

第5章 熱水資源の貯留層基盤標高図の作成

本章では、既存の地質データや重力基盤深度、温泉データに対する地化学温度計（温泉水の成分分析結果から地下温度を推定する方法）等を活用して、500m メッシュ単位で、貯留層基盤標高（貯留層底部の標高）を推定し、貯留層基盤標高図を作成した結果を記述する。

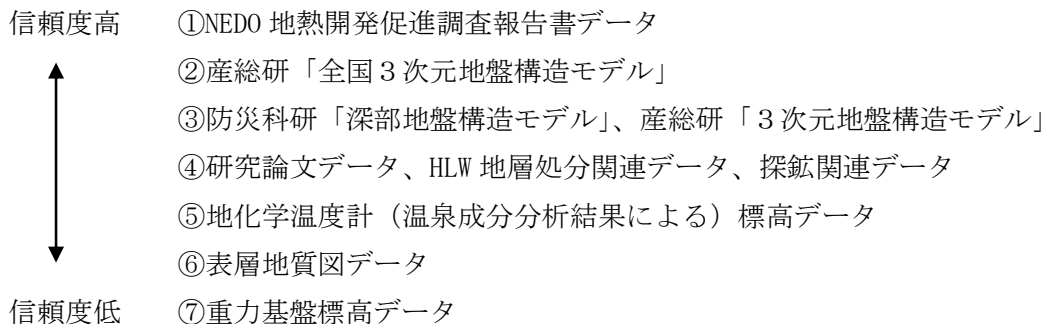
5.1 貯留層基盤標高図の作成における前提条件の整理

貯留層基盤標高図の作成に関する前提条件を以下に整理する。

- 1) 透水性が高い地質層とされる新第三系、第四系を地熱貯留層とする。
- 2) 先新第三系下端もしくは古第三系上端を地熱貯留層底部とする。
- 3) 表層地質図における先新第三系の分布域は基盤深度を 0m（地表面）とする。

※姫川地域など先新第三系の地層が地熱貯留層になっている場合もあるため、NEDO 地熱開発促進調査など詳細な調査結果がある場合には、調査結果を優先する（八丈島については、下位に先進第三系が確認されていないことから、標高-3000mを基盤標高とした）。また、地化学温度計による標高データは先新第三系の分布域の基盤深度推定に利用する。

- 4) データの信頼度を以下のように設定し、同一範囲に複数のデータが存在する場合は信頼度の高いデータを活用するものとする。



5.2 重力基盤標高図の入手・補正等

産総研より重力基盤標高図を入手した。なお、入手したデータは北海道、東北、関東中部、西南日本の4地区のデータセットに分かれていたが、部分的にメッシュが重なっていることから産総研「全国地熱ポテンシャルマップ」作成当時の作業方法を踏襲し、IDW (Inverse Distance Weighted) 法を用いて1kmメッシュデータの重複部分を平均化して500mメッシュデータに変換した。作成した重力基盤標高データを図5.2-1に示す。

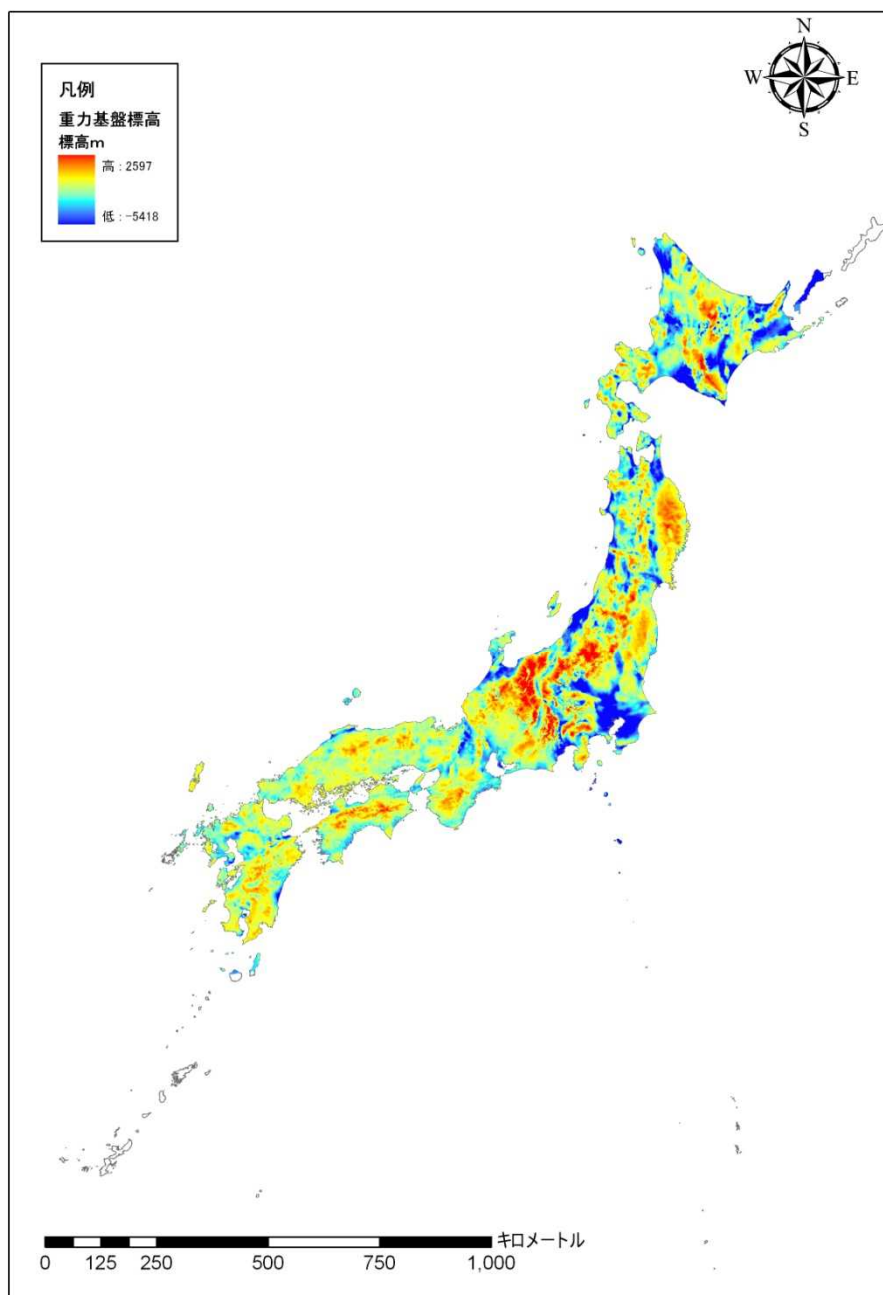


図 5.2-1 作成した重力基盤標高データ (500mメッシュ)

5.3 表層地層図による置換・外挿・補間

産総研が整備した 1/200,000 シームレス地質図データを利用して、地質図のポリゴンデータから先新第三系の分布域を抽出した（図 5.3-1）。ただし、第四系～新第三系の深生岩類は貫入岩のため下限が不明確であることから基盤岩として分類した（図 5.3-2）。

