山口県徳佐盆地の地下構造と堆積物*

竹村恵二**・北岡豪一**・堀江正治**・里村幹夫***・横山卓雄****

Subsurface structure and sediments in the Tokusa Basin, Yamaguchi Prefecture, Japan*

Keiji Takemura**, Koichi Kitaoka**, Shoji Horie**, Mikio Satomura***
and Takuo Yokoyama****

Abstract A drill core of continuous fine-grained sediments was obtained from Tokusa Basin of Yamaguchi Prefecture for the study of the record of Quaternary paleoclimate and paleoenvironment in Southwest Japan. This basin is situated at the border between Yamaguchi and Shimane Prefectures in the Chugoku Mountain area. In the Chugoku district, a long-term continuous fine-grained sequence in Quaternary age was previously unknown.

Based on the results of electrical resistivity and gravity surveys, the existence of basin-center sediments with about 200 m thickness containing fine-grained sediments was expected. Drilling operation was carried out at the point where the fine-grained sediments were predicted. The unconsolidated sediment is about 85 m in thickness and is divided into four stratigraphic units (lowermost, lower, upper and uppermost). The lowermost unit (1.25 m thick) consists of gravelly sand. The lower unit (30.25 m thick) is composed mainly of massive silty clay. The upper unit (49.20 m thick) is composed mainly of silt and silty clay with intercalations of sand layers and includes many plant fragments. A peaty bed of two meters thickness occurs in the uppermost part of this unit. The uppermost unit (3.45 m thick) consists of alternations of sandy gravel layers and silt layers. On the basis of the fission-track age at the horizon of about 68 m depth (0.58 ± 0.16 Ma) and tephrostratigraphical evidence, it is inferred that the deposition of this basin started at about 0.7 Ma.

Key words : Quaternary geology, drilling sample, sedimentary environments, gravity measurements, electric prospecting, F-T age

はじめに

第四紀の古環境変化の研究を進めていくためには連続

的な細粒堆積物は非常に重要な試料となる。近畿中央部に位置する琵琶湖では 200 m, 1000 m, 1400 m の深層掘削が行われ、数多くの古環境変化に関する成果が報告されている(Horie, 1984, 1987)。もし中国・四国地域で第四紀の連続した細粒堆積物試料が得られれば、それは古気候変化研究の面では琵琶湖の試料との比較試料として重要な資料を提供する。また琵琶湖には魚類・貝類などの多数の固有種が生存しており、その資料はこれらの固有種を中心とした生物地理学的研究を中国大陸との関連で進めていくための重要な資料になりうる。従

1990 年 4 月 9 日受付. 1990 年 10 月 30 日受理.

* 日本地質学会第 96 年学術大会(茨城大学)にて講演.

** 京都大学理学部附属地球物理学研究施設. Beppu Geophysical Research Laboratory, Faculty of Science, Kyoto University, Beppu 874, Japan.

*** 静岡大学教養部地学教室. Institute of Geosciences, Faculty of Liberal Arts, Shizuoka University, Shizuoka 422, Japan.

**** 同志社大学地学研究室. Laboratory of Earth Science, Doshisha University, Kyoto 602, Japan.

第1図. 徳佐盆地の位置と周辺地質図(山口県, 1977 より作成)

来から中国地域では第四紀の連続資料の得られる機会はほとんどなかったが、最近、山口県徳佐盆地で花粉分析用の試掘によって、盆地内部にかなりの泥質堆積物があることが知られた(三好, 1989)。この徳佐盆地堆積物は西南日本の第四紀の古気候・古環境研究に重要な手がかりを与えるものと考えられる。そこで盆地内で掘削を行うこととし、まず盆地全体の地下構造を推定するための重力探査・電気探査を行った。さらに従来のボーリング資料なども検討して連続した細粒のコアの得られる可能性の高い掘削地点を選定し、100 m ボーリングを行った。その結果約 85 m の堆積物を採取することができた。100 m 近い未固結の細粒堆積物を中国山地部で採取できたことから中国地方の第四紀古地理や第四紀の気候変動などの研究にとって重要なデータをこの堆積物の解析から得ることができる。本報告では徳佐盆地の地下構造の概略と 100 m 掘削試料の層相・年代について述べ、それらと従来の掘削資料から推定される徳佐盆地の堆積環境の変化について考察する。

