

沖縄県西表島網取地域における地下構造探査（第2報）
電気探査による比抵抗構造

馬場久紀・上野信平

Exploration of the underground structures in the Amitori area of Iriomote Island,
Okinawa, SW Japan: Results of electrical resistivity survey

Hisatoshi Baba and Shinpei Ueno

東海大学海洋研究所研究報告
第30号(2009), 31 - 38 頁別刷
Reprinted from Bull. Inst. Oceanic Res. & Develop.,
Tokai Univ. (2009) 30, 31 - 38

沖縄県西表島網取地域における地下構造探査(第2報) 電気探査による比抵抗構造

馬場久紀¹⁾・上野信平²⁾

Exploration of the underground structures in the Amitori area of Iriomote Island,
Okinawa, SW Japan: Results of electrical resistivity survey

Hisatoshi Baba¹⁾ and Shinpei Ueno²⁾

Abstract

In order to study for the precise subsurface structures in the vicinity of Amitori village, we carried out the electrical resistivity survey in December 2005 and August 2007, in the Iriomote Island, Okinawa, SW Japan. Eleven survey points and three lines (line A-C as the same profiles of the refraction seismic surveys) were selected to make clear the resistivity distribution in this area.

The results obtained are summarised as follows;

- 1) high resistivity values are distributed in the Amitori village, while, on the south, low values in the rice field,
- 2) this surface layer is made of sandy materials with high permeability and high resistivity,
- 3) thickness of the layer is 2.0-3.0m in the Amitori area,
- 4) the first layer gradually thicken from sea side to hill side,
- 5) the second layer also consists of sandy materials with low resistivity which may be influenced by underground water.

Above-mentioned results are well harmonized with seismic structures and nearby bore-hole data.

緒 言

東海大学総合研究機構プロジェクト「宮古・八重山
地域の総合的研究」の一環として沖縄県西表島の網取

集落跡(山田, 1986)では, 考古学的発掘調査が開始され(北條, 2005), 現在も継続中である. Fig. 1は, 網取遺跡の位置を示した図である. 発掘調査を効率的, 時間的および経済的に行うため, 物理学的手法をも

1) 東海大学海洋研究所 〒424-8610 静岡県静岡市清水区折戸3-20-1

Institute of Oceanic Research and Development, Tokai University, 3-20-1 Orido, Shimizu-ku, Shizuoka, 424-8610
Japan

2) 東海大学海洋学部海洋文明学科 〒424-8610 静岡県静岡市清水区折戸3-20-1

Department of Maritime Civilizations, Tokai University, 3-20-1 Orido, Shimizuku, Shizuoka, 424-8610, Japan

(2009年1月20日受付 / 2009年2月1日受理)

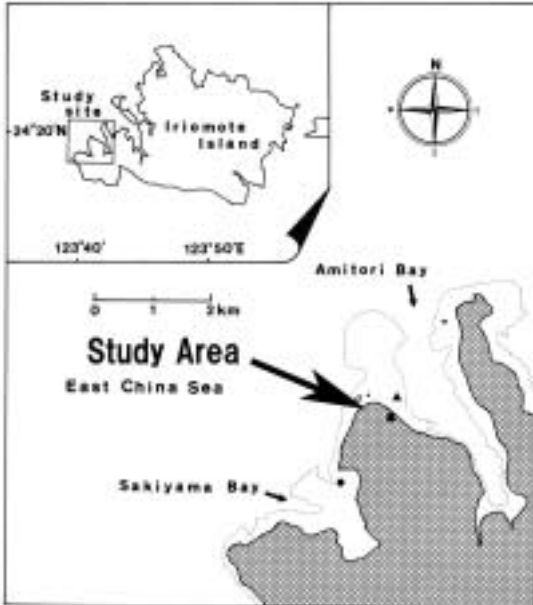


Fig. 1 Location map of study area in the Amitori village of Iriomote Island.

