

### 3.2.4 大深度ボーリング試料による地質年代調査

#### (1) 業務の内容

(a) 業務題目 大深度ボーリング試料による地質年代調査

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
産業技術総合研究所 地質情報研究部門 地球変動史研究グループ 物質循環研究グループ 沿岸都市地質研究グループ 防災科学技術研究所	主任研究員	柳沢幸夫	y.yanagisawa@aist.go.jp
	主任研究員	渡辺真人	mht.watanabe@aist.go.jp
	主任研究員	高橋雅紀	msk.takahashi@aist.go.jp
	主任研究員	田中裕一郎	y-tanaka@aist.go.jp
	主任研究員	木村克己	k.kimura@aist.go.jp
	特別研究員	林広樹	rin@bosai.go.jp

(c) 業務の目的

大都市圏の大深度ボーリングコアについて、微化石分析により地層の地質年代を明らかにし、あわせて地表地質と統合することにより、平野下の地下地質構造の解釈に資する。

(d) 5 ヶ年の年次実施計画

- 1) 平成 14 年度：房総半島鴨川観測井のボーリング試料について微化石分析を行い年代を決定した。また、関東南部房総半島において掘削されたボーリングコアと周辺に露出する地層の地質学的検討を行った。
- 2) 平成 15 年度：足柄平野北部山北町において掘削されたボーリング試料について年代地質調査を行った。また、関東において掘削された既存ボーリングコア試料と周辺に露出する地層について地質学的検討を行った。
- 3) 平成 16 年度：大阪府及び京都府において掘削されたボーリング試料について年代地質調査を行った。また、大都市圏において掘削された既存ボーリングコア試料の地質年代学的検討を行った。
- 4) 平成 17 年度：北関東において掘削されるボーリング試料について微化石年代分析を行う。また、北関東において掘削された既存のボーリングコア試料および地表の地層について地質学的層序学的検討を行い、地震波探査などのデータを総合して、一般的な関東平野の地下構造モデルを作成に資する。
- 5) 平成 18 年度：千葉県北部において掘削されるボーリング試料について微化石分析を行う。これまでのデータの総合評価を行い、地質学的手法に基づく大都市地下地質構造の解釈に資する。

(e) 平成 16 年度業務目的

大阪府及び京都府で掘削された観測井のボーリング試料について、微化石分析およびテフラ分析等を行い掘削到達深度における地層の年代を明らかにする。同時に、この研究で掘削されたコアを含む既存の大深度ボーリング試料について地質年代調査を行い、それら

を総合することにより平野の地下地質構造の解釈に資する。

## (2) 平成16年度の成果

### (a) 業務の要約

今年度掘削された大阪観測井および京都観測井と、平成15年度に掘削された神奈川県足柄地域の山北南観測井のボーリング試料について地質年代調査を行った。大阪観測井では、大阪層群中の年代指標となる海成粘土層 Ma0 と Ma1、および広域火山灰のピンク火山灰層の深度を明らかにして、活断層である上町断層帯近傍における地質構造の解明に重要な基礎的データを得ることができた。京都観測井では大阪層群の Ma5 海成粘土層と Ma6 海成粘土層と推定される粘土層を識別し、京都盆地の地下地質構造解明のための資料を提供した。一方、山北南観測井では、約 35-20 万年前の箱根火山の旧期外輪山噴出物と約 120-140 万年前の火山噴出物・浅海成堆積物が存在することを明らかにした。これにより、伊豆・小笠原弧と本州弧を画する活断層が、従来の推定よりも北側にあることが判明した。また、足柄平野の複雑な地下地質構造解明のための基準となる層序を明らかにできた。

### (b) 業務の成果

#### 1) 大阪観測井ボーリング試料の地質年代調査

大阪観測井は大阪駅北東淀川左岸の毛馬桜ノ宮公園に位置する(図1)。ここは、南北走向西傾斜の逆断層である上町断層の上盤側にあたり、本坑井は沖積層と大阪層群を貫いて基盤岩である領家帯の花崗岩質岩に達した。大阪層群の年代は、年代のわかっている多くの広域火山灰層と、氷期間氷期サイクルの間氷期に形成される海成粘土層を使って決定できる。本調査ではボーリング試料の岩相観察に基づき火山灰層の抽出・分析・同定を行うとともに、粘土層の珪藻化石分析を行って海成粘土層の層準の決定を行い、ボーリング試料の地質年代を決定した。

#### a) 大阪層群の標準地質年代層序

大阪層群の層序と年代に関しては従来より膨大な研究成果の蓄積があり、標準的な年代層序が確立している(図1)<sup>1),2)</sup>。とくに、大阪層群中には、第四紀の周期的気候変動の間氷期高海水準期に形成された Ma-1 から Ma13 までの十数枚の海成粘土層が挟在し、良好な鍵層となっている。こうした気候変動に伴う表層海水温の変動は、深海底コアの化石有孔虫殻の酸素同位体比測定により精密に明らかにされており、この変動をミランコピッチサイクルとの同期を解析することで正確な数値年代が算定されている。したがって、この酸素同位体比曲線と大阪層群の海成粘土層との対応関係から、各海成粘土層および挟在する広域火山灰層の正確な数値年代も判明している。今回の大阪観測井ボーリング試料の地質年代調査では、珪藻化石分析に基づいて堆積環境を推定して海成粘土層を認定し、同時に火山灰層の同定を行うことによって、海成粘土層の Ma ナンバーを決定した。そして、その結果を大阪層群標準年代層序に対比して、到達深度の地質年代を推定した。

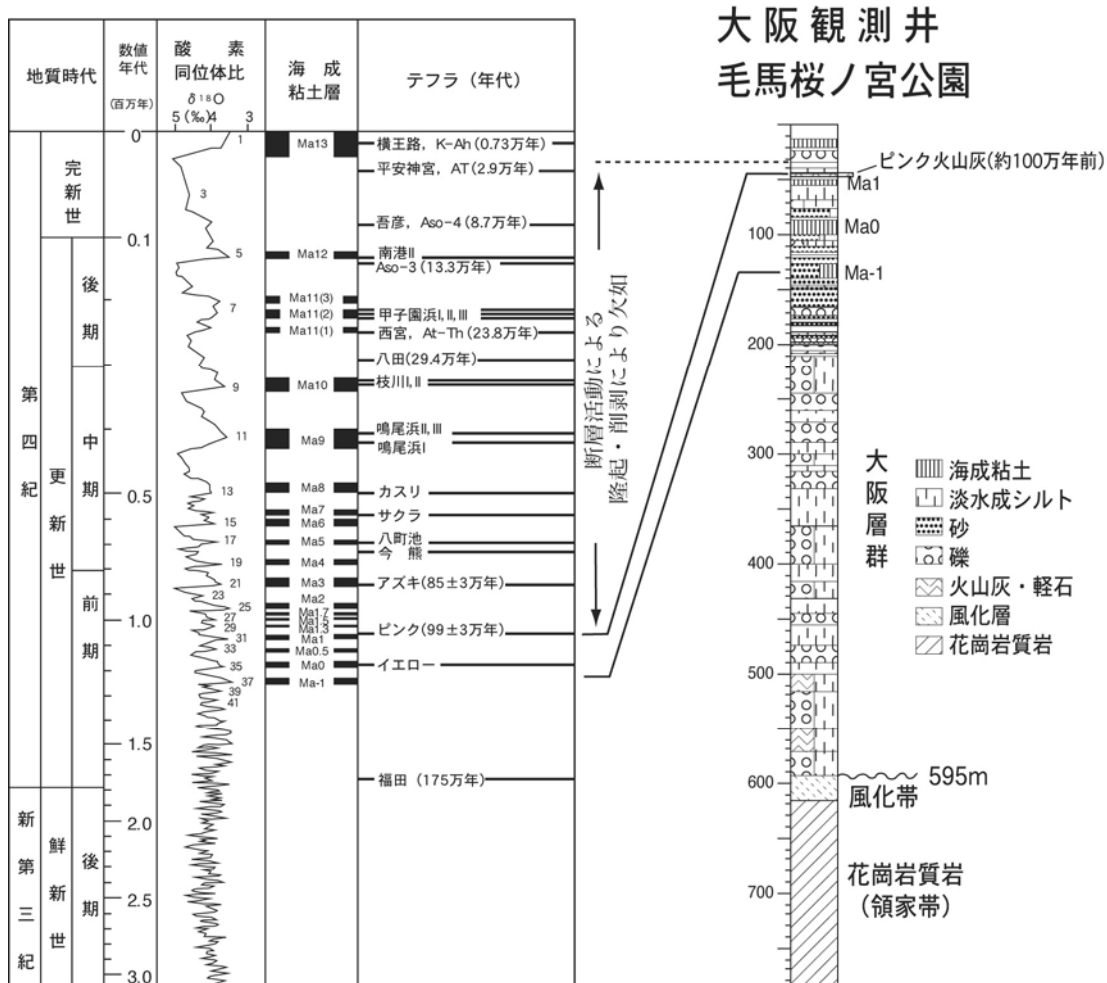


図1 大阪観測井の掘削地点、柱状図および大阪層群標準層序<sup>1),2)</sup>との対比。  
 国土地理院発行 1/20万「京都及び大阪」を使用。

b)大阪観測井ボーリング試料の分析結果

岩相観察に基づく各地層のコア中の深度分布は以下の通りである(図1、2)。最表層の深度10-32mの砂礫層は、現在の大阪平野を形成する完新世の堆積物(沖積層)である。32m以深595mまでが大阪層群で、未固結ないし半固結の粘土層、シルト層、砂層および砂礫層からなっており、595m以深が基盤岩の領家帯の花崗岩、花崗閃緑岩、閃緑岩であ

