

## 2. 兵庫県南部地震に関連する地震活動の特性

### 2.1 はじめに

京阪神とその周辺地域は、内陸活断層の密集する地域にあり、過去数10万年の間続いている活断層の運動で形成された盆地や平野に都市が発達した。したがってこの地域には、規模の大きな地震が発生し、都市が強震動を経験する頻度が高い。この地域の地震発生と地震災害に関する調査研究として、地震活動の記録を、史料や近代の観測データから可能な限り収集し、データベースを作成した<sup>1)</sup>。

西南日本内帯では、大規模な内陸地震の多くは大都市に起こる。しかも、今後の大地震は歴史の中で大震災を経験していない都市直下に起こる。1943年鳥取地震、1948年福井地震、1995年兵庫県南部地震などが実例であり、これら20世紀の西南日本の大地震も県庁所在地の直下に起こり、直上の都市に大震災をもたらした。いずれの都市もそれまで歴史の中では直下の大地震が知られていなかった。1995年兵庫県南部地震の直後から「まさか神戸に大地震が起こるとは思いもよらなかった」という声をよく聞いた。この声ほど、市民の認識と専門家の認識の差の大きいことを感じさせるものは、他にないと思う。

また、西日本でなくても、一般的に日本の都市は平野部に発達するから、震源断層が100 km以上離れていたとしても、地盤の液化化などで大きな震災がある。さらに、強震動がそれほど強くなくても、火災を起こせば2次災害が拡大する<sup>2)</sup>。

京阪神や奈良などの地域は、活断層が密集する地域であることと、長期間の豊富な歴史があることによって地震の史料が多い。このデータベースをもとに、この地域の地震活動の性質が明らかにされ、さらに将来の地震活動の傾向を予測するための情報として活用されることを期待する。この章では、現在までに収集整理されたデータベースの内容とともに、そのデータからわかる基本的な地震活動の特性を解説する。

#### 2.1.1 日本列島の大地震

日本の浅い大地震は、プレート境界での海のプレートの沈み込み運動によるマグニチュード(M)8クラスの巨大地震と活断層帯のM7クラスの大規模地震である。

日本列島は、4枚のプレートの集まってくるのにできた列島である。世界の10数枚のプレートのうち4枚のプレートが日本列島の周辺に集まってきているプレートの収束域に日本列島があり、それらのプレートの相対運動で日本とその周辺地域の地震が発生している。

日本列島の東には太平洋プレート、南にはフィリピン海プレートがあつて、これらは海洋底のプレートである。日本列島の北方から北海道と東北および関東にかけて北アメリカプレートがあり、アジア大陸から西日本にかけてユーラシアプレートがある。これら2つのプレートは陸のプレートである。

プレート収束域でプレートとプレートが出会うと、衝突したり、1つのプレートがもう1つのプレートの下に沈み込む運動をする。日本とその周辺には4つのプレート境界が存在する。太平洋プレートは北海道から東北、伊豆-小笠原諸島の東から北西ないし西北西方向に沈み込んでいる。フィリピン海プレートは西日本の下へ北西方向に沈み込んでいる。日本海東縁部ではユーラシアプレートの先端が東北日本の下へ沈み込みを始めようとしていると考えられている。

沈み込んだ太平洋プレートの先端は660kmほどの深さにまで達しており、またフィリピン海プレートの先端は、中部地域では数10kmで、西へ行くほど深くなり、南西諸島の西側では300kmほどの深さに達している。

プレートの相対運動によって、日本列島には大規模な地震が起こり、しかもその頻度が高い。また、沈み込んだ海洋プレートが300kmほどの深さに達したところではマグマを発生させ、その直上の地域の火山活動を発生させる。

日本列島の地下の岩盤には、プレートの相対運動によって力が働いている。日本はプレートの収束域であるから、日本と周辺の地域の岩盤に働く力は主に水平方向の圧縮力である。圧縮力の方向はプレートの相対運動の方向やその地域と周辺の地下の構造、過去の地震活動の履歴などに支配されていると考えられており、地域によって異なっている。

日本海溝や南海トラフのプレート境界では、数10年から150年に1度というような頻度で同じ所が活動する巨大地震の繰り返しがある。琉球海溝などもそのようなプレート境界である。北アメリカプレートとユーラシアプレートの境界が富山湾から糸魚川―静岡構造線に沿って上陸していると考えられており、ここが日本列島の本州弧の連結部になっている。このプレート境界に沿って、活動度は南海トラフほどではないが、1964年新潟地震や、1983年日本海中部地震、1993年北海道南西沖地震のような大規模な地震が発生する。

一方、陸地では活断層帯を動かす大地震が起こるが、同じ活断層帯では数百年から数千年に一度というような頻度で大地震が起こる。北陸および近畿の中北部など、中央構造線より北側で、糸魚川―静岡構造線よりも西の地域は、地質構造からは西南日本内帯と呼ばれ、とくに活断層が密集して分布している。活断層の運動のうちの上下変動が、この地域に大きな平野や盆地を発達させた。その平野や盆地に都が置かれ大都市が発達してきた。したがってこの地域では、活断層帯を動かす大規模地震が大都市の直下に起こるのである。中央構造線よりも南部は西南日本外帯と呼ばれ、陸に活断層はほとんどなく、地形的には広大な山地を形成している。

このように、日本は大規模地震の起こる条件がそろっており、ほぼ全国的に大規模地震の発生する地域の上か近くに都市ができていくといえる。さらに、M6クラスの地震は、日本列島のような変動帯では、プレート境界や活断層とは関係なく、どこにでも起こる自然現象であり、この程度の地震でも局所的には被害を出すことがある。したがって、日本のどこにいても、地震に備えることは生活の基本であるといえる。

### 2.1.2 日本列島で発生する地震のタイプ

地震のタイプを大きく2つに分けるとすると、プレートとプレートの境界に震源断層面が生じるプレート間地震と、プレートの内部に震源断層面が生じるプレート内地震に分けられる。それらの中に、それぞれまた、さまざまなタイプの地震があり、日本列島とその周辺地域には、これらのさまざまなタイプの地震が起こっている。その地域の地下構造と、その岩盤に働く力などによって、地域ごとにその地域の特性に応じたタイプの地震が発生する。日本列島を大きく分けて、それぞれの地域で発生する大規模な地震の主なタイプをあげると以下ようになる。

#### (1) 太平洋プレートの沈み込みによるプレート間地震

太平洋プレートが沈み込む千島海溝や日本海溝、伊豆マリアナ海溝などの地域でM8クラスの巨大地震が発生することがある。このような地震は太平洋プレートが沈み込み、陸側のプレートが跳ね上がる、というような震源断層面の運動で起こる。このような場合には、震源断層面は数100kmの長さに成長することもあり、そのときにはM8クラスの地震になる。海底で急激な地形変動があり、大津波を伴うことが多い。

#### (2) 日本海東縁の地震

この地域では、日本海の海底が北海道から東北の陸の下へ潜り込み運動を始めようとしていると考えられており、その運動が北アメリカプレートとユーラシアプレートの境界を形成しようとしていると考えられている。

#### (3) フィリピン海プレートの沈み込みによるプレート間地震

フィリピン海プレートは、東では太平洋プレートに接しており、北では北アメリカプレートの南端である関東の陸の部分に出会い、フィリピン海プレートの沈み込む場所は相模トラフとなっている。その西では、プレート境界は伊豆半島北部の陸にあり、さらに西へ、西日本の南岸沿いに駿河トラフから南海トラフ、琉球海溝とプレート境界が続いている。

これらのプレート境界にはしばしばM8クラスの地震が発生する。1923年の関東大震災を起こした巨大地震、1944年の南海地震、1946年の南海地震などもその例である。南海トラフに起こったと考えられる巨大地震は、日本の歴史資料からたびたび発生したことが検出されており、東海沖から南海沖にかけて数年以内に連発する傾向があることが知られている。連続して発生した地震を1つの活動と見なすと、そのような活動は歴史資料から9回検出される。

M8クラスの地震になると海底で急激な地形変動があり、大津波を伴うことが多い。したがって、このプレート境界に面した地域では、震源断層面に近い所では、地震発生直後に強震動が伝わってきて、その後海岸には大津波が来る。震源から遠い地域の海岸にも津波がある。

琉球海溝付近では、津波だけを伴う、ゆっくりした震源断層面の運動が発生することもある。

#### (4) 浅いプレート内地震

太平洋プレートの内部では、沈み込み口である日本海溝のすぐ東側で大規模な破壊面が発生し、例えば三陸はるか沖の大地震となることがある。

陸のプレートには、大地震が発生した跡が活断層として分布しており、それらの再活動でM7クラスの大地震が発生する。活断層の活動によっても、たまにはM8クラスの地震になることもある。活断層は、規模の大きな地震が発生したとき、その震源断層面の一部が地表に現れた跡であり、このような現象はM7程度以上の地震でないと起こらない。

海岸に近い海底にも活断層があり、これらが活動すると強震動とともに津波が直後に来ることになるが、一般的に浅い海で起こった津波は、それほど波高は高くない。

#### (5) 深い地震

沈み込んだ海洋プレートの内部が破壊すると、深い地震が発生する。震源が深ければ地表に強震動が伝わることはないが、震源が100kmとか200kmでも、地震の規模が大きければ地表に影響がある。

#### (6) 火山地域に発生する地震

火山の山体の周辺では岩盤の浅い部分に局所的に力が働いており、火山活動に伴って小中規模の地震が発生することが多いが、たまにはM7クラスの大地震が起こることがある。

1995年兵庫県南部地震は、これらのうち、(4)浅いプレート内地震である。六甲-淡路活断層帯に発生した地震で、第3章以降に述べられるように野島断層などこの断層帯の一部に地震断層が生じた。

### 2.1.3 地震による直接災害

自然災害の規模は、それを引き起こす自然現象の規模、その自然現象が引き起こす2次的自然現象の規模と内容、その地域の地質、地形、地下構造などの自然の構造や状態、その地域の社会の状況など、多くの要素によって支配される。したがって、災害の規模を予測するのは、単に経験だけに頼ることなく、十分な調査に基づくデータと最新の理論による必要がある<sup>3)</sup>。

図-2.1.1は、1885年以降1997年までの、日本とその周辺の地震の規模と死者および行方不明者の数との関係を示す。図の上は震源断層面の全部あるいは一部が陸に発生したと思われる地震による場合を示し、図の下は震源断層面が海域に発生したと考えられる地震の場合を示す。

地震現象は狭い地域に限って見ると、繰り返しの時間間隔が長い現象である。プレート間地震の場合は、数10年から100年というような時間間隔で繰り返し発生するので、日本の長期間の歴史資料からも、その繰り返しが追跡できる地域もある。このような場合に関しては、歴史資料から過去の実例を参考にして、次の地震に備えることが、ある程度できるが、それでも歴史資料から見て、被害の分布や津波の高さは同じプレート境界の活動であっても、その都度、かなり様相が異なっていることに注意する必要がある。

内陸の活断層の地震の場合には、活動の繰り返し時間間隔が、最も活動度の高い活断層でも数百年、一般には数千年であり、同じ活断層に起こった大規模地震の事例が歴史資料から発見されることは、きわめて少ない。したがってプレート内地震による強震動の分布などを過去の事例から経験的に分析することは困難である。

地震発生にともなう直接災害の可能性として、過去の実例から、一般的に以下の5つの種類の被害が想定される。地域の特性によって常に全部が起こるとはかぎらない。また、火災などによる2次災害はここでは想定していない。

#### (1) 構造物直下の活断層のずれによる被害

一部の活断層は地表で地形から容易にその位置が確認できる。そのような場所は基盤の岩盤が浅いところにあり、一般にいわゆる地盤の良い場所である。それにもかかわらず、その活断層が活動して

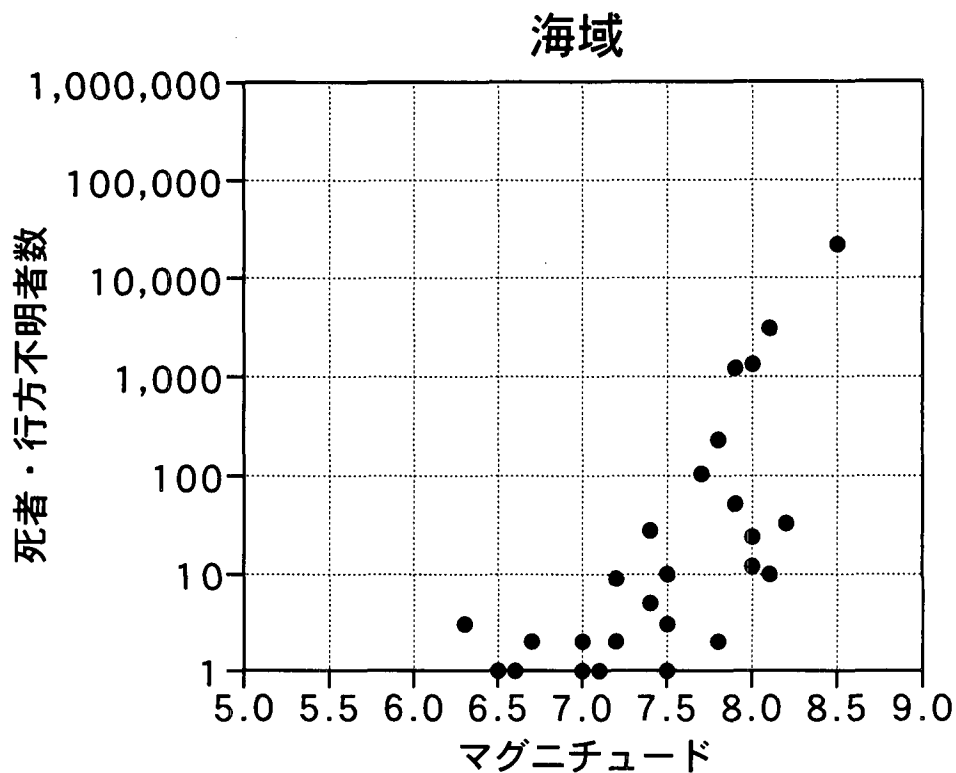
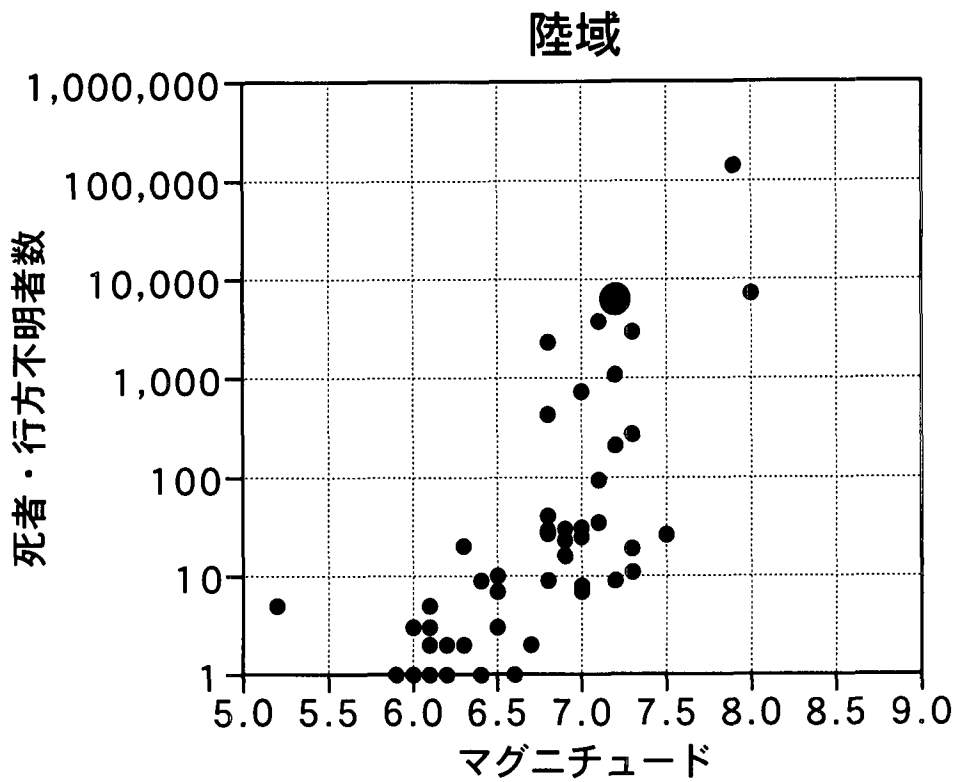


図-2.1.1 地震の規模 (M) と死者および行方不明者の数の関係 (1885-1997年)

(上) 震源断層面の全部あるいは一部が陸域の地震

1995年の阪神・淡路大震災は太い記号で示されている。

(下) 震源断層面の全部が海域の地震のMと死者および行方不明者の数の関係

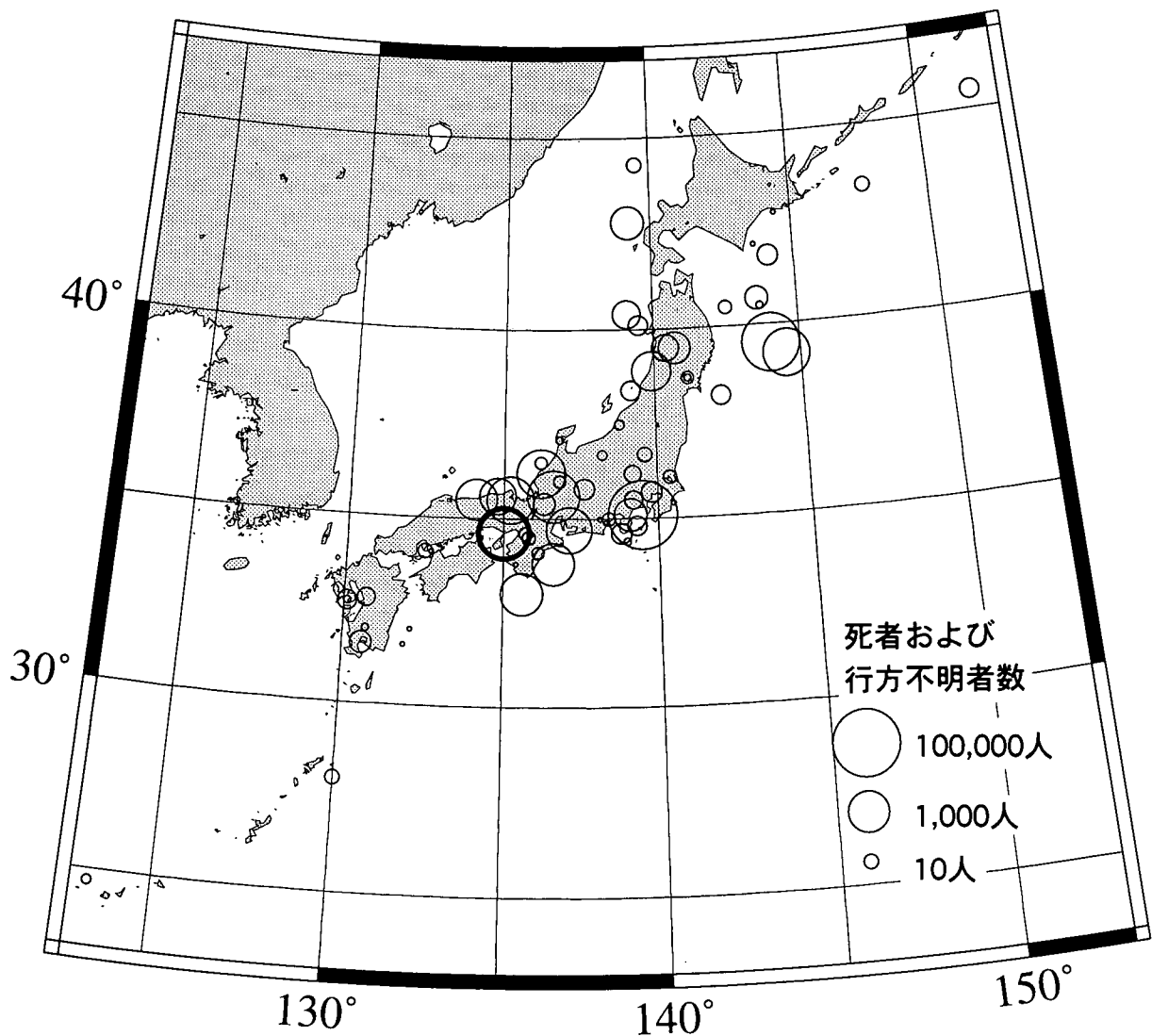


図-2.1.2 日本列島とその周辺の地震による死者および行方不明者数の分布。  
震央にその地震による死者および行方不明者数をプロットしてある。  
1995年の阪神・淡路大震災は太線の記号で示されている。