地形・地質概略

徳佐盆地は山口県北東部にあり、島根県の津和野盆地の南西に位置している(第1図)。県境は分水界にあたり、徳佐盆地の表層水は阿武川となり南西方向の長門峡から日本海へ流出している。この盆地は標高 300 m 程度で、面積が約 10 km² であり、周辺に中生代の流紋岩類(阿武層群)が露出し、ほとんどがこの岩石を基盤として第四系が埋積していると考えられる。ただ北東方の島根県境に位置している野坂山は津和野東方の青野山とともに青野火山岩類(種子田・山口, 1950)と呼ばれる安山岩からなり、第四紀後半の噴出とされる。徳佐盆地の第四系の研究は河野・高橋(1966)による層位学・地形学的研究、畑中(1967)、三好・畑中(1978)による花粉分析結果の報告がある。河野・高橋(1966)によれば、徳佐盆地の第四系は下位より徳佐層・岡層・貞行層に3分され、最下位の徳佐層は泥炭と砂礫層からなる地層であり、岡層は礫層を主体とした地層で始良 Tn 火山灰を挟む最終氷期の堆積物、貞行層は砂層からなり完新統である。したがって、この盆地内には泥質な細粒の堆積物

第2図. 徳佐盆地におけるボーリングデータ収集地点, 電気探査地点, 重力測定地点および 100 m 堆積物採取ボーリング地点.

が厚く堆積していることは期待されていなかった。最近, 三好(1989)は徳佐盆地で花粉分析用の試料採取を行い, 花粉分析結果や地下 5 m の泥炭層中に広域火山灰の Aso-4 火山灰が挟在すること, ^{14}C 年代測定結果などを報告した。

徳佐盆地の地下構造探査結果

盆地内の基盤深度や地下構造を推定するために, 従来の掘削資料の収集, 重力探査, 電気探査を行った。

1. 掘削資料

徳佐盆地内の 14 ヶ所の掘削資料の地点(山口県, 1977)を第 2 図に示す。掘削資料によれば, 基盤岩上の堆積物層厚は資料の多い盆地南東部(地点 8 付近)で 25 m 程度, 最大層厚を示す資料は約 40 m + (北西部山麓)であり, 礫層や砂礫層を主体として, 粘土層も礫まじりや礫層との互層状を呈していることが読み取れる(第 3 図)。相対的に北西部山麓側に細粒の地層が卓越

しているが, 三好(1989)のデータから盆地中央部にはより細粒の堆積物が分布している可能性が考えられる。

2. 重力探査

重力探査はラコステ重力計により 126 地点(盆地周辺全体の傾向を知るための津和野などの周辺地域の測定を含む)で測定を行った。徳佐盆地内の測定地点を第 2 図に, ブーゲー補正時の密度を 2.3 g/cm^3 としたときのブーゲー異常を第 4 図に示す。測定地点の経度, 緯度, 計算法, 測定値などの詳細は里村ほか(1990)によって報告された。この地域は全般的に西から東へ向かってブーゲー異常が減少する傾向がみられ, その傾向に加わる形で盆地中央部を中心に北東-南西方向の盆地の伸びの方向と一致する負の異常が認められる。また北西部ではコンター間隔が狭く, 急激にブーゲー異常が変化しているのに対し, 南東方向では変化がゆるやかになる傾向がみられる。

第3図. 徳佐盆地内のボーリング柱状図.

第4図. 徳佐盆地のブーゲー異常図(単位 mgal, ブーゲー補正時の密度 2.3 g/cm^3), 点線は川を示す.

3. 電気探査

電気探査は大地比抵抗測定器(YOKOGAWA Type 3244)により行った. 測定は掘削資料のない盆地中央部を中心として行われた. その結果, 地面から 50 m 程度の深度までの比抵抗の分布が知られた. 地層は比抵抗のパターンからみて上から A, B, C, D, E の 5 層に分けられる(第 5 図). 上位の 3 層(A, B, C)は比較的比抵抗の高い層で, 下位の 2 層(D, E)は比較的比抵抗の低い層である. C 層は全体的に北東から南西の方向に比抵抗が減じる傾向があるが, C 層の層厚が急に増加する地点(たとえば第 3 地点)も認められる.

