

# 六甲山地の成り立ち

大阪市立大学

平野昌繁

## 1. はじめに

近年の衛星画像でも見事な断層地形を示す六甲山地と人間のかかわりは古く、都賀野・有馬温泉など長い歴史をもつ。六甲山地の近代的な地形図は明治20年前後の1/20,000複製版に遡るが、これは現在でもかつての六甲山地の姿を知るための貴重な資料で、山地を作る花崗岩類は風化が激しく至る所に崩壊地が見られる。このような六甲山地の成り立ちは、いかえれば地質構造発達史あるいは地形発達史の問題である。この点について、それが多年にわたる多くの研究の積み重ねによってどのように理解されてきたか、研究史をたどりつつ眺める。それは地すべりとの関係でいえば、兵庫県南部地震によって発生した地すべりや崩壊が、構造発達史あるいは地形発達史の産物である現在の六甲山地の特性といかにかかわっているかの問題となる。

## 2. 六甲研究の出発点

最初に注目されたのは、ひとつは地形であり、もうひとつは周辺の化石を産出する地層である。これらに関する当初の研究は、いずれも六甲山地の成り立ちに関する先駆的なものといえる。

地形については、山麓部における新鮮な断層地形の存在が指摘され、世界に紹介された(図1; CUSHING, 1913)。それには、正断層に伴う新鮮な断層崖とその特徴である三角末端面が示されている。これは、現在でいう活断層に伴われる変動地形について、初めて述べたものといえる。

もうひとつは六甲周辺の堆積層の分布の問題で、それにもとづいて古地理(当時の海陸分布、広義の地形発達史)が議論された(図2、本間・君塚、1928)。それに関連して六甲山地に分布する地質系統の概要が明らかにされ、その後に第三紀層に対しては鹿間(1938)によって神戸層群の名称が与えられた。また断層の年代についても、断層線の方角と活動時期という形で議論された。

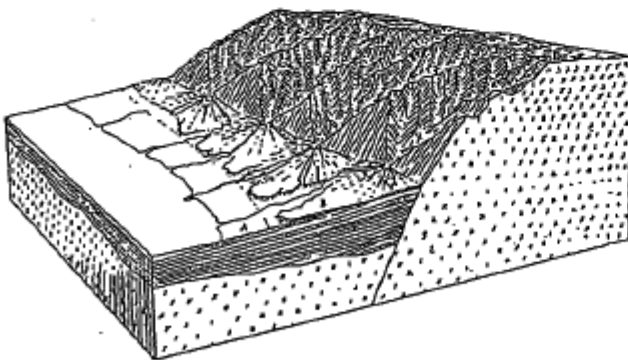


図1 CUSHINGによる六甲山地の断層地形

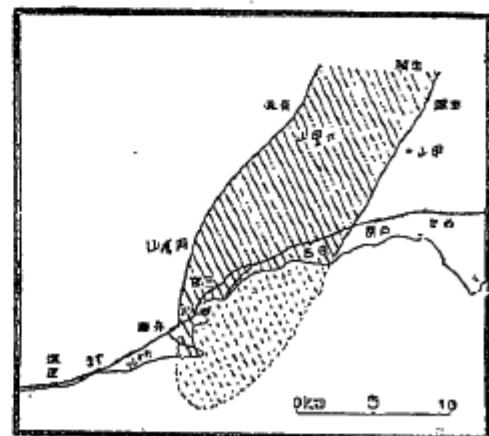


図2 本間・君塚による六甲の古地理

### 3. 六甲山地の衝上断層

その後の昭和13(1938)年に至り、上治寅次郎はそれまでの一連の研究(上治、1936など)にもとづいて、六甲山地全域の地質図をまとめ公表した。図は縮尺1/50,000の極めて詳細なものである。これには一方では資源探査の観点が投影して、山地内の花崗岩類の細分と岩脈類の記載がなされている。その意味では、六甲の花崗岩類の研究の原点でもある。

しかしまた、構造発達史に関する極めて重要な点として、丸山衝上断層(天然記念物)をはじめとする新生代層を切る逆断層の存在が示されている。それは、現在でいうところの活断層である。そしてこの地質図では、六甲山地は周囲を衝上断層(スラスト)で限られている。現在の六甲山地内の断層の名称は、甲陽断層・芦屋断層など多くがこのときに与えられたものである。断層系についてはスラストの他に、山地を横切る洞切り断層が多く記されているのが特徴である。

### 4. 東六甲の構造および地形発達史

第2次大戦後の六甲山地の研究は、藤田ほか(1959)などによりまず東六甲において行われたが(図3)、とくに重要な点は地質構造史と地形発達史を関連させて研究が進められたことである。その際、段丘の分布などの地形的特徴が議論され(図5)、第四紀の気候変化との関係も検討された。

このようにして六甲山地を作る岩石類あるいは地層群について、第四紀層を含めた基本的な層序(岩石・地層の形成順序と年代)がほぼ確立し(図4)、その中で第四紀地殻変動(ネオテクトニクス)としての六甲変動の概念が生まれた。この段階でとくに第四紀層(大阪層群)の層序と構造の関係から、従来はトロイデ(鐘状火山)の典型とされてきた甲山がその年代から実は侵食地形であり、第三紀の瀬戸内火山岩の一部であることが明らかにされた。