大地震が起こると、活断層に沿って地表に数メートルの上下あるいは水平のずれを生じ、それをまたいだ構造物を破壊する。このような活断層の上では、活断層の上を避けて土地を利用する方がよい。

#### (2) 強震動による構造物の破壊

近地地震の強震動による強い力が働いて弱い構造物を破壊することがある。震源断層面の両側数km以内が特に危険である。周辺10kmの範囲の活断層に大地震が発生した場合を想定しておくことが必要である。本震で弱っているものが直後の余震で壊れることもある。

#### (3) 強震動による地盤の崩壊による被害

近地地震の強震動による強い力が働いて地盤、特に斜面が崩壊し、その上あるいは周辺の構造物を破壊することがある。地盤の特性により、周辺の数10～100キロメートルの範囲の活断層に大地震が発生した場合を想定しておくことが必要である。本震後の余震にも注意が必要であり、また降雨などの複合現象を考慮しておくことが必要である。

#### (1) 構造物周辺の地盤の液状化による被害

近地地震の強震動によって地盤が液状化し、構造物が不等沈下を起こしたり、それによって破壊す

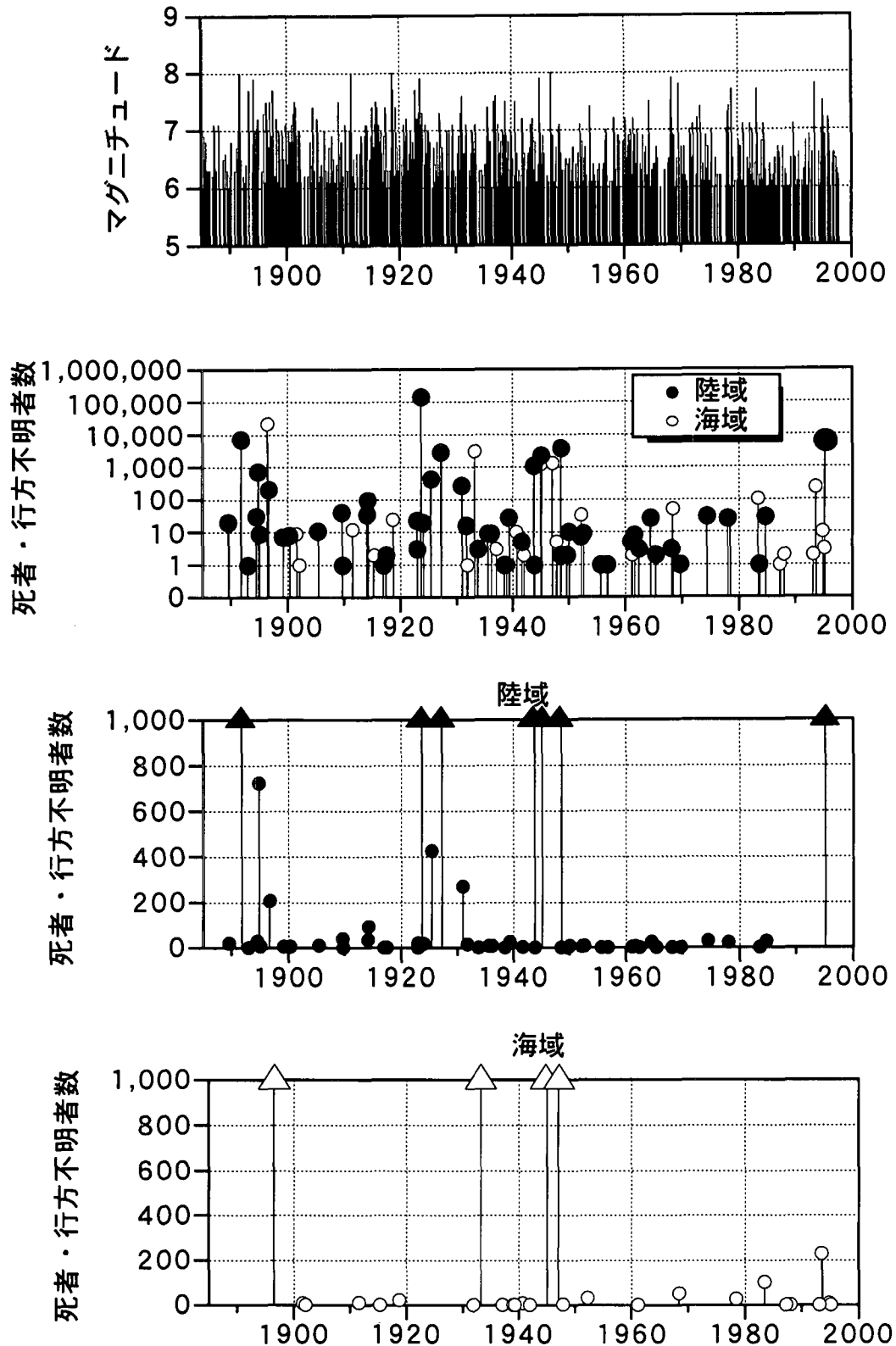


図-2.1.3 (a) 日本のM6以上、深さ0~100kmの地震の時系列、(b)震災による死者および行方不明者数の変化、(c)陸の地震による死者および行方不明者数の変化、(d)海の地震による死者および行方不明者数の変化

る場合がある。震源断層から100km以上離れていても発生することがある。土木構造物や埋設したライフラインの被害も大きい。

#### (5) 津波による災害

海底の地震発生で津波を生じた場合、構造物が流失し、破壊し、あるいは漂流物が被害をもたらす。また、構造物の存在が津波の伝播に影響を与えることによって被害をもたらすことがある。警報による避難によって減災をはかる。

津波には、日本周辺の海域に発生した地震によるものだけではなく、遠く南アメリカのチリに発生した地震によるものもあり、また、震源断層面のゆっくりとしたずれによって発生するものもあるから、津波の来る前に必ずしも強い揺れを感じるとはかぎらない。

以上のような自然災害で震災が生じるが、さらにこれに加えて、火災などの2次災害が加わることになる。図-2.1.1では、それらのすべてが含まれている。

図-2.1.2には、日本列島とその周辺の地震による死者の分布が示されている。震央の位置に、その地震による死者数および行方不明者を表す記号がプロットしてある。これによると活断層が発達した西南日本内帯に、都市直下の地震による大規模な震災が起こるといふ日本列島の特性を見ることができる。

図-2.1.1および図-2.1.2からわかるように、1995年の阪神・淡路大震災は、死者の数で見ると、1885年以来の日本列島の統計から大きくはみ出すものではない。

図-2.1.3には、日本のM6以上の地震の時系列、震災による死者および行方不明者数の時系列が示してある。日本列島全体では、地震の発生は比較的定常的に起こっているように見えるが、死者および行方不明者の数で見た震災の時系列は、1949年から1994年までは大きな震災がなかったことを示している。死者の数は、一般的に海の地震より内陸の地震による場合が多いのは、図-2.1.1でわかるが、20世紀の後半に大きな震災が少ないのは、以下の節で述べるように西南日本内帯の地震活動期と静穏期に対応して、兵庫県南部地震までの数10年の間、内陸の活断層帯の地震が少なかったことによるものである。

## 2.2 兵庫県と周辺地域の地震史

### 2.2.1 歴史資料

文字による最初の地震の記録は、日本では416（允恭5）年に登場する。日本書紀に「地震」と書いてあるだけで、被害などの記載はない。大和の地震であろう。599（推古7）年には、日本書紀に「地震神を祭らしむ」とあり、大和で家屋が倒壊した。これが日本で最古の地震災害の文字による記録である。

1500年以上の長期間の史料のおかげで、日本列島の地震活動について多くの大切なことがわかった。その中で最も規模の大きな現象の一つは、南海トラフの巨大地震の繰り返しである。100年から150年ほどの時間間隔でM8クラスの巨大地震が南海トラフで起こる。南海トラフは、フィリピン海プレートが、ユーラシアプレートの端にある西南日本の下へ沈み込んでいるプレート境界である。

京阪神地域では、京都の歴史史料がもっとも長期間、充実している。平安京があった京都盆地に目立つ被害を出した地震の最初の記録は、827（天長4）年のもので、M6.5から7.0と推定されている。旧暦7月12日に起こった。余震が翌年の6月まで続き、毎月の地震の回数もわかっている。それ以来、1830（天保元）年の大地震まで、大小取り混ぜ、ざっと数えて約50回以上の地震による被害が京都盆地にあった。

京阪神を中心とする近畿中部は、活断層の密集する西南日本内帯の一部を構成しており、活断層の運動で形成された盆地や平野に都市が発達してきた。京阪神とその周辺の奈良や京都を含む地域には、1500年以上にわたって史料が豊富に存在する。それらの記述から、この地域の地震活動に関して貴重な情報を得ることができる。この節の報告は、このような長期間の史料にもとづいて、この地域の地震活動の時間および空間的分布の特徴を把握し、その結果を地域の震災対策に活かすことを目的としてまとめたものである。

## (1)用いた資料

1891(明治24)年の濃尾地震をきっかけに、翌年、震災予防調査会が発足した。その仕事の一つに、日本の地震史を編集する仕事があった。田山実が「日本地震資料目録」を1899年に、続いて1903年に「大日本地震史料」をまとめた。これらには416年から1865年までの地震に関する原典が掲載されている。

しばらくたって、武者金吉が地震史料の収集を行い、1941年から1943年にかけて「増訂大日本地震史料」全3巻を出版した。謄写版刷りの本であった。その続きの第4巻は、1951年、毎日学術奨励金で刊行され、これで全部で4000ページほどの原史料がまとめて読めることになった。

次いで宇佐美龍夫が1973年ころから古文書の収集を始め、その成果は1981年から1994年までに、全21冊、1万6812ページの「新収日本地震史料」として東京大学地震研究所から刊行された。これには、新しく収集された史料に、上記の田山実や武者金吉の収集した地震も年月日と場所の情報が加えられていて、それらが時刻順に掲載されているので使いやすい。この史料の各冊の内容は別表に示したようになっており、現在も都司嘉宣らによって収集と編集が続けられている。

また宇佐美龍夫は、自ら探し出した史料を加えて、「日本被害地震総覧」を出版した<sup>4)</sup>。これらの史料のおかげで日本の地震活動の様子が約1500年前から長期間にわたってわかり、日本の地震の起こる仕組みを考える上で貴重な情報が提供されることとなった。このような史料をもとにして被害を出した主な地震を簡単にまとめたのが理科年表の「日本の被害地震の表」であり、上記のように長年にわたって整理された史料をもとに作られた精度の高いデータである。

1500年ほどの長期間の史料のおかげで、日本列島の地震活動について多くの大切なことがわかった。最も規模の大きな現象の1つは、南海トラフの巨大地震の繰り返しである。100年ちょっとの時間間隔でM8クラスの巨大地震が南海トラフで起こる。南海トラフは、フィリピン海プレートが、ユーラシアプレートの端にある西南日本の下へ沈み込んでいるプレート境界である。

### 2.2.2 地震史料データベース

この地域の特定の地震に関連する資料や調査研究の成果はいくつか出版されているが、すべての地震を系統的に収集したものはない。史料を活用するため、過去の地震および地震にともなう自然現象や震災に関する記載を収集整理して、主な地震に関するデータベースを作成した。このデータベースをもとにして、過去の京阪神と周辺地域の地震発生の性質を把握し、京阪神と周辺地域における地震発生を長期的な視野で検討することが重要である。

京都市の事業の一環として地震の歴史資料の収集が行われており、その成果を参照して有感地震の歴史を調べた<sup>1)</sup>。794年に平安京ができてから、被害を出さなくても京都で人に感じられた地震は克明に記録されているので、それを編集すると、現在の京都地方気象台の有感地震の報告とそのまま比べることができるほどの質の高い史料が残っている。京都で有感の地震の変化を調べるといことは、京都を中心とする地域の地震活動の変化を知るといことになると考えてよい。

このような現象を、しっかりしたデータを用いて現在の地震学の知識をもとに定量的に解析することが重要である。そのため、地震発生の記録を可能な限り収集したデータベースを作成することを計画し、とりあえず京都とその周辺地域で被害を出した、あるいは有感であった地震の時刻、被害や有感報告の存在する地域名を収録する作業を行った成果がデータベースにまとめられている。

明治時代に入ってまもなくからは、気象台による観測報告が残されている。大阪では1884年、京都では1885年、彦根では1894年、奈良では1920年から、それぞれ有感地震の報告があり、大阪管区気象台によって、1989年までのデータがコンピュータ・ファイルに収められている。その後のデータも大阪管区気象台の月報などに報告されている<sup>5)6)</sup>。

震源要素を含む地震の表は1885年以後の主な地震に関して宇津徳治の表があり、1926年以後は気象庁の日本の地震の表がある。これらはいずれも石川有三他(1985)が開発したSEIS-PCのデータとして配付されている<sup>7)</sup>。

震度階級は時代とともに変わっているが、この報告では震度はすべて1994年現在の8段階の気象庁震



度階級（0～7）で表示してある。

有感地震のデータベースには、西暦416年から1995年までの有感地震が収録されている。京都とその周辺地域で記録に残された地震をできる限り収集して記録してあるが、今後とも新しく見つかった地震の年月日とともに、発生時刻、揺れの程度や被害の分布などの情報をさらに加えていきたいと思っている。このデータベースの表1(416年～1880年)には計6756レコードが収録されている。その他にも、1日約100回というような記述もあるので、この地域の有感地震は、この表1の期間に10000回を超えると思われる。表2(1881年～1995年)には計2401レコードが収録された。

### 2.2.3 史料から見た京阪神の地震活動

京阪神地域は、活断層の上下や水平のずれによって形成された盆地や平野に都市が発達した地域であり、活動度の高い活断層が密集する地帯である。したがって内陸のM7級の大地震の発生頻度は高い。

図-2.2.1は被害地震分布で、○印が被害の分布から推定されたおよその震央地域を示しており、実線は活断層を示している。古地震の震源位置に関しては後の節でも議論する。

図-2.2.2に、京阪神とその周辺地域の地震活動の時間的変化を示した。史料の比較的そろそろ西暦800年以降の被害地震で、図-2.2.1の長方形の枠の中にある地震の時系列を示している。800年から1995年1月までに44個の地震があり、その中にM7以上のものが9個ある。この図から、この地域では、被害地震がおよそ27年に1回は発生し、大規模なものも多く起こっていることがわかる。また、被害地震が歴史上ある時代に集中したことはなく、全期間を通してほぼ平均的に発生してきたこともわかる。ただし、ときどき数10年にわたる静穏期があり、また地震活動の休止期間が長いと、そのあとの地震の規模は大きい傾向があることも、図から読みとれる。

図-2.2.2の上は、有感地震の時系列を震度を縦軸として示したものである。図-2.2.2の下は、図-2.2.1に示された長方形内の主な地震の時系列である。図の上と下は、地震の発生した時がよく対応しているが、それぞれの大きさに着目すると、M7クラスの地震でも京都近辺が震度5である場合や、M6クラスの地震でも震度6の場合があることがわかる。前者は震源の活断層帯が京都近辺から遠いことを、後者は近いことを意味している。

図-2.2.3に西南日本内帯の被害地震の分布を活断層と比較して示す。中部から近畿の内陸部に被害地震が多いのは、活断層帯であることと歴史場が詳しいことによるが、古く都ができた地域は、結局は活断層運合が激しいために盆地が発達した地域でもある。図-2.2.4および図-2.2.5には、内陸地震の活動に、南海トラフのプレート境界地震に連動して活動期と静穏期が存在する特徴と、活動期の地震時系列のパターンとが示されている。このことに関しては後節で詳しく述べる。

### 2.2.4 歴史地震の震源

歴史地震の震央決定には、地震史料に記載されている被害からいくつかの地点における震度を推定し、その分布をもとに地震の震央を決定するという方法が多く用いられてきた。宇佐美(1996)<sup>4)</sup>は、その成果の代表的なものであり、今日の歴史地震研究のみならず防災などの面でも基礎的な資料として広く用いられている。また、マグニチュードや震央の決定を定量的に行い、より客観的な議論をしようとする試みも見られる。都司(1982)<sup>8)</sup>は、震度4～6の全震度データから、震度分布とマグニチュードに関する経験式を最も満足する震央とマグニチュードを同時に求める方法を考え、1855年遠江沖地震に適用した。中村・他(1986)<sup>9)</sup>は、発生状況の似ている地震とのあいだで震度5以上の面積の比をとることにより、1897年仙台沖、1854年安政東海、1707年宝永の各地震の規模や震央を求めた。また、橋田・島崎(1984)<sup>10)</sup>は、3次元減衰構造と観測点増幅率を考慮して、震度データを用いて東北地方で発生した地震の震央とマグニチュードを求めた。また、中村・他(1996)<sup>11)</sup>は、この方法を1968年十勝沖地震に類似の地震とされている1677年、1763年、1856年の地震と、1596年慶長伏見地震に応用し、慶長伏見地震についてトレンチ調査と調和的な結果を得ている。

震度を用いた震央決定は、数多くの地震についてデータを得ることができ、宇佐美(1996)に見られるような、千年以上にもわたる地震カタログの作成を可能にしている。しかし、震度の判定は、地盤

