

## 第5章 再生可能エネルギーの導入実績に係る調査・分析の精緻化

本章では、平成30年度業務において示唆された地熱発電資源量マップの見直しによる精度向上について検討した結果を概説する。

### 5.1 地熱資源量推計に係る新規データの収集・整理

JOGMECでは、平成24年度～平成30年度に「地熱資源量の把握のための調査事業費助成金交付事業」、平成31年度に「地熱発電の資源量調査事業費助成金交付事業」を実施し、孔井調査に対して助成金を交付している。これらの孔井データは個々の地熱資源開発事業者が所有しており、一般には公開されにくい状況にある（図5.1-1）。なお、JOGMECでは地熱資源開発事業者に44件、地元の地熱開発法人に26件、探査資金出資案件に1件の助成金交付事業を実施しているが、全ての案件で孔井調査が行われているわけではなく、理解促進事業やその他の調査が行われている場合もある。

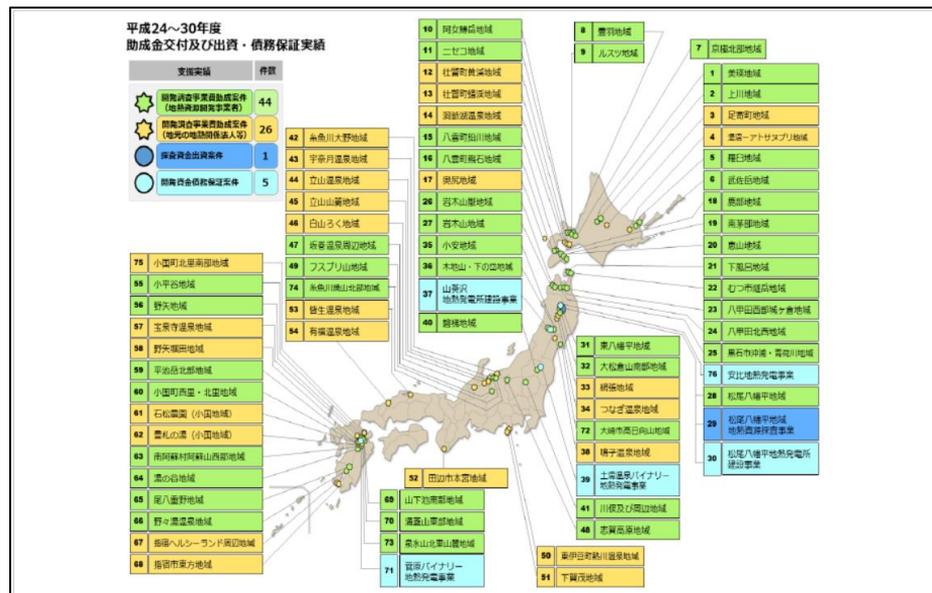


図 5.1-1 JOGMEC による平成 24～30 年度の助成金交付及び出資・債務保証実施事業



なお、助成金等で地熱資源開発事業者により調査された坑井データ及び JOGMEC が実施したヒートホール及び空中物理探査のデータ入手およびデータ活用の可能性を検討するために、専門家ヒアリングを実施した。

その結果、上記 JOGMEC 調査のほかに、AIST が取りまとめた自然噴気の情報があり、自然噴気地点は地表で 100℃以上を示し、AI100（地表で 100℃の温度プロファイルを持つ）地点として設定でき、地熱ポテンシャルの精緻化検討に利用することができる可能性が指摘された。そこで、AIST より自然噴気地点のデータ（独）産業総合技術研究所 地質調査総合センター（2002）東北・九州地熱資源図（CD-ROM 版）の提供をいただいた。

また、北海道においては地方独立行政法人 北海道立総合研究機構において、再生可能エネルギー導入ポテンシャルマップ（環境省、2010）及び平成 25 年度地熱発電に係る導入ポテンシャル精密調査・分析委託業務報告（環境省、2014）の手法を参考に、独自に地熱ポテンシャルマップ北海道版を 2016 年に作成している。そこで用いられた道内の基礎データは、環境省によるポテンシャルマップで用いられたデータ以降の十数年の知見を加えたデータに基づいている。地熱ポテンシャルマップ北海道版で作成されたマップは、道内の 150℃以上の蒸気フラッシュ発電のポテンシャルを 104 万 kW としており、環境省（2014）による北海道のポテンシャル 276 万 kW より小さい値となっていて、分布の様相もかなり異なっている（例えば知床）。この違いとその原因は、より充実した道総研（2016）の源泉データによるものと考えられ、これらの新規データを利用することで、北海道地域の地熱ポテンシャルの精緻化が見込めるとの提言をいただいた。

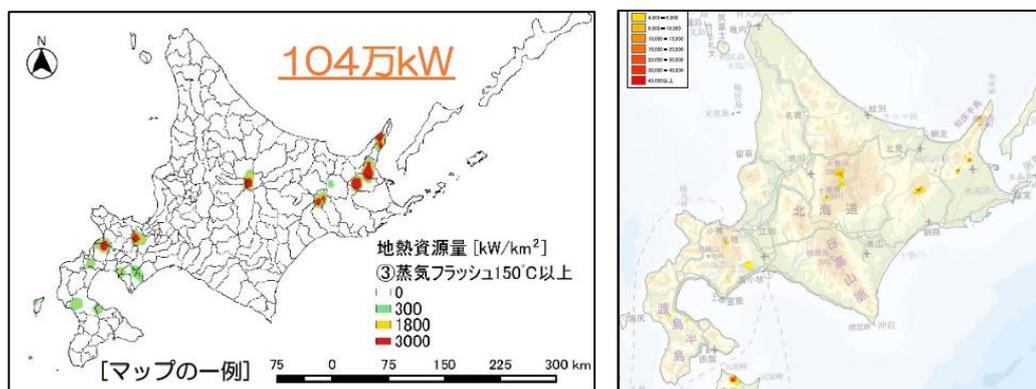


図 5.1-3 道総研（2016）の蒸気フラッシュ 150℃以上のマップ（左図）と環境省（2014）の蒸気フラッシュ 150℃以上のマップ（右図）

(1) 地熱資源開発調査事業費助成金交付事業

調査の結果、JOGMEC では、上記調査のうち、地熱資源開発調査事業費助成金交付事業について、表 5.1-2 に示す 6 地区が公開（閲覧・コピーのみ可）されている。

表 5.1-2 公開されている地熱資源開発調査事業費助成金交付事業報告書

年度	事業名
平成 24～25 年度	石松農園（小国）地域
平成 25 年度	立山山麓地域
平成 26～27 年度	壮瞥町蟠溪地域
平成 27 年度	坂巻温泉周辺地域
平成 28 年度	壮瞥町黄溪地域
平成 25～26 年度	上川地域（R1 より公開）

JOGMEC に閲覧申請を提出し、下記報告書の閲覧を行った。各調査で実施された調査内容の概要を表 5.1-3 に示す。その結果、本検討に利用できる温度プロファイル情報としては、石松温泉（小国）地域の噴出試験データ、壮瞥町蟠溪地域の坑井調査（BKH27）、温度回復試験、注水試験の結果が利用可能であることが判った。

現在、上記 2 地域の報告書について、デジタルデータ（PDF）の複写申請を実施し、報告書を入手した。なお、入手の必要性を×とした地域においても、地域が図示され資源量（資源ゼロの場合を含む）が示されているようであれば活用できる。

表 5.1-3 地熱資源開発調査事業費助成金交付事業報告書の調査概要

事業名	調査内容	入手の 必要性
石松農園（小国）地域	資料収集整理、地熱構造検討、源泉状況調査、噴出試験（石松温泉 1 孔）、地化学調査（泉質）	○
立山山麓地域	文献調査、リモートセンシング調査、リニアメント解析、熱異常抽出（リモセン）	×
壮瞥町蟠溪地域	文献調査、地表地質調査、物理探査（MT 法）、坑井調査（BKH27）、温度回復試験、注水試験、熱水成分試験	○
坂巻温泉周辺地域	熱水変質帯調査、電磁探査、重力調査	×
壮瞥町黄溪地域	表層地質調査、物理探査（MT 法、重力探査）	×
上川地域	文献調査、地質変質帯調査、MT 法、微動アレイ調査、地化学調査	×

