は  $k$  番目の「活動範囲」で発生する地震によって  $t$  年間にマグニチュードが  $y$  を超える地震が少なくとも 1 回発生する確率である。

- ・①について、ポアソン過程に基づき計算された確率と、BPT 分布に基づき計算された確率を合算している場合は、異なる方法で計算された確率を合算していることを記述する。
- ・②について、評価する地震の規模に対して、将来発生することが想定される最大の地震の規模がそれに満たない「起震断層」は、確率算出のデータに含めない。
- ・②について、評価基準とする地震の規模は、マグニチュード 7.0 を基準とし、地域の特性に応じて適宜設定するものとする。

### 3.2.5 今後に向けて

#### [方針]

「評価地域」の長期評価の精度を向上させるために今後必要な事項を記述する。

#### [説明]

##### ○ 主な記述内容

- ① 「評価地域」の長期評価の精度を向上させるために必要な事項を記述する。
- ② 一定以上の評価ができた場合でも、さらに今後の課題を記述する必要があると判断された場合には、その旨を記述する。
- ③ 評価文の主文には、調査手法などの具体的なことは記述しない（具体的な調査手法などを記述する必要がある場合には、説明文に記述する）。
- ④ 現在の技術・知見などに基づいて補完調査を行なっても必ずしも評価精度の向上が見込めない場合には、そのことを記述する。

#### (解説)

- ・ ①に示す評価精度の向上については、個々の断層パラメータの信頼度の向上と評価値における幅を狭くすることに役立つと思われる事項を記述する
- ・ ④について、効果的な活断層調査計画の立案に役立てるため、調査観測の難易等についてある程度の見通しが可能な場合には、そのことを記述する。

### 3.3 「断層帯」のシナリオ評価

「起震断層」が複数の「単位区間」から構成される場合は、「断層帯」のシナリオ評価を実施する。

#### 3.3.1 「断層帯」の概要

##### (1) 「断層帯」の位置・形状

###### [方針]

「断層帯」の位置・形状について、地表における位置・形状と地下における断層面の位置・形状について分けて記述する。

###### [説明]

###### ○ 「断層帯」の位置・形状

- ① 「断層帯」の端点の位置を、位置図に示す。
- ② 端点及び屈曲点の測地座標（緯度・経度）を 0.1 分単位（十分特定できない場合は 1 分単位）で示す。座標は世界測地系に則り、主文の表に記載する。
- ③ 「断層帯」の形状が屈曲している場合には、その前後で分割して、それぞれの長さとし、一般走向を示す。長さは 1 km 単位、走向は 1° 単位（十分特定できない場合は 5° 単位）とする。
- ④ 「単位区間」の間に間隙がある場合には、その隔離距離と連続性について記述する。

###### (解説)

- ・①について、概略位置図の縮尺は 10 万分の 1 ないしは 20 万分の 1 程度とし、平野・丘陵等の大局的な地形との位置関係が確認できることが望ましい。
- ・①及び②について、端点の位置は「単位区間」の評価に従うものとする。
- ・②について、端点の位置が不確かさを伴うと評価した場合には、その根拠を記述して、今後の調査結果によっては端点の位置が大きく変わる可能性があることを記述する。

## (2) 構成する「単位区間」

### [方針]

「断層帯」を構成する「単位区間」を示すとともに、「単位区間」に分割した根拠を簡潔に示す。

### [説明]

#### ○ 構成する「単位区間」

- ① 「断層帯」を構成する「単位区間」を全て記載する。
- ② 「単位区間」は、北あるいは西から順に列挙する。
- ③ 「断層帯」を構成する「単位区間」の相互の位置関係を記述する。

### (解説)

- ・ 「単位区間」の設定については、「3. 1. 1 活断層評価の単位」で定義した起震断層・単位区間・活動範囲の概念と起震断層の分割の指標に従う。

### [説明]

#### ○ 「単位区間」に分割した根拠

- ① 「単位区間」の境界を認定した根拠を記述する。

### (解説)

- ・ ①について、どのような分割の指標に基づいて「単位区間」を分割したのか、認定の根拠およびその確からしさについて記述する。

### 3.3.2 「断層帯」を構成する活断層

#### (1) 断層の位置・形態

##### [方針]

「断層帯」を構成する「単位区間」の位置及び形態を簡潔に示す。

##### [説明]

###### ○ 「単位区間」の長さ

- ① 「単位区間」の評価結果に従い、「単位区間」の長さとその認定根拠を簡潔に記載する。
- ② 「単位区間」の評価において、長さについて複数のケースが想定されている場合には、それらの全ての長さとその認定根拠を示す。

##### (解説)

- ・ 「単位区間」の位置・形態として、単位区間を構成する活断層、分布する地名、長さ、走向等を記述する。
- ・ 「単位区間」の長さは1 km 単位、走向は1° 単位で記述する。

##### [説明]

###### ○ 「単位区間」の地下形状

- ① 「単位区間」の評価結果に従い、「単位区間」の断層面の傾斜と幅を簡潔に記載する。

##### (解説)

- ・ 断層面の傾斜は1° 単位（十分特定できない場合は5° 単位）、幅は1 km 単位（十分特定できない場合は5 km 単位）で記述する。

## (2) 過去の断層活動

### [方針]

「断層帯」を構成する「単位区間」の過去の断層活動として、平均変位速度、1回のずれの量、活動時期、平均活動間隔について簡潔に示す。

### [説明]

#### ○ 「単位区間」の平均変位速度

- ① 「単位区間」の評価結果に従い、「単位区間」の平均変位速度とその算出方法を簡潔に記載する。

### (解説)

- ・ ①について、平均変位速度の単位は「m/千年」とし、有効数字1桁として記述する。
- ・ ①について、平均変位速度を算出した変位の向きを付記する。

### [説明]

#### ○ 「単位区間」の1回のずれの量

- ① 「単位区間」の評価結果に従い、「単位区間」の1回のずれの量とその算出方法を簡潔に記載する。

### (解説)

- ・ ①について、ずれの量の単位は「m」とし、有効数字は小数点以下1桁（十分特定できない場合はm単位）として記述する。
- ・ ①について、ずれの量を算出した変位の向きを付記する。

### [説明]

#### ○ 「単位区間」の活動時期

- ① 「単位区間」の評価結果に従い、「単位区間」の過去の活動時期とそのデータが得られた地点名を簡潔に記載する。

### (解説)

- ・ ①について、活動時期の単位は「年前」とし、西暦2000年を基準として2千年前以前については四捨五入して百年単位に丸めた値で表記する。また、歴史地震との関係等から活動した年が明らかな場合には、その年号を示すことにする。

## [説明]

### ○ 「単位区間」の平均活動間隔

- ① 「単位区間」の評価結果に従い、「単位区間」の平均活動間隔とその算出方法を簡潔に記載する。

## (解説)

- ・ ①について、平均活動間隔の単位は「年」とし、百年以下については四捨五入して丸めた年数で記述する。

### (3) 活動時の地震の規模

#### [方針]

「単位区間」の評価結果に従い、その「単位区間」が活動した時に発生する地震の規模とその評価方法について簡潔に示す。

#### [説明]

○ 「単位区間」で発生する地震の規模

- ① 「単位区間」の評価結果に従い、「単位区間」が活動した時に発生する地震の規模とその評価方法を簡潔に記載する。

#### (解説)

- ・ ①について、地震の規模の単位は「マグニチュード」とし、小数点以下1桁まで記述する。
- ・ ①について、地震の規模を評価した方法を付記する。

### 3.3.3 将来の断層活動

#### (1) 将来の「活動範囲」

##### [方針]

「起震断層」内に存在する「単位区間」を組み合わせることで「活動範囲」を設定する。ここで設定した「活動範囲」を、将来において発生する地震の規模及び発生の可能性を評価する際の基準とする。

##### [説明]

###### ○ 「活動範囲」の設定

「起震断層」内に存在する「単位区間」を組み合わせることで「活動範囲」を設定する。複数の「単位区間」に分割されている「断層帯」については、次のそれぞれを「活動範囲」として設定する。

- (1) それぞれの「単位区間」
- (2) 隣接する複数の「単位区間」の組み合わせ（幾何学的に矛盾のない範囲で）
- (3) 「断層帯」全体

##### (解説)

- ・ 「活動範囲」の設定については、「3. 1. 1 活断層評価の単位」で定義した起震断層・単位区間・活動範囲の概念と起震断層の分割の指標に従う。
- ・ (2) について、例えば、一つの「断層帯」が A、B、C の「単位区間」に分割される場合には、A、B、C、AB、BC 及び ABC の活動を考える。
- ・ ここで設定した「活動範囲」を、将来において発生する地震の規模及び発生の可能性を評価する際の基準とする。

## (2) 将来の地震の規模

### [方針]

「3. 3. 2 活断層の位置・形態」、「3. 3. 3 断層面の形状」、「3. 3. 4 過去の断層活動」で取りまとめた事項を基に、全ての「活動範囲」についてそこから将来発生する地震のマグニチュードなどを推定し、「起震断層」ごとに表記する。地震の規模の推定にあたっては、「活動範囲」の長さに応じて、適切な評価方法を用いることとする。

### [説明]

#### ○ 「断層帯」で発生する地震の規模

- ① 「断層帯」の長さが断層幅のおおよそ 4 倍となるまでは、「活動範囲」全体の長さを基に、松田（1975）の M-L 式を用いて地震の規模を推定する。
- ② 互いに共役な断層が同時に活動するときには、一方は普通の破壊（固有規模の地震を発生）、他方は地表の証拠からは活動の痕跡を認めにくい地震が発生することを想定する。

### (解説)

- ・①について、複数の「単位区間」を組み合わせた「活動範囲」の長さが断層幅の 4 倍未満の場合には、スケーリング則の考え方にに基づき、全体の長さに基づいて地震の規模を算出する。
- ・②について、1927 年北丹後地震を例にとると、郷村断層において固有規模の地震に関連した断層活動が生じ、山田断層においてひとまわり小さい地震に関連した断層活動が生じたと考える。

## [説明]

### ○ 長大な「活動範囲」から発生する地震の規模

- ① 「活動範囲」の長さが断層幅の4倍を超える場合には、単一の長さが断層幅の4倍を超えない「地震規模想定区間」の組合せを設定し、それぞれから発生する地震の規模を個別に評価したうえで、それらの地震のモーメント量の和をもって当該「活動範囲」の地震の規模とする。
- ② 「地震規模想定区間」で発生する地震の規模は、「地震規模想定区間」の長さ、断層幅及び1回のずれの量に基づき算出する。
- ③ 複数の「地震規模想定区間」の組合せが想定される場合には、地震のモーメント量の和が最大となるケースを採用する。

## (解説)

- ・①について、一般に長さが100 kmを超える長大な活断層から発生する地震では、地震時における地表のずれの量が飽和することが知られている。しかし、長大な活断層から発生する地震の規模を適切に評価する方法は必ずしも確立されておらず、算出方法については今後も検討する必要があることに留意する。
- ・①について、長大な「起震断層」では複数の「活動範囲」が同時に活動して地震が発生するとみなし、発生する地震の規模を推定する。
- ・②について、地震のモーメント量とマグニチュードを変換する際には、武村（1990）に示されている以下の式を用いる。

$$\text{Log } M_0(\text{Nm}) = 1.17M + 10.72 \dots\dots\dots (3-1)$$

$M_0$  : 地震モーメント (Nm)、  
M : 地震規模 (マグニチュード)

- ・③について、想定される事例を以下に示す。

(例)

「30 km+40 km+20 km」の「単位区間」の組合せからなる「活動範囲」の場合

ケース1 : 70 km (M7.9) +20 km (M7.0)

ケース2 : 30 km (M7.3) +60 km (M7.8)

※90 kmで計算した場合にはM8.1



### (3) 将来の活動における1回の変位量

#### [方針]

「3.3.2(1) 断層の位置・形態」、「3.3.2(2) 過去の断層活動」で取りまとめた事項を基に、全ての「活動範囲」について将来に活動したときのずれの量を推定し、「起震断層」ごとに表記する。複数の「単位区間」を含む「活動範囲」で発生する将来の活動におけるずれの量を推定する際は、当該「活動範囲」全体の長さに応じて、適切な評価方法を用いる。また、地表におけるずれの量を推定する際には、当該地域の堆積層の厚さ等、地域的な特性を考慮する。

#### [説明]

##### ○複数の「単位区間」が連動した断層活動におけるずれの量の推定

- ① 複数の「単位区間」が連動した場合には、個々の「単位区間」が単独で活動したときよりも大きなずれ量が生じる可能性があることを示す。

#### (解説)

- ・①について、一般に長さが100 kmを超える長大な活断層から発生する地震では、地震時における地表のずれの量が飽和することが知られている。しかし、長大な活断層から発生する地震のずれの量を適切に評価する方法は必ずしも確立されておらず、算出方法については今後も検討する必要があることに留意する。
- ・①について、断層の長さが断層幅の4倍以上となる長大な活断層については、「3.3.3(3) 将来の地震の規模」の「○長大な活動範囲で発生する地震の規模」で示されている方法で地震の規模を算出する際に用いられる「地震規模想定区間」ごとに、ずれの量を推定する。

