JAEA-Research
2008-102

研究所設置地区における高密度電気探査(その2)

High Density Electric Survey around the Horonobe Underground Research Laboratory (The Second Survey)

中村 隆浩　真田 祐幸　杉田 裕　手島 稔*
岸本 宗丸*　松尾 公一*

Takahiro NAKAMURA, Hiroyuki SANADA, Yutaka SUGITA, Minoru TESHIMA*
Munemaru KISHIMOTO* and Koichi MATSUO*

地層処分研究開発部門
堆積岩工学技術開発グループ

Sedimentary Environment Engineering Group
Geological Isolation Research and Development Directorate

March 2009
Japan Atomic Energy Agency　日本原子力研究開発機構

JAEA-Research

独立行政法人日本原子力研究開発機構　研究技術情報部　研究技術情報課
〒319-1195　茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

研究所設置地区における高密度電気探査（その２）

日本原子力研究開発機構
地層処分研究開発部門　幌延深地層研究ユニット
中村　隆浩※、真田　祐幸、杉田　裕、手島　稔*、岸本　宗丸*、松尾　公一*

（2008 年 12 月 12 日受理）

独立行政法人日本原子力研究開発機構は、北海道天塩郡幌延町において地下施設の掘削初期・掘削中・掘削後・埋め戻し時における周辺地層中の見掛比抵抗値の分布から地下水環境の変化を把握することを目的として、測定区間を密にした（高密度な）電気探査手法を経時的に適用したモニタリング技術の整備を進めている。本報告書は、平成 19 年度に実施した、見掛比抵抗値を得るためのデーター取得方法・解析手法の検討、既存調査結果の比抵抗構造・水質モデルおよび平成 18 年度の電気探査結果との比較検討を実施しデーターの整合性・再現性についてまとめたものである。

本調査は今回が第 2 回目の調査であり、研究所設置地区に設定した 2 本の測線（測線 1：測線長約 2.1km、測線 2：測線長約 3.1km）について、2 極法（ポール・ポール配置）電気探査を実施した。測線は、基本電極間隔を 50m とし、測線周辺の構造物に留意して測線 1 では 42 本、測線 2 では 61 本の電極を用いた。測定は、最大電極隔離係数を 15 とし、測線 1 では 510 点、測線 2 では 795 点の測定を行った。測定結果を用い 2 次元比抵抗解析を行い、測線 1 では地表から標高－700m、測線 2 では標高－800m までの地下比抵抗構造を求めた。

比抵抗の断面分布は、地表近傍が 20Ω･m 前後と高く、深くなるにつれ概ね 2Ω･m 程度と低くなり、既存調査結果と整合する結果が得られた。また、比抵抗モデルと水質モデルを比較した結果、比抵抗値が塩分濃度を反映していることが確認できた。

平成 18 年度の電気探査結果と比較した結果、見掛比抵抗の値および分布傾向については、大きな差異は認められず、再現性の高い良好なデータが取得できたと考える。また、この事より、掘削による地下水挙動への影響は現時点では認められないものと判断される。

本報告書は、日鉄鉱コンサルタント株式会社が独立行政法人　日本原子力研究開発機構との契約により実施した業務成果に関するものである。

幌延深地層研究センター（駐在）：〒098-3224　北海道天塩郡幌延町北進 432-2
※　技術開発協力員（幌延深地層研究センター）
＊　日鉄鉱コンサルタント株式会社

High Density Electric Survey around the Horonobe Underground Research Laboratory (The Second Survey)

Takahiro NAKAMURA※, Hiroyuki SANADA , Yutaka SUGITA
Minoru TESHIMA＊, Munemaru KISHIMOTO＊and Koichi MATSUO＊

Horonobe Underground Research Unit
Geological Isolation Research and Development Directorate
Japan Atomic Energy Agency
Horonobe-cho, Teshio-gun, Hokkaido

(Received December 12, 2008)

The present document is to report the result of geophysical survey by electric survey around a site proposed for the Horonobe Underground Research Laboratory Project at Horonobe-cho, Hokkaido by the Japan Atomic Energy Agency.

This Electric survey using pole-pole array in Horonobe Underground Research Laboratory Area was the second survey. 2 lines were installed for this survey and the basic electrode spacing was 50m. Line1 was set 42 electrode about 2.1km line length and Line2 was set 61 electrode about 3.1km line length. Total measurement points were 510 in Line1 and 795 in line2 by changing the Electrode spacing factor from 1 to 15.

2 dimensional resistivity inversion analysis was carried out and the resistivity structure from the surface to the depth (Line: till -700m elevation, Line2: till -800m elevation) became clear. The resistivity structure was studied by comparing structure presumed from existing geological, geophysical, hydrology information and the results that were acquired by the last year's electric survey.

Resistivity distribution near surface was about 20 ohm-m and it become to about 2 ohm-m as the depth increasing. Resistivity distribution was good agreement with existing survey results and existing electrical resistivity log data. By comparing resistivty model with hydrology model, it was confirmed that resistivity reflected the density of salinity.

The range and distribution trends of apparent resistivity in this year were similar to the results of last year. It is thought that the data in which reproducibility is high is acquired in this survey. The influence on the underground water flow by construction is not admitted now.

It is thought that the underground water flow form changes as the the Horonobe Underground Research Laboratory construction progresses in the future, and resistivity changes. Therefore, it is necessary to accumulate the observational data more, and to prepare for the interpretation of the change in the future.

Keywords: Electric Survey, Resistivity Structure, Saltwater-Freshwater Interface, Groundwater Behavior

---

This work was performed by Nittetsu Mining Consultants Co., Ltd. under contract with Japan Atomic Energy Agency.

Horonobe Underground Research Center
※ Collaborating Engineer (Horonobe Underground Research Center)
＊ Nittetsu Mining Consultants Co., Ltd.

目　次

Contents

図表目次

1　調査概要

1．1　調査目的

独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構と称す）は、北海道幌延町において地下研究施設の建設を伴う研究プロジェクト（幌延深地層研究計画）を進めており、平成 12 年度から開始した「地上からの調査研究段階（第 1 段階）」が平成 17 年度に終了し、現在、「坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階（第 2 段階）」に移行している。

一般に、地下深部に大規模な地下構造物を建設すると、坑道内部からの湧水に伴い地下構造物周辺の地下水流動場が変化し、それにともなって地下水環境が変動することが考えられる。地層処分における性能評価においては、処分場という大規模な地下構造物を建設したことが構造物周辺の地下水流動場ならびに地下水環境に与える影響を把握することが重要課題の一つにあげられており、その挙動を捉えるモニタリング技術の整備が急がれている。

一方、わが国は周囲が海に囲まれた島国であることもあり、沿岸地域が広く分布する。通常、沿岸地域は、海域との距離、地質構造、降雨量などに依存するが、程度の差はあれ塩化物イオンやナトリウムイオンを豊富に含んだ海水で構成される。岩盤中の電気の流れやすさを示す比抵抗は、地下水中に含まれる溶存イオン量と密接な関係があることから、地下構造物周辺の比抵抗分布の変化を計測することで、構造物周辺の地下水の化学的な特性の変化を類推できる可能性がある。第 1 段階で実施した電磁探査・電気探査および電気検層においては、岩盤中の見掛比抵抗値と地下水水質には強い相関関係が認められており、上記モニタリング技術の一つとして見掛比抵抗値に着目した地下施設周辺での電気探査手法の適用の可能性が示された。

そこで、原子力機構は地下施設の掘削初期・掘削中・掘削後・埋め戻し時における周辺地層中の見掛比抵抗値の分布から地下水環境の変化を把握することを目的として、測定区間を密にした（高密度な）電気探査手法を経時的に適用したモニタリング技術の整備を進めている。以下に本技術の開発手順について示す。

① 掘削初期の段階においては、見掛比抵抗値の初期状態を把握するため、データーの蓄積を図り、得られた結果と第 1 段階で得られている地質環境モデル、AMT 法・電磁探査による比抵抗分布、周辺ボーリング孔の地下水位等のデーターとの対応関係により整合性を評価する。さらに、定期的に実施することにより見掛比抵抗分布の再現性を確認し、データー収集・処理・解析方法の見直しを図る。

② 掘削中の段階においては、測定によって得られた見掛比抵抗値の変動量と掘削時に伴う湧水の塩分濃度等の水質変化、周辺ボーリング孔の地下水位・間隙水圧との対応関係により整合性を評価する。その結果を踏まえ、必要に応じて立坑周辺の電極設置間隔等の見直しを実施し、データー収集・処理の効率化、見掛比抵抗分布の精度向上を図る。

その後、電気探査による見掛比抵抗の計測を、掘削後・埋め戻し中・埋め戻し後まで継続し埋め戻しに伴う地下水環境の回復の状態を見掛比抵抗値の変化の程度や幅などで観測する予定としている。

筆者らは、幌延地域に存在する地下研究所周辺の見掛比抵抗値のモニタリングを地下施設の建設開始直後の平成 18 年度 [1)] から行っている。本報告は、平成 19 年度に実施された地下研究施設の建設初期段階の比抵抗モニタリング結果を示すとともに、坑道掘削前の定常的なバックグラウンドの状態を把握し、さらに地質構造、塩分濃度、既存の比抵抗計測結果との対応関係について

述べる。

１．２　調査地域

調査地域である幌延町は稚内市の南南東約 40～50km に位置し、地表は概ね山林、原野、放牧地及び牧草地である。**図１－１**に調査地域図を示す。また、**図１－２**に測定位置図を示す。これらの図は国土地理院発行 2 万 5 千分の 1 地形図「幌延」「本流」「安牛」「振老」より作成した。

本調査では、**図１－２**に示すように幌延深地層研究センター（以下、センターとする）を横断し、HDB-6 孔で交差する 2 本の測線を設定した。測線 1 は、HDB-4 孔からセンターおよび HDB-6 孔を通る NE-SW 方向の約 2.1km 区間であり、その北側は道道稚内幌延線（以下、道道とする）沿線にあたり、南側はセンターおよび原野となる。測線 2 は HDB-9 孔からセンターおよび HDB-6 孔を通り HDB-11 孔に至る、NNW-SSE 方向の約 3.1km 区間であり、その北側は原野および山林にあたり、センターを経由し、その南側は道道および町道沿線となる。

１．３　調査内容

測定方法	：2 極法電気探査
測定測線	：2 本（測線 1＝測線長約 2.1km　測線 2＝測線長約 3.1km）
電極配置	：ポール・ポール電極配置、電極間隔 50m を基本
総電極数	：103 本（測線 1＝42 本　測線 2＝61 本）
測定点数	：電極隔離係数（以下、N とする）＝15 まで測定し、測線 1 では 510 点、測線 2 では 795 点の測定を実施
品質管理	：測定データを随時検討し、データ品質に問題がある場合は測定時間の延長、送信電流の増加、あるいは電流電極と電位電極の入れ替えを実施
解析方法	：地形を考慮した 2 次元解析及び図面の作成

１．４　調査期間

平成 19 年 10 月 26 日～平成 19 年 11 月 9 日

１．５　調査地域の地形・地質概要

ここでは根本ほか [2)]及び柳田ほか [3)]に基づき調査地域の地形・地質概要を述べる。**図１－３**に調査地域の地質図を示す。

調査地域は神居古潭帯の西側にあたり、白亜－第三系褶曲帯の東部に位置する。白亜－第三系褶曲帯の層序は根本ほか [2)]によれば白亜系が 5 層群、古第三系が 1 層、新第三系が 7 層に区分されている。新第三系は下位から宗谷層、鬼志別層、増幌層、稚内層、声問層、勇知層、更別層と呼ばれている。

調査地域には、NNW-SSE 方向に連続する大きな東傾斜の逆断層が走り、大曲断層と呼ばれる。大曲断層の西側には、声問層、勇知層、更別層の各層が大曲断層とほぼ平行に分布し、更別層を不整合に覆って恵北層が分布している。大曲断層の東側には、稚内層及び声問層が広がっており、一部に勇知層も認められる。

調査地域は標高 150m 以下の丘陵地である。大曲断層付近の地形は比高 100m 程度の地形の急傾斜部が連続しており、調査地域内では顕著な地形境界をなしている。

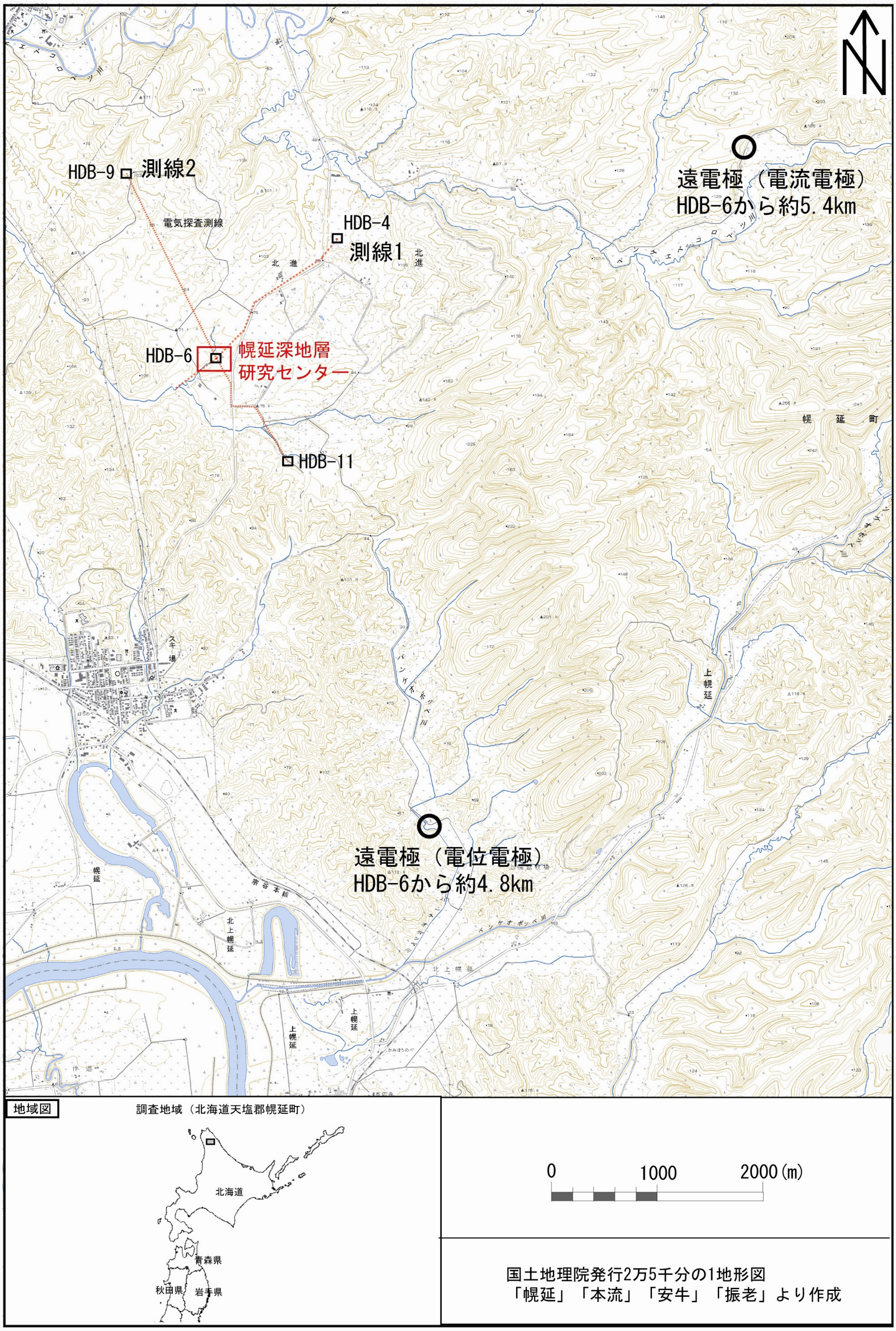

N
HDB-9
測線2
電気探査測線
HDB-4
測線1
HDB-6
幌延深地層
研究センター
HDB-11
遠電極（電流電極）
HDB-6から約5.4km
遠電極（電位電極）
HDB-6から約4.8km
幌延町
地域図
調査地域（北海道天塩郡幌延町）
北海道
青森県
秋田県
岩手県
0
1000
2000(m)
国土地理院発行2万5千分の1地形図
「幌延」「本流」「安牛」「振老」より作成

図１－１　調査地域図

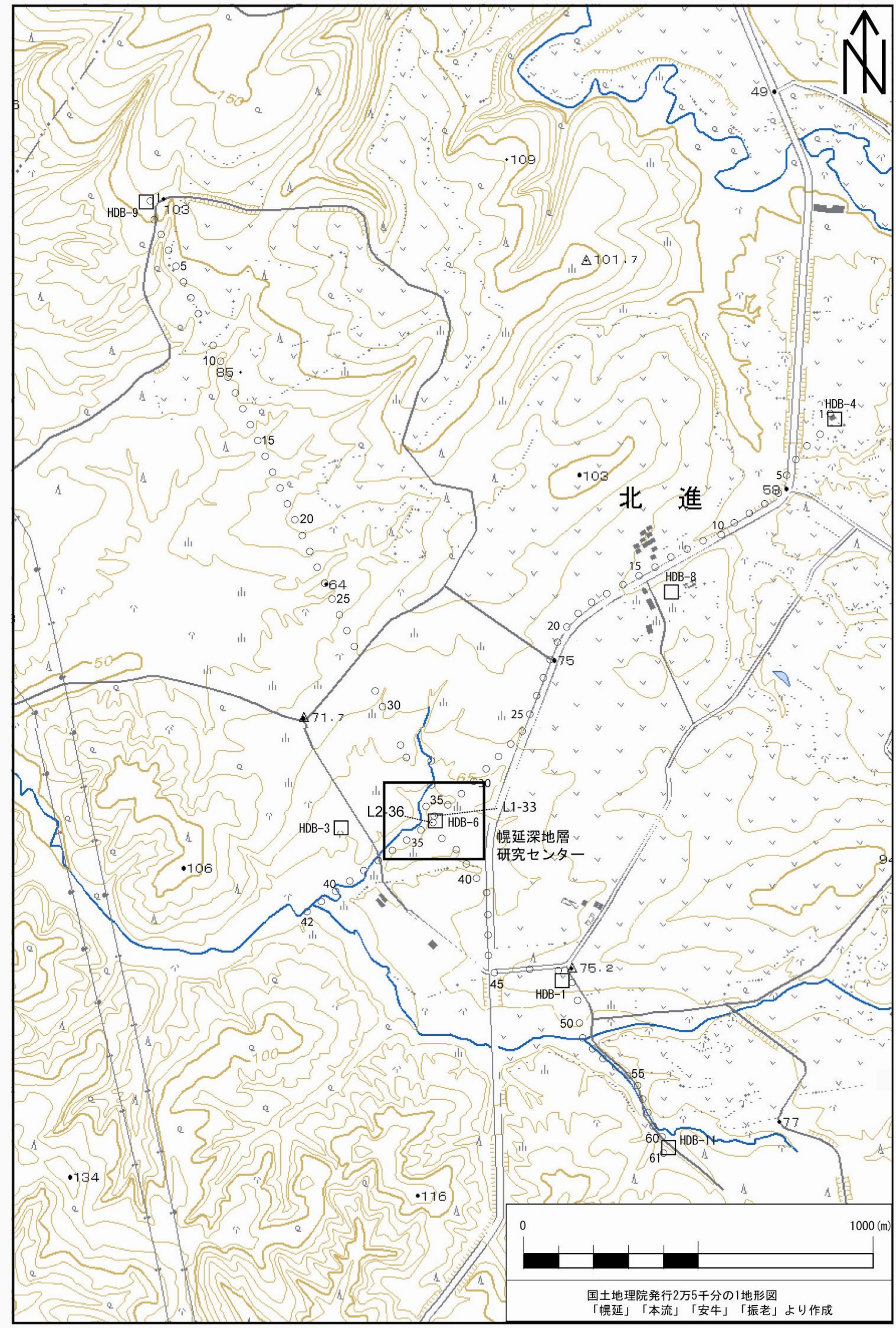

N
HDB-9
103
109
101.7
HDB-4
103
北　進
HDB-8
75
71.7
L2-36
L1-33
HDB-6
HDB-3
幌延深地層
研究センター
106
75.2
HDB-1
HDB-11
77
134
116
0
1000(m)
国土地理院発行2万5千分の1地形図
「幌延」「本流」「安牛」「振老」より作成

図１－２　測定位置図

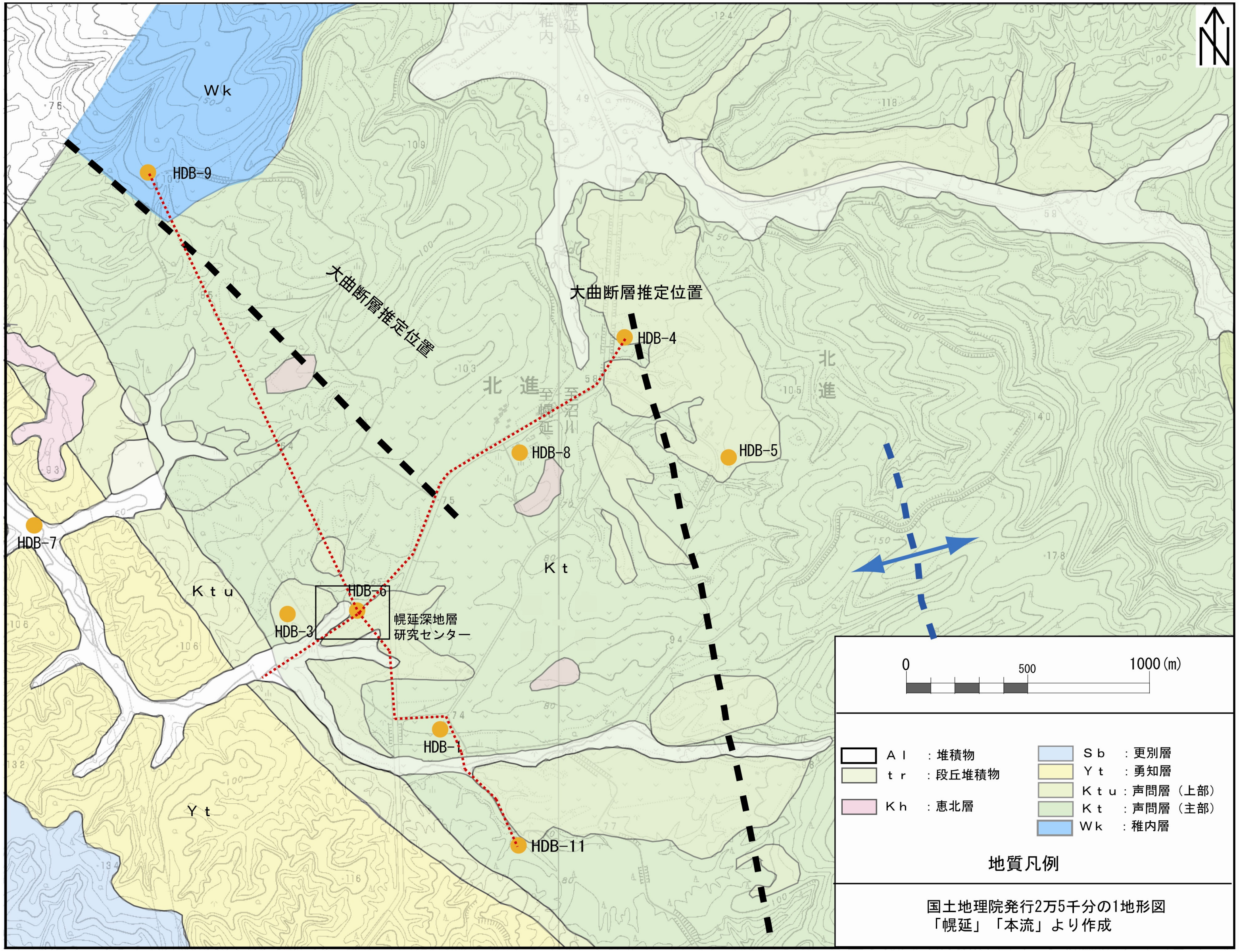

Wk
HDB-9
大曲断層推定位置
大曲断層推定位置
HDB-4
HDB-5
HDB-8
北 進
北 進
至沼川
至幌延
HDB-7
Ktu
Kt
HDB-6
HDB-3
幌延深地層
研究センター
HDB-1
HDB-11
Yt
0
500
1000(m)
Al ：堆積物
tr ：段丘堆積物
Kh ：恵北層
Sb ：更別層
Yt ：勇知層
Ktu：声問層（上部）
Kt ：声問層（主部）
Wk ：稚内層
地質凡例
国土地理院発行2万5千分の1地形図
「幌延」「本流」より作成

図１－３　調査地域地質図

2　調査方法

2．1　測定原理

岩石の比抵抗は、岩石中に含まれる水の量や電気を通しやすい粘土鉱物などの量に依存する。すなわち、岩石に空隙が多く、電気を通しやすい塩分に富む地下水を多く含む場合は比抵抗は低い。一方、硬くて空隙の少ない岩石では比抵抗は高い値を示す。一般的に地下水等によって変質してできる粘土鉱物は電気を良く通す性質を持っており、断層や断層破砕部、変質部には粘土鉱物が多く含まれ比抵抗は低くなる。

電気探査は、地中に打ち込んだ電極から電流を地中に流し、地表に生じる電位差を測定し、地中の電気の流れにくさ、すなわち比抵抗をオームの法則によって算出する方法である。電極配置方法によって何種類かの方法があり、本探査では 2 極法による電気探査を実施し、電極配置はポール・ポール配置を用いた。

