

論文

## 音波データ解析による中海湖底下の大根島火山の広がり と 三次元可視化

吹田 歩\*・徳岡 隆夫\*\*・上野 博芳\*\*\*

### Analysis of echo sounding data in Lake Nakaumi area for reconstructing subaqueous extension of the Daikonjima Volcano and its 3 D visualization

Ayumi Fukita\*, Takao Tokuoka\*\* and Hiroyoshi Ueno\*\*\*

#### Abstract

The subsurface distribution of the Daikonjima basalt in Lake Nakaumi was examined by a series of echo sounding data from SH-10, SH-20, Chirp Sonar and Bubble Pulser, most of which have been obtained by the efforts of Shimane University members. The Daikonjima volcano is now recognized by drilling data as a subaerially erupted volcano around 200 ky in age, the thickness of which extends to 60 meters below sea level. On the basis of analysing echo sounding and drilling data, the Daikonjima Volcano in Lake Nakaumi is successfully reconstructed, and 3 D contour and 3 D polygon maps are developed. It is apparent that the Daikonjima Volcano extends further under Lake Nakaumi than previously envisaged.

**Key words :** Daikonjima Basalt, Quaternary volcano, Echo Sounding Survey, 3 D Visualization

#### I はじめに

中海に浮かぶ大根島(図1)は富田・酒井(1938)により第四紀洪積世の火山と考えられたが、西山・三浦(1963)により新第三紀松江層中のものであるとの考えが広く知られるようになった。その後、大根島研究グループ(1975)が第四紀の火山であると主張し、渡辺(1988)、大西(1990)により形

成時代についての討論がなされた。最近になって Morris et al. (1999)は大根島玄武岩の K-Ar 年代が約 20 万年前であることを報告し、年代論については終止符が打たれた。大根島は陸上に噴出した火山で、玄武岩からなり、粘性が低いために非常にゆるやかな勾配(1~3°)をして中海湖底下にまで広がっている。大根島の中心である大塚山はやや急な勾配をしているが、これはスコリア丘である。またいくつかの場所で凸状の地形がみられるが、これらは派生した噴出口と考えられている。

中海湖底下の地質については島根大学から出版された「中海宍道湖-地形・底質・自然史-アトラス」(三梨・徳岡編, 1988)と「中海北部(本庄工区)アトラス」(徳岡・高安編, 1992)で報告され、大根島玄武岩は中海北部ではその中央付近までは完新統中海層の下に広がっていることが明らかにされていた。しかしながら、これらの報告では完新統についての解析が主であったために、大根島玄武岩の広がりについての全体的な検討はなされていなかった。

1998 年に中国電力によって宍道断層付近で行われたボーリング調査(中国電力, 1998)で大根島玄武岩が発見されたのを機に、大根島玄武岩の湖底下の分布の再検討が行なわれた。既存の音波探査データ(SH-10 およびユニブーム)の再検討、1998 年度のチャープソナーおよび 2000 年度に SH-20 およびバブルパルサーによる調査について、2000 年度島根大学総合理工学部地球資源環境学科の卒業研究として、SH-20 による補足調査結果を含めて、吹田がデータの解析を行った。これらのデータから大根島玄武岩の広がりを明らかにした。また、大根島玄武岩表面の分布形態をコンピュータグラ



図1 調査位置

\* 徳岡汽水環境研究所(平成12年度島根大学総合理工学部地球資源環境学科卒業)

\*\* 島根大学名誉教授, 徳岡汽水環境研究所

\*\*\* 北陸先端科学技術大学院大学情報科学専攻博士課程

— 大根島玄武岩の分布範囲 (数字は末端部での深度, m)

- NB1~19 (NB5, 6, 7, 11, 12, 17を除く), 1960年代地質調査所ボーリング
- ▲ 渡辺 (1988) によるボーリング資料
- 中国電力によるボーリング資料

