



## アメリカ合衆国の活断層データベースとその応用

奥村晃史\*

### Databases of active faults and their uses in the United States

Koji Okumura \*

#### Abstract

Geologists and seismologists in the United States have been compiling and publicizing databases on possible sources of earthquakes including active faults since early 1970s. The ideas about the database and risk assessment have evolved in close response to public demands raised by such unforeseen earthquake hazards in 1989 Loma Prieta earthquake and 1994 Northridge earthquake. Though the forecasts of future earthquakes failed repeatedly, the scientific communities always analyzed the failure and improved the knowledge and technology. The fault-rupture hazard zone mapping under the Alquist-Priolo act was supplemented by the seismic hazard mapping of liquefaction and landslides. Probabilistic earthquake hazard mapping of Southern California and entire United States clearly demonstrated the advantages of regional ground shaking assessment to the evaluation of fault activity.

#### アメリカ合衆国の地震と地震地質学

アメリカ合衆国では北米プレートと太平洋プレートの境界に位置する西海岸地域とアラスカで大地震が頻繁に起きるほか、安定大陸地域である中部・東部でもまれに巨大な地震が発生している。特にトランスフォーム型プレート境界であるサンアンドレアス断層が縦断するカリフォルニア州には陸域に活発な活断層が分布して、数多くの被害地震を発生させている。アラスカに被害をもたらす地震のほとんどはアリューシャン海溝からの沈み込みに伴う巨大地震で、その規模は $M=9$ に達するものもある。アメリカ西部（概ね西経100度より西）の内陸部では、ネバダ州を中心とするベズン・アンド・レインジ地域に正断層が発達し地表断層を伴う地震が繰り返し発生している。東部は西部に較べて静穏な地域であるが、1811・1812年 New Madrid 地震（ $M=8.0$ ）のような巨大地震が過去に発生している。この地震ではミシシッピ川中流域の広大な沖積低地に激しい

