

地中冷熱・温熱ポテンシャルの計算とカラーマップによる表現

松本真一 (秋田県立大学 システム科学技術学部, matsu@akita-pu.ac.jp)

概要

地中温度計算プログラム GTWin^{注1} を用いると, EA 気象データ DVD を読み込んで, 任意のアメダス観測地点に対する地中温度データを生成することができる。この文書では, 地中温度データの応用処理の例 (あるいは GTWin の使用例) として, 1 章で定義する「深さ 2m の平均地中冷熱ポテンシャル」と「深さ 2m の平均地中冷熱ポテンシャル」を計算し, プログラム ColorMap^{注1} を用いて, 全国マップを作成した例を紹介する。これらの図版は, アースチューブなどの設計資料として利用することができよう^{注2}。

1 地中冷熱・温熱ポテンシャルの概念

外気温の年間変化の大きさに比べて地中温度のそれは小さく, ある深さの地中では, 夏にはより低温, 冬にはより高温になることはよく知られている。実際, このことを利用して, アースチューブ (クールチューブ) による涼房システムや土壌採熱ヒートポンプによる冷暖房システムが実用化している。

夏場の気温に対してどのくらい低い温度が, また, 冬場の気温にに対してどのくらい高い温度が利用できる可能性があるのかを指標化できれば, このような自然エネルギー利用システムなどの設計用基礎資料として有用であろう。

このような観点から, 西川ら[1] は, 地中冷熱ポテンシャル GCP を以下のように定義し, 九州地域におけるマップを作成した。

$$GCP = \bar{T}_{\max} - \bar{T} \quad (1)$$

ここに,

$$\bar{T}_{\max} : \text{月平均日最高気温 (8月)} [^{\circ}\text{C}], \quad \bar{T} : \text{年平均気温 } [^{\circ}\text{C}].$$

地表面下 10m 程度の地中温度はほとんど一定で年間を通して変化せず, その値は年平均気温にほぼ等しいことが知られているが[2], 上式の \bar{T} はかなり深い地中の温度を代表しているといえる。また, 上式の気温 \bar{T}_{\max} は 8 月中に生じる平均的な日最高気温であるから, これらの差で定義される地中冷熱ポテンシャル GCP は, 一種の極限值を表しているように思われる。

ここでは, この概念を参考にして, 平均的な温度差として地中冷熱ポテンシャルを考え, 「深さ 2m^{注3} の平均地中冷熱ポテンシャル \overline{GCP}_{S-2} 」を以下のように定義する。

$$\overline{GCP}_{S-2} = \bar{T}_S - \bar{T}_{S-2} \quad (2)$$

注0 これらのプログラムは, EA 気象データプログラム DVD(拡張セット 2) に同梱されている。

注2 なお, この文書は文献[3], [4]をまとめ, 修正・加筆したものである。

注3 深さ 2m は, 小型の重機 (バックホー) あるいは人力でアースチューブを設置できる深さとして想定した。

ここに，

\bar{T}_S ： 夏期（7月～9月）の月平均気温 [°C]，

\bar{T}_{S-2} ： 夏期（7月～9月）における深さ 2m の地中温度の月平均値 [°C]

である。

同様にして，冬期の地中温熱ポテンシャルを以下のように定義する。

$$\overline{GHP}_{W-2} = \bar{T}_W - \bar{T}_{W-2} \quad (3)$$

ここに，

\bar{T}_W ： 冬期（11月～3月）の月平均気温 [°C]，

\bar{T}_{W-2} ： 冬期（11月～3月）における深さ 2m の地中温度の月平均値 [°C]。

2 計算方法

以下の手順①～③を全てのアメダス観測地点について繰り返し，全国 836 地点における深さ 2m の平均地中冷熱ポテンシャル \overline{GCP}_{S-2} および平均地中温熱ポテンシャル \overline{GHP}_{W-2} のデータを得る。

