

報 文

## 温泉津町井田の都野津層の層序的及び窯業資源的考察

Stratigraphy and Resources for Ceramics of Tsunozu Formation  
in Ida, Ohda City, Shimane Prefecture

永島晴夫\*・山内靖喜\*\*・三瓶良和\*\*\*

## 要 旨

都野津層分布の東端とされる井田地区は、上位に大江高山噴出物が被う、砂礫部分が少なく、30mを越える粘土層が堆積していることを地質図と柱状図で示した。従来この地域には、模式地のM4層に対比される海成層が上部に記載されていた。しかし、M4層中のg-火山灰層が、井田地区の粘土層最下部付近の海成粘土に対比され、更に上位に2枚の海成粘土層が堆積していた。窯業原料としての可能性を検討した場合、硫黄が1～2mass%含有される部分が厚かった。また、珪藻に富む層があり、焼成すればクリストバライトが形成されることが確認され、窯業原料として利用するには、注意が必要である。採掘に当たって、井田地区の都野津層は上部になるに従い大江高山の火山噴出物の混入が多くなり、耐火度の低下が予想される。従って、この地域での採掘は都野津層下部を対象とすべきである。

## 1. はじめに

島根県で製造される石州瓦の主要な原材料を胚胎する都野津層は、大田市から山口に至る県西部の海岸から幅約10kmの地域内に海岸線にはほぼ平行に分布する。本層は基盤岩の凹地を埋積し、なだらかな開析平坦面である「都野津面」<sup>1)</sup>を形成している。優良な原材料は、江津市都野津町<sup>2)</sup>や大田市水上町<sup>3), 4)</sup>に分布するが、現在では枯渇傾向にある。一般的に使用が避けられてきた、海成粘土の利用研究<sup>5)~10)</sup>が進められると共に、製造技術の進歩によって、従来低品位とされた資源の活用が推進されるようになってきた。未利用の海成粘土の典型として、温泉津町井田地区の海成粘土層が検討対象<sup>5)~9)</sup>とされてきた。しかし、井田地区の地質に関しては概要的な報告<sup>11)~21)</sup>はあるが、窯業資源的観点と地質学的観点とを併せ持つ報告が少ない。

近年、井田地区の都野津層の層序と海成粘土層の年代学的検討<sup>22)~24)</sup>も進められ、より詳細な資料が蓄積されてきたので、本論ではこの海成粘土層の層序的および窯業資源的観点からの検討を行う。

## 2. 試料および方法

井田周辺の地質状況は過去の文献類を参考とするとともに、新たに地表踏査をおこない、柱状図と地質図の作成をした。各柱状図での代表的な試料については、X線回折、熱分析、電子顕微鏡観察及び硫黄の分析をおこなった。

各分析機器とその測定条件は次のとおりである。

X線回折は理学電気(株)製のRINT2000 X線回折装置で銅を対陰極とし、モノクロメーターで単色化したK $\alpha$ 線を用いた。電圧、電流は30kV、40mAとし走査速度を2°/min.でおこなった。

熱分析はSEIKO Instruments Inc.製のTG/DTA 6300型を使用した。昇温速度は10°C/min.に設定した。

熱膨張分析測定は株式会社島津製作所製熱分析装置TA-50WS型を使用した。試料の長さを20.0mmとして、10.0°C/min.の昇温速度で1000°Cまで加熱した。

電子顕微鏡観察はフィリップス社製のXL-30型電子顕微鏡を用いた。試料はHitachi Science Systems Ltd.製のイオン Sputter E1010型でカーボン蒸着をおこなった。



図1 江津層群及び大江高山火山噴出物の分布

\* 技術部, \*\* 島根大学名誉教授, \*\*\* 島根大学総合理工学部

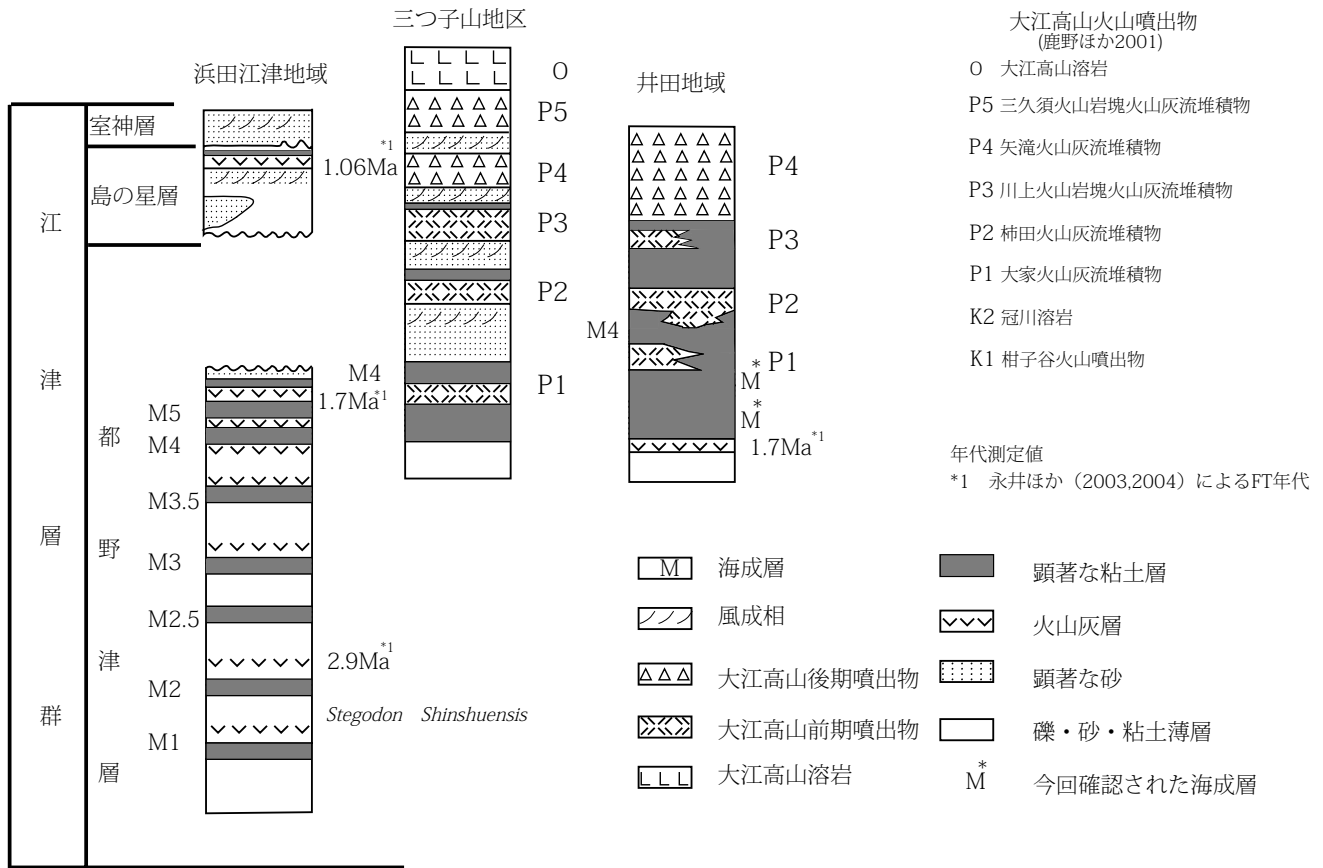


図2 江津層群の層序

硫黄分析は FISIONS 社の EA1108 型 CHNS 同時分析装置を用い、110℃で乾燥させた粉末 10mg を供試料とした。助燃剤としてスズを用い、ヘリウムをキャリアーガスとし、燃焼温度を 1000℃とした。