## (2) ヒートホール調査

調査の結果、JOGMEC ではヒートホール調査の報告書として表 5.1-4 に示す 1 地区が公開（報告書データの提供）されている。JOGMEC に提供申請を提出し報告書データの入手を行った。

表 5.1-4 公開されている地熱資源開発調査事業費助成金交付事業報告書

年度	事業名
平成 30 年度調査報告書	北海道弟子屈地域

## (3) 空中物理探査調査

JOGMEC では、空中物理探査調査を全国で 16 の地域で実施しており、空中重力偏差法探査、時間領域空中電磁探査、空中磁気探査が行われている。JOGMEC では、このうち表 5.1-5 に示す 9 編の報告書を公開している。

下記報告書について JOGMEC に提供申請を提出し、報告書データの入手を行った。

なお、これらの空中物理探査調査結果は、以下のような地下構造を解釈するために用いられる。

- ・空中重力偏差法探査 : 地下の岩石密度の分布を反映する微小な重力の空間変化を捉え、広い範囲の地質構造を詳細に把握する。
- ・時間領域空中電磁探査 : 地下の岩石の電気抵抗の分布を調べ、高温の蒸気や熱水の影響を受けた地下構造や地表の粘土化変質帯等を把握する。
- ・空中磁気探査 : 地磁気の分布を調べ、熱活動に伴う岩石の磁気的な性質の変化から地下に広がる地熱資源の分布域を推定する。

表 5.1-5 JOGMEC が公開している空中物理探査結果の報告書

資料名	調査対象
平成 24 年度調査報告書	くじゅう、霧島地域 (AGG のみ)
平成 25 年度調査報告書	八幡平地域
平成 26 年度調査報告書 (九州 2 地域における時間領域電磁探査)	くじゅう、霧島地域 (HELITEM のみ)
平成 27 年度調査報告書	八幡平、湯沢・栗駒、ニセコ、大雪山 (上川)、武佐岳地域
平成 28 年度調査報告書	武佐岳、弟子屈、大雪山 (上川) (上士幌)、豊羽、登別、濁川 (森・熊石)、ニセコ、八幡平、湯沢・栗駒地域
平成 29 年度調査報告書 (磁気探査)	武佐岳地域 (磁気探査のみ)
平成 29 年度調査報告書 (重力偏差法探査)	栃木北部、上越地域 (AGG のみ)
平成 29 年度調査報告書 (重力偏差法探査) (その 2)	濁川 (南茅部)、阿蘇・小国地域 (AGG のみ)
平成 30 年度調査報告書	濁川 (南茅部)、栃木北部、上越、小国地域 (上越は AGG のみ、他は HELITEM のみ)

## 5.2 データの可視化・利用可能性の検討

### (1) 入手したデータの可視化

取得したデータの概要を表 5.2-1 に示す。また、それぞれのデータの例を①～⑤に示す。

表 5.2-1 入手したデータの概要

引用元	データの種類	データの数量	精緻化への利用可能性
地熱資源開発調査事業費助成金交付事業報告書	坑井調査データ	1 孔	温度プロファイルデータとして追加可能
	噴出試験データ	1 孔	AI データとして追加可能、もしくは資源量の確認データとして利用可能
JOGMEC ヒートホール調査報告書	坑井調査データ	2 孔	温度プロファイルデータとして追加可能
JOGMEC 空中物理探査報告書 (くじゅう、霧島、八幡平、ニセコ、湯沢栗駒、大雪山(上川)、武佐岳、弟子屈、大雪山(上士幌)、豊羽、登別、濁川、栃木県北部(那須)、栃木県北部(塩原)、栃木県北部(日光)、上越地域、濁川(南茅部)、小国、阿蘇)	空中重力偏差法探査	20 地域	入手できたデータが報告書 PDF 画像のみで、3D 情報を含んだデータは得られなかったため、貯留層基盤標高データの精緻化には利用できない。
	時間領域空中電磁探査	16 地域	
	空中磁気探査	16 地域	
AIST 東北・九州地熱資源図	自然噴気位置データ	125 地点	AI データとして追加可能。全国非火山性の噴気として 64 地点が利用可能。また、23 地点については、開発不可割合を設定できる可能性がある。
地熱ポテンシャルマップ北海道版	源泉データ	不明 (※1)	検討源泉数が 2、856 地点 (※2)。新たな AI データの追加が見込めるが、北海道地域に偏るため、全国的なバランスを欠く。

※1 追加できる源泉データ数は、(地独)北海道立総合研究機構よりデータベースを入手しないと確認できない。

※2 H25 の検討では、全国で約 8,000 地点の源泉データを利用して AI を設定した。

① 坑井調査データ

地熱資源開発調査事業費助成金交付事業報告書「壮瞥町蟠溪地域」における坑井調査（BK27）の総合柱状図を図 5.2-1 に示す。右から 3 番目のコラムが温度回復試験のデータであり、温度プロファイルデータとして利用できる。

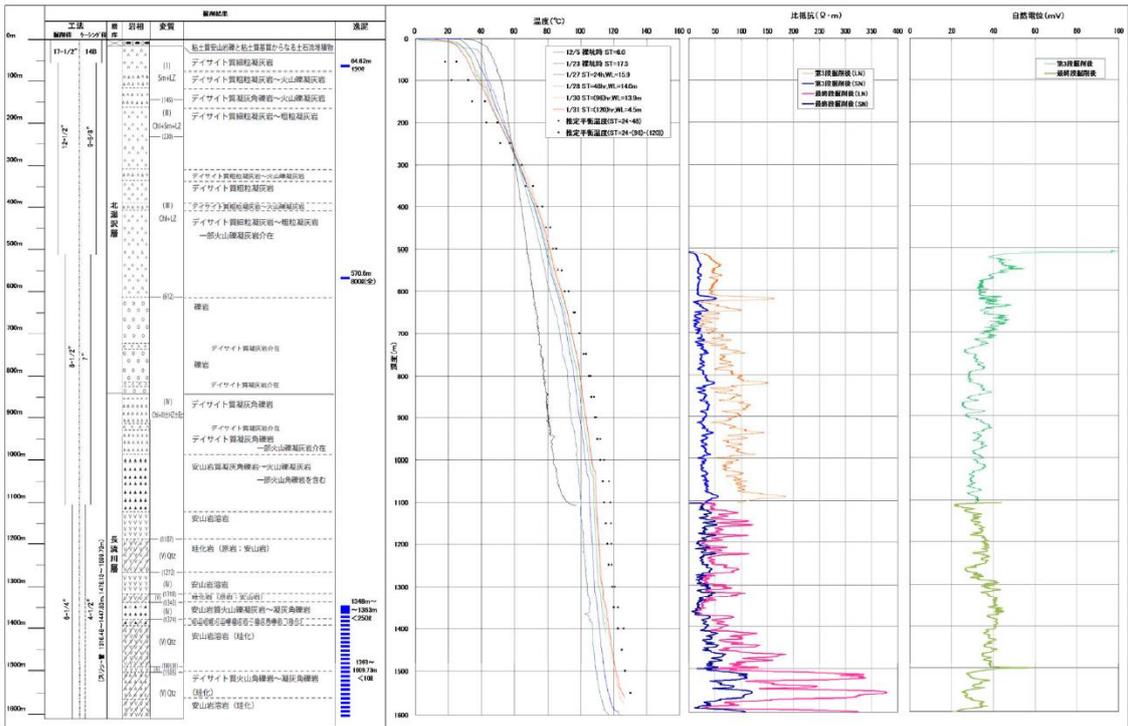


図 5.2-1 壮瞥町蟠溪地域 坑井調査（BK27）の総合柱状図

## ② 噴出試験データ

地熱資源開発調査事業費助成金交付事業報告書「石松農園（小国）地域」における噴出試験調査結果を図 5.2-2 に示す。調査結果より口元温度、蒸気量、熱水量、熱水温度の情報が得られ、AI データの追加地点もしくは資源量のキャリブレーションデータとして利用が可能と考えられる。