2 極法では 4 つの電極を用い、そのうち 2 極を電位測定用に、2 極を電流電極として用いる。対になる電位電極、電流電極のそれぞれひとつの極を測定地域から無限遠と考えられる遠方に接地（遠電極）し、残りの 2 電極は電極間隔を保ったまま移動接地し、大地の比抵抗を測定する。ポール・ポール電極配置及び測定データのプロット概念図を**図２－１**に示す。図中の C1 は電流電極位置、P1 は電位電極位置である。各電位電極で測定された電位($V_{1、2、3、4}$...)より、見掛比抵抗（$\rho_{1、2、3、4}$...）が求まる。測定値は、ポール・ポール配置では見掛比抵抗値を、電流電極(C1)と電位電極(P1)の中点から垂直に電極間隔(a)の距離を伸ばした点にプロットする。これを見掛比抵抗擬似断面図と呼ぶ。

測定では、送信機から休止を含んだ交替直流電流を地下へ流し、地下を伝播した電流により各電極で生じる電位を受信機により測定する。**図２－２**に送信電流と受信電位の波形概念図を示す。

本調査では、測線南側に位置する HDB-6 孔周辺において探査深度が 600m 以上になるように N=15 まで測定を行った。この場合、電極間隔 50m における擬似探査深度は 750m となる。

2．2　使用機器

測定には原子力機構が所有している、協同電気㈱製の自動電気探査測定装置 AES－６A(以下、AES－６A とする)を使用した。**図２－３**にシステム概念図、**表２－１**に機器仕様を示す。

本システムは、信号源として定電流を流すことが可能で、電流については任意の時間通電できるシステムである。また、入出力のチャンネル制御数をそれぞれ最大 512 チャンネルまで増設することが可能である。更に、RS-232C インターフェースを介して PC で測定器をコントロールするため、事前に設定すれば長期間の無人連続観測が可能である。電源は、AC100V を利用する。

本調査では、**図２－２**に示すように通電時間を 1,900msec、休止時間を 500msec となるように設定し、1 サイクルの通電時間を 4,800 msec とした。

2．3　調査方法

本調査では、測線確認作業－測定準備－測定－撤収および見出し杭設置の順序で作業を実施した。

（１）測線確認作業

昨年度の調査終了時に、各点において電極を打ち込むと共に、見出し杭の設置を行ったが、前回調査時からほぼ一年経つ事で、冬季の積雪の影響や獣害による電極・見出し杭の破損・消失した箇所があった。また、山林内の電極については下草が伸びており、調査の妨げになった。そこで、本年度調査に際し、最初に測線の確認作業を行い、測定作業の支障にならないように電極等の確認・伐採作業を行った。

測線は図１－２に示したように、山林内・道路沿いおよびセンター内に位置している。図２－４にセンター敷地周辺における電極位置詳細図を示す。本図からも判るように、測線は電灯線・電波塔などの障害物やセンター内の各種研究設備を避けるために直線ではない。また、表２－２に測線 1、表２－３に測線 2 の電極座標を示す。表中における測点座標は、実際に測量を行い決定した電極の位置である。基線座標は、電極を仮想測線に投影した場合の座標値を示しており、後の 2 次元解析および断面図作成に用いた値である。なお、表の測線座標および標高は、実測値を元に既存の基準点あるいは原子力機構が設けた座標点から算出した座標を UTM 座標系に変換したものである。

（２）測定準備

測線確認作業終了後に電極の確認、電線設置および遠電極の設置を行った。

電極は、昨年度の調査終了時に打ち込んだ電極を用いた。電極本体は、長さ 1m のステンレス製の棒であり、各点に 5 本ずつ設置している。また、電極 34（センター内）については、昨年度の調査終了時に、施設建設作業の障害になるため電極を撤収していたので、本点については改めて簡易測量を行い設置した。電極の接地抵抗は概ね 1kΩ と低かった。

電線については、2 種類の電線を用いた。図２－３に示したように、測定は全て観測部（本年度はセンター内のコア倉庫に設置）においてコントロールするが、各電極に観測部から電線を 1 本ずつ張ると、その設置量が膨大になるうえ、獣害による断線などのトラブルが多くなることが予想される。そのため、最初に観測部から 12 芯専用ケーブルを適当な距離に位置する電極まで敷設し、次にその場所にアダプターボックスを設置し、そこから単線（市販の VSF 電線）を各電極まで敷設することで、全体の電線敷設量を減らし、作業の簡素化および電線トラブル減少に努めた。また、車道を横断する場合はプロテクターを用いて電線を保護し、更に可能な限り木や構造物を用いて、電線を地表から浮かすようにした。

図１－１に示すように遠電極は、昨年度の調査で利用した、HDB-6 孔から約 5km 離れた地区に設置した。配線については、道路路肩および町道脇を利用して、観測部から電線を敷設した。また、各遠電極には電極を 10 本程度打ち込み、十分に接地抵抗を下げた。

（３）測定

測定期間中は、断線およびリークの有無を適宜確認した。測定システムと接続している PC 上でコントロールソフトを起動し、事前に作成してある電極組合せファイルをダウンロードして測定を行った。この操作により、ファイルで指定してある回数分を自動的に測定する。この際、電流量や通電時間はあらかじめ設定しておく。また、測定データはアスキー形式で PC 上に保存される。なお、測定中は遠電極を含め適宜見回りを実施し、事故防止に努めた。

見掛比抵抗値は、測定機に各種測定条件を入力することによりリアルタイムで自動算出され、

また各点ごとに最低 2 回の測定を行うので変動率（2 回目の見掛比抵抗値が 1 回目の見掛比抵抗値を基準とした時に変化した割合、3 回目の測定の際は、2 回目の見掛比抵抗値を基準としている）も併せて表示される。測定中は、これらデータの品質チェックを行い、測定値がばらつく場合には、再測定を行いデータ品質の向上に努めた。また、毎日の作業後に見掛比抵抗を擬似断面上に表示し検討することで、品質が安定していない、あるいは局所的な異常の示している点を抽出し、後日それらについて再測定を行い高品質のデータ取得に努めた。

測定の際は、測線 1 では 510 点、測線 2 では 795 点の電極組合せの測定を実施し、抵抗値、電位値、電流値を算出した。また測定は以下の流れで実施し、データ品質保持に努めた。

① 各電極配置の測定（最低 2 スタック）により抵抗値、電位値、電流値を算出する。この時、AES-6A の抵抗値の変動率の閾値を±5%とした。

② ①の測定で変動率の閾値±5%を超えた各電極配置の再測定をする。この時の変動率の閾値を±7%とした。

③ ②の測定で変動率の閾値±7%を超えた各電極配置の再測定をする。この時の変動率の閾値を±10%とした。

なお、上記の変動率は、一般的な標準偏差／平均より求めている。

（4）撤去

全測定の終了後、使用した電線類は撤去した。また、電極は昨年同様に地中に打ち込み、見出し杭を設置した。

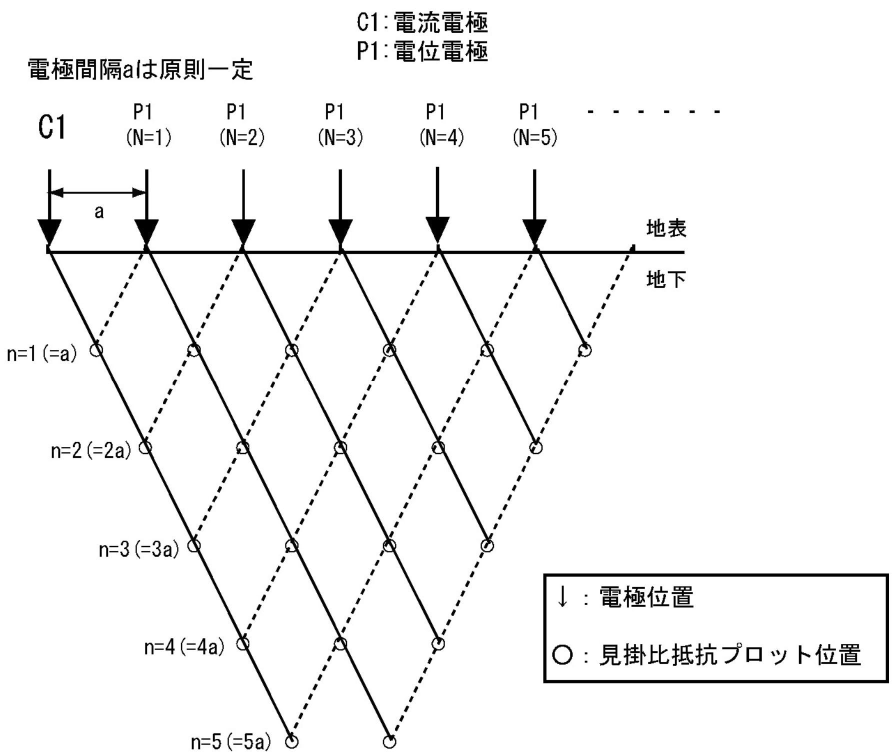


図２－１　測定概念図

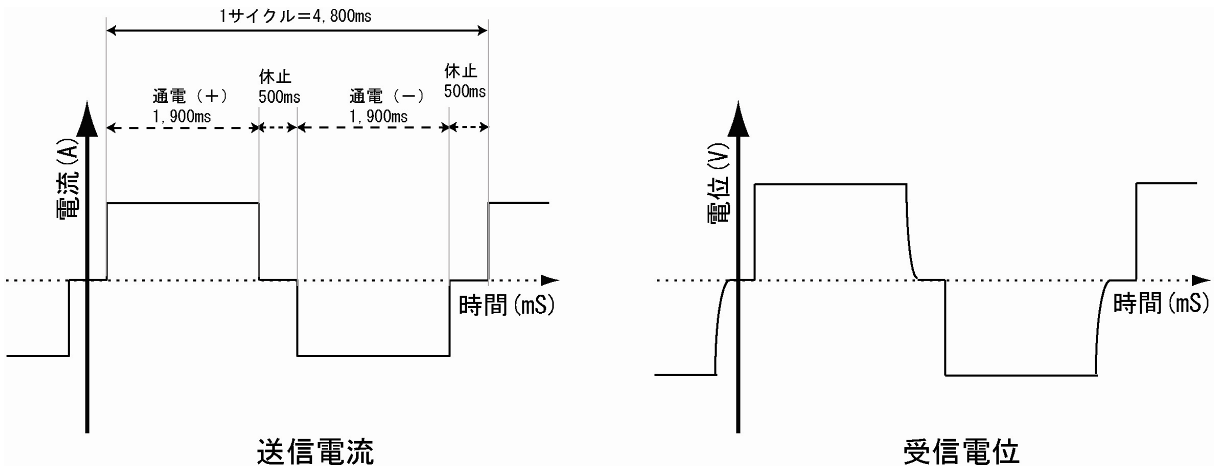


図２－２　送信電流と受信電位の波形概念図

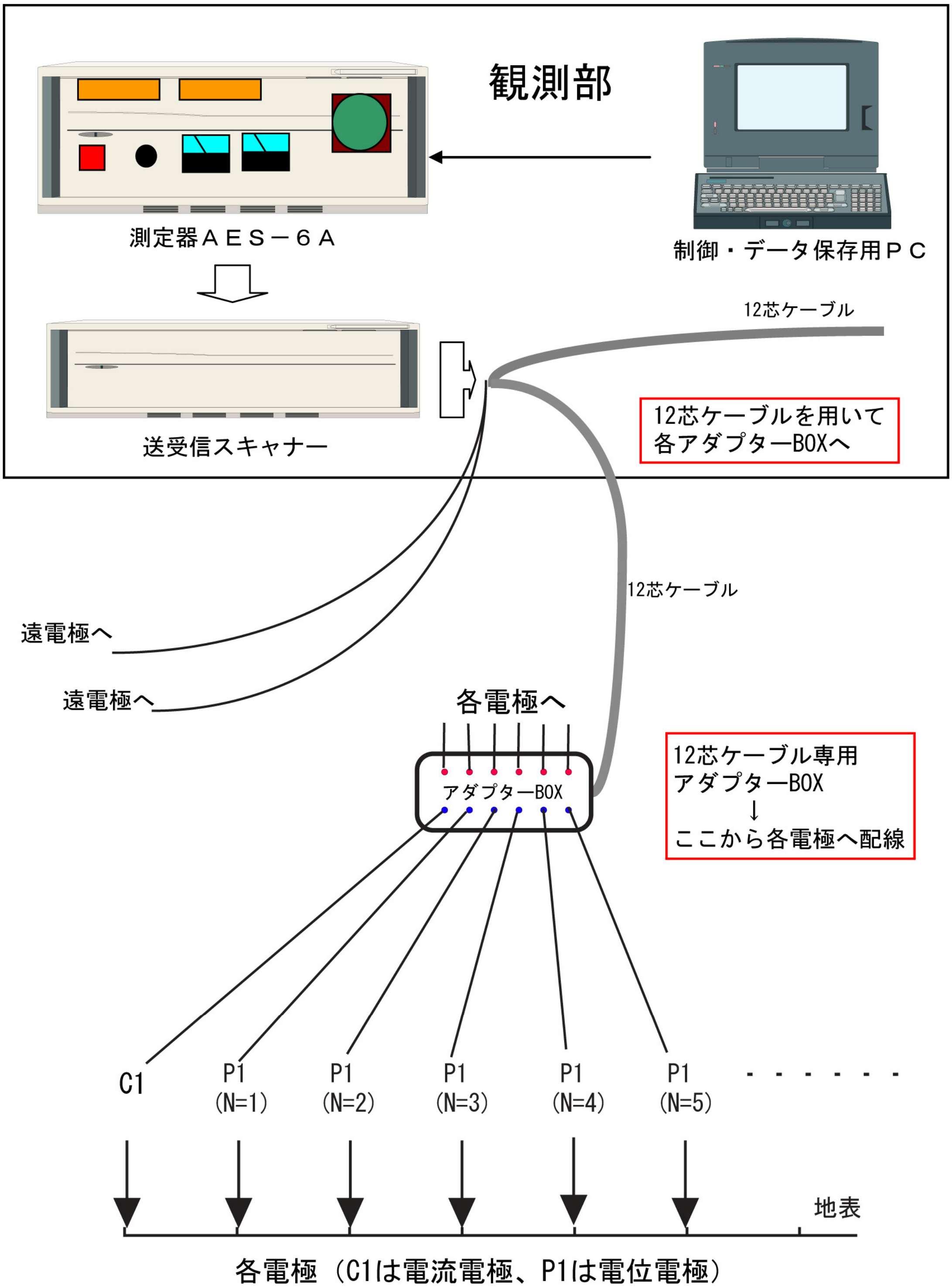


図２－３　測定システム概念図

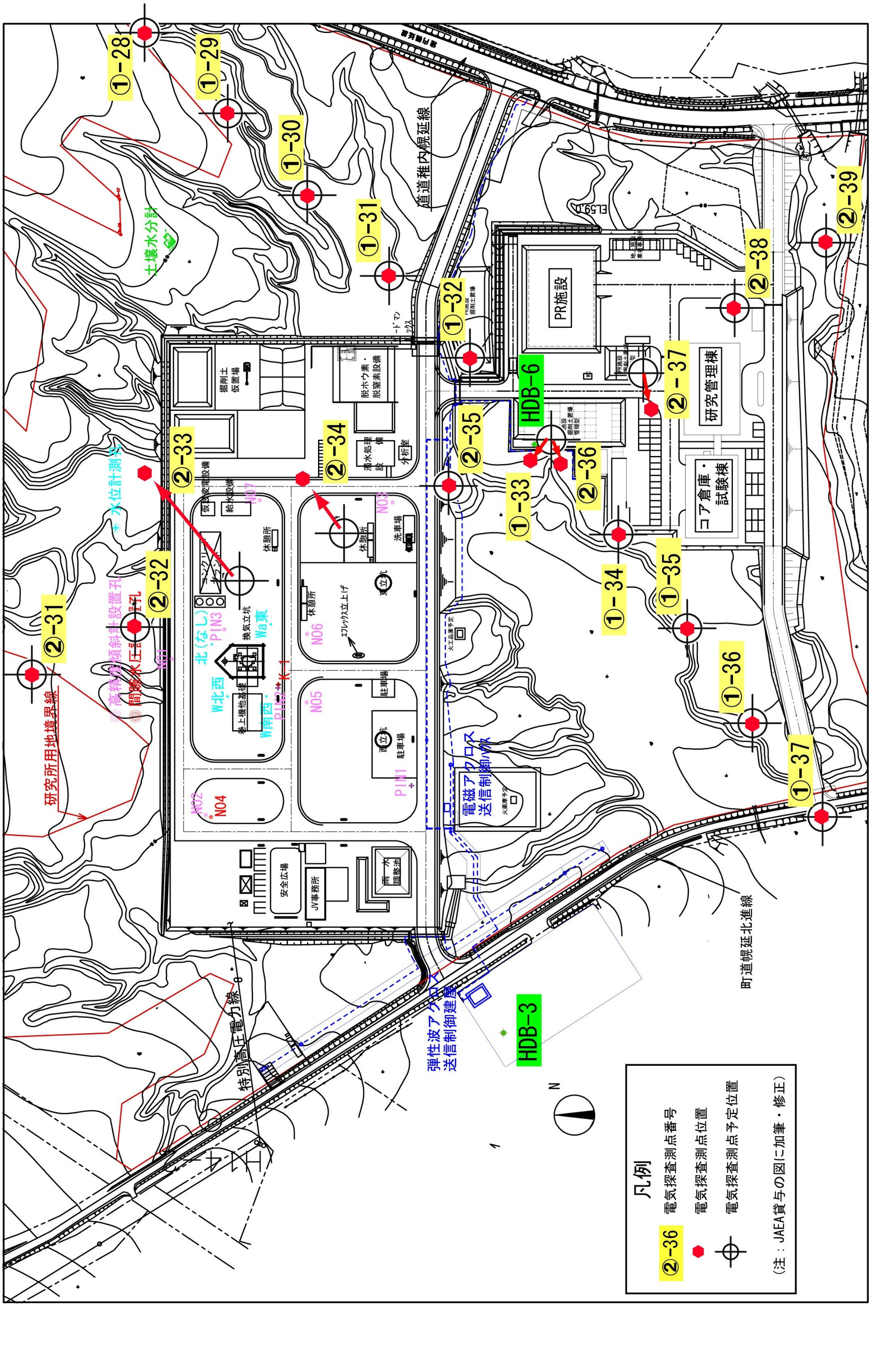


図２－４　幌延深地層研究センター敷地周辺における電極位置詳細図

表２－１　測定機器仕様

測定機器	AES-6A
チャンネル数	128ch(*1)
最大出力電圧	350(V)
最大出力電流	1000(mA)
インターフェース	PCとRS232C,USBで接続可
サイズ	45×46×13.2cm（突起物含まず）
重量	12kg

(*1)スキャナを増設することで、最大512chまで可能

測定機器	AESシリーズ用スキャナ
チャンネル数	128ch(*1)
送信最大取扱電圧	250V/AC　30V/DC開閉時
送信最大取扱電流	3(A)
受信最大取扱電圧	100(V)
受信最大取扱電流	100(mA)
インターフェース	パラレル　I/F
サイズ	45×46×17.5cm（突起物含まず）
重量	15kg

表２－２　電極座標（測線 1）

UTM座標						
No	基　線　座　標		測　点　座　標		標高	備考
	X(NS)	Y(EW)	X(NS)	Y(EW)	m	
1	4989379.161	568900.126	4989391.635	568887.1564	63.75	HDB-4　H=63.61
2	4989334.240	568856.924	4989332.022	568859.2301	63.34	
3	4989298.213	568822.275	4989298.213	568822.2747	59.90	
4	4989262.184	568787.624	4989258.719	568791.2272	56.43	
5	4989226.191	568753.009	4989213.911	568765.778	53.20	
6	4989187.901	568716.183	4989162.239	568742.8654	53.94	
7	4989152.348	568681.990	4989130.671	568704.5296	50.72	
8	4989116.463	568647.478	4989103.441	568661.0175	51.51	
9	4989080.457	568612.850	4989075.218	568618.2966	55.99	
10	4989044.392	568578.165	4989041.053	568581.6377	58.79	
11	4989009.056	568544.180	4989022.625	568530.0718	59.80	
12	4988973.748	568510.223	4988997.927	568485.0819	61.69	
13	4988938.685	568476.501	4988974.624	568439.1325	61.69	
14	4988901.042	568440.299	4988945.151	568394.4342	66.76	
15	4988865.166	568405.795	4988919.739	568349.0504	66.44	
16	4988828.842	568370.860	4988893.54	568303.5877	67.73	
17	4988792.251	568335.669	4988867.082	568257.862	69.14	
18	4988757.686	568302.426	4988841.844	568214.9201	70.37	
19	4988722.047	568268.150	4988809.704	568177.0061	71.30	
20	4988685.767	568233.258	4988770.375	568145.2842	72.93	
21	4988650.177	568199.031	4988726.844	568119.3143	73.38	
22	4988613.796	568164.041	4988676.215	568099.1391	73.56	
23	4988577.501	568129.134	4988624.355	568080.4168	73.02	
24	4988541.603	568094.609	4988572.586	568062.3919	70.15	
25	4988504.739	568059.155	4988519.617	568043.6847	68.38	
26	4988469.099	568024.880	4988471.136	568022.7615	64.54	
27	4988433.589	567990.727	4988433.589	567990.7271	66.52	
28	4988397.505	567956.022	4988397.505	567956.0225	64.73	
29	4988361.476	567921.373	4988361.476	567921.373	63.78	
30	4988325.447	567886.722	4988325.447	567886.7225	61.59	
31	4988289.418	567852.072	4988289.418	567852.072	59.50	
32	4988253.391	567817.422	4988256.856	567813.8195	60.05	
33	4988217.363	567782.772	4988224.293	567775.5661	60.05	HDB-6　H= 60.21
34	4988184.184	567738.104	4988184.184	567738.104	56.24	
35	4988154.376	567697.974	4988154.376	567697.9743	54.75	
36	4988124.570	567657.847	4988124.57	567657.8465	58.00	
37	4988094.763	567617.719	4988094.763	567617.7187	54.87	
38	4988064.956	567577.591	4988065.759	567576.9947	53.21	
39	4988035.150	567537.463	4988035.15	567537.4633	52.82	
40	4988005.344	567497.336	4988005.344	567497.3355	52.44	
41	4987975.538	567457.208	4987975.538	567457.2078	52.25	
42	4987945.730	567417.080	4987945.73	567417.08	52.38	

表２－３　電極座標（測線 2）

UTM座標						
No	基 線 座 標		測 点 座 標		標高	備考
	X(NS)	Y(EW)	X(NS)	Y(EW)	m	
1	4989970.561	566928.819	4989976.034	566940.054	97.11	HDB-9　H=97.19
2	4989922.656	566952.153	4989922.656	566952.153	94.92	
3	4989880.683	566972.598	4989880.683	566972.598	74.02	
4	4989835.744	566994.487	4989835.744	566994.487	91.89	
5	4989790.804	567016.376	4989790.804	567016.376	88.69	
6	4989745.866	567038.266	4989745.866	567038.266	87.81	
7	4989700.927	567060.155	4989700.927	567060.155	84.05	
8	4989655.988	567082.043	4989655.988	567082.043	81.60	
9	4989566.110	567125.822	4989566.110	567125.822	81.72	
10	4989521.171	567147.711	4989521.171	567147.711	70.49	
11	4989476.231	567169.601	4989476.231	567169.601	74.95	
12	4989431.292	567191.490	4989431.292	567191.490	74.87	
13	4989386.353	567213.378	4989386.353	567213.378	73.90	
14	4989341.415	567235.268	4989341.415	567235.268	68.89	
15	4989296.476	567257.157	4989296.476	567257.157	60.86	
16	4989251.536	567279.046	4989251.536	567279.046	59.76	
17	4989206.597	567300.936	4989206.597	567300.936	65.64	
18	4989161.658	567322.824	4989161.658	567322.824	72.02	
19	4989116.719	567344.713	4989116.719	567344.713	75.76	
20	4989071.780	567366.603	4989071.780	567366.603	78.18	
21	4989026.840	567388.492	4989026.840	567388.492	73.54	
22	4988981.901	567410.380	4988981.901	567410.380	67.26	
23	4988936.963	567432.270	4988936.963	567432.270	60.44	
24	4988892.024	567454.159	4988892.024	567454.159	61.14	
25	4988847.084	567476.048	4988847.084	567476.048	60.86	
26	4988802.145	567497.938	4988802.145	567497.938	66.26	
27	4988757.206	567519.826	4988757.206	567519.826	74.26	
28	4988712.267	567541.715	4988712.267	567541.715	77.43	
29	4988586.348	567603.049	4988586.348	567603.049	69.91	
30	4988541.677	567624.806	4988541.677	567624.806	66.52	
31	4988432.835	567677.822	4988432.835	567677.822	62.67	
32	4988397.693	567694.939	4988397.693	567694.939	62.46	
33	4988362.524	567712.070	4988388.923	567766.266	59.88	
34	4988306.215	567739.496	4988319.817	567767.421	59.98	
35	4988262.210	567760.931	4988258.533	567753.381	59.57	
36	4988217.363	567782.772	4988212.985	567773.784	59.82	HDB-6　H=60.21
37	4988176.935	567812.170	4988168.116	567800.042	60.14	
38	4988136.507	567841.568	4988136.507	567841.568	59.95	
39	4988096.079	567870.966	4988096.079	567870.966	56.23	
40	4988055.651	567900.364	4988055.651	567900.364	49.92	
41	4988015.223	567929.762	4988015.223	567929.762	60.82	
42	4987971.593	567961.488	4987952.155	567934.757	62.41	
43	4987933.008	567989.545	4987894.203	567936.180	63.34	
44	4987893.996	568017.915	4987835.694	567937.738	63.99	
45	4987853.511	568047.353	4987786.789	567955.598	63.75	
46	4987813.083	568076.751	4987798.089	568056.133	66.97	
47	4987772.654	568106.149	4987795.608	568137.715	70.67	
48	4987731.419	568136.135	4987761.934	568178.100	69.05	
49	4987690.505	568165.886	4987711.107	568194.218	66.19	
50	4987644.659	568199.223	4987645.594	568200.508	63.37	
51	4987612.560	568222.565	4987603.487	568210.089	59.98	
52	4987578.600	568247.260	4987572.685	568239.125	61.28	
53	4987546.258	568270.778	4987545.005	568269.055	61.33	
54	4987513.915	568294.297	4987522.328	568305.867	61.49	
55	4987481.573	568317.815	4987497.148	568339.233	61.43	
56	4987449.231	568341.332	4987469.445	568369.131	61.39	
57	4987416.887	568364.851	4987431.128	568384.435	61.76	
58	4987384.545	568388.369	4987392.812	568399.738	61.96	
59	4987352.203	568411.888	4987354.502	568415.049	62.45	
60	4987319.860	568435.406	4987324.153	568441.309	66.49	
61	4987287.161	568459.184	4987277.754	568446.247	66.26	HDB-11　H=66.85