先新第三系の分布範囲では、基盤地質が地表面に出ていることから、地表の標高を基盤深度標高（深度 0m）として置換した。

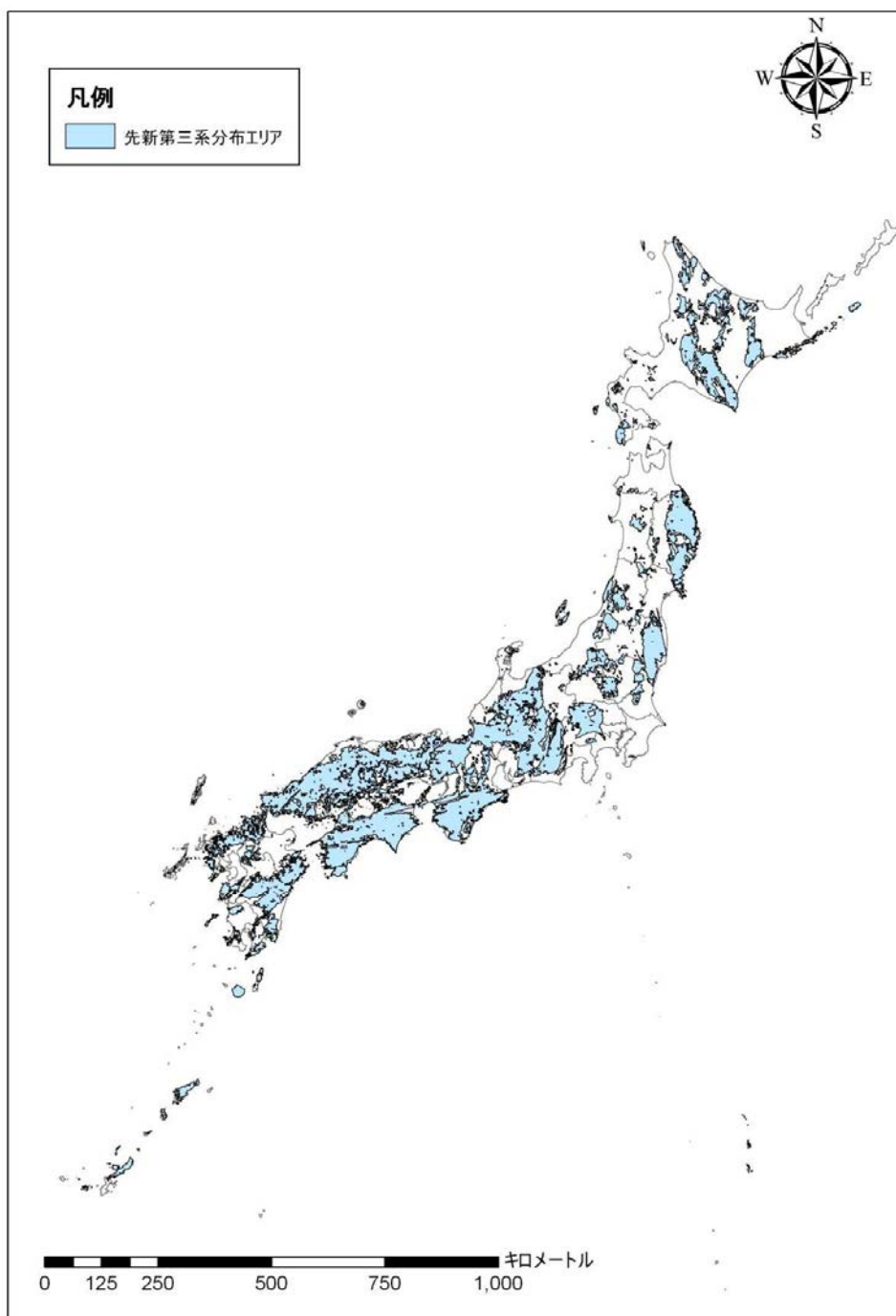


図 5.3-1 表層地質データから作成した先新第三系の分布範囲

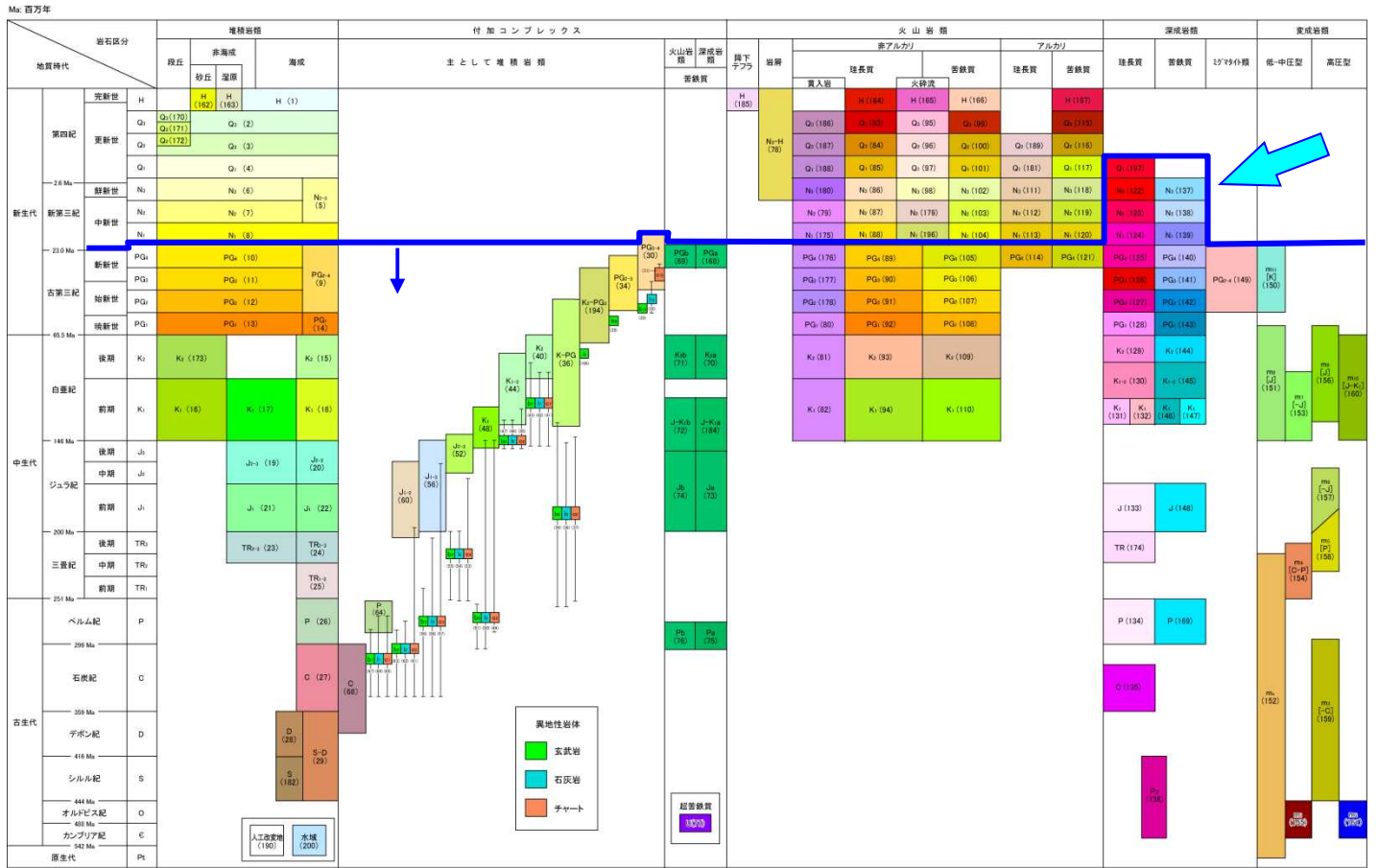


図 5.3-2 基盤岩の区分図 (産総研シームレス地質図凡例に加筆)

5.4 地化学温度計データによる置換・外挿・補間

AIST 温泉泉質データの水質分析結果から地化学温度計を用いて地熱貯留層の平均的な地下温度を推定し、AI 曲線を用いて貯留層の中心深度を算出した。なお、深度の算出が可能なデータは、地熱貯留層より熱水が直接湧出している温泉であり、位置情報と地表での水温データがあることである。

なお、地化学温度計による貯留層の中心深度の推定にあたっては、温泉水が希釈を受ける場合や、地表に上がってくるまでに温度が低くなっている可能性も考えられ、地表でのAI の評価と地下での実際の値に大きな乖離が出てしまう可能性も指摘されている。したがって、地化学温度計による深度データを地質構造モデルデータや文献等の基盤深度データと同等に扱うことは危険と考えられる。しかし、前項では先新第三系分布域の貯留層基盤標高を地表面と設定しているが、実際の温泉分布などを考慮すると過小評価の可能性があるので、先新第三系分布域の補間として、地化学温度計データによる置換を実施する。

(1) 温泉区分の絞り込み（熱水型温泉の抽出）

地化学温度計に用いる温泉データは、環境省「平成 22 年度再生可能エネルギーポテンシャル調査 報告書」において示された①熱水型、②蒸気加熱型、③伝導加熱型、④その他型の4つの温泉資源の分類のうち下部熱水資源と直接つながっている可能性が高い①熱水型を抽出した。

抽出方法は地熱貯留層と温泉帯水層、帽岩（キャップロック）の関係による区分（「地熱発電所の周辺温泉への影響について」：野田（2009）、第2回地熱開発研究会資料）を参考に、産総研温泉泉質データの化学分析結果を用いて、下記のタイプ分類を行った。

- ①熱水型 : 熱水上昇域にあたり熱水資源が直接湧出している可能性が高いと考えられる。地化学温度計による温度推定は可能。
- ②蒸気加熱型 : 下部の熱水資源からの蒸気により地下水が加熱され温泉を形成していると考えられる。地化学温度計による温度推定はできない。
- ③伝導加熱型 : 下部の熱水資源から熱伝導により地下水が加熱され温泉を形成していると考えられる。地化学温度計による温度推定はできない。
- ④その他型 : 下部の熱水資源との関係が不明である。地化学温度計による温度推定はできない。

表 5.4-1 地熱・温泉資源分類基準（H22 報告書より）

分類	温度 ℃	泉質	総濃度 mg/l
①熱水型	53以上	-Cl	～
②蒸気加熱型	～	-SO ₄	～
③伝導加熱型	25以上	～	1000未満
④その他型	～	～	～
すべてをANDで満足する地点を抽出。 抽出順序は、①→②→③→④とした。			

温度：温泉温度（℃）
 泉質：陰イオンの主成分
 （最も多いイオン）
 総濃度：全含有物質の合計（mg/l）

(2) 地化学温度計による貯留層温度の推定

地化学温度計とは、温泉水の成分分析結果から地下温度を推定する方法であり、地熱資源探査・開発で広く使用されている。水に対する鉱物の溶解度や、鉱物-水間等での化学平衡定数などの温度依存性を利用して、地表や坑井中で得られる水試料の分析値から、地下で水と岩石が化学的な平衡にあった時の温度を推定する手法である。

多数の地化学温度計が提案されているが、SiO₂濃度を用いるシリカ温度計、Na、K、Ca、(Mg)の濃度比を用いるアルカリ比温度計などが多く使用される。

Geothermometer	Equation	Restrictions
a. Quartz-no steam loss	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1309}{5.19 - \log C} - 273.15$	$t = 0-250^{\circ}\text{C}$
b. Quartz-maximum steam loss	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1522}{5.75 - \log C} - 273.15$	$t = 0-250^{\circ}\text{C}$
c. Chalcedony	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1032}{4.69 - \log C} - 273.15$	$t = 0-250^{\circ}\text{C}$
d. α -Cristobalite	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1000}{4.78 - \log C} - 273.15$	$t = 0-250^{\circ}\text{C}$
e. β -Cristobalite	$t^{\circ}\text{C} = \frac{781}{4.51 - \log C} - 273.15$	$t = 0-250^{\circ}\text{C}$
f. Amorphous silica	$t^{\circ}\text{C} = \frac{731}{4.52 - \log C} - 273.15$	$t = 0-250^{\circ}\text{C}$
g. Na/K (Fournier)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1217}{\log (\text{Na}/\text{K}) + 1.483} - 273.15$	$t > 150^{\circ}\text{C}$
h. Na/K (Truesdell)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{855.6}{\log (\text{Na}/\text{K}) + 0.8573} - 273.15$	$t > 150^{\circ}\text{C}$
i. Na-K-Ca	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1647}{\log (\text{Na}/\text{K}) + \beta[\log(\sqrt{\text{Ca}/\text{Na}}) + 2.06] + 2.47} - 273.15$	$t < 100^{\circ}\text{C}, \beta = 4/3$ $t > 100^{\circ}\text{C}, \beta = 1/3$
j. $\Delta^{18}\text{O}(\text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O})$	$1000 \ln \alpha = 2.88(10^6 T^{-2}) - 4.1$ $\alpha = \frac{1000 + \delta^{18}\text{O}(\text{HSO}_4^-)}{1000 + \delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})}$ and $T = ^{\circ}\text{K}$	mg/kg

図 5.4-1 いくつかの地化学温度計による地下温度の推計式 (Fournier, 1981)

(3) 地化学温度計による貯留層温度からの貯留層中心深度の推定

地化学温度計による貯留層中心温度から深度を推定する考え方は以下のとおりである。地表面の標高を用いて深度から標高への換算を実施し、貯留層中心標高として整理を行った。

