

1 章 近畿地盤の背景としての地形・地質

Chap. 1 Topographic and Geologic Conditions of Kinki District

ふじ 田 和 夫*

1. はじめに

地盤問題は沖積平野から出発して、台地・丘陵をへて、いまや山地内部にまで及んでいる。これらの地形区分は地質構成を反映しているが、近畿地方では特にその関係が密接で、それを理解しておくことが、ある地域、ある地点の地盤問題を把握する上に極めて大切である。東北地方の地質を長年にわたって研究した地質学者が関西に来られた直後、「古い地層や岩石ほど下位にあるという地質学的感覚が、大阪に来てみると古いものほど高いところにあって、いささか狂ってしまった」ともらされたことがあった。なるほど大阪では最も新しい沖積層が盆地のいちばん底にあって、まわりの丘陵は洪積層と古くなり、さらにその彼方にひときわ高くそびえる山地は古生代や中生代の古い固結した地層あるいは花崗岩などの基盤岩でできている。この一見不自然ともみえる地質の分布の原因は、大阪平野の真ん中に打たれた深いボーリング結果と比較してみると理解できる。

大阪盆地の真中には OD-1 と呼ばれる 907m に達する深層ボーリングがあるが、それによると沖積層の下にいわゆる洪積層と呼ばれる第四紀層があり、さらにその下に第三紀層らしいものがでてきた。基盤には届かなかったけれども、もっと深く掘れば基盤の花崗岩に達することは確実である。ここでは地質学的通念が通用する。このような平野下と地表との著しい逆転現象が、径 50km にみえない大阪盆地と周縁山地との間で、しかも第四紀というたかだか 200 万年前からといわれる新しい地質時代のそれも後半になってから起こっているところに、近畿の特殊性があるのである。地盤調査の守備範囲が広がるにつれて、地盤問題は静的なデータだけではなく、第四紀に起こった変動の理解の上に立って、動的に捕えられなければならない時期がきているといえよう。

2. 近畿トライアングル

近畿中央部の地形の特徴は、比較的小規模な盆地と短少な山地との交互配列にある。大阪盆地や奈良盆地が前者の例であり、生駒山地や鈴鹿山地が後者の例である。このような地形は若狭湾を頂点とし、琵琶湖・大阪湾・伊勢湾を