### 3. 結果

#### 3.1 地質概説

従来、窯業原料として採掘された地層の主な分布地域は、図 1 に示すように、大田市東部、大田市仁万ー浜田間及び益田市周辺の 3 地域である。大田市仁万ー浜田間及び益田市周辺に分布する地層は都野津層と呼ばれ、淡水成層と海成層とからなる。都野津層中には海成層が 4～6 枚存在する<sup>27)</sup>とされている。

一般に、海成層の判断は含有化石によるほか、野外では、「新鮮な面で暗緑色をおび、生痕を多くの場合伴い、風化面でイオウを含む黄色粉を伴う泥」<sup>25)</sup>の存在によって海成堆積物と判断されてきた。しかし、泥質な砂からなる海成層が存在したり、上位の河川成層が海成層を侵食した場合もあり、しばしば同一の海成層の追跡が困難なことがある。そのため、海成層の対比について、意見が異なる場合もある。なお、都野津層の上位には島の星層及び室神山層<sup>25)</sup>が被っている。

他方、大田市東部に分布する地層は水上層とよばれ、淡水成層のみからなる。大田市仁万ー浜田間の都野津層分布

域と大田市東部の水上層分布域は、大江高山火山体によって境されている。大江高山火山噴出物を基準にして、都野津層と水上層は同じ時代に堆積したことが示されている<sup>14)</sup>。

ここでは、都野津層分布の東端<sup>19)</sup>とされている大田市温泉津町井田地区とその周辺の都野津層の層序と海成粘土層について述べる。なお、水上層、都野津層、島の星層及び室神山層をまとめて江津層群とよぶことが提唱されている<sup>26)</sup>。

#### 3.2 井田地区の都野津層

海岸から約 6 km 内陸に入った井田地区周辺では、標高 240～280m に都野津層が分布する。調査地域の基盤は、古第三系のデイサイト溶岩、同凝灰岩、新第三系の頁岩、砂岩、酸性凝灰岩類及びデイサイト溶岩、同凝灰岩で構成されている。

井田地区と隣接する大家及び三つ子山地区における都野津層の層序を図 2 に示し、本層の模式地、都野津での層序と比較した。これら 3 つの地区は大江高山火山西～南麓に位置するため、大江高山火山噴出物が都野津層中に挟まれていたり、都野津層を厚く覆ったりしている。なお、大江高山火山岩類の分類は鹿野らの提唱<sup>29)</sup>するものを用いた。

図 2 にみられるように、両地域の都野津層は、大家火山灰流堆積物 (P1)、柿田火山灰流堆積物 (P2) 及び川上火山岩塊火山灰流堆積物 (P3) を挟み、矢滝火山灰流堆積物 (P4) によって覆われる。これまで、海成粘土層は大家火山灰流堆積物の上位に位置付けられてきた。