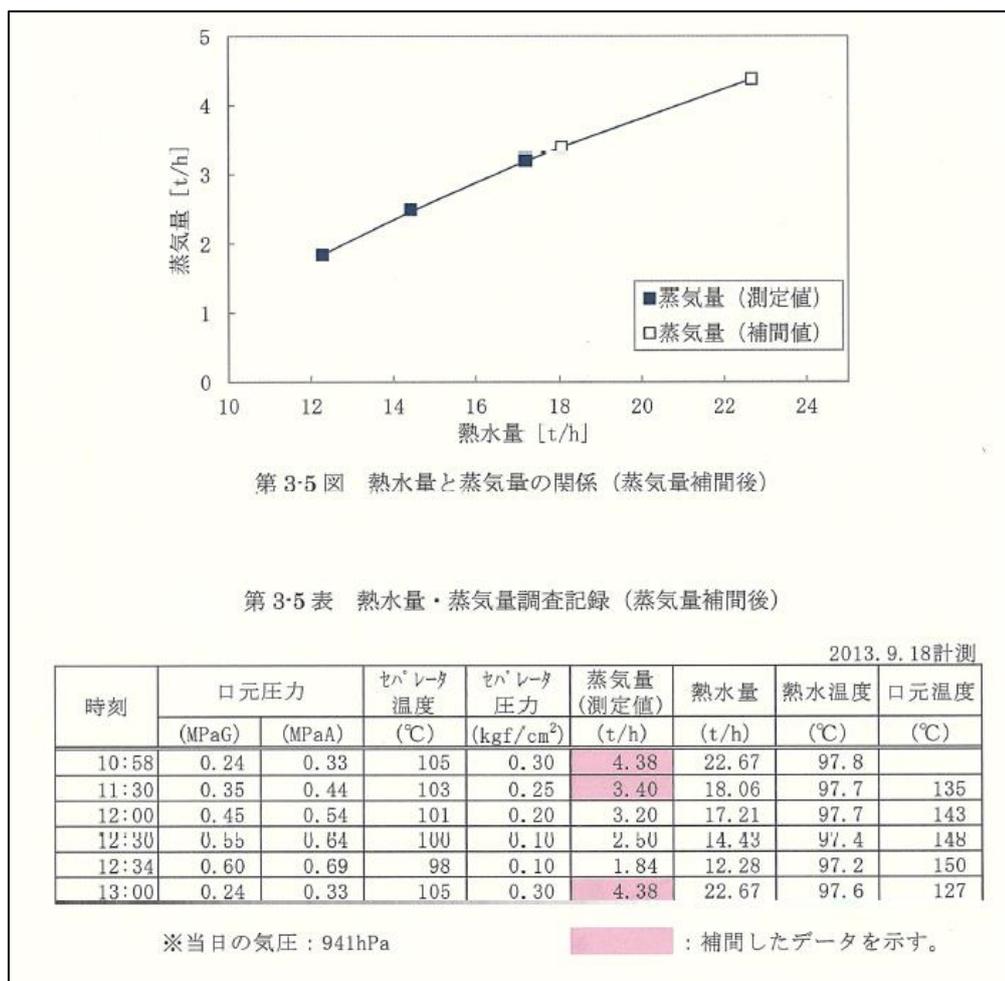


図 5.2-2 「石松農園（小国）地域」における噴出試験調査結果

### ③ ヒートホール調査結果

ヒートホール調査報告書「弟子屈地区」における温度検層および温度回復試験結果を図5.2-3~4に示す。右側のコラムが温度回復試験のデータであり、温度プロファイルデータとして利用できる。