とした詳細な地下構造探査が重要である(たとえば, 物理探査学会, 2005). そこで馬場・上野(2007)は, まず2005年12月13日~14日の2日間にわたり概略的な地下構造を得るための屈折法地震探査と電気探査を実施した. また, この結果をもとに詳しい地下構造を推定する目的で, 2007年3月に反射法地震探査の測線を展開し, 7月31日~8月6日には屈折法地震探査と同じ測線上で高密度な電気探査を実施した.

網取での考古学的調査は, 発掘調査としては深度1.5 - 2.0mと比較的深いところまでを対象に行われてい

る(Photo 1(a)). そのため, まず地表から十メートル前後の地下構造にターゲットをしばり屈折法地震探査を実施することにした. 一方, 屈折法地震探査と併用して, 表層の平均的な土質状況を把握する目的で電気探査(Photo 1(b))も実施した. 屈折法地震探査の結果については, 馬場・上野(2007)によってすでにその一部が報告されている. 本論では電気探査で得られた結果を報告し, 網取集落跡における比抵抗分布について議論する.

測定の概要

電気探査には, 横河電気(株)製の大地比抵抗測定器(YOKOGAWA 3244型)を使用した. 装置全体がコンパクトな木箱にまとめられているため, 大がかりな輸送手段を必要とせず, 宅急便等で容易に現場に輸送することが可能である. この機器は, 直流および商用電源の周波数の影響を受けにくく, 測定電流が大きいという特徴がある. 計測値(抵抗値)は, フルスケールにおいて0.3までの測定が可能である. ただし, 測定値は目盛りダイヤルから読み取るため, 読み取り誤差を避けられない. そこで読み取り誤差を最小限に抑えるために2回読み取りを行い, その平均値を各電極間隔における見掛け比抵抗値とした.

測定方法は, 垂直方向に感度の良いウェンナー法(例えば, 佐々ほか, 1993; 楠本ほか, 2002)を採用した. ウェンナー法は, 4本の電極を等間隔に展開して測定を行う4極法の一つである. この方法は, 他の電極配置法, 例えばポール・ポール法などの2極法に比べる



(a)



(b)

Photo 1 (a)Excavation view along Line C in a paddy field of Amitori, (b)Along-distance view of Line B profile for the electrical resistivity survey in the Amitori village.

と電極の設置数が多くなるため作業効率は悪いが、精度と分解能は格段に高い測定方法である。

2005年12月に網取集落内外の計11箇所(St. 1~11)で測線長30.0mの電気探査を行った。Fig. 2は、網取集落の地形図に測定点位置を示した図である。網取集落は、1966年当時の写真(竹富町史, 1993)を見ると、細い道が縦横に延び、碁盤の目状に集落が整備されており、現在でも当時の道が残っているため、これらの道に沿って測線を展開すると測線長は30.0m程度が限度であった。測定当日は天候が悪く、小雨のため探査を中断をすることもあり、当初予定していた測線数の探査を実施することができなかった。そこで、特に発掘調査が重点的に行われている集落内南部(山側)の範囲で重点的に探査を行った。これらの測定からは、この地域の面的な比抵抗分布の実態が把握できるものと期待される。電極はアースを含めて5本使用し、電極間隔 a を0.5mないしは1.0mのステップで順に広げ、最大 $a=10.0m$ までについて15回の電位差測定を行った。

また2007年7・8月には、2005年12月に実施した屈折法地震探査(馬場・上野, 2007)と同じ測線上で高密度電気探査を実施した。Fig. 3は、3つの測線(Line A・Line B・Line C)位置を示した図である。Line Aは網



Fig. 2 Survey points of electrical resistivity(St. 1-11)