100 m 掘削試料の層相

掘削は地下探査資料を参考にして, 阿武郡阿東町徳佐中で行った(第 2 図). 調査内容は 100 m の堆積物採取掘削, 電気検層, 温度検層, 採水(50 m 深度, 100 m 深度)である. 掘削は 52 m まではシンウォール方式に

第5図. 徳佐盆地における電気探査測定結果(比抵抗分布図).

第6図. 100 m ボーリング柱状図. 電気検層結果, 密度分布.

より, それ以下の堆積物はデニソン方式により採取を行った. 採取試料は 84.95 m までは未固結の堆積物で, その下位(84.95-100 m)は流紋岩であった. 未固結部分(84.95 m)は重量・体積を測定後, 半切・記載し, 古

地磁気・花粉・粒度・化学・火山灰等の分析試料を採取した.

未固結部分(84.95 m)の層相は大きく 4 分される(第 6 図). 最下部層(深度: 83.70-84.95 m, 層厚: 1.25

第1表. 徳佐ボーリングコア中の火山灰(TK104-1 : 深度 67.90-68.03 m)のフィッシュン・トラック年代.

試料名	鉱物名	自発核分裂		誘導核分裂		熱中性子フルエンス		(※2)	(※3)	(※4)	(※5)				
		総数 ΣNs (t)	密度 ρs = ΣNs/ΣS (t/cm ²)	総数 ΣNi (t)	密度 ρi = ΣNi/ΣS (t/cm ²)	総数 ΣNφ (n)	熱中性子線量		年代値 T (Ma)	誤差 ±ε (%)	結晶数 n (粒)	相関係数 r	総計数面積 ΣS (cm ²)	ウラン濃度 U (ppm)	
							(※1) ρd (n/cm ²)	Φth (n/cm ²)							
徳佐104-1	Zircon	13	3.38 ×10 ⁴	604	6.41 ×10 ⁵	1084	7.32 ×10 ⁴	4.56 ×10 ⁴	0.58	0.16	28.2	30	0.444	9.42 ×10 ⁴	70

*1. ρ_d : 標準ガラスの誘導核分裂トラック密度(n/cm²)*2. 年代値 $T = 5.96 \times 10^{-8} \times \Phi_{th} \times \Sigma N_s / \Sigma N_i = \zeta \times \rho_s \times \rho_d / \rho_i$ *3. 誤差 $\epsilon = \{ (1/\sqrt{\Sigma N_s})^2 + (1/\sqrt{\Sigma N_i})^2 + (1/\sqrt{\Sigma N_\phi})^2 \}^{1/2} \times 100(\%)$ *4. r: 結晶ごとの自発・誘導トラック密度(ρ_s, ρ_i)の相関係数*5. ウラン濃度 $U = 5 \times 10^{10} \times \overline{\rho_i} / \Phi_{th}$ (ただし, ジルコン結晶中でエッチングされる最大飛跡長を 12 μ m と仮定する.)

熱中性子線量測定用標準ガラス: NBS SRM612

²³⁸U の自発核分裂壊変定数: $\lambda_i = 7.03 \times 10^{-17}$ (1/yr)熱中性子の U に対する核分裂反応断面積: $\sigma f = 577 \times 10^{-24}$ (cm²)²³⁵U の ²³⁸U に対する同位体比: $I = 7.253 \times 10^{-3}$ (²³⁵U / ²³⁸U)B 値: $B = 6.23 \times 10^9$ ($\Phi_{th} = B \times \rho_d$) ζ (zeta 値): Calibration factor $\zeta = \Phi_{th} \times \sigma f \times I / \rho_d \times \lambda f = B \times \sigma f \times I / \lambda f = 371$