る。

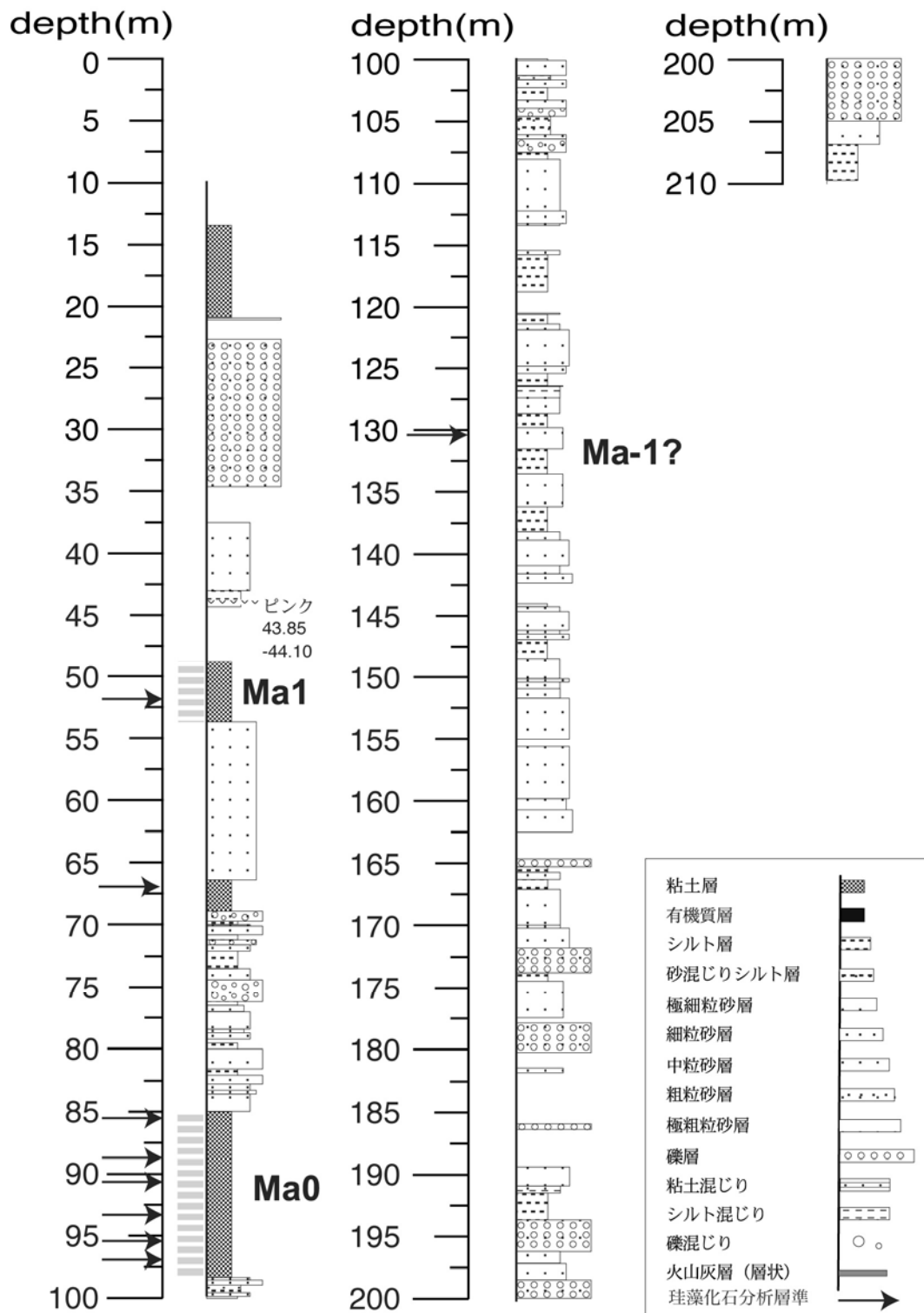


図2 大阪観測井で採取されたコアの柱状図

本コアの大阪層群の最上部、深度 43.85-44.1m にピンク色の火山灰層が認められた。そこで、本火山灰層中の火山ガラス、鉍物組成を検討した（200 粒子の分析に基づく）。  
 鉍物組成：火山ガラス 78.0%、軽鉍物 13.0%、重鉍物 3.0%、岩片 6.0%。

重鉱物組成：斜方輝石 16.0%、単斜輝石 1.0%、緑色角閃石 43.0%、不透明鉱物 36.5%、ジルコン 0.5%、黒雲母 1.0%、アパタイト 2.0%。

火山ガラス形態：Ha 型 14.0%、HB 型 28.0%、Ca 型、11.5%、Cb 型 2.0%、Ta 型 10.0%、Tb 型 34.5%、It 型 trace。

火山ガラス屈折率（68 粒子測定）：1.4991-1.5019（mean:1.5006, mode:1.501）

斜方輝石の屈折率（73 粒子測定）：1.699-1.702 と、1.704-1.709(mean:1.707, mode:1.707-1.708)の二つの領域に分布。

ホルンブレンドの屈折率（80 粒子測定）：1.672-1.682(mean:1.676, mode:1.675)と 1.702-1.703の二つの領域に分布。

以上の記載岩石学的性質は、各地の大阪層群で認められる「ピンク火山灰層」の特徴と一致する。ピンク火山灰層は九州を給源とする西日本から関東地方にかけての広い地域に認められる火山灰層で、その噴出年代は約 100 万年前である<sup>3)</sup>。大阪層群中では海成粘土層 Ma1 の直上に挟在することが知られている。

次に、珪藻化石分析の結果について述べる。粘土層を約 1m 間隔で採取し、39 個の試料を分析した。そのうち、以下の 9 試料（図 2）から、粘土層の堆積環境推定に有用な珪藻化石が産出した。各試料から産出した珪藻化石を産出頻度の高いものから順に以下に示す。各種名の後ろの記号で次のように棲息環境を表す。M:海生、F:淡水生。

- 52.2m: *Grammatophora* sp. (M)
  - Cyclotella striata* (M)
- 67.2m: *Stephanodiscus astrae* (F)
  - Thalassiosira lacustris* (F)
  - Auracosira granulata* (F)
- 85.2m *Stephanodiscus carconensis* (F)
  - Stephanodiscus astrae* (F)
- 88.2m *Stephanodiscus astrae* (F)
  - Stephanodiscus carconensis* (F)
- 90.2m: *Stephanodiscus astrae* (F)
  - Stephanodiscus carconensis* (F)
  - Epithemia* sp. (F)
- 93.2m: *Stephanodiscus astrae* (F)
  - Cyclotella striata* (M)
- 95.2m: *Cyclotella striata* (M)
  - Stephanodiscus astrae* (F)
- 97.2m: *Stephanodiscus astrae* (F)
  - Cyclotella striata* (M)
  - Stephanodiscus carconensis* (F)
- 130.2m 珪藻化石非常にまれ
  - Stephanodiscus astrae* (F)
  - Stephanodiscus carconensis* (F)

深度 52.2m の試料からは海生の珪藻化石が産出し、深度 48-53.5m 付近の粘土層が海成粘土であることを示す。この上位の深度 44m 付近に挟在するピンク火山灰層は Ma1 の直上に挟在することが知られているので、この海成粘土層は Ma1 に相当すると判断できる。深度 67.2m の試料は淡水生の珪藻化石を含むので、深度 66-68m 付近の粘土層は淡水成粘土層である。その下位の一連の粘土層から採取した試料については、上半部の深度 85.2m、88.2m および 90.2m の試料からは淡水生の珪藻化石が産出するものの、深度 93.2m、95.2m および 97.2m の試料からは海生と淡水生両方の珪藻化石が検出される。このことから、深度 85-98m 付近の粘土層の上半分は淡水域、下半分は海域（汽水域）で堆積したものと考えられる。上述のように、この上位の海成粘土層が Ma1 であるので、この粘土層は Ma0 に相当すると考えられる。さらに下位の深度 116-138m 付近の発達するシルト層は、深度と岩相から Ma-1 海成粘土層に相当する可能性があるが、今のところ深度 130.2m の一試料から淡水生の珪藻化石が産出するのみで、今後詳細な検討が必要である。

#### c)大阪観測井ボーリング試料の地質年代調査のまとめ

上記のボーリング中の海成粘土層・火山灰層と標準年代層序との対応関係（図 1）によれば、本掘削地点では完新統と考えられる砂礫層のすぐ下位に約 100 万年前のピンク火山灰層があり、砂礫層の下位に約 100 万年分の地層が欠如する不整合があることがわかる。本掘削地点の南約 2km で掘削された OD-2 ボーリングコアや、北約 1km で掘削された OD-8 ボーリングコアでも完新統の直下に地層の欠如が知られている<sup>4)</sup>。そのうち、OD-2 ではその欠如は約 80 万年分、OD-8 では約 60 万年分であり、上町断層の活動に伴う上盤側の隆起により、地層が削剥されるか堆積しなかったものと考えられている<sup>4)</sup>。本掘削地点における地層の欠如は約 100 万年であり、これら 2 地点より大きい。これは、今回の掘削地点が上記 2 地点よりも、上町断層帯に近接しており、相対的に隆起量が大きかったことを示すものと考えられる。

以上のように、本地点の掘削により大阪層群の海成粘土層 Ma0 と Ma1、およびピンク火山灰層の深度が明らかになり、上町断層帯近傍における地質構造の解明に重要な基礎的データを得ることができた。

#### 2)京都観測井ボーリング試料の地質年代調査

京都観測井は京都盆地の中央部やや西よりに位置し、沖積層・段丘堆積物、大阪層群を貫いて基盤岩である丹波層群に達した。本地点でも大阪観測井と同じ手法で年代調査を行ったが、現時点までの調査では火山灰層・珪藻化石ともに検出できなかった。このため、周辺地域のコアとの比較と反射断面と対応関係に基づきボーリング試料の年代を推定した。

#### a)京都盆地における大阪層群の年代層序

京都盆地では京都市により反射法地震探査とボーリングなどの総合調査が行われ<sup>5)</sup>、京都盆地の地下に存在する大阪層群の層序と地質構造の概要が明らかになっている（図 3）。それによれば、本掘削地点周辺の京都盆地では大阪層群の上部のみが分布しており、基盤岩の凹凸を埋めて北へ向かってオーバーラップする形で堆積している。また、海成粘土層