- ① あるアメダス観測地点について，EA 気象データ DVD を用いて 1981 年～2005 年の夏期（7月～9月）の平均気温を計算し， \bar{T}_S とする。また，冬期（11月～3月）の平均気温を計算し， \bar{T}_W とする。
- ② そのアメダス観測地点における深さ 2m の地中温度を GTWin を用いて 25ヶ年分計算した後，夏期と冬期の平均値を算出し，それぞれ \bar{T}_{S-2} ， \bar{T}_{W-2} とする。なお，GTWin による計算の設定条件は表 1 の通りとする。ほとんど GTWin のデフォルト設定を用いるが，積雪の影響^{注4}を考慮する。
- ③ 式 (2) および式 (3) を計算する。

表 1 地中冷熱・温熱ポテンシャルの計算に用いる GTWin の設定条件

設定条件	設定項目	設定値など
地盤モデル (ローム土を想定)	層の厚さ	単層 10m+ 無限要素
	熱伝導率 (λ)	1.5 W/(m·K)
	容積比熱 ($c\rho$)	3.0 MJ/(m ³ ·K)
FEM の要素	分割数 層の下端	10m 当たり 100 要素 (要素長 0.1 m 一定) 無限要素を適用
地表面モデル	対流熱伝達率 (α_c)	時変 (風速の関数)
	日射吸収率 (a)	0.7 (裸地を想定，時不変)
	放射率 (ε)	0.9 (裸地を想定，時不変)
	蒸発比 (k)	0.6 (仮定値，時不変)
	積雪の考慮	あり
その他	気象データ	EA 気象データ (全国 836 地点，1981-2005)
	初期値の設定	全節点一定 (1981 年の年平均地中温度)
	助走計算	1981 年 1 月～12 月

^{注4} MDS の提供する技術資料 PDF ファイル「地中温度の計算.pdf」を参照されたい。

3 計算結果のマップによる表現

前章(2)に基づいて、深さ2mの平均地中冷熱ポテンシャル \overline{GCP}_{S-2} と平均地中冷熱ポテンシャル \overline{GHP}_{W-2} を計算し、マップとして整理した。図1に平均地中冷熱ポテンシャルマップを、図2に平均地中温熱ポテンシャルマップを示す^{注5}。