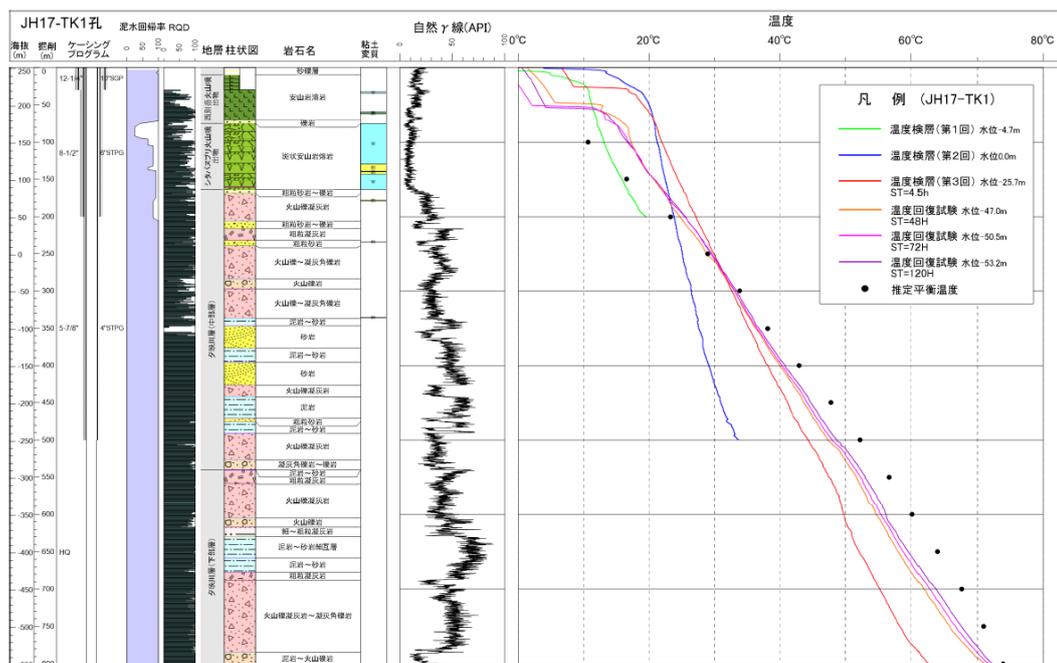


図 5.2-3 弟子屈地区ヒートホール JH17-TK1 孔の温度検層及び温度回復試験結果図

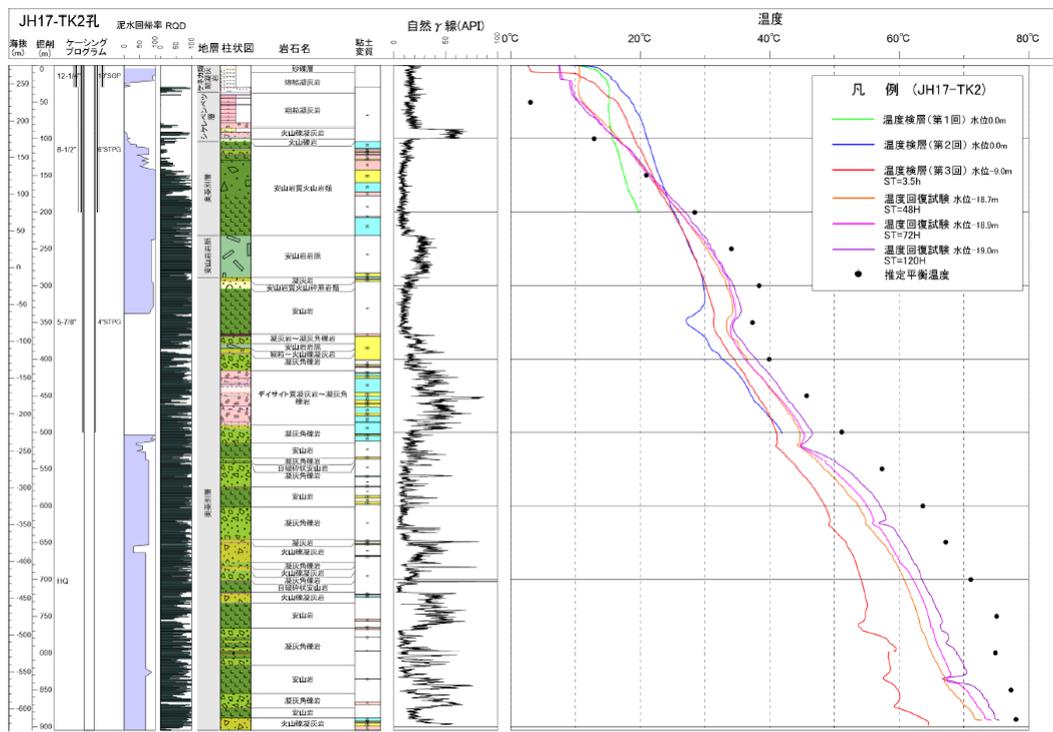


図 5.2-4 弟子屈地区ヒートホール JH17-TK2 孔の温度検層及び温度回復試験結果図

#### ④ 空中物理探査結果

収集した空中物理探査報告書のうち「弟子屈地区」における空中重力偏差法探査結果、時間領域空中電磁探査結果、空中磁気探査結果の例を図 5.2-5~7 に示す。入手できたデータは報告書 PDF 画像のみであり、3D 情報を含んだデータは得られなかった。したがって、貯留層基盤標高データの精緻化には利用できない。

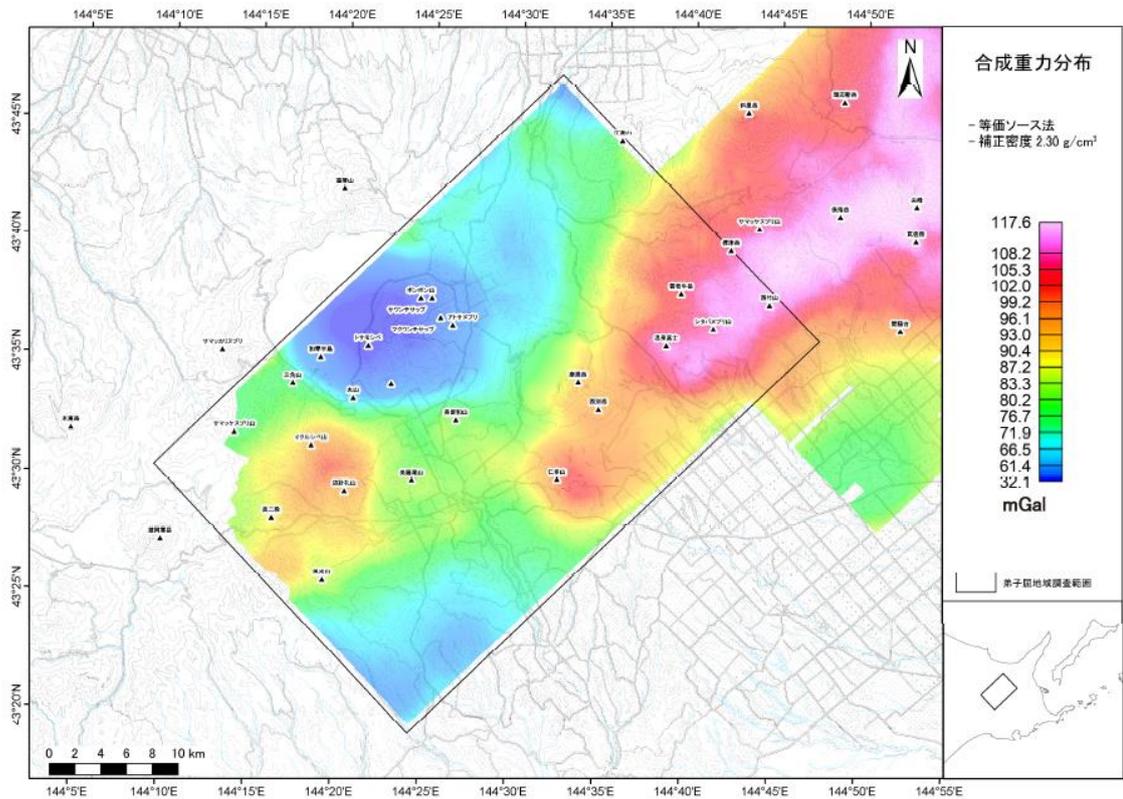


図 5.2-5 弟子屈地域の空中重力偏差法探査結果の例

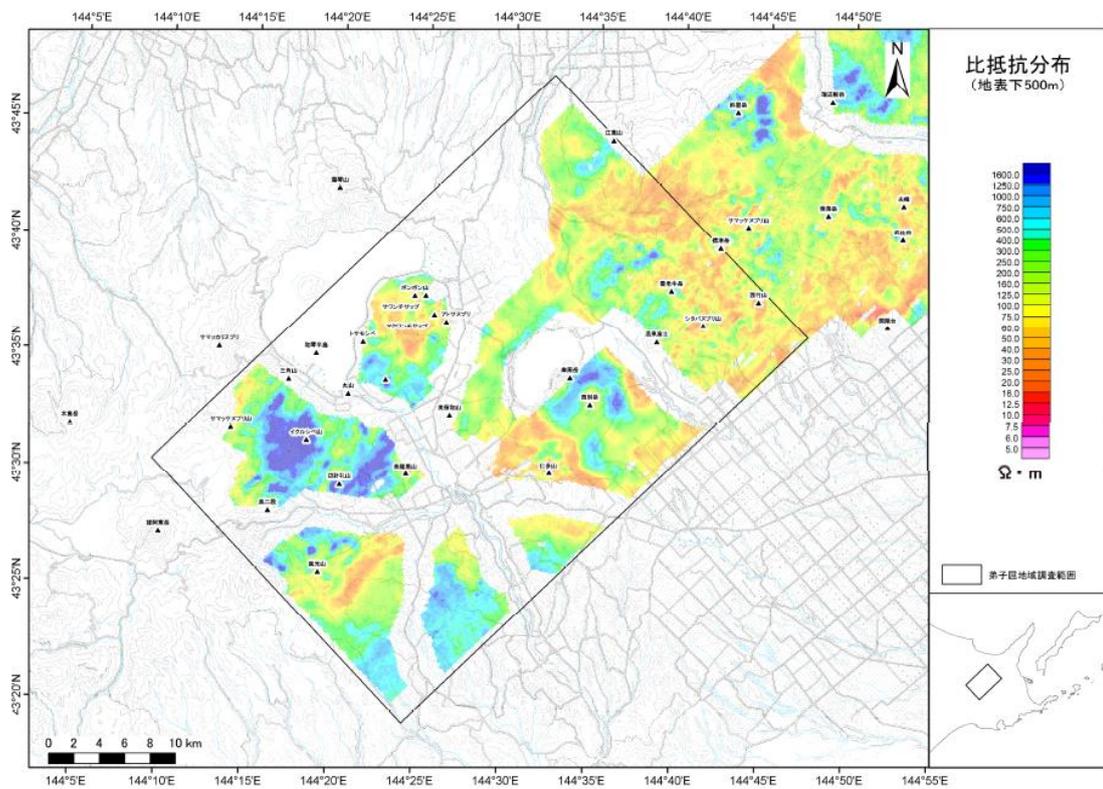


図 5.2-6 弟子屈地域の時間領域空中電磁探査結果の例



## ⑤ 自然噴気データ

AIST より提供いただいた自然噴気位置データのプロット図を図 5.2-8 に示す。また、自然噴気データが多い地域の拡大図を図 5.2-9～11 に示す。

自然噴気位置データで位置情報がある地点が全国で 125 地点あった。これらの自然噴気データのうち、温度データがない地点や火山性の噴気で地熱開発には向かない地点について、それぞれの地点の温度データや化学分析データを精査した。その結果、温度データのない地点が 12 地点、火山性の自然噴気地点が 49 地点あった（このうち 23 の地点では複数の化学分析データがあり、火山性と非火山性の両方に分類される結果があった。）。