含み中央構造線を底辺とする三角形の中に限られていて、特徴ある地形区と認められるので、この地域を「近畿トライアングル（三角帯）」と呼ぶ（図-1）。

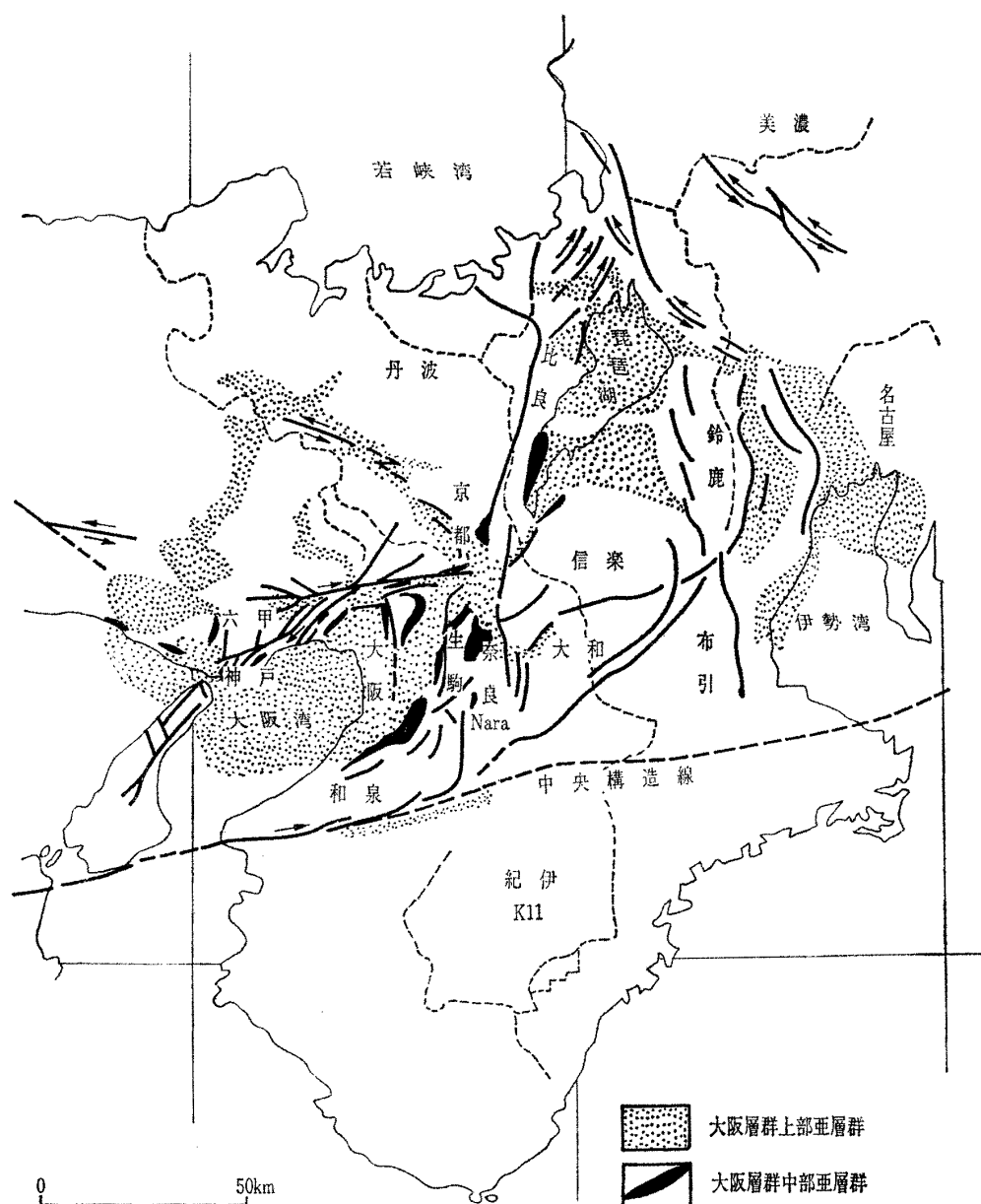
近畿トライアングル内の山地はすべて基盤岩の露出地であるが、盆地内には予想以上に厚く第四紀層の堆積していることが最近ますますはっきりしてきて、大阪盆地では 1000m を遥かに越えるのではないかという資料も出てきた。しかもこれらの第四紀層は、基盤岩表面の既存の凹地を埋め立てて水平に堆積したものではない。山地の上昇とともにその間にできた相対的な沈降部である盆地内に、周囲の山地から流出した土砂が堆積して地層をつくったのである。したがってこれら第四紀層は、山地の隆起と侵食、盆地の沈降と堆積という作用がバランスをとりながら進行する中で形成されたために、古い地層ほど圧密作用だけではなく地殻変動の影響を強く受けている。このことは地盤問題に欠かせない視点である。

3. 平野・台地・丘陵・山地

大阪盆地に典型的に見られることであるが、都市の建設が沖積平野から始まったのに対応して、地盤問題の研究は沖積層から開始され、台地に広がり、さらに土地造成技術の進歩とともに丘陵地が一挙に新しい洪積層地盤の問題を提供するようになった。そして現在は第三紀層や山地の基盤岩もその対象となってきて、断層、特に活断層を含む構造的な地盤問題が浮上してきた。

さて先に、近畿ではこのような地形区分と地質構成とが密接に対応していることがその特徴であるといったが、その原因となった第四紀地殻変動とはどのようなものであろうか。大阪盆地の深層ボーリングの結果をまとめてみると、大阪市内を南北に延びる細長い上町台地付近が断層によって著しく変位しているのを除いて、第四紀層はほぼ水平に近い。そして盆地中央部で数百メートルの深部にあった地層が盆地周辺に向かって次第に上がってきて、丘陵地で地表に姿を現すのである。この傾向は大阪盆地に限らないのであって、山地が隆起し盆地が沈降するという地殻変動の推移の中で、盆地内部では下位にある地層が周辺では山地の上昇につれて引きずり上げられ地表に現れたと簡単に解釈されることが多かった。これを造盆地運動という。このメカニズムによれば、盆地の中心部に最も新しい沖積層が