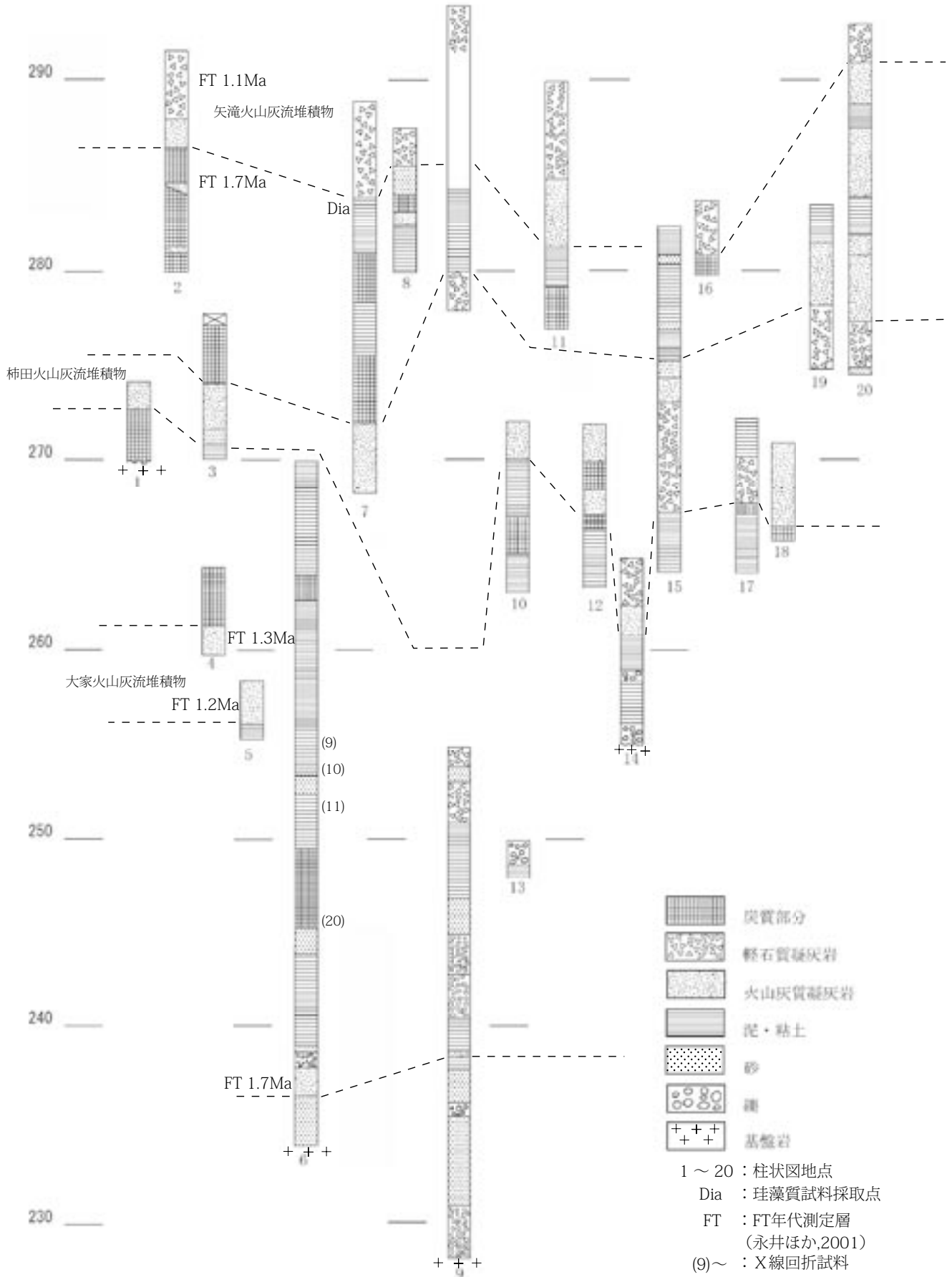


図3 調査地域の柱状図

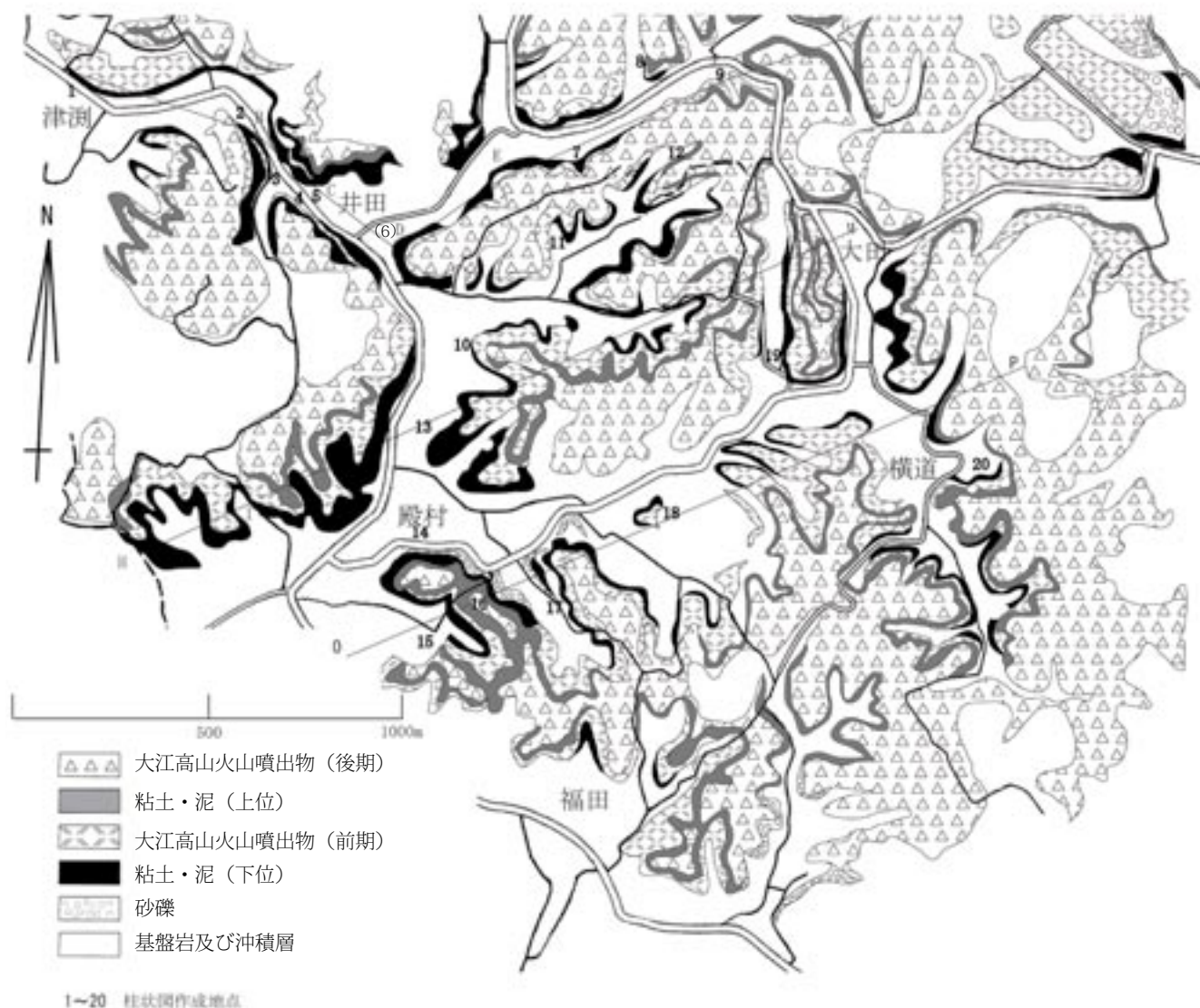


図4 調査地域の地質

井田地区北側の三子山地区では、海成層の上位に砂層が分布し、下部は水中堆積の砂であるが、上部は砂丘砂へと変わり、厚い珪砂鉄床を形成している<sup>30)</sup>。この事実から、井田地区で海成粘土層が堆積していた時代に三つ子山周辺に海岸線が存在していたと判断される。

井田地区東側の大家地区では海成層を欠き大家火山灰流堆積物と柿田火山灰流堆積物とが直接接している。三子山、大家の両地区では、矢滝火山灰流堆積物より上位の三久須火山岩塊火山灰流堆積物や大江高山溶岩流が分布するが、井田地区ではこれらの分布は確認されてない。

井田地区の各露頭等の柱状図、地質図及び断面図を示した図3～図5に基づいて、本地区の都野津層について述べる。なお、地質図においては、大江高山火山噴出物のうち大家火山灰流堆積物、柿田火山灰流堆積物及び川上火山岩塊火山灰流堆積物を前期噴出物、矢滝火山灰流堆積物から上位の噴出物を後期噴出物と2分して表現した。

本地区内の標高300～350mを越える山地は基盤岩で構成されるが、その周辺の標高280～290m付近には後期噴

出物が都野津層を広く被っている。しかし、本地区の後期火山噴出物は厚さを激しく変化させており、ときには欠如する場合もあるが、一般に大江高山火山体に近づくに従って厚くなる。特に本地区東端の大田及び横道では、後期火山噴出物は厚さ50mを越えて標高350mの山頂を形成している。

本地区の都野津層は主に厚いシルトおよび粘土層からなり、砂礫層をあまり伴わないのが特徴である。試錐試料(図3中の6及び9)以外では、顕著な砂礫層は基盤岩近辺で一部が観察されるだけである。なお、従来、これらはシルト～粘土から構成されるが、地層は粘土層と総称されてきたので、本論でも粘土層とよぶ。また、標高約240m付近に0.5～1.5mの厚さで一部粘土化した磨き砂様の中粒～細粒の殆ど火山ガラスで構成される火山灰が確認されたが、従来には記載がないものである。

