

## 4. CSAMT 法を用いた西条平野における地下構造と地下水流動

### Underground structure and groundwater flow in Saijo plain by CSAMT methods

○越智亮太・田中和広(山口大学), 鈴木浩一(電力中央研究所), 徳増実(西条市役所)

#### 1. はじめに

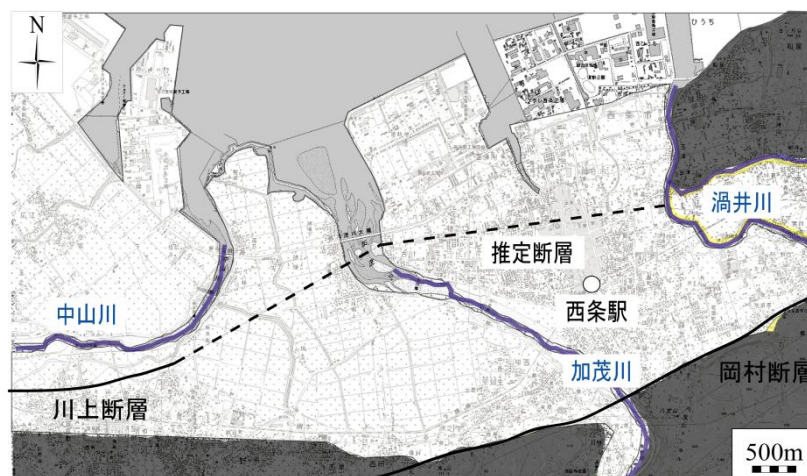
愛媛県西条市の瀬戸内海に面する西条平野には、約2000本の地下水の自噴井がある。この自噴井は、西条市民の間で“うちぬき”として親しまれ、生活用水、工業用水、農業用水として利用されており、西条市民にとって必要不可欠のものである。このため、豊富な地下水資源を確保し保全していくことが求められている。

この“うちぬき”については、地下構造と地下水流動に関する様々なモデルが提案されているが、地下深部の地質構造を調査して得た実測データに基づいた議論はなされていない。また、地形の変位及び火山灰の変位などから推定断層が想定されている<sup>1)</sup>が、基盤岩である和泉層群の変位などの地質構造は明らかとなっていない。

ここでは、CSAMT 法による地下の比抵抗探査、火山灰中の火山ガラスの屈折率測定、地下水の地化学分析を実施し、実データに基づいて地下水の水質や起源を考慮した地下水流動及び被圧構造の形成メカニズムに関して考察を行ったので報告する。

#### 2. 地質構造

本研究の調査地域には、中央構造線断層帯に属する活断層である岡村断層を境に、北部は完新統、南部は後期白亜紀の和泉層群が分布している<sup>1)</sup>。また、西方より川上断層が西条市街地まで延長していると推定されている(図-1)。さらに、地下水盆は、推定断層を境に岡村断層と推定断層に挟まれた内陸側地下水盆、推定断層より北側の海側地下水盆に二分されている<sup>2)3)</sup>。



□ 完新統    ■ 和泉層群(後期白亜紀)    — 断層

図-1. 調査地域の地質(岩崎ほか, 1991; 後藤・中田, 1998に加筆修正)

### 3. 調査結果

#### 3.1. 地質構造

西条平野において推定断層を挟むボーリング(No.7, No.8)で発見された火山灰の分布深度が南北で異なることが明らかとされているが(後藤・中田, 1998), これらの火山灰層は同定されておらず, 断層によって変位しているか否か疑問がある. そこで, これらの火山灰中の火山ガラスの偏光顕微鏡観察及び屈折率測定を行った. 火山ガラスの屈折率測定は, (財)電力中央研究所所有の温度変化型屈折率測定装置”マイオット MAIOT(Measuring Actual Immersion Oil Temperature)”を使用した. 偏光顕微鏡観察の結果, 火山灰は主に無色透明のバブルウォール型の火山ガラスからなる. 火山ガラスの屈折率は若干ばらつきがあるものの, 平均値  $n$  は 1.5089~1.5096 であり, すべて 6300 年前のアカホヤ火山灰(以下, K-Ah と呼ぶ)の屈折率( $n=1.508\sim 1.516$ )<sup>4)</sup>と一致することが明らかとなり, 断層によるものと考えられる変位が確認された.