- 1) 例として、地表湧出温度 50°C (AI=50)、地化学温度計による貯留層中心温度の計算値 200°C の温泉を考える。
- 2) AI=50 の曲線が 200°C に達するのは、約-2000m。その深度で熱水と地層（岩石）とが地球化学的に平衡になっていたと考えると、貯留層基盤深度はそれ以深と考えられる。

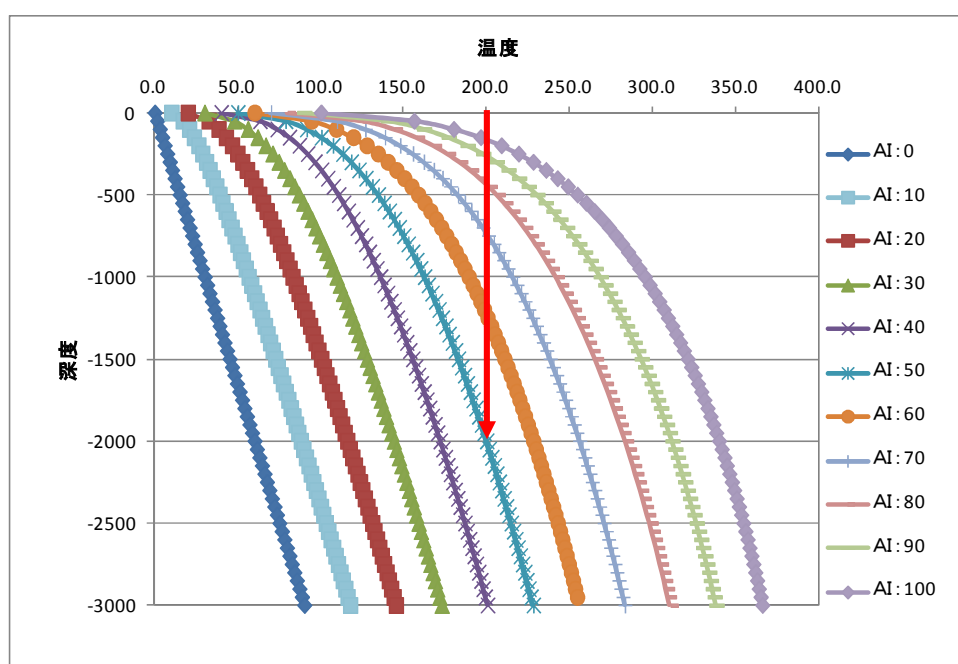


図 5.4-2 地化学温度計データと AI から貯留層中心深度を推定する方法

(4) 地化学温度計データによる貯留層基盤標高の置換・外挿・補間

収集・整理した 12,656 地点の温泉泉質データのうち、4,884 地点のデータで貯留層中心標高の算出ができた。このうち熱水型温泉に区分されたデータは 1,071 地点であり、さらに先新第三系分布域に位置するデータは 158 地点であった (図 5.4-3)。

地化学温度計データによる置換・外挿・補間は、各地点から範囲 2km のバッファを設け、その内部のデータを地化学温度計データによる貯留層基盤標高で外挿・補間した。

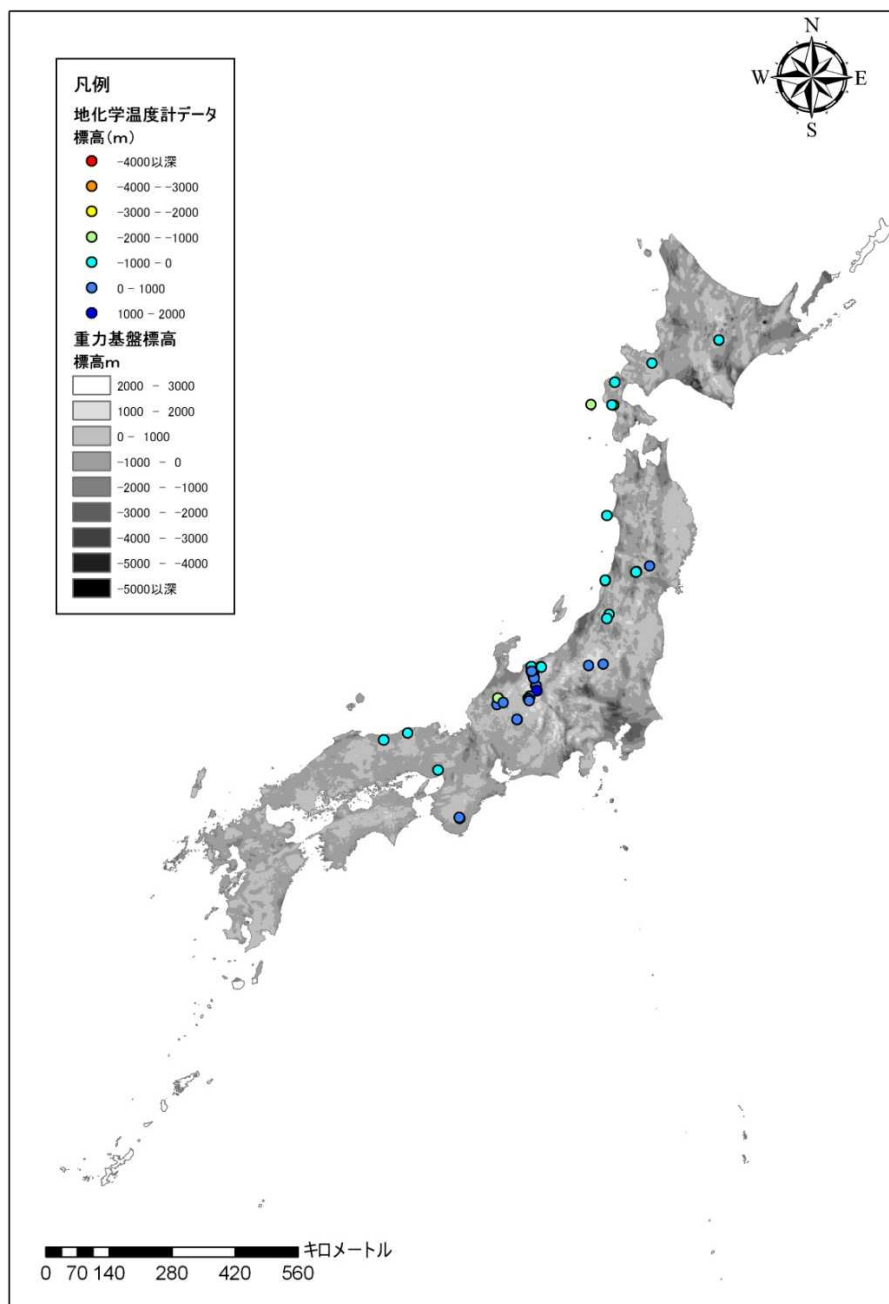


図 5.4-3 地化学温度計データによる貯留層深度の GIS データ整備結果

5.5 地質構造モデルデータによる置換・外挿・補間

地質構造モデルデータの GIS データ化は、各論文のコンター図画像ファイルを GIS 上で幾何補正し、コンターからポリラインデータを作成した。図 5.5-1 に作成した基盤標高等高線図を示す。

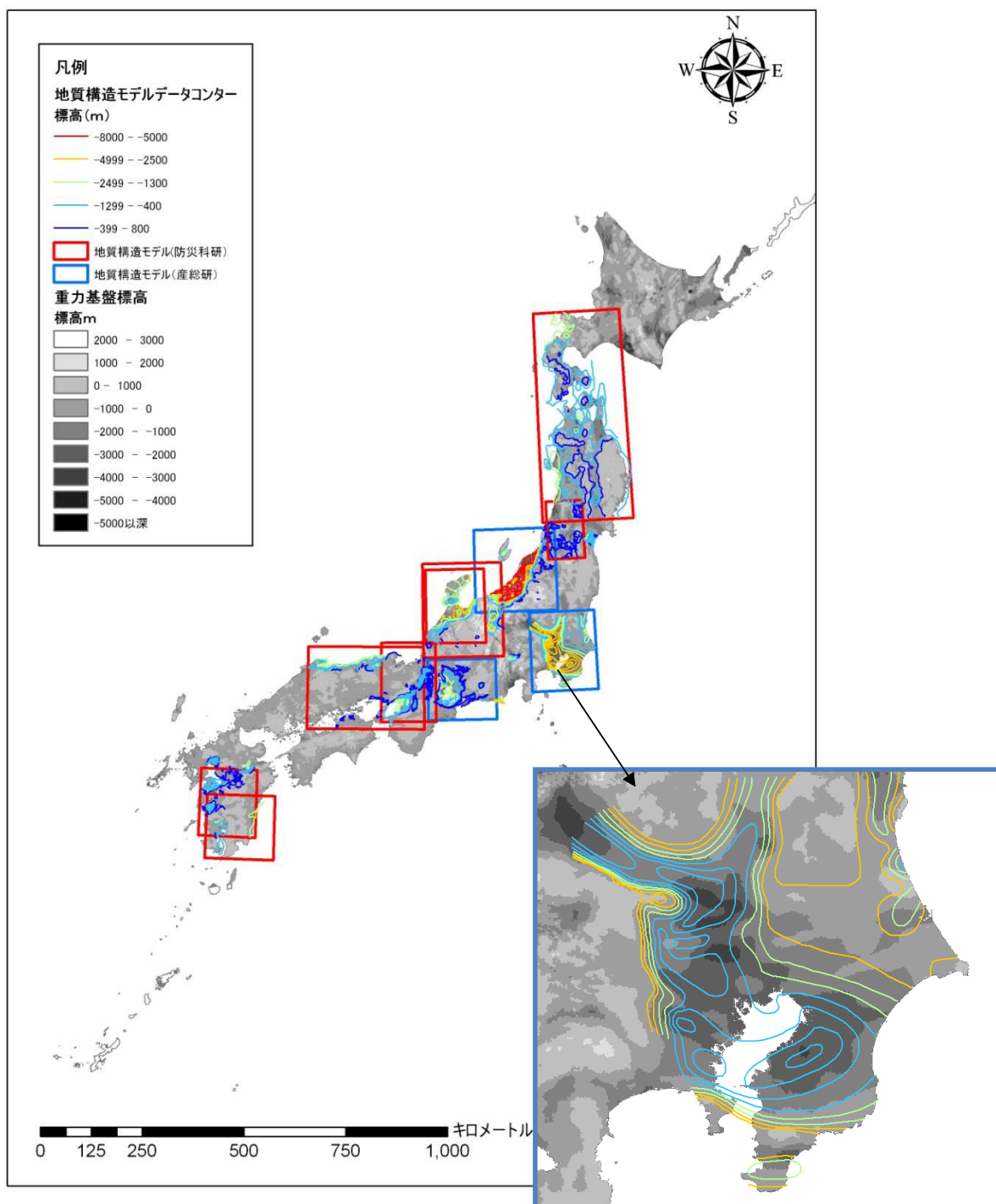


図 5.5-1 地質構造モデルデータによる基盤標高コンターデータ

AIST 全国3次元地盤構造モデルについては、1kmメッシュデータよりIDW（Inverse Distance Weighted）法を用いて500mメッシュのデータを作成した。なお、火山周辺の信頼性が低いため、火山地形（1/20万地形分類図の火山地形ポリゴン）を除いたデータとして整備した。AIST 全国3次元地盤構造モデルの基盤深度データを図5.5-2に示す。