m)は主に礫まじり砂層からなる。基盤岩の流紋岩の直上では礫の含有量が多く砂も粗砂からなる。礫は亜角礫-亜円礫の流紋岩の小礫-中礫である。上位ほど砂の粒度は小さくなり、中砂サイズになる。下部層(深度: 52.65-83.70 m, 層厚: 30.05 m)は最下部層に整合に重なる。細砂の薄層(層厚 1 cm 程度)が深度 81 m 付近にみられるほかはほとんど塊状のシルト質粘土層からなる。植物片をほとんど含まない。上部層(深度: 3.45-52.65 m, 層厚: 49.2 m)は主にシルト・シルト質粘土層と砂層の互層からなる。全体としてはシルトやシルト質粘土の細粒部の層厚が大きい。下部層との関係は整合である。砂層のうち中砂以上のサイズが 20 cm 以上連続するのは 52 m 深度の中砂-粗砂(層厚 20 cm), 32 m 深度の中砂-粗砂(層厚 60 cm), 28 m 深度の粗砂(層厚 50 cm), 18 m 深度の中砂-粗砂(層厚 45 cm), 15 m-16 m 深度の中砂-粗砂(層厚 165 cm)の 5 層準である。粗粒な砂層がより上位に発達している。細粒部でも細砂の薄層が挟まれることが多く、ラミナの発達が著しく、植物片の含有量が多い。上部層の最上部には約 2 m の泥炭が発達している。最上部(深度: 0.0-3.45 m, 層厚: 3.45 m)は砂礫層とシルト層の互層からなる。上部層に不整合に重なると考えられる。火山灰は、下部層の粘土層に多く、6 層が層状に挟まれることが確認できるほか、下部層の粘土層の下部には凝灰質の部分がみられる。上部層には 1 層のガラス質火山灰が挟まれている。

火山灰のフィッシュン・トラック年代

堆積年代の推定のために、火山灰中のジルコン粒子を用いたフィッシュン・トラック年代測定を行った。測定は(株)京都フィッシュン・トラックによる。火山灰試料

のうち年代測定結果が得られたのは 1 試料であった。この試料は試料番号 104-1(深度 67.90-68.03 m)である。この直上の試料番号 103-4(深度 67.81-67.90 m)と連続した 22 cm の火山灰層の下部に当たる。

半乾燥重量 300 g を処理し、60 個のジルコン結晶が抽出された。明らかな外来結晶、表面状態不良粒子を除いた 30 粒子で測定が行われた。今回の年代試料は平均自発トラック密度が 1.4×10^4 個/cm² と低いため、S 2 π ES-I 2 π ES・ED 法(Suzuki, 1984)が用いられた。測定粒子 30 個の 1 粒子当たりの自発核分裂平均トラック数は 0.43, 誘導核分裂平均トラック数は 20.1 である。ボアソン検定を含む測定データの処理を行うとまとまりがよくなる。全測定粒子を同一起源に属するものとみなせるので、自発核分裂トラック数の総和と誘導核分裂トラック数の総和の比より測定年代値 0.58 ± 0.16 Ma が算出された(第 1 表)。

考察とまとめ

1. 徳佐盆地の地下構造

重力探査では盆地の北東-南西方向の地形と平行に負のブーゲー異常が認められる。また、この地域の全般的な傾向は北西側に正、東側に負の異常がある。したがって、盆地底の基盤構造は盆地の地形と平行で北東-南西方向に伸び、最深部はブーゲー異常の負の中心よりやや北西側によったところにあると考えられる。里村ほか(1990)によれば、ブーゲー異常から広域的な傾向を差引いた残差ブーゲー異常が盆地中心部で 6 mgal になり、この差は堆積物と基盤との密度差を 1.0 g/cm^3 とすれば最深部での基盤深度は地表下 200 m に達することを示している。電気探査では、上部に比抵抗の高い地層