取集落を海側から山間部に向かって南北に縦断するいわゆる集落のメインストリートにあたり、Line Bは網取集落を東西に横断する位置で、測線のほぼ中央でLine Aと直交する。測線Line Cは網取集落南側にある旧水田跡を南北に縦断する測線である。電気探査ではそれぞれ測線長を100.0mとし、あらかじめ101本の電極棒を測線上に1.0m間隔で設置した。この方法は、通電の度に電極を抜き差しすることなく、観測オペレーターの指示でクリップにて電極棒に接続することにより、作業にかかる時間効率を上げた。電極間隔 a は、2.0mのステップで順に広げ、最大 $a=32.0m$ まで測定を行い、101本中の4つの電極についてウェンナー法電極配置となる全ての組み合わせ(800通り)で測定を行った。

解析方法

電気探査で得られたデータは、ジーアイエス(株)の製品であるElecAUTOとElecImager/2Dの2種類の解析支援ソフトウェアを用いて処理を行った。これらの解析ソフトはパソコンのOS:Windows上で動作する垂直電気探査の解析ソフトウェアで、ウェンナー法による電極配置において非線形最小二乗法による逆解析、リニアフィルター法による順解析を行うことができる。

ElecAUTOは、一次元垂直電気探査のための自動解析プログラム(ジーアイエス(株), 1999)で、ウェンナー法電極配置をはじめ、シュランベルジャー法・ダイポール法・オフセットウェンナー法の各電極配置について測定結果の解析支援を行うためのソフトウェアである。St. 1-11(Fig. 2)における測定結果については、本ソフトウェアを用いて解析を行った。まず、見掛け比抵抗 ρ と電極間隔 a についての ρ - a 曲線を求め、カーブマッチング法による解析を行い、各地層の比抵抗と境界面深度を求めた。測線長が各々30.0mであることから、最大で深さ10.0m程度までの比抵抗分布が得られた。

ElecImager/2Dは、二次元電気探査で得られたデータについて比抵抗解析を行い、解析結果を映像化するソフトである。またこのソフトは、電位減衰曲線・見掛け比抵抗断面・理論比抵抗断面・残差断面を表示することによってデータチェックが可能である。Line A・Line B・Line Cの各測線(Fig. 3)で得られた測定結果



Fig. 3 The profiles(Line A, Line B, and Line C) for the dense electrical resistivity surveys.

は、この Eleclmager/2D で処理を行った。電極の設置が良くなく、明らかに異常値を示すデータについては、本ソフトウェアを用いて補間を行った。解析では、見掛け比抵抗断面と理論上の見掛け比抵抗断面ができるだけ等しくなるよう解析を行い、結果の妥当性の向上を図った。測線長が 100.0m であることから、最大で深さ 33.0m までの比抵抗分布を示すことができる。比抵抗分布は色別されたコンターマップで表され、地震探査(馬場・上野, 2007)で得られた速度構造モデルと対比が容易である。

解析結果

海岸に隣接した網取集落地表面は、砂ないしは礫まじり砂質の表土が主である。また、網取集落南側の旧水田跡は、基本的に難透水性ないしは十分保水された透水性の特性を持つ湿地で、珊瑚と考えられる石灰岩、礫、砂などが表土に広がっている。集落内外の各測点 St. 1 - 11(Fig. 2)で得られた $\rho - a$ 曲線を Fig. 4 に示す。図上、縦軸が見掛け比抵抗 ρ 、横軸が電極間隔 a を表している。Fig. 4 を見ると、集落内 St. 1, 2,

3, 4, 5, 7, 8, 11 における $\rho - a$ 曲線は表層の比抵抗 ρ_1 が第 2 層の比抵抗 ρ_2 より大きいことを示し($\rho_1 > \rho_2$)、集落南側の旧水田跡 St. 9, 10 の $\rho - a$ 曲線の傾向は $\rho_1 < \rho_2$ であることが判る。これは、水田付近に農耕用溜池(Fig. 3)があり、これらの水が日常的に地表や地下に染み込んでいいる影響と考えられる。また St. 6 は、St. 9, 10 の $\rho - a$ 曲線と比較的酷似した曲線($\rho_1 < \rho_2$)を示している。この St. 6 は、付近に貯水槽(Fig. 3)があり、この貯水槽から生活用水が常時溢れている状態であった。そのため地表面が湿っている。St. 6, 9, 10 の見掛け比抵抗は、これら水に起因する影響で $\rho_1 < \rho_2$ の $\rho - a$ 曲線を示していると考えられる。