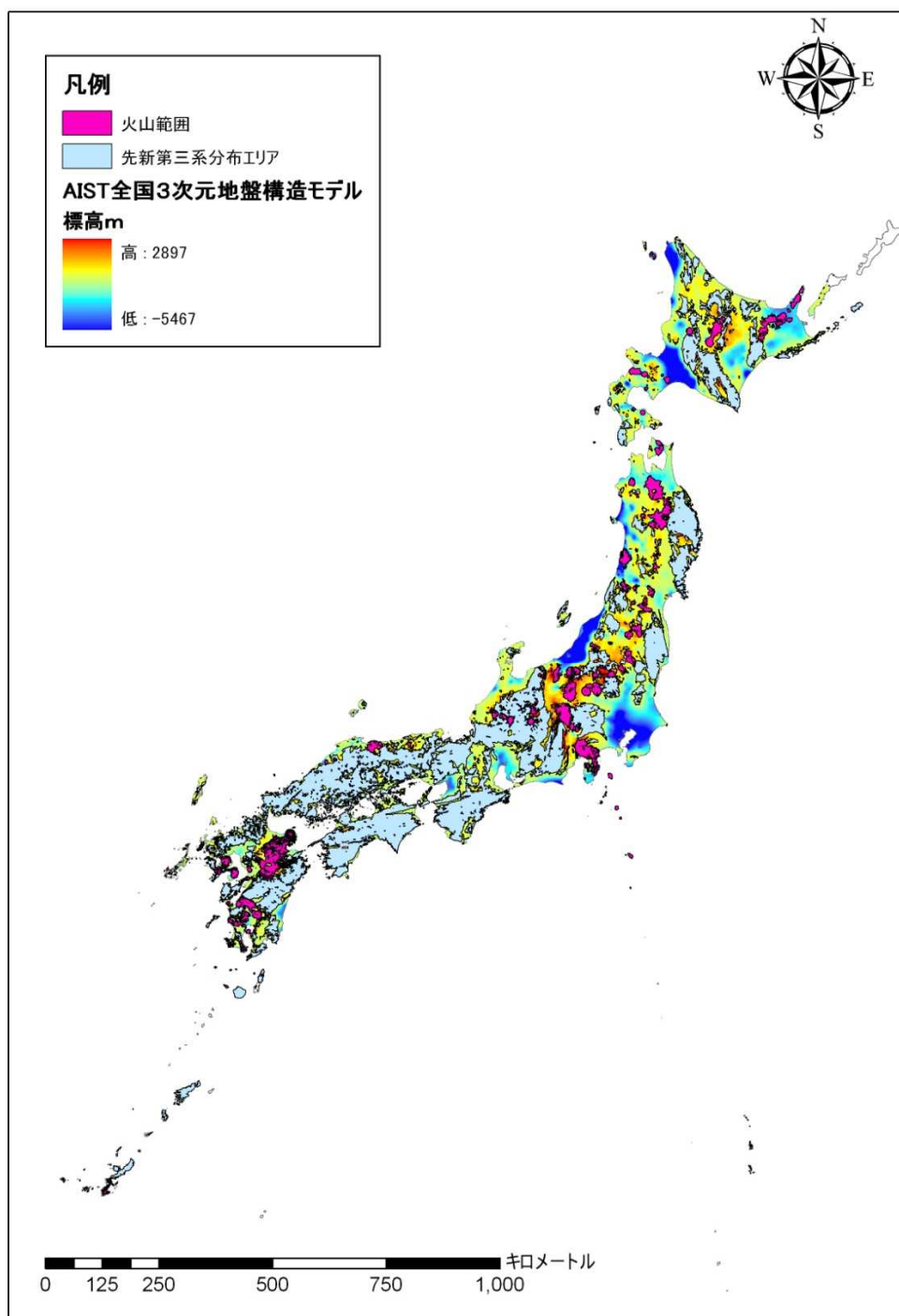


図 5.5-2 AIST 全国3次元地盤構造モデルによる基盤標高データ

5.6 研究論文や探鉱・坑井等データによる置換・外挿・補間

収集整理した研究論文データ、探鉱・坑井データについては、論文中の図から GIS を用いて幾何補正し、基盤深度コンター図はコンターライン、断面図およびボーリングデータはポイントデータとして整理した。整備したデータの分布図を図 5.6-1 に示す。なお、補間エリア内の面的補間はクリギング法を用いた。

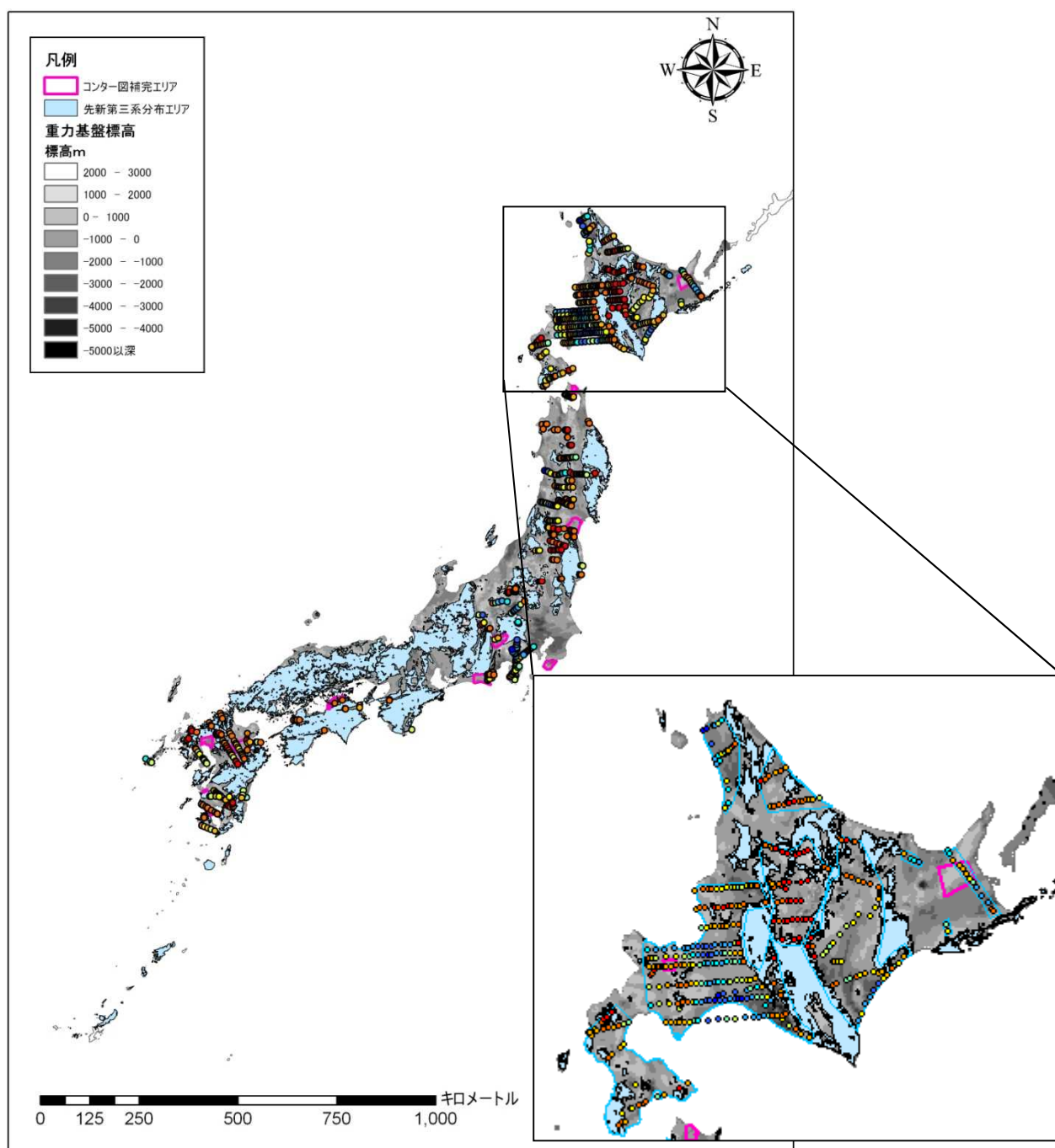


図 5.6-1 研究論文や探鉱・坑井等データによる置換データ整備結果

5.7 地熱開発関連データによる置換・外挿・補間

収集整理した地熱開発関連データについて、NEDO 地熱開発促進調査報告書の断面図およびコンター図を幾何補正し、基盤深度コンター図はコンターライン、断面図はポイントデータとして整理し、置換・外挿・補間を実施した。整備した基盤深度コンター図、地質断面図を図 5.7-1 に示す。なお、補間エリア内の面的補間はクリギング法を用いた。