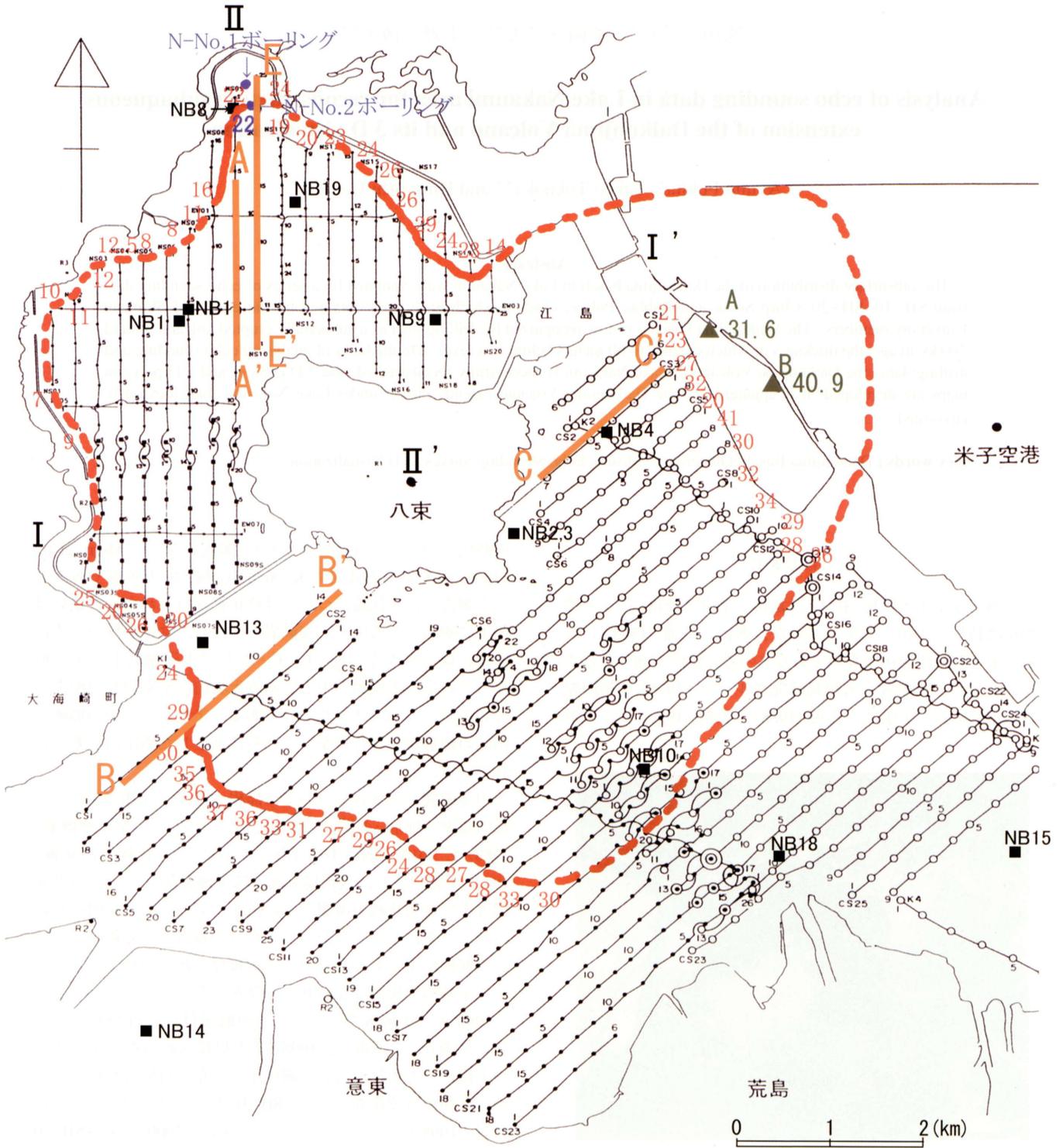


図2 中海の音響探査測線およびボーリング位置

大根島-江島より南側は中海・宍道湖アトラス (1988), 大根島より北側は中海北部 (本庄工区) アトラス (1992) の測線; E-E': 中海北部 (本庄工区) アトラス (1992) のユニブーム, および 2000 年度の SH-20 とバブルパルサーの測線; A-A': 1998 年のチャープソナー測線; B-B' および C-C': 2000 年度の SH-20 測線.

フィックスにより三次元画像として表すことを試みた。さらに、大根島・江島では大根島玄武岩は大山・三瓶山の火山灰層に覆われていて、火山体そのものの形が明らかでないことから、火山灰層の分布を1つの地形断面でコーン貫入試験機を使用して調査した。これらの結果について述べる。

2000年度のSH-20による音波探査では井上卓彦氏(現愛媛大学大学院)にご協力をいただき、舟の利用について本庄町の三代祐司氏に便宜を図っていただいた。また島根大学汽水域研究センター江島分室の松本雅夫氏には音波探査にご協力いただいた。1998年度のチャープソナーと2000年度のパブルパルサーによる調査は、それぞれ地質調査所(代表 西村清和氏)と愛媛大学(代表 井内美郎教授)との共同研究である。江島砕石場の火山灰分析では佐治一郎氏(現島根大学大学院)にご協力をいただいた。コーン貫入試験機については(株)大田技術コンサルタントの月森勝博氏に便宜を図っていただくとともに、操作法を教えていただいた。これらの各位に御礼申し上げます。

## II 大根島および中海湖底下の地質概説

大根島は約20万年前に起こった火山噴火で形成された玄武岩台地である。粘性が低く、火山体の表面は非常に緩やかな地形をなしていて中海湖底下まで広く拡がっている。大根島中心部の標高42.2mの大塚山はスコリア丘であり、その北と南の斜面の平均傾斜は約18°である。中海湖底下では大根島玄武岩の下位には新第三系が分布している。基盤岩類および江島架橋下では更新統の分布が知られている。大根島玄武岩は一部の地域で主として火山灰層からなる安来層によって覆われていて、これらは広い地域で縄文海進による堆積層である中海層によって覆われている。その厚さは厚いところでは20mに達する。

## III 音波探査からみた中海湖底下の大根島玄武岩の分布

### 1. 既報告データについての検討

#### (1-1) 中海・宍道湖一地形・底質・自然史—アトラス(1988)

中海北部を除く水域のユニブームによる調査が行われた。その測線を図2に示す。記録を示していないが、音響散乱層の部分を除いて、大根島玄武岩の分布範囲ではその表面は明瞭に捉えられている。これらの原記録にもとづいて、それぞれの測線上で大根島玄武岩がどこまで分布しているかについて吟味した。大根島玄武岩の分布の末端の深度を図2に示す。

#### (1-2) 中海北部(本庄工区)アトラス(1992)

中海北部(本庄工区)のSH-10およびユニブームによる調査が行われた。その測線を図2に示す。代表的な記録として

E-E'のユニブームを図3に示す。音響層序として上位から中海層、安来層、大根島玄武岩が識別できる。なお、ここでは記録を示していないがSH-10では大根島玄武岩の表面はより明瞭に捉えられている。これらの原記録にもとづいて、それぞれの測線上で大根島玄武岩がどこまで分布しているかについて吟味した。大根島玄武岩の分布の末端の深度を図2に示す。

### 2. 新たに得られたデータについての検討\*

#### (2-1) チャープソナーによる調査

地質調査所海洋地質部との共同によってチャープソナー(SB-216S, エジテック社)を使用し、1998年10月に調査が大根島北から北部承水路、大海崎堤から飯梨川河口までの測線で行なわれた。測線を図2に示す。

図2のA-A'測線の記録を図4に示す。この記録では大根島玄武岩の表面での反射が鮮明にとらえられている。

#### (2-2) SH-20による調査

底質探査機SH-20による調査を2000年4月から8月にかけて行なった。測線を図2に示す。代表的な本庄工区側の測線E-E'(1992年度のユニブームと同じ)の記録を図3に示す。また、B-B'とC-C'の記録を図4に示す。大根島玄武岩の表面は深度が深くなるとやや不鮮明になるが、反射面はシャープで細かい不規則な模様を示すのが特徴である。

#### (2-3) バブルパルサーによる調査

愛媛大学との共同によってバブルパルサー地層探査システム(SPR-1200型, データソニック社, 愛媛大学所有)を使用して、2000年7月1日に調査を行った。代表的な本庄工区側の測線(1992年度のユニブームと同じ)の記録を図3に示す。機械的なノイズと考えられる平行な縞模様が入ってしまい、記録が読みづらいが、中海層、安来層、大根島玄武岩および新第三紀層が識別できる。

### 3. 中海北部の宍道断層を横切る測線の記録についての検討

中海北部の北部承水路堤の南側には、地形的に明瞭な宍道断層が東西方向につらなり、中海湖底下にも伏在していることが明らかである。宍道断層を横切る測線の音響記録は測線E-E'について2000年度に行ったSH-20およびバブルパルサー、1992年に行ったユニブームが図3に示されている。図5はこれらの解釈図である。また、図6は1998年にこれらとほぼ同じ測線上を走って得られたチャープソナーによる記録とその解釈図である。

大根島玄武岩は宍道断層より南には分布するが、これより以北には分布しない。これは後述する中国電力(1998)によるボーリング結果とも一致している。また、宍道断層の南北両側では地層の連続性が断たれていること、およびチャープソナーの記録でみられるようにその部分で“白くヌケル”ことから、断層の存在は音響的にも明らかである。

## IV ボーリング資料からみた中海湖底下の大根島玄武岩の分布

### —音波探査データとの比較—

中海・宍道湖アトラス(1988)に収録されている1960年代地質調査所によるボーリング資料17地点、渡辺(1988)によ

\* チャープソナー、SH-20、バブルパルサーによる調査は大根島玄武岩の分布範囲をより明確にするために、図2に示していない測線でも調査を行った。それらは、本庄工区側では大根島北(寺津付近)―北部承水路、E-W方向に約1km間隔で3測線、中海南部では大海崎堤防―飯梨川河口、中浦水門からSE方向、の各測線である。

