

## 阪神大震災（95・3・16）

玉野俊郎（昭16・理甲）

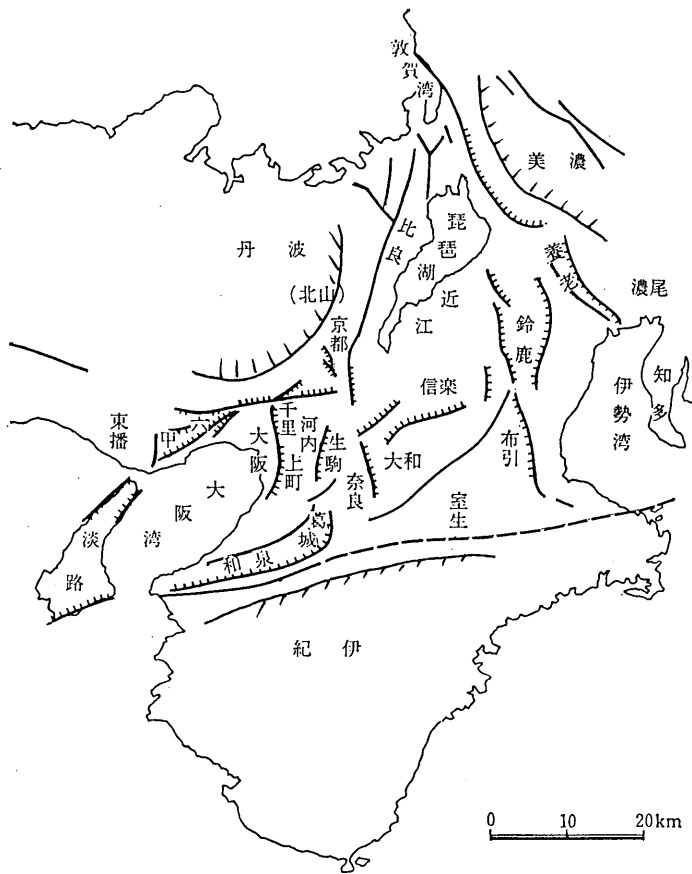
今回、たまたま「阪神大震災に関連して」について話をする事になりましたが、私としてはこの種の話をするには私自身適任ではないと考えております。この方面の話をするのには、私共同期生の間では理乙にありました藤田和夫氏が最も適任の人だと思っております。藤田氏は構造地質学専攻の斯界の権威者で、その一般向の著書「日本列島砂山論」・「変動する日本列島」等の中でも日本列島各地域の構造的脆弱性、地質変動歪の蓄積による地震発生危険性、特に近畿三角<sup>トリアングル</sup>形地域についてその脆弱性等を早くから指摘しており社会一般の関心の薄さに対し警告する意味のことも言っております。このように、この種の問題について豊富な知識と生きた情報を持っている藤田氏に阪神大震災について話して戴けることが最も望ましいことでしたが、藤田氏の神戸芦屋の家も災害を受け、御本人も以前から入院中であつたこともありまして、僭越ですが私が代わってお話しすることになりました。

私は探鉱地震学に関与し、東海や大阪湾その他の地質構造調査に関係してきましたが、応用方面を主体とした経験が大部分ですから、本日の話題については、内容的に的を外れることもあるかも知りませんが御容赦戴きたいと思ひます。

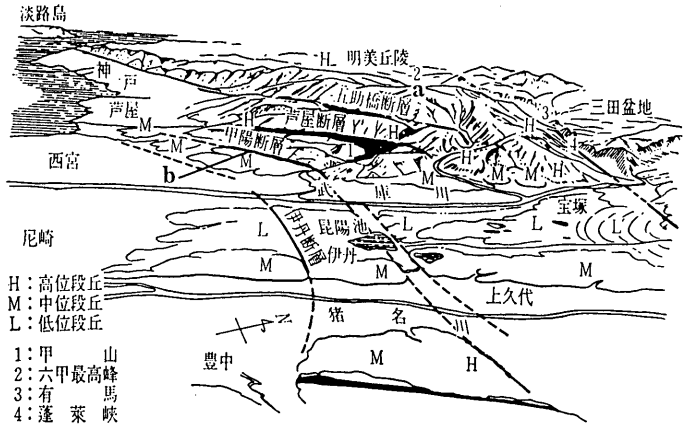
今回の地震で問題になることは、阪神地区は一九七八年以来、地震災害予防のための「特別観測地域」の一つに指定されていたにもかかわらず、一般住民の人々も、行政に携わる人々も関西には地震は起らない、少くとも大きな地震災害を生じないと思ひ込んでいたようで、心構えの上でも、行政上の措置の上でも具体的な対策、施策に欠けることが多かったと思われることではないかと考へられます。