#### 3.2. 地下水の地化学特性

調査地域の地下水水質及びその起源を明らかにするため, 河川水, 湧水, 被圧地下水, 温泉水の採取を行い一般水質分析及び酸素水素同位体比分析を行った<sup>5)</sup>(図-2). ここでは, 西条平野西部に位置する猪狩温泉の地化学特性について述べる. 猪狩温泉は, 地下 60m まで掘削したボーリング孔から自噴しており, 赤褐色を呈す. 一般水質分析結果によると, NaCl 型を示しⅢ型(海水, 化石海水, 温泉水, 坑内水)<sup>6)</sup>であり, デルタダイアグラムによると, 海水と天水との混合ライン上にプロットされる.

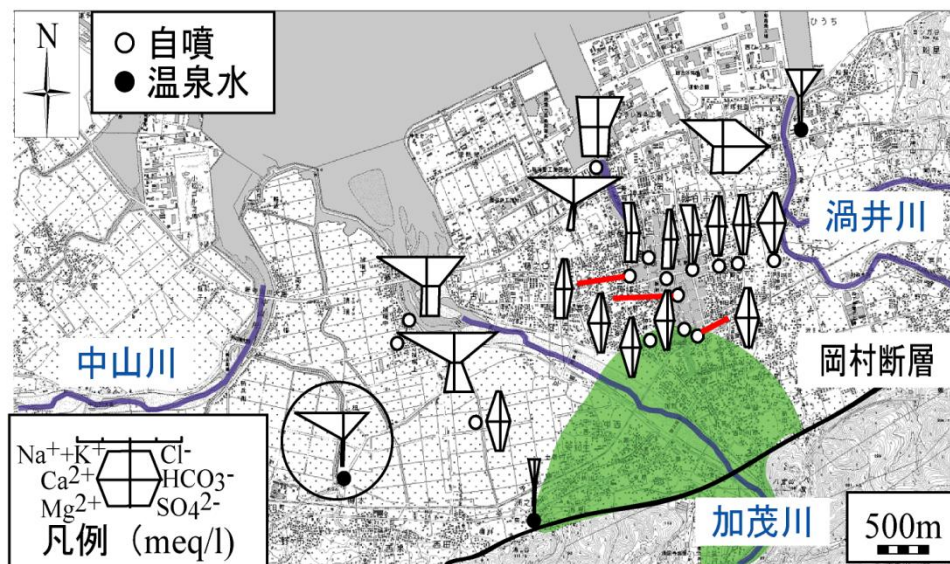


図-2. 西条平野における地下水のヘキサダイアグラム(越智ほか, 2013 に加筆修正). 黒丸は猪狩温泉を示す.

### 3.3. CSA-MT法による地下構造探査

本研究では、深度約 1km までの比抵抗構造を明らかにするため、(財)電力中央研究所所有の機器を用いて、CSAMT 法による地下構造探査を 2012 年 9 月初旬(A 測線)、2013 年 9 月中旬(B、C 測線)に行った(図-3)。CSAMT 法による地下構造探査で得られた二次元解析断面図を示す(図-4)。

A 測線の断面図において、A1～A14 の標高-500m～-750m 付近及び A10～A14 および A17～A20 の標高-250m よりも浅い範囲では、高比抵抗帯(約 500~1000 $\Omega$ m)、A2～A10 および A16～A25 の比較的地下浅所では低比抵抗帯(1~2 $\Omega$ m)が分布している。

B 測線の断面図において、測点 37 付近に比抵抗のコントラストが認められ、測点-8～測点 15 の標高-800m～-1000m 付近及び測点 15～測点 37 の地下浅所には高比抵抗帯(1000～10000 $\Omega$ m)が分布している。また、測点-8～測点-2 の地下浅所及び測点-3～測点 14 の地下浅所には低比抵抗帯(約 1~64 $\Omega$ m)が分布している。

C 測線の断面図において、測線設置個所が市街地でありノイズが大きく、地下深部の信頼性が低下するため深度 800m 以深を削除した。測点 12～測点 16 の地下浅所には高比抵抗帯(約 1000 $\Omega$ m)が分布しており、測点 5～測点 10 の標高-200m～-800m 付近には高比抵抗帯(約 100 $\Omega$ m)が分布し、それより南側ではみられない。また、測点 5～測点 15 の地下深所には低比抵抗帯(1~10 $\Omega$ m)が分布する。

