

鹿児島市街地における温泉探査事例（重力探査・電磁探査）

Hot-spring exploration in urban area of the Kagoshima-city; gravity survey and electromagnetic survey.

○宇都忠和・赤崎秀敏・住吉武志・若松和幸((株)アーステクノ)
Tadakazu Uto, Hidetoshi Akasaki, Takeshi Sumiyoshi, Kazuyuki Wakamatsu

1. はじめに

これまで、鹿児島市内では露木のモデル^{1) 2) 3)}により、温泉資源の活用がなされている。ここでは基盤の四万十層群と温泉構造の関連性が指摘され、基盤岩に貫入した岩脈や断層などの割れ目が地下深部の高温の単純泉をもたらすとされる。これが花倉層などの堆積岩中に二次貯留されると、温度が多少下がり、塩分の多い温泉となるとされる。一方、活断層研究の分野からは、ボーリング資料に基づいた地下構造⁴⁾から推定される鹿児島湾西縁断層に加えて、東西方向の重力探査測線が追加されている^{5) 6)}。本論では、これらの既往資料を踏まえた上で、甲突川南岸の開発対象地内外で新たに20m間隔での超精密重力探査と、電磁探査を実施して基盤構造を推定した。電磁探査は、CSAMT(Controlled-Source Audio-frequency Magneto-telluric)探査法とMT(Magneto-telluric)法を組み合わせたハイブリッドMT探査を実施した。探査結果に基づき、基盤岩深度と水質との関連性を考察し、温泉開発のための基礎資料を得た。

2. 調査概要

2. 1 開発対象地概要

開発対象地は、鹿児島市内を南東方向に流下する甲突川右岸の、図-1 に示す平野部市街地である。

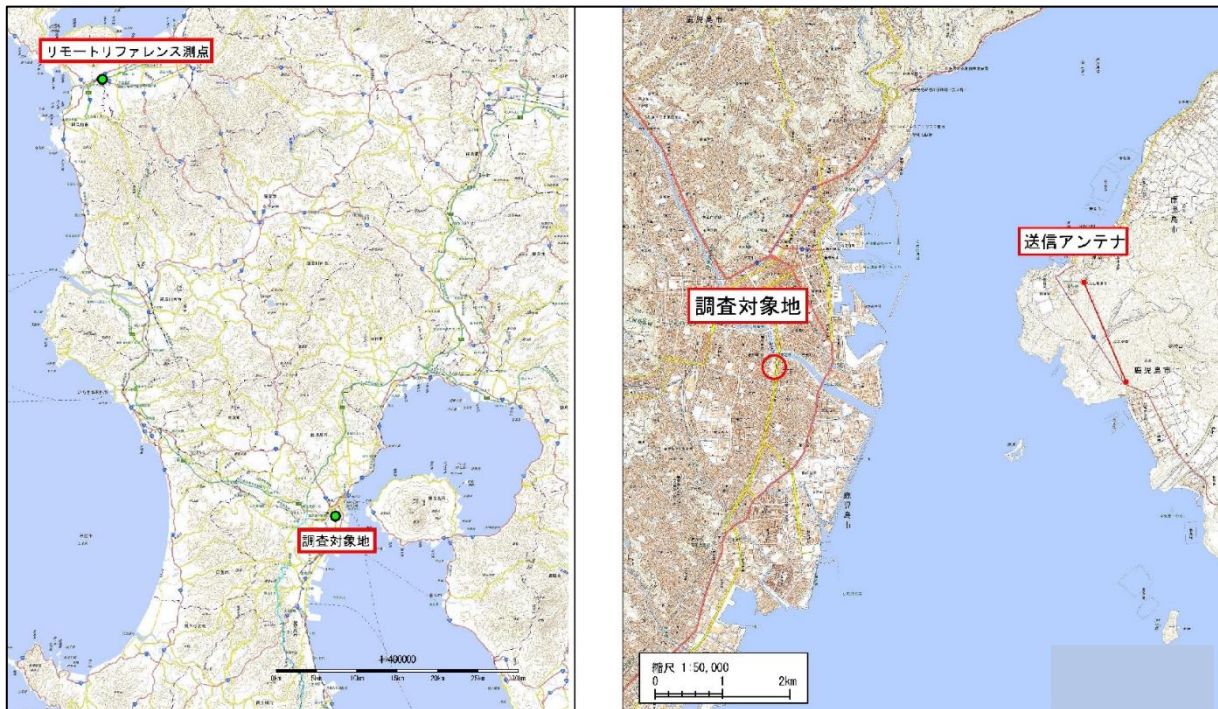


図-1 調査・開発対象地位置図

北緯 (°)