は京都盆地北側へ向かって薄くなると共に、より陸に近い堆積環境を示している。

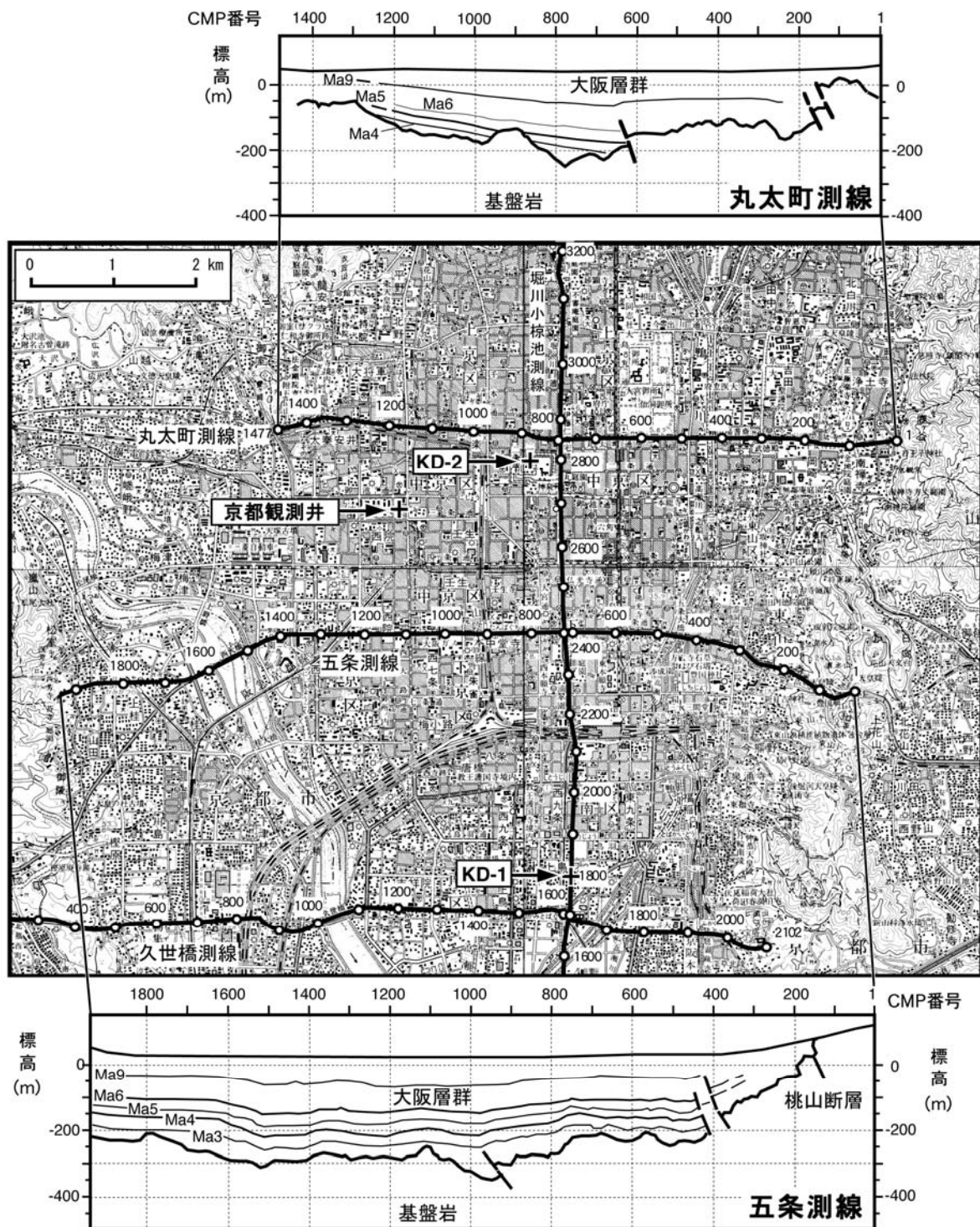


図3 京都観測井の位置。京都市<sup>5)</sup>による反射法地震探査測線、丸太橋・五條測線探査結果およびボーリングの位置も合わせて示す。京都市<sup>5)</sup>の図3.1、図3.8および図3.9から作成。国土地理院発行1/5万地形図「京都北西部」、「京都北東部」、「京都南西部」および「京都南東部」を使用。

本掘削地点の東北東1.8kmにある二条城で京都市<sup>5)</sup>により掘削されたKD-2ボーリング

コア（図 3）では、大阪層群は厚さ約 150m で、約 70 万年前の海成粘土層 Ma5 から上位の大阪層群が認められた（図 4）。海成粘土層からはカキ化石が産出し、ごく浅海的环境を示している。明瞭な火山灰層は認められなかったが、火山源物質に富むシルト層が 2 層準検出され、そのうち一つは Ma8 付近に挟在するとされるカスリ火山灰層の可能性があるとされた。

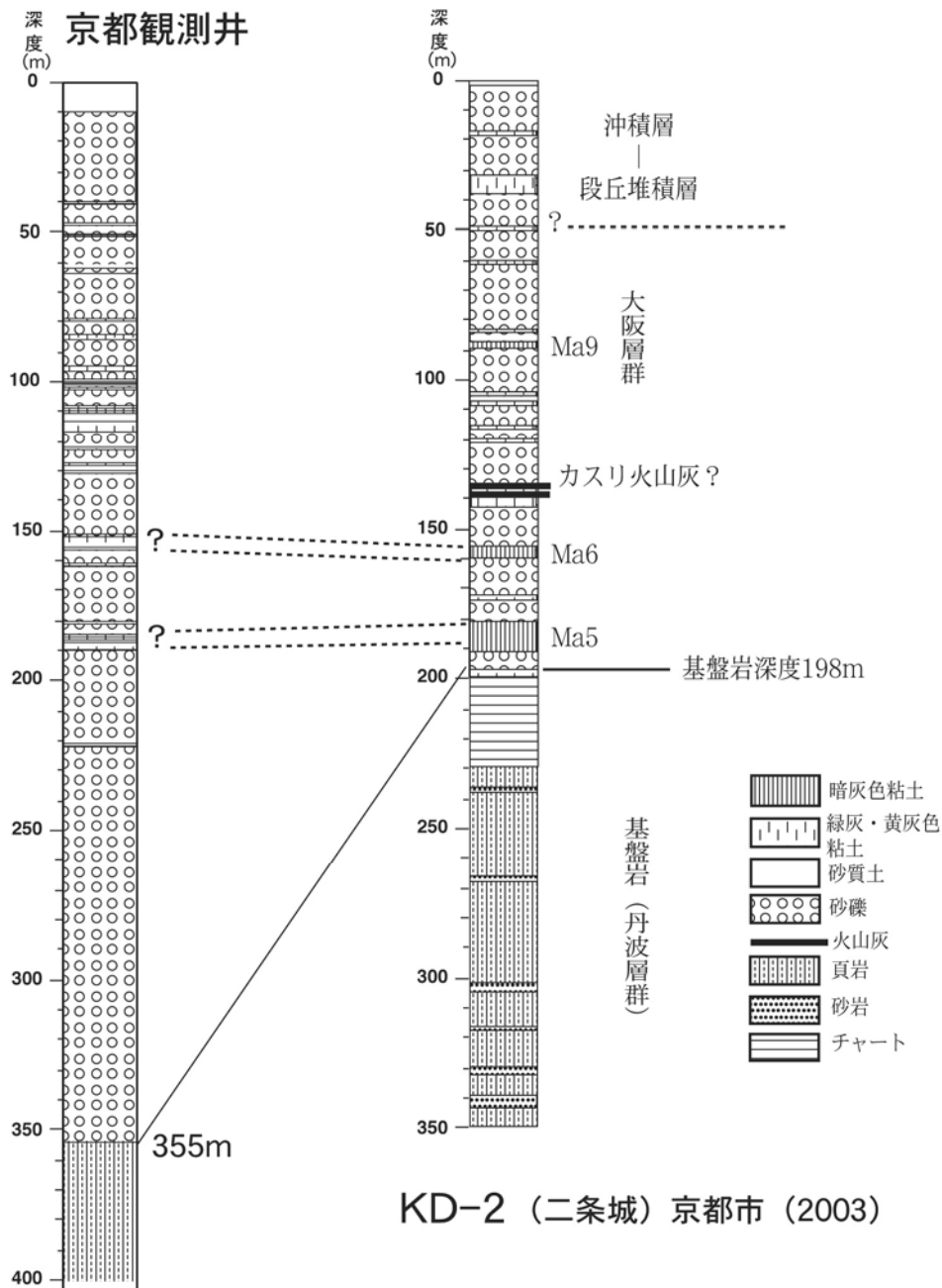


図 4 京都観測井と KD-2 ボーリングコアの対比

#### b) 京都観測井ボーリング試料の分析結果

本コアは 355m で基盤岩である丹波層群の頁岩に着岩した（図 4）。地表から 355m までは未固結の砂礫層が卓越し、深度 50m から 220m の区間には未固結ないし半固結の粘土層、シルト層が挟在する。基盤岩より上位の砂礫層の卓越する部分は沖積層、段丘堆積層およ



び大阪層群に相当する堆積層であると考えられるが、それぞれの境界を決定しうる証拠は現在のところ見つかっていない。

深度 10-210m についてコアを採取し詳細な観察を行ったものの、火山灰層は認められなかった。また、粘土層とシルト層から 65 個の試料を採取し珪藻化石分析を行ったが、珪藻化石は全く認められなかった。KD-2 ボーリングコアでも珪藻化石は全く検出されておらず 7)、珪藻化石が残存していないのは、この付近の大阪層群の特徴かもしれない。このように、今回は火山灰層と珪藻化石分析によりコアの層序を確立することができなかつたので、ここでは周辺の反射法地震探査の結果を利用して本コアの層序と年代を推定する。既存の反射法地震探査側線は、本掘削地点を取り囲むように位置する(図 3)<sup>5)</sup>。それらの反射断面では、海成粘土層 Ma5 に相当する反射面が深度 160-190m に連続的に追跡されている。この反射面は緩やかに傾斜するものの深度に急激な変化は見られない。このことから、京都観測井の深度 185-190m 付近に見られる粘土層は Ma5 海成粘土層に対比される可能性がある。同様にその上位の深度 150-155m 付近の粘土層は、Ma6 海成粘土層に相当すると考えられる。両海成粘土層の年代は、Ma5 が約 70 万年前、Ma6 が約 60 万年前である<sup>1)</sup>。ただし、本コアからは上述のように対比に有効なデータは得られておらず、この対比にはまだ不確定性が残っており、今後の研究により対比を変更する必要がある可能性がある。