「特別観測地域」として指定されていても、その意味を一般の人は殆ど知らなかったと云うことが大きな問題点であります。東京の方は地震が多くて嫌だけれども、関西は地震がなくて良いと云う人が非常に多く、自分達「住んでいる地域には、どのような型の地震が起り易いのか、その型の如何によつて地震の規模の大小とは別の条件で被害の危険の大小が異つてくるのか」と云う問題は一般に何等注目されることがなかったと云えます。遠隔型震源と直下型震源の地震による災害の差異について考へ、対策を検討する必要があります。

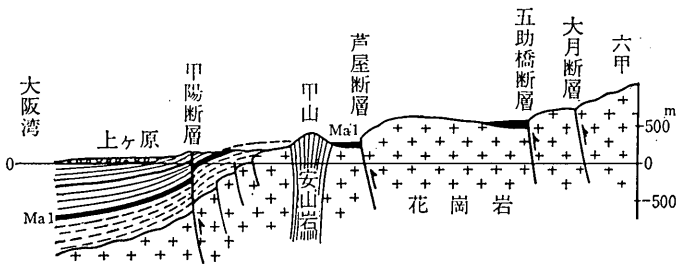
藤田氏その他の方々が早くから地震発生危険性を指摘してきた、阪神特別観測地域に関連し



近畿トライアングル内の山地と盆地



六甲山地南東側の階段状地形と断層



六甲山地—大阪湾の断面(上図の a—b 線)

て、藤田氏の作られた説明図(近畿トライアングル)を見ますと、六甲の附近から構造的に重要な活断層があり神戸から京都の北にかけて一つの連りを示しており、中国山脈の方では西に向って斜めに走る長い断層—山崎断層と云う—があります。京都の東側琵琶湖周辺にも活性度の高い断層があります。

特にこゝで注目したのが、斜線を入れた

部分に、丹波地塊、紀伊地塊、美濃地塊と記入されておりますが、これらの地塊は一つのプレートの中のマイクロ・マイクロ・プレートみたいなものと考えて頂いてよいと思います。プレート全体が地殻変動で動くとその中のマイクロ・プレートもプレート全体よりも小さい変動をしようと考えられます。災害に関連する考察には前述の地塊、或はそれ以下の小さい地塊の変動をも調べる必要があると考えられます。小さな地塊の変動も内陸型の直下型の地震を誘発すると考えられます。

別表の地震資料は日本での発生地震の中で大体M6級以上のものを選んで表としたものですが、平成のものについては手許資料不足で発生年月日無記入になったままのものがあります。古い時代の地震については、河角先生が古文書記録の被害状況から推定されたMの数字です。現在と昔では、記録の質・録法・瀬度が違いますので、規模の比較に無理があるかもしれませんが、いかには日本には地震が多いか、又、全地域に亘っているかは伺い知ることはできると思います。

地震発生の時間的間隔は表で見る限り長いとは云えません。M7～M8級の地震は海に震源のある海洋性地震で、大体周期は千年位。他のものは周期二〇〇年、或は一〇〇年と云うのがあります。明治以来の地震研究の結果では、関東中方ではM7～M8級の周期は略七三年となっております。大正一二年の地震から時間をはかるともうそろそろ関東附近に地震が発生する可能性があるという観点から、東海・東京は「特別強化地域」に指定されている訳です。