31.63

31.62

31.61

31.60

31.59

31.58

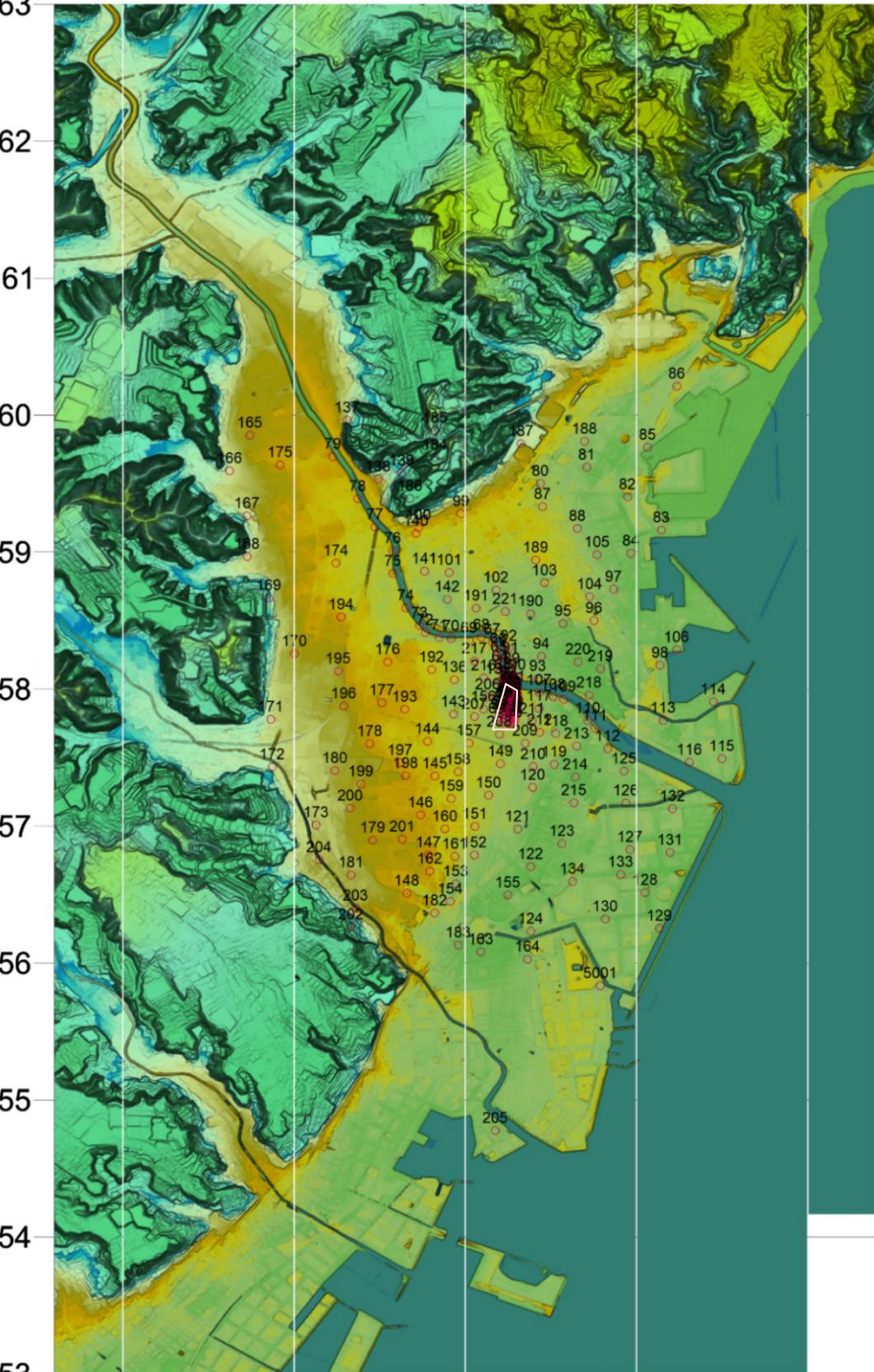
31.57

31.56

31.55

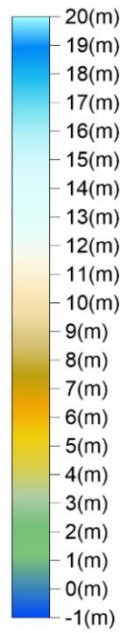
31.54

31.53



：開発対象地

地盤高 (m)