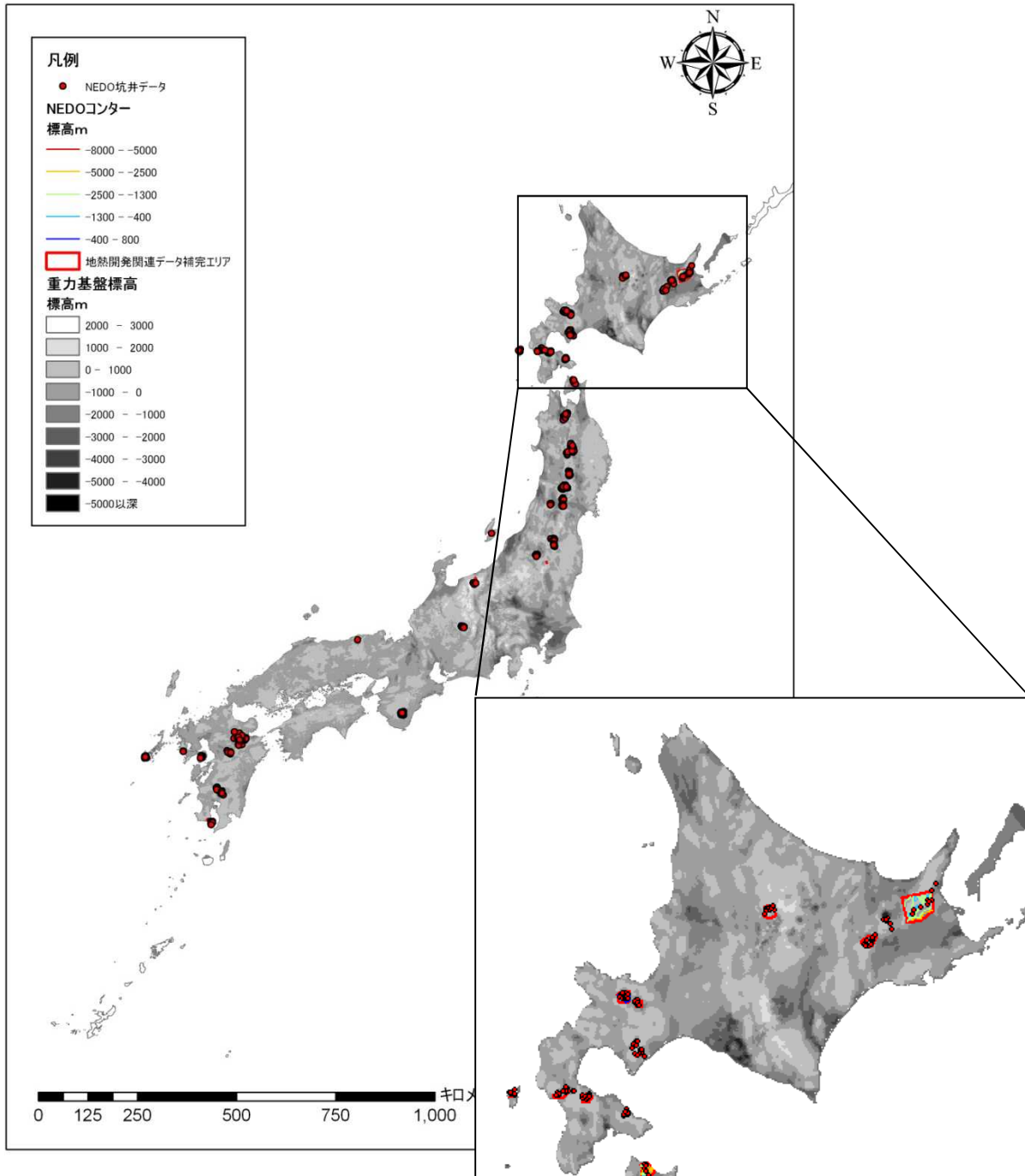


図 5.7-1 地熱開発関連データによる置換データ整備結果

5.8 貯留層基盤標高図の作成

(1) 貯留層基盤標高図の設定根拠図の作成

作成した貯留層基盤標高図の根拠データを明らかにすることを目的に設定根拠図を作成した(図5.8-1~2)。

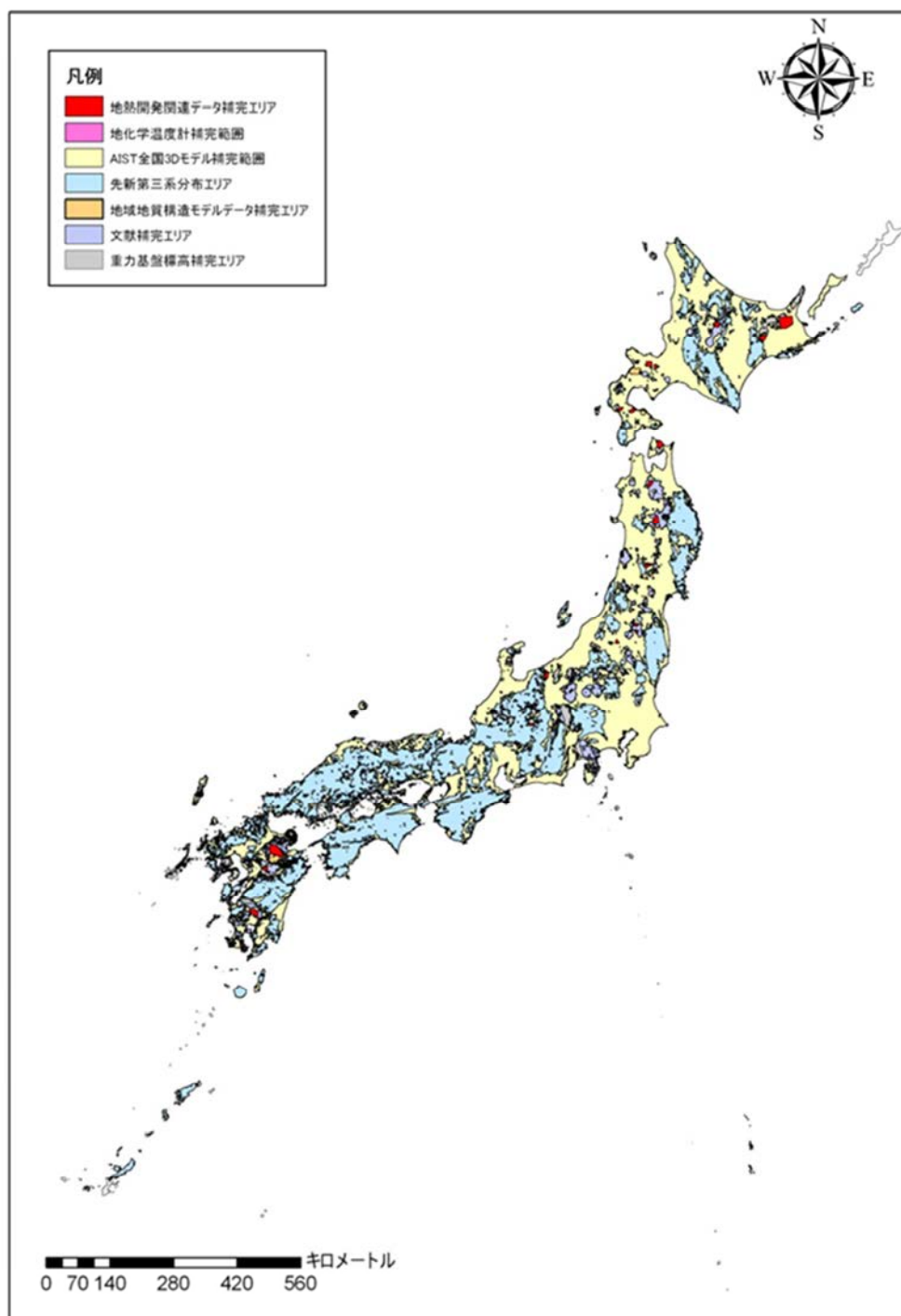


図 5.8-1 貯留層基盤標高図の設定根拠図

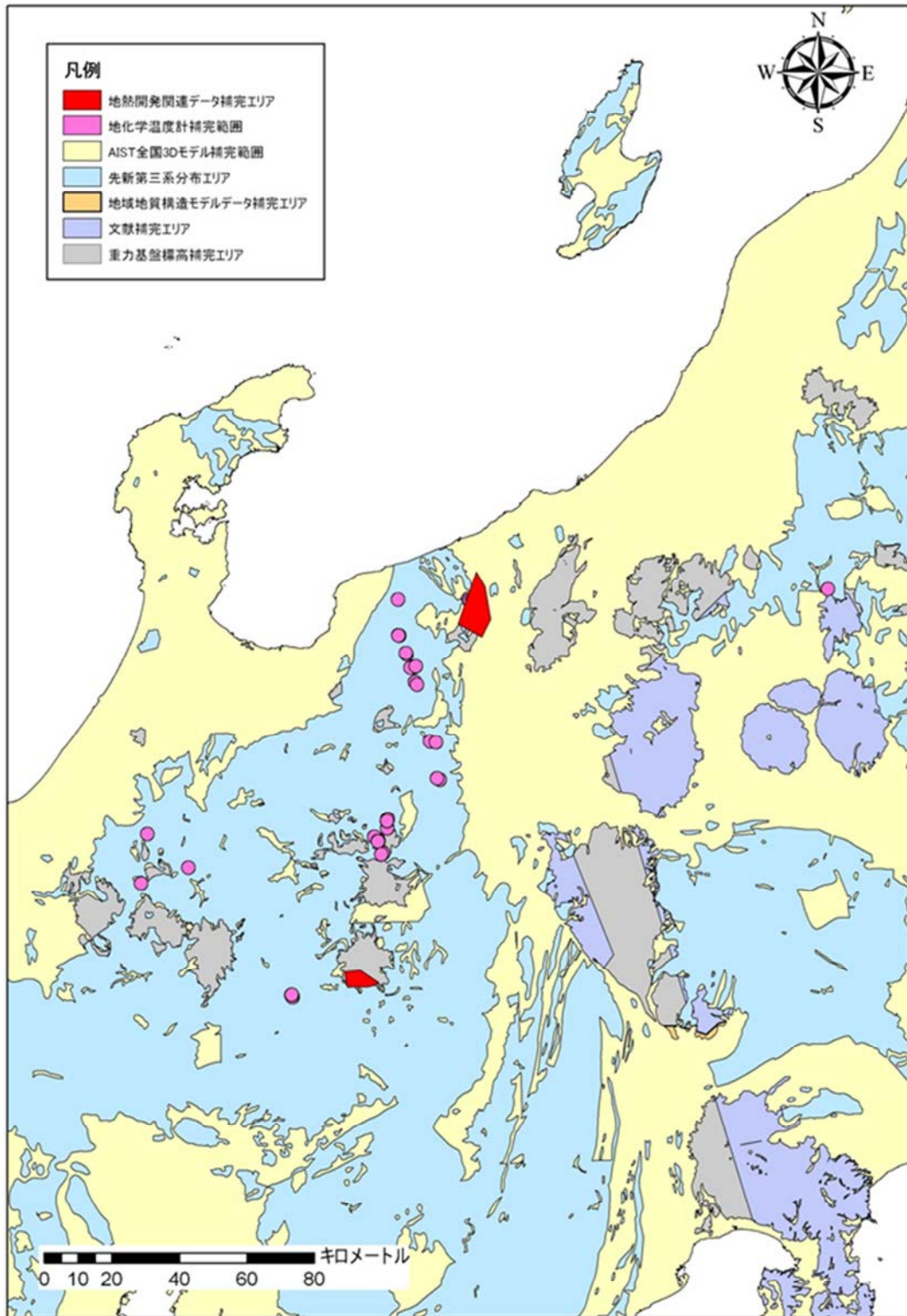


図 5.8-2 貯留層基盤標高図の設定根拠図（拡大図）

(2) 貯留層基盤標高図の作成