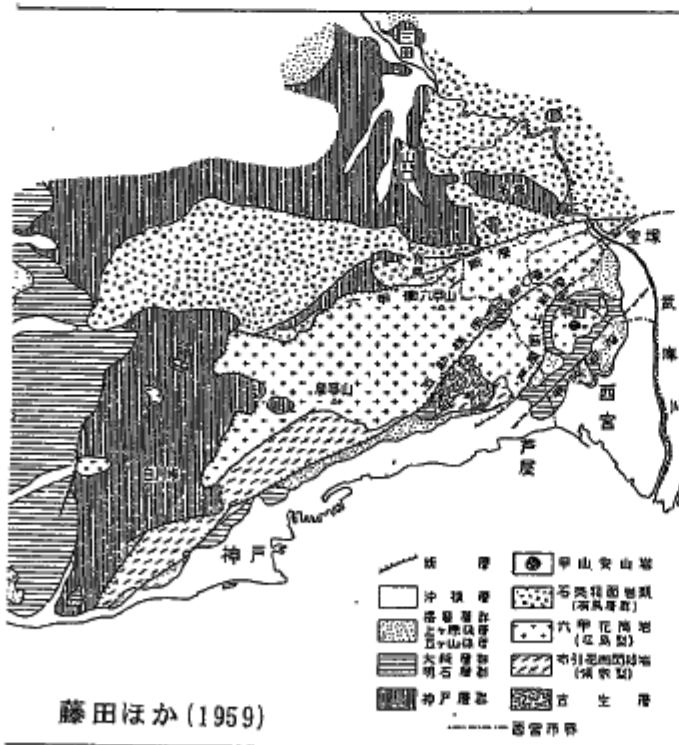


図3 六甲山地周縁地域の地質図の概要

地質年代		何年前か	西宮地方の地質系		
新生代	第四紀	現世	1万年	沖積層	表層
		最新世	100万年	段丘礫層	
	鮮新世	1200万年	大阪層群	(甲山安山岩)	
		中新世	3000万年		
	古第三紀	6000万年	(有馬層群)	基盤岩類	
中生代	白亜紀	13000万年	六甲花崗岩		
	ジュラ紀	16000万年	布引花崗閃緑岩		
	トリアス紀	19000万年	お多福山古生層		
新古生代	ペルム紀	21000万年			
	石炭紀	27000万年			
	デボン紀	32000万年			

(池辺辰生の層年による)