したがって、そのまま AI データとして追加可能と考えられる非火山性の自然噴気地点は 64 地点となった。

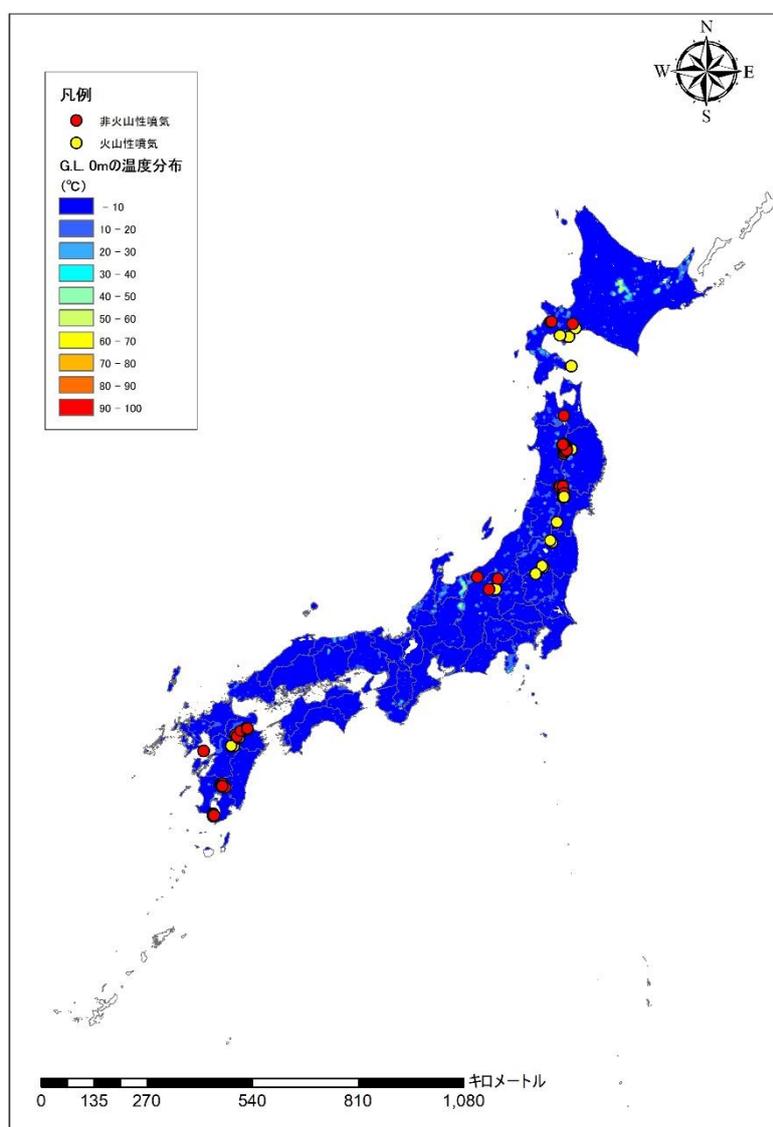


図 5.2-8 AIST 自然噴気データの分布図

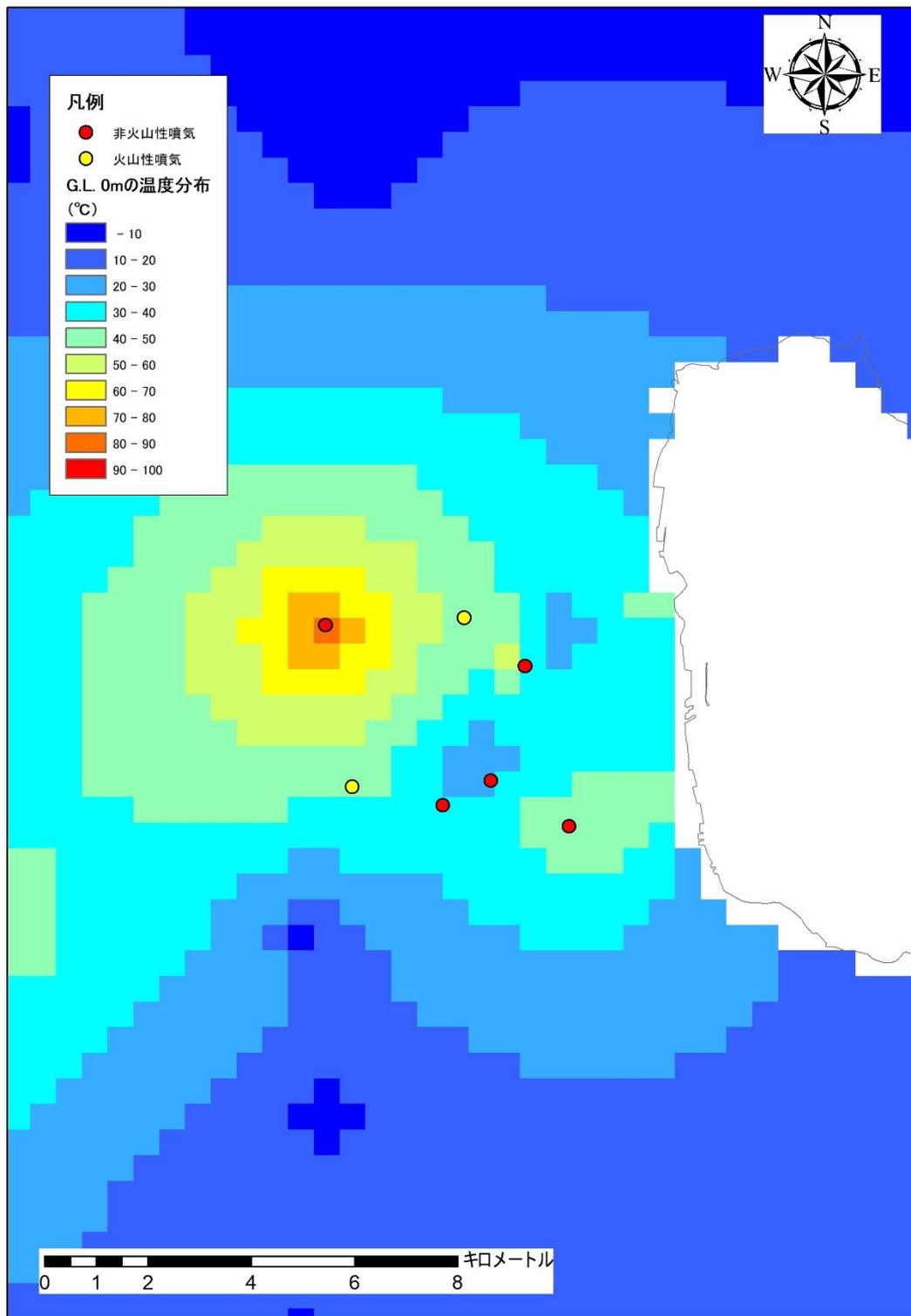


図 5.2-9 AIST 自然噴気データの分布図 (別府拡大)