Line A, Line B, Line C で決められた比抵抗分布図を Fig. 5 に示す。また、Line A の比抵抗分布を作成する基となった比抵抗減衰曲線図の例を Fig. 6 に示す。集落を南北に縦断する Line A(Fig. 5(a))は、海岸に最も近い測線(北側)0.0m 付近で比抵抗が高い表土(砂)が厚く分布している。この高比抵抗の表層とその下層との境界は、測線 10.0m から南に向かって緩やかではあるが次第に薄くなって 70.0m 付近で消失し、低比抵抗の層が地表に出現する。これは、上述のように測線南側に生活用貯水槽から常時水が漏れている、地表が湿っているための影響と考えられる。測線 20.0m 付近には井戸があり、ちょうどこの地点の深さ 10.0m 付近に低比抵抗帯があることから、水脈であると推定される。この Line A に対して直交する Line B(Fig. 5(b))では Line A と同様、高比抵抗の地表(砂)が全体にわたって分布している。測線ではこの高比抵抗分布が測線全域で同じ厚さで存在していること、また Line B は海岸線と平行な測線であることから、地表面は砂質層が一様の厚さで分布していると考えられる。厚さは 2.0 - 3.0m で北條(2005)の考古学的発掘調査によると遺物はこの層の下部から出土していることになる。この表層に続く第 2 層は低比抵抗であり、「地下水」ないしは「海水」を含んだ砂岩や礫岩と推定され、Line A 付近にある井戸の相対的な位置関係から地下水である可能性が高い。集落南側の旧水田跡を縦断する Line C(Fig. 5(c))は、明らかに Line A・Line B の結果とは異なる傾向を示す。測定値最大が 4.8Ω 、最小が 0.1Ω で、他の測線の値と比較して著しく低かった。これらは、上述した水に起因するものと考えられる。そのため測線全体にわたってかなり低比抵抗分布