図4 六甲をつくる岩石・地層の層序および概略年代

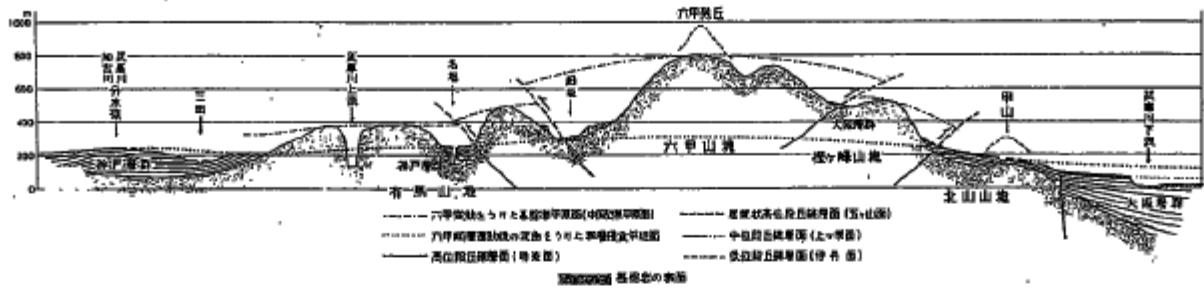


図5 六甲周縁にみられる地形面の関係を示す模式断面図

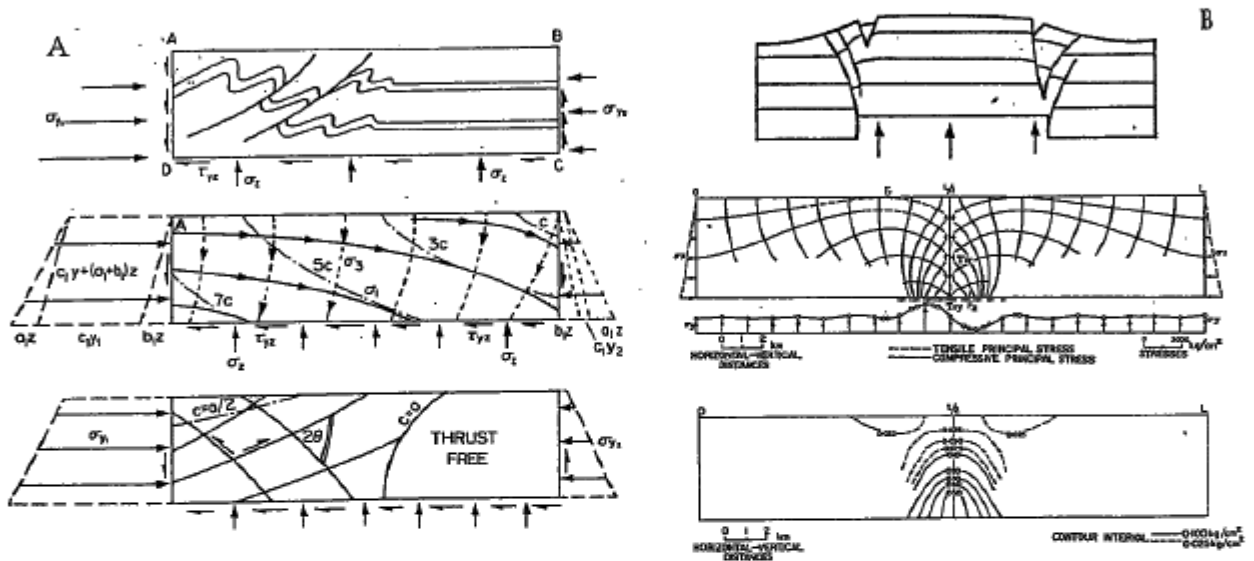


図6 弾性論と実験に基づく断層モデル。Aはスラスト、Bは上下運動による断層群

地質構造については、六甲山地の衝上断層（スラスト）の形成メカニズムとして基盤褶曲の考え（横山1956）が適用された。それは応力分布と断層の関係を弾性論にもとづいて研究したHUBBERT(1951)などのモデル（図6）が出発点となっている。その後さらに研究は進み、主として花崗岩類が分布する近畿三角帯の北東縁辺部にある地殻変動の激しい部分として六甲山地は位置づけられた。

### 5. 神戸市および隣接地域の地質図と活断層図

東六甲地域の調査から発展して対象範囲を広げ、六甲および周辺地域の広域的調査にもとづく1/50,000地質図が藤田ほかによって論文として公表されたのは1971年である。これはその後における各種の地質図、活断層図、などの基礎となる基本データである。

この地質図においては、六甲山地の断層のあるものは比較的直線的に引かれているが、これは従来のスラストに加えて右横ずれ成分の卓越する断層があることがわかったからである。大月断層が通る住吉川の本庄堰堤の基礎部分の岩盤調査もその確認に役立った。さらに小規模だが左横ずれ断層も確認され、共役横ずれ断層系が図に表示された。それらは新鮮な断層粘土を伴い、現在の地形を切っていて、活断層としての特性を具えている。

この段階において花崗岩中の断裂系（断層と節理）の調査・解析が行われた。断層（セン断面）とそれを作り出す応力は一定の方位関係を持ち（図7）六甲山地の割れ目系を作りだした応力場は東西圧縮であること、それによる六甲山地のブロック構造の発達過程とし