*帝塚山大学教授 教養学部



図一1 近畿トライアングル内の第四紀層と活断層系³⁾

あって、山地に向かって順次古い地層が現れるのは当然だというわけである。ところが実は大阪盆地では必ずしもそうはなっていないのである。

その典型は盆地北部の千里丘陵である(図一3)。この丘陵はほとんど全域が造成されたので、地質・地形・地盤等多くの分野にわたって丘陵に関する多くの資料を提供した。先ず注目されるのは、丘陵北部がそのままその北側にある基盤山地に続かず、その間に地溝状の低地があって両者が切断されていることである。その間には有馬—高槻構造線という大断層が走っていて、破碎帯の幅は数百mに達し弱い弱なので、その部分が低くなっているのである。西側も同様である。そして丘陵全体が南方、すなわち盆地の中心方向に傾かないで、南東方向の淀川に向かって傾動し、丘陵を構成する地層は淀川の沖積層の下に没してゆく。このような見方に立つと、大阪盆地の周囲の丘陵は、一見盆地

を取り巻き盆地中央に向かって傾動しているように見えるけれども、それぞれ独立したブロックで、傾動方向もばらばらであることがわかる。大阪盆地は前記のような簡単な造盆地運動の産物ではないらしい。

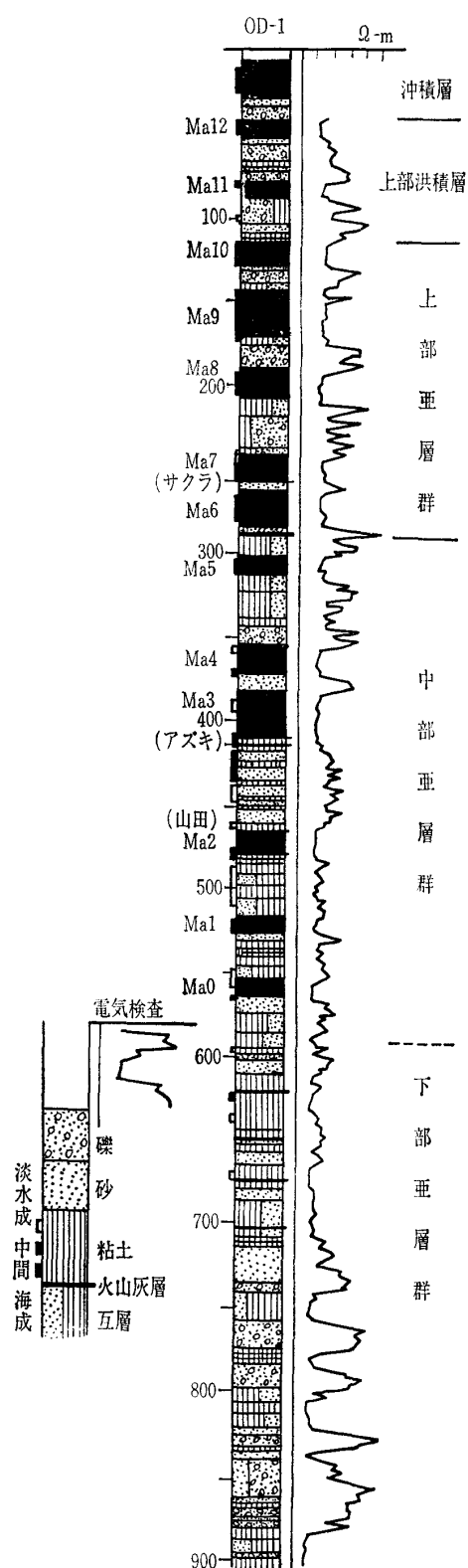
さらに台地を見ても、奇妙な分布をしている。上町台地は大阪盆地中央部の沖積平野の真ん中に細長く延びていて、丘陵とは無関係である。また千里丘陵と六甲山地との間の伊丹地域には広い低地があって、何段かの台地だけが分布していて段丘的性質を持っている。段丘は海水面変動と地殻変動との相関関係によって形成されるとされている。すなわち、海水面が上昇した時の海底面なり河床面が次の海水面の低下によって離水したものが段丘面であるが、地殻変動による隆起部が累積的に上昇してゆくに対して、海水面変動はある範囲内での上下変動であるから、その回数、すなわち海進・海退の度数に応じて、段がつくはずである。だから段がつくのは隆起部の周囲であって、沈降部には段丘はできない。この原理からみると、大阪盆地内では隆起する各丘陵の盆地側に段丘が分布してよいはずで