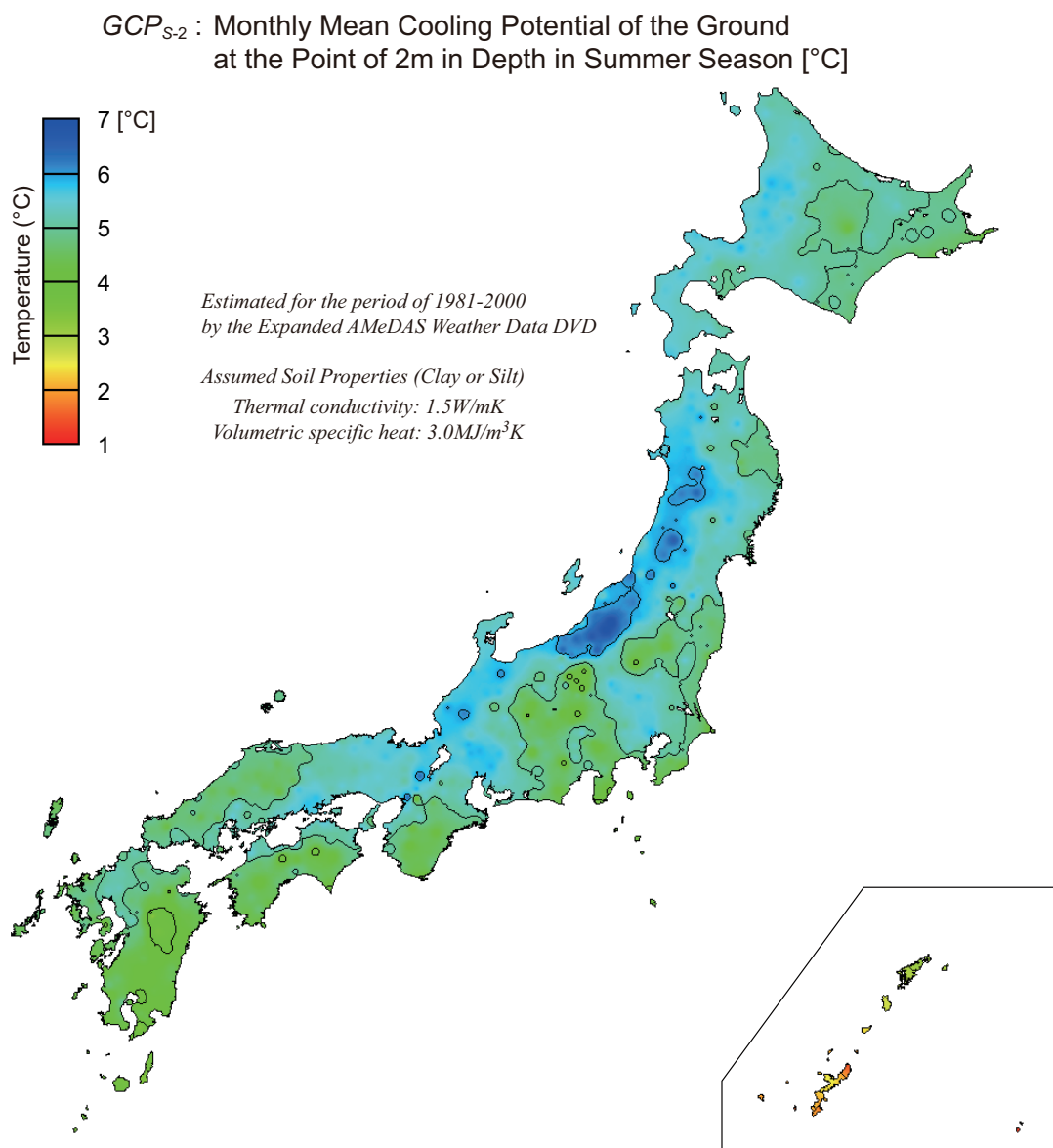


図1 平均地中冷熱ポテンシャル(外気温と深さ2mの地中温度の差)のマップ(1981年~2005年の夏期平均)

図1によれば、地中冷熱ポテンシャルは地域によって異なり、概ね1~7°Cの範囲にばらついている。北に行くほどポテンシャルが大きい傾向があるが、特に東北の日本海側から新潟県にかけての地域が最も大きいことが判る。また、図2を見れば、北海道に相対的に大きな地中温熱ポテンシャルが存在することも判る。