３　解析方法

３．１　見掛比抵抗の算出

以下の手順により抵抗値R、電位値V、電流値Iを算出し、見掛比抵抗値を求めた。

① 各電極配置の測定（最低 2 スタック）により抵抗値、電位値、電流値を算出する。この時、AES-6A の抵抗値の変動率の閾値を±5%とした。閾値を超えない場合は、①の抵抗値、電位値、電流値の測定結果を最終結果とする。

② ①の測定で変動率の閾値を超えた各電極配置の再測定をする。この時の変動率の閾値を±7%とした。閾値を超えない場合は、②の抵抗値、電位値、電流値の測定結果を最終結果とする。

③ ②の測定で変動率の閾値を超えた各電極配置の再測定をする。この時の変動率の閾値を±10%とした。閾値を超えない場合は、③の抵抗値、電位値、電流値の測定結果を最終結果とする。

④ ③の再測定によりデータ改善が見られない各電極配置については、周辺の電極配置のデータと比較検討し、①から③より算出した抵抗値、電位値、電流値の 1 つの結果を最終結果として用いる。

以上のように、再測定を実施した各電極配置については、基本的に再測定の結果（抵抗値、電位値、電流値）を利用した。

⑤ 見掛比抵抗値ρは、

$$\rho = K \times R = K \times \frac{V}{I}$$

で表される。

ここで、Vは電流電極位置(C_1, C_2)間に電流I（休止を含む交替直流）を供給し、流電中に電位電極位置(P_1, P_2)間において測定される一次電位である。また、C_1は測定地域内の電流電極、C_2は北側の遠電極、P_1は測定地域内の電位電極、P_2は南側の遠電極を示す。$C_1P_1, C_1P_2, C_2P_1, C_2P_2$はそれぞれ電極間の距離、$K$は電極配置で決まる係数であり、次式で表される。

$$K = \frac{2\pi}{1/C_1P_1 - 1/C_1P_2 - 1/C_2P_1 + 1/C_2P_2}$$

本調査の測線は直線ではないため、上式より**表２－２**、**表２－３**で示す各電極座標値を用いて面的に見掛比抵抗を算出し、以後の解析に用いた。また、見掛比抵抗擬似断面図の作成に当たっては、電極の位置を仮想測線に投影し、その投影後の座標における表示位置を計算し、測定値を図示した。

３．２　2 次元解析

本調査では、有限要素法によるモデル計算（Forward modeling）と非線形最小二乗法による自動解析法を組み合わせた 2 次元インバージョン解析法を使用した。解析に供したプログラムは、「ELSYS」（著作者：佐々木裕、九州大学）である。

地下構造が水平多層構造で近似できない場合、測線方向の比抵抗変化の影響を考慮しない水平

多層構造を前提とした従来の１次元解析では地下比抵抗構造を十分反映した解析が不可能であったが、2 次元解析を行えば測線方向の比抵抗不連続境界の影響を含めて解析することが可能である。また、従来は地下構造を任意の比抵抗ブロックに分割し、この比抵抗ブロックに推定される比抵抗値を当てはめた地下比抵抗モデルを作成し、この地下比抵抗モデルにより計算される理論値と実測値とを比較し、測定値にできるだけ近い応答を示すモデルを試行錯誤で組み立てていくフォワードモデリングが試みられていたが、この方法は解析者の恣意が含まれるなどの問題があった。今回解析に使用したインバージョン解析法は、各ブロックに当てはめる比抵抗値を非線形最小二乗法により推定させる自動反復解析法を適用することにより、解析者の恣意に依らない客観的な解析結果を得ることが可能である。

モデルでは、水平方向のブロック幅（測線端部除く）は基本的に 50m とし、電極間隔が小さい、あるいは大きい箇所については適宜ブロック幅を変更した。また深度方向については、解析深度を考慮して、各電極下のブロックを地表～深度 700m までは厚さ 50m で 14 層設定し、その後徐々に厚くなるように設定した。そして、これらブロックを地表の地形に合わせて変形させ、水平方向には地形と平行な形の比抵抗ブロックとした。**図３－１**に 2 次元解析に使用した解析ブロックの概念図を示す。これらの一つ一つの比抵抗ブロックに比抵抗値が与えられると、有限要素法によるモデル計算により地下の比抵抗構造に対応する地表での応答として各測点における見掛比抵抗が得られる。これらの地表での応答と測定値の残差が最も小さくなるように比抵抗ブロックの値を最小二乗法による自動反復解析により求めた。また、反復解析一回目の比抵抗ブロックの値（初期値）は全て同じ値を与え、初期値が解析結果に与える影響を除去した。

３．３　見掛比抵抗の算出結果

３．１節で述べた方法で算出した見掛比抵抗値より測線 1、2 の見掛比抵抗擬似断面図を作成し、昨年度の見掛比抵抗擬似断面図との比較を行った。

①　測線 1

図３－２は測線 1 の見掛比抵抗擬似断面図を示したもので、上段(a)は平成 18 年度(2006)、中段(b)は本年度(2007)の断面図であり、下段(c)には平成 18 年度測定結果を基準とした観測値の差（Variation：以後変化率とする）を示す。

本図(a)と(b)を見ると、見掛比抵抗の分布傾向は相似しており、本年度の調査結果が昨年度の結果と概ね同傾向で有ることが判るが、詳細に見ると、電極 20 以北の標高－400m 以深における 3～5Ω･m の見掛比抵抗分布のように、深度が増すと異なってくる区域がある。次に(c)を見ると、標高－100m 前後までは、変化率が概ね±10%以内と小さく、変動が少ないことが判る。そして、深度が増すと変化率は大きくなる傾向にあり、標高－100m 以深では変化率±10%以上の点が多く見られる。ここで、変化率±10%以上を示す電極組合せは 303 個となり、測線 1 のすべての電極組合せ 510 個のうち 59%を占める結果となった。

②　測線 2

図３－３は測線 2 の見掛比抵抗擬似断面図を示したもので、上段(a)は平成 18 年度(2006)、中段(b)は本年度(2007)の断面図であり、下段(c)には平成 18 年度測定結果を基準とした変化率を示す。

本図(a)と(b)を見ると、見掛比抵抗の分布傾向は相似しており、本年度の調査結果が昨年度

の結果と概ね同傾向で有ることが判るが、詳細に見ると、標高－300m 以深における 3Ω･m 以下の見掛比抵抗分布域が、局所的に異なっている区域がある。(c)を見ると、測線 1 同様に、標高－100m 前後までは、変化率が概ね±10%以内と小さく、変動が少ないことが判る。そして、深度が増すと変化率は大きくなる傾向にあり、標高－100m 以深では変化率±10%以上の点が多く見られる。ここで、変化率±10%以上を示す電極組合せは 457 個となり、測線 2 のすべての電極組合せ 795 個のうち 57%を占める結果となった。

両測線の見掛比抵抗について検討した結果、各測線の電極組合せの 50%以上が、変化率±10%以上の変化を示す結果となった。これは、抵抗値・電位値・電流値のデータを決定する際に、上述した方法では調査員の経験・判断に負うところが多く、観測時のノイズの除去・軽減が充分に出来ていないためと考える。以上のことから、データを決定する際には、調査員の判断によらずに、客観性を向上させる必要がある。

３．４　見掛比抵抗の算出方法の検討

見掛比抵抗値を算出する際に用いる電流値･電位値･抵抗値のデータ品質管理の客観性の向上、および周辺測定環境の影響を除去・軽減することを目的にデータ処理を行った。

AES-6A では送信電流に休止を含む交替直流を用いており、正または負の電流が流れているときの送信電流値と測定電位値が計測される。**図３－４**にデータ取得概念図を示す。1 周期（スタック）のデータには、正符号側で 4 点(V_1, V_2, V_3, V_4)、負符号側で 4 点(V_5, V_6, V_7, V_8)の計 8 点の電位値、正符号側で 2 点(I_1, I_2)、負符号側で 2 点(I_3, I_4)の計 4 点の電流値が記録されている。見掛比抵抗値は下記の手順で求めた。

① 以下の計算式に示すように、電位記録の正符号側 4 点から電位値の平均値V_p、負符号側 4 点から電位値の平均値V_nを求める。V_pとV_nより電位値Vを算出する。

$$V_p = (V_1 + V_2 + V_3 + V_4)/4$$
$$V_n = (V_5 + V_6 + V_7 + V_8)/4$$
$$V = (V_p - V_n)/2$$

② 電流値を以下の計算式に示すように、電流記録 4 点から平均電位値Iを求める。

$$I = (I_1 + I_2 + I_3 + I_4)/4$$

③ ①と②より、1 スタック(サイクル)の抵抗値$R = V/I$を求める。

④ ①～③より作成されるデータは、各電極配置において 4～20 スタックのデータより構成されている。このデータにおいて抵抗値の中央値R_{cen}をスタックごとに求める。

⑤ 突発的なノイズが混入したデータを取り除くために、各々の抵抗値$(R_1, R_2 .... R_N)$と抵抗値の中央値からバラツキを以下の式より算出する。

$$Dev = (R_N - R_{cen})/R_{cen} \times 100$$

⑥ 上式より±5%以上の値を排除し、再度各電極配置において求めた中央値を最終の抵抗値とする。この時、中央値と各抵抗値が±5%以内にない場合は、すべてのデータの中央値を最終の抵抗値とする。

⑦　各電極配置においての電位値は、⑥より求めた抵抗値算出の際に用いた値とする。

⑧　各電極配置においての電流値は、⑥と⑦より求めた抵抗値と電位値から算出する。

⑨　見掛比抵抗値 ρ は、

$$\rho = K \times R = K \times \frac{V}{I}$$

で表される。

ここで、V は電流電極位置 $\left(C_1, C_2\right)$ 間に電流 I（休止を含む交替直流）を供給し、流電中に電位電極位置 $\left(P_1, P_2\right)$ 間において測定される一次電位である。また、C_1 は測定地域内の電流電極、C_2 は北側の遠電極、P_1 測定地域内の電位電極、P_2 は南側の遠電極を示す。$C_1P_1, C_1P_2, C_2P_1, C_2P_2$ はそれぞれ電極間の距離、K は電極配置で決まる係数であり、次式で表される。

$$K = \frac{2\pi}{1/C_1P_1 - 1/C_1P_2 - 1/C_2P_1 + 1/C_2P_2}$$

３．５　検討結果

（１）見掛比抵抗擬似断面図（平成 18 年度と平成 19 年度の比較）

３．４節で述べたデータ処理方法で算出した見掛比抵抗値より測線 1、2 の見掛比抵抗擬似断面図を作成し、昨年度の測定結果に対して３．４節で述べたデータ処理を行った見掛比抵抗擬似断面図との比較を行った。

①　測線 1

図３－５は測線 1 の見掛比抵抗擬似断面図を示したもので、上段(a)は平成 18 年度（2006）、中段(b)は本年度(2007)の断面図であり、下段(c)には平成 18 年度測定結果を基準とした変化率を示す。

本図(a)と(b)を見ると、見掛比抵抗の分布傾向は相似しており、本年度の調査結果が昨年度の結果と概ね同傾向で有ることが判るが、詳細に見ると、電極 14～電極 17 の標高－400m 以深における 3～5Ω･m の見掛比抵抗分布のように、深度が増すと微妙に異なってくる区域がある。次に(c)を見ると、標高－300m 前後までは、変化率が概ね±5%以内と小さく、変動が少ないことが判る。そして、深度が増すと変化率は大きくなる傾向にあり、標高－500m 以深では変化率±10%以上の点が多くなり、電極 20 以南の深部では 20%以上異なる点も多く見られる。ここで、変化率±10%以上の電極組合せは 91 個となり、測線 1 のすべての電極組合せ 510 個のうち 17%を占める結果となった。

②　測線 2

図３－６は測線 2 の見掛比抵抗擬似断面図を示したもので、上段(a)は平成 18 年度（2006）、中段(b)は本年度(2007)の断面図であり、下段(c)には平成 18 年度測定結果を基準とした変化率を示す。

本図(a)と(b)を見ると、見掛比抵抗の分布傾向が相似しており、本年度の調査結果が昨年度の結果と概ね同傾向で有ることが判る。また、標高－300m 以深において、局所的な変化は見られるものの、測線 1 と比べると変化が少ない。(c)を見ると、測線 1 同様に、標高－300m 前後までは、変化率が概ね±5%以内と小さく、深度が増すと大きくなる傾向にある。ここで、

変化率±10%以上の電極組合せは 168 個となり、測線 2 のすべての電極組合せ 795 個のうち 21%を占める結果となった。

両測線の見掛比抵抗について検討した結果、各測線の電極組合せの 20%程度が、変化率±10%以上の変化を示す結果となった。

（２）見掛比抵抗擬似断面図（平成 18 年度の比較）

平成 18 年度の測定データに対して３．４節で述べたデータ処理を行い、その結果を検討した。**図３－７**に見掛比抵抗擬似断面図を示す。ここで、上側の 2 断面は測線 1 であり、上段は昨年度報告した結果、下段はデータ処理実施後の結果である。下側の 2 断面は測線 2 であり、上段は昨年度の結果、下段はデータ処理実施後の結果である。

本図より、両測線とも見掛比抵抗分布の傾向および数値範囲は概ね同じである。また、測線 1 では 3Ω･m 以下の見掛比抵抗域の連続性が浅部から向上している。測線 2 では、昨年度電極 28～電極 43 の下方で見られた 3～5Ω･m の見掛比抵抗域が 2～3Ω･m の区域となり、隣接区域との連続性が向上している。

（３）2 次元解析（平成 18 年度の比較）

平成 18 年度の測定データに対して３．４節で述べたデータ処理を行った測定結果を用いて、３．２節で述べた 2 次元解析を行い、その結果と既存試錐孔における電気検層結果を比較した。測線 1 は**図３－８**、測線 2 は**図３－９**に示す。いずれも上段は昨年度報告した結果、下段はデータ処理実施後の結果である。

昨年度の結果と比べ、測線 1 では、

- 測線北側の 7Ω･m 以上の高比抵抗域の分布が浅くなり、HDB-4 孔の結果とより調和
- 電極 33 下方の 3Ω･m 以下の比抵抗域が浅くなり、HDB-6 孔の結果と良く対応しており、昨年度の結果と同等のものになっている。

測線 2 では、

- 電極 36 下方の高比抵抗域が無くなり、昨年度より HDB-6 孔の結果と調和
- 測線南側の深部に 2Ω･m 以下の比抵抗域が解析されることで、HDB-1 孔と良く対応しており、昨年度の結果と比べ、同等あるいはそれ以上に既存調査結果と良く対応していることが判明した。

（４）まとめ

見掛比抵抗算出の際に用いる電位値、電流値、抵抗値のデータ処理を行うか否かについて検討した。結果、データ処理前後の変化率±10%以上の電極組合せの個数を見てみると、測線 1 ではデータ処理前 303 個からデータ処理後 91 個、測線 2 では 457 個から 168 個と減少する結果となった。このことから、新たに取り入れたデータ処理方法は、データ品質管理の客観性の向上に有効な処理であると考える。また、2 次元解析と既存試錐孔における電気検層結果を比較した。その結果、地域の地下構造を反映した適切な結果が得られており、有効な処理であることが確認できた。

よって、本年度の調査より、このデータ処理を行った結果を測定結果として用いる事とした。これに伴い、昨年度の測定結果についても、全て再計算したものを、以後の報告では用いた。

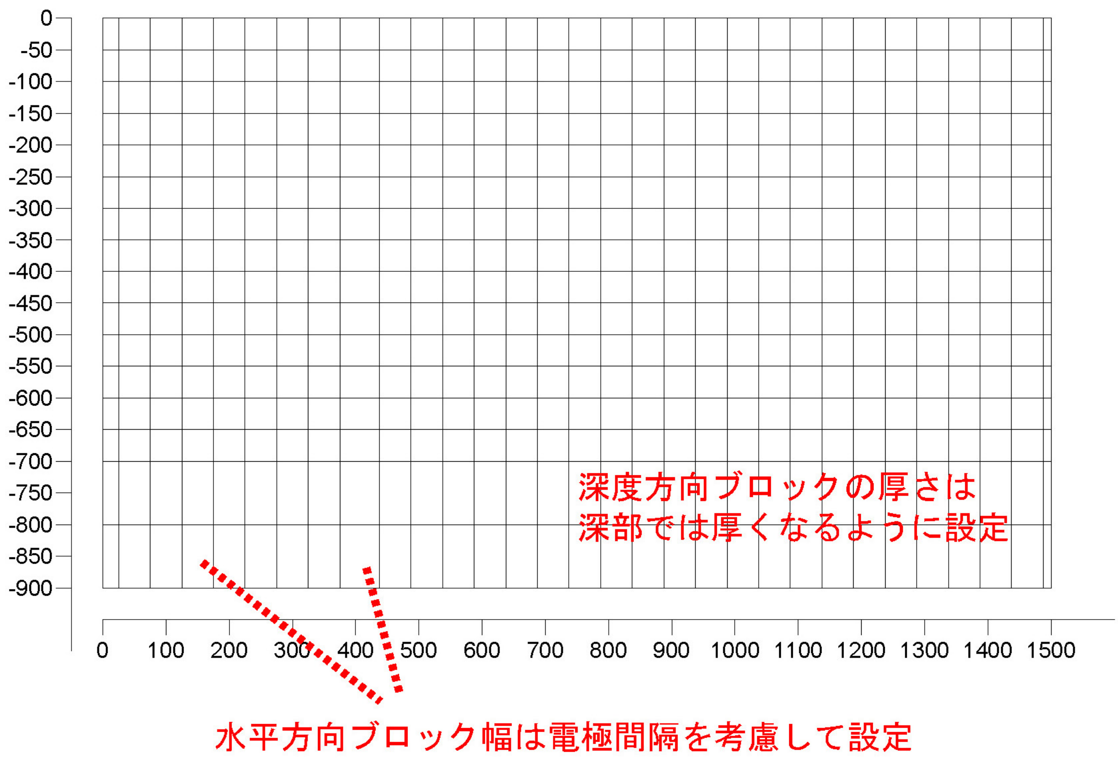


図３－１　２次元解析ブロック概念図

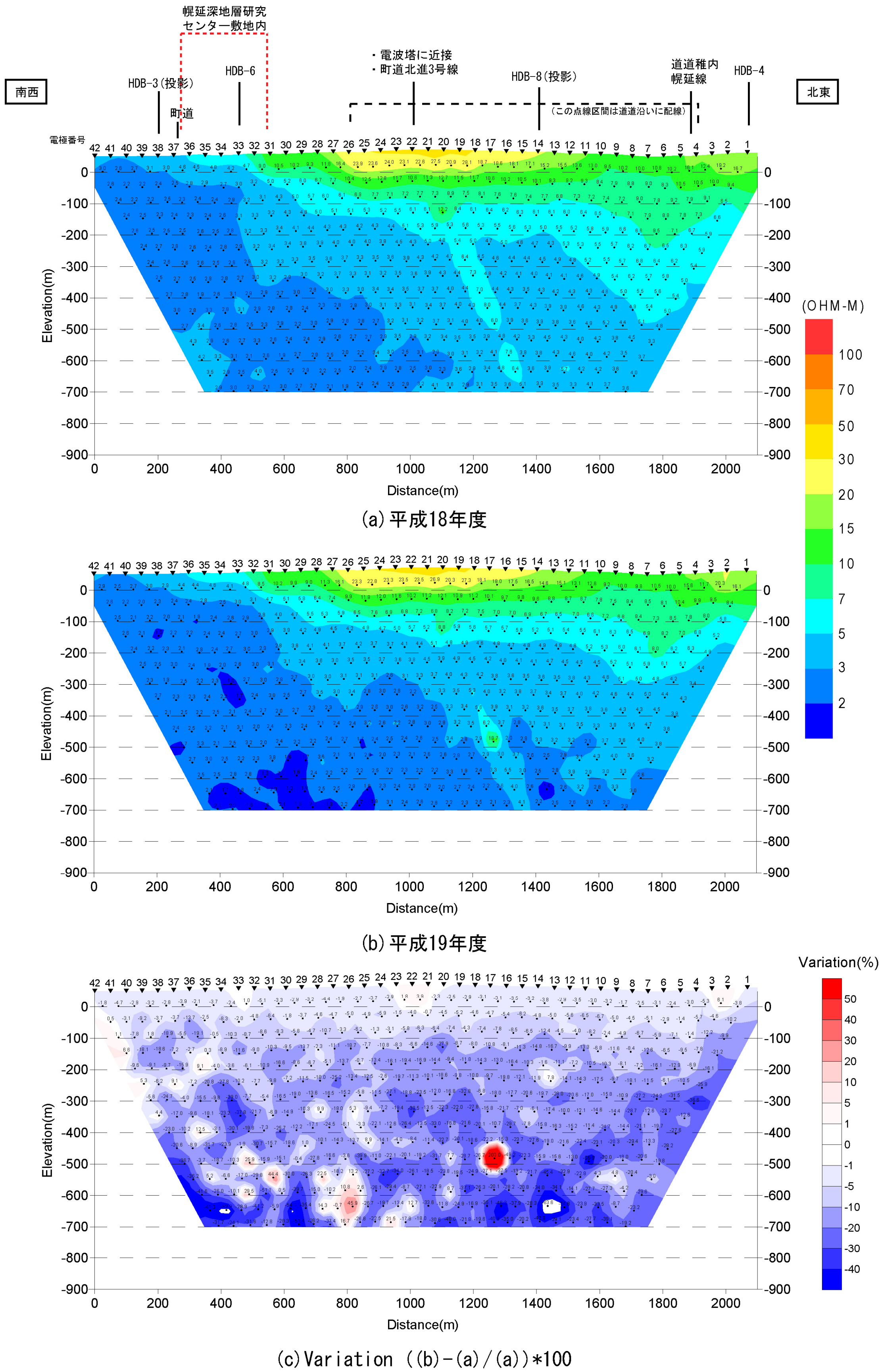
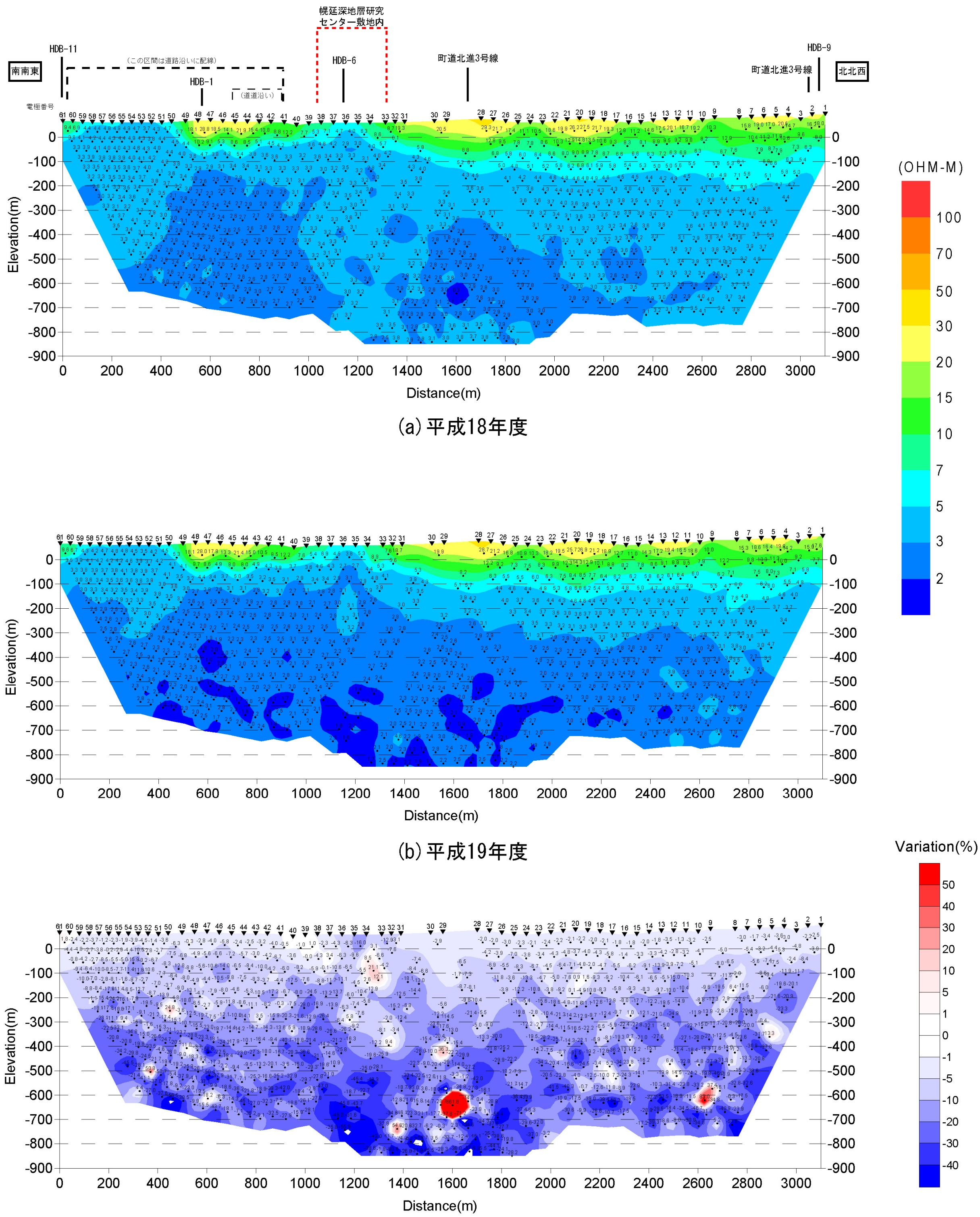