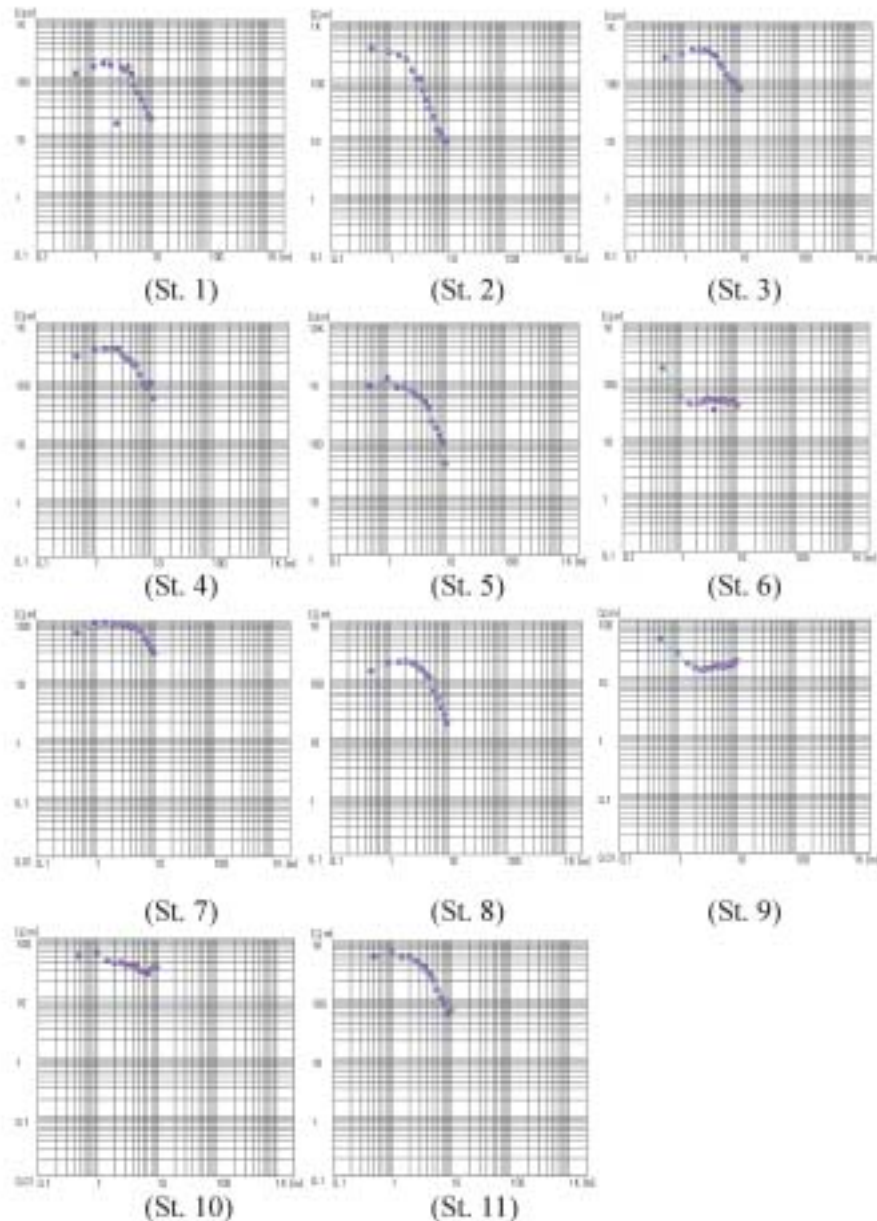
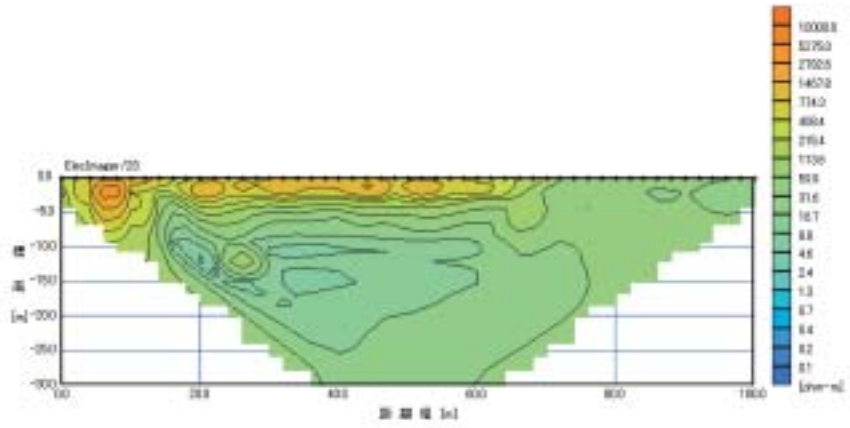


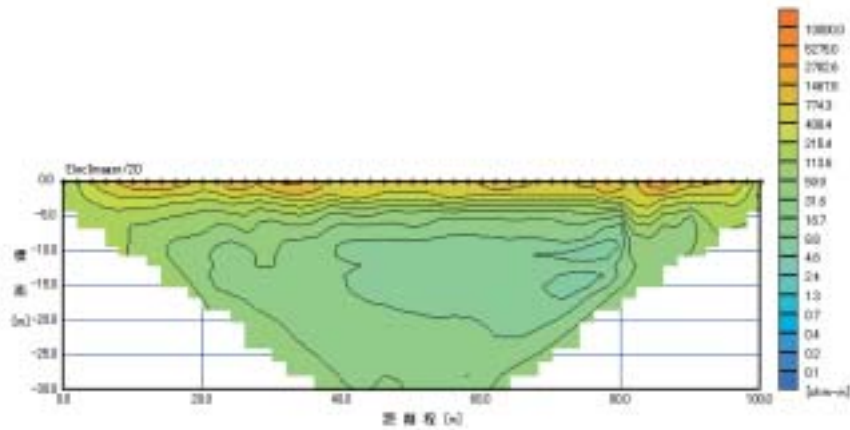
Fig. 4 Apparent resistivity(Ω -m)VS. distance(m)curves for St. 1-11. Vertical axis indicates apparent resistivity gradient, and horizontal axis indicates electrode spacing.