なお、二条城の KD-2 ボーリングコアではさらに上位に Ma9 海成粘土層が花粉分析の結果に基づき認められているが、京都観測井ではこれに相当する深度には複数の粘土層があり、どの粘土層が Ma9 海成粘土層に相当するかは決定できなかった。本掘削地点における基盤岩上面の深度は 355m であり、二条城の KD-2 ボーリングコアにおける基盤岩上面の深度 198m に比べてはるかに深い。これは、図 3 に示す反射断面にも見られるような基盤上面に発達する谷地形の底の部分で本掘削が行われたためであると推定される。

### c) 京都観測井戸ボーリング試料の地質年代調査のまとめ

本掘削地点近傍の反射法地震探査断面と、二条城の KD-2 ボーリングコアの分析結果と比較検討することにより、本坑井には Ma5 海成粘土層と Ma6 海成粘土層に相当すると推定される粘土層があることがわかった。また、本坑井の基盤深度は KD-2 ボーリングコアよりはるかに深く、これは基盤の谷地形の上を掘削したためであると推定される。

### 3) 山北南観測井ボーリング試料の追加地質年代調査の成果

平成 15 年度に掘削された神奈川県山北町の山北南観測井について、前年度報告書<sup>6)</sup>作成以後、大学等との共同研究により追加された成果について報告する。山北南観測井の位置する足柄地域は、伊豆・小笠原弧が本州弧に衝突・付加する最先端部に位置しており、関東地震の震源域にも近接している(図 5)。また、この坑井は、本プロジェクトにおいて平成 15 年度に東京大学地震研究所が実施した大深度弾性波探査の神奈川測線上に位置している。この坑井掘削掘削の目的の 1 つは、足柄平野下に伏在する可能性の高い伊豆-小笠原弧の地殻と本州弧の地殻の接合部を捉え、ボーリング試料の年代調査から地層の年代を明らかにし、地表地質と弾性波探査の結果を合わせて、地下地質構造を明らかにするであっ

た。しかし、本坑井の地質は極めて複雑であり、平成 15 年度の研究では年代や地質構造に関して十分な知見を得ることができなかった。そこで、今年度は大学等との共同研究として、改めて詳細なコア観察・分析を行うとともに、試料を厳選し、追加地質年代分析を実施した。