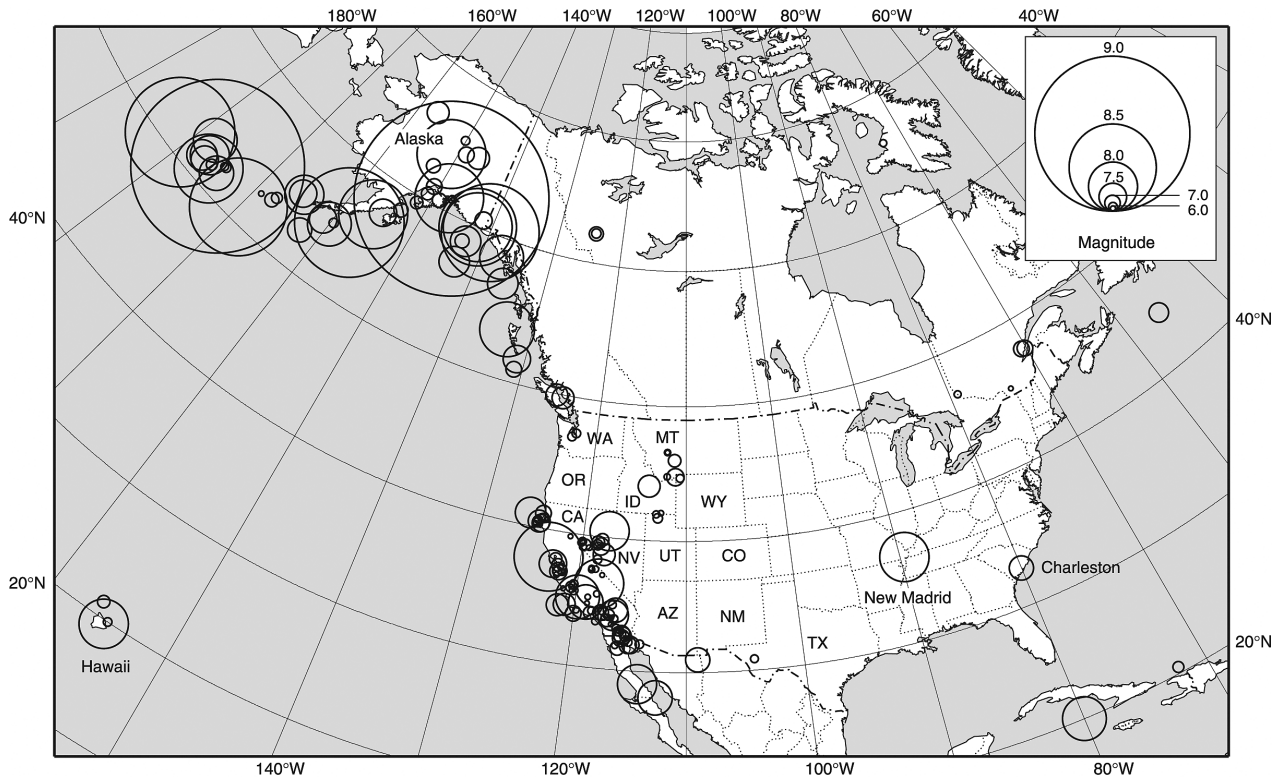
液状化が発生したことが知られている（図1）。

アメリカでは1900年代初頭から断層と地震との関連が認識され、活断層研究と地震学は一体となって進歩してきた。特にサンアンドレアス断層系では今世紀も数多くの地震の発生が観察されると同時に、過去の地震活動に関する多くの地質学的情報が得られてきた。このようにして、アメリカ西部における活断層研究は世界をリードする形で進展し、地震地質学（Geology of Earthquakes）の情報は地震研究・災害軽減に広く活用されている。

また、長期的な地震災害軽減施策を重視するアメリカの社会の災害観にも、地震地質学が活用される素地がある。アメリカでは、災害前のリスク・マネジメントと災害発生後のエマージェンシー・マネジメント（緊急事態管理）が明瞭に区別されている。ここでいうリスクマネジメントとは、緊急事態の発生による被害や混乱を最小にするために日常的に行われる努力である。どのような危険が存在するかを認識して、どのような対策が可能か、情報を収拾し冷静に分析して最善の方策を探るものである。そのため

\* 広島大学大学院文学研究科

\* Graduate School of Letters, Hiroshima University



第1図 アメリカ合衆国とその周辺の地震 (A.D. 1663年~2000年:  $M > 6.0$ )。東京大学地震研究所ホームページの宇津徳治「世界の被害地震の表 (古代から1999年まで)」(<http://www.eprc.eri.u-tokyo.ac.jp/utsuweqk/utsu.html>)の検索結果を、U.S. Geological Surveyの地震災害予測図作成のために準備されたカタログ National Seismic Hazard Mapping Project, U.S. Geological Survey (2001)および、National Earthquake Information Center, U.S. Geological Survey (2000), Yeats *et al.* (1997)によって補完した。活断層の分布する州の略称 - AZ: アリゾナ, CA: カリフォルニア, CO: コロラド, ID: アイダホ, NM: ニューメキシコ, NV: ネバダ, OR: オレゴン, UT: ユタ, WA: ワシントン, TX: テキサス, WY: ワイオミング。New Madrid (1811, 12年:  $M=8.0$ )とCharleston (1886年:  $M=7.4$ )は安定大陸地域での特筆すべき地震。

には、災害軽減のコストと損害の期待値が定量的に求められる必要がある。

地震災害に関わるリスク・マネージメントには、耐震建築設計だけでなく、公共部門では都市計画、ライフライン・道路・鉄道の路線計画、学校・病院・公的機関の立地など、数年から数十年オーダーのさまざまな事業が関連する。民間部門では、例えば生産手段の配置、投資対象の災害脆弱性、地震保険料率、再保険のリスク分散、地震保険そのものへの投資などに長期的で信頼度の高い災害情報が要求される。いずれの場合も、地震の発生を避けることはできないが、限られた資本と時間を有効に使うことによって、いかに効率よく地震災害を軽減することができるかが問われる。地震災害に強い都市や企業のインフラストラクチャを作るためには10年~数十年という長い期間が必要となる。その計画を立案するためには、その期間にどこに、どれだけの地震リスクが存在するかを知ることが必要となる。カリフォルニアのように、大都市周辺に網の目のように活断層が分布する地域では、個々の活断層から発生する

地震によって、ある地点がどの程度の地震動にさらされるか、地震動を与える可能性のあるすべての震源断層について検討する必要がある。

このような検討の基礎データは、地震観測、歴史地震、および地震地質学からもたらされる。しかし、アメリカ西部の断層のうち、19世紀の西部開拓以降に地震を発生させた断層は限られている。したがって、観測記録や歴史記録から同じ震源をもつ地震の発生間隔を知ることができず、最新の活動が知られている震源断層もごく限られている。過去の地震の発生状況を明らかにして将来予測を行うためには、地層に記録された地震の記録に頼る以外方法はない。

地震地質学の情報は、地震の震源となる可能性のある個別の活断層について、地理的位置、地震の再来間隔、最新活動時期、断層面の大きさと食い違い量から予測される地震の規模、平均変位速度などのデータを提示する。そこから求められる地震の地震波について、伝播経路による減衰、個別の地点の地盤条件による震動の増幅を明らかにすることによって、地域の長期的地震危険度評価が実現されつつ