観測強化は学界を中心にして呼ばれているのですが、観測技術の強化・観測施設の増加に対する日本の国・或は社会の投資はそれらに附帯する研究費を含めて少ないと思われます。東海地震の予知問題に関連して駿河湾に海底地震計を設置したいとする構想が出てきた頃のことですが、私はSさんと云う方からアメリカで都合がよければ海底地震計について調べて欲しいと依頼され、ミネアポリスで情報を戴いてきたことがあります。Sさんとしては海底地震計の設計や、設置に附随する具体的問題、システム構想について情報を得たいと考えておられたようで、試験的費用として七億円位かかる見込みに、色々苦闘しておられました。駿河湾に海底地震計が設置されたのは十年以上を経て、退官されたSさんは既に故人となっておりました。このような基本的な問題についてさえ、クリアすべき壁が多く、投資も遅れて時間の空費に伴い、対策・方策の推定が遅れてくるように思われます。

予知・予報の問題の難しさは衆知のことですが、今回の阪神大震災に関連して、藤田氏は一九七五年頃には（私の知る限りのことで、それ以前からかも知れませんが）阪神地区の震災の可能性を危惧していたように思います。

大阪府の北の方に京大の阿武山観測所があり、こゝで微小地震・振動等の研究が行われており、図中に示されている微小地震の分布が地質的に明らかになっている断層線に沿って集中している

ことが分ってきました。藤田氏は尾池和夫氏（現京大教授）に丹波山塊に関連する地震データを集めるように依頼し、共同研究をすゝめたようです。微小地震は丹波地区から、南の高槻断層に沿って南に向う状況を示し、小地塊の境に沿う地震活動があることを意味するものと考えられました。今回の阪神地震はこの一群の断層線の南端淡路島の野島断層の活動を震源としており、藤田君その他の方々の警告が正しかったと言つてよいでしょう。

尾池教授は震災発生後のテレビ解説の中で、昨年の一月から始めて、二・三月、五月七月とこの地方で微小地震が群発しており、これらの発生地点の系列を辿ると、高槻断層・須磨断層の方に伸びているので、神戸・灘周辺に地震発生の可能性があると予想され、その危険性は都市部直下型地震となることを予告しようかと考えたが、予告のために生ずる社会的不安や混乱を考慮して差し控えたと言ふ意味のことを述べていました。若し、予告を混乱なしに受け入れることができ、一般人の社会的了解が出来ていれば、予告も災害軽減に有効に働いただろうと思われまゝ。予知・予報にかゝる大きな問題点があると考えています。

もう一つ、こゝに断層の断面図があります。神戸は第四紀の噴出花崗岩の上にと云えます。この花崗岩は大勢的には大阪平野・それから海の方に向つて階段状に低下しております。階段状のステップは本質としては断層です。

大阪平野の地下構造は詳細に明確になっている訳ではありません。断層に挟まった地塊が断層の両側から圧力を受けて隆起したり隆起した断層地塊が切れ切れになったりして凸凹のある浅層基盤を作り、その上に若い年代の堆積物が覆って、なだらかな平野上の地形を呈していると云ってよいでしょう。従って、大阪平野の中でも断層地震の可能性はあると云えます。実際の大阪市内一部の調査や大阪湾の海上音波調査の結果から、考えれば、この地域では今後も比較的大きい断層地震も小さい断層地震も起り得ると考えられます。

大きい地震も起り得ると云うには、もう一つの理由があります。四国山脈に沿って中央構造線と呼ばれる巨大な断層が目につきます。中央構造線は四国だけではなく和歌山・三重県の紀伊団塊の北を境し、愛知県の掛川を超える第一級の構造線です。四国での中央構造線の北と南の鍵層に、領家帯と三波川帯と呼ばれる層群がありますが、高野山附近の人工地震調査の結果では、予想に反し浅部に上昇していることが分り、更に香川県の東側方で、四国西部に比し、1 cm/年程度上昇していることがわかってきました。この中央構造線の変動についての解釈は、構造線の巨大さを考えれば非常に難しいと考えられますが、近畿地塊に及ぼす歪力を無視できないので、阪神地方に大きな地震が発生する可能性は十分であると思われる。阪神地方が地震被害を蒙る確度を低くはないので、県単位ではなく、地塊地域を一体とした政治的配慮に基づく総合的対策・施策を考えてゆく時期だと思えます。