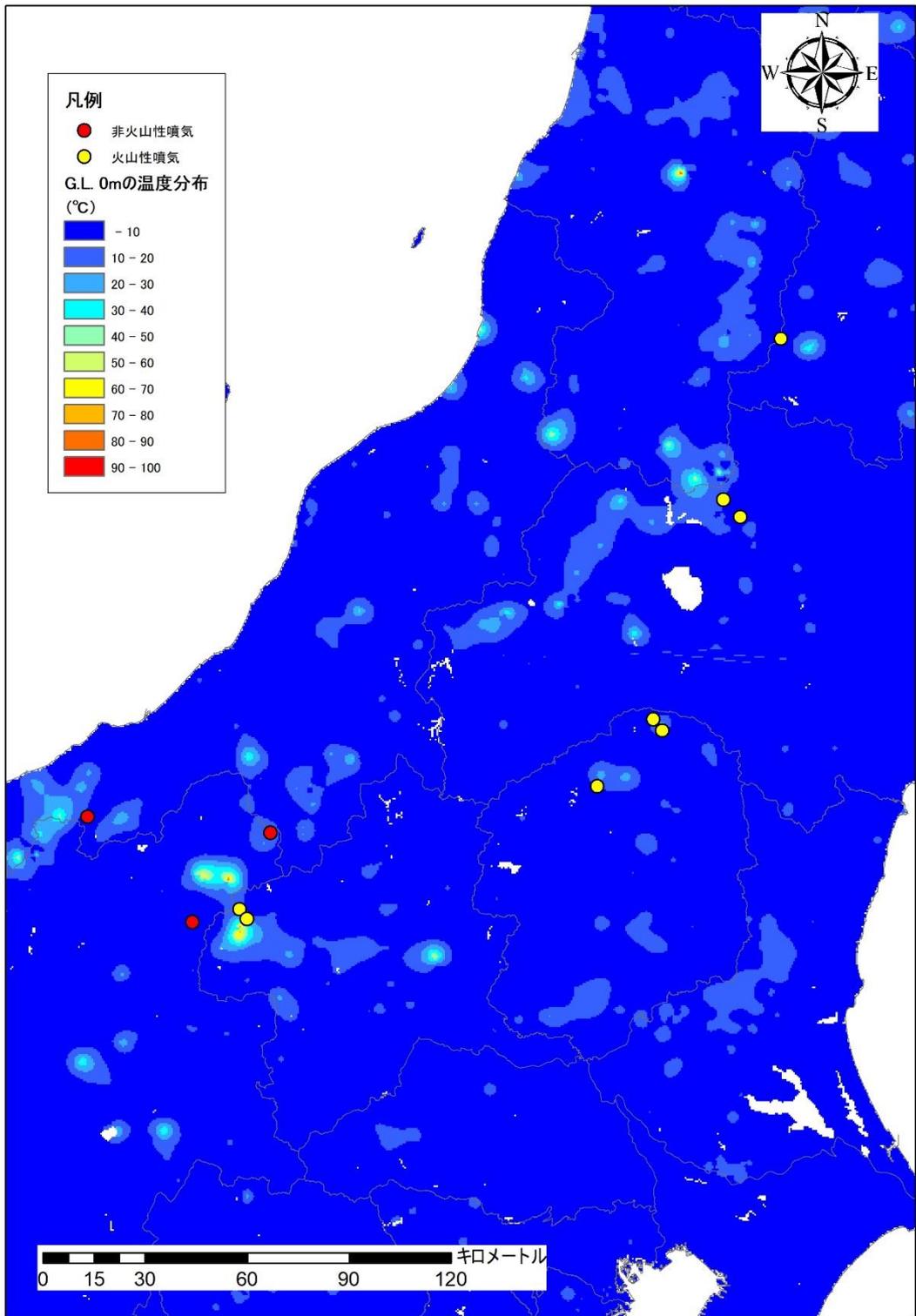


図 5.2-10 AIST 自然噴気データの分布図 (福島・上越拡大)

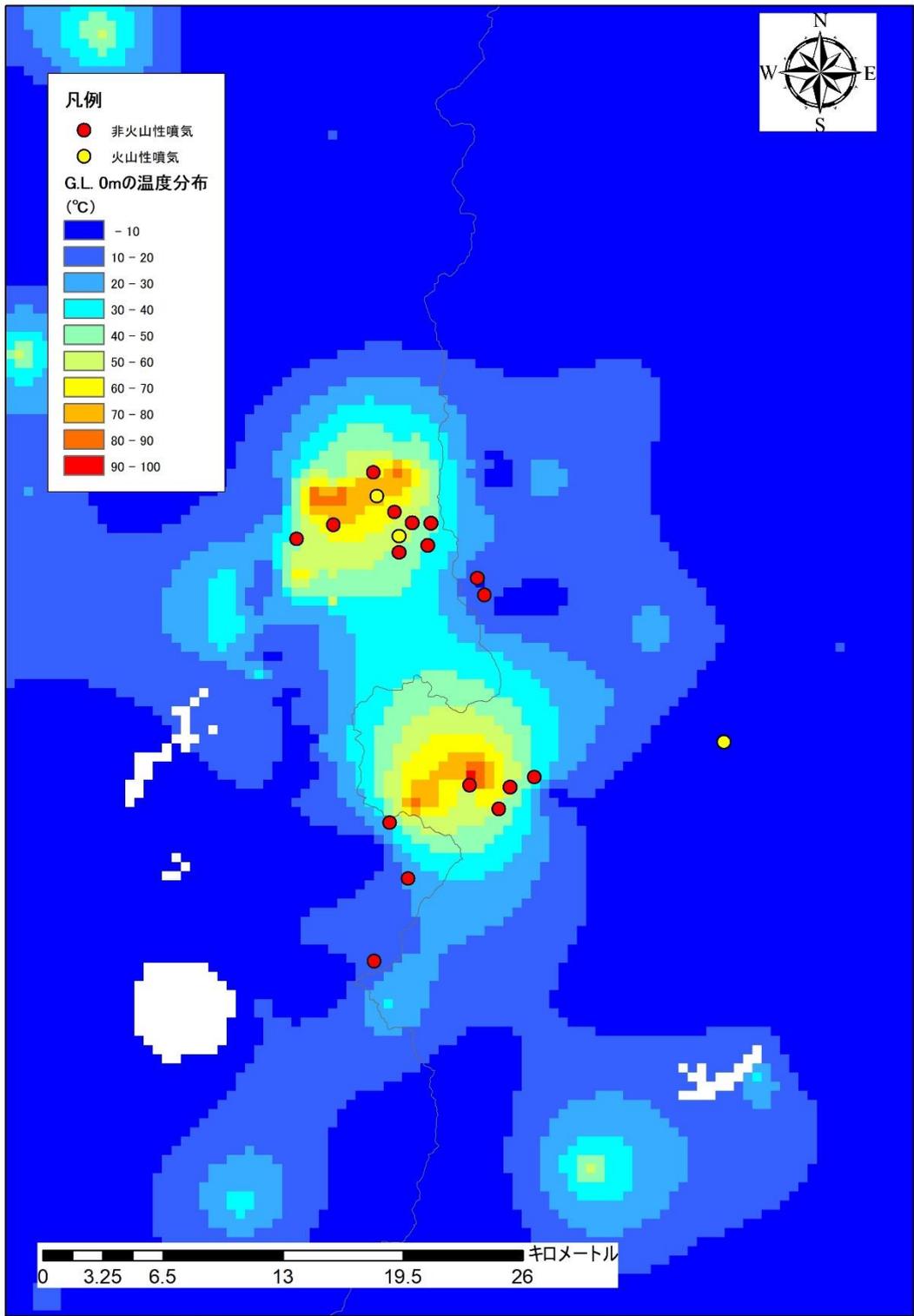


図 5.2-11 AIST 自然噴気データの分布図 (八幡平拡大)

## (2) 入手したデータの利用可能性の検討

本検討で入手及び入手可能性が示されたデータについて、利用可能性について整理する。図 5.2-12 には、地熱資源密度図の作成フローを示す。このうち、3.①～③に示した赤字の部分の本検討で入手及び入手可能性が示されたデータにあたる。したがって、これらのデータを利用することによって、部分的にはあるが地熱資源密度図の見直しは可能である。また、次項には地熱資源密度図の改良に向けた方向性について整理した。