ある。地震のソースとしての活断層データベースは、将来の地震のメカニズムと規模、発生時期を検討するための重要な情報源である。

### 活断層と地震災害に関わる データベース作成の概要

カリフォルニアでは、プレート境界の活断層がサンフランシスコやロサンゼルス周辺に多数存在し、白人社会の到来以来繰り返し断層運動が目撃されてきた。またプレート境界断層の一部はクリープ運動を続けており、住民の目の前で年数ミリの割合で大地が食い違っていき、1960年代には震源断層としての活断層の危険が明確に認識された。1971年サン・フェルナンド地震 ( $M_w=6.6$ ) による大きな被害を受けて、1972年に、アルキスト - プリオ口震源断層帯法 (Alquist-Priolo Earthquake Fault Zoning Act : 1994年までは特別調査区域法 - Special Study Zone Act - と呼ばれた : Hart and Bryant, 1999) が制定された。この法律はカリフォルニアのすべての活断層を24,000分の1地形図に表示し、断層を中心とする幅100~300mの地域を震源断層帯 (Earthquake Fault Zone : このことばに日本で言う地震断層の意味はない。区別するために本稿では震源断層と呼ぶ。) に指定し、その中の開発・居住をコントロールしようとするものである。1990年には、地震動による液状化や斜面崩壊による危険の大きな地域を24,000分の1地形図に図示して公開することを定めた、地震災害地図作成に関わる法律も制定され、断層近傍以外での地震災害軽減に利用されている。

さらに、20世紀末のカリフォルニアでは地震活動の観測や歴史記録からは予想することのできなかつた、大きな地震被害が相次いだ。1989年ロマ・プリータ地震 ( $M_w=6.9$ ) では、1906年サンフランシスコ地震 ( $M=8.3$ ) の震源となったサンアンドレアス断層に隣接する伏在断層が活動した。この区間のサンアンドレアス断層の活動は予測されておらず、伏在断層の存在も知られていなかった。また、1989年ロマ・プリータ地震による被害は震央周辺よりも、そこから100km余り北方に隔たったサンフランシスコ・オークランド市街地の軟弱地盤地域に集中した。この被害は上記地震災害地図作成のきっかけとなった。

1992年ランダース地震 ( $M_w=7.3$ ) はモハベ砂漠南部で発生したために被害は小さかったが、総延長85kmにわたって明瞭な地表断層が出現した。1992年ランダース地震は北米プレート内部の地震で、サンアンドレアス断層のようなプレート境界に較べて活動度は著しく低く、地震の危険度についてもそれまで考慮は払われていなかった。この地震の発生によって、地質学的な記録しかない活動度の低い断

層についても網羅的かつ系統的に評価することの必要性が強く認識された。1991年に設立された南カリフォルニア地震センターが主導するワーキンググループ (Working Group on California Earthquake Probabilities, 1995) は南カリフォルニア全域の確率論的長期的地震危険度評価を実現した。この評価では、個々の活断層の位置・形状、活動度、活動履歴、そこから予想される地震の規模が基礎データとして取り入れられ、定量的な活断層データベースの整備が長期的地震危険度評価の基礎であることを明らかにした。

南カリフォルニア全域の確率論的長期的地震危険度評価がとりまとめられつつあった1994年1月、ロスアンゼルス北郊でノースリッジ地震 ( $M_w=6.7$ ) が発生した。この地震による人的被害は死者60名、負傷者約9000名で、大都市近郊の大地震として特に大きくはなかつた。しかし、地震保険の支払額は125億ドルという記録的な額となり (1989年ロマ・プリータ地震では10億ドル)、同じ年に発生したハリケーン・アンドリュースによる支払額160億ドルとあわせて、世界の保険・再保険業界に大きな打撃を与えた。その結果、地震保険の料率を算定するための地震危険度の合理的な評価や、生産財の配置を検討するための地震危険度の地理的分布のデータに対する経済サイドからの需要も著しく高まった。

1995年に公表された南カリフォルニア全域の確率論的長期的地震危険度評価は、従来の決定論的地震危険度評価とは異なる発想のもとに、長期的な危険を定量的に把握することを可能とした。同じ手法は1997年に公表されたアメリカ全土の地震危険度評価、1999年に完成した世界の地震危険度評価に取り入れられた。本稿では、確率論的地震危険度評価の基本データの一つである活断層データベースの現状を紹介する。

## アメリカの活断層データベース

### 1. 定性的データベース

この節で紹介するデータベースは、活断層の存在や地震災害発生の可能性を示し、さらに、その活断層の属性を解説することを目的としたものである。

A. アルキスト - プリオ口震源断層帯法と地震災害地図法  
カリフォルニア州では1972年のアルキスト - プリオ口震源断層帯法の制定により、州政府は州内に存在するすべての活断層の断層線と、断層沿いの100~300mの範囲に設定される震源断層帯の境界を記した1/24,000地形図を公表することを義務づけられた。1972年当時、サンアンドレアス断層など主要な断層については、断層線の位置がかなり正確に記載されていたが、多くの断層については十分な調査