あるのに、ほとんどそうならないのはなぜであろうか。この問題も深く地質構造に根ざしていることがわかってきた。

4. 近畿の第四紀層(大阪層群)

近畿の第四紀層は大阪盆地を充填している「大阪層群」が模式的で、研究・調査も最もよくゆき届いている。その相当層としては近江盆地の「古琵琶湖層群」や、伊勢湾西岸の「東海層群」がある。これらはいずれもよく似た性質を持っているが、大阪層群だけが海成の粘土層を多数挟んでいるという特徴があり、これを例としてとりあげる。

大阪盆地の地下の第四紀層には14枚の内海ないし内湾性の海成粘土層が挟まれていて、下位より Ma 0, Ma 1, Ma 2...Ma 10, Ma 11, Ma 12 という名称が与えられ、建設方面でも広く使用されているが、Ma 13 が沖積層にあたる。



図一2 OD-1 深層ボーリング柱状図, 黒色部が海成粘土層³⁾

そして Ma 11, Ma 12 が段丘を作っている地層に対応しているとみられ, 「上部洪積層」と仮称されている。そして Ma 10 までを大阪層群プロパーといっていよいが, これを三部分に分けることができる。古いほうから下部亜層群・中部亜層群・上部亜層群と呼ぶ。「亜層群 (Subgroup)」というのは, 地層区分の単位で「層群 (Group)」と「累層 (Formation)」の中間の大きさで, この場合は大阪層群下

部亜層群というように呼ぶのが正しいが, 以下, 大阪層群は省略する。Ma 10 と Ma 11 は段丘層と大阪層群の中間的な性質を持っている (図一2)。

下部亜層群は Ma 0 より下位の海成層を挟まない部分で, 鮮新世末から第四紀初期にかけて, すなわち, 200 万年前前後の湖成の地層とみられる。明石海峡底で明石架橋の基礎になる「明石層群」はこれに属する。中部亜層群は大阪層群を代表するもので, Ma 0 より Ma 5 までの地層を含み, 厚い海成粘土層と砂礫層の繰返しで特徴づけられている。既述のように, これらの地層は千里丘陵をはじめ大阪盆地の周りの丘陵地帯に広く分布し, 多くの場合水平とも見える程度の微傾斜を示すが, 丘陵の縁辺部になると急傾斜となり, 場合によっては直立することもある。これは基盤岩が断層によって変位したことによるもので, その部分をおおう皮覆層は切れずに折れ曲がっていることが多く, 撓曲と呼ばれる (口絵写真一7)。海成粘土は土質工学的にも淡水成粘土と異なる特性を示し, 傾斜部では小規模な地すべりを起こしやすく, 宅地造成の問題点となることが多い。

このように盆地内で地表下数百 m に潜在していたものが標高 100 m 以上の丘陵に広く顔を出すという中部亜層群の構造から見ると, これは単に周囲の基盤山地の上昇による引ずり上げではなく, 丘陵地の地下の基盤の上昇によって, 被覆層である大阪層群が持ち上げられてきたに違いないのである。しかもこの基盤岩の形は丘陵の形と同じような断層ブロックであることが, 周辺の急斜帯の分布から推定される。したがって, 丘陵地域には一般の土質工学的な問題に加えて, 構造的な地盤問題に対する取組みが要求されるのである。

次に上部亜層群であるが, その情報が得られるようになったのはごく最近である。この地層群は Ma 6 以上, Ma 10 までであるが, 中部亜層群が前期更新世に属するのに対して, 中期更新世に属する。約 70 万年前から 20 万年前にわたるとみてよい。上部亜層群はその大部分が盆地内部に潜在していて, 地表には段丘層に近い砂礫質の薄層として現れているだけであるから, 従来これについてはほとんど知られていなかったのである。上部亜層群が最も厚く分布しているのは大阪平野の地下で, 300 m 以上に達し, 海成粘土層を挟み中部亜層群とあまり変わらないが, 砂礫層の部分が著しく粗粒になるという特徴がある。六甲山麓では古くから「満池谷累層」として知られていた。これらの地層は山地や丘陵が隆起した後それらの間の構造的な低地を埋めるように堆積したために, 地表にあまり露出せず, 大阪湾内と大阪平野下にほぼ限定分布するようになったのである。