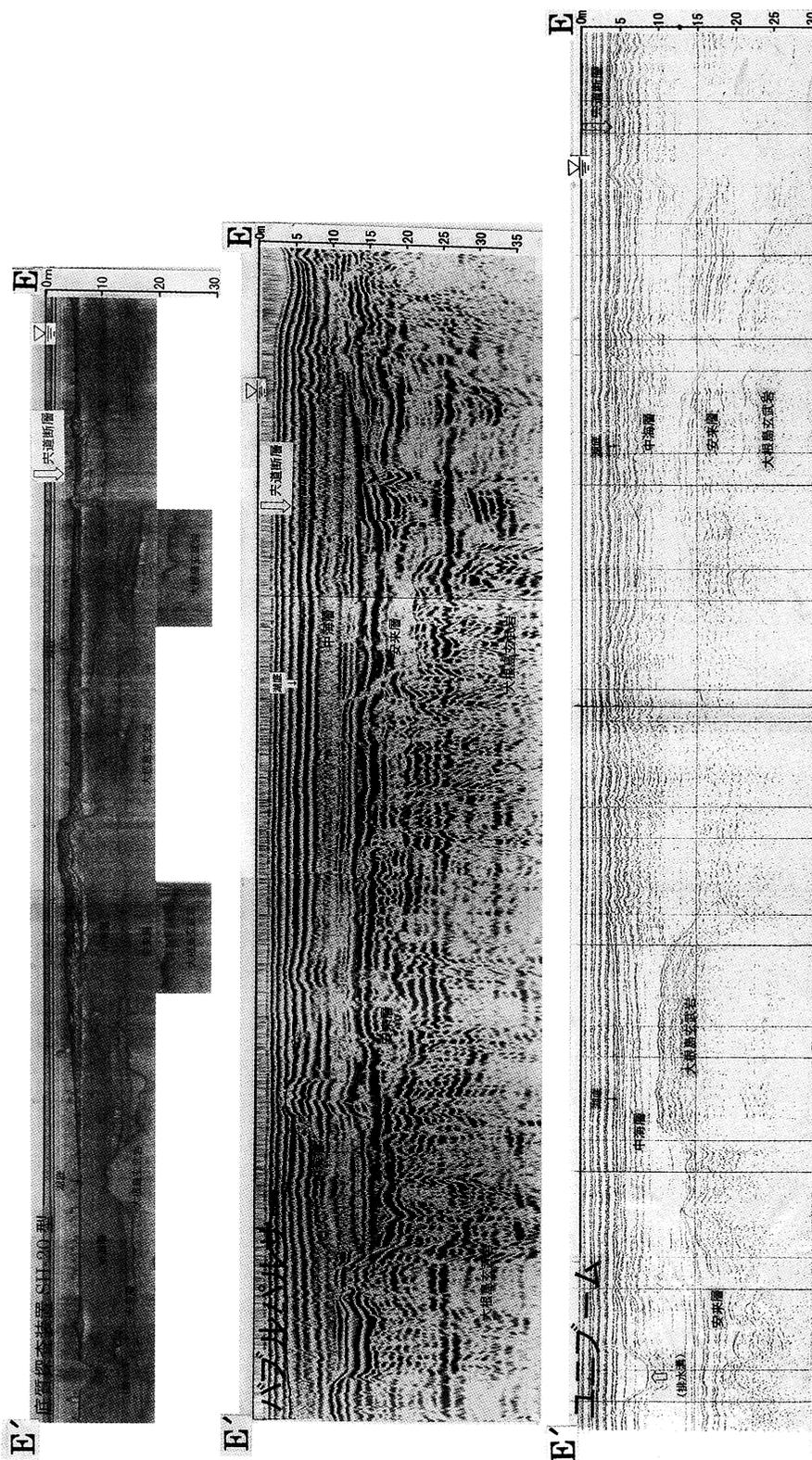


図3 SH-20, バブルバルサラー, ユニブームの音波探査記録 (ユニブームは1992年, 他の2つは2000年で, いずれも図2の測線E-E'の範囲の記録)

る2地点, および中国電力(1998)による2地点のボーリング資料から大根島玄武岩の分布を検討した。これらのボーリング地点は図2に示されている。これらのボーリング資料と前述の音波探査記録とを比較して, 大根島玄武岩の分布について検討した結果を以下に述べる。

1. 1960年代地質調査所によるボーリング資料(アトラスには湖底からの深度が示されているが, 以下では水面からの深度として示す。)

NB1: 深度14mまでで, 大根島玄武岩に到達していない。音響記録では大根島玄武岩は約17mの深さに存在

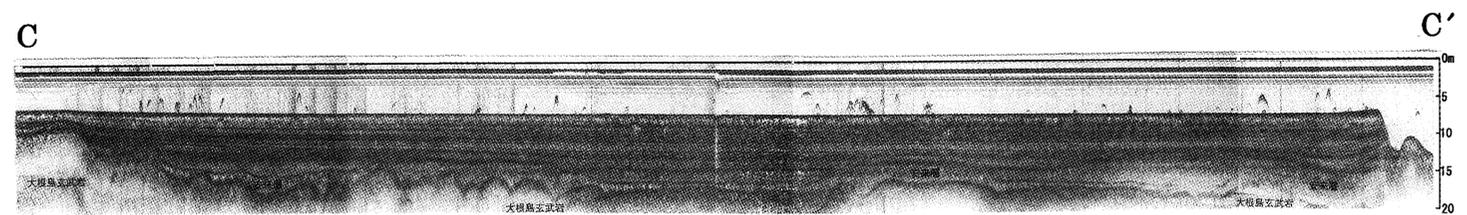
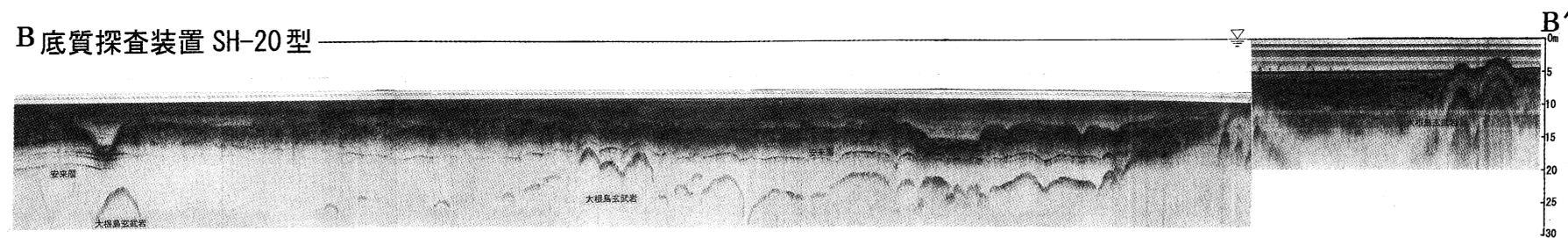
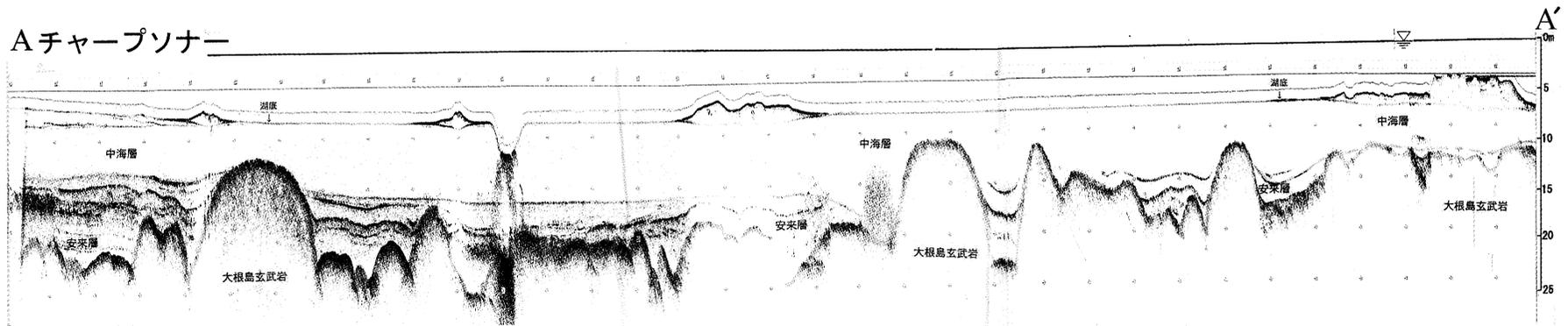