が行われておらず、断層線を地図に記すこと自体が大きな調査課題となった。これまでに544枚の1/24,000震源断層帯地形図がカリフォルニア州地質調査所から公表されている。なお、この法律では活断層を、過去繰り返し地震を発生させた断層のうち、現在から11,000年間〔完新世〕に活動したことのある断層と定義している。

この震源断層帯マップは断層線が通過する郡・市、その地域を管轄する連邦・州政府機関に配布され、行政ベースの開発計画の制定と実施、民間ベースの開発のコントロールに用いられる。行政機関は震源断層帯区域内での建築や開発行為を規制することが義務づけられる。震源断層帯を含む開発が計画された場合、郡・市は開発主体に対して活断層の位置を特定する地質調査（特別調査）を強制し、活断層の上に建物が建築されないことを確認して開発を許可する。調査は州政府の認可を受けた専門家が実施し、一定の形式で報告が行われる。活断層の位置が特定された場合、建物はその断層線から50フィート（約15m）以上離して建築しなければならない。

アルキスト・プリオ地震断層帯法は、クリープや地震時の断層の食い違いによる断層直上の建造物被害を防ぐことを目的としている。しかし、実際の地震被害は震源断層直上に限られるわけではない。被害の大部分は震度分布と地盤条件に対応して断層から離れた地域に分布する。1989年ロマ・ブリータ地震では震央から100kmも離れたサンフランシスコやオークランド市街で大きな震動被害が発生し、断層だけに着目した地震対策の限界を示した。これをうけて1990年にカリフォルニア州で制定された地震災害地図作成に関わる法律は、地震動による液状化や斜面崩壊による危険の大きな地域を1/24,000分地形図に図示して公開し、危険区域での開発に対して、事前の地盤調査、調査の結果に応じた設計・施工の改善を義務づけるものである。また、危険区域内の不動産取引においては、地震災害の危険が存在することの公開も求められる。これまでに114枚の24,000分の1地震災害地図が公表され、原寸の印刷図とともに、DXF File, Intergraph Design File, MapInfo File, Acrobat Color MapなどのGISに対応した形式のファイルがWeb上で公開されている（California Department of Conservation, California Geological Survey, 2001）。震源断層帯と地震災害危険区域の設定は、行政と市民に安全のための対策を法的に強制するものであり、活断層・地震と社会の関わりのもっとも重要な例の一つといえる。法制度に関わるデータとして、客観性と網羅性が強く要求されるが、それを満たすための基礎データの整備には10年、20年という長い時間がかけられている。

## B. 第四紀断層・褶曲データベース

アメリカ合衆国の第四紀断層・褶曲データベースは、合衆国地質調査所中部地質災害チーム（U.S. Geological Survey, Central Geologic Hazard Team）により、次にのべるILP II-2の西半球活断層プロジェクトの一環として1992年に着手され（Machette *et al.*, 2000）、2003年3月現在公開へ向けて最後の仕上げが行われている。このデータベースは、第四紀断層・褶曲というタイトルが示すとおり、第四紀（過去約180万年間）に活動した断層や褶曲を網羅的にカバーすることを目的としている。これは、カリフォルニア州のような地震活動がきわめて活発な地域だけでなく、アメリカ中部・東部のように、頻度は低くとも大地震が発生する可能性がある地域の地震危険度評価を実現するという目的に対応している。原子炉のような重要建造物や、地震災害を想定していない大都市にとって、たとえ確率は低くとも地震の危険性の把握は必要である、という考えがその基本にある。

合衆国地質調査所中部地質災害チームは、1992年のプロジェクト開始にあたって、地理情報システムを念頭においたデータベースの設計を入念におこない、ガイドラインを定めた（Haller *et al.*, 1993）<sup>1</sup> のガイドラインは、活断層・活構造を分類して必要なパラメータを入力するための基準が記されている。しかし、活断層の定義や、認定方法については一切述べられていない。これは編集者の判断や主観で活断層を認定するのではなく、既存の資料から一定の手続きで活断層を認定し知識を整理することを目的としているからである。認定の基準やその問題点は、テキストベースのコメントデータとして、可能な限り詳細に記されている。この立場は客観的な情報の収集を実現しているが、反面、データの収集は各州の地質調査所に委ねられており、編集者ごとに基準が一致しないため、州境を境に断層の分布状況が著しく異なる場合もある。