作成した貯留層基盤標高図を図 5.8-3 に示す。比較のため、これまでの重力基盤標高図を図 5.8-4 に示す。また、両図の差分を図 5.8-5 に示す。

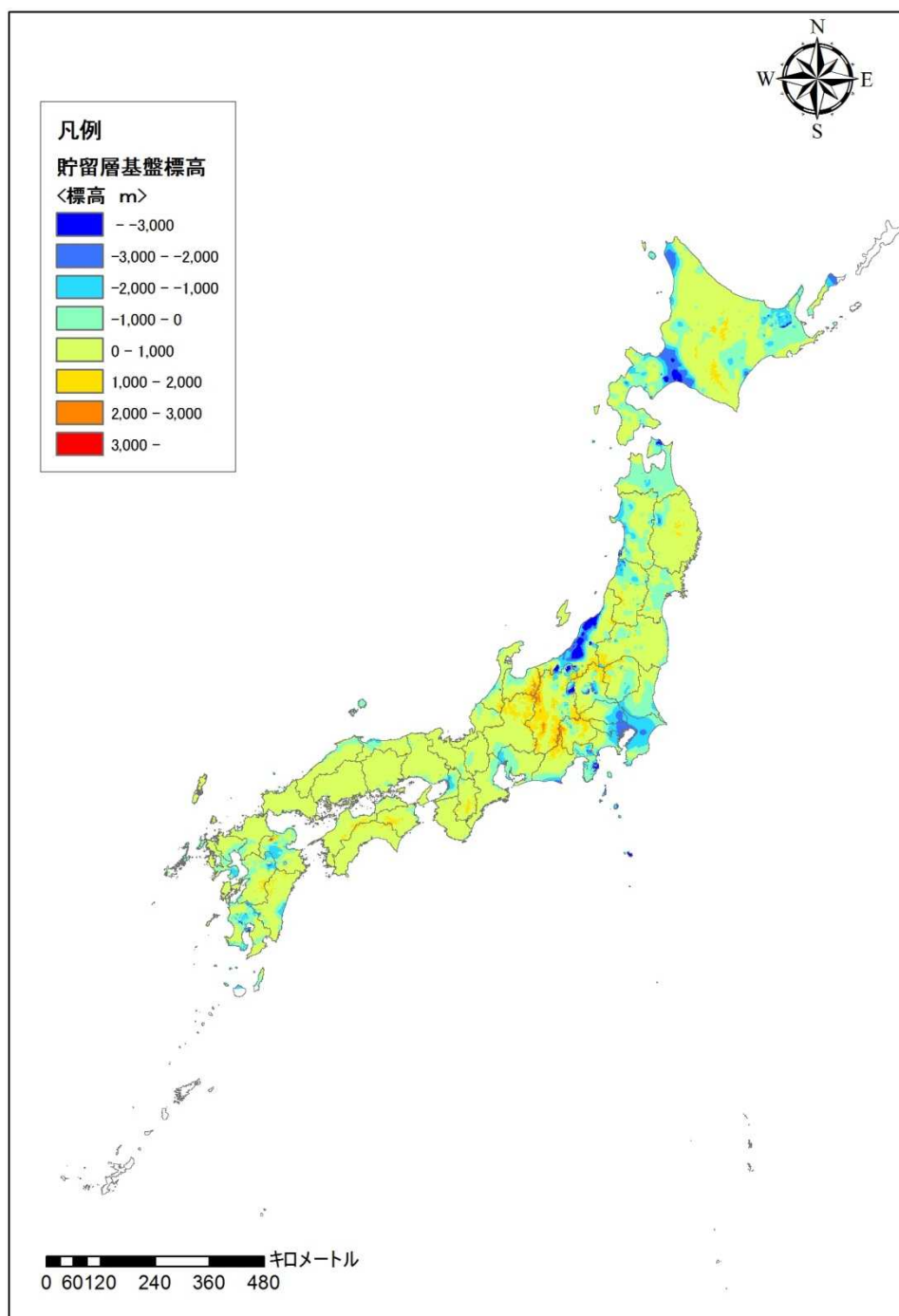


図 5.8-3 貯留層基盤標高図

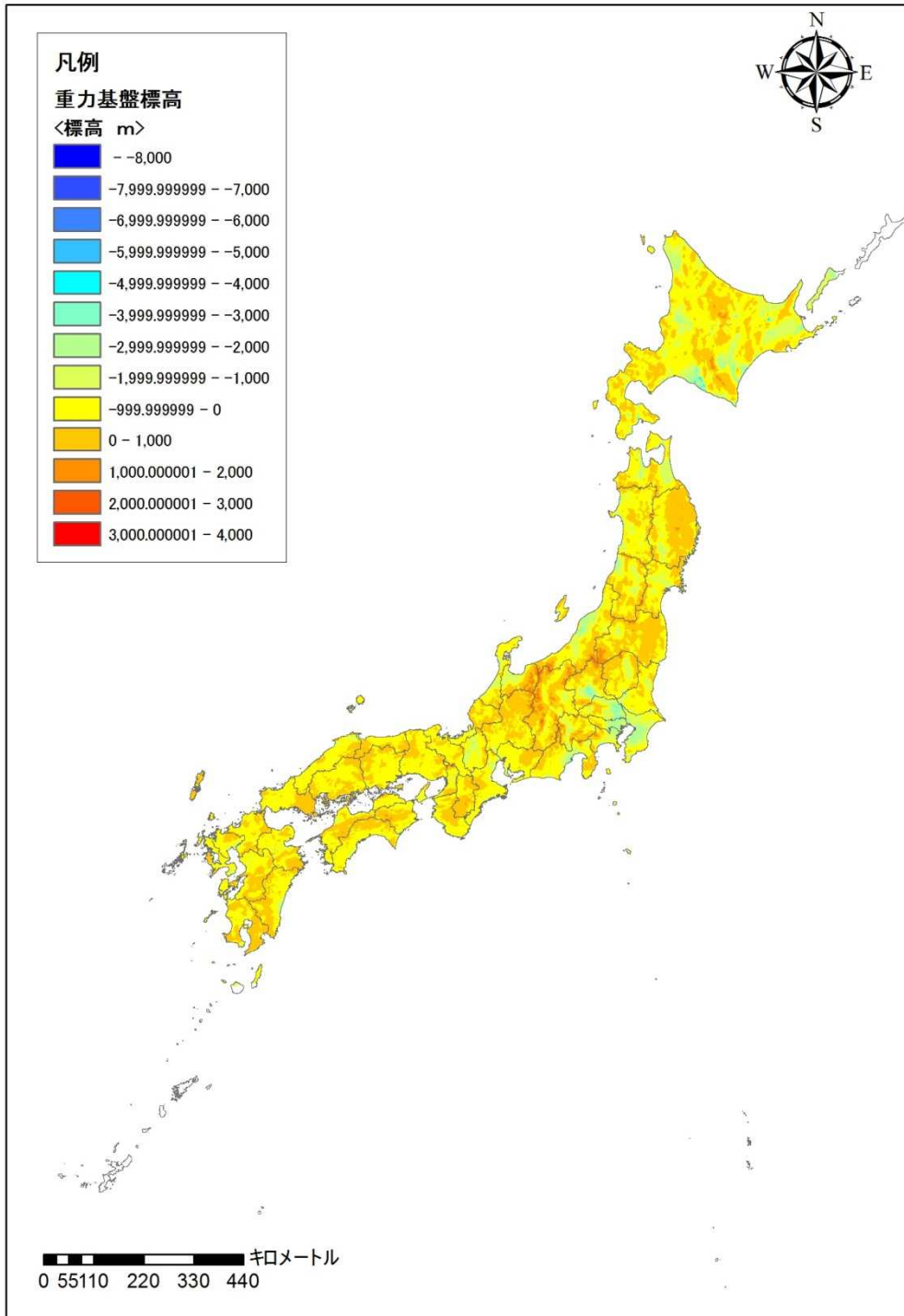


图 5.8-4 重力基盤標高図

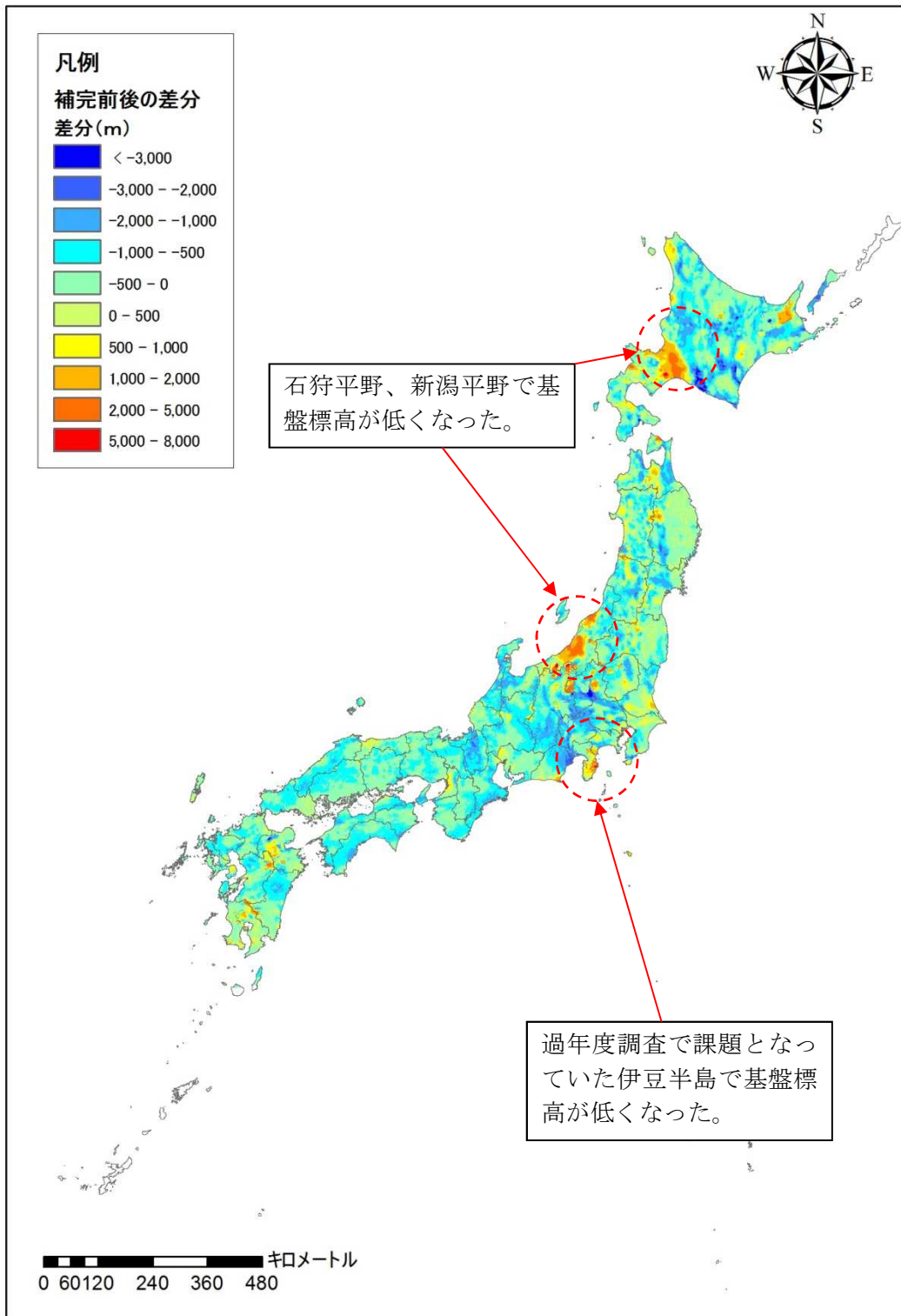


図 5.8-5 置換等前後の差分分布図 (GB-補間後を計算)
(置換前より置換後が低くなった場合はプラスの値、高くなった場合はマイナスの値)

詳細部分を検討するために北海道の拡大図を以下に示す。