図4 チャープソナーおよびSH-20の音波探査記録（チャープソナーは1998年の中海北部，SH-20は2000年の大根島-江島の南のENE-WSW方向の記録，測線は図2を参照）

吹田 崇・徳岡 隆夫・上野 博芳

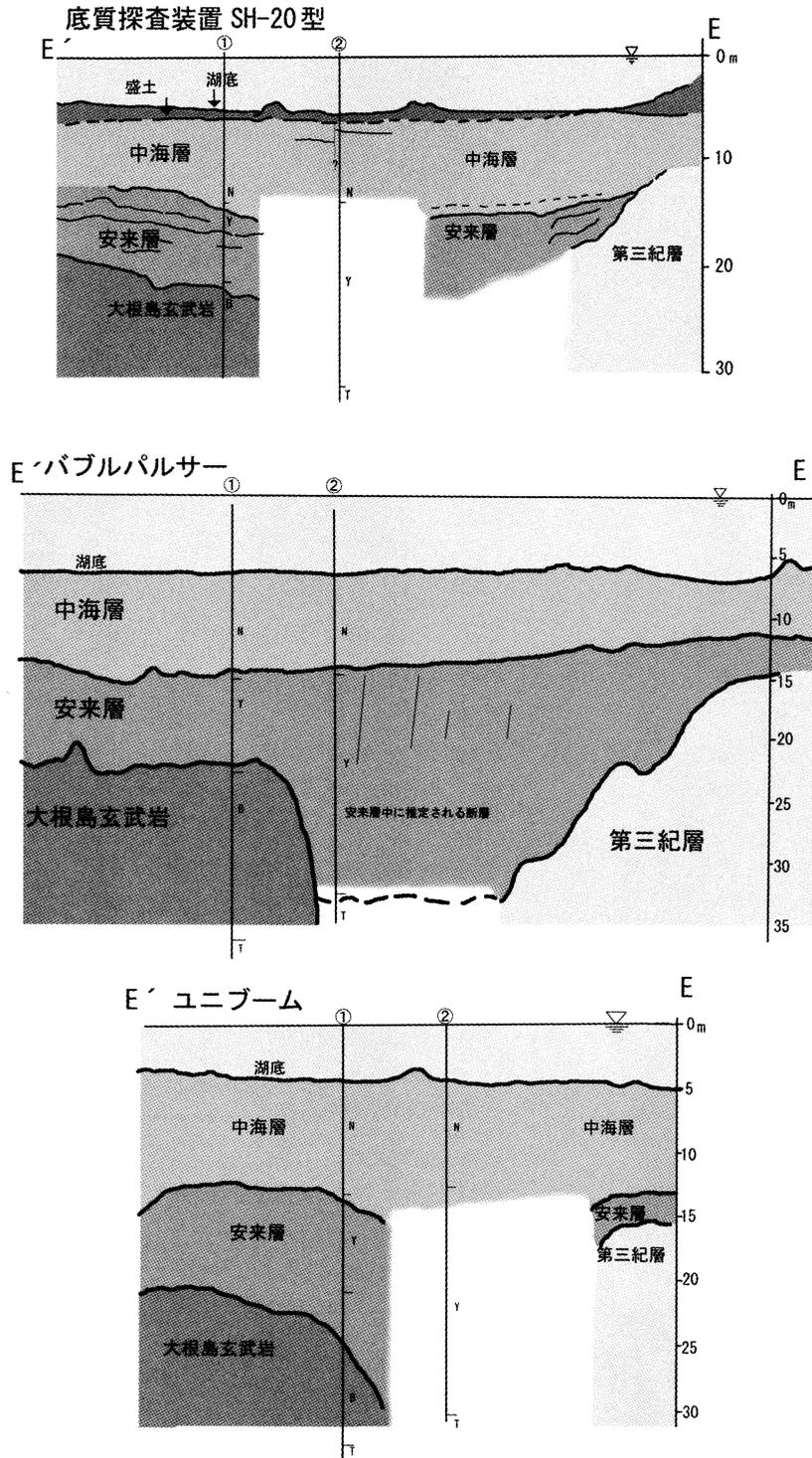


図5 突道断層付近の音波探査記録の解析

する。

NB 2・3：湖底から 11 m の深度で大根島玄武岩に達している。音響記録では大根島玄武岩は約 11 m の深さに存在する。

NB 4：深度 10.8 m までで、大根島玄武岩に到達していない。音響記録では大根島玄武岩は約 28 m の深さに

存在する。

NB 5・6：深度 9 m までで、大根島玄武岩は確認されていない。音波探査では大根島玄武岩は認められない。

NB 8：安来層の下位には第三紀層が直接接している。従って、ここでは大根島玄武岩は存在しない。音響記録でも大根島玄武岩は存在しない。

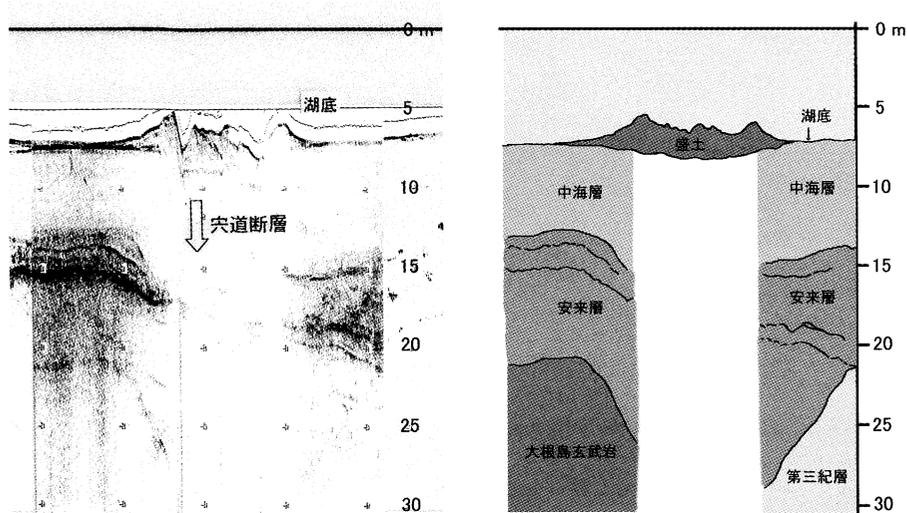


図6 チャープソナーによる穴道断層を横切る音響記録

- NB 9：安来層の下位に「basements」と記述されているが、深さが示されておらず、大根島玄武岩が存在するかどうかは不明である。音響記録では大根島玄武岩は約 10 m の深さに存在する。
- NB 10：深度 19 m までで、大根島玄武岩に到達していない。音響記録では大根島玄武岩は約 29 m の深さに存在する。
- NB 12：安来層の下位には弓ヶ浜層が直接接している。従って、ここでは大根島玄武岩は存在しない。ここでの音響記録はない。
- NB 13：深度 23 m までで、大根島玄武岩に到達していない。他の音響記録より大根島玄武岩は存在すると予測されるが、ここでの音響記録はない。
- NB 14：安来層の下位には弓ヶ浜層が直接接している。従って、ここでは大根島玄武岩は存在しない。ここでの音響記録はない。
- NB 15：「基盤の砂岩と思われる」層が記載されている。従ってここには大根島玄武岩はないと推定される。音響記録でも大根島玄武岩は存在しない。
- NB 16：22.3 m の深さで大根島玄武岩に到達している。ユニブーム記録では測線 NS 07 の 5～6 地点で深度 16.8 m、測線 EW 03 の 8 地点で深度 16.7 m に大根島玄武岩と判断される反射面が認められる。また、SH-20 の記録では深度 16.5 m で同様の反射面が認められる。\*
- NB 17：安来層の下位には「頁岩様割れ目」をもつと記載されている弓ヶ浜層が直接接している。従って、ここでは大根島玄武岩は存在しないと判断される。ここでの音響記録はない。