図３－２　見掛比抵抗擬似断面図の比較（測線 1）



(a) 平成18年度

(b) 平成19年度

(c) Variation ((b)-(a)/(a))*100

図３－３　見掛比抵抗擬似断面図の比較（測線 2）

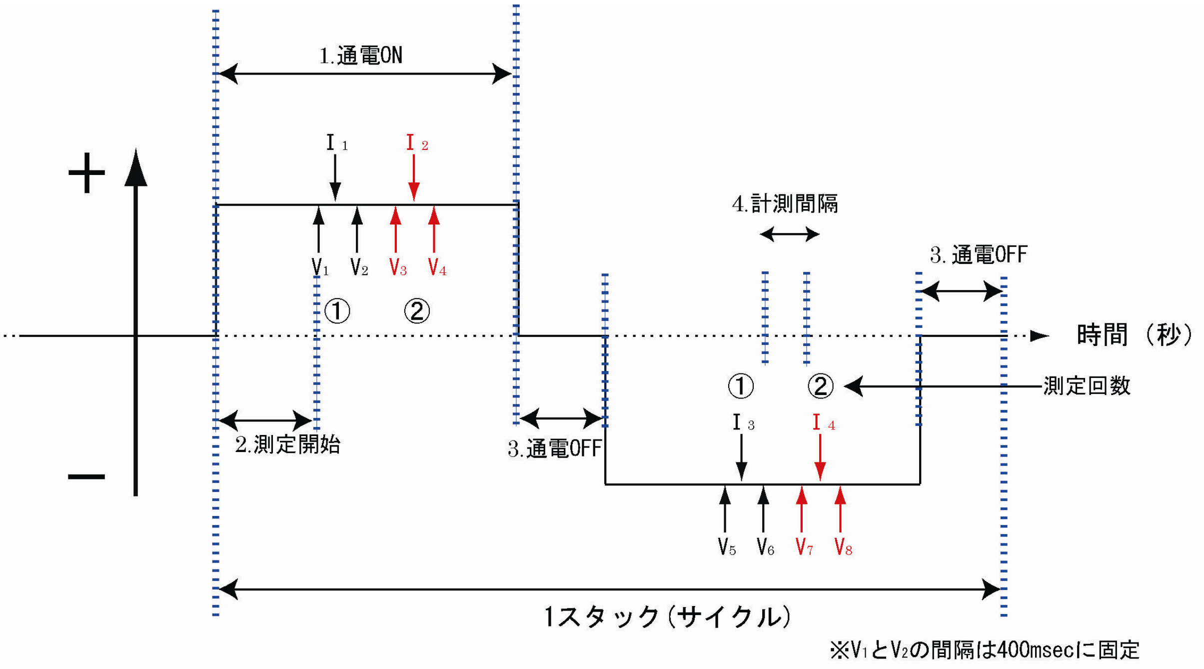


図３－４　データ取得概念図

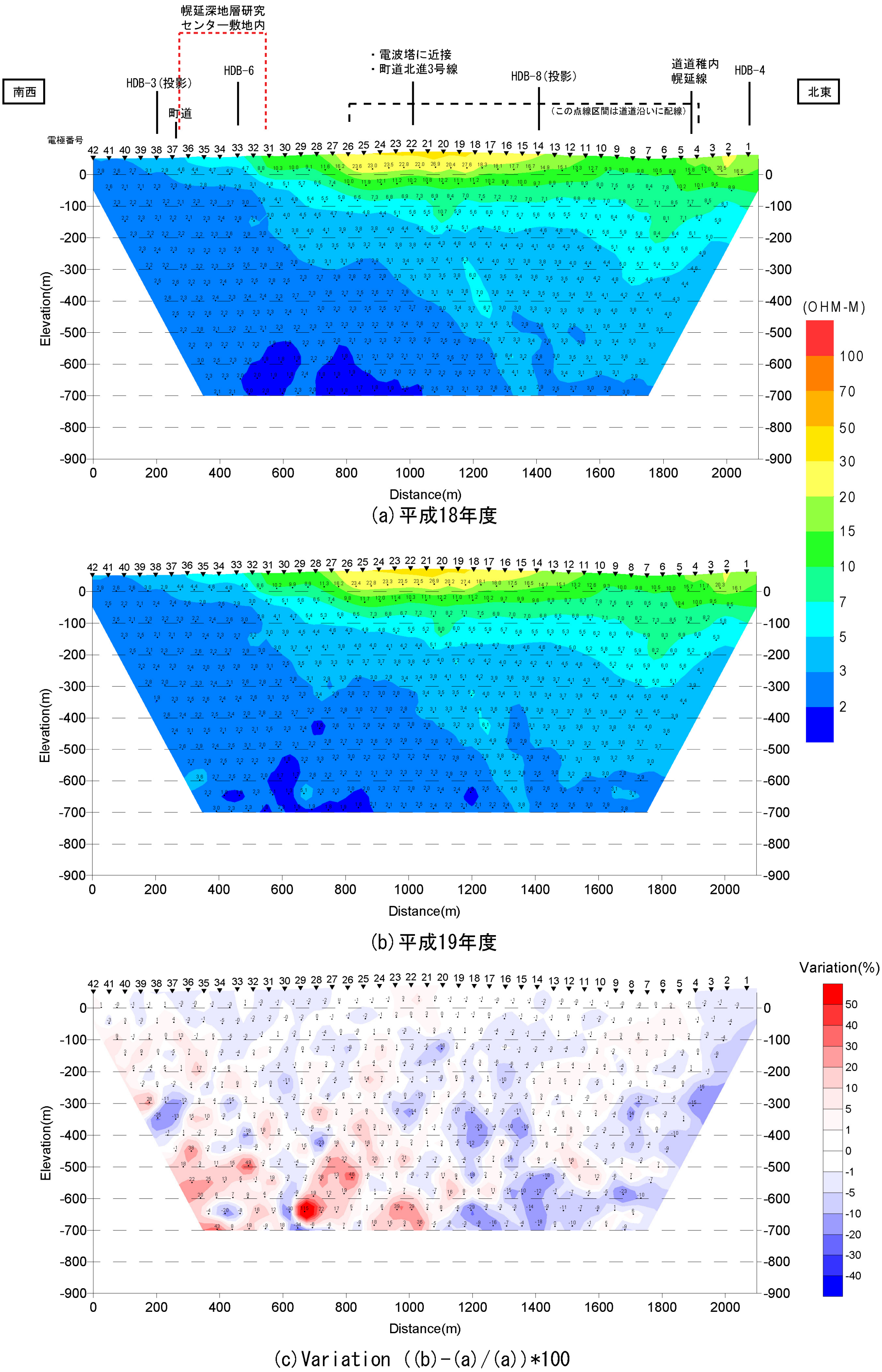


図３－５　見掛比抵抗擬似断面図の比較（測線１：データ処理後）

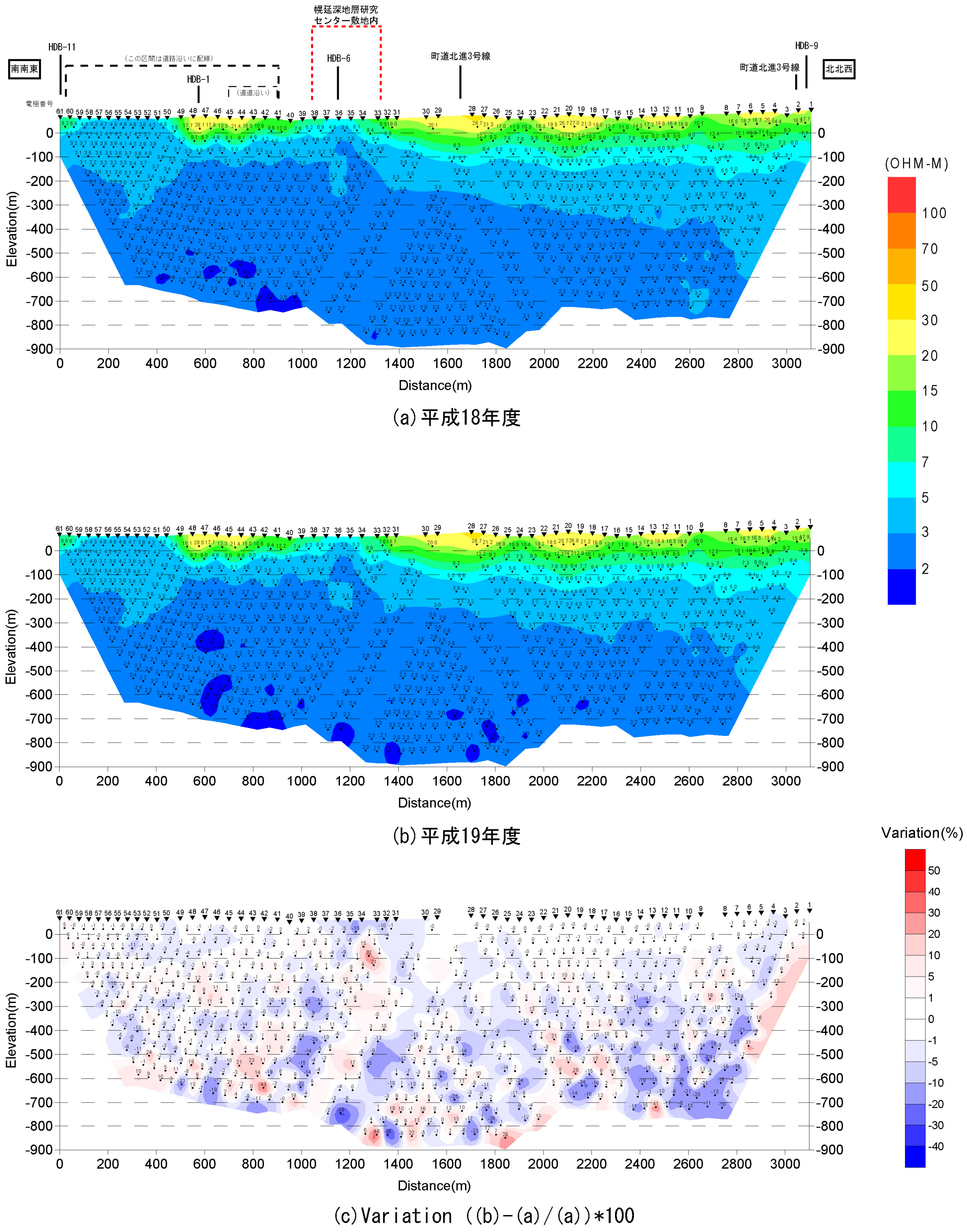


図３－６　見掛比抵抗擬似断面図の比較（測線２：データ処理後）

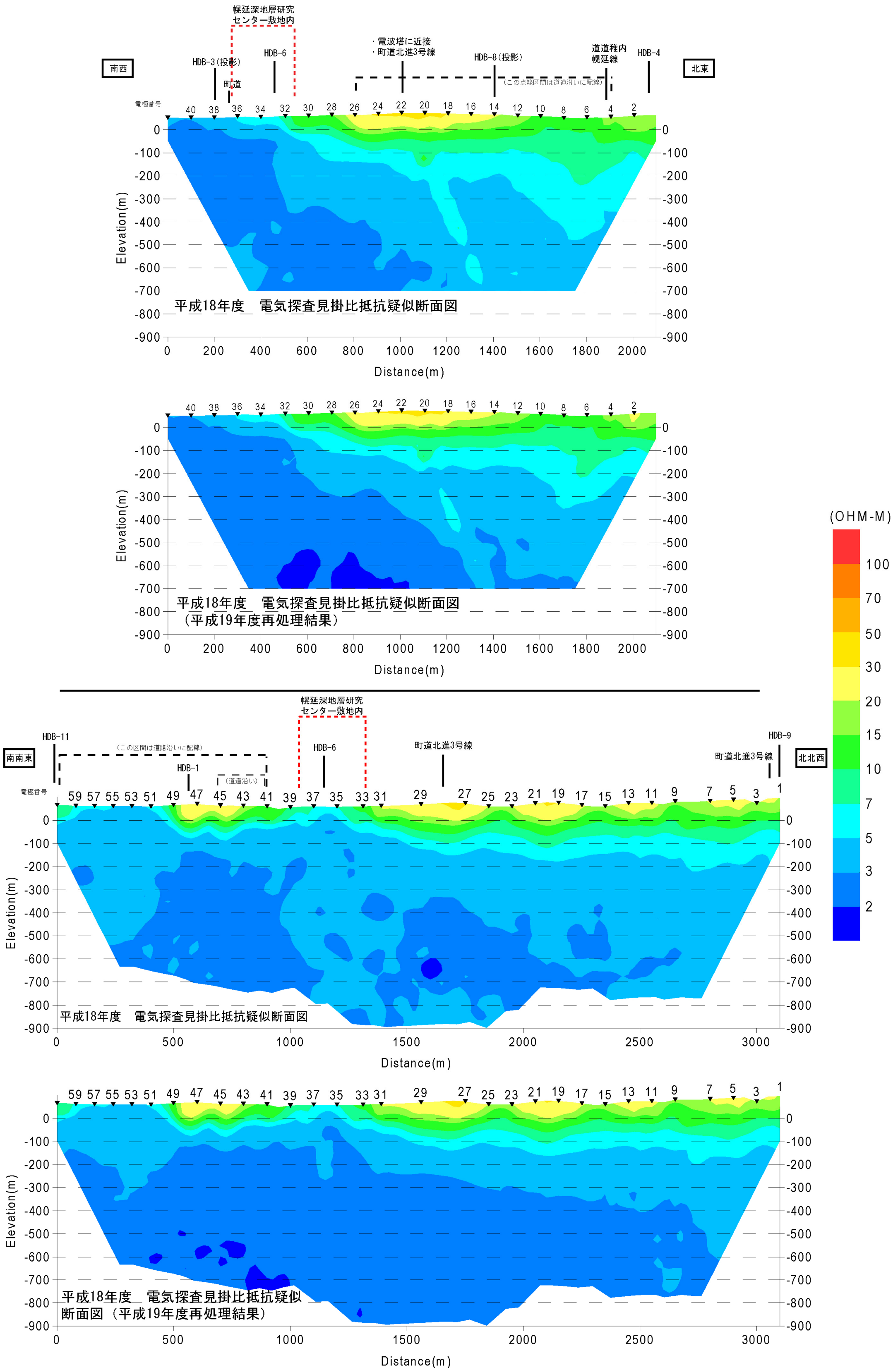


図３－７　見掛比抵抗擬似断面図の比較（平成 18 年度）

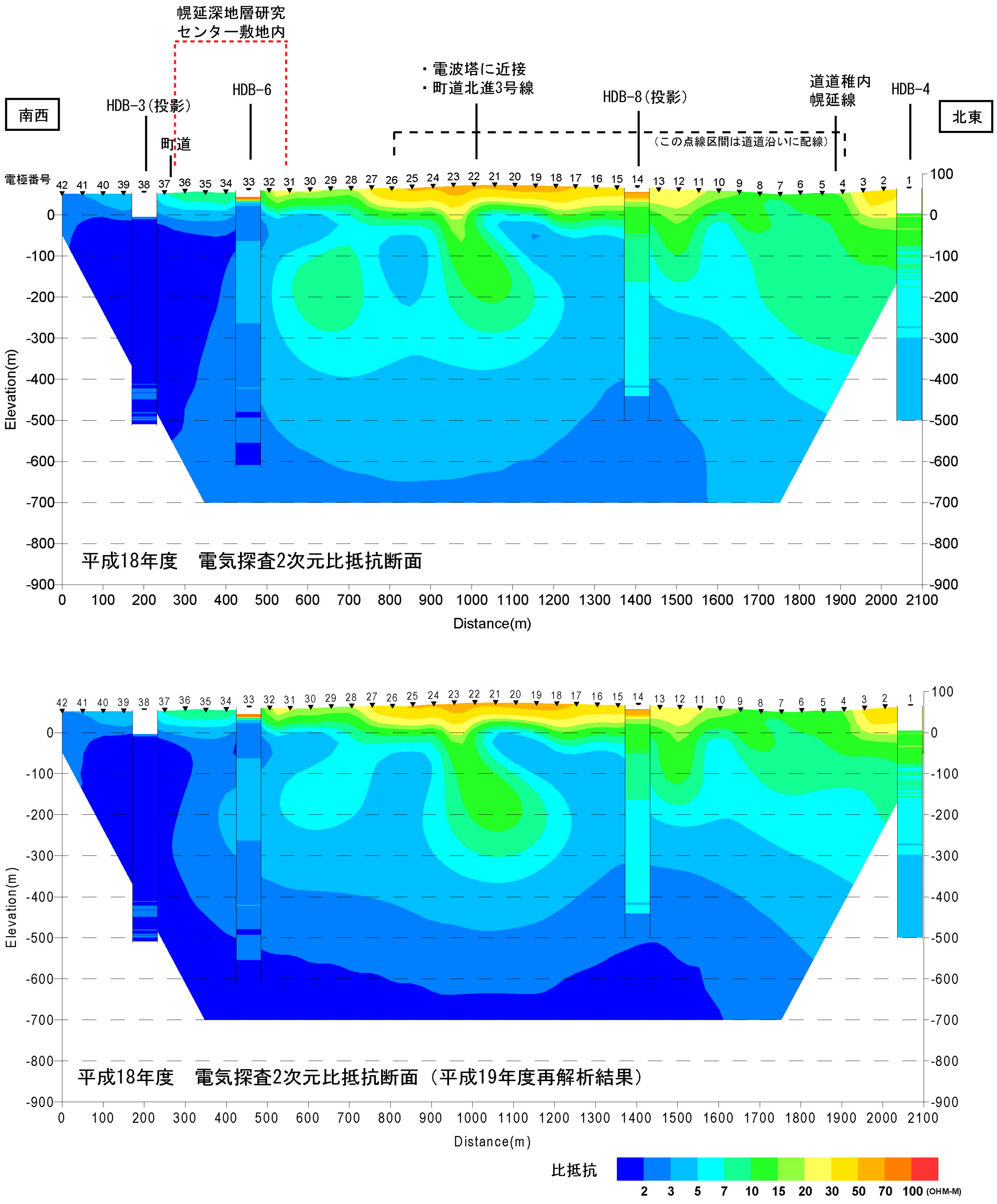


図３－８　平成 18 年度 2 次元再解析結果と既存試錐結果との比較（測線 1）

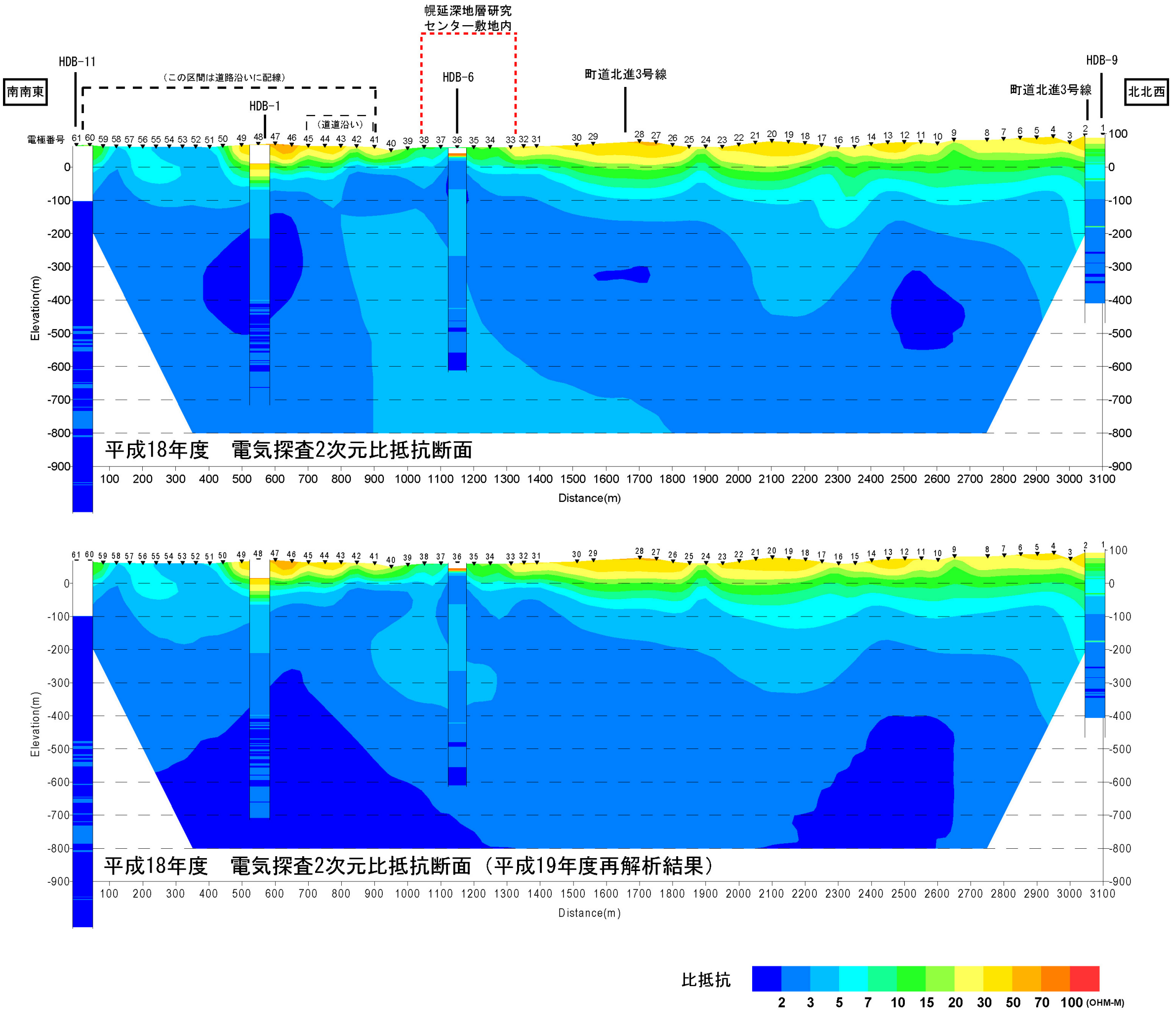


図３－９　平成 18 年度 2 次元再解析結果と既存試錐結果との比較（測線 2）

４　調査結果

４．１ 現地測定

表４－１は調査工程を示したもので、(a)は今年度（2007）、(b)は平成 18 年度（2006）の調査工程である。

現地調査期間は 13 日間であり、準備に引き続き測定を行った。また、測定中に他方の測線の準備や撤収を並行して行い、作業効率の向上に努めた。

測定時に流した電流量は 380～770mA である。1 日の測定終了後、見掛比抵抗およびその変動率を検討し、必要に応じ再測定を行った。その際は、電流側と電位側の電極を変更して確認測定を行うなど、高品質のデータ取得に努めた。

測定では、HDB-6 孔の掘削深度（620m）を参考に探査深度が 700m 以上になるよう、電極隔離係数（N）15 までの測定を行い、測線 1 では 510 点、測線 2 では 795 点のデータを取得した。

４．２ 見掛比抵抗擬似断面図

測定結果より見掛比抵抗擬似断面図を作成した。**図４－１**は測線 1、**図４－２**は測線 2 の擬似断面である。見掛比抵抗および比抵抗は、昨年度の電気探査や既存探査結果（例えば平成 15 年度電磁探査）[4]と同じ 12 段階に分類・色分けを行っており、同色の部分は同じ範囲内の値を示している。図中の、横軸は水平方向の距離、縦軸は標高を示し、地表の主要構造物を併せて表示している。なお、本調査では電極間隔が一定ではなく、特に測線 2 の中心部では 100m 以上と広い部分もあり、測線 1 と測線 2 ではデータ表示深度が異なるため、測線 1 は標高－700m まで、測線 2 は最大標高－850m までの範囲を表示している。また、本地域は、見掛比抵抗値の分布幅が狭く、また 10Ω･m 以下の見掛比抵抗の分布範囲が広いことが判明しており、以後の見掛比抵抗および比抵抗に関わる説明では、7Ω･m 以上を高見掛比抵抗と、2Ω･m 以下を低見掛比抵抗として説明する。

図４－１および**図４－２**より、両測線とも見掛比抵抗は数～30Ω･m 強の範囲で分布し、コントラストの小さい、横方向の連続性が良い結果となっている。両測線とも地表付近には高見掛比抵抗が分布しており、部分的には 20Ω･m 以上の区域が見られる。測線 1 では、電極 14～電極 26 間の地表～標高 0m 付近まで 20Ω･m 以上の見掛比抵抗が高い部分が見られ、それを囲むように電極 1～電極 32 の標高－100m 前後まで 7Ω･m 以上の区域が分布している。測線 2 では、電極 50 以南および HDB-6 孔周辺を除き、同様の高比抵抗域が標高－100m 前後まで広がっている。また、両測線とも深部になるにつれ見掛比抵抗が低くなる。