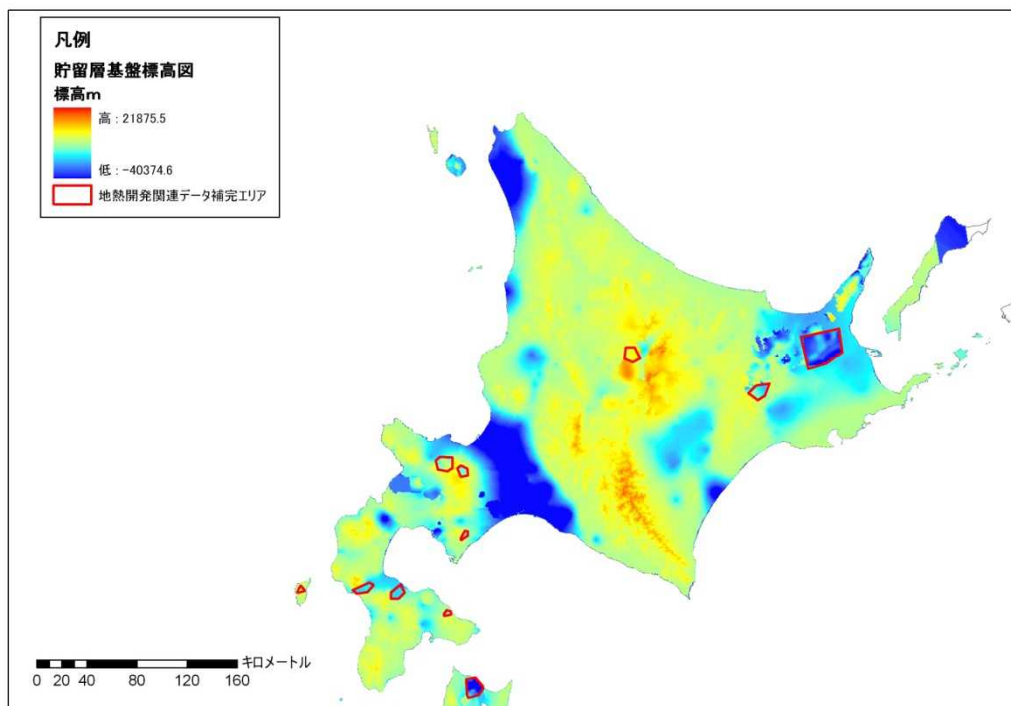


図 5.8-6 貯留層基盤標高図

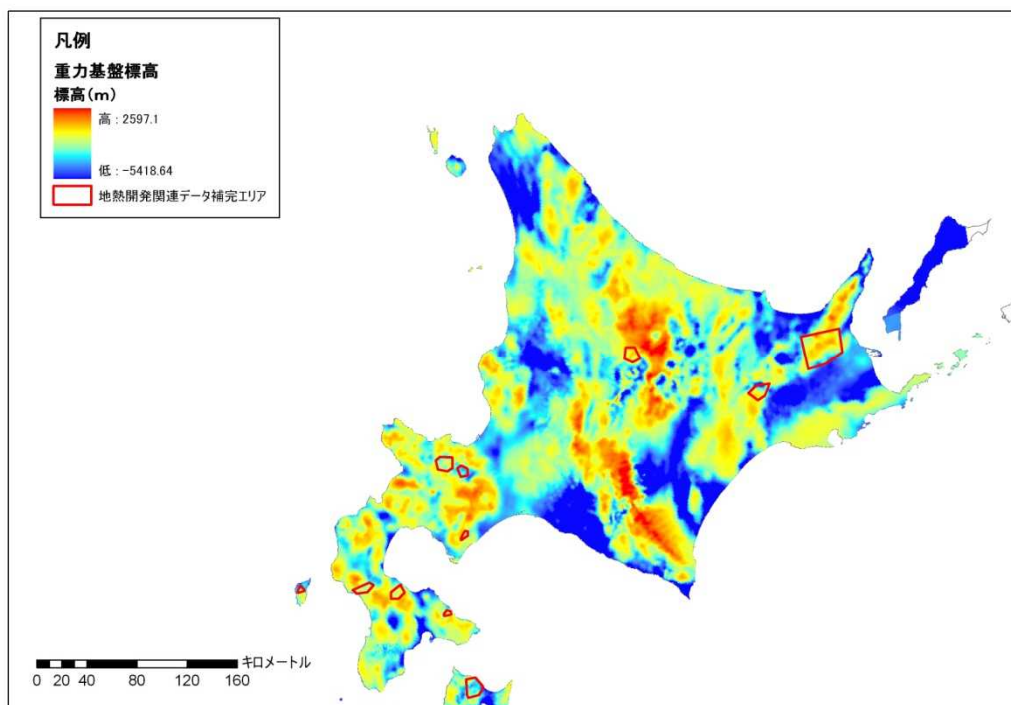


図 5.8-7 重力基盤標高図

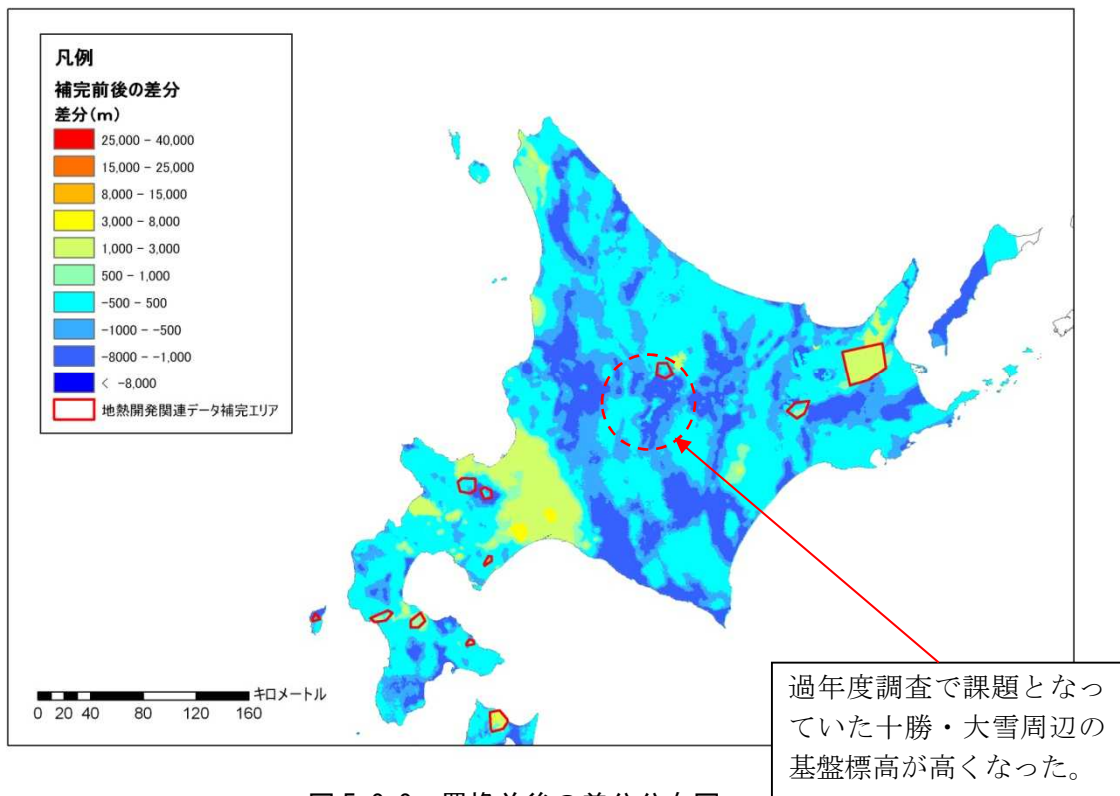


図 5.8-8 置換前後の差分分布図

地熱開発関連データによる補間エリアや地化学温度計データによる置換範囲等、重ね合わせたデータのギャップが大きい部分については、データの優先度が高い方から低い方に向かって1km幅の外挿補間エリア（バッファ領域）を設け、エリア内のデータをいったん削除した上で、IDW法を用いて外挿補間を実施した。