- NB 18：深度 39.3 m で硬い細粒砂岩が確認されているので、大根島玄武岩は存在しない。散乱層のため音響記録は読み取れない。
- NB 19：深度 20 m までで、大根島玄武岩に到達していな

い。ユニブームの記録では大根島玄武岩は深度約 24 m に存在する。

## 2. 渡辺 (1988) によるボーリング資料

弓ヶ浜干拓堤防の 2 地点 (A, B) でのボーリング結果が示されている。これらによって大根島玄武岩の深度を図 2 に示した。なお、この地点付近の音探記録はない。

## 3. 中国電力 (1998) によるボーリング資料

ボーリング地点 (No.1 及び 2) を図 2 に示した。No.2 では深度 21.6 m で大根島玄武岩に到達している。バブルバルサの記録では E-E' 測線の 16-17 地点で大根島玄武岩と判断される反射が深度 22 m に存在するので、ボーリング結果とよく一致している。いっぽう、No.1 では玄武岩は存在しないことが確認されている。音波探査記録においても No.2 地点で認められる玄武岩と判断される反射面は穴道断層以北には延長しないことが明らかである。

以上の資料から大根島の地質断面を図 7, 8 に示す。

## V 大根島玄武岩を覆う火山灰層

大根島玄武岩は陸上では厚さ数 m までの大山および三瓶山起源の火山灰層によって覆われていることが知られている (大西, 1992 など)。このため陸上でみる大根島火山の地形は細かな凹凸が全体として隠されてしまっている。いっぽう、

\* 「中海・穴道湖-地形・底質・自然史アトラス」では 1960 年代地質調査所による調査資料は水野によってまとめられていて、NB 16 のコアについては大根島玄武岩の上に厚さ約 4 m の貝殻片を含む地層 (弓ヶ浜層とされている) があり、その上位に安来層が重なると記載されている (このような層序関係が示されているのはこの地点のみである)。上記アトラスによる音響層序では大根島玄武岩は安来層の下位、弓ヶ浜層の上位としているので、この記載とは明らかに矛盾することになるが、ここでは上記アトラス (および「中海北部本庄工区アトラス」) に従って玄武岩層より上位で、中海層より下位の堆積物は安来層、大根島玄武岩より下位の地層は弓ヶ浜層として扱っておくことにする。この問題については本誌の徳岡、および中村ほかの論文を参照されたい。

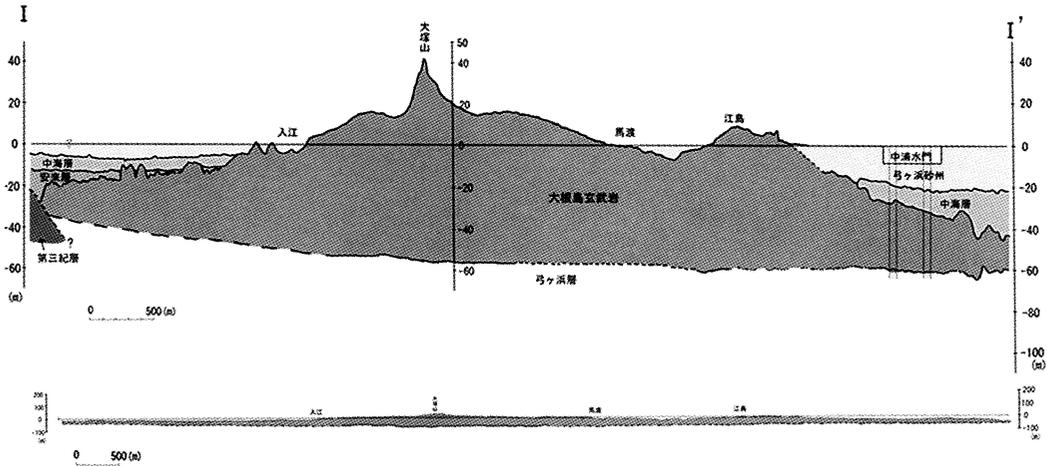


図7 中海—大根島—江島断面  
(江島架橋下については国土交通省境港湾空港工事事務所未公表資料による)