本年度の測定結果は、**図３－５**、**図３－６**に示した昨年度の調査結果と比べても見掛比抵抗の数値およびその分布傾向がほぼ同じであり、再現性のある良好な結果が得られている。

４．３　データ品質

図４－３に測線 1、**図４－４**に測線 2 の測定誤差が高い電極組合せを見掛比抵抗の擬似断面上に表示した図を示す。ここで、◇は測定結果の変動率が最終的に±7%以上を示した箇所を表し、○は同様に変動率が±10%以上と高い値を示した点を示す。なお、図中には見掛比抵抗値を合わせて示している。また、**表４－２**に、測定誤差が高い電極組合せを、平成 18 年度の結果と併せ

て示す。

これらの結果より、両測線とも浅部は測定結果が安定しているが、標高－500m 以深の深部においては、測定誤差が大きくなる傾向が見られる。これは、深部側になれば電極間隔が大きくなり、信号強度が下がるために、ノイズの有無に関わらず品質が安定しないことがあるためであると考えられる。また、昨年度は山林部を主として通る測線 2 の方が、測定誤差が全体的に低い傾向にあったのが、本年度は逆に測線 2 の方が測定誤差の大きい点が増加している。この原因は不明である。なお、測定誤差の高い点の抽出は、測定時に自動的に計算される変動率を基に行っており、例えば測定中に車両が通行するなどの突発的なノイズによる影響を含んでいることがあるので､その電極組合せで不十分なデータしか取れないことを意味しない｡前節で検討したように、両測線とも概ね連続性の良い擬似断面図になっており、データ処理を行うことで、データ品質は向上したものと考えられる。

昨年度の報告書では測線 1 の電極 22 に関連する一部の点において、その隣接部よりやや見掛比抵抗が高くなっており､何らかのノイズの影響を受けている可能性が考えられると報告したが、本年度よりデータ処理方式を変更することで、この傾向は**図３－７**に示した平成 18 年度の測定結果でも顕著ではなくなり､また本年度の結果においても同様の傾向がごくわずかに認められる。この箇所は、電波塔に近接し、平成 17 年度の電気探査 [5)]測定時に品質が安定せず再測定を行った経緯があるのに加え、地質的に大曲断層に推定地表位置に近接している重要な箇所であるため、今後も留意して検討する必要がある。

４．４　2 次元解析結果

図４－５に測線 1、**図４－６**に測線 2 の 2 次元解析比抵抗断面図を示す。図中の横軸は水平方向、縦軸は標高を示し、測線 1 では標高－700m、測線 2 では標高－800m までを表示している。

両測線の比抵抗構造の概略は、地表～標高 0m 前後の範囲では 20Ω･m 程度の高比抵抗が、そしてそれを囲むように 7Ω･m 以上の比抵抗域が分布し、それ以深は徐々に比抵抗が下がる傾向にある。ただし、高比抵抗の分布状況は両測線でやや異なる。

測線 1 では、7Ω･m 以上の高比抵抗域が、電極 8 以北の標高－100m 前後、電極 11～電極 14 および電極 20～電極 24 の標高－200m 前後で見られる。低比抵抗域は、標高－500m 以深に分布しており、特に測線南側の電極 36 以南では、地表部から広く分布している。

測線 2 は、高比抵抗域がほぼ標高－50m 前後までしか見られず、それ以深は 3Ω･m 以下の見掛比抵抗域が広く分布している。低比抵抗域は、測線北側の電極 18 以北、および測線南側の電極 37 以南の標高－300m 前後より深部にかけて広く分布している。

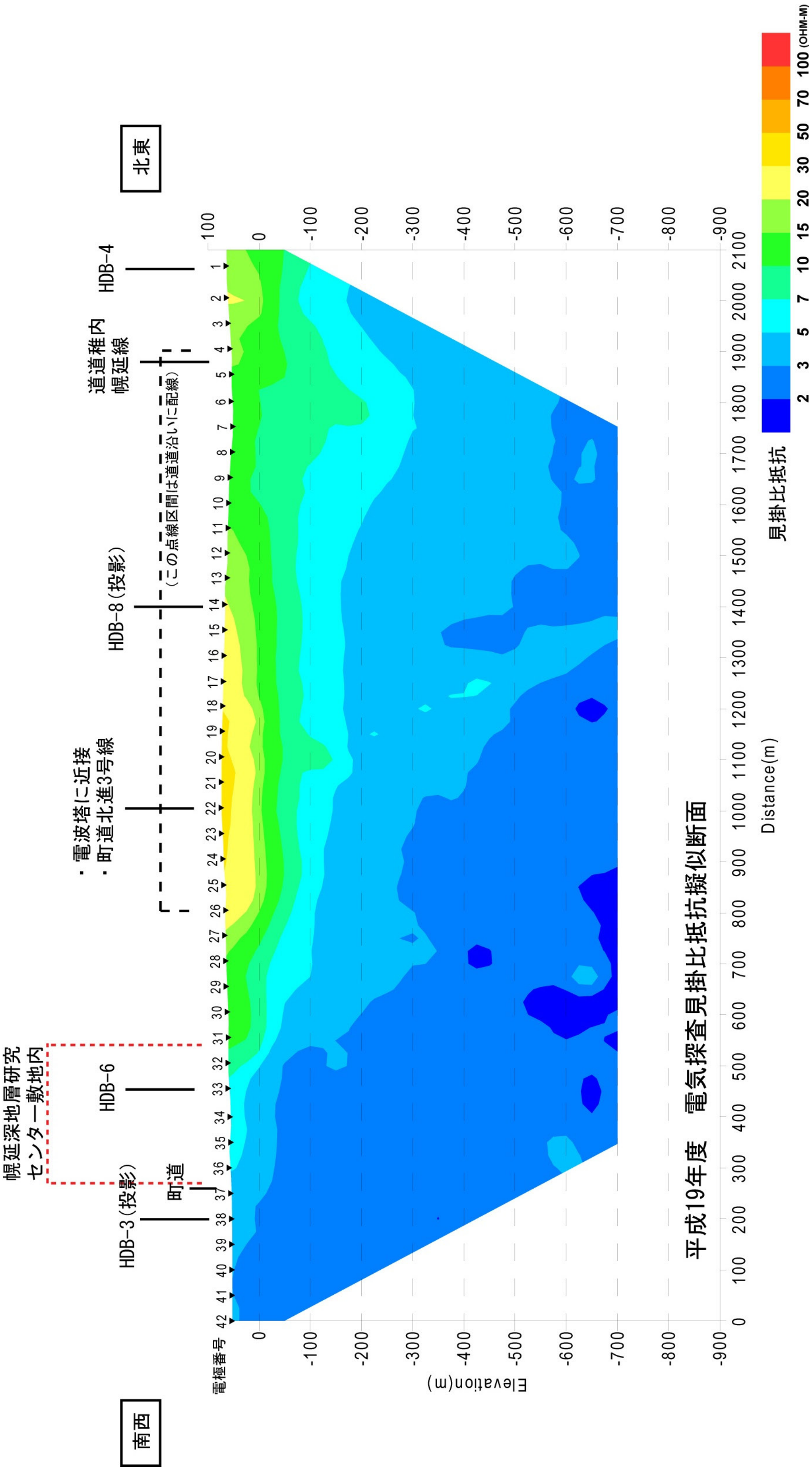


図４－１　見掛比抵抗擬似断面図（測線１）

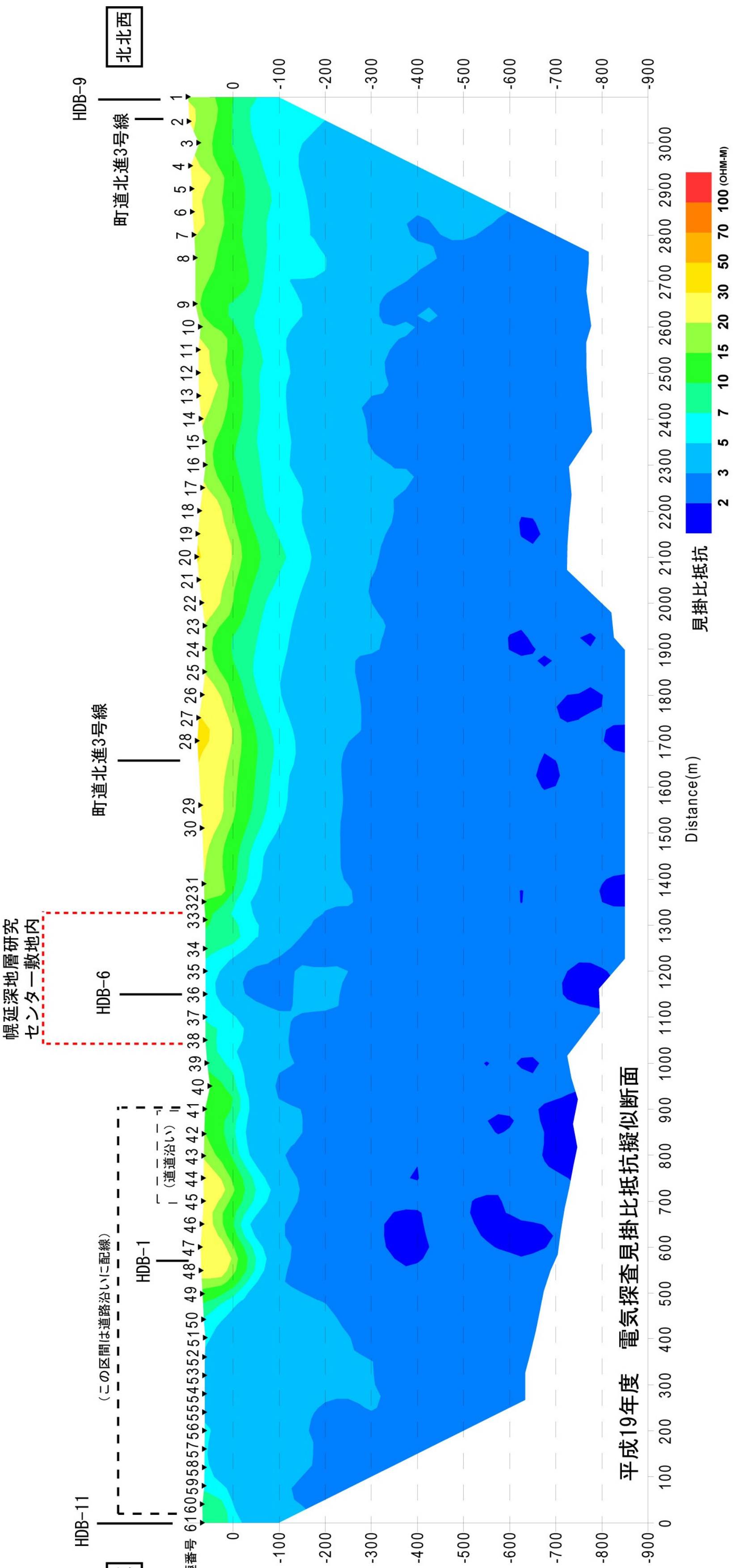


図４－２　見掛比抵抗擬似断面図（測線２）

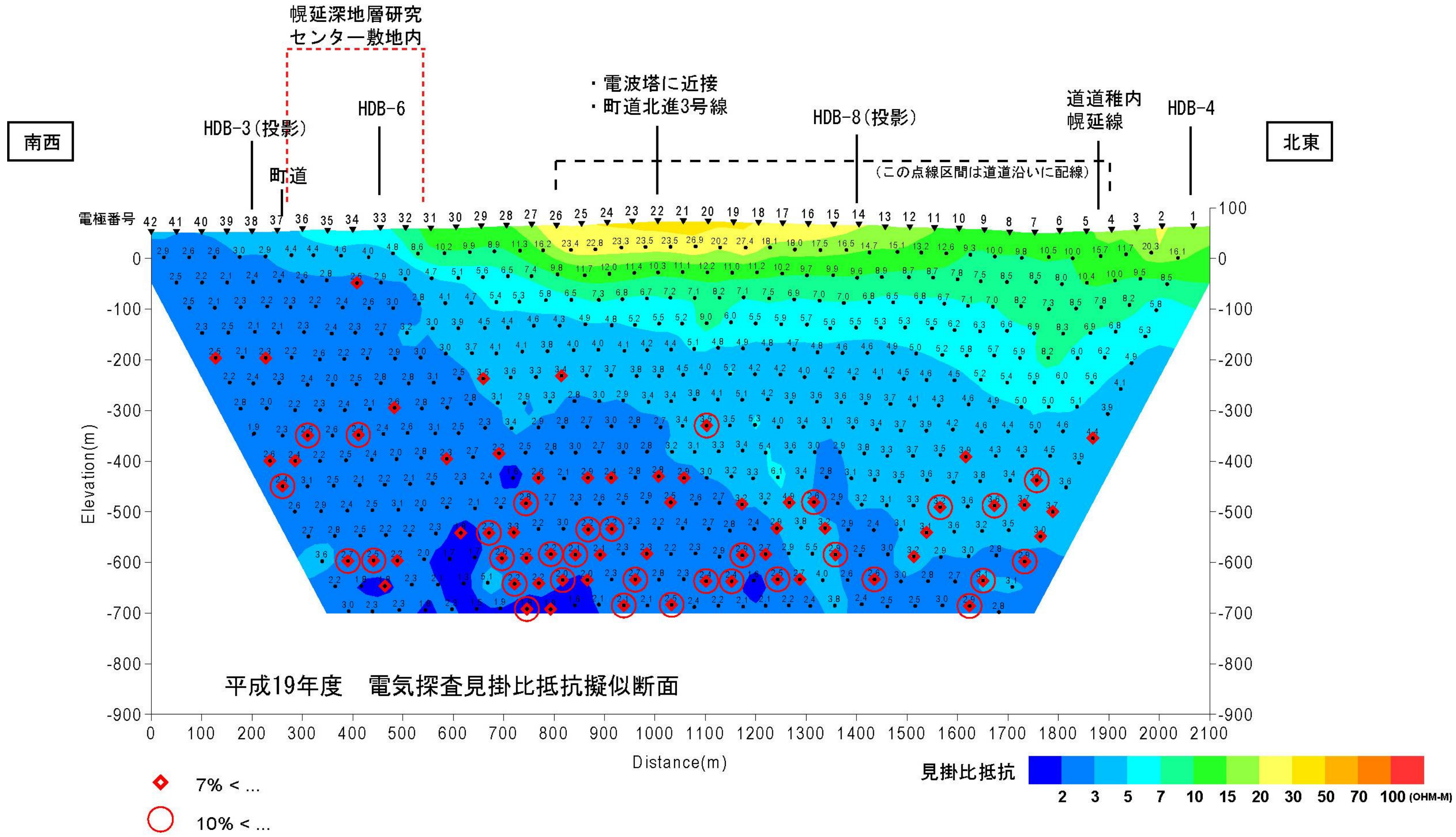


図４－３　測定品質検討結果図（測線 1）

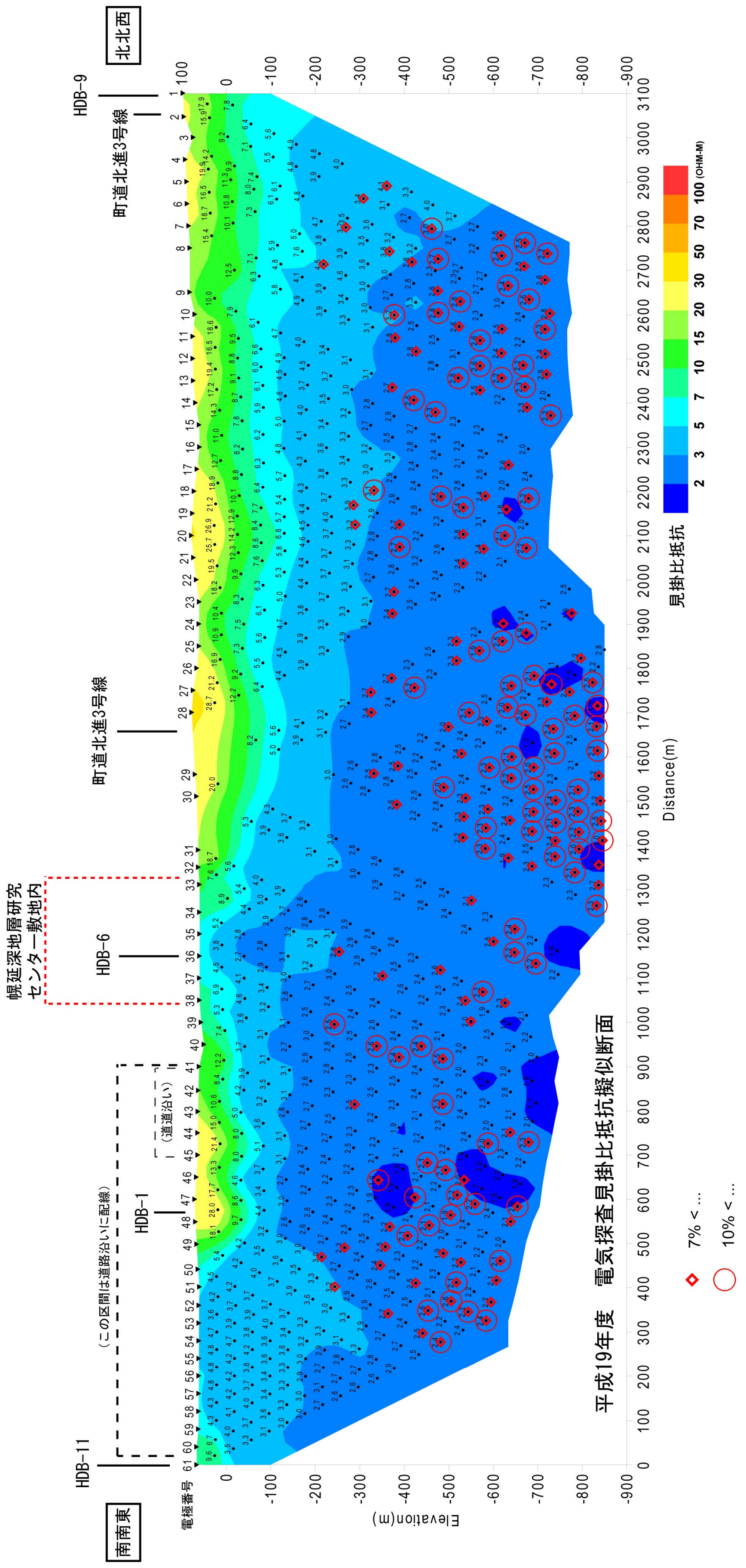


図４－４　測定品質検討結果図（測線２）

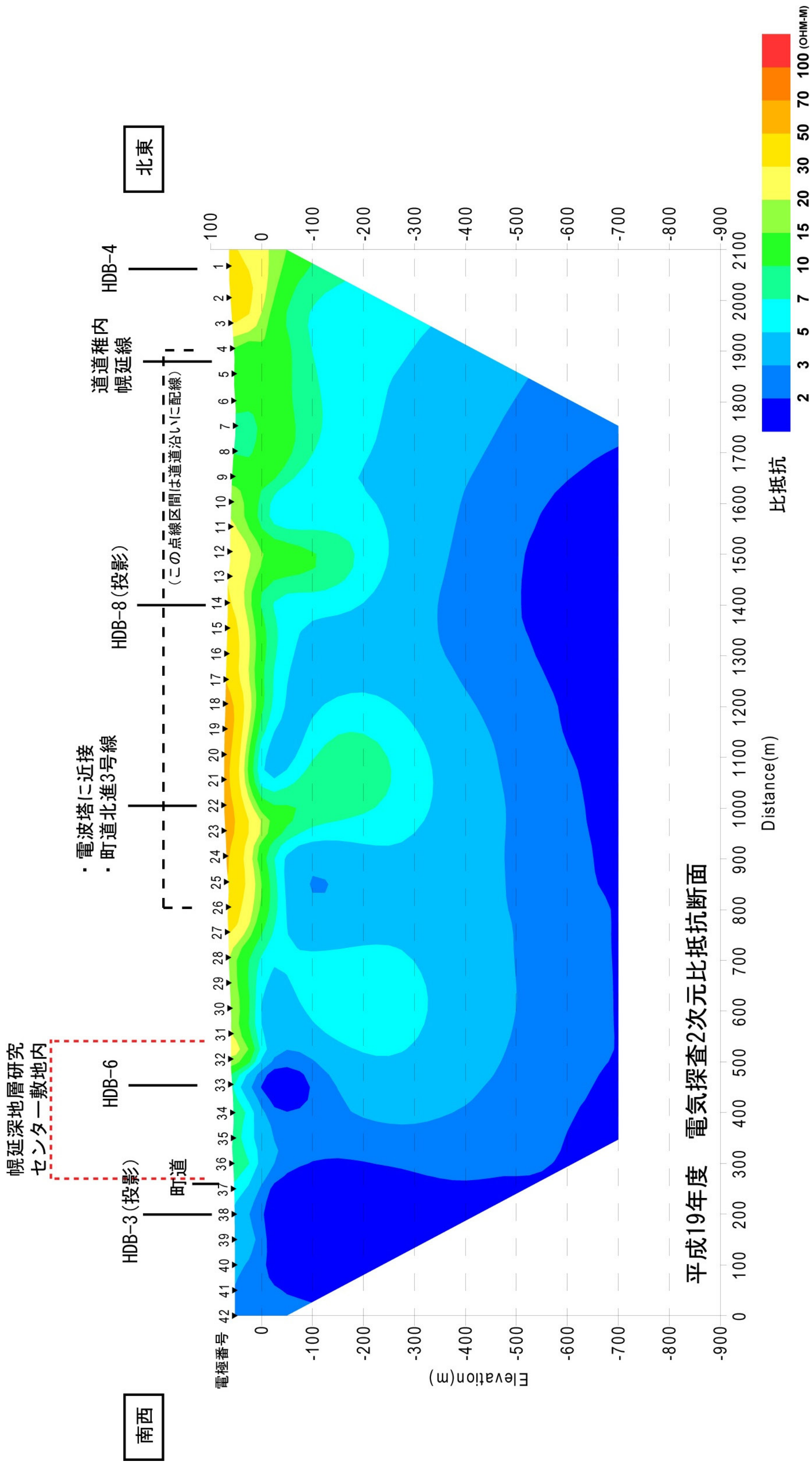


図４－５　２次元解析比抵抗断面図（測線１）

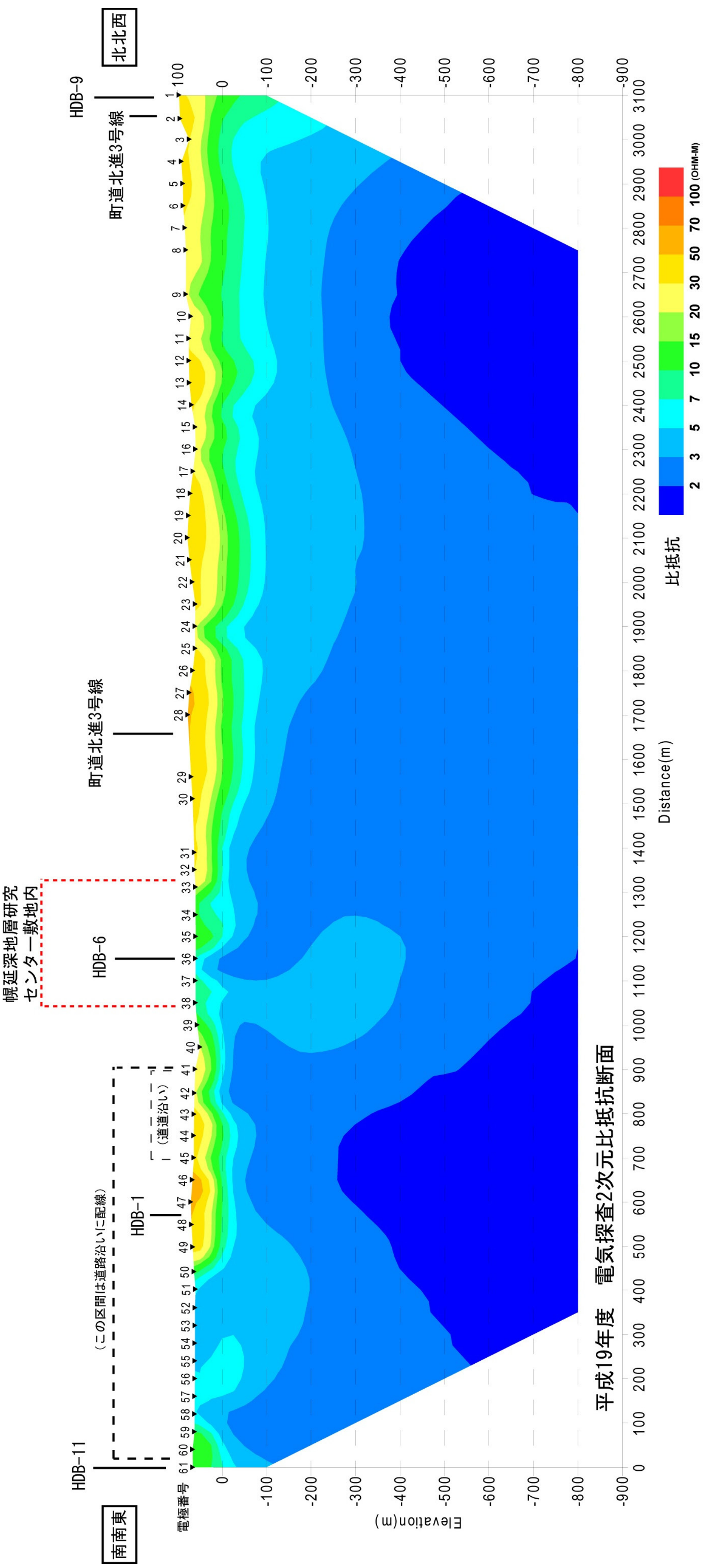


図４－６　２次元解析比抵抗断面図（測線２）

表４－１　調査工程

(a)今年度(H19:2007年度)の調査行程					
日付			天気	作業内容	備考
2007年10月	27	土	晴	測線1の伐採	
	28	日	晴	測線2の伐採、遠電極設置、測量	
	29	月	曇のち雨	遠電極の配線	
	30	火	曇	測線1の配線	
	31	水	曇のち雨	測線1の結線状況の確認	
2007年11月	1	木	雨のち曇	測線2の配線	週間工程会議
	2	金	曇	測線1測定、測線2の配線	
	3	土	曇時々雨	測線1の撤収、測線2の配線	
	4	日	曇	測線2の結線状況の確認、測定	
	5	月	晴	測線2の測定、測線1の撤収	
	6	火	晴	測線2の測定	
	7	水	晴	測線2の撤収	
	8	木	晴時々曇	遠電極撤収	週間工程会議