データベースは、GIS（ArcInfo）を用いた断層線の地理情報データと、パーソナルコンピュータ用リレーショナルデータベースでサーバ機能をもつFile Maker Proを用いたテキストデータに分割されている。ユーザはWebページ上で、地図画像を用いたクリックブルマップによるデータの検索ができるほか、教育・一般・研究の3種類のインターフェースを用いてテキストベースの検索もおこなうことができる。地理的屬性（州、郡、地形図幅）と、活断層の地質構造としての屬性（断層長、活動様式、走向・傾斜、活動時期、活動度）からのさまざまな検索が可能となっている。断層線の位置に関するGIS情報は、25万分の1地形図に記された断層線をデジタル化することによって作成されている。ユーザには固定縮尺で、陰影地形図上に断層線を記した索引図が提供されているが、インタラクティブな地



図インターフェイスは操作を軽快にするため用いられていない。

テキストデータのフィールドは、断層名、断層番号、断層概要、断層名に関するコメント、所在州、所在郡、所在地形図幅名、所在自然地域名、地質構造、位置精度、地質解説、両端の緯度経度、断層長、平均走向、活動様式、断層面の傾斜、古地震調査の結果、地形表現、変位基準、歴史地震、最新活動時期とその根拠、地震再来間隔とその根拠、変位速度とその根拠、データ作成者氏名・所属、作成年月日、修正記録、参考文献である。これらのフィールドについて、可能な限りの資料が収集され整理して収録されている。また、図・写真を収録するためのフィールドも準備されている。多くの項目には、根拠を記述するためのコメントフィールドが準備され、必要に応じ詳細な説明が付され、テキストデータの量は膨大なものとなっている。

この第四紀断層・褶曲データベースに収録される断層・褶曲等の項目数は最終的には2000程度となる予定である。入念な設計のもとに、徹底的なデータの収集がおこなわれている点、データベースとして非常に充実したものとなっている。また、オンラインでのデータ公開について周到な準備がなされているだけでなく、州ごとのデータは、コンパイルが終わった時点で、各州の活断層図や、活断層データベースとして公表されている。政府機関が国の予算で調査・編纂した結果を、国民に解りやすく、アクセスしやすいかたちで公開する、という原則が強固に貫かれている。

### C. ILP II-2 西半球活断層データベース

国際リソスフェア研究計画（ILP: International Lithosphere Program）のタスクグループII-2は世界の活断層マッピングを目的として1992年に結成された。このプロジェクトは東半球と西半球をそれぞれ、ロシア（V.G. Trifonov）とアメリカ（M.N. Machette）が分担するかたちで実行された（Trifonov and Machette, 1993）。西半球プロジェクトのうち、カナダを除く北米・中米・南米は、上に記した第四紀断層・褶曲データベースに準ずる形式でデータの収集とデータベース化がすすめられている。中南米の多くの国では、活断層の専門家が存在しないか、ごく少数であるため、活断層図の作成とデータベースの作成は必ずしも順調ではないが、メキシコ、コスタリカ、パナマ、ベネズエラ、アルゼンチンなどのデータはすでに集成が終わり、合衆国地質調査所のOpen File Reportとして一部公表されている（Machette, 2000）。なお、東半球プロジェクトは1995年にロシアで大縮尺の活断層図を印刷して終了したが、この印刷図はほとんど流布しないままである。

## 2. 定量的データベース

アメリカでは、1980年代後半から、活断層の活動履歴と地震カタログをもとに、将来の地震発生を確率論的に予測する研究が進展してきた（Working Group on California Earthquake Probabilities, 1988; 1990; 1995）。1990年までの予測は断層そのものの活動予測であった。例えば、『サンアンドレアス断層のBセグメントが今後30年間に活動する確率は17%である。』という条件付き確率を述べた予測が行われた。しかし、現実の社会と住民にとって、どの断層が動くか、ということはほとんど意味がない。彼らにとって重要な問題は、自分が居住しあるいは経済活動を行っている地点で、どのような地盤震動が発生するか、ということに限られる。この要請に応えるために、Working Group on California Earthquake Probabilities（1995）やアメリカ合衆国の地震災害予測図（Frankel *et al.*, 1997a, b）は、断層運動から地盤震動を予測する手法を確立し、断層による地震波の発生・地震波の伝播に伴う減衰・地盤条件による増幅の分析を総合して、アメリカ合衆国やカリフォルニアの任意の地点における地盤震動予測図を作成した。その予測は、『カリフォルニア州のP地点で今後50年間に0.2g以上の最大加速度を伴う地震動が発生する確率は20%である。』といった形をとる。以下に紹介するデータベースは、このような地盤震動予測に必要なパラメータを提供することを主眼とした定量的なデータベースである。