#### (4) 地震発生の可能性

##### [方針]

「単位区間」毎に評価された平均活動間隔と過去の活動時期を参考に、「活動範囲」の平均活動間隔および最新活動時期を推定する。

##### [説明]

###### ○ 平均活動間隔および最新活動時期の推定

- ① 複数の「単位区間」からなる複数の「活動範囲」については、「活動範囲」全体が活動したと見なせる活動時期の有無について検討する。
- ② ①のような活動が複数想定できる場合、「単位区間」の評価における平均活動間隔を直接的に求める方法に基づき「活動範囲」の平均活動間隔を算出する。
- ③ ①のような活動が想定できる場合、そのうちの最も新しい活動を「活動範囲」の最新活動時期とする。
- ④ ①のような活動が想定できない場合は、「活動範囲」の長さから算出される1回のずれの量と「活動範囲」を構成する「単位区間」の平均速度のうち、最大の値を用いて平均活動間隔を算出する。

##### (解説)

- ・ ①について、当該断層帯が過去ずっと「活動範囲」を1つのまとまりとした活動を繰り返していたと仮定し、活動時期を検討する。
- ・ ①について、活動時期の検討は、「活動範囲」ごとに行うこととし、ある「活動範囲」の活動時期と別の「活動範囲」の活動時期が重複してもよい。

#### (5) ロジックツリーの重みの評価

##### [方針]

「活動範囲」の組み合わせからなる「シナリオ」を設定して、ロジックツリーを構築し、それぞれのシナリオに従った活動が発生する可能性（シナリオの重み）を評価する。

##### [説明]

###### ○ ロジックツリーの作成

- ① 複数の「活動範囲」が想定される場合には、想定される地震の組合せに基づきロジックツリーを作成した上で、資料に基づきそれぞれのシナリオに従った活動が発生する可能性を検討し、専門家の意見に基づき重み付けを行なう。
- ② 考えられる可能性を全て含む暫定的なロジックツリーを構築する。
- ③ ロジックツリーで分岐を設定する項目は、活動範囲の区分、活動範囲の長さ、平均活動間隔、最新活動時期とする。
- ④ 各シナリオの重みは、各委員が決定した重みを平均した値を用いることにする。

## (解説)

- ・ある「単位区間」が次に活動するとき隣「単位区間」と連動する可能性は、両者の間の構造的な特性、隣の「単位区間」の応力蓄積度などのパラメータに基づく関係式により推定することが可能であると思われる。しかし、各パラメータに関する定量的な検討がまだ行われていないため、現状では専門家の意見に基づく重み付けを行うこととする。
- ・「ケース」と「シナリオ」について、地下の断層の長さが変わるなど相対的に単純な場合分けを「ケース」と呼び、「単位区間」の連動など、様々な条件を考慮することにより複雑に枝分かれするような場合分けを「シナリオ」と呼ぶこととする。
- ・④について、重みの評価にあたっては、最初に想定可能なシナリオを全て列挙した上で、暫定的なロジックツリーを作成する。その後、それぞれのシナリオに従った活動が発生する根拠となる資料を整理し、それぞれのシナリオに従った活動が発生する可能性について、委員による議論を行う。最後に、委員個人の考え方にに基づき各シナリオに従った活動が発生する相対的な可能性（重み）を委員ごとに判断する。
- ・④について、各シナリオの重みは、全シナリオの重みの合計が1となるように割り振ることとし、どのシナリオが発生する可能性が高いかという観点から、各シナリオの重みを決定する。
- ・④について、各シナリオの重みは、全委員がそのシナリオに与えた重みの算術平均により決定することとする。評価文にはどのような場で重みを決定したのか分かるように注記（例えば、「第〇回長期評価部会において決定された」、等）する。
- ・④について、主文には、小数点以下1桁に丸めた重み、説明には小数点以下2桁に丸めた重みを記載する。重みが0.05以下となったシナリオについては、主文に示さずに説明文の中で補足的に述べることとする。

### 3.3.4 今後に向けて

#### [方針]

「断層帯」のシナリオ評価の精度を向上させるために今後必要な事項を記述する。

#### [説明]

○ 主な記述内容

- ① 「断層帯」のシナリオ評価の精度を向上させるために必要な事項を記述する。
- ② 一定以上の評価ができた場合でも、さらに今後の課題を記述する必要があると判断された場合には、その旨を記述する。

#### (解説)

- ・ ①に示す評価精度の向上については、シナリオ評価をする上で不足していた断層パラメータの種類やロジックツリーによる重み付けで生じた問題点等を記述する

### 3.4 「単位区間」の評価

#### 3.4.1 活断層の概要

##### (1) テクトニクス上の位置づけ

###### [方針]

「単位区間」周辺における地形的な特徴、地質構造上の特徴、地殻変動の向きや速さ、地震の活動性およびプレート境界との位置関係などに関してその概要を簡潔に示す。

###### [説明]

###### ○ 主な記述内容

- ① 活断層が分布する位置について、周辺の山地、平野、主な河川などとの関係を記述する。
- ② 活断層周辺の地質構造について、地質の種類と年代及び地質構造から推定される変位の向きなどについて記述する。
- ③ 活断層を挟んだ両側で、水準点及び基準点の改測結果や GPS 観測結果に基づく地殻変動に有意な違いがみられる場合には、その向き及び速度について記述する。
- ④ 活断層に沿って活発な地震活動がみられる場合には、その分布の特徴を記述する。
- ⑤ 活断層とプレート境界との空間的な位置関係について記述する。

###### (解説)

- ・ 起震断層の評価においてテクトニクス上の位置づけが説明されている場合は、必要がある場合のみ記述をする。
- ・ ①について、山地と平野（盆地）との境界付近を断層が通過していたり、活断層に沿って河川が流れていたりする場合には、それぞれの地形名と活断層との位置関係を記述する。
- ・ ②から④までについては、顕著な特徴がある場合について記述する。
- ・ ⑤については、海溝軸からのおおよその距離や活断層分布域におけるプレート境界面の深さなどを記述する。

## (2) 主な調査研究

### [方針]

「単位区間」に関する既往の調査研究成果について、その概要を簡潔に示す。

### [説明]

#### ○ 主な記述内容

- ① 以下の項目に関連する文献を引用し、既往の調査研究成果を簡潔にまとめる。
  - ・断層の名称を定義した文献
  - ・活断層であることを最初に定義した文献
  - ・地表における分布形状、地下の断層形状に関する文献
  - ・平均的なずれの速度及び活動履歴に関する主な文献
  - ・歴史地震に関する主な文献
  - ・交付金調査結果など、総合的な活断層調査に関する主な文献

### (解説)

- ・「起震断層」の評価において主な調査研究が説明されている場合は、必要がある場合のみ記述をする。
- ・引用する文献は、公表済みの論文、著書及び報告書を基本とし、学会発表の予稿集や未公表資料については原則として参照しない。

### 3.4.2 断層の位置・形態

#### (1) 構成する断層

##### [説明]

##### ○ 構成する活断層

- ① 「単位区間」に含まれる既存の活断層の名称とその出典を全て記載する。
- ② 断層名は、北あるいは西から順に列挙する。
- ③ 「単位区間」の位置・形態は、地質・重力などの情報と重ね合わせるにより主要な資料の比較を行って、最も適切と判断したものを採用する。特に、資料によって断層位置が異なる場合は、資料ごとの見解を示すとともに、評価に用いた資料と採用した根拠を明記する。
- ④ 副次的な断層が存在する場合には、主断層との位置関係や、概略の長さを記述する。

##### (解説)

- ・ ③の検討に際しては、活断層などの変動地形、地質、重力異常分布などの情報を同一縮尺（20 万分 1 程度）で 1 枚～数枚に重ね合わせた分布図を作成する。検討に際しては、上記地理空間情報の信頼度を考慮する。特に断層線については長期評価としての位置・形態評価となることを十分考慮し、断層線を採用した合理的根拠と信頼度を明記する。

## (2) 断層の位置・形状

### [方針]

断層の位置・形状に関するパラメータとそれらを導き出した根拠について、地表における「単位区間」の位置・形状と地下における断層面の位置・形状について分けて記述する。

### [説明]

#### ○ 地表における「単位区間」の位置・形状

- ① 地表における断層線の端点の位置を、断層位置図に示す。
- ② 端点及び屈曲点の測地座標（緯度・経度）を 0.1 分単位（十分特定できない場合は 1 分単位）で示す。座標は世界測地系に則り、主文の表に記載する。
- ③ 断層の長さや走向（延びる方向）は、周辺の地形・地質や地下構造を考慮して決定する。「単位区間」の境界などで断層が屈曲している場合には、その前後で分割して、それぞれに示す。長さは 1 km 単位、走向は 1° 単位とする。
- ④ 地表における断層の延長方向が海域もしくは沖積平野の場合は、断層がさらに延びている可能性を検討することとし、地下や海域の長さや端点が推定可能な場合は地表と同様に記述する。
- ⑤ 断層線を地図に示す際には、変位地形の形態、変形帯の幅及び断層が通過することの信頼度等に応じた断層線の表現方法を用いる。

### (解説)

- ・①について、断層位置図の縮尺は 2 万 5 千分の 1 程度とし、地形及び主要な構造物との位置関係が確認できることが望ましい。
- ・②について、端点の位置が不確かさを伴うと評価した場合には、その根拠を記述して、今後の調査結果によっては端点の位置が大きく変わる可能性があることを記述する。
- ・⑤について、「変形帯の幅」とは、地表での変形が「たわみ」として現れている場合に、地形面の勾配が変化している区間を示す。



図3-7 変形帯の幅を示した断層線の表現方法の例  
都市圏活断層図「北上」(今泉ほか, 2002)

### (3) 断層面のずれの向き

#### [方針]

断層のずれの向きと種類及びその判断根拠について記述する。

#### [説明]

##### ○ 断層のずれの向きと種類

- ① 卓越するずれの向きと種類(正断層、逆断層、横ずれ断層の区分)、その判断根拠について記述する。
- ② 縦ずれ断層の場合には、相対的に隆起している側と、正断層、逆断層の種別を、横ずれ断層の場合には、相対的なずれの方向について記述する。併せて、ずれの副次的な成分の有無と種類、その割合等についても記載する。

#### (解説)

- ・①について、「単位区間」の一部で、「単位区間」を通じて卓越する成分と異なるずれの向きを示す部分がある場合は、その範囲と当該範囲で卓越する成分について記述する。

### 3.4.3 断層面の形状

#### [説明]

##### ○ 地下における断層面の位置・形状

- ① 地下における断層面の端点の位置、端点と端点を結んだ長さ及び断層面の上端と下端の深さを記載する。
- ② 断層のずれ、もしくは断層による撓（たわ）みが地表まで達している場合には、断層面の下端の深さは非常に浅いと判断する。
- ③ 断層活動に関連する褶曲など、断層線以外の変動地形が広域にみられる場合は、小規模な断層線が地表に存在したとしても主要な断層面の下端は地表に達していない可能性を検討する。この場合、下端の深さは地質構造や地下構造探査などの情報から判断する。
- ④ 断層面の傾斜については、傾斜角度、傾斜方向、これらを導いた根拠とその値が適用される深さについて記述する。
- ⑤ 断層面の傾斜角は $5^{\circ}$ 単位で記述する。これらを直接求める根拠が乏しい場合は、長期評価結果は「不明」とし、参考値として周辺の地質構造や地史などから最も適当と考えられる値を $15^{\circ}$ 単位で記述する。
- ⑥ 断層面の幅は、断層面の下端・下端の深さと傾斜から計算により求める。
- ⑦ 断層面の下端の深さは、地震観測結果から推定される地震発生層の下限の深さに基づいて1 km 刻み（十分特定できない場合には5 km 刻み）で表示する。
- ⑧ 傾斜が不明であることにより断層面の幅を求めることができない場合には、地震発生層の深さのみを主文の表に記載する。
- ⑨ 逆断層と横ずれ断層が近接する場合には、斜めずれ断層が地下で分岐し、断層上でのすべり成分が分配されている可能性があるため、これらの断層の周辺における測地観測結果や地震発生状況を参照し、すべり分配の可能性について検討を行う。
- ⑩ 地下の断層面の長さが延長する可能性がある場合は、その根拠を記述した上で、延長するケースの重みをロジックツリーで評価する。