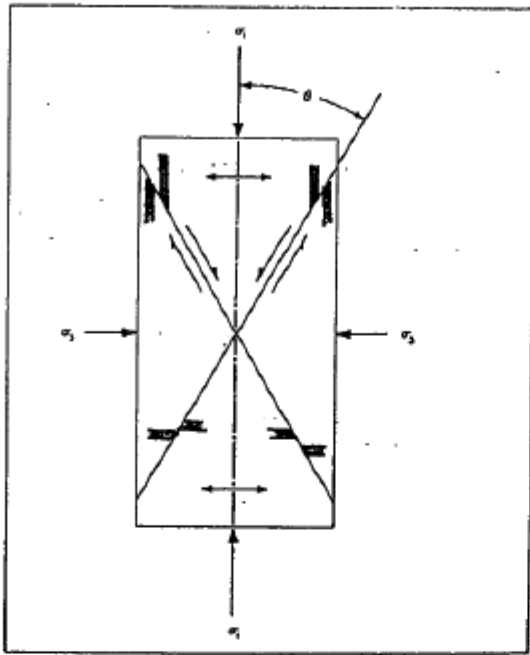


図7 共役断層。σ<sub>1</sub>は最大圧縮、σ<sub>3</sub>は最小圧縮。

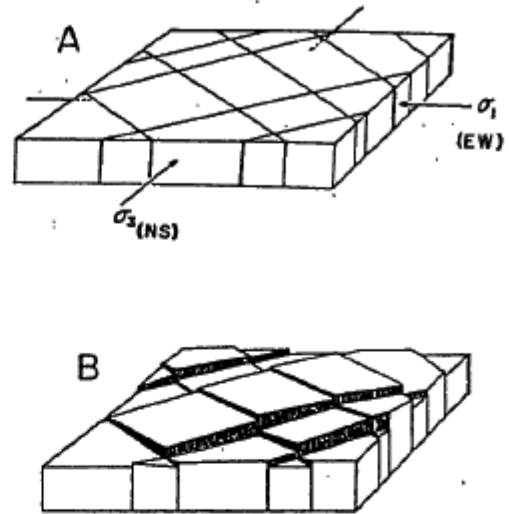


図8 六甲山地のブロック構造の発達モデル。

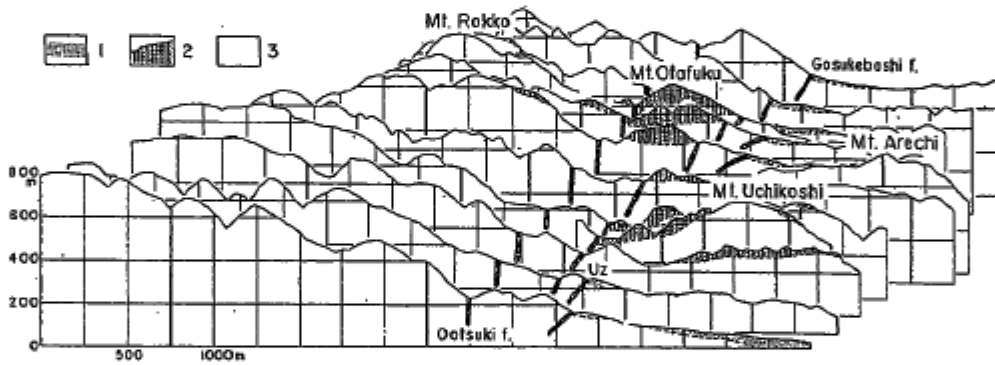


図9 大月断層と五助橋断層の関係

て、横ずれ型が1次的でそれから縦ずれ型が2次的に生じたこと(図8)、が示された。

六甲山地の主要な断層については、五助橋断層・甲陽断層など、縦ずれ運動(断層崖はその産物)と横ずれ変位地形(河道や岩体の横ずれ)という、2つの要素に対応する構造・地形特性がみられ、それが断層の一定の組合せをもたらす(図9)。広域敵な東西圧縮については、六甲の主要な右横ずれ断層が左横ずれの山崎断層と共役関係にあることも明らかとなった。このようにして六甲山地の構造・地形特性が明らかとなった。

なおこれに若干先立って、国土地理院により神戸地域の1/25,000土地条件図が作成されている(国土地理院、1966)。これには空中写真判読に基づく地形分類の結果が示されているが、地盤特性を知るうえで極めて重要な資料である。とくに付図として空中写真判読によるリニアメント図が添えられていて、六甲の地形に関する基礎資料もまたこの時期に揃ったといえる。

## 6. 神戸と地震

さらに地震学的あるいは測地学的研究から、近畿地方北西部の微小地震の初動分布から

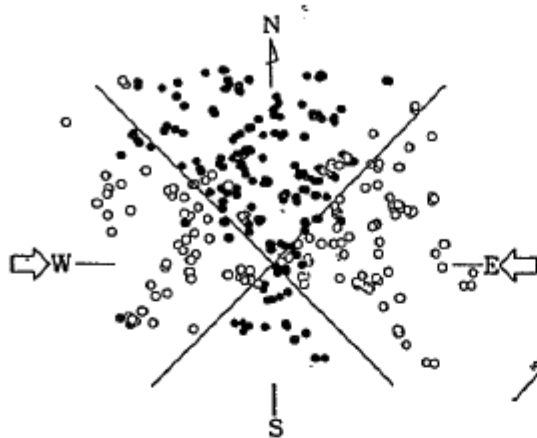


図10 近畿北西部の微小地震の発震機構.

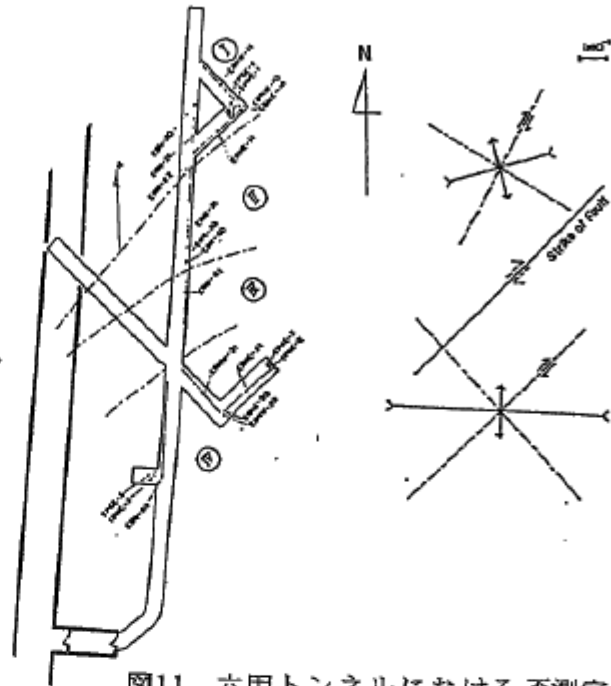


図11 六甲トンネルにおける歪測定

求めた発震機構が東西圧縮を示すこと（図10）、あるいは新幹線六甲トンネルにおける歪・応力測定（田中ほか、1972）によると、ほぼ東西方向に短縮し（南北は伸び）ていて、圧縮軸はほぼ東西で、北東-南西方向の五助橋断層・大月断層とは斜交する（これらが横ずれ断層である証拠）こと（図11）、がわかってきた。