という結果となった。地表の様子から石灰岩や礫・砂を含む難透水性の土等の表土が主と考えられるが、この表土が地下深くまで連続して堆積しているものと思われる。杉山(1981)は、Line Cの南側延長上に深さ25.0mのボーリングを実施し、その結果について議論している。それによるとほとんどが砂質系(砂質シル

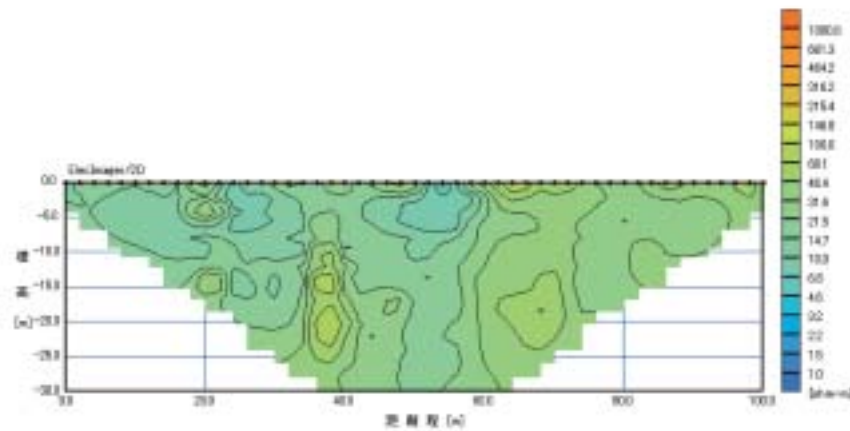
ト、砂礫、砂岩、礫まじりシルト質砂)の層である。これらのことから、得られた結果はボーリングのデータと調和的であると考えられる。



(a)



(b)



(c)

Fig. 5 Detailed resistivity profiles along three survey lines;(a)Line A,(b)Line B, and(c)Line C.

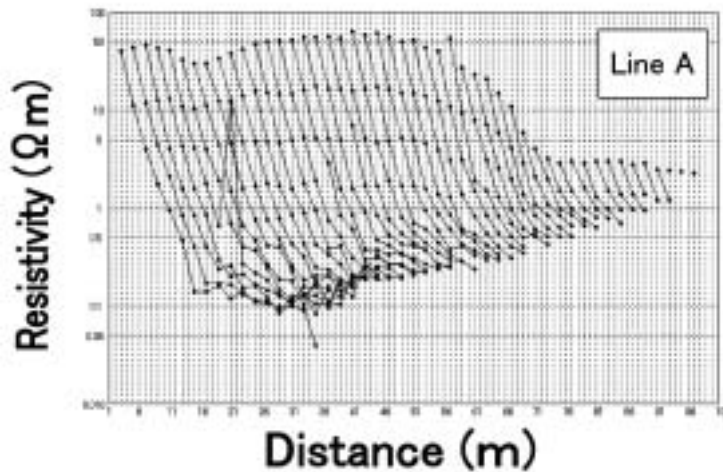


Fig. 6 Apparent resistivity curves in Line A.