#### (解説)

- ・⑨について、活断層評価手法等検討分科会では、花折断層帯・三方断層帯と琵琶湖西岸断層帯南部との関係について検討を行った。
- ・⑩について、地質構造から地下の断層の延長を推定する場合は、地表で活断層が存在する区間の地下構造を推定した上で、地質構造等から同様の地下構造が推定され、かつアクティブに活動していることが想定される区間における活断層の存在を推定する。この際、地表の長さが「短い活断層」について、地下の断層の長さの最大値が設定されていることに留意する。
- ・⑩について、ロジックツリーにおける重み評価は、「3.3.3.(5)」で示した方法に準拠して行う。
- ・⑩について、主文には、各ケースの重みを示さず、各ケースから推定される長さの最大値と最小値のみを示すこととする。説明文には、小数点以下2桁に丸めた重みを記載する。なお、重みが0.05以下となったケースについては、主文には示さずに説明文の中で補足的に述べることとする。

## [説明]

### ○ 副次的な断層が存在する場合

- ① 断層が並走する場合などで、副次的な断層の位置及び傾斜等の情報から、より深部の情報が得られた場合には、参考情報として記述する。
- ② 深部の情報等に基づき副次的な断層であることが明らかにされている断層については、断層位置図において主断層と異なる表現を用いる。

## (解説)

- ・①について、地表では並走する断層が地下では一つの断層となっていたり、褶曲構造に伴う断層であったりすることが、反射法地震探査断面等によって十分明らかにされている場合が想定される。
- ・②について、断層位置図における表現に関しては、断層線の幅や色を変えることが考えられる。

### 3.4.4 過去の断層活動

#### (1) 平均変位速度(平均的なずれの速度)

##### [方針]

平均的なずれの速度とその求め方（ずれを求める基準となる地形面や地層の設定、平均的なずれの速度の算出手法）について、「単位区間」ごとに記述する。平均的なずれの速度を求めることができない場合には、活動度について記述する。

##### [説明]

###### ○ ずれを求める基準となる地形面や地層の設定

- ① 断層線の両側に分布する段丘面などの数千～数10万年前までに形成された地形面、もしくは数10～100万年前程度の地層などをずれの基準とする。多くの断層活動によって、ずれの量が累積している場合には、1回のずれの量の数倍以上に相当するずれの量を持つ方、現在に近い基準の方が信頼度の高いものとして扱う。

##### [説明]

###### ○ 平均的なずれの速度の算出方法

- ① 「断層活動により累積したずれの量」を「ずれの基準に用いた地形の形成年代」で除して求める。
- ② 「断層の1回のずれの量」を「平均活動間隔」で除して求める。
- ③ 平均的なずれの速度を評価するだけの資料が得られなかった場合には、「新編日本の活断層」（活断層研究会編，1991）の活動度を記載する。もしくは、資料に基づいて活動度を判断する。
- ④ 1つの「単位区間」で複数の平均的なずれの速度が求められる場合には、それぞれの値の信頼度を確認した上で、「単位区間」全体を代表する値としては幅を持たせた値とするか、もしくは、根拠を明確にして特定の値を代表値とする。さらに、値の信頼度が高い場合は、断層の走向方向に投影した平均的なずれの速度の分布様式とそれぞれの値を記載する。
- ⑤ 横ずれが卓越する断層帯では、平均的なずれの速度に加えて、断層活動による代表的な河川の屈曲量を記述し、他の断層帯と活動性を比較する際の目安として用いる。
- ⑥ 地表の情報から地下の平均上下変位速度・変位量を見積もる場合は、地表における最大値を採用する（横ずれは別途検討する）。

[説明]

○ 複数の断層が並走する場合

- ① 並走する複数の断層線が存在する場合には、個々の活断層の平均的なずれの速度を足しあわせた値を、その地点における「単位区間」の平均的なずれの速度とする。ただし、変形が幅広く及んでいる場合には、その影響を加味する、副次的な断層の場合は考慮しないなど、断層帯周辺全体に着目して判断する。
- ② 複数の断層が雁行し、一部が重複して並走する場合、重複している一方で求められた平均的なずれの速度はもう一方と補完関係にある可能性を考慮する。

[説明]

○ 断層に沿った平均変位速度の分布

- ① 断層の各地点において得られている平均変位速度に関する情報を図にまとめ、平均変位速度の空間分布の傾向について記述する。

(解説)

- ・①について、平均変位速度を算出した際に用いた変位基準の年代と変位量については一覧表にしてまとめておく。
- ・変位量は断層面に沿った変位及び走向方向に沿った変位を含めた実変位量であることが望ましい。状況により、上下成分や水平成分しか計測できない場合には、そのことを明記する。

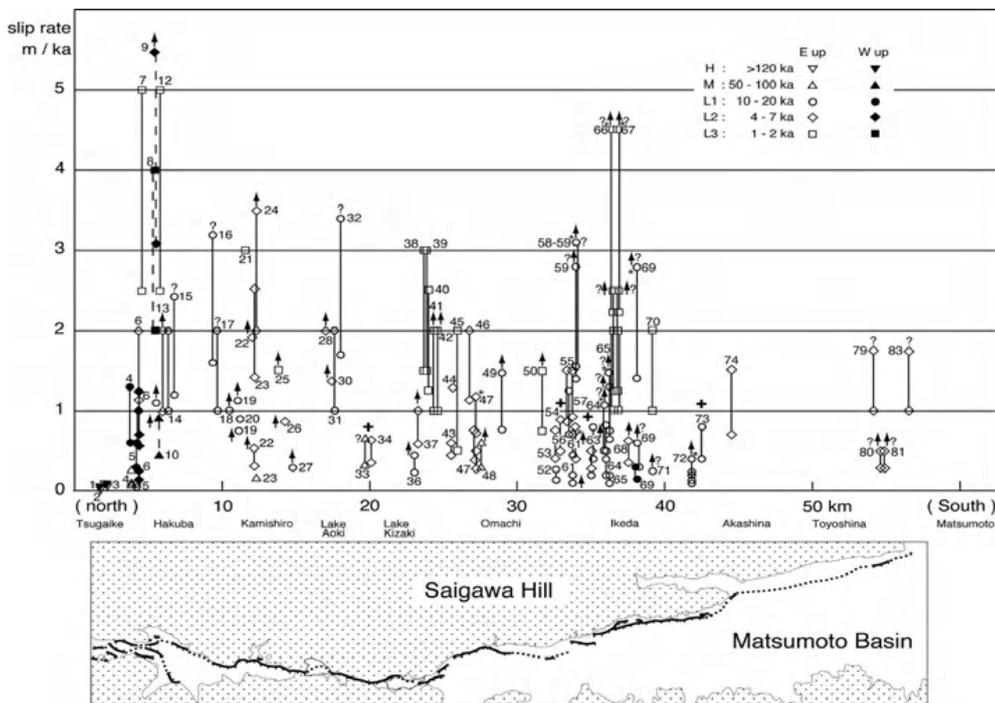


図3-8 糸魚川-静岡構造線断層帯における平均変位速度分布(澤ほか, 2006)

## (2) 過去の活動時期

### a) 地形・地質的に認められた過去の活動

#### [方針]

断層活動（地震発生）の認定に用いた地形学的・地質学的証拠と断層の活動時期について、その詳細を記す。調査地点や調査対象となった地形、地層についても概要を記述する。

#### [説明]

##### ○ 地形学的証拠に基づく断層活動の認定

- ① 一続きの地形面上に断層崖が認められる場合には、その地形面が形成された時期以降に少なくとも1回の断層活動があったと判断する。
- ② 異なる時代に形成された地形面に断層崖が認められ、時代の古い地形面の方でずれの量が有意に大きい場合には、两段丘面の形成時期の間に断層活動があった可能性について検討する。
- ③ 異なる時代に形成された複数の段丘が断層の両側に分布し、それらの分布高度に一定の高度差が認められる場合には、その段丘面が形成された時期以降に少なくとも1回の断層活動があったと判断する。
- ④ 撓曲（とうきょく）帯（たわみの領域）の幅が広く上下のずれの量が十分に大きな場合には、隆起した地形面が段丘化していることに基づいて断層活動を判断する。

#### (解説)

- ・②について、断層に沿ってずれの量が変わることがあるので、ずれの量の分布傾向に留意する必要がある。

#### [説明]

##### ○ 地質学的証拠に基づく断層活動の認定

- ① 地層の切断やずれの不連続の有無、断層低下側の崩壊に伴う堆積物（崖錐堆積物）の有無などに基づいて、過去の断層活動を認定する。
- ② 地層が緩やかに撓んでいる場合には、その付近に分布している撓んだ地形面の傾斜と比較して判断する。
- ③ 断層活動の証拠が認められた地層（以下、活動層準）では、1回のずれの量が過大にならない限り、各々の活動層準において最小回数断層活動を設定する。複数回の活動が想定可能な場合はその旨を併記する。
- ④ 断層活動の認定根拠から、場所ごとかつ活動ごとに断層活動の有無の信頼度を判断し、記述する。
- ⑤ 断層活動がなかった期間が判断できる場合には、その期間を記述する。

#### (解説)

- ・①について、ある地層面を境として、下位の地層の方が上位の地層よりずれの量が多い場合、その地層面が形成された時期に少なくとも1回の断層活動があったと判断する。ずれや変形が、ある地層の中で不連続になっている場合には、その地層が形成される間に断層活動があったと判断する。

- ・④について、トレンチ調査における断層活動の認定根拠を図のように考える。
- ・断層線が並走する場合には、ある断層線で断層活動が確認されても、それ以外の時期に活動がないということはいえない点に留意する必要がある。

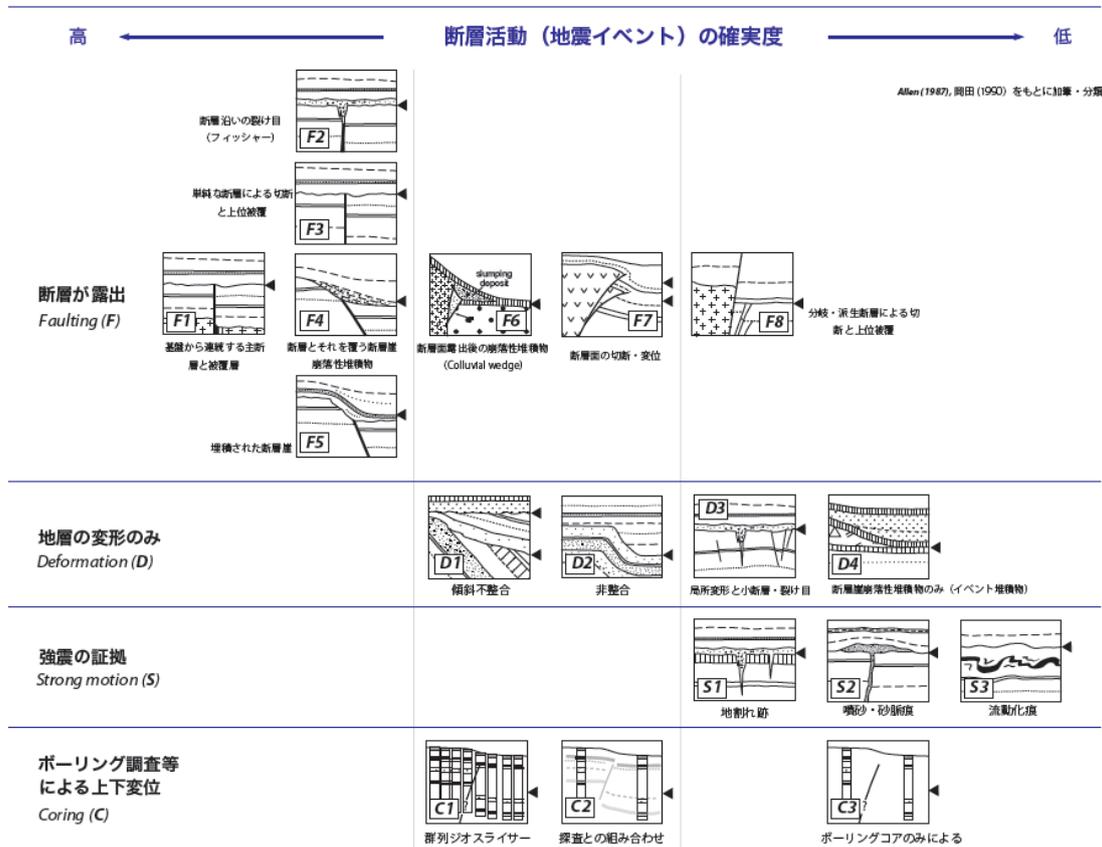


図3-9 地層の変形構造の種類の違いに基づく断層活動の確実度  
Allen(1986)、岡田(1990)をもとに加筆・分類して、イベント年代推定作業グループが作成