130.52

130.54

130.56

130.58

東経 (°)

図-2 重力探査測点位置図

2. 2 重力探査概要

探査は主に掘削地点周辺 3km 以内の総計 222 点で行った。測点配置を図-2 に示す。測定地点は、周辺住民や通行人等の第三者への妨げとならないよう配置し、開発対象地内が平均 20m 間隔(計 60 点)、また、周辺 2km 以内の地域では、測定地点間隔は約 200 m 間隔で行った。ブーゲー異常は、仮定密度(もしくは、補正密度)のとり方で地形との相関度が異なることから、地形が凹凸をもっていれば表層密度の推定ができる。更に、表層の影響を除去した基盤構造などの深部構造による成分の抽出に利用される。

仮定密度の推定の方法としては、(1) 岩石試料の密度測定による方法、(2) 標高に対して重力の小さくなる割合から推定する方法、(3) ブーゲー異常図と地形図を見比べる方法、が挙げられる。開発対象地では、砂岩や泥岩など一般的な堆積岩の密度である 2.3g/cm^3 を仮定密度として、ブーゲー異常図を作成する。鹿児島湾奥部に想定される始良カテラに伴う、地下深部の大規模な構造によるものと考えられるので、フィルタリングを行って大構造の影響を除去して残差重力を求め、開発対象地における、比較的浅部の地質構造を表す残差重力図を作成した。フィルタリングは、2 種類の上方向接続フィルターを組み合わせたパトパス・フィルターを用いた。

2. 3 電磁探査 (ハイブリッド MT 法) 概要

CSAMT 探査法は、探査深度 1,000m として、人工信号源を用いた電磁探査法である。開発対象地は人口密集地にあたり、車両や電車の交通が盛んなため、ノイズ源が多い昼間は探査に適さない場合があり、S/N 比低下に注意が必要である。このため、送信信号を強くする目的で、開発対象地から距離 4.75km の桜島に固定送信源を配置した。固定送信源を探査深度の 3~4 倍より近くに設置すると、ニアフィールド現象によって解析精度が低下する現象が発生する。

電磁探査 (MT 法) は、午前 1 時~4 時と午後 19 時~22 時における測定を実施した。開発対象地は市街地の中心部にあり、いずれの時間帯でもノイズが非常に多いことが判明し、電磁探査 (CSAMT) 法は日中に実施した。電磁探査 (MT 法) のリモートフェルネス点は、鹿児島県出水市に設置した。

3. 探査結果

3. 1 重力探査結果

今回実施した精密重力探査の結果を、図-3 に示す。活断層調査 (平成 9 年度、鹿児島県)⁵⁾ の L1 測線で実施された重力探査結果は、地溝・地塁構造と対応するという推定がなされている。本調査での残差重力断面でも、L1 測線では同様の結果で一致していた。開発対象地の東側では、地塁構造が南北方向に延びていると推定される。一方、開発対象地の西側では地塁構造が明瞭ではなく、半地溝状の可能性もある。

3. 2 電磁探査結果

MT 法の測定データから比較的 1 次元的な構造であることが予想された。そのことから、調査対象地内では大きな構造の変化は無いものと想定され、5Hz から低周波側においてはニアフィールドの影響を受けない MT 法の測定データを使用して解析を行った。開発対象地内での南北方向測線での探査 (LINE-1) の結果、深度 600m 付近における比抵抗 $80\sim 100\ \Omega \cdot \text{m}$ の地層が、敷地の南側から北側 (甲突川) 方向にゆるやかに深まる傾向が示している。また、東西方向での探査 (LINE-2) 比抵抗断面図からも、深度 800m 付近の比抵抗 $250\ \Omega \cdot \text{m}$ 程度を示す地層が、東側から西側 (鹿児島中央駅) へ、わずかに深まっていると推定する。