5. 地形の分化と第四紀地殻変動—大阪湾海底地盤

以上のような大阪層群の状態からみても, これらの地層

が地殻変動のまにまに低いところに堆積しながら、その間に次第に現在の地形ができ上がってきたことが分かる。その中で下部亜層群と中部亜層群との間には構造的な差異は少ないが、湖成から内海成に変化するという事件があった。これは恐らく両者の間に、何十万年かの時間的間隙を経て後に海水準の上昇があったと推定されるが、まだ詳細はわからない。

これに対して、中部亜層群と上部亜層群との間には急激な地殻変動が起こったことは疑いない。それは基盤岩の中に断層を伴う地塊運動が発生し、基盤がブロック化したのである。そしてこれらのブロックの差別運動によって現在の山地・丘陵・平野という地形区分の原形ができあがった。この変動は六甲山地とその周辺に最もよく表れているので「六甲変動」とよばれているが、この変動は中部亜層群と上部亜層群の年代からみて、約十万年程度という短い時間帯に起こった激変的変動で、その開始は50～60万年前で現在に及んでいると推定される。このカタストローフィは、圧縮応力場のテストピースが破断の段階に達せん断面が発生する状態を想起させる。この変動により断層地塊の縁辺部では、急斜した中部亜層群の上に上部亜層群が水平に堆積するという著しい傾斜不整合の露頭が、造成工事中で時に現れまた消えてゆく。この不整合を「満池谷不整合」とよぶ。この不整合関係は、陸上の地質調査ではなかなか検証しにくい、関西新空港の建設という巨大プロジェクトに関連した大阪湾の海底地盤調査の中で、姿を現した。その調査過程を通じて明らかになったことは、この地域で「泉州沖層群」と名付けられた大阪層群相当層が、明りょうな不整合関係で、下位の「泉州沖累層」と上位の「空港

島累層」とに分けられるということである⁴⁾。この不整合面は、昭和37年に藤田和夫によって推進された大阪湾地域の音波探査資料によっても、湾内のほぼ全域に追跡可能である¹⁾。

これらを総合すると、空港島累層は湾の中央部では泉州沖累層と構造的に整合であるが、海岸に近づくにつれて、泉州沖累層は基盤の断層の影響で撓曲、湾中央方向に傾斜する。淡路島側でも同様で、そのためにできた構造的な凹地を埋めるような形で空港島累層が堆積したことがわかる。したがって空港島累層は海岸に接近するにつれて急速に薄くなり、陸上では最も古い段丘である高位段丘層に移化する。このような堆積構造は、大阪層群の上部亜層群と中部亜層群との関係と一致し、空港島累層は上部亜層群に属し、陸上の満池谷累層にあたるといえる。大阪湾の原形も六甲変動でできたのである⁸⁾ (図-4)。

上町一千里隆起帯も、六甲変動による基盤の逆断層運動によって、大阪層群が盛り上がった部分である。したがってこの変動によって、大阪湾を含む広義の大阪盆地は、三つの盆地に分化することになった。図-3に示すように、東から河内盆地、狭義の大阪盆地と大阪湾盆地に分かれた。このような盆地構造は、生駒断層を代表とする南北方向の逆断層系と、大和川断層や諏訪山断層などの北東-南西方向の横づれ断層系との組合わせで決定されている。六甲山地と千里丘陵の間の伊丹地域の特異性もこれで理解できるであろう。そして「上部洪積層」と呼ばれる Ma 11 以上の地層になると、これら分化した盆地の中に分離して堆積するようになったため、それぞれの地理的環境に応じた地盤特性を持つようになったのである。