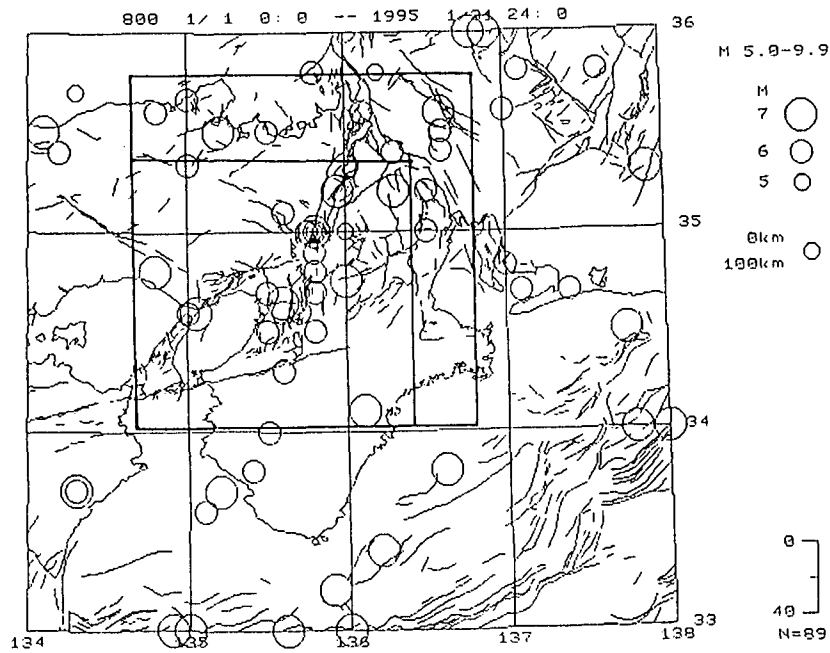


図-2.2.1 近畿中北部の被害地震分布(800年~1997年)と活断層

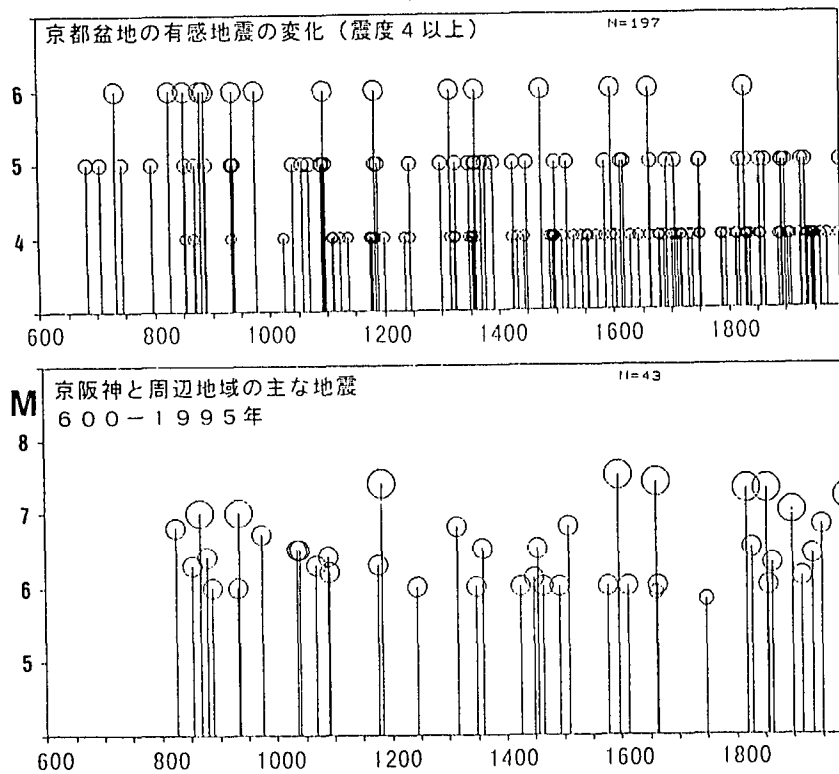


図-2.2.2 京都と周辺の有感地震の時系列。

上：京都における震度4以上の地震の時系列

下：図-2.2.1の小さい長方形内の地震の時系列

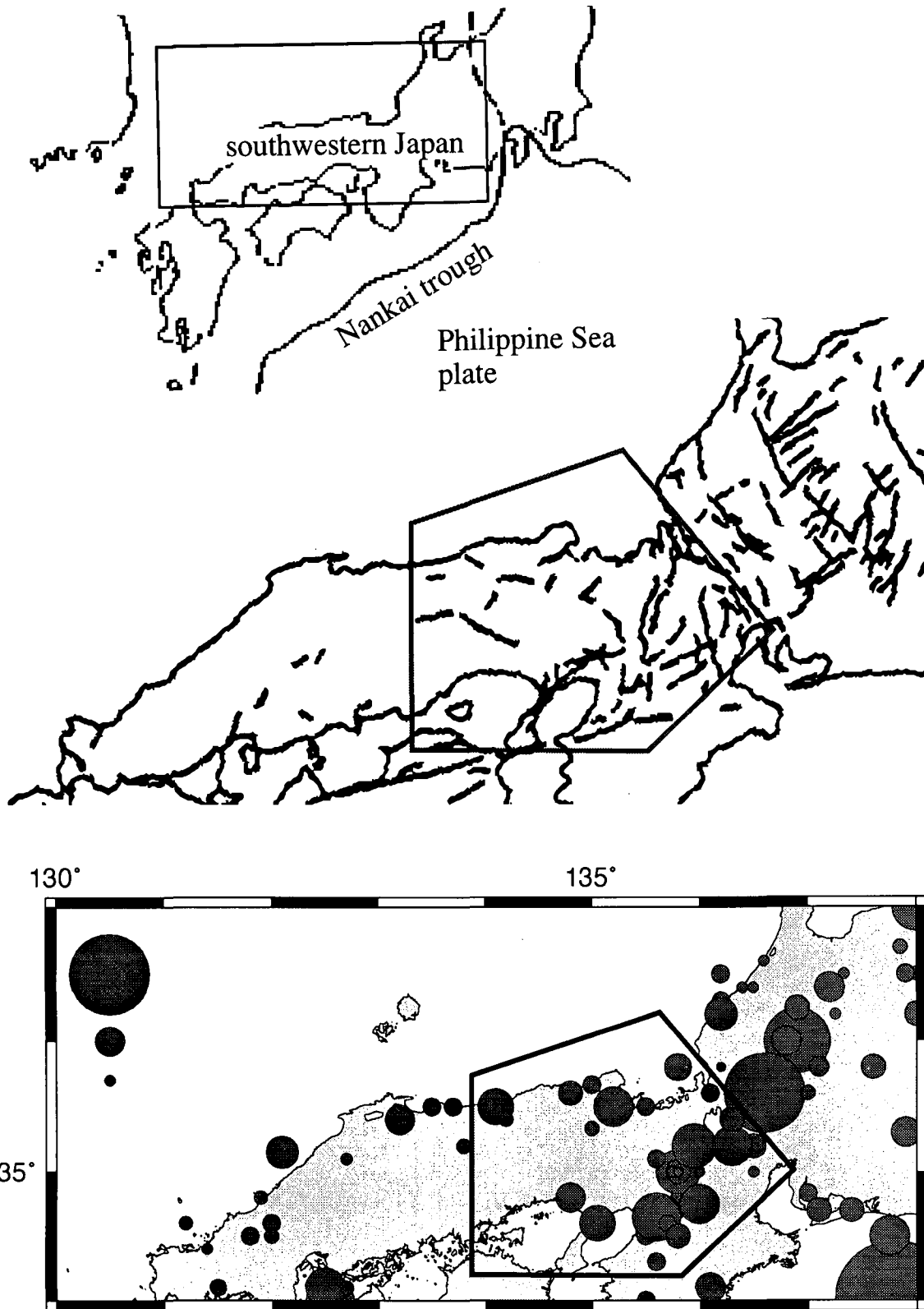


図-2.2.3 西南日本内帯の活断層と800年以降の地震分布  
 大きな多角形：内帯全体、小さな多角形：近畿中北部

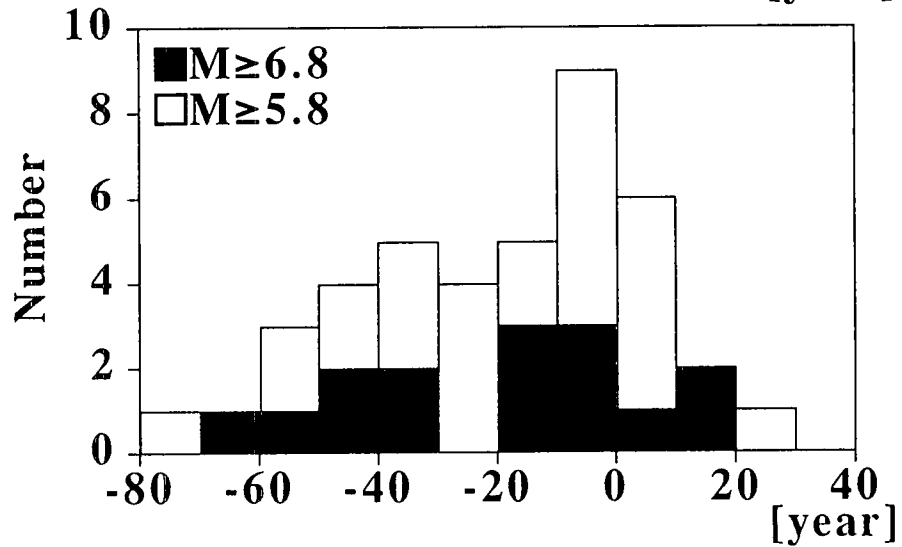
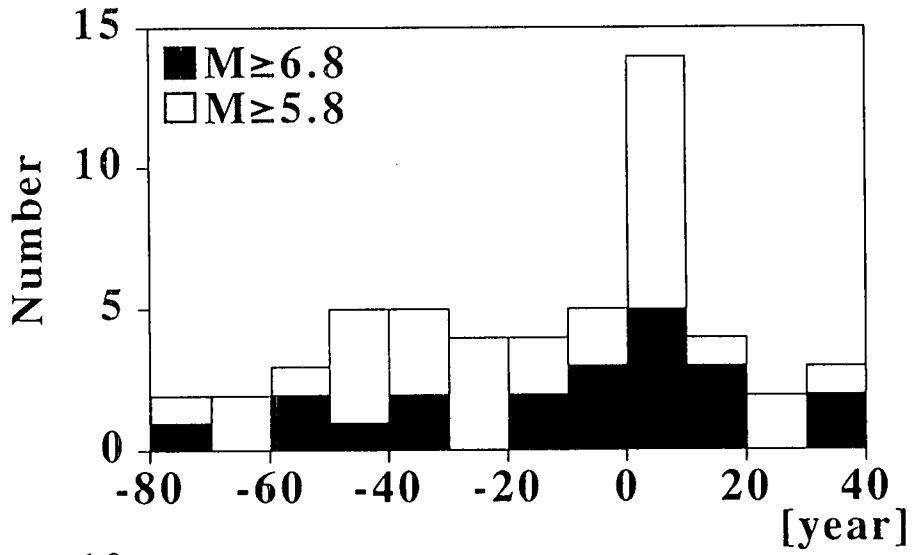


図-2.2.4 上：西南日本全体の地震活動期の活動変化（1500年以降のデータによる重ね合わせ）  
 下：近畿北中部の地震活動期の活動変化（800年以降8回の活動期の重ね合わせ）

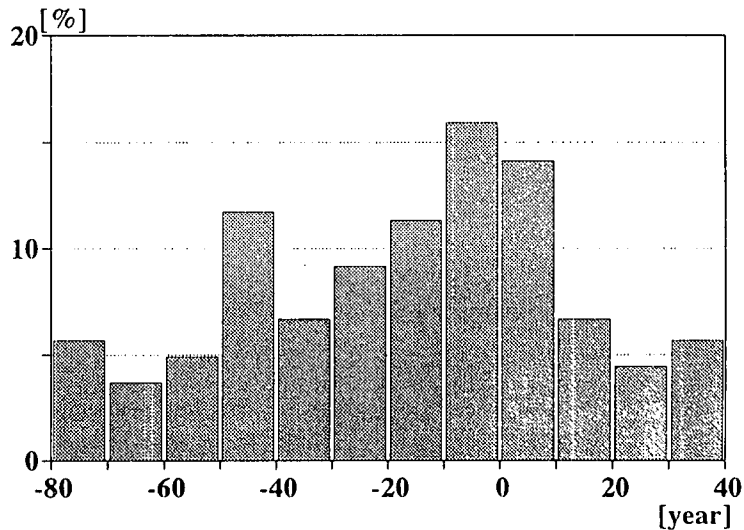


図-2.2.5 8回の南海トラフの巨大地震前後の有感地震回数の重ね合わせ  
 それぞれの期間の全体数に対する比率で重ね合わせてある。

の状況や、当時の社会構造、人口分布あるいは建物の構造などの影響を受けることが予想され、それによって震央が当時の都市部に集中するなどの影響が考えられる。

そこで、本調査では、これまでは用いられてこなかった本震後の震央周辺での有感余震数によって、本震の震央位置を推定することを試みた。近代の地震観測データによる解析結果から、まず、震央距離と有感余震数の関係を求め、次いで、史料から得られた複数の地点における有感余震数を用いて、この関係をもっともよくみたす点を震央と決定するという手法である。この手法と結果の詳細は、松井・尾池(1998)<sup>12)</sup>に述べられている。

Mと有感半径モデルを用いると、すべての余震が本震の震央と同じ位置で発生したと仮定した場合の震央距離と有感余震数の関係を求めることができる。この場合、震央近くでは極端に有感余震数が多くなる傾向が見られる。一直線状の本震の震源断層を仮定し、余震の震央が、その断層上に一様に分布しているものとして震央距離と有感余震数の関係を求め、断層の長さを50kmとした場合には、断層の中央から40km程度以内の地域では、断層の走向と、断層の中央と観測点を結ぶ線がなす角度 $\theta$ によって、若干の変化が見られることが分かる。

そこで、震央を決定する際には、まずすべての観測点について $\theta = 45^\circ$ モデルを用いて仮の震央位置を推定し、次いで、その周辺での断層の走向の傾向から、適当な断層の走向と長さを与えて震央の決定を行う。なおその際、断層の長さはすべての解析において50kmとしている。この長さは、佐藤(1989)<sup>13)</sup>によるマグニチュードMと震源断層の長さLの関係式により、およそM7.2の地震を起こすとされるものである。

解析に当たっては、東西、南北にそれぞれ $2^\circ$ 範囲の $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ グリッドについて、震央であると仮定したときに震央距離-有感余震数モデルをどの程度満たすかを示すパラメータを求める。また、観測値には、伝播経路の減衰構造や、観測点付近の地盤、あるいは観測者による影響が含まれることが予想されるので、観測値のそれぞれに10%以下、20%以下の変化を与えた場合の震央決定位置も求めた。観測値を変化させることにより、大きく震央位置が移動する場合は、結果の信頼性は低いものと考えられる。

解析に用いるデータは、『増訂大日本地震史料 第一巻・第三巻』[文部省震災予防評議会(1941a、1941b)]<sup>14)</sup>、『日本地震史料』[武者(1951)]<sup>15)</sup>、『新収日本地震史料、第二巻・第四巻・第五巻別巻三・補遺・補遺別巻・続補遺・続補遺別巻』[東京大学地震研究所(1982、1984、1986、1989a、1989b、1993、1994)]<sup>16)</sup>に収められた史料から求めた。

史料から有感余震数を読み取る際には、以下の基準による。

- (1) 「時々」「地震止まず」など、具体的な有感余震数の記載のないものは用いない。
- (2) 記録された場所が明らかでないものは用いない。
- (3) 市町村史などに収録されている史料は、原文が記載されていると判断される場合のみデータとして採用する。
- (4) 同じ地点で、有感余震数の異なる複数の記録がある場合は、原則として多いほうの数を用いる。ただし、余震数の最も多い地点、つまり最も震央に近いと考えられる地点の余震数は結果に大きく影響するため、複数のデータを用いて検討を行う。

信頼できる有感余震数が記載された文献は、被害が記載されたものに比べると格段に少ない。たとえば、震央位置が議論となった1596年慶長伏見地震についても解析を試みたが、京都については、尾池(1997)<sup>17)</sup>で示されているように古くからの多数の史料が残っており、データとして利用できるが、その他の地点の有感余震数の記録は皆無であった。このことから、近畿地方で起こった地震に関しては、この手法は江戸時代以降の地震に対して有効であると考えられる。

歴史地震の3例について解析結果を以下に示す。

(1) 1662年6月16日(寛文2年5月1日)午刻の地震

宇佐美(1996)によると、この地震では琵琶湖西岸の比良岳付近の被害が大きく、唐崎では田畑85町(約85ha)が湖に没した。このため震央は、北緯35.2度、東経135.95度に決定されている。

有感余震数データは、地震翌日の朝までのものを用いた。京都では、最多の『鴨脚家文書』で200、

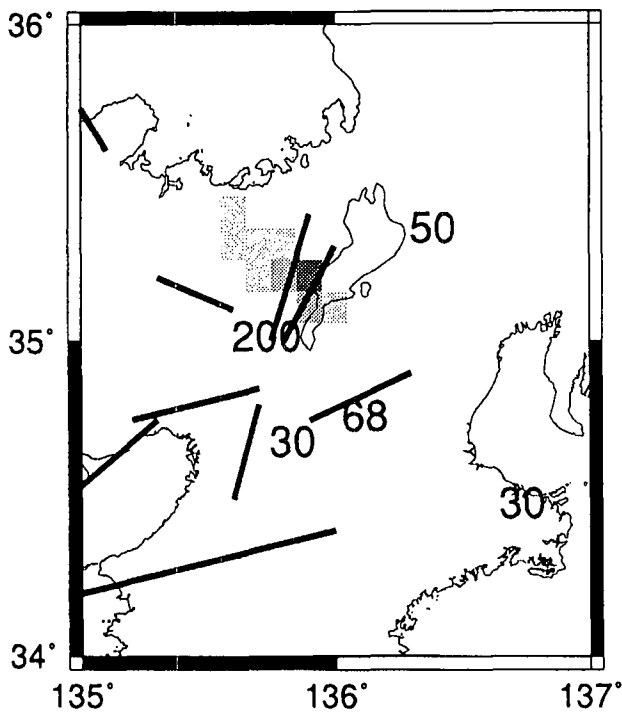


図-2.2.6 1662年6月16日の地震の震央決定結果

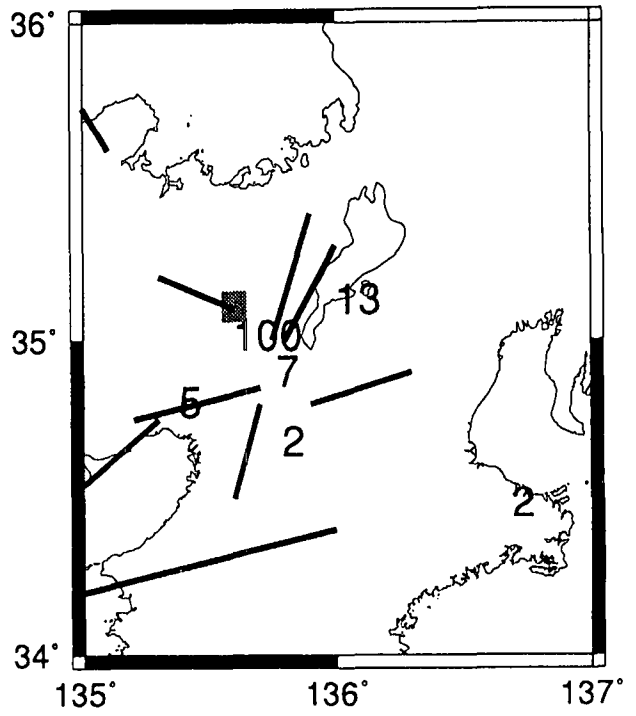


図-2.2.7 1830年8月19日の地震の震央決定の結果

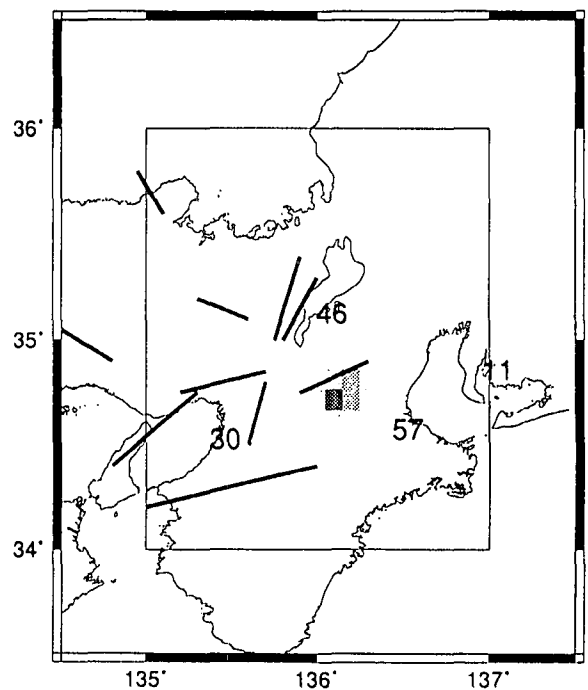
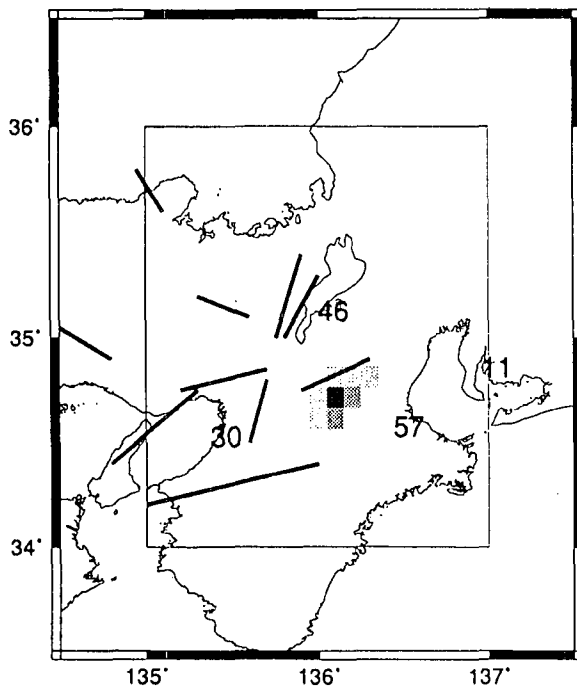


図-2.2.8 1854年7月9日の地震の震央決定の結果。四角形の内側が解析を行った範囲。

左：本震直後6日間の有感余震数を用いた場合

右：さらにN60°Eの走向をもつ長さ50Kmの震源断層を仮定した場合

以下『近衛家日記』で80、『寛文二年之日記(梅辻家文書)』で40~50、『御広間日記(吉田神社)』で48となっているため、200とした場合とともに、50とした場合についても解析を行った。奈良では、『殿中日記』で「二日之内、四十度程地震之由」と記されているため、改良大森公式を用いて調整した値である30を用いている。その他、伊勢山田は30、伊賀上野は16、滋賀県の柏原は50とした。

この地震についての解析結果を図-2.2.6に示す。京都の有感余震数を200とした場合は、震央は京都市の北方、北緯35.2度、東経135.8度になり、花折断層あるいは琵琶湖西岸断層の位置とよく一致した。また、同じデータを用いて、花折断層および琵琶湖西岸断層のおおよその走向であるN30°E、長さ50kmの断層を仮定して解析を行うと、より琵琶湖寄りの位置に決定された。