ONISHI<sup>12)</sup>及び山陰第四紀研究グループ<sup>13)</sup>は、大家火山灰流堆積物の上位の粘土層から *Macoma sp.* *Anadara sp.* の化石産出を記載し、この粘土層が海成粘土層であることを確認

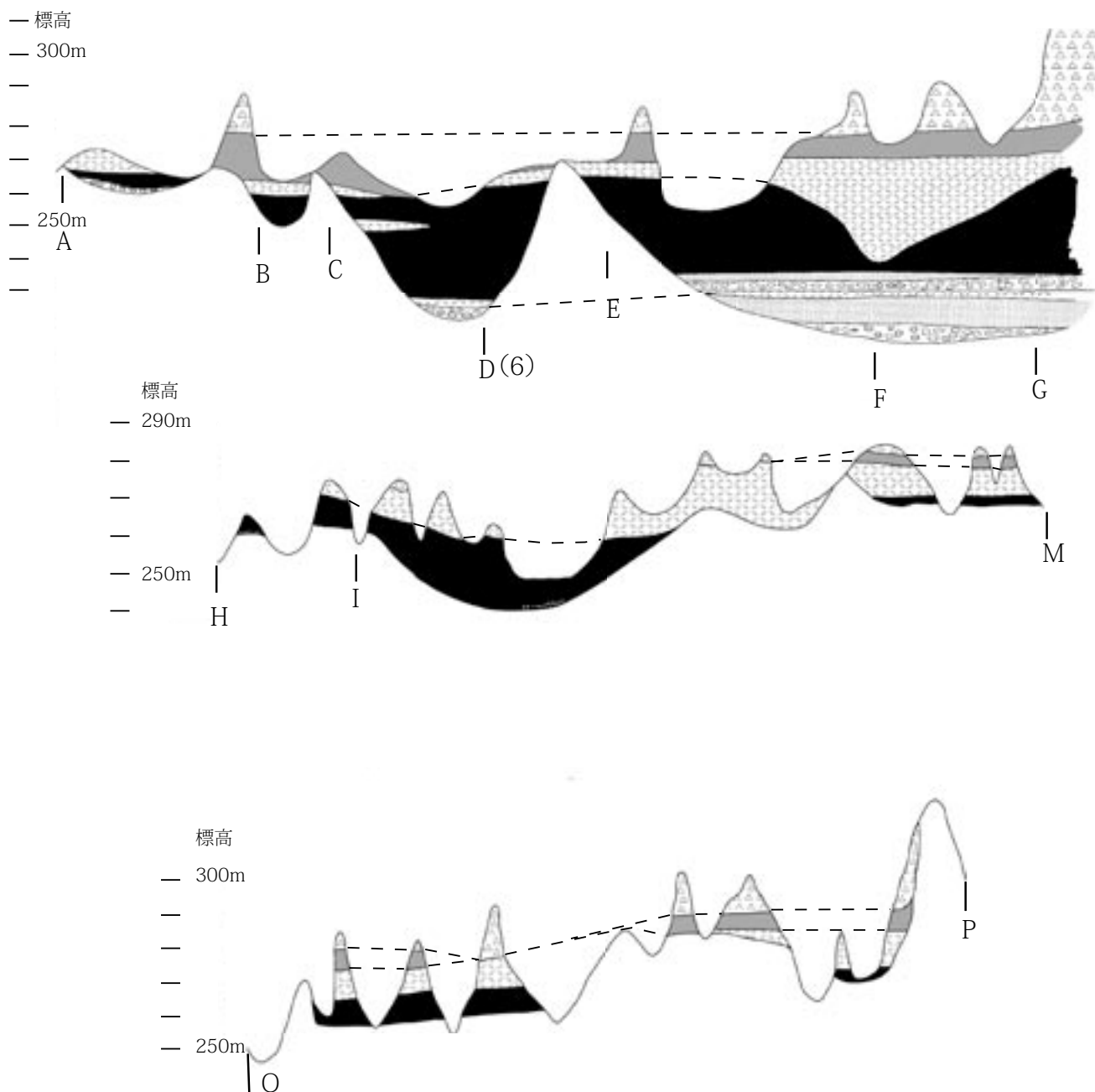


図5 断面図

した。さらに、模式地での第4番目の海成層(M4)と同層準であるとされ<sup>12)</sup>、その後、本地区の海成層は一般的にM4海成層に対比されてきた。

さらに、Okamoto<sup>28)</sup>は本地区の海成粘土層から *Ruditapes sp.* *Scapharca sp.* *Rapana sp.* *Musculista sp.* *Corbicula sp.* などの軟体動物の記載をおこない、これらの粘土が汽水域に堆積したことを示し、M4海成層の時代は前期更新世とした。

これまで模式地のM4海成層に対比された層準は、柱状図1, 3, 4, 5地点の大家火山灰流堆積物の上位に分布する炭質物に富んだ粘土層が相当する。Okamoto<sup>28)</sup>が記載した軟体動物群は柱状図3, 4, 5の大家火山灰流堆積物を挟む標高270~255mの粘土層である。この粘土層は極めて炭質な粘土で構成され、砂分を交える場合もある。井田地区では大家火山灰流堆積物の分布はこれらの地点周辺に限ら

れており、同じ標高である極めて近傍の地点6では観察されない。

柿田火山灰流堆積物は標高約270m前後に分布するが、地点4及び5近傍では、従来その下位に対比されてきたM4層準の粘土層の中に火山灰に富む泥流堆積物として挟まれているのが観察される。

従ってこの地域の海成層であるM4層準を明瞭に区分する必要がある。そこで、代表的な柱状図地点6で、ほぼ1m当たり1個の間隔で採取した試料について、CHNS分析を行った。その結果のうち硫黄の含有量を図6に示す。標高255~265m及び240~245mの各ゾーンは硫黄濃度が海成の徴候<sup>31)</sup>を示す0.3mass%以上で1~2mass%近傍の濃度を示している。