## [説明]

### ○ 断層の活動時期の推定

- ① 活動時期は、活動層準の直上と直下の地層の形成年代で挟まれる期間とする。
- ② 横ずれ断層において、段丘面を刻む段丘崖及び谷壁のずれが変形の指標となる場合には、開析された地形面の年代以降に活動が生じたと判断する。段丘崖を刻んだときの地形面もしくは谷底に活断層による変形が認められない場合には、その形成年代以降には断層活動がなかったと考える。
- ③ 地層形成の絶対年代については、放射性炭素 ( $^{14}\text{C}$ ) 年代のほか、降下した年代が推定されている火山灰等を利用する。
- ④ 活動層準の直上の地層では得られた年代のうち最も古い年代値、活動層準直下の地層では最も新しい年代値を採用し、その上限値と下限値の推定幅で活動時期を記述する。ただし、それらの地層が岩相などからほぼ一定速度で堆積したと判断でき、かつそれと矛盾しない複数の年代値が得られている場合は、堆積速度を計算することにより、活動時期の幅を絞り込む。
- ⑤ 活動層準の直上もしくは直下の地層で年代値が得られていない場合、もしくは年代値の信頼度が低い場合は、さらにその上下の地層で得られた年代値から活動時期を推定する。得られた推定幅の中で信頼度が異なる場合はその旨を記述する。
- ⑥ 断層活動がなかったと判断できる時期も記述する。

## (解説)

- ・⑤について、推定幅の中で信頼度が異なる場合の記載は、次のような例が考えられる。  
(例：約 2000－5000 年前に活動があったと考えられ、それは 2000－3000 年前であった可能性がある)
- ・⑥について、断層活動がなかった時期の判断に当たっては、堆積物の欠損に注意する必要がある。これは大規模な地域性を持つことがあり、例えば、東北日本の海岸平野では 1 万年前以前の氷期における堆積物の欠損が顕著である。

## [説明]

### ○ 年代値の補正

- ①  $^{14}\text{C}$  年代値について、計測値が 20,000 年 BP より新しい場合には暦年較正プログラム OxCal の最新版に基づいて暦年補正し、 $1\sigma$  の幅で示す ( $\sigma$  : 標準偏差)。
- ② 20,000 年 BP より古い年代値については Kitagawa and van der Plicht (1998) に基づいて暦年較正する。
- ③ 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 2000 年前よりも新しい年代値は世紀単位を併記する。10,000 年 BP より古い年代値については四捨五入して千年単位で記述する。ただし、暦年補正し  $1\sigma$  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する。
- ④ 貝などの海生生物の遺骸を年代資料として用いた際には、海洋リザーバ効果を考慮して海域ごとに補正した年代値を用いる。
- ⑤ 考古学的手法により年代値が得られ、十分に信頼性を有する場合にはその数値を使用する。

## (解説)

- ・ ①について、2010 年 1 月 1 日現在では、OxCal は Version. 4 (Ramsey, 1995, 2001) を、較正曲線データに INTCAL04 (Reimer et al., 2004) を使用している。
- ・ ①及び②について、別の較正方法や較正曲線を利用した場合は、用いた手法等について記載する。

## [説明]

### ○ 主断層と副次的な断層の関係

- ① 主断層が活動した際に、必ずしも副次的な断層が活動するとは限らないと判断する。
- ② 副次的な断層が活動した場合には、主断層も同時に活動したものとみなす。

## b) 先史時代・歴史時代の活動

### [方針]

既存文献などにより当該「起震断層」との関係が示唆されている先史時代・歴史時代の地震などについて記述し、地震動による地盤の液状化現象や地すべりの痕跡を示す考古学的報告などについても記述する。また、地質学的に求められた過去の活動時期や想定される規模などと被害の状況により、当該起震断層との関係を判断する。

### [説明]

#### ○ 先史時代・歴史時代の地震との対比

- ① 先史時代の活動や歴史地震と断層活動との対応について、以下の条件に基づいて対応の有無を判断し、対応がある場合にはその信頼度を示す。
1. 断層活動を直接示唆する記録（地表地震断層）がある。
  2. 地質学的に活動年代を 300～400 年程度の年代幅で限定することができ、その期間に対象断層が活動した可能性を持つ内陸被害地震が記録されている。
  3. その地震の被害が対象断層に沿って集中しているという記録がある。
  4. その地震の被害分布や被害の規模が、想定される断層における強震動予測結果と調和する。

### (解説)

- ・ ①のうち、強震動予測結果との比較に基づき、歴史地震と断層関係を推定した例として、1751年寛延名立地震（M7.0-7.4）を高田平野西縁断層帯の固有規模の活動であったと評価した例がある。

### [説明]

#### ○ 歴史記録からそれ以後固有規模の地震が発生していないことの推定

- ① 固有規模の地震と対応する歴史記録が認められない場合でも、固有規模の地震以外と考えられる地震、またはそれに類する災害（津波など）の記録があれば、少なくともそれ以後は当該断層帯で固有規模の地震は発生していないものとして扱う。

### (3) 過去の活動における1回の変位量(1回のずれの量)

#### [方針]

地表における1回の断層活動に伴うずれの量と、その求め方について記述する。1回のずれの量を求める手法としては、以下に示すように、直接的に求める手法、間接的に求める手法、歴史地震から推定する手法及び断層長(単位区間の長さ)から補助的に推定する手法がある。

#### [説明]

##### ○ 直接的に求める手法

- ① ずれの量とそれを形成した断層の活動回数が直接判明している場合、地形面の測量結果やトレンチ調査結果などから、直接的に1回のずれの量を推定する。

#### (解説)

- ・従来の評価においては、多くの場合、トレンチ調査で確認したずれ量を1回のずれの量としている。
- ・音波探査及びボーリングの調査結果からずれの量を読み取った例もある。
- ・形成時代の異なる複数の段丘が分布し、ずれの量が累積している場合、最も新しい時代に形成された段丘のずれが最新の断層活動により生じたと判断し、1回のずれの量と判断することもできる。

#### [説明]

##### ○ 間接的に求める手法

- ① 複数回の断層活動によりずれや変形が累積した地形面・地層面などについて、累積したずれの量を活動回数で除して地表における1回のずれの量を計算する。

#### (解説)

- ・変形帯の幅が広い場合には、ずれている地形面及び地層面の高度差を累積したずれの量とみなし、トレンチ調査などで得られた活動回数で除して1回のずれ量を求める(例、十勝平野：光地園、北上低地西縁、鈴鹿東縁、布引山地東縁：東部、屏風山・恵那山-猿投山：恵那山-猿投山北、邑知潟、会津盆地西縁・東縁：西縁、養老-桑名-四日市)。
- ・海岸線を横切って活断層が分布する場合、活断層の両側に分布する比較的新しい時代に形成された海岸付近の複数の段丘もしくは海岸地形のずれの量の累積から、断層活動の回数を推定し、1回のずれの量を推定する(例、柳ヶ瀬・関ヶ原：主部/北部)。
- ・形成時代の異なる複数の段丘が分布し、横ずれの量が累積している場合、トレンチ調査で分かった活動時期と活動回数を基に、各段丘面の形成年代に対応する活動回数で除して、1回のずれの量とする(例、阿寺：主部/南部)。
- ・将来の1回のずれの量を求める際に、平均活動間隔と平均的なずれの速度から1回のずれの量を算出する(例、富士川河口)。

## [説明]

### ○ 歴史地震から推定する手法

- ① 歴史地震の前後に実施された測量結果などから、歴史地震により生じたずれの量を推定し、1回のずれの量とする。

## (解説)

- ・別の起震断層と過去に同時に活動した際のずれの量を参考情報として、評価値は断層長の情報から算出した(例、横手盆地東縁、雫石盆地西縁-真昼山地東縁、濃尾：温見、濃尾：主部)。

## [説明]

### ○ 「単位区間」の長さから補助的に推定する手法

- ① 上記のような求め方ができない場合(もしくは上記の方法で得られた値を補足するために)、過去に発生した地表地震断層の長さとそのずれの量との関係を示した経験式等に基づき、「単位区間」の長さから地表における1回のずれの量を推定する。

## (解説)

- ・地表地震断層の長さとして過去の活動における1回のずれの量の関係、もしくは震源断層の長さとして地下におけるすべり量の関係を求めた経験式としては、松田(1975)、松田ほか(1980)等がある。それぞれの出典で示されている経験式は、以下の通りである。

$$\text{松田(1975)} \quad \text{Log } L = 0.6M - 2.9 \quad \dots\dots\dots (3-3)$$

$$\text{Log } D = 0.6M - 4.0 \quad \dots\dots\dots (3-4)$$

L: 1回の地震で活動する断層の長さ(km)、  
M: 地震規模(マグニチュード)、D: 1回のずれの量(m)

$$\text{松田ほか(1980)} \quad D = 10^{-1} L \quad \dots\dots\dots (3-5)$$

L: 1回の地震で活動する断層の長さ(km)、  
D: 1回のずれの量(m)

- ・断層長から補助的に1回のずれの量を推定する場合、従来は松田(1975)の経験式を用いていたが、松田(1975)の経験式は実際に生じた地表地震断層において計測された結果に基づいて求められており、必ずしもずれの最大の量が含まれていない可能性もあることから、松田(1980)の式なども用いることとする。

## [説明]

### ○ 地表における1回のずれの量の分布

- ① 「単位区間」上の複数地点において過去の活動での地表における1回のずれの量に関する情報が得られる場合には、その分布を示す。

#### (4) 平均活動間隔

##### [方針]

平均活動間隔とその求め方について記述する。平均活動間隔を求める手法としては、以下に示す直接的に求める手法、間接的に求める手法及びベイズ理論による手法がある。

##### [説明]

○ 直接的に求める手法

① 最新活動時期 (t1) を含め全体で n 回 (n ≥ 2、以下同じ) の活動があったことと最初の活動時期 (tn) が判明している場合の平均活動間隔 (R1)。

$$R1 \min = (t_n \text{ new} - t_1 \text{ old}) / (n-1) \quad \dots\dots\dots (3-6)$$

$$R1 \max = (t_n \text{ old} - t_1 \text{ new}) / (n-1) \quad \dots\dots\dots (3-7)$$

② 最新活動時期 (t1) が判明しており、これに先立つ時期 (t') 以降に n 回の活動があることが判明している場合の平均活動間隔 (R2)。

$$R2 \min = (t' - t_1 \text{ old}) / n \quad \dots\dots\dots (3-8)$$

$$R2 \max = (t' - t_1 \text{ new}) / (n-1) \quad \dots\dots\dots (3-9)$$

③ 特定の期間 (r) に、最新活動を含めて n 回の活動が判明している場合の平均活動間隔 (R3)。

$$R3 \min = r / (n+1) \quad \dots\dots\dots (3-10)$$

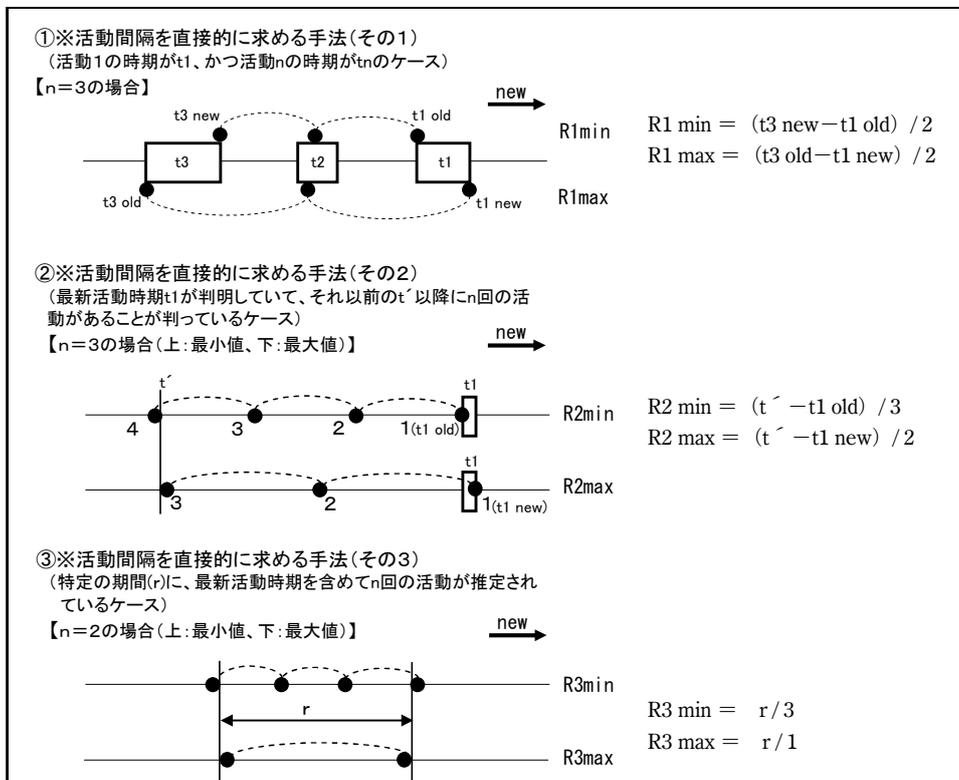
$$R3 \max = r / (n-1) \quad \dots\dots\dots (3-11)$$