しかし、京都の有感余震数を減らすと、震央の位置は徐々に南東に移動し、50とした場合には、琵琶湖の南東側となった。

### (2) 1830年8月19日(天保元年7月2日)申刻の地震

宇佐美(1996)によると、この地震の烈震地域は京都市内に限られ、高槻、茨木では被害はなかった。また、震央は京都市の西北西約20kmの北緯35.1度、東経135.6度になっている。

データは、翌日の朝までの有感余震数を用いた。京都では、『天保雑記』が400、『万歳楽記』が100、『京都地震見聞記』が70、『(井上)淡水日記』は4となっている。このため、100とした場合とともに、4とした場合についても解析を行った。ただし、他のものと比較して極端に有感余震数が少ない『(井上)淡水日記』は信頼性が低いと考えられる。他の地点では、宇治で12、奈良で2、大阪府池田で5、近江八幡で13、伊勢で2となっている。

解析結果を図-2.2.7に示す。京都の有感余震数を100とした場合には、震央は北緯35.1度、東経135.7度になった。それぞれの観測値を20%変化させても同じ位置に決定されるため、これは信頼性の高い結果であるといえる。また、同じデータを用いて、N60°W、長さ50kmの断層を仮定した場合には、北緯35.1度、東経135.6度になった。

これに対し、京都の有感余震数を4とした場合は、琵琶湖の北東側となり、被害分布と著しく異なる結果となった。

### (3) 1854年7月9日(嘉永7(安政1)年6月15日)丑刻の地震

宇佐美(1996)によると、この地震では、伊賀上野、四日市、奈良、大和郡山付近で被害が大きく、震央は北緯34.75度、東経136.0度とされている。

地震翌日の朝までのデータを用いた場合と、それから6日間のデータを用いた場合の2通りの解析を行った。

まず、本震翌日の朝までの有感余震数は、必要なものは期間に合わせる調整を行い、伊賀上野と奈良でそれぞれ70、大和郡山で69、大津で64、大阪で58、和歌山県湯浅で36、京都で33、堺で28、松阪で25、奈良県新庄で21、愛知県西尾で14、その他北陸でも、福井で66、金沢で9、富山県氷見で4となっている。しかし、福井は被害の中心地域からの距離に対して非常に有感余震数が多く、別の地震活動の影響であったことも考えられるため、北陸の3地点のデータは用いないこととした。これらのデータを用いて解析を行った結果が、図-2.2.8である。なお、それぞれのデータが10%以下の範囲で変化した場合についても解析を行っている。震央は木津川断層とほぼ一致する北緯34.8度、東経135.9度になった。また、N60°Eの走向をもつ長さ50kmの断層を仮定して解析を行った場合も、ほぼ同様の結果となった。

次に、本震翌日の朝から6日間の有感余震数を用いた。データは、松阪で57、近江八幡で46、堺で30、西尾で11となっている。震央位置は、本震翌日までのデータを使った場合に比べてやや東寄りの位置となった。また、N60°E、長さ50kmの震源断層を仮定した場合にも、ほぼ同様の結果が得られた。

本手法を、1995年兵庫県南部地震について、気象庁地震火山部(1995)の有感地震データを用いて、震央決定を行った。10地点の有感余震数を用い、そのうち5~8地点の考えられるすべての組み合わせのデータセットを用いて震央として決定し、また、同様の解析を大阪管区気象台(1990)の有感地震データを用いて、1927年北丹後地震や1943年鳥取地震についても行った。これらの結果から、この手法について全般的に次のような傾向が見られた。

- (1) 観測点が多く、また震央を囲むように分布しているほうが信頼性が高い。
  - (2) 余震数の近い観測点が多く存在する場合には、著しく精度が悪くなることもある。
  - (3) 解析に用いるデータの期間を変えることにより、よりよい結果となる場合もある。
- 得られた結果を他の研究成果との比較すると以下ようになる。

#### (1) 1662年6月16日(寛文2年5月1日)の地震

この地震では、山崩れや湖岸の沈下など、比良岳付近の被害が非常に大きかったと見られるため、宇佐美(1996)は、震央を琵琶湖西岸の北緯35.2度、東経135.95度に決めている。萩原(1982)<sup>17)</sup>は、この地震前後の石高の比較を行い、地震による陸域の減少を詳しく検証し、水没地域の分布などから、琵琶湖西岸断層系の比良断層の活動とし、震央を北緯35.3度、東経136度に結論づけている。

花折断層については、吉岡・他(1997)<sup>18)</sup>がトレンチ調査などを実施し、花折断層の北部は1662年の地震の際に活動した可能性が高いが、断層の南部はこの地震の際に活動したとは考えにくく、花折断層の活動履歴は北部と南部で異なっている可能性が高いとしている。また、水野・他(1997)<sup>19)</sup>は、琵琶湖西岸活断層系についてトレンチ調査などを実施し、2~3千年前頃またはそれ以降の1回の活動を認めているが、最新活動については時期の特定が十分にできず、1662年の地震の際に活動したことを積極的に示す証拠は得られなかったとしている。

以上を総合すると、1662年の地震の際に、花折断層と琵琶湖西岸断層系が同時に活動したことも考えられる。しかし、花折断層が単独で活動したとしても、堆積物で覆われた琵琶湖の西岸に大きな被害が出ることも考えられ、被害分布との間に矛盾はないものと思われる。

本研究でも、データのとり方によって、花折断層あるいは琵琶湖西岸断層の活動と推定される結果となったが、どちらの断層が活動したかを決定するほどの精度は期待できないと考えられる。

#### (2) 1830年8月19日(天保元年7月2日)の地震

宇佐美(1996)によると、烈震地域は京都市内に限られ、京都で死者が280、また、丹波亀岡(現亀岡市)では、死者が4、崩家が41などの被害があった。震央は、亀岡の北の北緯35.1度、東経135.6度に決められている。

この地震については、三木(1979)<sup>20)</sup>が、多くの史料を用いてさまざまな面から詳細な分析を行い、やはり亀岡市の北側を走る断層のいずれかが活動したものと推定している。

また、本研究による震央位置も、これらの結果にほぼ一致する位置となった。

#### (3) 1854年7月9日(嘉永7(安政1)年6月15日)の地震

この地震では、伊賀上野・四日市・奈良・大和郡山付近で被害が大きく、また伊賀上野の北で、木津川断層の走向とほぼ一致する東西方向の地盤の沈下が記録され、これが震源断層であるものと考えられている。このため宇佐美(1996)は、この地震が木津川断層の活動によるものであると推定し、震央を北緯34.75度、東経136.0度に決めている。

また、萩原(1982)は、詳細な震度分布の分析を行い、伊賀上野など木津川断層周辺のほかに、四日市周辺にも震度6以上の地域が存在したことを明らかにした。また、最大の地震動を感じた時刻が場所によって異なることに注目し、まず木津川断層の活動によるM7.2の本震が発生し、ほぼそれと同時に桑名・四日市断層の活動によるM6.7の地震が発生、さらにそれから数時間後に木津川断層の南側に位置する花ノ木断層の活動によるM6.8の地震が起きたと推定している。しかし、四日市周辺は平野部に位置しており、地盤の影響で地震動が強くなった可能性や、1995年兵庫県南部地震の際に震源断層の延長線に当たる地域で被害が大きくなった例に見られるように、四日市周辺で揺れが激しかったのは木津川断層の東の延長線上に位置するためである可能性も考えられ、さらなる検討が必要である。

本研究の震央推定位置は、木津川断層に近い位置となっているが、1本の断層しか仮定していないため、桑名・四日市断層が活動したかどうかを知ることは難しい。しかし、有感余震数は四日市周辺に比べて伊賀上野周辺でかなり多くなっており、たとえ桑名・四日市断層が活動したとしても、木津川断層周辺の余震活動がより活発であったことを示しているといえる。

それぞれの地震について、これまでの被害記録をもとにした推定震央位置や、トレンチ調査などの結果と調和的な結果を得た。これによって、これまで推定されていた震央の位置がより信頼性の高い



ものであることが示されたといえる。今後、被害を記録した史料の収集とともに、有感余震数を記録した史料についても精力的な収集が望まれる。

以上により、本調査から、史料に見られる京阪神地域の大地震のうち、3個の地震に関してそれらを発生させた活断層帯が確認された。これらの他の大地震のうち1596年の大地震は有馬一高槻構造線活断層帯に発生したのであることがわかっているが、その他の大地震については今後の研究の進展が待たれる。

## 2.2.5 近畿の内陸地震と対応する活断層

京阪神地域の史料に現在までに見出されたM7クラス以上と思われる大地震のうち、それぞれの大地震を起こしたと推定される活断層との対応は、活断層の発掘調査、遺跡の噴砂の跡、地変の分布、被害の分布、今回調査した余震の史料による解析など、いろいろの情報を総合して判断される。

以下に、京阪神とその周辺地域で震災を起こしたM7クラス以上の規模の内陸地震を記載する。これらのうち、起震断層の不明のもの、および推定できていないものに関して、特に今後とも史料の発見や活断層の調査を続ける努力が必要である。

### ◇599年5月28日（推古7年4月27日）、M7、大和、活断層帯は不明

倒潰家屋を生じた。「日本書紀」にあり、地震による被害の記述としてはわが国最古のもの。（理科年表）

### ◇827年8月11日（天長4年7月12日）、35.0、135.75、M6.5～7、京都、活断層帯は不明

舎屋多く潰れ、余震が翌年6月まであった。（理科年表）

### ◇868年8月3日（貞観10年7月8日）、34.8、134.8、M $\geq$ 7、播磨・山城、山崎断層帯

播磨諸郡の官舎・諸定額寺の堂塔ことごとく頽れ倒れた。京都では垣屋に崩れたものがあつた。山崎断層の活動によるものか？（理科年表）

### ◇938年5月22日（天慶1年4月15日）、35.0、135.8、M7、京都・紀伊、活断層帯は不明

宮中の内膳司頽れ、死4。舎屋・築垣倒れるもの多く、堂塔・仏像も多く倒れる。高野山の諸伽藍破壊。余震多く、8月6日に強震があつた。（理科年表）

### ◇976年7月22日（貞元1年6月18日）、34.9、135.8、M $\geq$ 6.7、山城・近江、活断層帯は不明

両京で屋舎・諸仏寺の転倒多く、死50以上。近江の国府・国分寺・関寺（大津市）で被害。余震が多かつた。（理科年表）

### ◇1185年8月13日（文治1年7月9日）、35.0、135.8、M7.4、近江・山城・大和、活断層帯は不明

京都、特に白河辺の被害が大きかつた。社寺・家屋の倒潰破壊多く死多数。宇治橋落ち、死1。9月まで余震多く、特に8月12日の強い余震では多少の被害があつた。（理科年表）

琵琶湖の水北流し水位下がり、後日旧に復した。田3町淵となる。余震9月末までに約230回に及んだ。8月12日の余震も強かつた。（地震の事典）<sup>21)</sup>

### ◇1317年2月24日（文保1年1月5日）、35.0、135.8、M6.5～7、京都、活断層帯は不明

これより先1月3日京都に強震、余震多く、この日大地震。白河辺の人家悉く潰れ、死5。諸寺に被害、清水寺出火。余震が5月になっても止まなかつた。

（理科年表）

### ◇1510年9月21日（永正7年8月8日）、34.6、135.6、M6.5～7、摂津・河内、活断層帯は不明

摂津・河内の諸寺で被害。大阪で潰死者があつた。余震が70余日続く。（理科年表）

### ◇1596年9月5日（慶長1年閏7月13日）、34.65、135.6、M7.5、畿内、有馬一高槻構造線活断層帯

京都では三条より伏見の間で被害が最も多く、伏見城天守大破、石垣崩れて圧死約500。諸寺・民家の倒潰も多く、死傷多数。堺で死600余。奈良・大阪・神戸でも被害が多かつた。余震が翌年4月まで続いた。（理科年表）

### ◇1662年6月16日（寛文2年5月1日）、35.2、135.95、M7.2～7.6、山城・大和・河内・和泉・摂津・丹後・若狭・近江・美濃・伊勢・駿河・三河・信濃、琵琶湖西岸断層帯（花折断層北部）

比良岳付近の被害が甚大。滋賀唐崎で田畑85町湖中に没し潰家1570。大溝で潰家1020余、死37。彦根で潰家1千、死30余。榎村で死300、所川村で死260余。京都で町屋倒壊1千、死200余など。諸所の城破損。大きな内陸地震で、比良断層または花折断層の活動とする説がある。(理科年表)

◇1802年11月18日(享和2年10月23日)、35.2、136.5、M6.5~7、畿内・名古屋、活断層帯は不明

奈良春日の石灯籠かなり倒れ、名古屋で本町御門西の土居の松倒れ、高壁崩れる。彦根・京都で有感。やや深い地震か?(理科年表)

◇1830年8月19日(天保1年7月2日)、35.1、135.6、M6.5、京都および隣国、亀岡盆地断層帯系の一部

洛中洛外の土蔵はほとんど被害を受けたが、民家の倒潰はほとんどなかった。御所・二条城などで被害。京都での死280。上下動が強く、余震が非常に多かった。(理科年表)

丹波亀山で崩家41、死4。高槻・茨木被害なし。出雲・美作で有感。余震は非常に多く、翌年1月までに635回以上。(地震の事典)

◇1854年7月9日(安政1年6月15日)、34.75、136.0、M7.3、伊賀・伊勢・大和および隣国、木津川断層帯

12日頃から前震があった。上野付近で潰家2千余、死約600、奈良で潰家400以上、死300余など、全体で死者は1500を越える。上野の北方で西南西―東北東方向の断層を生じ、南側の1kmの地域が最大1.5m相対的に沈下した。木津川断層の活動であろう。(理科年表)

◇1909年8月14日(明治42年)、35.4、136.3、M6.8、滋賀県姉川付近、柳ヶ瀬断層系の一部

『江濃(姉川)地震』:虎姫付近で被害が最大。滋賀・岐阜両県で死41、住家全壊978。姉川河口の湖底が数10m深くなった。(理科年表)

彦根で震度6(15時31分、本震)、震度5(15時41分、余震)の揺れがあった。(気象庁)

◇1925年5月23日(大正14年)、35.6、134.8、M6.8、但馬北部、明瞭な活断層なし

『北但馬地震』:円山川流域で被害多く、死428、家屋全壊1295、焼失2180。河口付近に長さ1.6km、西落ちの小断層二つを生じた。葛野川の河口が陥没して海となった。(理科年表)

◇1927年3月7日(昭和2年)、35.5、135.2、M7.3、京都府北西部、郷村断層帯

『北丹後地震』:被害は丹後半島の頸部が最も激しく、淡路・福井・岡山・米子・徳島・三重・香川・大阪に及ぶ。全体で死2925、家屋全壊12584。郷村断層(長さ18km、水平ずれ最大2.7m)とそれに直交する山田断層(長さ7km)を生じた。測量により、地震に伴った地殻の変形が明らかになった。(理科年表)

京都、奈良で震度5の揺れがあった。(気象庁)

◇1995年1月17日(平成7年)、34.6、135.1、M7.2、兵庫県南部、六甲―淡路断層帯

『平成7年兵庫県南部地震』:『阪神・淡路大震災』:活断層の活動によるいわゆる直下型地震。神戸、洲本で震度6だったが現地調査により淡路島の一部から神戸市、宝塚市にかけて震度7の地域のあることが明らかになった。(理科年表)

上記震度6以上の他、京都、彦根、豊岡で震度5の揺れがあった。(気象庁)

## 2.3 近代の地震活動の変化

### 2.3.1 気象庁のデータ

#### (1) 気象庁震度階級

震度階級は、1884(明治17)年から1897(明治30)年までは、微震、弱震、強震、烈震の4階級、1898(明治31)年から1907(明治40)年までは、0から6の7階級、1908(明治41)年から1935(昭和10)年は、定義の説明が詳しくなってやはり0から6の7階級、1936(昭和11)年から1948(昭和23)年までは、無感およびIからVIまでの7階級、1949(昭和24)年から1995年までは、0、I~VIIの8階級、1996年から0、I、II、III、IV、V弱、V強、VI弱、VI強、VIIとっている。

震度階級は時代とともに変っているが、この報告ではすべて1994年現在の気象庁震度階級1~7で表示してある。1935年以前の「弱震」は震度2と3、「強震」は震度4と5にあたるが、区別の判然としないうものは、原則として震度の小さい方を採用してある。震央地名は1985年以降の地震月報で使用されているもので示してあるが、その内容は地震月報の毎年1月号に示されている。

## (2) 地震観測の歴史

地震観測を行ってきた公的機関の歴史を見るために、例として大阪の場合を振り返ってみる<sup>5)</sup>。1882(明治15)年7月1日、摂津国大阪西区江之子島県庁内に大阪府立測候所が置かれ、何回か移転した。1938(昭和13)年、府立測候所は廃止され国営に移管された。それより前、1930(昭和5)年8月、大阪市港区鶴浜通りに、中央気象台大阪支台が開設され、1936年には大阪観測所内に移転していた。1968年に大阪合同庁舎第2号館に移って現在にいたっている。

地震計は、1890年10月1日にグレー・ミルン式鎚(かすがい)型地震計と関谷式簡単地震計が動きはじめた。1921年には無線時報の受信を開始した。

近畿の古い観測地点としては、和歌山1879年、橿原1897年、彦根1893年、宮津1900年、京都1885年、神戸1896年、などである。また、岡山は1890年、徳島も1891年に設置されているので、近畿の地震活動をj知るのに役立つと思われる。

### 2.3.2 有感地震報告

図-2.3.1に、大阪および京都の有感地震報告から、年間有感地震回数の変化を示す。

大阪では1884年以来、震度5は1936年の1回、神戸では1914年から1994年まで震度5以上はなかった。神戸では、1947年に34回の有感地震があったのが、1914年から1994年までの最多記録であった。南海地震の広域の余震活動によるものであった。

京都で有感地震回数の最も多かったのは、1885年から1994年まででは、1891年の99回であった。大阪でもこの年が最多記録となった。京都で震度5の揺れがあったのは、京都での観測報告がある1885年以来6回ある。震度6以上はこの期間にはない。震度5の揺れは、1891年の濃尾地震(M8.0)、1899年三重県南部の地震(M7.0)、1927年の北丹後地震(M7.3)、1936年1月京都府中部の地震(M4.5)、1936年2月奈良県北部の地震(M6.4)と、1995年1月17日兵庫県南部地震(M7.2)である。

### 2.3.3 地震活動の変化

#### (1) 明治初期以降の地震活動

地震発生が近代の公的機関によって報告されるようになって資料の精度はよくなり、時代とともに規模の小さな地震の検知能力が高まる。

気象庁気象研究所の石川有三ら(1979)<sup>7)</sup>によって、1885年以降のデータを用いて浅い地震の分布図を示す。1926年以後は、気象庁によって地震計による観測データから計算された震源の表が発表されており、M4以上の地震で浅い震源のものはよく観測されている。

図-2.3.2以下に、時代を追って、京阪神とその周辺地域の地震活動がどのように変化してきたかを示す。これらの図は深さ120kmより浅い地震でM4以上の地震の震央を示している。1926年以降については、さらに小規模の地震も含んで、より浅い地震に関して震央分布を見ることも可能である。

1885年から20年間の期間の中で、西南日本は、1854年前後(安政時代)をピークとする地震活動期のあとの静穏期から、次の活動期に入ったと考えられる。1891年の濃尾地震(M8.0)にともなう地震活動がある。濃尾地震の本震では、京都市で震度5、大阪市でも震度4の揺れが記録された。

1905年から20年間では、1909(明治42)年8月14日に、江濃地震(姉川地震ともいう、M6.8)が発生した。滋賀および岐阜両県で死者41名、住家の全壊978の被害があった。

1920年から、和歌山での有感地震が目立って増加した。それまで年間20回程度だった有感地震が1920年には100回を超え、1921年には150回を超えた。1923年には310回になり、その後1940年代まで、しだいに減る傾向であった。

1916(大正5)年11月26日には、明石海峡の近くでM6.1の浅い地震が発生し、死者1名の被害があった。この近くでは、1899(明治32)年7月に、有馬温泉付近で鳴動が多く発生し、温泉の温度が37°Cから翌年10月には47.9°Cに上がったという記録がある。

図-2.3.2は、1925年から20年間の震央分布を示す。1925(大正14)年5月23日、北但馬地震(M6.8)が発生した。死者428名の被害があった。また、1927(昭和2)年3月7日には、北丹後地震(M7.3)が