このようにして、地質・地形という過去何万年もかけて形成されてきたものと、現在の現象である地震あるいは応力が互いに対応することが明らかになった。これらの研究の進捗にもとづいて、神戸の地震に関する報告書がまとめられたのは1974年である。

この報告書（笠岡・岸本、1974）においては、地震に関する考察（神戸における直下型地震発生の可能性に言及）に加えて弾性波速度にもとづく岩盤特性の区分を記している。さらに、阪神間のボーリング資料を利用して、六甲山地の断層と平野部の地下構造の関連性も議論された。新しい堆積物に被われ地下の断層に関する情報の少ない六甲山麓の都市部分についてとくに注目すべき点は、六甲山地内の北東-南西方向の右横ずれ成分の卓越する断層断層が、斜めに市街地を切って伸びている可能性が示されたことである（図12）。

#### 7. 兵庫県南部地震

1995年に発生した兵庫県南部地震は、東西圧縮のもとでの横ずれ型発震機構を持ち、右横ずれ断層が動いた。淡路島では右横ずれ成分の卓越する明瞭な地表地震断層（野島断層）が生じた。神戸地域では地表が各種の人工構造物で被われていて、自然斜面が主である淡路島におけるような地表地震断層の連続的追跡確認はできないが、特定部分における都市構造物の系統的な右横ずれが生じている。

大規模な地震の発生に伴って地盤は変位し、それ基準点の位置の変化で知ることができる。三角点の水平変位からブロック構造の存在がわかり（図13）、水平変位場の特性から転移（ディスロケーション）理論を用いて地震断層面の特性も推定できる（図14）。右横ずれ変位は、六甲山地内の地形や岩体の横ずれとも調和的である。ただし、海岸部の埋