山北南観測井の位置を図 6 に、坑井底までの柱状図を図 7 に示す。

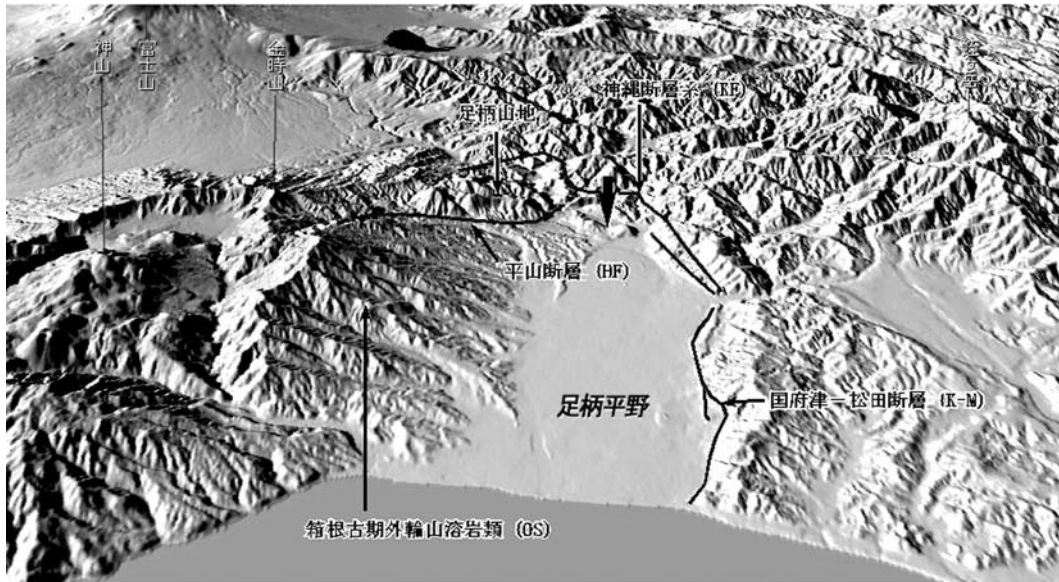


図 5 足柄平野周辺の鳥瞰図（国土地理院数値地図を利用して千葉大学田中氏が作成）  
太い矢印が山北南観測井の掘削位置

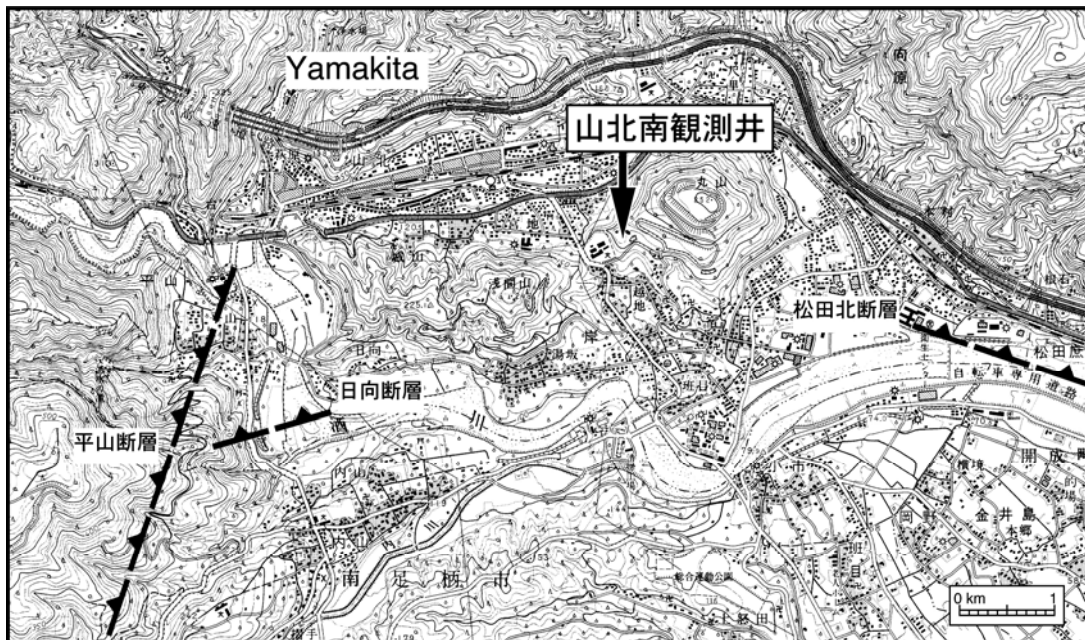


図 6 山北南観測井の位置（国土地理院発行 1/25,000 地形図「山北」を使用）

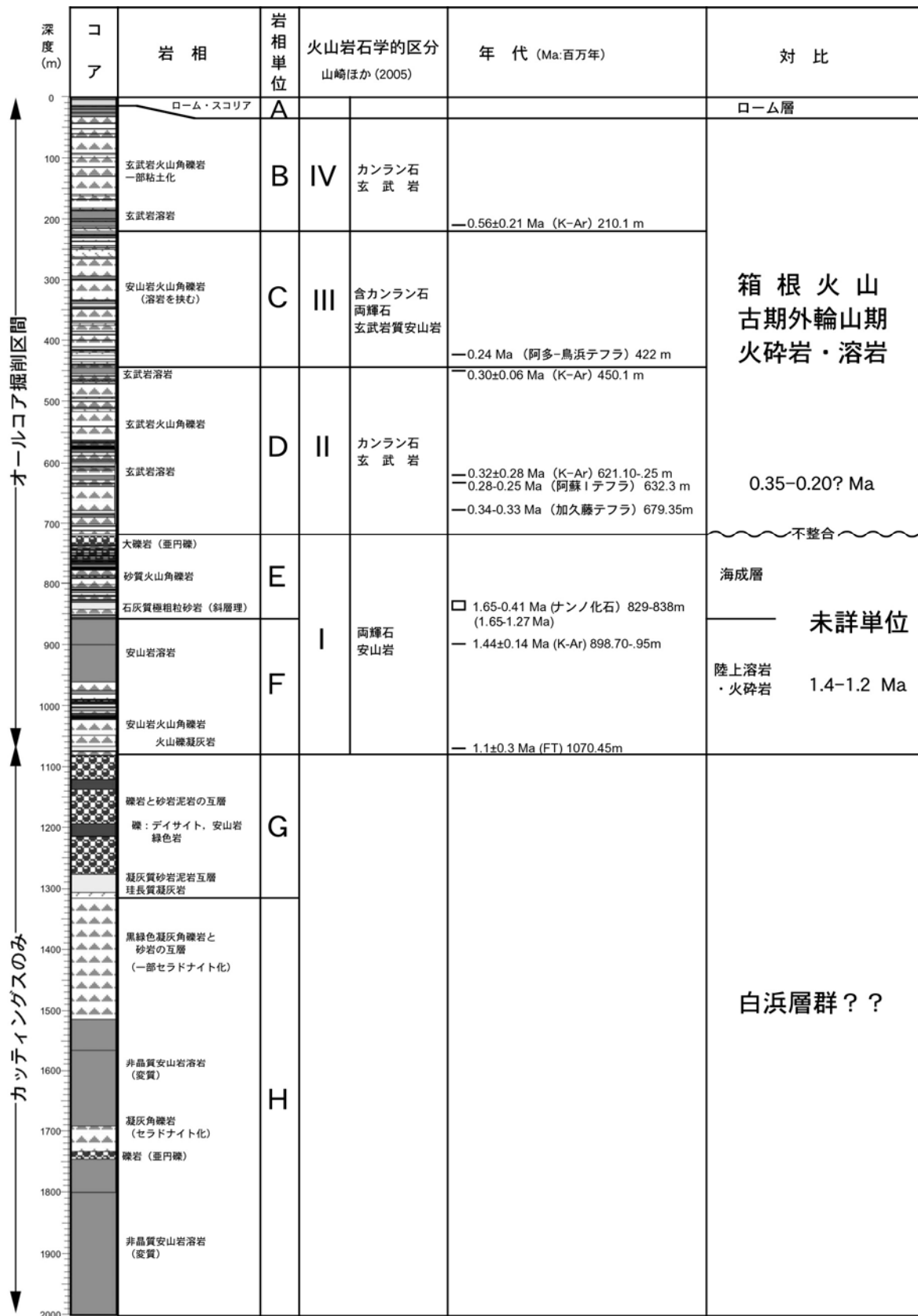


図7 山北南観測井の柱状図と岩相および年代データ

a) 岩相層序区分

コアおよびカッティングスで観察された岩相と火山岩石学的な特徴<sup>7)</sup>に基づき、本坑井の地

層は、上位より A-H の 8 層に区分される (図 7)。

A 層 (0-13.5m) : スコリアを多く含むローム化した火山砕屑物からなる。富士火山起源と思われる。

B 層 (13.5-221m) : カンラン岩玄武岩を主体する火砕岩および溶岩からなる。一部粘土化している。ほとんどは火山角礫岩であるが、深度 16-31m と 187.5-220m には比較的厚い溶岩が挟在する。

C 層 (221-445m) : 含カンラン岩玄武岩両輝石玄武岩質安山岩の火砕岩および溶岩からなる。

D 層 (445-721m) : カンラン岩玄武岩を主体する火砕岩および溶岩からなる。

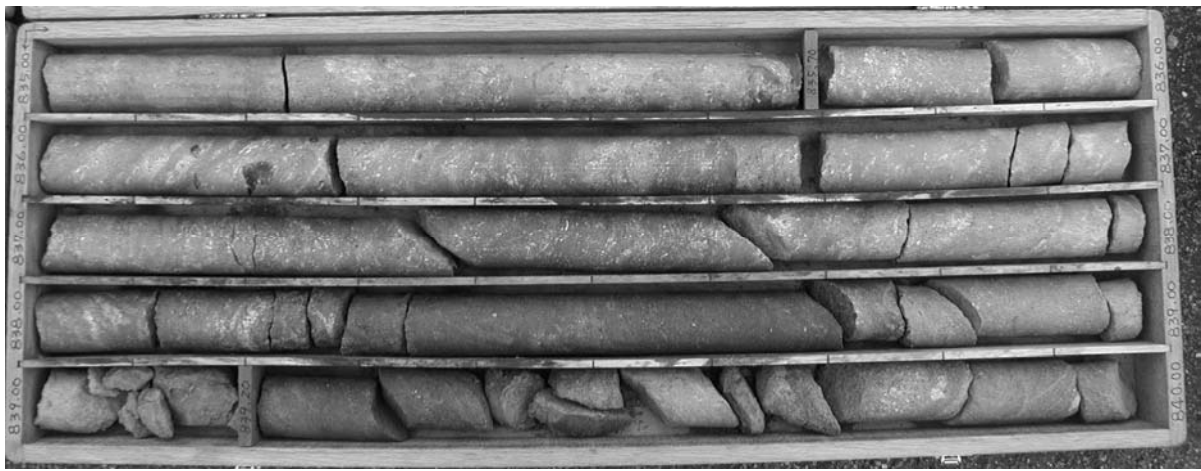


写真 1 山北南観測井深度 835-840m のコアの写真  
E 層の斜交層理が発達する海成石灰質極粗粒砂岩

E 層 (721-855m) : 垂円礫からなる大礫岩、砂質火山角礫岩、石灰質極粗粒砂岩などの砕屑岩からなる。石灰質極粗粒砂岩は斜交層理が発達し、貝殻片を多量に含むことから明らかに海成層である (写真 1)。火砕岩は両輝石安山岩質である。

F 層 (855-1076m) : 両輝石安山岩の溶岩および火山角礫岩・火山礫凝灰岩からなる。

G 層 (1076-1315m) : 主体は礫岩からなり砂岩泥岩互層を一部で挟む。礫岩の礫はデイサイト・安山岩および緑色岩からなる。最下部には凝灰質砂岩泥岩互層と珪長質凝灰岩が発達する。

H 層 (1315-2000m) : 上部は黒緑色凝灰角礫岩と砂岩の互層、下部は変質した非晶質安山岩溶岩が厚く発達する。

#### b)地質年代調査

山北南観測井については試料を精選し、カリウム- アルゴン (以下 K-Ar) 年代測定、フイッション・トラック (以下 FT) 年代測定および各種微化石分析を追加実施した。

カリウム- アルゴン (K-Ar) 年代測定は、変質などの測定条件を精査した上で試料を精選し、深度 210.1m、450.1m、621.10-621.25m および 898.70-898.95m の 4 試料について実施した (表 1)。試料の測定にあたっては同一条件で標準試料を測定し、その誤差が 1%以内であることを確認している。測定法は<sup>6)</sup>、年代計算に使用した壊変定数は<sup>9)</sup>に従った。試

料はいずれも火山岩溶岩であり、全岩で測定した。表 1 には、カリウム含有量の平均値 (Potassium)、試料 1g 中に存在する質量数 40 の放射性起源アルゴンの全量 (Rad.40Ar)、質量数 40 の非放射性起源アルゴンの含有量 (Non-rad. 40Ar) および年代結果 (K-Ar age) を示した。なお、各試料においてアルゴン同位体測定は 2 回実施しているため、これらの年代の平均年代を示した (誤差は  $1\sigma$ )。

表 1 山北南観測井の火山岩試料のカリウム- アルゴン年代測定結果

Sample (depth)	Rock	Potassium error (wt. %)	Rad. Argon 40 error ( $10^{-8}$ ccSTP/g)	non-Rad. Ar. (%)	K-Ar age error (Ma) $1\sigma$	weighted mean (Ma) $1\sigma$
210.1 m	Basalt	0.446±0.022	0.95±0.50	96.6	0.55±0.29	0.56±0.21
	lava		0.99±0.49	96.5	0.57±0.29	
450.1 m	Andesite	0.513±0.010	0.61±0.16	93.3	0.31±0.08	0.30±0.06
	lava		0.56±0.16	93.7	0.28±0.08	
621.10-621.25m	Basalt	0.549±0.011	0.72±0.83	98.5	0.34±0.39	0.32±0.28
	lava		0.63±0.83	98.6	0.30±0.39	
898.70-898.95m	Andesite	0.342±0.017	1.92±0.23	85.7	1.45±0.19	1.44±0.14
	lava		1.90±0.24	86.7	1.43±0.20	

深度 210.1m の玄武岩溶岩試料の測定平均年代は  $0.56\pm 0.21$ Ma である。しかし、大気アルゴン混入率が 96.5-96.6% と非常に高く、同時にカリウム含有量も少なく (定量限界は 0.2wt%) 誤差も大きいため、年代値の誤差が大きい。深度 450.1m の試料は安山岩溶岩で、平均年代は  $0.30\pm 0.06$ Ma である。大気アルゴン混入率は比較的 low、カリウム含有量も比較的多く誤差の少ない年代値が得られている。深度 621.10-621.25m の玄武岩溶岩の試料からは年代値  $0.32\pm 0.28$ Ma が得られたが、大気アルゴン混入率が 98% 以上もあり、誤差が大きい。深度 898.70-898.95m の安山岩溶岩の試料からは  $1.44\pm 0.14$ Ma の年代値が得られた。カリウム含有量は低いものの、大気混入率が低く、良好な年代値である。

表 2 山北南観測井と早川凝灰角礫岩のフィッシュン・トラック年代測定結果

試料番号	年代値(Ma) Age± $1\sigma$	結晶数 (個)	自発核分裂飛跡 密度 $\rho_s$ (総数 $\Sigma N_s$ )	誘導核分裂飛跡 密度 $\rho_i$ (総数 $\Sigma N_i$ )	熱中性子線量 $\rho_d$ (総数 $N_d$ )	ウラン濃度 (ppm)	$\chi^2$ 検定 Pr( $\chi^2$ ) %	相関係数 r
山北南1070.45m	1.1±0.3	30	$2.48 \times 10^4/\text{cm}^2$ (12)	$5.76 \times 10^5/\text{cm}^2$ (279)	$7.462 \times 10^4/\text{cm}^2$ (3821)	70	94	0.219
早川凝灰角礫岩 (1粒子除外)	5.2±0.7	29	$2.16 \times 10^5/\text{cm}^2$ (75)	$1.08 \times 10^6/\text{cm}^2$ (375)	$7.448 \times 10^4/\text{cm}^2$ (3814)	140	42	0.687
早川凝灰角礫岩 (全粒子)	参) 14.3±1.2	30	$5.89 \times 10^5/\text{cm}^2$ (224)	$1.07 \times 10^6/\text{cm}^2$ (405)	$7448 \times 10^4/\text{cm}^2$ (3814)	140	0	0.196

鉱物: Zr (ジルコン); 年代  $T = (1/\lambda_0) \cdot \ln [1 + \lambda_0 \cdot \zeta \cdot (\rho_s / \rho) \cdot \rho_d]$ ; 誤差  $\sigma_t = T \cdot [1 / \Sigma N_s + 1 / \Sigma N_i + 1 / \Sigma N_d + (\sigma_\zeta / \zeta)^2]^{1/2}$   
 $^{238}\text{U}$  の全壊変定数  $\lambda_0 = 1.55125 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$ ; ゼータ値  $\zeta = 350_{ED2} \pm 3$  (ED2); 測定方法: 外部ダイテクター法 (外面: ED2)