### A. SCEC Phase II

Working Group on California Earthquake Probabilities（1995, 1996）は世界で最初の確率論的地震動予測図である。この研究は南カリフォルニア地震センター（SCEC）による、南カリフォルニア地震災害予測プロジェクトの第二期の主眼であったため、SCEC Phase IIと呼ばれる。この予測図には南カリフォルニアに分布する51の活断層の65セグメント（長大な断層の一部分で単独で地震を発生させる可能性のある区間）が起震断層として想定されている。65のセグメントは活動度に関する資料の量と質の違いから、Type A, B, Cの3種類に分類される。

Type Aのセグメント（3断層16セグメント）は、地震の再来間隔、1回の地震による食い違い量、最新活動期の確かな地質学的データあるいは歴史記録が得られた断層で、これらのデータをもとにそのセグメントから発生する最大の地震（Characteristic earthquake）の規模を正確に予測するとともに、最後の地震発生後の経過時間に依存する条件付き地震発生確率を求めることができる。Type Bの24セグメントについては、平均変位速度は判明しているものの、過去の活動時期や食い違い量に関するデータが不十分なため、Characteristic earthquakeの発生はPoisson過程と仮定

されて、経過時間に依存しない条件つき地震発生確率が求められる。Type Cの25セグメントは、地表に単一の断層線を認めることができず、伏在する複数の断層を一括して一つのセグメントとすることが多い。活動度に関する直接のデータはほとんど得られておらず、地震活動のデータや測地資料から求めた平均変位速度をもとに、Type Bと同様な地震発生確率が推定される。

これらのセグメントから発生する地震動の大きさと発生確率を推定するために、それぞれについて断層長、断層面の面積、平均変位速度、経験式に基づく最大地震規模、地震カタログに基づく地震発生率、Characteristic earthquakeを考慮した地震発生率、地震モーメント放出率、Gutenberg-Richterの地震規模 - 頻度式における  $a$  値がパラメータとして与えられる。確率論的地震動予測においては、これらのパラメータから将来発生する地震の規模と確率が求められる。

モデル化された地震が、断層から離れた任意の地点にどのような地震動を与えるかは、地震波の伝播に伴う減衰・地盤条件に基づく増幅を実測値や経験式によって計算される。ある地点が複数の震源から発生する地震による地震動を受ける場合、それぞれの地震による地震動の確率を合算した値から、その地点の地震動予測が行われる。地震動の指標としては、通常水平最大加速度が用いられる。

#### B. SCEC Phase III と南カリフォルニア活断層データベース

SCEC Phase II (Working Group on California Earthquake Probabilities, 1995, 1996) の成果は、断層と地震について地質学的データから求められるパラメータをもとに、地震発生の条件つき確率を求め、さらに地震波の伝播と増幅も考慮して面的な地震災害予測を実現したことにある。

地質学的データの収集とデータベースの整備は、1995年のPhase II 完了後に本格的に着手され、南カリフォルニア地震センター・データセンターのWeb上で地震や活断層に関するさまざまなデータとともに公開されている (Southern California Earthquake Data Center, 2001a, b)。このデータベースではグラフィックなインターフェースから、カリフォルニアの北緯37度以南の234の断層・褶曲等についての地震予測パラメータを主体とした簡潔なデータベースへアクセスすることができる。また、その断層から発生した地震についての詳細なデータベースへのリンクも設定されており、活断層と地震を総合的に理解することができる。

ところで、SCEC Phase II および次に述べるアメリカ合衆国全土の地震ハザードマップでは、地震波の減衰や増幅

に関わる地殻・地盤の中・小スケールでの不均質性は地震動予測に反映されていなかった。現実には、地盤条件と断層や褶曲などの地質構造による地殻の不均質さによって、地震波は著しい増幅を受けることが普通である。南カリフォルニア地震センター (Southern California Earthquake Data Center, 2000) では、地盤と地質構造の不均質性を考慮した地盤震動モデルの作成をめざしている。地震モデルをつくるための活断層の地質学的データベースに加えて、地盤や地下地質構造を3次的にデータベース化して、地盤震動を検討することにより、SCEC Phase II のマクロスケールのハザードマップから、SCEC Phase IIIのミクロスケールのハザードマップへと、地震危険度評価は進展していく。地質学的な情報は、地震の危険を総合的に理解するために不可欠な情報として認識されている。