上部洪積層（更新統）は、海水の混入が極めて多いため、比抵抗は $10 \Omega \cdot m$ 以下と低くなっていると推定される。下位に向かって、比抵抗が次第に上昇し、600m 以深では比抵抗値のコントラストが大きく、基盤岩と推定される。基盤岩の深度は、西側ほど低下しており、重力探査結果と整合的である。基盤岩内も深度 800m までは、比抵抗が低く、海水の混入の可能性が考えられる。

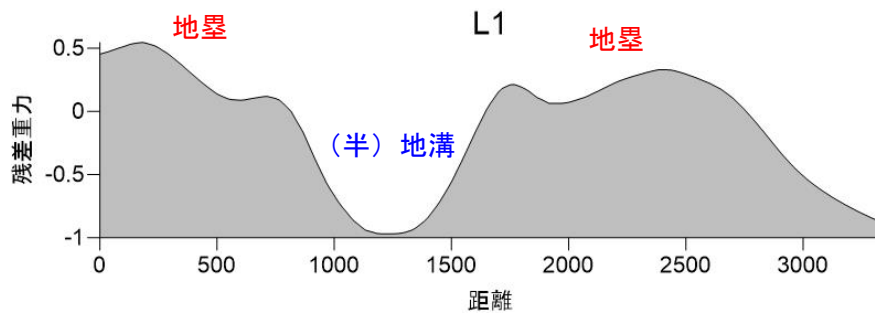
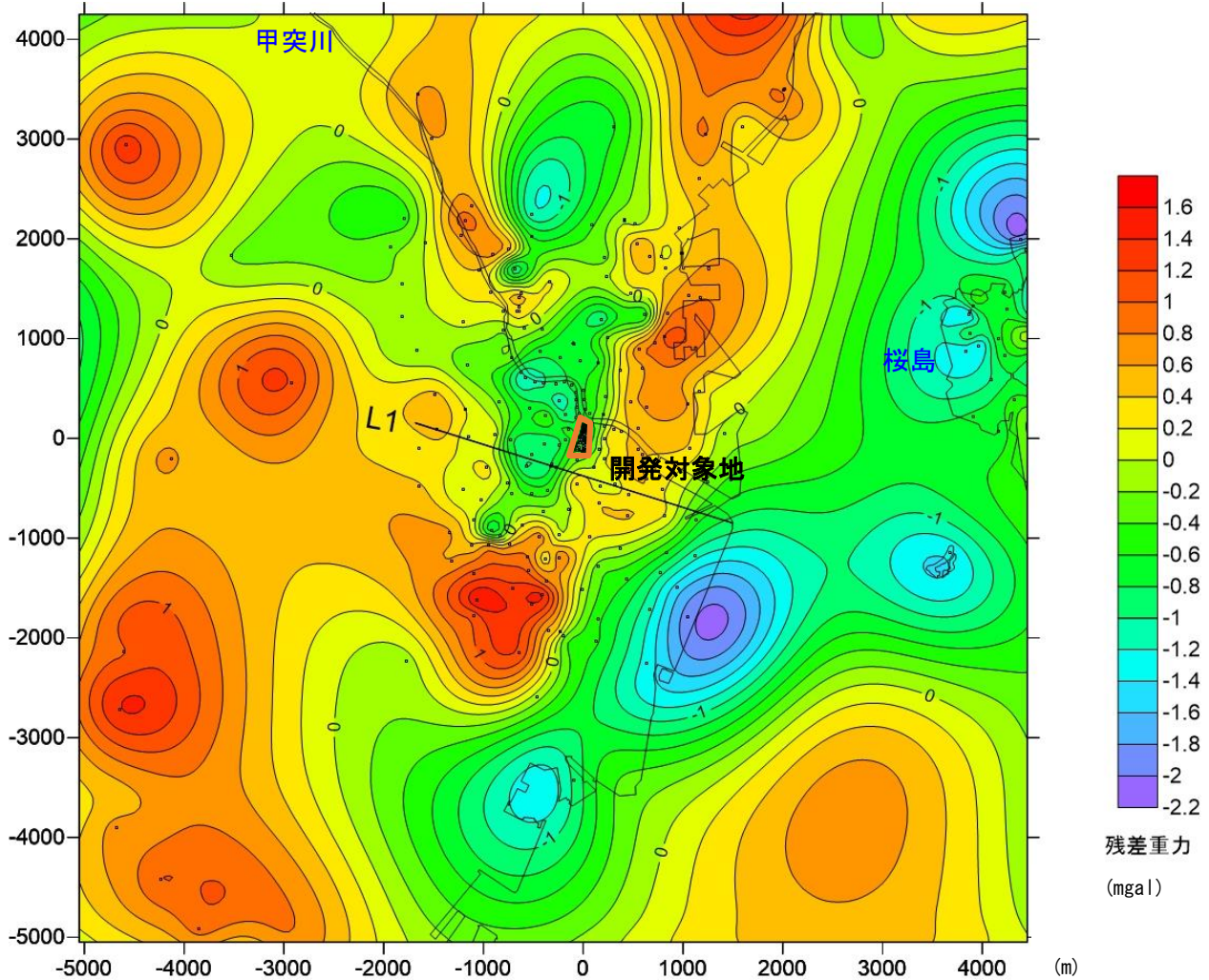