が、下部に比抵抗の低い地層が分布している。したがって、上部に礫や砂などの粗粒相が卓越する地層が、下部に粘土層などの細粒相が存在する可能性が高いと考えられる。100 m ボーリング試料の層相は下部ほど細粒の堆積物が卓越していて、そのことを裏づけている。C 層(比抵抗の高い上部の最下層)は北東から南西に比抵抗の値が低くなることから、粗粒部は南西部ほど細粒化すると考えられる。また、北西-南東方向の断面(第 5 図)にみられるように、C 層の層厚が急に大きくなる地点(たとえば第 3 地点や第 6 地点)があり、また、この粗粒相と細粒相の境界の高度がこの地点で低くなることから、この C 層で示される粗粒相が下位の細粒相を削り込んだ可能性が考えられる。これらの粗粒相は盆地南東部の掘削資料の礫層・砂礫層に対比される。

2. ボーリング試料からみた堆積環境の変遷と年代

100 m ボーリング試料は層相から 4 層に分けられた。この層相から以下のような堆積環境の変遷が推定される。基盤岩の阿武層群の流紋岩はあまり風化の影響を受けておらず、この上位の堆積物がたまる前は侵食地域の状況が考えられる。この上位に不整合にのる最下位の礫まじり砂層は層厚も薄く、侵食域に堆積した粗粒堆積物と考えられる。この上位に、植物破片をほとんど含まない塊状のシルト質粘土層からなる下部層が厚く堆積する。このことはこの地域にこの段階でかなり広い水域が出現したことが推定できる。この後堆積した上部層は、植物片を多量に含み、ラミナが発達し、ときには粗粒な砂が挟まれる。粗粒な砂の挟まれる頻度もより上位で高くなる。電気探査の結果から細粒物が下位ほど広く分布していることをあわせ考えると水域が縮小してきたことを推定される。この水域が狭くなっていった結果、上部層の最上部に厚い泥炭層が堆積したと考えられ、盆地周辺部は扇状地性礫層が堆積した。この後は掘削地点付近では河川環境などの砂礫層が堆積する状態になったと推定される。したがって、このボーリング試料の層相からは全体としては広い水域にはじまり、その水域に周辺から粗粒物質が流入し水域が狭められていく過程が表現され、掘削地点付近でもっとも最後まで水域が残されていたと考えられる。この水域の成立の原因として、北東方、野坂山の火山活動によるせきとめ(河野・高橋, 1966)が考えられる。そのことを確かめるには、下部層の火山灰などの分析や野坂山の火山活動の年代の推定が必要になる。堆積物のコア長と重量から計算された密度は深度 77 m から 83 m までの間は上位に比較して値が小さい(第 6 図)。この層準は全体的に凝灰質であることから火山物質の影響の可能性もあるが検討を要する課

題である。

100 m 掘削試料は最上部が河野・高橋(1966)の貞行層・岡層に対比され、それ以下は徳佐層に対比される地層である。この試料の年代として深度 68 m の火山灰が 0.58 ± 0.16 Ma という結果が得られている。また、近接する地点で掘削された試料の ^{14}C 年代は 3 層準あり、335-340 cm の深度で $30,660 \pm 1,900$ y.B.P., 390-395 cm の深度で $46,110 \pm 1,050$ y.B.P., 400-405 cm の深度で $> 37,800$ y.B.P. の値が得られている(三好, 1989)。これらの年代はすべて 100 m ボーリング試料の上部層の最上部にある泥炭層に対比される泥炭層より得られており、100 m 試料の深度 3.45 m から約 2 m の層厚の泥炭層の年代もこれにより推定される。また、火山灰層位学的には泥炭層直下の層準に広域火山灰層の Aso-4 火山灰層が発見されており(三好, 1989)、泥炭層の堆積は町田ほか(1985)の推定年代により約 7 万年前ころから始まったと考えられる。また、花粉分析の結果から三好(1989)は近接する試料で約 8.6 m より下位を最終間氷期の地層としている。上部層と下部層は連続的な地層だと考えられるので、堆積物柱状試料の 68 m 深度層準での年代 0.58 ± 0.16 Ma の中央値 58 万年および泥炭層の下位(約 5.5 m)が約 7 万年前であることから、堆積速度がほぼ一定であると仮定すれば 85 m 深度の堆積開始年代は約 70 万年前となる。このことからこの試料には中国地域での中期更新世以降少なくとも 3 万年前頃までの変遷が連続的に記録されていると考えられる。