北海道南部で地熱開発関連データの補間エリア周辺での外挿補間状況を図 5.8-9 に示す。

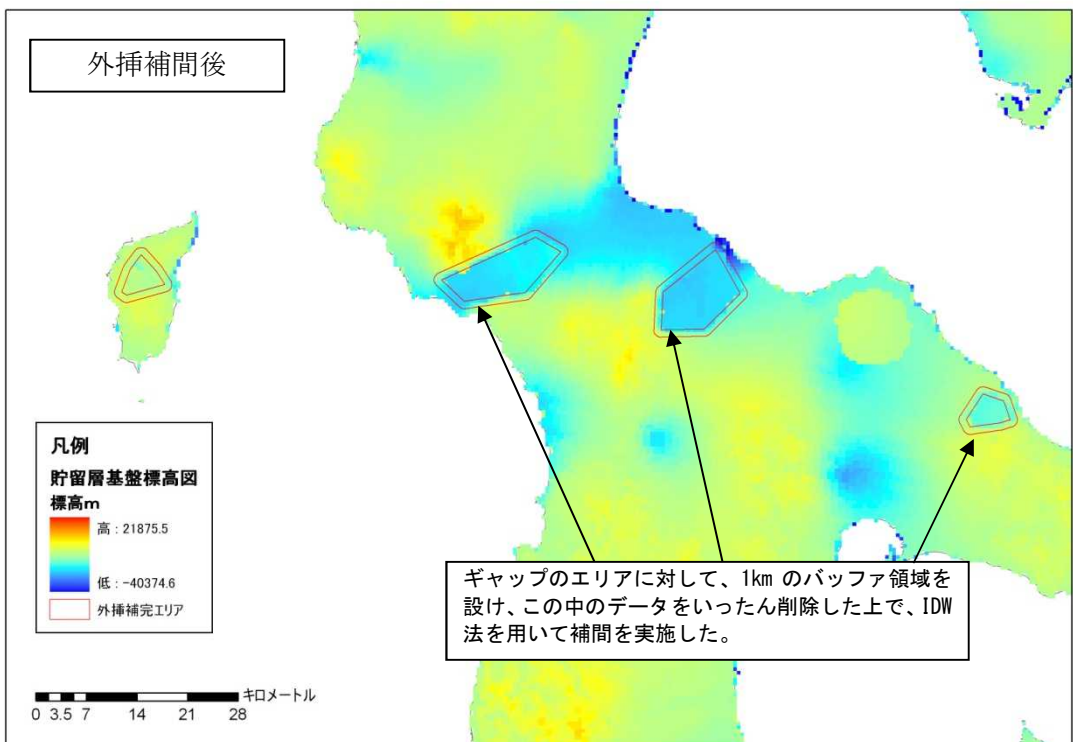
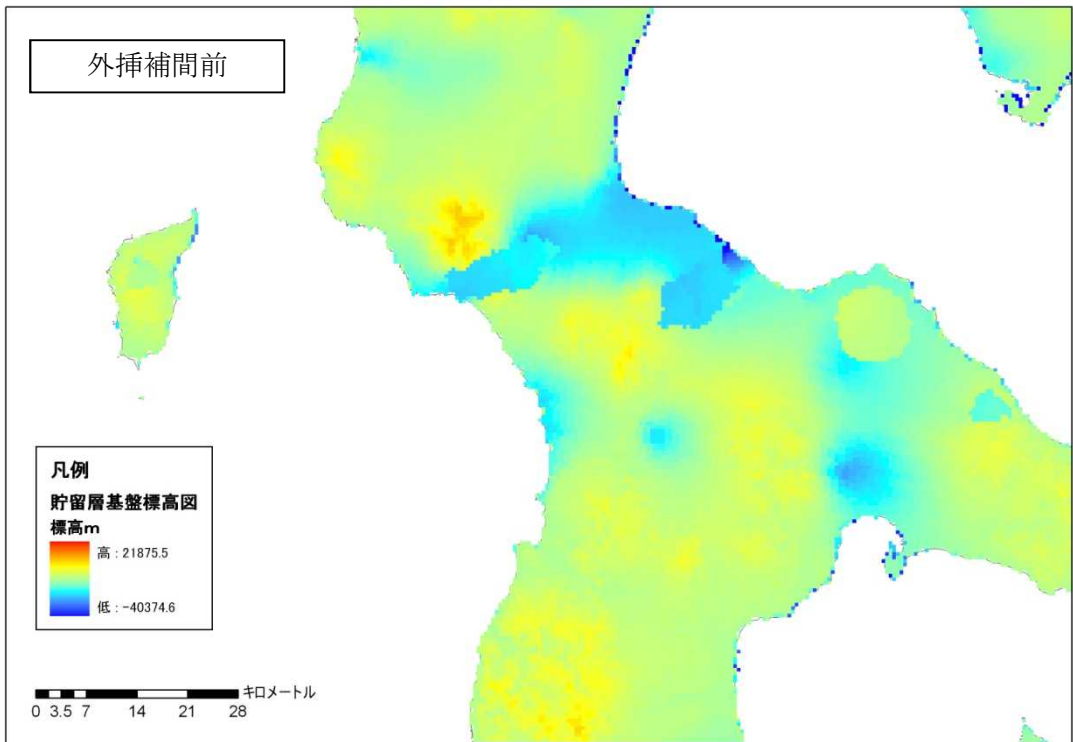


図 5.8-9 貯留層基盤標高図の外挿補間エリアと補間状況

5.9 地熱貯留層の分布を検討する上での課題

今年度の検討では、地熱貯留層の存在する範囲を地質学的な境界より設定したが、本来は岩盤の透水性（透水係数、透水量係数）の3次元分布を用いる等により、現実に近い地熱貯留層分布を検討することが重要である。

しかしながら現状では岩盤の透水性を全国的に網羅した3次元モデルはなく、岩盤の透水性を考慮した全国一律の地熱貯留層分布を検討することはできない。

産総研では、「全国浸透率分布図」を検討しているが、これは深度1kmまでの平均浸透率の平面分布図（図5.9-1）であるため本検討では適用できない。

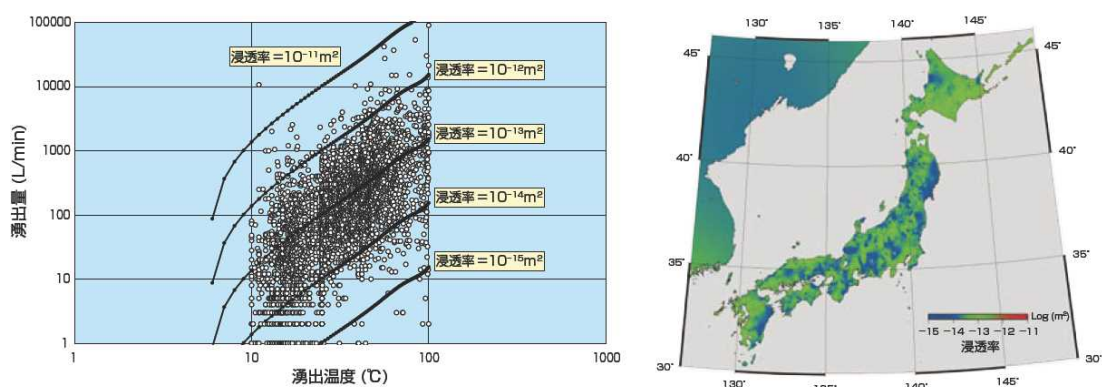


図 5.9-1 全国浸透率分布図（産総研 TODAY 2008-04 より引用）

なお、5.4で述べたように、今年度の検討では地化学温度計による補間を行って、先新第三系の分布地域で、地化学温度計の算出が可能な温泉について、岩盤内にも地熱貯留層があると推定して資源密度を計算している。

岩盤の透水性を推定するための基礎的な情報の例を以下に示す。

- ・地質柱状図および透水試験結果（「Kunijiban」国土交通省・独立行政法人土木研究所・港湾空港技術研究所）
- ・揚水井戸のデータ（「全国地下水資料台帳」、国土交通省国土政策局）
- ・断層分布図（「日本の断層マップ」、小坂ほか（2010））
- ・AI（アクティビティインデックス）とAnIn（アニオンインデックス）の組合せ検討

地質柱状図や揚水井戸データは人口密集地や道路等開発が行われている地域に偏っていることや、地熱貯留層を検討に必要な深いデータが少ないと考えられる。

断層の分布については、地表面での断層位置は精度の高いデータと考えられるが、断層の傾きや幅など深度が増すにつれて不確実性が大きくなると考えられる。また、断層そのものを評価するにあたって、透水性断層、遮水性断層の区別が困難である。

なお、林（1982）のAI（アクティビティインデックス）は、深部の地熱ポテンシャルの

ターゲットを探るために有効であり、本年度は地化学温度計を組み合わせ、地熱貯留層の深度推定に用いたが、同様に AnIn（アニオンインデックス）の第2項

$$= (Cl+SO_4) / (Cl+SO_4+HCO_3) \times 100$$

が地熱貯留層の深度推定に利用できる可能性がある。