

V-4 地表面熱収支解析による冬期間の路面温度の推定

北海学園大学工学部 正員 武市 靖

1. まえがき

路面温度の推定は、路面凍結の検知または予測において重要である。路面温度の推定手法として、重回帰分析やフーリエ解析等によるものがあるが、本研究では地表面熱収支解析プログラムによって平衡地表面温度を算出する手法を用いた。解析結果は、札幌市内の道路3箇所を経時測定している路面温度との比較を行い推定手法について検討を加えた。

2. 解析モデル

解析プログラム(MICRO)は、Smithら<sup>1)</sup>が永久凍土地域で夏期に融解する表層部、いわゆる活動層の侵入過程を解析するために開発した一次元モデルで、本研究では舗装体に適用できるように修正を加え、更に、パソコンで簡便に処理できるようにした。解析モデルは、図-1のフローチャートに示すとおりである。平衡地表面温度は、気温、日量射、風速等の道路周辺の気象情報、アルベド、路面積雪、表層ラフネス等の路面情報を入力データとして、ある時刻における地表面での熱収支を成立させる繰返し演算により求められ、積雪層の融解による消耗過程も求められる。また、この地表面温度と年変動のほとんどない不易層の地温を境界条件として、潜熱発生を考慮した熱伝導方程式を差分方程式に置き換えて解くことにより、地中内の温度分布と凍結深さが求められる。不易層は、旭川忠別と本学構内(札幌)での計測結果に基づき6mとし、入力条件としての舗装材料と土の熱的性質は一般値を用いた。

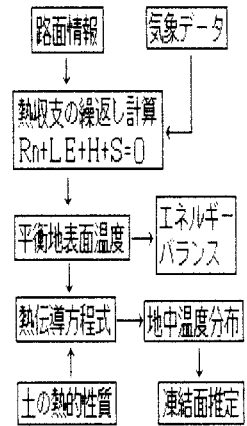


図-1 解析モデルのフローチャート

3. 熱収支解析による平衡地表面温度の算出<sup>2)</sup>

地表面を介して、大気ないし地中への熱伝達は、(1)式により表される。

$$R_n + LE + H + S = 0 \dots\dots(1)$$

ここで、 $R_n$ 、 $LE$ 、 $H$ 及び $S$ は、それぞれ放射収支量、地表面からの水蒸気輸送による潜熱伝達量、大気と地表面との温度差による顕熱交換量、地中伝導熱流量である。放射収支 $R_n$ は、式(2)に示すように短波放射収支 $(1-A)R_s$ と長波放射収支 $\Delta R$ とに分けられる。

$$R_n = (1-A)R_s + \Delta R \dots\dots(2)$$

$A$ は地表面のアルベドで、表-1に示すように道路雪氷の発生頻度観測において測定した各雪氷状態におけるアルベドを用いた。 $R_s$ は、全日射量で、札幌気象台観測の各月の日射量を天候別に4分類してモデル化したものを用いた。図-2は2月の日射量について示したものである。長波放射による分 $\Delta R$ は、(3)式から求められる。

$$\Delta R = (1 - n^2 \cdot K) [\sigma T_e^4 - \sigma T_a^4 \{1 - 0.26 \exp(-7.77 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta T^2)\}] \dots\dots(3)$$

ここで、 $T_e$ は地表面温度、 $T_a$ は気温、 $\sigma$ はステファンボルツマン定数、雲量 $n$ 、雲のタイプによる係数 $K$ 、 $\Delta T$ は $0^\circ\text{C}$ からの気温のずれである。雲量と雲のタイプは気象台で観測されているが、天気の種類と季節ないし月毎に分類した係数を用いることができる。

地表面からの潜熱伝達 $LE$ は、路面や雪氷面が低温の場合には無視できるが、 $0^\circ\text{C}$ 以上では日射が潜熱伝達に変換される割合が増加する。 $LE$ は(4)式で示され、 $\alpha$ は地表面の湿度 $\Psi$ 、 $\beta$ は飽和水蒸気圧-温度曲線の勾配、湿度計の定数 $\gamma$ で、 $\beta/(\beta+\gamma)$ は気温の関数で与えられる。

$$LE = \alpha(R_n - S) \cdot \beta / (\beta + \gamma) \dots\dots(4)$$

顕熱伝達量 $H$ と地中伝導熱流量 $S$ は、それぞれ(5)式と(6)式で示される。 $H$ に関して、 $K_h$ は高低差 $D$ の

風速勾配から算定する伝達係数、Cは空気熱容量である。Sに関して、λは土の熱伝導率、T<sub>g</sub>は深さD<sub>z</sub>における地温である。

$$H = K_h \cdot C \cdot (T_e - T_a) / D \quad \dots\dots (5)$$

$$S = \lambda \cdot (T_a - T_g) / D_z \quad \dots\dots (6)$$

4. 解析モデルによる路面温度の推定

札幌市内の道路3箇所にて1990年1~3月にかけて、気温、路面温度と路面状態の観測を行った。路面温度は、路面から0.5、5.0、10.0cmの深さを1時間間隔で計測し、路面状態は3時間間隔の自動撮影を行った。3箇所とも大気観測所の近くに観測現場を設定したので、気温と風速のデータ提供を受けた。