## 阪神大震災の震源について

阪神大震災の震源調査は多くの専門家が行っていると思います。こゝではテレビで放映された松田時彦氏・太田陽子氏の調査によりますと、淡路島の野島断層が震源で、地表で観測された断層は、右づれ、つまり東側がづれ、カーブを画きながら北方向に衝き上げて約2m落差ができています。押している方向は東から西へという型です。落差が2mを超える断層による地震の大きさはM7位と予想できるので、今回の阪神地震の大きさにM7・2と報告されておりますから、数字としては符合するものです。震源は野島断層という活断層と略断定されます。震源の深さは一四kmとされています。阪神の震災は非常に大きなものでしたが、地震の規模としては歴史的に見ても、何時かは起り得る大きさのものであったことに注目したいと思います。

地震研究所で作製された地震々源の分布を示す図で地域的な集中度を見やすくしたものです。配布した図は色刷りでないので分りにくいのですが、淡路島から、今回の地震被害地域全域に亘って震源が集中していることは認められます。又、中央構造線に沿った和歌山近辺にも震源が集中している様子がわかります。一つ一つの地震としては余り関心を集めない小地震でも、或る地域に集中し、瀕発しているのであれば、その地域は地震的に不安定であると考えられます。京都の方も図で見るとそろそろ不安定になってきているように見えます。

地震の被害と地震波動について、多少問題点を拾ってみたいと思います。地震波動はP波（縦波）を、S波（横波）、表面波（ラグ波、レイレー波等）等の異った性質の波があります。（図参照）地震波動の地中の伝播速度はP波が最も速く、次いでS波、更に遅れて表面波が現われます。これらの波は夫々異った性質を持っており、震源から被災地までの距離・伝播地質の差異によって災害の生じ方に異った影響をもたらします。震源から被災地点までの距離が非常に短ければ短時間の間に到達するすべての波動が災害発生の原因となります。従って直下型と云われる地震では比較的小さい部類のものでも、大きな災害を生じる場合が多くなり、震源が遠く、伝播地質が表面波を励振し易い場合には表面波に起因する災害が多くなります。地域の地質条件によってはP波による重複反射・屈折波や、P・S或は表面波成分の停止波・変換複合波等による被害もでることがあるようです。

東海地震に対する観測システムの考え方では観測システムが地震波初動（P波）を観測した時点から三十秒以内で対応処置が体制化できるように組織されています。ところが、今回の阪神地震に際しては、野島断層で地震破砕が起ってから、地表に於ける衝撃破壊が生じるまでの時間は約二十秒とのことでした。三〇秒より早く、近地表の被害が始っていたことになり、直下型地震に対する対応が如何に困難であるかを如実に示しております。相継ぐ振動の激しさに人々が対応動作に移れない状態を考えると心に残る後遺症の障碍についても対策を必要とするように思います。

京都下加茂に設置されているワイヘルトの地震計による阪神地震の記象をテレビを通じて尾池教授が発表されました。普通の地震計記象ではP波・S波、表面波と一応区分できる形になっているのですが、この阪神地震では前述したように波が分れていではなく、波の固まりが団子のように幾つかできているように見えました。私はそれを見乍ら、三成分（東西・南北・上下）の分析をされるのでしょうか、非常に難しいことで時間もかゝるのではないかなど思っておりましたが、多分地震波が震源から観測点に到達するまでに、浅層地形や、断層・媒質の硬軟密度等の変化に起因して、複合波状のものが記録されたのか、又は主震源に刺激されて、小地塊の変動が生じ新たな波源を生じたのかなどと考えました。このワイヘルト記象の解析はいづれ発表されるでしょうが、阪神地震による建造物の破壊、破損状況や、地区別な被害者の住居家具の破損、移動などの談話を聞いているとP波をはじめ各種の波動が殆んど同時に襲来し、又、繰返しがきいたという内容が多かったようで、種々の波が幾つも襲来しているように思われます。

前述のワイヘルト地震計では、P波加速度八三〇 $\mu$ m/sec<sup>2</sup>、波動の中で最大周期としては八秒のものが記録されているとのことでした。建造物の構造的耐震性を考察する上で参考になる数字です。

P波初動は震源の発震機構の如何によって地域を地面を押し上げる「押し波」の部分と、押し下げる「引き波」の部分に分けることとなります。この「押し」と「引き」の関係に局的に浅層地形・地質の形状・分布の差異によって、影響を受けるでしょうが、重力加速度と「押し・引