#### C. アメリカ地震ハザードマップ

SCEC Phase IIによって確立されたマクロスケールの地震動予測図作成手法を用いて、1996年には、カリフォルニア州全域の確率論的地震危険度評価が公表された (Petersen *et al.*, 1996)。さらに、合衆国地質調査所中部地質災害チームは、1997年にアメリカ合衆国全域の地震ハザードマップを公開した (U.S. Geological Survey, Central Geologic Hazard Team: Frankel *et al.*, 1997a, b)。SCEC Phase II (Working Group on California Earthquake Probabilities, 1995, 1996) の完了以後、僅か2~3年の間に、その手法に適合したデータセットを完成して評価を実現できた背景には、地質・地震データの取扱についてのきわめて現実的な判断がある。1996年のハザードマップでは、全米の活断層約2000のうち、変位速度の推定値が公表されている447の断層が起震断層として取り上げられ、それぞれの断層について固有地震とその発生率が求められている。うち、確実な古地震データが得られていたものは100たらずである。これを不完全な地質データに対する妥協と考えることもできる。しかし、活動度が既に知られている4分の1の断層は、活動度が高く地震危険度評価に大きな影響を与える断層のほとんどが含まれていることも事実である。そして、量的にも質的にも限られたデータを活用して評価を可能にする手法の開発と同時に、個々のデータの問題点が明示的に示されたデータベースの作成、そのガイドラインの公表が行われた。

このハザードマップは合衆国地質調査所のWebページ (Frankel *et al.*, 1997b) 上で公開されているが、パラメータや表現方法を変えたさまざまな図が準備されており、ユーザは目的に応じた図を選んでダウンロードすることができる。また、その一部は印刷図としても販売されている。さらに、応用面で注目すべき点は、建築物の耐震設計基準

を定めるために、建築設計サイドから要求される震動予測図も公表されている点である。これをもとに設計技師や公的機関による建築確認を行うことが可能となっている。ここでは、地震地質学と地震学に基づく地震と断層のデータ、地震波の伝播と地盤震動に関わる研究、地震工学が一体となって合理的な地震防災を行うための道筋を完成させているといえる。

また、マップの作成に用いられたデータやパラメータのすべてがWebページ上で公開されている。複数のデータベースを比較してみると、記載されている活断層の数や位置には研究者や調査機関の間で一致した見解があるわけではないことがわかる。しかし、それぞれのデータベースやハザードマップでは評価の根拠となったデータすべてを明示することによって、問題点の存在やこれから解決すべき問題が明らかにされている。USGSのハザードマップでは、出典を明記した断層パラメータの一覧表、地震動予測に用いた断層線通過位置の緯度・経度データ(カリフォルニアを除く)、地震カタログとその作成プロセスも公表されている。これらのデータによって、ハザードマップ作成のプロセスすべてを再現することが可能となっている。

USGSのハザードマップは、2002年秋に全面的に改訂された。この改訂でも、第四紀断層・褶曲データベースの整備やサンフランシスコ湾岸地域の古地震調査プロジェクトの成果にもとづく地震地質データの改訂が出発点となっている(Haller *et al.*, 2002)。また、震動予測手法の改訂(Frankel *et al.*, 2002)においても、地質学的データが重要な役割を果たしている。活断層の研究は、単に断層の位置情報を与えるだけでなく、変位速度や活動履歴情報の精度を上げることにより、ハザードマップの信頼度や正確さを高めるための基本的な作業として位置づけられている。

以上に紹介した、SCEC Phase IIの手法を用いた一連の長期的地震危険度評価のプロジェクトでは、1992年Landers地震、1994年Northridge地震の被害を経験したアメリカ社会の要請を受けて、長期的な地震災害軽減施策を可能とする広域的・客観的な確率論的地震危険度評価が速やかに行われた。評価を速やかに行うために、既存の限られた資料の有効利用が図られた。データベースの作成と公表は、既存資料の有効利用を行い、評価主体の説明責任を果たす手段のひとつともいえる。日本での災害危険度評価の現場では、「評価が一人歩きする恐れがある。」、「数字が一人歩きする恐れがある。」といった慎重論によって、評価そのものが行われなかったり、定量的な評価を有効にするパラメータの確定が進まなかったりする。アメリカでは、社会の要請としての危険度評価を速やかに実施することが最優先され、そのためにむしろデータや数字を一人歩きさせることが行われている。その際、説明責任とその主体は