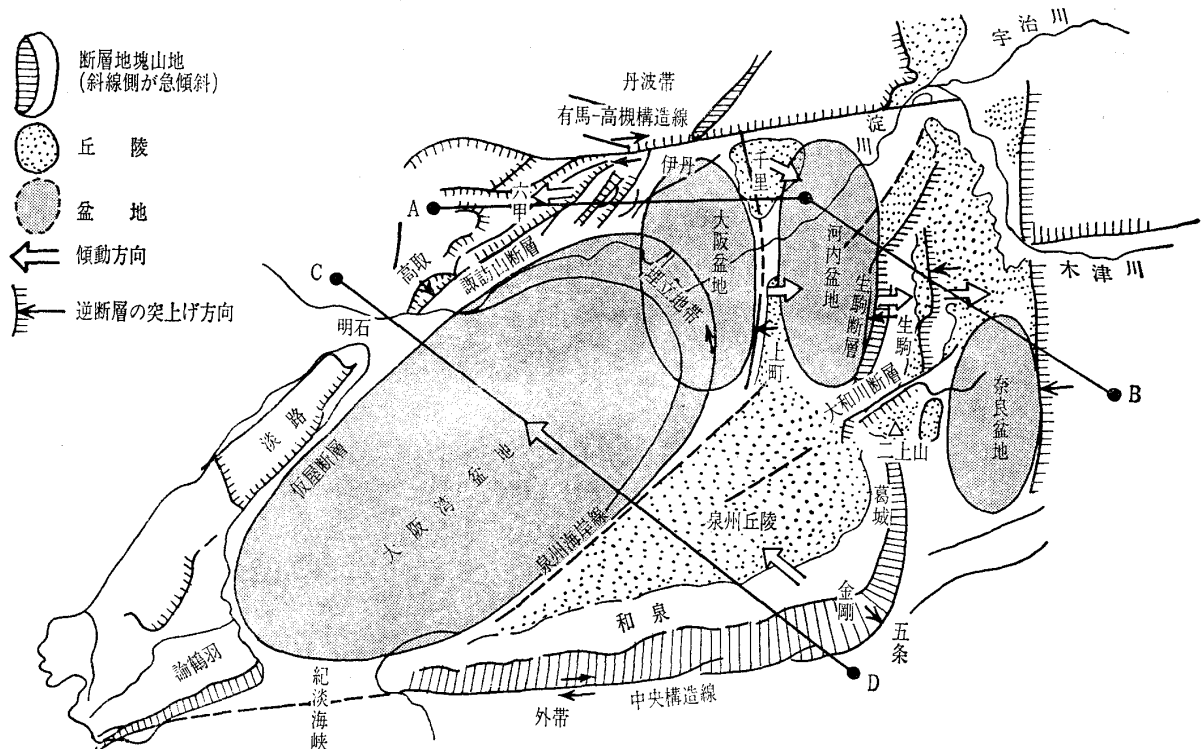


図-3 大阪をめぐる山地・丘陵・盆地

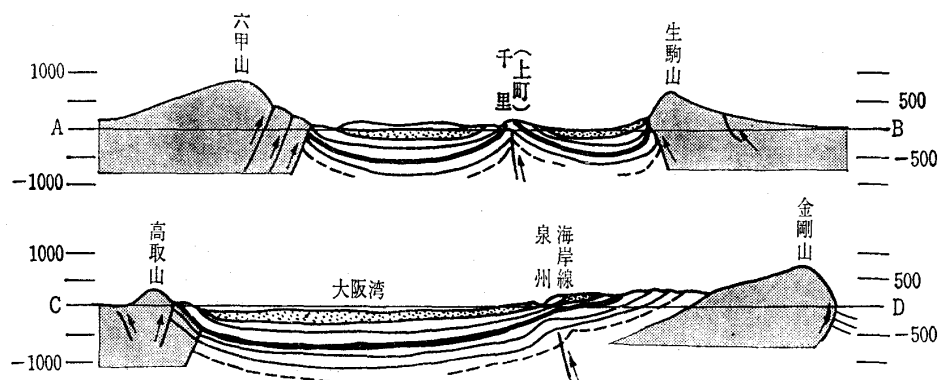


図-4 図-3のA-B, C-Dに沿う模式地質断面図(太線は約100万年前の海成粘土層, Ma 1を表す)

河内盆地と狭義の大阪盆地については、既に多くのことが知られているので、ここでは大阪湾の海底地質の基本的構造について述べよう。六甲変動によって中部亜層群以下の地層は大きく変動し、陸地側が隆起、相対的に沈降した湾央の部分に上部亜層群が堆積、そしてその上を広く「上部洪積層」が覆うように堆積した。Ma 12で表される海進は、これらの盆地全体に及んだ大規模なものであったので、Ma 12は大阪湾盆地と狭義の大阪盆地、さらに河内盆地にまたがって広く追跡できる。さらにその上を縄文海進によってMa 13にあたる沖積層が覆うことになった。上部洪積層は陸上では段丘を構成する砂礫層となる。その関係は、現在の河川の河床礫層や海岸砂層と、大阪湾底のMa 13にあたる泥質層との関係を考えて理解できるであろう。また湾内の上部亜層群以上の構造を見ると、その最も厚いところは湾の長軸よりやや西の神戸寄りにある。これは沈降が東西非対称であったことを物語っているが、この傾向は沖積層にも及び、その断面は泉州側に薄く、神戸側に厚い凸レンズ型である。この傾向は湾岸の埋立問題に深く関わっている。