き」のP波加速度との相対関係から、建造物・その他に対する衝撃力の働き方が変わるようになるかと考えられます。その結果として被害の生じ方・大きさにも差異が生じるようです。又、波動の周期は建造物、その他の固有振動周期と関連して、共振被害の程度に影響しますので、波動の加速度や周期の地域的分布は耐震構造について重要な資料となります。

関東大震災の場合のように、P波初動から表面波の到達する迄に一分前後の時間差があった事例（相模湾に近い所は別として）と異なり、P波初動とその他の波が非常に短かい時間の中で集中する場合の地動の様相は地域の地質・地形の特性毎に異なってくるので、阪神の災害の事例から高速道路・高層建築物・橋架・一般住居家屋等の耐震構造の適否を考察するには非常な困難があり、かなりの時間をかけた綿密な調査が今後の為に必要であろうと思います。

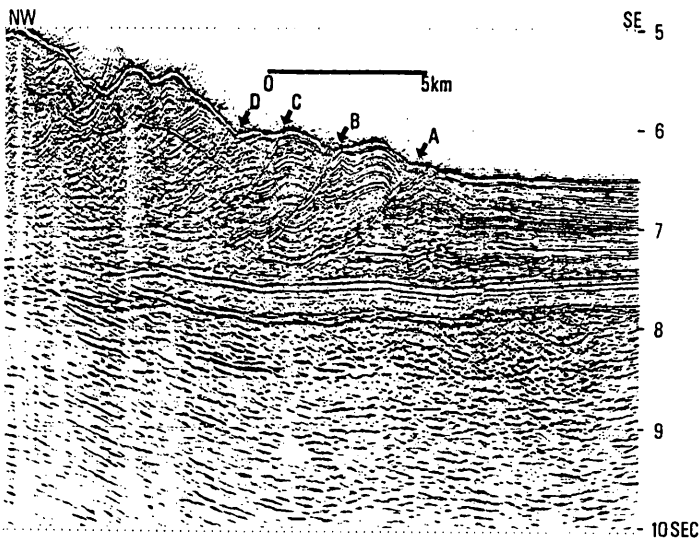
プレートの移動と地震発生とは関連があることは一般に認められるように思います。一つのプレートが別のもう一つのプレートと接しているとし、夫々のプレートの移動速度・移動方向に差があるとき、一方のプレートの下に潜り込みますと、上板となっているプレートの縁は、少しずつ持ち上げられ、下板のプレートは沈降を続けて或る弾性的限界まで沈むと上方に反撥して、上板プレートを急速に持ち上げ、地震を招来すると云う考え方で「弾性反撥説」と云われ、臣大地震発生のメカニズムとして採用されています。プレートを更にランクの低いミニ・プレートの集

合体と理解すれば、ミニ・プレートとして地塊の接触部に於ても、お互いの歪力の相対的關係から、断層破碎性の地震を発生させ得ることは理解できると思います。

日本周辺のプレートの移動速度を概観してみますと、太平洋プレートの東北地方海岸近くでは  $3 \cdot 6 \text{ CM} / \text{年}$  西方向へ、伊豆半島附近のフィリピン・プレートは  $3 \cdot 4 \text{ CM} / \text{年}$ 、四国沖南海トラフでのフィリピン・プレートは  $4 \cdot 0 \text{ CM} / \text{年}$  のように異なる速度が見出されています。このような異なる移動速度のプレート作用で、日本周辺では  $M 8$  以上の海洋性巨大地震が発生していると考えてよいと思います。

駿河湾の海上地震調査による東西方向側線断面図について、その特徴を簡約して紹介します。深部の方は比較的平坦なブロックになっており、所々に鉛直に近い方向で断層が認められます。浅い部分の地層は海側から陸地の方に上昇して陸に近い部分では折れた、んで倒れこむような形を示しております。浅層では、深い層の断層の影響結果の断層も認められますが、折れた、むよりに褶曲した部分では斜めに入った断層が多くなっているのが見られます。浅層褶曲部の断層間隔は  $20 \text{ km} \sim 30 \text{ km}$  で、更に小さい断層では  $5 \text{ km}$  程度の間隔になっているところもあります。