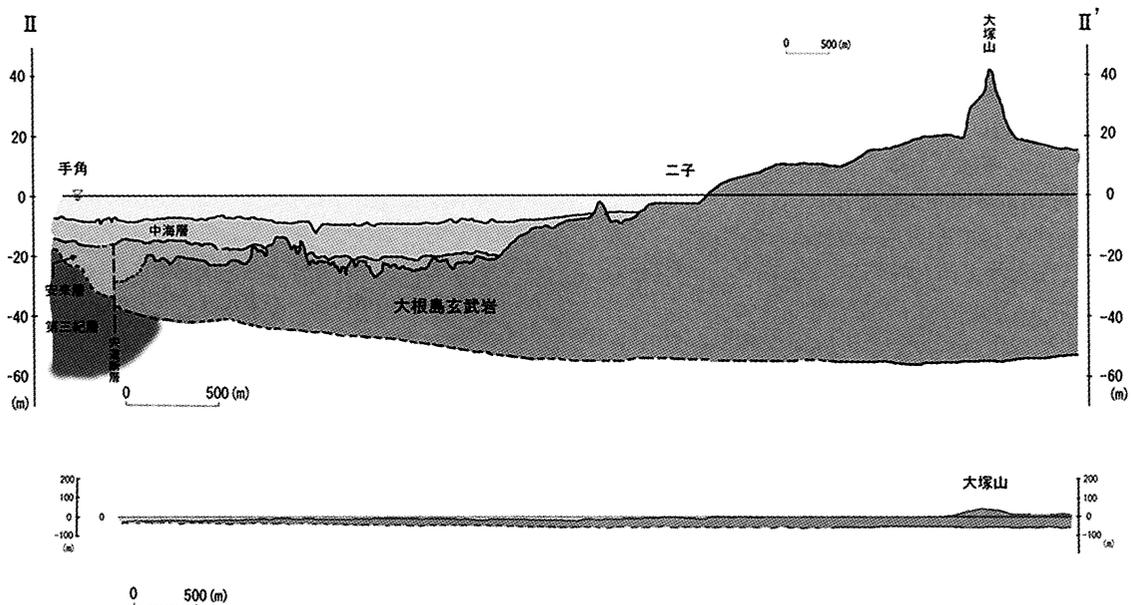


図8 手角—大塚山断面  
大根島玄武岩が凹凸をもった地形をしていることがわかる。

湖底下では大根島玄武岩は安来層に覆われているが、安来層と大根島玄武岩とは音響的に識別が容易であり、火山体表面の原地形が明瞭である。それで、火山地形を全体として把握するために陸域の火山灰層の厚さの分布を検討することにした。火山灰層については大西(1992)によって江島の碎石場(図5)での検討がなされていて、大根島玄武岩を覆う層厚0.7mの大山起源の上乃木軽石層(DMP)と層厚約0.7mの三瓶山起源の古志原軽石(SKP)が報告されている。江島の碎石場では大西の検討した露頭はすでに存在せず、新しい露頭ができていたため、ここで火山灰層の再検討を行った。その結果を露頭写真とあわせて図9に示す。鉱物組成の検討結果から、④(厚さ70cm)は、石英・長石・雲母からなることから、古志原軽石層(SKP)、⑥(厚さ60cm)は、長石・角閃石・磁鉄鉱・カミングトン石からなることから、上乃木軽石層

(DMP)に対比することができる。

大根島玄武岩を覆う火山灰層の厚さの分布を知るために、大根島から江島にかけての1測線で簡易動的コーン貫入試験機を用いて調査を行った。調査測線を図10に示す。上記の露頭の真上の地表でテストを行った結果、大根島玄武岩までの深度は露頭で見られる火山灰層の厚さとよく一致した。この結果にもとづいて測線上の13地点で調査を行った。地点ごとに得られた火山灰層の厚さを図11に示す。その厚さは0.6m~3.8mまでのばらつきがあるが、平均すると約2.5mで玄武岩を覆っているといえる。なお、図10に示した農水省による調査では火口である大塚山を中心に分布するように描かれているが、このような傾向は認められない。

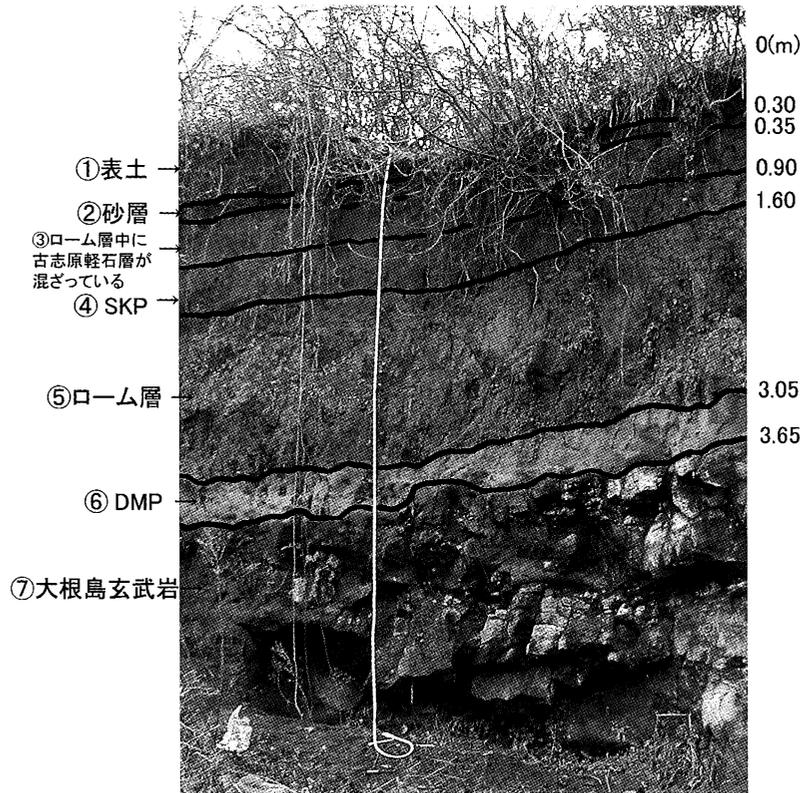


図9 江島砕石場の露頭(左に層序, 右は地表からの深度)