(b)昨年度(H18:2006年度)の調査行程					
日付			天気	作業内容	備考
2006年10月	23	月	晴	現地調査開始（測量）	
	24	火	晴	測量	
	25	水	晴	測量	
	26	木	晴	測量	月間工程会議
	27	金	曇	測量	
	28	土	曇のち雨	測量	
	29	日	曇	測量、電極設置	
	30	月	曇	測量、電極設置、遠電極設置	
	31	火	雨	測量、配線	
2006年11月	1	水	晴	配線	
	2	木	晴	測線1測定、配線	週間工程会議
	3	金	曇のち晴	測線1測定、撤収、配線	
	4	土	晴	配線	
	5	日	晴	測線2測定	
	6	月	曇のち雨	測線2測定、撤収	
	7	火	雨	撤収、遠電極撤収	
	8	水	曇	遠電極撤収	
	9	木	曇のち雨	見出し杭設置、現地調査終了	週間工程会議

表４－２　測定誤差が高い電極組み合わせ

測線1				測線2					
H18(2006)		H19(2007)		H18(2006)		H19(2007)			
C	P	C	P	C	P	C	P	C	P
2	16	1	14	1	16	1	15	24	34
3	16	2	12	4	19	1	16	24	35
3	17	2	16	6	21	2	12	24	36
4	15	2	17	7	16	2	15	24	37
5	20	3	14	7	21	3	13	24	38
12	25	5	16	8	22	3	16	24	39
13	23	6	20	8	23	3	17	25	37
13	28	8	21	9	22	4	19	25	38
14	28	10	21	9	23	5	16	25	39
15	30	10	24	11	24	6	16	25	40
17	29	12	25	17	32	6	18	26	34
19	32	12	26	21	34	6	20	26	38
20	35	13	27	21	36	7	15	26	40
21	35	14	29	23	34	7	19	27	37
21	36	16	24	26	34	7	20	27	40
22	32	16	30	31	45	7	21	27	41
23	37	16	31	41	53	8	19	28	38
23	38	18	30	total 17		8	23	28	43
24	37	19	31			9	19	29	42
25	37	19	32			9	20	30	43
25	40	19	33			11	26	30	44
26	35	20	33			13	24	31	44
27	40	20	35			13	25	35	45
27	41	21	35			13	27	35	46
29	39	22	33			13	28	36	42
29	41	22	35			14	22	36	44
31	41	23	35			16	25	36	45
32	40	27	40			17	30	37	48
total 28		28	41			18	30	37	52
		30	38			18	33	38	51
		32	40			19	30	40	50
		32	42			19	31	40	51
		total 32				19	32	40	55
						19	34	41	53
						20	31	41	54
						20	34	42	50
						20	35	42	52
						21	32	42	54
						21	33	43	54
						21	34	43	58
						21	36	44	54
						22	30	45	58
						22	31	46	59
						22	35	46	60
						23	34	46	61
						23	35	47	59
						23	37	48	61
						total 94			

※Cは電位電極、Pは電位電極を示す。

5 考察

5．1 既存調査結果との比較

本調査地域周辺において実施された既存地質情報を**図５－１**に示す。本図は国土地理院発行 2 万 5 千分の 1 地形図「幌延」「本流」より作成した。

昨年度の調査で、**図５－１**に示した既存地質情報および水質モデルと電気探査結果との比較を行っており、電気探査結果はこれら既存情報と良く対応した結果であることが判った [13)]。また、本調査結果についても昨年度と同様の傾向にあることから、これら既存情報と概ね調和しているものと考えられる。ここでは、本年度の 2 次元解析結果と既存情報との比較図を作成し、検討および確認を行った。比較した既存情報は、核燃料サイクル開発機構（現原子力機構）および原子力機構がまとめた以下の調査結果である。

- 平成 13 年度～平成 17 年度までに掘削された試錐孔 [6)~10)]の電気検層データ（Deep 値）
- 平成 15 年度の電磁探査（AMT 法）[4)]
- 水質分布モデル [11)]

（１）比抵抗検層結果との比較

図５－２に測線 1、**図５－３**に測線 2 の 2 次元解析結果を示し、その測線周辺に位置する試錐孔検層結果を投影した。ここでは電気検層結果の Deep 値を用い、結果を柱状図として比抵抗解析結果と同じ色分けで表示した。

使用した試錐孔データは、測線 1 では、北側より HDB-4 孔（電極 1、掘削深度 520m）、HDB-8 孔（電極 14 周辺、掘削深度 519m）、HDB-6 孔（電極 33、掘削深度 620m）、および HDB-3 孔（電極 38 周辺、掘削深度 519m）の 4 孔である。測線 2 では、北側より HDB-9 孔（電極 1、掘削深度 521m）、HDB-6 孔（電極 36、掘削深度 620m）、HDB-1 孔（電極 47 周辺、掘削深度 717m）、および HDB-11 孔（電極 61、掘削深度 1,020m）の 4 孔である。これらの試錐孔の地質層序は、HDB-9 孔以外は浅部より声問層、稚内層の順で分布しており、測線交点にあたる HDB-6 孔では孔口～深度 300m までは声問層が、それ以深は掘削深度までは稚内層が分布している。なお、HDB-9 孔は浅部より稚内層が分布している。これら比較した試錐孔情報については**表５－１**にまとめて示した。

図５－２および**図５－３**を見ると、2 次元解析比抵抗は、検層結果と概ね良い対応をしていることが判る。以下で、検層結果と 2 次元解析結果について比較する。なお、測線端部については、2 次元解析結果が深部までないため比較を行っていない。また、深度については標高に換算して記載をしている。

図５－２に示す測線 1 について北側から検討すると、HDB-8 孔は、地表～標高 30m 付近までは 20Ω･m 以上、その後も標高－150m 前後まで 7Ω･m 以上の高比抵抗を示す傾向にある。2 次元解析結果では、電極 13 の下部で高比抵抗が標高－150m 弱まで伸びており、検層結果と同様の傾向が確認できる。なお、それ以深の標高－400m 前後までは検層結果が 6Ω･m 弱の値を示し、解析結果は深度が増すにつれ 3Ω･m 弱まで徐々に比抵抗が下がる。HDB-6 孔の比抵抗検層結果は、地表付近には薄く高比抵抗が分布し、標高 20m 前後より 3Ω･m 弱と比抵抗が下がるが、標高－80m～－250m 前後の区間では 4Ω･m 前後と比抵抗が一度高くなる傾向にある。2 次元解析結果は、電極 33 で垂直（深度）方向に検層結果と似たような変化をしており、標高－100m～－

400m 前後で比抵抗が浅部より高くなり、両者の傾向は良く調和している。また、検層結果は深度が増すと比抵抗が 3Ω･m 以下と下がるが、2 次元解析結果でもほぼ標高－400m 以深は 3Ω･m 前後となっている。HDB-3 孔についてみると、検層結果は標高 0m 以深でほぼ 2Ω･m 以下と低比抵抗を示しているが、2 次元解析結果もほぼ同様の低比抵抗を示しており、両者は良く対応した結果になっている。

図５－３に示す測線 2 について北側から検討すると、HDB-6 孔の比抵抗検層結果は、前述のように標高－80m～－250m 前後の区間では 4Ω･m 前後と比抵抗が一度高くなる傾向にあるが、2 次元解析結果では、標高－200m～－400m 区間で同様の傾向が見られる。また、検層結果は深度が増すと比抵抗が 3Ω･m 以下と下がるが、2 次元解析結果でも標高－400m 以深は 3Ω･m 以下となっている。HDB-1 孔について検層結果を見ると、標高－50m 付近までは 20Ω･m 前後の高比抵抗が分布し、深度が増すにつれ比抵抗は下がり、標高－400m 以深は 2Ω･m 前後の比抵抗域になっているが、2 次元解析結果でも同様に深度が増すにつれて比抵抗は下がっており、ほぼ標高－400m 以深は 2Ω･m 以下の比抵抗域となり、良く調和した結果となっている。

このように､測線 1 および測線 2 の 2 次元解析結果は､検層結果と対応した結果になっている。

（２）平成 15 年度の電磁探査との比較

図５－４に平成 15 年度の電磁探査（AMT 法）の比抵抗断面と本調査結果を並べて表示した。電磁探査測線は、本地域の地質構造や大曲断層等とほぼ直交する N40E 方向を基調とした測線であり、同様の方向で測定を行った本調査結果の測線 1 との比較を行った。

平成 15 年度の電磁探査は 3 測線で計 59 点の測定が行われ、測線 1 は最も北側の測線で、測線 2 はその南側の測線であり、今回の電気探査測線 1 はこの中間に当たる。図では、実際の位置関係と同様に、上段は電磁探査（AMT 測線 1)、中段は本調査の測線 1、下段は電磁探査（AMT 測線 2) の結果を示した。なお、電磁法解析結果は本調査と重なる部分を抜き出して表示している。また、各測線の表示位置は大曲断層の推定地表位置で合わせている。

なお、この AMT 法電磁探査結果では、大曲断層推定位置周辺の地下約 200 m 以深に、周辺より相対的に高い 5Ω･m 程度の高比抵抗ゾーンが解析された。そして、試錐調査（比抵抗検層）と塩分濃度測定の結果より、岩盤の比抵抗分布は主に地下水の塩分濃度の違いを反映し、高比抵抗部は地下水の低塩分濃度部に一致することから、この高比抵抗ゾーンは雨水が大曲断層に沿って深部の塩水中に浸透した部分を示すと解釈され、各種モデリングの基礎データとなっている。

昨年度検討した結果、電気探査結果はその中央部～北部は近接した AMT 測線 1、南部は AMT 測線 2 の特徴に似た傾向を持っていることが示されている。本年度の調査結果では、

① 大曲断層に近接した AMT 測線 1 の 1-17～1-19 区間に見られる、3～5Ω･m の標高－600m 強まで伸びている相対的に高い比抵抗分布域に対応するように、電気探査測線中央部の電極 22 の標高－300m 強まで 5Ω･m 以上の高い比抵抗分布域が見られる。

② AMT 測線 2 では 2-5 以南の標高－300m～－500m 以深で低比抵抗域が広く分布し､2-9 周辺より南部では約標高－80m 以深で厚く分布するが、電気探査測線南部の電極 36 以南では、標高－50m 前後から深部に掛けて 2Ω･m 以下の低比抵抗域が分布し、傾向が似ている。

このことから、本調査結果は AMT 法電磁探査結果と良く対応した結果になっていることが判る。

以上（１）（２）の検討より、本調査結果は、昨年度と同様に調査地域の比抵抗構造を十分に反映した結果であると考えられる。

（３）水質分布モデルとの比較

地下研究施設が建設される幌延町北進地区の地質構造は、上部から砂岩・礫岩を主体とする更別層、勇知層、泥岩を主体とする声問層、稚内層が分布する。さらに地域中心部に北北西－南南東に走向する大曲断層が推定される。この大曲断層は逆断層と推定され、東側では稚内層が浅部まで分布する。既存の試錐孔で取得された間隙水の水質は、場所によって異なり、地表下 100～500m には溶存成分が数千 mg/l の地下水が、更にその下部には溶存成分が約 10,000mg/l の化石水が分布する。このような地下水の分布が生成された原因は、化石水が保持されている地層中に、断層等の破砕部を通じて塩分濃度の少ない雨水が浸透し、希釈されて 2 層構造を成しているためと考えられており、今後、地下研究施設が建設されると、この地下水の 2 層構造の分布に変化が生じ、地下水流動も変化すると考えられる。この地下水流動の変化について、施設周辺地域において比抵抗の長期観測（モニタリング）を行うことで、比抵抗変化として捉えることが本調査の目的である。また、この比抵抗の変化は、具体的には地下水流動の変化により塩分濃度が変わることで変化すると想定される。

図５－５に示す平成 15 年度の電磁探査測線 1 に重なる区域で推定された水質分布モデル（原子力機構、2006）[11)]によれば、地域西側から HDB-3 孔付近(HDB-6 孔)までは、塩分濃度が高い領域が浅部から深部まで続いているが、東に行くにつれ濃度は下がり、HDB-4 孔以東ではまた塩分濃度の高い領域が広がるとされ、この高濃度部に挟まれた部分に淡水系地下水が広がると想定されている。

昨年度、水質モデルとこれと重なる測線 1 の 2 次元解析結果の比抵抗分布について検討し、比抵抗は西側から中心部に行くほど、また深部から浅部にいくほど高くなるが、逆に塩分濃度は下がる傾向にあり、両者の変化が良く調和していることが示された。この傾向は、**図５－５**の下段に示した本年度の解析結果でも同様に見られる。また、比抵抗分布と水質分布モデルの塩分濃度の対応については、対応関係を以下のように推定した。

① 20Ω･m 以上の領域は概ね淡水域に対応

② 7～20Ω･m の領域に塩淡境界が存在

③ 3～7Ω･m の領域は塩分濃度の遷移領域に対応

④ 2Ω･m 以下の領域は高濃度の塩水領域

この推定した対応関係に基づいて、**図５－６**に測線 1、**図５－７**に測線 2 の推定水質解釈断面を示す。何れの測線においても、標高 0m 前後に塩淡境界の上面が想定され、深度が増すと塩分濃度は高まるものと想定される。なお、測線 2 は、東西方向に 5 断面推定されている地下水の地球化学モデル [9)]を見ると、塩分濃度が高めの区域に近接しており、広く分布する 3Ω･m 以下の比抵抗域はこの区域に対応していると考えられる。

５．２　平成 18 年度電気探査結果との比較

電気あるいは電磁気を用いた比抵抗モニタリングは近年事例が増えており（例えば菅 [14)]）、幌延町内においても原子力機構によって平成 14 年度以降行われている。これらの観測は、見掛比抵抗の変化について検討しており、本調査でも平成 18 年度と本年度の見掛比抵抗について比較

を行った。また、2 次元解析結果についても、同様の検討を行った。

センター敷地内では立坑掘削工事が進んでいるが､本節では測定年度における工事進捗状況を、電気探査測線上に投影し図示した。**表５－２**に立坑掘削進捗状況を示し、工事開始からの湧水量を併せて図示した。

（１）測線 1

図５－８は測線 1 の見掛比抵抗擬似断面図を示したもので､上段(a)は平成 18 年度（2006 年度）､中段(b)は本年度(2007 年度)の断面図であり、下段(c)には平成 18 年度測定結果を基準とした変化率を示す。(c)には測定誤差が大きかった電極組合せを併せて図示し、赤は本年度、黒は平成 18 年度の組合せを示している。

本図(a)と(b)を見ると、見掛比抵抗の分布傾向は相似しており、本年度の調査結果が昨年度の結果と概ね同傾向で有ることが判るが、詳細に見ると、電極 14～電極 17 の標高－400m 以深における 3～5Ω･m の見掛比抵抗分布のように、深度が増すと微妙に異なってくる区域がある。次に(c)を見ると、標高－300m 前後までは、変化率が概ね 5%以内と小さく、変動が少ないことが判る。そして、深度が増すと変化率は大きくなる傾向にあり、標高－500m 以深では変化率 10%以上の点が多くなり、電極 20 以南の深部では 20%以上異なる点も多く見られる。

測定誤差については、それが大きい点と変化率が大きい点が一致していない点が多く、測定時に混入するノイズの影響が、３．１節で述べたデータ処理を行うことで除去・軽減されて測定データ品質が向上しているものと考えられる。

測線 1 では、東立坑は電極 33 近傍、換気立坑は電極 32 近傍に投影した。(c)より立坑掘削箇所の周辺では、顕著な見掛比抵抗の変化は認められない。

図５－９は測線 1 の 2 次元解析結果断面図を示したもので､上段(a)は平成 18 年度（2006 年度）､中段(b)は本年度(2007 年度)の断面図であり、下段(c)には平成 18 年度測定結果を基準とした計算値の差（以後解析変化率とする）を示した。

本図(a)と(b)を見ると、電極 18 以北および標高 0m 以上の区域では、比抵抗の分布傾向はほとんど変わっていないが、電極 18～電極 35 周辺ではやや傾向が異なっている。例えば、3Ω･m の等比抵抗曲線に着目すると、その分布深度が電極 24～電極 34 間では本年度の方が昨年度より約 100m 深くなっている。解析変化率(c)を見ると､電極 22 下方の 7Ω･m 以上の高比抵抗分布域と、上述した電極 24～電極 34 間の標高－300m 以深において、30%前後の変化域が見られる。見掛比抵抗の変化に比べ比抵抗の変化は全体的に数値が大きい。

（２）測線 2

図５－１０は測線 2 の見掛比抵抗擬似断面図を示したもので、上段(a)は平成 18 年度（2006 年度）、中段(b)は本年度(2007 年度)の断面図であり、下段(c)には平成 18 年度測定結果を基準とした変化率を示す。また、(c)には測定誤差が大きかった電極組合せを併せて図示し、赤は本年度、黒は平成 18 年度の組合せを示す。

本図(a)と(b)を見ると、見掛比抵抗の分布傾向が相似しており、本年度の調査結果が昨年度の結果と概ね同傾向で有ることが判る。また、標高－300m 以深において、局所的な変化は見られるものの、測線 1 と比べると変化が少ない。(c)を見ると、測線 1 同様に、標高－300m 前後までは、変化率が概ね 5%以内と小さく、深度が増すと大きくなる傾向にある。なお、測定誤差の大きい

点と変化率が大きい点とはあまり一致しておらず、測線 1 同様にデータ処理を行うことで、測定データの品質が向上していると考えられる。

測線 2 では、東立坑は電極 34 近傍、換気立坑は電極 33 近傍に投影した。(c)を見ると、局所的に変化率がやや高い区域に近接しているが、(a)(b)より、見掛比抵抗の分布に顕著な変化は見られない。

図５－１１に、測線 2 の 2 次元解析結果断面図を示す。図で、上段(a)は平成 18 年度（2006 年度)、中段(b)は本年度(2007 年度)の断面図であり、下段(c)には平成 18 年度測定結果を基準とした解析変化率を示す。

本図(a)と(b)を見ると、電極 36 周辺の標高－100m～－400m 前後に広がる 3Ω･m 強の比抵抗域、および電極 18 以北の標高－400m 以深の 2Ω･m 以下の低比抵抗域の分布形状がやや異なっているが、(c)より、測線北端部の標高－500m 以深の深部を除けば、全体的に変化が少ないことが判る。

（３）まとめ

両測線の見掛比抵抗について検討した結果、以下のことが判った。

① 見掛比抵抗の値や分布形状が大きく異なる区域は見られず、再現性の高い測定結果が得られたと考えられる。

② 標高－300m 程度までは見掛比抵抗の変化率は小さいが、深度が増すと変化率はやや大きくなる傾向にあり、本調査では標高－500m 以深でその傾向が見られる。

③ 測定誤差の大きい点と変化率の大きい点はあまり一致していない。このことは、データ処理を行うこと、ノイズの除去・軽減に効果があったことを示していると考えられる。

④ 見掛比抵抗の変化は局所的に見られるが、これが測定誤差によるものなのか、地下の比抵抗変化を捉えているものなのかは、調査地域の見掛比抵抗がバックグラウンドとしてどの程度変動するかが把握できていないため、現段階で評価することが難しい。

⑤ 現状では立坑掘削に起因すると考えられる明瞭な見掛比抵抗の変化域は認められない。

見掛比抵抗は、1 組の電極のデータについての結果であるため、その測定時にノイズの影響があったにせよ、その影響範囲は限られているため、隣接点の変化と併せて考えることで、異常データの抽出・排除はある程度可能である。例えば、測線 1 の電極 29 下方の標高－650m 付近に、平成 18 年度に 2.4Ω･m を示した点が本年度は 5.1Ω･m とほぼ倍の値を示しているが、その隣接部ではそのような極端な変化は見られないことから、異常データだと考えられる。

逆に 2 次元解析の場合、異常データがあるとモデル全体の収束が乱される。これは、2 次元解析ではモデル全体として誤差が小さくなるように計算するので、仮に異常点があった場合、それに対応する計算ブロックのみならず､変化点に近接した隣接ブロックにも影響が及ぶことがある。本調査でも、測線 2 の 2 次元解析結果はあまり変化していないが、測線 1 は比抵抗分布傾向が異なる結果となっている。これは、測線 1 は測線 2 に比べ深部の局所的な変化が大きく、この影響で解析変化率が大きくなったものと考えられる。このように、2 次元解析結果は、測定データの品質に大きく依存し変化するため、2 次元解析のみで地下の変化を抽出することは困難である。

本調査は 2 回目の測定であり、調査地域の見掛比抵抗がバックグラウンドとしてどの程度変動するかが把握できていないため、見掛比抵抗値の変動が繰り返し測定を行う場合のデータの分散

の範囲内なのか、地下構造の変化なのかについて十分に検討できない。今後は測定データを蓄積し､その傾向や特徴を把握することが､地下の変動を抽出するために最重要であると考えられる。また、2 次元解析については、ある区域の解析ブロック比抵抗を固定して解析するなどの計算条件の検討、および 2 次元比抵抗モデリングによる見掛比抵抗の変化量と変化域の想定が今後必要になると考えられる。