連続性の良い柿田火山灰流堆積物上位の粘土層には明確

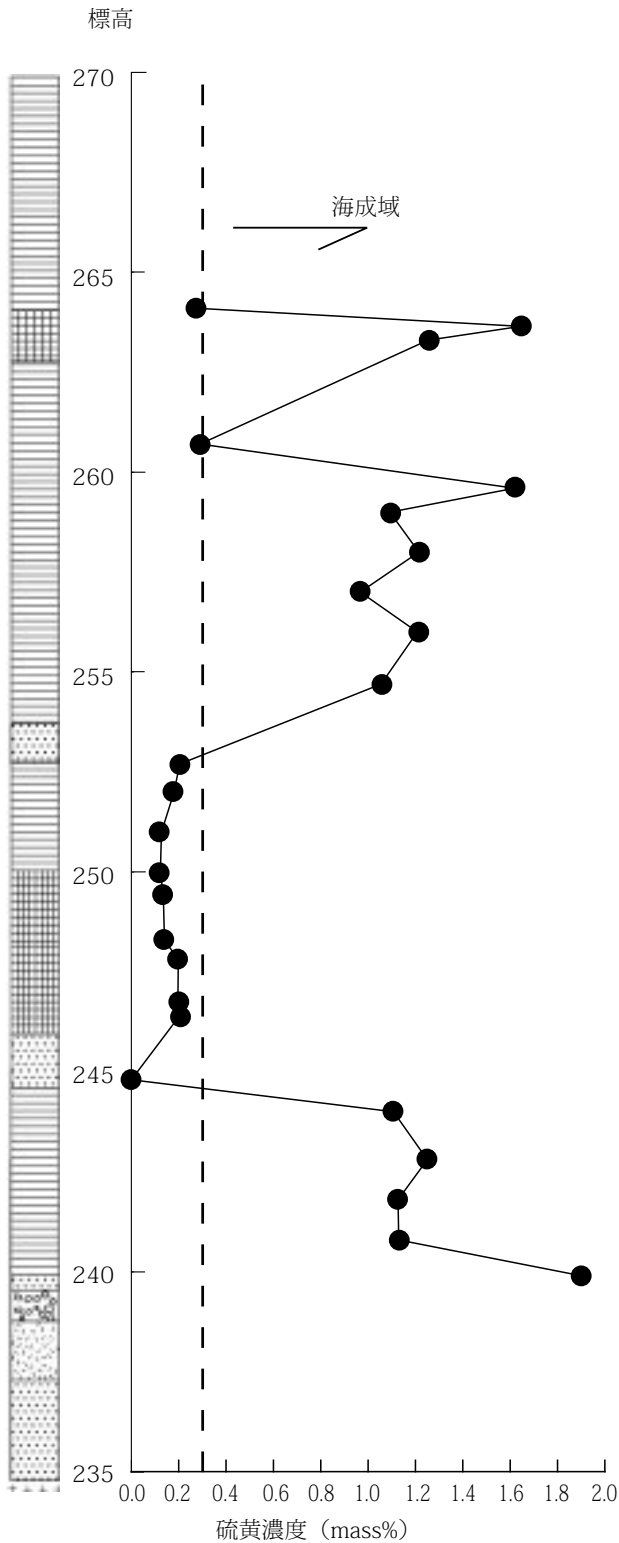


図6 柱状図6の硫黄濃度

な海成層としての徴候が認められず、暗灰色粘土層<sup>14)</sup>、暗灰色粘土層(DC)<sup>16)</sup>及び暗灰色粘土層(PM)<sup>18)</sup>と名称された。また、この層準からは、カラスガイ化石の産出も報告<sup>31)</sup>されている。これらの事実をまとめると、本地区周辺の粘土層においては、柿田火山灰流堆積物の下位の粘土層は海成徴候を示し、その上位の粘土層は海成徴候を示さないと結論される。そこで、前者を下位粘土層、後者を上位粘土層