謝 辞

本研究を行うにあたって、岡山理科大学三好教夫教授には徳佐盆地でのボーリングに関して重要な資料提供をいただくとともに、現地でもご教示いただいた。ボーリング地点の地主、田村義春・君子夫妻、阿東町教育委員会の方々、土地改良区の方々、永戸春行氏、山口県教育委員会に現地でご協力いただいた。京大理学部地球物理学研究施設馬渡秀夫氏、立川哲哉氏には物理探査・ボーリング作業でご協力いただいた。

ボーリング試料の記載・分配作業は同志社大学で行われ、同志社大学林田 明助教授、京都大学鳥居雅之博士、滋賀大学川島宗継助教授、岡山理科大学三好教夫教授、立正大学丸井敦尚博士・河野 忠氏にご協力いただいた。以上の方々に記して感謝する。

文 献

畑中健一, 1967, 山口県徳佐盆地の花粉分析. 北九州大学

- 教養学紀要, **3**, 23-34.
- Horie, S., 1984 ed., *Lake Biwa*. Dordrecht, Boston, Lancaster, Dr. W. Junk Publishers, 654 p.
- , 1987 ed., *History Lake Biwa*. Institute of paleolimnology and paleoenvironment on Lake Biwa, Kyoto University, 242p.
- 河野通弘・高橋英太郎, 1966, 山口県徳佐盆地の第四系と段丘について. 山口大教育研論叢, **15**, 113-125.
- 町田 洋・新井房夫・百瀬 貢, 1985, 阿蘇 4 火山灰一分布の広域性と後期更新世示標層としての意義一. 火山, **30**, 49-70.
- 三好教夫, 1989, 徳佐盆地(山口県)における後期更新世の花粉分析(予報). 第四紀研究, **28**, 41-48.
- ・畑中健一, 1978, 中国山地第四紀堆積物の花粉分析 6. 徳佐盆地(山口県)について(演旨). 日本植物学会 43 回大会演旨, 96.
- 里村幹夫・竹村恵二・堀江正治, 1990, 山口県徳佐盆地の重力探査. 静岡大地球科学研報, **16**, 67-75.
- Suzuki, M., 1984, Discussion on terminology, anisotropy and interprocedural cross-checks of fission track ages of zircon. 地質雑, **90**, 551-563.
- 種子田定勝・山口 勝, 1950, 青野火山の地質並びに岩石について. 九州大理学研報(地質学), **2**, 54-76.
- 山口県, 1977, 土地分類基本調査(表層地質図)徳佐中・津和野. 47p.

(要 旨)

竹村恵二・北岡豪一・堀江正治・里村幹夫・横山卓雄, 1991, 山口県徳佐盆地の地下構造と堆積物. 地質雑, **97**, 15-23. (Takemura, K., Kitaoka, K., Horie, S., Satomura, M. and Yokoyama, T., 1991, Subsurface structure and sediments in the Tokusa Basin, Yamaguchi Prefecture, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **97**, 15-23.)

西南日本における第四紀の古気候や古環境の考察のために重要な連続的な細粒堆積物からなるコア試料が山口県徳佐盆地で得られた. この盆地は中国山地の山口県と島根県の県境に位置している. 地球物理学的探査(電気探査, 重力探査)の結果, 盆地中央で 200 m に達する堆積物の存在の可能性と細粒堆積物の分布状態が明らかになった. ボーリングは細粒堆積物が連続的に得られる地点で行われ, 採取された未固結の堆積物は約 85 m の層厚で 4 区分される. 最下部は礫質砂層からなる. 下部(約 30 m)は塊状のシルト質粘土からなる. 上部(約 49 m)は主にシルトやシルト質粘土からなり, 砂層の薄層を挟む. 植物片を多く含み, ラミナが発達する. 約 2 m の亜炭層が含まれる. 最上部では砂質礫層やシルトの互層からなる. 68 m 深度のフィッシュン・トラック年代(0.58 ± 0.16 Ma)や火山灰層位学的資料からこの盆地における堆積開始は約 70 万年前と考えられる.