図3-10 直接的手法による平均活動間隔の求め方

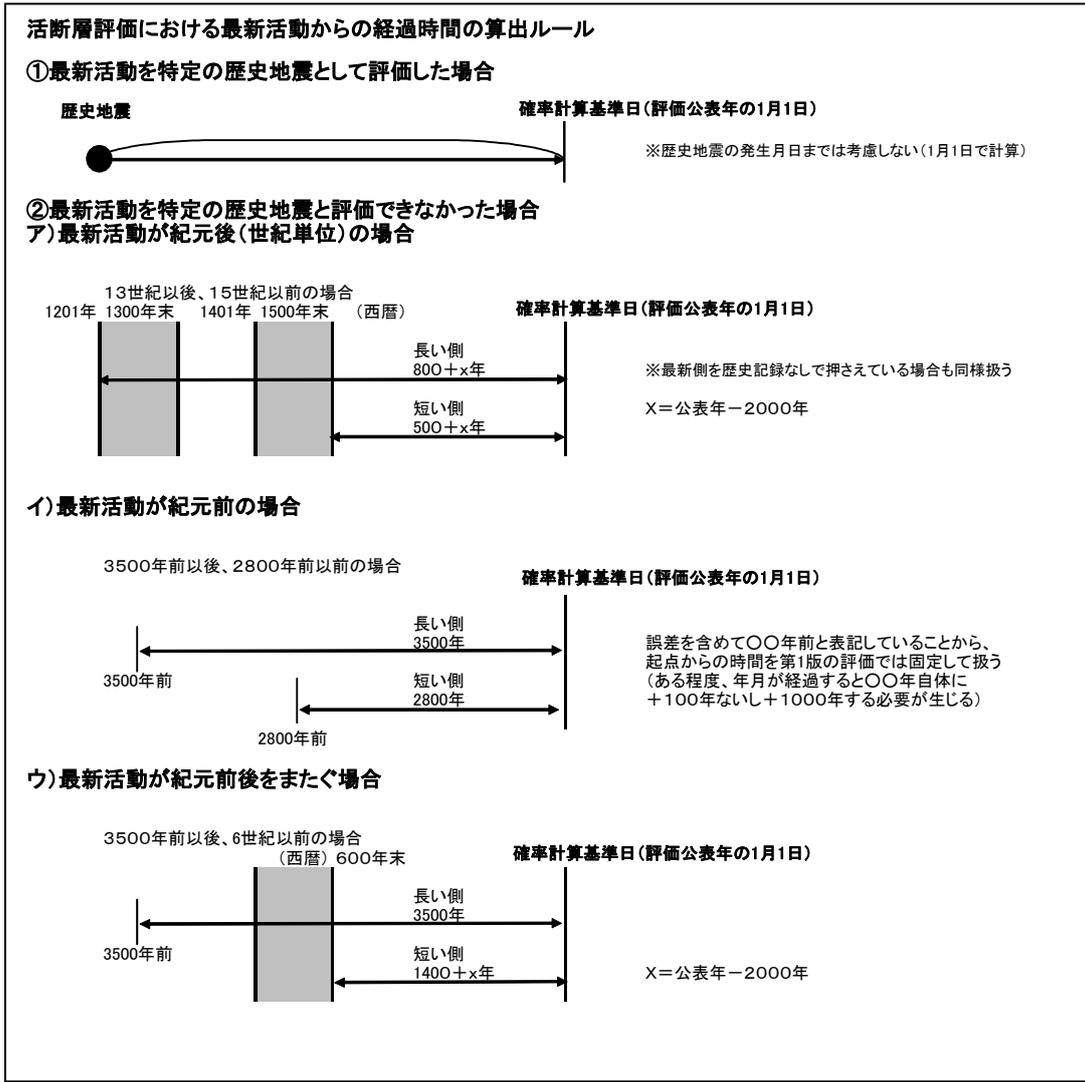


図3-11 最新活動からの経過時間の算出ルール

[説明]

- 間接的に求める手法
  - ① 累積したずれの量と1回のずれの量から活動回数を求められる場合には、基準となる地形面・地層面の形成年代を活動回数で除して平均活動間隔を計算する。
  - ② 1回のずれの量を平均的なずれの速度で除して平均活動間隔を計算する。

## [説明]

### ○ ベイズ理論による手法

- ① 直接的に求める手法、間接的に求める手法のいずれによっても平均活動間隔が求められる場合で、1回以上の活動間隔が判明している場合には、ベイズ的推論により、平均活動間隔を求めることができる。つまり、平均活動間隔、各活動時期の推定範囲、地震発生間隔の統計モデルを先験情報とし、モンテカルロ法で尤度関数の加重平均を求めて、平均活動間隔を算出する手法である。

## (解説)

- ・先験情報としては、以下のものを用いる。
  - (1) 平均活動間隔  
間接的手法で算出される値の周辺にばらつく分布を仮定し、事前分布を設定する。
  - (2) 各活動時期の推定範囲  
活動時期の範囲を一様に分布させ、これを事前分布とする。
  - (3) 地震発生間隔の統計モデル  
地震発生は更新過程で、発生間隔は BPT 分布に従い、ばらつきのパラメータは国内の活断層について共通の値であると仮定する。

## [説明]

### ○ 手法の選択

- ① 複数の手法により平均活動間隔を求めることができる場合は、より信頼度が高い手法を採用する。

## (解説)

- ・一般に、活動間隔が十分に絞り込まれていない場合や、2回の活動時期のみで求める場合は、直接的に求める手法では信頼度が劣る場合が多い。
- ・活動間隔を求める際には、断層帯全体の地震イベント時空間ダイヤグラム（図2-5参照）を作成し、各单位区間の信頼度や活動性を考慮して、より信頼度が高い手法を採用する。

## (5) 過去の「活動範囲」

### [方針]

過去に地震が発生した際の「活動範囲」とその推定根拠を記述する。

### [説明]

#### ○ 過去の「活動範囲」

- ① 1つの「単位区間」は、基本的に1つの「活動範囲」とであると判断する。
- ② 歴史記録やトレンチ調査等から、過去の活動において隣接した「単位区間」と同時に活動した記録もしくはその可能性を示唆するデータがある場合には、それについて記述する。
- ③ 歴史記録や観測事実等に基づき、「単位区間」の活動とは有意に異なる一回り小さい地震のうち、地表地震断層を伴うものがあつた場合には、その地震規模とともに地表地震断層の出現範囲及び地下の断層の長さなどを記す。

### (解説)

- ・ ②について、過去に隣接した「単位区間」が同時に活動した例としては、1891年濃尾地震(温見断層、根尾谷断層及び梅原断層)、1927年北丹後地震(郷村断層と山田断層)などが挙げられる。
- ・ ③について、過去に「単位区間」の一部のみが活動した例としては、1998年岩手県内陸北部の地震(雫石盆地西縁断層)におけるM6.2の例等がある。

### 3.4.5 活動時の地震の規模

#### [方針]

歴史地震記録、地下の断層形状から推定される震源断層の長さ、1回の活動によるずれの量などの断層パラメータに基づき、活断層が活動した際に発生する地震の規模を評価する。評価した地震の規模については、延長部の存在を示唆する情報の信頼度に応じた地震の規模の信頼度を記述する。

#### [説明]

##### ○ 地震の規模

- ① 地震の規模は、気象庁マグニチュード（M；以下では単に「マグニチュード」と記す）で表す。
- ② マグニチュードの大きさは0.1単位で表記する。
- ③ 活断層の長さに基づき地震の規模を推定する場合には、松田（1975）のM-L式を用いてマグニチュードを計算する。
- ④ 地震規模の推定の際の断層の長さには地下の断層の長さを用いることとする。
- ⑤ 過去における1回のずれの量が求められている場合には、松田（1975）のM-D式からマグニチュードを計算する。
- ⑥ 活断層の長さについて信頼度が低い場合には、M-L式とM-D式を併用する。
- ⑦ 歴史地震の研究や観測によって地震の規模が分かっている場合には、その値を引用もしくは参照して、上記の手法により求めた地震の規模と包括して記述する。
- ⑧ 活動時の地震規模について、④、⑤、⑦により複数の値が得られた場合には、最も大きな値を評価に用いる。この際、地表に活断層が表れている場合は地震発生層の厚さに対応する規模以上の地震が発生すると想定されることを考慮する。
- ⑨ 地下の断層の位置及び長さについて、複数の可能性が想定される場合、シナリオ毎に地震の規模を評価するとともに、ロジックツリーを用いてシナリオの重み付けを行う。

#### (解説)

- ・②について、参照した資料においてマグニチュードの値が小数点以下第二位以下まで示されている場合には、小数点以下第二位の値を四捨五入する。
- ・②について、地震の規模の表記については、基本的に数値の後に「程度」を付記する。
- ・④について、島崎（2009）では、震源断層がある長さ以上となると震源断層長はほぼ活断層の長さと等しくなるとし、活断層の長さと同数の累積数の関係から、長さが40km未満では活断層の数が予測より少なく、地下の震源断層の長さより地表の断層の長さが短い活断層で発生する地震の規模の上限はM7.4程度であるとしている。このことから、地質断層の存在等から地下の震源断層の長さが延長すると想定する場合、地下の断層の長さの最大値は約35kmとする。
- ・④について、検討の際には必要に応じて「評価地域」で過去に発生した地震のうち活断層以外の場所で発生した地震の最大規模を参照することとし、具体的には、当面の間、「全国地震動予測値図」（地震調査推進本部地震調査委員会，2009）で用いられている垣見ほか（2003）の地震地体構造区分を

元に作成された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に最近の知見を加味したもの（図3-3）を参照することとする。

- ⑥について、活断層の長さの信頼度が低い場合として、活断層の端部が海域や沖積平野へ続いている可能性がある等の理由が考えられる。
- ⑦について、歴史地震に関する資料に記されている地震の規模が幅をもって記されている場合には、その最大値をもって活動時の地震の規模とする。
- ⑨について、ロジックツリーにおける重みは、小数点以下1桁まで記述することとし、重みが0.05以下となったシナリオについては、主文に示さずに説明文の中で補足的に述べることとする。

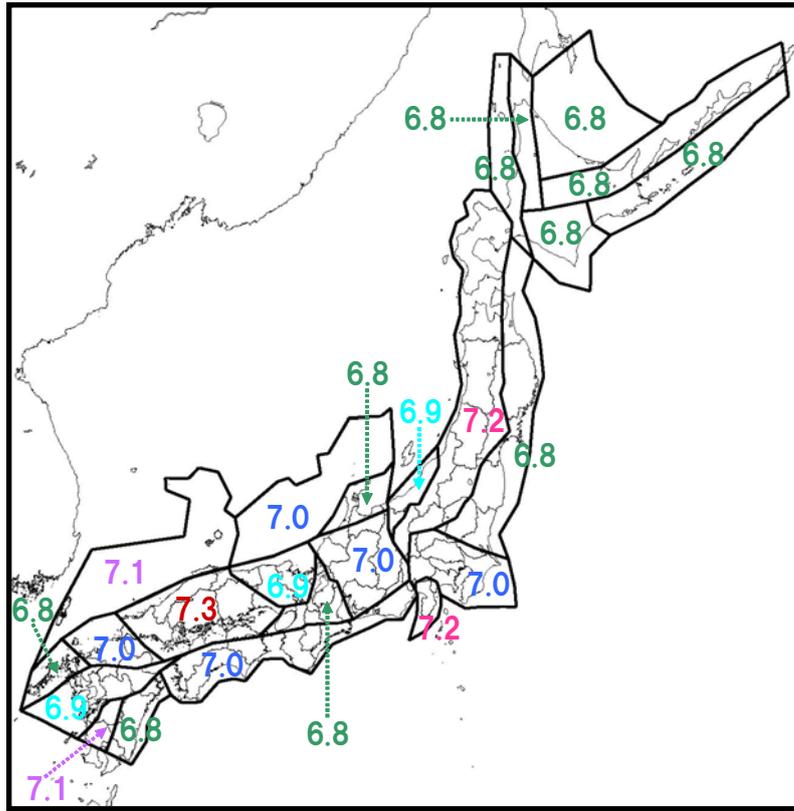


図3-12 陸域の震源断層を予め特定しにくい地震の最大マグニチュード

## [説明]

### ○ 地震規模の信頼度

- ① 延長部の認定の根拠となった地質構造や重力異常などの情報の信頼度及び情報量に基づき、地震規模の信頼度を評価する。
- ② 地震規模の信頼度は「○」、「△」、「▲」の三段階とする。

## (解説)

- ・ ②について、信頼度の「○」、「△」、「▲」に対応した説明文における表現は、それぞれ、「推定される」、「可能性がある」、「可能性もある」とする。

### 3.4.6 地震後経過率

#### [方針]

過去の断層活動でとりまとめた最新活動時期と平均活動間隔とに基づき、地震後経過率を記述する。求められた地震後経過率については、その信頼度を示す。

#### [説明]

##### ○ 地震後経過率の算出

- ① 地震後経過率は、過去の断層活動に関する断層パラメータのうち、最新活動時期と平均活動間隔の値を用いて算出する。
- ② 断層活動の最新活動時期及び平均活動間隔に幅がある場合には、地震後経過率が最大になるケースと最小になるケースを計算して求め、その幅を持って示す。