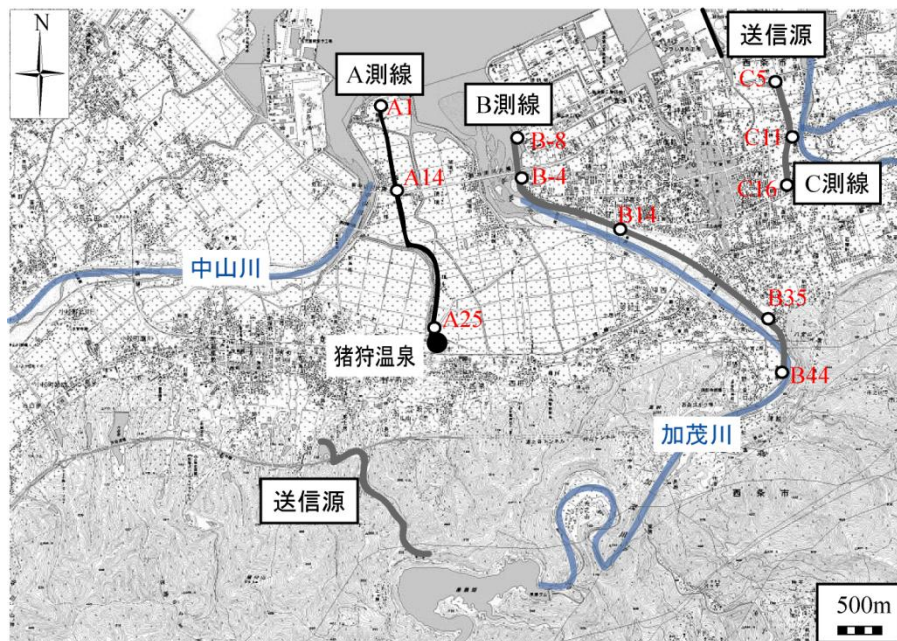


図-3. 送信源・受信源位置図

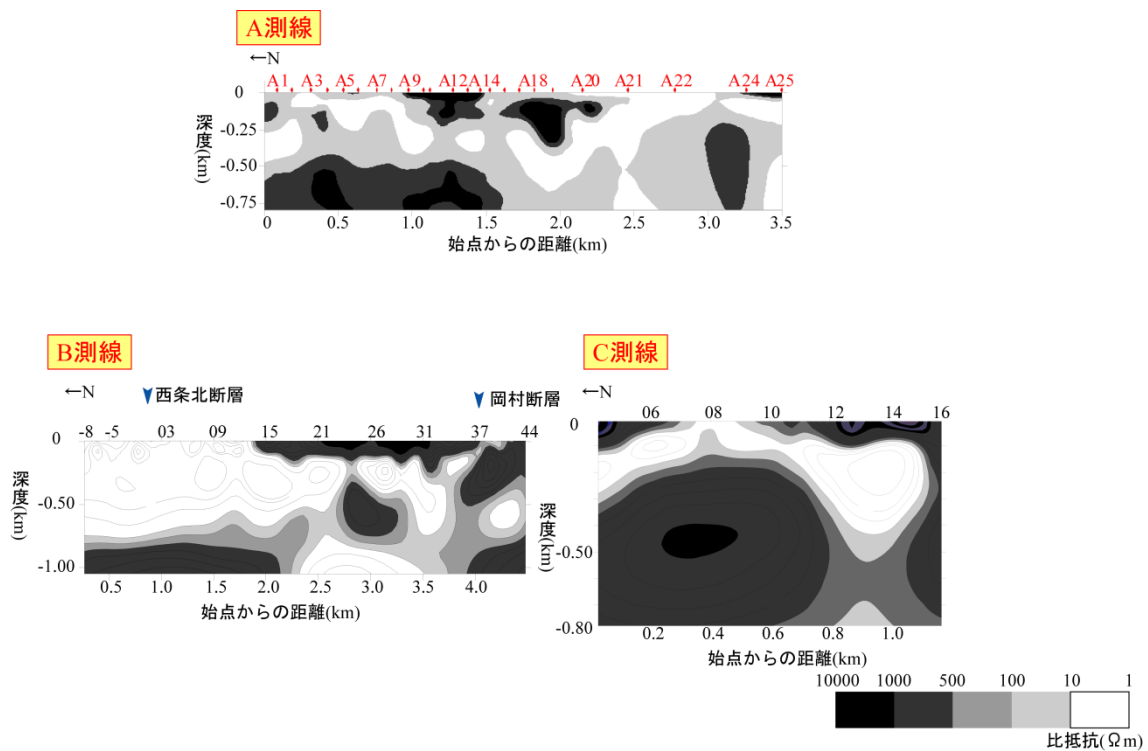


図-4. 二次元逆解析による比抵抗断面図.

## 4. 考察

### 4.1. 水理地質構造

CSAMT 法による比抵抗断面及び K-Ah の変位箇所を考慮し、従来、推定断層とされた断層を、川上断層とは異なる断層として、CSAMT 法の結果から得られた断層推定箇所(測点 A14)に連続しているものとし、新たに西条北断層(以下、断層と呼ぶ)と命名した。この断層によって、高比抵抗域である基盤岩(和泉層群)が変位しているものと考えられる。

また、この断層沿いには、打ち抜きボーリング業者からの聞き取り調査によれば、断層周辺は幅 2m 間にわたって砂やシルトなどが混在し攪乱された堆積物が分布し、地下水が存在しない不透水性の断層破碎帯を伴っている可能性がある<sup>5)</sup>。

猪狩温泉は A 測線の南端(A25 付近)に位置しており、少なくとも 60 年前の海水であると考えられている<sup>7)</sup>。この猪狩温泉は、比抵抗断面における低比抵抗域に当たり、比抵抗断面における低比抵抗域は、60 年前よりも古い海水と天水が混合した地下水(以下、古海水と呼ぶ)で飽和されていると考えられる。また、自噴井の電気伝導度から求めた比抵抗値は各比抵抗断面の地下浅所(深度 250m 以浅)に分布する高比抵抗域の比抵抗値と一致する。このことから、この高比抵抗域は淡水で飽和された堆積物であると考えられる。以上を踏まえた比抵抗断面の解釈図を図-5 に示す。