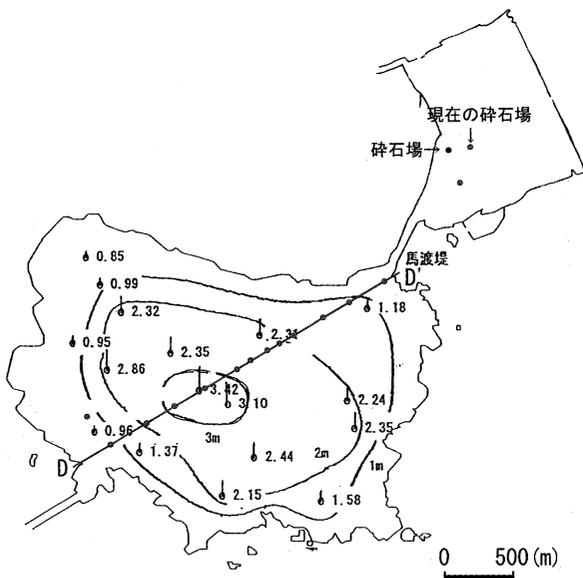


図10 大根島表土層の等層厚線図(農水省, 1999による. 数字は土層厚で単位:m; D-D'は今回の調査測線)

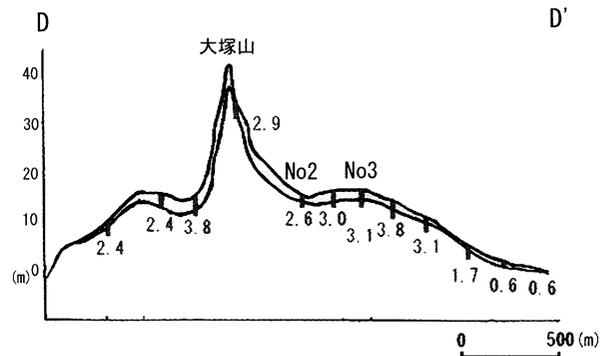


図11 D-D'断面図 数字は今回の調査による表土層の厚さを示す.

### VI 大根島玄武岩の分布についての三次元画像表示

Ⅲ章で音波探査によって大根島玄武岩の表面の深度分布が中海の広範囲で明らかに捉えられることを述べた。大根島玄武岩の分布の表面形態を明らかにするために、これらの音波探査の全記録について各測線ごとに大根島玄武岩の表面の深

度を高さを2m間隔で読み取り、その位置(緯度・経度)をデジタイザによって求めた。このようにして深度・緯度・経度から玄武岩の分布についての平面図を作成したが、高度2mごとの平面図では大根島玄武岩の分布は分かりにくいことから、データの構造化を行い、三次元画像表示を試みた。

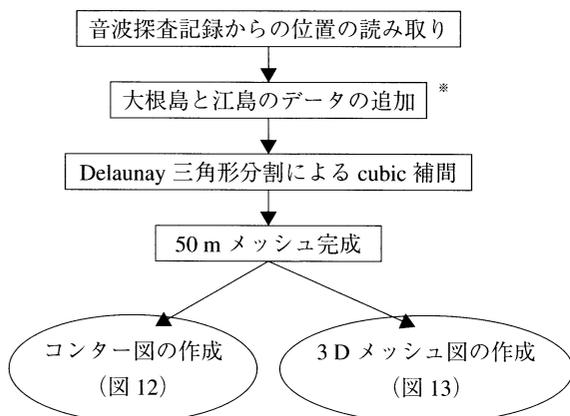
#### 1. 数値地図メッシュ(標高)について

日本標準の数値地図は 50 m メッシュ (標高) が使用されている。これは国土地理院が刊行している 2 万 5 千分 1 地形図に描かれている等高線から求めた数値標高モデルデータである。2 次メッシュを経度方向および緯度方向に 200 等分して得られる各区画の中心点の標高値が記録されている。実距離では約 50 m となる。本研究もこれに合わせて、深度データの構造化を行った。

なお大根島及び江島については境港 (メッシュコードは 533321, 左下の緯度・経度は N 35° 30' 00", E 133° 7' 30"), 揖屋 (533311, N 35° 25' 00", E 133° 7' 30") を使用した。

## 2. 大根島玄武岩表面分布の画像処理

モデル構築の基本的なフローを以下に示す。



\* 音波探査記録のみでは大根島部分の大根島玄武岩の分布が描けないため、V 章で述べた簡易動的コーン貫入試験の記録より D-D' 測線上の 12 地点データを平均化して、50 m メッシュ標高データより平均データ (-2.5 m) をひいて表した。

## Ⅶ まとめと考察

### 1. 中海湖底下における大根島玄武岩の分布

既存の音波探査記録、および新たに行った SH-20・バブルパルサー・ユニブーム・チャープソナーによる調査にもとづいて、大根島玄武岩の広域的な分布とその表面形態を検討した。その結果、大根島玄武岩はこれまでに考えられていた以上に中海湖底下に広範囲に分布することが明らかになった。全体として傾斜は 1° から 2° と緩傾斜で、大根島玄武岩の末端までも同じく 1° から 2° の緩傾斜で分布している。

### 2. 大根島及び江島の堆積層について

大根島玄武岩は凹凸をもつ地形をしている。従来から報告されているように下位の DMP, 上位の SKP からなる。両者の間にはやや固結した層があり、上乃木軽石層上部のローム層に相当すると考えられる。

### 3. 大根島玄武岩の分布についての三次元モデル

音波探査から中海湖底下の大根島玄武岩の深度を各測線ごとに深度 2 m ごとに読み取り、その位置データを処理して玄武岩の表面分布についての三次元画像表示を行った。その位置を図 12, 13 に示した。本庄水域の湖底では、中海南部と比較すると、末端の深度がより浅い。これは本庄水域では溶岩が流れた際に第三紀層にせき止められたが、南側は地形的に低く、谷に沿ってより遠方まで溶岩が流下したためと考えられる。

## 参 考 文 献

- 中国電力株式会社 (1998) 島根原子力発電所 3 号機増設に伴う宍道断層周辺活断層調査報告書, 25 p. および図表。  
 大西郁夫 (1990) 大根島玄武岩の下に何があったか, 島根県地学会会誌, 5, 6~7。  
 三梨 昂・徳岡隆夫 (1988 編) 「中海・宍道湖—地形・底質・自然史アトラス—」, 島根大学山陰地域研究総合センター, 115 p.  
 酒井榮吾 (1939) 出雲國大根島の地質 (特に石英捕獲斑晶玄武岩) に就いて, 地質学雑誌, 46, 275-277。  
 徳岡隆夫・高安克己 (1992 編) 「中海北部 (本庄工区) アトラス」, 島根大学山陰地域研究総合センター, 92 p.  
 渡辺 農 (1988) 大根島玄武岩の活動期は果たして後期更新世であろうか, 島根県地質学会会誌, 3, 30~38。

(受付: 2001 年 12 月 10 日, 受理: 2001 年 12 月 17 日)