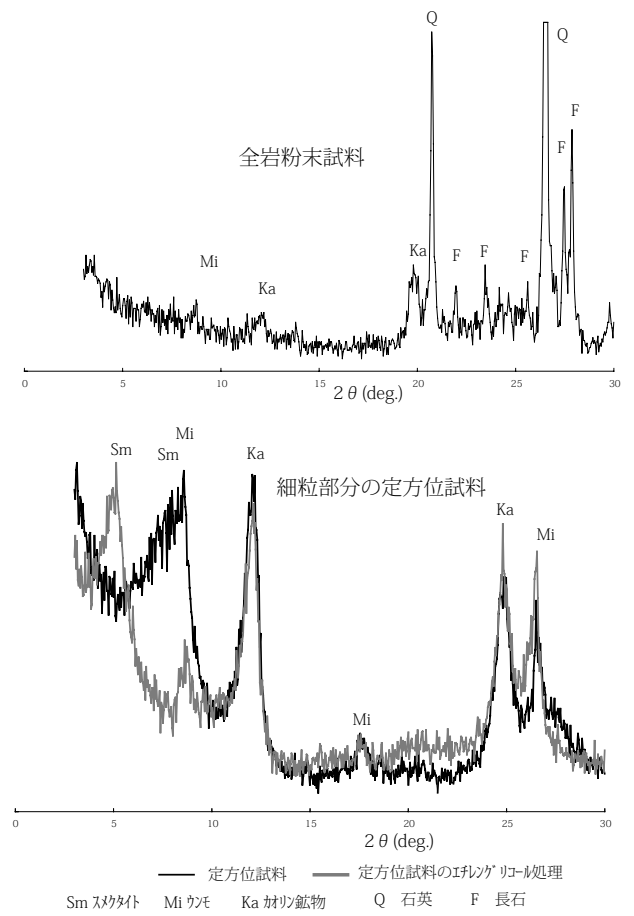


図7 地点6の試料20のX線回折

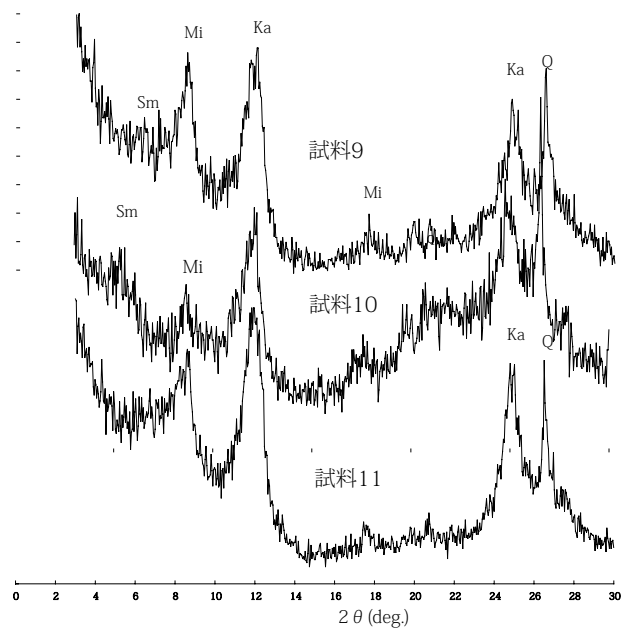


図8 地点6の細粒部分の定方位試料のX線回折

とよぶ。

上位粘土層は、前記の暗灰色粘土層に相当し、比較的連

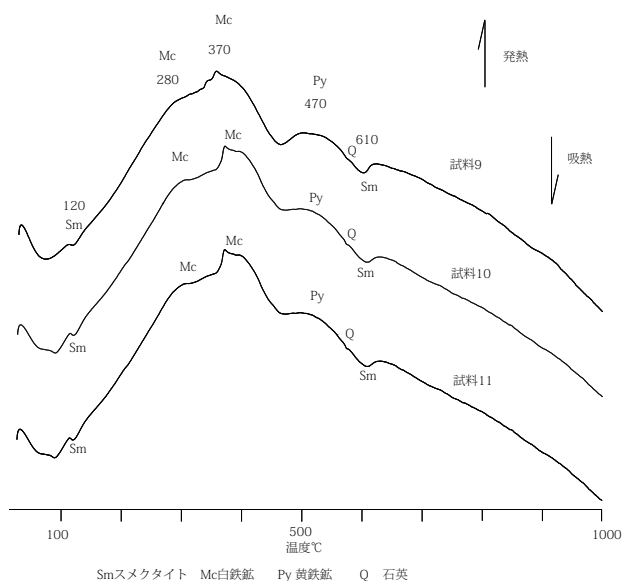


図9 地点6の試料の示差熱分析

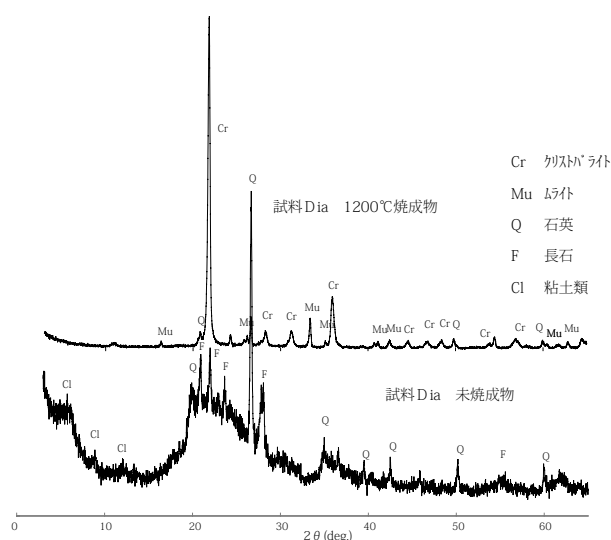
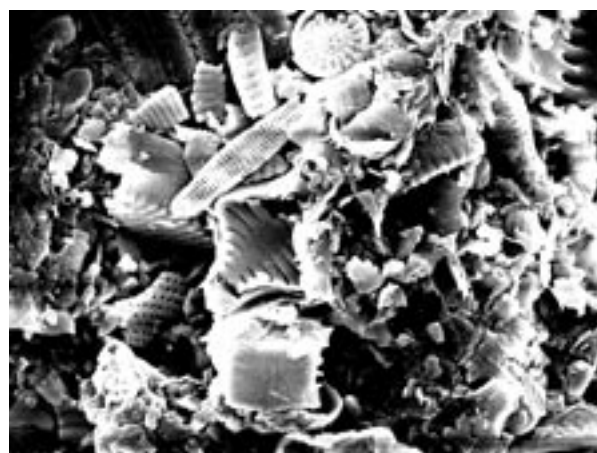


図10 試料DiaのX線回折

続性が良く、調査地域のほぼ全域で標高約280m付近に5～15mの厚さで分布する。横道の地点19及び20での標高280m付近に分布する火山灰質凝灰岩は、層理を示し、淘汰の悪い火山灰質泥流堆積物であり、川上火山岩塊火山灰流堆積物と同一層準となる。従って、上位粘土層は柿田火山灰流堆積物と矢滝火山灰流堆積物とに挟まれ、川上火山岩塊火山灰流堆積物の泥流堆積物を挟むことになる。

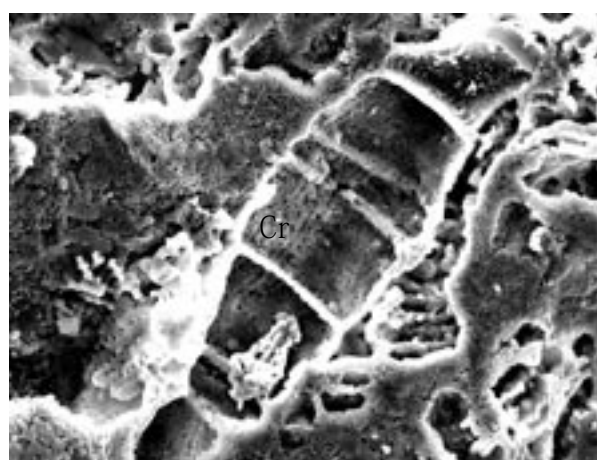
下位粘土層は井田及び殿村地区に厚く、約30mに及ぶ事が試錐によって確認された。下位の・粘土層は断面図に示すように、特に井田～殿村のN-E方向に厚く、殿村-大田方向の基盤岩の高まりに遮られ、N-E方向の凹地に厚く堆積している。また、部分的に基盤岩の高まりがあり、凹地も分断されている。しかし、福田地域では、下位粘土層の発達は悪く、基盤に砂礫層として接したり、欠けたりしている。

標高240m以下には5～10mの厚さで礫層が認められ0.5～1.5mの火山灰層が挟まるが、確認地点は2箇所止



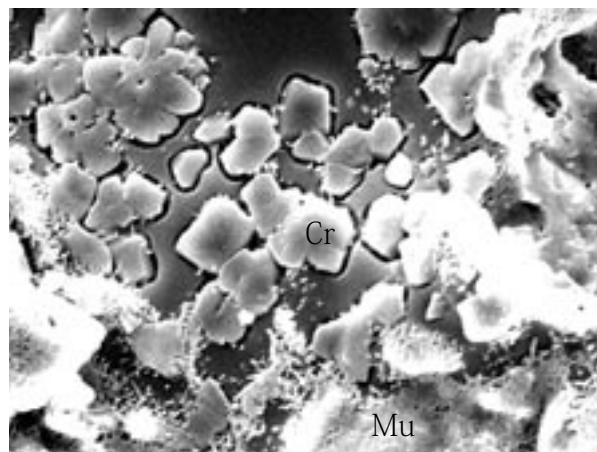
未焼成物

10 μm



1200°C焼成物

10 μm



1200°C焼成物

5 μm

Cr クリストバライト Mu ムライト

図11 試料Diaの電子顕微鏡写真

まる。この火山灰はFT(ジルコンのフィッシュトラック)年代で1.7Maが測定<sup>22), 23)</sup>され、構成鉱物の比較から、模式地である都野津層のM4海成層の上部に挟まれるg-火山灰<sup>20)</sup>に対比<sup>33)</sup>されている。また、地点4及び5の大家火山灰流堆積物については、1.2～1.3MaのFT年代が測定<sup>22), 23)</sup>されている。