図-2.3.1 大阪および京都の年間有感地震回数の変化

発生し、死者2925名の被害があった。図の京都府北部の活動は、その余震の一部である。4月1日にはM6.5の余震があった。この期間、和歌山を中心とする活動の広がり、また、淡路島北部の活動がある。1936（昭和11）年2月21日の河内大和地震（M6.4）は奈良盆地と大阪府南河内郡東部に被害を生じた。1943（昭和18）年9月10日には鳥取地震（M7.2）が発生し、図の北西端にその余震の一部が分布している。1944（昭和19）年12月7日の東南海地震（M7.9）の本震とその余震の一部が南東端にプロットされている。この期間が、西南日本の前回の活動期のピークを含んでいる。

図-2.3.3は、1945年から20年間の震央分布である。1945（昭和20）年1月13日に三河地震（M6.8）が起こり、図にはその余震の一部が分布している。1946（昭和21）年12月21日の南海地震（M8.0）の余震が、広く和歌山から徳島まで分布している。徳島地域では1944年東南海地震のあと小地震の活動が目立って低下していたが、1946年南海地震の直後から目立って増加した。1949（昭和24）年1月20日には、兵庫県北部に軽い被害があった。

南海地震の直後から大阪府や京都府南部、明石海峡や山崎断層で小規模の地震が目立って増加した。特に京都の活動は10年以上続いた。これらは広域の余震活動と考えることができるが、いずれにしても起震応力が蓄積されている地域に起る引金現象である可能性もあり、注目される。

1952（昭和27）年7月18日には、深さ60kmの吉野地震（M6.8）が発生した。もぐり込んだフィリピン海プレート内に起った地震で、震源が深いために、和歌山、愛知、岐阜、石川各県に小被害が広がり、死者9名であった。この期間の後半になると南海地震の余震は減少し、山崎断層や淡路島北部の活動が目立っている。その中で、1961（昭和36）年5月7日の山崎断層帯の地震（M5.9）では姫路で小被害があった。琵琶湖の西側や木津付近の活動もある。この期間も、中央構造線から南の外帯では南海地震の余震活動が続いている。これらの余震の中にはM6クラスのものも含まれている。

図-2.3.4は、1965年から20年間の震央分布である。南海地震の余震域の地震は少なくなり、また小規模になった。京都府中部の和知付近で、1968（昭和43）年8月18日、三峠断層帯にM5.6の地震があ

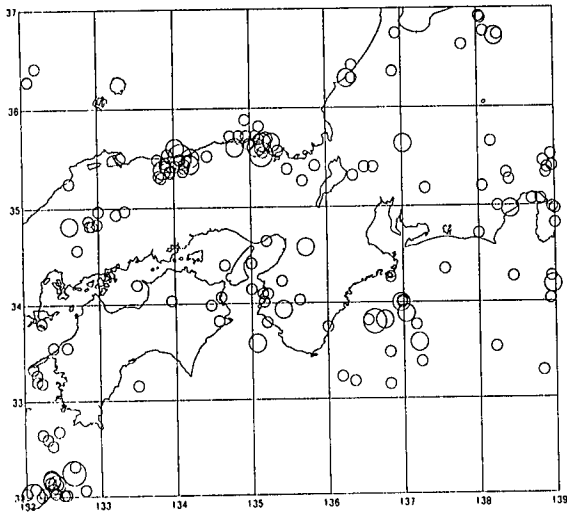


図-2.3.2 M5以上、深さ0-120kmの地震分布  
1925年～1944年

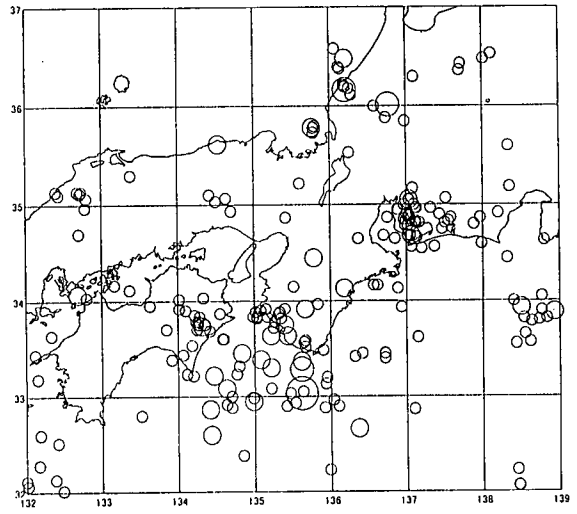


図-2.3.3 M5以上、深さ0-120kmの地震分布  
1945年～1964年

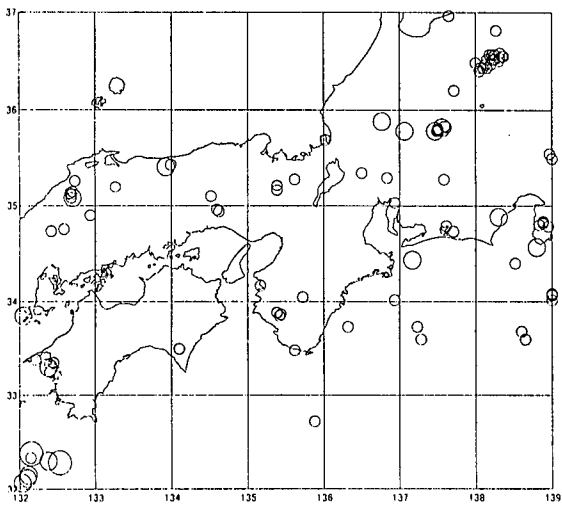


図-2.3.4 M5以上、深さ0-120kmの地震分布  
1965年～1984年

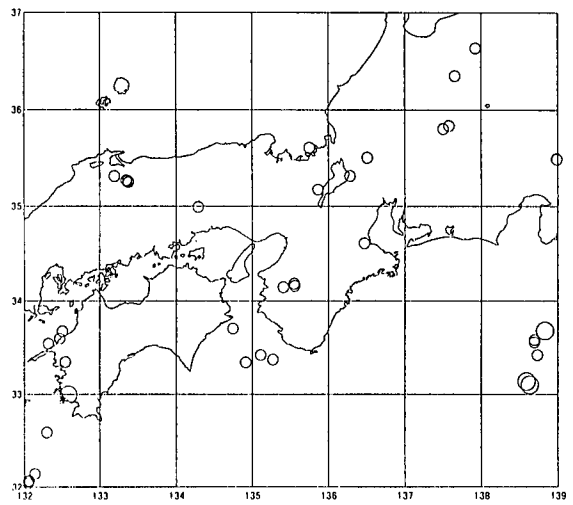


図-2.3.5 M5以上、深さ0-120kmの地震分布  
1985年～1994年

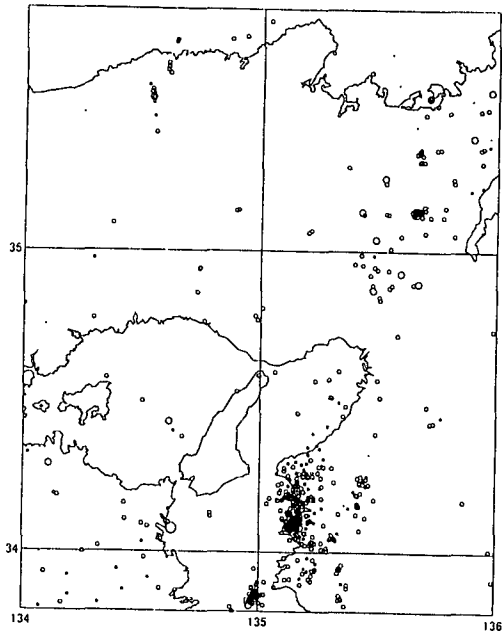


図-2.3.6a 本震の1年前から半年前  
までの浅い地震の震央分布  
(1994年1月17日-7月16日)

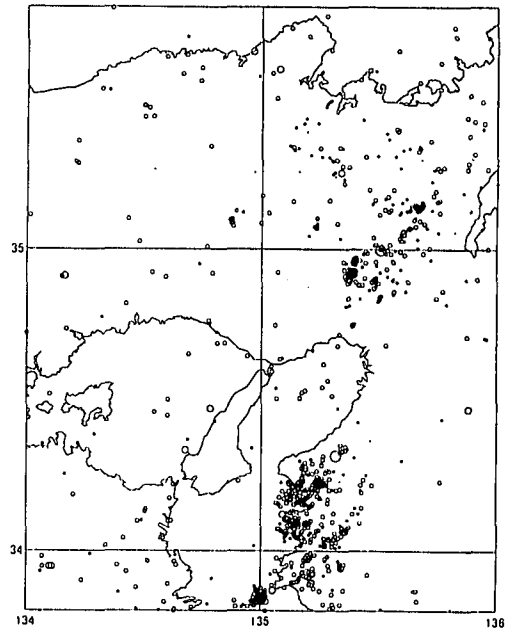


図-2.3.6b 本震の半年前から本震前日  
までの浅い地震の震央分布  
(1994年7月17日-1995年1月16日)

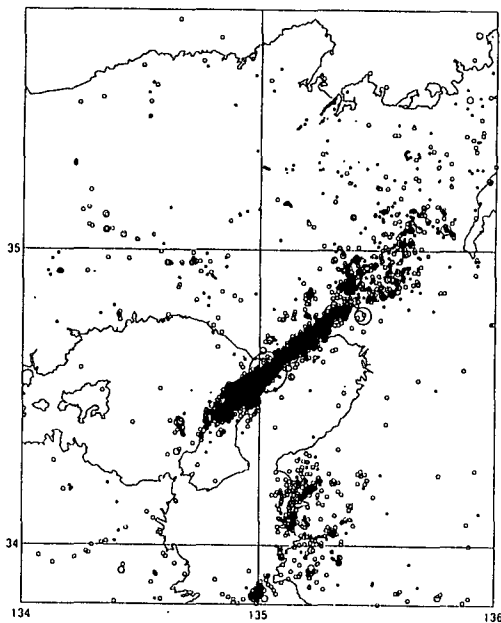


図-2.3.7a 本震から半年後までの  
浅い地震の震央分布  
(1995年1月17日-7月16日)

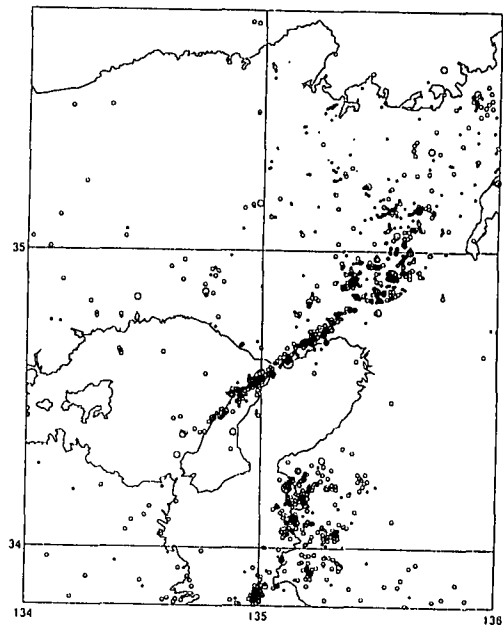


図-2.3.7b 本震の半年後から1年後  
までの浅い地震の震央分布  
(1995年7月17日-1996年1月16日)

ったが、M6以上の地震はなく、この地域は地震活動の静穏期を迎えていた。山崎断層帯で、1984（昭和59）年5月30日にM5.6の地震が発生し、姫路で震度4となり被害があった。和歌山や丹波山地、六甲－淡路断層帯の地震活動は逆に低調になった。

図-2.3.5は、1985年から兵庫県南部地震の発生する前年、1994年末までの10年間の震央分布図である。この期間の終わりに丹波山地の小地震活動が目立って活発になった。それまでは六甲－淡路断層帯を中心に活動が低調であり、神戸地域には地震活動の空白域の存在が石川有三によって指摘されていた<sup>22)</sup>。この期間が1885年以来、もっとも活動度の低い時期を含んでいる。兵庫県南部地震のあと、その余震域を除いて地震活動が全体としてはしばらく低調となった。本震から1年では、M4以上の地震は、1月17日の1995年兵庫県南部地震の本震（M7.2）およびその余震が、本震の震源断層帯とその延長部分に発生している。M4未満の地震は、余震域の他、山崎断層帯、丹波山地などにも1月17日のM7.2の地震直後から目立って増加した。本震の震源断層帯では余震は急速に減少しているが、丹波山地や山崎断層帯の小地震の活動は、なかなか減少しないという特徴が見られる。兵庫県南部地震の余震活動は、1997年末までに本震の震源断層帯では減少し続けている。1997年末までの最大の余震は、本震直後、1月17日07時38分のM5.4の地震であった。

#### (2) 兵庫県南部地震前後の地震活動

図-2.3.6は、1995年兵庫県南部地震前の浅い地震の震央分布を半年ごとに描いたものである。本震の1年前から半年前までの分布と半年前から本震の前日までの分布を比べると、本震周辺で地震が目立って増えた地域があることがわかる。地図の範囲全体では、図-2.3.6aに597個の、図-2.3.6bには1018個の地震がある。丹波山地では目立って地震が増え、明石海峡付近の地震増加も目立っている。図-2.3.7は本震後半年毎の震央分布である。本震の震源断層付近の直接的な余震の分布の他に、山崎断層帯地域や丹波山地から琵琶湖西岸の地震の増加が顕著である。

### 2.3.4 小地震の分布と活断層

図-2.3.8は、震央分布図を描いた地域の活断層の分布であり、図-2.3.9は、地震の規模によらずに同じ「・」でプロットした浅い地震の震央分布である。震央位置の精度が比較的良好と思われる1961年以後の地震をプロットしてある。中央構造線以北の内帯の活断層帯では、主な活断層帯付近に震央が集中していることがわかる。中央構造線以南の西南日本外帯では、和歌山周辺の小地震活動が目立つ。小地震が集中して発生する領域は、大規模地震の余震域か、大規模地震の長期の前駆的活動か、活火山域などにある、もともと小破壊を多数起こす群発地震発生域のどれかであると考えられる。

それぞれの活断層帯の活動履歴を調査した結果にもとづいて、現在の地震活動の示す意味を解説していくことが、断層活動の長期予測のために重要である。

京阪神とその周辺では、西方の六甲－淡路断層帯に集中している地震活動は、主として1995年兵庫県南部地震の余震であり、この地域にM7クラスの大地震がまた起こるのは、数100年以上先になるであろうと思われるが、六甲－淡路断層帯は数多くの活断層からなるので、全体としての活動度が高く、やや離れている大阪湾断層帯などを含めて活動履歴の不明な活断層の存在に注目する必要がある。有馬－高槻構造線活断層帯は、丹波山地の集中的地震活動の南限となっている。丹波山地の中には他にも多くの活断層があり、それらの活動があると京阪神にも、位置関係によって震度4～7の揺れがある。とくに三峠断層帯、京都西山断層帯、花折断層帯の活動履歴の調査が必要である。生駒断層帯や奈良盆地東縁断層帯にも、少ないが小地震が分布している。中央構造線の一部とその右ずれに連動して動く可能性のある金剛山地の逆断層帯があり、これらに地震の集中的活動が見られる。さらに東の木津川断層帯には、1854年7月のM7クラスの地震が発生したので、少ないが小地震が集中しているのは、まだ余震が続いていることを示している。大阪市直下には上町断層帯の存在が知られている。その地域を含めて大阪湾東縁にまで小地震がときどき発生している。

### 2.3.5 日本列島の地震分布

日本とその周辺地域で起こったM7以上の地震の震央分布を図-2.3.10に示す。1885年から1997年ま

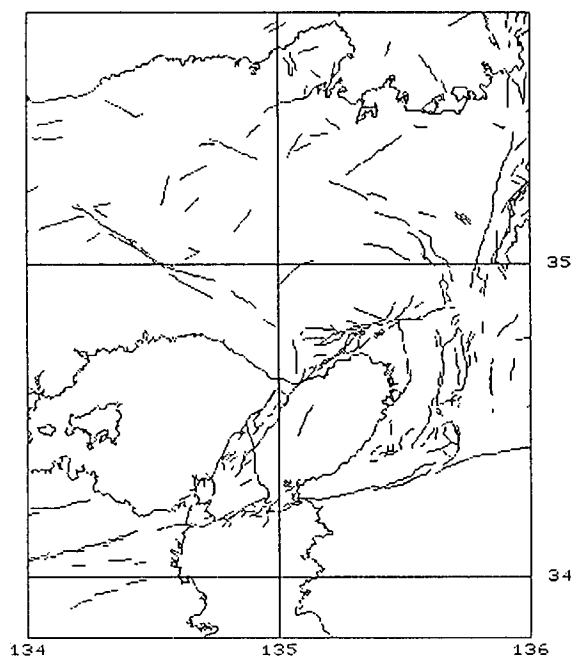


図-2.3.8 活断層の分布

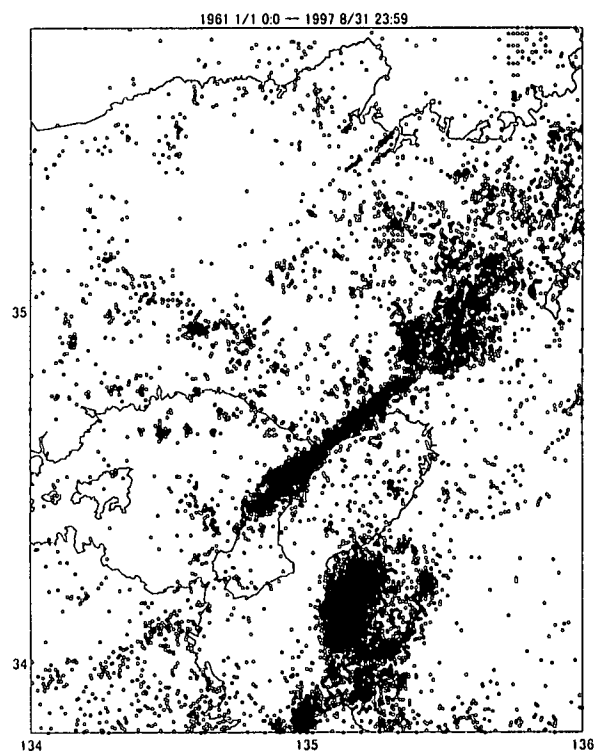


図-2.3.9 浅い地震の分布

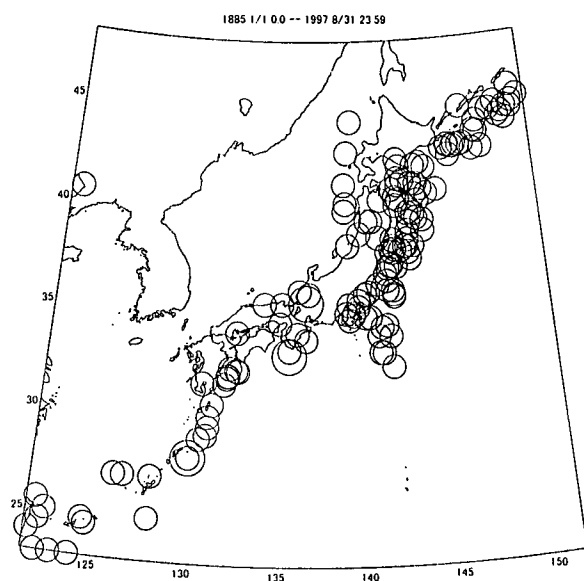


図-2.3.10 日本とその周辺のM7以上  
深さ0-100kmの地震 (1885年-1997年)

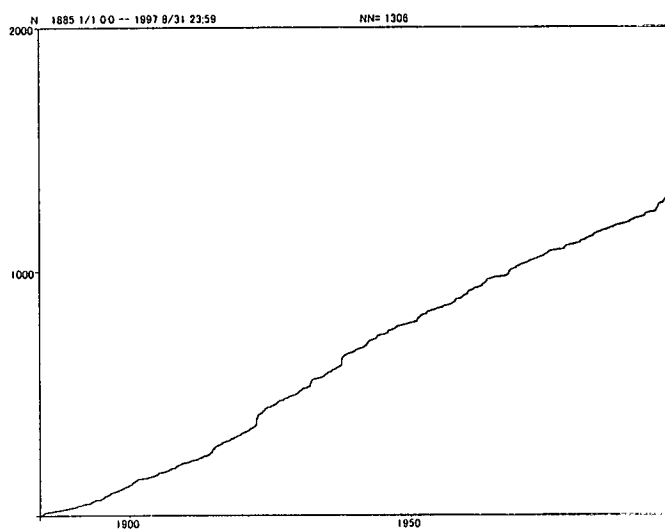


図-2.3.11 M6以上の地震の地震数積算



で観測された深さ0~100kmの地震である。M5やM6の地震は、日本の各地にどこにでも発生している。M6以上の地震の数を積算したのが図-2.3.11である。この図から、全体としては地震の特に多い期間や少ない期間があるのではなく、全期間を通して同じような頻度でM6以上の地震が起こっていることがわかる。M6やM5クラスの地震は、中規模ではあっても局所的には被害を出すことがある。地震は規模の小さいものほど頻度が高く、発生する場所も特定の場所に限られることはないので、全国どこであって注意を要する。