#### (解説)

- ・ ①について、地震後経過率は、最新活動時期(年)を平均活動間隔(年)で除して算出する。算出に用いる数値は、評価のために四捨五入した概数ではなく、それぞれの元データにおける値を用いる。
- ・ 地震後経過率は、小数点以下第二位を四捨五入し、0.1 単位で表記する。
- ・ ①について、地震後経過率の値が0.5を超える場合には、将来の活動について注意すべき活断層であることを記述する。

#### [説明]

##### ○ 地震後経過率の信頼度

- ① 地震後経過率の信頼度は、活断層の最新活動時期及び平均活動間隔のそれぞれの信頼度に基づいて評価する。
- ② 地震後経過率の信頼度は、「◎」「○」「△」の三段階で評価する。
- ③ 地震後経過率の最大値が2.0を超える場合には、信頼度を「△」とする。

#### (解説)

- ・ ②について、最新活動時期と平均活動間隔の信頼度がいずれも「○」以上の場合には地震後経過率の信頼度を「◎」に、いずれかが「○」以上の場合には「○」に、いずれも「△」以下の場合には「△」として評価する。
- ・ ③について、地震後経過率が2.0を超えた場合には、予測されている活動時期を既に大幅に過ぎてしまっていることから、評価に用いた断層パラメータに問題がある可能性を考慮して、信頼度は低いと判断する。また、その場合には、「今後に向けて」において最新活動時期及び平均活動間隔の値について再検討の余地があることを記述する。

### 3. 4. 7 今後に向けて

#### [方針]

最新活動時期や平均活動間隔の絞り込み、地下の断層形状など、活断層の長期評価の精度を向上させるために今後必要な事項を記述する。

#### [説明]

##### ○ 主な記述内容

- ① 活断層の評価精度を向上させるために必要な事項を記述する。
- ② 一定以上の評価ができた場合でも、さらに今後の課題を記述する必要があると判断された場合には、その旨を記述する。
- ③ 評価文の主文には、調査手法などの具体的なことは記述しない（調査手法などを記述する必要がある場合には、説明文に記述する）。
- ④ 現在の技術・知見などに基づいて補完調査を行なっても必ずしも評価精度の向上が見込めない場合には、そのことを記述する。

#### (解説)

- ・ ①に示す評価精度の向上については、個々の断層パラメータの信頼度の向上と評価値における幅を狭くすることに役立つと思われる事項を記述する

### 3.5 文章体裁の取り決め

#### [方針]

文章体裁について主な取り決め事項をまとめると以下のとおりとなる。

#### [説明]

##### ○ 文章体裁

- ① 評価文の主文は平易な表現とする。説明文は専門用語も用いるが、一般的に用いられない特殊な用語については注釈で補足説明を加える。
- ② 文献の並びはアルファベット順とする。第一著者が同じ時は、第二著者以下のアルファベット順とする。主文の注釈で文献を用いる場合も同様とする。詳細な記載要領は日本地質学会の投稿規定に準拠する。

##### ○ 信頼度、幅などの表現

- ③ 評価作業で用いた各種のパラメータ（表の特性欄に示されたデータ）の相対的な信頼性を、「信頼度」として記号で示す。なお、基本的には、評価値は幅を持って示すよりも、信頼度を落とすよりも評価値の幅を絞り込む観点で評価を実施する。文章中では、各々のデータの信頼度に対応した文章表現を用いる。評価に用いるだけの信頼度は持たないと判断した調査結果や見解などは、“なお書き”で参考情報として記す。

信頼度	文末表現
◎ : 高い (信頼度 90%以上と判断)	考えられる。
○ : 中程度 (信頼度 70-90%以上と判断)	推定される。
△ : 低い (信頼度 50-70%以上と判断)	可能性がある。
▲ : かなり低い (信頼度 30-50%と判断)	可能性もある。

なお、信頼度の数値は、評価にあたっての共通の目安として定めたものである。

- ④ パラメータ（表の特性欄に示されたデータ）のばらつきの大きさや推定の幅を、以下の語句をパラメータの前に付して表現する。

幅が大きい「概ね > 程度 > 約 > 前後」幅が小さい

##### ○ 確率に関する表現

- ⑤ 地震発生確率の説明で、「ほぼ0%」は  $10^{-3}$ 未満の確率値を、「ほぼ0」は  $10^{-5}$ 未満の数値を意味する。なお、評価に用いた平均活動間隔の信頼度が低い（△、▲）場合はそのことに留意する旨を明記する。
- ⑥ 確率値は、基本的に有効数字1桁で表記する。ただし、30年確率については10%~20%に確率が収まる場合は、有効数字2桁で表記する。

#### 4. 今後の活断層評価に必要とされる調査観測

今後、長期評価を高度化していくにあたっては、評価対象となる地域における活断層などの詳細な地表位置・形状や地質学的調査、地球物理学的調査に基づく地下構造等の情報が必要となる。このため、近年開発されている調査手法も取り入れ、新たにデータを取得していく必要がある。

今回の活断層評価手法高度化の検討においては、地域評価を導入するという点から、陸域の活断層だけでなく、沿岸海域に分布する活断層も評価対象としたが、海域の活断層に関する資料はまだ少ない。このため、今後、新たな調査を実施するとともに、その評価手法に関する検討が必要である。

また、今後の長期評価では、活断層から発生する地震の規模・頻度をより適切に評価するため、長大な活断層を「単位区間」に区分する。これにより、今までは同時に活動し得る範囲を断層相互の距離に基づいて最大限つなぎ合わせて想定された起震断層に対し、地震規模が評価されてきたが、今後は、「単位区間」で発生する、それよりも規模は小さいが発生確率が高い地震に対する評価が実施される。従来の長期評価においては、活動履歴に基づき、起震断層を活動区間ごとに区分していたが、今回導入される「単位区間」への区分では、それに加えて活断層の位置・形状に基づく検討が行われる。このため、高精度の活断層の位置情報が必要とされ、それを抽出するための作業の詳細化ならびに高解像度の解析技術の導入が必要である。

さらに、地下における震源断層の位置・形状について精度良く明らかにする。従来の評価においては、断層面の傾斜角や上端・下端の深さに関しては不明とされることが多かった。しかし、その一方で、断層運動によって発生する地震動を精度良く予測するためには、断層面の位置・形状の認定に対する信頼性を向上させる必要がある。このため、とくに社会への影響が大きい平野部の活断層を対象として、大深度反射法地震探査を中心とした地下構造探査を実施する必要がある。

将来に断層で発生する地震の予測精度やその評価の信頼度を向上させるため、地震を起こす最小の区間ごとに活動履歴などを明らかにすることが求められる。このため、従来から用いられている炭素同位体年代測定法よりも有効な活用や、この手法を用いることが困難な地層に対して他の年代測定法を適用することの可能性を検討しておく必要がある。

この章では、以上に挙げた4つの観点から、今後展開される高度化された活断層評価に必要なデータの取得に関して、その調査方法や分析方法について整理しておく。なお、ここに示す内容の概略については、平成20年6月に「今後の調査への提案－活断層評価の高度化のために－」として既にとりまとめられ、地震調査委員会ならびに政策委員会調査観測計画部会に報告されている。

## 4.1 全国規模での沿岸海域活断層調査

今後の活断層長期評価では、陸域だけでなく、沿岸海域に分布する活断層についても調査し、将来発生する地震の規模や発生確率を評価する必要がある。既に評価された 110 の主要活断層帯のうち、5つの沿岸海域の活断層が長期評価の対象とされ評価結果が公表されている。さらに、陸域の主要活断層帯のうち 28 の断層帯については、活断層が海岸まで達しており、海域への延長の可能性が指摘されている。海岸線から数 km といったごく沿岸の海域は、沖合海域と異なり、水深が浅く、通常の海洋調査が困難であるため、地質構造や活断層の分布に関するデータが欠如していた。

今後は、陸域活断層から海域への延長部を含め、沿岸海域に分布する活断層調査を進める必要がある。まずは海底活断層の分布を把握するため、海底地形や音波探査断面などに基づき、全国の沿岸地域を網羅した海底活断層図を作成する必要がある。次いで、海底活断層で発生した地震の活動履歴を明らかにし、陸上の活断層の長期評価と同様に、将来における活動の可能性を評価すべきであろう。さらに、想定される地震規模が大きく、かつ、将来活動する可能性が高く、活動した際には沿岸地域が大きな被害にみまわれることが予想される断層については、地下の断層形状を明らかにし、陸上の活断層と同様の詳細な強震動予測を行うことが望まれる。

以下では、沿岸海域の活断層調査を実施するにあたって、実施することが必要とされる海底地形計測、海上音波探査、海上ボーリング及び海陸統合地震波探査と津波発生予測に資する沿岸海域活断層の調査について、それらの調査の特徴を簡潔に示す。

### 4.1.1 海底地形計測

海底においても、活断層の位置や長さといった基本的な情報は、陸上の場合と同様に地形図から得ることが可能である。近年は、マルチビームやレーザー測深といった技術を用いることにより、高精度・高解像度の海底地形図を作成することが可能となっている。

完新世に活動した断層で、海底まで変位が達している場合には、詳細な海底地形図によりその連続性を面的に追跡することができる。この情報は、地震の規模を推定する上で基礎的な情報となる、海底活断層の長さを決定する際に必要である。

### 4.1.2 高精度海上音波探査

海上音波探査は、海底下の地層（反射面）の連続断面を得ることができ、断層の位置と断層による地層の上下変位の様子を精度良く確認することが可能である。また、反射面の連続を追跡することにより、広範囲の地層対比が可能である。探査対象とする深度は、震源（音源）の周波数と規模を調整することにより、数十 cm から数 km まで変えることが可能である。近年はマルチチャンネル式の探査設備が整い、比較的深部の探査断面を得ることが可能となっている。解像度数十 cm といった高周波震源を用いた浅部の探査断面では、海底表層の地層が断層により変形する様子を詳細に観察することができる。

音波探査は、通常、ある程度の間隔を空けた複数の併走する測線を設定して行われる。断層の平面位置は、測線が断層を横切る点として認識される。海底活断層の分布は、これらの点をつないで平面的に追跡され、その長さが推定される。測線間における断層のつなぎ方の信頼性を向上させるためには、測線間隔を短くするか、海底地形と断層位置との対応を確認する必要がある。

#### 4. 1. 3 海底堆積物採取

海上音波探査により、断層の位置や分布範囲の特定は可能であるが、それだけでは確認された断層が活断層であるかの判断は難しく、活動時期や平均変位速度に関するデータを得る必要がある。これらを解明するには、断層によってずれが生じている反射面の堆積年代を明らかにする必要がある。そのためには、海底下の地層を採取し、そのなかに含まれている有機物の放射性炭素年代を測定したり、地層中に挟まれる火山灰を同定したりする必要がある。

海底堆積物採取調査では、断層活動の有無や活動回数について検討するため、断層の両側で海上ボーリングやピストンコアリングを実施して試料を採取し、対比される地層の分布高度の差や層厚の変化を明らかにする。浸食作用を受けにくく、連続的な堆積物がある場所では、詳細な断層活動履歴を得られる可能性があるため、海底堆積物採取調査にあたっては、海底地形計測や高精度海上音波探査結果に基づき、調査地点を注意深く検討する必要がある。

#### 4. 1. 4 海陸を統合した地下構造調査

海岸にごく近い海域では、水深が浅く、かつ浸食作用が卓越するような場所も存在する。そのような場所で断層を調査する場合、調査船が調査海域に入れなかったり、堆積物が欠如していたりするという問題がある。これらの問題を克服し、連続的に同じ質のデータを取得するためには、海陸を統合した地下構造調査が必要である。また、その活動性を検討するには、沿岸域での海岸変動（隆起・沈降）の証拠を参照することが考えられる。

#### 4. 1. 5 旧汀線指標を用いた活動履歴調査

沿岸海域の活断層が活動すると、地盤の隆起、沈降により海岸変動が生じることがある。その際、波食棚やノッチ、固着生物群集といった汀線の指標が離水、沈水する様子が観察される。過去の海岸変動を記録した旧汀線の指標について、その高度、年代を測ることで、沿岸海域活断層の活動履歴に関する情報を得ることができる。また、旧汀線の高度分布パターンは、断層の位置、形状の推定において有効な拘束条件となる。ただし、旧汀線の高度には断層活動以外の広域の変動や海面自体の変動の影響も含まれている可能性があるため、注意が必要である。

#### 4. 1. 6 津波発生予測に資する調査観測

沿岸海域の活断層が活動して、海底面に上下方向の食い違いが生じると津波が発生する。今までの活断層の長期評価では考慮されていなかったが、海底活断層の評価に際しては、津波の発生も想定しておく必要がある。