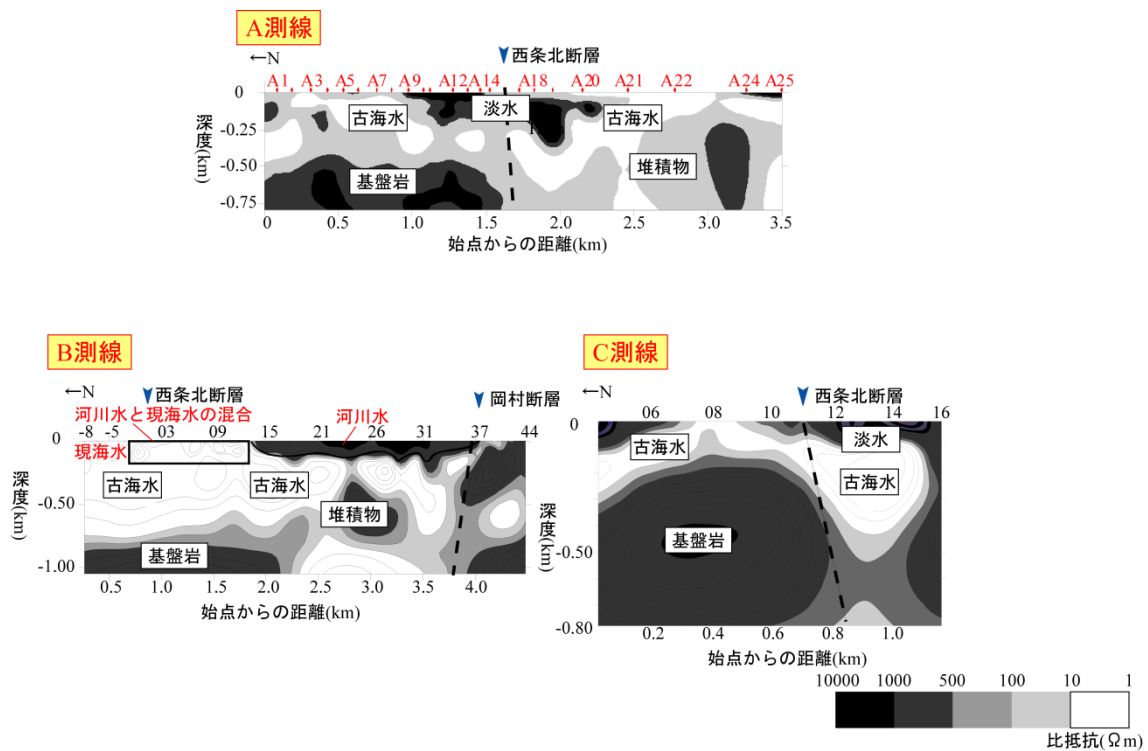


図-5. 二次元逆解析による比抵抗断面図(解釈図)

#### 4.2. 西条平野の地下構造と地下水流動

西条平野の地下水の大部分の起源が、加茂川の河川水であり、その河川水が市街地へ向けて浸透・流動していること<sup>5)</sup>を踏まえ、西条平野の地下構造と地下水流動について、以下のように考察した。

現在の西条平野は、第四紀後期の海水準変動の影響により、長期間にわたって海域であり、地下には海水が浸入していたものと考えられる。その後、江戸時代から始まった干拓事業によって現在の平野が形成された。それに伴い、淡水が塩水の上部に浸入しはじめ、淡水と塩水の境界が形成された。淡水と塩水の密度は異なるため、塩水によって淡水の流動が妨げられる。この地下水は、粘土シルト層または火山灰層からなる不透水層によって加圧される。さらに、断層に沿った断層破碎帯によってさらに加圧され被圧地下水となったものと考えられる。

## まとめ

愛媛県西条平野の地下構造と地下水流動について明らかにすることを目的に、CSAMT法による比抵抗調査を行った。その結果、次のことが明らかとなった。

- (1) 岡村断層と西条北断層の断層活動により、それらに挟まれた地域が大きく落ち込み、地下水盆が形成されている。
- (2) 地下深部は古海水、地下浅所は淡水で飽和された堆積物が分布している。
- (3) 上記の地質構造及び地下水分布に地下水流動が規制されて、被圧構造が形成されている。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、現地調査において、(財)電力中央研究所の窪田健二主任研究員、(株)電力計算センターの高橋健吾氏、(有)ネオサイエンスの城森明氏、西条市役所、東京大学徳永研究室の草野由貴子氏の方々には多大なるご協力をいただきました。(株)電力計算センターの高橋健吾氏には計測データの二次元解析でご協力をいただきました。(財)電力中央研究所の幡谷竜太博士、濱田崇臣主任研究員には、宿泊の手配をしていただくとともに、火山ガラスの屈折率測定においてご指導、便宜をはかっていただいた。以上の方々に、ここに厚く感謝の意を表します。

## 引用文献

- 1) 岩崎正夫・鈴木堯士・須倉和(1991)：日本の地質 8 四国地方。共立出版(株)，266p
- 2) 後藤秀昭・中田高 (1998)：中央構造線活断層系(四国)の川上断層・岡村断層の再検討-横ずれ断層の断層線認識の新たな視点とその意義-，活断層研究，17，132-140.
- 3) 西条市：西条市役所(水の資料館)ホームページ。2014年8月7日閲覧
- 4) 町田洋・新井房夫 (1992)：火山灰アトラス[日本列島とその周辺]，東京大学出版，276p
- 5) 越智亮太・田中和広・鈴木浩一・徳増実 (2013)：西条平野の地下構造と地下水流動に関する研究，応用地質学会講演論文集，p9.
- 6) 山本荘毅，1976：水文学総論。共立出版，227p
- 7) Mahara, Y., Ohta, T., Morikawa, N., Nakano, T., Tokumasu, M., Hukutani, S., Tukanasu, T., Igarasi, T. , 2014 : Effects of terrigenous He components on tritium-helium dating : A case study of shallow groundwater in the Saijyo Basin, *Applied Geochemistry*, in press.