以上の検討より、今後本地域で施設建設に伴う地下構造の変化を抽出するには、以下の検討手順が現実的、かつ効果的であると考える。

① 見掛比抵抗の変化に注目し、その範囲や程度を検討する。

② 2 次元解析や比抵抗モデリングを実施し、変動箇所を推定する。

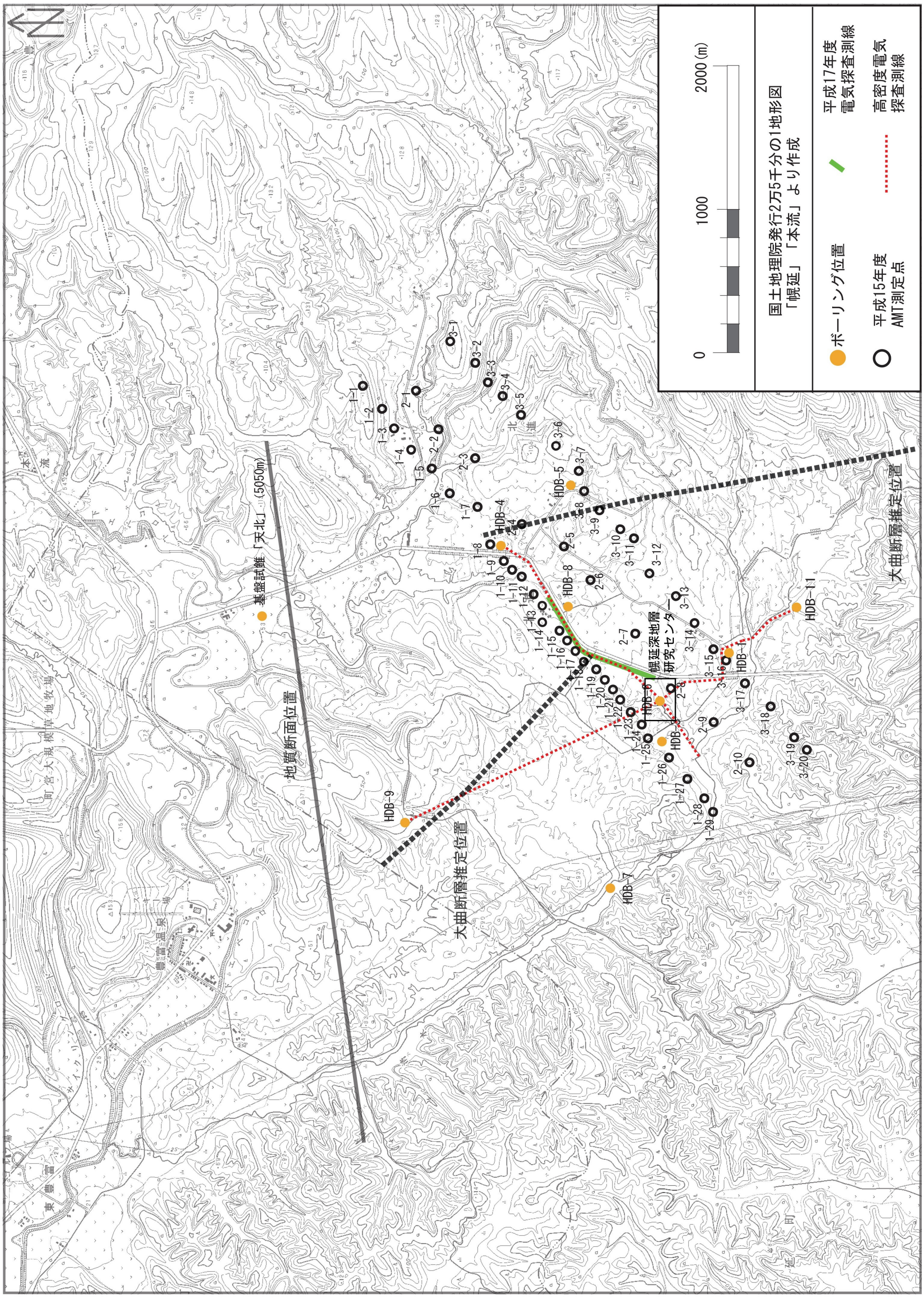


図５－１　既存地質情報位置図

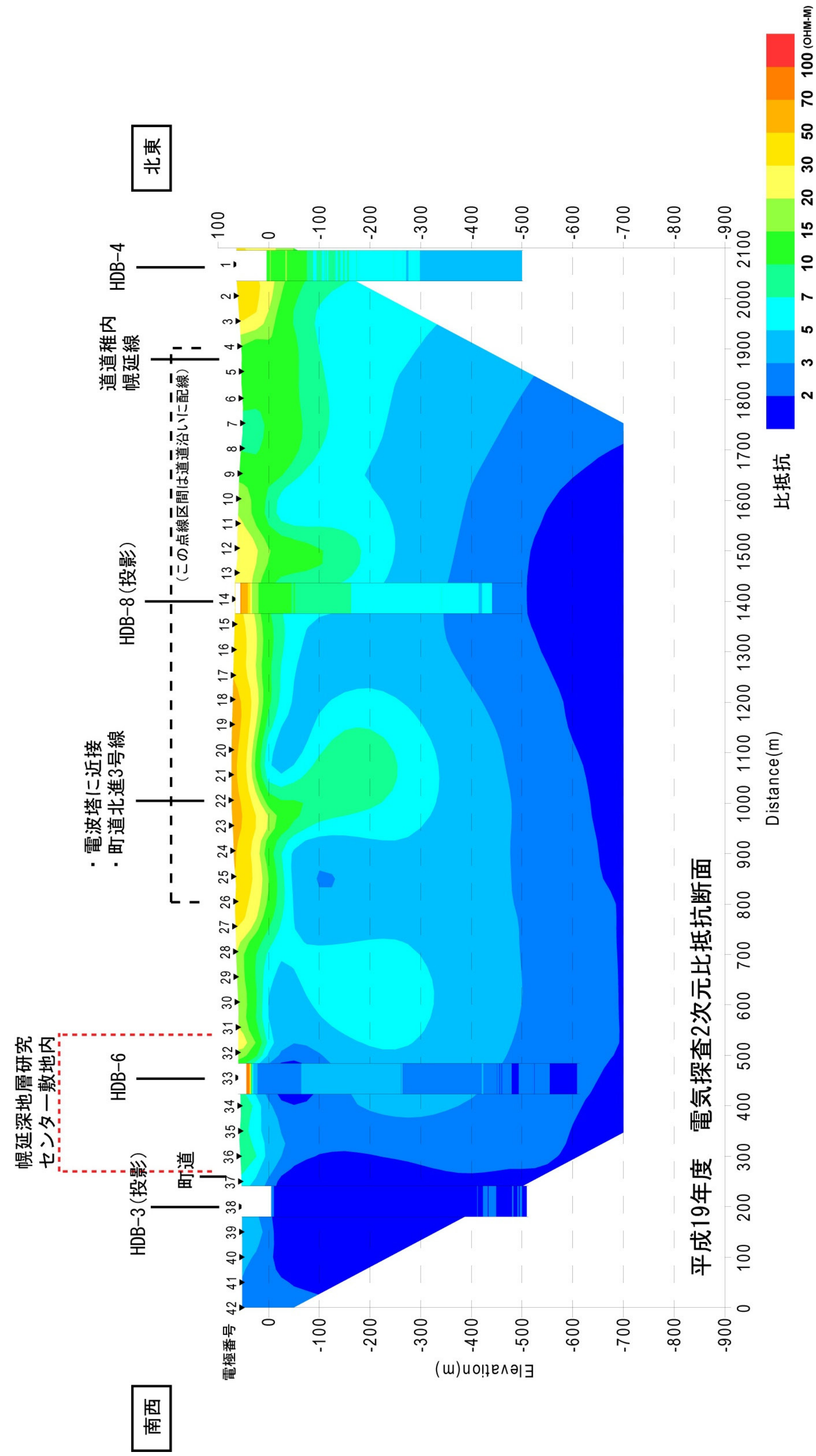


図５－２　２次元解析結果（測線１）と既存試錐結果との比較

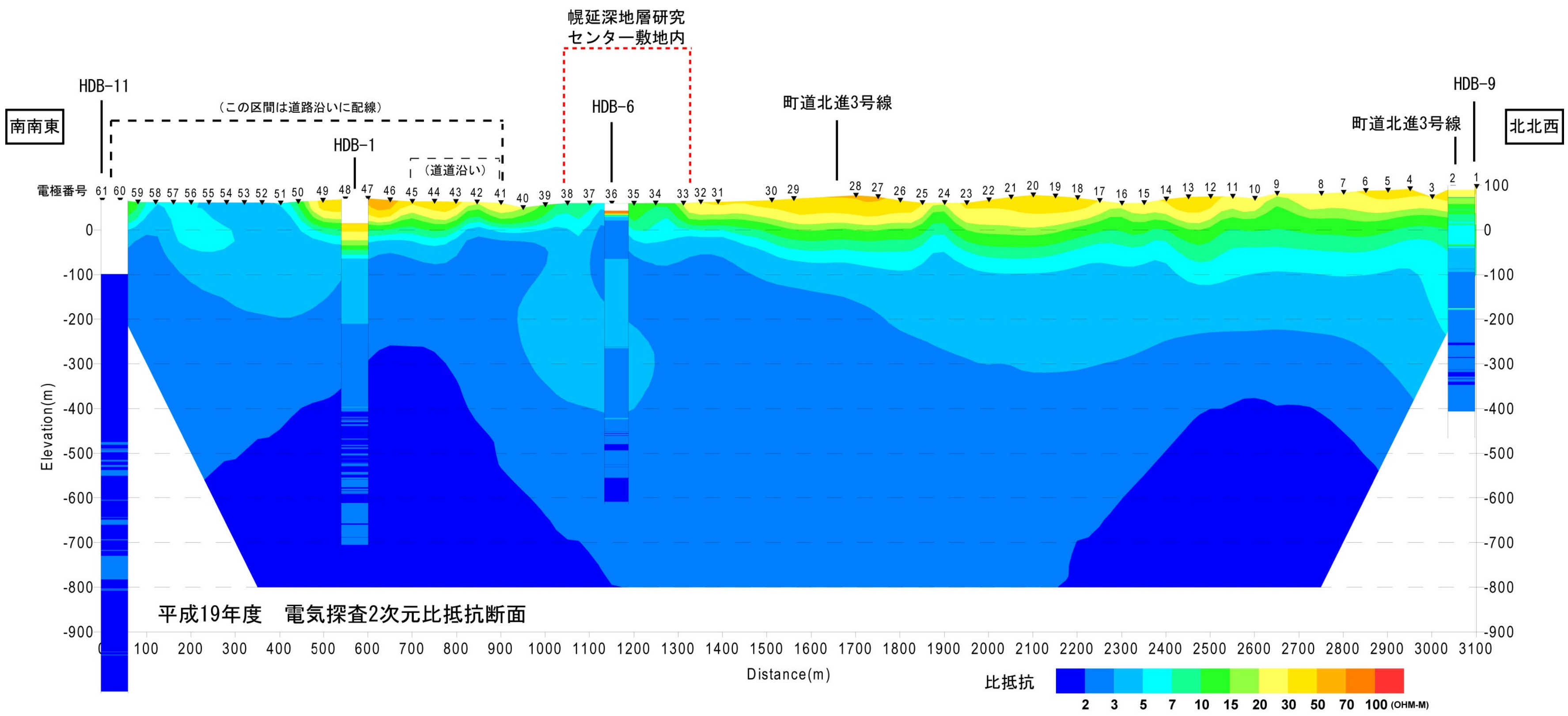


図５－３　２次元解析結果（測線２）と既存試錐結果との比較

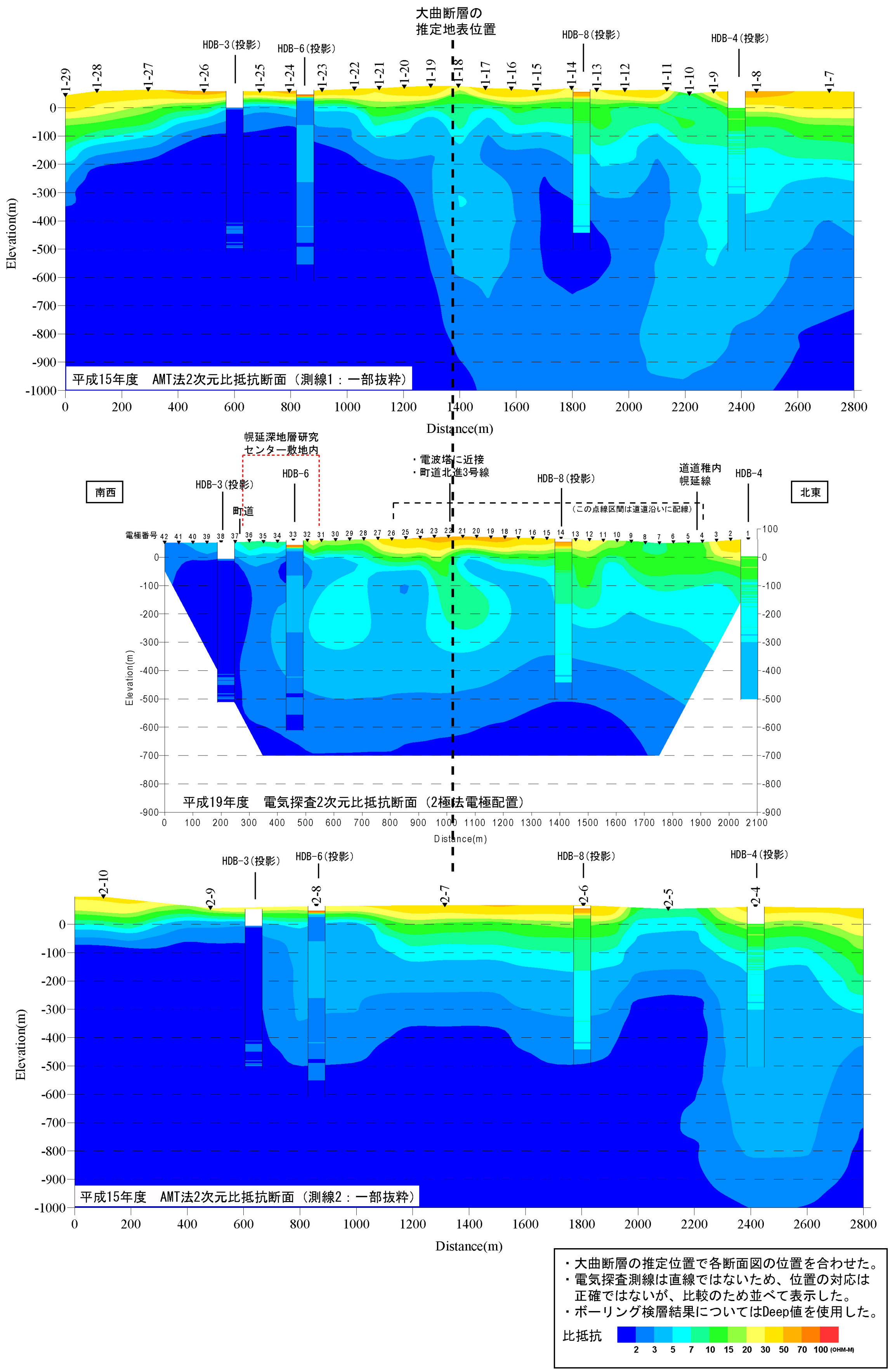
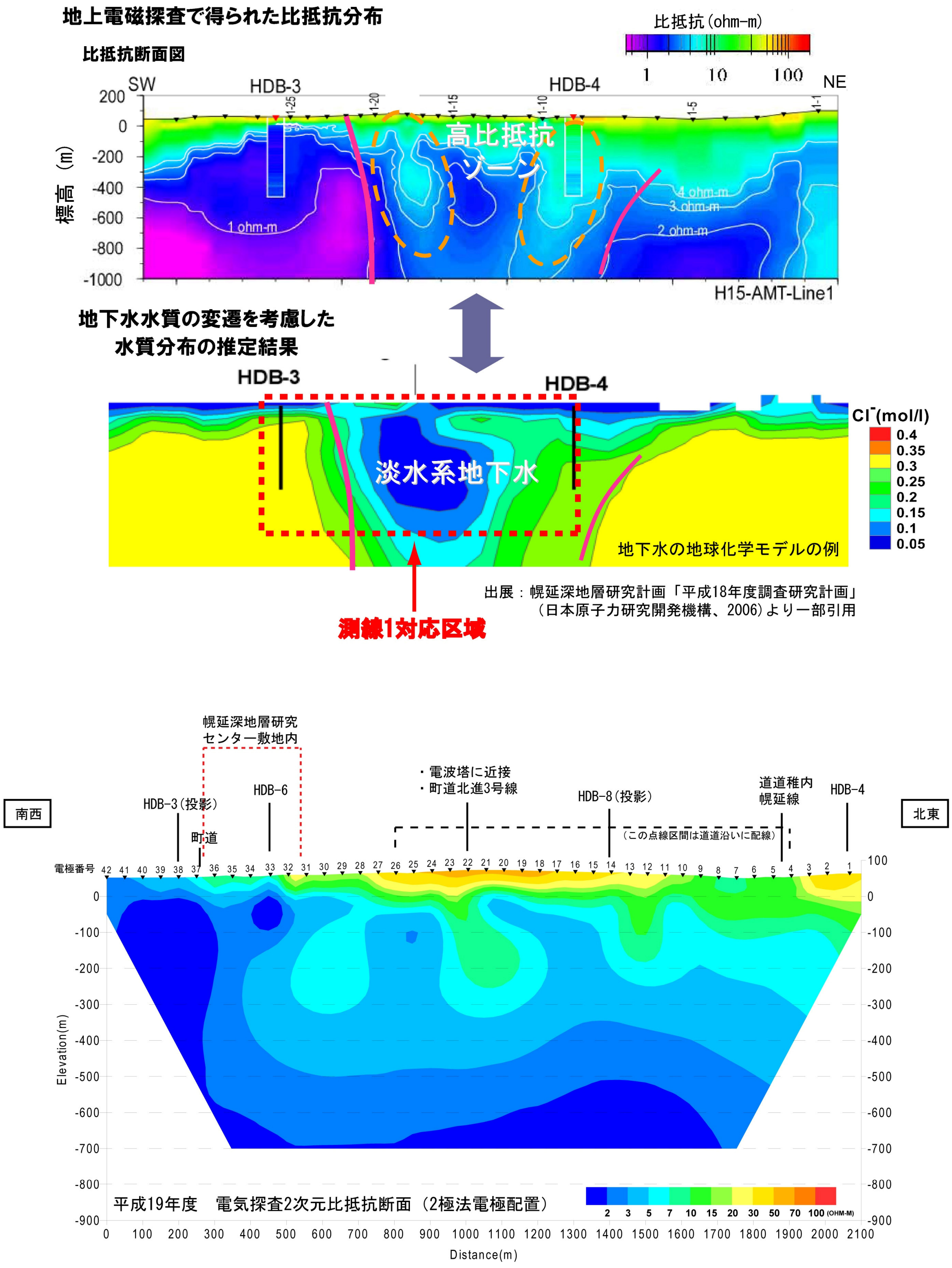