津波の高さや沿岸への到達時間は、波源領域の位置とそこで発生する1回のずれの量、そして波源域から沿岸までの海底地形に関する情報を用いて計算することができる。したがって、沿岸海域の活断層についても、その分布位置を正確に把握するとともに、地震時におけるずれ量を精度良く求めることが望まれる。これについては、高分解能の音波探査を実施することにより、1回のずれの量を求めることが可能である。

さらに、史料調査や津波堆積物調査等により、海底活断層における過去の津波発生状況についても明らかにし、評価の妥当性について検証することが必要である。

## 4.2 活断層の詳細位置を評価するための体系的調査

地震調査委員会では、その活動が社会的、経済的に大きな影響を与えると考えられる主要活断層帯を対象に、断層で発生する地震の規模及び発生確率の評価や、地震によって生じる強い揺れの予測を行ってきたが、その基礎となる活断層の詳細な位置形状に関する評価が十分行われているとはいえなかった。また、活断層の近傍では、強震動のほか、断層のずれによっても被害を生じうるため、活断層やこれに起因する地表面の変形（活構造）の詳細な位置形状の把握は、災害時の拠点施設の機能確保など地震防災の観点からも重要である。

現行の評価では、起震断層が予め設定されており、その中を細分する活動区間の認定は、活動履歴に関する情報のみに基づかざるを得なかった。しかし、変動地形学的視点による地形判読の高度化によって、新たに把握された活断層の詳細な位置形状なども利用し、同時に地震を起こす最小の区間（単位区間）を推定する研究が進展している。単位区間の活動履歴や位置形状などを考慮することにより、同時に活動する範囲（活動範囲）を推定することが可能となる。個別の単位区間が活動する場合、従来想定されているより地震の規模は小さくなるものの、一般に地震の発生確率は高くなる。このように、活断層の詳細な位置形状を把握した上で、そこで発生する地震の規模や頻度の評価を向上させることは、防災上においても非常に重要である。

今後の長期評価にあたっては、活断層の詳細な地表位置形状や断層に沿うずれの量の空間分布、地表地質、地下構造等の情報が必要になるが、現状では適切な評価の実施に必要な情報が不足している活断層も多い。このため、情報が不足している活断層については、変動地形学的視点による空中写真判読の高度化に加えて、判読が困難な山間部等での航空レーザー測量を実施するとともに、地形情報が不十分な場合の活断層存否の確認や、伏在部の確認、境界部の確認等を行うための追加的な掘削調査を実施する必要がある。また、調査により得られた詳細な位置形状やその認定根拠、活動度、活動履歴などについて、それらの情報を集約したデータベースを作成する必要がある。

### 4.2.1 高精度な空中写真判読

従来から実施されている空中写真を用いた地形判読は、断層活動によって形成された変位地形について、地形発達を考慮しながら認定できることから、引き続き有効な手法であると考えられる。近年出版されている縮尺 2.5 万分 1 程度の活断層図は、縮尺 1 万分の 1 程度の空中写真を用いた判読により作成されており、今後の活断層評価においても同程度の精度の地形判読作業が必要である。

精度良い活断層図を作成するには、大縮尺の空中写真を断層帯全域にわたって判読するとともに、撮影時期の異なる写真を用いることが有効である。地形判読には個人差を伴うため、評価の精度を高めるためには、複数の判読者によるクロスチェックが必要である。これらの作業を、今まで長期評価の対象としてこなかった短い断層を含め、全ての断層に対して行うことは、多くの時間と労力を必要とするが、地震が発生する位置および規模を特定するために必要である。特に、活断層による変位地形であるかどうか判断に迷うような場所に対しては、都市圏活断層図などの作成で実施されているような、追加の判読作業が必要となる。

### 4.2.2 航空レーザー測量

空中写真判読における難点の一つが植生である。植生に覆われた地域では、植生の高さ分を差し引いた地表面の高さをイメージしながら地形を判読する必要がある。その問題を解消できる技術の一つとして、近年、航空レーザー測量が注目されている。

航空レーザー測量は、高精度の位置計測システムを備えた航空機から、地表に向かって1分当たり数万発のレーザーを発射し、面的に距離を計測するものである。計測データのなかから、植生の表面で反射したデータを除外し、地表まで到達したデータのみを選出（フィルタリング）することにより、植生下の地形面の標高データを得ることができる。また、都市部においても、同様の手法により建造物に覆われていない地形面の詳細な標高データを作成し、航空写真では確認が困難な都市部の微細な変動地形を判読できる。

このようにして作成された詳細標高データを用いて図化された画像を活用することによって、植生の有無や建造物の多少にかかわらず、比高1～2 m程度の崖地形や横ずれ地形を抽出することが可能となる。

#### 4. 2. 3 断層位置確認のための地形・地質調査

従来の活断層図では、主に地形発達を考慮した空中写真判読に基づいて断層が認定されている。しかし、判読のみでは活断層の存在が確実と言えない場合には、地表下の地質構造を観察し、断層の存在を確認する必要がある。とくに空中写真判読において判読者によって断層位置の認定が異なる場合には、地形面対比の妥当性の確認や断層構造を確認するための地質調査が必要となる。

したがって、従来の活断層調査においては活動履歴の解明が重要視されてきたが、今後は断層位置や活断層であるか否かを確認するための調査も必要となる。

### 4.3 震源断層の三次元位置・形状評価のための調査

現行の長期評価では、地表における活断層の長さやそれに基づく地震の規模の評価が主体であり、地下における震源断層の位置・形状に関する評価は必ずしも十分ではない。このため、現状では強震動評価で必要となる震源断層の位置・面積・形状や地震時に大きなずれを生じる場所の数や位置などに関する情報が不足している。また、近接した断層の震源断層モデルを考えた場合、断層面の傾斜によってはモデル化された震源断層が地下で互いに交差してしまうなどの問題も存在している。

このため、対象地域内の震源断層について、三次元的な位置・形状や地下における相互の関係を推定するための調査を行う必要がある。具体的には、断層の地下構造に関する情報を取得するための地震波探査や地震波トモグラフィーなどの地球物理学的調査を実施する必要がある。また、重力異常分布の解析や断層の運動に関連した褶曲、傾動、隆起、沈降など地表面の変形を面的に調査することにより、地下に伏在する断層面の形状を検討する必要がある。

#### 4.3.1 反射法地震探査

反射法地震探査は、断層の地下形状を明らかにする上で最も有効な方法の一つとして、従来の活断層調査においても広く行われており、浅層地震探査と深部地震探査に大別される。

浅層地震探査は、地表付近における断層の位置や活動性を確認するために行われる。震源には通常 P 波が用いられるが、地下数十m程度のごく浅層の地質構造を対象とする場合には、S 波を用いることもある。また近年、ごく浅層の構造をイメージングすることを目的として、電磁波を用いた地中レーダー（GPR）探査も行われており、その有効性が検討されている。

深部地震探査は、震源断層の位置・形状を明らかにすることを主目的として行われる。特に大深度反射法地震探査では、地下 10km もしくはそれ以深の構造をイメージングすることが可能である。探査結果の解析により、近接して分布する活断層同士の地下での関係や、沈み込み帯付近に分布する活断層とプレート境界との関係などが明らかにされてきている。

#### 4.3.2 重力異常分布データの活用

地下構造を面的に推定する地球物理学的な手法の一つに重力異常分布を調べる方法がある。重力は地下の岩石の密度によって変化するため、断層がくり返し動くことに伴って、断層の両側の岩質が違ってくことにより重力異常分布に特徴的なパターンが現れる。

重力異常分布は地下における地質の分布を表しており、活断層の存在を示す直接的な証拠には必ずしもならないが、重力異常の急変が確認された範囲に伏在断層が存在する可能性を想定し、反射法地震探査やボーリングデータ解析などを実施すれば、地表では存在を認めにくい地震の震源断層を効率よく見つけることができる可能性がある。

布田川・日奈久断層帯での検討例では、布田川断層の西方延長には沖積平野が広がっており地表では変位地形を見出すことはできないが、明瞭な重力異常の境界が存在していることから、この地域まで断層が延長される可能性があることが想定された。

#### 4.3.3 地震波トモグラフィーなどによる構造調査

震源断層の下端付近の構造を推定する場合には、現時点では自然地震を用いた地震波トモグラフィーが最も解像度が高いと考えられる。

地震調査研究の進展により、大地震の主破壊域は地震波高速度域となっていて、震源断層の深部延長は逆に低速度域となっているという報告が次第に増えてきている。普段の地震活動が低調な地域でも、遠地地震を使ったトモグラフィーやレシーバー関数、地震波干渉法等によって地下構造を推定できる手法が確立されつつある。

ただし、これらの手法で M7 程度の地震に相当する断層の詳細な情報を得るためには、観測点間隔を 3km 程度以下にする必要がある。また、地下の構造は地質学的時間における地殻変動の総和を示しており、必ずしも地殻変動の現状を反映している訳ではない。このため、地震学的手法による地下構造推定のみで地下の断層の全体像を明らかにしたり、伏在活断層の可能性が高い地域を特定したりすることには限界がある。近年、比抵抗構造の推定により、震源断層が高比抵抗域または高比抵抗と低比抵抗の境界域に位置するという報告も増えてきており、他の節でも述べた手法と上記の電磁気学的手法もあわせて総合的に判断することが重要である。

#### 4. 3. 4 広域的な変位地形の地形・地質調査

今後の活断層長期評価においては、断層線のトレースのみにとらわれることなく、地形面の広域的な変形から地下の断層の存在を推定することとしている。したがって、活断層の存在が疑われる地域では、明瞭な断層崖の調査のみならず、地形面の異常傾斜や海成段丘の旧汀線の高度変化などの地形データから、活断層の存在を推定する必要がある。また、強震動評価に必要な情報を得るため、地表の情報を面的に把握することにより、地下の断層面の形状を三次元的に推定することが求められる。

例えば、地形データからの活断層の推定について、2007 年能登半島地震においては、地震直後に観測された海岸隆起の傾向が、その地域に分布する M1 面（最終間氷期最盛期）の旧汀線高度分布と傾向が似ていることから、2007 年の地震で破断した断層面の活動の繰り返しによって、現在の海成段丘の高度パターンを生じたと考えられている。

#### 4. 3. 5 ボーリングデータの活用

伏在断層や広域的な変動地形を認定するためには、トレンチ調査のみでは対応ができず、反射法地震探査のような地下構造探査とボーリングデータとの対比といった調査が必要となる。

反射法地震探査やボーリング掘削には多額の費用がかかるため、当面、重要度の高い断層以外については、まず既存のボーリングデータを用いた地層対比に基づく地下構造調査を基本とすべきであろう。また、強震動評価の高度化のため整備が予定される地下地質のデータベースを、活断層の評価においても積極的に活用することが望まれる。ただし、ボーリングコアの観察結果をまとめた柱状図の記載は観察者により地層の分類や記載内容に差があるため、これらをまとめる場合には注意が必要である。当該地域に鍵層となる火山灰層や海成層が存在する場合には、ボーリングデータに基づき、信頼性の高い地下構造断面を三次元的に解析することが可能である。

#### 4.4 年代測定の精度・信頼度向上のための調査

過去に発生した断層活動の時期を精度良く特定することは、活断層の長期評価における重要な課題である。断層活動時期は、トレンチ調査や群列ボーリング調査において観察された地層の構造のなかから、断層活動により変位を受けた地層とそれを覆う変位を受けていない地層（もしくは変形量に有意な差が認められる地層同士）の年代を測定することによって評価される。

ここでは、従来から活断層調査で利用されてきた炭素同位体年代と火山灰編年に基づく年代測定に関して最新の知見を踏まえた精度・信頼度向上の方法について言及するとともに、それら以外の年代測定法に関して活断層調査への適用の可能性について整理しておく。

##### 4.4.1 炭素同位体年代

従来の活断層調査においては、数多くの放射性炭素同位体年代の測定が行われてきた。

これらの測定結果は、活断層の活動時期を特定するうえで非常に有効なものであった。炭素同位体年代測定技術も進歩しており、かつてのガス法に代わって加速器を用いた AMS 法が主流となり、過去の同位体比の変化曲線に基づく暦年較正をすることが標準となっている。それに伴い、年代値は計測結果の中央値のような数値ではなく、ある年代幅をもった確率分布として表せるようになっている。

そうした技術進展の一方で、試料の汚染などによる、年代測定結果と地層層序との矛盾もしばしばみられる。また、分析試料の種類（木片、泥炭、貝殻片など）によって年代測定結果に系統的な差がみられるといったことも指摘されている。理想としては、含有される炭素の由来が明らかな植物の種子や葉などを単体で計測することが望ましいが、条件の良い試料を得るのは難しいため、ある層準については木片を分析し、別の層準では腐植土で分析した結果を用いて評価する例も少なくない。

貝殻片など海生生物由来の試料を分析するときには、海洋リザーバ効果を考慮する必要がある。しかし、この値には地域差があり、さらに時代による変化もあるので、各地域、時代において想定すべき補正值については今後の研究成果を待つ必要がある。