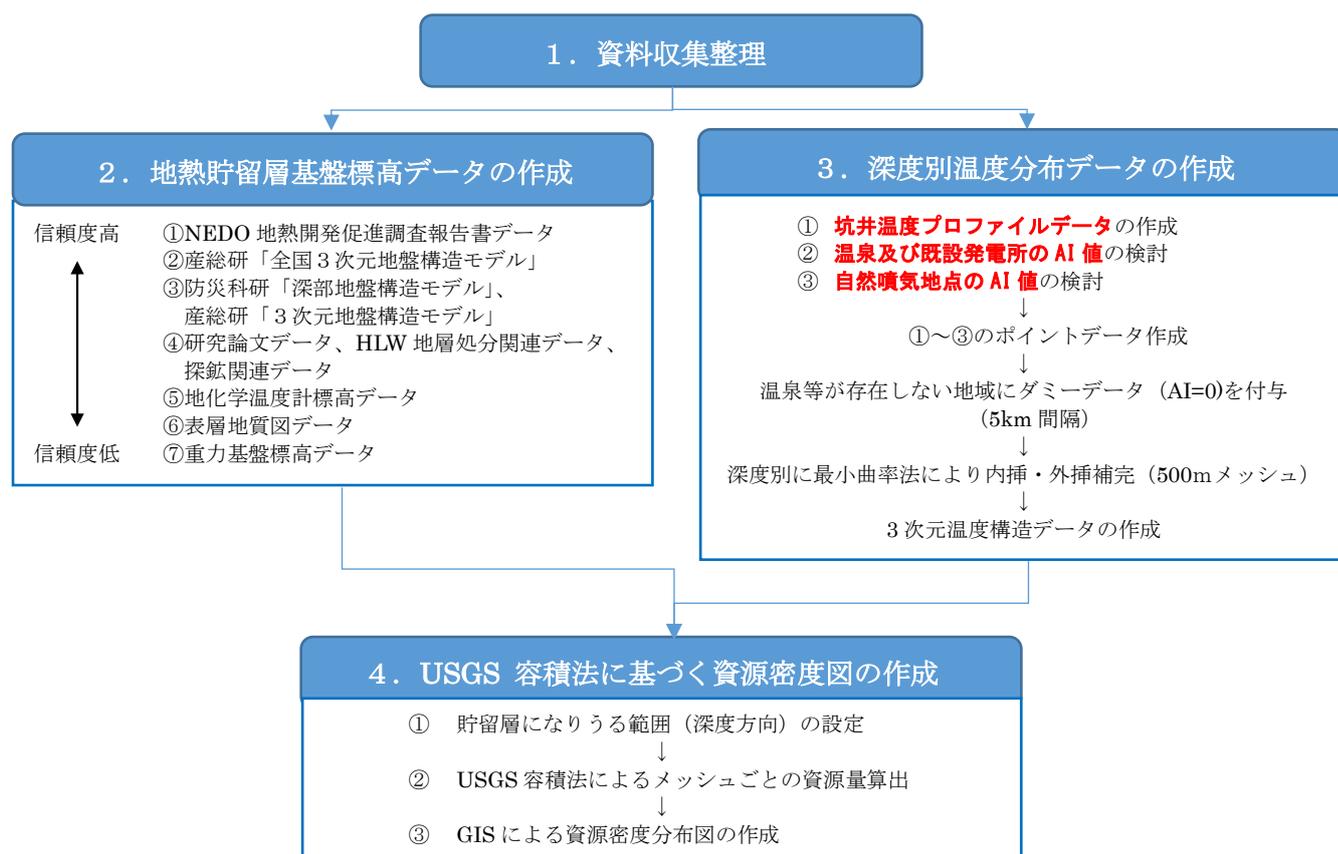


図 5.2-12 地熱資源密度図の作成フロー

表 5.2-2 地熱資源密度図の利用先に対応した入手したデータの一覧表

データの利用先		データの数量	備考
①坑井温度プロファイルデータ		坑井データ：3 孔	JOGMEC ヒートホール調査報告書が追加公開されればデータが増える。
AI ポイント データ	②温泉データ	噴気試験データ：1 孔 北海道温泉追加データ：数量不明	道総研による温泉データは 2016 年の検討時に 782 地点の温泉データが追加されている。
	③自然噴気データ	自然噴気データ：64 地点	火山性自然噴気 59 地点のうち 23 地点は開発不可割合を想定して検討に加えることができる可能性がある。

### (3) 地熱資源密度図改良の方向性

平成 25 年度地熱発電に係る導入ポテンシャル精密調査・分析委託業務では、地熱発電所出力と仮設設備容量の比較検証が行われており、多くの発電所で仮設設備容量が既設発電所の出力よりも大きく算出されていることが確認された。

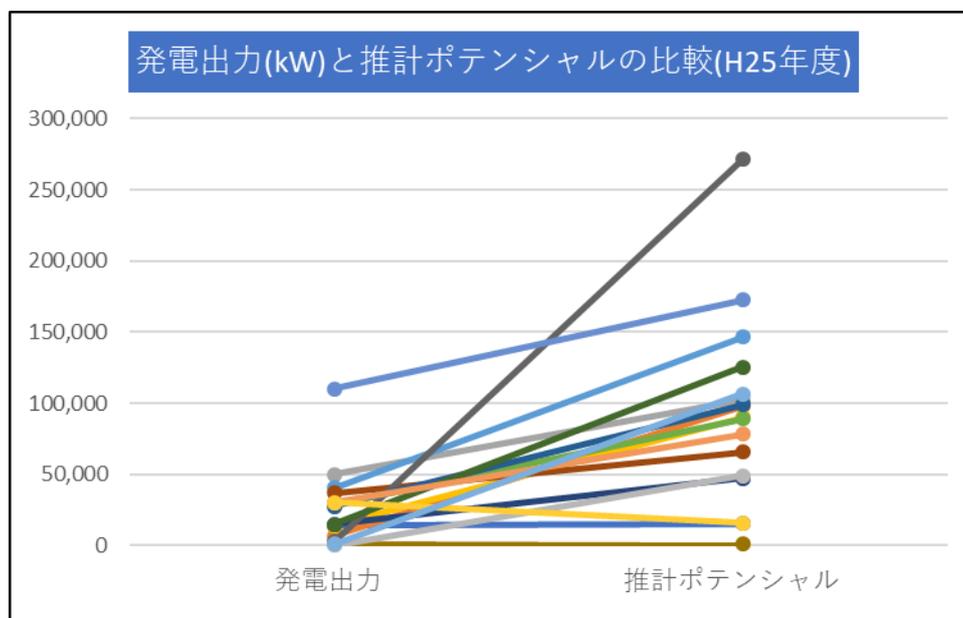


図 5.2-13 発電出力と推計ポテンシャルの比較（環境省、2014）

この両者の整合のための検討を行い、地熱ポテンシャルは地熱流体の流量とその単位量当たりの熱エネルギー（温度）の積であることに立ち返ると、その二つの要素の確からしさにより、精度が高まると考えることができる。この要件に合致するものを上位として、精緻化のランクを以下のように検討した。

#### ① 発電出力

発電出力はその地域の地熱ポテンシャルを合理的に使うことで得られるものであることから、もっとも確かな地熱ポテンシャルと考えられる。

#### ② 噴気試験による計測熱量

掘削による噴出試験により得られる蒸気と熱水の有する熱量は、その地域の地熱ポテンシャルの具体的な数値を与える。

#### ③ 地熱井の温度検層結果と掘削時に確認される貯留層深度

まず貯留可能深度をはっきりした逸水区間に温度分布を加味して規定し、目的温度（例えば 150℃以上）の該当区間を貯留層深度として、賦存熱量を求める。

④温度検層が得られない場合の地下温度の推定（湧出温度と化学成分）

温泉井の深度が不明な場合や自然湧出の温泉の場合、湧出温度情報だけだと、AIを用いた容積法では、湧出温度（図 5. 2-14 では 75°C）を出発点として沸騰曲線とほぼ平行に上昇する地下温度分布となり、底面を基盤深度とするため、従来の算法ではどうしても貯留層を過大に見積もってしまう（図 5. 2-14 の灰色部分）。そこで地下温度を化学温度計から求め（図 5. 2-14 では 235°C、1, 450m）、地熱井の平均的貯留層の厚さとして上下 250m の区間（225°C、1, 200m から 245°C、1, 700m）の区間（図の赤色部分）を貯留層として賦存熱量を求める（ただし底部の温度範囲は 300°C までを採用）。また出発温度である温泉の湧出温度が不適切と思われる場合は、0~100°C の代わりに AnIn（アニオンインデックス）の第 2 項 =  $(Cl+SO_4)/(Cl+SO_4+HCO_3) \times 100$  の使用を検討する。