議論とまとめ

まず、網取集落内外の各測点 St. 1 - 11 で得られた $\rho - a$ 曲線から、カーブマッチング法によって比抵抗と境界面深度を求め、その結果から網取集落の等深度比抵抗分布(深さ 0.0m・1.0m・2.0m・3.0m)を推定した。Fig. 7(a)・(b)・(c)・(d)の各図はそれぞれ推定された深さ 0.0m・1.0m・2.0m・3.0m の等深度比抵抗分布図である。これら 4 つの比抵抗分布図から共通して言えることは、細い碁盤の目状の道のある集落内では比抵抗が高く、集落南側の水田跡地帯では比抵抗が低い。また、高比抵抗の集落内においても深度が次第に深くなるにつれ、低比抵抗へと変化する傾向がある。これらのことから、集落内の表層は透水性の高い砂質層が厚さ 2.0 - 3.0m で堆積し、その下の第 2 層では地下水

が浸透した帯水層(砂質層)が広く分布していると考えられる。集落南の水田跡の特徴は、各々等深度比抵抗分布の様子はほとんど変わらない。Line C の結果からもわかるように、石灰岩や礫岩を含む難透水性の粘土等の表土が主と考えられるが、この表土と同じ地質層が地下深くまで連続して存在しているものと推定される。

杉山(1981)によると、この網取集落南側の旧水田跡の深さ 10.0m 付近までの地層は、谷からの押し出し土石堆積物層であるとし、また深さ 10.0 - 13.5m では枝珊瑚などを混入する海岸低地堆積物層および崖錐堆積物の 2 次堆積層の砂礫・砂層と推定されるが、基本的に砂質系の堆積層であるとまとめられている。この地層が堆積した当時は、この位置まで海水が侵入していた可能性がある。深さ 10.0m 付近における比抵抗分布

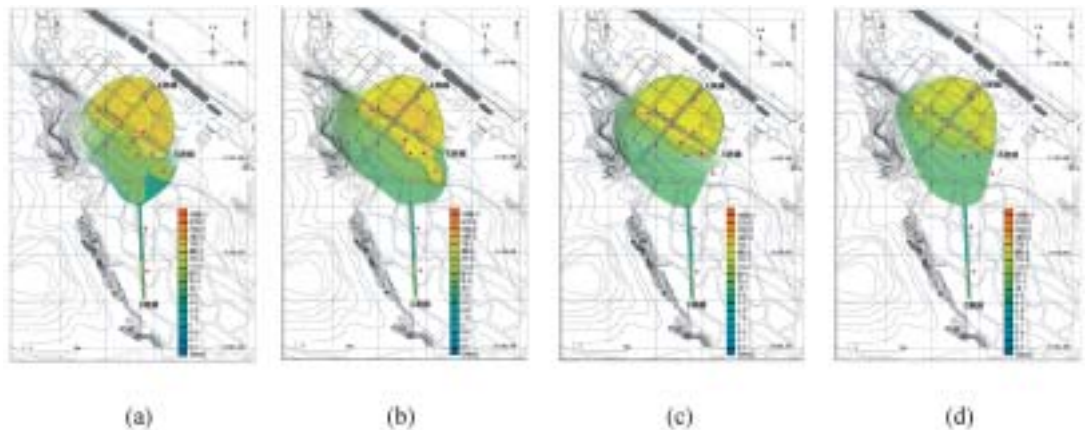


Fig. 7 Resistivity contour maps at different depths in the Amitori area(a) surface(b) at depth of 1.0m(c) 2.0m, and (d) 3.0m.

では明瞭な境界とは言えないまでも、Line A、Line B、(Fig. 5(a)・(b))においては深さ 10.0m 付近で比抵抗等深線が密から粗に変わり、比抵抗分布の変化が少なくなる。馬場・上野(2007)による地震探査の地下速度構造では、第 2 層の速度分布 1.2 - 1.5km/sec・深さ 9.6 - 13.3m という結果が得られており、深さ 10.0m 付近の比抵抗等深線変移点と調和的である。これらの境界は、杉山(1981)による谷からの押し出し土石堆積物層と 2 次堆積層の砂礫・砂層との境界面に一致するのではないかと思われる。Line C(Fig. 5(c))の比抵抗分布は、測線の水平方向および深さ方向の全体にわたって保水された砂質系の地層を示す結果となっており、Line A、Line B のような比抵抗等深線変移点は見られない。