図-3 精密重力探査平面図（残差重力図）（上図）・断面図（下図）。黒点が重力探査測点。

断面図は、活断層調査（平成9年度、鹿児島県）⁵⁾ の L1 測線における本調査の残差重力断面。

4. 考察

残差重力平面図上で、ボーリング等により基盤岩の深度が判明している既知の点⁵⁾で、基盤岩深度(y)と残差重力(x)との相関関係を、図-5にプロットした。比較的明瞭な正の相関関係 ($y=0.0039x+1.9333$; $R^2=0.636$) が得られた。上記に基づき、基盤岩深度は610~650mと推定し、温泉開発計画を立案した。

次に、良好な泉温・泉質の温泉開発を目指すため、周辺の既知の泉源の泉温・泉質データと基盤岩深度との関係を図-6に考察した。

5. おわりに

実際の温泉掘削においては、基盤岩深度が精度良く推定できており、良好な水量・水質の温泉が得られた。本報告に際し、探査依頼主である南国殖産株式会社から、データの公表についてご快諾頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 露木利貞 (1975), 鹿児島市内温泉の賦存状態-地域地下水の研究(1)-, 鹿児島大学理学部紀要. 地学・生物学, Vol. 8, 63-77.
- 2) 露木利貞 (1992), 九州における温泉と地質, 露木利貞教授退官記念会, 105pp.
- 3) 岩松暉(2015): 1993年鹿児島豪雨災害. かだいおうち(Advanced Course), データ更新日: 2020年11月26日, <https://www.sci.kagoshima-u.ac.jp/oyo/advanced/geology/hotspring.html>.