6. 沖積層と海水面変動

軟弱地盤として土質工学発展の糸口となった沖積泥層が、いわゆる縄文海進による海面上昇によって海域が平野部に広がった頃の海底泥層が海進の置土産として残されたものであることは、今や常識となったので詳しくは書かないが、そのメカニズムは次のようなものである。第四紀後半に起こった海退と海進のサイクルが氷河期と間氷期に対応することは確実となってきたが、氷河の拡張による海退よりも氷河の消滅による海進のほうが、急速に起こるらしいのである。大阪の沖積層についてみると、約二万年前のウルム氷期のクライマックスの頃には100m以上の海水面低下があって、大阪湾は完全に離水した。その後間氷期に入って、一万年前には湾の三分の二あたりまで海水が入って来たが、そこで一時海進の停滞ないしは小規模な海退があった。その後年平均1cm以上に達する急速な海面上昇があり、海水は一旦に当時の平野の奥深く侵入し、沖積層

の本体となる「シルト混じり粘土層」を堆積したのである。そしてこの層を覆って現在徐々にデルタ式砂層が広がっているが、その堆積面が大阪平野である。

こういう視点に立つと、Ma 12以下の海成粘土層は当時の海進に伴う沖積粘土層であって、その上にくる砂礫層は海退に伴うデルタの砂層であると推定される。いいかえると、大阪盆地の中には13回に及び海進・海退が繰り返され、次々と海成粘土層と砂層の互層が累重していったのである。とはいっても、大阪湾の形はその間現在と同じではなかったことに注意しなければならない。大阪湾の原形は六甲変動によって出来たのであって、中部亜層群が堆積している頃は、大阪・京都・奈良地域はひと続きの内海で、現在のような盆地間の山地は無かった。地層は海水面変動と地殻変動との合作で形成されるという理解が、最近のように広域の地盤問題の考察が要求される場合には特に必要となってくるであろう。近畿の場合地殻変動には断層運動の影響が特に著しく、上部洪積層までは明りょうに変形・変位が認められる。沖積層にはそれほど明りょうではないが、粘土層内にせん断の発生がしばしば認められる。

7. 地盤と古地理

以上から結論的にいうと、地層をためる盆地と周囲の山地とは対立的な構造単位であり、丘陵は両者の間に挟まれた中間的な単位といえる。近畿トライアングルの中では、中期更新世に入って六甲変動によって発生した基盤の断層ブロックが急上昇を始め、最も高く上昇したブロックが山地となり、中間のものは上にかぶった皮覆層を押し上げて丘陵を造ったのである。そして沈降あるいは上昇しなかったところが盆地となったが、最も沈降の激しかったところが大阪盆地と近江盆地で、現在も水をたたえている。

このように同じ盆地といっても、基盤ブロックの動きによって性質が違い、奈良盆地や京都盆地は早くから離水していたために基盤が浅く、皮覆層は薄い。京都盆地北半では地下鉄工事で基盤がでてきたほどである。しかしながら、その南部の伏見地域は異常に厚く砂層が堆積し、最近まで巨椋池が残っていたのも、基盤構造に起因している。そし

てこの沈降部には琵琶湖からの宇治川、鴨川・桂川・木津川などが合流し、淀川本流となって大阪盆地にはいる（図一3）。しかしながら大阪盆地が上町台地と千里丘陵を結ぶ隆起帯によって河内盆地と狭義の大阪盆地に分かれているため、淀川の運搬する砂泥は河内盆地にトラップされやすく、河内盆地内に特殊な泥質沖積層を堆積した。ついで淀川は上町一千里山隆起帯を先行的に横切るため、この部分を構成する上部亜層群を侵食し、その砂を上町台地の西側に沿って運搬し、台地波食崖より供給される砂と合わせて砂堆を造り、大阪の地盤を複雑にしている。この砂層はN値30以上で、従来洪積層と考えられていたのであるが、その古地理的考察から沖積層に改められた。地盤問題も単に工学的資料からだけではなく、地盤構成層が堆積した時の