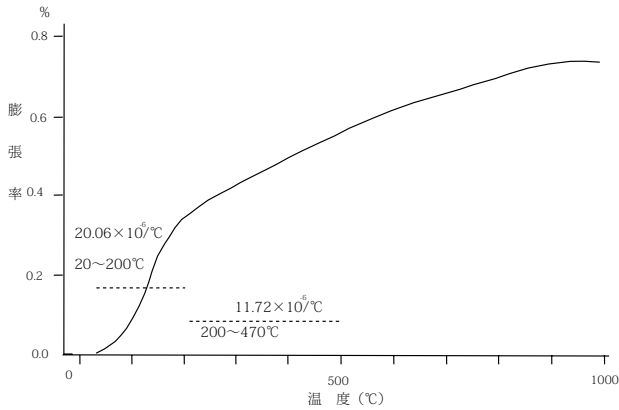


図 12 試料 Dia の 1200°C 焼成物の熱膨張

### 3.3 鉱物組成

X線回折結果を図 7, 8 に示す。図 3 に示す地点 6 の試料 20 の全岩粉末 X線回折では石英、長石が主要鉱物である。細粒部分の粘土鉱物はカオリン鉱物のほかに少量の雲母とスメクタイトを多く含んでいる。地点 6 の試料 9, 10 及び 11 の細粒部の粘土鉱物はカオリン鉱物、雲母のほかにスメクタイトの存在を示しているが、粘土鉱物の大きな存在比の差異は認められない。

図 9 に示す示差熱分析では、スメクタイトの他に硫化鉄である黄鉄鉱と白鉄鉱の存在が鋭敏に示された。

### 3.4 珪藻質土

井田地区の図 3 に示す地点 7 の標高 283m 付近（試料 Dia）には約 1.5m の厚さ、また、地点 6 の標高 260m 付近で厚さ 1.0m で黄色を帯びた軽質なシルトが分布する。試料 Dia の X線回折と電子顕微鏡による観察結果を図 10, 11 に示す。X線回折結果から石英、長石及び粘土鉱物のほかに非晶質物質を示すピークが認められる。また、電子顕微鏡観察結果から、珪藻が非常に多く集まっていることが観察される。珪藻は非晶質な珪酸で骨格が形成されていることから、焼成によってクリストバライトが容易に形成されることが知られている<sup>34)</sup>。このため、この試料を 1200°C で焼成した。また、焼成物の熱膨張変化の測定例を図 12 に示す。焼成物には X線回折から顕著なクリストバライトとムライトのピークが認めらる。電子顕微鏡では、珪藻は本来の形態を残して、鱗状のクリストバライトと針状のムライトが形成されていた。1200°C で焼成した試料の熱膨張は、常温～200°C で  $20.0 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  を示し、これより高温での 200～1000°C での熱膨張率  $11.7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  の約 2 倍を示しクリストバライトの影響を強く示していた。

## 4. 考 察

従来この地域の粘土層は大家火山灰流堆積物の上位部分が海成層であり、模式地の M4 層に対比されていた。しかし、Okamoto の軟体動物化石の産出報告や、下位粘土層下部の火山灰の年代測定結果、鉱物比較、及び今回の硫黄分析果から次のような層序的考察ができる。

1. 模式地都野津での都野津層最上部の M4 層中の g - 火山灰は、鉱物組成比較と年代測定結果から下位粘土層下部の火山灰層と同一である。
2. この火山灰層の上位には硫黄分析結果から少なくとも 2 回の海成粘土が堆積した時期があり、従来認識されていた M4 海成層の上位に当たる。
3. 大家火山灰流堆積物上位の従来 M4 層とされた海成層を含めると当地域には 3 層準の海成粘土が堆積している。

従って、模式地都野津の M4 海成層は、井田地区では標高 240m 付近の粘土層が相当し、従来の大家火山灰流堆積物直上の粘土層はこの層準よりも上位に位置する。

4. 露頭観察結果から、0.5～1.5m の厚さで珪藻が堆積した時期が少なくとも 2 回存在した。

以上のことから、窯業資源としてこの地域の粘土層を開発利用するに当たっては次の点を考慮する必要がある。

1. この地域では、井田～殿村の N-E 方向の凹地に粘土層が厚く分布し、標高 240m 付近を基底とするが、基盤岩の凹凸が激しく、また、東方の大田～横道では基盤面の上昇があり、連続性の確認をする。
2. 現在、硫黄成分の多い海成層が 3 層確認されており、硫黄分が 1～2 mass% 含まれることもあり、黄鉄鉱や白鉄鉱を形成している。
3. 粘土層の上部には、火山灰流堆積物層を挟み、時には火山灰質泥流が粘土層中に分布し、耐火性や可塑性を低下させる可能性がある。
4. 珪藻に富む層が分布し、焼成すればクリストバライトを形成することから、採掘に当たっては排除する。
5. 柿田火山灰流堆積物より上位の粘土層は非海成層とされている。特に横道～福田地域に発達するが、泥層中に火山灰及び火山岩片が大量に含まれる場合がある。
6. 井田地区全域で粘土層の露頭は道路沿い平坦地に多い。しかし、背後には火山灰流堆積物が厚く被っている場合がほとんどであり、上位の廃土処理計画を十分おこなう。

## 5. まとめ

井田地区の井田～殿村には 30m を越える粘土層が分布しており、大家火山灰流堆積物の上位の泥層が模式地都野津の M4 海成層に対比されていたが、M4 海成層はより下位の海成層に対比され、この地域には少なくとも 3 層準の海成層が分布する。海成層中には 1～2 mass% の硫黄が確認され、黄鉄鉱や白鉄鉱が形成されることから窯業資源として活用するには十分な注意が必要である。