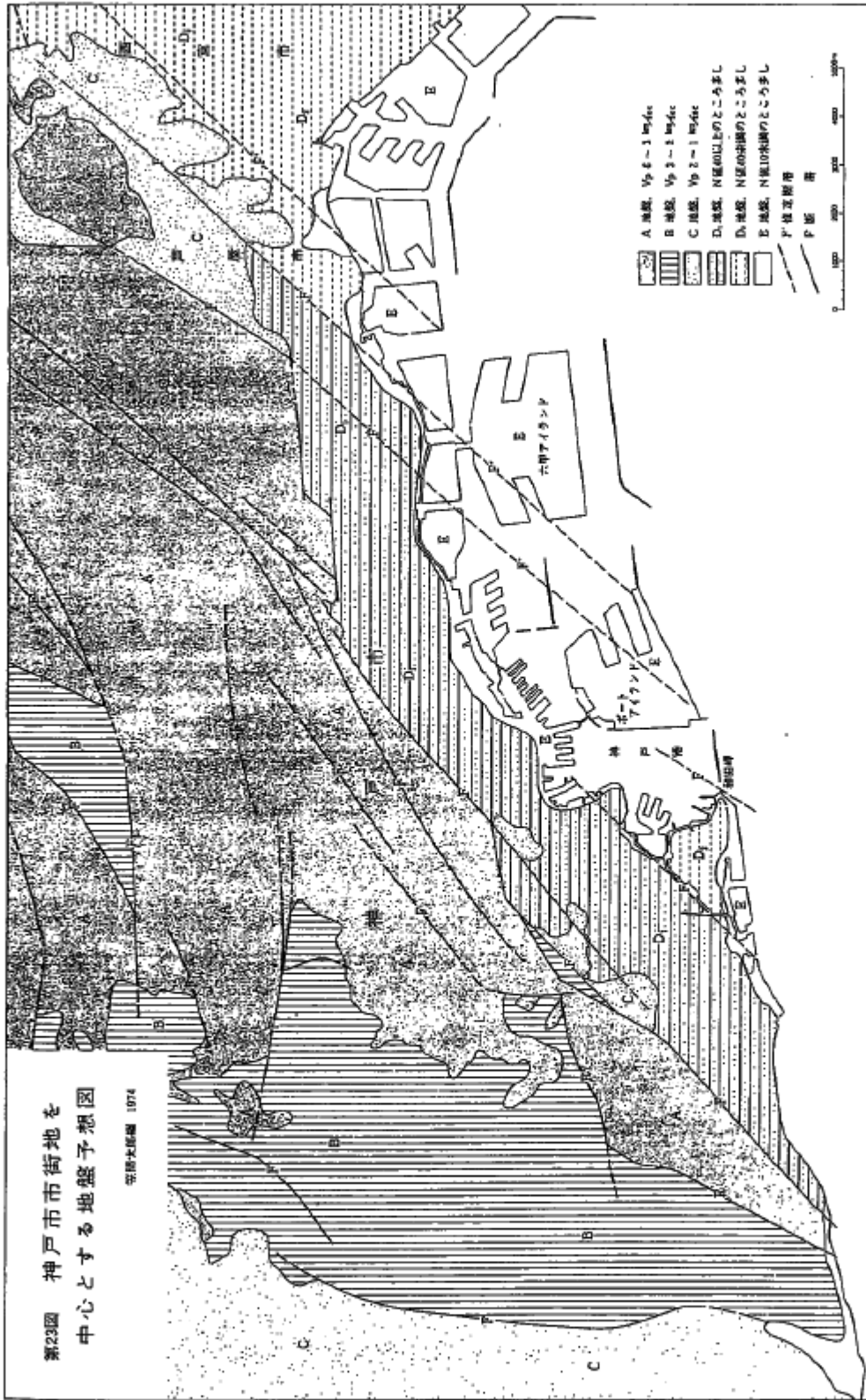


図12 神戸市街地を中心とする地盤予想図

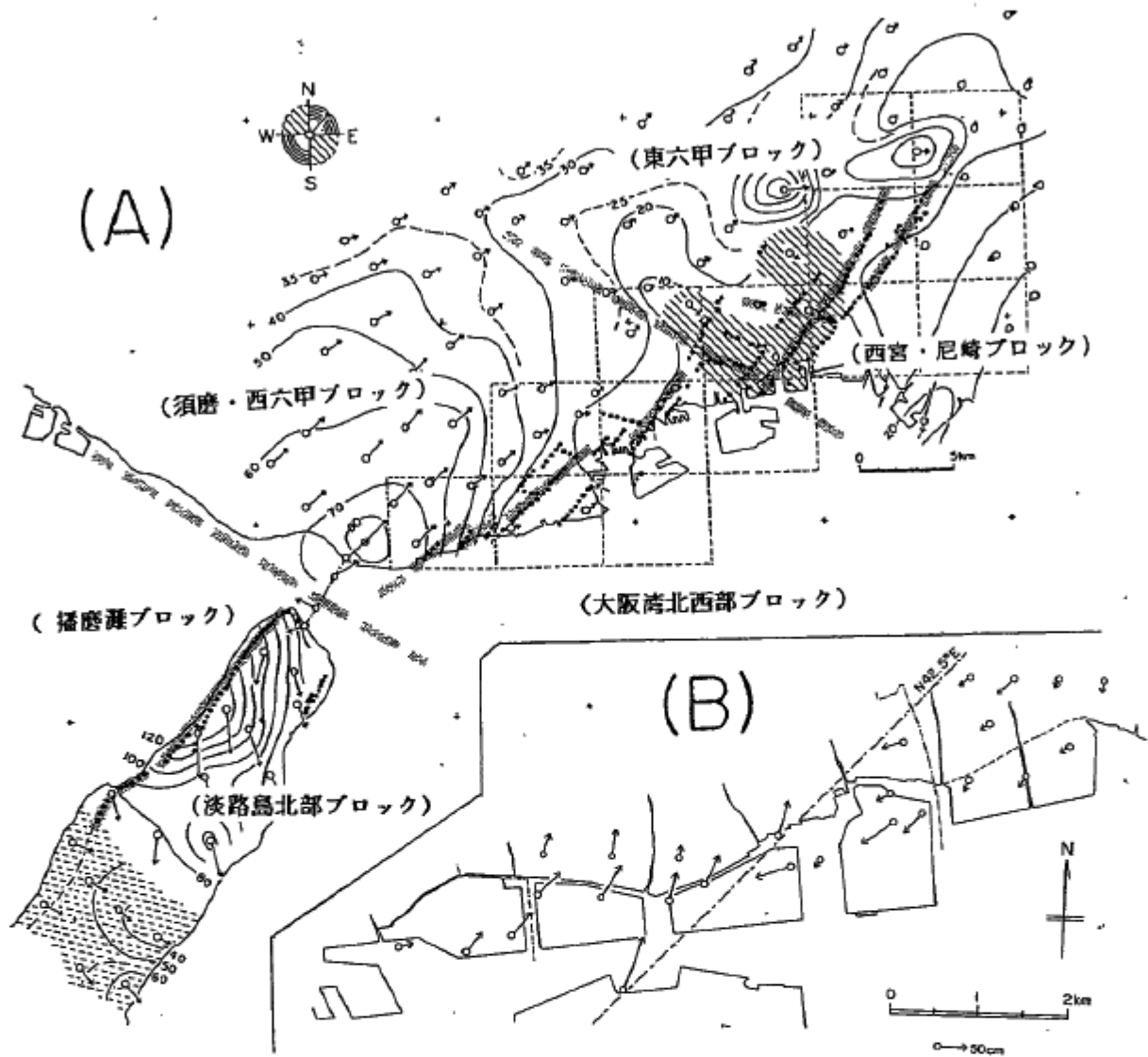


図13 兵庫県南部地震による地盤の水平変位にもとづくブロック構造。  
 Aは三角点にもとづく広域の変位、Bは地表目標物による東灘・芦屋付近の変位。

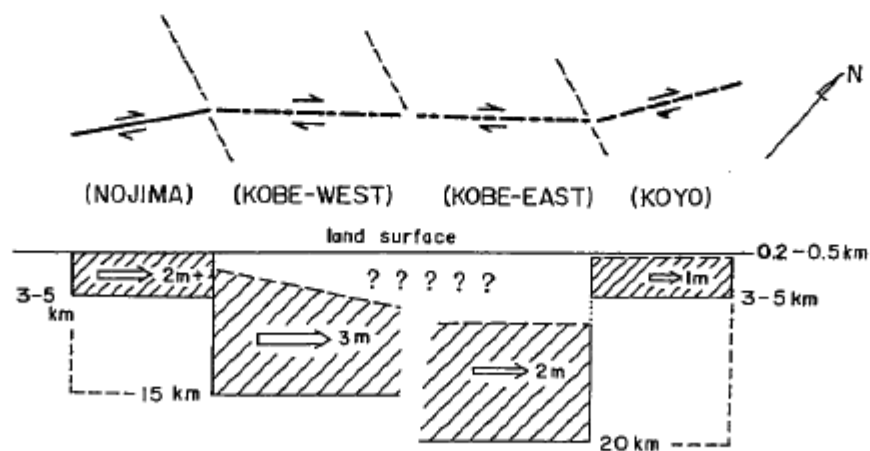


図14 兵庫県南部地震により活動した断層の立体構造

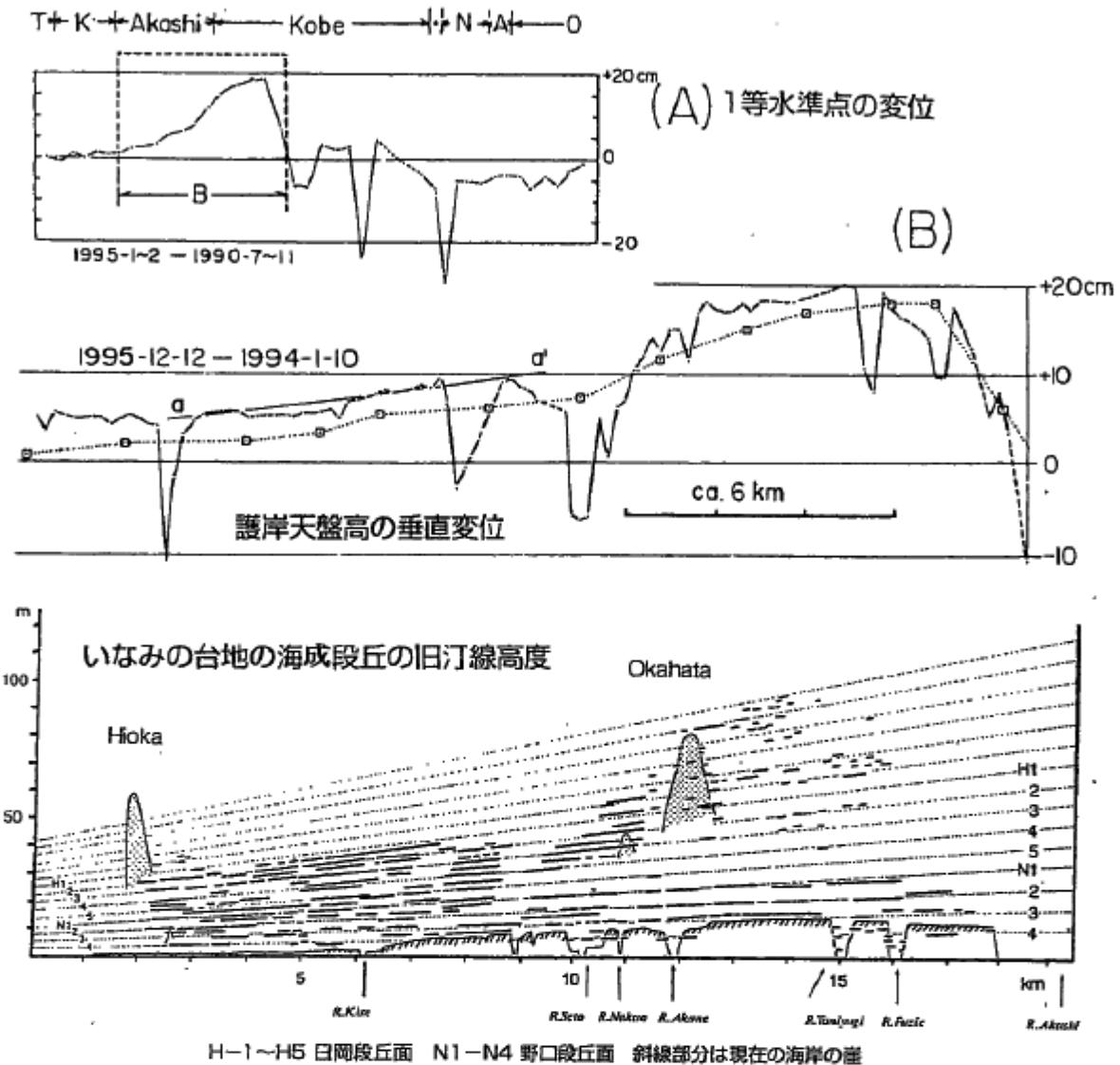


図15 東播磨地域（須磨・六甲ブロック）の傾動

立地などの人工地盤においては、側方流動と地殻変動によるテクトニックな変位の識別が必要である。

一方、水準点の鉛直変位から上下運動が確認できるが、とくに播磨・西六甲ブロックの傾動運動が顕著である。六甲山地内においても、水晶谷の五助橋断層において6,000年前火山灰が約2m鉛直に変位しているのが確認されている。地震による傾動量と東播磨地方の海成段丘面のその比較から（図15）地震の平均周期も推定されるが（約500年）、この点については今後さらに検討を要するであろう。なお、地震動による新しい地層の圧密による沈下も生じるので、軟弱地盤における鉛直変位の解釈については注意が必要である。