北條(2005)による考古学的発掘調査の結果からは、網取集落内で遺物がいずれも深さ 1.5 - 2.0m で発見されていることから、砂ないしは礫まじり砂質の表土(表層)から出土されたと判断される。

以上の結果をまとめると表層の特徴は、次のようになる。

- (1) 透水性の高い砂質層である、
- (2) 網取集落内ほぼ全域に厚さ 2.0 - 3.0m で堆積している、
- (3) 山側から海側(北側)に向かって次第に厚く堆積している、
- (4) 表層(第 1 層)の下層(第 2 層)は比抵抗が低く、地下水を多く含む。

したがって、発掘調査で出土した同じ年代の遺物は、この網取遺跡内の広い地域に分布している可能性が高い。もちろん、第 2 層およびそれ以深の地質層からも遺物が発見される可能性はあるが、網取集落内の第 2 層や水田跡地では、水の影響を強く受けていると推定されるため、木製遺物や植物製遺物などは発見が難しいものと考えられる。しかし、網取集落の砂質表層において深さ 3.0m 以浅に埋まった遺物について今後発掘することを前提とした場合、大型の貝類や青磁片等であるならば、レーダー探査機器類を用いることによって、効率よく直接的に発見することができるものと思われる。

今後発掘調査が進み、遺物の年代等が同定できれば、地層の年代も特定ができるものと考えられ、この地域における地質学的な背景についても明らかになるであろう。今回の結果は、地下の状況・周囲や環境の状況

を把握することに繋がり、遺跡に関連する考古学的考察を進める上での基礎データとして活用できることが期待できる。

謝 辞

東海大学文学部歴史学科考古学専攻 北條芳隆教授には、遺跡調査に関する資料を拝借した。東海大学沖縄地域研究センターのスタッフには観測の時に多大なご協力を頂いた。2005年12月の電気探査には東海大学海洋学部海洋資源学科(当時3年生) 滝沢浩平君、根崎 歩君、鈴木 剛君が参加した。また、2005年12月の電気探査には、東海大学海洋学部海洋資源学科(当時4年生) 森里 英君、大島雄太君が参加した。査読者には、本論を修正するにあたり、有益な助言をいただいた。ここに記して感謝いたします。

引用文献

- 馬場久紀・上野信平(2007): 沖縄県西表島網取地域における地下構造探査(序報). 東海大学海洋研究所研究報告, 28, 13-19.
- 物理探査学会(2005): 第3回交流フォーラム「埋蔵文化財調査における物理探査の役割」資料集. 社団法人物理探査学会企画調査委員会編, pp183.
- ジーアイエス(株)(1999): ElecAUTO. Ver.1.0, カタログ, pp2.
- 北條芳隆(2005): 美ら海の世界に学ぶ, ~西表島網取・カトゥラ貝塚発掘調査から~. 東海大学文学部歴史学科編集, pp12.
- 楠本成寿・郷亜矢子・濱本絵梨子・石橋愛子(2002): 高密度比抵抗電気探査による地下水変動検出の試み. 東海大学紀要海洋学部, 55, 135-148.
- 佐々宏一・芦田 譲・菅野 強(1993): 建設・防災技術者のための物理探査. 森北出版, pp219.
- 杉山隆二(1981): 東海大学海洋研究所西表分室の用水探査 試錐位置の選定および試錐. 東海大学海洋研究所資料, 3, 77-89.
- 竹富町(1993): 写真集ばいぬしまじま 写真にみる竹富町のあゆみ. 竹富町役場 町史編集室, pp319.
- 山田武男(1986): わが故郷アントゥリ 西表・網取村の民族と古謡. ひるぎ社, pp238.