横道～福田には柿田火山灰流堆積物より上位の粘土層が発達するが、火山灰や火山岩片が混入し、窯業原料としては不向きな場合があり、採掘には注意する必要がある。また、



上位及び下位の粘土層中には 1.0～1.5m の厚さの珪藻に富む層が挟まり、焼成すれば著しくクリストバライトを形成することから採掘時に排除すべきである。

## 謝 辞

島根大学の平寛人博士に年代測定の資料提供と有益な助言を頂いた。深く感謝します。

## 文 献

- 1) 大西郁夫, 調枝勝幸. 都野津層群—山陰地方の鮮新・更新統. 第四紀研究. 1970, 9, p. 149-152.
- 2) 島根県立工業技術センター, 石見地方粘土鉱床調査報告書 第2報 浜田—江津地区, 島根県立工業技術センター, 1977, 23p.
- 3) 調枝勝幸. 石見地方の瓦粘土鉱床 第2報 水上粘土の産状と鉱物組成. 島根県工業試験場報告. 1971, no. 7, p. 67-79.
- 4) 島根県立工業技術センター. 石見地方粘土鉱床調査報告書 第3報 大田—邑智地区. 島根県立工業技術センター. 1978, 21p.
- 5) 長野和秀, 瀧山直之, 野田修司, 熊野一裕, 森忠洋. 鉄酸化細菌による海成粘土中のパイライトの除去(第1報)—エアリフト方式による処理—. 島根県産業技術センター研究報告. 1996a, no. 33, p. 8-15.
- 6) 長野和秀, 瀧山直之, 野田修司, 熊野一裕, 森忠洋. 鉄酸化細菌による海成粘土中のパイライトの除去(第2報)—散水方式による処理—. 島根県産業技術センター研究報告. 1996b, no. 33, p. 16-18.
- 7) 長野和秀, 瀧山直之, 野田修司, 熊野一裕, 森忠洋. 酸化細菌による海成粘土中のパイライトの除去(第3報)—屋外野積み方式による処理—. 島根県産業技術センター研究報告. 1996c, no. 33, p. 43-45.
- 8) 長野和秀, 野田修司, 熊野一裕. 鉄酸化細菌による海成粘土中のパイライトの除去(第4報)—処理粘土を使用した瓦の試作—. 島根県産業技術センター研究報告. 1998, no. 35, p. 20-21.
- 9) 原田達也, 若槻和郎, 上野敏之, 長野和秀. 未利用土活用技術の開発—海成粘土の改質と配合. 島根県産業技術センター研究報告. 2003, no. 40, p. 41-46.
- 10) 永島晴夫, 堀江成, 山田陽子, 大津賀望, 林剛. 島根県石見地方に産する低品位粘土原料の性質と合成瓦坯土への利用. 帝京科学大学紀要. 2005, vol. 1, p. 35-46.
- 11) 福岡進. 大江高山火山地域の層序学的・古地磁気学的研究. 地質学雑誌. 1972, vol. 78, p. 381-391.
- 12) ONISHI, I. Pollen flora of the Tsunozu Group in Shimane Prefecture, Japan. Mem.Fac.Sci.Shimane Univ., Nat. Sci., 1969, no. 13, p. 42-62.
- 13) 山陰第四紀研究グループ. 山陰海岸地域の第四系. 地団研専報. 1969, no. 15, p. 354-376.
- 14) 都野津団体研究グループ. 島根県大田市大家付近の都野津層群. 三位秀夫先生遺稿論文選集. 1972, p. 17-23.
- 15) 大西郁夫. 出雲海岸平野の第四系. 島根大学理学部紀要. 1979, no. 13, p. 131-144.
- 16) 都野津団体研究グループ. 島根県中部の都野津層と大江高山火山群. 地団研専報. 1983, no. 25, p. 151-160.
- 17) 大西郁夫. “鮮新—更新統”. 日本の地質 7, 中国地方. 日本の地質「中国地方」編集委員会編. 共立出版株式会社, 東京, 1987, p. 133-135.
- 18) 宇野泰光. 島根県大田市祖式—大家地域の都野津層群 特に大江高山火砕岩について—都野津層群の研究(その2). 地質学雑誌. 1979, vol. 85, p. 239-257.
- 19) 大西郁夫. 中国地方の第四紀層. 地質学論集. 1988, no. 30, p. 127-144.
- 20) 山内靖喜, 水野篤行, 井上多津男, 永島晴夫. 都野津層と大江高山火山噴出物. 日本地質学会第107年学術大会見学旅行案内書. 2000a, p. 70-79.
- 21) 宇野泰光. 島根県江津—温泉津地域の鮮新—更新世都野津層群の岩相層序と岩相分布. 地質学雑誌. 1994, vol. 100, p. 815-827.
- 22) 永井淳也, 山内靖喜, 大平寛人, 永島晴夫. 江津群・島の星層のFT(フィッション・トラック)年代. 島根大学地球資源環境学科研究報告. 2003, 22, p. 67-74.
- 23) 永井淳也, 山内靖喜, 大平寛人, 永島晴夫. 山陰地域に分布する鮮新—更新統江津層群のFT年代測定. フィッション・トラックニュースレター. 2004, no. 17, p. 17-23.
- 24) Kimura, J., Kunikiyo, T., Osaka, I., Nagao, T., Yamauchi, S., Kakubuchi, S., Okada, S., Fujibayashi, N., Okada, R., Murakami, H., Kusano, T., Umeda, K., Hayashi, S., Ishimaru, T., Ninomiya, A. and Tanase, A. Late Cenozoic volcanic activity in the Chugoku area, southwest Japan arc during back-arc basin opening and reinitiation of subduction. The Island Arc. 2003, 12, p. 22-45.
- 25) 水野篤行, 北尾秀夫, 増田哲史. 山陰地域の鮮新—更新世都野津層群: 模式地周辺における層位的・堆積学的新知見と今後の課題. 山陰地域研究(自然環境). 1994b, no. 10, p. 35-51.
- 26) 水野篤行. 山陰地域の鮮新—更新統(都野津層について). 「第四紀層序と古環境」—大西郁夫氏追悼シンポジウム— 1996a, p. 42-43.
- 27) 水野篤行. 島根県江津市都野津層の露頭. 島根大学地球資源環境学研究報告. 1996b, no. 15, p. 75-78.
- 28) Kazuo Okamoto. EARLY PLEISTOCENE MOLLUSCA FROM THE WEST SAN-IN AEWAS AND JAPAN SEA OFF THE AREA IN SOUTHWEST JAPAN. SIXTH INTERNATIONAL CONGRESS ON PACIFIC NEOGENE STRATIGRAPHY AND IGCP-355. 1998, p. 67-79.

- 29) 鹿野和彦, 宝田晋治, 牧本 博, 土谷信之, 豊 遥秋. 温泉津及び江津地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 2001, 129 p.
- 30) 井上秀雄, 植田芳郎, 寺島滋. 島根県邇摩郡温泉津町三子山周辺の珪砂鉱床. 地質調査所月報. 1977, 28, p. 445-459.
- 31) ROBERT A. BERNER. Sedimentary pyrite formation; An update. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1984, Vol. 48, p. 605-615.
- 32) 松岡敬二. 島根県温泉津町の都野津層からのカラスガイ化石. 豊橋市自然史博物館研究報告. 2002, no. 12, p. 37-39.
- 33) 立石良, 沢田順弘, 永井淳也, 酒井哲也. 島根県, 鮮新-更新統江津層群に挟在するテフラの火山ガラスと鉱物の化学組成. 第四紀研究. 2007, 46, p. 47-61.
- 34) 吉木文平. "一成分系1. シリカ". 鉱物工学. 第5版, 株式会社技報堂, 1968, p. 120-165.