これらのデータの分析による日本列島の地震活動の特徴に関しては2.1節を、京阪神地域の地震活動の特性に関しては2.4節を、それぞれ参照してほしい。

## 2.4 京阪神地域の地震活動特性

### 2.4.1 地震の活動期と静穏期

西南日本では、陸域で起こる大地震が、南海トラフ沿いで起こる海溝型巨大地震、つまりプレート境界地震の前後に集中して発生している(たとえば宇津, 1974)<sup>23)</sup>。南海トラフの地震は887年以来、90年~209年の間隔で繰り返し発生している。その様子を図-2.4.1に示す(寒川, 1992)<sup>24)</sup>。これらの南海トラフの地震の発生時(数年以内に連続している場合は先に起こった方)を基準として、その前後における陸域の地震の発生頻度分を重ね合わせてその分布の形を見ると、近畿地方中北部では南海トラフの地震の50年~60年前から頻度が増加する傾向が見られる(図-2.2.4)。

図2.2.4(下)は、8回の南海トラフの巨大地震前後の有感地震回数を重ね合わせた結果である。ただし、それぞれの期間で地震の検知能力に差があると思われるので、全体数に対する比率に直して重ね合わせてある。この分布からも活動期の地震数の変化のパターンがよくわかる。

このような増加傾向が、京阪神を中心とする近畿地方中北部における南海トラフの地震前の地震活動の特性であると仮定すると、図-2.2.4のデータをもとにして得られる南海トラフの地震前の平均的な地震活動のトレンドをモデル化し、そのモデルを用いて最近数10年間の地震活動を評価することによって、現在が次の南海トラフの地震の何10年程度前であるかを推定することができる。この研究の結果の詳細は、Hori and Oike(1996)<sup>25)</sup>に述べられている。

この研究では、長期間にわたる陸域の地震のデータは、理科年表の「日本付近のおもな被害地震年代表」<sup>26)</sup>によった。図-2.4.2に、868年から1996年までの震央分布と解析対象とした領域を示す。対象とした領域は、活断層の多く分布する西南日本内帯東側の敦賀湾・伊勢湾構造線以西で、M7クラスの地震が数多く発生している。この領域内で発生した地震の時系列に、南海トラフの地震前50年から後10年の60年の期間を重ねて、図-2.4.3に示す。図中に「？」で示した期間は、寒川(1992)<sup>24)</sup>によって推定されている南海トラフの地震による期間である。この図からもわかるように、近畿周辺のほとんどの地震が南海トラフの地震前後に発生している。

最近の地震活動のデータには、1885年から1925年までは宇津(1982)<sup>27)</sup>、1926年以降は気象庁で震源決定されたものを用いる。深さは30 km以浅とし、Mの下限は検知能力等を考慮して、1885~1925年はM6.0を、1926年以降はM5.0を用いる。

近畿周辺における平均的な地震活動のトレンドを求めるために、887年から1944年までの8組の南海トラフの地震の発生年を基準として、地震の時系列を重ね合わせる。図-2.2.4はこの重ね合わせた時系列をもとにして描いたヒストグラムである。重ね合わせる期間が南海トラフの地震の80年前から40年後となっているのは、これ以上期間を延ばすと、南海トラフの地震前後の内陸地震発生頻度の高い時期が、重ね合わせる期間の端に含まれてしまうためである。重ね合わせて得られた時系列の持つトレンドを定量的に表わすために、統計モデルを導入し、得られた統計モデル(図-2.4.4)を最近の地震の時系列データに適用することで、次の南海トラフの地震の発生時期を推定するという手順である<sup>28)</sup>。

また、統計モデルを求めるために用いた地震の時系列は、8組の南海トラフの地震前後における地震の時系列を重ね合わせたものなので、1組の南海トラフの地震前後の時系列に対する強度関数は、上で求めた強度関数の1/8ということになる。以上のことから、次の南海トラフの地震の発生時期を推定するために用いる強度関数を求め、南海トラフの地震の発生年を表す時期を求める。

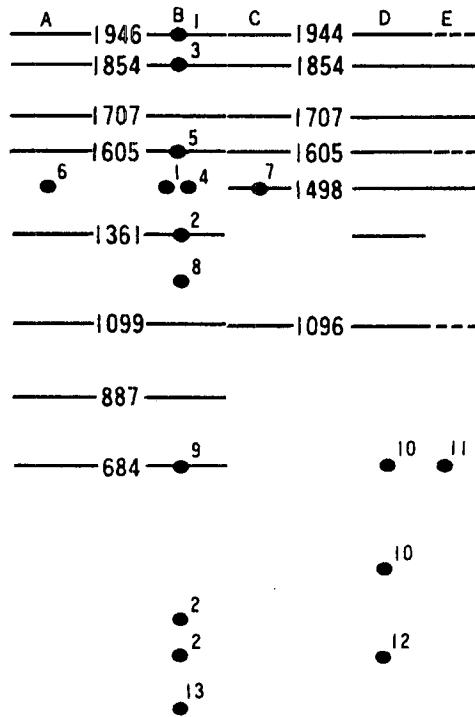
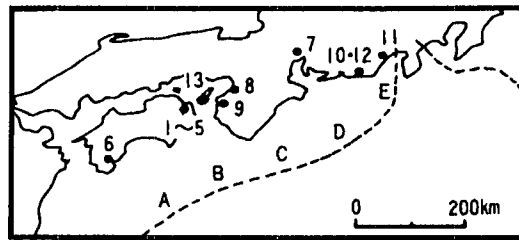


図-2.4.1 南海トラフの地震の時系列 (寒川、1992による)

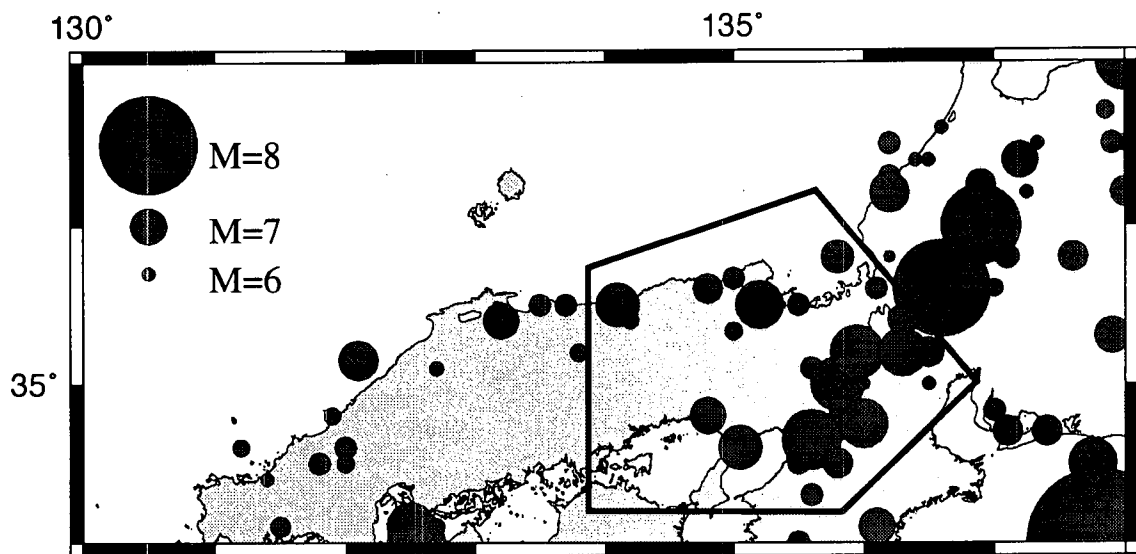


図-2.4.2 868年～1996年における被害地震の震央分布図。枠内が解析範囲

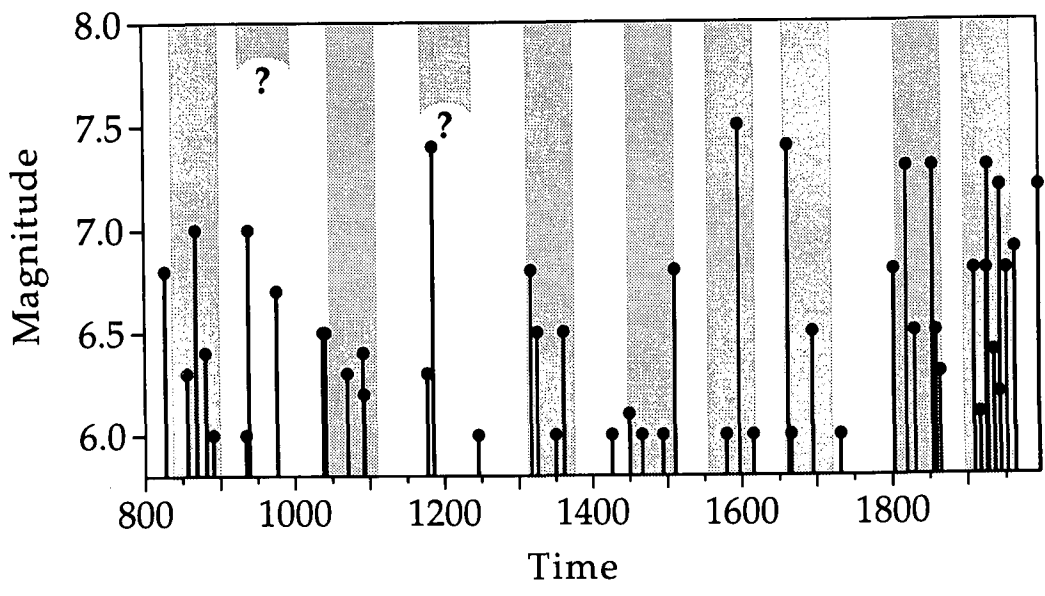


図-2.4.3 近畿周辺における内陸地震の時系列。  
 網掛けした期間は南海トラフの地震の前50年～後10年。  
 網掛けに「？」のある期間は寒川（1992）による推定。

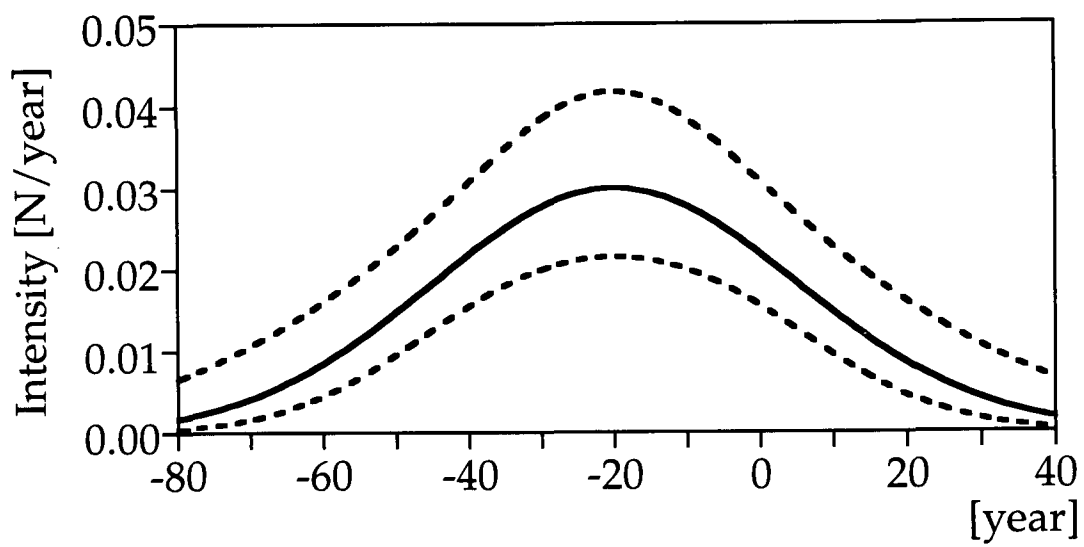


図-2.4.4 被害地震データから求めた強度関数  
 点線はパラメータの推定誤差から見積もった強度関数の誤差範囲

表-2.4.1 南海トラフの地震の発生年の推定結果。南海トラフの地震前のデータのみ

$M_j$	推定値
6.0	2043
5.0	2038

表-2.4.2 南海トラフの地震の発生年の推定結果

$M_j$	強度関数の誤差	b値の誤差
6.0	2034-2059	2035-2050
5.0	2031-2051	2035-2042

最近数10年間の地震活動の変化については、強度関数から予想されるような減少傾向ではなく、逆に増加する傾向が見られる。この増加傾向が次の南海トラフの地震前に起こるべき増加であると仮定して、1967年から1996年までの30年間のデータに対する南海地震の発生時期を示すパラメータの値を最尤法を用いて推定した。その推定値を、表-2.4.1に示す。誤差を考慮すると、データとして用いる地震のMの下限 ( $M_j$ ) による違いはほとんどない。Rikitake(1976)<sup>29)</sup>による南海トラフの地震の平均発生間隔から予想される発生時期(2061年)と比べると20年程度早い。ただし南海トラフの地震の発生間隔はばらつきが大きく(標準偏差35年)、今回の結果はそのばらつきの範囲内におさまっている。また、time-predictable model (Shimazaki and Nakata, 1980)<sup>30)</sup>から予想される結果(2040年)とほぼ同じ値である。

今回用いた方法の持つ誤差の要因としては、統計モデル(強度関数)と、地震の規模別頻度分布のb値の推定誤差によるものが考えられる。まず強度関数については、パラメータの誤差を考慮した強度関数(図-2.4.4の点線)を用いて同様の推定を行った。その結果、表-2.4.2に示したように、-9年～+16年の範囲に収まった。また、b値については、±0.1の誤差があると仮定した場合、-8年～+7年の範囲に収まった。

また、過去の実際の南海トラフの地震の発生時期と、この手法による予測結果を比較するため、1944東南海および1946南海道地震前後を除いた内陸大地震のデータから求めた強度関数と1885年～1943年のデータ( $M_j=6.0$ で、1885年～1914年、1886年～1915年、など30年間ごとのデータ30組)を使って、同様な方法で南海トラフの地震の発生時期を推定した。その結果、0年～20年程度大きい値が得られた。

ここでは、データとして南海トラフの地震前後を用いたが、南海トラフの地震前のデータのみを用いると、他の統計モデル(例えば余震発生数の減衰を表す大森公式など)も適用することが可能になる。そこで、南海トラフの地震前80年間の重ね合わせのデータに対して得られた強度関数を最近の気象庁のデータに適用して次の南海トラフの地震の発生年を予測した結果では、M6以上の場合の推定結果では数10年以内に入っている。

結論として、最近30年間の気象庁データに見られる近畿周辺での地震活動の活発化が、過去約1100年間の陸域の大地震のデータに見られる南海トラフの地震前の活発化と同様のものと仮定すると、次の南海トラフの地震の発生時期は2040年(-15年～+20年程度)と推定される。ただし南海トラ

アの地震前のデータのみを用いて統計モデルを求めた場合は、最近のM6以上の地震を用いた推定結果のばらつきは数10年以内におさまるが、予測誤差が30年以上と非常に大きくなり、Mの小さい地震を含めると結果のばらつきも大きくなる。

## 2.4.2 南海トラフの巨大地震と西南日本の内陸地震

### (1) 歴史資料から見られる特性

歴史地震史料をもとに前項(2.4.1)で求められた西南日本の大地震の時系列の特性は、各活動期と各静穏期の大地震の分布を見るとよくわかるであろう<sup>31)</sup>。

図-2.4.5は西南日本の過去3回の地震の活動期と静穏期の地震分布を示したものである。図の左が活動期の分布で、右が静穏期の分布である。この分布図を見ながら、特性をもう一度整理すると、

- 1) 活動期はほぼ70年ほど続く。
- 2) 静穏期は約30年から70年というように変化する。
- 3) プレート境界の巨大地震は活動期のたびに、その最終段階で発生する。
- 4) 近畿中北部の活断層帯の地震は、活動期のたびに異なる活断層帯で発生する。

ということになる。

### (2) 地震時系列のシミュレーション

西南日本内帯、特に京阪神地域を中心とする活断層帯に見られる地震の活動期と静穏期の仕組みを知るため、Hori and Oike(1998)<sup>28)</sup>は、地震時系列のシミュレーションを行った。まず、断層面上でのテクトニック応力の増加率と地震時の応力変化を用いて、プレート境界に発生する大地震および内陸の大地震の時系列のシミュレーションを行う。内陸の活断層帯については、次のような条件で断層帯全体にわたってずれるような大地震を起こす。

- 1) 地震時の応力降下量を、それぞれの断層について計算する。
- 2) 断層の強度は、応力降下量と等しいとする。
- 3) 初期応力を、0～断層の強度の範囲で、ランダムに値を選ぶ。

また、プレート境界については、

- 1) 地震時の応力降下量は、平均の±25%の範囲でランダムであるとする。
- 2) 地震発生面の強度は、応力降下量の平均値とする。
- 3) 再来間隔は、タイムプレディクタブルモデルに従う。
- 4) 初期応力を、0～プレート境界面の強度の範囲で、ランダムに値を選ぶ。

ただし、プレート境界地震の平均再来間隔は、117年(Rikitake, 1976)<sup>29)</sup>とし、平均応力降下量は、(平均再来間隔) × (テクトニック応力の増加率) とする。

プレート境界大地震や内陸の地震による応力場の変化が地震の時系列に対してどのように影響するかを調べるために、以下のような場合についてそれぞれシミュレーションを行う。

(i) 断層間の相互作用がまったくない場合(テクトニック応力の増加と個々の断層における応力降下のみ)

(ii) プレート境界大地震による内陸の断層での応力変化を考慮した場合

(iii) 内陸地震によるプレート境界での応力変化を考慮した場合

(iv) 内陸地震によるプレート境界および内陸断層での応力変化を考慮した場合

ただし、(ii)ではプレート境界におけるバックスリップによる内陸断層での応力変化も考慮する。この応力変化とプレート境界地震時の応力変化は、プレート境界地震の1サイクルを考えるとちょうどキャンセルするものと仮定する。このプレート境界ではサイズミック・カップリングがほぼ100%である(Yoshioka, 1991)<sup>32)</sup>ことによる。

まず(i)の結果をみると、プレート境界地震の再来間隔は117年±25%にランダムに分布している。一方内陸地震の再来間隔はそれぞれの断層について一定であり、完全に周期的に地震が起こっている。このような条件のもとでは、内陸の地震はプレート境界大地震と何の相関もない。実際、内陸地震はプレート境界地震前後にランダムに発生している(図-2.4.6a)。