フィッシュン・トラック (以下 FT) 年代測定は、年代測定可能な珪長質の火山灰層が見出された深度 1070.45m および 1045.8m について実施した (表 2)。また、参照試料として箱根火山の基盤である早川凝灰角礫岩についても FT 年代測定を行った。測定は ED2 法を用い、Zeta 値は文献<sup>10)</sup> の値を用いて年代値を計算した。



写真2 山北観測井 1070.45m 付近の珪長質火山灰層

深度 1070.45m の試料は、厚さ約 18cm の白色の珪長質火山灰層である（写真 2）。本試料は無色で均質な自形ジルコン結晶を豊富に含み、良好な FT 年代試料である。ランダムに測定対象とした 30 粒子のまとまりは、自発 FT 密度が低いため見かけ上ばらつきが大きい、 $\chi^2$  検定には合格し統計上の問題点はない。したがって、全測定粒子を同一起源に属するものとみなし、 $1.1 \pm 0.3\text{Ma}$ （誤差  $1\sigma$ ）をこの試料の年代値とした。

深度 1045.8m の試料は厚さ約 20cm の灰白色の珪長質火山灰層であるが、砂粒子が混じっている。本試料を処理しジルコン結晶を分離したところ、桃色を呈する均質なジルコン結晶が得られた。しかし、自発 FT 密度が高く、鮮新世程度の年代を示す可能性が高いと推測された。この年代はこの試料より深い深度 1070.45m の試料が示す第四紀の年代より明らかに古いと予想されたので、測定は中止した。

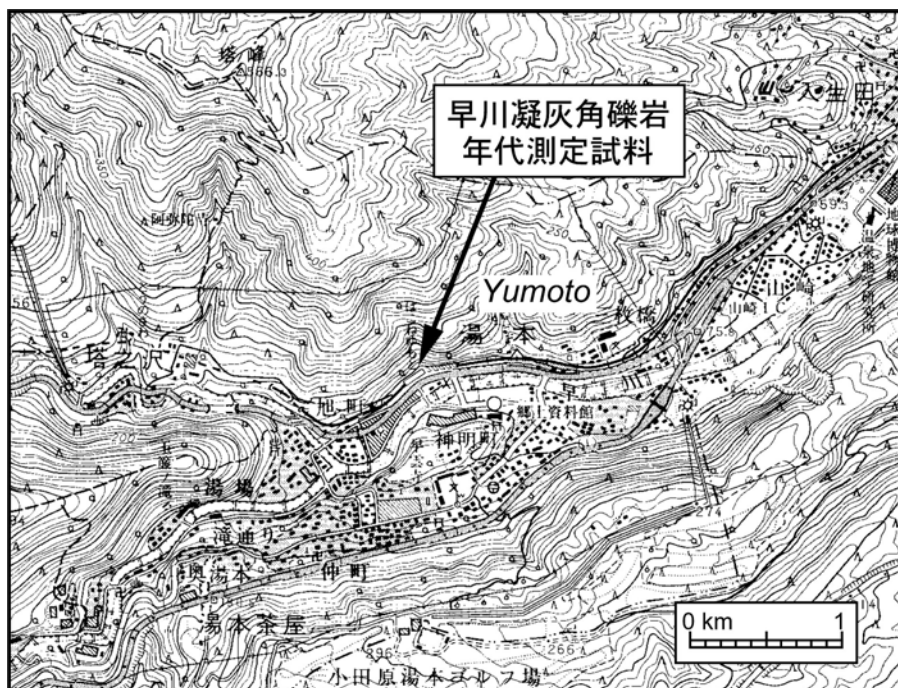


図 8 早川凝灰角礫岩のフィッション・トラック年代測定試料の採取地点  
（国土地理院発行 1/25,000 地形図「箱根」を使用。）

早川凝灰角礫岩の試料は、箱根町湯本の箱根登山鉄道箱根湯本駅近傍の崖から採取した

軽石凝灰岩である（図 8）。本試料は桃色を呈する自形結晶（約 70%）と褐色を呈する結晶（30%）が混在していた。後者の自発 FT は著しく高いので、後者は古い年代を持つ外来結晶と判断し、前者を対象に測定を実施した。測定対象とした 30 粒子データはまとまりが悪く、 $\chi^2$  検定にも失格した。この原因は 127Ma の古い年代を示す 1 結晶の存在にあると考えられ、この粒子は外来結晶として除外した。その結果、粒子データのまとまりは改善され、 $\chi^2$  検定にも合格した。したがって、残る 29 粒子を同一起源のものとし、 $5.2 \pm 0.7\text{Ma}$ （誤差  $1\sigma$ ）をこの試料の年代値とした。これまで地表に露出する早川凝灰角礫岩について年代値はなく、今回が最初の年代値である。なお、小田原市根府川の小田原第 5 号温泉井の深度 780-850m で確認された早川凝灰角礫岩相当層の年代は、石灰質ナンノ化石と浮遊性有孔虫化石から約 4.2Ma 前後と推定されているが<sup>11)</sup>、今回の FT 年代はこれと矛盾しない。

表 3 山北南観測井の石灰質ナンノ化石分析結果

Sample (Depth)	829.85 m	830.00 m	830.75 m	837.00 m	837.21 m	838.00 m
Preservation	M	M	M	M	M	M
Abundance	VR	VR	F	F	VR	F
<i>Calcidiscus leptoporus</i> (Murray and Blackman) Loeblich and Tappan	+	+	+	+	+	+
<i>C. macintyreii</i> (Bukry and Bramlette) Loeblich and Tappan			+			+
<i>Coccolithus pelagicus</i> (Wallich) Schiller	+		+	+	+	+
<i>Gephyrocapsa caribbeanica</i> Boudreaux and Hay	+		+	+	+	+
<i>G. oceanica</i> Kamptner	+		+	+	+	+
<i>Gephyrocapsa</i> spp. (small size)		+	+		+	+
<i>Helicosphaera carteri</i> (Wallich) Kamptner		+	+		+	+
<i>H. sellii</i> (Bukry and Bramlette) Jafar and Martini						?+
<i>Pseudoemiliana lacunosa</i> (Kamptner) Gartner			+			+
<i>Reticulofenestra minutula</i> (Gartner) Haq and Berggren		+	+		+	+

微化石分析は、海成層と判断された E 層の深度約 820-840m の範囲で約 50cm おきに稠密サンプリングを行い、珪藻、有孔虫および石灰質ナンノ化石の分析を行った。その結果、石灰質ナンノ化石についてのみ年代決定に有効なデータが得られた。処理した試料のうち、6 試料から同定可能な石灰質ナンノ化石が産出した（表 3、写真 3）。深度 838.00m と 830.75m の試料からは、*Gephyrocapsa oceanica* と *Pseudoemiliana lacunosa* が共に認められたので、この 2 試料は標準化石帯区分<sup>12)</sup>の CN13b- CN14a に相当する。また、石灰質ナンノ化石基準面<sup>13)</sup>では基準面 11 と 3 の間に入り、最新の年代算定<sup>13)</sup>に従うと、その年代は 1.65-0.41Ma となる。また、838.00m 試料には、1.27Ma に消滅する *Helicosphaera sellii* らしき標本が認められたが、保存が悪いため種名の決定には至らなかった。この種の産出が確定されれば、同試料からは 1.65Ma に出現した *G. oceanica* が存在することから、この試料の年代はより限定され、1.65-1.27Ma の間となる。

このほか、火山灰分析では、以下のような成果が得られている<sup>7)</sup>。コア中には、レンズ状～薄層ガラス質火山灰が複数確認され、広域テフラと判断された。深度 679.35m の火山灰は化学組成から加久籐テフラ（0.33-0.34Ma）に対比される可能性が高い。また、深度 632.3m のテフラは SiO<sub>2</sub> が 70%とやや低い特徴から阿蘇 1 テフラ（0.25-0.28Ma）に、深度 422m に見られるテフラは阿多-鳥浜テフラ（0.24Ma）に対比される可能性がある。なお、テフラの年代値はいずれも文献<sup>14)</sup>による。

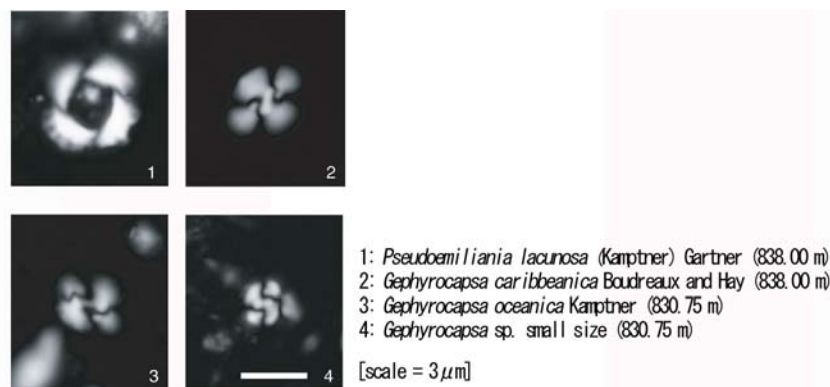


写真3 山北南観測井から産出した石灰質ナノ化石

### c) 考察と対比

以上の年代を年代尺度にプロットし、本坑井の地層の年代を総合的に解析した（図9）。F層からは  $1.44 \pm 0.14\text{Ma}$  の K-Ar 年代と  $1.1 \pm 0.3\text{Ma}$  の FT 年代が得られた。また、火山岩的に同質であり、F層とは時間差があまりないと判断される E層からは、 $1.65\text{-}0.41\text{Ma}$  の年代を示す石灰質ナノ化石が得られた。また、確実性は落ちるものの、この年代は  $1.65\text{-}1.27\text{Ma}$  に絞られる可能性が示唆された。誤差の範囲を考慮して以上の年代データを総合すると、F層+E層のユニットの年代は約  $1.2\text{-}1.4\text{Ma}$  であると推定される。