##### 4.4.2 火山灰編年

火山灰編年は、炭素同位体年代と並んで地層の堆積年代決定に有効な指標である。特に、広域に分布する火山灰については、編年の研究が進んでおり、その降下年代の決定精度が向上している。これまでに実施された活断層の長期評価においても、トレンチ調査などで確認された始良丹沢火山灰（AT：約 2.6～2.9 万年前）や鬼界アカホヤ火山灰（K-Ah：約 7300 年前）などが、活動時期の推定に利用されている。

火山灰に関するカタログはその分野の専門家によって整備されているが、今までの活断層調査で得られた炭素同位体年代との比較結果等を整理して、火山灰降下年代を精緻に明らかにしておくとともに、それらのデータをカタログ化・データベース化しておくことは、今後の活断層評価に対する大きな貢献になると期待される。

##### 4.4.3 その他の年代測定手法の活用

地層の年代を測定するその他の手法として今後の利用が期待されるものとしては、ルミネッセンス法や宇宙線測定法などが挙げられる。

ルミネッセンス法には、熱ルミネッセンス法と光ルミネッセンス法がある。熱ルミネッセ

ンス法は、一定以上の温度を受けてからの経過時間を計測するものであり、かつては断層破碎帯を対象とした分析が試みられていた。光ルミネッセンス法は、堆積物が上位層に覆われて光を遮断されてからの経過時間を計測するものである。海外の断層調査では、既にいくつかの利用事例が報告されている。

宇宙線測定法は、セシウムやアルミニウムなど宇宙線被曝による生成物を計測するものであり、光ルミネッセンス法とは逆に、堆積物が地表に晒されてからの経過時間を推定する際に用いられる。

これらの年代測定法は、炭素同位体年代測定に比べるとまだ分析例が少なく、分析結果の信頼性について引き続き検証が必要と思われる。しかし、炭素試料が得られない地層の年代の推定に対して、今後有効に利用されることが期待される。

## おわりに

本報告書は約5年間にわたって審議されてきた活断層評価手法の高度化について現状の到達点をまとめたものである。この間には、新総合基本施策が主として政策委員会でまとめられ、平成21年4月に本部決定された。また、新総合基本施策の決定に併せ、今後の活断層調査の方針を示した報告書「新たな活断層調査について」も同日付で決定されている。これらの施策や報告書の作成は、本報告書の検討と並行して実施されており、相互に関連しているものである。

検討分科会では、従来の長期評価で用いられてきた評価手法を精査・改善するとともに、各委員がそれぞれの研究分野の最先端の成果を提供する形式で、検討が進められた。また、分野毎に作業グループを設置し、実際のデータを確認しながら評価手法案を作成してきた。それらのなかには、まだ定量的な評価手法が確立しておらず、本報告書で提案する評価手法に反映されていないものもある。一方、評価の高度化を図る上で重要だという理由で、限られたデータに基づく経験的な判断に従って追加されたものもある。したがって、本報告書に示されている手法は、今後も、各地域や断層帯の評価を行っていく中で、調査・観測技術の進歩やデータの増加・蓄積、研究の進展等を踏まえた上で、継続的に見直しを図るべきものである。

特に、沿岸海域に分布する活断層や短い活断層については、今後評価の高度化を実施していくことが新総合基本施策に唱われているが、その評価方法はこれまで評価を実施してきた陸域の主要活断層帯とは、特に活動範囲や地震規模の推定等に関して異なる点が多い。したがって、今後、具体的な評価実績を蓄積しつつ、その評価手法を必要に応じて修正していく必要がある。

活断層の詳細位置の評価については、新総合基本施策で基本目標に掲げられている活断層基本図（仮称）の作成とも密接に関わっている。長期評価で用いられる活断層の詳細位置図は、活断層基本図（仮称）の位置・形状情報と同一であることを想定している。したがって、今後、活断層基本図（仮称）の検討が進められる際には、本報告書に示された方針が参照され、かつ、検討において新たな方針が定められた場合にはその内容を長期評価にも反映させることが望まれる。

さらに、活断層の長期評価と強震動予測が整合性を持って高度化されることが望ましい。今回の検討では、強震動予測で既に考慮されている断層面上でのすべりの不均一性に対応させて、地表で確認される平均変位速度の空間的分布を断層に沿って示すことが取り入れられた。その意味では、今回、長期評価を高度化したことで強震動予測の現状に追いついたといえよう。その一方、複数の断層が連動して発生する地震や地表の証拠からは活動の痕跡を認めにくい地震などについては、強震動予測に先駆けて評価に取り入れられている。今後も長期評価と強震動予測とが、お互いの新知見を持って高度化され将来の地震防災に役立つ一体的な評価が可能となるよう関係者が努める必要がある。

## □引用文献

- Allen, C. R., 1986, Seismological and paleoseismological techniques of research in active tectonics. In *Studies in geophysics : Active Tectonics*, National Academy Press, Washington, D.C., 148-154.
- Berberian, M., Jackson, J.A., Fielding, E., Persons, B.E., Priestley, K., Qorashi, M., Talebian, M., Walker, R., Wright, T.J. and Baker, C. (2001) : The 1998 March 14 Fandoqa earthquake (Mw 6.6) in Kerman province, southeast Iran: re-rupture of the 1981 Sirch earthquake fault, triggering of slip on adjacent thrusts and the active tectonics of the Gowk fault zone. *Geophys. Journal of International*, 146, 371-398.
- 藤原 治・三箇智二・大森博雄 (1999) : 日本列島における侵食速度の分布. サイクル機構技報, 5, 85-93.
- 廣内大助 (2004) : 金剛断層系の平均変位速度分布と奈良盆地西縁地域における地形発達. 地学雑誌, 113(1), 18-37.
- 今泉俊文・後藤秀昭・宮内崇裕・八木浩司・渡辺満久 (2002) : 1:25,000 都市圏活断層図「北上」. 国土地理院技術資料 D.1-No.396.
- 石原都成 (2006MS) : 応力場の地域性を考慮した Slip partitioning モデルによるネットスリップ算出と規模予測への応用-琵琶湖西岸地域と糸魚川-静岡構造線活断層系中部を対象として-. 岡山大学大学院自然科学研究科平成 17 年度修士論文.
- 地震調査研究推進本部 (1997) : 「地震に関する基盤的調査観測計画」. 38p.
- 地震調査研究推進本部 (2005) : 「今後の重点的調査観測について (一活断層で発生する地震及び海溝型地震を対象とした重点的調査観測、活断層の今後の基盤的調査観測の進め方)」. 32p.
- 地震調査研究推進本部 (2009) : 「新たな地震調査研究の推進についてー地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策ー」. 23p.
- 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 (2005a) : 「六甲・淡路島断層帯の評価」. 59p.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2005b) : 「全国を概観した地震動予測地図」報告書分冊 1 確率論的地震動予測地図の説明. 217p.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2007) : 「警固 (けご) 断層帯の長期評価」. 32p.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2009) : 「全国地震動予測地図」. 183p.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部会 (2005) : 「『基盤的調査観測対象活断層の評価手法』報告書ーこれまでの長期評価手法のとりまとめー」. 106p.
- 地震調査研究推進本部政策委員会調査観測計画部会 (2009) : 「新たな活断層調査について」. 13p.
- Jones, C.H. and Wesnouskey, S.G. (1992) : Variations in strength and slip rate along the San Andreas Fault System. *Science*, 256, 83-86.
- 楳原京子・高橋就一・橋森公亮・山本晋也・堤 浩之・今泉俊文・中田 高 (2007) : 活断層から発生する地震動の予測精度向上のための変位量・変位速度に関するデータベース. 活断層研究, 27, 55-62.
- 垣見俊弘・松田時彦・相田 勇・衣笠善博 (2003) : 日本列島と周辺海域の地震地体構造区分, 地震 2, 55, 389 - 406.

- 活断層研究会編 (1991) : 「新編日本の活断層—分布図と資料—」. 東京大学出版会, 437p.
- Kitagawa, H. and van der Plicht, J. (1998) : Atmospheric radiocarbon calibration to 45,000yrB.P. : Late Glacial fluctuations and cosmogenic isotope production. *Science*, 279, 1187-1190.
- Kumamoto, T. and Harada, Y. (2005) : Examination of aperiodicity parameters for the Brownian Passage Time model using intraplate paleoearthquake data in Japan. 活断層研究, 25, 9-22.
- 隈元 崇・藤田雅俊・下橋 優・栗山雅之 (2007) : 長大活断層帯から発生する地震の規模予測の不確実性に対するロジックツリー評価手法の応用事例-糸魚川-静岡構造線活断層系を対象として-. 活断層研究, 27, 95-111.
- Manighetti, I., Campillo, M., Bouley, S. and Cotton, F. (2007) : Earthquake scaling, fault segmentation, and structural maturity. *Earth and Planetary Science Letters*, 253, 429-438.
- 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 (1990) : 最大地震規模による日本列島の地震分帯図. 地震研究所彙報, 65, 289-319.
- 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.
- 文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所・京都大学防災研究所・独立行政法人防災科学技術研究所 (2007) : 平成 18 年度大都市大震災軽減化特別プロジェクト I 地震動(強い揺れ)の予測「大都市圏地殻構造調査研究」成果報告書. 822p.
- 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.
- 中田 高・後藤秀昭 (1998) : 活断層はどこまで割れるのか?—横ずれ断層の分岐形態と縦ずれ分布に着目したセグメント区分モデル—. 活断層研究, 17, 43-53.
- 中田 高・島崎邦彦・鈴木康弘・佐藤比呂志・隈元 崇, (1998) : 活断層研究にもとづく大地震発生モデル, 月刊地球, 号外 20, 136-141.
- 中山瑠璃夫 (1948) : 昭和 20 年三河地震調査速報—三河湾の海底変化—. 水路要報, 増刊号, 11-47.
- 岡田篤正 (1990) : トレンチ法による活断層調査の現状と展望. 米倉伸之・岡田篤正・森山昭雄編「変動地形とテクトニクス」, 古今書院, 18-44.
- Ramsey, C. B. (1995) : Radiocarbon Calibration and Analysis of Stratigraphy: The OxCal Program. *Radiocarbon*, 37, 425-430.
- Ramsey, C. B. (2001) : Development of the Radiocarbon Program Oxcal. *Radiocarbon*, 43, 355-363.
- Reimer, P. J., Baillie, M. G. L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Bertrand, C., Blackwell, P. G., Buck, C. E., Burr, G., Cutler, K. B., Damon, P. E., Edwards, R. L., Fairbanks, R. G., Friedrich, M., Guilderson, T. P., Hughen, K. A., Kromer, B., McCormac, F. G., Manning, S., Ramsey, C. B., Reimer, R. W., Remmele, S., Southon, J. R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F. W., van der Plicht, J. and Weyhenmeyer, C. E. (2004) : IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP. *Radiocarbon*, 46, 1029-1058.
- Sagiya, T. (2004) : A decade of GEONET: 1994-2003 - The continuous GPS observation

- in Japan and its impact on earthquake studies -, *Earth Planets Space*, 56, xxix-xli.
- 産業技術総合研究所活断層研究センター (2005) : 2005 年福岡県西方沖地震情報.  
[http://staff.aist.go.jp/s-toda/Fukuoka/Kego\\_F\\_prob\\_changes.jpg](http://staff.aist.go.jp/s-toda/Fukuoka/Kego_F_prob_changes.jpg)
- 澤祥・田力正好・谷口薫・廣内大助・松多信尚・安藤俊人・佐藤善輝・石黒聡士・内田主税・坂上寛之・隈元崇・渡辺満久・鈴木康弘 (2006) : 糸魚川-静岡構造線断層帯北部, 大町~松本北部間の変動地形認定と鉛直平均変位速度解明. *活断層研究*, 26, 121-136.
- 島崎邦彦 (2008) : 活断層で発生する大地震の長期評価; 発生頻度推定の課題. *活断層研究*, 28, 41-51.
- 島崎邦彦 (2009) : 地震と活断層: その関係を捉えなおす. *科学*, 79(2), 160-166.
- 杉戸信彦・岡田篤正 (2004) : 1945 年三河地震の地表地震断層. *活断層研究*, 24, 103-127.
- 鈴木康弘・熊木洋太 (2004) : 2003 年 7 月 26 日宮城県北部地震M6.4 が提起した地震動予測地図と活断層評価の課題. *日本地震工学会論文集*, 4, 1-4.
- 武村雅之 (1990) : 日本列島及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.
- 田山利三郎 (1949) : 渥美湾海底変化の地形学的地質学的吟味. *水路要報*, 12, 39-46.
- 宇佐美龍夫 (2003) : 最新版日本被害地震総覧 [416] -2001. 東京大学出版会, 605p.
- Wells, D.L. and Coppersmith, K.J. (1994) : New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84, 974-1002.
- 吉岡敏和・栗田泰夫・下川浩一・杉山雄一・伏島祐一郎 (2005) : 全国主要活断層活動確率地図説明書. 構造図(14), 産総研地質調査総合センター, 127p.
- 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.