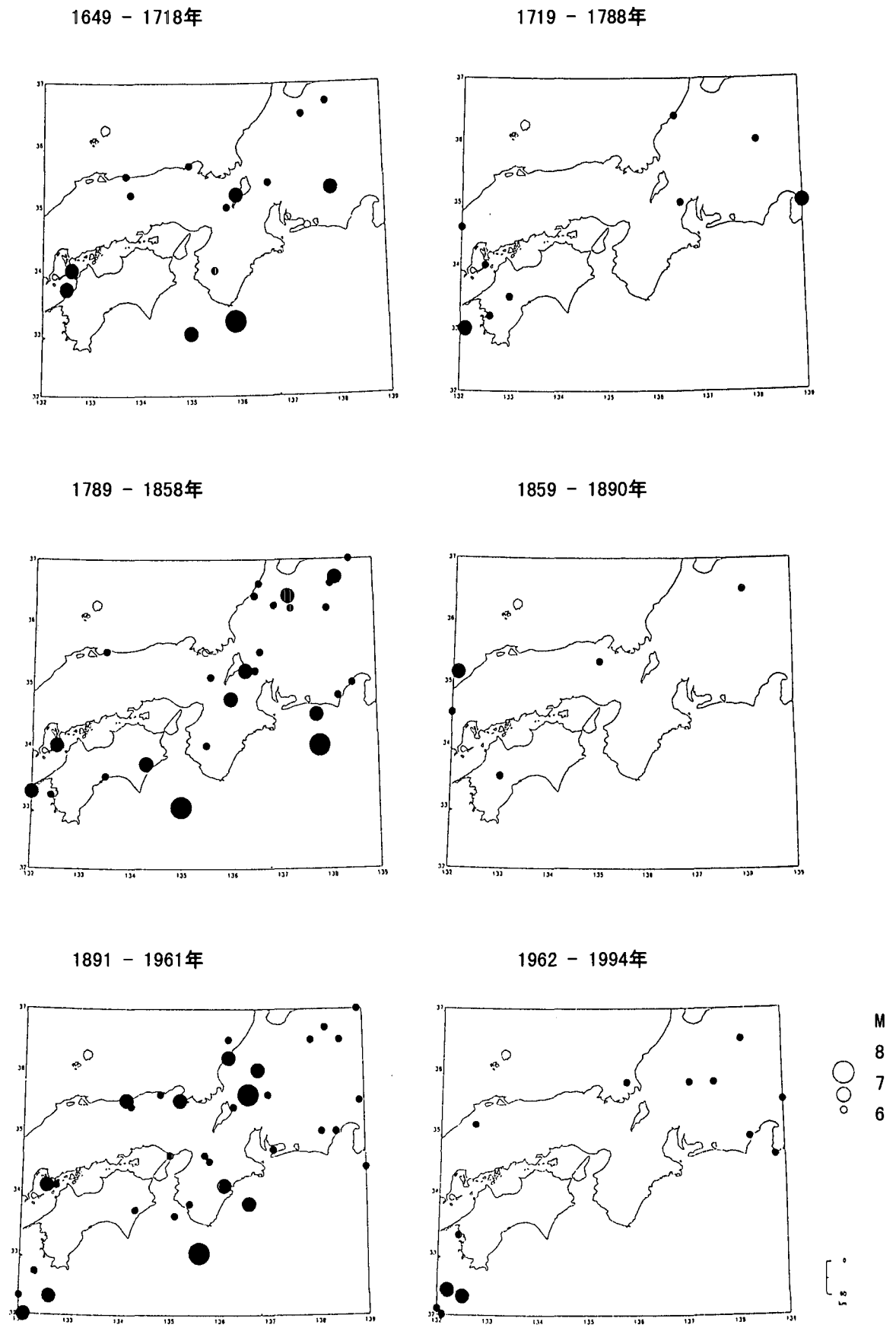


図-2.4.5 西南日本の過去3回の地震活動期（左）と静穏期（右）の地震分布

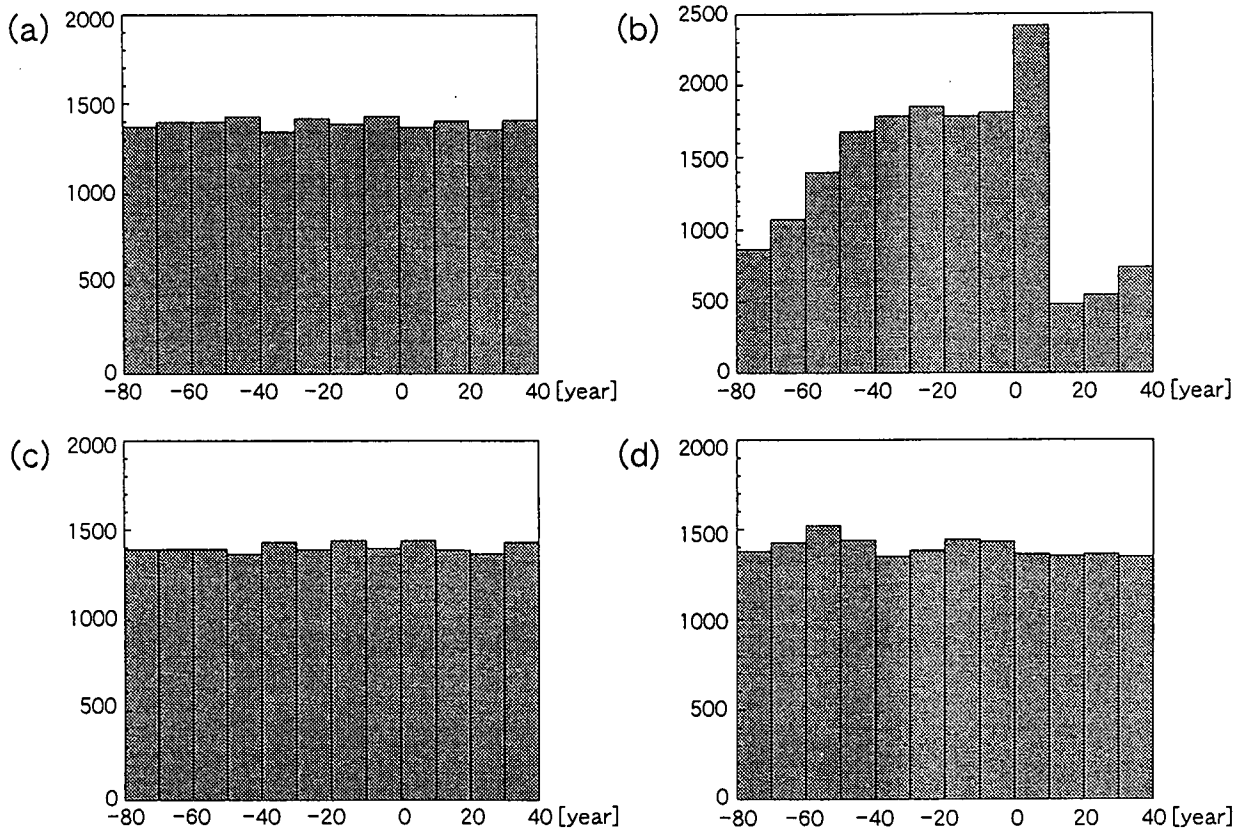


図-2.4.6 シミュレーションの結果による西南日本の内陸地震の発生頻度の変化。  
a~dは、本文中の条件(i)~(iv)に対応している。

(ii)の場合、プレート境界地震前後の内陸地震の発生頻度は、有意な時間変化を示している(図-2.4.6b)。しかもそのパターンは南海トラフ沿いのプレート境界大地震前後における近畿地方中北部の実際の頻度分布のパターン(図-2.2.4)に近いパターンを示している。この場合、プレート境界大地震前後の頻度分布の時間変化は大きい、個々の断層における地震の再来間隔の変化は小さい。

(iii)と(iv)の場合は、(i)と同様にプレート境界大地震前後に系統的な増減なく、ほぼ一様に地震が発生している(図-2.4.6c, d)。プレート境界におけるテクトニック応力の増加率が高いことと、内陸地震による応力変化が小さいことから、内陸地震がプレート境界大地震の再来間隔に与える影響は非常に小さい。そこで(iii)の場合について、内陸地震による応力変化を10倍に、プレート境界でのテクトニック応力の増加率を1/10倍して同様のシミュレーションを行った。この場合、内陸地震の影響によってプレート境界地震の再来間隔は数十年程度の変化(ほとんどの場合短くなる)をするが、内陸地震の発生頻度はプレート境界地震の前に、わずかに高くなるだけである。一方(iv)の場合について、内陸地震による応力変化をプレート境界でも内陸断層でも10倍にしてシミュレーションを行った。その結果、内陸地震の発生頻度はやはりランダムで、プレート境界大地震との相関は見られないことがわかった。

以上のことから、(ii)の場合にのみ、内陸地震の発生頻度が歴史地震と似たパターンを示すことがわかる。つまり、プレート境界大地震前後における近畿地方中北部での地震発生頻度の時間変動を説明するためには、プレート境界大地震が発生したことによる内陸の活断層帯での応力変化が本質的に重要であるということになる。プレート境界大地震前後の内陸地震の発生頻度の時間変化の特性は、プレート境界大地震による応力変化だけでは完全には説明できていないが、それが最も重要な要素であり、内陸地震による応力変化では説明が困難であるといえる。

### (3) 結論

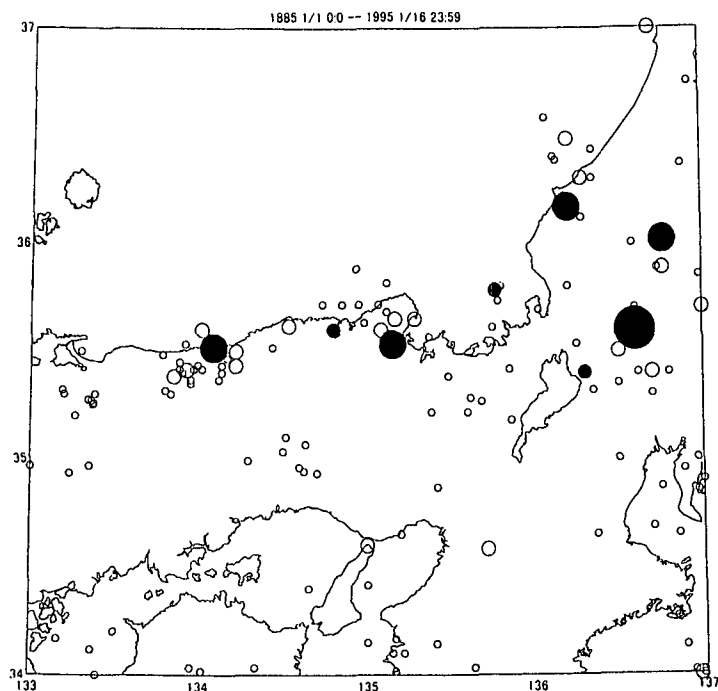


図-2.4.7 浅いM5以上の地震の分布 (1885-1995年1月16日)

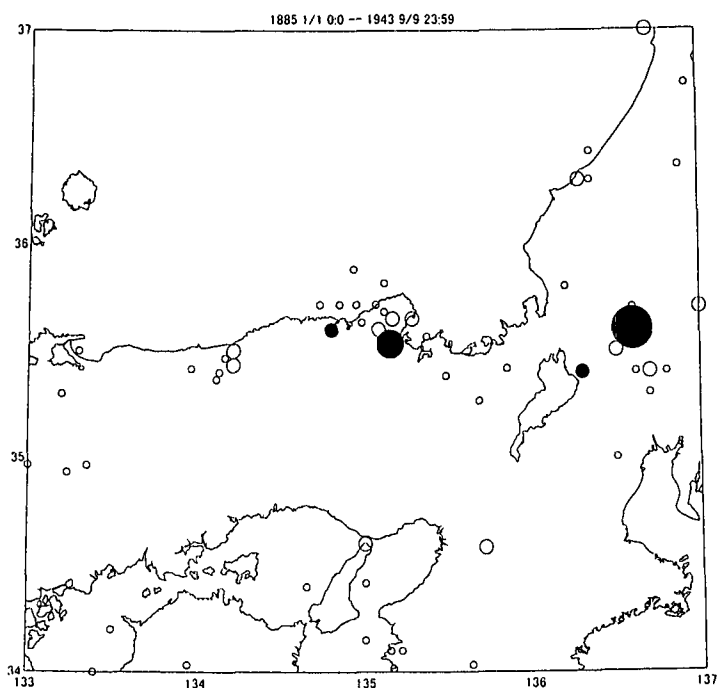


図-2.4.8 浅いM5以上の地震の分布 (1885-1943年9月9日)

近畿地方中北部における地震発生の時系列のパターンを説明するためには、地震による法線応力の変化の影響は小さくなければならないこと、また、テクトニック応力の増加率は従来用いられてきたものよりも1桁近く小さいことがわかった。これらの推定結果を用いて地震の時系列のシミュレーションを行った結果、内陸地震によるプレート境界や内陸断層での応力変化の影響を考慮しても、プレート境界大地震前後における内陸地震の発生頻度はほとんど影響を受けないことがわかった。一方、プレート境界大地震による内陸断層での応力変化を考慮すると、プレート境界大地震前後における内陸地震の発生頻度が歴史地震の時系列と同じようなパターンの時間変化を示すことがわかった。これらのことから、プレート境界大地震前後における近畿地方の地震活動の時間変化を説明するには、プレート境界大地震による内陸断層での剪断応力の変化の影響が本質的に重要であるということが言え



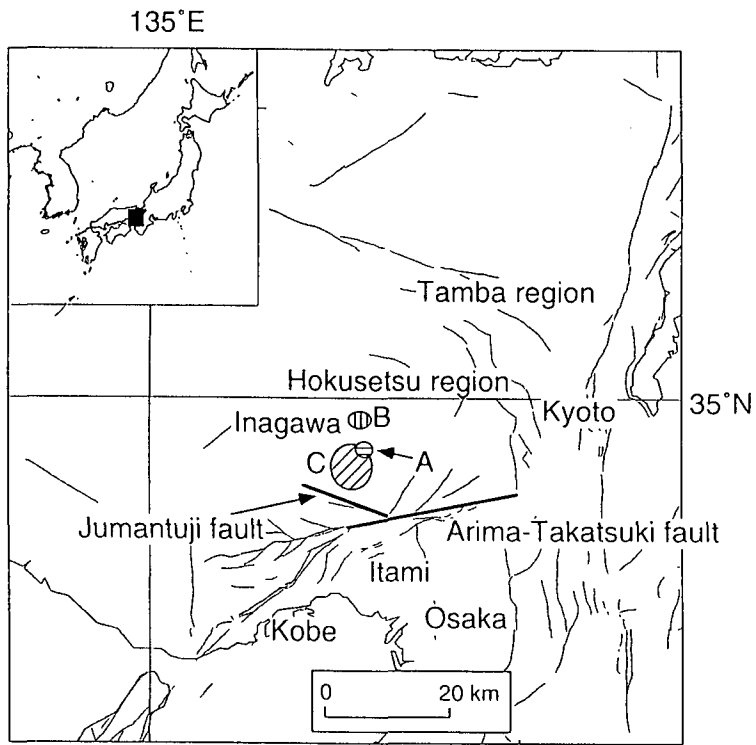


図-2.4.9 稲川群発地震の発生地域と活断層 (Nakamura, 1998による)

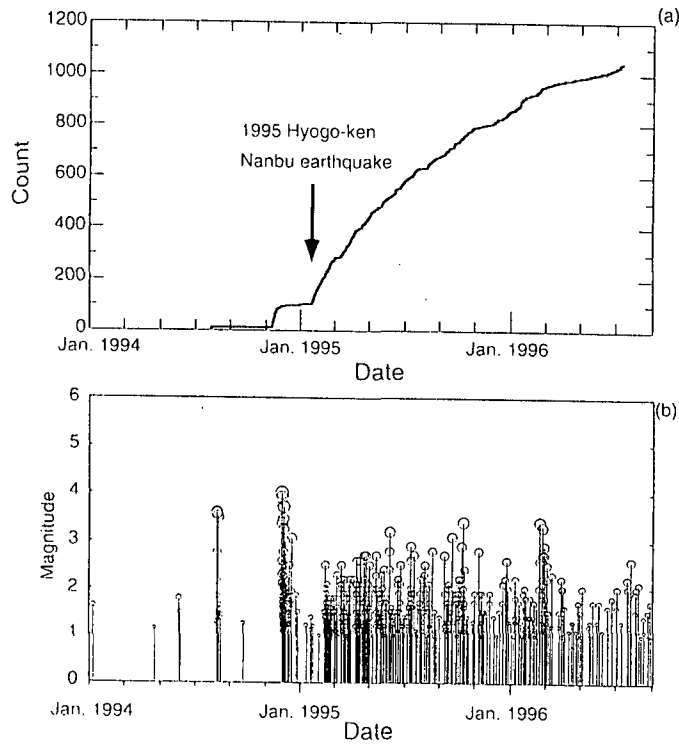


図-2.4.10 稲川群発地震の時系列 (Nakamura, 1998による)

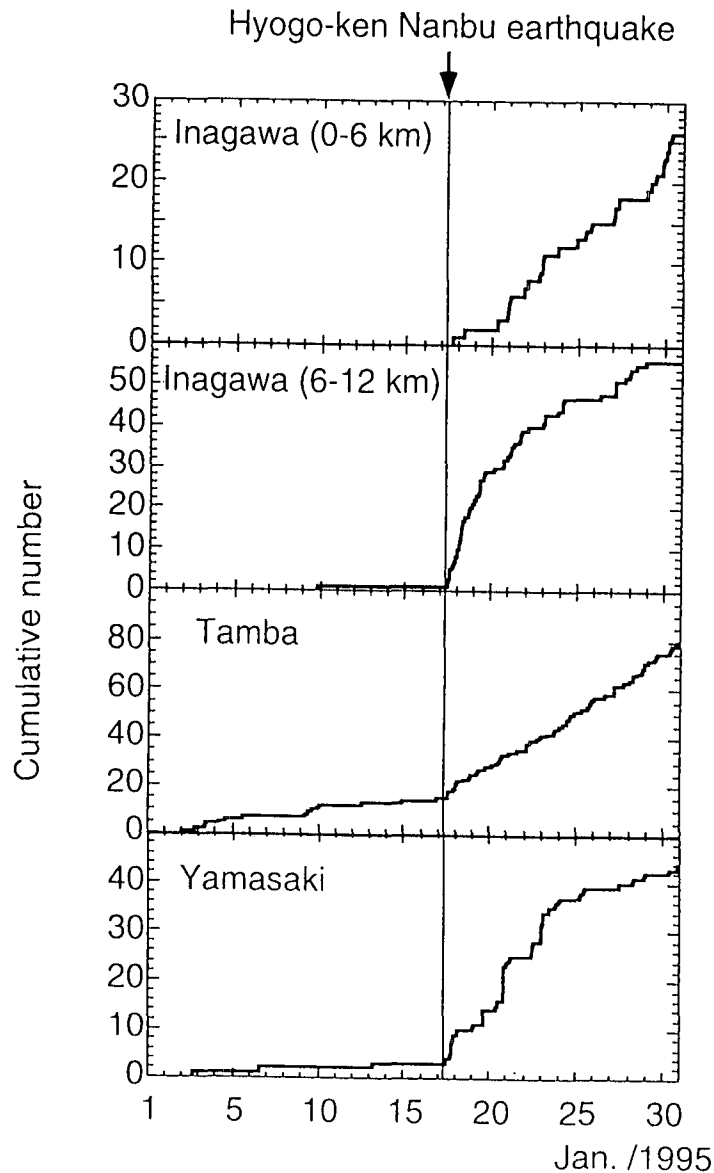


図-2.4.11 稲川群発地震の震源の深さ別による時系列と丹波山地および山崎断層の地震の時系列 (Nakamura, 1998)

る。

#### 2.4.3 長期の先行現象

西南日本の前回の地震活動期には、1891年濃尾地震、1927年北丹後地震、1943年鳥取地震、1948年福井地震、1961年北美濃地震などのM7以上の地震が起こった。1885年から1995年1月16日までのM5以上で深さ50kmまでの浅い地震の分布図を図-2.4.7に示す。黒丸は活断層帯の大規模地震としてM6.8以上の地震を示す。黒丸の付近にM5以上の浅い地震が集まっている。それ以外では、山崎断層系や六甲や淡路の活断層帯に中規模の地震の分布が見られる。

1885年から1943年9月9日、つまり鳥取地震の前日までのM5以上の地震分布を、比較のため図-2.4.8に示す。この期間以後のM7以上の大地震は1943年鳥取地震、1948年福井地震、1961年北美濃地震、19

95年兵庫県南部地震であるが、それらの震源域には中規模地震が起こっていることが注目される。

内陸の活断層帯の大規模地震は1000年に1回というような繰り返し時間間隔で発生するが、本震のあと余震は数10年から100年以上続く。その後静かな時期をすごしたのち、次の大規模地震の前から長期の前駆的な中小規模の地震が起こり始めて本震が発生するというサイクルを繰り返すと考えることができる。

一方、活断層帯では本震の震源断層のすべり破壊は、上部地殻の下端で始まり、主に水平方向と上方に破壊面が成長し、その一部が地表にも現れると考える。すべり量の大きな部分が地表に達すると活断層のずれがよく観察されることになる。長期の中規模地震の活動から、活断層帯の大規模地震は、上部マントルから下部地殻の非地震性の運動などで上部地殻の下端のずれの応力が増加し、その一部で中小規模のずれ破壊が始まり、さらに応力が増加して本震の破壊となり、その破壊面の一部が最終的に地表にまで達すると考えることができる。

1995年兵庫県南部地震の場合には、1916年の地震で明石海峡の上部地殻の下端で中規模の破壊が始まり、前回の活動期の中で少しずつ成長していたが、静穏期に入ってしばらく休んだ後、今回の活動期の初期の段階に本震が起こったと考えられる。

#### 2.4.4 兵庫県南部地震の余震活動

この項では、兵庫県南部地震の前後における、周辺を含む地域の小規模な地震の活動と余震に関する調査結果を述べる。

##### (1) 微小地震の活動

兵庫県南部地震の本震領域の北側に隣接する稲川地域では、本震の前から群発地震が発生していた。この活動は、まず1997年7月27日に始まり、また同年11月9日から第2の活動が始まった。Nakamura (1998)<sup>33)</sup>は、これらの活動に加えて、兵庫県南部地震後の活動を含めた一連の群発地震活動に関して、それらを構成する地震の震源を精密に決定し、そのしくみを論じた。その結果を以下に引用する。