D層では、下部に加久籐テフラ（ $0.33\sim 0.34\text{Ma}$ ）と阿蘇1テフラ（ $0.25\sim 0.28\text{Ma}$ ）が認められ、さらに下部で  $0.32 \pm 0.28\text{Ma}$ 、最上部で  $0.30 \pm 0.06\text{Ma}$  の K-Ar 年代が得られている。また、C層では最下部に阿多-鳥浜テフラ（ $0.24\text{Ma}$ ）が識別されている。一方、B層では最下部の玄武岩溶岩から  $0.56 \pm 0.21\text{Ma}$  の K-Ar 年代が得られた。以上の年代データ、とくに広域テフラ層の年代を重視し、さらに層厚を考慮すると、D-B層は全体として、 $0.35\text{-}0.20$  程度の年代の噴出物であると考えられる。ただし、B層最下部の K-Ar 年代  $0.56 \pm 0.21\text{Ma}$  は、層序関係と矛盾しやや古い年代を示している。この矛盾の原因は現状では特定できないが、この測定試料が溶岩ではなく巨大な礫である可能性が考えられる。

以上の結果を、昨年度の報告書<sup>6)</sup>で作成した丹沢・足柄・伊豆地域の年代層序の総括図にプロットした（図10）

山北南観測井が掘削された足柄地域は、伊豆・小笠原弧が本州弧に衝突・付加する最先端部に位置している。北の本州弧側にあたる丹沢地域には、中新統一下部鮮新統の丹沢層群が分布する。一方、南の伊豆・小笠原弧に属する伊豆半島では、中新統一鮮新統の仁科・湯ヶ島・白浜層群が堆積し、その上位を不整合で箱根火山の噴出物が覆っている。箱根火山は、古期外輪山（OS）、古期カルデラ、新期外輪山（YS）、新期カルデラおよび中央火口丘（CC）からなり、これに単成火山群が付随する。なお、これよりやや古い畑宿火山岩類・天昭山玄武岩類が存在するほか、箱根火山の中央部には白浜層群最上部に相当する早川凝灰角礫岩が露出する。そして、伊豆・小笠原弧と本州弧の境界部にあたる足柄・山北地域には、両弧の間のトラフを充填した鮮新統一更新統の足柄層群が分布する。



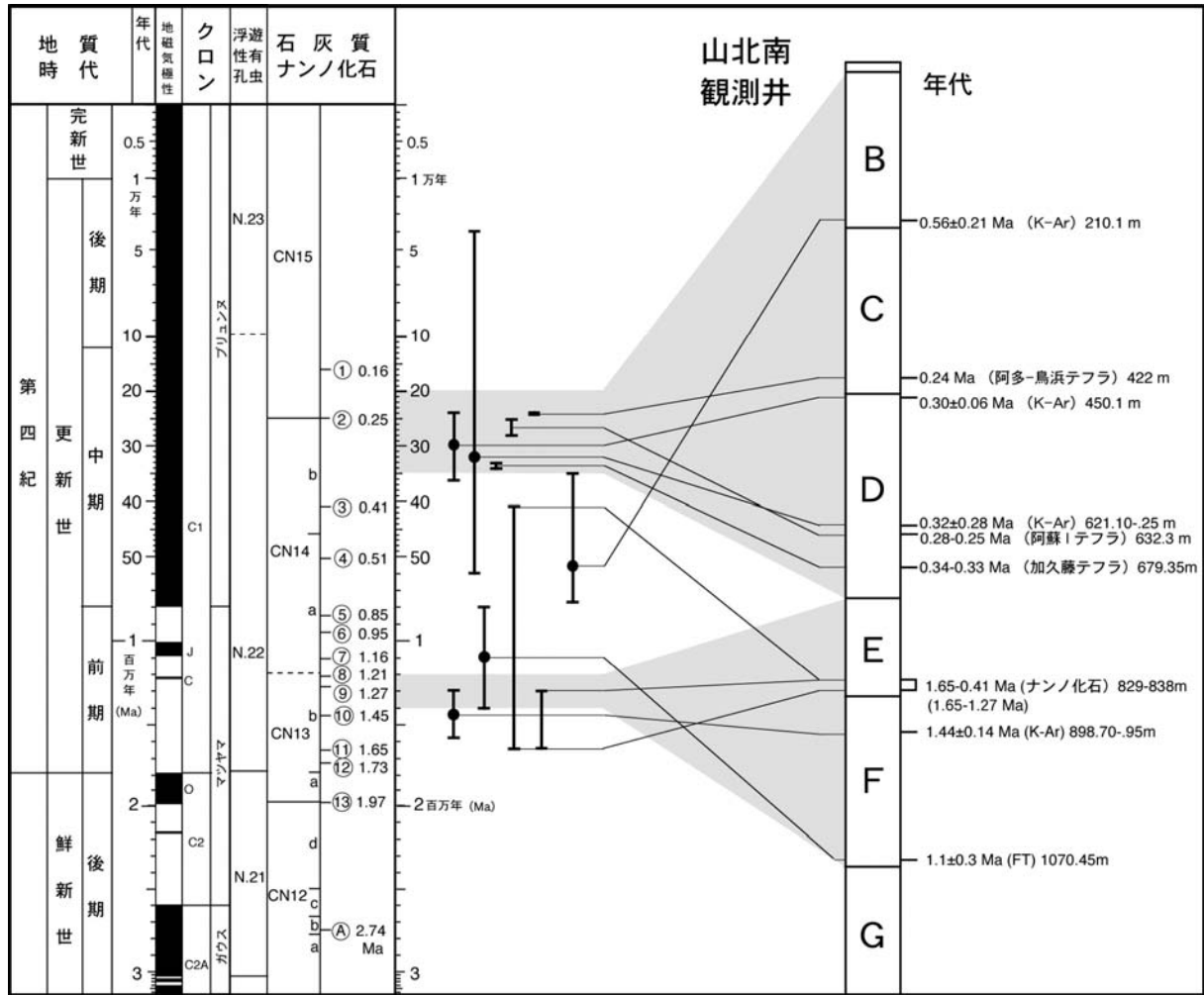


図9 山北南観測井の年代データ

山北南観測井の地層のうち、深度 13.5-721m の D-B 層は、本年度の研究により年代が約 35-20 万年であることが確定した。したがって、D-B 層は年代的に箱根火山の旧期外輪山噴出物 (OS) に確実に対比され、そのうちでも後期の成層火山群に相当すると推定できる。この推定は岩相や火山岩岩石学的な類似性からも支持される<sup>6)</sup>。

一方、その下位の E・F 層は推定年代が 1.2-1.4Ma であることが判明した。この年代は明らかに箱根火山の旧期外輪山噴出物 (OS) より古く、E・F 層は OS には対比されない。また、この年代は足柄層群の中上部の畑層最上部から塩沢層最下部に相当するが、E・F 層の岩相はこれらの地層とは全く異なるので、対比することはできない。恐らく、E・F 層は地表では確認されない先箱根の火山噴出物とその上位に堆積した海成層であると考えるのが現状では妥当であろう。なお、E・F 層とその上位の箱根旧期外輪山噴出物 (OS) に対比される D-B 層との間には 80 万年以上の時間間隙があり、両者の関係は不整合であると考えられる。

それより下位の G 層および H 層については今のところ年代データはなく、その帰属については今後の研究課題である。

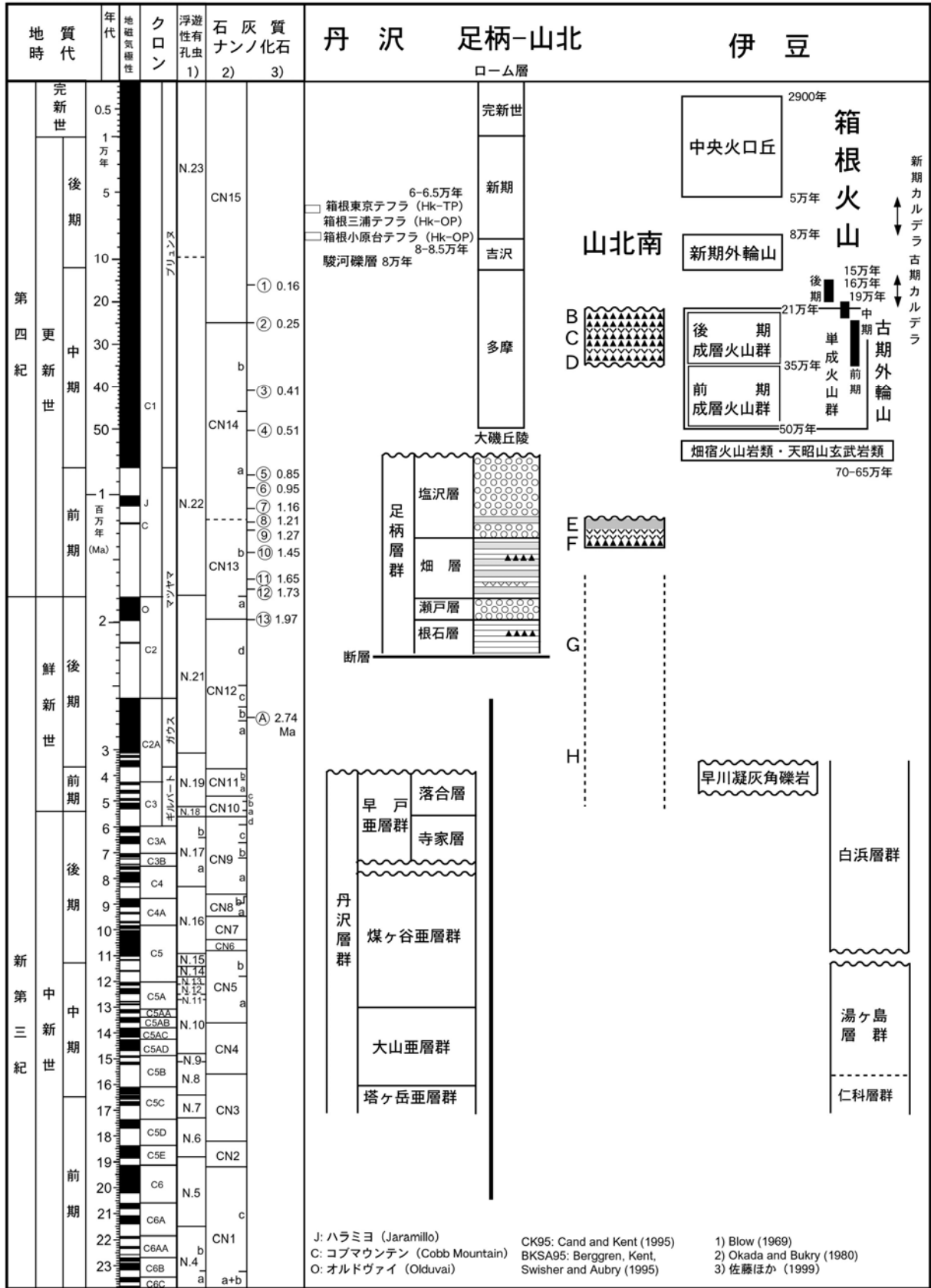


図 10 山北南観測井およびその周辺地域の年代層序と地層の対比。  
年代尺度は文献<sup>15),16), 17), 12),13)</sup>, 地層の年代データは文献<sup>6)</sup>を参照。