先程、紀伊団塊、丹波団塊、その他の団塊について触れましたが、 $20 \text{ km} \sim 30 \text{ km}$  の断層間隔ででき上がった地塊はそれらより一廻り小さく、 $5 \text{ km}$  間隔の断層で出来たブロックは更に小さい



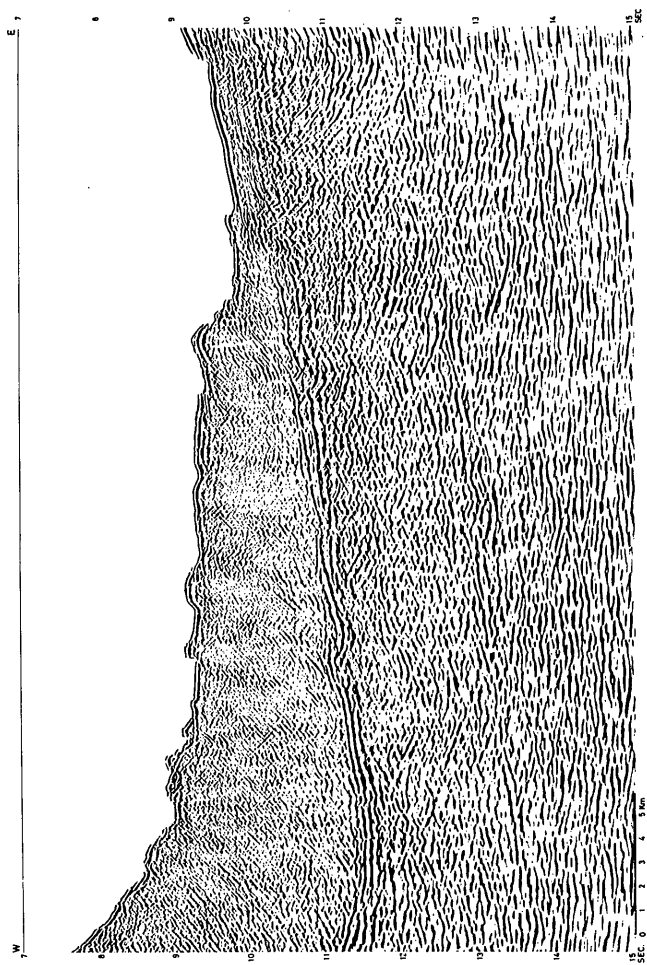
南海トラフのプレート上位のタービダイト層中の断層生成の図  
(A, B, C, Dは断層)

玉野, 鳥羽, 青木: 1981

ものですが、この調査記録から判断しますと、これらのブロックを形づくる小断層は僅か乍ら継続して活動しており、活動途中で時々大きく変動することもあることが分かります。このような時々大きな断層の活動は地震発生の原因となるに十分な変動量を持っていると考えられます。

陸上ではこの海上の場合ほど細密な断面図は、いろいろな制約があるため作製することが出来ませんが、地表地質については綿密な調査が行われております。

今回の阪神地震は活断層の活動に起因する直下型地震であると云われ神戸という日本でも屈指の大都市周辺が被災地であったので、被害の大きさ、その被害状



三陸沖日本海溝に於ける太平洋プレートの潜り込み観測図  
 松沢、玉野、青木、井川：1981

況の多様さに人々を驚倒させ、且つ又、社会的に多くの問題を投げかけることになりました。然し、直下型地震は過去に幾つか発生しており、最近では福井地震があり、明治の東京地震、少し古いけれども広域に亘る大災害をもたらした安政の江戸地震等があります。江戸地震は安政見聞録をはじめとし、多くの公文書記録が残っており、震源地は亀有から亀戸の間の断層破壊と考えられます。特に、江戸という大都市を襲った直下型断層地震で各地の被害状況の記録に基づく推定震度は関東全域に亘り五で、一部は六に達する激しい震動があったことが分っています。宇都宮でも震度四と推定されており、現在の東京を江戸地震と同じ程度の直下型地震が襲えば関東全域の被害は、今回の阪神地震災害を遙かに超える規模に達するし、政治的・経済的な混乱の大きさも予見できないほど巨大なものがあるだろうと思われます。