^{注5} これらの図は、ColorMapプログラムで出力したbmp(ビットマップ)ファイルを市販の画像処理ソフトウェアを用いて加工したものである。

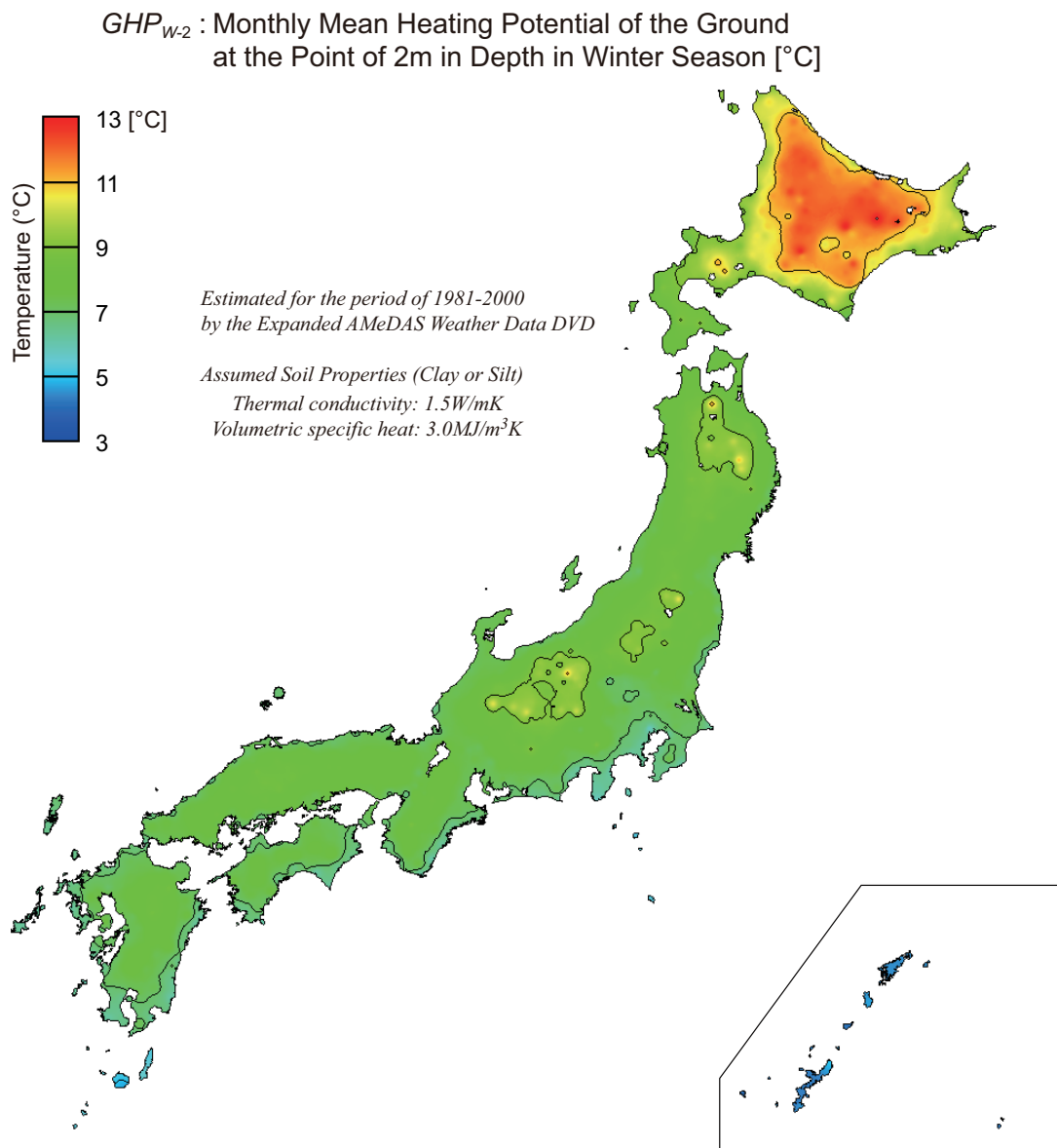


図2 平均地中温熱ポテンシャル (外気温と深さ 2m の地中温度の差) のマップ (1981 年 ~ 2005 年の冬期平均)

こうしたマップによれば、自然エネルギーの賦存状況が地域によって異なることが視覚的に理解できるから、地域に応じた環境設計のための資料としての価値があると考ええる。

参考文献

- [1] 西川邦彦, 斉藤郁雄, 石原 修: 自然エネルギーの活用のための気象データの整備と気候マップの作成, 日本建築学会計画系論文集, 第 509 号, pp.15-20, 1998.7.
- [2] 土壌物理研究会編: 土の物理学—土質工学の基礎—, 森北出版, 1979.10.
- [3] 松本真一: 25 年間の拡張アメダス気象データに基づく浅層地中温度の計算, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, (5), pp.121-124, 2014.9.
- [4] 松本真一: 25 年間の拡張アメダス気象データと付属プログラム GTWin による地中温度の計算例, 日本建築学会東北支部研究報告集 (計画系), 第 78 号, pp.17-20, 2015.6.