### (c) 結論ならびに今後の課題

今年度掘削された大阪観測井および京都観測井と、平成 15 年度に掘削された神奈川県足柄地域の山北南観測井について地質年代調査を行った。

大阪観測井では、大阪層群の年代指標となる海成粘土層 Ma0 と Ma1、および年代の確定した広域火山灰層であるピンク火山灰層の深度が明らかになり、活断層である上町断層帯近傍における地下地質構造と隆起運動等の解明に重要な基礎的データを得ることができた。京都観測井でも、大阪層群の Ma5 海成粘土層と Ma6 海成粘土層と推定される粘土層を識別して年代を推定し、京都盆地の地下構造解明のための資料を提供できた。これらのデータは、大阪および京都盆地での地下構造モデルの構築に寄与するものと思われる。

一方、山北南観測井については、今年度の調査研究により、深度 13.5-721m の区間は約 35-20 万年前の箱根火山の旧期外輪山噴出物 (OS) であることが確定した。また、その下位には、地表では見られない約 120-140 万年前の火山噴出物と浅海成堆積物が存在することが新たに判明した。従来、山北南観測井の位置する山北町市街地南方の浅間山と丸山の間の鞍部には、足柄層群が分布するとされてきた。しかし、本年度の調査により、ここには箱根火山旧期外輪山噴出物が分布することから、この区域は伊豆-小笠原弧側に属することが確定した。また、詳細な年代分析により、伊豆・小笠原弧が本州弧に衝突・付加する足柄平野周辺地域の複雑な地下地質構造解明のための基準となる層序を明らかにすることができた。今後は現状で所属が明らかでない 1070m 以下の地層の年代についてもさらに検討を進める必要がある。

今年度までの調査研究により、関東および近畿圏において、平野地下構造モデル構築に資する貴重な年代資料が得られた。来年度以降は、これらの成果を基にして、ボーリングコア試料および地表の地層について更に地質年代学的検討を進め、地震波探査などのデータも総合して、平野の地下構造モデルを作成のため調査研究を推進する。

### (d) 引用文献

- 1) Berggren, W. A., Kent, D. V., Swisher, C. C., III, and Aubry, M. -P.: A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. In Berggren, W. A., Kent, D. V., Aubry, M. -P., and Hardenbol, J., eds., Geochronology, time scales and global stratigraphic correlation. SEPM Special Publication, Vol.54, pp.129- 212, 1995.
- 2) Blow, W. H.: Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. In Brönnimann, P. and Renz, H.R., eds., Proc. 1st Internat. Conf. Planktonic Microfossils, Geneva, 1967, Vol.1, pp.199-422, 1969.
- 3) Cande, S.C. and Kent, D.V.: A new geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous and Cenozoic. Jour. Geophys. Res., Vol.97, pp.13917-13951, 1995.
- 4) 檀原徹・鎌田弘毅・岩野英樹：中九州の耶馬溪火砕流堆積物と大阪層群ピンク火山灰のジルコンのフィッシュン・トラック年代. 地質学雑誌, Vol.103, pp.994-997, 1997.

- 5) Danhara, T., Kasuya, M., Iwano, H. and Yamashita, T.: Fission-track age calibration using internal and external surfaces of zircon, *Journal of Geological Society of Japan*, Vol.97, pp.977-985, 1991.
- 6) Itaya, T., Nagao, K., Inoue, K., Honjou, I., Okada, T. and Ogata, A.: Argon isotope analysis by a newly developed mass spectrometric system for K-Ar dating. *Mineral. Jour.*, Vol.15, pp.203-221, 1991.
- 7) 京都市：京都盆地の地下構造，133pp.，2003.
- 8) 町田 洋，新井房夫：火山灰アトラスー 日本列島とその周辺ー . 東京大学出版会，276pp, 2003.
- 9) 萬年一剛，堀内誠示，田口公則，山下浩之，平田大二，川手新一，蛭子貞二，谷口英嗣：箱根地域・早川凝灰角礫岩から得られた微化石年代とその意義，*地質学雑誌*，Vol.109, pp.661-664, 2003.
- 10) 三田村宗樹・吉川周作・石井陽子・貝戸俊一・長橋良隆：大阪平野 OD ボーリングコアの岩相。大阪市立自然史博物館研究報告，Vol.52, pp.1-19, 1998.
- 11) 長橋良隆・吉川周作・宮川ちひろ・内山 高・井内美郎：近畿地方および八ヶ岳山麓における過去 43 万年間の広域テフラの層序と編年ー EDS 分析による火山ガラス片の主要成分化学組成。第四紀研究，Vol.43, pp.15-35, 2004.
- 12) Okada, H. and Bukry, D.: Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973; 1975). *Marine Micropaleontology*, Vol.5, pp.321-325, 1980.
- 13) 佐藤時幸，亀尾浩司，三田 勤：石灰質ナンノ化石による後期新生代地質年代の決定精度とテフラ層序，*地球科学*，Vol.53, pp.265-274, 1999.
- 14) Steiger, R. H. and Jäger E.: Subcommission on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, Vol.36, pp.359-362, 1977.
- 15) 山崎優，松井智之，小山田浩子，津久井雅志，上杉陽，林広樹，柳沢幸夫，田中裕一郎，笠原敬司：神奈川県山北町の島弧衝突域における大規模陸上掘削の岩石記載，*地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会講演要旨*.
- 16) 柳沢幸夫，高橋雅紀，林広樹，渡辺真人，田中裕一郎：大深度ボーリング試料による地質年代調査，大都市大震災軽減化特別プロジェクト I 地震動（強い揺れ）の予測「大都市圏地殻構造調査研究」（平成 15 年度）成果報告書，pp.322-366, 2004.
- 17) 吉川周作・三田村直樹：大阪平野第四系層序と深海底の酸素同位体比層序との対比。*地質学雑誌*，Vol.104, pp.332-340, 1999.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
柳沢幸夫， 高橋雅紀， 林 広樹， 渡辺真人， 田中裕一郎	大深度ボーリング試料による地質年代調査	大都市大震災軽減化特別プロジェクト I 地震動（強い揺れ）の予測「大都市圏地殻構造調査研究」（平成 15 年度）成果報告書，pp.322-366	平成 16 年 5 月

高橋雅紀, 柳沢幸夫	埼玉県比企丘陵に分布する中新統の層序- 複合年代層序に基づく岩相層序の総括-	地質学雑誌, Vol.110, pp.290-308	平成16年5月
Takahashi,M., Yanagisawa,Y., Hayashi, H., Kasahara, K., Ikawa, T., Kananaka, S. and Suda, S.	Miocene subsurface half-grabens in the Kanto Plain, central Japan.	Proc. Intern. Workshop, Strong Ground Motion Prediction and Earthquake Tectonics in Urban Areas	平成16年6月
Takahashi, T., Yanagisawa, Y. and Okada, T.	K-Ar ages of the Shogunzawa and Okuda Tuff beds in the Miocene marine sequence in the Iwadono Hills, central Japan.	石油技術協会誌, Vol.69, pp.284-290.	平成16年6月
林 広樹, 笠原敬司, 柳沢幸夫, 渡辺真人, 高橋雅紀, 堀内誠示	栃木県中央低地の坑井における微化石層序	日本古生物学会 2004 年年会	平成16年6月
林 広樹, 堀内誠示, 高橋雅紀, 笠原敬司	関東平野地下に分布する新第三系の層序と対比	石油技術協会誌, Vol.69, pp.404-416.	平成16年7月
林 広樹, 高橋雅紀, 笠原敬司	関東平野の地下における新第三系の分布	石油技術協会誌, Vol.69, pp.574-586.	平成16年9月
林 広樹, 笠原敬司, 山水史生, 関口渉次, 柳沢幸夫, 高橋雅紀, 渡辺真人	関東地震発生域直上における 2000m 級陸上掘削の層序- 大大特 (I) 大規模ボーリング掘削の成果	日本地質学会第 111 年学術大会	平成16年9月

(f) 特許出願, ソフトウェア開発, 仕様・標準等の策定

1)特許出願

なし

2)ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

### (3) 平成17年度業務計画案

引き続き大都市圏およびその周辺平野のボーリングコアについて、微化石分析により地層の地質年代を明らかにし、あわせて地表地質と統合することにより、平野下の地下地質構造の解釈に資する。

平成17年度は、北関東において掘削が計画されている2000m級の大深度ボーリング試料について、珪藻、石灰質ナノ化石および浮遊性有孔虫をはじめとする各種微化石年代調査と放射年代測定などの地質年代調査を行い、堆積層の層序と構造を明らかにする。また、北関東において掘削された既存ボーリングコア試料および地表の地層について地質年代および地質学的検討を行う。とくに、地表地質の研究から明らかになってきた関東平野の堆積層の3層構造モデル、すなわち下位より”N.8層”，”post N.8層”および上総・下総層群の3層が不整合を挟んで重なっているという構造モデルを、実際の大深度ボーリングの地質年代調査によって実証することを来年度の主要目標とする。さらに、これまでの本プロジェクトの成果や地震波探査などのデータを総合して、強振動予測に必要な一般的な関東平野の地下構造モデル作成に資する地質年代資料を提供する。