地震の発生因は、大規模なプレートの活動に、起源があるとしても、個々の地震の発生因の大部分が更に小さい地塊プレート内の活断層の活動によるものであると云っても大過ないと考えられます。火山性と云われる成因もあります。

活断層という言葉はウィルスという人が七〇年程以前に使用したものだそうですが、各地の断層について、どれが活断層でどれが死断層かは明らかにしているわけでもありません。活断層は断層周辺の地質環境の中で断層の地史的履歴を調べることから始めるより仕方がないようです。考古学的な遺跡調査の結果から考古地震学が生れ、活断層と認定される断層が多くなっておりま



す。特に近畿トライアングルの域内では考古学的遺跡発掘が多くなるに伴ない活断層も増えてきているようです。

関東地方で活断層として注目されているもの、一つに立川断層があります。立川断層の調査では約一万六千年の間に約一・八m動いておりますが、この間に三回の活動があったことが分っておりますので、周期は約五千年となります。最近の活動は三百年前と推定されておりますので、現在は安静化していると見られ、むしろ荒川断層の北西方延長部の方が関東地方の内陸直下型地震の発生源となると憂慮される人もいます。但し、最近立川断層が活動する恐れがあると考える人もおります。新しい知見によって見解に差がでることはあると思います。

関東で一番地震発生の危険度が高いのは、松田―国府津断層であろうと云われています。この断層線の地域は伊豆地方を含む西方のフィリッピン・プレートと、相模湾を含む東方の太平洋プレートとの接合部に添っており、大島三原山噴火・伊東沖噴火・それ以前の北伊豆地震等の一連の活動があるにも拘わらず長期間にわたり活動を停止しているが、危険時期に入っていることから最も危惧されている訳です。伊勢原断層は五千年周期のもので松田―国府津断層の活動があればその影響も受けるでしょうが、既に一旦活動（八七八年）した後なので、それ自体が地震活動の源となる確率は低いと思われれます。

フィリッピン・プレートの上にある伊豆半島・伊豆諸島のラインの西側は太平洋プレート側の駿河トラフとなり、東海地震発生の可能性の高い地域として注目され、種々の研究や、地震発生に備えたシステム・制度ができていることは皆様御存知の通りです。

今回の阪神地震で死者は既に七千人を超え、衝倒壊家屋も十数万を数え、高速道路・高層ビルの破壊等、最近では類のない甚大な災害をもたらし、社会的・産業的に多くの課題を呈示した災害をもたらしました。大災害を招来した元凶は地震が直下型であったことだとも云われます。然し、日本という国の歴史を見る限り、M6～M7の地震が五十年に達しない時間々隔で国土周辺の何処で起ってきていることが分ります。つまり、M7・2の阪神地震は歴史の中では当然ある期間内に発生する普通の規模の地震であったと云えます。

唯、問題は神戸と云う大都市に近い所（淡路島）に直下型と言える震源があり、神戸から京都に向う複雑な断層系に囲まれた地域が主要な被害地となったことが、地震エネルギーの伝播集中の経路巾があったことを物語っているように見える点であります。P波加速度は京都で九三〇ミリガルが観測されているのに、大阪では全般的に三〇〇～四〇〇以下に止っており、被害も激減していることからエネルギー伝播に経路選択に役立つような壁があったと考えられるわけです。この現象を正しく認識するための努力が、今後の対策樹立のために必須のものだと思われまます。そのためには、地味であっても各地域のミニ・ミニ・プレート、（或は地塊）の単位位の地質構

造及びその変動について、地質学・地球物理学・或は測地学的な出来るだけ精密な調査を継続し、整理を行っていなければならないと思います。更に広域については、人工衛星映像・光波・電波測量も現在の技術の進展状況から考えれば細部資料の総合に素晴らしい効果を発揮できると思います。

更にこれらの資料の総合結果を一定段階毎に広報し、国民及び住民の一人一人が天気予報を聞くように、日常的な関心を持てるようにすることが最も望ましいことでしょう。このような知識の普及が行き届けば、正確無比の子知より、一定期間での危険予告も社会に受け入れられるのではないかと思えます。

阪神地震は政治・行政・技術そして人間救済についても多くの課題を呈示していると思われる。