図-2.4.9は群発地震の発生地域と活断層帯の位置関係を呈しており、図中のA、B、Cはそれぞれ1994年7月、1994年11月および1995年1月の活動の場所を示している。また図-2.4.10は地震の時系列を示す。図-2.4.11は稲川の活動域を震源域の異なる2つのグループに分けた活動と、稲川の東に隣接する丹波山地および西方の山崎断層の活動の変化を示す。

群発地震を構成する地震の震源の深さは、1994年7月には11kmあたり、11月には5~7kmとなり、1996年1月には、2~4kmまで浅くなった。このことは、群発地震を誘発する地下水がしだいに上昇してきたことを示している可能性がある。

兵庫県南部地震の本震発生の直後から、稲川、丹波山地、山崎断層地域などで微小地震が急激に増加する現象が始まり、その後その傾向が継続したが、これは本震の発生によるこれらの地域での起震応力の増加が直接的な原因であろうと考えられる。

##### (2) 規模の大きな余震

余震は内帯の活断層の大地震の場合数10年以上続く。大きく見た傾向としては、本震直後に規模の大きな余震があり、しだいに規模が小さくなる。また、余震の数も本震の直後に多く、しだいに少なくなる。

最大余震がいつ起こるかは、ばらつきがある。本震直後は被害地に崩れかけた構造物や斜面などがあり、大き目の余震は被害を出す。鳥取地震(M7.2)の場合の例でいうと、本震の28分後にM6.0、約17時間後にM6.2、約6年後にM6.3、約40年後にM6.2があった。小さい余震が現在も続いている。

本震のあと、その隣接地域に比較的規模の大きな地震が起こることがある。濃尾地震は約7年後、北丹後地震は約6年後、鳥取地震は約6年後、福井地震は約4年後、北美濃地震は約8年後、それぞれ目立った余震活動が見られる。隣接地域にさらに大きな規模の地震が起こる場合もある。上記のように大きな余震と考えられる場合と、大地震が連発する場合の区別はなく、連発した地震の大小関係がたまたま1回目と2回目で逆になっていただけであろう。例えば、1925年の但馬地震の隣接地域に1927年の北丹後地震が起こっている。

## 2.5 まとめ

### 2.5.1 京阪神の地震について

今回の調査で完成したデータベースに含まれる史料および近代の地震計観測によるデータから、京阪神とその周辺地域の地震活動の特徴を見てきたが、この地域の震災対策を考えるうえで基本的な情報となる結果を要約すると次のようになる。

(1) 京阪神地域は活断層の密集している地域の一部であり、史料の分析から、活断層の分布に対応して内陸の浅い地震の発生頻度が高い地域である。

(2) 南海トラフの巨大地震は約90～150年ごとにくり返し発生し、京阪神とその周辺地域にも影響を与える。このような地震による京阪神地域の揺れは震度4～5程度であり、大阪湾などにも津波がある。

(3) この地域の活断層帯の地震活動には活動期と静穏期があり、平均的には南海トラフの巨大地震の約60年前から約10年後までが活動期である。

(4) それぞれの活動期において、南海トラフの巨大地震は必ず起こり、活断層帯の地震は最近数100年の歴史時代に活動した活断層帯と異なる活断層帯に発生する。したがって後者の場合、同じ場所での揺れ方は過去の事例と大きく異なる可能性が強い。このような地震が起こると、震源断層の近くには震度6以上の揺れがあり、広域にわたって規模の大きな災害が発生する。

(5) 地震の規模別頻度分布には、一般的に規模の小さい地震ほど数が多いという性質がある。京阪神地域の活断層帯にはM6程度の地震も多い。このような地震は、活断層帯の大規模な地震の余震であるか長期の前駆的活動である場合が多いが、その他にも時空間的に散在して分布する。M6程度の地震であっても震源地域では局所的には死者を出すような被害をもたらせることもある。

(6) すでに存在が知られ、活断層であることが明らかな花折断層系、西山断層系、三峠断層系、黄檗断層系、上町断層系、中央構造線の四国東部から紀伊半島中部までの活断層系、養老断層系、あるいは伊勢湾断層や大阪湾断層などが震源断層となった地震は、発掘調査や史料からは、まだ明瞭には確認されていない。また山崎断層では1100年以上、大地震が起こっていない。したがって、これらの断層帯の大規模地震の発生時期は迫っている可能性があり、今後ともこれらの活断層の活動履歴の調査を進めることが重要である。

### 2.5.2 震災の軽減

地震が発生するとさまざまな種類の災害が起こるが、2次的なものを除くと、主なものは5つである。

(1) 活動した活断層をまたぐ構造物が壊れる。(2) 強震動で弱い構造物が壊れる。(3) 強震動で斜面などの地盤が崩壊する。(4) 地盤の液状化が発生して被害を生じる。(5) 津波が発生して被害を生じる。

これらのすべてが、どこにでも起こるわけではないから、その地域ごとに関連する種類の被害に関して、発生の可能性のある地震を想定し、地下構造を調査した結果を用いて、被害の程度の地域的分布を予測して対策を立てることが大切である。地震想定を精度を上げるためには、活断層調査などの精度を上げることが重要であり、しかもそれには予算と時間と人材が必要である。防災対策は急ぐ必要があるとしても、応急的に計画された対策は、常に新しい情報をもとに見直すことを忘れてはならない。

大阪を例にして地域の特徴を見てみることにする。大阪府は北側に有馬一高槻構造線活断層系があり、東側に生駒山麓の活断層系、南側に中央構造線活断層系、西側に大阪湾活断層系があり、さらに大阪市域の直下には上町断層系がある。これらの活断層系の運動によって広大な大阪平野が形成されており、この運動は今後とも継続する。

これらの大規模な活断層系にはマグニチュード7以上の大地震が発生するが、大阪付近の活断層系のうち、有馬一高槻構造線活断層系は、最近の調査で1596年の大地震を起こしたことが判明したので、次の大地震は数百年以上先になると考えられる。その他の活断層系に関する活動履歴はまだよくわかっていないが、とくに中央構造線の紀伊半島西部の部分は、活動度の高い活断層であるにも関わらず、長期間動いていない可能性が高い。

大阪平野には厚い堆積層があるために、その下に上町断層や汐見橋撓曲が存在することが反射法探査などで確認されているが、その他にも未発見の活断層がある可能性があり、かつ、それらの活断層帯の活動履歴がわだよくわかっていない。念仏寺山断層、上町断層、長居断層などは、大阪平野の直下であり、活動履歴がよくわかっていない。また汐見橋撓曲なども活動度の高い活断層系である可能性があり、今後さらに調査が必要である。大阪湾断層も規模の大きな活断層であるが、その活動履歴がよくわかっていない。

また、大阪平野には、やや遠い地震による地盤の液状化の履歴があり、このような場所では将来の地震によっても再液状化を起こす可能性が高い。

それぞれの場所で、どこに震源断層が想定され、どのような揺れがあるかを理論計算し、その結果をもとに対策を考えていくような方式を、今後の震災対策の基本とする必要がある。大阪市や大阪府の今進めている事業は、このような理論的予測をもとにした初めての震災対策として注目されている。強震道の理論的予測を実行するためには、都市の基本情報として、それぞれの平野ごとに、地下構造を精度よく調べておくことが重要である。

### 2.5.3 これから起こる地震

南海トラフの巨大地震は、活動期のたびに必ず発生する。一方、内陸の活断層帯の大規模地震は、一つの活断層帯に関して見れば、数百年から数千年の時間間隔をおいて発生するから、少なくとも、過去数回の活動期に大規模地震が発生しなかった活断層帯の中に、次の活動期の大規模地震が起こる可能性の大きいものが含まれているということになる。

西南日本の中央構造線よりも北の内帯には、最近大地震が起こっていなかったので大地震の候補地が多い。数百年以上動いていない活断層はみな次の地震の候補地である可能性がある。こういう状態の所に一つ大規模な地震が起こると、20世紀前半を中心とする前回の活動期中に山陰から北陸地域に見られたように、隣接する活断層帯で連鎖反動的に次々と地震が起こる場合が多い。

1916年から1941年の明石海峡付近の一連の中小規模の地震は、西南日本内帯の前回の地震活動期に起こっている。このことは、1995年兵庫県南部地震の本震の破壊が開始する場所で、この地域の前回の地震活動期の中に、すでに小規模な破壊が始っていたことを意味している。前回の活動期にはそれが十分成長しないまま静穏期を迎え、今回の活動期の始まりとともに、一挙に六甲・淡路活断層帯の大規模地震に成長したと考えられる。

現時点で、余震とはいえない中小規模の地震が集中している活断層帯は、山崎断層、花折断層、三峠断層、中央構造線の和歌山県側、伊勢湾断層、養老断層などがあげられる。それらのどれに今回の活動期の地震が起こるか、またいつ起こるかはわからないが、活動履歴の調査から安全が確認されるまでは、いつ地震が起こってもいいように用意しておくことが防災対策の基本であろう。

### 2.5.4 必要な基礎研究の展開

地震予知の基礎研究、強震動の研究、地震発生の物理、地震工学、社会心理学など、震災を軽減するためには、広い分野の基礎研究の進展が必要である。ここでは、それらの中で特に強震動の研究について述べる。この内容は、日本学術会議の提出した最終報告の引用である<sup>34)</sup>。

大規模地震にともない強震動が発生する。これは自然現象である。強震動によって震災が発生する。震災を軽減するためには、強震動の観測記録に基づく研究が不可欠である。強震観測の目的は、大規模地震の震源断層の物理学的性状を動的に明らかにし、地盤の強震動入力による応答特性を把握し、強震動による建造物の応答特性を把握し、大規模地震の発生の直後に迅速な被害予測を行うことなどである。これらのそれぞれの目的に応じて強震観測の手法はそれぞれ異なるため、単に強震計の空間的配置だけで既存の観測網の評価をしてはならない。地震動は、震源断層の挙動、地震波の伝播経路の特性、表層地盤の応答特性などによって支配される。震源断層の性状を動的に把握するためには、できるだけ基盤の岩盤に固定した強震計の記録が必要である。

このような観測網によって地震発生後ただちに震源断層の物理的性質を示す各種のパラメータが計

算され、地震動に関連するあらゆる分野の研究と震災軽減の技術に応用されることになる。また、海域の地震の際には津波の予測に基本的な情報を提供することができる。

基盤から表層に入力した地震波は、地層の構造の影響を著しく受けて、局所的にきわめて大きな振幅の加速度や速度波形を示すことがある。また強震動の特徴も地下構造によって多様であり例外的に上下動が大きい場合もある。震災の軽減を目的とする強震動による地盤の応答特性の研究には、あらゆる種類の地下構造や地形を対象としたきわめて密度の高い強震計の観測網が必要である。また地盤の液状化のメカニズムを明らかにするには、特に軟弱地盤の存在する地域で基盤を含めた3次元の群列観測が必要である。

強震動記録を用いる研究の進展には、過去の大規模地震の際に公的機関および民間企業によって得られた記録がすべて提供されることが望ましい。大規模地震は発生頻度の少ない自然現象であり、震源の近傍に近代的な観測網が存在する機会はさらに少ない。したがって過去に得られた強震記録はきわめて貴重で、世界の人々の共通の財産であると考えべきであり、これらのデジタル記録が研究者に自由に利用されるよう公的機関によるデータベースの整備が必要である。

大規模地震が発生した直後には、マグニチュード6以上の余震が発生するが多い。震源近傍に強震計を高い密度で配置して観測を行うことが、震源断層と地盤特性の基礎研究の進展に、効率よくかつ大きく貢献する。そのためには強震計を常備した移動観測班を大学など研究機関に置き、各地の本震発生後ただちに臨時観測を開始できる体制を整備する必要がある。

### 2.5.5 市民のための地震情報

活断層地域で都市ごとに地下構造を調べ、活断層の活動履歴を把握する努力をして、その調査結果を市民によく知らせておくことが必要だと、私はかねてから考えている。自治体が活断層などの調査を行った例としては、第1章に紹介した神戸市の報告書が最初の本格的なものであったと思う。活断層の存在などはかなりの確に指摘されていた。

この報告書では神戸に予想される地震動を以下のようにあげている。「活断層群の実在するこの地域で、将来都市直下型の大地震が発生する可能性はあり、その時には断層付近でキ裂・変位がおこり、壊滅的な被害を受けることは間違いない。」「神戸市域に至近のところで大地震が発生した場合も、その影響は大きいと考えられる。」「南海域に震源をもつ巨大地震の際、神戸市域は震度IV～Vとなり、直下型や至近の地域の大地震ほどの被害は出ないが、山腹斜面の断層破碎帯の一部で地盤崩壊が考えられる。」

1995年兵庫県南部地震は、上記3つのうちの第1番目に相当するものであった。この地震の発生によって西隣の山崎断層の活動は加速されたと思われるが、将来発生する山崎断層の大規模地震は第2番目に相当し、さらに第3番目に相当する南海トラフの巨大地震は21世紀前半には、ほぼ確実に起こると考えられている。

1974年の神戸市の報告書のあと、活断層などの調査は、その後も研究者たちによって進められ、多くの知見が得られてはいたが、行政としての神戸市の調査と震災対策は、この報告書のあと進展を見なかった。

神戸市の報告書の内容は充実したものであり、神戸新聞の一面トップにそのことが報道されはしたが、その内容は市民に十分役立つ情報としては伝わっていなかった。

地震災害や津波災害は、大地震が起こるたびにまったく同じように出現することはなく、現象は個性を持っている。繰り返し時間間隔の比較的短い、南海トラフのようなプレート境界の巨大地震に関しては、過去数回の事例があり、大局的には同じような現象が起こっているとしても、例えば各地の津波の波高が異なっている場合が多い。内陸の活断層帯は大規模地震の繰り返し時間が、短い場合でも数百年であり、同じ断層帯で繰り返し起こった過去の大地震の記録はほとんどの場合に存在しないから、過去の同じ活断層帯の大規模地震の事例を探して学ぶことはできない。

災害の質や規模を支配する社会構造も急激に変化しており、その点から考えても同じ場所での災害の様相の再現性は低い。したがって、史料は過去の事例を知るためだけに終わることなく、現象の発

生する仕組みを一般化して理解するための研究資料として活かしていくことが重要である。

一方、例えば、震源断層から比較的遠い地域にも発生する地盤の液状化の場合には、同じ場所で再液状化することが多いこともわかっており、過去の震災の地域的特徴を把握して、地下構造などの研究を進めておくことが震災対策のために重要となる場合がある。

調査結果は、次の大地震の際の震災軽減に役立てなければならないが、そのためには、その分析結果を広く市民に知ってもらうことが必要である。一般に、学術研究の成果が市民の知識として普及するには数十年の歳月が必要であるが、次の大地震の震災軽減のためには研究成果が自然に普及するのを待っていては間に合わない。震災の軽減に直接関係する知識となる研究成果が短期間に市民の知識になるように、正確かつ迅速に普及する方法も、調査や研究と同時に、専門家は考えていかなければならない。

一冊の報告書や一回の新聞記事では、地震の基礎知識が市民に普及しないことは、上に述べた神戸の例からも明らかである。大地震のような日本の国土全般にわたる基本情報は、国に「地震庁」あるいは「地震火山庁」を設置して、調査と広報をしつづけることによって、その内容を市民のものにすることが必要である。

## 参考文献

- 1) 尾池和夫: 京都とその周辺地域の有感地震データベース (解説)、京都市、1996年。
- 2) 尾池和夫: 地震と日本の都市、都市問題研究、vol. 49, no. 1, pp. 3-13, 1997.
- 3) Oike, K.: International cooperation in natural disaster science - the Role of Japan -, *Technology and Development*, 5, pp. 5-16, 1992.
- 4) 宇佐美龍夫, 1996, 新編日本被害地震総覧[増補改訂版416-1995], 東京大学出版会, 493pp.
- 5) 大阪管区気象台: 近畿・中国・四国の有感地震、1990、211p.
- 6) 気象庁および各気象台編: 地震月報および地震観測報告原簿、1990・1996.
- 7) 石川有三・松村一男・横山博文・松本英照: SEIS-PCの開発—概要—、情報地質、1、第1期、pp. 11-21、1979.
- 8) 都司嘉宣: 安政2年9月28日(1855-XI-7)の遠江沖地震について、地震2、35、pp. 35-51、1982.
- 9) 中村 操・内田篤貴・河野博之・笠原慶一: 古地震の規模を推定する手法について、歴史地震、第2号、pp. 73-86、1986.
- 10) 橋田俊彦・島崎邦彦: 震度データによる震源位置およびマグニチュードの決定、地震学会講演予稿集、No. 1、p. 96、1984.
- 11) 中村亮一・西村 功・渡辺 健・宇佐美龍夫: 三次元減衰構造を考慮した震源決定—歴史地震への適用の試み—、歴史地震、第12号、pp. 19-20、1996.
- 12) 松井 渉・尾池和夫: 有感余震数を用いた歴史地震の震央決定、歴史地震、(印刷中)、1998.
- 13) 佐藤良輔: 日本の地震断層パラメーター・ハンドブック、鹿島出版会、390p、1989.
- 14) 文部省震災予防評議会(編): 増訂大日本地震史料、第1巻、第3巻、645p.、944p.、1941a, 1941b.
- 15) 武者金吉: 日本地震史料、毎日新聞社、350p.、1951.
- 16) 東京大学地震研究所(編): 新収日本地震史料、第2巻、第4巻、第5巻別巻3、補遺、補遺別巻、続補遺、続補遺別巻、575p.、870p.、293p.、1222p.、992pp.、1993pp.、1228p、1982、1984、1986、1989a、1989b、1993、1994.
- 17) 萩原尊禮: 古地震—歴史資料と活断層からさぐる、312p.、1982.
- 18) 吉岡敏和・刈谷愛彦・七山 太・岡田篤正・竹村恵二: 花折断層の活動履歴及び活動性調査、平成8年度活断層研究調査概要報告書、pp. 13-22、1997.
- 19) 水野清秀・小松原琢・七山 太・寒川 旭・山崎博史: 琵琶湖西岸断層系の活動性調査、平成8年度活断層研究調査概要報告書、pp. 23-35、1997.
- 20) 三木晴男: 京都大地震、思文閣出版、334pp.、1979.
- 21) 宇津徳治総編集: 地震の事典、pp. 467-552、1987.

- 22) 石川有三: 日本列島内陸部の地震活動空白域—序論—、月刊地球、12、pp. 355-361、1990.
- 23) 宇津徳治: 南海トラフ沿いの大地震と西日本の破壊的地震の関係、地震予知連絡会会報、12、pp. 120-122、1974.
- 24) 寒川旭: 地震考古学、遺跡が語る地震の歴史、251p.、1992.
- 25) Hori, T. and K. Oike : A statistical model of temporal variation of seismicity in the Inner-Zone of South west Japan related to the great interplate earthquakes along the Nankai trough, *Jour. Phys. Earth*, 1996.
- 26) 国立天文台編: 日本付近のおもな被害地震年代表、理科年表、pp. 824-855、1995.
- 27) 宇津徳治: 日本付近のM6. 0以上の地震および被害地震の表: 1885年~1980年、地震研究所彙報、57、pp. 401-463、1982.
- 28) Hori, T. and K. Oike : A physical mechanism for temporal variation in seismicity in the Inner Zone of Southwest Japan related to the great interplate earthquakes along the Nankai trough, *Tectonophysics*, 1998(in press).
- 29) Rikitake, T. : Recurrence of great earthquakes at subduction zones, *Tectonophysics*, 35, pp. 335-362, 1976.
- 30) Shimazaki, K. and T. Nakata: Time-predictable recurrence model for large earthquakes, *Geophys. Res. Lett.* , 7, pp. 279-282, 1980.
- 31) 尾池和夫: 活動期に入った地震列島、岩波書店、1995.
- 32) Yoshioka, S. : The interplate coupling and stress accumulation process of large earthquakes along the Nankai trough, southwest Japan, derived from geodetic and seismic data, *Phys. Earth Planet. Inter.* , 66, pp. 214-243, 1991.
- 33) Nakamura, M: Investigation of Seismicity Associated with Large Earthquake, Part I. The earthquake swarms at Imagawa, mid-western Honshu, Japan, *Doctoral Thesis of Graduate School of Science, Kyoto University*, 1998.
- 34) 日本学術会議阪神・淡路大震災調査特別委員会: 第1章: 地震現象の観測体制と研究体制について、阪神・淡路大震災調査特別委員会報告、pp. 4-13p.、1997年4月.