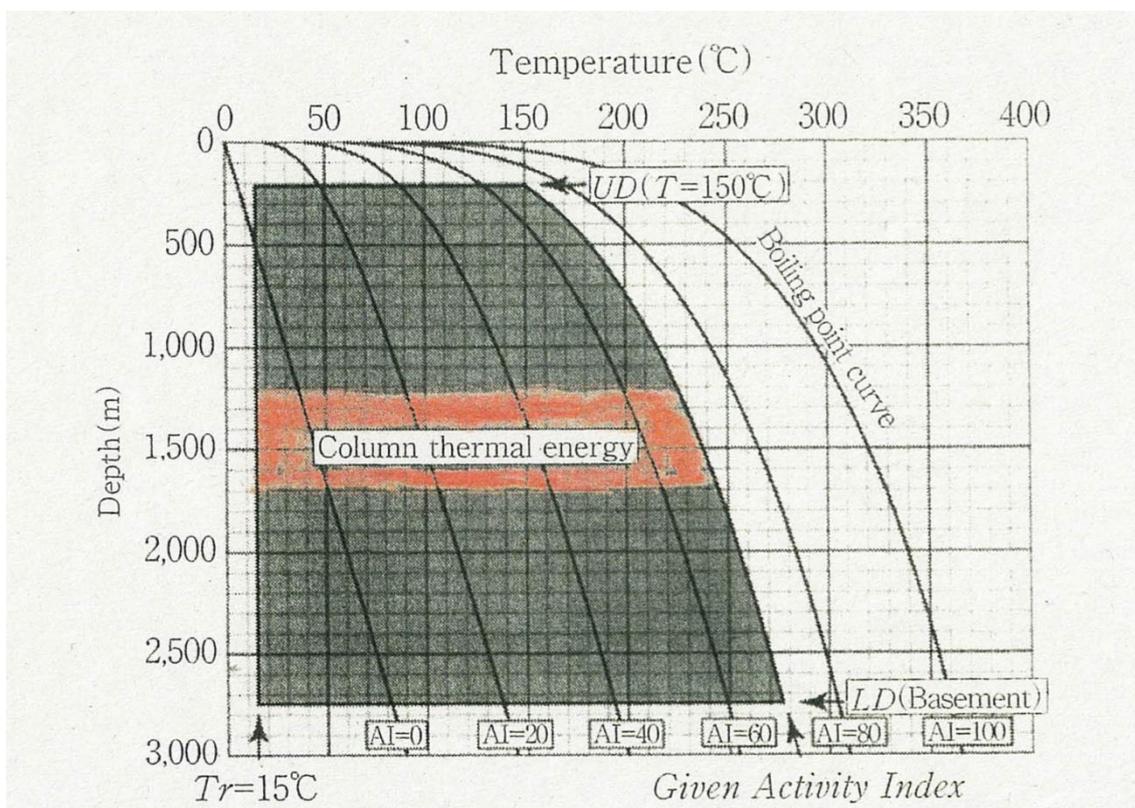


図 5. 2-14 地下温度-深度図における活動度指数 (AI) の概念及び絡む熱量計算法

さらに、もう一つの問題として、データ空白域のポテンシャル推定手法の課題がある。現在は、ポテンシャルデータ空白域は 5km の離隔距離に AI=0 のダミーデータを置き、内挿・外挿補完で温度プロファイルを算出している。これは、空白域が 5km 未満の場合にはポイントデータの温度データで内挿しているため、地域の全体ポテンシャルを過大にしている原因になっている可能性がある。例えば、図 5. 2-15 では過大評価の様

子を示していると考えられ、地域全体で 100 万 kW を超えるポテンシャルとなっており現実的ではない。この弊害を除くため、データ空白域のデータはゼロのままにすることや空白域の離隔距離を短くする等の手法を用いることが考えられる。また併せて、推計式の様々なパラメータ（浸透率，回収率，電力への変換率）の見直しも課題となる。

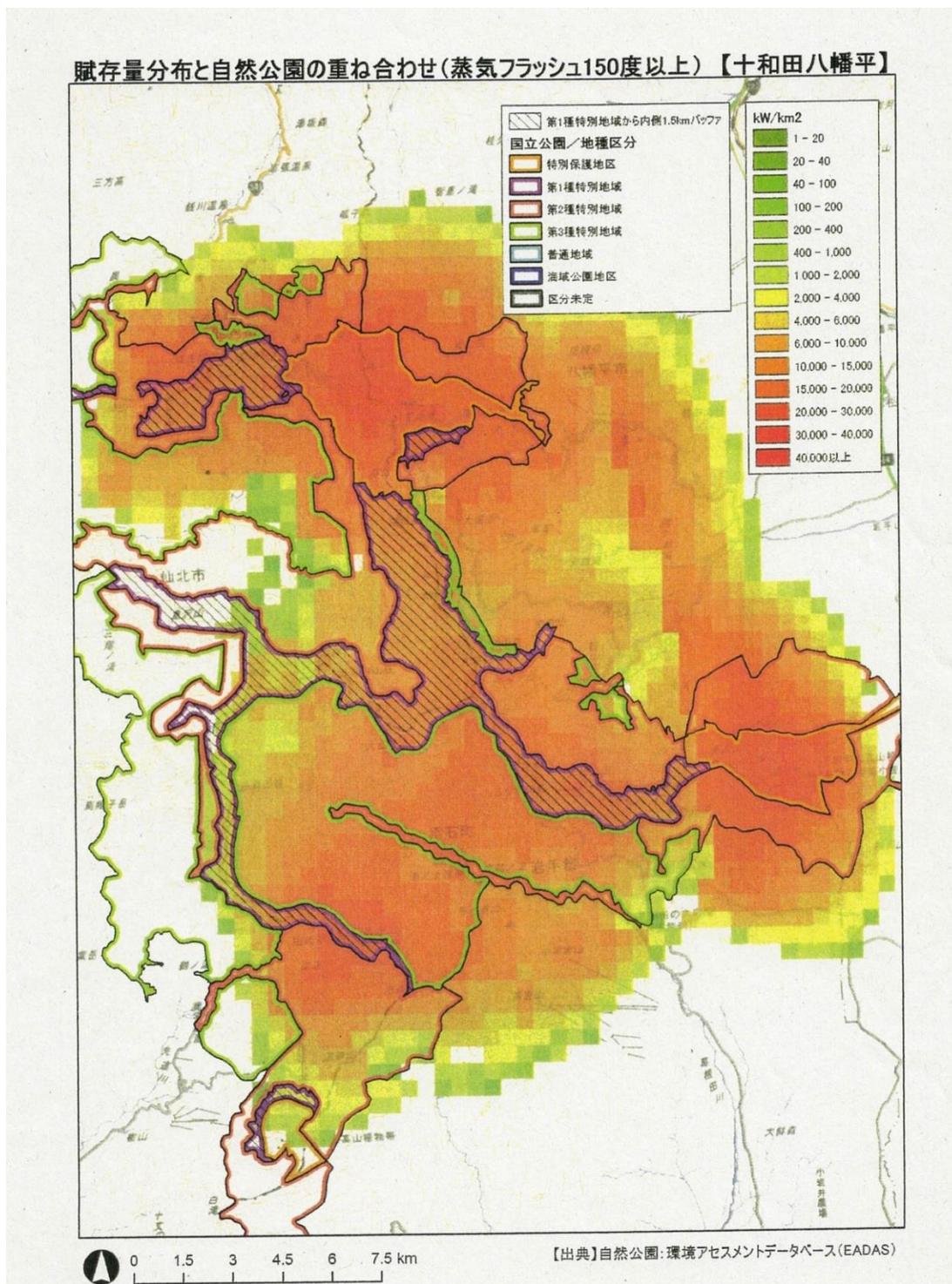


図 5.2-15 地熱資源密度が過大評価されていると考えられる事例（十和田八幡平）