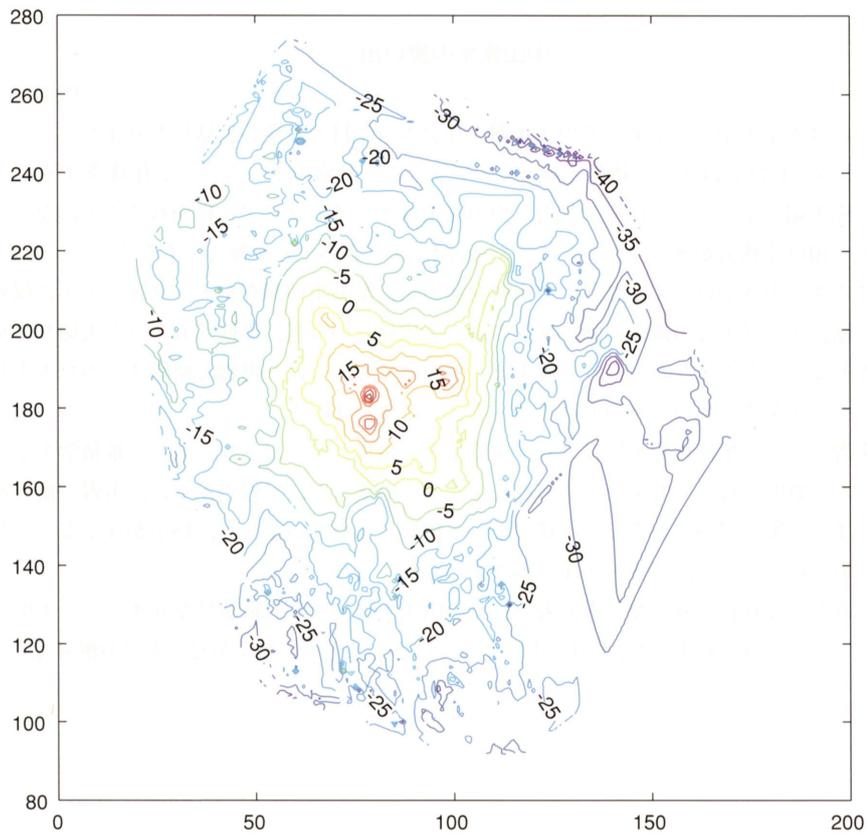


図12 大根島玄武岩のコンター図  
東の方向に深く分布している。

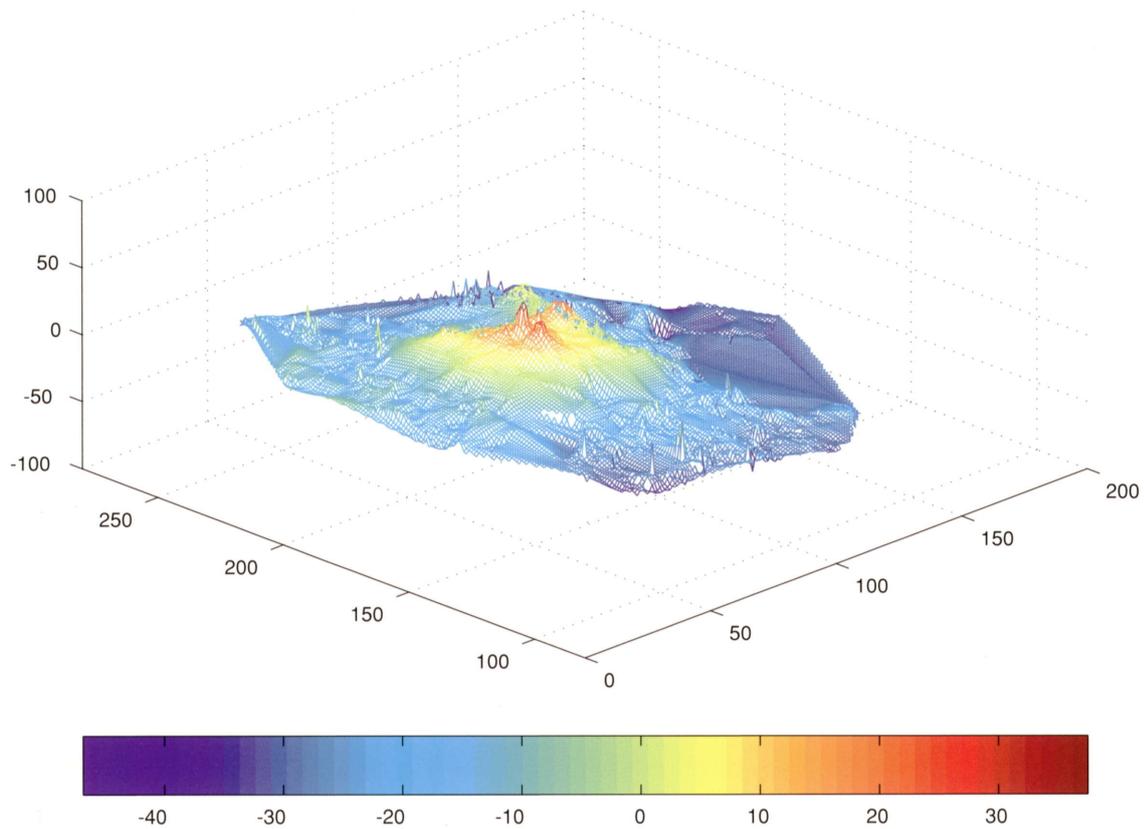


図13 三次元メッシュ図によって大根島玄武岩の分布を表現した。高さ方向を30倍にとった。南西の方向、上空45°から見たものである。

あとがき

### 中山先生の思い出

吹田 歩

中山先生には大学入学から卒業までの4年間、社会人一年目と大変お世話になりました。

3回生のときに私は名ばかりの情報委員をしていました。教室のホームページ作成をすることになり、学科の先生紹介をすることにしました。中山先生はオーストラリアに行かれることになっていて話を聞かせて頂ける機会が無くなってしまうため、記念すべき第一号を飾ってもらうことにしました。先生はこころよく引き受けてくださり、中山研究室の話、卒論生の調査をデジタルビデオに収めたもの、愛車の話、アフリカでの調査の話、家族の話、家族旅行の写真、奥様にもらった大切なオルゴールまで聞かせていただきました。もう一度生まれ変わってもやっぱり奥様と結婚するのだ!!と熱く語っておられる姿をみて私のほうが照れくさくなってしまいました。

また、実習ではどの生徒にも平等に分りやすく丁寧に指導して下さり、楽しく堆積学を学ぶことができました。質問に行っても手を止めて教えてくださいました。実習の途中で、実習で使う道具を落としてしまって困っていたときも、一緒になって探してくださいました。終了が遅くなってしまい大変迷惑をおかけしたのに、ジュースまで頂きました。

お父さんみたいな存在でみんなの人気者だった中山先生、色々とお世話になりました。先生に優しくしてもらったことは忘れません。本当にありがとうございました。どうか安らかにお眠りください。