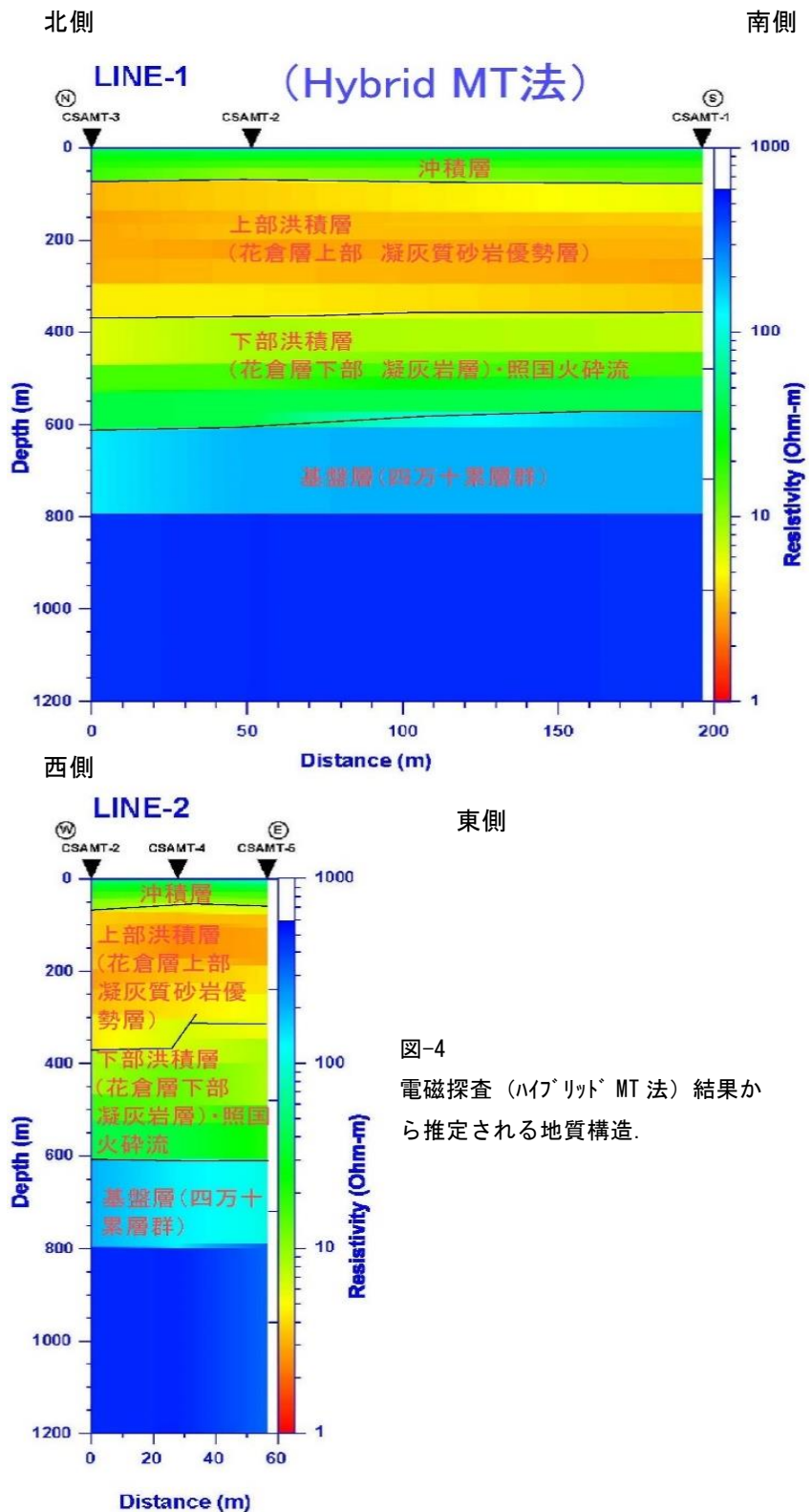


図-4 電磁探査 (ハイブリッド MT 法) 結果から推定される地質構造.

- 4) 早坂祥三・大木公彦 (1971) : 鹿児島市地域のボーリング資料にもとづく地質学的考察. 鹿児島大学理学部紀要. 地学・生物学, 4, 15-29.
- 5) 鹿児島県 (1998), 平成9年度 鹿児島湾西縁断層, 出水断層帯及びその周辺の断層に関する調査成果報告書.
- 6) 鹿児島県 (1999), 平成10年度 鹿児島湾西縁断層及び出水断層帯に関する調査成果報告書, 133pp.

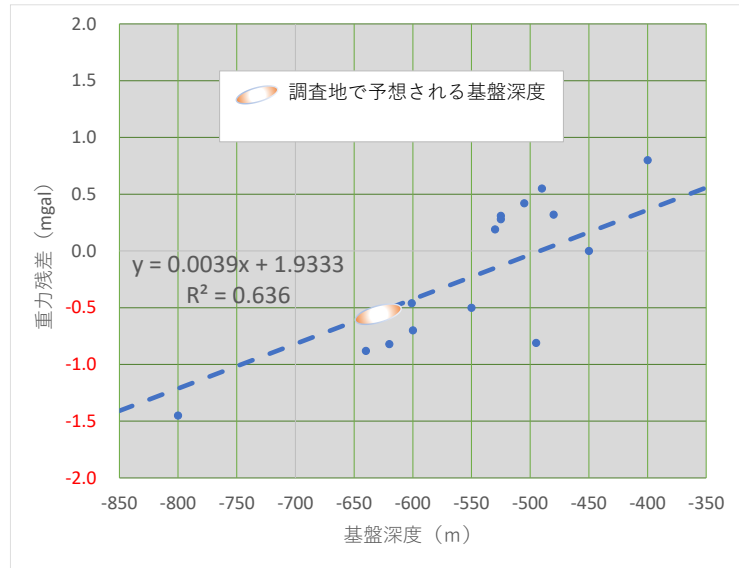


図-5 基盤岩深度と重力残差の相関関係.