図-3は、路面状態が凍結と融解を繰返し大きく変化した2月14日~16日における路面温度の測定値と推定値を比較したもので、同時に路面状態の変化を表-1の略称記号で示した。入力データの内容は表-1にまとめた。推定値は測定値の路面温度の日変動にほぼ追従しており、この解析モデルは路面温度の推定に利用できることが分かった。また、AMeDASデータにより数時間先の天候や気温等の予報が与えられれば、路面凍結の予測も可能であると考えられる。しかし、推定値は測定値に比較して12時~16時の路面温度が高くなっている。これは、道路に面した建物のために12時以降、観測現場の路面は日陰になるが、推定値は図-2の平均的な日射量を用いていることに原因しているので、日射量の入力条件の修正により解決できると考えられる。

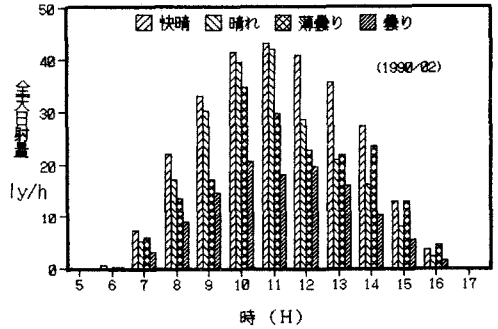


図-2 2月の日射量モデル

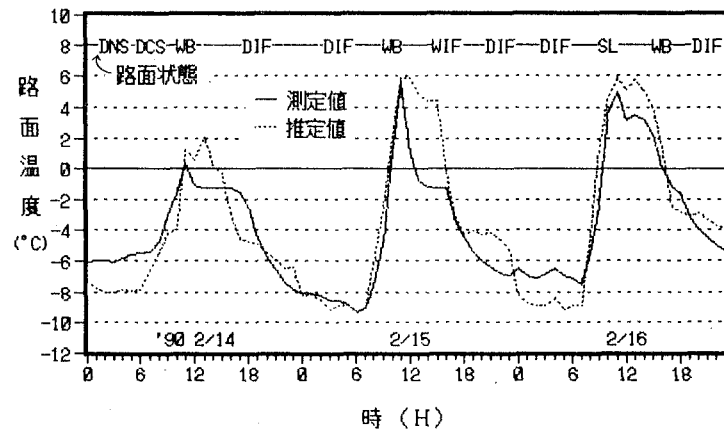


図-3 路面温度の測定値と推定値の比較

表-1 入力条件の内容

| 路面状態      | 7W/D | 湿潤度 | 項目                | 単位             |
|-----------|------|-----|-------------------|----------------|
| DNS: 乾き新雪 | 0.85 | 0   | (日射量)             | ly/h           |
| DCS: 乾き圧雪 | 0.75 |     | (雲量)              | 0~1            |
| DGS: 乾き粒雪 | 0.50 |     | (象雲の径)            | 0~1            |
| DIC: 乾き氷板 | 0.40 |     | (要素)              | 気温 °C          |
| DIF: 乾き氷膜 | 0.30 |     | 風速 cm/sec         |                |
| DB: 乾燥露出  | 0.20 |     | 気圧 mb             |                |
| WNS: 濡れ新雪 | 0.70 | 0.4 | (土の熱的性質)          |                |
| WDS: 濡れ圧雪 | 0.65 |     | 体積含水比 %           |                |
| WGS: 濡れ粒雪 | 0.35 |     | 熱伝導率 cal/cm²·s·°C |                |
| WIC: 濡れ氷板 | 0.15 |     | 熱容量 cal/cm³·°C    |                |
| WIF: 濡れ氷膜 | 0.10 |     | 1.0               | 熱容量 cal/cm³·°C |
| SL: 水べた雪  | 0.10 |     |                   |                |
| WB: 湿潤露出  | 0.10 |     |                   | 路面積雪厚さ cm      |

5. まとめ

- ・解析モデルは路面温度の推定に利用できることが分かった。きめ細かい路面温度の推定をするには、道路周辺の気象条件に影響を与える要因を考慮する必要があり、解析モデルや入力条件についても検討を加える必要がある。
- ・AMeDASデータにより数時間先の天候や気温等の予報が与えられれば、路面凍結の予測も可能であると考えられるので、今後、この点についても検討を加えたい。

【参考文献】

1) M.W.Smith: Computer Simulation of Microclimatic and Ground Thermal Regimes, ALUR1975-76, 1977.  
 2) 福田正巳, 石崎武志: 平衡地表面温度による土壌凍結深推定モデル, 雪氷42巻2号, 1980.