古環境からみて初めて理解できることが多いのである。

参 考 文 献

- 1) 藤田和夫・鎌田清吉：大阪湾の地質，大阪湾音波探査委員会，1964.
- 2) 藤田和夫編：近畿土木地質図及説明書，近畿地方建設局，1981.
- 3) 藤田和夫・笠間太郎：大阪西北部地域の地質，地域地質研究報告（5万分の1図幅），地質調査所，1982.
- 4) 中世古幸次郎ほか：関西国際空港地盤地質調査，災害科学研究所報告，1984.
- 5) 藤田和夫・前田保夫：大阪西南部地域の地質，地域地質研究報告（5万分の1図幅），地質調査所，1985.
- 6) 藤田和夫：変動する日本列島，岩波書店，1985.
- 7) 藤田和夫：中期更新世の断層地塊運動と海水準変動，月刊地球，Vol. 8, No. 12, pp. 725～728, 1986.
- 8) 土質工学会関西支部・関西地質調査業協会編：新編大阪地盤図，コロナ社，1988.

関西の土質よもやま話 大阪駅高架橋の基礎

いま おか づる きち
今 岡 鶴 吉（大阪市西梅田土地区画整理組合
元土質工学会関西支部長）

昭和6年の夏，学校の実習は大阪駅で杭の試験のお手伝いをした。場所は今の西日本旅客鉄道㈱の本社ビルの前あたりだった。地平にあったたくさんの線路を高架線に切り換える工事が真最中で，活況を呈していた。

杭は武智杭と言って，長さ5～6mで8角形，直径30cm，確か1mごとに10cmぐらい出張った鏑があった。見るからに武骨で杭らしい代物だった。この杭は打ち込むと鏑の大きさだけ広がるのでそこへ砂利を補充しながら打った。それだけ杭の有効断面積が大きくなって杭の支持力を増す勘定だ。威勢のいい蔦が木の篦で通りを直し直し打ち込んだ。普通の杭なら1～2時間で這入ったろうが，この杭は鏑が砂利を持って這入るので小さな錘りではなかなか這入らなかった。一日がかりだった。そして次の日から杭の頭に櫓を組んでその上にレールを積み上げた。

2～3回に分けて随分レールを載せた。それから夏休み中毎日沈下を測定した。全然沈下しなかったような記憶があるが武智杭はめでたく合格し，どんどん使われたらしい。

それから6年たって私は大阪工事区長を拝命して戻って来た。そして吃驚仰天。この間に大阪駅は地平から高架になって杭の試験したあたりはわからなくなっていた。

大阪鉄道局の庁舎は改めて立派だと見直したが，芝田町のあたりは相変わらず駅裏の田舎臭い町だった。驚いたの

は町の変わり方でなく，出来上がって数年の大阪駅高架の不同沈下だった。防水工はあれほど苦心したのにまるで役に立っていない。雨が降るといたるところ洩水して滝になった。コンクリートにはあちこちクラックが走って鉄筋が出る始末だし，一番困ったのは上りホームでは機関車が空転して発車出来ない。一度バックして勢いをつけて発車したりした。これは基礎杭もまちまちで，地下鉄の上に乗っている所は天満層に届いているから沈下しないが，ここから離れると武智杭は打ってあってもどんどん沈下した。上りホームの頭の方には急勾配が出来てしまった。傾斜を緩くするために砂利を入れると余計に沈下する心配があった。

大阪工事区では勉強会となった。地下水の観測を始めるやら，木杭，武智杭の場所を掘って観た。地下水が下ってしまつて木杭は腐食を始めていたし，武智杭の所は杭が沈下して構造物との間に隙間が出来ていた。これはひどい。このままにしておいたら大阪駅はどうなる。こんな危機感から14年の改良講演会に持ち出した。この講演会の記録の一節を見ると今から約50年前の土質工学の程度がわかる。すなわち，『沈下の原因は地塊説と粘土層の圧縮説が称えられているようです。最近では種々調査された結果，地塊説より圧縮説が重要視されています』。

斯くして不同沈下との悪戦苦闘は続いているようです。