常に明示的に示されている。

## 文 献

- California Department of Conservation, California Geological Survey, 2001, Seismic Hazards Mapping Program, <http://www.consrv.ca.gov/dmg/shezp/index.htm>.
- Frankel, A. D., Mueller, C. S., Barnhard, T., Perkins, D., Leyendecker, E. V., Dickman, N., Hanson, S., and Hopper, M., 1997a, Seismic-hazard maps for the conterminous United States, U. S. Geological Survey Open-File Report 97-131.
- Frankel, A. D., Mueller, C. S., Barnhard, T., Perkins, D., Leyendecker, E. V., Dickman, N., Hanson, S., and Hopper, M., 1997b, Seismic-hazard maps for the conterminous United States, <http://geohazards.cr.usgs.gov/eq/html/natmap.shtml>.
- Frankel, A. D., Mueller, C. S., Haller, K. M., Wheeler, R. L., Leyendecker, E. V., Wesson, R. L., Harmsen, S. C., Cramer, C. H., Perkins, D. M., and Rukstales, K. S., 2002, Documentation for the 2002 Update of the National Seismic Hazard Maps, U. S. Geological Survey Open-File Report 02-420, 33p, <http://pubs.usgs.gov/of/2002/ofr-02-420>.
- Haller, K. M., Machette, M. N., and Dart, R. L., 1993, Maps of major active faults, Western Hemisphere, International Lithosphere Program (ILP) Project II-2: guidelines for U. S. database and map, U. S. Geological Survey Open-File Report 93-338, 45p.
- Haller, K. M., Wheeler, R. L., Rukstales, K. S., 2002, Documentation of changes in fault parameters for the 2002 National Seismic Hazard Maps - Conterminous United States except California, U. S. Geological Survey Open-File Report 02-467, 34p, <http://pubs.usgs.gov/of/2002/ofr-02-467/>.
- Hart, E. W. and Bryant, W. A., 1999, Fault-rupture hazard zones in California, Alquist-Priolo Earthquake Fault Zoning Act with Index to Earthquake Fault Zone Maps, California Department of Conservation, Division of Mines and Geology Special Publication, 42, 38p., <http://www.consrv.ca.gov/dmg/rghm/a-p/mapidx/4d.htm>.
- Jennings, C. W., 1994, Fault activity map of California and adjacent areas (with appendices), scale 1:750,000, California Department of Conservation, Division of Mines and Geology, Geologic Data Map no. 6.
- Machette, M. N., 2000, Western Hemisphere, [http://www.gfz-potsdam.de/pb4/ilp/pro\\_ii-2.html](http://www.gfz-potsdam.de/pb4/ilp/pro_ii-2.html).
- Machette, M. N., Haller, K. M., Dart, R. L., and Mayer, L., 2000, New digital maps and database of major active faults and folds in the United States - Building a WWW-based digital map and computer database for popular consumption, in Okumura, K., Takada, K., and Goto, H., eds., Proceedings of the Hokudan International Symposium and School on Active Faulting, Hokudan, Co. Ltd., 243-247.
- National Earthquake Information Center, U. S. Geological Survey, 2000, The 15 Largest Earthquakes in the United State, [http://www.neic.cr.usgs.gov/neis/eqlists/10maps\\_usa.html](http://www.neic.cr.usgs.gov/neis/eqlists/10maps_usa.html).
- National Seismic Hazard Mapping Project, U. S. Geological Survey, 2001, Catalog, <http://geohazards.cr.usgs.gov/eq/html/>.
- Petersen, M. D., Bryant, W. A., Cramer, C. H., Cao, T., Rechle, M. S., Frankel, A. D., Lienkaemper, J. J., McCorry, P. A., and Schwartz, D. P., 1996, Probabilistic seismic hazard assessment for the State of California, California Department of Conservation,

- Division of Mines and Geology, Open-File Report 96-08, 59p.
- Southern California Earthquake Data Center, 2000, Phase III Report: Earthquake shaking - Accounting for Site Effects, <http://www.scec.org/phase3/overview.html>.
- Southern California Earthquake Data Center, 2001a, Faults of southern California, <http://www.scecdc.scec.org/faultmap.html>.
- Southern California Earthquake Data Center, 2001b, Southern California earthquakes, <http://www.scecdc.scec.org/clickmap.html>.
- Trifonov, V. G. and Machette, M. N., 1993, World map of major active faults - ILP Task Group II-2, *Annali di Geofisica*, **36**, 225-236.
- Working Group on California Earthquake Probabilities, 1988, Probabilities of large earthquakes occurring in California on the San Andreas fault, U. S. Geological Survey Open-File Report 88-398.
- Working Group on California Earthquake Probabilities, 1990, Probabilities of large earthquakes in the San Francisco Bay region, California. U. S. Geological Survey Circular, 1053, 51p.
- Working Group on California Earthquake Probabilities, 1995, Seismic Hazards in Southern California: Probable Earthquakes, 1994-2024, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **85**, 379-439.
- Working Group on California Earthquake Probabilities, 1996, Seismic Hazards Map: Probable Earthquakes, 1994-2024, <http://www.scecdc.scec.org/PhaseII.html>.
- Yeats, R. S., Sieh, K., and Allen, C. R., 1997, *The Geology of Earthquakes*, Oxford University Press, 568p.

(2003年5月14日受付)

(2003年6月4日受理)

---

キーワード

データベース, ハザードマップ, 活断層図, 確率論的地震危険度評価  
database, hazard map, fault mapping, probabilistic hazard assessment