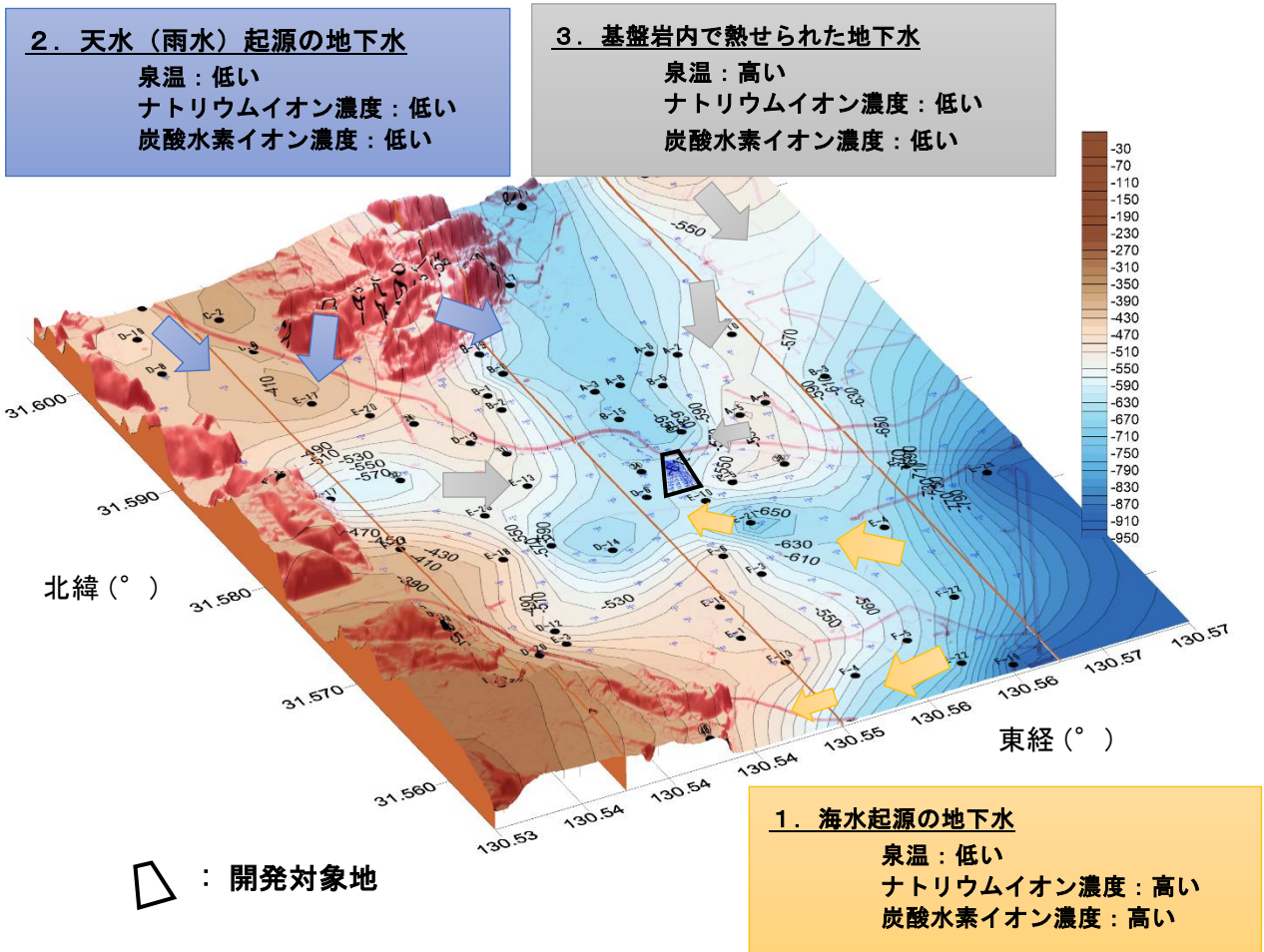


図-6 開発対象地の基盤地質構造と温泉水の平面的な流動方向推定（鳥瞰図表示）.