兵庫県南部地震においては、都市建造物の破壊はしばしば一定の場所、すなわち横ずれ断層とその延長上で生じている。このような個所では特定方向を向いた大きな水平加速度が作用し、さらに地盤変位による破壊が加わった。崩壊・地すべりも、かなりの部分は断層に沿う特定方向を向いた急斜面で発生し、降雨によるものとは異なる特性を示す。

いずれの現象も、自然災害として人為的・社会的条件が深く関係することはいうまでも



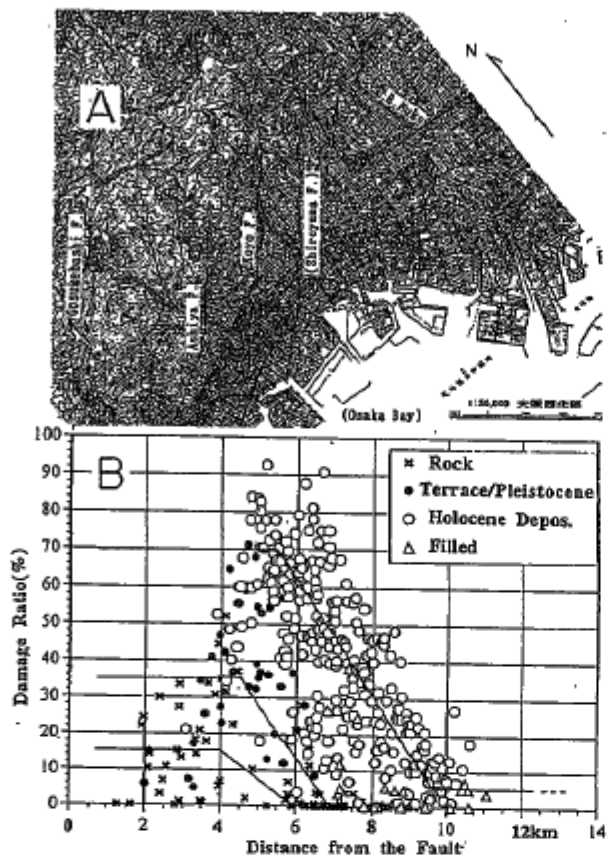


図16 西宮市域における木造家屋の被害率と断層

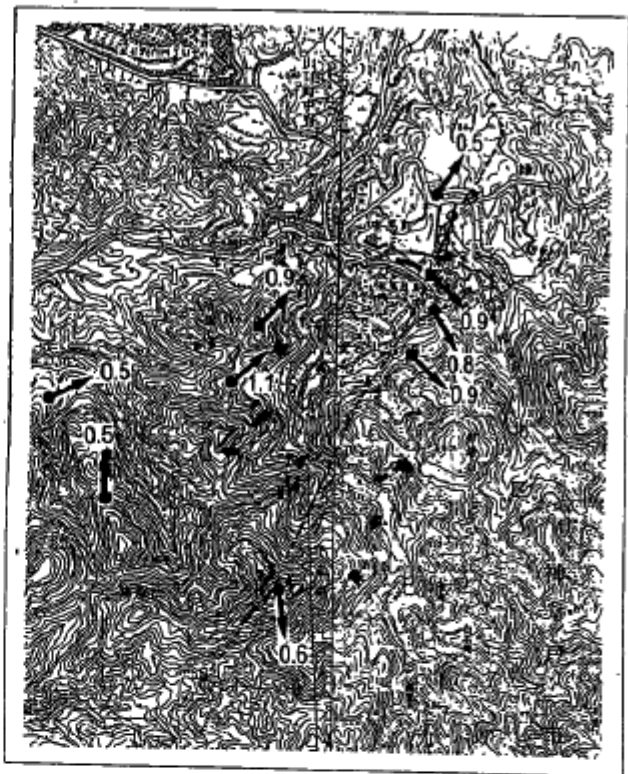


図17 有馬周辺で求めた等価水平加速度の方位と値

ないが、自然現象としては六甲山地の構造・地形発達過程の現在におけるひとこまとしてそれを捉えることができる。ただし、地下5-15kmで発生する直下型地震と地表で見られる断層、あるいは地形・地質との対応性については、タイムスケールのみならず空間的にも深さ約5kmから地表付近までの未知の部分（いわば鉛直的空白域）が存在する。今後の地滑り・斜面崩壊への対応、さらに都市防災のためにも、この空白域の解明が必要である。