図５－４　２次元解析結果(測線１)と平成15年度の比抵抗断面（AMT法）との比較



測線1の2次元解析結果

図５－５　２次元解析結果（測線１）と推定水質分布との比較

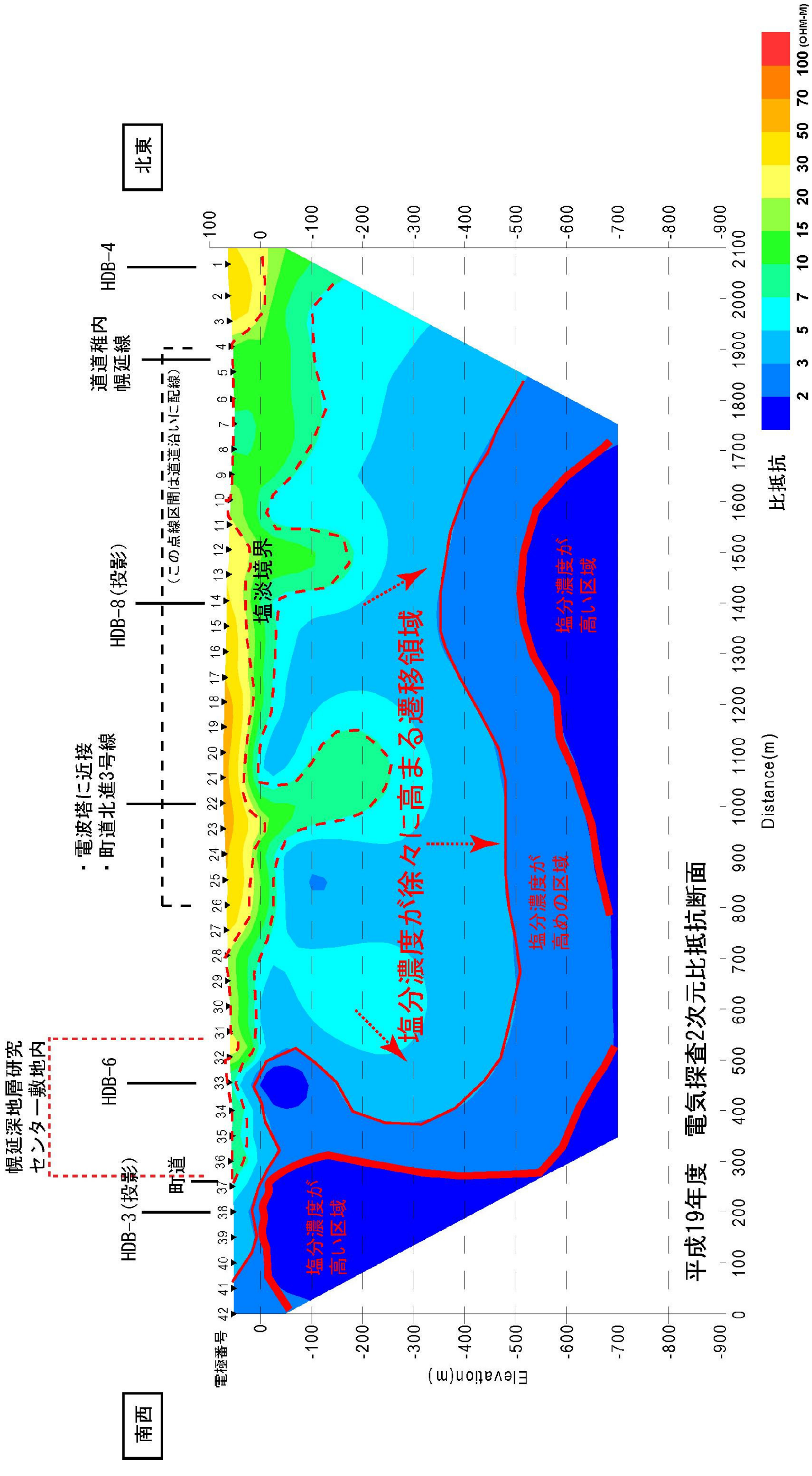


図５－６　推定水質解釈断面図（測線１）

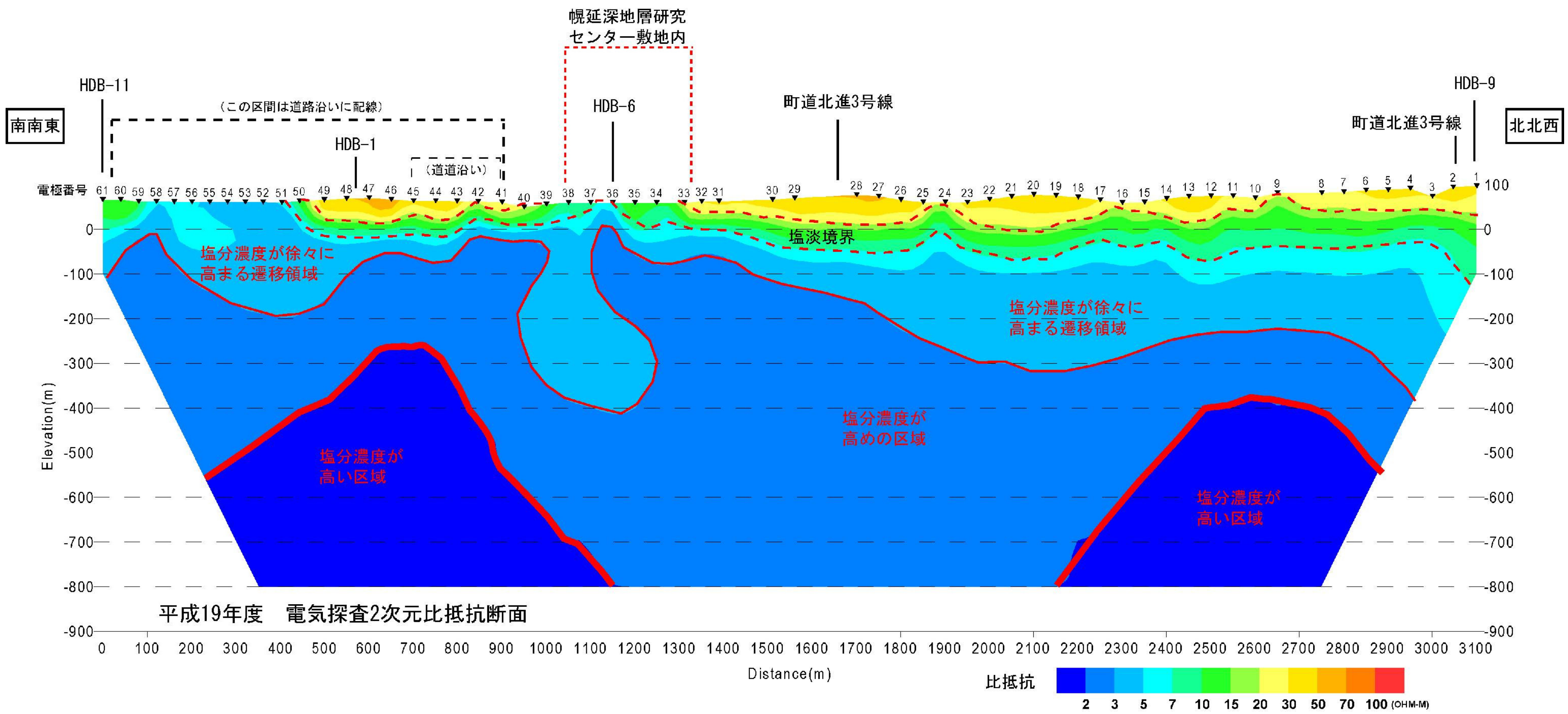


図５－７　推定水質解釈断面図（測線 2）

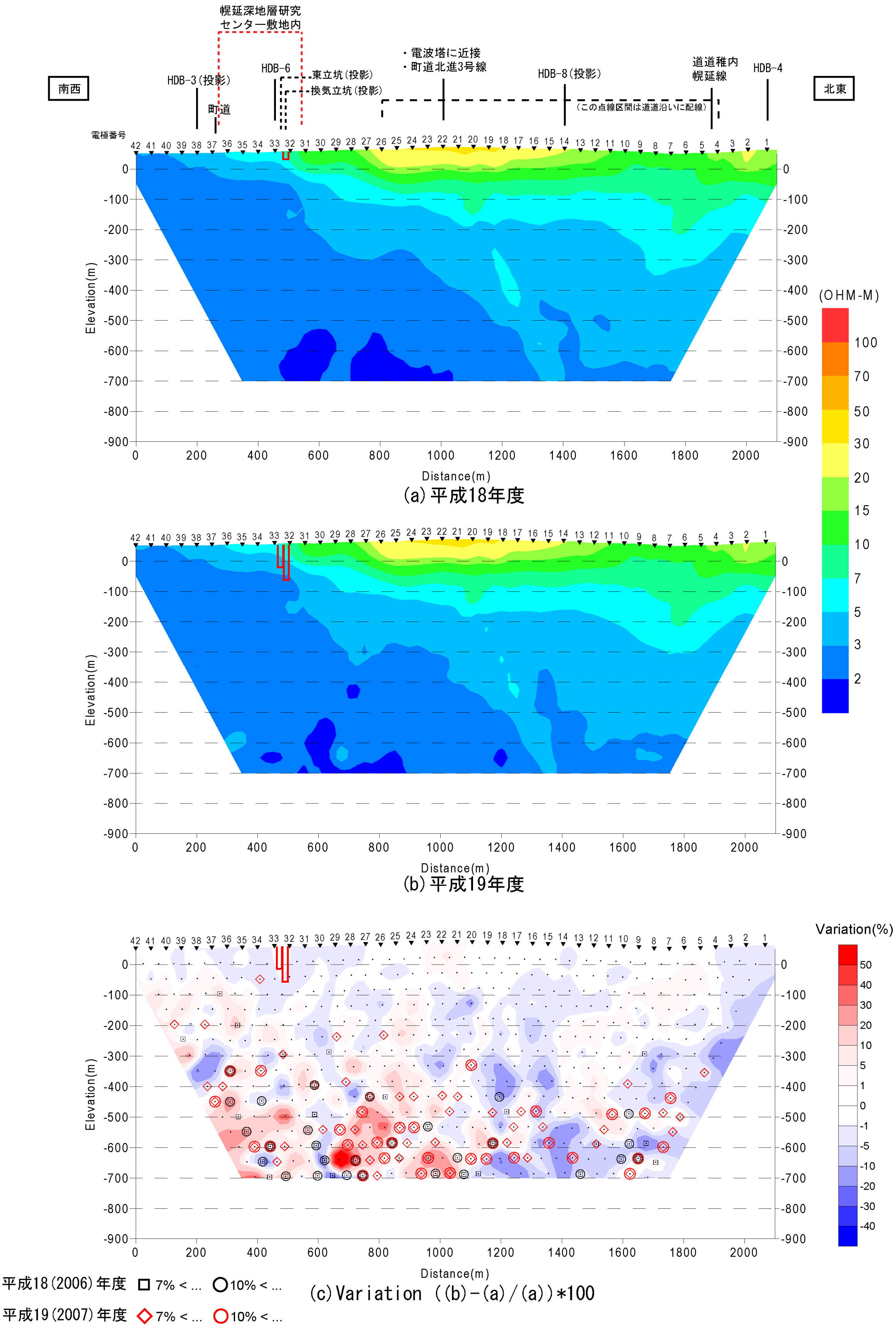


図５－８　見掛比抵抗擬似断面図の比較（測線１）

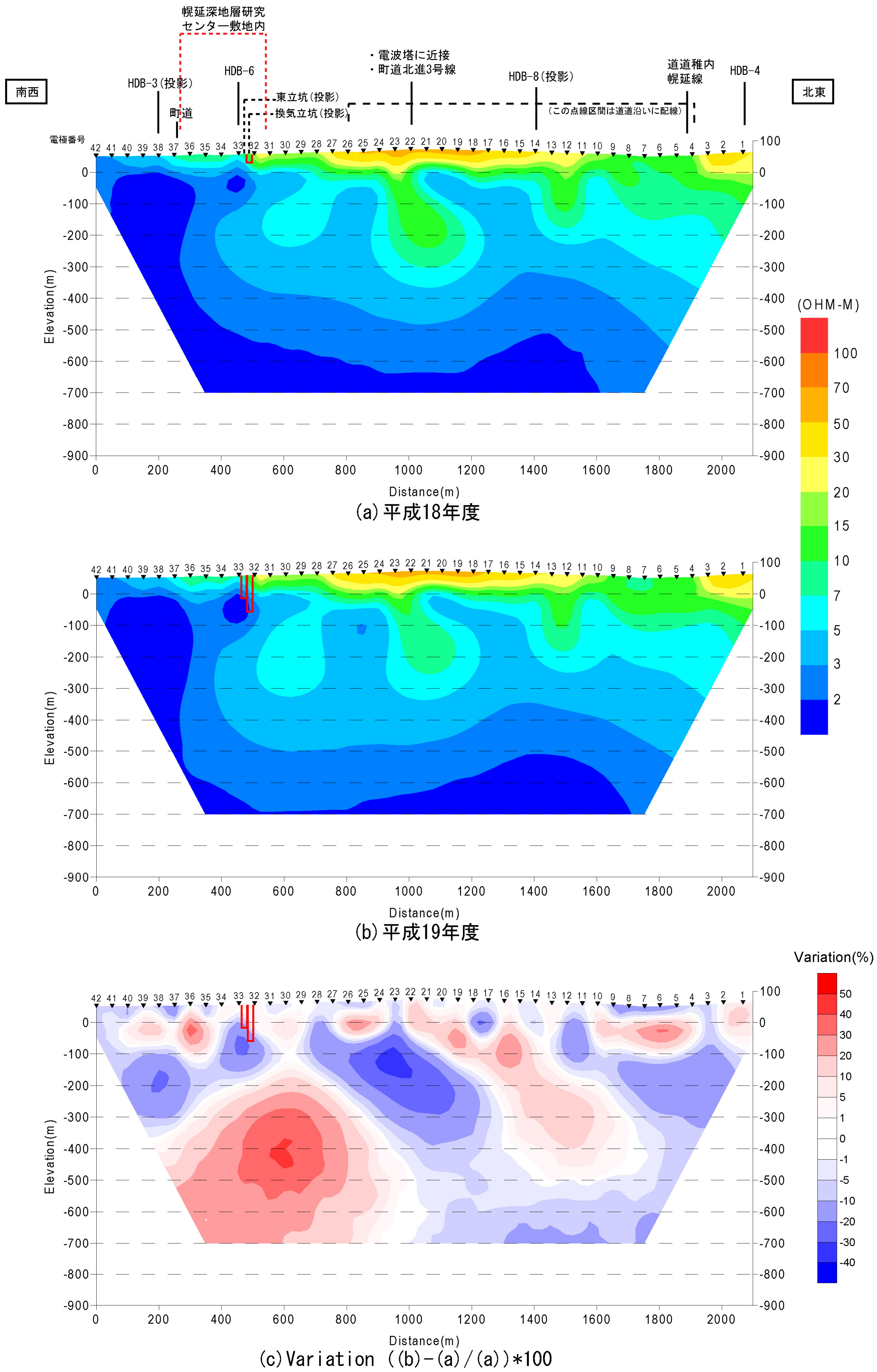
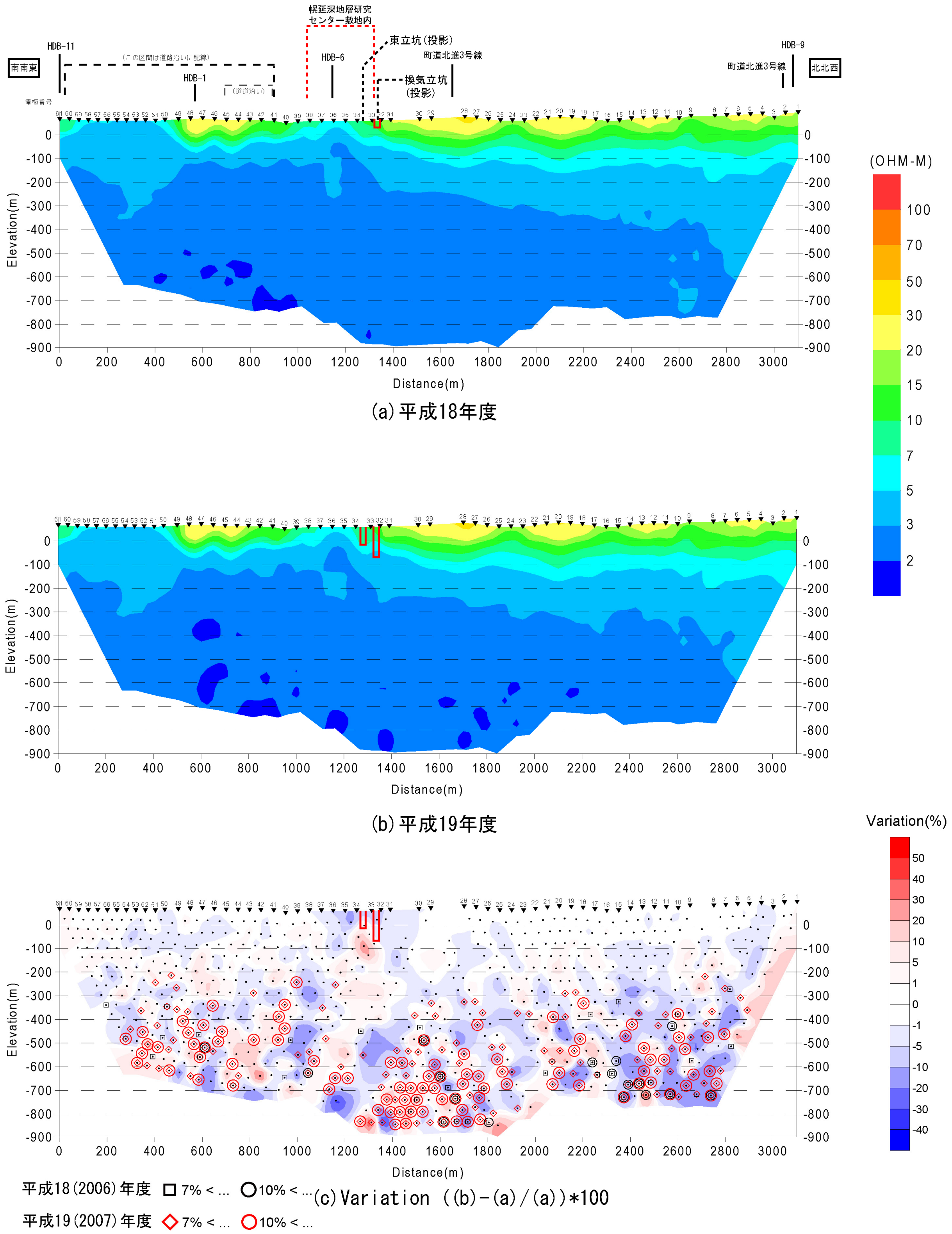


図５－９　２次元解析結果（測線１）の比較

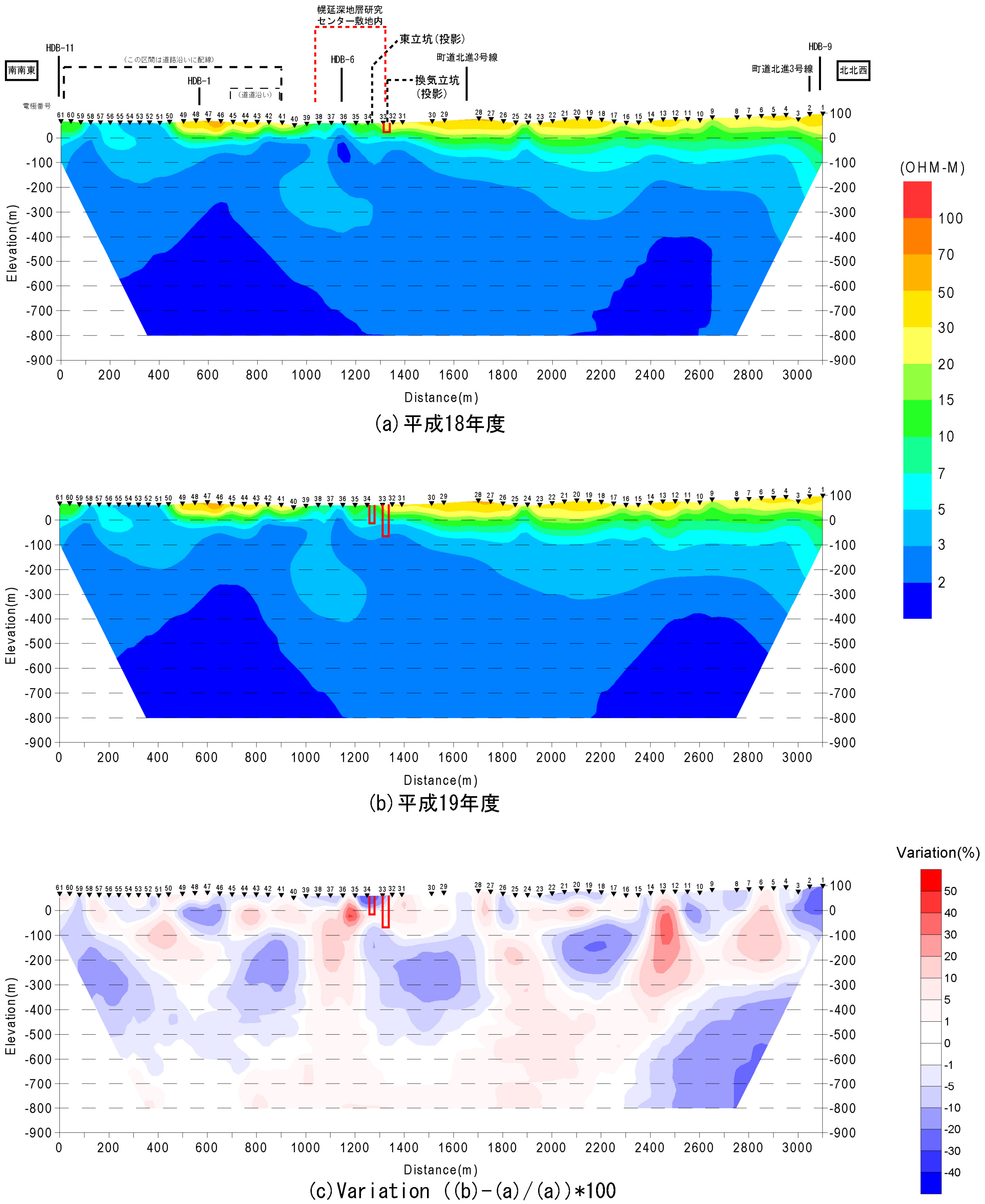


(a) 平成18年度

(b) 平成19年度

(c) Variation ((b)-(a)/(a))*100

図５－１０　見掛比抵抗擬似断面図の比較（測線 2）



(a) 平成18年度

(b) 平成19年度

(c) Variation ((b)-(a)/(a))*100

図５－１１　２次元解析結果（測線 2）の比較

表５－１　比較した既存試錐孔情報

測線	試錐孔	電極番号	掘削深度(m)	検層データ(Deep)取得深度(m)		掘削年度(平成)	地層分布深度(m)	
				開始	終了		声問層	稚内層
測線1	HDB-4	1	520	55	517	14	孔口～321	～720
	HDB-8	14(投影)	519	9	466	15	孔口～140	～470
	HDB-6	33	620	15	615	15	孔口～300	～620
	HDB-3	38(投影)	519	54	516	14	孔口～382	～520
測線2	HDB-9	1	521	22	516	16		孔口～521
	HDB-6	36	620	15	615	15	孔口～300	～620
	HDB-1	47(投影)	717	51	714	13	孔口～321	～720
	HDB-11	61	1020	153	1016	17	孔口～440	～1020

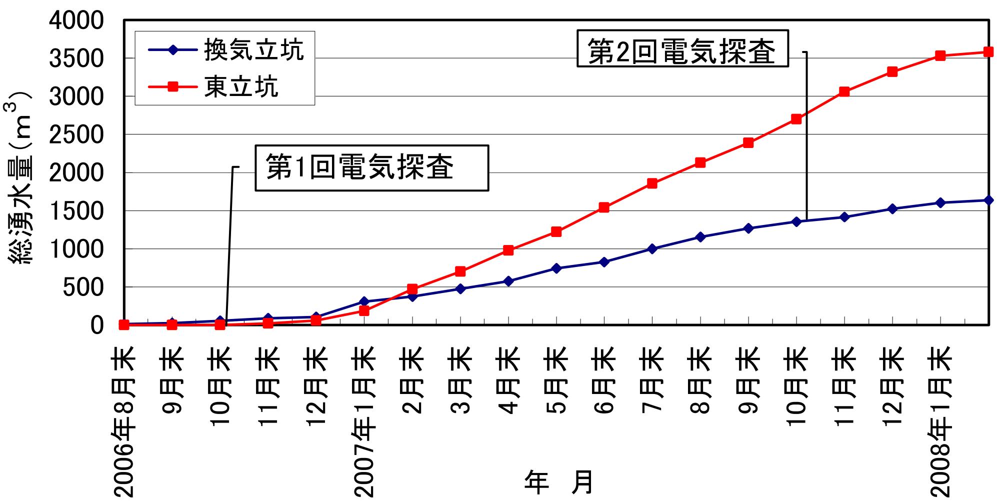
（注：試錐孔は北側から整理）（注：各深度情報については四捨五入した）

（参考文献5）～9)より作成）

表５－２　立坑掘削進捗状況

立坑	掘削深度(m)			総湧水量(m^3)			投影電極箇所	
	H18 *1	H19 *2	差	H18 *1	H19 *2	差	測線1	測線2
換気	30	115	85	53.35	1352.69	1299.34	32と33の中間	32と33の中間
東	0	70	70	0	2700.13	2700.13	32と33間の33寄り	33と34間の34寄り

立坑総湧水量(ずり搬出時に排出される湧水は含まず)



＊1：H18. 11. 10 現在
＊2：H19. 11. 7 現在

6　結論

幌延町北進地区の幌延深地層研究センター周辺の大曲断層推定位置を含んだ区域において、平成 18 年度に引き続き 2 回目の高密度電気探査を実施した。現地調査は平成 19 年 10 月下旬より同 11 月上旬に掛けて行った。

調査測線は NE-SW 方向の測線 1（約 2.1km）と NNW-SSE 方向の測線 2（約 3.1km）の 2 本で、基本電極間隔は約 50m である。また、測定には探査深度が 600m 前後と大きいことを考慮して 2 極法配置を採用し、最大電極隔離係数を 15 とした。

本調査結果と既存探査結果を比較すると、比抵抗値の範囲およびその分布形状が良く対応しており、平成 18 年度と同様に良好な調査結果が得られていることが判明した。また、平成 18 年度の調査結果と比較、検討した結果、以下の知見を得た。

（1）見掛比抵抗の値や分布形状が大きく異なる区域は見られず、再現性の高い良好な測定結果が得られた。

（2）標高－300m 程度までは見掛比抵抗の変化率は小さいが、深度が増すと変化率はやや大きくなり、標高－500m 以深でその傾向が顕著である。

（3）現状では、立坑掘削工事に起因すると考えられる、明瞭な見掛比抵抗の変化域は認められないと判断される。

参考文献

1) 松尾公一, 岸本宗丸, 幕内歩, 手島稔, 真田祐幸, 丹生屋純夫, 松井裕哉：“研究所設置地区における高密度電気探査”,日本原子力研究開発機構,JAEA-Research 2008-071(2008).

2) 根本隆文, 佐川昭, 植田芳郎, 織田精徳, 松井寛, 三梨昂：“天北炭田地質図説明書”, 日本炭田図 13, 地質調査所(1979).

3) 柳田誠：“北海道北部地域の地質に関する研究”,核燃料サイクル開発機構,JNC TJ1400 98-001(1998).

4) 松尾公一, 根木健之, 横井浩一, 高橋武春, 手島稔：“幌延深地層研究計画における電磁法による大曲断層調査”,核燃料サイクル開発機構,JNC TJ5410 2004-002(2004).

5) 松尾公一, 岸本宗丸, 根木健之, 手島稔：“大曲断層を対象とした電気探査”,核燃料サイクル開発機構,JNC TJ5440 2005-001(2005).

6) 核燃料サイクル開発機構：“幌延深地層研究計画平成 13 年度調査研究成果報告”,JNC TN1400 2002-004(2002).

7) 核燃料サイクル開発機構：“幌延深地層研究計画平成 14 年度調査研究成果報告”, JNC TN5400 2003-001(2003).

8) 核燃料サイクル開発機構：“幌延深地層研究計画平成 15 年度調査研究成果報告”,JNC TN5400 2004-001(2004).

9) 核燃料サイクル開発機構：“幌延深地層研究計画平成 16 年度調査研究成果報告”,JNC TN5400 2005-001(2005).

10) 松井裕哉, 新里忠史, 山口雄大：“幌延深地層研究計画平成 17 年度調査研究計画”,日本原子力研究開発機構,JAEA-Research 2006-073(2006).

11) 松井裕哉, 新里忠史, 山口雄大：“幌延深地層研究計画平成 18 年度調査研究計画”,日本原子力研究開発機構,JAEA-Research 2006-074(2006).

12) 太田久仁雄, 阿部寛信, 山口雄大, 國丸貴紀, 石井英一, 操上広志, 戸村豪治, 柴野一則, 濱克宏, 松井裕哉, 新里忠史, 高橋一晴, 丹生屋純夫, 大原英史, 浅森浩一, 森岡宏之, 舟木泰智, 茂田直孝, 福島龍朗：“幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階（第 1 段階）研究成果報告書　分冊「深地層の科学的研究」”,日本原子力研究開発機構,JAEA-Research 2007-044(2007).

13) 松井裕哉, 新里忠史, 山口雄大：“幌延深地層研究計画平成 18 年度調査研究成果報告”,日本原子力研究開発機構,JAEA-Research 2007-092(2007).

14) 菅智浩：“連続電気探査法による河川堤防内への降雨水浸透状況の推定”,物理探査第 57 巻第 5 号,p.545-552(2004).

国際単位系（SI）

表1．SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2．基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m^2
体積	立法メートル	m^3
速さ，速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s^2
波数	毎メートル	m^{-1}
密度，質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m^3
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m^2
比体積	立方メートル毎キログラム	m^3/kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m^2
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度(a)，濃度	モル毎立方メートル	mol/m^3
質量濃度	キログラム毎立法メートル	kg/m^3
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m^2
屈折率(b)	（数字の）1	1
比透磁率(b)	（数字の）1	1

(a) 量濃度（amount concentration）は臨床化学の分野では物質濃度（substance concentration）ともよばれる。
(b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3．固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン(b)	rad	1 (b)	m/m
立体角	ステラジアン(b)	sr(c)	1 (b)	m^2/m^2
周波数	ヘルツ(d)	Hz		s^{-1}
力	ニュートン	N		$m\ kg\ s^{-2}$
圧力，応力	パスカル	Pa	N/m^2	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
エネルギー，仕事，熱量	ジュール	J	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
仕事率，工率，放射束	ワット	W	J/s	$m^2\ kg\ s^{-3}$
電荷，電気量	クーロン	C		s A
電位差（電圧），起電力	ボルト	V	W/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
静電容量	ファラド	F	C/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^3\ A^2$
磁束	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2	$kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度(e)	℃		K
光束	ルーメン	lm	cd sr(c)	cd
照度	ルクス	lx	lm/m^2	$m^{-2}\ cd$
放射性核種の放射能(f)	ベクレル(d)	Bq		s^{-1}
吸収線量，比エネルギー分与，カーマ	グレイ	Gy	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
線量当量，周辺線量当量，方向性線量当量，個人線量当量	シーベルト(g)	Sv	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
酸素活性	カタール	kat		$s^{-1}\ mol$

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
(b)ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
(c)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
(d)ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
(e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
(f)放射性核種の放射能（activity referred to a radionuclide）は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
(g)単位シーベルト（PV,2002,70,205）についてはCIPM勧告2（CI-2002）を参照。

表4．単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	$m^{-1}\ kg\ s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	$kg\ s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m\ m^{-1}\ s^{-1}=s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	$m\ m^{-1}\ s^{-2}=s^{-2}$
熱流密度，放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	$kg\ s^{-3}$
熱容量，エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}$
比熱容量，比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2\ s^{-2}\ K^{-1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	$m\ kg\ s^{-3}\ K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m^3	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	$m\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m^3	$m^{-3}\ sA$
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2}\ sA$
電束密度，電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2}\ sA$
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$m\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2\ kg\ s^{-2}\ mol^{-1}$
モルエントロピー，モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}\ mol^{-1}$
照射線量（X線及びγ線）	クーロン毎キログラム	C/kg	$kg^{-1}\ sA$
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^2\ s^{-3}$
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=m^2\ kg\ s^{-3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2\ sr)$	$m^2\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=kg\ s^{-3}$
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m^3	$m^{-3}\ s^{-1}\ mol$

表5．SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10^{24}	ヨタ	Y	10^{-1}	デシ	d
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	c
10^{18}	エクサ	E	10^{-3}	ミリ	m
10^{15}	ペタ	P	10^{-6}	マイクロ	µ
10^{12}	テラ	T	10^{-9}	ナノ	n
10^{9}	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	p
10^{6}	メガ	M	10^{-15}	フェムト	f
10^{3}	キロ	k	10^{-18}	アト	a
10^{2}	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z
10^{1}	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	y

表6．SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	’	1’=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	”	1”=(1/60)’=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	$1ha=1hm^2=10^4m^2$
リットル	L，l	$1L=11=1dm^3=10^3cm^3=10^{-3}m^3$
トン	t	$1t=10^3\ kg$

表7．SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	$1eV=1.602\ 176\ 53(14)\times10^{-19}J$
ダルトン	Da	$1Da=1.660\ 538\ 86(28)\times10^{-27}kg$
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	$1ua=1.495\ 978\ 706\ 91(6)\times10^{11}m$

表8．SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	$1\ bar=0.1MPa=100kPa=10^5Pa$
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	$1\ Å=0.1nm=100pm=10^{-10}m$
海里	M	1 M=1852m
バーン	b	$1\ b=100fm^2=(10^{-12}cm)2=10^{-28}m^2$
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベル	B	
デジベル	dB	

表9．固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エルグ	erg	$1\ erg=10^{-7}\ J$
ダイン	dyn	$1\ dyn=10^{-5}N$
ポアズ	P	$1\ P=1\ dyn\ s\ cm^{-2}=0.1Pa\ s$
ストークス	St	$1\ St\ =1cm^2\ s^{-1}=10^{-4}m^2\ s^{-1}$
スチルブ	sb	$1\ sb\ =1cd\ cm^{-2}=10^4cd\ m^{-2}$
フォト	ph	$1\ ph=1cd\ sr\ cm^{-2}\ 10^4lx$
ガル	Gal	$1\ Gal\ =1cm\ s^{-2}=10^{-2}ms^{-2}$
マクスウェル	Mx	$1\ Mx = 1G\ cm^2=10^{-8}Wb$
ガウス	G	$1\ G\ =1Mx\ cm^{-2}\ =10^{-4}T$
エルステッド(c)	Oe	$1\ Oe \triangleq (10^3/4\pi)A\ m^{-1}$

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「≙」は対応関係を示すものである。

表10．SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	$1\ Ci=3.7\times10^{10}Bq$
レントゲン	R	$1\ R = 2.58\times10^{-4}C/kg$
ラド	rad	$1\ rad=1cGy=10^{-2}Gy$
レム	rem	$1\ rem=1\ cSv=10^{-2}Sv$
ガンマ	γ	1γ=1 nT=10-9T
フェルミ		1フェルミ=1 fm=10-15m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	cal	1cal=4.1858J（「15℃」カロリー），4.1868J（「IT」カロリー）4.184J（「熱化学」カロリー）
ミクロン	µ	$1\ µ\ =1µm=10^{-6}m$

（第8版，2006年改訂）